

## 2.5 研究開発項目④ 安全技術を導入した人間装着型生活支援ロボットスーツ HAL の開発 CYBERDYNE（株）、筑波大学

### まえがき

2012年1月の国立社会保障・人口問題研究所の発表によると、2010年から2030年までに我が国の総人口は約1,144万人減少し、特に15～64歳までの生産年齢人口は約1,400万人減少する一方、65歳以上の高齢者人口は、約737万人増加し、総人口比で31.6%を占めるようになることが推計されている。つまり、高齢者や障害者の生活支援ニーズが今後もより増加する一方で、そのニーズに対応すべき労働者の数が大きく減少してしまうことが予測されている。テクノロジーによって高齢者や障害者の生活支援ニーズを可能な限り受け止め、生活支援に必要な労働者の数や負荷を低減することができれば、我が国が直面する超高齢化社会にまつわる困難の一部を緩和できると考えられる。

高齢者や障害者の生活支援のために、筑波大学の山海嘉之教授は、自身が推進するサイバニクス研究を通じて、人間装着型のロボット“ロボットスーツ HAL”を開発した。1991年に基礎研究が開始され、小動物による実験を経て、1995年から1997年頃にプロトタイプが制作された。1998年のHAL-1を皮切りに、HAL-2、HAL-3、HAL-4と研究開発を進められ、2005年の愛・地球博でHAL-5の第1号機が披露された。

CYBERDYNE 株式会社は、ロボットスーツ HAL を始めとするサイバニクス研究の成果を実用化し、社会に広く貢献すべく2004年に筑波大学発ベンチャー企業として設立された。設立以降、CYBERDYNE 株式会社はロボットスーツ HAL の実用化に向けて研究開発を進め、2008年には、CYBERDYNE 株式会社の初の製品となる“ロボットスーツ HAL 福祉用”のレンタル・リース販売を開始した。CYBERDYNE 株式会社は当初より、安全を最優先にロボットスーツ HAL の開発・製造・販売に取り組んでいたが、人間装着型のロボットに適した安全標準が存在しなかったために、製品の安全性について第三者評価を受けられずにいた。

このような背景から、当該研究開発プロジェクトでは、CYBERDYNE 株式会社の有する安全性に係る知見に基づいて、国際安全規格 ISO 13482 の策定に貢献するとともに、人間装着型生活支援ロボットの安全性に係る諸課題をさらに深化し、安全性を高度化・高信頼化する技術および運用ルールの研究開発を実施した。また、それらの技術の妥当性を評価するための安全性試験および実証試験を実施した。

当該研究開発プロジェクトの研究開発項目と、その主な成果は、以下の通りである：

- 1) 装着機能安定技術：人の力に合わせる出力制限・調整機能および、人の体形に合わせる調整機構の高度化と高信頼化
- 2) 制御技術：人の意図に従うサイバニクス随意制御およびサイバニクス随意制御の高度化
- 3) 安全管理技術：使用時間や異常等のイベントを自動的に記録する機能の高度化と、それによる高信頼化
- 4) 自己診断技術：各種センサを監視し、自己診断する機能の高度化と、それによる高信頼化
- 5) 安全要素技術：国際標準に準拠する安全バッテリーの開発および、強化絶縁された電極の開発
- 6) 安全性試験：人間装着型生活支援ロボットに適した試験法および合格基準の開発と、試験の実施、国際安全規格に定められた試験の実施、法令および国際安全規格の要求を網羅した安全性評価の実施
- 7) 実証試験：71名を対象とした実運用中の安全性検証の実施

当該研究開発プロジェクト全体の主な成果として、ロボットスーツ HAL 福祉用が、世界初の ISO/DIS 13482 の認証取得および国内 400 台 160 施設を超える普及を果たした。成果を応用したロボットスーツ HAL 医療用は、世界初のロボット治療機器として CE マーキングを取得し、医療機器として欧州で 40 台が稼働するに至った。また、CYBERDYNE 株式会社は、ISO 13482 の策定への貢献だけでなく、IEC における医療ロボットの安全標準の検討委員会でも積極的な貢献を果たした。

当該研究開発プロジェクトの成果は一般にも大きな関心を持って迎えられ、プロジェクト期間中の基調講演・特別講演・招待講演は延べ 198 件、新聞・雑誌・インターネット上の公開は 871 件、テレビ放映等は 62 件、展博への出展は 121 件、受賞等は 7 件に上った。

当該研究開発プロジェクトの成果を利用し、CYBERDYNE 株式会社は事業を精力的に進めている。ロボットスーツ HAL 福祉用は国内でのフィットネス事業を進め、ロボットスーツ HAL 医療用は欧州での事業展開を進めている。

当該研究プロジェクトの成果は、CYBERDYNE 株式会社の事業だけでなく、より一般の人間装着型生活支援ロボットの実用化および産業化へ貢献するものである。



## 目次

|  |    |
|--|----|
| 1. 研究開発の背景と目的 .....                        | 6  |
| 1.1. 背景 .....                              | 6  |
| 1.2. 目的 .....                              | 6  |
| 2. 研究開発の内容と成果 .....                        | 7  |
| 2.1. 機器概要 .....                            | 7  |
| 2.2. リスクアセスメント .....                       | 8  |
| 2.3. 装着機能安定技術 .....                        | 11 |
| 2.3.1. 駆動力制御に伴う安全技術 .....                  | 11 |
| 2.3.2. 負荷変動・環境外乱に対する自動的状態認知・安全動作支援技術 ..... | 11 |
| 2.3.3. 装着者の特性変動に対する機能安定技術 .....            | 11 |
| 2.4. 制御技術 .....                            | 11 |
| 2.5. 安全管理技術 .....                          | 12 |
| 2.5.1. 環境認知によるリスク低減技術 .....                | 12 |
| 2.5.2. サイバニックカーネル .....                    | 12 |
| 2.5.3. 安全運用ルール .....                       | 12 |
| 2.6. 自己診断技術 .....                          | 12 |
| 2.6.1. 動作状況の自己診断機能 .....                   | 12 |
| 2.6.2. 異常検知・報知機能 .....                     | 13 |
| 2.6.3. ログデータベース .....                      | 13 |
| 2.7. 安全要素技術 .....                          | 13 |
| 2.7.1. 安全パワーユニット .....                     | 13 |
| 2.7.2. 安全バッテリー .....                       | 13 |
| 2.7.3. EMC 対策 .....                        | 14 |
| 2.8. 安全性試験 .....                           | 14 |
| 2.8.1. 機械的な関節角度制限の強度試験 .....               | 15 |
| 2.8.2. 連続着床に対する構造全体の耐久性試験 .....            | 17 |
| 2.9. 実証試験 .....                            | 18 |
| 2.9.1. 研究デザイン .....                        | 19 |
| 2.9.2. 試験参加者の選択・除外基準 .....                 | 19 |
| 2.9.3. 評価項目 .....                          | 19 |
| 2.9.4. HAL を利用した運動訓練 .....                 | 19 |
| 2.9.5. 安全対策 .....                          | 20 |
| 2.9.6. 統計解析 .....                          | 20 |
| 2.9.7. 試験結果 .....                          | 20 |
| 2.9.8. まとめ .....                           | 21 |
| 2.10. 認証取得 .....                           | 21 |
| 2.11. 国際標準化への貢献 .....                      | 22 |
| 3. 研究開発の総括 .....                           | 23 |

(要約)

件名：平成21年度～平成25年度成果報告書、生活支援ロボット実用化プロジェクト、安全技術を導入した人間装着（密着）型生活支援ロボットの開発、安全技術を導入した人間装着型生活支援ロボットスーツHALの開発

ロボットスーツ HAL (Hybrid Assistive Limb) は、サイバニクス技術をコアとして開発された、人の運動機能を支援・拡張する装着型のロボットである。当該研究開発プロジェクトは、高齢者や障害者の生活を支援するロボットスーツ HAL の安全性をより高めるための安全技術および運用ルールを研究開発し、また、人間装着型生活支援ロボットを実用化させるための基盤を構築することを目的として実施された。当該研究開発プロジェクトでは、以下の項目ごとに研究開発を実施した：1) 装着時機能安定技術、2) 制御技術、3) 安全管理技術、4) 自己診断技術、5) 安全要素技術、6) 安全性試験、7) 実証試験。各研究開発項目について、それぞれ以下の成果を達成した：1) 人の力に合わせる出力制限・調整機能および、人の体形に合わせる調整機構の高度化と高信頼化、2) 人の意図に従うサイバニクス随意制御およびサイバニクス随意制御の高度化、3) 使用時間や異常等のイベントを自動的に記録する機能の高度化と、それによる高信頼化、4) 各種センサを監視し、自己診断する機能の高度化と、それによる高信頼化、5) 国際標準に準拠する安全バッテリーの開発および、強化絶縁された電極の開発、6) 人間装着型生活支援ロボットに適した試験法および合格基準の開発と、試験の実施、国際安全規格に定められた試験の実施、法令および国際安全規格の要求を網羅した安全性評価の実施、7) 71名を対象とした実運用中の安全性検証の実施。より発展的な成果として、ロボットスーツ HAL 福祉用について ISO/DIS 13482 の世界初の認証を取得し、また、当該研究開発プロジェクトの成果を応用したロボットスーツ HAL 医療用について世界初のロボット治療機器として CE マーキングを取得した。当該研究開発プロジェクトの成果は、CYBERDYNE 株式会社の事業を加速するだけでなく、生活支援ロボットの産業化を促進するものである。

(Summary)

Title: Project for practical application of service robots, Development of physical assistance robots based on safety technology, Development of physically assistive robot suit HAL based on safety technology (FY2009-FY2013) Final Report

The Robot Suit HAL (acronym for "Hybrid Assistive Limb") is a wearable robot, which enhances and supports human motor functions by using Cybernics technologies. Our goal was to make the HAL more reliable for elder or disabled people by research and development of safety technologies: mechanical, electro-magnetic, functional, and applicational techniques. In this project, we proceeded 1) functional safety technique while wearing, 2) control technique, 3) safety management technique, 4) self-examination technique, 5) elemental technique for safety, 6) safety examination and 7) actual application and trials. Our major progresses were 1) improvement of limiting function of output and adjusting function and mechanics for shapes of individuals, 2) improvement of the "Cybernic Voluntary Control" and "Cybernic Autonomous Control" endowing HAL with function following its wearer's intension, 3) improvement of logging function recording operating time and events such as detected failures, 4) improvement of self-diagnosis function which assures HAL's operating condition based on embedded sensors, 5) development of safety battery compliant with an international safety standard and electrodes with reinforced insulation, 6) development of testing method and acceptance criteria based on risk assessment and conducting exhaustive verifications (including testing) covered all requirements of related regulations and standards, 7) validation of safety in practical use with 71 participants. As advanced achievement, we obtain the world-first certificate of ISO/DIS 13482 and CE-marking as the world-first therapeutic robot; moreover, we made a huge contribution to working groups of ISO and IEC establishing ISO 13482 and a safety standard for medical robots. These achievements accelerate our challenges towards industrialization of service robots helping our lives as a leading company.

# 1. 研究開発の背景と目的

## 1.1. 背景

2012年1月の国立社会保障・人口問題研究所の発表によると、2010年から2030年までに、我が国における65歳以上の高齢者人口は、約737万人増加し、総人口比で31.6%を占めるようになると推計されている。一方で、我が国の生産年齢人口（15～64歳）は約1,400万人に減少することが見込まれており、高齢者や障害者の生活支援ニーズを引き受けるべき労働力の不足が懸念される。

この問題は、我が国が直面する超高齢化社会にまつわる困難の一つであり、解決ないしは緩和しなければならない。高齢者や障害者の生活を支援し、生活支援に必要な労働者の数や負荷を低減できる生活支援ロボットの実用化および普及は、達成可能な解の一つと考えられる。特に人間装着型生活支援ロボットは、直接的に装着者の動作を支援できる点で有力な候補の一つと言える。下肢型の人間装着型生活支援ロボットであれば、立ち座りや歩行の動作支援に利用できる。また、上肢型であれば、食事や把持の動作支援に、全身型であれば、介護や重作業の動作支援に利用できる。

CYBERDYNE 株式会社は、筑波大学の山海嘉之教授が推進するサイバニクス研究に端を発する人間装着型ロボット“ロボットスーツ HAL”の実用化および、普及を目指して2004年に設立され、2008年には同社初の製品となる下肢型の人間装着型ロボット“ロボットスーツ HAL 福祉用”を上市した。CYBERDYNE 株式会社は当初より、安全を再優先に開発・製造・販売に取り組んでいたが、人間装着型ロボットに適した安全標準が存在しなかったため、社会的要請としてどこまでの安全性が必須であるかが明らかでなく、また、その安全性について第三者評価を受けられずにいた。

我が国の超高齢化社会の到来は切迫しており、人間装着型生活支援ロボットの実用化および普及は迅速に果たされなければならない。そのためにも、人間装着型生活支援ロボットに必須の安全技術の確立、安全性評価法の確立、第三者認証の体制構築は急務となっている。人間装着型生活支援ロボット分野で世界をリードするCYBERDYNE 株式会社が先導的にこれらの研究開発に取り組むことで、人間装着型生活支援ロボットの実用化および普及が加速されることが期待できる。また、人間装着型生活支援ロボットの実用化と普及を世界に先駆けて達成できれば、来るべき生活支援ロボットの国際的な産業化において、我が国の主導的な役割を果たすための重要な成果になると考えられる。

## 1.2. 目的

CYBERDYNE 株式会社がこれまでに取り組んだロボットスーツ HAL の開発から得られた知見に基づいて、人間装着型生活支援ロボットの安全性に係る諸課題をさらに深く抽出し、ロボットスーツ HAL の安全性をより高度化・高信頼化する技術および運用ルールの研究開発を目的とする。また、本研究開発で得られた技術および運用ルールの妥当性評価方法も開発し、必要な安全性試験および実証試験を実施する。

本研究開発にあたっては、生活支援ロボットの安全標準を議論する国内外での会議へ参加し、そこで得た最新動向に沿って行う。また、本研究開発の成果は適宜、ISO 13482 を始めとする国際安全規格に反映すべく提案する。

## 2. 研究開発の内容と成果

### 2.1. 機器概要

本研究開発は、平成 21 年度当時に初期モデルとして出荷が始まっていた下肢型のロボットスーツ HAL 福祉用（以下、HAL 福祉用）を中心に進められた。HAL 福祉用の特徴を以下に示す。

HAL 福祉用は、装着者の下肢運動の支援を意図した外骨格型の人間装着型ロボットであり、歩行や立ち座りの際の主要な関節（股関節と膝関節）に沿う形で能動軸を有している。装着の様子および外観を図 1 ロボットスーツ HAL 福祉用に、構造の模式図を図 2 ロボットスーツ HAL 福祉用の構造に示す。HAL 福祉用のフレームは足裏で床面に接地しており、HAL 福祉用の重量が装着者の負荷にならないと同時に、装着者の体重がフレームの負荷にならない構造となっている。



図 1 ロボットスーツ HAL 福祉用

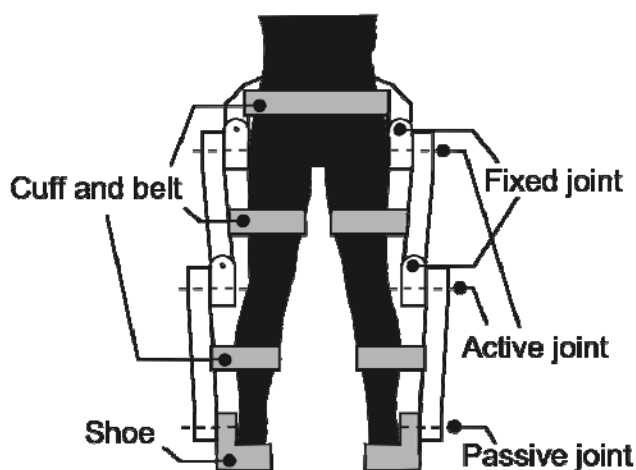


図 2 ロボットスーツ HAL 福祉用の構造

HAL 福祉用では、装着者の膝と大腿に貼り付けられた電極から読み取った生体電気信号を利用し、装着者の筋肉が動くより早くモーターを駆動することでアシストを行う“サイバニク随意制御”と、装着者の関節角度、姿勢、体重移動の情報から推定した歩行フェーズに基づくアシストを行う“サイバニク自律制御”を混合した制御方式が用いられて

いる。

以上の特徴から、HAL 福祉用はその意図する使用において、装着者と電氣的に接続されるだけでなく、互いに接触し、力学的エネルギーをやりとりする。つまり本質的に、機械的、電氣的、熱的、音響的なハザード源となる機器を装着者から隔離できない。これは産業用ロボットで一般的な“隔離の原則”を単純には適用できないことを意味しており、特に装着型ロボットにおいては、その安全性が懸念される原因となっている。

## 2.2. リスクアセスメント

本研究開発では、リスクアセスメントを実施し、特定されたハザードごとに必要なリスク低減方法の検討を行なった。このリスクアセスメントに基づき、2.3～2.11の研究開発項目に取り組んだ。

平成21年度当時はISO 13482の審議が始まったばかりであり、リスクアセスメントには、後にISO 13482が要求することになるISO 12100でなく、医療機器へのリスクマネジメントの適用を定めたISO 14971を用いた。医療機器にはすでに身体装着型の機器が存在していたため、これを適用することが適切と考えられた。

下肢型のリスクアセスメントはHAL 福祉用で以前から行なっていたリスク管理表をベースに、開発、製造、販売および市場からのフィードバックを反映し、再構築・再評価する形式で行なった。上肢型、全身型のリスクアセスメントは下肢型のリスク管理表をベースに行なった。本研究開発で再構築・再評価されたHAL 福祉用のリスクアセスメントの方法と結果を以下に示す。

当初は初期リスクの推定のために加算法を用いていたが、リスク低減方法の効果を表現しやすいマトリクス法に改めた。リスクアセスメントのために定義したリスクマトリクスを表1と表2に示す。なお、通常マトリクス法では、危害の重大さと危害の頻度のマトリクス(表2)のみを用いるが、危害に至る事象の発生と遷移を表現できなかったため、表1を追加した。

表1と表2では、加算法や積算法を用いずにレベルを割り当てている。これは、

- 一度死亡に至る危害が特定された場合、リスク低減をいくら講じても、リスクを受容可能にできない
- 算出されたリスクの値が、必ずしもリスク低減の優先度に一致しない
- 発生頻度や遷移可能性に割り当てた数値自体に任意性があり、加算あるいは積算によって求められる数値に対して、実質的な意味付けが難しい

といった、数値化に起因する問題を避けるためである。また、リスクグラフは、加算法や積算法と同様にリスクの値にリスク低減の優先度を反映しにくく、さらに、事象の遷移を表現すると複雑化することから、不採用とした。実際の製品開発では、ALARP原則に従って網羅的にリスク低減を講じるため、その指針となる、直感に合ったレベル付けができれば十分と言える。そのため、HAL 福祉用では、表1と表2から構成されるマトリクス法に改めることとした。

表1は、発生頻度 $F_x$ の{ハザード, 危険状態}が発生した結果として、遷移可能性 $T_x$ で別の{ハザード, 危険状態, 危害}が発生するときの発生頻度 $F_x'$ を割り当てるマトリクスである。表2は、発生頻度 $F_x$ で危害が発生するとして、その危害の重大さが $S_x$ であった場合のリスクレベルを、IからIVの4段階で割り当てるマトリクスである。HAL 福祉用では、リスクレベルがIなら受容可能なリスク、IIなら受容可能だが追加のリスク低減を検討するリスク、IIIまたはIVなら受容できないリスクとした。

表 1と表 2のリスクマトリクスに対応して、HAL 福祉用のリスク管理表は、危険状態表とハザード表の 2 表構成に改めた。HAL 福祉用に関するリスクの構造として、危害に至る事象の遷移（ハザード ⇒ 危険状態 ⇒ 危害）を想定した場合、

- 危害は、必ず危険状態、すなわち“有害なエネルギーが人体にさらされる状況”を経て発生する
- 危険状態の種類はそれほど多くないが、危険状態に遷移するハザードの種類は多い

という特徴があったため、リスク管理表を 2 表構成とすることで、リスクの構造を活かし、見通しの良いリスク管理表へと更新できた。なお、ISO/DIS 13482:2011 の認証取得（2.10 参照）の際のリスク管理表には、危険状態が 16 種、ハザードが 170 種程度記載されていた。

2 表構成のリスク管理表を適用したことで、以下の利点があった：

**[利点 1]** ある一つのリスク低減方法が、

- ハザードが起こるのを防ぐ
- ハザードが危険状態に遷移するのを防ぐ、または、危険状態が起こるのを防ぐ
- 危険状態が危害に遷移するのを防ぐ
- 危害の重大さを下げる

のいずれの効果を持つかを検討しやすい。

**[利点 2]** 危害に至る事象の遷移において、

- 故障や誤使用など、異なるハザードが 1 つの危険状態に遷移する場合
- 故障検出などが機能して、ハザードが危険状態に遷移しない場合
- 危険状態が生じて、人が容易に回避できる場合
- 危険状態でも人に印加されるエネルギーが低い場合

などを表現しやすい。

**[利点 3]** 安全規格で言及されている危険状態、ハザード、リスク低減方法の対応関係を表現しやすい。

リスク管理表全体では、危害をトップノードとしたツリー構造を成すため、FTA のようなトップダウンの性質を有し、また一方では、ソフトウェアと電気系に対してシステムレベルの FMEA を行い、故障や機能失敗のハザードをハザード表に列挙したため、ボトムアップの性質も同時に有することになった。

上述のリスクアセスメントの方法を含む、リスク管理表の具体例および、CYBERDYNE 株式会社のリスク管理体制に係る情報は、[文献 1]および[文献 2]として発行されている。

[文献 1] Cota Nabeshima, Hiroaki Kawamoto and Yoshiyuki Sankai: "Typical Risks and Protective Measures of Wearable Walking Assistant Robots," Proceedings of 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2011), pp.914-919, Kyoto, Japan, Dec, 2011.

[文献 2] 鍋島厚太, 新宮正弘, 河本浩明, 山海嘉之: "装着型歩行補助ロボットのリスク管理方法: ロボットスーツ HAL@福祉用の事例," 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.5, 2014. (in press)

表 1 ハザード、危険状態、危害の発生頻度と、それらの間の遷移可能性

|                      |    | Transfer possibility |     |     |     |
|----------------------|----|----------------------|-----|-----|-----|
|                      |    | T1                   | T2  | T3  | T4  |
| Occurrence frequency | F1 | F1'                  | F1' | F2' | F2' |
|                      | F2 | F1'                  | F2' | F2' | F3' |
|                      | F3 | F2'                  | F2' | F3' | F3' |
|                      | F4 | F2'                  | F3' | F3' | F4' |

$F_x, F_x'$  are the occurrence frequencies of {hazard, hazardous situation, harm} as,

- $x=1$ : “never,”
- $x=2$ : “rare,”
- $x=3$ : “occasional,”
- $x=4$ : “often.”

$T_x$  is the transfer possibility (avoidability) from {hazard, hazardous situation} to {hazard, hazardous situation, harm} as,

- $x=1$ : “never” (“easy to avoid”),
- $x=2$ : “rare” (“possible to avoid”),
- $x=3$ : “occasional” (“difficult”),
- $x=4$ : “often” (“impossible”).

表 2 リスクレベルの定義

|                              |    | Severity of harm |     |     |     |
|------------------------------|----|------------------|-----|-----|-----|
|                              |    | S1               | S2  | S3  | S4  |
| Occurrence frequency of harm | F1 | I                | I   | I   | II  |
|                              | F2 | I                | I   | II  | III |
|                              | F3 | I                | II  | III | IV  |
|                              | F4 | II               | III | IV  | IV  |

I, II, III, IV are the risk levels.

$S_x$  is the severity of harm as,

- $x=1$ : “no injury,”
- $x=2$ : “curable or minor injury”  
e.g. cut or scrape of skin,
- $x=3$ : “incurable or serious injury”  
e.g. loss of fingers or limbs,
- $x=4$ : “mortal injury.”



## 2.3. 装着機能安定技術

人間装着型生活支援ロボットは、駆動力を装着者に伝達することで動作支援を行う。装着時の動作支援機能をより安定化させるために、2.3.1～2.3.3の研究開発に取り組んだ。

### 2.3.1. 駆動力制御に伴う安全技術

駆動力制御に伴う安全技術として、自動的な駆動力制限機能の高信頼化、強度部品の高信頼化、外装の安全化に取り組んだ。

自動的な駆動力制限機能は、アクチュエータに電力を供給する最終的な出力段における出力制限機能だけでなく、複数の基板で監視し、電力を遮断できる機能を開発した。

人間装着型ロボットの機構部は、より自由度の高い装着者の身体運動によって、設計時には予期されていなかった、さまざまな負荷を受けることになる。主に市場からのフィードバックによって、強度不足が判明した部分について、構造変更および強度向上を図った。

外装はより体重の大きな装着者の使用にも耐えられるよう、強度向上を図った。また、難燃性に優れた材料を用いることで、より安全性を高めた。

### 2.3.2. 負荷変動・環境外乱に対する自動的状态認知・安全動作支援技術

一般に、人間装着型ロボットに生じる主な負荷変動・環境外乱の要因は、装着者とロボット間の力学的なインタラクションと、ロボットと環境間の力学的なインタラクションに大きく分けることができる。一方で、歩行補助を意図する下肢型のロボットスーツ HAL では、ロボットを構成するシューズの部分で、装着者-ロボット-環境の力学的なインタラクションが発生する。ロボットスーツ HAL は、シューズの中敷き部分に圧力センサ(足裏センサ)が組み込まれており、これを歩行状態の認識に用いている。認識された歩行状態を用いることで、ロボットスーツ HAL は、安定した歩行支援を行えるようになる。

本研究開発では、装着者の様々な足裏形状や歩容、体重に合わせ、自動的に足裏センサの補正を行う機能を改良し、より広い範囲の装着者に対応できるよう高度化した。

### 2.3.3. 装着者の特性変動に対する機能安定技術

人間は日毎の体調の違いや疲労によって、身体の力学的な特性が変動する。このような変動に対して、動作支援機能を安定させるために、ロボットスーツ HAL には、装着者あるいは周囲のトレーナーが調整できる機構的な調整自由度および、出力調整機能(チューナー)が備わっている。

本研究開発では、これまでに市場から得られたフィードバックをもとに、より直感的に調整可能なインターフェースを、より信頼性の高い手段で提供するための開発を行った。また、機構的な調整自由度をより柔軟に、かつ強固に固定できる仕組みを開発した。

## 2.4. 制御技術

ロボットスーツ HAL の制御は、装着者の運動意思を反映した動作を実現するサイバニク随意制御と、人間の運動特性を反映した基本運動パターンを再合成して一連の運動を生成するサイバニク自律制御から構成される(2.1 参照)。

本研究開発では、ソフトウェアによって実行されるこれらの制御について高信頼化を図るべく、基板間の動作を相互に監視するシステムを構築した。また、基板間の通信の切断を素早く検知し、すばやく電力供給を遮断できる仕組みを開発した。

動作パターンごとに適した制御パラメータを利用するために、動作パターンの推定が必要になる。本研究開発では、動作パターンの推定のために組み込まれている装着者の身体モデルを改良した。この身体モデルは、足裏センサに基づく歩行状態の認識（2.3.2 参照）にも用いられた。

## 2.5. 安全管理技術

人間装着型生活支援ロボットの安全を管理するための技術として、2.5.1～2.5.3 の研究開発に取り組んだ。

### 2.5.1. 環境認知によるリスク低減技術

動作支援中に、ロボットの動作の確実性を損なう環境の変化を自動的に認識し、ロボット自身の安全化を図るとともに、音や光を利用して装着者および周囲のトレーナーが認知することを助ける機能の研究開発を行なった。

ロボットスーツ HAL の動作の確実性を損なう環境の変化として、各部の高温や、生体電位信号を計測するための電極の剥がれが挙げられる。これらの変化を検出し、報知する機能の開発を実施するとともに、様々なエラーを自動的に記録するログ機能を開発した。

### 2.5.2. サイバニックカーネル

本研究開発で得られた安全技術を、一つの専用 IC に集約可能かを検討し、FPGA を用いた試作、研究を行なった。その結果、特に基板間通信の高速化および高信頼化が可能となり、基板間での相互監視によるシステムとしての高信頼化を図れることが明らかとなった。

### 2.5.3. 安全運用ルール

人間装着型生活支援ロボットの安全は、ロボット本体に施せる安全対策だけでなく、使用者の適切な使用が必要不可欠となる。装着者の身体にフィットさせるための適切な調整手順や、安全な範囲から徐々に調整すべきパラメータの設定手順、転倒を防ぐための補助動作や補助具の併用の遵守が、リスクアセスメント（2.1 参照）の結果からより明確になった。

最低限の安全運用ルールは、従来から取扱説明書の中に注意や警告とともに記載されていたが、本研究開発の成果として、その記述がより拡充され、整理されたものとなった。

## 2.6. 自己診断技術

人間装着型生活支援ロボットは、多くの電子・電気部品で構成されており、また、これらの部品はそれぞれ確率的に故障ないしは機能不全を起こすことが知られている。電子・電気部品の故障や機能不全が発生した場合であっても、ロボットが適切に検出し、能動的に対処することで、安全性を高めることができる。本研究開発では、2.6.1～2.6.3 の研究開発に取り組んだ。

### 2.6.1. 動作状況の自己診断機能

動作状況の自己診断機能として、各種基板が正常に機能しているか、ソフトウェアが適切に機能しているか、設定ファイルや実行ファイルが正常かを各種センサから推定・検出する機能を開発した。

また、ロボットスーツ HAL 福祉用は、装着者の体形や能力の違いに対応するため、両脚型だけでなく、左右別の単脚型があり、それぞれ複数のサイズが存在している。さらに、

足のサイズの違いに対応するため、複数サイズのシューズが存在し、ロボット本体に適宜接続して利用される。本研究開発では、全体として多様となる構成に対応するための自動判定機能を開発した。

### 2.6.2. 異常検知・報知機能

本研究開発では、主に電気的な異常の検知機能を開発した。また、想定された単一故障に対し、装着者および周囲の人に光あるいは音で報知するアーキテクチャを設計し、実現した。

電気的な異常は、各基板の電圧、電流、温度を監視することで検出できる設計とした。単一故障の検出は、基板内での検出だけでなく、基板間の通信監視も利用して実現した（2.4参照）。

### 2.6.3. ログデータベース

各種の異常検知機能によって検出された異常は、自動的にログに書き出す仕組み（2.5.1参照）によって、本体に組み込まれた記憶領域に蓄えられる。この記録は安全に係る重要な情報であり、これをメーカーが一元的に収集し、データベース化できれば、よりの確なロボットの改良・改善を行うことができる。

本研究開発では、インターネット網を利用したログの収集・データベース化システムを構築した。具体的には、CYBERDYNE 株式会社にあるデータベースサーバーに、ログを本体から自動的にアップロードする機能を開発した。

## 2.7. 安全要素技術

人間装着型生活支援ロボットは、多くの要素から成る複合したシステムであり、その安全性は、使用者までを含めたシステム全体で担保すべきものである。しかしながら、一部の構成要素の故障あるいは機能不全は、受容できない危害に直結してしまう。このような構成要素の安全性を高めることは、依然として重要である。本研究開発では、主に 2.7.1～2.7.3 の安全要素技術の開発に取り組んだ。

### 2.7.1. 安全パワーユニット

人間装着型生活支援ロボットを構成する電気・電子部品のうち、装着者に力学的エネルギーを与えるパワーユニットの安全性は、システム全体の安全性に大きく寄与する。ロボットスーツ HAL のパワーユニットは、モーターおよびモータードライバから構成される。

本研究開発では、最大出力が装着者の最大発揮力を下回るパワーユニットを採用し、本質的安全設計を行なった。また、装着者の力によって生じる、非定常かつ非一様なバックドライブがパワーユニットの負荷となることから、パワーユニットの信頼性向上を図った。具体的には、急激な負荷変動に対する挙動を改良した。

### 2.7.2. 安全バッテリー

人間装着型生活支援ロボットでは、その重量自体が装着者とロボットへの負荷となってしまうため、小型軽量かつ高率放電可能なバッテリーが必要となる。そのため、ロボットスーツ HAL 福祉用では、リチウムイオンポリマーバッテリーを採用している。リチウムイオンポリマーバッテリーは、その他のバッテリーよりも危険性が高いため、当初より、安全性試験である UN 38.3 に合格したバッテリーを利用していたが、本研究開発では、UN 38.3 の改定版へ対応するための追試と、IEC 62133 への適合性評価を実施した。さらに、よ

り安全性を高めるために保護回路の改良や、高寿命化接点の開発を行なった。

### 2.7.3. EMC 対策

人間装着型生活支援ロボットは、装着者の身体に沿う構造の都合上、分散制御系になる可能性が高い。すなわち、基板間通信のためのケーブルがアンテナとなって、電磁両立性（EMC）を満たす上で不利な条件となっている。

本研究開発では、EMC 対策のために、ノイズ抑制材料の利用、導電塗料の利用、強化シールドケーブルの利用、様々なトロイダルコアの利用を試行し、十分な EMC 性能を達成できた。

## 2.8. 安全性試験

人間装着型生活支援ロボットの安全性を評価するためには、試験を含む検証を網羅的に行うことが必要となる。電気的な安全性の評価については、既存の国際安全規格で確立されている検証方法が適用できた一方で、機械的な安全性の評価方法は人間装着型生活支援ロボットに適した検証方法が確立されていなかったため、適宜、検証方法と基準を定め、検証を行なった。本研究開発では、リスクアセスメント（2.2 参照）の結果および、規制要求に対応すべく、主に以下の検証を実施した。

- 強度計算（部材、アセンブリ）
- 強度試験（外装、ストッパー、材料）
- 耐久性試験（温湿度、振動、着地、洗浄、ケーブル屈曲、基板、接点）
- 電気安全性試験（漏れ電流、耐電圧、ヒューズ、表面温度）
- EMC 試験
- 騒音試験
- FMEA 計算（電装系）
- ソフトウェアシステムの機能検証
- 故障検出機能の検証
- ユーザビリティの検証
- 高齢者を模擬した装着試験
- アクチュエータ出力試験
- 輸送試験
- バッテリー、充電器の安全性試験
- 難燃性試験
- 材料の化学的安全性の検証（RoHS 対応含む）
- 要求仕様に対する充足性の検証
- リスク低減方法実施の充足性の検証
- 附属文書（取扱説明書、サービスマニュアル）、技術文書の検証
- 規制・規格の再調査および適合性調査

振動試験の様子、EMC 試験の様子を図 3 および図 4 に示す。また、強度計算に用いる負荷推定のために用いた使用シナリオを図 5 に示す。本研究開発では、人間装着型生活支援ロボットに特有の強度試験方法を新たに開発した。これらの試験の概要を 2.8.1 と 2.8.2 に示す。なお、試験に係るリスクアセスメントの結果や、試験結果は、[文献 3] および [文献 4] として発行されている。

[文献 3] 鍋島厚太, 河本浩明, 山海嘉之: "装着型歩行補助ロボットのリスク分析と安全性試験法," 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.8, pp.752-758, 2012.

[文献 4] Cota Nabeshima, Hiroaki Kawamoto and Yoshiyuki Sankai: "Strength Testing Machines for Wearable Walking Assistant Robots based on Risk Assessment of Robot Suit HAL," Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2012), pp.2743-2748, Minnesota, USA, May, 2012.



図 3 EMC 試験の様子



図 4 振動試験の様子

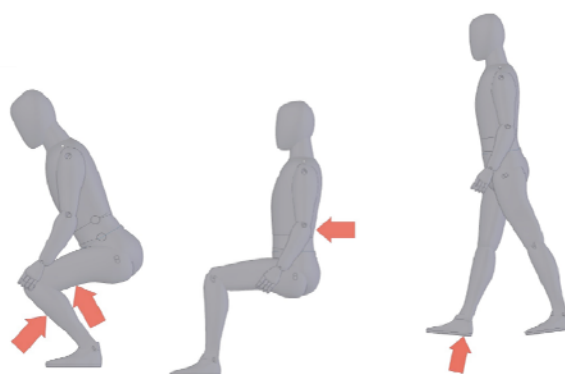


図 5 強度計算に用いる負荷推定のために用いた使用シナリオ

### 2.8.1. 機械的な関節角度制限の強度試験

機械的な関節角度制限は、動作支援中の装着者の関節運動を許容範囲に制限するための本質的なリスク低減方法である。本研究開発では、この関節角度制限の信頼性を検証する試験方法を開発した。この強度試験方法では、試験対象の関節部について、関節角度制限の衝突面を水平にした状態で一端を固定し、もう一端に錘を取り付ける（図 6）。

試験は、錘を上昇、自由落下させることで行われる。この試験において、関節角度制限に生じる撃力は、位置エネルギーに対して単調増加するため、持ち上げ高さ（持ち上げ角度および、軸から錘までの長さ）と錘の質量が試験パラメータとなる。これらのパラメータは、最大関節角速度や、装着者とロボットの（部分的な）質量に依存して定められる。

膝関節用の制限の場合は、質量として膝下質量を想定し、最大関節角速度としては高々  $\pi$  [rad/sec] 程度を想定すれば良い。アクチュエータが十分な関節角速度を出力できない場

合であっても、必要なエネルギーや角運動量を持ち上げ高さに換算して試験すれば良い。

成否の判定基準には、規定回数を繰り返した後の角度の行き過ぎの程度などが利用できる。繰り返し回数は、ロボットの使用方法に依存して定められる。

本研究開発では、この強度試験のために、強度試験機を開発した（図 7）。図中の試験機には、ロボットスーツ HAL 福祉用の膝関節が試験対象として取り付けられている。この試験機はウィンチによって駆動され、錘の端点を持ち上げ、クラッチを外すことで、錘を自由落下させる。試験対象に破壊が起こった場合に備え、行き過ぎを検出し、自動で試験を停止させる機能を有している。

ロボットスーツ HAL 福祉用では、錘の質量を 20 [kg]、持ち上げ角度を  $\pi/4$  [rad] に設定して強度試験を 2 度実施した。試験後、破壊や行き過ぎは生じておらず、合格した。

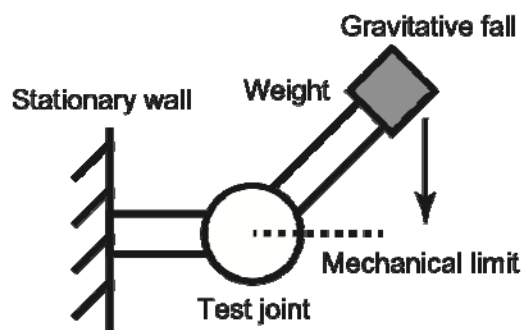


図 6 関節角度制限の強度試験方法

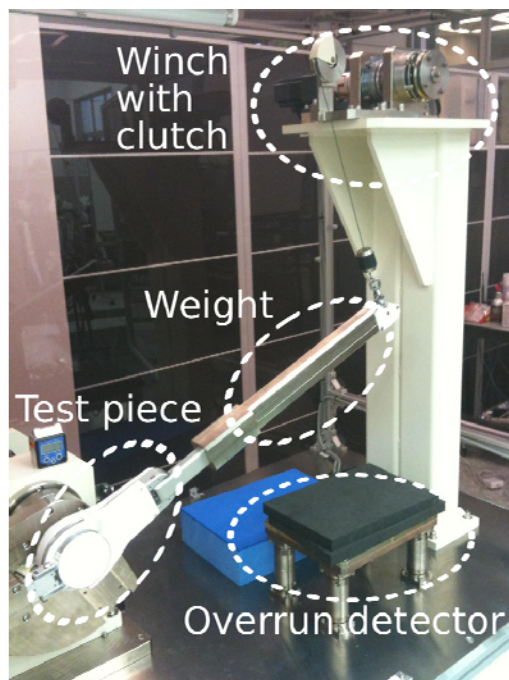


図 7 関節角度制限の強度試験機

## 2.8.2. 連続着床に対する構造全体の耐久性試験

歩行動作を支援する下肢型の人間装着型生活支援ロボットの機械的な構造は、足首用装具のような、歩行のために装着する装具に類似している。しかしながら、歩行中に連続して生じる衝撃に対する装具の耐久性を評価する標準的な試験法は未だ無い。これは、着地による衝撃力が装着者と構造に非一様に分散することが原因と考えられる。

一方で、継手付き義足では、国際安全規格 ISO 10328 に、耐久性試験が定められている。ISO 10328 では、継手の角度制限に曲げモーメントが掛かる配置で、1-4 [Hz] の繰り返し圧縮荷重を義足に印加する試験を要求している。体重 80 [kg]の装着者を想定した場合、1180-1230 [N]の圧縮力を 3,000,000 回加えた後の、変形と破壊の有無によって適合性が判定される。

装着者の全体重を支えて歩行する機構であった場合には、ISO 10328 の試験条件は妥当である。ISO 10328 の試験条件は、歩行時の着床による荷重を体重の 1.6 倍と見積もり、さらに信頼度 90%での 2 ヶ月間の稼働を要求していることに相当する（片足が 1 日に 5,000 回着床するとし、信頼度関数が指数分布になると仮定した場合）。

人間装着型生活支援ロボットの場合、装着者の身体とロボットの構造に荷重が分散するため、ロボット自体に必要な強度は、装具に要求される強度より小さいことが期待できる。しかしながら、身体とロボットの荷重分散の比率は自明でなく、単純な圧縮力試験を適用できないという問題があった。

直感的には、人体の構造を模したドールにロボットを装着させ、歩行をさせられれば試験が可能であると思われた。しかしながら、この試験を実施するためには、ドールを安定して長時間歩行させる必要があり、これは現在の技術レベルにおいて極めて困難であると思われた。

本研究開発では、ドールにロボットを装着させ、直立状態で連続的に着床させる試験方法を開発した（図 8）。この試験方法において、ロボットは通常と同様の方法でドールに装着される。ドールの体重、サイズ、主な自由度は意図する装着者を模擬する。

試験ではドールを持ち上げ、重力により落下させ、着床させる。再現性のために規定されたドールを利用する場合、試験パラメータは持ち上げ高さのみとなる。この持ち上げ高さは、校正によって定められる。

校正は、試験開始前に様々な持ち上げ高さから数回着床させて行う。床反力のピーク値が、ドールの重量の 1.6 倍程度となる高さを確認し、この高さを用いて繰り返し試験に用いる。

この試験の成否は、既定回数の着床を行ったあとの故障や不具合の有無によって判定できる。既定回数を何回とするかは、ロボットの使用方法に依存して決定できる。

本研究開発で、実際に製作した試験機を図 9 に示す。試験機には、ロボットスーツ HAL 福祉用が試験対象として取り付けられている。この試験機は直動ガイドを利用して試験対象ごとダミーを持ち上げ、クラッチを外すことで自由落下させる。持ち上げ高さは調整可能で、床面に備えられた力センサによって、着床時の床反力をモニターすることかできる。

ロボットスーツ HAL 福祉用を対象とした試験では、持ち上げ高さを 20 [mm] に設定して行なった。校正プロセスにおいて、20 [mm] から着床させた時の床反力のピーク値は、2.8 [kN] であった。このときの各脚への負荷は 1.4 [kN] と推定され、これは、ドールとロボットを含めた重量の 1.8 倍に相当した。試験において、30,977 回の着床を実施した後もロボットに故障は無く、部品間を固定するネジの緩みも無かった。この試験における、床反力値ごとの頻度分布の平均は 2.88 [kN]、標準偏差は 0.106 [kN] であった。最小値は 2.58 [kN] であり、これはドールとロボットを含めた重量の 1.6 倍を超えていた。この試験によって、



ロボットスーツ HAL 福祉用の耐久性を検証できただけでなく、歩行中の負荷を（少なくとも床反力のピーク値の上では）模擬できたという点で、試験方法自体の妥当性を示せたと言える。

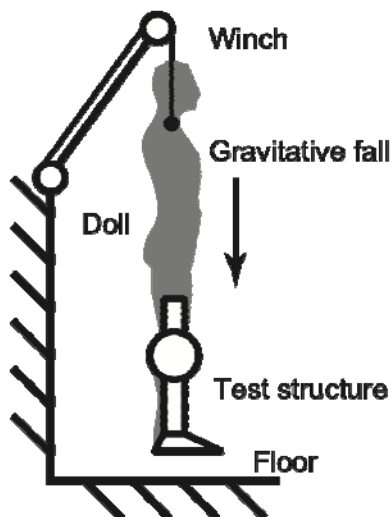


図 8 連続着床に対する構造全体の耐久性試験方法

#### Lifting slider with clutch

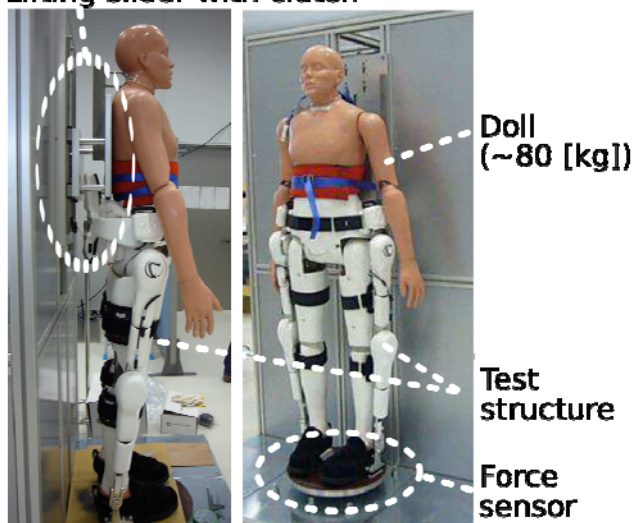


図 9 連続着床に対する構造全体の耐久性試験機

### 2.9. 実証試験

ロボットの開発段階にあわせた実環境での実証試験は、本研究開発を効果的に推進する上で、極めて重要な役割を果たす。本研究開発によって、安全技術が組み込まれたロボットスーツ HAL を実環境である臨床現場に適用し、運用方法の開発と共に、機器の不具合、有害事象に関する安全性評価を実施した。ここでは、当該実証試験で実施した医師主導による HAL の探索的臨床試験に関して、試験プロトコルおよび、その試験成果となる安全性を報告する。



### 2.9.1. 研究デザイン

運動器不安定症患者およびその基礎疾患を有する患者を対象として、HAL を利用した運動機能改善に関する実現可能性を検討した。本実証試験では、探索的研究と位置付け、比較対照群は設定せず、HAL を用いた運動訓練に伴う 8 週目の運動機能改善効果を評価することで、リハビリテーション医療における HAL 適用の実現可能性を検討する。また、安全性についての検証として、被験者に好ましくない症状や検査値の異常などの有害事象が生じていないかを確認する。

### 2.9.2. 試験参加者の選択・除外基準

運動器不安定症患者およびその基礎疾患を有する患者で、以下の選択規準をすべて満たし、除外規準のいずれにも該当しない男女とした。

#### 【選択基準】

- 日常生活において歩行、起立・着座動作のいずれかに補助具や介助を要すること
- 説明を理解し、同意が確認できる成人あるいは小学生以上の小児であり、未成年者においては、代諾者の同意が得られること
- HAL を装着可能な体格であること
- 理学療法、作業療法、装具療法など通常のリハビリテーション医療が実施可能な状態であること

#### 【除外基準】

- コントロールされていない循環器疾患あり
- コントロールされていない呼吸器疾患あり
- 中等度以上の関節拘縮などの関節障害あり
- 中等度以上の不随意運動・運動失調・姿勢反射障害あり
- 重度の痙縮あり
- 説明や指示の理解が困難な認知機能障害あり

### 2.9.3. 評価項目

本実証試験では、主要評価項目として、歩行能力とバランス能力を評価した。歩行能力は 10m 歩行テストでの快適歩行条件下における、速度、歩数、歩行率で評価した。一方、バランス能力では、日常生活動作に関連する静的なバランス能力評価として、Berg らによる 14 項目からなる Berg balance scale (BBS) を用い、また、動的なバランス能力として、椅子から立ち上がり、3m 歩行し、方向転換後 3m 歩行して戻り、椅子に座る動作するまでの時間を評価する 3 m timed up and go (TUG) を用いた。

### 2.9.4. HAL を利用した運動訓練

HAL を装着した運動訓練を、週に 2 回の頻度で、8 週間（全 16 回）実施した。実施内容は、対象者毎に必要なと判断された起立・歩行などの動作や四肢の運動を、HAL を装着した状態でおこなう運動訓練である。通常運動訓練に準じて、身体機能の向上、可及的維持、装置による特定の動作の自立度向上など、個別に目的（目標）を定め、基本的には医師や理学療法士、作業療法士とともに平行棒や歩行器、杖類など、必要と判断される補助具を適宜選択しながら訓練を進めた。HAL による歩行訓練の様子を図 1 に示す。何らかの苦痛や有害事象が発生した際には、訓練を中止し、適切な処置をおこなう。具体的

な訓練内容としては、以下の項目を実施した。

#### 1. 単関節運動

座位姿勢にて膝関節の伸展・屈曲、手すりなどにつかまり、片脚立位姿勢にて股関節屈曲・伸展、膝関節屈曲・伸展を行う。

#### 2. 股関節・膝関節の複合運動による屈曲・伸展

手すりなどにつかまり、片脚立位にて股関節・膝関節屈曲、及び股関節・膝関節伸展を行う。

#### 3. 起立・着座動作

手すりなどにつかまって実施する。

#### 4. 段差昇降

手すりなどにつかまって実施する。難しい症例では、その場での前進後退または足踏み運動などに変更する。

#### 5. 歩行

平行棒、歩行器、杖など必要と判断される補助具を対象者に応じて選択し、歩行能力が低い対象者にはトレッドミルを使用する。

### 2.9.5. 安全対策

実証試験を安全に実施するため、リスクアセスメントに基づく安全評価を行い、残ったリスクに対しては運用技術によってリスク低減を行うこととした。HALによる運動訓練では立位動作や歩行動作を伴うため、想定されるハザードの一つとして、転倒があげられる。転倒の恐れがある被験者に対しては、理学療法士、作業療法士による介助以外にハーネスと免荷装置を利用することにより転倒リスクの低減化を行った。その他、装着にかかる時間、HALと装着者の密着部の状態管理なども手順化し、運用技術によってリスク管理を実施した。

### 2.9.6. 統計解析

HALの適用に伴う運動機能改善効果の検討については、実証試験実施前と後の主要評価項目に対して、対応のあるt検定（有意水準5%）を行った。

### 2.9.7. 試験結果

実証試験参加者は71名であった。疾患別内訳は、脳血管障害29例、脊髄損傷13例、運動器疾患9例、神経・筋疾患11例、頭部外傷4例、その他5例であった。16回を基本とするHAL適用を実施できた症例は64例であった。脱落7例の内訳は、4例が個人的な理由で実証試験に通えなくなり、3例は持病の再発で実証試験を中止した。いずれもHAL適用に直接の関与はなかった。

HALの適用を完遂した64例の16回の試行を通して、有害事象は認められず、使用機器の異常もなかった。さらに、64例のうち10m歩行テストが可能な52例において、速度、歩行率、歩数とも実証試験前後で有意差が認められた。速度は18%増加、歩行率は8%増加、歩数は9%減少していた。一方、バランス能力に関しても、訓練前後のBBGとTUGに対して有意な変化が認められた。BBSは4%、TUGは12%の改善を示した。



図 10 実証試験の様子

### 2.9.8. まとめ

臨床現場での活用を考慮した本実証試験プロトコルに基づいて実証試験を実施した。安全性評価として、試験参加者 71 名に対して有害事象がないこと、及び、機器に異常が認められなかったことを確認した。

### 2.10. 認証取得

本研究開発期間中に ISO/TC184/SC2/WG7 で策定が進んでいた ISO 13482 の原案 ISO/DIS 13482 “Robots and robotic devices—Safety requirements for non-industrial robots—Non-medical personal care robot” が 2011 年に発行、公開された。これにより初めて、ロボットスーツ HAL 福祉用の安全性について第三者評価が可能となった。CYBERDYNE 株式会社は、本研究開発における、2.2～2.9 の成果を用いて、ロボットスーツ HAL 福祉用に対する適合性評価を、一般財団法人 日本品質保証機構 (JQA) に依頼し、2013 年 2 月 27 日に世界初の ISO/DIS 13482 認証をいち早く取得することができた。

2013 年 6 月 20 日には、本研究開発の成果を応用して開発した“ロボットスーツ HAL 医療用”について、世界初のロボット治療機器として欧州医療機器指令への適合が TÜV Rheinland により認められ、CE マーキングを取得した。ロボットスーツ HAL 医療用はドイツにおいて公的な労災保険の対象となり、今後ドイツをはじめとする欧州圏での普及が見込まれている。



図 11 ISO/DIS 13482 認証書授与式の様子 (左)、JQA より発行された認証マーク (右)



図 12 ロボット治療機器として世界初の CE マーキング取得を果たしたロボットスーツ HAL 医療用（左）、認証書授与式の様子（中）、TÜV Rheinland から認証されたことを表す CE マーキング（右）

### 2.11. 国際標準化への貢献

CYBERDYNE 株式会社は、本研究開発の一環として、2010 年 6 月のパリ会議から ISO 13482 の策定委員会 ISO/TC184/SC2/WG7 に参加し始めて以来、積極的に国際会議および国内会議に出席し、人間装着型生活支援ロボットのリーディングカンパニーとして貢献を果たしてきた。2014 年 2 月に正式発行された ISO 13482 には、CYBERDYNE 株式会社为本研究開発で発展させた安全技術や安全コンセプトが反映されている。ISO/TC184/SC2/WG7 で現在策定作業が進行しているガイダンス文書および試験仕様書についても積極的に関係しており、今後も国際標準化におけるプレゼンスを維持していく予定である。

ISO/TC184/SC2/WG7 における ISO 13482 策定の議論の過程で、人間装着型生活支援ロボットが、国や地域によって医療機器と見なされる可能性があることが指摘されたことが発端となり、IEC の医療機器の安全標準を策定する IEC/TC62/SC62A の中に、ISO との協同ワーキンググループ IEC/TC62/SC62A/JWG9 が、2011 年 6 月のロサンゼルス会議から始まった。CYBERDYNE 株式会社は本研究開発の一環として、IEC/TC62/SC62A/JWG9 の立ち上げ当初から参加しており、現在も継続して積極的に貢献を続けている。

IEC/TC62/SC62A/JWG9 は当初、医用電気機器の安全通則 IEC 60601-1 の副通則として、医療用ロボットの安全規格が作れるかという議論が行われた。しかしながら、最終的に通則の IEC 60601-1 で十分対応可能だという結論となり、ロボットに特有の Autonomy を利用する機器のリスクマネジメント上の注意点を記載したガイダンス文書を Technical report として作成することで決着した。現在、Technical report の策定作業中である。

また、IEC/TC62/SC62A/JWG9 では Technical report の策定に並行して、装着型ロボットを医療機器として用いた場合の個別規格が作成可能かについて議論が進められている。CYBERDYNE 株式会社は、世界初のロボット治療機器を実用化したリーディングカンパニーとして、個別規格の議論についても主導的な役割を果たしている。

### 3. 研究開発の総括

本研究開発では、人間装着型生活支援ロボットの実用化および普及、ひいては産業化に必須となる安全技術の研究開発を、ロボットスーツ HAL をプラットフォームに用いて実施した。

本研究開発における当初目標の各項目について、達成度を表 3 **研究開発項目の達成度**に示す。本研究開発においては、当初の目的をすべて達成し、さらに、これらの成果を利用して、認証取得（2.10 参照）および、国際標準化への貢献（2.11 参照）を達成しており、当初計画を大きく超えた発展的な成果を得ることができた。

本研究開発の成果は、すでに人間装着型生活支援ロボットの安全基準の確立に大きく貢献しており、生活支援ロボット全体の産業化に資するものと考えられる。また、成果が導入されたロボットスーツ HAL は、CYBERDYNE 株式会社の事業において重要な役割を果たし、同社がプロジェクト終了直後の 2014 年 3 月 26 日に、生活支援ロボットを製販するベンチャー企業として初めての上場を東証マザーズ市場に果たしたことに大きく影響を与えた。

CYBERDYNE 株式会社は、引き続き、人間装着型生活支援ロボットメーカーのリーディングカンパニーとして、生活支援ロボットの産業化を牽引していくとともに、我が国の超高齢化社会にまつわる困難の解決、緩和にむけて貢献していく予定である。

表 3 研究開発項目の達成度

| 目標  | 研究開発成果  | 達成度  |
|---|---|--|
| <b>1) 装着時機能安定技術</b><br>1a) 駆動力制御に伴う安全技術の開発<br><br>1b) 負荷変動・環境外乱に対する自動的状態認知・安全動作支援技術の開発<br><br>1c) 装着者の特性変動に対する機能安定技術の開発<br><br>1d) 機能安定技術に関する評価 | 機構系、電装系、ソフトウェアによる駆動力制限と安全化<br><br>床反力センサの自動補正と歩行判定<br><br>ソフトウェアによるパラメータ調整と機構系の調整自由度<br><br>リスクアセスメントに基づく評価方法の開発      | 達成 (2.3.1 参照)<br><br>達成 (2.3.2 参照)<br><br>達成 (2.3.3 参照)<br><br>達成 (2.2 および 2.9 参照) |
| <b>2) 制御技術</b><br>2a) 制御技術に伴う安全技術   | サイバニック随意制御則とサイバニック自律制御、通信を用いた分散制御、歩行のフェーズ判定   | 達成 (2.4 参照)  |
| <b>3) 安全管理技術</b><br>3a) 環境認知によるリスク低減技術<br><br>3b) サイバニックカーネル<br><br>3c) 安全運用ルール   | 温度センサ、電極剥がれ推定、イベントログ機能<br><br>安全コンポーネント化を目指した電装系の再設計・試作<br><br>リスクアセスメントに基づく運用条件の明確化、マニュアル整備                          | 達成 (2.5.1 参照)<br><br>達成 (2.5.2 参照)<br><br>達成 (2.5.3 参照)                            |
| <b>4) 自己診断技術</b><br>4a) 動作状況の自己診断機能<br><br>4b) 異常検知・報知<br><br>4c) ログデータベース  | 機器の構成、設定、角度、実行周期、出力、床反力の正しさを自己診断する機能<br><br>生体電位センサ、電流、電圧、温度の監視・診断・異常検知と報知機能<br><br>イベントログ、エラーログのリモートサーバーへの自動アップロード機能 | 達成 (2.6.1 参照)<br><br>達成 (2.6.2 参照)<br><br>達成 (2.6.3 参照)                            |

|                  |   |                     |
|------------------|---|---------------------|
| <b>5) 安全要素技術</b> |   |                     |
| 5a) 安全パワーユニット    | 駆動時間、パラメータ、イベントを記録する機能                              | 達成 (2.7.1 参照)       |
| 5b) 安全バッテリー      | 安全規格対応 LiPo パッケージ、高寿命接点                             | 達成 (2.7.2 参照)       |
| 5c) EMC 対応       | 電極の絶縁化、シールド外装・ケーブル、低ノイズ素子                           | 達成 (2.7.3 参照)       |
| <b>6) 安全性試験</b>  |   |                     |
| 6a) リスクアセスメント    | 国際安全規格に従ったリスクアセスメントの実施                              | 達成 (2.2 および 2.8 参照) |
| 6b) EMC 試験       | CISPR 規格に従った試験の実施                                   | 達成 (2.8 参照)         |
| 6c) 安全性試験        | 国際安全規格に定められた試験、リスクアセスメントから導かれた試験、研究開発項目①で開発された試験の実施 | 達成 (2.8 参照)         |
| <b>7) 実証試験</b>   |   |                     |
| 7a) 実証試験         | 実証試験の実施   | 達成 (2.9 参照)         |

特許、論文、外部発表等の件数 (内訳)

| 区分<br>年度 | 特許出願 |     |            | 論文       |         | その他外部発表     |                |      |
|----------|------|-----|------------|----------|---------|-------------|----------------|------|
|          | 国内   | 外国  | PCT※<br>出願 | 査読<br>付き | その<br>他 | 学会発表<br>・講演 | 新聞・雑誌<br>等への掲載 | その他  |
| H21FY    | 0 件  | 0 件 | 2 件        | 8 件      | 0 件     | 22 件        | 63 件           | 28 件 |
| H22FY    | 3 件  | 0 件 | 0 件        | 8 件      | 0 件     | 35 件        | 153 件          | 6 件  |
| H23FY    | 0 件  | 0 件 | 0 件        | 13 件     | 0 件     | 40 件        | 155 件          | 29 件 |
| H24FY    | 0 件  | 0 件 | 0 件        | 8 件      | 2 件     | 45 件        | 234 件          | 62 件 |
| H25FY    | 0 件  | 0 件 | 0 件        | 12 件     | 2 件     | 56 件        | 266 件          | 58 件 |

(※Patent Cooperation Treaty :特許)

## 2.6 研究開発項目④ 安全技術を導入した歩行アシストの開発 (株)本田技術研究所

### まえがき

少子高齢化の急速な進展に伴い、介護・福祉を支える人材不足への対応や、高齢者自身の自立した生活を支える手立てとして、産業分野で蓄積したロボット技術を活用した生活支援ロボットの実用化が期待されている。これらの生活支援ロボットは、産業ロボットのような人と隔てられた空間での稼働ではなく、不特定多数の人が関与する生活環境で使われることが前提となり、対人安全技術の確立が実用化を図るうえでの鍵となる。

Honda がリハビリテーション領域での活用に向け開発を進めている歩行アシストは、左右の股関節軸に配置したアクチュエータが歩くタイミングに合わせて脚の振出をアシストし、歩幅が少し広がることによって楽に歩くことを可能とする人間装着型生活支援ロボットである。

本プロジェクトでは歩行アシストを高齢者支援に適用することを想定し、実用化に向けて必要な安全性評価、安全性検証、安全技術、実証試験をプロジェクト参加機関と連携して行い、生活支援ロボットの実用化を目指す開発者の参考となることを期待し一連のプロセスを示した。



## 目次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| まえがき                          | 1  |
| 要約                            | 4  |
| Summary                       | 6  |
| 本編                            |    |
| 1. 研究概要                       |    |
| 1. 1 研究の背景                    | 7  |
| 1. 2 研究の目的                    | 8  |
| 1. 3 歩行アシストの概要                | 8  |
| 2. 研究成果                       |    |
| 2. 1 歩行アシストのリスクアセスメント         | 11 |
| 2. 1. 1 高齢者の使用を想定したシーン        | 11 |
| 2. 1. 2 運動教室でのハザード源           | 17 |
| 2. 1. 3 リスク評価が必要な項目           | 20 |
| 2. 2 転倒リスク評価                  | 21 |
| 2. 2. 1 衝突実験用ダミー人形を用いた転倒衝撃の計測 | 21 |
| 2. 2. 2 大腿骨に加わる転倒衝撃の計測        | 24 |
| 2. 2. 3 装置の異常が人に及ぼす影響         | 27 |
| 2. 3 安全技術を導入した歩行アシストの開発       | 44 |
| 2. 3. 1 安全検証用記録モジュール          | 44 |
| 2. 3. 2 課題の解決手法               | 48 |
| 2. 3. 3 安全技術を導入した歩行アシスト       | 49 |
| 2. 3. 4 実証データ                 | 49 |
| 2. 4 安全検証試験                   | 54 |
| 2. 4. 1 ISO13482 安全要求項目       | 54 |
| 2. 4. 2 試験項目と試験結果             | 56 |
| 2. 5 実証実験                     | 59 |
| 2. 5. 1 実環境実証実験概要             | 59 |
| 2. 5. 2 誤使用及び想定していない使用方法の事例   | 61 |
| 2. 5. 3 介護施設での実証実験            | 73 |
| 2. 5. 4 実証実験のまとめ              | 75 |

|               |    |
|---------------|----|
| 2. 6 結び       | 76 |
| 2. 6. 1 成果まとめ | 76 |
| 2. 6. 2 成果の意義 | 77 |

## 要約

本研究では、高齢者支援、特に介護予防の運動教室での適用を想定し、人間装着型生活支援ロボットである歩行アシストの対人安全性を確立するための課題の抽出、安全評価、安全技術の開発を行う。対人安全性を確立するための課題の抽出はリスクアセスメントにより行い、その結果に基づいて安全技術を開発し、安全検証試験及び実環境での実証実験に依る検証を行った。

リスクアセスメントは高齢者運動教室で運用することを想定し、作業フローや運動教室が実施される環境からハザード源を抽出し、リスクについての評価を行った。その結果、参加者の近くに介助者がいないため、転倒しそうになった時に助けられないことが分かり、転倒した時に機器の装着が人へのダメージの増減に与える影響と、転倒に関して機器の異常が人に与える影響を評価することとした。リスクアセスメントの妥当性の検証や、実証実験で想定外の事象が起きた際に分析してリスク低減の方策を決めるためには、発生した事象と歩行の状態や機器の内部データを記録し分析することが必要である。そのため、安全技術として安全検証用記録モジュールと解析システムを開発することとした。

転倒した時に機器の装着が人へのダメージの増減に与える影響を評価するため、生活支援ロボット安全検証センターと共同で衝突実験用ダミー人形を使用した転倒衝撃値の測定を行った。装着の有無による荷重の変化を比較した結果、骨折のリスクが上がっていないことを確認した。また、錘落下式の衝撃試験機を製作し、骨に加わる荷重が減少していることを確認した。

機器の異常が人に与える影響の評価として、転倒に繋がる可能性のある装置の異常動作を洗い出し、装着者が歩行中に任意の異常動作を機器に引き起こし転倒に至る事象の有無を確認するため、名古屋大学の協力で転倒のリスクに十分配慮された環境で実験を行った。歩行アシストを装着した被験者が歩行中に、(a)アシストがなくなる、(b)アシストが大きくなる、(c)アシストタイミングがずれる、(d)可動軸が回らなくなる、の何れかを機器に発生させることで通常歩行との比較を行った。実験の結果、4 ケースとも被験者が転倒する事象や、転倒に繋がる大きなバランスの崩れも発生しなかった。

安全技術として安全検証用記録モジュールと解析システムを開発し、この技術を導入した歩行アシスト 45 台を製作した。記録モジュールは既存のシステムに機能的な障害を起こさないために、記録後のデータ分析により算出できる値は記録せずデータのシンプル化を行うことで課題を解決した。この技術は、開発済みの機器に対して軽度のハード改修とソフトウェアの改修のみで付加できる点で、今後開発される様々な装着型生活支援ロボットにも適用できる安全技術であると考えられる。

安全検証試験として、ISO13482 の安全要求項目から歩行アシストに適用する試験項目の選定し、その試験の基準を示した。安全検証試験を行った結果、歩行アシストが要求される安全性を満たしていることが確認された。

安全技術を導入した歩行アシストの実環境での検証として、介護予防のための高齢者運動教室での実証実験を行った。期間中 55 回の運動教室が開催され、延べ 2977 回の運用実績とリスクアセスメント時に検討すべき項目が得られ、機器が原因となる転倒や、怪我など装着者へダメージを与える事象は発生しなかった。別に介護施設での実証実験も行い、1137 回の運用実績が得られ転倒などの事象が発生しなかったことも確認された。

以上により、本プロジェクトの基本計画で予定されていた成果を達成したものである。

## Summary

In this project, while assuming the application of the Stride Management Assist System or SMAS to exercise seminars for the elderly support, particularly the care prevention, the extraction of the safety issues, the safety evaluation and then the development of the safety technology have been studied to establish the safety of SMAS, a human wearable type life support robot.

The extraction of the safety issues to establish the safety has been performed by the risk assessment and based on those results, the safety technology was developed and it has been verified through the safety inspection examinations in the real environment. The risk assessment has been done by the extraction of hazard sources from the work flow and from the environment where exercise seminars are held. As a result, it became known that the participants cannot be kept away from falling down mainly because there was not always a person of assistance near the participant, then it was considered important to evaluate the influence on whether the wearing of the device gives the increase or the decrease of the damage to a person when he falls down and what effect the malfunction of the device gives to a person wearing it. It was necessary to record and analyze the phenomenon occurred and the detailed data of the device itself for inspection of the validity of the risk assessment. Therefore a recording module and analysis system have been developed as the safety technology. The experiments in which the fall shock levels have been measured using the dummy doll are conducted in cooperation with Robot Safety Center and these experiments are to evaluate the influence on what effect the wearing of the device gives to the damage to a person when he falls down. As a result of having observed the change of the load to the bone when he wears the walk assist and when doesn't, it was found that the risk of the bone fracture remains the same between two cases. Among safety requirements of ISO13482, the items applicable to SMAS were selected and the device was tested for those requirements. Then, it has been confirmed that SMAS meets those safety requirements. As the inspection in the real environment for the device having the safety technology, proof experiments on the elderly person at exercise seminars for the care prevention have been conducted followed by additional proof experiments in the nursing facilities. By the above, the objectives of this project have been achieved.

## 本編

### 1. 研究概要

#### 1. 1 研究の背景

少子高齢化の急速な進展に伴い、高齢者の自立と生きがいが必要な課題である。高齢化社会での問題の一つに身体能力の低下があり、加齢などによる歩行機能の低下が外出の不安といった心理面も影響し、日々の活動範囲が狭くなる要因と言われている。

活動が減ったために筋力が弱まり、さらに歩行機能が低下する。というマイナスの循環に陥る危険性があると考えられ、このようなマイナスの循環は歩行機能の低下によるところが大きいと考える。歩行機能の低下の特徴的なものが、歩幅の狭いこきごみな歩き方であり、この歩き方を、歩く速度と歩幅を調整する歩行の「アシスト」により、楽に、より速く、遠くまで歩く支援ができると考えている。

歩行アシストを使うことで、[活動範囲の拡大→自ら歩くことでトレーニングとなる→身体機能が向上→さらに活動範囲が拡大する。] というプラスの循環を作り出せ、より活動的な生活を取り戻して体力の低下を防ぐことができるのではないかと期待している。(Figure 1.1-1)



Figure 1.1-1 歩行アシストに期待するプラスの循環

## 1. 2 研究の目的

歩行アシストは、リハビリテーション用に開発されたため、運動教室のような医療機関外での単独使用に対しては、十分に考慮されていない。

本研究では、歩行アシスト試作機を使用して、高齢者支援、特に介護予防の運動教室での適用を想定し、人間装着型生活支援ロボットである歩行アシストの対人安全性を確立するための課題の抽出、安全評価、安全技術の開発を行う。

また、安全技術を搭載した歩行アシストの安全性検証試験、実環境での実証試験を行い、安全性を確認する

## 1. 3 歩行アシストの概要

Figure 1.3-1 に歩行アシストの構成を、Table 1.3-1 に主要諸元を示す。腰フレームは M, L の 2 サイズがあり、日本人の 95% に装着が可能となっている。腰フレームは腰ベルトで装着者の腰に固定され、バッテリーと制御コンピュータを内蔵し、左右の端部は外転可能な軸を介してモータが配置される。モータ部は股関節角度をセンシングするための角度センサも配置されている。モータ部からは装着者の大腿部にアシスト力を伝える大腿フレームが伸びており、パッドと大腿ベルトにより装着者の大腿に固定される。

歩行アシストの動作を Figure 1.3-2 に示す。人は二人で平行して歩く時に無意識に歩調が揃ってしまうようなことがあり、この相互適応現象<sup>(1)</sup>を参考としている。人の脚の動きは大腿フレームを介して股関節角度センサ値に変換され制御コンピュータが読み取る。制御コンピュータは角度センサ値と内部に持っている歩行モデルとのずれ量などを比較して、どのようなアシストを与えるかを決定する。決定したアシスト力は人の歩行タイミングに合わせ、腰の部分のモータがトルクとして出力する。脚を前に振り出す時（屈曲時）と、脚を後ろに蹴り出す時（伸展時）の双方で、大腿フレーム先端のパッド部分にアクチュエータのトルクを加え、歩く速度や歩幅を調整する。これにより非装着時より歩幅を広げ、より楽な歩行を可能とする。

歩行アシストはリハビリテーションにおける歩行訓練での活用を目指して開発が進められている。

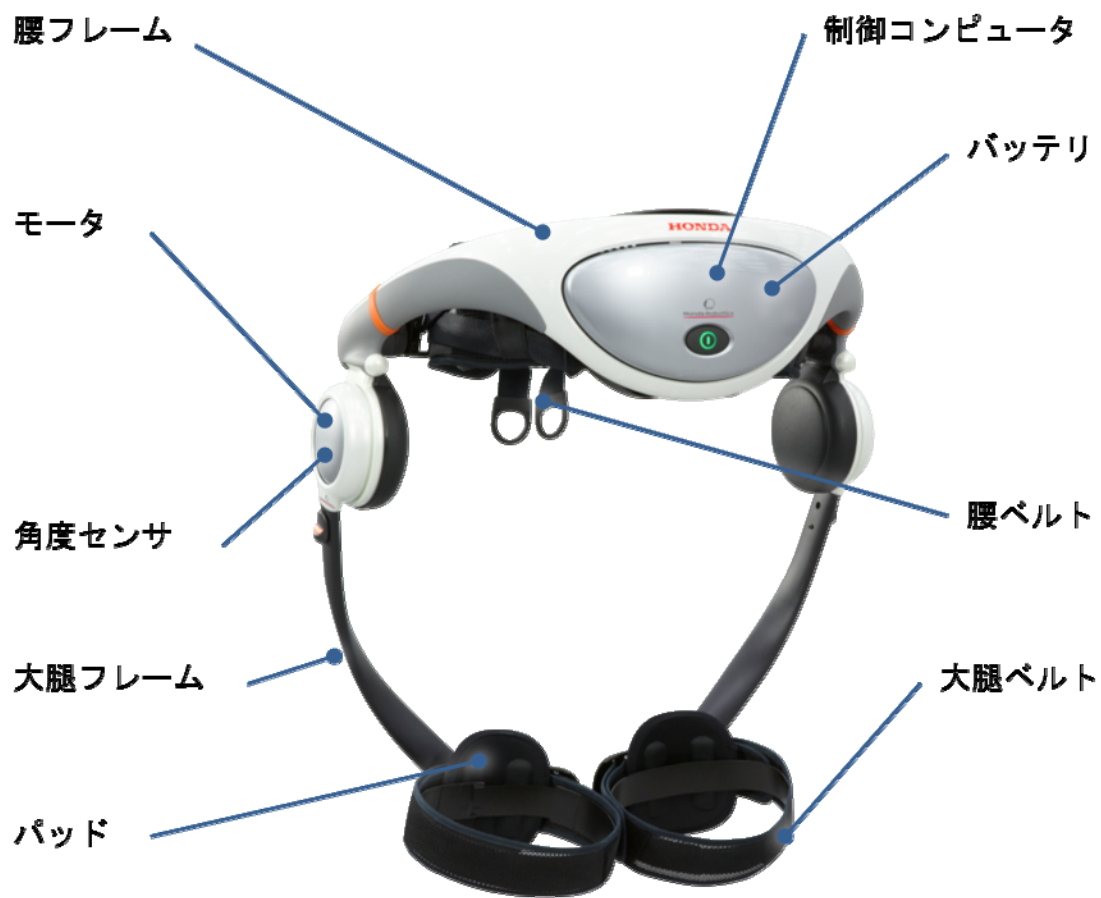


Figure 1.3-1 歩行アシストの構成

Table 1.3-1 歩行アシスト諸元

|          |                              |
|----------|------------------------------|
| 腰フレームサイズ | M (腰幅 340mm)<br>L (腰幅 380mm) |
| 重量       | 2.6kg 以下<br>(バッテリー含む)        |
| 稼働時間     | 60 分以上                       |
| バッテリー    | リチウムイオン電池 22.2V              |
| アクチュエータ  | 最大トルク 4N・m<br>2 軸            |
| 使用場所     | 平坦な床や路面<br>(屋内または雨天を除く屋外)    |



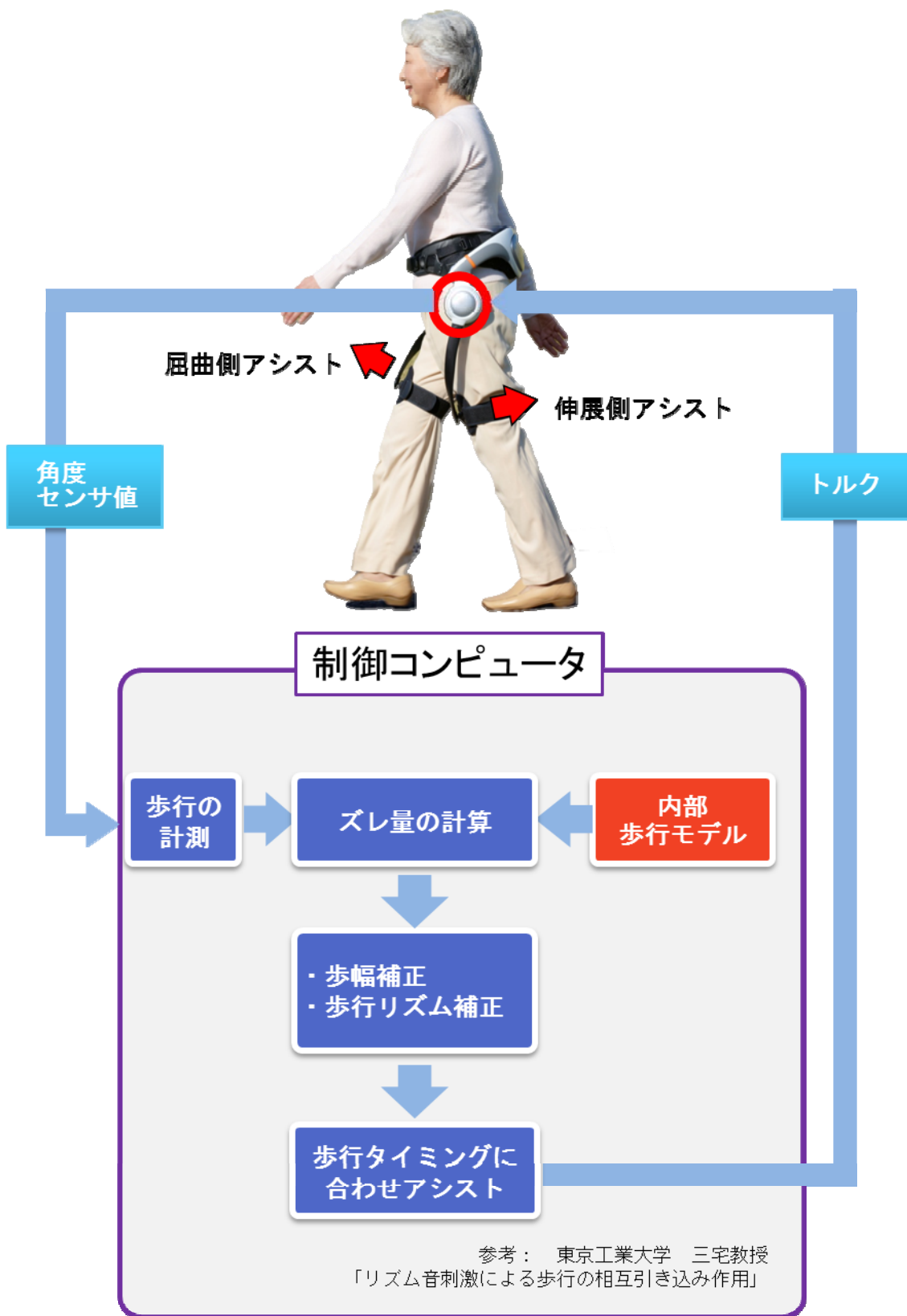


Figure 1.3-2 歩行アシストの動作

## 2. 研究成果

### 2. 1 歩行アシストのリスクアセスメント

#### 2. 1. 1 高齢者の使用を想定したシーン

前章で述べたように歩行アシストはリハビリテーションにおける歩行訓練での使用を目的に開発された機器である。この機器を高齢者支援の目的で介護予防のための運動教室などに適用する場合は、医療機関で行われていたリハビリテーションでの運用と異なる点があり、安全性の面での検討が必要である。

そこで、高齢者支援での運用を介護予防のための運動教室に絞り、具体的な運用シーンを想定したうえでハザード源の抽出を行った。

高齢者運動教室は、介護予防を目的とした運動能力向上のトレーニングと位置づけ、市町村や保険団体などが主催し、体力が衰えてきた虚弱高齢者などに対して行うものと想定した。

参加者は体力が衰え始めている、または衰えているが自力で歩行可能な高齢者であり、30人程度を1クラスとして実施することとした。運動教室のプログラムは、屋内教室で体力トレーニングの知識を得る座学と実際の歩行訓練で構成される。歩行訓練の場所は、屋内のホールや体育館、屋外の運動場や公園、遊歩道などで行われるものとし、指導を行うトレーナーが5～6人のグループを受け持つこととした。

1回の運動訓練は90分程度の時間で、運動座学、バイタルチェック、ウォーミングアップ、クールダウン、振り返りなどが行われる。トレーナーは事前に歩行アシストについてのレクチャーを受け、どのような機器であるか、取り扱い方法や禁止事項、さらに残留リスクについての説明を受け理解しているものとする。

機器の移動、取出し、装着はトレーナーが行い、トレーナーの監視のもと歩行訓練が行われる。訓練後の脱装、片づけ、保管もトレーナーが行うものとする。

歩行訓練が行われる場所は事前にリスクアセスメントを行い、不要のハザードを回避する。具体的には段差、階段、狭路、滑りやすい床や道などである。

歩行訓練自体は参加者のレベルに合わせた速度で歩行できるようグルーピングなどに配慮がなされ、疲労や便意などが起きた場合は訓練を中止し、休憩などを行うことができる。

歩行アシストを使用するシーンは保管場所から運動教室に移動したところから、歩行トレーニングを挟んで保管場所に移動するまでの間を対象とした。具体的な流れを Figure 2.1-1 から Figure 2.1-5 に示す。

歩行アシスト運用時の作業手順はリハビリテーションでの歩行訓練を参考としているが、図の赤ハッチング部は運動教室特有の作業や動作、状態を示している。この項目については運動教室特有の項目としてリハビリテーション用途で行われたリスクアセスメントに追加して分析を行う必要がある。

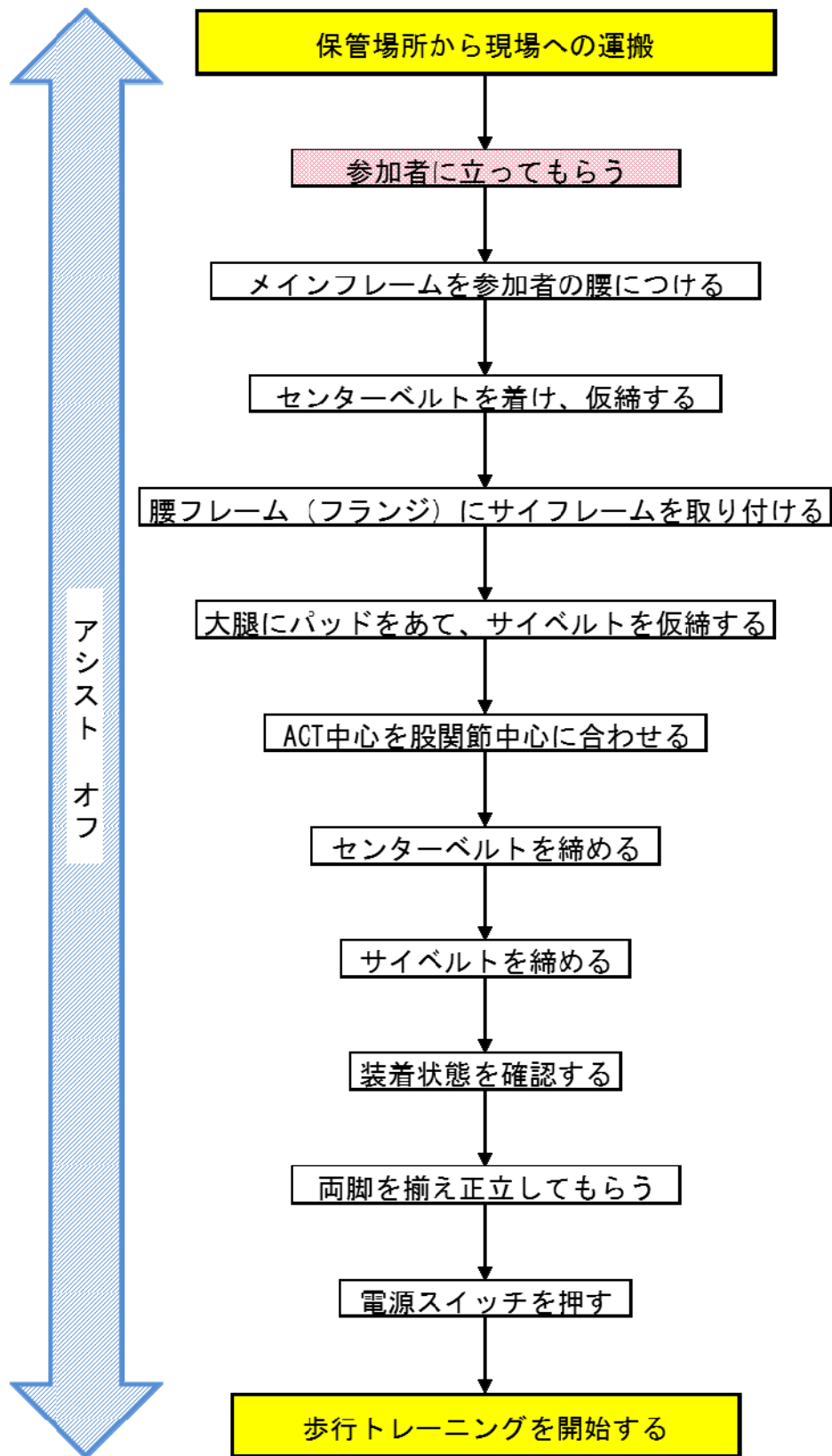


Figure 2.1-1 運用作業フロー（運搬－装着）

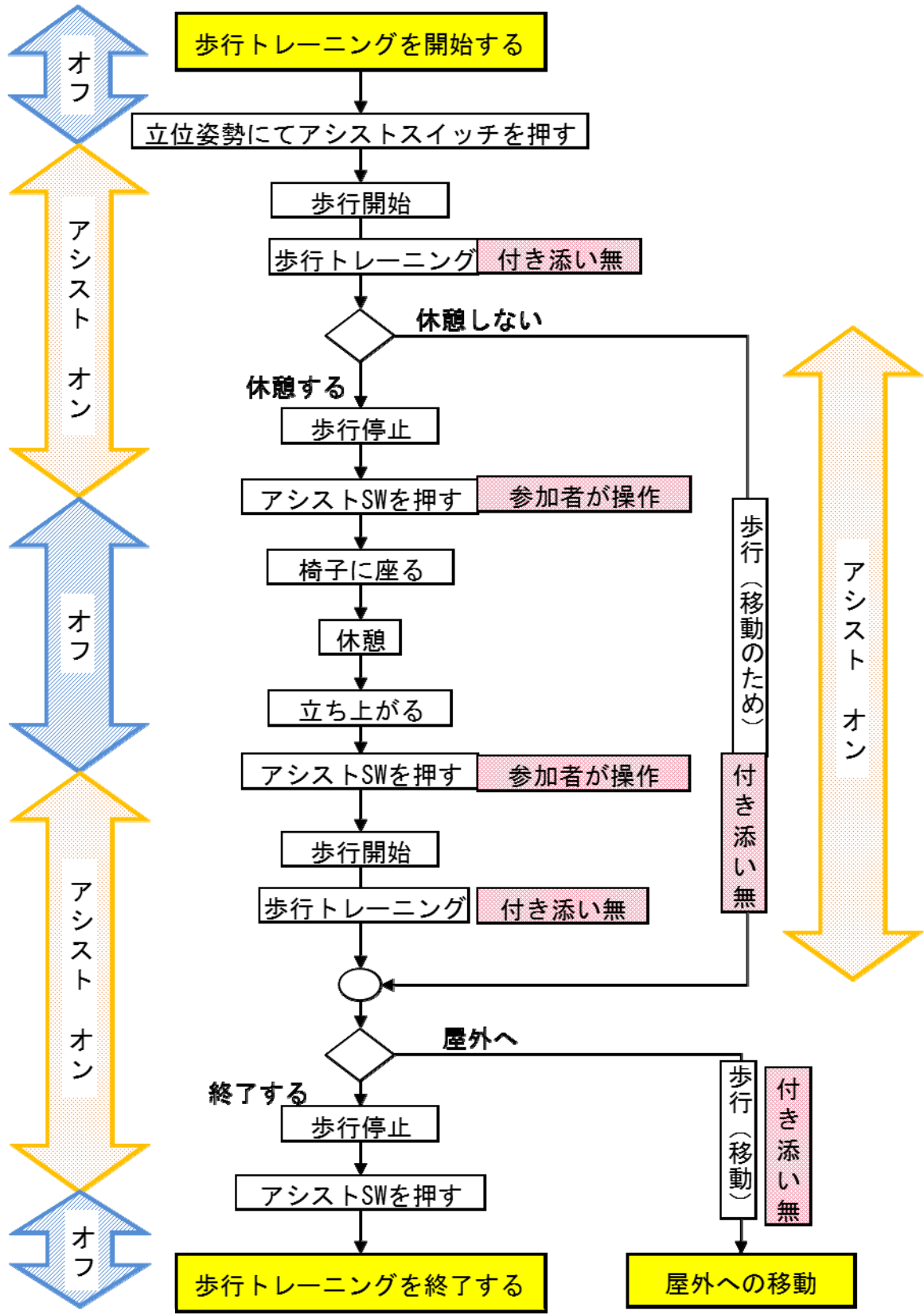


Figure 2.1-2 運用作業フロー（屋内トレーニング）

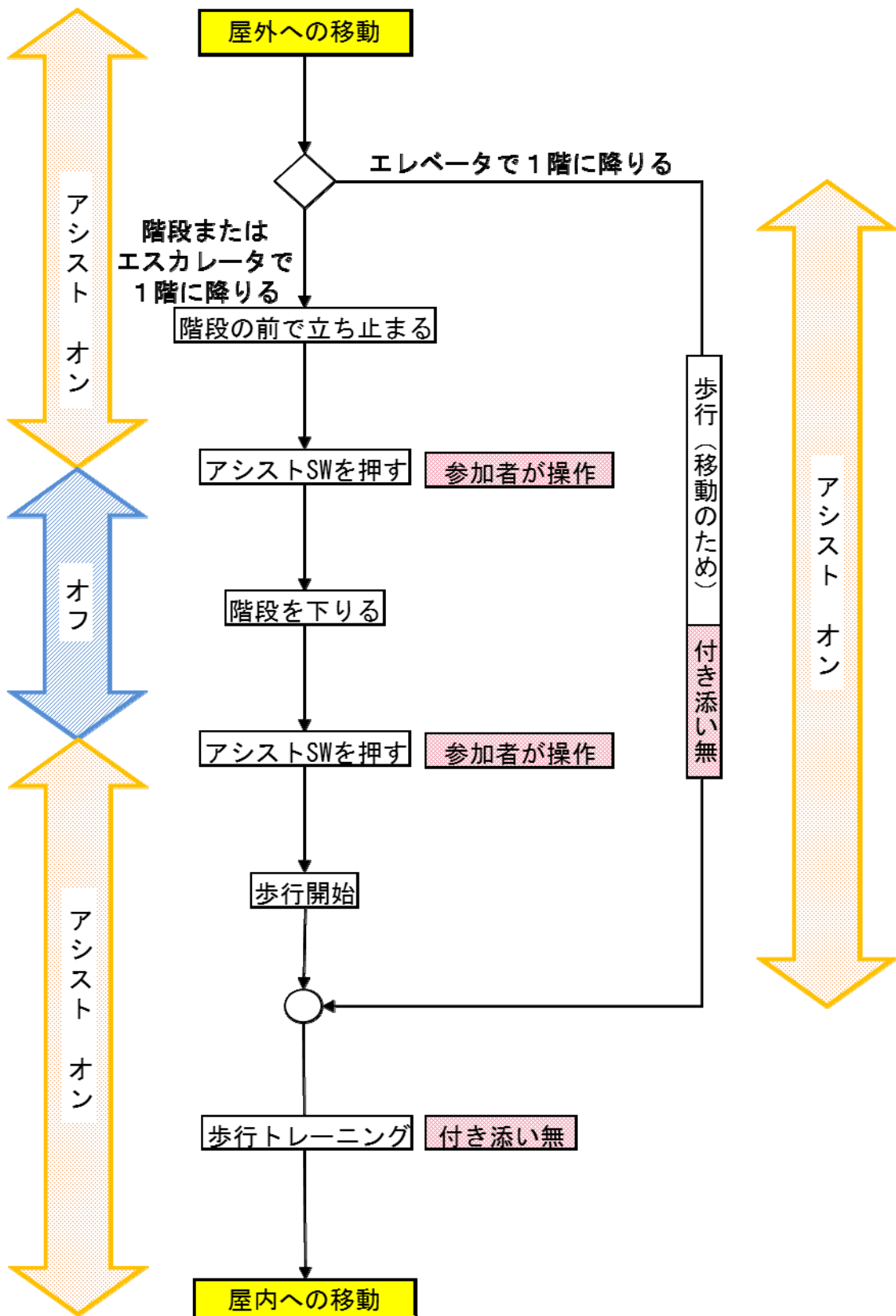


Figure 2.1-3 運用作業フロー（屋外への移動）

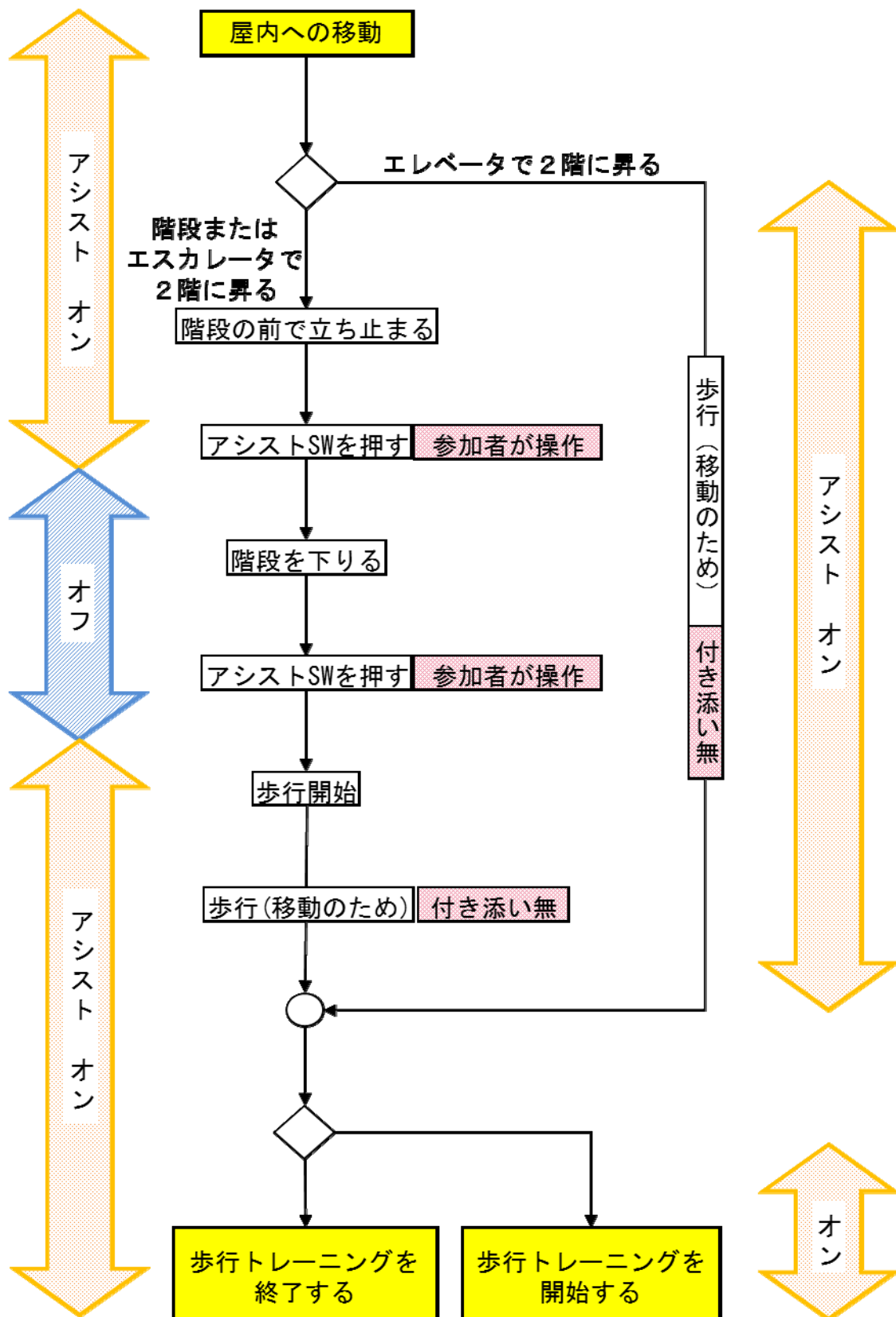


Figure 2.1-4 運用作業フロー（屋内への移動）

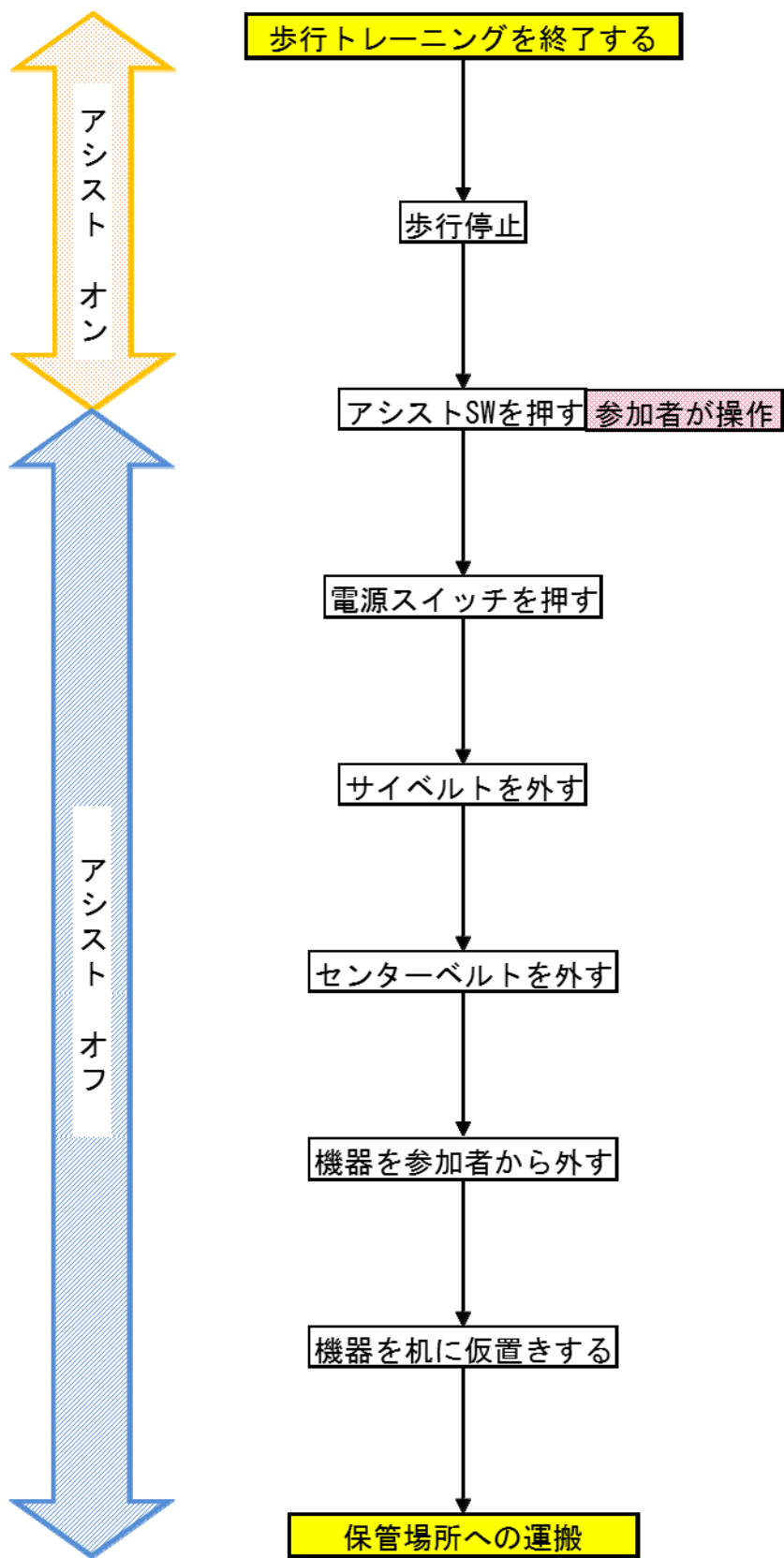


Figure 2.1-5 運用作業フロー（終了－保管）



## 2. 1. 2 運動教室でのハザード源

運動教室が行われる環境や、運用作業フローからリハビリテーションでの運用と異なる点は以下の4点であることが分かった。

- 1) 歩行トレーニング時に、常時付き添い介助する人がいない。
- 2) エスカレータや階段、縁石など平坦な路面・床以外の歩行路が存在する。
- 3) 机や椅子、歩道の車止めなど障害物が存在する。
- 4) 装着や脱装、アシストの ON/OFF などを参加者が行う場合がある。



Figure 2.1-6 歩行訓練コースのリスクマップ



2)、3)の項目については環境に大きく依存するので、歩行トレーニングに使用するコースで事前にリスクアセスメントを行い、不要なハザード源は排除することが大切である。以下は後述する実証実験のフィールドで行ったリスクアセスメントで抽出されたハザードである。(Figure 2.1-6、Table 2.1-1)

Table 2.1-1 歩行訓練コースのハザード源

|   | ハザード項目    | 予見リスク内容              | 対応案                                       |
|---|-----------|----------------------|---|
| ① | 自動ドアでの出入り | 開ききる前に衝突             | 自動ドアの動きに注視するとともに歩行速度を落とすように指導・トレーナーの注意喚起  |
| ② | 階段昇降      | 階段での転落               | 極力エレベータによる移動とするやむを得ず使用する場合は手前で停止、アシスト OFF |
| ③ | エスカレータ移乗  | エスカレータに乗るタイミングが合わず転倒 | 極力エレベータによる移動とするやむを得ず使用する場合は手前で停止、アシスト OFF |
| ④ | 歩道—道路との段差 | 段差による転倒              | 歩道と駐車場面との段差のある部分の通過（ショートカット）を禁止する         |
| ⑤ | 車止め間の狭路通過 | 衝突し転倒                | 狭路通行では歩行速度を落とすように指導・トレーナーの注意喚起            |

リスクアセスメントは、使用上の制限や使用者の誤使用の見込みなど前提条件を定めて行っている。Table 2.1-2 にリスクアセスメントの前提条件を示した。

実証実験ではこれらの前提条件が妥当であったか、予期しない使用者の誤使用が無いかなど妥当性の検証を行うことで、事前の検討で漏れているリスクアセスメント項目を抽出する。抽出された項目は合理的に可能であれば機器の安全機能として対策をとることが望ましい。また、機器側で対策が不可能、あるいは困難である項目については、リスクアセスメントの結果許容できないリスクであった場合には運用方法の見直しや環境の改善など許容可能なレベルまでリスクを下げる対処をすることが必要である。

Table 2.1-2 リスクアセスメントの前提条件

| ライフサイクル<br>該当段階 |              | 準備、装着、歩行訓練、保管  |
|-----------------|--------------|--|
| 使用上の制限          | 意図した使用       | <ul style="list-style-type: none"> <li>①運動公園などの歩行者通路上を、リズム歩行アシストを装着した高齢者が、体力向上のために歩行する。</li> <li>②高齢者が装着する前の準備として、機器の調整に習熟した「機器管理者」が、機器の準備、電池の準備を行う。</li> <li>③装着は、歩行訓練の「サポート」担当が主として行う。</li> <li>④体形別に、機器のサイズの選定は、「サポート」が行う</li> </ul>  |
|                 | 合理的に予見できる誤使用 | <ul style="list-style-type: none"> <li>①歩行者通路上以外の歩行</li> <li>②サイズの異なった機器の装着</li> <li>③アシスト（電源）を起動しない状態での歩行</li> <li>④装着した機器の脱落</li> <li>⑤歩行中のアシストの OFF</li> <li>⑥屈伸などの歩行以外の動作</li> <li>⑦歩行中の転倒</li> <li>⑧他の歩行者との衝突</li> <li>⑨間違った設定によるアシスト</li> </ul>  |
|                 | 意図した空間／時間制限  | <ul style="list-style-type: none"> <li>①機器を装着し、運動公園等の歩行者通路上を歩行する</li> <li>②歩行時間は、連続 30～40 分程度</li> <li>③機器の保管は、管理室等の屋内とし、関係者以外の勝手な操作は行わない</li> <li>④電池の保管、充電も、機器の保管と同様</li> <li>⑤運動公園内では、一般の通行人（子供含む）と混在して歩行する</li> <li>⑥機器の使用期間は 5 年を想定し、1300 万歩以上の耐久性を有する。定期点検を 6 ヶ月ごとに実施し、装着部布製品などは定期交換部品として、交換する。</li> </ul> |

### 2. 1. 3 リスク評価が必要な項目

ハザード源の洗い出しより浮き上がった、“1) 歩行トレーニング時に、常時付き添い介助する人がいない。”という点は参加者が転びそうになった場合に介助ができないことに繋がっている。歩行トレーニングの性質として参加者が普段以上に運動をする前提であることから、転倒に至る事象は機器の装着有無に依らず一定の割合で発生すると考えるのが妥当である。よって、機器の装着時に転倒した場合、装着していること自体が人へのダメージを増加させないことが重要と考える。機器の装着時に転倒した場合に装着していない時よりも衝撃が増加していないことが安全を評価する上での一つの指標であると考ええる。

さらに、転倒に至る要因が機器側にあることも考慮しなければならない。機器の故障や設定の誤りなど、予見可能な誤使用により転倒に繋がる事象が無いか確認する必要がある。転倒に繋がると予想される事象があった場合は、発生頻度や被害の大きさを加味して、合理的な範囲でのリスク低減方策が必要となる。

上記 2 つの安全評価は外乱を排除するために実験室や、再現性のある試験装置で行われるべき計測である。限定的な条件で行うために実環境での使われ方では想定外の事象が起きる可能性も考えられるため実証実験が必要である。想定外の事象が実証実験で起きた際にこれを分析してリスク低減の方策を決定するためには、歩行の状態、機器の内部状態、発生した事象での関連付けが必要である。このような関連付けはリスクアセスメントの妥当性検証にも有効である。

そのためには稼働時間中の機器の内部状態を記録し、後から分析できるシステムが必要となるのでこれを開発することとした。安全技術として開発した記録モジュールと分析システムについて 2.3 章で詳しく述べる。

高齢者の運動教室を想定して行ったリスクアセスメントは、その使用環境に依存するため、用途・環境が変わる都度実施し、装置の仕様と運用をあわせて、全体で適切な対応を取る必要があることが分かった。

## 2. 2 転倒リスク評価

前章で述べたようにリスクアセスメントから安全性の評価が必要な項目が選定された。本章では計測と評価、安全技術として開発を行った安全検証用記録モジュールの歩行アシストへの導入、安全検証試験についての成果を述べる。

### 2. 2. 1 衝突実験用ダミー人形を用いた転倒衝撃の計測

歩行アシスト装着時に装着者が転倒に至った場合、非装着時に比べて衝撃値がどのように変化するのかを明らかにする手法として、自動車の衝突試験などに用いられる衝突実験用ダミー人形を用いた比較を行うこととした。人間装着型生活支援ロボットの試験・評価手法が確立していないため、先行して試験・検証手法が開発されている搭乗型や自走型のロボットの「対人安全性」の試験・評価手法を参考とした。

試験方法の策定及び計測については「生活支援ロボット実用化プロジェクト 研究開発項目① 生活支援ロボットの安全検証手法の研究開発」に参画している独立行政法人産業技術総合研究所、財団法人日本自動車研究所、独立行政法人労働安全衛生総合研究所と共同で行っており、実際の計測は生活支援ロボット安全検証センターで行った。



Figure 2.2-1 歩行アシストを装着した衝突実験用ダミー人形

Figure 2.2-1 は本計測で用いた衝突実験用ダミー人形に歩行アシストを装着した様子である。主要諸元を Table 2.2-2 に示す。

Table 2.2-2 衝突実験用ダミー人形諸元

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| TYPE     | Hybrid III<br>Small Female Test Dummy |
| 全高(身長)   | 145cm                                 |
| 重量(体重)   | 49kg                                  |
| 腰幅       | 30.7cm                                |
| 加速度センサ位置 | 頭部、胸部、腰部                              |

リファレンスとなるダミー人形単体での試験条件は、高齢者が骨折に至る転倒衝撃荷重を目標にして決定することとした。Robinovitchら<sup>(2),(3)</sup>の文献を参考として転倒時の速度 2.75m/s は自由落下 0.385m 相当であるので、衝撃力ピークを女性（弛緩）3.8kN、（緊張）4.7kN、（平均）4.25kN とする。高齢者大腿骨骨折平均衝撃荷重（平均 4.2kN）として、ダミー人形単体での衝撃荷重が 4.2kN 以上の条件で計測を行うこととした。

まず、リファレンスとなる値を再現させるため衝突実験用ダミー人形単体での衝撃値の測定をした結果、ダミー人形に可動部が多く姿勢が安定しない点や、倒す際に接地した脚位置がずれてしまうなど狙った値を出すことが難しく、繰り返し精度の確保が課題であることが判明した。

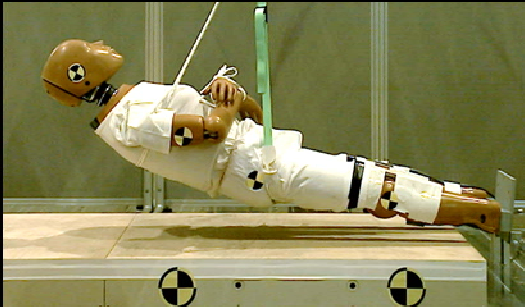
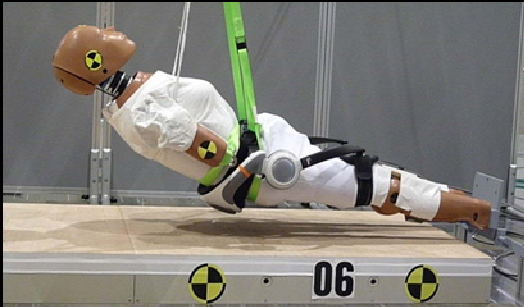
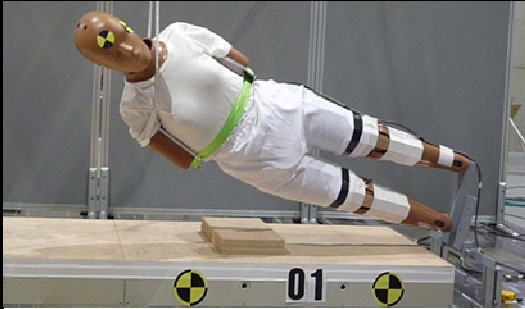

脚部の接地点を回転自由に拘束することで不要な方向にずれるのを防止し、腰部に加わる力の再現性を持たせるため上腕部は腰部より先に接地しないように拘束を施した。

これにより繰り返し精度が向上したため、装着の有無による比較を行った。計測の状況と結果を Table 2.2-3 に示す。背面と側面の 2 方向についてダミー人形を落下させ、高齢者の大腿骨骨折平均衝撃荷重（平均 4.2kN）を上回る衝撃値を発生させリファレンスとした。歩行アシスト装着後の衝撃は背面で 1.5kN、側面では 1.9kN と大きく減少していることが確認できた。

歩行アシストを装着することで腰部全体に加わる衝撃値が減少することにより骨折のリスクは非装着時に対して増加しないと考えられる。

しかし、本歩行アシストの構成が大腿骨転子部付近にアクチュエータを配置していることから、腰全体の荷重は減少したものの大腿骨自体に加わる荷重が増えている可能性が考えられる。原田<sup>(4)</sup>の文献によれば大腿骨骨折は頻度と重篤性から最も恐れられており、大腿骨骨折の閾値は 2.1kN であるとしているため、大腿骨転子部に加わる転倒時の衝撃荷重を計測する手段が必要であると考え計測することとした。

Table 2.2-3 転倒時の衝撃測定結果

|      | 衝撃実験用ダミー単体  | 歩行アシスト装着   |
|------|---|--|
| 背面衝撃 |    |    |
|      | <p>フォスプレート荷重<br/>6400N</p> <p>腰部加速度<br/>267m/s<sup>2</sup></p>                      | <p>フォスプレート荷重<br/>1530N</p> <p>腰部加速度<br/>80m/s<sup>2</sup></p>                        |
| 側面衝撃 |  |  |
|      | <p>フォスプレート荷重<br/>4400N</p> <p>腰部加速度<br/>172m/s<sup>2</sup></p>                      | <p>フォスプレート荷重<br/>1900N</p> <p>腰部加速度<br/>68m/s<sup>2</sup></p>                        |

## 2. 2. 2 大腿骨に加わる転倒衝撃の計測

要介護認定を受けた障害を有する高齢者を対象として転倒と骨折状況を調査した鈴川ら<sup>(5)</sup>によると、転倒により骨折した者は9.7%であった。骨折部位は大腿骨頸部(20.1%)、橈骨・尺骨(15.7%)、肋骨(12.7%)、脊椎骨(10.8%)であり、転倒による骨折が最も多い部位は大腿骨頸部である。(Figure 2.2-2) 特に高齢者は骨粗鬆症に伴う骨密度の低下が関節近くの大腿骨頸部に著しく生じるため、骨折しやすい部位と言える。また、大腿骨は股関節付近の部位という点で新しい骨の形成が行われにくく、くっつきにくい部位である。大腿骨頸部を骨折した場合股関節に強い痛みが生じ、自力では立ち上がれなくなるため、骨折により長期間寝たきりの状態になり、持病の悪化や合併症を起こす危険性が高まるなど重篤な病状につながりやすい。

歩行アシスト機は人体の腰部に装着する装置である。脚部へのアシスト力を発生させているアクチュエータが足の回転軸である骨頭と同軸に来るように設計されていて、ベルトで腸骨付近を締めることで装着している。(Figure 2.2-3)

普段何もない箇所にアシスト機を装着することにより、下半身(腰部)の怪我のリスクが変化すると考えられる。その理由として、大腿骨は大転子が凸になっている上、歩行アシスト機のアクチュエータ部分が転子部に位置するためである。したがって、非装着時の転倒で最も骨折しやすく、装着の有無により骨折リスクが変化する可能性の高い大腿骨頸部にかかる荷重の計測が必要と考えた。

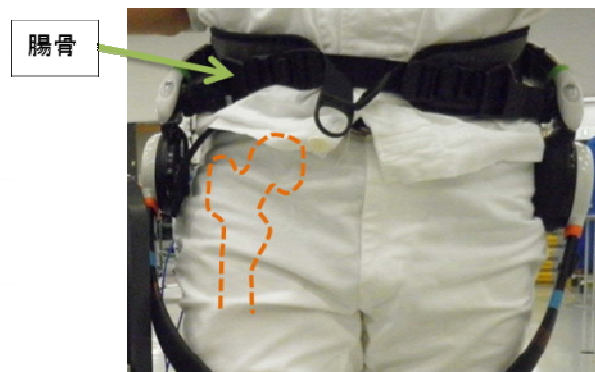
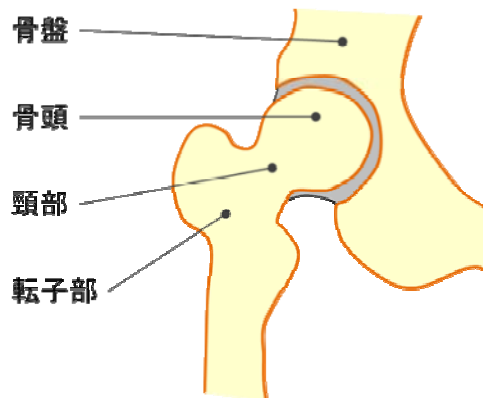


Figure 2.2-2 大腿骨と骨盤

Figure 2.2-3 歩行アシストの装着状態

歩行アシスト機の転倒試験の参考としてヒッププロテクターの評価試験のコンセンサス<sup>(2)</sup>に着目した。このコンセンサスはRobinovitchをはじめ、バイオメカニクスに携わる学者等14名がヒッププロテクターのクッションの大きさや形状の評価を行うために作成したものである。ヒッププロテクターとは、大腿骨と大転子を守るために腰部を覆うクッション材のことである。このコンセンサスでは、腰部周り

の骨や生理組織などの構造体を模擬している上、大腿骨にかかる荷重を評価しており、使用材料・衝突速度・フィルタリングなど試験方法に関して記している。バイオメカニクスに携わる複数の学者らが作成した点と実際に商品の評価に使用しているテストコンセンサスである点から、このテストコンセンサスを元に試験方法を検討することとした。

コンセンサスは2種類の試験方式を推奨している。2種類とも錘を落下させる方式になっており、錘を垂直に落下させる方式と円弧の軌跡を描いて落ちる振り子方式がある。

本研究では作りの点などから垂直落下式の装置とした。歩行アシストを装着する腰部や大腿に相当する装着用ダミーは人の皮膚や筋肉といった生理組織を模したケミカルウッドやウレタンゲルで形作られており、内部に大腿骨の形状を金属で模した大腿骨ダミーが埋め込まれている。大腿骨ダミーの骨頭部に当たる部分がロードセルの載荷台に接していて、他端はピンジョイントで固定されている。落下する錘についてはコンセンサスの要件をほぼ再現したものとなっている。

この装置を用いてリファレンスとなる値を計測したところ、 $3.51\text{kN}$ ～ $3.61\text{kN}$ の計測範囲に収まり再現性良く測定が可能であることが検証できた。

歩行アシストを装着しての計測値は、 $2.94\text{kN}$ ～ $3.02\text{kN}$ であり非装着状態よりも減少していることが明らかとなった。以上の結果から歩行アシストは大腿骨転子部付近にアクチュエータを配置している構造であるが、大腿骨自体に加わる荷重を増加させていないことが分かった。よって、歩行アシストの装着により転倒時の骨折リスクは増加していないと考えられる。

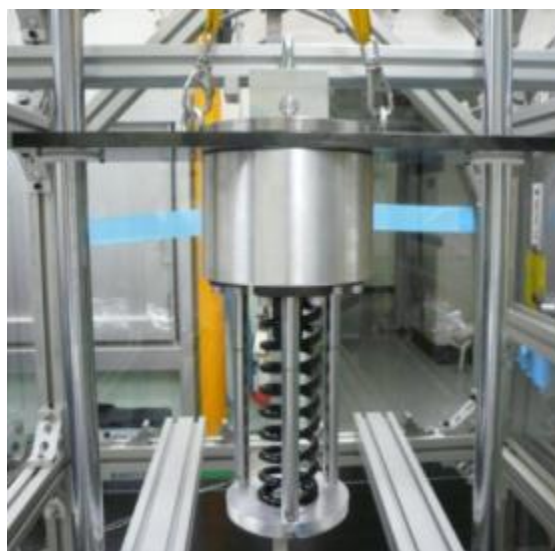


Figure 2.2-4 落下試験装置の錘部分



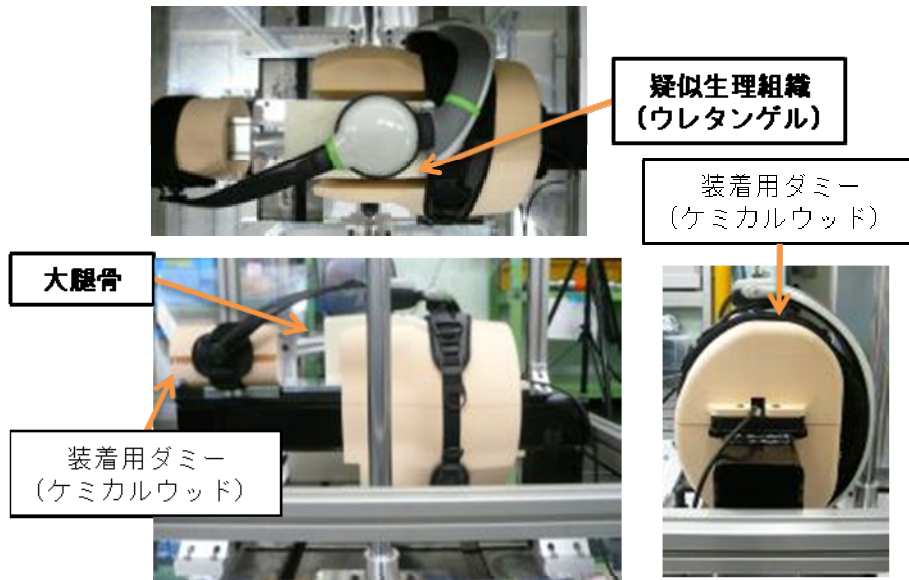


Figure 2.2-5 歩行アシスト取付け部分

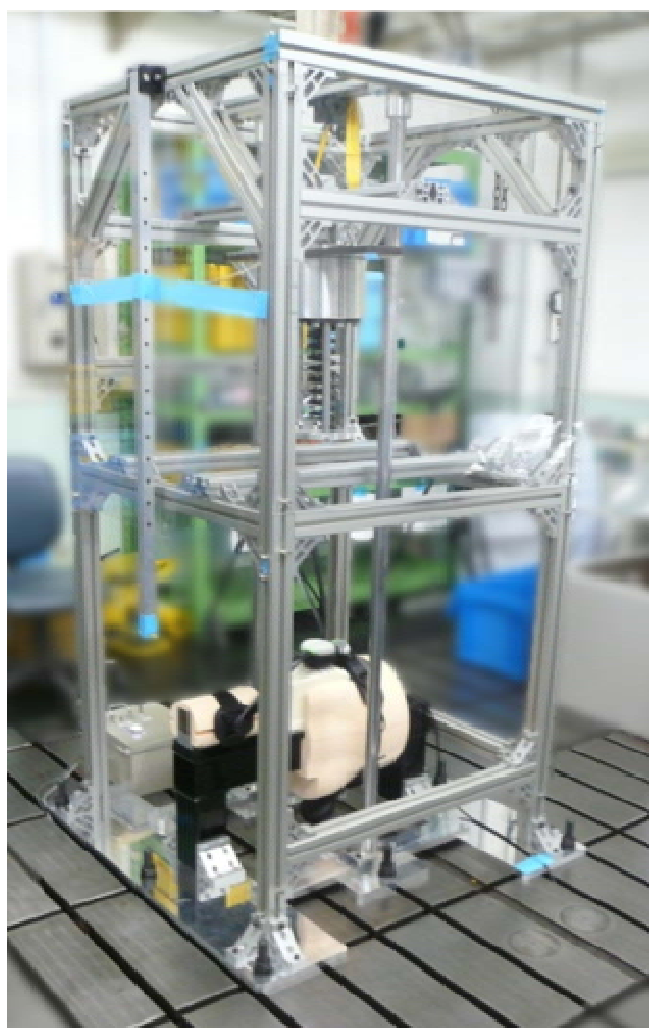


Figure 2.2-6 衝撃試験装置

### 2. 2. 3 装置の異常が人に及ぼす影響

装置の異常が人に及ぼす影響を安全性の観点で評価するために、転倒に繋がる可能性のある装置の異常動作を洗い出し、装着者が歩行中に任意の異常動作を機器に引き起こし転倒に至る事象の有無を確認する実験を行うこととした。

実験方法の策定及び実施については「生活支援ロボット実用化プロジェクト 研究開発項目① 生活支援ロボットの安全検証手法の研究開発」に参画している国立大学法人名古屋大学の大学院工学研究科山田研究室と共同で行った。

実験に先立ち転倒に繋がる機器の異常動作を特定するために、転倒の要因となる人の動きと同様な効果を与える動作を抽出した。転倒経験のある在宅高齢者が転倒に至った要因が近藤ら<sup>(6)</sup>により調査されている。これをもとに作成したグラフを Figure 2.2-7 に示す。転倒の要因は「つまずき」が最も多く、「ふらつき」、「踏み外し」、「すべり」の順であったことが報告されている。

これらの要因を機器の異常動作に当てはめたものを Table 2.2-4 に示す。

Table 2.2-4 転倒の要因に関する機器の異常

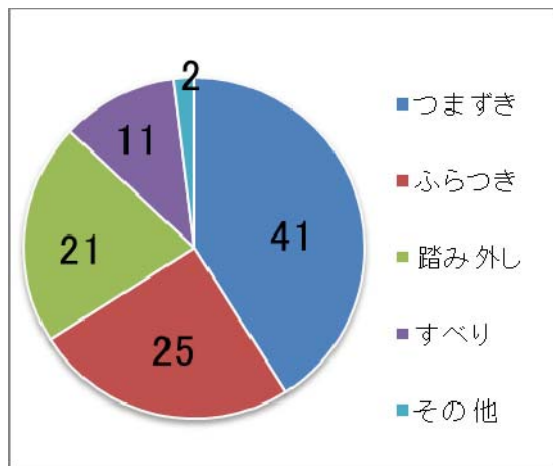


Figure 2.2-7 転倒の要因

| 転倒要因 | 関係する機器の異常動作                 |
|------|-----------------------------|
| つまずき | 可動軸が回らなくなる<br>アシストタイミングがずれる |
| ふらつき | アシストが無くなる<br>アシストタイミングがずれる  |
| 踏み外し |                             |
| すべり  | アシストが大きくなる                  |

つまずきは脚を前に振り出す時（屈曲時）に屈曲動作が制限されることで起こる事から大腿の動きを制約する可動軸、すなわちアクチュエータ軸のロック事象が該当する。また、アシストのタイミングがずれる事で屈曲時に伸展側のアシスト力が発生すると、装着者の反射動作に依って屈曲動作が妨げられる可能性もあるためにアシストタイミングがずれる事象も実験の対象とした。

ふらつきを起こす事象としてはアシスト力が無くなる、アシストタイミングがずれる、の2つの事象が該当すると考えられる。アシスト力により筋力を節約する歩行を行っているとは仮定すると、アシスト力の喪失は一時的に筋力の弱った状態を作り出していると考えたためである。また、タイミングずれにより伸展、あるいは屈曲動作を妨げる向きにアシスト力が働くと筋力に負荷をかけるのと同様な効果があると考察し該当すると事象とした。

すべりについては靴底が滑った結果として股関節の拡大に通じる現象で、屈曲、進展どちらの状態でも起こりうるものである。脚の動作方向に加わっているアシスト力が急に大きくなった場合には、装着者の脚の動きも連れられて大きくなる可能性が考えられるため、アシスト力が大きくなる事象がすべりに相当するとした。

4項目のうち踏み外しについては段差や側溝、穴などの外部の環境因子により引き起こされるものであり、機器装着の有無に依らずリスクが存在することから運用上のリスクとして取り上げられ排除されるべきものであるため本実験では対象外とした。

歩行実験は被験者の安全に考慮した環境で行われる。環境の概要を Figure 2.2-8 に示す。転倒に繋がる事象が発生しても床に頭部などを衝突させないために、被験者にベルトで装着した吊ハーネスが、倒れきる前に被験者を吊り下げるようになっている。吊ハーネスは天井部に配置したスライドレールに取り付けられ歩行の妨げにならないよう考慮してある。歩行の計測は光学式3次元モーションキャプチャシステム、足裏設置型フォースプレート(足圧センサ)、ビデオ画像により行っている。

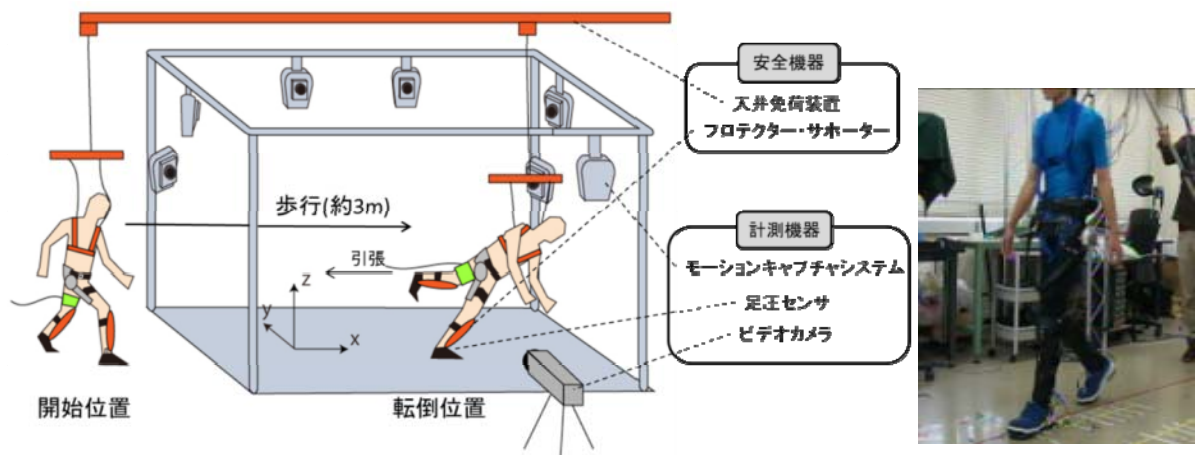


Figure 2.2-8 計測環境概要

装置の異常を故意に機器に発生させるために、実験に使用する歩行アシストに改

修を加え実験専用機を開発した。可動軸が回らなくなる事象はロックキーを回転板のロック溝に嵌めあうことで強制的に回転を止める構造とした。アクチュエータの出力では脚の動きを拘束する十分な制動力を与えることができないためである。ロックキーはソレノイドで駆動され、外部の PC から無線操作で動作させることができる仕様である。歩行中は取り付けフランジを介して連結された大腿フレームが回転自由に保持されており、アシスト力が掛かっていない状態を再現し、PC から指令を与えたところで直近のロック溝にロックキーが嵌り可動軸を固定して異常動作状態を発生させる。(Figure 2.2-9)

アシストが無くなる、アシストタイミングがずれる、アシスト力が大きくなる事象についてはソフトウェアの変更により行っている。アシストタイミングがずれる場合はアシスト力を与える位相を 180 度ずらし本来与えるアシスト力とは逆向きの力を発生するようにした。アシスト力が大きくなる事象は同様にアシスト力のゲインを 1.5 倍にしてアクチュエータの出力最大値が掛かるようにした。いずれの場合も PC からの無線操作で行い、ロックのタイミングをモーションキャプチャなどの計測機器に出力できるようになっている。

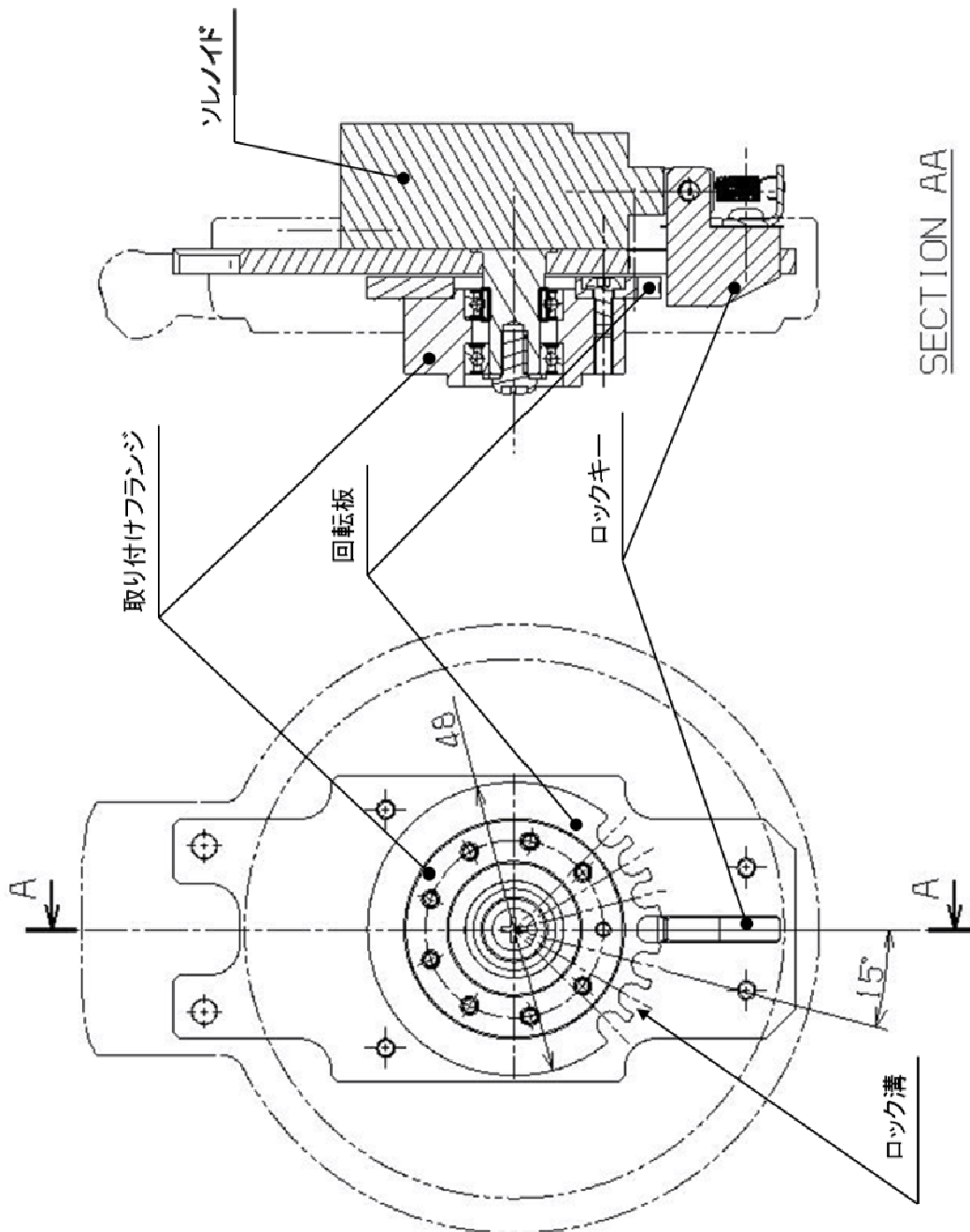


Figure 2.2-9 可動軸の

(a)アシストが無くなる事象の実験

通常のアシスト状態（アシスト ON）で被験者が3 mを歩行する。カメラ前の計測エリア内をそのまま通過する場合と、PCから指令を与えアシストをOFFとする場合の比較を行った。

左脚踵接地から次に左脚踵接地するまでをゲートサイクル100%とし、0~50%に異常を発生させ観察を行ったが、特徴的な差異は認められなかった。アシストOFFの異常は左右のアクチュエータに同様に起こるため、右脚は遊脚期、左脚は立脚期にあたり歩容の全てのタイミングで異常を起こしたことになる。

さらに詳しく観測するために、接地していないために股関節角度に変化が起こりやすい遊脚期に絞り股関節角度の比較を行った。異常を発生させるタイミングはFigure 2.2-10に示す左脚踵接地から左爪先離床までを測定し、ゲートサイクル0~30%でアシストOFFを発生させて、通常歩行のケースを5件、アシストOFFのケースを10件計測した。アシストをOFFにしたタイミングでもバランスを崩すなどの変化はなく、ビデオ映像からも通常歩行の場合と比べて変化は見られなかった。アシストOFFの異常を発生させた時の股関節角度の変化をFigure 2.2-11に、通常歩行時の股関節角度の変化をFigure 2.2-12に示す。縦軸は股関節の角度、横軸はFigure 2.2-10の計測区間の時間を1とした値であり、各グラフのラインはそれぞれ1回の計測を表す。

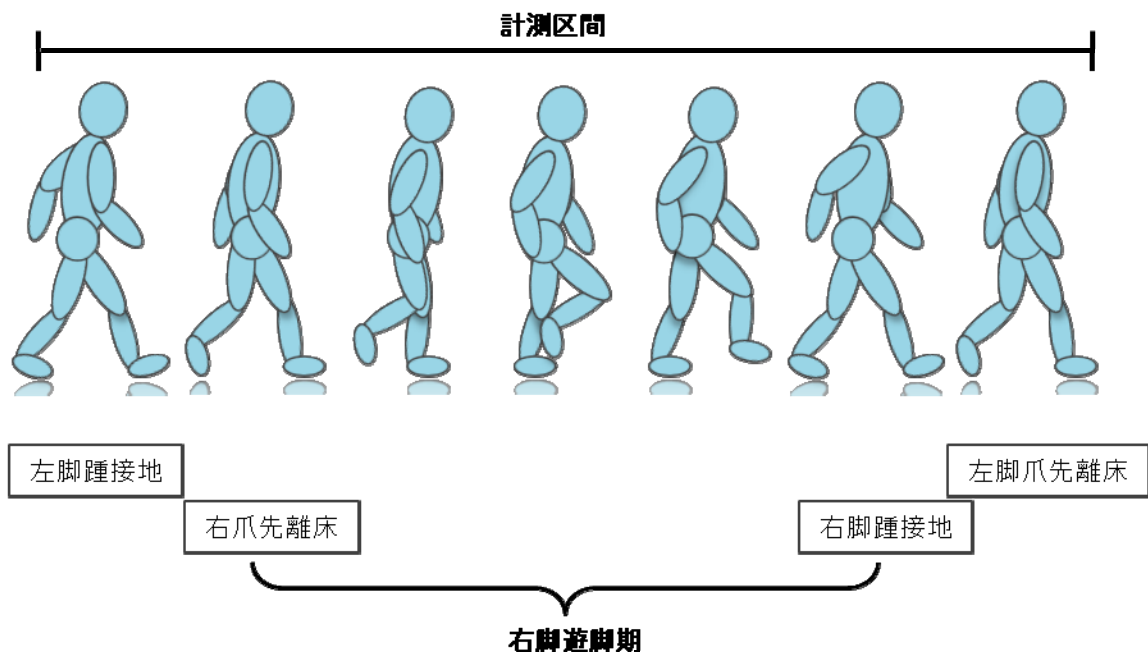


Figure 2.2-10 アシストが無くなる事象の計測区間

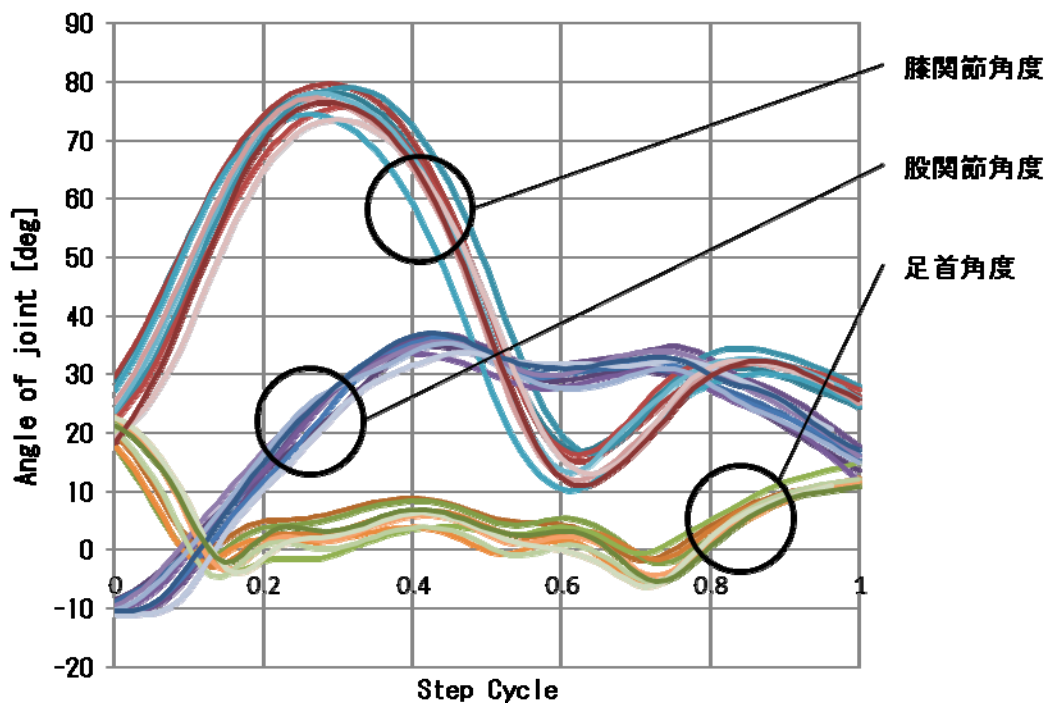


Figure 2.2-11 異常発生時の右脚関節角度

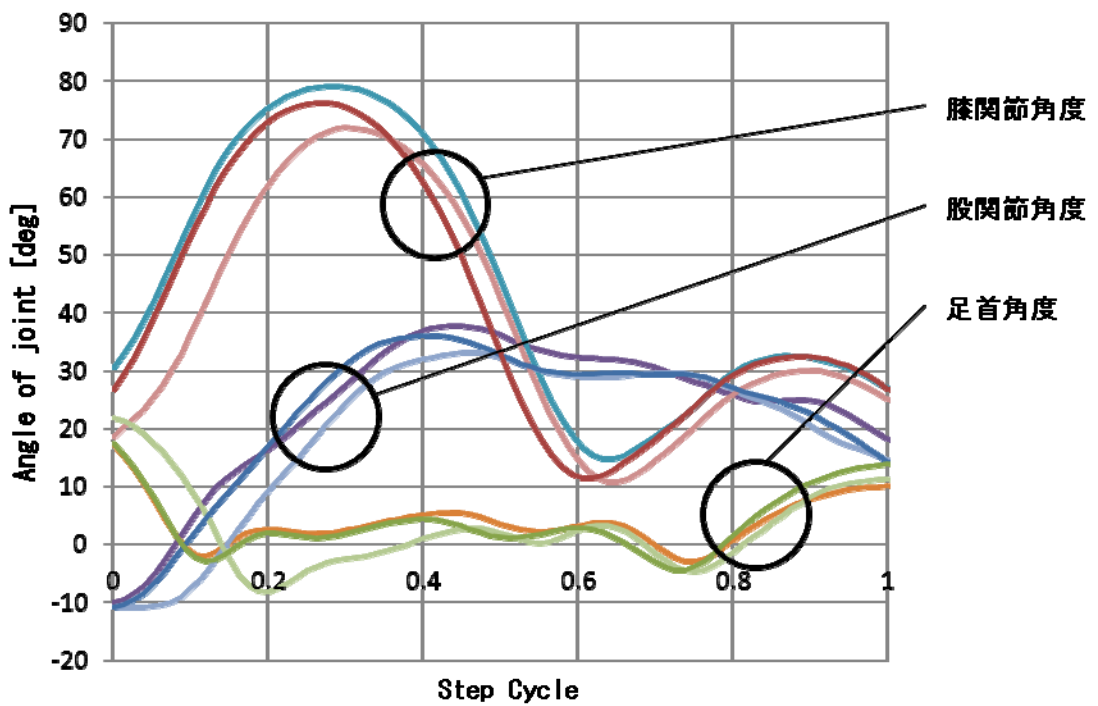


Figure 2.2-12 通常歩行時の右脚関節角度



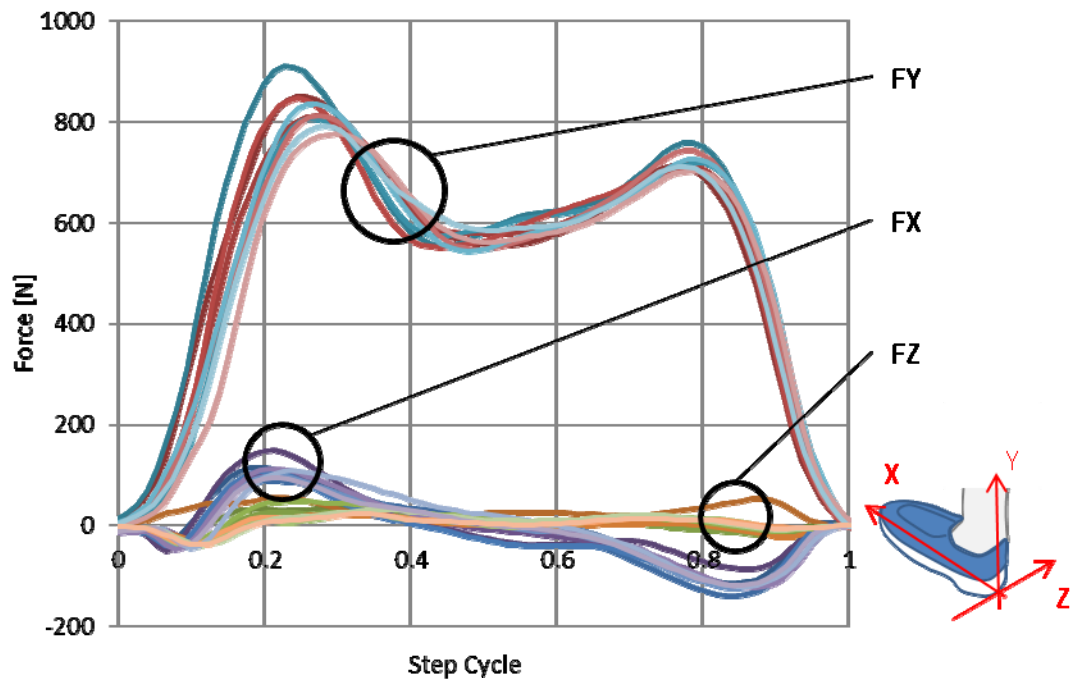


Figure 2.2-13 異常発生時の足圧

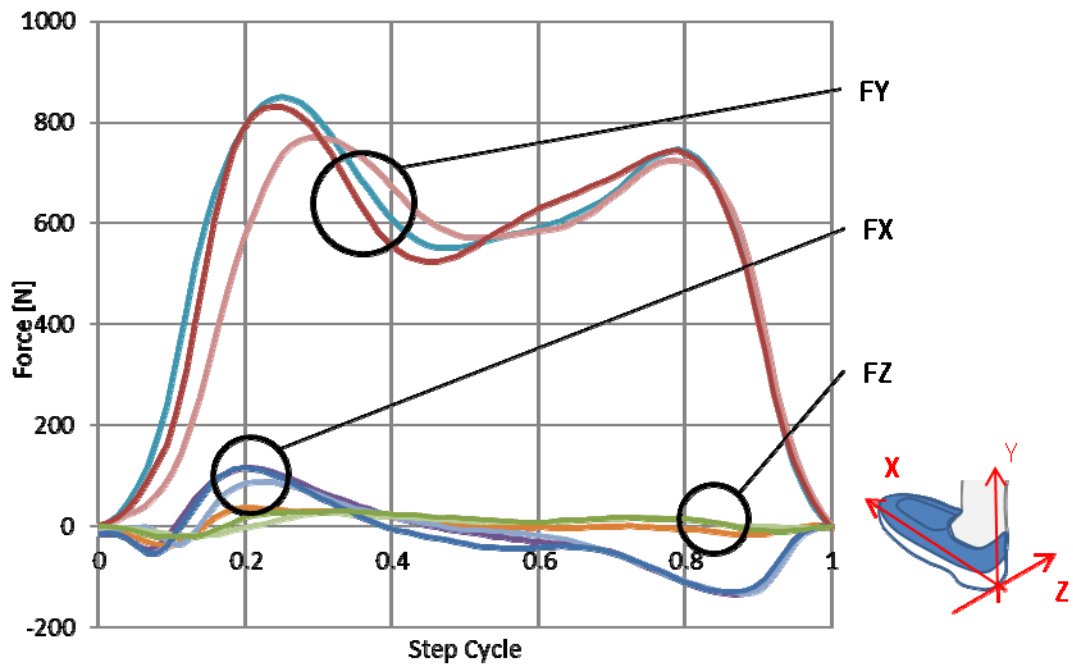


Figure 2.2-14 通常歩行時の足圧

異常の発生は前半部分、特にゲートサイクルの10~20%に集中しているが、同タイミングでの関節角に明確な変化は現われていない。通常歩行のケースと比較しても歩行のばらつきの方が大きく、異常発生時においても特徴的な角度の変化は見られ



ない。

同様に足圧センサの値を Figure 2.2-13、Figure 2.2-14 に示す。股関節角と同様に特徴的な差は見られなかった。

「アシストが無くなる」ケースの実験結果は、異常発生時に転倒や転倒に繋がる大きなバランスの崩れは認められず、アシスト異常後に共通した挙動の変化を確認することもできなかった。「アシストが切れる」という異常については歩行への影響は観測されずリスクであるとは言えないことが分かった。

(b) アシストが大きくなる

通常のアシスト状態（アシスト ON）で被験者が 3 m を歩行する。カメラ前の計測エリア内をそのまま通過する場合と、PC から指令を与えアシストを 1.5 倍とする場合の比較を行う。

(c) アシストタイミングがずれる

通常のアシスト状態（アシスト ON）で被験者が 3 m を歩行する。カメラ前の計測エリア内をそのまま通過する場合と、PC から指令を与えアシストの位相を 180 度ずらす場合の比較を行う。

(b) (c) の実験は条件を混在させ、3 名の被験者で行った。被験者 1 の (b) のケースについての股関節角度の変化を Figure 2.2-15 に、(c) のケースの股関節角度を Figure 2.2-16 に示す。横軸にゲートサイクル、縦軸に股関節角を示している。ゲートサイクル前半の縦のラインは異常を発生させたタイミングを示し、それぞれ同色の股関節角に対応している。(a) のケースと同じく異常は左右のアクチュエータに発生するので、左脚が立脚期、右脚が遊脚期となっており、ほぼすべての歩行のタイミングで異常を発生させている。赤色の中太線で示されたラインは通常歩行での股関節角度の平均値を示している。(a) のケースと同様に通常歩行からの差異は認められず、「アシストが大きくなる」「アシストタイミングがずれる」という異常についても歩行への影響は観測されずリスクであるとは言えないことが分かった。

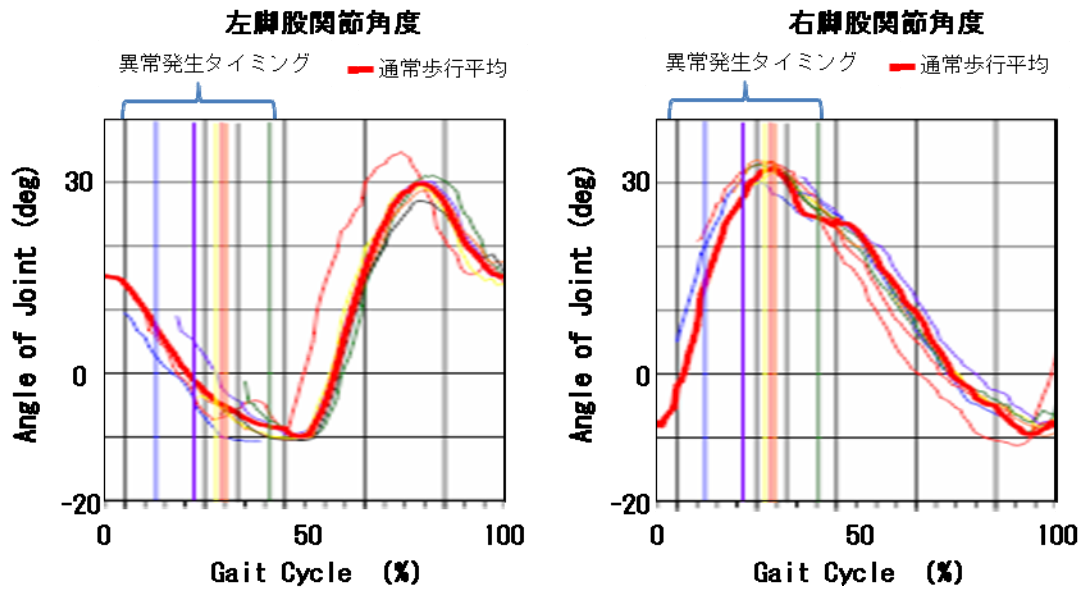


Figure 2.2-15 ケース (b) の股関節角度

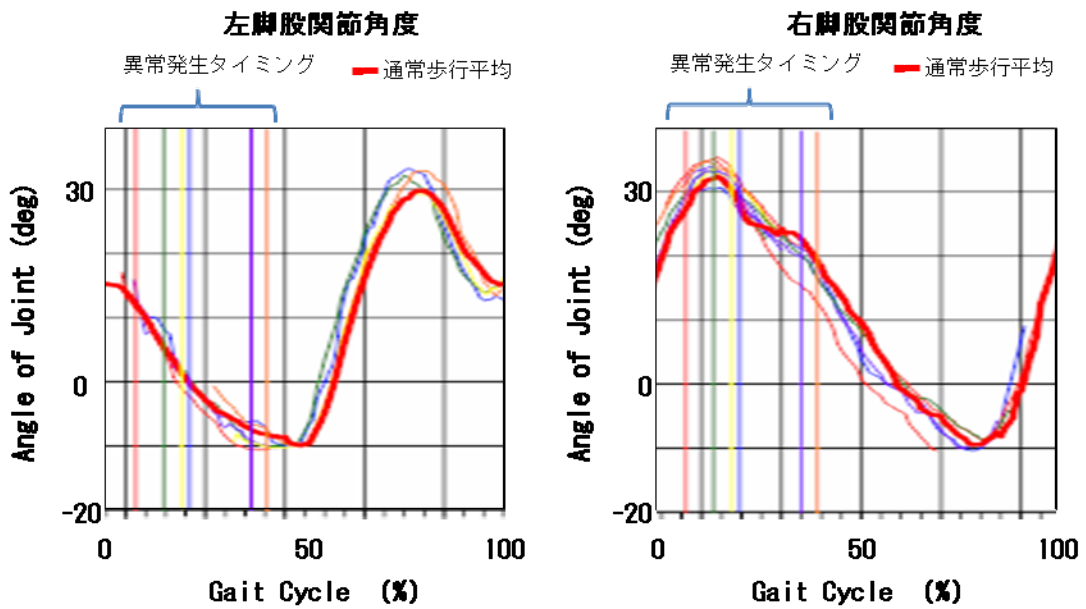


Figure 2.2-16 ケース (c) の股関節角度

(d) 可動軸のロック

アシストなしの状態（アシスト OFF）で被験者が 3 m を歩行する。カメラ前の計測エリア内をそのまま通過する場合と、PC から指令を与え可動軸をロックした場合の比較を行った。

3 名の被験者に対して実験を行った結果、歩行に変化は現われるが転倒に至る事象は起きなかった。可動軸はロックキーによって動きが固定されていることで股関節の動きが拘束され動けなくなるため、大きくバランスを崩すなどの事象を予測していたが、転倒につながるような大きなバランスの崩れはなく歩行を続けることができた。2 名はビデオ画像での歩行観察からも、明らかな歩行変化は見られないが、装着した機器の動きから稼働軸のロックが起きたタイミングは判別可能であった。1 名については上体姿勢が後傾することが見て取れ、何らかの異常が発生したことが観察からも判別可能であった。被験者 1 の股関節角度の変化を Figure 2.2-17 に示す。横軸はゲートサイクルで縦軸に股関節角度を示している。70%付近にある縦線は異常を起こしたタイミングを示し、太い赤線は通常歩行時の股関節角度平均値を示している。異常発生後の股関節角度に変化が見られるが、股関節の動きが完全には拘束されず動作が可能であったことが分かる。このため可動軸が回らなくなっても転倒に至らなかったものと推察される。

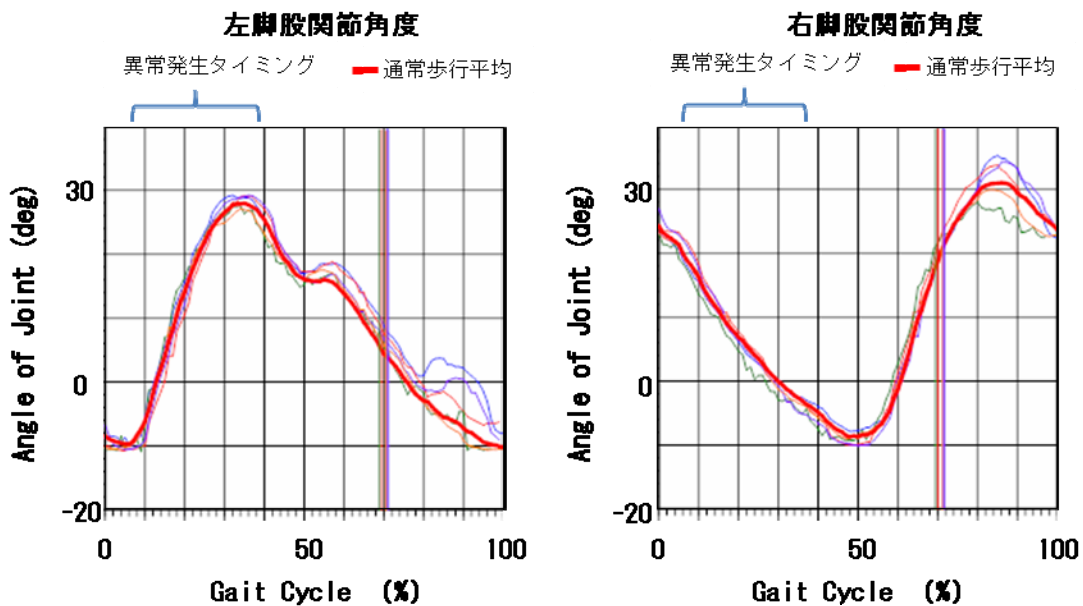


Figure 2.2-17 ケース (d) の股関節角度

さらに詳しい分析を行うため、床反力計と光学式 3 次元モーションキャプチャシステムを組み合わせた計測を研究者で行った。Figure 2.2-18 異常（ロック）発生時の可動軸と股関節角度を、Figure 2.2-19 に通常歩行時の可動軸と股関節の角度を示す。異常が起こった時から右側の可動軸はほとんど動いていない。股関節角度は最大角が 20 度減少しているが股関節の動作角が 20 度以上確保されていることが分

かる。また、左足の伸展角の拡大がみられることから上体を後ろに反らすことで歩幅を確保していることがうかがえる。歩行アシストは腰の部分にベルトで装着されているため、大腿フレームによって屈曲動作を拘束されると反力を腰フレームが受けて体に対する取り付け位置がずれる。これはベルトという柔軟性のある素材弾性と、人の体の持つ皮膚や皮下組織の弾性により起こるもので、ロックキーを解除した後はほぼ元の位置に復帰する。

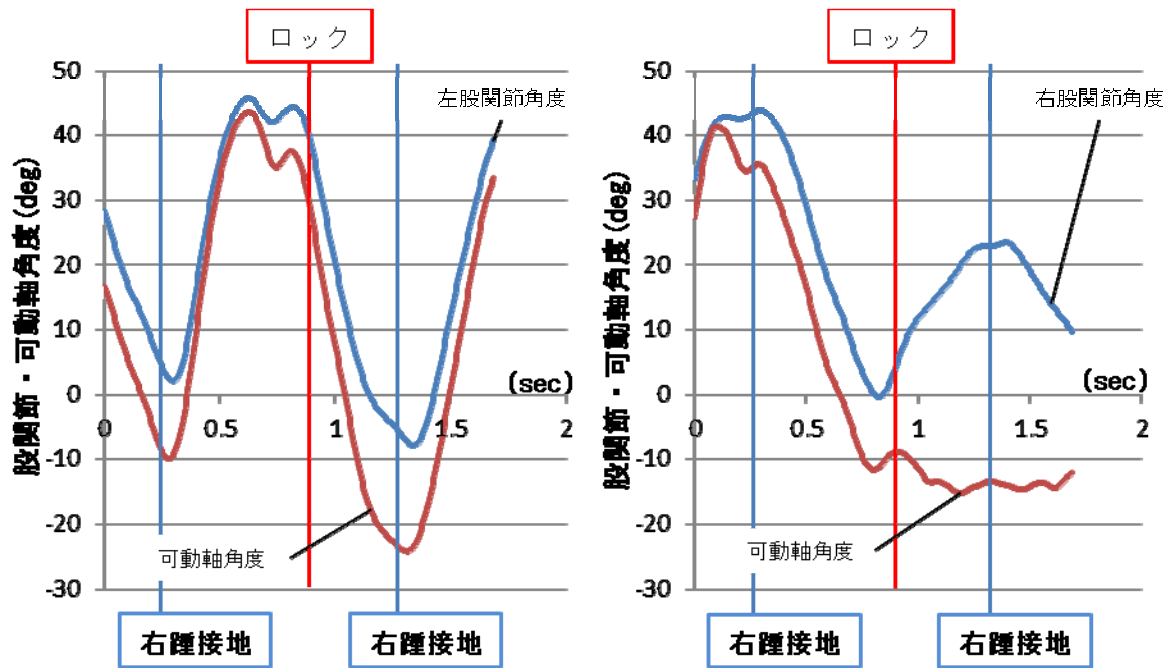


Figure 2.2-18 ロック発生時の股関節角度

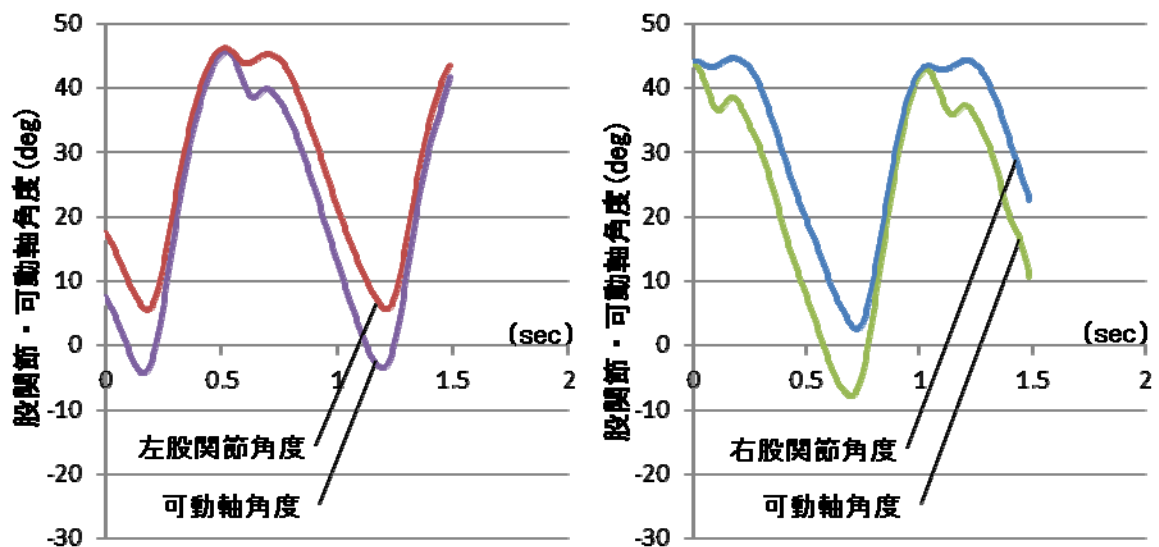


Figure 2.2-19 通常歩行時の股関節角度

この実験で使用した歩行アシストと可動軸をロックさせた位置を Figure 2.2-20 に示す。追加の実験ではロックするタイミングを変えて実験を行ったが (Table 2.2-5) 転倒に繋がるような大きくバランスを崩すタイミングは確認できなかった。



Figure 2.2-20 改造した歩行アシストとロック位置

Table 2.2-5 可動軸をロックさせた位置と回数

| 異常を発生させた脚 | ロック位置  | 回数 |
|-----------|--------|----|
| 左脚        | 伸展 15° | 1  |
| 左脚        | 屈曲 15° | 3  |
| 左脚        | 屈曲 30° | 2  |
| 右脚        | 伸展 15° | 2  |
| 右脚        | 正立 0°  | 4  |
| 右脚        | 屈曲 15° | 1  |
| 右脚        | 屈曲 30° | 1  |

ロック

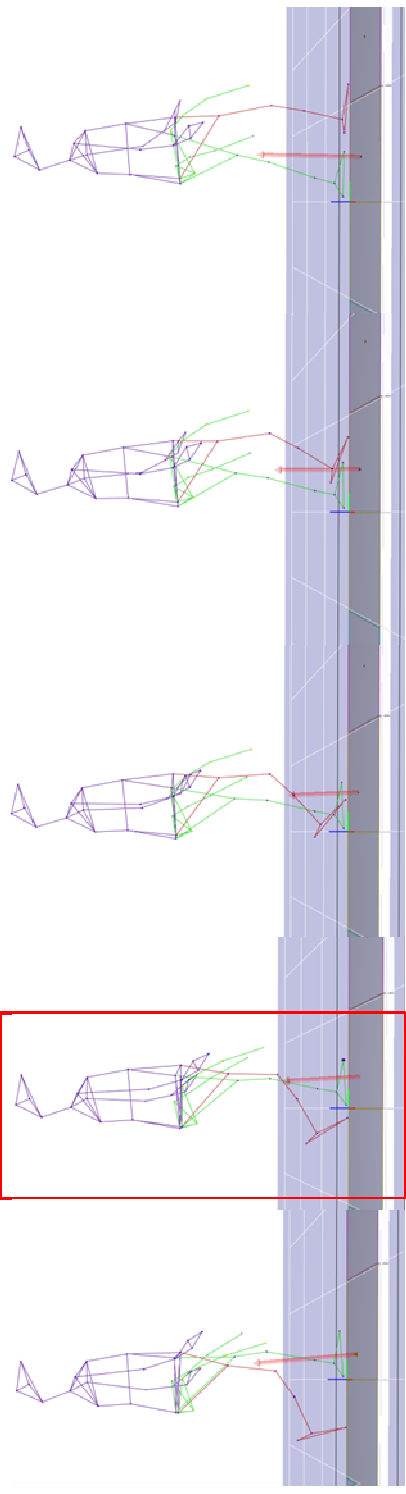


Figure 2.2-21  
ロック発生時の

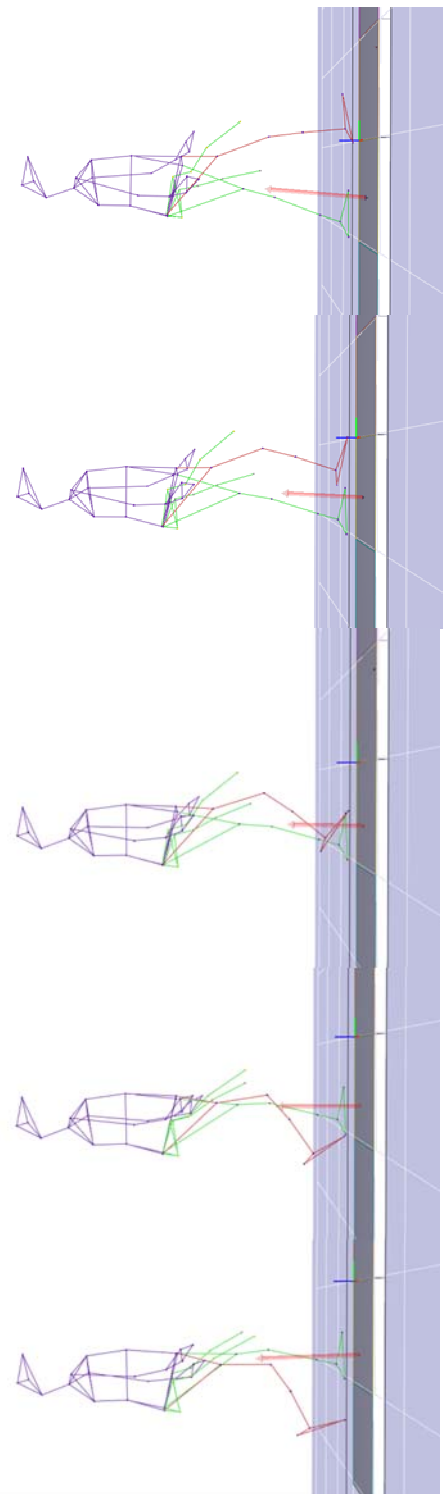


Figure 2.2-22  
通常歩行時の

Figure 2.2-21、Figure 2.2-22 はモーションキャプチャのデータから Motion Analysis 社 Cortex 5.0.1 を用いて姿勢を表したスティック図で足部の矢印は床反力の向きと大きさを表している。通常歩行と屈曲  $30^\circ$  で異常（ロック）を発生させたケースである。異常発生以降を、通常歩行とロック有りで比較をすると、床反力ベクトルの向きが、ロック有りの方が直立しており、前方への加速成分が減少していることが分かる。不意の加速度成分の増加は、転倒にいたる可能性を高めると考えられるが、このケースではその逆の反応が観察された。

また、床反力の作用点（ベクトルと床面の交点）の位置に、急激な変動は見られないことから、バランスを調整するような反応が起きていないことも分かる。よって、ロック発生では、転倒にいたるようなバランスの崩れは発生していないと言えることが出来る。

後者についてはつまずきが脚の末端、爪先近傍の動きを止めるのに比較して、股関節を固定しても脚の持っている慣性はそのまま動き続けようとする。股関節は可動軸のロックによりある程度は拘束されるが、脚を前方に振り出す動きは慣性によって止まらず、大腿フレーム、腰フレームを介して上体を後傾させるモーメントとなる。逆側の脚には拘束がないため、伸展角が拡大し上体を後傾させることができる。これにより遊脚の股関節角が拘束されていても、脚を前方に着き歩幅が確保できるために大きくバランスを崩さないで済むと考えられる。

別のタイミングでロックしたケースとして屈曲  $30^\circ$  でロックした時の股関節角を Figure 2.2-23、正立  $0^\circ$  でロックした時の股関節角を Figure 2.2-24、比較として伸展  $15^\circ$  のケースも Figure 2.2-25 に示す。正立  $0^\circ$ 、伸展  $15^\circ$  では歩行はロック後も股関節が  $20^\circ$  以上動作することが確認でき、同様な理由でバランスを崩さなかったと考えられる。

屈曲  $30^\circ$  の時はロックした右脚の可動角が  $15^\circ$  程度となっているが、右脚伸展時に左脚の屈曲が広がっている。左右脚のはさみ角で見ると、どのケースも  $30^\circ$  以上が確保できていることが分かる。特に屈曲時のロックはつまずきとは異なるケースで、屈曲した脚が伸展側で拘束されることになる。この場合は脚を前方に接地することができるので大きなバランス崩れは起こさないと考えられる。

Figure 2.2-26 にそれぞれのケースの歩行を表したスティック図を示す。最上段に異常を発生させなかった通常歩行を示している。縦線間は  $0.1$  秒で一コマが  $0.2$  秒ごとのピクチャとなっている。通常歩行と比較して床反力の向きや大きさに目立った差異はなく、バランスを崩さずに歩行できたことが読み取れる。

以上の結果から可動軸が回転しなくなった場合でも、つまずいた時のように大きくバランスを崩さない理由を考察すると、歩行アシストがベルトで人に装着されている点と、拘束されるのが片側の股関節である点が影響していると考えられる。前者はベルトや皮下組織の柔軟性によって股関節が完全には拘束されない事に依る。

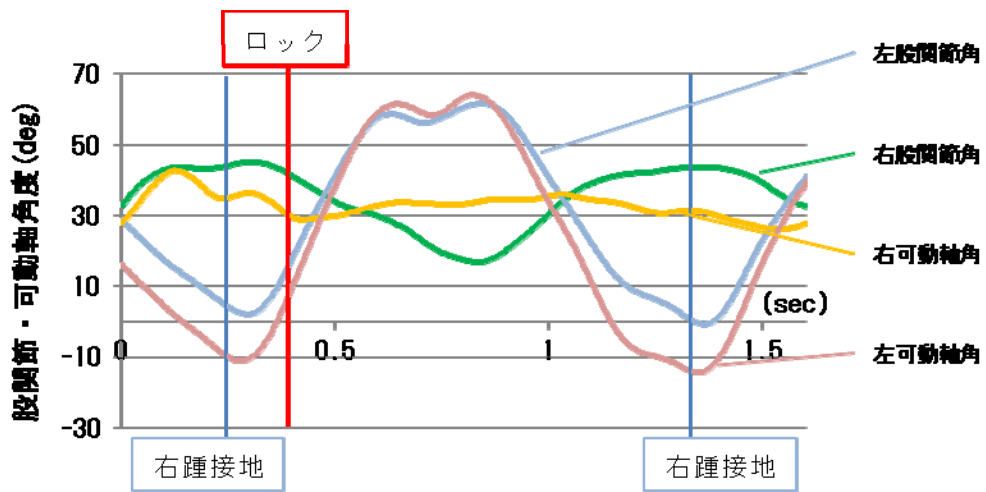


Figure 2.2-23 ロック位置屈曲 30° の股関節角度

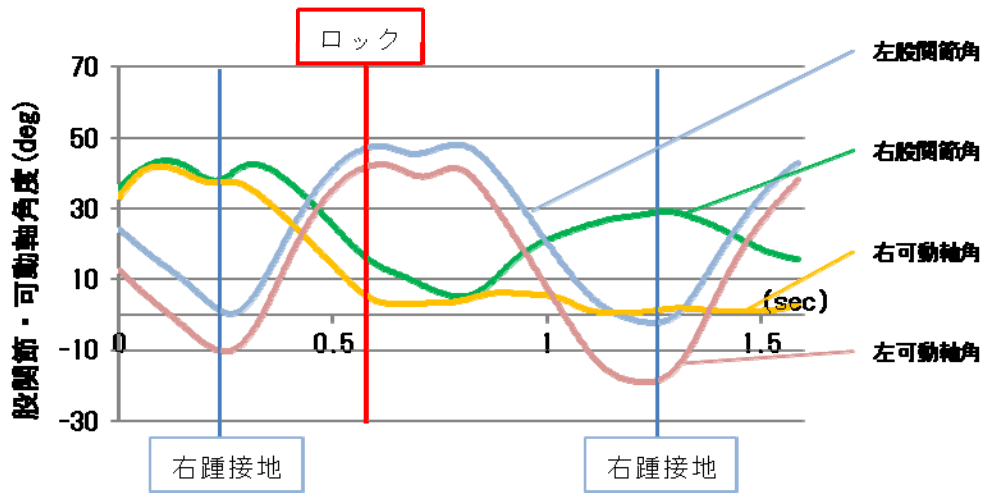


Figure 2.2-24 ロック位置正立 0° の股関節角度

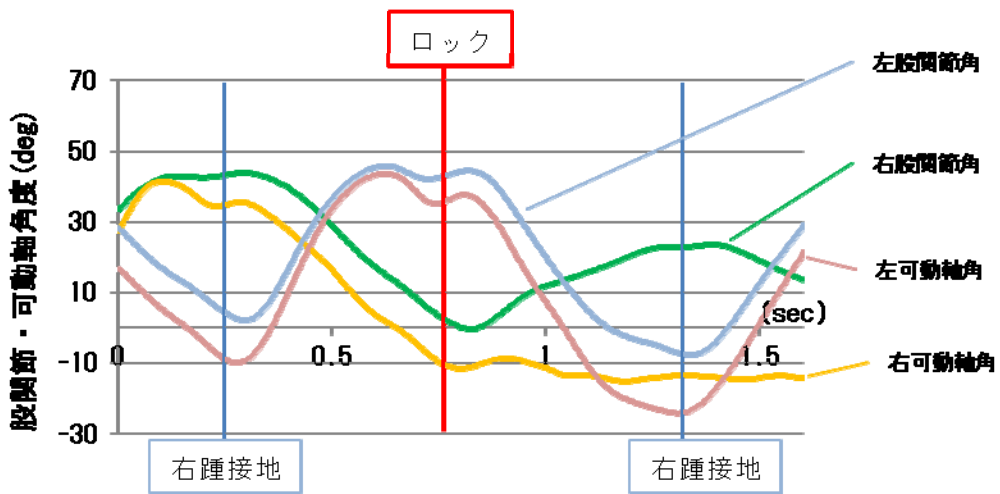


Figure 2.2-25 ロック位置伸展 15° の股関節角度



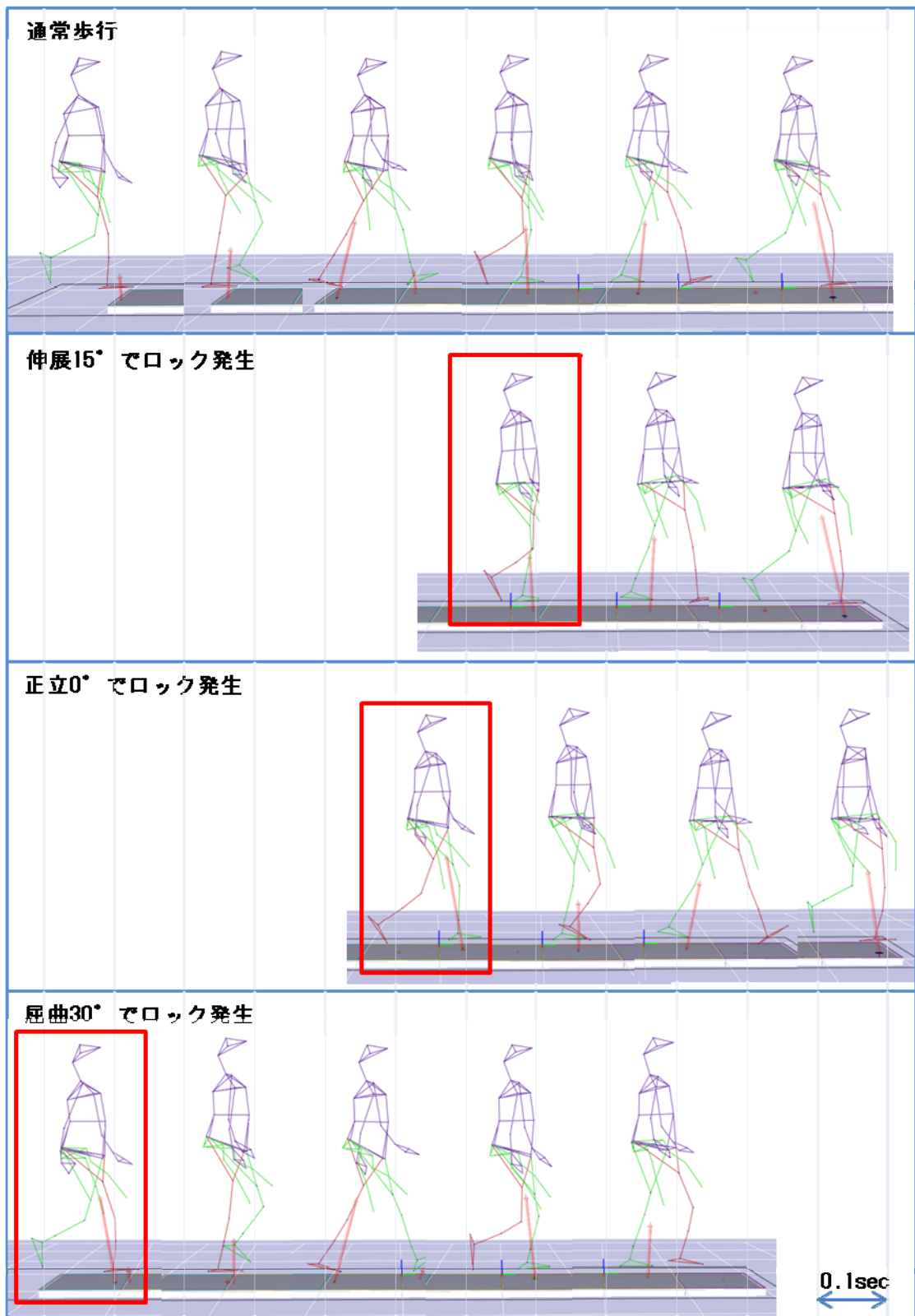


Figure 2.2-26 各ロック位置での歩容

被験者は 40 歳以下の若年～青年層であったが上記の考察に依れば、可動軸がロックした状態でも慣性により受動的に脚が振り出されるので筋力や反射が衰えていても脚の動きをある程度維持することができると考えられる。さらに岡田<sup>(7)</sup>が行った男性高齢者の歩行分析によると高齢者は若年層に比べ歩行速度が低く歩幅が少ないという結果が有意に出ている。歩行速度が低い点は慣性エネルギーが低く、異常が起こった場合にもバランスの崩れを起こしにくい方向である。可動軸がロックした場合も 20 度以上の股関節の可動角が記録されていることから、歩幅が狭い歩容は阻害される影響が相対的に小さいと考えられる。

本章では装置の異常が人に及ぼす影響の実験を行った。

- (a)アシストが無くなる、
- (b)アシストが大きくなる、
- (c)アシストタイミングがずれる、
- (d)可動軸が回らなくなる

の 4 項目のケースで転倒事象と転倒に繋がる大きなバランスの崩れは発生しなかった。この結果と運用のリスクアセスなどを総合的に見た結果、高齢者の運動教室での運用に耐える安全性を有していると判断した。

## 2. 3 安全技術を導入した歩行アシストの開発

歩行アシストの装着により転倒時のリスクが増加しないことや、装置の異常が人へ及ぼすリスクが許容可能であることが分かった。これらの安全評価は高齢者運動教室での運用を想定したリスクアセスメントから予想されたリスクであり、実環境での実証試験を行うことにより予期しなかったリスクが判明することが考えられる。市場での運用実績がある製品の場合には、過去の不具合や事故、ユーザーの誤使用など様々なデータが蓄積された結果に基づきリスクアセスメントを行うことができる。一方、本歩行アシストのような製品化されていない新しいジャンルの機器については実際に起きた不具合などの事例が少なく、リスクの洗い出しは多面的に行うことが必要である。限られた期間に比較的少数で行われる実証実験でリスク低減の方策を見出すためには、外部からの観察では判別できない不具合や、ヒューマンエラーなどを検出するために長時間の内部データを収集する必要がある。

装着型の生活支援ロボットは、人が装着して移動等を行うためにその大きさや重量に制約があり、検証用の記録装置を内蔵させることが難しい場合が多い。実環境での検証時に十分な内部データが記録できないために、不具合や誤使用が起きた場合に原因の究明が困難で十分なリスク対策ができない恐れがある。このような事態を回避するために、開発済みの機器に対して軽度のハード改修とソフトウェアの改修のみで付加できる安全検証用記録装置は、今後開発される様々な装着型生活支援ロボットにも適用できる安全技術である。

### 2. 3. 1 安全検証用記録モジュール

安全検証用として記録すべきデータは

- 1) 装着者の歩行状態を示すデータ
- 2) 歩行アシストの制御コンピュータ内部のデータ
- 3) トレーナーや装着者による事象の観察

である。1) は装着者の股関節の動きのことを示し、歩行アシストは装着者の股関節角度を股関節の回転中心に合わせて配置された股関節角度センサで読み取っている。通常歩行時の股関節角度データを時系列に示したイメージ図を **Figure 2.3-1** に示す。

縦軸は股関節の角度を示し直立時の姿勢を角度 **0** としている。脚を前に振り出す時を屈曲、脚を後ろに蹴り出す時を伸展とし左右それぞれの股関節の動きを示している。図の 1 サイクルは前方に振り出した右脚が降ろされて踵が接地 (**Heel Contact**: 図中の緑の円内) して立脚となった時から伸展して蹴り出し遊脚 (脚が接

地せず宙に浮いた状態) を経て再び立脚の状態なるまでを示している。

歩行距離や歩行速度の算出等を行う際には、股関節角度の他に脚長が必要である。しかし、機器の動作と歩行の状態を比較する場合には装着者が同一であるため相对比较が可能であり、脚長データは重要な値ではなく、股関節角度の値を歩幅の代用値とすることができる。同様に歩行速度についても1サイクルあたりの所要時間を比較することにより歩行速度の変化量を比較することができる。左右の股関節角を比較することで歩容の対称性や、つまずきなどによる外力の影響も推察することができる。また、立ち止まりや椅子に腰かけたなどの状態も歩行と区別することが可能である。

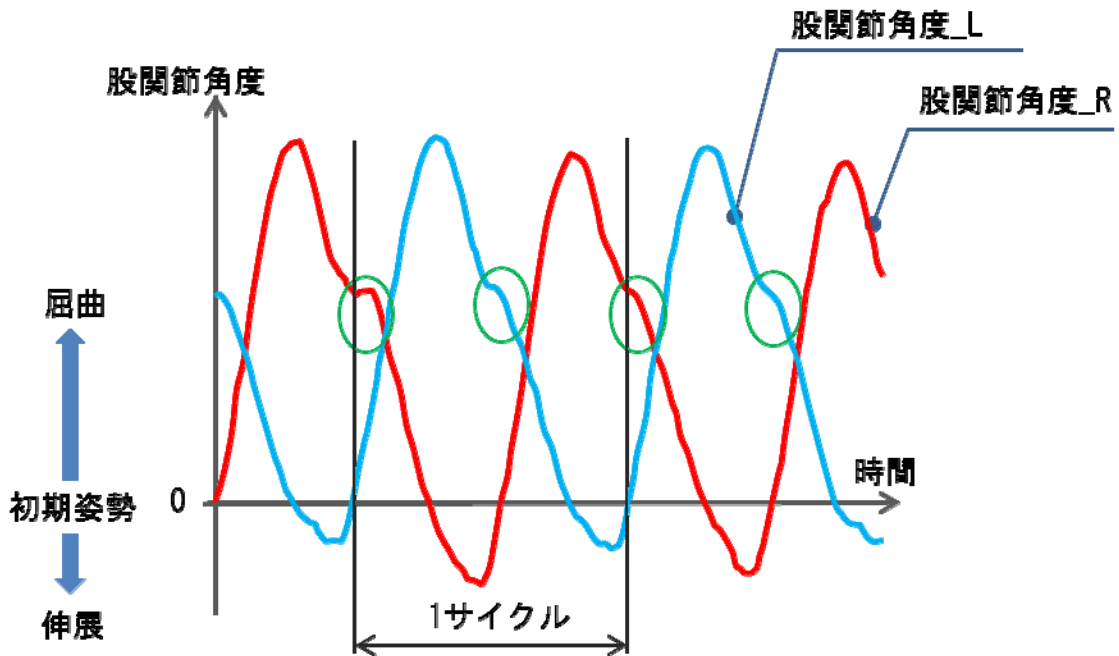


Figure 2.3-1 歩行時の股関節角の変化

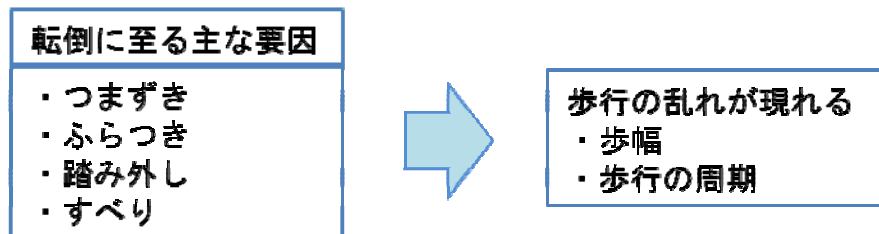


Figure 2.3-2 転倒に繋がる股関節角の変化

実装実験でのリスクでは転倒が最も大きなリスクである。転倒に至る要因は Figure 2.3-2 にある 4 つの要因が主だったものである。これらの事態が起こった場合には、歩幅や歩行の周期に乱れが現れる。つまずきを起こした場合を例にすると、つまずくのは遊脚の屈曲時であるため、屈曲フェーズにある脚の歩幅すなわち股関節角度が急に狭くなる事象が観測できるはずである。また、逆側の脚はバランスを保つために歩幅が大きくなるか、歩行の周期が急に早くなることから考えられる。転倒が起こった場合には、以上のように股関節の角度データを用いることにより歩行状態を判別することができる。

一方、2) の歩行アシストの内部データは主にアシスト力とステータスである。アシスト力はアクチュエータの出力トルクの形で表すことができる。アクチュエータが出力したトルクは、大腿フレームを介して先端部のパッドやベルトにより大腿に伝えられ、アシスト効果を得ることができる構造となっている。股関節角度と同様にアクチュエータの出力トルク値を時系列で表すことにより、歩行のどのタイミングでアシスト力を加え、その大きさや左右差などを知ることができる。アシスト力は腰フレームに内蔵された制御コンピュータが装着者の歩容に合わせ、歩幅や歩行周期を最適に調整するように決定している。そのため股関節角度データとアシスト力データを同一の時間軸で比較することにより、機器が正常に動作しているかを判別することができる。

また、ステータスデータはアシストの ON/OFF やフェイルステータス、さらに過度の衝撃を受けた場合の衝撃値記録などがあり、後から機器の状態を判別することができる。

転倒する事象が起きた場合には、1) のデータから分析された歩行の乱れと、アシスト力の関係から転倒が歩行アシストに起因する物か否かの解析ができると考える。

1) 及び 2) のデータと共に重要なのは 3) の観察データである。外部から見て、あるいは装着者どのように感じたのか、どのようなシチュエーションで起こった事態なのか把握できなければ分析すべき内容が不明となってしまう対策の要否すら決められなくなる。観察データはトレーナーや装着者が起こった事象を書き留めることで得ることができる。

上述の詳細データを全て記録するとデータ容量が膨大となり、大きな記録容量を必要とする。さらに歩行アシストの内部データを記録するために、歩行アシストのシステム側からデータを送信しなければならない。通信容量が膨大であると既存のシステムに機能的な障害を起し、実証実験ができなくなる。安全検証のためには検証する機器のシステム自体を大きく変更するわけにはいかないため、通信量を抑えることが必要であり、必要とするすべてのデータを記録するのではなく、通信データのシンプル化が課題であることが分かった。

安全検証用記録モジュールの機能概要を以下に示す。

### 【機能概要】

- ・安全検証用記録モジュールは、アシスト機使用時に常時装着、通信接続する。
- ・安全検証用記録モジュールは、アシスト機起動時に、日時、ユーザー情報、アシスト設定データを送信する。
- ・安全検証用記録モジュールのセレクト SW により、アシスト [強] [中] [弱] の調整が可能。
- ・アシスト機稼働中は、ユーザーの動作情報、異常発生情報などを、定期的なイベントデータとして安全検証用記録モジュールに送信し、安全検証用記録モジュール内蔵メモリに記録する。
- ・安全検証用記録モジュールをパーソナルコンピュータに接続し、アシスト機セットデータの初期化を行う。
- ・安全検証用記録モジュールをパーソナルコンピュータに接続し、記録データをパーソナルコンピュータに蓄積（ファイル生成）する。
- ・安全検証用記録モジュール単体は、内蔵バッテリーにより、リアルタイムクロック (RTCC) を常時稼働させる。
- ・アシスト機/PC 接続時は、接続先からの電源供給により、全回路が稼働する。
- ・アシスト機/PC に接続した時点で、安全検証用記録モジュールは Wakeup し、所定の機能を実行開始する。
- ・アシスト機/PC から接続解除となった時点で、安全検証用記録モジュールは Sleep 状態となり、RTCC の稼働のみ継続する。



Figure 2.3-3 安全検証用記録モジュール仕様の歩行アシスト

## 2. 3. 2 課題の解決手法

データをシンプル化するためには歩行状態を表す特徴点に絞り込むことが求められる。踵の接地時 (Heel Contact)、屈曲(伸展)時の股関節角度ピーク値、遊脚時間、左右の脚の交差時角度、股関節角度 0 の時刻、歩行周期など歩容を分析する点は多数存在するが、記録後のデータ分析により算出できる値は記録しないこととし (Figure 2.3-4)、最もシンプルなデータに絞り込むこととした。Figure 2.3-5 は歩行時の股関節角度のピーク値とその時刻を記録することで算出可能なデータを示したもので、①～⑩の値が算出可能であることが明らかである。一步毎に股関節角度のピーク値と時刻を記録すれば歩行状態を分析するためのデータが算出できるので、データをスリム化しても歩行状態を記録する目的が果たせることが分かった。

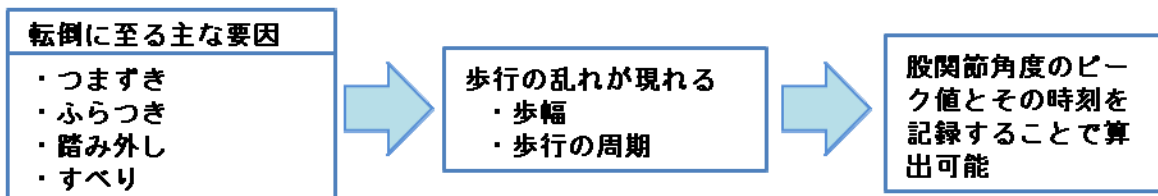


Figure 2.3-4 データのシンプル化

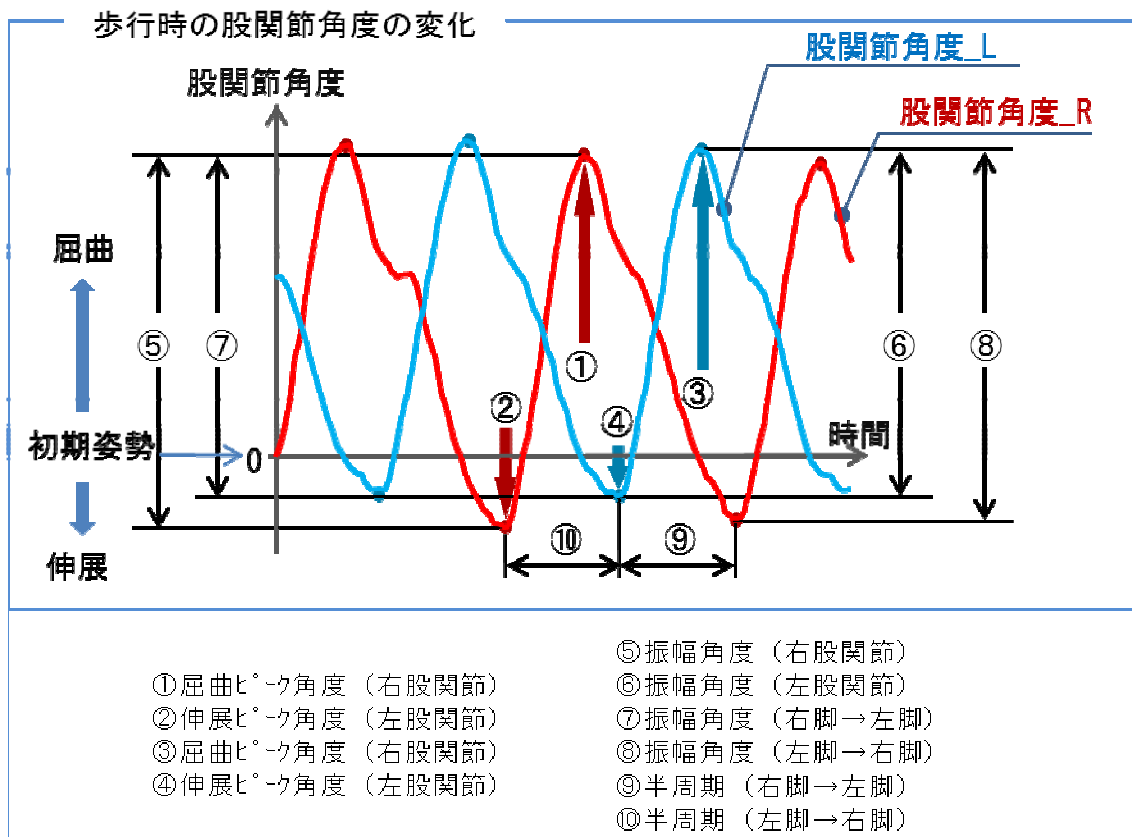


Figure 2.3-5 シンプル化したデータからの算出

### 2. 3. 3 安全技術を導入した歩行アシスト

データのシンプル化により構築した安全検証用記録モジュールとデータ解析用のソフトウェアにより構成した安全検証用データ解析システムをFigure 2.3-6に示す。2.5章に後述する実環境での実証実験に用いるため、開発した安全検証用記録モジュールを導入した歩行アシスト 45 台を製作した。

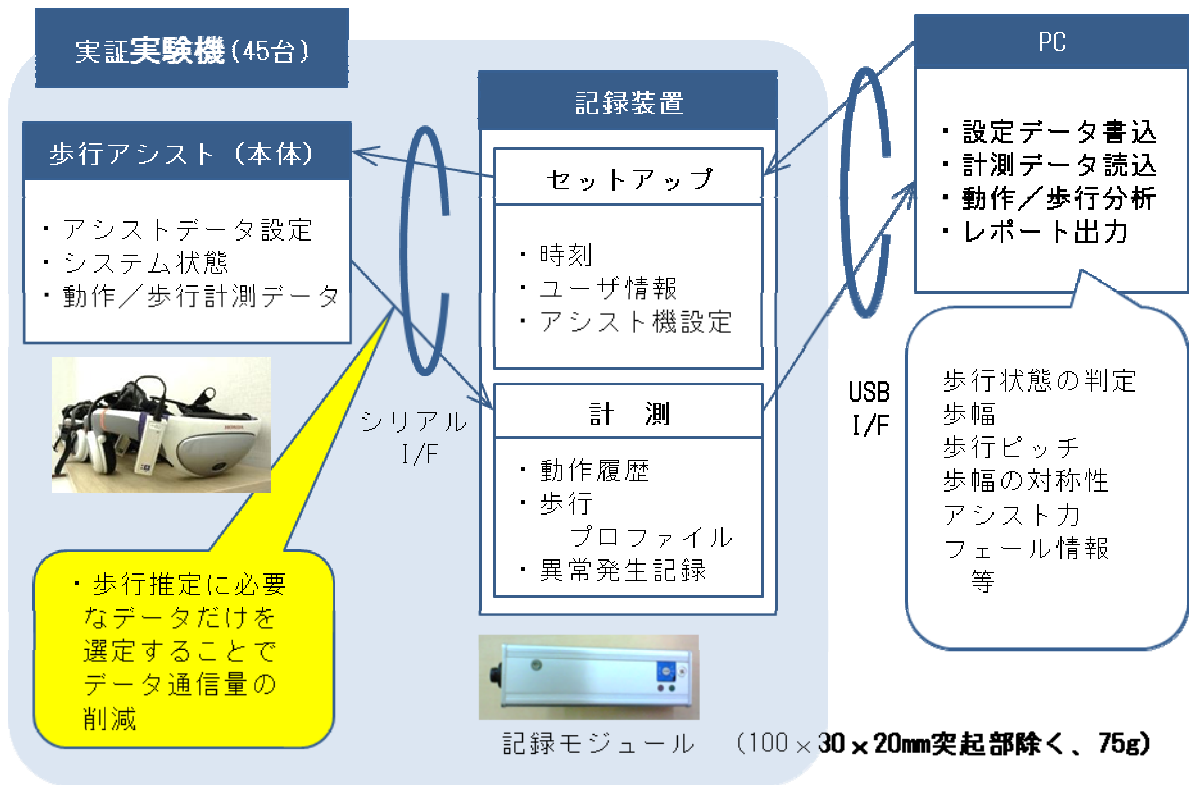


Figure 2.3-6 安全検証用データ解析システム

### 2. 3. 4 実証データ

記録したデータにより歩行状態を分析した結果をFigure 2.3-7に示す。遊歩道を歩行した際の歩行データを示したもので、歩行コースの途中でアシスト ON とアシスト OFF の両方の状態が含まれている。上段のグラフは横軸を歩数、縦軸を角度及びアシスト力を示している。左右の股関節角度は伸展時と屈曲時のピーク値を一步ごとに示している。アシスト力についても同様に一步毎のアクチュエータ出力トルクのピーク値を示している

図に示したアシスト ON 区間とアシスト OFF 区間はこのトルク値から判定が可能である。歩行の状態をより詳しく分析するために、アシスト ON/アシスト OFF の区間それぞれから 100 歩分の平均値として表したものが下部のグラフである。アシスト ON の時には左右の歩幅や周期において対称性が良くなっていることが分かり、シンプル化したデータから歩行状態の変化が解析可能であることが検証できた。



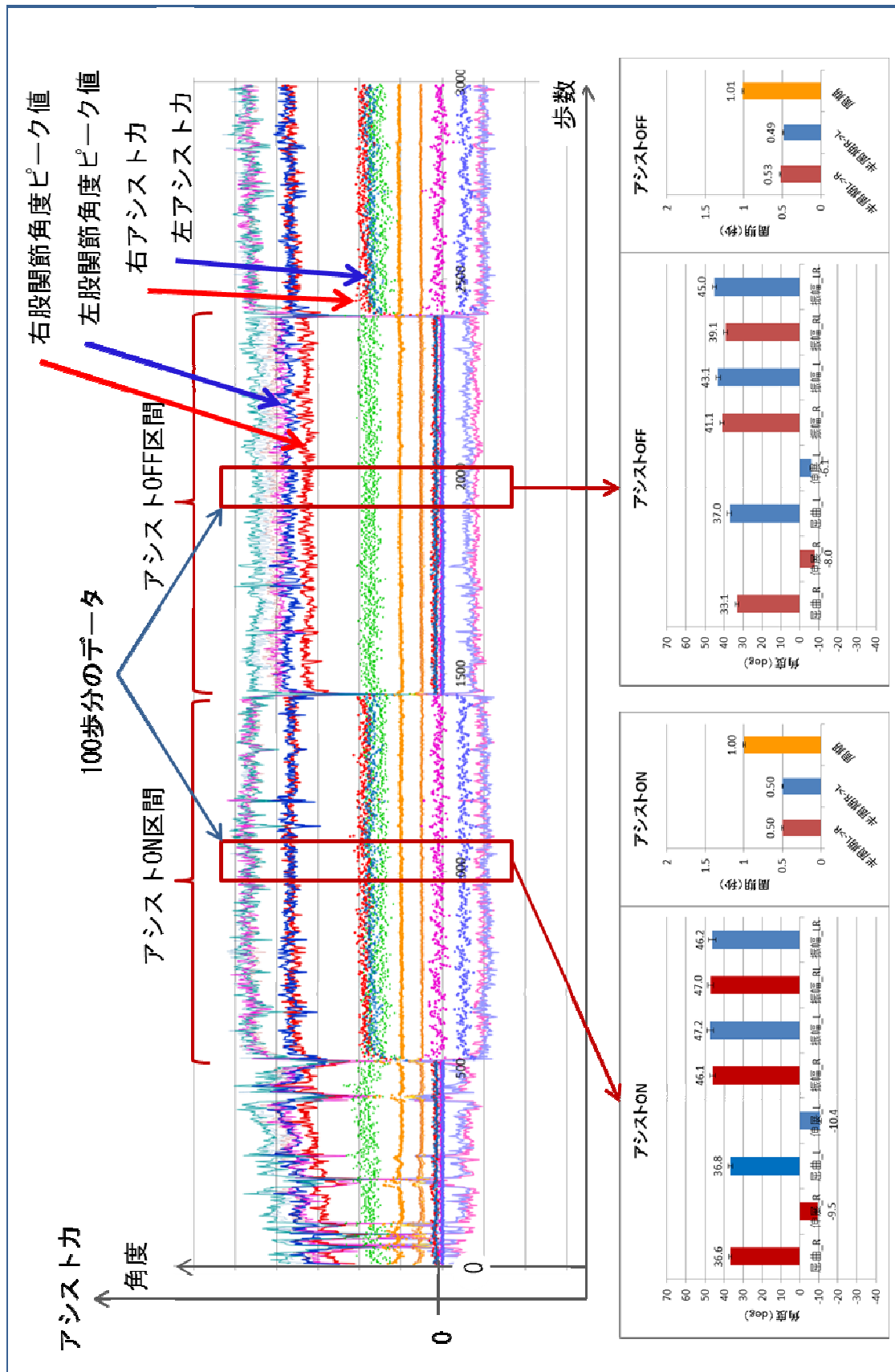


Figure 2.3-7 記録

実証データの 2 例目として「突然アシスト力が無くなった」事象の解析フローを Figure 2.3-8 に、記録データ分析結果を Figure 2.3-9 に、示す。

「突然アシスト力が無くなった」という事象に対し、装着者及びトレーナーのコメントからアシストが突然無くなったが、その後正常に動いていたことが分かる。アシストしなくなる事象としてはバッテリー切れや電装基板の故障などが考えられるが、記録モジュールのデータからモータ温度が通常よりも上昇したことを示すステータスが確認された。これはモータやハーネスなどの過熱保護機能ではなく、誤使用などによる通常とは異なる使用条件や、正しくアシスト力を発生していないことに対して設けられたフェールセーフ機能である。この機能が働いたため、制御コンピュータがモータへの動力供給を OFF にしたことがアシスト切れの直接原因であったことが分かる。Figure 2.3-9 の記録モジュールのデータを示したグラフは横軸に歩数、縦軸に一步毎の股関節角度やアシスト力が示されている。グラフからフェール発生の前にアシスト力の左右差が確認される。この左右差により、片側のモータにのみ大きめの電流が流れ続けていたために、通常よりもモータ温度が上昇しフェールセーフの閾値を超えたものであることが分かる。また、電源を入れ直した後からはアシストトルクの左右差が解消されているのでアシスト機自体の故障ではないことが確認できる。さらにフェール発生以前のアシスト力は、アシスト ON した時点から常にアシスト力の左右差が発生している点と、さらにそれ以前にはアシスト力の左右差がないことから、アシスト機の初期姿勢指定間違いが原因であることが判明した。歩行アシストの初期姿勢指定方法は電源投入時の姿勢が原点となるようにプログラムされており、使用手順として直立の姿勢を保ったまま電源を入れることが定められている。初期姿勢の指定を行うユーザーのオペレーションの誤りで、本来は脚をそろえた姿勢ではなく、左右の脚を開いた状態で電源を投入し、誤った位置を初期姿勢として歩行アシストに指定してしまったことが要因であることが判明した。

この結果から、初期姿勢の指定が「電源を入れる」という別の目的の動作と一緒にになっていることがユーザーの混乱を招きやすく、アシスト力がユーザー自身に不快感を与えるほど大きくないことが直ちに気づきにくくしていることが判明した。直ちに安全を害するものではないが、歩行アシストの効果を損なうものであるため対策を行った。初期姿勢指定の手順を見直し、ユーザーが意識して取り組むように初期姿勢指定のモードを追加することとし、運用などのソフト面だけではなく装置側で対策を行うことができた。

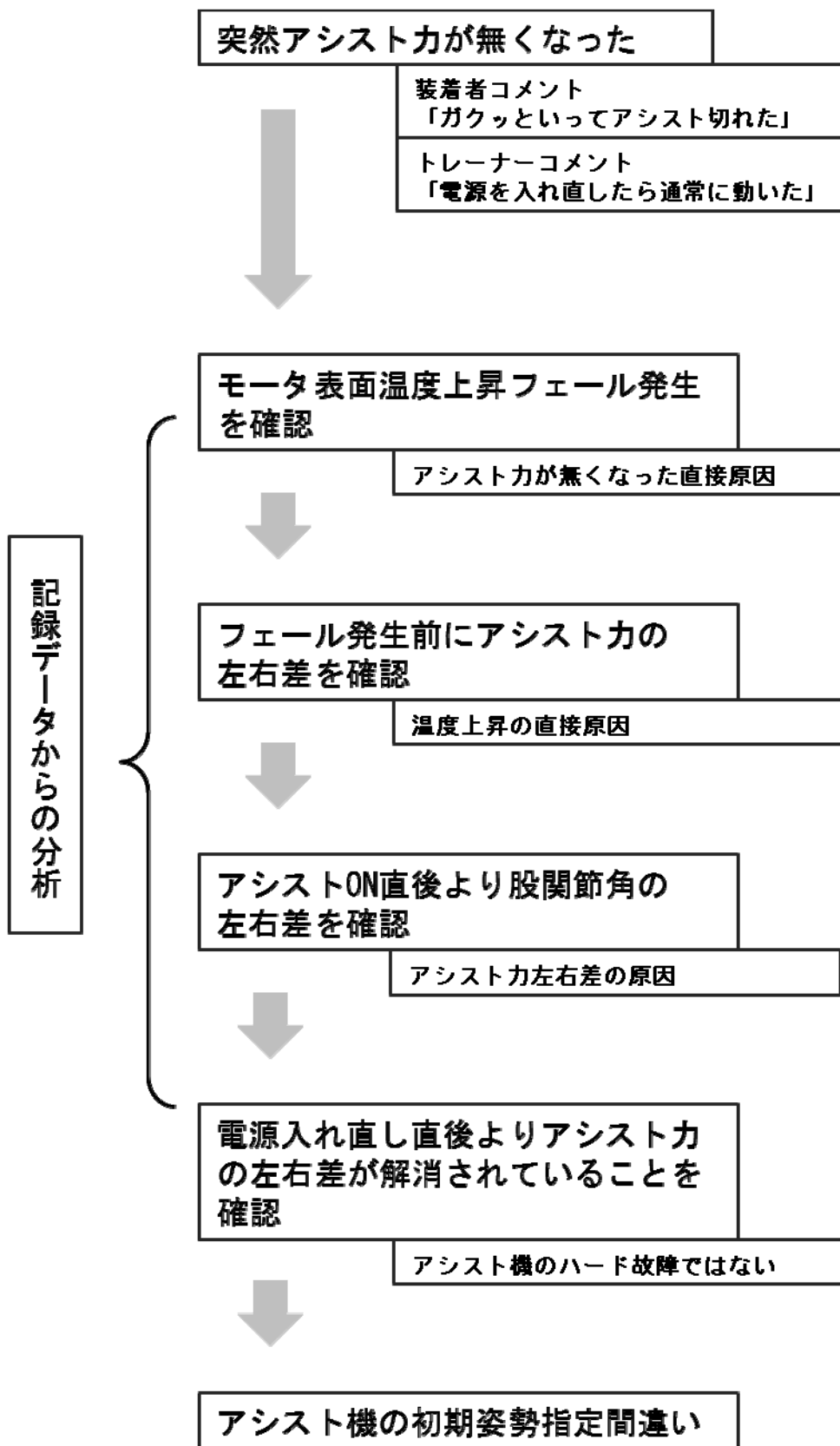


Figure 2.3-9 アシストオフ事象分析フロー

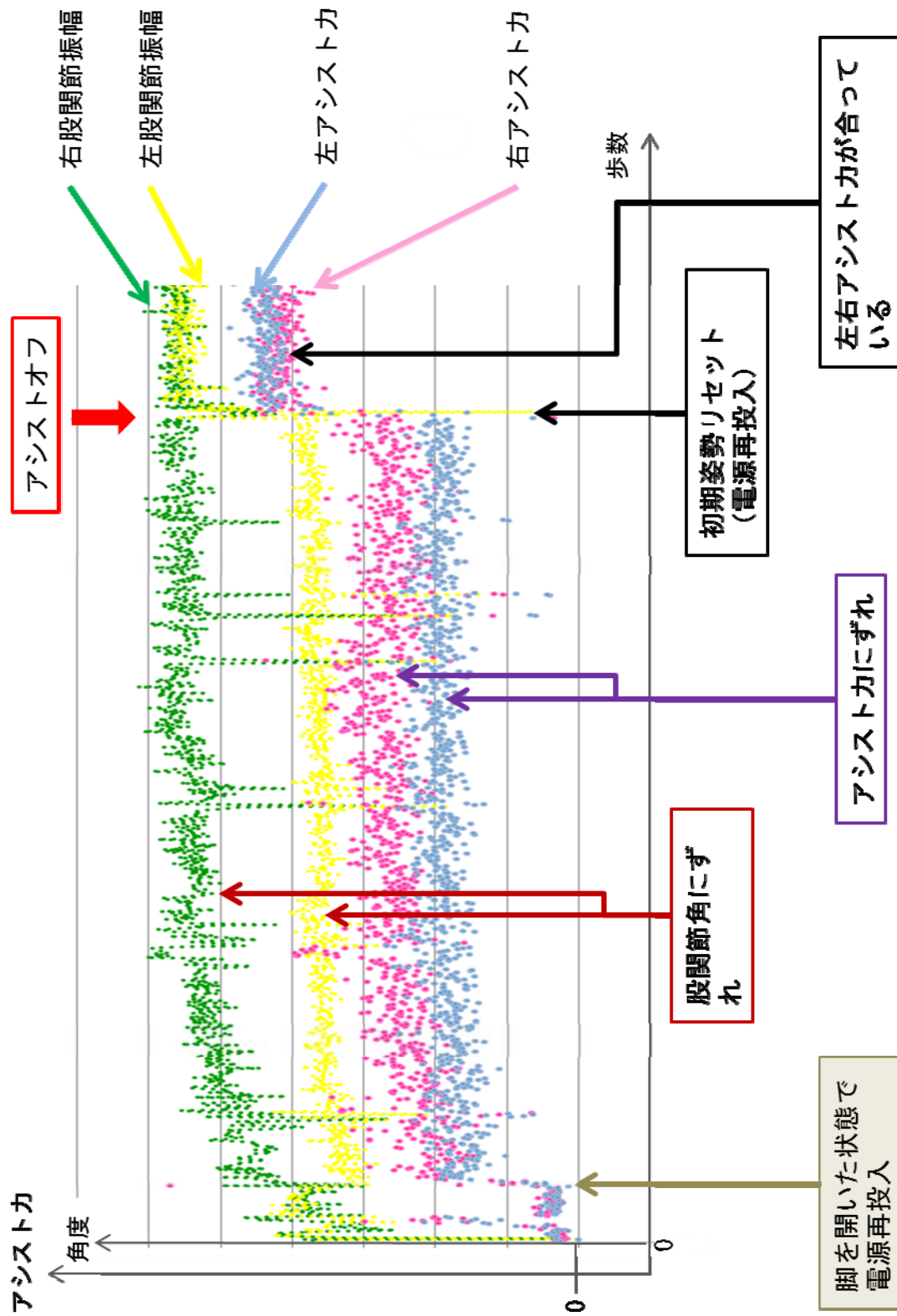


Figure 2.3-9 アシスト

## 2. 4 安全検証試験

歩行アシストはパーソナルロボットの国際安全規格 **ISO13482** の認証プロセスのパイロットスタディーとして設計コンセプト認証を行っている。選定した安全性試験について述べる。

### 2. 4. 1 ISO13482 安全要求項目

歩行アシストのリスクアセスメントにより、転倒に繋がる事象について安全評価を行ってきた。転倒以外の安全にかかわる検証項目はパーソナルロボットの国際安全規格 **ISO13482** とその参照規格を用いることとした。**ISO13482** の「5 項. 安全要求事項と保護方策」は、それぞれ「本質安全設計」「安全防護策」「使用上の情報」に関しての手法と要求事項を示しており、その中から人間装着型生活支援ロボットに適用する要求事項を明らかにするため、各項目についての適用可否の確認を行い検証すべき試験項目を決定した。(Table 2.3-1)

Table 2.3-1 歩行アシストに適用する

ISO13482 「5 項. 安全要求事項と保護方策」 項目

| 試験項目   |                        | 適用 |
|--------|------------------------|----|
| 耐環境性   | 耐環境性試験<br>(温湿度・振動)     | ○  |
|        | 感電試験                   |    |
|        | 放射温度測定試験               | ○  |
|        | 騒音測定試験                 | ○  |
| 耐荷重衝撃性 | 耐荷重試験                  | ○  |
|        | 耐衝撃試験                  |    |
| 安全性    | 走行安定性試験                |    |
|        | 静的安定性試験                |    |
| 耐久性    | 走行耐久性試験                |    |
|        | 耐久性試験<br>(装着型)         | ○  |
|        | 縁石落下耐久試験<br>(野外型が対象)   |    |
| 制御性能   | 環境認識性能試験<br>(センサ単体を対象) |    |
|        | 軌道追従安定性試験              |    |
|        | 障害物(移動・静止)<br>検知・対応試験  |    |
|        | 緊急停止性能試験               |    |
| 対人安全性  | 衝突安全性試験                |    |
|        | 対人安全性接触安全性試験           |    |
|        | 操作・情報提示機能検証試験          |    |
| 通信の信頼性 | 有線・無線通信に関する安全性・信頼性試験   | ○  |
| 機能安全性  | 機能安全性確認試験              |    |

## 2. 4. 2 試験項目と試験結果

前章で適用とした安全検証試験のうち、有線・無線通信に関する安全性・信頼性試験方法についての詳細を示す。この試験は外部からの電磁妨害により歩行アシストが異常動作して人体に影響を及ぼすリスクがないことを検証するものである。

試験方法の策定及び計測については「生活支援ロボット実用化プロジェクト 研究開発項目① 生活支援ロボットの安全検証手法の研究開発」に参画している(独)労働安全衛生総合研究所と共同で行っており、実際の計測は生活支援ロボット安全検証センター行った。

有線・無線通信に関する安全性・信頼性試験の判定は電磁妨害下の歩行アシストの動作に異常がないことを目視にて観察するとともに、安全検証用記録モジュールに記録したデータを分析することで、アシストが誤動作していないことを確認することで行った。

IEC62061:2005Annex E を参照して決定したレベルを以下に示す。

- ・ 静電気放電(ESD) IEC61000-4-2  
±2kV , ±4kV , ±8kV
- ・ 放射電磁界 IEC61000-4-3  
20V/m(80 MHz~1GHz) , 6V/m (1.4GHz~2GHz) , 3V/m (2GHz~2.7GHz)
- ・ 電源周波数の磁界 IEC 61000-4-8  
30A/m

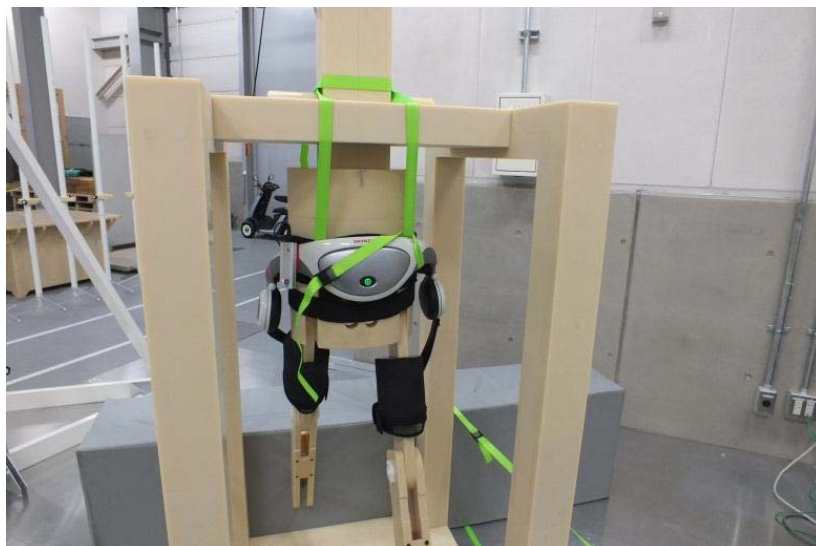


Figure 2.4-1 ダミーに装着した歩行アシスト

評価試験は歩行アシストを樹脂製のダミーに装着(Figure 2.4-1)し、メイン電源 ON での待機状態と、メイン電源 ON でアシスト機能を働かせ歩行動作継続中の 2 つ

の状態で行った。静電気放電試験は Figure 2.4-2 に示す 5 ポイント（気中放電）と垂直結合板（4 方向）印加を行った。本体は絶縁された構造のため気中放電で正負の印加を交互に行った。本体を計測する電位計は歩行動作中において+9kV 程度の帯電を測定したが、歩行アシストの誤動作は観察されなかった。また、安全検証用記録モジュールのデータ分析からも誤動作が無いことが確認された。

#### アシストスイッチ周辺（左右）

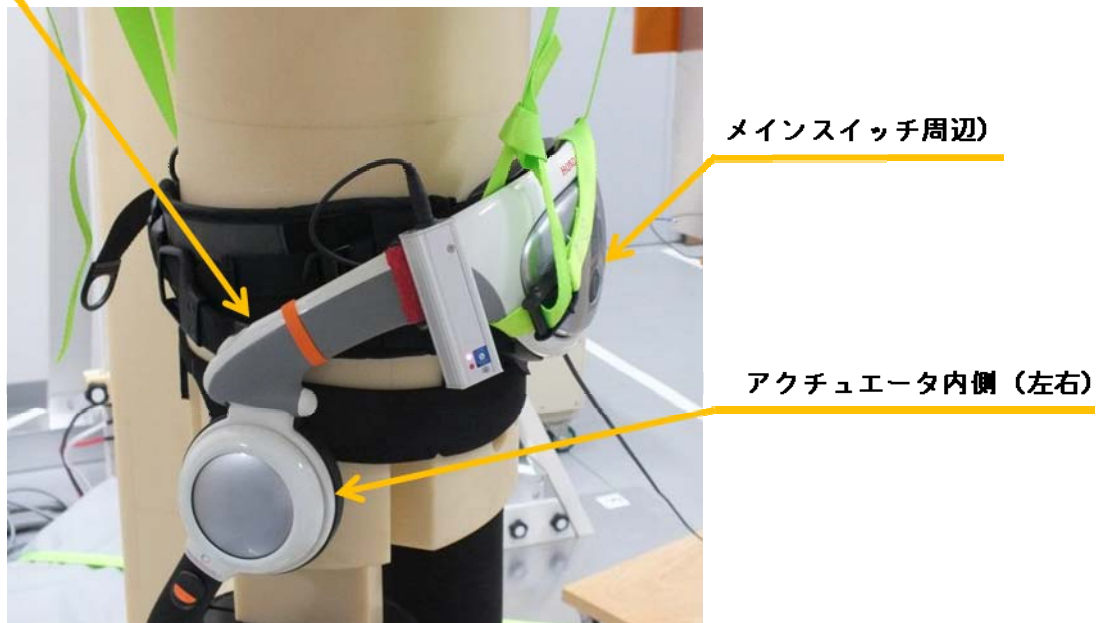


Figure 2.4-2 気中放電ポイント

放射電磁界試験はダミーごと電波暗室内に設置して規定の照射を行った。電源投入のみの状態ではどの照射条件でも誤動作は観察できなかった。メイン電源 ON でアシスト機能を働かせ歩行動作継続中の状態では 20V/m (80 MHz~1GHz) の条件の時にフェイルステータスを表示し動作が停止した。フェイルステータスは最低で 11.25V/m の出力で起こっており 10V/m は超えていることが分かった。この誤作動は動作停止となるため人体に影響を及ぼすリスクとはならない安全側での停止である。

電源周波数磁界試験は放射電磁界試験と同様に行い水平 2 方向、垂直 1 方向から電磁波を照射したが、何れの場合でも誤作動は観察されず安全検証用記録モジュールのデータ解析でも誤作動が無いことが確認された。

生活支援ロボット安全検証センターでは、有線・無線通信に関する安全性・信頼性試験の他、大型高温高湿室での温湿度サイクル試験や、パッシブ人型ダミーに装着しての動作耐久試験、放射温度試験を行った。歩行アシストで行った安全検証試験とその結果を Table 2.4-2 に示す。

これらの安全検証試験の結果、歩行アシストは実環境での実証試験で運用できるだけの安全性を備えていることが確認できた。



| 試験項目                 | 試験内容  | 結果                           |
|----------------------|---|------------------------------|
| 耐環境性試験<br>(温湿度・振動)   | 最悪想定使用環境(温度、湿度、振動)下における機構部、電源部、動作機能の劣化を確認<br>高温(40°C,85%RH)⇒常温⇒高温⇒<br>常温⇒低温(0°C)⇒常温 | ○<br>試験前、試験途中、試験後で状態に変化なし    |
| 放射温度測定試験             | 満充電バッテリー稼働時間分の稼働を行った後、装置表面の温度を計測  | ○<br>室温+10°C以内であり装着者への影響なし   |
| 騒音測定試験               | 動作中に騒音レベル(80dB(A)以下)であることを確認する  | ○                            |
| 対荷重試験                | 通常使用状態で想定される静的荷重に対する機械的耐性と機能への影響を評価する   | ○<br>フレームの破壊試験を行い強度余裕を確認     |
| 耐久性試験(装着型)           | 長時間連続使用による耐久性を評価する  | ○<br>200万歩(2年相当)の作動耐久で故障なし   |
| 有線・無線通信に関する安全性・信頼性試験 | IEC62061:2005水準の電磁妨害印加テストを実施<br>静電気放電、放射電磁界、電源周波数の磁界                                | ○<br>目視・内部ログ解析より想定したリスクは発生せず |

Table 2.4-2 実安全検証試験とその結果

## 2. 5 実証実験

### 2. 5. 1 実環境実証実験概要

生活支援ロボットの有用性、安全性の評価を行う上で、想定する環境、ユーザーなど、利用形態に則した実環境での評価実験は重要な位置づけとなる。本実験では独立行政法人国立長寿医療研究センターと共同で、愛知県大府市在住高齢者の中から虚弱リスクのある高齢者を募集し、歩行アシストを装着した運動介入効果検証を実施することとした。本プロジェクトでは、安全検証用記録モジュールを搭載した歩行アシスト 45 台を製作・提供することで、介護予防のための高齢者運動教室という実環境での機器の安全性の確認と事前のリスクアセスメントでは想定できなかったリスクの把握を目的とする。

実施期間は 2012 年 8 月末から翌年 5 月までの 9 か月間、11 月までは週 2 回、その後は週 1 回の、計 48 回を予定する。実験参加者の募集は、長寿研が大府市在住高齢者に対して実施した「脳とからだの健康チェック」という高齢者機能健診において、「体重減少」「疲労感」「身体活動」「握力」「歩行速度」の検査項目の 2 項目以上に「虚弱」リスク有と判定された高齢者を対象とした。

#### ・虚弱高齢者

下記 5 項目のうち、2 つ以上の虚弱リスクを有する

- ①体重減少： この 2 年間で体重が 5%以上減少したか（はい）
- ②疲労感： 自分は活力が満ち溢れていると感じるか(いいえ)
- ③身体活動： 軽い運動、体操（していない） & 定期的な運動、スポーツ（していない）
- ④握力： 男性 26kg 未満、女性 17kg 未満
- ⑤歩行速度： 男性 1.0m/s 未満、女性 1.0m/s 未満

(Fried ら<sup>(8)</sup>の基準を一部改変)

ただし、次に該当するものは対象外とする

- a. 神経疾患（脳卒中、パーキンソン病など）
- b. 介護認定者
- c. うつ病
- d. 重度の視覚、聴覚障害
- e. 杖なしでの歩行が困難
- f. ペースメーカー着用
- g. 歩行速度 0.6m/s 以下、1.2m/s 以上

対象者の選定の結果、参加高齢者は男性 48 名、女性 30 名の計 78 名となった。年齢の割合と参加時の歩行体力を示す 6 分間の歩行距離をそれぞれ Figure 2.5-1、

Figure 2.5-2 に示す。

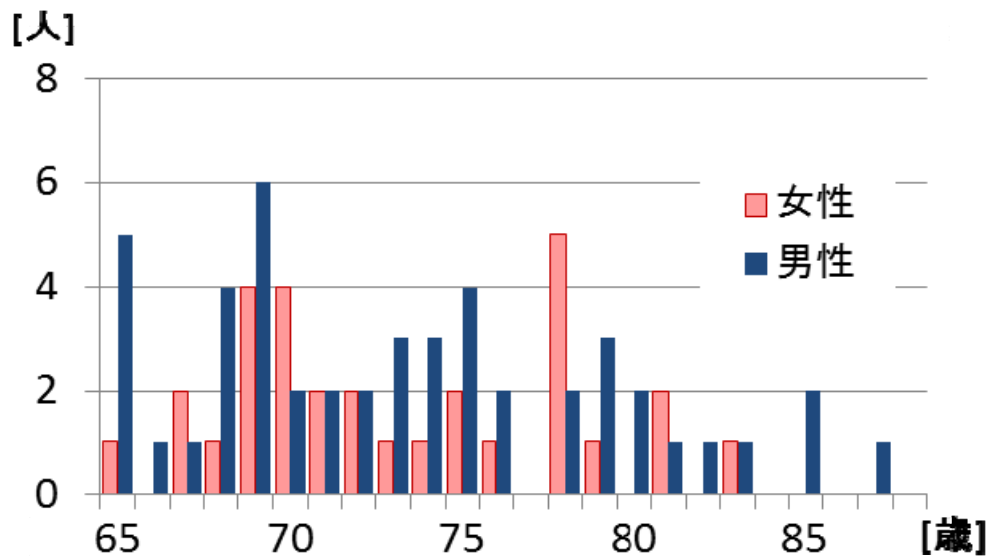


Figure 2.5-1 参加者の年齢構成

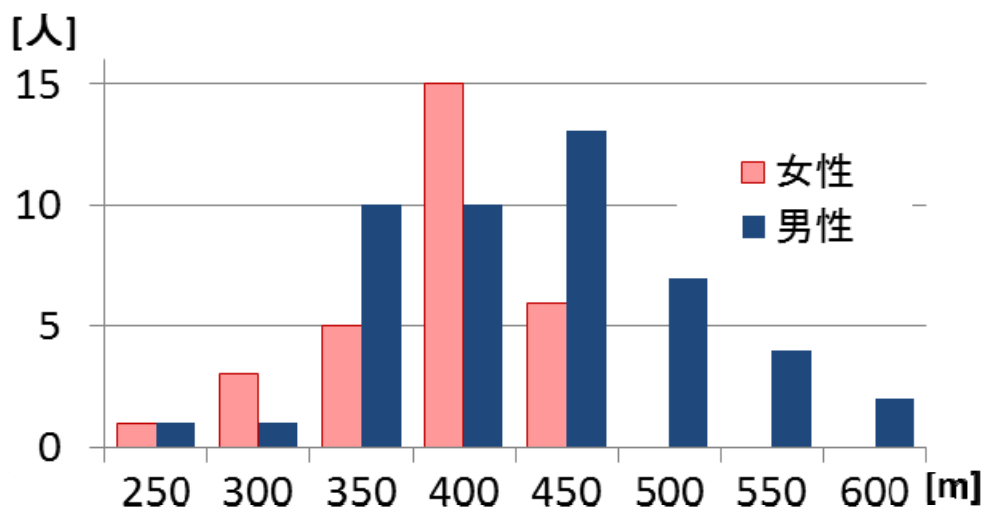


Figure 2.5-2 参加者の6分間歩行距離

実施形態としては、ショッピングモールの一角にスペースを設け、ここに1日3クラスに分けた高齢者が集合する。この場所で受付、準備運動などを行いアシスト機器を装着し、屋外の遊歩道まで移動し30~40分約5000歩の歩行訓練後、再びショッピングモールのスペースに戻り、整理体操などを行う、トータルで1.5時間程

度の活動を設定した。クラス別の参加人数を Table 2.5-1 に示す。各クラスにはトレーナーとして、理学療法士などの指導員 2～3 名、装着や誘導などのサポート要員 5～6 名を配置し、運動指導及び安全管理の体制としている。また Honda から機器の準備、計測対応として 1 名が参加している。

Table 2.5-1 運動教室のクラス

|               | アシスト機器利用群                                 | アシスト機器利用群                                 |
|---------------|---|---|
| 期間            | 前半  | 後半  |
| 回数            | 週 2 回（月曜、木曜）                              | 週 1 回（木曜）                                 |
| 拘束時間          | 90 分（歩行 60 分以下）                           | 90 分（歩行 60 分以下）                           |
| クラス人数         | 30 名程度                                    | 30 名程度                                    |
| 運動教室<br>開催時間帯 | 10:00～11:30<br>13:00～14:30<br>15:00～16:30 | 10:00～11:30<br>13:00～14:30<br>15:00～16:30 |
| スタッフ数         | 10 名                                      | 8 名                                       |

期間中 55 回の運動教室が開催され、延べ 2977 回の歩行アシスト使用実績が得られた。この期間中で機器が原因となる転倒や、怪我など装着者へダメージを与える事象は発生していない。

## 2. 5. 2 誤使用及び想定していない使用方法の事例

実証実験に先立って行ったリスクアセスメント(2. 1.2 参照)では、前提条件として運用におけるユーザーの誤使用を予測している。(Table 2.1-2)

当初の予測以外に考慮すべき事象の有無を検証するために、本実証実験では、運動教室で運用した際に発生した通常の想定と異なる事象について記録している。ユーザーの誤使用、機器や運用の不具合、設計時に想定していない使用方法など、人に対してダメージを与えるハザード源と直接つながらない事象も記録している。

記録した誤使用／不具合／想定外事象の要因が観察や当事者の証言から特定できない場合は、安全検証用記録モジュールのデータを用いて装置の状態や前後の歩行状態から分析を行い、歩行アシストに起因するか否かの判断を行った。Figure 2.5-3 に実施した日ごとの参加者と誤使用／不具合／想定外事象の件数を示している。運動教室開始当初に 5 件あった誤使用／不具合／想定外事象が一度観測されなくなるが、歩行訓練や機器の取り扱いになれる 1 か月後位から再び件数が増加している。

運動教室が終盤に入ると日に1、2件と前半に比べ件数は少なくなっている。

誤使用／不具合／想定外事象の詳細についてはTable 2.5-2～Table 2.5-8に示す。表中で示した分類番号は当初のリスクアセスで想定していた環境ハザード源と合理的に予見できる誤使用の他、新たにリスクとして考慮すべき内容を示している。番号と分類をTable 2.5-9に示す。それぞれの件数は誤使用／不具合／想定外事象の要因から重複してカウントしている。

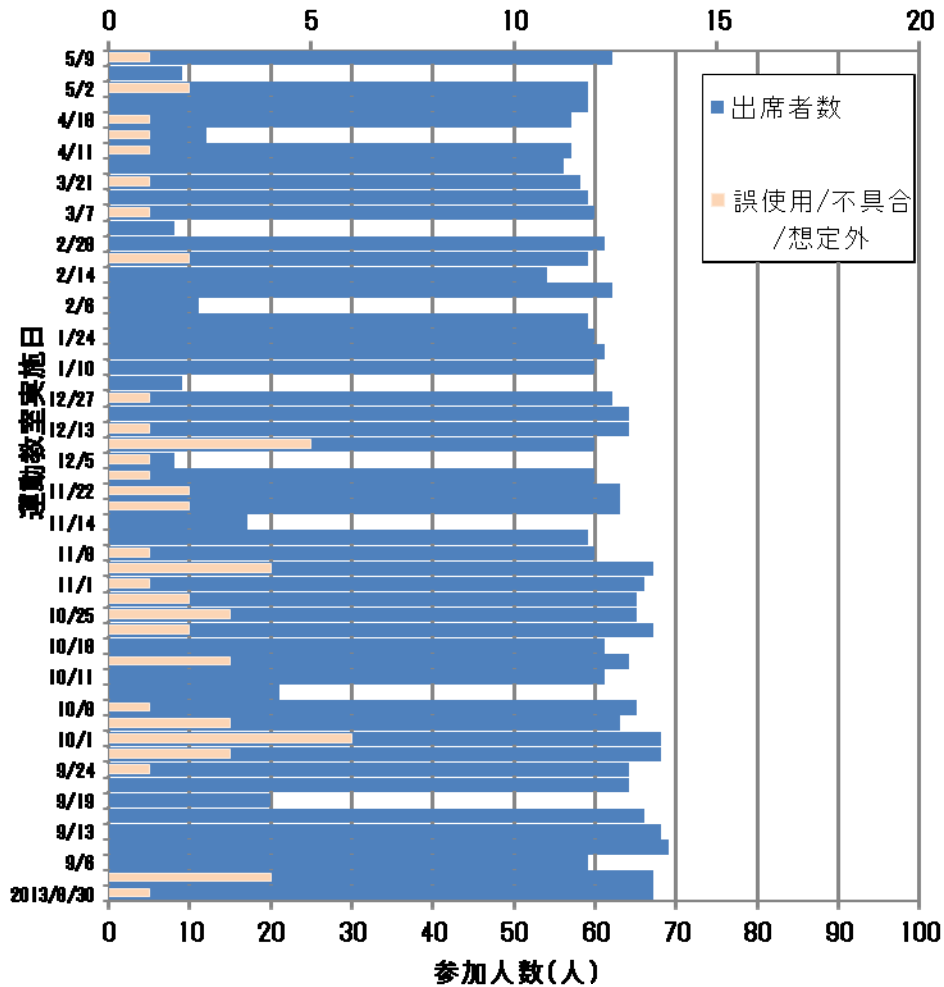


Figure 2.5-3 参加人数と誤使用／不具合／想定外件数

| No. | 発生日         | 誤使用／不具合／想定外事象   | 人へのダメージにつながる可能性を検討 | 要因                  | 分類 No. |
|-----|-------------|---|--------------------|---------------------|--------|
| 1   | 8/30<br>(木) | 体型が細すぎ機器の装着フィット性が悪く機器の固定が不十分                          | -                  | 機器がサポートしていない動作／使用方法 | 15     |
| 2   | 9/3<br>(月)  | 教室内コースで歩行中に、追越しのために外を大回りし、教室のドアの取っ手に機器をぶつけた。          | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない   | 10     |
| 3   | 9/3<br>(月)  | 着席中に意図せず肘をアシスト SW に接触させ、アシスト ON したためにアシスト SW Fail が発生 | -                  | 通常の使用で起こりうる誤使用      | 13     |
| 4   | 9/3<br>(月)  | 教室内コース歩行時、歩行速度の遅い人を避けるために蛇行歩行する                       | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない   | 6      |
| 5   | 9/3<br>(月)  | 人のざわめき、BGM により、ブザー音に気付かない                             | -                  | 環境条件の想定不足           | 15     |
| 6   | 9/24<br>(月) | 想定と異なる姿勢で座ろうとしたらパッドがはずれた                              | -                  | 機器がサポートしていない動作／使用方法 | 4      |
| 7   | 9/27<br>(木) | 歩道からショートカットして段差のある車道に降りた。                             | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない   | 1 10   |
| 8   | 9/27<br>(木) | ショッピングモール駐車場の横断歩道脇のパイロンに足をぶつけた。                       | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない   | 10     |
| 9   | 9/27<br>(木) | 屋外では LED(緑)が視認できず、アシスト ON/OFF の判別ができない                | -                  | 環境条件の想定不足           | 15     |

Table 2.5-2 実証実験における誤使用／不具合／想定外事象 (1/7)

| No. | 発生日         | 誤使用／不具合／想定外事象                       | 人へのダメージにつながる可能性を検討 | 要因                | 分類 No. |
|-----|-------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|--------|
| 10  | 10/1<br>(月) | エレベータに乗るために小走りになった                  | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 6      |
| 11  | 10/1<br>(月) | 疲労により足元がふらつく                        | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 14     |
| 12  | 10/1<br>(月) | 機器初期姿勢の指定間違いによるパッド外れ                | —                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 9      |
| 13  | 10/1<br>(月) | 一人で装着し、スタビライザを折り込んだままベルトを締め付け、腰に違和感 | ○                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 11     |
| 14  | 10/1<br>(月) | 一人で装着し、腰ベルトのリング部分を本体フックに引掛けて装着していた  | —                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 11     |
| 15  | 10/1<br>(月) | 教室入り口に二人で並んで入ろうとしてモータを入り口にぶつけた      | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 8 10   |
| 16  | 10/4<br>(木) | サイベルトをきつめに締め、座るとパッド外れる。             | —                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 4      |
| 17  | 10/4<br>(木) | サイベルトをきつく締めようとしてパッドが外れた             | —                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 4 11   |
| 18  | 10/4<br>(木) | 腰ベルトのリング部分を本体フックに引掛けて装着していた         | —                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 11     |

Table 2.5-3 実証実験における誤使用／不具合／想定外事象 (2/7)

| No. | 発生日      | 誤使用／不具合／想定外事象  | 人へのダメージにつながる可能性を検討 | 要因                | 分類 No. |
|-----|----------|--|--------------------|-------------------|--------|
| 19  | 10/8(月)  | 機器初期姿勢の指定間違いによるパッド外れ                                 | -                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 9      |
| 20  | 10/15(月) | 機器初期姿勢の指定間違いによるアシスト OFF                              | -                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 5 9    |
| 21  | 10/15(月) | 機器初期姿勢の指定間違いによるアシスト過大                                | -                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 9      |
| 22  | 10/15(月) | 外に出る時に、会場の出入り口にモータをぶつけた                              | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 10     |
| 23  | 10/22(月) | 装着者同士が歩行中に接触し、大腿フレームが本体から脱落、大腿フレームとパッドも外れた。事故の発生はなし。 | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 8      |
| 24  | 10/22(月) | アシストON時、長時間押し続けアシスト SWフェイル発生                         | -                  | 通常の使用で起こりうる誤使用    | 13     |
| 25  | 10/25(木) | 腰ベルトのリング部分を本体フックに引掛けて装着する事例が複数(3件)発生                 | -                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 11     |
| 26  | 10/29(月) | 遊歩道で風で帽子が飛ばされ、拾うために小走りになった。                          | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 6      |
| 27  | 10/29(月) | 遊歩道の車止めにモータを接触させた                                    | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 10     |

Table 2.5-4 実証実験における誤使用／不具合／想定外事象 (3/7)



| No. | 発生日          | 誤使用／不具合／想定外事象   | 人へのダメージにつながる可能性を検討 | 要因                  | 分類 No. |
|-----|--------------|---|--------------------|---------------------|--------|
| 28  | 11/1<br>(木)  | 機器初期姿勢の指定間違いによるアシスト OFF                               | —                  | 装着方法／使用手順の誤り        | 9      |
| 29  | 11/5<br>(月)  | 着席中に意図せず肘をアシスト SW に接触させ、アシスト ON したためにアシスト SW Fail が発生 | —                  | 通常の使用で起こりうる誤使用      | 13     |
| 30  | 11/5<br>(月)  | 自動ドアにモータをぶつけた   | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない   | 10     |
| 31  | 11/5<br>(月)  | 公園の休憩エリアの側溝に足をとられてふらついた                               | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない   | 1 7    |
| 32  | 11/5<br>(月)  | 腰ベルトのリング部分を本体フックに引掛けて装着。サイベルトのベルクロを外回りで留めていた。         | —                  | 装着方法／使用手順の誤り        | 11     |
| 33  | 11/8<br>(木)  | アシストを脱ぐ時、電源はオン状態で腰ベルトをはずす<br>(3 件)                    | ○                  | 装着方法／使用手順の誤り        | 12     |
| 34  | 11/15<br>(木) | アシストを装着していると、防寒コートの前が開められない                           | —                  | 機器がサポートしていない動作／使用方法 | 15     |
| 35  | 11/15<br>(木) | 冬物になり、サイベルトが短く装着しづらい                                  | —                  | 機器がサポートしていない動作／使用方法 | 15     |
| 36  | 11/22<br>(木) | 大腿フレームの取り付け不良   | —                  | 装着方法／使用手順の誤り        | 11     |

Table 2.5-5 実証実験における誤使用／不具合／想定外事象 (4/7)

| No. | 発生日          | 誤使用／不具合／想定外事象   | 人へのダメージにつながる可能性を検討 | 要因                  | 分類 No. |
|-----|--------------|---|--------------------|---------------------|--------|
| 37  | 11/22<br>(木) | アシスト機装着時に、背パッドが開いてしまい、そのままベルトを締めて、背パッドが脱落、ヒンジ破損                           | —                  | 通常の使用で起こりうる誤使用      | 4      |
| 38  | 11/29(木)     | 機器を脱ぐときに誤って床に落下。左モーターフランジにひび割れ発生。   | —                  | 装着方法／使用手順の誤り        | 4      |
| 39  | 12/5<br>(水)  | 着席中に意図せず肘をアシストSWに接触させ、アシストONしたためにアシストSWF ailが発生                           | —                  | 通常の使用で起こりうる誤使用      | 13     |
| 40  | 12/6<br>(木)  | 遊歩道歩行中に転倒。前のグループに追いつこうとして足がもつれた。スタップが支えたが、支え切れずに路面に膝、手をつき、転倒。路面／機器の要因はなし。 | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない   | 7      |
| 41  | 12/6<br>(木)  | アシストSWをオフのまま遊歩道歩行。防寒着により目視しにくく、スタップ、本人の確認もれ。                              | —                  | 装着方法／使用手順の誤り        | 3      |
| 42  | 12/6<br>(木)  | 外気温が低い(10°C程度)と大腿フレームのアルミパイプが非常に冷たくなる。                                    | —                  | 機器がサポートしていない動作／使用方法 | 15     |
| 43  | 12/6<br>(木)  | サイベルトをはずすときに、フックをはずさずベルクロベルトをはずす  | —                  | 機器がサポートしていない動作／使用方法 | 15     |
| 44  | 12/6<br>(木)  | 高齢者には、フックをねじって外すということが身に付かない。   | —                  | 機器がサポートしていない動作／使用方法 | 15     |
| 45  | 12/6<br>(木)  | 腹囲大の人には、食い込んだメインベルトのフックのところが良く見えない。                                       | —                  | 機器がサポートしていない動作／使用方法 | 15     |

Table 2.5-6 実証実験における誤使用／不具合／想定外事象 (5/7)

| No. | 発生日          | 誤使用／不具合／想定外事象   | 人へのダメージにつながる可能性を検討 | 要因                | 分類 No. |
|-----|--------------|---|--------------------|-------------------|--------|
| 46  | 12/13<br>(木) | アシスト機装着時に、背パッドが開いてしまい、そのままベルトを締めて、背パッドが脱落、ヒンジ破損       | -                  | 通常の使用で起こりうる誤使用    | 4      |
| 47  | 12/27<br>(木) | 躓いて転倒しかかり、右サイベースはずれた。サイベース部に接触傷あり                     | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 7      |
| 48  | 2/21<br>(木)  | アシスト SW オンのまま大腿フレームのベルトをはずし、大腿フレームが暴れた                | ○                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 12     |
| 49  | 2/21<br>(木)  | 記録モジュールが腕を振るときにあたるので正しい位置に固定しなおした                     | ○                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 11     |
| 50  | 3/7<br>(木)   | 機器初期姿勢の指定間違いによるパッド外れ                                  | -                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 4 9    |
| 51  | 3/21<br>(木)  | 途中で電源が入っていないことに気付いた。電源入れ直して歩行継続。                      | -                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 3      |
| 52  | 4/11<br>(木)  | 着席中に意図せず肘をアシスト SW に接触させ、アシスト ON したためにアシスト SW Fail が発生 | -                  | 通常の使用で起こりうる誤使用    | 13     |
| 53  | 4/17<br>(水)  | 機器初期姿勢の指定間違いによるパッド外れ                                  | -                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 4 9    |
| 54  | 4/18<br>(木)  | 着席中に意図せず肘をアシスト SW に接触させ、アシスト ON したためにアシスト SW Fail が発生 | -                  | 通常の使用で起こりうる誤使用    | 13     |

Table 2.5-7 実証実験における誤使用／不具合／想定外事象 (6/7)

| No. | 発生日        | 誤使用／不具合／想定外事象                                | 人へのダメージにつながる可能性を検討 | 要因                | 分類 No. |
|-----|------------|--|--------------------|-------------------|--------|
| 55  | 5/2<br>(木) | 集合場所の木の根に足を引掛けつんのめってしまった                     | ○                  | 歩行の仕方／歩行ルートが守られない | 7      |
| 56  | 5/2<br>(木) | 腰ベルトのリング部分を本体フックに引掛けて装着していた                  | —                  | 装着方法／使用手順の誤り      | 11     |
| 57  | 5/9(木)     | 背パッドヒンジ破損→終了時機器を床面に置く時に背パッドが開きヒンジ部を床面に衝突した模様 | —                  | 通常の使用で起こりうる誤使用    | 4      |

Table 2.5-8 実証実験における誤使用／不具合／想定外事象 (7/7)

“分類 1：歩行者通路上以外の歩行”では定められた歩行訓練コースの曲がり角をショートカットして段差を降りた事象と休憩の為に公園に立ち寄った事例があった。

“分類 2：サイズの異なった機器の装着”はトレーナーの管理が行渡っており発生はなかった。

“分類 3：アシスト（電源）を起動しない状態での歩行”はアクチュエータが駆動できないため安全側での誤使用であるが、2 件起きておりアシストスイッチまたは電源スイッチの入れ忘れが原因となっている。

“分類 4：装着した機器の脱落（離脱）”歩行アシスト本体を落下させる事象が 1 件起きている。アクチュエータ近傍のフレームにひびが入り機器自体は故障したが部品の飛散や発煙発火などの事象は起きていない。件数の殆どが大腿フレーム先端のパッドの離脱であった。パッド自体は一定以上の力が加われば外れる構造となっているため特に故障に至る事象ではない。

“分類 5：歩行中のアシストの OFF”は 2.3.4 章で述べたフェールセーフ発生の際に起きている。アシストが無くなるためハザード源には当たらない。

“分類 6：屈伸などの歩行以外の動作”風に飛ばされた帽子を拾おうとして小走りになったなど、つい行ってしまう行動が現われた。歩行アシストとは直接関係のない要因で起こる事象であるが、人の特性として予見しておく事柄と言える。

“分類 7：歩行中の転倒（つまずき）”については 4 件発生している。いずれも装着者自身のつまずきや、足のもつれなどが要因で、歩行アシストとは無関係に発生した事象であった。1 件については怪我などのダメージはないが転倒に至っている。前方のグループに追いつこうとして速度を上げようとしたときに足がもつれたことが要因となっている。他に、つまずいて街路樹にしがみつき転倒には至らなかったケースがあった。このケースでもアシスト機は正常に動作していたが、前傾してかなり速い速度で歩行していたためにつまずいた際に体勢を立て直せなかったことが要因であると考えられる。

“分類 8：他の歩行者との衝突” 2 件発生し、怪我や転倒には至らなかった。1 件は狭い入口に対して二人で並んで入ろうとしたことが要因。

“分類 9：間違った設定によるアシスト”機器立ち上げの際に行う初期姿勢の指定の手順を誤っていることで、正立時の姿勢と異なる値で機器が初期化されたためにアシスト過大などが起こっている。アシスト効果は不良となるがバランスを崩すことや転倒に至る事象は起きていない。機器の扱いに慣れてきた 1 か月後に多く起きている。

“分類 10：建物や障害物への衝突”事前のリスクアセスで階段やエスカレータは歩行コースに含めないなど歩行訓練コースの設定に配慮はなされていたが、コースからの逸脱などもあり 7 件発生している。

“分類 11：誤った装着（サイズ以外）”腰フレームを装着する際に用いる腰ベルトの端部に取り付けられている指を入れて引っ張るためのリングを誤って本体フックに掛けてしまう事象が多く発生した。その他にも既定の装着方法と異なる例が発

生している。

“分類 1 2：非装着時のアシスト起動”装着前に起動するケースは無かったが、歩行アシストを脱装する際にアシスト ON のまま行った例が 1 件発生した。大腿フレームのベルトを先に外した場合には動き出してしまうことがあり、注意をしなければならない事象である。他にこの事象に繋がる可能性が高いアシストは OFF だが電源が切られていないケースが 3 件確認されているため合わせて 4 件のカウントとした。

“分類 1 3：通常の使用で起こりうる誤使用”ハザードにはつながらないと考えるが予測していなかった誤使用としてアシストスイッチの誤操作が 6 件起きている。アシストスイッチは腰フレーム先端の上側に配置されているため、椅子に座って休憩をとっている際に肘を掛けてしまい無意識にスイッチ操作を行ってしまうことが要因である。スイッチは故障検知としてフェールセーフが組み込まれているため、休憩中にエラーとなる事態が発生した。

“分類 1 4：装着者の疲労”歩行訓練を頑張ってしまう疲れて足元がふらつく事象が 1 件発生した。運動が目的であるために疲労した場合はいつでも休憩できる配慮がなされているが、本人の自覚とのギャップがあると考えられる。

“分類 1 5：機器が考慮していない動作／使用方法”運動時でのコート着用など機器の想定範囲外の使用方法があった。直接ハザードとなる事象ではないが、使用者のニーズを捕えるうえでは有益な情報である

これら誤使用／不具合／想定外事象のうち人へのダメージにつながる可能性を検討すべき事象として 20 件を選定した。殆どが歩行の仕方／歩行ルートが守られないことが要因である。つまずきや足のもつれなど歩行者自身の動作が要因で転倒につながる恐れのある事象など、機器側では対策のできない内容であり、運動教室などでは運用面でのリスクアセスメントが重要であると考え。他の要因は装着方法や使用手順の誤りであり、マニュアル等への掲載や、合理的な範囲でのリスク低減を検討するためにリスクアセスメントでの検討項目に加えることが必要と考える。

Table 2.5-9 誤使用／不具合／想定外事象分類と件数

|                             | 分類<br>NO. | 分類                   | 件数 |
|-----------------------------|-----------|----------------------|----|
| 事前に予測した<br>合理的に予見可能な<br>誤使用 | 1         | 歩行者通路上以外の歩行          | 2  |
|                             | 2         | サイズの異なった機器の装着        | 0  |
|                             | 3         | アシスト（電源）を起動しない状態での歩行 | 2  |
|                             | 4         | 装着した機器の脱落（離脱）        | 9  |
|                             | 5         | 歩行中のアシストの OFF        | 1  |
|                             | 6         | 屈伸などの歩行以外の動作         | 3  |
|                             | 7         | 歩行中の転倒（つまずき）         | 4  |
|                             | 8         | 他の歩行者との衝突            | 2  |
|                             | 9         | 間違った設定によるアシスト        | 6  |
| 事前に予測した<br>環境ハザード           | 10        | 自動ドアでの出入り            | 1  |
|                             |           | 階段昇降                 | 0  |
|                             |           | エスカレータ移乗             | 0  |
|                             |           | 歩道－道路との段差            | 1  |
|                             |           | 車止め間の狭路通過            | 2  |
|                             |           | ドア/入口の出入り            | 3  |
| 予測していなかった<br>誤使用            | 11        | 誤った装着（サイズ以外）         | 11 |
|                             | 12        | 非装着時のアシスト起動          | 4  |
|                             | 13        | 通常の使用で起こりうる誤使用       | 6  |
|                             | 14        | 装着者の疲労               | 9  |
|                             | 15        | 機器が考慮していない動作／使用方法    | 1  |

### 2. 5. 3 介護施設での実証実験

高齢者運動教室での実証実験終了後に異なる環境での運用実績と安全性の検証を行うために通所型介護施設での実証実験も実施した。介護施設での実証実験は先進的自立支援機器を用いた介護予防の効果検証として、運動教室での実証実験を行った独立行政法人国立長寿医療研究センターが主体で行った。本プロジェクトは運用所上の課題やリスクの有無を確認することを目的とし、歩行アシスト 20 台を提供した。対象者は通所介護サービスを利用する要支援 1~2、あるいは要介護 1~2 に該当する者で、重篤・不安定な疾病を有する、著しい認知機能障害を有する、歩行が著しく困難であるなどの他、担当理学療法士、作業療法士が不適格と認めた者は除外している。

実験に先立ち個別の施設において運用のリスクアセスを行った。一部の例を Table 2.5-10 に示した。歩行訓練のプログラムは歩行能力によってはリハビリテーション施設での運用と同様にマンツーマンでの付き添いの上歩行訓練を行うなど、施設環境、対象者の身体能力などによって個別に設定されているため、ここでは各施設で共通に行われた内容についてのみ示した。

実証実験は 10 箇所の介護施設で計 72 名の対象者を選定し、2013 年 9 月末から 2014 年 2 月末の期間に行われた。訓練プログラムは個別に設定されているが、1 回の歩行訓練は平均で約 17 分（約 1700 歩）であり、期間中延べ 1137 回の運用実績を得ることができた。実証実験では転倒や、怪我などの人へのダメージを与える事象は発生しなかった。また、歩行者のももとの身体能力差によりふらつきやつまずきが観測されたが理学療法士、作業療法士の付き添いで行われたため危険な事象には繋がらなかった。機器側の課題としてはデータ記録のユーザーインターフェースやマニュアルに取り扱いが分かりづらい点があるなど、ユーザビリティについての項目が確認されたが、安全にかかわる故障などは起きなかった。

Table 2.5-10 リスクと対策方法

| No. | 内容                      | 対策方法  |
|-----|-------------------------|---|
| 1   | 荷物受け取り・発送場所と保管場所の間の移動障害 | 荷物受け取り/発送は 1F の受付にて行い、ケースのまま運搬。自動ドアを通過し、保管場所のスタッフルームまでは段差無し。<br>経路の通路幅は余裕があり障害の影響を回避できる。<br>保管場所はスタッフルーム内で障害とならないデスク脇とする。 |



|    |                         |   |
|----|-------------------------|---|
| 2  | 保管場所からの盗難<br>および機材の無断使用 | 保管場所はスタッフルーム内とする。<br>スタッフルームの出入りは、常時スタッフが監視できる状態にあり、夜間は施錠される。   |
| 3  | 保管場所における作業に伴う傷害の発生      | 保管場所で、保管ケースからの部品取り出し作業を行う。<br>保管場所は人通りの少ない部屋の奥であり、平らでケースを広げられるくらいのスペースがあるため、つまずき等は発生しにくい。   |
| 4  | 保管場所における機材の故障           | 保管場所は、施設内であり、熱や水による機材への悪影響はない。  |
| 5  | 運搬手段の転倒                 | 機材のみを手で直接持って装着場所まで移動する。<br>移動経路に物を置かない  |
| 6  | 運搬手段による傷害               | 機材本体は滑らない位置で、片手でしっかりと握る。片手で不安定な場合は両手で持ち、落下等に注意する  |
| 7  | 保管・収納・装着場所の間の移動障害       | 保管場所・装着場所は同一フロアで段差なし。<br>運搬時の通路幅は、余裕があり障害は排除する。<br>保管場所で機材のみを持ち運び、ケースは保管場所に置いておく。   |
| 8  | 装着場所での転倒                | 装着場所は、ベンチ（畳プラットフォーム）での装着を基本とする。椅子を使う場合は、肘掛けの無いものまたはソファを使う   |
| 9  | 装着に伴う立ち座りでの転倒           | 装着場所となるベンチには十分な広さがある。理学療法士が必ずサポートにつく  |
| 10 | 歩行練習に伴う傷害の発生            | 通常リハビリで使用する経路「病棟通路歩行」で歩行訓練を行う。接触のリスクについては予め説明を行い、他の部屋の出入り口など衝突の可能性がある場所については、出入り口より 2m 程度離れた場所を歩行する。通行人はサポートする理学療法士およびスタッフがチェック。<br>施設の外で使う場合は段差が無く、人通り車通りの少ない施設周囲のみとする |
| 11 | 歩行中の転倒                  | 練習中は常時理学療法士の立会いの下で行う。<br>必要な補助具を使用する。<br>階段は存在しない。万が一階段歩行をする際は歩行アシストのアシスト SW を OFF とする。   |

|    |           |   |
|----|-----------|---|
| 12 | 休憩場所での転倒  | 安定したイス、ソファーやプラットフォームを使用する。<br>背もたれの無いイスは使用しない。<br>椅子は肘掛けのないタイプを使用する。                  |
| 13 | 充電機警告の不達  | スタッフルームにて充電する。業務中はスタッフが常駐し、常にスタッフの出入りがある。<br>警告に気がついたスタッフが直ちに管理担当者へ連絡できるように連絡先の掲示を行う。 |
| 14 | 監督者のリスク不知 | 歩行アシストの使用に関して係わる理学療法士は、使用前講習を受ける。   |

#### 2. 5. 4 実証実験のまとめ

高齢者運動教室および通所型介護施設における2件の実証実験を通し延べ4100回の歩行訓練を行ったが、歩行アシストに起因する転倒や怪我等など使用者へダメージを与える事象は起こらなかったことが確認された。歩行アシストについて行ってきた安全評価の妥当性を示す1つの結果であると考え。また、誤使用／不具合／想定外事象からはリスクアセスメント時にリスクの可能性を考慮すべき項目が抽出され、今後、新たに生活支援ロボットの開発者にとって有益なデータであると考え。

## 2. 6 結び(統括及び結論)

### 2. 6. 1 成果まとめ

本プロジェクトの成果を基本計画に沿ってまとめた。

Table 2.6-1 プロジェクトの成果

| 基本計画                                |  | プロジェクトの成果  | 達成度 |
|-------------------------------------|--|--|-----|
| (1)<br>人間装着(密着)型生活支援ロボットにおける安全技術の開発 | ロボットの使用目的、使用環境及び運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する | 実証実験の現場となる介護予防のための高齢者運動教室を想定したリスクアセスメントを行い、転倒に関する安全性評価項目を明らかとし、安全の検証に必要な技術である記録モジュールと解析システムを開発し、この技術を搭載した歩行アシスト45台を製作した。 | ○   |
|                                     | リスクアセスメントは研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や認証手順を開発しながら進める                        | リスクアセスの最初の段階である機器の設計コンセプト確認から研究開発項目①と連携して進め、安全評価手法、安全試験項目の手法や計測についても協力して行った。認証手順としてISO13482パイロットスタディーとして設計コンセプト認証を行った。   | ○   |
| (2)<br>①安全性試験                       | 安全技術を搭載した人間装着型生活支援ロボットの安全性試験を完了し、評価基準が示されている                         | ISO13482の安全要求項目に従い安全検証試験の項目を選定し、評価基準を明らかにしたうえで試験を行い基準を満たしていることを確認した。   | ○   |
| (2)<br>②実証試験                        | 想定ユーザーによる、実環境あるいは模擬した環境において実証実験が完了している                               | 介護予防のための運動教室で実証試験を行い機器に起因する怪我や転倒などの事象が無かったことを確認した。   | ○   |

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

## 2. 6. 2 成果の意義

生活支援ロボットは新しい分野の産業として期待されるが、市場での運用実績に乏しく安全性の担保について各事業者が個別に行っていることが現状であり、生活支援ロボットの実用化の加速を妨げる要因となっている可能性がある。

本プロジェクトでは歩行アシストを高齢者支援に適用することを想定し、実用化に向けて必要な安全性評価、安全性検証、安全技術、実証試験の一連のプロセスを示した。これらの安全に対する取り組み方が生活支援ロボットの実用化を目指す開発者の参考となることを期待し、生活支援ロボットの産業が活性化し、人々の生活が豊かになることを願っている。

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

| 区分<br>年度 | 特許出願 |    |             | 論文       |     | その他外部発表       |                    |     |
|----------|------|----|-------------|----------|-----|---------------|--------------------|-----|
|          | 国内   | 外国 | PCT ※<br>出願 | 査読付<br>き | その他 | 学 会 発<br>表・講演 | 新聞・雑<br>誌等への<br>掲載 | その他 |
| H23FY    | 0件   | 0件 | 0件          | 0件       | 0件  | 0件            | 0件                 | 0件  |
| H24FY    | 0件   | 0件 | 0件          | 0件       | 0件  | 1件            | 11件                | 2件  |
| H25FY    | 0件   | 0件 | 0件          | 0件       | 0件  | 3件            | 0件                 | 0件  |

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 2.7 研究開発項目⑤ 搭乗型生活支援ロボットにおけるリスクアセスメントと安全機構の開発 トヨタ自動車株式会社

### 内容

|   |    |
|---|----|
| 1. はじめに .....   | 2  |
| 1.1. 事業の背景と目的 .....                                     | 2  |
| 1.2. 事業の概要 .....  | 2  |
| 2. 研究開発の内容 .....  | 3  |
| 2.1. 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの転倒シミュレータによる安全データ取得 .....           | 3  |
| 2.1.1. Winglet 搭乗者モデル開発 .....                           | 3  |
| 2.1.2. 人体ダミーの機構解析モデル化と Matlab/Simulink による解析環境の開発 ..... | 6  |
| 2.1.3. 人体ダミー傷害値算出プログラム開発 .....                          | 10 |
| 2.2. 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの屋外実証評価による安全データ取得 .....             | 12 |
| 2.2.1. 産総研外勤、イーアスつくば従業員による公道実証 .....                    | 12 |
| 2.2.2. つくば市役所勤務利用による公道実証 .....                          | 17 |
| 2.2.3. 公道実証まとめ .....                                    | 24 |
| 2.3. 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのダミー試験による安全データ取得 .....              | 31 |
| 2.3.1. 実験方針および計画 .....                                  | 31 |
| 2.3.2. 衝突姿勢の違いによる対物衝突検証 .....                           | 34 |
| 2.3.3. 対物衝突に関する競合製品との差別化検証 .....                        | 36 |
| 2.3.4. 対人衝突における1次衝突の検証 .....                            | 38 |
| 2.4. 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのリスクアセスメント .....                    | 41 |
| 2.4.1. 目的 .....   | 41 |
| 2.4.2. 実施内容 .....                                       | 41 |
| 2.4.3. 結果 .....   | 41 |
| 2.4.4. 結論 .....   | 47 |
| 2.5. 北米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての調査 .....          | 48 |
| 2.5.1. 調査目的 .....                                       | 48 |
| 2.5.2. 調査必要性 .....                                      | 48 |
| 2.5.3. 調査期間 .....                                       | 48 |
| 2.5.4. 調査地 .....  | 48 |
| 2.5.5. 「生活支援ロボット、安全機能」についての具体的調査内容 .....                | 48 |
| 2.5.6. 各調査地で得られた調査結果 .....                              | 48 |
| 3. 成果の普及 .....  | 52 |
| 4. 結論 .....   | 54 |

## 1. はじめに

### 1.1. 事業の背景と目的

人間の行動の範囲及び自由度を拡大する移動手段として、現在、自動車から自転車まで各種移動体が存在するが、少子高齢化の進展や CO2 ガス発生削減等の社会的課題を解決していくため、今後、高齢者や環境に配慮した移動体が求められてくる。具体的には、商業施設、駅・空港等の交通施設、オフィス、家庭に至るまで、不特定多数の歩行者や家族、他の移動体や障害物と同一空間内に共存し、搭乗者による操作または自律走行が可能な搭乗型生活支援ロボットが必要となる。

このため、本研究開発項目では、人や障害物が混在する状況において、人を乗せて移動する機能を備えた搭乗型生活支援ロボットの安全に関する課題を洗い出し、安全を実現するための要求仕様や運用ルールを明確にし、その課題を解決する安全技術を開発する。

### 1.2. 事業の概要

「本質安全」、「衝突安全」、「予防安全」を実施した搭乗型生活支援ロボットによる、実際のユースケースを使用した実証実験の実施また、実証実験結果および「安全性検証手法研究開発実施者」の安全評価項目の評価の実施。

上記、結果のフィードバックによる安全機構、ソフトウェアにより安全を施した搭乗型生活支援ロボットによる実装実験の再実施と実施結果の報告。

本プロジェクトの成果の反映については、2010年代にトヨタ自動車株式会社にて、搭乗型生活支援ロボットの生産と販売を予定している。

トヨタ自動車では、車の分野において、生産、販売、アフターマーケットのビジネスモデルを構築しており、すでに搭乗型生活支援ロボットに関しても「パートナーロボット」という名称にて、研究開発、実証実験を実施している。本プロジェクトでの安全基準、リスクアセスメントを反映することにより、人と共存するパートナーロボットの安全性が強化されるとともに、世界的に通用する安全基準をクリアしたパートナーロボットの開発が可能となると考えられる。

本プロジェクトのもう一つの成果としては、生活支援ロボットのソフトウェアプラットフォームがあげられる。現在の多くのシステムにおいては、ハードウェア、ソフトウェアをシステムとして扱い認証がとられるケースが多く存在している。ソフトウェアに関する安全認証において、プラットフォームとして、SIL などの安全認証がクリアされており、仕様、サンプル実装などが公開されていることにより、生活支援ロボットに対する参入障壁が低減されるとともに、開発コストの低減にもつながっていくと考えられる。また、本プロジェクトの安全基準が世界的にスタンダードとなった場合、ソフトウェアプラットフォームのビジネスも世界規模となりうる。

本プロジェクトの成果の事業化については、一般公開した仕様のベースとしたオープンプラットフォームの維持、標準化におけるロボットにおけるプラットフォームビジネス、開発環境を含んだ、仕様、安全基準を満たしたソフトウェアプラットフォームの販売、サポート、受託開発などが早期にスタートできるビジネスであると考えられる。

## 2. 研究開発の内容

### 2.1. 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの転倒シミュレータによる安全データ取得

#### 2.1.1. Winglet 搭乗者モデル開発

##### 2.1.1.1. 目的

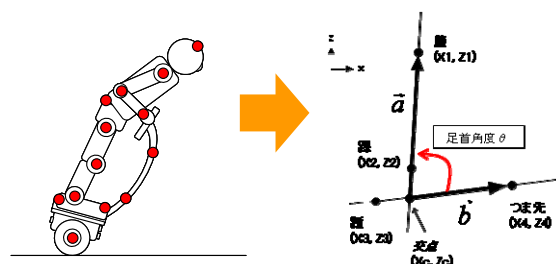
Winglet シミュレータは制御ソフトと機構解析モデルの閉ループ解析により Winglet の前後動作を再現する。シミュレータへの入力は搭乗者重心変化であり、これまではステップ波形で搭乗者重心変化を与えていた。ソフトウェアの動作確認では問題無いが、実験の事前検討やリスクアセスメントなどでは、車体の速度、ピッチ角、トルクには精度が求められる。Winglet 質量 (約 20kg) に対して、搭乗者体重 (成人男性約 70kg) が相対的に大きいため、精度の良い解析結果を得るためには、搭乗者重心変化を正確に再現する必要がある。

以下、Winglet の加速時挙動を精度良く再現する搭乗者加速動作モデルの開発結果について報告する。

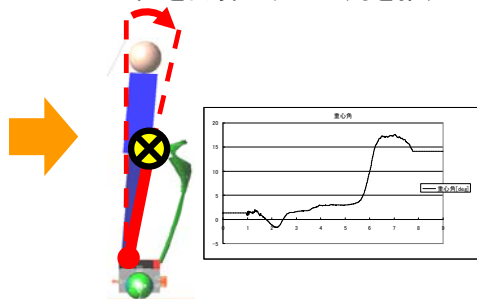
##### 2.1.1.2. 内容

###### 加速時 Winglet 挙動再現手順

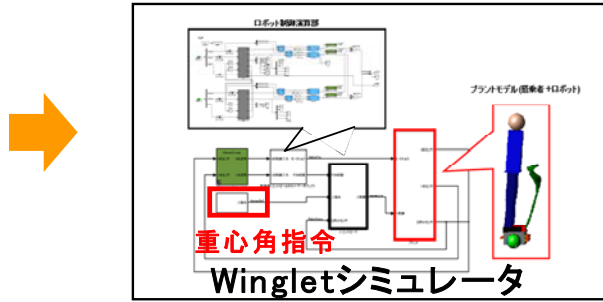
モーションキャプチャによる加速動作実測      ベクトル計算により関節角度を算出



搭乗者の時刻ごとの姿勢での重心位置を計算し、重心角を推定

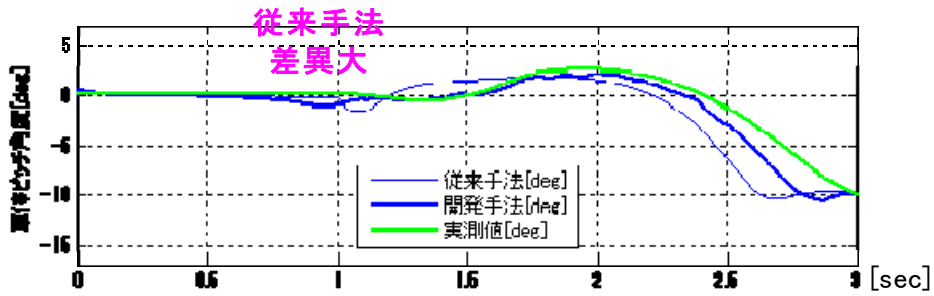


Wingletシミュレータに対して推定した搭乗者重心角を指令値として与え、Wingletの加速時挙動を再現する

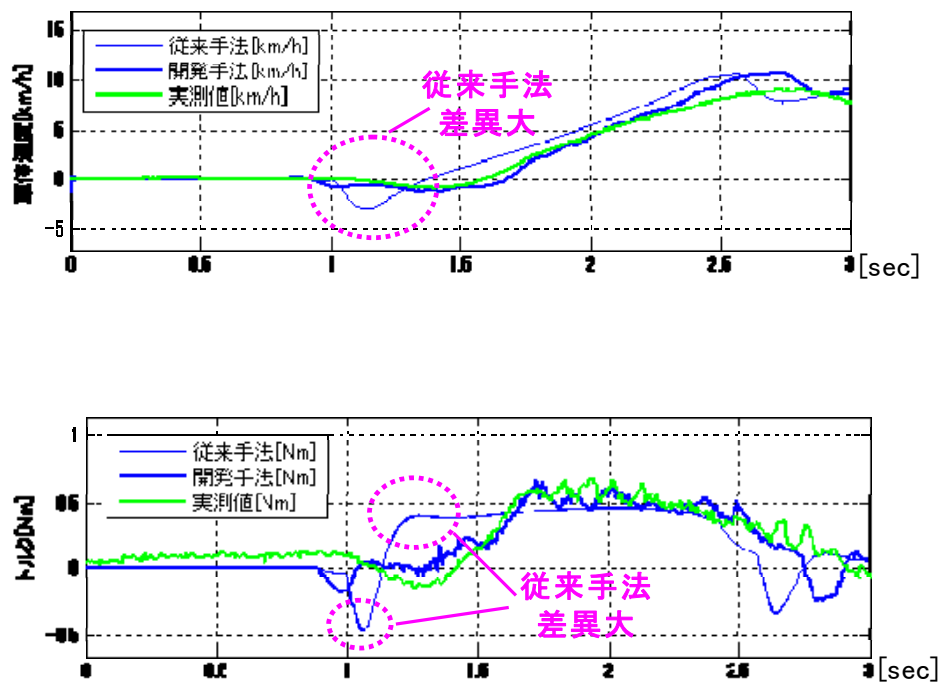


加速時 Winglet 挙動再現精度

|                          | 実測   | 解析   | 精度    |        |
|--------------------------|------|------|-------|--------|
|                          |      |      | 開発手法  | 従来手法   |
| 車体加速時間[sec]<br>(0⇒6km/h) | 0.61 | 0.49 | 80.3% | 113.1% |
| 最大車体ピッチ角[deg]            | 2.64 | 2.13 | 80.7% | 70.5%  |
| モータピークトルク[Nm]            | 0.68 | 0.67 | 98.5% | 69.0%  |







### 2.1.1.3. 結論

- (a) モーションキャプチャを用いて実測した搭乗者加速動作に基づき、搭乗者加速動作モデルを開発した
- マーカ座標から搭乗者の姿勢を算出、人体データベースに基づきし重心角を推定
  - 推定した重心角を Winglet シミュレータに指令値として与え、Winglet 加速動作をモデル上で再現
- (b) 再現結果と実測結果を比較し、定性的、定量的（精度 80%以上）に一致していることを確認した

## 2.1.2. 人体ダミーの機構解析モデル化と Matlab/Simulink による解析環境の開発

### 2.1.2.1. 目的

人体ダメージを推定する方法として人体ダミーを用いた実験がある。人体ダミーは人体と同等の自由度を持ち、狙った通りの挙動をさせることが困難である。このため実験のやり直しや、方法の見直しが発生し、実験回数が予定よりも増加してしまう傾向にある。そこで、シミュレータを用いて実験結果を事前に予測し、実験方法の問題点を洗い出し対策を実施しておくことが望まれている。

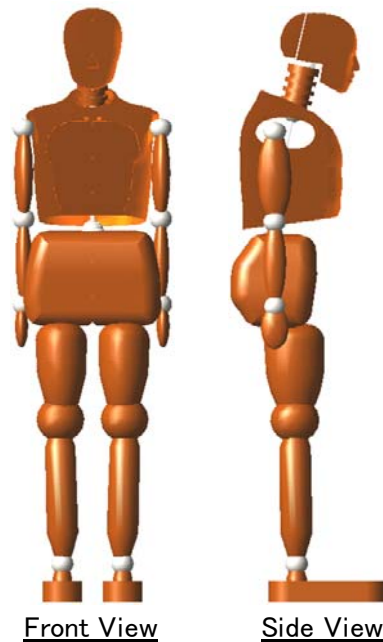
以下、Wingletの安全検証において実験回数を減らすことを目的に開発した、人体ダミーモデルとその解析環境、および活用実績を報告する。

### 2.1.2.2. 内容

①機構解析モデル製作⇒②モデル制御部と結合⇒③実験の事前検⇒④実験結果と比較を実施した。

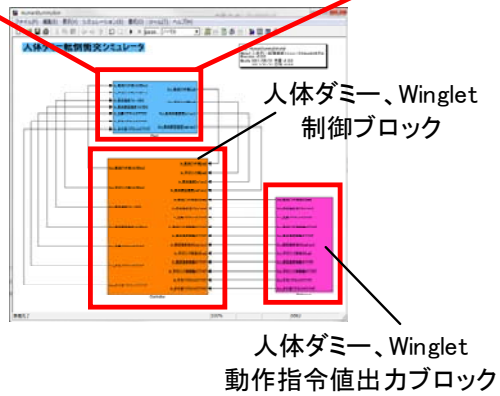
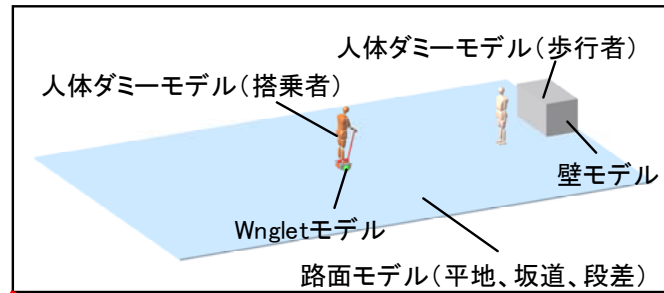
#### ①人体ダミーモデル

- ・人体ダミー：HybridⅢ 50th 立姿勢
- ・形状：衝突する頭部、胸部はCAD形状をインポート。その他部位は簡易形状にて製作
- ・慣性：実測に基づき算出
- ・寸法：実測に基づき算出
- ・剛性：首部及び胸部検定結果と適合



## ②解析環境

- ・RecurDynモデルとSimulinkモデルにより構成
- ・搭乗者対壁、対歩行者、対路面の衝突を解析可能  
※搭乗者と歩行者は同一モデル



③活用実績（壁衝突実験）

実験時の課題を明らかにし、対策を検討

課題(1):意図した姿勢より前方に倒れる

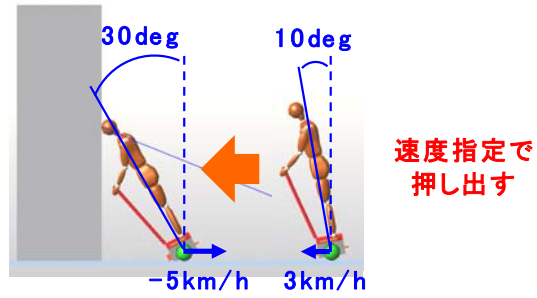
(2):意図した速度より減速する

対策(1):キャストの取り付け

(2):減速を考慮した初速設定

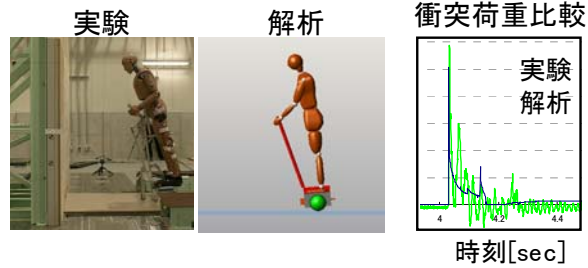
速度計による速度確認

衝突時の状態 狙った条件



#### ④実験結果との比較（壁衝突実験）

壁衝突時の荷重[N]を実験と解析で比較  
⇒定性的に一致することを確認



#### 2.1.2.3. 結論

(a) 人体ダミーモデルとその解析環境を開発

- HybridIII 50th 立姿勢を機構解析ソフト R e c u r D y n を用いてモデル化（下図①参照）
- 人体ダミー、W i n g l e t の制御は MATLAB/Simulink 上でコントローラを製作し W i n g l e t は速度、姿勢を直接指定する台車としてモデル化

(b) 開発モデルを用いた実験の事前検討を実施

- W i n g l e t 搭乗者の壁衝突ダメージ測定実験の事前検討を実施。想定していた方法では狙った条件で人体ダミーが壁に衝突しないことが明らかとなり、事前に効果的な対策を検討・実施したことで実験回数を減らすことができた（下図③参照）
- 実験後、解析結果と実験結果を比較し定性的に傾向が一致していることを確認

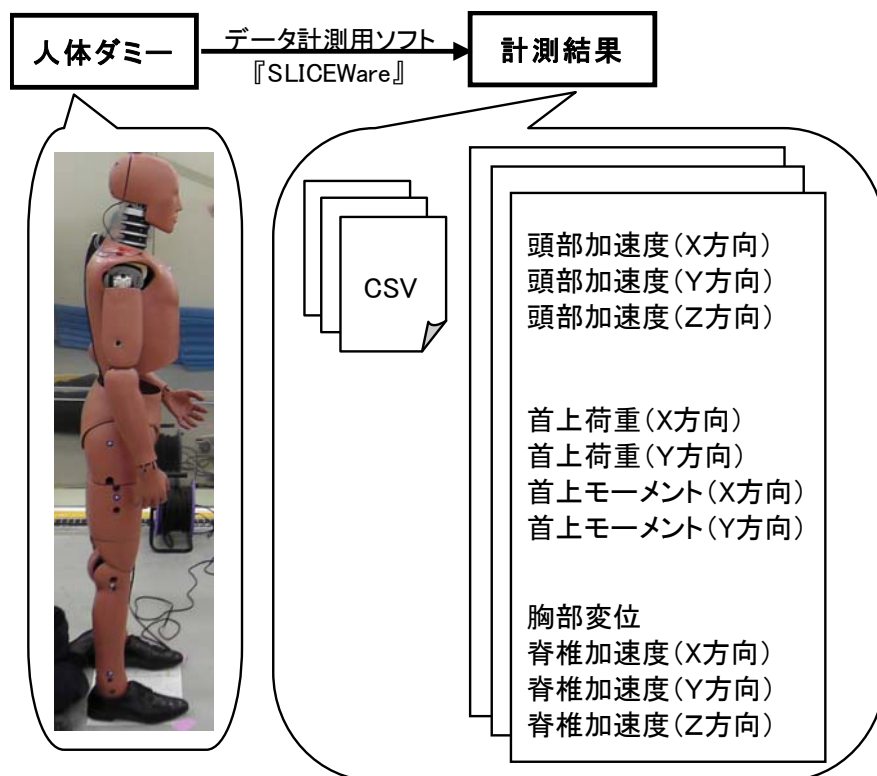
### 2.1.3. 人体ダミー傷害値算出プログラム開発

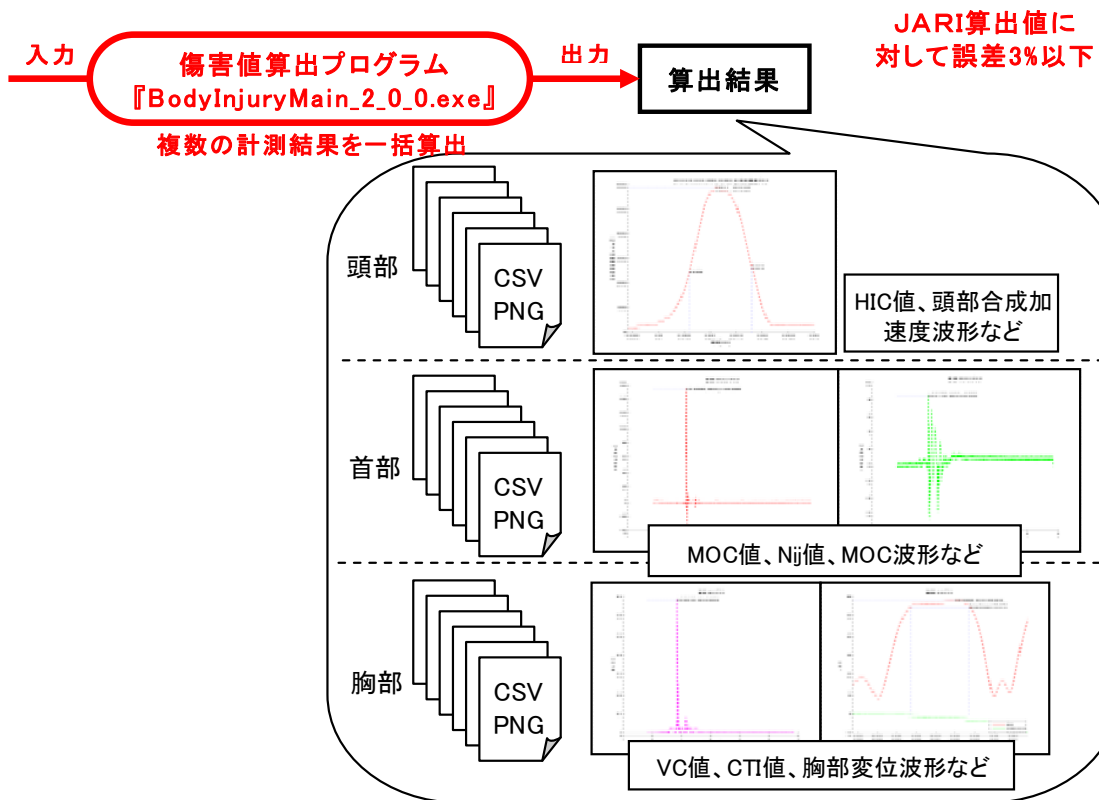
#### 2.1.3.1. 目的

人体ダミーには加速度計、角速度計、荷重計、変位計が頭部、首部、胸部、腰部、大腿部に内蔵されており、人体ダメージ推定実験では人体ダミーを衝突・転倒させて、これらセンサ値の計測結果を数値演算することにより各部位の傷害値を推定する。

従来は傷害値を部内にて簡易計算式で概算する、あるいは第三者機関（JARI）などノウハウを所有する組織に計算を依頼する必要があり手間が掛かっていた。以下、傷害値算出に掛かる手間を削減するため、第三者機関（JARI）と同等の結果を算出可能な傷害値算出プログラムの開発結果について説明する。

#### 2.1.3.2. 内容





JARI 算出結果に対する誤差

| 実験  | 人体ダミー      |                     | データ数 | 頭部    | 首     |       |       | 胸部    |       |
|-----|------------|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |            |                     |      | HIC   | MOCx  | MOCy  | Nij   | VC    | CTI   |
|     |            |                     |      | 誤差[%] | 誤差[%] | 誤差[%] | 誤差[%] | 誤差[%] | 誤差[%] |
| 転倒  | JARI 男性ダミー | HybridIII Male 50%  | 37   | 0.15  | /     | /     | 0.06  | /     | /     |
|     | JARI 女性ダミー | HybridIII Female 5% | 34   | 0.15  | /     | /     | 0.16  | /     | /     |
| 壁衝突 | JARI 男性ダミー | HybridIII Male 50%  | 10   | -0.8  | 0.11  | 0.31  | 0.22  | 0.27  | 0.58  |
|     | JARI 女性ダミー | HybridIII Female 5% | 8    | 2.54  | /     | /     | -0.03 | /     | /     |

誤差 3%以下

2.1.3.3. 結論

- (a) 頭部、首、胸部の代表的な傷害値（※1）を算出するプログラム（※2）を開発した
  - （※1）頭部・・・H I C、首・・・MOC、Nij、胸部・・・VC、CTI
  - （※2）本プログラムは全ての実験端末で利用可能
- (b) 第三者機関（J A R I）の解析結果と比較し誤差が十分小さいこと（誤差 3%以下）を確認した

## 2.2. 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの屋外実証評価による安全データ取得

### 2.2.1. 産総研外勤、イーアスつくば従業員による公道実証

#### 2.2.1.1. 本実証の位置づけ

公道実証は、ロボット（Winglet R401C）が公道を走行できる法制度環境の整備を目指し、「安全性」「普及性」、「必然性」の観点を実証項目として計画した。

本年度（2013年度）の実証は、特に「安全性」の検証に主眼を置き、StepA、StepB、StepCの3段階での実証を、つくば市の「ロボット実証実験特区」にて実施した。

StepAは「ロボット単体での走行安全性評価」を目的に、特区内の公道環境調査、ロボット開発技術者による試験走行を実施。ロボット仕様条件と比較し実公道環境下の危険箇所を抽出した。その危険箇所に応じて、ロボットの公道利用の運用ルールの見直し、及びロボット操作・操縦教育・トレーニングのカリキュラムの見直しへ反映した。

StepBでは、「歩行者等との混在環境での安全性評価」を目的に、被験者層を拡大し、教育・トレーニングを実施した上での公道利用実証を実施した。被験者は、産総研（産業技術総合研究所）の職員、及びつくば市役所職員を主な対象とした。以下、このStepBのうち、産総研職員及び商業施設（イーアスつくば）従業員を被験者とした実証結果を報告する。

なお、StepCはStepA及びStepBを通してPDCAを実践した、ロボット公道利用時の利用ルール、交通ルールの妥当性・受容性の評価である。

表1 公道実証における実証ステップ

| 視点                               | 実施事項(案)  | 実施体制                                      | 使用機体数 |
|----------------------------------|--|---|-------|
| <b>A.</b><br>Winglet単体での走行安全性検証  | 1) 走行環境調査<br>2) 技術者による実走行(試験走行)<br>3) 安全に走行するために必要なメンテナンス内容と頻度の検証              | ・TMC                                      | 5台    |
| <b>B.</b><br>歩行者との混在環境での交通安全性    | 他の交通の安全を阻害しないことを、Winglet利用実証を通して確認<br>1) 歩行者等との安全性・親和性を有することの評価<br>2) ヒヤリ事象の収集 | ・つくばロボット特区実証実験推進協議会(つくば市)<br>・産総研<br>・TMC | 5台    |
| <b>C.</b><br>利用ルール、交通ルールの妥当性・受容性 | 1) Wingletの利用ルール、交通ルールの受容性・要望のアンケート調査<br>2) 利用ルール・交通ルール案の検討                    | ※Wingletの管理を一部、TMCから協議会へ移管させて頂きます。        | 5～22台 |



### 2.2.1.2. 本実証の目的

「歩行者等との混在環境での安全性評価」として、以下の評価項目を設定した。

表2 産総研職員を対象とした実証における評価項目

| 評価項目                     |   | 評価結果の活用  |
|--------------------------|---|--|
| ①公道での安全利用実績              | 重大事故無しでの走行実績                            | 1)現ロボット仕様の実証<br>2)特区内規制緩和要望の際の安全性主張項目として活用   |
| ②ヒヤリ事例評価                 | ヒヤリ事例の収集(アンケート)                         | 1)現ロボット仕様の実証<br>2)ロボット仕様の改善<br>3)運用ルール、教育・トレーニングカリキュラムの更新により、安全性を高める<br>4)特区内規制緩和要望の際の安全性主張項目として活用 |
| ③見直した教育・トレーニングカリキュラムの妥当性 | 受講者による受容性評価(ヒヤリング)<br>トレーナーによる評価(ヒヤリング) | 1)教育・トレーニングカリキュラムの更新   |

### 2.2.1.3. 実証実施内容

本実証は、産総研「スマートモビリティ研究グループ」が運用主体として実施した。

実証は、被験者属性の違いにより2種類実施した。

第1の実証は、産総研職員を被験者対象とし、当該職員の外勤のため産総研中央とつくば市サイエンスインフォメーションセンター間を移動する際の利用実証である。

第2の実証は、つくば市内に立地するショッピングセンター「イーアスつくば」の協力を得て、施設内に勤務する男女を被験者対象とした、施設周辺の公道での試験である。

#### 2.2.1.3.1. 産総研職員による外勤利用実証

通行ルートは、産総研つくば中央事業所敷地内からつくば市サイエンスインフォメーションセンターまでの約4.5kmの区間である。

当該ルートの産総研敷地外は、歩行者・自転車専用道である。

つくば市のロボット実証実験特区でのローカルルールにより、歩行者と自転車の通行帯が分離されている区間では、搭乗型移動支援ロボットは自転車通行帯を通行することとされている。

また、途中の一般道路と交差する横断歩道では、StepAでの調査結果から、車道へのアプローチ部の勾配が、ロボットの仕様を超えていたため、ロボットから降り、ロボットを手押して横断歩道を通行する運用ルールを適用した。

被験者は30名、全員が予めライセンス取得教育を受けた。

ライセンス取得後にロボットを利用する際は、事前に利用予約を入れる。

利用時には、運用主体である「スマートモビリティ研究グループ」の職員が「保安要員」として自転車で伴走した。また、搭乗者はヘルメットを装着した。

表2 産総研職員による外勤利用実証概要

|             |  |
|-------------|--|
| 実施期間        | 2013年8月2日～10月28日                         |
| 区間          | 産総研つくば中央～つくば市サイエンスインフォメーションセンター：片道約4.5km |
| 実験モニター      | 産総研職員 拠点トレーナー；3名<br>ドライバー；30名            |
| Winglet利用方法 | 事前予約制、産総研職員が保安要員として並走                    |
| 利用回数        | 64回                                      |

### 2.2.1.3.2.

### イーアスつくば従業員による公道利用実証

通行ルートは、イーアスつくばと、つくばエクスプレス「研究学園駅」間の 700mの区間を主としたイーアスつくば周辺道路である。

当該ルートは一般道路の自転車歩行者道である。

つくば市のロボット実証実験特区でのローカルルールにより、一般の自転車歩行者道の区間では、搭乗型移動支援ロボットは車道側 2 m の部分を通行することとされている。

被験者は 6 名、全員が予めライセンス取得教育を受けた。

ライセンス取得後にロボットを利用する際は、事前に利用予約を入れる。

利用時には、運用主体である「スマートモビリティ研究グループ」の職員が「保安要員」として自転車で伴走した。また、搭乗者はヘルメットを装着した。

### 2.2.1.4. 実証結果

#### 2.2.1.4.1.

#### 利用結果の概要

被験者は 36 名（産総研 30 名、イーアスつくば従業員 6 名）。

利用回数は 106 回（産総研 64 回、イーアスつくば 42 回）。

走行距離は約 261km（産総研 213km、イーアスつくば 48km）。

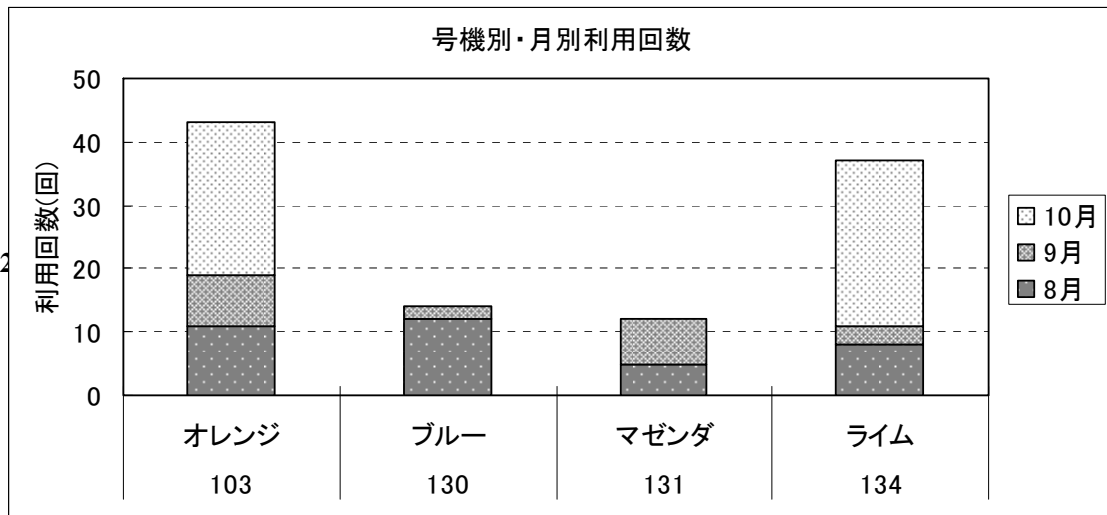


図2 本実証でのロボット利用実績(利用回数)

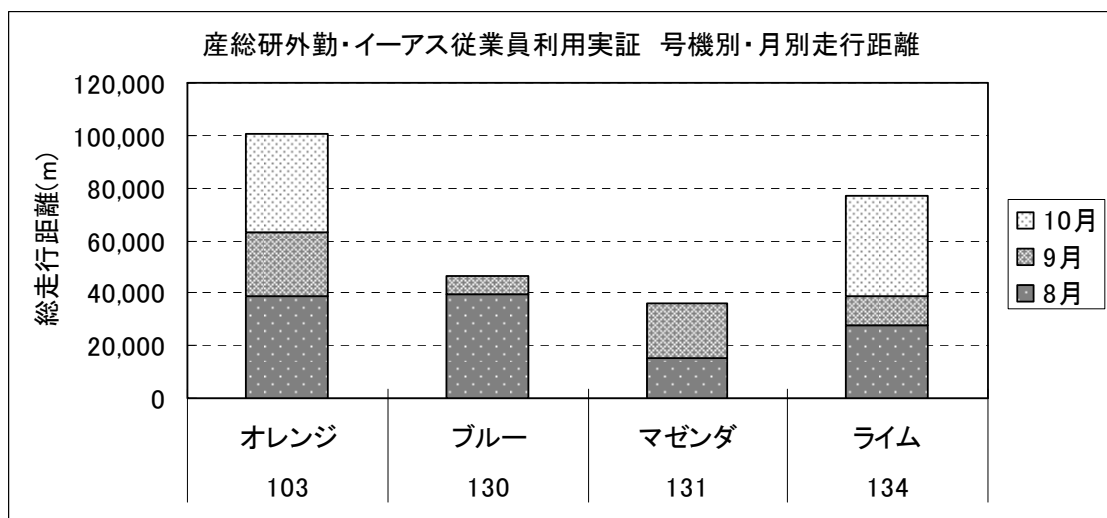


図3 本実証でのロボット利用実績(走行距離)

#### 2.2.1.4.3.

### 評価結果

#### ① 公道でのロボット安全利用実績

総走行距離 261km、延べ利用者数 106 回に及ぶ公道利用実証では、ロボット本体に起因する事故のみならず、周囲を通行する歩行者との事故及び自転車、自動車との交通事故は 1 件も発生しなかった。

ただし、ロボット実証実験特区では、保安要員の配置が義務付けられている。この条件下での事故ゼロであることに留意する必要がある。

#### i) 現ロボットの仕様の妥当性評価

・今回用いたロボットの仕様は、つくば特区内の公道環境でも安全に利用できる仕様となっているものと判断できる。

(降りて横断しなければならない横断歩道は、バリアフリーの観点での設計基準を超えている)

・特に、歩行者・自転車専用道区間の多くの部分が、凸凹の激しい石畳であったにも関わらず、安全に利用できた。このことは、他の公道でも安全に利用できる可能性が高いことを示唆している。

#### ii) 特区内での規制緩和要望での活用

・保安要員を配置していたとはいえ、200km を超える公道利用実証にて事故ゼロの安全実績を得た。

#### ② ヒヤリ事例の収集と分析、対応策の検討

重大なヒヤリは発生していないが、軽微なヒヤリ事象が 7 件発生した。

内訳は、「路面凸凹、段差によるロボットの振動でバランスを崩しそうになった」(4 件)、「横断歩道通行中の自動車の接近」「路肩への乗り上げまたは脱輪」「途中での充電切れ」(各 1 件)であった。

#### i) 現ロボットの仕様の妥当性評価

・本実証の評価の視点である、「歩行者等との混在環境」での安全性に関わるヒヤリは、極少数であったため、当該ロボットは他者・他車との親和性を有するものと示唆される。

・充電切れは、ロボットの充電管理方法の周知不足が原因であると考えられる。そのため、今後は充電管理の注意点を喚起する必要がある。(本実証でも、当該ヒヤリ発生後に運用管理者に注意喚起を実施した。)

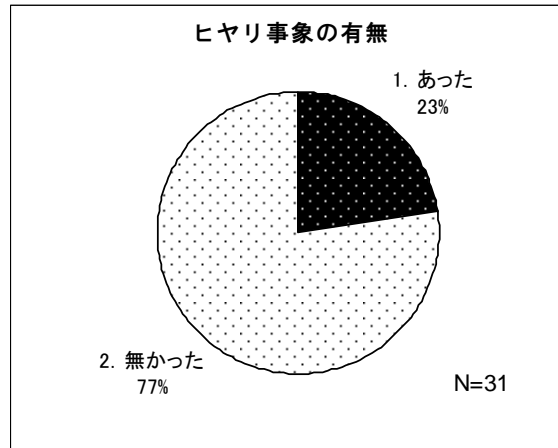


図4 産総研職員利用時のヒヤリ事象の有無

③ 安全性を担保する教育・トレーニングカリキュラムの試行

実証に先立ち、被験者に対するロボットの操作・操縦の教育・トレーニングを実施した。

教育・トレーニングカリキュラムには、被験者に対し、利用する公道環境において、特に注意が必要なリスクを把握してもらうため、実地教習（自動車運転免許における路上教習に相当）を付加した。

この結果、事故及び重大なヒヤリは発生しておらず、現地公道環境のリスクを教習する本教育・トレーニングカリキュラムは一定の効果があったものと考えられる。

2.2.1.5. 実証結果

① 延べ利用者数 106 人、総走行距離 260km 利用し、重大ヒヤリ・事故無しの実績を得た。  
（但し、道路交通法に基づき、ロボットの近傍にロボットに搭乗していない「保安要員」を配置している）

② 軽微なヒヤリとして、利用途中のバッテリー切れ、縁石への乗り上げ、といった事象がアンケート結果より得られた。

ロボット管理者に対し、利用前の充電管理の注意喚起を実施した。

③ 既存の教育カリキュラムに、利用地域内の公道環境にて特に注意すべき点を教習すべく、路上教習カリキュラムを追加導入した

重大なヒヤリ・事故が無かったため、導入効果は有ったものと考えられる。

## 2.2.2. つくば市役所勤務利用による公道実証

### 2.2.2.1. 本実証の位置づけ

公道実証は、ロボット（Winglet R401C）が公道を走行できる法制度環境の整備を目指し、「安全性」「普及性」、「必然性」の観点を実証項目として計画した。

本年度（2013年度）の実証は、特に「安全性」の検証に主眼を置き、StepA、StepB、StepCの3段階での実証を、つくば市の「ロボット実証実験特区」にて実施した。

StepAは「ロボット単体での走行安全性評価」を目的に、特区内の公道環境調査、ロボット開発技術者による試験走行を実施。ロボット仕様条件と比較し実公道環境下の危険箇所を抽出した。その危険箇所に応じて、ロボットの公道利用の運用ルールの見直し、及びロボット操作・操縦教育・トレーニングのカリキュラムの見直しへ反映した。

StepBでは、「歩行者等との混在環境での安全性評価」を目的に、被験者層を拡大し、教育・トレーニングを実施した上での公道利用実証を実施した。被験者は、産総研（産業技術総合研究所）の職員、及びつくば市役所職員を主な対象とした。以下、このStepBのうち、つくば市役所職員の方を被験者とした、通勤時の利用実証結果を報告する。

なお、StepCはStepA及びStepBを通してPDCAを実践した、ロボット公道利用時の利用ルール、交通ルールの妥当性・受容性の評価である。

表1 公道実証における実証ステップ

| 視点                               | 実施事項(案)  | 実施体制                                      | 使用機体数 |
|----------------------------------|--|---|-------|
| <b>A.</b><br>Winglet単体での走行安全性検証  | 1) 走行環境調査<br>2) 技術者による実走行(試験走行)<br>3) 安全に走行するために必要なメンテナンス内容と頻度の検証              | ・TMC                                      | 5台    |
| <b>B.</b><br>歩行者との混在環境での交通安全性    | 他の交通の安全を阻害しないことを、Winglet利用実証を通して確認<br>1) 歩行者等との安全性・親和性を有することの評価<br>2) ヒヤリ事象の収集 | ・つくばロボット特区実証実験推進協議会(つくば市)<br>・産総研<br>・TMC | 5台    |
| <b>C.</b><br>利用ルール、交通ルールの妥当性・受容性 | 1) Wingletの利用ルール、交通ルールの受容性・要望のアンケート調査<br>2) 利用ルール・交通ルール案の検討                    | ※Wingletの管理を一部、TMCから協議会へ移管させていただきます。      | 5～22台 |

### 2.2.2.2. 本実証の目的

「歩行者等との混在環境での安全性評価」として、以下の評価項目を設定した。

表2 産総研職員を対象とした実証における評価項目

| 評価項目                     |   | 評価結果の活用   |
|--------------------------|---|---|
| ①公道での安全利用実績・ヒヤリ事例評価      | 重大事故無しでの走行実績<br>ヒヤリ事例の収集(アンケート)         | 1)現ロボット仕様の実証<br>2)特区内規制緩和要望の際の安全性主張項目として活用<br>3)運用ルール、教育・トレーニングカリキュラムの更新により、安全性を高める |
| ②鉄道駅構内への乗り入れと駐機による連携実証評価 | 安全な駅構内通行実績<br>安全な駅構内での駐機実績<br>ヒヤリ事例の収集  | 1)鉄道等の公共交通機関との連携利用時の課題抽出  |
| ③見直した教育・トレーニングカリキュラムの妥当性 | 受講者による受容性評価(ヒヤリング)<br>トレーナーによる評価(ヒヤリング) | 1)教育・トレーニングカリキュラムの更新  |

### 2.2.2.3. 実証実施内容

本実証は、「つくば市科学技術振興課」が運用主体として実施した。

被験者は、つくば市役所職員であり、当該職員の朝夕の通勤のために、つくばエクスプレス（以下、TX）「研究学園駅」とつくば市役所庁舎間を移動する際の利用実証である。

#### 2.2.2.3.1.

#### つくば市役所職員による通勤時利用実証

通行ルートは、TX「研究学園駅」からつくば市役所での約0.7kmの区間である。

駅前から主要道路までは、駅前広場から連続する歩行者・自転車専用である。

主要道路と市役所庁舎にアプローチする道路は、自転車歩行者道が併設されており、ロボットはそこを通行する。

被験者は12名、全員が予めライセンス取得教育を受けた。

1週間を1クールとして、各週2名の被験者が通勤時に利用した。その間はTXを利用して通勤する（通常は自動車通勤）。

利用時には、運用主体であるつくば市「科学技術振興課」の職員が「保安要員」として自転車で伴走し、搭乗者はヘルメットを装着した。

#### 2.2.2.3.2.

#### TX「研究学園駅」構内への乗り入れと夜間駐機

通勤時の移動であるため、TX の協力により、「研究学園駅」構内へ乗り入れ、以下のよう  
に運用した。

##### ○自動改札の通過：

ロボットの幅員が 50cm であるため、車椅子の通過が可能な自動改札を利用

##### ○夜間駐機：

帰宅時に利用し、翌朝出勤時に利用するまで、駅構内で駐機。駅施設にワイヤーロー  
ープで括り施錠。

### 2.2.2.3.3.

#### 市役所庁内への乗り入れ

被験者は、市役所出入り口から自席まで、市役所庁内でもロボットに搭乗して移動した。

- ・エレベータ：搭乗したまま利用
- ・自席での駐機：出勤時から帰宅時まで、自席脇にて充電を兼ね駐機

### 2.2.2.4. 実証結果

#### (1) 利用結果の概要

被験者は9名。

走行距離は約30km。

#### (2) 評価結果

##### ① 公道でのロボット安全利用実績

#### 【安全利用実績】

実証期間中の公道利用実証では、ロボット本体に起因する事故のみならず、周囲を通行する歩行者との事故及び自転車、自動車との交通事故は1件も発生しなかった。

ただし、ロボット実証実験特区では、実証実験を実施するために取得する道路使用許可の要件に、保安要員の配置が義務付けられている。この条件下での事故ゼロであることに留意する必要がある。

#### 【ヒヤリ事例】

重大なヒヤリは発生していないが、アンケートより、「走行中不安に思うこと」について、以下の回答を得た。

#### <公道走行中に不安に感じた点（自由回答）>

■周りを良く見るようになり、足元の段差（マンホール等）に気づかず、不意にバランスを崩しそうになることがあった。

■バッテリーの容量が小さいため、途中で止まらないか不安になった。

■後から急いでいる人、自転車がこないか気になってよく後ろをふりむいていたので、バックミラーがあれば良いですね。

■荷物を方から下げて乗車しましたが、万が一のことを考え荷物は完全に体から離れ手が空くようにした方が良いと思いました。リュックでないカバンも使用できるよう、荷物置きがあるといいのではないのでしょうか。（雨対策のためフタがかぶせられるようなもの）



- 途中で電気がきれたら・・・と少し不安に感じました。替えのバッテリー等を持ち歩けるようになれば少し安心だと思います。
- 雨でぬれた道路の段差に多少不安を感じていたが、実際は不安なく走行できた。ので、特にない。
- 走行速度を 6km/h に制限する趣旨は分かるが、列走の際に、遅れてしまった場合や、横断歩道など、一時的に 6km/h 以上のスピードが必要になる場面が見受けられた。

【公道での安全なロボット利用に必要な制度・保安装置へのニーズ】

被験者に対し、公道で安全にロボットを利用するために必要な制度、及び装置についてアンケートによって意見を収集した。

◇ ロボットで公道を通行する際の望ましい通行場所

アンケート回答者（9名）のうち、8名が「歩道」と回答した。

その主な理由は、歩行者以外の自転車等他モードとの速度差が大きく、速度 6km/h の当該ロボットと同じ空間を利用するのは危険、との意見が多く見られた。

<公道走行での安全を確保するため、ロボットの走行場所として「歩道」を適切と回答した理由>

- 歩道だからこそ安心して乗れるから。
- 自転車との共存は危険。スピードが歩行と同等であれば、歩行者との共存に問題は無いと考えます。
- 「車道」は、幹線道路を除く。（歩道のない住宅街の道路等）住宅街の道路であれば車もスピードを出さず、危険が少ないため。
- 歩道・・・広い歩道であればこちらの方が安全
  - 車道・・・白線と歩道間に十分なスペースがあって、そこを走ればよい。
  - たまに高齢者が1人乗りの小型自動車！？に乗って車道のすみを走っているときがあるが、かなりあぶない。
- 走行速度が速いつくばの車道では危険なため
- モビリティロボットは、車や自動車とは比較できないくらい速度が遅いのでロボットの運転車にとっては車道走行は怖いと思います。また速度の問題から、車と同じように信号箇所に進むのは難しく、歩行者と同じように横断歩道を走行するのが良いと思いました。
- より人に近い場所なので、コミュニケーションがとれる。車道では、ウイングレットタイヤがぶつかったりする危険性が高く感じる。
- 最高速度が、自動車、バイク等と比べると著しく低いため、車道の走行は危険である。

◇ ロボットを公道で安全に利用する際に必要だと思う装置

回答者の半数以上が「必要」と回答した装置は、「後部反射器」「警音器」「ロボットに鋭い突起を有していないこと」の3点であった。

なお上記3点のうち、本実証にて装備していなかった装置は「後部反射器」のみであり、また、日中のみの実証実施であった。

重大なヒヤリ事象も発生していない点を踏まえると、これらのニーズは、利用者の安心感を得るためにニーズが高いものと考えられる。

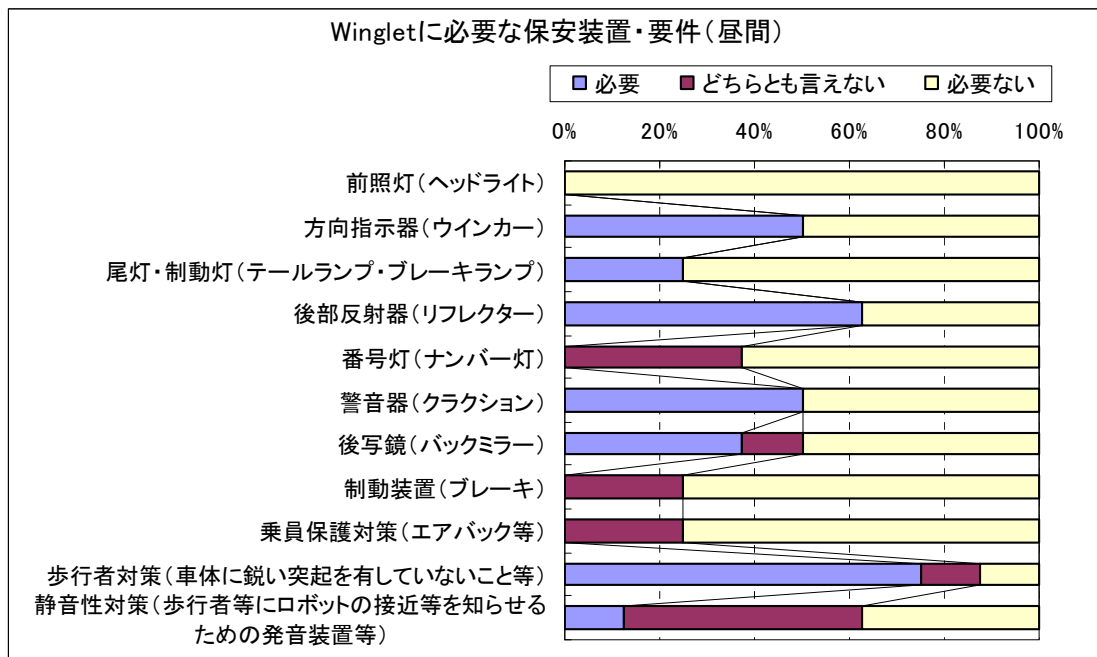


図3 Wingletに必要な保安装置・要件(昼間の利用)

**i) 現ロボットの仕様の妥当性評価**

- ・今回用いたロボットの仕様は、つくば特区内の公道環境及び駅構内の通行において、安全に利用できる仕様となっているものと判断できる。
- ・「歩行者等との混在環境」での安全性に関わるヒヤリは、極少数であったため、当該ロボットは他者・他車との親和性を有するものと示唆される。
- ・日中にロボットを利用するにあたっては、現在のロボットの仕様(装備)で十分であると考えられる。

**ii) 特区内での規制緩和要望での活用**

- ・現在の規制下では、安全に利用できる実績を得た。
- ・速度(6km/h)のロボットでは、歩行者との親和性が高いこと、及び他車両との速度差が大きく危険であることから、歩道通行ニーズが高いという結果を得ることができた。

**② 鉄道駅構内への乗り入れと駐機による、連携実証**

鉄道駅構内という公共性が高く、歩行者専用の空間への乗り入れと、夜間駐機を実施し、重大な事故及びヒヤリ事象は発生しなかった。

③ 安全性を担保する教育・トレーニングカリキュラムの試行

実証に先立ち、被験者に対するロボットの操作・操縦の教育・トレーニングを実施した。

教育・トレーニングカリキュラムには、被験者に対し、利用する公道環境において、特に注意が必要なリスクを把握してもらうため、実地教習（自動車運転免許における路上教習に相当）を付加した。

この結果、事故及び重大なヒヤリは発生しておらず、実地リスクを教習する本教育・トレーニングカリキュラムは一定の効果があったものと考えられる。

### 2.2.3. 公道実証まとめ

#### 2.2.3.1. 本実証の位置づけ

本実証は、立ち乗り搭乗型移動支援ロボットの安全データ取得のための、屋外実証評価である。

立ち乗り搭乗型移動支援ロボットの屋外での安全性は、利用者の安全性に着目した「単体での走行安全性」と、利用者以外の周囲歩行者や他交通との安全性に着目した「歩行者との混在環境での交通安全性」の2つの視点で捉えた。

また、上記2つの観点での安全性を横断的に捕捉する仕組みとして、「利用ルール・交通ルール」を位置づけている。

StepAは「ロボット単体での走行安全性評価」を目的に、特区内の公道環境調査、ロボット開発技術者による試験走行を実施。ロボット仕様条件と比較し実公道環境下の危険箇所を抽出した。その危険箇所に応じて、ロボットの公道利用の運用ルールの見直し、及びロボット操作・操縦教育・トレーニングのカリキュラムの見直しへ反映した。

StepBでは、「歩行者等との混在環境での安全性評価」を目的に、被験者層を拡大し、教育・トレーニングを実施した上での公道利用実証を実施した。被験者は、産総研（産業技術総合研究所）の職員、及びつくば市役所職員を主な対象とした。

StepCは、「利用ルール・交通ルールの妥当性・受容性評価」である。

屋外にて、ロボットを安全に利用して頂くには、利用者と周囲の歩行者等との間のルール（運用ルール・交通ルール）が必要である。

そこで、StepAの結果を踏まえて運用ルール・交通ルールを設定し、ロボット搭乗者へのそれらの教育カリキュラムを構築し、StepBの実証での被験者に適用した。

表1 公道実証における実証ステップ

| 視点                               | 実施事項(案)  |
|----------------------------------|--|
| <b>A.</b><br>Winglet単体での走行安全性検証  | 1) 走行環境調査<br>2) 技術者による実走行(試験走行)<br>3) 安全に走行するために必要なメンテナンス内容と頻度の検証              |
| <b>B.</b><br>歩行者との混在環境での交通安全性    | 他の交通の安全を阻害しないことを、Winglet利用実証を通して確認<br>1) 歩行者等との安全性・親和性を有することの評価<br>2) ヒヤリ事象の収集 |
| <b>C.</b><br>利用ルール、交通ルールの妥当性・受容性 | 1) Wingletの利用ルール、交通ルールの受容性・要望のアンケート調査<br>2) 利用ルール・交通ルール案の検討                    |

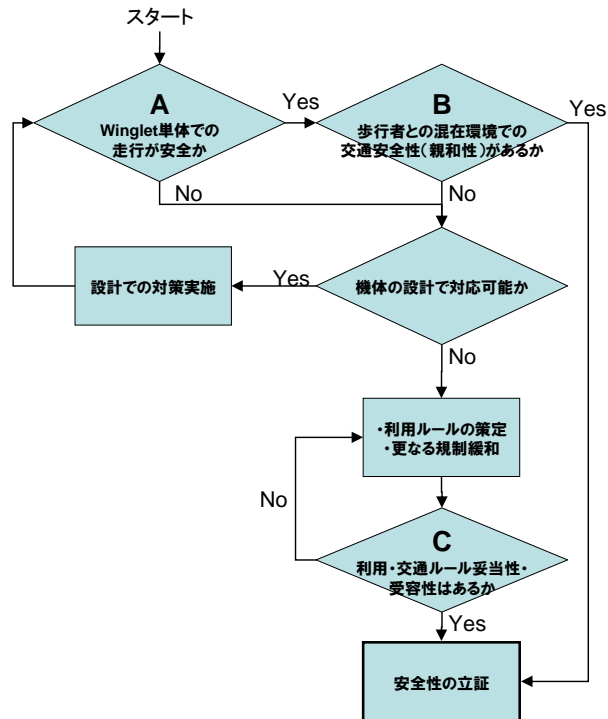


図1 公道実証における評価フロー

### 2.2.3.2. 公道での利用安全性データ取得結果

#### (1) StepA ロボット単体での安全性評価データの取得

ロボット単体での安全性評価に必要なデータとして、以下の項目のデータを取得した。

##### ① ロボットの仕様項目に該当する屋外公道環境データ

- ・ロボットの登坂能力や段差乗り越え条件等の仕様項目に該当する公道環境データ

##### ② 試験走行による安全実績データ

- ・ロボットの仕様条件内の環境にて、ロボットが安全に走行できる実績として、ボットに起因する事故、重大ヒヤリ実績無しでの走行距離、利用者数
- ・アンケート、ヒヤリングによる、顕在化した軽微なヒヤリ、及び潜在的なヒヤリを試験走行実施者よりヒヤリング事例

##### ① ロボットの仕様項目に該当する屋外公道環境データ

ロボットの仕様項目に該当する屋外公道環境データとして、表2に整理した6項目のデータを取得し、ロボットの仕様条件と比較した。

比較の結果、以下の項目において、本実証にて使用したロボットの仕様を満たさない以下の箇所の存在を確認した。

- ・段差：橋梁接続部、交差点等での縁石
- ・路面 $\mu$ ：鉄板、格子状鉄板、水溜り跡の砂利
- ・勾配：交差点等での縁石、交差点等でのアプローチ部

表2 ロボット仕様項目に対応した公道環境データ

◎:仕様を超える条件無し  
 △:通路・道路の一部に仕様を超える条件の路面有(回避した通行可能)  
 ×:通路・道路の幅員全てにわたり、仕様を超える条件の路面有(回避不可、降車必要)

| 項目              |               | 要求仕様内容                     | 1. 産総研ルート   | 2. 産総研敷地内ルート | 3. 市役所周辺ルート          |
|-----------------|---------------|----------------------------|---|--------------|----------------------|
| 1               | 明るさ(照度)       | 運転に支障なきこと                  | 97,700lux(イースに面する大通り(屋外))                                   |              |                      |
| 2               | 周囲音量(騒音)      | 商業施設60~80dB<br>住宅地:40~70dB | 71.2dB(イースに面する大通り(屋外))                                      |              |                      |
| 3               | 路面段差          | 20mm以上の段差無き事               | ×<br>橋梁部接続部のゴム  | ×<br>交差点部の縁石 | ◎                    |
| 4               | 路面摩擦          | $\mu > 0.5$                | ×<br>排水用鉄格子<br><br>△<br>網目状鉄板・ペイント<br>路面・WETでのマンホール・水溜り跡の砂利 | △<br>水溜り跡の砂利 | △<br>水溜り跡の砂利         |
| 5               | 坂路(路面傾斜)      | 勾配 $< 6^\circ$             | ×<br>交差点部の縁石  | ×<br>交差点部の縁石 | ×<br>交差点部の縁石         |
| 6               | 歩行者等通行量(人口密度) | 運転に支障なきこと(※)               | ◎<br>61人・台/時/幅員1m   | ◎<br>(ほとんど0) | ◎<br>9~119人・台/時/幅員1m |
| <b>距離</b>       |               |                            | <b>2.5km</b>  | <b>1.1km</b> | <b>1.9km</b>         |
| <b>障害が必要な箇所</b> |               |                            | <b>11箇所</b>   | <b>7箇所</b>   | <b>9箇所</b>           |

※ロボット実験特区内にて、6km/hを超える速度を出すことのできるロボットは、最混雑時の歩行者等の通行量が、幅員1mあたり120人・台/h以下であることが定められている。

## ②試験走行による安全実績データ

①で抽出したロボットの使用を超える危険箇所以外の公道環境において、ロボット開発技術者による試験走行を実施し、以下の安全性データを取得した。

### 【技術者による試験走行】

- 1) 使用するロボットの仕様条件を満たす公道環境での試験走行
- 2) ロボットの加速度、トルク値、そのほかエラー値を取得
- 3) 官能的な評価として、被験者が「怖い」と思ったか否かの判断

表3 試験走行により得た安全実績データ

| 試験走行実施日                      |            | 2013年4月22日～25日                   |             |                   |      |   |                 |                 |
|------------------------------|------------|----------------------------------|-------------|-------------------|------|---|-----------------|-----------------|
| 搭乗者属性                        |            | 性別:男性 身長:179.2cm 体重:90kg         |             |                   |      |   |                 |                 |
| 想定したヒヤリ箇所                    |            | 環境調査結果                           | 乗り方         | 実走行データ分析の結果       |      |   | 怖いかな            | 判断<br>走行への支障の有無 |
|                              |            |                                  |             | T-N               | 急動作  | 他エラー  |                 |                 |
| ①マンホール上                      | 産総研ルート     | ウェットの状態でμが仕様の範囲外である路面の代表         | 発進・停止       | 異常なし              | 異常なし | なし  | 否               | 無               |
| ②トンネル前後の傾斜路(石畳)              | 産総研ルート     | 勾配、段差共に仕様の範囲内だが、上記2つを有する複合路面(石畳) | 巡航<br>発進・停止 | 異常なし              | 異常なし | なし  | 否               | 無               |
| ③産総研裏門→つくばサイエンスインフォメーションセンター | 産総研ルート     | 距離が2.5kmあるため、電力が不足する場合も想定        | 巡航          | 異常なし              | 異常なし | なし<br>完走後の電池残量50%                           | 否               | 無               |
| 実走により仕様条件を満たしているか否かを判断する項目   |            | 環境調査結果                           | 乗り方         | 仕様条件              |      | 結論  | 判断<br>走行への支障の有無 |                 |
| ④周囲明るさ                       | 産総研・市役所ルート | 97,700lux(イースに面する大通り(屋外))        | 通常走行        | 運転に支障なきこと         |      | 安全に走行可能であったため、要求は満たしている<br>※ただし、LEDの視認性、悪い。 | 無               |                 |
| ⑤天候                          | 産総研・市役所ルート | Wingletで走る領域に雨、雪、風に晒される場合がある     | 通常走行        | 雨天、雪、強風時は、搭乗しないこと |      | 運用制限(雨天時中止)を設ける条件付で運用可能                     | 無               |                 |

続いて、上記試験走行による安全性確認後、①での公道環境データの取得結果、仕様を満たさない箇所を踏まえた以下のような運用ルールを設け、複数のロボット開発技術者による利用実証を実施した。

- ・ 通路、道路の一部に存在する場合：それらを避けて通行するよう注意喚起
- ・ 通路、道路の全幅員に渡る場合：降車して通行

技術者による利用実証より、以下の安全利用実績、アンケートによるヒヤリ事例データといった安全性データを所得した。

【複数のロボット技術者による実走行安全実績データ】

- 1) 利用実証被験者(開発技術者)数：70人
- 2) 総走行距離＝約400km  
この間、ロボットの故障、事故無し

【顕在化したヒヤリ、潜在的なヒヤリ事例の収集】

試験走行時に体験したヒヤリ、及び走行してみて想定したヒヤリに関する回答を194件得た

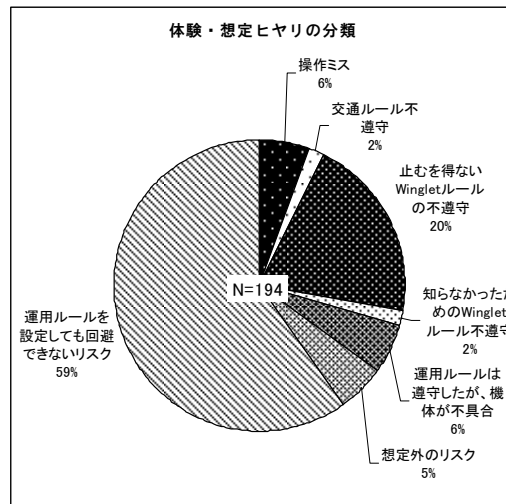


図2 収集したヒヤリデータの分類結果

これらのデータを踏まえ、運用ルールの改善を実施し、開発技術者以外の一般者を被験者とした屋外利用実証へ移行可能である、との判断をした。

(2) StepB 歩行者等との混在環境での安全性評価データの取得

StepA でのロボット単体での安全性評価結果を踏まえ、被験者属性を広げ、屋外利用での安全性データの取得した。

取得したデータ項目は以下の通りである。

- ・ロボットの仕様条件内の環境にて、ロボットが安全に走行できる実績として、交通事故、交通事故に繋がる重大ヒヤリ実績無しでの走行距離、利用者数

- ・ヒヤリング、アンケートによる、交通事故に繋がるヒヤリ事例

上記のデータを取得するために、つくばロボット実証実験特区にて、産業総合技術研究所及びイーアスつくば（商業施設）、つくば市役所の職員・従業員の方を限定した一般者被験者として、公道での利用実証実験を実施した。

実証実験の結果取得したデータを以下に整理する。

【歩行者等との混在環境での安全性データ】

- ・搭乗被験者数：延べ約 120 人、総走行距離＝約 300km
- ・重大なヒヤリ事象、及び事故事例無し（但し、保安要員を配置）
- ・軽微なヒヤリ事例：7件

「路面の凹凸、段差による振動でバランスを崩しそうになる」：4件

その他「路肩への乗り上げ・脱輪」「横断歩道での自動車の接近」

- ・潜在的なヒヤリとして、「走行中に不安に感じた点」を、被験者へのアンケートにより収集

表4 限定した一般者被験者の利用実証により得た安全利用実績

| 実証名称           | 実証区間  | 区間距離   | 備考                      | 延利用人数 | 総走行距離  |
|----------------|---|--------|-------------------------|-------|--------|
| 1) 産総研外勤利用     | 産総研 つくば中央事業所 ～ つくばサイエンスインフォメーションセンター(つくば駅前) | 約3.5km |                         | 64人   | 213 km |
| 2) つくば市役所通勤利用  | つくば市役所 ～ TX研究学園駅                            | 約0.7km | 市役所庁舎内乗り入れ 研究学園駅構内で夜間駐機 | 12人   | 30 km  |
| 3) イーアス従業員通勤利用 | イーアスつくば ～ TX研究学園駅                           | 約0.7km |                         | 42人   | 48 km  |
|                |   |        |                         | 118人  | 291 km |



表5 限定した一般者被験者の利用実証により得た安全実績データ

|                           | 開発技術者試験利用   | 産総研職員外勤利用   | つくば市職員通勤利用   |
|---------------------------|---|---|--|
| 実証利用場所                    | ①つくばサイエンスイノベーションセンター～洞峰公園(約2.5km)<br>②研究学園駅～つくば市役所～イースつくば(約2.1km) | ①つくばサイエンスイノベーションセンター～産総研(約4.0km)<br>②研究学園駅～イースつくば(約0.7km)     | ②研究学園駅～つくば市役所(約0.7km)  |
|                           |   |   | ・市役所庁内への乗り入れ実施<br>・つくばエクスプレス「研究学園駅」構内への乗り入れと夜間駐機を実施          |
| 利用結果<br>(利用回数または人数、総走行距離) | 延べ70回<br>400km  | 延べ106回<br>261km   | 12名<br>28km  |
| 評価事項                      | ①安全利用実績   | ロボットの故障無し<br>事故・重大ヒヤリ無し(但し、保安要員を配置)                           | ←  |
|                           | ②事故・ヒヤリ事例収集   | ・後方から来る自転車に接近、追い越されるときに追突されそうになる<br>・横断歩道での自動車が接近             | ・路面の凸凹、段差による振動でバランスを崩しそうになる<br>・路肩への乗り上げ・脱輪<br>・横断歩道での自動車が接近 |
|                           | ③利用・運用ルール評価   | 走行環境に存在するリスクを、実地教習により教育するカリキュラムを、搭乗者へのトレーニングカリキュラムに導入すべきと判断した | ・実地教習を備えたカリキュラムにて搭乗者トレーニングを実施<br>・事故、重大ヒヤリ無しの実績より、導入効果が認められる |
|                           | ④鉄道駅との連携課題抽出  |   | 駅構内への乗り入れ、構内での夜間駐機時に事故、ヒヤリ無し                                 |

<公道走行中に不安に感じた点(自由回答)>

- 周りを良く見るようになり、足元の段差(マンホール等)に気づかず、不意にバランスを崩しそうになることがあった。
- バッテリーの容量が小さいため、途中で止まらないか不安になった。
- 後から急いでいる人、自転車がこないか気になってよく後ろをふりむいていたので、バックミラーがあれば良いですね。
- 荷物を方から下げて乗車しましたが、万が一のことを考え荷物は完全に体から離れ手が空くようにした方が良いと思いました。リュックでないカバンも使用できるよう、荷物置きがあるといいのではないのでしょうか。(雨対策のためフタがかぶせられるようなもの)
- 途中で電気がきれたら・・・と少し不安に感じました。替えのバッテリー等を持ち歩けるようになれば少し安心だと思います。
- 雨でぬれた道路の段差に多少不安を感じていたが、実際は不安なく走行できた。ので、特でない。
- 走行速度を6km/hに制限する趣旨は分かるが、列走の際に、遅れてしまった場合や、横断歩道など、一時的に6km/h以上のスピードが必要になる場面が見受けられた。

(3) StepC 運用・交通ルールの妥当性・受容性に係るデータの取得  
StepAの結果より、運用・交通ルールを定め、搭乗者教育にてそれらを教育するカリキュラムを導入した。StepBの実証にて、上記の運用・交通ルールを適用し、被験者には上記カリキュラムでの搭乗者教育を実施した。

実証では教育内容の妥当性評価として安全利用実績を、受容性評価として被験者へのアンケートから運用・交通ルールに対する要望データを取得した。

**【運用・交通ルールの妥当性・受容性データ】**

- ・ 52名に対して、ロボット搭乗者教育を実施
  - StepB の利用実証にて、無事故・重大ヒヤリ無しの安全実績を得た
- ・ 運用・交通ルールに対する要望：歩道の通行要望、自転車と混在時の速度差による不安)

**2.2.3.3. まとめ**

(1) 本実証で取得した安全性データ

- ・ ロボット仕様項目に該当する公道環境条件として、明るさ、周囲の音量、段差高さ、勾配、路面摩擦係数、歩行者通行量を取得
- ・ 仕様条件下での技術者による走行実験にて、ロボットの最大トルク値、急動作
- ・ 安全走行実績の蓄積として、事故・ヒヤリ無しでの被験者（搭乗者）数、走行距離データを取得
- ・ 交通事故に繋がるヒヤリ事例の被験者（搭乗者）へのアンケート、ヒヤリングによる意見データを取得

## 2.3. 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのダミー試験による安全データ取得

### 2.3.1. 実験方針および計画

#### 2.3.1.1. 目的

二輪倒立ロボット Winglet では、NEDO プロジェクトにて人体ダミーを使った安全性検証を予定している。

今回試験計画を立案するにあたり、下記 2 点の切口で RA を分析したので報告する。

1. 未検証項目・・・RA に列挙されているリスクの危険性（酷さ、頻度）が検証されていない項目
2. 計測可能性・・・人体ダミーを使って計測が可能な項目

#### 2.3.1.2. 概要

##### 2.3.1.2.1.

##### 観点

観点の考え方を下記 1, 2 に示す。

1. RA に列挙されているリスクの危険性（酷さ、頻度）が検証されているか？
  - ・低く見積もっていないか？対策が不十分な場合、規格標準に適合しないリスク、訴訟リスクあり
  - ・運用時（事前トレーニング等）で実際のリスクに対する説明責任が果たしているか？
2. 人体ダミーを使って計測が可能なか？
  - ・人体の傷害等、人体ダミーを使って計測することが有効な項目か？

##### 2.3.1.2.2.

##### リスク（酷さ、頻度）検証の方法

表 1 に、リスクマトリックスを示す。酷さ(Se)及び頻度(CI)の算出方法を下記に示す。

酷さ (Se) : ①から②を算出

- ①計測装置による物性値（加速度等）の定量化
- ②医学的知見に基づき傷害予測（AIS 値、ISS 値等）及び部基準の割り当て（1～5）

頻度 (CI) : 実環境の利用結果から算出

- ・実証試験を通したログデータ収集

現状、頻度は不明（データ不十分）であるが、酷さは計測可能である。酷さ 2 以上の項目について試験を選定する。

表1 リスクマトリックス

①物性値の計測      ②実環境の利用結果(ログデータ)

| 危害の酷さ(Se) |     | 危害の頻度(CI) |     |     |      |       |
|-----------|-----|-----------|-----|-----|------|-------|
| 部基準       | AIS | 3-4       | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 |
| 5         | 5   | B1        | B2  | A   | A    | A     |
| 4         | 3,4 | C         | B1  | B2  | A    | A     |
| 3         | 2   | C         | B1  | B1  | B2   | A     |
| 2         | 1   | C         | C   | B1  | B1   | B2    |
| 1         | 0   | C         | C   | C   | C    | B1    |

また、表 2 に評価試験に関する参照規格の有無のリストを示す。参照規格のない項目は、競合製品との差別化につながりやすいと考えられる。

実験により、定量的なデータに基づいて、競合製品よりも安全に関する優位性があると訴求できる可能性がある。

| 酷さ<br>(部基準) | 評価試験に関する参照規格の有無                       |                                      |
|-------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
|             | 有り                                    | 無し                                   |
| 5           | 電子機器誤動作(ペースメーカー等)<br>電子機器誤動作(ロボット誤動作) | 転落、転倒                                |
| 4           | 感電                                    |                                      |
| 3           | 切断(エッジ)、爆発、火傷、<br>突き刺し(目)             | 引きずり(骨折)、挟まれ(動力あり)、<br>衝撃(動力あり、周囲の人) |
| 2           |                                       | 転倒(強制降車→打撲)、<br>転倒(乗車/降車→打撲)、押しつぶし 等 |
| 1           |                                       | (省略)                                 |

人体の傷害 ⇒人体ダミーで計測可能  
参照規格無し⇒未検証であり、  
競合製品との差別化につながり易い

2.3.1.2.3.

人体ダミーで試験すべきリスクの選定、優先順位付け

表 3 に実施要否の判断リストを示す。必ずしも酷さの検証が十分にできていると言い切れない項目は【未検証項目】の列に○を、人体ダミーで計測可能な項目は【計測可能性】の列に○をしている。2つの切り口で実施要否を選定している。

表3 実施要否の判断

| 危険現象                 | 酷さ         | RA項目数 | 選定の切口 |       | 総合判断<br>(優先度) | 結論<br>(実施要否) |                |
|----------------------|------------|-------|-------|-------|---------------|--------------|----------------|
|                      |            |       | 未検証項目 | 計測可能性 |               |              |                |
| 転倒                   | 前方         | 5     | 158   | ○     | ○             | 2位           | 要:12月          |
|                      | 側方         |       |       | —     | ○             | —            | 転倒モード<br>なし、不要 |
|                      | 後方         |       |       | —     | ○             | —            | (3月実施済)        |
| 転落                   | 5          | 1     | —     | ○     | —             | —            |                |
| 電子機器誤動作              | ペースメーカー等   | 5     | 1     | —     | —             | —            | —              |
|                      | ロボット誤動作    | 5     | 2     | —     | —             | —            | —              |
| 感電                   | (低電圧以外)    | 4     | 1     | —     | —             | —            | —              |
| 引きずり                 |            | 3     | 1     | —     | —             | —            | —              |
| 挟まれ(動力あり)            |            | 3     | 2     | —     | —             | —            | —              |
| 衝撃(動力あり、<br>周囲の人に衝突) | 走行中(有人)    | 3     | 99    | ○     | ○             | 1位           | 要:6月11月        |
|                      | 降車後(無人)    | 2     | 4     | —     | ○             | —            | —              |
| 切断                   |            | 3     | 1     | —     | —             | —            | —              |
| 突き刺し                 |            | 3     | 1     | —     | —             | —            | —              |
| 爆発(電池)               |            | 3     | 12    | ○     | —             | —            | —              |
| 火傷(通院要)              |            | 3     | 7     | —     | —             | —            | —              |
| 押しつぶし                |            | 2     | 37    | ○     | ○             | —            | 衝撃結果<br>より判断   |
| 転倒                   | 強制降車中(打撲)  | 2     | 1     | —     | ○             | —            | —              |
|                      | 乗車/降車中(打撲) | 2     | 93    | —     | ○             | —            | 後方転倒結<br>果に内包  |

2.3.1.3. 結論

RA を分析した結果、【Winglet での走行中の衝突実験】を最優先で実施する必要があることが判明した。

### 2.3.2. 衝突姿勢の違いによる対物衝突検証

二輪倒立ロボット Winglet では、NEDO プロジェクトにて人体ダミーを使った安全性検証を実施している。今回、壁へ衝突した際に搭乗者が受ける頭部への衝撃（HIC）について、姿勢の違いによる影響を確認をするために、衝突実験を実施したので結果を報告する。

#### 2.3.2.1. 試験概要

##### 条件の絞り込み

Winglet の速度、乗車姿勢、進行方向、搭乗者の身長・体重等、組合せが膨大になるため、事前にシミュレーション解析や知見者へのヒアリングにて条件の絞り込みを行った。

表 1 に優先度を考慮して絞り込んだ因子および水準を示す。

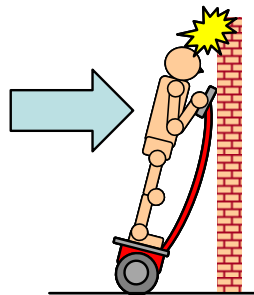
また、SQC 手法（実験計画）を用いて、実験回数を 16 回（最小限）に抑えて実験した。

表1 因子および水準

| 因子         | 水準       |    |           |    |
|------------|----------|----|-----------|----|
|            | 1        | 2  | 3         | 4  |
| A 時速[km/h] | 3        | 6  | 9         | 12 |
| B ダミー姿勢    | 前傾(3deg) | 直立 | 後傾(10deg) |    |
| C 性別(体重)   | 男性       | 女性 |           |    |

##### 実験手順

- ①ホイストで人体ダミー人形を Winglet に立たせる
- ②Winglet を押し出し装置にセットする
- ③押し出し装置の速度を設定する
- ④押し出し装置を発車する
- ⑤壁へ衝突させる
- ⑥人体ダミーを PC につなぎ、  
頭部障害データを解析する



##### 試験日時

2013年6月24日（月）～28日（金）

##### 試験場所

生活支援ロボット安全検証センター

##### 結果

図 1 に試験結果を示す。頭部への衝撃（HIC）の結果は、A) 速度が 1%有意となり、B)

姿勢や C) 性別（身長、体重）の違いによる影響は小さいことが判明した。

HICは自動車安全基準に正規化した値。

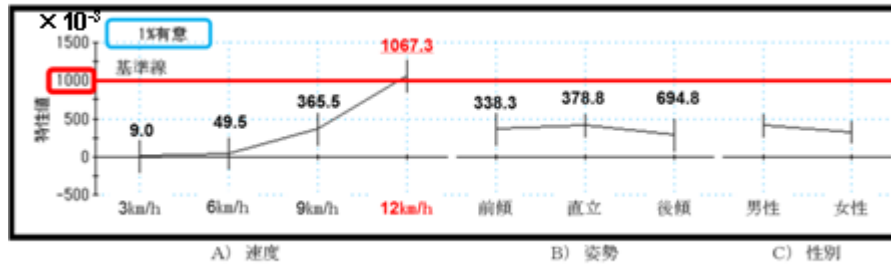


図1 HIC結果

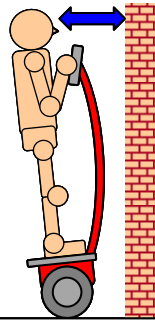


図2 後傾姿勢と壁との距離

### 2.3.2.2. 考察

1次衝突の頭部への衝撃（HIC）は、速度に依存している。

前傾、直立に比べて後傾の方がやや低い値になっているのは、図2に示した通り頭部と壁との間の距離が広くなり、ハンドルによって衝撃吸収されたためと考えられる。

### 2.3.2.3. 結論

頭部への衝撃（HIC）は速度に依存していることが分かった。

前傾（加速中）、直立（定常走行）、後傾（急ブレーキ）という姿勢の違いによる HIC への影響はほぼ発生しない。

### 2.3.3. 対物衝突に関する競合製品との差別化検証

#### 2.3.3.1. 目的

二輪倒立ロボット Winglet では、NEDO プロジェクトにて人体ダミーを使った安全性検証を実施している。

今回、壁へ衝突した際に搭乗者が受ける頭部への衝撃（HIC）について、競合製品と比較するために衝突実験を実施したので結果を報告する。

#### 2.3.3.2. 試験概要

##### 試験条件

表 1 に因子および水準を示す。

Winglet の最高速度は 6km/h であるが、競合製品を模擬するために 12km/h まで速度を上げて実験を行った。

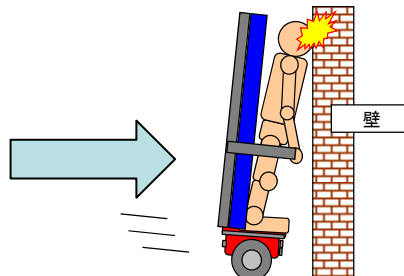
また小走りを模擬するために、ハンドルなしの台車も条件に追加した。

表1 因子および水準

| 因子         | 水準 |    |   |    |
|------------|----|----|---|----|
|            | 1  | 2  | 3 | 4  |
| A 時速[km/h] | 3  | 6  | 9 | 12 |
| B 性別(体重)   | 男性 | 女性 |   |    |
| C ハンドル有無   | 有り | なし |   |    |

##### 実験手順

- ①ホイストで人体ダミー人形を台車に立たせる
- ②Winglet を押し出し装置にセットする
- ③押し出し装置の速度を設定する
- ④押し出し装置を発車する
- ⑤壁へ衝突させる
- ⑥人体ダミーを PC につなぎ、  
頭部障害データを解析する



#### 2.3.3.3. 結果

図 1 に試験結果を示す。頭部への衝撃（HIC）の結果は、A) 速度と、B) 性別（身長、



体重)が1%有意となり、C) ハンドル有無(ロボット乗車、小走り)の違いによる影響は小さいことが分かった。また寄与率をみると、A) 速度が92%、B) 性別は2%となっており、ほとんどが速度に依存している。 ※【人体ダミー実験報告 2/4】と同等の結果速度は、12km/hを超えるとHICは自動車安全基準の>1倍となることが分かった。

HICは自動車安全基準に正規化した値。

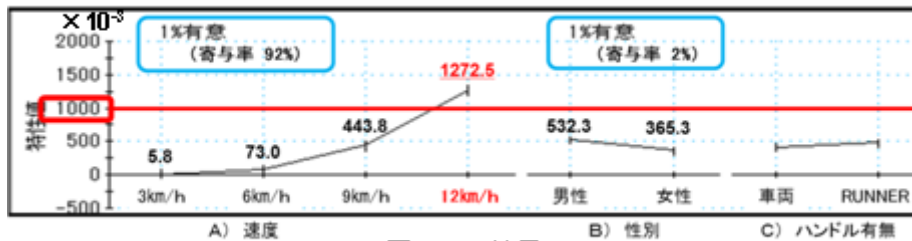


図1 HIC結果

HICは自動車安全基準に正規化した値。

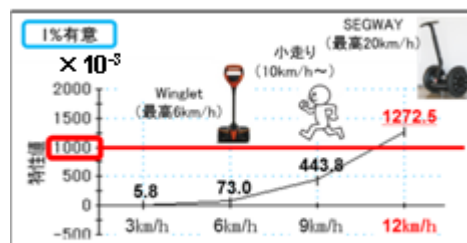


図2 衝突時のHIC比較

#### 2.3.3.4. 考察

図2に示した通り、Wingletのほうが競合製品(6km/h以上で移動する二輪倒立モビリティロボット)や小走り状態よりも安全に関して優位であると言える。

#### 2.3.3.5. 結論

頭部への衝撃(HIC)は速度に依存していることが分かった。 ※【人体ダミー実験報告 2/4】と同等の結果となった

Wingletのほうが競合製品(6km/h以上で移動する二輪倒立モビリティロボット)よりも安全に関して優位であると言える。

例)・Wingletの最高速度 [6km/h]で壁に衝突した場合、HICは自動車安全基準の0.0073倍

・競合製品 Segway の最高速度 [20km/h]で壁に衝突した場合、HICは自動車安全基準の>1倍

## 2.3.4. 対人衝突における1次衝突の検証

### 2.3.4.1. 目的

二輪倒立ロボット Winglet では、NEDO プロジェクトにて人体ダミーを使った安全性検証を実施している。

今回、Winglet 乗車状態で人と衝突した際に、ぶつかられた側の人を受ける頭部への衝撃（HIC）を確認するために、対人衝突実験を実施したので結果を報告する。（1次衝突のみ確認、床等への2次衝突は考慮しない。）

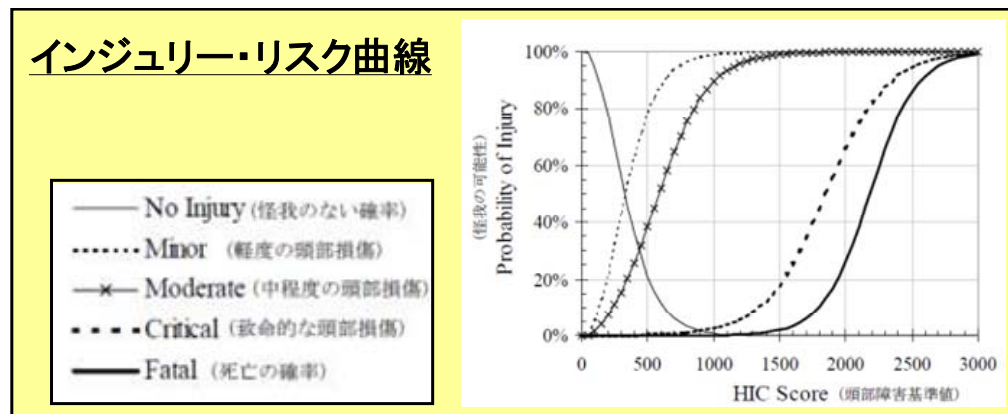
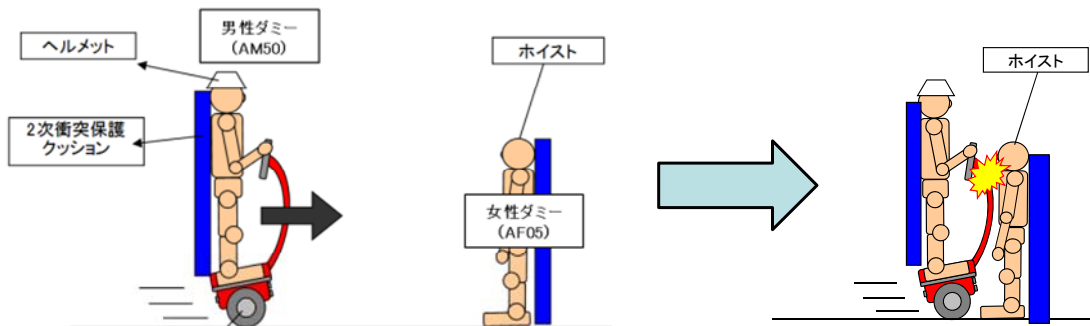
### 2.3.4.2. 試験概要

#### 試験条件

- ・速度 3, 6, 9, 12km/h の4水準（各 N=1）
- ・人体ダミー役割（2体）
  - AM50) Winglet 乗車状態で AF05 へ衝突
  - AF05) 直立状態で衝突される ※測定対象

#### 実験手順

- ①ホイストで AM50 を Winglet に立たせる
- ②Winglet を押し出し装置にセットする
- ③AF05 をホイストで吊り上げて自立させる
- ③押し出し装置の速度を設定し、発車する
- ④AF05 へ衝突させる
- ⑤AF05 を PC につなぎ、頭部障害データを解析する



### 2.3.4.3. 結果

表1に試験結果を示す。頭部への衝撃（HIC）の結果は実験した12km/hまでの速度であれば、小さく問題ない事が分かった。この結果をインジュリー・リスク曲線に当てはめた場合、

全く怪我のない確率が95%以上、  
致命傷になる確率は限りなくゼロとなっている。

表1 HIC結果

| No. | 試験日      | 時速<br>[km/h] | HIC結果<br>×10 <sup>-3</sup> | モード（人体ダミー種類） |
|-----|----------|--------------|----------------------------|--------------|
| 1   | 11/25 AM | 3            | 1                          | 1次衝突（AF05）   |
| 2   | 11/25 AM | 6            | 4                          | 1次衝突（AF05）   |
| 3   | 11/25 PM | 9            | 14                         | 1次衝突（AF05）   |
| 4   | 11/25 PM | 12           | 22                         | 1次衝突（AF05）   |

HICは自動車安全基準に正規化した値。

HICは自動車安全基準に正規化した値。

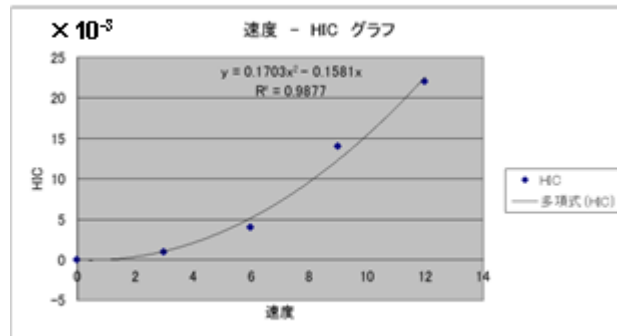


図1 速度-HICグラフ

表2 速度-HICの関係

|     | 速度 | HIC                  |
|-----|----|----------------------|
| 実験値 | 0  | 0 × 10 <sup>-3</sup> |
|     | 3  | 1                    |
|     | 6  | 4                    |
|     | 9  | 14                   |
|     | 12 | 22                   |
| 予想値 | 20 | 64.956               |
|     | 40 | 266.152              |
|     | 60 | 603.588              |
|     | 70 | 823.396              |
|     | 80 | 1077.264             |

HICは自動車安全基準に正規化した値。

### 2.3.4.4. 考察

試験結果から作成した速度-HIC グラフを図1に示す。図1の近似式より予想した速度-HICの関係リストを表2に示す。

表2より、70km/h以上の速度でぶつかられた場合に、HICは自動車安全基準の>1倍となる可能性があると考えられる。

#### 2.3.4.5. 結論

Winglet 乗車中の人（最高時速 6km/h）にぶつかられても、1 次衝突の値は小さく問題ないことが分かった。※

HIC が自動車安全基準の>1 倍となるのは、衝突速度が 70km/h を超えるときである。

※ 事前にヒアリングした知見者の見解と同じ結果である。

## 2.4. 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのリスクアセスメント

### 2.4.1. 目的

立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの転倒シミュレータによる安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの屋外実証評価による安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのダミー試験による安全データ取得，北米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての調査を踏まえてより実践的なリスクアセスメントを立ち乗り搭乗型生活支援ロボットに対して開発する。

### 2.4.2. 実施内容

立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの転倒シミュレータによる安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの屋外実証評価による安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのダミー試験による安全データ取得の結果及び，北米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての調査で明らかになったリスク低減の観点を Winglet リスクアセスメントにフィードバックした。

### 2.4.3. 結果

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Purpose:                  | Transport a person from one location to another   |
| Size and mass of robot:   | 1.2 – 1.4 m high (adjustable) and approximately 25 kg   |
| Affected user groups:     | Mobility passenger, trainer, people around mobility robot (bystanders, walkers, etc.)   |
| Environmental conditions: | Limited to environments with limited unevenness and small slopes.   |
| Other limits/assumptions: | All manoeuvres are handled by a passenger on board, only certified (or trained) person with no physical disability can be on board, recommended passenger age is 14 – 50 years old with weight less than 100 kg.<br>The maximum travel speed is limited to 6 km/h.  |
| Scenario:                 | Transport a person from one location to another indoors on a flat surface without any gaps<br><ol style="list-style-type: none"><li>1) User turns the power on the personal transport robot</li><li>2) User embarks on to the mobility robot</li><li>3) User travels around or stops still on the mobility robot</li><li>4) User disembarks from the mobility robot</li><li>5) User connects the mobility robot to its charging equipment</li></ol> |

**Table X.Y.Z — Risks associated with people carrier robots - personal transport robot**

*NOTE 1. It is necessary to determine appropriate and practical SIL levels, based upon the potential cost to reduce risks and its effect (benefit), although a robot product would become widely acceptable to the society so long as an estimated SIL satisfies its target value.*

*NOTE 2. The SIL and PL values as well as the “Risk estimation” shown in the following table are ONLY EXAMPLES, and thus these values would most likely vary in accordance with a robot design and specifications, use scenario, and other conditions and limitations.*

| Hazard   |                              | Risk estimation   | Risk reduction  |   | Residual risk   |
|--|------------------------------|---|---|---|---|
| Potential consequence  | Hazard source                | Significance of risk reduction                              | Inherent measures   | Safeguarding measures   | Information for use   |
| Collision<br>(Mobility crushing to walls, pillars, etc.)<br>(Scenario 3)<br>(Table A.2-1)                  | Mobility and its environment | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High   | 5.8.7.2:<br>Restriction of speed (use of low-power/speed motors)<br>5.8.2.2: Light weight design<br>5.4.2: No sharp projections / edges on outer covers | 5.8.7.3: Speed restriction and Safety-related speed control<br>(PL c / SIL 1) | 5.8.7.4:<br>Training on system information<br>8.2.4: Training on any limitations and requirements<br>8.2.7: Training on emergency situations & procedures |
| Impact<br>(Passenger getting crushed between mobility and ground / walls)<br>(Scenario 3)<br>(Table A.2-2) | Mobility and its environment | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Unlikely<br>e) High | 5.8.7.2:<br>Restriction of speed (use of low-power/speed motors)<br>5.8.2.2: Light weight design  | 5.8.7.3: Speed restriction and Safety-related speed control<br>(PL c / SIL 1) | 5.8.7.4:<br>Training on system information<br>8.2.4: Training on any limitations and requirements<br>8.2.7: Training on emergency situations & procedures |

| Hazard   |                                | Risk estimation   | Risk reduction  |   | Residual risk  |
|--|--------------------------------|---|---|---|--|
| Potential consequence  | Hazard source                  | Significance of risk reduction                                  | Inherent measures   | Safeguarding measures   | Information for use  |
| Falling from mobility due to sudden acceleration / deceleration (Impact)<br>(Scenarios 2, 3, 4)<br>(Table A.2-3) | Mobility (cabin or foot board) | a) Minor<br>b) Infrequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) Ordinary | 5.8.7.2:<br>Restriction of speed (use of low-power/ speed motors)     | 5.8.7.3: Speed restriction and Safety-related speed control (PL c / SIL 1)            | 5.8.7.4:<br>Training on system information<br>8.2.4: Training on any limitations and requirements<br>8.2.7: Training on emergency situations & procedures    |
| Object drawing-in (Scenario 3)<br>(Table A.2-4)  | Wheels and mobility body       | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High       | 5.11.2:<br>Mechanical design with as little holes or gaps as possible | 5.11.3: Use of fixed/movable guards around wheels                                     | 5.11.4: System information and Warning labels<br>8.2.4: Training on any limitations and requirements<br>8.2.7: Training on emergency situations & procedures |
| Slipping (Scenarios 2, 3, 4)<br>(Table A.2-5, A.2-29)  | Wheels                         | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High       | 5.8.3.2: Use of high-friction tires                                   | 5.8.3.3: Physical restriction and control to avoid sudden acceleration (PL b / SIL 1) | 5.8.3.4:<br>information for use with environmental conditions under the mobility can operate   |

| Hazard   |   | Risk estimation  | Risk reduction   |  | Residual risk   |
|--|---|--|--|--|---|
| Potential consequence  | Hazard source   | Significance of risk reduction                                     | Inherent measures  | Safeguarding measures  | Information for use   |
| Tripping or Falling<br>(Scenarios 2, 4)<br>(Table A.2-6)         | Mobility (cabin or foot board)                              | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High          | 5.8.6.2 (a):<br>Mechanical (mobility shape) design for easy embarkation & disembarkation<br>5.8.6.2 (b):<br>Design of braking performance of the mobility platform to prevent runaway during embarkation/ disembarkation | 5.8.6.3 (a):<br>Controlled stop (active stability) control during embarkation / disembarkation<br>(PL c / SIL 1) | 5.8.6.4: Warning labels on steps and Proper training and instructions         |
| Electrical shock<br>(Scenario 1)<br>(Table A.2-9)                | Electrical terminals (connectors, battery)                  | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High          | 5.2. 2 and 5.3.1.2: Low power circuit design   | 5.2.3 and 5.3.1.3: Enclose all electrical terminals with guards  | 5.3.1.4: Warning labels   |
| Electrical shock<br>(Scenario 5)<br>(Table A.2-9)                | Electrical terminals (connectors, battery)                  | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High          | 5.2.2 and 5.3.1.2: Isolation of charging contacts or appropriate guards over charging contacts   | 5.2.3: Activation of charging power only when the mobility is connected<br>(PL b / SIL 1)                        | 5.2.4: Charging instructions<br>5.3.1.4: Warning labels                       |
| Fire (or Excessive Heat)<br>(Scenarios 1, 2, 3)<br>(Table A2-12) | Electrical terminals (short circuit on connectors, battery) | a) Major<br>b) Infrequent<br>c) Low<br>d) Unlikely<br>e) Very high | 5.5.4.2: Elimination or avoidance of extreme heat sources  | 5.5.4.3: Application of guards around electrical terminals   | 5.3.1.4: Warning labels<br>5.5.4.4: Instructions for handling and maintenance |



| Hazard  |  | Risk estimation  | Risk reduction  |  | Residual risk  |
|---|--|--|---|--|--|
| Potential consequence   | Hazard source                                      | Significance of risk reduction                                     | Inherent measures   | Safeguarding measures  | Information for use  |
| Burn<br>(Scenario 3)<br>(Table A.2-13,<br>A.2-31)   | Circuit or motor driver<br>(with high temperature) | a) Major<br>b) Infrequent<br>c) Low<br>d) Unlikely<br>e) Very high | 5.5.4.2: Use of material and its texture with appropriate thermal conductivity / dissipation  | 5.5.4.3: Heat dissipation mechanism (heat sinks, air flows with fan control)<br>(PL d / SIL 2) | 5.3.1.4: Warning labels<br>5.5.4.4: Instructions for handling and maintenance  |
| Continuous Vibrations<br>(Scenario 3)<br>(Table A.2-15)   | Mobility (cabin or foot board)                     | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Unlikely<br>e) High        | 5.5.2.2: Use vibration absorbing materials and mechanical components  | 5.5.2.3: Shock absorbing (suspension or cushion) mechanism                                     | 5.5.2.4: Specification of the vibrating mobility parts   |
| Discomfort (posture)<br>(Scenario 3)<br>(Table A.2-22)  | Mobility (cabin or foot board)                     | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High          | 5.7.2.2: Design mobility cabin without excess physical stress or discomfort   | 5.7.2.3: Shock absorbing (suspension or cushion) mechanism                                     | 5.7.2.4: Proper training to avoid traveling more than recommended time   |
| Stress / Fear (over speed)<br>(Scenario 3)<br>(Table A.2-25)  | Mobility (cabin or foot board)                     | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High          | 5.8.7.2: Restriction of speed (use of low-power/ speed motors)  | 5.8.7.3: Speed restriction and Safety-related speed control<br>(PL c / SIL 1)                  | 5.8.7.4: Proper training and instructions  |
| Hit / Step over (bystander's foot or body part within a proximity of mobility wheels)<br>(Scenario 3)<br>(Table A.2-35) | Mobility body (wheels)                             | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High          | 5.8.7.2: Restriction of speed (use of low-power/ speed motors)<br>5.8.2.2: Light weight design<br>5.4.2: No sharp projections / edges on outer covers | 5.8.7.3: Speed restriction and Safety-related speed control<br>(PL c / SIL 1)                  | 5.8.7.4: Proper training and instructions<br>8.2.4: Training on any limitations and requirements<br>8.2.7: Training on emergency situations & procedures |

| Hazard  |                                | Risk estimation   | Risk reduction   |  | Residual risk   |
|---|--------------------------------|---|--|--|---|
| Potential consequence   | Hazard source                  | Significance of risk reduction                              | Inherent measures  | Safeguarding measures  | Information for use   |
| Unintended start / move (due to vandalism) (Scenarios 2, 3, 4) (Table A.2-36) | Mobility body                  | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High   | 5.3.3.2: Measures to avoid unexpected start-up<br>5.8.2.2: Light weight design<br>5.4.2: No sharp projections / edges on outer covers          | 5.3.3.3: Notification of status change<br>6.8.6: Use of anti-vandalism circuitry (key start or password protection) (PL b / SIL 1) | 8.2.3: Instruction and training on prohibited usages  |
| Falling (from mobility cabin/ foot board) (Scenarios 2, 3, 4) (Table A.2-38)  | Mobility (cabin or foot board) | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Likely<br>e) High   | 5.8.2.2, 5.8.3.2, and 5.8.6.2: Design of mass distribution and shape of the robot for easy embarkation & disembarkation (e.g. Low step design) | 5.8.6.3 (a): Controlled stop (active stability) control during embarkation / disembarkation (PL c / SIL 1)                         | 5.8.6.4: Warning labels on boarding steps<br>5.8.6.4: Proper training and instructions for safe embarkation & disembarkation  |
| Falling (due to imbalance) (Scenarios 2, 3, 4) (Table A.2-39)                 | Mobility (cabin or foot board) | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Unlikely<br>e) High | 5.8.2.2, 5.8.3.2, and 5.8.6.2: Design of mass distribution<br>5.7.2.2 and 5.8.5.2: shape of the robot  | 5.8.6.3: Active mobility balance control (PL b / SIL 1)  | 5.8.6.4: Proper training and instructions for safe operation<br>8.2.3: Training on range of applications and prohibited usages<br>8.2.4: Training on any limitations and requirements<br>8.2.7: Training on emergency situations & procedures |

| Hazard   |                              | Risk estimation   | Risk reduction   |   | Residual risk   |
|--|------------------------------|---|--|---|---|
| Potential consequence  | Hazard source                | Significance of risk reduction                              | Inherent measures  | Safeguarding measures   | Information for use   |
| Impact (collision / falling due to abnormal operation / maneuver) (Scenarios 2, 3, 4) (Table A.2-41) | Mobility and its environment | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Unlikely<br>e) High | 5.8.7.2: Restriction of speed (use of low-power/speed motors)<br>5.8.2.2: Light weight design<br>5.4.2: No sharp projections / edges on outer covers | 5.8.7.3: Speed restriction and Safety-related speed control<br>5.7.6.3: Active mobility balance control (PL c / SIL 1)  | 5.8.7.4: Training and instructions<br>8.2.4: Training on any limitations and requirements<br>8.2.7: Training on emergency situations & procedures |
| Impact (collision / falling due to brake malfunction) (Scenario 3) (Table A.2-41)                    | Mobility and its environment | a) Minor<br>b) Frequent<br>c) Low<br>d) Unlikely<br>e) High | 5.8.7.2: Restriction of speed (use of low-power/speed motors)<br>5.8.2.2: Light weight design<br>5.4.2: No sharp projections / edges on outer covers | 5.8.7.3: Speed restriction and Safety-related speed control<br>6.2.2.3: Secondary independent brake control / protective stop to bring mobility a safe stand-still stop and induce a passenger to safely disembark from the mobility (PL c / SIL 1) | 5.8.7.4: Training and instructions<br>8.2.7: Training on emergency situations & procedures  |

#### 2.4.4. 結論

立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの転倒シミュレータによる安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの屋外実証評価による安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのダミー試験による安全データ取得の結果及び，北米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての調査で明らかになったリスク低減の観点を反映した Winglet の実践的なリスクアセスメントが作成できた。

サービスロボットのリスク低減のため安全関連電子制御系を用いる場合，その設計に要求される安全度水準は最大 SIL2 であることが確認できた。

## 2.5. 北米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての調査

### 2.5.1. 調査目的

「生活支援ロボット」が実際の介護、福祉、医療機関で使われる場合や、研究開発段階でリスクに対する対策が、どのように織り込まれているか、欧米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての海外調査を実施した。

### 2.5.2. 調査必要性

当社が開発している、「生活支援ロボット」：①人搭乗型ロボット、②ベッド移乗支援ロボットなどに於いて対人安全機能を付与した形で開発を実施しているが、医療分野で使われる場合や、介護現場で使われる場合に、各国により付加される規格、基準などが多々存在しており、これらを調査することで安全技術へフィードバックすると共に、ISO の国際標準化提案にもつなげていく。

将来、当社「生活支援ロボット」が北米などでの使用を考えた時、研究開発段階でそのような規格、基準に対応した機能を織り込んでおく必要があり、今回、同様の「生活支援ロボット」を開発している北米研究機関、開発期間と情報交換をすると同時に、北米での医療機器の安全認証を担当している FDA の見解を調査した。

### 2.5.3. 調査期間

2012年7月22日－29日

### 2.5.4. 調査地

- (1) San Francisco, CA
- (2) Berkeley, CA
- (3) Mountain View, CA
- (4) Silver Spring, MD
- (5) Atlanta, GA

### 2.5.5. 「生活支援ロボット、安全機能」についての具体的調査内容

- (1) ユーザー医療機関調査；医療現場からの院内、人搭乗ロボットの移動安全に関わる懸念、要望事項  
\*EL Camino Hospital (CA), \*ICI (CA)
- (2) ロボット開発、研究機関調査；研究開発機関としての移動、人搭乗ロボットでの安全機能に関する考え方  
\*ICSI (CA), \*Georgia Tech (Atlanta), \*ITC (CA)
- (3) 認証機関調査；認証機関としての施設、院内での人搭乗ロボットの移動安全に関する着眼ポイント  
\*FDA (Washington)

### 2.5.6. 各調査地で得られた調査結果

- (1) ユーザー医療機関調査

#### (1)-1 1 El Camino Hospital (CA)

医療現場での院内、自律移動ロボットの移動安全に関わる運用状況と課題。  
血液などの倦怠を自律移動ロボットが院内運搬。

Aethon 社の TUG ロボット 19 台が稼動中。

- 要点1 障害物回避。手前 1 [m]でまず停止少し考えてから回避するしバックもする。
- 要点2 管理サーバーで現在位置、ロボットからの画像、ステータスなどが見れる。
- 要点3 自動巡回、自動充電（充電時間 40 分ぐらい）。
- 要点4 180 度旋回が必要な場所には、人が入らないようにテープ（Keep It Out）で囲まれている。
- 要点5 EV の利用はできるが、人と一緒に乗れないので、人が居なくなるまで待つ必要がある。ロボット単体になるように人が居なくなるまで待つ必要がある。ロボット単体になるように EV コントローラーが監視している。
- 要点6 病院のエントランスやロビーなどではロボットは稼動していない。

#### (1)-2 ICI (CA)

高齢者、特に認知症患者の介護を受け入れている、病院、ケアハウスでの自律移動ロボットの機能、安全必要要件について、現地観察、調査結果について議論。

- 要点1 人に対する衝突回避機能、ぶつかった時の転倒回避形状は必要。  
外皮も弾性のある、柔らかい表皮が望ましい。  
形状も突起の少ない、滑らかな形状が望ましい。
- 要点2 見守り機能について。  
徘徊、施設からの無許可外出について、見守り、注意喚起、自室へのガイド機能が望ましい。  
注意喚起は、音声もあるが、柔らかい光などによる注意喚起が望ましい。

#### (2) ロボット開発、研究機関調査

##### (2)-1 ICSI (CA), Prof. Trevor Darrell

ロボットの環境認識とその後の行動、自律移動、物体把持行動での認識アルゴリズムと行動安全の関係について議論。

- 要点1 物体把持に関する物体認識での、カテゴリー認識と絵柄によるマッチング認識の 2 方式の可能性がある。  
その場合、物体の姿勢を変えた時（横にするなど）の認識率への影響と、この状態で把持し、自律走行したときの周囲の環境物との干渉回避について議論。  
当面はロボット自体の占有する領域と、その前方にロボットの腕とある程度の把持物体の占有する領域を想定しておき、その範囲内に腕、把持物体をおさめる様にする腕の動きのアルゴリズムで、他の物体や人との干渉回避に対応することになる。

##### (2)-2 Gerogia Tech (Atlanta), Prof. Mike Stilman

ロボットの環境認識とその後の行動、自律移動、物体把持行動での認識アルゴリズムとロボットの行動安全のアルゴリズムについて議論。

- 要点1 ロボット経路計画後の人の腕などの介入時の安全回避方法。  
前方より暫時、接近して来る物体については、従来の 3D レーザセンシングによ

り、認識、回避行動演算できるが、瞬間的に出てくる腕などについては、3D レーザでは今は間に合わず、超音波又は、画像による検知と瞬時停止が、今の技術では対応できる範囲。ただし、物体の手渡しでは、手の正確な位置検出は必要になってくる。

- 要点2 物体把持後の移動中での環境障害物との干渉回避のための、行動形成アルゴリズムと把持計画時の物体の持ち方などの関係について議論。  
当面はロボット自体の占有する領域と、その前方にロボットの腕とある程度の把持物体の占有する領域を想定しておき、その範囲内に腕、把持物体をおさめる様にする腕の動きのアルゴリズムで、他の物体や人との干渉回避に対応することになる。

### (2)-3 ITC (CA)

ISO13482 のミラノ会議での要検討項目について検討。

- 要点1 UK から追加提案のあった、**Restraint-Free Physical Assistant** の PL 表には従来ウェアラブルタイプが対象であったが、「移乗ロボット」についても PL 対応提案があり、PL 値の妥当性について検討。  
「移乗ロボット」PL 対応については、英国側の日本での移乗作業、ロボット導入の動きに対する、横槍、ブレーキ的な動きとしての懸念もあるので、「移乗ロボット」PL 対応が国際委員会で上程されたのであれば、「移乗ロボット」は従来のウェアラブルと異なり外力を人体に動的に与えるものでないで、(どちらかと言えば静的にしかも、繰り返し数が少ない) よりリスクの少ないカテゴリーとしての対応になる様に提案すべき。
- 要点2 **Clause 6,11 (Operation Mode)** についての UK からの **Maintenance Mode** 追加提案に対し、**Autonomous, Semi-Autonomous, Manual, Maintenance** の 4 モードに対し各モードの **Input, Output, Logic** の観点からの対案について検討。  
確かに「**Maintenance Mode**」は必要になると考えられるので、条項に加える事は OK。ただし、監視者による非常停止などの安全対策実施を前提とした、ある程度、異常動作解析などが取り組める様な条項とすべき。
- 要点3 **WG8** の **Performance** 規格策定について、**Safety-related** から **Nonsafety-related** をメインとする一般性能についての規格化同行に対する対抗案を議論。  
規格化すると言っても安全と言った明確な評価軸が無いのに規格化ができるのか疑問。もし、評価軸として産業機械や電化製品の様に耐久性を軸とするならば、まず、サービスロボットとしての耐久性の必要性から議論必要。また、商品性から機能の特性を論じるならば、商品の嬉しさから評価軸を作っていく必要あり。ただし、サービスロボットは、今は市場創出しながら、商品性、耐久性を探っている段階。規格化の議論をするにはまだ早い。

### (3) 認証機関調査

#### (3)-1 FDA (Washington)

認証機関としての施設、院内での人搭乗ロボットの移動安全に関する着眼ポイント。

- 要点1 基本スタンス：北米では患者をユーザーとして医療施設内で扱うロボットは FDA の認証の対象となる可能性が高い。

要点2 対象ロボットによる認証判断のステップは以下の通り。

- (a) 対象のロボットが認証対象となるかは、新領域になるものが多いと考えるため、FDA513(g)への申請により審査、判断される。
- (b) Class II (non-invasive) で駆動源を伴う機器による治療、治癒が行われる場合) の場合は FDA510 (k) 又はそれよりはるかに厳しい PMA (Pre-Market Approval)が必要となる。
- (c) 認証プロセス期間はおよそ日本の 1/5 以下との印象：要因は2万人を超え、認証業務だけでなく、将来必要となる、機器に対する評価試験方法についての、積極筋骨格モデルを使ったシミュレーションを開発。

FDA は将来リハビリ訓練機器やパワーアシストスーツ等が実用化し世の中で使われる様になる事、また FDA としての認証が必要になる事を推定し、人体に対する影響評価を筋骨格シミュレーションなどを使って実施していた。(詳細は FDA との機密保持契約のため記載不可)

### 3. 成果の普及

表 3-1 公表

| 公開月                       | イベント名称                    | 場所               |
|---------------------------|---------------------------|------------------|
| 2010/02/10<br>-2010/02/20 | 人とロボットの<br>スペシャル<br>コンサート | アムラックス、<br>メガウェブ |
| 2010/02/27                | 豊田市発明ク<br>ラブ              | 愛・地球博記念公園        |
| 2010/03/01<br>-2010/03/02 | 次世代モビリ<br>ティフォーラ<br>ム     | 名古屋国際会議場         |
| 2010/10                   | 豊田市実証実<br>験               | 豊田市駅前            |
| 2011/04/19<br>-2011/04/28 | 上海モーター<br>ショー             | 中国上海             |
| 2011/06/05                | HUREAIday                 | トヨタスポーツセンター      |
| 2011/07/22<br>-2011/07/31 | インドネシアモーター<br>ショー         | インドネシア           |
| 2011/08/22<br>-2011/10/14 | Winglet 実証実<br>験          | カラフルタウン岐阜        |
| 2011/09/23<br>-2011/09/25 | モリコロパーク秋祭<br>り            | 愛地球博記念公園         |
| 2011/10/02                | TES フェスティバル               | トヨタスポーツセンター      |
| 2011/10/17<br>-2011/10/28 | Winglet 実証実<br>験          | 豊田市交通安全センター      |
| 2011/11/01                | ロボット発表<br>会               | メガウェブ            |
| 2011/11/14                | ロボット発表<br>会               | ラスベガススピードウェイ     |
| 2011/11/27                | ガズレーシングフ<br>ェスティバル        | 富士スピードウェイ        |
| 2011/11/30<br>-2011/12/11 | 東京モーターショー                 | 東京ビッグサイト         |
| 2011/12/06<br>-2011/12/07 | プリウスカッ<br>プ               | 富士スピードウェイ        |
| 2012/01/04<br>-2012/01/22 | タイBOIフ<br>ェア              | バンコク             |
| 2012/01/25                | ロボット発表<br>会               | ポートメッセ名古屋        |
| 2012/03/31<br>-2012/04/01 | サイクリング<br>ロード完成           | モリコロパーク          |



| 公開月                       | イベント名称                     | 場所              |
|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| 2012/04/19<br>-2012/04/21 | EV・PHV サミット                | 朱鷺メッセ（新潟）       |
| 2012/04/23<br>-2012/05/02 | 北京モーターショー                  | 中国北京            |
| 2012/06/14                | AFFITN（医学学会）               | ANA クラウンプラザ（金山） |
| 2012/09/20<br>-2012/09/30 | インドネシアモーターショー              | インドネシア          |
| 2012/10/17<br>-2012/10/19 | JAPAN ROBOT WEEK           | 東京ビックサイト        |
| 2012/11/15<br>-2012/11/16 | 明知スキルアップセミナー               | 豊田市             |
| 2012/11/16<br>-2012/11/18 | あいち次世代ロボットフェスタ             | モリコロパーク         |
| 2012/11/30<br>2012/12/01  | ものづくり博2012 IN 東三河          | 豊橋総合体育館         |
| 2013/02/14<br>2013/02/15  | くまもと産業ビジネスフェア              | グランメッセ熊本        |
| 2013/05/11<br>2013/05/12  | ドライブ王国2013in 福島            | ビッグパレットふくしま     |
| 2013/10/02<br>-2013/11/15 | Winglet 実証評価               | ららぽーと TOKYO-BAY |
| 2013/10/06                | T E S フェスタ                 | トヨタスポーツセンター     |
| 2013/10/12<br>2013/10/13  | にしお産業物産フェア                 | 西尾市文化会館         |
| 2013/10/24<br>-2013/11/08 | Winglet 業務利用追従             | ヴィーナスフォート       |
| 2013/11/21<br>-2013/11/22 | 海外メディアトリップ対応（Winglet 試乗対応） | 西浦モーターパーク       |

#### 4. 結論

本プロジェクトの達成度を表 4-1 に示す。

表 4-1 達成度

| 項目                                 | 目標   | 成果  | 達成度 |
|------------------------------------|--|---|-----|
| 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの転倒シミュレータによる安全データ取得 | <p>Winglet シミュレータは制御ソフトと機構解析モデルの閉ループ解析により Winglet の前後動作を再現する。シミュレータへの入力は搭乗者重心変化であり、これまではステップ波形で搭乗者重心変化を与えていた。ソフトウェアの動作確認では問題無いが、実験の事前検討やリスクアセスメントなどでは、車体の速度、ピッチ角、トルクには精度が求められる。Winglet 質量(約 20kg)に対して、搭乗者体重(成人男性約 70kg)が相対的に大きいため、精度の良い解析結果を得るためには、搭乗者重心変化を正確に再現する必要がある。</p> <p>人体ダメージを推定する方法として人体ダミーを用いた実験がある。人体ダミーは人体と同等の自由度を持ち、狙った通りの挙動をさせることが困難である。このため実験のやり直しや、方法の見直し</p> | <p>(c) モーションキャプチャを用いて実測した搭乗者加速動作に基づき、搭乗者加速動作モデルを開発した</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• マーカ座標から搭乗者の姿勢を算出、人体データベースに基づきし重心角を推定</li> <li>• 推定した重心角を Winglet シミュレータに指令値として与え、Winglet 加速動作をモデル上で再現</li> </ul> <p>(d) 再現結果と実測結果を比較し、定性的、定量的(精度 80%以上)に一致していることを確認した</p> <p>(c) 人体ダミーモデルとその解析環境を開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hybrid III 50th 立姿勢を機構解析ソフト R e c u r D y</li> </ul> | ◎   |

| 項目 | 目標  | 成果   | 達成度 |
|----|---|--|-----|
|    | <p>が発生し、実験回数が予定よりも増加してしまう傾向にある。そこで、シミュレータを用いて実験結果を事前に予測し、実験方法の問題点を洗い出し対策を実施しておくことが望まれている。</p> <p>人体ダミーには加速度計、角速度計、荷重計、変位計が頭部、首部、胸部、腰部、大腿部に内蔵されており、人体ダメージ推定実験では人体ダミーを衝突・転倒させて、これらセンサ値の計測結果を数値演算することにより各部位の傷害値を推定する。</p> <p>従来は傷害値を部内にて簡易計算式で概算する、あるいは第三者機関（JARI）などノウハウを所有する組織に計算を依頼する必要があり手間が掛かっていた。以下、傷害値算出に掛かる手間を削減するため、第三者機関（JARI）と同等の結果を算出可能な傷害値算出プログラムの開発</p> | <p>nを用いてモデル化（下図①参照）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 人体ダミー、Wingletの制御はMATLAB/Simulink上でコントローラを製作しWingletは速度、姿勢を直接指定する台車としてモデル化</li> </ul> <p>(d)開発モデルを用いた実験の事前検討を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Winglet搭乗者の壁衝突ダメージ測定実験の事前検討を実施。想定していた方法では狙った条件で人体ダミーが壁に衝突しないことが明らかとなり、事前に効果的な対策を検討・実施したことで実験回数を減らすことができた（下図③参照）</li> </ul> <p>実験後、解析結果と実験結果を比較し定性的に傾向が一致していることを確認</p> <p>(c)頭部、首部、胸部の代表的な傷害値（※1）を</p> |     |

| 項目                                      | 目標                                      | 成果  | 達成度      |
|---|---|---|----------|
|   |   | <p>算出するプログラム（※2）を開発した<br/> （※1）頭部・<br/> ・・H I C、首部・<br/> ・・・MOC、Nij、胸部・<br/> ・・・VC、CTI<br/> （※2）本プログラムは全ての実験端末で利用可能<br/> 第三者機関（J A R I）の解析結果と比較し誤差が十分小さいこと（誤差3%以下）を確認した</p>   |          |
| <p>立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの屋外実証評価による安全データ取得</p> | <p>ロボット公道利用時の利用ルール、交通ルールの妥当性・受容性の評価</p> | <p>① 延べ利用者数 106人、総走行距離 260km 利用し、重大ヒヤリ・事故無しの実績を得た。（但し、道路交通法に基づき、ロボットの近傍にロボットに搭乗していない「保安要員」を配置している）<br/> ② 軽微なヒヤリとして、利用途中のバッテリー切れ、縁石への乗り上げ、といった事象がアンケート結果より得られた。<br/> ロボット管理者に対し、利用前の充電管理の注意喚起を実施した。<br/> ③ 既存の教育カリキュラムに、利用地域内の公道環境にて特に注意すべき点を教習すべく、路上教習カリキュラムを追加導</p> | <p>◎</p> |

| 項目 | 目標 | 成果  | 達成度 |
|----|----|---|-----|
|    |    | <p>入した<br/>重大なヒヤリ・事故が無かったため、導入効果は有ったものと考えられる。</p> <p><b>i) 現ロボットの仕様の妥当性評価</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回用いたロボットの仕様は、つくば特区内の公道環境及び駅構内の通行において、安全に利用できる仕様となっているものと判断できる。</li> <li>・「歩行者等との混在環境」での安全性に関わるヒヤリは、極少数であったため、当該ロボットは他者・他車との親和性を有するものと示唆される。</li> <li>・日中にロボットを利用するにあたっては、現在のロボットの仕様（装備）で十分であると考えられる。</li> </ul> <p><b>ii) 特区内での規制緩和要望での活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現在の規制下では、安全に利用できる実績を得た。</li> <li>・速度(6km/h)のロボットでは、歩行者との親和性が高いこと、及び他車両との速度差が大きく危険であることから、歩道通行ニーズが高いという結果を得ることができた。</li> </ul> <p>②鉄道駅構内への乗</p> |     |

| 項目 | 目標 | 成果  | 達成度 |
|----|----|---|-----|
|    |    | <p>り入れと駐機による、<br/>連携実証</p> <p>鉄道駅構内という公共性が高く、歩行者専用の空間への乗り入れと、夜間駐機を実施し、重大な事故及びヒヤリ事象は発生しなかった。</p> <p>③ 安全性を担保する教育・トレーニングカリキュラムの試行</p> <p>実証に先立ち、被験者に対するロボット<br/>の操作・操縦の教育・<br/>トレーニングを実施した。</p> <p>教育・トレーニングカリキュラムには、被験者に対し、利用する公道環境において、特に注意が必要なリスクを把握してもらうため、実地教習（自動車運転免許における路上教習に相当）を付加した。</p> <p>この結果、事故及び重大なヒヤリは発生しておらず、実地リスクを教習する本教育・トレーニングカリキュラムは一定の効果があったものと考えられる。</p> <p>(1) 本実証で取得した安全性データ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボット仕様項目に該当する公道環境条件として、明るさ、周囲の音量、段差高さ、勾配、路面摩擦</li> </ul> |     |

| 項目                                     | 目標  | 成果   | 達成度      |
|--|---|--|----------|
|  |   | <p>係数、歩行者通行量を取得</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・仕様条件下での技術者による走行実験にて、ロボットの最大トルク値、急動作</li> <li>・安全走行実績の蓄積として、事故・ヒヤリ無しでの被験者（搭乗者）数、走行距離データを取得</li> <li>・交通事故に繋がるヒヤリ事例の被験者（搭乗者）へのアンケート、ヒヤリングによる意見データを取得</li> </ul>  |          |
| <p>立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのダミー試験による安全データ取得</p> | <p>二輪倒立ロボット <b>Winglet</b> では、NEDO プロジェクトにて人体ダミーを使った安全性検証を実施している。今回、壁へ衝突した際に搭乗者が受ける頭部への衝撃（HIC）について、姿勢の違いによる影響を確認</p> <p>壁へ衝突した際に搭乗者が受ける頭部への衝撃（HIC）について、競合製品と比較</p> <p><b>Winglet</b> 乗車状態で人と衝突した際に、ぶつかられた側の人受ける頭部への衝撃（HIC）を確認</p> | <p>頭部への衝撃（HIC）は速度に依存していることが分かった。</p> <p>前傾（加速中）、直立（定常走行）、後傾（急ブレーキ）という姿勢の違いによる HIC への影響はほぼ発生しない。</p> <p>頭部への衝撃（HIC）は速度に依存していることが分かった。<br/>※【人体ダミー実験報告 2/4】と同等の結果となった</p> <p><b>Winglet</b> のほうが競合製品（6km/h 以上で移動する二輪倒立モビリティロボット）よりも安全に関して優位であると言える。</p> <p>例）・ <b>Winglet</b> の最高速度 [6km/h] で壁に衝突した場合、</p> | <p>◎</p> |

| 項目                        | 目標   | 成果   | 達成度 |
|---------------------------|--|--|-----|
|                           |  | <p>HIC=73.0</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・競合製品 Segway の最高速度 [20km/h] で壁に衝突した場合、HIC は自動車安全基準の &gt;1 倍</li> </ul> <p>Winglet 乗車中の人（最高時速 6km/h）にぶつかられても、1 次衝突の値は小さく問題ないことが分かった。※</p> <p>HIC が自動車安全基準の &gt;1 倍となるのは、衝突速度が 70km/h を超えるときである。</p> <p>※ 事前にヒアリングした知見者の見解と同じ結果である。</p> |     |
| 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのリスクアセスメント | 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの転倒シミュレータによる安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの屋外実証評価による安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのダミー試験による安全データ取得，北米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての調査を踏まえてより実践的なリスクアセスメントを立ち乗り搭乗型生活支援ロボットに対して開発す | 立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの転倒シミュレータによる安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの屋外実証評価による安全データ取得，立ち乗り搭乗型生活支援ロボットのダミー試験による安全データ取得の結果及び、北米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての調査で明らかになったリスク低減の観点を反映した Winglet の実践的なリスクアセスメントが作成できた。  | ◎   |



| 項目                                  | 目標  | 成果   | 達成度 |
|-------------------------------------|---|--|-----|
|                                     | る。  | サービスロボットのリスク低減のため安全関連電子制御系を用いる場合,その設計に要求される安全度水準は最大 SIL2 であることが確認できた。  |     |
| 北米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての調査 | 「生活支援ロボット」が実際の介護、福祉、医療機関で使われる場合や、研究開発段階でリスクに対する対策が、どのように織り込まれているか、欧米のサービスロボット研究開発機関、実証機関での取り組みについての海外調査 | 以下の調査ができた<br>(4) ユーザー医療機関調査;医療現場からの院内、人搭乗ロボットの移動安全に関わる懸念、要望事項<br>*EL Camino Hospital (CA),<br>*ICI (CA)<br>(5) ロボット開発、研究機関調査;研究開発機関としての移動、人搭乗ロボットでの安全機能に関する考え方<br>*ICSI (CA),<br>*Georgia Tech (Atlanta), *ITC (CA)<br>(6) 認証機関調査;認証機関としての施設、院内での人搭乗ロボットの移動安全に関する着眼ポイント<br>*FDA (Washington) | ○   |

欧州において環境への配慮の観点から、小型電動車両の普及に向けた法規の整備が始まっておりすでにイギリス、フランスでは一般人がセグウェイを公道で使用できるようにする法律の策定作業が進んでいる。また、セグウェイの発祥地であるアメリカ合衆国ではすで

にセグウェイを公道で使用できるよう法規の整備が完了している。

日本は小型電動車両の普及に向けた法規の整備の点で欧米に遅れをとっており，小型電動車両の産業により多くの国内メーカーが参入しやすいように，又，日本社会が小型電動車両の安全性や歩行者との親和性を受け入れやすく，小型電動車両の普及がしやすい環境を作るため，本プロジェクトでは小型電動車両の1つである搭乗型生活支援ロボットの実践的なリスクアセスメントを開発した。

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

| 区分<br>年度 | 特許出願 |    |            | 論文・記事    |         | その他外部発表     |                        |             |
|----------|------|----|------------|----------|---------|-------------|------------------------|-------------|
|          | 国内   | 外国 | PCT※<br>出願 | 査読<br>付き | その<br>他 | 学会発表<br>・講演 | 報道（新聞<br>・雑誌等へ<br>の掲載） | その他展<br>示会等 |
| H21FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 1件       | 0件      | 1件          | 4件                     | 0件          |
| H22FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 0件       | 0件      | 0件          | 9件                     | 4件          |
| H23FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 0件       | 0件      | 0件          | 8件                     | 12件         |
| H24FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 0件       | 0件      | 0件          | 1件                     | 11件         |
| H25FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 0件       | 0件      | 0件          | 5件                     | 7件          |

## 2.8 研究開発項目⑤ 搭乗型生活支援ロボットにおけるリスクアセスメントと安全機構の開発 独立行政法人国立長寿医療研究センター

### 目 次

|   |     |
|---|-----|
| まえがき  | 3   |
| 要約  | 6   |
| 1. 研究開発の成果と達成状況   |     |
| (1) 研究開発の成果   |     |
| 1. はじめに   | 8   |
| 2. 研究の概要  |     |
| 2. 1 実証試験   | 8   |
| 2. 2 人体損傷リスクの基礎検討   | 8   |
| 3. 各年度の研究課題   | 9   |
| 4. 研究の成果  |     |
| 4. 1 病院・介護施設内でのユースケース検討   | 1 0 |
| 4. 2 生活支援ロボットが活動中に人体へ接触した際のリスク評価法の研究開発                                      | 1 1 |
| 4. 3 介護施設スタッフによる生活支援ロボットの予備実証試験   | 1 2 |
| 4. 4 生活支援ロボットが活動中に人体へ接触した際のリスク評価法の研究開発                                      | 1 2 |
| 4. 5 若年健常患者による生活支援ロボットの実証試験   | 1 5 |
| 4. 6 人体損傷データベースからのパラメータの充実とその活用を通してコンピュータシミュレーションによってハイリスクイベントを外挿・推定する方法を検討 | 1 7 |
| 4. 7 実際の患者を含む試験乗員の吊り下げるサスペンションの設置および実証試験                                    |     |
| 4. 7. 1 乗員の安全性を担保したサスペンション装置の設置および試験プロトコールおよび計測システムの構築                      | 2 4 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 4. 7. 2 | 高齢者に対するロボットを使ったバランス訓練の効果の検討   | 26 |
| 4. 8    | 顕在化されたハイリスクイベントについて、この状態を再現する人体ダミー vs 模擬ロボットの衝突実験等から解剖学的重症度 (AIS)、HIC、損傷確率論に基づく多面的な医学的評価を推進 |    |
| 4. 8. 1 | ダミーを用いた人体損傷に関する研究   | 28 |
| 4. 8. 2 | 頭部の撃力に対する応答関係   | 31 |
| 4. 8. 3 | 転倒や転落の帰納的数理モデル  | 32 |
| 4. 8. 4 | 総合的なアウトカム分析   | 34 |
| 5.      | 本研究の成果  | 36 |
| 6.      | まとめ   | 37 |

## まえがき

ロボットと人が共存する環境下で、想定し起こりうるリスクの評価に有効な基礎的研究を実施し、その具体的なリスク値の計算法や個人・社会の許容レベル（リスクアクセプタブル）を推定する事を研究目的とした。上記に述べたように、リスク評価には4つの要素を考慮する必要がある。

1. 想定しうるリスクは何か？.そして、その予測される最大の傷害レベルはどの程度か。(想定リスクと傷害レベル)
2. そのリスクが現実化して、問題化する可能性は如何ほどか.そして、どういう仕組みで現実化するか？.仮に甚大な被害をもたらすような事象であっても現実化しなければ全く問題となることはない。(発生リスク確率)
3. 全ての事象はリスクを伴という認識を持ち、その上で、個人や社会的構成員が受け得る可能なレベルは、如何ほどであるか？(リスク認識と許容レベル)
4. ある事件が発生した場合に、社会の構成員の集団が、誤った恐怖や認識が支配的となるレベルは何処なのか？.つまり、リスクに対する耐性(リスク耐性)の問題である。

これまで、ヒトの傷害に関しては、許容リスクの受け入れ問題は、一種のタブー視する傾向にあり、さらに、東日本大震災に伴う原子力発電所からの放射線漏れ事故に対する農作物の風評被害がクローズアップされるまでは、あまり重視されてこなかった。

生活支援ロボットは、従来の工業用ロボットとは、ヒトとの関係に置いて対照的といえる。ヒトがロボットの作業領域にはみだりに立ち入らないことが前提であり、この危険領域にヒトが侵入した場合、ロボットは緊急停止を行う。言わば棲み分けの思想に基づく。仮に、ヒトとロボットの接触が想定されているケースでは、ロボットが動作する限界速度は、25cm/sと制限されており、人と棲み分けができない場倍には、この動作速度を超えることは許されない。しかし、生活支援ロボットの活躍する場面は、ヒトの接触や密着等により両者の活動領域が重なるのが常である。つまり、ヒトとロボットの共存・共生が前提とされている。さらに、車椅子の走行速度は6km/h(1.67m/s)であり、ヒトや物体に接触や衝突する可能性があるにも関わらず先ほどの数値25cm/sを遥かに超えている。これらの理由から、生活支援ロボットは、従来の産業用ロボットのリスク評価基準の枠では捉えきれず、新しいアセスメントの手法と観点が求められる所以である。

ロボットがヒトと共存・共生する場面では、ヒトはロボットに対して、肉体的な弱者であることを認識する必要がある。従来の安全基準や品質保証に置いては、例えば、機械部品の精度、耐久性、腐食性等の構成部品としての品質、さらに、それらの部品を用いて作

られた製品の強度や性能など機械に対する要求であり、「この機械・製品は、大丈夫だから、購入、使用してください」という機械が主役であり、機械の要求にヒトが合わせてゆく、ヒトの冗長性や可塑性に期待した設計思想であった。しかし、生活支援ロボットは、肉体的弱者であるヒトが主役であり、中心のヒトから周辺に配置されたロボットに対して、「ロボットはヒトに対して、この様にあるべきだ」という命令や思考を機械に対して突きつけてゆく立場であり、機械が人の特性に合わせるのである。機械が人の特性に合わせるためには（人から見た安全性）、人体の有する物性や心理などの自然的性質を理解する事が求められるが、世界的にも十分なデータが存在しておらず、特に、医療・看護の現場で問題となるような弱い傷害に関する数値データは皆無に等しく、傷害リスクとそのレベル予測手法の開発は、人とロボットが共存して行く上で急務と言える。

我々は、外力の印加速度と生体反応の依存性、筋活動と骨折などの物理生理学特性の取得と評価を中心に、リスク許容レベルの探索、重症度指標(HIC, AIS,  $N_{ij}$  など)と総合リスクアジャスタ、ダミー実験とその動作解析、傷害組織の病理、および、計算機シミュレーションを実施した。さらに、ロボットとヒトとの衝突や転倒モデルの妥当性を検討するために、病院側が行う臨床実証実験と比較して、傷害発生機序の適合性や限界・問題点を探し出し、補正を行った。さらに、総合リスクアジャスタを用いることで、予測される傷害の重症度判定と共に、安全性を確保するための医療用、介護看護用、および、スポーツ用などの各種のプロテクタの有用性や、衝撃緩和効果などの数値的予測が可能となった。

上記の内容を実現するために、便宜的に研究所と病院側との役割分担が行われた。

#### 【研究所】基礎的な外傷の重症度判定と容認リスクのレベルの探求

1. 福祉ロボットが活動中に人体に接触した際のリスク評価法の開発研究
  - 1-2. 高速接触(10mm~2m/s)時の傷害の諸相
  - 1-3. 接触時の影響・外傷との関連、応力・傷害関係
2. 人間工学的に見た接触時の影響とリスクアセスメント
  - 2-2. 人間工学的モデリングとリスクアセスメント
3. 傷害と傷害レベルの計測と応答、そして評価
  - 3-1. 音響特性や電気生理学的応答の変化
  - 3-2. 基礎付けと数理モデリング
4. 総合的考察
  - 4-2. 安全指標および基準数値や目標などの提案

#### 【病院側】生活支援ロボットの実証実験

- 1-1. 低速接触(0mm~25mm/s)時の皮膚への影響と筋肉組織から骨組織までの応力伝播
- 2-1. 福祉ロボット利用時の影響とリスクアセスメント

#### 4-1. 臨床データ，病院部実証結果の比較と考察

である。上記の項目は，互いに関連しており，各項目単位に個別に切り出して記述することは困難である。従って，これらの内容をまとめて一連の流れとして成果を報告とする。

## 要約

生活支援ロボットは、商業施設、駅・空港等の交通施設、オフィス、家庭に至るまで、不特定多数の人や、他の移動体や障害物と同一空間内で共存が可能と求められる。そこで、本研究では生活支援ロボットが至近距離で人と同居するという状況下で人に与える危険性やリスク、皮膚等の人体損傷の可能性を予測・評価して、安全性確保に益する資料を提供するため、生活支援ロボットの安全性の実証実験を病院・介護施設等の諸施設で実施し、顕在化された人体損傷リスク評価の基礎検討を行った。なお、本研究の遂行に際しては、病院が生活支援ロボットの病院・介護施設における実証試験を担当し、研究所が生活支援ロボットに係る人体損傷リスクの基礎検討を行った。

平成21年度は、ユースケース検討では、トヨタ自動車開発者で検討し、立ち乗り搭乗型生活支援ロボットでは杖的な外出サポートなど、座り乗り搭乗型生活支援ロボットでは自律移動の電動車いす進化型が提案された。立ち乗りと座り乗り搭乗型生活支援ロボットを国立長寿医療センターに持ち込んで、試乗後にアンケートを実施し、適応対象者の絞り込みと利用拡張性について明らかにした。

人体損傷の評価では、1. 転倒の機序と人体機構の連関、2. 人間の心理的かつ緊急時の回避行動の可能性と妥当性、3. ロボットの安定性特性の評価、4. 人体の物性値の取得と欠損データの取得実験、及び動的な物性値の推定、5. 損傷のシミュレーションなどが重要点であり、人体数値データや静的物性値は既存データベースなどで比較的良くデータが取得できた

平成22年度は、加齢による機能低下を考慮した立ち乗り搭乗型生活支援ロボットの予備実証試験を実施し、操作の安全性評価を行い、高齢者が操作した場合の問題点を検討した。高齢者の運動機能、感覚機能、知覚機能の低下は、高齢者体験セットによって再現し、ロボット使用による安全性を比較した。ロボットの適応者の条件は、立位、歩行、踏み台昇降、視力、聴力、排泄の各能力がすべて日常生活に支障のない状態の者となり、今後の臨床患者の試験参加条件となると思われた。

自動車研究所と本ロボットを想定した模擬台車を作成し、ダミー人形を搭乗させ出会い頭に衝突の状況を想定し、諸条件を組み合わせる衝突実験を実施した。損傷評価には自動車追突試験に用いられる頭部損傷基準値(HIC)を利用した。病院等で使用されるリノリウムは転倒時の頭部損傷を1/2—1/3に低減する効果が示された。ダミー人形を用いた実験より、模擬台車からの転倒は複数の過程から存在することが判明した。それは、ダミーが搭乗者・模擬台車に衝突する、台車の片輪が浮き上がる、台車の回転運動とダミーが慣性により姿勢を保持したまま傾いた台上を滑落する、ダミーの下肢が捻れた後、大地に踵が接地する、踵を回転中心として、頭部が回転自由落下する、という一連の流れである。この過程を逐次数理モデル化すれば、幾つかの方程式群が得られた。この数理モデリングとダミー実験データより衝突、転倒、受傷過程の詳細吟味が可能となった。

平成23年度は、患者が日々使用するコースを移動してデータ収集して評価し、その後に健常患者による見学参加が計画された。医療従事者6名による本ロボット搭乗に関して、内科データと速度の測定、ビデオ撮影、安全アンケート調査を実施した。血圧、脈拍、心拍出量などの循環器データは本ロボット搭乗による影響はなかった。見学した健常患者5名は、20%が「本ロボットが入院患者を介助できる」と回答し、座椅子、荷物置き、安定感などの改良点があげられた。危ないという印象との回答率は80%で、理由に操作困難、スピード、乗降時、不安定性、転倒不安があげられた。患者の搭乗による実証試験を十分に実現するには、懸垂装置等の安全確保を病院内に設置することが必要と考えられた。

自動車研究所と本ロボットを想定した模擬台車を作成し、ダミー人形を搭乗させ、ダミ



一が正面から 5km/h で衝突したケースと双方が 5km/h 出合い頭に衝突した場合等の実験を行った。転倒時には、最初にロボットが接地して相当の衝撃を吸収し、その後、四肢等、そして、最後に頭部、胸部などの重要部位の接地が望ましいことがわかった。

平成 24 年度は、より实际的に搭乗時のリスクを明確にするために、患者等の乗員安全性を担保した実証路と姿勢衝撃応力計測を合わせた実証試験システムを設置し、ロボット訓練を行い、顕在化されたハイリスクイベントを再現するダミーvs 模擬ロボット実験等から解剖学的重症度、HIC、損傷確率論に基づく多面的な医学的評価を推進した。平成 21～23 年度で得られた実証試験および周辺技術を総合し、より实际的に搭乗時のリスクを明確にするために、乗員の安全性を担保したサスペンション装置を設置した。このサスペンション装置を利用して実際の患者を含む実証試験のための試験プロトコールおよび計測をあわせたシステムの構築を行った。また、ロボット訓練を行う前の先行研究として、フレーム内の限定されたスペースでロボットを使ったバランス訓練を行い、その効果を検証して、走行ライセンス付与のためのガイドラインの基礎的なデータの収集を図った。

日本自動車研究所と共同で、小ダミーを台車、車椅子、自転車等に搭乗させた状態から転倒や相互に衝突を起こさせた場合や、救命用エアージャケット、ヘルメット、そして、医療用カラー等の防具を小ダミーに装着させることによる保護具の有効性を含む身体への影響についての評価を、撃力、加速度等の物理的要因を身体的重症度に読み替える目的で、総合的なアウトカム分析である TRISS を導入して人体損傷が発生した際の予後生存率や許容レベル評価の有用性について明らかにした。

平成 25 年度は、サスペンション式実証試験路を設置し、障害物が介入した際のリスク発生への推定、走行ライセンス付与のためのガイドラインを策定について検討を行った。その結果、サスペンション式実証試験路を用いて、若年健常者 6 名、高齢健常者 4 名について実証試験を実施し、本装置を使用したことによる改善等の効果を確認した。このことから走行ライセンスの要件として、実地教習が普及技術として効果をしめすことが明らかにされた。

基礎研究では、ロボットと人の接触速度やエネルギー負荷から、身体部位別の傷害リスク評価で用いるパラメータを衝突実験 (JARI において) から取得した。この結果から数値人体モデルや衝撃荷重の人体組織の伝搬過程を解析し、ハイリスクイベントに関しては、ダミーvs 模擬ロボットの衝突実験等に落とし込み、解剖学的重症度 (AIS)、HIC 等の傷害水準による評価を、また、生物試料による組織衝撃試験から微弱な損傷 (AIS0～1) 評価を行い多面的な医学的評価を行った。これらの知見を総合し社会的許容リスク水準を検討して、生活支援ロボットに共通に潜在するリスクと必要な安全検証モデルを提案した。上記の研究開発により生活支援ロボットの社会実装における普及技術の一考察、および人体損傷に基づく必要安全の構築法を開発した。

以上から本研究の結果、ロボットが至近距離で人と同居するという状況下で人に与える危険性やリスク、人体損傷の可能性を予測・評価して、安全性確保に益する、医学的見地に基づく安全評価 (人体損傷評価) 法の確立のための評価体系を構築することができた。これらの成果 (TRISS-NCGG) を用いることにより、病院・介護施設に絞った実証試験、安全かつ有効なロボット搭乗訓練、または、ロボットの利用状態に即した人体損傷評価プロトコールの提案などの提供が可能となった。

## 1. はじめに

ロボットが至近距離で人と同居するという状況下で人に与える危険性やリスク、人体損傷の可能性を予測・評価して、安全性確保に益する資料を提供するため、生活支援ロボットの安全性の実証実験を病院・介護施設における実証試験と研究所における生活支援ロボットに係る人体損傷リスクの基礎検討の組み合わせで行った。

## 2. 研究の概要

### 2. 1 実証試験

実証試験では、病院・施設は、全期間を通じて高齢患者の機能と安全に関するデータを面接、質問紙調査、行動観察等により収集してロボット開発者に伝え、開発者は必要な改良等を行うとともに、安全性検証手法開発者へのフィードバックを行った。それが反映された安全性検証手法による実証試験を行った。高齢患者の安全最優先の観点から段階的に試験を進めた。平成 21、22 年度は、医療・介護スタッフを被験者とした模擬実証試験で高齢患者を想定した改善点を抽出した。この間に人体損傷リスク検討と連携してロボット接触等による皮膚、骨等の応力を実測やFEMにより評価した。平成23年度は、非高齢患者を被験者として同様な改善点を収集しながら、安全性検証手法による実証試験を実施し、対象とすべき高齢患者の選定基準を決定した。決定された対象高齢患者の仕様に合わせ、安全かつ実効的な搭乗試験とするための安全装置の基本設計、および効果検証に設計・設置を平成23年下期～平成24年上期において速やかに着手した。平成24～25年度は、平成21～23年度で得られた実証試験および周辺技術を総合し、より实际的に搭乗時のリスクを明確にするために、患者を含む乗員の安全性を担保した実証路を設置し、ロボット訓練を行い、障害物が介入した際のリスク発生のクライテリア（人体損傷データベースによる人体損傷の推定）から回避のためのシステムと、リスクの顕在化と、さらには院内における患者共存の安全評価・仕様ガイドライン基準案を提案した。

### 2. 2 人体損傷リスクの基礎検討

人体損傷リスクの基礎検討では、ロボット開発に資する「1. 生活支援ロボットが活動中に人体へ接触した際のリスク評価法の研究開発」「2. 人間工学的にみた接触時の影響とリスクアセスメント」、「3. 損傷や損傷の計測と応答」および、各種の実験やモデリングから得られた実験・実証データを統合する「4. 総合的考察」の技術的確立を目指した。

平成 21～23 年度は、生活支援ロボットでは避けられないロボットと人の接触について、接触速度とそのエネルギー負荷等の影響を明らかにするとともに、病院医師と連携した人体損傷とのすりあわせを行った。また、体の部位の特徴（頭部と胴部の違いなど）や動きとその筋活動から、種々のケースでのリスクアセスメントを行った。より有効なシミュレ

ーションパラメータを取得する衝突試験を日本自動車研究所（JARI）等の実験施設で実施すべく、コンピュータシミュレーションに基づく人体モデルおよび衝撃荷重が人体材料を伝搬する過程を反映したダミー人形モデルを早急に構築し、このモデルを用いた安全性評価プロトコールから次年度以降の衝突実験デザインを確定した。平成 24～25 年度は、平成 23 年に構築したプロトコールから、シミュレーションおよび実証試験から得られたハイリスクイベントについて、人体ダミーvs 模擬ロボットの衝突実験等から解剖学的重症度（AIS）、HIC、損傷確率論等に基づく多面的な医学的評価を推進した。

### 3. 各年度の研究課題

[平成 21 年度]

- ・ 病院・介護施設内でのユースケース検討
- ・ 生活支援ロボットが活動中に人体へ接触した際のリスク評価法の研究開発
  - 健常者での人体データ取得法及びデータベース化の検討と考察  
(計算法、データベースプロトタイプの構想)
  - 既存データの見極めと、不足データの取得法の考察：非侵襲データの取得
  - 接触速度の損傷の模擬実験：低速接触（0～10mm/s）と高速接触（10mm/s～2m/s）時の皮膚への影響と筋組織から骨組織までの応力伝播等損傷評価

[平成 22 年度]

- ・ 介護施設スタッフによる生活支援ロボットの予備実証試験
- ・ 生活支援ロボットが活動中に人体へ接触した際のリスク評価法の研究開発
  - 計測・測定データの力学変数への変換法の開発と衝撃の推定

[平成 23 年度]

- ・ 若年健常患者による生活支援ロボットの实証試験
- ・ 生活支援ロボットが活動中に人体へ接触した際のリスク評価法の研究開発
- ・ 健常者データベース化と人体モデリングの作製  
(人体組織のレンダリングと実験との比較)
  - シミュレーションの開始
  - 臨床データとの比較の開始
  - 高齢者データの取得とプロトタイプモデルへの適応と修正
- ・ 人体損傷データベースからのパラメータの充実とその活用を通してコンピュータシミュレーションによってハイリスクイベントを外挿・推定する方法を検討
- ・ 試験乗員を吊り下げるサスペンションシステムを有した安全装置の基本設計・

## 設置準備

[平成24年度]

- ・ 実際の患者を含む試験乗員の吊り下げるサスペンションの設置および実証試験
- ・ 車イス対応の大型トレッドミル（既存）およびストレッチャー等の障害物からなる実証路と姿勢・衝撃応力計測を合わせた実証試験システムの構築
- ・ 患者に安全に行えるロボット訓練を実施
- ・ 転倒・転落の防止システムおよび障害物の回避システムの検討
- ・ 顕在化されたハイリスクイベントについて、この状態を再現する人体ダミーvs 模擬ロボットの衝突実験等から解剖学的重症度（AIS）、HIC、損傷確率論に基づく多面的な医学的評価を推進

[平成25年度]

- ・ リスクアセスメントから搭乗型生活支援ロボットに安全機構を実装化し、実証試験および衝突試験（JARIにおいて）を実施

## 4. 研究の成果

### 4. 1 病院・介護施設内でのユースケース検討

生活支援ロボットによる高齢者医療支援に関する Expert Opinion を少数の専門性の高い医師及び看護師等とトヨタ自動車開発者で検討し、立ち乗り搭乗型生活支援ロボットでは杖的な外出サポートなど、座り乗り搭乗型生活支援ロボットでは自律移動の電動車いす進化型が提案された。高齢患者は複数の併存疾患を有し、身体的及び精神的機能低下を来していることが多く、その医療内容や現場のニーズは複雑多岐にわたる。それに対応できる支援をロボットが提供するには、前記想定に加えて、幅広い診療科の医師や多様な職種から多くの意見を聴取することが不可欠と考え、予備実証試験として国立長寿医療センターで生活支援ロボット持ち込みによる医療スタッフのロボット体験とそれに基づくユースケースに対する適用患者、改良点、想定リスク、ユースケースの新しい提案等を収集した。

立ち乗りと座り乗り搭乗型生活支援ロボットを国立長寿医療センターに持ち込んで、試乗後にアンケートを実施した。参加者は総数48名で、その内訳は、医師（循環器科、呼吸器科、消化器科、老年科、神経内科、内分泌科、外科、整形外科、脳外科、泌尿器科、皮膚科）、看護師、理学療法士、薬剤師、検査技師、放射線技師、臨床工学士などが参加した。

アンケート内容は事前にトヨタ自動車と協議したものを使用し、43名から回答を得た。立ち乗り搭乗型生活支援ロボットについて、対象患者の条件として、認知機能については正常、身体機能は健常、適応疾患は心肺機能低下が最多であった。使用目的は移動が最多

でほかに歩行支援、訓練、レクリエーション、運搬、スタッフ移動があった。改良点は乗降、想定リスクは転倒・転落があげられた。

座り乗り搭乗型生活支援ロボットについて、対象患者の条件として、認知機能については正常、身体機能は座位保持可能、適応疾患は対麻痺・片麻痺が最多であった。使用目的は移動が最多でほかに運搬があった。改良点は背もたれ、想定リスクで転倒・転落があげられた。

#### 4. 2 生活支援ロボットが活動中に人体へ接触した際のリスク評価法の研究開発

1. 転倒の機序と人体機構の連関、2. 人間の心理的かつ緊急時の回避行動の可能性と妥当性、3. ロボットの安定性特性の評価、4. 人体の物性値の取得と欠損データの取得実験、及び動的な物性値の推定、5. 損傷のシミュレーションなどが重要点と考えられる。人体数値データや静的物性値は既存データベースなどで比較的良くデータが取得できたが、動的物性値はほとんど見受けられない。また、人体の強い異方性により強く影響される。さらに、衝撃力に対する生体の応答は大きく異なる。豚とロードセルを用いた撃力・応答実験では、撃力作用時間、撃力伝播速度は、頭部で0.001s、20m/s程度と見積もられるが、筋肉組織では0.007s、2.8m/sと低下する。原因は、撃力に対して比較的早く応答する骨成分と、ソフトマターである筋肉成分が混在し、2峰性の応答曲線を示す。これは、同じ撃力であっても身体部位により、その応答が異なり、損傷程度に差が生じることを示唆する。筋肉に関しても、入力撃力と応力の比率に相当なばらつきを生じ、減衰率は0.6から0.4程度となり、転倒時やロボットとの衝突時のプロテクタ作成時の目安を与える。転倒や撃力応答に関する数値シミュレーションの初期値探索を実施した。

モデルは、男性と女性が転倒して直接的に頭部を地面で叩打した場合を想定している。そのときの頭部と地面の接触面積は、1cm<sup>2</sup>と仮定した。その時の頭部打撲速度は約5m/sほどだが、動いている状況から転倒した際には、約8m/sにも達する。頭部受傷面積を1cm<sup>2</sup>と仮定すると転倒時に頭部に加わる力と圧力が推定され、静止していた人の転倒時衝撃力は39200～49000Nで、頭部圧力は400～500MPaにも達する。また、走っていて転倒や追突され転倒した時にはその圧力は500～600MPaになる。一般的に骨の降伏点は、引っ張り応力で170MPa、圧縮応力で280MPaであることを考えると、転倒に対する何らかの保護措置は必要である。保護措置の目安として、筋肉のようなソフトマターを考えてみる。

撃力の減衰率は0.5程度であれば、骨の圧縮応力の降伏点280MPaを下回る。どのようなソフトマターがこの数値を下回るかは、筋組織の脂肪対筋線維の割合と組織構造が手掛かりになると考えられる。同様に、胸郭は0.2と低値であり極端に衝撃吸収力に富んでいる。これは、胸郭の肋軟骨部分、それを構成する肋骨が作り出すバネ状の構造に関連している。以上のことより、保護材はスプリングとソフトマターの複合体であることが望ましい。

#### 4. 3 介護施設スタッフによる生活支援ロボットの予備実証試験

高齢者医療に従事する医師・看護師に加齢による機能低下を考慮した立ち乗り搭乗型生活支援ロボット(以下、本ロボット)の予備実証試験を実施し、本ロボットの操作の安全性評価を行い、高齢者が本ロボットを操作した場合の問題点を検討した。トヨタ自動車と綿密な事前検討を経て広瀬工場にて実施した。

高齢者の運動機能、感覚機能、知覚機能の低下は、高齢者体験セットによって再現し、健常者(高齢者体験セット非装着)と模擬高齢者(高齢者体験セット装着)の条件でロボット使用による安全性を比較した。本セットの内容は、脊柱後彎具、膝と肘の拘束具、手首と足首の重り、手袋、エルダーゴーグル、耳栓で、これを装着すると搭乗者の転倒等の危険が増すので安全のため懸垂装置を使用した上で、乗車、直進、Uターン、下車の操作を行い、乗車時、走行時、下車時の危険度をアンケートで調査した。さらに、模擬高齢者の試乗体験から想定される本ロボットの適応者の条件も聴取した。

その結果、健常者条件と模擬高齢者条件の運動機能比較で高齢者体験セットは前期高齢者の運動機能を再現できていた。本ロボットへの乗車時間は模擬高齢者条件で平均2.8秒延長した。走行時間と下車時間には明らかな延長はなかった。各操作に関する安全性評価は、乗車操作では模擬高齢者条件でバランスを崩しやすくなるような姿勢や操作が多いため安心感が低下した。走行操作では模擬高齢者条件でも直進でスピードが遅いため安心感が保たれたが、左折、右折、Uターンで不安感が増加した。下車操作では、模擬高齢者条件でボタンの片手操作は安心感が低下し、ステップから後向きに降りる動作は不安感が増加した。表示類では、模擬高齢者条件で緑色ランプが識別しにくく、各種音が聴き取りにくくなった。

本ロボットの適応者の条件は、立位、歩行、踏み台昇降、視力、聴力、排泄の各能力がすべて日常生活に支障のない状態の者となり、今後の臨床患者の試験参加条件となると思われる。

#### 4. 4 生活支援ロボットが活動中に人体へ接触した際のリスク評価法の研究開発

##### ＝計測・測定データの力学変数への変換法の開発と衝撃の推定＝

自動車研究所と本ロボットを想定した模擬台車を作成し、小ダミー人形を搭乗させた。大ダミー人形が静止ロボットに正面から5km/hで正面衝突と双方が5km/hで出会い頭に衝突の状況を想定した。衝突後、小ダミーが転倒で受ける衝撃力を評価した。実験条件は無制御の本ロボットを想定した。小ダミーにはプロテクター、転倒条件は3種類を用意した。

ダミーが衝撃を受ける地面はコンクリートとリノリウム2種類として、上記条件を組み合わせて衝突実験を実施した。損傷評価には自動車追突試験に用いられる頭部損傷基準値(HIC)を利用した。以下に各衝突時のHICを示す。

表 4. 4. 1 コンクリート床の正面衝突

| HIC      | 無防備  | 自転車用ヘルメット | プラスチック安全帽 |
|----------|------|-----------|-----------|
| 自然立位     | 5475 | 466       | -         |
| 模擬台車     | 9282 | 1009      | 6070      |
| 自転車      | 7600 | 320       | -         |
| (参考)単純転倒 | 6771 | -         | -         |

表 4. 4. 2 コンクリート床で出会い頭衝突

| HIC (コンクリート) | 無防備  | 自転車用ヘルメット | プラスチック安全帽 |
|--------------|------|-----------|-----------|
| 自然立位         | 4746 | 666       | -         |
| 模擬台車         | 7567 | 1222      | 6966      |
| 自転車          | 9560 | 562       | -         |
| (参考)単純転倒     | 6771 | -         | -         |

全事例で自転車用ヘルメットで HIC は著明に低下し、さらにリノリウム床の実験では、下表のようになった。

表 4. 4. 3 リノリウム床

| HIC    | 無防備         | 無防備          | 自転車用ヘルメット        | 自転車用ヘルメット          |
|--------|-------------|--------------|------------------|--------------------|
| リノリウム床 | 停止対ヒト 5km/h | 出会い頭双方 5km/h | ヘルメット停止対ヒト 5km/h | ヘルメット 出会い頭双方 5km/h |
| 模擬台車   | 4054        | 4863         | 394              | 509                |

表 4. 4. 4 模擬台車や立位からリノリウム床に単純転倒

| HIC リノリウム | 無防備  | 自転車用ヘルメット |
|-----------|------|-----------|
| 自然立位      | 2250 | 372       |
| 模擬台車      | 2834 | 322       |

このように、病院等で使用されるリノリウムは転倒時の頭部損傷を 1/2—1/3 に低減する効果が示された。自転車用ヘルメット装着するとこの床との相乗効果により HIC が 1000 以下となり頭部外傷が大きく低減される。全頭式オートバイ用ヘルメットはこれと比較すると低速衝突で硬さや重量から HIC が上昇し模擬台車による転倒実験では HIC=808 を示した。

自転車用ヘルメットを装着しリノリウム床なら重大損傷を生じない可能性が高い。今年度は数値モデル解析用数値取得も課題で、今後は必要データ取得の実験を追加する。数値解析用データベースに必要な 3D 人体数値データ・物性値を協力施設より入手し、そこから臓器・組織別の切出し分離を行い我々のデータベースを構築している。破壊過程の動的粘性率やヤング率の推定法開発では Mooney-Rivlin 法以外にも豚組織を用いた衝突荷重波形と阻止加速度波形による経時的ヤング率・粘弾性率の逆推定法を考案し、既波形取得のための実験系を設計しており、逆推定アルゴリズムプログラミング化を実現する。骨等の応力解析は CT 値とメカニカルファインダーを利用して概略的分析を実施している。

今後はこの概略図を基に人体臓器を再配置して人体画像の再構成を実現する。この後、LS-DYNA により衝撃による臓器変形等を動的に研究する。また、ダミーデータを分析して簡略数理的転倒モデルと簡便 HIC 推定法を開発し、ダミーの衝撃波形はガウス関数で優れた近似が可能である事が示された。次の表はダミー実験値と開発したガウス関数を用いた HIC 予測法の比較である。

この近似モデルの根底には“転倒は体のある接地点を中心として回転・自由落下する”という仮説が存在し、ダミー実験値とガウス関数近似法の著しい一致は我々の仮説の正当性を主張している。さらに、衝撃緩和材料であるヘルメット効果はガウス関数近似法より“仮に頭部に加わる撃力の総量が一定の時でもガウス関数の波高を低下させ、標準偏差を広げる”作用として解釈され、HIC 低下には力の作用時間を延長する材質を探せばよい。

JARI のダミー人形を用いた実験より、模擬台車からの転倒は複数の過程から存在することが判明した。それは、大ダミーが搭乗者・模擬台車に衝突する、台車の片輪が浮き上がる、台車の回転運動と小ダミーが慣性により姿勢を保持したまま傾いた台上を滑落する、ダミーの下肢が捻れた後、大地に踵が接地する、踵を回転中心として、頭部が回転自由落



下する、という一連の流れである。この過程を逐次数理モデル化すれば、幾つかの方程式群が得られた。この数理モデリングとダミー実験データより衝突、転倒、受傷過程の詳細吟味が可能となる。

表 4. 4. 5 ダミー実験値と開発したガウス関数を用いた HIC 予測法の比較

|          |      |      |      |     |     |     |
|----------|------|------|------|-----|-----|-----|
| HIC の実験値 | 6028 | 2184 | 1192 | 774 | 554 | 422 |
| 近似の HIC  | 6170 | 2181 | 1187 | 771 | 551 | 419 |

#### 4. 5 若年健常患者による生活支援ロボットの実証試験

健常患者による生活支援ロボットの実証試験を以下のように行った。まず、実際の病棟に立ち乗り搭乗型生活支援ロボット(以下、本ロボット)を搬入し、本物の患者が参加する前に、高齢者医療に従事の医師・看護師による高齢患者を想定した安全を患者が日々使用するコースを移動してデータ収集して評価し、その後に健常患者による見学参加が計画された。医療従事者 6 名による本ロボット搭乗に関して、内科データと速度の測定、ビデオ撮影、安全アンケート調査を実施した。

血圧、脈拍、心拍出量などの循環器データは本ロボット搭乗による影響はなかった。安全に関して「とても危険」と回答された動作場面は、「乗車したまま病室の扉を開く」、「廊下を U ターンする」、「ハンドル手前に引きながら後ろ向きに片足ずつ降りる」であった。このほかに、「どちらかと言えば危険」も含めて危険という回答率が 50%以上になったのは、「食堂で降車して椅子に座る」、「乗車時にハンドルを持ち、傾いているステップに片足を置く」、「ステップが平行になるまでハンドルを前に押して片足で乗る」、「病室で右折し病室内の通路に出る」、「廊下移動時、乗車したまま一時停止する」、「段差を越える」、「ベッドサイドで乗降車する」であった。見学した健常患者 5 名は、20%が「本ロボットが入院患者を介助できる」と回答し、座椅子、荷物置き、安定感などの改良点があげられた。危ないという印象との回答率は 80%で、理由に操作困難、スピード、乗降時、不安定性、転倒不安があげられた。「とても危険」と回答された動作場面は、「病室に戻ってベッドサイドで降りる」、「エレベーターに乗る」であった。「どちらかと言えば危険」も含めて危険という回答率が 50%以上になったのもこの 2 つであった。入院生活で現実に行われている病棟内移動をロボット搭乗して行い、患者が見学参加した。

今後、患者の搭乗による実証試験を十分に実現するには、懸垂装置等の安全確保を病院内に設置することが必要と考えられた。

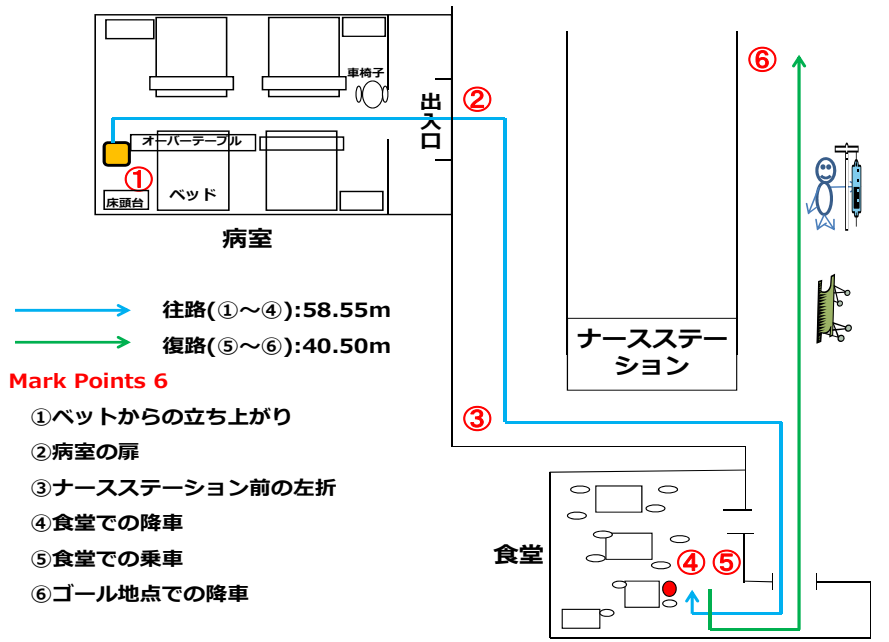


図4. 5. 1 試乗コース



図4. 5. 2 ナースステーション前の左折後の廊下走行

#### 4. 6 人体損傷データベースからのパラメータの充実とその活用を通してコンピュータシミュレーションによってハイリスクイベントを外挿・推定する方法を検討

自動車研究所と本ロボットを想定した模擬台車を作成し、小ダミー人形を搭乗させ、大ダミーが正面から 5km/h で衝突したケースと双方が 5km/h 出会い頭に衝突した場合等の実験を行った。下記のグラフは、ヘルメットを着用していない小ダミーが、1. 自然転倒（自然に後方転倒）、2. 立位衝突転倒（台車無し）、3. 台車の上立位衝突転倒（台車有り、静止 vs 5km/h）、そして、4. 出会い頭衝突転倒（台車有り、5km/h vs 5km/h）等の頭、胸、骨盤等が受ける経時的な加速度変化を示している。

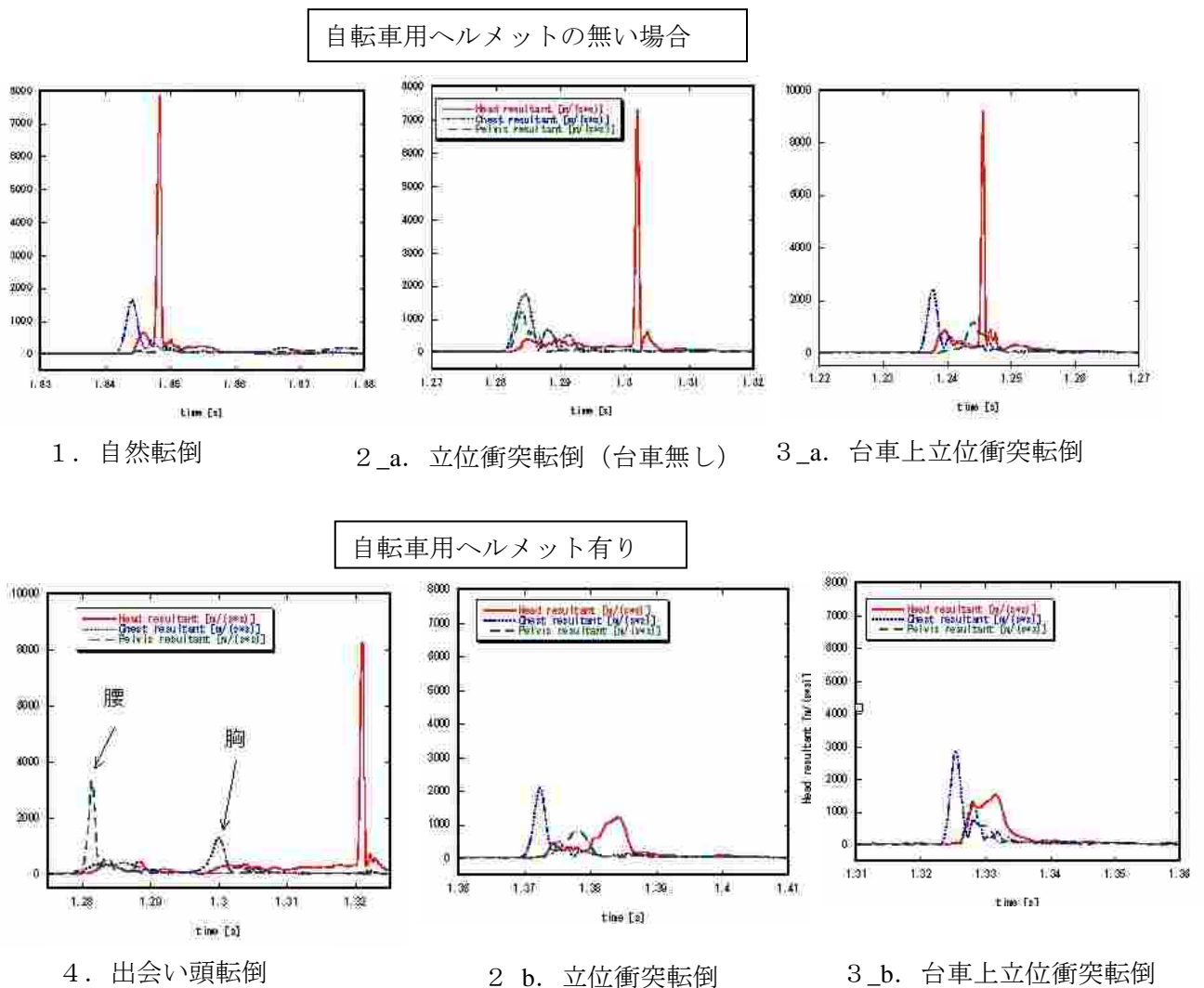


図 4. 6. 1 衝突時に人体が受ける加速度

ヘルメット無着用の場合は、全てのケースで頭部加速度は  $7000\text{m/s}^2$  を超えている。逆に、ヘルメットを着用する事で、頭部の最大加速度が  $2000\text{m/s}^2$  以下に減少可能となる。さらに、自然転倒、立位衝突転倒、そして台車上立位衝突転倒では、身体打撃を受ける順序は、胸→骨盤→頭であり、出会頭衝突では腰→骨盤→頭の順序となる。前者は後方転倒が主体となり、後者（出会い頭）では体幹部に回転運動が加わるために骨盤が第1受傷部位となる。また、後者の場合は、身体各部（頭、胸、骨盤）に加わる撃力に時間的なずれが生じているが、逆に、後方転倒では頭、腰、骨盤への衝撃はほぼ同時に発生する。最も致命的である頭部外傷のケース（ダミー実験の結果）をコンクリート床とリノリウム床に分けて比較実験を実施した。

図4. 6. 2 床の違いによるHICの値

| HIC               | 防具なし | 自転車用ヘルメット | プラスチックヘルメット |
|-------------------|------|-----------|-------------|
| 立位衝突転倒(コンクリート)    | 5475 | 466       | -           |
| 台車上衝突転倒 (コンクリート)  | 9282 | 1090      | 6070        |
| 自転车上衝突(コンクリート)    | 7600 | 320       | -           |
| 自然転倒(コンクリート)      | 6771 | -         | -           |
| 台車上衝突転倒(リノリウム床)   | 4054 | 394       | -           |
| 自然転倒(リノリウム床)      | 2250 | 372       | -           |
| 台車上立位自然転倒(リノリウム床) | 2834 | 322       | -           |

JARI との実験から計算された正面衝突の HIC (頭部損傷クライテリア)。自然転倒以外は、大ダミーが  $5\text{km/h}$  で、静止した小ダミーに衝突した後、転倒して床より受ける加速度を経時的に計測した。

上記の数値が示すように、病院や事務所などに用いられているリノリウムは、転倒時に頭部に与える損傷を  $1/2$  から  $1/3$  に低減する効果が示された。しかし、実験に用いるリノリウム床の厚み、材質、経年変化による歪み等の影響が大きく効果が余り期待できない事がある。

搭乗者に自転車用ヘルメットを装着させた場合は、この床とヘルメットの相乗効果が期待でき、HICが1000を大きく下回り頭部外傷が大きく低減される。全頭式オートバイ用ヘルメットは自転車用ヘルメットに比較すると、 $5\text{km/h}$  程度の低速度の衝突では、その材質の硬さや重量の大きさから、逆にHICが上昇して台車による転倒実験ではHIC=808を示した。身体の各点の動きをモーションキャプチャーを用いて追跡した。

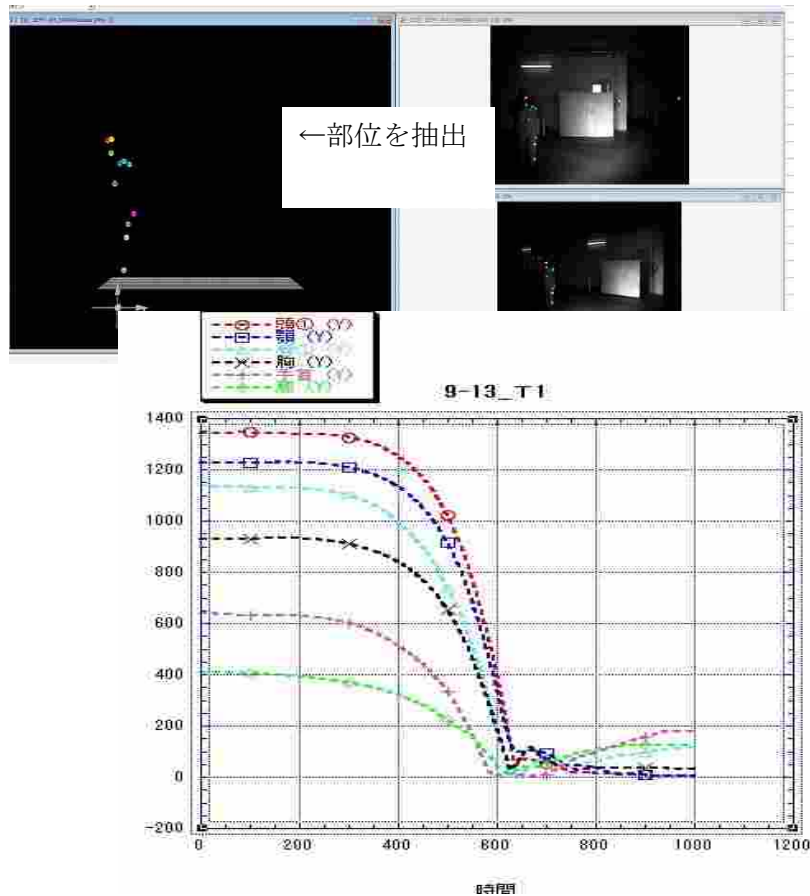


図4. 6. 2 衝突実験時の人体の各部位の位置変化

ダミーの各点に赤外線マーカーを付けて頭、首、肩、胸、腰、骨盤、そして大腿部等の軌跡を追跡した。その結果、転倒・転落時の身体各部位の軌跡は、グラフに示されるように楕円関数で近似できる事が判明した。この運動は、転倒・転落過程は身体と床との接触点を中心とする剛体振り子（回転運動と落下運動）として近似可能である。この仮説を採用すると、高さHの位置に存在する身体部位の転倒・転落の運動方程式は、

$$I \frac{d\omega}{dt} = -m_H g \cdot H \cos \beta$$

であり、床に衝突する直前の加速度の大きさは、

$$\mathbf{a}^2 = g^2 + 3g^2 \sin^2 \beta + \left( \frac{v_f^2}{H} + 2g \right)^2 - 4g \left( \frac{v_f^2}{H} + 2g \right) \sin$$

部位の軌跡は、

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \operatorname{sn} \left( k \sqrt{\frac{g}{H}} t, \frac{1}{k} \right)$$

と楕円関数を用いて記述できる。転倒・転落運動が人体に与える効果は、外力・撃力を記述する物理的側面と、年齢、性別等個人差を規定する生物・医学的側面とに大別される。物理的要因による平均的損傷程度は、衝突時間(物性値を反映、応答時間)、衝突面積、高さ、そして、受傷部分の質量という4因子で規定される。我々は、衝突直前の速度→平均制動加速度→最大制動加速度→力と圧力という一連のプロセスを踏むことにより包括的な重症度判定が予測可能となってきた。

物理的要因は、衝突直前の速度→平均制動加速度→最大制動加速度→力と圧力、という一連のプロセスを踏むことにより包括的に見積もることが出来る。以下に、平均的な日本人女性(身長 160cm、50kg)に平均的な日本人男性(身長 170cm、63kg)が正面より衝突し、女性が、エスカレータの段差(20cm)から転倒・転落する場合の見積もりの一部を示す。

表 4. 6. 3 女性が 20cm の台より自然転倒

|    | 制動加速度<br>(G) | 衝撃力<br>(kN) | 圧力(MPa)     |
|----|--------------|-------------|-------------|
| 頭  | 580 (925)    | 43 (69)     | 433 (691)   |
| 胸  | 272 (170)    | 15 (23)     | 15 (24)     |
| 腹  | 92 (57)      | 5.2 (8.3)   | 1.3 (2.1)   |
| 大腿 | 78 (126)     | 4.6 (7.3)   | 0.46 (0.73) |
| 下腿 | 70 (119)     | 4.1 (6.4)   | 8.6 (13)    |
| 上腕 | 107 (171)    | 3.7 (5.9)   | 7.4 (11.9)  |

表 4. 6. 4 女性が 20cm の台より自然転倒

|              | 平均数値  | 最大数値  |
|--------------|-------|-------|
| HIC          | 8112  | 26087 |
| P(AIS>4, 胸部) | 0.998 | 0.999 |
| P(AIS>2, 大腿) | 0.038 | 0.13  |

(この時の平均的 HIC、最大 HIC、そして胸部と大腿部での AIS を計算。胸部障害リスク AIS > 4、(severe 重篤) {血胸または気胸を伴う 4 本以上の肋骨骨折、動揺胸郭}、大腿

部は、AIS >2 (moderate、中等症、){大腿骨、頸骨、骨盤、膝蓋骨の単純骨折} に対する発生確率リスク) を計算した)

表4. 6. 5 女性が20cmの台より自然転倒  
(防具有り)

|    | 制動加速度<br>(G) | 衝撃力<br>(kN) | 圧力(MPa)    |
|----|--------------|-------------|------------|
| 頭  | 45 (71)      | 3.3 (5.3)   | 33 (53)    |
| 胸  | 39 (63)      | 3.6 (5.7)   | 3.6 (5.7)  |
| 腹  | 36 (57)      | 3.2 (5.1)   | 0.81 (1.3) |
| 大腿 | 30 (48)      | 1.8 (2.8)   | 0.16(0.28) |
| 下腿 | 27 (43)      | 1.5 (2.4)   | 3.1 (4.9)  |
| 上腕 | 41 (66)      | 1.4 (2.3)   | 2.8 (4.5)  |

表4. 6. 6 女性が20cmの台より自然転倒  
(防具有り)

|              | 平均数値  | 最大数値  |
|--------------|-------|-------|
| HIC          | 173   | 557   |
| P(AIS>4, 胸部) | 0.056 | 0.23  |
| P(AIS>2, 大腿) | 0.009 | 0.016 |

防具を用いることにより、頭部のHICは、8000ほどから大きく低下して、最大でも500前後の安全圏に落ち着いた。また、自転車用ヘルメットと同じ素材である発泡スチロールを胸や大腿部に装着することで、重篤であった胸部のAIS>4を生じる確率が、P(AIS>4) = 1から、最大でも23%まで著しく低下した。次に男性ダミーに女性ダミーが、速度を持って衝突された後、20cmの段差の場所から転落した場合を見積もる(表4. 6. 7)。防具無しで女性が自然転倒した場合は、

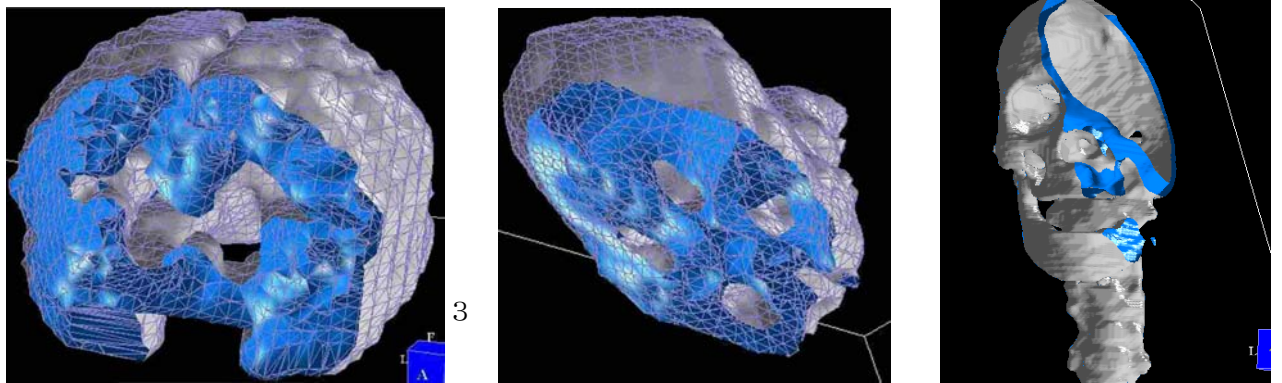
表4. 6. 7 女性の20cmが台に5km/hで衝突  
(防具あり)

|              | 平均数値  | 最大数値  |
|--------------|-------|-------|
| HIC          | 181   | 582   |
| P(AIS>4, 胸部) | 0.060 | 0.25  |
| P(AIS>2, 大腿) | 0.010 | 0.017 |

表4. 6. 8 女性が立位・大地への自然転倒  
(防具無し)

|              | 平均数値  | 最大数値  |
|--------------|-------|-------|
| HIC          | 6901  | 22196 |
| P(AIS>4, 胸部) | 0.999 | 0.995 |
| P(AIS>2, 大腿) | 0.008 | 0.014 |

上記よりダミー実験の結果を考慮して作成された「回転・落下運動の仮説」に基づく物理的要因モデルからも、防具の著しい有効性が示された。生物・医学的要因モデルの作成には、有限要素法を用いて人体損傷の粘性弾性モデルを作成する準備を行っている。



上記の写真は、左から大脳、心臓、頭蓋等を任意の平面での切断面である。小脳や心臓の内空にも4面体メッシュが作成されているのが確認できる。現在、身体を60以上の部分に分解して、臓器別にメッシュの作成が可能になってきている。次年度以降は、有限要素法や多体モデルに基づく運動解析と解析に求められる情報を得るための実験を実施する。





図4. 6. 4 ダミーによる車いすの転倒試験

相対的な安全度、人体への撃力強度を比較検討する目的で、電動車椅子からの転倒ダミー実験を実施した。左の写真は大ダミーが車椅子の前で転倒して小ダミー上に乗ってきた状況を想定して。右の実験は、坂で大ダミーが車椅子の側面に衝突した状況を想定して実施した。左の場合は頸部に0.75秒という長期間に渡り回転モーメント(60.4Nm)が作用した。この数値は、許容値57Nmを上回っている。また、左の衝突・実験では、床に接地する順序が車椅子の車輪、ダミーの肩、そして頭部である。頭部を最初に強打しない事が、横転時での側頭部への衝撃を極端に軽減している。ヘルメット無しの場合は、HIC=1122とやや基準値を超えるものの、ヘルメット着用時にはHIC=5と極端に低下する。

以上のことは、転倒時には、最初にロボットが接地して相当の衝撃を吸収し、その後、四肢等、そして、最後に頭部、胸部などの重要部位の接地が望ましい。

#### 4. 7 実際の患者を含む試験乗員の吊り下げるサスペンションの設置および実証試験

より实际的に搭乗時のリスクを明確にするために、患者等の乗員安全性を担保した実証路と姿勢衝撃応力計測を合わせた実証試験システムを設置し、ロボット訓練を行い、顕在化されたハイリスクイベントを再現するダミーvs 模擬ロボット実験等から解剖学的重症度、HIC、損傷確率論に基づく多面的な医学的評価を推進した。以下に事業内容および結果について示す。

これまでに得られた実証試験および周辺技術を総合し、より实际的に搭乗時のリスクを明確にするために、乗員の安全性を担保したサスペンション装置を設置した。このサスペンション装置を利用して実際の患者を含む実証試験のための試験プロトコールおよび計測をあわせたシステムの構築を行った。

また、ロボット訓練を行う前の先行研究として、フレーム内の限定されたスペースでロボットを使ったバランス訓練を行い、その効果を検証して、走行ライセンス付与のためのガイドラインの基礎的なデータの収集を図った。

##### 4. 7. 1 乗員の安全性を担保したサスペンション装置の設置および試験プロトコールおよび計測システムの構築

ロボットでの走行実験を行うため、当センターの理学療法訓練室内の三次元測定用実験スペースに、走行実験用の天井走行レールを設置した。この天井走行レールに懸垂したハーネスに被検者を吊り下げることにより、転倒事故が起こった場合の安全を確保する。同時に、転倒を引き起こすような事象が、どのような障害物の存在下、あるいは搭乗者がどのような操作を行った時に起こるかをシミュレーションすることができる。

懸吊装置を取り付ける天井走行レールは、当センターの三次元動作分析装置であるVICONがカバーする領域の中央線上に位置するようにして、走行中のロボットの傾きや速度を計測出来るようにした。また同じく理学療法訓練室内の三次元測定用実験スペース内の床反力計測装置の上にも天井走行レールが位置するようにして、その上をロボットが走行することによって、走行中に重心位置の偏位に関するデータの収集を可能とした。

また、将来的に患者を含む実証試験を行うために、平成21~23年度までに得られた実証試験結果から「試験・計測・調査」を総合的に評価するシステムの構築を検討した。

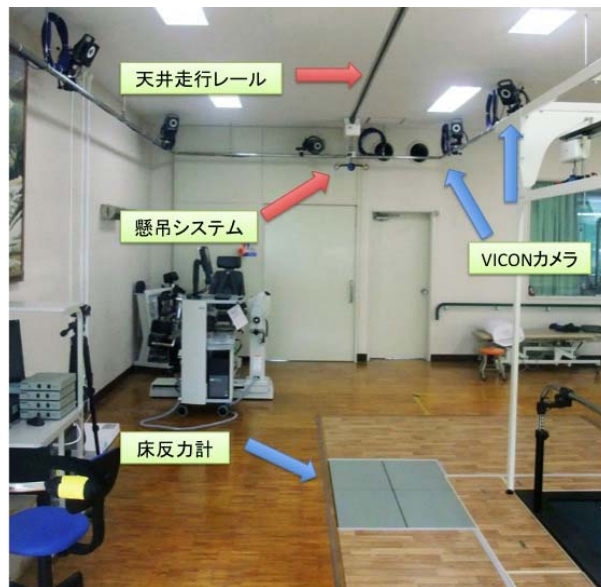


図4. 7. 1 乗員の安全性を担保したサスペンション装置

#### 4. 7. 2 高齢者に対するロボットを使ったバランス訓練の効果の検討

ロボット訓練を行う前の先行研究として、フレーム内の限定されたスペースでロボットを使ったバランス訓練を行い、その効果を検証して、走行ライセンス付与のためのガイドラインの基礎的なデータの収集を行った。

当センター外来通院中のサルコペニア症例を対象とした。選択基準として、全身状態が安定し、歩行可能であるがバランス能力低下を認め、今回の研究に関するインフォームドコンセントが得られた患者とした。除外基準としては、コントロール不良の高血圧者(収縮期血圧 180mmHg 以上あるいは拡張期血圧 120mmHg 以上)、安静時心拍 120/分以上の者、心機能・呼吸機能障害により運動制限のある者、訓練に支障のある程度の聴力・視力障害のある者、説明内容の理解が不十分な認知症者とした。

クロスオーバー比較試験を用い、対象をロボット訓練群と従来バランス訓練群にわけ、無作為的に配置した。両群は訓練期間が終了後に交差配置され、それぞれ他の訓練を受けるデザインとした。サンプルは逐次投入式であり、現時点で総計 10 名がリクルートされ、3 名で交通手段が得られないなどの事情でドロップアウトが生じたが、7 名(男性 4 名、女性 3 名)年齢 61~78 歳(平均、73.1±7.78 歳)が訓練中ないし訓練を終了している。

対象者に対して、1回20分、週2回の立ち乗りモビリティを利用して開発した訓練を6週間行った。立ち乗りモビリティはPCと無線LANで接続され、PC側にインストールされた専用プログラムでCRTへの映像の掲示が行われた。負荷はテニスゲームの形で与えられ、使用者は自身の重心を移動させることで、ラケットを操作し、相手のコートに打ち返す。訓練の前後で、つぎ足歩行速度、Functional Reach Test (FRT)、重心動揺計上でのCross test、下肢の関節トルク(Kin-com を使用して計測)、Timed Up and Go test (TUG) などの評価を行った。訓練を終了した3名の結果を以下に示す。

表4. 7. 1 高齢者に対するロボットを使ったバランス訓練

Cross test (cm)の変化

|        | ロボット訓練時 | 従来訓練時 |
|--------|---------|-------|
| Case 3 | 2.78    | 0.31  |
| Case 5 | 1.64    | 0.62  |
| Case 7 | 6.98    | -0.64 |

FRT(cm)の変化

|        | ロボット訓練時 | 従来訓練時 |
|--------|---------|-------|
| Case 3 | 4.5     | 2     |
| Case 5 | 2       | -0.5  |
| Case 7 | 3       | -1    |

tandem gait speed(cm/s)の変化

|        | ロボット訓練時 | 従来訓練時 |
|--------|---------|-------|
| Case 3 | 4.2     | -4.2  |
| Case 5 | 6.9     | 6.5   |
| Case 7 | 8.4     | 0.1   |

TUG(s)の変化(減少した方が効果あり)

|        | ロボット訓練時 | 従来訓練時 |
|--------|---------|-------|
| Case 3 | -0.8    | -0.3  |
| Case 5 | 0.1     | 0.2   |
| Case 7 | -0.17   | -0.4  |

わずか3名の結果からではあるが、少なくとも使用者が高齢である場合は、一定期間のバランス訓練を行った方が、バランス能力が通常訓練に比べても格段に向上する傾向があることが読み取れた。現時点で進行中の4名の他、今後さらに来年度もリクルートを進め、20名の被検者が完了することを目的に検討を進める。この結果を実際に走行練習および経時的にロボットを使った場合のバランス能力の変化と比較し、走行ライセンス付与のためには、実際の走行練習を行うべきかそれともフレーム内でのバランス訓練で十分なのか等、ガイドライン作成ために必須の基礎的なデータとして利用できる。

#### 4. 8 顕在化されたハイリスクイベントについて、この状態を再現する人体ダミーvs 模擬ロボットの衝突実験等から解剖学的重症度 (AIS)、HIC、損傷確率論に基づく多面的な医学的評価を推進

日本自動車研究所と共同で、小ダミーを台車、車椅子、自転車等に搭乗させた状態から転倒や相互に衝突を起こさせた場合や、救命用エアージャケット、ヘルメット、そして、医療用カラー等の防具を小ダミーに装着させることによる保護具の有効性を含む身体への影響についての評価を、撃力、加速度等の物理的要因を身体的重症度に読み替える目的で、総合的なアウトカム分析である TRISS を導入して人体損傷が発生した際の予後生存率や許容レベル評価の有用性について明らかにした。

##### 4. 8. 1 ダミーを用いた人体損傷に関する研究

日本自動車研究所と共同で小ダミーを台車、車椅子、自転車等に搭乗させた状態から転倒や相互に衝突を起こさせた。この場合の加速度、モーメント等の物理量を計測し、小ダミーが自然転倒を起こした場合の数値と相互の比較を行った。さらに、救命用エアージャケット、ヘルメット、そして、医療用カラー等の防具を小ダミーに装着させることにより保護具の有効性を含む身体への影響を測定を試みた。また、大ダミーと小ダミーを車椅子、台車、そして自転車等に乘せた後、互いに衝突を起こさせて衝撃を評価を行った。撃力、加速度等の物理的要因を身体的重症度に読み替える目的で、総合的なアウトカム分析である TRISS を導入した。この TRISS は、解剖学的重症度の HIC や AIS を基にした ISS と、呼吸や意識等の生理学的指標を用いた RTS を統合するリスクアジャスタである。TRISS の導入により人体損傷が発生した際の予後生存率や許容レベル評価が可能となる。

日本自動車研究所の協力のもとに交通外傷の検証などに用いられる衝突モデルダミー Hybrid-III AF05 を使って実験を行った。評価方法の指標として、解剖学的重傷度である HIC、AIS、 $N_{ij}$ 、そして胸部への指標は  $60G$  ( $588m/s^2$ ) を基準とした。実験は、側方転倒かつヘルメットの有無、後方転倒かつヘルメットの有無、自転車対車椅子などの実際に起こりうる危険な場面を想定して、頭部と胸部合成加速度を計測した。図 4. 8. 1 と図 4. 8. 2 に車椅子による転倒時の加速度の計測データと様子を掲載した。

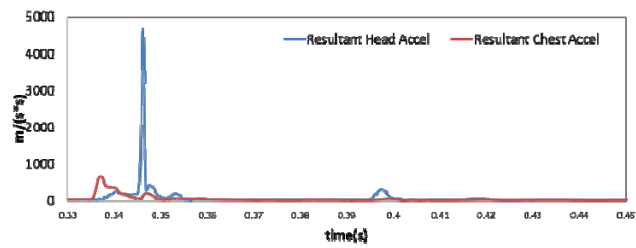


図 4. 8. 1 側面転倒 ヘルメット無し

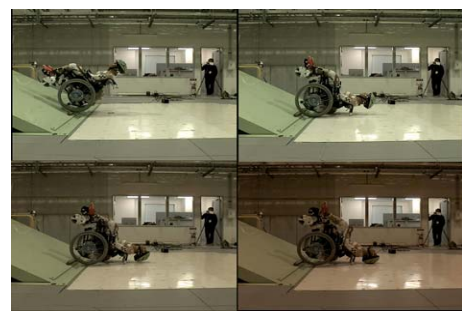
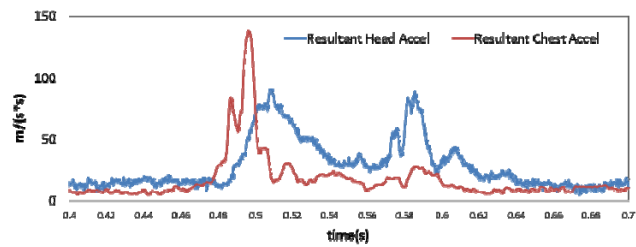


図 4. 8. 2 後方転倒 ヘルメット有り

また、転倒方向による頭部や頸部への衝撃評価の結果を図 4. 8. 3 と図 4. 8. 4 に示した。

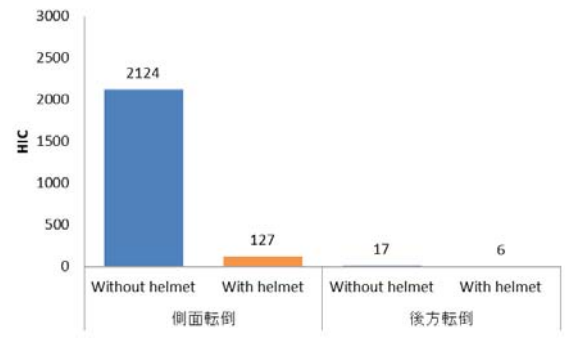


図 4. 8. 3 ヘルメットと転倒方向  
頭部 HIC

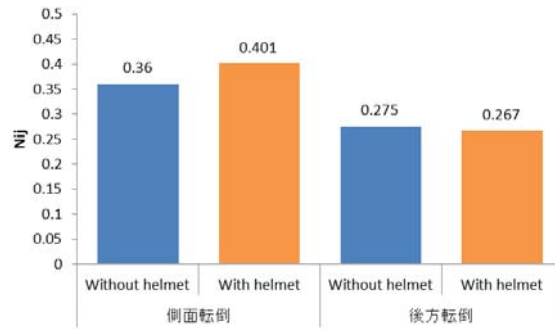


図 4. 8. 4 ヘルメットと転倒方向  
頸部  $N_{ij}$

側方転倒の場合は、ヘルメットの装着の有無により値が大きく異なった。ヘルメットが装着されている時には、HIC2124、AIS6（ほぼ死亡）を示したが、ヘルメットの装着によりHIC127、AIS0となり、解剖学的重傷度が大きく改善された。ヘルメットを装着することで加速度は約6分の1程度に減少し、逆に地面との接触時間は0.002sから0.013sとなり6.5倍長い数値を示した。これはヘルメットの緩衝材が転倒時に変形・破壊されることにより地面との接触時間が伸び、ダミーの頭部が受ける力積が大きく減少したことによる。

側方転倒では、最大胸部合成加速度値はヘルメットの装着の有無により変化するが、どちらの場合も基準値である60Gを上回る $664.5 \text{ m/s}^2$ 、 $858.3 \text{ m/s}^2$ を数値を示した。一般に、車内胸部への限界加速後は60Gとされている。しかし、日常生活内での転倒・転落時に、胸部に加わる衝撃加速度は、この基準を超えるのが一般的だ。このために、頭部・HICはロボット等の衝突や転落等の外傷評価基準として妥当性は維持される（車の安全基準を採用してよい）。他方、胸部損傷に関しては、「人が事故を起こす環境や状況を含めた基準策定」が要求される（車の基準をそのまま適用することに疑問が残る）。頸部に関しては、ヘルメットの有無に関係なく、同程度の負荷が頸部に掛かることが判明した。この傾向は、転倒や転落方向を変化させても保持される。これは、頸部以外の部分（肩、肘、車椅子のハンドル）が最初に地面と接触して一定のエネルギーの吸収する。そこで、結果的には頸部に伝播される撃力が同レベルとなると思われる。頸部損傷基準 $N_{ij}$ は側方、後方転倒時でも1以下の値を示し、頸部に関する安全基準を満たしている。さらに、車椅子による後方転倒時の胸部合成加速度は、ヘルメットの有無により $125.3 \text{ m/s}^2$ と $137.8 \text{ m/s}^2$ となり基準値内であった。これは撃力が胸部に直接的に伝播せず、車椅子のハンドグリップを介して衝撃が胸部に伝播した事による。この間接的な衝撃の伝播という観点からは、側方転倒のケースと同様の理由が考えられる。



#### 4. 8. 2 頭部の撃力に対する応答関係

頭部が受ける衝撃値は、ヘルメットの装着の有無により大きく異なり、自転車用のヘルメットの使用により大幅に HIC が低下し、頭部損傷に有効であることが示された。この効果は、頭部と地面との接触時間の大幅な増加に起因する。ヘルメットを装着していない頭部に衝撃が負荷されたケースでは、頭部に加わる衝撃波形は類似した形状を示す(図 4. 8. 4)。しかし、ヘルメットの着用は、ガウス関数型をした衝撃波形をヘルメットの材質特性に依存して大きく歪ませる。この歪み効果により衝突時間を延長して撃力の緩和が生じる。

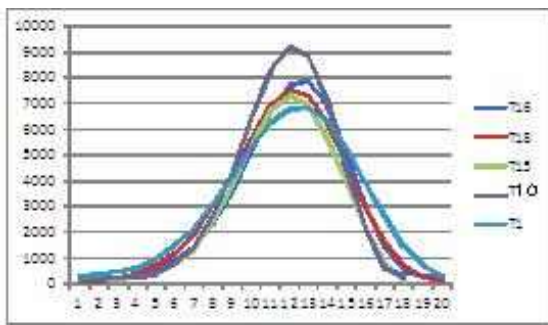


図 4. 8. 4 衝撃波形が類似性

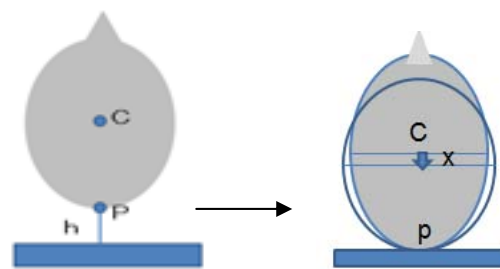


図 4. 8. 5 大地に衝突時の頭部変形

頭部は、大地との衝突時に最大の衝撃を受けるのではない。頭の着地点 P の位置を(図 4. 8. 5)、加速度データから逆解きした。P 点の座標は衝突の間 0 であり、負にはなり得ない。しかし、センサー位置 (C 点) は、さらに x の負の方向に沈み込み、その時間変化は急激なものになる。ダミー頭部の弾性が、人体頭部の値に近いと仮定すれば、この際、頭は高さ 1.02cm の点で減速運動を始める (この高さが h)。さらに、衝突によって頭蓋が変形・ゆがみ、センサー位置が約 2mm ほど沈むことが分かる。この頭蓋のゆがみが、頭を上方へ反発させる強い弾性力となる。この弾性力は、ひずみの 1 次に比例している通常のパネとは異なり、ひずみの高次に比例している。

ヘルメットの装着により点 C の運動状態が変化する。高さ h は 20 mm 前後であり変化が見られない。他方、最大沈みは 6~7 mm と他より長くてゆっくりとした減速となる。結局、床からの衝突時間 1.8 msec のピークの時間間隔の間に、頭部は強い変形を受ける。この時、1 msec の時間間隔中に約 24kN の強い撃力が働くと評価された。さらに、センサー位置の沈む深さは、ヘルメットを装着しない実験では約 2~3mm と評価される。この結果は、脳に非常に大きなマイクロ移動を起こさせ脳内の出血を引き起こす原因と考えられる。また、ヘルメットを装着した実験では、センサー位置の沈む深さは、ヘルメットなしの約 3 倍も大きく変位するために、ヘルメットの内部の発泡スチロールが大きく変形し強い衝動を吸収すると考えられる。

#### 4. 8. 3 転倒や転落の帰納的数理モデル

ダミーの身体部位にマーカーを装着し、転倒・転落等、衝突実験を行った。その様子を赤外線カメラで撮影し、身体各部のマーカーの軌跡を分析した。

計測の結果、各点の運動は剛性棒の転倒に類似しており、その軌跡は楕円関数で記述可能である事が判明した（「4. 6 人体損傷データベースからのパラメータの充実とその活用を通してコンピュータシミュレーションによってハイリスクイベントを外挿・推定する方法を検討」参照）。この知見から「人の転倒や落下の様式は、転倒動作に至れば、回転運動と自由落下の合成運動と見做せる」という理論モデルを提案できた。

1. 首のカラーの効果(自然転倒)  
有り:  $32\sim 42\text{Nm} < 57\text{Nm}$   
無し:  $69\text{Nm} \Rightarrow$  基準を超える
2. ヘルメットの首への効果  
有り:  $91.4\text{Nm}$   
無し:  $81.4\text{Nm}$   
ヘルメットは、高々 $10\text{Nm}$ 以下
3. 車椅子は、後方転び方で大差  
二人乗り  $63\text{Nm}\sim 223\text{Nm}$
4. 肘うち 上腕  $6.3\text{kN}$   
(参考: 頭部  $24\text{kN}$ )

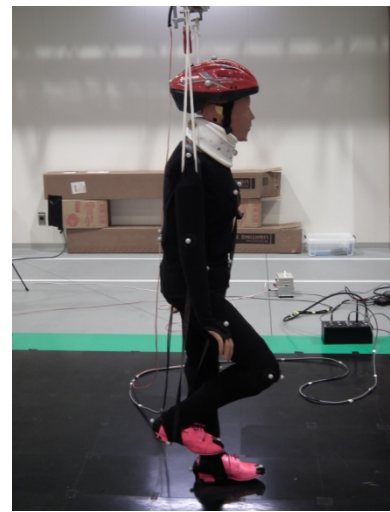


図4. 8. 6 各種条件下での衝撃値

また、有限要素法に基づくシミュレーションでは、人の頭部のMRの数値データから、頭蓋、小脳、大脳等を別々に切り出した後、整合性のあるメッシュを生成した。メッシュに分けられた部位の調整を取りながら互いにはめ込み、再度、頭部を再構成した。

再構築された頭部を用いて、下顎に秒速  $60\text{cm/s}$  の物体が衝突した場合の衝撃の伝播に関する解析を行った。その結果、衝撃が下顎関節部位に集中して、脳内部に放散する様子が見られた。さらに、解析は、頭蓋骨内部が空洞として水で満たされた場合と、図4. 8. 7に示されたように、脳実質が存在するケースに対して行われた。

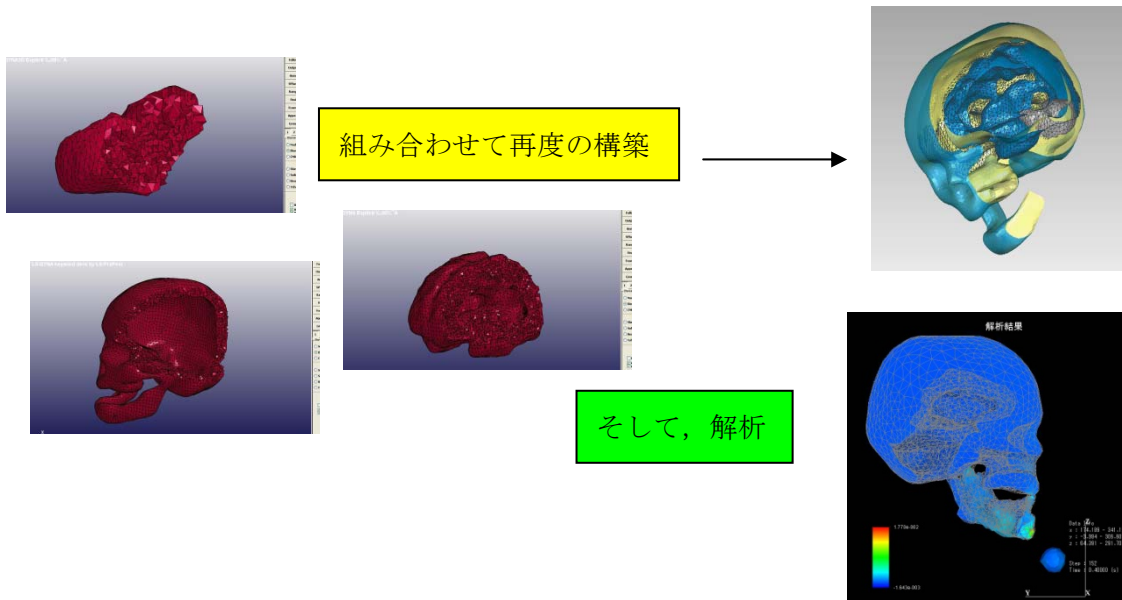


図4. 8. 7 有限要素法に使用するモデル構築

#### 4. 8. 4 総合的なアウトカム分析

医学的立場から、外傷の重症度評価は、発生した外傷からの機転と生存確率として位置づけられる。それは、臨床医学的な知見と膨大な統計データ解析が結びついた産物である。

重症の判定には大別すると3つの形式が存在する。つまり、解剖学的重傷度 (HIC、AIS、 $N_{ij}$  など)、生理学的重傷度 (意識レベル、収縮期血圧、呼吸数など)、そして現病歴や既往歴等の合併に基づく方式である。興味のある問題は「どれだけの力を受ければ、如何ほどの外傷が生じるか?」という損傷予測と、さらに「最終的な目標とすべき AIS レベル (許容 AIS)」のクライテリアの選定基準である。前者は、外力、圧力、応力等の物理的要因と生物・医学的要因との間の因果の対応関係の決定問題であり、他方、後者はレベルアクセプタブルの推定問題と言える。我々は、アウトカム分析の TRISS (Trauma and Injury Severity Score)を用いて、外傷に伴う生存率の見積もりを実施した。最初に解剖学的重傷度 (HIC、AIS など)を用いて、NISS (New Injury Severity Score)を計算した。その後、臨床症状に伴う生理学的重傷度を想定して、RTS(Revised Trauma Score)の推定を行い、最終的に TRISS を用いて生存確率を計算した。総合指標としての TRISS を段階的に積み上げて検討することで、AIS1 以下の傷害が発生する確率曲線を物理量・計測量を用いて表現する事に還元できた。つまり、人体の各領域に対する AIS1 以下の傷害発生確率曲線が求めれば、この曲線を許容レベルに設定することにより、TRISS の生存率 100%がほぼ確保される。実際、 $TRISS > 0.980$  (この時  $NISS < 4$ 、 $RTS > 7.8408$  となる) は、 $\max TRISS = 0.98404$  ( $NISS = 0$ 、全ての  $AIS = 0$ ) と大差を生じていない。つまり、全ての AIS 1 以下が想定許容レベルとして妥当だと考える。今後の実験目標は、頭部の AIS 1、頸部の AIS1、胸部の AIS1 等を具体的な物理量で表現することに焦点が絞られる。注意すべきことは、AIS1 は軽症が発生している状態であり、人体は既に損傷を受けているという点である。(捻挫や打撲等が生じる)。

AIS1 は生存率から眺めた基準であり、生存率 100%を保障する基準であるに過ぎない。目標はあくまで無傷 AIS0 である。しかし、人とロボットの生活空間で共存が日常化になる事が予想され、高齢者の増加による転倒、転落や事故が、今後さらに増加する事が懸念される。このために人体損傷が避けて通れない現状であるならば、リスク管理の基準 (許容リスクレベル)として AIS1 以下を想定する必要があると述べているに過ぎない。また、TRISS は、多発性外傷を評価するが、それは、受傷した身体部位ごとの最大3つの AIS スコアのみを勘案しているに留まっている。つまり、同一領域に多発的に存在する外傷と、最大3つ以外の AIS も全て棄却される。さらに、年齢区分が55歳以下とそれ以上というよう区分は大雑把過ぎるという印象を抱かせる。これでは、後期高齢者と前期高齢者では身体機能や状態に存在する大きな運動・生理機能的な変化を無視していると言える。

TRISS は、標準的な予後判定スコアであるが、上記の欠点を補正するためにも最新の予後予測法を用いて、上記の結果を再度、考察する必要性が生じてくる。

表4. 7. 2 アウトカム分析を用いた外傷に伴う生存率の見積もり

| NISS<br>= $\Sigma(\text{maxAIS})^2$<br>最大のAISの組<br>;(1st,2nd,3ed AIS) | 鈍的外傷<br>生存率<br>P(s)<br>RTS=7.8408 | 鋭的外傷<br>生存率<br>P(s)<br>RTS=7.8408 |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| NISS ;<br>0;(0,0,0)   | 0.9847                            | 0.9843                            |
| 1; (1,0,0)  | 0.9834                            | 0.9833                            |
| 2; (1,1,0)  | 0.9820                            | 0.9822                            |
| 3; (1,1,1)  | 0.9804                            | 0.9810                            |
| 4; (2,0,0)  | 0.9788                            | 0.9798                            |
| 8; (2,2,0)  | 0.9706                            | 0.9739                            |
| 9; (2,2,1)  | 0.9681                            | 0.9722                            |
| 12; (2,2,2)   | 0.9594                            | 0.9664                            |
| 17; (3,2,2)   | 0.9397                            | 0.9541                            |

## 5. 本研究の成果

生活支援ロボットは、商業施設、駅・空港等の交通施設、オフィス、家庭に至るまで、不特定多数の人や、他の移動体や障害物と同一空間内で共存が可能と求められる。そこで、本研究では生活支援ロボットが至近距離で人と同居するという状況下で人に与える危険性やリスク、皮膚等の人体損傷の可能性を予測・評価して、安全性確保に益する資料を提供するため、生活支援ロボットの安全性の実証実験を病院・介護施設等の諸施設で実施し、顕在化された人体損傷リスク評価の基礎検討として、リスクアセスメントから搭乗型生活支援ロボットに安全機構を実装化し、実証試験および衝突試験（JARIにおいて）を実施し、以下の2点の最終成果を得た。

### 5. 1 サスペンション式実証試験路によるリスク発生のクライテリアおよび走行ライセンス付与のためのガイドラインを策定についての検討

非高齢患者による試験対象高齢患者の仕様（安全対策）を決定した後、サスペンション式実証試験路を設置し、障害物が介入した際のリスク発生のクライテリア（人体損傷データベースによる人体損傷の推定）、走行ライセンス付与のためのガイドラインを策定について検討を行った。

その結果、当センター病院リハビリテーション科内に設置したサスペンション式実証試験路を用いて、若年健常者6名、高齢健常者4名について実証試験を実施し、本装置を使用したことによる改善等の効果を確認した。このことから走行ライセンスの要件として、実地教習が普及技術として効果をしめすことが明らかにされた。

### 5. 2 ロボットと人の接触速度やエネルギー負荷から、身体部位別の傷害リスク評価で用いるパラメータを衝突実験（JARIにおいて）から取得

数理人体モデルや衝撃荷重の人体組織の伝搬過程を解析し、ハイリスクイベントに関しては、ダミーvs 模擬ロボットの衝突実験等に落とし込み、解剖学的重症度（AIS）、HIC等の傷害水準による評価を、また、生物試料による組織衝撃試験から微弱な損傷（AIS0～1）評価を行い多面的な医学的評価を行った。これらの知見を総合し社会的許容リスク水準を検討して、生活支援ロボットに共通に潜在するリスクと必要な安全検証モデルを提案した。上記の研究開発により生活支援ロボットの社会実装における普及技術の一考察、および人体損傷に基づく必要安全の構築法を開発した。

## 6 まとめ

本研究は、ロボットが至近距離で人と同居するという状況下で人に与える危険性やリスク、人体損傷の可能性を予測・評価して、安全性確保に益する、医学的見地に基づく安全評価（人体損傷評価）法の確立を目指し、当初の計画の履行、および当初計画を補完する技術を開発することができた。その結果、図1に示すような評価体系を構築することができた。



図1 医学的見地からの安全評価（人体損傷評価）とロボット開発に資する評価法の利用展開

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

| 区分<br>年度 | 特許出願 |    |            | 論文・記事    |         | その他外部発表     |                        |             |
|----------|------|----|------------|----------|---------|-------------|------------------------|-------------|
|          | 国内   | 外国 | PCT※<br>出願 | 査読<br>付き | その<br>他 | 学会発表<br>・講演 | 報道（新聞<br>・雑誌等へ<br>の掲載） | その他展<br>示会等 |
| H21FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 0件       | 0件      | 1件          | 0件                     | 1件          |
| H22FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 14件      | 3件      | 4件          | 0件                     | 1件          |
| H23FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 25件      | 8件      | 38件         | 11件                    | 0件          |
| H24FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 39件      | 9件      | 87件         | 1件                     | 1件          |
| H25FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 0件       | 0件      | 7件          | 2件                     | 0件          |

期待されるアウトカム

1. 生活支援ロボットの安全性の実証試験フィールドとして病院・介護施設に絞った実証試験によるリスクアセスメントの構築

⇒本邦で製作されたロボットのより実際的评价

2. 安全かつ有効なロボット搭乗訓練方法の構築

⇒ユーザーサイドとしては訓練やライセンス講習

ロボット製作においては、危険因子の洗い出し等の検証

3. ISO13482の安全評価基準を踏襲し、さらに当該ロボットの状態に即した評価プログラムの開発

⇒リスクアセスメントシートへの活用

4. 各企業の安全評価からの結果との連携を想定した人体損傷評価プロトコルの提案

⇒人体損傷という視点での安全性評価および機能性評価



## 2.9 研究開発項目⑤ 安全要素部品群と安全設計に基づく搭乗型移動ロボットの開発 アイシン精機株式会社、日本信号株式会社、オプテックス株式会社、株式会社ヴィッツ、学校法人千葉工業大学

### 目 次

#### 本 文

|   |       |
|---|-------|
| 1. 事業背景と目的（アイシン精機）                                    | 4     |
| 1-1. 事業背景   | 4     |
| 1-2. 事業目的   | 5     |
| 2. 事業概要（アイシン精機）                                       | 6     |
| 2-1. 対象とする搭乗型移動ロボットについて                               | 6     |
| 2-2. 開発する安全技術について                                     | 6     |
| 2-3. 開発ロボットの利便性と安全性の検証について                            | 6～7   |
| 2-4. 実施体制と開発計画  | 7     |
| 3. 事業内容（アイシン精機、日本信号、オプテックス、ヴィッツ、千葉工業大学）               | 8     |
| 3-1. 生活空間内での「許容リスク以下安全移動支援技術」<br>（アイシン精機、ヴィッツ、千葉工業大学） | 8     |
| 3-1-1. リスクアセスメントの実施（アイシン精機、ヴィッツ）                      | 8～9   |
| 3-1-1-1. 開発ロボットの安全分析                                  | 9～15  |
| 3-1-1-2. TAO-Aicle-Safety への安全分析                      | 16    |
| 3-1-1-2-1. 対象となるシステム構成の説明                             | 16～17 |
| 3-1-1-2-2. HAZOP ガイドワード、通信驚異の故障モード説明                  | 17～18 |
| 3-1-1-2-3. 安全分析の実施結果                                  | 18～19 |
| 3-1-1-2-4. ハードウェア安全分析の実施結果                            | 20～21 |
| 3-1-2. 安全コンセプト／システム設計（パイロットスタディ）                      | 21    |
| 3-1-2-1. システム構成と機能概要                                  | 21～22 |
| 3-1-2-1-1. リスク低減制御ブロック                                | 22～24 |
| 3-1-2-1-2. 通信制御ブロック                                   | 24～25 |
| 3-1-2-1-3. ロボットと周辺環境センサ                               | 25～26 |
| 3-1-2-2. 安全目標とコンセプト                                   | 26    |
| 3-1-2-2-1. 安全目標                                       | 26～27 |
| 3-1-2-2-2. コンセプト                                      | 28    |
| 3-1-2-3. システム故障における故障検出機能                             | 29～31 |
| 3-1-2-4. 通信驚威における故障検出機能                               | 31～33 |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 3-1-2-5. 安全対策                      | 33    |
| 3-1-2-5-1. サブマイコン①                 | 33    |
| 3-1-2-5-2. デュアルポートメモリ              | 33~34 |
| 3-1-2-5-3. SRAM                    | 34    |
| 3-1-2-5-4. 駆動電源リレーIF               | 34    |
| 3-1-2-5-5. 分圧モニタ (12v,24v)         | 34    |
| 3-1-2-5-6. 電源回路                    | 34    |
| 3-1-2-6. ハードウェア要件                  | 34    |
| 3-1-2-6-1. 基本アーキテクチャ               | 34    |
| 3-1-2-6-2. クロック                    | 34    |
| 3-1-2-6-3. ウォッチドック                 | 35    |
| 3-1-2-7. 通信制御ブロックへの要求事項            | 35    |
| 3-1-2-8. 外部ユニットへの要求事項              | 35    |
| 3-1-2-8-1. 操作ユニットへの要望              | 35    |
| 3-1-2-8-2. モータドライバユニットへの要望         | 35~36 |
| 3-1-2-8-3. 各センサへの要望                | 36    |
| 3-1-2-9. リスク計算ユニットの仕様概要            | 36    |
| 3-1-2-9-1. リスク算出アプリケーション           | 36~45 |
| 3-1-2-9-2. 安全通信モジュール               | 46~53 |
| 3-1-3. リスク低減アルゴリズム開発 (千葉工業大学)      | 54    |
| 3-1-3-1. アルゴリズム概要                  | 54~56 |
| 3-1-3-2. 2次元占有極座標マップ生成             | 56~57 |
| 3-1-3-3. 速度制限値算出                   | 57~59 |
| 3-1-3-4. 開発支援ツール                   | 59~60 |
| 3-1-4. 検証機の試作 (アイシン精機)             | 61~64 |
| 3-1-5. 検証機の性能評価 (アイシン精機)           | 65~66 |
| 3-1-5-1. 衝突安全性能試験                  | 67~72 |
| 3-1-5-2. 走行安定性試験                   | 73~78 |
| 3-1-5-3. 障害物検知・対応試験                | 79~88 |
| 3-1-5-4. 環境認識性能試験                  | 89~90 |
| 3-2. 安全要素モジュール: 3次元レーザ測域センサ (日本信号) | 91    |
| 3-2-1. 概説                          | 91    |
| 3-2-2. ロボットシステムのセンサ要求仕様            | 91    |
| 3-2-2-1. 検知対象物                     | 91~92 |
| 3-2-2-2. 環境条件                      | 92    |
| 3-2-2-3. 開発仕様                      | 92    |

|          |                                |         |
|----------|--------------------------------|---------|
| 3-2-3.   | 3Dセンサ方式の特性比較と方式選択              | 93~95   |
| 3-2-4.   | 安全機能の向上                        | 96      |
| 3-2-4-1. | FTA/FMEAによる故障解析                | 96~109  |
| 3-2-4-2. | セルフチェック機能                      | 109~110 |
| 3-2-4-3. | 上位とのインターフェース                   | 111~115 |
| 3-2-4-4. | 検知性能の向上                        | 116~117 |
| 3-2-4-5. | 窓ガラスコートの耐環境性/耐候性向上             | 118     |
| 3-2-5.   | 安全センサの評価                       | 119     |
| 3-2-5-1. | 機器仕様                           | 119~120 |
| 3-2-5-2. | 検知距離と距離精度                      | 120~121 |
| 3-2-5-3. | 角度分解能                          | 122~123 |
| 3-2-5-4. | 耐環境性能・耐久性能                     | 124~129 |
| 3-2-6.   | まとめ                            | 130     |
| 3-3.     | 安全要素モジュール：3次元距離画像カメラ（オプテックス）   | 131     |
| 3-3-1.   | 概説                             | 131~132 |
| 3-3-2.   | 距離画像カメラの改良                     | 133~141 |
| 3-3-3.   | 障害物検知センサ                       | 141~145 |
| 3-3-4.   | 障害物検知センサの試作・評価                 | 145~158 |
| 3-3-5.   | TOF3次元距離画像カメラを用いた障害物検出センサのまとめ  | 158     |
| 3-4.     | 安全要素モジュール：無線通信（ヴィッツ）           | 159     |
| 3-4-1.   | 通信の安全に対する要求事項                  | 159~160 |
| 3-4-2.   | 通信脅威の分析                        | 160~184 |
| 3-4-3.   | 通信脅威の対策                        | 184~196 |
| 3-4-4.   | 安全通信プロトコル                      | 197~208 |
| 3-4-5.   | 安全通信の性能確認                      | 209~212 |
| 4.       | つくばモビリティロボット実験特区での実証実験（アイシン精機） |         |
| 4-1.     | 実験計画                           | 212~216 |
| 4-2.     | 実験準備                           | 217~218 |
| 4-3.     | 実験及び実験結果                       | 218~223 |
| 4-4.     | 結果の分析                          | 223~225 |
| 5.       | 総括（アイシン精機）                     | 225     |
| 5-1.     | 開発した搭乗型移動ロボットとその安全技術のまとめ       | 225~226 |
| 5-2.     | 開発成果のアウトリーチ活動                  | 226~227 |
| 5-3.     | 今後の事業展開について                    | 227     |

## 1. 事業背景と目的（アイシン精機）

### 1-1. 事業背景

日本をはじめ、世界的にも高齢化問題、環境問題、エネルギー問題が深刻な社会問題となっている。特に日本では、高齢化率が高く、他国よりいち早く超高齢社会を迎える。国の高齢社会白書によれば、日本の総人口は2010年の1億2千8百万人をピークに減少に転じ、65歳以上の高齢者人口は23%であった。また、将来推計人口でみる50年後の日本は、総人口が9000万人を割り込み、高齢者人口は実に40%に近くまで上昇すると推計されている。これは、国民の約2.5人に1人が65歳以上の高齢者になる事を意味している。また、この高齢化を地域別にみるとすでに秋田県など地方では高齢化率30%を越す県もある一方で、今後は首都圏での高齢化が顕著になってゆく傾向がある。日本の高齢化は大都市圏を含め、全国的な広がりになるとの予測がなされている。

さらに高齢化社会における高齢者の環境について目をむけると、1980年では三世帯世帯が全体の半分程度を占めていたものが30年後には、夫婦のみの世帯が3割程度と最も多く、単独世帯とあわせると半数を越す状況となっている。これらの状況は、単に高齢化が進むだけでなく、高齢者を支える家族の減少と共に、社会全体での支援負担の上昇につながってゆく。また、経済的には暮らし向きに心配ないとしている高齢者は約7割ほどの割合となっている一方で、健康不安から病気・介護への備えとして貯蓄している。高齢者の健康不安に関するデータとして、東京大学で全国高齢者の自立度に関する20年の追跡調査があげられる。これによれば、男性19%、女性12%の高齢者は、65歳を過ぎると日常生活において、何かしらの援助が必要となってくる。男性の10%に生涯援助を必要としない元気な高齢者もいるが、男性70%、女性87%の高齢者は70歳を過ぎたあたりから徐々に身体能力の低下を招き、80歳を過ぎるとやはり支援が必要となる。このように、高齢者の健康や身体能力からみた生活能力は65歳を過ぎたあたりから低下が始まり、支援レベルもまちまちとなる。これは、画一的な支援ではなく、個々人に適したものが求められる事を意味する。また高齢者の身体能力は、何かしらの原因で外出機会が減り、寝たきり状態となると急速に低下することが知られている。

以上の日本における高齢化問題を考えると、高齢者の自立した日常生活の移動を支援し、外出機会低下を防ぐ事が一つの解決の糸口となる。このため、日常生活の移動手段のあり方について様々な検討や技術開発、実証実験などが進められている。その一つに、超小型で低速な新しい移動手段の導入に向けたガイドラインの報告もされている。

## 1-2. 事業目的

このような背景から、我々は、特に都市部における日常生活に必要な移動を支援する新しい移動手段を開発している。特に日常生活の移動に重要な移動空間は、公道を含む屋内外の歩行者空間と考えており、すでにこの空間をシームレスに移動できる唯一の移動手段として、障がい者を利用者層とした電動車いすが規格化され認可を受けている。またアイシン精機も介護福祉事業として簡易電動車いすを製造・販売している。

この簡易電動車いすは、歩行困難な障がい者の歩行支援の目的で設計されており、操作性が良く、軽量かつコンパクトであり、歩行者との親和性も高く、市場利用実績もあることから、障がい者だけでなく、高齢者の日常生活の移動手段として有望な選択肢になりうると考える。また高齢者の日常生活の移動目的は、食品・日用品の買い物、通院、散歩、習い事などであり、一回の移動（1トリップ）が2～3kmの移動距離であると想定している。しかしながら、簡易電動車いすは時速6kmを速度上限として認可・製造されており、想定した移動距離の移動に要する時間は約30分程度となる。国土交通省による都市内交通手段の移動時間に関する調査研究によれば、自転車が5km未満の移動に良く利用されているが、自転車で2～3kmの移動をする場合、その所要時間は約15分程度と簡易電動車いすの場合の半分の時間で移動できる。そこで、我々は都市部における2～3kmの生活圏内において、屋内外の歩行者空間をシームレスに移動でき、自転車と同等の機動性を持つ電動車いすをベースとした搭乗型移動ロボットを開発する事で、高齢者の自立した日常生活を支援できると考えている。

ただし、自転車と同等の機動性を持たせるために、現状の最高速度を時速6kmから、時速10kmに速度拡張する必要があると同時にロボットの搭乗者に対する安全と、周囲歩行者に対する安全を確保する必要がある。しかし、歩行者との混合交通における移動体の安全基準や検証方法は無く、一企業による基準作り・安全性検証には限界があった。そこで本プロジェクトで開発される安全規格 ISO 13482 とそれに基づく生活支援ロボット安全検証センターでの第三者評価試験に準じた安全技術の開発とロボットへの実装を実施し、実用に供する搭乗型移動ロボットを開発する。

## 2. 事業概要 (アイシン精機)

### 2-1. 対象とする搭乗型移動ロボットについて

アイシン精機では福祉関連機器として簡易電動車いす“タオライトⅡ-m”を製造販売している。タオライトⅡ-mは、軽量・コンパクトで折りたたみも可能であり可搬性にすぐれ、また静寂性も高い事から、人と共存する日常生活の移動に適した近距離移動手段である。本ロボットはこの特性を活かすべく、タオライトⅡ-mをベースとし、最高速度を時速10kmまで拡張した搭乗型移動ロボットである。

### 2-2. 開発する安全技術について

2005年の愛・地球博では、同じくタオライトⅡをベースとした自律走行可能なロボットTAO-Aicleを開発し、半年間の自律操縦デモを達成し、コンピュータ制御による安全の基本的機能を開発した。しかしながら、その機能は、万博会場という特定移動空間を対象として実現しており、実用化にあたり想定するユーザとその利用場面から再度リスクアセスメントを実施した。想定する利用ユーザは、都市部に在住する高齢者であり、衰えはあるものの、電動車いすを操作することが可能な、認知・判断能力と操作能力を有している。従って、本ロボットは、利用者(搭乗者)の操作指示(速度指示、停止指示、操舵指示)に忠実に動作するものとし、走行中における衝突などのリスク回避はあくまで、搭乗者の判断とロボット操作により回避されるものとした。ただし、利用者が高齢である点、ロボットの最高速度が時速10kmである点を考慮すると、搭乗者がリスク回避をするに必要な“危険状態の認知”“回避判断”“回避操作”にかかる時間的余裕が十分で無い状況が発生する。このため、ロボットには、ロボットの周囲環境を取込む環境センサを配置し、その状況下でのリスクをリアルタイムに判定する。検知したリスクを搭乗者が十分に回避操作可能となるように速度制限や、注意喚起をおこなう機能を安全機能として実装した。

さらに、前述の安全機能を実現するため、ロボット周囲の環境情報を獲得する目的で、安全要素部品群である、3次元レーザ測域センサ、距離画像カメラ、安全無線通信モジュールを開発した。また取得した環境情報から周辺リスクとリスクを低減する制御を実行するリスク低減ソフトウェアについても、IEC61508 SIL2に準拠した機能安全ソフトウェア開発プロセスに基づき構築した。

### 2-3. 開発ロボットの利便性と安全性の検証について

開発した安全機能を搭載したロボットの利便性と安全性について2つの評価を通し検証した。ロボットの性能試験に関する評価を生活支援ロボット安全検証センターにて実施した。生活支援ロボット安全検証センターにて性能を満たす事を確認した上で、実際の利用環境における走行実験を通しロボットの利便性と安全性について検証した。実環境にお

る走行は、屋外の公道走行となるため、運輸局の特区基準緩和認定を受け、つくば市の「つくばモビリティロボット実験特区」にて実施した。

#### 2-4. 実施体制と開発計画

安全技術の開発にあたり、四つの開発課題を設定した。すなわち①生活空間内での「許容リスク以下安全移動支援技術」の開発、②安全要素モジュール：3次元レーザ測域センサの開発、③安全要素モジュール：距離画像カメラの開発、④安全要素モジュール：緊急停止信号等の安全情報の無線通信の開発 である。

これらの開発を推進するため、アイシン精機はじめ、日本信号、オプテックス、ヴィッツ、千葉工業大学の5法人にてコンソーシアムを組み、実施した。また、ロボットシステム全体をアイシン精機が見ながら、①の開発はアイシン精機、ヴィッツ、千葉工業大学、②の開発は日本信号、③の開発はオプテックス、④の開発はヴィッツがそれぞれ分担する事とした。初年度は、リスクアセスメントを通し、徹底した利用場面のリスク分析と、安全対策の立案。それに基づく安全機能の要求仕様と安全要素モジュールへの要求仕様の抽出を計画した。次年度では、要求仕様に従い設計した安全機能の開発・実装を進め、最終年度では、生活支援ロボット安全検証センターでの性能試験を通し、技術改良及び、性能検証を行い、つくばモビリティロボット実験特区での実証実験を通し、開発ロボットの利便性と安全性の検証を実施する計画とした。尚、安全機能の開発にあたり、開発プロセスの妥当性について日本品質保証機構殿のパイロットスタディを受審しながら進めるものとした。

### 3. 事業内容（アイシン精機、日本信号、オプテックス、ヴィッツ、千葉工業大学）

開発ロボットの安全機能の開発にあたり、「許容リスク以下安全移動支援技術」「3次元レーザ測域センサ」「3次元距離画像カメラ」「無線通信」の四つの開発課題を設定し推進した。それぞれの開発について以下に記す。

#### 3-1. 生活空間内での「許容リスク以下安全移動支援技術」

（アイシン精機、ヴィッツ、千葉工業大学）

本ロボットは、高齢社会における日常生活の自立した移動を支援する事を目的とし、屋内・屋外の歩行者空間をシームレスに移動可能な搭乗型移動ロボットである。本ロボットは、現在歩行者空間での利用が唯一認められている電動車いすをベースとし、さらに利便性を高めるべく、その最高速度を時速10kmまで拡張し、行動範囲を広げられるよう開発された。しかしながら、速度を拡張することによる安全性、社会的受容性については現在十分な知見を持ち合わせていない。

そこで、まずは開発ロボットのユースケースレベルのリスクアセスメントを実施し、十分な安全分析と必要な安全機能について抽出し、その安全機能をロボットに実装する事で電動車いすに比べ、より利便性が高く、安全で社会的にも受け入れられるロボットの実現を目指した。開発した安全機能は、ロボットの周囲状況を検知し、搭乗者及び周囲歩行者に重大な危害（許容できないリスク）が発生する状況を判断する。この判断結果に基づき、危害低減をはかるべく、ロボットの最高速度を制限し、注意を喚起する事で搭乗者及び周囲歩行者に気付きを与え、危険な状態を回避させるよう支援するものである。

##### 3-1-1. リスクアセスメントの実施（アイシン精機、ヴィッツ）

安全分析を進めるにあたり、2段階の安全分析を実施した。まずはロボット全体の利用場面におけるリスクアセスメントを実施し、必要な安全対策について抽出した。続いて、その中で機能安全に関する安全機能とそのシステムについて安全分析を実施し、要求仕様としてまとめ、それに基づき安全システムの設計を進めた。設計の開発プロセスフローを図3-1-1に示す。



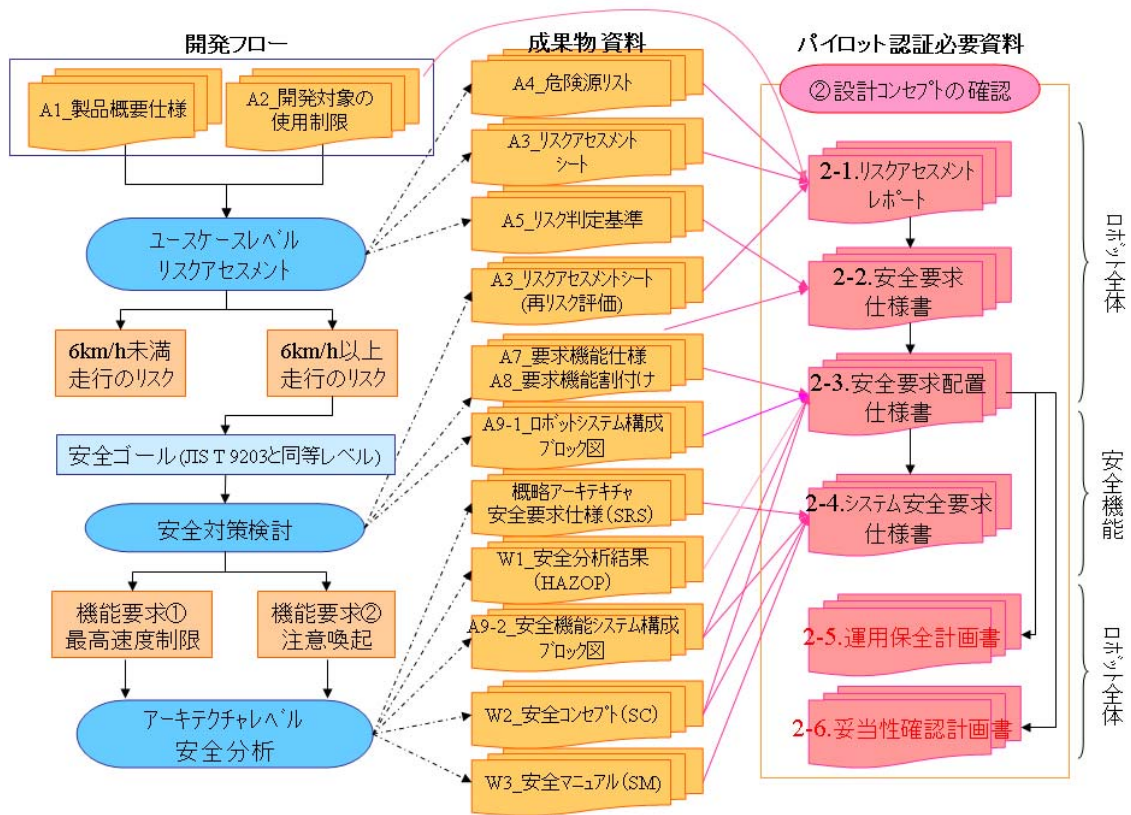


図 3-1-1. 開発プロセスフロー

### 3-1-1-1. 開発ロボットの安全分析

開発ロボット全体についてリスクアセスメントの実施とリスク低減方策の抽出を実施した。リスクアセスメントは安全分析の基本的な手法であり、ISO 12100に代表される機械安全規格でも規定されている。また、すでに生活支援ロボット実用化プロジェクトの成果としてリスクアセスメント実施の雛形シートが提供されており、それらを活用し安全分析を進めた。

安全分析に必要なロボットに関する情報を収集し、整理した。ロボットの製品概要を図3-1-1-1-1に示す。利用者は、電動車いすの利用者及び、高齢者を想定している。基本機能はアイシン精機にてすでに製品化されている電動車いすTAOLight II同等であり、ジョイスティック操作により、ロボットの加速・減速・停止、及び操舵が可能である。通常は、電動で走行するが、手動/電動切替クラッチ操作により、必要に応じ手動での走行も可能である。決定的に異なるのが、電動走行時の最高速度であり、本ロボットは時速10kmまで速度域が拡張されている。

対象ロボットシート


| 対象ロボット名称   | 型式        | No         | 項目   | 基本仕様 |
|--|-----------|------------|--|------|
| TAO Aicle Safety   | ****-**** |            |  |      |
|  <p>ベース車体:TAO Light II<br/>型式:PC20M-6024N</p> | 1         | タイプ        | 高齢者及び簡易電動車いす使用者(単独外出可)向け搭乗型移動ロボット  |      |
|  | 2         | 外寸         | 66×95×87 cm(幅×長×高) ※24インチ仕様  |      |
|  | 3         | 重量         | 22kg(バッテリー:3kg)・・・バッテリー2個搭載時 28kg  |      |
|  | 4         | 最大積載重量     | 75kg(搭乗者+積載物)  |      |
|  | 5         | 駆動源        | ・DC24V、3A ニッケル水素バッテリー<br>(プラグイン/充電又は充電済みバッテリーと交換)  |      |
|  | 6         | 走行機構(電動)   | 2輪駆動/独立駆動DCブラシモータ:90W、24V出力、30分定格)+2輪自由輪<br>保持用電磁ブレーキ有り  |      |
|  | 7         | 走行機能       | 前後進、左右旋回、速度調整  |      |
|  | 8         | 走行能力       | ・最高速度:(前進)10km/h、(後進)3km/h<br>※自律速度制御切の場合、最高速度は6km/hに制限<br>・登坂最大:6度<br>・段差乗り越え時最大40mm(助走必要)、旋回半径最小0.9m(JIS T 9203より推定)<br>・連続走行距離:20km |      |
|  | 9         | 走行モード      | ・搭乗者による手動操縦/ジョイスティックによる電動操縦<br>・自律速度制限機能の入り  |      |
|  | 10        | 操縦インターフェース | ジョイスティックによる操縦と速度調整+緊急停止ボタン+電源ボタン   |      |
|  | 11        | 表示機能       | 速度、バッテリー残量、異常、速度制限状態   |      |
|  | 12        | 安全機能       | 環境センサ及びインフラとの無線通信で周辺リスク演算をし、適切速度を算出。適切速度を越える操作に対し、速度制限をかける(自律速度制限機能)   |      |
|  | 13        | その他の機能     | 折たたみ機構、反射板   |      |

図3-1-1-1-1. A1\_製品概要仕様

次に、ロボットの使用制限についてまとめた。まとめたものを図3-1-1-1-2に示す。ここでは、通常使用だけでなく、考えうる誤った使用も想定した。また使用する空間や時間などについても明記した。続いて、A1\_製品概要仕様で示すロボットをA2\_開発対象の使用制限の中で利用する際の危険事象とそのリスクについて検討を進める。

| 対象ロボット名称                     | 実施者   | 実施日   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------------|---|---|----|------------|----|------------|----|---------|----|-----------|--------------|---------------|----------|----------|--------------|--|-------------|--------|-------|-------------|---------|--------------|----------|----------|---------|--|---|---|---|---|---|---|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| TAO Aicle Safety             | (担当者の所属)<br>アイシン精機株式会社、日本信号株式会社、オプテックス株式会社、株式会社、千葉工業大学  | 初回:2011年5月16日<br>改訂:2011年7月10日  |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ライフサイクル<br>リスク評価<br>設定、運転、保守 | 分析方法(ツール) 積算法(一部加算法を適用)   |   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 意図した使用上の制限                   | <p>①ロボットは使用時は折たたみ状態から展開し使用する。</p> <p>②クランチ切換え操作により、手動/電動のモード切換えをする。</p> <p>③電動モード時は、ジョイスティックにより片手操縦により動作する。</p> <p>④搭乗者のロボットへの乗降は自力又は、介助者による補助により行う。</p> <p>⑤ロボット搭乗者は運転中身体を拘束されない。</p> <p>⑥ロボットのバッテリー充電/交換/保守は、使用者もしくは介助者が行う。</p> <p>⑦ロボットの搬送引口は、折たたみ状態とし運搬車に積載する。</p> <p>⑧搭乗者は、操縦しながら携帯電話を利用したり、歩行者と話しながら並走する。</p>   | <p>リスクの見積/評価基準</p> <p>■算出式:リスク点数(R) = 危害の酷さ(S) × 危害の発生確率(Ph)</p> <p>■判定基準: 3 ≤ R ≤ 12 十分低い/無視できる(リスク低減は不要)<br/>13 ≤ R ≤ 17 低い/中程度/条件付き受容/検討を要する(リスク低減を推奨)<br/>18 ≤ R ≤ 44 高い/受容できない(リスク低減が必要)</p>   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                              | <p>合理的に予見できる誤使用</p> <p>①ロボット走行中、第三者がジョイスティックに触れる。</p> <p>②ロボット後方の第三者及び障害物に気づかず後進させる。</p> <p>③ロボットを走行領域外へ操作してしまう。</p> <p>④段差、溝に車輪を脱輪させる。</p> <p>⑤センサー部にカバー等してしまう。</p> <p>⑥衝撃により、センサ等のアラウンドがずれる</p> <p>⑦立ち上がった状態で重心が不安定な状態(搭乗姿勢)で操作する。</p> <p>⑧照明を保持せず、夜間走行、暗闇走行をする。</p> <p>⑨交差点で信号が赤である時や踏切で遮断機が下がっている時に横断しようとする。</p> <p>⑩積載重量をこえて使用する。</p> <p>⑪坂道でのクランチ操作</p> | <p>危害の酷さ(S)</p> <table border="1"> <tr><td>4</td><td>重大障害(長期障害)</td></tr> <tr><td>3</td><td>医療措置(短期回復)</td></tr> <tr><td>2</td><td>応急手当で回復</td></tr> <tr><td>1</td><td>無傷/一時的な痛み</td></tr> </table> <p>危害の発生確率(Ph=F+Ps+A)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>曝される頻度/時間(F)</th> <th>危険事象の発生確率(Ps)</th> <th>回復可能性(A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4 連続的/常時</td> <td>4 高い(起こりやすい)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 動作中継続/長時間</td> <td>3 ありえる</td> <td>3 不可能</td> </tr> <tr> <td>2 動作中数回/短時間</td> <td>2 可能性あり</td> <td>2 条件付きで可能性あり</td> </tr> <tr> <td>1 まれ/時間的</td> <td>1 低い(まれ)</td> <td>1 回復が容易</td> </tr> </tbody> </table> <p>危害の酷さ(S)</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>20</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>9</td> <td>12</td> <td>15</td> <td>18</td> <td>21</td> <td>24</td> <td>27</td> <td>30</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>20</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>32</td> <td>36</td> <td>40</td> <td>44</td> </tr> </table> <p>■:リスク低減推奨 ■:リスク低減必要</p> | 4  | 重大障害(長期障害) | 3  | 医療措置(短期回復) | 2  | 応急手当で回復 | 1  | 無傷/一時的な痛み | 曝される頻度/時間(F) | 危険事象の発生確率(Ps) | 回復可能性(A) | 4 連続的/常時 | 4 高い(起こりやすい) |  | 3 動作中継続/長時間 | 3 ありえる | 3 不可能 | 2 動作中数回/短時間 | 2 可能性あり | 2 条件付きで可能性あり | 1 まれ/時間的 | 1 低い(まれ) | 1 回復が容易 |  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 2 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 3 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 4 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 |
| 4                            | 重大障害(長期障害)  |   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3                            | 医療措置(短期回復)  |   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2                            | 応急手当で回復   |   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1                            | 無傷/一時的な痛み   |   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 曝される頻度/時間(F)                 | 危険事象の発生確率(Ps)   | 回復可能性(A)  |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4 連続的/常時                     | 4 高い(起こりやすい)  |   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3 動作中継続/長時間                  | 3 ありえる  | 3 不可能   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2 動作中数回/短時間                  | 2 可能性あり   | 2 条件付きで可能性あり  |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1 まれ/時間的                     | 1 低い(まれ)  | 1 回復が容易   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                              | 3   | 4   | 5  | 6          | 7  | 8          | 9  | 10      | 11 |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1                            | 3   | 4   | 5  | 6          | 7  | 8          | 9  | 10      | 11 |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2                            | 6   | 8   | 10 | 12         | 14 | 16         | 18 | 20      | 22 |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 3                            | 9   | 12  | 15 | 18         | 21 | 24         | 27 | 30      | 33 |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                            | 12  | 16  | 20 | 24         | 28 | 32         | 36 | 40      | 44 |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 意図した使用上の制限                   | <p>①ロボットは施設屋内(ショッピングセンター、病院、駅構内、エレベータの搭乗有り)及び歩道(横断歩道、踏切含む)のみ移動する。</p> <p>②施設屋内内は、歩行者、ショッピングカート、車椅子、台車が混在する可能性がある。</p> <p>③歩道では、歩行者、自転車、車椅子が混在する可能性がある。</p> <p>④晴天・曇天・小雨の天候下及び夜間での屋外走行。</p> <p>⑤ロボットは水気、大量の水(豪雨、洗浄)がかかることはない。</p> <p>⑥バッテリー充電は特定場所で実施するが、バッテリー交換は任意の場所で停止時に実施が可能。</p> <p>⑦ロボットの連続走行距離は最大20km</p>   |   |    |            |    |            |    |         |    |           |              |               |          |          |              |  |             |        |       |             |         |              |          |          |         |  |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |

図3-1-1-1-2. A2\_開発対象の使用制限

検討される危険事象のリスクを定量化するにあたり、その算出方法や許容可能なリスクレベルについて事前に設定しておく。その計算式や許容リスクレベルについても図3-1-1-1-2. A2\_開発対象の使用制限の中で明記した。これらのリスクアセスメントに

必要な情報を整理し、第1回目のリスクアセスメントを実施した。尚、リスクアセスメントは開発メンバー全員で実施し、全員の合議にて確定した。またリスクアセスメント実施にあたり、電動車いすの事故事例、関連規格なども準備し活用した。リスクアセスメントの結果を図3-1-1-1-3. A3\_\_リスクアセスメントシート(初期)に示す。危険事象を網羅的に抽出すべく、ロボットの利用段階、利用場所、路面状態、動き・速度などに条件分けし、その状況における危険源を特定した上で、考えられる危険事象を抽出しシートに記入した。

| 抽出した危険事象 |      |          |       |    |        |          |  |                                    |                                  | 点数化 |     |    |    |    |        |    |    |
|----------|------|----------|-------|----|--------|----------|--|------------------------------------|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|--------|----|----|
| 段階       | 移動環境 | 路面材質/障害物 | 乗客    | 動作 | 速度     | 危険源      | 危険事象 大項目   | 危険事象 小項目                           | 発生                               | 対策  | 発生  | 結果 | 検出 | 回避 | リスクの割合 |    |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | 敷いている自転車 |       |    | 10km/h | 不十分な表21  | 操作を誤り、段差(階段、側溝、用水路)に転落する                               | 前から来る自転車を避けようとして、溝に落ちる。<br>(車道で事故) | 半折                               | 搭乗者 | 4   | 8  | 3  | 2  | 3      | 32 |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | 人        |       |    | 10km/h | 制動システム15 | 制動力が足りず、障害物(静止物/移動体)と衝突する                              | 路面状況によっては減速できず、人と衝突                | 半折                               | 第三者 | 4   | 8  | 3  | 3  | 2      | 32 |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | アスファルト   | 階段/走る | 前進 | 10km/h | 乗り上げ     | 段差に気づかず、タイヤが乗り上げて転倒する                                  | 片輪乗り上げにより、転倒                       | 半折                               | 搭乗者 | 4   | 8  | 3  | 2  | 3      | 32 |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | アスファルト   | 階段/走る | 前進 | 10km/h | 車輪脱落     | 表28. 姿勢バランスを崩し、搭乗者が転倒する                                | 段差を降りるときに転倒                        | 半折                               | 搭乗者 | 4   | 7  | 3  | 2  | 2      | 28 |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | 壁        |       | 次ぎ | 10km/h | 不十分な表8   | 障害物(人/自転車/車/車イス)に気づかず、衝突する                             | 壁のある(見通しの悪い)交差点で、出会い際の衝突           | 半折                               | 第三者 | 4   | 8  | 2  | 3  | 3      | 32 |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | 敷いている自転車 |       |    | 10km/h | 不十分な表20  | 操作を誤り、姿勢バランスを崩し、転倒する                                   | 前から来る自転車を避けようとして、こすって(絡まって)、転倒。    | 半折                               | 搭乗者 | 4   | 8  | 3  | 2  | 3      | 32 |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | アスファルト   | 昇り    | 走る | 後進     | 10km/h   | ???  | 11. 急な加速減速により、搭乗者が落車する             | 急に最高速度を出すと、前につんのめって転落する          | 半折  | 搭乗者 | 4  | 5  | 1  | 2      | 2  | 20 |
| 運転(高速)   | 歩道   | アスファルト   | 下り    | 走る | 後進     | 10km/h   |  | 制動力不足11. 急な加速減速により、搭乗者が落車する        | 下っている途中でスティックを離して、急激に止まり、転倒/転落する | 半折  | 搭乗者 | 4  | 5  | 1  | 2      | 2  | 20 |
| 運転(高速)   | 歩道   | 石        |       | ぶつ | 10km/h | 不十分な表10  | 段差に気づかず、タイヤが乗り上げて転倒する                                  | 小さくて気づかず、衝突して転倒                    | 半折                               | 搭乗者 | 4   | 6  | 2  | 1  | 3      | 24 |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | 土        |       | 走る | 10km/h | 車輪拘束     | 表33. 車輪のスタックによる急停止で、搭乗者がつんのめる                          | 土が片輪、あるいは、キックスターだけが車輪に絡まって、転倒する    | 半折                               | 搭乗者 | 4   | 5  | 1  | 2  | 2      | 20 |    |
| 運転(高速)   | 歩道   | 立止っている人  |       | 前進 | 10km/h | 車輪のスリップ  | 表35. 砂利/凍結/濡れた路面で車輪がスリップして、障害物スリップによる操縦不能状態が発生し、人にぶつかる |                                    | 半折                               | 第三者 | 4   | 5  | 1  | 2  | 2      | 20 |    |

図3-1-1-1-3. A3\_\_リスクアセスメントシート(初期)

抽出した危険事象は、約300件程であった。この抽出した各危険事象について図3-1-1-1-1-2. A2\_\_開発対象の使用制限で決めた見積方法に従いリスクの点数化を実施した。尚、リスクの点数化の際、リスクの評価項目に対する点数付けのバラツキを押さえるため、点数化の作業の前に、図3-1-1-1-4. リスク点数化の指針に示す点数付けの基準を決め実施している。

| 用語   | 定義  | 備考   |  |
|------|---|--|--|
| 危険源  | 危害を引き起こす潜在的根源。JIS B 9702 Appendix A の機械安全の危険源リストがベース。<br>今回の対象に適合するように、危険源を抽出し、あてはめた。 |  |  |
| 危険事象 | 危険源から、危害が起こる際のシナリオ。   |  |  |
| 危害   | 対象者が受ける、怪我の種類を表す。<br>又は、文言相等の怪我をする。   |  |  |
| 対象者  | 搭乗者、第三者(歩行者、自転車、自動車)  |  |  |
| リスク  | 酷さ  | ※同シート内、「リスクの酷さ採点基準」参照。   | ※1. 07/05 での指播をもとに(議事録参照)、酷さのレベル付けについて、曖昧さをなくす。<br>現状、「1/2」という任意な項目があるので、できれば、明確な線引きを行いたい。   |
|      | 頻度  | ※(条件設定) 歩道・アスファルトの項目は、アイシン本社と刈谷駅の往路を想定。天気は「晴れ」。時間帯は、朝 8:00。<br>田舎の農道、ショッピングモールは、具体的に指定していない。<br>以下、レベル設定の内容<br>4: 5回以上、危険源に遭遇する。又は常に晒されている。<br>3: 2, 3~5回程度、危険源に遭遇する。<br>2: 1~2回程度、危険源に遭遇する。<br>1: あまり考えられない。                              |  |
|      | 確率  | 確率は、「危険事象 → 危害」について、危害の起こりえる確率を評価した。危険事象の発生確率ではない。<br>4: 日常的に頻繁に発生する<br>3: 過去に、実際の事故事例/類似の事故事例がある(人、自転車等)<br>2: ありえそうと思える。<br>1: 可能性はあまりないと感じる。  | ※1. 確率について、「3」に「過去の事故事例」を含めることとした。「4」は、リコールが起こるほど日常的に頻繁に起こるレベルとした。   |
|      | 回避可能性   | 危険状態になった時、対象者が危険事象の発生を回避できる可能性があるかどうか。<br>3: 対象者が、「危険源に気づいていない」もの、危険事象が「操作ミス」によるものは、搭乗者が回避不可能と定義する。<br>2: 対象者が、「危険事象の発生」を回避できる手段を持つが、実際に回避を行うことが困難なもの。車イスが「10km/h」のものが該当する。<br>1: 対象者が、「危険事象の発生」を回避できる手段を持ち、容易に回避を行えるもの。従来車イス(6km/h)が該当する。 | ※1. 速度がさがれば、回避できる余地ができるので、回避可能性は高まる。<br>※2. 危険事象が「搭乗者が気づいていない」「操作ミス」によるもの場合、搭乗者が回避手段を持っていても、事象を回避できないので、「回避不可能」と評価する。<br>※3. 対象者に「危険事象の発生を回避できる手段」があるならば、回避可能と評価する。<br>※4. 対象に「気づいている」かつ「速度低減済み」ならば、レベル1。「気づいていない」かつ「速度低減済み」ならば、レベル2。「気づいていない」かつ「速度制限されていない」ならば、レベル3。「気づいている」かつ「速度制限されていない」ならば、レベル1。 |
|      | 結果  | 頻度、確率、回避可能性の和<br>結果 = 頻度 + 確率 + 回避可能性  |  |
|      | リスク点数   | リスクの「酷さ」と「結果」の積<br>リスク点数 = リスク酷さ × リスク結果<br>※今回は社会に受容されるための安全機能の開発が主眼のため、対象者(搭乗者/第三者)毎にリスク点数を算出し、この合計を最終的なリスク点数と定義する。  |  |

(a) リスク点数化基準

| 対象  | 乗車/転落   | 歩み込み         |            |                        |            | 衝突         |         |              |         |            |         |              |         |             |            |           |         |         |         |         |         |
|-----|---------|--------------|------------|------------------------|------------|------------|---------|--------------|---------|------------|---------|--------------|---------|-------------|------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|     |         | 低速<br>~2km/h | ~6km/h     | ~2km/h<br>・起動時<br>・停止時 | ~6<br>km/h | 後ろから<br>追突 |         | 気づかない<br>静止物 |         | 後ろから<br>追突 |         | 気づかない<br>静止物 |         | 自転車との<br>衝突 | 列車との<br>衝突 | 車との<br>衝突 |         |         |         |         |         |
| 搭乗者 | 骨折<br>4 | 無傷<br>1      | 骨折/打撲<br>3 | 無傷<br>1                | 無傷<br>2    | 打撲<br>2    | 打撲<br>2 | 打撲<br>3      | 打撲<br>3 | 打撲<br>2    | 打撲<br>2 | 無傷<br>2      | 打撲<br>3 | 骨折<br>3     | 骨折<br>1    | 骨折<br>4   | 骨折<br>3 | 骨折<br>4 | 骨折<br>4 | 死亡<br>4 | 死亡<br>4 |
| 第三者 | 歩行者     | -            | -          | -                      | 無傷<br>2    | 打撲<br>2    | 打撲<br>3 | 打撲<br>3      | 打撲<br>3 | 打撲<br>3    | 打撲<br>3 | 骨折<br>3      | 骨折<br>4 | 骨折<br>4     | 骨折<br>4    | 骨折<br>4   | 骨折<br>4 | -       | -       | -       | -       |
|     | 自転車     | -            | -          | 2                      | -          | 打撲<br>3    | -       | -            | -       | -          | -       | -            | -       | -           | 骨折<br>4    | -         | -       | -       | -       | -       | -       |
|     | 車イス     | -            | -          | -                      | -          | -          | -       | -            | -       | -          | -       | -            | -       | -           | -          | -         | -       | -       | -       | -       | -       |

(b) リスクの酷さの基準

図3-1-1-1-4. リスク点数化の指針

図3-1-1-1-2. A2\_\_開発対象の使用制限でリスク低減が必要なリスク点数を18点と設定した。これは、本ロボットの類似規格であるJIST9203で規定される電動車いす相当の点数であると仮定した。すなわち、電動車いすはすでに実用化され、その利用場面で生じる多くの事象は社会的にも許容されるとの考えに基づく。実際にリスク点数化したA3\_\_リスクアセスメントシート(初期)を基にその考え方と点数が合致するか

の確認を実施した。本ロボットの電動車いすとの差異は、最高速度が異なる点である。リスクアセスメントでは危険事象抽出のための条件として速度による違いを設定していた。この速度条件の違いにより抽出した危険事象を層別し、それぞれの事象におけるリスク評価点の出現割合を分析した。分析した結果を図3-1-1-1-5に示す。これによれば、時速6km以下の条件、すなわち電動車いす相当である条件下では、リスク点数が12点のところにピークを持つ。また、時速10kmでの条件、すなわち本ロボット特有の条件下では、18点以上のリスク点数の事象が急激に増えている。さらに、時速6km以下の条件では18点以下のリスク点数の事象はその7割を占めている。従って、電動車いすの条件で発生する危険事象と本ロボットの条件で発生する危険事象はおよそ18点を境に分布していると考えられる。先に述べた、リスク評価基準の考え方に従えば、全ての危険事象のリスク点数を18点より低くすることが電動車いす相当の安全レベルであると言え、リスク低減が必要なリスク点数を18点と設定したことは妥当であると考えられる。

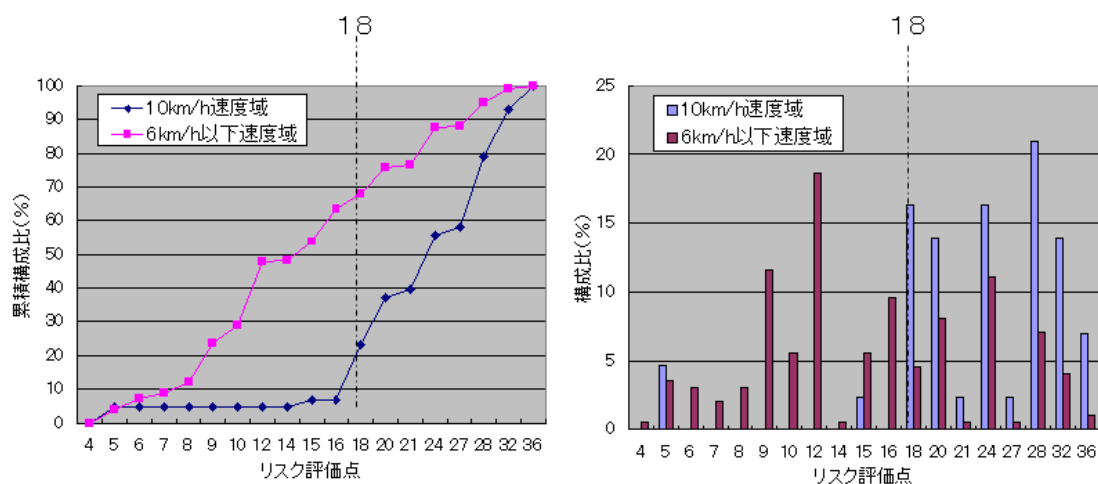


図3-1-1-1-5. リスク評価基準点数の妥当性確認

このリスク評価基準に従い、A3\_リスクアセスメントシート（初期）にて抽出した約300件の危険事象からリスク低減が必要な危険事象を抽出した。抽出されたリスク低減が必要な危険事象は約100件であった。

この約100件の危険事象に対し、リスク低減策を適用し、各危険事象に対するリスク低減効果を再度見積る（再リスクアセスメント）。まず、再リスクアセスメントを実施する前に、有効なリスク低減策について抽出を行った。抽出のプロセスを図3-1-1-1-6. リスク低減策の検討に示す。



リスク低減が必要なリスク値の高い危険事象

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| 6.  | 車輪のスタックによる急停止で、転倒する                |
| 1.  | 障害物(トール/安全コーン/電柱/扉)に気づかず、衝突する      |
| 13. | 障害物(人/自転車/車/車イス)が、こちらに気づかず衝突してくる   |
| 21. | 操作を誤り、段差(階段/側溝/用水路)に転落する           |
| 4.  | 砂利/凍結/ドブ板/レール/濡れた路面で車輪がスリップして、転倒する |
| 2.  | 急に飛び出す障害物(人/自転車/車/車イス)と、衝突する       |
| 10. | 段差(道路の築き目/石/階段)に気づかず、タイヤが乗り上げて転倒する |
| 3.  | 車輪のスタックによる急停止で、搭乗者がつんのめって飛び出す      |
| 20. | 操作を誤り、姿勢バランスを崩し、転倒する               |
| 18. | 操作を誤り、障害物(人/自転車/車/車イス)に衝突する        |
| 8.  | 障害物(人/自転車/車/車イス)に気づかず、衝突する         |
| 26. | 障害物(階段/段差/溝/穴)に気づかず、転落する           |
| 5.  | 砂利/凍結/濡れた路面で車輪がスリップして、障害物に衝突する     |
| 15. | 車輪のスタックによる急停止で、障害物(人/自転車/車)と衝突する   |
| 27. | 操作を誤り、車両と障害物の間に挟まれる                |
| 32. | 誤設定/誤使用により、車両の意図しない動きによる転倒/転落      |
| 28. | 姿勢バランスを崩し、搭乗者が転倒する                 |
| 17. | 危険領域(車道/踏切)への不適切な進入により障害物(車/電車)と衝突 |
| 19. | 姿勢バランスを崩し、搭乗者が落る                   |

リスク低減を実現する対策案検討  
※リスク低減策一覧より抜粋

The screenshot shows a checklist for risk reduction strategies, categorized into three levels:

- 本質安全 (Essential Safety):** Focuses on fundamental safety measures like adding handrails, emergency stop buttons, and safety mats.
- 機能安全 (Functional Safety):** Focuses on functional safety measures like speed limiting, sensor-based emergency stops, and angle monitoring.
- 運用 (Operation):** Focuses on operational safety measures like providing instructions, training, and safety equipment.

- リスク低減が必要なリスク値の高い危険事象に対するリスク低減策を考案
- 現実的なリスク低減策を選別

図3-1-1-1-6. リスク低減策の検討

リスク低減策を検討するにあたり、およそ20件程度のリスク点数の高い危険事象を抜粋し、それぞれの事象に有効な方策アイデアを一覧表にした。この方策アイデアは、本質的な対策から機能安全的対策、運用方法での対策に区分し層別した。さらに、この方策アイデアの中で、実際に商品化・実用化を考えた時、採用可能であるかの視点を入れて選別した。こうして選別された有効なリスク低減策を準備し、A3\_\_リスクアセスメントシート(初期)におけるリスク点数18点以上の危険事象に対し準備したリスク低減策を適用し、再度リスク点数化を実施した。再リスクアセスメントを実施した結果を図3-1-1-1-7. A3\_\_再リスクアセスメントシートに示す。

例えば、時速10kmで屋外(歩道)を走行中、視界が良くない状況の中、前から来る自転車を避けようとして操作を誤り、溝に落ちるといった危険事象がある。これはリスク点数化の指針に従いリスク点数化すると32点というリスク低減が必要な危険事象である。これに対し、準備したリスク低減策の中で妥当なもの、例えば、転びにくくする本質安全対策としてキャンパー角をつけたり、時速10kmという速度を出す推奨場所など取り扱い説明書に明記し注意をするなどの対策や、ロボット側で減速したり、注意を喚起する事で早めに回避行動を促す機能安全的な対策を適用する。これらの個々の対策を適用することで、その頻度や確率、回避性の点数が下げられる。この危険事象の場合、機能安全対策によりリスク点数は16点まで下げることができ目標とする安全レベルに到達した。このような作業をリスク低減が必要な約100件の危険事象に対し実施した。結果として、全てのリスク低減が必要な約100件の危険事象のリスク点数は18点未満となり、適用したり



### 3-1-1-2. TAO-Aicle-Safety への安全分析（ヴィッツ）

TAO-Aicle-Safety への安全分析を進めるにあたり、次の内容を前提条件と規定した。

- 前提条件 1

操作ユニット、モータドライバユニットの障害はリスク計算ユニット（安全系ブロック）で担保できるように分析を行う。リスク計算ユニットへの入力情報として、CAN 通信から得られる情報で故障を検出した場合は、直ちにモータの停止及びユーザへの注意喚起を行う。前述以外の Ether または無線モジュールからの入力情報は、リスク演算が出来ないだけであるためモータへの停止をせず 6km/h 制限とする。

- 前提条件 2

電動車椅子の定期メンテナンスは必須とする。

#### 3-1-1-2-1. 対象となるシステム構成の説明

TAO-Aicle への安全分析の結果、導出された安全機能を TAO-Aicle-safety の一次試作へ盛り込んだ。次に、安全機能を盛り込んだ一次試作に対して、再度 HAZOP<sup>1</sup>分析を実施した。対象としている TAO-Aicle-safety システムブロック図（一次試作版）を下記に示す。

---

<sup>1</sup> HAZOP : Hazard and Operability



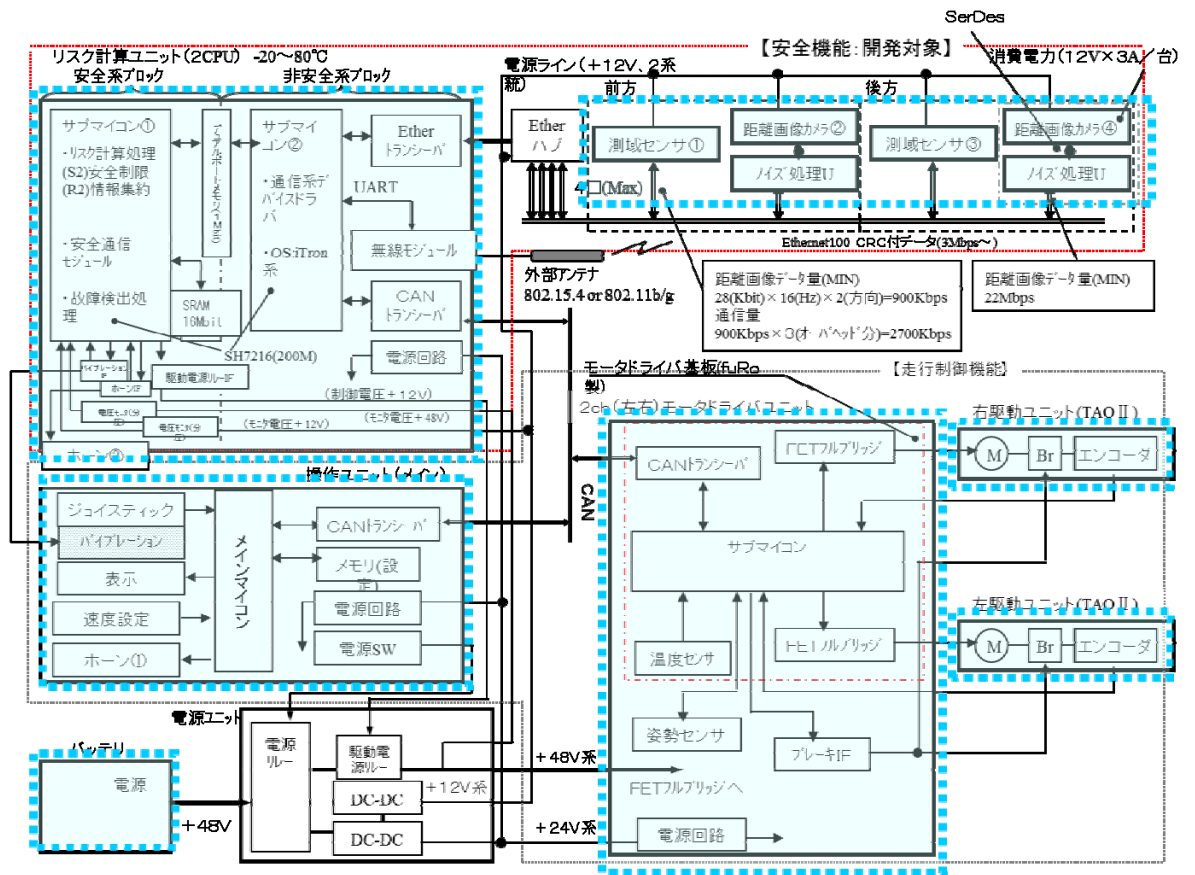


図 3-1-1-2. 1 TAO-Aicle-safety システムブロック図

3-1-1-2-2. HAZOP ガイドワード、通信驚異の故障モード説明  
安全分析で使用する HAZOP ガイドワードを以下に列挙する。

表 3-1-1-2. 2 HAZOP ガイドワード一覧

| ガイドワード     | 解釈                    |
|------------|-----------------------|
| None       | 意図したことが起こらない          |
| More       | 意図した量を超える             |
| Less       | 意図した量を欠ける             |
| as well as | 意図したことは達成するが、余分なことをした |
| part of    | 意図した一部のみ達成した          |
| Reverse    | 意図したことと反対のことが起きる      |
| other than | 意図したこととまったく異なることが起きる  |
| early      | 意図したより早く起こった          |
| Late       | 意図したより遅く起こった          |

|        |              |
|--------|--------------|
| before | 意図したより前に起こった |
| after  | 意図したより後に起こった |

上記 HAZOP ガイドワードに加え、通信に関わる部分に関しては、ISO 61784 規格の通信エラーをガイドワードに当てはめて分析を実施した。通信エラー定義を下記に示す。

表 3-1-1-2. 3 通信エラー対応表

| 通信エラー     | ガイドワード                                 |
|-----------|--|
| くずれ       | More, less, part of, reverse           |
| 予想外の繰り返し  | After                                  |
| 誤ったシーケンス  | Other than, early, late, before, after |
| 損失        | No                                     |
| 受け入れがたい遅れ | Late                                   |
| 挿入        | Other than                             |
| 自己を偽る/変装  | Other than                             |
| アドレス指定    | Other than                             |

### 3-1-1-2-3. 安全分析の実施結果

HAZOP 分析を実施するにあたり下記フォーマットを定義した。

- ブロック名称：システムブロック図に従いブロック名称を定義する。例えば、リ  
スク計算ユニット、センサー、モータドライバユニットなど
- モジュール：ブロックに含まれる枠線で囲われた単位を指す
- 属性：モジュールにおける入力データ・出力データに分類
- ガイドワード：HAZOP ガイドワード
- 故障モード：入力出力データが通信に関わるものであれば、通信エラー分類に該  
当するものを記載する
- 解釈：ガイドワードや通信エラー分類では抽象的であるため、具体的に現システ  
ムに合わせた解釈を記載する
- 原因：解釈から恒久故障・一時故障に分類して記載する。
- 結果：モジュール単体で発生する結果を記載する。
- 全体への影響：システム全体への影響を記載する。また、影響が安全か危険かの  
判断結果も記載する。
- 対策案：全体への影響に対する対策案を記載する。

| ブロック名称      | モジュール    | 属性                                  | ガイドワード | 故障モード<br>(注1)注2:注3:注4:注5:注6:注7:注8:注9:注10:注11:注12:注13:注14:注15:注16:注17:注18:注19:注20:注21:注22:注23:注24:注25:注26:注27:注28:注29:注30:注31:注32:注33:注34:注35:注36:注37:注38:注39:注40:注41:注42:注43:注44:注45:注46:注47:注48:注49:注50:注51:注52:注53:注54:注55:注56:注57:注58:注59:注60:注61:注62:注63:注64:注65:注66:注67:注68:注69:注70:注71:注72:注73:注74:注75:注76:注77:注78:注79:注80:注81:注82:注83:注84:注85:注86:注87:注88:注89:注90:注91:注92:注93:注94:注95:注96:注97:注98:注99:注100:注101:注102:注103:注104:注105:注106:注107:注108:注109:注110:注111:注112:注113:注114:注115:注116:注117:注118:注119:注120:注121:注122:注123:注124:注125:注126:注127:注128:注129:注130:注131:注132:注133:注134:注135:注136:注137:注138:注139:注140:注141:注142:注143:注144:注145:注146:注147:注148:注149:注150:注151:注152:注153:注154:注155:注156:注157:注158:注159:注160:注161:注162:注163:注164:注165:注166:注167:注168:注169:注170:注171:注172:注173:注174:注175:注176:注177:注178:注179:注180:注181:注182:注183:注184:注185:注186:注187:注188:注189:注190:注191:注192:注193:注194:注195:注196:注197:注198:注199:注200:注201:注202:注203:注204:注205:注206:注207:注208:注209:注210:注211:注212:注213:注214:注215:注216:注217:注218:注219:注220:注221:注222:注223:注224:注225:注226:注227:注228:注229:注230:注231:注232:注233:注234:注235:注236:注237:注238:注239:注240:注241:注242:注243:注244:注245:注246:注247:注248:注249:注250:注251:注252:注253:注254:注255:注256:注257:注258:注259:注260:注261:注262:注263:注264:注265:注266:注267:注268:注269:注270:注271:注272:注273:注274:注275:注276:注277:注278:注279:注280:注281:注282:注283:注284:注285:注286:注287:注288:注289:注290:注291:注292:注293:注294:注295:注296:注297:注298:注299:注300:注301:注302:注303:注304:注305:注306:注307:注308:注309:注310:注311:注312:注313:注314:注315:注316:注317:注318:注319:注320:注321:注322:注323:注324:注325:注326:注327:注328:注329:注330:注331:注332:注333:注334:注335:注336:注337:注338:注339:注340:注341:注342:注343:注344:注345:注346:注347:注348:注349:注350:注351:注352:注353:注354:注355:注356:注357:注358:注359:注360:注361:注362:注363:注364:注365:注366:注367:注368:注369:注370:注371:注372:注373:注374:注375:注376:注377:注378:注379:注380:注381:注382:注383:注384:注385:注386:注387:注388:注389:注390:注391:注392:注393:注394:注395:注396:注397:注398:注399:注400:注401:注402:注403:注404:注405:注406:注407:注408:注409:注410:注411:注412:注413:注414:注415:注416:注417:注418:注419:注420:注421:注422:注423:注424:注425:注426:注427:注428:注429:注430:注431:注432:注433:注434:注435:注436:注437:注438:注439:注440:注441:注442:注443:注444:注445:注446:注447:注448:注449:注450:注451:注452:注453:注454:注455:注456:注457:注458:注459:注460:注461:注462:注463:注464:注465:注466:注467:注468:注469:注470:注471:注472:注473:注474:注475:注476:注477:注478:注479:注480:注481:注482:注483:注484:注485:注486:注487:注488:注489:注490:注491:注492:注493:注494:注495:注496:注497:注498:注499:注500:注501:注502:注503:注504:注505:注506:注507:注508:注509:注510:注511:注512:注513:注514:注515:注516:注517:注518:注519:注520:注521:注522:注523:注524:注525:注526:注527:注528:注529:注530:注531:注532:注533:注534:注535:注536:注537:注538:注539:注540:注541:注542:注543:注544:注545:注546:注547:注548:注549:注550:注551:注552:注553:注554:注555:注556:注557:注558:注559:注560:注561:注562:注563:注564:注565:注566:注567:注568:注569:注570:注571:注572:注573:注574:注575:注576:注577:注578:注579:注580:注581:注582:注583:注584:注585:注586:注587:注588:注589:注590:注591:注592:注593:注594:注595:注596:注597:注598:注599:注600:注601:注602:注603:注604:注605:注606:注607:注608:注609:注610:注611:注612:注613:注614:注615:注616:注617:注618:注619:注620:注621:注622:注623:注624:注625:注626:注627:注628:注629:注630:注631:注632:注633:注634:注635:注636:注637:注638:注639:注640:注641:注642:注643:注644:注645:注646:注647:注648:注649:注650:注651:注652:注653:注654:注655:注656:注657:注658:注659:注660:注661:注662:注663:注664:注665:注666:注667:注668:注669:注670:注671:注672:注673:注674:注675:注676:注677:注678:注679:注680:注681:注682:注683:注684:注685:注686:注687:注688:注689:注690:注691:注692:注693:注694:注695:注696:注697:注698:注699:注700:注701:注702:注703:注704:注705:注706:注707:注708:注709:注710:注711:注712:注713:注714:注715:注716:注717:注718:注719:注720:注721:注722:注723:注724:注725:注726:注727:注728:注729:注730:注731:注732:注733:注734:注735:注736:注737:注738:注739:注740:注741:注742:注743:注744:注745:注746:注747:注748:注749:注750:注751:注752:注753:注754:注755:注756:注757:注758:注759:注760:注761:注762:注763:注764:注765:注766:注767:注768:注769:注770:注771:注772:注773:注774:注775:注776:注777:注778:注779:注780:注781:注782:注783:注784:注785:注786:注787:注788:注789:注790:注791:注792:注793:注794:注795:注796:注797:注798:注799:注800:注801:注802:注803:注804:注805:注806:注807:注808:注809:注810:注811:注812:注813:注814:注815:注816:注817:注818:注819:注820:注821:注822:注823:注824:注825:注826:注827:注828:注829:注830:注831:注832:注833:注834:注835:注836:注837:注838:注839:注840:注841:注842:注843:注844:注845:注846:注847:注848:注849:注850:注851:注852:注853:注854:注855:注856:注857:注858:注859:注860:注861:注862:注863:注864:注865:注866:注867:注868:注869:注870:注871:注872:注873:注874:注875:注876:注877:注878:注879:注880:注881:注882:注883:注884:注885:注886:注887:注888:注889:注890:注891:注892:注893:注894:注895:注896:注897:注898:注899:注900:注901:注902:注903:注904:注905:注906:注907:注908:注909:注910:注911:注912:注913:注914:注915:注916:注917:注918:注919:注920:注921:注922:注923:注924:注925:注926:注927:注928:注929:注930:注931:注932:注933:注934:注935:注936:注937:注938:注939:注940:注941:注942:注943:注944:注945:注946:注947:注948:注949:注950:注951:注952:注953:注954:注955:注956:注957:注958:注959:注960:注961:注962:注963:注964:注965:注966:注967:注968:注969:注970:注971:注972:注973:注974:注975:注976:注977:注978:注979:注980:注981:注982:注983:注984:注985:注986:注987:注988:注989:注990:注991:注992:注993:注994:注995:注996:注997:注998:注999:注1000 | 結果                                   | 全体への影響<br>(安全・危険の判断結果)   | 対策  |   |  |  |
|-------------|----------|-------------------------------------|--------|--|--------------------------------------|--|---|---|--|--|
| リスク低減制御ブロック | サブマイコン①  | 入力データ                               | no     |  | 入力データがない                             | ・デュアルポートメモリの故障<br>・SRAMの故障<br>・電圧モニタの故障<br>・ハイブリッド電源の故障<br>・ポンプの故障<br>・バスの断線 | 入力データを利用したサブマイコン①の制御が出来ない                                     | ・リスク算出が出来ない<br>・操作ユニットやモーターライユニットの故障を検出出来ない可能性があり危険である  | 入力データの検出であるROM/RAMの故障検出機能を搭載する                               |  |
|             |          |                                     | more   |  | 入力データが多い(データの値が大きい)                  | ・電圧モニタの故障<br>・ノイズ  | ・耐圧を超える電圧によりサブマイコン①が故障する<br>・不正な入力データによる制御を行う                 | ・サブマイコン①が故障した場合は動作しないため危険に陥ることはない<br>・不正な入力データにより誤算されたリスク算出結果や操作ユニットとモーターライユニットの故障検出結果では信頼性低い(単断による可能性があり危険である)         | ノイズによる入力データの急ぎに対してはデータの出力遅延で入力データに対してCRCやパリティを付加させることを行う     |  |
|             |          | 出力データ                               | no     |  | 出力データがない                             | ・サブマイコン①の故障<br>・サブマイコン①のソフトウェアバグ   | サブマイコン①の制御結果が出力されない   | ・異常者への注意喚起ができないため危険である<br>・駆動電圧リレーを制御できないため危険である<br>・リスク算出の結果を通知出来ない  | ・機能安全プロセス(SIL2)に準拠した開発を行う                                    |  |
|             |          |                                     | more   |  | 出力データが多い(データサイズが大きい)                 | ・サブマイコン①、②の断線<br>・バスの断線  | デュアルポートメモリにデータを書き込めない   | ・不正な処理順序、実行タイミングをチェックするためにCPU付き実行シーケンスモニタ機能を搭載する<br>・CPUの故障検出チェック機能を搭載する<br>・リスク算出の結果が通知されない場合は8km/hで制御するよう操作ユニットにて対応する | ・機能安全プロセス(SIL2)に準拠した開発を行う                                    |  |
|             |          | デュアルポートメモリ                          | 入力データ  | no   |                                      | 入力データがない   | ・サブマイコン①、②の断線<br>・サブマイコン①、②のソフトウェアバグ                          | デュアルポートメモリにデータを書き込めない   | ・不正な処理順序、実行タイミングをチェックするためにCPU付き実行シーケンスモニタ機能を搭載する             | ・機能安全プロセス(SIL2)に準拠した開発を行う                                  |
|             |          |                                     |        | more   |                                      | 入力データが多い(データサイズが大きい)   | ・サブマイコン①、②の断線<br>・サブマイコン①、②のソフトウェアバグ                          | 他のデータ領域への書き込みになる  | ・不正な処理順序、実行タイミングをチェックするためにCPU付き実行シーケンスモニタ機能を搭載する             | ・機能安全プロセス(SIL2)に準拠した開発を行う                                  |
|             | 出力データ    | no                                  |        | 出力データがない   | ・デュアルポートメモリの故障<br>・バスの断線             | デュアルポートメモリからデータを読み取れない   | SRAMを復元しないためサブマイコン①の演算結果が出力出来ない(動作しないため危険に陥ることはない)            | 危険ではないため対策を講じない   |  |  |
|             |          | more                                |        | 出力データが多い(データサイズが大きい)   | ・サブマイコン①、②の断線<br>・サブマイコン①、②のソフトウェアバグ | デュアルポートメモリに不正なデータが書き込まれたことによりサブマイコン①の演算結果が信頼性低い結果になる可能性があり危険である              | ・不正な処理順序、実行タイミングをチェックするためにCPU付き実行シーケンスモニタ機能を搭載する              | 危険ではないため対策を講じない   |  |  |
|             |          | less                                |        | 出力データが少ない(データサイズが小さい)  | ・サブマイコン①、②の断線<br>・サブマイコン①、②のソフトウェアバグ | 部分的に出力データが得る   | 同上  | 同上  |  |  |
|             |          | as well as                          |        | 入力データと出力データが同時に検出される   | ・サブマイコン①、②の断線                        | 出力データと検出は同時に検出されない   | ・異常者への注意喚起ができないため危険である  | 危険ではないため対策を講じない   |  |  |
|             | 通信制御ブロック | CANトランスシーバ<br>フレーム<br>(フレーム2.5.6.7) | 入力データ  | no   | 損失                                   | 入力データがない   | ・メッセージが飛んでいない<br>・送信ユニットの故障<br>・断線(ループコンタクト)<br>・リスク算出ユニットの故障 | ・モーターの回転数不明<br>・モーターの回転方向不明<br>・モーターの電流値不明  | ・実行状態が不明<br>・指令値と実測値が合っていないか確認できないため、安全/危険の判断ができないことにより危険となる | 冗長構成にする。<br>送信シーケンスを変更し、通信ができていないことが判断できるようにする。            |
|             |          |                                     |        | more   | くずれ                                  | 入力データが大きい  | ・ノイズの付いたため<br>・送信ユニットの故障<br>・断線(ループコンタクト)<br>・リスク算出ユニットの故障    | ・リスク算出ユニットへ通知するデータの値が実際より大きい値となる  | ・誤検出による、モーター停止による危険<br>・(誤検出による)モーター停止による危険                  | 危険ではないため対策を講じない<br>・入力データにCRCやチェックサムを付与させる<br>・ノイズに強いバスにする |
| less        |          |                                     |        | くずれ  | 入力データが小さい                            | ・ノイズの付いたため<br>・送信ユニットの故障<br>・断線(ループコンタクト)<br>・リスク算出ユニットの故障                   | ・リスク算出ユニットへ通知するデータの値が実際より小さい値となる                              | ・指令値を下回るため、システム異常と判断する。<br>危険はない。   | 危険ではないため対策を講じない  |  |
| 出力データ       |          |                                     | no     | 損失   | 出力データがない                             | ・Ehnetトランスシーバの故障<br>・バスの断線   | サブマイコン②へセンサからのデータが出力できない                                      | センサからのデータを受信できないためリスク算出ユニットでは判断がつかず危険である  | 入力データにCRCやチェックサムを付与させ  |  |
|             |          |                                     | more   | くずれ  | 出力データの値が大きくなる                        | ・Ehnetトランスシーバの故障<br>・通信経路の干渉(ノイズなど)  | Ehnetトランスシーバからの出力データの値が大きくなる                                  | センサから通知されたデータが不正なため判断がつかず危険である  | 同上   |  |
|             |          |                                     | less   | くずれ  | 出力データの値が小さくなる                        | ・Ehnetトランスシーバの故障<br>・通信経路の干渉(ノイズなど)  | Ehnetトランスシーバからの出力データの値が小さくなる                                  | 同上  | 同上   |  |
| 無線モジュール     |          | 入力データ                               | no     | 損失   | 入力データがない                             | ・無線ユニット側の故障  | 最大速度許可情報が無線ユニットから通知されない                                       | 最大速度許可情報が無線ユニットから通知されないため判断がつかず危険である  | 入力データにCRCやチェックサムを付与させる                                       |  |
|             |          |                                     | more   | くずれ  | 入力データが想定より大きい                        | ・ノイズ<br>・送信ユニットの故障   | 最大速度許可情報は受信可能だが、入力データが大きい                                     | 最大速度許可情報が無線ユニットから通知されたがデータが不正なため判断がつかず危険である   | 同上   |  |
|             |          |                                     | less   | くずれ  | 入力データが想定より小さい                        | ・ノイズ<br>・送信ユニットの故障   | 最大速度許可情報は受信可能だが、入力データが小さい                                     | 同上  | 同上   |  |
|             |          | 出力データ                               | no     | 損失   | 出力データがない                             | ・無線モジュールの故障  | 最大速度許可情報(データは未定)を送信しない  | 最大速度許可情報が無線ユニットから通知されないため判断がつかず危険である  | 入力データにCRCやチェックサムを付与させる                                       |  |
|             |          |                                     | more   | くずれ  | 出力データが想定より大きい                        | ・無線モジュールの故障  | 最大速度許可情報を送信できるがデータは不確定  | 最大速度許可情報が無線ユニットから通知されたがデータが不正なため判断がつかず危険である   | 同上   |  |
|             |          |                                     | less   | くずれ  | 出力データが想定より小さい                        | ・無線モジュールの故障  | 最大速度許可情報を送信できるがデータは不確定  | 同上  | 同上   |  |

図3-1-1-2. 4 HAZOP分析実施結果(抜粋)

3-1-1-2-4. ハードウェア安全分析の実施結果

TAO-Aicle-Safety システムで使用するハードウェアの安全分析を実施した。ハードウェア安全分析の実施手順としては以下の通りである。

1. システム構成（1重系、2重系、3重系の選択）の決定する
2. システムで使用する部材の種類ごとに故障モードを決定する
3. 全ての部材について故障原因（ISO 13849を一部引用）、故障の影響、DC判断、判断根拠を定義し、FMEDA<sup>2</sup>を実施する

| 部品名          | 故障原因  | ISO13849参照元英文   | 備考   | fraction | 故障原因参照元               | fraction参照元                         |
|--------------|---|---|--|----------|-----------------------|-------------------------------------|
| R<br>抵抗      | open  | open-circuit  | 抵抗なので入出力の区別は不要   | 80%      | ISO13849-2 D.14       | B9961 表D.1                          |
|              | short   | short-circuit   | 二端子間のショート  | 10%      |                       | 抵抗器                                 |
|              | drift   | Random change of value $0.5R_n < R < 2R_n$ where $R_n$ is the nominal value of resistance (see remark 2)      | fault mode考慮時は、値の範囲を考慮しない<br>他の故障と同じ影響であれば不要。  | 10%      |                       |                                     |
| CN<br>コネクタ   | Short-circuit between connection 1 and 2  | short-circuit between any two adjacent pins   | 隣り合ったピンのみ。<br>関連するピンのみ必要   | 10%      | ISO13849-2 D.7        | B9961 表D.1                          |
|              | Interchanged or incorrectly inserted connector when not prevented by mechanical means | Interchanged or incorrectly inserted connector when not prevented by mechanical means                         | コネクタが逆方向にささらないようになっている場合不要   |          | 多ピンコネクタ               | プラグ、ソケット及び多極コネクタ                    |
|              | Short-circuit of conductor 1 to earth   | Short-circuit of any conductor(see remark 3) to earth or a conductive part or to the protective conductor     | 全ての導線に対して洗い出す  |          |                       |                                     |
|              | Short-circuit of conductor 1 to conductive part                                       | Short-circuit of any conductor(see remark 3) to earth or a conductive part or to the protective conductor     | 全ての導線に対して洗い出す  | 10%      |                       |                                     |
|              | Short-circuit of conductor 1 to the protective conductor                              | Short-circuit of any conductor(see remark 3) to earth or a conductive part or to the protective conductor     | 全ての導線に対して洗い出す  |          |                       |                                     |
|              | Open-circuit of individual connector pins 1   | Open-circuit of individual connector  | 全て洗い出す   | 80%      |                       |                                     |
| IC<br>CPUなど  | Open-circuit of connection  | open-circuit of any connection  | 全て洗い出す必要あり   | 20%      | ISO13849-2 D.21       | 等分で計算                               |
|              | Short-circuit between connection  | short-circuit between any two connection  | 入出力ピンの全組み合わせについて必要<br>(バフファの場合はパッケージの隣の端子のみでよい)<br>安全関連の端子のみ必要                                   | 20%      |                       |                                     |
|              | stuck-at HIGH of connection   | Stuck-at-fault  |  | 20%      |                       |                                     |
|              | stuck-at LOW of connection  | Stuck-at-fault  |  | 20%      |                       |                                     |
|              | oscillation   | Parasitic oscillation of outputs  | oscillation回路で可能性のある異常発振。<br>隣接する違う周波数のものがあつた場合に、その影響を受けた場合のこと。<br>EMC、振動についても考慮。<br>安全関連の端子のみ必要 | 20%      |                       |                                     |
|              | Changing value  | Changing value  | 他の故障と同じ影響であれば不要。   | 20%      |                       |                                     |
| PC<br>フォトカプラ | Open-circuit of connection 1  | open-circuit of individual connection   |  | 30%      | ISO13849-2 D.19       | B9961 表D.1                          |
|              | Short-circuit between any two input connections                                       | short-circuit between any two input connection  |  | 30%      |                       | フォトカプラ                              |
|              | Short-circuit between any two output connections                                      | short-circuit between any two output connection   |  | 30%      |                       |                                     |
|              | Short-circuit between any two connections of input 1 and output 1                     | short-circuit between any two connections of input and output   | IEC60249に準拠し、IEC60884-1:1992に従った寸法になっている場合は考慮しない   | 10%      |                       |                                     |
| 近接スイッチ       | 出力経路の抵抗が永久的に過小  | Permanently low resistance at output  |  | 25%      | ISO13849-2 D.10       | B9961 表D.1                          |
|              | 出力経路の抵抗が永久的に過大  | Permanently high resistance at output   |  | 25%      |                       | 近接スイッチ                              |
|              | 電源系の不良  | Interruption in power supply  |  | 30%      |                       |                                     |
|              | 機械的故障によるスイッチ機能不能  | No operation of switch due to mechanical failure  |  | 10%      |                       |                                     |
|              | 切替接点において3接点が同時にショート   | Short-circuit between the three connections of a change-over switch   |  | 10%      |                       |                                     |
| スイッチ         | Contact will not open   | Contact will not close  |  |          | ISO13849-2 D.8        | B9961 表D.1                          |
|              | Contact will not close  | Contact will not open   | 非常停止スイッチのみ除外可能   |          | 電気機械式ポジションスイッチ、手動スイッチ | スイッチを参考に等分で計算                       |
|              | Short-circuit between connection 1 and 2  | Short-circuit between adjacent contacts insulated from each other   | 安全スイッチなら除外可能   |          |                       |                                     |
|              | Simultaneous short-circuit between three terminals of change-over contacts            | Simultaneous short-circuit between three terminals of change-over contacts                                    | 切り替えスイッチの場合は考慮   |          |                       |                                     |
| 水晶発振子        | Open-circuit of pin 1   | open-circuit of any connection  | 使用していない端子は考慮しないこと  |          | ISO13849-2 D.18       | B9961 表D.1                          |
|              | Short-circuit between connection 1 and 2  | short-circuit between any two connection  |  |          | 離散の半導体                | デイスクリート半導体を参考にしているが、故障原因が異なるため等分で計算 |
|              | Short-circuit between all connections   | short-circuit between all connection  |  |          |                       |                                     |
|              | sub-harmonic (低周波 (Change in characteristics))  | (IEC61508)  |  |          |                       |                                     |
|              | super harmonic (高周波 (Change in characteristics))                                      | (IEC61508)  |  |          |                       |                                     |
|              | Change in characteristics   | Change in characteristics   | 他の故障と同じ影響であれば不要。   |          |                       |                                     |
| コンデンサ        | open  | open-circuit  |  | 40%      | ISO13849-2 D.17       | B9961 表D.1                          |
|              | short   | short-circuit   |  | 40%      | コンデンサ                 | キャパシタ                               |
|              | drift   | Random change of value $0.5C_n < C < C_n + tolerance$ where $C_n$ is nominal value of capacity (see remark 1) | fault mode考慮時は、値の範囲を考慮しない<br>他の故障と同じ影響であれば不要。(ハイパスコンデンサの場合不要。)                                   | 10%      |                       |                                     |
|              | Changing value tan $\delta$   | Changing value tan $\delta$   | 共振   | 10%      |                       |                                     |

図 3-1-1-2. 5 FMEDA 故障モード (抜粋)

<sup>2</sup> FMEDA : Failure Modes Effects and Diagnostics Analysis

| 部品   | 故障原因   | 故障の影響   | $\lambda$ (total) | S   | D   | Fraction | DC  | DC判断情報  | $\lambda$ (frac) | $\lambda$ S | $\lambda$ D | $\lambda$ DD | $\lambda$ DU | 備考                  |
|--|--|---|-------------------|-----|-----|----------|-----|---|------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------------|
| G12  | open   | 影響なし  | 6.00E-09          | 1   | 0   | 40%      | 99% |   | 2.40E-08         | 2.40E-08    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     |                     |
|  | short  | モータ駆動電源48Vのモータ値が0Vになる   | 6.00E-09          | 0.5 | 0.5 | 40%      | 99% | モータドライバユニットがリスク計算ユニットへ速度情報を通知している。リスク計算ユニットでは速度情報とモータ値を比較確認し乖離があれば車両を停止させる。 | 2.40E-08         | 1.20E-08    | 1.20E-08    | 1.19E-08     | 1.20E-11     |                     |
|  | drift  | 影響なし  | 6.00E-09          | 1   | 0   | 10%      |     |   | 6.00E-10         | 6.00E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     |                     |
|  | Changing value tan $\delta$                              | モータ駆動電源48Vのモータ値が0V $\leftrightarrow$ 3Vを繰り返す。                               | 6.00E-09          | 0.5 | 0.5 | 10%      | 99% | モータドライバユニットがリスク計算ユニットへ速度情報を通知している。リスク計算ユニットでは速度情報とモータ値を比較確認し乖離があれば車両を停止させる。 | 6.00E-10         | 3.00E-10    | 3.00E-10    | 2.97E-10     | 3.00E-12     |                     |
| CN1  | Short-circuit between connection 1 and 2                 | 過電流により電源がおちる。駆動電源が切られブレーキが動作しシステムが停止するので安全                                  | 5.57E-13          | 1   | 0   | 10%      |     |   | 5.57E-14         | 5.57E-14    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin配置から全てのショートを洗い出す |
|  | Short-circuit of conductor 1 to earth                    | 過電流により電源がおちる。駆動電源が切られブレーキが動作しシステムが停止するので安全                                  | 5.57E-13          | 1   | 0   | 2%       |     |   | 9.28E-15         | 9.28E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 2 to earth                    | 影響なし  | 5.57E-13          | 1   | 0   | 2%       |     |   | 9.28E-15         | 9.28E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 1 to conductive part (12V)    | 影響なし  | 5.57E-13          | 1   | 0   | 0%       |     |   | 2.32E-15         | 2.32E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 1 to conductive part (48V)    | H/Wが破損し、システムが機能しないので安全  | 5.57E-13          | 1   | 0   | 0%       |     |   | 2.32E-15         | 2.32E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 1 to conductive part (5V)     | H/Wが破損し、システムが機能しないので安全<br>ただし内部回路により電源を生成しており、物理的にありえない                     | 5.57E-13          | 1   | 0   | 0%       |     |   | 2.32E-15         | 2.32E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 1 to conductive part (3.3V)   | H/Wが破損し、システムが機能しないので安全<br>ただし内部回路により電源を生成しており、物理的にありえない                     | 5.57E-13          | 1   | 0   | 0%       |     |   | 2.32E-15         | 2.32E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 2 to conductive part (12V)    | 影響なし(過電流によりセンサー電源がおちる)  | 5.57E-13          | 1   | 0   | 0%       |     |   | 2.32E-15         | 2.32E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 2 to conductive part (48V)    | H/Wが破損し、システムが機能しないので安全  | 5.57E-13          | 1   | 0   | 0%       |     |   | 2.32E-15         | 2.32E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 2 to conductive part (5V)     | 過電流により電源がおちる。駆動電源が切られブレーキが動作しシステムが停止するので安全<br>ただし内部回路により電源を生成しており、物理的にありえない | 5.57E-13          | 1   | 0   | 0%       |     |   | 2.32E-15         | 2.32E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 2 to conductive part (3.3V)   | 過電流により電源がおちる。駆動電源が切られブレーキが動作しシステムが停止するので安全<br>ただし内部回路により電源を生成しており、物理的にありえない | 5.57E-13          | 1   | 0   | 0%       |     |   | 2.32E-15         | 2.32E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit of conductor 1 to the protective conductor | 影響なし  | 5.57E-13          | 1   | 0   | 2%       |     |   | 9.28E-15         | 9.28E-15    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
| Short-circuit of conductor 2 to the protective conductor | 影響なし   | 5.57E-13  | 1                 | 0   | 2%  |          |     | 9.28E-15  | 9.28E-15         | 0.00E+00    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | pin数分追加      |                     |
| Open-circuit of individual connector pins 1              | システム停止状態と同様の状態となるので安全                                    | 5.57E-13  | 1                 | 0   | 40% |          |     | 2.23E-13  | 2.23E-13         | 0.00E+00    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | pin数分追加      |                     |
| Open-circuit of individual connector pins 2              | システム停止状態と同様の状態となるので安全                                    | 5.57E-13  | 1                 | 0   | 40% |          |     | 2.23E-13  | 2.23E-13         | 0.00E+00    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | pin数分追加      |                     |
| X1   | Open-circuit of connection 1                             | システム停止状態と同様の状態となるので安全   | 5.78E-09          | 1   | 0   | 6%       |     |   | 3.61E-10         | 3.61E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Open-circuit of connection 4                             | システム停止状態と同様の状態となるので安全   | 5.78E-09          | 1   | 0   | 6%       |     |   | 3.61E-10         | 3.61E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Open-circuit of connection 5                             | システム停止状態と同様の状態となるので安全   | 5.78E-09          | 1   | 0   | 6%       |     |   | 3.61E-10         | 3.61E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Open-circuit of connection 8                             | システム停止状態と同様の状態となるので安全   | 5.78E-09          | 1   | 0   | 6%       |     |   | 3.61E-10         | 3.61E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin数分追加             |
|  | Short-circuit between connection 1 and 4                 | 過電流により電源がおちる。駆動電源が切られブレーキが動作しシステムが停止するので安全                                  | 5.78E-09          | 1   | 0   | 6%       |     |   | 3.61E-10         | 3.61E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin配置から全てのショートを洗い出す |
|  | Short-circuit between connection 4 and 5                 | システム停止状態と同様の状態となるので安全   | 5.78E-09          | 1   | 0   | 6%       |     |   | 3.61E-10         | 3.61E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin配置から全てのショートを洗い出す |
|  | Short-circuit between connection 5 and 8                 | システム停止状態と同様の状態となるので安全   | 5.78E-09          | 1   | 0   | 6%       |     |   | 3.61E-10         | 3.61E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin配置から全てのショートを洗い出す |
|  | Short-circuit between connection 8 and 1                 | 影響なし  | 5.78E-09          | 1   | 0   | 6%       |     |   | 3.61E-10         | 3.61E-10    | 0.00E+00    | 0.00E+00     | 0.00E+00     | pin配置から全てのショートを洗い出す |
| Short-circuit between all connections                    | 過電流により電源がおちる。駆動電源が切られブレーキが動作しシステムが停止するので安全               | 5.78E-09  | 1                 | 0   | 25% |          |     | 1.45E-09  | 1.45E-09         | 0.00E+00    | 0.00E+00    | 0.00E+00     |              |                     |
| Change in characteristics                                | システム停止状態と同様の状態となるので安全                                    | 5.78E-09  | 1                 | 0   | 25% |          |     | 1.45E-09  | 1.45E-09         | 0.00E+00    | 0.00E+00    | 0.00E+00     |              |                     |

図 3-1-1-2. 6 FMEDA 実施結果 (抜粋)

### 3-1-2. 安全コンセプト/システム設計 (パイロットスタディ)

#### 3-1-2-1. システム構成と機能概要

リスク計算ユニットでは、操作ユニットからの操作情報、レーザレンジセンサからの環境情報、モータドライバユニットからの車両情報を考慮し、リスク低減アルゴリズムにて上限速度値を決定する。機能安全の開発対象をコンパクトにするために、リ

リスク計算ユニット内をアプリケーションやアルゴリズムといった制御情報を扱うリスク低減制御ブロックと、外部ユニットとのデータ授受を扱う通信制御ブロックに分割する。リスク低減制御ブロックに対しては機能安全開発対象とし、通信制御ブロックに関しては機能安全開発対象外であるが、通信が主目的であるため IEC 61784 規格の対策を行うことで故障検知を行う。

詳細については、安全目標及びコンセプトに記載する。

リスク計算ユニットは、サブマイコン①を含むリスク低減制御ブロックと、サブマイコン②を含む通信制御ブロックの 2CPU で構成されている。それぞれのサブマイコンをブリッジする機構としてデュアルポートメモリを用いる。リスク計算ユニットと外部ユニット（外部ブロック）を繋ぐ手段として EtherNet、CAN 通信を用いる。

以下にリスク計算ユニットのブロック図を示す。

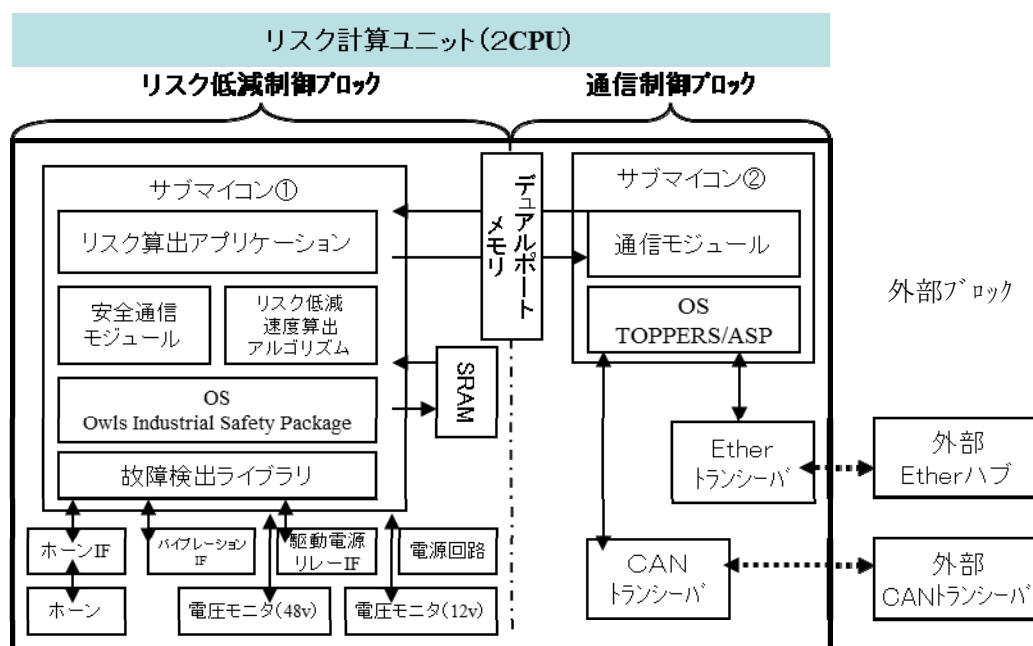


図 3-1-2-1. 1 リスク計算ユニット（ブロック図）

### 3-1-2-1-1. リスク低減制御ブロック

機能安全開発対象となるリスク低減制御ブロックの構成要素を記載する。

- サブマイコン①
  - リスク低減速度算出アルゴリズム
    - リスク低減速度算出アルゴリズムは、生活空間内移動リスク算出アルゴリ

ズム・環境認識アルゴリズム・リスク低減動作パターン算出アルゴリズムの3つから構成されている。生活空間内移動リスク算出アルゴリズムは Ether トランシーバ経由で接続されているセンサデバイスから取得される各パラメータ（混合率・距離）をもとに生活空間内移動リスクを算出する。環境認識アルゴリズムはセンサデバイスから取得される各パラメータにより環境をセンシングし、密集度・移動空間内物体相対速度・距離を算出する。リスク低減動作パターン算出アルゴリズムは、生活空間内移動リスク算出アルゴリズムが算出した結果を用いて TAO-Aicle-safety の進行方向別の最高速度を決定する。

➤ 安全通信モジュール

安全通信モジュールは、デュアルポートメモリや SRAM に対して通信データの取得（受信）と設定（送信）を行う。取得の際には通信データを解析し、正常であればリスク算出アプリケーションへ引き渡す。設定の際にはリスク算出アプリケーションから引き渡された通信データに対して付加情報を付与する。

通信データの付加情報については、IEC61784-3 の通信脅威と安全対策を元に行ったリスク分析結果から確定する。

➤ リスク算出アプリケーション

リスク算出アプリケーションは、外部ユニット（メイン操作ユニット、モータドライブユニット）からの情報取得を行い、速度制御に矛盾が発生していないか監視を行う。情報取得の手段は、CAN 通信経由で電圧モニタにて行う。速度制御に矛盾が発生している場合は、下記モジュールインターフェース（IF）を動作させる。

◇ 駆動電源リレーIF

- 駆動電源リレーの ON/OFF によりモータへの電源供給を通電/遮断制御する。

◇ バイブレーション IF

- システムに異常を検出した場合にバイブレーションを ON にして搭乗者に通知する。

◇ ホーン IF

- システムに異常を検出した場合にホーンを鳴らして搭乗者に通知する。

➤ OS Owls Industrial Safety Package

サブマイコン①の制御を目的として、リアルタイム OS である Owls Industrial Safety Package を使用する。本 OS は安全関連系に必要な機能を実現するカーネル（TOPPERS/ASP カーネルをベースにしたもの）と、アプ

リケーションによりハードウェアの故障検出を支援するライブラリを併せ持つ。Owls -Industrial Safety Package は、IEC61508 の第 3 部で規定される SIL3 の HR 手法を用いて開発されている。

➤ 故障検出ライブラリ

安全系では故障検出ライブラリを使用する。故障検出ライブラリは、ハードウェアの故障検出（ランダムハードウェア故障、システムティックエラー）に対応している。また、故障検出ライブラリは IEC61508 の第 3 部で規定される SIL3 の HR 手法を用いて開発されている。

● デュアルポートメモリ

サブマイコン①とサブマイコン②のデータをブリッジするためのメモリである。外部から通知されるセンサ情報、CAN データ、サブマイコン①の演算結果がデータとして扱われる。双方のマイコンで利用するため、メモリ領域は重ならないように分割して管理する。

● SRAM

リスク低減速度算出アルゴリズムで扱うセンサ情報は、データ量が膨大であるためバッファメモリとして使用する。

● ホーン・ホーン IF

リスク算出アプリケーションがシステム異常を検知した際に、ユーザへの注意喚起として使用する。

● バイブレーション

リスク算出アプリケーションがシステム異常を検知した際に、ユーザへの注意喚起として使用する。

● 駆動電源リレーIF

リスク算出アプリケーションがシステム異常を検知した際に、モータへの駆動電源を遮断するために使用する。

● 電圧モニタ

モータ及びセンサへの電圧状態をモニタリングするために使用する。

● 電源回路

リスク計算ユニットへの電源供給回路である。

3-1-2-1-2. 通信制御ブロック

機能安全開発対象外ではあるが、通信制御ブロックの構成要素を記載する。

● サブマイコン②

➤ 通信モジュール

通信モジュールでは、デュアルポートメモリへの読み書きや外部への送受信を行う。



➤ OS (TOPPERS/ASP)

サブマイコン②の制御を目的としてリアルタイム OS を使用する。

• Ether トランシーバ

センサデバイスのデータ授受の機構として使用する。

• CAN トランシーバ

CAN 通信のデータ授受の機構として使用する。

3-1-2-1-3. ロボットと周辺環境センサ

本プロジェクトでは、ロボット周辺の環境センサとして特性の異なる 2 種類の立体検知センサ、3次元測域センサと、3次元距離画像カメラが試されることになった。図3-1-2-1. 2に、各センサの仕様比較をまとめたがその特性から、遠距離は3次元レーザ測域センサが適しており、近距離の細かい物体の検出には3次元距離画像カメラが適している。

図3-1-2-1. 3の取り付け方法をセンサ仕様検討のための案とした。

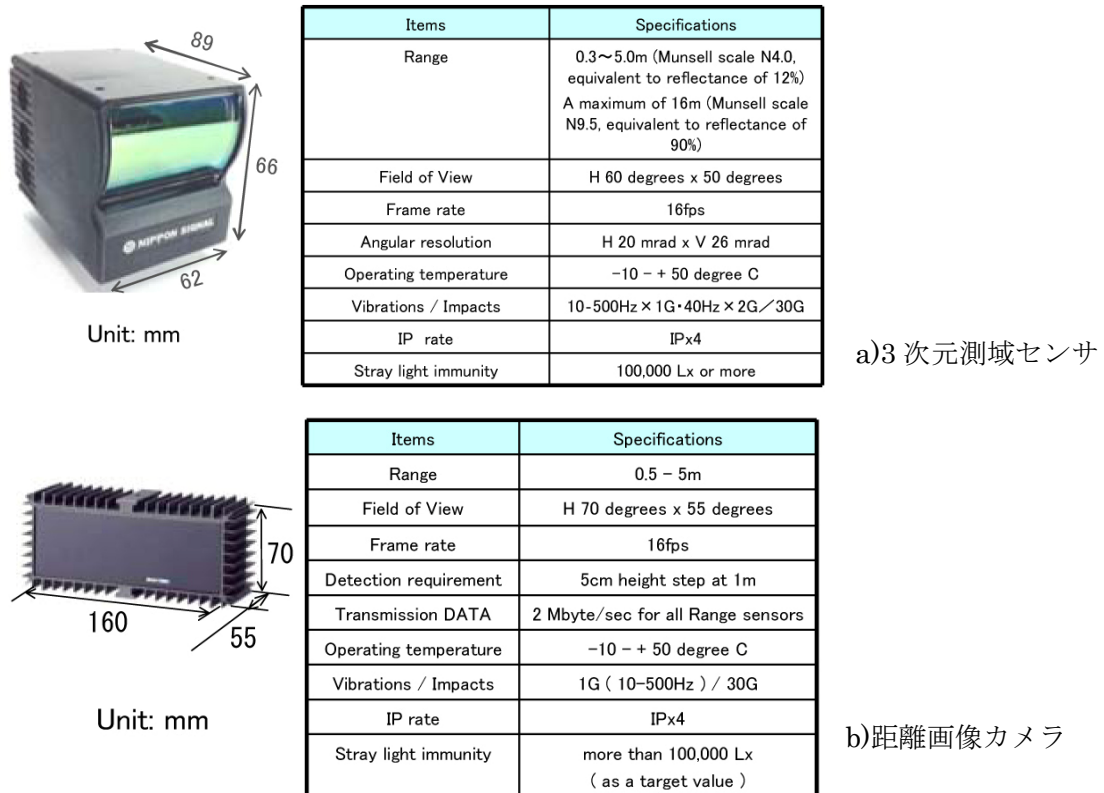


図3-1-2-1. 2 障害物検知センサの仕様比較



図 3-1-2-1. 3 障害物検知センサの仕様比較

初期の構想では、両センサを Ethernet HUB を介してリスク計算ユニットに距離計測データを入力し、障害物検出はリスク計算ユニットで行う予定だった。

### 3-1-2-2. 安全目標とコンセプト

#### 3-1-2-2-1. 安全目標

リスク計算ユニットは、リスク低減制御ブロックと通信制御ブロックで構成されている。本プロジェクトでは機能安全開発対象であるリスク低減制御ブロックのみで、IEC 61508 SIL2 に準拠させる。

リスク低減制御ブロックでは、IEC 61508 SIL2 に対応したソフトウェア開発プロセスで開発する。また、タイプ B3 のサブシステムに対して安全故障割合 (Safe Failure Function) が 90% 以上 99% 未満の診断方法を含む故障検出ライブラリを用いる。

表 3-1-2-2. 1 ランダムハードウェア故障に対する故障検出の診断方法

---

<sup>3</sup> IEC 61508 Part2 の 7.4.3.1.3 で規定される一般的なマイコンを使用するシステムは、「すべての構成要素について、故障モードが正しく定義されていないサブシステム」と分類され、タイプ B であると判断される。なぜなら、MCU を使用することで構成要素の組み合わせによる複雑度が増す為、全ての故障モードを定義することができないと判断する為である。

| 安全故障割合<br>(Safe Failure Function) | ハードウェアのフォールトトレラント(備考2を参照) |      |      |
|-----------------------------------|---------------------------|------|------|
|                                   | 0                         | 1    | 2    |
| SFF < 60%                         | 許容されていない                  | SIL1 | SIL2 |
| 60% ≤ SFF < 90%                   | SIL1                      | SIL2 | SIL3 |
| 90% ≤ SFF < 99%                   | SIL2                      | SIL3 | SIL4 |
| SFF ≥ 99%                         | SIL3                      | SIL4 | SIL4 |

備考1 この表の解釈についての詳細は、7.4.3.1.1～7.4.3.1.4を参照。  
備考2 ハードウェアフォールトトレラントは、N+1の障害が安全機能の喪失を引き起こす恐れがなくなることを意味する。  
備考3 安全故障割合の算出方法についての詳細は、付録Cを参照のこと。

また、リスク計算ユニットへの入出力メッセージ（通信データ）は、IEC 61784 にて規定されている手法を適用する。

このとき、通信の残余誤り率を  $10^{-9}/h$  以下となるようにする。

表 3-1-2-2. 2 残余誤り率と SIL の関係

| 安全機能に適用可能な SIL | 機能安全通信システムにおける<br>1時間あたりの故障率 | 機能安全通信システムにおける<br>最大許容残余誤り率 |
|----------------|------------------------------|-----------------------------|
| 4              | $< 10^{-8}/h$                | $< 10^{-10}/h$              |
| 3              | $< 10^{-7}/h$                | $< 10^{-9}/h$               |
| 2              | $< 10^{-6}/h$                | $< 10^{-8}/h$               |
| 1              | $< 10^{-5}/h$                | $< 10^{-7}/h$               |

リスク計算ユニットにて CAN 通信から得られる情報で異常や故障を検出した場合は、直ちに駆動電源リレーIF を使い左右の駆動モータの停止、及びホーンやバイブレーションを使いユーザへの注意喚起を行う。前述以外の Ether モジュールから得られる情報で異常や故障を検知した場合は、モータへの停止は行わず障害物の 1m 手前までに 1km/h 未満に速度を抑える。

### 3-1-2-2-2. コンセプト

リスク計算ユニットのシステム構成図を示す。

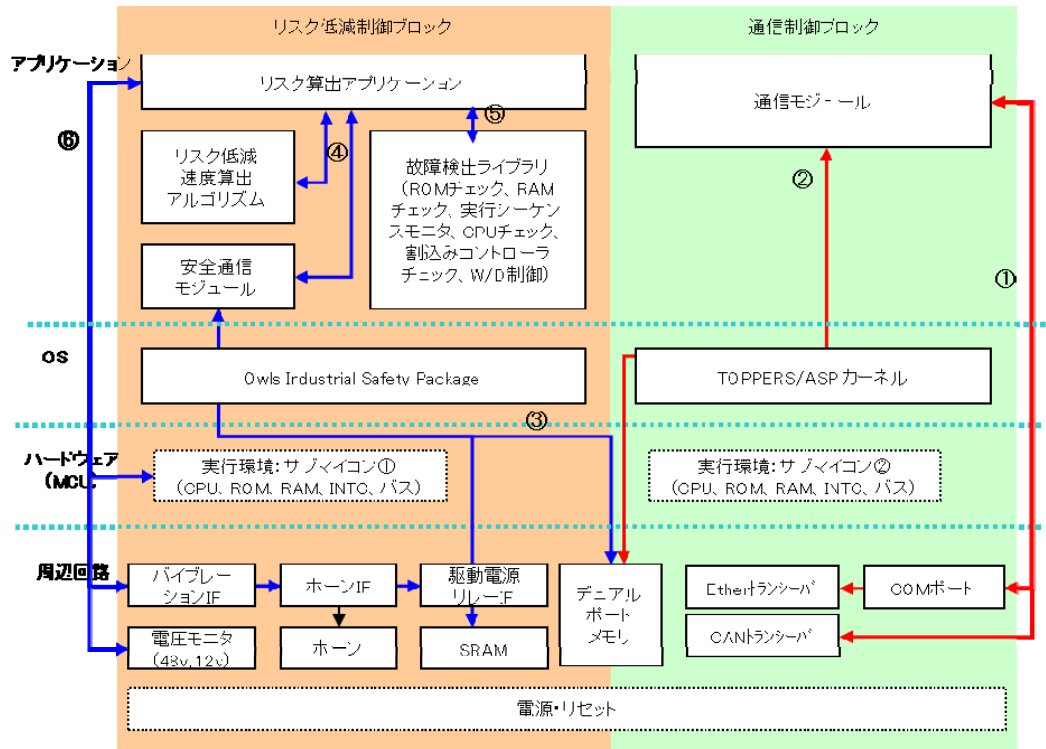


図 3-1-2-2. 3 システム構成図

- ① リスク計算ユニットからのデータ発信や外部ユニットのデータ受信は通信制御ブロックの Ether/CAN トランシーバや COM ポートを経して行う。
- ② 通信制御ブロックでは、データは通信モジュールによってデュアルポートメモリからの読み込み書き込みが行われる。
- ③ リスク低減制御ブロックでは、データは安全通信モジュールによってデュアルポートメモリや SRAM からの読み込み書き込みが行われる。
- ④ リスク算出アプリケーションは、安全通信モジュールから得られたデータを基に TAO-Aicle-safety の制御を行う。この他に、リスク計算ユニットから出力されたデータと他のユニットの制御情報と比較し、矛盾が無いかを監視する。
- ⑤ リスク算出アプリケーションは、故障検出ライブラリの実行シーケンスモニタを呼び出し、システムティック故障検出を行う。故障検出ライブラリはリスク算出アプリケーションから要求された故障検出を実施する。異常を検出した場合は、全てリスク算出アプリケーションへ通知する。また、リスク算出アプリケーションは、実行シーケンスモニタ以外の故障検出ライブラリの機能呼び出し、ランダムハードウェア故障検出を行う。

- ⑥ リスク算出アプリケーションは、電源電圧 12v、48v 系の電圧モニタ監視を行う。また、搭乗者への注意喚起を促す手段としてバイブレーション IF やホーン IF を制御する。リスク算出アプリケーションにて車両の停止と判断した場合には駆動電源リレーIF を制御して駆動モータへの電源供給を停止させる。

上記安全目標及びコンセプトを実現するために必要なハードウェアの条件をハードウェア要件にて規定する。

### 3-1-2-3. システム故障における故障検出機能

本システムでは以下の故障検出に対応する。

- ランダムハードウェア故障
- システムティック故障

ランダムハードウェア故障に対しては IEC 61508 の第 2 部の表 A.1 から、システムティック故障に対しては IEC 61508 の第 2 部の表 A.16 から、安全故障割合が 90% 以上 99%未満となる故障検出の診断方法を選択して実装する。

以下に IEC 61508 の第 2 部の表 A.1 と提供する故障検出機能の関連表を示す。

表 3-1-2-3. 1 故障検出機能一覧

| IEC 61508 第2部 表A.1<br>コンポーネント                | 故障検出機能   | DC        | 実施タイミング                               |
|--|--|-----------|---------------------------------------|
| <b>Electromechanical devices</b>             | ※リスク低減制御ブロックでは対象外  | —         | —                                     |
| <b>Discrete hardware</b>                     | ※リスク低減制御ブロックでは対象外  | —         | —                                     |
| Digital I/O                                  |  |           |                                       |
| Analogue I/O                                 |  |           |                                       |
| Power supply                                 |  |           |                                       |
| <b>Bus</b>                                   | 故障検出ライブラリのROM故障検出機能（ダブルワード[16bit]署名）やRAM故障検出機能 <sup>4</sup> を用いる   | ROM : 99% | 起動時／実行中                               |
| General                                      |  | RAM : 90% |                                       |
| Memory management unit                       |  |           |                                       |
| Direct memory access                         |  |           |                                       |
| Bus-arbitration                              |  |           |                                       |
| <b>CPU</b>                                   | 故障検出ライブラリの下記機能を用いる。<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・ CPU故障検出機能</li> <li>・ 実行シーケンスモニタ機能</li> <li>・ W/Dタイマ故障検出機能</li> </ul> | 90%       | CPU/W/D :<br>起動時<br>シーケンスモニタ :<br>実行中 |
| Register, internal RAM                       |  |           |                                       |
| Coding and execution including flag register |  |           |                                       |
| Address calculation                          |  |           |                                       |
| Program counter, stack pointer               |  |           |                                       |
| <b>Interrupt handling</b>                    | ※故障検出ライブラリの割込みコントローラ故障検出機能を用いるが本システムでは不要   | —         | —                                     |
| <b>Invariable memory</b>                     | ※故障検出ライブラリのROM故障検出機能を用いるが本システムではCRC演算機能が搭載されていないため不要   | —         | —                                     |
| <b>Variable memory</b>                       | 故障検出ライブラリのRAM故障検出機能を用いる。   | 90%       | 起動時／実行中                               |
| <b>Clock(quartz)</b>                         | 故障検出ライブラリの実行シーケンスモニタ機能を用いる。  | 90%       | 実行中                                   |
| <b>Communication and mass storage</b>        | ※リスク低減制御ブロックでは対象外  | —         | —                                     |

<sup>4</sup> ROM/RAM 故障検出により、内部バスの故障検出のみ対応する。

| IEC 61508 第2部 表A.1<br>コンポーネント | 故障検出機能            | DC | 実施タイミング |
|-------------------------------|-------------------|----|---------|
| Sensors                       | ※リスク低減制御ブロックでは対象外 | —  | —       |
| Final elements                | ※リスク低減制御ブロックでは対象外 | —  | —       |

### 3-1-2-4. 通信脅威における故障検出機能

本システムでは IEC61784 で定義されている通信脅威に対して検出を行う。

検出には、IEC61784 に規定されている安全対策を全て実現する。

以下に通信脅威と安全対策の関係を記載する。

表 3-1-2-3. 1 通信脅威と安全対策の関係

| 通信エラー     | 安全対策    |         |      |         |              |            |                        |                   |
|-----------|---------|---------|------|---------|--------------|------------|------------------------|-------------------|
|           | シーケンス番号 | タイムスタンプ | 時間予想 | 接続認証    | フィードバックメッセージ | データの完全性の保証 | 冗長による伝送チェック            | 異なるデータの完全性の保証システム |
| くずれ       |         |         |      |         | x            | x          | only for serial bus(d) |                   |
| 予想外の繰り返し  | x       | x       |      |         | ※x           |            | x                      |                   |
| 誤ったシーケンス  | x       | x       |      |         | ※x           |            | x                      |                   |
| 損失        | x       |         |      |         | x            |            | x                      |                   |
| 受け入れがたい遅れ |         | x       | x(c) |         |              |            |                        |                   |
| 挿入        | x       |         |      | x(a, b) | x(a)         |            | x                      |                   |
| 自己を偽る/変装  |         |         |      | x(a)    | x(a)         |            |                        | x                 |
| アドレス指定    |         |         |      | x       |              |            |                        |                   |

**a:** アプリケーションの仕様による。

**b:** 送信者の識別のため、不正な挿入を見抜く。

**c:** 全てのケースで必要。

**d:** 残余エラー率の要求を満たした場合のみ、データの信頼性が保証される。

具体的な安全対策を以下に記載する。

表 3-1-2-3. 2 安全対策一覧

| 安全対策            | 具体的対策  |
|-----------------|--|
| 1. シーケンス番号      | 送信側でシーケンス番号を付加したデータを送信し、受信側で、シーケンス番号順に受信できることを確認する。  |
| 2. タイムスタンプ      | 送信側でメッセージに時刻、又は日付を付ける。受信側は、前回受信したデータのタイムスタンプ（時刻、日付データ）を元に、到着想定時間を越えた場合、遅れとみなす。この到着想定時間は、仕様で決定する必要がある。                    |
| 3. 時間予想         | 受信側で連続して受け取ったメッセージの時間間隔が指定時間より遅れていないかを調べる。送信側の送信タイミング時間、及び受信側の到着想定時間を仕様で決定しておく必要がある。                                     |
| 4. 接続認証         | 送信側は送信元、送信先の論理アドレスをメッセージに付加する。接続認証の方法は実装依存とする。<br>受信側で、送信先アドレスが自身のアドレスであるかを確認する。また、受信側で、送信元アドレスが自身が通信している相手のものであるかを確認する。 |
| 5. フィードバックメッセージ | 受信側がメッセージを受信できたことを送信側に知らせる為、フィードバックメッセージを返すようにする。送信側は、送信元（自身の）アドレス、送信先（通信相手の）アドレスをメッセージに付加する必要がある。                       |
| 6. データ保全の保証     | メッセージに冗長性を持たせる為、送信側は複数回のメッセージ送信を行う。  |
| 7. 冗長による伝送チェック  | 同じデータを 2 回送る方法。シーケンス番号、タイムスタンプに冗長性を持たせる為、異なる CRC を付加するか、又はビット反転したデータを送信する。   |



|                     |   |
|---------------------|---|
| 8. 異なるデータ保全性の保証システム | 安全関連(SR)、及び非安全関連(NSR)のデータが同じバスによって送られる場合、データ保全性の保障システムやメッセージの符号化(異なるCRCを使用)を行い、NSRメッセージがSRレシーバーに影響を与えないようにする。(SR: Safety relevant の略。安全関連。NSR: Non-safety relevant の略。非安全関連。) |
|---------------------|---|

### 3-1-2-5. 安全対策

リスク低減制御ブロックに対する安全分析は、安全分析の実施結果で実施した。分析結果は、システム故障における故障検出機能にて規定した各故障検出機能により、異常を検出、対策することができる。また、故障検出機能以外にも必要となる安全機能を抽出したため以下に合わせて記載する。

#### 3-1-2-5-1. サブマイコン①

サブマイコン①にはリスク低減速度算出アルゴリズム・安全通信モジュール・リスク算出アプリケーションのモジュールが含まれる。

- 入力データの格納先である ROM/RAM の故障検出機能を搭載する
- ノイズによる入力データの改ざんに対してはデータの出力基で出力データに対して、CRC やパリティを付加させることで対応する
- W/D タイマの故障検出チェックや W/D 付き実行シーケンスモニタを用いることでサブマイコン①のクロック故障による影響に対応する
- 機能安全プロセス (SIL2) に準拠した開発を行う
- 不正な処理順序、実行タイミングをチェックするために W/D 付き実行シーケンスモニタ機能を搭載する
- CPU の故障検出チェック機能を搭載する
- リスク算出の結果が通知されない場合は 6km/h で制御するよう操作ユニットにて対応する
- センサやモータ側へ電源が供給されていない場合は念のためリスク算出ユニットから停止制御を各ユニットへ通知する

#### 3-1-2-5-2. デュアルポートメモリ

- 不正な処理順序、実行タイミングをチェックするために W/D 付き実行シーケンスモニタ機能を搭載する
- デュアルポートメモリの不具合を検出するために RAM の故障検出チェック機能

を搭載する

#### 3-1-2-5-3. SRAM

- 不正な処理順序、実行タイミングをチェックするために W/D 付き実行シーケンスモニタ機能を搭載する
- SRAM の不具合を検出するために RAM の故障検出チェック機能を搭載する

#### 3-1-2-5-4. 駆動電源リレーIF

- 駆動電源リレーIF はマイコンの出力電圧以上の耐圧機能を持つ部品を採用する
- コネクタの形状を変える

#### 3-1-2-5-5. 分圧モニタ (12v, 24v)

- 12v ラインと 24v ラインでコネクタの形状を変える
- サブマイコン①が受け入れることが可能な規定電圧以上にならないようにハードウェアで制限をかける

#### 3-1-2-5-6. 電源回路

- 電圧値が異なった場合による接続ミスが無い様に、電圧値ごとにコネクタ形状を変える
- プラスマイナスが逆に接続できない様に、コネクタの形状を考慮する

#### 3-1-2-6. ハードウェア要件

システム故障における故障検出機能にて規定した各故障検出機能が有効に動作するため、またリスク低減制御ブロックにて SIL2 を満たすためのハードウェア要件を以下に規定する。

##### 3-1-2-6-1. 基本アーキテクチャ

MCU は中央処理演算処理装置 (CPU)、割込みコントローラ (INTC)、アドレスバス (Bus)、内蔵 ROM (ROM)、内蔵 RAM (RAM)、タイマ、ウォッチドッグ機能 (MCU 内蔵である場合) を有する。

##### 3-1-2-6-2. クロック

周辺回路としてはメインクロック、サブクロック、内蔵クロック、電源、ウォッチドッグ (MCU 内蔵でない場合) を有する。

### 3-1-2-6-3. ウォッチドッグ

ウォッチドッグは、MCU 内蔵機能または外部部品のいずれかを用いる。フォールトトレランス 1 となるハードウェアを用いる。

### 3-1-2-7. 通信制御ブロックへの要求事項

通信モジュールは、各デバイスから受け取るデータやデュアルポートメモリから受け取るデータに対して加工を行わない。通信制御ブロックを経由する各種データは、送信元であるユニットにて冗長による伝送チェック、タイムスタンプ、異なるデータ保全性の保証システムを施しているためである。

### 3-1-2-8. 外部ユニットへの要求事項

リスク計算ユニットを含む TAO-Aicle-safety のシステムブロック図（ユニット間のインターフェースに着目）を下記に示す。外部ユニットへの要望を以下に記載する。

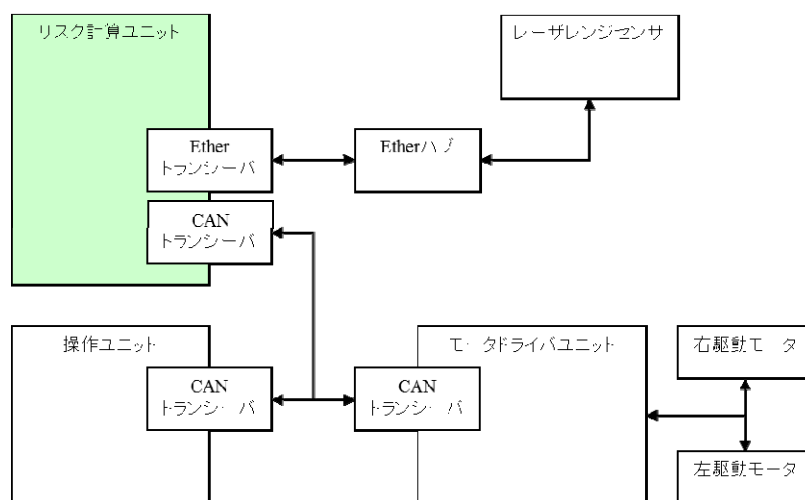


図 3-1-2-8. 1 TAO-Aicle-safety システムブロック図

#### 3-1-2-8-1. 操作ユニットへの要望

ジョイスティックの操作量を CAN 経由でリスク計算ユニットへ通知する。その際、送信データに対して、冗長による伝送チェックやタイムスタンプ付メッセージとするなど安全対策を行う。また、安全分析の結果、以下の機能が挙げられた。

- ジョイスティックからのデータ（電圧値）において、0V や 5V は断線また異常値として扱う

#### 3-1-2-8-2. モータドライバユニットへの要望

エンコーダの計測値を CAN 経由でリスク計算ユニットへ通知する。その際、送信

データに対して、冗長による伝送チェックやタイムスタンプ付メッセージとするなどの安全対策を行う。

### 3-1-2-8-3. 各センサへの要望

センサの計測値を Ether ネット経由でリスク計算ユニットへ通知する。その際、送信データに対して、冗長による伝送チェックやタイムスタンプ付メッセージとするなどの安全対策を行う。

### 3-1-2-9. リスク計算ユニットの仕様概要

#### 3-1-2-9-1. リスク算出アプリケーション

##### システム状態定義

リスク算出アプリケーションでは、以下のシステム状態を規定している。

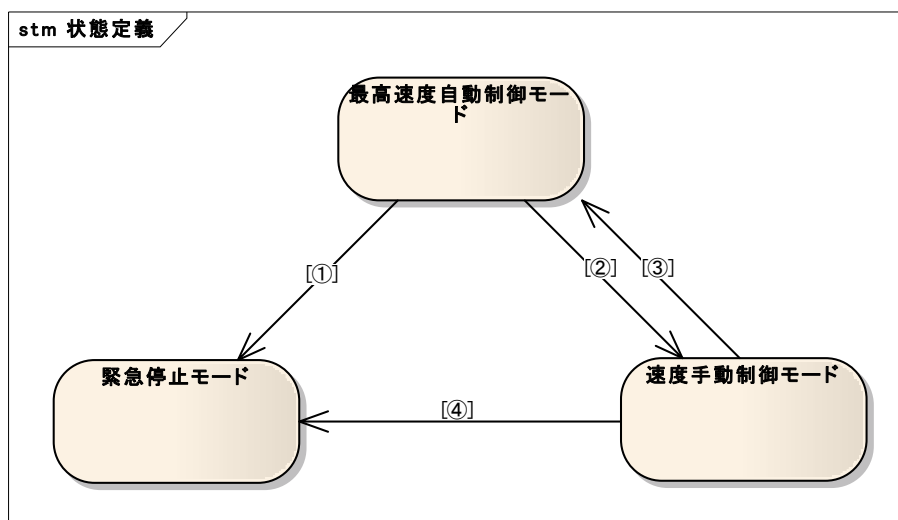


図 3-1-2-9. 1システム状態

- 最高速度自動制御モード

センサやリスク計算ユニットから情報を取得し、リスク低減速度算出アルゴリズムを用いて最高速度制御を行う。速度手動制御モードと同様に外部ユニット及び電圧モニタリングも行う。

- 速度手動制御モード

外部ユニット（リスク計算ユニット、左右モータドライブユニット）からの情報を取得し、速度制御に矛盾が発生していないか監視を行う。また、TAO-Aicle-safety のシステムで使用している電圧が規定電圧通りかの監視を行う。

- 緊急停止モード

車両の停止制御や搭乗者への注意喚起を行う。

- 状態遷移

リスク算出アプリケーションで規定した状態は以下の条件の場合に遷移を行う。記載の番号はシステム状態参照のこと。

- ① 最高速度自動制御モードにおいてシステム異常を検知
- ② 搭乗者操作による制御モード遷移、又はセンサデータの異常を検知
- ③ 搭乗者操作による制御モード遷移
- ④ 速度手動制御モードにおいてシステム異常を検知

システム異常へのトリガーは以下の内容を指す。

- 外部ユニット（リスク計算ユニット、左右モータドライブユニット）から送信されたデータに対して、CRC チェックを行った結果不整合となる
- 監視対象の電圧が規定電圧から逸脱している

- データ定義

リスク算出アプリケーションでは以下のデータを扱う。

- センサデータ
- 最高速度
- 電圧モニタ値
- 操作ユニットデータ
- モータドライバユニットデータ
- 駆動電源 ON/OFF

電圧モニタ値を除く上記データの情報取得の手段は、CAN 通信を用いて DPRAM 経由にて行う。DPRAM からの取得の際には、取得データを CRC16 で解析し、取得データが不整合（異常）であれば取得対象データに応じた対策を行う。DPRAM への情報設定の際には、設定データに対して CRC16 を付加する。

- センサデータ

レーザレンジセンサから送られるデータである。リスク低減速度算出アルゴリズムが最高速度を算出する際の入力データとして用いる。

表 3-1-2-9. 2 センサデータ

| No | データ名       | データ値範囲     | From      |
|----|------------|------------|-----------|
| 1  | 前方の障害物との距離 | 0 ~ 10 (m) | レーザレンジセンサ |

■最高速度

センサデータ、操作ユニットデータを入力データとし、リスク低減速度算出アルゴリズムが算出する。

表 3-1-2-9. 3 最高速度

| No | データ名  | データ値範囲        | From      |
|----|-------|---------------|-----------|
| 1  | 最高速度値 | 1 ~ 10 (km/h) | リスク計算ユニット |

■電圧モニタ値

駆動電源（48V）とセンサ電源（12V）の電圧をリスク算出アプリケーションがデバイスドライバを用いてデータ値として計測する。

表 3-1-2-9. 4 電圧モニタ値

| No | データ名             | データ値範囲     | From |
|----|------------------|------------|------|
| 1  | 駆動電源のモニタ電圧(48V)  | 48±10% (V) | 電源回路 |
| 2  | センサ電源のモニタ電圧(12V) | 12±10% (V) | 電源回路 |

■操作ユニットデータ

メイン操作ユニットから送られるデータである。ジョイスティック XY 軸操作量は、リスク低減速度算出アルゴリズムが最高速度を算出する際の入力データとして用いる。メイン操作ユニット異常フラグは、メイン操作ユニットの状態を示すリスク算出アプリケーションがメイン操作ユニットの状態監視で用いる。

表 3-1-2-9. 5 操作ユニットデータ

| No | データ名                  | データ値範囲    | From      |
|----|-----------------------|-----------|-----------|
| 1  | ジョイスティック X 軸操作量(AD 値) | 0 ~ 5 (V) | メイン操作ユニット |
| 2  | ジョイスティック Y 軸操作量(AD 値) | 0 ~ 5 (V) | メイン操作ユニット |
| 3  | メイン操作ユニット異常フラグ        | 0 ~ 1     | メイン操作ユニット |

■モータドライバユニットデータ

モータドライバユニットから送られるデータである。左右エンコーダのパルスカウント値はリスク計算アプリケーションが、速度制御の矛盾監視する際の入力データとして用いる。モータドライバユニット（左右）異常フラグは、モータドライバユニットの状態を示すリスク算出アプリケーションがモータドライバユニットの状態監視で用いる。

表3-1-2-9. 6 モータドライバユニットデータ

| No | データ名                    | データ値範囲                   | From           |
|----|-------------------------|--------------------------|----------------|
| 1  | 右エンコーダのパルスカウント値         | -314 ~ 537 Pulse/100msec | モータドライバユニット(右) |
| 2  | 左エンコーダのパルスカウント値         | -314 ~ 537 Pulse/100msec | モータドライバユニット(左) |
| 3  | モータドライバユニット(右)<br>異常フラグ | 0 ~ 1                    | モータドライバユニット(右) |
| 4  | モータドライバユニット(左)<br>異常フラグ | 0 ~ 1                    | モータドライバユニット(左) |

■駆動電源 ON/OFF

リスク計算ユニットが駆動電源制御に用いる。

表3-1-2-9. 7 駆動電源ON/OFF

| No | データ名         | データ値範囲 | From      |
|----|--------------|--------|-----------|
| 9  | 駆動電源ON/OFF信号 | 0 ~ 1  | リスク計算ユニット |

■ リスク低減速度算出アルゴリズムを使用した速度制御

安全通信モジュールを介してセンサデータの取得を行い、最高速度自動制御モードにおける最高速度の決定を行う。決定した最高速度は安全通信モジュールを介して DPRAM に記録される。

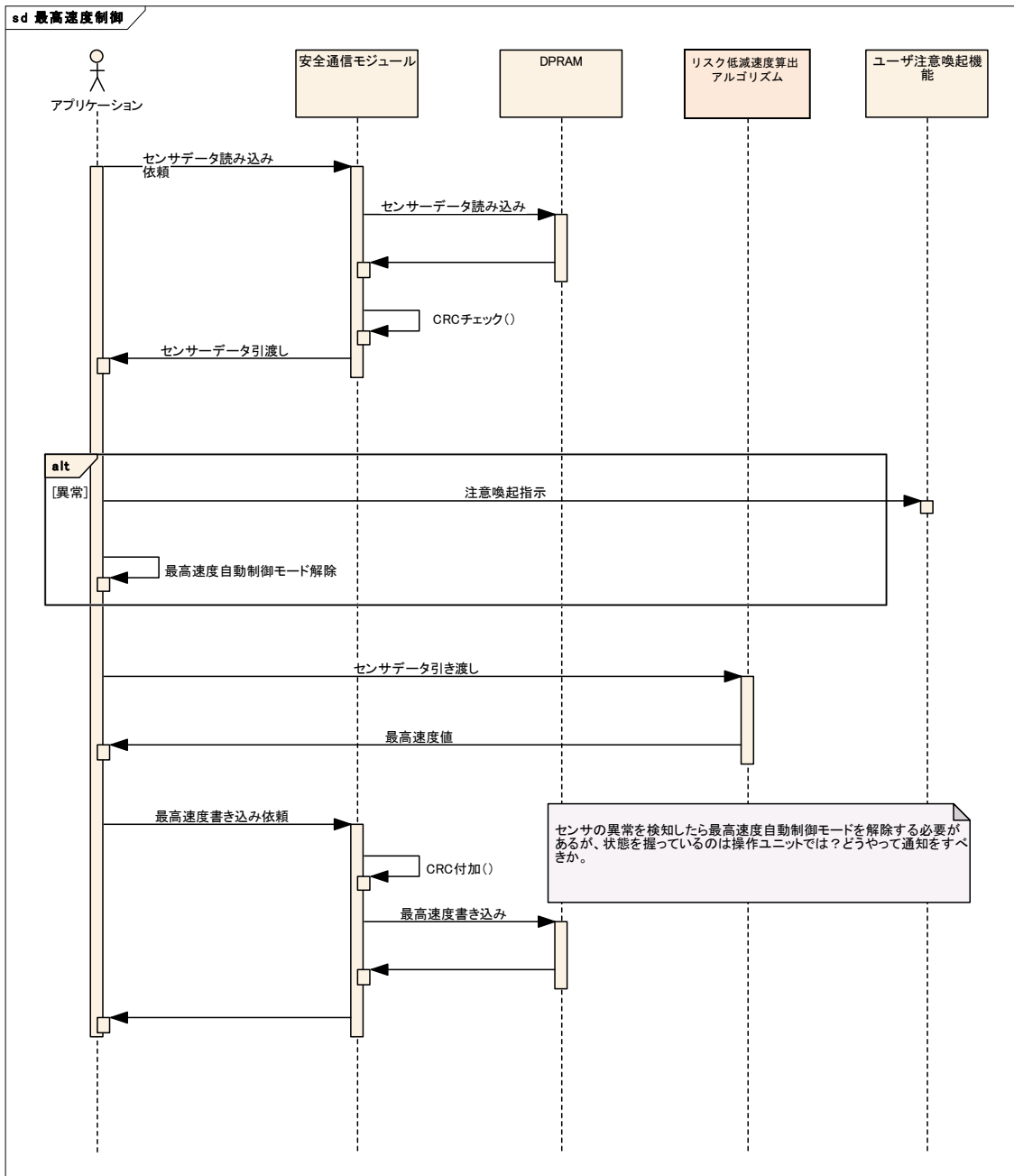


図 3-1-2-9. 8 速度制御シーケンス



### ■ 電圧モニタリング機能

駆動電源電圧 12v、48v 系の電圧モニタ監視を行う。監視の結果、電圧値に異常を検知した場合、搭乗者への注意喚起指示を行う。また、駆動電源遮断機能を用いて駆動モータへの電源供給を停止させる。

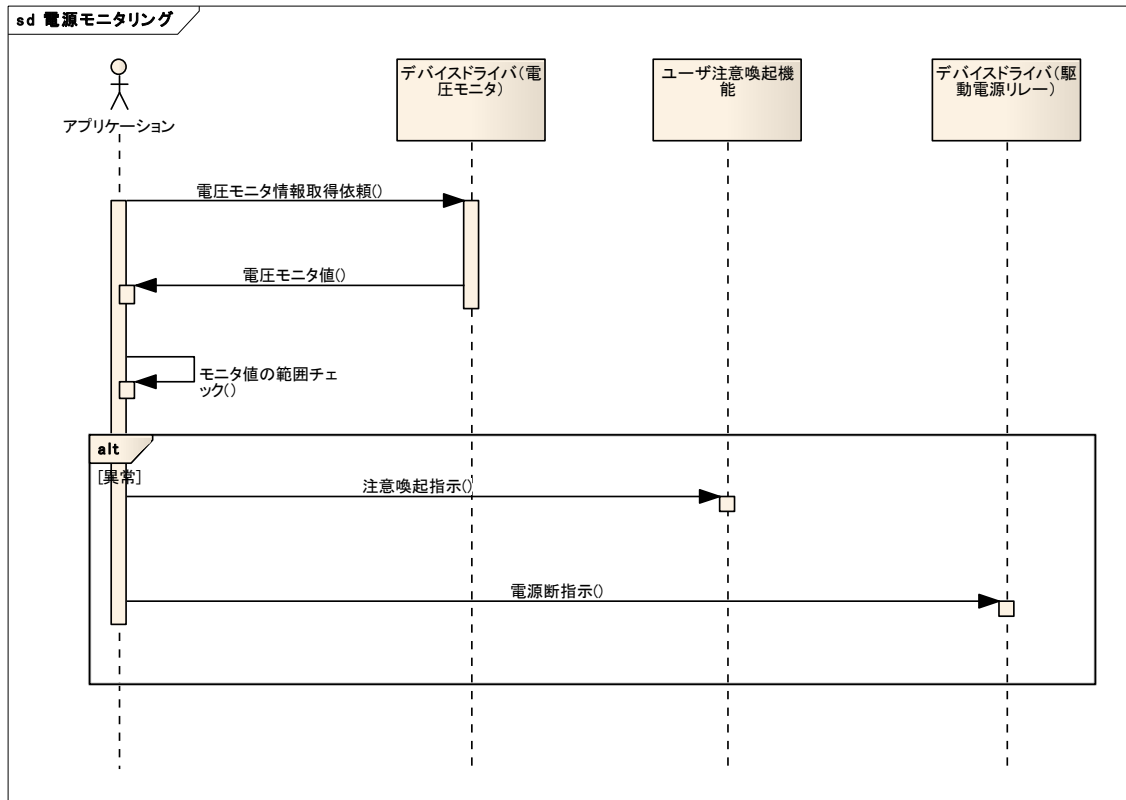


図 3-1-2-9. 9 電圧モニタリングシーケンス

### ■DPRAM への読み込み書き込み機能

リスク低減制御ブロックにおけるデータの授受は DPRAM を介して行う。DPRAM へのアクセスは安全通信モジュールが行うため、アプリケーションでは読み書き対象のデータに CRC 付加や CRC チェックを施す。

CRC チェックの際、センサからの情報に CRC エラーを検出した際は、ユーザへの注意喚起とシステム状態を変更する。それ以外のユニットからのデータに CRC エラーを検出した際は、ユーザへの注意喚起と駆動電源を遮断する。

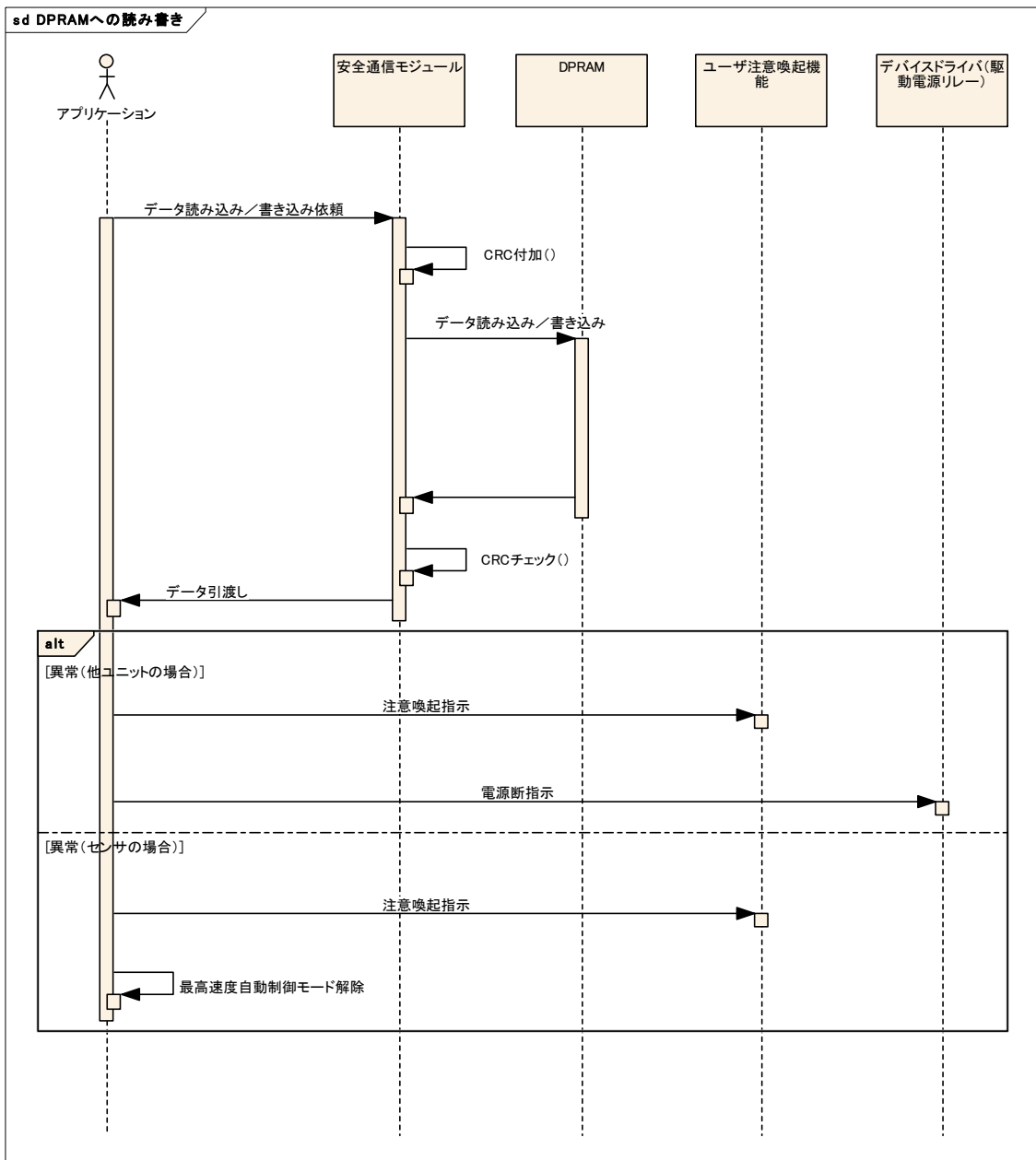


図 3-1-2-9. 10 DPRAM 読み込み書き込みシーケンス

### ■操作ユニット、及びモータドライバユニットの矛盾監視

安全通信モジュールを介して操作ユニット及びモータドライバユニットからの出力データを取得する。操作ユニットデータのジョイスティック X/Y 軸操作量とモータドライバユニットの左右エンコーダパルスカウントから導き出される値に差異が無いかを監視する。差異を検出した際は、ユーザへの注意喚起と駆動電源を遮断する。

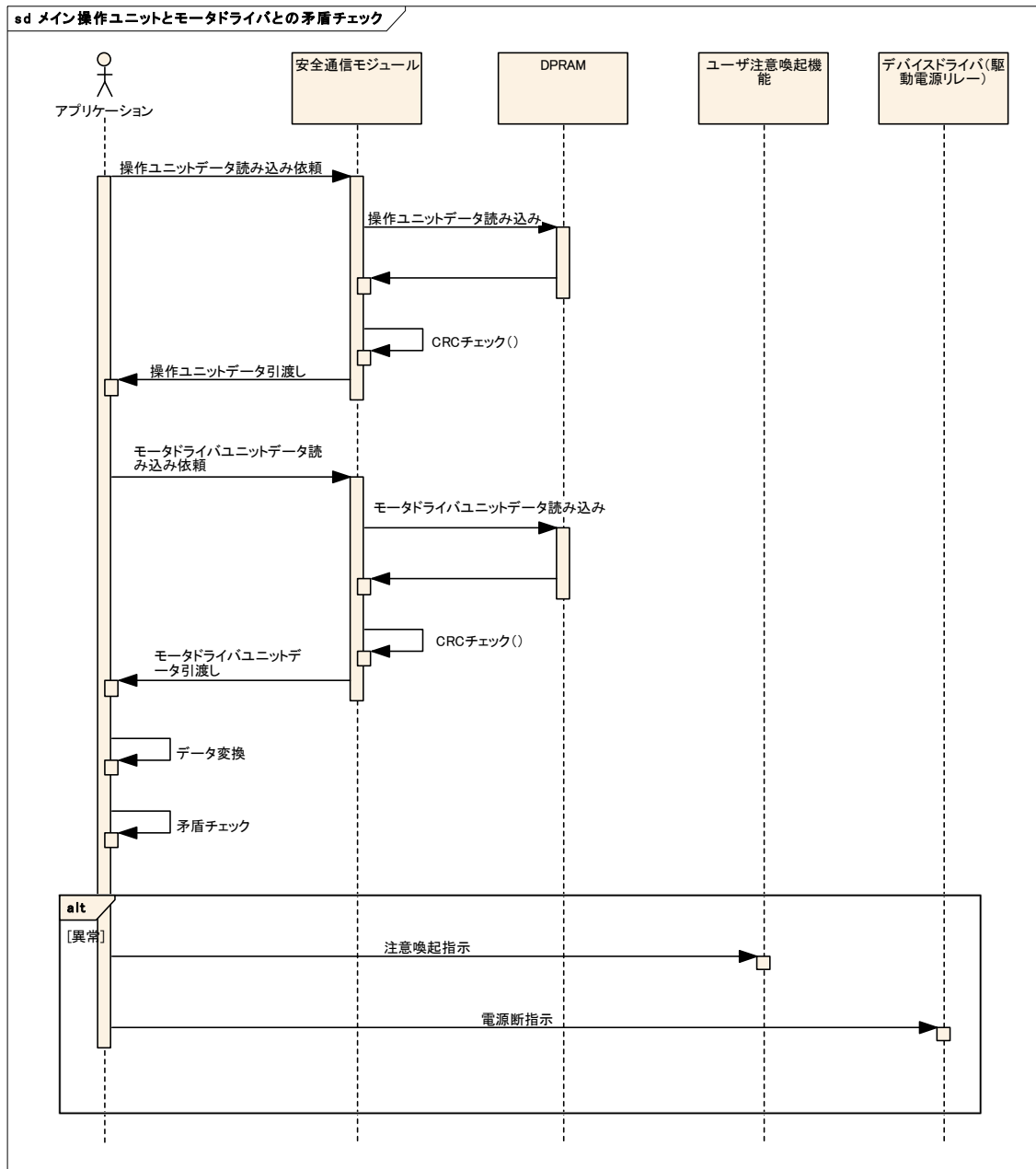


図 3-1-2-9. 11 矛盾監視シーケンス

### ■ ユーザ注意喚起機能

ユーザへの注意喚起としてホーン、バイブレーション、LED を用いる。ユーザ注意喚起は、リスク低減速度算出アルゴリズムにより減速制御を行っている場合とセンサデータの解析の結果異常（エラーコード）が見つかった場合の2通りがある。

- リスク低減速度算出アルゴリズムにより減速制御
  - ホーン：
  - バイブレーション：
- センサ異常
  - ホーン：
  - バイブレーション：

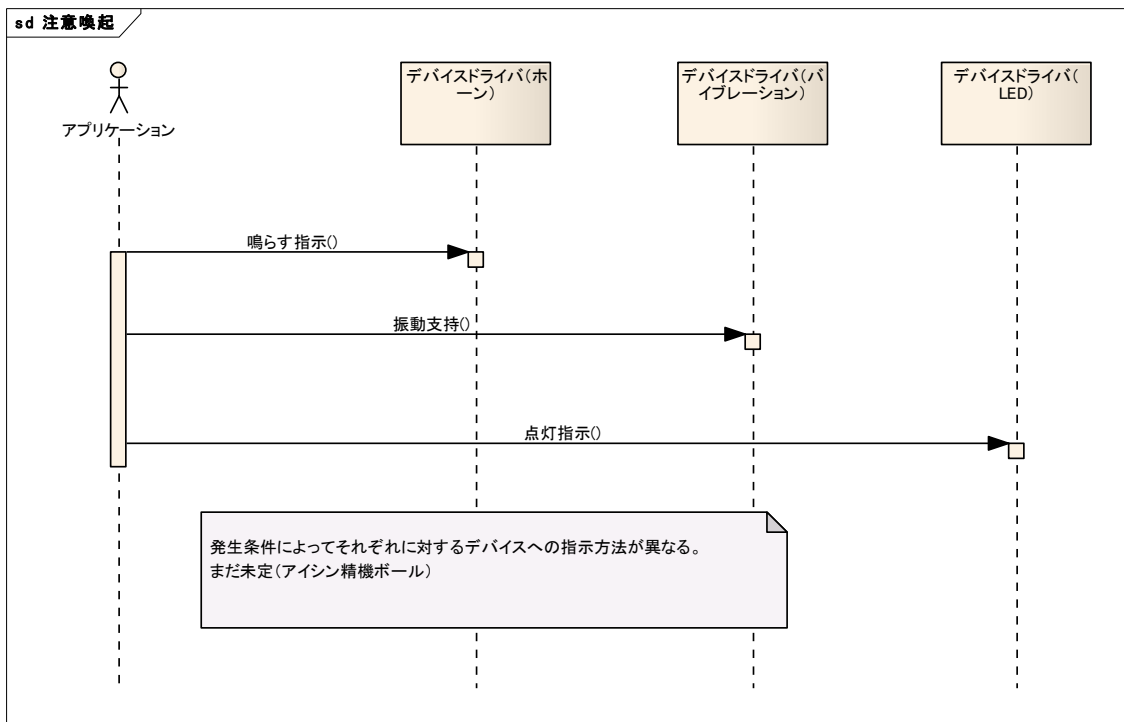


図 3-1-2-9. 12 注意喚起シーケンス

### ■ 駆動電源遮断機能

センサを除く、システム全体にエラーを検知した際は、駆動電源を遮断する。

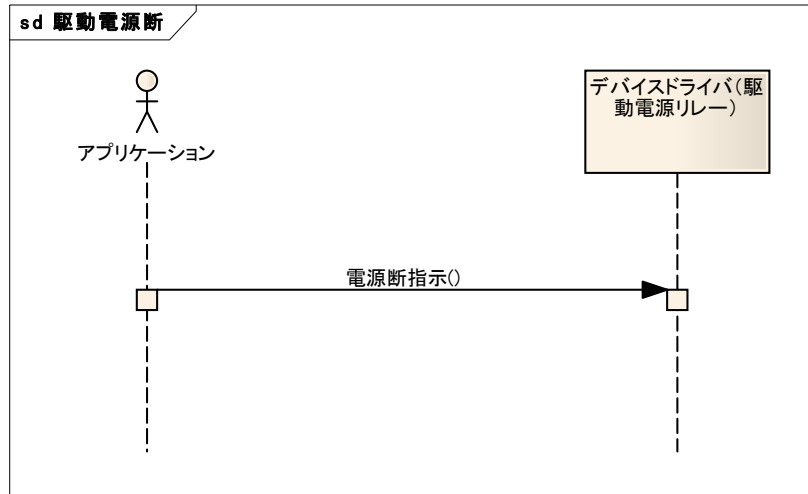


図 3-1-2-9. 13 電源駆動遮断シーケンス

### ■ 初期化

各デバイスドライバやライブラリの初期化処理を行う。

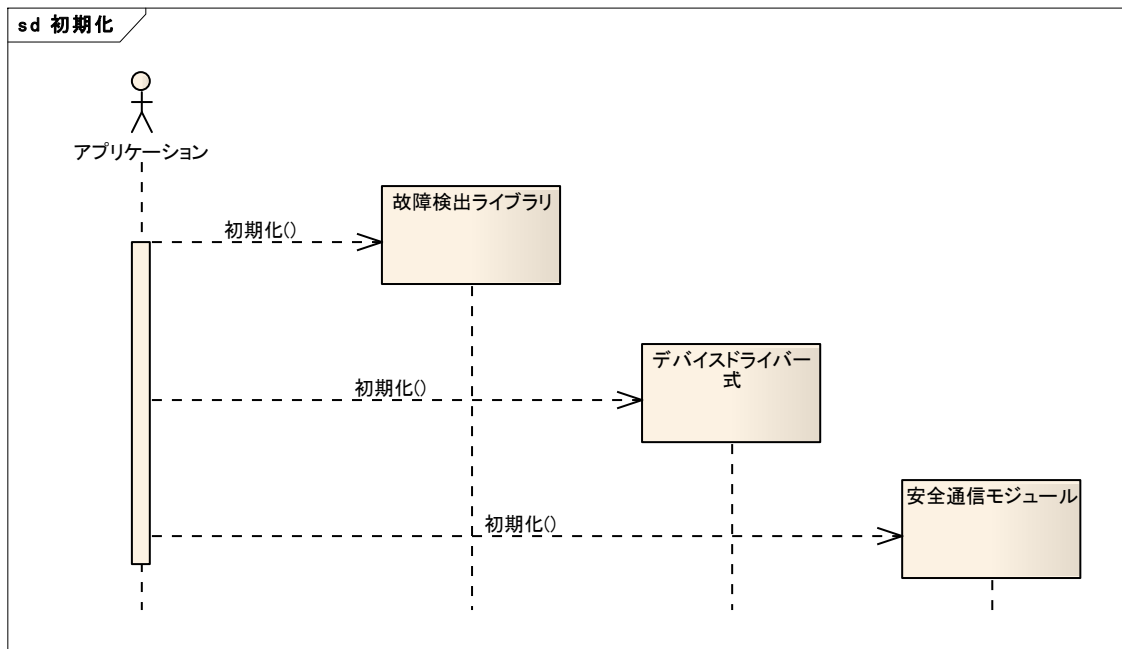


図 3-1-2-9. 14 初期化シーケンス

### 3-1-2-9-2. 安全通信モジュール

安全通信モジュールは、以下の4つの処理からなる。

- 安全通信ライブラリ
- DPRAM I/F 処理
- CAN バス通信処理
- レーザレンジセンサ通信処理

これら4つの処理により、DPRAM を経由してセンサ間通信、CAN 通信を行う。

#### 安全通信ライブラリ

安全通信ライブラリは通信脅威に対する6つの対策を提供する。

##### ■シーケンス番号

シーケンス番号とは、各メッセージの送信した順番を通信相手に通知するための値である。シーケンス番号は、初期値0から変化量(送信データサイズ+1)をメッセージ送信ごとに変化させていく。

送信メッセージへのシーケンス番号の付加、および、受信メッセージ内のシーケンス番号のチェックを行う。

受信メッセージ内のシーケンス番号のチェックは、安全通信モジュールで保持している受信予定のシーケンス番号と受信メッセージ内のシーケンス番号を比較することで処理する。

##### ■タイムスタンプ

送信メッセージにタイムスタンプを付加する。

また、受信メッセージのタイムスタンプを確認し、不正な値、受け入れがたい遅延のチェックを行う。

通信先との時刻を同期するため、時刻同期を行う。

##### ■到着想定時間

到着想定時間を越えることがないように、メッセージ送信間隔の時間を提供する。受信したメッセージが、アプリケーション側により指定された到着想定時間を越えているかのチェックを行う。

##### ■接続認証

接続認証に必要なIDの情報を送信メッセージ内にセットする。

ID とは自分と他の通信相手を識別できる、アプリケーション側により指定されたユニークな値を指す。

受信メッセージ内の ID をチェックし、メッセージの送信元が正しいかのチェックを行う。

#### ■フィードバックメッセージ

受信メッセージに対してフィードバックメッセージの送信を行う。

フィードバックメッセージには、他のメッセージと区別できるようにメッセージ種別を含める。メッセージ種別の詳細については「安全通信プロトコル仕様書 Ver 0.01 3.1 章 時刻同期」を参照すること。

メッセージ送信後、フィードバックメッセージの受信待ちを行い、フィードバックメッセージを受信できない場合は、メッセージの再送を行う。

#### ■データの完全性

データの完全性を保証するために、BCH 符号化、および、CRC32 を提供する。

##### ● BCH 符号

- 送信メッセージを BCH 符号化する。
- 受信メッセージの BCH 符号をチェックする。

##### ● CRC

- 送信メッセージに CRC を付加する。
- 受信メッセージの CRC チェックを行う。

#### ■DPRAM I/F 処理

DPRAM へのメッセージの書き込み、および DPRAM からのメッセージの引き取りを行う。

DPRAM へのメッセージの書き込みは、各通信処理からの要求により行い、メッセージの書き込み後、通信制御ブロックにメッセージの書き込みを通知する。

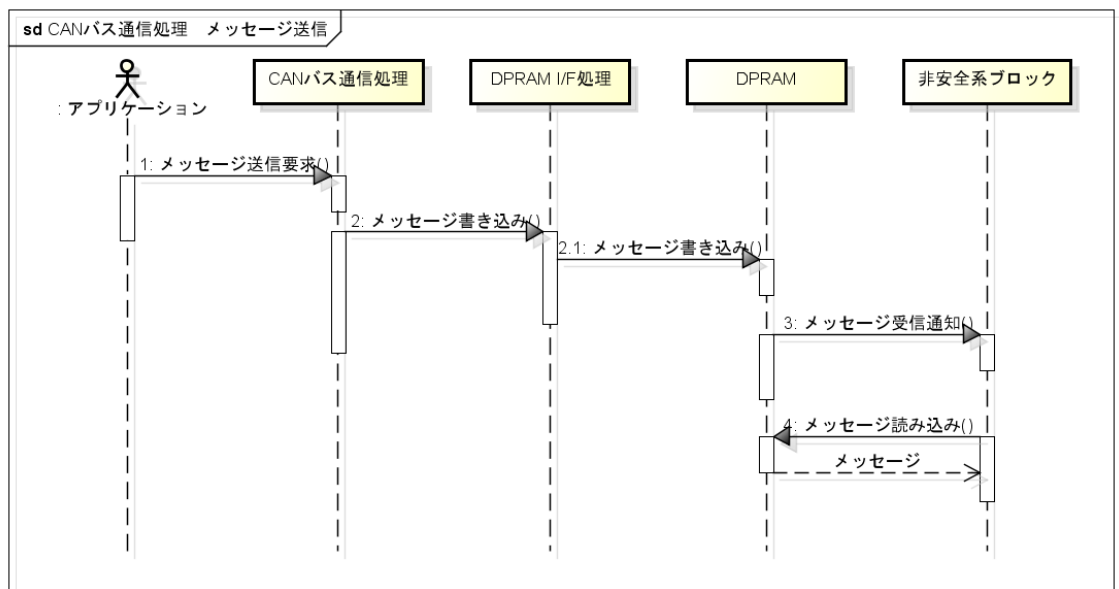
DPRAM からのメッセージの引き取りは、通信制御ブロックからのメッセージの通知により対応する通信タスクにメッセージの受信を通知する。メッセージ受信を通知された各通信処理は、DPRAM よりメッセージを引き取る。

## ■ CAN バス通信処理

### ▽メッセージ送信

DPRAM I/F 処理を使用して、アプリケーションより要求されたメッセージの送信を行う。

送信したメッセージは、DPRAM を通して通信制御ブロックより CAN 上に送信される。



powered by astah

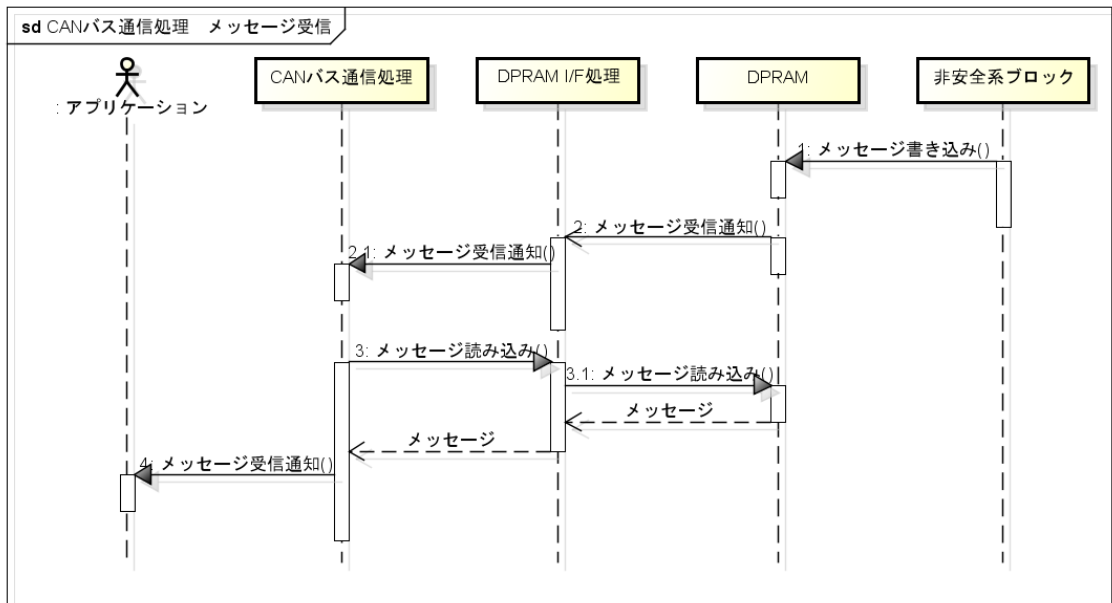
図 3-1-2-9. 15 CAN メッセージ送信シーケンス



### ▽メッセージ受信

通信制御ブロックにて CAN より受信したメッセージは、DPRAM を通して DPRAM I/F 処理経路で CAN 通信処理に通知される。

CAN 通信処理に渡されたメッセージは、アプリケーションに通知される。



powered by astah

図 3-1-2-9. 16 CAN メッセージ受信シーケンス

## ■ レーザレンジセンサ通信処理

### ▽ コマンド送信

レーザレンジセンサへのコマンド送信は、レーザレンジセンサ通信処理が、コマンドを作成し、DPRAM I/F 処理を使用して行う。コマンドとはレーザレンジセンサと通信するための通信メッセージを指す。メッセージの詳細についてはレーザレンジセンサが用意するコマンド (FX8 型測距センサ通信インタフェース仕様書) を参照すること。

コマンドは DPRAM を通して、通信制御ブロックに実装された TCP/IP プロトコルスタックにより、Ethernet によりレーザレンジセンサに送信される。

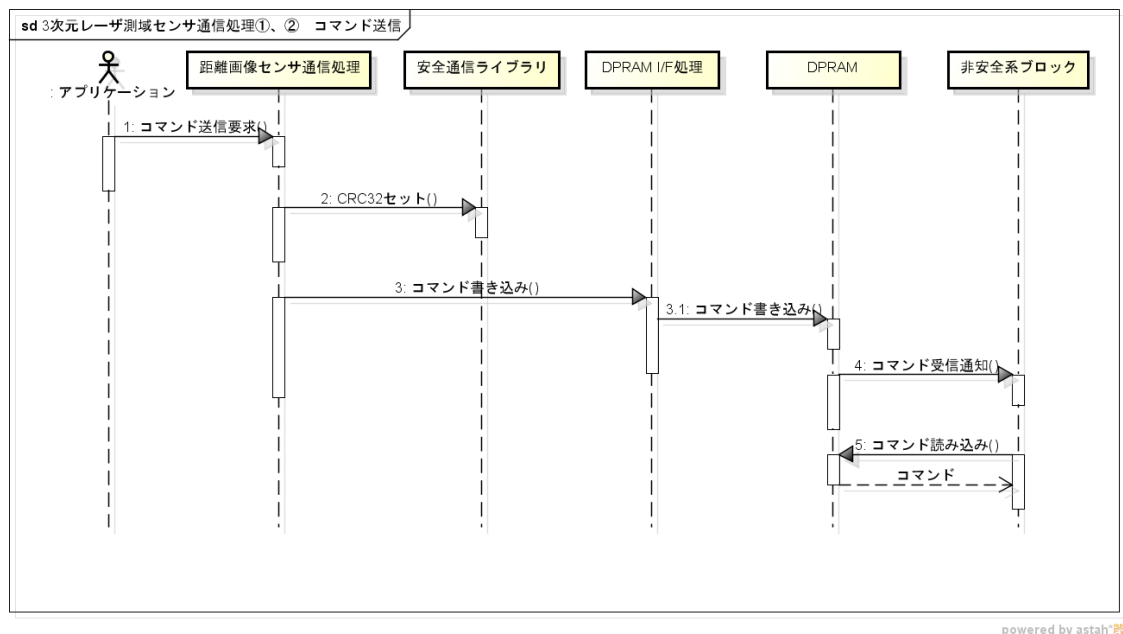


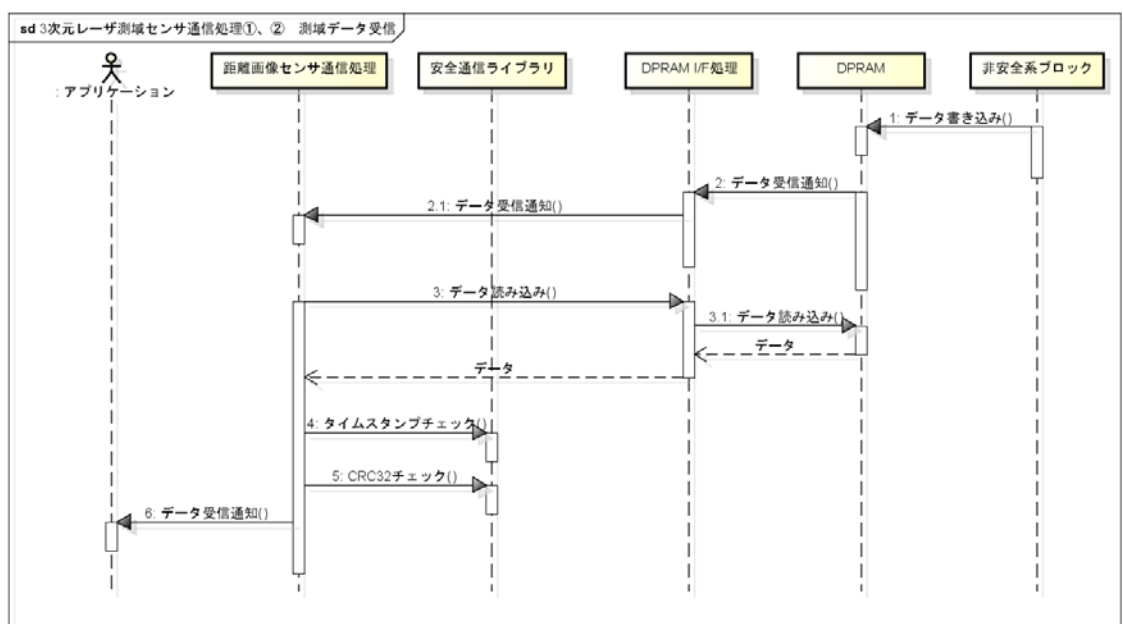
図 3-1-2-9. 17 レーザレンジセンサコマンド送信シーケンス

### ▽測域データ受信

通信制御ブロックにて受信した測域データは、DPRAM を通して DPRAM I/F 処理経路でレーザレンジセンサ通信処理に通知される。

レーザレンジセンサ通信処理は、安全通信ライブラリを利用して、CRC チェック、および、タイムスタンプのチェックを行う。

レーザレンジセンサ通信処理に渡された測域データは、アプリケーションに通知される。



powered by astah

図 3-1-2-9. 18 測域データ受信シーケンス

#### ▽時刻同期

レーザレンジセンサ通信処理が、時刻同期タイミングにて、レーザレンジセンサに対して、時刻同期コマンドを送信する。

時刻同期コマンドはリスク算出ユニットとレーザレンジセンサで時刻同期を行うためのメッセージを指す。メッセージの詳細についてはレーザレンジセンサが用意するコマンド（FX8 型測距センサ通信インタフェース仕様書）を参照すること。

レーザレンジセンサは、時刻同期コマンドを受信すると、時刻同期メッセージを送信する。この時刻同期メッセージに対して、応答を行う事で、レーザレンジセンサの時刻同期が完了する。

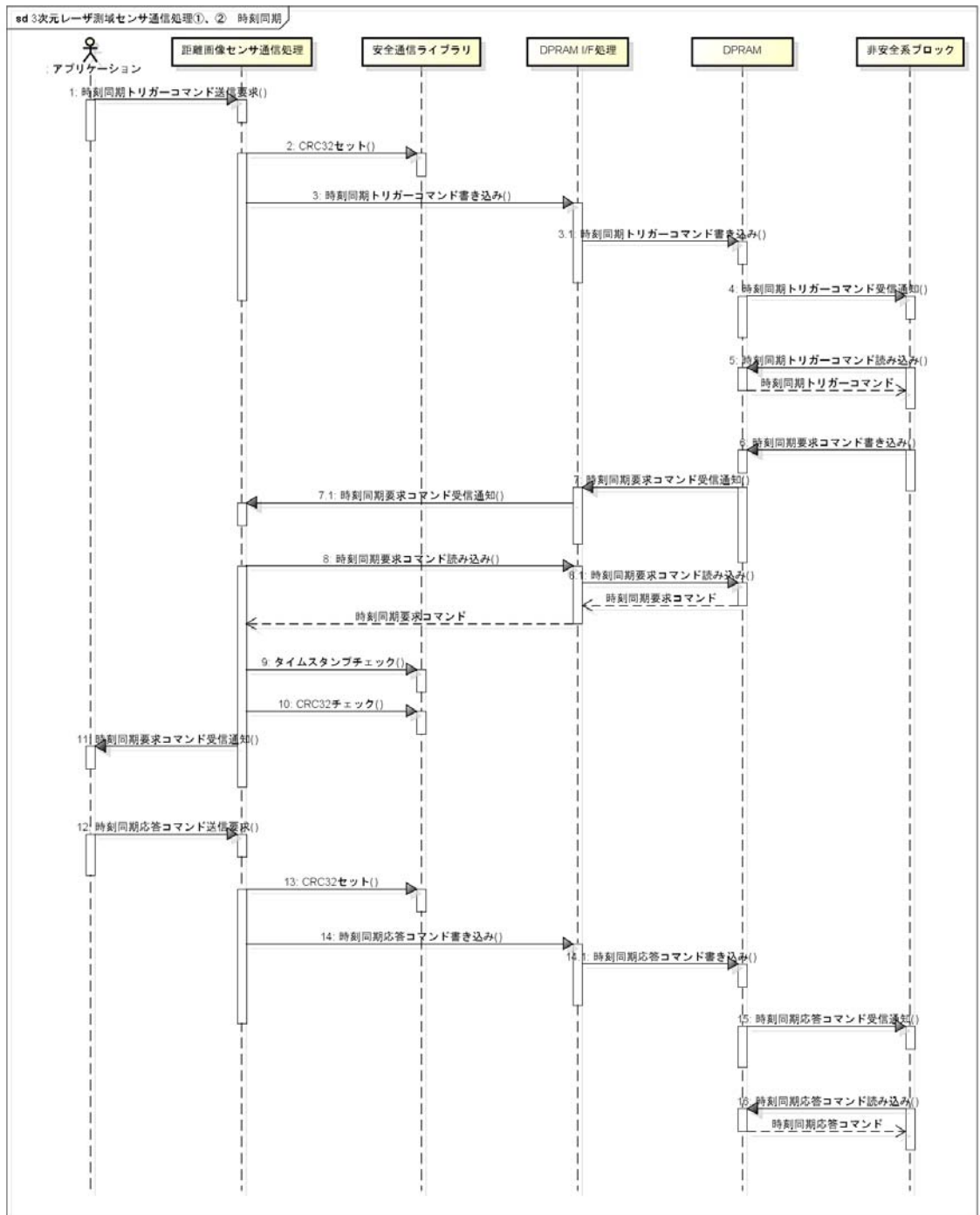


図 3-1-2-9. 19 時刻同期シーケンス

### 3-1-3. リスク低減アルゴリズム開発（千葉工業大学）

許容リスク以下安全移動支援技術の基本理念は、安全性を確保したうえで最大限操縦者の意思に即した移動を実現することである。そのため、リスク低減アルゴリズムは他の自律移動ロボットにみられるような自動操縦機能を提供するものではない。搭乗型移動ロボットはあくまで操縦者によりコントロールされ、移動に伴うリスクが規定値以上になったときにだけ速度制限が適用される。つまり、リスク低減アルゴリズムが介入する操作は減速のみであり、ロボットの操舵と加速は操縦者によってのみ行われる。

以上の基本理念のもと、時々刻々と変化する生活空間内における搭乗型移動ロボットの許容リスク以下での走行を実現するため、ロボットの速度制限値を出力するリスク低減アルゴリズムを構築した。ここでの許容リスクとは、開発した搭乗型移動ロボットのリスクアセスメント結果（3-1-1節）および各種安全性試験結果（3-1-5節）に基づいて決定したものである。具体的には以下の条件を満足する限りにおいては許容できるリスクであるものとし、この条件をベースとしてアルゴリズム設計を行った。

- 回避対象への搭乗型移動ロボットの突入速度が1 [km/h]以下であること
- 回避対象から3 [m]以上の距離をもって搭乗型移動ロボットの減速を開始すること

なお、本アルゴリズムは商用化へ向けた低コスト・低リソースなプラットフォームを想定しており、比較的安価なマイコンへの実装も考慮して設計されている。以下、リスク低減アルゴリズムについて説明する。

#### 3-1-3-1. アルゴリズム概要

本アルゴリズムの目的は、搭乗型移動ロボットが生活空間内を移動するにあたり、その利便性を損なわない範囲内で「許容リスク」以下、すなわち一定の安全性が確保される速度制限値を出力することである。例えば、開けた場所では緩やかに、込み入った空間では厳しくロボットに速度制限をかけることによって、利用者は安全かつ快適な走行をすることが可能となる。

リスク低減アルゴリズムを実装した搭乗型移動ロボットの機能ブロック図を図3-1-3-1. 1に示す。リスク低減アルゴリズムを実装した搭乗型移動ロボットの制御システムは、周囲環境をスキャンするための3次元距離センサ、ロボットを操縦用のジョイスティック、および両車輪を駆動するモータドライバと、それらを統合的にコントロールするリスク計算ユニットで構成される。このリスク計算ユニットはロボットの基本的な走行制御を行うメインコントローラと、移動時のリスクに応じて速度制限値を出力する機能安全コントローラからなる。

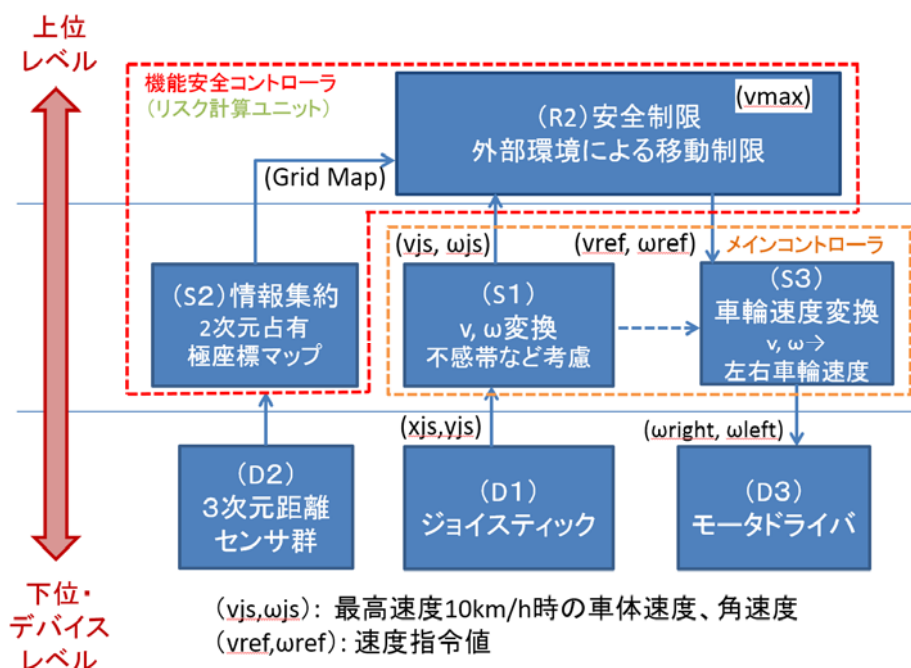


図3-1-3-1. 1 搭乗型移動ロボット機能ブロック

メインコントローラは、ジョイスティックの操作入力  $(xjs, yjs)$  を図3-1-3-1. 2に示すような変換規則に従って直進速度  $v$ 、回転速度  $\omega$  に変換する。図3-1-3-1. 2ではジョイスティックの中立位置には不感帯を設けるなど変換規則の一例を示しているが、別途、車両特性に応じたパラメータ調整を施している。ジョイスティック入力から変換された車両速度  $(v, \omega)$  はそれを実現するロボットの左右車輪速度に置き換えられ、モータドライバによってそれぞれの車輪を駆動し搭乗型移動ロボットが走行する。

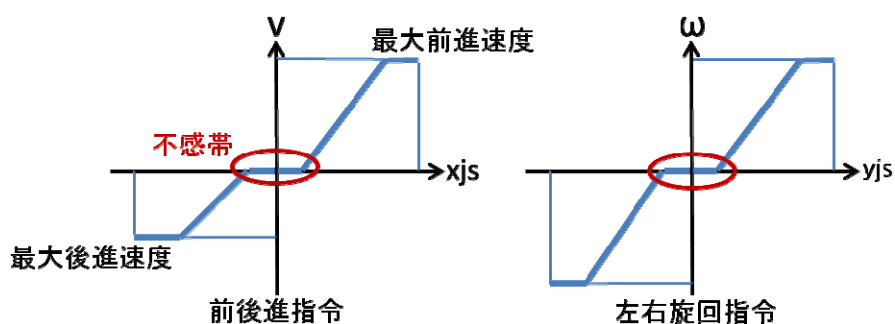


図3-1-3-1. 2 操作入力 - 速度 変換

一方、機能安全コントローラは2次元占有極座標マップ生成ブロックと速度制限値算出ブロックからなり、3次元距離センサより得られる周囲環境情報とメインコントローラを介したジョイスティック操作量  $(xjs, yjs)$  が入力される。走行時の安全性を確保するため

に速度制限が必要と判断された場合には、機能安全コントローラがメインコントローラの車体速度制御に介入し、ロボットの速度が制限される。

以上のような構成により、何らかの理由で機能安全コントローラが正しく働かない場合にも、メインコントローラのみによってシステムが通常の電動車椅子（最大速度が6 [km/h]）として機能するように設計されている。

次節以降では、機能安全コントローラの内部処理について述べる。

### 3-1-3-2. 2次元占有極座標マップ生成

周囲環境は、3-2節で述べる TOF タイプのレーザレンジファインダ FX-8 を用いて3次元位置情報を持った点群データとして取得する。得られた点群データは次に述べる「環境情報統合アルゴリズム」により、図3-1-3-1. 3に示すような、ロボットの真上から見た2次元占有極座標マップとして集約される。マップは図3-1-3-1. 4に示すようにグリッド分割され、各グリッドは回避対象の有無を示す占有／非占有情報を持つ。なお、図中では障害物形状を黒で示すとともに、占有と判別されたグリッドを青色で示している。



図3-1-3-1. 3 2次元占有極座標マップ



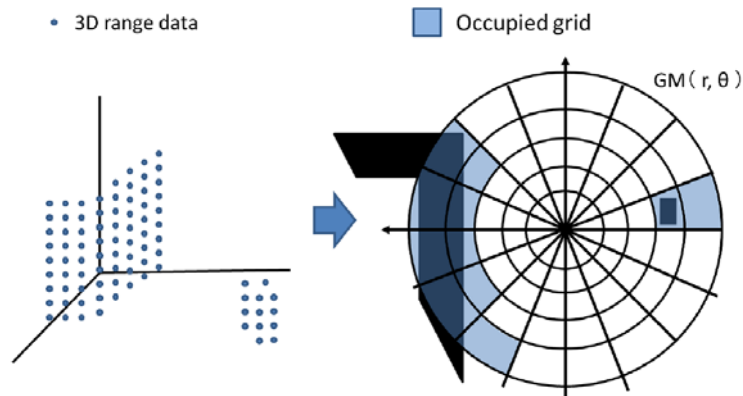


図 3-1-3-1. 4 2次元占有極座標マップの生成

2次元占有極座標マップの生成手順を以下に示す。

【環境情報統合アルゴリズム】

1. 3次元点群データを鉛直方向に重ね合わせ極座標マップ上に投影
2. マップの各グリッド内に投影された点データの数をカウント
3. 閾値処理により各グリッドの占有／非占有を判定

なお、環境情報統合アルゴリズムにおける閾値を「占有判定閾値」とよび、この値は使用するセンサの性能、ロボットの走行環境などにより適宜設定する。

このように3次元位置情報を2次元占有極座標マップへ落とし込むことにより、ロボットを中心とした路面に対応付けて扱いやすくなることに加え、マップ中のグリッドは点群データよりも粗く分割されているため、周囲環境データの大幅な圧縮がおこなわれる。グリッド分割はロボットのサイズやセンサの性能などにも依存するが、マップ化によるデータ圧縮によりロボット実装時のリソース節約、低コスト化が図られ、比較的安価なマイコンをプラットフォームとするシステム実装が容易となっている。

3-1-3-3. 速度制限値算出

「生活空間内移動リスク算出アルゴリズム」とその出力に基づいた、「リスク低減速度算出アルゴリズム」について述べる。

生活空間内移動リスク算出アルゴリズムでは、生活空間内の移動リスクを障害物や歩行者との接触に伴うリスクと捉え、得られた2次元極座標マップ上にロボットの予測進路を重ね合わせ、進路近傍の占有グリッドの有無を判別することで、回避対象と接触する可能性を判別する。例として、図3-1-3-1. 5にロボットの予測進路を重ね合わせた2次元占有極座標マップを示す。

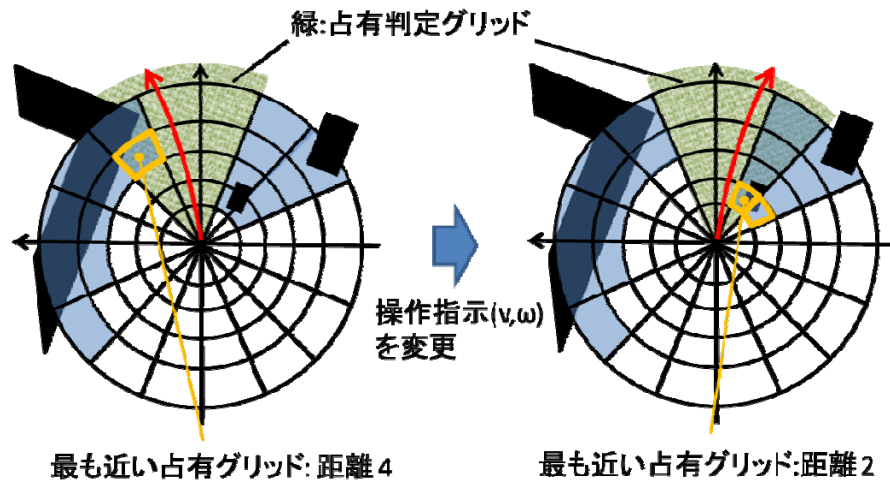


図3-1-3-1.5 ロボットの予測進路を重ね合わせた2次元占有極座標マップ

以下に生活空間内移動リスク算出アルゴリズムの算出手順を示す。

【生活空間内移動リスク算出アルゴリズム】

1. ロボット予測進路の算出

ジョイスティック操作量から求めたロボット予測進路を算出する（図3-1-3-1.5 赤矢印）

2. 占有検索グリッドの決定

ロボットの車幅や予測進路の誤差を考慮して、ロボットの予測進路が横切るグリッドに加えその円周方向両側のグリッドを占有検索グリッド（緑色グリッド）として設定する

3. 最も近傍にある占有グリッドの検出

占有検索グリッド内で最も近傍にある占有グリッドを検出するとともにその占有グリッドまでの距離を求め、生活空間内移動リスクとする

上記の通り、リスク低減アルゴリズムでは、占有検索グリッド内で最も近傍にある占有グリッドまでの距離をその瞬間における生活空間内移動リスクとして扱う。

続いて、リスク低減速度算出アルゴリズムについて述べる。リスク低減速度算出アルゴリズムは上記の生活空間内移動リスクに応じて適切なロボットの制限速度を算出する。出力された制限速度はメインコントローラへと引き渡され、操縦者によって制限速度を超えるジョイスティック入力が行われた場合にはその操作に介入してロボットの速度を制限する。

生活空間内移動リスク（占有検索グリッド内においてロボットに最も近い占有グリッド

までの距離) に対するリスク低減速度の決定ルールの一例を図3-1-3-1.6に示す。リスク低減速度の決定ルールは加速・減速性能をはじめとするロボットのスペックや利用用途などによって異なるため、ロボット実装時に適宜設定する。

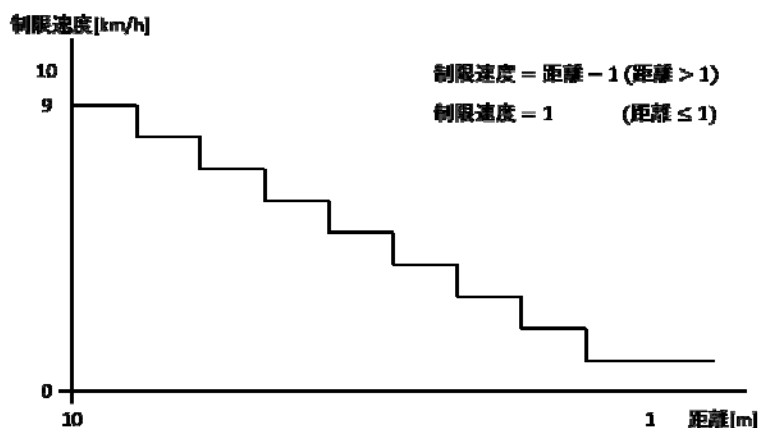


図3-1-3-1.6 生活空間内移動リスクに応じたリスク低減速度の決定ルール

なお、開発した検証機は、最大速度 10[km/h]で走行時に制動距離 3[m] (搭乗者の体重 75[kg]時) となっており、3次元距離センサは、およそ 10[m]先の物体を検出可能 (検出距離は対象物に依存。3-2節参照。) を搭載している。システムの制御周期は 66[ms]となっており、この車体を用いる限りにおいては、理論上、回避対象に対し 3[m]以上手前から速度制限がかかるとともに、突入速度を 1[km/h]以下に抑えることが可能であり、十分な安全性を担保することができる。なお、検証機を用いた評価結果については生活支援ロボット安全検証センターにおける評価を3-1-5節に、つくばロボット特区における公道走行実験の結果を4章に示す。

#### 3-1-3-4 開発支援ツール

リスク低減アルゴリズムを開発するにあたり、システム内部を可視化し、開発サイクルの効率化をはかるためにアルゴリズムの開発と並行して「リアルタイム状態ビューア」を開発した。開発したリアルタイム状態ビューアの GUI を図3-1-3-1.6に示す。

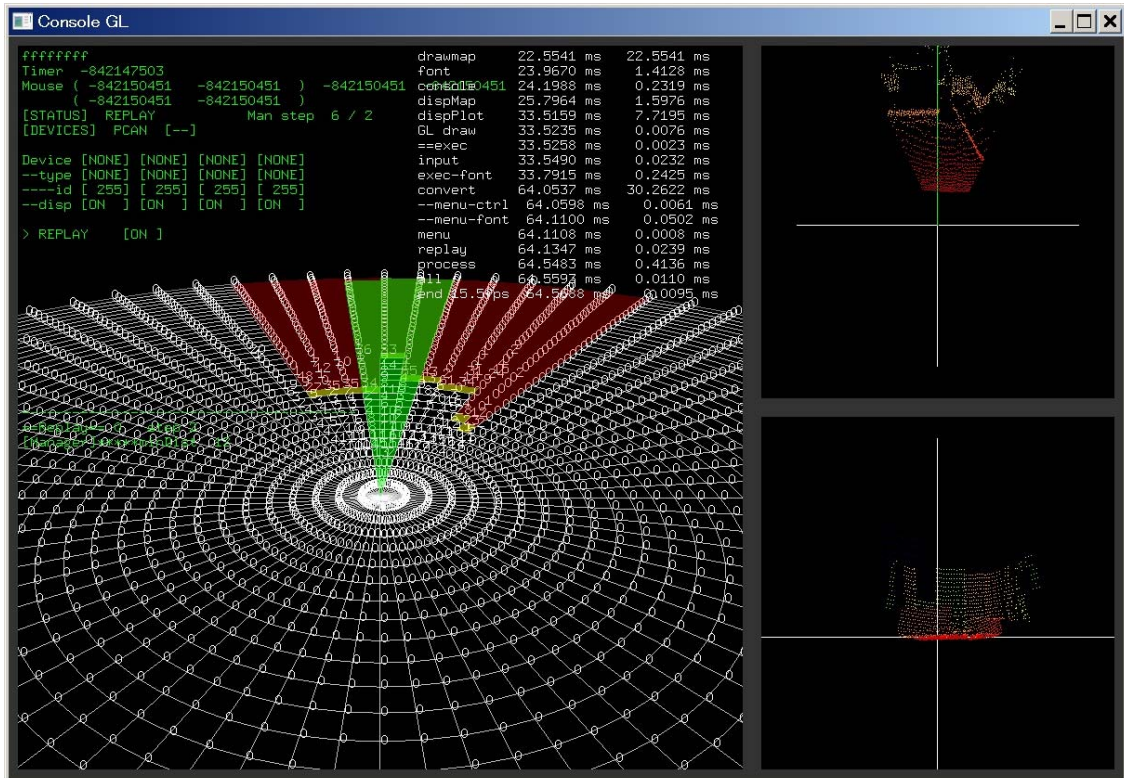


図 3-1-3-1. 6 リアルタイム状態ビューア GUI

図 3-1-3-1. 6 の左側は 2 次元占有極座標マップをロボットの後方斜め上から見下ろしたものであり、緑のグリッドは占有検索グリッド、黄色のグリッドは占有グリッド、そして赤のグリッドは死角領域を示している。右側の上下に並んだ表示は 3 次元距離センサから得られる点群を異なる視点で表示したものであり、各点はそれぞれ 3 次元座標を持ち、高さに応じて色付けされている（赤：低い ~ 緑：高い）。これら 3 画面の視点はそれぞれマウス操作により自在に変更できる。

また、画面左側上部には、ジョイスティック入力、ロボットへの速度指令値、リスク低減アルゴリズムより出力される制限速度が示されるとともに、2 次元占有極座標マップの各グリッドには、そのグリッドに投影された検出点の数がリアルタイム表示されており、占有グリッドとして判定されないグリッドについても、そのグリッドに検出点が投影されているかどうかを確認できるようになっている。さらに、このリアルタイム情報ビューアはデータの記録・再生機能に加えてリスク低減アルゴリズム実行機能を備えており、ロボットの実機を使うことなく、ビューア単体で容易に実験データの再現が可能となっている。加えて、本ビューアは各機器からのブロードキャスト通信によりデータを取得可能であるため、実機を用いた実証実験時においても実機と競合することなく完全に並列に機能する。

#### 3-1-4. 検証機の試作（アイシン精機）

ロボットの安全機能のアルゴリズム開発、安全要素部品群の搭載検討、性能検証、実用性検証を実施するため、4種類の検証機を試作した。それぞれの試作ロボットについて図3-1-4-1から図3-1-4-4に示す。アルゴリズム開発用の0号機は、安全要素部品群のセンサレイアウトとアルゴリズムとの整合性検証を優先し、ロボット中央にセンサ位置調整が可能な調整具を設け搭載している。また、安全機能の制御はLinuxベースのノートパソコンにて実現した。これにより、単に安全機能の機能確認だけでなく、センサからの取込情報分析や、アルゴリズムの動作分析などを実行する解析ツールや解析結果の表示が容易となり、スムーズにアルゴリズム開発を進める事ができた。

1号機では、安全機能を制御する制御部を図3-1-4-5に示すマイコンボードにて実現した。この制御部は、リスク計算ユニットと称し、その設計と安全分析については前述した通りである。1号機は、A、B、Cの三種類を試作している。Aはロボット搭乗者の乗降性とセンサの搭載性を加味し可動式のプレート上に安全要素部品群のセンサを配置した。B、Cはさらに実用化を意識し、更なる乗降性の改善と安全要素部品群の再選定を行いロボット片側に操作系と安全機能部をコンパクトにまとめた搭載構造とした。

1号機の仕様を図○に示す。ロボットのサイズは、全幅66cm、全長94cm、全高85cmとなっており、JIS T9203で示される電動車いすの最大寸法におさめている。駆動源は、主に90WのDCモータ、減速機、クラッチ、電磁ブレーキ、駆動制御回路から構成されており、これを左右の車輪に配置してある。搭乗者が、操作部に設けられたジョイスティックを操作すると、操作部はそれに適した左右駆動源の出力を計算し、CAN通信を通して、出力制御の指示を出す。この左右の駆動源の出力を制御する事で、ロボットの速度と進路の制御を実現する。

安全機能部は、センサからの情報を元に、リスクを計算し、その時々状況に応じた適切な最高速度を計算し、その速度以下になるようCAN通信を通して操作部に速度指示を出す。同時に、安全機能部には、直接警告音を出すホーンとジョイスティックを振動させるバイブレーション機構を設けてあり、最高速度制限と同様に判定リスクに基づき、周囲歩行者及び搭乗者に対し、音と振動によりリスク回避のための注意喚起を行う。





(a)アルゴリズム開発

(b)正面

(b)背面

図 3-1-4-1. 0号機 (アルゴリズム開発用)

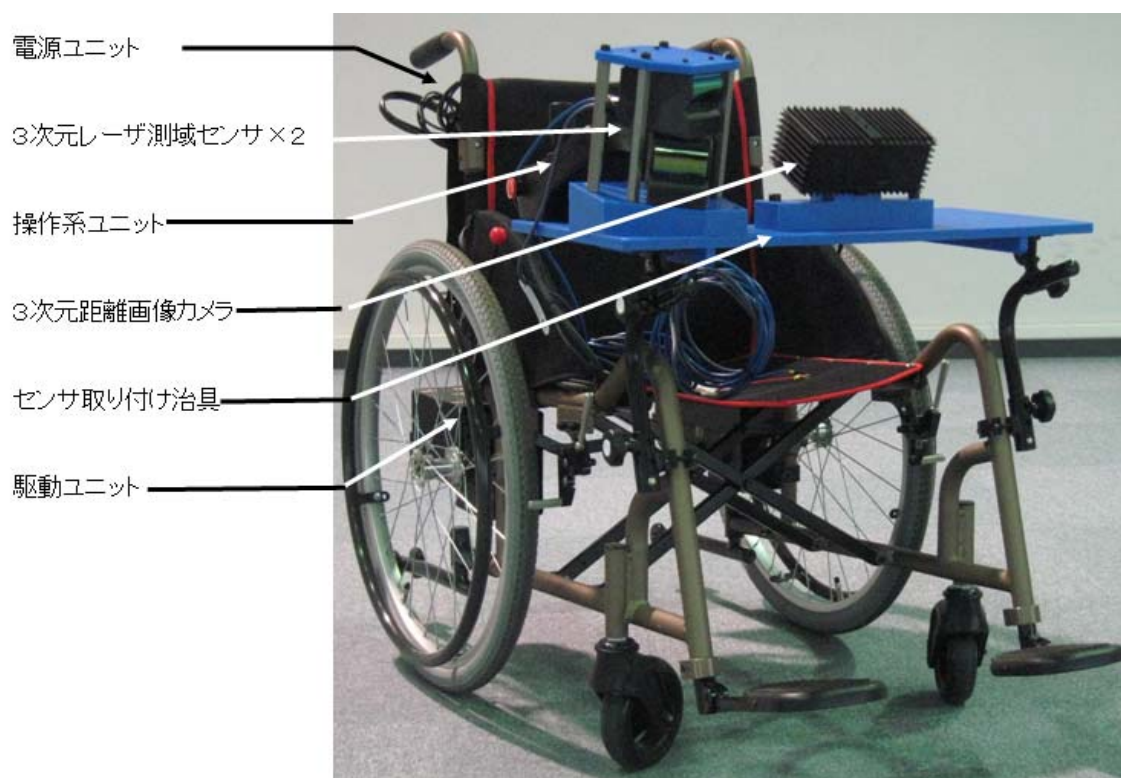


図 3-1-4-2. 1号機 A (センサ搭載検討用)

搭乗型生活支援ロボット  
 車名:アイシン 型式:PC20M10022L  
 車台番号:ZJ1132001  
 登録番号:TSUKUBA MR117

標 識



諸元表

| 項目          |       | 仕様                      |
|-------------|-------|-------------------------|
| サイズ         | 全幅    | 66cm                    |
|             | 全長    | 94cm                    |
|             | 全高    | 85cm                    |
| 車輪          | 車輪径   | 22インチ                   |
|             | 輪距    | 56cm                    |
| 重量(バッテリー無し) |       | 30kg                    |
| 駆動源         | DCモータ | 90W×2                   |
|             | 方式    | 後輪直接駆動                  |
|             | 切換    | 手動クラッチ操作による電動/手動切替可能    |
| 最高速度        |       | 10km/h                  |
| 速度制限機能      |       | 周囲環境により車両側で速度制限(減速)をかける |
| 最大使用者体重     |       | 75kg                    |



外観図



図3-1-4-3. 1号機B (実証実験用、特区基準緩和認定・標識取得済み)



図3-1-4-4. 1号機C (実用化検討)

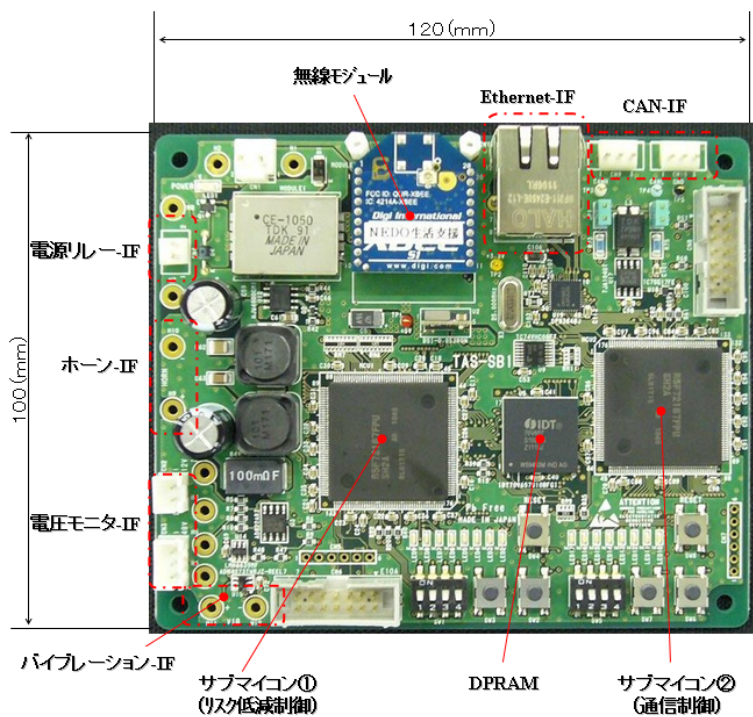


図3-1-4-5. リスク計算ユニット (制御回路)



### 3-1-5. 検証機の性能評価（アイシン精機）

試作した検証機の性能について、つくば市にある生活支援ロボット安全検証センターにて評価を実施した。生活支援ロボット安全検証センターでは、すでに生活支援ロボット特有の性能評価を実施すべく、専用設備導入と試験項目が設定されており、開発ロボットの安全性検証に妥当な試験項目を選定し性能評価を実施できる。ロボットが設定された要求仕様を満足しているかを確認し、未達であれば、達成するまで技術改良を施し、仕様を満足する事を確認した上で、実証実験のステップへ進む。

生活支援ロボット安全検証センターでは、表3-1-5に示す、17項目の試験項目があり、当開発ロボットの評価に関する試験項目の選定を行った。さらに、関係する試験項目の内、開発ロボットが持つ新しい機能・性能に関する試験項目を絞り込み、実際に生活支援ロボット安全検証センターにて性能評価を実施した。

当開発ロボットは、電動車いすJIS T9203規格をベースとし、その最高速度を時速10kmまで拡張したものである。またベース規格を超越する速度域での安全対策として周囲環境状況に基づく最高速度の制限と注意喚起の機能が実装されている。従って、ベース規格で規定される最高速度である時速6kmを超越する領域と超越する領域における安全対策の性能評価に関する試験項目に絞り、試験内容の立案・計測・評価を実施した。具体的には、対人安全性項目である衝突安全性能試験、安定性項目である走行安定性試験、制御性能項目である環境認識性能試験及び障害物検知・対応試験である。それぞれの試験内容・評価結果について以下に示す。

表3-1-5. 生活支援ロボット安全検証センター試験項目一覧

| 試験項目      |       |               |  | 使用する検証センターの装置                           | アイシ<br>ン<br>コソ |
|-----------|-------|---------------|--|---|----------------|
| 分類        | 試験No. | 項目            | 概要   |   |                |
| 耐環境性      | 1     | 耐環境試験(温湿度+振動) | ロボット本体及び構成部品の最悪想定使用環境(温度・湿度・振動)下における機能の正常性及び安全性への影響を評価する           | 複合環境振動試験装置                              | ○              |
| 機械的強度・耐久性 | 2     | 耐荷重試験         | 運用中に想定される最大静的荷重に対して十分な機械的耐性をもち、安全機能に影響のないことを確認する                   | 耐荷重試験機                                  | ○              |
|           |       |               | 装着型ロボットの使用中に単発的に起こりうる大きな負荷に対して、構造部位が強度的に耐えられることを確認する               | 装着型ロボット強度試験機                            | —              |
|           | 3     | 耐衝撃試験         | 運用中に想定される衝撃的荷重のうち、衝突試験では実現できないものについて、十分な機械的耐性をもち、安全機能に影響のないことを確認する | 耐衝撃試験機                                  | ○              |
|           | 4     | 走行耐久性試験       | 搭乗型・移動型ロボットが長時間連続走行したときの、安全系の耐久性を評価する                              | 走行耐久性試験機(ドラム式)                          | ○              |
|           |       |               | 装着型ロボットを長時間連続稼動したときの、安全系の耐久性を評価する                                  | 走行耐久性試験機(ベルト式)                          | —              |
|           |       |               |  | 装着型ロボット耐久性試験機(トレッドミル)                   | —              |
| 環境への放射物   | 5     | 感電試験          | 通常使用時およびメンテナンス時に、人がロボットに接触した際に感電しないことを確認する                         | 感電試験装置(テストフィンガー)                        | ○              |
|           | 6     | 放射温度測定子権      | 通常使用時およびメンテナンス時に、ロボットの露出部位にやけどの恐れがないことを確認する                        | 放射温度測定装置                                | ○              |
|           | 7     | 騒音試験          | ロボットの周囲の人、および搭乗者が暴露される騒音レベルを確認する                                   | 騒音測定装置<br>走行試験路(平坦路)                    | ○              |
| 安定性       | 8     | 静的安定性試験       | ロボットの静止時の転倒に対する安定性を評価する  | 静的安定性試験機                                | ○              |
|           | 9     | 走行安定性試験       | ロボットが走行する時に、転倒、走路逸脱、搭乗者や積載物の落下がないことを確認する                           | 走行試験路(平坦路)                              | ○              |
|           |       |               |  | 走行試験路(傾斜路)                              | ○              |
|           |       |               |  | 重心移動制御装置                                | —              |
| 制御性能      | 10    | 環境認識性能試験      | 想定される外乱光の中でもロボットが環境を認識できるかどうか(特に人を確実に検出できるかどうか)を評価する               | 環境認識性能試験装置<br>人工太陽装置                    | ○              |
|           | 11    | 軌道追従性能試験      | 自律移動機能をもつロボットが、設定された移動経路に対してどの程度正確に追従できるかを評価する                     |   | —              |
|           | 12    | 障害物検知・対応試験    | 非接触式センサによる障害物の検知および対応性能が仕様通りに機能することを確認する                           | 三次元動作軌跡解析装置(モーションキャプチャ)<br>ロボット走行状態模擬装置 | ○              |
| 対人安全性     | 13    | 挟圧安全性試験       | 接触式センサによるロボットの緊急停止時の停止特性と押し付け力を評価する                                | 衝突試験装置                                  | △              |
|           | 14    | 衝突安全性試験       | ロボットが衝突や転倒した際の、周囲の人や搭乗者の傷害を評価する                                    | 衝突試験装置<br>人体ダミー                         | ○<br>(衝突)      |
|           | 15    | 接触安全性試験       | 装着型ロボットについて、歩行時の膝関節の負担を評価する  | 下肢ダミー                                   | —              |
|           | 16    | 操作・情報提示機能試験   | ロボットのHMI機能である、人による操作や人への情報提示の安定性や安全性を評価する                          | 三次元動作軌跡解析装置(モーションキャプチャ)                 | △(ロボット仕様による)   |
| EMC性能     | 17    | EMC試験         | ロボット本体、およびロボットと周辺環境との無線通信を対象として、EMC性能を評価する                         | EMC試験装置                                 | ○              |

○:安全検証センターにて試験を行う △:安全検証センターの装置を使用できるが条件付き  
×:試験を行いたい、安全検証センターの装置を使用できない —:試験が該当しない

### 3-1-5-1. 衝突安全性能試験

開発対象のロボットのユースケースレベルでのリスクアセスメントについては前述した通りである。リスクレベルの算出には、危害の酷さ、危害の発生確率から算出式を用いて点数化した。その点数を基準点と比較する事でリスク低減の要否を判断し、安全対策を選定・実装した。特にリスク点数の高い危険事象は、衝突や転倒による搭乗者及び周囲歩行者に過大な衝撃が加わる事象である。

従って、リスクアセスメントで見積もった衝突時の危害の妥当性を評価すべく、想定し衝突の衝撃について定量化すると同時に、転倒に至るモードを把握した。設定した評価項目と評価条件、評価方法は、以下の通りである。

#### 【評価項目】

- 1) 衝突時の搭乗者への衝撃力 (印加加速度)
- 2) 衝突時のロボット・搭乗者の転倒、転落モード
- 3) 衝突時の第三者 (歩行者) に対する衝撃力 (印加加速度)
- 4) 衝突時の第三者の転倒モード
- 5) 衝突時のロボットの破損状況

尚、ISO 13482の関連要求項目は以下の通り、

5. 4 Hazards due to robot shape
5. 5. 3 Hazardous substances and fluid
5. 8. 3 Instability during travel
5. 8. 5 Instability in case of collision
5. 8. 8 Hazardous physical contact during human-robot interaction
6. 7 Force restriction and safety-related force control

#### 【評価条件】

- 1) ロボットの衝突速度：1 km/h、6 km/h、10 km/h
- 2) 衝突対象：障害物 (壁、縁石)、歩行者
- 3) 衝突条件：正面、オフセット、歩行者の向き (前、横、後)
- 4) 搭乗者：女性相当 (40 kg)、男性相当 (75 kg)、無人
- 5) 路面：平坦路

### 【評価方法】

- 1) ロボットの走行：1 km/h時は自走、6 km/h、10 km/h時は牽引装置を使用
- 2) 衝撃力の測定①（搭乗者）：ダミー人形2種類（男性、女性）の加速度及び荷重
- 3) 衝撃力の測定②（歩行者）：ダミー人形1種類（子供）の加速度及び荷重
- 4) 衝撃力の測定③（障害物）：バリア（壁）の荷重
- 5) 転倒モード測定：高速ビデオ画像

実際の試験は、生活支援ロボット安全検証センター内の対人試験関連エリアに設置された牽引装置、牽引台車、衝突用バリア、人体ダミーを使用し実施した。その実験の様子を図3-1-5-1-1に示す。また、実施した試験の組合せを表3-1-5-1に示す。

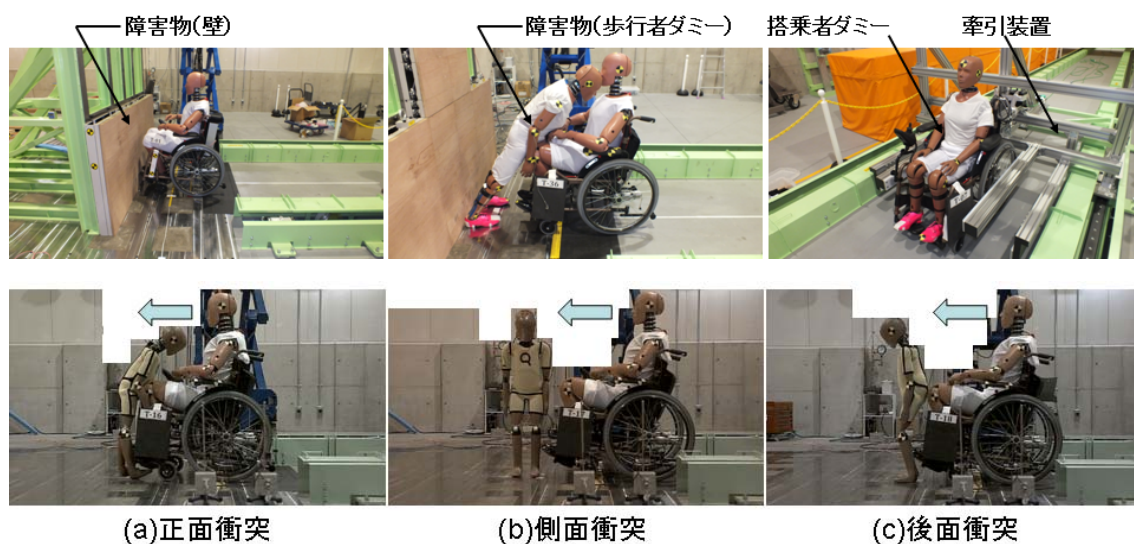


図3-1-5-1-1. 衝突安全性能試験の様子

表3-1-5-1. 衝突安全性能試験組合せ

| 試験番号 | 衝突形態     | 目標衝突速度(km/h) | 衝突速度(km/h) | ロボット搭乗者 | 第三者(歩行者) |    |
|------|----------|--------------|------------|---------|----------|----|
|      |          |              |            |         | 種類       | 向き |
| T-01 | バリアフルラップ | 1.0          | 0.85       | 無       |          |    |
| T-02 | ↑(挟まれ)   | 1.0          | 0.95       | 男性      | 子供       | 正面 |
| T-03 | ↑(挟まれ)   | 1.0          | 0.84       | ↑       | 子供       | 正面 |
| T-04 | ↑(挟まれ)   | 1.0          | 0.89       | ↑       | 女性       | 正面 |
| T-05 | ↑(挟まれ)   | 1.0          | 0.92       | ↑       | 女性       | 正面 |
| T-06 | バリアフルラップ | 6.0          | —          | 無       | —        | —  |
| T-07 | ↑        | 6.0          | 6.33       | 女性      | —        | —  |
| T-08 | ↑        | 6.0          | 6.36       | 男性      | —        | —  |
| T-09 | バリアオフセット | 6.0          | 6.12       | ↑       |          |    |
| T-10 | ↑        | 6.0          | 6.11       | 女性      |          |    |
| T-11 | ↑        | 6.0          | 6.00       | 無       |          |    |
| T-12 | 縁石       | 6.0          | 6.01       | ↑       |          |    |
| T-13 | ↑        | 6.0          | 6.01       | 女性      |          |    |
| T-14 | ↑        | 6.0          | 6.17       | ↑       |          |    |
| T-15 | ↑        | 6.0          | 6.33       | 男性      |          |    |
| T-16 | 歩行者衝突    | 6.0          | 6.25       | ↑       | 子供       | 正面 |
| T-17 | ↑        | 6.0          | 6.24       | ↑       | ↑        | 側面 |
| T-18 | ↑        | 6.0          | 6.22       | ↑       | ↑        | 後面 |
| T-19 | ↑        | 10.0         | 10.16      | ↑       | ↑        | 正面 |
| T-20 | ↑        | 10.0         | 10.14      | ↑       | ↑        | 側面 |
| T-21 | ↑        | 10.0         | 10.16      | ↑       | ↑        | 後面 |
| T-22 | ↑        | 6.0          | 6.16       | ↑       | 女性       | 正面 |
| T-23 | ↑        | 6.0          | 6.16       | ↑       | ↑        | 側面 |
| T-24 | ↑        | 6.0          | 6.15       | ↑       | ↑        | 後面 |
| T-25 | 歩行者衝突    | 10.0         | 10.19      | ↑       | ↑        | 正面 |
| T-26 | ↑        | 10.0         | —          | ↑       | ↑        | 側面 |
| T-27 | ↑        | 10.0         | 10.16      | ↑       | ↑        | 後面 |
| T-28 | 縁石       | 10.0         | 9.71       | ↑       | —        | —  |
| T-29 | ↑        | 10.0         | 9.35       | 無       | —        | —  |
| T-30 | バリアオフセット | 10.0         | 9.43       | ↑       | —        | —  |
| T-31 | ↑        | 10.0         | 9.66       | 男性      | —        | —  |
| T-32 | バリアフルラップ | 10.0         | 9.63       | ↑       | —        | —  |
| T-33 | ↑        | 10.0         | 9.58       | 女性      | —        | —  |
| T-34 | ↑        | 10.0         | 9.50       | 無       | —        | —  |
| T-35 | 挟まれ      | 10.0         | 10.20      | 男性      | 子供       | 正面 |
| T-36 | ↑        | 10.0         | 10.08      | 男性      | 女性       | 正面 |

衝突時の搭乗者及び第3者への衝撃については、人体ダミーに設置された各加速度計の加速度値をもとに、頭部障害基準値（HIC：Head Injury Criterion）を算出した。さらに、重症度を表すコード体系であるAIS（Abbreviated Injury Scale）を衝突安全性評価の指標として用い、算出したHICとの対応付けを行うことで、安全性の一つの基準とした。尚、本試験及び、計測したデータ解析（HIC、AIS算出）は財団法人日本自動車研究所殿に実施していただいた。試験の結果を図3-1-5-1-2～図3-1-5-1-10に示す。

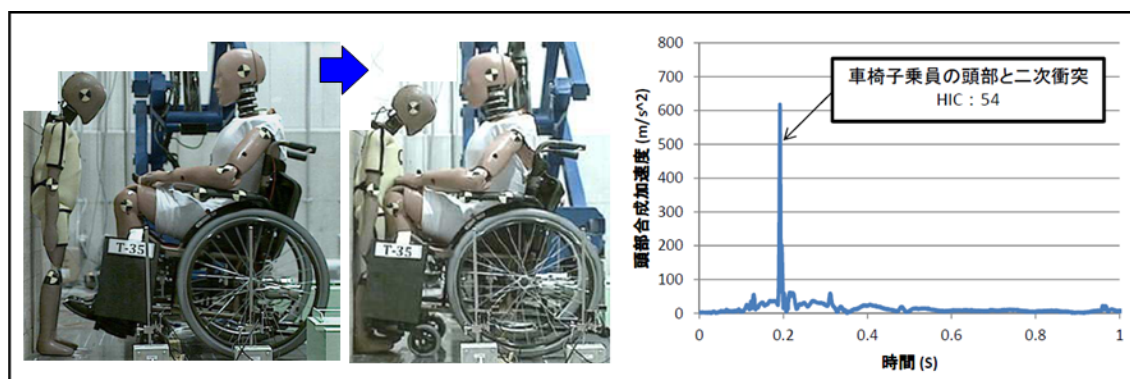


図3-1-5-1-2. T-35試験結果（挟まれ：子供）

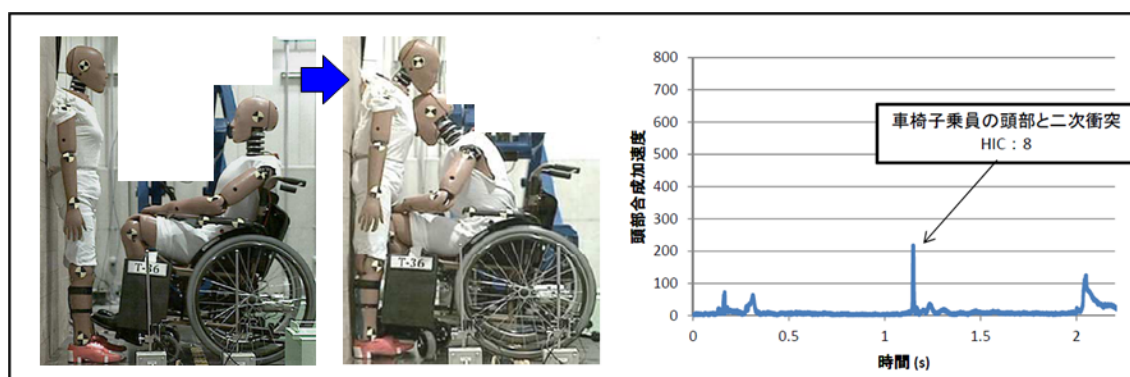


図3-1-5-1-3. T-36試験結果（挟まれ：女性）

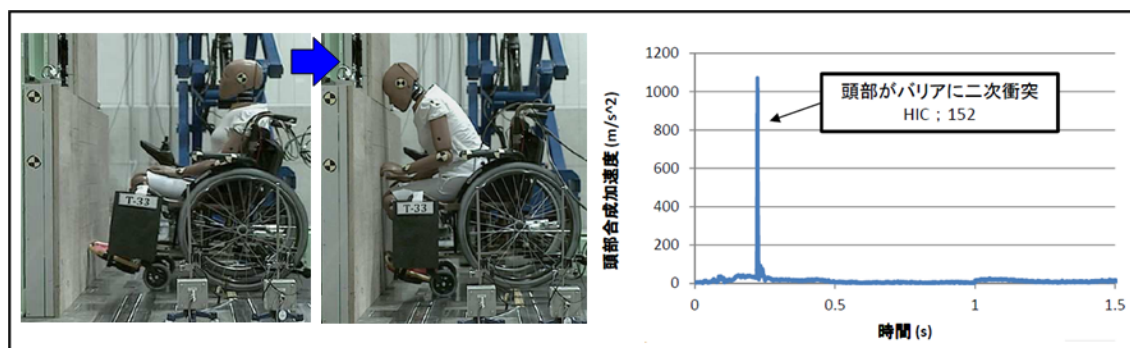


図3-1-5-1-4. T-33試験結果（バリアフルラップ：女性）



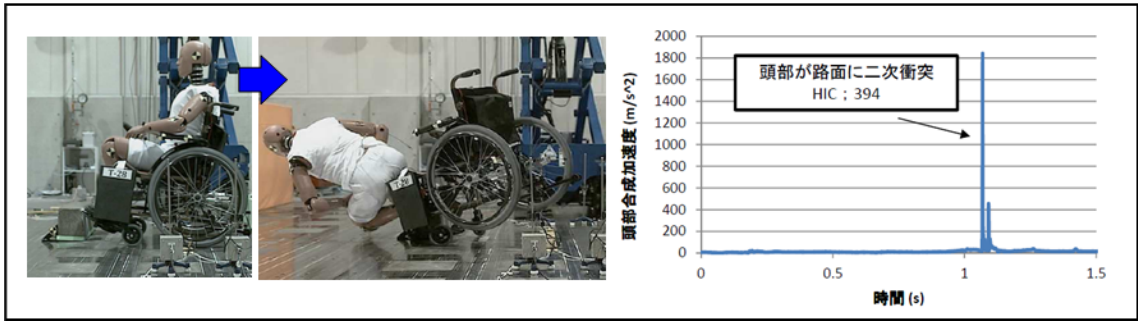


図 3-1-5-1-5. T-28 試験結果 (縁石: 男性)

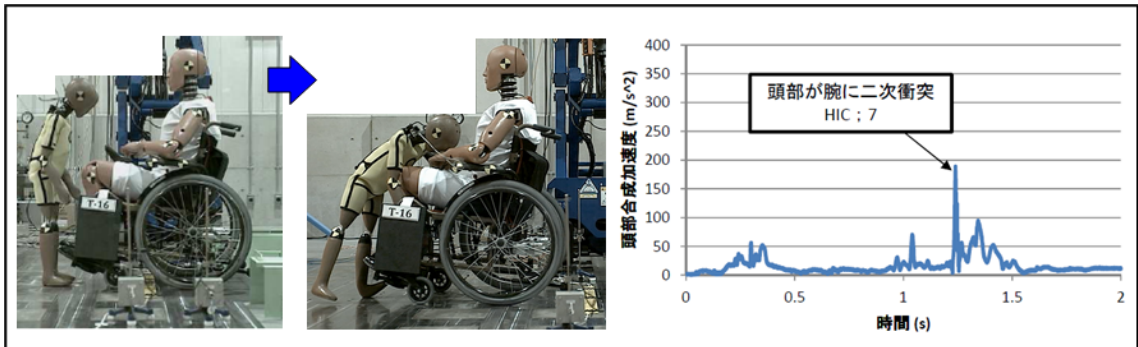


図 3-1-5-1-6. T-16 試験結果 (子供正面: 時速 6 km)

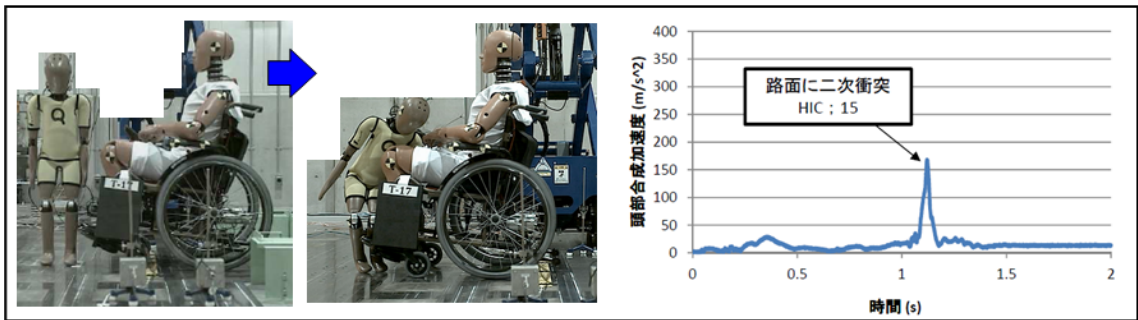


図 3-1-5-1-7. T-17 試験結果 (子供側面: 時速 6 km)

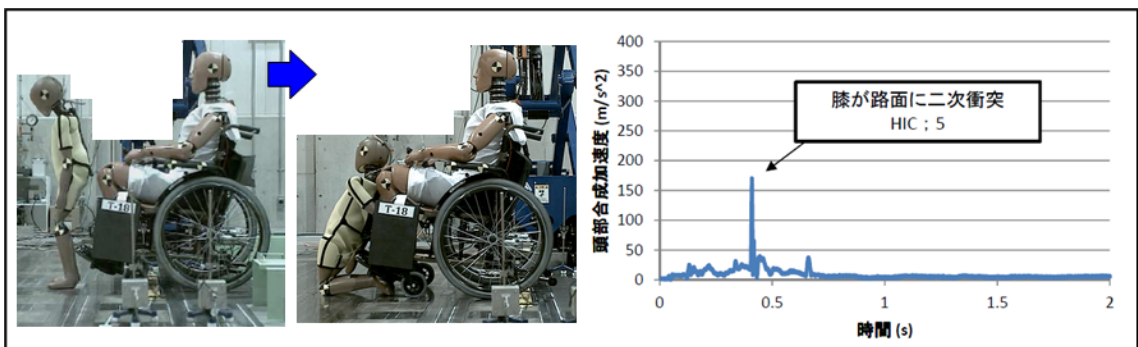


図 3-1-5-1-8. T-18 試験結果 (子供後面: 時速 6 km)

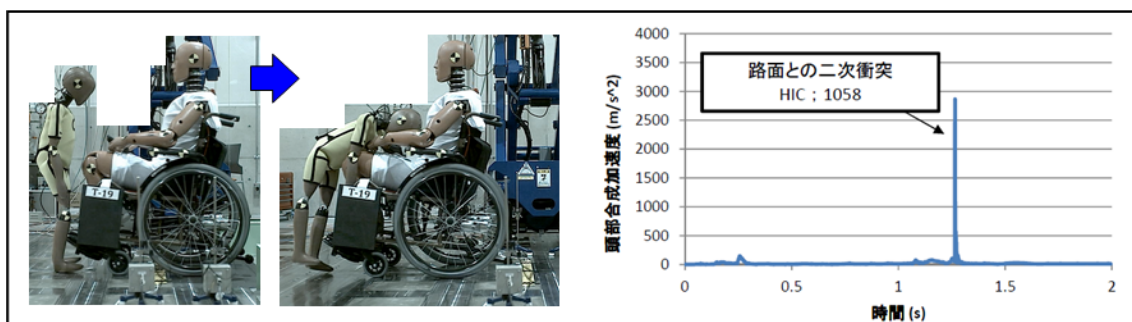


図 3-1-5-1-9. T-19 試験結果 (子供後面：時速 10 km)

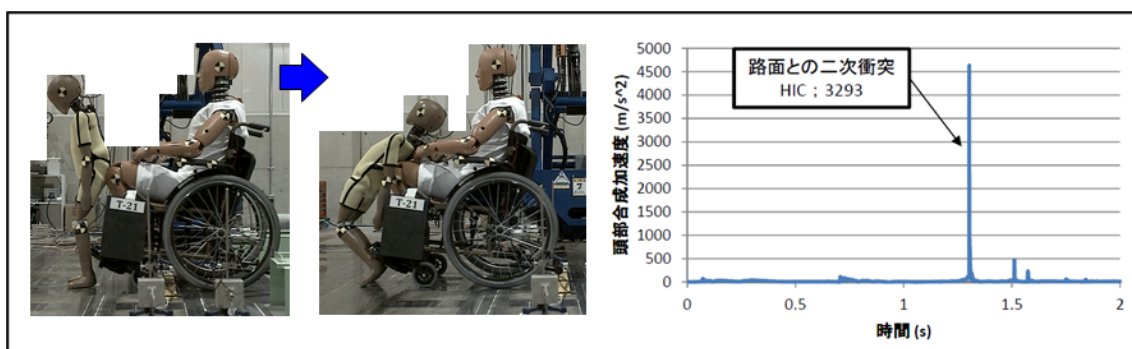


図 3-1-5-1-10. T-21 試験結果 (子供後面：時速 10 km)

まず、衝突安全性能試験において印加される衝撃力を区別する必要がある。衝撃力には大きく 2 つある。すなわち、ロボットが障害物及び第 3 者と衝突した時点での直接的な衝撃力と、その衝突によりロボット及び第 3 者の転倒、ロボットからの搭乗者の転落、が発生することで、第 3 者及び搭乗者が地面などと衝突する際の衝撃力である。前者を一次衝突、後者を二次衝突として区別した。一次衝突については、全ての条件で重症につながる様な衝撃力として測定はされなかった。また、最もロボットの転倒につながり易い、縁石に対する衝突においてもロボットの速度が時速 6 km 以下の条件では、ロボットが転倒するモードは発生していない。一方、二次衝突については第 3 者及び搭乗者の双方で重傷につながる衝撃力が測定される場合が発生した。特にロボットの衝突速度が時速 10 km の条件下では、第 3 者に対する衝撃力の上昇が見られた。またロボットの衝突速度が時速 10 km で縁石に対し衝突する条件では、ロボットの転倒が見られた。二次衝突の衝撃力は、第 3 者の転倒姿勢やロボットからの搭乗者の転落姿勢に依存するためバラツキがある。このことから、一次衝突の衝撃力がある閾値以下であれば、二次衝突の衝撃力が許容可能（重症に至らない）な範囲におさまると言った見方はできない。

ただし、ロボットの衝突速度が時速 6 km 以下の場合、二次衝突の突発生そのものや、重症につながる衝撃力の発生確率はおさえられ、リスクアセスメントにて見積もった結果の妥当性を確認できた。



### 3-1-5-2. 走行安定性試験

ロボットの走行安定性を把握すべく、表3-1-5-2-1に示す14項目の安定性試験を実施した。性能試験の目的は、安全機能開発に必要なロボットの走行性能を定量的に把握する事と、利用環境への適用度として走行可否を判断する事である。試験項目の設定、性能試験の実施にあたり、電動車いすの規格であるJIS T9203を参照規格として用いた。

走行路条件として走路の傾き、路面種類を変え評価する必要がある。そのため、生活支援ロボット安全検証センター内の走行試験関連エリアに設置された平坦路走行試験装置及び傾斜路走行試験装置を使用し実施した。各試験装置の床材パネルは、変更可能であり、これにより異なる床材質における走行安定性能の評価が可能である。尚、床材パネルは、Pタイル床とセーフティウォーク床を評価対象とした。これは、リスクアセスメントにて想定した利用シーンの中で施設内(屋内)、歩道(屋外)の路面に近いものとして選定した。また、路面摩擦の管理として、電動車いす関連の国際規格ISO-7176-13の中で規定されている試験表面の摩擦係数の試験法を参考とした。路面摩擦係数の管理は、規格で規定される0.75~1.0の範囲としている。評価対象の2つの床に対し、規定の摩擦係数測定法にて計測した結果、Pタイル床は0.91、セーフティウォーク床は0.98である事を確認している。尚、本試験に関しては、財団法人日本自動車研究所殿にご協力いただき実施した。

14項目の性能試験に対する測定の様子を図3-1-5-2-1~図3-1-5-2-5に、測定結果を表3-1-5-2-2に示す。性能試験の中で重要な性能値は制動距離である。最高速度である時速10kmからの制動距離は平坦路で3.4m(Pタイル)、降坂路で4.5m(Pタイル)であった。この事から、安全機能に求められるシステム及びセンサの要求性能の妥当性が確認できる。

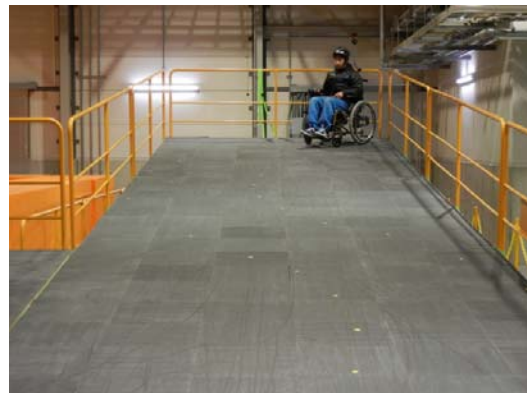
各走行条件における走行可否については、傾斜10°の坂道での走行と、40mmの段差については走行不可能であった。これらについては、使用マニュアルの中で使用環境条件として記載し、その利用範囲を明確にしておく。

表3-1-5-2-1. 走行安定性試験項目

| 項目              | 試験方法   | 測定値/評価値                         |
|-----------------|--|---------------------------------|
| 1 最高速度試験        | ・試験路面: セーフティウォーク<br>・最大出力状態で、10m程度助走後、2m区間の通過時間を測定し、速度を測定する。   | ・2m区間の平均速度                      |
| 2 登坂最高速度試験      | ・試験路面: セーフティウォーク<br>・傾斜角度: 10°<br>・最大出力状態で、10m程度助走後、2m区間の通過時間を測定し、速度を測定する。   | ・2m区間の平均速度                      |
| 3 降坂最高速度試験      | ・試験路面: セーフティウォーク<br>・傾斜角度: 10°<br>・最大出力状態で、10m程度助走後、2m区間の通過時間を測定し、速度を測定する。   | ・2m区間の平均速度                      |
| 4 制動試験(平坦)      | ・試験路面: セーフティウォーク、ピータイル、ピータイル湿潤<br>・最高速度で、10m程度助走後、2m区間の通過時間を測定し、速度を測定する。<br>・制動ランプ点灯後、最大性能で停止する。<br>・停止位置までの距離を測定する。         | ・2m区間の平均速度<br>・ランプ点灯から停止までの距離   |
| 5 登坂路加速制動試験     | ・試験路面: セーフティウォーク、ピータイル<br>・傾斜角度: 10°<br>・最大出力状態で、10m程度助走後、2m区間の通過時間を測定し、速度を測定する。<br>・制動ランプ点灯後、最大性能で停止する。<br>・停止位置までの距離を測定する。 | ・2m区間の平均速度<br>・ランプ点灯から停止までの距離   |
| 6 降坂路加速制動試験     | ・試験路面: セーフティウォーク、ピータイル<br>・傾斜角度: 10°<br>・最大出力状態で、10m程度助走後、2m区間の通過時間を測定し、速度を測定する。<br>・制動ランプ点灯後、最大性能で停止する。<br>・停止位置までの距離を測定する。 | ・2m区間の平均速度<br>・ランプ点灯から停止までの距離   |
| 7 急旋回試験         | ・試験路面: セーフティウォーク、ピータイル、ピータイル湿潤<br>・最大出力状態で、10m程度助走後、急旋回し、半円程度旋回したら停止する。<br>・旋回方向は、左右実施。                                      | ・旋回開始時速度<br>・挙動観察(目視)           |
| 8 降坂路急旋回試験      | ・試験路面: セーフティウォーク、ピータイル<br>・傾斜角度: 10°<br>・最大出力状態で、10m程度助走後、急旋回し、半円程度旋回したら停止する。<br>・旋回方向は、左右実施。                                | ・旋回開始時速度<br>・挙動観察(目視)           |
| 9 坂道走行性試験       | ・試験路面: セーフティウォーク、ピータイル<br>・傾斜角度: 10°、6°<br>・斜面に幅1.2mのS字路(曲率半径5m)を設け、前進最高出力状態で登坂及び降坂走行を行う。                                    | ・走行可否<br>・斜線逸脱(目視)<br>・挙動観察(目視) |
| 10 傾斜路と平坦路の移行試験 | ・試験路面: 傾斜路はピータイル、平坦路はコンクリート<br>・傾斜角度: 10°、6°<br>・最高速度を維持したまま、傾斜路から平坦路に進入し、停止する。<br>・同じ走行路をもちいて、平坦路から傾斜路への移行についても行う。          | ・走行可否<br>・移行前速度<br>・挙動観察(目視)    |
| 11 段差上り試験       | ・試験路面: ベニア板<br>・段差: 20mm、40mm<br>・助走無し、前進のみ実施  | ・走行可否(段差上りの可否)<br>・挙動観察(目視)     |
| 12 段差降り試験       | ・試験路面: ベニア板<br>・段差: 20mm、40mm<br>・助走は、段差50cm手前から最大出力状態で進入。<br>・助走し、最大出力状態を維持したまま段差を降り、停止する。<br>・前進のみ実施                       | ・走行可否(段差降りの可否)<br>・挙動観察(目視)     |
| 13 溝踏破走行性試験     | ・試験路面: ベニア板<br>・溝: 幅100mm、深さ100mm<br>・進入角度: 溝に対し直角に進入。<br>・助走条件: 助走無し、溝の手前2mより最高出力状態で助走、最高速度に到達するまで助走<br>・前進のみ実施             | ・走破の可否<br>・挙動観察(目視)             |
| 14 回転性能試験       | ・高さ: 1.5m、幅: 90cm、直進長: 1.8mの直角路を停止から前進で、切り返しは行わずに往復走行する。   | ・走行可否<br>・接触有無(目視)              |



(a) 試験時重量測定



(b) 坂道走行試験

図3-1-5-2-1. 測定の様子①



降坂路急旋回試験

図3-1-5-2-2. 測定の様子②



回転性能試験

図3-1-5-2-3. 測定の様子③



溝路破走行試験

図3-1-5-2-4. 測定の様子④



(a) 段差上り試験



(b) 段差降り試験

図3-1-5-2-5. 測定の様子⑤

表3-1-5-2-2. 走行安定性試験結果

| 項目 |              | 条件              | 測定値/評価値 |                |
|----|--------------|-----------------|---------|----------------|
| 1  | 最高速度試験       | 平坦路             | 平均速度    | 11.3 (km/h)    |
| 2  | 登坂最高速度試験     | 傾斜路登坂10°        | 平均速度    | 3.7 (km/h)     |
| 3  | 降坂最高速度試験     | 傾斜路降坂10°        | 平均速度    | 9.3 (km/h)     |
| 4  | 制動試験(平坦)     | セーフティウオーク       | 停止距離    | 3.3 (m)        |
|    |              | Pタイル            | 停止距離    | 3.4 (m)        |
|    |              | Pタイル湿潤          | 停止距離    | 3.8 (m)        |
| 5  | 登坂路加速制動試験    | セーフティウオーク       | 停止距離    | 0.6 (m)        |
|    |              | Pタイル            | 停止距離    | 0.7 (m)        |
| 6  | 降坂路加速制動試験    | セーフティウオーク       | 停止距離    | 4.3 (m)        |
|    |              | Pタイル            | 停止距離    | 4.5 (m)        |
| 7  | 急旋回試験        | セーフティウオーク       | 旋回挙動    | 安定             |
|    |              | Pタイル            | 旋回挙動    | 安定             |
| 8  | 降坂路急旋回試験     | セーフティウオーク       | 旋回挙動    | 安定             |
|    |              | Pタイル            | 旋回挙動    | 安定             |
| 9  | 坂道走行性試験      | 登坂10° セーフティウオーク | 走行可否    | 走行不可 安定走行      |
|    |              | 登坂10° Pタイル      | 走行可否    | 走行不可 安定走行      |
|    |              | 降坂10° セーフティウオーク | 走行可否    | 走行不可 コースアウト    |
|    |              | 降坂10° Pタイル      | 走行可否    | 走行不可 コースアウト    |
|    |              | 登坂6° セーフティウオーク  | 走行可否    | 走行可能 安定走行      |
|    |              | 登坂6° Pタイル       | 走行可否    | 走行可能 安定走行      |
|    |              | 降坂6° セーフティウオーク  | 走行可否    | 走行可能 安定走行      |
| 10 | 傾斜路と平坦路の移行試験 | 降坂6° ⇒ 平坦路      | 走行可否    | 走行可能           |
|    |              | 平坦路 ⇒ 登坂6°      | 走行可否    | 走行可能           |
|    |              | 降坂10° ⇒ 平坦路     | 走行可否    | 走行可能           |
|    |              | 平坦路 ⇒ 登坂10°     | 走行可否    | 走行可能           |
| 11 | 段差上り試験       | 段差: 20mm        | 走行可否    | 走行可能           |
|    |              | 段差: 40mm        | 走行可否    | 走行不可           |
| 12 | 段差降り試験       | 段差: 20mm        | 走行可否    | 走行可能           |
|    |              | 段差: 40mm        | 走行可否    | 走行可能           |
| 13 | 溝踏破走行性試験     | 助走無し            | 走行可否    | 走行不可 前輪脱輪      |
|    |              | 助走2m            | 走行可否    | 走行可能           |
|    |              | 最高速度まで助走        | 走行可否    | 走行可能           |
| 14 | 回転性能試験       | 左クランク           | 走行可否    | 走行可能 通過時間8.76秒 |
|    |              | 右クランク           | 走行可否    | 走行可能 通過時間8.31秒 |

ただし、本測定法では、制動距離に制動開始タイミング（制動ランプ点灯タイミング）から実際にロボットの減速が始まるまでの空走距離が含まれている事。車輪のスリップの有無の確認が十分でない事から、3次元動作解析装置を用いた平坦路（路面はセーフティウオーク床を使用）での制動特性を別途計画した。測定方法を図3-1-5-2-6に示す。ロボットを最大出力で直進加速させ、最大速度に達した事を確認した後、通過センサとランプにより制動タイミングを搭乗者に伝える。搭乗者はランプ点灯を確認後、ジョイスティックを直ちに中立点に戻し、ロボットを最大減速させ停止させる。3次元動作解析装置によりランプ点灯少し前の位置からロボット停止位置までのロボットの動作を測定する方法とした。測定は5回行いその結果を表3-1-5-2-3、図3-1-5-2-7に示す。これによれば、平均するとおよそ、0.9mの空走距離があり、減速加速度は $-2.57\text{ m/s}^2$ であった。また、減速時には、若干の車輪のスリップが発生しており、ほぼ限界の減速加速度である。

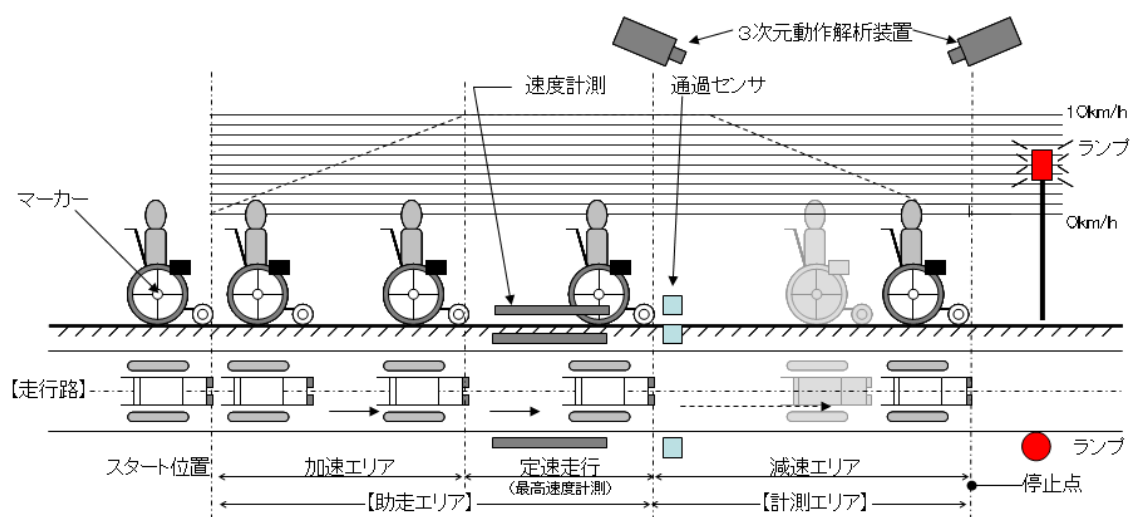


図3-1-5-2-6. 3次元動作解析装置による制動特性計測方法



表 3-1-5-2-3. 制動特性の計測結果

| 試験番号 | 最大速度 (km/h) | 停止距離 (m) | 空走距離 (m) | 減速加速度 (m/s <sup>2</sup> ) |
|------|-------------|----------|----------|---------------------------|
| 1    | 10.1        | 2.69     | 0.86     | -2.57                     |
| 2    | 10.1        | 2.56     | 0.86     | -2.59                     |
| 3    | 10.1        | 2.29     | 0.83     | -2.58                     |
| 4    | 10.1        | 2.61     | 0.86     | -2.57                     |
| 5    | 10.1        | 2.52     | 1.1      | -2.55                     |
| 平均   | 10.1        | 2.53     | 0.90     | -2.57                     |

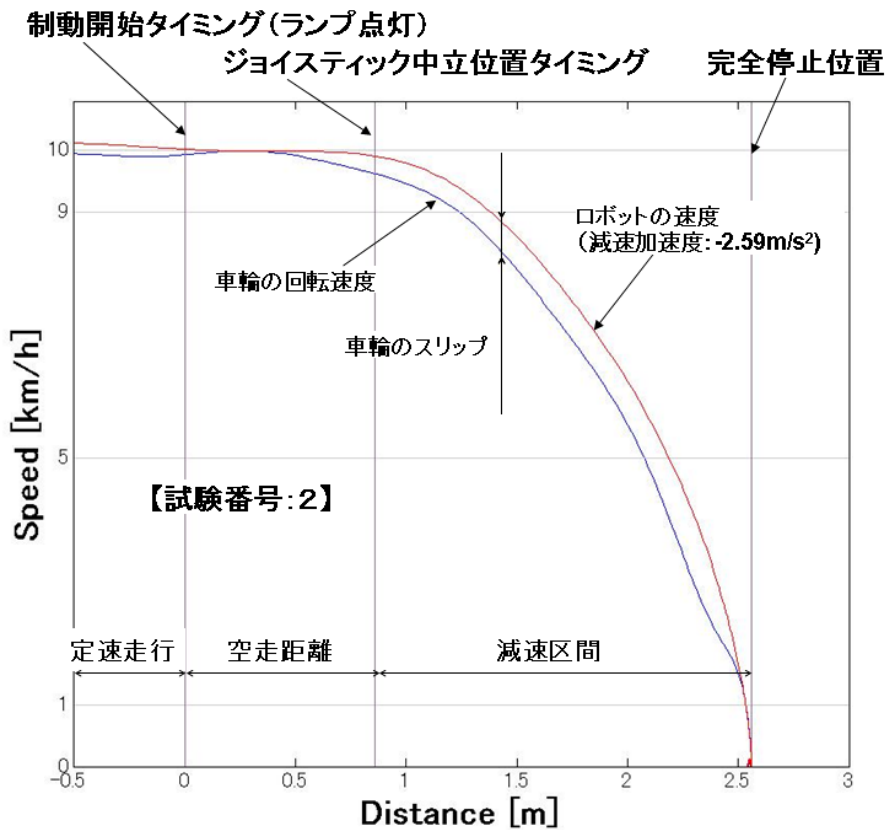


図 3-1-5-2-7. 制動特性の計測結果 (試験番号2のグラフ)

### 3-1-5-3. 障害物検知・対応試験

安全機能の性能を評価するため、障害物検知・対応試験を実施した。安全機能は、ロボットの走行中における周囲障害物との衝突リスクを搭乗者が回避操作（操舵操作などによる回避操作）により回避するための十分な余裕を担保する目的で、適切な時点で適切な速度以下になるよう最高速度を制限する事と、搭乗者及び第3者（歩行者など）に衝突リスクに対する注意を喚起する事であった。障害物検知・対応試験では、この機能の性能を検証すべく、実際に障害物に対してロボットを接近させ、その際に十分な回避余裕として設定した状態、すなわち障害物とロボットの距離に応じて設定した速度以下であるかを評価する。

検出対象となる障害物は、測定の再現性を重視し、模擬検出対象を専用に設計した。設計・試作した模擬検出対象を図3-1-5-3-1に示す。歩行者空間における検出物として、車止め、看板、電柱、歩行者、自転車などを想定している。この中で、主な検出対象として車止めと歩行者（子供）を選定し、それぞれをφ100mm、φ600mmで高さ900mmの円筒形状として定義した。さらに、センサが光学的センサである事から、それぞれの表面反射率を高いものと低いものの2種類を用意した。また、実験の安全上、万が一ロボットとの接触があっても衝撃力が抑えられるよう、模擬検出対象の材料を発砲スチロールとしている。

| 型番         | 名称        | 仕様  | 備考                                  |
|------------|-----------|---|-------------------------------------|
| T17-OB-001 | φ600円柱ークロ | ・主材料:発砲スチロール<br>・寸法:φ600×H900(mm)<br>・表面反射率:12%<br>・重量:3.0kg    | ・歩行者(子供)を模擬<br>・暗めの服装(冬服など)を想定      |
| T17-OB-002 | φ600円柱ーシロ | ・主材料:発砲スチロール<br>・寸法:φ600×H900(mm)<br>・表面反射率:80~90%<br>・重量:3.0kg | ・歩行者(子供)を模擬<br>・明るめの服装(夏服など)を想定     |
| T17-OB-003 | φ100円柱ークロ | ・主材料:発砲スチロール<br>・寸法:φ100×H900(mm)<br>・表面反射率:12%<br>・重量:0.1kg    | ・路面車止めボールを模擬<br>・暗めのボール、反射ラベル無しを想定  |
| T17-OB-004 | φ100円柱ーシロ | ・主材料:発砲スチロール<br>・寸法:φ100×H900(mm)<br>・表面反射率:80~90%<br>・重量:0.1kg | ・路面車止めボールを模擬<br>・明るめのボール、反射ラベル無しを想定 |

※評価の再現性、他評価との関係のとやすさから、模擬【試作例】する対象物を円筒形に抽象化し、代表寸法として径と高さで規定。  
 ※光学的センサを意識し、表面を既知の反射率のシートでコートする。反射率は、高いものと低いものを用意。  
 ※表面形状を保持するため、剛性はあるが、衝突時の安全を加味し、主材料は発砲スチロールとする。

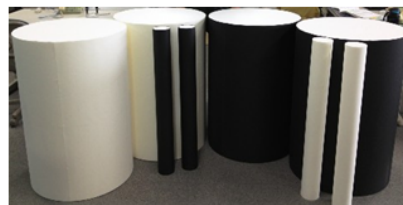


図3-1-5-3-1. 模擬検出対象

障害物は、静止物と移動体について評価する必要がある。想定する移動体は、主に歩行者である事から、 $\phi 600\text{ mm}$ 、高さ $900\text{ mm}$ の模擬検出対象を障害物接近再現装置に取付け、指定の動き再現をする事で歩行者を再現した。障害物接近再現装置への取付けを図3-1-5-3-2に示す。

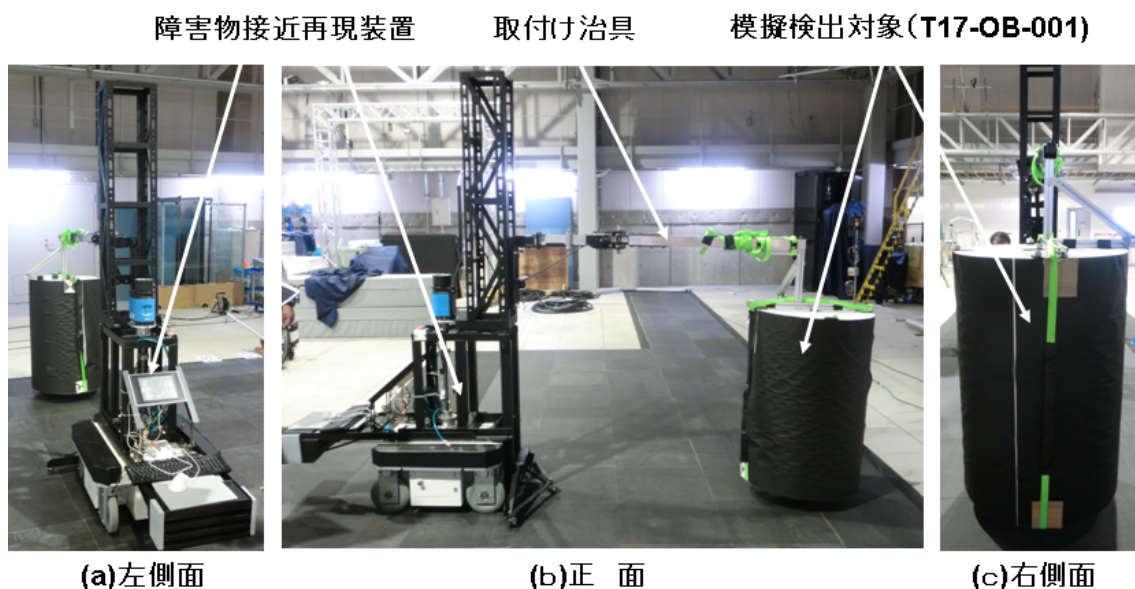


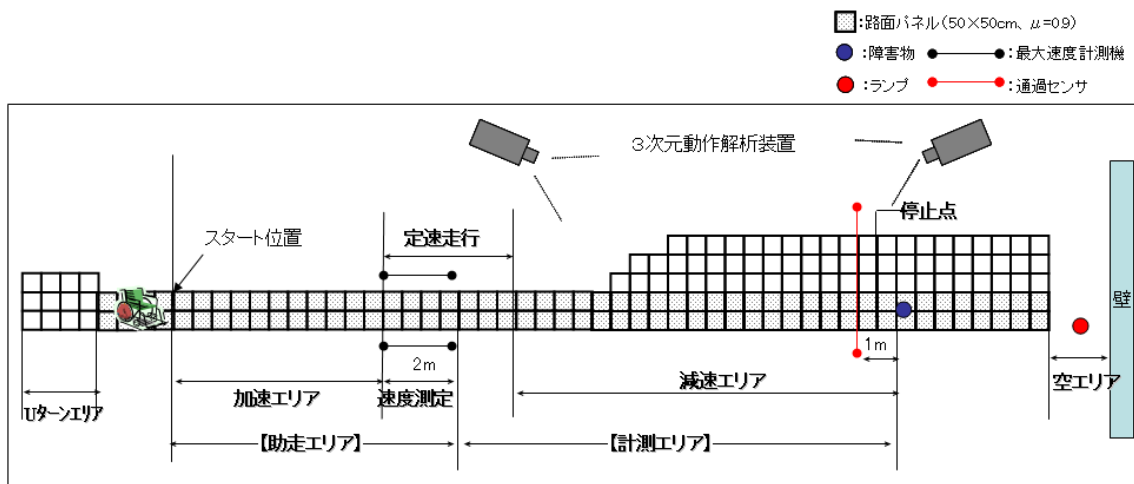
図3-1-5-3-2. 模擬検出対象の移動方法（障害物接近再現装置への取付け）

準備した障害物に対する、ロボットの速度制限性能を評価すべく、平坦路走行試験装置と3次元動作解析装置、障害物接近再現装置を組合せ図3-1-5-3-3に示す評価セットを準備した。

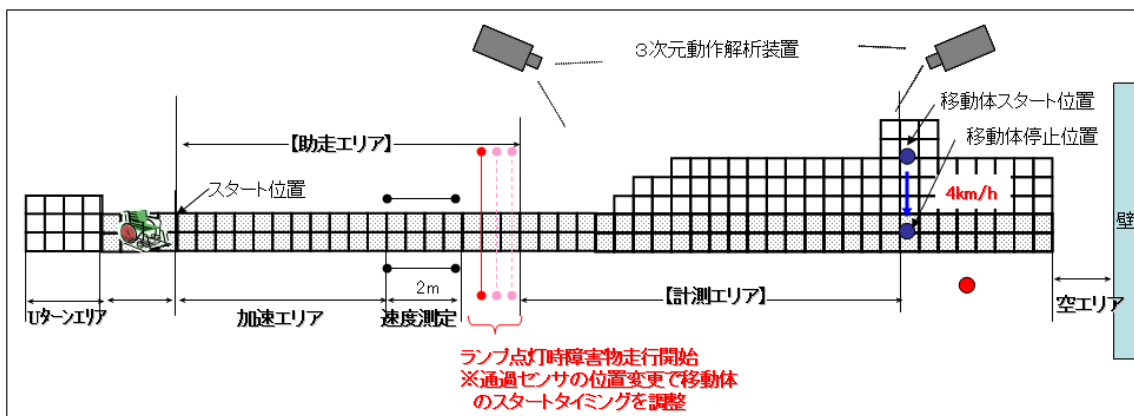
障害物に対するロボットの接近は、最も厳しい条件である最高速度（時速 $10\text{ km}$ ）で接近させ、その条件で、障害物との衝突を回避するに必要な回避余裕確保の判断として、障害物の手前 $1\text{ m}$ 以内でロボットの速度が時速 $1\text{ km}$ 以下である事を確認する。

測定のための走路を設計した。走路には、ロボットが最高速度まで加速する加速エリア、走行を安定させ、最高速度を確認する定速走行エリア、障害物を検知し、速度制限がかかる減速エリアが必要である。これらのエリアに必要なスペースを設計値及び走行安定性試験で得られた特性を加味し設定した。さらにセンサの誤検知による影響をさけるため、走路左右と、障害物後方に十分なスペースを確保し実験を実施した。また、走路は段差の無い平坦路とし、減速の再現性を確保するため、少なくとも減速エリアの走路路面はセーフティウォーク床を使用する。

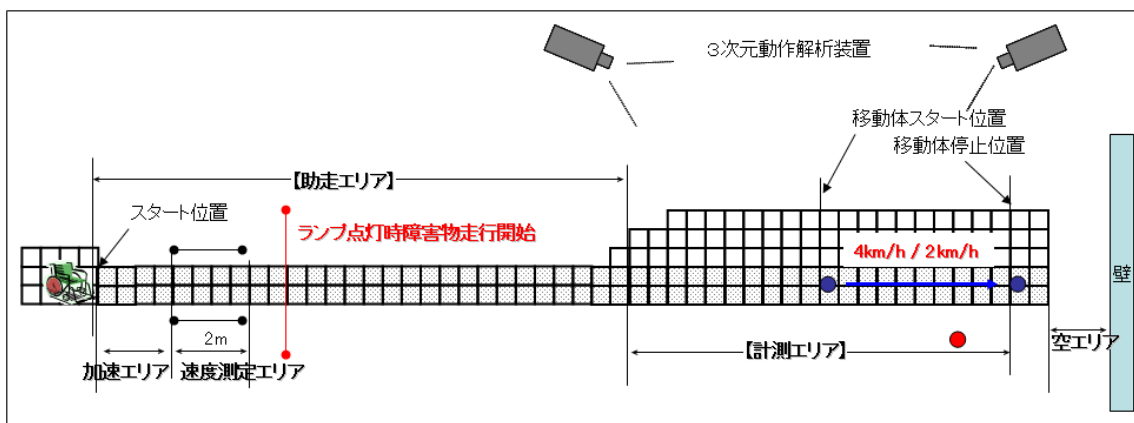




(a)静止物評価用の評価セット



(b)移動体評価用の評価セット（飛出し試験）



(c)移動体評価用の評価セット（後突試験）

図 3-1-5-3-3. 評価セット

静止物に対する評価として、4種類の模擬検出対象全てについて試験を実施した。模擬検出対象は、ロボット正面に配置し、ロボットを模擬検出対象に向けて最大出力を維持し直進させる。定速走行エリア内では2 m区間の通過時間から最高速度を求め、時速9 km以上である事を確認する。最高速度が時速9 km未満であれば、速度不十分として実験をやり直す。模擬検出対象の1 m手前にはロボットの通過検知センサが配置されており、ロボットが通過すると走路右前方に配置されたランプが点灯する。このランプ点灯を確認した後、ロボットが模擬検出対象と衝突する前に搭乗者（評価者）は、ロボットを停止させる。

移動体に対する評価として、 $\phi 600$  mmで表面反射率の低い模擬検出対象（T17-OB-001）に対し試験を実施した。歩行者がロボットの進路上に飛び出す場面（飛出し試験）と、先行する歩行者に対し、ロボットが後方から衝突する場面（後突試験）を想定し、2種類の衝突状態を再現し、回避余裕を満たす条件を明らかにする。1つ目の衝突状態は、走路脇から走路に直行する方向で模擬検出対象を走路に移動（飛出し）させ、ロボット正面位置で停止させる。この移動する模擬検出対象に対し、回避余裕を確保できる飛出しの条件を数値化し、飛出しに対する安全機能の性能とする。2つ目の衝突状態は、走路前方にロボットの進路と同方向に模擬検出対象を移動させ、指定距離移動したら停止させる。この模擬検出対象に対し、後方からロボットを最大速度で接近させ、回避余裕を確保できる事を確認する。尚、模擬検出対象の移動速度は、歩行者の平均的な移動速度として時速4 kmにて移動する事とした。

以上の試験にてロボットと模擬検出対象の位置を正確には把握するため、図3-1-5-3-4に示すようにロボット及び模擬検出対象にマーカを配置し、3次元動作解析装置にて位置測定をおこなった。

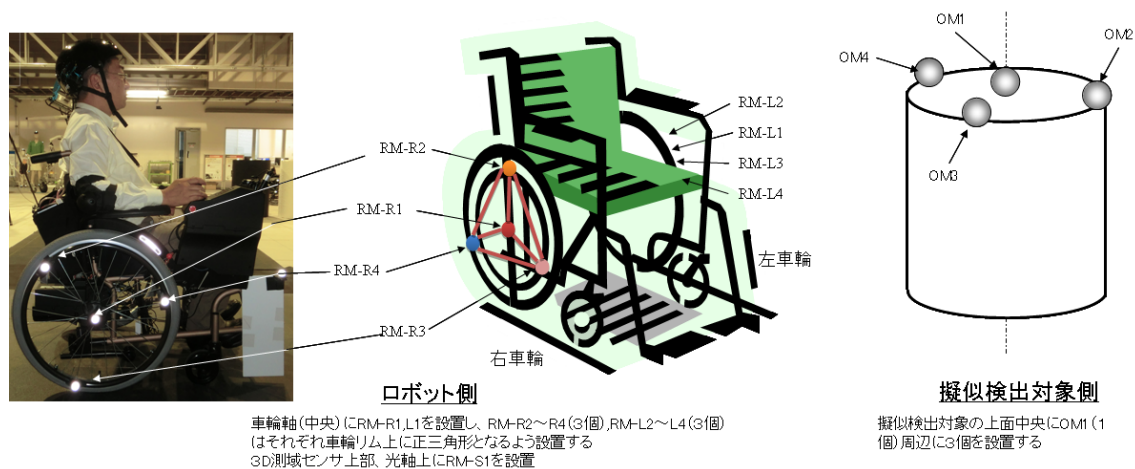


図3-1-5-3-4. マーカの配置

またロボットの内部情報については、データロガーをロボットに設置し収集した。試験の様子を図3-1-5-3-5に示す。尚、本試験に関しては、独立行政法人産業技術総合研究所殿にご協力いただき実施した。

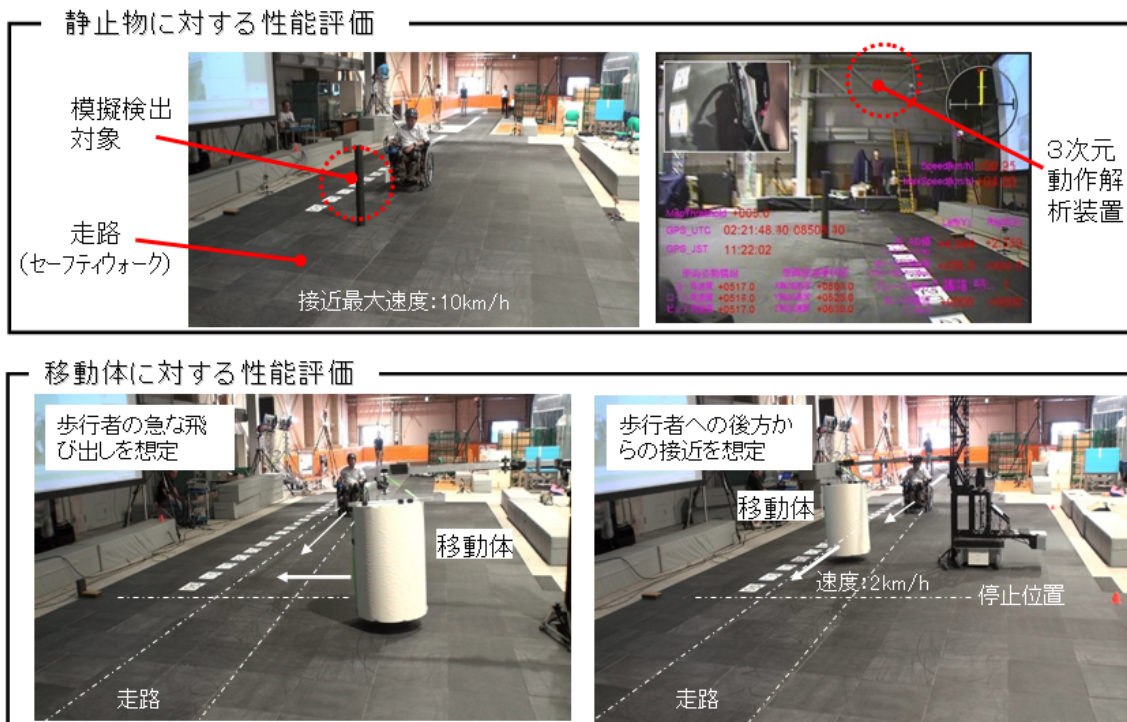


図3-1-5-3-5. 試験の様子

静止物に対する安全機能の性能評価結果を表3-1-5-3-1、図3-1-5-3-6に示す。設定した4つの模擬検出対象に対し、ロボットは検出に成功し、全ての模擬検出対象の1m手間で速度が時速1km以下となる事を確認した。実際に、この状態であれば、搭乗者は障害物との衝突回避操作を十分な余裕を持って実行可能であると考ええる。

表3-1-5-3-1. 安全機能の性能評価結果（静止物）

| 試験条件                    |      | 結果[速度(km/h)] |      | 判定 |
|-------------------------|------|--------------|------|----|
| 模擬検出対象:型番・名称            | 試験番号 | 最高速度         | 1m地点 |    |
| T17-OB-003<br>φ100円柱-ク口 | 1    | 10.0         | 0.6  | ○  |
|                         | 2    | 10.0         | 0.6  | ○  |
|                         | 3    | 10.0         | 0.6  | ○  |
|                         | 4    | 10.0         | 1.0  | ○  |
|                         | 5    | 10.0         | 0.9  | ○  |
|                         | 6    | 10.0         | 1.0  | ○  |
|                         | 7    | 9.8          | 1.0  | ○  |
|                         | 8    | 10.0         | 1.0  | ○  |
| T17-OB-004<br>φ100円柱-シ口 | 9    | 10.0         | 0.5  | ○  |
|                         | 10   | 10.0         | 0.6  | ○  |
|                         | 11   | 10.0         | 0.6  | ○  |
| T17-OB-001<br>φ600円柱-ク口 | 12   | 9.9          | 0.6  | ○  |
|                         | 13   | 9.9          | 0.6  | ○  |
|                         | 14   | 9.9          | 0.6  | ○  |
| T17-OB-002<br>φ600円柱-シ口 | 15   | 10.0         | 0.6  | ○  |
|                         | 16   | 9.9          | 0.6  | ○  |
|                         | 17   | 10.0         | 0.6  | ○  |
|                         | 18   | 10.0         | 0.9  | ○  |
|                         | 19   | 10.0         | 1.0  | ○  |
|                         | 20   | 10.0         | 1.0  | ○  |
|                         | 21   | 10.0         | 1.0  | ○  |
|                         | 22   | 10.0         | 1.0  | ○  |

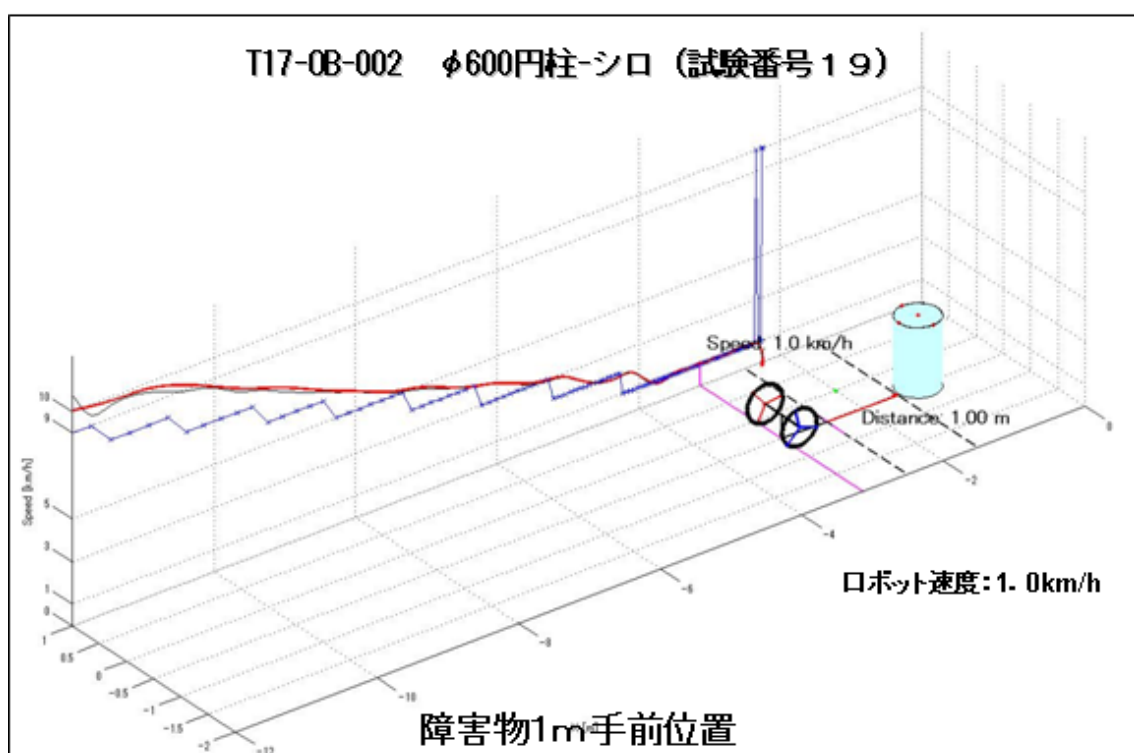
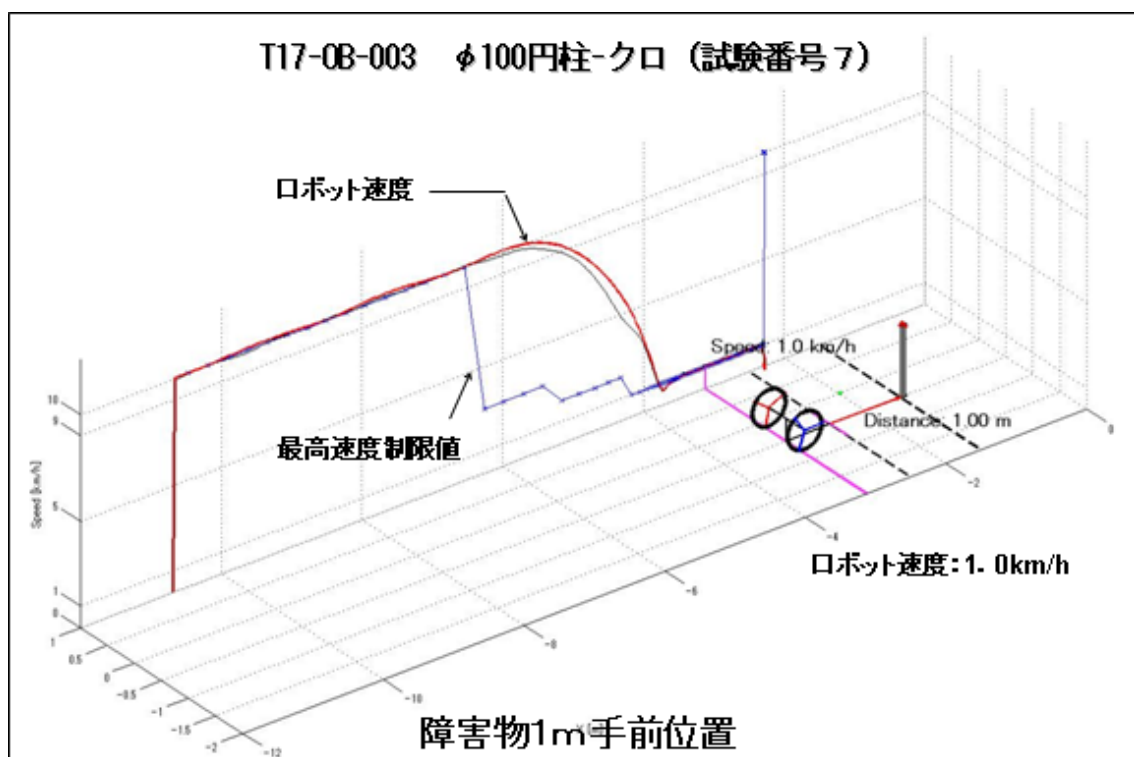


図3-1-5-3-6. 静止物に対する安全機能の性能評価結果 (代表)

移動体に対する安全機能の性能評価において、模擬検出対象の走路への飛出し試験（飛出し試験）の結果を図3-1-5-3-7に示す。また、9回のすべての飛出し試験における検知距離と障害物1m手前におけるロボット速度をまとめたものを図3-1-5-3-8に示す。ロボット進路前方約4.2mの前方の飛び出しに対し、ロボットは模擬検出対象を検知し、模擬検出対象の1m手前で速度を時速1km以下に制御できる事を確認した。

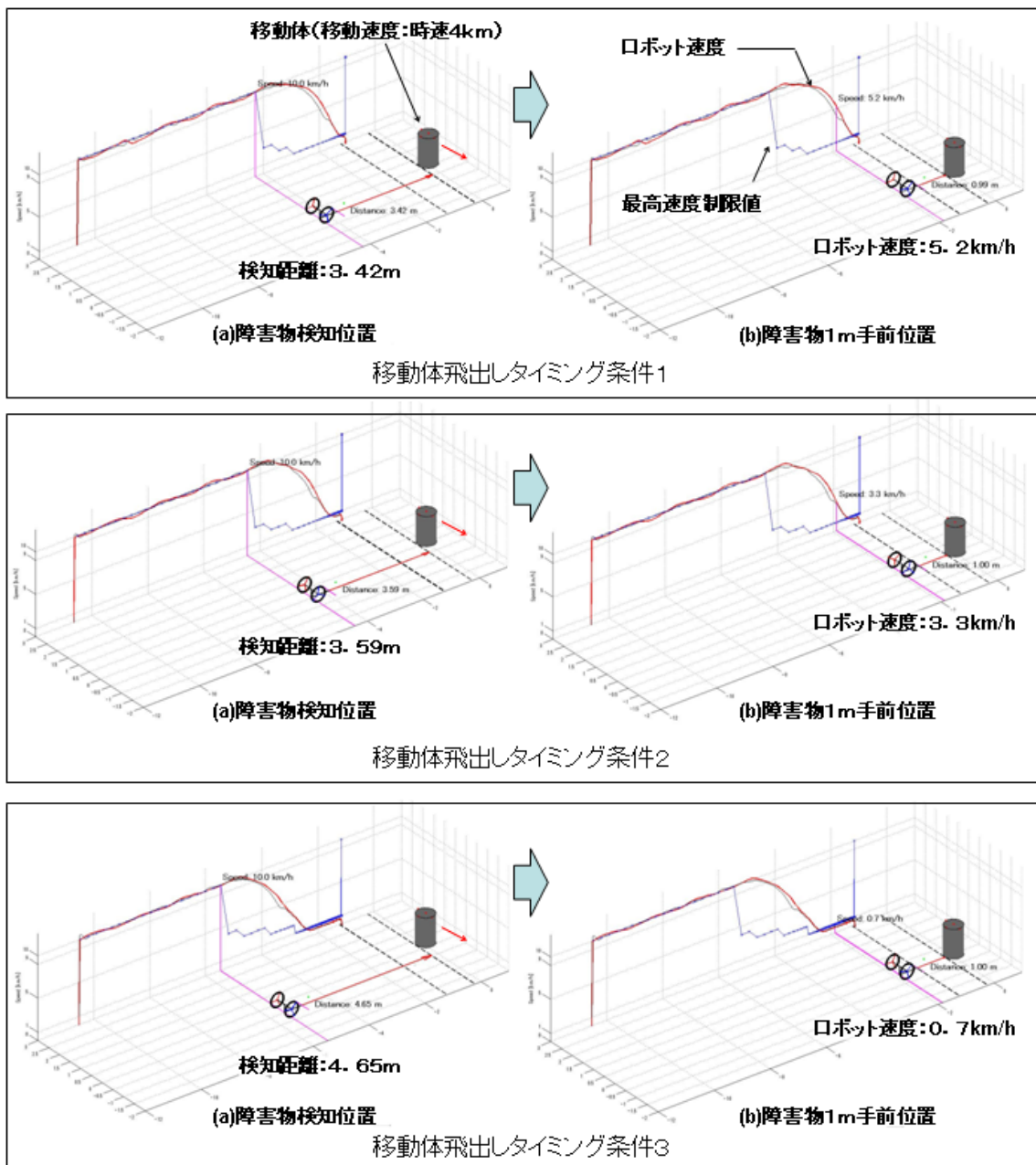


図3-1-5-3-7. 移動体の飛出し試験結果

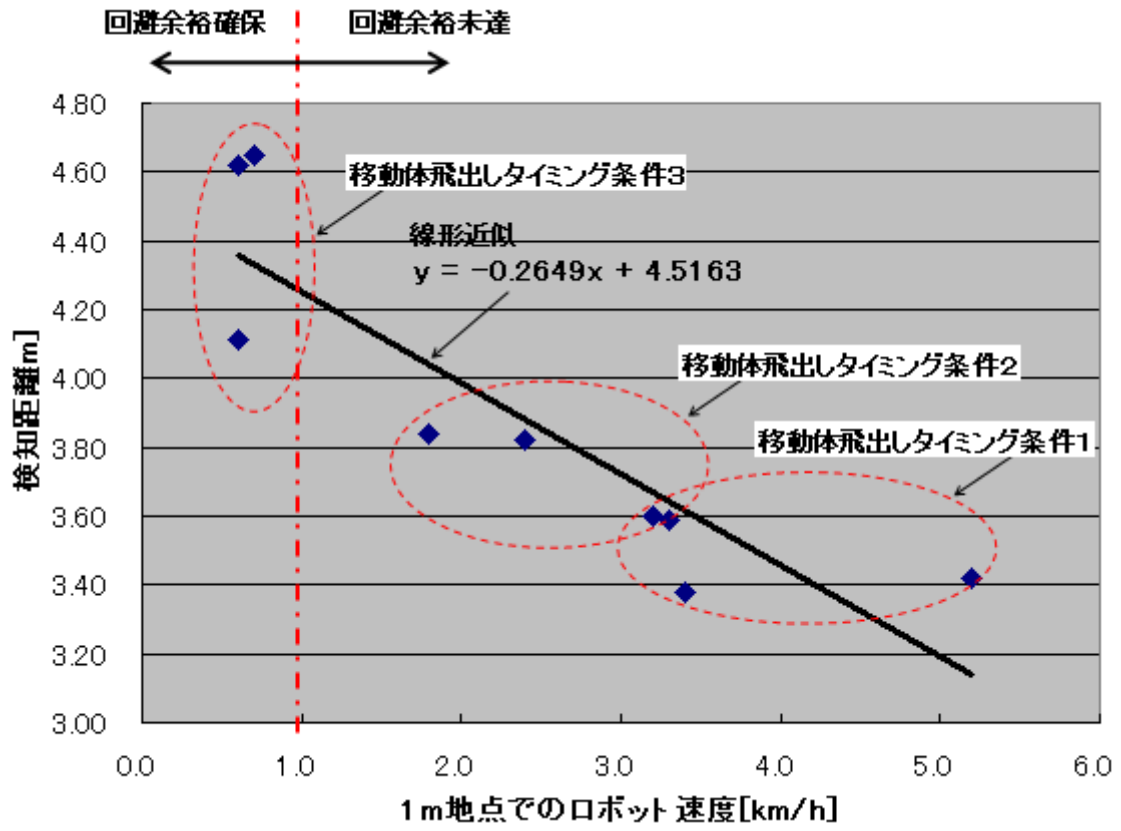


図3-1-5-3-8. 移動体の飛出し試験結果



模擬検出対象に対し後方よりロボットを接近させた試験（後突試験）では、模擬検出対象がロボット前方で停止した際、模擬検出対象の1 m手前で速度を時速1 km以下に制御できる事を確認した。試験の結果を図3-1-5-3-9に示す。

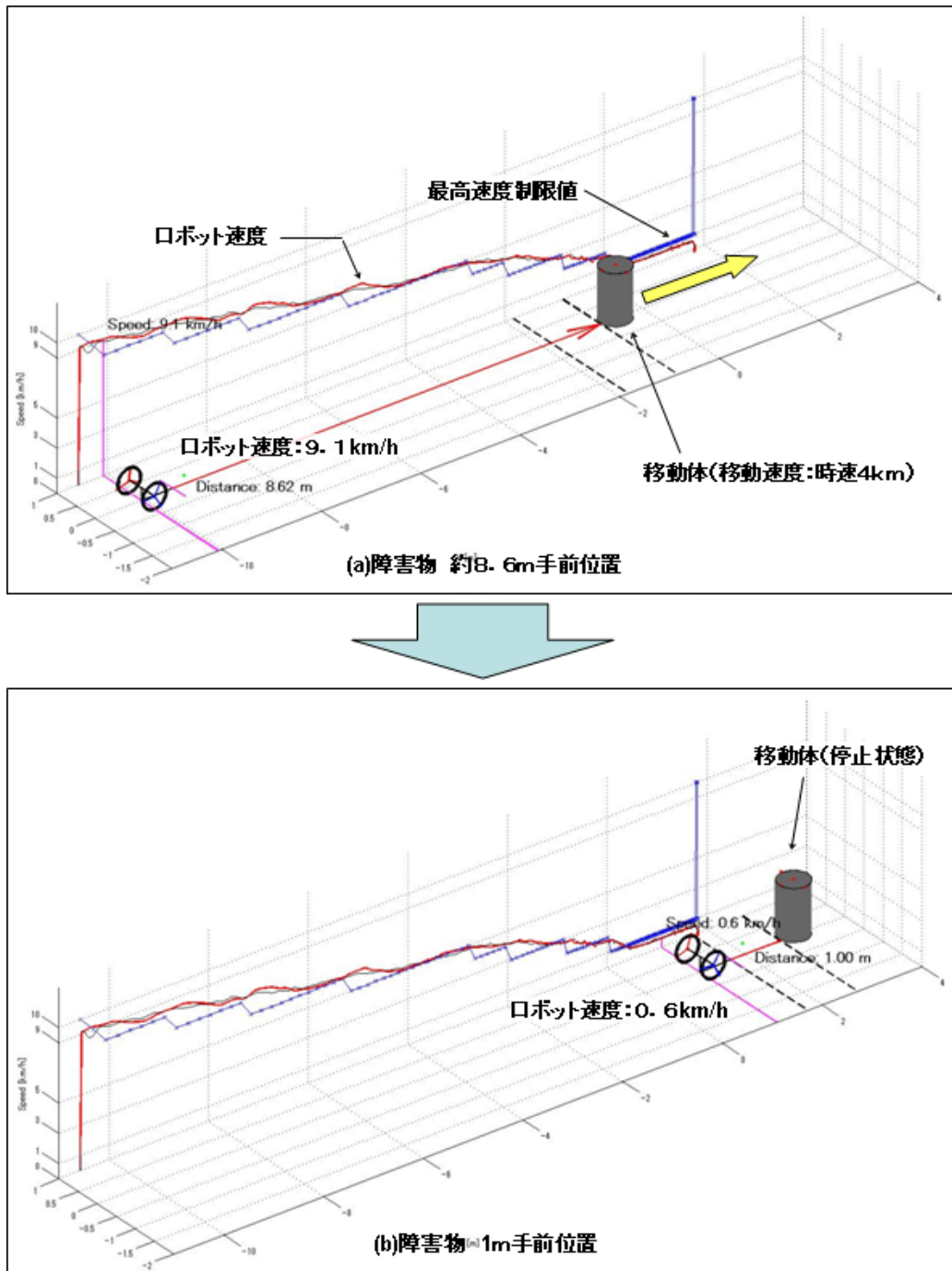


図3-1-5-3-9. 移動体の後突試験結果



#### 3-1-5-4. 環境認識性能試験

本ロボットは、歩行者空間を利用範囲としており、施設内（屋内）と歩道（屋外）でのシームレスな移動支援を実現する。屋内環境と屋外環境の違いの一つに、照度の違いがあげられる。特に、日中において屋外では太陽光の影響を強く受ける。屋内の照度レベルとして、照明基準 J I S Z 9 1 1 0 を見ると、利用場所・作業内容にもよるが、高くても 1 5 0 0 ~ 3 0 0 0 l x 程度の照度である。一方屋外の日中における照度は、天候にもよるが、晴天下では 1 0 0 0 0 0 l x 程度の照度となる。5 0 倍程度の違いがあり、光学的な手段により環境をセンシングするセンサへの影響を評価する必要がある。また、このセンサに対する影響が安全機能のシステム全体に対し、どの程度影響があるかを把握すべく、高照度下におけるロボットの障害物検知・対応性能について試験を実施した。

生活支援ロボット安全検証センターでは、高照度の環境を人工的に作り出す事が可能な人工太陽灯を保有している。本装置を用いる事で、再現性のある高照度環境を実現できる事と、その環境下でロボットの障害物検知・対応性能を定量的に把握する事が可能である。この人工太陽灯を用い、ロボットを条件設定した高照度環境下に晒し、4種類の模擬検出対象全てに対して、3-1-5-3. 障害物検知・対応試験で示した静止物への試験と同様の評価試験を実施した。尚、本試験において、3次元動作解析装置を利用する事ができない。これは、3次元動作解析装置が光学的手段によりマーカの位置を検出するため、高照度環境下においてはその検出精度が確保できない事による。従って、ロボットの位置とロボットの速度の計測は、ロボットに搭載したデータロガーを用い、ロボットの内部情報から判断する。データロガーを用いたロボットの内部情報と、3次元動作解析装置によるロボットの位置・速度情報とは、すでに3-1-5-2. 走行安定性試験及び、3-1-5-3. 障害物検知・対応試験において対応付けができており、ロボットの内部情報からロボットの速度を判断する事は問題ないと考える。

試験の様子を図3-1-5-4-1に示す。ロボットは各模擬検出対象に向かい、最高速度にて接近させる。この時、ロボットの進行方向前方から人工太陽灯を照射し、模擬検出対象の設置位置にて最大照度となる設定を逆光条件、同じくロボットの進行方向後方から照射する設定を順光条件とした。また、最大照度は、1 0 0 0 0 0 l x にて行った。模擬検出対象の1 m手前にはロボットの通過を検知する通過センサを配置し、ロボットが模擬検出対象1 m手前の位置に入ると、ロボット前方のランプが点灯し、この点灯をロボットに搭載したデータロガーが記録する事で、ロボットの位置を特定する。

試験の条件とその結果を表3-1-5-4-1に示す。全ての条件において、ロボットは模擬検出対象を検知し、模擬検出対象の手前1 mの地点で、速度が時速1 k m以下である事を確認できた。この結果により、晴天時の屋外走行においてもロボットの安全機能は問題なく働くものと考えられる。



図 3-1-5-4-1. 試験の様子

表 3-1-5-4-1. 試験条件と試験の結果

| 照射方向 | 試験条件                    |      | 結果[速度(km/h)] |      | 判定 |
|------|-------------------------|------|--------------|------|----|
|      | 模擬検出対象:型番・名称            | 試験番号 | 最高速度         | 1m地点 |    |
| 逆光   | T17-OB-003<br>φ100円柱-ク口 | 1    | 10.1         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 2    | 10.1         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 3    | 10.1         | 0.6  | ○  |
|      | T17-OB-004<br>φ100円柱-シ口 | 4    | 10.1         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 5    | 10.1         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 6    | 10.1         | 0.5  | ○  |
|      | T17-OB-001<br>φ600円柱-ク口 | 7    | 10.0         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 8    | 10.1         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 9    | 10.1         | 0.6  | ○  |
|      | T17-OB-002<br>φ600円柱-シ口 | 10   | 10.1         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 11   | 10.0         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 12   | 10.1         | 0.6  | ○  |
| 順光   | T17-OB-003<br>φ100円柱-ク口 | 13   | 10.0         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 14   | 10.0         | 0.6  | ○  |
|      |                         | 15   | 10.0         | 0.6  | ○  |
|      | T17-OB-004<br>φ100円柱-シ口 | 16   | 9.2          | 0.6  | ○  |
|      |                         | 17   | 9.2          | 0.6  | ○  |
|      |                         | 18   | 9.3          | 0.6  | ○  |
|      | T17-OB-001<br>φ600円柱-ク口 | 19   | 9.8          | 0.6  | ○  |
|      |                         | 20   | 9.9          | 0.6  | ○  |
|      |                         | 21   | 10.0         | 0.6  | ○  |
|      | T17-OB-002<br>φ600円柱-シ口 | 22   | 9.2          | 0.6  | ○  |
|      |                         | 23   | 9.2          | 0.6  | ○  |
|      |                         | 24   | 9.0          | 0.4  | ○  |

以上の3つの試験を通し、開発したロボットは、設定した要求仕様を満たすものと考え、実際に設定した要求仕様が、実場面において妥当であるかを確認すべく、実環境での利用評価に進む事とした。

## 3-2. 安全要素モジュール：3次元レーザ測域センサ（日本信号）

### 3-2-1. 概説

公道を含む屋外の歩行者空間での使用を想定した搭乗型移動ロボットのリスクアセスメントを実施し、環境センシングの要件を導き出した。その結果、ロボット周辺の段差・溝・支柱などの固定支障物、並びに人・自転車など移動支障物との距離・相対速度・方向などに対応した「リスク低減速度」を計算して、ロボットの移動速度を制限する機能が必要なことが分かった。この機能を実現するために、刻々と変化する周辺環境の状況をセンシングする安全要素部品群の1つとして、3次元レーザ測域センサ（以下、3Dセンサ）を開発した。

本項では、ユーザレベルのリスクアセスメントの結果から3Dセンサの開発仕様を設定し、それらの実現手段を検討して、試作機の製作・評価・改良を重ねて安全機能を向上した結果について述べる。

### 3-2-2. ロボットシステムのセンサ要求仕様

ロボットシステムが環境センサに要求する仕様を決定するにあたって想定する利用シーンを抽出し、①検知対象物と②環境条件を定義した。これらの条件を踏まえて、センサの検知性能、通信インターフェース等を含む機能仕様や、ロボットへの搭載性を考慮した機器仕様を設定して開発仕様を決定した。

#### 3-2-2-1. 検知対象物

表3-2-2-1に、想定する検知対象物を示す。歩道やショッピングモール、公園などにおける支障物を固定物と移動物に分類した。各物には、その最小サイズを示した。

実際の利用シーンを見ると、これらよりも小サイズの物や、物体表面の状態（光沢の有無、微細な形状、反射率など）により検知の難易が異なる多様な支障物が存在するが、本開発では、検知対象物を定義してセンサの検知性能を評価・検討した。

表 3-2-2-1. 検知対象物

| 区分  | 検知対象物 (最小サイズ)   |
|-----|---|
| 固定物 | 電柱 (φ 200 mm)、ポール (φ 100 mm)、扉 (500 mm□)、衝立・看板 (500 mm□)、段差 (100 mm)、溝 (100 mm)、路面、など |
| 移動物 | 歩行者 (900 mm)、自転車 (1000 mm)、車椅子 (900 mm)、ショッピングカート (800 mm)、台車 (800 mm)、など             |

### 3-2-2-2. 環境条件

表 3-2-2-2 に、想定する環境条件を示す。屋外で人が往来する通常的气象条件で、移動ロボットに搭載したときの環境条件を想定した。

環境条件において仕様の機能・性能を満足するとともに、環境条件による外乱が対象物検知に影響を与えて誤検知するか否かも評価の観点となる。

表 3-2-2-2. 環境条件

| 項目       | 仕様                               |
|----------|----------------------------------|
| 温度・湿度    | -10~+50℃ / 20~85%RH              |
| 振動／衝撃    | 10~500Hz×1G、40Hz×2G<br>／ 30G×6ms |
| 外乱光      | 太陽光 10万 lx<br>ストロボ光 5~200Hz      |
| 降雨       | 1mm/h 未満 (小雨)                    |
| 保護等級     | IP55 相当 (防塵・防滴)                  |
| ロボット移動速度 | 最高 10km/h                        |
| その他      | 同類のセンサ間干渉                        |

### 3-2-2-3. 開発仕様

想定する利用シーンでの検知対象物、環境条件、移動ロボットの制動距離、速度制御の処理時間等を考慮して、表 3-2-2-3 のように開発仕様を設定した。本開発は、既開発の 3D センサをベース (以下、ベース機と記す) に開発仕様の達成を目指した。検知距離の拡大や角度分解能の実効的向上、及び測距データ出力のリアルタイム性と同期性を考慮して外部インターフェースの最適化を図った。

表 3-2-2-3. 開発仕様

| 区分 | 項目         | 仕様                                    |
|----|------------|---------------------------------------|
| 機能 | 検知距離       | 0.3～7m @拡散反射率12%<br>(最大20m @拡散反射率90%) |
|    | 距離精度       | ±100mm<br>@距離5m・拡散反射率12%              |
|    | 画角         | H60 deg×V50 deg                       |
|    | 画素数        | H53×V33                               |
|    | 角度分解能      | H20×V27 mrad                          |
|    | フレームレート    | 16 fps                                |
|    | 耐外乱光       | 太陽光10万lx以上                            |
| 機器 | 外形寸法       | 62×66×89 mm                           |
|    | 質量         | 0.6kg以下                               |
|    | 動作温度       | -10～+50℃                              |
|    | 耐振動/耐衝撃    | 10～500Hz×1G / 30G                     |
|    | 保護等級       | IP55                                  |
|    | 外部インターフェース | Ethernet・UDP/IP<br>上位との時刻同期機能         |

### 3-2-3. 3Dセンサ方式の特性比較と方式選択

開発仕様を達成するための方式選択を検討した。ここでは、3次元距離センサのキー技術である距離計測方式と面走査方式について、それぞれベンチマークした。

3Dセンサは奥行方向の距離計測方式と、水平・垂直方向の面走査方式によって、表3-2-3-1のように分類できる。距離計測方式において、光飛行時間計測(TOF=Time of Flight)は検知対象物に投射した光の飛行時間に基づいた計測のため、長距離においても高精度が得易い。他方、視差計測は投受光器や複眼カメラの視差に基づいた計測のため、短距離の精度は得易いが長距離は難しい。面走査方式において、機械的方式は可動部を要するため長期の耐久性が課題となるが、単結晶シリコン材を使ったMEMS光スキャンミラーは、潜在的にそれらの課題を解決できる方式である。他方、電子的方式は機械的な可動部がないため小型・堅牢である。

表 3-2-3-1. 3Dセンサの方式分類


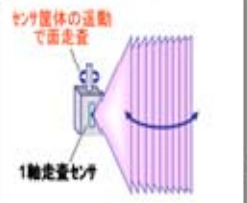
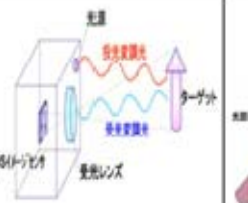
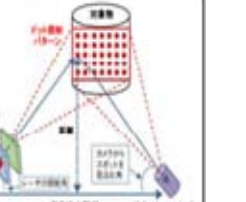
|            |                  |                         |
|------------|------------------|-------------------------|
| 距離計測<br>方式 | 光飛行時間計測<br>(TOF) | 光パルス法                   |
|            |                  | 位相差法                    |
|            | 視差計測             | ステレオ法                   |
|            |                  | 三角法                     |
| 面走査<br>方式  | 機械的              | 1軸ポリゴンミラーと<br>モータ遥動の組合せ |
|            |                  | 2軸MEMS光スキャンミラー          |
|            | 電子的              | CMOS/CCDビジョンチップ         |

これらの方式を組合せて、3Dセンサとして各機関で開発され、市場投入されている。このうち移動ロボットの周辺環境センサに適用可能な主な事例をあげ、その特性比較をした結果を表3-2-3-2にまとめた。

距離計測方式は、5m以上の遠距離を計測するにはTOF方式が優れているため、多くの3Dセンサは同方式を採用している。面走査方式との組合せでは距離計測の原理に関連して、最適な方式が採用される。光パルス法はモータ駆動のポリゴンミラーやMEMS光スキャンミラーによる機械的方式を、位相差法はCMOS/CCDビジョンチップによる電子的方式をそれぞれ採用している。前者の組合せでは、画素毎に放射する光パルスを空間的・時間的に分離する必要性があり、後者の組合せでは、画素毎に距離計測する光電機構の集積化とCMOS製造プロセスによるビジョンチップとの親和性が高いことをそれぞれ理由に選択されている。

対象物の検知性能・環境条件、特に屋外での耐外乱光性を重視して、我々は、同軸光学系を使った2軸MEMS光スキャンミラーによる面走査と、光パルスTOF方式によって3Dセンサを構成した。ここで同軸光学系とは、図3-2-3-1のように、1枚の光スキャンミラーで投光/受光の両ビームを同軸で走査する光学系のことである。投光ビームを照射して対象物の反射光を狭角で受光するため、外乱光に対して高いロバスト性のセンサが構成できる。他方、分離光学系は、受光が常に広角のため外乱光の影響を受けやすい。

表 3-2-3-2. 3Dセンサの特性比較

| 距離計測方式      | 光パルス法   | ←  | 光位相差法  | 三角法(パターン照射)   |
|-------------|---|--|--|---|
| 面走査方式       | 2軸MEMS光スキャンミラー  | 1軸ポリゴンミラー<br>+ 機械的運動   | CCD/CMOSビジョンチップ  | ←   |
| 原理図         | <br>2軸MEMS光スキャンミラー 面走査 | <br>1軸走査センサ | <br>CMOSイメージャ<br>受光レンズ | <br>受光カメラ<br>受光レンズ |
|             | ・レーザー+2軸MEMS共振スキャナによる投受同軸光学系で面走査  | ・レーザー+ポリゴンミラー(1軸走査)による投受同軸光学系に、機械的運動を組合せて面走査   | ・LED+カメラ(CMOSイメージンサ)による電子的面走査  | ・ドット照射パターンでの投受同軸光学系を統計処理により測距<br>・CMOSカメラで電子的面走査  |
| サイズ         | 独自の投受同軸光学系のコンパクト設計で小型化  | ○ 1次元スキャンは小型だが機械的運動部が×   | × 受光(カメラ)は小型だが投光(LED複数個)が×   | △ 受光(カメラ)は小型だが一定長以上の基線が×  |
| 消費電力        | 画素毎のレーザー照射と低消費電力のMEMSスキャナ   | ○ レーザ照射は画素毎だがミラー駆動部のモータが×  | × 複数搭載したLEDの一括照射が×   | × レーザとCMOSカメラは低消費電力   |
| 距離精度        | 支障物検知には十分(±10cm @12%黒、5m)   | ○ ←  | ○ 光パルスTOF(左記2方式)に比べ原理的に劣る  | △ TOF(左記3方式)に比べ長距離の精度が劣る  |
| 面解像度        | カメラに比べ画素少ないが支障物検知には十分   | ○ ←  | ○ 受光部はカメラのため画素多い   | ◎ ← ◎   |
| ロバスト性(耐太陽光) | 独自の狭開口の投受同軸で優れる(直射20万lx)  | ○ 投受同軸で優れるが開口大きく左記より劣る   | △ 波長選択・投光配光の工夫も受光開口広く、外乱は×   | × ← ×   |
| 耐久性         | 長寿命のMEMS共振スキャナで10年(連続運転)を達成   | ○ モータが寿命は~5年間欠作動等の工夫;要   | × 可動部なし・部品点数;少で長寿命   | ○ ← ○   |

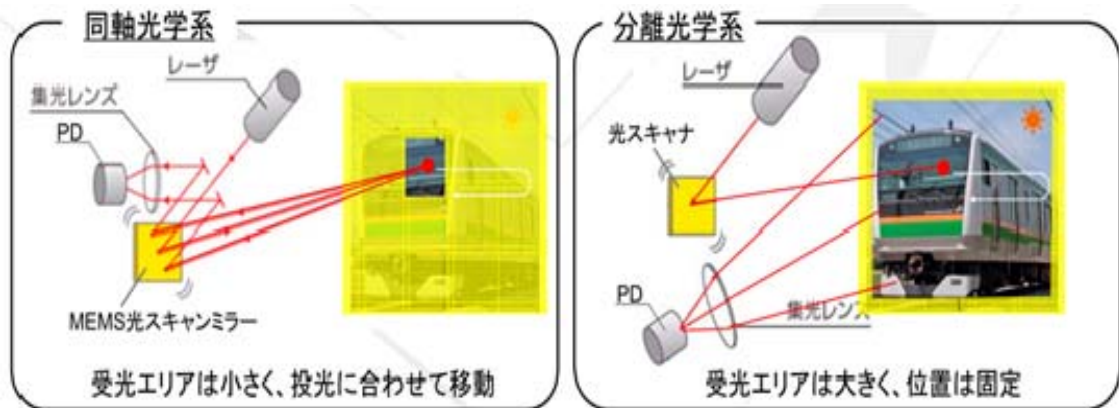


図 3-2-3-1. 同軸光学系と分離光学系

### 3 - 2 - 4. 安全機能の向上

#### 3 - 2 - 4 - 1. FTA/FMEAによる故障解析

開発仕様を達成すべく既開発のベース機の改良設計品を前提として、ロボットシステムにおける部品レベルのリスクアセスメントを実施し、安全機能の向上と開発課題の抽出を行った。そのために、FTA (Fault Tree Analysis)、ならびにFMEA (Failure Mode and Effects Analysis) による故障解析を実施した結果を、図3-2-4-1～3-2-4-5、並びに、表3-2-4-1～3-2-4-8にそれぞれ示す。

FTAでは、3Dセンサの基本機能である(1)MEMS光スキャナによるレーザ走査機能、(2)測距機能、および(3)レーザ放射機能において異常が発生する原因解析を実施した。解析ツリーの各枝の最終端ブロックに処置方法を記載しているが、3-2-4-2. 項で述べるセルフチェック機能によって不良への対応を行っている。すなわち、それらの不良事象を検出して3Dセンサの異常状態を上位に知らせるとともに測距データの出力を停止して、信頼性の低いデータを出力しないようにしている。また、本3Dセンサは「クラス1レーザ製品」<sup>[\*1]</sup>であるが、これを保証するために、(3)レーザ放射機能についてFTA解析を実施した。その結果、3D距離画像を取得するフレーム周期ごとに、4つのチェック項目からなる自己診断サイクルによって安全を確認してからレーザ放射することにした。

[\*1] 「クラス1レーザ製品」：合理的に予見可能な運転条件において安全なレーザで、人が被曝しても障害はない。

FMEAでは、3Dセンサの構成要素(1)投光部、(2)走査部、(3)受光部、(4)測距部、(5)データ処理部、(6)通信部、(7)制御部、(8)電源部、および(9)筐体部の各部の部品に故障が発生したときに、センサ機能への影響解析を実施した。その結果、重要度<sup>[\*2]</sup>の高い項目を抽出し、重要度を下げる処置を実施して設計・製作に反映した。

[\*2] 重要度：各故障事象について【発生度合】、【影響度合】、および【検出度合】の観点から評点をつけ、3者の乗算により算出して影響評価する。基準点以上の事象は何らかの処置をして重要度を下げる。







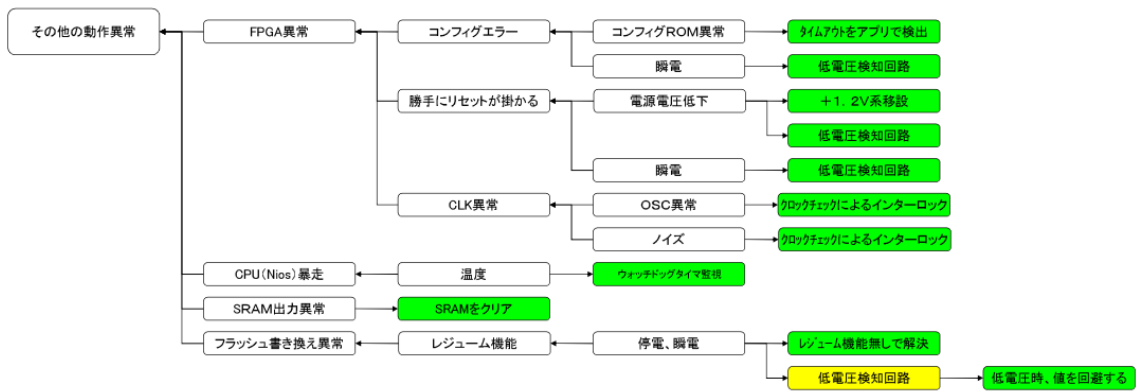
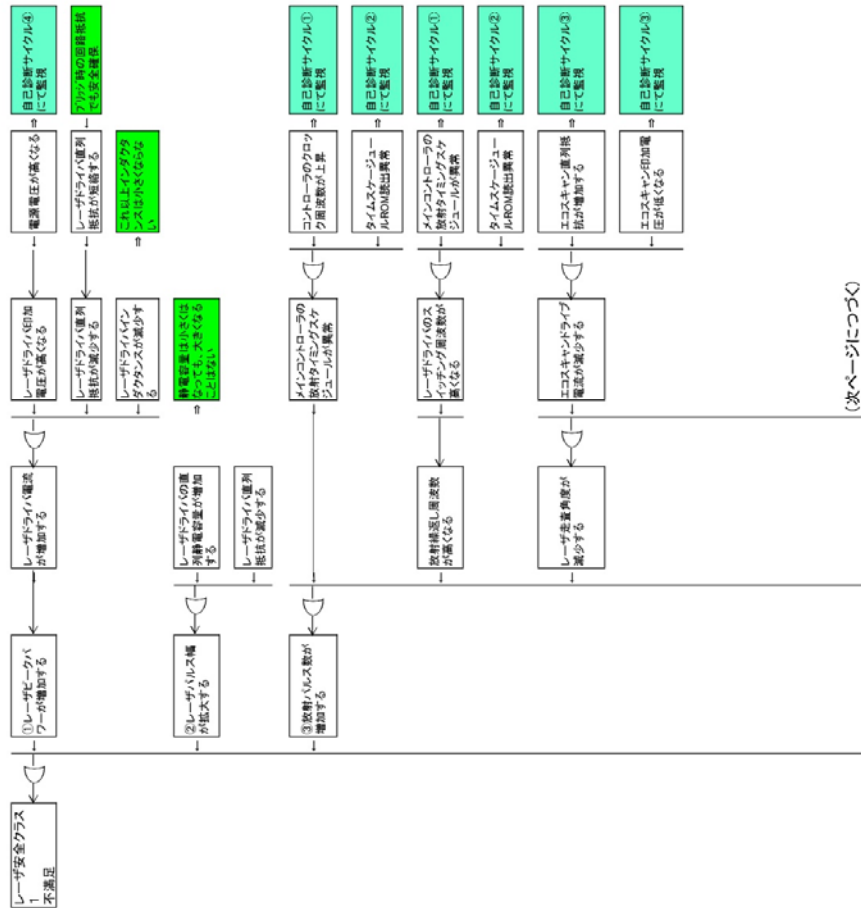


図 3-2-4-3. FTAによる故障解析 (3/5)

レーザー安全FTA



(次ページにつづく)

自己診断サイクル

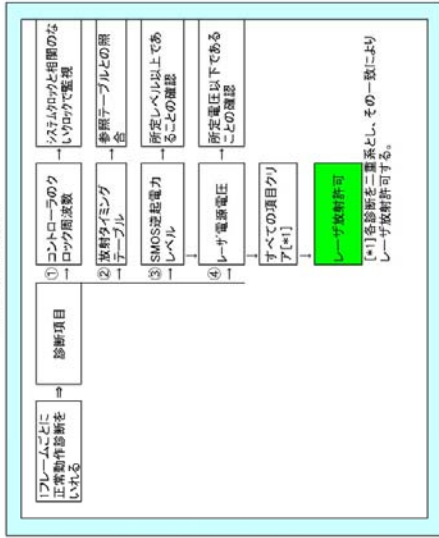


図 3-2-4-4. FTAによる故障解析 (4/5)

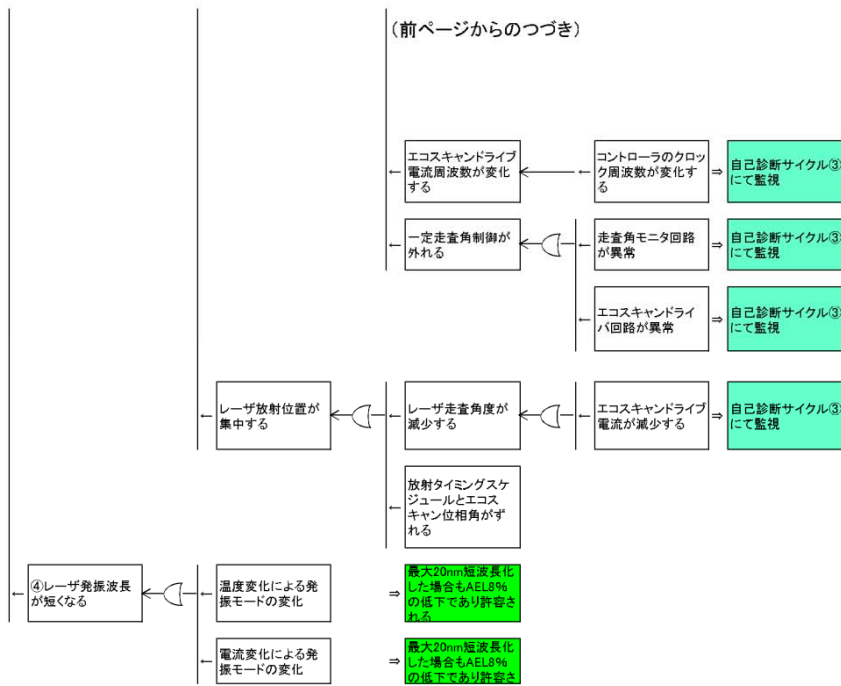


図 3-2-4-5. FTAによる故障解析 (5 / 5)

表3-2-4-1. FMEAによる故障解析(1/8)

| 部品名                   |                | 機能/仕様                         | 不良モード  | 不良の影響                | 不良の原因/メカニズム   | 現状または原案                           |          | 処置の結果 |          |   |                    |
|-----------------------|----------------|-------------------------------|--|----------------------|---|-----------------------------------|----------|-------|----------|---|--------------------|
| サブ1                   | サブ2            |                               |  |                      |   | 現状の管理方法<br>(設計の考え方)               | 検出<br>頻度 | 実施処置  | 検出<br>頻度 |   |                    |
| メイン<br>3Dレーザ測<br>域センサ | サブ1<br>optics系 | サブ2<br>レーザ素子                  | 発光せず   | 測定不能                 | 発光故障<br>初期不良  | 発光モニタで異常<br>検出(メーカにて要返却)          | 1        | 4     | 1        | 4 |                    |
|                       |                |                               | パワー低下  | 測定性能低下               | 温度変化  | 発光側でパワー<br>低下(メーカにて要返却)           | 1        | 1     | 1        | 1 |                    |
|                       |                |                               | 10年に満たず10年以上か<br>素子の寿命は10年以上か                      | 測定不能                 | 材料故障  |                                   | 1        | 4     | 1        | 4 |                    |
|                       |                |                               | 正しい測定タイミングでレー<br>ザ検出し、測定を行う                        | 距離測定異常               | タイミングエラー/故障   | タイミングエラーに<br>SUM チェック機能を<br>取り、監視 | 1        | 4     | 1        | 4 |                    |
|                       |                |                               | レーザ放射タイミングがずれ<br>る                                 | レーザ安全性に不成立           | タイミングエラー/故障   | クロック監視回路によるイン<br>ターロック機能          | 1        | 5     | 1        | 5 |                    |
|                       |                |                               | レーザが安全   | レーザ放射照射              | レーザ検出回路故障   | 回路構造的に<br>照射防止はあ<br>りえない          | 1        | 5     | 1        | 5 |                    |
|                       |                |                               | レーザが安全<br>センサ周囲温度-10℃<br>+40℃の範囲にて、出力降<br>下を起さないこと | クラス1を超えるレーザ出力に<br>なる | 温度変化によるLD出力変<br>動<br>コンデンサ故障  | 温度特性、公差を考慮して出<br>力を設定             | 1        | 5     | 1        | 5 |                    |
|                       |                |                               | LD素子に規定電圧を流<br>す電源ケーブルで電圧を制御す<br>る                 | クラス1を超えるレーザ放射<br>射   | HV基板の過電圧<br>ドライブ回路のインピー<br>ダンスが低下する(抵抗がシ<br>ョート<br>過電圧素子の精度不<br>良<br>温度モータ不良              | LD電圧リミット回路実装                      | 1        | 5     | 1        | 5 |                    |
|                       |                |                               | LD素子に規定電圧を流<br>す                                   | 測定不能/精度低下            | LD素子の製造不良<br>ドライブ回路のインピー<br>ダンスが増加する(抵抗の一部が<br>外れる、接続不良)<br>温度特性正タープルの精度不<br>良<br>温度モータ不良 | LD電圧リミット回路実装                      | 1        | 4     | 1        | 4 |                    |
|                       |                |                               | インターロック機能  | インターロックの作動不良         |   | 別途FTAにて分析                         |          |       | 0        |   | 【要調査】<br>既実施FTAの精査 |
|                       |                |                               | ハルス幅の拡大  | レーザ安全クラス1を満た<br>せない  | コンデンサー容量が小さくな<br>る  | 選料、公差を考慮した設計                      | 1        | 5     | 1        | 5 |                    |
|                       |                |                               | ハルス幅の拡大  | 測定精度不良               | コンデンサー容量が小さくな<br>る  | 選料、公差を考慮した設計                      | 1        | 4     | 1        | 4 |                    |
| ハルス幅の縮小               | 測定精度不良/不飽和     | コンデンサー容量が小さくな<br>る<br>電圧降下による | 選料、公差を考慮した設計                                       | 1                    | 4   | 1                                 | 4        |       |          |   |                    |

表 3-2-4-2. FMEAによる故障解析 (2/8)

| メイン<br>3Dレーザ測<br>域センサ | 部品名        |              | 機能/仕様   | 不良モード                   | 不良の影響             | 不良の原因<br>/メカニズム                      | 現状または原案  |                      |                      | 処置の結果                |                      |                      |  |  |  |  |
|-----------------------|------------|--------------|---|-------------------------|-------------------|--------------------------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|--|--|--|
|                       | サブ1<br>投光系 | サブ2<br>発光モータ |   |                         |                   |                                      | 現状の管理方法<br>(設計の考え方)  | 発生<br>頻度<br>発生<br>割合 | 検出<br>頻度<br>検出<br>割合 | 発生<br>頻度<br>発生<br>割合 | 検出<br>頻度<br>検出<br>割合 | 発生<br>頻度<br>発生<br>割合 |  |  |  |  |
|                       |            |              | ○基本機能<br>スタートパルスを生感する                                 | スタートパルスが生感されない          | 測距不能              | 発光モータ故障<br>レーザ故障                     | フレームごとの発光回数をか<br>ウントする                                     | 1                    | 4                    | 1                    | 4                    |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              | ○故障、異常検出<br>レーザの故障を検出可能か<br>発光確認                      | レーザの故障を判断できない           | 測距動作停止            | PD発光軸がし                              | OOTでの検出と出荷検査   | 1                    | 4                    | 1                    | 4                    |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              | ○基本機能<br>1mm x 5mmのSMOS投光部<br>に集光する                   | 光軸ずれ                    | 測距性能低下            | 振動、衝撃                                | 規定条件での振動・衝撃試験<br>に耐える構造設計と、試験実<br>証保証                      | 1                    | 4                    | 3                    | 12                   |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              | 規定の投光ビーム拡がり角  | 広がる                     | 測距性能低下<br>角度分解能低下 |                                      |  | 1                    | 2                    | 1                    | 2                    |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              |   | 狭くなる                    |                   |                                      | 理論的に狭くなることはない<br>(回折限界)                                    | 1                    | 2                    | 1                    | 2                    |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              | ○測距精度<br>センサ周囲温度-10℃~<br>+70℃の範囲で発光パワー約<br>8Wを下回らないこと | パワー低下(約8Wを下回る)          | 測距性能低下            | 温度変化による光軸ずれ                          |  | 1                    | 4                    | 1                    | 4                    |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              | 所定の透過率(70%以上)を<br>満たすこと                               | 透過率低下                   | 測距性能低下            |                                      |  | 1                    | 4                    | 1                    | 4                    |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              | 所定の射出角度   | 射出角度がずれる                | 設置に影響             | ・光学系の取り付け精度<br>・エッジキャンチングの取り付<br>け精度 |  | 1                    | 4                    | 1                    | 4                    |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              | ○寿命、耐久性<br>耐久性は十分か                                    | ミラ、レンズ汚れ、反射率、<br>透過率の劣化 | 測距性能低下            | 耐久性不足                                | 所定条件のある部材を使<br>用して耐久性を向上<br>加減試験を実施                        | 1                    | 4                    | 3                    | 12                   |                      |  |  |  |  |
|                       |            |              |   |                         |                   |                                      | 【要処置】<br>※重要度が2以上の上<br>項目を赤字表示(重要<br>の軸案が切済済となっ<br>たら赤字に赤) |                      |                      |                      |                      |                      |  |  |  |  |

表3-2-4-3. FMEAによる故障解析(3/8)

| メイン<br>3Dレーザ測<br>域センサ | 部品名        |                      | 機能/仕様   | 不良モード                | 不良の影響  | 不良の原因<br>/メカニズム          | 現状または原案<br>現状の管理方法<br>(設計の考え方)   | 現状       |          |         | 処置の結果    |          |         |  |
|-----------------------|------------|----------------------|---|----------------------|--|--------------------------|--|----------|----------|---------|----------|----------|---------|--|
|                       | サブ1<br>走査系 | サブ2<br>MEMS<br>光スキャナ |   |                      |  |                          |  | 発生<br>頻度 | 検出<br>頻度 | 影響<br>度 | 発生<br>頻度 | 検出<br>頻度 | 影響<br>度 |  |
|                       |            |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○基本機能<br/>センサ周囲温度-10℃~+20℃の範囲で動作し、精度±15%、重複±30%で走査できる</li> </ul> | 走査角不足                | 走査範囲が変わり、測定ア<br>ルゴリズムに影響する<br>・「プラス」を減らさなくなる |                          |  | 3        | 4        | 1       | 12       |          |         |  |
|                       |            |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○温度特性<br/>センサ周囲温度-10℃~+20℃の範囲で検出値が所<br/>定の値で出力される</li> </ul>     | 検出値が所定の値より小さ<br>くなる  | 走査範囲が変わり、測定アル<br>ゴリズムに影響する                   |                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・温度センサー制御による<br/>測定方法を指定する</li> <li>・検知コイル出力温度変化率<br/>の個体差異常が吸収できる</li> <li>・温度補正テーブルを作成</li> </ul> | 3        | 4        | 1       | 12       |          |         |  |
|                       |            |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○温度特性<br/>センサ周囲温度-10℃~+20℃の範囲で検出値が所<br/>定の値で出力される</li> </ul>     | 検出値が所定の値より大き<br>くなる  | アンプのダイナミックレンジを<br>越える                        |                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>・温特を考慮してアンプのダイ<br/>ナミックレンジを設定する</li> <li>・測定方法を指定する</li> </ul>                                      | 1        | 4        | 1       | 4        |          |         |  |
|                       |            |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○寿命、信頼性<br/>寿命は10年以上か</li> </ul>                                 | 測定値らび(ジッタ)が大きくな<br>る | 角度分解能低下<br>距離精度低下                            |                          |  | 1        | 4        | 1       | 4        |          |         |  |
|                       |            |                      |   |                      |  | SMOS寿命が仕様未満              | 検計中  | 5        | 4        | 5       | 100      |          |         |  |
|                       |            |                      |   | 10年に満たずに故障           | センサ故障  |                          |  | 5        | 4        | 1       | 20       |          |         |  |
|                       |            |                      |   |                      |  | 周囲温度+内部温度上昇に<br>よって寿命が加減 | 温度上昇抑制<br>温度変化に対応した基準温度<br>設定  | 5        | 4        | 1       | 20       |          |         |  |
|                       |            |                      |   | 走査角不足                | 走査範囲が変わり、測定アル<br>ゴリズムに影響する                   |                          | フィードバック制御  | 1        | 4        | 1       | 4        |          |         |  |
|                       |            |                      |   | 走査角過大                |  | 制御設計不適切                  | フィードバック制御  | 1        | 4        | 1       | 4        |          |         |  |
|                       |            |                      |   | 駆動電流過大               | 配線・コイル部の温度上昇に<br>よってSMOS破損                   |                          |  | 5        | 4        | 1       | 20       |          |         |  |
|                       |            |                      |   | 走査角不足                | 走査範囲が変わり、測定アル<br>ゴリズムに影響する                   |                          | フィードバック制御<br>温度変化と対応したインター<br>ロックが作動   | 1        | 4        | 1       | 4        |          |         |  |
|                       |            |                      |   | 位相差がずれる              | 誤検知  | SMOS個体差を吸収する制御           | フィードバック制御  | 1        | 4        | 5       | 20       |          |         |  |
|                       |            |                      |   | 走査角不足                | 走査角が減少して、安全<br>性が不成立                         | 制御設計不適切                  | フィードバック制御とインター<br>ロック機構  | 1        | 5        | 1       | 5        |          |         |  |





表3-2-4-5. FMEAによる故障解析 (5/8)

| 部品名            | 機能/仕様                |   | 不良モード                              | 不良の影響      | 不良の原因<br>/メカニズム                   | 現状または原案                                 |                           |                          |                   | 処置の結果  |                                 |                          |  |
|----------------|----------------------|---|------------------------------------|------------|-----------------------------------|---|---------------------------|--------------------------|-------------------|--|---------------------------------|--------------------------|--|
|                | サブ1                  | サブ2   |                                    |            |                                   | 現状の管理方法<br>(設計の考え方)                     | 発生度<br>発生度<br>影響度<br>検出度  | 重要度                      | 検出度<br>影響度<br>発生度 | 実施処置   | 発生度<br>発生度<br>影響度<br>検出度        |                          |  |
| 3Dレーザ測<br>域センサ | 測距部                  | 光量検知回路  | ○測距精度<br>光量を検知する                   | 不良モード      | 不良の影響                             | 不良の原因<br>/メカニズム                         | 現状の管理方法<br>(設計の考え方)       | 発生度<br>発生度<br>影響度<br>検出度 | 重要度               | 検出度<br>影響度<br>発生度                                    | 実施処置                            | 発生度<br>発生度<br>影響度<br>検出度 |  |
|                |                      |   | 光量値の増大                             | 測距距離(距離異常) | 外乱によるプリアンプの飽和                     | 異常として出力する<br>後処理にて対応                    | 1 4 3 12                  | 12                       | 1 4 1 4           | 温度試験にて光<br>量値を確認する                                   | 1 4 1 4                         |                          |  |
|                | 共振測距回路               | 共振測距回路でストップパルスを生成する                           | ○測距精度<br>共振測距回路でストップパルスが生成<br>されない | 測距距離(距離異常) | 光量による飽和                           | 外乱によるAPD増倍率低下                           | 出力データにて異常を表示              | 5 4 1 20                 | 20                | 5 4 1 20   | 【要処置】<br>検査基準直し<br>FMEA測O       |                          |  |
|                |                      |   | ○外乱による誤検知を起こさ<br>ない                | 測距距離(距離異常) | 測距距離(距離異常)                        | 飽和するほどの受光レベル<br>は立上り測距となる               | 【要処置】<br>出力データにて異常を<br>表示 | 1 4 3 12                 | 12                | 1 4 3 12   | 【要処置】<br>共振/立上り切替しき<br>い値の適正化検討 |                          |  |
|                | 立上り測距回路              | 立上り測距回路でストップパルスを生成する                          | ○測距精度<br>外乱による誤検知を起こさ<br>されない      | 測距距離(距離異常) | ノイズ耐性不足<br>外乱光の影響                 | 外乱ノイズ耐性強化<br>受光視野角、プリアンプ<br>ノイズ低減       | 3 4 1 12                  | 12                       | 3 4 1 12          | 【要処置】<br>外乱ノイズ耐性強化<br>受光視野角、プリアンプ<br>ノイズ低減<br>FMEA測1 | 2 4 1 8                         |                          |  |
|                |                      |   | ○測距精度<br>立上り測距回路でストップパルスを生成する      | 測距距離(距離異常) | 測距距離(距離異常)                        | 判定ロジック見直し                               | 判定ロジック見直し                 | 1 4 3 12                 | 12                | 1 4 3 12   |                                 |                          |  |
|                | TDC<br>時間/デジタ<br>ル変換 | 測距精度<br>スケールストップパルスから<br>時間差を算出する             | 正しい時間差が算出されない                      | 測距距離(距離異常) | 測定レンジ外<br>TDCモード設定異常<br>ゲート遅延はらつき | TDC仕様に則った使い<br>方                        | 1 4 3 12                  | 12                       | 1 4 3 12          | 【要処置】<br>TDC仕様に則った使い<br>方                            |                                 |                          |  |
|                |                      |   | 測距不能値である情報が伝<br>達されない              | 測距距離(距離異常) | 測距距離(距離異常)                        | 測距のレンジは1.8usまでで、<br>それ以上は不能として出力さ<br>れる |                           | 1 4 1 4                  | 4                 | 1 4 1 4  |                                 |                          |  |
|                | A/D                  | 測距精度<br>周囲温度-10℃~+70℃の範<br>囲にて正しい距離が出力され<br>る | 測距不能値である情報が伝<br>達されない              | 測距不能       | 回路不良                              | 正確な距離が出力されなけ<br>れば判断可能                  | 1 4 1 4                   | 4                        | 1 4 1 4           |  |                                 |                          |  |
|                |                      |   | TDCの故障を判断する                        | 故障解析が困難    | 判断するための機能が<br>ない                  | TDC単独の故障を判断でき<br>機能を確認する                | 1 4 1 4                   | 4                        | 1 4 1 4           | 【要処置】<br>TDC単独の故障を判断<br>できる機能を確認する                   |                                 |                          |  |
| A/D            | 寿命、信頼性<br>寿命は10年以上か  | 正しい距離が出力されない                                  | 測距距離(距離異常)                         | 温度公差設計不適切  | 予備試験にて確認済み                        | 1 4 1 4                                 | 4                         | 1 4 1 4                  |                   |  |                                 |                          |  |
|                |                      | 10年に満たずに故障                                    | 測距距離(距離異常)                         | 偶発故障       | Te=85℃にて8392年                     | 1 4 1 4                                 | 4                         | 1 4 1 4                  |                   |  |                                 |                          |  |

表3-2-4-6. FMEAによる故障解析(6/8)

| メイン            | 部品名          |                             | 機能/仕様  | 不良モード                                     | 不良の影響  | 不良の原因/メカニズム               | 現状または原案                         |     |     |     | 処置の結果                        |                                 |     |      |   |   |
|----------------|--------------|-----------------------------|--|---|--|---------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|------------------------------|---------------------------------|-----|------|---|---|
|                | サブ1          | サブ2                         |  |   |  |                           | 現状の管理方法(設計の考え方)                 | 重要度 | 発生度 | 検出度 | 重要度                          | 発生度                             | 検出度 | 実施処置 |   |   |
| 3Dレーザ測<br>域センサ | 距離補正、<br>処理部 | 測距方式選択                      | ○測距精度<br>光量により目標測距、立上り<br>測距方式を選択する            | 正しい測距方式を選択しない                             | 誤測距(距離異常)  | 光量検知回路異常<br>光量検知回路出力のばらつき | 【要処置】<br>共振/立上り切替しき<br>い値の適正化後討 | 1   | 4   | 3   | 12                           | 【要処置】<br>共振/立上り切替しき<br>い値の適正化後討 | 1   | 1    | 3 | 3 |
|                |              |                             |  |   |  |                           |                                 | 2   | 3   | 6   | 1                            |                                 |     |      |   |   |
|                | 距離補正、<br>処理部 | 補正計算                        | ○測距精度<br>目標測距、立上り測距から得<br>られた時間差より、距離を計<br>算する | 測距値の精度悪化                                  | 誤測距(距離異常)  | 測距方式切り替えによる誤差             | 【要処置】<br>等光量パルスを見直し<br>FMEA補1   | 1   | 2   | 3   | 6                            | 【要処置】<br>等光量パルスを見直し<br>FMEA補1   | 1   | 1    | 3 | 3 |
|                |              |                             |  |   |  |                           |                                 | 2   | 3   | 6   | 1                            |                                 |     |      |   |   |
|                | 距離補正、<br>処理部 | 処理部                         | ○基本機能<br>CRC計算を行う                              | CRC計算値の誤り                                 | 測距値異常  | 回路不良                      | 【要処置】<br>補正式の見直しを検討             | 1   | 4   | 1   | 4                            | 【要処置】<br>補正式の見直しを検討             | 1   | 4    | 1 | 4 |
|                |              |                             |  |   |  |                           |                                 | 1   | 4   | 1   | 4                            |                                 |     |      |   |   |
|                | 距離補正、<br>処理部 | 距離補正、<br>処理部                | ○基本機能<br>データ転送する                               | データが出力されない。                               | センサ停止  | 回路不良                      | 受信側でCRCチェックを行い<br>データの正当性判定     | 1   | 4   | 1   | 4                            | 受信側でCRCチェックを行い<br>データの正当性判定     | 1   | 4    | 1 | 4 |
|                |              |                             |  |   |  |                           |                                 | 1   | 4   | 1   | 4                            |                                 |     |      |   |   |
|                | 距離補正、<br>処理部 | 距離補正、<br>処理部                | ○基本機能<br>データ転送する                               | 素/裏のデータが切り替わら<br>ない                       | 異常距離画番送出   | 回路不良                      | 受信側でタイマーチェック                    | 1   | 4   | 1   | 4                            | 受信側でタイマーチェック                    | 1   | 4    | 1 | 4 |
|                |              |                             |  |   |  |                           |                                 | 1   | 4   | 1   | 4                            |                                 |     |      |   |   |
| 距離補正、<br>処理部   | 距離補正、<br>処理部 | ○基本機能<br>データ転送する            | 正しいタイミングで出力されな<br>い                            | 送信遅れ                                      | 送信制御不良   | 面フラグで切り替わりを確認             | 5                               | 2   | 1   | 10  | (DMA転送タイミング<br>直し)<br>FMEA補2 | 2                               | 2   | 1    | 4 |   |
|                |              |                             |  |   |  |                           | 5                               | 2   | 1   | 10  |                              |                                 |     |      |   | 2 |
| 距離補正、<br>処理部   | 距離補正、<br>処理部 | ○データ信頼性<br>異常データ出力しないか      | 異常データ出力する                                      | ホームドアには含まれている<br>にも関わらず、はさまれてい<br>ないと判定する | センサ異常状態を通知しない<br>(インターロック動作時に<br>SRAM内のデータが書き換わ<br>らずに同じデータ出力し続<br>ける) | 面切替タイミングで送信               | 1                               | 5   | 1   | 5   | 面切替タイミングで送信                  | 1                               | 5   | 1    | 5 |   |
|                |              |                             |  |   |  |                           | 1                               | 5   | 1   | 5   |                              |                                 |     |      |   | 1 |
| 距離補正、<br>処理部   | 距離補正、<br>処理部 | ○寿命(信頼性)<br>寿命は10年以上か(FPGA) | 10年に満たずに故障                                     | センサ異常動作、またはセン<br>サ停止                      | センサ異常動作、またはセン<br>サ停止   | 面切替タイミングで送信               | 1                               | 4   | 1   | 4   | 面切替タイミングで送信                  | 1                               | 4   | 1    | 4 |   |
|                |              |                             |  |   |  |                           | 1                               | 4   | 1   | 4   |                              |                                 |     |      |   | 1 |
| 距離補正、<br>処理部   | 距離補正、<br>処理部 | ○寿命(信頼性)<br>寿命は10年以上か(FPGA) | 動作せず   | センサ停止                                     | 偶発故障   | 偶発故障                      | 1                               | 4   | 1   | 4   | 偶発故障                         | 1                               | 4   | 1    | 4 |   |
|                |              |                             |  |   |  |                           | 1                               | 4   | 1   | 4   |                              |                                 |     |      |   | 1 |

表3-2-4-7. FMEAによる故障解析(7/8)

| メイン<br>3Dレーザ測<br>域センサ | 部品名        |                | 機能/仕様                       | 不良モード                     | 不良の影響             | 不良の原因<br>/メカニズム                    | 現状または原案             |                 |                 |         | 推奨処置<br>※重要度が7以上の<br>項目を赤字表示(処置<br>の結果が7未満となっ<br>たら黒字に換る)         | 処置の結果           |                 |         |      |
|-----------------------|------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------|---|-----------------|-----------------|---------|------|
|                       | サブ1<br>通信部 | サブ2<br>Ether通信 |                             |                           |                   |                                    | 現状の管理方法<br>(設計の考え方) | 発生<br>頻度<br>/割合 | 検出<br>頻度<br>/割合 | 重要<br>度 |   | 発生<br>頻度<br>/割合 | 検出<br>頻度<br>/割合 | 重要<br>度 | 実施処置 |
|                       |            |                | 通信エラー                       | 測定異常によるデータ切捨て             | ハード的なノイズに対する設計不適切 | 通信ラインのノイズ耐性強化                      | 5                   | 2               | 1               | 10      | ケージルにノイズ対策(ケーブル)  | 3               | 2               | 1       | 6    |
|                       |            |                |                             | センサ停止                     | ソフト的なノイズに対する設計不適切 | CRCチェックによりエラーデータは排除                | 1                   | 2               | 1               | 2       | 【要処置】<br>静電気ノイズについてFMEA通1   |                 |                 |         |      |
|                       |            |                |                             | 他機器へ悪影響を与える               | ハード的なノイズに対する設計不適切 | 通信ラインのノイズ耐性強化                      | 5                   | 4               | 1               | 20      | 【要処置】<br>静電気ノイズについてFMEA通1   | 3               | 2               | 1       | 6    |
|                       |            |                | 通信切断                        | センサ停止                     | ソフト的なノイズに対する設計不適切 | WDTにて対応                            | 5                   | 4               | 1               | 20      | 【要処置】<br>ファームウェアでのリカバリ検討<br>FMEA通2                                |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 外部へノイズを放射する                 | 他機器へ悪影響を与える               | 瞬発により発生           | 瞬発リカバリリソース                         | 5                   | 4               | 1               | 20      | 【要処置】<br>外部電源、外部IF仕様を明確化する<br>FMEA通4                              |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 外部へノイズを放射しない<br>VCCIクラスAorB | 他機器へ悪影響を与える               | 放射ノイズ設計不適切        | 使用環境考慮してクラス選定(ワークスペース? エミッション低減設計) | 5                   | 4               | 1               | 20      | 【要処置】<br>使用環境考慮してクラス選定(ワークスペース? エミッション低減設計)<br>VCCI標準準拠<br>FMEA通3 |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 異常データを出力する                  | 測定異常によるデータ切捨て             | 通信部へのノイズ          | CRCチェック<br>通信部のノイズ耐性強化             | 1                   | 4               | 1               | 4       |   |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 正常な電圧が生成されない                | レーザ光量が大々くなる               | 温特の考慮不足           | 温特特性、公差を考慮した設計                     | 1                   | 5               | 5               | 25      | 【要処置】<br>温度テーパールにて制御<br>FMEA通1                                    |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 正常な電圧が生成されない                | センサ異常動作、またはセンサ停止          | 設計不適切             | 電源回路部品のテラレーティング設計                  | 1                   | 4               | 1               | 4       | 【要処置】<br>コンデンサ他のテラレーティング設計  |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 監視回路の故障                     | 電圧が低下しても異常を感知しない          | 設計不適切             | 監視回路が未決(実装する方向で検討中)                | 1                   | 4               | 1               | 4       |   |                 |                 |         |      |
|                       |            |                |                             | 正常電圧状態であっても異常と検知する        | 設計不適切             | 故障確率は低い                            | 1                   | 4               | 1               | 4       |   |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 所定範囲外の電圧になる                 | 測定性能低下<br>センサ動作不安定<br>誤測阻 | 発熱による部品故障         | IC等のジャンクオン温度125℃の使用を考慮した放熱設計       | 5                   | 4               | 4               | 80      | 【要処置】<br>動作電圧検証<br>125℃の使用を考慮した放熱設計<br>FMEA通1                     |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 10年に満たずに故障                  | センサ停止<br>センサ動作不安定         | コンデンサの寿命          | コンデンサを長寿命品に変更                      | 1                   | 4               | 1               | 4       | 【要処置】   |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 誤動作                         | 誤測阻(距離異常)                 | ノイズ耐性不足           | コンデンサ選択不良によるリップル電流大                | 5                   | 4               | 5               | 100     | 【要処置】<br>コンデンサ選択によるリップル電流測定 FMEA通1                                |                 |                 |         |      |
|                       |            |                | 外部へノイズを放射する                 | 他機器へ悪影響を与える               | 放射ノイズ設計不適切        | 放射ノイズ設計                            | 5                   | 4               | 5               | 100     | 【要処置】<br>電流電源リプル試験<br>FMEA通3                                      |                 |                 |         |      |
|                       |            |                |                             |                           |                   |                                    | 5                   | 4               | 5               | 100     | 【要処置】<br>VCCI評価実施<br>FMEA通4                                       |                 |                 |         |      |

表3-2-4-8. FMEAによる故障解析(8/8)

| メイン            | 部品名 |     | 機能/仕様                      | 不良モード                 | 不良の影響             | 不良の原因<br>/メカニズム         | 現状または原案             |      | 処置の結果 |      |      |      |   |   |   |   |   |
|----------------|-----|-----|----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|------|-------|------|------|------|---|---|---|---|---|
|                | サブ1 | サブ2 |                            |                       |                   |                         | 現状の管理方法<br>(設計の考え方) | 優先順位 | 優先順位  | 実施処置 | 優先順位 | 優先順位 |   |   |   |   |   |
| 3Dレーザ測<br>域センサ | 筐体  | 筐体  | ○防水からの水進入を防ぐ<br>(IP45)     | 水が浸入する                | センサ故障             | 設計不適切                   | 1                   | 4    | 4     |      |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○結露防止                      | 温度の昇降により光学部品に<br>結露する | 測定値(距離異常)         | 急激な周囲温度低下や急激<br>な内部温度上昇 | 5                   | 4    | 1     | 20   |      |      | 3 | 3 | 1 | 9 |   |
|                |     |     | ○寸法、取付、重量<br>取り付け精度を保つ     | 取付時に負荷がかかる            | 動作不可、またはセンサ破<br>壊 | 公差設計不適切                 | 2                   | 4    | 1     | 8    |      |      |   | 2 | 4 | 1 | 9 |
|                |     |     | ○寸法、取付、重量<br>基本強度を保つ       | 負荷にて筐体変形              | センサ破損             | 強度設計不適切                 | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○騒音、振動、ノイズ<br>各種ユニットを保護する  | 水撃すれ                  | 測定性能低下            | 振動・衝撃                   | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○騒音、振動、ノイズ<br>保護光窓を保持する    | 回転故障                  | 測定性能低下<br>測定不能    | 振動・衝撃                   | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○寿命、耐久性<br>耐久性は十分か         | 受光窓の位置、角度がず<br>れる     | 反射光による遠光の発生       | 固定強度不足                  | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○安全性<br>可燃性の材料を使用している<br>か | 筐体のヒート                | 外乱光の浸入            | 固定強度不足                  | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○安全性<br>可燃性の材料を使用している<br>か | 固定される稼働条件下で耐<br>火     | 水、ほこり等の浸入         | 耐火設計不適切                 | 1                   | 3    | 1     | 3    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○安全性<br>可燃性の材料を使用している<br>か | 固定される稼働条件下で耐<br>火     | 水、ほこり等の浸入         | 耐火設計不適切                 | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○安全性<br>可燃性の材料を使用している<br>か | 固定される稼働条件下で耐<br>火     | 水、ほこり等の浸入         | 耐火設計不適切                 | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○安全性<br>可燃性の材料を使用している<br>か | 固定される稼働条件下で耐<br>火     | 水、ほこり等の浸入         | 耐火設計不適切                 | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○安全性<br>可燃性の材料を使用している<br>か | 固定される稼働条件下で耐<br>火     | 水、ほこり等の浸入         | 耐火設計不適切                 | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |
|                |     |     | ○安全性<br>可燃性の材料を使用している<br>か | 固定される稼働条件下で耐<br>火     | 水、ほこり等の浸入         | 耐火設計不適切                 | 1                   | 4    | 1     | 4    |      |      |   |   |   |   |   |

### 3-2-4-2. セルフチェック機能

センサ内の機能・動作に異常がないか監視し、異常発生時には直ちに測距を停止し、代わりにエラーコードを出力する。表3-2-4-8に、セルフチェック機能の概要を示す。各項目のチェックは、一部の制御データ内容確認<sup>[\*]</sup>を除いてすべて3D距離画像を取得するフレーム周期（フレームレート16fpsであれば、62.5ms）の頻度で実施する。

<sup>[\*]</sup>Flash ROMに格納されている一部制御データは、制御レジスタ等に転送・展開する電源起動時にチェックする。

表3-2-4-8. セルフチェック機能

| チェック項目               | 内容  |
|----------------------|---|
| レーザー安全（インタロック）に関すること | レーザー放射制御に関わる機能が損なわれ、クラス1レーザー製品の状態を満足できない恐れがないかチェックする（クラス1レーザー製品の状態を満足している場合に、レーザー放射許可）。 |
| MEMS光スキャナ制御に関すること    | 走査振幅、走査位相を所定の値に保つ制御回路・制御ロジックの異常がないかチェックする。<br>スキャナ駆動電圧の経年変化を監視し、制御限界に至る前に警告する機能をもつ。     |
| 測距制御に関すること           | レーザーの放射タイミング、放射パワーを所定の値に保つ制御回路・制御ロジックに異常がないかチェックする。<br>測距値の妥当性を確認して出力する。                |
| センサ内通信制御に関すること       | 測距データ転送、制御信号転送に誤りがないか、制御回路に異常がないかチェックする。  |
| メモリ制御に関すること          | 測距データ、制御データ等を取扱う<br>FlashROM、SRAM等のメモリのアクセス制御が正しく行われているかモニタする。                          |

### 3-2-4-3. 上位とのインターフェース

ロボットシステム（以下、ホスト）と3Dセンサ間のデータ授受の安全性・信頼性を確保するために、両者のインターフェースの仕様を以下のように設定した。

#### (1) UDP/IPプロトコルの採用

ロボットシステム内のデータ通信ネットワーク環境や、3Dセンサの測距データ転送速度、並びにデータ処理のリアルタイム性を考慮して、ホストとのインターフェースは、Ethernet（100Base-TX）を物理的伝送媒体としたUDP（User Datagram Protocol）をベースに構築した。TCP（Transmission Control Protocol）と比べ、パケット損失の頻度が高いなどデータ転送の信頼性は劣るが、刻々と変わるロボット周辺環境センシングには、多くのデータを遅延なく転送する方が安全性が高まると考えた。

図3-2-4-6に、UDP/IP層の上位層のホストと3Dセンサ間の通信フォーマットを示す。



図3-2-4-6. 通信フォーマット

また、表3-2-4-9に、通信コマンド/レスポンスのデータ種別一覧を示す。コマンドはホストから3Dセンサへの送信、レスポンスは3Dセンサからホストへの送信にそれぞれ使う。



表 3-2-4-9. 通信コマンド/レスポンスのデータ種別

|    | 名称               | データ種別  |        | 機能                                      |
|----|------------------|--------|--------|---|
|    |                  | コマンド   | レスポンス  |   |
| 1  | 開始               | 0x0101 | 0x0111 | FX8 の測距動作を開始! $\text{FF}$               |
| 2  | 停止               | 0x0102 | 0x0112 | FX8 の測距動作を停止! $\text{FF}$               |
| 3  | インジケータ設定         | 0x0104 | 0x0114 | インジケータ点灯制御を設定! $\text{FF}$              |
| 4  | 測距モード切り替え        | 0x0105 | 0x0115 | 測距モードを切り替え $\text{FF}$                  |
| 5  | センサ情報要求          | 0x0121 | 0x0131 | FX8 の設定情報を要求、取得! $\text{FF}$            |
| 6  | XY データ要求         | 0x0122 | 0x0132 | XY データを要求、取得! $\text{FF}$               |
| 7  | 測距モード指定センサ情報要求   | 0x0123 | 0x0133 | 測距モードを指定して FX8 の設定情報を要求、取得! $\text{FF}$ |
| 8  | 測距モード指定 XY データ要求 | 0x0124 | 0x0134 | 測距モードを指定して XY データを要求、取得! $\text{FF}$    |
| 9  | センサ時刻設定          | 0x0141 | 0x0151 | センサ時刻を設定! $\text{FF}$                   |
| 10 | センサ時刻取得          | 0x0142 | 0x0152 | センサ時刻を取得! $\text{FF}$                   |
| 11 | 時刻同期             | 0x0143 | 0x0153 | ホストとの時刻同期 $\text{FF}$                   |
|    |                  | 0x0144 | 0x0154 |   |

### (2) CRC-32-IEEE802.3によるデータ誤り検出

UDP/IP層においてもデータ誤り検出を行っているが、当層においてさらに検出精度の高いCRC-32-IEEE802.3<sup>[\*]</sup>を採用して、データの信頼性を高めた。

[\*]生成多項式：

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

### (3) 3Dセンサ異常状態の検出とエラーコードの転送

3-2-4-2項で述べたセルフチェック機能で3Dセンサが異常状態を検出した場合は、測距を停止してホストに向けてエラーコードを送信する。表3-2-4-10のように、通信フォーマットにおいて「データ種別」フィールドを、「測距データ(0x0171)」から「エラーコード(0x0191)」に切り替えて、エラーコードの内容を送信する。

このように、3Dセンサが異常状態にあるときは直ちにエラーコードをホストに通知して、不確かな測距データが使われないような仕組みとしている。



表 3-2-4-10. データ種別の測距データとエラーコード

| データ種別  |             | 機能                         |
|--------|-------------|----------------------------|
| 項目名称   | コード         |                            |
| 測距データ  | 0 x 0 1 7 1 | 測距データを出力する                 |
| エラーコード | 0 x 0 1 9 1 | 3Dセンサの異常発生、並びに異常状態の内容を通知する |

なお、3Dセンサからホストにレスポンスを送信するときに、表 3-2-4-11 のレスポンスコードを設定して返答する。

表 3-2-4-11. 3Dセンサのレスポンスコード

| コード  | 判定識別   | 内容と要因               |
|------|--------|---------------------|
| 0x00 | ACK    | 処理が正常に完了            |
| 0x01 | NAK_01 | 処理異常                |
| 0x02 | NAK_02 | パラメータ、設定値異常         |
| 0x10 | NAK_10 | CRC 異常              |
| 0x11 | NAK_11 | 通信フォーマットサイズ異常       |
| 0x80 | BUSY   | 測距動作中に処理できないコマンドを受信 |

#### (4) ロボットシステムと3Dセンサの時刻同期

3Dセンサが出力する各測距データ流の測距・取得タイミングをホストと共有するために、以下の手順にて互いの時刻同期、並びに測距データにタイムスタンプを付与した。

##### ①センサ時刻設定 (ホスト→3Dセンサ) :

ホストから3Dセンサの時刻を設定する。西暦2000年1月1日0時0分0秒0ミリ秒を起点として、1ミリ秒単位で経過時間を6バイトで表す。

例) 「2010年11月17日 12時0分0秒0ミリ秒」は、

$$\begin{aligned}
 & ((3973日 \times 86400秒) + (12時 \times 3600秒)) \times 1000 \text{ ミリ秒} \\
 & = 343,310,400 \text{ ミリ秒} = (004FEEEE4FA00) \text{ h ミリ秒} \\
 & \rightarrow 0x00, 0x4F, 0xEE, 0xE4, 0xFA, 0x00 \text{ と設定}
 \end{aligned}$$

##### ②センサ時刻取得 (ホスト←3Dセンサ) :

①で設定した時刻を確認するために、3Dセンサに設定した時刻をホストが取得する。

##### ③時刻同期 (ホスト⇄3Dセンサ) :

図 3-2-4-7 のシーケンスで、ホストの時刻と3Dセンサの時刻を同期 (時刻

合わせ) する。

ホストから「時刻同期コマンド」送信し、3Dセンサはこれを受信したら直ちに「 $A_{S1}$  : メッセージ送信時刻」を付して「メッセージ」(レスポンス)を送信する。これを受けてホストはさらに、「 $B_{R1}$  : メッセージ受信時刻」「 $B_{S1}$  : フィードバック送信時刻」を付して「フィードバック」(コマンド)を送信する。最後に3Dセンサは、このフィードバックを受信したら、さらに「 $A_{R1}$  : フィードバック受信時刻」を付して「時刻同期レスポンス」を送信する。このとき、「メッセージ」と「フィードバック」の転送時間が同じならば、

$$(B_{R1} + B_{S1}) / 2 = (A_{S1} + A_{R1}) / 2$$

となり、時刻同期が可能となる。実際には「メッセージ」と「フィードバック」の転送時間は若干異なるので同期誤差は生じるが、実用上問題にはならない誤差である。

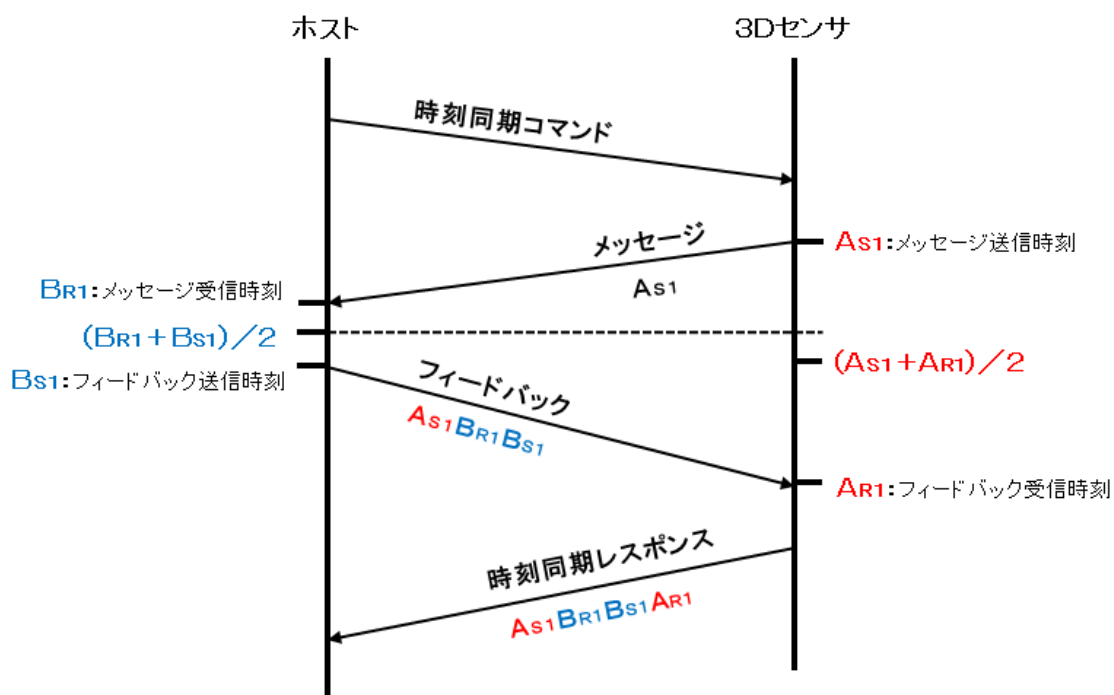


図 3-2-4-7. 時刻同期のシーケンス

④タイムスタンプ付き測距データ（ホスト←3Dセンサ）：

測距データ（距離値・光量値）は、3D距離画像の1フレーム分（水平53×垂直33=1749画素）を1パケットとして出力されるが、各パケット（フレーム）にタイムスタンプ（③で同期した時刻）を付している（図3-2-4-8参照）。

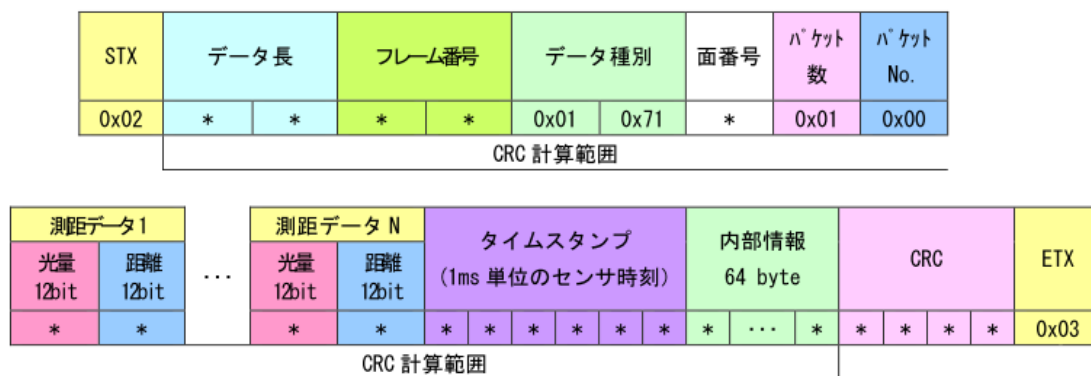


図3-2-4-8. 測距データの通信フォーマット

#### 3-2-4-4. 検知性能の向上（検知距離の拡大と角度分解能の向上）

ロボットが10 km/hで走行中に安全に減速するためには、走行系の制動時間や検知の処理時間等を考慮すると、5～10 m先の障害物まで検知することが必要になる。また、5～10 m先の障害物の最小サイズがφ100 mmとすると、角度分解能の最小は10～20 mradに相当する。ベース機の検知距離の最大は5 m（@拡散反射率12%）、角度分解能の最小は20～27 mradであるため、遠方・細径の障害物を検知漏れする恐れがある。

これらの検知性能の向上を図るために、以下の方策を検討した。

##### （1）検知距離の拡大

レーザ投光ビームのフォーカス位置の最適化による受信信号の向上や、レーザ投光／受光回路の雑音低減によって受信信号／雑音比（S/N比）の向上と、検知しきい値の低減によって受信感度を向上する。

受信信号レベルは、レーザ投光ビームのスポットサイズが小さいほど高くなる。図3-2-4-9のように、受信信号レベルが低下する長距離側に投光系のフォーカス位置をシフトして、長距離側の受信信号レベルを向上する。また、高速・大電流の電流パルスによるパルスレーザ駆動に伴ってパルス状の雑音が発生し、空間放射／基板・ケーブル伝導により受光回路に雑音が混入する。空間放射雑音は、レーザ駆動回路と受光回路の各基板に電磁シールド板を装着して低減する。基板・ケーブル伝導雑音は、受光回路に伝導しないような雑音経路を設ける。

以上によって、受信S/N比を約3 dB改善と、検出しきい値低減を図る。

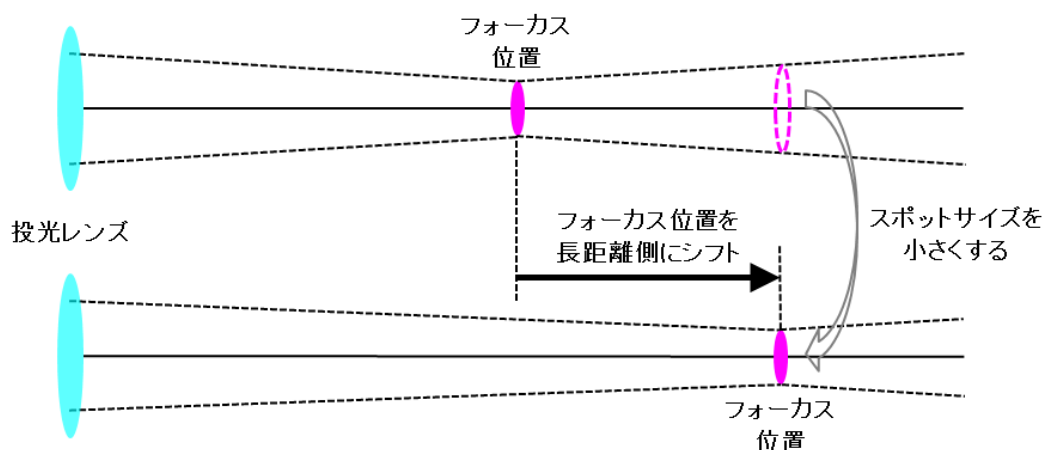


図3-2-4-9. 投光ビームのフォーカス位置シフト

## (2) 角度分解能の向上

レーザ投光ピッチやレーザ投光ビームプリファイル、投光パターンの最適化によってレーザ投光の隙間を低減する。

角度分解能向上のために、図3-2-4-10のように画素数を変えないでレーザ投光ピッチ、投光パターンを工夫して、実効的に検知漏れの低減を図る。[ベース機]では、円柱状の障害物の長手方向と、偏平の投光ビームスポットの偏平方向がそろった場合に、投光パターンの隙間に障害物が入り込んで検知不能になることがある。[パターン案1]ではビームスポットを投光軸周りに45°回転して隙間を狭くする。[パターン案2]では相隣り合うビーム列を市松パターンに半ピッチシフトすることで、一方方向のみ投光ピッチを2倍にできる。ここでは、[パターン案2]を採用して角度分解能の向上を図る。

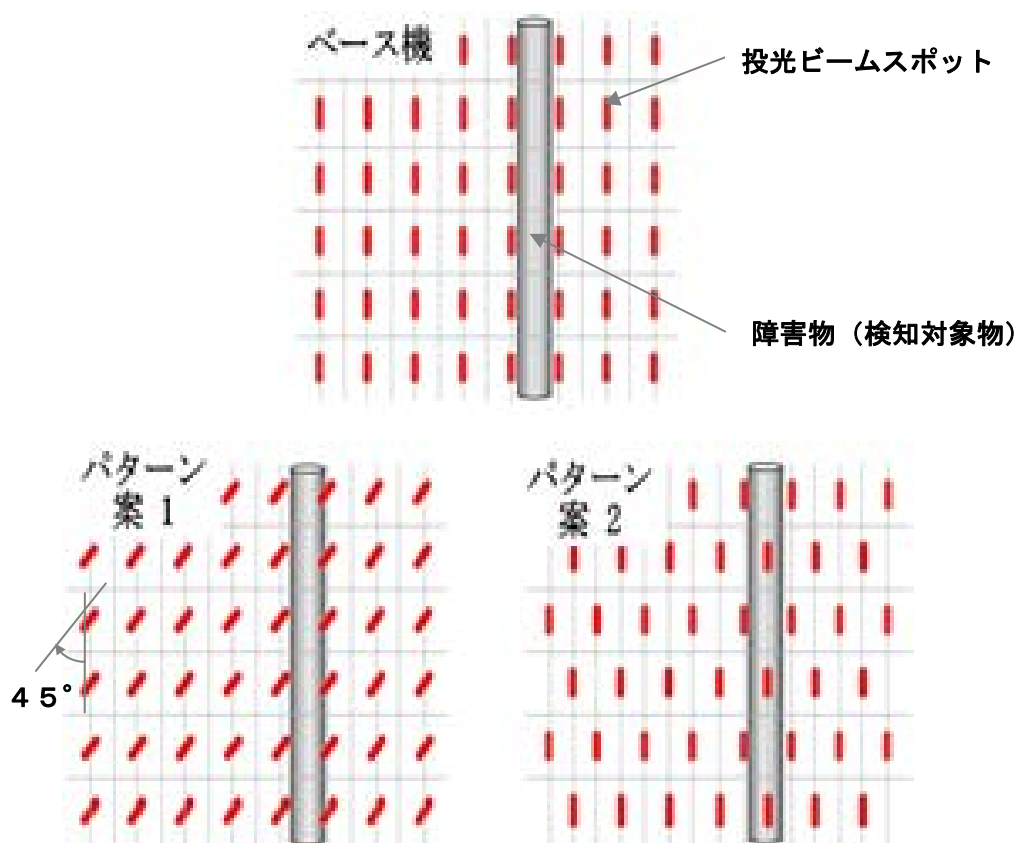


図3-2-4-10. レーザ投光パターンによる角度分解能向上

### 3-2-4-5. 窓ガラスコートの耐環境性/耐候性向上

本3Dセンサの窓ガラスは、センサ内部と外部を分離して、外部からの粉塵の侵入を防ぎ内蔵物の保護をする役割がある。同時に、投光/受光ビームを効率よく透過させる必要があり、所要のセンサ性能を達成するために、使用レーザ波長で高い透過率が要求される。通常のシリカ系のガラスの場合、最高でも約90%程度の透過率にしかならないため、窓ガラスの両面には無反射コート（反射率1%以下）等の成膜を施して透過率アップを図っている。

しかし、外気等に曝される窓ガラス外部面には、図3-2-4-11のように外部からの異物、特に水滴等が付着したり、油脂等が付着することがある。この状態の窓ガラスの光学特性は、透過率が低下するだけでなく、付着部位で投光ビームが反射・散乱してセンサ出力にノイズ（フレア）が発生することがある。このフレアは、光源からレーザビーム投光、並びに受光器の直近で発生するため、わずかな反射・散乱光でも大きなノイズレベルとなる。これらの付着の影響を緩和する目的で、窓ガラス外部面に親水性コートを施している。親水性コートは水滴等が付着しても、いわゆる玉状になりにくく水滴が潰れて薄い膜状になるため、反射・散乱光によるフレアが抑えられる。

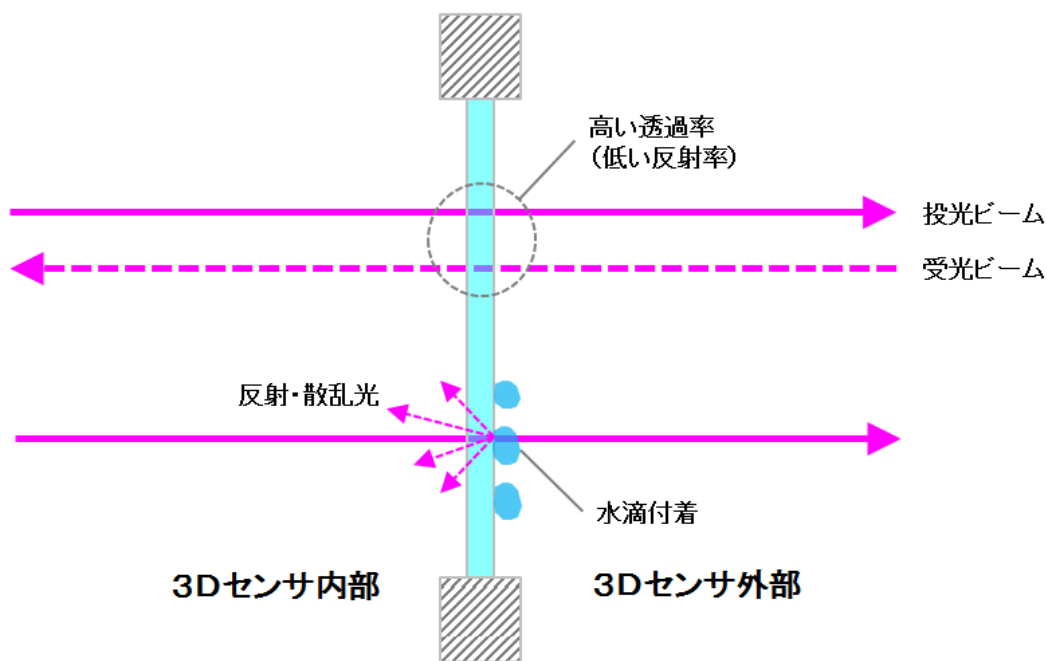


図3-2-4-11. 窓ガラスに要求される機能・特性

以上のコーティングを施すことで、屋外等の環境下でも所要性能を達成しているが、外気等に曝される窓ガラス面は、太陽光や水滴、油脂等の汚れ、クリーニング時の摩擦等によって、初期特性から徐々に劣化することが予想される。これらの耐候性・耐久性の向上のために耐性の高いコーティングを採用している。

### 3-2-5. 安全センサの評価

本項では、開発した3Dセンサ単体の機器仕様や、検知性能を中心とした機能仕様、並びにそれらの耐環境性・耐久性を評価した結果について述べる。

#### 3-2-5-1. 機器仕様

図3-2-5-1に、開発した3Dセンサの外観、および三面図を示す。

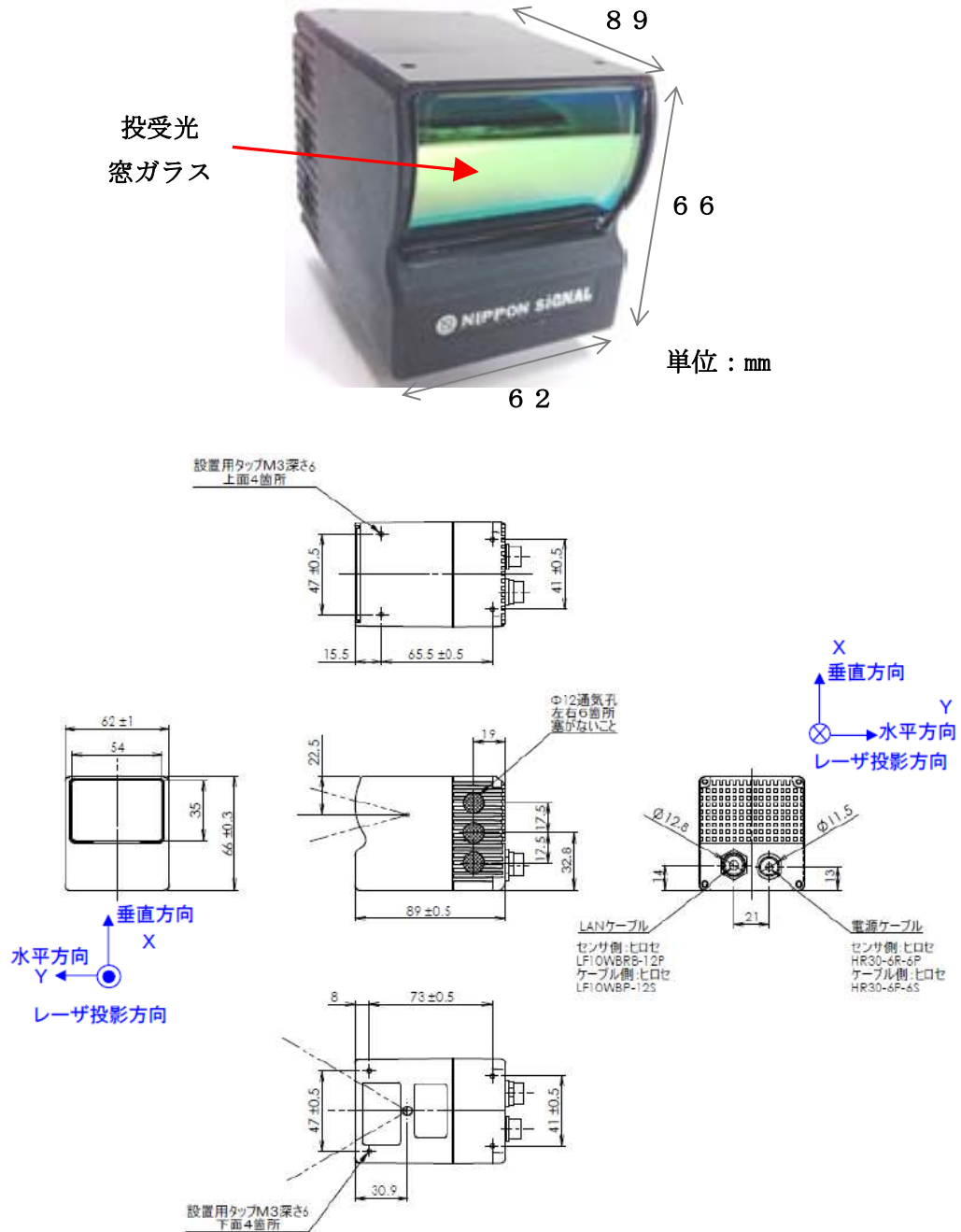


図3-2-5-1. 開発した3Dセンサ外観・三面図

コネクタ等の突起部を除く外形寸法:W62×H66×D89mm、体積:350cm<sup>3</sup>、質量:520gと、開発仕様どおりに作製できた。投受光窓ガラス部は開口:W54×35mmに、円筒面状の強化ガラス、無反射コート・親水性コートを施した。筐体は表面にアルマイト加工をしたアルミ材で、保護等級IP55、放熱、EMC(電磁界ノイズ両立性)をそれぞれ確保している(耐環境性評価を参照)。筐体背面に、電源(DC12~24V)と通信(Ethernet)の各ケーブルを接続するコネクタを配している。

### 3-2-5-2. 検知距離と距離精度

図3-2-5-2に、距離出力特性を示す。ターゲットは拡散反射率12%(マンセル・ニュートラル・デンシティ・スケール:N4.0)と同90%(N9.5)で、室内照明下(500~1000ルクス)で測定した。

反射率90%では、15m超まで精度の高い距離出力が得られる(約20mまで検知できることを確認済)。反射率12%では、8m超で検知不能になった。受光回路のS/N改善によって、開発のベース機(検知可能距離限界6m@反射率12%)と比べ検知可能限界距離が向上し、開発仕様を達成した。

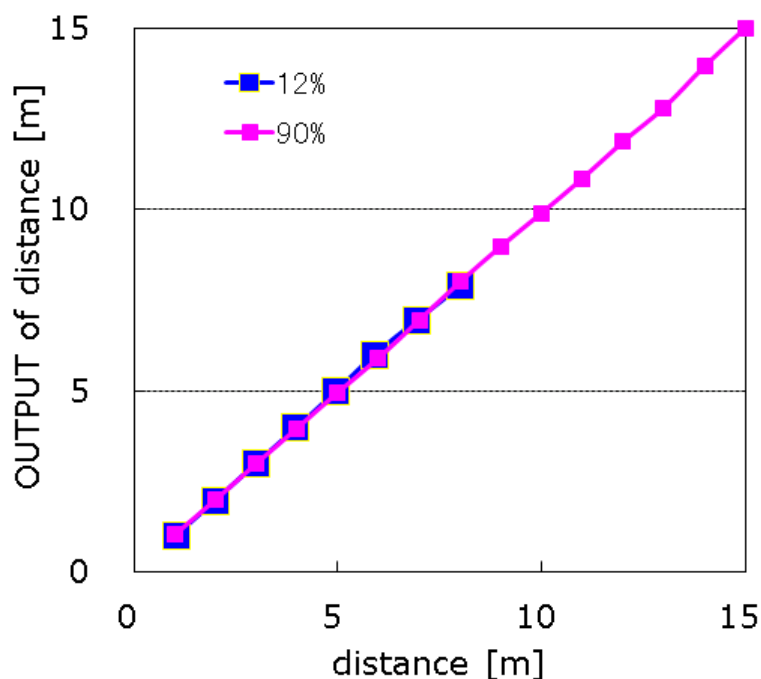


図3-2-5-2. 距離出力特性 (T<sub>a</sub> = 25℃、室内照明下)



図3-2-5-3に、距離精度特性を示す。ここでの距離精度は、測定の繰り返し精度で、 $\pm 3\sigma$  ( $\sigma$ :標準偏差)にて表した。ターゲットの拡散反射率は、図3-2-5-2. 距離出力特性の測定時と同じだが、ハロゲンランプを使ってターゲットに10万ルクス相当の外乱光を照射して特性を評価した(図3-2-5-4)。

反射率12%では、距離精度が開発仕様の $\pm 100$ mmを満足するのは5~6m以下の範囲であるが、7~8mでも $\pm 150$ mm程度のため、5m超の障害物検知には問題ない精度と判断する。また、外乱光照射によって距離精度は低下するが、反射率90%の方が外乱光反射レベルが大きく、その影響は大きい、信号光の反射レベルも大きいので受信S/Nも高く、測定性能への影響はむしろ小さい。

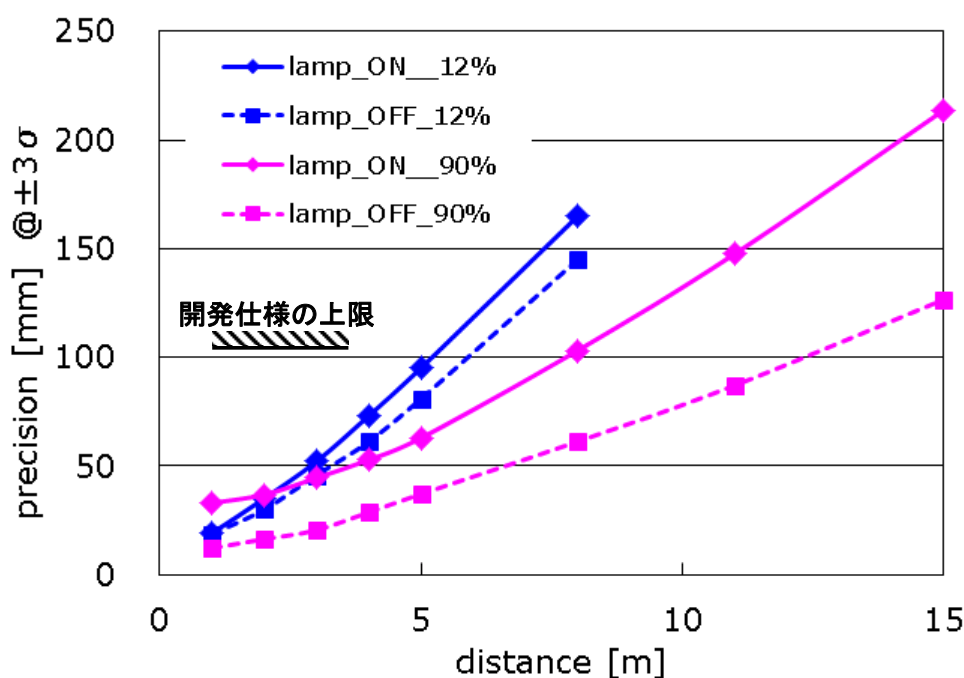


図3-2-5-3. 距離精度特性 (耐外乱光性能)

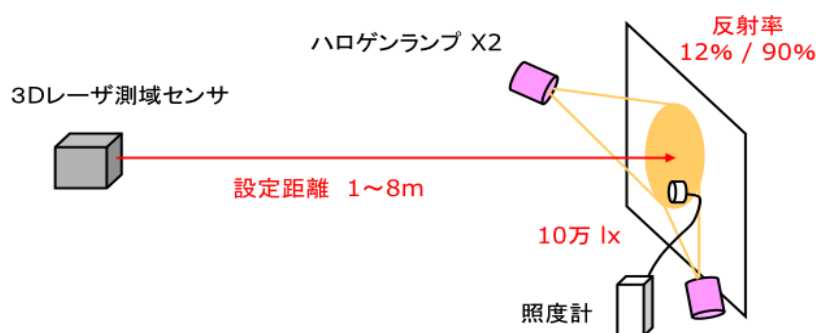


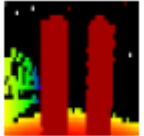
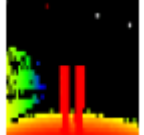
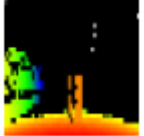
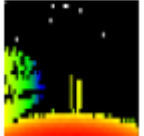
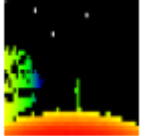
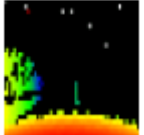
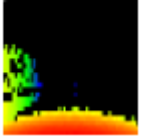


図3-2-5-4. 耐外乱光性能の測定系

### 3-2-5-3. 角度分解能

表3-2-5-1に、角度分解能の評価結果を示す。ターゲットはφ200mm×高さ900mmの円柱状のポールで、その表面は拡散反射率12%と90%の2種類をとし、距離1～16mの間で検知可否を測定・評価した。

表3-2-5-1. 角度分解能の評価

| 設定距離<br>[ m ]                    | 角度分解能<br>[ mrad ] | 距離画像<br>0m 16m<br> | 検知可否   |        |
|----------------------------------|-------------------|---|--------|--------|
|                                  |                   |   | 反射率12% | 反射率90% |
| (*)角度分解能は、<br>φ200/(設定距離)<br>で定義 |                   | 模擬検知物<br>          | —      | —      |
| 1                                | 200               |                    | ○      | ○      |
| 3                                | 67                |                  | ○      | ○      |
| 5                                | 40                |                  | ○      | ○      |
| 7                                | 28                |                  | ○      | ○      |
| 9                                | 22                |                  | ×      | ○      |
| 11                               | 18                |                  | ×      | ○      |
| 16                               | 13                |                  | ×      | △      |

ここで、水平方向の角度分解能は、

$$\phi 200 / \text{設定距離}$$

で定義した。

【数値例】設定距離 5 m のとき、 $\phi 200 \text{ mm} / 5 \text{ m} = 40 \text{ mrad}$

以下、設定距離を角度分解能に換算して表記する。

反射率 12% では 28 mrad (設定距離 7 m) まで、同 90% では 13 mrad (同 1.6 m) までそれぞれ検知可能であったが、前者の角度分解能は検知可能距離限界 (8 m) による制限が支配的である。レーザービームの投光パターンによる制限を検証するには、反射率 90% の結果から判断した方が良いので、本 3D センサの角度分解能は、13 mrad と評価できる。開発のベース機 (角度分解能、水平方向 20 mrad × 垂直方向 27 mrad) に対して改善したが、期待した 2 倍アップ (10 mrad) に至っていない。これは、以下のような理由によるものである。

すなわち、図 3-2-5-5 のように、平板面に比べ円筒面は、投光ビームが面に垂直入射するポールの径方向、または幅方向中心部から外れるほど 3D センサ受光部に戻る反射・散乱光のレベルが低くなる (円筒面の径方向エッジ部は、ほとんど反射・散乱光が戻って来ない)。このため、円筒面のポールは、見かけ上のポール幅 (径) が狭くなるためである。

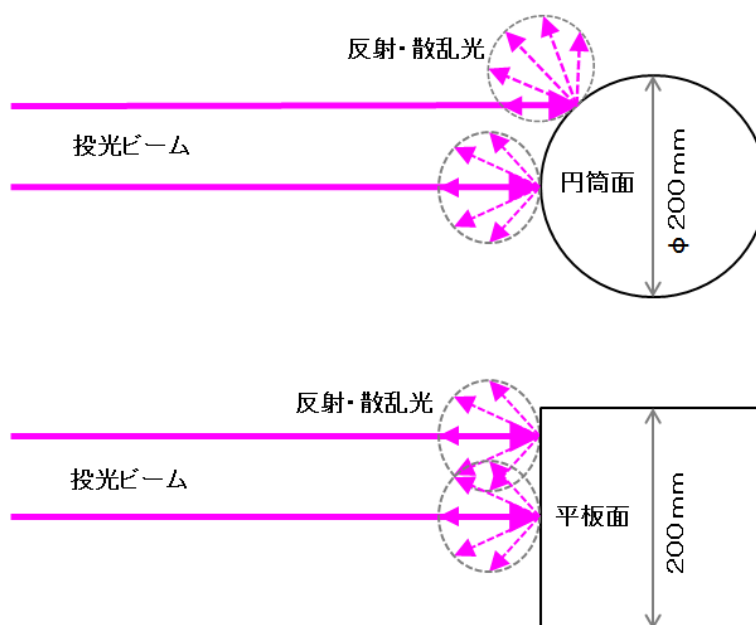


図 3-2-5-5. 円筒面と平板面の反射・散乱光と見かけの幅

### 3-2-5-4. 耐環境性能・耐久性能

#### (1) 耐太陽光性能

図3-2-5-6に、3Dセンサの画角内に太陽光が直接入射するアングルで測定した結果を示す。太陽光の照度は11万ルクスで、ほぼ快晴の上空に向けて測定した。距離画像ではカラースケールで距離を表し、黒色は測距不能、またはレンジオーバーである。

上空より手前の構造物は正しく測距している。上空は太陽光の位置に対応する画素に、10数個の異常な距離を示すノイズが発生しているが、それ以外はレンジオーバーを示す黒色の画素となり正常な動作をしている。このように、太陽光の影響をほとんど受けずに測距できるので、ノイズが発生してもホスト側の検知判定処理で十分除去できる。

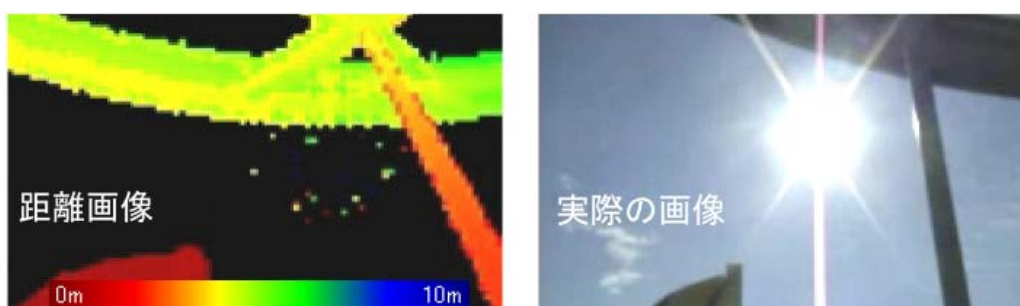


図3-2-5-6. 太陽光11万ルクスの直射による影響

#### (2) 温度試験（耐久性能を含む）

図3-2-5-7に、距離出力の温度特性を示す。ターゲットの拡散反射率12%、設定距離2～5mとして、3Dセンサ周囲温度を-10～50℃と変化させたときの距離出力を測定した。いずれの設定距離においても、-0.08mm/℃以下の温度係数を持っていて、 $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ の温度変化で距離出力が最大約50mm変動する。通常はこれほど温度変化はないので、温度による距離出力変動は問題にならない。

図3-2-5-8に、距離精度の温度特性を示す。ターゲット・温度変化は、距離出力の温度特性のときと同じ条件で測定した。距離精度の温度依存性はほとんどないが、4m以上の長距離側において低温側で距離精度が低下する傾向がみられ、今回のサンプルでは5mの距離精度が±100mm超となった。

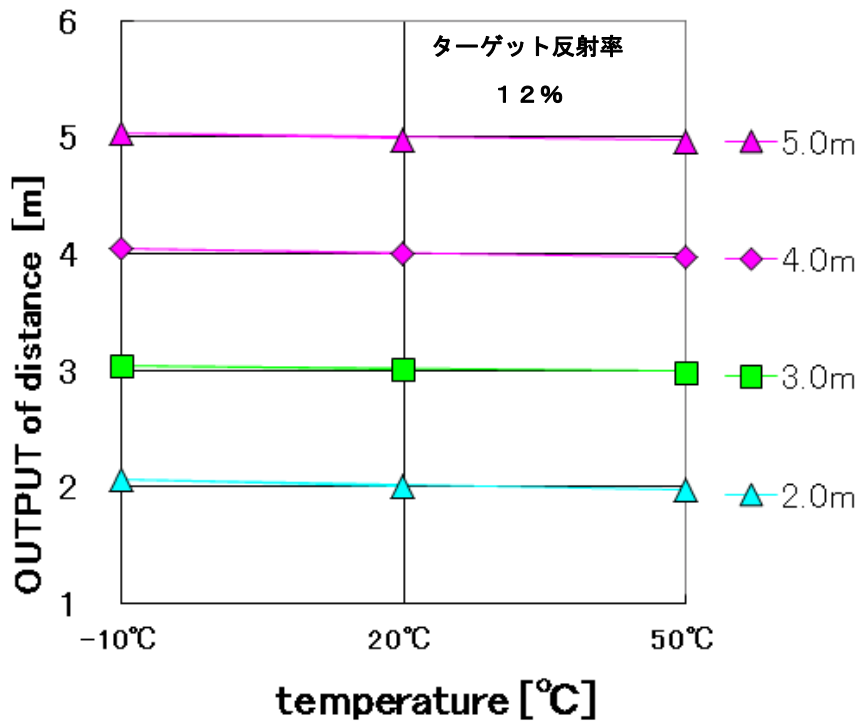


図3-2-5-7. 距離出力の温度特性

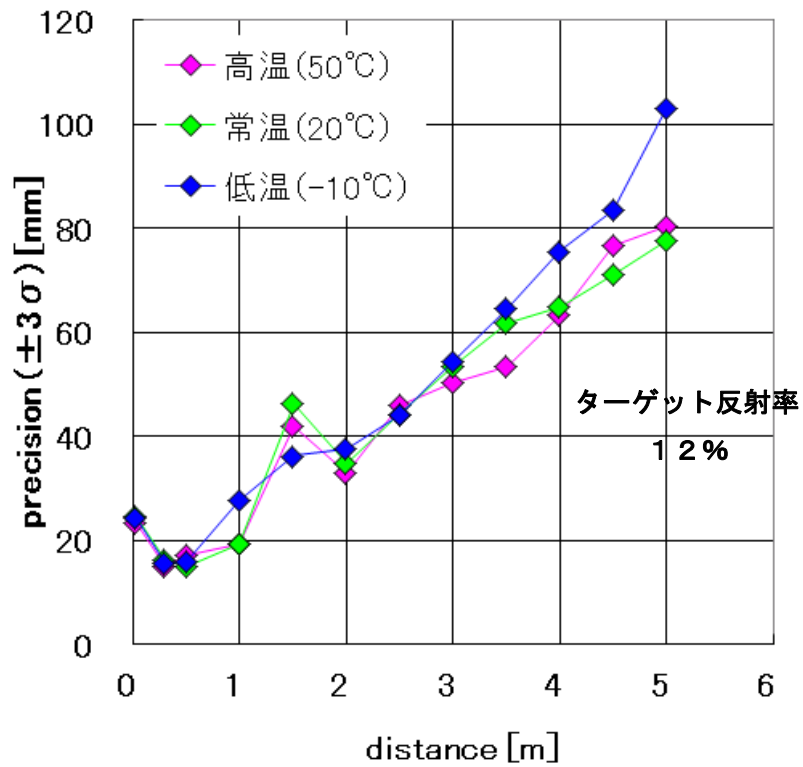


図3-2-5-8. 距離精度の温度特性

また、上記の温度環境試験とは別に、表 3-2-5-2 のような高温・低温の各耐久試験を実施し、問題ないことを確認している。 判定基準にある【性能保証】【動作保証】とは、以下のとおりである。

【性能保証】 負荷印加時も仕様の性能を維持する

【動作保証】 負荷印加時の性能は問わないが、解放したら仕様の性能を維持する

表 3-2-5-2. 高温・低温連続動作耐久試験

| 試験項目     | 試験条件                            | 規格                                       | 判定結果 |
|----------|---------------------------------|--|------|
| 高温連続動作試験 | 50℃×1000hで連続動作                  | 温度負荷印加時も所定性能を満足すること<br>【性能保証】            | OK   |
| 低温連続動作試験 | -10℃×1000hで連続動作                 |  | OK   |
| 高温保存試験   | 70℃×240hで保管放置                   | 温度負荷印加を解放し、常温に1h放置した後、正常動作すること<br>【動作保証】 | OK   |
| 低温保存試験   | -20°×240hで保管放置                  |  | OK   |
| 温度サイクル試験 | -10℃×3h<br>↑↓(10サイクル)<br>50℃×3h |  | OK   |

### (3) 振動・衝撃試験

表3-2-5-3に、振動・衝撃試験の条件、規格、判定結果を示す。いずれも問題ないことを確認した。

表3-2-5-3. 振動・衝撃試験

| 試験項目            | 試験条件   | 規格  | 判定結果 |
|-----------------|--|---|------|
| 振動試験<br>(共振点探索) | 周波数10～500Hz<br>加速度複振幅1G<br>1掃引8分を、XYZ各方向に4掃引実施 | 振動負荷印加時も所定性能を満足すること。<br>共振点がないこと。<br>【性能保証】 | OK   |
| 振動試験<br>(耐久性能)  | 周波数40Hz<br>加速度複振幅2G<br>XYZ各方向に15分間実施           | 振動負荷印加時も所定性能を満足すること。<br>【性能保証】              | OK   |
| 衝撃試験            | 加速度30G<br>作用時間6±3ms<br>XYZ各方向に1回実施             | 衝撃負荷印加後、正常動作すること<br>【性能保証】                  | OK   |

(4) ノイズエミッション試験

表3-2-5-4に、放射性ノイズエミッション試験と伝導性ノイズエミッション試験の条件、規格、判定結果を示す。いずれも問題ないことを確認した。

表3-2-5-4. ノイズエミッション試験

| 試験項目           | 試験条件   | 規格  | 判定結果 |
|----------------|--|---|------|
| 放射性ノイズエミッション試験 | 3Dセンサから発する妨害波を、10m離れた所定のアンテナで受信。<br>3Dセンサを水平・垂直の各方向に一回転して実施。 | VCCIークラスA<br>妨害波の電界強度<br>30～230MHzで<br>40dB以下<br>230～1000MHzで<br>47dB以下<br>(それぞれ要3dB余裕) | OK   |
| 伝導性ノイズエミッション試験 | 3Dセンサの電源ケーブルを所定の配線・引き回して電源供給。<br>電源ポートを伝導して3Dセンサから発する妨害波を受信。 | VCCIークラスA<br>妨害波の電界強度<br>0.15～0.5MHzで<br>79dB以下<br>0.5～30MHzで<br>73dB以下<br>(それぞれ要3dB余裕) | OK   |



(5) ノイズイミュニティ試験

表3-2-5-5に、放射性ノイズイミュニティ試験、電源周波数磁界イミュニティ試験、および静電気試験の条件、規格、判定結果を示す。いずれも問題ないことを確認した。

表3-2-5-5. ノイズイミュニティ試験

| 試験項目            | 試験条件   | 規格                   | 判定結果 |
|-----------------|--|----------------------|------|
| 放射性ノイズイミュニティ試験  | レベル3<br>80~1000MHzで<br>10V/m以上<br>1.4~2.0GHzで<br>3V/m<br>2.0~2.7GHzで<br>1V/m<br>1kHzの正弦波による80%の振幅変調<br>水平/垂直偏波 | 左記条件で正常動作すること        | OK   |
| 電源周波数磁界イミュニティ試験 | 50Hz<br>30A/m<br>180秒で<br>XYZ各方向   | 左記条件で正常動作すること        | OK   |
| 静電気試験(接触放電)     | 3Dセンサの所定の導体部に直接放電<br>電圧±2~±12kVを印加   | 電圧負荷±4kV以上で、正常動作すること | OK   |
| 静電気試験(気中放電)     | 3Dセンサの所定の導体部に気中放電<br>電圧±2~±15kVを印加   | 電圧負荷±8kV以上で、正常動作すること | OK   |

### 3 - 2 - 6. まとめ

搭乗型移動ロボットの周辺環境をセンシングする3次元レーザ測域センサ（3Dセンサ）を開発した。ロボットの利用シーンを想定し、10万ルクスを超える太陽光や小雨が降り注ぐ屋外の自然環境条件を含めたユーザレベルのリスクアセスメントを実施し、安全に移動するための要件から開発仕様を導き出した。開発仕様の実現に向けて、3Dセンサの各種方式検討とその選択をし、既開発のベース機を元に安全機能・性能を向上するべく、

- ①ロボットシステム上位とのインターフェースの強化
- ②検知性能の向上
- ③投光・受光窓ガラスの耐久性・耐候性の向上

を図った。これらの開発過程において、FTA/FMEAによる故障解析から3Dセンサの機能・性能の健全性を担保するセルフチェックなど仕組みを設計・実装した。その解析プロセス、並びに仕組みを開示した。

また、開発した3Dセンサ単体の性能評価を実施し、その結果を開示した。

### 3-3. 安全要素モジュール：3次元距離画像カメラ（オプテックス）

#### 3-3-1 概説

##### 1) 障害物検知センサへの要求仕様

距離画像カメラは、電動車イスの近傍の路面の突起物の検出に使うこととした。リスクアセスメントから、路面の突起物に片車輪だけが衝突した場合、搭乗者が回転しながら投げ出される可能性があり、危険度が高い。路面の突起物としては、車道から舗道へ上がる場合の段差を検知対象とした。

低い段差であれば、乗り越えることができるため、20cm 高さの段差を対象とした。車道-舗道間の段差は、20cm 程度のものがあり、日常的な走行条件を考えると、障害物としては一般的なものと考えられる。

長距離側の障害物検出は、3次元測域センサにより行うこととし、TOF3次元距離画像カメラでは、2m 先の障害物検出を行うこととする。

したがって、検知要求仕様は、以下となる。

TOF3次元距離画像カメラの検知要求仕様：

- ・検知距離 2m
- ・検知物体 路面から 20cm 高さの段差

当初の予定では、2種類の障害物検知センサは、各画素の距離計測データを同時にリスク計算ユニットに入力し、リスク計算ユニットで障害物の検出を行うことになっていた。しかし、センサからリスク計算ユニットへのデータ伝送量は数 10Mbps となり、組み込み系の CPU では現実的ではないことが分かった。そこで、距離画像カメラに追加のプロセッサを実装し、データ量の大きい距離画像カメラのデータ圧縮を行った。通信の安全性を確保するため CRC を付加して安全に通信する仕様とした。低容量の回線を使った場合でも、障害物の位置情報が伝わるフォーマットを作成し、データを圧縮しても冗長性を保つことができるように提案を行った。

その後、時間的な制約もあり、リスク計算ユニットへのデータ伝送も次回のテーマとなり、距離画像カメラは、障害物検出センサとして自立することになった。カメラ内に実装したプロセッサに障害物検出アルゴリズムを実装し、検出出力を DIO（デジタル・インプット・アウトプット）として追加した。搭乗者の注意喚起用としてブザー、LED を接続し、DIO 出力から駆動して、最終的な仕様のイメージを作った。

この出力は、検知タイミングの確認用として、実験で利用した。

最終的な要求仕様を、表 3-3-1.1 に示す。仕様は、距離画像カメラとしてのものと、障害物検出センサとしての仕様を分けて示した。

| TOF3次元距離画像カメラ仕様 |                                  |                  |
|-----------------|----------------------------------|------------------|
| 仕様項目            | 仕様 (XZC2-1050L-HP)               | 備考               |
| 視野角(水平/垂直/対角)   | 50° / 37° / 59°                  |                  |
| 電源電圧            | DC12V                            |                  |
| 消費電力            | 15-20W(Typ.)、30W(最大)             |                  |
| 動作温度/湿度         | 0~50°C / 85%以下                   |                  |
| 有効画素(出力画素)      | 160×120 ピクセル (176×132 ピクセル)      |                  |
| 光源              | 近赤外線LED(850nm)                   |                  |
| 測定レンジ           | 0.3-2.0m 反射率7%以上                 |                  |
| 変調周波数           | 10MHz                            |                  |
| フレームレート         | 15fps                            |                  |
| サイズ             | 160mm(幅)×65mm(高さ)×55mm(奥行き) →小型化 |                  |
| 質量              | 600g以下 →軽量化                      |                  |
| 固定方法            | 電動車いす本体側面に取り付け                   |                  |
| 障害物検知センサ仕様      |                                  |                  |
| 障害物検出           | 障害物が 2m以内に入ったら、注意喚起出力            |                  |
| 最小検知障害物         | 20cm高さ段差検知 @2m                   |                  |
| インターフェース        | Ethernet 100BASE-TX UDP          | リスク計算ユニットに接続する場合 |
| 障害物検知出力         | 距離方向 25cm毎/水平方向 5° 毎 ブロック出力      | リスク計算ユニットに接続する場合 |
| 障害物検知データ        | ブロック内 存在画素数、平均位置、平均反射光量          | リスク計算ユニットに接続する場合 |
| 注意喚起用出力         | 発音体(ブザー)、発光体(LED)                |                  |

< 表 3-3-1.1 TOF3 次元距離画像カメラ、障害物検知センサの要求仕様 >

## 2) 安全規格の認証への取組み

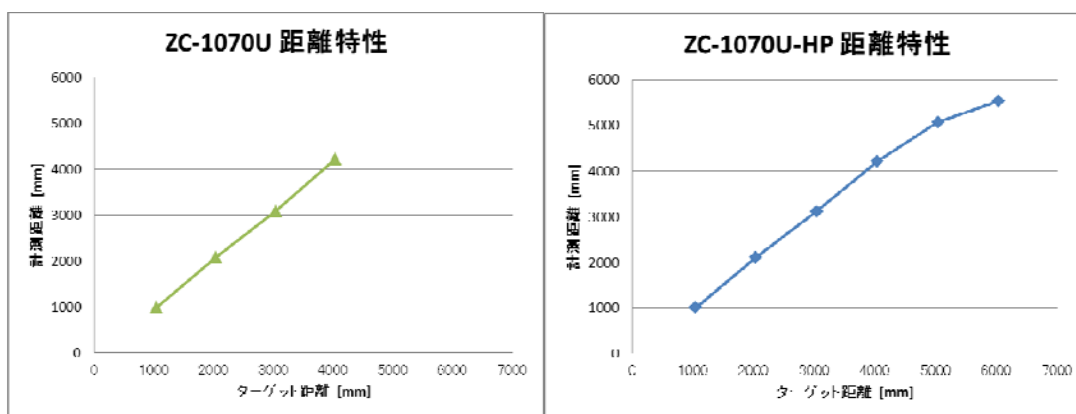
立体的な検知エリアを有する障害物検出センサの安全規格は存在しないが、類似センサの規格として IEC61496 を、参考にすることができる。認証機関に対して、テスト方法を合議して決める手法で、規格の一般要求事項 (IEC61496-1 Safety of machinery - Electro-sensitive protected equipment - Part 1: General requirements and tests、JIS B 9704-1 機械類の安全性 - 電氣的保護設備 - 第一部: 一般要求事項及び試験) を踏襲しながら、要求事項を決める。認証機関の合意の基で、型式認証を得ることができる。拡散反射型のセンサの規定、試験方法に関しては、レーザースキャンの安全規格 (IEC61496-3 Safety of machinery - Electro-sensitive equipment - Part 3 : Particular requirements for Active Opto-electronic Protective Devices responsive to Diffuse Reflection (AOPDDR)) を参考にすることができる。3次元の物体検出に関しては、現在 IEC の TC44 委員会で審議されているステレオカメラの技術を用いたセンサの安全規格 (prIEC/TS61496-4-3 Safety of machinery - Electro-sensitive equipment - Part 4-3 : Particular requirements for equipment using vision based protective devices (VBPD) - Additional requirements when using stereo vision techniques (VBPDEST) ) を基に試験方法を提案することができる。これらの規格を総合して、認証機関と試験方法、認証のための基準値を設定することができる。

### 3-3-2 距離画像カメラの改良

#### 1) 投光出力の向上

TOF方式の3次元距離画像カメラは、画素1つ1つが、距離計測をしているが、その精度は、距離計測用の投光出力が高いほど向上する。また、長距離まで距離計測ができるようになる。

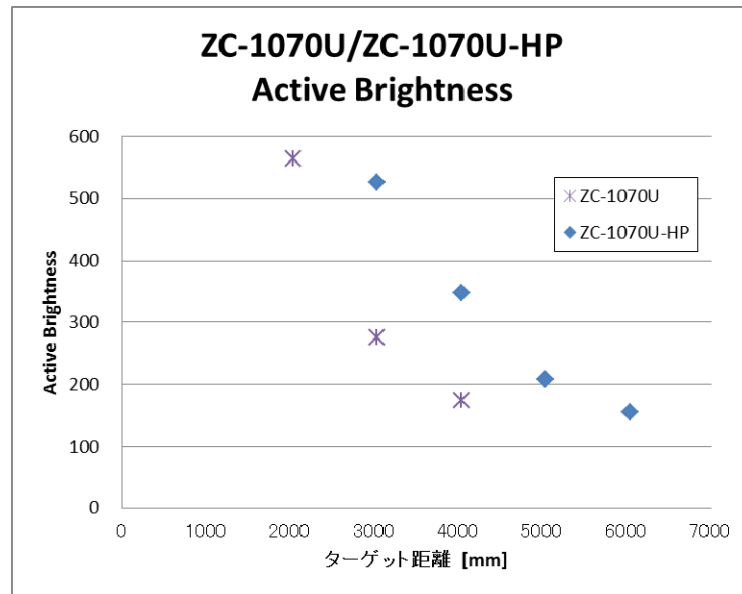
TOF3次元距離画像カメラの既存機種 ZC-1070U の投光出力を倍増することにより、距離精度の向上と、計測可能距離を伸長した。結果を、図 3-3-2.1 に示す。高出力化した機種を ZC-1070U-HP とした。既存機種である ZC-1070U では、4mまで距離計測値が直線性を保っているが、ZC-1070U-HP では、6mで直線性が失われている。



<図 3-3-2.1 投光量向上した場合の距離計測比較>

計測条件 : 反射率 86%の白反射ターゲット、距離計測値は 100 回計測の平均値

図 3-3-2.2 に、反射光量の比較を示す。これは、ターゲットに反射率 86%の白反射ターゲットを用いた反射光量である。この数値を Active Brightness と称す。数値は受光素子の画素からの出力値をデジタル値で表現したもので単位はない。高出力化したことで、同一距離で、2 倍弱の反射光量が得られている。

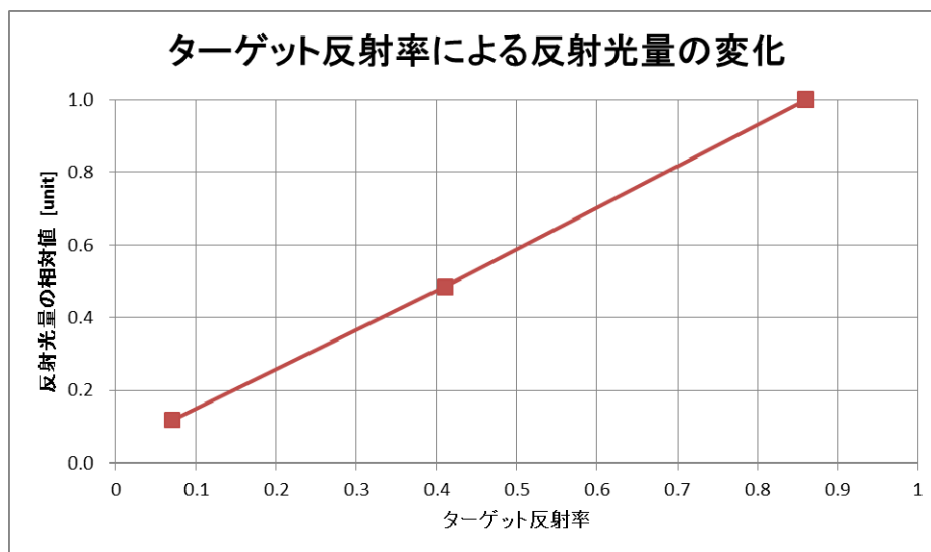


<図 3-3-2.2 投光量向上した場合の反射光量の比較>

反射光量が向上すると、距離計測時のばらつきが少なくなる。3-4m の同一距離では、既存製品の距離ばらつきが 10mm 程度であるのに対して、投光量を倍増させたものでは、4-5mm 程度となった。これらのことから、既存製品 ZC-1070U に比べて、精度高く計測ができるということが出来る。ここで、「距離計測値のばらつき」とは、同一箇所を 100 回計測した時の標準偏差である。移動体に搭載する用途では、1 回、あるいは、数回の計測データから距離を算出する必要がある。真値に対する計測誤差は、標準偏差の関数となる。

## 2) 反射率の設定と画角の決定

現実のターゲットでは、反射率の低いターゲットも存在する。ターゲットの反射率の違いによる反射光量の変化を図 3-3-2.3 に示す。反射光量は、投光量、伝搬減衰、ターゲット反射率により決まる。ターゲット反射率に対して、直線的に変化する。

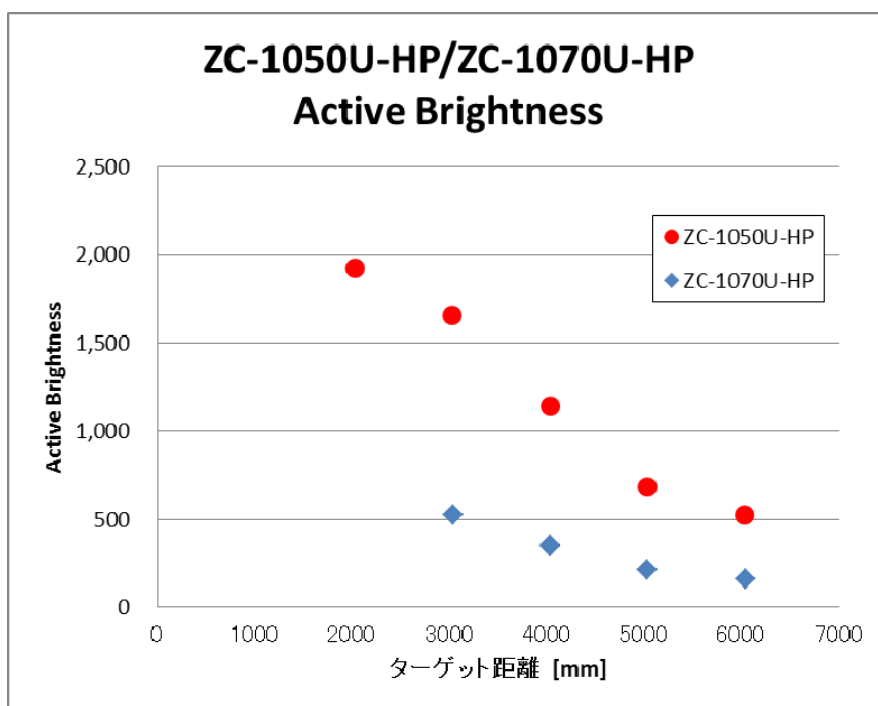


＜図 3-3-2.3 反射率の違いによる反射光量＞

IEC61496-3 では、拡散反射を使った安全センサの検知試験として、1.8%の反射率のターゲットを使用することを求めている。今回の応用では、コンクリートやアスファルトなどの比較的反射率の高いものと、人が対象となる。衣服の反射率は材質や色などにより異なるが、一般的な材質では10%内外である。今回は、7%反射のターゲットを利用して検知実験を行うものとする。

ここで、距離計測限界における反射光量の検討を行う。図 3-3-2.1 では、6m において距離計測値が近距離側にずれている。この時の反射光量 Active Brightness を、図 3-3-2.2 から読み取ると、150unit 程度である。つまり、反射光量が 150unit 程度では、距離計測誤差が大きくなると考えられる。5m では距離計測値が妥当な値を保っていることを考えると、反射光量 Active Brightness は、200unit 以上が適当である。

ターゲットの反射率が 7%と考えると、図 3-3-2.1 で使用した 86%の反射率のターゲットと比較すると反射光量は 1/10 となる。投光出力を向上したにも関わらず、現状では、2m 先の 7%反射のターゲットを検出することは難しい。短期間に投光出力をより向上させることは難しいため画角の狭いタイプ (ZC-1050U-HP) に変更する。図 3-3-2.4 に、画角による反射光量の違いを示す。両機種とも、投光量は同一である。

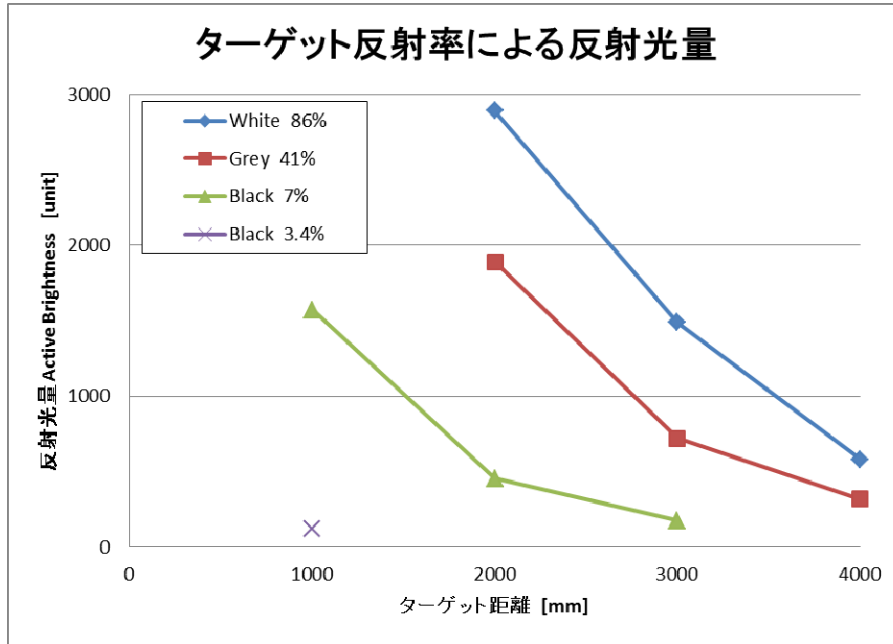


<図 3-3-2.4 画角の違いによる反射光量>

ZC-1050U-HP は、水平画角  $50^{\circ}$  であり、ZC-1070U-HP の水平画角  $70^{\circ}$  と比較すると前方の障害物を見る幅は狭くなるが、2m での反射光量は、2000 程度である。同型の機体で屋外での反射光量の実験結果を示す（図 3-3-2.5）

反射率 3.4% のターゲットに対しては、1m の距離でも 200 を超える反射光量が得られなかったが、7% 反射のターゲットに対しては、2m において、200 を超える反射光量を得ることができた。

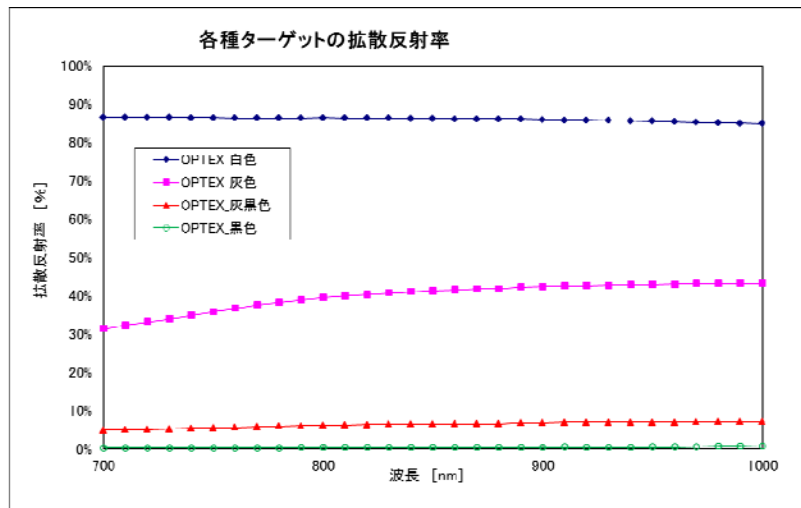




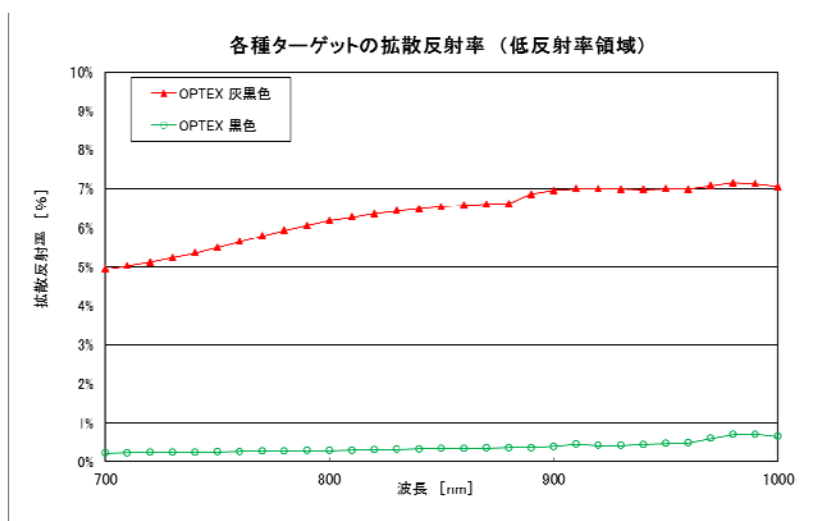
<図 3-3-2.5 ターゲット反射率による反射光量>

試験条件：屋外 100,000Lx 環境下

尚、使用した反射ターゲットは、コンソ1の協力を得て、分光拡散反射率の計測を行った。拡散反射率の計測には、ランバートの余弦則に沿った反射を考えるが、鏡面反射成分を分離除去する必要がある。計測結果を、図 3-3-2.6、3-3-2.7 に示す。



<図 3-3-2.6 分光拡散反射率>



< 図 3-3-2.7 分光拡散反射率 (低反射領域) >

TOF3 次元距離画像カメラは、中心波長 850nm の LED を光源に利用している。ターゲットの拡散反射率は、850nm の分光拡散反射率を用いた。

### 3) 投光ミラーの改良

距離画像カメラは、下向きに設置するため画面の下端は、近距離数 10cm 先、画面の上端は数 m 先の路面を見ることになる。画面の場所により、検知すべき距離が異なる。従来の投光パターンは、画面全域に均質に投光出力を配光させていたが、今回の用途に特化して、画面の上端に投光出力を集光する光学系を試作した。従来の光学系では、長距離側では届く光が弱くなり距離精度や、障害物検知精度が低下する。近距離側では、投光量が多くなりすぎ乱反射や、入光レベルの飽和現象が生じる。

画面全体で均質な距離計測用のパルス光を照射するためには、場所により投光量を変えてやるとよい。投光にはミラー光学系により集光しているため、このミラーを改良し、路面に均質なパルス光が当たるように調整を行った。その結果が、表 3-3-2.1 である。



< 図 3-3-2.8 ミラー比較実験 >

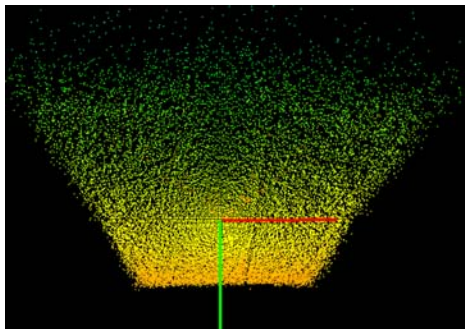
計測条件 :

- ・画角 水平 50° × 垂直 40°
- ・ターゲット コンクリートブロック
- ・照度 100,000Lx
- ・カメラ高さ 50cm
- ・カメラ仰角 下向き 25°
- ・カメラモード Fine、30fps

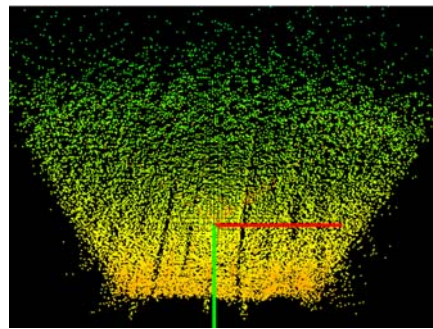
| ミラー種類  | 計測項目         | 近距離側      | 長距離側     |
|--------|--------------|-----------|----------|
| 修正ミラー  | 反射光量 [unit]  | 1,945     | 476      |
|        | 距離 [mm]      | 834       | 1,840    |
|        | 距離の標準偏差 [mm] | 13.8      | 64.1     |
| 既存ミラー  | 反射光量 [unit]  | 2,982     | 330      |
|        | 距離 [mm]      | 924       | 1,859    |
|        | 距離の標準偏差 [mm] | 10.1      | 71.7     |
| 計測画素位置 |              | (88, 126) | (88, 27) |

<表 3-3-2.1 投光ミラー改造前後の距離計測データ比較>

修正ミラーでは、近距離の投光量を下げることにより、反射光量は30%程度減少している。距離計測値の標準偏差 $Z\sigma$ は悪化しているが、反射光量は最適である2,000程度に収まっている。長距離側は、反射光量が40%程度改善されており、距離計測値のばらつき（標準偏差）は、12%改善している。

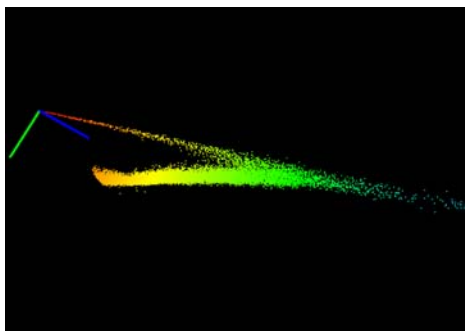


a) 修正ミラー

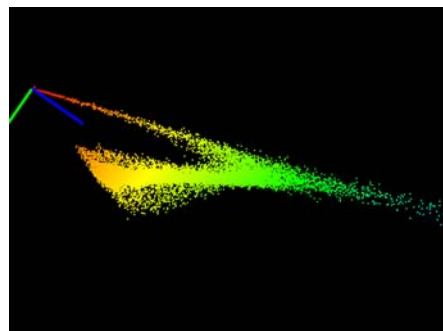


b) 既存ミラー

<図 3-3-2.9 投光ミラーによる距離画像比較 — 上から見た路面 >



a) 修正ミラー



b) 既存ミラー

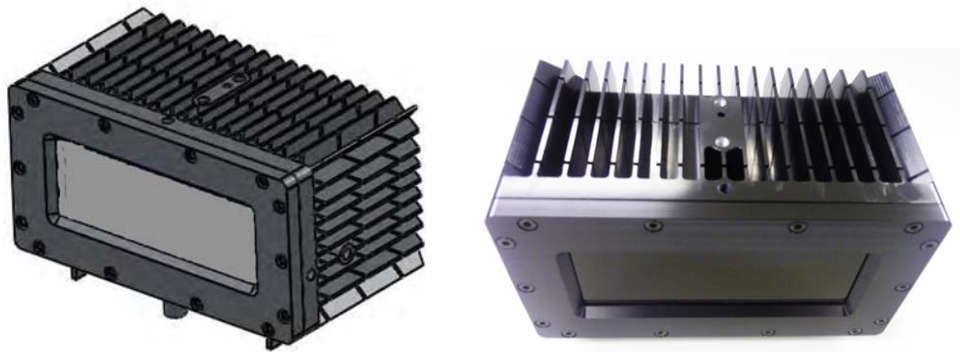
<図 3-3-2.10 投光ミラーによる距離画像比較 — 横から見た路面 >

距離画像として見た場合も、修正ミラーの場合は、近距離の飽和現象もなく画面全体に均質な距離画像が得られている。既存ミラーでは、近距離での投光量が高く飽和によるものと思われるノイズが発生している。また、長距離側では投光量が少なくなり、計測値の標準偏差が大きくなり、十分な距離精度が得られていない。

尚、図 3-3-2.10 の上部の直線は、折り返し雑音による画面端部に発生するもので、ミラーの特性には左右されない。路面からの反射は、下部の直線で、修正ミラーを使用した方が、ばらつきが少ない。折り返し雑音は、3-3-4 で対策の説明を行う。

#### 4) 防水ケース

現状の製品は、防水仕様ではないため、屋外で使用するためには、防水ケースが必要である。IPx5 を目標に、試作を行った。



a) 防水ケース試作図面

b) 試作した防水ケース

<図 3-3-2.11 防水ケース試作>

防水試験の結果、IPx5 を満足した。この後、防水ケースの小型化試作を行う予定だったが、要求仕様の変更などがあり、その作業を優先した。現時点では、防水ケースの量産設計は、完了していない。

#### 5) 振動・衝撃試験

電動車いすへの搭載のためには、振動・衝撃試験に耐えられることが条件である。設計指標を得るために、1 回目の試作品（3-3-4 参照）において、振動・衝撃試験を行った。自動車向けの規格には JASO 規格がある。これを参考に試験を行った。搭載する場所により試験レベルは異なるが、ショックアブソーバのない電動車いすに搭載する場合、センサへの振動・衝撃は減衰することなく電子機器に伝達される。それぞれの試験では、事前に共振周波数の計測を行い、共振周波数での通電試験を行う。掃引スイープ試験で、10Hz から、1kHz までのテストを 3 軸で行い共振点を見つけることはできなかった。非共

振の試験を行った。

衝撃試験は、2種類行い、製造時の問題としてコンクリートへの落下テスト、使用時の耐久性として3軸の衝撃試験を行った。最終品で再度行う必要があるが、今回のプロジェクトでは、電動車いすへの実装は行わなかったため、今後の課題とした。設計への知見は得られているため、実用化設計時の課題は明確である。

試験結果を、表 3-3-2.2 に示す。試験前後で性能劣化は認められなかった。

| 試験名           | テスト条件   | 結果           |
|---------------|---|--------------|
| 共振点探査試験       | 通電<br>掃引 10-1kHz<br>加圧 1-3G                                       | 共振点なし        |
| 振動試験<br>(非共振) | 通電、3G<br>上下 4時間、前後 2時間 左右 2時間                                     | 試験前後で、性能変化無し |
| 落下試験          | 1m高さよりコンクリート面に自由落下<br>3軸 各1回                                      | 試験前後で、性能変化無し |
| 衝撃試験          | 通電<br>水平方向 10G, 50G, 100G, 200G<br>垂直方向 75G, 100G, 200G<br>3軸 各1回 | 試験前後で、性能変化無し |

<表 3-3-2.2 振動・衝撃試験結果>

### 3-3-3 障害物検知センサ

#### 1) 伝送データの縮小

TOF3 次元距離画像カメラは、1フレーム 1.5Mbit の情報量がある。これを、15fps で伝送すると、22.3Mbps の伝送容量が必要である。数 10MHz のクロック周波数で動作するリスク計算ユニットでは、受信することも難しい。当初の予定では、すべての障害物検知センサをリスク計算ユニットに接続し、障害物検知はリスク計算ユニットで行う予定であった。スケジュール面を考慮し、分散処理とすることで伝送量を下げることとした。

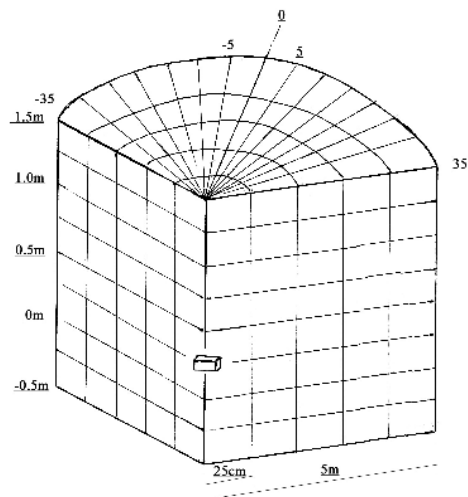
距離画像カメラの出力に Sub-CPU を追加し、この中で伝送データの削減を行う。

距離画像カメラは、約 2 万点の画素で距離計測を行っているが、ここに立体ブロックによる空間のブロック化を適用し、ブロック単位に障害物の有無を伝送する。このような方式により、伝送データを 100kByte/sec まで削減する。

従来、千葉工業大学で構想していた障害物検知ブロックの考え方を踏襲する。距離画像カメラを中心とした距離 25cm 毎、角度 5° 毎の立体ブロックを想定する。図 3-3-3.1 に立体ブロックの概念を示す。距離画像カメラの取り付け高さを 25-50cm と想定し、-50cm から、1.5m までの空間を考える。水平の角度は、最大 70° の水平面角を想定し、±35°

の扇形の空間をブロックの外縁とする。遠方側は、5m を最大距離とする。円柱座標を用い、センサを中心とした仮想的な空間ブロックを想定する。

高さのマイナス側は、下りの坂道や、溝などを想定したものである。



<図 3-3-3.1 データ削減のための立体ブロックの概念>

| 方向   | 記号       | 単位   | 最小    | 最大     | 分割数 | 備考                     |
|------|----------|------|-------|--------|-----|------------------------|
| 水平角度 | $\theta$ | ° 毎  | -35°  | +35°   | 14  |                        |
| 距離方向 | R        | cm 毎 | 0cm   | 500cm  | 20  | $R = \sqrt{X^2 + Z^2}$ |
| 高さ   | Y        | cm 毎 | -50cm | +150cm | 8   |                        |

<表 3-3-3.1 立体ブロック構成と分割数>

ここで、データ量について考察する。

各ブロック内の物体存在判定は、ブロック内に障害物が存在したとき、最大となる画素数に対する割合を閾値として判定する。この閾値より、ブロック内に存在する画素数が多いければ、このブロックに何かが存在すると判定する。各ブロック毎に、画素の最大値は異なるため、その値を各ブロックの最大値データとする。水平方向に14分割するため、センサ付近のブロックが最大値となる。最大画素数は1ブロックあたり、以下となる。

$$176 \text{ 画素} \times 132 \text{ 画素} / 14 \text{ 分割} = 1,659 \text{ 画素/ブロック}$$

これは、11bit で表現することができる。1ブロックあたりの画素数は、他の属性やパラメータのことも考え、16bit の障害物の情報とする。

次に距離値である。障害物検出用途の場合、移動体から障害物の距離により速度制限を行う。ブロックまでの距離はブロックを特定した時点で算出できるが、25cm のどの位置に障害物があるか分かったほうが、制御に余裕ができる。あるブロックに存在判定し

た場合、データの平均値を距離値とする。25cm を mm 単位で分割することを考え、250mm に対応する 8bit を距離の情報とする。

存在確定の精度を上げるため反射光量もブロックごとに算出する。反射光量が大きければ存在する確率が向上する。この数値により、雑音との分離を行う。反射光量には、詳細な数値は必要ないので、8bit とする。ブロック内に存在する画素の平均値をブロックの反射光量とする。

2240 ブロックあるが、近距離の一部は、画角外となるためデータを削除する。

フレームレートは、走行速度から 15fps とする。

以下にブロック毎のデータ量をまとめる。

16bit (存在判定) + 8bit (ブロック内距離データ) + 8bit (反射光量) = 16bit/block

実測すると、118kByte/sec となり、伝送データの削減を実現することができた。

## 2) 安全通信

距離画像カメラからリスク算出ユニットへのデータ伝送は、リアルタイム性を要求される。移動しながら障害物を検出するためリスク計算ユニットには、現在のセンサのデータが入力される必要がある。

このため、通信には同期機能を追加し、送信するデータにはタイムスタンプを付加する。また通信には UDP を利用し、受信確認や再送要求は行わない。これは距離画像の情報は冗長であり、情報量が多いため複数のフレームを受信することができなくても、衝突前に障害物を認識することができるとの仮定からである。受信確認や再送要求を行う TCP/IP 通信の場合、再送要求を何度も行うと、最新のデータバケットを受信することができない。複数のデータバケットを受信できなくても、UDP により常に最新の情報を得る方が安全と考えた。

表 3-3-3.1、表 3-3-3.2、表 3-3-3.3 にデータ送信するためのデータ量と、フレーム構成を示す。送信容量は、1 フレームが、9 個の送信単位に分かれており、それぞれの送信単位は、

$8\text{byte (Line ヘッダ)} + 1120\text{byte (平面データ)} + 4\text{byte (CRC)} = 1132\text{Byte}$

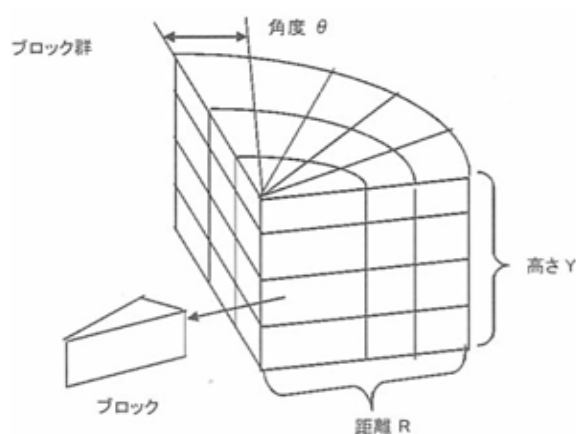
となる。平面データの 1120byte は、先頭の送信単位だけフレームヘッダになる。したがって、これを、9 倍したものがフレーム単位の送信容量になる。

$1132\text{byte (送信単位)} \times 9 \text{送信単位} = 10,188\text{byte (1 フレーム)}$

15fps を要求されているので、総合した送信容量は以下になる。

$$10,188\text{byte (1 フレーム)} \times 15\text{fps} = 152,820\text{Byte/sec}$$

目標の 100kByte/sec 以下にはならなかったが、障害物の位置、存在の確からしさ、mm 単位の距離情報を損なうことなく、データ量の削減を実現することができた。不要ブロックを削除することで、よりデータ量を削減することができる。今回は、最終的にリスク計算ユニットに接続することはなくなったためすべてのブロックを送信するフォームを提案する。



<図 3-3-3.2 立体ブロック群>

| データ    |   |       | 備考                   |
|--------|---|-------|----------------------|
| 画素数    | n | 16bit | ブロック内に入るZC出力の画素数の集計  |
| 最近接点距離 | r | 8bit  | ブロック内の最近接点の距離値(相対値)  |
| 最近接点照度 | a | 8bit  | ブロック内の最近接点の照度(0~255) |

<表 3-3-3.2 立体ブロックのプロパティ>

|                   |   |             |
|-------------------|---|-------------|
| Lineヘッダ<br>8 byte | フレームヘッダ (1120Byte)                      | CRC (4Byte) |
| Lineヘッダ<br>8 byte | 平面データ (14 * 20 * 4 = 1120Byte)<br>(Y=0) | CRC (4Byte) |
| Lineヘッダ<br>8 byte | 平面データ (14 * 20 * 4 = 1120Byte)<br>(Y=1) | CRC (4Byte) |
| :                 |   |             |
| Lineヘッダ<br>8 byte | 平面データ (14 * 20 * 4 = 1120Byte)<br>(Y=7) | CRC (4Byte) |

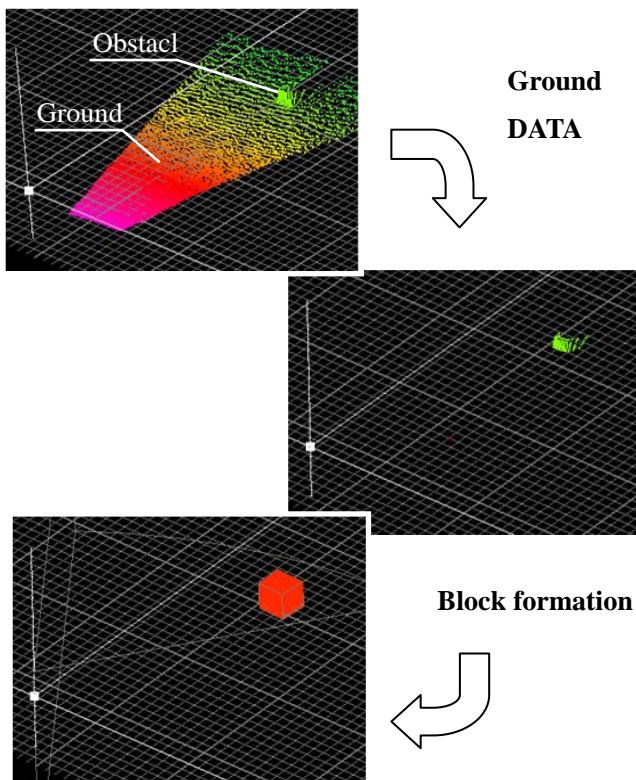
<表 3-3-3.3 ブロックデータ伝送のための送信フレーム構成>



### 3) 障害物検知アルゴリズム

TOF3次元距離画像カメラから出力される距離画像には雑音が含まれており、これを除去する。距離画像カメラは下向きに取り付けられているので、算出した距離画像を3次元で座標変換し、回転して路面を作成する。路面から飛び出しているものを障害物として検出する。障害物は、3次元をブロック化しているため、ブロック単位で検出される。

図3-3-3.3に、障害物検知アルゴリズムの概念を画像処理の結果で表す。



< 図 3-3-3.3 障害物検出 >

### 3-3-4 障害物検知センサの試作・評価

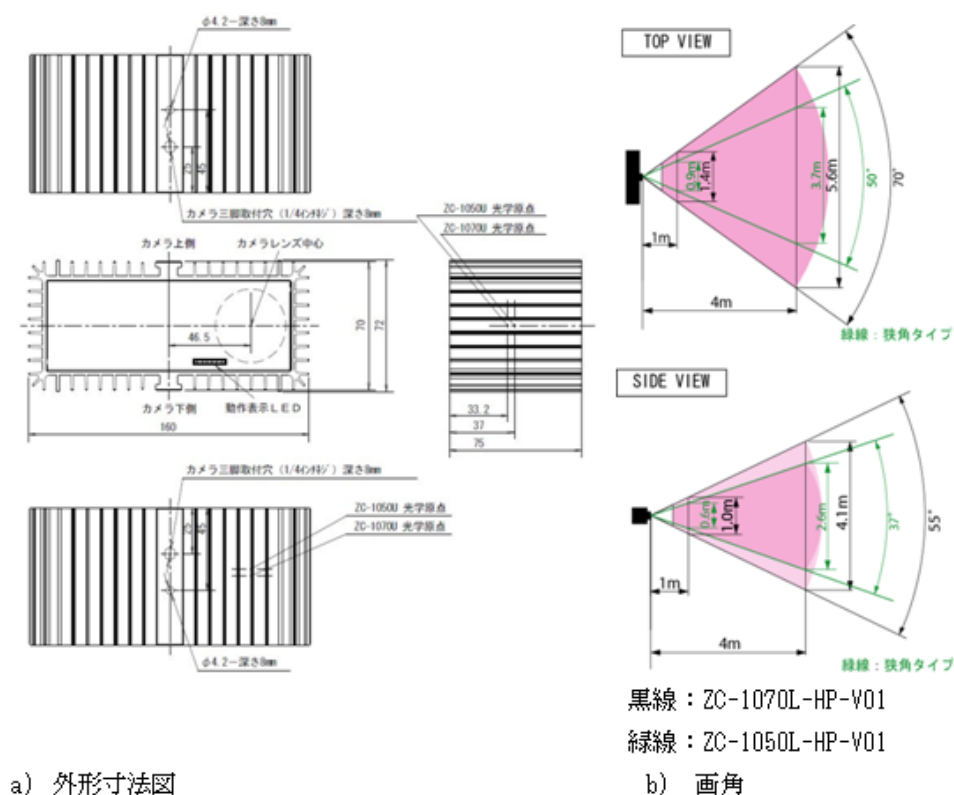
#### 1) 障害物検知センサの試作

障害物検知センサの試作は、3段階で行った。1回目の試作は、投光量を向上した試作品で、インターフェースをEthernetとした。画角により検出距離が異なるため2機種種の試作を行った。Linuxドライバーの試作を行ったのは、センサとリスク計算ユニットの結合テストをPCで行うためである。

1回目の試作仕様を 表 3-2-4.1 に、外形寸法、画角を 図 3-2-4.1 に示す。

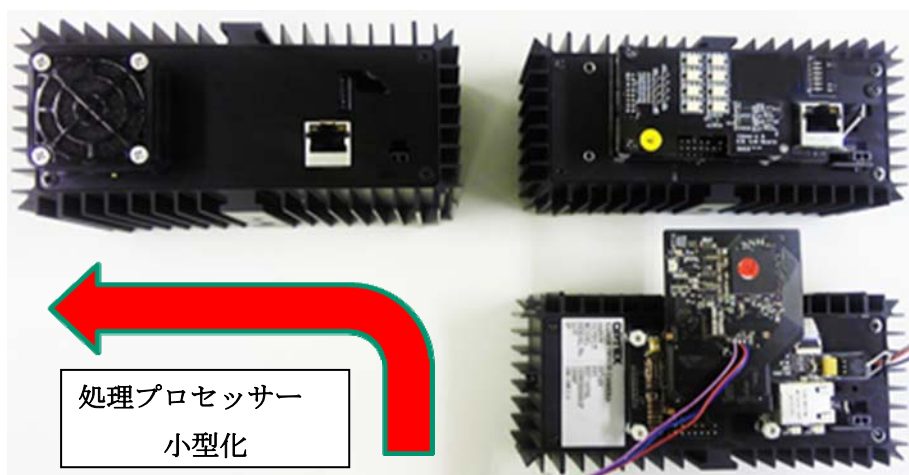
| 型式       |          | ZC-1070L-HP-V01  | ZC-1050L-HP-V01 | 備考                              |
|----------|----------|--|-----------------|---------------------------------|
| FOV      | 水平/垂直/対角 | 70° / 55° / 90°  | 50° / 37° / 59° | 出力画素 176×132 の場合。数値は目安。画角図面参照。  |
| 出力画素数    | 水平/垂直    | 176 × 132 画素   |                 |                                 |
| 有効画素数    | 水平/垂直    | 160 × 120 画素   |                 |                                 |
| 光源       |          | IR-LED 850nm   |                 |                                 |
| 距離検出距離   | [m]      | 0.5m - 4m  |                 | 数値は、計測条件や、設定モードにより異なる。          |
| 距離精度     | [%]      | X、Y軸 ±5%(Typical) Z軸 ±2%(Typical)                        |                 | 25℃ 距離1.5m 反射率>90% 画面中央 Fineモード |
| 距離σ      | [%]      | Z軸 ±2%(Typical)  |                 | 25℃ 距離1.5m 反射率>90% 画面中央 Fineモード |
| 光変調周波数   | [Hz]     | 20MHz (20/30MHz LongRangeモード)                            |                 |                                 |
| フレームレート  | [fps]    | 30fps.max  |                 | シャッター時間との調整。1fps毎に選択可能。         |
| 電源       |          | 12VDC 3A   |                 | 電源ケーブル付属                        |
| 消費電力     | [W]      | 15-20W.Typical 30W.max                                   |                 | 最大電力は、ピーク値                      |
| 表示LED    |          | 前面(青、赤、緑) 背面(緑)  |                 |                                 |
| インターフェース |          | Ether NET : 100BaseT TCP/IP                              |                 | POE給電は不可。                       |
| 出力フォーマット |          | B,Z,X,Y(16bit) あるいは、B,Z(16bit) 選択可能                      |                 | 選択は、コマンドによる                     |
| 接続コネクタ   |          | 電源プラグ RJ45   |                 |                                 |
| 取り付け     |          | カメラマウント 1/4インチ 筐体の上下に2箇所                                 |                 |                                 |
| 寸法       | [mm]     | 160 × 72 × 75mm  |                 | 突出部は含まず。外形図面参照。                 |
| 本体質量     | [kg]     | 0.7kg 以下   |                 |                                 |
| ファン      |          | 風量: 0.15m <sup>3</sup> /min 回転数: 6,500rpm 期待寿命: 60,000hr |                 | 電源接続時 常時送風                      |
| 動作温度範囲   | [°C]     | 0 - 50°C   |                 |                                 |
| 使用周囲湿度   | [%RH]    | 80%RH以下 結露なきこと   |                 |                                 |
| 使用周囲照度   | [Lux]    | 100,000 Lux 以下   |                 |                                 |
| PC側対応OS  |          | Linux  |                 |                                 |
| カメラ起動時間  |          | 20秒以下  |                 | 起動中は、前面 赤色LED点滅。                |

< 表 3-2-4.1 1回目試作品仕様 >



< 図 3-2-4.1 1回目試作品外形寸法と画角 >

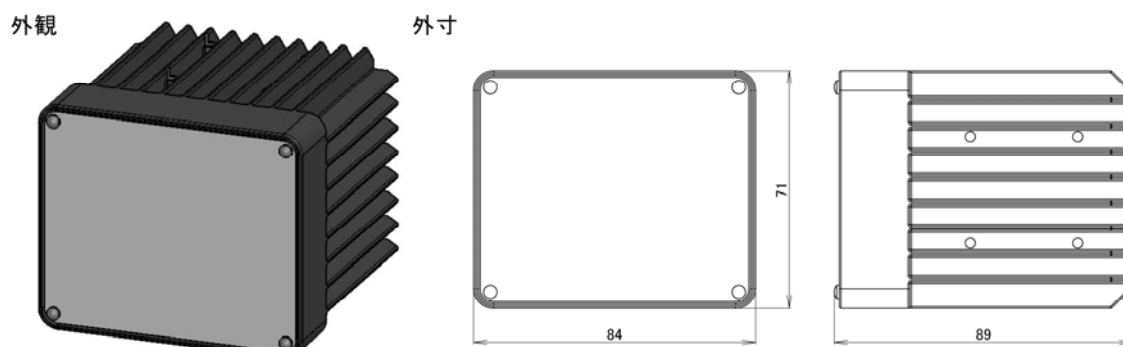
2回目の試作で、データ圧縮用プロセッサを追加し、障害物検知アルゴリズム開発を行った。アルゴリズム開発を優先するためプロセッサ試作は、難易度の低い大型のものから始め基板の小型化を行いケースに収めた。走行試験は、主にこの試作品を用いた。走行試験のために、リレー出力を追加し、障害物検知時には、ブザーやLEDを点灯させ検知タイミングの確認用に利用した。外形寸法、画角は、1回目の試作品と同一とした。



< 図 3-2-4.2 2回目試作品写真 >

3回目の試作では、投光部や距離演算部の小型化を実施し、最終仕様とした。ただし、中間品に取り付けていたブザーや、LEDは小型化試作では取り付けていない。ロボット用途としては、より小型化のものが望まれており、サイズ縮小にチャレンジした。1回目の試作品と比較して、容積比で1/2以下となっている。

画角は、水平画角 $50^{\circ}$ の1機種とした。カメラの性能は、1回目の試作 ZC-1050L-HPと同一であり、画像処理能力は、2回目の試作と同一である。



< 図 3-2-4.3 3回目試作品外観と外形寸法図 >

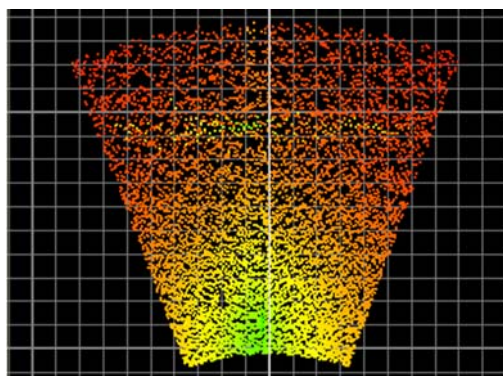
| 型式       |          | XZC2-1050L-HP                            | 備考                                 |
|----------|----------|--|------------------------------------|
| FOV      | 水平/垂直/対角 | 50° /37° /59°                            | 出力画素 176×132 の場合、数値は目安。<br>画角図面参照。 |
| 出力画素数    | 水平/垂直    | 176 × 132 画素                             |                                    |
| 有効画素数    | 水平/垂直    | 160 × 120 画素                             |                                    |
| 光源       |          | IR-LED 850nm                             |                                    |
| 距離検出距離   | [m]      | 0.5m - 4m                                | 数値は、計測条件や、設定モードにより異なる。             |
| 距離精度     | [%]      | X, Y軸 ±5%(Typical) Z軸 ±2%(Typical)       | 25℃ 距離1.5m 反射率>90% 画面中央 Fineモード    |
| 距離σ      | [%]      | Z軸 ±2%(Typical)                          | 25℃ 距離1.5m 反射率>90% 画面中央 Fineモード    |
| 光変調周波数   | [Hz]     | 20MHz                                    | Mode : Normal                      |
| フレームレート  | [fps]    | 30fps                                    | シャッター時間との調整。1fps毎に選択可能。            |
| 電源       |          | 12VDC 3A                                 | 電源ケーブル付属                           |
| 消費電力     | [W]      | 15-20W.Typical 30W.max                   | 最大電力は、ピーク値                         |
| インターフェース |          | Ether NET : 100Base-TX UDP               | POE給電は不可。                          |
| 出力フォーマット |          | ブロック検出力                                  |                                    |
| 取り付け     |          | カメラマウント 1/4インチ 筐体の上下に2箇所                 |                                    |
| 寸法       | [mm]     | 84 × 71 × 89mm                           | 突出部は含まず。外形図面参照。                    |
| 本体質量     | [kg]     | 0.7kg 以下                                 |                                    |
| ファン      |          | 風量:0.15m3/min 回転数:6,500rpm 期待寿命:60,000hr | 電源接続時 常時送風                         |
| 動作温度範囲   | [°C]     | 0 - 50°C                                 |                                    |
| 使用周囲湿度   | [%RH]    | 80%RH以下 結露なきこと                           |                                    |
| 使用周囲照度   | [Lux]    | 100,000 Lux 以下                           |                                    |
| カメラ起動時間  |          | 20秒以下                                    |                                    |

< 表 3-2-4.2 3回目試作品仕様 >

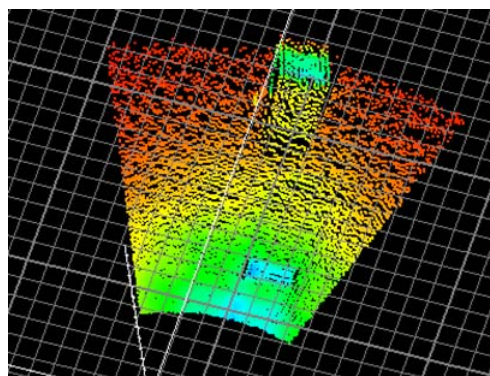
## 2) 障害物検知センサの評価

試作した TOF3 次元距離画像カメラを使った障害物検知センサにて、路面、障害物、溝、階段など、いくつかの場所にて、距離画像の取得を行った。

図 3-2-4.4 は、カメラを 85cm 高さに設置し、下向き 35° にて室内で床面を撮影したものである。a)では、床には一面カーペットが敷かれており、十分な反射光量が得られており、均質な床面を取得できている。b)は、P タイルの上に、白色の反射率 86% の 20cm 高さのブロックを置いたものである。カメラから 2m 離れた位置であるが、障害物として検出している。



a) 室内床面



b) P タイル上の 20cm 高さの障害物

< 図 3-2-4.4 室内床面と障害物 >

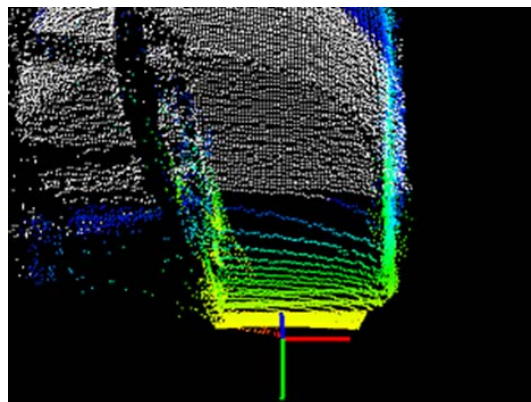
計測条件 : 室内、カメラ高さ 85cm、下向き 35°、床面カーペット

図 3-2-4.5 は、室内の階段の距離画像である。カメラの取り付け高さ 89cm、下向き 30° の画像である。カメラ画面の下端を、階段の始まりの位置に設定した。この角度では階段のステップも見えており、円形をしている壁の形状も 3 次的に取得できている。カメラの仰角は下を向けた方が階段のステップが見え、階段の特徴を掴むことができるが、長距離側の視野が狭くなる。30° 下向きで、画面上端の床面の距離は 4m となる。

電動車いすの障害物検出の応用には、階段のように落下の危険を検出することも危険回避の面で重要である。障害物の検出ロジックとは逆に、床面を検出しなくなった時に警告をするシステムである。今回はアルゴリズム開発が間に合わなかったが、電動車いすのリスク分析では、重要な検討課題である。



a) 室内階段 カラー写真

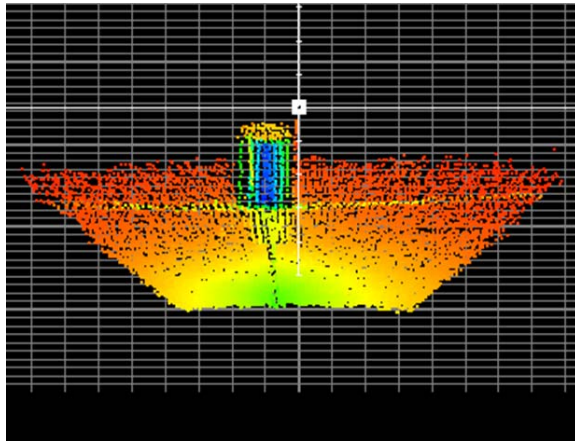


b) 階段の距離画像

< 図 3-2-4.5 室内階段 >

図 3-2-4.6 は、P タイル上にある円柱の障害物である。反射率 86%の白紙で包んでいる。カメラの設置高さは、85cm、下向き 35° の距離画像である。円形の形状が見えているが、側面は反射強度が低く、雑音処理の手法によっては、側面が消えることもある。

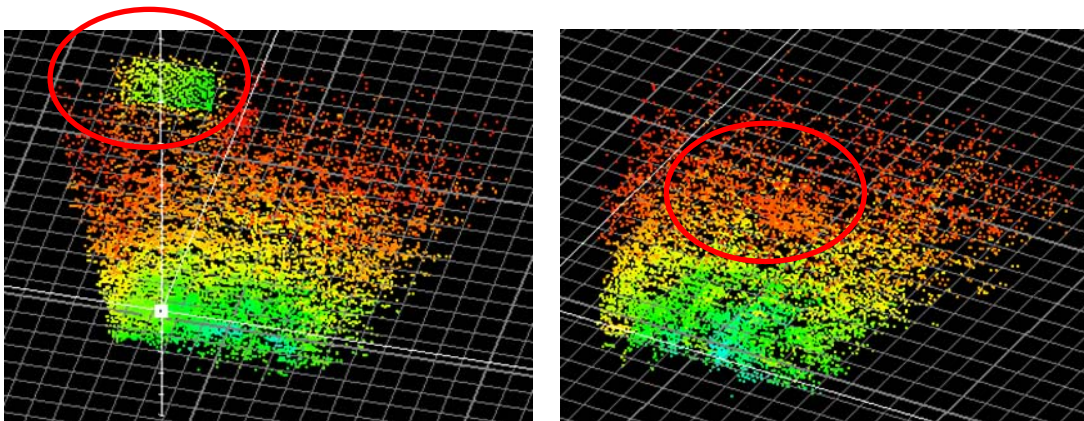




< 図 3-2-4.6 円柱 >

図 3-2-4.7 に、屋外太陽光下での計測結果を示す。20cm 高さの段差検出を想定し、歩道に 20cm 高さのブロックを置き、検知実験を行った。カメラの設置高さは、85cm、下向き 35° の設置条件である。太陽光の照度は、100,000Lx を超えている。

a) では、白色の 86% 反射のブロックを用い、カメラからの距離 2,200mm で検出している。目標 2m なので目標値に近い。b) は黒色の 7% 反射ブロックである。画面上での存在も見えにくくなり、検出距離も 1,600mm と目標を下回った。



a) 86% 反射ブロック

b) 7% 反射ブロック

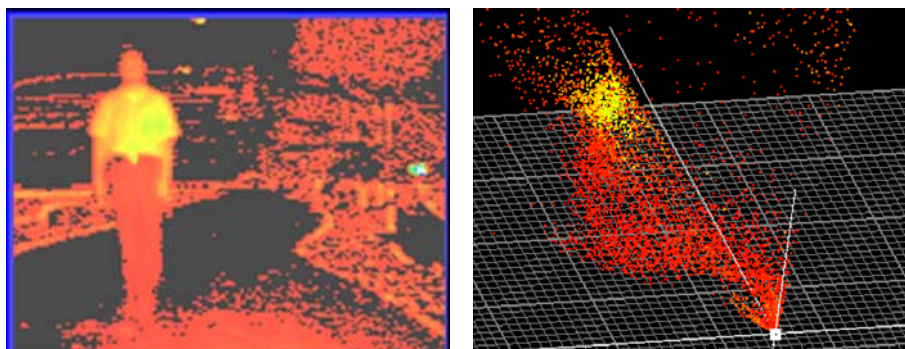
< 図 3-2-4.7 屋外 20cm 高さ段差検知 >

計測条件 : 屋外 100,000Lx、カメラ高さ 85cm、下向き 35°、コンクリート

距離画像カメラは、TOF (Time Of Flight) の原理を利用しているが、実時間として反射時間を計測しているわけではなく、周期的なパルス光に対する位相差を計測して距離に換算している。したがって、折り返しと呼ばれる距離までしか正確な距離を計測することができない。ここまでの計測には、20MHz の変調周波数を用いたため、折り返し距離

は7.5mであった。

この場合、7.5mより長距離側での反射光が返ってきたとき、雑音となる。この折り返し雑音を防ぐため、変調周波数を10MHzまで下げて、計測を行った。10MHzでは折り返し距離は、15mとなるため、長距離の反射による折り返し雑音の影響を受けにくい。



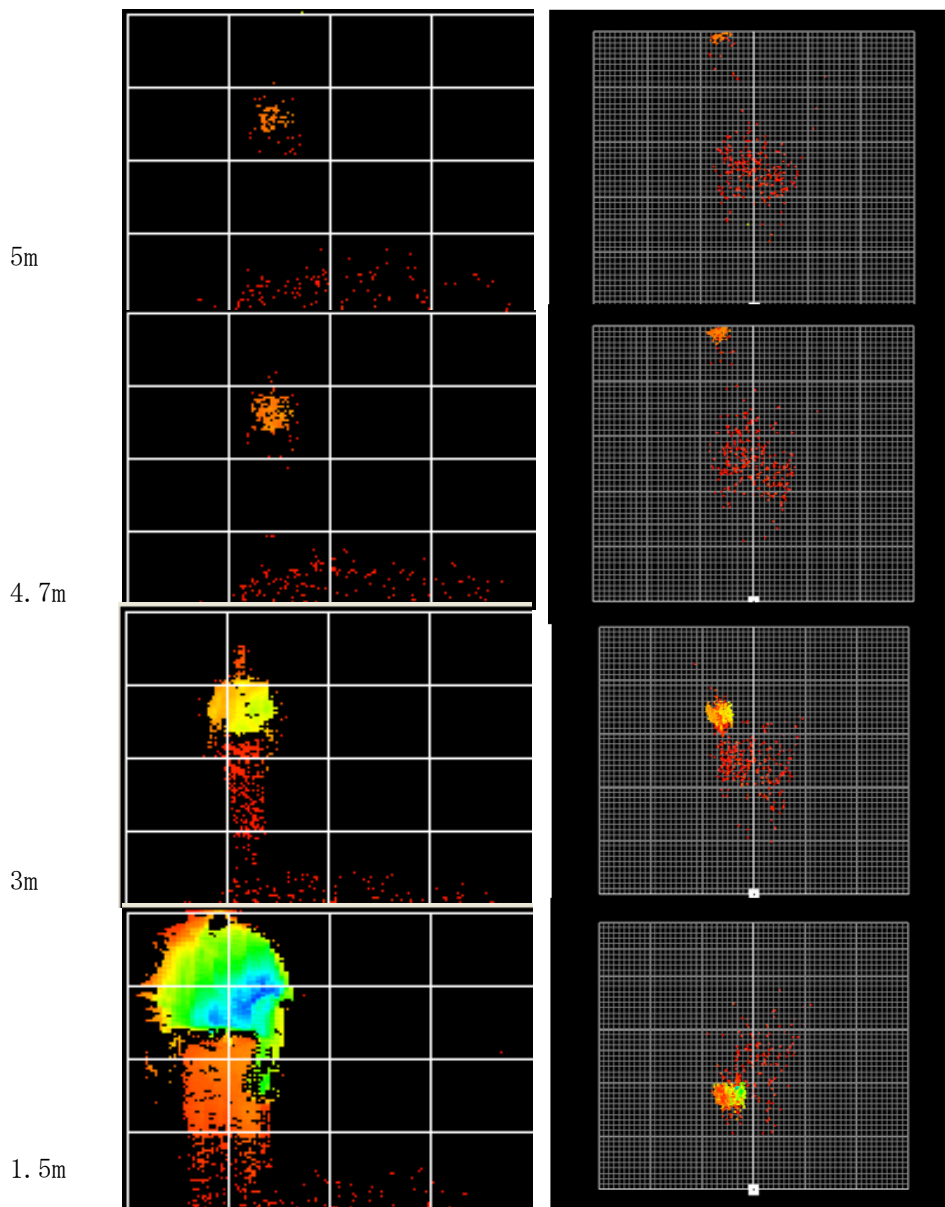
a) 距離4mの人体（反射強度画像） b) 距離4mの人体（距離画像）

< 図3-2-4.8 変調周波数10MHzの屋外人体検出 >

計測条件 : 屋外 100,000Lx、カメラ高さ 85cm、下向き 35°、10MHz

4mの距離では人体の形状は、3次元的に復元することができないが、反射画像では反射強度の強い部分がある。ターゲットの人体は、身長170cm、白シャツの反射率56%、ズボンの反射率14%である。反射率の計測は、基準反射板と比較した簡易的な測定方法である。

反射率の高い、上半身と反射率の低い下半身で、検知確率は異なる。



a) 人体反射強度画像

b) 人体距離画像（上から見た図）

< 図 3-2-4.9 変調周波数 10MHz の屋外人体検出 >

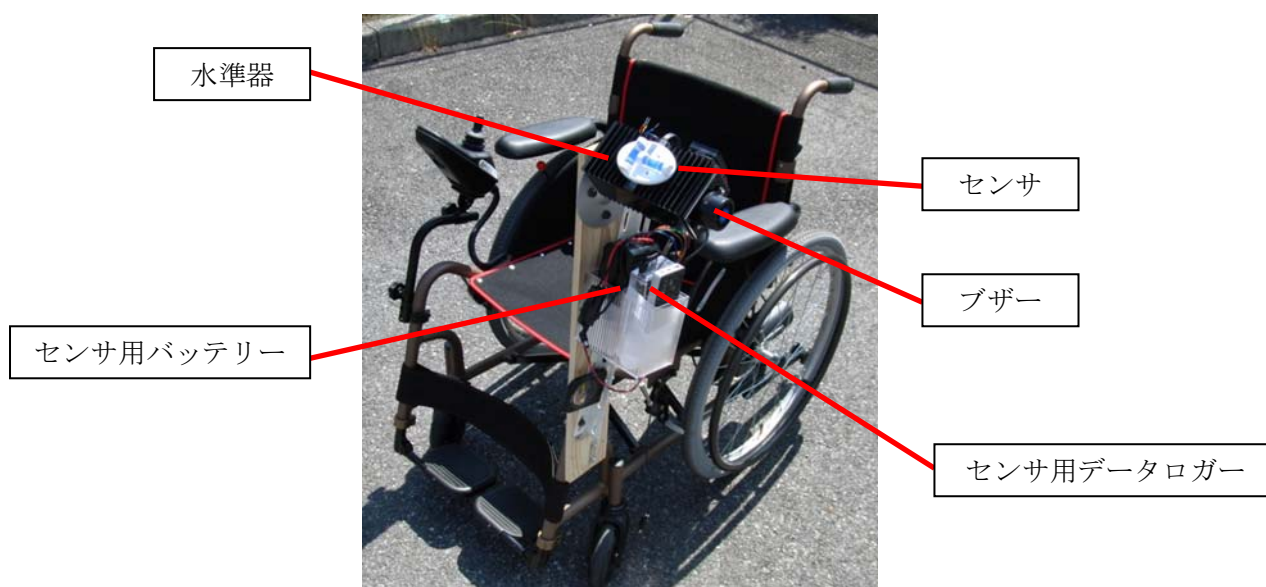
計測条件 : 屋外 100,000Lx、カメラ高さ 85cm、下向き 35°、10MHz

雑音処理を行い、人体検知の限界距離を求めた。雑音を減少させると、反射画像も暗くなり、長距離側では検出が難しくなる。4.7m で検出することができたが、距離画像は鮮明ではない。3m では、反射強度画像でも人の形を認識することができる。

### 3) 走行実験



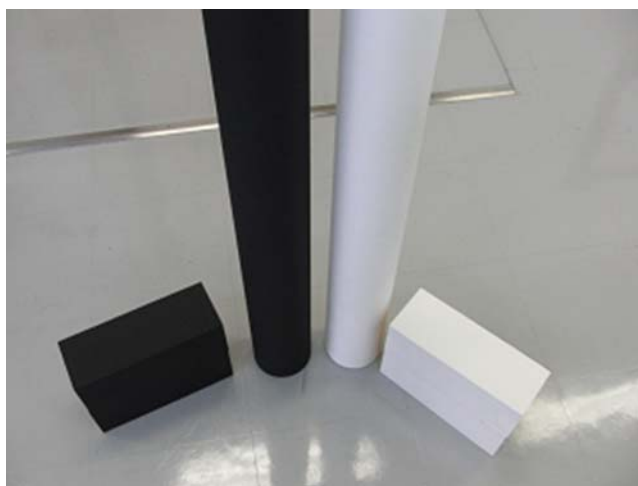
ここで、ターゲットの形状、反射率、床面の材質を変更し、障害物検出の走行実験を行った。市販のタオライトーⅡに、障害物検知センサを取り付けた。障害物検出センサとして、2回目の試作品で、障害物検出アルゴリズムを実装済みのものを利用した。画角は、水平50°のものを利用した。センサからは、デジタル出力が出ており、ブザーとLED 2個に接続されている。障害物を検出するとブザーが鳴り、LEDが点灯する。これにより、移動しながらでも、検知タイミングを計測することができる。



< 図 3-2-4.10 走行実験用電動車イス >

計測条件 : カメラ高さ 85cm、下向き 35°、最高時速 6km/h

使用したターゲットは、円柱(φ100mm×1,100mm高さ)と、高さ20cmのブロック(100mm×200mm×200mm高さ)である。それぞれ、反射率86%、7%とした。



< 図 3-2-4.11 走行実験に利用するターゲット類 >

床面は、黒いカーペットと、P タイルと呼ばれる光沢の床を使った。各ターゲットに衝突コースで向い、側方からビデオカメラで録画する。LED が点灯したタイミングを画像から解析し、ターゲットまでの距離を計測する。ターゲットまでの計測誤差を考慮し、結果は、100mm 単位の数値とした。走行速度は、市販の電動車いすの最高速度 6km/h 一定とした。

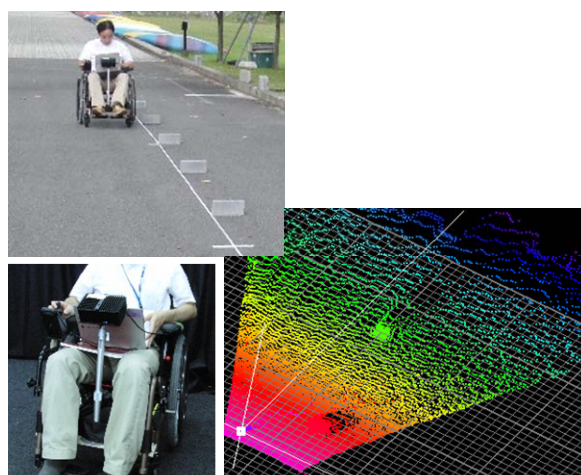


< 図 3-2-4.12 P タイル上の走行実験 >

室内の走行実験の結果を、表 3-2-4.3 にまとめる。20cm 高さのブロックでは、2m 以上の距離で検出しているが、円柱では、2m 以内の検出となった。これは円柱側面の角度により、反射光量が低下するためである。

| 形状   | 反射率   | 検出距離 [mm] |       |
|------|-------|-----------|-------|
|      |       | 黒色カーペット   | Pタイル  |
| 円柱   | 白 86% | 1,500     | 1,200 |
|      | 黒 7%  | 1,600     | 1,500 |
| ブロック | 白 86% | 2,100     | 2,100 |
|      | 黒 7%  | 2,100     | 2,300 |

< 表 3-2-4.3 室内走行実験結果 >



< 図 3-2-4.13 屋外での障害物検知センサ走行実験 >

次に、屋外で太陽光下での検知実験を行った。カメラに対して太陽の位置により結果が変わったため、2種類の方向で実験を行った。ターゲットに対して、太陽が正対する場合を順光状態と呼び、太陽光がカメラから見ているターゲット表面に当たらない方向を逆光状態と呼ぶ。ターゲットは、白色(反射率 86%)、黒色(反射率 7%)の2種類の表面状態とし、高さも、200mm、300mmと変化させた。

結果を、表 3-2-4.4 に示す。

| ブロック       |       | 路面環境   | 検知距離 [mm] |       |
|------------|-------|--------|-----------|-------|
| 反射率        | 高さ    |        | 逆光        | 順光    |
| 白<br>(86%) | 200mm | コンクリート | 2,200     | 1,100 |
|            |       | アスファルト | 2,300     | 1,000 |
|            | 300mm | コンクリート | 2,300     | 1,200 |
|            |       | アスファルト | 2,300     | 1,700 |
| 黒<br>(7%)  | 200mm | コンクリート | 1,800     | 非検知   |
|            |       | アスファルト | 2,000     | 1,400 |
|            | 300mm | コンクリート | 2,000     | 1,300 |
|            |       | アスファルト | 1,700     | 非検知   |

< 表 3-2-4.4 屋外走行実験結果 >

太陽光は、距離画像カメラにとっては、雑音となる。順光状態で太陽光がターゲットに当たると、カメラからの投光と混合され受光部に入光する。これが画面上のノイズと

なる。逆光の場合は、ブロックの高さを、200mm, 200mm と変えて検出距離の計測を行った。ブロックは、白色（反射率 86%）を使い、測定中の照度は、90,000lx であった。

また、溝についての検知実験を行った。溝検知の場合には、路面の下の障害物を検知するようにアルゴリズムを変更して行った。溝の側面を障害物と想定し、路面高さよりも下にある場合を溝と判定する。したがって、側面のある溝を想定している。

実験には、屋外に溝深さ（20cm）だけ路面から持ち上げた板を 2 枚用意し、2 枚の板の間隔を溝とした。溝側面を作るため白色の板で側面を覆った。溝の幅を変化させて、検知できる距離を測定した。

結果を表 3-2-4.5 に示す。1m 以上の距離で検知しているが、溝側面の反射の角度などにより検知距離は安定しなかった。アルゴリズムとしての可能性は示したが、実用的でレベルではない。実験時の照度は、14,000lx であった。



< 図 3-2-4.14 屋外溝検出実験 >

| 検知距離 [mm]  |       |       |
|------------|-------|-------|
| 溝幅<br>[mm] | 速度    |       |
|            | 3km/h | 6km/h |
| 100        | 700   | 1,000 |
| 200        | 1,000 | 1,000 |
| 300        | 1,300 | 1,300 |
| 400        | 1,000 | 2,000 |

< 表 3-2-4.5 屋外溝検出実験結果 >

#### 4) 安全検証センターによる人口太陽実験

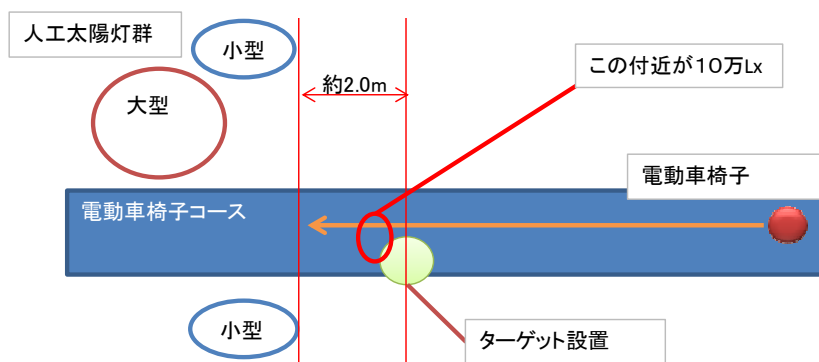
屋外で、100,000lx の太陽照度下での実験は天候に左右され、安定した条件で長時間実験を行うことができない。安全検証センターには、人口太陽灯があり、安定した照度を保ち、長時間同一条件で計測を行うことができる。大型太陽灯 1 台と、小型 2 台で設定するが、100,000lx が得られる領域はスポットである。位置をずらすと、急激に照度が低下する。

太陽と、センサの位置関係を、カメラの照明に擬えて順光、逆光と称する。順光がカメラの見ている方向と同じ方向に人工太陽灯の光が向かう場合である。逆光は、カメラの方向に向かって人工太陽灯を設置する場合である。

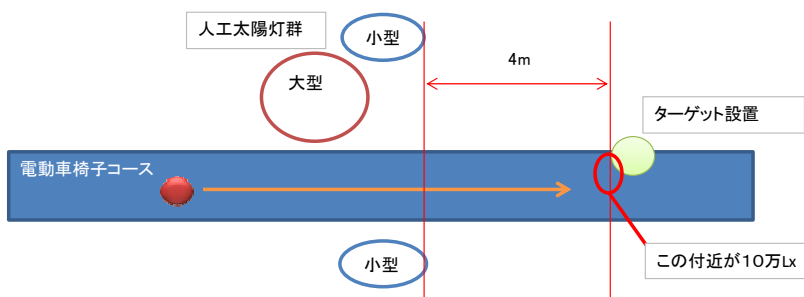
距離画像カメラの太陽光の影響は、順光の方が大きい。太陽光がターゲットに当たっ

て、反射光がカメラに入光する。この時、カメラからの投光による反射光と、太陽光の反射が、カメラの受光部で混合される。これが雑音の原因になる。

図 3-2-4.14、図 3-2-4.15 に逆光と、順光の人工太陽灯の配置と、電動車いすの走行方向を示した。走行速度は、10km/h 一定とした。



< 図 3-2-4.14 逆光の場合の人工太陽灯の配置と走行方向 >



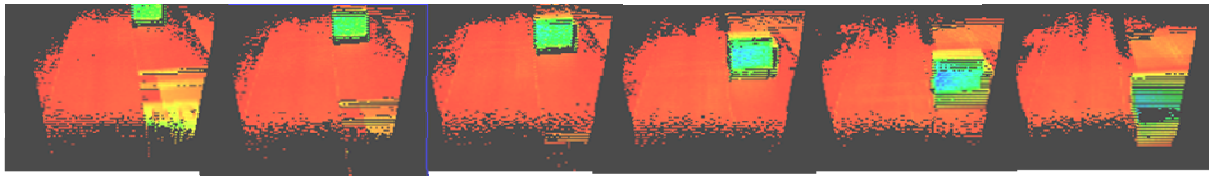
< 図 3-2-4.15 順光の場合の人工太陽灯の配置と走行方向 >

| 逆光     | 検知距離 | 順光     | 検知距離 |
|--------|------|--------|------|
| 白20cm高 | 2.1m | 白20cm高 | 非検知  |
| 黒20cm高 | 非検知  | 黒20cm高 | 非検知  |

< 表 3-2-4.6 人工太陽実験結果 >

逆光では 20cm 段差を検出したが、それ以外の条件では検出しなかった。白ターゲットが、86%反射率であり、黒が 7%反射率である。

図 3-2-4.7 の実験では、100,000Lx 環境下で、黒ターゲットも 1.3m で検出していた。人工太陽灯を使うと、太陽の高さを高くすることができないので、より厳しい条件となっている。



< 図 3-2-4.16 人工太陽実験結果 ～ 順光の場合の反射強度画像 >

図 3-2-4.16 は、順光の場合のターゲットに接近しているときの画像である。時速 10km で走行すると、30fps 水平画角 50° のカメラで、6 コマ撮影されている。距離画像では、距離のばらつきが大きくターゲットを補足できないが、反射強度画像ではターゲットが鮮明に映っている。

### 3-3-5. TOF3 次元距離画像カメラを用いた障害物検出センサのまとめ

TOF 位相差方式の 3 次元距離画像カメラを用いて、障害物検出センサを試作した。3 段階の試作は、それぞれ以下に記載した目的で行った。

当初の目標と異なり、距離画像カメラではなく、障害物検出のための 3 次元画像処理機能を有する距離画像カメラを試作した。これは、搭乗者への注意喚起としての障害物検出出力も有しており、ブザーや、LEDなどを付加すると、自立して利用することができる。組み込み系のロボットへの追加機能として付加する場合を想定して、小型化の試作も実施した。

障害物検出センサの試作と目的：

- 1 回目 投光量の増加、路面検出用の投光光学系の作成
- 2 回目 通信量の削減のための CPU 追加、安全通信フォーマットの提案。  
障害物検出センサの検出アルゴリズム開発・評価  
安全検証センターでの人工太陽を使った検出試験
- 3 回目 搭載スペース確保のための小型化 (2 回目試作品の容積で約半分)

2 回目試作品を使って、障害物検出実験を行った。目標 2m 先、20cm 高さの段差と仮定して評価を行った。100,000lx 逆光の条件で、20cm 高さの白ブロック (反射率 86%) を 2m 以上の距離で検出したが、順光では 1m 程度の検出距離となった。安全検証センターの人工太陽実験では、実際の太陽よりも低い仰角で光が当たるため、屋外で行う試験より厳しい条件となり、100,000lx では黒ブロック (7%) では検出できず、白ブロック (86%) 逆光のみの検出となった。

リスクアセスメントで提起された溝への落下を防ぐための溝検出機能の確認も行った。溝の壁を路面より低い位置で検出する論理を利用してアルゴリズムを作成した。

画像処理回路付の小型化の試作は、当社製品と比較して 1/2 の容積となった。

### 3-4. 安全要素モジュール：無線通信（ヴィッツ）

#### 3-4-1. 通信の安全に対する要求事項

本研究において、搭乗型移動ロボットで利用可能な超低通信エラー率を実現する頑強な無線通信手段を実現する。無線通信手段の実現のために、通信プロトコルスタックとアプリケーションの間に、機能安全通信モジュールレイヤとして安全通信モジュールを設ける。安全通信モジュールでは機能安全規格 IEC61508 と安全通信規格 IEC61784 を参考にして安全通信を実現する。

無線通信では、搭乗型移動ロボットが必要とする安全度水準と同等の安全度水準を満たすために、機能安全規格 IEC61508 より SIL2 相当の安全度水準を満たすように実現する。IEC61508 SIL2 ではシステムで許容できる残余誤り率が  $10^{-9}/h$  未満となることを要求している。そのため、無線通信における残余誤り率は  $10^{-9}/h$  未満とする。

また、安全通信規格 IEC61784 で提唱している安全性を阻害する通信脅威への対策を取り入れる。IEC61784 には以下の 8 つの通信脅威が記載されている。

- ・ くずれ
  - バス通信範囲内での通信対象のエラー等により、通信メッセージが崩れてしまうこと。
- ・ 繰り返し
  - エラー、故障、または干渉により、古い未更新のメッセージが、誤って繰り返し送信されること。
- ・ 誤ったシーケンス
  - エラー、故障、または干渉により、メッセージに関連付けられるシーケンスが不正となること。
- ・ 損失
  - エラー、故障、または干渉により、メッセージが受信されない、または、認識されないこと。
- ・ 遅延
  - メッセージが、伝達媒体、混雑した通信線、干渉におけるエラーのために、許された到着時間を越えて遅れてしまうこと。
- ・ 挿入
  - 故障、または干渉により、予想外もしくは不明なソースが付け加えられること。
- ・ なりすまし
  - 故障、または、干渉により、メッセージが付け加えられ、非安全なメッセージが安全関連対象に受信され、安全なメッセージとみなしてしまうこと。
- ・ アドレス指定
  - 故障、または干渉により、安全関連メッセージが、別の安全関連対象に送られ、正常として受信されてしまうこと。

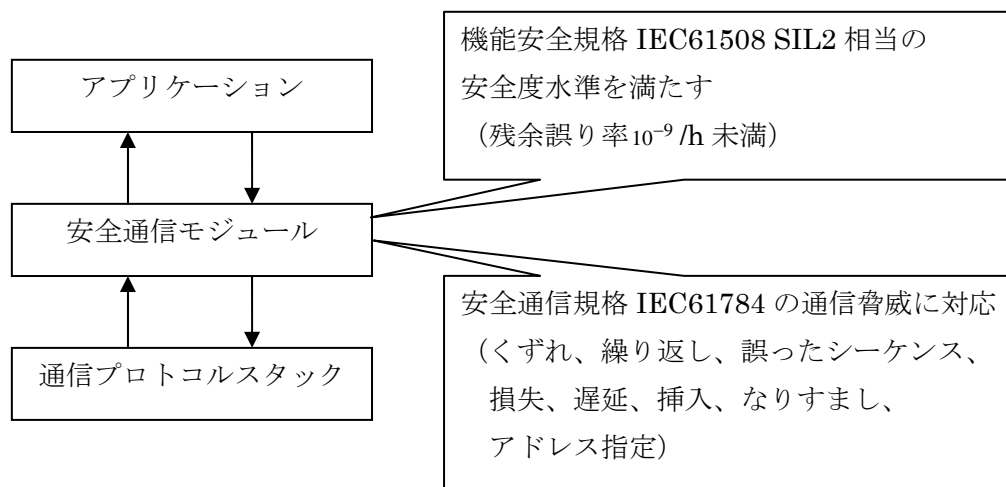


図 3-4-1-1 無線通信に対する要求事項

### 3-4-2. 通信脅威の分析

IEC61784 にて規定されている通信脅威とその対策について述べる。

#### 3-4-2-1. 通信脅威

各通信脅威について述べる。

- くずれ

メッセージが、バス通信範囲内での通信対象のエラーのため、伝達手段のエラーのため、または、メッセージ干渉により、くずれてしまう脅威である。くずれ発生時の例を下記に示す。正常時では送信側が用意したデータ 1 が受信側に正しく伝達される。一方、くずれ発生時にはデータ 1 がデータ 2 にくずれ、受信側に意図しないデータが伝達される。

- 繰り返し

エラー、失敗、または干渉により、古い未更新のメッセージが、誤って繰り返し送信される脅威である。繰り返し発生時の例を下記に示す。正常時では送信側から 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2、3 回目にデータ 3 が受信側に伝達される。一方、繰り返し発生時には 1 回目にデータ 1 が送信された後、2 回目に送信したデータ 2 が繰り返される。そして 3 回目にデータ 3 が伝達される。そのため、受信側には意図しないデータが伝達される。

- 誤ったシーケンス

エラー、失敗、または干渉により、特定の情報源からのメッセージに関連付けられる、あらかじめ定義されたシーケンス(たとえば、時間引用した自然数など)が不正となる脅威である。誤ったシーケンス発生時の例を下記に示す。正常時では受信側に 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2、3 回目にデータ 3 が伝達される。一方、誤ったシーケンス発生時には受



信側に 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 3、3 回目にデータ 2 が伝達され、意図しない順番でデータが伝達される。

- 損失

エラー、失敗、または干渉により、メッセージが受信されない、または、認識されない脅威である。損失発生時の例を下記に示す。正常時では送信側から 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2、3 回目にデータ 3 が伝達される。一方、損失発生時では送信側から 1 回目にデータ 1 が伝達されるが、2 回目にデータ 2 が損失する。そして 3 回目にデータ 3 が伝達される。そのため、受信側では意図しないデータが伝達される。

- 遅延

メッセージが、伝達媒体、詰まった伝送線、干渉におけるエラーのために、許された到着時間を越えて遅れる脅威である。遅延発生時の例を下記に示す。正常時では送信側から時刻 0 に送信されたデータ 1 が時刻 1 までに受信側に伝達される。一方、遅延発生時では送信側から時刻 0 に送信されたデータ 1 が時刻 1 を過ぎて受信側に伝達される(ここでは許される到着時間を 1 とする)。

- 挿入

失敗、または干渉により、予想外もしくは不明な送信源からメッセージが付け加えられる脅威である。挿入の例を下記に示す。正常時では送信側から 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2、3 回目にデータ 3 が伝達される。一方、挿入発生時には送信側から 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2 が伝達された後、不明な送信源からデータ 4 が伝達される。そして 3 回目にデータ 3 が伝達される。そのため、受信側には意図しないデータが伝達される。

- なりすまし

失敗、または干渉により、明らかに有効な情報源からメッセージが付け加えられることにより、非安全なメッセージが受信され、それを安全なメッセージとみなしてしまう脅威である。なりすましの例を下記に示す。正常時では送信側から 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2、3 回目にデータ 3 が伝達される。一方、なりすまし発生時には送信側から 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2 が伝達された後、非安全な送信源からデータ 4 が付け加えられる。そして 3 回目にデータ 3 が伝達される。そのため、受信側には意図しないデータが伝達される。

- アドレス指定

失敗、または干渉により、安全関連メッセージは間違った安全関連対象に送られることにより、正しいように受信される脅威である。アドレス指定の脅威を下記に示す。正常時では送信側から送信されたデータ 1 は受信側 1 に伝達される。一方、アドレス指定発生時では送信側から送信されたデータ 1 は受信側 2 に伝達され、受信側 2 では正常なデータとして受信する。



正常時



異常時

図 3-4-2-1-1 くずれの例

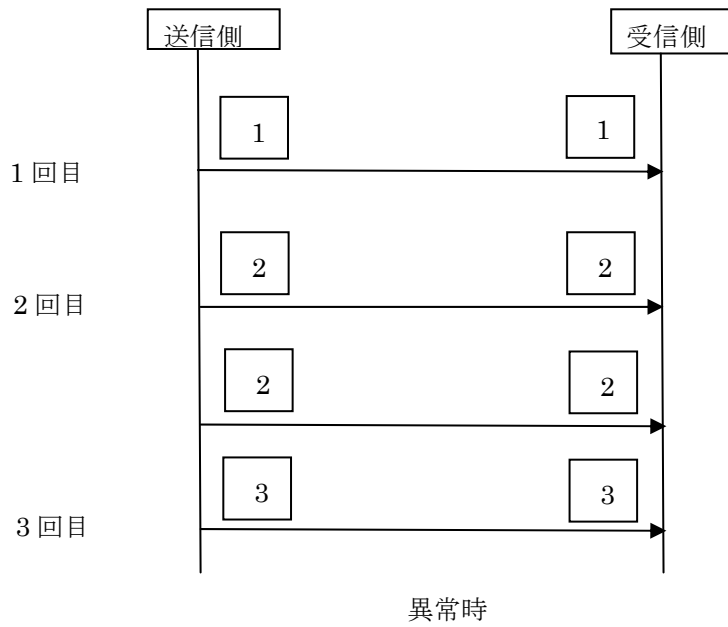
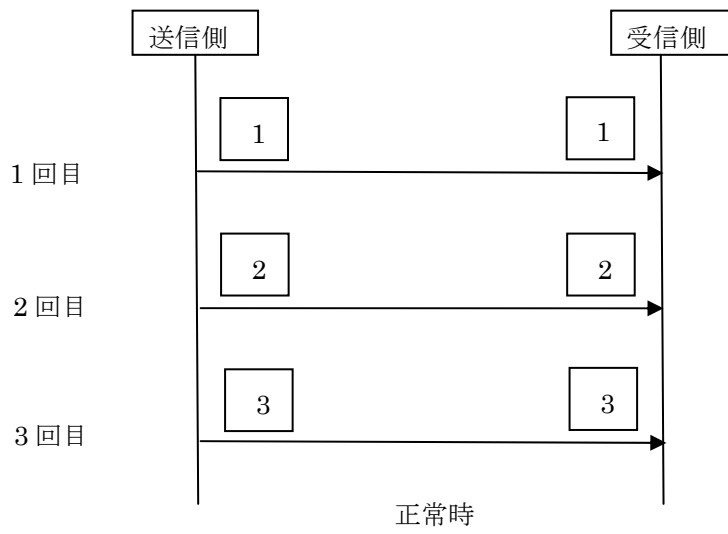


図 3-4-2-1-2 繰り返しの例

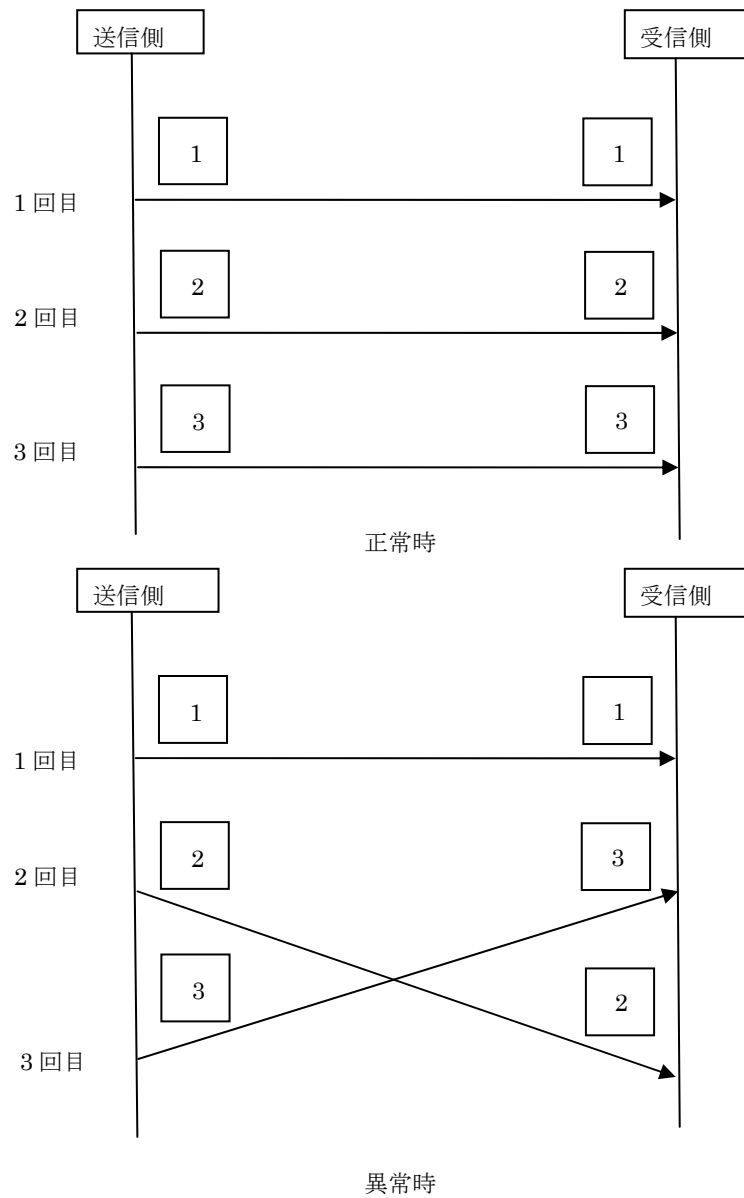


図 3-4-2-1-3 誤ったシーケンスの例

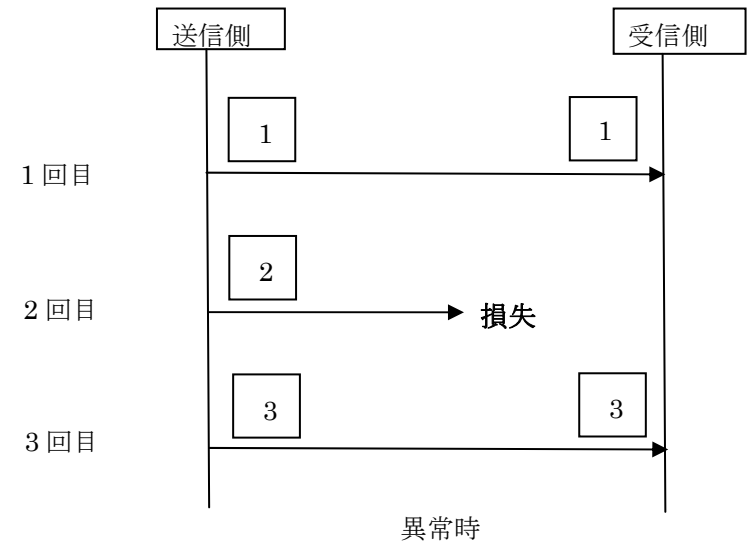
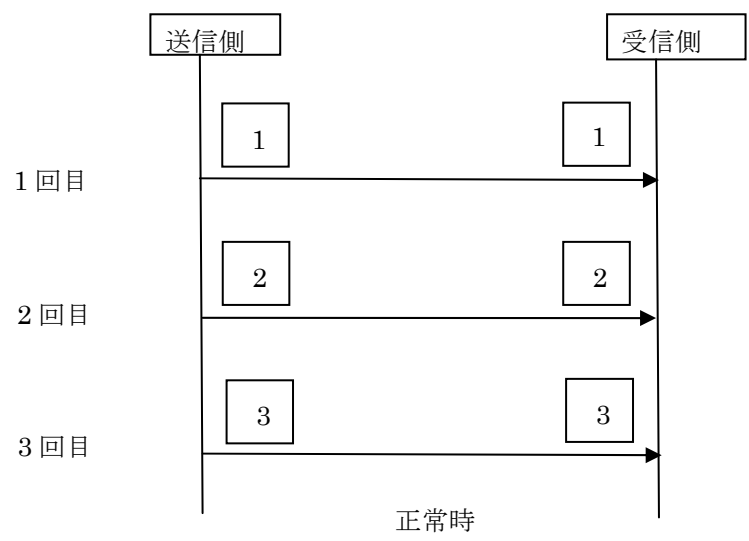


図 3-4-2-1-4 損失の例

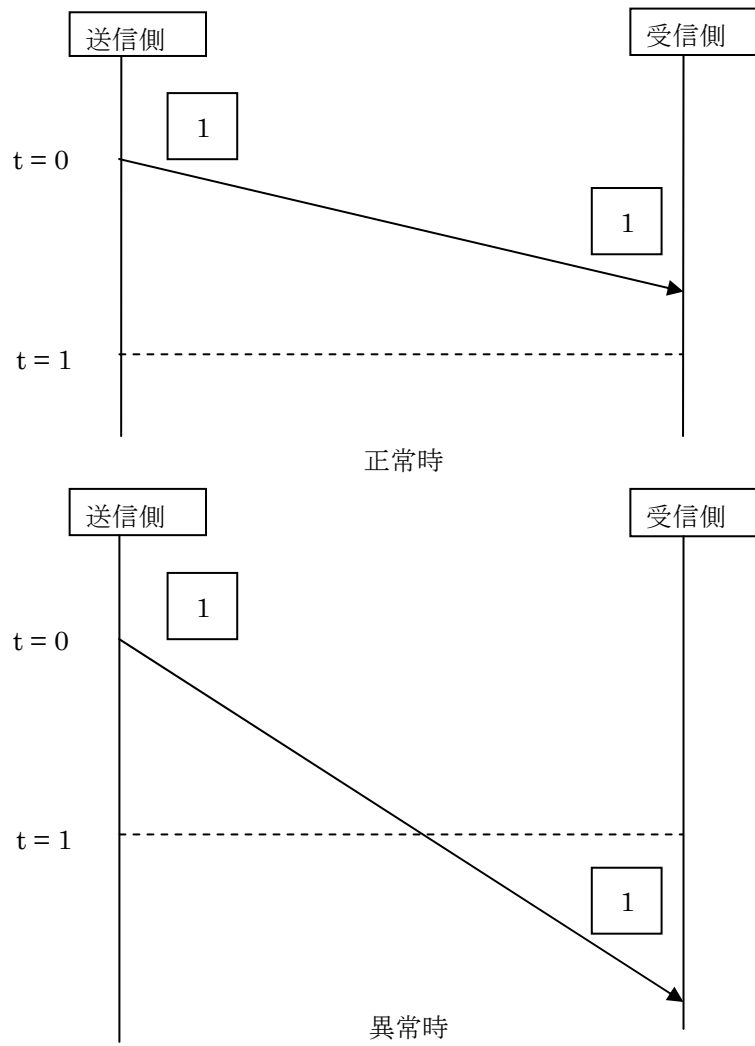


図 3-4-2-1-5 遅延の例

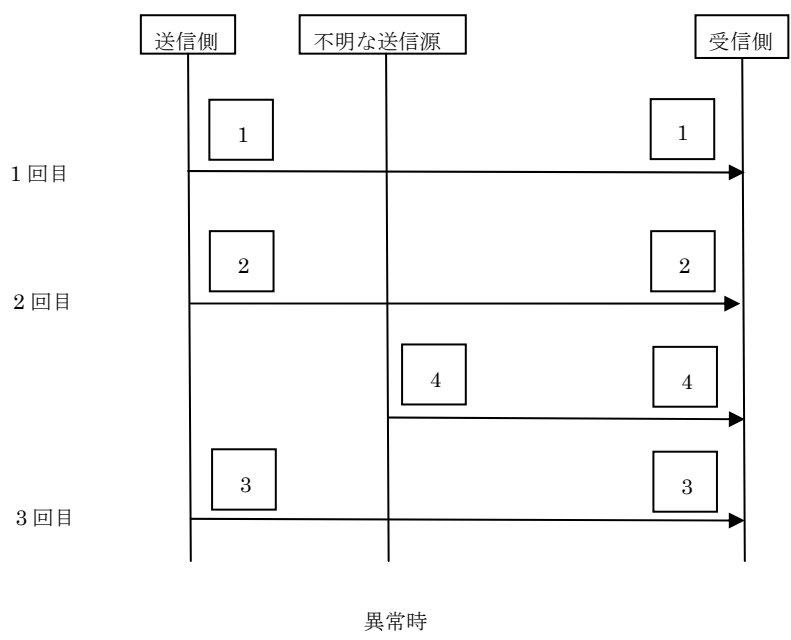
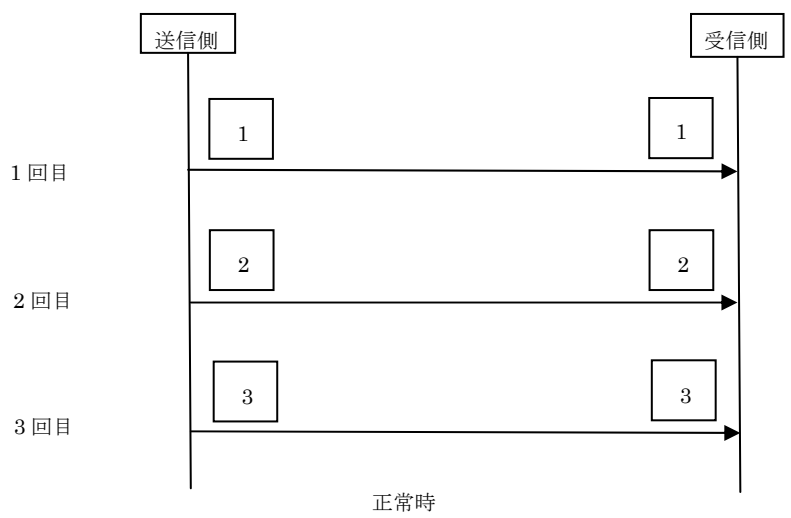


図 3-4-2-1-6 挿入の例

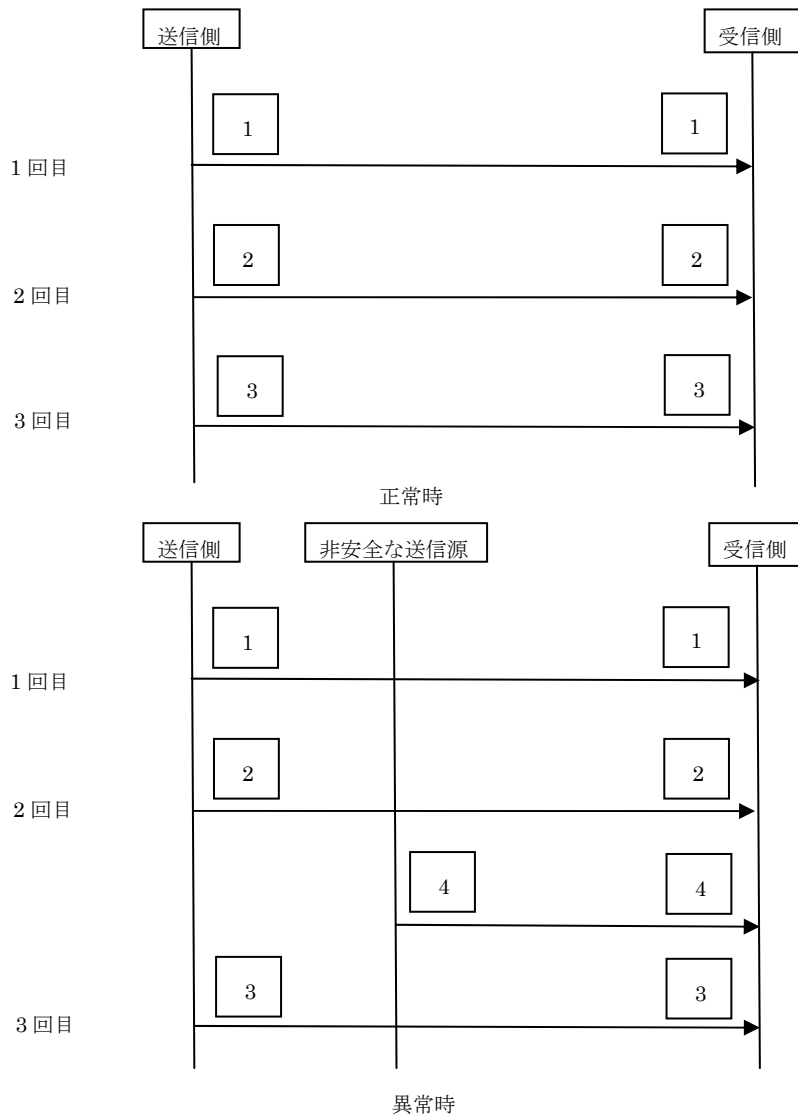


図 3-4-2-1-7 なりすましの例



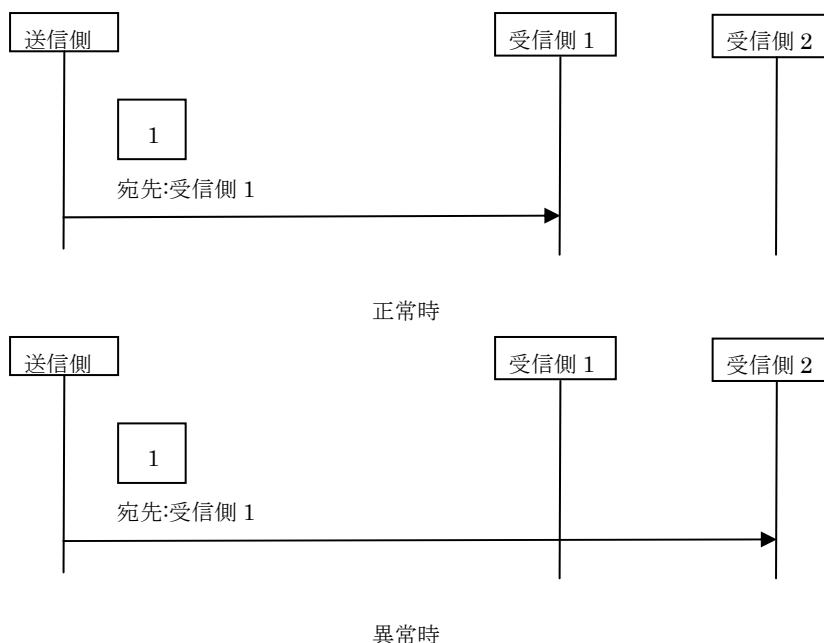


図 3-4-2-1-8 アドレス指定の例

### 3-4-2-2. 通信脅威への対策

各通信脅威への対策について述べる。

#### 3-4-2-2-1. シーケンス番号による対策

送信側と受信側の間でやりとりされるメッセージに、シーケンス番号を付け加えることで通信脅威への対策を行う。シーケンス番号で対策可能な通信脅威をそれぞれの例を用いて示す。

- 繰り返し

繰り返しの対策例を下記に示す。送信側が1回目にデータ 1、2回目にデータ 2、3回目にデータ 3を送信する場合を考える。未対策時には1回目にデータ 1、2回目にデータ 2を受信し、3回目にデータ 2を繰り返し受信する。そして4回目にデータ 4を受信する。一方、シーケンス番号による対策時には、受信側は1回目にシーケンス番号 S1 が付加されたデータ 1を受信し、2回目にシーケンス番号 S2 が付加されたデータ 2を受信する。そして3回目に再度シーケンス番号 S2 が付加されたデータ 2を受信する。これにより同じデータを繰り返し受信したことを認識可能となる。

- 誤ったシーケンス

誤ったシーケンスの対策例を下記に示す。送信側が1回目にデータ 1、2回目にデータ 2、3回目にデータ 3を送信する場合を考える。未対策時には1回目にデータ 1、2回目にデータ 3を受信し、3回目にデータ 2を受信する。一方、シーケンス番号による対策時には、受信側は1回目にシーケンス番号 S1 が付加されたデータ 1を受信し、2回目にシーケンス番

号 S3 が付加されたデータ 3 を受信する。そして 3 回目にシーケンス番号 S2 が付加されたデータ 2 を受信する。これにより誤ったシーケンスによってデータを受信したことを認識可能となる。

- 損失

シーケンス番号による損失の対策例を下記に示す。送信側が 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2、3 回目にデータ 3 を送信する場合を考える。未対策時には 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 3 を受信し、データ 2 を受信しない。一方、シーケンス番号による対策時には、受信側は 1 回目にシーケンス番号 S1 が付加されたデータ 1 を受信し、2 回目にシーケンス番号 S3 が付加されたデータ 3 を受信する。これによりデータを損失したことを認識可能となる。

- 挿入

シーケンス番号による損失の対策例を下記に示す。送信側が 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2、3 回目にデータ 3 を送信する場合を考える。未対策時には 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2 を受信し、3 回目に挿入されたデータ 4 を受信し、4 回目にデータ 3 を受信する。一方、シーケンス番号による対策時には、受信側は 1 回目にシーケンス番号 S1 が付加されたデータ 1 を受信し、2 回目にシーケンス番号 S2 が付加されたデータ 2 を受信する。そして 3 回目にシーケンス番号が付加されていないデータ 4 を受信する。これによりデータが挿入されたことを認識可能となる。

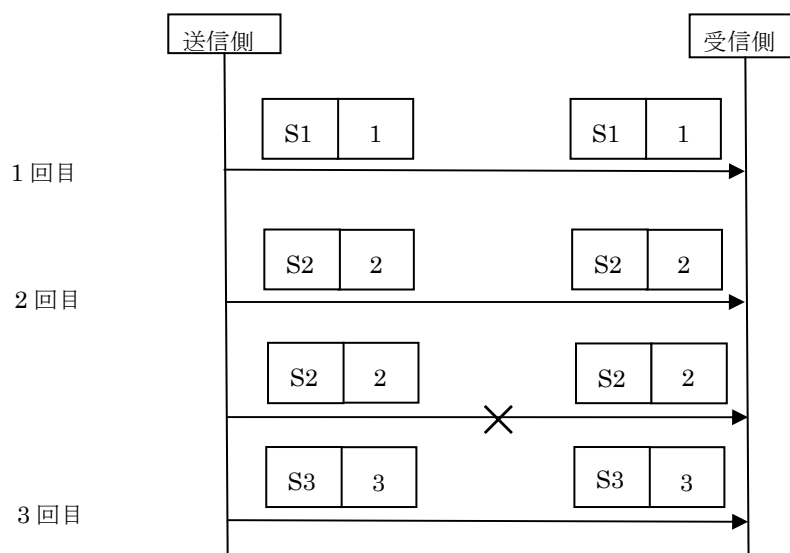


図 3-4-2-2-1-1 シーケンス番号による繰り返しの対策例

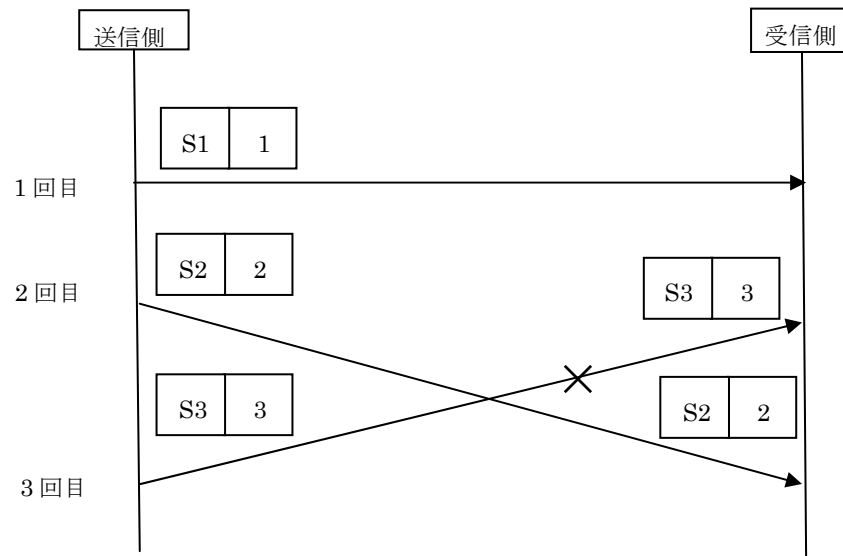


図 3-4-2-2-1-2 シーケンス番号による誤ったシーケンスの対策例

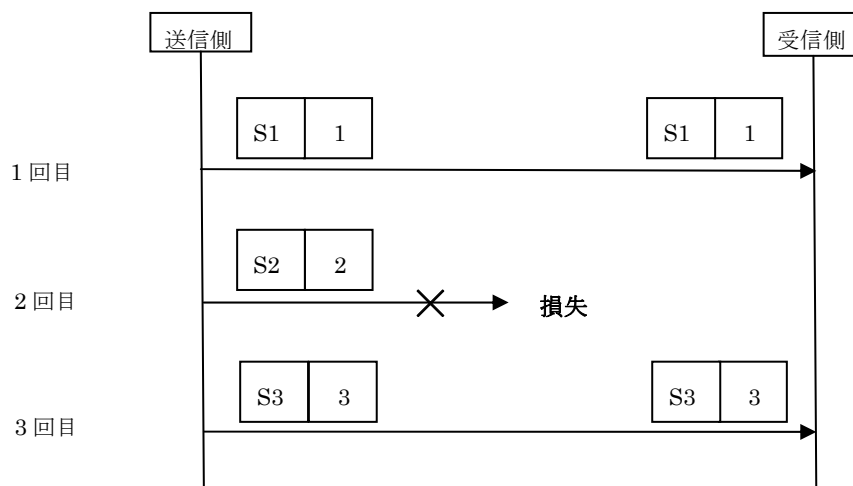


図 3-4-2-2-1-3 シーケンス番号による損失の対策例

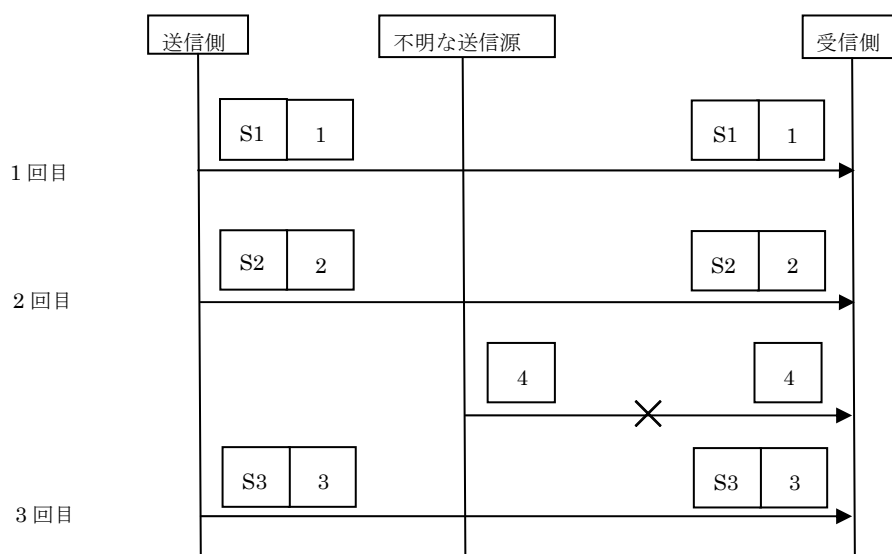


図 3-4-2-2-1-4 シーケンス番号による挿入の対策例

### 3-4-2-2-2. タイムスタンプによる対策

送信側と受信側の間でやりとりされるメッセージに、タイムスタンプを付け加えることで通信脅威への対策を行う。タイムスタンプで対策可能な通信脅威をそれぞれの例を用いて示す。

- 繰り返し

タイムスタンプによる繰り返しの対策例を下記に示す。

送信側が1回目にデータ1、2回目にデータ2、3回目にデータ3を送信する場合を考える。未対策時には1回目にデータ1、2回目にデータ2を受信し、3回目に繰り返されたデータ2を受信し、4回目にデータ3を受信する。一方、タイムスタンプによる対策時には、受信側は1回目にタイムスタンプT1が付加されたデータ1を受信し、2回目にタイムスタンプT2が付加されたデータ2を受信する。そして3回目に再度タイムスタンプT2が付加されたデータ2を受信する。これによりデータが繰り返されたことを認識可能となる。

- 誤ったシーケンス

タイムスタンプによる誤ったシーケンスの対策例を下記に示す。

送信側が1回目にデータ1、2回目にデータ2、3回目にデータ3を送信する場合を考える。未対策時には1回目にデータ1、2回目にデータ3を受信し、3回目にデータ2を受信する。一方、タイムスタンプによる対策時には、受信側は1回目にタイムスタンプT1が付加されたデータ1を受信し、2回目にタイムスタンプT3が付加されたデータ3を受信する。そして3回目にタイムスタンプT2が付加されたデータ2を受信する。これによりシーケンスの誤りを認識可能となる。

- 遅延

タイムスタンプによる遅延の対策例を下記に示す。

送信側が時刻 T1 にデータ 1 を送信する場合を考える。未対策時にはデータ 1 が許容時間 T2 を越えて受信される。一方、タイムスタンプによる対策時には、受信側はタイムスタンプ T1 が付加されたデータ 1 を受信する。これにより遅延を認識可能となる。

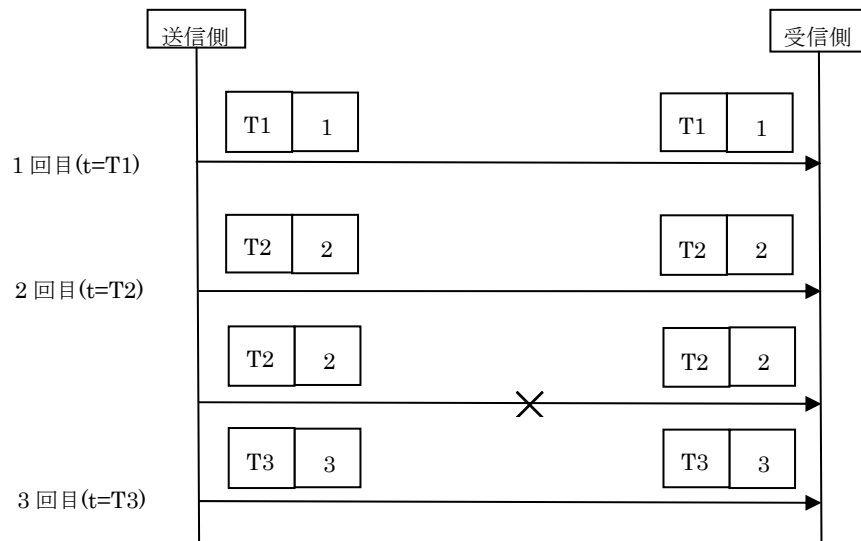


図 3-4-2-2-2-1 タイムスタンプによる繰り返しの対策例

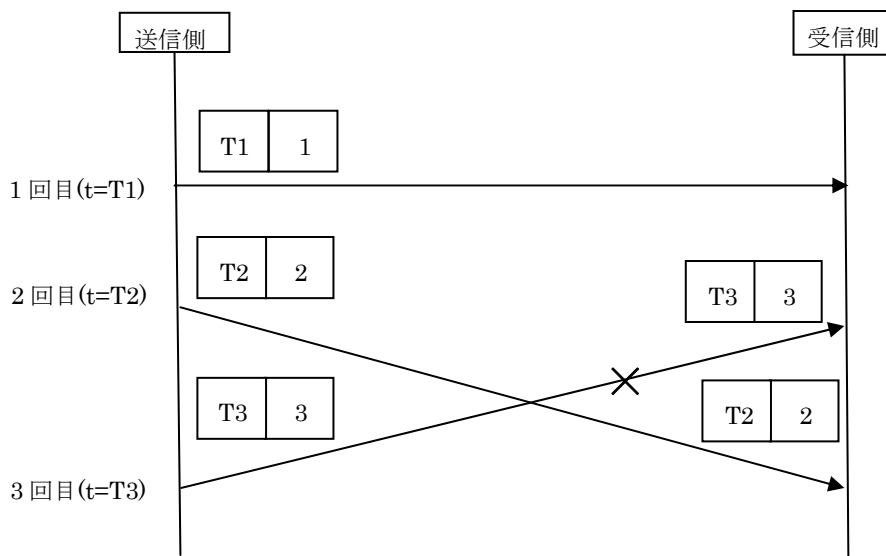


図 3-4-2-2-2-2 タイムスタンプによる誤ったシーケンスの対策例

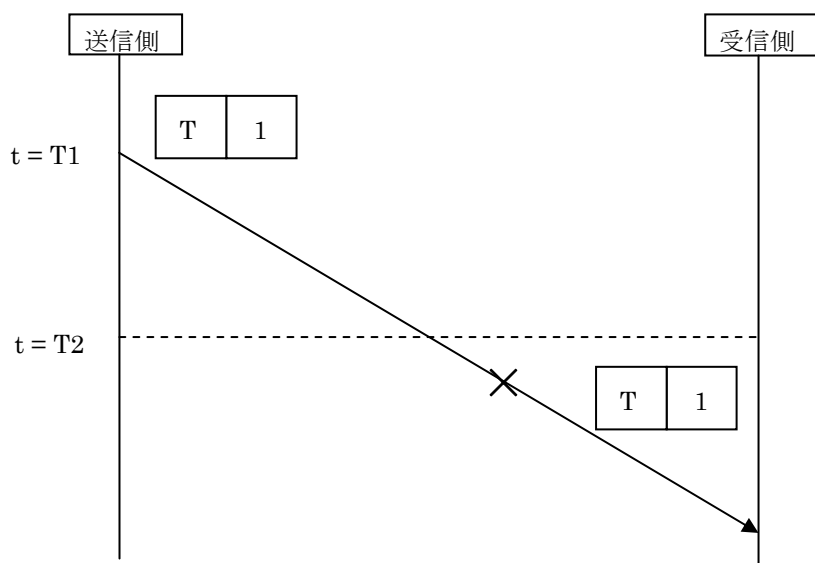


図 3-4-2-2-3 タイムスタンプによる遅延の対策例

### 3-4-2-2-3. 時間予想による対策

送信側と受信側の間でやりとりされるメッセージの到着間隔を確認することで通信脅威への対策を行う。時間予想で対策可能な通信脅威をそれぞれの例を用いて示す。

- 遅延

時間予想による遅延の対策例を下記に示す。

送信側が時刻  $T1$  にデータ 1、時刻  $T2$  にデータ 2 を送信する場合を考える。未対策時にはデータ 2 が一定時間を越えて受信される。一方、時間予想による対策時には、受信側はデータ 1 とデータ 2 の間の到着間隔を確認する。これにより遅延を認識可能となる。

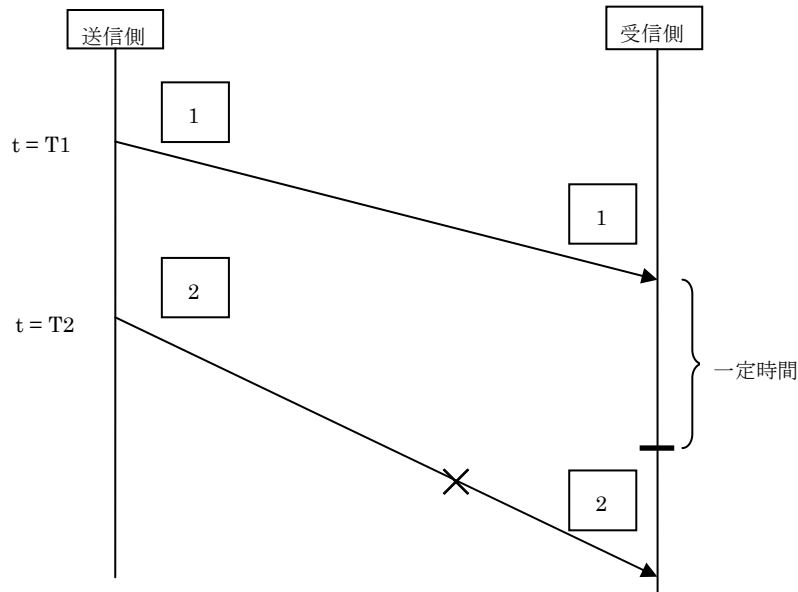


図 3-4-2-2-3-1 時間予想による遅延の対策例

#### 3-4-2-2-4. 接続認証による対策

送信側と受信側の間でやりとりされるメッセージを接続認証することで通信脅威への対策を行う。接続認証で対策可能な通信脅威をそれぞれの例を用いて示す。

- 挿入

接続認証による挿入の対策例を下記に示す。送信側が1回目にデータ1、2回目にデータ2、3回目にデータ3を送信する場合を考える。未対策時には1回目にデータ1、2回目にデータ2を受信し、3回目に挿入されたデータ4を受信し、4回目にデータ3を受信する。一方、接続認証による対策時には、受信側は1回目に送信元と送信先が記されたアドレスAが付加されたデータ1を受信し、2回目にアドレスAが付加されたデータ2を受信する。そして3回目にアドレスAが付加されていないデータ4を受信する。これによりデータが挿入されたことを認識可能となる。

- なりすまし

接続認証によるなりすましの対策例を下記に示す。送信側が1回目にデータ1、2回目にデータ2、3回目にデータ3を送信する場合を考える。未対策時には1回目にデータ1、2回目にデータ2を受信し、3回目に挿入されたデータ4を受信し、4回目にデータ3を受信する。一方、接続認証による対策時には、受信側は1回目に送信元と送信先が記されたアドレスAが付加されたデータ1を受信し、2回目にアドレスAが付加されたデータ2を受信する。そして3回目にアドレスAが付加されていないデータ4を受信する。これによりデータがなりすまされたことを認識可能となる。

- アドレス指定

接続認証によるアドレス指定の対策例を下記に示す。送信側がデータ 1 を受信側 1 に送信する場合を考える。未対策時にはデータ 1 が受信側 2 に受信される。一方、接続認証による対策時には、受信側 2 は送信元と送信先が記されたアドレス A が付加されたデータ 1 を受信する。これにより宛先が誤っていることを認識可能となる。

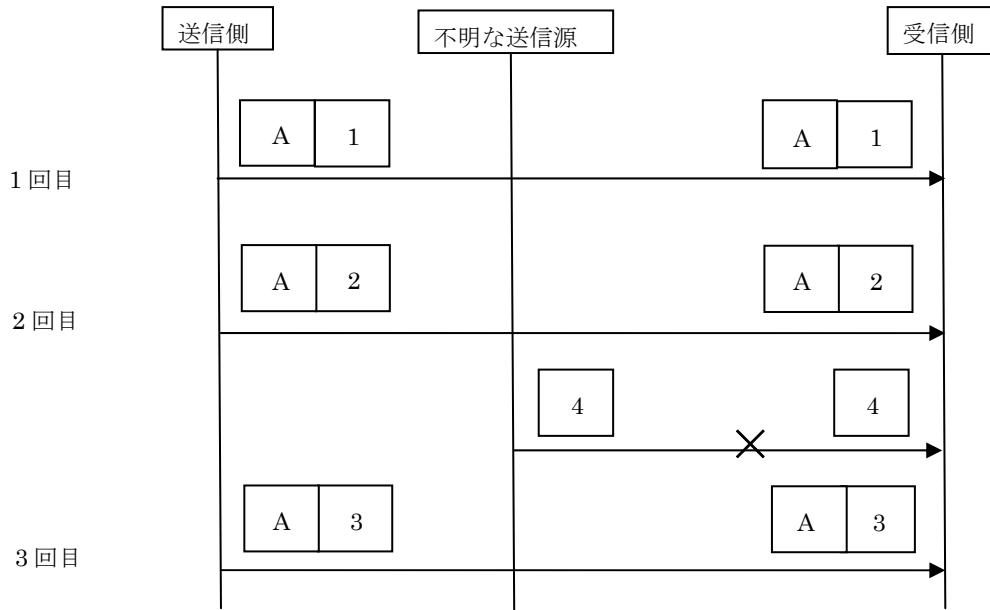


図 3-4-2-2-4-1 接続認証による挿入の対策例

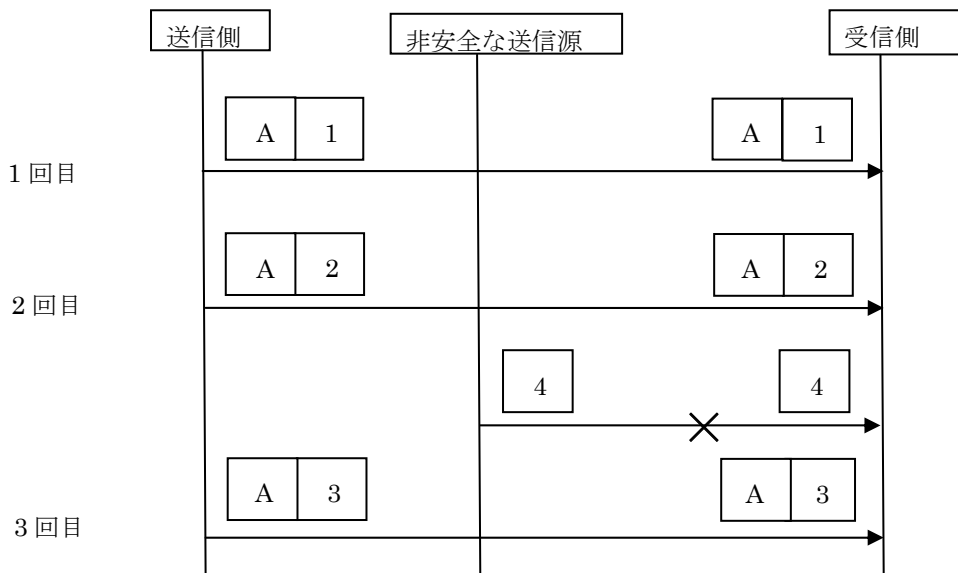


図 3-4-2-2-4-2 接続認証によるなりすましの対策例



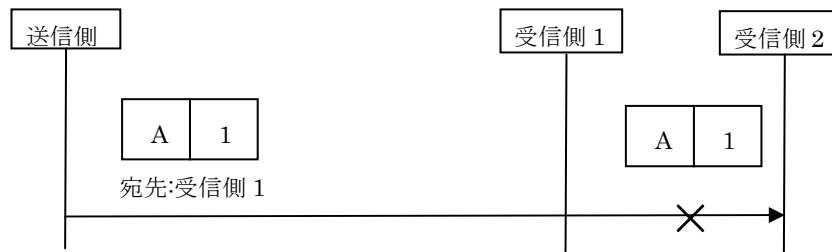


図 3-4-2-2-4-3 接続認証によるアドレス指定の対策例

### 3-4-2-2-5. フィードバックメッセージによる対策

送信側と受信側の間でやりとりされるメッセージをフィードバックすることで通信脅威への対策を行う。フィードバックメッセージで対策可能な通信脅威をそれぞれの例を用いて示す。

- くずれ

フィードバックメッセージによるくずれの対策例を下記に示す。送信側がデータ 1 を送信する場合を考える。未対策時にはくずれたデータ 2 が受信側に受信される。一方、フィードバックメッセージによる対策時には、受信側はデータ 2 に対するフィードバックメッセージを返信する。これにより、データ 1 のくずれを認識可能となる。

- 損失

フィードバックメッセージによる損失の対策例を下記に示す。送信側が 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2、3 回目にデータ 3 を送信する場合を考える。未対策時には 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 3 を受信し、データ 2 は失われる。一方、フィードバックメッセージによる対策時には、受信側は受信したメッセージに対するフィードバックメッセージを返信する。これによりデータが損失されたことを認識可能となる。

- 挿入

フィードバックメッセージによる挿入の対策例を下記に示す。送信側が 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2 を送信する場合を考える。未対策時には 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 3 を受信し、3 回目にデータ 2 を受信する。一方、フィードバックメッセージによる対策時には、受信側は受信したメッセージに対するフィードバックメッセージを返信するため、送信側は意図しないフィードバックメッセージを受信する。これによりデータが挿入されたことを認識可能となる。

- なりすまし

フィードバックメッセージによるなりすましの対策例を下記に示す。送信側が 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2 を送信する場合を考える。未対策時には 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 3 を受信し、3 回目にデータ 2 を受信する。一方、フィードバックメッセージによる対策時には、受信側は受信したメッセージに対するフィードバックメッセージを返信するため、送信側は意図しないフィードバックメッセージを受信する。これによりデー

タがなりすまされたことを認識可能となる。

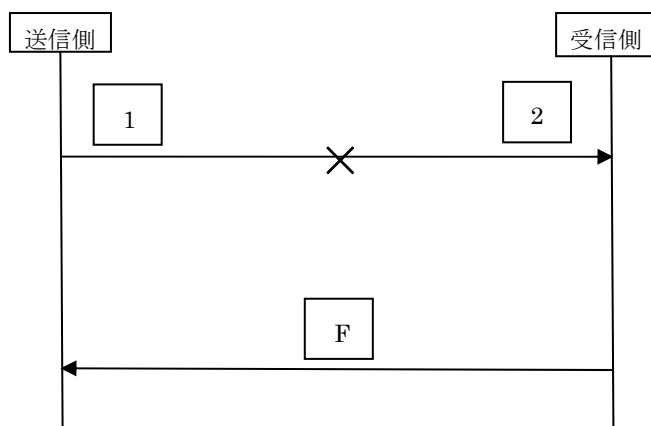


図 3-4-2-2-5-1 フィードバックメッセージによるくずれの対策例

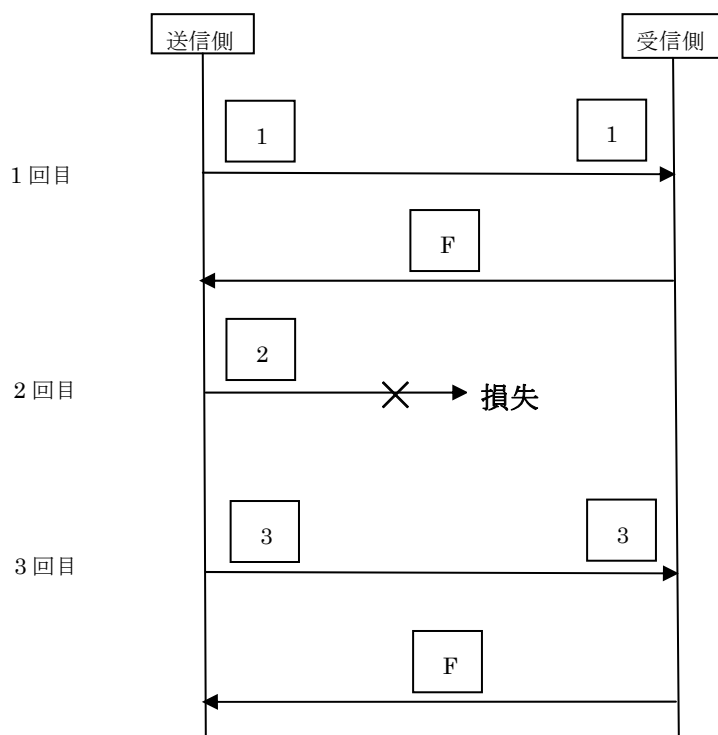


図 3-4-2-2-5-2 フィードバックメッセージによる損失の対策例

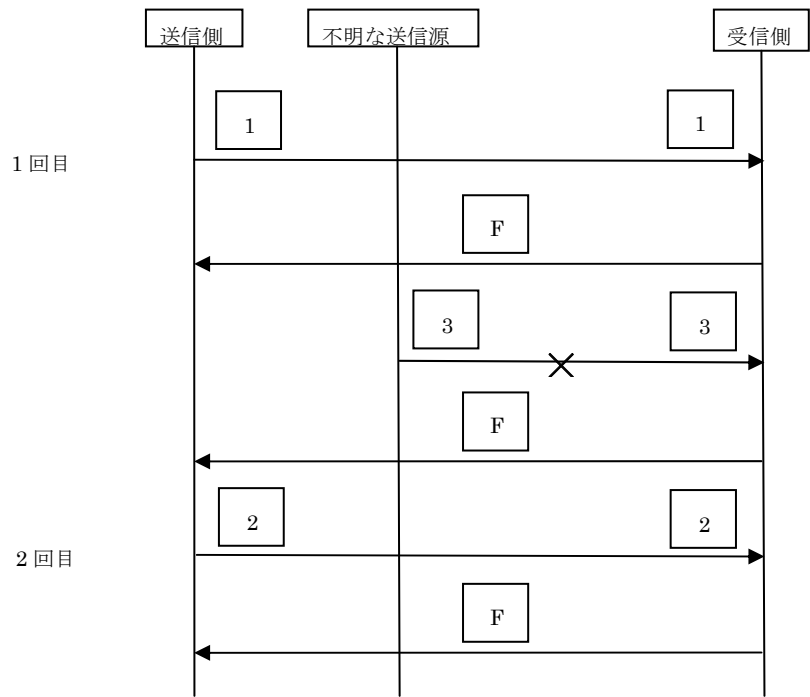


図 3-4-2-2-5-3 フィードバックメッセージによる損失の対策例

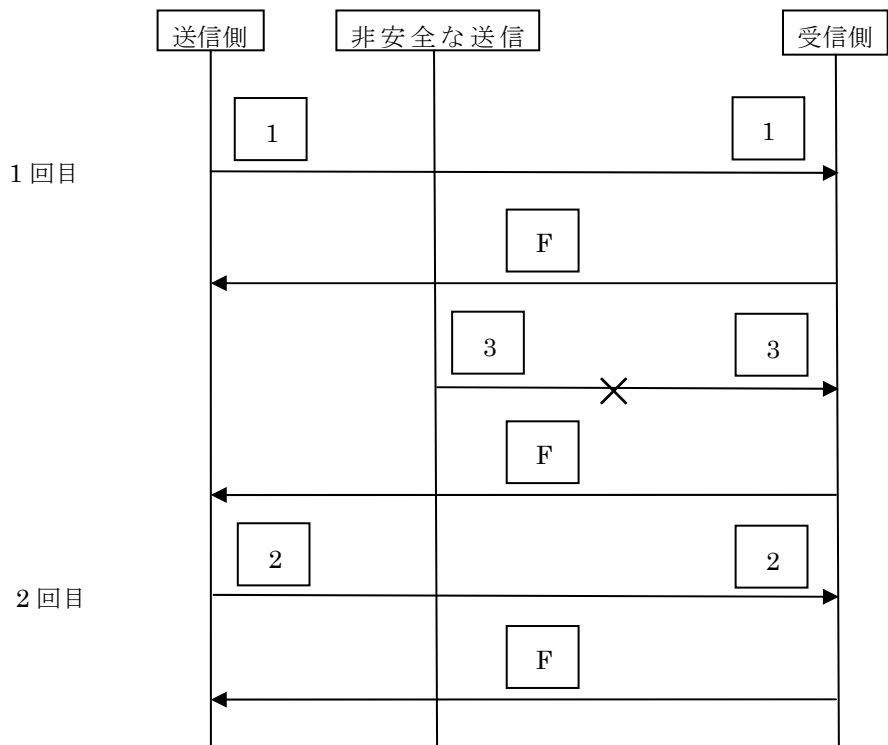


図 3-4-2-2-5-4 フィードバックメッセージによるなりすましの対策例

### 3-4-2-2-6. データ保全性の保証による対策

送信側と受信側の間でやりとりされるメッセージのデータ保全の保証を行うことで通信脅威への対策を行う。データ保全の保証で対策可能な通信脅威をそれぞれの例を用いて示す。

- くずれ

データ保全の保証によるくずれの対策例を下記に示す。

送信側が受信側にデータ 1 を送信する場合を考える。未対策時にはくずれたデータ 2 が受信される。一方、対策時には冗長データが付加されたメッセージが受信される。これにより、メッセージのくずれを認識可能となる。

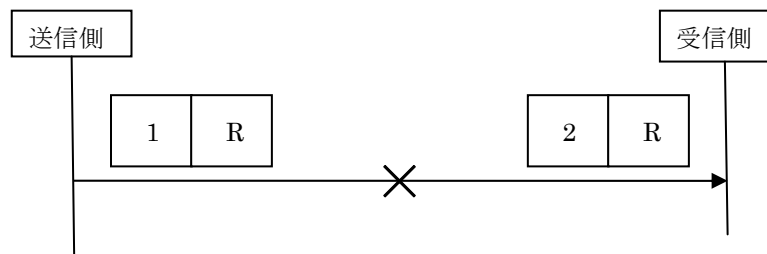


図 3-4-2-2-6-1 データ保全性の保証によるくずれの対策例

### 3-4-2-2-7. 冗長による伝送チェックによる対策

送信側と受信側の間でやりとりされるメッセージのデータ保全の保証を行うことで通信脅威への対策を行う。データ保全の保証で対策可能な通信脅威をそれぞれの例を用いて示す。

- くずれ

冗長による伝送チェックによるくずれの対策例を下記に示す。

送信側がデータ 1 を送信する場合を考える。未対策時にはくずれたデータ 2 が受信される。一方、対策時には送信側は同じメッセージを 2 つ送信する。これにより、受信側はデータのくずれを認識可能となる。

- 繰り返し

冗長による伝送チェックによる繰り返しの対策例を下記に示す。

送信側が 1 回目にデータ 1、2 回目にデータ 2 を送信する場合を考える。未対策時にはデータ 2 が繰り返し受信される。一方、対策時には送信側は同じメッセージを 2 つ送信する。これにより、受信側はデータの繰り返시를認識可能となる。

- 誤ったシーケンス

冗長による伝送チェックによる誤ったシーケンスの対策例を下記に示す。

送信側が1回目にデータ1、2回目にデータ2を送信する場合を考える。未対策時にはデータ1がデータ2の後に受信される。一方、対策時には送信側は同じメッセージを2つ送信する。これにより、受信側はシーケンスの誤りを認識可能となる。

- 損失

冗長による伝送チェックによる損失の対策例を下記に示す。

送信側が1回目にデータ1、2回目にデータ2、3回目にデータ3を送信する場合を考える。未対策時にはデータ1、データ3が受信される。一方、対策時には送信側は同じメッセージを2つ送信する。これにより、受信側はメッセージの損失を認識可能となる。

- 挿入

冗長による伝送チェックによる挿入の対策例を下記に示す。

送信側が1回目にデータ1、2回目にデータ2を送信する場合を考える。未対策時にはデータ1、データ3、データ2が受信される。一方、対策時には送信側は同じメッセージを2つ送信する。これにより、受信側はメッセージの挿入を認識可能となる。

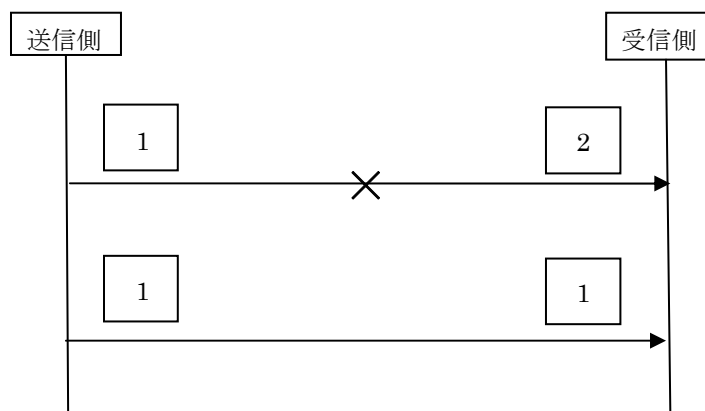


図 3-4-2-2-7-1 冗長による伝送チェックによるくずれの対策例

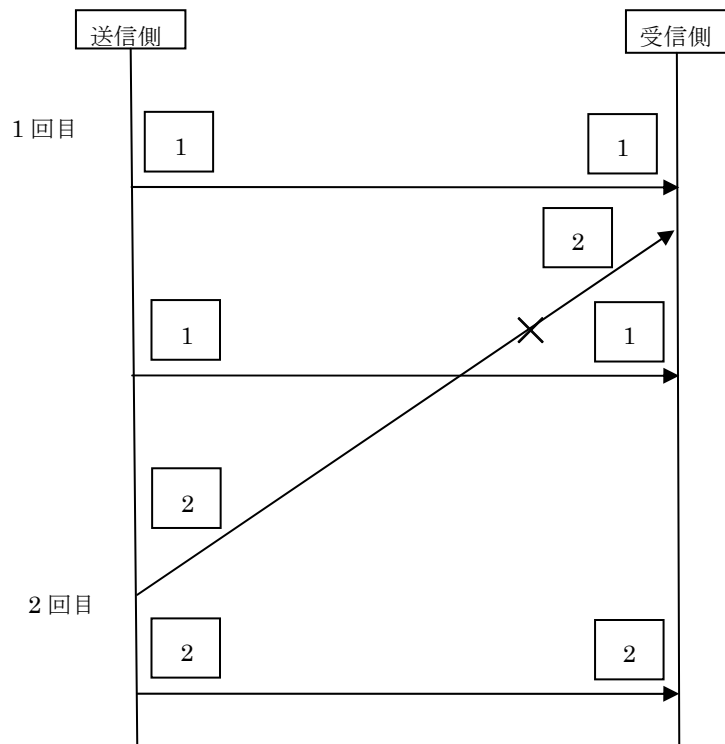


図 3-4-2-2-7-2 冗長による伝送チェックによる誤ったシーケンスの対策例

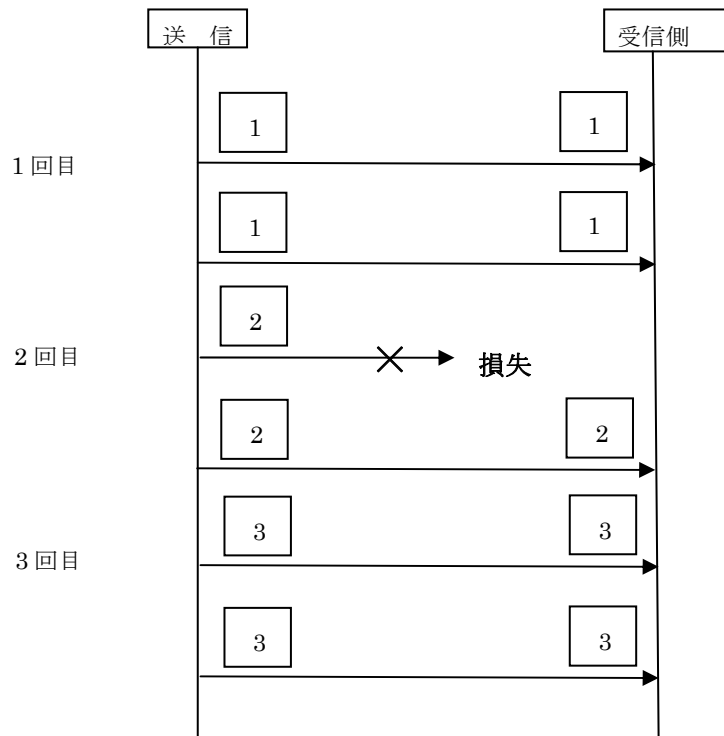


図 3-4-2-2-7-3 冗長による伝送チェックによる損失の対策例

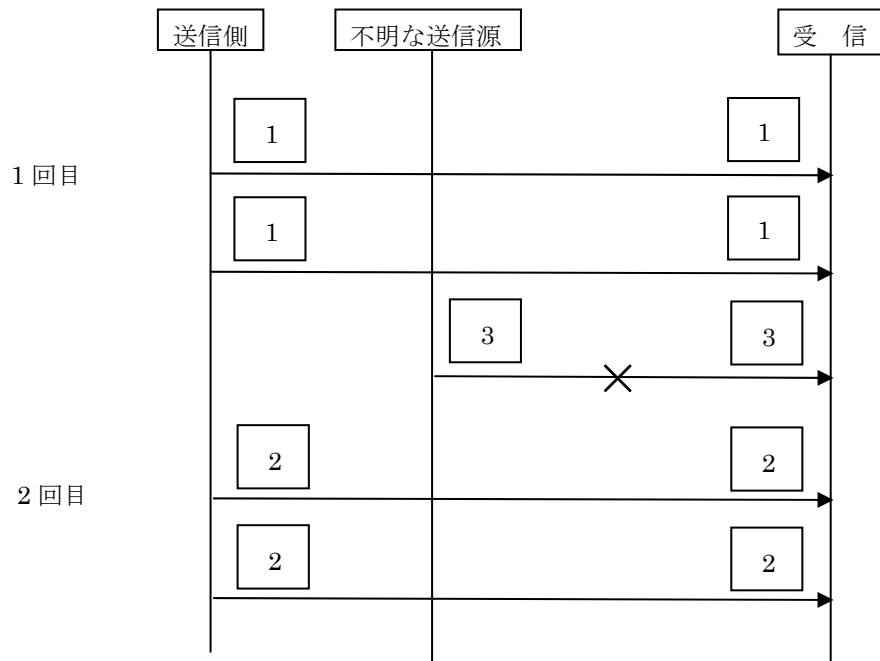


図 3-4-2-2-7-4 冗長による伝送チェックによる挿入の対策例

### 3-4-2-2-8. 異なるデータ安全性の保証システムによる対策

送信側と受信側の間でやりとりされるメッセージに非安全データと安全データが混在する場合、それぞれに異なるデータ安全性の保証を行う。異なるデータ安全性の保証システムで対策可能な通信脅威をそれぞれの例を用いて示す。

- なりすまし

異なるデータ安全性の保証システムによるなりすましの対策例を下記に示す。

送信側が 1 回目にアドレス付きのデータ 1、2 回目にアドレス付きのデータ 2、3 回目にアドレス付きのデータ 3 を送信する場合を考える。未対策時に非安全な送信源により送信側のアドレスを付加したデータが送信される。一方、対策時にはアドレスに冗長データが付加され送信される。これにより、なりすましを認識可能となる。

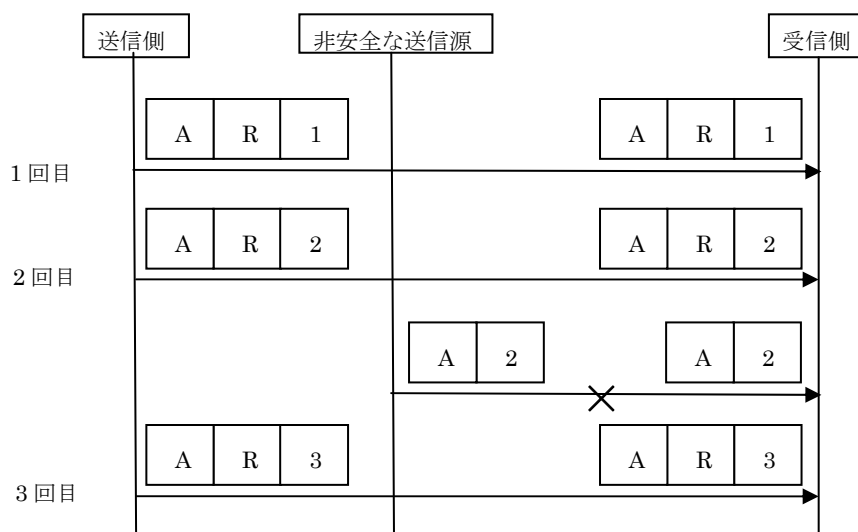


図 3-4-2-2-7-5 異なるデータ安全性の保証システムによるなりすましの対策例

### 3-4-3. 通信脅威の対策

既存の通信脅威への対策として、各線通信規格について述べる。

#### 3-4-3-1. IEEE802.15.4

IEEE802.15.4 のフレームフォーマットと通信脅威対策内容について述べる。

##### 3-4-3-1-1. フレームフォーマット

通信脅威の対策のためのフレームフォーマットについて述べる。MAC フレームフォーマットを下記に示す。

- **Frame Control**

2 オクテットのフィールドを持ち、フレームタイプ、アドレス指定フィールド、その他の制御フラグを定義する。Frame Control の詳細を下記に示す。

- **Frame Type**

3 ビットのサブフィールドを持つ。詳細を下記に示す。

- **Security Enabled**

1 ビットのサブフィールドを持つ。値が 0 の場合、MAC サブレイヤによって保護されない。値が 1 の場合、その逆となる。また、値が 1 の場合にのみ、Auxiliary Security Header が存在する。

- **Frame Pending**

1 ビットのサブフィールドを持つ。値が 1 の場合、デバイスはコーディネータとのデータをまだ保持しており、新たなデータ要求コマンドを送信することによりデータを抽出することができる。値が 0 の場合、その逆となる。Frame Pending サブフィールドはビーコン



フレーム又は、ビーコン対応 PAN 上で動作するデバイスによる CAP 中に送信されるフレームないしはビーコン非対応 PAN 上で動作するデバイスによって送信されるフレームのいずれかのフレームでのみ使用される。

- **Ack Request**

1 ビットのサブフィールドを持ち、データまたは MAC コマンドフレームの受信時に受信デバイスから確認応答が要求されるかどうかを指定する。値が 1 の場合、フィルタの 3 番目のレベルに合格した際に確認応答フレームを送信する。値が 0 の場合、受信デバイスは確認応答フレームを送信してはならない。

- **PAN ID Compression**

1 ビットのサブフィールドを持つ。値が 1 で、送信元、送信先アドレスの両方が存在する場合、送信先 PAN 識別子のみをフレームに含み、送信元 PAN 識別子は送信先 PAN 識別子と同一となる。値が 0 で、送信元、送信先アドレスの両方が存在する場合、送信先 PAN 識別子および送信元 PAN 識別子の両方をフレームに含む。アドレスを 1 つのみ持つ場合は 0 に設定され、アドレスに対応する PAN 識別子を持つ。アドレスがどちらもない場合は 0 に設定され、PAN 識別子は存在してはならない。

- **Destination Addressing Mode**

2 ビットのサブフィールドを持つ。詳細を下記に示す。このサブフィールドが 0 に設定され、フレームタイプが確認応答を指定していなく、送信先アドレスモードが 0 以外の場合、送信元アドレスモードは 0 以外に設定され、このフレームが送信元 PAN ID として指定された PAN ID を持つ PAN コーディネータに直接送られることを意味する。

- **Frame Version**

2 ビットのサブフィールドを持ち、フレームに対応するバージョン番号を指定する。詳細を下記に示す。

- **Source Addressing Mode**

2 ビットのサブフィールドを持つ。詳細を下記に示す。このサブフィールドが 0 に設定され、フレームタイプが確認応答を指定していない場合、送信先アドレスモードが 0 以外に設定され、このフレームが送信先 PAN ID として指定された PAN ID を持つ PAN コーディネータから発信されたフレームであることを示す。

- **Sequence Number**

1 オクテットのフィールドを持ち、フレームのシーケンス ID を指定する。ビーコンフレームの場合は BSN を指定する。BSN (Beacon Sequence Number) とはビーコンフレームを送信する際に付与するシーケンス番号のことであり、ビーコンフレーム送信毎に 1 増加する。データ、応答確認、MAC コマンドフレームの場合はデータ、MAC コマンドフレームに対する応答確認フレームを照合するために使用される DSN を指定する。ACK の場合は対応するメッセージのシーケンス番号をそのまま指定する。

- **Destination PAN ID**

存在する場合は 2 オクテットのフィールドを持ち、フレームの受信者の一意な ID を指定する。0xFFFF はブロードキャスト PAN ID を示す。Frame Control フィールドの Destination Addressing Mode サブフィールドが 0 以外の場合のみ MAC フレームに存在する。

- Destination Address

存在する場合は Frame Control フィールドの Destination Addressing Mode サブフィールドの値に応じて、2 オクテット又は 8 オクテットのフィールドを持ち、フレームの受信者のアドレスを示す。2 オクテットで、0xFFFF の場合はブロードキャスト(ショート)アドレスを示す。Frame Control フィールドの Destination Addressing Mode サブフィールドが 0 以外の場合のみ MAC フレームに存在する。

- Source PAN ID

存在する場合は 2 オクテットのフィールドを持ち、フレームの送信者の一意な ID を指定する。Frame Control フィールドの Destination Addressing Mode サブフィールドが 0 以外かつ PAN ID Compression サブフィールドが 0 の場合のみ MAC フレームに存在する。デバイスの PAN ID は PAN アソシエーション中で最初に決定されるが、PAN ID の競合の解決にしたがって変更されるかもしれない。

- Source Address

存在する場合は Frame Control フィールドの Source Addressing Mode サブフィールドの値に応じて、2 オクテット又は 8 オクテットのフィールドを持ち、フレームの送信者のアドレスを示す。Frame Control フィールドの Source Addressing Mode サブフィールドが 0 以外の場合のみ MAC フレームに存在する。

- Auxiliary Security Header

可変長のフィールドを持ち、セキュリティ処理に必要な情報を指定する。セキュリティ処理に必要な情報(フレームが実際に保護される方法と MAC セキュリティ PIB に使用される暗号鍵)を示す。このフィールドは Security Enabled サブフィールドが 1 に設定されている場合のみ存在する。

- Frame Payload

可変長のフィールドを持ち、サービスデータユニットを指定する。Security Enabled サブフィールドが 1 に設定されている場合、Frame Payload はそのフレーム用に選択したセキュリティによる定義として保護される。

- FCS

2 オクテットのフィールドを持ち、16 ビットの ITU-T CRC を指定する。FCS は MHR と MAC Payload 上で計算される。また、標準的な 16 桁の生成多項式を用いて計算されなければならない。



表 3-4-3-1-1-2 Destination Addressing Mode の値

| 値  | 説明                      |
|----|-------------------------|
| 00 | PAN識別子とアドレスのフィールドが存在しない |
| 01 | 予約                      |
| 10 | 16ビットのショートアドレスフィールドを持つ  |
| 11 | 64ビットの拡張アドレスフィールドを持つ    |

表 3-4-3-1-1-3 Frame Version の値

| 値  | 説明                      |
|----|-------------------------|
| 00 | IEEE802.15.4-2003 との互換性 |
| 01 | IEEE802.15.4 を示す        |
| 10 | 将来のための予約                |
| 11 |                         |

表 3-4-3-1-1-4 Source Addressing Mode の値

| 値  | 説明                      |
|----|-------------------------|
| 00 | PAN識別子とアドレスのフィールドが存在しない |
| 01 | 予約                      |
| 10 | 16ビットのショートアドレスフィールドを持つ  |
| 11 | 64ビットの拡張アドレスフィールドを持つ    |

### 3-4-3-1-2. 通信脅威への対策

- 接続認証

MAC フレームフォーマット内の PAN ID 及び Address フィールドにて送信元、送信先を指定する。

- シーケンス制御

MAC フレームフォーマット内の Sequence Number フィールドにてシーケンス番号を指定する。

- フィードバックメッセージ

MAC フレームフォーマット内の Frame Control フィールドにてフレームタイプとして ACK を指定する。

- データ保全性の保証

MAC フレームフォーマット内の FCS フィールドにて CRC データが指定されている。

### 3-4-3-2. IEEE802.11b/g

IEEE802.11b/g のフレームフォーマットと通信脅威対策内容について述べる。

#### 3-4-3-2-1. フレームフォーマット

通信脅威の対策のためのフレームフォーマットについて述べる。MAC フレームフォーマットを下記に示す。

##### ● Frame Control

2 オクテットのフィールドを持ち、フレームタイプ、アドレス指定フィールド、その他の制御フラグを定義する。Frame Control の詳細を下記に示す。

##### ➤ Protocol Version

2 ビットのフィールドを持ち、00 が設定される。

##### ➤ Type/Subtype

Type は 2 ビット、Subtype は 4 ビットのフィールドを持ち、フレームの種類を指定する。Type の値の意味を**エラー! 参照元が見つかりません。**に示す。また、Type と Subtype の組み合わせを表に示す。

##### ➤ To DS/From DS

To DS、From DS とともに 1 ビットのフィールドを持ち、送信先、送信元が有線と無線のどちらであるかを指定する。詳細を下記に示す。

##### ➤ More Fragment

1 ビットのフィールドを持つ。サイズの大きいフレームを断片化し、分割して送信する必要がある場合、1 が設定される。

##### ➤ Retry

1 ビットのフィールドを持ち、再送であるフレームの場合、1 が設定される。

##### ➤ Power Management

1 ビットのフィールドを持つ。値が 1 の場合、STA が PS モードであることを示し、値が 0 の場合、STA がアクティブモードであることを示す。ただし、AP によって送信されたフレームには常に 0 が設定される

##### ➤ More Data

1 ビットのフィールドを持つ。宛先の STA が PS モードである場合、1 が設定される。

##### ➤ Protected Frame

1 ビットのフィールドを持つ。Frame Body フィールドのデータに暗号カプセル化アルゴリズムが施してある場合、1 が設定される

##### ➤ Order

1 ビットのフィールドを持つ。QoS データフレーム以外のフレームの場合、1 が設定され、Strictly Ordered サービスクラスを用いて送信される

- **Duration/ID**  
2 オクテットのフィールドを持ち、送信に必要な時間を指定する。詳細を下記に示す。
- **Address1/Address2/Address3/Address4**  
各々2 オクテットのフィールドを持ち、To DS、From DS の組合せによって意味が異なる。To DS、From DS の組合せ毎の意味を表、略語の意味を下記に示す。
- **Sequence Control**  
2 オクテットのフィールドを持ち、Fragment Number、Sequence Number を指定する。
  - **Fragment Number**  
4 ビットのフィールドを持ち、MSDU を分割した際のフラグメントのオフセットを示す。
  - **Sequence Number**  
12 ビットのフィールドを持ち、MSDU、MMPDU のシーケンス番号を表す。シーケンス番号は初期値 0 から 1 ずつ増加し、4096 を法とする。
- **QoS Control**  
Subtype フィールドの Qos サブフィールドに 1 が設定されている場合に存在し、2 オクテットのフィールドを持つ。TXOP Limit、Queue Size、TXOP Duration Requested、AP PS Buffer State は Type と Subtype によっていずれかに決定する。詳細を下記に示す。
  - **TID**  
4 ビットのフィールドを持ち、MSDU が属する Traffic Category または Traffic Stream を示す。詳細を下記に示す。
  - **EOSP**  
1 ビットのフィールドを持ち、HC が送信した最後のフレームに 1 が設定される。
  - **Ack Policy**  
2 ビットのフィールドを持つ。詳細を下記に示す。
  - **TXOP Limit**  
8 ビットのフィールドを持ち、TXOP の時間制限を指定する。
  - **Queue Size**  
8 ビットのフィールドを持ち、送信元の non-AP STA の TC または TS の為にバッファリングされたトラフィック量を示す。0 の場合、トラフィックの不足を示す。254 の場合、64768 オクテットより大きいサイズであることを示す。255 の場合、不明または未知のサイズであることを示す。
  - **TXOP Duration Requested**  
8 ビットのフィールドを持ち、デューレーションの時間間隔を示す。0 の場合、その MSDU は送信にあたってキューイングをしないことを示し、TXOP 要求のキャンセルに使用される。
  - **AP PS Buffer State**

8ビットのフィールドを持ち、non-AP STA に対する AP が保存している PS バッファの状態を示す。

- **Frame Body**

可変長のフィールドを持ちサービスデータユニットを指定する。

- **FCS**

4 オクテットのフィールドを持ち、CRC データのチェックサムを指定する。チェックサムの計算には標準生成多項式を用いる。

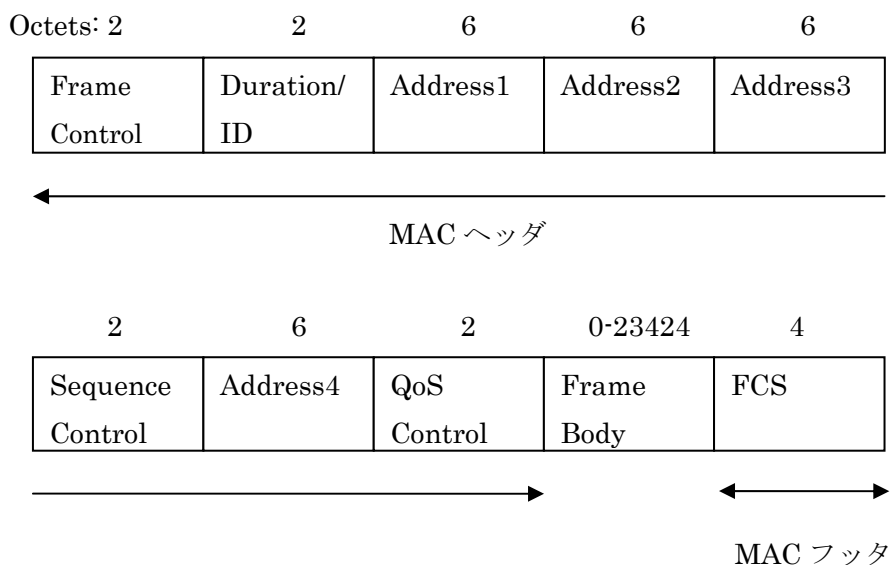


図 3-4-3-2-1-1 MAC フレームフォーマット

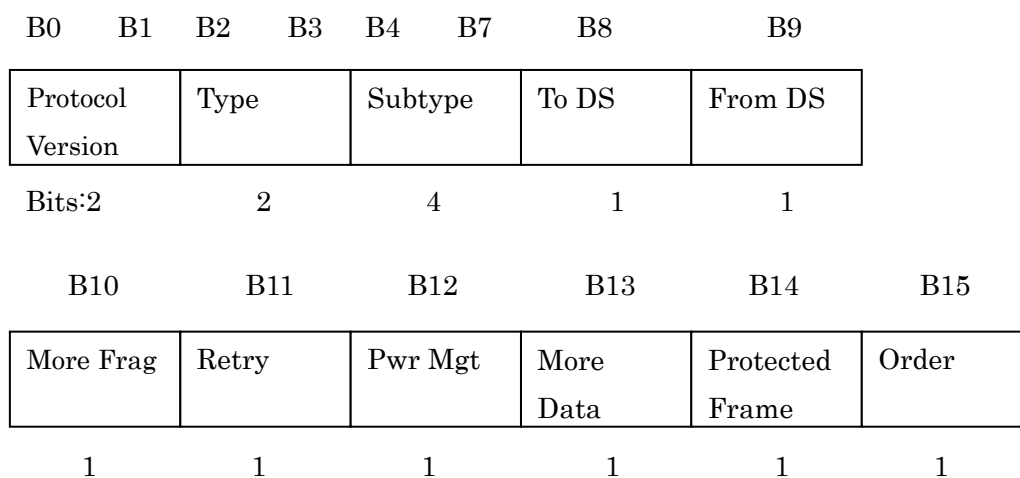


図 3-4-3-2-1-2 Frame Control フィールド

表 3-4-3-2-1-1 タイプの意味

| Type の値 | 意味  |
|---------|-----|
| 00      | 管理  |
| 01      | 制御  |
| 10      | データ |
| 11      | 予約  |

表 3-4-3-2-1-2 タイプとサブタイプの組み合わせ

| Type の値<br>b3 b2 | Type の意味   | Subtype の値<br>b7 b6 b5 b4 | Subtype の意味                     |
|------------------|------------|---------------------------|---------------------------------|
| 00               | Management | 0000                      | Association request             |
| 00               | Management | 0001                      | Association response            |
| 00               | Management | 0010                      | Reassociation request           |
| 00               | Management | 0011                      | Reassociation response          |
| 00               | Management | 0100                      | Probe request                   |
| 00               | Management | 0101                      | Probe response                  |
| 00               | Management | 0110-0111                 | Reserved                        |
| 00               | Management | 1000                      | Beacon                          |
| 00               | Management | 1001                      | ATIM                            |
| 00               | Management | 1010                      | Disassociation                  |
| 00               | Management | 1011                      | Authentication                  |
| 00               | Management | 1100                      | Deauthentication                |
| 00               | Management | 1101                      | Action                          |
| 00               | Management | 1110-1111                 | Reserved                        |
| 01               | Control    | 0000-0111                 | Reserved                        |
| 01               | Control    | 1000                      | Block Ack Request (BlockAckReq) |
| 01               | Control    | 1001                      | Block Ack (BlockAck)            |
| 01               | Control    | 1010                      | PS-Poll                         |
| 01               | Control    | 1011                      | RTS                             |
| 01               | Control    | 1100                      | CTS                             |
| 01               | Control    | 1101                      | ACK                             |
| 01               | Control    | 1110                      | CF-End                          |
| 01               | Control    | 1111                      | CF-End + CF-Ack                 |
| 10               | Data       | 0000                      | Data                            |
| 10               | Data       | 0001                      | Data + CF-Ack                   |



|    |          |           |                                |
|----|----------|-----------|--------------------------------|
| 10 | Data     | 0010      | Data + CF-Poll                 |
| 10 | Data     | 0011      | Data + CF-Ack + CF-Poll        |
| 10 | Data     | 0100      | Null (no data)                 |
| 10 | Data     | 0101      | CF-Ack (no data)               |
| 10 | Data     | 0110      | CF-Poll (no data)              |
| 10 | Data     | 0111      | CF-Ack + CF-Poll (no data)     |
| 10 | Data     | 1000      | QoS Data                       |
| 10 | Data     | 1001      | QoS Data + CF-Ack              |
| 10 | Data     | 1010      | QoS Data + CF-Poll             |
| 10 | Data     | 1011      | QoS Data + CF-Ack + CF-Poll    |
| 10 | Data     | 1100      | QoS Null (no data)             |
| 10 | Data     | 1101      | Reserved                       |
| 10 | Data     | 1110      | QoS CF-Poll (no data)          |
| 10 | Data     | 1111      | QoS CF-Ack + CF-Poll (no data) |
| 11 | Reserved | 0000–1111 | Reserved                       |

図 3-4-3-2-1-3 To DS と From DS の値の意味

| To DS と From DS の値       | 意味  |
|--------------------------|---|
| To DS = 0<br>From DS = 0 | A data frame direct from one STA to another STA within the same IBSS, or a data frame direct from one non-AP STA to another non-AP STA within the same BSS, as well as all management and control frames. |
| To DS = 1<br>From DS = 0 | A data frame destined for the DS or being sent by a STA associated with an AP to the Port Access Entity in that AP.   |
| To DS = 0<br>From DS = 1 | A data frame exiting the DS or being sent by the Port Access Entity in an AP.   |
| To DS = 1<br>From DS = 1 | A data frame using the four-address format. This standard does not define procedures for using this combination of field values.  |

図 3-4-3-2-1-4 接続認証における略語の意味

| 略語    | 意味  |
|-------|---|
| BSSID | basic service set identification                    |
| SA    | source address                                      |
| DA    | destination address                                 |
| TA    | transmitter address or transmitting station address |
| RA    | receiver address or receiving station address       |

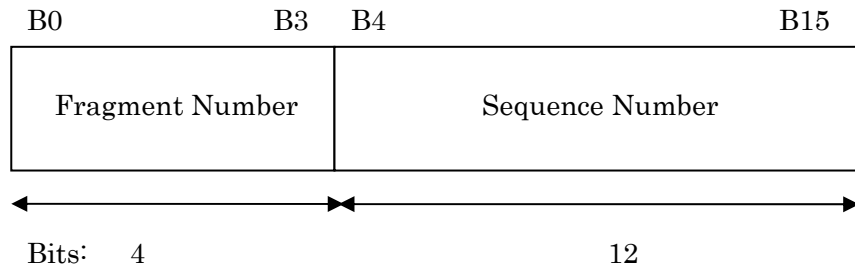


図 3-4-3-2-1-3 Sequence Control フィールド

表 3-4-3-2-1-5 各条件における Duration

| 条件                   | デュレーション                                      |
|----------------------|--|
| TXOP Limit が 0 以外    | 1 SIFS + TXOP Limit                          |
| TXOP Limit が 0       | 1 つの MPDU の送信時間+ACK 送信に掛かる時間+2 SIFS インターバル時間 |
| TXOP 最後のフレームでない      | TXOP の残り時間                                   |
| フレームが 1 つのみ、または最後である | フレーム交換シーケンスに掛かる時間                            |

表 3-4-3-2-1-6 Duration のエンコーディング

| Bits0-13   | Bit14 | Bit15 | 用途  |
|------------|-------|-------|---|
| 0-32767    |       | 0     | Duration value (in microseconds) within all frames other than PS-Poll frames transmitted during the CP, and under HCF for frames transmitted during the CFP |
| 0          | 0     | 1     | Fixed value under point coordination function (PCF) within frames transmitted during the CFP  |
| 1-16383    | 0     | 1     | Reserved  |
| 0          | 1     | 1     | Reserved  |
| 1-2007     | 1     | 1     | AID in PS-Poll frames   |
| 2008-16383 | 1     | 1     | Reserved  |

表 3-4-3-2-1-7 QoS Control フィールド

| 適用可能なフレームタイプ  | Bits0-3 | Bits4 | Bits5-6    | Bits7    | Bits8-15                |
|---|---------|-------|------------|----------|-------------------------|
| QoS (+)CF-Poll frames sent by HC                          | TID     | EOSP  | Ack Policy | Reserved | TXOP Limit              |
| QoS Data, QoS Null, and QoS Data+CF-Ack frames sent by HC | TID     | EOSP  | Ack Policy | Reserved | AP PS Buffer State      |
| QoS data frames sent by non-AP STAs                       | TID     | 0     | Ack Policy | Reserved | TXOP Duration Requested |
|   | TID     | 1     | Ack Policy | Reserved | Queue Size              |

表 3-4-3-2-1-8 TID サブフィールド

| アクセスポリシー | 用途  | 許される値 Bits0-3 |
|----------|---|---------------|
| EDCA     | UP for either TC or TS, regardless of whether admission control is required | 0-7           |
| HCCA     | TSID  | 8-15          |
| HEMM     | TSID, regardless of the access mechanism used                               | 8-15          |

表 3-4-3-2-1-9 Ack Policy サブフィールド

| QoS Control フィールド |      | 意味  |
|-------------------|------|---|
| Bit5              | Bit6 |   |
| 0                 | 0    | Normal Ack.<br>The addressed recipient returns an ACK or QoS +CF-Ack frame after a short interframe space (SIFS) period, according to the procedures defined in 9.2.8, 9.3.3, and 9.9.2.3.<br>The Ack Policy subfield is set to this value in all directed frames in which the sender requires acknowledgment. For QoS Null (no data) frames, this is the only permissible value for the Ack Policy subfield. |
| 1                 | 0    | No Ack<br>The addressed recipient takes no action upon receipt of the frame. More details are provided in 9.11.<br>The Ack Policy subfield is set to this value in all directed frames in which the   |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   |   | sender<br>does not require acknowledgment. This combination is also used for broadcast and<br>multicast frames that use the QoS frame format.   |
| 0 | 1 | No explicit acknowledgment.<br>There may be a response frame to the frame that is received, but it is neither the ACK<br>nor any data frame of subtype +CF-Ack.<br>For QoS CF-Poll and QoS CF-Ack+CF-Poll data frames, this is the only permissible<br>value for the Ack Policy subfield. |
| 1 | 1 | Block Ack<br>The addressed recipient takes no action upon the receipt of the frame except for recording the state. The recipient can expect a<br>BlockAckReq frame in the future to which it responds using the procedure   |

### 3-4-3-2-2. 通信脅威への対策

- 接続認証

MAC フレームフォーマット内のアドレスフィールドを用いて送信元、送信先を指定する。

- シーケンス制御

MAC フレームフォーマット内の Sequence Control フィールドを用いてシーケンス番号を指定する。

- フィードバックメッセージ

MAC フレームフォーマット内の Frame Control フィールドのフレームタイプとして ACK を指定する。

- データ保全性の保証

MAC フレームフォーマット内の FCS フィールドにチェックサムを指定する。

#### 3-4-4. 安全通信プロトコル

本安全通信プロトコルは前項で述べた既存の無線通信規格の対策内容を包括する、より強固な対策内容を有する。本項ではその対策内容について述べる。

##### 3-4-4-1. 通信モデル

安全通信プロトコルは OSI 参照モデルの第 2 層から第 4 層に位置する。OSI 参照モデルと安全通信プロトコルの関連を以下に示す。

|                   |            |
|-------------------|------------|
| 第 7 層(アプリケーション層)  |            |
| 第 6 層(プレゼンテーション層) |            |
| 第 5 層(セッション層)     |            |
| 第 4 層(トランスポート層)   | 安全通信プロトコル層 |
| 第 3 層(ネットワーク層)    |            |
| 第 2 層(データリンク層)    |            |
| 第 1 層(物理層)        |            |

表 3-4-4-1-1 OSI 参照モデルと安全通信プロトコル

##### 3-4-4-2. インターフェース

本プロトコルでは物理インターフェースについて特に制限は設けない。このため、すべての通信脅威に対して本プロトコルにより対応可能なものとする。

##### 3-4-4-3. 動作

IEC61784 の定義している通信脅威とその対策を以下に示す。

本プロトコルでは IEC61784 の定義している通信脅威の対策を踏まえて、以下の機能を規定する。各機能の詳細については次項に記載する。

- 時間同期
- シーケンス制御
- 認証
- 再送制御
- 異なるデータ保全性の保証
- 伝送チェック

表 3-4-4-3-1 通信脅威と安全対策

|      |           | 安全対策    |         |      |        |              |        |                        |               |
|------|-----------|---------|---------|------|--------|--------------|--------|------------------------|---------------|
|      |           | シーケンス番号 | タイムスタンプ | 時間予想 | 接続認証   | フィードバックメッセージ | データの保証 | 冗長による伝送チェック            | 異なるデータの保証システム |
| 対策番号 |           | 1       | 2       | 3    | 4      | 5            | 6      | 7                      | 8             |
| 通信脅威 | くずれ       |         |         |      |        | x            | x      | only for serial bus(d) |               |
|      | 予想外の繰り返し  | x       | x       |      |        | ※ x          |        | x(?)                   |               |
|      | 誤ったシーケンス  | x       | x       |      |        | ※ x          |        | x                      |               |
|      | 損失        | x       |         |      |        | x            |        | x                      |               |
|      | 受け入れがたい遅れ |         | x       | x(c) |        |              |        |                        |               |
|      | 挿入        | x       |         |      | x(a,b) | x(a)         |        | x                      |               |
|      | 自己を偽る/変装  |         |         |      | x(a)   | x(a)         |        |                        | x             |
|      | アドレス指定    |         |         |      | x      |              |        |                        |               |

#### 3-4-4-4. 時刻同期

IEC61784 の通信脅威対策における本対策の内容を以下に示す。タイムスタンプ、時間予想の対策を施す。タイムスタンプを使用するにあたり、送受信者間での時刻同期をとる必要がある。時刻同期の手法として、受信者に対する送信者の時刻の遅れを算出し、その差分だけシステムクロックを補正する。受信者に対する送信者の時刻の遅れを算出する方法を以下に示す。まず、送信者は受信者にメッセージを送信する。受信者は送信者に対してフィードバックを送信する。送信者のメッセージ送信時刻を  $t_0$ 、受信者のメッセージ受信時刻を  $t_1$ 、受信者のフィードバック送信時刻を  $t_2$ 、送信者のフィードバック受信時刻を  $t_3$  とすると、受信者に対する送信者の時刻の遅れ  $T$  は以下の数式で表わされる。なお、一般に通信路には揺らぎが存在し、メッセージの到着時間にばらつきが生じる。このため、複数回の送受信を行うことで揺らぎを抑える。

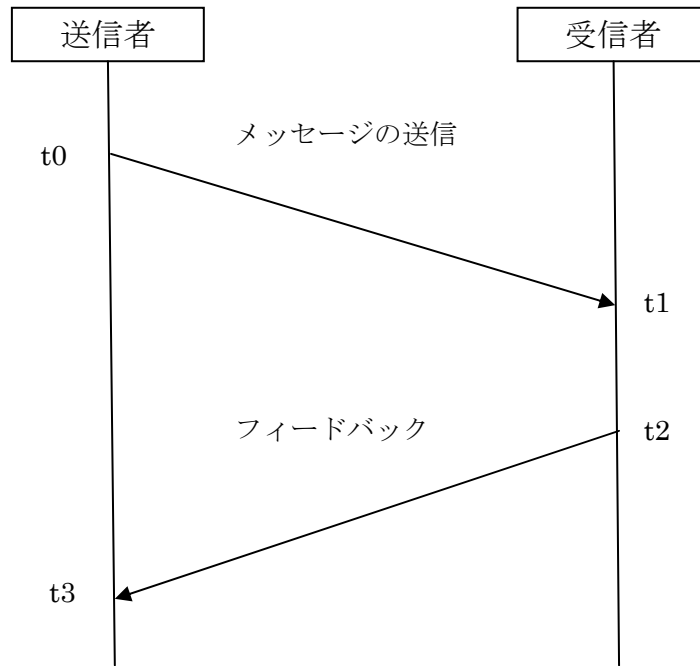


図 3-4-4-1 時刻同期手法

受信者に対する送信者の時刻の遅れ

$$T = \frac{t_1 + t_2}{2} - \frac{t_0 + t_3}{2}$$

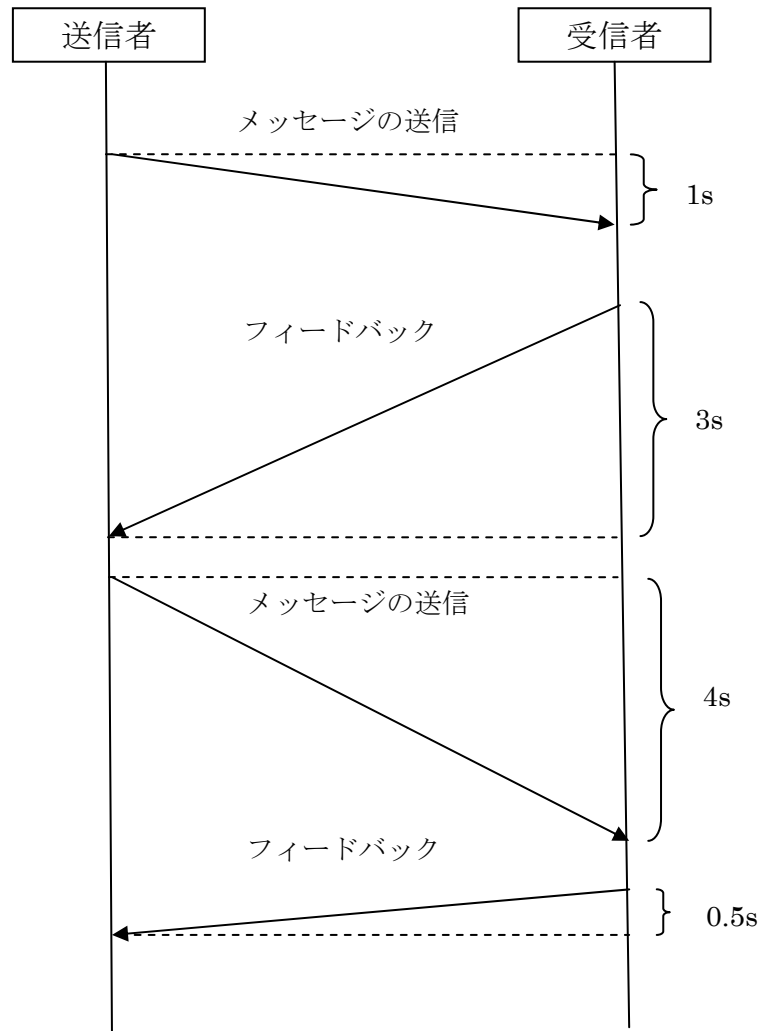


図 3-4-4-4-2 揺らぎの例

### 3-4-4-5. シーケンス制御

IEC61784 の通信脅威対策のうち、シーケンス番号、タイムスタンプの対策を施す。送受信フレームにシーケンス番号を付加し、シーケンス番号とフレーム内のタイムスタンプから対象フレームの通信シーケンスが正常であるか確認する。通信シーケンスが正常でなかったと判断される場合は不正フレーム受信とし、そのフレームを廃棄する。



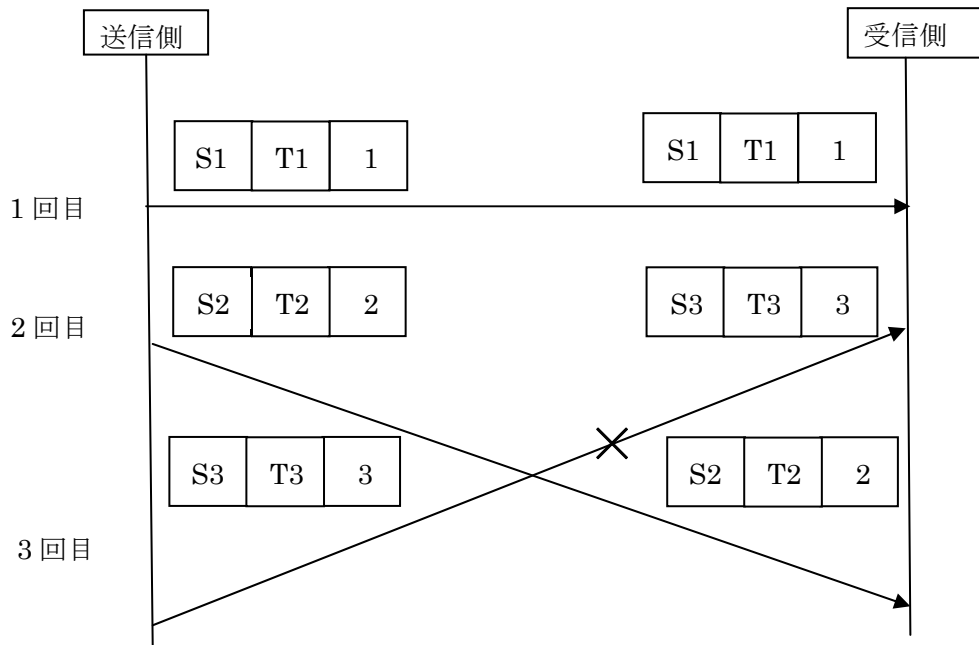


図 3-4-4-5-1 シーケンス番号とタイムスタンプによるフレームの破棄

### 3-4-4-6. 接続認証

IEC61784 の通信脅威対策のうち、接続認証の対策を施す。フレーム内に含まれる送信先 ID、送信元 ID を元に自身宛のフレームであるか、想定する送信元からのフレームであるかの認証を行う。フレームの受信者はフレームの DST フィールドの値と自身の ID が等しいことを確認する。フレームの送信者はフレームの SRC フィールドの値と予め規定されたサーバの ID が等しいことを確認する。いずれかの値が等しくない場合は認証を通過できないため、受信したフレームを破棄する。両方の値が等しい場合のみ受信したフレームを受信データとして扱う。

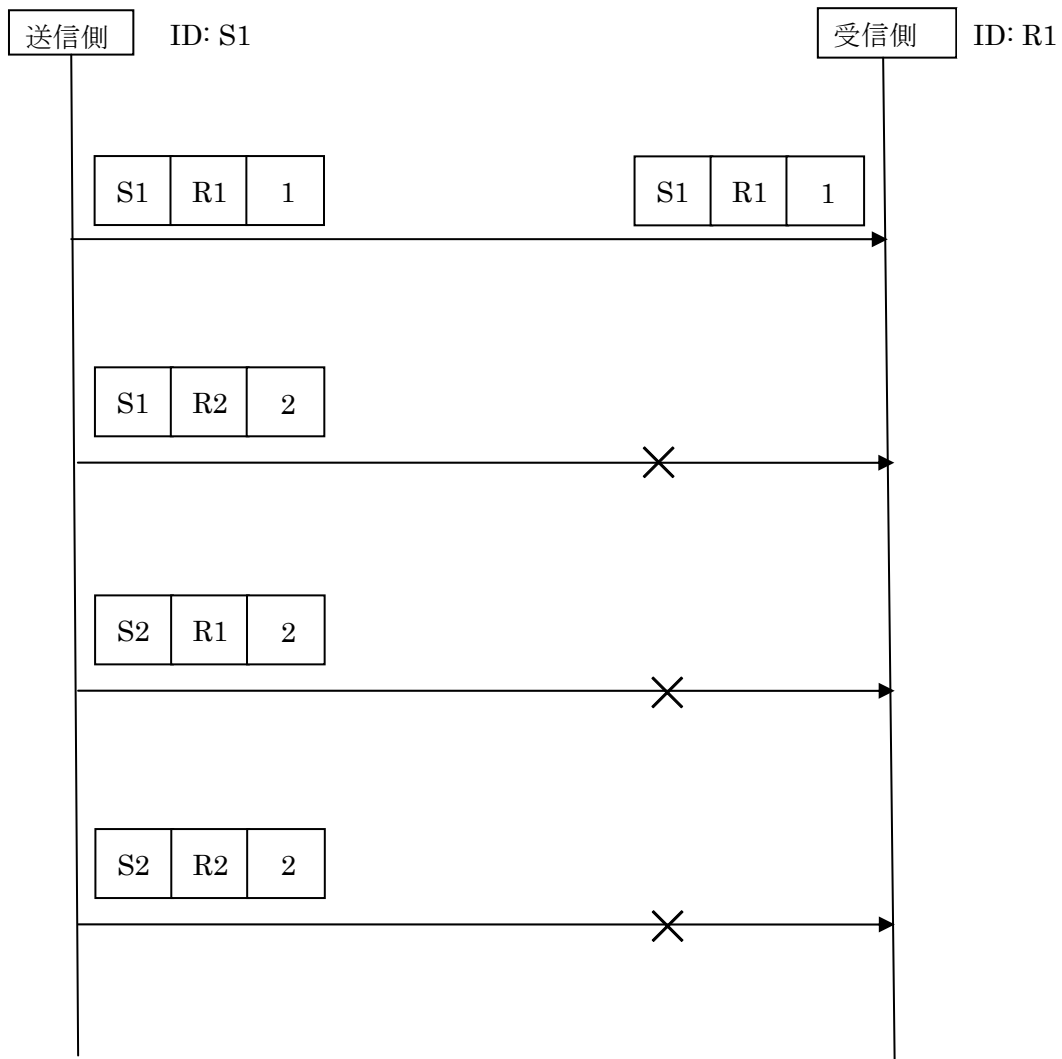


図 3-4-4-6-1 接続認証によるフレームの破棄

### 3-4-4-7. 再送制御

IEC61784 の通信脅威対策のうち、フィードバックメッセージの対策を施す。メッセージフレームが正常に送信されない場合は同一フレームの再送を行う。また、メッセージフレーム送信者がメッセージフレーム受信者からのフィードバックフレームを一定時間内に受信できない場合、再送を行う。再送回数および再送するまでの時間 (Retransmission Time Out) はシステム依存とする。また、再送回数によってこの時間は変更することができるものとする。再送の方法を以下に示す。

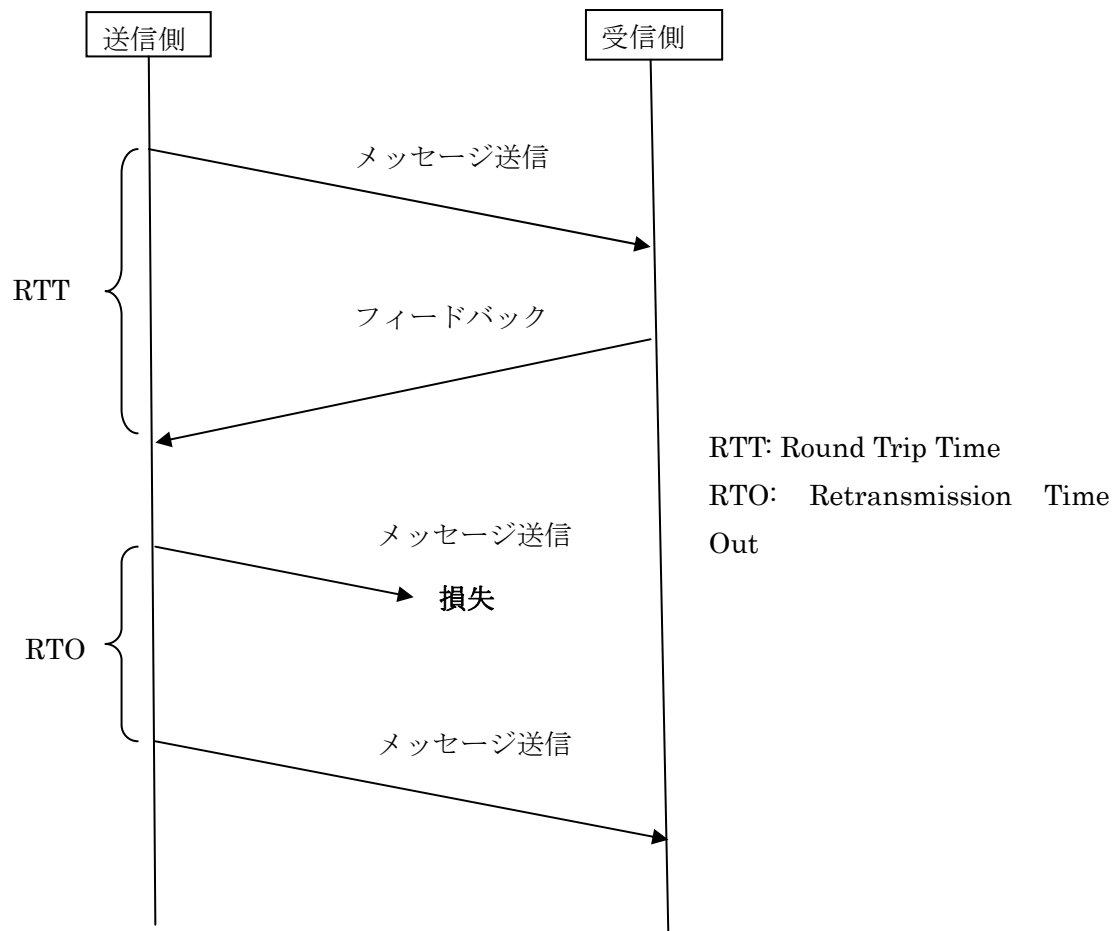


図 3-4-4-7-1 再送制御手法

#### 3-4-4-8. 異なるデータ完全性の保証

IEC61784 の通信脅威対策のうち、異なるデータ完全性の保証システムの対策を施す。同一媒体に安全系データと非安全系データが混在するシステムでは、それぞれのデータの区別が付くようフレーム体系および、CRC、BCH 符号を別にする必要がある。つまり、非安全系データのフレーム形態を本仕様書のフレーム形態と別のものを使用しなければならない。

#### 3-4-4-9. 伝送チェック

IEC61784 の通信脅威対策のうち、冗長による伝送チェック、データ保全の保証の対策を施す。情報データに対して BCH(255,215,11)を用いて符合化し、さらに CRC を用いて冗長化することで伝送チェックを行う。BCH 符号は符合化後のデータの扱いを考慮して、パリ

ティビットを付加することで符合化後のデータが 256bit となるようにする。そのため、パリティビットを付加していることを示すため、BCH(255+1,215,11)と記述している。BCH 符号の生成多項式と CRC32 の生成多項式を用いる。ビットエラー率 0.01 とした場合のフレームの 1 時間あたりの残余誤り率は  $6.97 \times 10^{-10}$  となり、SIL2 の評価を満たしている。

#### 式 3-4-4-9-1 BCH 符号の生成多項式

$$G_{(X)} = X^{40} + X^{39} + X^{37} + X^{34} + X^{33} + X^{31} + X^{28} + X^{27} + X^{25} + X^{22} + X^{21} + X^{20} + X^{19} + X^{17} + X^{16} + X^{14} + X^{11} + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^2 + 1$$

#### 式 3-4-4-9-2 CRC32 の生成多項式

$$G_{(X)} = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$$

### 3-4-4-10. フレームフォーマット

安全通信プロトコルにおけるフレームフォーマットを下記に示す。

| Header 部  |                       |        | DATA 部    |                       |        |
|-----------|-----------------------|--------|-----------|-----------------------|--------|
| ヘッダ<br>情報 | BCH<br>(255+1,215,11) | CRC32  | データ<br>情報 | BCH<br>(255+1,215,11) | CRC32  |
| 22[oct]   | -                     | 4[oct] | 26[oct]   | -                     | 4[oct] |
| HEAD      | BCH                   | CRC    | DATA      | BCH                   | CRC    |

図 3-4-4-10-1 安全通信フレーム全体構成

#### 3-4-4-10-1. ヘッダ部詳細

ヘッダ部の詳細について述べる。ヘッダ部の構成とヘッダ部を構成する情報をそれぞれ下記に示す。

| Header 部 |        |        |        |         |        |         |        |                       |        |
|----------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|-----------------------|--------|
| ヘッダ情報    |        |        |        |         |        |         |        | BCH<br>(255+1,215,11) | CRC32  |
| 2[oct]   | 2[oct] | 2[oct] | 2[oct] | 4[oct]  | 4[oct] | 4[oct]  | 2[oct] | -                     | 4[oct] |
| DST      | SRC    | SEQ    | TYP    | TMS     |        |         | LEN    | BCH                   | CRC    |
|          |        |        |        | MSGSEND | MSGRCV | ACKSEND |        |                       |        |

図 3-4-4-10-1-1 安全通信フレームヘッダ部構成

表 3-4-4-10-1-1 安全通信フレームヘッダ部詳細

| フィールド | サブ<br>フィールド | 説明                           |
|-------|-------------|------------------------------|
| DST   |             | 送信先番号                        |
| SRC   |             | 送信元番号                        |
| SEQ   |             | シーケンス番号。                     |
| TYP   |             | フレームタイプ                      |
| TMS   | MSGSEND     | 送信側のメッセージフレーム送信時間。1msec 単位   |
|       | MSGRCV      | 受信側のメッセージフレーム受信時間。1msec 単位   |
|       | ACKSEND     | 受信側のフィードバックフレーム送信時間。1msec 単位 |
| LEN   |             | ペイロード部のデータサイズ                |
| BCH   |             | ヘッダ情報 (DST~LEN) の BCH 符号結果   |
| CRC   |             | DST~BCH 符号までの CRC32 結果       |

- DST フィールド
  - 2 オクテットのフィールドを持ち、送信先の ID を指定する。
  
- SRC フィールド
  - 2 オクテットのフィールドを持ち、送信元の ID を指定する。
  
- SEQ フィールド
  - 2 オクテットのフィールドを持ち、シーケンス番号を指定する。

- TYP フィールド

2 オクテットのフィールドを持ち、フレームタイプを指定する。指定する値を下記に示す。

表 3-4-4-10-1-2 TYP フィールドの指定値

| 値             | 説明          |
|---------------|-------------|
| 0x0000        | BCON        |
| 0x0001-0x00FF | Reserve     |
| 0x0100        | メッセージフレーム   |
| 0x0101-0x00FF | Reserve     |
| 0x0200        | フィードバックフレーム |
| 0x0201-0x03FF | Reserve     |
| 0x8000        | リトライフレーム    |
| 0x0401-0x07FF | Reserve     |
| 0x0800        | 接続要求フレーム    |
| 0x0801-0x0FFF | Reserve     |
| 0x1000        | 接続許可フレーム    |
| 0x1001-0x1FFF | Reserve     |
| 0x2000        | 時刻同期／補正フレーム |
| 0x2001-0x3FFF | Reserve     |
| 0x4000        | 切断要求フレーム    |
| 0x4000-0xFFFF | Reserve     |

- TMS フィールド

12 オクテットのフィールドを持ち、下記に示すサブフィールドを持つ。各サブフィールドについて以下に述べる。

- ▶ MSGSND フィールド

4 オクテットのフィールドを持ち、送信側のメッセージフレーム送信時間を指定する。

- ▶ MSGRCV フィールド

4 オクテットのフィールドを持ち、受信側のメッセージフレーム受信時間を指定する。なお、TYP フィールドがフィードバックフレームを指定している場合のみ有効となる。

- ▶ ACKSND フィールド

4 オクテットのフィールドを持ち、受信側のフィードバックフレーム送信時間を指定する。なお、TYP フィールドがフィードバックフレームを指定している場合のみ有効となる。

| TMS     |        |        |
|---------|--------|--------|
| 4[oct]  | 4[oct] | 4[oct] |
| MSGSEND | MSGRCV | ACKSND |

図 3-4-4-10-1-2 TMS フィールド構成

- LEN フィールド

2 オクテットのフィールドを持ち、ペイロード部のデータサイズを指定する。

- BCH フィールド

41bit のフィールドを持ち、ヘッダ情報(DST-LEN)の BCH 符号化結果を指定する。なお、パリティビットとして 1bit 使用し、下記に示す生成多項式を用いる。

**BCH 符号にて使用する生成多項式**

$$G_{(X)} = X^{40} + X^{39} + X^{37} + X^{34} + X^{33} + X^{31} + X^{28} + X^{27} + X^{25} + X^{22} + X^{21} + X^{20} + X^{19} + X^{17} + X^{16} + X^{14} + X^{11} + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^2 + 1$$

- CRC フィールド

32bit のフィールドを持ち、DST-BCH 符号までの CRC32 結果を指定する。下記に示す生成多項式を用いる。

**CRC 符号にて使用する生成多項式**

$$G_{(X)} = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$$

### 3-4-4-10-2. データ部詳細

データ部の構成とデータ部を構成する情報を下記に示す。

| DATA 部  |                       |        |
|---------|-----------------------|--------|
| データ情報   | BCH<br>(255+1,215,11) | CRC32  |
| 26[oct] | -                     | 4[oct] |
| DATA    | BCH                   | CRC    |

図 3-4-4-10-2-1 安全通信フレームデータ部構成

表 3-4-4-10-2-1 安全通信フレームデータ部構成

| 名称   | 説明                      |
|------|-------------------------|
| DATA | データ                     |
| BCH  | データの BCH 符号結果           |
| CRC  | DATA～BCH 符号までの CRC32 結果 |

- DATA フィールド

26 オクテットのフィールドを持ち、安全通信層のサービスデータユニットとなる。

- BCH フィールド

41bit のフィールドを持ち、ヘッダ情報(DST-LEN)の BCH 符号結果を指定する。

なお、パリティビットとして 1bit を使用すし、下記に示す生成多項式を用いる。

式 3-4-4-10-2-1 BCH 符号にて使用する生成多項式

$$G_{(X)} = X^{40} + X^{39} + X^{37} + X^{34} + X^{33} + X^{31} + X^{28} + X^{27} + X^{25} + X^{22} + X^{21} + X^{20} + X^{19} + X^{17} + X^{16} + X^{14} + X^{11} + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^2 + 1$$

- CRC フィールド

32bit のフィールドを持ち、DST-BCH 符号までの CRC32 結果を指定する。なお、生成下記に示す生成多項式を用いる。

式 3-4-4-10-2-2 CRC 符号にて使用する生成多項式

$$G_{(X)} = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$$



### 3-4-5. 安全通信の性能確認

安全通信プロトコルを実装し、残余誤り率に関する性能の確認を行った。本項では確認結果について述べる。

#### 3-4-5-1. 評価環境

- 無線モジュール XBee(無線通信規格 IEEE802.15.4)

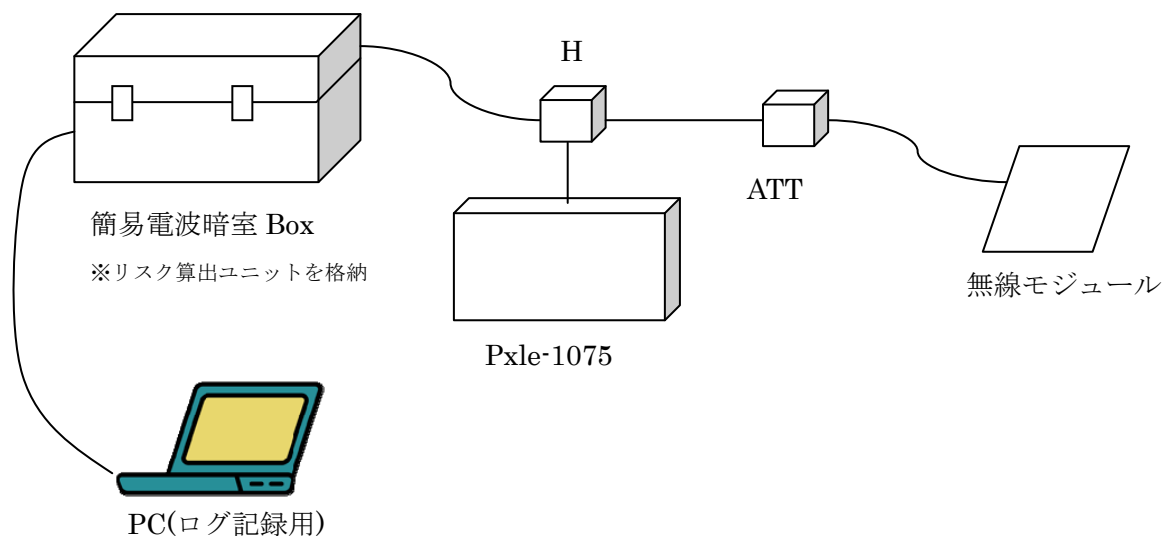


図 3-4-5-1-1 環境構成

#### 3-4-5-2. 評価内容

リスク算出ユニットに搭載した無線モジュールと、受信データを折り返す無線モジュールを同軸ケーブルで接続し、電波レベルをアッテネータ(ATT)により減衰する。

Pxl-1075 は電波レベルの測定、及び、雑音混入に使用する。

簡易電波暗室 Box に格納したリスク算出ユニットは、リスク算出ユニットに搭載されている無線モジュールよりデータを送信する。

そのデータは、対向の無線モジュールにて折り返され、再び、リスク算出ユニットに戻される。

リスク算出ユニットは、受信したデータを安全通信プロトコルにより検査し、エラー検出の場合、その情報をログ出力する。

安全通信プロトコルにて正常と判断された通信データは、データを送信したアプリケーションに引き渡され、送信したデータと同一で有るかのチェックを行う。このチェックでエラーとなった物が、残余誤り率を求めるための情報となる。

上記の折り返し試験を、電波強度、S/N 比を変化させて1時間行い、エラーをどのレベル

で検出するか、および、安全通信プロトコルでの検査で OK となりながら、異なるデータとなることがあるかの確認を行う。

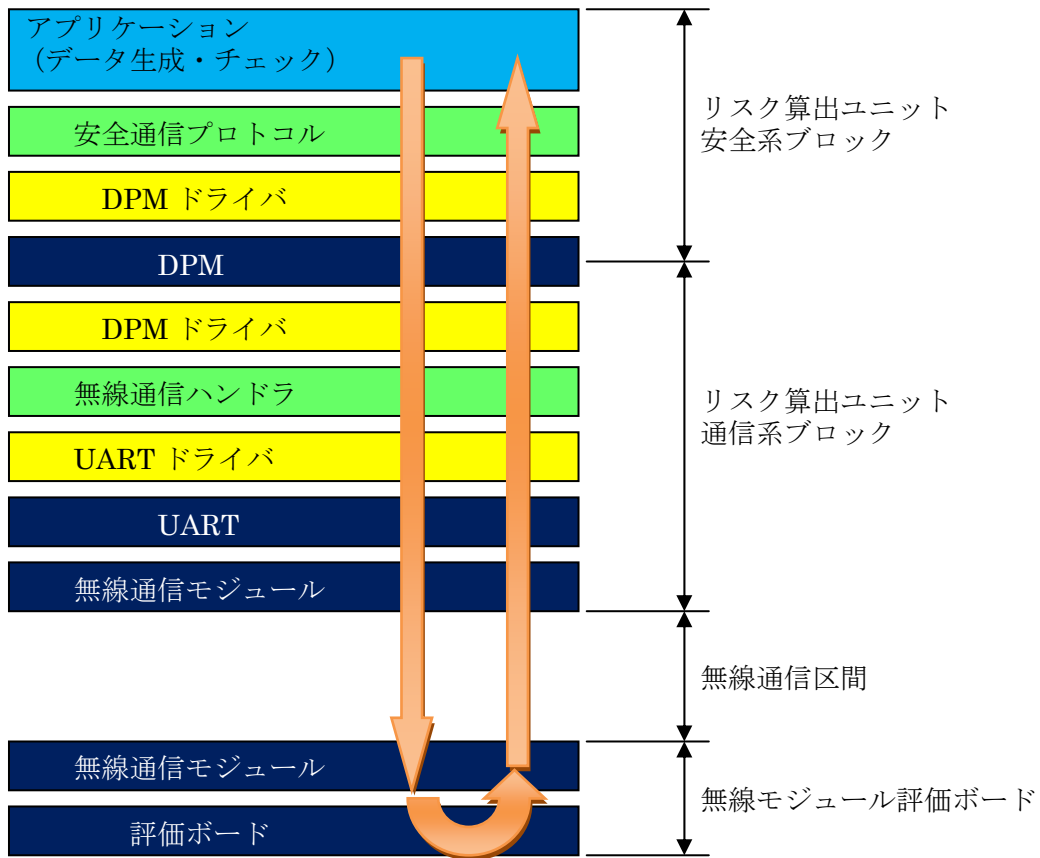


図 3-4-5-2-1 評価データの伝送経路

### 3-4-5-3. 評価結果

測定した結果を下記に示す。

表 3-4-5-3-1 測定結果 (安全通信プロトコル使用時)

| 安全通信プロトコル使用時 |              |                  |             |               |
|--------------|--------------|------------------|-------------|---------------|
| 送信フレーム数<br>① | 正常フレーム数<br>② | CRC/BCH エラー<br>③ | データ異常数<br>④ | タイムアウト回数<br>⑤ |
| 21,848       | 16,122       | 0                | 0           | 2,588         |

表 3-4-5-3-2 測定結果 (安全通信プロトコル未使用時)

| 安全通信プロトコル使用時 |              |                  |             |               |
|--------------|--------------|------------------|-------------|---------------|
| 送信フレーム数<br>① | 正常フレーム数<br>② | CRC/BCH エラー<br>③ | データ異常数<br>④ | タイムアウト回数<br>⑤ |
| 19,331       | 19,260       | —                | 0           | 3,209         |

安全通信プロトコル使用時、未使用時のどちらの場合においても、安全通信プロトコルにて検出したエラー③、および、アプリケーションにて検出したデータ異常④はなく、残余誤り率は 0.00%となり、残余誤り率に対する安全通信プロトコルの有効性を確認することができなかった。

今回使用した無線通信モジュールは、IEEE802.15.4 の通信スタックを搭載し、IEEE802.15.4 にて対応されている通信脅威の対策（CRC チェック）が有効になっているため無線区間にて発生したデータエラーを検出して、再送によるエラーの復旧、及び、エラーフレームの廃棄が行われてしまう。このためエラーのフレームのデータはリスク算出ユニットには到達せず、安全通信プロトコルが有効に機能する部分が、リスク算出ユニット内のデータ転送部分に限定されてしまったことが原因と考えられる。

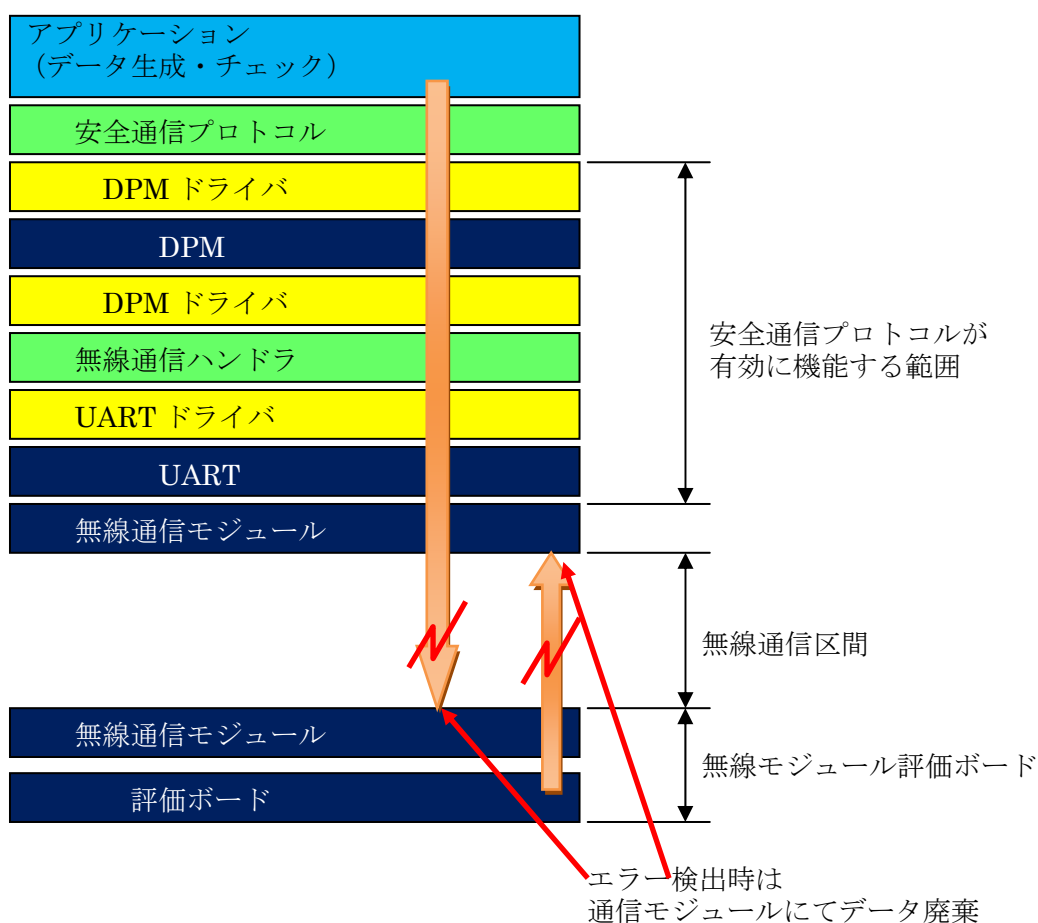


図 3-4-5-3-1 エラーデータの廃棄

今後、通信脅威への対策が全くされていない伝送媒体を用いた評価にて、安全通信プロトコルの性能を確認する必要がある。

#### 4. つくばモビリティロボット実験特区での実証実験（アイシン精機）

開発したロボットの利便性と安全性について実際の利用環境にて走行し確認する必要がある。本ロボットは、歩行者空間として、屋内と屋外をシームレスに走行するものであるが、屋外は主に歩道（公道）であり、道路交通法に照らし合わせると公道走行は許されていない。一方、つくば市にあるつくばモビリティロボット実験特区は、2011年3月より構造改革特別区域の認定を受けており、公道上で実験的な走行が可能である。

開発ロボットの安全性について、ロボット安全検証センターにおける評価にて確認し、関東運輸局に開発ロボット特区基準緩和認定、及びつくば市からの標識交付を受けて2013年10月22日より公道での実証実験を開始した。

##### 4-1. 実験計画

実証実験では、開発したロボットの利便性と安全性について評価する。本ロボットは、事業背景及び事業目的の章でも述べた通り、超高齢化社会における日常生活の移動支援を目的とするもので、すでに社会導入されている電動車いすをベースとしつつ、その最高速度を時速10kmまで拡張する事で、行動範囲を広げ自立した移動支援を可能とするものである。従って、屋内外を移動機器の乗り換え無しにシームレスに移動できる事に加え、機動性、すなわち移動時間の短縮も利便性の一つの指標とした。

また、安全性については、リスクアセスメントにて抽出した許容リスクを超える危険事象の回避性を評価する。リスクアセスメントでは、許容リスクを超える危険事象として、時速6kmを超える速度での衝突や、ロボットの転倒、ロボットからの転落による衝突があった。その危害程度も衝突安全性能試験にて定量的に把握しており、妥当なものであると確認している。そこで、安全性の検証は、実際に公道走行中の搭乗者の所感分析と走行状況の分析により、この許容リスクを超える危険事象が発生しない事を確認する。搭乗者の所感分析は、搭乗者が何かしらの気付きを感じた場面を抽出し、表4-1-1に示す4種類に分類した。

表4-1-1. 所感の場面分類

| 場面    | 場面説明                                     |
|-------|--|
| A(安心) | 衝突等しない安全な場面であり、搭乗者が安心して走行している場面          |
| B(不安) | 衝突等しない安全な場面であるが、狭路や降り坂での走行等、搭乗者が不安を感じる場面 |
| C(危険) | 衝突、転倒・転落等の危険事象が発生する場面                    |
| D(不快) | 衝突等しない安全な場面であるが、搭乗者が不便・不快感を抱く場面          |

この中で、衝突・転倒・転落につながる危険な場面Cの発生頻度を安全性の一つの指標とした。また、走行状況の分析では、リスクアセスメントで危険であると想定した障害物に対し、速度制限機能が動作した頻度を安全性の指標としている。この2つの指標を基に安全性を判断した。

実証実験にあたり、走行コースの選定は重要である。つくばモビリティロボット実験特区では、図4-1-1に示すエリアが対象エリアではあるが、実際の走路は、歩道幅員の条件を満たさねばならない。



#### 【実験対象エリア】

以下の2のエリアで分類。

- ① **つくばセンターエリア**  
：茨城県つくば市中央部の、東西約2km、南北約9kmの範囲内(赤色で図示)
- ② **つくば研究学園エリア**  
：茨城県つくば市中央部西側の、つくばエクスプレス研究学園駅を中心とする半径約2kmの範囲内(青色で図示)

図4-1-1. つくばモビリティロボット実験特区

このような走行条件を満たす走路を抽出した上で、ユーザとなる高齢者像と、その利用シーンを想定しあらかじめ走行コースを選定した。また、選定したコースについては、事前に代表的な路面及び障害物状況について調査を実施している。調査結果を図4-1-2-1と図4-1-2-2に示す。これらの検討結果を基に走行コースを図4-1-3-1から図4-1-3-4に示す。

実証実験では、この設定した走行コースを実際に走行し、設定した指標を基に利便性と安全性を評価した。尚、評価者(搭乗者)は、実際の利用者(高齢者)ではなく、開発者らで実施した。

対静止障害物環境



路面環境



図4-1-2-1. 代表的な路面及び障害物状況 (つくば研究学園エリア)

対静止障害物環境



路面環境

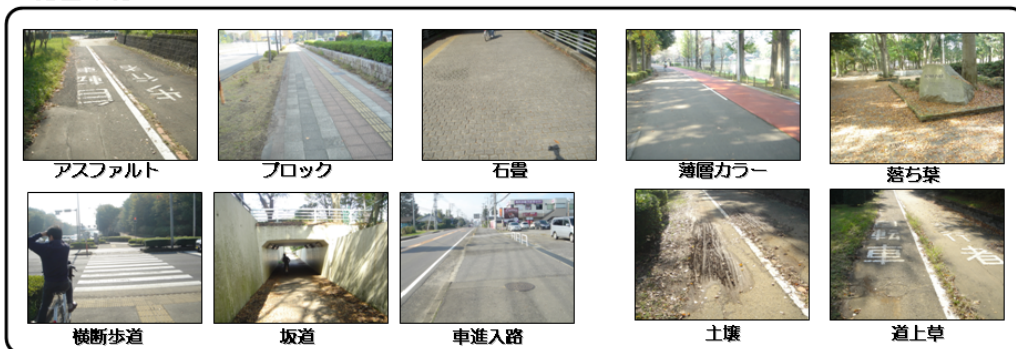


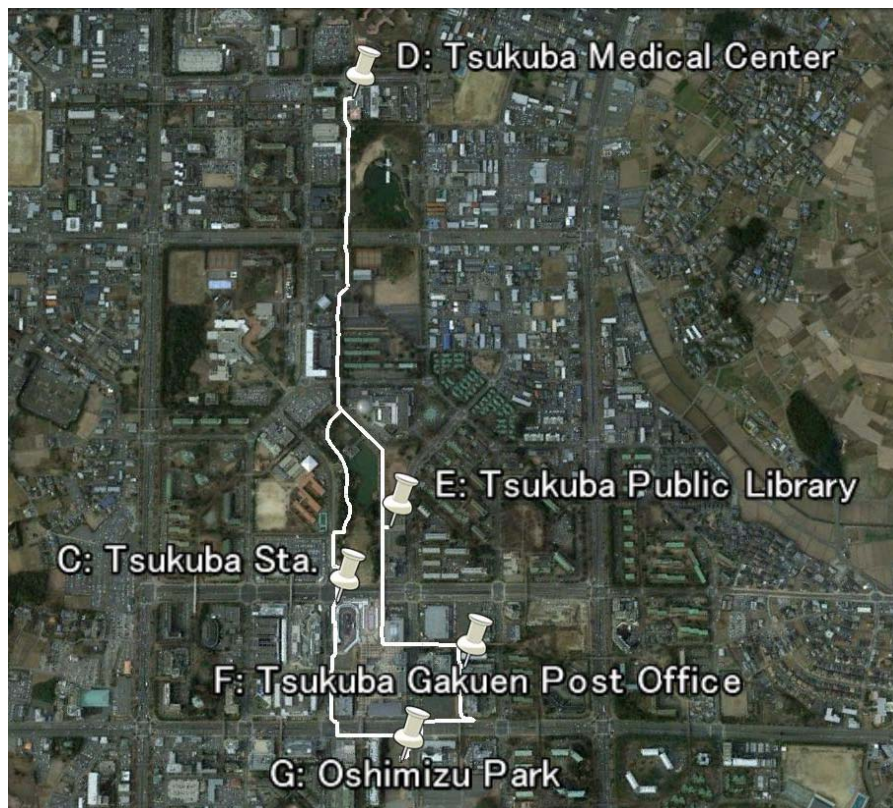
図4-1-2-2. 代表的な路面及び障害物状況 (つくばセンターエリア)





画像©2013 Digital Earth Technology, Digital Globe,地図データ© Google, ZENRIN

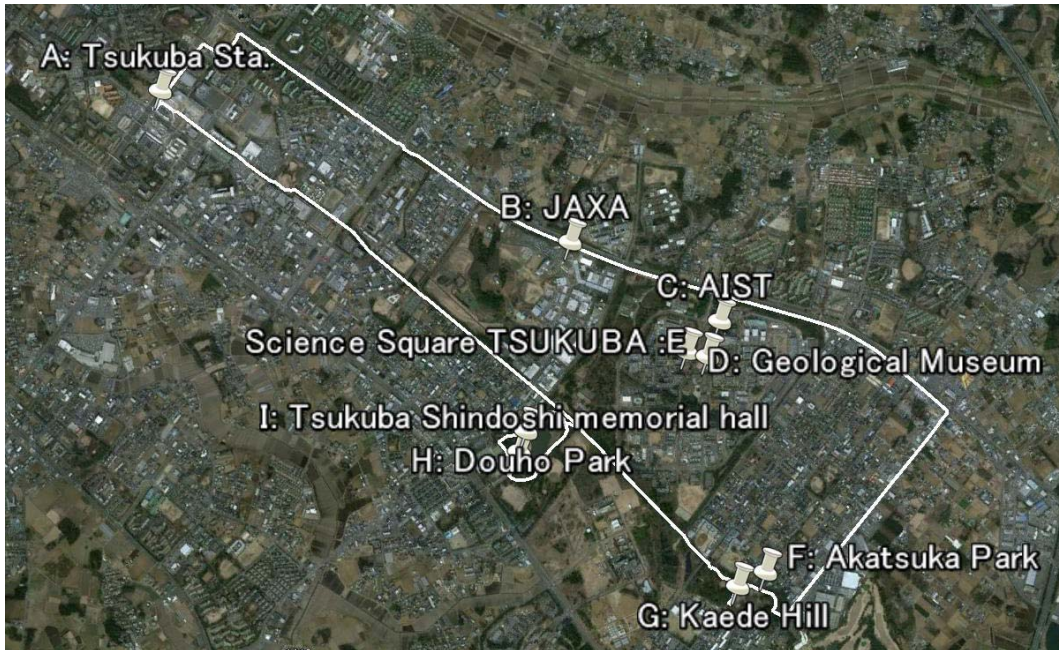
図4-1-3-1. 走行コースA (つくば研究学園エリア)



画像©2013 Digital Earth Technology, Digital Globe,地図データ© Google, ZENRIN

図4-1-3-2. 走行コースA (つくばセンターエリア)





画像©2013 Digital Earth Technology, Digital Globe,地図データ© Google, ZENRIN

図4-1-3-3. 走行コースB (つくばセンターエリア)



画像©2013 Digital Earth Technology, Digital Globe,地図データ© Google, ZENRIN

図4-1-3-4. つくばモビリティロボット実験特区における走行コース



#### 4-2. 実験準備

搭乗者の所感と走行状況の分析を実施するため、ロボットに各データを収集する計測システムを構築し、搭載した。搭載した計測システムを図4-2-1に示す。走行中のロボットと周囲状況、評価者（搭乗者）の様子を記録するため、複数のビデオカメラをロボットに配置し動画を記録した。また評価者（搭乗者）が何かしらの気付きを感じた場面でその旨を音声記録する事とした。さらに、客観的なデータとしてロボットの内部データを記録している。内部データは、評価者（搭乗者）のジョイスティック操作量、ロボットの速度、安全機能の速度制限指示値、走行コース内位置（GPS）などである。

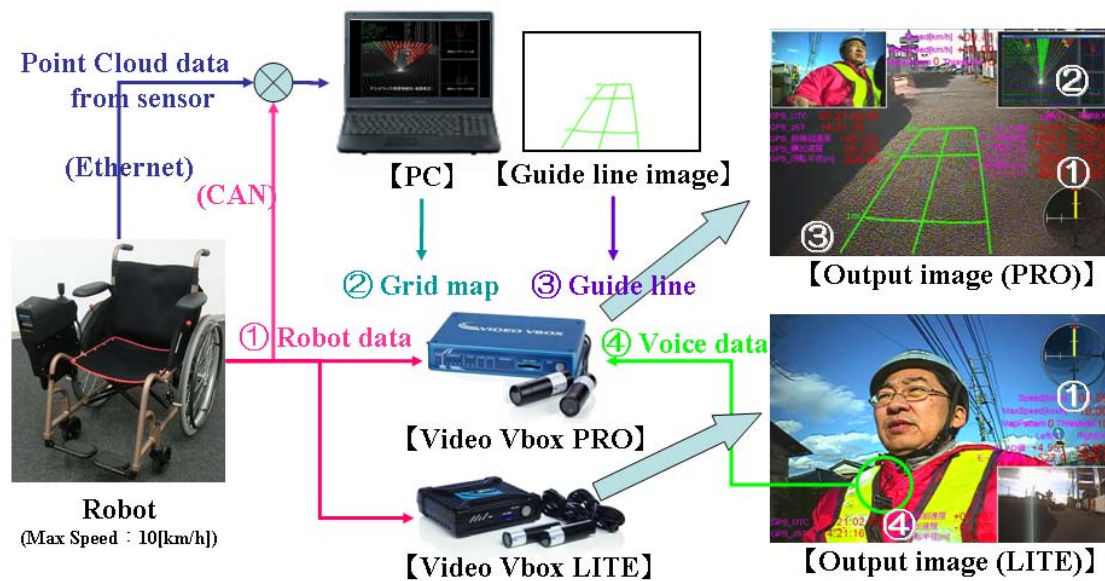


図4-2-1. 計測システム

これらのデータは全て同期され実験終了後、走行中に発生した事象に対して必要なデータを抽出する事が可能である。

また、安全を最優先に実験を行うべく、安全対策を施し、実験を実施した。つくばモビリティロボット実験特区では、実験に際し、評価者（搭乗者）とは別に、保安員1名を配置する事が義務付けられている。これは、実験中における一般通行者に対する安全の確保及び通行の妨げを防ぐため保安員が実験中の周囲環境を把握し、実験運行を適切なものとするためである。本実験にあたり、2名の保安員を配置し、評価者とあわせ3名1組にて実験を実施した。実験の様子を図4-2-2に示す。



図4-2-2. 実証実験の様子

#### 4-3. 実験及び実験結果

つくばモビリティロボット実験特区における、走行実績を表4-3-1に示す。2つの走行コースを2名の評価者（搭乗者）にて走行し、その延べ走行距離は51.3kmであった。

表4-3-1. 走行実績

| 走行コース | 種類     | 走行コースA       |              |            |            | 走行コースB     |            |           |
|-------|--------|--------------|--------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
|       | 分類     | つくば研究学園エリア   |              | つくばセンターエリア |            | つくばセンターエリア |            |           |
|       | 回数     | 1回目          | 2回目          | 1回目        | 2回目        | 1回目        | 2回目        | 3回目       |
| 実施日   |        | 2013/10/22   | 2013/10/31   | 2013/10/23 | 2013/10/31 | 2013/11/1  | 2013/12/12 | 2014/1/17 |
| 車両    | 最高速度   | 10km/h       | 10km/h       | 10km/h     | 10km/h     | 10km/h     | 10km/h     | 6km/h     |
|       | 速度制限機能 | ○            | ○            | ○          | ○          | ○          | ○          | ×         |
| 走行実績  | 走行距離   | 2.4km        | 2.5km        | 3.9km      | 4.5km      | 13.0km     | 12.8km     | 12.2km    |
|       | 走行時間   | 20分          | 18分          | 43分        | 37分        | 2時間13分     | 1時間59分     | 2時間1分     |
| 搭乗者   |        | A<br>(男性50代) | B<br>(男性50代) | A          | B          | B          | A          | A         |
| 照度    | スタート地点 | -            | 61300lx      | -          | 42000lx    | 52000lx    | 52400lx    | 26500lx   |

尚、実験は、晴天時の日中（実験日のつくば市“日の出時刻”から“日の入り時刻”の間）にて行った。各走行コースにおいて抽出された代表的な場面を実験結果として図4-3-1～8に示す。

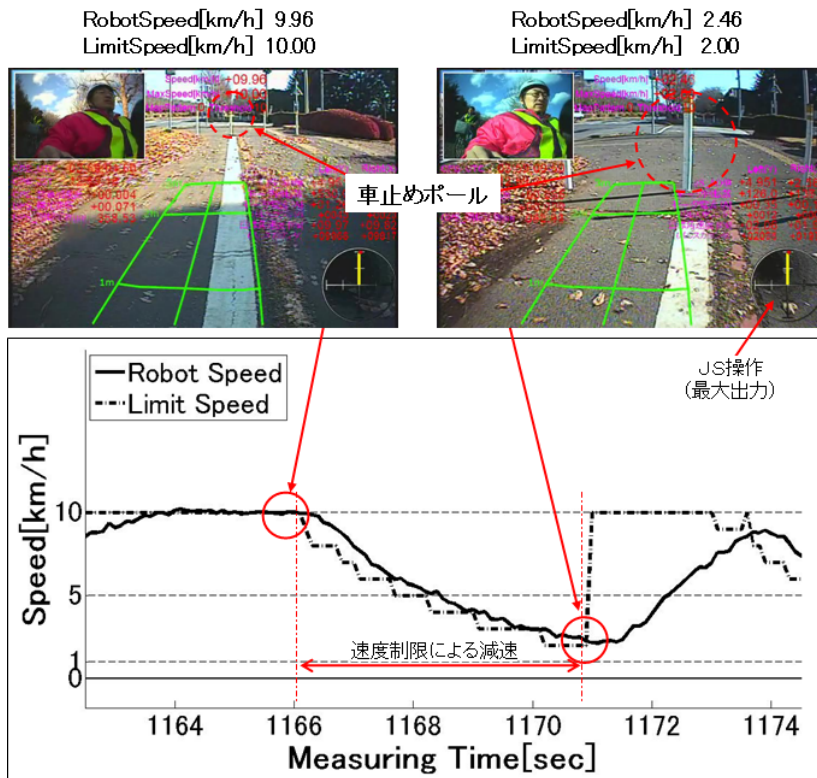


図 4-3-1. 代表場面 (車止めポールA接近時)

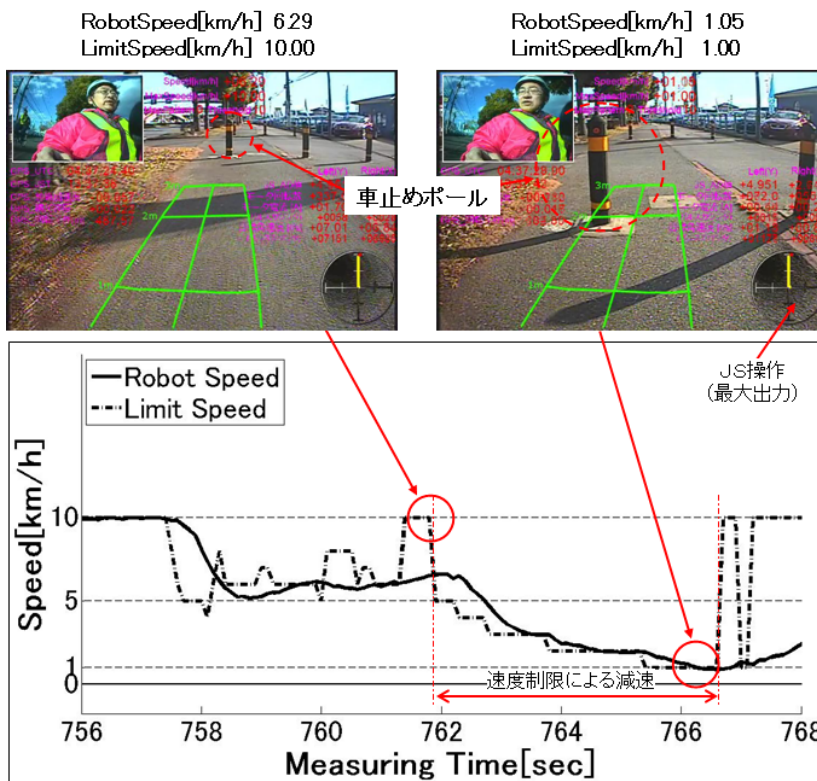


図 4-3-2. 代表場面 (車止めポールB接近時)

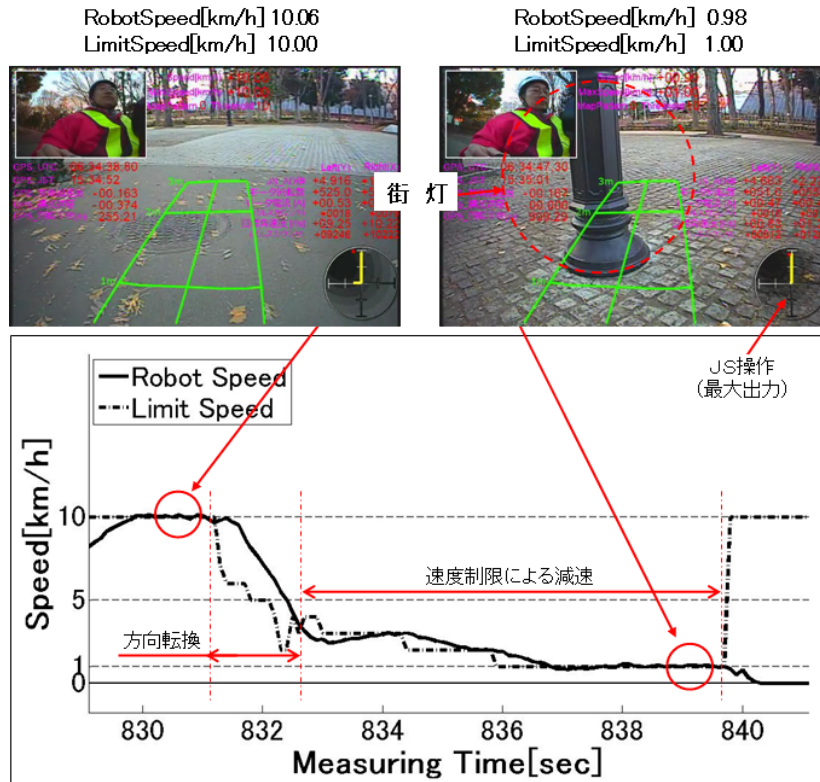


図 4 - 3 - 3 . 代表場面 (街灯接近時)

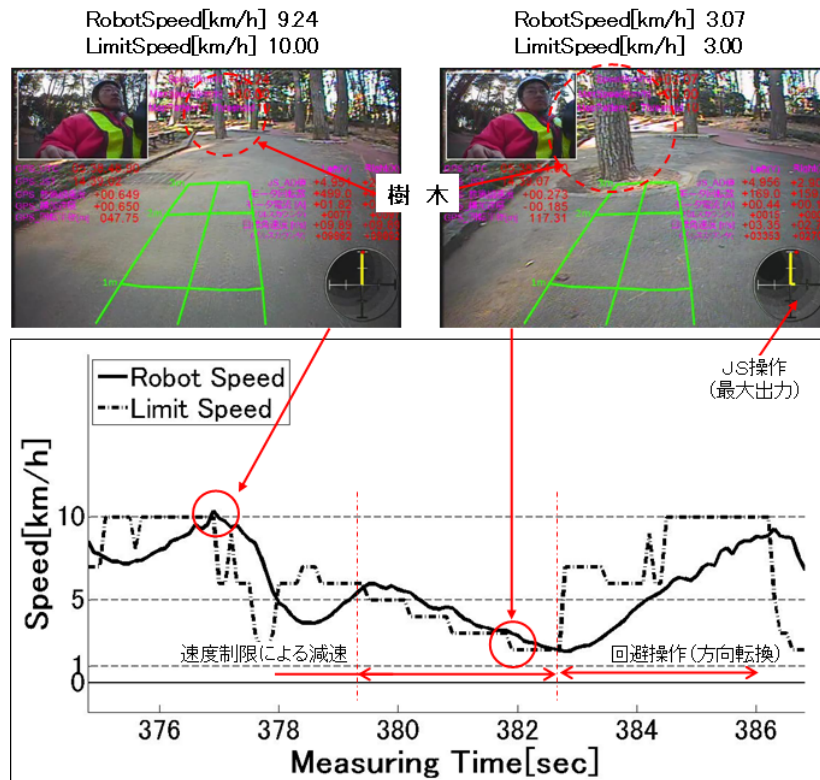


図 4 - 3 - 4 . 代表場面 (樹木接近時)



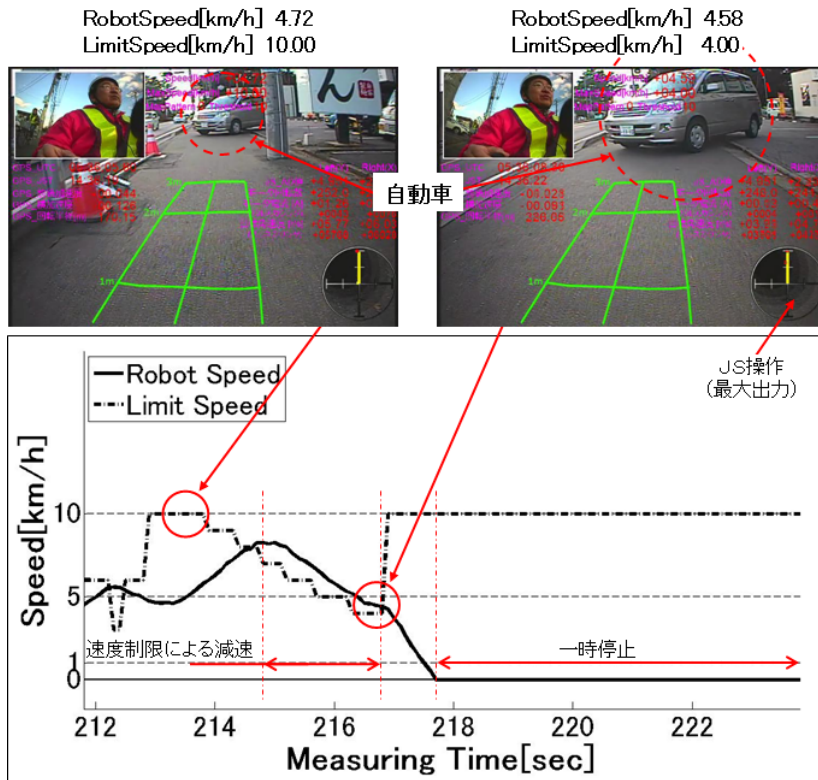


図 4 - 3 - 5 . 代表場面 (自動車接近時)

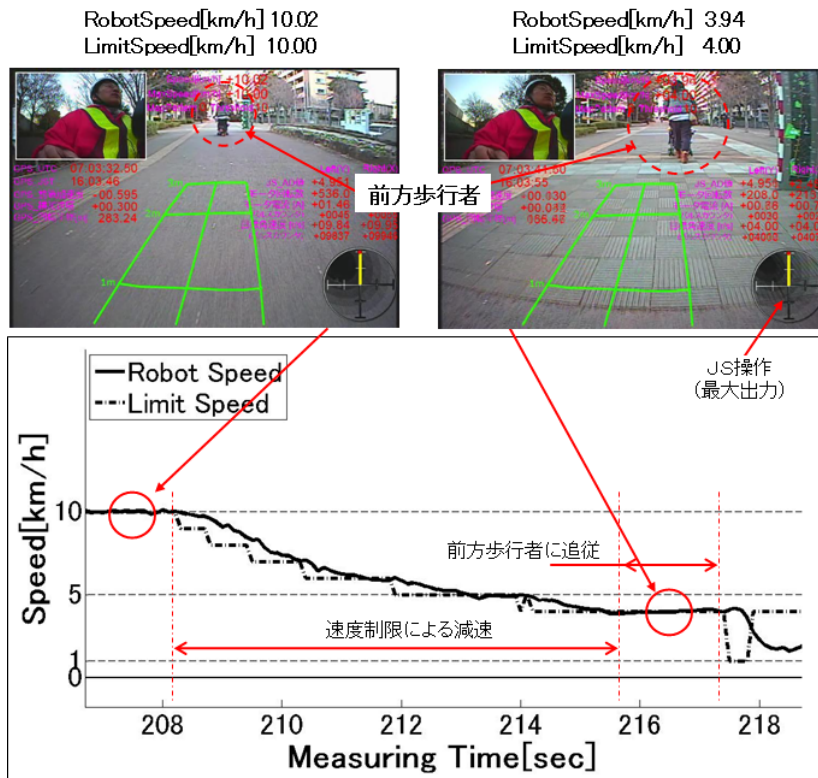


図 4 - 3 - 6 . 代表場面 (前方歩行者接近時)

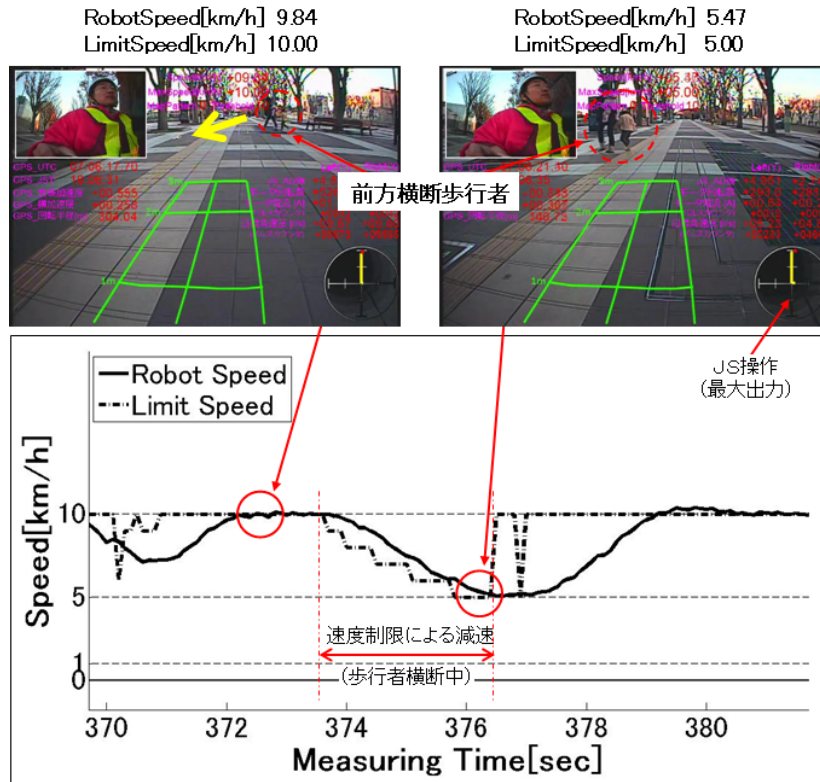


図 4-3-7. 代表場面 (前方歩行者横断時)

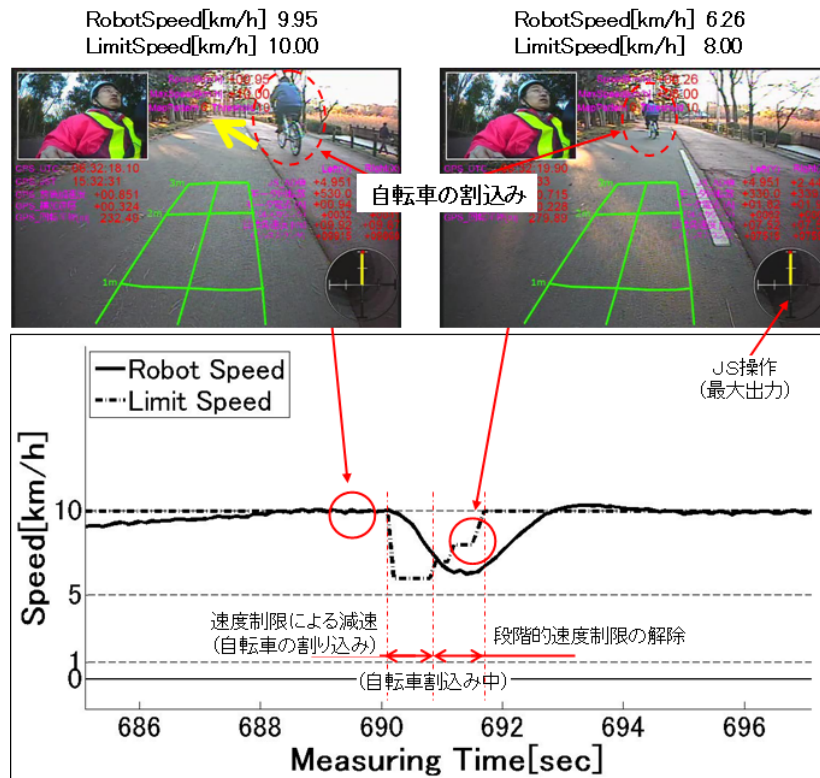


図 4-3-8. 代表場面 (前方自転車の割り込み時)

また、走行中に記録された評価者（搭乗者）の様子及び評価者（搭乗者）の音声データから評価者（搭乗者）が何かしらの気付きを感じた場面は表4-3-2に示す様な一覧表にまとめた。表には、各場面の発生した時刻、その区分と内容を記載している。場面の区分は、それが利便性に関するものか、安全性に関するものであるのか、また、安全性に関するものであれば、表4-1-1に示す何れに区分される場面であるのかを記録している。これを評価者（搭乗者）の所感データとして分析に用いている。

表4-3-2. 所感一覧表

| JST      | 場面の区分 |     |    | 場面区分 | 場面の内容   |
|----------|-------|-----|----|------|---|
|          | 区分    | リスク | 区分 |      |   |
| 12:40:36 | 1     | 2   | 2  | A    | 若干の下り坂。路面が荒れていたので速度制限がかかるかと思われたが、それもなく快適。速度は操縦者が制限。時速8km程度          |
| 12:40:49 |       | 2   | 2  | A    | 若干の下り坂。路面荒れの影響か、平地に事おの形状の影響か、速度制限が一瞬かかる                             |
| 12:41:23 |       | 1   | 3  | B    | つば特有の左折道路の横断歩道を横断する事自体が怖い。カーブでドライバーの自線の高さの違いなど                      |
| 12:42:23 | 1     | 2   | 2  | B    | 大きな交差点での車道→横断歩道前での時速1kmまでの減速は逆に車にひかれそうで怖い                           |
| 12:42:35 | 1     | 1   | 2  | B    | つば特有の左折道路の車道中央で減速してしまい、車にひかれそうで怖い                                   |
| 12:43:28 | 2     | 2   | 2  | A    | 荒れて、落ち葉のある自転車道。急な速度制限が一瞬かかる。  |
| 12:43:36 | 2     | 2   | 2  | D    | 時々、速度制限が入り、減速するので不快。しばらくこのような状態が続く                                  |
| 12:43:58 | 2     | 2   | 2  | D    | 路面前方が少し小さくなっている場面で速度制限がしばらく続き、恐ろしいような走行ができず不快                       |
| 12:44:08 | 2     | 2   | 2  | D    | 時々、速度制限が入り、減速するので不快。しばらくこのような状態が続く                                  |
| 12:44:39 | 2     | 2   | 2  | D    | 路面がうわっている影響か、時々、速度制限が入り、減速するので不快。しばらくこのような状態が続く                     |
| 12:45:28 | 1     | 1   | 3  | B    | 車道→横断歩道前で時速1kmまで減速。歩道の段差にて一時停止した後、駆動力が増えワイリー状態となり、操縦不能で路面に衝突しそうになる  |
| 12:47:26 | 2     | 2   | 2  | A    | 路面前方が少し小さくなっている場面で速度制限より高速  |
| 12:48:13 | 2     | 2   | 2  | D    | 車道→横断歩道前で時速1kmまで減速。歩道の段差にて一時停止。うまく体重移動してバランスをとり段差を走破                |
| 12:50:20 | 2     | 2   | 2  | D    | つば特有の左折道路の横断歩道前で速度制限がかかるので横断歩道に入るタイミングが気になる                         |
| 13:00:39 | 2     | 2   | 2  | D    | 横断歩道中央(中央分離帯付近)の凸路面形状手前で減速。スムーズな横断ができない                             |
| 13:00:58 | 2     | 2   | 2  | D    | あるい下り坂で、急に速度制限がかかり、車輪が滑された  |
| 13:01:18 | 2     | 2   | 3  | D    | 車道→横断歩道前で時速1kmまで減速。歩道の段差にて一時停止。うまく体重移動してバランスをとり段差を走破                |
| 13:01:35 | 1     | 2   | 3  | A    | ここから、ところどころ速度制限(時速7km程度まで)が入るが、操縦者の操作に促った快適な走行                      |
| 13:01:59 | 2     | 2   | 3  | A    | 横断歩道前の車止めにに対して、速度制限機能が働かず、楽に車止めのポール間をすり抜けできた                        |
| 13:02:57 | 2     | 2   | 3  | A    | 歩道脇の段差(10cm程度?)に対してうまく速度制限がされ、乗り上げる(衝突する)前にスムーズに減速した                |
| 13:03:48 | 1     | 2   | 3  | A    | 路面状態も良く、ところどころ速度制限(時速7km程度まで)が入るが、操縦者の操作に促った快適な走行                   |
| 13:05:05 | 2     | 2   | 2  | D    | 走行路脇の雑草に反応したか? ところどころ速度制限がかかり、気になる                                  |
| 13:05:05 | 2     | 1   | 3  | B    | 横断歩道→歩道に入る前の車止めのポールを後出し、横断歩道端で減速。操縦を切ってポールを回避。歩道段差乗り越えて一時不安定(ワイリー)に |
| 13:05:21 | 2     | 2   | 2  | D    | 路面(より坂、落ち葉)の影響か、速度制限が頻りに入り、車輪がしゃくしゃく状態に。大変うらやましい。                   |
| 13:05:47 | 2     | 2   | 2  | D    | ここから、スムーズな速度制限(時速7km程度まで)が入るが、操縦者の操作に促った快適な走行                       |
| 13:06:26 | 1     | 2   | 3  | A    | ここから、ところどころ速度制限(時速7km程度まで)が入るが、操縦者の操作に促った快適な走行                      |
| 13:06:43 | 3     | 2   | 2  | A    | 走行路の落ち葉に反応したか? 比較的平坦であるが、ところどころ速度制限(時速7km程度)がかかり、気になる(約130m程度?)     |
| 13:16:55 | 3     | 3   | 3  | A    | なぜかしばらく時速7kmに制限。路面は落ち葉でもあり、スリップを考えるとこれで良いのかもしれない(結果的に)              |
| 13:18:44 | 1     | 1   | 3  | B    | 車道→横断歩道前で時速1kmまで減速。歩道の段差にて一時停止した後、駆動力が増えワイリー状態となり、操縦不能で路面に衝突しそうになる  |
| 13:25:50 | 1     | 2   | 3  | A    | ここから、ところどころ速度制限(時速7km程度まで)が入るが、操縦者の操作に促った快適な走行                      |
| 13:26:07 | 2     | 2   | 2  | A    | 路面は落ち葉で反応か、少しの間、速度が時速7kmに制限   |
| 13:27:58 | 3     | 3   | 3  | A    | なぜかしばらく時速7kmに制限。路面は落ち葉でもあり、スリップを考えるとこれで良いのかもしれない(結果的に)。大きく気にはならない   |
| 13:30:09 | 2     | 2   | 2  | B    | 特に問題無い場面で急な速度制限が一瞬かかる   |
| 13:31:22 | 2     | 1   | 3  | B    | 横断歩道→歩道に入る前の車止めのポールを後出し、横断歩道端で減速。操縦を切ってポールを回避。歩道段差乗り越えて一時不安定(ワイリー)に |
| 13:32:35 | 2     | 1   | 3  | A    | 前方歩行者を検知し、歩行者の速度に合わせた車速を接近距離を自動的に確保。安心で乗る。                          |
| 13:32:45 | 2     | 2   | 2  | A    | 前方歩行者が離れたので、速度制限が解除され自動的に希望速度に再加速。                                  |
| 13:34:08 | 2     | 2   | 2  | A    | 歩道(走路)脇の生垣を検知し、近づいて走行しようとするので速度制限がかかり減速する。1m程度離れると解除。妥当。            |
| 13:36:10 | 2     | 2   | 2  | A    | 歩道(走路)脇の段差が大きなところはゆっくり進入したいので速度制限がかかりよかった                           |
| 13:36:22 | 2     | 1   | 3  | B    | 横断歩道→歩道に入る前の車止めのポールを後出し、横断歩道端で減速。操縦を切ってポールを回避。歩道段差乗り越えて一時不安定(ワイリー)に |
| 13:37:13 | 2     | 2   | 2  | A    | 歩道(走路)中央に設置された車止めを検知し、10m手前から減速。問題無く、車止めのポールの間を通過。しばらく同じ状態が続く       |
| 14:14:27 | 1     | 1   | 2  | B    | 自動車の乗り入れの歩道への勾配に対して速度制限が働かず、なかなか乗り入れ口から発進できないのと、より速いところで急加速(ワイリー)する |
| 14:14:50 | 1     | 1   | 2  | B    | 自動車の乗り入れの歩道への勾配に対して速度制限が働かず、なかなか乗り入れ口から発進できないのと、より速いところで急加速(ワイリー)する |
| 14:15:38 | 2     | 2   | 2  | D    | 自動車の乗り入れの歩道への勾配に対して速度制限が働かず、なかなか乗り入れ口から発進できないのと、より速いところで急加速(ワイリー)する |
| 14:15:54 | 1     | 1   | 2  | B    | 自動車の乗り入れの歩道への勾配に対して速度制限が働かず、なかなか乗り入れ口から発進できないのと、より速いところで急加速(ワイリー)する |
| 14:16:11 | 1     | 1   | 2  | B    | 自動車の乗り入れの歩道への勾配に対して速度制限が働かず、なかなか乗り入れ口から発進できないのと、より速いところで急加速(ワイリー)する |

4-4. 結果の分析

実証実験を通して、評価者（搭乗者）からは快適であるとの感想が得られている。これは、幅員が広く、かつ歩行者などの少ない比較的広い空間を走行する際、ロボットが最高速度時速10kmにて走行された事であった。これは、あくまで主観的な評価結果ではあるが、この様な新しい移動ロボットに対し、まずは“使ってみたい”と感じていただける事は重要であろう。さらに、仮定した行動範囲の拡張につながったかを実際に数値として確認すべく電動車いすにて走行した場合との比較をした。最も走行コース長が長い、走行コースBにおける走行時間・平均走行速度としてまとめたものを表4-4-1に示す。コースの総移動時間を10%程度短縮できており、最高速度を上げたことによる効果は確認できた。走行コースの全てにおいて最高速度を出せる状況では無いため、単純に最高速度

に比例した移動時間短縮は実現できない。利用場面に応じ、総移動時間を短くできる事が考えられ、その場合はより効果的であり、利便性を感じていただけるものと考えている。

表 4-4-1. 電動車いすと開発ロボットの総移動時間の比較

| 比較内容        | 電動車いす | 開発ロボット |
|-------------|-------|--------|
| 総移動時間 [min] | 131   | 119    |
| 平均速度 [km/h] | 5.58  | 6.15   |

次に所感一覧表から、ヒヤリハットを含めた評価者（搭乗者）の気付きを98場面で抽出した。その中で、所感の場面分類に基づき該当事象を抽出・整理したものを表4-4-2に示すこの中で、衝突・転倒・転落といった危険な場面（C）に相当する状況は発生していない。従って、許容リスク以下の状態であると考ええる。

表 4-4-2. 所感データのまとめ表

| 分類       | A(安心) | B(不安) | C(危険) | D(不快) |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 発生件数     | 40    | 22    | 0     | 34    |
| 発生割合 [%] | 40.8  | 22.8  | 0     | 34.7  |

また、走行状況についてロボットの内部データから、障害物に対して速度制限が機能した頻度を分析した。分析した結果を表4-4-3に示す。

表 4-4-3. 速度制限が機能した頻度分析表

| 分類  | 名称  | 場面数 | 動作回数 | 動作率[%] |
|-----|-----|-----|------|--------|
| 固定物 | ポール | 23  | 18   | 78.3   |
|     | 看板  | 3   | 3    | 100    |
| 移動体 | 歩行者 | 3   | 3    | 100    |
|     | 自転車 | 2   | 2    | 100    |
| 合計  |     | 31  | 26   | 83.9   |

尚、評価者（搭乗者）が、自ら衝突リスクを事前に感知し、速度制限が機能する前に回避した場面は除外している。障害物については、歩行者、自転車の他、固定物としてすでに図4-1-2-2に示したものが存在する。遭遇した障害物としては、歩道に設定された車止めのポールが最も多く23場面、次に看板が3場面であった。また歩行者や自転車に遭遇する場面が5場面あった。それらの障害物との遭遇時において全体で83.9%の場面



で速度制限機能が働いた。これらは、表4-4-2に示した所感データのまとめ表における、A（安心）に区分された場面に含まれる。

この事から評価者（搭乗者）が安心と感じた場面の6割以上の場面において、安全機能である速度制限機能がうまく働いた結果であり、安全機能が利用者の安心感につながると考える。ただし、歩道に設置された車止めポールの約2割についてはうまく検知されていない。そしてこれらは、22件のB（不安）に区分される場面につながっている。さらに、不快と感じる場面が34件あり、想定していたものより多く発生している。これについて、場面分析をおこなうと歩行者や障害物が存在せず、特に危険な場面につながる要素が無い場面において安全機能が働いていたことがわかっている。この事は、ロボットの乗り心地を悪くするだけでなく、不必要に速度を落とす事にもつながり、無駄に移動時間を延ばす原因でもある。さらなる商品性を高めるために利便性・快適性を確保しつつ、不安を感じる場面の低減のため、周囲環境における障害物検知性能の向上をはかってゆく。

## 5. 総括（アイシン精機）

### 5-1. 開発した搭乗型移動ロボットとその安全技術のまとめ

今後の高齢社会において、特に高齢者の日常生活における自立した移動を支援する事が重要である。その解決策の一つの有望な選択肢として、電動車いすをベースとし速度域を時速10kmまで拡張した搭乗型移動ロボットを開発した。またそのロボットが安全に利用でき、かつ社会的に受け入れられるものとすべく、自律的な速度制限機能と注意喚起機能を安全機能として開発し、実際にロボットに搭載した。

安全機能の開発において、ISO13482フェーズ1（設計コンセプト）の開発プロセスに準拠し設計コンセプトを検討、安全機能のシステム設計を行った。また、安全機能については、生活支援ロボット安全検証センターにてその性能検証を済ませ、必要な性能を確保した。さらに、つくば市にあるつくばモビリティロボット実験特区を活用し、実際の利用場面を想定した公道走行実験を通して、その利便性と安全性の検証を確認している。

表 5-1 成果のまとめ

|                        | 目標                           | 成果  | 達成度 | 今後の課題と解決方針               |
|------------------------|------------------------------|---|-----|--------------------------|
| 1) 許容リスク以下<br>安全移動支援技術 | 安全コンセプト作成                    | ISO13482フェーズ1認定                           | ○   |                          |
|                        | 安全技術の実装                      | リスク低減アルゴリズムの開発と実装したロボットの試作                | ○   | 事業化に向けた低コスト化             |
|                        | 性能評価結果の取得                    | 安全検証センタでの目標性能確認                           | ○   |                          |
|                        | 実証実験結果の取得                    | つくば特区での実験実施とヒヤリハットデータの収集                  | ○   | 一般者による追加評価               |
| 2) 3次元レーザー測域センサ        | 所要検知性能の達成と安全センサ認証            | 所要検知性能の達成を検証<br>太陽光など耐外乱性の高い環境センシングの有効性検証 | ○   | 検知範囲拡大、安全認証取得(市場環境で要否判断) |
| 3) 距離画像カメラ             | 路面の障害物検出                     | センサから2m先の路面の突出20cmを、50,000Lx以下の太陽光下で検出する。 | △   | 検出性能向上                   |
| 4) 安全通信モジュール           | IEC61508 SIL2レベルを達成する通信プロトコル | 通通信脅威の対策とSIL2で要求される残余誤り率の達成               | ○   | 各種の通信方式に適用した場合の性能評価      |

表 5-2 特許・論文・新聞発表

|              | H20 | H21 | H22 | H23 | H24 | H25 | 計  |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 特許出願(うち外国出願) | -   | -   | -   | 0   | 0   | 3   | 3件 |
| 論文(査読付き)     | -   | -   | -   | 0   | 0   | 1   | 1件 |
| 研究発表・講演      | -   | -   | -   | 0   | 3   | 3   | 6件 |
| 受賞実績         | -   | -   | -   | 0   | 0   | 0   | 0件 |
| 新聞・雑誌等への掲載   | -   | -   | -   | 0   | 0   | 9   | 9件 |
| 展示会への出展      | -   | -   | -   | 1   | 0   | 1   | 2件 |

## 5-2. 開発成果のアウトリーチ活動

開発成果について国際ロボット展での展示・プレゼンテーション、学会発表、公道走行実験及びそのプレス発表などを通し多くの方々に知っていただく機会を設けた。研究者の方、企業（メーカー）の方、サービス業者、一般ユーザの方とさまざまな分野の方のご意見を伺うことができた。これまで電動車いすをイメージすると、特定ユーザ向けの専用機器と思われる、広く一般に使われる印象をもたれない。しかしながら、開発したロボットは電動車いすをベースとしながらも、外観デザインと、速度域を拡張したことによる爽快感から新しいモビリティとしての印象を持たれたようである。また昨今、自動車分野において高齢者ドライバー事故やアクセル・ブレーキ操作ミスによる衝突事故などへの対応として、自

動ブレーキ装置の搭載が進んでいる事もあり、今回開発した安全機能についての理解も容易であり、実用的なロボット技術として身近に感じていただけたと感じている。

### 5-3. 今後の事業展開について

今回、最高速度を時速10kmとする歩行者空間を移動対象とした搭乗型移動ロボットとその安全機能について開発を進めてきた。しかしながら、現在、時速10kmでの屋外公道（歩道）走行をする事は現行法において許可されていない。ただし、このロボット技術を使った、安全機能は、現行法に対応する電動車いす規格の超小型移動機器に対しても有効である。

これからの高齢社会に対応すべく、歩行が困難な方の日常生活の外出支援に加え、誰もが使いたくなる「軽量・コンパクトで安全」な生活支援のモビリティ提供をコンセプトに、まずは現行法に適応可能な最高速度時速6kmの搭乗型移動ロボットとして、2018年頃を目標とし製品化を予定している。

## 2.10 研究開発項目⑤ 屋外移動支援機器における安全エンジニアリング技術の研究開発 I D E C株式会社（共同実施先：大阪大学）

### まえがき

移動は人類の普遍的な欲求である。産業革命以降の急速な技術革新は、鉄道や航空機のような高速且つ大量輸送を現実のものとした。私達の社会はすでにそのような技術の恩恵に預かって久しい。しかし同時にそのような技術の利用は新しい危険を生み、多くの事故を発生させ続けていることは説明するまでもない。これに対し私達の社会は移動体に直接適用する技術方策だけでなく、道路信号や踏切のような社会インフラによる分離や整理、詳細なルールと法整備、免許制度などの教育・訓練、保険制度などの善後策など総合的な安全対策を講じることによって、かろうじて機械による移動を許容している。

一方、医療技術の進歩や食糧事情の改善、加えて少子化の影響によって私たちの社会は急速に高齢化しており、今なお進行中である。社会は要介護者と高齢者の生活支援に対して深刻なリソース不足に直面している。例えばこのような高齢者が営む基本的な生活のための移動に求められる技術はもはや速さやパワーではなく、むしろ穏やかでなくてはならない。そのような生活空間には信号もルールも免許制度もないにも関わらず、移動体は不特定多数の人々と空間を共有するからである。

産業分野の国際規格の考え方では、機械のリスク低減方策（安全対策）は基本的には機械と人間の空間的な隔離、もしくは時間的な隔離（停止）により実現する。しかし生活支援を目的とした搭乗型ロボットを歩行者と隔離することは困難であるし、搭乗者に関しては不可能である。それ故、生活支援分野の機械の安全対策には新しい技術開発が必要である。

搭乗型生活支援ロボットを操縦（手動）型、自動走行型、自律走行型に分類した場合、操縦型と自動走行型は広く普及し利用されているが、やはり多くの事故が報告されている。

本研究では、これら操縦型と自動走行型の搭乗型生活支援ロボットの事故事例について調査し、リスクアセスメントした上で安全対策について技術開発した。すでに実用化され広く普及している搭乗型生活支援ロボットの操縦型としてハンドル型電動車いす、自動走行型として電磁誘導式ゴルフカートを一つのモデルとして実施した安全対策に関する研究成果を報告する。

## 内容

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 第1章 | 実施計画の細目  | 4  |
| 1   | 研究開発の目的  | 4  |
| 2   | 研究開発の概要  | 4  |
| 3   | 研究開発の内容  | 5  |
| 3.1 | 安全機器技術の研究開発－安全センシング技術の研究開発(X1)                       | 5  |
| 3.2 | 安全機器技術の研究開発－安全無線通信の研究開発(X2)                          | 5  |
| 3.3 | 安全機器・システム技術の研究開発－GPSとRFIDによる誘導技術の研究開発(X3)            | 6  |
| 3.4 | 安全システム設計技術の研究開発－機能安全システム(Y1)、およびシステムのリスクアセスメント技術(Y2) | 6  |
| 3.5 | 安全運用技術の研究開発－広域空間での安全システム運用技術(Z1)、および安全マネジメント技術(Z2)   | 6  |
| 3.6 | 安全性基準に関する適合性評価に対する協力                                 | 6  |
| 4   | 成果の達成度合い一覧   | 7  |
| 第2章 | 誘導式ゴルフカートの安全機器技術開発(X)の成果                             | 8  |
| 1   | 安全機器技術の研究開発－安全センシング技術の研究開発(X1)                       | 8  |
| 1.1 | 概要と達成度状況   | 8  |
| 1.2 | 安全性能   | 13 |
| 2   | 安全機器技術の研究開発－安全無線通信の研究開発(X2)                          | 15 |
| 2.1 | 概要と達成状況  | 15 |
| 2.2 | 安全性能   | 25 |
| 3   | 安全機器・システム技術の研究開発－GPSとRFIDによる誘導技術の研究開発(X3)            | 29 |
| 3.1 | 概要と達成状況  | 29 |
| 3.2 | GPS技術について  | 29 |
| 3.3 | RFID技術について   | 31 |
| 第3章 | 誘導式ゴルフカートの安全システム技術開発(Y)の成果                           | 33 |
| 1   | 安全システム設計技術の研究開発－機能安全システム(Y1)                         | 33 |
| 1.1 | 概要と達成状況  | 33 |
| 1.2 | 安全性能   | 33 |
| 2   | 安全システム設計技術の研究開発－システムのリスクアセスメント技術(Y2)                 | 33 |
| 2.1 | 概要と達成度   | 33 |
| 2.2 | リスクアセスメント  | 36 |
| 2.3 | 事故事例調査   | 37 |
| 第4章 | 誘導式ゴルフカートの安全運用技術開発(Z)の成果                             | 61 |
| 1   | 安全運用技術   | 61 |
| 1.1 | 概要と達成状況  | 61 |
| 1.2 | 残留リスク対策  | 62 |
| 1.3 | 安全運用マニュアル  | 63 |
| 1.4 | 検知エリアの研究   | 67 |
| 第5章 | 誘導式ゴルフカートの安全性基準に関する適合性評価に対する協力                       | 76 |
| 1   | 概要と達成状況  | 76 |
| 2   | システムの安全要求仕様  | 76 |
| 3   | 危険側故障率   | 77 |
| 4   | 妥当性確認結果  | 78 |
| 4.1 | 保護停止   | 78 |
| 4.2 | EMC  | 79 |
| 4.3 | 衝突(参考)   | 83 |

|     |                        |     |
|-----|------------------------|-----|
| 第6章 | ハンドル型電動車いすの安全対策技術開発の成果 | 84  |
| 1   | センシング技術の研究開発           | 84  |
| 1.1 | 概要と達成状況                | 84  |
| 1.2 | センシング性能                | 84  |
| 2   | 制御システム                 | 85  |
| 2.1 | 概要と達成状況                | 85  |
| 2.2 | 安全性能                   | 85  |
| 3   | リクアセスメント技術             | 86  |
| 3.1 | 概要と達成度                 | 86  |
| 3.2 | リスクアセスメント              | 87  |
| 4   | 安全性能の評価                | 88  |
| 4.1 | 基本的な停止性能               | 88  |
| 4.3 | 振動などの外乱による影響           | 93  |
| 4.4 | 実証試験                   | 95  |
| 第7章 | まとめ                    | 104 |
| 1   | 誘導式ゴルフカート              | 104 |
| 2   | ハンドル型電動車いす             | 104 |

## 第1章 実施計画の細目

### 1 研究開発の目的

屋外で使用する搭乗型生活支援ロボットの実用化において最大の課題である安全性について、既に存在するビジネスモデルと使用実績のある移動機器を利用し、これに新たな「安全エンジニアリング技術」を付加し、人と密接に動作する搭乗型生活支援ロボットにおけるハードウェア・ソフトウェアの安全機構の確立と実用化を図る。対象とする移動機器としては、ゴルフ等で用いられるカート及びハンドル型電動車いす（シニアカー）を使用し、これらを電気・電磁的手段によりあらかじめ定められたルートを走行する機能あるいは危険区域を回避する機能を有する搭乗型生活支援ロボットとして安全技術の開発及び安全性の検証を行う。

生活支援ロボットの安全技術を確立するためには、搭乗型生活支援ロボットを対象に本質安全・機能安全に係る試験を行い、安全性に関わるデータの取得・分析等により具体的な安全性の検証を行なう必要があるが、例えばゴルフで高齢者に不可欠な電磁誘導式カートは、屋外の気候変化が大きく路面の凹凸・斜面も多い環境で使用されており、走行中の事故は非常に多く、安全対策は現状全く不十分である。このことから、安全性に関わる技術開発や検証を行なう対象として適しており、ここで確立された安全性技術は、搭乗型生活支援ロボットの安全対策に広く適用が可能となる。

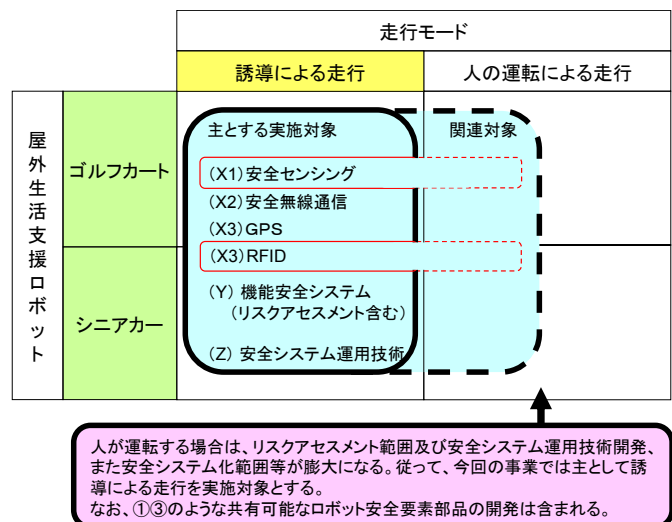
また一方、より日常的に高齢者の生活を支援する移動ロボットとしては、ハンドル型電動車いすが広く普及しているが、同じく走行中の事故が発生している。このようなハンドル型電動車いすの安全性を確立するためには、搭乗する人間の誤操作を想定し、少なくとも公共空間においては、危険区域への進入回避なり安全区域への誘導による移動を実現する必要もでてくる。

これら屋外用誘導式ゴルフカート及びハンドル型電動車いすを対象とした安全エンジニアリング技術が開発されると、例えば病院内の薬搬送ロボットと同様に、患者搬送ロボットとしての誘導型搬送カート等にも、様々な技術の適用が可能となる。すなわち将来的に、商業施設、駅・空港等の交通施設、病院、公共施設、オフィス、家庭に至るまで、高齢者に対する生活支援ロボットとしての展開も期待できる技術である。

IDECでは、産業分野で培った機械安全・機能安全のエンジニアリング技術によって、搭乗型移動ロボットの安全性を、先ず図表1に示す通り誘導型移動ロボットで確立すること、及びここで確立された安全技術をもとに、本研究スキーム関係者と共に、ロボットシステムとしてのサービス化を推進することを目的とするものである。

### 2 研究開発の概要

生活支援ロボットの実用化において最大の課題である安全対策について、屋外用誘導式ゴルフカート及びハンドル型電動車いすに共有されると考えられる安全エンジニアリング技術に関して、安全エンジニアリングハードウェア要素技術部分の研究開発と、既にIDECにおいて実績がある安全対策技術を、誘導式ゴルフカートに展開するための安全エンジニアリングソフトウェア要素技術の研究開発を行う。また安全エンジニアリングソフトウェア要素技術には、そのために基礎として必要となる交通工学を含めた学術面の研究開発を大阪大学と共同で行い、最終的にはこれらを融合した屋外用誘導式ゴルフカート及びハンドル型電動車いすといった搭乗型生活支援ロボットの安全エンジニアリング技術を開



図表1-1 安全エンジニアリング要素技術の適用範囲

発するものである。

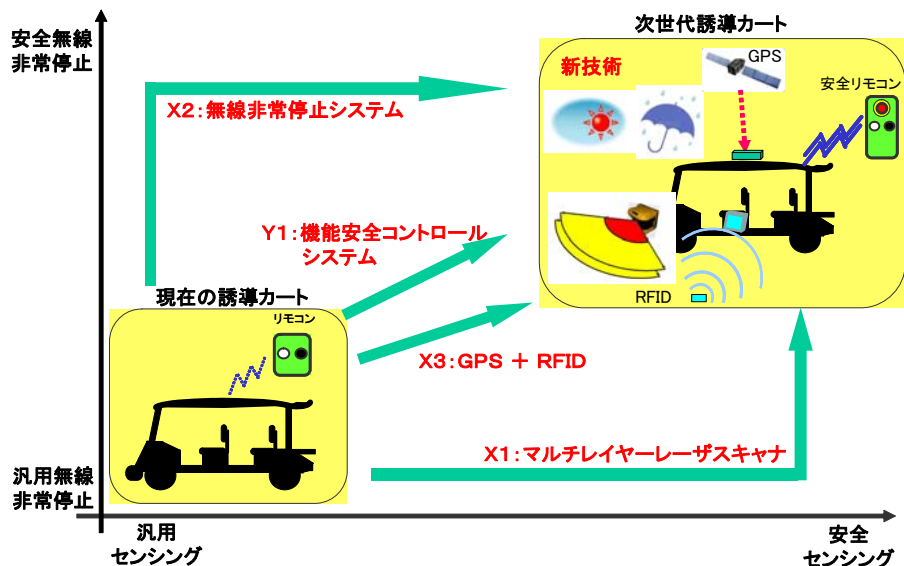
### 3 研究開発の内容

本事業では、屋外用誘導式ゴルフカート及びハンドル型電動車いすの安全エンジニアリング技術の研究開発として以下の3つのカテゴリを定義しており、順次説明する。

X：安全機器技術の開発

Y：安全システム設計技術開発

Z：安全運用技術開発



図表1-2 安全エンジニアリング要素技術の適用範囲

#### 3.1 安全機器技術の研究開発－安全センシング技術の研究開発(X1)

屋外で人体検知をするために有効且つ実用的な技術手段はある程度絞られており、ゴルフカートやハンドル型電動車いすのような速度、用途の移動ロボットで求められる検知精度、検知範囲などを考慮すると、レーザスキャナが最適である。しかし屋外環境で使用する場合には、他のセンシング装置と同様に太陽光や雨、雪、霧など対処すべき課題は多い。そこで本研究開発ではこれらの問題を解決するために、照射角度が垂直に広く太陽光の影響を受けにくいことを特徴としたマルチレイヤーレーザスキャナを開発する。マルチレイヤーレーザスキャナはジンバル機構により光学系全体を回転させることで、1つのレーザビームを垂直方向にも走査させ、受光部へ太陽光が直接入射した時にはその入射角以外の範囲で周囲の障害物を検知できる能力をもったレーザスキャナである。

開発するレーザスキャナはその製品規格である IEC61496-3 を満たすとともに、機能安全制御システムを構築するための機器としては、最終的に ISO13849-1 PLd および IEC61508 SIL2 の要件を満たすことを目標とする。

#### 3.2 安全機器技術の研究開発－安全無線通信の研究開発(X2)

平成 21～22 年度 NEDO イノベーション実用化助成事業において「ロボットに不可欠な機能安全無線式次世代非常停止スイッチの開発」として開発を行った安全無線技術を、屋外環境における安全無線非常停止スイッチとして適用するために、筐体の耐環境性と屋外使用する際に必要となる安全無線通信技術（距離、通信周波数、その他発生する課題）について研究開発を行う。

具体的には、屋外での通信に適した有効通信距離:100m(精度：±20m)および保護構造 IP65 を有し、さらに IEC61508 の SIL3 相当の要件を満たす安全無線非常停止装置の開発を目標とする。



### 3.3 安全機器・システム技術の研究開発－GPS と RFID による誘導技術の研究開発(X3)

搭乗型生活支援ロボットの走行には GPS を利用したナビゲーションシステムと 3次元デジタルマップ、加えて RFID の利用を検討する。

GPS による測位技術は、位置特定に 4 つ、高精度測位には 5 つの GPS 衛星からの信号と準天頂衛星からの GPS 補強信号により精度を 1 m まで向上する方法を利用する。また特別に危険な区域には RFID 技術を併用して、進入がないように誘導するシステム設計について研究開発を行う。

RFID 技術はゴルフ場内の歩行者がタグを携帯することで位置をゴルフカートへ知らせる目的で、スキャナの補助的な安全支援機器としてシステム開発する。またハンドル型電動車いすでは、路面にタグを埋め込むことで危険区域への接近を知らせるシステムについて技術開発し試作機を製作する。

また準天頂衛星みちびきによるハンドル型電動車いす向けの危険区域警報システムについて技術開発し、試作機を製作する。

### 3.4 安全システム設計技術の研究開発－機能安全システム(Y1)、およびシステムのリスクアセスメント技術(Y2)

誘導式ゴルフカートのハンドル型電動車いすのリスクアセスメントを行い、システムに必要な安全性の維持能力の水準を確認し、本プロジェクトで開発する屋外対応マルチレイヤーレーザスキャナと屋外対応安全無線非常停止スイッチ、その他既存の安全対策機器による安全制御システムを構築する。具体的にはセンサによる信号もしくは非常停止装置による信号を受けたとき、カートの制御回路を介さずに直接ロボットの駆動電源を遮断するシステムを実現する。

### 3.5 安全運用技術の研究開発－広域空間での安全システム運用技術(Z1)、および安全マネジメント技術(Z2)

交通工学的専門知識と、安全なまちづくり、弱者・高齢者への交通手段といった視点で、全国のゴルフ場における事故事例とハンドル型電動車いすにおける事故例を対象として調査・検討を行い、それぞれゴルフ場、大阪大学敷地内などでの安全実証によって、どのように搭乗者と歩行者の安全を確保していくのかという「広域空間での安全システム運用技術」と「安全マネジメント技術」を開発し、パーソナルモビリティが安全利用できるような安全運用技術を確立する。

### 3.6 安全性基準に関する適合性評価に対する協力

設計コンセプトを確認し、リスクアセスメントより要求される安全要求仕様書とそこから波及する関連書類を整備する。次に開発したロボットシステムの妥当性評価試験を実施して、ISO13482 に基づく設計コンセプト認証を取得する。

また、設計コンセプト認証にて必要となる妥当性評価試験を生活支援ロボット安全検証センターにおいて実施することで、生活支援ロボットの認証に必要な評価技術の構築に寄与する。

#### 4 成果の達成度合い一覧

| 研究開発課題  | 最終目標  | 達成度  |
|---|---|------|
| (X)安全機器技術の研究開発－安全センシング技術の研究開発(X1)                           | 検出エリア : 180° (分解能 : 0.5°)<br>検出距離 : 2m (精度 : ±100mm)<br>応答速度 : 150ms<br>耐光性能 : 100000lux<br>耐雨性能 : 10mm/min<br>耐霧性能 : 視程 50m 以上<br>安全度水準 : SIL2 | 90%  |
| (X)安全機器技術の研究開発－安全無線通信の研究開発(X2)                              | 有効距離 : 100m (精度 : ±20m)<br>保護構造 : IP65<br>安全度水準 : SIL3  | 100% |
| (X)安全機器・システム技術の研究開発－GPS とRFID による誘導技術の研究開発(X3)              | GPS による誘導走行と、RFID による危険区域からの隔離<br>※初年度の基礎実験後の考察にて精度に課題があることなどが判明した。またその他の技術にて十分なリスク低減が可能なことから基礎実験までとした  | 40%  |
| (Y)安全システム設計技術の研究開発－機能安全システム(Y1)、及びシステムのリスクアセスメント技術(Y2)の研究開発 | 安全度水準 : SIL2<br>入力機器のレーザスキャナ、安全無線非常停止装置から安全制御ユニットを介して安全リレーを駆動してコンタクタ断までを安全関連部で構築。   | 100% |
| (Z)安全運用技術の研究開発－広域空間での安全システム運用技術(Z1)、および安全マネジメント技術(Z2)       | ゴルフ場とシニアカーの移動空間における交通工学に基づいた安全システム技術の構築と安全運用マネジメントの実現   | 100% |
| 安全性基準に関する適合性評価に対する協力  | 搭乗型生活支援ロボット試作と試作機の設計コンセプト認証ドキュメント製作   | 90%  |

第2章 誘導式ゴルフカートの安全機器技術開発 (X) の成果

1 安全機器技術の研究開発—安全センシング技術の研究開発(X1)

1.1 概要と達成度状況

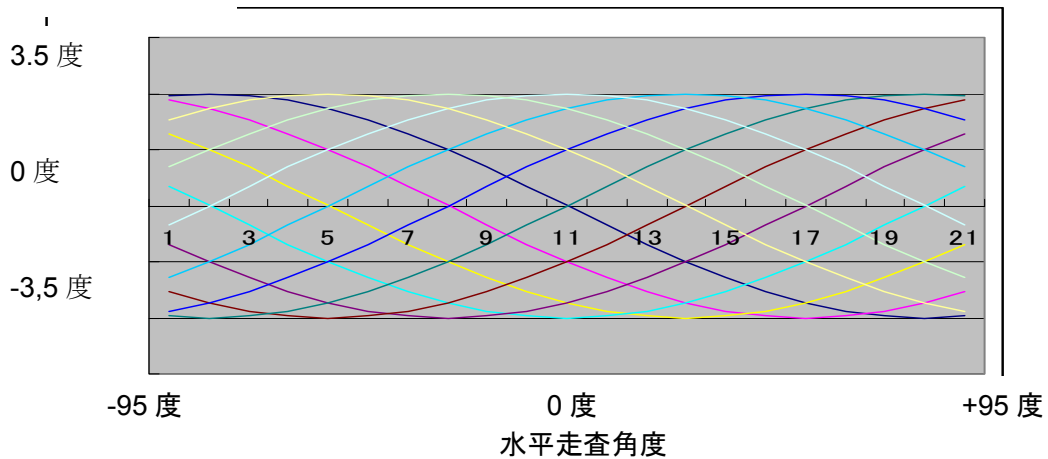
ジンバル構造による3Dスキャン方式レーザスキャナ（以後、屋外対応3Dレーザスキャナと記載する）の試作品を製作した。



| 屋外対応3Dレーザスキャナの主な仕様 |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| 防護距離               | 2.0 m (反射率 1.8 %)              |
| 警報距離               | 6.5 m (反射率 10 %)               |
| 水平走査速度             | 30 ms                          |
| 垂直走査速度             | 240 ms                         |
| 応答速度               | 270 ms                         |
| 水平検出角度             | 160 °                          |
| 垂直検出角度             | 7 °                            |
| 角度分解能              | 0.25 °(水平), 0.875 ° (垂直)       |
| 検出物                | 最長距離 2.0 m: φ70 mm,(反射率 1.8 %) |
| 保護構造               | IP64 相当                        |

図表 2-1 屋外対応3Dレーザスキャナの外觀と仕様

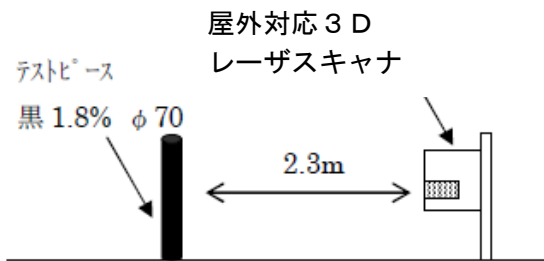
垂直走査角度



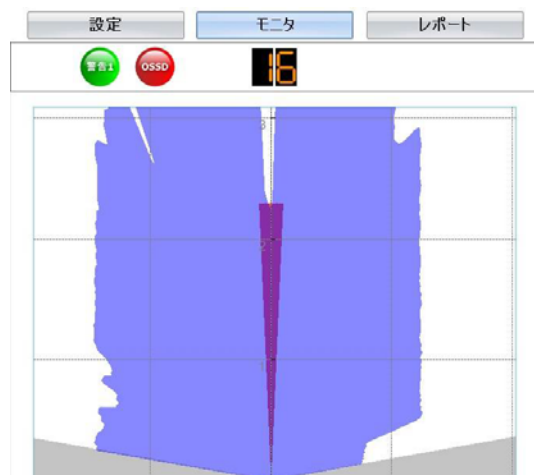
図表 2-2 3Dスキャンしたレーザの走査のイメージ

屋外仕様における大きな課題は太陽光対策であり、太陽光による誤動作を防がなければならない。セーフティレーザスキャナは IEC61496-3 で規定されているように、外乱光により検出感度が低下した場合、安全出力を OFF させなければならないが、太陽光の影響を回避するため、ジンバル構造による3Dスキャンの8本の走査線が7°の垂直走査角度を有することによって太陽光が入射する場合にも2本以上の走査線が有効であれば距離情報を得て演算し、ゴルフカートを安全に走行させ続けることが可能である。

評価としての外乱光テストについて、試験内容は外乱光の環境下での検出特性を確認するものとし、



図表 2-3 試験設置条件



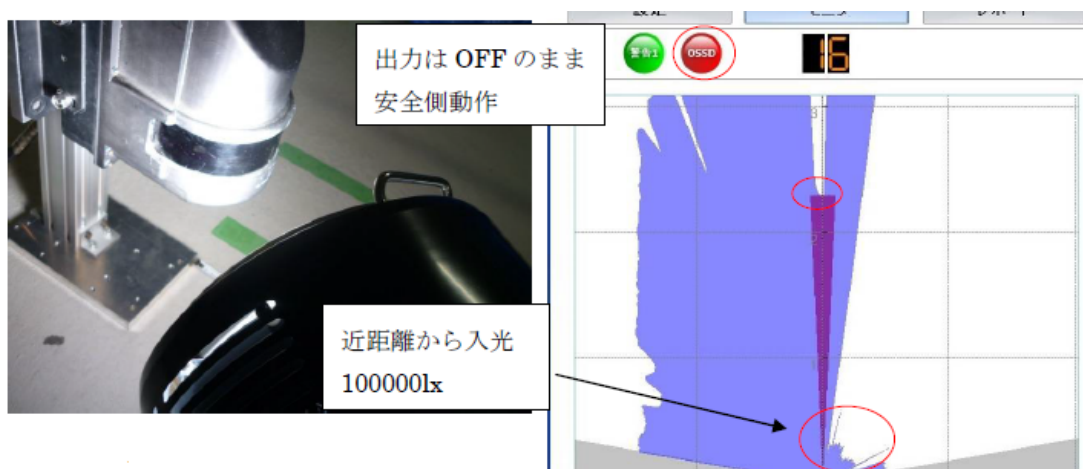
図表 2-4 テストピースの検出状態のモニタ

検出対象には黒 1.8%、φ70 のテストピースを使用し、検出エリア内の境界付近に設置し、外乱光を照射させ、検出への影響を測定した。テストピースの設置位置は、屋外対応 3Dレーザスキャナの防護距離 2.0mに対して追加安全距離を追加した 2.3mとした。通常動作は、図表 2-4 のように検出対象を検知し安全出力を OFF させる。

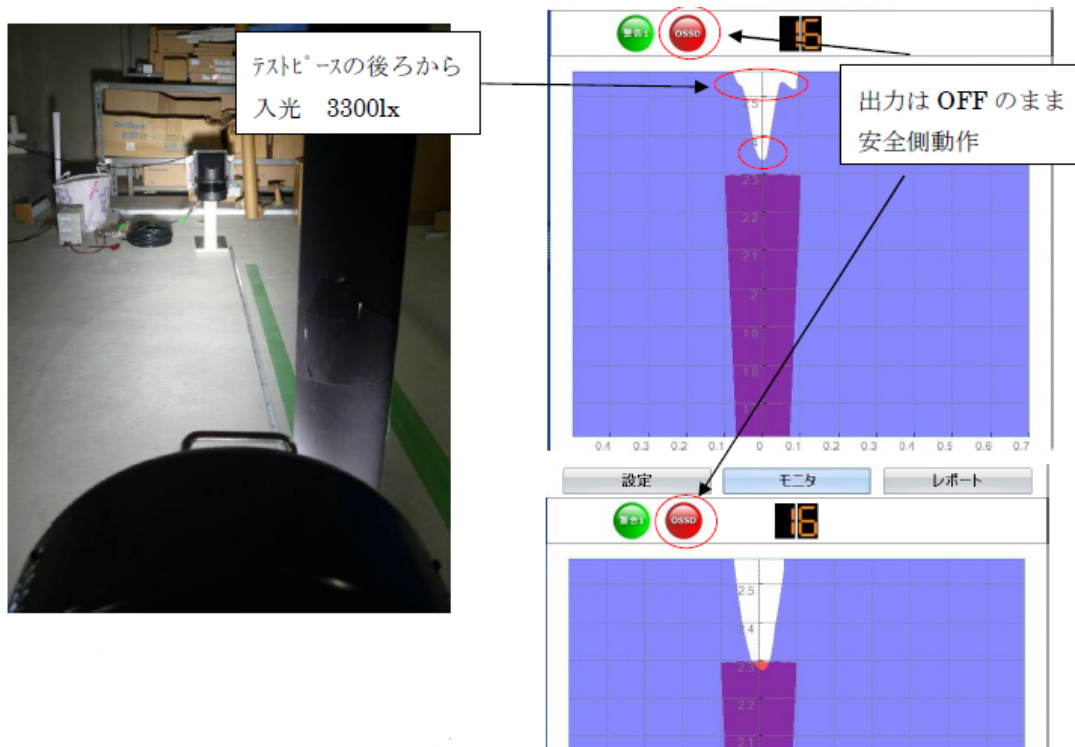
まず、ハロゲン光源を用いた人工太陽光にて危険側故障に陥る誤動作が発生するかの確認を行った。危険側故障に陥る誤動作とは、テストピースを検出できずに安全出力を ON させてしまう動作のことであるが、図表 2-5 と図表 2-6 のように、近距離での人工太陽光の照射（屋外対応 3Dレーザスキャナ付近の明るさは約 100,000 lx）および、テストピースの後ろからの照射（屋外対応 3Dレーザスキャナ付近の明るさは約 3,300 lx）でも問題なくテストピースを検出し安全出力を OFF させている。テストピースの後ろからの照射では、タイミングによっては外乱光の影響を受けるスキャン（走査線）もあるが、その他のスキャン（走査線）がテストピースを検出しており、安全出力は常時 OFF であり危険側に陥る誤動作はなかった。

次に太陽光を照射し危険側故障に陥る誤動作が発生するかの確認として、テストピースの横から鏡にて太陽光を屋外対応 3Dレーザスキャナに直接照射させる方法を行った。（屋外対応 3Dレーザスキャナ付近の明るさは約 70,000 lx）

結果は、ハロゲン光源を用いた人工太陽光と同じく、タイミングによっては外乱光の影響を受けるスキャン（走査線）もあるが、その他のスキャン（走査線）がテストピースを検出しており、安全出力は常時 OFF であり危険側に陥る誤動作はなかった。



図表 2-5 人工太陽光（近距離照射）



図表 2-6 人工太陽光（2.3mから照射）

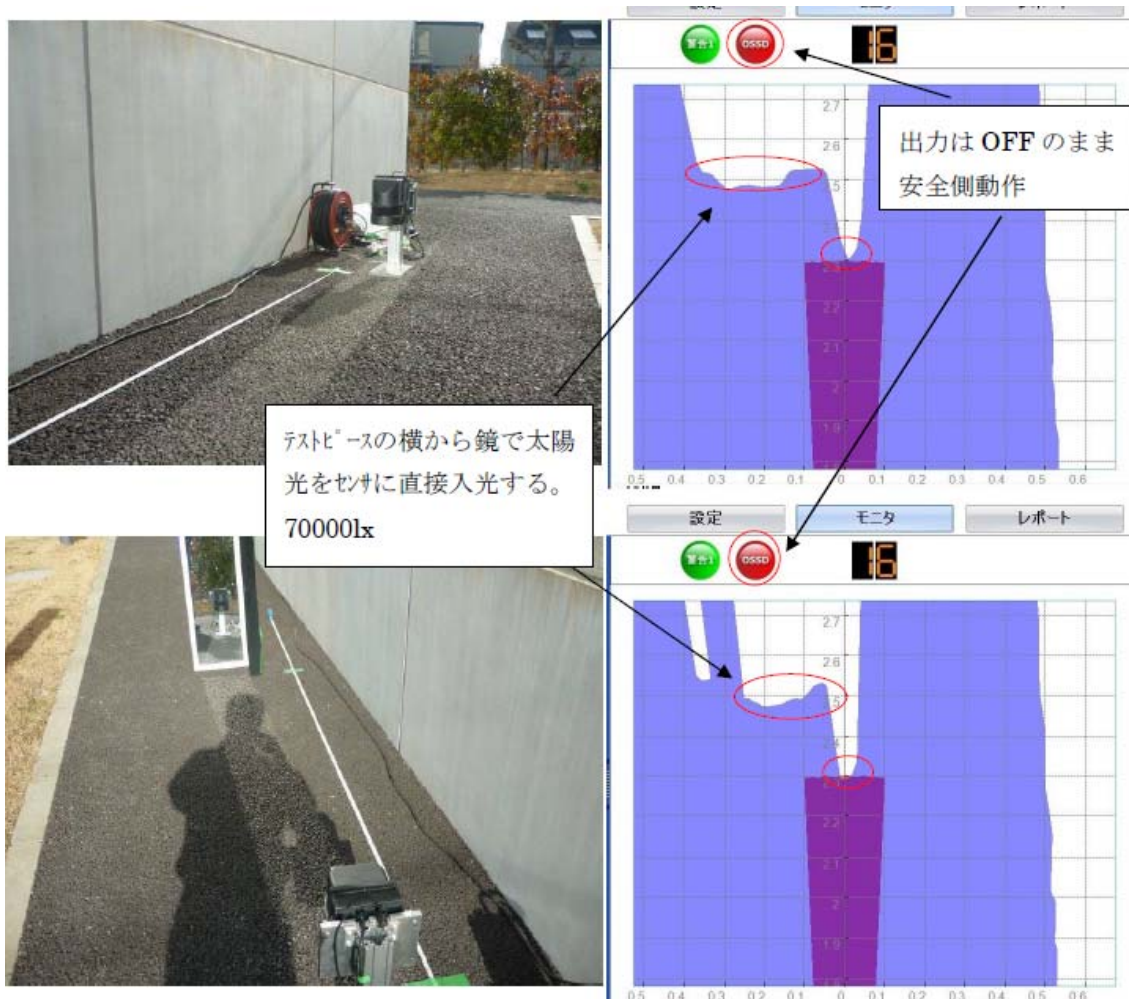
最後の確認として、外乱光にて安全出力が OFF とならないことを確認した。安全出力が OFF となると危険側故障ではないがゴルフカートが停止してしまい、運用上使い勝手が悪い製品となってしまいが、結果、検出エリア内にテストピースが無ければ安全出力は外乱光により OFF することは無かった。

屋外対応にて必要な保護構造としては、IP64 を有しており、屋外における雨や風により水や粉塵が筐体内部へ侵入することによる故障は無い。また、マルチエコー現象として屋外対応 3D レーザスキャナが発するレーザ光の先に雨や霧、または光学窓についた水滴などがあった場合、それらから反射する光とその奥にある検出物体から反射する光の双方が屋外対応 3D レーザスキャナに戻ってくるが、現時点では、この現象を利用して雨や霧、水滴などのマルチエコーの特徴を検出し、ソフトウェアにてフィルタをかけることで、本来の検出物体のみを検出させる機能（マルチエコー機能）の確認まで完了している。今後は、マルチエコー機能のブラッシュアップと共に、実製品に実装した場合の検証等を行う必要がある。

応答速度については、OFF ディレイ無しに設定した場合、水平走査及び垂直走査を考慮し、人や障害物を検知し安全出力を OFF させるまでの時間は Max.270 ms となる。よって、この応答速度を考慮した検出エリアを作画する必要がある。

水平検出エリアは、警報エリア 6.5 m、防護エリア 2.0 m、水平検出角度 160°であり、警報エリアにて障害物を検知すると低速走行へ移行し、防護エリアでの障害物の検知により安全出力を OFF し、ゴルフカートを停止させるのが一般的な使い方である。





図表 2-7 太陽光

水平検出エリアは PC のソフトウェア上で簡単に作画することが可能で、PC と USB 接続を行い、16 エリアを本機メモリへ記憶させることができる。記憶した 16 エリアは、8 本のエリア切替入力により任意に切り替えることができ、直進や右折、左折時にその地形に合ったエリアにて障害物を検知させる。以下に設定内容を示す。

- ・ EDM

EDM（外部デバイスモニタ）機能を使用する場合は、チェックボックスを有効にして、オンディレイ／オフディレイ時間の設定を行うことができる。

- ・ インターロック

インターロック機能を有効にする場合は、チェックボックスを有効にして、電源投入後のスタート、および歩行者や障害物を検知し OSSD が OFF したあとのリスタートおよびディレイ時間の設定を行うことができる。

- ・ 補助出力 警告 2 or エラー

非安全出力として、警告 2 出力もしくはエラー出力のどちらかの選択を行うことができる。

- ・ 有効エリア

使用するエリアの数（1～16）およびエリア入力ディレイ時間を選択することができる。

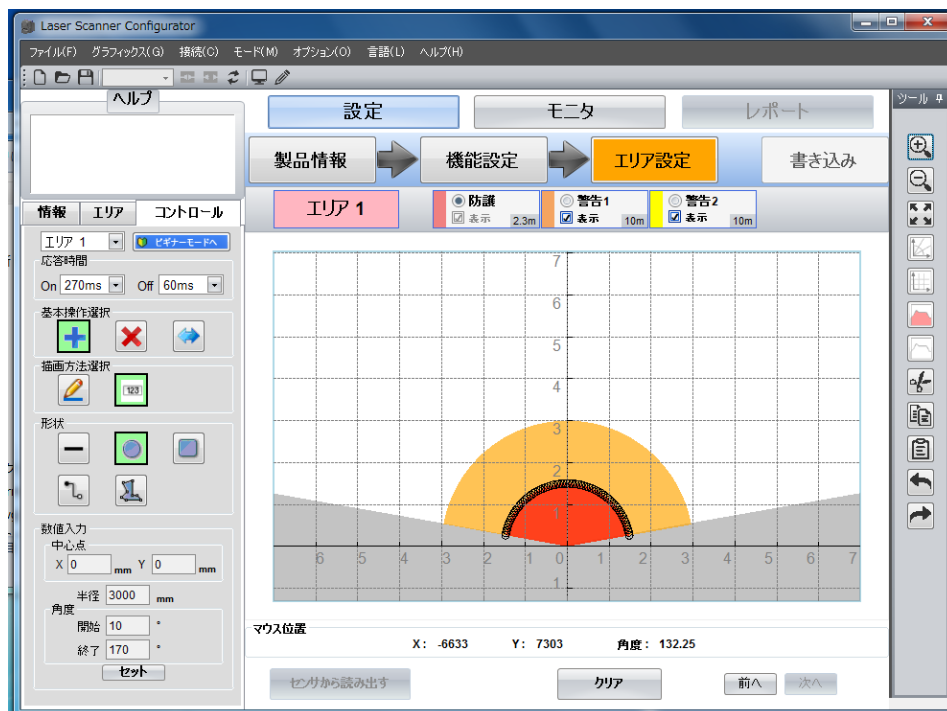
- ・ 防護エリア

屋外対応 3D レーザスキャナの OSSD 出力を OFF させ、緊急停止させたいエリアを作画することができる。

- ・警告 1 エリア  
歩行者を検知し、非安全出力としての警告 1 出力にてゴルフカートを減速させたいエリアを作画することができる。
- ・警告 2 エリア  
補助出力設定にて、警告 2 を選択した場合、エリアを作画することができる。警告 1 エリアと同様である。



図表 2-8 屋外対応 3 D レーザスキャナの機能設定



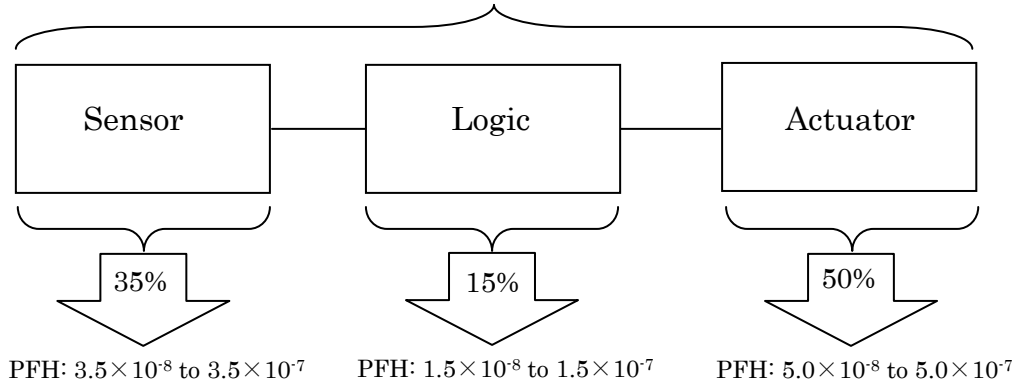
図表 2-9 屋外対応 3 D レーザスキャナのエリア設定

## 1.2 安全性能

屋外生活支援ロボットの安全関連部の要求レベルはリスクアセスメント結果より SIL2、PLr=d、である。

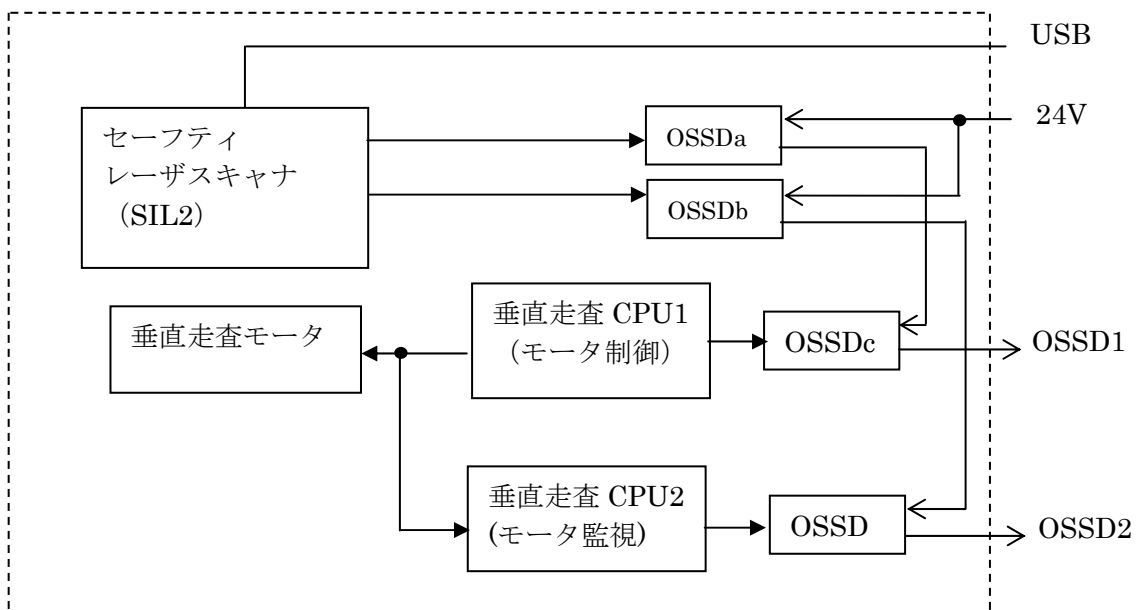
SIL2 PFH:  $10^{-7}$  to  $10^{-6}$

PLr = d PFH:  $10^{-7}$  to  $10^{-6}$



よって、Sensor としての屋外対応 3D レーザスキャナに求められる時間当たりの危険側故障率 PFH は Max.  $3.5 \times 10^{-7}$  となる。

屋外対応 3D レーザスキャナの安全性能は、IEC61496-1 及び-3 の Type3、機能安全は IEC61508 の SIL2 に準拠した設計となっており、図表 2-10 に内部構成を示す。

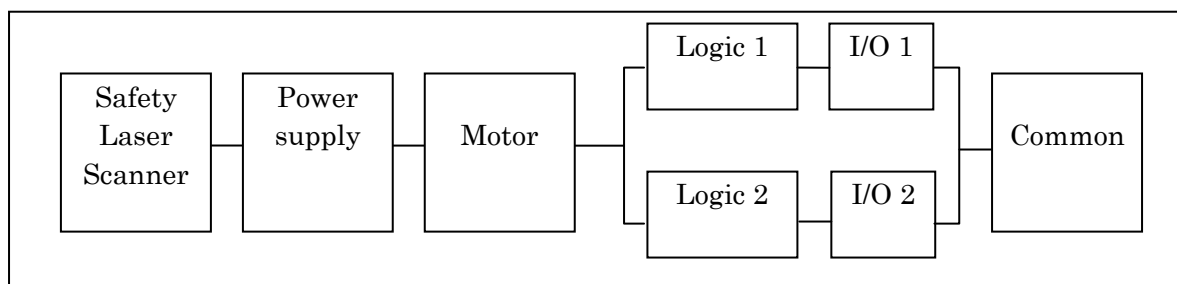


図表 2-10 ジンバルモータ制御の内部構成



内部のセーフティレーザスキャナは既に IEC61496-1 及び-3、IEC61508 の SIL2、ISO13849-1 の PLd の認証を受けた安全センサであり、水平走査を担っている。垂直走査では、垂直走査 CPU1 がモータの駆動を行い、CPU1 と CPU2 の 2 重化回路でモータ回転の監視を行っている。2 重化された CPU でそれぞれモータ異常を検出し、2 重化された安全出力回路で OSSD を出力する。OSSD1 及び OSSD2 においては、短絡や地絡などの故障が発生すると、それを検出し安全出力 (OSSD1 及び OSSD2) を OFF させることで安全性を確保している。

下記に安全関連部のブロック図としての信頼性ブロックダイアグラムを記す。



図表 2-11 信頼性ブロックダイアグラム

図表 2-11 より、IEC61508 及び ISO13849-1 に従い PFH や DCavg、MTTFd 等の各パラメータの計算を行うと PFH=8.31×10<sup>-8</sup> となり SIL2 を満たし、ISO13849-1 Table 7 から PLd を満たしていることがわかる。

Estimating PL (ISO13849-1 Table 7)

| Category | B           | 1           | 2   | 2      | 3   | 3      | 4           |
|----------|-------------|-------------|-----|--------|-----|--------|-------------|
| DCavg    | none        | none        | low | medium | low | medium | high        |
| MTTFd    |             |             |     |        |     |        |             |
| Low      | a           | Not covered | a   | b      | b   | c      | Not covered |
| Medium   | b           | Not covered | b   | c      | c   | d      | Not covered |
| High     | Not covered | c           | c   | d      | d   | d      | e           |









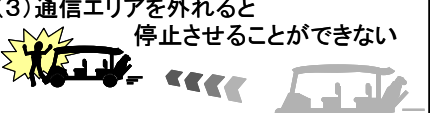

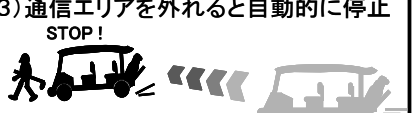

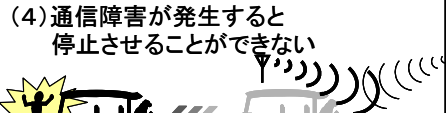

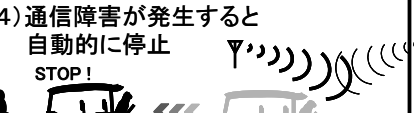

図表 2-12 ISO13849-1 の Table 7 抜粋

## 2 安全機器技術の研究開発－安全無線通信の研究開発 (X2)

### 2.1 概要と達成状況

#### ①概要と仕様

本プロジェクトでは、保護等級 IP65、IEC61508(SIL3)に適合し、屋外での使用に適した有効通信距離を持つ安全無線非常停止装置の試作品の製作を行い、ゴルフカートによる実証試験を行った。

| 従来のゴルフカート  |  | 安全無線非常停止装置を搭載した<br>ゴルフカート  |  |
|--|--|--|--|
|  | リモコン   |  | リモコン   |
| (1) 走行中<br>                         |   | (1) 走行中<br>                       |   |
| (2) 停止<br>STOP!<br>                 |   | (2) 停止<br>STOP!<br>                |   |
| (3) 通信エリアを外れると<br>停止させることができない<br>  |   | (3) 通信エリアを外れると自動的に停止<br>STOP!<br>  |   |
| (4) 通信障害が発生すると<br>停止させることができない<br> |  | (4) 通信障害が発生すると自動的に停止<br>STOP!<br> |  |

図表2-13 従来のゴルフカートと安全無線非常停止装置の効果



図表 2-14 安全無線非常停止装置のリモコン側の外観

本プロジェクトで製作した安全無線非常停止装置の仕様を図表 2-15 および図表 2-16 に示す。

| 無線通信仕様                        |   |
|-------------------------------|---|
| 通信周波数                         | 2405MHz...2480MHz(16チャンネル)                      |
| 送信方式                          | 直接拡散方式  |
| 通信方式                          | 独自プロトコル通信                                       |
| 無線通信速度                        | 最大理論値 250kbps (電波の特性上、設置場所によって異なります)            |
| 送信出力                          | 最大 3mW (アンテナ給電点での値)                             |
| 通信距離                          | 見通しで150m以上 (使用している通信モジュール単体での仕様で、周辺環境によって変化します) |
| 電氣的仕様 (安全無線非常停止装置:安全リモコンユニット) |   |
| 動作時間                          | 4時間以上 (満充電にて)                                   |
| バッテリー                         | リチウムイオン二次電池                                     |
| 充電電流                          | 500mA (USB miniB コネクタより充電)                      |
| 電氣的仕様 (安全無線非常停止装置:安全カートユニット)  |   |
| 定格動作電圧                        | 24VDC   |
| 許容電源電圧範囲                      | 20.4V~28.8VDC                                   |
| 消費電力                          | Max. 3W (出力負荷含まず)                               |
| 環境仕様                          |   |
| 動作周囲温度                        | 0...40°C (但し、充電時は、5...35°C)                     |
| 保存周囲温度                        | -20...60°C (但し、充電時は、5...35°C)                   |

図表 2-15 安全無線非常停止装置の通信仕様/電氣的使用/環境仕様

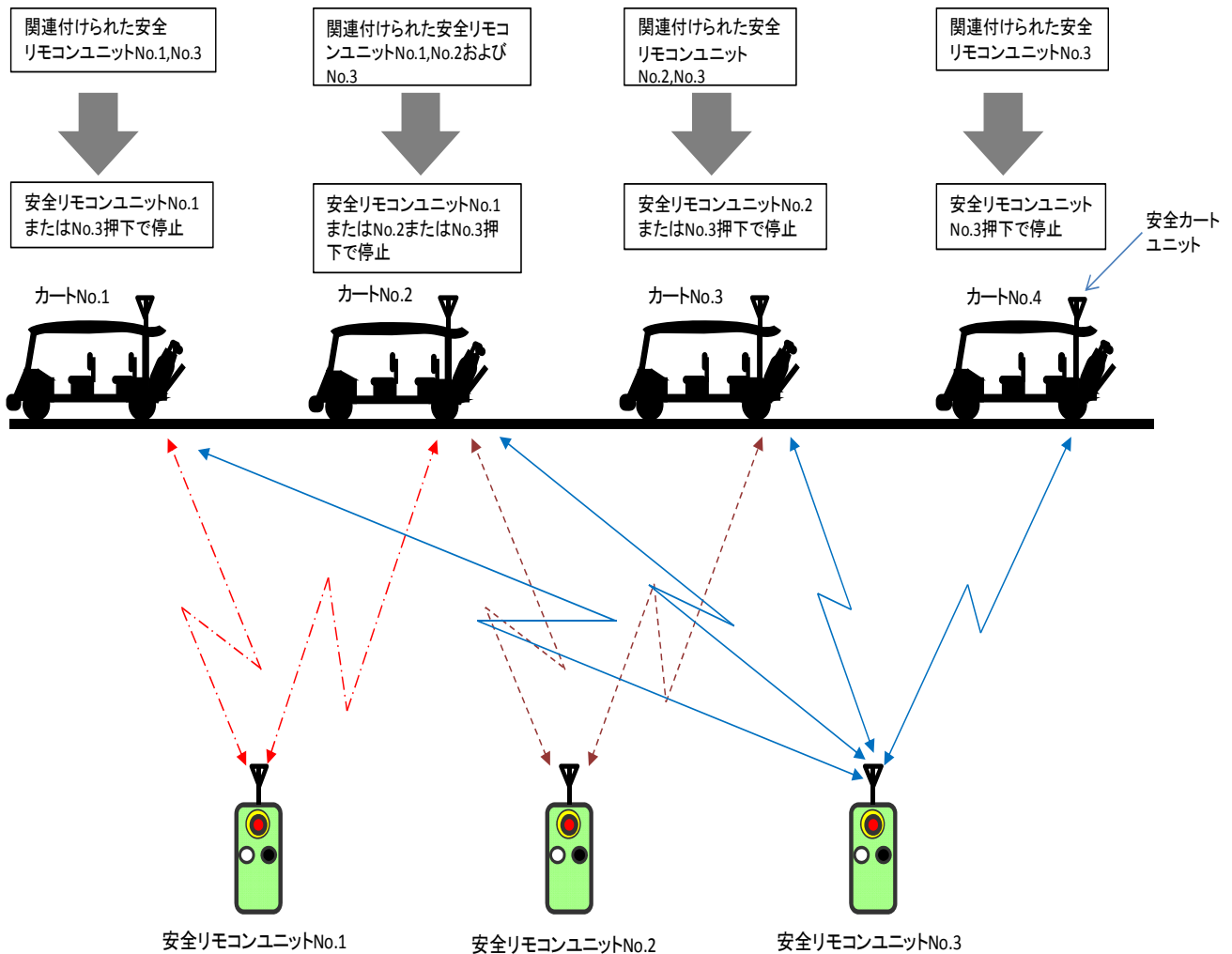
| システム仕様 |  |   |
|--------|--|---|
| 最大接続台数 | 安全リモコンユニット                                       | 8台  |
|        | 安全カートユニット  | 8台  |
| 応答時間   | 安全リモコンユニットの非常停止SW 押下時から安全カートユニットの安全出力がOFFするまでの時間 | 160msec以下(通信ノード:1:1時) , 230msec以下(通信ノード:8:8時) |

図表 2-16 安全無線非常停止装置のシステム仕様

## ②安全無線非常停止装置の関連付け設定とコンフィグレーションツール

本プロジェクトでは、安全無線非常停止装置のシステム構成や通信の詳細設定を行うために、PC上で動作するアプリケーションソフトの試作を実施した。

安全無線非常停止装置では、システムの構成として最大で安全リモコンユニット8台と安全カートユニット8台のシステム構成が可能である。ここでは、図表 2-17 で示した安全リモコンユニット3台と安全カートユニット4台のシステム構成を例に関連付けの構成方法と試作を行ったコンフィグレーションツールによる設定手順について記述する。

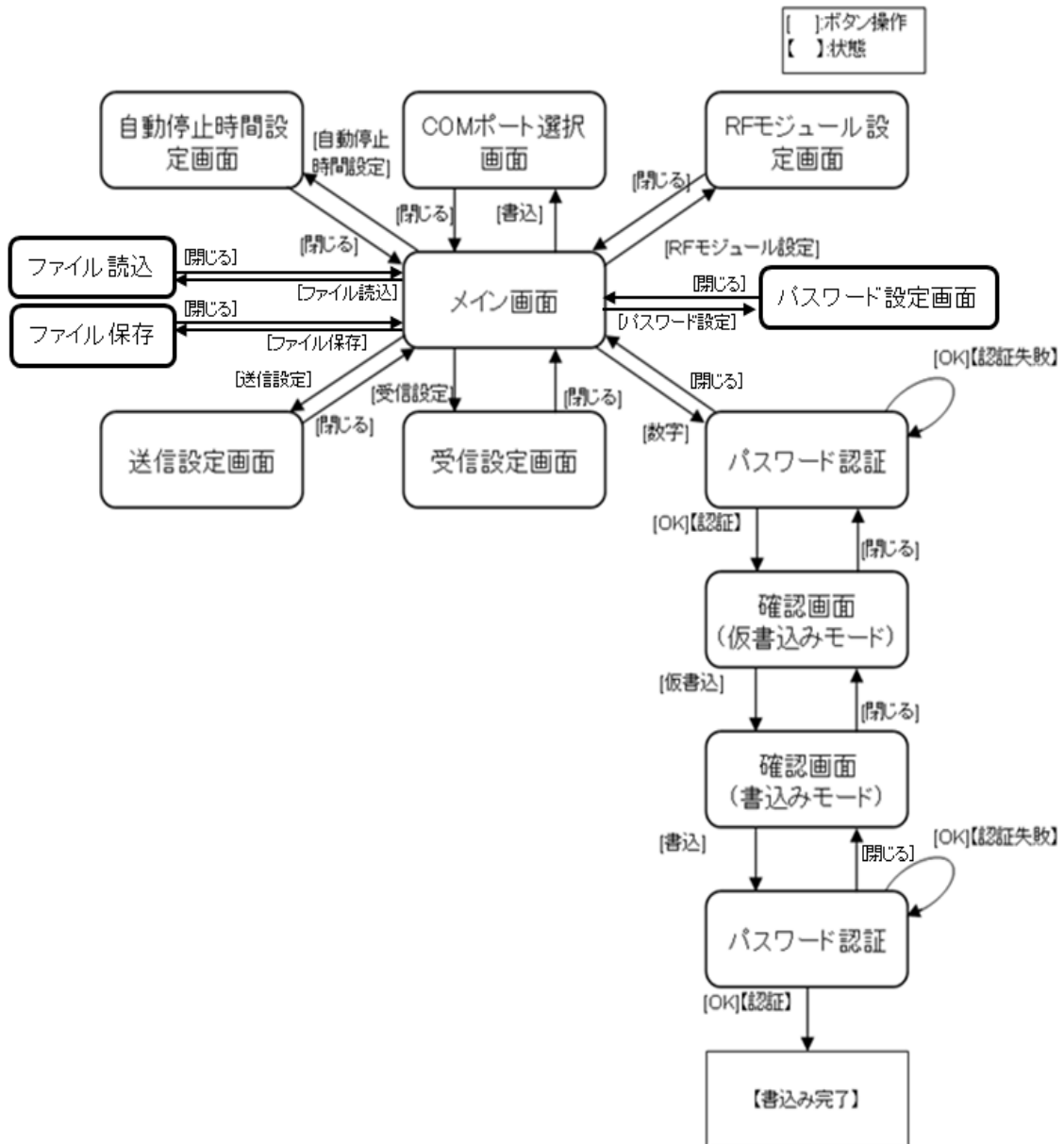


図表 2-17 安全リモコンユニット/安全カートユニットの関連付け構成の例

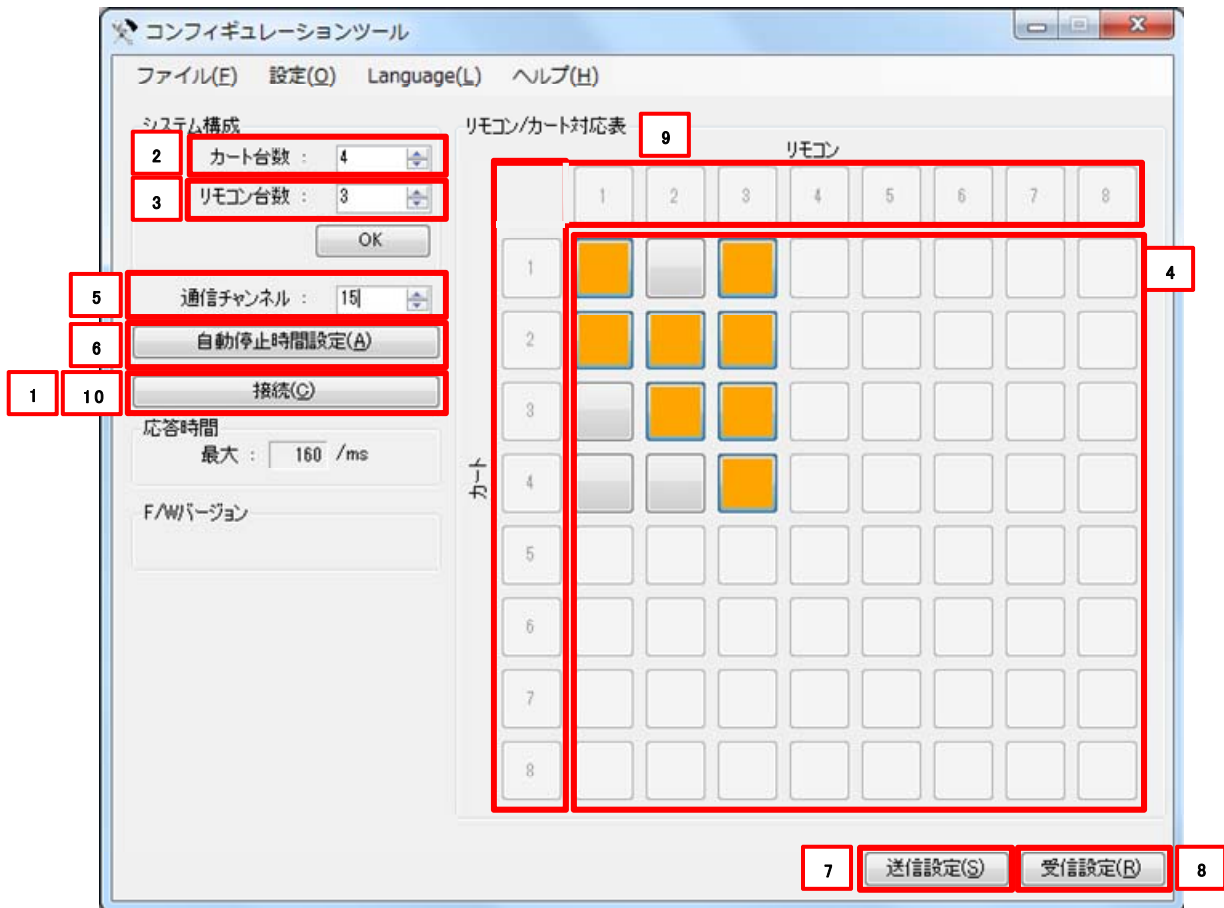
本プロジェクトで試作を行ったコンフィグレーションツールの対応環境仕様および画面の遷移構成は、以下の通りである。

| 項目         | 仕様                                       |
|------------|--|
| 必要 PC スペック | 1GHz 以上の 32 ビット(x86)プロセッサ<br>1GB 以上の RAM |
| 対応 OS      | Windows XP(32 ビット)、Windows 7(32 ビット)     |
| 対応インターフェース | USB2.0 Full Speed                        |

図表 2-18 コンフィグレーションツールの対応環境仕様





図表 2-19 コンフィグレーションツールの画面構成および遷移表

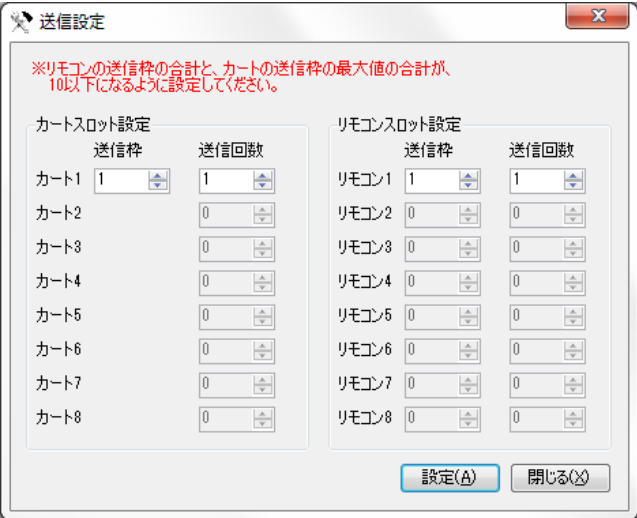
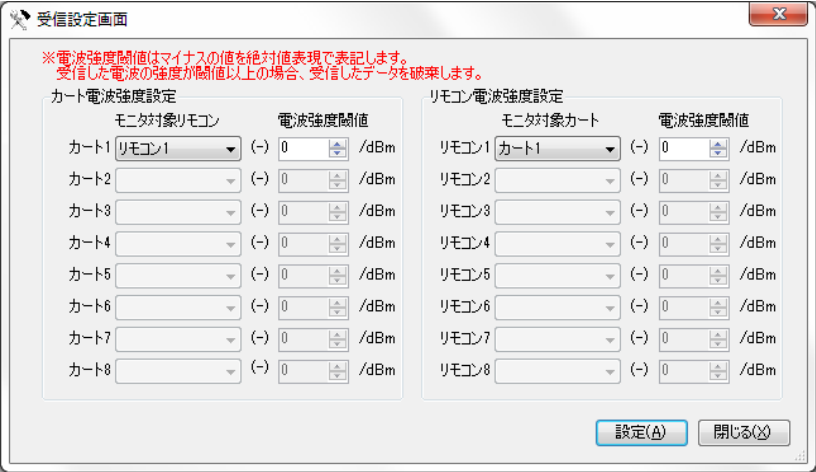


図表 2-20 コンフィギュレーションツールのメイン画面

上記の安全リモコンユニット3台と安全カートユニット4台のシステムのコンフィギュレーションツールによる具体的な設定手順は、以下の通りである。

| 設定順序 | 項目               | 説明   |
|------|------------------|--|
| 1    | 接続               | 安全リモコンまたは、安全カートユニットと PC を USB ケーブルで接続した状態で、各ユニットの電源を投入し、接続ボタンをクリックし、該当する COM ポートを選択することで、コンフィギュレーションツールと安全リモコンまたは安全カートユニットとの接続を確立する。<br> |
| 2    | システム構成/<br>カート台数 | システム構成として使用する安全カートユニットの台数を設定する。設定した値は、OK ボタンを押下することで有効になり、リモコン/カート対応表に反映される。<br>ここでは、図表 2-20 で示したように「4」に設定する。  |

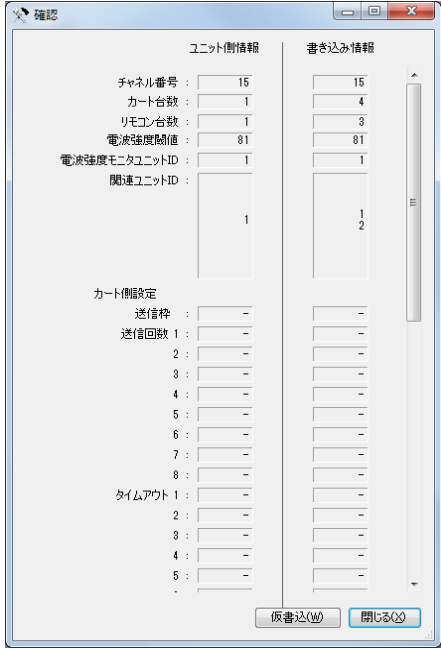
|   |                   |  |
|---|-------------------|--|
| 3 | システム構成/<br>リモコン台数 | システム構成として使用する安全リモコンユニットの台数を設定する。設定した値は、OK ボタンを押下することで有効になり、リモコン／カート対応表に反映される。<br>ここでは、図表 2-20 で示したように「3」に設定する。   |
| 4 | リモコン/カート対応表       | リモコンとカートの割付を設定する。<br>関連付けを行いたいカート No とリモコン No の交点となる場所をクリックすると、オレンジ色の表示となり、関連付けをコンフィグレーションツール上で反映することができる。<br>ここでは、図表 2-20 で示した設定を行うこと。  |
| 5 | 通信チャンネル           | 通信に使用するチャンネル番号を表示、設定する。<br>0～15 チャンネルの中から所望のチャンネルを選択すること。  |
| 6 | 自動停止時間設定ボタン       | <p>本ボタンをクリックすると以下の画面が表示される。</p>  <p>各安全リモコン/カート安全ユニットに対して、必要なタイムアウト時間( 関連付けされた対向ユニットからの無線通信が途切れた場合に、通信が途切れたと判断し、安全出力を遮断するまでの時間)を設定する。</p> |

|          |             |   |
|----------|-------------|---|
| <p>7</p> | <p>送信設定</p> | <p>本ボタンをクリックすると以下の画面が表示される。</p>  <p>電波状況等により、安全リモコンまた、安全カートユニットの送信感度を変更したい場合に設定する。それぞれの意味は、以下の通りである。</p> <p>送信枠：1回の送信時に使用できる無線通信の最大数。</p> <p>送信回数：1回の送信時に使用する無線通信の回数。</p> <p>必要に応じて、設定を行うこと。</p>                    |
| <p>8</p> | <p>受信設定</p> | <p>本ボタンをクリックすると以下の画面が表示される。</p>  <p>各安全リモコン/安全カートユニットがシステム内のどの対向ユニットの電波強度をモニタするかを決定し、モニタする際の電波強度の閾値も合わせて設定する。</p> <p>無線受信した電波の強度が閾値以上の場合、受信したデータを破棄する。閾値未満の場合は、有効データとして使用する。</p> <p>電波強度閾値はマイナスの値を絶対値表現で表記する。</p> |



9 仮書込

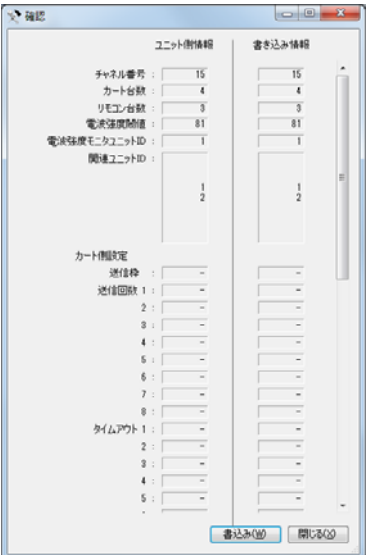
設定情報の書き込みを行いたい安全リモコンまたは安全カートユニットの該当番号をクリックすると以下の画面が表示される  
(注意：セキュリティのためパスワード入力を要求される。)




本画面の左の列(ユニット側情報)には、現在各ユニットに書き込まれている設定情報が表示され、右側(書き込み情報)には、設定ツール上で決定した、これから書き込みを行いたい情報が表示される。右の列の設定内容が所望の内容であることを確認のうえ、仮書込ボタンを押下する。

9' 書込み

仮書込に成功すると、以下の画面が表示される。



本画面の左の列(ユニット側情報)には、現在各ユニット上に仮書込された設定情報が表示され、右側(書き込み情報)には、設定ツール上で決定した、これから書き込みを行いたい情報が表示される。左右の列の設定内容が同一であり、かつ所望の内容であることを最終確認し、書込みボタンを押下する。  
(注意：セキュリティのためパスワード入力を要求されます。)

|    |             |   |
|----|-------------|---|
| 10 | 切断          | <p>9にて書き込みが正常に完了したら、再度、接続ボタンをクリックし、切断ボタンを押下し、PCと各ユニットとの接続を切る。</p>  |
| 11 | 他ユニットへの書き込み | <p>設定順序 1～10 を各安全カートおよび安全リモコンユニットに実施し、全てのユニットに対する設定情報の書き込みを行う。</p>  |

### ③安全無線非常停止装置の関連付け設定完了後の起動手順

(事前準備)

起動操作を行う前に、安全カートユニットおよび安全リモコンユニットから USB ケーブルが抜かれていることを確認すること。USB ケーブルが繋がれたままの場合、起動操作が行えない。

(1)安全リモコンユニットおよび安全カートユニット各々の基板に配置されている

電源スイッチを ON にする。

(2)初期化処理完了まで 10 秒ほど待つ。

(初期化処理中は、安全リモコン/安全カートユニットともに LED 等の点灯や点滅がないが、故障ではないため、注意すること。電源投入後、10 秒ほどで、各ユニットの LED が点灯/点滅を開始する。)

(3)以下の操作を実施する。

- A. 関連付けられた安全リモコンユニットに搭載されている非常停止スイッチが押下されていないことを確認する。  
(もし、押下された状態の場合は、解除する。)
- B. 関連付けられた安全リモコンユニットに搭載されている非常停止スイッチを全て押下し、押下後、非常停止スイッチの押下状態を解除する。
- C. B の操作の後、設定時間が経過したら、リセットスイッチを押下する。

※上記の設定時間は、コンフィギュレーションツール上の自動停止時間設定画面で設定した各カートユニットの「タイムアウト時間」の中で「最大時間」を示している。タイムアウト時間変更時は、必ず、「最大時間」経過後、リセットスイッチを押下すること。

※安全カートユニットの安全出力を出力する場合は、安全カートユニットに関連付いた安全リモコンユニットすべてに上記(1)(2)(3)の操作を行うこと。

(起動操作の例)

安全カートユニット 1 対 安全リモコンユニット 1、安全リモコンユニット 3、  
安全カートユニット 2 対 安全リモコンユニット 1、安全リモコンユニット 2、  
安全リモコンユニット 3、

安全カートユニット 3 対 安全リモコンユニット 2、安全リモコンユニット 3、  
安全カートユニット 4 対 安全リモコンユニット 3

が関連付いているため、

安全カートユニット 1 の安全出力を出力する場合は、安全リモコンユニット 1、安全リモコンユニット 3 に(1)(2)(3)操作を、

安全カートユニット 2 の安全出力を出力する場合は、安全リモコンユニット 1、安全リモコンユニット 2、安全リモコンユニット 3 に(1)(2)(3)操作を、

安全カートユニット 3 の安全出力を出力する場合は、安全リモコンユニット 2、安全リモコ

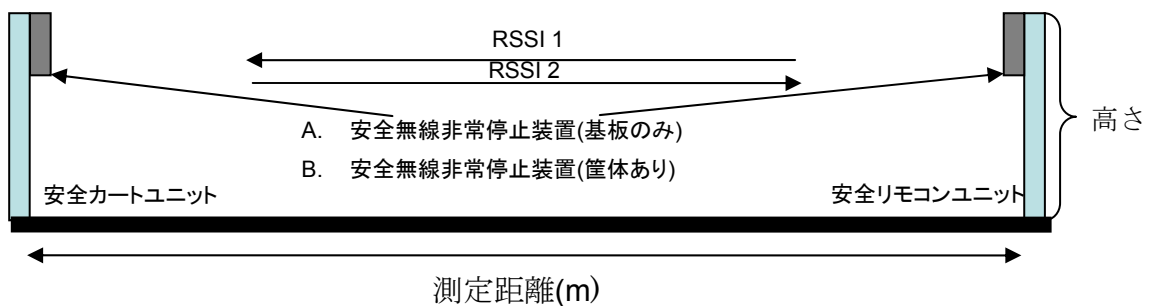
ンユニット 3 に(1)(2)(3)操作を、

安全カートユニット 4 の安全出力を出力する場合は、安全リモコンユニット 3 に(1)(2)(3)操作を行う。

上記内容を実施することにより、全ての安全カートユニットの安全出力が出力される。

#### ④有効通信距離

本プロジェクトでは、安全無線非常停止装置の筐体による通信性能の変化を測定するため以下のような方法で有効通信距離の比較を行った。図表 2-21 で示されるシステムを構築し地面からの高さ 1.8m の位置に A.安全無線非常停止装置(基板のみ)または B.安全無線非常停止装置(筐体有り)を配置した。また、各無線非常停止装置の電波到達の有無を判定する受信信号強度(RSSI)の基準値を -90dBm とし、 $-90\text{dBm} > \text{RSSI}$  の場合には、電波到達なしと判断し、 $-90\text{dBm} < \text{RSSI}$  の場合には、電波到達有りと判断することとした。また、測定は見通しの良い一級河川の河川敷にて行った。



図表 2-21 有効通信距離測定システム

|     | 安全無線非常停止装置(筐体あり) | 安全無線非常停止装置(基板のみ) |      | 安全無線非常停止装置(筐体あり) | 安全無線非常停止装置(基板のみ) |
|-----|------------------|------------------|------|------------------|------------------|
|     | 地面から1.8m         | 地面から1.8m         |      | 地面から1.8m         | 地面から1.8m         |
| 5m  | ○                | ○                | 80m  | ○                | ○                |
| 10m | ○                | ○                | 85m  | ○                | ○                |
| 15m | ○                | ○                | 90m  | ○                | ○                |
| 20m | ○                | ○                | 95m  | ○                | ○                |
| 25m | ○                | ○                | 100m | ○                | ○                |
| 30m | ○                | ○                | 105m | △                | ○                |
| 35m | ○                | ○                | 110m | △                | ○                |
| 40m | ○                | ○                | 115m | ×                | ○                |
| 45m | ○                | ○                | 120m | ×                | ○                |
| 50m | ○                | ○                | 125m | ×                | ○                |
| 55m | ○                | ○                | 130m | ×                | ○                |
| 60m | ○                | ○                | 135m | ×                | ○                |
| 65m | ○                | ○                | 140m | ×                | ○                |
| 70m | ○                | ○                | 145m | ×                | ○                |
| 75m | ○                | ○                | 150m | ×                | ○                |

○: 通信問題なし △: 通信可能(通信が途切れることがあるが一定時間内に通信は、復帰する) ×: 通信不可

図表 2-22 有効通信距離測定結果

有効通信距離測定の結果、安全無線非常停止装置(基板のみ)の場合は、今回使用した無線通信モジュール単体が持つ仕様を満たした動作をできることがわかった。一方、安全無線非常停止装置(筐体あり)の場合には、有効通信距離が 100m 近傍となり、筐体による電波の減衰により有効通信距離が約 2/3 となることが分かった。このため、実際に安全無線非常停止装置を適用する場合には、事前に十分な適用環境の調査を行う必要がある。

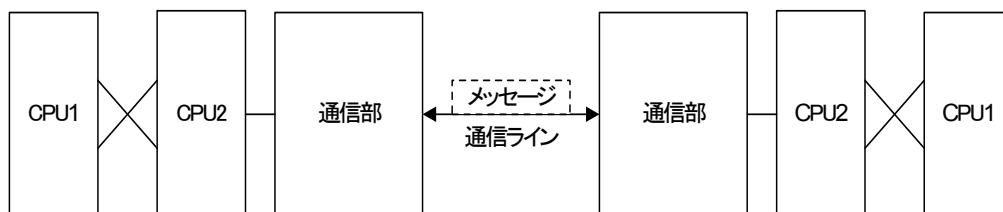
## 2.2 安全性能

安全性能を評価する場合、安全無線通信部の安全性評価(ア)(イ)と安全無線非常停止装置の安全性評価(ウ)のそれぞれについて行う必要がある。

### (ア) 安全無線通信のコンセプト

安全無線非常停止装置の実現のためには、無線通信部の安全確保が必須となる。これは無線通信部を、通信の一部と仮定することにより、産業機器における通信の手順や方法について規定された国際規格 IEC 61784 の中で機能安全性について述べている Part 3 の活用が可能となる。IEC 61784-3 では通信における故障モードを i) データ改ざん、ii) 意図しない反復、iii) シーケンス誤り、iv) 欠損、v) 遅延、vi) 挿入、vii) なりすまし、viii) 通信相手誤りの 8 つと想定している。また、これらの故障モードに対して、a.シーケンス番号、b.タイムスタンプ、c.処理時間設定、d.接続確認、e.フィードバックメッセージ、f.データの完全性保証、g.クロスチェックによる冗長性、h.安全系、非安全系で異なる方法によるデータ完全性保証の 8 つの防護方策から有効な方策を選択し、通信プロトコルへと実装することが推奨されている。

安全無線非常停止装置では図表 2-23 に示すよう、2 重化された CPU から出力された結果を一方の CPU で結合し、その CPU が通信を制御する方式を採用する。このシステムの特性を考慮し、上記防護方策の中から、a、c、d、f、g の方策を安全無線通信のプロトコルとして採用した。a は各ユニットにおける処理番号として通信データ内に付加されることで、通信が確立しているユニット同士がお互いの処理番号の確認を行う。c は各ユニットが通信に対する許容時間を設けており、この設定時間を越えても通信が完了しない場合、ユニットは異常としてこれを検出する。d は通信データ内に付加される固体識別番号であり、通信が確立していないユニットと誤って通信を開始することを防ぐ。f は通信データ内にデータの信頼性確保のためのセーフティコードとして CRC を付加した。g は二重化された CPU による通信データの冗長化と互いの CPU によるクロスチェックにより実現している。これらの防護方策を実施することで、想定される全ての故障モードに対し、除外もしくは検出できることを図表 2-24 に示す。



図表 2-23 通信モデル

| 実装  | 防護方策       |            |                |                   |                 |              |                                  |                              | Total          |
|---|------------|------------|----------------|-------------------|-----------------|--------------|----------------------------------|------------------------------|----------------|
|   | ✓          |            | ✓              | ✓                 |                 | ✓            | ✓                                |                              |                |
| 通信の故障モード  | a. シーケンス番号 | b. タイムスタンプ | c. 処理時間設定      | d. 接続確認           | e. フィードバックメッセージ | f. データの完全性保証 | g. クロスチェックによる冗長性                 | h. 安全系、非安全系で異なる方法によるデータ完全性保証 |                |
| i) データ改ざん   |            |            |                |                   | ✓               | ✓            | Only for Serial bus <sup>d</sup> |                              | ✓              |
| ii) 意図しない反復   | ✓          | ✓          |                |                   |                 |              | ✓                                |                              | ✓              |
| iii) シーケンス誤り  | ✓          | ✓          |                |                   |                 |              | ✓                                |                              | ✓              |
| iv) 欠損  | ✓          |            |                |                   | ✓               |              | ✓                                |                              | ✓              |
| v) 遅延   |            | ✓          | ✓ <sup>c</sup> |                   |                 |              |                                  |                              | ✓ <sup>c</sup> |
| vi) 挿入  | ✓          |            |                | ✓ <sup>a, b</sup> | ✓ <sup>a</sup>  |              | ✓                                |                              | ✓              |
| vii) なりすまし  |            |            |                | ✓ <sup>a</sup>    | ✓ <sup>a</sup>  |              |                                  | ✓                            | ✓ <sup>a</sup> |
| viii) 通信相手誤り  |            |            |                | ✓                 |                 |              |                                  |                              | ✓              |
| <sup>a</sup> アプリケーションによる<br><sup>b</sup> 送信識別のみ。不正データのみ検出<br><sup>c</sup> すべてに要求される<br><sup>d</sup> 2つのメッセージが独立した通信部から送信されるとき、残余エラー率が規格要求値を満たす場合のみ、この方式により高い品質を確保できる。 |            |            |                |                   |                 |              |                                  |                              |                |

図表 2-24 通信における防護方策とその実装

(イ) 安全無線部における安全性評価

(ア)で確立した安全無線通信プロトコルにより、通信異常や通信部の故障からの防護方策は実現できる。しかし、データの完全性保証を確保するために用いられるセーフティチェックコードは、残余エラーが見込まれる。機能安全無線通信では、この残余エラーから見積もれる危険側故障率がシステム全体の許容リスクの中で1%未満であることが求められている。

前述したよう、今回採用した安全無線通信プロトコルはセーフティチェックコードとしてCRCを使用しており、32bitのCRCとして広く市場で活用されているCRC-32を採用した。このとき通信における残余エラー率  $R(P_e)$  は以下の数式で表される。

$$R(P_e) \approx 2^{-r} \times \sum_{k=d_{\min}}^n \binom{n}{k} \times (P_e^k \times (1 - P_e)^{n-k})^2 \text{-----} (1)$$

このとき、各係数は以下で表される。

$\binom{n}{k}$  : チェックコードの分布係数

$n$  : 通信データを構成するビット数

$P_e$  : 通信媒体のビットエラー率

$r$  : CRCのビット数

数式(1)から時間当たりの残余エラー率  $\Lambda(P_e)$  は、

$$\Lambda(P_e) = R(P_e) \times v \times m \text{-----} (2)$$

$v$  : 1 時間あたりの最大メッセージ数  
 $m$  : 安全機能の実行に必要な最大メッセージ数

このときシステムに求められる高需要モード危険側故障率(Probability of a dangerous Failure per Hour: PFH)は  $10^{-8}$  から  $10^{-7}$  であり、無線通信部で許容される時間あたりの残余エラー率は  $10^{-9}$  以下となる必要がある。

本システムにおける通信データの条件を

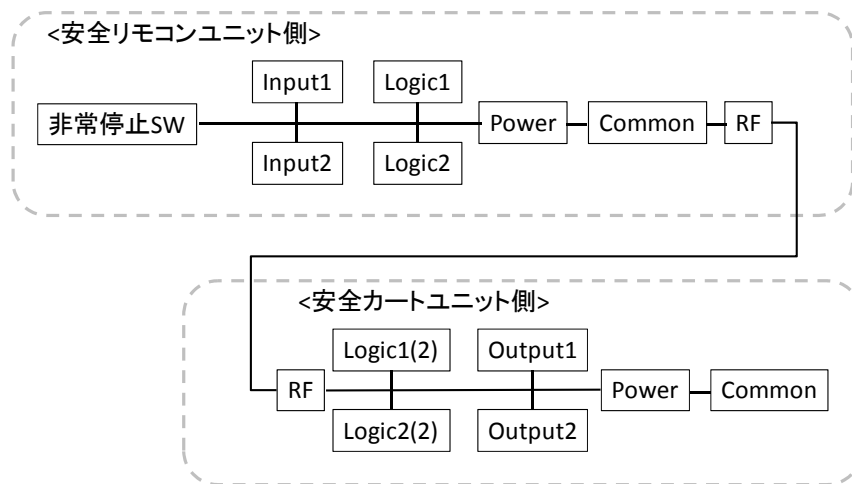
$r : 32$ 、 $n : 120$ 、 $P_e : 0.5$ 、 $v : 45000$ 、 $m : 1$  とした場合、数式(1)および(2)から本システムにおける 1 時間あたりの残余エラー率は、

$$\Lambda(P_e) \approx 1.0 \times 10^{-42}$$

この結果、安全無線通信部は、安全無線非常停止装置の安全性能を満足させるために使用することができることが立証された。

#### (ウ) 安全無線非常停止装置の安全性評価

安全性能の評価においては、安全関連部とそのアーキテクチャの同定が必要となる。そこで安全関連部であるサブシステムと、その構成を抽出した信頼性ブロックダイアグラムを図表 2-25 に示す。



図表 2-25 安全無線非常停止装置の安全関連部ブロック図(信頼性ブロックダイアグラム)

図表 2-25 より各信頼性ブロックにおける DCi(各ブロックの診断範囲)を式(3)で、MTTFdi(各ブロックの平均危険側故障時間)を式(4)で計算し、その結果を用いて安全無線非常停止装置全体の MTTFd(平均危険側故障時間)を式(5)で、DCavg(平均診断範囲)を式(6)で計算した結果、安全無線非常停止装置での DCavg=99.54% ,MTTFd=3.2×10<sup>5</sup>(h)≒36.5(year)となる。

$$DC_i = \lambda_{DD} / (\lambda_{DD} + \lambda_{DU}) \text{----- (3)}$$

$$1/MTTF_{di} = 1/(\lambda_{DD} + \lambda_{DU}) \text{----- (4)}$$

$$1/MTTF_d = \sum_{i=1}^N (1/MTTF_{di}) \text{----- (5)}$$

$$DC_{avg} = ((DC_1/MTTF_{d1} + DC_2/MTTF_{d2} + \dots + DC_N/MTTF_{dN})) / ((1/MTTF_{d1} + 1/MTTF_{d2} + \dots +$$

1/MTTF<sub>dN</sub>)) ----- (6)

この結果、ISO13849-1 の表 5 で示されている平均危険側故障時間(図表 2-26)と表 6 で示される診断範囲(図表 2-27)より、安全無線非常停止装置の MTTFd は、“高”、診断範囲も“高”と判定される。

| MTTFd      |                             |
|------------|-----------------------------|
| 各ブロックの指定表示 | 各ブロックの範囲                    |
| “低”        | 3 年 ≤ MTTFd ≤ 10 年          |
| “中”        | 10 年 ≤ MTTFd ≤ 30 年         |
| <b>“高”</b> | <b>30 年 ≤ MTTFd ≤ 100 年</b> |

図表 2-26 平均危険側故障時間

| DC         |                 |
|------------|-----------------|
| DC の指示表示   | DC の範囲          |
| “なし”       | DC < 60%        |
| “低”        | 60% ≤ DC < 90%  |
| “中”        | 90% ≤ DC < 99%  |
| <b>“高”</b> | <b>99% ≤ DC</b> |

図表 2-27 診断範囲

無線非常停止装置の安全カテゴリは、4 であることから ISO13849-1 の表 7 で示される制御システムの安全関連部によって達成される PL の評価する手順(図表 2-28)と照らし合わせると、無線非常停止装置の PL(Performance Level)は、“e”となる。

最終的に、ISO13849-1 の表 4 で示される PL と SIL との対応表(図表 2-29)により無線非常停止装置の SIL(Safety Integrity Level)は、3 となり目標となる SIL を満たしていることがわかる。

| カテゴリ          | B    | 1    | 2   | 2   | 3   | 3   | 4        |
|---------------|------|------|-----|-----|-----|-----|----------|
| DCavg         | “なし” | “なし” | “低” | “中” | “低” | “中” | “高”      |
| 各チャンネルの MTTFd |      |      |     |     |     |     |          |
| “低”           | a    | 該当なし | a   | b   | b   | c   | 該当なし     |
| “中”           | b    | 該当なし | b   | c   | c   | d   | 該当なし     |
| <b>“高”</b>    | 該当なし | c    | c   | d   | d   | d   | <b>e</b> |

図表 2-28 制御システムの安全関連部によって達成される PL を評価する手順

| PL       | SIL(高/継続運転モード) |
|----------|----------------|
| a        | -              |
| b        | 1              |
| c        | 1              |
| d        | 2              |
| <b>e</b> | <b>3</b>       |

図表 2-29 PL と SIL との関係

### 3 安全機器・システム技術の研究開発—GPS と RFID による誘導技術の研究開発 (X3)

#### 3.1 概要と達成状況

ハンドル型電動車いすが危険区域へ接近した際に停止、もしくは減速、若しくは搭乗者へ警告を与えるために、安全支援技術として GPS 信号による自己位置把握技術について研究開発することが目的で準天頂衛星による精度確認を実施した。その結果、安全対策としては精度不足であること、またそのシステムを安全システムとすることが困難であることが判明した。合わせて、その他のシステムにおいて十分なリスク低減が可能であることもわかり、初年度実施した基本性能の測定までの実施とした。

ハンドル型電動車いすに対しては RFID 技術による危険区域検知も技術開発していたが、同様の理由により基本性能評価のみの実施とした。

#### 3.2 GPS 技術について

精度確認では、高層ビルの多い都市部でも測位可能率を高めるために、観測ツール QZS-ProveTool を実装済みの通常の GPS 受信機である PDA 型 GPS ロガーと、衛星測位利用推進センター（以下 SPAC）に準天頂衛星“みちびき”の実証利用を申請して借用した専用受信機の 2 種類の GPS 受信機を用いて測位精度の確認を実施した。また 3 軸ジャイロセンサと 3 軸加速度センサで構成された慣性センサ及び車速パルスを用いて推測航法を行うため、車用 GPS 受信機評価キットを使用した。ただし準天頂衛星 (QZS) には未対応である。

##### (1)測定方法

実験場所は大阪府吹田市にある大阪大学構内の工学部から歯学部付近で、実施時期は準天頂衛星の仰角が大きい 2012 年 1～3 月に毎月 1 度午前中とした。QZ-Radar によると QZS の仰角は約 80°、また NEMA ログによると試験区間での GPS 衛星数は 8～11、HDOP 値：0.8～1 で GPS 受信環境としては非常に良好であった。受信機などはミニキャブバンに搭載し、ハンドル型電動車いすを想定して 4km/h～10km/h で走行し、測位データを電子地図スーパーマップル・デジタル 1 2（昭文社）上にプロットして測位精度を確認した。

|               |  |
|---------------|--|
| 実施日           | 2012 年 1/27、2/29、3/15（午前中に準天頂衛星の仰角が高い時期）   |
| 試験場所          | 大阪大学工学部構内、吹田市。開始点-終了点間の距離は約 1.9km（図 1）。  |
| 試験要領          | 一般車（MMC ミニキャブバン）へ GPS 受信機を搭載。シニアカー走行を想定し、時速 4～10km で走行。電子地図上に GPS 測位データ（NEMA 形式）をプロットし、地図が正確であると仮定して、測位精度を確認。  |
| GPS 受信機（2 種類） | ① SPAC から借用した、準天頂衛星（QZS）が受信可能な GPS 受信機（QZSR-βⅢ）と、PDA 型 GPS ロガー（本体：iPAQ212、観測ツール QZS-ProveTool を実装済）。<br>②慣性センサ（3 軸ジャイロセンサと 3 軸加速度センサ）及び車速パルスを用いて、推測航法を行う、車用 GPS 受信機評価キット（古野電気製 GV-18503H）。準天頂衛星（QZS）には未対応。 |
| GPS アンテナ      | GPS 受信機 2 台共、外部アンテナを車上（地上高約 1.9m）に設置。  |
| 電子地図          | 昭文社製電子地図 スーパーマップル・デジタル 1 2   |

\* 1 : SPAC は、財団法人 衛星測位利用推進センターの略。



## (2)測定結果

結果は図表 2-30 の通りである。GPS+推測航法は、測定開始直後の 100m を除き、測位データは概ね道路幅内（約 5m）に収まっている。一方 QZS 受信機は、測位データは概ね車道幅内（約 5m）に収まっているがデータにふらつきがあり、走行コース最後のナイフエッジ型左折路の直前で少し道を外れたデータとなった。そのため推測航法を併用する必要があると考える。

対策として、3 軸ジャイロセンサ、車速パルスを用いた推測航法を併用することが望ましい。また、GPS 受信機としては、GPS 以外に、高仰角+GPS 補強信号を提供する QZS、ロシアの GLONASS 衛星など、多数の測位衛星を受信可能な受信機が望ましい。



図表 2-30 GPS 精度測定結果

### 3.3 RFID 技術について

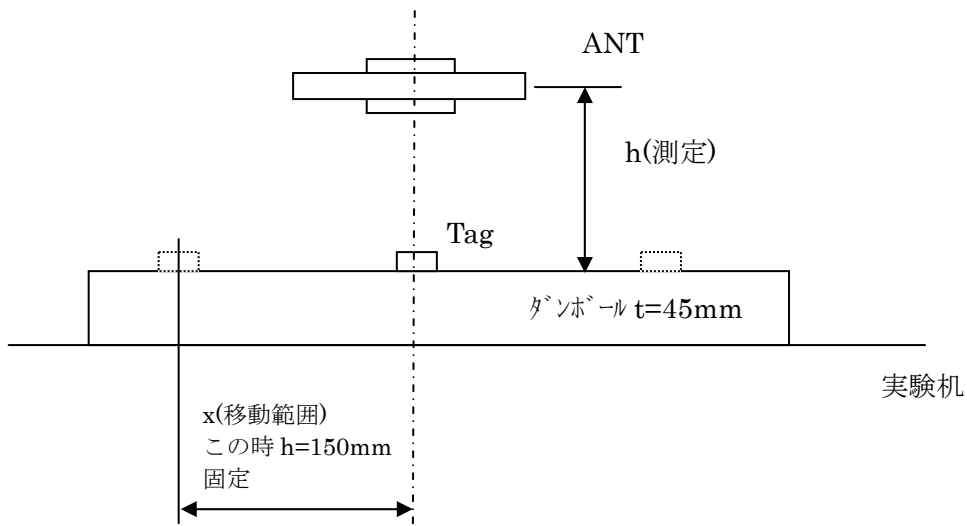
入手した2種類の RFID タグの読み取り距離について基礎的な確認を行った。その結果垂直方向には大型タグは 230mm、小型タグは 150mm まで読み取りが可能であった。また実際にハンドル型電動車いすに取り付けた場合の最大アンテナ高さとして想定する 100mm の垂直距離の場合、図表 2-31 に示す X 方向の読み取り可能な最大距離は、大型タグは 100mm、小型タグは 60mm となった。なお、走行中に読み取るために必要な相対速度はハンドル型電動車いすでは 6km/h、誘導式ゴルフカートの自動走行時は最高で 12km/h であり、今回は 20km/h にて読み取り可能なことを確認することができた。

#### (1)実験構成

- RFID 本体 (HF-CNTL-IND-02) IP 192.168.253.110
- RFID ANT (HF-ANT-2020-01)
- RFID ANT (HF-ANT-1010-01)
- TAG (HF-250HTS) 大型タイプ
- TAG (LRP-123S) 小型タイプ

#### (2)RFID の通信距離測定

- ①RFID ANT (HF-ANT-2020-01) アンテナ 20cm 角 (ゴルフカート実装品)



図表 2-31 実験条件

#### 測定結果

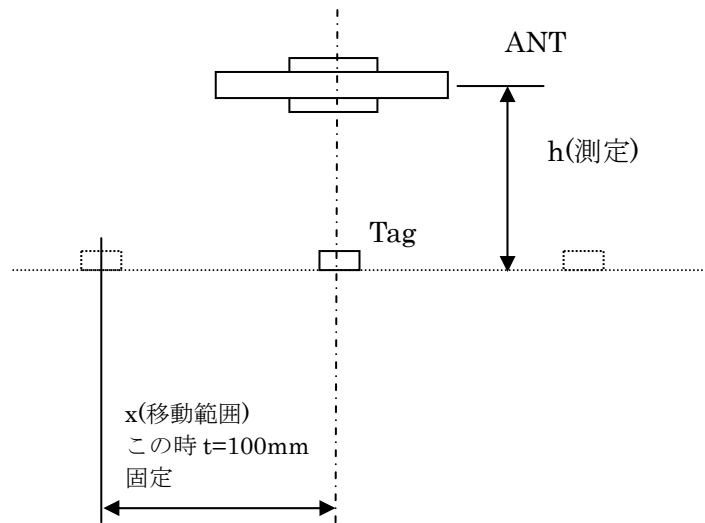
|                   | TAG (HF-250HTS) | TAG (LRP-125S) |
|-------------------|-----------------|----------------|
| h(mm):x=0         | 375             | 220            |
| X(mm) :h=150mm 固定 | 160             | 100            |

アンテナと近接金属の影響：50mm 以内は極端に通信距離が低下する。

アンテナ 200mm 角に対し約半分まで金属がかかっても通信が大きくは変化しない。

タグ間を並べて置くと読み取りが出来ない場合あり。その間のタグ間距離は、TAG (HF-250HTS)で 300mm,TAG (LRP-125S)で 250mm となる。

②RFID ANT (HF-ANT-1010-01) : メーカーからの借用小型アンテナ 10cm角での測定データ



図表 2-32 実験条件

測定結果

|                     | TAG (HF-250HTS) | TAG (LRP-125S) |
|---------------------|-----------------|----------------|
| h (mm) : x=0        | 230             | 150            |
| X (mm) : h=100mm 固定 | 100             | 60             |

アンテナと近接金属の影響 : 30mm 以内は極端に通信距離が低下する。

アンテナ 100mm 角に対し平行に金属が 33mm の隙間で存在した場合、TAG (HF-250HTS) で 145mm, TAG (LRP-125S) で 100mm となる。

アンテナ 100mm 角に対し平行に金属が 16mm の隙間で存在した場合、TAG (HF-250HTS) で 60mm, TAG (LRP-125S) で 25mm となる。

(3)移動時のパターン読取り確認試験

①ゴルフカートへ実装して走行試験

駐車場アスファルトに置いたタグ情報をゴルフカートを走行させてパターン情報読みとれることを確認。手動でアクセルを一杯踏んで試験を実施した。問題なく読取れることを確認したが、カートの速度を測定出来なかった。

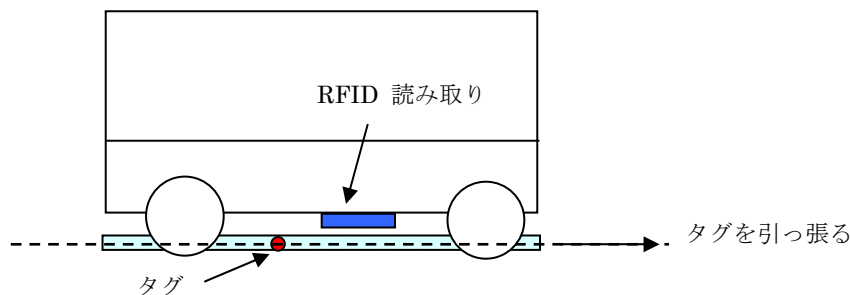
②ゴルフカートへ実装した読み取り機に対して RFID タグを移動して測定

RFID タグに紐をつけて一方から引っ張り読み取り機の下を移動させる。

移動した距離と時間を測定して時速を算出する。

タグ移動距離 520mm、時間 80ms……約 23.4 km (測定誤差考慮せず) まで読取れることを確認。

(光電スイッチにより 2 点を通じた時間をオシロスコープにより確認)



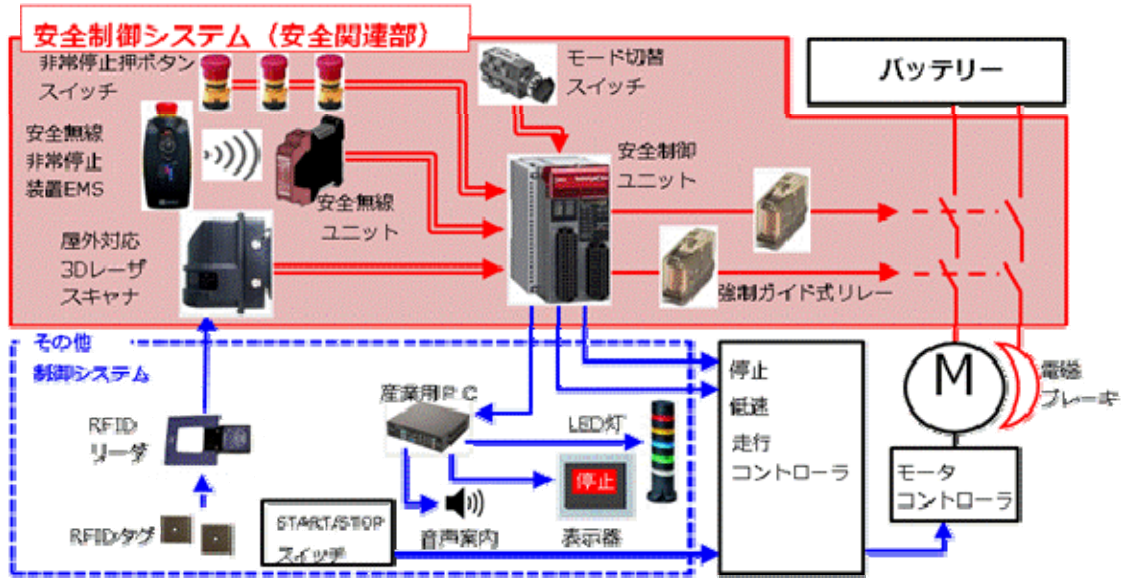
図表 2-33 速度実験条件

### 第3章 誘導式ゴルフカートの安全システム技術開発 (Y) の成果

#### 1 安全システム設計技術の研究開発—機能安全システム(Y1)

##### 1.1 概要と達成状況

リスクアセスメントの結果、PLd、SIL2 の安全度水準の安全関連部を構築した。製品認証済みの従来型の非常停止スイッチと強制ガイド式リレーなどを含めて図表 3-1 のように構築した。赤い線で囲まれた部分が安全関連部である。



図表 3-1 ゴルフカートの安全制御部

##### 1.2 安全性能

システムを構成する機器が全て2重化されており、診断機能を有している。システム全体としてPLd、SIL2相当であり、誘導式ゴルフカートに求められる安全機能の維持能力を有したシステムである。詳細は5章にて述べる。

#### 2 安全システム設計技術の研究開発—システムのリスクアセスメント技術(Y2)

##### 2.1 概要と達成度

安全システム構築の元になる安全要求仕様は、リスクアセスメントの結果得られる。今回誘導式ゴルフカートの自動走行時についてリスクアセスメントした。リスクアセスメントは以下で構成される。

- ・今回対象とした搭乗型ロボットの基本仕様
- ・使用上の制限
- ・リスクアセスメントシート
- ・リスクアセスメントシート (after)

- (1) 今回対象とした搭乗型ロボットの基本仕様  
ゴルフカートの基本仕様を仕様を図表 3-2 に示す。

|               |  |
|---------------|--|
| 走行方式          | オート時：誘導線埋設、電磁誘導方式による専用等走行<br>マニュアル時：ハンドル操作による自由走行  |
| 積載（定員）        | 5名（65kg×5名=325kg）  |
| 積載（バッグ・他）     | 4バック+他小物（50kg）   |
| 全長            | 3450±20mm（折り畳時2950±20mm）   |
| 全幅（前/後）       | 1100±10mm/1250±10mm  |
| 全高            | 1815±15mm  |
| ステップ<br>最低地上高 | 高さ：250±20mm（空車）、幅：1100±5mm<br>120±10mm   |
| トレッド          | 前後：905±5mm   |
| ホイールベース       | 1900±10mm  |
| タイヤ           | 205/50-10（6PR）、外径φ466mm、幅195mm   |
| 質量            | 本体：395kg、積載質量：375kg<br>バッテリー：46kg×4個=184kg、合計 954kg  |
| 最小回転半径        | 3.2m+0, -0.2m（ピックアップ中心）【3.0R 3.0km/hにて走行可】   |
| 登降坂角度         | 登り、降り：20°  |
| 速度            | 手動：19km/h（平坦直線路）<br>自動：6.5/8.5km/h<br>高速：10.0~12.0km/h（見通しのよい平坦直線路に限る）<br>低速：3.0~5.5km/h<br>速度範囲は±1km/h、荷重はフル荷重（375kg）、<br>押しボタンSW ON→3回鳴動後スタート（”発進します”アナウンス ※オプション） |
| スタート          |  |
| モータ           | 分巻式直流モータ（DC48V、3.0kW）  |
| ブレーキ機構        | 4輪油圧式：前輪ディスクブレーキ/後輪ドラムブレーキ<br>走行モータ回生ブレーキ  |
| パーキングブレーキ     | 電磁ブレーキ   |
| バッテリー         | HC100-12×4個  |
| 充電器           | 入力：単相 AC200~220V、周波数：50~60Hz、入力容量：1.2KW  |
| ステアリング        | 誘導走行時ロック   |
| バッグササエ        | 幅：1026mm、地面からの高さ：910mm、角度：43°  |
| 前後進切替         | 操作パネルのトグルSWにより切替ブザー音（”バックします。ご注意ください。”アナウンス【オプション国内仕様のみ】）  |
| 追突防止          | 電磁誘導 パルスランダム方式センサー（対カート）<br>超音波方式センサ（対歩行者） ※オプション  |
| 表示<br>発進停止    | 誘導・警報・充電（ブレーキオイル残量警報追加）、バッテリーゲージ（4個）<br>スイッチ：操作パネル1個、前席後ろ両サイド2個<br>リモコン（GCC4）：100m以上   |

図表 3-2 ゴルフカートの概略仕様

(2) 使用上の制限

誘導式ゴルフカートの基本操作とゴルフ場での運用、暴露時間に関わる内容について以下の様にとりまとめた。

○意図した仕様

- ①ロボットはゴルフ場という閉じられた施設内で使用される。
- ②施設利用者は高齢者を含めた成人が98%以上である。
- ③RAの対象であるロボットの誘導（自動）走行は顧客の利用時である。
- ④ロボットは電磁誘導線の上までスタッフにより手動運転で移動される。
- ⑤ロボットはロボットに設置された”走行/停止”スイッチ、もしくはリモコン

スイッチにより始動、停止制御される。

- ⑥ロボットは誘導線が埋設されたカート道を誘導走行する。
- ⑦ロボットは誘導線上を走行するときは埋設された磁石により制御される。
- ⑧ロボットの出入庫、メンテナンスは教育訓練されたスタッフが行う。
- ⑨搭乗者は運転中身体をシートベルトを着用しない。
  - ※1：ロボットは実用化されて普及が進み、国内ゴルフ場では一般的である。
  - ※2：ロボットが何らかの理由で誘導線上を逸脱した場合は緊急停止する。

○意図した時間

- ①ロボットはゴルフコース間の移動に利用され、18ホール/日が標準的な形態である。午前、午後各2～3h合計4～6hがロボットを利用する時間である。
- ②移動距離は18ホールで8～10kmのため、ロボットの平均速度6km/hとして1.3～1.7hが実際にカートに搭乗している時間である。18回乗降する。
- ③上記より、4.3～4.7hがカートの周辺にいる可能性のある時間である。
- ④先発の組に追いついたり、または後続の組に追いつかれることがある。
- ⑤1組最大4人、キャディがつくゴルフ場とつかないゴルフ場がある。
- ⑥ロボットの寿命は約10年間

○合理的に予見できる誤使用

- ①利用者が動き出したロボットに駆け込み乗車する。
- ②ロボット誘導路上でプレーに専念するプレイヤーがいるときに第三者がリモコン操作にてロボットを始動する。
- ③プレイヤーがロボットが接近しているにも関わらず誘導線路上でプレーする。
- ④利用者がロボットが停止する前に飛び降りる。
- ⑤ロボットの後ろを人が歩いているときにロボットを急停止させる。  
(人がロボットにぶつかる)

## 2.2 リスクアセスメント

誘導式ゴルフカートの運用段階の全体を明らかにした上で対象となる自動走行時について危険源、危険事象を同定した。

それぞれの危険源に対する危害の程度と発生頻度を想定し、許容できないリスクに対してはPLd相当の安全性能の維持能力を持ったマルチレイザースキャナと安全無線非常停止装置によって誘導式ゴルフカートを許容可能な生活支援ロボットにまでリスク低減することとした。

- 運用の全体 —
- ① 設定段階
  - ② 運用段階（営業）
    - ・ 出庫・格納（手動走行）
    - ・ 運転（自動走行）
    - ・ 乗降・移乗（自動走行）
  - ③ 保守など

| 作業項目 | 作業者        | 危険源                  | 危険状態／危険事象               | 危険区域          | 対象者 |
|------|------------|----------------------|-------------------------|---------------|-----|
| 起動   | 従業員<br>・顧客 | ロボット                 | 歩行者が衝突され打撲              | 誘導線上          | 歩行者 |
| 走行中  |            | ロボット                 | 歩行者が衝突され打撲              | 誘導線上          | 歩行者 |
|      |            |                      | 歩行者が衝突され転倒・骨折           | 誘導線上          | 歩行者 |
|      |            |                      | 飛び乗り失敗で骨折               | ロボット上         | 歩行者 |
|      |            |                      | 飛び降り失敗で骨折               | ロボット上         | 歩行者 |
| 急停止  |            | 減速                   | タイヤスリップによる誘導路逸脱で搭乗者衝突打撲 | 搭乗席           | 搭乗者 |
|      |            |                      | タイヤスリップによる誘導路逸脱で搭乗者転落骨折 | 搭乗席           | 搭乗者 |
|      |            | ロボット後部               | ロボットの急停止して後ろの歩行者が衝突。    | 誘導路<br>ロボット後部 | 搭乗者 |
| —    |            | ロボット                 | 故障により暴走し歩行者と衝突・転倒 骨折    | 誘導線上          | 歩行者 |
| —    |            | ロボット                 | 電磁波により暴走し歩行者と衝突・転倒 骨折   | 誘導線上          | 歩行者 |
| —    |            | ロボット                 | 雨天による水の浸入(スキャナ、制御ボックス)  | 誘導線上          | 歩行者 |
| 乗車   | ロボット       | 第三者がリモコン始動し乗降者を振り落とす | 搭乗席                     | 搭乗者           |     |
| 降車   | ロボット       | 第三者がリモコン始動し乗降者を振り落とす | 搭乗席                     | 搭乗者           |     |

図表 3-2 リスクアセスメントの危険源の同定



## 2.3 事故事例調査

### A.調査の背景と目的

#### (a)背景

乗用カートは、1990年代頃から全国のゴルフ場で急速に導入が進められ、現在では導入率が90%以上と報告<sup>1)</sup>されている。また、高齢の利用者が増える中で、その役割はますます高まっており、ゴルフ場だけでなくリゾート施設や公園など利用領域が広がりつつある。乗用カートには運転操作が必要な「手動式」と、埋設された電線もしくは電磁誘導上を自動走行することができる「誘導式」の2タイプがある。誘導式カートは、走行経路が既定されているほか、速度についてもコントロールされている。2011年の時点では全国のゴルフ場が保有するカートのタイプの構成は約半数ずつである。

しかし、乗用カートの事故については、大事故についてマスメディアで報道されていることがあるが、乗用カート事故に関する統計調査データは現在のところ見当たらない。

#### (b)目的

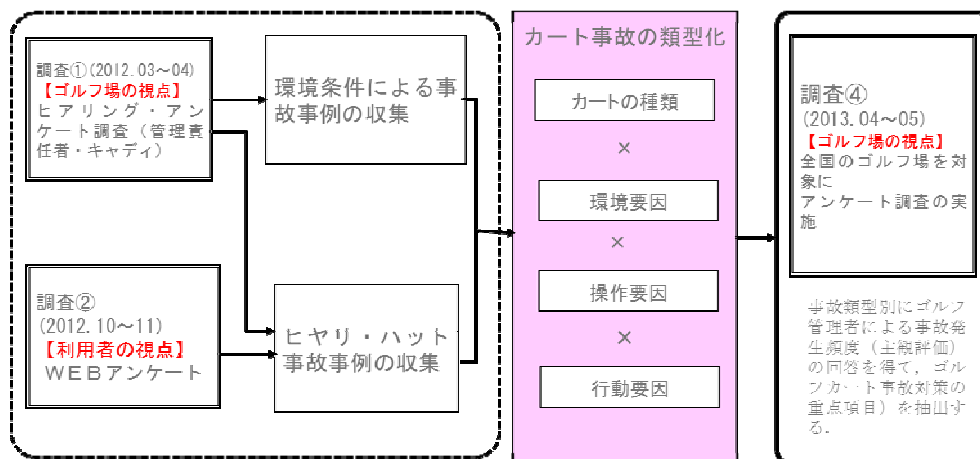
本調査は、ゴルフ場における乗用カートの事故について、複眼的に事故事例（大事故からヒヤリハットまで）を収集し、事故パターンの類型化を行い、事故発生件数ならびに事故特性について把握することを目的とする。

- ・乗用カート事故の類型化と頻度の把握
- ・安全性向上に効果的な改善ポイントの抽出

#### (c)調査の体系

調査は3段階で実施した。まず、関西の主要なゴルフ場6箇所に対して管理責任者へのヒアリング調査とキャディを対象としたヒヤリ・ハットに関するアンケート調査を実施し、乗用カートに関する事故概況を把握した。

次に利用者の視点から、ヒヤリ・ハット経験に関するWEB調査を行った。その結果から事故パターンを抽出し、最後に全国2289箇所のゴルフ場を対象に事故頻度、改善意向に関するアンケート調査を実施した。調査の体系は図3-3に示すとおりである。



図表 3-3 調査体系



## B. ゴルフ場ヒアリング調査

### (a)調査対象

ヒアリング調査は2012年3月から5月にかけて、図表3-4に示す6箇所に実施した。

図表 3-4 ヒアリング対象のゴルフ場の概況

|           | 茨木CC  | 枚方CC       | 茨木高原CC | ベニーCC      | 新大阪GC | 池田CC  |
|-----------|-------|------------|--------|------------|-------|-------|
| 開場時期      | 大正14年 | 昭和34年      | 昭和36年  | 昭和49年      | 昭和48年 | 昭和35年 |
| コース数      | 36    | 18         | 18     | 18         | 18    | 27    |
| 年間利用者数    | 5万人   | 3万8千人      | 4万人    | 3万8千人      | 4万人   | 5万8千人 |
| ラウンドスタイル* | キャディ  | キャディ       | セルフ    | セルフ        | セルフ   | キャディ  |
| カート導入時期   | 平成16年 | 平成13年      | 平成9年   | 平成16年      | 平成12年 | 昭和37年 |
| カートタイプ①   | 誘導式   | 誘導式        | 誘導式    | 誘導式        | 誘導式   | 自走式   |
| カートタイプ②   | バッテリー | ガソリン→バッテリー | ガソリン   | ガソリン→バッテリー | ガソリン  | バッテリー |
| 台数        | 100   | 55         | 60     | 60         | 60    | 76    |

### (b)乗用カートの導入状況

#### (1)導入時の留意点

誘導式カートは安全性やカート道逸脱防止効果を期待し導入している事例が多い。その一方で、手動式カートは、カート道への磁器の埋設がないため、初期投資の簡便さおよびラウンド時間の短縮などを期待して導入されている。いずれも駆動形式としてバッテリータイプとガソリンタイプがあるが、静音性重視する場合はバッテリーが採択されている。

近年、セルフ方式がプレイの中心に移行する中で、安全性の高い誘導式の乗用カートのニーズは高まると予想される。また、バッテリー技術の向上、コストの低廉化などからガソリンからバッテリーに移行する傾向がある。

図表 3-5 乗用カート導入のポイント

| バッテリー   | ガソリン  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・静音性</li> <li>・ランニングコストの低下</li> <li>・動きの円滑性</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・初期のバッテリーの耐久性や駆動力等の技術的課題への懸念</li> <li>・発電設備等が不要であるなど、初期投資の簡便さ</li> </ul> |
| 誘導式   | 自走式   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性</li> <li>・カート道逸脱防止(セルフ対応)</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・初期投資の簡便さ</li> <li>・ラウンド時間の短縮</li> </ul>                                 |

## (2)カート道の整備の考え方

カート道の整備の考え方には、「景観重視型」と「利便性重視型」の2種類がある。景観重視型では、カート道をコースの端部又はコースから見えない位置に設置している。一方、利便性重視型はフェアウェイの側やグリーン間に設置され、最近ではコースのセンターライン上に設置されている場合もある。

景観重視型ではリモコン操作時に目視による安全確認が難しいという短所があり、利便性重視型ではプレイ空間とカート道が接近又は含まれているため、カート道にプレイヤーが立ち入る可能性が高くなる。



図表 3-6 カート道（景観重視型）



図表 3-7 カート道（利便性重視型）

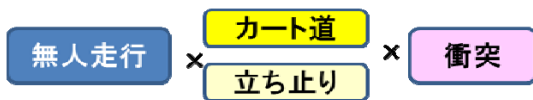
## (3)事故事例

すべての事故事例を整理保存しているゴルフ場はなかったが、比較的大きな事故に関する事故の調書を保存するゴルフ場は多かった。概ね過去5年の間に7件～10件程度の事故記録があった。

事故事例を以下に紹介する。

- キャディがリモコン操作で無人でカートを進めた時に、次のティーの手前（フェアウェイからは死角の位置）のカート道で体操をしていたプレイヤーに衝突した。

【誘導式・バッテリー・キャディ付】

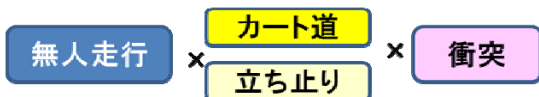


図表 3-8 事故発生箇所（イメージ）

- バンカーでプレーをする同伴プレイヤーを、その横のカート道で屈んで見下ろしていた。被害者の右後方から走行するカートに衝突し負傷。

カートは別のプレイヤーがリモコンで操作して、無人走行中であった。

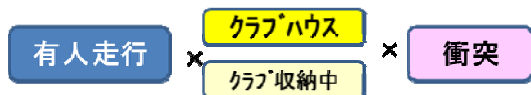
【誘導式・ガソリン・セルフ】



図表 3-9 事故発生箇所（イメージ）

- 終了後、カートにクラブを片付けている際、後続組のカートが衝突して負傷（左足複雑骨折）。  
被害者自身がカート衝突防止の車間センサーを遮断していたか、地形的にセンサーが効きにくかったと考えられる。

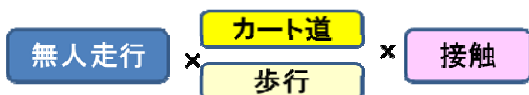
【誘導式・ガソリン・セルフ】



図表 3-10 事故発生箇所（イメージ）

- 前方のカート道を歩くプレイヤーにカートが近づいているとキャディが注意をしたが、避けているつもりが十分でなく、カートがプレイヤーにあたる。カートよりカート道のほうが幅が狭いためと考えられる。

【誘導式・バッテリー・キャディ付】



図表 3-11 事故発生箇所（イメージ）

(c)キャディのヒヤリ・ハット事例調査

ヒアリング対象ゴルフ場のキャディを対象に乗用カートでのヒヤリ・ハット経験に関するアンケート調査を実施した。有効サンプル数は131であり、質問項目は図表 3-12 に示すとおりである。

図表 3-12 乗用カートタイプ別サンプル数

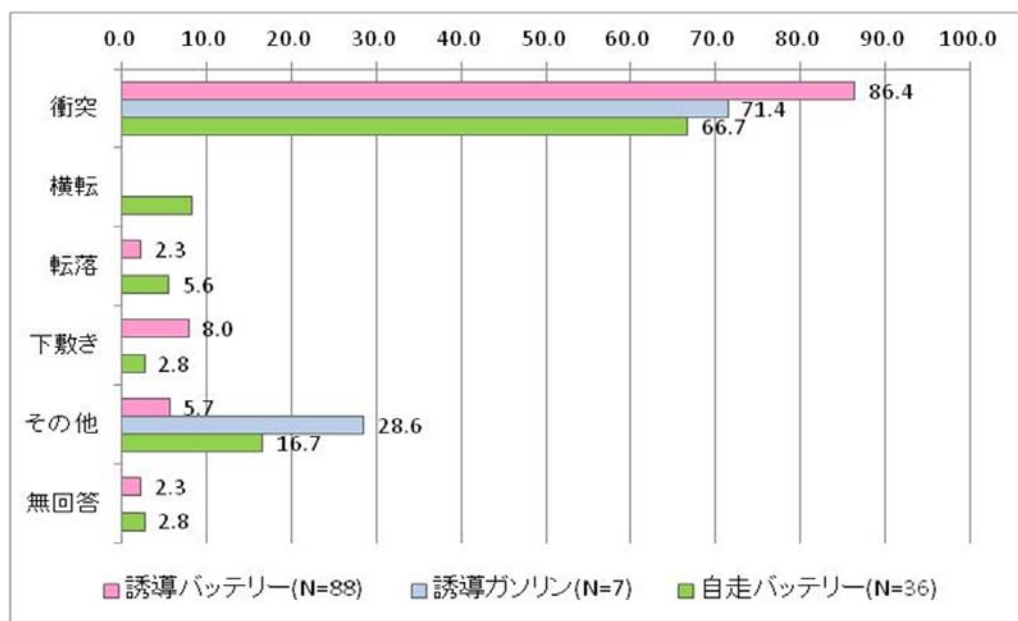
| 乗用カートのタイプ      | サンプル数 |
|----------------|-------|
| 1. 誘導式バッテリーカート | 88    |
| 2. 誘導式ガソリンカート  | 7     |
| 3. 自走式バッテリーカート | 36    |
| 4. 自走式ガソリンカート  | —     |
| 合計             | 131   |

図表 3-13 質問項目

| 発生した場所                          | ヒヤリ・ハットした人 |
|---------------------------------|------------|
| ヒヤリ・ハットさせた対象・年齢、                | ヒヤリ・ハットの概要 |
| ヒヤリ・ハットの種類（衝突、横転、転落、下敷き、その他）    |            |
| 場所の特徴（ジョイント部、カーブ部、傾斜部、交差点部、その他） |            |
| カートの状況（無人走行、有人走行）               |            |
| ヒヤリ・ハットの要因（操作要因、行動要因）           |            |

(1)ヒヤリ・ハットの種類

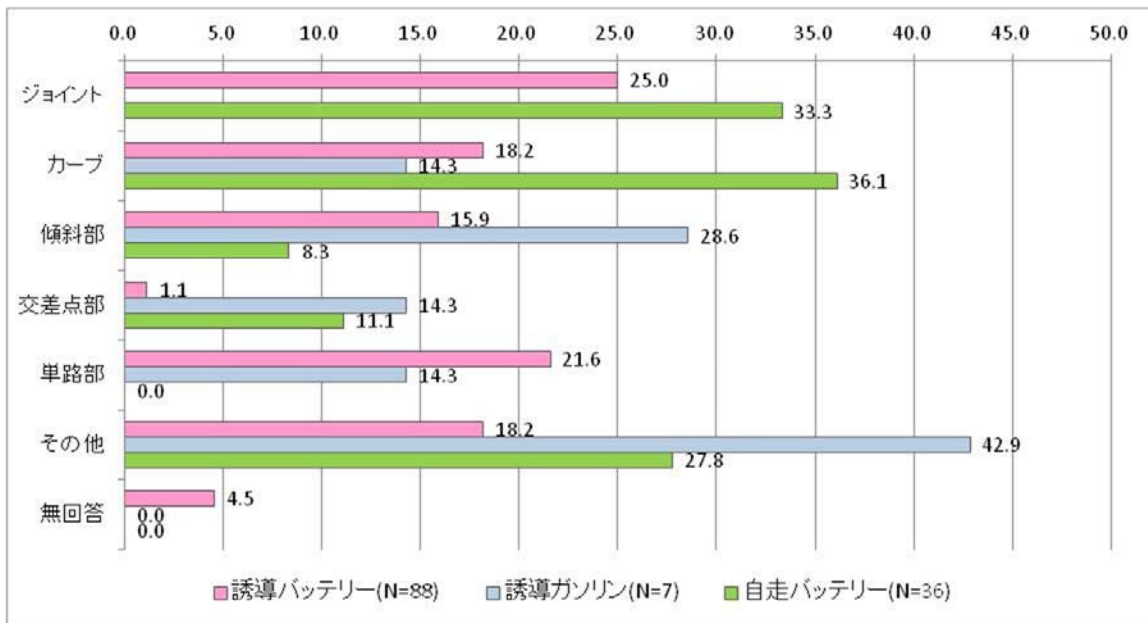
カートの種類を問わず「衝突」に関するヒヤリ・ハットが多い傾向が確認された。



図表 3-14 ヒヤリ・ハットの種類

(2)ヒヤリ・ハットした場所

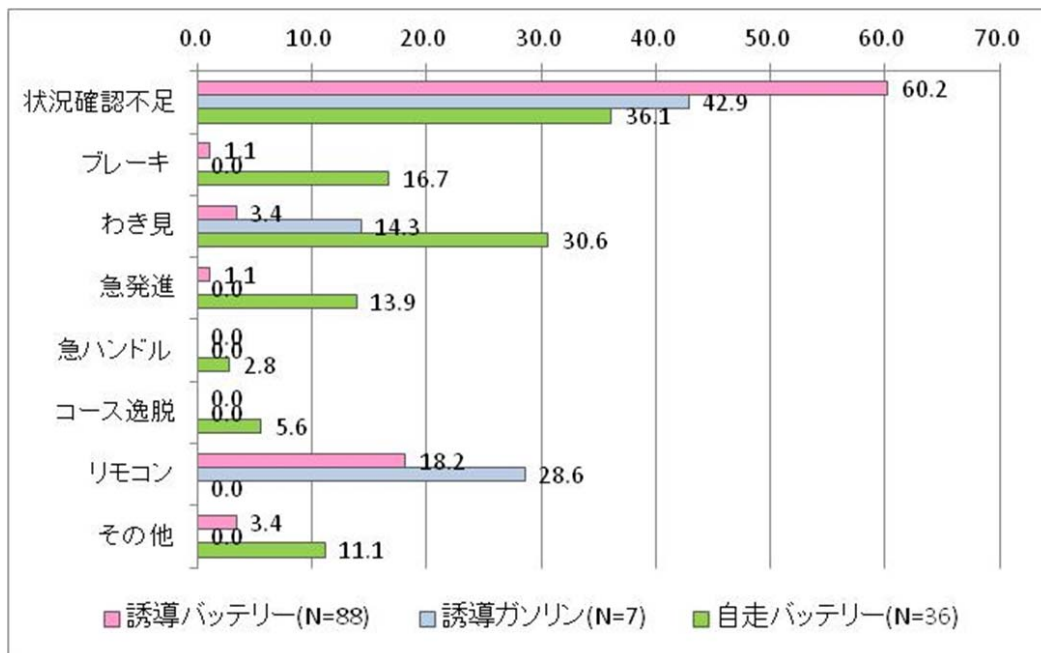
誘導式カートは、ヒヤリ・ハットが起きやすい場所に特徴はなく、手動式カートは、「ジョイント部」、「カーブ部」でヒヤリ・ハットが起きやすい傾向があることがわかった。



図表 3-15 ヒヤリ・ハットした場所

(3)ヒヤリ・ハットの原因（操作）

誘導式カートは、「状況確認不足」が最も多く、途中で気づいて「リモコン」操作が間に合わないという自由意見が多かった。手動式カートは、「状況確認不足」に加えて「わき見」がヒヤリ・ハットの要因になっている。

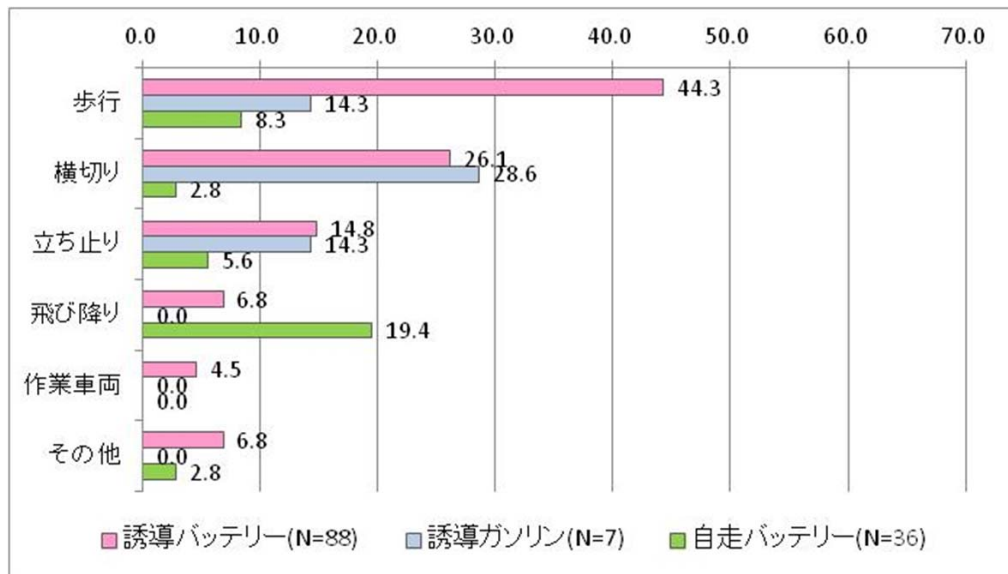


図表 3-16 ヒヤリ・ハットした操作要因



(4)ヒヤリ・ハットの原因（行動要因）

誘導式カートは、プレイヤー等の「歩行」、「横切り」がヒヤリ・ハットの要因になっている。手動式カートは、カートからの「飛び降り」がヒヤリ・ハットの要因となっているケースが多い。



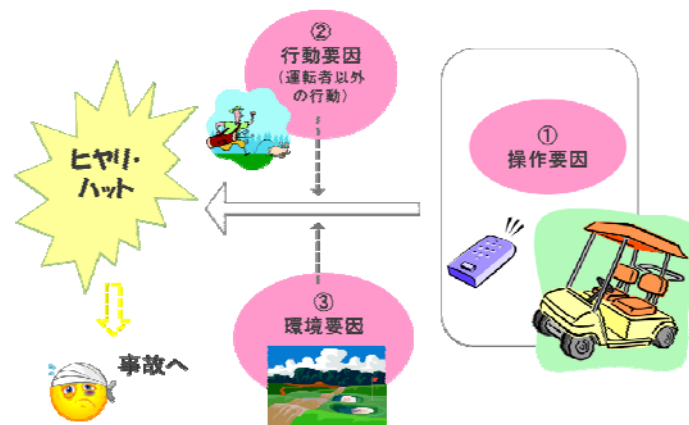
図表 3-17 ヒヤリ・ハットの行動要因

(d)ゴルフ場における乗用カートの事故の構造

ゴルフ場のヒアリング調査ならびにキャディのヒヤリ・ハット調査の結果から、乗用カート事故は□操作要因、□行動要因、□環境要因の3要因から構成されることが明らかになった(図表 3-18)。

操作要因とは、カートを運転する際に起こす操作ミスのことであり、「急ハンドル」や「スピードの出しすぎ」などである。ただし、誘導式カートの場合は、リモコンによる操作も含まれる。次に行動要因とは、カートの運転手又はリモコンを操作している以外の人の事故を誘発する行動のことであり、「カートから飛び降りる」、「カートにきちんと座っていない」、「カート道を歩行する」などの行動をさす。3つ目の環境要因とは、カートが走行するカート道の構造上の特性のことであり、「カーブ部」、「急勾配部」、「ホールとホールの接合部（通称、ジョイント部）」などである。

乗用カートの事故およびヒヤリ・ハットは、これらの複数の要因が重なって起きる場合が多い。



図表 3-18 事故が起きる構造

### C.利用者WEB調査

本調査は、ゴルフ場における乗用カート事故の事故要因の特性を把握するため、ゴルフプレイヤーのヒヤリ・ハット経験に関する調査を行い、以下の3点から分析を行った。

- ・利用者属性のヒヤリ・ハット経験への影響の把握
- ・カートの種類別のヒヤリ・ハットとその要因の把握
- ・ヒヤリ・ハット要因間の関連性の把握

#### (a)調査概要

調査の概要は図表 3-19 のとおりである。

事前調査を通じて、半年に1回以上ゴルフをする人を対象に1000サンプル回収した。回答者属性は、余暇活動におけるゴルフ参加率を参考に回収した。また、年齢については20歳代から60歳代以上の5段階でほぼ同率となるよう回収している。

また、「B ゴルフ場ヒアリング調査」の結果より、本調査で設定したヒヤリ・ハット要因は図表 3-20 に示すとおりである。

図表 3-19 WEB調査概要

|                |  |
|----------------|--|
| 調査日            | 2012年10~11月  |
| 調査方法           | WEB調査（楽天リサーチモニター使用）  |
| 回収数            | 1000サンプル（ゴルフを年数回以上行う人対象）   |
| 設問概要<br>（事前調査） | ・プレイ頻度<br>・誘導式、手動式カートに関わるヒヤリ・ハット経験頻度                                     |
| 設問概要<br>（本調査）  | もとも印象に残るヒヤリ・ハットした経験について<br>・カートの種類<br>・ヒヤリ・ハットした事故の種類<br>・ヒヤリ・ハットした事故の要因 |

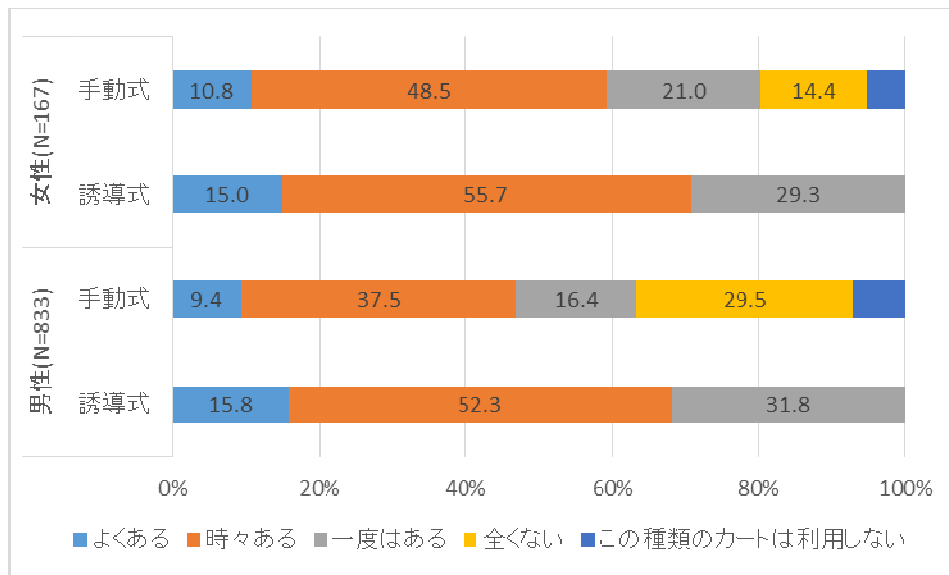
図表 3-20 ヒヤリ・ハットの要因一覧

| 操作要因               | 行動要因         | 環境要因          |
|--------------------|--------------|---------------|
| 急ブレーキを踏んだ          | 飛び降りた        | 相互通行部         |
| 急ハンドルをきった          | 飛び乗ろうとした     | カーブ部          |
| スピードを出しすぎた         | きちんと座っていなかった | 交差部           |
| 急発進させた             | カート道の上を歩いていた | 急こう配部（上り）     |
| ブレーキとアクセルを間違えて操作した | カート道を横切った    | 急こう配部（下り）     |
| カート道から逸脱して走行した     | カート道に立ち止っていた | ホールとホールの接合部   |
| わき見運転をした           | その他          | カートの入出庫部      |
| 前方を確認せずにカートを前進させた  | 特に危険な行動はなかった | その他           |
| 後方を確認せずにカートを後進させた  |              | 特に危険な場所ではなかった |
| リモコンを誤操作した         |              |               |
| その他                |              |               |
| 特に危険な行動はなかった       |              |               |

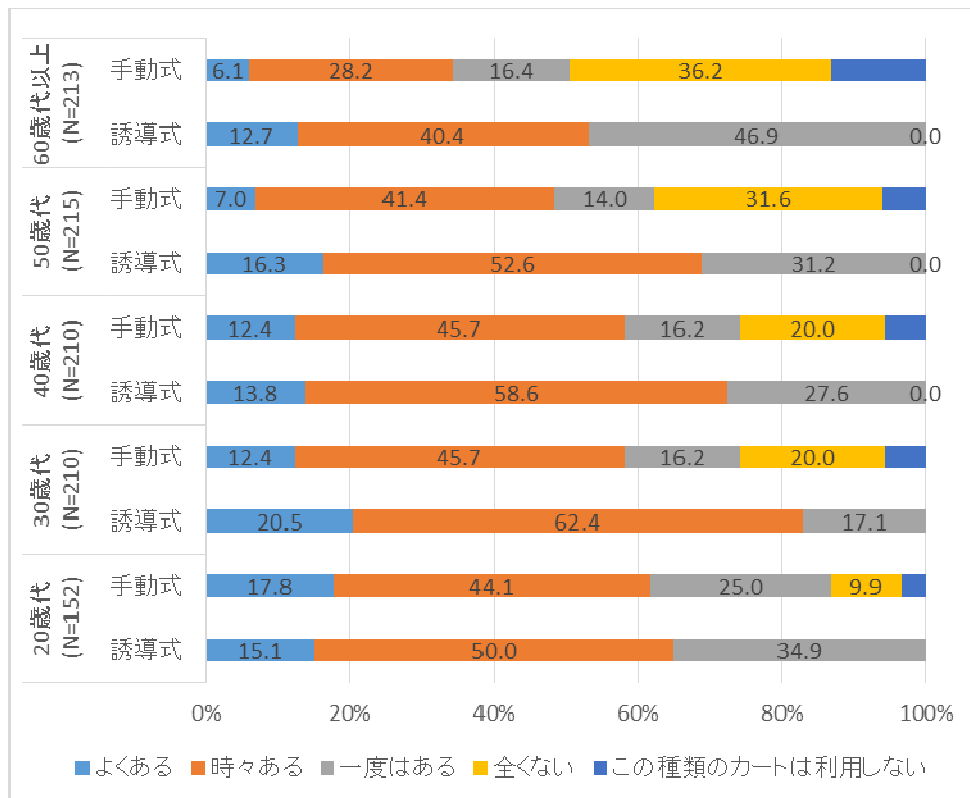
#### (b) 利用者属性とヒヤリ・ハット経験頻度

性別、カート種類別のヒヤリ・ハット経験頻度の構成比は図表 3-21 に示す通りである。誘導式カートでは性別による構成比の有意な差は確認されなかったが、手動式カートでは性別による構成比に有意な差が認められた。手動式カートは、女性のほうがヒヤリ・ハットする経験頻度が高い傾向にある。

年齢別には、カートの種類を問わずヒヤリ・ハット経験頻度の構成比に有意な差が確認された（図表 3-22）。手動式カーとは、ヒヤリ・ハットを経験した人の割合（「よくある」から「一度はある」の合計値）が 20 歳代で 86. 9%と最も高く、年齢が上がるごとに下がる傾向にあり、60 歳以上では 50. 7%である。手動式カートでは、すべての回答者がヒヤリ・ハットの経験があるため、ヒヤリ・ハット経験率の高い人（「よくある」と「時々ある」の合計値）の割合で比較すると、年代による規則的な傾向は確認できないが、60 歳代以上が 53. 1%と最も低い頻度となっている。年齢別のプレイ頻度は図表 3-23 に示すとおりであり、60 歳以上のプレイ頻度はやや高い傾向にある。このことを考慮すると、60 歳以上のプレイヤーはカートでのヒヤリ・ハット経験頻度は低いといえる。

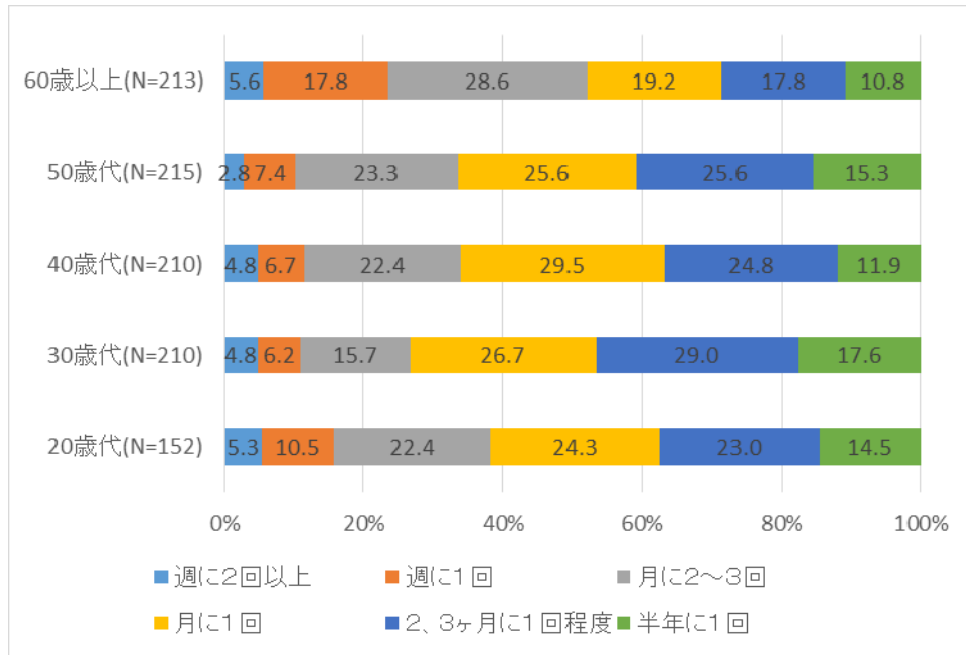


図表 3-21 性別\_カート種別\_ヒヤリ・ハット経験頻度(%)



図表 3-22 年代別\_カート種別\_ヒヤリ・ハット経験頻度(%)





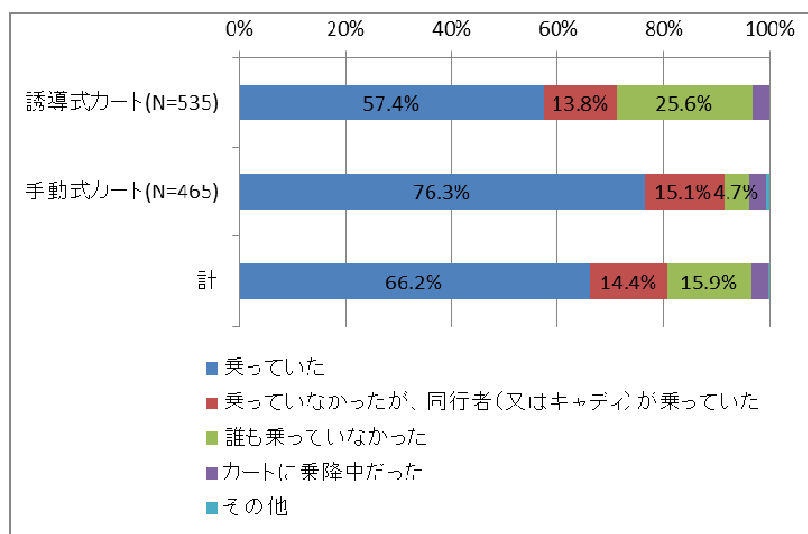
図表 3-23 年代別\_プレイ頻度(%)

(c) カートの種類とヒヤリ・ハット

(1)ヒヤリ・ハット時の乗車状況

カートには誘導式と手動式の2タイプがあるが、誘導式カートはリモコン操作により無人でも走行できることが特徴である。プレイヤがヒヤリ・ハットを経験した時の乗車状況について集計した結果が図表 3-24 である。

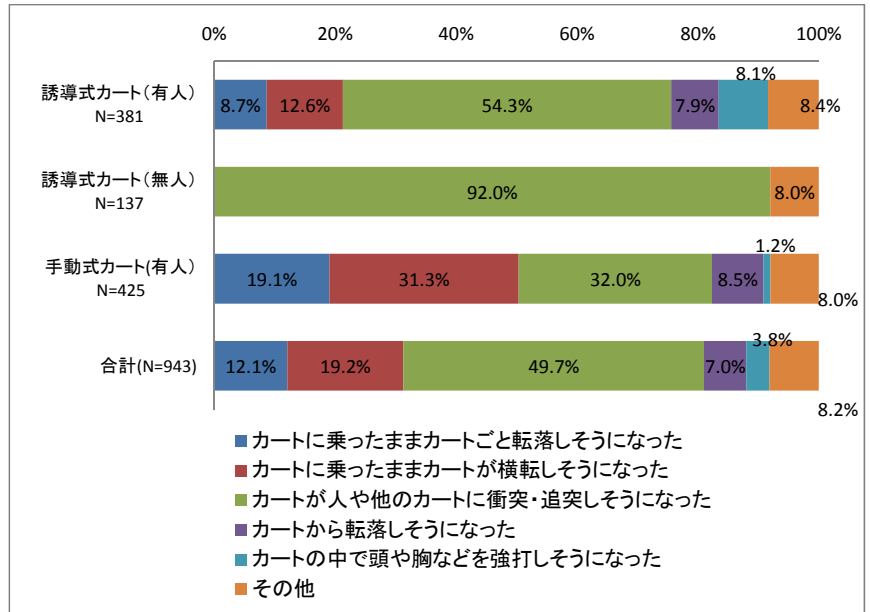
手動式カートでは本人又は同行者が乗車している割合が91%であるのに対して、誘導式カートは71%と有意な差が確認された。誘導式カートでは、誰もカートに乗っていない時（以下、無人時という。）にヒヤリ・ハットが起きており、ヒヤリ・ハット全件数の25%(137件)を占めている。このため、以下の分析については、誘導式カート（有人）、誘導式カート（無人）、手動式カート（有人）の3分類（合計943サンプル）で行った。



図表 3-24 カート種類別\_ヒヤリハット時の乗車状況 (%)

(2)事故の種類

カート種類別にどのような事故になりそうなヒヤリ・ハットであったかについて集計した結果が図表 3-25 である。いずれも衝突・追突事故につながるようなヒヤリ・ハットが多い傾向にある。手動式カート（有人）は衝突・追突以外にも転落(19.1%)、横転(31.3%)などの占める割合が比較的高く、事故種別別間に有意な差は認められなかった。一方、誘導式カート（有人）は衝突・追突が54.3%を占めており、有意な差（有意確率10%）が確認された。また、誘導式カート（無人）では92%が衝突・追突に係わるヒヤリ・ハットであった。



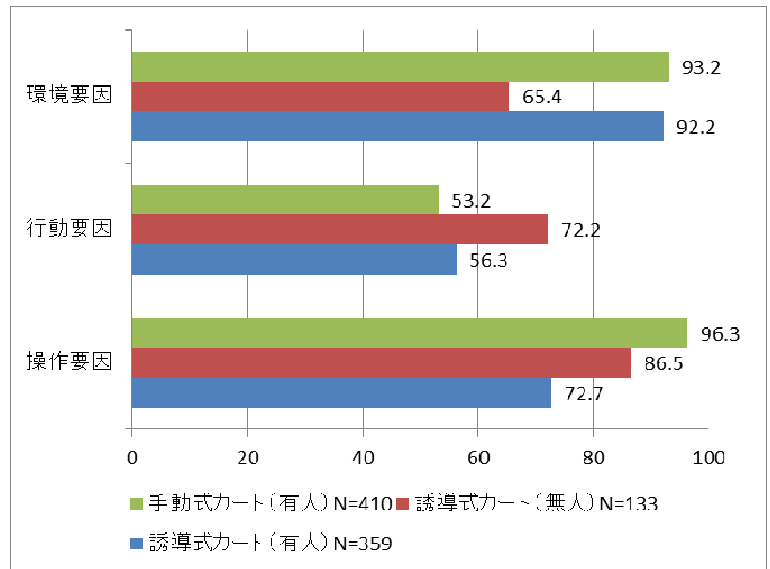
図表 3-25 カート種類別\_ヒヤリ・ハット事故種別割合 (%)

(d)ヒヤリ・ハットの要因

操作要因、行動要因、環境要因別に要因の有無と要因の内訳についてカート種類別に集計を行った。なお、要因の項目は表-6 に示したとおりであり、複数回答で回答を得ている。

(1)各要因の有無

図表 3-26 はヒヤリ・ハットの要因として選択された割合を示す。手動式カート（有人）のヒヤリ・ハットの大部分は環境要因と操作要因がかかっていることがわかる。一方、誘導式カート（有人）は、操作要因がかかわる率(72.2%)がやや減少する。これは、誘導式カートは誘導線上を自動走行し、速度設定も行われているため、プレイヤ等の操作技術の影響を受けにくいと考えられる。また、誘導式カート（無人）では、有人時と比較して、行動要因がかかわる率が高く(72.2%)、操作要因がかかわる率も誘導式カート（有人）より高くなる傾向にある。これは、リモコンによる操作時に前方確認の不足などが操作者側の要因として認識されているためである。



図表 3-26 カート種類別\_要因有の割合 (%)

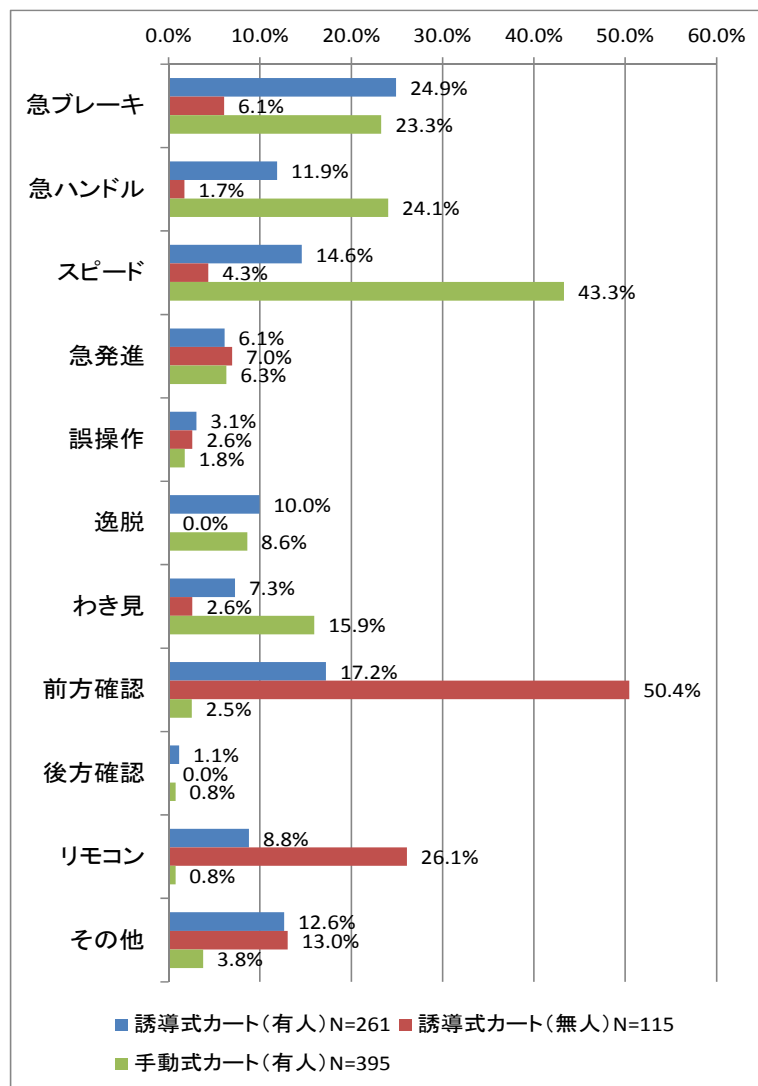
(2)要因の内訳

各要因の内訳の選択率について図表 3-27～3-29 に示す。

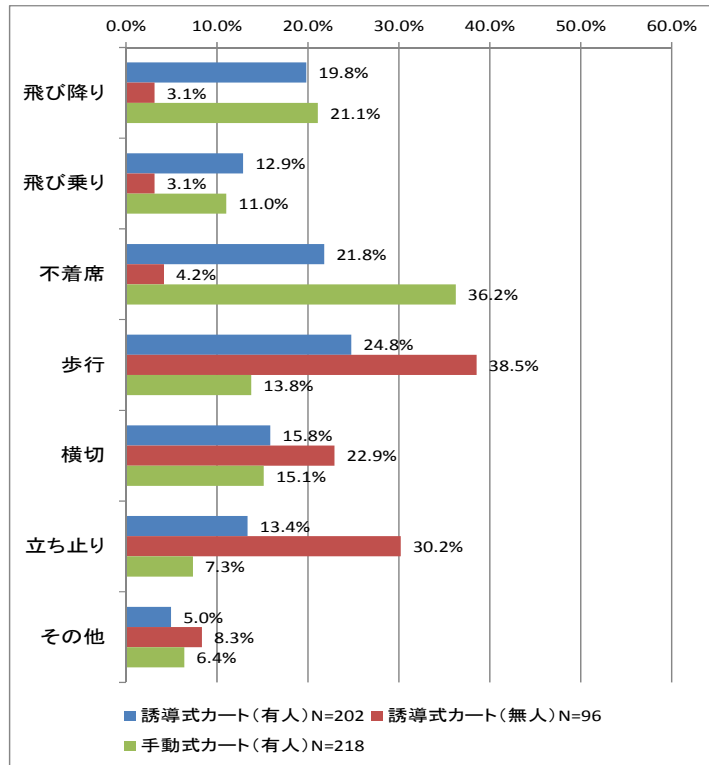
操作要因では手動式カート（有人）の「スピードの出しすぎ」、誘導式カート（無人）の「前方確認の不足」の選択率が高くなっている。

行動要因では手動式カート（有人）の「きちんと座っていなかった（不着席）」、誘導式カート（無人）の「カート道の歩行（歩行）」、「カート道の立ち止まり」の選択率が高い。誘導式カート（無人）の行動要因の選択率が高いのは、操作要因とも関連するが、リモコン操作時に前方確認不足のためカート道内を歩行又は立ち止まっている他のプレイヤー等に衝突しそうなった場合に、回答者（操作者）が、カート道に人や物があることを事故がおこる要因として認識しているためと考えられる。

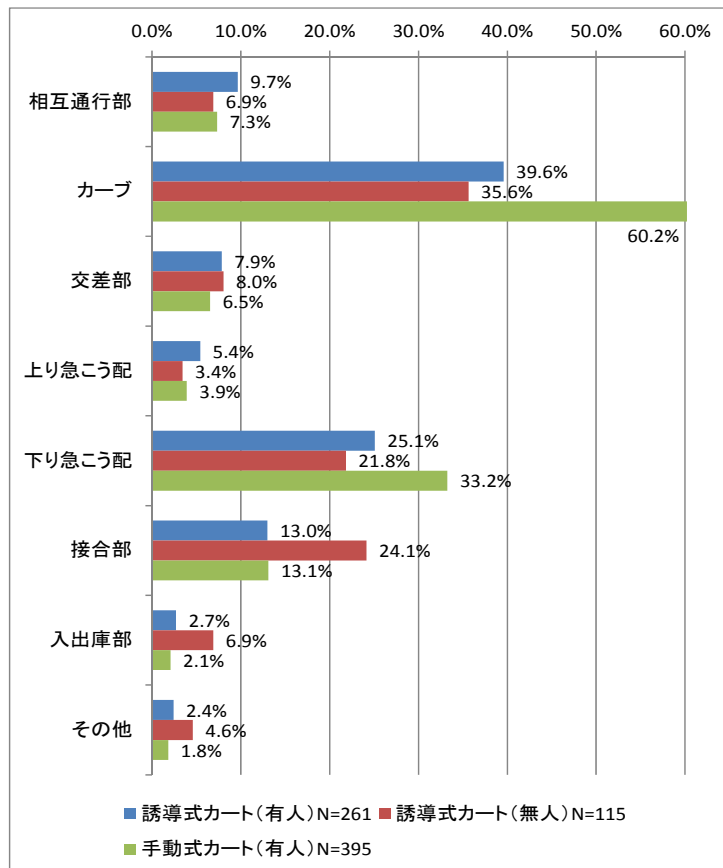
環境要因ではカート種類に関係なく、カーブ部、下り急勾配部の選択率が高くなっている。手動式カート（有人）では60%のヒヤリ・ハット経験がその要因として選択している。また、誘導式カート（無人）において接合部の選択率が高まるのは、ホールとホールの接合部では停止点が多く、見通しが悪い箇所が多いためと考えられる。



図表 3-27 カート種類別\_操作因子の選択割合 (%)



図表 3-28 カート種類別\_行動因子の選択割合 (%)

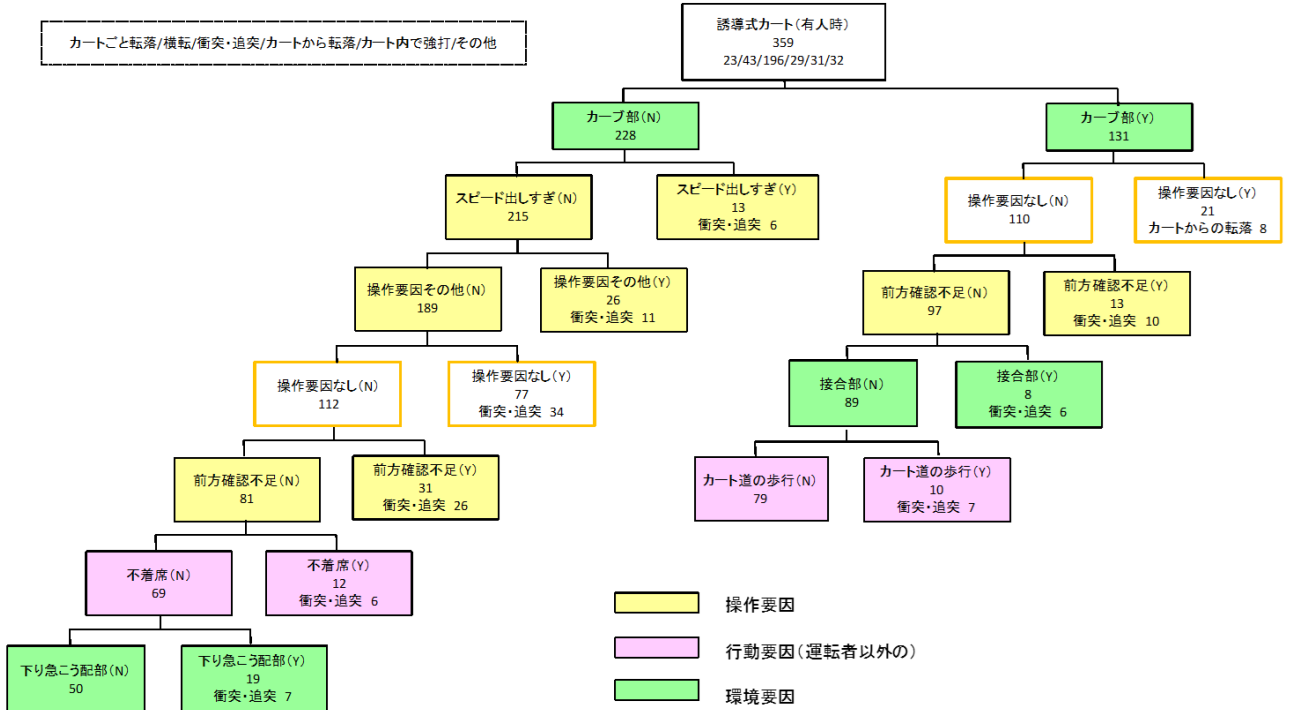


図表 3-29 カート種類別\_環境因子の選択割合 (%)

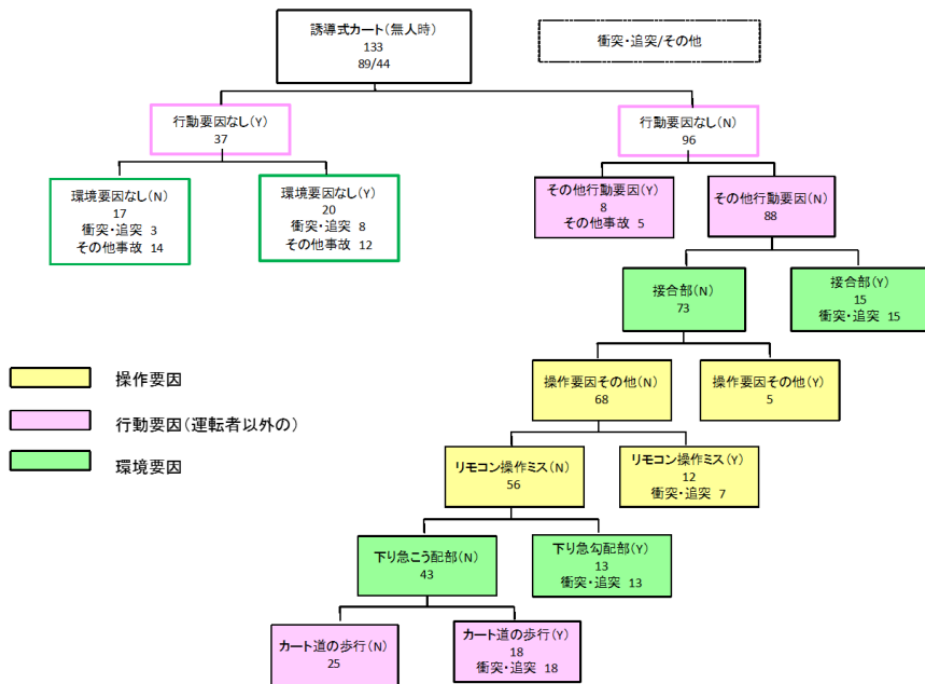
(e)ヒヤリ・ハット要因間の関係性

(d)の分析結果から、手動式カート（有人）は、環境要因と操作要因の影響が強い傾向が確認された。一方、誘導式カート（有人）は環境要因、誘導式カート（無人）は行動要因の影響が強い傾向が確認された。

各要因の組み合わせ、つまりヒヤリ・ハットから導き出される事故パターンを把握するため、カート種類別に決定木分析を行った。目的変数をヒヤリ・ハットした事故の種別とし、説明変数を操作、行動、環境の各要因項目を用いて、有意度最大となる説明変数で分割していった。（図表 3-30～3-32）。



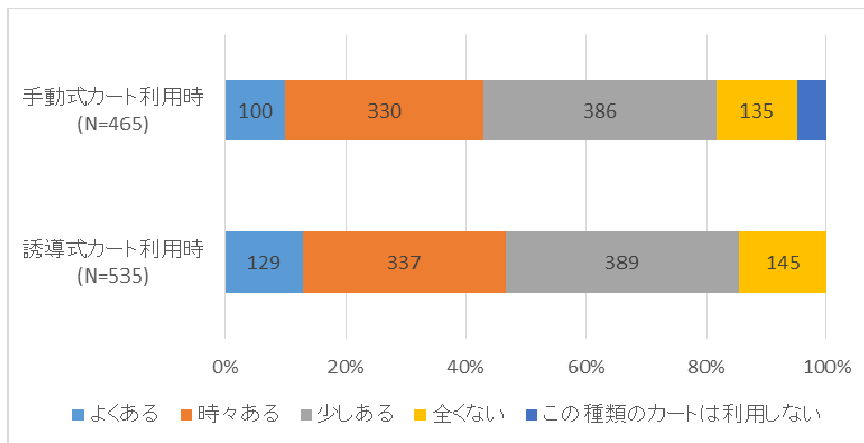
図表 3-30 誘導式カート（有人）ヒヤリハット要因ツリー図



図表 3-31 誘導式カート（無人）ヒヤリ・ハット要因ツリー図



事故要因の特性としては、手動式カートは環境要因と操作要因、誘導式カート（有人時）は環境要因、誘導式カート（無人）は行動要因の影響を受けやすい傾向が確認された。特徴的なのは、誘導式カート（無人）において、ヒヤリ・ハットした原因としてカート道の歩行など行動要因を強く認識している点である。図表 3-33 に示すとおり、カート道の歩行頻度はカートの種別によって異なるわけではない。これは機器への依存心が反映された結果とも考えられ今後、精査が必要である。



図表 3-33 カート道の歩行頻度 (回答数)

### (3)事故要因間の関連性

誘導式カートは単発要因である場合が多く、手動式カートは環境要因と操作要因の複合要因によるヒヤリ・ハットが起きている傾向が確認された。

図表 3-34 カートの種別別代表的なヒヤリ・ハット要因

|         | 誘導式カート<br>(有人時)               | 誘導式カート<br>(無人時)       | 手動式カート<br>(有人時)                       |
|---------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| 環境要因    | カーブ部<br>接合（ジョイント）部<br>下り急こう配部 | 接合（ジョイント）部<br>下り急こう配部 | カーブ部<br>下り急こう配<br>接合（ジョイント）部<br>相互通行部 |
| 操作要因    | 前方確認の不足                       | リモコンの誤操作              | スピード出しすぎ<br>コース逸脱<br>急ハンドル<br>急ブレーキ   |
| その他行動要因 | カート道上の歩行<br>不着席               | カート道上の歩行              | カート道上の歩行<br>不着席<br>飛び降り               |
| 事故の種類   | 衝突・追突                         | 衝突・追突                 | 転落<br>横転<br>衝突・追突                     |

#### D.ゴルフ場アンケート調査

本調査は、ゴルフ場における乗用カート事故の発生頻度ならびに事故対策の方向性を分析すること目的に全国 2,289 箇所のゴルフ場を対象に調査を行った。

##### (a)調査概要

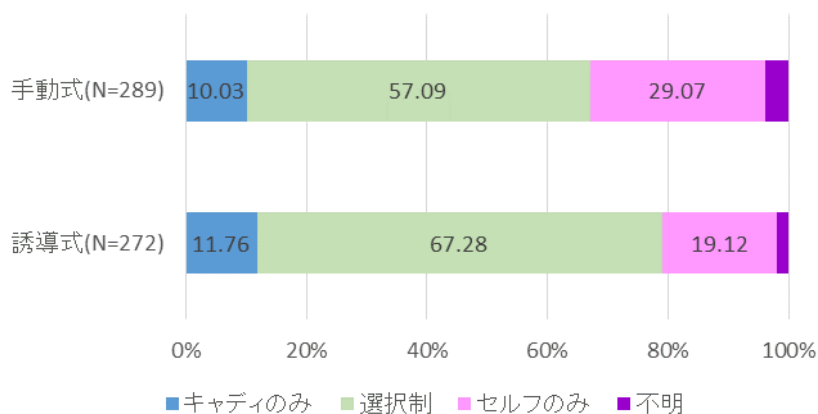
調査の概要は以下のとおりである。

###### <調査概要>

- ・調査期間：2013 年 4 月 3 日～4 月 20 日
- ・調査対象：全国のゴルフ場 2289 箇所
- ・調査方法：郵送配付、郵送回収
- ・有効回収数：558 票（回収率：24.3%）

###### <回答属性>

- ・誘導式 272 箇所、手動式 289 箇所
- ・誘導式はキャディ付 11.8%、選択制 67.3%、セルフ式 19.1%
- ・手動式はキャディ付 10.0%、選択制 57.1%、セルフ式 29.1%



図表 3-35 カート種類別ラウンドスタイル割合

##### (b)事故件数とヒヤリ・ハット件数の推計

###### (1)推計方法

過去の調査結果から設定した代表的な事故パターン（誘導式カート 13 種類、手動式カート 12 種類）を対象に事故実績とヒヤリ・ハット経験について回答を得た。

事故実績は、過去 5 年間を対象に「1 年に 6 件以上」、「1 年に 3 件程度」、「1 年に 1 件程度」、「5 年に 1、2 件」、「全くない」の 5 段階で回答を得た。

ヒヤリ・ハット経験は、過去 1 年間を対象に、「10 件以上」、「9～6 件程度」、「5～3 件程度」、「1～2 件程度」、「全くない」の 5 段階で回答を得た。

回答の結果を図表 3-36 にもとづき集計し、1 年あたりの事故件数およびヒヤリ・ハット件数の平均値（件/年・箇所）を算出した。

図表 3-36 事故件数換算表

|                        | 選択肢        | 算定件数 (/年) |
|------------------------|------------|-----------|
| 事故実績<br>過去 5 年間を対象に    | 1 年に 6 件以上 | 6         |
|                        | 1 年に 3 件程度 | 3         |
|                        | 1 年に 1 件程度 | 1         |
|                        | 5 年に 1、2 件 | 0.2       |
|                        | 全くない       | 0         |
| ヒヤリ・ハット<br>過去 1 年間を対象に | 10 件以上     | 10        |
|                        | 9～6 件程度    | 7.5       |
|                        | 5～3 件程度    | 4         |
|                        | 1～2 件程度    | 1.5       |
|                        | 全くない       | 0         |

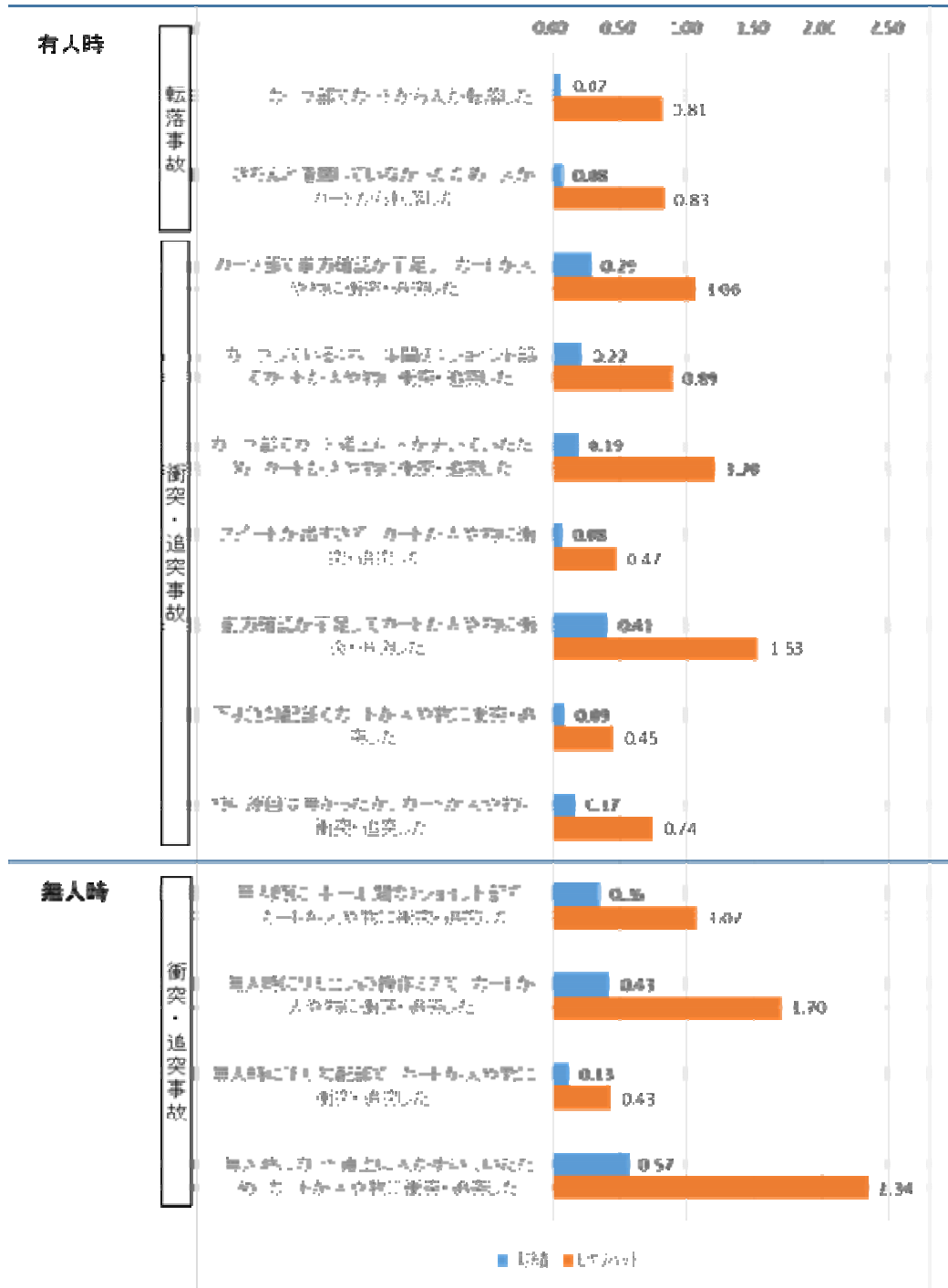


(2)誘導式カート

代表的な事故（13種）による事故件数の合計は約3件/年である。

衝突・追突事故の件数が多い傾向にあり、特に「前方確認の不足」、「リモコンの操作ミス」、「カート道の歩行」に関する事故件数が多い傾向にある。

ラウンドスタイル別には、キャディ同行よりも選択制、セルフの事故件数が多い傾向にある。

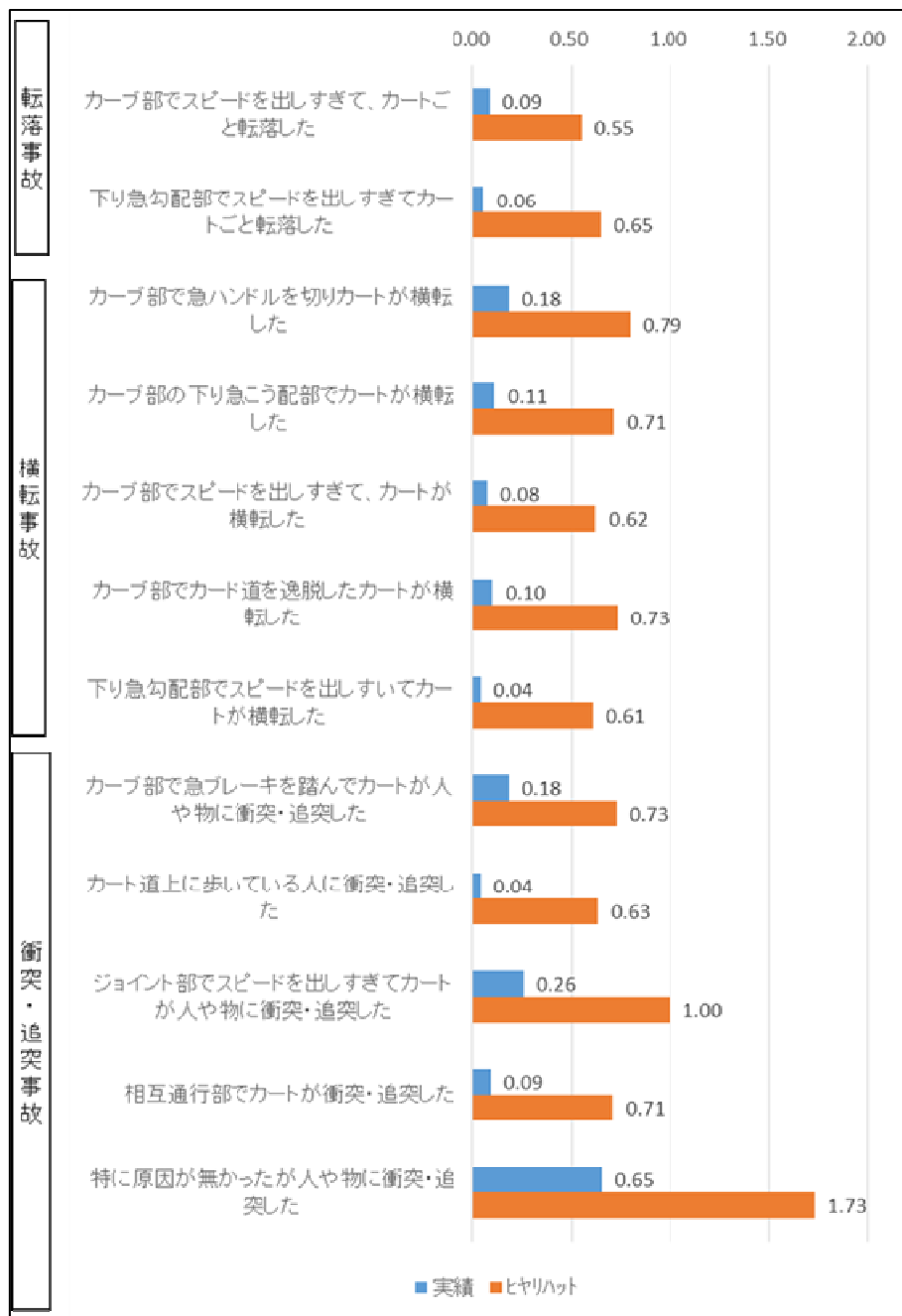


図表 3-37 誘導式カート\_\_事故パターン別事故実績、ヒヤリ・ハット件数推計値（件/年・箇所）

### (3)手動式カート

代表的な事故パターン（12種）による事故件数の合計は約1.7件/年である。

事故パターンによる件数の差は少なく、やや衝突・追突事故の件数が多い傾向にある。ラウンドスタイル別には、キャディ同行よりも選択制、セルフの事故件数が多い傾向にある。

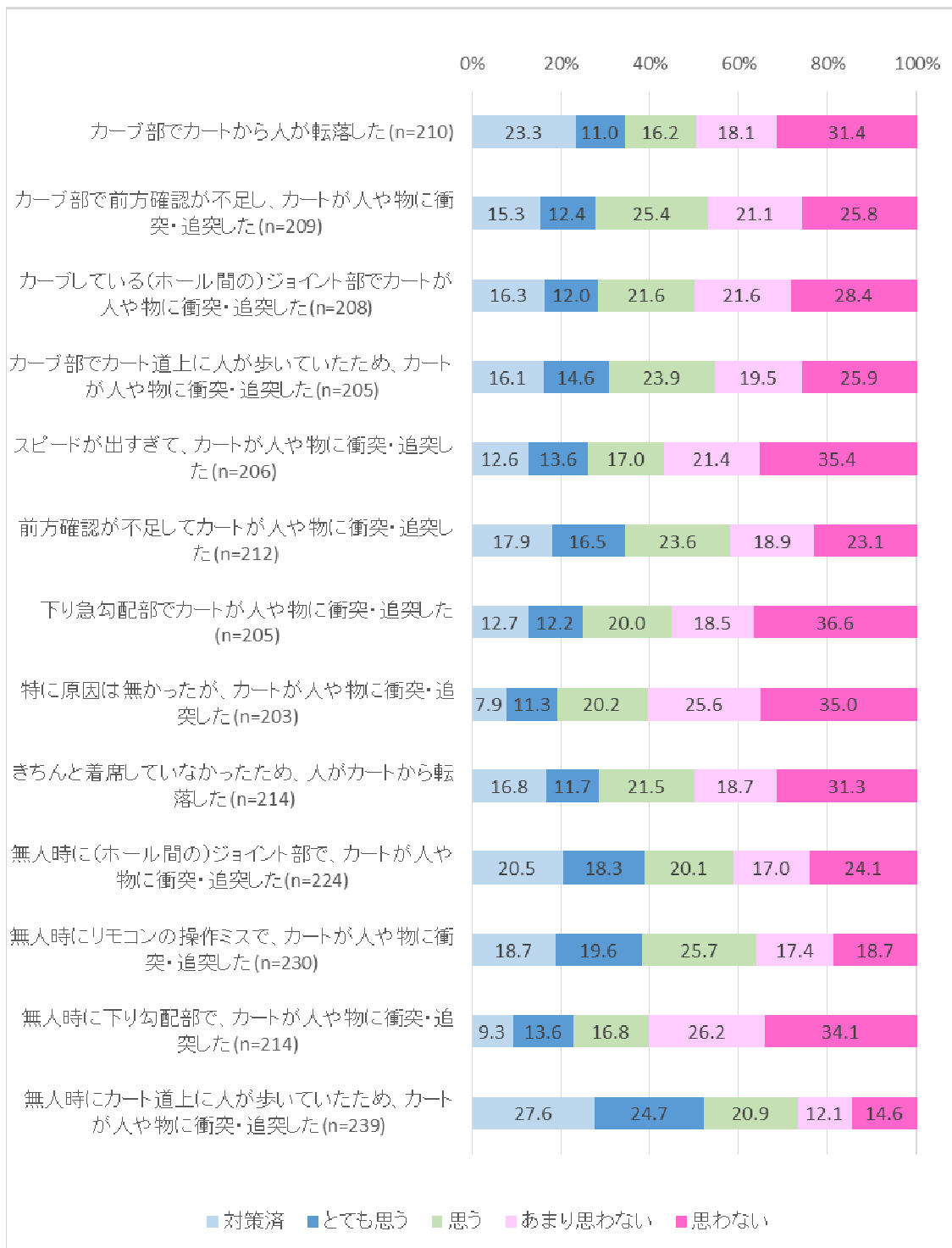


図表 3-38 手動式カート\_\_事故パターン別事故実績、ヒヤリ・ハット件数推計値（件/年・箇所）

(c)改善意向と対策事例

(1)誘導式カートの改善意向

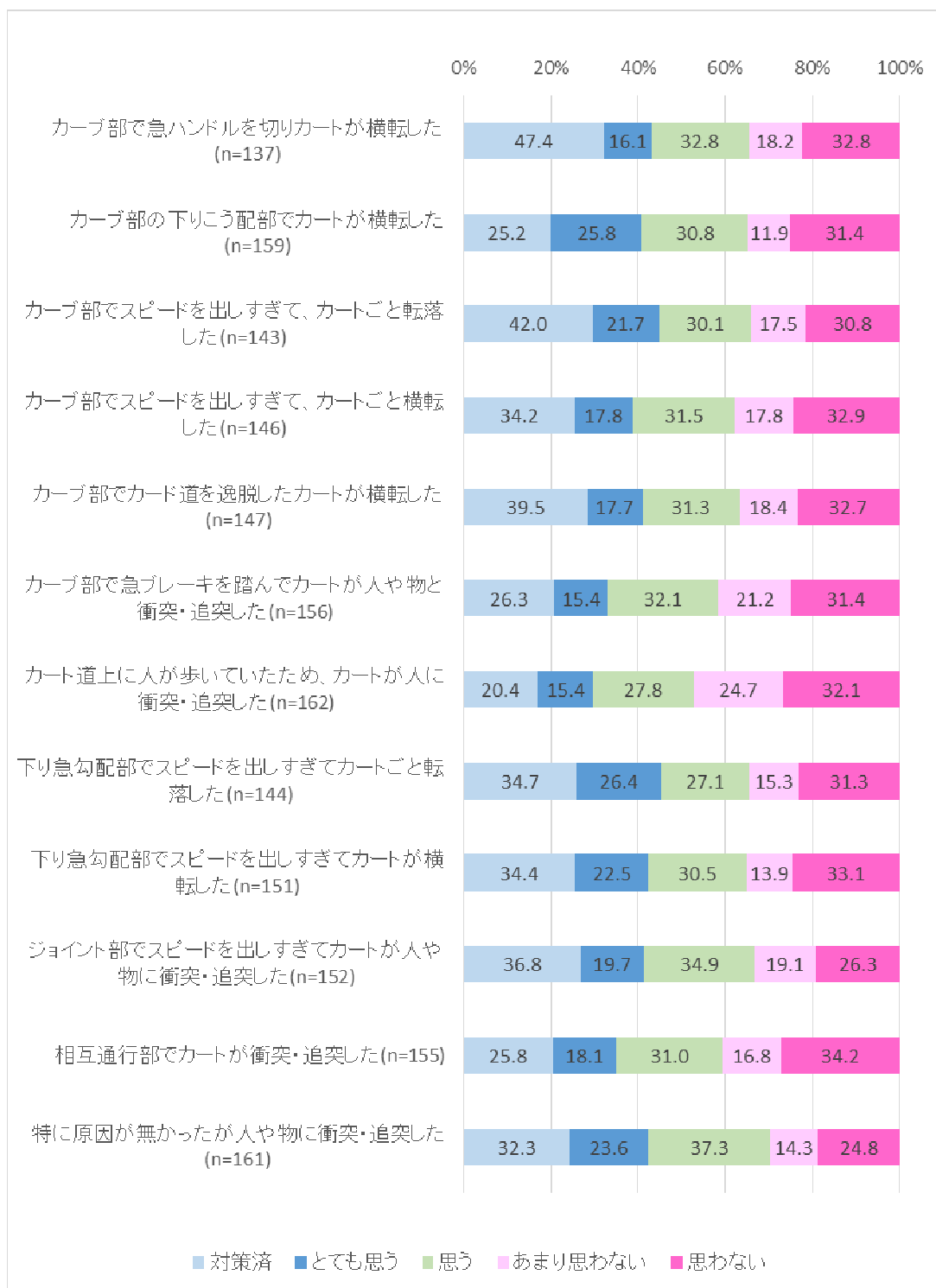
下り急こう配部での事故など抜本的な改善が難しい事故パターンや、事故原因が不明確な事故パターンに対して、改善意向が低い傾向にある。



図表 3-39 事故パターン別改善意向 (誘導式カート)

(2)手動式カートの改善意向

横転や転落事故に対する対策の実施率が高い傾向にあり、衝突・追突に関する事故は改善意向が低い傾向にある。



図表 3-40 事故パターン別改善意向（手動式カート）

(3)対策事例

対策としては「カート道の改修」、「カートの改修」、「カートの操作制限」、「注意喚起設備」、「意識啓発」に大別される。誘導式カートでは、カートの操作制限による対策が多いことが特徴となっている。一方、手動式カートでは、横転や転落に対して様々なカート道の改修が行われているが、カートの操作制限は難しく速度抑制のみである。

|          | 誘導式カート  | 手動式カート   |
|----------|---|--|
| カート道の改修  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・線形の改良</li> <li>・こう配の改良</li> <li>・障害物（樹木など）の撤去による見通しの確保</li> <li>・カートとすれ違える退避場所の確保</li> <li>・カート道の明示化（白線など）</li> <li>・ミラーの設置</li> <li>・滑り防止（シートマットの装着、滑り防止ブロックの設置）</li> <li>・補修の徹底（カート動線のズレ、カート道の劣化による振動が大きいため）</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・カート道の改修（拡幅、線形改良など）</li> <li>・カート道の路面の凹凸化、ハンプの設置など（速度抑制、滑り抵抗）</li> <li>・ガードレール、ガードパイプの設置</li> <li>・クッションドラム、杭、枕木などの設置</li> <li>・カート道の明示化（白線など）</li> <li>・転落予測箇所防止壁を設置</li> <li>・カート道の動線の変更</li> <li>・衝突した樹木の伐採</li> <li>・危険箇所のペイント</li> </ul> |
| カートの改修   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・タイヤに鈴の設置（接近警告用）</li> <li>・タイヤ、ブレーキパッドの交換の徹底、ブレーキ圧の設定</li> <li>・バンパー点検</li> <li>・バッテリーの交換や充電（センサー機能低下の防止）</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・自動ブレーキ付カートへの変更</li> <li>・エンジンブレーキの改良</li> </ul>  |
| カートの操作制限 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・プレイヤによる運転禁止</li> <li>・手動走行の禁止</li> <li>・強制停止箇所の設置</li> <li>・乗車禁止区間の設定（急こう配部）</li> <li>・カートへの自動追従停止区間の設置</li> <li>・自動一時停止点、減速点の設置、追加、変更</li> <li>・速度抑制（低速度設定）</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・最高速度の抑制（15km/h）</li> </ul>   |
| 注意喚起設備   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・警告音の設置</li> <li>・警告看板の設置</li> <li>・警告ランプの設置</li> <li>・カート内の張り紙添付（人物への停止機能がないこと、カート道歩行禁止など）</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・看板の設置（危険箇所・事故現場の明示、徐行等の啓発）</li> <li>・危険箇所へのポールの設置</li> </ul>   |
| 意識啓発     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・口頭による指導（スタート時、危険箇所通過時）</li> <li>・マニュアルの作成、配備</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・口頭による指導（スタート時、危険箇所通過時等）</li> <li>・啓発チラシ、ポスターの貼付</li> <li>・無線、ナビゲーションシステム(GPS など)による音声啓発</li> <li>・カート利用約款の配布</li> </ul>  |
| その他      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ティーグラウンド改善による動線の変更</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・誘導式カートへの変更</li> <li>・他コースの事故事例の共有（スタッフ間で）</li> <li>・無事故継続日数の目標を設定</li> </ul>   |

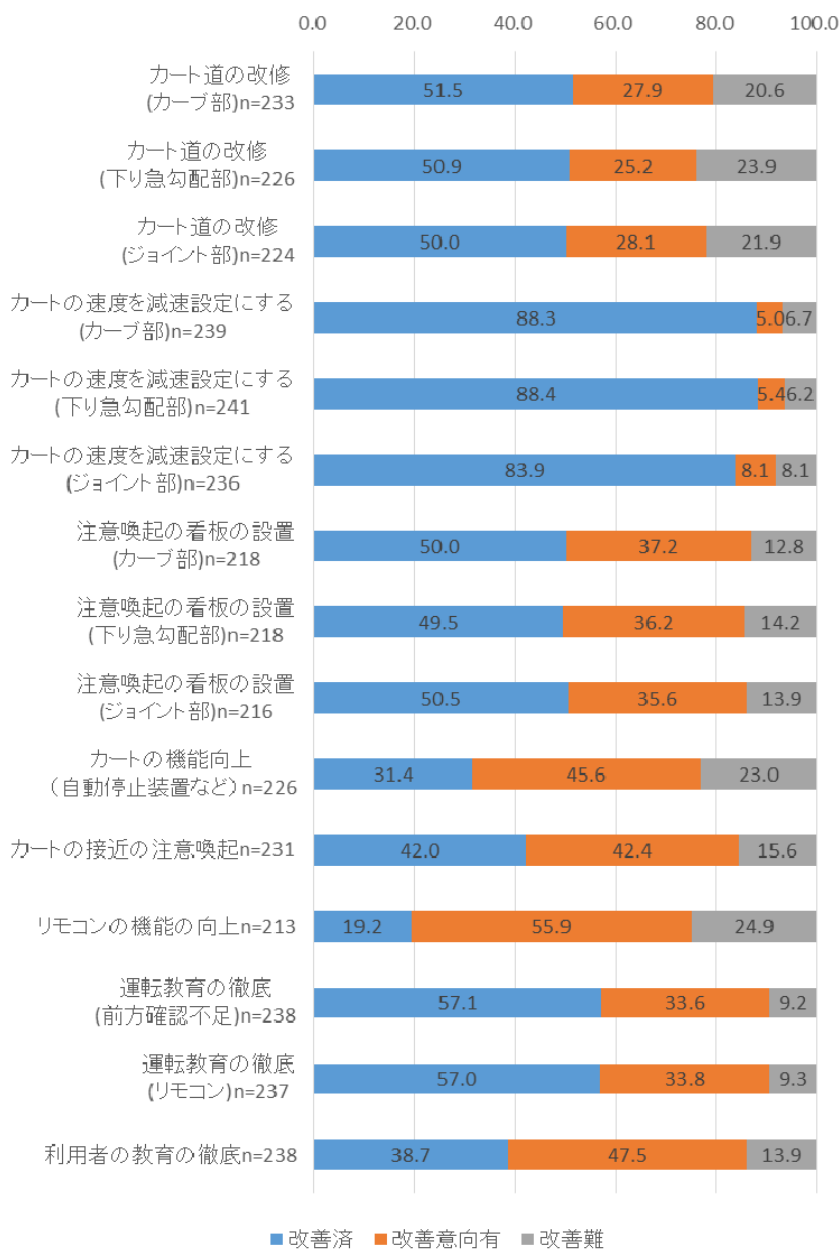
図表 3-41 対策事例

(d)対策への取り組み意向

(1)誘導式カート

カートの減速設定は約9割のゴルフ場で取り組まれている。カート道の改修は約5割で取り組まれているが、一方で約2割が取り組み困難と回答している。

カート機能の向上、リモコン機能の向上については改善率が低く、改善意向が高い。

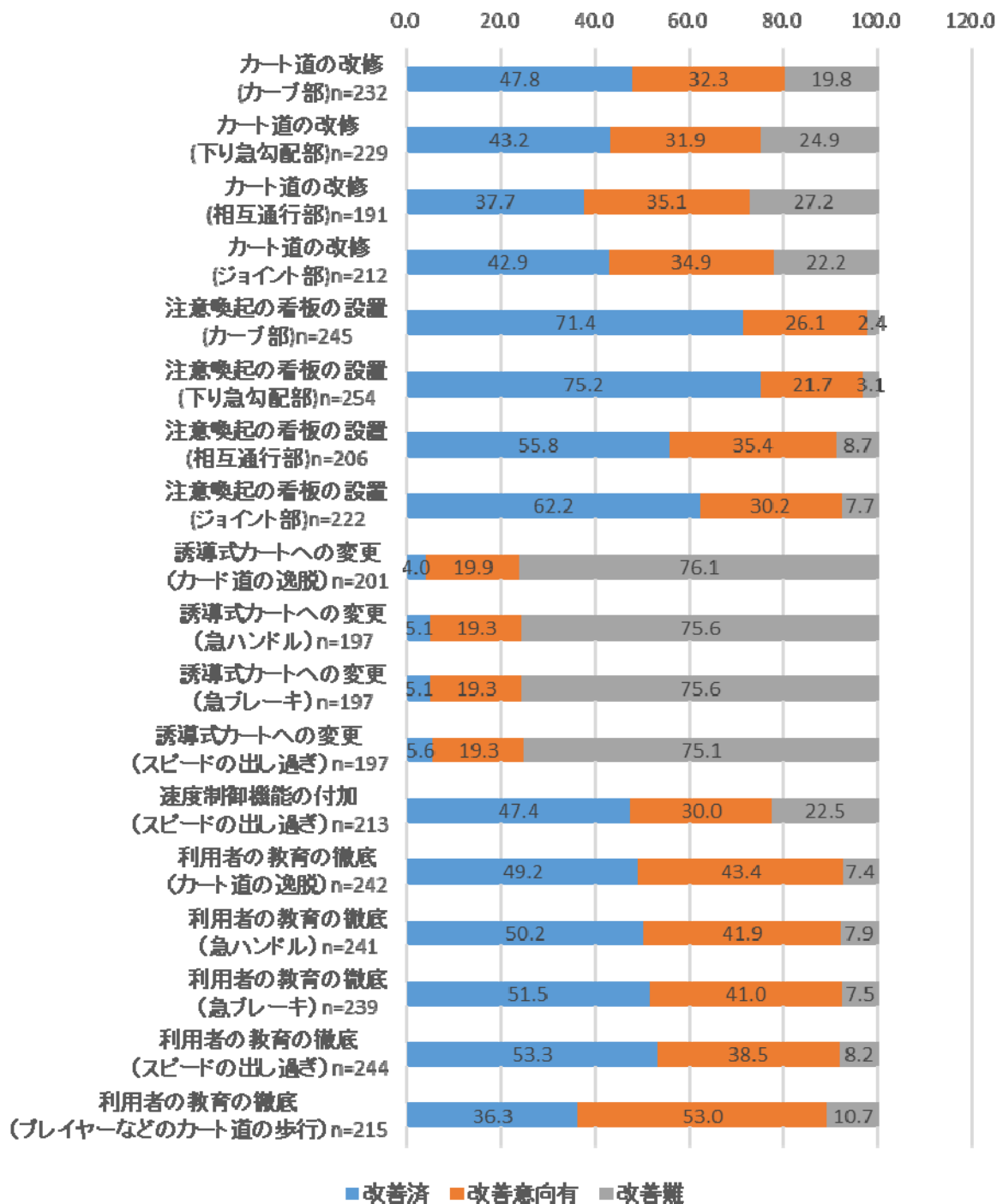


図表 3-42 誘導式カート\_\_対策別改善意向割合 (%)

(2)手動式カート

カート道の改修は約5割で取り組まれているが、一方で約3割が取り組み困難と回答している。

看板の設置は約6、7割で取り組まれており、取り組み意向も高い。また、利用者教育も取り組み意向は高い。誘導式カートへの変更については、約2割のゴルフ場で取り組み意向が確認された。



図表 3-43 手動式カート\_対策別改善意向割合 (%)

(e)小括

(1)事故発生件数（推計値）

誘導式カートが約 3 件/年、手動式カートが約 1.7 件/年となり、誘導式カートのほうが多いことが確認された。

(2)事故パターン

誘導式カートは衝突・追突事故が多く、手動式カートは事故パターンによる傾向は確認できない。セルフ時（選択制も含む）の事故が多く、対策が必要となっている。

(3)事故対策

誘導式カートではカートの操作制御、手動式カートではカート道の改修に取り組む傾向にある。環境要因は可能な限り改善させているものの、地形条件等により改善が非常に困難なケースがある。カート機能の向上、リモコン機能の向上（誘導式のみ）は、機器の開発も必要なことから改善意向があっても取り組み率は低い状況である。少数ではあるが、手動式カートから誘導式カートへ変更を行っている、または希望しているゴルフ場が存在する。

E.事件事例調査のまとめ

「ゴルフ場ヒアリング調査」、「利用者WEB調査」、「ゴルフ場アンケート調査」を通じて検証されたゴルフ場における乗用カート事故の特性は以下のとおり整理される。

図表 3-44 カートの種類別事故特性

|         | 誘導式カート  | 手動式カート                           |
|---------|---|----------------------------------|
| 事故件数    | 多い（推計値：3 件/年・箇所）                                  | 少ない（推計値：1.7 件/年・箇所）              |
| 事故のタイプ  | 衝突・追突事故が多い<br>軽度な事故が多い<br>無人操作時の事故が一定数（約 1/4）含まれる | 転落、横転、衝突・追突と多様である<br>大事故につながりやすい |
| 事故対策の傾向 | 操作制御  | カート道の改修<br>（しかし、一定の限界がある）        |
| 今後の課題   | カート、リモコン機能の向上（開発）が必要                              | セルフ化への対応                         |

第 4 章 誘導式ゴルフカートの安全運用技術開発（Z）の成果

1 安全運用技術

1.1 概要と達成状況

誘導式ゴルフカートのリスクアセスメントと事件事例調査より技術的な安全対策を実施した。これ以降の残留リスク対策として残留リスクマップとリスク一覧表を作成した。また、誘導式ゴルフカートの使用者であるゴルフ場での運用マニュアルを、ゴルフ場へのヒアリング、アンケートの結果を踏まえ策定した。



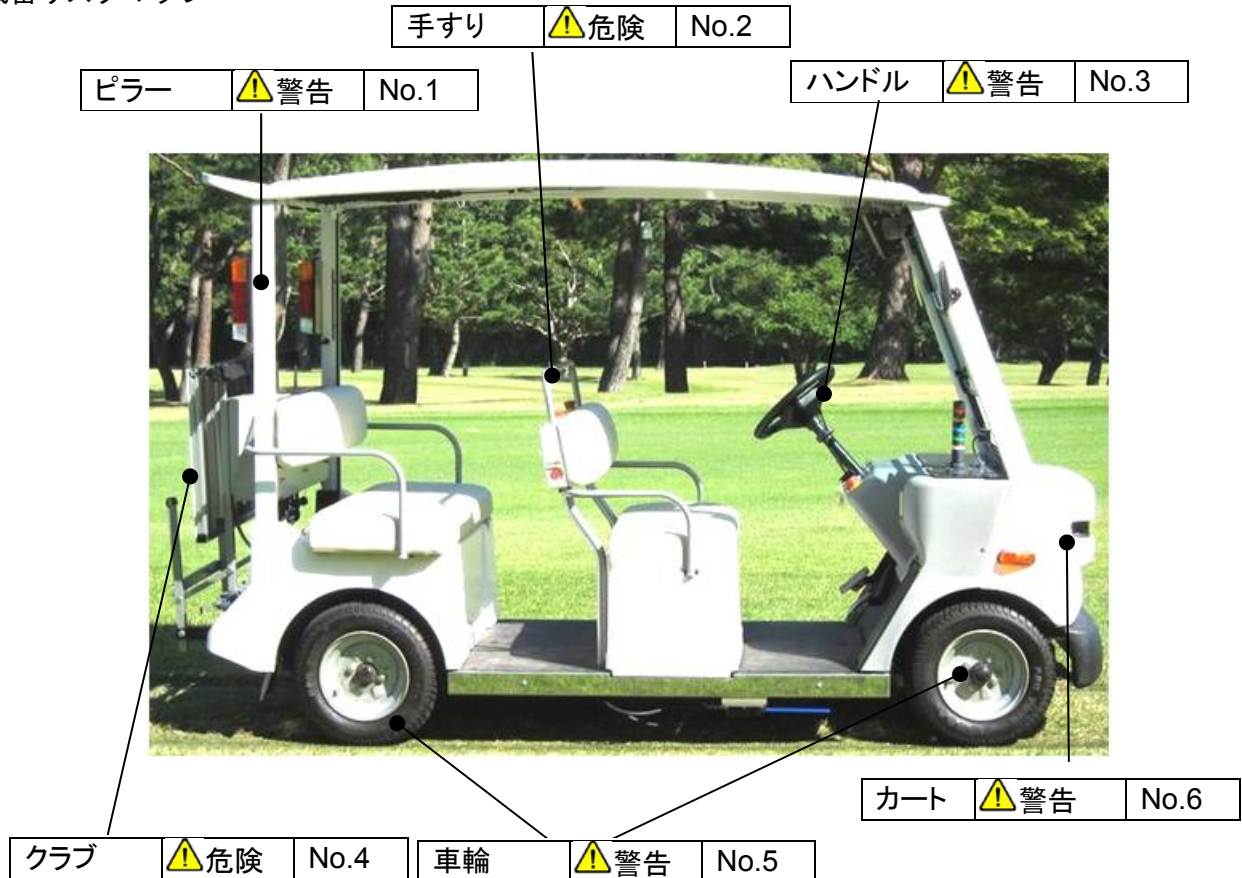
## 1.2 残留リスク対策

プレイヤー、キャディなど誘導式ゴルフカートを利用する者による保護策が必要な残留リスクマップを以下に示す。ゴルフ場が事前に教育・説明することによって当事者へ実践させなければならない。

「リスクの程度」は、以下の定義に従って分類し記載している。

- ・ 危険：保護策を実施しなかった場合に、人が死亡または重傷を負う可能性が高い内容
- ・ 警告：保護策を実施しなかった場合に、人が死亡または重傷を負う可能性がある内容
- ・ 注意：保護策を実施しなかった場合に、人が軽傷を負う可能性がある内容

### ・ 残留リスクマップ



### ・ 残留リスク一覧

| No. | 運用段階 | 実施者 | 危害の内容         | 実施する保護方策           |
|-----|------|-----|---------------|--------------------|
| 1   | 走行中  | 搭乗者 | 急停止の反動で頭部打撲   | 運転席では手すりかハンドルを握る   |
| 2   | 走行中  | 搭乗者 | 急停止で胸部打撲      | 後部座席では手すりを握る       |
| 3   | 走行中  | 搭乗者 | 〃             | 運転席では手すりかハンドルを握る   |
| 4   | 走行中  | 歩行者 | クラブ収納時急停止で顔打撲 | 走行中クラブの後部バッグへの収納禁止 |
| 5   | 走行中  | 共通  | タイヤでの巻き込み骨折   | タイヤへ触れないこと         |
| 6   | 走行中  | 歩行者 | 急な飛び出しで衝突     | 誘導路へは入らないこと        |

### 1.3 安全運用マニュアル

#### (1) 乗用カート事故のパターン

##### ①乗用カートの事故パターン

全国の半年に1回以上ゴルフをする人を対象に行ったプレイヤーのヒヤリハットに関するWeb調査を行った。その結果、代表的な事故パターンとして、誘導式カート13種類、手動式カート12種類を設定した。

##### ②乗用カートの事故の発生頻度

全国のゴルフ場を対象とした乗用カート事故に関する調査により誘導式カート、手動式カートの事故発生件数ならびに事故対策の特性を把握した。事故発生件数（推計値）は、誘導式カートが約3件/年、手動式カートが約1.7件/年となり、誘導式カートのほうが多いことが確認された。

事故パターンとしては、誘導式カートは衝突・追突事故が多く、手動式カートは事故パターンによる傾向は確認できない。誘導式カート、手動式カートともにセルフ時（選択制も含む）の事故が多く、対策が必要となっている。事故対策は、誘導式カートではカートの操作制御によるものが多く、手動式カートでは転落や横転など大事故につながる要因への対策としてカート道の改修に取り組んでいる傾向が確認できた。しかし、環境要因は可能な限り改善させているものの、地形条件等により改善が非常に困難なケースがあると考えられる。カート機能の向上、リモコン機能の向上（誘導式のみ）は、機器の開発も必要なことから改善意向があっても取り組み率は低い傾向にある。

##### ③ まとめ

誘導式カートに限定すると、ゴルファー調査をもとに作成した事故パターンとゴルフ場調査で把握したその発生頻度を集計すると、図表4-1のようになる。

(2)安全制御システム導入による事故リスク低減効果

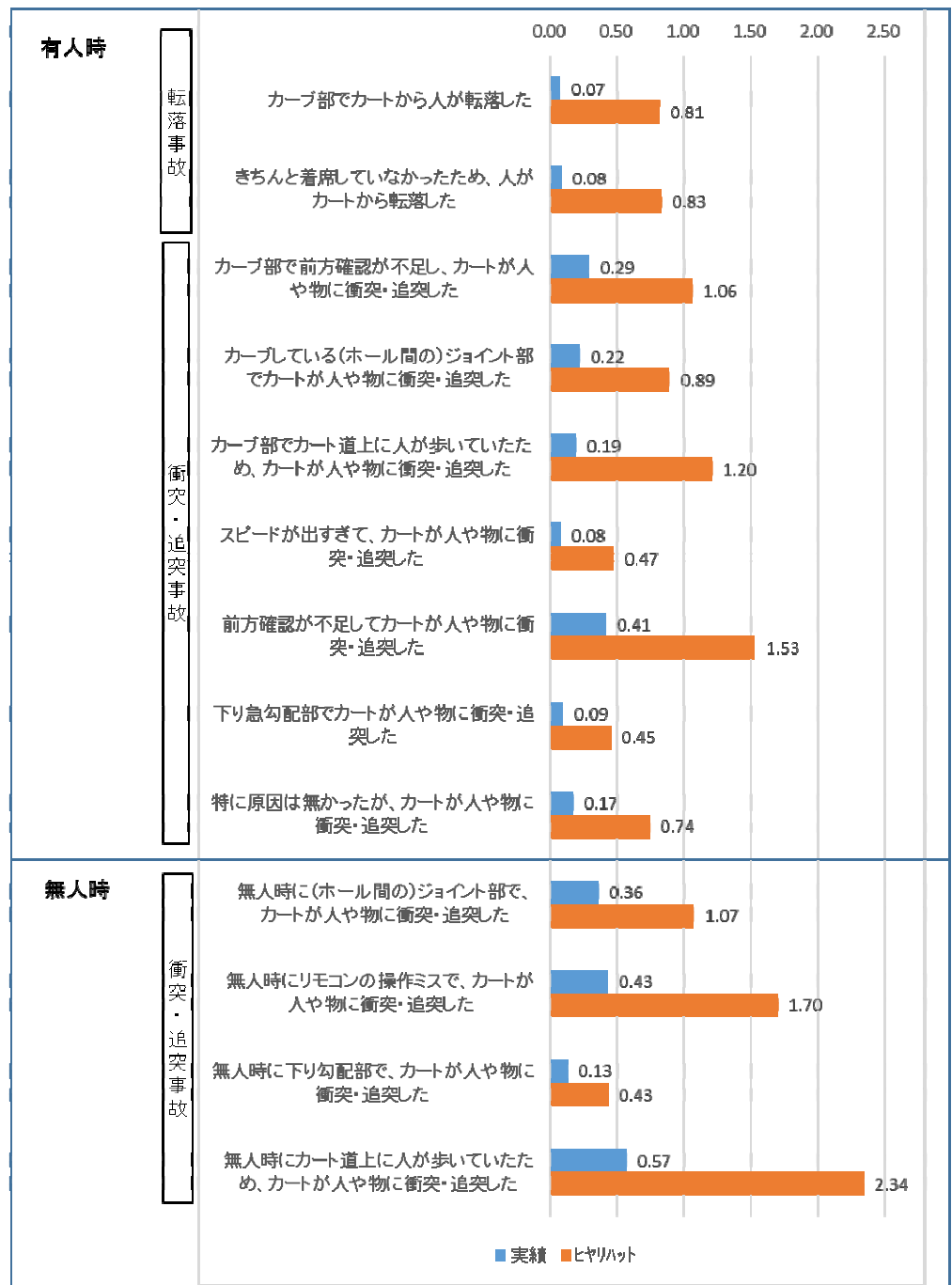
この誘導式ゴルフカートで設定した代表的な事故パターンについて、障害物センサと非常停止機能付きリモコンを含む安全制御システムが誘導式ゴルフカートに導入され、有効に働いた場合、有人時、無人時に生じる衝突・追突事故のほとんどの事故パターンの発生が解決されると期待される。一方、本システムを導入しても転落事故に関する事故パターンについては、解決できないと予測される。なお、本システムにより制動が行われることにより搭乗者が受傷するリスクが発生するが、制動による姿勢の乱れに問題が無く、搭乗者がカート車内の座席に正着しておれば、問題が無い。

このシステムを導入したとしても解決されない事故パターンについては、これまで対策が行われており、「カーブ部でカートから人が転落した」については、23.3%のゴルフ場で対策済みであるものの、11.0%のゴルフ場が「対策を行いたい」ととても思う」16.2%が「対策を行いたいと思う」と回答している。対策は比較的とられるようになってきているものの、不十分な状況が予測される。同様に「カーブ部で前方確認が不足し、カートが人や物に衝突・追突した」については、15.3%のゴルフ場で対策済みと回答している一方、12.4%のゴルフ場が「対策を行いたい」ととても思う」25.4%が「対策を行いたいと思う」と回答している。意識啓発程度しか有効に働かないと考えられ、下記がこれまで行われている対策であるが、これを継続的に行っていくことが望ましいと考えられる。

- ・口頭による指導（スタート時、危険箇所通過時等）

- ・啓発チラシ、ポスターの貼付
- ・無線、ナビゲーションシステム(GPS など)による音声啓発

また、次章で述べる状況については、事故、ヒヤリハットの発生の低減が不十分であると考えられるので、注意を要する。



図表 4-1 誘導式ゴルフカートの事故パターン別発生頻度 III-5-4-64

### (3) 安全制御システム導入時に注意を要する項目

安全制御システムを導入することにより、衝突・衝突事故の発生が抑えられると期待されるが、下記に示す項目が、影響を及ぼし、安全制御システムの効果が低減されると推測される。

#### 1)上り坂終端部

- 上り坂の終端においては、高さの低い障害物を検知できない可能性が高まる。
- 対策：速度を落とし、衝突の可能性を減らす。そのため、坂道の登り切った部分に停止点を設置するか、減速のマグネット設置を行う。

(状況に由来するもの)

#### 2)雨天時

- タイヤスリップによる停止距離の増加。その結果として止まりきらず、衝突が生じる可能性がある。
- 対策：雨天時は制動距離が伸びるため、走行速度を下げる。カート内ディップスイッチを変更し、最高速度設定を下げる。

(エリア設定・機器の特性に由来するもの)

#### 3)右左折時の巻き込み

- 後方から近づく車両
- 車両と併走するプレイヤー
- 対策：巻き込み対策は、本システムでな実現できない旨、利用時に伝える。

#### 4)急角度での右左折時

- 急角度で曲がる外側の障害物を認知しないように、エリア設定を短く限定しているため、停止までに必要な制動時間、空走時間を満たす時間を稼ぐことができない。
- 対策：急角度手前での低速指令マグネットを入れる。

(周辺環境によるもの)

#### 5)急な飛び出し

- 安全制御システムが側方から時速約 6km/h（歩行速度程度）で接近することを想定し、これを避けるためのエリア設定が行われている。そのため、6km/h を超える速度で進入する人、物については、センサで感知したとしても、ゴルフカートが静止するまでの空走距離が生じる結果、追突、衝突が生じると考えられる。
- また、急な飛び出しについては、立木の間から現れる人物も同様に検知はできるものの、制止までの間接触が生じる恐れがある。
- 対策：急な飛び出しが生じないよう広報啓発活動具体的には、看板の掲出などを行う必要がある。

(システムの不正な使用によるもの)

#### 6)正しく着席しない場合

- 本システムが導入され、制動が行われたとしても、正しく座席に着席して居れば、姿勢の乱れ起こらないことが確認されている。しかし、座席にちゃんと座らなかったり、前方を向いていなかった場合、車両から転落、受傷する可能性がある。
- 対策：カートに乗車する姿勢について、スタート時に口頭による注意を与える。

#### 7)本システムを起動しなかった場合

- 本システムは、誘導走行（キーの表示は自動運転）時に起動する。そのため、手動運転時には安全確保が期待できない
- 対策：ゴルフカートの引き渡しを行う際に、キー位置が自動運転の位置にあることを確認し、誘導走行状態にあることを確認し、プレイヤーにカートを引き渡す。

#### (4) 安全にゴルフカートを運用するための注意事項

2章、3章で述べた残存するリスクを避け、ゴルフカートを安全に運用するため、本章では、ゴルフカートを使用した営業の各場面における注意点を記す。

##### (共通)

###### ① カート引き渡しの方法

- キー位置が自動運転の位置にあることを確認し、誘導走行状態にあることを確認し、プレイヤーにカートを引き渡す。誘導走行での運用を基本とする。また、プレイヤーが勝手に誘導走行を止めないようにキーを引き渡さない。

###### ② カート引き渡し時の注意事項

カート引き渡し時の口頭による注意として次の事項をプレイヤーに伝える。

##### (システムの機能の限界について)

- カートには、衝突を防止するため、自動で制動するシステムが装備されているが、安全性を向上するシステムであり、自動運転を実現するシステムではない。
- カートは障害物を検知する機能がついているが、センサの設置位置の関係で、高さの低いものを検知できないことがある。たとえば、カート道上に置かれたゴルフクラブなどはセンサで検知できない可能性がある。この点に留意し、前方を注視し、搭乗者が障害物がないかを見極めることが求められる。

##### (転落事故の対策)

- カートに乗車する際は、座席に座ること。あぐらなどの不安定な座り方をしないこと

##### (制動の追加によるリスクの上昇に対する対策)

- 障害物を検知して、急に制動するため、乗車中にはできる限り手すりを持つまたは手すりを持てるよう準備をすること。深く座席に腰掛け、安定した体位をとれる座り方をすること。スコアをつける際などは、特に注意をして深く座席に腰を掛けること。

##### (安全制御システムの効果が低減される状況に対する対策)

- カートは障害物を検知し、制動を行うが、カート道に突然飛び出すことには対応できないため、カート道に飛び出さないこと。特にカート道の曲率が大きい区間は、検知範囲を限定しているため、カート道の曲率が大きい区間では、カート周辺に近寄らないこと。
- カート後方から近づいた場合、車両に巻き込まれる事故が起こる可能性があるため、走行中のカートを追いつくことをしないこと。
- 雨天時、制動距離が伸び、衝突が生じる可能性があるため、雨天時はカート道に入り込まないこと。

##### (キャディ同行で運営されるケース)

キャディ同行により運営されるコースの場合、システムによりカートが停止した場合、キャディにより安全確認を行うため、スタート時に口頭による注意として次の事項をプレイヤーに伝える。

- カートが障害物を検知し、停止した場合、キャディが安全を確認し、再始動する。そのため、プレイヤーが勝手に手動モードに変更しないこと。

##### (セルフで運営されるケース)

セルフにより運営されるコースの場合、システムによりカートが停止した場合、プレイヤーにより安全確認を行う。そこで、スタート時に口頭による注意として次の事項をプレイヤーに伝える。

- カートが障害物を検知し、停止した場合、安全を確認すること。
  - ◇ 障害物となっていた歩行者や他の車両などの障害物が明確であり、カートの進行方向からいなくなった場合
    - (ア) システムが障害物を検知していないことを確認し、発車ボタンを押し、カートを再始動すること
  - ◇ 障害物となっていたものが不明確である場合
    - ・ 障害物となっていたものが明確であるが、カートの進行方向から動かない場合。(具体的には、カート道周辺にある樹木が伸び、カート道にかかっている場合などが考えられる) カートの運転を停止し、運営者に連絡を行い、運営者による対応を待つこと。
  - ◇ 障害物となっていたものが不明確である場合
    - ・ 車両の停止を確認し、カートから降り、カート前方、カート底部などに障害物がないかを確認する。この際、カートの進行方向に立ち入らずに確認するよう留意すること。確認後、発車ボタンを押し、再始動を試みる。再始動しない場合は、カートの運転を停止し、運営者に連絡を行い、運営者による対応を待つこと。

#### 1.4 検知エリアの研究

##### A. はじめに

ゴルフカートの安全化において、検知エリアが広すぎると、頻繁に停止することが予想され利便性を損ないかねない。反対に検知エリアが狭すぎると、ゴルフカートの接近に気付いていない歩行者を追い抜いた際に、歩行者が危険感や恐怖心により驚いて転倒するなどの危険性がある。ゴルフカートが歩行者を追い抜く際に歩行者を驚かすことのない距離は安全対策において重要な要素であると考え、恐怖心を与えずに追い抜くことができる距離を検証する。

この恐怖心を与えず追い抜くことができる距離を元に検知エリアについて提案する。

##### B. ゴルフカートが歩行者を追い抜く際に歩行者を驚かすことのない距離の検証

###### (a) ストレス評価について

齋藤らエラー! 参照元が見つかりません。や山田らエラー! 参照元が見つかりません。自動車と歩行者のすれ違いによる危険感をストレス値を測ることで明らかにしている。そこで、本研究においてもゴルフカートが人に与える危険感や恐怖心はストレスとして距離と速度により増減するという仮説を立て、ストレスを評価する指標として、心拍計測による心拍変動の分析を用いる。心拍変動の分析により短時間におけるストレスを算出することができる。計測が容易であることに加えて妥当性が高く、心拍計測から心拍変動を評価することによりストレス計測・評価を行っている既往研究が多く、確立された手法である。心拍変動の分析によりLF/HFを算出する。このLF/HFの大きさがストレスの大きさを表す。LF/HFの値は個人差が大きいため、数値の絶対値ではなく、数値の変化率を求めることでデータの比較・分析を行う。変化率を扱うことで平常時のLF/HFが高い人と低い人との間の個人差を無視できる。また心拍測定は生理指標であるため様々な原因で外れ値が含まれやすいため外れ値の除外を行う。

###### (b) 実験

齋藤らエラー! 参照元が見つかりません。によると自動車と歩行者のすれ違いにおいては歩行者の前方から自動車がすれ違うときよりも歩行者の後方から自動車が追い抜くときの方がストレスは大きい。この研究を参考に本研究でもストレスを感じる状況として後方からの追い抜きを検証した。またゴルフカートは電気で動く電動カートが増加しており、今回安全対策の対象であるバッテリー式のゴルフカートはこれらは走行音が非常に小さいため後方から近づく際に人は気が付きにくいいため、ストレスに影響すると考える。以上より本研究では後方からの追い抜き時の人の心拍変動からストレスを検証することで人とカートがどこまで近づくことができるのか実験を行った。

実験は2012年11月15日から22日までの平日6日間に午前と午後に分けて行った。いずれの日も天候は晴れもしくは曇りであった。本研究では実験条件の設定を行うために事前実験を行った。その結果、ゴルフカートが追い抜いているときの人の距離を20、40、60、80cmに設定して測定することにした。これ以上細かく設定すると試行回数が多くなり被験者に疲労によるストレスを与えてしまう可能性があり、これ以上遠い距離では80cmを超えたあたりからは変化が期待できないことが事前実験よりうかがえた。またカートの速度を6.5km/hにして同様に行ったところ60cmより離れてしまうと12km/hにおける80cmの試行と平常時のデータとほぼ同等であり変化が見られないようなので、6.5km/hの場合は20、40、60cmのみで行うことにし、6.5km/h、80cmで行った場合は12km/h、80cmで行った場合の結果と変わらないと仮定した。よってこれらの距離と速度の組み合わせは7通りあり、さらにそれぞれの組み合わせで被験者一人につき4試行ずつ行うことで一人当たり計28個のデータを収集した。どの距離設定、速度の組み合わせから行うかは被験者ごとに変え、ランダムにすることで試行順序による差は無視することができる。被験者は男女差による結果の違いはなく心拍が安定していると思われる20歳代エラー！参照元が見つかりません。の大阪大学の学生17名とし、心拍計測にはCheck My Heart、ゴルフカートは電磁誘導型ゴルフカートを用いた。使用した電磁誘導型ゴルフカートの特性を表4-2にまとめた。電磁誘導型ゴルフカートは地面に埋め込まれた誘導線の上を自動で走行させることができる。何度でも同じ走行位置を走行できるため、この実験のような20cm毎という細かい距離設定もほぼ誤差を生じさせないようにすることが可能である。さらに一定の速度で走行するように制御することで、毎回同じ速度で走行できる。また心拍測定には心拍を正常に測ることを妨げるノイズと呼ばれるものが重要である。今回使用した心拍測定機器は非常にノイズに弱く、心拍測定を行う際にはさまざまな要因からノイズを受けてしまうが、大きく分けて2種類のノイズが生じる。ひとつは、計測機器が心拍を電気信号で測る際に体を動かすなどしてその電気信号にノイズを発生させてしまうものである。もう一つが、計測を行う際に対象とするストレス刺激以外の要素からストレスを受け、対象とするストレス刺激から受けたストレス以上のストレスを計測してしまうという意味でのノイズである。実験を行う際にこれらを取り除く、軽減させる、防止するような対策をしなければならない。そこで、体を動かすことを極力防止するために、被験者には椅子に座ってリラックスさせ、対象としないストレスの影響を受けないような環境下で実験を行った。実験場は大阪大学のキャンパス内の中でも主要な道とされていない、歩行者が極めて少ない遊歩道とし、歩行者や自動車がほぼ通らないため対象としないストレスを抑止できた。

図表4-2 ゴルフカートの概要

|      |  |
|------|--|
| 形式   | ECO5-Z (HIC-870)   |
| 製造   | 新神戸電機  |
| 最高速度 | オート時：6.5km/hまたは8.5km/h（定速）<br>10km/h、12km/hにも設定可能<br>マニュアル時：19km/h |
| 質量   | 約395kg   |
| 外形寸法 | 全長：3,470mm（バックスタンド折りたたみ時2,970mm）<br>全幅：1,260mm<br>全高：1,830mm       |

出典) 日立エラー！参照元が見つかりません。カタログから抜粋

### (c)分析

LF/HF を利用している既往研究の多くはストレス測定中ずっとストレスを与え続けるというものであり、例えば向江らエラー！参照元が見つかりません。は2分間の心拍データを利用して分析を行っている。後藤らエラー！参照元が見つかりません。は、心拍変動の時系列データを周波数解析することによって神経性循環調節機能の推定を行う中で、Short Term 解析と題して短時間の時系列データによるスペ

クトル解析を行っている。それによると FFT 法によるスペクトル解析では、時間幅として時系列データの 16 点、32 点、64 点を利用して解析実験を行い、64 点であれば安定した解析ができるとしている。本研究の場合はストレス刺激が起こる時間は一瞬であり、その影響を測るためにも強くストレスの影響が残っている時間幅で分析する必要があると考え、また、数分間の繰り返しを行った場合長時間の計測になってしまい、計測のために長時間不動の状態を保ち続けることでストレスが大きくかかる可能性があるため、本研究では追い抜きの瞬間を中心とした 64 拍分の FFT 法によるスペクトル解析を行う。

本研究の実験では 7 種類の試行を 4 回ずつ繰り返し行った。LF/HF を算出するにあたり、前述のとおりノイズが入ったり、極端な外れ値が発生したりするケースが見受けられた。そこで、データが 4 試行分あるものについては外れ値を除外する。本研究では各実験条件で 4 つずつあるデータのうち、平均値からもっとも離れている値を外れ値として扱い、測定不能データと同等に除くことで各試行のデータを 3 つずつとするよう統一する。本研究では得られたデータを距離や速度の違いによりどう変わるのかを、被験者全体で比較・分析することで確かめたい。許らエラー! 参照元が見つかりません。が LF/HF の個人間の比較を行った方法を参考に、各被験者における 21 個あるデータの平均ですべてのデータを除することで変化率を求め、比較・分析を行うこととした。変化率は算出した LF/HF の数値の個人差に影響されない。一人の被験者における n 個の LF/HF の値を X、各変化率を Y とし、変化率を求める式を以下に示す。

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1a)$$

$$Y_i = \frac{X_i}{\bar{X}} \quad (1b)$$

しかし、変化率においてもゴルフカート以外からのなんらかのストレス刺激を受けたために異常なストレスを感じ、外れ値が発生することが考えられるため、全被験者データの各試行の中で外れ値検定を行うことでさらに外れ値の影響を抑える。外れ値検定として、山森らエラー! 参照元が見つかりません。はスミルノフ・グラブス検定を行っており、本研究でもこれを採用した。この検定では、1 回につき 1 個の外れ値を検出することになる。複数個の外れ値がある場合は、最も大きなものについてまず検定を行い、それが外れ値だとすると次の段階ではそれを除いた n-1 個のデータについて同じように検定を行うということを繰り返す。また、本研究では分析する際は各被験者において各試行の 3 つの変化率データを平均したものをを用いることにした。

上記で LF/HF のデータの扱いを述べたが、距離の違い、速度の違いにより有意差が生じるか検証する。そこで、有意差の検定を行うため、等分散性の検定、正規性検定を行った。その結果、等分散かつ正規分布である場合は t 検定を行い、それ以外はノンパラメトリック検定として Mann-Whitney 検定を行った。

まず、速度別の設定距離間で、等分散性の検定を行った。F 検定の帰無仮説を分析する 2 つの群が等分散であることとし、5%水準により帰無仮説が棄却されれば不等分散、棄却されなければ等分散となる。F 検定の結果を図表 4-3 に示す。

図表 4-3 等分散性の検定 (距離間)

|           | 12km/h |     | 6.5km/h  |      |
|-----------|--------|-----|----------|------|
|           | p 値    | 結果  | p 値      | 結果   |
| 80cm-60cm | 0.495  | 等分散 | -        | -    |
| 80cm-40cm | 0.211  | 等分散 | -        | -    |
| 80cm-20cm | 0.0982 | 等分散 | -        | -    |
| 60cm-40cm | 0.212  | 等分散 | 0.0457   | 不等分散 |
| 60cm-20cm | 0.101  | 等分散 | 0.000153 | 不等分散 |



|           |       |     |        |      |
|-----------|-------|-----|--------|------|
| 40cm-20cm | 0.314 | 等分散 | 0.0135 | 不等分散 |
|-----------|-------|-----|--------|------|

図表4-4 正規性の検定

| 速度：6.5km/h |       |     |       | 速度：12km/h |       |     |       |
|------------|-------|-----|-------|-----------|-------|-----|-------|
| 距離         | 統計量   | 自由度 | 有意確率  | 距離        | 統計量   | 自由度 | 有意確率  |
| 20cm       | 0.972 | 15  | 0.893 | 20cm      | 0.95  | 14  | 0.565 |
| 40cm       | 0.980 | 15  | 0.97  | 40cm      | 0.962 | 14  | 0.756 |
| 60cm       | 0.939 | 14  | 0.408 | 60cm      | 0.96  | 14  | 0.724 |

図表 4-5 距離間の有意差検定結果

| 速度：6.5km/h |         |                 | 速度：12km/h |         |      |
|------------|---------|-----------------|-----------|---------|------|
|            | p 値     | 検定法             |           | p 値     | 検定法  |
| 60cm-40cm  | 0.001** | Mann-Whitney 検定 | 80cm-60cm | 0.007** | t 検定 |
| 40cm-20cm  | 0.00**  | Mann-Whitney 検定 | 60cm-40cm | 0.023*  | t 検定 |
| 60cm-20cm  | 0.00**  | Mann-Whitney 検定 | 40cm-20cm | 0.000** | t 検定 |
|            |         |                 | 80cm-40cm | 0.000** | t 検定 |
|            |         |                 | 80cm-20cm | 0.000** | t 検定 |
|            |         |                 | 60cm-20cm | 0.000** | t 検定 |

図表 4-6 速度間の有意差検定結果

| 距離   | p 値    | 検定法             |
|------|--------|-----------------|
| 60cm | 0.001* | t 検定            |
| 40cm | 0.111  | t 検定            |
| 20cm | 0.477  | Mann-Whitney 検定 |

次に前述のとおり正規性の検定を行う必要があるためそれぞれのデータ群に対し正規性の検定を行った。5%水準のもと正規性があるという帰無仮説を棄却すれば正規性はないつまり正規分布ではないとし、棄却されなければ正規性がある、正規分布であるとする。検定の方法にはShapiro-Wilks検定を採用した。図表4-4に正規性の検定の結果を示す。

F検定と正規性の検定の結果を受けて、t検定もしくはノンパラメトリック検定の有意差検定を行うことで距離の違い、速度の違いにより有意な差がみられるかどうか分析した。ノンパラメトリック検定としてMann-Whitney検定を行った。どちらも帰無仮説を有意な差はないとし、5%水準で検定した。図表4-5、図表4-6に分析結果を示す。

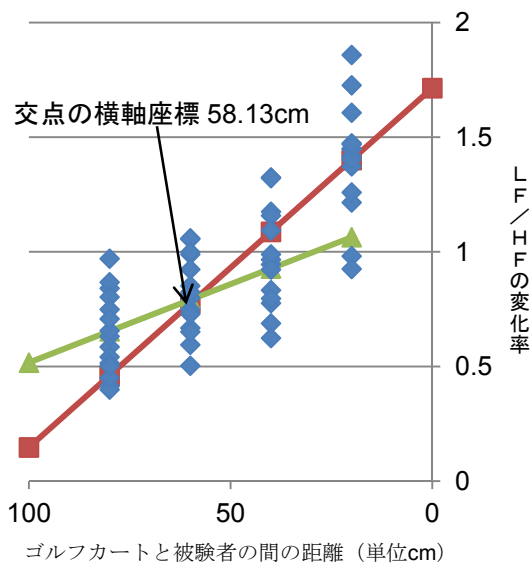
図表4-5より12km/hにおいて60cmと40cmの試行では帰無仮説は棄却されず有意な差が得られなかった。しかし、そのほかの検定結果はすべて帰無仮説を棄却しており、有意確率が1%以下のものが大半であるため、距離によって差があることを表していると考えられる。図表4-6より60cmの試行では帰無仮説が棄却されるため速度に有意な差があることが分かる。しかし、他の距離の試行では有意差はみられない。よって12km/hと6.5km/h程度の速度の差では接近すればするほど速度のストレス値における影響は小さいと考えられる。

(d)折れ線回帰

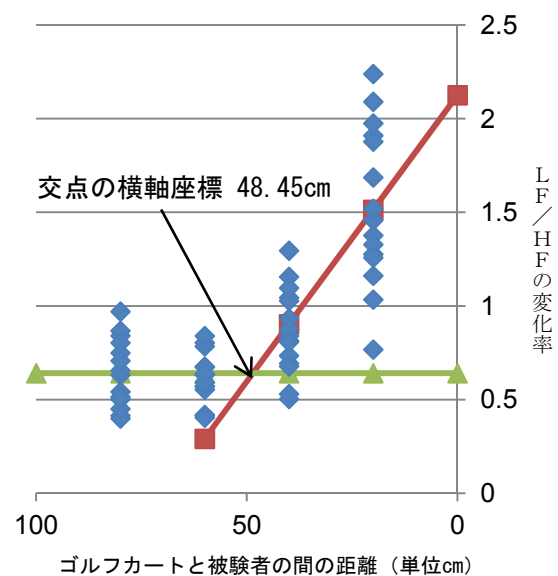
本研究では実験の結果としてさらにゴルフカートと人がどこまで近づくことが可能な距離を算出した。先に述べたようにストレスは距離が近くなることで大きくなるが、ストレスの増加は単調増加ではないと仮定し、ある変曲点を境に大きくストレスを感じるようになることを考える。そこで、変曲点までは近づいても人の反応は大きく変化しないと考え、変曲点までをもって、近づくことが可能な距離とした。変曲点の算出には折れ線回帰を用いる。なお、本手法の類例として、濱野らエラー! 参照元が見つかりません。は無給水状態の造園樹木の生存率に折れ線回帰をあてはめ変曲点を求めることにより枯死個体の発生が始まる期間を割り出した。折れ線回帰は2本の直線回帰により求められるため、データを2つに分ける必要がある。最適な変曲点や傾きを求めるために、残差平方和が最も小さくなるようにデータを2つに分ける点を分割点とする。分割点でデータを分け、それぞれで直線回帰を行う。さらに、二直線の交点をもって変曲点とし、変曲点座標を算出する。12km/h、6.5km/hともに折れ線回帰を求めるが前述のとおり、6.5km/h、80cmにおいては12km/h、80cmのデータと同等と考えあてはめる。結果を図表4-7、図表4-8に示す。

12km/hの場合、折れ線を書き込むと上の図のようになる。二直線の交点つまり変曲点は約58.1cmとなった。58.1cmより近づくと急激にストレスを感じる事が予想される。6.5km/hの場合、二直線の交点は約48.4cmとなった。これは12km/hの結果と比べ距離が近くなっている。傾きが小さいほうの直線がほぼ水平になっており、極端な変曲点であるといえる。

折れ線回帰の決定係数は、12km/hでは $r^2=0.6363$ 、6.5km/hでは $r^2=0.6404$ であった。管エラー! 参照元が見つかりません。によると決定係数が0.5以上で分析精度がややよいと評価することができる。そのため、求めた折れ線回帰はともにやや良い精度といえる。



図表4-7 折れ線回帰グラフ12km/hの場合



図表4-8 折れ線回帰グラフ6.5km/hの場合

(e)まとめ

本研究ではゴルフカートが人に与える影響をストレスとして扱い、どの程度両者が近づくとストレスを大きく感じてしまうのか、どこまで近づくことができるのか、その具体的な距離を把握しようと実験・分析を行った。分析により、距離や速度の違いによる有意差の有無やゴルフカートと人が約60cmより近づくとストレスを大きく感じる事がわかった。約60cmまでならば危険を感じさせることなく近づくことが可能だという考え方もできると考える。さらに速度を小さくすると50cmまでは許容できる。本研究の目的であった、人とゴルフカートが近づくことができる具体的な距離を把握することができたといえる。また、40cmよりも近づくとストレスの速度による有意差はなく、速度に関係なくストレスを大きく感じる事から、6.5km/hの折れ線回帰の結果より50cmより近づくとそれ以上減速しても効果はなく、

停止するほうが効果があると考え。

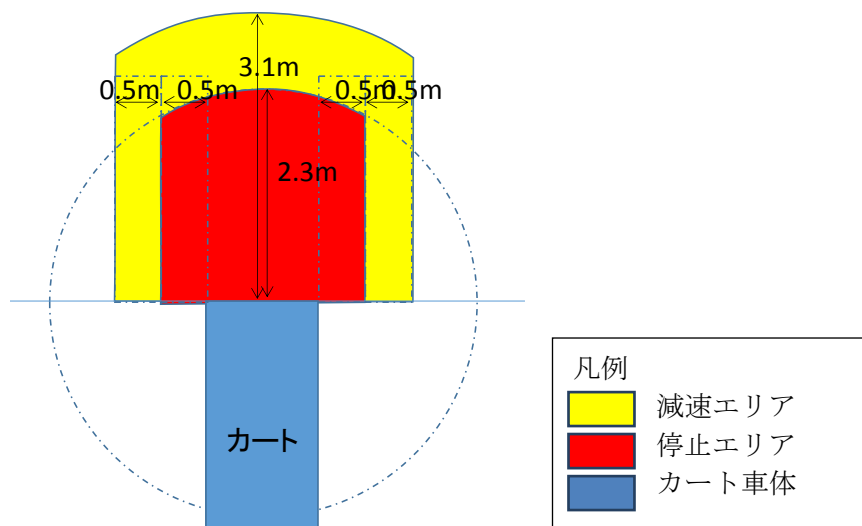
以上の結果をふまえて、ゴルフカートの安全化のために開発されているレーザスキャナの運用について提案したい。レーザスキャナはある一定の検知エリアを設定することで、そのエリア内に人や障害物を検知した場合に自動で減速・停止を行うという特徴から、減速を開始するエリアの横幅をゴルフカートの車幅からを60cm以上に、停止を開始するエリアゴルフカートの車幅からを50cm以上に設定することが追い抜きの際ストレスを与えない方法として有効だと考える。本研究における課題としては、本研究の検討が心拍変動をもちいており、必ずしも被験者自身の恐怖感を表現しているとは限らない。そのため、主観的評価を追加して、距離の検討を行うべきである。

### C. 検知エリアの提案

以上の実験結果をもとにエリアを提案する。検知エリアは歩行者すなわち周辺のゴルファーに恐怖感を与えない車幅からを50cmに設定する。一方、停止まで必要な空走距離を考えると、本スキャナの設定可能な前方距離である2.3mを採用する。

#### A) 基本形状

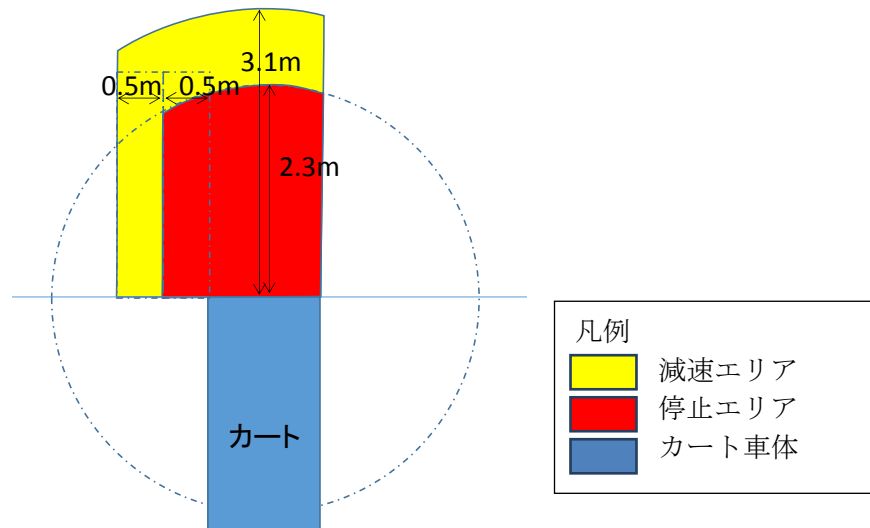
- 設置場所：見通しのきく直線部を中心に使用の差し支えのないコース全体
- 速度指定：なし



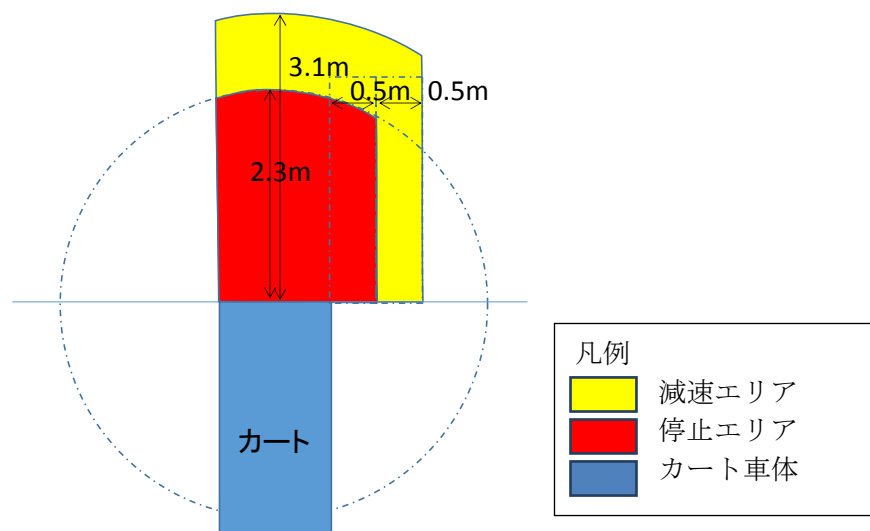
図表 4-9 エリア設定（基本形状）

B) 右左折時に制限がある区間

- 特徴：障害物が存在する方向のエリアを削除。それ以外の減速、停止エリアの範囲については、基本形状と同じ。
- 設置場所：木立の区間など障害物が存在し、障害物の間からコースプレイヤー車両の進入が予測される区間
- 速度指定：遮蔽度が低い区間については、基本形状と同様に速度抑制を行う必要が無いが、障害物がある方向に東屋があるなど進入が予測される区間は、減速の速度で区間に進入する速度指定が望ましい。



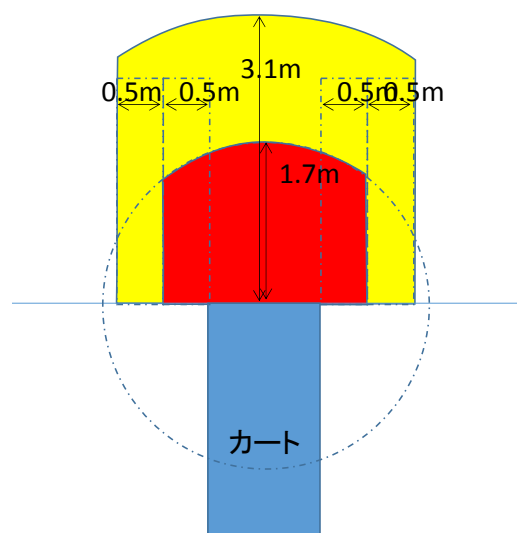
図表 4-10 エリア設定（右方向に障害物がある場合）



図表 4-11 エリア設定（左方向に障害物がある場合）断方向の曲率の大きい

### C) 横断方向の曲率の大きい区間

- 特徴：横断方向の曲率が大きいことから停止エリアに、曲線区間の外側にある障害物が入り込み、停止することを防ぐため、停止エリアの距離を短くしている。
- 設置場所：最小回転などで曲率が大きな区間
- 速度指定：元々、減速の速度指定がなされていることが多いが、検知エリアのうち、停止エリアの距離を短くしているため、減速を行っていない状況では、停止できない可能性がある。そのため、減速は必要不可欠である。



図表 4-12 エリア設定（曲率が大きい区間）

## 第5章 誘導式ゴルフカートの安全性基準に関する適合性評価に対する協力

### 1 概要と達成状況

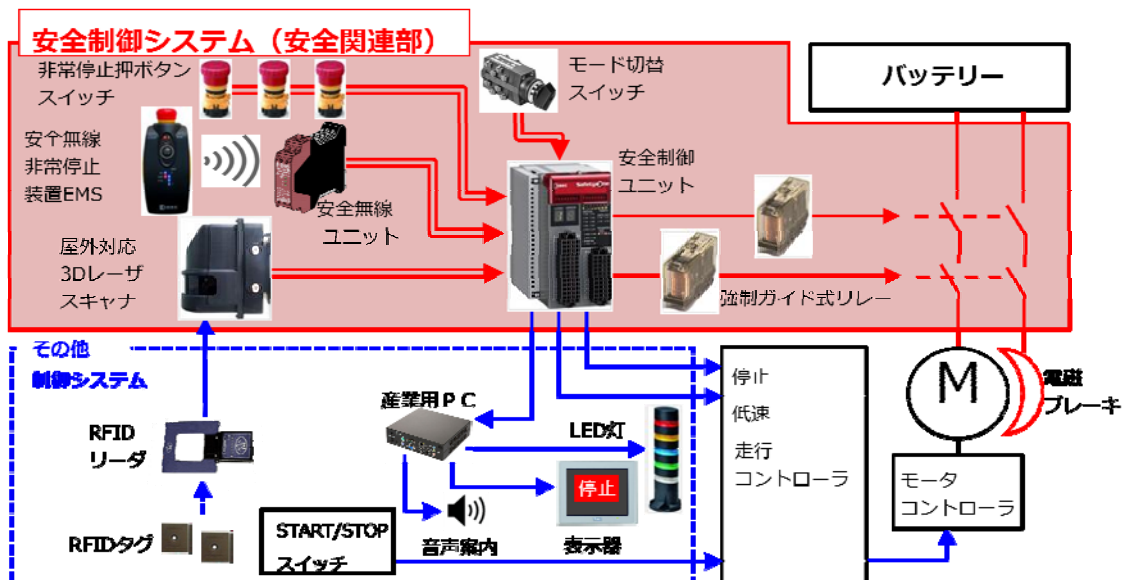
リスクアセスメントの実施、設計コンセプトの確認、安全要求仕様書の作成とこれに基づく安全制御システムの構築、ロボットの製作と妥当性評価を行った上で、危険側故障率について算出し、機能安全認証に必要なドキュメントを作成して、本プロジェクトのコンソーシアム1に提出した。

### 2 システムの安全要求仕様

誘導式ゴルフカートの安全関連部を図表 5-1 に示す。誘導式ゴルフカートは、人間の行動の範囲および自由度を拡大する移動手段であり、モード切替スイッチにより「誘導モード」にした際、決められたルートを自動走行する誘導式のゴルフカートは、プレイヤーとの衝突、搭乗者の振り落としなどのリスクがあり、そのリスクを低減するために、下記の安全システムを実装する。

- 屋外対応 3D レーザスキャナによる歩行者検知と緊急停止
- 安全無線非常停止装置による外部からの停止
- 非常停止用押ボタンスイッチによる緊急停止

なお、搭乗者が振り落とされることに際してはシートベルト、もしくは扉にて機械的に対応し、比較的衝突事故が多い無人時のみを安全システムの対象とする。

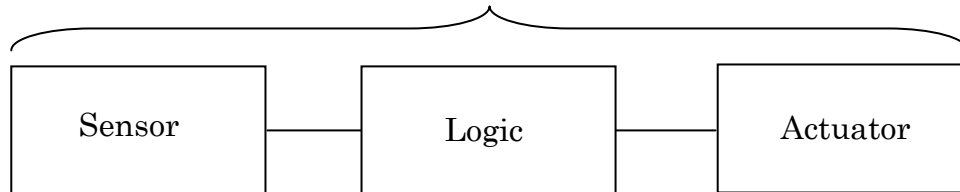


図表 5-1 誘導式ゴルフカートの制御ブロック図

### 3 危険側故障率

誘導式ゴルフカートの安全関連部の要求レベルはリスクアセスメント結果より、下記図表 5-2 である。

- ・ PLr = d : 非常停止用押ボタンスイッチ（有線）システム
- ・ PLr = d : 安全無線非常停止装置（無線）システム
- ・ PLr = d : 屋外対応 3 D レーザスキャナシステム



図表 5-2 安全関連部の PLr

Sensor 部分の入力装置としては非常停止用押ボタンスイッチ、安全無線非常停止装置、屋外対応 3 D レーザスキャナがあり、Logic 部分の論理回路としては安全制御ユニットを適用し、Actuator 部分の出力装置としては強制ガイド式リレーを適用する。

各コンポーネントを組み合わせ、システムとして ISO13849-1 に従い、MTTFd、DCavg 等を計算すると、各システムのカテゴリ及び MTTFd、DCavg は下記の通りとなり、ISO13849-1 Table 7 より、全て PLd を満たすことがわかる。

- ・ 非常停止用押ボタンスイッチ（有線）システム

カテゴリ 3、MTTFd=89 年（High）、DCavg=99%（High）→ PLd

- ・ 安全無線非常停止装置（無線）システム

カテゴリ 3、MTTFd=26 年（Medium）、DCavg=99%（High）→ PLd

- ・ 屋外対応 3 D レーザスキャナシステム

カテゴリ 3、MTTFd=35 年（High）、DCavg=93%（Medium）→ PLd



#### 4 妥当性確認結果

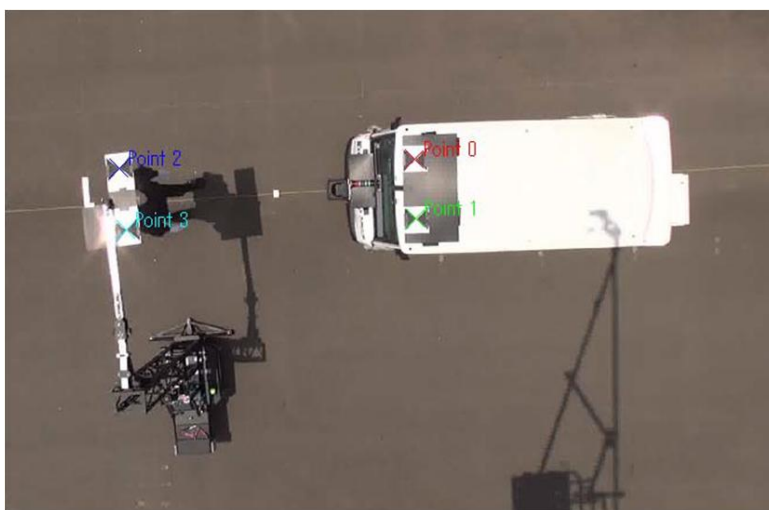
生活支援ロボット安全検証センターと日本自動車研究所（JARI）において実施した評価結果について以下に示す。

##### 4.1 保護停止

ゴルフ場で誘導式ゴルフカートとプレイヤーが衝突する多くの場合、プレイヤーはゴルフカートと同じ方向に歩いているか、プレイ中である。今回はレーザービームの反射率が比較的低い黒い衣類を着用したマネキンを立ててゴルフ場のプレイヤーと見立て、保護停止性能について確認した。ゴルフカートの初速は一般的に使用される以下の4種類の速度とした。停止後の歩行者との距離を図表5-3に示す。

図表 5-3 保護停止試験結果 (mm)

| カート設定<br>(初速) | 結果<br>人との接触 | 人との距離 |      |      |      |      |
|---------------|-------------|-------|------|------|------|------|
|               |             | 1回目   | 2回目  | 3回目  | 4回目  | 5回目  |
| □3.0km/h      | 無し          | 1646  | 1613 | 1605 | 1646 | 1653 |
| □6.5km/h      | 無し          | 1242  | 1260 | 1275 | 1237 | 1268 |
| □8.5km/h      | 無し          | 928   | 909  | 921  | 911  | 836  |
| □10.0km/h     | 無し          | 706   | 641  | 722  | 708  | 533  |



図表 5-4 保護停止評価の様子

## 4.2 EMC

図表5-5 安全機能の電磁妨害耐性評価の試験結果

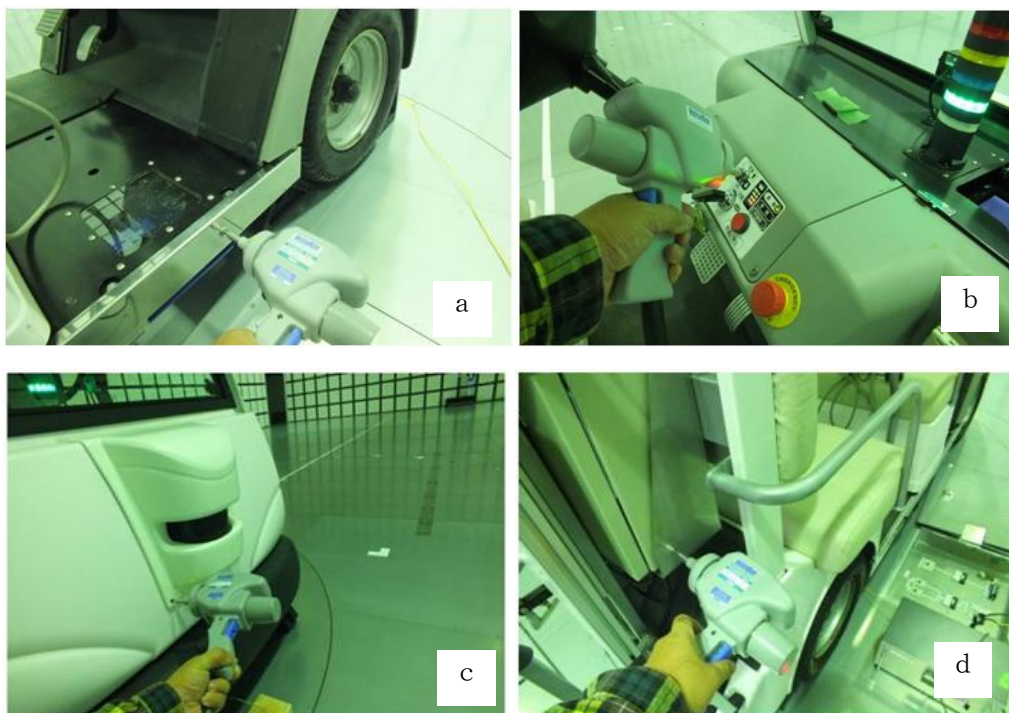
| 試験機能           | 妨害・障害            | 規格           | 結果                   | 備考       |
|----------------|------------------|--------------|----------------------|----------|
| 障害物センサによる減速・停止 | ESD              | IEC61000-6-2 | OK                   | 機能の異常動作無 |
|                | 放射RF電磁界印加        | IEC61000-6-2 | OK                   | 機能の異常動作無 |
|                | 電源周波数磁界印加        | IEC61000-6-2 | OK                   | 機能の異常動作無 |
| 無線非常停止ボタンによる停止 | ESD              | IEC61000-6-2 | OK                   | 機能の異常動作無 |
|                | 放射RF電磁界印加        | IEC61000-6-2 | OK                   | 機能の異常動作無 |
|                | 電源周波数磁界印加        | IEC61000-6-2 | OK                   | 機能の異常動作無 |
|                | バッテリー電圧低下・無線強度低下 |              | 平均0.964s<br>最大1.032s | 設定された動作  |
|                | 無線周波数雑音印加        |              | 平均1.178s<br>最大1.239  | 設定された動作  |

### (1)障害物センサによる減速・停止機能の対ESD耐性

カートの車体後部に、木製の台を配置し後輪が空回りするように、グラウンド板上に設置する。カート下部には誘導線を配置し、自動走行させる。ここにESD印加しその後、障害物センサを手動の障害物で動作させ停止するか、その後走行ボタンを手で押し走行開始をするか、の試験を行った。

接触放電は、電圧は±4KV。

- a) ボディフレーム、b) 前進後退スイッチ、c) 障害物センサカバーネジ、d) 後部回路ボックスに対して実施した。



図表 5-6 静電気試験（接触）の印加ポイント



図表 5-7 静電気試験（気中）の印加ポイント



図表 5-8 電波暗室内

気中放電は、印加電圧は±8KV。e) 発進停止スイッチ（前部）に対して行った。

(2)障害物センサによる減速・停止機能の対放射 RF 電磁界妨害耐性

カート全体に対して、電磁界印加を行い、機能が保たれていることを確認する。

カートの車体後部に、木製の台を配置し後輪が空回りするように、電波暗室の回転台に設置する。カート下部には誘導線を配置し、自動走行させる。

0、90、180、270度の垂直・水平偏波の80~1000MHz:10V/m、1.4~2GHz:3V/m、2~2.7GHz:1V/m 1 %ステップにて実施。

(3)障害物センサによる減速・停止機能の対電源周波数磁界妨害耐性

カートの車体後部に、木製の台を配置し後輪が空回りするように、ループコイル内部に設置する。カート下部には誘導線を配置し、自動走行させる。ループコイルに所定の電流を流し磁界を発生させた状態で、障害物センサを手動の障害物で動作させ停止するか、その後走行ボタンを手で押し走行開始をするか、の試験を行った。

30A/m : 50HzX、Y、Z 3 方向の磁界印加



図表 5-9 の対電源周波数磁界妨害耐性の様子



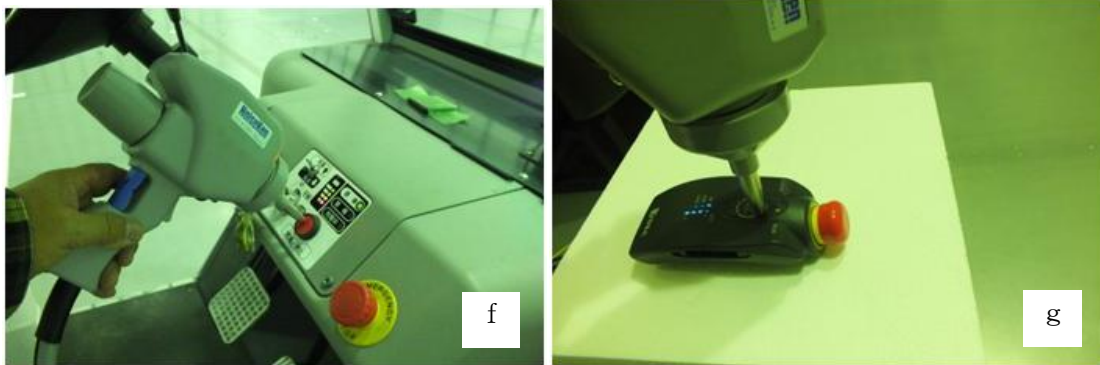
#### (4)無線非常停止ボタンによる停止機能の対 ESD 耐性

カートの車体後部に、木製の台を配置し後輪が空回りするように、グラウンド板上に設置する。カート下部には誘導線を配置し、自動走行させる。ここにESD印加しその後、無線非常停止ボタンを押し停止するか、無線非常停止リセット後走行ボタンを手で押し走行開始をするか、の試験を行った。

接触放電は、接触放電は、電圧は±4KV。

a) ボディフレーム、b) 前進後退スイッチ、c) 障害物センサカバーのネジ、d) 後部回路ボックスに対して実施した。

気中放電は、印加電圧は±8KV。f) 発進停止スイッチ（前部）、g) 子機リセットスイッチ、に対して行った。



図表 5-10 非常停止装置の静電気試験（接触）の印加ポイント

#### (5) 無線非常停止ボタンによる 停止機能の対放射 停止機能の対放射 RF 電磁界 妨害耐性

現在の評価設備では、空気圧により独立に操作できるのは2系統となっている。このためカート搭載状態での非常停止機能検証はできない。（子機無線非常停止ボタン、子機リセットボタン、本体の走行・停止ボタンの操作が必要なため。）

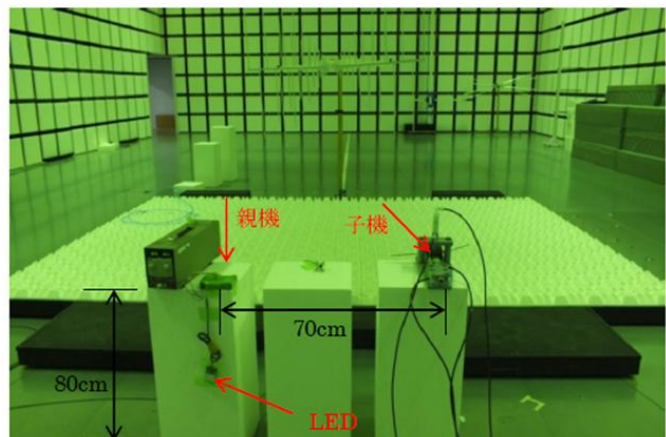
今回の測定では無線非常停止の親子・子機両方に、放射 RF 電磁界印加を行い、その状態で非常停止機能が保持されていることを確認する。親機子機はそれぞれ、電波暗室の回転台の 80cm の高さの発泡スチロール台の上に設置する。親機と子機の間隔は 70cm とした。

0、90、180、270度の垂直・水平偏波の80~1000MHz:10V/m、1.4~2GHz:3V/m、2~2.7GHz:1V/m 1%ステップにて実施。

#### (6)無線非常停止ボタンによる停止機能の対電源周波数磁界妨害耐性

カートの車体後部に、木製の台を配置し後輪が空回りするように、ループコイル内部に設置する。カート下部には誘導線を配置し、自動走行させる。ループコイルに所定の電流を流し磁界を印加した状態で、無線非常停止ボタンを押し停止するか、無線非常停止リセット後走行ボタンを手で押し走行開始をするか、の試験を行った。

30A/m : 50HzX、Y、Z 3 方向の磁界印加



図表 5-11 停止機能の対放射 停止機能の対放射 RF 電磁界 妨害 耐性

(7)バッテリー電圧低下、無線強度低下時の無線非常停止ボタンによる停止機能の確認

無線非常停止親子・子機を用いて、試験の開始から、親機のY0出力に接続されたLEDの消灯までの時間を、オシロスコープで測定する。開始は、電源スイッチOFF操作を行った音があるスレッショールドを超えた時間とし、停止の時間はLEDをモニタする光センサの出力があるスレッショールドから落ちた時間とした。

電源スイッチOFFから停止ランプ点灯までの時間を10回測定し、下記表の結果となった。

図表 5-12 試験結果

|    | 停止時間(s) |
|----|---------|
| 1  | 0.954   |
| 2  | 0.876   |
| 3  | 1.011   |
| 4  | 1.011   |
| 5  | 0.882   |
| 6  | 1.032   |
| 7  | 1.032   |
| 8  | 0.924   |
| 9  | 0.960   |
| 10 | 0.957   |
| 平均 | 0.964   |
| 最大 | 1.032   |

(8)無線周波数雑音存在時の無線非常停止ボタンによる停止機能の確認

無線非常停止親子・子機を用いて、試験の開始から、親機のY0出力に接続されたLEDの消灯までの時間を、オシロスコープで測定する。雑音は、2.475GHz、0dBmのシグナルジェネレータの接続されたアンテナを親機と子機の間設置した。開始は、SGの出力スイッチ操作を行った音があるスレッショールドを超えた時間とし、停止の時間はLEDをモニタする光センサの出力があるスレッショールドから落ちた時間とした。

雑音を印加して、無線に妨害を与えてから停止ランプ点灯までの時間を10回測定し、下記表の結果となった。

図表 5-13 試験結果

|    | 停止時間(s) |
|----|---------|
| 1  | 1.239   |
| 2  | 1.050   |
| 3  | 1.200   |
| 4  | 1.149   |
| 5  | 1.125   |
| 6  | 1.182   |
| 7  | 1.173   |
| 8  | 1.263   |
| 9  | 1.236   |
| 10 | 1.161   |
| 平均 | 1.178   |
| 最大 | 1.239   |

#### 4.3 衝突（参考）

歩行者検知のためにレーザスキャナを取り付けたことによって、ゴルフカート正面に従来ではなかった凸部ができた。このことによって発生する危険について確認するために正面からの衝突実験を実施した。参考ではあるが、いずれの速度においても乗用車の搭乗者保護の基準を大きく下回る結果を得た。

| 一次衝突<br>[対カート] | HIC | 頸部せん断<br>荷重(N) | 頸部軸荷重<br>(N) | 頸部トルク<br>(Nm) | 胸部加速度<br>(m/s <sup>2</sup> ) | 胸部変位<br>(mm) |
|----------------|-----|----------------|--------------|---------------|------------------------------|--------------|
| Test 1         | 0   | 57             | 78           | 3             | 21                           | 0            |
| Test 2         | 3   | 103            | -128         | -4            | 33                           | 1            |
| Test 3         | 15  | 192            | -306         | 6             | 37                           | 1            |
| Test 4         | 15  | 328            | -429         | -7            | 54                           | 2            |

|                    |     |      |      |     |     |    |
|--------------------|-----|------|------|-----|-----|----|
| 衝突安全基準<br>米国法規（女性） | 700 |      | 2520 |     | 588 | 52 |
| 衝突安全基準<br>欧州法規（男性） |     | 3100 | 3300 | -57 |     |    |

注）上段は、米国法規（自動車衝突時の乗員保護）における小柄な女性ダミーの障害基準値である。

下段は、体格は異なるが参考として、欧州における成人男性ダミーの傷害基準値を示した。

図表 5-14 試験結果

| No.    | 衝突速度      | 前部のセンサ有無 |
|--------|-----------|----------|
| Test 1 | 3.0 km/h  | 有        |
| Test 2 | 6.5 km/h  | 有        |
| Test 3 | 8.5 km/h  | 有        |
| Test 4 | 10.0 km/h | 有        |

図表 5-15 試験条件

## 第6章 ハンドル型電動車いすの安全対策技術開発の成果

### 1 センシング技術の研究開発

#### 1.1 概要と達成状況

H23年度の事故分析やリスクアセスメントの結果、ハンドル型電動車いすの最大のリスクは、歩行者のハンドル型電動車いすとの衝突ではなく、ハンドル型電動車いすの転落に伴う搭乗者の転落であることがわかった。そのため路面の形状を認識することが重要と判断しレーザビームを路面に向けて照射する方式とした。従来レーザスキャンでは検出距離が小さいことで危険を判断したが、今回の方式では設定したエリアよりも遠くから反射があれば危険と判断する。実証走行では太陽光の影響を受けることなく段差を検出することができた。

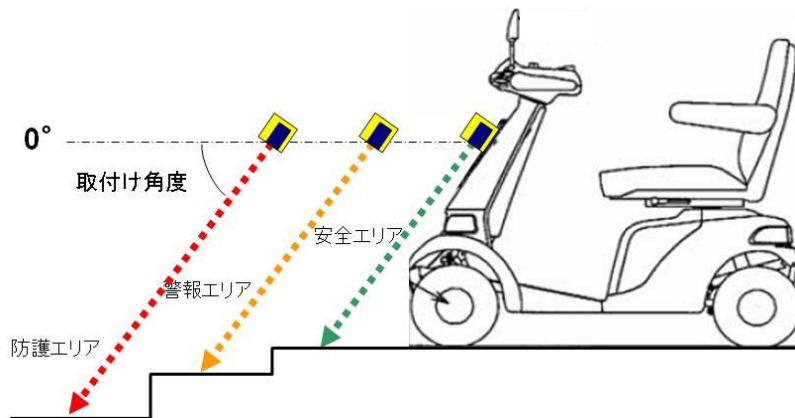
#### 1.2 センシング性能

レーザスキャナによる段差検知の原理は上述した通りでシンプルである。図表 6-1 に示すように走行している路面までのエリアを安全エリアとし、段差があればその大きさに応じて警報エリア、防護エリアと段階的にエリアを設定する。

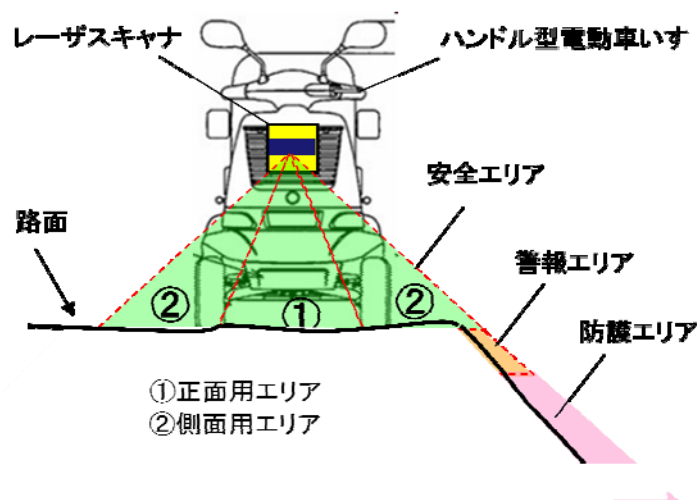
従来型の障害物検知用のレーザスキャナをベースにソフトウェアによる判定ロジックだけを変更したものであるため測距精度はそのレーザスキャナの性能と同じで 25mm である。

ハンドル型電動車いすに搭載した状態での段差検知性能評価については 4 項に示す。

また図表 6-2 に示すように進行方向に対して正面と側面の段差を検出することができる。レーザスキャナの走査角度など主な仕様を図表 6-3 に示す。



図表 6-1 段差検知センサの検出原理



図表 6-2 側面段差検知の原理

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| 検知距離  | 0.1~2.0m (反射率1.8%黒シート)             |
| 測距分解能 | 1mm                                |
| 測距精度  | $\sigma=25\text{mm}$ (反射率1.8%黒シート) |
| 角度分解能 | 0.25°                              |
| 最小検出物 | 50mm (2.0m)                        |
| エリア角  | 最大120° (段差検知)                      |
|       | 固定90° (障害物検知)                      |
| 外形寸法  | 80mm×90mm×80mm                     |
| 重量    | 500g以下                             |
| その他   |                                    |
| エリア数  | 5                                  |

図表 6-3 段差検知センサの基本性能



図表 6-4 段差検知センサを搭載したハンドル型電動車いす

## 2 制御システム

### 2.1 概要と達成状況

ハンドル型電動車いすには安全制御ブロックを設け、センサからの入力を安全制御ユニットで受けている。しかしハンドル型電動車いすにはゴルフカートのような電磁ブレーキがなく、原則的に制動は回生ブレーキによる。そのため、完全な安全関連部として構築することはできなかった。

### 2.2 安全性能

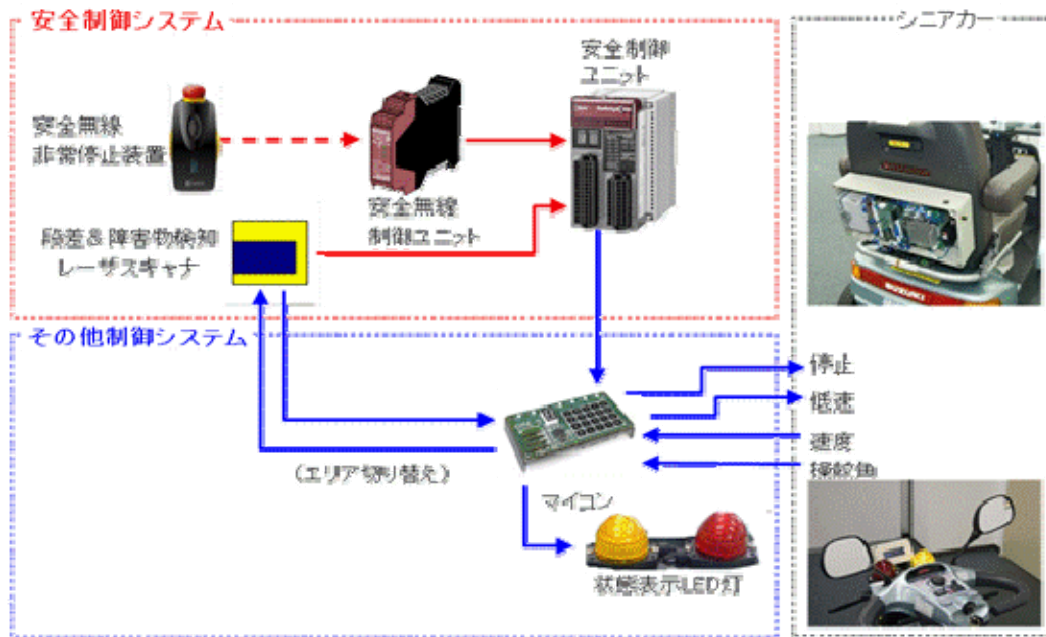
ハンドル型電動車いすの制御システムを図表 6-5 に示す。

安全制御ユニットの出力はマイコンを介して、ハンドル型電動車いすのコントローラへ入力される。停止出力はアクセル信号ラインの切断、減速（低速移行）出力は最高速設定ボリュームに低速度設定の疑似信号を与える。ハンドル型電動車いすの安全制御には、メーカーによる取り組みが必要ながわかった。

その他、レーザスキャナのエリア切替情報としてハンドル型電動車いすの速度情報と操舵角情報を利用している。

例えば段差に斜めに進入して停止した場合、安全な方向への操舵により小さなエリアに切り替えるなどして離脱することができるようにするためである。





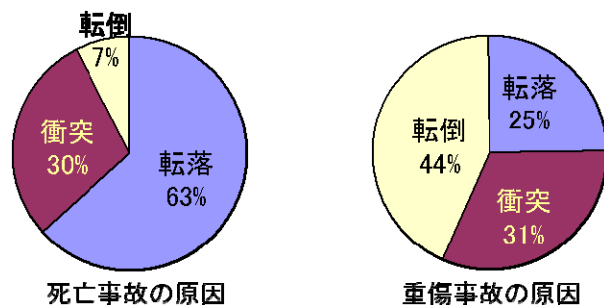
図表 6-5 ハンドル型電動車いすの安全制御部

### 3 リクアセメント技術

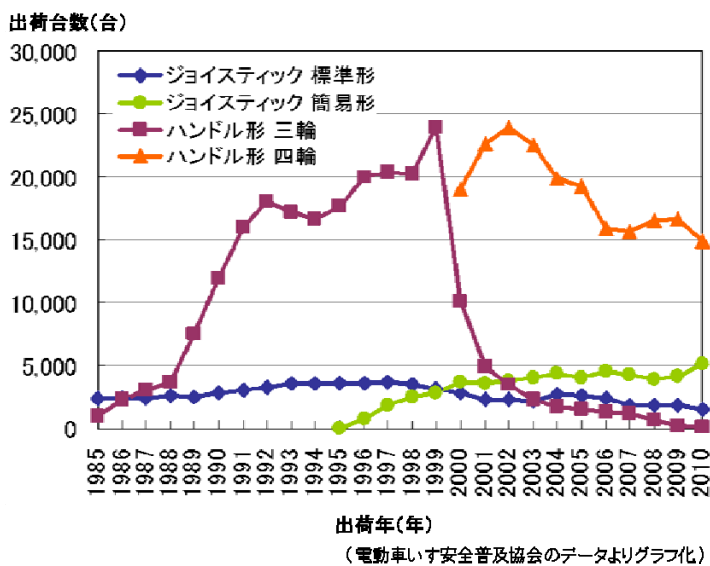
#### 3.1 概要と達成度

ハンドル型電動車いすのリスクアセスメントは事故事例調査と累計稼働台数から危害の重篤度と頻度を算出し評価することで実施した。危害の重篤度は独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）の事故事例データベースを調査し、累計稼働台数は電動車いす安全普及協会のデータを元に独自の方法で推計した。（2011年の時点で実施）またそれらを、ハンドル型電動車いすの管轄省庁である経済産業省が推奨するリスクマネジメントツール R-Map 上にプロットすることでリスクを評価した。

その結果、危害では転落による死亡がもっとも重篤であり、発生件数でも最も多いことがわかった。



図表 6-6 ハンドル型電動車いすの重大事故原因 (NITEの事故事例データベースより)

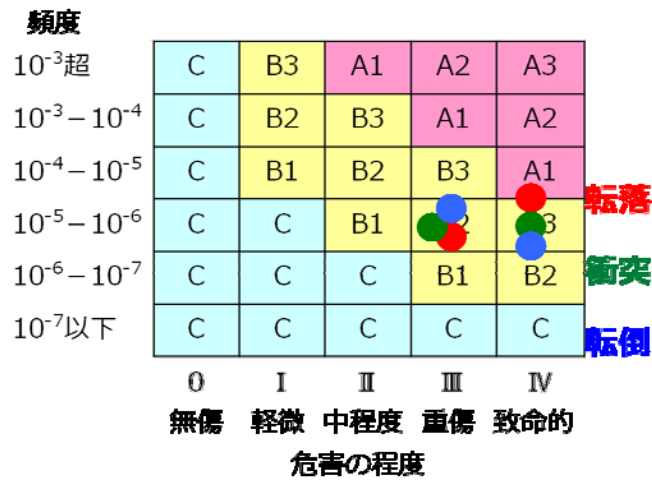


図表 6-7 電動車いすの出荷台数の推移

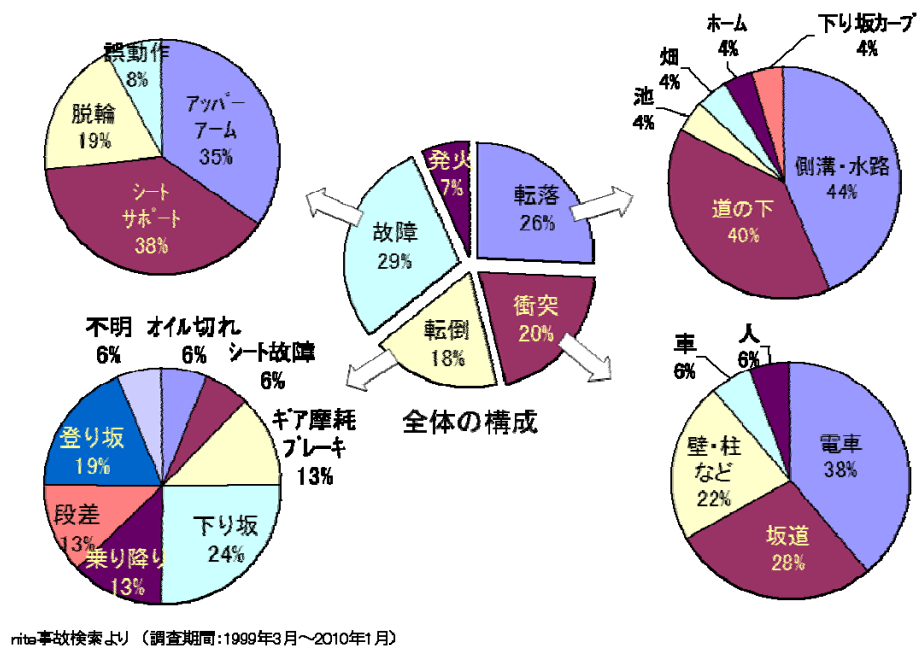
### 3.2 リスクアセスメント

R-Map の詳細な説明は割愛するが、頻度計算の際の分母にあたる部分は累積稼働台数であり、単位は台数・年となり、プロットされる領域で許容できないリスク、ALARP 領域のリスク、受け入れ可能なリスクを判定することができる。

上述した危害の大きさと発生頻度からリスクを R-Map 上にプロットしたものが図表 6-8 である。



図表 6-8 ハンドル型電動車いすのリスク



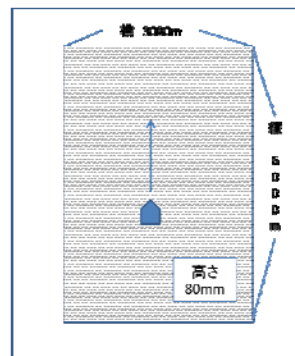
図表 6-9 転落などのハンドル型電動車いすの事故が発生した状況

## 4 安全性能の評価

### 4.1 基本的な停止性能

今回開発したレーザスキャナを用いた転落事故防止策が安全対策として有効であるかを検証する。検証センターにて実際に段差のあるコースを走行し、段差を検知し、転落前に停止するかを検証する。確認項目としては、以下の3点を検証する。

- ① 段差を検知し、転落前に停止するかどうかの確認
- ② 段差検知地点から停止までの停止距離の検証
- ③ 段差検知の精度調査



図表 6-10 コース概要図

#### 4.1.1 実験日時

実験日 : 2013年8月8日

実験時間 : 9:00~15:00

実験場所 : 生活支援ロボット安全検証センター(屋内)

試験コース概要 : 3000mm(横)×6000mm(縦)×80mm(高さ)

#### 4.1.2 転落防止の検証試験

初めに、今回のシステムが段差を検知し、転落前に停止することが出来るか確認を行う。

##### 1) 試験内容

段差に向かって最高速度(6km/h)で直進し、転落する前に停止するかどうかを確認する。

試行回数は、3種類の取り付け角度で各5試行、全15試行行う。

##### 2) 試験結果

実験結果を図表6-11に記す。

実験の結果、すべての試行において段差を検知し、転落前に停止することが確認された。

図表 6-11 実験結果 (○: 転落前に停止 ×: 転落)

|          | 1 試行目 | 2 試行目 | 3 試行目 | 4 試行目 | 5 試行目 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 取り付け角度 1 | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     |
| 取り付け角度 2 | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     |
| 取り付け角度 3 | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     |

#### 4.1.3 停止距離の検証試験

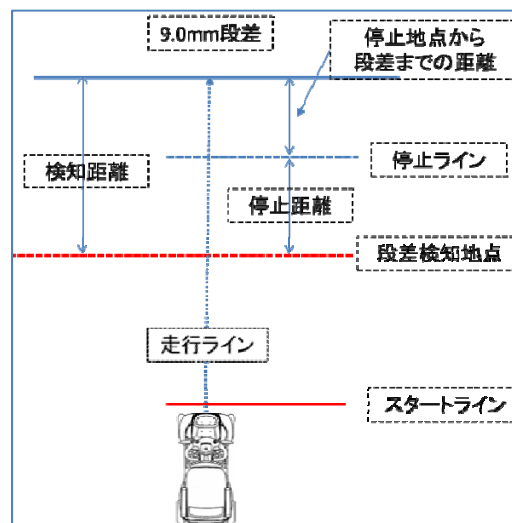
続いて、段差検知後、停止するまでの停止距離の検証を行う。

##### 1) 試験内容

段差のある試験コースを走行し、実際に停止することができるか確認し、停止距離についての調査を行う。

##### 2) 試験概要

図表6-12に試験概要図を示す。十分に加速することができる位置にスタートラインを引き、スタートラインから段差に向かって時速6km/hで走行し、実際に停止することができるのか確認する。同時に停止距離の調査の検証を行う。走行は、試験ごとにバラつきが出ないように、ハンドル形



図表 6-12 正面試験概要図

電動車いすの走行ルートにラインを引くことで、毎回同様の走行が行えるよう配慮した。

試験は、3種類の取り付け角度でおこない、各取り付け角度で試験回数は5回行った。以下に試験結果を記していく。

なお、取り付け角度は、30.0°、29.0°、28.0°の3種類でおこなった。

### 3) 停止距離の定義と測定方法について

#### イ) 本研究における停止距離の定義について

本研究では、停止距離を以下のように定義する。

停止距離： 段差検知地点から実際に停止するまでの距離

即ち、段差を検知してから実際に停止するまでの距離を停止距離とする。

#### ロ) 測定方法

検知距離は常に一定のため、段差検知地点は段差から検知距離分離れた地点となる。よって、検知距離と実際に停止したハンドル形電動車いすの位置と段差までの距離を測定することで以下の式により停止距離を求める（図 4-2 参考）。

$$\text{停止距離} = \text{検知距離} - \text{停止時の段差までの距離}$$

なお、測定位置は、前輪接地点を基準とし、左右の停止距離の平均を測定値とする。

#### ※ 検知距離

レーザスキャナは、斜め下についているため、検知箇所はハンドル形電動車いすの前方である。実際の検知箇所とハンドル形電動車いす（前輪接地点）との距離を検知距離とする。各取り付け角度の検知距離は図表 6-13 に示す。

図表 6-13 取り付け角度別検知距離（単位：mm）

| 取り付け角度   | 28度  | 29度  | 30度  |
|----------|------|------|------|
| 検知距離（mm） | 1195 | 1245 | 1298 |

### 4) 試験結果

3種類の取り付け角度で各5回、計15回の走行の結果、全ての走行で段差を検知し、転落する前に停止することを確認することができた。次に、停止時の段差までの距離を図表 6-14 にまとめる。

図表 6-14 試行別停止時の段差まで距離（単位：mm）

| 取り付け<br>角度 | 試行回数  |       |       |       |       | 平均    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 1回目   | 2回目   | 3回目   | 4回目   | 5回目   |       |
| 28度        | 406.1 | 415.7 | 408.4 | 422.0 | 403.6 | 428.2 |
| 29度        | 465.5 | 490.3 | 465.2 | 473.2 | 471.6 | 481.1 |
| 30度        | 511.6 | 529.6 | 517.3 | 517.3 | 510.3 | 531.2 |

停止時の段差までの距離と検知距離をもとに、停止距離（＝検知距離－停止時の段差までの距離）を求める。求めた停止距離の結果を図表 6-15 に示す。

図表 6-15 停止距離の平均と標準偏差

|         | 停止距離  | 標準偏差 |
|---------|-------|------|
| 平均値(mm) | 796.8 | 7.09 |

図表 6-16 試行別停止距離の結果 (単位 : mm)

| 取り付け<br>角度 | 試行回数  |       |       |       |       | 平均    |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 1 回目  | 2 回目  | 3 回目  | 4 回目  | 5 回目  |       |
| 28 度       | 805.9 | 796.3 | 803.6 | 790.0 | 808.4 | 800.8 |
| 29 度       | 797.5 | 772.7 | 797.8 | 789.8 | 791.4 | 789.9 |
| 30 度       | 805.4 | 787.4 | 799.7 | 799.7 | 806.7 | 799.8 |

全 15 走行の平均測定結果を図表 6-16 に記す。測定の結果、停止距離は 800mm 前後であることがわかった。

#### 4.1.4 検知精度に関する実験

最後に、今回のシステムの検知精度に関する検証を行う。

##### 1) 試験内容

あらかじめ高さがわかっている段差を検知し、レーザスキャナにより取得された測距値を高さ方向に変換することによって検知精度を検証する。

なお、測距データは図表 6-17 のように正面・側面 (左)・側面 (右) の 3 つに分けてデータをまとめる。ハンドル形電動車いすのタイヤ幅である 530mm を基準に考え、中心より左右 265mm 内の測定値を正面、中心より左右 265mm~795mm 内の測定値を側面 (左・右) とし、各範囲での平均値を検知による段差高さとする。

なお、取り付け角度は 3 種類 (29.0°、27.0°、25.5°)、試行回数は各 5 回とする。

##### 2) 実験結果

取り付け角度ごとに試験結果を記していく。

##### イ) 取り付け角度 $\theta=29.0^\circ$

図表 6-18 各エリア平均測定値 (左) と標準偏差 (右)  $\theta=29.0^\circ$

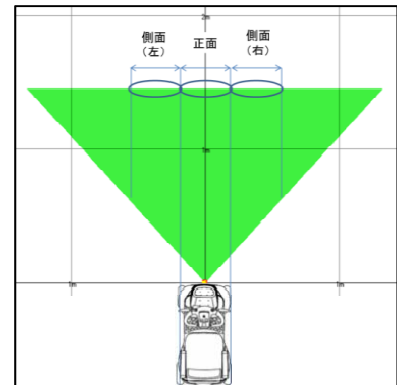
| 平均(mm) | 側面(左) | 正面   | 側面(右) | 偏差(mm) | 側面(左) | 正面  | 側面(右) |
|--------|-------|------|-------|--------|-------|-----|-------|
| 一回目    | 79.6  | 79.4 | 79.9  | 一回目    | 4.1   | 0.4 | 1.4   |
| 二回目    | 80.1  | 80.2 | 80.0  | 二回目    | 3.8   | 0.3 | 1.4   |
| 三回目    | 80.4  | 80.9 | 80.3  | 三回目    | 3.6   | 0.3 | 1.4   |
| 四回目    | 80.0  | 80.1 | 80.7  | 四回目    | 3.7   | 0.5 | 1.3   |
| 五回目    | 80.3  | 80.5 | 80.6  | 五回目    | 3.4   | 0.5 | 1.2   |
| 平均     | 80.1  | 80.2 | 80.3  | 平均     | 3.7   | 0.4 | 1.3   |

##### ロ) 取り付け角度 $\theta=27.0^\circ$

図表 6-19 各エリア平均測定値 (左) と標準偏差 (右)  $\theta=27.0^\circ$

| 平均(mm) | 側面(左) | 正面   | 側面(右) | 偏差(mm) | 側面(左) | 正面  | 側面(右) |
|--------|-------|------|-------|--------|-------|-----|-------|
| 一回目    | 79.9  | 80.1 | 79.8  | 一回目    | 4.3   | 0.5 | 2.0   |
| 二回目    | 80.6  | 80.3 | 80.2  | 二回目    | 4.6   | 0.4 | 1.9   |
| 三回目    | 80.5  | 80.1 | 80.2  | 三回目    | 4.6   | 0.5 | 2.1   |
| 四回目    | 78.2  | 79.3 | 80.2  | 四回目    | 4.5   | 0.4 | 2.9   |
| 平均     | 79.8  | 79.9 | 80.1  | 平均     | 4.5   | 0.5 | 2.2   |

※ 5 試行目はデータ欠損のため 4 試行のみ



図表 6-17 レーザスキャナの検知点概要図

ハ) 取り付け角度  $\theta=25.5^\circ$

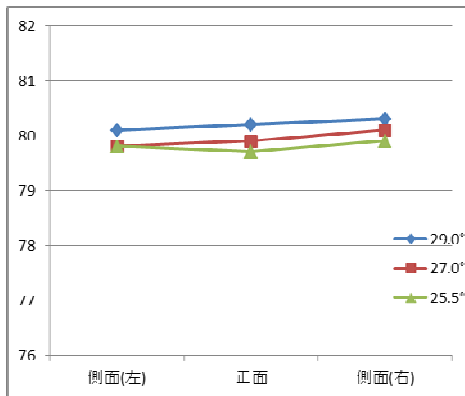
図表 6-20 各エリア平均測定値 (左) と標準偏差 (右)  $\theta=25.5^\circ$

| 平均(mm) | 側面(左) | 正面   | 側面(右) |
|--------|-------|------|-------|
| 一回目    | 80.1  | 79.5 | 79.7  |
| 二回目    | 79.7  | 79.3 | 81.2  |
| 三回目    | 79.1  | 79.1 | 78.3  |
| 四回目    | 81.3  | 80.3 | 79.2  |
| 五回目    | 78.9  | 80.3 | 81.2  |
| 平均     | 79.8  | 79.7 | 79.9  |

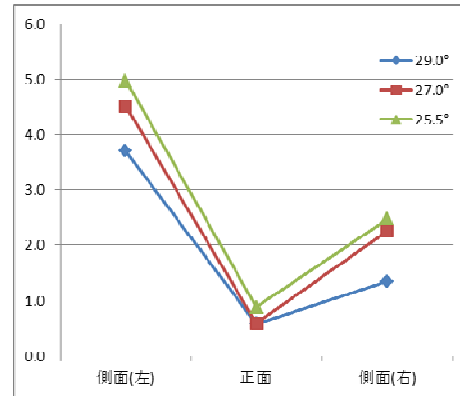
| 偏差(mm) | 側面(左) | 正面  | 側面(右) |
|--------|-------|-----|-------|
| 一回目    | 5.7   | 0.9 | 1.9   |
| 二回目    | 5.2   | 0.6 | 3.1   |
| 三回目    | 4.3   | 0.8 | 2.1   |
| 四回目    | 5.8   | 0.6 | 2.4   |
| 五回目    | 3.9   | 1.0 | 2.3   |
| 平均     | 5.0   | 0.8 | 2.4   |

3) 試験結果のまとめ

段差を検知した結果、正面・側面共に実際の 80mm という値に近い数値を検出した。標準偏差は約 0.3~6.0mm の結果となった。図表 6-21、6-22 に各取り付け角度の平均測定値と標準偏差の結果をグラフにまとめる。今回の実験では、取り付け角度による極端な検知精度の差は見られないと考えられる。また、正面・側面を比べると、平均測定値に大きな差は見られないが、側面にいくほど標準偏差が大きくなる傾向がみられる。これより、測定にいくほど測定値にバラつきが出てくることわかった。



図表 6-21 各取り付け角度の測定平均値(単位 mm)



図表 6-22 各取り付け角度の標準偏差 (単位 mm)

4.1.5 まとめ

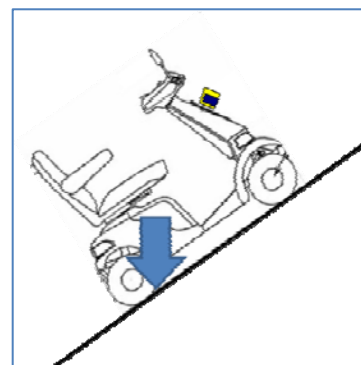
以上の試験結果より、

- ① 段差を検知し、転落前に停止することの確認
- ② 停止距離は 800mm である
- ③ 段差を精度良く検証できることが確認された。



## 4.2 勾配走行時の影響

続いて、勾配を走行する際の姿勢の影響を検証する。ハンドル形電動車いすで勾配を走行する際には、図表 6-23 のようにハンドル形電動車いす後方の力が強くなり、前輪が浮くことでレーザ光と地面の成す角もずれてくる。勾配によるズレを実験により検証を行う。



図表 6-23 勾配による影響図

### 4.2.1 実験日時

実験日 : 2013 年 12 月 10 日  
 実験時間 : 9:00~17:00  
 実験場所 : 生活支援ロボット安全検証センター（屋外）  
 試験コース : 走行試験関連エリア・傾斜走行性試験路

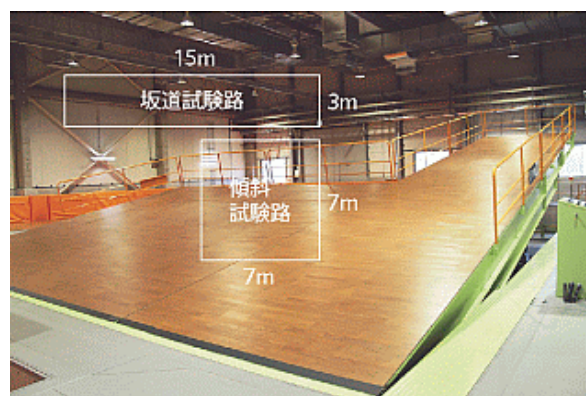
### ※ 傾斜走行性試験路

寸法 :

坂道試験路部 : 幅 3m×長さ 15m  
 傾斜試験路部 : 幅 7m×長さ 7m

傾斜角度 :

最大 10° (17.5%)



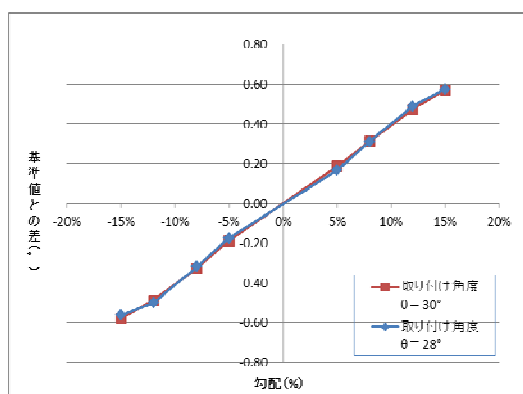
図表 6-24 傾斜走行性試験路図

### 4.2.2 検証方法

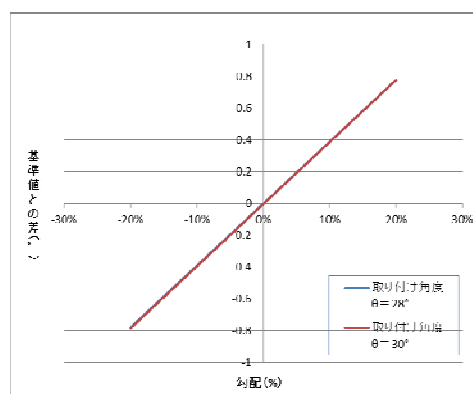
各勾配において測距データを取得し、0%を基準に測距データを比較する。各勾配で測距データを比較することによって勾配による検知への影響を検証する。

### 4.2.3 実験結果

取り付け角度別の勾配とレーザ光が地面と成す角度の基準値との差の関係を図表 6-25 に表す。図を見ると、ほとんど両者等しく、比例関係になっている。



図表 6-25 勾配と角度変位の関係



図表 6-26 勾配と角度変位の関係\_単回帰式

そこで、取り付け角度ごとに勾配と。勾配 0%を基準とした場合の勾配によるレーザ光と地面が成す角の変位との関係を単回帰式で表すと、以下のようになる。

$$y_{\theta=28^\circ} = 3.90 \cdot x - 0.00 \dots 5.4$$

(相関係数 R=0.999、 決定係数 R=0.998)

$$y_{\theta=30^\circ} = 3.91 \cdot x - 0.01 \dots 5.5$$

(相関係数 R=0.999、 決定係数 R=0.999)

単回帰式を図に表すと図表 6-26 のようになる。

#### 4.2.4 まとめ

勾配がない状況を基準に考えると、勾配が大きくなるにつれ、ハンドル形電動車いすが傾き前輪が浮き、前輪が浮くことでレーザ光と地面の成す角もずれてくるため、勾配が大きくなるにつれて測距データが基準値からずれてくる。分析の結果、勾配とレーザ光と地面が成す角の変位との関係は比例関係にあるということがわかった。勾配 0%を基準とした場合の勾配によるレーザ光と地面が成す角の変位は次式 4.1 によって表すことができることがわかった。

##### 勾配と角度変位の関係式

$$y = 3.90 \cdot x - 0.00 \dots 4.1$$

※ y : 角度変位(°)、 x : 勾配 (%)

#### 4.3 振動などの外乱による影響

上記までの結果より、レーザスキャナを用いることによって、精度よく段差を検知できることや転落前に停止できることがわかった。また、勾配走行時の影響についても検証を行った。最後に、振動から受ける影響について検証を行う。

屋外を走行する際には、ハンドル形電動車いすが振動を受ける。振動によってハンドル形電動車いすが上下に動くことにより、レーザスキャナが誤検知を起こすことが考えられる。よって、振動による影響を実験により検証する。

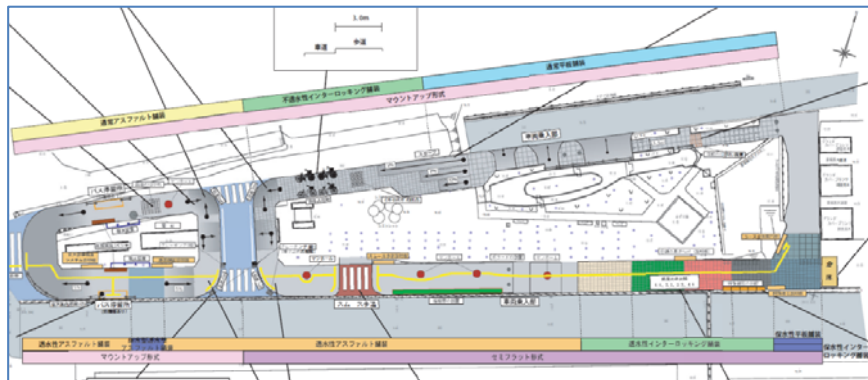
##### 4.3.1 実験日時

実験日時 : 2013 年 10 月 15 日

実験時間 : 11 : 00 ~ 15 : 00

実験場所 : 国土交通省近畿技術事務所 交通バリアフリー比較体験コース (屋外)

実験コース概要 :



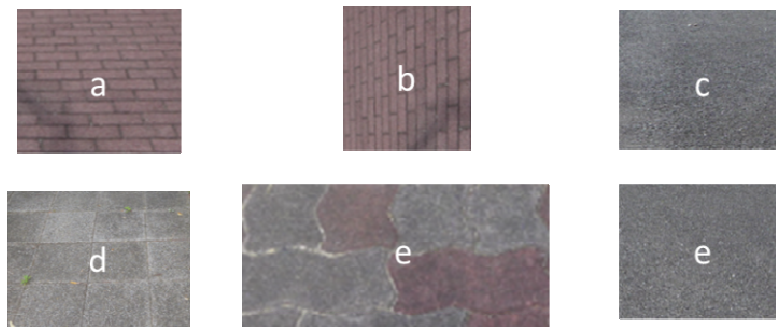
図表 6-27 実験コース概要図



### 4.3.2 実験内容

ハンドル形電動車いすに加わる振動の大きさは、舗装材の違いによって決まる。そこで6種類の異なる舗装材を走行し、振動の大きさと測距データを分析することによって振動の影響を検証する。

なお、舗装材はコース内にある透水性インターロッキングブロックの縦置き、同横置き、アスファルト、不透水インターロッキングブロック、平板、コース脇のアスファルトの6種類の路面において走行を行った。なお、以後6種類の舗装はそれぞれ、インター縦（図表 6-28a）、インター横（図表 6-28b）、アスファルト1（図表 6-28c）、インター2（図表 6-28d）、平板（図表 6-28e）、アスファルト2（図表 6-28f）と呼ぶ。



図表 6-28 各舗装の写真

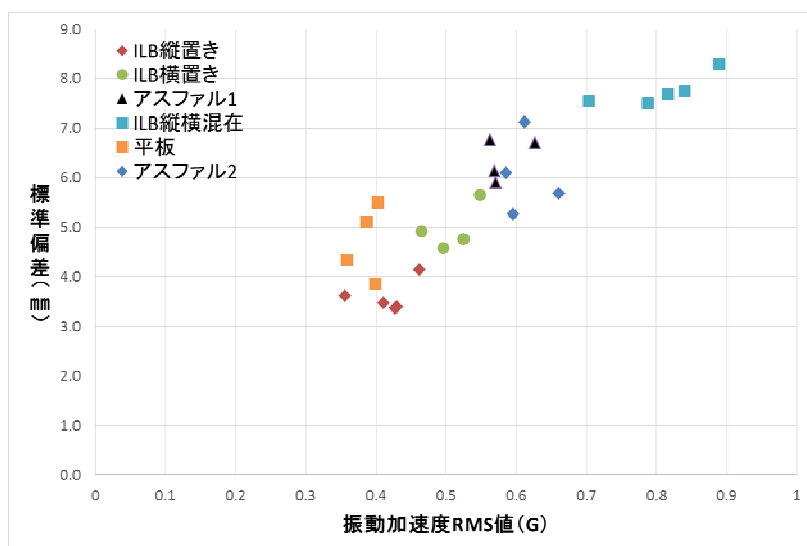
### 4.3.3 評価法

振動は、ハンドル形電動車いすに加わる振動加速度の大きさにより評価する。振動加速度は周期的な動きをしている。そこで、振動加速度の値としては RMS 値（二乗平均平方根）を用いる。なお、RMS 値は以下の式によって求まる。

$$X_{rms} = \sqrt{\sum X_i^2 / N}$$

また、振動の影響については、測距値の標準偏差によって検証する。

### 4.3.4 実験結果



| 回帰統計   |       |
|--------|-------|
| 重相関 R  | 0.891 |
| 重決定 R2 | 0.794 |
| 補正 R2  | 0.786 |
| 標準誤差   | 0.697 |
| 観測数    | 26    |

図表 6-29 試行ごとの鉛直方向振動加速度と測距値の標準偏差の関係

横軸：振動加速度の RMS 値 (G) 縦軸：測距値の標準偏差 (mm)

各舗装材の振動値の大きさと測距値の標準偏差の大きさを図表 6-29 に記す。振動加速度の RMS 値と測距データの標準偏差で単回帰式を求めると

$$Y(\text{測距データの標準偏差})=8.75X(\text{加速度のRMS値})+0.704 \dots 4.2$$

となる。相関係数を求めると、 $R=0.89$  となり、非常に強い相関であることがわかる。

#### 4.3.5 まとめ

施工によりバラつきがあるため一概には言えないが、坂口ら<sup>1)</sup>や前田ら<sup>2)</sup>による研究を参考にすると、振動の大きな舗装はILB縦横混在時と考えられる。今回の実験でも同様の結果となっている。これより、日常空間で路面を走行する際には10mm前後の標準偏差が出ることを考慮しなければならないと言える。

#### 4.4 実証試験

最後に、以上の結果を基に、実際に日常空間で使用する際の仕様を決定し、街中で走行する際にも転落事故防止策として有効であるかを検証する。

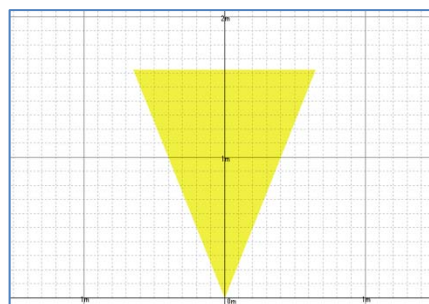
##### 4.4.1 日常空間で走行する際の仕様について

エリア等の設定について

図表 6-30 設定エリア

|       | 側面（左） |      | 正面   |     | 側面（右） |     |
|-------|-------|------|------|-----|-------|-----|
| FRONT | 1620  |      | 1620 |     | 1620  |     |
| SIDE  | -646  | -382 | -382 | 382 | 382   | 646 |
| 欠損率   | 33%   |      | 50%  |     | 33%   |     |

|        |        |
|--------|--------|
| 取り付け角度 | 30°    |
| 基準測距値  | 1380mm |



図表 6-31 ハンドル形電動車いすの仕様

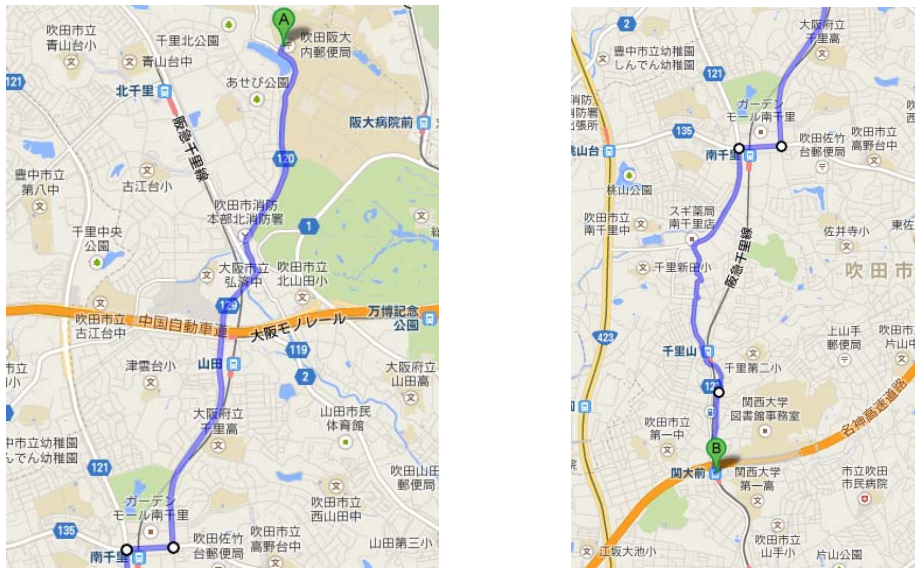
#### エリアの設定説明

日常空間を走行する際には、利便性を考えた場合に、少なくともバリアフリー道路に関しては停止することなく通過することが望ましいと考える。バリアフリー新法では勾配は5%以下が望ましく、沿道の状況等によりやむを得ない場合には8%以下とすることができるとされている。そこで今回は、8%までの勾配は停止することなく通過できるようなエリア設定をおこなう。8%の勾配を走行する際には、110mmの段差検知時と同等の測距データが得られると考えられる。また、振動により最大10mm前後の標準偏差が予想されることと合わせて考え、今回は8%の勾配を停止することなく通過するために、対象検知段差高さを120mmとする。よって防護エリアの距離は1620mmとなる。

また、側面は利便性を考え、側面段差に150mm近づいた場合に停止するような設定とする。

#### 4.4.2 実験日時

実験日時： 2014年1月15日（水） 天候：晴れ  
 実験時間： 11:00～17:30  
 走行場所： 大阪大学吹田キャンパス～阪急関大前駅（往復）  
 走行ルート概要図



図表 6-32 走行ルート図（Google map 引用）

大阪大学吹田キャンパスから関大前駅までの道のりをレーザスキャナ付きハンドル形電動車いすで走行することにより、日常空間で遭遇すると考えられる状況においても転落事故対策が有効なものであるかを検証する。

#### 4.4.3 実験概要

エリアを設定し、設定したエリアで実際に街中を走行し、危険な状況において停止するか、危険ではないと判断した場合において停止しないかを検証する。なお、本研究においては客観的な根拠を基にして危険な状況を決定することはできないと考える。よって危険な状況や危険ではない状況と判断する場合には、個人の主観的判断でおこない、段差の形状などを記録する。

#### 4.4.4 実験結果概要

走行結果を図表 6-33 にまとめる。

また、危険な状況で停止するか検証するため、側溝や歩車道等の段差に気づかず転落してしまう状況を想定し、側溝に向かって真っすぐ走行する状況を検証した。結果を表 6-34 に記す。

図表 6-33 走行結果まとめ（踏切は除く）

| 項目                  | 往路            | 復路   | 合計        |      |
|---------------------|---------------|------|-----------|------|
| 走行時間                | 2 時間 30 分     | 2 時間 | 4 時間 30 分 |      |
| 危険と思われる状況で停止しなかった回数 | 0 回           | 0 回  | 0 回       |      |
| 停止回数                | 危険と思われる場所     | 1 回  | 1 回       |      |
|                     | 危険ではないと思われる場所 | 6 回  | 3 回       | 9 回  |
|                     | 合計            | 6 回  | 4 回       | 10 回 |

図表 6-34 危険な状況（再現）における停止回数

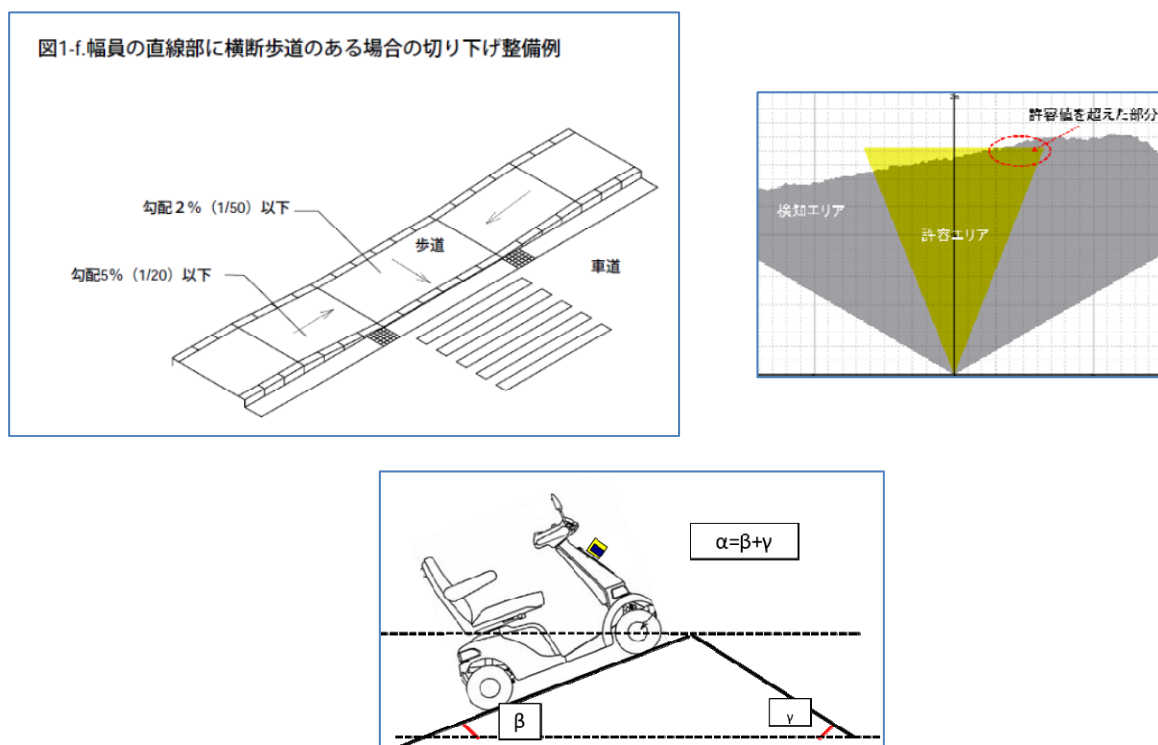
| 項目           |               | 回数 |
|--------------|---------------|----|
| 危険な状況<br>の再現 | 停止回数          | 8回 |
|              | 停止しなかった回数     | 0回 |
|              | 危険な状況の再現回数の合計 | 8回 |

以上、今回の走行結果をまとめると、以下のようになる。

- ① 危険と思われる状況では、全て転落前に停止制御が働くことが確認できた。
- ② 合計4時間半の走行中、主観的には使用する上で特に不都合はなかった。誤作動としては、危険ではないと思われる状況での停止は9回ほどあった。

危険ではないと思われる状況での停止は、大きく分けて以下の2点に分けられる。

- ① 車道から歩道へ乗り上げる切り下げ部を走行する際に、ハンドル形電動車いすが上下の縦断面の傾き+左右の横断面にも傾くことで側面の測距値が伸びることで許容値を超えて制御働く状況。
- ② 車いす設置地点が上り勾配、検知点が下り勾配の際に、合計の勾配が大きくなることで測距値が伸び、許容値を超えることで制御が働く状況。



図表 6-35 車道から歩道へ乗り上げる切り下げ部と実際のレーザスキャナのエリアモニタの様子

#### 4.4.5 停止した状況の整理

今回の走行実験で停止した個所について、停止した場所と状況の写真を走行ルート順に図に記す。なお、本文中の歩道の形式を図表 6-36 で、と図中のの意味を図表 6-37 で、説明する。

図表 6-36 歩道の形式

| 歩道等の形式   | 歩道等面と車道面との関係 | 歩道等面と歩車道境界ブロック天端との関係 | 略図 |
|----------|--------------|----------------------|----|
| マウントアップ型 | 歩道等面が高い      | 同一の高さ                |    |
| セミフラット型  | 歩道等面が高い      | 歩道等面が低い              |    |
| フラット型    | 同一の高さ        | 歩道等面が低い              |    |

|                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| ○ : 危険と思われる場所での停止     | 停止1-○: 停止箇所の番号(危険と思われる場所)     |
| ● : 危険と思われる場所での停止(再現) | 停止2-○: 停止箇所の番号(危険では無いと思われる場所) |
| ✕ : 危険でないと思われる場所での停止  | ---> : 停止した場所の写真              |
|                       | — : 地図上の地形例                   |

図表 6-37 図中の印の意味

#### 4.4.6 地区別走行結果

##### 1) 大阪大学吹田キャンパス千里門～府道 120 号線

##### 歩道の形式 :

- マウントアップ型  
段差高さ 200mm

##### 側溝あり :

- 幅 : 250mm  
深さ : 250mm



大阪大学吹田キャンパス千里門から府道 120 号線を走行する道のりでは、危険と思われる場所で 2 回、危険と思われない場所で 1 回、計 3 回ほど停止動作が働いた。以下に停止した状況について記す。

- 危険と思われる状況での停止 :

停止 1-1 :

歩道走行中に深さ 250mm の側溝に向かって前進したところ、転落前に側面段差まで 180mm のところで停止した。

停止 1-2 :

歩道走行中に段差高さ 200mm の車道へ向かって前進したところ、転落前に側面段差まで 200mm のところで停止した。

- 危険では無いと思われる状況での停止

停止 2-1 :



写真に示すような切り下げ部の縁石を通過したところ、制御動作が働いた。切り下げ部で車体が横断面に傾いており車体が横断方向に傾き、なおかつ縁石を通過する際に車体が上を向いたため、側面の測距データが許容値を超え、制御動作が働いた。

2) 府道 120 号線～吹田市津雲台 5 丁目 120 号線～山田駅

歩道の形式：

- マウントアップ型  
植樹帯での分離

側溝あり：

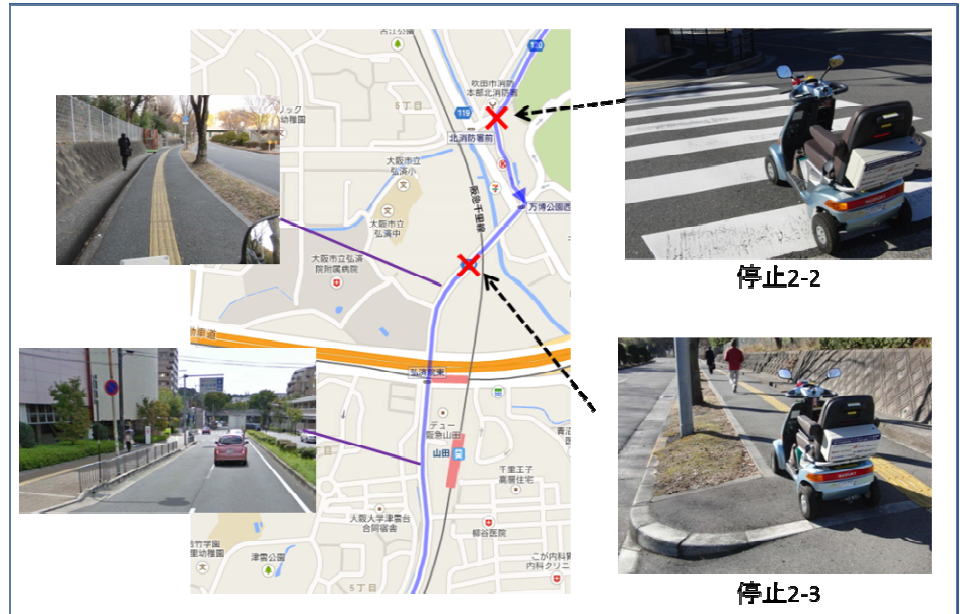
- 幅：250mm  
深さ：250mm

山田駅～津雲台 5 丁目

歩道の形式：

- セミフラット型

側溝なし

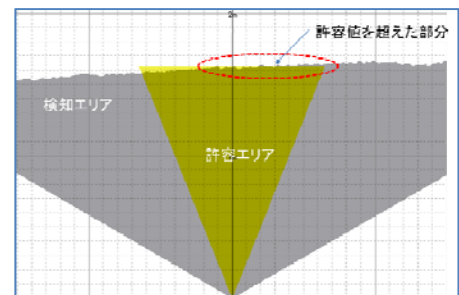


府道 120 号線から山田駅方面へ走行する道のりでは、危険と思われない場所で 2 回ほど停止動作が働いた。以下に停止した状況について記す。

- 危険では無いと思われる状況での停止

停止 2-2：

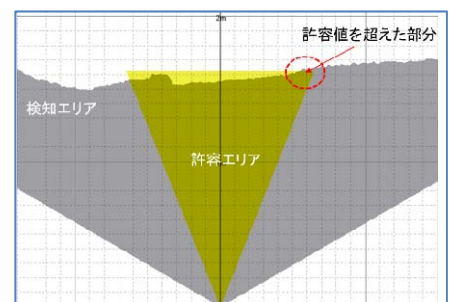
横断歩道を通過しようとしたところ、制御動作が働いた。ハンドル形電動車いす設置地点が上り勾配かつ、検知地点が下り勾配であったため、測距データが許容値を超え停止動作が働いた。



図表 6-38 停止時エリア図例：停止 2-2

停止 2-3：

切り下げ部を通過したところ、制御動作が働いた。切り下げ部で車体が縦横断方向に傾いていたため、車体が傾くことで側面の測距データが許容値を超え、制御動作が働いた。



図表 6-39 停止時エリア図例：停止 2-3

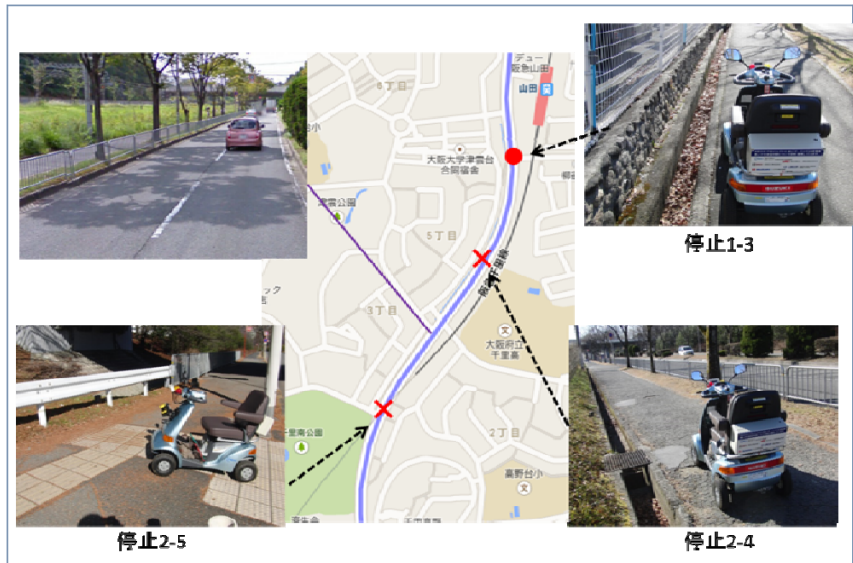
3) 吹田市津雲台

歩道の形式：

- マウントアップ型  
柵による分離

側溝あり：

- 幅：250mm  
深さ：250mm



津雲台を走行する道のりでは、危険と思われる場所で1回、危険と思われない場所で2回、計3回ほど停止動作が働いた。以下に停止した状況について記す。

- 危険と思われる状況での停止：

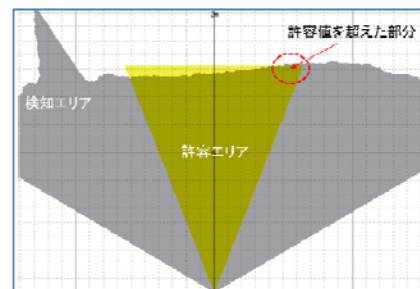
停止 1-3：

歩道走行中に深さ 250mm の側溝に向かって前進したところ、転落前に側面段差まで 200mm のところで停止した。

- 危険では無いと思われる状況での停止

停止 2-4：

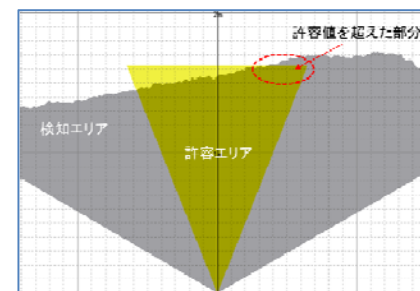
舗装の劣化により凸凹した部分を走行中に、道路の出っ張り部を走行した際に停止動作が働いた。道路の出っ張り部を走行時に車体が上を向いたため、側面の測距データが許容値を超え、制御動作が働いた。



図表 6-40 停止時エリア図例：停止 2-4

停止 2-5：

切り下げ部を通過したところ、制御動作が働いた。切り下げ部で車体が縦横断方向に傾いていたため、車体が傾くことで側面の測距データが許容値を超え、制御動作が働いた。



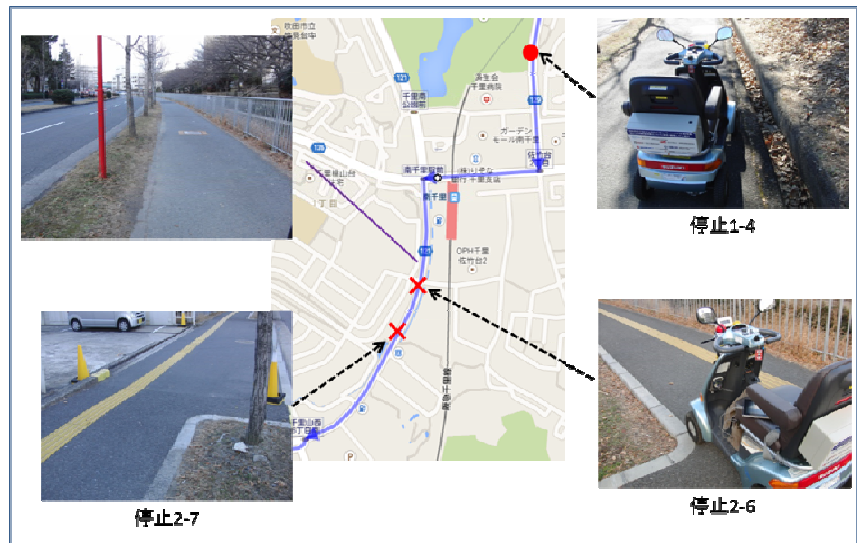
図表 6-41 停止時エリア図例：停止 2-5

4) 吹田市津雲台 1 丁目～吹田市千里山西 6 丁目南

歩道の形式：

- セミフラット型

側溝なし



津雲台から千里山西 6 丁目の方面へ走行する道のりでは、危険と思われる場所で 1 回、危険と思われない場所で 2 回、計 3 回ほど停止動作が働いた。以下に停止した状況について記す。

- 危険と思われる状況での停止：

停止 1-3：

歩道走行中に深さ 250mm の側溝に向かって前進したところ、転落前に側面段差まで 150mm のところで停止した。

- 危険では無いと思われる状況での停止

停止 2-6、2-7：

切り下げ部を通過したところ、制御動作が働いた。切り下げ部で車体が縦横断方向に傾いていたため、車体が傾くことで側面の測距データが許容値を超え、制御動作が働いた。

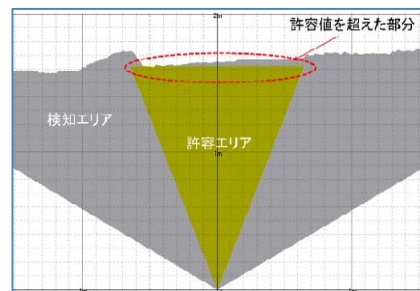


図 6-42 停止時エリア図例：停止 2-6



5) 吹田市千里山西 6 丁目南～阪急千里山駅  
千里山西 6 丁目南～関西電力西千里変電所

歩道の形式：

- マウントアップ型  
柵での分離

側溝あり：

- 幅：250mm  
深さ：250mm

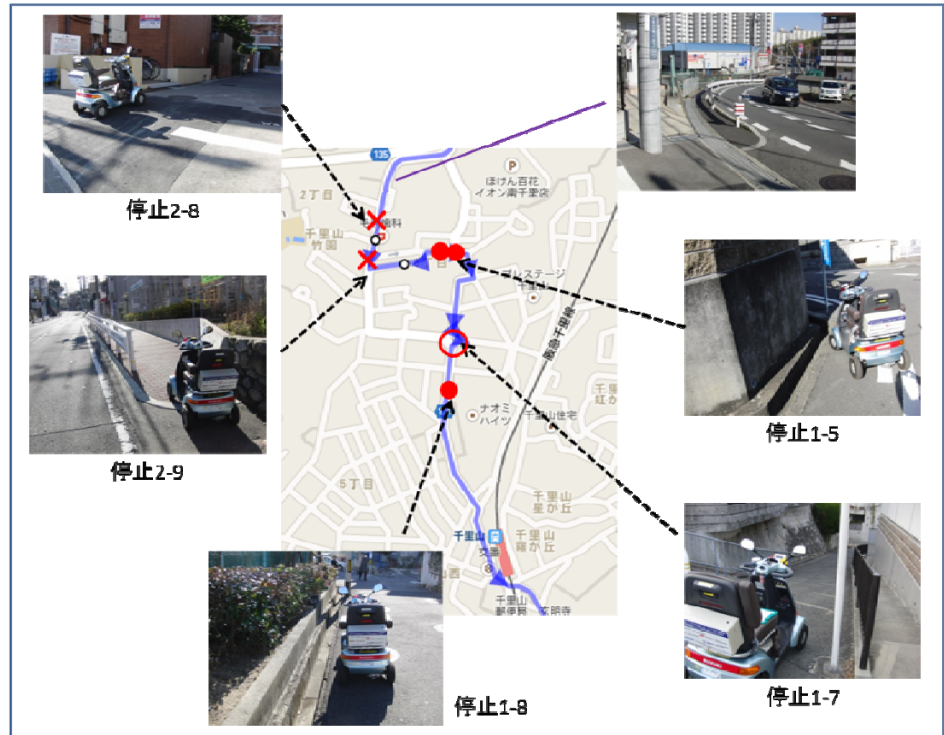
関西電力西千里変電所～  
阪急千里山駅

歩道の形式：

- 歩車の分離なし

側溝あり：

- 幅：250mm  
深さ：250mm



吹田市千里山西 6 丁目南から阪急千里山駅へ走行する道のりでは、危険と思われる場所で 4 回、危険と思われない場所で 2 回、計 6 回ほど停止動作が働いた。以下に停止した状況について記す。

- 危険と思われる状況での停止：

停止 1-5、1-6：

歩道走行中に深さ 200mm の側溝に向かって前進したところ、転落前に側面段差まで 220mm のところで停止した。

停止 1-7：

歩道走行中に勾配 20%の坂を下ろうとしたところ、停止した。

停止 1-8：

歩道走行中に深さ 280mm の側溝に向かって前進したところ、転落前に側面段差まで 200mm のところで停止した。

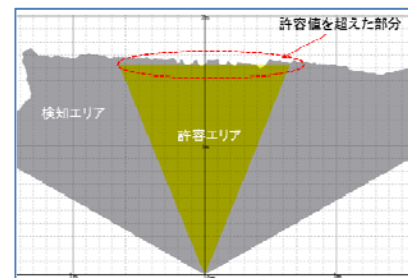


図 6-43 停止時エリア図例：停止 2-8

- 危険では無いと思われる状況での停止

停止 2-8：

切り下げ部を通過したところ、制御動作が働いた。切り下げ部で車体が縦横断方向に傾いていたため、車体が傾くことで側面の測距データが許容値を超え、制御動作が働いた。

停止 2-9：

切り下げ部を通過したところ、制御動作が働いた。切り下げ部で車体が縦横断方向に傾いていたため、車体が傾くことで側面の測距データが許容値を超え、制御動作が働いた。

## 踏切通行時

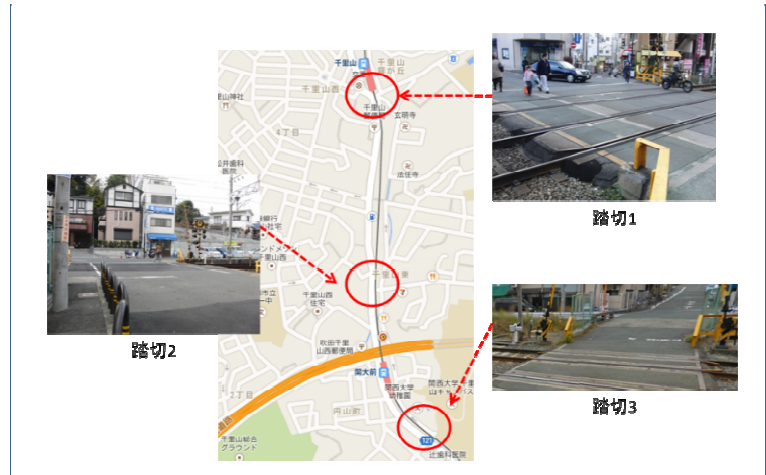
### 6) 踏切走行時

踏切 1： 阪急千里山駅南

踏切 2： 阪急関大前駅北

踏切 3： 阪急関大前駅南

今回の走行実験では3ヶ所の踏切を各3往復ずつ走行した。各踏切を走行した結果を図表 6-44 に表す。



図表 6-44 踏切走行結果 (○：停止せず通過 ×：途中で制御動作が働く)

| 試行   | 踏切 1 |    | 踏切 2 |    | 踏切 3 |    |
|------|------|----|------|----|------|----|
|      | 往路   | 復路 | 往路   | 復路 | 往路   | 復路 |
| 1 回目 | ○    | ○  | ×    | ×  | ×    | ○  |
| 2 回目 | ○    | ○  | ×    | ○  | ○    | ○  |
| 3 回目 | ○    | ○  | ×    | ×  | ○    | ○  |

### ➤ 停止した原因について

#### 踏切 2：

踏切 2 では、ほとんど全ての走行で踏切走行中に制御動作が働いた。測距データを基に原因について考えると、以下の2点が原因と考えられる。

#### ① 地形的な理由

まず1点目に地形的な理由のため制御止動作が働いたと考えられる。線路 2 では、線路内に上下の勾配が存在したため、ハンドル形電動車いす設置地点が上り勾配かつ、検知地点が下り勾配であったため、図表 6-45 のように測距データが許容値を超え停止動作が働いた。

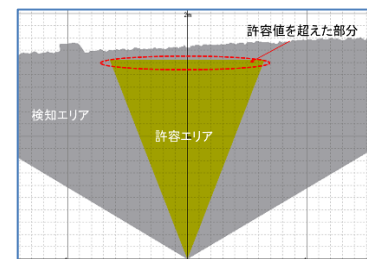
#### ② 反射による理由

2 点目に反射が原因で制御動作が働いたと考えられる。踏切通過時の測距データを確認したところ、一部で図表 6-46 のように許容値をはるかに超えた測距データを測定している。

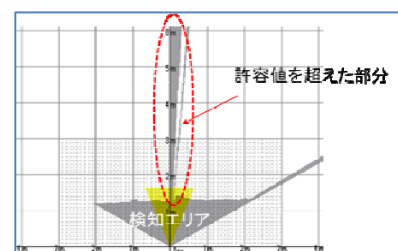
これは、レールの金属にレーザー光が反射したことで誤検知してしまったと考えられる。

#### 踏切 3：

踏切 3 では1走行のみ制御動作が働いた。制御動作が働いた理由は、図表 6-47 に示すように、踏切 2 の②同様レーザー光がレールの金属に反射したことで誤検知してしまったためと考えられる。



図表 6-45 停止時エリア図例：  
踏切 2 その 1



図表 6-46 停止時エリア図例：  
踏切 2 その 2

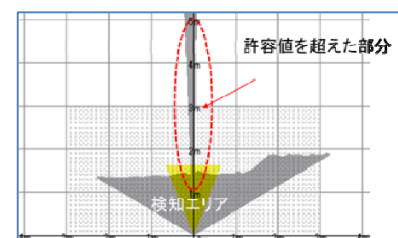


図 6-47 停止時エリア図例：  
踏切 3

#### 4.4.6 まとめ

街中で走行した結果、設定したエリアで危険と思われる状況で停止することが確認できた。このことより、本研究が提案する転落事故防止策によって転落事故に対して安全性が向上すると考えられる。一方で危険では無いと思われる状況で制御動作が働く場面も数カ所みられ、利便性がやや低下することが考えられるが、許容段差高さをもう少し高くすることや欠損率の変更などによって改善できるのではないかと考える。

### 第7章 まとめ

#### 1 誘導式ゴルフカート

誘導式ゴルフについてはゴルフ場が加入する施設利用保険の保険金支払い実績調査や、実際にゴルフ場を訪問してヒアリング調査したり、WEB を利用したプレイヤー側のアンケートも実施し、多角的な調査を実施してきた。これらにより机上のリスクアセスメントを補完し、妥当な安全対策を実施できたと考える。

ゴルフカートは走行速度が概ね 10km/h 以下であること、開放的な作りで走行中にも歩行者の接近、乗車、降車が行われる事実、またなによりも無人走行するという特徴がある。このようなロボットの歩行者に対する安全を確保することを考えると、一般の自動車の安全対策とは違い、短い距離で視野角の広い検知が必要という結論となり、センシングデバイスとしてレーザスキャナを選択したことは妥当であった。

次に従来のリモコンは通信圏外にまで離れるとゴルフカートを停止操作させることができないこと、また、スタート直後の停止に関しては応答時間が長く設定されているなど、安全上の課題があった。その対策として今回開発した非常停止専用のスイッチを設けた安全無線非常停止装置つきリモコンは、誘導式ゴルフカートに限らず自動走行、自律走行するロボットに共通して利用されるものである。また、このリモコンのみの導入でもリスク低減効果があると考えられる。

人口減少もあって、ゴルフ人口は減少の傾向にあり、日本のゴルフ場は軒並み厳しい経営を強いられている。今回のシステムを導入するためにはコストダウンを検討し事業化したい。

#### 2 ハンドル型電動車いす

ハンドル型電動車いすは言うまでもなく操縦者が必ず搭乗して稼働する移動ロボットである。搭乗者がある場合のロボットの最適な回避については操舵によるものも想定されるが、私達はそのような分野の詳細な知見を持ち合わせていない。しかし今回、進行方向正面の、安全に降りられる保証がない大きな段差に対して、ロボットのおおよそ最短制動距離（メカニカルなブレーキを使用しない場合）でこれを検知し、強制的にロボットを停止させる制御を採用した。これは、この時点以降の搭乗者の減速操作より早い停止を実現するからである。

一方、今回採用したハンドル型電動車いすは使用上の注意として踏切内へ進入しない旨の情報が与えられている。しかしこの予見される誤使用への対応が課題と考える。

## 事業全体の成果

| 目 標  | 研究開発成果  | 達成度                   | 課題と解決方針<br>※未達の場合のみ  |
|--|---|-----------------------|--|
| <p>(1) (X)安全機器技術の研究開発－安全センシング技術の研究開発(X1)</p> <p>検出エリア:180°(分解能:0.5°)<br/>検出距離:2m(精度:±100mm)<br/>応答速度:150ms<br/>耐光性能:100000lux<br/>耐雨性能:10mm/min<br/>耐霧性能:視程 50m 以上<br/>安全度水準: SIL2</p> | <p>(1) ジンバル機構による 3D スキャン方式により、太陽光の影響を軽減した屋外対応レーザスキャナを PLd、SIL2 の安全性能で試作した。安全防護のための検知エリア(検出距離)2m、応答速度 270ms である。</p>   | <p>(1) 未達 (90%達成)</p> | <p>(1) 応答速度は 270ms で未達であるが、検出距離内で安全停止できることが確認できたため実使用上問題はない。</p>               |
| <p>(2) (X)安全機器技術の研究開発－安全無線通信の研究開発(X2)</p> <p>有効距離:100m(精度:±20m)<br/>保護構造:IP65<br/>安全度水準: SIL3</p>  | <p>(2) 移動ロボットに共通して必要となる安全無線による非常停止装置を開発した。応答時間 160ms (1:1 通信時)、通信距離最大 150m、国際規格に準拠した安全な停止と表示機能を備えている。</p>   | <p>(2) 達成</p>         |  |
| <p>(3) (X)安全機器・システム技術の研究開発－GPS と RFID による誘導技術の研究開発(X3)</p> <p>GPS による誘導走行と、RFID による危険区域からの隔離</p>   | <p>(3) 初年度の基礎実験後の考察にて精度に課題があることなどが判明した。またその他の技術にて十分なリスク低減が可能なことから基礎実験までとした。</p>   | <p>(3) H24 年度に中止</p>  | <p>(3) 初年度の基礎実験後の考察にて精度に課題があることなどが判明した。またその他の技術にて十分なリスク低減が可能なことから基礎実験までとした</p> |
| <p>(4) (Y)安全システム設計技術の研究開発－機能安全システム(Y1)、及びシステムのリスクアセスメント技術(Y2)の研究開発</p> <p>安全度水準: SIL2<br/>入力機器のレーザスキャナ、安全無線非常停止装置から安全制御ユニットを介して安全リレーを駆動してコンタクタ断までを安全関連部で構築。</p>                        | <p>(4) 機能安全システム開発(Y1)<br/>リスクアセスメントの結果から要求される安全性能の維持能力(PLd、SIL2)をもった機能安全制御システムを構築した。また故障挿入試験(FIT)試験による妥当性確認を実施し合格した。</p> <p>リスクアセスメント技術の開発(Y2)<br/>電磁誘導式ゴルフカートにおける自動走行モードを対象にリスクアセスメントを実施した。また、ゴルフ場の責任者(支配人など)、キャディ、プレイヤー、保険金支払い記録などの多角的な事故調査により、これを補完した。</p> | <p>(4) 達成</p>         |  |
| <p>(5) (Z)安全運用技術の研究開発－広域空間での安全システム運用技術(Z1)、および安全管理技術(Z2)</p> <p>ゴルフ場とシニアカーの移動空間における交通工学に基づい</p>  | <p>(5) 残留リスクへの対応と、ゴルフ場に対する包括的な安全運用マニュアルを策定した。</p>   | <p>(5) 達成</p>         |  |

|  |  |                       |                                 |
|--|--|-----------------------|---------------------------------|
| <p>た安全システム技術の構築と安全運用マネジメントの実現</p> <p>(6) 安全性基準に関する適合性評価に対する協力</p> <p>搭乗型生活支援ロボット試作と試作機的设计コンセプト認証ドキュメント製作</p> | <p>(6) 生活支援ロボット安全検証センターに対して、段差検知による停止性能測定、斜面における姿勢変化の影響測定など、電磁誘導式ゴルフカートならびにハンドル型電動車いす等搭乗型生活支援ロボットについての性能評価方法を提案した。</p> | <p>(6) 未達 (90%達成)</p> | <p>(6) 2016年までに認証ドキュメント完備予定</p> |
|--|--|-----------------------|---------------------------------|

### 年度毎の特許、論文、外部発表等の件数

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

| 区分<br>年度 | 特許出願 |    |            | 論文       |         | その他外部発表     |                |     |
|----------|------|----|------------|----------|---------|-------------|----------------|-----|
|          | 国内   | 外国 | PCT※<br>出願 | 査読<br>付き | その<br>他 | 学会発表・<br>講演 | 新聞・雑誌等<br>への掲載 | その他 |
| H23FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 0件       | 5件      | 5件          | 0件             | 0件  |
| H24FY    | 0件   | 0件 | 0件         | 3件       | 3件      | 6件          | 0件             | 0件  |
| H25FY    | 1件   | 0件 | 0件         | 2件       | 5件      | 7件          | 0件             | 1件  |

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

注) 論文投稿し、かつ学会発表も行っているものは、上表「論文」「学会発表」両方に記載

平成21・03・27産局第2号  
平成21年4月1日

## ロボット・新機械イノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

我が国の製造業を支えてきたロボット技術・機械技術を基盤とし、IT技術・知能化技術など先端的要素技術との融合を促進することにより、家庭、医療・福祉、災害対応など幅広い分野で活躍する次世代ロボットや新機械技術の開発・実用化を促進し、生産性の向上と人間生活の質の向上を実現するとともに、我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化を目指す。

### 2. 政策的位置付け

経済財政改革の基本方針2008（2008年6月閣議決定）

経済成長戦略の3本の柱、革新的技術創造戦略のうち、革新的技術戦略のひとつとしてロボット技術が位置付けられている。

科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

ロボット・新機械技術は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進4分野）の一つである情報通信分野や、推進分野であるものづくり技術分野、社会基盤分野に位置付けられている。

「経済成長戦略大綱」（2006年7月財政・経済一体改革会議。2008年6月改定版を経済財政諮問会議に報告）

国際競争力の強化の取組みのうち、世界の潜在需要を喚起する新産業群の創出において、我が国が特に優位性を有し、早期にその成果を社会に還元するため、積極的な実証や環境整備を行うべき技術として、ロボットやMEMS技術が位置付けられている。

「新産業創造戦略」（2005年6月経済産業省取りまとめ）

先端的新産業分野として、「ロボット」を戦略7分野の一つとして掲げ、2010（平成22年）までの市場規模、その成長に向けたアクションプログラムを盛り込んでいる。当該アクションプログラムには、ユーザ（施設、地域）を巻き込んだ実証試験を中心としたモデル開発事業による先行用途開発、モデル事業と連携した重要な要素技術や共通インフラ技術の開発支援、及び人間とロボットの共存に必要な安全性の確保と、保険制度等の制度基盤の整備が提示されている。

新機械技術の重要分野であるMEMS技術について、当該新産業群の創出を支える重点四分野（「科学技術基本計画」による）の分野間の融合による推進が指摘されている。

「イノベーション25」（2007年6月閣議決定）

ロボット・新機械技術は、生涯健康な社会や多様な人生を送れる社会の実現に向けて、中長期的に取り組むべき課題として、新たな走行車等の普及促進のための環境整備、高度みまもり技術導入のためのルール作りなどの安全・安心な社会形成、また、ユビキタスネットワークや民生用ロボットの本格普及に向けた環境整備、低侵襲診断・治療技術の実現、安全・安心な社会のための将来デバイスの実現、さらに世界的課題解決に貢献する社会のための新しいものづくり技術など、今後の研究開発の進展等によって、その成果を社会に適用していく上で取組が必要であるとともに、随時見直しをし、その取組を加速・拡充していくことが必要とされている。

「ロボット産業政策研究会」報告書（2009年3月とりまとめ）

近い将来に、次世代ロボットが実際に役立つものになるよう、特に技術開発・事業開発、安全確保、社会ルールの整理・策定のための取組等についてまとめた。

### 3. 達成目標

- (1) 我が国製造業の高度化に必要な基盤技術である機械分野においては、パイオ技術やIT技術等の異分野技術を活用した従来の機械の概念を超えた新しい機械の創造及びその計測技術の確立を図ることを目標とする。例えば、2015年頃に革新的MEMSの本格普及を目指すことにより、安全・安心な社会の構築に貢献する。
- (2) 安全・安心な社会、便利でゆとりある生活の実現のために必要不可欠なロボットは、信頼性技術、高機能化・知能化技術、システム化技術が特に重要であり、これら技術を開発することで、2015年頃には、自律的に多様な作業を行うロボットの実用化を目指す。

### 4. 研究開発内容

#### [プロジェクト]

##### ・ロボット技術開発

#### (1) 生活支援ロボット実用化プロジェクト（運営費交付金）

##### 概要

介護者支援や移動支援等の生活支援にあたっては、人との接触度が高くなるため、より一層の安全性の確保が必要。このため生活支援ロボットの対人安全性技術の開発・実証と、安全基準設定等に向けた安全性・有効性データの集約・分析を実施する。

##### 技術目標及び達成時期

2013年度までに、生活支援ロボットのリスクアセスメント手法や、安全性基準適合性評価手法・情報の蓄積提供手法を確立する。また、対人安全性に関する指標、機械・電気安全、機能安全の試験・評価方法や手順について、国際標準提案を行えるようにするとともに、実証試験を実施する。

##### 研究開発機関

2009年度～2013年度

#### (2) 基盤ロボット技術活用型オープンイノベーション促進プロジェクト（運営費交付金）

##### 概要



これまでの研究開発プロジェクトの成果を活用し、生活環境やロボットで使用される各種要素部品をRT(Robot Technology)システムで利用しやすい共通の接続方式、制御方式の下で利用可能な形で提供(RTコンポーネント化)するための基盤を開発する。これにより既存の生活環境を簡単にRTシステム化し、それらを活用することにより様々な生活支援機能の提供、基盤ロボット技術の普及と標準化を推進する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通の通信インタフェースとRTミドルウェアで動作させる基盤通信モジュール、既存の要素部品をRTコンポーネント化したRT要素部品、それらを用いたRTシステムを開発する。

研究開発期間

2008年度～2010年度

### (3) 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

生活空間や多品種少量生産の製造現場など状況が変わりやすい環境下では、ロボットの使用条件や用途は大きく限定されている。これを克服するため、ロボットが確実性(ロバスト性)をもって稼動し、ロボットの環境・状況認識能力等の向上とともに、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積管理及び組合せ等を可能とする技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代ロボットが高度な作業(タスク)を行う上で必要な効率的で実用的な知能化技術を開発する。具体的には、魅力的でニーズが高いタスクを設定し、知能化技術モジュールを開発し、高機能なロボットシステムの構築を実証する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

### (4) 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

市場ニーズ及び技術戦略マップに基づき、約10年後にロボット技術の活用により達成するミッションを設定した上で、これを達成するために必要なロボットシステム及び要素技術開発を、関係府省の連携の下で実施する。

技術目標及び達成時期

市場ニーズ及び技術戦略マップに基づき、約10年後にロボットを活用して達成するミッションを設定した上で、これを達成するために必要なロボットシステム及び要素技術の開発を実施する。具体的かつ先端的なRT開発を支援することで、我が国のRT競争力の維持・発展を図るとともに、研究開発成果の他分野(自動車、情報家電等)への波及を図る。

研究開発期間

2006年度～2010年度



・MEMSの技術開発・新機械産業の領域開拓

(1) 異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

高信頼性が必要な医療分野や特殊環境等で活用され、医療や安全・安心等の社会的課題を解決する、小型・高性能・省エネルギーな次世代デバイスの基盤プロセス技術を、MEMS製造技術とナノ・バイオ等の異分野技術の融合により開発する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、次世代デバイス製造に必要な不可欠な基盤プロセス技術群である、バイオ・有機材料融合プロセス技術、3次元ナノ構造形成プロセス技術、マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術を開発すると共に、得られた知見を系統的に蓄積しデータベース化し、従来の技術情報と統合的に取り扱える知識データベースシステム整備を行う。

研究開発期間

2008年度～2012年度

5. 政策目標の実現に向けた環境整備(成果の実用化、導入普及に向けた取組)

[導入普及促進]

ロボットやその関連部品等の見本市の開催等を支援することによって、システム開発者、要素部品の開発者、ロボットユーザ等との間のマッチングを図り、中小・ベンチャーや異業種企業のロボット産業への参入を促進する。

また、市場創出に貢献するロボットを表彰し、ロボットユーザ、メーカーから一般の方まで広くPRする表彰制度「今年のロボット」大賞を共催機関と協力して実施している。

開発したソフトウェア等の成果については、広く一般に提供するなど積極的な普及を図ることにより、より多くの開発主体がロボット技術開発に参加できる環境を創出し、ロボット技術開発の裾野の拡大を図る。

将来のロボットは人に接する場面が多くなるであろう。したがって、ロボットの導入・普及を促進するためには、安全に対する考え方を整理し、周知することが重要である。平成19年7月には人間と共存する次世代ロボットの安全性を確保するための基本的な考え方をまとめた「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」をとりまとめた。今後は、普及や具体化に向けた取組みが求められており、技術開発と並行して安全に係るルールなどの整備を推進することで普及をより現実化させることが必要である。

MEMSの一層の実用化促進を図るため、異分野や製造設備を有していない企業でも容易にMEMSビジネスに参入できるように、MEMS用設計・解析支援システムを開発した。その成果を活用しつつ、実習を中心とした人材育成及び試作環境の充実、製造拠点(ファンドリー)強化などMEMS産業全体の競争力の維持・強化を図る。

[標準化]

各プロジェクトで得られた成果のうち、標準化すべきものについては適切な標準

化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準団体（OMG等）への提案等）を実施する。

特に、ロボットの安全基準や性能の評価基準については、過去に実施した研究開発プロジェクト等による実証データや「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」の活用を図りつつ我が国発の国際標準としての提案について検討し、拡大するロボット市場における国際競争力の確保を目指す。

なお、これまでの研究施策の成果である、ロボット部分品の接続の共通化を目指したRTM（ロボット・テクノロジー・ミドルウェア）が、OMG（ソフトウェア技術の国際標準化団体）において、平成19年12月に標準仕様として採択されている。

MEMS技術・製品を世界市場に広く普及するために技術戦略マップに基づくMEMS標準化戦略の策定、国際規格案の開発、提案、推進等の標準化活動に継続的に取り組む。

## 6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成14年2月28日付け、21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画制定。
- (2) 平成15年3月10日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成14・02・25産局第3号）は、廃止。
- (3) 平成16年2月3日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成15・03・07産局第11号）は、廃止。
- (4) 平成17年3月31日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成16・02・03産局第16号）は、廃止。
- (5) 平成18年3月31日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成17・03・25産局第18号）は、廃止。
- (6) 平成19年4月2日付け制定。21世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成18・03・31産局第7号）は、廃止。
- (7) 平成14年2月28日付け、新製造技術プログラム基本計画制定。
- (8) 平成15年3月10日付け制定。新製造技術プログラム基本計画（平成14・02・25産局第6号）は、廃止。
- (9) 平成16年2月3日付け制定。新製造技術プログラム基本計画（平成15・03・07産局第9号）は、廃止。
- (10) 平成17年3月31日付け制定。新製造技術プログラム基本計画（平成16・02・03産局第11号）は廃止。
- (11) 平成18年3月31日付け制定。新製造技術プログラム基本計画（平成17・03・25産局第5号）は、廃止。
- (12) 平成19年4月2日付け制定。新製造技術プログラム基本計画（平成18・03・31産局第6号）は、廃止。

- ( 1 3 ) 平成 2 0 年 4 月 1 日付け、ロボット・新機械イノベーションプログラム基本計画  
制定。2 1 世紀ロボットチャレンジプログラム基本計画（平成 1 9 ・ 0 3 ・ 1 5  
産局第 2 号）及び新製造技術プログラム基本計画（平成 1 9 ・ 0 3 ・ 1 9 産局第  
3 号）は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- ( 1 4 ) 平成 2 1 年 4 月 1 日付け制定。ロボット・新機械イノベーションプログラム基本  
計画（平成 2 0 ・ 0 3 ・ 2 7 産局第 3 号）は、廃止。

(ロボット・新機械イノベーションプログラム)  
「生活支援ロボット実用化プロジェクト」基本計画

技術開発推進部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

我が国では、少子高齢化が急速に進展しており、このままでは我が国の社会を支える人材が不足することが懸念されている。

一方、我が国は、産業用ロボットをはじめ、国際的にもトップレベルのロボット技術を蓄積してきた。これらのロボット技術を活用して、製造業の生産工程やサービス業の作業工程における一層の効率化・自動化の促進が必要となっている。

また、ロボット技術は産業分野のみならず、介護・福祉、家事、安全・安心等の生活分野においても、社会的課題の解決策の一つとして活用することが期待されており、生活支援ロボットの活用により、生活の質や利便性向上が可能となる。

しかしながら、不特定多数の人が関与する等、条件や状況が変化する実際の使用環境下で稼働する生活支援ロボットは、対人安全技術が確立されておらず残留リスクの高いものが多く、民間企業の独自の取組のみに委ねては本格的な産業化が期待できない。このため、国等の一定の関与により、安全性検証を行う認証機関・試験機関、安全性基準に関する国際標準等を整備することが求められている。

本プロジェクトは、生活支援ロボットとして産業化が期待されるロボットを対象に関係者が密接に連携しながら安全に係る試験を行い、安全性等のデータを取得・蓄積・分析し、具体的な安全性検証手法の研究開発を実施することを目的とする。

また、これらの試験においてはロボット研究開発実施者と安全性検証手法の研究開発実施者が連携し、リスクアセスメント技術、危険予防技術の検討や実際の使用環境下で幅広い参加者による実証試験を集中的に実施する。さらに、生活支援ロボットの安全性基準等の国際標準化を念頭に置きつつ研究開発を進める。

なお、本プロジェクトは、経済産業省が推進する「ロボット・新機械イノベーションプログラム」並びに内閣府が推進する「社会還元加速プロジェクト」の一環として実施する。

(2) 研究開発の目標

(最終目標) 平成25年度

生活支援ロボットのリスクアセスメント手法を確立し、生活支援ロボットの開発者に提供可能となること。対人安全性に関する指標、機械・電気安全、機能安全の試験・評価方法や手順について、国際標準提案を行えること。生活支援ロボットに関する安全性基準適合性評価手法を確立すること。

研究開発の対象とした生活支援ロボットに関して、安全性検証のための安全性試験を完了し、ロボット安全性試験項目の評価基準値がすべて示され、実証試験が完了していること。

(中間目標) 平成23年度

生活支援ロボットのリスクアセスメント手法を開発するとともに、人間工学実験等による対人安全性に関するデータをロボット開発実施者に提供すること。研究開発の対象とした生活支援ロボットの機械・電気安全、機能安全等に必要な試験装置を開発し、ロボット安全性試験項目、各タイプのロボットの試験・評価方法や手順の策定を行うこと。これらに基づき、対象としたロボットの安全性検証を完了していること。

最終目標及び中間目標の詳細は、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、次の5つの研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

[委託事業]

- 研究開発項目① 生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発
- 研究開発項目② 安全技術を導入した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの開発
- 研究開発項目③ 安全技術を導入した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの開発
- 研究開発項目④ 安全技術を導入した人間装着（密着）型生活支援ロボットの開発
- 研究開発項目⑤ 安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットの開発

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）が、実施者を公募により選定し、委託により実施する。なお、研究開発項目①を実施する体制は国際標準化を推進できるものとする。研究開発項目②～⑤を実施する体制は、ロボットのハードウェアまたはソフトウェアの開発者、及び実証試験施設提供者の参加を得るものとする。

本研究開発の推進にあたっては、NEDOが研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を指名する。

### (2) 研究開発の段階的推進

研究開発項目②～⑤の実施は、安全性に係る試験方法の検討段階であるプロジェクトの初年度から参加する「グループⅠ」と、開発された安全性に係る試験手法を用いて2年度目から試験を行う「グループⅡ」に分けて段階的に推進する。「グループⅡ」については、各タイプのロボットの試験・評価方法や手順が策定される2年度目に公募により実施者を選定する。

なお、「グループⅠ」については、実施者毎に、3年度目において実施計画の見直しを行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の実施期間は、平成21年度から平成25年度までの5年間とする。

#### 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成23年度、事後評価を平成26年度に実施し、中間評価結果を踏まえ、必要に応じ、その結果を後年度の研究開発に反映することとする。

なお、平成25年度までの各年度中に推進委員会等で各研究開発内容を内部評価し、必要に応じ、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

#### 5. その他の重要事項

##### (1) 成果の取扱い

###### ①成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO及び実施者とも普及に努めるものとする。共有可能なロボット安全要素技術に関しては、実施者間の成果の公開を必須としてオープンイノベーションを促進するとともに、プロジェクト実施期間中または終了後に、適切な知財戦略の下、成果の外部への提供を積極的に行うこととする。

###### ②成果の産業化

a) 研究開発項目①の実施者は、本研究開発から得られる安全性検証手法等に関する研究開発成果の着実な実用化を図るため、本研究開発の終了後に実施すべき取組のあり方や検証・認証機関の構築及びビジネスモデルについて立案する。また、開発した安全性基準等の国際標準化を戦略的に推進する仕組みを構築する。

b) 研究開発項目①の実施者は、上記a)で立案した取組とビジネスモデルを本研究開発の終了後、実行に移し、成果の産業面での活用を努めるものとする。また、研究開発項目②～⑤の実施者においては、本研究開発の終了後も成果の保守管理及び安全技術の蓄積・発展に努める。

###### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

##### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発・標準化動向、産業技術政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

##### (3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第2号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成21年3月、制定。
- (2) 平成22年12月、平成22年補正予算（第1号）に伴い、研究開発の実施方式の一部内容を改訂。
- (3) 平成24年3月、所管部署の変更等により改訂。
- (4) 平成25年2月、(別紙)研究開発計画の研究開発項目②～⑤中の特記事項に関して、25年度実施内容の追加による改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目①：生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発

#### 1. 研究開発の必要性

生活支援ロボットは少子高齢化の課題に対して大きな支援力になると期待されている。しかし、生活支援ロボットは不特定多数の人が関与する使用環境で稼働することが考えられ、安全を保證する方式が確定していない。特に、対人安全技術が確立されていないため残留リスクの高いものが多く、早急にリスクを低減し安全性を保證する方式を策定することが求められている。このため、本研究開発項目では生活支援ロボットの安全性や信頼性等のデータの取得・蓄積・分析を行い、具体的な安全性基準を含む実務的な安全性検証手法の策定に必要な技術を開発する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### (1) 生活支援ロボットの安全性検証方法の開発

生活支援ロボットの安全性を検証するには、まずロボット開発実施者が自らリスクアセスメントを行った後、これに基づいて安全性検証を行う認証機関及び試験機関により客観的に安全性を検証する手順となる。リスクアセスメントに関しては、我が国でいち早く策定された「次世代ロボットのための安全確保ガイドライン」に則り、ISO-12100 に規定されているリスクアセスメントを実行する方針とする。しかし、生活支援ロボットのリスクアセスメントに関しては、本質安全設計のための定量指標等がほとんどなく、社会的にも方法論が確立していない。このため、生活支援ロボットに関するリスクアセスメント手法を開発する。

他方、生活支援ロボットにおける安全性の評価試験方法については、生活支援ロボットの普及のためにはその枠組みを早急に設定する必要がある。機械・電気・機能安全の側面からの試験は既存の関連規格が存在するため、これらを参考に安全性・信頼性等に関するデータを取得・蓄積・分析することにより定める。

##### ①リスクアセスメント手法の開発

生活支援ロボットに関する各応用分野、あるいは使用されるフィールドにおいて標準となるリスクアセスメント手法を開発する。具体的には、まず自動車等の機械安全分野を広く調査し、また必要に応じて適切な装置の開発及び試験体による耐性試験・人間工学実験等を行って、安全性に係わる耐性値をはじめとした対人安全性に関するデータを取得・蓄積・分析する。次に、これらのデータや類似機械の事故やトラブル履歴等の情報の効率的フィードバックが可能なリスクアセスメント手法を開発する。

##### ②機械・電気安全、機能安全等ロボットの安全性試験評価方法の開発

耐環境試験、電磁環境試験等、生活支援ロボットの機械・電気安全、機能安全の観点における安全性試験評価方法を開発する。そのため、産業用ロボット等の類似機械装置・コンポーネントに関する安全規格等を調査し、それらの試験基準や方法に関して、既存の試験装置を利用、あるいは必要に応じて新規に試験装置を開発して、安全性・信頼性等に関する試験データを取得・蓄積・分析する。なお、対人安全に関する各種試験・評価手順に関しては、現状では参照すべき規格等が確立されていないため、その



試験装置の開発を含めた安全度水準の定量化等に関する研究開発を行う。

これらの結果に基づいて、安全性能の定量化、評価指標等についての研究を行い、試験・評価方法を開発する。

以下に、安全性試験項目の例を挙げる。

- a) ロボット運動性能試験（制御安定性、加速・減速、変動負荷安定性及び各項目における耐久性・信頼性）
- b) ロボット動作性能試験（動作安定性、操作性、及び各項目における耐久性・信頼性）
- c) ロボット耐環境性試験（EMC 特性、低・高温環境信頼性、防滴特性、防塵特性、振動耐久性、感電防止、及び各項目における耐久性・信頼性）
- d) 安全停止特性（非常停止、故障検出時の安全停止）及び予期せぬ再起動防止

#### (2) 生活支援ロボットの安全性基準に関する適合性評価手法の研究開発

安全技術を導入して開発された生活支援ロボットを対象として、コンセプト段階から製品段階までについて、安全性基準に関する適合性評価手法の研究開発を実施する。

### 3. 達成目標

#### (1) 最終目標（平成25年度）

- ①各タイプのロボットのリスクアセスメント手法を確立すること。並びに、それを各タイプのロボット開発実施者に対して提供する。さらに対人安全性に関して取得したデータに基づき、耐性指標等の国際標準提案を行えること。
- ②各タイプの生活支援ロボットの機械・電気安全、機能安全等に関し安全性試験評価方法を確立すること。さらに策定した試験・評価方法や手順について、国際標準化提案を行えること。
- ③各タイプの生活支援ロボットに関する安全性基準適合性評価手法を確立する。

#### (2) 中間目標（平成23年度）

- ①リスクアセスメント手法を開発すること。さらに人間工学実験等による対人安全性に関するデータをロボット開発実施者に提供すること。
- ②各タイプの生活支援ロボットの機械・電気安全、機能安全等に必要な試験装置を開発し、ロボット安全性試験項目、各タイプのロボット毎の試験・評価方法や手順の策定を行うこと。

### 4. 特記事項

- (1) 試験・認証方法については国際標準化の推進のため、必要な情報を提供しつつ、関係機関と連携し、安全規格の確立に向け努力すること。特に、生活支援ロボットに関する安全性・信頼性等のデータ取得・蓄積・分析に際しては、(社)日本ロボット工業会にて審議中の ISO/TC 184/SC 2/WG 7 Robots in personal care (Robots and robotic devices - safety requirements - Non-medical personal care robot) の議論と連携して進めること。
- (2) 国際的な評価が得られる安全認証拠点が我が国に形成されるように、その中核をなすべく、ISO/IEC Guide 65 (JIS Q 0065) 「製品認証機関に関する一般要求事項」に、

準拠した認証機関、ISO/IEC 17025（JIS Q 17025）「試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項」に準拠した試験機関が、本研究開発の実施期間終了後に設立・継続できるような体制の構築を実施期間中から目指すこと。さらに、PL法を見据えた法的責任の確認も行うこと。

(3) 制度設計の観点から、安全認証拠点基盤がより強固かつ広範に発展するように、例えば事故情報の提供に関し保険機関の関与が、さらに、規格提案に向けて学会の関与が、それぞれ提案に含まれることを目指すこと。また、様々な使用者の協力を得ることが可能な地域に根ざした施設を整備することを目指すこと。

(4) 各種試験装置は、プロジェクトの中間目標年度（平成23年度）までに試験機関候補場所に可能な限り集約することを目指す。

## 研究開発項目②：安全技術を導入した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの開発

### 1. 研究開発の必要性

少子高齢化が急速に進展しており、介護を必要とする高齢者・障害者が増え、その人たちを支える体制の整備が急務となっている。そのため、この分野への新しい技術であるロボット技術による支援の強化が求められている。しかし、このような介護・福祉分野へのロボット技術の活用は、利用者に加えて家族等の人との共存が必須となるため安全性の確保が必要なこと、作業内容が多様であること等から困難となっている。

このため、本研究開発項目では、人とロボットを積極的に連携させることで、これらの課題を克服するための要求仕様や運用ルールを明確にし、多様な作業を、安全に行うことができる移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの安全技術を開発する。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットにおける安全技術の開発

安全技術を導入した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットを開発する。移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットとは、人の生活環境下で、ユーザーの指示によって、安全かつ効率よく生活に必要な作業を行う機能を実現するロボットである。

ロボットの使用目的、使用環境及び運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する。リスクアセスメントは研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や検証手順を開発しながら進めるものとする。

以下に安全な移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットを実現するための安全技術の例を挙げる。

#### a) 移動・作業技術

生活環境下において、ユーザーの指示より、移動や作業（マニピュレーション等）を効率よく安全に行うための技術。

#### b) ユーザーインタフェース技術

直感的に操作可能で、利用者の負担の少ないユーザーインタフェース技術により操縦動作の安全性の確保、ユーザーに適切な情報を提示することによりロボットが周囲の人を含む作業環境に対して安全性を確保する技術。

#### c) ユーザーへの適用(フィッティング)技術

利用方法が簡便であり、様々な身体状況のユーザーが、安全に利用できる適用技術。

#### d) 安全な退避技術

ロボットへの供給電源（バッテリー等）が、突然遮断された場合でも、ロボット本体が安全に停止、退避がなされる技術。

#### e) ユーザー拘束時の安全開放技術

ロボットが故障等によって、ユーザーや第三者の身体を拘束するような状態に陥った場合でも、安全かつ容易に開放できる技術。

#### (2) 移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの安全性検証

##### ①安全性試験

上記2. (1) に該当する安全技術をその用途、使用シーンに応じて一部、またはすべて

を搭載した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの安全性試験を、研究開発項目①において開発する安全性検証手法を用いて行う。この安全性試験の結果は、研究開発項目①の開発に対してフィードバックしつつ実施する。

#### ②実証試験

想定ユーザーによる、実環境あるいは模擬した環境において、上記2.（1）で開発されたロボットの実証試験を行い、各安全性試験項目について検証を行う。

### 3. 達成目標

#### （1）最終目標（平成25年度）

- ①上記2.（1）に該当する安全技術の一部またはすべてを搭載した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットが2.（2）項の安全性検証のための安全性試験を完了していること。
- ②上記2.（1）で開発されたロボットの安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。
- ③2.（2）②項の実証試験が完了していること。

#### （2）中間目標（平成23年度）

- ①上記2.（1）で開発されたロボットのリスクアセスメントを終了し、安全性試験項目がすべて示されていること。
- ②実施計画に予定されている安全技術の開発が終了し、その一部またはすべてが上記2.（1）項で開発されたロボットに搭載されていること。
- ③上記2.（2）①に該当する安全性試験のうち、研究開発項目①で策定済みの安全性検証手法を用いて試験を完了していること。

### 4. 特記事項

- （1）安全技術として、共有可能なロボット安全要素部品の開発を含めることを推奨する。これら要素部品は、生活支援ロボットに使用される構成部品であり、安全度水準（SIL）等の標準規格に適合するものの取得を目指して開発されるものであり、本プロジェクト内外に提供することが望ましい。
- （2）安全性検証に用いるロボットは、安全技術も含め開発済みのロボットを用いても良い。
- （3）実証試験を実施できる施設を有する機関を、協力機関として確保すること。
- （4）実証試験は、倫理問題に配慮して行うこと。
- （5）2.（1）に記載のリスク低減に必要な安全技術開発は、平成24年度末までに完了の目処をつける。平成25年度は研究開発項目①の研究開発に資する内容に特化して実施する。

## 研究開発項目③：安全技術を導入した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの開発

### 1. 研究開発の必要性

次世代ロボットの大きな特徴の一つは、自ら環境を認識してその情報に基づき、物理的移動を伴う作業を行う「自律性」であり、これによって複雑な環境下においても人に代わって様々な作業を行うことができる。我が国の社会が直面している少子高齢化社会に伴う労働力不足や、家庭における高齢者の生活支援等の大きな問題を解決する鍵を握る。しかし、この自律性を有する移動作業型のロボットは、従来の安全規格、概念への適合が難しく、また技術的にも確立されていない部分がある。

このため、本研究開発項目では、自律性を有する移動作業型ロボットの安全に関する課題を洗い出し、安全を実現するための要求仕様や運用ルールを明確にし、その課題を解決する安全技術を開発する。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットにおける安全技術の開発

安全技術を導入した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットを開発する。移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットとは、周囲の環境を認識し、自律的な判断に基づいて安全かつ効率よく生活に必要な作業を行う機能を実現するロボットである。

ロボットの使用目的、使用シーン及び運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する。リスクアセスメントは、研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や検証手順を開発しながら進めるものとする。

以下に安全な移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットを実現するための安全技術の例を挙げる。

#### ①リスク低減技術

##### a) 安定走行技術

自律での走行速度指令による駆動力制御に加え、走行加減速や外力、凹凸や斜面等がある路面環境に対して自律的に姿勢を安定化し、安全に走行する技術。

##### b) 人・障害物回避技術

静止障害物の位置及び人等の移動障害物の位置・動きを検知する機能、またこれらとの衝突リスクを見積もり回避する等安全に走行する技術。

##### c) 自律走行技術

自己位置認識技術や地図情報生成技術、動的経路計画技術等の安全性要素技術を使い安全に自律走行する技術。

##### d) 自己診断技術

ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に検出して通報又は修復することにより、安全に運用する技術。

##### e) 危険予防技術

ロボットの動作や行動を人に事前に認識させることや人の行動を予測することにより安全に運用する技術

## ②安全要素技術

### a) 自己位置認識技術

周囲環境のセンシングによる環境地図情報や、ロボットの移動及び動作の履歴情報を活用し、正確な自己位置を推定する機能を持つことで安全な移動や作業動作を確保するためのセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

### b) 安全環境認識技術

ロボットやその作業環境に配置された各種センサを用い、人の移動、及び作業の障害となる環境変化を検出する機能を持つことで、環境地図生成と動的動作計画機能を成立させ、安全な移動や作業動作を確保するためのセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

### c) 環境地図生成技術

ロボットやその作業環境に配置された各種センサを用い、移動や作業に必要な地図等の環境記述を生成する機能を持つことで、自己位置認識と動的動作計画機能を成立させ、安全な移動や作業動作を確保するためのセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

### d) 動的動作計画技術

目的地への移動や目的作業を実現するための動作を計画する技術において、人の移動、及び作業の障害となる環境変化による動作変更の必要性があっても、補正、再計画を自立的に行うことで安全な移動や作業動作を確保するためのセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

## (2) 移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの安全性検証

### ①安全性試験

上記2.（1）に該当する安全技術をその用途、使用シーンに応じて一部、またはすべてを搭載した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの安全性試験を、研究開発項目①において開発する安全性検証手法を用いて行う。この安全性試験の結果は、研究開発項目①の開発に対してフィードバックしつつ実施する。

### ②実証試験

想定運営先を模擬した環境において、上記2.（1）で開発されたロボットの安全性の実証試験を行い、各安全性試験項目について検証を行うこと。

## 3. 達成目標

### (1) 最終目標（平成25年度）

①上記2.（1）に該当する①リスク低減技術及び②安全要素技術を一部またはすべて搭載した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットが2.（2）項の安全性検証のための安全性試験を完了していること。

②上記2.（1）で開発されたロボット安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。

③2.（2）②項の実証試験が完了していること。

### (2) 中間目標（平成23年度）

- ①上記2.(1)で開発されたロボットのリスクアセスメントを終了し、安全性試験項目がすべて示されていること。
- ②実施計画に予定されている安全技術の開発が終了し、その一部またはすべてが上記2.(1)項で開発されたロボットに搭載されていること。
- ③上記2.(2)①に該当する安全性試験のうち、研究開発項目①で策定済みの安全性検証手法を用いて試験を完了していること。

#### 4. 特記事項

- (1) 安全技術として、共有可能なロボット安全要素部品の開発を含めることを推奨する。  
これら要素部品は、生活支援ロボットに使用される構成部品であり、安全度水準(SIL)等の標準規格に適合するものの取得を目指して開発されるものであり、本プロジェクト内外に提供することが望ましい。
- (2) 安全性検証に用いるロボットは、安全技術も含め開発済みのロボットを用いても良い。
- (3) 実証試験を実施できる施設を有する機関を、協力機関として確保すること。
- (4) 実証試験は、倫理問題に配慮して行うこと。
- (5) 2.(1)に記載のリスク低減に必要な安全技術開発は、平成24年度末までに完了の目処をつける。平成25年度は研究開発項目①の研究開発に資する内容に特化して実施する。

## 研究開発項目④：安全技術を導入した人間装着（密着）型生活支援ロボットの開発

### 1. 研究開発の必要性

少子高齢化社会では、高齢者・障害者の自立と生き甲斐が重要な点であり、生活支援、活動の質の向上が課題である。高齢者・障害者においては、身体機能が低下する傾向にあり、それが高齢者・障害者の自立を制限している。さらに、一層の身体機能低下への悪循環を加速している。また、要介護者の急増は介護者不足、介護労働負担を増加させている。これらの課題を解決するために人間の身体機能を拡張・増幅・支援する技術の開発が必要である。

このため、本研究開発項目では、人に装着して人間の身体機能を拡張・増幅・支援する人間装着（密着）型生活支援ロボットの安全に関する課題を洗い出し、安全を実現するための要求仕様や運用ルールを明確にし、その課題を解決する安全技術を開発する。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 人間装着（密着）型生活支援ロボットにおける安全技術の開発

安全技術を導入した人間装着（密着）型生活支援ロボットを開発する。人間装着（密着）型生活支援ロボットとは、人間に装着し、装着者の意思を反映した随意的、自律的機能によって制御される実用的なロボットである。

ロボットの使用目的、使用環境及び運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する。リスクアセスメントは研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や認証手順を開発しながら進めるものとする。

以下に安全な人間装着（密着型）型生活支援ロボットを実現するための安全技術の例を挙げる。

#### a) 装着時機能安定技術

人に装着して人間の身体機能を拡張・増幅・支援するための駆動力制御に加え、歩行や作業に付随して生じる負荷変動、外力、障害物衝突などに対して自律的に対処し安全に人の動作を支援する技術

#### b) 制御技術

装着者の意思を反映し、随意的、自律的機能によって制御する技術

#### c) 安全管理技術

動作支援中の環境情報を取得し、この情報を用いて安全確保を行うための管理技術

#### d) 自己診断技術

ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に検出して通報または対処することにより安全に運用する技術

#### e) 安全要素技術

モータ、バッテリー、センサ等の人間装着（密着型）型生活支援ロボットを構成する基盤部品に関する安全技術・リスク低減技術

#### (2) 人間装着（密着）型生活支援ロボットの安全性検証

##### ①安全性試験

上記2.（1）に該当する安全技術をその用途、使用シーンに応じて一部、またはすべてを搭載した人間装着（密着）型生活支援ロボットの安全性試験を、研究開発項目①におい



て開発する安全性検証手法を用いて行う。この安全性試験の結果は、研究開発項目①の開発に対してフィードバックしつつ実施する。

#### ②実証試験

想定ユーザーによる、実環境あるいは模擬した環境において、上記2.(1)で開発されたロボットの実証試験を行い、各安全性試験項目について検証を行う。

### 3. 達成目標

#### (1) 最終目標 (平成25年度)

- ①上記2.(1)に該当する安全技術を一部またはすべて搭載した人間装着(密着)型生活支援ロボットが2.(2)項の安全性検証のための安全性試験を完了していること。
- ②上記2.(1)で開発されたロボット安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。
- ③2.(2)②項の実証試験が完了していること。

#### (2) 中間目標 (平成23年度)

- ①上記2.(1)で開発されたロボットのリスクアセスメントを終了し、安全性試験項目がすべて示されていること。
- ②実施計画に予定されている安全技術の開発が終了し、その一部またはすべてが上記2.(1)項で開発されたロボットに搭載されていること。
- ③上記2.(2)①に該当する安全性試験のうち、研究開発項目①で策定済みの安全性検証手法を用いて試験を完了していること。

### 4. 特記事項

- (1) 安全技術として、共有可能なロボット安全要素部品の開発を含めることを推奨する。これら要素部品は、生活支援ロボットに使用される構成部品であり、安全度水準(SIL)等の標準規格に適合するものの取得を目指して開発されるものであり、本プロジェクト内外に提供することが望ましい。
- (2) 安全性検証に用いるロボットは、安全技術も含め開発済みのロボットを用いても良い。
- (3) 実証試験を実施できる施設を有する機関を、協力機関として確保すること。
- (4) 実証試験は、倫理問題に配慮して行うこと。
- (5) 2.(1)に記載のリスク低減に必要な安全技術開発は、平成24年度末までに完了の目処をつける。平成25年度は研究開発項目①の研究開発に資する内容に特化して実施する。

## 研究開発項目⑤：安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットの開発

### 1. 研究開発の必要性

人間の行動の範囲及び自由度を拡大する移動手段として、現在、自動車から自転車まで各種移動体が存在するが、少子高齢化の進展や CO2 ガス発生削減等の社会的課題を解決していくため、今後、高齢者や環境に配慮した移動体が求められてくる。具体的には、商業施設、駅・空港等の交通施設、オフィス、家庭に至るまで、不特定多数の歩行者や家族、他の移動体や障害物と同一空間内に共存し、搭乗者による操作または自律走行が可能な搭乗型生活支援ロボットが必要となる。

このため、本研究開発項目では、人や障害物が混在する状況において、人を乗せて移動する機能を備えた搭乗型生活支援ロボットの安全に関する課題を洗い出し、安全を実現するための要求仕様や運用ルールを明確にし、その課題を解決する安全技術を開発する。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 搭乗型生活支援ロボットにおける安全技術の開発

安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットを開発する。搭乗型生活支援ロボットとは、人を乗せて、操縦者の指令により、または自律的に安全かつ自在に移動する機能を実現するロボットである。ロボットの使用目的、使用環境及び運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する。リスクアセスメントは研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や認証手順を開発しながら進めるものとする。

以下に安全な搭乗型生活支援ロボットを実現するための安全技術の例を挙げる。

#### ①リスク低減技術

##### a) 安定走行技術

搭乗者または、自律での走行速度指令による駆動力制御に加え、走行加減速や外力、凹凸や斜面等がある路面環境に対して自律的に姿勢を安定化し、安全に走行する技術。

##### b) 人・障害物回避技術

静止障害物の位置及び人等の移動障害物の位置・動きを検知する機能、またこれらとの衝突リスクを見積もり回避する等安全に走行する技術。

##### c) 自律走行技術

操縦者不在時の自律走行及び操縦アシストを含めた半自律走行時、②に記述する自己位置認識技術や地図情報生成技術、動的経路計画技術等の安全要素技術を使い安全に自律・半自律走行する技術。

##### d) 操縦者の意図推定、操縦支援技術

広範囲な利用者にとって簡便に操縦できるものとするために、短時間での習熟により操作できるような操縦者の意図推定、操縦支援技術を備え、安全に走行する技術。

##### e) 協調走行技術

ロボット間及びロボットと使用者間の相対位置・方位検出機能に基づき、追従制御等による協調走行を安全に実施する技術。

##### f) 自己診断技術

ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に

検出して通報または修復することにより安全に運用する技術。

## ②安全要素技術

### a) 自己位置認識技術

周囲環境のセンシングによる環境地図情報や移動履歴情報を活用することで自己位置を認識し安全な走行を確保するセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

### b) 地図情報生成技術

ロボットに搭載されたセンサを用い、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を持つことで、自己位置認識と動的経路計画機能を成立させ、安全な走行を確保するセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

### c) 動的経路計画技術

目的地に到達するための経路を計画する技術において、動的障害物による経路変更等があっても、補正、再計画を自律的に行い、安全な走行を確保するセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

### d) 姿勢安定化技術

ロボット自身の姿勢を検出し、外部環境から影響を受けても常に安定を保持し、安全な走行を確保する機構、センサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

## (2) 搭乗型生活支援ロボットの安全性検証

### ①安全性試験

上記2.(1)に該当する安全技術をその用途、使用シーンに応じて一部、またはすべてを搭載した搭乗型生活支援ロボットの安全性試験を、研究開発項目①において開発する安全性検証手法を用いて行う。この安全性試験の結果は、研究開発項目①の開発に対してフィードバックしつつ実施する。

### ②実証試験

想定運営先を模擬した環境において、上記2.(1)で開発されたロボットの安全性実証試験を行い、各安全性試験項目について検証を行うこと。

## 3. 達成目標

### (1) 最終目標 (平成25年度)

- ①上記2.(1)に該当する安全技術を一部またはすべてを搭載した搭乗型生活支援ロボットが2.(2)項の安全性検証のための安全性試験を完了していること。
- ②上記2.(1)で開発されたロボット安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。
- ③2.(2)②項の実証試験が完了していること。

### (2) 中間目標 (平成23年度)

- ①上記2.(1)で開発されたロボットのリスクアセスメントを終了し、安全性試験項目がすべて示されていること。
- ②実施計画に予定されている安全技術の開発が終了し、その一部またはすべてが上記2.

(1) 項で開発されたロボットに搭載されていること。

③上記2.(2)①に該当する安全性試験のうち、研究開発項目①で策定済みの安全性検証手法を用いて試験を完了していること。

#### 4. 特記事項

- (1) 安全技術として、共有可能なロボット安全要素部品の開発を含めることを推奨する。  
これら要素部品は、生活支援ロボットに使用される構成部品であり、安全度水準(SIL)等の標準規格に適合するものの取得を目指して開発されるものであり、本プロジェクト内外に提供することが望ましい。
- (2) 安全性検証に用いるロボットは、安全技術も含め開発済みのロボットを用いても良い。
- (3) 実証試験を実施できる施設を有する機関を、協力機関として確保すること。
- (4) 実証試験は、倫理問題に配慮して行うこと。
- (5) 2.(1)に記載のリスク低減に必要な安全技術開発は、平成24年度末までに完了の目処をつける。平成25年度は研究開発項目①の研究開発に資する内容に特化して実施する。

## 事前評価書（案）

|            |   | 作成日 | 平成21年2月18日 |
|------------|---|-----|------------|
| 1. 事業名称    | 生活支援ロボット実用化プロジェクト<br>(ロボット・新機械イノベーションプログラム)   |     |            |
| 2. 推進部署名   | 機械システム技術開発部   |     |            |
| 3. 事業概要    | <p>(1) 概要：<br/>           少子高齢化が急速に進展しており、このままでは我が国の社会を支える人材が不足することが懸念され、製造業の生産工程やサービス業の作業工程における一層の自動化・ロボット化が必要となっている。本事業では、生活支援ロボットとして産業化が期待されるロボットを対象に関係者が密接に連携しながら本質安全・機能安全に係る試験を行い、安全性等のデータを取得・蓄積・分析し、具体的な安全性検証手法の研究開発を実施する。また、これらの試験においてはロボット研究開発実施者と安全性検証手法の研究開発実施者が連携し、リスクアセスメント技術、危険予防技術の検討や実際の使用環境下で幅広い参加者による実証試験を集中的に実施する</p> <p>(2) 事業規模：総事業費80億円（平成21年度事業費16億円）</p> <p>(3) 事業期間：平成21年度～25年度（5年間）</p>  |     |            |
| 4. 評価の検討状況 | <p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>我が国では、少子高齢化が急速に進展しており、このままでは我が国の社会を支える人材が不足することが懸念されている。</p> <p>一方、我が国は、産業用ロボットをはじめ、国際的にもトップレベルのロボット技術を蓄積してきた。これらのロボット技術を活用して、製造業の生産工程やサービス業の作業工程における一層の効率化・自動化の促進が必要となっている。</p> <p>また、ロボット技術は産業分野のみならず、介護・福祉、家事、安全・安心等の生活分野においても、社会的課題の解決策の一つとして活用することが期待されており、家庭や公共空間において、生活支援ロボットの活用により、生活の質や利便性向上が可能となる。</p> <p>しかし、不特定多数の人が関与する等、条件や状況が変化する実際の使用環境下で稼働する生活支援ロボットは、対人安全技術が確立されておらず残留リスクの高いものが多く、民間企業の独自の取組のみに委ねては本格的な産業化が期待できない。このため、国等の一定の関与により、安全性検証を行う認証機関・試験機関、安全基準に関する国際標準等を整備することが求められている。</p> <p>本プロジェクトは、生活支援ロボットとして産業化が期待されるロボットを対象に関係者が密接に連携しながら本質安全・機能安全に係る試験を行い、安全性等のデータを取得・蓄積・分析し、具体的な安全性検証手法の研究開発を実施することを目的とする。</p> <p>また、これらの試験においてはロボット研究開発実施者と安全性検証手法の研究開発実施者が連携し、リスクアセスメント技術、危険予防技術の検討や実際の使用環境下で幅広い参加者による実証試験を集中的に実施する。さらに、生活支援ロボットの安全性基準等の国際標準化を念頭に置きつつ研究開発を進める。</p> |     |            |

## (2) 研究開発目標の妥当性

### <目標>

本プロジェクトでは、生活支援ロボットの安全性検証手法の構築に向けて、生活支援ロボットの安全性基準、安全性検証手法の開発及び国際標準提案を行う。そして、本プロジェクトで対象とするロボットを用いて本質安全・機能安全に係る試験を行う。また、ロボット及び周辺の共有可能な安全要素技術を研究開発する。安全性検証手法に関する研究開発の成果を元に、国際標準提案を行う。

上記目標を達成するために、次の5つの研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

### [委託事業]

研究開発項目① 生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発

研究開発項目② 安全技術を導入した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの開発

研究開発項目③ 安全技術を導入した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの開発

研究開発項目④ 安全技術を導入した人間装着（密着）型生活支援ロボットの開発

研究開発項目⑤ 安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットの開発

### <妥当性>

日常生活を支援する生活支援ロボットの実用化には安全性の確保が不可欠であり、安全性基準や安全性検証手法の策定が必要である。また、安全技術を導入した生活支援ロボットを用いて実証試験等により、安全性を検証することも必須である。研究開発目標には生活支援ロボットの産業化に向けて必要となる技術課題が抽出されている。

## (3) 研究開発マネジメント

本研究開発は、実施者を公募により選定し、委託して実施する。本研究開発の推進にあたっては、NEDO技術開発機構が研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を指名する。具体的には、プロジェクトの推進に関わる委員会を年2回程度開催するとともに、必要に応じて開発テーマ毎の分科会等を適宜開催し、研究開発の進捗管理を行うとともに、進捗状況を踏まえた予算配分や事業計画の策定を行う。技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成23年度、事後評価を平成26年度に実施し、中間評価結果を踏まえ、必要に応じてその結果を後年度の研究開発に反映することとする。なお、平成25年度までの各年度中に推進委員会等で各研究開発内容を内部評価し、必要に応じて、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## (4) 研究開発成果

本研究開発により、得られた研究開発成果については、ロボット及び周辺の共有可能な安全要素技術に関しては、実施者間の成果の公開・共有することでオープンイノベーションを促進するが期待できる。また、安全性検証手法等に関する研究開発成果は、本研究開発の終了後に実施すべき取組のあり方や検証・認証機関の構築及びビジネスモデルについて検討するので、早期に産業面での活用が期待できる。

## (5) 実用化・事業化の見通し

プロジェクト終了5年後の2019年以降に本研究開発成果を活用した生活支援ロボット製品の実用化・事業化が見込まれる。

## (6) その他特記事項

特になし。

## 5. 総合評価

本研究開発は、我が国に蓄積されている高度なロボット技術をいち早く産業化するため、最も早い実用化が期待される生活支援ロボットを対象に、障害となっていたロボットの安全性に関する研究開発を行うものである。総合科学技術会議が立案した革新的技術戦略に合致するとともに、産官学が連携して集中的に取り組むべき実用化技術であることから、ナショナルプロジェクトとして実施する意義は高い。また、これまでのロボット基盤技術に関するプロジェクト成果の活用によって、本研究開発の効率かつ円滑な推進が見込まれる。

以上のことから、NEDO技術開発機構が実施する事業として適切であると判断する。

## 研究開発項目①：生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発

## 【研究開発の具体的内容】

## (1) 生活支援ロボットの安全性検証方法の開発

生活支援ロボットの安全性を検証するには、まずロボット開発実施者が自らリスクアセスメントを行った後に、安全性検証を行う認証機関及び試験機関により安全性を客観的に検証する手順となる。リスクアセスメントに関しては、我が国でいち早く策定された「次世代ロボットのための安全確保ガイドライン」に則り、ISO-12100 に規定されているリスクアセスメントを実行する方針とする。しかし、生活支援ロボットに対するリスクアセスメントは実施例がほとんどなく、特にロボット分野では機能安全に関して社会的にも方法論が確立していない。このため、生活支援ロボットに対するリスクアセスメント手法を開発する。また、生活支援ロボットにおける検証方法や判断基準の定量化は、未だ定められたものがなく生活支援ロボットの普及のためには早急に設定する必要がある。機械・電気・機能安全の側面からの試験は既存の関連規格が存在するため、これらを参考に安全性・信頼性等に関するデータを取得・分析することにより定める。具体的に、本研究開発で取り組むべき研究開発項目を以下に挙げる。開発にあたっては、開発項目②～⑤の実施者と連携して検証試験データを取得しながら実施する。

## ①リスクアセスメント手法の開発

生活支援ロボットに関する各業界、あるいは使用されるフィールドにおいて標準となるリスクアセスメント手法を開発する。具体的には、まず自動車を含めた機械安全分野を広く調査し、また必要に応じた適切な装置の開発及び試験体による耐性試験・人間工学実験等を行って、安全に係わる耐性値をはじめとするヒューマンファクタに関するデータを取得・分析する。次に、これらのデータや類似機械の事故やトラブル履歴等の情報の効率的フィードバックが可能なリスクアセスメント手法を開発する。

## ②機械・電気安全、機能安全等ロボットの安全性試験評価方法の開発

耐環境試験、電磁環境試験等、生活支援ロボットの機械・電気・機能安全の観点における安全性試験評価方法を開発する。そのため、産業用ロボット等の類似機械装置・コンポーネントに関する安全規格等を調査し、それらの試験基準や方法に関して、既存の試験装置を利用し、あるいは必要に応じて新規に装置を開発して、安全性・信頼性等に関する試験データを取得・分析する。なお、対人安全に関する各種試験手順に関しては、現状では参照すべき規格等が確立されていないため、その試験装置の開発を含めた安全基準の定量化等に関する研究開発を行う。

これらの結果により、安全性能の定量化、評価指標等についての研究を行い、試験・評価方法を開発する。以下に、安全試験項目の例を挙げる。

- a) ロボット動作性能（動作安定性・加速・減速・変動負荷安定性及び各項目における耐久性・信頼性）
- b) ロボット制御性能（制御安定性、操作性、及び各項目に於ける耐久性・信頼性）
- c) ロボット環境性能（EMC 特性、低・高温環境信頼性、防滴特性、防塵特性、振動耐久性、感電防止、及び各項目における耐久性・信頼性）
- d) 安全停止特性（非常停止、故障検出時の安全停止）及び予期せぬ再起動防止

## (2) 生活支援ロボットの安全基準に関する適合性評価手法の研究開発

生活支援ロボットの安全基準適合性評価については、認証機関・試験機関が、安全技術を導入して開発されたロボットを対象として、コンセプト段階から製品段階までについての研究開発を実施する。併行して、ロボット開発実施者は安全管理技術の開発を行い、適合性評価結果も踏まえて実証試験を行う。



**【最終目標】**

- ①開発されたリスクアセスメント手法を改良し、各タイプのロボット開発実施者に対して提供する。対人安全性に関して取得したデータに基づき、耐性指標等の国際標準提案を行う。
- ②各タイプの生活支援ロボットの機械・電気安全、機能安全等に関し、策定した試験・評価方法や手順について、国際標準提案を行う。
- ③各タイプの生活支援ロボットに関する安全基準適合性評価を実施する。

**【中間目標】**

- ①リスクアセスメント手法を開発するとともに、人間工学実験等による対人安全性に関するデータをロボット開発実施者に提供する。
- ②各タイプの生活支援ロボットの機械・電気安全、機能安全等に必要な試験装置を開発し、全試験項目の評価指標、各タイプのロボット毎の試験・評価方法や手順の策定を行う。

研究開発項目②：安全技術を導入した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの開発

**【研究開発の具体的内容】**

**(1) 移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットにおける安全技術の開発**

安全技術を導入した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットを開発する。移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットとは、人の生活環境下で、ユーザーの指示によって、安全かつ効率よく生活に必要な作業を行う機能を実現するロボットである。

ロボットの使用目的、使用環境、運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する。リスクアセスメントは研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や検証手順を開発しながら進めるものとする。以下に安全技術の例を挙げる。

**①安全な移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットを実現するためのリスク低減技術**

**a) 移動・作業技術**

生活環境下において、ユーザーの指示より、移動や作業（マニピュレーション等）を効率よく安全に行うための技術。

**b) ユーザーインタフェース技術**

直感的に操作可能で、利用者の負担の少ないユーザーインタフェース技術。

特に、操縦動作の安全性の確保、及びユーザーに適切な情報を提示することによりロボットが周囲の人を含む作業環境に対しても安全性を確保する技術。

**c) ユーザーへの適用(フィッティング)技術**

利用方法が簡便であり、様々な身体状況のユーザーが、安全に利用できる適用技術。

**②共有可能なロボット安全要素技術**

上記2. (1) ①のリスク低減技術の実現のために有用なロボット安全要素技術の開発を行う。以下に安全要素技術の例を挙げる。

**a) 安全な退避技術**

ロボットへの供給電源（バッテリー等）が、突然遮断された場合でも、ロボット本体が安全に停止、退避がなされる技術

**b) ユーザー拘束時の安全開放技術**

ロボットが故障等によって、ユーザーや第三者の身体を拘束するような状態に陥った場合でも、安全かつ容易に開放できる技術

**(2) 移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの安全性検証**

**①安全性試験**

上記2. (1) で開発する①リスク低減技術、②安全要素技術をその用途、使用シーンに応じて一部、またはすべてを搭載した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの安全試験を、研究開発項目①において開発する安全性検証手法を用いて行う。この実証試験の結果は、研究開発項目①の開発に対して相互にフィードバックしつつ実施する。

**②想定ユーザーによる実証試験**

想定ユーザーによる、実環境あるいは模擬した環境において、上記2. (1) で開発されたロボットの实証試験を行い、各安全性試験項目について検証を行う。そのため、実証試験を実施できる想定利用先を本研究開発の実施に先立ち、予め必要に応じて確保しておくこと。ただし、実証試験は、倫理問題に配慮して行う。

**【最終目標】**

- ①上記2.(1)で開発されたロボットが2.(2)①項の安全性試験を終了していること。
- ②研究開発項目②に係る安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。
- ③2.(2)②項等に掲げた想定ユーザーによる実証試験が実施されていること。

**【中間目標】**

- ①グループIのロボットで、3年目で開発を終了するロボットにあつては、3.(1)項を満たすこと。グループIのその他のロボットにあつては以下の中間目標を満たすこと。
- ②研究開発項目②に係る安全性試験項目がすべて示されていること。
- ③上記2.(1)項で開発された①リスク低減技術及び②安全要素技術を一部またはすべて搭載した移動作業型(操縦が中心)生活支援ロボットが2.(2)項の安全性試験を終了していること。

研究開発項目③：安全技術を導入した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの開発

【研究開発の具体的内容】

(1) 移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットにおける安全技術の開発

安全技術を導入した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットを開発する。移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットとは、周囲の環境を認識し、自律的な判断に基づいて安全かつ効率よく生活に必要な作業を行う機能を実現するロボットである。

ロボットの使用目的、使用シーン、運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する。リスクアセスメントは、研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や検証手順を開発しながら進めるものとする。

以下に安全技術の例を挙げる。

①安全な移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットを実現するためのリスク低減技術

a) 安定走行技術

自律での走行速度指令による駆動力制御に加え、走行加速度や外力、凹凸や斜面等がある路面環境に対して自律的に姿勢を安定化し、安全に走行する技術。

b) 人・障害物回避技術

静止障害物の位置及び人等の移動障害物の位置・動きを検知する機能、またこれらとの衝突リスクを見積もり回避する等安全に走行する技術。

c) 自律走行技術

自己位置認識技術や地図情報生成技術、動的経路計画技術等の安全性要素技術を使い安全に自律走行する技術。

d) 自己診断技術

ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に検出して通報又は修復する技術。

②共有可能なロボット安全要素技術

上記2.(1)①のリスク低減技術の実現のために有用なロボット安全要素技術の開発を行う。以下に安全要素技術の例を挙げる。

a) 自己位置認識技術

周囲環境のセンシングによる環境地図情報や、ロボットの移動及び動作の履歴情報を活用し、正確な自己位置を推定する機能を持つことで安全な移動や作業動作を確保するためのセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

b) 安全環境認識技術

ロボットやその作業環境に配置された各種センサを用い、人の移動、及び作業の障害となる環境変化を検出する機能を持つことで、環境地図生成と動的動作計画機能を成立させ、安全な移動や作業動作を確保するためのセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

c) 環境地図生成技術

ロボットやその作業環境に配置された各種センサを用い、移動や作業に必要な地図等の環境記述を生成する機能を持つことで、自己位置認識と動的動作計画機能を成立させ、安全な移動や作業動作を確保するためのセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

d) 動的動作計画技術

目的地への移動や目的作業を実現するための動作を計画する技術において、人の移動、及び作業の障害となる環境変化による動作変更の必要性があっても、補正、再計画を自律的に行うことで安全な移動や作業動作を確保するためのセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術。

## (2) 移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの安全性検証

### ①安全性試験

上記2.（1）で開発する①リスク低減技術、②安全要素技術をその用途、使用シーンに応じて一部、またはすべてを搭載した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの安全性試験を、研究開発項目①において開発する安全性検証手法を用いて行う。この実証試験の結果は、研究開発項目①の開発に対して相互にフィードバックしつつ実施する。

### ②模擬実環境における実証試験

想定運営先を模擬した環境において、移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの安全性の実証試験を行い、各安全試験項目について検証を行うこと。ただし、実証試験は、倫理問題に配慮して行うこと。

### 【最終目標】

- ①上記2.（1）で開発された①リスク低減技術及び②安全要素技術を一部またはすべて搭載した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットが2.（2）項の安全性確認のための実証試験を終了していること。
- ②研究開発項目③に係る安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。
- ③実環境で安全運用が実施されていること。

### 【中間目標】

- ①グループIのロボットで、3年目で開発を終了するロボットにあつては、3.（1）項を満たすこと。グループIのその他のロボットにあつては以下の中間目標を満たすこと。
- ②研究開発項目③に係る安全性試験項目がすべて示されていること。
- ③上記2.（1）項で開発された①リスク低減技術及び②安全要素技術を一部またはすべて搭載した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットが2.（2）項の安全性確認のために少なくとも一つ以上の模擬実環境での実証試験を終了していること。
- ④上記③項に掲げた模擬実環境での安全運用が可能と判断できる各安全性評価項目と達成すべき基準値が示されていること。
- ⑤模擬実環境で安全運用が実施されていること。

研究開発項目④：安全技術を導入した人間装着（密着）型生活支援ロボットの開発

【研究開発の具体的内容】

(1) 人間装着（密着）型生活支援ロボットにおける安全技術の開発

安全技術を導入した人間装着（密着）型生活支援ロボットを開発する。人間装着（密着）型生活支援ロボットとは、人間に装着し、装着者の意思を反映した随機的、自律的機能によって制御される実用的なロボットである。

ロボットの使用目的、使用環境、運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する。リスクアセスメントは研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や認証手順を開発しながら進めるものとする。

以下に安全技術の例を挙げる。

①安全な人間装着（密着）型生活支援ロボットを実現するためのリスク低減技術

a) 装着時機能安定技術

装着時の駆動力制御に加え、歩行や作業に付随して生じる負荷変動、外力、障害物衝突等に対して自律的に機構を安定化する技術。

b) 制御技術

装着者の意思を反映し、随機的、自律的機能によって制御する技術。

c) 自己診断技術

ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に検出して通報または修復する技術。

②共有可能なロボット安全要素技術

上記2. (1) ①のリスク低減技術の実現のために有用なロボット安全要素技術の開発を行う。

以下に安全要素技術の例を挙げる。

a) 意思検出技術

装着者の皮膚表面に貼り付けられた生体電位センサ等により、意思を安定に検出する技術。

b) 姿勢検出技術

関節角度を測定する角度センサ、重心の位置を検出する床反力センサ等を利用して、床形状や負荷に依存せずに姿勢を安定的に検出する技術。

(2) 移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの安全性検証

(2) 人間装着（密着）型生活支援ロボットの安全性検証

①安全性試験

上記2. (1) で開発する①リスク低減技術、②安全要素技術をその用途、使用シーンに応じて一部、またはすべてを搭載した人間装着（密着）型生活支援ロボットの安全性試験を、研究開発項目①において開発する安全性検証手法を用いて行う。この実証試験の結果は、研究開発項目①の開発に対して相互にフィードバックしつつ実施する。

②想定ユーザーによる実証試験

想定ユーザーによる、実環境あるいは模擬した環境において、上記2. (1) で開発されたロボットの实証試験を行い、各安全性試験項目について検証を行う。そのため、実証試験を実施できる想定利用先を本研究開発の実施に先立ち、予め必要に応じて確保しておくこと。ただし、実証試験は、倫理問題に配慮して行う。

**【最終目標】**

- ①上記2.(1)で開発されたロボットが2.(2)①項の安全性試験を終了していること。
- ②研究開発項目④に係る安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。
- ③2.(2)②項等に掲げた想定ユーザーによる実証試験が実施されていること。

**【中間目標】**

- ①グループIのロボットで、3年目で開発を終了するロボットにあつては、3.(1)項を満たすこと。グループIのその他のロボットにあつては以下の中間目標を満たすこと。
- ②研究開発項目④に係る安全性試験項目がすべて示されていること。
- ③上記2.(1)項で開発された①リスク低減技術及び②安全要素技術を一部またはすべて搭載した人間装着(装着)型生活支援ロボットが2.(2)項の安全性試験を終了していること。

## 研究開発項目⑤：安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットの開発

### 【研究開発の具体的内容】

#### (1) 搭乗型生活支援ロボットにおける安全技術の開発

安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットを開発する。搭乗型生活支援ロボットとは、人を乗せて、操縦者の指令により、または自律的に安全かつ自在に移動する機能を実現するロボットである。ロボットの使用目的、使用環境、運用シナリオ等を考慮してリスクアセスメントを行い、その結果に基づき、リスク低減に必要な安全技術を開発する。リスクアセスメントは研究開発項目①と連携して、安全性試験方法や認証手順を開発しながら進めるものとする。以下に安全技術の例を挙げる。

#### ①安全な搭乗型生活支援ロボットを実現するためのリスク低減技術

##### a) 安定走行技術

搭乗者または、自律での走行速度指令による駆動力制御に加え、走行加速度や外力、凹凸や斜面等がある路面環境に対して自律的に姿勢を安定化し、安全に走行する技術。

##### b) 人・障害物回避技術

静止障害物の位置及び人等の移動障害物の位置・動きを検知する機能、またこれらとの衝突リスクを見積もり回避する等安全に走行する技術。

##### c) 自律走行技術

操縦者不在時の自律走行及び操縦アシストを含めた半自律走行時、②に記述する自己位置認識技術や地図情報生成技術、動的経路計画技術等の安全要素技術を使い安全に自律・半自律走行する技術。

##### d) 操縦者の意図推定、操縦支援技術

広範囲な利用者にとって簡便に操縦できるものとするために、短時間での習熟により操作できるような操縦者の意図推定、操縦支援技術を備え、安全に走行する技術。

##### e) 協調走行技術

ロボット間及びロボットと使用者間の相対位置・方位検出機能に基づき、追従制御等による協調走行を安全に実施する技術。

##### f) 自己診断技術

ロボットの各機能が正常に動作していることを常時確認して、故障や異常を自動的に検出して通報または修復する技術。

#### ②共有可能なロボット安全要素技術

上記2.(1)①のリスク低減技術の実現のために有用なロボット安全要素技術の開発を行う。以下に安全要素技術の例を挙げる。

##### a) 自己位置認識技術

周囲環境のセンシングによる環境地図情報や移動履歴情報を活用することで自己位置を認識し安全な走行を確保するセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術

##### b) 地図情報生成技術

ロボットに搭載されたセンサを用い、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を持つことで、自己位置認識と動的経路計画機能を成立させ、安全な走行を確保するセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術

##### c) 動的経路計画技術

目的地に到達するための経路を計画する技術において、動的障害物による経路変更等があっても、補正、再計画を自律的に行い、安全な走行を確保するセンサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術



d) 姿勢安定化技術

ロボット自身の姿勢を検出し、外部環境から影響を受けても常に安定を保持し、安全な走行を確保する機構、センサ、制御アルゴリズム・ソフトウェア等を含む要素技術

(2) 搭乗型生活支援ロボットの安全性検証

①安全性試験

上記2.(1)で開発する①リスク低減技術、②安全要素技術をその用途、使用シーンに応じて一部、またはすべてを搭載した搭乗型生活支援ロボットの安全性試験を、研究開発項目①において開発する安全性検証手法を用いて行う。この実証試験の結果は、研究開発項目①の開発に対して相互にフィードバックしつつ実施する。

②模擬実環境における実証試験

想定運営先を模擬した環境において、搭乗型生活支援ロボットの安全性実証試験を行い、各安全試験項目について検証を行うこと。ただし、実証試験は、倫理問題に配慮して行うこと。

【最終目標】

- ①上記2.(1)で開発された①リスク低減技術及び②安全要素技術を一部またはすべて搭載した搭乗型生活支援ロボットが2.(2)項の安全性確認のための実証試験を終了していること。
- ②研究開発項目⑤に係る安全性試験項目の評価基準値がすべて示されていること。
- ③実環境で安全運用が実施されていること。

【中間目標】

- ①グループIのロボットで、3年目で開発を終了するロボットにあつては、3.(1)項を満たすこと。グループIのその他のロボットにあつては以下の中間目標を満たすこと。
- ②研究開発項目⑤に係る安全性試験項目がすべて示されていること。
- ③上記2.(1)項で開発された①リスク低減技術及び②安全要素技術を一部またはすべて搭載した搭乗型生活支援ロボットが2.(2)項の安全性確認のために少なくとも一つ以上の模擬実環境での実証試験を終了していること。
- ④上記③項に掲げた模擬実環境での安全運用が可能と判断できる各安全性評価項目と達成すべき基準値が示されていること。
- ⑤模擬実環境で安全運用が実施されていること

## 「生活支援ロボット実用化プロジェクト基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成21年3月13日  
NEDO技術開発機構  
機械システム技術開発部

NEDO POST 3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

### 1. パブリックコメント募集期間

平成21年2月19日～平成21年3月2日

### 2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞

計5件

### 3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

| ご意見の概要  | ご意見に対する考え方  | 基本計画への反映                     |
|---|---|------------------------------|
| 全体について  |   |                              |
| <p>[意見1]（1件）<br/>国際安全規格を踏まえたプロジェクト推進を計画しているが、国際安全規格を体系的に適切に理解・運用できる生活支援ロボット関連技術者が、プロジェクト全体を推進するのに十分な数があるか不安である。知識の普及と人材育成も、プロジェクト規模に合わせて適切に進めてほしい。でないと、シンガーポールに輸出できなくなった2層式洗濯機（脱水機部）と同じことが生活支援ロボットでもおこる懸念がある。</p> | <p>[考え方と対応]<br/>ご意見ありがとうございます。ご指摘の点については、その他の重要事項の「検証・認証機関の構築及びビジネスモデル」に含まれると考えております。</p> | <p>[反映の有無と反映内容]<br/>特になし</p> |

全体について

[意見2] (1件)

人間生活環境での汎用ロボットの安全基準を構築するのではなく、生活支援ロボットとしてある程度絞り込んで作られたロボットを実際の人間生活環境の中で動作させるためのリスクアセスメント手法、安全基準の構築を目指すことは、日本の先端産業技術を活かし、国際的な標準化作業の先導となると同時に、生活支援ロボットの実運用に非常に効果的な方策と思う。しかし、ロボットの安全性については、機械の安全（ロボットと人）だけでなく、環境の安全（人を含む既存環境とロボット）、サービスの安全（既存サービスとロボット）が同時に考慮できなければ、その後の社会導入は困難であると予想する。

事前評価書に記載されている「想定ユーザーによる実環境または模擬環境において実証実験」という文言は非常に重要なところであるが、それにしては、本プロジェクトは、「ロボット開発者」の部分のみ強調され、「想定ユーザー」、「環境」が、生活支援ロボット分野のどの程度をカバーしようとしているのか見えない。ロボットを4種類（操縦移動型、自律移動型、人間装着型、搭乗型）に大別しているのと同時に、環境（ビル内、屋内公共空間、屋外公共空間、整備自然環境等）、サービス（病院、高齢者施設、役所窓口、地域内移動等）のマトリクスを定め、機械+環境+サービスのどの部分の安全基準が実証されるのかをより具体的に示すことも重要ではないかと思う。もし、環境要素としてゼネコンや管理主体の自治体、サービス要素として医療従事者グループ（病院）や介護士、公共交通機関などが手を挙げるのが可能であるならば、プロトタイプレベルのロボットを用いたプロジェクト実施でも、有用な安全基準と確立することは可能ではないかと思う。ただし、これについては、研究開発項目(1)「安全性検証手法の研究開発」と強くリンクする必要がある、または、この中で実施すべきことである。

[考え方と対応]

ご意見ありがとうございます。ロボット開発者は実証試験施設提供者の参加を得るような仕組みになっており、ご指摘については基本計画に一致していると考えています。

[反映の有無と反映内容]

特になし

|   |  |                                 |
|---|--|---------------------------------|
| 全体について  |  |                                 |
| <p>[意見3] (1件)</p> <p>全体として、『要素技術の研究』に比重が置かれ過ぎている印象を受けます。優れた要素技術（センサなど）を実現しても、産業用ロボットに、そのセンサをつけただけで、安全な生活支援ロボットにはなりません。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実環境で、実ユーザーが利用する場合のリスクを網羅的に把握すること。</li> <li>・そのリスクを、確実に十分に低減する方法をロボットに組み込むことが重要です。つまり、『リスクアセスメント』とその検証を行う『実証試験』が、本事業の最大のアウトプットになると思います。</li> </ul> <p>よって、『リスクアセスメント』『実証試験』をどれだけリアルに実施できるかがポイントになると考えます。</p>  | <p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。ご指摘については基本計画に一致していると考えています。</p> | <p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p> |
| <p>[意見4] (1件)</p> <p>1) 安全のデータの取得・分析</p> <p>生活支援ロボットの安全性検証手法「安全性検証方法」、「安全基準に関する適合性評価手法」における認証機関及び試験機関は、NPO等ではなく、公的な機関にするべきである。</p> <p>特にデータの取得・分析については、メーカーもその施設を用いて試験できるが、その公的機関が独自にデータを取得・分析することが重要である。例としては、日本自動車研究所、農業試験場等である。</p> <p>これにより、メーカーのデータの裏を取ることができ、かつメーカーが表に出さないデータ分析もできる。今までの安全に対するデータ取得・分析における問題点は、アンケートや委員会でメーカーがデータを出すと考えていることである。</p> <p>2) 安全のデータの評価について</p> <p>従来のデータ分析、リスクアセスメントは、具体的なことまで踏み込んでいない。事業化に耐え得る安全のデータ評価を行うべきである。具体的には設計に使えることである。例としては自動車における保安基準、試験法は型式認定試験のトリアスが参考に挙げられる。このような内容については、メーカーは公開が社内規定のため難しく、やはり1)項のように公的な機関が地道に行う必要がある。</p> <p>3) 認証機関、試験機関</p> <p>どのような性格の機関を作るか、ということ、まず議論すべきではないか。これが不明確であるような気がする。</p> | <p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。ご指摘の点については、ビジネスモデルの中で検討します。</p> | <p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p> |

研究開発の実施体制について

[意見 1] (1 件)

基本計画P.2(2)の最後に下記のような文章の追加を希望いたします。  
『ただし、各研究項目(①～⑤)にて、グループⅠの開発委託機関は、グループⅡに委託あるいは再委託機関として重複申請は不可能である。』

『すなわち、たとえば、研究開発項目⑤の「搭乗型生活支援ロボット」のグループⅠをA社が委託開発している場合、A社は、たとえ社内の異なる研究チームであっても、研究開発項目⑤のグループⅡに委託あるいは再委託機関として応募できない。ただし、この場合、他の研究開発項目(①～④)には応募資格を持つ。また、グループⅠの再委託機関は、その限りではない』これは、同一カテゴリーのロボットの安全規格を策定する際、その規格が公正および中立性をもつための必須条件であると考えます。グループⅠとグループⅡの役割は、それぞれ下記の通りと認識します。

グループⅠ 安全規格のDRAFT案の策定

グループⅡ 上記DRAFT案の修正(グループⅠ以外の他機関による  
検証 → 規格の公正・中立性の確保)

グループⅠで先行して安全規格のDRAFTを策定したのち、全く違う団体が、グループⅡとして、この草案を検討せねば、グループⅠの開発団体が保有する独自の技術でしか達成できないような内容が安全規格に盛り込まれる危険性が発生する。当該カテゴリーへの企業新規参入を阻まぬためにも、上記の内容を担保する必要があると考えます。

[考え方と対応]

ご意見ありがとうございます。実施者については、厳正かつ適切に選定いたします。

[反映の有無と反映内容]

特になし

以上

●生活支援ロボット実用化プロジェクト全機関（研究開発項目①～⑤）  
特許出願、論文・記事、その他外部発表の件数まとめ

| 区分<br>年度 | 特許出願 |    |            | 論文・記事    |     | その他外部発表     |                        |             |
|----------|------|----|------------|----------|-----|-------------|------------------------|-------------|
|          | 国内   | 外国 | PCT※<br>出願 | 査読付<br>き | その他 | 学会発<br>表・講演 | 報道（新<br>聞・雑誌等<br>への掲載） | その他展<br>示会等 |
| H21FY    | 0件   | 0件 | 2件         | 9件       | 2件  | 30件         | 77件                    | 30件         |
| H22FY    | 11件  | 0件 | 0件         | 22件      | 5件  | 53件         | 176件                   | 9件          |
| H23FY    | 5件   | 2件 | 0件         | 38件      | 16件 | 105件        | 181件                   | 46件         |
| H24FY    | 11件  | 1件 | 0件         | 55件      | 17件 | 183件        | 252件                   | 81件         |
| H25FY    | 7件   | 1件 | 0件         | 17件      | 13件 | 106件        | 284件                   | 74件         |
| 合計       | 34件  | 4件 | 2件         | 141件     | 53件 | 477件        | 970件                   | 240件        |

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

●各研究開発項目の特許出願、論文・記事、その他外部発表リスト

■（研究開発項目①）生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発

【（一財）日本自動車研究所、（独）産業技術総合研究所、（独）労働安全衛生総合研究所、名古屋大学、（一財）日本品質保証機構、日本認証（株）、（一社）日本ロボット工業会、（一財）製造科学技術センター】

年度毎の特許、論文、外部発表等リスト

特許等

| 出願年月日    | 出願番号           | 名称          | 出願者        |
|----------|----------------|-------------|------------|
| 2011.7.1 | 特願 2011-147706 | 安全度水準評価支援装置 | 日本認証, 山田陽滋 |

論文・記事（2009年度）

| 発表年月日   | 発表先                      | 発表タイトル                                | 発表者                        | 査読 |
|---------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----|
| 2009.9  | 精密工学会誌 75(9)             | パーソナルケア・ロボット安全の国際標準化-現状と課題への取り組み-     | 山田陽滋(名古屋大学)                | 無  |
| 2009.11 | Advanced Robotics 23(11) | Safety Robot Technology in the Future | Yoji Yamada (Nagoya Univ.) | 無  |

論文・記事（2010年度は無し）

論文・記事（2011年度）

| 発表年月日     | 発表先               | 発表タイトル                  | 発表者               | 査読 |
|-----------|-------------------|-------------------------|-------------------|----|
| 2011.7.15 | 標準化と品質管理 2011年8月号 | サービスロボットの安全設計の基本的考え方と手順 | 池田博康(労働安全衛生総合研究所) | 無  |

|            |                                   |  |                |   |
|------------|-----------------------------------|--|----------------|---|
| 2011.7.15  | 標準化と品質管理 2011年 8月号                | サービスロボットの国際安全規格 ISO 13482「パーソナルケアロボット」概要紹介 | 山田陽滋(名古屋大学)    | 無 |
| 2011.11.15 | 日本ロボット学会誌, Vol.29 No.09, pp.12-13 | ロボットの障害物検知技術と安全コンポーネント                     | 加藤晋(産業技術総合研究所) | 無 |

論文・記事 (2012年度)

| 発表年月日    | 発表先   | 発表タイトル   | 発表者   | 査読 |
|----------|---|--|---|----|
| 2012.9.9 | 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN) | A Test Method for Contact Safety Assessment of the Wearable Robot -An Analysis of Load Caused by the Misalignment of the Knee Joint- | Yasuhiro Akiyama, Yoji Yamada(Nagoya Univ.), Koji Ito(Toyota Industries), Shiro Oda(Toyota Motor), Shogo Okamoto, Susumu Hara(Nagoya Univ.) | 有  |
| 2013.3   | ロボット工業会誌, No.211  | サービスロボットの国際安全規格 (ISO13482 パーソナルケアロボット) 紹介  | 山田陽滋(名古屋大)  | 無  |
| 2013.3   | ロボット工業会誌, No.211  | リスクアセスメントに基づくロボットの安全設計手順   | 池田博康(労働安全衛生総合研究所)   | 無  |
| 2013.3   | ロボット工業会誌, No.211  | 生活支援ロボットの安全性検証   | 藤川達夫(日本自動車研究所)  | 無  |

論文・記事 (2013年度)

| 発表年月日     | 発表先                    | 発表タイトル               | 発表者                     | 査読 |
|-----------|------------------------|----------------------|-------------------------|----|
| 2013.9    | 電磁環境工学情報, Vol.26, No.5 | 生活支援ロボットの安全とイミュニティ評価 | 村上真之, 池田博康(労働安全衛生総合研究所) | 無  |
| 2013.9.13 | 電子情報通信学会技術研究報告,        | コヒーレンスを用いた無線通信に影響を与え | 風間 智, 池田博康(労働安全衛生総合研究所) | 無  |



|           |   |  |  |   |
|-----------|---|--|--|---|
|           | Vol.113, No.218   | る雑音源の特定  |  |   |
| 3013.11.5 | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2013) | Estimating Child Collision Injury Based on Automotive Accident Data for Risk Assessment of Mobile Robots | Tatsuo Fujikawa, Masami Kubota(JARI), Yoji Yamada(Nagoya Univ.), Hiroyasu Ikeda(JNIOOSH) | 有 |
| 2013.12.  | 日本赤外線学会誌, 第 23 巻第 2 号   | 生活支援ロボットのた<br>めの赤外線ビジョン安<br>全センサの性能評価に<br>ついて  | 角保志, 金奉根, 松本吉央(産<br>業技術総合研究所)  | 無 |

研究発表, 講演 (2009 年度は無し)

研究発表, 講演 (2010 年度)

| 発表年月日     | 発表先               | 発表タイトル                          | 発表者  |
|-----------|-------------------|---------------------------------|--|
| 2010.9.22 | 日本ロボット学会学術<br>講演会 | NEDO 生活支援ロボッ<br>ト実用化プロジェクト      | 比留川博久(産業技術総合研究<br>所), 宮川豊美(NEDO)   |
| 2010.9.22 | 日本ロボット学会学術<br>講演会 | 生活支援ロボットの安<br>全性に関する国際標準<br>化活動 | 尾暮拓也(産業技術総合研究<br>所), 山田陽滋(名古屋大学)   |
| 2010.9.22 | 日本ロボット学会学術<br>講演会 | 生活支援ロボットの安<br>全設計コンセプト検証<br>の試み | 池田博康(労働安全衛生総合研<br>究所), 丹羽邦幸(日本認証), 清<br>水雄一郎(日本品質保証機構)                   |
| 2010.9.22 | 日本ロボット学会学術<br>講演会 | 生活支援ロボットの機<br>能安全対応について         | 水口大知(産業技術総合研究所)  |
| 2010.9.22 | 日本ロボット学会学術<br>講演会 | 生活支援ロボットの安<br>全性検証試験方法の開<br>発   | 藤川達夫(日本自動車研究所),<br>松本治(産業技術総合研究所),<br>山田陽滋(名古屋大学), 池田博<br>康(労働安全衛生総合研究所) |

|            |                        |                          |   |
|------------|------------------------|--------------------------|---|
| 2010.9.22  | 日本ロボット学会学術講演会          | 製品の適合性評価の概要              | 清水雄一郎, 浅田純男, 榎山哲郎, 神賀誠(日本品質保証機構)              |
| 2010.9.22  | 日本ロボット学会学術講演会          | 生活支援ロボット関連の法律と制度の調査      | 加藤雅弘, 間野隆久, 宮下朋子(製造科学技術センター), 松下俊夫(日本ロボット工業会) |
| 2010.11.26 | 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 | 人間共存型ロボットにおける安全設計課題の論理解析 | 岡部康平, 池田博康(労働安全衛生総合研究所)                       |

研究発表, 講演 (2011 年度)

| 発表年月日     | 発表先                          | 発表タイトル   | 発表者                                      |
|-----------|------------------------------|--|--|
| 2011.5.28 | 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 | 下肢用人間装着型ロボットの安全性評価試験方法に関する研究 第1報: 膝ジョイント連動並進機構を有するダミーの提案 | 伊藤浩治, 山田陽滋, 大西惟史, 小田士朗, 原 進, 岡本正吾(名古屋大学) |
| 2011.7.7  | 日本機械学会安全工学シンポジウム 2011        | FMEDA によるハードウェア機能安全の SIL 評価支援ソフトウェアの研究開発                 | 丹羽邦幸(日本認証), 山田陽滋(名古屋大学)                  |
| 2011.7.7  | 日本機械学会安全工学シンポジウム 2011        | 生活支援ロボットの開発におけるマネジメントシステムの構築と第三者評価の意義と有効性                | 清水雄一郎, 浅田純男, 榎山哲郎, 神賀誠(日本品質保証機構)         |
| 2011.7.7  | 日本機械学会安全工学シンポジウム 2011        | リスクアセスメントに基づく生活支援ロボットの安全設計に関する考察                         | 岡部康平, 池田博康, 齋藤剛, 村上真之(労働安全衛生総合研究所)       |
| 2011.9.8  | 第 29 回 日本ロボット学会学術講演会         | 生活支援ロボットのリスクアセスメント雛形シートの作成                               | 池田博康, 岡部康平, 齋藤剛, 村上真之, 芳司俊郎(労働安全衛生総合研究所) |
| 2011.9.8  | 第 29 回 日本ロボット学会学術講演会         | 安全機能ハードウェアの SIL 評価支援ソフト                                  | 丹羽邦幸(日本認証), 山田陽滋(名古屋大学)                  |

|            |  |   |  |
|------------|--|---|--|
|            |  | ウェア   |  |
| 2011.9.8   | 第29回 日本ロボット学会学術講演会                           | 生活支援ロボットの安全性試験方法の開発   | 藤川達夫, 小口誠(日本自動車研究所), 大場光太郎, 松本治, 加藤晋(産業技術総合研究所), 池田博康, 村上真之(労働安全衛生総合研究所) |
| 2011.9.8   | 第29回 日本ロボット学会学術講演会                           | 装着型ロボットの安全性評価試験方法の開発  | 山田陽滋(名古屋大学), 本間敬子(産業技術総合研究所), 秋山靖博, 岡本正吾, 原進(名古屋大学)                      |
| 2011.9.8   | 第29回 日本ロボット学会学術講演会                           | 生活支援ロボット関連の法律と制度の調査   | 加藤雅弘, 間野隆久, 宮下朋子(製造科学技術センター), 濱田彰一, 松下俊夫, 三浦敏道(日本ロボット工業会)                |
| 2011.9.12  | 電子情報通信学会 環境電磁工学研究会                           | 移動ロボットのイミュニティ評価用試験治具の作製                                       | 村上真之, 池田博康(労働安全衛生総合研究所)  |
| 2011.9.16  | SICE Annual Conference 2011                  | A basis of safety design for cooperative human-machine system | 岡部康平, 池田博康(労働安全衛生総合研究所)  |
| 2011.11.10 | 2011 国際ロボット展「生活支援ロボット実用化プロジェクト～プロジェクト活動説明会～」 | ロボットの安全とリスクアセスメント   | 池田博康(労働安全衛生総合研究所)  |
| 2011.11.10 | 2011 国際ロボット展「生活支援ロボット実用化プロジェクト～プロジェクト活動説明会～」 | ロボットの安全に関する海外と日本の視点   | 加藤雅弘(製造科学技術センター)   |
| 2011.11.10 | 2011 国際ロボット展「生活支援ロボット実用化プロジェクト～プロジェクト活動説明会～」 | 安全検証試験の紹介   | 藤川達夫(日本自動車研究所)   |

|           |  |   |   |
|-----------|--|---|---|
| 2012.3.15 | 自動計測制御学会 第39 回知能システムシンポジウム「コミュニケーション場のメカニズムデザイン」 | サービスロボットの安全設計を支援するデータベースのシステム開発                 | 岡部康平(労働安全衛生総合研究所), 松下 俊夫, 濱田 彰一(日本ロボット工業会)                                      |
| 2012.3.15 | 第 17 回ロボティクスシンポジウム                               | 装着型ロボットの接触安全性評価試験方法の研究－膝関節部の不整合についての下肢ダミーによる検討－ | 秋山靖博(名古屋大学), 山田陽滋(名古屋大学), 伊藤浩治 (豊田自動織機), 小田志朗 (トヨタ自動車), 岡本正吾(名古屋大学), 原 進(名古屋大学) |

#### 研究発表, 講演 (2012 年度)

| 発表年月日     | 発表先                    | 発表タイトル   | 発表者   |
|-----------|------------------------|--|---|
| 2012.5.27 | ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 | 下肢人間装着型ロボットの安全性評価試験方法に関する研究” - 第 2 報: 人体形状の再現を目的としたダミー皮膚の提案- | 石黒健次(名古屋大学), 秋山靖博(名古屋大学), 山田陽滋(名古屋大学), 原進(名古屋大学), 岡本正吾(名古屋大学), 大西惟史(名古屋大学), 伊藤浩治(名古屋大学) |
| 2012.7.6  | 安全工学シンポジウム 2012        | サービスロボットのための機能安全規格に基づく安全コンセプト検証用ツールの作成                       | 池田博康(労働安全衛生総合研究所), 丹羽邦幸(日本認証), 清水雄一郎(日本品質保証機構)  |
| 2012.9.19 | 日本ロボット学会第 30 回学術講演会    | 生活支援ロボット関連の法律と制度の調査  | 加藤雅弘(製造科学技術センター)  |
| 2012.9.19 | 日本ロボット学会第 30 回学術講演会    | 生活支援ロボットのリスクアセスメントにおける保護方策実施後のリスク再見積に関する考察                   | 齋藤剛, 池田博康, 岡部康平(労働安全衛生総合研究所)  |
| 2012.9.19 | 日本ロボット学会第 30 回学術講演会    | SIL2,3 の要求事項に対応した PROH-SIL ソフトウェアの事例                         | 丹羽邦幸(日本認証), 山田陽滋(名古屋大学), 橋本慎也(エスクリエイト)  |

|            |  |   |  |
|------------|--|---|--|
| 2012.9.19  | 日本ロボット学会第30回学術講演会  | 生活支援ロボット安全情報センター (RTSIC) の開発  | 松下俊夫(日本ロボット工業会), 岡部康平(労働安全衛生総合研究所), 濱田彰一(日本ロボット工業会)                  |
| 2012.9.19  | 日本ロボット学会第30回学術講演会  | 移動ロボットの障害物検知・対応能力試験のための接近再現装置と走行状態模擬装置の開発   | 加藤晋, 竹内厚司, 児玉将人, 橋本尚久(産業技術総合研究所)                                     |
| 2012.9.19  | 日本ロボット学会第30回学術講演会  | 生活支援ロボットのセンサのための人工太陽灯による光干渉試験   | 角保志, 堀内英一, 松本治, 大場光太郎(産業技術総合研究所)                                     |
| 2012.9.19  | 日本ロボット学会第30回学術講演会  | 生活支援ロボットの走行安定性試験方法  | 小口誠, 神保浩之, 小林隆, 藤川達夫(日本自動車研究所)                                       |
| 2012.9.20  | 日本ロボット学会第30回学術講演会  | 搭乗型ロボット走行安定性基準策定のための重心移動制御装置の開発   | 松本治(産業技術総合研究所)   |
| 2012.9.20  | 日本ロボット学会第30回学術講演会  | 生活支援ロボットの温湿度・振動複合試験方法の提案  | 池田博康, 芳司俊郎(労働安全衛生総合研究所)  |
| 2012.9.20  | 日本ロボット学会第30回学術講演会  | 走行耐久性試験装置におけるロボットの位置および速度制御   | 岩田拓也, 松本治(産業技術総合研究所)   |
| 2012.10.11 | The 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2012) | Development of a Self-Check Sheet for Safety Design of Human-Collaborative Robots | Hiroyasu Ikeda (JNIOOSH), Kuniyuki Niwa (JC), Yuichiro Shimizu (JQA) |
| 2012.10.11 | The 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2012) | Study on Law and Social Systems for the Safety of Social-care Robots              | Masahiro Kato (MSTC)   |

|            |  |   |  |
|------------|--|---|--|
| 2012.10.11 | The 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2012) | Empirical Approach to Assessing Foot Injury Level Resulting from being Run Over by a Mobile Robot | Masami Kubota, Tatsuo Fujikawa (JARI)  |
| 2012.10.12 | The 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2012) | Evaluation of Injury Level and Probability for Risk Assessment of Mobile Robots                   | Tatsuo Fujikawa, Masami Kubota (JARI), Yoji Yamada (Nagoya Univ.), Hiroyasu Ikeda (JNIOHS) |
| 2012.10.19 | Japan Robot Week 2012 つくば国際戦略総合特区フォーラム   | 生活支援ロボット安全検証センターの紹介   | 小口誠(日本自動車研究所)  |
| 2012.11.2  | 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012)   | 装着型ロボットの接触安全性評価試験にむけた下肢ダミーの開発   | 秋山靖博, 伊藤安海, 山田陽滋(名古屋大学), 伊藤浩治(豊田自動織機), 小田史朗(トヨタ自動車), 岡本正吾, 原進(名古屋大学)                       |
| 2012.11.4  | 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012)   | 生活支援モビリティの衝突時安全性の評価例  | 藤川達夫, 久保田正美(日本自動車研究所), 山田陽滋(名古屋大学), 池田博康(労働安全衛生総合研究所)                                      |
| 2012.11.4  | 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012)   | 生活支援モビリティロボットの走行安定性試験方法   | 小口誠, 神保浩之, 小林隆, 藤川達夫(日本自動車研究所)   |
| 2012.11.4  | 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012)   | 生活支援モビリティの走行耐久性試験装置の開発  | 岩田拓也, 松本治(産業技術総合研究所)   |
| 2012.11.4  | 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012)   | 生活支援ロボットの複合環境振動試験による安全性評価方法   | 池田博康, 芳司俊郎(労働安全衛生総合研究所)  |
| 2012.11.12 | 日本ロボット学会第74回ロボット工学セミナー 安全規格と開発プロセス   | パーソナルケアロボットのための安全規格 ISO 13482 の動向   | 藤川達夫(日本自動車研究所)   |

|            |                            |   |  |
|------------|----------------------------|---|--|
| 2012.12.14 | 電子情報通信学会 環境電磁工学研究会 (EMCJ)  | 生活支援ロボットにおける帯電フレームモデルの ESD イミュニティ試験法の検討 ～電動車いすの製品規格で規定された試験法に関する考察～ | 村上真之(東京都立産業技術研究センター), 池田博康(労働安全衛生総合研究所)                        |
| 2013.1.11  | 電子情報通信学会 環境電磁工学研究会 (EMCJ)  | 生活支援ロボットにおける帯電フレームモデルの ESD イミュニティ試験法の検討 ～ロボット支持台に関する要件～             | 村上真之(東京都立産業技術研究センター), 池田博康(労働安全衛生総合研究所)                        |
| 2013.1.11  | 電子情報通信学会 環境電磁工学研究会 (EMCJ)  | 機能安全を導入した生活支援ロボットのための放射 RF 電磁界イミュニティ試験システムの開発                       | 村上真之(東京都立産業技術研究センター), 池田博康(労働安全衛生総合研究所)                        |
| 2013.1.22  | 第 44 回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム  | モーションキャプチャを用いた人体部位の 3 次元動作解析のための皮膚揺動誤差評価                            | 石黒健次, 山田陽滋, 秋山靖博, 原進, 岡本正吾(名古屋大学)                              |
| 2013.3.8   | 電子情報通信学会 環境電磁工学研究会 (EMCJ)  | 生活支援ロボットにおける帯電フレームモデルの ESD イミュニティ試験法の検討 ～ロボット使用者からの放電の模擬～           | 村上真之(東京都立産業技術研究センター), 池田博康(労働安全衛生総合研究所)                        |
| 2013.3.12  | 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会 2013 | 無線式近接警報装置の性能評価  | 風間智, 岡部康平, 池田博康(労働安全衛生総合研究所)                                   |
| 2013.3.14  | 第 18 回ロボティクスシンポジウム         | 装着型ロボットの接触安全性評価試験方法の研究 - 下肢ダミーを用いたロボット装着者への負担の再現方法に                 | 秋山 靖博, 山田 陽滋(名古屋大学), 伊藤 浩治(豊田自動織機), 小田 志朗(トヨタ自動車), 岡本正吾(名古屋大学) |

|  |  |         |  |
|--|--|---------|--|
|  |  | 関する検討 ー |  |
|--|--|---------|--|

研究発表, 講演 (2013 年度)

| 発表年月日     | 発表先                     | 発表タイトル                         | 発表者   |
|-----------|-------------------------|--------------------------------|---|
| 2013.5.23 | ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013  | 生活支援ロボット関連の法律と制度の調査            | 加藤雅弘 (製造科学技術センター)   |
| 2013.5.23 | ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013  | 生活支援ロボットに関する安全情報データベース         | 岡部康平(労働安全衛生総合研究所), 松下俊夫(日本ロボット工業会), 濱田彰一(日本ロボット工業会)             |
| 2013.5.23 | ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013  | ロボットの車輪の轢過による中足骨損傷に関する検討       | 久保田正美, 藤川達夫(日本自動車研究所), 西本哲也 (日本大学)                              |
| 2013.5.23 | ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013  | マニピュレータの挟圧安全性とその試験方法について       | 齋藤剛, 池田博康(労働安全衛生総合研究所)  |
| 2013.5.23 | ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013  | 装着型ロボットの接触安全性試験方法              | 秋山靖博(名古屋大), 山田陽滋(名古屋大), 伊藤浩治(豊田自動織機), 小田志朗(トヨタ自動車), 岡本 正吾(名古屋大) |
| 2013.5.24 | ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013  | 装着型ロボットが装着者の転倒現象に与える影響に関する検討   | 秋山靖博(名古屋大), 山田陽滋(名古屋大)  |
| 2013.7.3  | 平成 25 年度国際標準推進戦略シンポジウム  | 安全認証のプロセス                      | 浅田純男 (日本品質保証機構)   |
| 2013.8.22 | 生活支援ロボット安全技術研究会 (第 3 回) | 生活支援ロボット関連の法律と制度               | 加藤雅弘 (製造科学技術センター)   |
| 2013.9.4  | 日本ロボット学会第 31 回学術講演会     | 生活支援ロボット関連の法律と制度の調査            | 加藤雅弘 (製造科学技術センター)   |
| 2013.9.4  | 第 31 回 日本ロボット学会学術講演会    | 装着型ロボットのための創傷リスクに対する安全性評価試験方法の | 山田 陽滋(名古屋大), 吉田 剣吾(名古屋大), 石黒 健次(名古屋大), 秋山 靖博(名古屋大), 原 進         |



|           |  |   |  |
|-----------|--|---|--|
|           |  | 開発  | (名古屋大), 岡本 正吾(名古屋大学)   |
| 2013.9.4  | 第31回 日本ロボット学会学術講演会   | 生活支援ロボットの騒音試験方法の提案  | 池田博康(労働安全衛生総合研究所)  |
| 2013.9.4  | 第31回 日本ロボット学会学術講演会   | 屋外環境シミュレータによる ビジョン安全センサの性能評価  | 角保志, 金奉根, 松本吉央(産業技術総合研究所)  |
| 2013.7.30 | 生活支援ロボット実用化促進セミナー  | 生活支援ロボットの安全規格と試験方法について  | 藤川達夫(日本自動車研究所)   |
| 3013.11.3 | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2013)<br>RAS-IARP Joint Workshop | Outdoor Environment Simulators for Evaluating Safety Sensors of Personal Care Robots — Artificial Sunlight Lampheads and Simulated-Snow Chamber — | Yasushi Sumi, Bong Keun Kim, Yoshio Matsumoto, Eiichi Horiuchi, Osamu Matsumoto, Kohtaro Ohba (AIST) |
| 3013.11.3 | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2013)<br>RAS-IARP Joint Workshop | Technology for Safety Verification  | Yoji Yamada (Nagoya Univ.)   |
| 3013.11.3 | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2013)<br>RAS-IARP Joint Workshop | Study on Laws and Systems for Life-supporting Robots  | Masahiro Kato (MSTC)   |
| 2013.11.7 | 国際ロボット展 NEDO フォーラム   | 日本から始まるサービスロボットの普及と安全認証ビジネス   | 菅原淳 (NEDO) 藤川達夫(日本自動車研究所), 浅田純男, 清水雄一郎 (日本品質保証機構)  |

|           |   |   |  |
|-----------|---|---|--|
| 2013.11.7 | 2013 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO2013) | Outdoor Environment Simulators for Vision-Based Safety Sensors - Artificial Sunlight Lampheads and Simulated-Snow Chamber | Yasushi Sumi, Bong Keun Kim, Yoshio Matsumoto, Eiichi Horiuchi, Osamu Matsumoto, Kohtaro Ohba (AIST) |
| 2014.2.19 | ロボットと法ーロボットと共生する社会に向けてー中央大学イタリア大使館共催シンポジウム                                | 生活支援ロボット関連の法律と制度の調査   | 加藤雅弘（製造科学技術センター）   |

#### 展示会等

| 出展年月日         | 出展先   | 内容                                     |
|---------------|---|--|
| 2011.11.9～12  | 2011 国際ロボット展  | NEDO 展示ブースにて生活支援ロボット安全検証センターを紹介        |
| 2012.10.17～19 | Japan Robot Week 2012   | つくば国際戦略総合特区展示ブースにて、生活支援ロボット安全検証センターを紹介 |
| 2013.11.6～9   | 2013 国際ロボット展  | NEDO 展示ブースにて生活支援ロボット安全検証センターを紹介        |
| 2013.11.8     | IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2013) | IROS2013 のテクニカルツアーを生活支援ロボット安全検証センターに招待 |

#### 報道（新聞・雑誌等への掲載）

| 年月日        | 媒体      | 内容                      |
|------------|---------|-------------------------|
| 2010.12.27 | 時事ドットコム | 生活支援ロボの安全確保＝検証センターがオープン |

|            |                          |   |
|------------|--------------------------|---|
| 2010.12.27 | NHK ニュース                 | 生活支援ロボットの実験施設   |
| 2010.12.28 | 朝日新聞                     | 介護・家事支援ロボの安全性試験 茨城に検証センター   |
| 2010.12.28 | 毎日新聞                     | 家庭用ロボット：安全の「お墨付き」 検証センターが開所   |
| 2010.12.28 | 東京新聞                     | 生活支援ロボ 安全性を認証   |
| 2011.1.4   | ロボナブル（日刊工業新聞）            | 特集 生活支援ロボット安全検証センター始動！<br>設立の背景と課題を探る   |
| 2011.2.11  | ワールドビジネスサテライト<br>（テレビ東京） | 新ロボット大国へ 「サービスロボットが拓く」  |
| 2011.4.21  | 日本経済新聞 夕刊                | 「介護ロボット、実用化へ動き出す」の中で生活支援ロボット安全検証センターの一部が紹介された                                 |
| 2011.4.    | 日本経済新聞                   | 「ロボットが拓く～柵を超えて～」の中で生活支援ロボット安全検証センターの一部が紹介された                                  |
| 2012.1.30  | NHK ワールド NEWSLINE        | 「HIGH-TECH HELPERS」にて生活支援ロボット安全検証センターの一部が紹介された                                |
| 2013.2.27  | NHK 首都圏ニュース, 日本経済新聞ほか    | 日本品質保証機構が CYBERDYNE 株式会社の「ロボットスーツ HAL 福祉用」に対して ISO/DIS 13482 に基づく認証を発行したことを紹介 |

■（研究開発項目②）安全技術を導入した移乗・移動支援ロボットシステムの開発【パナソニック（株）、国立障害者リハビリテーションセンター】

表 3：研究発表・講演の詳細リスト

| 番号 | 発表者   | 所属         | タイトル                             | 発表先                                | 発表年            |
|----|-------|------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------|
| 1  | 本田幸夫  | パナソニック株式会社 | 高齢化社会を支える生活支援ロボット                | パワーエレクトロニクスアプリケーションフォーラム 2009 基調講演 | 2009<br>/10/30 |
| 2  | 本田幸夫  | パナソニック株式会社 | パナソニックにおけるロボット事業の取り組み            | ロボット産業創出 国際ワークショップ                 | 2009<br>/11/6  |
| 3  | 本田幸夫  | パナソニック株式会社 | 生活支援ロボット（健康、リハビリ、医療、高齢者支援）への取り組み | 2009 国際ロボット展 併催 特別セミナー             | 2009<br>/11/26 |
| 4  | 河上日出生 | パナソニック株式会社 | 自立／介護支援ロボット「ロボティックベッド」の紹介        | 東大阪福祉用具展示会 オープニング講演                | 2010<br>/01/27 |
| 5  | 河上日出生 | パナソニック株式会社 | 自立／介護支援ロボット「ロボティックベッド」の開発取組み     | 第 2 回人間支援ロボットの開発プロセスに関する勉強会」講演     | 2010<br>/01/31 |
| 6  | 小林昌市  | パナソニック株式会社 | ロボット技術が支える少子高齢化社会                | ロボティクスフォーラム 2010                   | 2010<br>/03/14 |
| 7  | 本田幸夫  | パナソニック株式会社 | 高齢化社会に挑戦するパナソニックのロボット事業          | 組み込み総合技術展 関西                       | 2010<br>/06/18 |
| 8  | 本田幸夫  | パナソニック株式会社 | 超高齢社会に挑戦するパナソニックのロボット事業          | 介護・福祉ロボット開発・普及支援プロジェクト検討会          | 2010<br>/09    |

|    |   |                                  |   |  |                    |
|----|---|----------------------------------|---|--|--------------------|
| 9  | 本田幸夫、河上日出生、久米洋平   | パナソニック株式会社                       | The Proposal of Bed-Shaped Robot Transformable into Wheelchair to Support People with Limited Mobility to Lead Independent Life | 第 49 回日本生体医工学会大会   | 2010               |
| 10 | 中村美緒、崎山美和、硯川 潤、井上剛伸 (国リハ)、塚田将平、久米洋平、岡本球夫、河上日出生 (パナソニック) | 国立障害者リハビリテーションセンター研究所、パナソニック株式会社 | リハ専門職を対象とした試用試験による「ロボティックベッド」の実用可能性評価   | 第 25 回リハ工カ<br>ンファレンス講<br>演会  | 2010               |
| 11 | 久米洋平、河上日出生、塚田将平、中村徹                                     | パナソニック株式会社                       | ロボティックベッドの自動合体制御  | (社)計測自動制御学会 システム<br>インテグレーション部門講演会                                     | 2010<br>/12/2<br>4 |
| 12 | 本田幸夫  | パナソニック株式会社                       | パナソニックの医療福祉分野での戦略   | ロボラボトーク<br>セッション   | 2011<br>/02/2<br>3 |
| 13 | Tamao Okamoto   | Panasonic Corporation            | Analysis of Human Behavior and Collision Risks at An Indoor Crossroad to Prevent Broadside Collisions                           | IARP Workshop on The Role of Robotics in Assisted Living, Seoul, Korea | 2011<br>/06/0<br>7 |
| 14 | 岡本球夫 (パナソニック)、山田陽滋 (名古屋大)                               | パナソニック株式会社、名古屋大学                 | 屋内交差通路における出会い頭の事故防止に向けた人の行動特性と衝突リスクの分析  | 安全工学シンポジウム 2011  | 2011<br>/07/0<br>7 |

|        |   |                                  |  |              |                |
|--------|---|----------------------------------|--|--------------|----------------|
| 1<br>5 | 中村美緒、硯川潤（国リハ）、塚田将平、久米洋平、河上日出生（パナソニック）、井上 剛伸（国リハ）  | 国立障害者リハビリテーションセンター研究所、パナソニック株式会社 | 福祉機器開発における臨床評価手法の提案  | バイオメカニズム学会   | 2011<br>/07/27 |
| 1<br>6 | Nakamura M, Sakiyama M, Suzurikawa J, (国リハ) Tsukada S, Kume Y, Kawakami H (パナソニック), Inoue T (国リハ) | 国立障害者リハビリテーションセンター研究所、パナソニック株式会社 | Methodology for comprehensive clinical evaluation of assistive technology : Evaluation by rehabilitation professionals | AAATE 2011   | 2011<br>/09/01 |
| 1<br>7 | 久米洋平、下田智大、太田章博、塚田将平、河上日出生（パナソニック）、中村美緒、硯川潤、井上剛伸（国リハ）  | パナソニック株式会社、国立障害者リハビリテーションセンター研究所 | 移乗支援ロボットシステムの開発  | Robomec2012  | 2012<br>/05/28 |
| 1<br>8 | 中村美緒（国リハ）、井上薫（首都大）、硯川潤（国リハ）、河上日出生（パナソニック）、井上剛伸（国リハ）   | 国立障害者リハビリテーションセンター研究所、パナソニック株式会社 | ロボティックベッドの臨床評価-評価から見える近未来のOTの役割-   | 第46回日本作業療法学会 | 2012<br>/06/16 |
| 1<br>9 | Nakamura M, Suzurikawa J (国リハ), Ohta A, Kume Y, Kawakami H (パナソニック), Inoue K (首都大), Inoue T (国リハ) | 国立障害者リハビリテーションセンター研究所、パナソニック株式会社 | Clinical Evaluation of The Prototype Robotbed in an Experimental Environment   | RESNA 2012   | 2012<br>/07/02 |

|    |   |                                  |  |                          |            |
|----|---|----------------------------------|--|--------------------------|------------|
| 20 | 久米洋平、下田智大、太田章博、塚田将平、河上日出生、本田幸夫                      | パナソニック株式会社                       | ロボティックベッドの安全技術                             | RSJ2012                  | 2012/09/20 |
| 21 | 塚田将平、下田智大、太田章博、久米洋平、河上日出生、本田幸夫                      | パナソニック株式会社                       | ロボティックベッドの安全技術                             | RSJ2012                  | 2012/09/20 |
| 22 | 久米洋平、下田智大、太田章博、塚田将平、河上日出生                           | パナソニックヘルスケア株式会社                  | 移乗支援ロボット「ロボティックベッド」の安全機能設計・評価              | Robomec2013              | 2013/05/23 |
| 23 | 太田章博、下田智大、塚田将平、久米洋平、河上日出生                           | パナソニックヘルスケア株式会社                  | 移乗支援ロボット「ロボティックベッド」の開発                     | Robomec2013              | 2013/05/23 |
| 24 | 下田智大、久米洋平、太田章博、塚田将平、河上日出生                           | パナソニックヘルスケア株式会社                  | 移乗支援ロボット「ロボティックベッド」の機能安全開発                 | Robomec2013              | 2013/05/23 |
| 25 | 中村美緒（国リハ）、井上薫（首都大）、硯川潤（国リハ）、河上日出生（パナソニック）、井上剛伸（国リハ） | 国立障害者リハビリテーションセンター研究所、パナソニック株式会社 | 開発段階の福祉機器における臨床評価-ロボティックベッド®の改良点に着目した効果検証- | 第47回日本作業療法学会             | 2013/06/28 |
| 26 | 硯川潤（国リハ）、三上功生（日本大学）、井上剛伸（国リハ）                       | 国立障害者リハビリテーションセンター研究所            | ギャッチアップ時の背面圧分散を促進するための低摩擦シートによるベッド上での身体再配置 | 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2013 | 2013/09/02 |
| 27 | 塚田将平、久米洋平、河上日出生（パナソニック）、中村美緒、硯川潤、井上剛伸（国リハ）          | パナソニック株式会社、国立障害者リハビリテーションセンター研究所 | 移乗支援ロボット「ロボティックベッド」の開発                     | RSJ2013                  | 2013/09/04 |

表 4：論文の詳細リスト

| 番号 | 発表者  | タイトル   | 発表誌名<br>ページ番号   | 査読 | 発表年  |
|----|--|--|---|----|------|
| 1  | 久米洋平、河上日出生、塚田将平、中村徹 (パナソニック)   | ロボティックベッドの開発   | 自動車技術、Vol.64, No.5, p.31-34                               | 無  | 2010 |
| 2  | 久米洋平、河上日出生 (パナソニック)  | 自立した生活を支援するロボティックベッドの制御技術  | パナソニックテクニカルジャーナル、Vol.56 No.3, p.32-34                     | 無  | 2010 |
| 3  | Nakamura M, Sakiyama M, Suzurikawa J, (国リハ) Tsukada S, Ohta A, Kume Y, Kawakami H, (パナソニック) Inoue K, (首都大) Inoue T (国リハ) | Methodology for User and User's Life Centered Clinical Evaluation of Assistive Technology (ULCEAT): Evaluation with Prototype Roboticbed | Technol. Disabil., Vol. 24, pp. 273-282, 2012             | 有  | 2012 |
| 4  | Kume Y, Shimoda T, Ohta A, Tsukada S, Kawakami H (パナソニック), Nakamura M, Suzurikawa J, Inoue T(国リハ)                        | Development of Transfer Assist Robot System Supporting Self-Reliant Life   | Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.25, No.2, 2013. | 有  | 2013 |
| 5  | 久米 洋平, 下田 智大, 太田 章博, 塚田 将平, 河上 日出生, 本田 幸夫(パナソニック)  | ロボティックベッドの安全技術   | 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.8, pp.77-83                         | 有  | 2013 |



|   |  |   |   |   |      |
|---|--|---|---|---|------|
| 6 | Nakamura M (国リハ) , Kume Y (パナソニック) ,<br>Suzurikawa J (国リハ) , Tsukada S,<br>Kawakami H (パナソニック) , Inoue K (首都大) , Inoue T (国リハ) | Development of Transfer Assist Robot Based on the User Needs. | J. Robotics Mechatronics, Vol. 25, No. 6, pp. 992-999, 2013 | 有 | 2013 |
|---|--|---|---|---|------|

表 5：特許出願等の詳細リスト

| 番号 | 出願者        | 出願番号                                  | 国内<br>外 | 出願日            | 状態        | 名称  | 発明者       |
|----|------------|---------------------------------------|---------|----------------|-----------|---|-----------|
| 1  | パナソニック株式会社 | 特願<br>2010-23430<br>8                 | 国内      | 2010/10/1<br>9 | 出願        | 電動車両<br>およびその<br>制御方法                       | 久米洋平<br>他 |
| 2  | パナソニック株式会社 | 特願<br>2010-23430<br>9                 | 国内      | 2010/10/1<br>9 | 出願        | 全方向移動型電動<br>車両およびその制<br>御方法                 | 久米洋平<br>他 |
| 3  | パナソニック株式会社 | 特願<br>2010-23432<br>5                 | 国内      | 2010/10/1<br>9 | 出願        | 接触検知<br>センサおよ<br>び駆動装<br>置および<br>介護用ベ<br>ッド | 塚田将平<br>他 |
| 4  | パナソニック株式会社 | 特願<br>2010-25656<br>0                 | 国内      | 2010/11/1<br>7 | 出願        | 接触検知<br>センサ、<br>可動部お<br>よびベッ<br>ド           | 塚田将平<br>他 |
| 5  | パナソニック株式会社 | 意願<br>2011-006649<br>⇒意匠第<br>1422594号 | 国内      | 2011/03/2<br>4 | 出願<br>⇒登録 | 信号表示<br>機                                   | 岡本球夫<br>他 |
| 6  | パナソニック株式会社 | 意願<br>2011-006650<br>⇒意匠第<br>1422595号 | 国内      | 2011/03/2<br>4 | 出願<br>⇒登録 | 信号表示<br>機                                   | 岡本球夫<br>他 |
| 7  | パナソニック株式会社 | 意願<br>2011-006651<br>⇒意匠第<br>1422596号 | 国内      | 2011/03/2<br>4 | 出願<br>⇒登録 | 信号表示<br>機                                   | 岡本球夫<br>他 |
| 8  | パナソニック株式会社 | 特願<br>2011-202635                     | 国内      | 2011/09/1<br>6 | 出願        | 衝突防止<br>システム<br>および電<br>動車両                 | 岡本球夫<br>他 |
| 9  | パナソニ       | 特願                                    | 国内      | 2011/09/1      | 出願        | 衝突防止  | 岡本球夫      |

|    |            |  |    |            |                                     |                        |           |
|----|------------|--|----|------------|-------------------------------------|------------------------|-----------|
|    | ック株式会社     | 2011-202636  |    | 6          |                                     | システム                   | 他         |
| 10 | パナソニック株式会社 | 特願<br>2011-202898<br>⇒米国出願<br>13/275391<br>⇒中国出願<br>2011103184<br>78.5<br>⇒EPC 出願<br>11185512.8<br>⇒特許第<br>5192577 号 | 国内 | 2011/09/16 | 出願<br>⇒外国出願<br>(米国・中国・EPC)<br>⇒国内登録 | 接触検知センサ、駆動装置、及び、介護用ベッド | 塚田将平<br>他 |
| 11 | パナソニック株式会社 | 特願<br>2011-202899<br>⇒米国出願<br>13/275555<br>⇒中国出願<br>2011103189<br>23.8<br>⇒EPC 出願<br>11185512.8<br>⇒特許第<br>5161353 号 | 国内 | 2011/09/16 | 出願<br>⇒外国出願<br>(米国・中国・EPC)<br>⇒国内登録 | 電動車両及びその制御方法           | 久米洋平<br>他 |
| 12 | パナソニック株式会社 | 特願<br>2012-133444  | 国内 | 2012/06/13 | 出願                                  | 走行車の走行方法               | 久米洋平<br>他 |
| 13 | パナソニック株式会社 | 特願<br>2012-133445  | 国内 | 2012/06/13 | 出願                                  | 走行車の走行方法               | 久米洋平<br>他 |
| 14 | パナソニック株式会社 | 特願<br>2012-275384  | 国内 | 2012/12/18 | 出願                                  | 電動車両の制御方法              | 久米洋平<br>他 |
| 15 | パナソニック株式会社 | 特願<br>2012-275385  | 国内 | 2012/12/18 | 出願                                  | 電動車両の制御方法              | 久米洋平<br>他 |

表 6：新聞・雑誌等の詳細リスト

| 番号 | 発表先/タイトル                                       | 備考  | 発表年        |
|----|--|---|------------|
| 1  | パナソニックニュースリリース「ロボティックベッドを開発」                   | <a href="http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn090918-1/jn090918-1">http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn090918-1/jn090918-1</a> | 2009/09/18 |
| 2  | パナソニックHP「くらし発見マガジンism(イズム)」                    | <a href="http://panasonic.co.jp/ism/robot/index.html">http://panasonic.co.jp/ism/robot/index.html</a>   | —          |
| 3  | パナソニックHP「Human File～開発ストーリー」                   | <a href="http://panasonic.co.jp/humanfile/200911robotic/">http://panasonic.co.jp/humanfile/200911robotic/</a>   | —          |
| 4  | 読売新聞   | 2009/12/3 夕刊 7面に掲載  | 2009/12/03 |
| 5  | 経済産業ジャーナル                                      | 2010/1-2月号  | 2010/01    |
| 6  | 福祉介護機器テクノプラス                                   | 2010/1月号 58頁に掲載   | 2010/01    |
| 7  | Tomoniile                                      | 2010/1-2月号 19頁に掲載   | 2010/01    |
| 8  | どーも  | 2010/1月号 16頁に掲載   | 2010/01    |
| 9  | プレジデント   | 2010/2/1号 110頁に掲載   | 2010/02/01 |
| 10 | 日経ビジネス   | 2010/3/29号 24,25頁に掲載  | 2010/03/29 |
| 11 | 「ニュースアンカー」特集「ターゲットはシルバー」～シルバー層向け生活支援ロボットの開発が進む | 関西テレビ   | 2010/04/13 |
| 12 | 介護/ヒューマン・インタラクティブ/アシストロボットの取組み                 | オランダ国営放送NOS   | 2010/07    |
| 13 | ニュースフライデー「介護ロボットの可能性」                          | テレビ神奈川  | 2010/07/02 |
| 14 | 時事潮流：「サービスロボ、介護・福祉現場支援～官民                      | 日刊工業新聞  | 2010/07/15 |

|        |  |   |            |
|--------|--|---|------------|
|        | 連携」  |   |            |
| 1<br>5 | ワールドビジネスサテライト<br>特集「”民”主導の新成長戦略～高齢化社会」   | テレビ東京   | 2010/07/22 |
| 1<br>6 | ズームインスーパー 特集<br>「福祉・医療の最先端」  | 読売テレビ   | 2010/12/06 |
| 1<br>7 | NHKニュースウオッチ<br>9 特集「ジャパンシンド<br>ローム」～ロボット技術実<br>用化に壁                            | NHK   | 2011/01/11 |
| 18     | NHKクローズアップ現代<br>「高齢化先進国の強みを生<br>かせ」  | NHK   | 2011/06/08 |
| 19     | NEDO 定期広報誌「Focus<br>NEDO」、人の暮らしを支<br>えるロボット技術                                  | NEDO  | 2011/10    |
| 20     | ロボコンマガジン、<br>NEWS：第38回国際福祉<br>機器展  | ロボコンマガジン、オーム<br>社   | 2012/01    |
| 21     | KBC テレビ「朝です KBC”<br>ロボット最前線 “」   | KBC テレビ   | 2013/04/17 |
| 22     | TBS 「はなまるマーケッ<br>ト」(ロボティックベッド体<br>験・紹介 生放送)                                    | TBS   | 2013/11/07 |
| 23     | 「リショーネ」読売新聞掲<br>載(1面、7面) 2013.12.31  | 読売新聞  | 2013/12/31 |
| 24     | 「ロボティックベッド」日<br>経産業新聞掲載(7面)  | 日経産業新聞  | 2014/01/01 |
| 25     | パナソニックニュースリリ<br>ース「離床支援のためのロ<br>ボット介護機器「リショー<br>ネ®」が世界初の ISO 13482<br>認証*1を取得」 | <a href="http://www.panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/2014/02/jn140217-1/jn140217-1.html">http://www.panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/2014/02/jn140217-1/jn140217-1.html</a> | 2014/2/17  |
| 26     | 朝日新聞「生活支援ロボに<br>「安全」(国際規格取得)」  | 朝日新聞  | 2014/02/19 |
| 27     | シルバー新聞「生活支援ロ<br>ボットで初の国際安全認証<br>取得」  | シルバー新聞  | 2014/02/21 |

表7：その他の公表（プレス発表等）の詳細リスト

| 番号 | 発表先/タイトル                   | 備考  | 発表年                   |
|----|----------------------------|---|-----------------------|
| 1  | 国際福祉機器展 出展<br>H.C.R.2009   | パナソニックブース出展   | 2009/9/29-2009/10/1   |
| 2  | APEC / JAPAN<br>EXPERIENCE | <a href="http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/apec/2010/japan_experience/index.html">http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/apec/2010/japan_experience/index.html</a> | 2010/11/6-2010/11/14  |
| 3  | 日豪国際フォーラム in<br>KOBE       | <a href="http://www.nolift.jp/forum/index2011.php">http://www.nolift.jp/forum/index2011.php</a>   | 2011/2/5              |
| 4  | 第28回日本医学会総会<br>(WEB展示)     | <a href="http://www.isoukai2011.jp/">http://www.isoukai2011.jp/</a>   | 2011/6-               |
| 5  | 国際福祉機器展                    | パナソニックブース出展   | 2011/10/5-2011/10/7   |
| 6  | 国際ロボット展                    | NEDO ブース出展  | 2011/11/9-2011/11/12  |
| 7  | ASEAN ロードショー               | クロージングレセプション出展  | 2012/4/28             |
| 8  | Japan Robot Week           | NEDO ブース出展  | 2012/10/17-2012/10/19 |
| 9  | 国際福祉機器展                    | パナソニックブース出展   | 2013/9/18-2013/9/20   |
| 10 | 国際ロボット展                    | NEDO ブース出展  | 2013/11/6-2013/11/9   |
| 11 | NEDO 成果報告会                 | ISO13482 認証取得   | 2014/2/17             |

■（研究開発項目③）安全技術を導入した配送センター内高速ビークルシステムの開発【(株)ダイフク】

【特許】

| No. | 発明の名称                  | 出願番号        | 出願日       | 発明者                                      | 外国出願                                     |
|-----|------------------------|-------------|-----------|--|--|
| 1   | 物品搬送設備における位置計測システム     | 2012-090592 | 2012/4/11 | 辻本 方則<br>原 義正<br>高川 夏生<br>嵯山 利貞<br>窪田 耕児 |  |
| 2   | 位置計測システム及びそれを備えた物品保管設備 | 2012-211551 | 2012/9/25 |  |  |
| 3   | 位置計測システム及びそれを備えた物品保管設備 | 2012-211552 | 2012/9/25 |  |  |
| 4   | 移動体の姿勢判別システム           | 2012-211553 | 2012/9/25 |  |  |
| 5   | 移動体の姿勢判別システム           | 2012-211554 | 2012/9/25 |  |  |
| 6   | 物品搬送設備                 | 2013-047060 | 2013/3/8  |  | 米国(特願13/859233号)および中国(特願201310122369.5号) |
| 7   | 搬送台車制御システム             | 2013-079873 | 2013/4/5  |  |  |
| 8   | 走行車制御システム              | 2013-088631 | 2013/4/19 |  | 米国および中国に出願書類作成中。                         |
| 9   | 移動体管理システム              | 2013-088632 | 2013/4/19 |  |  |

【外部発表】

(a)学会発表

| 発表年月日      | 発表媒体                  | 発表タイトル   | 発表者                                |
|------------|-----------------------|--|------------------------------------|
| 2011年9月8日  | 第29回日本ロボット学会学術講演会     | 配送センター内高速ビークルシステムの安全技術開発                       | 辻本方則、原義正、辻本和史、高川夏生、渡邊義孝、○嵯山利貞、窪田耕児 |
| 2012年9月20日 | 第30回日本ロボット学会学術講演会     | 配送センター内高速ビークルシステムの安全技術開発(第二報)                  | 辻本方則、原義正、高川夏生、渡邊義孝、○嵯山利貞、窪田耕児      |
| 2013年3月12日 | 生産システム部門研究発表講演会2013   | NEDO:生活支援ロボット実用化プロジェクト配送センター内高速ビークルの安全技術開発のご紹介 | ○嵯山利貞、辻本方則、原義正、高川夏生、渡邊義孝、窪田耕児      |
| 2013年5月23日 | ロボティクス・メカトロニクス講演会2013 | 配送センター内高速ビークルの安全技術開発のご紹介                       | ○嵯山利貞、辻本方則、原義正、高川夏生、渡邊義孝、窪田耕児      |
| 2013年9月4日  | 第31回日本ロボット学会学術講演会     | 配送センターにおける高速AGVの安全技術開発                         | ○窪田耕児、辻本方則、原義正、高川夏生、渡邊義孝、嵯山利貞      |

(b)講演

| 講演年月日       | 講演媒体                         | 講演タイトル              | 講演者  |
|-------------|------------------------------|---------------------|------|
| 2012年9月11日  | 国際物流総合展2012プレゼンテーションセミナー     | 無人搬送車システムの新たな可能性    | 辻本方則 |
| 2013年12月12日 | 第22回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2013) | 特別企画③:物流を勉強するシンポジウム | 辻本方則 |

(c)展示

| 展示会名        | 場所       | 出展期間           |
|-------------|----------|----------------|
| 2011国際ロボット展 | 東京ビックサイト | 2011年11月9日～12日 |
| 2013国際ロボット展 | 東京ビックサイト | 2013年11月6日～9日  |



## ■（研究開発項目③）安全技術を導入した配送センター内のフォーク型物流支援ロボットの開発【(株)日立産機システム、(株)日立製作所】

特許

| 番号 | 出願者                     | 出願番号          | 国内外<br>PCT | 出願日        | 状態 | 名称                   | 発明者                            |
|----|-------------------------|---------------|------------|------------|----|----------------------|--------------------------------|
| 1  | (株)日立製作所                | 特開2013-149296 | 国内         | 平成21年1月28日 | 登録 | 人横断支援通知システム及び人横断支援方法 | 原 祥堯<br>中 拓久哉<br>柄川 素<br>古賀 昌史 |
| 2  | (株)日立製作所<br>(株)日立産機システム | 特開2013-230903 | 国内         | 平成24年4月27日 | 出願 | フォークリフト              | 古川 光治<br>山本 治正<br>中 拓久哉        |

論文

| 番号 | 発表者   | 所属              | タイトル  | 発表誌名、ページ番号                           | 査読 | 発表年月       |
|----|-------|-----------------|---|--------------------------------------|----|------------|
| 1  | 古川 光治 | (株)日立プラントテクノロジー | 安全に配慮したフォークリフト型自律走行型無人搬送車 (NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクトによる技術開発)    | 日本ロボット学会<br>第30回学術講演会<br>402-4       | なし | 2012/09/17 |
| 2  | 正木 良三 | (株)日立産機システム     | 安全技術を導入したフォーク型物流支援ロボットの開発<br>-NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクトによる技術開発- | 日本機械学会<br>ROBOMEC2013<br>1A1-G08     | なし | 2012/05/27 |
| 3  | 禎 修一  | (株)日立産機システム     | 位置同定コンポーネントの開発と精度評価   | 日本機械学会<br>ROBOMEC2013<br>1P1-I04     | なし | 2012/05/27 |
| 4  | 松本 高斉 | (株)日立製作所        | 地図作成・位置同定用コンポーネントの開発と実環境での評価                                | 映像情報メディア学会<br>2013年次大会講演予稿集<br>6-4-1 | あり | 2013/08/28 |

学会発表・講演

| 番号 | 発表者   | 所属              | タイトル  | 発表誌名、ページ番号             | 発表年月       |
|----|-------|-----------------|---|------------------------|------------|
| 1  | 古川 光治 | (株)日立プラントテクノロジー | 安全に配慮したフォークリフト型自律走行型無人搬送車 (NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクトによる技術開発)    | 日本ロボット学会<br>第30回学術講演会  | 2012/09/17 |
| 2  | 正木 良三 | (株)日立産機システム     | 安全技術を導入したフォーク型物流支援ロボットの開発<br>-NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクトによる技術開発- | 日本機械学会<br>ROBOMEC2013  | 2012/05/27 |
| 3  | 禎 修一  | (株)日立産機システム     | 位置同定コンポーネントの開発と精度評価   | 日本機械学会<br>ROBOMEC2013  | 2012/05/27 |
| 4  | 松本 高斉 | (株)日立製作所        | 地図作成・位置同定用コンポーネントの開発と実環境での評価                                | 映像情報メディア学会<br>2013年次大会 | 2013/08/28 |

新聞・雑誌への掲載

| 番号 | 所属          | タイトル                 | 掲載誌名                      | 発表年月       |
|----|-------------|----------------------|---------------------------|------------|
| 1  | (株)日立産機システム | 電子・電気工場の物流を自動化するロボット | 日本電機工業会<br>電機No.768 P. 27 | 2014/02    |
| 2  | (株)日立産機システム | 自律型ロボで部品搬送           | 日刊工業新聞                    | 2012/10/08 |
| 3  | (株)日立産機システム | 部品搬送にロボ導入            | 日刊工業新聞 P. 4               | 2012/11/14 |
| 4  | (株)日立産機システム | 物流搬送作業の自動化を提案        | 包装タイムス P.3                | 2012/12/10 |

■（研究開発項目④）安全技術を導入した人間装着型生活支援ロボットスーツ HAL の開発【CYBERDYNE（株）、筑波大学】

年度毎の特許、論文、外部発表等リストの作成フォーマット

【特許】※リスト例

| 番号 | 出願者                        | 出願番号   | 国内<br>外国<br>PCT | 出願日                    | 状態                   | 名 称                                     | 発明者  |
|----|----------------------------|--|-----------------|------------------------|----------------------|---|------|
| 1  | 筑波大学                       | PCT/JP2009/66364   | PCT             | 2009/9/18              | 公開<br>W0/2010/035706 | 装着式動作補助装置のフレーム構造                        | 山海嘉之 |
| 2  | 筑波大学                       | PCT/JP2009/65825   | PCT             | 2009/9/10              | 公開<br>W0/2010/029966 | 生体信号計測装着具及び装着式動作補助装置                    | 山海嘉之 |
| 3  | 筑波大学                       | 特願 2010-181601   | 国内              | 2010/8/16              | 登録<br>特許 5108922     | 装着式動作補助装置のキャリブレーション装置、及びキャリブレーション用プログラム | 山海嘉之 |
| 4  | CYBERDYNE<br>株式会社          | 特願 2010-290769   | 国内              | 2010/12/27             | 特開<br>2012-135486    | 装着式動作補助装置、そのインターフェース装置およびプログラム          | 山海嘉之 |
| 5  | 筑波大学／<br>CYBERDYNE<br>株式会社 | 特願 2013-502400<br>( 特 願<br>2011-045318 から<br>PCT を経て各国出<br>願へ移行) | 国内              | 2012/3/1<br>(2011/3/2) | 出願                   | 歩行訓練装置及び歩行訓練システム                        | 山海嘉之 |

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

【論文】 ※リスト例

| 番号 | 発表者   | 所属                    | タイトル   | 発表誌名、ページ番号   | 査読 | 発表年月 |
|----|---|-----------------------|--|--|----|------|
| 1  | Tomoyoshi Kawabata, Hozumi Satoh and Yoshiyuki Sankai | University of Tsukuba | Working Posture Control of Robot Suit HAL for Reducing Structural Stress                               | ROBIO 2009 pp. 2013-2018   | 有  | 2009 |
| 2  | Takeru Sakurai and Yoshiyuki Sankai                   | University of Tsukuba | Development of Motion Instruction System with Interactive Robot Suit HAL                               | Proc. of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics pp. 1141-1147 Finalist for Best Student Paper Award 受賞                                 | 有  | 2009 |
| 3  | Masahiro Shingu, and Yoshiyuki Sankai                 | University of Tsukuba | Development of Foot Pressure Feedback System with Functional Electrical Stimulation for Robot Suit HAL | Proc. of 14th Annual Conference of the International FES Society pp. 76-77   | 有  | 2009 |
| 4  | 他 5 件   |                       |  |  |    |      |
| 5  | Tasuku Otsuka and Yoshiyuki Sanka                     | University of Tsukuba | Development of Exo-Finger for Grasp-Assistance   | Proc. of Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems pp. 410-415 | 有  | 2010 |
| 6  | Kousuke Hiramatsu and Yoshiyuki Sankai                | University of Tsukuba | Development of Manipulation System with Cybernic Master  | Proc. of Joint 5th International Conference on Soft Computing and  | 有  | 2010 |

|    |   |                       |   |  |   |      |
|----|---|-----------------------|---|--|---|------|
|    |   |                       | Arm based on BES”   | Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2010) pp. 422-427   |   |      |
| 7  | Hiromasa Hara and Yoshiyuki Sankai  | University of Tsukuba | Development of HAL for Lumber Support   | Proc. of Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2010) pp. 416-421 | 有 | 2010 |
| 8  | Hiroaki Kawamoto, Stefan Taal, Hafid Niniss, Tomohiro Hayashi, Kiyotaka Kamibayashi, Kiyoshi Eguchi, and Yoshiyuki Sankai | University of Tsukuba | Voluntary Motion Support Control of Robot Suit HAL Triggered by Bioelectrical Signal for Hemiplegia | Proc. of 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.462-466.   | 有 | 2010 |
| 9  | Atsushi Tsukahara, Ryota Kawanishi, Yasuhisa Hasegawa and Yoshiyuki Sankai  | University of Tsukuba | Sit-To-Stand and Stand-To-Sit Transfer Support for Complete Paraplegic Patients with Robot Suit HAL | Advanced Robotics, Vol. 24, No. 13   | 有 | 2010 |
| 10 | 佐藤帆紡, 川畑共良, 田中文英, 山海嘉之  | CYBERDYNE 株式会社        | ロボットスーツ HAL による移乗介助動作の支援  | 日本機械学会誌 (C 編)  | 有 | 2010 |
| 11 | 新宮正弘, 江口清, 山海嘉之   | 筑波大学                  | バイオフィードバックを用いたポリオ経験者  | 日本機械学会誌 (C 編), 76 巻, 772 号, pp. 3630-3639  | 有 | 2010 |

|    |  |                       |   |   |   |          |
|----|--|-----------------------|---|---|---|----------|
|    |  |                       | の筋神経系制御能力の改善とロボットスーツ HAL による麻痺肢動作支援   |   |   |          |
| 12 | 佐藤帆紡, 川畑共良, 田中文英, 山海嘉之   | CYBERDYNE 株式会社        | ロボットスーツ HAL による移乗介助動作の支援  | 日本機械学会誌 (C 編), 76 巻, 762 号, pp. 227-235   | 有 | 2010     |
| 13 | Atsushi Tsukahara, Yasuhisa Hasegawa and Yoshiyuki Sankai            | University of Tsukuba | Gait Support for Complete Spinal Cord Injury Patient by Synchronized Leg-Swing with HAL | Proc. of the 2011 IEEE/RSJ Int' l Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), pp. 1737 - 1742 | 有 | 2011     |
| 14 | S.R. Taal and Y. Sankai  | University of Tsukuba | Exoskeletal spine and shoulder girdle for full body exoskeletons with human versatility | Proc. of the International Conference on Robotics and Automation 2011 pp. 2217-2222                   | 有 | May 2011 |
| 15 | Gota Nabeshima, Hiroaki Kawamoto, Yoshiyuki Sanka                    | CYBERDYNE. Inc.       | Typical Risks and Protective Measures of Wearable Walking Assistant Robots              | roceedings of 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration E1-3                       | 有 | 2011     |
| 16 | Hiroaki Kawamoto, Tomoya Shiraki, Tasuku Otsuka and Yoshiyuki Sankai | University of Tsukuba | Meal-Assistance by Robot Suit HAL using Detection of Food Position with Camera          | Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics                              | 有 | 201      |
| 17 | Tasuku Otsuka, Ko Kawaguchi, Hiroaki Kawamoto and Yoshiyuki Sankai   | University of Tsukuba | Development of Upper-limb type HAL and Reaching Movement for Meal-Assistance            | Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2011                        | 有 | 2011     |
| 18 | K. Hasebe, and Y. Sankai   | University of Tsukuba | Stepwise Process of Clinical Trials in Safety-Conscious Development of Human            | Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics                              | 有 | 2011     |

|    |   |                       | Assistive Robots   |  |   |      |
|----|---|-----------------------|--|--|---|------|
| 19 | K. Yamawaki, H. Kawamoto, K. Eguchi, Y. Nakata, Y. Sankai and N. Ochiai | University of Tsukuba | Gait training for a spinal Canal Stenosis Patient using Robot Suit HAL -A Case Report- | Proceedings of the 5th world congress of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine | 有 | 2011 |
| 20 | 林 知広, 岩月 幸一, 山海 嘉之  | CYBERDYNE 株式会社        | 神経・筋活動の制御に支障がある重度対麻痺患者の脚上げ意思推定と歩行アシスト  | 日本機械学会論文集C編, Vol. 77, No. 774, pp. 439-449   | 有 | 2011 |
| 21 | S.R. Taal and Y. Sankai   | University of Tsukuba | Exoskeletal Spine and Shoulders for Full Body Exoskeletons in Health Care              | Advances in Applied Science Research, Vol.2 (6), pp. 270-286   | 有 | 2011 |
| 22 | 林 知広, 岩月 幸一, 山海 嘉之  | CYBERDYNE 株式会社        | 神経・筋活動の制御に支障がある重度対麻痺患者の脚上げ意思推定と歩行アシスト  | 日本機械学会論文集C編, Vol. 77, No. 774 (2011), pp. 439-449  | 有 | 2011 |
| 23 | 長谷部浩二, 河本浩明, 上林清孝, 松下明, 山海嘉之  |                       | 段階的な臨床試験プロセスによる人支援型ロボット開発の提案   | 日本ロボット学会誌, vol.29 (3), pp.14-18  | 有 | 2011 |
| 24 | 山海嘉之, 鍋島厚太, 河本浩明  | 筑波大学                  | ロボットスーツ HAL の安全技術  | 日本ロボット学会誌 Vol.29 No.9 pp.780~ pp.782   | 有 | 2011 |
| 25 | 山田 陽滋, 山海嘉之, 河本浩明, 李秀雄, 鍋島厚太  |                       | パワーアシスト機器の安  | 日本機械学会誌, 114 巻 1106 号, pp. 45-48   | 有 | 2011 |
| 26 | Kousuke Hiramatsu, Yoshiyuki Sankai                                     | University of Tsukuba | Development of 3D Visual Feedback System for Cybernic Master System                    | Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 25-30     | 有 | 2012 |
| 27 | Takumi Taketomi, Yoshiyuki Sankai                                       | University of Tsukuba | Stair Ascent Assistance for Cerebral Palsy with Robot Suit HAL                         | proceedings of the International Symposium on System Integration (SI International 2012,                   | 有 | 2012 |

|    |  |                          |   |  |   |      |
|----|--|--------------------------|---|--|---|------|
|    |  |                          |   | SII2012), pp. 336-331  |   |      |
| 28 | Ryotaro Sabe,<br>Tomohiro<br>Hayashi,<br>Yoshiyuki Sankai  | University<br>of Tsukuba | Visual Feedback<br>System Showing Loads<br>on Handrails for Gait<br>Training  | proceedings of the<br>International Symposium<br>on System Integration (SI<br>International 2012,<br>SII2012), pp. 337-342 | 有 | 2012 |
| 29 | Kanako Yamawaki,<br>Ryohei Ariyasu,<br>Shigeki Kubota,<br>Hiroaki<br>Kawamoto, Yoshio<br>Nakata, Kiyotaka<br>Kamibayashi,<br>Yoshiyuki<br>Sankai, Kiyoshi<br>Eguchi, and<br>Naoyuki Ochiai | University<br>of Tsukuba | Application of Robot<br>Suit HAL to Gait<br>Rehabilitation of<br>Stroke Patients: A<br>Case Study                         | Lecture Notes in Computer<br>Science, Springer, Volume<br>7383, pp. 184-187  | 有 | 2012 |
| 30 | Gota Nabeshima,<br>Hiroaki Kawamoto<br>and Yoshiyuki<br>Sankai   | CYBERDYNE, Inc           | Strength Testing<br>Machines for Wearable<br>Walking Assistant<br>Robots based on Risk<br>Assessment of Robot<br>Suit HAL | Proceedings of 2012 IEEE<br>International Conference<br>on Robotics and<br>Automation (ICRA 2012),<br>pp. 2743-2748        | 有 | 2012 |
| 31 | 林 知広, 岩月<br>幸一, 長谷川 真<br>人, 田上 未来,<br>山海 嘉   | CYBERDYNE 株式<br>会社       | 自力運動困難な麻痺患<br>者に対するロボットス<br>ーツを用いた新しい随<br>意運動訓練—重度脊髄<br>損傷患者への臨床適用<br>—   | 生体医工学, Vol. 50<br>(2012) No. 1, pp. 117-123  | 有 | 2012 |
| 32 | 佐邊綾太郎, 林<br>知広, 山海嘉之   | 筑波大学                     | 視覚情報提示による手<br>すりへの依存荷重フィ<br>ードバックシステムの<br>開発  | 日本機械学会論文集(C<br>編), Vol. 78, No. 792,<br>pp. 3000-3012  | 有 | 2012 |
| 33 | 鍋島厚太, 河本<br>浩明, 山海嘉之   | CYBERDYNE 株式<br>会社       | 装着型歩行補助ロボッ<br>トのリスク分析と安全<br>性試験   | 日本ロボット学会誌,<br>Vol. 30, No. 7-  | 有 | 2012 |

|    |   |  |   |   |   |                     |
|----|---|--|---|---|---|---------------------|
| 34 | 山海嘉之, 桜井尊   | 筑波大学   | 福祉ロボットにおける<br>テレロボティクス  | 日本ロボット学会<br>誌, Vol. 30, No. 6,<br>pp. 595–pp598   | 無 | July<br>2012        |
| 35 | 山海嘉之, 桜井<br>尊   | 筑波大学   | サイバニクスを駆使し<br>た HAL (Hybrid<br>Assistive Limbs) 最前<br>線   | 分子脳血管病, Vol. 11,<br>No. 3, pp. 25–pp34  | 無 | July<br>2012        |
| 36 | Alexsandr<br>Igorovitch<br>Iarov, Hiroaki<br>Kawamoto and<br>Yoshiyuki Sankai                 | University<br>of Tsukuba   | Development of Noise<br>Resistant Hybrid<br>Capacitive–Resistive<br>Electrodes for<br>Wearable Robotics,<br>Computing and Welfare | IROs 2013: IEEE/RSJ<br>International Conference<br>on Intelligent Robots and<br>Systems, pp. 4249–4254, | 有 | 2013                |
| 37 | Minh Tuan Nguyen<br>and Yoshiyuki<br>Sankai   | University<br>of Tsukuba   | Measurement method of<br>interaction force<br>between human and<br>wearable assistive<br>robot based on strain<br>of contact part | SICE Annual Conference<br>2013  | 有 | 2013                |
| 38 | 山海嘉之  | 筑波大学   | ロボット工学とサイバ<br>ニクス先進リハビリテ<br>ーション  | 理療, vol. 42 (3)   | 無 | 2013                |
| 39 | 村田耕一, 松下<br>明, 五月女康作,<br>河本浩明, 山海<br>嘉之   | 筑波大学   | ピン刺激と擦過刺激が<br>可能な MRI 対応感覚刺<br>激装置の開発   | 日本機械学会論文集   | 有 | 2013, (in<br>press) |
| 40 | AKIHIRO<br>KITAMURA,<br>TAKASHI<br>NAMEKAWA,<br>KOUSUKE<br>HIRAMATSU, and<br>YOSHIYUKI SANKAI | Japan Atomic<br>Energy Agency<br>(JAEA),<br>University<br>of Tsukuba | OPERATING<br>MANIPULATOR ARM BY<br>ROBOT SUIT HAL FOR<br>REMOTE IN-CELL<br>EQUIPMENT<br>MAINTENANCE                               | NUCLEAR TECHNOLOGY<br>Vol. 184, pp. 310–319   | 有 | 2013                |
| 41 | Harutoshi<br>Sakakima, Kosei<br>Ijiri, Fumiyo   | Kagoshima<br>University,<br>University                               | A Newly Developed<br>Robot Suit Hybrid<br>Assistive Limb  | Case Reports in<br>Orthopedics, Volume 2013<br>(2013), Article ID 621405                                | 有 | 2013                |



|    |  |  |   |   |   |      |
|----|--|--|---|---|---|------|
|    | Matsuda,<br>Hiroyuki<br>Tominaga,<br>Takanori Biwa,<br>Kazunori Yone,<br>and Yoshiyuki<br>Sankai   | of Tsukuba   | Facilitated Walking<br>Rehabilitation after<br>Spinal Surgery for<br>Thoracic<br>Ossification of the<br>Posterior<br>Longitudinal<br>Ligament: A Case<br>Report |   |   |      |
| 42 | Junji Takahashi,<br>Noel Segura<br>Meraz, Yasuhisa<br>Hasegawa, and<br>Yoshiyuki Sankai  | Nagoya<br>University,<br>University<br>of Tsukuba  | The Discriminant<br>Criteria Detecting<br>Operational<br>Intention from<br>Myoelectricity for<br>Alternative<br>Interface System                                | Transaction on control<br>and mechanical systems,<br>Vol.2, No.1  | 有 | 2013 |
| 43 | Shigeki Kubota,<br>Yoshio Nakata,<br>Kiyoshi Eguchi,<br>Hiroaki<br>Kawamoto,<br>Kiyotaka<br>Kamibayashi,<br>Masataka Sakane,<br>Yoshiyuki<br>Sankai, Naoyuki<br>Ochiai | University<br>of Tsukuba                           | Feasibility of<br>Rehabilitation<br>Training With a Newly<br>Developed Wearable<br>Robot for Patients<br>With Limited Mobility                                  | Archives of Physical<br>Medicine and<br>Rehabilitation, Volume<br>94, No 6, June 2013.<br>(pp1080-1087) | 有 | 2013 |
| 44 | Tetsuya Ueba, Omi<br>Hamada,<br>Toshiyasu Ogata,<br>Tooru Inoue,<br>Etsuji Shiota,<br>and Yoshiyuki<br>Sankai  | Fukuoka<br>University,<br>University<br>of Tsukuba | Feasibility and<br>Safety of Acute Phase<br>Rehabilitation After<br>Stroke Using the<br>Hybrid Assistive Limb<br>Robot Suit                                     | Neurol Med Chir (Tokyo)<br>53, pp287-290  | 有 | 2013 |
| 45 | Tetsuya UEBA, Omi<br>HAMADA, Toshiyasu   | Fukuoka<br>University,                             | Feasibility and<br>Safety of Acute Phase  | Neurol Med Chir (Tokyo)<br>53(5), pp. 287-290   | 有 | 2013 |

|    |   |   |   |  |   |      |
|----|---|---|---|--|---|------|
|    | OGATA, Tooru<br>INOUE, Etsuji<br>SHIOTA, and<br>Yoshiyuki SANKAI  | University<br>of Tsukuba  | Rehabilitation After<br>Stroke Using the<br>Hybrid Assistive Limb<br>Robot Suit   |  |   |      |
| 46 | Mirko Aach,<br>Renate Meindl,<br>Tomohiro<br>Hayashi, Irene<br>Lange, Jan<br>Geßmann, Andre<br>Sander, Volkmar<br>Nicolas, Peter<br>Schwenkreis,<br>Martin<br>Tegenthoff,<br>Yoshiyuki<br>Sankai, Thomas A.<br>Schildhauer                                  | BG University<br>Hospital<br>Bergmannsheil,<br>University<br>of Tsukuba | Exoskeletal<br>Neuro-Rehabilitation<br>in Chronic Paraplegic<br>Patients - Initial<br>Results   | Converging Clinical and<br>Engineering Research on<br>Neurorehabilitation<br>Biosystems & Biorobotics<br>Vol 1, 2013, pp 233-236 | 有 | 2013 |
| 47 | Matthias<br>Sczesny-Kaiser,<br>Oliver Höffken,<br>Silke Lissek,<br>Melanie Lenz,<br>Lara Schlaffke,<br>Volkmar Nicolas,<br>Renate Meindl,<br>Mirko Aach,<br>Yoshiyuki<br>Sankai, Thomas A.<br>Schildhauer,<br>Martin<br>Tegenthoff,<br>Peter<br>Schwenkreis | BG University<br>Hospital<br>Bergmannsheil,<br>University<br>of Tsukuba | Neurorehabilitation<br>in Chronic Paraplegic<br>Patients with the<br>HAL® Exoskeleton -<br>Preliminary<br>Electrophysiological<br>and fMRI Data of a<br>Pilot Study | Converging Clinical and<br>Engineering Research on<br>Neurorehabilitation<br>Biosystems & Biorobotics<br>Vol 1, 2013, pp 611-615 | 有 | 2013 |
| 48 | 山海嘉之, 鍋<br>嵩厚太  | 筑波大学  | ロボットスーツ HAL®<br>福祉用の開発と実用   | 月刊 福祉介護テクノプラ<br>ス 2013年7月号,  | 無 | 2013 |

|    |                        |                |  |  |   |                     |
|----|------------------------|----------------|--|--|---|---------------------|
|    |                        |                |  | pp. 16-18                              |   |                     |
| 49 | 鍋島厚太, 新宮正弘, 河本浩明, 山海嘉之 | CYBERDYNE 株式会社 | 装着型歩行補助ロボットのリスク管理方法: ロボットスーツ HAL® 福祉用の事例 | 日本ロボット学会誌, Vol. 32, No. 5, pp. xxx-xxx | 有 | 2014.<br>(in press) |

【外部発表】※リスト例

(a) 学会発表・講演

| 番号 | 発表者                               | 所属                    | タイトル  | 会議名   | 発表年月       |
|----|-----------------------------------|-----------------------|---|---|------------|
| 1  | 長谷部浩二, 河本浩明, 松下明, 上林清孝, 山海嘉之      | 筑波大学                  | 治験のプロセスを基にした人支援技術開発のための実験プロトコルの策定法                        | 第7回生活支援工学系学会連合大会, pp. 132-133   | 2009       |
| 2  | 松下明, 長谷部浩二, 河本浩明, 上林清孝, 山海嘉之, 松村明 | 筑波大学                  | 医工連携による機器開発のための実験プロトコルの策定法 -ロボットによる人支援技術を中心に-             | 社団法人日本脳神経外科学会 第68回学術総会  | 2009       |
| 3  | Yoshiyuki Sankai                  | University of Tsukuba | Robot Suit HAL based on Cybernetics and Future challenges | The International Conference on Intelligent Robotic Technology and Business Taipei International Robot Show | 2009/8/6   |
| 4  | 山海嘉之                              | 筑波大学                  | HAL 事業化の取り組み  | 産業交流展 2009  | 2009/11/4  |
| 5  | 山海嘉之                              | 筑波大学                  | ロボットスーツの基礎研究と臨床応用   | 日本整形外科学会 基礎学術集会   | 2009/11/5  |
| 6  | 山海嘉之                              | 筑波大学                  | 健康長寿社会を支えるサイバニクス人支援技術                                     | 第47回日本人工臓器学会大会  | 2009/11/14 |
| 7  | Yoshiyuki Sankai                  | University of Tsukuba | Robot Suit HAL based on Cybernetics                       | Volkswagen topmanagement conference   | 2009/12/4  |
| 8  | 山海嘉之                              | 筑波大学                  | HAL の運動失調への応用 (基礎編)                                       | 厚生労働省 運動失調症班 ミニシンポジウム「小脳の   | 2010/1/15  |

|    |                    |      |   |   |           |
|----|--------------------|------|---|---|-----------|
|    |                    |      |   | 機能と、その評価法を探る」   |           |
| 9  | 他 16 件             |      |   |   |           |
| 10 | 塚原 淳, 長谷川 泰久, 山海嘉之 | 筑波大学 | 意思推定機能を有する HAL による完全脊髄損傷患者のための歩行支援<br>-マネキンによる歩行実験- | 第 11 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), pp. 291-294 | 2010      |
| 11 | 佐藤帆紡, 山海嘉之         | 筑波大学 | ロボットスーツ HAL による移乗介助動作支援時の装着者と介助動作対象者に関する基礎的主観評価     | 第 28 回日本ロボット学会 学術講演会, RSJ2010AC2J1-7                    | 2010      |
| 12 | 山海嘉之               | 筑波大学 | リハビリ支援ロボット  | 日本臨床医療福祉学会  | 2010/9/4  |
| 13 | 平松宏介, 山海嘉之         | 筑波大学 | サイバニックマスターームによるマニピュレーションシステムに関する研究                  | 第 9 回情報科学技術フォーラム,                                       | 2010/9/9  |
| 14 | 竹内奨, 山海嘉之          | 筑波大学 | 把持動作支援を可能とする装着型サイバニックハンドの開発                         | 第 9 回情報科学技術フォーラム  | 2010/9/9  |
| 15 | 山海嘉之               | 筑波大学 | サイバニクスを駆使したロボットスーツ HAL 最前線                          | 第 40 回日本臨床神経生理学会学術大会                                    | 2010/11/2 |
| 16 | 山海嘉之               | 筑波大学 | 医療・労働安全・災害医療におけるサイバニックメディケアの貢献 - 現在と将来 -            | 第 58 回日本職業・災害医学会学術大会                                    | 2010/11/6 |
| 17 | 山海嘉之               | 筑波大学 | ロボットスーツのある未来! 最先端人支援・技術が創る健康長寿社会                    | FIRST 最先端サイバニクス 一般シンポジウム                                | 2011/3/26 |
| 18 | 山海嘉之               | 筑波大学 | ロボットスーツ HAL の現状と未来について                              | 第 2 回健康ビジネスセミナー   | 2011/3/23 |
| 19 | 山海嘉之               | 筑波大学 | ロボットスーツのある未来-活力ある「健康長寿」社会                           |   |           |

|    |   |                          |  |  |            |
|----|---|--------------------------|--|--|------------|
| 20 | 他 29 件  |                          |  |  |            |
| 21 | Yamawaki K,<br>Kawamoto H,<br>Nakata Y, Eguchi<br>K, Sankai Y,<br>Ochiai N. | University<br>of Tsukuba | Gait Training for a<br>Spinal Canal Stenosis<br>Patient using Robot<br>Suit HAL -A Case<br>Report- | 6th World Congress of the<br>International Society of<br>Physical &<br>Rehabilitation Medicine<br>(ISPRM) World Congress,<br>Puerto Rico | 2011       |
| 22 | 山海嘉之  | 筑波大学                     |  | 日本医工学治療学会 第 27<br>回学術大会  | 2011/4/23  |
| 23 | 山海嘉之  | 筑波大学                     |  | Entrepreneurship in<br>Asian High-Tech<br>Industries Stanford  | 2011/5/17  |
| 24 | 山海嘉之  | 筑波大学                     |  | JSPS-NRCT Seminar at<br>Research Expo 2011<br>"Advanced technology in<br>Japan"  | 2011/8/27  |
| 25 | 山海嘉之  | 筑波大学                     |  | 第 29 回 日本ロボット学会<br>学術講演会   | 2011/9/8   |
| 26 | 山海嘉之  | 筑波大学                     |  | 国立大学病院医療安全管<br>理協議会総会  | 2011/10/20 |
| 27 | 山海嘉之  | 筑波大学                     |  | 日韓サービスロボットワ<br>ークショップ(2011 国際ロ<br>ボット展)  | 2011/11/11 |
| 28 | 山海嘉之  | 筑波大学                     |  | Robotica 2011<br>Milan, Italy  | 2011/11/17 |
| 29 | 他 3 3 件   |                          |  |  |            |
| 30 | 山海嘉之  | 筑波大学                     | 人や社会のためのイノ<br>ベーションスパイラル<br>～『ロボットスーツ HAL』<br>の開発から事業展開ま<br>で～                                     | 平成 24 年度 産業・技術委<br>員   | 2012/4/11  |
| 31 | Yoshiyuki<br>Sankai   | 筑波大学                     | Recent advances of<br>HAL (Hybrid assistive<br>limb) and clinical                                  | Symposium World Congress<br>Orthopaedie+Reha-tech<br>nik 2012  | 2012/5/16  |

|    |                                |                          |   |  |            |
|----|--------------------------------|--------------------------|---|--|------------|
|    |                                |                          | applications  |  |            |
| 32 | 山海嘉之                           | 筑波大学                     | ロボットスーツ HAL の現状と小児神経への展開  | 第 54 回日本小児神経学会<br>総  | 2012/5/19  |
| 33 | Yoshiyuki<br>Sankai            | University<br>of Tsukuba | Leading Edge of<br>HAL (Hybrid Assistive<br>Limb) and Clinical<br>Applications              | Med Tech Pharma 2012   | 2012/7/5   |
| 34 | 山海嘉之                           | 筑波大学                     | ロボットスーツが未来<br>を変える！医療・福祉・<br>介護分野へー新産業創<br>出への挑戦  | 第 116 回夏期全国経営者大<br>会   | 2012/7/12  |
| 35 | 山海嘉之                           | 筑波大学                     | ロボットスーツ HAL と臨<br>床応用への展開   | 第 5 回アジア義肢装具学術<br>大会 (APOS2012)  | 2012/8/4   |
| 36 | 鍋島厚太, 新宮<br>正弘, 河本浩<br>明, 山海嘉之 | CYBERDYNE<br>株式会社        | CYBERDYNE のリスク管理<br>方法と安全規格への貢<br>献   | 第 30 回日本ロボット学会<br>学術講演会予稿集, 402-5,<br>北海道  | Sep, 2012  |
| 37 | 山海嘉之                           | 筑波大学                     | ロボットスーツ HAL の脊<br>髄損傷患者への適用<br>Robot Suit HAL and<br>Applications for SCI<br>patients       | 第 47 回日本脊髄障害医学<br>会  | 2012/10/25 |
| 38 | 山海嘉之                           | 筑波大学                     | 大学の持続成長とイノ<br>ベーション   | SSC2012 サミット：大学財<br>務資産運用カンファレ<br>ンス   | 2012/11/6  |
| 39 | Yoshiyuki<br>Sankai            | University<br>of Tsukuba | Cybernetics: fusion of<br>Human , Machine and<br>Information ~Robot<br>Suit for the Future~ | SIMPAR 2012<br>(International<br>Conference on<br>Simulation, Modeling,<br>and Programming for<br>Autonomous Robots ), | 2012/11/7  |
| 40 | 山海嘉之                           | 筑波大学                     | ロボットスーツ HAL の市<br>場拡大に向けた取組   | 健康ビジネスサミットう<br>おぬま会議 2012  | 2012/11/14 |
| 41 | 山海嘉之                           | 筑波大学                     | サイバニクス国際医療<br>開発拠点形成と HAL によ<br>る次世代ニューロリハ<br>への展開  | つくば医工連携フォーラ<br>ム   | 2013/1/29  |

|    |   |                       |   |  |           |
|----|---|-----------------------|---|--|-----------|
| 42 | Yoshiyuki Sankai  | University of Tsukuba | Introduction of the neurologic controlled HAL Robot Suit System                             | Trauma Conference of the Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung                                     | 2013/3/15 |
| 43 | 他 32 件  |                       |   |  |           |
| 44 | 鍋島厚太  | CYBERDYNE 株式会社        | CYBERDYNE のリスク管理: リスクアセスメントのリスク再見積の事例   | ロボットビジネス推進協議会 サービスロボットのリスクアセスメントに関するセミナー   | 2012/12/5 |
| 45 | Murata, K., Mastushita, A., Saotome, K., Kawamoto, H., Matsumura, A., Sankai, Y | 筑波大学                  | Development of an MR-Compatible Sensory Stimulation Device                                  | The 42th Annual Meeting of The Japanese Society of Neuroradiology, International Session, Kitakyushu | 2013      |
| 46 | Yoshiyuki Sankai  | University of Tsukuba | The Future of Robots : Japan' s Robot Revolution  | Harvard Asia Business Conference 2013  | 2013/4/13 |
| 47 | 鍋島厚太, 河本浩明, 山海嘉之  | CYBERDYNE 株式会社        | 装着型歩行補助ロボットのための ISO 13482 要求分析  | ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (ROBOMECH2013), 1A1-H09, 茨城   | May, 2013 |
| 48 | Yoshiyuki Sankai  | University of Tsukuba | Robot Suit HAL and Clinical Applications for Locomotor Disorder                             | 2nd joint world congress of ISPGR and Gait & Mental Function   | 2013/6/26 |
| 49 | 山海嘉之  | 筑波大学                  | イノベーションで成長を実現－変革の実践者に学ぶ   | 成長戦略タスクフォース主催 パネルディスカッション  | 2013/7/19 |
| 50 | Yoshiyuki Sankai  | University of Tsukuba | Cybernetics : fusion of human, machine and information systems ~ Challenges for the future~ | International Conference of International Association of Societies of Design Research 2013           | 2013/8/27 |
| 51 | 鍋島厚太, 新宮正弘, 河本浩明, 山海嘉之  | CYBERDYNE 株式会社        | ISO/DIS 13482 認証による装着型生活支援ロボットの安全性評価  | 第 31 回日本ロボット学会 学術講演会予稿集, 1A3-01, 東京  | Sep, 2013 |
| 52 | Yoshiyuki   | University            | Innovating for Healthy  | Annual Meeting of the New  | 2013/9/12 |

|    |                  |                       |   |   |            |
|----|------------------|-----------------------|---|---|------------|
|    | Sankai           | of Tsukuba            | Living, World Economic Forum  | Champions 2013  |            |
| 53 | Yoshiyuki Sankai | University of Tsukuba | Open General Session  | The 2013 American Orthotic Prosthetic Association (AOPA) O&P World Congress | 2013/9/19  |
| 54 | 山海嘉之             | 筑波大学                  | 少年のころからの夢とロボットスーツ HAL の開発, 最先端技術の重度障害児者への応用                           | 第 39 回重症心身障害学会 学術集会   | 2013/9/26  |
| 55 | Yoshiyuki Sankai | University of Tsukuba | Public Health / Nursing “Global Challenges in Public Health & Nursing | Tsukuba Global Science Week 2013  | 2013/10/3  |
| 56 | 山海嘉之             | 筑波大学                  | 日本・スイスクラスタースィンポジウム  | Case Study 8 for future collaboration                                       | 2013/10/29 |
| 57 | Yoshiyuki Sankai | University of Tsukuba | Robot Suit for Nuclear Facilities in Radioactive Environments         | IEEE IROS2013   | 2013/11/3  |
| 58 | 山海嘉之             | 筑波大学                  | 脳・神経・筋系の機能再生のための新たな医療機器「ロボットスーツ HAL 医療用」                              | PMDA 薬事戦略フォーラム  | 2013/11/19 |
| 59 | 山海嘉之             | 筑波大学                  |   | TEDxTsukuba「一期一会」   | 2013/12/8  |
| 60 | 山海嘉之             | 筑波大学                  | 世界初サイボーグ型ロボット「ロボットスーツ HAL」で未来を変える！！                                   | 第 127 回 全国経営者セミナー   | 2014/1/24  |
| 61 | 山海嘉之             | 筑波大学                  | 医工融合によるサイバニクス国際医療開発拠点形成   | つくば医工連携フォーラム  | 2014/1/28  |
| 62 | 山海嘉之             | 筑波大学                  | 医療・介護ロボットの現状と可能性  | 一般社団法人 医療介護福祉政策研究フォーラム (虎の門フォーラム)   | 2014/2/20  |
| 63 | 他 38 件           |                       |   |   |            |



|    |      |                   |   |   |            |
|----|------|-------------------|---|---|------------|
| 64 | 鍋島厚太 | CYBERDYNE<br>株式会社 | リスクアセスメントの<br>実例：ロボットスーツ<br>HAL®福祉用の場合        | 経済産業省 グローバル認<br>証基盤整備事業 先端分野<br>に係る機能安全に関する認<br>証システム基盤整備事業<br>機能安全に係る人材育成セ<br>ミナー 応用・実技領域 生<br>活支援ロボット分野, リ<br>スクアセスメント (実習)<br>事例紹介 | 2013/11/19 |
| 65 | 鍋島厚太 | CYBERDYNE<br>株式会社 | ISO/DIS 13482 認証の事<br>例：ロボットスーツ<br>HAL®福祉用の場合 | ロボット産業振興会議・北<br>九州市介護ロボット普及推<br>進会議, 医療・介護ロボッ<br>トセミナー パーソナルケ<br>アロボット 安全認証とそ<br>の事例  | 2014/1/22  |
| 66 | 鍋島厚太 | CYBERDYNE<br>株式会社 | サービスロボットの開<br>発～安全性認証の実際                      | サービス・ロボットの安全<br>性 (ISO 13482) 説明会   | 2014/3/5   |

(b)新聞・雑誌等への掲載

| 番号 | 所属                      | タイトル                                      | 掲載誌名   | 発表年月      |
|----|-------------------------|---|--|-----------|
| 1  | 筑波大学/CYBERDYNE 株<br>式会社 | イノベーションの芽 育てられぬ<br>日本 装着型ロボ 普及のハード<br>ル高く | 日経ネットPlus  | 2009/7/6  |
| 2  | 筑波大学/CYBERDYNE 株<br>式会社 | 生活支援ロボット実用化へ安全基<br>準づくり                   | 産経新聞   | 2009/8/3  |
| 3  | 筑波大学/CYBERDYNE 株<br>式会社 | 生活支援ロボ 実用化へ安全基準<br>づくり                    | 産経新聞   | 2009/8/4  |
| 4  | 筑波大学/CYBERDYNE 株<br>式会社 | Development of "Robot Suit HAL"           | Attractive Sectors<br>Medical Care (Jetro<br>発行), pp. 11 | 2009/9    |
| 5  | 筑波大学/CYBERDYNE 株<br>式会社 | 生活支援ロボ実用化 三洋電・独バ<br>イエル参加 筑波大が国際研究拠<br>点  | 日刊工業新聞   | 2009/9/16 |
| 6  | 筑波大学/CYBERDYNE 株<br>式会社 | ロボットスーツ、医療機関に リハ<br>ビリ支援県が18体貸与へ          | 読売新聞, pp. 30 (地<br>域版)                                   | 2009/10/3 |

|    |  |  |   |            |
|----|--|--|---|------------|
| 7  | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | SUPER VISION ロボット社会への第一歩, 公共の場ではじめてロボットスーツの歩行実験が行なわれた                                  | Newton, pp.16-17                                | 2009/11月号  |
| 8  | University of Tsukuba/<br>CYBERDYNE. Inc | Japansk robotfirma abner dansk kontor (英訳: Japanese robot company opens Danish office) | Borsen (デンマークの経済紙) pp.14-pp. 15                 | 2009/11/26 |
| 9  | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | Japanese Robotics Firm Cyberdyne to Establish Presence in Denmark                      | Invest In Denmark                               | 2009/11/30 |
| 10 | 他 54 件                                   |  |   |            |
| 11 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | Un 'casco' que lee actividad cerebral, último complemento para el traje-robot          | EL MUND.es (スペインエル・ムンド紙)<br>[URL]               | 2011/3/9   |
| 12 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 社会の新たな課題解決への挑戦~科学・技術への期待, 首相官邸ブログ (KUN-FULL BLOG)                                      | 首相官邸ブログ (KUN-FULL BLOG)<br>[URL]                | 2011/3/10  |
| 13 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 2台連動型のロボットスーツ=リハビリに应用期待—筑波大学   | 時事ドットコム<br>[URL]                                | 2011/3/10  |
| 14 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | パワフル 未来の助っ人  | 読売経済新聞/p. 24                                    | 2011/3/10  |
| 15 | University of Tsukuba/<br>CYBERDYNE. Inc | Cyberdyne demos lower-body HAL exoskeleton for helping the disabled                    | not eradicating mankind<br>Engadget[URL]        | 2011/3/15  |
| 16 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 現代の発明家から次世代へのリレーメッセージ「健康長寿社会を支える最先端人支援ロボット ロボットスーツ HAL」                                | 特許庁 [URL]                                       | 2011/3/15  |
| 17 | 他 147 件                                  |  |   |            |
| 18 | University of Tsukuba/<br>CYBERDYNE. Inc | Roboteranzug soll Querschnittsgelähmte gehen lassen                                    | Financial Times<br>Deutschland                  | 2011/05/26 |
| 19 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 科学者たちのメッセージ・16歳のきみへ 装着すれば誰でもパワーUP! 世界初の「ロボットスーツ」                                       | 大学受験講座「Encollege」物理・理系難問6月号(ベネッセコーポレーション) p. 52 | 2011/6/01  |

|    |  |   |   |            |
|----|--|---|---|------------|
| 20 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | ロボットスーツ HAL 既に自律動作支援に活用   | MedicalTribune p. 33                    | 2011/7/28  |
| 21 | University of Tsukuba/<br>CYBERDYNE, Inc | Robot Suit HAL: The World-Leading Human-Assistive Robot<br>Contributing to a Long -Lived and Healthy Society - Dr. Yoshiyuki Sankai | 特許庁ホームページ<br>(英語版)                      | 2011/7/29  |
| 22 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | ロボで手足動作回復: 今秋に欧州で臨床試験   | 日本経済新聞 全国版                              | 2011/08/22 |
| 23 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 日本のロボットスーツ、ドイツ健康市場のチャンス   | Germany Investment MAGAZINE p. 4        | 2011/11    |
| 24 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 人を幸せにするテクノロジー バージンロード 歩けた 筑波大教授 開発 ロボットスーツで訓練   | 毎日新聞 p. 7                               | 2012/1/1   |
| 25 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 人間の身体機能を増幅・強化するパワーアシストスーツ   | 技術・家庭 技術分野(中学校技術・家庭科用教科書)(教育図書) p. 135  | 2012/2/5   |
| 26 | 他 147 件                                  |   |   |            |
| 27 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 医療機器品質管理国際規格認証取得 サイバーダイン  | 毎日新聞 朝刊 25 ページ                          | 2013/1/22  |
| 28 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | サイバーダイン: 医療機器品質管理の国際規格認証取得/茨城   | 掲載 web : Yahoo!<br>JAPAN ニュース<br>(毎日新聞) | 2013/1/22  |
| 29 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 「ロボットスーツ」機器企業 医療機器品質 ISO 取得   | 読売新聞 朝刊 35 ページ                          | 2013/1/22  |
| 30 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | サイバーダイン 医療用 HAL 国際規格 ISO 取得 つくば 国内外、臨床試験可能に   | 茨城新聞 朝刊 20 ページ                          | 2013/1/22  |
| 31 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | つくばのベンチャー・サイバーダイン 医療機器の国際規格取得 ロボットの活用へ弾み  | 朝日新聞 朝刊 29 ページ                          | 2013/1/22  |
| 32 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | ロボスーツを医療機器に つくばのサイバーダイン社 品質管理の国際規格取得  | 常陽新聞 朝刊 1 ページ                           | 2013/1/22  |

|    |  |  |   |                          |
|----|--|--|---|--------------------------|
| 33 | University of Tsukuba/<br>CYBERDYNE. Inc | Japan robot suit gets global safety certificate              | 掲載 Web : SPACE DAILY (USA)                  | 2013/2/27                |
| 34 | University of Tsukuba/<br>CYBERDYNE. Inc | HAL Robotic Suit Gets International Safety Certificate       | 掲載 Web : Popular Science                    | 2013/2/27                |
| 35 | University of Tsukuba/<br>CYBERDYNE. Inc | Robotic Exoskeleton Gets Safety Green Light                  | 掲載 Web : Discovery News                     | 2013/2/27/               |
| 36 | University of Tsukuba/<br>CYBERDYNE. Inc | Japan robot suit gets global safety certificate              | 掲載 Web : Phys.org                           | 2013/2/27                |
| 37 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 生活支援ロボットに国際規格  | 掲載 Web : NHK ONLINE (首都圏版)                  | 2013/2/27                |
| 38 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 生活支援ロボットが国際認証  | 掲載 Web : NHK ONLINE (水戸放送局版)                | 2013/2/27                |
| 39 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 「ロボットスーツ HAL 福祉用」「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の成果を基に、世界に先駆け国際安全規格の認証取得 | 経産新報, 1 ページ                                 | 2013/3/5                 |
| 40 | 他 207 件                                  |  |   |                          |
| 41 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 最先端サイバニクスを活用し医療機器として“人支援産業”の創出を                              | 掲載 Web : 経済産業省 HP 2013 年版ものづくり白書 P. 150-151 | 2013/6/7                 |
| 42 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 話の肖像画 ロボットスーツ「HAL」開発者・山海嘉之 (55) (1) ~ (5)                    | 産経新聞  | 2013/6/24-2013/6/28      |
| 43 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 介護ロボ 開発・導入支援 厚労省、施設に企業紹介                                     | 日本経済新聞 P. 4                                 | 2013/7/6                 |
| 44 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 深層断面「医療・介護ロボ」実用化へ着々  | 日刊工業新聞 P. 1                                 | 2013/11/4                |
| 45 | 筑波大学/CYBERDYNE 株式会社                      | 人間発見 筑波大学大学院教授 山海嘉之さん ロボットで未来を開拓 (1) ~ (5)                   | 日本経済新聞                                      | 2013/12/9~<br>2013/12/13 |
| 46 | 他 261 件                                  |  |   |                          |

## (c) その他 (同様の形式で表を作成する)

|    |         |                                  |  |  |
|----|---------|----------------------------------|--|--|
| 番号 |         |                                  |  |  |
| 1  | テレビ放映資料 | NHK 総合テレビ「経済ワイド vision e」        | NHK  | 2009/7/18  |
| 2  |         | TBS みのもんたの朝ズバッ!                  | TBS  | 2010/1/5   |
| 3  |         | NHK 首都圏ネットワーク                    | NHK  | 2010/4/8 18 :<br>10-19 : 00                          |
| 4  |         | 「財部ビジネス研究所」                      | BS 日テレ   | 2010/9/30<br>22:00-22:54,<br>10/3 9:00-9:54          |
| 5  |         | すこやか介護 (たかとりじゅんの「ビタミンJ」)         | ラジオ (AM), 茨城放送 : 水戸局 1197 kHz 土浦県西中継局 1458 kHz | 2010/12/31 10:05-                                    |
| 6  |         | HK, 東証ベンチャーフォーラム                 | NHK  | 2011/1/19 19:00-                                     |
| 7  |         | ラヂオつくば                           | 地域情報番組「Wh@t?tsukuba!」                          | 2011/3/3<br>12 : 30-40                               |
| 8  |         | 「ブレークスルーに挑むノトップサイエンティストからのメッセージ」 | NHK 教育   | 2011/05/21<br>14:00-14:59                            |
| 9  |         | 「夢の扉+」                           | TBS テレビ  | 2012/01/08<br>18 : 30-19 : 00                        |
| 10 |         | 「CHANGE MAKERS 変革者たち」            | テレビ東京, テレビ大阪<br><br>テレビ愛知                      | 2011/04/10<br>22:48-52<br><br>2011/04/11<br>21:54-58 |
| 11 | 他 14 件  |                                  |  |  |
| 12 |         | おはよう日本                           | NHK  | 2013/1/25<br>6 : 00-                                 |
| 13 |         | NEWSLINE・NL20                    | NHK ワールド                                       | 2013/2/13<br>20:00-                                  |

|    |        |   |   |                                  |
|----|--------|---|---|----------------------------------|
| 14 |        | おはよう日本  | NHK 総合  | 2012/5/19<br>14:00-15:30         |
| 15 |        | ワールドビジネスサテライト   | テレビ東京   | 2012/6/5<br>4:30-5:00, 5:00-6:00 |
| 16 | 他6件    |   |   |                                  |
| 17 |        | プロフェッショナル 仕事の流儀   | NHK 総合  | 2013/1/20<br>22:00-22:48         |
| 18 |        | NEWSLINE 「Walking with Medical Robots」                                | NHK ワールド  | 2013/4/19                        |
| 19 |        | Through The Wormhole With Morgan Freeman                              | Science Channel<br>(Discovery Channel 系列)                               | 2013/7/10<br>22:00-              |
| 20 |        | はなまるマーケット「こだわりサーチ」  | TBS   | 2013/11/7                        |
| 21 |        | プライムニュース  | BS フジ   | 2013/11/28                       |
| 22 | 他23件   |   |   |                                  |
| 23 | 展博への出展 | DIGITAL CONTENT EXPO 2009   | 日本科学未来館（東京都）、経済産業省／（財）デジタルコンテンツ協会                                       | 2009/10/22-25                    |
| 24 |        | ジャパン・クリエイティブ・センター開所式 オープニングイベント「ジャパン・グッド・デザイン」展（鳩山総理およびリー・シェン・ロン首相出席） | ジャパン・クリエイティブ・センター（シンガポール）、在シンガポール日本国大使館                                 | 2009/11/14                       |
| 25 |        | Seminar: "Innovative Technology in Neurorehabilitation"               | DS Auditorium（スウェーデン）、スウェーデン大使館／Karolinska Institute Danderyds Hospital | 2009/11/16                       |
| 26 |        | 2009 国際ロボット展, 東京ビッグサイト  | 社団法人日本ロボット工業会／日刊工業  | 2009/11/25-28                    |

|    |         |   |                                    |                    |
|----|---------|---|------------------------------------|--------------------|
|    |         |   | 新聞社                                |                    |
| 27 | 他 2 2 件 |   |                                    |                    |
| 28 |         | 上海万博  | 上海、中国                              |                    |
| 29 |         | 日中友好 4 0 周年記念事業 活力<br>日本展～日本新万象～                          | 上海、中国                              | 2012/02/24-26      |
| 30 |         | 日独交流 150 周年記念経済展  |                                    | 2011/05/24 - 05/28 |
| 31 |         | 「TOP OF THE TOP ! - 世界の頂点<br>をめざす研究者 30 名」展               | 東京                                 | 2011/06/11- 07/24  |
| 32 |         | 文部科学省：ロボットスーツ HAL 常<br>設展示・実                              | 東京                                 | 2011/08/12- 08/18  |
| 33 |         | 2011 国際ロボット展  | 東京                                 | 2011/11/09-11/12   |
| 34 |         | AAAS 総会への出展   | Vancouver, CA                      | 2012/02/16-20      |
| 35 | 他 6 件   |   |                                    |                    |
| 36 |         | ASEAN ロードショー  | 東京                                 | 2012/04/25-28      |
| 37 |         | Symposium World Congress<br>Orthopaedie+Reha-technik 2012 | Leipzig Messe,<br>Leipzig, Germany | 2012/05/16         |
| 38 |         | 科学技術が創り出す未来   | 新潟県立自然科学<br>館, 新潟                  | 2012/06/02         |
| 39 |         | 第 7 回高齢者福祉研究大会 アクテ<br>ィブ福祉 in 東京                          | 東京                                 | 2012/09/26         |
| 40 |         | CEATEC JAPAN 2012   | 千葉                                 | 2012/10/02-06      |
| 41 |         | メディカルクリエーションふくし<br>ま                                      | 福島                                 | 2012/11/28         |
| 42 | 他 45 件  |   |                                    |                    |
| 43 |         | 国際ロボット展,  | 東京                                 | 2013/11/6-9        |
| 44 |         | MEDICA (医療機器展@ドイツ)  | ドイツ                                | 2013/11/20-23      |
| 45 | 他 28 件  |   |                                    |                    |
| 46 | 受賞実績    | 平成 2 1 年度全国発明<br>2 1 世紀発明賞                                | 山海嘉之<br>CYBERDYNE 株式会社,<br>筑波大学    | 2009/7             |

|    |  |  |   |         |
|----|--|--|---|---------|
| 47 |  | 10 NetExplorateurs of the Year,<br>Robot Suit HAL            | CYBERDYNE 株式会社,<br>筑波大学                   | 2011/2  |
| 48 |  | 2010 年度「アントレプレナー・オ<br>ブ・ザ・イヤー・ジャパン チャ<br>レンジング・スピリット部門大<br>賞 | 山海嘉之 CYBERDYNE<br>株式会社                    | 2010/12 |
| 49 |  | いばらきデザインセレクション<br>2010 知事選定受賞                                | Robot Suit HAL<br>CYBERDYNE 株式会社,<br>筑波大学 | 2010/12 |
| 50 |  | 平成 22 年度茨城県表彰・特別功労<br>賞受賞                                    | 山 海 嘉 之 ,<br>CYBERDYNE 株式会社,<br>筑波大学      | 2010/11 |
| 51 |  | CHANGEMAKERS OF THE YEAR 2010                                | 研 究 者 部 門 ,<br>山海嘉之 CYBERDYNE<br>株式会社     | 2010/5  |
| 52 |  | Technology Pioneer 2014                                      | World Economic<br>Forum (ダ<br>ボス会議)       | 2013/9  |



■（研究開発項目④）安全技術を導入した歩行アシストの開発  
【(株) 本田技術研究所】

【特許】

出願無し。

【論文】

発表無し。

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

| 番号 | 発表者  | 所属         | タイトル   | 会議名                             | 発表年月                   |
|----|------|------------|--|---------------------------------|------------------------|
| 1  | 及川清志 | (株)本田技術研究所 | 市民公開シンポジウム「生活支援モビリティ～ユニバーサルなモビリティ～の展開を期して」における「リズム歩行アシストの開発」 | 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2012        | 2012/11/04             |
| 2  | 及川清志 | (株)本田技術研究所 | 生活支援ロボット実用化プロジェクト 安全技術を導入した人間装着型生活支援ロボットの開発<br>ーリズム歩行アシストの開発 | ロボテイクスメカトロニクス講演会 2013in Tsukuba | 2013/05/22--2013/05/25 |
| 3  | 松田広志 | (株)本田技術研究所 | 生活支援ロボット実用化プロジェクト 安全技術を導入した人間装着型生活支援ロボットの開発<br>ーリズム歩行アシストの開発 | 2013 国際ロボット展                    | 2013/11/06--2013/11/09 |
| 4  | 松田広志 | (株)本田技術研究所 | 安全技術を導入した歩行アシストの開発   | 生活支援ロボット実用化プロジェクト成果報告会          | 2014/02/18             |

(b) 新聞・雑誌等への掲載

| 番号 | 分類   | タイトル          | 掲載誌名        | 発表年月       |
|----|------|---------------|-------------|------------|
| 1  | 報道記事 | 「アシモ」の技高齢者お助け | 朝日新聞, p.5   | 2012/07/30 |
| 2  | 報道記事 | ホンダ医療機関に提供    | 日本経済新聞, p.9 | 2012/07/30 |
| 3  | 報道記事 | 歩行アシスト開発      | 読売新聞, p.7   | 2012/07/30 |

|    |      |                 |                      |            |
|----|------|-----------------|----------------------|------------|
| 4  | 報道記事 | ホンダ、歩行支援機器      | 産経新聞, p.10           | 2012/07/30 |
| 5  | 報道記事 | 介護予防にアシモ技術      | 東京新聞, p.3            | 2012/07/30 |
| 6  | 報道記事 | 介護予防にアシモ技術      | 毎日新聞, p.11           | 2012/07/30 |
| 7  | 報道記事 | ホンダ歩行支援ロボ       | 日経産業新聞, p.3          | 2012/07/30 |
| 8  | 報道記事 | 歩行アシストロボ 40 台提供 | 日刊工業新聞, p.7          | 2012/07/30 |
| 9  | 報道記事 | 介護予防に ASIMO 技術  | フジサンケイビジネスアイ,<br>p.4 | 2012/07/30 |
| 10 | 報道記事 | 「歩行アシスト」開発      | 日刊自動車新聞, p.1         | 2012/07/30 |
| 11 | 報道記事 | アシモの技術 介護予防に活用  | SANKEI EXPRESS, p.7  | 2012/07/30 |

(c) その他メディア

| 番号 | メディア  | 番組／タイトル             | 放送局 | 放映日        |
|----|-------|---------------------|-----|------------|
| 1  | テレビ放送 | NHK ニュース            | NHK | 2012/07/30 |
| 2  | テレビ放送 | サキどり↑ DX60 分スペシャル版! | NHK | 2014/01/06 |
| 3  |       |                     |     |            |

■（研究開発項目⑤）搭乗型生活支援ロボットにおけるリスクアセスメントと安全機構の開発【トヨタ自動車株式会社】

| 公開月                       | イベント名称            | 場所               |
|---------------------------|-------------------|------------------|
| 2010/02/10<br>-2010/02/20 | 人とロボットのスペシャルコンサート | アムラックス、<br>メガウェブ |
| 2010/02/27                | 豊田市発明クラブ          | 愛・地球博記念公園        |
| 2010/03/01<br>-2010/03/02 | 次世代モビリティフォーラム     | 名古屋国際会議場         |
| 2010/10                   | 豊田市実証実験           | 豊田市駅前            |
| 2011/04/19<br>-2011/04/28 | 上海モーターショー         | 中国上海             |
| 2011/06/05                | HUREAIday         | トヨタスポーツセンター      |
| 2011/07/22<br>-2011/07/31 | インドネシアモーターショー     | インドネシア           |
| 2011/08/22<br>-2011/10/14 | Winglet 実証実験      | カラフルタウン岐阜        |
| 2011/09/23<br>-2011/09/25 | モリコロパーク秋祭り        | 愛地球博記念公園         |
| 2011/10/02                | TES フェスティバル       | トヨタスポーツセンター      |
| 2011/10/17<br>-2011/10/28 | Winglet 実証実験      | 豊田市交通安全センター      |
| 2011/11/01                | ロボット発表会           | メガウェブ            |
| 2011/11/14                | ロボット発表会           | ラスベガススピードウェイ     |
| 2011/11/27                | ガスレーシングフェスティバル    | 富士スピードウェイ        |
| 2011/11/30<br>-2011/12/11 | 東京モーターショー         | 東京ビッグサイト         |
| 2011/12/06<br>-2011/12/07 | プリウスカップ           | 富士スピードウェイ        |
| 2012/01/04<br>-2012/01/22 | タイBOIフェア          | バンコク             |
| 2012/01/25                | ロボット発表会           | ポートメッセ名古屋        |
| 2012/03/31<br>-2012/04/01 | サイクリングロード完成       | モリコロパーク          |

| 公開月                       | イベント名称                             | 場所                  |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------|
| 2012/04/19<br>-2012/04/21 | EV・PHV サミット                        | 朱鷺メッセ（新潟）           |
| 2012/04/23<br>-2012/05/02 | 北京モーターショー                          | 中国北京                |
| 2012/06/14                | AFFITN（医学学会）                       | ANA クラウンプラザ<br>（金山） |
| 2012/09/20<br>-2012/09/30 | インドネシアモーター<br>ショー                  | インドネシア              |
| 2012/10/17<br>-2012/10/19 | JAPAN ROBOT<br>WEEK                | 東京ビックサイト            |
| 2012/11/15<br>-2012/11/16 | 明知<br>スキル<br>アップセミナー               | 豊田市                 |
| 2012/11/16<br>-2012/11/18 | あいち次世代ロボットフ<br>ェスタ                 | モリコロパーク             |
| 2012/11/30<br>2012/12/01  | ものづくり博2012IN<br>東三河                | 豊橋総合体育館             |
| 2013/02/14<br>2013/02/15  | くまもと産業ビジネスフ<br>ェア                  | グランメッセ熊本            |
| 2013/05/11<br>2013/05/12  | ドライブ王国 2013in 福島                   | ビッグパレットふくしま         |
| 2013/10/02<br>-2013/11/15 | Winglet 実証評価                       | ららぽーと<br>TOKYO-BAY  |
| 2013/10/06                | T E S フェスタ                         | トヨタスポーツセンター         |
| 2013/10/12<br>2013/10/13  | にしお産業物産フェア                         | 西尾市文化会館             |
| 2013/10/24<br>-2013/11/08 | Winglet 業務利用追従                     | ヴィーナスフォート           |
| 2013/11/21<br>-2013/11/22 | 海外メディアトリップ対<br>応<br>(Winglet 試乗対応) | 西浦モーターパーク           |

■（研究開発項目⑤）搭乗型生活支援ロボットにおけるリスクアセスメントと安全機構の開発 【独立行政法人国立長寿医療研究センター】

(1) 研究発表・講演

| 発表年月日       | 発表媒体                                       | 発表タイトル   | 発表者   |
|-------------|--|--|---|
| 2009年10月11日 | バイオメディカル・ファジー・システム学会                       | 干渉を起こす量子回路と脳理論<br>(損傷を含む)                      | 松浦弘幸・根本哲也伊藤安海・中野正博西井匠                               |
| 2010年8月5日   | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌                       | 施設設計図から見た動線別リスク要因                              | 山中・根本・伊藤・松浦   |
| 2010年8月5日   | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌                       | 頭部損傷基準値(HIC)の理論分析                              | 中野・松浦・玉川・山中・行正                                      |
| 2010年9月12日  | Bio-med. fuzzy system. Association         | Theoretical Analysis of HIC<br>(accept)        | Nakano,<br>Matsuura, Tamagawa, et.<br>Al            |
| 2010年3月22日  | 日本医学会シンポジウム                                | 骨粗鬆症関連の転倒骨折、その予防と治療                            | 原田敦   |
| 2010年7月29日  | 日本整形外科スポーツ医学学会集會                           | 転倒・骨折のバイオメカニクスと高齢者の運動訓練                        | 原田敦、田中英一  |
| 2010年9月12日  | バイオメディカル・ファジー学会大会                          | 転倒と衝突に関する力学的損傷                                 | 松浦・伊藤・根本・西井・久保田・中野・玉川・山中                            |
| 2010年10月9日  | バイオメディカル・ファジー学会大会                          | 医療者のリスク認知と事故防止                                 | 山中・伊藤・根本・松浦・中野                                      |
| 2010年10月10日 | International Conference of BMSFA2010      | Theoretical Analysis on Head Injury Criterion  | Nakano,<br>Matsuura Tamagawa,<br>Yukimasa, Yamanaka |
| 2011年10月    | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p39-44 | 体損傷リスク評価法の開発における転倒実験と物性解析<br>頭部損傷基準値(HIC)の理論分析 | 近藤・松崎・松浦・玉川・中野・山中・根本                                |
| 2011年10月    | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p45-52 | 頭部損傷基準値(HIC)の理論分析<br>床材質と姿勢変化による頭部外傷の評価        | 山中・中野・松浦・玉川・行正                                      |

|          |  |  |                       |
|----------|--|--|-----------------------|
| 2011年10月 | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p53-62   | 力学的人体損傷に関する基礎的研究-1, 日常的空間に於ける機会と人の共存リスクの見積もり | 松浦・根本・伊藤・中野・西井・玉川・久保田 |
| 2011年10月 | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p63-70   | 力学的人体損傷に関する基礎的研究-2, 日常空間での衝突・転倒のモデル作成とその解析法  | 松浦・玉川・中野・山中・行正        |
| 発表年月日    | 発表媒体   | 発表タイトル                                       | 発表者                   |
| 2011年10月 | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p71-78   | 力学的人体損傷に関する基礎的研究-3, 人体の衝撃力学とその物理量の推定         | 松浦・中野・玉川・伊藤・久保田・根本    |
| 2011年10月 | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p79-82   | 力学的人体損傷に関する基礎的研究-4, 衝撃応答による粘性弾性率の推定原理        | 松浦・根本・中野・玉川・伊藤        |
| 2011年10月 | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p83-88   | 力学的人体損傷に関する基礎的研究-5, 回転・自由落下仮説による損傷と重傷度推定の実際  | 松浦・玉川・中野・根本・久保田       |
| 2011年10月 | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p97-104  | 人体の衝突・転倒時の安全評価に関する基礎的研究, 第1報ダミーの衝突・転倒時       | 玉川・松浦・中野・行正・山中・久保田    |
| 2011年10月 | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p109-114 | 転倒による受傷リスク調査                                 | 行正・中野・松浦・玉川・山中・久保田    |
| 2011年10月 | バイオメディカル・ファジー学会, 論文誌<br>Vol. 13(2), p109-114 | 衝突衝撃指標(CII)に基づく衝撃のパターン                       | 中野・松浦・玉川・行正・山中・久保田    |
| 2011年3月  | 日本実験力学会                                      | 高齢者の転倒と骨折-プロテクタ                              | 原田敦                   |

|         |  |   |  |
|---------|--|---|--|
|         | 11(1): 9-11                                | の効用-  |  |
| 2011年3月 | 財団法人長寿科学振興財団<br>45-53                      | サルコペニア：診断と現状把握<br>運動器疾患の予防と治療<br>Advances in Aging and Health<br>Reserch 2010 | 原田敦  |
| 2011年3月 | 実験力学 11(1), 30-34                          | リアルタイム皮膚ひずみ測定法を用いた皮膚特性の評価方法の検討  | 久保田 怜, 根本 哲也, 伊藤 安海, 磯貝 善蔵, 古田 勝経, 松浦 弘幸, 島本 聡   |
| 2011年4月 | サルコペニアの基礎と臨床<br>64-71                      | 第3章 サルコペニアの診断 臨床におけるサルコペニアの診断   | 原田敦  |
|         |  |   |  |
| 発表年月日   | 発表媒体                                       | 発表タイトル  | 発表者  |
| 2011年4月 | Rad Fan, 9(5): 45-47, 2011. 4              | パーキンソン病の核医学診断   | 新畑豊、加藤隆司   |
| 2011年5月 | 大腿骨頸部／転子部骨折診療ガイドライン 改訂第2版<br>48-59         | 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会 大腿骨頸部／転子部骨折診療ガイドライン策定委員会                                  | 原田敦  |
| 2011年6月 | 日本褥瘡学会誌<br>13(2), 150-156                  | 組織水分調節にかかわる細胞外マトリックス分子であるヒアルロン酸の褥瘡における挙動                                      | 松本尚子, 高橋佳子 磯貝善蔵, 森将晏, 古田勝経, 米田雅彦   |
| 2011年7月 | J Orthop Sci<br>16: 418-423                | Serum 25-hydroxyvitamin D status in hip and spine-fracture patients in Japan. | Mayumi Sakuma, Naoto Endo, Hiroshi Hagino, Atsushi Harada, Yasumoto Matsui, Tetsuo Nakano, Kozo Nakamura |
| 2011年7月 | Osteoporosis Japan 19(3): 376-378          | 骨粗鬆症における発症と骨折予防<br>骨粗鬆症の骨折予防 骨外因子   | 原田敦  |
| 2011年8月 | 日経メディカル N i k k<br>61                      | 骨折予防には「転倒予防」も大切   | 原田敦  |
| 2011年8月 | 認知症者の転倒予防とリスクマネジメント 一病院・施設・自宅でのケア<br>51-54 | 認知症高齢者と骨粗鬆症の関連は   | 原田敦、松井康素、下方浩史  |
| 2011年8月 | 月刊デイ Vol140, 58-64                         | 若年性認知症の方への支援  | 長屋政博   |

|          |  |  |   |
|----------|--|--|---|
| 2011年9月  | Geriatric Medicine 49(9):<br>961-962   | 序文 特集 骨粗鬆症診療の最近の<br>進歩   | 原田敦   |
| 2011年10月 | Medical Tribune<br>44:52:00            | シリーズ ロコモティブシンドロ<br>ーム 長寿医療研究としてのとり<br>くみ   | 原田敦   |
| 2011年11月 | Modern Physician 31(11):<br>1279-82    | サルコペニアの定義、診断基準 サ<br>ルコペニアの診かた  | 原田敦   |
| 2011年12月 | 現代医学<br>59(2): 325-329                 | 医療の現場から ロコモティブシ<br>ンドローム   | 原田敦   |
| 2011年12月 | 癌と化学療養,<br>38(Sup1), 53-55             | 登録制による在宅医療を支援する<br>病棟における癌患者と非癌疾患の<br>検討.  | 大島浩子, 中村孔美松本明<br>美, 鈴木隆雄  |
| 2012年1月  | 日本在宅医学会雑<br>誌, 13(2), 107-112          | 在宅医療を支援する病棟における<br>初回入院患者の特性の検討: 在宅<br>復帰支援と在宅継続支援の比較  | 大島浩子, 中村孔美松本明<br>美, 鈴木隆雄  |
| 発表年月日    | 発表媒体                                   | 発表タイトル   | 発表者   |
| 2012年1月  | Breast Cancer<br><br>19(1), 46-53      | Versican G1 and G3 domains are<br>upregulated and latent<br><br>transforming<br><br>growth factor- $\beta$ binding<br><br>protein-4 is downregulated in<br>breast cancer stroma. | Takahashi Y, Kuwabara H,<br>Yoneda M, Isogai Z,<br>Tanigawa N, Shibayama Y  |
| 2012年1月  | 日在医会誌第 13 巻第 2 号<br>41-45              | 認知症—在宅でできる認知症に対<br>するリハビリテーション—  | 長屋政博  |
| 2012年2月  | J Am Geriatr Soc<br><br>60(2): 251-255 | Vitamin D deficiency in elderly<br>women in nursing homes—<br>Investigation with<br><br>consideration of decreased<br>activation function from the<br>kidneys.                   | Yasuhito Terabe, Atsushi<br>Harada, Haruhiko Tokuda,<br>Hiroyasu Okuizumi,<br>Masahiro Nagaya, Hiroshi<br>Shimokata |



|             |  |   |   |
|-------------|--|---|---|
|             | Geriatrics and Gerontology International | Estimation of appendicular muscle mass and fat mass by near infrared spectroscopy in older persons.                                   | Daisuke Yoshida, Hiroyuki Shimada, Atsushi Harada, Yasumoto Matsui, Yoshihito Sakai, Takao Suzuki           |
|             | Int J Cancer                             | Versican Regulates Cell-associated Matrix Formation and Cell Behavior Differentially from Aggrecan in Swarm Rat Chondrosarcoma Cells. | Wasa J, Nishida, Y, Shinomura T, Isogai Z, Urakawa H, Arai E, Kozawa E, Futamura N, Tsukushi S, Ishiguro N. |
| 2011年10月2日  | 転倒予防医学研究会<br>第8回研究集会                     | 転倒・転落のダミー人形実験と理論、及び衝撃力と損傷リスク評価  | 松浦・NEDO-PJ, JARI  |
| 2011年10月29日 | バイオメディカル・ファジー学会                          | 人体損傷リスク評価法開発における転倒実験と物性解析   | 近藤・松崎・伊藤・根本・松浦・久保田<br>中野・山中・玉川  |
| 2011年10月29日 | バイオメディカル・ファジー学会                          | スリッパ転倒における頭部外傷危険度   | 山中・中野・松浦・玉川・行正  |
| 2011年10月29日 | バイオメディカル・ファジー学会                          | 人体の衝突・転倒時の安全評価に関する基礎的研究 第1報 ダミーの衝突・転倒実験による現象の把握   | 玉川・松浦・中野・山中・久保田・行正  |
| 発表年月日       | 発表媒体                                     | 発表タイトル  | 発表者   |
| 2011年10月29日 | バイオメディカル・ファジー学会                          | 病院における転倒による受傷の状況調査  | 行正  |
| 2011年10月29日 | バイオメディカル・ファジー学会                          | 転倒・転落と人体損傷  | 松浦・根本・伊藤・久保田・近藤・松崎<br>玉川・中野・山中  |
| 2011年10月29日 | バイオメディカル・ファジー学会                          | 転倒による人体各部の受ける衝突衝撃指標(CII)  | 中野・松浦・玉川・行正・久保田   |
| 2011年10月30日 | Bio-med. fuzzy system Association        | The Analysis of Injury caused by Fall in human body   | Yukimasa T  |

|             |   |   |  |
|-------------|---|---|--|
| 2011年10月30日 | Bio-med. fuzzy system. Association                              | Falling, Cropper and Mechanical human injury                        | Matsuura H, Tamagawa T, Nkano M, Konndo R, Matsuzaki     |
| 2011年10月30日 | Bio-med. fuzzy system. Association                              | Theoretical analysis of collision Impact Index                      | Nakano M, Matsuura H, Tamagawa M, Yamanaka M Yukimasa T  |
| 2011年12月23日 | 6th int. conf. on Innovative Computing, information and Control | The calculation of an injury by fall using a rigid body models      | Yamanak M, Namkano M, Matsuura H, Tamagawa T, yukimasa T |
| 2011年12月23日 | 6th int. conf. on Innovative Computing, information and Control | Risk assessment of head injuries due to Slip-induced falls backward | Matsuura H, Tamagawa M, Nakano M,                        |
| 2011年12月23日 | 6th int. conf. on Innovative Computing, information and Control | Mechanical injuries of human bodies                                 | Yamanaka M., nemoto T                                    |
| 2011年12月23日 | 6th int. conf. on Innovative Computing, information and Control | Pattern recognition based on collision impact index                 | Nakano M, Matsuura H, Tamagawa M                         |
| 2012年3月17日  | 第14回日本在宅医学会大会   | 在宅療養支援における多職種共同カンファレンス実施状況の検討                                       | 大島浩子, 中村孔美, 松本明美, 鈴木隆雄                                   |
| 2011年5月17日  | 第52回日本神経学会学術集会  | 神経疾患における褥瘡の管理   | 磯貝善蔵   |
| 2011年5月18日  | 第52回日本神経学会学術集会  | アルツハイマー型認知症に対する塩酸ドネペジル少量投与に関する多施設後向き調査                              | 新畑豊、他  |
| 2011年5月21日  | 第5回知多地域認知症看護・介護研修会  | 認知症と転倒・予防と対策  | 原田敦  |
| 2011年6月1日   | 三重県骨粗鬆症治療戦略セミナー   | 骨強度と外力からみた骨折予防戦略  | 原田敦  |
| 発表年月日       | 発表媒体  | 発表タイトル  | 発表者  |
| 2011年6月7日   | 愛知県立大学看護学部老年看護学科目内特別講義  | 病院・在宅における脳卒中高齢患者の看護   | 大島浩子   |
| 2011年6月15日  | 第53回日本老年医学会総会   | 高齢者の褥瘡発生の傾向と合理的な予防対策  | 磯貝善蔵   |

|            |  |   |   |
|------------|--|---|---|
| 2011年6月15日 | 高齢者褥瘡に対する積極的な薬物療法の有用性  | 高齢者褥瘡に対する積極的な薬物療法の有用性   | 溝神文博, 古田勝経, 磯貝善蔵                        |
| 2011年6月16日 | 第53回日本老年医学会学術集会  | ロコモティブシンドロームとサルコペニア   | 原田敦                                     |
| 2011年6月16日 | 日本老年看護学会第16回学術集会   | 在宅医療を支援する病棟に入院した高齢者の特性と再入院の関連要因の検討  | 大島浩子, 中村孔美三浦久幸, 鈴木隆雄                    |
| 2011年6月16日 | 第53回日本老年医学会学術集会  | 在宅医療を支援する病棟に登録した在宅高齢者における在宅療養継続の関連要因の検討                                       | 大島浩子, 鈴木隆雄                              |
| 2011年6月16日 | 第53回日本老年医学会学術集会  | 握力による骨量減少および骨粗鬆症の発症の予測<br>—地域在住中高年者を対象とした疫学縦断研究                               | 松井康素, 竹村真里枝, 原田敦, 他                     |
| 2011年6月26日 | 第22回日本在宅医療学会学術集会   | 登録制による在宅医療を支援する病棟における癌患者と非癌患者の特性の検討   | 大島浩子, 中村孔美松本明美, 鈴木隆雄                    |
| 2011年7月18日 | The 2 <sup>nd</sup> Japan-Korea joint Conference on Community Health Nursing | A case-control study of home care among the elderly registered at a hospital. | Ohshima H, Suzuki T                     |
| 2011年7月26日 | 第325回緑医学研究会  | 高齢期の骨折予防—骨粗鬆症と転倒の両面から考える—   | 原田敦                                     |
| 2011年8月4日  | 2011年老年医学セミナー  | 骨粗鬆症・転倒・骨折  | 原田敦                                     |
| 2011年8月23日 | 第67回久留米大学TQM研修会  | 転倒外力から考える骨折予防—プロテクターなどの効果—  | 原田敦                                     |
| 2011年8月26日 | 第13回日本褥瘡学会   | 全身性エリテマトーデス患者に生じた坐骨部褥瘡の1例   | 佐藤三佳, 加納宏行, 磯貝善蔵, 清島真理子                 |
| 2011年8月26日 | 第13回日本褥瘡学会   | マットレスたわみ量とシーツ接触面の湿度との関係   | 根本哲也, 久保田怜, 伊藤安海, 磯貝善蔵, 古田勝経, 松浦弘幸      |
| 2011年8月26日 | 第13回日本褥瘡学会   | リアルタイム皮膚ひずみ測定法を用いた骨突出部周辺の皮膚ひずみ評価  | 久保田怜, 根本哲也, 伊藤安海, 磯貝善蔵, 古田勝経, 島本聡, 松浦弘幸 |
| 2011年8月26日 | 第13回日本褥瘡学会   | 感染創の見極めと対処法   | 磯貝善蔵                                    |

| 発表年月日       | 発表媒体                                   | 発表タイトル                                      | 発表者  |
|-------------|--|---|--|
| 2011年9月13日  | 北信整形外科医会教育研修会                          | 骨折予防の新戦略ー骨強度と外力からー                          | 原田敦  |
| 2011年9月17日  | 第24回日本老年医学会東海地方会                       | 在宅療養高齢者における入院時の疾患別の患者特性と支援内容の検討             | 大島浩子, 中村孔美, 松本明美, 原田敦, 鈴木隆雄                        |
| 2011年9月17日  | 第24回日本老年医学会東海地方会                       | 在宅療養高齢者の移動能力の検討                             | 大島浩子, 尾崎充世, 中村孔美, 鈴木隆雄, 原田敦                        |
| 2011年9月27日  | (独)国立長寿医療研究センター 高齢者医療・在宅医療総合看護研修カリキュラム | 高齢者の在宅看取り. 高齢者の在宅医療: 在宅医療を推進する能力を養う         | 大島浩子   |
| 2011年10月2日  | 第8回転倒予防医学研究会研究集会                       | ビタミンDと転倒・骨折予防 教育講演                          | 原田敦  |
| 2011年10月2日  | 第8回転倒予防医学研究会研究集会                       | 筋肉減少症(サルコペニア) 新しい診断基準                       | 原田敦  |
| 2011年10月2日  | 第8回転倒予防医学研究会研究集会                       | 薄型ヒッププロテクターの初期コンプライアンス試験                    | 原田敦, 長屋政博, 他                                       |
| 2011年10月13日 | 豊田加茂整形外科医会学術講演会                        | 骨粗鬆症と転倒骨折                                   | 原田敦  |
| 2011年10月21日 | 第26回日本整形外科学会基礎学術集会                     | 筋肉減少症(サルコペニア)の観点から                          | 原田敦, 飛田哲朗  |
| 2011年11月3日  | 第13回日本骨粗鬆症学会                           | 地域在住中高齢者の膝関節変形と膝伸展筋力との関連                    | 松井康素, 竹村真里枝, 原田敦, 他                                |
| 2011年11月4日  | 第13回日本骨粗鬆症学会 骨ドック・健診分科会                | サルコペニアの現状                                   | 原田敦  |
| 2011年11月5日  | 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2011                | ヒッププロテクターの効用ー臨床試験からー                        | 原田敦  |
| 2011年11月10日 | 知多半島骨粗鬆症フォーラム                          | 骨粗鬆症: 骨折リスク診断と骨折予防介入                        | 原田敦  |
| 2011年11月11日 | 第30回認知症学会学術集会                          | [C-11]BF-227 集積と脳糖代謝変動の関係: 認知機能正常から健忘型MCIまで | 加藤隆司, 伊藤健吾, 篠野健太郎, 藤原 謙, 中村昭範, 三浦久幸, 服部英幸, 新畑 豊, 他 |
| 2011年11月13日 | 第98回三重県臨床整形外科医                         | 高齢者の骨折の現状とその予防                              | 原田敦  |

|             |   |   |  |
|-------------|---|---|--|
|             | 会   |   |  |
| 2011年11月23日 | 日本薬学会東海支部合同学術大会   | 褥瘡の治療期間を短縮する薬剤師の役割  | 古田勝経、溝神文博、木ノ下智康、磯貝善蔵、野呂岳志  |
| 2011年12月3日  | 県北地区骨代謝セミナー   | 高齢者の骨折予防-骨粗鬆症と転倒の両面から-  | 原田敦  |
| 発表年月日       | 発表媒体  | 発表タイトル  | 発表者  |
| 2011年12月3日  | 第31回日本看護科学学会学術集会  | 病院による高齢患者の在宅療養支援:在宅療養選択者とその特性の検討  | 大島浩子   |
| 2012年2月12日  | 第8回日本褥瘡学会中部地方会  | 院内における褥瘡新発生の傾向と今後の取り組みへの課題  | 正岡愛、堀江千恵子、近藤公美子、楠雅代、下菌いず美、古田勝経、磯貝善蔵  |
| 2012年2月12日  | 第8回日本褥瘡学会中部地方会  | 専門職コンサルテーションと連携によって完治した難治性褥瘡の1例   | 岡戸京子、古田勝経、磯貝善蔵、前川厚子  |
| 2012年2月12日  | 第8回日本褥瘡学会中部地方会  | 地域皮膚科クリニックにおける褥瘡訪問診療の現状と問題点   | 高橋佳子、米田雅彦、尾之内博規、古田勝経、三浦久幸、磯貝善蔵   |
| 2012年2月12日  | 第8回日本褥瘡学会中部地方会  | 背部褥瘡発生患者に対する半側臥位での頭側拳上:第8回日本褥瘡学会中部地方会   | 下菌いず美、楠雅代、古田勝経、磯貝善蔵  |
| 2012年1月29日  | テレビ出演 カラダのキモチ 第289回                                     | 足腰きたえて長生きだ!元気のヒケツ転倒予防   | 原田敦  |
| 2011年3月     | 交通科学, 41, (2): 18-23                                    | 高齢者ドライバーの安全運転対策におけるドライビングシミュレータの活用と課題   | 伊藤安海、根本哲也、久保田怜、松浦弘幸  |
| 2012年1月     | 福祉介護テクノプラス「特集 災害と福祉②」, 5, 1, 15-18                      | バッテリーを被災地へ  | 根本哲也、伊藤安海、久保田怜、松浦弘幸  |
|             | Journal of Physical Therapy Science, 25(1): 41-43, 2013 | Relationship between feet position and anterior-posterior center of pressure (COP) location. -What are determining factors in the adjustment of | Teranishi T, Sakurai H, Ohtsuka K, Yamada M, Tsuzuki A, Miyasaka H, Tanino G, Abbas O, Kondo I |

|            |  |  |   |
|------------|--|--|---|
|            |  | center of gravity?-  |   |
|            | Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 94: 59-66, 2013                          | Preliminary Trial of Strategy Training Using a Personal Transport Assistance Robot for Patients With Central Nervous System Disorder                         | Ozaki K, Kagaya H, Hirano S, Kondo I, Tanabe S, Itoh N, Saitoh E, Fuwa T, Murakami R                        |
|            | Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science, 4: 7-13, 2013                    | An analysis of falls occurring in a convalescence rehabilitation ward - a decision tree classification of fall cases for the management of basic movements - | Teranishi T, Kondo I, Tanino G, Miyasaka H, Sakurai H, Kaga J, Suzuki Y, Matsushima Y, Kawakita M, Sonoda S |
| 2013/2/8   | 第3回 次世代ロボット産業研究会, 大府市  | リハビリテーションで求められる器具・ロボットについて   | <u>近藤和泉</u>   |
| 発表年月日      | 発表媒体   | 発表タイトル   | 発表者   |
|            | The 6th Asan Rehabilitation Symposium: Robot@rehab, Robot@home, Nov 23, 2012, Seoul, Korea | Robotics for rehabilitation in Japan   | <u>Kondo I</u>  |
| 2013/3/8   | 青森県成人・老人リハビリテーション施設協会研修会, 2013年3月8日, 青森市   | 転倒リスク管理に関して—認知症への対応も含めて—   | <u>近藤和泉</u>   |
| 2012/11/10 | 第28回日本義肢装具学会学術大会, 名古屋市   | 転倒と立位バランス-患者さんの安全確保を目的として-   | <u>近藤和泉</u>   |
|            | 7th World Congress for NeuroRehabilitation, Melbourne, Australia, 2012                     | 3D gait analysis before and after the botulinum toxin A injection for pes equinovarus.   | Tanikawa H, Kagaya H, Saitoh E, Ozaki K, Itoh N, Yamada J, Hyohdoh M, Tanabe S, Ohtsuka K, Aoki T           |

|          |   |   |                      |
|----------|---|---|----------------------|
|          | 7th World Congress for NeuroRehabilitation, Melbourne, Australia, 2012. | PRELIMINARY REPORT OF BALANCE EXERCISE BY USING A PERSONAL TRANSPORT ASSISTANCE ROBOT FOR PATIENTS WITH CENTRAL NERVOUS SYSTEM DISORDER | Ozaki K.             |
| 2012年 5月 | バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 14, No. 1, p 71-76                          | 量子神経理論の基礎～古典と量子力学的情報～古典的情報理論から量子情報力学へ～  | 松浦弘幸、根本哲也、久保田 怜      |
| 2012年 5月 | バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 14, No. 1, p 77-82                          | 量子神経情報理論と量子ベイズ形式～古典的情報理論から量子情報力学へ～  | 松浦弘幸、久保田 怜、根本哲也      |
| 2012年 5月 | バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 14, No. 1, p 83-87                          | 量子神経回路と古典的ニュートラルネット, 量子ベイズ計算～神経細胞の分極, 脱分極, そしてポラリトンの情報動力学～  | 松浦弘幸、久保田 怜、根本哲也      |
| 2012年 5月 | バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 14, No. 1, p 89-96                          | 神経伝導の量子力学モデル—準粒子・ポラリトン理論～神経細胞の分極, 脱分極, そしてポラリトンの仮説～   | 松浦弘幸、根本哲也、久保田 怜      |
| 2012年 6月 | ICIC International, 6(6), p1653-1657                                    | Expression of Quantum Bay's Form and Its Calculations   | Matsuura H, Wasaki K |
|          |   |   |                      |
| 発表年月日    | 発表媒体  | 発表タイトル  | 発表者                  |
| 2012年 6月 | ICIC International, 6(6), p1665-1669                                    | Quantum Neural Net, Polariton, and Classical Neural Networks  | Matsuura H,          |
| 2012年 6月 | ICIC International, 6(6), p1671-1675                                    | Quantum Theory of Polariton on Neuro-Conduction and Ephapse (Quantum Current and Role of Polariton on Axon)                             | Matsuura H,          |
| 2012年 6月 | 実験力学, 12: (2)   | 工学鑑定における人体損傷評価 - 事件・事故捜査や裁判における人体損傷の定量評価手法 -  | 伊藤安海、根本哲也、小倉 崇生      |

|           |   |   |   |
|-----------|---|---|---|
| 2012年 11月 | ICIC Express Letters<br>An International Journal of<br>Research and Surveys, Vol. 6,<br>No. 11, p 2815-2820 | FUNDAMENTAL STUDIES OF COLLISION<br>AND FALL INDUCED HUMAN INJURY<br>-ESTIMATION OF INJURY PARAMETERS<br>UNDER VARIOUS CONDITIONS BY<br>COLLISION AND FALL IN DUMMY TEST- | Tamagawa M, Matsuura H,<br>Nakano M, Yukimasa T,<br>Yamanaka M, Kubota M,   |
| 2012年 11月 | ICIC Express Letters<br>An International Journal of<br>Research and Surveys, Vol. 6,<br>No. 11, p 2867-2872 | A CALCULATION OF SPEED OF<br>COLLISION BETWEEN A HUMAN BODY<br>AND A FLOOR  | Yukimasa T, Kubota M,   |
| 2012年 11月 | ICIC Express Letters<br>An International Journal of<br>Research and Surveys, Vol. 6,<br>No. 11, p 2873-2880 | EVALUATION OF FALL INJURY IN THE<br>MEDICAL FIELD   | Yamanaka M, Nakano M,<br>Matsuura H, Tamagawa M,<br>Yukimasa T, Noto H,<br>Kubota M,  |
| 2012年 11月 | ICIC Express Letters<br>An International Journal of<br>Research and Surveys, Vol. 6,<br>No. 11, p 2881-2888 | THEORETICAL ANALYSIS OF MICRO<br>MOVEMENTS IN BRAIN AT FALL   | Nakano M, Matsuura H,<br>Tamagawa M, Yukimasa T,<br>Yamanaka M, Kubota M,   |
|           |   |   |   |
| 発表年月日     | 発表媒体  | 発表タイトル  | 発表者   |
| 2012年 11月 | ICIC Express Letters<br>An International Journal of<br>Research and Surveys, Vol. 6,<br>No. 11, p 2889-2894 | BASIC STUDY OF HUMAN BODY' S<br>INJURY AND CRITERIA   | Matsuura H, Tamagawa M,<br>Nakano M, Yamanaka M,<br>Yukimasa T, Nemoto T,<br>Kubota R, Ishikawa K,<br>Matsuzaki T, Kondo R, |



|           |   |   |   |
|-----------|---|---|---|
|           |   |   | Kubota M,   |
| 2012年 11月 | ICIC Express Letters<br>An International Journal of<br>Research and Surveys, Vol. 6,<br>No. 11, p 2895-2899 | HUMAN BODY DAMAGE EVALUATION<br>THAT USES DUMMY DOLL WHEN<br>WHEELCHAIR FALLS   | Ishikawa K, Matsuura H,<br>Nakano M, Tamagawa M,<br>Yukimasa T, Yamanaka M,<br>Kubota M, Matsuzaki T,<br>Kondo R,     |
| 2012年 11月 | ICIC Express Letters<br>An International Journal of<br>Research and Surveys, Vol. 6,<br>No. 11, p 2901-2907 | STANDARDS FOR STEP HEIGHT AND<br>FRONT WHEEL OPERATION INDEXES<br>FOR WHEELCHAIR HELPERS<br>NAVIGATING STEPS                                      | Noto H, Muraki S,   |
| 2012年 3月  | 病気と薬パーフェクトブック<br>2012 1125-1128   | 褥瘡  | 磯貝善藏、古田勝経   |
| 2012年 4月  | CLINICAL CALCIUM 22(4):<br>11-12  | 巻頭言 ー運動器障害は虚弱にお<br>ける身体的脆弱性にどこまで関与<br>しているのかー   | 原田敦   |
| 2012年 4月  | CLINICAL CALCIUM 22(4):<br>27-33  | 転倒・骨折患者にみられる虚弱<br>(Frailty)   | 原田敦   |
| 2012年 4月  | 骨粗鬆症診療ハンドブック<br>182-192   | 骨粗鬆症・骨折の合併症と QOL 1.<br>大腿骨近位部骨折   | 原田敦   |
| 2012年 4月  | Osteoporosis Japan<br>20(2):108-110   | 地域在住中高齢者の膝関節変形と<br>膝伸筋力との関連   | 松井康素、竹村真里枝、原<br>田敦、安藤富士子、下方浩<br>史   |
| 2012年 5月  | Int J Cancer 30(10): 2271-81  | Versican Regulates<br>Cell-associated Matrix<br>Formation and Cell Behavior<br>Differentially from Aggrecan in<br>Swarm Rat Chondrosarcoma Cells. | Wasa J, Nishida Y,<br>Shinomura T, Isogai Z,<br>Urakawa H, Arai E, Kozawa<br>E, Futamura N, Tsukushi<br>S, Ishiguro N |
|           |   |   |   |
| 発表年月日     | 発表媒体  | 発表タイトル  | 発表者   |
| 2012年 6月  | CLINICAL CALCIUM 22(6):<br>68-72  | 転倒リスクの評価と転倒予防   | 原田敦   |
| 2012年 6月  | 難病と在宅ケア 18(6): 53-56  | 神経疾患における褥瘡の予防と治<br>療  | 磯貝善藏  |

|           |   |  |  |
|-----------|---|--|--|
| 2012年 7月  | Biol Pharm Bull 35(7):<br>1048-53                               | Iodoform gauze removes necrotic tissue from pressure ulcer wounds by reduction of type I collagen aggregates.  | Fumihiko Mizokami,<br>Yusuke Murasawa,<br>Katsunori Furuta, Zenzo Isogai.  |
| 2012年 7月  | ロコモティブ・シンドローム<br>183-191  | 第II章 運動器の評価 2. ロコモの疑いの人の診察法 3) 主な疾患の診断と保存治療 大腿骨近位部骨折   | 原田敦  |
| 2012年 9月  | Glycobiology 22(9): 1268-77                                     | Versican/PG-M and hyaluronan proteoglycan aggregates are essential for cardiac atrioventricular cushion development and subsequent ventricular septal development. | Sonoko Hatano, Koji Kimata, Noriko Hiraiwa, Moriaki Kusakabe, Zenzo Isogai, Tamayuki Shinomura, Hideto Watanabe. |
| 2012年 9月  | 整形外科最小侵襲手術ジャーナル 64: 15-18                                       | 骨粗鬆症性椎体骨折に対する我が国での医療行為   | 原田敦  |
| 2012年 9月  | 月刊薬事 54(10):58-61   | 脳血管性認知症  | 新畑豊  |
| 2012年 10月 | 看護技術 58(11): 1024-1025  | 褥瘡と全身性疾患のかかわり  | 磯貝善蔵   |
| 2012年 10月 | Geriatrics and Gerontology International 12(4):<br>652-658      | Estimation of appendicular muscle mass and fat mass by near infrared spectroscopy in older persons   | Daisuke Yoshida,<br>Hiroyuki Shimada,<br>Atsushi Harada, Yasumoto Matsui, Yoshihito Sakai,<br>Takao Suzuki       |
| 2012年 11月 | J Osteoporosis 1-6  | Divergent significance of bone mineral density changes in aging depending on sites and sex revealed through separate analyses of bone mineral content and area     | Yasumoto Matsui, Marie Takemura, Atsushi Harada, Fujiko Ando,<br>Hiroshi Shimokata                               |
| 2012年 11月 | Viscoelasticity (Juan de Vicente eds.) Intech Rijeka<br>157-170 | Viscoelastic Properties of the Human Dermis and Other Connective Tissues and its Relevance to Tissue Aging and Aging-related Disease                               | Tetsuya Nemoto, Ryo Kubota, Yusuke Murasawa<br>Zenzo Isogai  |

|           |   |  |   |
|-----------|---|--|---|
| 2012年 11月 | 臨床と研究 11: 31-34   | ロコモティブシンドロームの原因<br>疾患と治療 大腿骨近位部骨折  | 原田敦   |
| 発表年月日     | 発表媒体  | 発表タイトル   | 発表者   |
| 2012年 11月 | 日本老年医学会雑誌 49(6):<br>788-805   | サルコペニア: 定義と診断に関する<br>欧州関連学会のコンセンサス—<br>高齢者のサルコペニアに関する欧<br>州ワーキンググループの報告—の<br>監訳と Q&A   | 原田敦、秋下雅弘、江頭正<br>人、金憲経、金信敬、神崎<br>恒一、重本和宏、島田裕之、<br>下方浩史、鈴木隆雄、橋本<br>有弘、細井孝之  |
| 2012年 11月 | Osteoporosis Japan 20(4):<br>661-668                                | 全国的データベースを用いた骨粗<br>鬆症性骨折の予防と治療に関する<br>研究   | 細井孝之、黒田龍彦、中村<br>利孝、白木正孝、太田博明、<br>原田敦、森聖二郎、大橋靖<br>雄、折茂肇  |
| 2012年 12月 | Carcinogenesis Intech<br>Rijeka, Croatia, (Kathryn<br>Tonissen eds. | Expressional Alterations of<br>Versican, Hyaluronan and<br>Microfibril Associated Proteins<br>in the Cancer Microenvironment   | Hiroko Kuwabara,<br>Masahiko Yoneda, Zenzo<br>Isoga   |
| 2012年 12月 | PLoS One 7(12)  | The anti-inflammatory effects of<br>matrix metalloproteinase-3 on<br>irreversible pulpitis of mature<br>erupted teeth.   | Eba H, Murasawa Y, Iohara<br>K, Isogai Z, Nakamura H,<br>Nakamura H, Nakashima M.   |
| 2012年 12月 | Journal of Clinical<br>Rehabilitation 21(12):<br>1168-1176          | 高齢者の骨折   | 竹村真里枝、原田敦   |
| 2013年 1月  | J Orthop Sci. 18(1): 110-120  | Why not use your own body weight<br>to prevent falls? A randomized,<br>controlled trial of balance<br>therapy to prevent falls and<br>fractures for elderly people who<br>can stand on one leg for ≤15 s | Keizo Sakamoto, Naoto<br>Endo, <u>Atsushi Harada</u> ,<br>Takenori Sakada, Kazuyo<br>Tsushita, Kiyoshi Kita,<br>Hiroshi Hagino, Akinori<br>Sakai, Noriaki Yamamoto,<br>Tetsunori Okamoto,<br>Meigen Liu, Akatsuki<br>Kokaze, Hiromichi Suzuki |

|          |   |   |  |
|----------|---|---|--|
| 2013年 1月 | Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science, 4: 7-13 | An analysis of falls occurring in a convalescence rehabilitation ward - a decision tree classification of fall cases for the management of basic movements -        | Teranishi T, Kondo I, Tanino G, Miyasaka H, Sakurai H, Kaga J, Suzuki Y, Matsushima Y, Kawakita M, Sonoda S. |
| 2013年 1月 | Journal of Physical Therapy Science, 25(1): 41-43                 | Relationship between feet position and anterior-posterior center of pressure (COP) location. -What are determining factors in the adjustment of center of gravity?- | Teranishi T, Sakurai H, Ohtsuka K, Yamada M, Tsuzuki A, Miyasaka H, Tanino G, Abbas O, Kondo I.              |
| 発表年月日    | 発表媒体  | 発表タイトル  | 発表者  |
| 2013年 1月 | Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 94: 59-66       | Preliminary Trial of Postural Strategy Training Using a Personal Transport Assistance Robot for Patients With Central Nervous System Disorder.                      | Ozaki K, Kagaya H, Hirano S, Kondo I, Tanabe S, Itoh N, Saitoh E, Fuwa T, Murakami R.                        |
| 2013年 1月 | CLINICAL CALCIUM 20(1): 15-22                                     | 関節の老化   | 松井康素、原田敦   |
| 2013年 1月 | Bone Joint Nerve 3(1): 9-13                                       | 特集 サルコペニア—筋研究の最前線— サルコペニアの定義や診断基準   | 原田敦  |
| 2013年 1月 | Bone Joint Nerve 3(1): 139-149                                    | 特集 サルコペニア—筋研究の最前線— 座談会 サルコペニア—筋研究の最前線—  | 斎藤充、原田敦、村木重之、重本和宏  |
| 2013年 2月 | J Invest Dermatol 133(2): 386-93                                  | An Ex Vivo Model Employing Keloid-Derived Cell-Seeded Collagen Sponges for Therapy Development.   | Yagi Y, Muroga E, Naitoh M, Isogai Z, Matsui S, Ikehara S, Suzuki S, Miyachi Y, Utani A.                     |
|          | Geriatr Gerontol Int  | High prevalence of sarcopenia and reduced leg muscle mass in Japanese patients immediately after a hip fracture   | Tetsuro Hida, Naoki Ishiguro, Hiroshi Shimokata, Yoshihito Sakai, Yasumoto Matsui, Marie Takemura, Yasuhito  |

|            |  |   |   |
|------------|--|---|---|
|            |  |   | Terabe, Atsushi Harada  |
|            | JOSKAS   | 地域在住中高齢者における膝関節痛と膝伸展筋力の関連   | 松井康素、竹村真里枝、原田敦、安藤富士子、下方浩史   |
|            | Int Wound J  | Definition of the Physical Properties of Pressure Ulcers and Characterization of their Regional Variance. | Fumihiko Mizokami; Katsunori Furuta; Atsushi Utani, Zenzo Isogai.                   |
|            | Int Wound J  | Sacral pressure ulcer successfully treated with traction, resulting in a reduction of wound deformity.    | Fumihiko Mizokami; Katsunori Furuta, Hisako Matsumoto, Atsushi Utani, Zenzo Isogai. |
|            | 臨床皮膚科  | 皮膚科医主導型褥瘡診療   | 磯貝善蔵  |
|            |  |   |   |
| 発表年月日      | 発表媒体   | 発表タイトル  | 発表者   |
| 2012年6月13日 | the 26th Annual Conference of JSAI, International Organized Session 「Alan Turing Year Special Session on AI Research That Can Change The World (2)」, Yamaguchi | Model of Polariton, Quantum Neuron, Its Network& quantum Information                                      | Matsuura H, Wasaki K  |
| 2012年6月13日 | 第26回人工知能学会全国大会, 山口   | 神経伝導の量子モデルとその干渉, 量子ベイズ統計, 量子ニューラルネット  | 松浦弘幸、和崎克己   |
| 2012年6月13日 | 第26回人工知能学会全国大会, 山口   | 神経細胞の軸索伝導の量子論モデル  | 松浦弘幸、和崎克己   |

|            |  |  |  |
|------------|--|--|--|
| 2012年9月20日 | 日本ロボット学会第30回記念<br>学術講演会, 札幌                      | 人とロボットの共生環境での傷害<br>リスクに関する研究 (NEDO-PJ)   | 松浦弘幸、玉川雅彰、中野<br>正博、行正徹、根本哲也、<br>久保田怜、石川耕介、近藤<br>理恵、松崎照美、久保田正<br>美、山中真      |
| 2012年9月20日 | 日本ロボット学会第30回記念<br>学術講演会, 札幌                      | 人の衝突・転倒時の損傷評価に関<br>する研究 (NEDO-PJ)  | 玉川雅彰、松浦弘幸、中野<br>正博、行正徹、山中真、久<br>保田正美                                       |
| 2011年10月3日 | CAE POWER 2012 GTC, 東京                           | Atomic Schwinger-Dyson<br>Method(ASD法)の概要, 将来の原<br>子/分子の解析法として, シミュレ<br>ーション技術 | 松浦弘幸   |
| 2011年10月7日 | 第9回研究集会, 転倒予防医<br>学研究会, 58, 東京                   | 転落と転倒に伴う力学的人体損傷<br>に関する基礎研究  | 松浦弘幸、中野正博、玉川<br>雅彰、根本哲也、山中真、<br>久保田怜、久保田正美                                 |
| 2012年11月3日 | 生活生命支援医療福祉工学系<br>学会連合大会<br>2012(LIFE2012), 名古屋大学 | 人体損傷の重症度クライテリアと<br>その許容レベル   | 松浦弘幸、中野正博、玉川<br>雅彰、行正徹、山中真、根<br>本哲也、久保田怜、石川耕<br>介、松崎照美、神谷直樹、<br>近藤理恵、久保田正美 |
| 2012年11月3日 | 生活生命支援医療福祉工学系<br>学会連合大会<br>2012(LIFE2012), 名古屋大学 | 車椅子転倒時におけるダミー人形<br>を用いた人体損傷評価  | 石川耕介、松浦弘幸、中野<br>正博、玉川雅彰、行正徹、<br>山中真、久保田正美、松崎<br>照美、近藤理恵                    |
| 2012年11月3日 | 生活生命支援医療福祉工学系<br>学会連合大会<br>2012(LIFE2012), 名古屋大学 | 転倒による頭部加速度の理論的分<br>析   | 中野正博、松浦弘幸、玉川<br>雅彰、行正徹、山中真、久<br>保田正美                                       |
| 発表年月日      | 発表媒体   | 発表タイトル   | 発表者  |
| 2012年11月3日 | 生活生命支援医療福祉工学系<br>学会連合大会<br>2012(LIFE2012), 名古屋大学 | 滑りを考慮した人体の転倒に関す<br>る理論的検討  | 行正徹、中野正博、松浦弘<br>幸、玉川雅彰、山中真、久<br>保田正美                                       |
| 2012年11月3日 | 生活生命支援医療福祉工学系<br>学会連合大会<br>2012(LIFE2012), 名古屋大学 | 人体の衝突・転倒時の損傷評価に<br>ついて (転倒条件による損傷パラ<br>メータへの影響)                                | 玉川雅彰、松浦弘幸、中野<br>正博、行正徹、山中真、久<br>保田正美                                       |

|             |  |   |  |
|-------------|--|---|--|
| 2012年11月3日  | 生活生命支援医療福祉工学系<br>学会連合大会<br>2012(LIFE2012), 名古屋大学     | 転倒衝撃力による骨折評価に関する基礎研究                              | 山中真、中野正博、玉川雅彰、行正徹、松浦弘幸、久保田正美                               |
| 2012年11月3日  | 生活生命支援医療福祉工学系<br>学会連合大会<br>2012(LIFE2012), 名古屋大学     | 車いすの推進操作方法と路面環境が乗り心地と介助負担に及ぼす影響：車いすの評価視点          | 能登裕子、村木里志  |
| 2012年11月3日  | 生活生命支援医療福祉工学系<br>学会連合大会<br>2012(LIFE2012), 名古屋大学     | 車椅子転倒時におけるダミー人形を用いた人体損傷評価                         | 石川耕介、松浦弘幸、中野正博、玉川雅彰、行正徹、山中真、久保田正美、松崎照美、近藤理恵                |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | 学的人体損に関する基礎研究-6～<br>包括的な損傷予測法と安全クライ<br>テリア～       | 松浦弘幸、玉川雅彰、中野正博、山中真、行正徹、根本哲也、久保田怜、松崎照美、近藤理恵、神谷直樹、石川耕介、久保田正美 |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | 生活支援機器使用時の人体の衝<br>突・転倒における転倒条件の鈍的<br>損傷に及ぼす影響     | 玉川雅彰、松浦弘幸、中野正博、行正徹、山中真、久保田正美                               |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | 拘束力を考慮した転倒の理論的検<br>討                              | 行正徹、松浦弘幸、玉川雅彰、中野正博、山中真、久保田正美                               |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | 異なる心理物理学的測定法によっ<br>て得られた評価値の違いに関する<br>検証          | 神谷直樹、松浦弘幸、向後礼子   |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | 様々な転倒の仕方における解剖学<br>的重症度の推定ーダミー人形を用<br>いた転倒実験を通じてー | 神谷直樹、松浦弘幸、近藤理恵、石川耕介、松崎照美、玉川雅彰、行正徹、中野正博、山中真、久保田正美           |
|             |  |   |  |
| 発表年月日       | 発表媒体   | 発表タイトル  | 発表者  |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | 車椅子転倒時におけるダミー人形<br>を用いた人体損傷評価                     | 石川耕介、松浦弘幸、中野正博、玉川雅彰、行正徹、山中真、久保田正美、神谷直樹、松崎照美、近藤理恵           |

|             |  |  |   |
|-------------|--|--|---|
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | Risk Adjustor and Level<br>Acceptable for Human Injury   | Matsuura H, Tamagawa<br>M, Nakano M, Yamanaka M,<br>Yukimasa T, Nemoto T,<br>Kubota R, Matsuzaki T,<br>Kondo R, Kamiya N,<br>Ishikawa K, Kubota M |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | The theoretical approach to the<br>analysis of human fall with<br>consideration about constraint<br>forces | Yukimasa T, Kubota M  |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | Risk Adjustor and Level<br>Acceptable for Human Injury   | Matsuura H, Tamagawa M,<br>Nakano M, Yamanaka M,<br>Yukimasa T, Nemoto T,<br>Kubota R, Matsuzaki T,<br>Kondo R, Kamiya N,<br>Ishikawa K, Kubota M |
| 2012年12月26日 | 第25回バイオメディカル・フ<br>ァジィ・システム学会年次大<br>会 (BMFSA2012), 東京 | Human body damage evaluation<br>that uses dummy doll when<br>wheelchair falls                              | Ishikawa K, Matsuura H,<br>Nakano M, Tamagawa M,<br>Yukimasa T, Yamanaka M,<br>Kubota M, Kamiya N,<br>Matsuzaki T, Kondo R                        |
| 2012年4月7日   | 第1回長久手整形外科医療連<br>携会 長久手                              | サルコペニア(筋肉減少症)の診断<br>と治療の現状ー骨粗鬆症性骨折を<br>防ぐためにー  | 原田敦   |
| 2012年6月12日  | H24年度第1回香川県臨床整形<br>外科医会学術講演会 高松                      | 骨強度と転倒の両面から骨折リス<br>クを軽減  | 原田敦   |
| 2012年6月28日  | 第54回日本老年医学会学術集<br>会 東京                               | サルコペニアに対する薬物治療の<br>可能性ー骨粗鬆症薬の検討からー   | 原田敦   |
| 2012年5月24日  | 日本神経学会学術大会   | 生活健忘チェックリストからみた<br>MCIよりADへの進行予測 SEAD-J<br>データ解析より   | 新畑豊、鷺見幸彦、加藤隆<br>司、伊藤健吾、SEAD-J<br>study group  |
| 2012年6月1-3日 | 第111回日本皮膚科学会総会<br>京都                                 | 褥瘡に合併した感染症の診療  | 磯貝善蔵、古田勝経   |
|             |  |  |   |



| 発表年月日       | 発表媒体                                | 発表タイトル   | 発表者                                 |
|-------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| 2012年6月7-8日 | 第44回日本結合組織学会・第59回マトリックス研究会合同学術集会 東京 | 褥瘡、発生真皮組織におけるパーシカンG1-SHAP-ヒアルロン酸コンプレックス 肉芽組織由来パーシカンG1ドメインを含むマクロコンプレックス形成 | 村澤裕介、米田雅彦、中村博幸、渡辺研、木全弘治、磯貝善蔵        |
| 2012年6月28日  | 第54回日本老年医学会学術集会 東京                  | 高齢者の身体機能測定のための新しい握力測定器の開発  | 松井康素、藤田玲美、原田敦、櫻井孝、根本哲也、野田信雄、鳥羽研二    |
| 2012年6月28日  | 第54回日本老年医学会学術集会 東京                  | サルコペニアに対する薬物治療の可能性ー骨粗鬆症薬の検討からー   | 原田敦                                 |
| 2012年6月29日  | 第54回日本老年医学会学術集会 東京                  | ロコモティブシンドローム（ロコモ）とサルコペニアの関連  | 松井康素、竹村真里枝、原田敦、安藤富士子、小坂井留美、下方浩史     |
| 2012年7月19日  | 第4回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会               | 地域在住中高齢者における膝関節痛と膝伸展筋力の関連  | 松井康素、竹村真里枝、原田敦、安藤富士子、李成喆、下方浩史       |
| 2012年7月25日  | 瑞穂区医師会学術講演会 名古屋                     | 骨強度と外力から考える骨粗鬆症性骨折の予防  | 原田敦                                 |
| 2012年8月24日  | 愛媛骨粗鬆症治療学術講演会 愛媛                    | 骨強度と外力から考える骨折予防  | 原田敦                                 |
| 2012年9月1-2日 | 第14回日本褥瘡学会 横浜                       | 院内における褥瘡発生の傾向と今後の取り組みへの課題  | 堀江千恵子、正岡愛、近藤久美子、楠雅代、下菌いづ美、古田勝経、磯貝善蔵 |
| 2012年9月1-2日 | 第14回日本褥瘡学会 横浜                       | 在宅へ退院される患者と家族へのパンフレット作成～高齢の介護者に注目して～                                     | 熊谷由起江、南保茂美、鈴村美樹、下菌いづ美、楠雅代、古田勝経、磯貝善蔵 |
| 2012年9月1-2日 | 第14回日本褥瘡学会 横浜                       | 褥瘡予防対策についての院内教育の効果と看護師の意識変化～アンケート調査からの考察～                                | 小田祥子、楠雅代、下菌いづ美、古田勝経、磯貝善蔵            |
| 2012年9月1-2日 | 第14回日本褥瘡学会 横浜                       | 褥瘡ハイリスクケア加算の妥当性の検証～極度の皮膚の脆弱（黄疽）患者と強度の下痢患者について～                           | 溝神文博、古田勝経、磯貝善蔵                      |

|                    |   |  |  |
|--------------------|---|--|--|
| 2012年9月1-2日        | 第3回日本プライマリ・ケア<br>連合学会学術大会   | 腹壁皮下輸液により、壊死性筋膜炎に至った一例   | 洪英在、磯貝善蔵、遠藤英俊、川嶋修司、佐竹昭介、西原恵司、小林正樹、三浦久幸   |
| 2012年9月2-6日        | 4th Congress of the World<br>Union of Wound Healing<br>Societies Yokohama Japan | BMP-6 specifically induce by pressure force in cultured fibroblast is present in wound fluid of pressure ulcer | Naoko Arai, Hisako Matsumoto, Yoshiko Takahashi, Zenzo Isogai, Masahiko Yoneda       |
|                    |   |  |  |
| 発表年月日              | 発表媒体  | 発表タイトル   | 発表者  |
| 2012年9月2-6日        | 4th Congress of the World<br>Union of Wound Healing<br>Societies Yokohama Japan | Location-dependent properties of pressure ulcer wounds.  | Yoshiko Takahashi, Zenzo Isogai, Hiroyuki Kanoh, Hisako Matsumoto, Masahiko Yoneda   |
| 2012年9月2-6日        | 4th Congress of the World<br>Union of Wound Healing<br>Societies Yokohama Japan | Iodoform gauze removes necrotic tissue from pressure ulcer wounds by fibrinolytic activity                     | Fumihiro Mizokami, Yusuke Murasawa, Katsunori Furuta, Zenzo Isogai                   |
| 2012年9月2-6日        | 4th Congress of the World<br>Union of Wound Healing<br>Societies Yokohama Japan | Changes of fibronectin in wound surface of pressure ulcer  | Hisako Matsumoto, Zenzo Isogai, Yoshiko Takahashi, Katsunori Furuta, Masahiko Yoneda |
| 2012年9月2-6日        | 4th Congress of the World<br>Union of Wound Healing<br>Societies Yokohama Japan | Unique versican-HA complex in wound tissue   | Yusuke Murasawa, Masahiko Yoneda, Zenzo Isogai                                       |
| 2012年9月6日          | 第35回三河関節外科懇話会<br>知立   | 転倒リスクと転倒骨折リスク  | 原田敦  |
| 2012年9月17日<br>-20日 | 日本ロボット学会 第30回記念 学術講演会<br>札幌   | 高齢虚弱リスク患者に対する立ち乗りモビリティの応用とその効果   | 近藤和泉、尾崎健一、才藤栄一   |
| 2012年9月17日<br>-20日 | 日本ロボット学会 第30回記念 学術講演会<br>札幌   | 転倒時に外力を免ずる材料が骨に与える緩衝性の評価   | 久保田怜、根本哲也、伊藤安海、鳥本聡、松浦弘幸、原田敦  |

|                |                         |   |   |
|----------------|-------------------------|---|---|
| 2012年9月29日     | 第14回日本骨粗鬆症学会 新潟         | サルコペニアに対する活性型ビタミンD剤の治療効果-筋量増強効果に関する骨粗鬆症患者における検討-  | 原田敦、松井康素、酒井義人、竹村真里枝、寺部靖人、伊藤定之、細井孝之、徳田治彦、飛田哲朗、伊藤研悠 |
| 2012年10月6日     | 第23回日本老年医学会東海地方会        | 生活支援ロボット登場の実証試験：健常者による立ち乗り搭乗型ロボットの試乗と安全性の検討   | 大島浩子、根本哲也、久保田怜、石川耕介、松井康素、原田敦、磯貝善蔵、新畑豊、加納周美        |
| 2012年10月6日     | 第23回日本老年医学会東海地方会        | 骨突出部周辺の皮膚の変形計測  | 根本哲也、久保田怜、松浦弘幸、古田勝経、磯貝善蔵、伊藤安海、島本聡                 |
| 2012年10月7日     | 第9回研究集会，転倒予防医学研究会，58，東京 | 立体バランステスト standing test for imbalance and disequilibrium(SIDE)の妥当性の検討：テスト肢位の順序性は重心動揺と並行するか？ | 近藤和泉、尾崎健一、原田敦、寺西利生、園田茂、宮坂裕之、成田渉、才藤栄一              |
| 発表年月日          | 発表媒体                    | 発表タイトル  | 発表者   |
| 2012年10月7日     | 第9回研究集会，転倒予防医学研究会，58，東京 | Personal Transport Assistance Robot (PTAR)を用いた中枢神経障害患者に対するバランス訓練の試み                         | 近藤和泉、尾崎健一、加賀谷齊、平野哲、才藤栄一                           |
| 2012年10月13-14日 | 第63回日本皮膚科学会中部支部学術大会     | 創傷におけるgelatinaseの役割りーMatrix metalloproteinase (MMP)-9発現は悪化因子か？                              | 小林孝史、輪千浩史、里史明、水野晃治、磯貝善蔵、早川和人                      |
| 2012年10月20日    | 第14回日本医学会公開フォーラム 東京     | 高齢者のサルコペニア  | 原田敦   |
| 2012年10月23日    | 第4回富士・富士宮整形外科懇話会 富士     | 転倒骨折リスクとその軽減  | 原田敦   |
| 2012年10月27日    | 第31回日本認知症学会学術集会 つくば     | 血管性認知症とアルツハイマー病との鑑別およびco-morbidityに関する検討  | 新畑豊、鷺見幸彦、武田章敬、山岡朗子、辻本昌史、川合圭成、櫻井孝、文堂昌彦、加藤隆司、伊藤健吾   |

|             |  |   |   |
|-------------|--|---|---|
| 2012年10月27日 | 第31回日本認知症学会学術集会 つくば  | 地域の事業所の日常業務における認知症に関する困りごと調査                                | 武田章敬、尾之内直美、鈴木亮子、清家理、辻本昌史、川合圭成、山岡朗子、新畑豊、鷺見幸彦、鳥羽研二            |
| 2012年10月27日 | 第31回日本認知症学会学術集会 つくば  | アルツハイマー病における運動機能の日常生活に与える影響の検討                              | 武田章敬、尾之内直美、鈴木亮子、清家理、辻本昌史、川合圭成、山岡朗子、新畑豊、鷺見幸彦、鳥羽研二            |
| 2012年10月27日 | 第31回日本認知症学会学術集会 つくば  | 詳細な神経心理学的検査による、前臨床期のアルツハイマー病検出の可能性                          | 加藤公子、加藤隆司、倉坪和泉、岩田香織、山岸未沙子、新畑豊、伊藤健吾、MULNIAD study group、中村昭範 |
| 2012年10月27日 | 第31回日本認知症学会学術集会 つくば  | Default mode network の functional connectivity と局所脳糖代謝との相関  | 岩田香織、加藤隆司、ディアース ケアステン、加藤公子、倉坪和泉、藤原謙、牛鼻健二、新畑豊、伊藤健吾、中村昭範      |
| 2012年10月29日 | 運動器の10年・骨と関節の日市民公開講座 名古屋   | 高齢期の骨折の予防と治療一骨の寿命は延びていますー                                   | 原田敦   |
| 2012年11月11日 | 第28回 日本義肢装具学会学術大会 名古屋  | 転倒と立位バランス-患者さんの安全確保を目的として-                                  | 近藤和泉  |
|             |  |   |   |
| 発表年月日       | 発表媒体   | 発表タイトル  | 発表者   |
| 2012年11月17日 | 第84回医協メディカルフォーラム「老年医学のパラダイムシフト」 名古屋  | 加齢性筋肉減少症（サルコペニア）の臨床   | 原田敦   |
| 2012年11月23日 | The 6th Asan Rehabilitation Symposium: Robot@rehab, Robot@home. Seoul, Korea | Robotics for rehabilitation in Japan                        | Kondo I   |
| 2012年12月6日  | International Conference on Sarcopenia Research                              | A new grip-strength measuring device for evaluating various | Yasumoto Matsui, Remi Fujita, Atsushi Harada,               |

|              |                               |   |  |
|--------------|-------------------------------|---|--|
|              |                               | conditions in sarcopenia like catching and holding ability  | Takashi Sakurai, Tetsuya Nemoto, Nobuo Noda, Kenji Toba  |
| 2012年12月7-8日 | 第10回エラスチン研究会 東京               | MMP-3の抗炎症、組織再生作用の検討   | 中村博幸、村澤裕介、磯貝善蔵   |
| 2012年12月7-8日 | 第10回エラスチン研究会 東京               | 肉芽形成過程におけるパーシカンG1マクロコンプレックスの役割  | 村澤裕介、栗林忠弘、中村博幸、米田雅彦、磯貝善蔵   |
| 2012年12月7-9日 | 第37回日本研究皮膚科学会 沖縄              | Identification of ABCC6 gene mutations in the Japanese patients with psuedoxanthoma elasticum (PXE) | Iwanaga A, Yozaki M, Yagi Y, Maemura K, Tsuiki E, Kitaoka T, Tanioka M, Tamura H, Yamamoto Y, Hattori, T, Isogai Z, Yoshimura K, Utani A |
| 2013年1月9日    | 第25回日本機械学会 バイオエンジニアリング講演会 つくば | 高齢者における転倒による骨折  | 原田敦  |
| 2013年1月30日   | 第1回城東ロコモティブ・シンドローム懇話会 東京      | 骨と筋肉から考える高齢者の骨折予防   | 原田敦  |
| 2013年2月8日    | 第3回 次世代ロボット産業研究会 大府           | リハビリテーションで求められる器具・ロボットについて  | 近藤和泉   |
| 2013年2月19日   | 第32回褥瘡研究会 名古屋                 | 褥瘡の発生部位による特徴  | 高橋佳子、溝神文博、古田勝経、加納宏行、米田雅彦、磯貝善蔵  |
| 2013年3月8日    | 青森県成人・老人リハビリテーション施設協会研修会 青森   | 転倒リスク管理に関して一認知症への対応も含めて   | 近藤和泉   |
| 2013年3月10日   | 第9回日本褥瘡学会中部地方会 岐阜             | 高齢者医療の中での褥瘡チーム医療（特別講演）  | 磯貝善蔵   |
|              |                               |   |  |
| 発表年月日        | 発表媒体                          | 発表タイトル  | 発表者  |
| 2013年3月10日   | 第9回日本褥瘡学会中部地方会 岐阜             | 褥瘡予防対策についての院内教育の効果と看護師の意識変化～アンケートからの考察～   | 小田祥子、楠雅代、下菌いづ美、古田勝経、磯貝善蔵   |

|                                 |   |   |   |
|---------------------------------|---|---|---|
| 2013年3月10日                      | 第9回日本褥瘡学会中部地方会 岐阜   | 創傷治癒におけるヒアルロン酸に対する加圧の影響   | 高橋佳子、小松万喜子、磯貝善蔵、米田雅彦  |
| 2013年3月10日                      | 第9回日本褥瘡学会中部地方会 岐阜   | 院内における褥瘡発生の傾向と今後の取り組みへの課題   | 堀江千恵子、正岡愛、近藤公美子、下菌いづ美、古田勝経、磯貝善蔵   |
| 2013年3月10日                      | 第9回日本褥瘡学会中部地方会 岐阜   | ハンチントン病の不随意運動が影響する外力をコントロールし著効した右足外側褥瘡  | 溝神文博、古田勝経、磯貝善蔵  |
| 2013年7月28日                      | 健康ワンダフル テレビ愛知   | 骨折は寿命を縮める？～骨粗しょう症～  | 原田敦   |
| 2013年10月3日                      | NHK ためしてガッテン  | ためしてガッテン「女性の5割が危険領域 謎の足腰フラフラ病！」   | 原田敦   |
| 2013年7月26-27日                   | 第22回日本意識障害学会, 秋田市   | バランストレーニングロボットとその将来への展開   | 近藤和泉  |
| 2013年6月13-15日                   | 第50回日本リハビリテーション医学会学術集会,, 東京都  | 高齢者に対するリハビリテーション医療と Frailty   | 近藤和泉, 佐竹昭介, 尾崎健一  |
| 24 February, 2014, Seoul        | Symposium on Rehabilitation Robot and Business  | Fields in medicine, care and welfare in Japan being expected for robots to participate - ideal use and R&D scheme | Kondo I.  |
| June 16-20, 2013, Beijing China | 7th World congress of The international society of physical and Rehabilitation Medicine                                 | Rehabilitation after hip fracture in convalescent rehabilitation wards.   | Osawa A., Maeshima S. , Nishio D. ,Hirano Y. , Kigawa H, Ozaki K., Kondo I. |
| 22 March, 2014, Busan           | The 3rd Korea-Japan NeuroRehabilitation Conference, The 8th Annual Conference of Korean Society for NeuroRehabilitation | Balance Training Using a Personal Transport Assistance Robot is Effective for Frail Elderly.                      | Ozaki K., Kondo I., Satoh K., Hirano S. , Fujinori Y.                       |

(2) 文献

なし

(3) 特許等

なし

(4) その他の公表（プレス発表等）

平成21年8月3日：NEDOからのプレス発表に共同参画

「生活支援ロボットの实用化を目指したプロジェクトをスタート」

平成22年12月27日：NEDOからのプレス発表に共同参画

「ロボット安全性検証センターの開設」

平成25年1月：第14回日本福祉工学会技術賞

「在宅療養家庭用バックアップ電源装置」根本哲也

■（研究開発項目⑤）安全要素部品群と安全設計に基づく搭乗型移動ロボットの開発【アイシン精機株式会社、日本信号株式会社、オプテックス株式会社、株式会社ヴィッツ、学校法人千葉工業大学】

【特許】

| 番号 | 出願人              | 出願番号              | 国内 |     | 出願日       | 状態  | 名称               | 発明者   |
|----|------------------|-------------------|----|-----|-----------|-----|------------------|---|
|    |                  |                   | 外国 | PCT |           |     |                  |   |
| 1  | アイシン精機<br>千葉工業大学 | 特願<br>2014-026725 | 未定 |     | 2014/2/14 | 公開前 | 移動体及びその最高速度の制御方法 | 安藤 充宏<br>落合 博敏<br>古田 貴之<br>清水 正晴<br>大和 秀彰<br>戸田 健吾<br>小太刀 崇                         |
| 2  | アイシン精機<br>千葉工業大学 | 特願<br>2014-040515 | 未定 |     | 2014/3/3  | 公開前 | 搭乗型移動ロボット        | 安藤 充宏<br>長嶺 昇<br>梁 盛濬<br>落合 博敏<br>高柳 渉<br>清水 正晴<br>大和 秀彰<br>戸田 健吾<br>小太刀 崇<br>古田 貴之 |
| 3  | アイシン精機<br>千葉工業大学 | 特願<br>2014-059696 | 未定 |     | 2014/3/24 | 公開前 | 移動体              | 安藤 充宏<br>梁 盛濬<br>高柳 渉<br>長嶺 昇<br>落合 博敏<br>小太刀 崇<br>戸田 健吾<br>清水 正晴<br>大和 秀彰<br>古田 貴之 |



【論文】

| 番号 | 発表者   | 所属     | タイトル  | 発表誌名、ページ番号                                    | 査読 | 発表年月                                |
|----|-------|--------|---|---|----|-------------------------------------|
| 1  | 小太刀 崇 | 千葉工業大学 | 搭乗型移動ロボットのための移動リスク低減アルゴリズムとつくば市ロボット特区における実証実験 | 日本ロボット学会誌 Vol. 32 No. 7~8「日本ロボット学会学術講演会論文特集号」 | 有  | 2014/7<br>予定<br>(2013年 12月 16日論文受付) |

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

| 番号 | 発表者   | 所属     | タイトル                                  | 会議名                  | 発表年月      |
|----|-------|--------|---------------------------------------|----------------------|-----------|
| 1  | 板倉 正人 | アイシン精機 | 電動車いすの安全設計                            | サービスロボットの安全性に関するセミナー | 2012/7/25 |
| 2  | 安藤 充宏 | アイシン精機 | 許容リスク以下安全移動支援技術を有する搭乗型移動ロボット          | 第30回日本ロボット学術講演会      | 2012/9/20 |
| 3  | 安藤 充宏 | アイシン精機 | 安全移動支援技術を有する電動車いすベースの生活支援モビリティ        | L I F E 2 0 1 2      | 2012/11/4 |
| 4  | 村田 記一 | オプテックス | 安全移動支援技術を有する搭乗型移動ロボットの環境情報取得モジュール群の開発 | ROBOMECH 2 0 1 3     | 2013/5/23 |
| 5  | 小太刀 崇 | 千葉工業大学 | 搭乗型移動ロボットのための移動リスク低減アルゴリズム            | 第31回日本ロボット学会学術講演会    | 2013/9/17 |
| 6  | 猪俣 宏明 | 日本信号   | 搭乗型移動ロボットへの搭載を想定した3Dレーザ測域センサの開発       | 第31回日本ロボット学会学術講演会    | 2013/9/17 |

(b) 新聞・雑誌等への掲載

| 番号 | 所属     | タイトル                    | 掲載誌名            | 発表年月       |
|----|--------|-------------------------|-----------------|------------|
| 1  | アイシン精機 | 電動車いすベースの搭乗型移動ロボットの安全技術 | 福祉介護テクノプラス 7月号  | 2013/7/1   |
| 2  | アイシン精機 | 車いす型ロボ公道実験開始            | 日刊工業新聞          | 2013/11/6  |
| 3  | アイシン精機 | 車いす型ロボ実験開始              | 日本経済新聞（北関東）     | 2013/11/6  |
| 4  | アイシン精機 | 時速10キロ車いす公道実験を開始        | 日本経済新聞（中部）      | 2013/11/6  |
| 5  | アイシン精機 | 搭乗型移動ロボ公道実験             | 中部経済新聞          | 2013/11/6  |
| 6  | アイシン精機 | 周囲検知し減速                 | 日刊工業新聞          | 2013/11/8  |
| 7  | アイシン精機 | 搭乗型移動ロボットの公道実証実験        | 日刊自動車新聞         | 2013/11/16 |
| 8  | アイシン精機 | 車いす 自動減速                | 中日新聞            | 2013/11/20 |
| 9  | アイシン精機 | 搭乗型移動ロボットとその安全技術の開発     | アイシン技術会2013年度技報 | 2014/3/1   |

■（研究開発項目⑤）屋外移動支援機器における安全エンジニアリング技術の研究開発【I D E C株式会社（共同実施先：大阪大学）】

1 研究発表・講演について

2011 年度

| 発表年月日       | 表媒体                         | 発表タイトル   | 発表者  |
|-------------|-----------------------------|--|------|
| 2011年8月27日  | 第14回日本福祉のまちづくり学会研究発表会（査読無し） | 安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットを用いた地域モビリティの向上   | 猪井博登 |
| 2011年9月8日   | 第29回ロボット学会学術講演会             | 搭乗型生活支援ロボットとしてのゴルフカートにおける対人安全技術の開発   | 土肥正男 |
| 2011年9月16日  | ヒューマンインターフェイスシンポジウム2011     | 高齢者社会と調和する屋外搭乗型生活支援ロボットの安全エンジニアリング技術の開発  | 栗山龍起 |
| 2011年10月20日 | ISA Automation week         | Application of the next-generation emergency stop system utilizing function safety wireless technology into outdoor life-supporting robots | 岡田和也 |
| 2012年3月16日  | R-Map実践研究会成果発表              | ハンドル型電動車いすの事故事例解析・研究   | 栗山龍起 |

2012 年度

| 発表年月日       | 発表媒体                    | 発表タイトル  | 発表者  |
|-------------|-------------------------|---|------|
| 2012年9月6日   | ヒューマンインターフェイスシンポジウム2012 | 屋外生活支援ロボットとしての誘導式ゴルフカートの安全エンジニアリング技術の開発                                     | 栗山龍起 |
| 2012年9月20日  | 第30回ロボット学会学術講演会         | 搭乗型生活支援ロボットとしてのゴルフカートにおける対人安全技術の開発  | 栗山龍起 |
| 2012年10月11日 | SIAS *1                 | Development of Safety Technology for Outdoor-use Person Carrier Robots that | 岡田和也 |

|             |                       |   |       |
|-------------|-----------------------|---|-------|
|             |                       | Achieve the Optimal Safety and Usability in the Ageing Society with a Declining Birthrate |       |
| 2012年11月4日  | 第46回土木計画学研究・講演会（査読無し） | ハンドル形電動車いすの自動減速による搭乗者への効果に関する研究   | 橋本真彌、 |
| 2012年10月11日 | SIAS *1（査読有り）         | The Accident prevention of Mobility scooter by automatic slowdown with laser range finder | 猪井博登  |
| 2012年9月18日  | TRANSED2012（査読有り）     | LOAD FROM HARSH BRAKING OF MOBILITY SCOOTER FOR PREVENTING STAIRWAY FALL                  | 猪井博登  |

\*1 : International Conference on Safety of Industrial Automated Systems

## 2013 年度

| 発表年月日             | 発表媒体  | 発表タイトル  | 発表者                  |
|-------------------|---|---|----------------------|
| 2013年5月23日        | ROBOMECH2013  | 屋外搭乗型生活支援ロボットにおける安全エンジニアリング技術の開発とその適用事例                                     | 栗山龍起                 |
| 2013年9月4日         | 第31回ロボット学会<br>学術講演会   | 搭乗型生活支援ロボットのリスク低減方策について   | 栗山龍起                 |
| 2013年9月12日        | ヒューマンインターフェイスシンポジウム2013   | 屋外搭乗型生活支援ロボットのリスクアセスメントとリスク低減方策   | 栗山龍起                 |
| 2013年11月6日<br>～9日 | 国際ロボット展プレゼン   | 搭乗型生活支援ロボットの安全対策  | 大杉典史<br>関野義男<br>栗山龍起 |
| 2013年11月3日        | 第48回土木計画学研究発表会<br>(査読無し)  | ストレス計測によるゴルフカートと人の接近可能距離の検証   | 武田将司                 |
| 2013年6月8日         | 平成 25 年度土木学会<br>関西支部年次学術講演会 (査読無し)  | ストレス計測によるゴルフカートと人の接近可能距離の把握   | 武田将司                 |
| 2013年9月17日        | 第 33 回交通工学研究発表会 (査読有り)  | ヒヤリハット事象にみる 乗用 ゴルフカートの事故要因  | 石塚裕子                 |
| 2013年7月15日        | The proceedings of<br>13th World<br>Conference on<br>Transport Research<br>(査読有り) | SAFETY IMPROVEMENT FOR<br>MOBILITY SCOOTERS USING<br>AUTOMATIC DECELERATION | 猪井博登                 |

\*1 : International Conference on Safety of Industrial Automated Systems

## 2 特許について

| 出願日         | 名称                  | 発表者                                |
|-------------|---------------------|------------------------------------|
| 2013年11月29日 | 地上移動体、制御回路及び設定プログラム | 栗山龍起（IDEC株式会社）<br>橋本真彌（国立大学法人大阪大学） |