

研究開発項目④「移動知能（サービスロボット分野）の開発」

研究開発テーマ「オフィスビル移動ロボットの知能化」

委託先名 富士重工業株式会社

Ⅲ. 研究開発成果について

3. 各テーマの成果詳細

3.4 移動知能の開発

3.4.2 オフィスビル移動ロボットの知能化

1) 研究開発の概要

(1) 事業目的

①背景

21世紀の我が国においては、社会の少子高齢化の進展やサービス経済化の流れに沿って、消費者の生活分野、公共分野、医療福祉分野から様々な産業分野に至るまでの幅広い活動を支援するロボットへの期待が高まっている。これらの生活分野の中で、当面、大きな市場ニーズを有するものの1つとして清掃を行うロボットが挙げられる。現実には、オフィスビル、空港、マンション、工場等の広域空間の清掃作業現場においては、過酷な労働条件下において多くの労働力及び人件費が必要とされることから、自動化への要求は高い。

しかしながら、現状の技術レベルでは上記の要求に対して、ロボットが実用化できる用途や使用条件は限定的であると言わざるを得ない。

②目的

この状況を打破するため、確実性を持った自律的な活動に必要な知能化技術の開発が求められる。したがって、これまで開発されてきた高性能センシング等の要素技術を十分に活用しつつ、知能化技術の研究開発を重点的に推進することで、生活空間や多種少量生産の製造現場等、状況が変わりやすい環境下において、より幅広い用途と人間共存環境での実用が可能な次世代ロボットの実現に繋がられることを目的とし、機能の高度化に必要な知能化技術を開発し、自律的な次世代ロボットの要素技術を確立する。

その実現のため、本事業では、以下の点に重点をおき、実施する。

- ・ 富士重工業株式会社で開発済の技術を知能モジュールとして、RTM化し早期に提供する。また、開発する特徴的なコア技術も知能モジュールとして順次提供する。
- ・ 自社技術だけにこだわらず、外部の優れた再利用可能な知能モジュールを積極的に使用し当社が開発済又は開発する特徴的なコア知能モジュールと組み合わせ、再利用可能な形で実用的ロボットの知能化向上に結びつける。
- ・ これらの再利用可能な知能モジュールを用いて、実用的なロボットの開発実績における知能化向上に結びつける。
- ・ 評価時には、成果の文書化やサンプル公開等のまとめを行う。

(2) 事業概要

①対象とするロボット

サービス産業分野の知能ロボットにおいて、当面、大きな市場ニーズを有するものとして、清掃分野の作業を行うロボットが挙げられる。

以前より、オフィスビル、マンション、空港、駅、工場などの広域空間の清掃作業現場においては、過酷な労働条件下において多くの労働力及び人件費が必要とされることから、自動化への要求は高かった。さらに最近では清掃作業が深夜に行われるケースが多くなってきていることと、少子高齢化による作業不足によって、作業者の確保が難しくなっており、清掃ロボットの社会的必要性が高くなっている。

また富士重工業株式会社は、以前より屋内型清掃ロボットの実用化を進めており、数々のオフィスビルや空港等に導入してきた。

しかし、導入してきた場所は、建物の中の限られた部分であった。今後の技術の発展により、ロボットの適用フィールドを広げることが可能と考えている。

さらにゴミ箱搬送ロボット、農業用薬液注入口ロボット等の異なる分野のロボットへの展開も行うことにより、再利用性の検証を行う。

そこで既に清掃ロボットを導入してきたユーザからの意見を取り入れた上で、本プロジェクトでの再利用可能な知能モジュールを用いて知能化するロボットとして以下の4つを対象とする。

■閉鎖空間清掃ロボット

- ・専用部小型清掃ロボット（事務所等の専用エリア）
- ・共用部清掃ロボット（廊下、エレベータホール等の共用エリア）

■開放空間清掃ロボット

■閉鎖空間分別ゴミ箱等搬送ロボット

（IC タグによるゴミ計量・課金システムを含む）

■農業用薬液注入口ロボット

閉鎖空間：オフィスビル事務所、廊下、エレベータホール、マンション、図書館等（500m²以下の空間）

現状

物が置かれない廊下、エレベータホール等



六本木ヒルズ

実行目標



専用部（机や椅子が移動）



共用部（病院等の物が置かれ、移動する廊下）

図 3.4.2.1 閉鎖空間におけるロボット運用の現状と実行目標

開放空間：空港、駅、展示場 等（500m²以上の空間）

現状

物が置かれない通路（メインエリア）



中部国際空港

実行目標



椅子などの物が置かれ、移動するエリア（サブエリア）

図 3.4.2.2 開放空間におけるロボット運用の現状と実行目標

(a) 閉鎖空間清掃ロボット

i) 専用部小型清掃ロボット

オフィスビルにおいて各階のフロアは、廊下やエレベータホール等、利用者が共用して使う共用部と、事務所や会議室等、特定の人を使う専用部という 500 m²以下の閉鎖空間に分けられる。一般にオフィスビルにおいては、ビルの性質上、専用部の面積は共用部の面積よりも、はるかに広く作られている。そのため、ビルメンテナンス会社からの専用部の清掃の自動化の要望は非常に高い。

しかし、専用部においては、机やゴミ箱等の移動による環境変化が頻繁であり、未だに人手で清掃を行っている。その結果、深夜や早朝のオフィスが稼動する前の短い時間に大量の作業員が必要となっており、今後の少子高齢化により作業員の確保が難しくなることが懸念されている。

そこで、オフィスビルの専用部 500 m²を無人で清掃するロボットが求められている。ロボット清掃は当面は夜間に行うが、セキュリティ等の関係上、昼間のロボット清掃の要求もあり、したがって人との共存が必要となる。このロボットの働きとして、

- ・ 机等を回避しながら床面を清掃
- ・ 物が置かれても回避しながら清掃
- ・ 経路変更への迅速な対応を図るためCAD図からロボットの走行プログラムを自動生成
- ・ 清掃残しをなくすため、高精度かつ確実な走行
- ・ 作業員と比べ遜色のない清掃品質
- ・ 専用部を移動可能なサイズ 全長 450mm 全幅 450mm 全高 450mm
- ・ 最大速度 30m/min
- ・ 清掃吸気排気フィルタ搭載

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。



事務所（オフィスビル専用部）



図書館

※机、キャビネット、
事務機器は移動しない
(椅子は、人が机の上にあげる)

図 3.4.2.3 実行目標を想定した応用例（閉鎖空間）

ii) 共用部清掃ロボット

既に共用部の清掃ロボットは事業化している。廊下に物を置かせない等の環境の変化を運用面でなくすことで清掃ロボットを実用化している。

しかし今後、更なる市場を創出することは難しい。そこでこのロボットの働きとして、

- ・ 夜間清掃から、人と共存する昼間清掃への対応
- ・ 机等を回避しながら床面を清掃
- ・ 物が置かれても回避しながら清掃
- ・ 経路変更への迅速な対応
- ・ 清掃残しをなくすため、高精度かつ確実な走行
- ・ 作業者と比べ遜色のない清掃品質
- ・ 最大速度 30m/min
- ・ 清掃吸気排気フィルタ搭載

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。

iii) 専用部小型清掃ロボット・共用部清掃ロボットの共通事項

実用化・導入した共用部清掃ロボットの運用は、1台のエレベータに対し1台のロボットが乗降し、各フロアを清掃している。

しかし、ロボットが1つのフロアを清掃している間、エレベータは待機しているため、清掃効率をより向上させる必要がある。そこで、このロボットの働きとして、複数のロボットが、1台のエレベータに乗降できることが要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。

(b) 開放空間清掃ロボット

空港、駅、ビル群の共同ロビー、地下通路等の 500 m²以上の開放空間での清掃は、清掃面積が広く、かつ公共空間であることから短時間で清掃することが求められている為、自動化、ロボット化の要求は高い。これらの開放空間においては、人の導線の中心となるメインエリアと、休憩や待合等が出来るサブエリアに分かれる。メインエリアは、ゴミ箱や植木等の固定物を後から置くような環境変化は、ほぼ起こりえないため、既に清掃ロボットが導入されている。

しかし、サブエリアは固定物が後から置かれる、移動されるという環境変化が頻繁に起こるため、人手によって清掃が行われている。閉鎖空間と同様、今後の少子高齢化により作業者の確保が難しくなることが懸念されている。

そこで、空港、駅、ビル群の共同ロビー、地下通路等の 500 m²以上の開放空間の清掃を無人で行うロボットが求められている。このロボットの働きとして、

- ・ ゴミ箱やイス等の固定物を回避しながら清掃
- ・ ゴミ箱、植木等の固定物を、後から置かれるような環境変更への対応
- ・ 広範囲の清掃を限られた清掃時間で行う為、最大速度 50m/min での清掃
- ・ 清掃残しをなくすため、高精度かつ確実な走行

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。



空港



ビル群共用ロビー

- ・ 空港
- ・ 駅
- ・ ビル群の共用ロビー
- ・ 地下通路

図 3.4.2.4 実行目標を想定した応用例（開放空間）

※実用化済の清掃ロボット仕様

- ・ 全長 850mm 全幅 720mm 全高 1150mm
- ・ 最大速度 30m/min
- ・ サイドブラシによる壁際清掃可能
- ・ 雨天走行可、カーペット可、ハードフロア可
- ・ 病院向、薬品会社向（排気フィルタ付、清浄度クラス 1000 以下）



図3.4.2.5 実用化済の清掃ロボット

(c) 閉鎖空間分別ゴミ箱等搬送ロボット

現在オフィスビル等では、地球環境問題、ゴミの再資源化の観点から、ゴミの分別及びゴミ排出量の数値化が自治体の指導等により義務付けられている。また、平成 18 年、生ゴミを 2 割削減する食品リサイクル法が施行された。

またオフィスビルの高層化が進み、1 つのビルに設置されるゴミ箱は増加している。例えば、40 階建てのビルでは 14 分別、1 フロア当り 2 ヲ所のゴミ箱ステーションがあると考えると 1120 個にもなる。

しかし、それらのゴミ箱又はゴミ箱の中のゴミ袋は、人がごみ処理室まで運び、計量器にのせ、重量データを取得、ゴミ箱・ゴミ袋を人がバーコードでスキャンし、テナント名、ゴミ種別を取得している。これらのデータはコンピュータに入力され、集計、管理、課金されている。その結果、ゴミの運搬と重量の集計管理を行う作業員のコストが発生するとともに、エレベータを使用してゴミ箱を運搬するため、エレベータの待ち時間が長くなり、他の業務への支障をきたす問題も発生している。

そこで人のいなくなる夜間等に無人でゴミ箱を交換し運搬する搬送ロボットシステムの開発が求められている。本ロボットシステムは、ゴミ箱に IC タグを貼り付けることで、自動的にゴミの重量を、テナント、ゴミ種別ごとに計量し、管理及び課金することで、ゴミ排出量の明確化、リサイクルの促進が行われる。ロボットを用いていないゴミ計量課金システムは既に事業化しているが、本システムにより、ゴミの排出量は導入前の 1/2~1/3 となった実績がある。このロボットの働きとして、

- ・最大 30kg の搬送重量
- ・ゴミ箱を自動連結
- ・エレベータ自動乗降し、ゴミ処理室まで搬送
- ・最大速度 30mm/min

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールを開発する。



オフィスビル内の分別ゴミ箱



屋外での IC タグを用いた
ゴミ箱搬送・計量システム
(愛知万博での実証試験)



ビルのゴミ処理室

図 3.4.2.6 実行目標を想定した応用例 (閉鎖空間ゴミ箱等搬送ロボット)

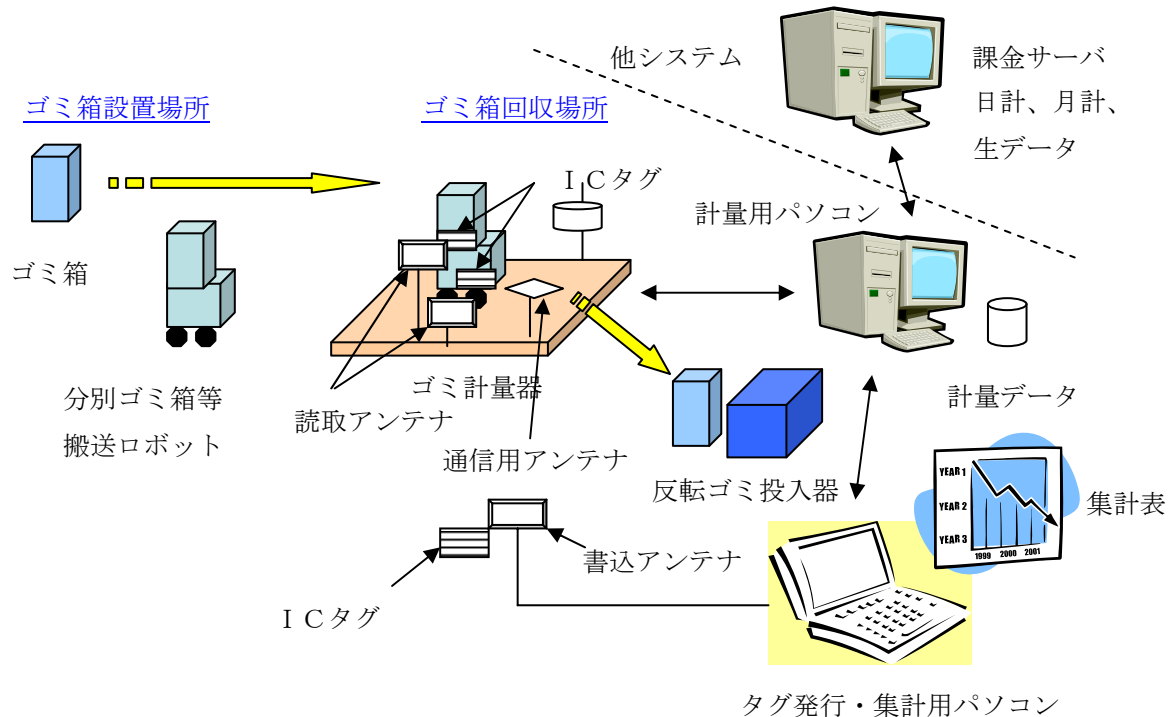


図3.4.2.7 ICタグを用いたゴミ箱搬送・計量システム

(d) 農業用薬液注入ロボット

現在の農業において、作物を収穫した後、土壌障害、防虫等のために、クロロピクレンという消毒薬を人が農業機械を用いて地中に打込んでいます。

しかし、クロロピクレンは劇薬であり、多量に吸い込むと死亡するケースもある。そのため、使用時には、防護服の着用が義務付けられているが、夏季など高気温中で使用する場合、作業者の負担が大きいものとなっている。

そこで、クロロピクレン打込み作業を自動化するロボットが求められている。このロボットの働きとして

- ・不整地での走行
- ・広大な農地を限られた時間でクロロピクレンを打込むための最大 30m/min での走行
- ・クロロピクレンを農地全体に均一に打込むための高精度かつ確実な走行

が要求される。これらの要求を満足するための知能モジュールをできるだけ再利用して使い、再利用性の検証を行う。



図 3.4.2.8 農業用薬液注入ロボット 2号機

2) 研究開発の成

(1) 目標の達成度

本事業の基本計画で定められた最終目標は、「開発した知能モジュール群を搭載したロボットシステムが人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成すること。」であった。

それに対し、表 3.4.2.1 に示す成果を得た。閉鎖空間ゴミ箱等搬送ロボットについては、検証機を連結式搬送ロボットとしたため、工場内の台車を搬送することとしたが、それ以外のロボットは、当初の想定の仕事で検証を行い 100%達成することができた。

そのため、最終目標を十分に達成したと考えている。

表 3.4.2.1 ロボット毎の達成度

No.	対象とするロボット	ロボット名	試験場所	作業内容	達成度	
1	閉鎖空間 清掃ロボット	専用部 小型清掃 ロボット	専用部小型 清掃ロボット	晴海トリトン スクエア Y 棟	専用部分の 床面清掃	100%
				住友商事 八重洲ビル	専用部分、共用部分 の床面清掃	100%
		トイレ用小型 清掃ロボット	新東名高速道路 掛川実験センター	トイレ床面の清掃	100%	
			新東名高速道路 浜北実験センター	トイレ床面の清掃	100%	
		共用部 清掃 ロボット	エレベータ連動 清掃ロボット	晴海トリトン スクエア等	共用部分の清掃	100%
2	開放空間清掃ロボット	空港向 清掃ロボット	中部国際空港 国際線ターミナル	通路の床面清掃	100%	
3	閉鎖空間分別ゴミ箱等 搬送ロボット	連結式 搬送ロボット	医薬品工場 包装ライン	医薬品工場内 製品台車搬送	100%	
4	農業用薬液注入ロボット	農業用薬液注入 ロボット 試作 2 号機	(有)マルクリ ファーム	ビニールハウス内 圃場へのクロロピ クレン注入	100%	

①移動知能モジュールの達成度

開発した知能モジュールとその達成度を以下に示す。スバル知能モジュールは、既存のプログラムをRTMに実装できるよう体系化、言語書き換えを行った知能モジュールを示す。スバルコア知能モジュールは、対象とするロボットの機能を実現するため、新たに作成した知能モジュールである。スバル知能モジュールと外部知能モジュールを組み合わせた知能モジュールは、スバル知能モジュールに、他のコンソーシアムで開発された知能モジュールを組み合わせて、機能実現のために開発された知能モジュールである。


(a) スバル知能モジュール

開発目標に対する具体的な移動知能モジュールについての開発達成度は、表 3.4.2.2 に示す成果を得た。

表 3.4.2.2 開発した知能モジュール

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	達成度
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	①直進制御	センサからのデータを基に、目標角度との角度のずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	◎
			②旋回制御	センサからのデータを基に、目標角度との角度のずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し旋回制御	◎
			③ジャイロ認識	角度を認識	◎
			④ジャイロ情報管理	センサからのデータを処理し格納	◎
			⑤レーザ三角測量認識	センサから入力したデータ（位置座標データ、角度）を他の知能モジュールへ出力	○
			⑥レーザ三角測量情報管理	レーザ三角測量認識モジュールからのデータを目標位置からのずれ量に変換し、出力	○

◎：大幅達成 ○：達成 ×：未達成

 は、Eclipse Open Source License で提供

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	達成度
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	⑦レーザ三角測量による直進制御	センサからのデータを基に、目標位置とのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	○
			⑧磁気情報板認識	磁気情報板より、現在地を認識	○
			⑨磁気情報板情報管理	磁気情報板より、データを処理し格納	○
			⑩車輪オドメトリ	車輪の回転数から走行距離を算出	○
			⑪画像によるライントレース	床や天井等のラインマーカを抽出	○
			⑫画像によるライントレース情報管理	床や天井等のラインマーカのデータを処理し格納	○
			⑬画像によるライントレース走行制御(群)	画像装置からのデータを基に、目標ラインとのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	○
			⑭画像による壁距離計測	ロボットと壁までの距離を認識	○
			⑮画像による壁距離計測情報管理	画像による壁距離計測データを処理し格納	○
			⑯画像による壁沿い走行	画像によりロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	○
		(2) 地図情報生成に関する知能モジュール群	①レーザセンサによる壁距離計測	ロボットと壁までの距離を測定	○
			②超音波センサ認識	ロボットと壁までの距離を認識	○
			③超音波センサ情報管理	センサからのデータを処理し格納	○

◎ : 大幅達成 ○ : 達成 × : 未達

 は、Eclipse Open Source License で提供

研究開発項目	基本計画の要求	知能モジュール名	内容	達成度	
④	2. 人環境安全移動知能モジュール群の開発	(1) 人・障害物認識に関するモジュール群	①レーザ測距認識	ロボットと人・障害物までの距離を認識	○
			②レーザ測距情報管理	センサのデータを処理し格納	○
		(2) 安全移動制御に関する知能モジュール群	①レーザセンサによる壁沿走行	ロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	○
			②壁距離計測用レーザセンサ走行制御 (群)	ロボットと壁の距離を計測し、目標距離に誘導するための駆動輪速度を演算し出力	○
			③超音波センサによる壁沿走行	ロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	○
	④壁距離計測用超音波センサ走行制御 (群)		ロボットと壁の距離を計測し、目標距離に誘導するための駆動輪速度を演算し出力	○	
		⑤磁気ガイドセンサ走行制御 (群)	センサからのデータを基に、目標位置とのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	○	
	3. エレベータ乗降モジュール群の開発	① 1台のロボットが1台のエレベータに自動乗降	エレベータに自動乗降するため、行先階指定、扉開閉等の信号を送受信 (但し、1台のエレベータには、1台のみロボットが乗降可)	○	
	4. 走行プログラム自動生成モジュール群の開発	① 走行プログラム自動生成	<ul style="list-style-type: none"> 建物図にCAD上で経路を入力すると知能モジュールを選択し、走行プログラムを自動生成するシステム ユーザでの試験運用を行い、改良・改善を行うとともに、実用化に必要な機能盛り込む 	○	

◎ : 大幅達成 ○ : 達成 × : 未達

 は、Eclipse Open Source License で提供

(b) スバル知能モジュールと外部知能モジュールと組合せた知能モジュール

スバル知能モジュールと外部知能モジュールを組み合わせた知能モジュールの開発を行い、表 3.4.2.3 に示す成果を得た。

表 3.4.2.3 スバル知能モジュールと外部知能モジュールを組み合わせた知能モジュール

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	達成度
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	①自己位置認識に関する知能モジュール群 (閉鎖空間長距離走行)	直線走行距離 30m~50m をターンしながら最大 90 往復、ターン回数最大 150 回、連続走行距離最大 3500m、走行速度 30m/min、走行床面はカーペット及びハードフロア、床面傾斜最大 6°、直進走行誤差±50mm、オーバーシュート等の位置精度±50mm を実現	○
			②自己位置認識に関する知能モジュール群 (開放空間長距離走行)	直線走行距離 50m~70m をターンしながら最大 150 往復、ターン回数最大 250 回、連続走行距離最大 8000m、走行速度 50m/min、走行床面は、カーペット及びハードフロア、床面傾斜最大 6°、直進走行誤差±100mm、オーバーシュート等の位置精度±100mm を実現	○
	2. 人環境安全移動知能モジュール群の開発	(1) 人・障害物認識に関する知能モジュール群	①人・障害物認識に関する知能モジュール群	<ul style="list-style-type: none"> ・環境条件にロバスタかつ高速に人・障害物を認識 ・人を含む移動物と固定物を区別 ・検出範囲は、ロボット最大速度 50m/min(0.8m/s) でロボットが緊急停止可能な 5m 	○
			(2) 安全移動制御に関する知能モジュール群	①安全移動制御に関する知能モジュール群	<ul style="list-style-type: none"> ・人を含む移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移動可能な機能を実現 ・走行速度は最大 50m/min、スムーズな加減速

◎ : 大幅達成 ○ : 達成 × : 未達

 は、Eclipse Open Source License で提供

(2) 成果の概要

表 3.4.2.4、表 3.4.2.5 に示す知能モジュールを開発し、実環境にて有効性検証を行った。知能モジュールの開発については、対象のロボットに対して要求される仕様を明確にし、それを実現するための知能モジュールの粒度、仕様を検討しながら開発を行った。知能モジュールの開発に当たっては、RTミドルウェア（以下、RTMとする。）の開発元である独立行政法人産業技術総合研究所の指導の下、実施した。

その手順としては、まず、既存の清掃ロボット等で用いられているプログラムをRTMに実装できるように体系化した。（スバル知能モジュールの体系化）また同時に、上記のロボットを運用するために必要なプログラムを既存プログラムにて開発した。（スバルコア知能モジュールの開発）

次に開発したスバル知能モジュールをRTMに実装できるようにプログラム言語の書き換えを行った。そして、RTM上に実装した。

これらの手順を踏んで開発した知能モジュールを検証用ロボットに実装し、実環境にて有効性の検証を行った。その結果、改良が必要なものは、都度行った。そして、ロボットに与えられた作業をこなせるレベルまで知能モジュールの実用性を高めた。（図 3.4.2.9）

一部の知能モジュールについては **Eclipse Open Source License** で公開した[2][3]。公開をするモジュールを選んだ基準としては、オフィスビル内でロボットが稼動するために最低限必要な機能（直進、旋回、障害物検知等）を今までの経験から選定した。また、マニュアルの整理を行い、再利用センターへの登録、公開の体制を整えた。

一方、知能モジュールそのものの開発の他に、知能モジュールを有効活用するための走行プログラム自動生成システムの開発に取り組んだ。

表 3.4.2.4 開発したスバル知能モジュール

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	添付資料
④	1. 移動環境認識 知能モジュール 群の開発	(1) 自己位置認識に 関する知能 モジュール群	①直進制御	センサからのデータを基に、目標角度との角度のずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	3.4.2.A.1
			②旋回制御	センサからのデータを基に、目標角度との角度のずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し旋回制御	3.4.2.A.2
			③ジャイロ認識	角度を認識	3.4.2.A.3
			④ジャイロ情報管理	センサからのデータを処理し格納	3.4.2.A.4
			⑤レーザ三角測量認識	センサから入力したデータ（位置座標データ、角度）を他の知能モジュールへ出力	3.4.2.A.5
			⑥レーザ三角測量情報管理	レーザ三角測量認識モジュールからのデータを目標位置からのずれ量に変換し、出力	3.4.2.A.6

 は、Eclipse Open Source License で提供

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	添付資料
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	⑦レーザ三角測量による直進制御	センサからのデータを基に、目標位置とのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	3.4.2.A.7
			⑧磁気情報板認識	磁気情報板より、現在地を認識	3.4.2.A.8
			⑨磁気情報板情報管理	磁気情報板より、データを処理し格納	3.4.2.A.9
			⑩車輪オドメトリ	車輪の回転数から走行距離を算出	3.4.2.A.10
			⑪画像によるライントレース	床や天井等のラインマーカを抽出	3.4.2.A.11
			⑫画像によるライントレース情報管理	床や天井等のラインマーカのデータを処理し格納	3.4.2.A.12
			⑬画像によるライントレース走行制御(群)	画像装置からのデータを基に、目標ラインとのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	3.4.2.A.13
			⑭画像による壁距離計測	ロボットと壁までの距離を認識	3.4.2.A.14
			⑮画像による壁距離計測情報管理	画像による壁距離計測データを処理し格納	3.4.2.A.15
		⑯画像による壁沿い走行	画像によりロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	3.4.2.A.16	
		(2) 地図情報生成に関する知能モジュール群	①レーザセンサによる壁距離計測	ロボットと壁までの距離を測定	3.4.2.A.17
			②超音波センサ認識	ロボットと壁までの距離を認識	3.4.2.A.18
			③超音波センサ情報管理	センサからのデータを処理し格納	3.4.2.A.19

 は、Eclipse Open Source License で提供

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	添付資料
④	2. 人環境安全移動知能モジュール群の開発	(1) 人・障害物認識に関するモジュール群	①レーザ測距認識	ロボットと人・障害物までの距離を認識	3.4.2.A.20
			②レーザ測距情報管理	センサのデータを処理し格納	3.4.2.A.21
		(2) 安全移動制御に関する知能モジュール群	①レーザセンサによる壁沿走行	ロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	3.4.2.A.22
			②壁距離計測用レーザセンサ走行制御 (群)	ロボットと壁の距離を計測し、目標距離に誘導するための駆動輪速度を演算し出力	3.4.2.A.23
			③超音波センサによる壁沿走行	ロボットと壁までの距離を測定し、壁沿走行	3.4.2.A.24
			④壁距離計測用超音波センサ走行制御 (群)	ロボットと壁の距離を計測し、目標距離に誘導するための駆動輪速度を演算し出力	3.4.2.A.25
			⑤磁気ガイドセンサ走行制御 (群)	センサからのデータを基に、目標位置とのずれ量を演算し、目標位置へ修正するように左右の駆動輪の速度を出力し直進走行制御	3.4.2.A.26
3. エレベータ乗降モジュール群の開発		①1台のロボットが1台のエレベータに自動乗降	エレベータに自動乗降するため、行先階指定、扉開閉等の信号を送受信 (但し、1台のエレベータには、1台のみロボットが乗降可)	3.4.2.A.27	
④	4. 走行プログラム自動生成モジュール群の開発	①走行プログラム自動生成	<ul style="list-style-type: none"> 建物図にCAD上で経路を入力すると知能モジュールを選択し、走行プログラムを自動生成するシステム ユーザでの試験運用を行い、改良・改善を行うとともに、実用化に必要な機能盛り込む 	iv - 2 - 17 頁「④走行プログラム自動生成システム」参照	



は、Eclipse Open Source License で提供

表 3.4.2.5 スバル知能モジュールと外部知能モジュールを組み合わせた知能モジュール

研究開発項目	基本計画の要求		知能モジュール名	内容	添付資料
④	1. 移動環境認識知能モジュール群の開発	(1) 自己位置認識に関する知能モジュール群	①自己位置認識に関する知能モジュール群 (閉鎖空間長距離走行)	直線走行距離 30m~50m をターンしながら最大 90 往復、ターン回数最大 150 回、連続走行距離最大 3500m、走行速度 30m/min、走行床面はカーペット及びハードフロア、床面傾斜最大 6°、直進走行誤差±50mm、オーバーシュート等の位置精度±50mm を実現	3.4.2.A.28
			②自己位置認識に関する知能モジュール群 (開放空間長距離走行)	直線走行距離 50m~70m をターンしながら最大 150 往復、ターン回数最大 250 回、連続走行距離最大 8000m、走行速度 50m/min、走行床面は、カーペット及びハードフロア、床面傾斜最大 6°、直進走行誤差±100mm、オーバーシュート等の位置精度±100mm を実現	3.4.2.A.29
	2. 人環境安全移動知能モジュール群の開発	(1) 人・障害物認識に関する知能モジュール群	①人・障害物認識に関する知能モジュール群	<ul style="list-style-type: none"> ・環境条件にロバストかつ高速に人・障害物を認識 ・人を含む移動物と固定物を区別 ・検出範囲は、ロボット最大速度 50m/min(0.8m/s) でロボットが緊急停止可能な 5m 	3.4.2.A.30
			(2) 安全移動制御に関する知能モジュール群	①安全移動制御に関する知能モジュール群	<ul style="list-style-type: none"> ・人を含む移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移動可能な機能を実現 ・走行速度は最大 50m/min、スムーズな加減速



図 3.4.2.9 専用部小型清掃ロボットの有効性検証（住友商事八重洲ビル）

①検証用ロボット改造

対象とするロボットで、知能モジュールの有効性を検証するため、以下の検証用ロボットを用いた。これらのロボットには、極力富士重工業株式会社の実用化済みの既存ロボットを用いたが、知能モジュールを搭載するために一部改造、または試作機を製作することとした

表 3.4.2.6 検証用ロボット

閉鎖空間 清掃ロボット	(a) 専用部小型清掃 ロボット	<ul style="list-style-type: none"> ・専用部小型清掃ロボット試作機を製作 ・トイレ用小型清掃ロボットを改造
	(b) 共用部清掃ロボット	既存清掃ロボットを改造
開放空間 清掃ロボット	既存の清掃ロボットを改造	
閉鎖空間 分別ゴミ箱等 搬送ロボット	既存の連結式容器交換ロボットを改造	
農業用薬液 注入口ロボット	既存の農業用薬液注入口ロボット2号機を改造	

②独立行政法人産業技術総合研究所からの指導

スバル知能モジュールのRTM化、他の研究体の知能モジュールを搭載できるようRTMに準拠したロボットへの改造をするため、独立行政法人産業技術総合研究所（以下、産総研と記載）と開発契約を締結し、研究員を派遣した。RTMについて指導を受け、スバル知能モジュールのRTM化を開始した。また、検証用ロボットのシステムやコントローラ等について検討を行った。RTM化した知能モジュールは、産総研所有の小型台車ロボット「ビーゴ」と富士重工業所有の清掃ロボットに同じ知能モジュールを搭載し、再利用性を検証した。（図3.4.2.10）

その結果は、良好で、芝浦工業大学でのデモンストレーションにて紹介した。



産総研からの指導



RTM 化したソフトウェアの文書作成



小型台車ロボット「ビーゴ」
による検証

図 3.4.2.10 産業技術総合研究所での智能モジュール作成

③特殊塗料とブラックライトによるライントレース走行

閉鎖空間清掃ロボットに、カメラとブラックライト、画像によるライントレース走行モジュールを搭載し、建物内での適用を目指した天井ライントレース走行試験を、晴海トリトンスクエアにて行った。これは特殊な塗料を塗付した透明テープとブラックライトを用いて、オフィスビル内でも外観に影響を与えないインフラによる走行法である。

(図 3.4.2.11)



通常時 (透明)

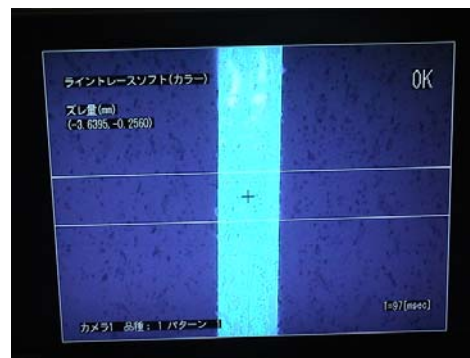


ブラックライト照射時

走行時にロボットから
ブラックライトを
当て、ラインを検出



実証試験 (晴海トリトンスクエア)



ライン検出画像

図 3.4.2.11 特殊塗料とブラックライトを用いたライントレース走行試験

④ 走行プログラム自動生成システム

H20 年度に第 1 フェーズとして、作業者が作成した走行経路図面に基づき、PC 上で知能モジュールを一覧から選択することで、走行プログラムを自動生成するシステムを開発した(図 3.4.2.12)。H21 年度までに第 2 フェーズ(CAD 連携)を開発した(図 3.4.2.13)。本成果は 2009 国際ロボット展にて実演を行った。

H22 年度、H23 年度に第 3 フェーズ(ユーザ販売)に向け、改良改善を行った。そして、ユーザと協議の結果、図 3.4.2.14 に示すような管理機能を付加し、販売の目処をつけた。



図 3.4.2.12 走行プログラム自動生成システム

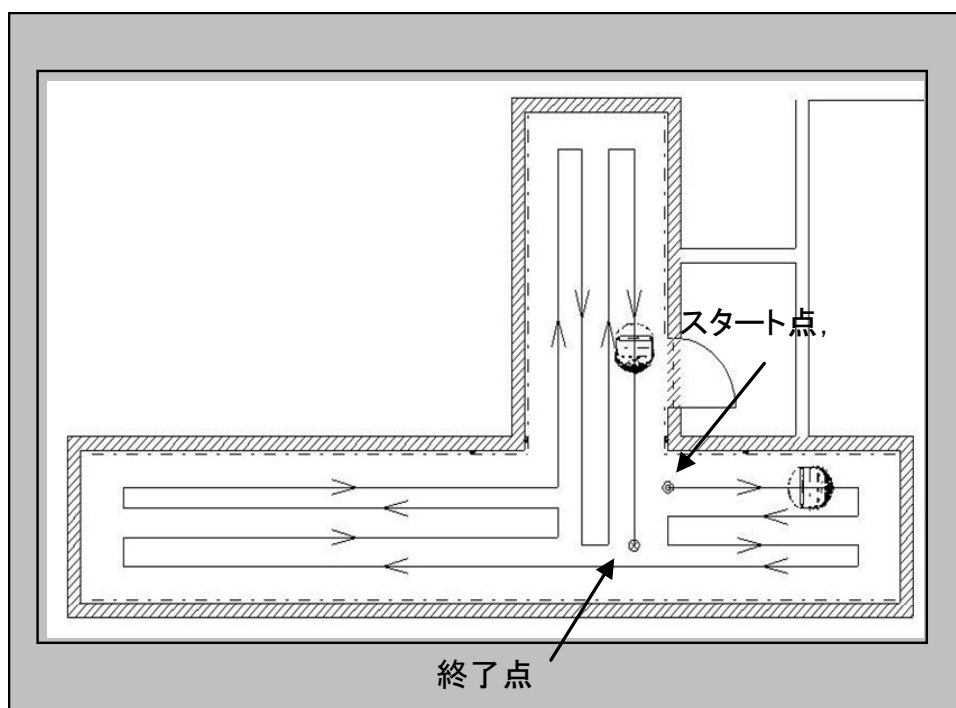
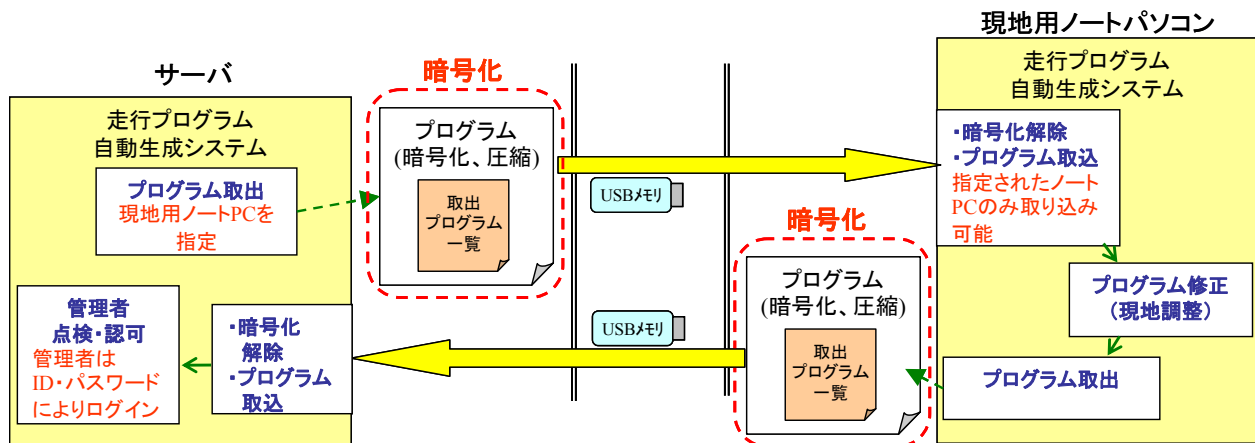


図 3.4.2.13 走行プログラム自動生成システム CAD 入力



- ・プログラム及び建築図面、走行線図は、全てサーバに保管される一元管理により、ソフトウェアの品質を確保
- ・サーバからのプログラムの取り出し時は、プログラム一式を圧縮、暗号化しUSBメモリ等に出力する。現地用ノートパソコンで暗号を解除し、プログラムを取込むことで外部へのプログラム流出を防止
- ・プログラム取出し中のサーバでのプログラム変更は不可
- ・現地用ノートパソコンからサーバにプログラムを戻すときは、管理者の点検、認可を得るといったような業務手順をふまないとプログラム取込不可（業務手順管理）
- ・現地で修正したプログラムとサーバ内のプログラムの不一致を防止

図 3.4.2.14 走行プログラム自動生成システム管理機能

⑤専用部小型清掃ロボット

H20年度、専用部小型清掃ロボットの仕様及び運用方式について、住友商事グループと検討会を行った。検討会において、実証試験フィールドとして晴海トリトンスクエア Y 棟専用部を提供してもらうことが決定した。

H21年度には、必要に応じて改良を行い、晴海トリトンスクエア Y 棟の専用部にて、開発した知能モジュールの実証試験を行った（図 3.4.2.15）。

H22年度は、三角測量走行モジュールを搭載し、晴海トリトンスクエア Y 棟 19 階及び W 棟 4 階にて有効性検証を行った。さらに改良改善を行った。これにより人と共存した環境でも運用可能であることを確認した(図 3.4.2.16)。



図 3.4.2.15 専用部小型清掃ロボット
知能モジュール実証試験



図 3.4.2.16 三角測量モジュール有効性検証

⑥リフレクタ座標登録治具の開発

レーザ三角測量センサにリフレクタ座標を登録するための治具を開発した（図 3.4.2.17）。レーザ三角測量センサの測定精度は、現実のリフレクタ座標とセンサに登録するリフレクタ座標の誤差が大きく影響する。開発した治具により、その誤差が大きく改善された。

また、これにより、センサへのリフレクタ座標の登録作業を高精度かつ効率よく行うことができるようになった。治具を使用した場合、しなかった場合と比較してリフレクタ座標登録作業時間は約 30%となった。レーザ三角測量による直進制御モジュールが簡単かつ有効に使用できるようになった。

本治具は図 3.4.2.17 に示すように、水平方向 (x-y) と回転方向 (θ) 及び高さ方向 (水平度) の微調整が容易にできる機構とした。

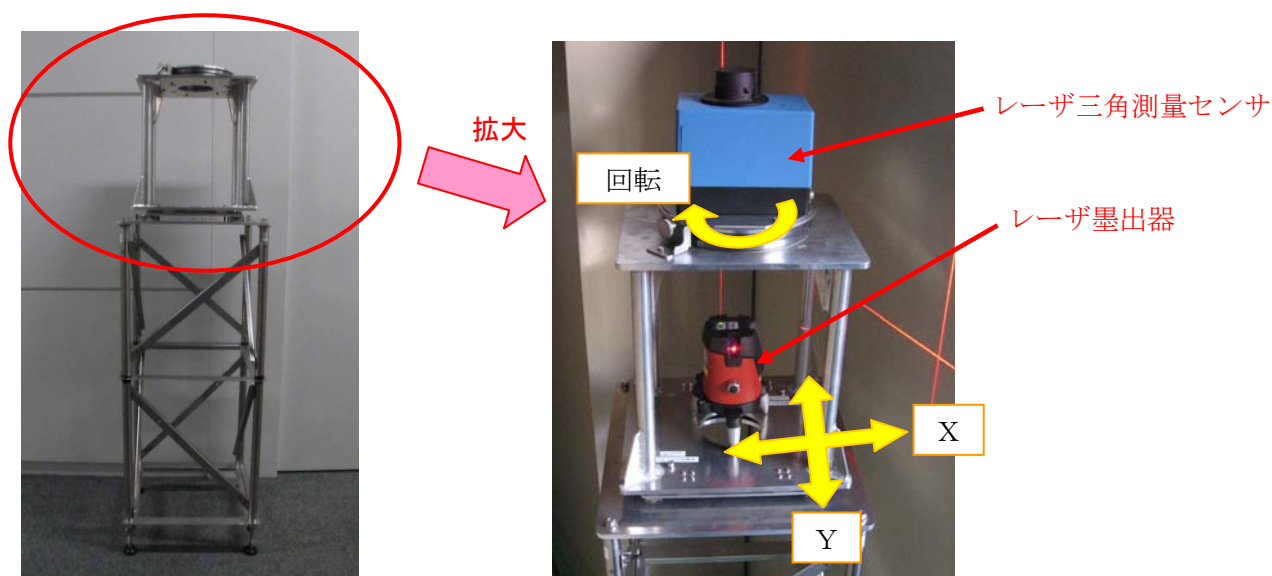


図 3.4.2.17 リフレクタ座標登録治具

⑦トイレ用小型清掃ロボット

H21 年度、中日本高速道路株式会社と共同開発契約を締結し、サービスエリア等のトイレ用小型清掃ロボットの試作 1 号機（図 3.4.2.18）に智能モジュールを搭載し、閉鎖空間での実証試験、有効性検証を行った。

H22 年度には、サービスエリア等のトイレ用小型清掃ロボットに開発した智能モジュールを搭載した。第 2 東名高速道路の掛川パーキングエリア、浜北パーキングエリアでの有効性検証を通して改良改善を行った

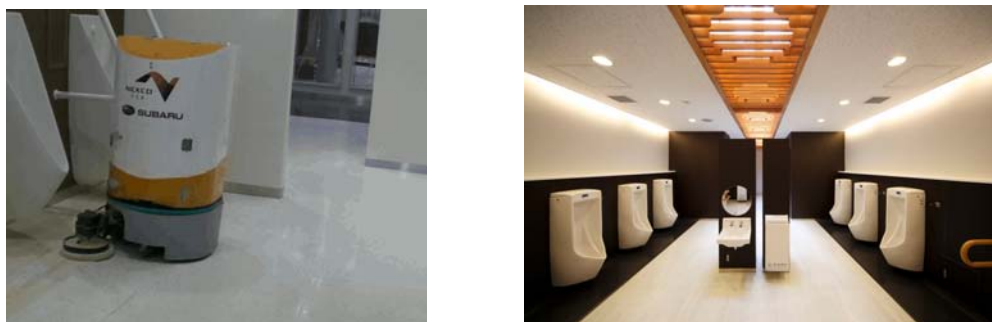


図 3.4.2.18 トイレ用小型清掃ロボット

⑧農業用薬液注入口ロボット

H21年度、農業用薬液注入口ロボットの試作1号機を改良し、2号機を開発した。

H21年11月25日～28日に開催された2009国際ロボット展に出展した(図3.4.2.19)。また、本ロボットにも知能モジュールを搭載し、実際の農場にて実証試験及び有効性検証を行った(図3.4.2.20)。

H22年度は、農業用薬液注入口ロボットの試作2号機に知能モジュールを搭載した。これにより、走行経路中の旋回と直進を組み合わせた矩形の旋回方法から曲線を用いた円弧旋回に切り替える等、複雑な走行が可能となった。また、知能モジュールの再利用性により経路の変更が容易になった。曲線走行への変更の結果、従来問題となっていた圃場の傷みが軽減された(図3.4.2.21)。



図 3.4.2.19 国際ロボット展出展



図 3.4.2.20 実証試験及び有効性検証



図 3.4.2.21 曲線経路走行

⑨容器搬送ロボット

医薬品の顆粒充填工程用の容器搬送ロボットにも同様に知能モジュールを搭載し、有効性検証、改良改善を行った。これにより開発期間の短縮、開発コストの低減を実現し、知能モジュールの有効性を確認できた(図3.4.2.22)。



図 3.4.2.22 容器搬送ロボット

⑩他コンソーシアムの知能モジュールの有効性検証

富士重工業(株)の開発した知能モジュールおよび他コンソーシアムが開発した知能モジュールの検証用ロボットを既存の清掃ロボットをベースに開発した(図 3.4.2.23)(表 3.4.2.7)。

インターフェースは RS-232C であり、USB 等に変換することで様々なコントローラに対応できる(図 3.4.2.24)。

他コンソーシアムが開発した知能モジュールを検証用ロボットに搭載し有効性検証を行う。その一例を図 3.4.2.25 に示す。



図 3.4.2.23 検証用ロボット

表 3.4.2.7 検証用ロボット主仕様

項目	仕様
車体寸法	全長 850mm 幅 720mm 高さ 1000mm
車体重量	160Kg (バッテリー 100Ah×2 個の場合)
清掃方式	吸引
動力	鉛バッテリー
走行速度	清掃時 : 10m/min, 20m/min, 30m/min 移動時 : 最大 50m/min

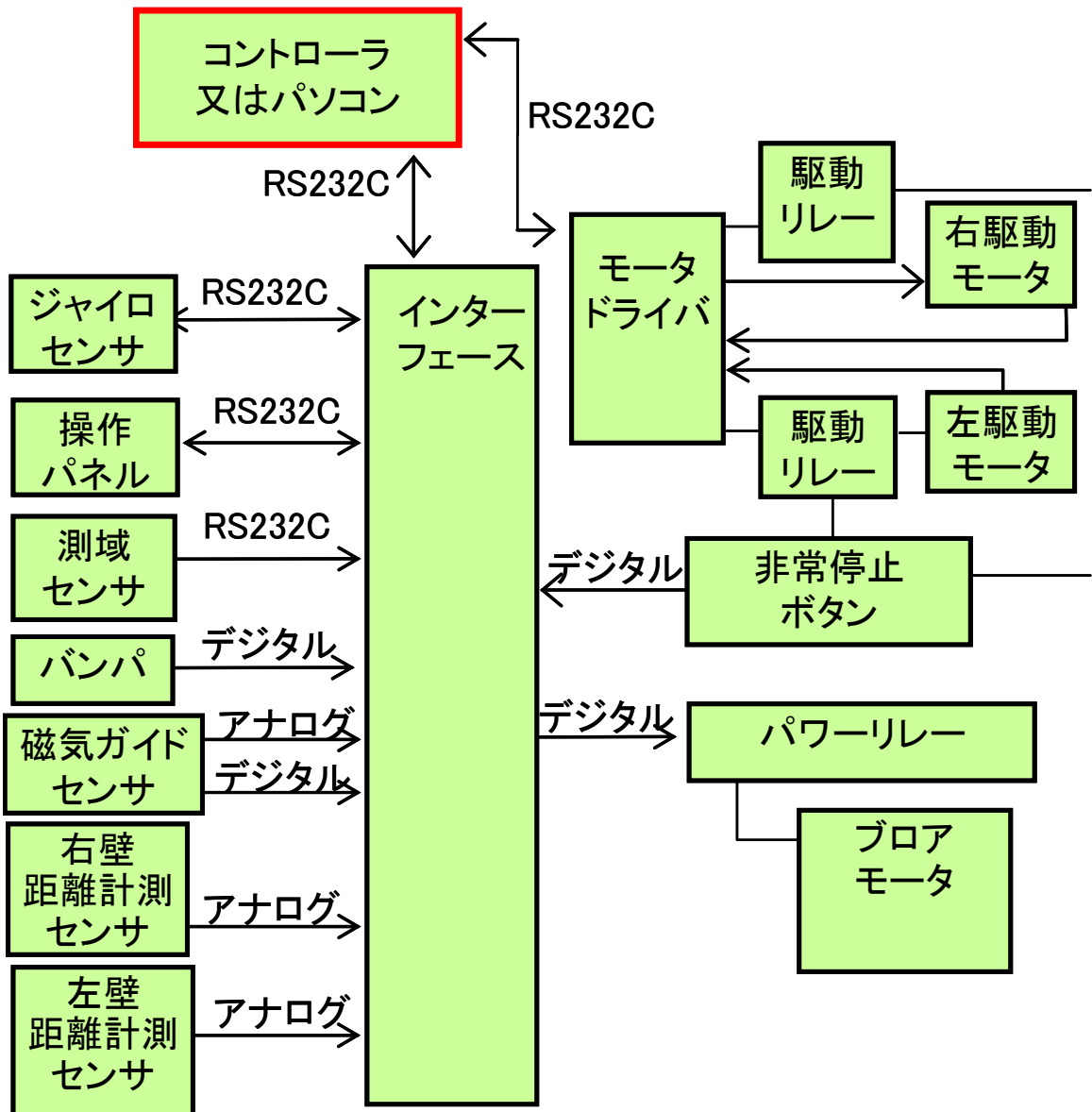


図 3.4.2.24 検証用ロボットハードウェア構成

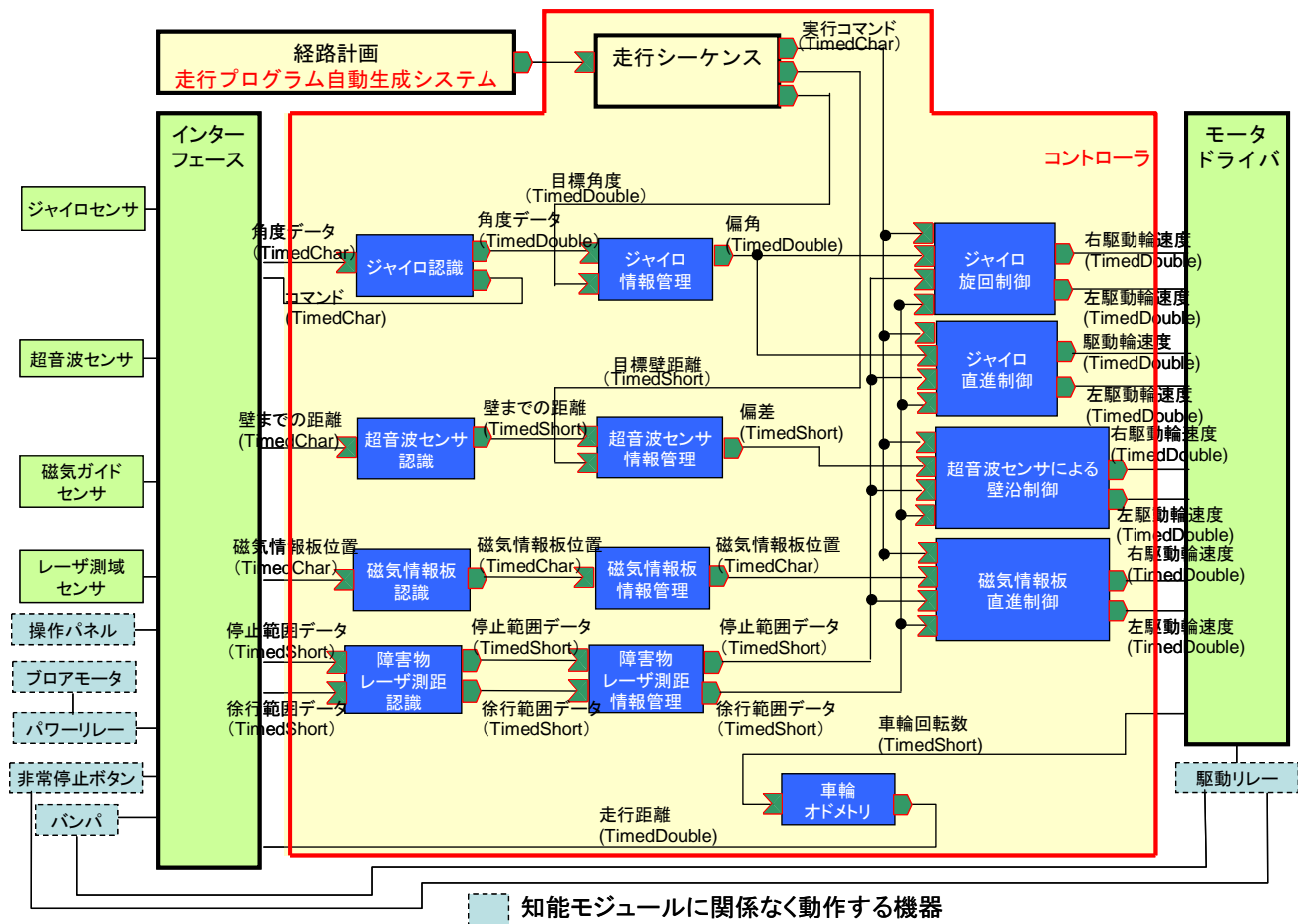


図 3.4.2.25 検証用ロボット統合システムの一例

⑪オープンライセンスでの提供

表 3.4.2.8 にオープンソースで公開した知能モジュールを示す。オープンソースライセンスの型式は「Eclipse Public License」とする。移動ロボットがオフィス内を移動するために最低限必要なものを提供するという視点で選定した。これらのモジュールは、知能化プロジェクト作成モジュール紹介サイト内の富士重工業モジュール一覧で閲覧することができる[2][3]。

表 3.4.2.8 オープンライセンスで公開した知能モジュール

No.	知能モジュール名	公開年月	添付資料
1	直進制御モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.1
2	旋回制御モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.2
3	ジャイロ認識モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.3
4	ジャイロ情報管理モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.4
5	磁気情報板認識モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.8
6	磁気情報板情報管理モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.9
7	レーザ測距認識モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.20
8	レーザ測距情報管理モジュール	H23 年 12 月	3.4.2.A.21

(3) 成果の意義

①ホームランモジュール（開発した知能モジュールで特に有用性の高いもの）

開発した知能モジュールの中で特に有用性の高いものとしては、「直進制御モジュール」、
「旋回制御モジュール」であると考えます。

これらのモジュールは、ジャイロセンサからロボットの角度データを取得し、任意の目標
角度になるように左右の駆動車輪の速度を算出、出力し、直進制御及び旋回制御を行うもの
である。

一見単純なモジュールに見えるが、我々が、重要視する理由は、以下の通りである。

- ・ オフィスビルの移動ロボットは、直進と旋回の組み合わせで動作可能
(清掃ロボットで10年以上、導入先として40箇所以上の実績あり)
- ・ 高精度な直進、旋回ができることで、オフィス内で運用される警備ロボットや案内ロボ
ット等の他の作業の移動ロボットにも展開が可能
- ・ 実環境での有効性検証を実施しているため、電磁場や10mm程度の段差が存在しても問
題なく走行できる。

これらの有用性、再利用性から、屋内のあらゆる車輪型移動ロボットへの展開が期待できる。
これらのオープンソースライセンスでの公開により、ロボット市場の発展に寄与できること
を願っている。

②走行プログラム自動生成システム

本システムは、知能モジュールを有効活用するためのシステムである。

オフィスビルでは、度々、テナントの入れ替え等の理由から建物のレイアウト変更が生じ
る。その様な場合に、ビル管理会社やロボットオペレータが自由にロボットの走行経路を変
更出来ることは、非常に要望が高い。何故ならば、サービスロボットは、人の作業をロボッ
トが代替するものであり、プログラム変更の度にロボットメーカーに依頼をしては、費用
的な負担が大きく、ロボットを使用するメリットが失われてしまうからである。

そのため、ロボット及び知能モジュールが有効に活用されるために本システムの果たす役
割は大きいと考えている。本事業では、CAD上でロボットの経路を入力することで自動的
にプログラムを作成するだけでなく、プログラムの管理機能を搭載することで、プログラ
ムの品質の確保を試みた。

本システムの有効性は、清掃ロボットでは顕著に現れており、プログラム作成時間が約半
分になった。また、知能モジュールの再利用性も向上した。

これらのことから、知能モジュールの発展のためのキラーアプリケーションであると考え
る。

(4) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

特許の取得状況を表 3.4.2.9 に示す。オフィスビル移動ロボットの重要な技術であるエレベーター自動乗降制御に関する特許を中心に、計 6 件を出願・取得した。取得状況等の詳細は、添付資料 3.4.2.B.1 に示す。

表 3.4.2.9 特許件数

年度 \ 区分	国内	外国	PCT※出願
H20FY	2 件	0 件	0 件
H21FY	0 件	0 件	0 件
H22FY	0 件	0 件	0 件
H23FY	0 件	0 件	0 件

※Patent Cooperation Treaty：特許協力条約

(5) 成果の普及

成果の普及の取組状況を表 3.4.2.10 に示す。日本ロボット学会、日本機械学会等の学術講演会等を通して、成果の公表と普及に努めるとともに学識者との質疑応答などを通し、改善点等を把握した。更に、プレス発表等も積極的に行い、本事業のアピールを広く行った。また、プレス発表、展示会参加等も積極的に行い、本事業のアピールを広く行った。詳細は添付資料 3.4.2.C.1～6 に示す。

表 3.4.2.10 論文、外部発表等成果普及件数

年度 \ 区分	論文		講演	受賞	プレス発表等	展示会
	査読付	その他				
H20FY	0 件	2 件	0 件	0 件	11 件	0 件
H21FY	1 件	11 件	3 件	3 件	28 件	3 件
H22FY	2 件	9 件	3 件	2 件	11 件	7 件
H23FY	2 件	12 件	1 件	0 件	6 件	3 件

(6) 実用化の見通し

※非公開版に掲載

3) 添付資料

(1) モジュールの RTC の仕様

添付資料 3.4.2.A.1

■モジュール名称 直進制御モジュール

■概要 ジャイロセンサを用いて、任意の方向に直進制御を行う。
 ジャイロセンサの角度と与えられた目標角度の偏角から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

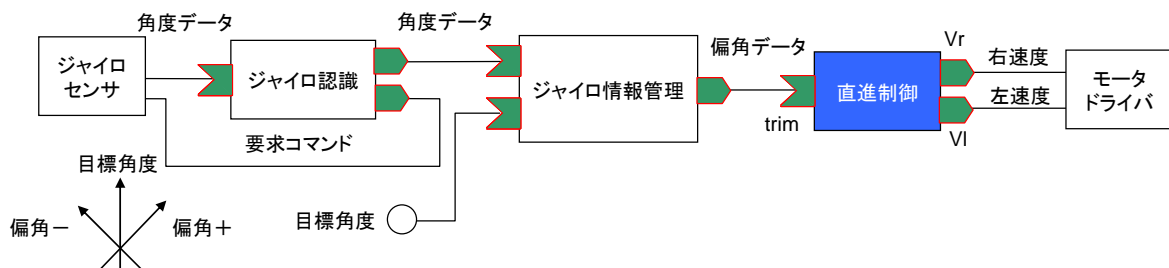
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
trim	TimedDouble	1	偏角 (-180~180、0.01°単位)	ジャイロセンサの精度に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 旋回制御モジュール

■概要 ジャイロセンサを用いて、任意の方向に旋回制御を行う。
 ジャイロセンサの角度と与えられた目標角度の偏角から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

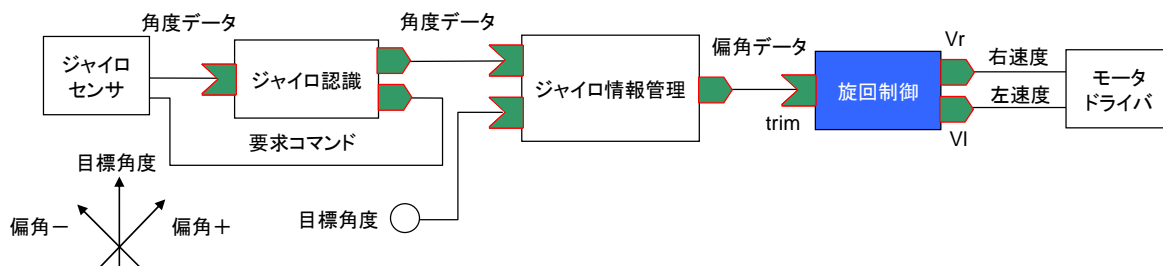
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
trim	TimedDouble	1	偏角 (-180~180、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 ジャイロ認識モジュール

■概要 ジャイロセンサに要求コマンドを送信し、角度データを入力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

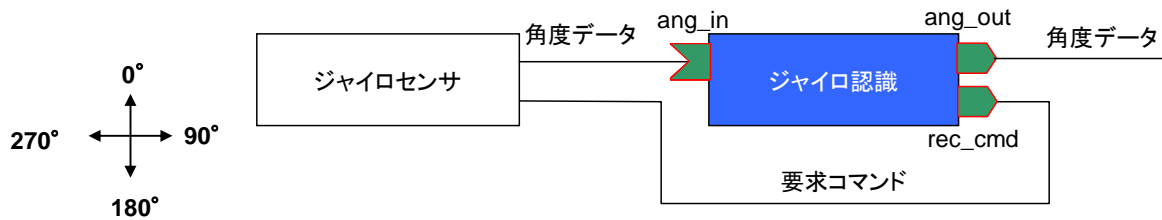
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
ang_in	TimedChar	8	角度データ (アスキー)	ジャイロセンサのデータ長に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
ang_out	TimedDouble	1	角度データ (0~360、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に合せた
rec_cmd	TimedChar	3	角度要求コマンド (アスキー)	ジャイロセンサのコマンド長に合せた

■構成



添付資料 3.4.2.A.4

■モジュール名称 ジヤイロ情報管理モジュール

■概要 ジヤイロセンサの角度データと目標角度データを入力し、両者の偏角を演算し、偏角データを出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

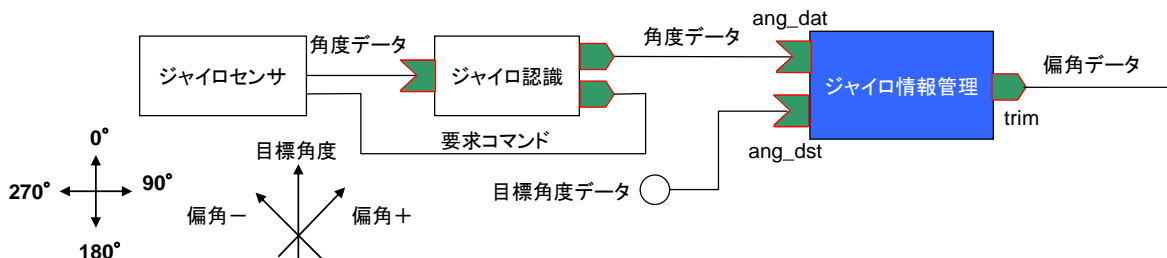
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
ang_dat	TimedDouble	1	角度データ (0~360、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に 合せた
ang_dst	TimedDouble	1	目標角度データ (0~360、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に 合せた

Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
trim	TimedDouble	1	偏角 (-180~180、0.01° 単位)	ジャイロセンサの精度に 合せた

■構成



■モジュール名称 レーザ三角測量認識モジュール

■概要 レーザ三角測量センサに要求コマンドを送信し、角度データを入力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

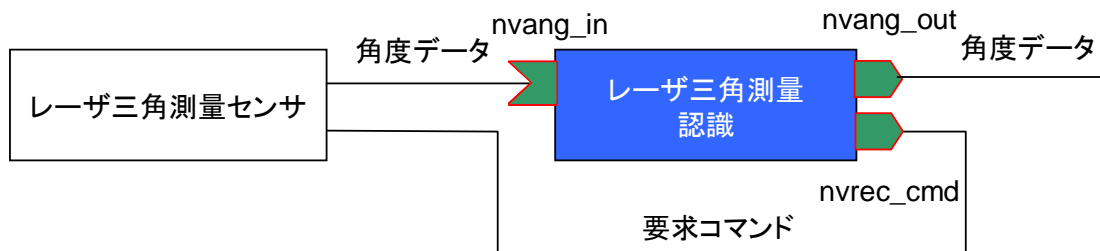
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvang_in	TimedChar	17	角度データ(アスキー)	レーザ三角測量センサのデータ長に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvang_out	TimedDouble	1	角度データ(0.1° 単位)	レーザ三角測量センサの精度に合せた
nvrec_cmd	TimedChar	5	要求コマンド(アスキー)	レーザ三角測量センサのコマンド長に合せた

■構成



添付資料 3.4.2.A.6

■モジュール名称 レーザ三角測量情報管理モジュール

■概要 レーザ三角測量センサの角度データと目標角度を入力し、両者の偏角を演算し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

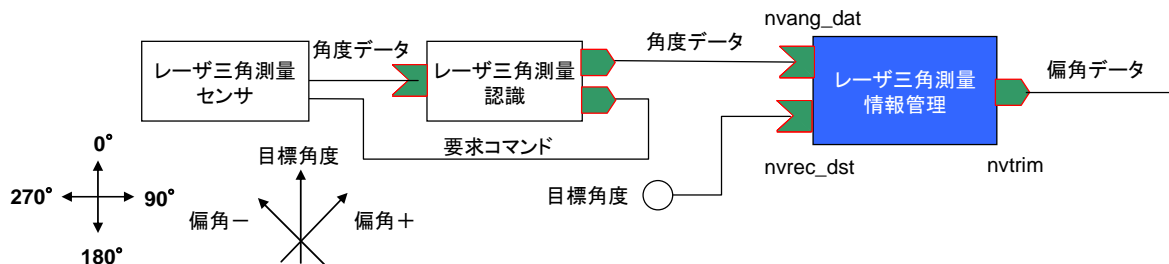
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvang_dat	TimedDouble	1	角度データ (0.1° 単位)	レーザ三角測量センサの精度に合せた
nvrec_dst	TimedDouble	1	目標角度 (0~360, 0.1° 単位)	レーザ三角測量センサの精度に合せた

・ Output

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvtrim	TimedDouble	1	偏角 (-180~180, 0.1° 単位)	レーザ三角測量センサの精度に合せた

■構成



■モジュール名称 レーザ三角測量による直進制御モジュール

■概要 レーザ三角測量センサを用いて、任意の方向に直進制御を行う。
 レーザ三角測量センサセンサの角度と与えられた目標角度の偏角から、
 左右の車輪速度を決定し、出力する

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

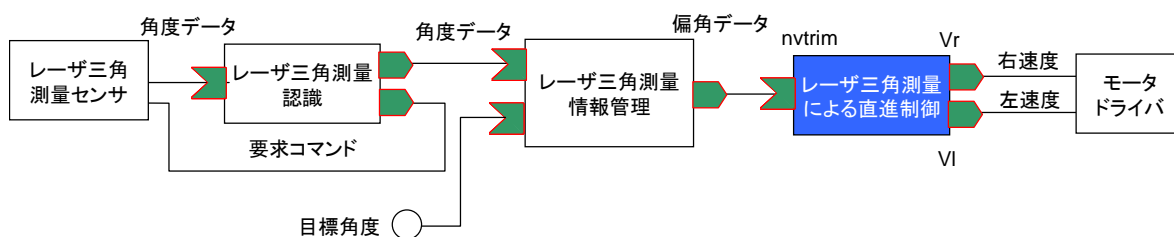
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
nvtrim	TimedDouble	1	偏角	レーザ三角測量センサの精度に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 磁気情報板認識モジュール

■概要 磁気ガイドセンサから、センサ中心に対する磁気情報板の偏差または磁気情報板の有無を示すデータを入力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

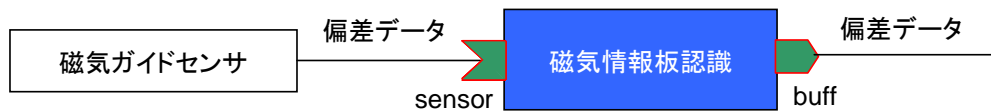
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
sensor	TimedChar	1	磁気情報板位置 (48:磁気なし 64~95:偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
buff	TimedChar	1	磁気情報板位置 (48:磁気なし 64~95:偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデ ータを出力するため

■構成



■モジュール名称 磁気情報板情報管理モジュール

■概要 磁気ガイドセンサからの入力データを[mm]単位の偏差データに変換し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

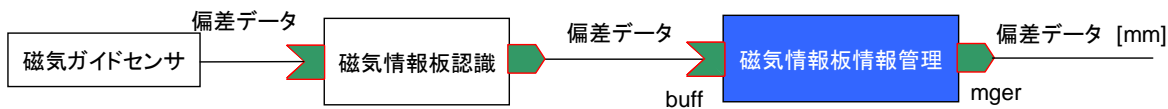
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
buff	TimedChar	1	磁気情報板位置 (48 : 磁気なし 64~95 : 偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
mger	TimedChar	1	磁気情報板位置 (1mm 単位)	中心からの偏差を mm 単位で出力するため
mger	TimedChar	1	磁気情報板位置 (1mm 単位)	中心からの偏差を mm 単位で出力するため

■構成



■モジュール名称 車輪オドメトリモジュール

■概要 車輪の回転数から走行距離を算出し、[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
kyo_in	TimedShort	1	車輪回転数	パルスのカウントに使用するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
kyo_out	TimedDouble	1	走行距離 (0.1mm 単位)	モータの分解能に合わせた

■構成



■モジュール名称 画像によるライントレース制御モジュール

■概要 カメラ（画像処理装置）とラインマーカを用いて、直進制御を行う。
カメラの偏差データから、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lner	TimedChar	1	ラインマーカ位置 (1mm 単位)	中心からの偏差を mm 単位で入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 画像によるライントレース情報管理モジュール

■概要 カメラ（画像処理装置）からの入力データを[mm]単位の偏差データに変換し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

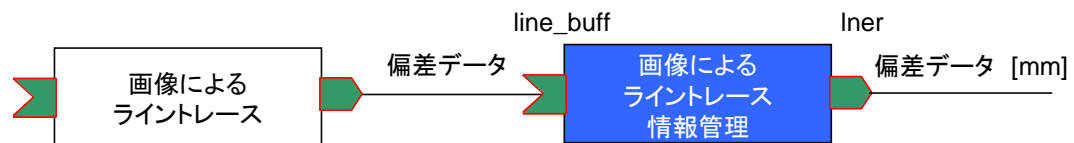
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
line_buff	TimedChar	1	ラインマーカ位置 (48 : ラインマーカなし 64~95 : 偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lner	TimedChar	1	ラインマーカ位置 (1mm 単位)	中心からの偏差を mm 単位で出力するため

■構成



■モジュール名称 画像によるライントレース走行制御（群）モジュール

■概要 カメラ（画像処理装置）とラインマーカを用いて、直進制御を行う。
カメラの偏差データから、偏差から、左右の車輪速度を決定し、
ロボットと壁の距離が目標に一致するよう、修正しながら走行する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

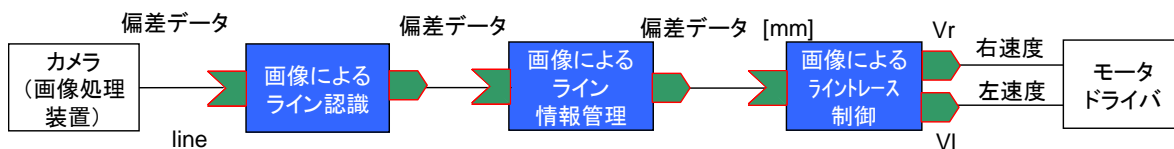
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
line	TimedChar	1	ラインマーカ位置 (48：ラインマーカなし 64～95：偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを 入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (単位：m/min)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (単位：m/min)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 画像による壁距離計測モジュール

■概要 画像センサから、基準壁までの距離データを入力し、[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

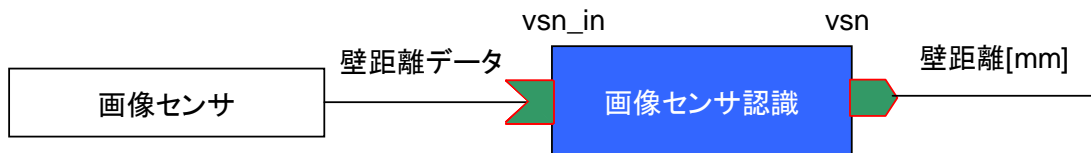
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	画像センサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 画像による壁距離計測情報管理モジュール

■概要 画像センサから入力した基準壁までの距離データと目標距離を入力し、その偏差を[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

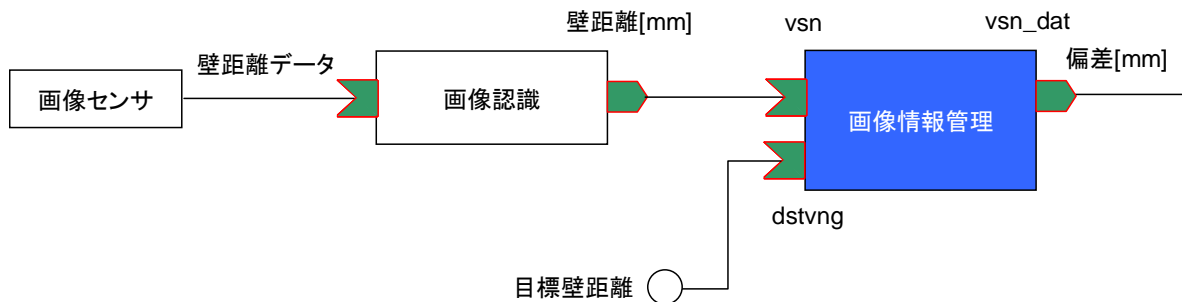
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	画像センサの精度に合わせた
dstvng	TimedShort	1	目標壁距離 (10mm 単位)	画像センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と 目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	画像センサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 画像による壁沿い走行モジュール

■概要 画像センサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 画像センサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

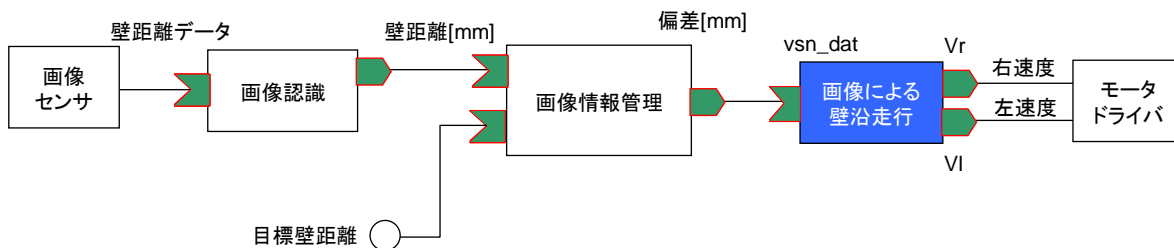
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
vsn_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	画像センサの精度に合せた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合せた

■構成



■モジュール名称 レーザセンサによる壁距離計測モジュール

■概要 レーザセンサから、基準壁までの距離データを入力し、[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

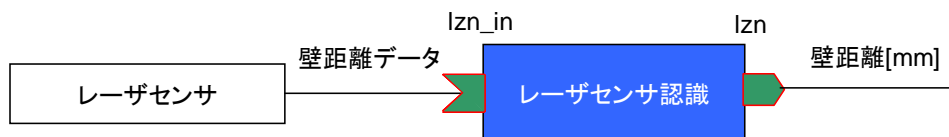
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lzn_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D変換後のシリアルデータを入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lzn	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	レーザセンサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 超音波センサ認識モジュール

■概要 超音波センサから、基準壁までの距離データを入力し、[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

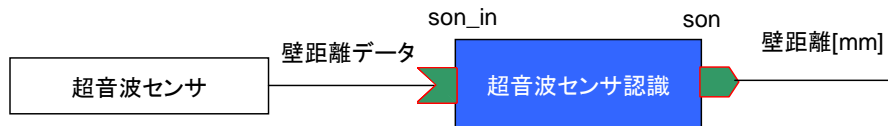
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 超音波センサ情報管理モジュール

■概要 超音波センサから入力した基準壁までの距離データと目標距離を入力し、その偏差を[mm]単位で出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

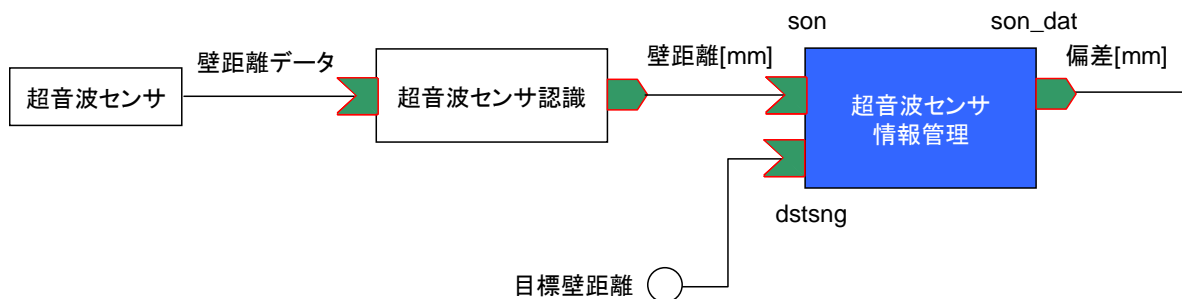
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son	TimedShort	1	基準壁までの距離 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた
dstsng	TimedShort	1	目標壁距離 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と 目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた

■構成



■モジュール名称 レーザ測距認識モジュール

■概要 レーザ測距センサから、停止範囲、徐行範囲の障害物有無データを入力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	100.0Hz

■ポート情報

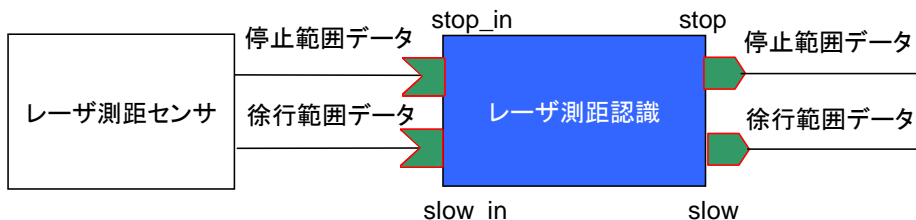
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop_in	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため
slow_in	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため
slow	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため

■構成



■モジュール名称 レーザ測距情報管理モジュール

■概要 レーザ測距センサからの停止範囲、徐行範囲の障害物有無データに基づきロボットの停止、徐行判断のデータを出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	100.0Hz

■ポート情報

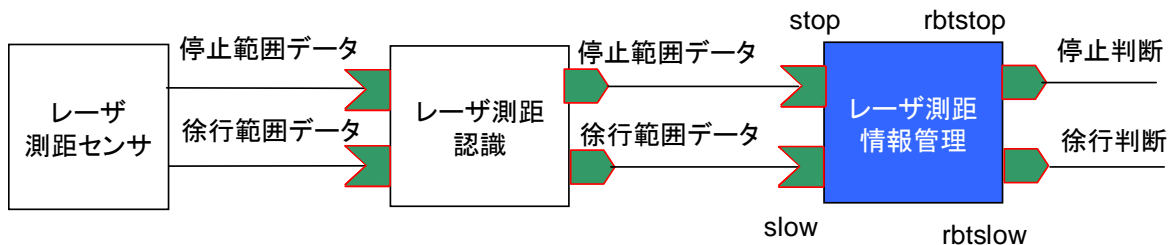
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため
slow	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物有無を 0.1 で示すため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
rbtstop	TimedShort	1	ロボットの停止判断 (1: 停止 0: 停止せず)	ロボットの停止判断を 0.1 で示すため
rbtslow	TimedShort	1	ロボットの徐行判断 (1: 徐行 0: 徐行せず)	ロボットの徐行判断を 0.1 で示すため

■構成



■モジュール名称 レーザセンサによる壁沿走行モジュール

■概要 レーザセンサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 レーザセンサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

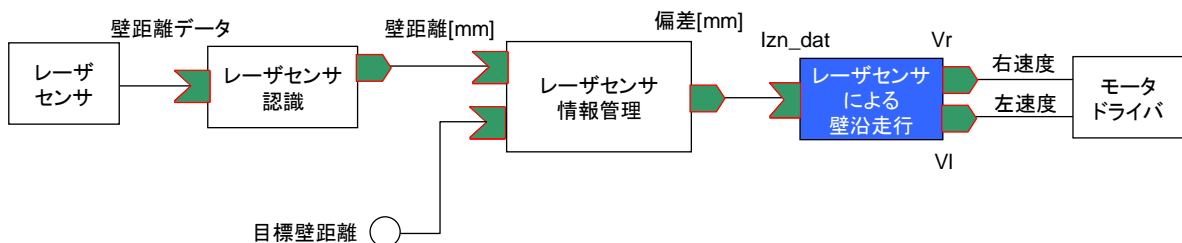
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Izn_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	レーザセンサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 壁距離計測用レーザセンサ走行制御（群）モジュール

■概要 レーザセンサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 レーザセンサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、ロボットと壁の距離が目標に一致するよう、修正しながら走行する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

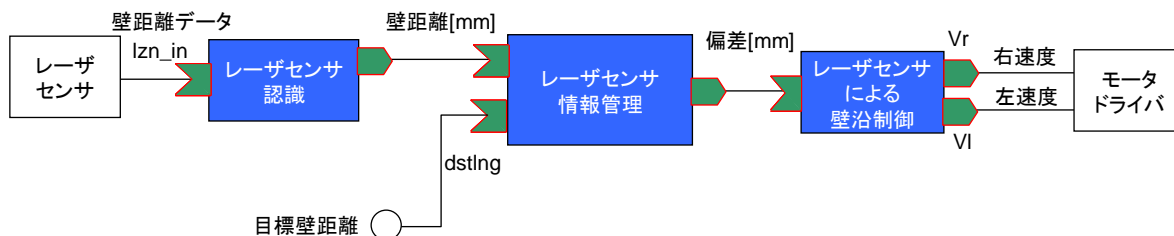
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
lzn_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため
dstInq	TimedShort	1	目標壁距離（10mm 単位）	レーザセンサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 超音波センサによる壁沿走行モジュール

■概要 超音波センサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
超音波センサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、出力する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

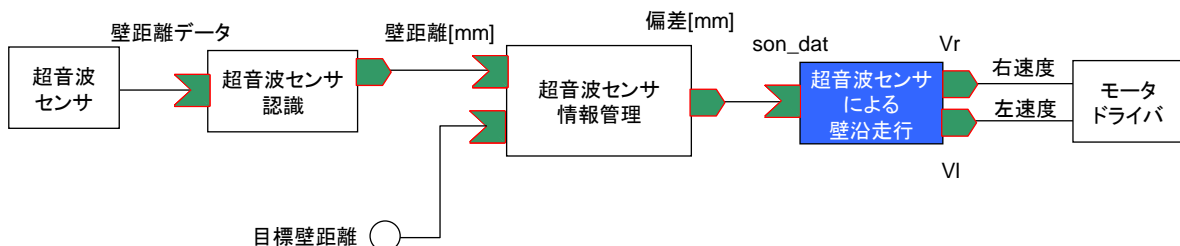
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son_dat	TimedShort	1	基準壁までの距離と目標壁距離の偏差 (10mm 単位)	超音波センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 壁距離計測用超音波センサ走行制御（群）モジュール

■概要 超音波センサを用いて、任意の壁と一定の距離を保つ走行制御を行う。
 超音波センサの距離と与えられた目標距離の偏差から、左右の車輪速度を決定し、ロボットと壁の距離が目標に一致するよう、修正しながら走行する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

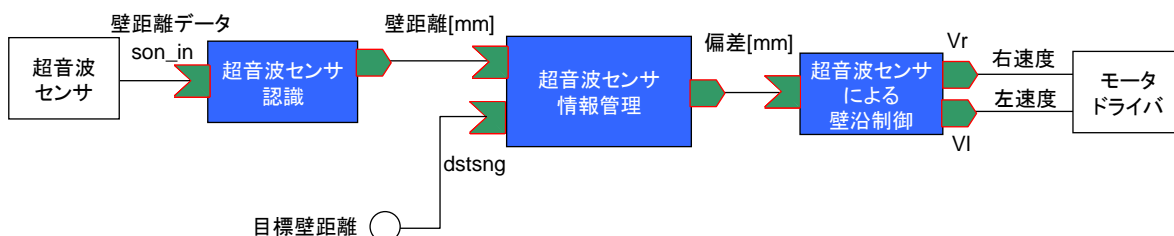
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
son_in	TimedChar	1	基準壁までの距離データ	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため
dstsng	TimedShort	1	目標壁距離（10mm 単位）	超音波センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 磁気ガイドセンサ走行制御（群）モジュール

■概要 磁気ガイドセンサと磁気情報板を用いて、直進制御を行う。
 磁気ガイドセンサの偏差データから、左右の車輪速度を決定し、
 磁気ガイドセンサと磁気情報板中心が一致するよう、修正しながら走行する。

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

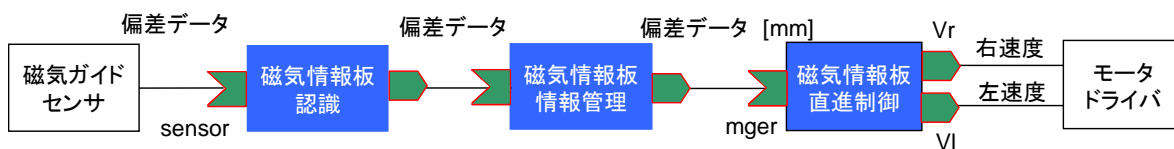
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
sensor	TimedChar	1	磁気情報板位置 (48：磁気なし 64～95：偏差データ)	A/D 変換後のシリアルデータを入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (単位：m/min)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (単位：m/min)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■ **モジュール名称** 1台のロボットが1台のエレベータに自動乗降モジュール

■ **概要** 光伝送装置を用いてエレベータと通信し、エレベータの呼び出し、扉開閉、行先階の指定を行う。

■ **基本情報**

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ **ポート情報**

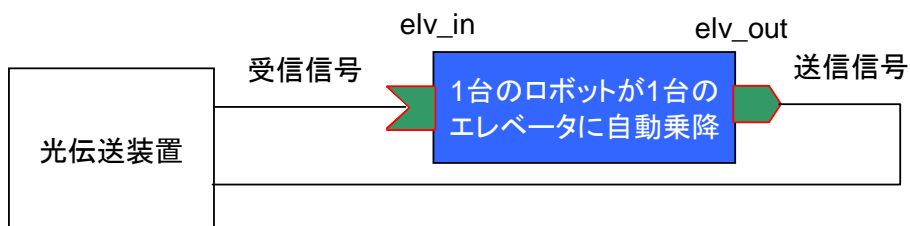
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
elv_in	TimedChar	8	エレベータからの受信信号	光伝送装置 8bit の信号を入力するため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
elv_out	TimedChar	8	エレベータからの送信信号	光伝送装置 8bit の信号を出力するため

■ **構成**



■モジュール名称 自己位置認識に関する知能モジュール群（閉鎖空間長距離走行）

- 概要 自己位置認識に関する知能モジュール群（閉鎖空間）より位置姿勢情報を取得し、直進、旋回を行う。本モジュールは、以下のモジュールが組み合わされ使用されている。
- ・直進制御
 - ・旋回制御
 - ・レーザ三角測量による直進制御
 - ・超音波センサによる壁沿走行
 - ・画像による壁沿走行

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

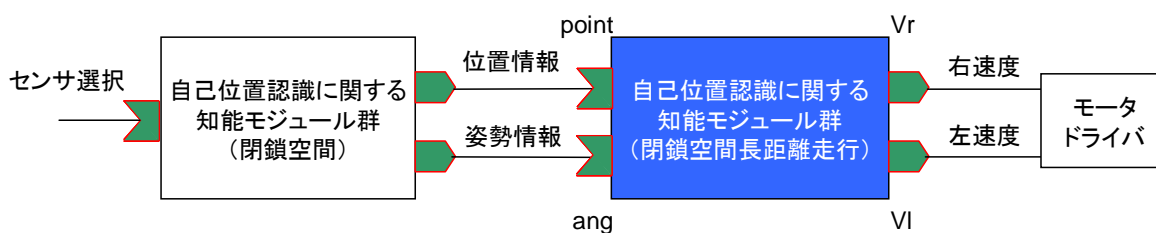
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
point	TimedDouble	1	位置情報	センサの精度に合わせた
ang	TimedDouble	1	姿勢情報	センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 自己位置認識に関する知能モジュール群（開放空間長距離走行）

■概要 自己位置認識に関する知能モジュール群（開放空間）より位置姿勢情報を取得し、直進、旋回を行う。本モジュールは、以下のモジュールが組み合わされ使用されている。

- ・直進制御
- ・旋回制御
- ・レーザ三角測量による直進制御
- ・超音波センサによる壁沿走行
- ・レーザセンサによる壁沿走行
- ・画像による壁沿走行

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

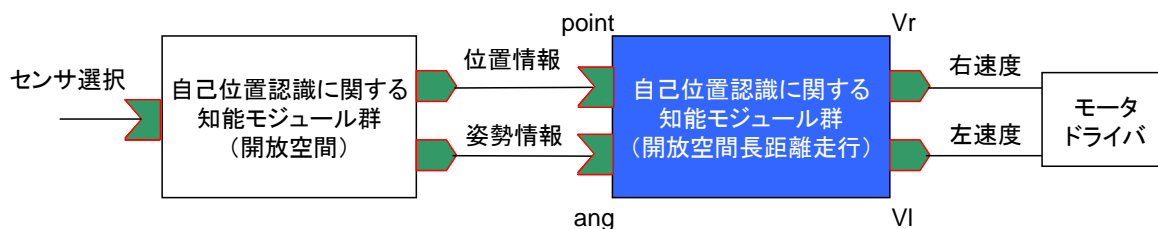
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
point	TimedDouble	1	位置情報	センサの精度に合わせた
ang	TimedDouble	1	姿勢情報	センサの精度に合わせた

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のあるスピードデータに合わせた

■構成



■モジュール名称 人・障害物認識に関する智能モジュール群

- 概要 レーザ測域センサ及び画像を用いて、人・障害物を認識する。人を含む移動物と固定物を区別する。本モジュールは、以下のモジュールが組み合わされ使用されている。
- ・レーザ測距認識
 - ・レーザ測距情報管理
 - ・静止障害物発見モジュール（外部）
 - ・自律移動体発見計測モジュール（外部）

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

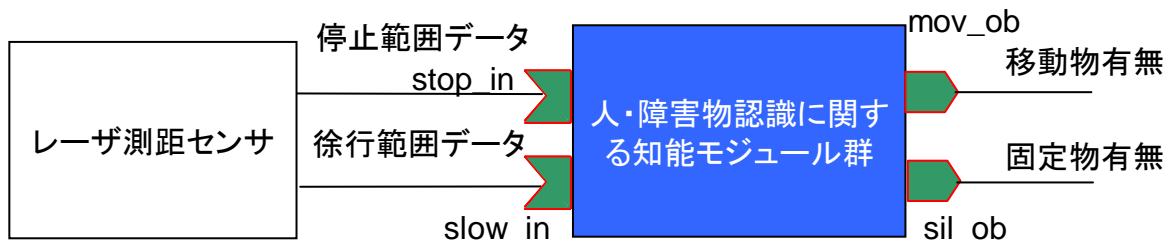
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop_in	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物の有無を 0, 1 で示すため
slow_in	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物の有無を 0, 1 で示すため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
mov_ob	TimedShort	1	移動物有無 (1: 有り 0: 無し)	ロボットの停止判断を 0, 1 で示すため
sil_ob	TimedShort	1	固定物有無 (1: 有り 0: 無し)	徐行判断を 0, 1 で示すため

■構成



■モジュール名称 安全移動制御に関する智能モジュール群

■概要 ジャイロセンサ、レーザ三角測量センサ、超音波センサ、レーザセンサ、画像センサ、レーザ測域センサを用いて、状況に応じて走行速度を制御し、安全な速度で移動する。本モジュールは、以下のモジュールが組み合わされ使用されている。

- ・ジャイロ認識
- ・ジャイロ情報管理
- ・直進制御
- ・旋回制御
- ・レーザ三角測量認識
- ・レーザ三角測量情報管理
- ・レーザ三角測量による直進制御
- ・超音波センサ認識
- ・超音波センサ情報管理
- ・超音波センサによる壁沿走行
- ・画像認識
- ・画像情報管理
- ・画像による壁沿走行
- ・レーザセンサ認識
- ・レーザセンサ情報管理
- ・レーザセンサによる壁沿走行
- ・レーザ測距認識
- ・レーザ測距情報管理

■基本情報

種別	RTC
動作 OS	WindowsXP
RT ミドルウェア	Open RTM-aist-1.0.0
開発言語	C++
依存パッケージ	特になし
サイクルタイム	50.0Hz

■ポート情報

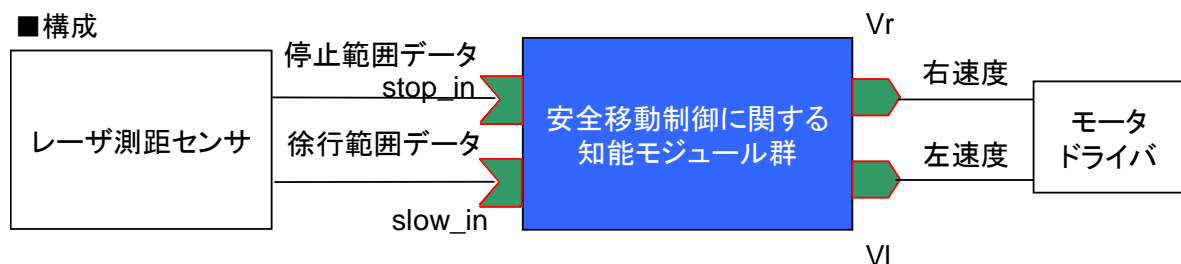
・ Inport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
stop_in	TimedShort	1	停止範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物の有無を 0, 1 で示すため
slow_in	TimedShort	1	徐行範囲の情報 (1: 障害物あり 0: 障害物なし)	障害物の有無を 0, 1 で示すため

・ Outport

名称	型	データ長	説明	タイプの選択理由
Vr	TimedDouble	1	右車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた
Vl	TimedDouble	1	左車輪の速度 (0.1m/min 単位)	清掃ロボットで実績のある スピードデータに合わせた

■構成



3.4.3 移動知能(サービス産業分野)の開発

3.4.3.1 移動ロボット用基本知能モジュール化

【実施者:筑波大学、富士ソフト(株)】

1) 研究開発の概要

本プロジェクトでは、サービスロボットの自律移動に必要な実用性のある基本知能モジュールを開発した。人や障害物が存在する複雑な実環境中で、ロボット自身の位置・姿勢を認識し、確実に目的地に到達するとともに、障害物や人に衝突することなくロボットが移動するための汎用的なモジュールを開発した。モジュール開発と同時にニーズ調査・アルゴリズム検討・開発手法等の検討も行い、よりモジュールの実用性が高くなることを目指した。

開発した移動知能モジュールは、例えばリモコン等でロボットを移動して周囲の環境地図を作成しておき、その環境地図を基に行動可能なロボットの経路・目的地を人間が教示すると、ロボットが自己位置を認識しながら最短経路を自律的に走行するものである。また、ロボットが走行中に障害物が存在する場合は安全な速度に減速又は停止し、可能な場合は別経路に乗り換えるというものとした。また、環境地図さえあれば、ロボットが置かれた位置を推定する機能や、静止障害物を回避する機能も開発した。

ロバストであり、汎用的なロボットの移動基本モジュール群を開発し、その利用方法、運用・保守方法を含めて研究し、実用的なロボットモジュールの開発を行った。また、その結果を利用してロボット用ソフトウェアモジュールを統合した案内ロボットを開発して、実運用に近い形での評価を実施した。図 3.4.3.1.1 に案内ロボットのイメージを示す。



ポイント

1. 内界・外界センサよりの情報を基にした自己位置推定
2. 操作性の良い環境地図生成・経路教示ユーザ I/F
3. 予定経路上で障害物を見つけて減速・停止

図 3.4.3.1.1 案内ロボットのイメージ

開発している移動ロボット用基本知能モジュール群を利用した一例として、博物館等での案内サービスへの適用が考えられる。この応用例では人のいる環境にて指定された経路を循環して、特定の地点にて説明を行うことが目的となる。企業での受付業務での会議室への案内や、来訪者に情報を提示する業務等もこなせるものが考えられる。図 3.4.3.1.2 に本プロジェクトで開発したモジュール群の応用例のイメージを示す。

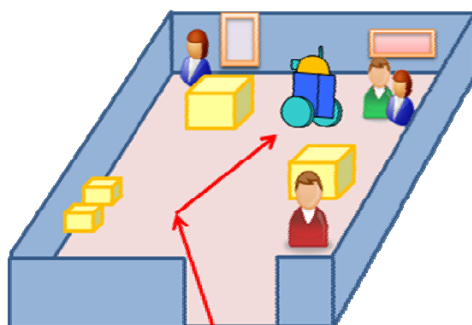


図 3.4.3.1.2 モジュール応用例

案内サービスを実現する場合には、ロボットが走行する場所を予め人間がリモコン等でロボットを走行させ環境地図を作成しておく。その地図を必要があれば人間がユーザ I/F を利用して補正し、その地図を参照しながら走行させたい経路をユーザ I/F (図 3.4.3.1.3) を用いて引く。運用時には指定された目的地に向かい、ロボットが自律的に指定経路を走行することとなる。この際に障害物が予定走行経路に存在すると走行速度と落とし、障害物が継続的に存在した場合には走行経路を変更するというような対応をとる。

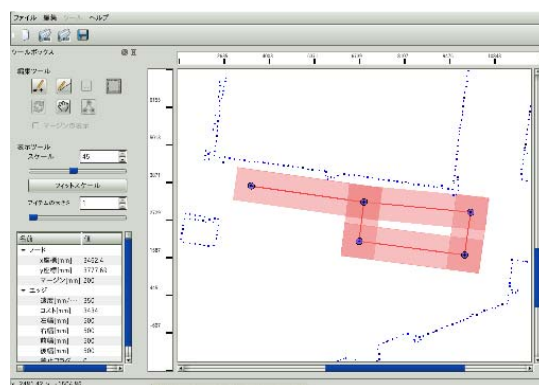


図 3.4.3.1.3 経路生成アプリケーション (ツール) の画面イメージ

開発したモジュールは、目的に応じたモデルにて統合され、実機に載せて屋内・屋外の様々な環境にて評価を実施した。

2) 研究開発の目標

(1)最終目標

開発したモジュール群を統合して機能の有効性に主眼に置き、有機的にモジュールを結合し有効に働くことを実証する。具体的には開発モジュール群全てを搭載した評価ロボットにて、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成する。

3) 研究開発の成果

(1) 開発したモジュール群

基本モジュール群としての開発成果を示す。

項番	モジュール名・プログラム名	概要
1	自己位置管理	移動ロボットの自己位置を管理する。
2	測域センサデータと環境地図による自己位置補正	予め用意した環境地図と外界センサの補正情報を基に自己位置補正情報を生成する。
3	環境地図管理	環境地図を管理する。
4	経路地図管理	経路地図を管理する。
5	経路計画	トポロジカルマップにおいて、開始点、目標点を指定すると最短経路を求める。
6	障害物監視	移動の方向の障害物を監視する
7	動作管理	経路計画した経路毎にどういった動作するかの実行管理を行う。
8	走行制御	現時点の状態以最適な走行制御を行う。
9	統括	統合仕様に応じたシステム全体の統合モデルを実現する。

研究モジュールとツール群の開発成果を示す。

※実用化という観点で、比較的安価なセンサにて自律移動精度が上げられないかという評価も実施した。

項番	モジュール名・プログラム名	概要	補足
1	外界センサによるロボットの環境内絶対位置情報取得モジュール	外界センサの情報をもとに最尤推定によりロボットの推定位置を修正するために必要な情報を求める。 (線ランドマーク)	研究モジュール (移動のロバスト性向上)
2	大域的自己位置推定モジュール	環境地図範囲の任意の位置にロボットが置かれた (起動した) 場合に、未知の自己位置を求める。	研究モジュール (移動のロバスト性向上)
3	BeeGo 向け走行 I/F	テクノクラフト社製 BeeGo の車体との I/F を行う。	評価用
4	LRF I/F	北陽電機製の LRF の I/F を行う。	評価用
5	GPS I/F	GPS デバイスとの I/F を行う。	評価用 (デバイス: アンタレス48)
6	ジャイロセンサ I/F	ジャイロデバイスとの I/F を行う。	評価用 (デバイス: シリコンセンシング CRS-94S)
7	オフライン SLAM	オフラインにて SLAM を行う。	評価用
8	リモコン I/F	遠隔制御 I/F を実現する	評価用
9	環境地図生成システム	移動ロボットをリモコン操作で環境地図を作成する	移動ロボット導入の簡易化
10	環境地図編集アプリケーション	環境地図生成にて取得した地図の間引き・ノイズ除去・矩形削除等の機能を有する GUI (グラフィカル・ユーザ・インタフェース) アプリケーション。	移動ロボット導入の簡易化
11	経路地図生成アプリ	環境地図を参考にして (背景表示	移動ロボット導入の

	リケーション	し) ロボットの移動可能経路を引くための GUI (グラフィカル・ユーザ・インタフェース) アプリケーション。	簡易化
1 2	コマンドラインユーザ I/F	コマンドラインを利用してユーザと対話を行う。	移動ロボット導入の簡易化

(2) 有効性検証およびその結果

評価用の移動ロボットプラットフォームとして以下の3機種を用意した。

①北陽電機社製の測域センサ URG (URG-04LX) を取り付けた屋内用小型移動ロボット (図 3.4.3.1.4)

②北陽電機社製の測域センサ URG (UTM-30LX) を取り付け、サスペンション機構を持つ屋外用中型移動ロボット (図 3.4.3.1.5)

③北陽電機社製の測域センサ URG (UTM-30LX または URG-04LX) を取り付け、音声認識・発話機能、顔認識機能等の知能を統合した屋内案内ロボット (図 3.4.3.1.6)



図 3.4.3.1.4 屋内評価機「BeeGo」

図 3.4.3.1.5 屋外評価機「Tufs」

図 3.4.3.1.6 案内ロボット「ATERO」

人の往来する試験環境において目的地までの自律走行をさせる評価として、つくば市の遊歩道を走行させる、「つくばチャレンジ」に参加し、屋外評価を実施した (図 3.4.3.1.7)。これにより一般の人の往来する環境や、8月～11月の季節変化という環境変化、朝～夕方までの時間的な変化、経路上の様々な環境 (陸橋、並木道、藪の中等) での課題等の知見を得るとともに、試走会において 1km の環境を自律的に 10 回連続で走破した。これによりモジュールの有用性が明らかになり、各モジュールのロボスト化も進んだ。また、筑波大学周辺や、駐車場付近等を走行評価も実施を繰り返し、小雨の環境や光反射率の高い側面を持つ車両の付近の通行等様々な知見を得るとともにロボスト化を進めた。



図 3.4.3.1.7 屋外評価「つくばチャレンジ」

開発したモジュールのうちの一部に関しては、筑波大学の知能ロボット研究室の研究者（40名）の標準走行サブシステムとして利用され、知能ロボット研究室で開催された「デモプロコンテスト」においては、各学生のデモ用のアイデアをそれぞれ実現させて走行させたが、その中で精度・品質ともにクリアした。この中で研究者からの要望等を入れ、より利用性の高いモジュールの開発へのフィードバックを得た。その他に一部企業にソフトウェアを提供し評価を得ている。

実際の業務での課題を抽出するために、案内ロボットを開発し、「つくば市役所」「富士ソフト秋葉原ビル」等の様々な環境（屋内）にて実際の利用に即した運用評価を実施して、実運用で発生する課題の対応を行った。

具体的には、板、コンクリ、柵、一部ガラスを含むような壁のある建物で、道幅も1m弱の経路や数m四方の広いロビーのようなところ、オフィスのデスクが並んだ部屋等の環境で評価を実施した。また、案内ロボットは市役所等の一般の人がいる環境等での走行も評価した。



図 3.4.3.1.8 屋内評価「案内ロボット」

具体的に実施した結果として、70m四方の広さの走行で作成した環境地図に経路を引いたものを図3.4.3.1.9に示す。会議室の入り口やエレベータの前、洗面所の前等に案内した。青色が環境地図、赤い線が経路で、薄い赤色の部分が走行可能な道幅を示し、自律走行において道幅内の局所的な障害物回避が可能であった。

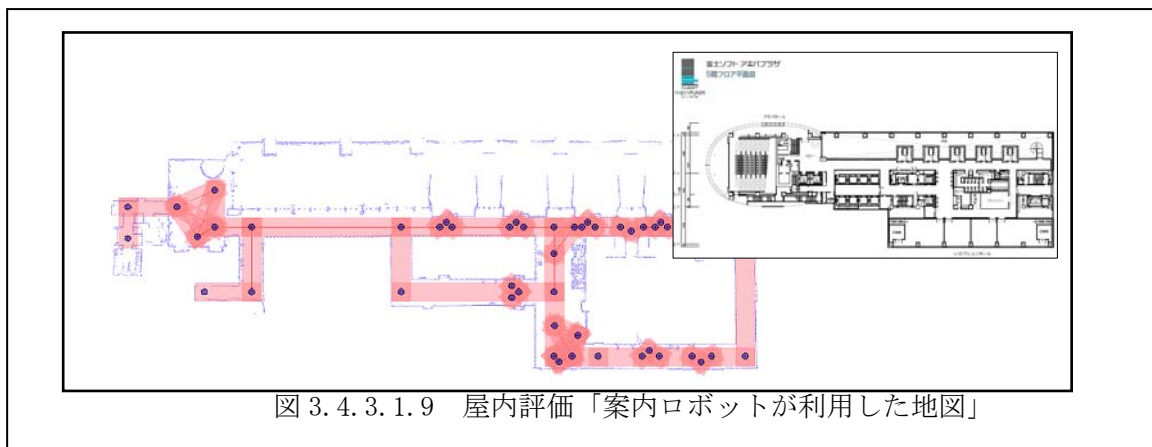


図 3.4.3.1.9 屋内評価「案内ロボットが利用した地図」

(3)目標の達成度

前述3)の(2)の屋外評価での「つくばチャレンジ」においては8月～11月の期間において屋外における一般の人の往来する遊歩道1kmを10回走破した。また前述3)の(2)の屋内評価「案内ロボット」において、ある程度広い(40×70m 四方)スペースも含め案内する業務形態で評価を行い、その際に抽出された課題に対応することにより、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以

上自律走行可能という目標を達成した。

(4)成果の意義

- ・モジュールを販売するための検討を行っている中で、モジュールのインテグレーション・導入・保守における課題等も含めて、必要な導入ツール等や、保守容易性等も含めて検討するとともに、開発モジュール粒度を小さくし、富士ソフト自体がコンポーネント化又は他のプラットフォームで容易にインテグレートをすることも検討した。実際に顧客先でのデモで数十 m 四方のオフィスにおける評価は半日以下の準備で自律走行が可能であった。

- ・本開発は、“市場で使える技術(実用化)”を目指しているプロジェクトであり、その点で歴史のある筑波大学のアルゴリズムの中で実用性の高いものをモジュール化したことは世界的に見ても、初めてのことであり、技術的な価値があるものと判断される。

- ・実用化を検討すること自体が今までにない技術領域であり、実用性のある地図等の検討も実施しており、この実用化の中で検討された事項は新たな技術領域であり、特許として検討した点も存在している。

- ・実用的なモジュールは、当初より様々なプラットフォームにて利用できる汎用性を目指しているものである。現在独自のプラットフォーム上でコンポーネント化されたいくつかのモジュールが動作していることで実証されている。

3.4.4 研究開発項目⑥ 移動知能(社会・生活分野)の開発

【実施者】学校法人芝浦工業大学

学校法人千葉工業大学

NEC ソフト株式会社

セグウェイジャパン株式会社

国立大学法人東北大学

国立大学法人京都大学

非営利特定法人国際レスキューシステム研究機構

3.4.4.1 事業目的

我が国では、1980年代以降、自動車や電機・電子産業等のユーザー産業の成長や人手不足を背景に、産業用ロボットの本格的な導入が進んだ。現在、我が国は、国際的にもトップレベルのロボット技術を有するとともに、生産現場においても、全世界で稼働している産業用ロボットの約4割が日本で稼働している等、自他ともに認める「ロボット大国」といえる。ただし、1990年代以降、産業用ロボットの市場規模は緩やかな成長にとどまり、用途も特定の産業分野に限られていた。しかし、ロボットを巡る状況は、着実に変わりつつある。製造業においては、ロボット・セルのように、さらに高度化した産業用ロボットが生産現場に投入されつつある。また、サービス業の分野においても、2005年の愛知万博では、サービスロボットの实用化に向けた実証実験が行われるとともに、実際のビジネスにおいても、清掃ロボットや食事支援ロボット、災害復旧作業を行う遠隔操作型ロボット等の導入が進んでいる。このように、我が国のロボット産業・技術は、次の成長段階に踏みだし、まさに「第2の普及元年」の幕開けを迎えている。

他方、我が国は、少子高齢化・人口減少、アジア諸国の台頭等を背景とした国際競争の激化や、地震や水害等大規模災害に対する不安といった社会的課題に直面している。これらの諸課題に対し、我が国に蓄積された基盤的なロボット技術(RT)を活用・高度化することにより、解決に取り組むことが期待されている。上記解決に求められる最重要な技術課題の一つは、「知能化技術」である。特に、生活空間等の状況が変わりやすい環境下においても、ロボットがロボスタ性をもって稼働するためには、ロボットの環境・状況認識能力や自律的な判断能力及び作業の遂行能力の向上が必要である。また、当該技術の継続的な発展に向けて、ロボットの知能要素をモジュール化し、その蓄積・管理及び組み合わせ等を可能とすることが必要である。これにより、ロボットのみならず、それ以外の製品分野(自動車、家電、住宅・オフィスビル、航空機、船舶、各種産業機械等)にも広く波及することが期待される。

本プロジェクトは、以上のような知能化に係る技術課題を解決することを目的として、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」の一環として実施する。

3.4.4.2 事業概要

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、現在は自動車や自転車が確立されているが、ショッピングセンターや娯楽施設等、これらの移動手段では対応できず、歩行が必要な環境が多く存在している。一方で、高齢化が進展するにつれ、長時間・長距離の歩行が困難となる層が拡大すると予想されることから、このような環境において活用される歩行に代替しうる自

由度の高い移動手段として、携行可能性を備えた乗物ロボット（モビリティロボット）の実用化が期待されている。このため、本事業では、人や障害物が混在する状況において、人を乗せて安全に移動する機能を実現する汎用的な移動知能モジュールの開発を行う。

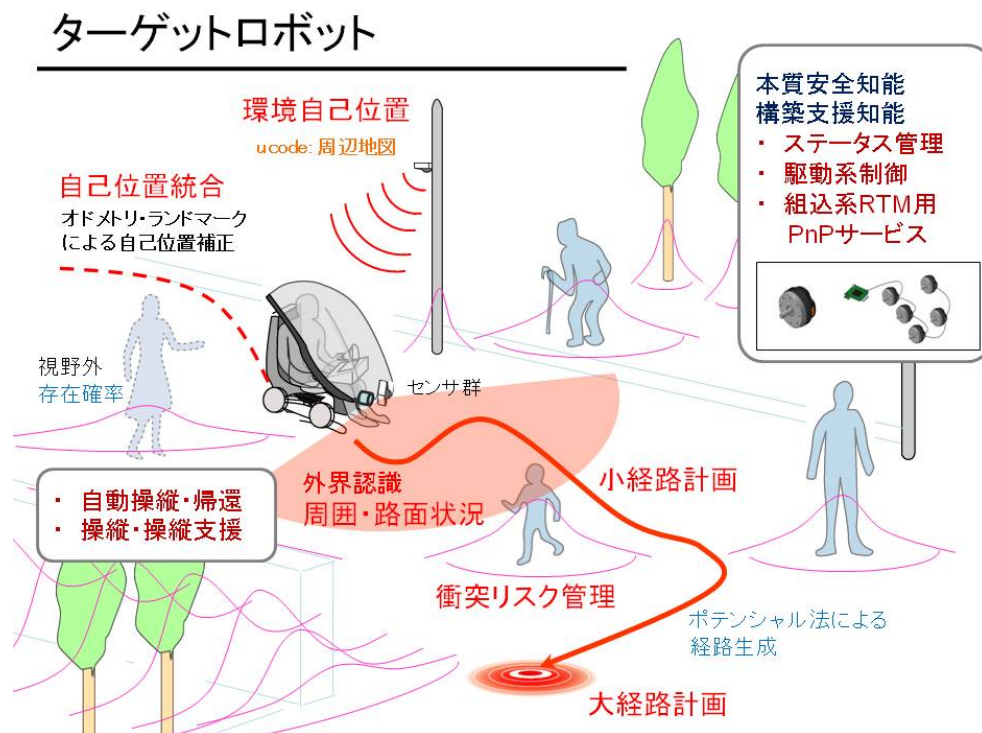


Fig. 1 モビリティロボットの動作概要

3.4.4.3 事業内容

2009年度まで、個別開発を実施していた以下の2つの研究体を統合して、1つの研究体（統合した研究体）とする。また、筆頭委託先をTable. 1に記した組織とする。本章では、これらの研究体が担当した、知能モジュール群、RTM対応組込みプラットフォーム群について順次説明する。

Table. 1 組織担当概要表

第1の研究体 搭乗用知能移動およびその構築を簡便にするモジュール群の開発 (RTM対応組込みプラットフォーム群)	学校法人芝浦工業大学（統合後、筆頭委託先）
	学校法人千葉工業大学
	NECソフト株式会社
第2の研究体 自律と操縦が融合したインテリジェント立ち乗り電動モビリティシステム (知能モジュール群)	セグウェイジャパン株式会社 (2009年4月1日付けで日本SGI株式会社から権利義務承継)
	国立大学法人東北大学
	特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構
	国立大学法人京都大学 (2009年4月1日付けで国立大学法人電気通信大学から権利義務承継)

3.4.4.3.1 知能モジュール群

(1) 移動知能モジュール群の開発 安定走行に関する知能モジュール群

(ア) 車輪移動モジュール

開発モジュール名称： 車輪移動モジュール (Omni-Wheel / Four-X)

オープンソースライセンス Apache Lisence 2.0

開発実施者： 千葉工業大学

開発目的：

移動形態（全方位移動，ステアリング駆動，Fig.2参照）によらず，また，開発機関に依存しない共通 IF で移動指示が可能なモジュールを開発する．そのために，移動形態に依存する処理部分はモジュール内にカプセル化した．駆動モジュールには，NEDO 次世代ロボット共通基盤プロジェクトで開発された運動制御モジュール FTMD を用いることで，NEDO プロジェクトの成果の展開をはかった．また，ソースコードを公開することで，成果の普及を目的とした．

成果：

市販の電動車いすを NEDO 次世代ロボット共通基盤プロジェクトの成果である運動制御モジュール FTMD (Fig. 2、Fig. 3参照) を用いることで，搭乗型車輪移動ロボットへと改変を行った．これにより，任意の車輪速度，モータ電流が指定可能となった．また，それらの車輪回転数，モータ電流値が取得可能となった．これにより，開発した車輪制御モジュールでは，共通 IF を通して任意の移動指令およびオドメトリの取得が可能となった．



Fig. 2 RT ミドルウェアに対応させた「Omni-Wheel」(左)，「Four-X」(右)

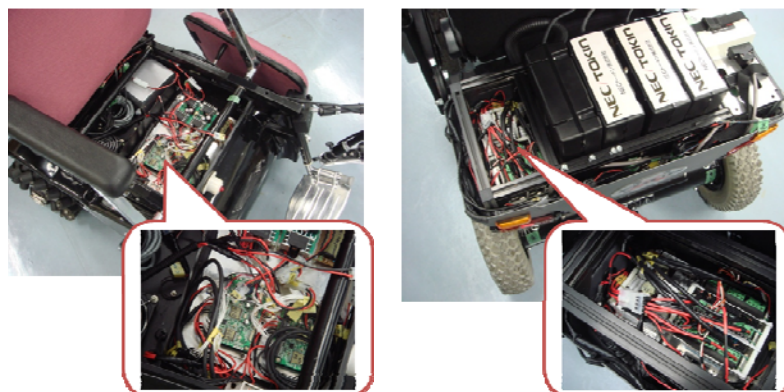


Fig. 3 運動制御モジュール FTMD を搭載した移動ロボット「Omni-Wheel」(左)，「Four-X」(右)

とくに車輪移動モジュールを適用された Four-X 移動ロボットは、基本計画に定められた走行距離 2km, 踏破可能斜度 10 度の条件をいずれも 3.6km 走行 (Fig. 4参照), 16 度斜度踏破 (Fig. 5参照) を実現し、基本計画の条件を満たしている。

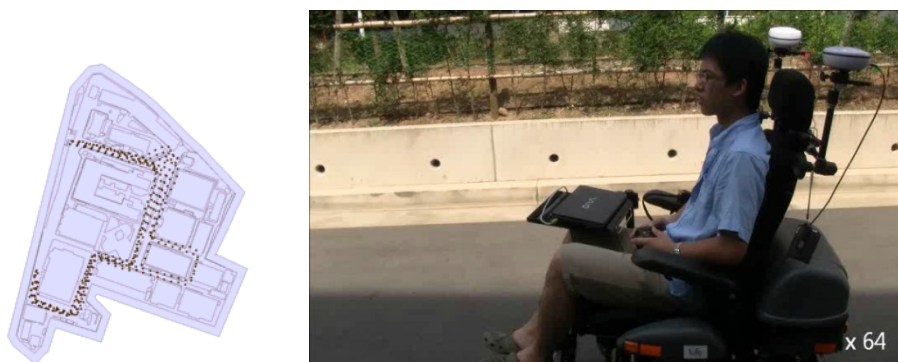


Fig. 4 Four-X による 3.2km 走行軌跡 (左) とそのときの様子 (右)



Fig. 5 Four-X による斜度 16 度の走行の様子

(イ) 台車モジュールの開発

開発モジュール名称： 台車モジュール(SegwayRMP/Blackship)

オープンソースライセンス

商用以外の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件
開発実施者： セグウェイジャパン株式会社

開発目的：

再利用性を考慮した複数のプラットフォームロボット用の台車モジュールを開発し、これらを他の開発実施者(次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト内(以下、知能化PJ内))と協力し仕様の統一化を図る。開発する対象には、移動ロボット研究用プラットフォーム「SegwayRMP」「BlackShip」などをベースに開発を実施する。開発した台車モジュールは、プロジェクト外部にソフトウェアモジュールの形で提供(無償)する。

成果：

「SegwayRMP 台車モジュール」「Blackship 台車モジュール」が RT ミドルウェアのモジュールとして完成しており、Linux 版、Windows 版の異なる OS を前提とした開発を実施した (Fig. 6)。開発したモジュールはプロジェクト内・外の大学・研究機関に配布を実施し、再利用性の検証を実施した。また移動ロボット向けの共通インターフェースに対応し再利用性が考慮された台車走行モジュールが完成した。完成した台車走行モジュールは移動台車の販売時などにオープンソースの形で無償添付し配布を実施した。

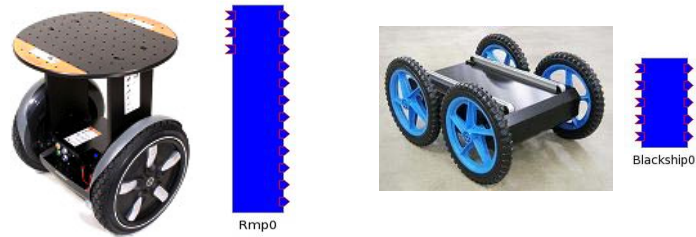


Fig. 6 RT ミドルウェアに対応させた「SegwayRMP」(左), 「BlackShip」(右)

(2) 縦移動知能モジュール群の開発 障害物回避に関する知能モジュール群

開発モジュール名称：

- 回避行動モジュール
 - 衝突判定モジュール
 - 障害物検知モジュール
- オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合，修正 BSD ライセンスが適用，商用利用の際には，個別に使用条件
開発実施者： 東北大学

開発目的：

外界センサを利用した人を含む障害物の検知機能，衝突リスク見積もり機能，回避行動生成機能等，外界との衝突を避けるための回避機能群を備えているモジュール群の開発を行う。

成果：

障害物検知及び回避行動の生成，衝突判定，移動障害物検知を行うモジュールの開発を行った。特徴として，これらモジュールはセンサデータから障害物の検知を行うモジュールと，ロボットの経路の変更を行う回避動作生成モジュールとに分けて実装しており，その間を抽象化した障害物情報で接続することで，モジュールの組み合わせにより様々なセンサを様々な回避動作に対応させることができる。また，回避動作生成モジュール回避動作生成モジュールの入出力をロボットの車体速度とすることで，多様なロボットに適用可能とする。下記に各モジュールについて示す。

・回避行動モジュール

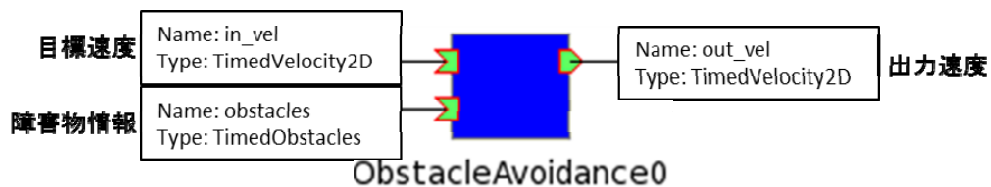


Fig. 7 回避行動モジュール

回避行動モジュール (Fig. 7) は入力された目標車体速度にて予想された経路に対して，入力された障害物情報が衝突する可能性がある場合に，回避可能かつ目標車体速度に近い速度を出力する。回避経路の探索には DynamicWindowApproach を応用しており，現在車体速度から最大加速度で減速した場合でも衝突する場合に衝突の可能性ありと判定する。また入力車体速度の周辺速度

に対して安全性と入力との差異から経路の評価を行い，評価値が最大となるものを出力する．評価値には衝突するか否かに加え，ユーザーが任意に設定可能な速度・角速度に関する重みパラメータにより，入力速度重視（回避重視）または経路重視の設定が可能である．

・衝突判定モジュール

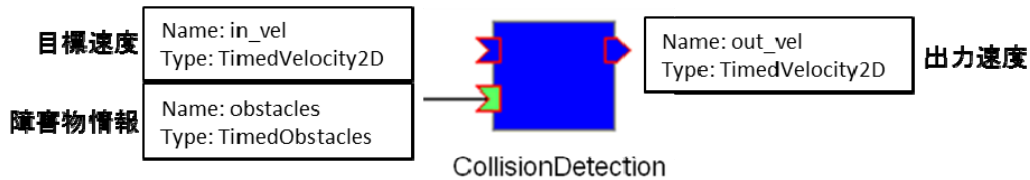


Fig. 8 衝突判定モジュール

衝突判定モジュール (Fig. 8) は入力された目標車体速度にて予想された経路に対して，入力された障害物情報が衝突する可能性がある場合に，経路を維持しつつ最大加速度で減速した際障害物に接触しない速度を出力する．無人搬送車等の経路を維持することが求められる用途に対して適している．障害物回避モジュールの経路重視としたものとほぼ等化である．

・障害物検知モジュール

障害物検知モジュール (Fig. 9) は測域センサの情報から，障害物情報に変換する．障害物情報は大きさを持った点群として表現され，測域センサの高密度な情報を等間隔に間引き情報量の削減を行う．またロボット中心座標系への座標変換を行う．

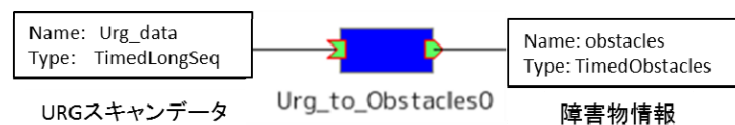
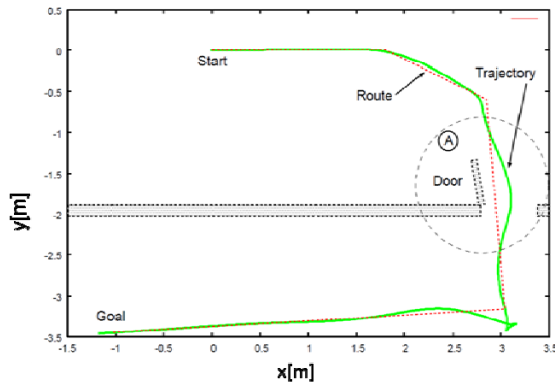


Fig. 9 障害物検知モジュール

・障害物検知モジュール及び回避モジュールの動作

障害物検知モジュール及び回避モジュールの動作について示す．前述したように回避経路生成モジュール及び衝突検知モジュールはロボットの車体速度を入出力とするため，様々なロボットの制御系に組み込むことが可能である．

Fig. 10に自律移動に回避経路生成モジュール及び障害物検知モジュールを組み込んだ際の自律移動の結果を示す．図中 (a) において赤点線が目標経路であり，緑実線が推定位置である．図中 (a) において，ロボットは Start から Goal まで走行した．この際多くの部分では目標経路に推定位置が重なっているが，Ⓐ部においては目標経路から離れている．この場所はFig. 10図中(b)に示すドア部となっており，推定位置の精度では通過が困難であったが，障害物検知により経路が修正され走行することができている．



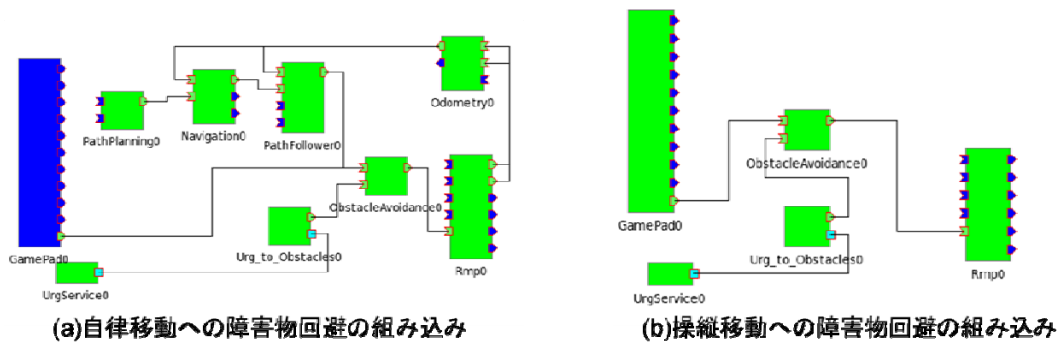
(a) 目標経路と走行軌跡



(b) 回避によるドアの通過 (A 部)

Fig. 10 自律移動モジュール群と障害物回避モジュールによる障害物回避

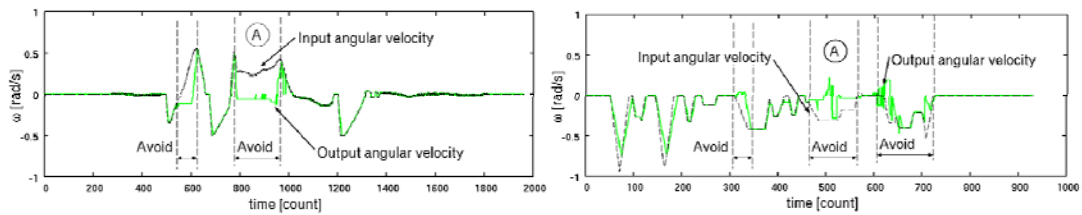
下図に自律移動へ組み込んだ場合と操縦移動に組み込んだ場合のモジュールの構成及び、走行を行った際の角速度出力を示す。Fig. 10中Aで示す部分が回避経路生成モジュールにより回避が行われた部分であり、入力角速度に対して出力角速度が大きく変化している。以上のように、ロボットに inputs する車体速度に回避行動生成モジュール等を挟む事により回避が実現できるため、自律や操縦等様々な制御系に適用可能であり再利用性が非常に高い。



(a) 自律移動への障害物回避の組み込み

(b) 操縦移動への障害物回避の組み込み

Fig. 11 自律移動と操縦移動へ回避経路生成モジュールの適用



(a) 自律移動と障害物回避の角速度出力

(b) 操縦と障害物回避の角速度出力

Fig. 12 自律移動と操縦移動に回避経路生成モジュールを適用した際の入力角速度および出力角速度

- ・ 移動障害物検知モジュール

測域センサの情報およびロボットの位置情報から、移動障害物情報に変換する。障害物情報は大きさ及び速度を持った点群として表現される。

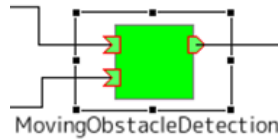


Fig. 13 移動障害物検知モジュール

移動障害物の検知には MixtureParticleFilter を用いることで、複数の移動障害物の検知と、ある程度の隠れにも対応する。移動障害物検知の処理は、まず測域センサから得られた点群を距離が大きく変わる点にてクラスタリングを行い、移動物体候補を生成する。次に測域センサの情報を用いて生成した占有度グリッドマップを用い、移動物体候補から占有領域に存在する候補を削除し、移動物体候補を限定する。後に、MixtureParticleFilter の各群と対応付けを行い、重みの更新を行う。この際、移動物体候補に対し対応するパーティクル群が存在しない場合、新しい移動物体を検知したとし、移動物体候補近傍にパーティクルを生成し、またパーティクル群近傍に一定期間以上移動物体候補が現れなかった場合は移動物体が消失したとする。Fig. 14に移動障害物検知モジュールの動作例を示す。図中赤点群が移動物体を表すパーティクル群であり、緑矢印が移動物体の速度ベクトルを示す。

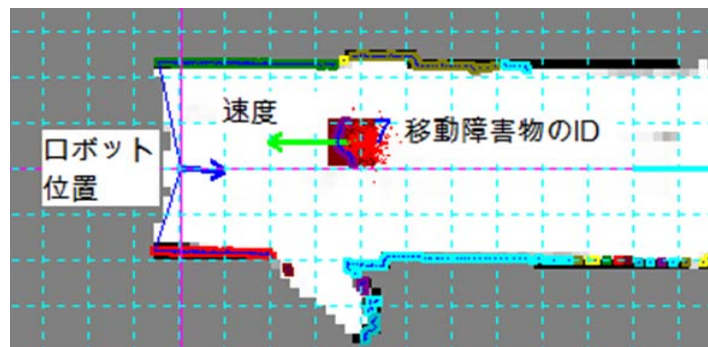


Fig. 14 移動障害物検知モジュールの動作例

また、Fig. 15に複数の人を移動物体としてトラッキングした際の実験結果を示す。図中左図が移動物体の位置、右図が速度の推移を示し、移動障害物検知モジュールにより各移動物体の位置及び速度ベクトルが算出されている。

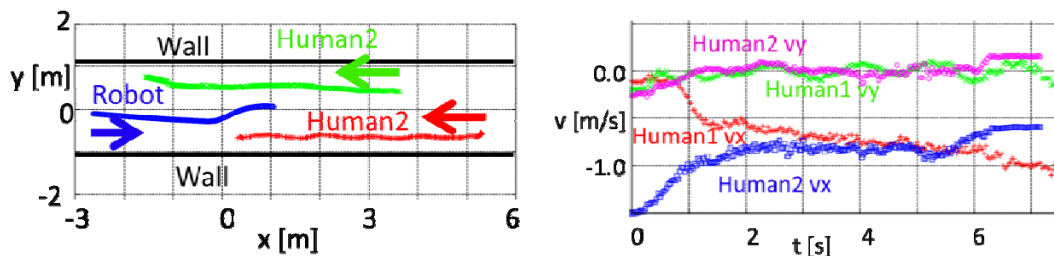


Fig. 15 移動障害物検知モジュールによる複数人物のトラッキング

(3) 縦移動知能モジュール群の開発 操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群

(ア) 自律と操作の融合モジュール

開発モジュール名称：

自律と操作の融合モジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件

開発実施者：

京都大学

開発目的：

移動ロボットを移動させる手段として、オペレータによる「操作」とロボット自身による「自律」走行によるものが考えられる。本モジュール群では、操作と自律移動とを切り替えるモジュールの開発を行う。

成果：

遠隔操作指令と自律操作指令を切り替えるためのモジュール群を開発した。開発したモジュールはFig. 16に示すように、オペレータからの速度指令値と自律移動アルゴリズム等からの速度指令値を受け取り、オペレータからの指示のもと、出力を切り替えている。また、非常停止ボタンからの信号も受け取り、ソフトウェア非常停止機能も実装している。例えば、非常停止ボタンが押された場合には、オペレータからの速度指令値や自律移動アルゴリズムからの速度指令値に関わらず停止信号を出力するようになっている。また、同様に、非常停止ボタンの状態が取得できない場合にも停止信号を優先して出力するようになっている。

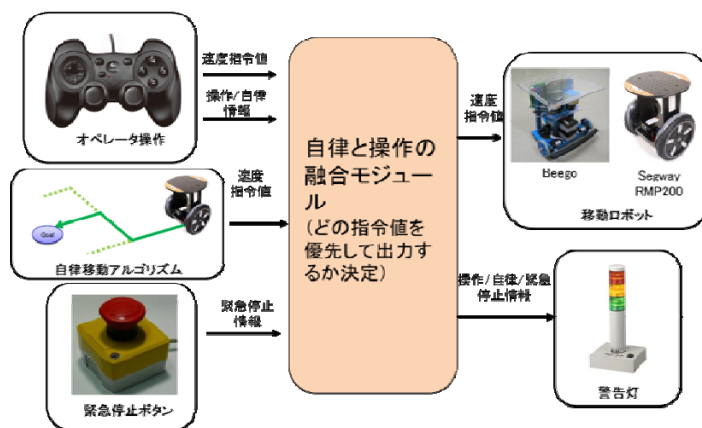


Fig. 16 自律と操作の融合モジュール

本知能モジュールの使用例を下図に示す。図中の「CommandSelector」が自律と操作の融合モジュールである。CommandSelectorは、本構成例ではGamePadによる操作指令値と自律走行機能モジュール(RVC2011)からの指令値を受け取り、オペレータが与えた切り替え信号に基づき、それらの出力切り替えを行う。また、非常停止管理デバイスモジュール「DeviceControl」と接続し、非常停止ボタンの情報の取得、警告灯を介した状態通知を行っている(詳細は別紙参照)。本構成例は後述の「速度制約領域を考慮した軌道計画モジュール」の実験においても用いており、その際には操作・自律・(ソフトウェア)非常停止とをスムーズに切り替えることができ実験の効率・安全性の向上を図ることができた。

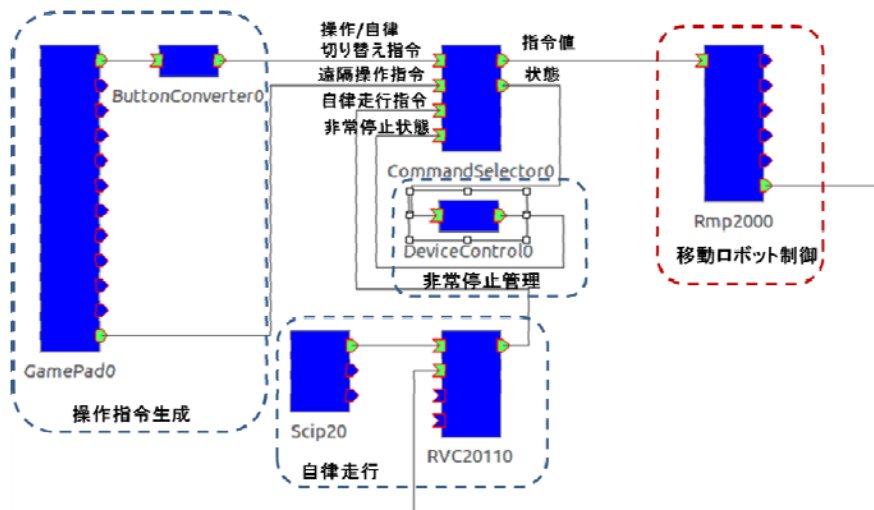


Fig. 17 融合モジュールを使用したモジュール構成の例

(イ) 複数台ロボットの操作インターフェースとシミュレータモジュール

開発モジュール名称：

複数台ロボットの操作インターフェースとシミュレータモジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合，修正 BSD ライセンスが適用，商用利用の際には，個別に使用条件
開発実施者：

京都大学・国際レスキューシステム研究機構（名古屋工業大学）

開発目的：

広範囲の利用者層に対して移動ロボットの使用を簡便にするため，操縦者が使用する携帯デバイスの使用を視野に入れて，操作インターフェースの開発を行う．開発したインターフェースは，ソフトウェアモジュールの形で提供する．

成果：

本開発プロジェクトでは，ゴルフ場やテーマパーク等での移動ロボットの利用を想定している．このような環境で移動ロボットを利用するには，利用者のいる場所に利用者が必要とする台数だけロボットを「配車」する必要がある．本成果のインターフェースは，複数台の移動ロボットを簡易に「配車」するためのインターフェースである．

本知能モジュールでは，地図上でスケッチを描くように複数台のロボットを簡単に操縦できる．複数台ロボットの LRF データを受け取り，それらを結合した地図を画面上に表示する．操作者は表示された地図上で線を描くことで，ロボット群のグループ化や目標軌跡の入力を行う．操作者の入力に基づいて各ロボットが目標軌跡に追従するような目標速度を出力する．グループ群は並列的に複数のグループに対して操作を行うことができる．

また，このインターフェースの検証には複数台のロボットが必要となるため，実機での検証が困難となる．そこで，インターフェースの検証用にシミュレータのモジュールも開発した．

これらのモジュールは単体でも動作するが，インターフェースモジュールとシミュレータモジュールと接続し，検証を行った．これらを接続する際の結線は Fig. 18 のように行う．

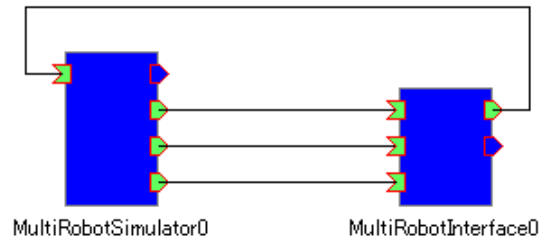


Fig. 18 インターフェースモジュールとシミュレータモジュールの結線図

【インターフェースモジュールの仕様】

インターフェースモジュールでは、地図上でスケッチを描くように複数台のロボットを簡単に操作できる。モジュールを起動し、適切に入出力ポートを接続したのちに activate すると、Fig. 19 (a)のような画面が表示される。赤い円がロボットを表し、青い点が障害物を表す。センサで検出している範囲が白く表示され、灰色のエリアは未検出エリアである。ロボットの右下に表示されている数字はロボットの現在の速度を表している。

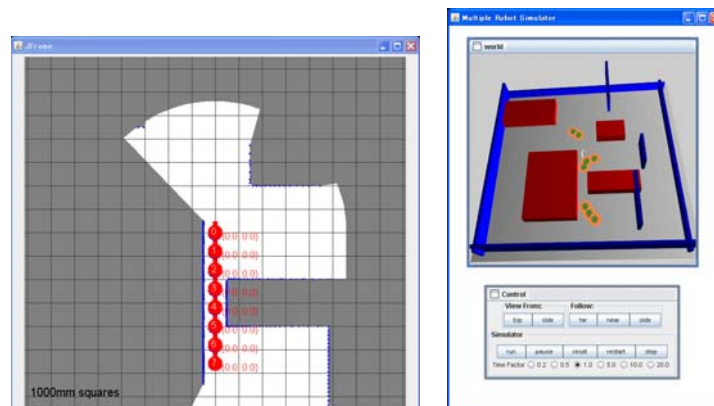


Fig. 19 (a)シミュレータモジュールのGUI画面(左)
(b)シミュレータモジュールのGUI画面(右)

【シミュレータモジュールの仕様】

シミュレータモジュールでは、ロボットの速度群を入力として、それに基づいて仮想環境内をロボットが移動する。出力ポートからはロボットの移動に基づき、シミュレータ内ロボットの位置情報、速度情報、仮想的にロボットに搭載したLRFデータが出力される。

シミュレータのスクリーンショットをFig. 19 (b)に示す。中央の緑の円柱がロボットを表し、赤が障害物、青が壁を表す。

【開発モジュールによる移動ロボットの操作方法】

ここでは、「複数台ロボットシミュレータモジュール」と接続した場合を例にとり、本インターフェースを用いる際のロボットの操作方法を説明する。

(1)モジュールの起動

モジュールを起動すると、Fig. 20のようにインターフェース画面(右上)とシミュレータ画面(左上)が表示される。

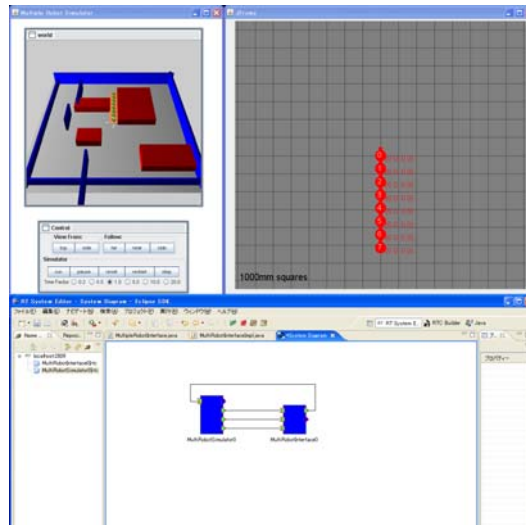


Fig. 20 モジュールの起動画面

(2) Activate

モジュールを Activate すると，入出力ポートからデータのやり取りが行われるため，インターフェース画面にロボット群から送られてくる L R F データに基づいた地図が表示される (Fig. 21(a)).

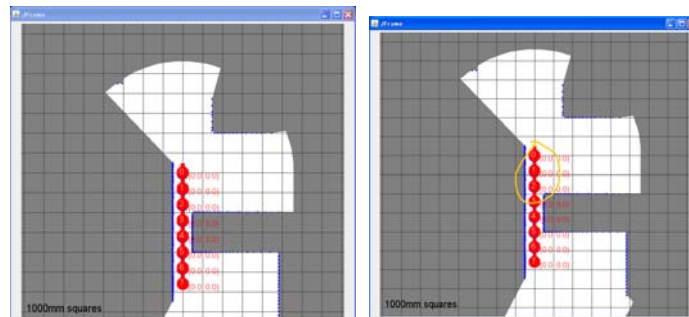


Fig. 21 (a) activate すると地図が表示される(左)
(b) 移動対象ロボットのグループ化(右)

(3) 移動対象ロボットの選択

インターフェース画面上でマウスのドラッグ操作で囲んだロボットが移動対象のロボットとなり，一つのグループとなります (Fig. 21 (b)).

(4) 目標軌跡の入力

グループの各ロボットの追従させたい軌跡 (オレンジライン) を地図上に描く. この際ラインの始点はグループの枠内からスタートする必要があるため中が必要 (Fig. 22 (a)).

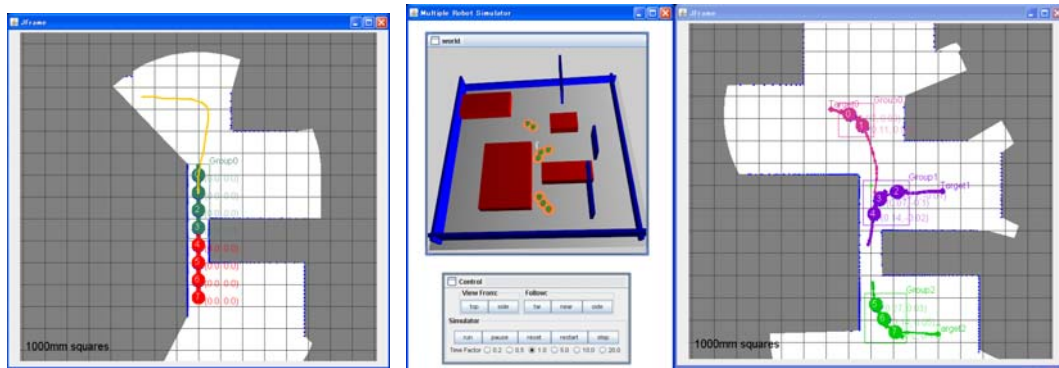


Fig. 22 (a)目標軌跡の入力(左)
(b) ロボットの移動(右)

(5)ロボットの移動

入力された軌跡に各ロボットが追従するための目標速度を出力ポートから出力する．計算の際には入力ポートから入力されるロボットの位置情報や速度情報を使用する．そのため、適切に入出力ポートが接続されていない場合、ロボットが目標軌跡に追従しないので注意が必要である．複数のグループ化・目標軌跡の入力も可能となっている (Fig. 22(b)).

【実験】

複数台の移動ロボットの操作における開発したインターフェースの操作性を検証するために実験を行った．複数の実ロボットを用いて検証するのは準備や機材調達が困難であるため、ここではシミュレータモジュールを使用した．ロボットの台数は8台である．シミュレータ内で用意した走行環境をFig. 23に示す．手前に並んでいる8つの円柱状の物体がロボットであり、青い壁によって廊下と部屋が構成されている．

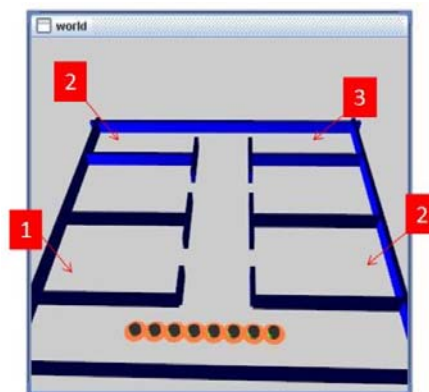


Fig. 23 操作性検証実験の走行環境

本実験では、Fig. 23のようにロボットが手前に並んでいる状態を初期状態とし、操作者は指定された台数のロボットを各部屋に配置する．操作者はシミュレータモジュールの画面を見ずに、インターフェースの画面のみを見て操作を行う．開発したインターフェースの有用性を検証するために比較手法として、以下の3手法を用いた．

- ・手法1「提案手法」：タッチペンを用いて、地図上で操作指令を入力する．ロボットアイコン

を囲むことによるグループ化機能を有する。

- ・手法2「グループ化なし地図上入力」：タッチペンを用いて、地図上で操作指令を入力する。ただし、ロボットアイコンを囲むことによるグループ化機能は有していない。
- ・手法3「一般的遠隔操作」：操作入力ゲームパッドによって行う。グループ化の機能は有さない。

被験者数は6名で、各手法について5分程度の練習をした後に、実験を行った。実験中は、初期状態からロボットが動き始めて各部屋に指定台数移動できるまでの走行時間と、操作者が操作入力を行った回数を記録した。また、走行終了後には5段階のアンケートを行い、操作に対する主観評価を行った。

走行回数と操作入力回数の結果を表ウ-1に、アンケートの結果を図ウ-10に示す。これらは全操作者の平均値を示している。Table. 2から、提案手法は走行時間、操作回数ともに低く抑えることができていることがわかる。手法1、2と手法3を比較する。従来手法（手法3）では、ロボットを同時に1台しか操作できないため時間がかかっている。一方、地図上で目標軌跡を入力し、各ロボットがその軌跡に追従するように同時に制御する（手法1、2）ことで、走行時間を大幅に減少させることができる。また、手法1と手法2を比較すると、手法2では1台1台のロボットに目標軌跡を入力する必要があった。一方、手法3ではグループ化の機能によって、同じ部屋に移動させるロボットは一度グループ化し、そのグループに一つの軌跡を入力するので、操作の煩雑さを回避できている。操作回数の違いはこれによるものだと考えられる。

Table. 2 走行時間と入力回数の平均

Method Number	1	2	3
run time [s]	103.7	98.8	144.2
input counts[times]	24	68	23

操作性に関するアンケート (Fig. 24) では、全体的な操作性、環境把握の容易さ、入力のしやすさ、ロボット選択のしやすさについて、質問を行った。操作者は5を最高点とする5段階で評価した。提案した手法が全体的な操作のしやすさ、ロボットの選択のしやすさにおいて優れている。一方、環境把握の容易さは従来手法が良かった。これは、手法1、2ではロボットが複数動いていたため、たくさんのロボットの周囲を確認するため、操作者に負荷が大きかったものと考えられる。この点はインターフェースとしての今後の課題である。あるいは、ロボットに障害物回避機能を搭載し、多くのロボットに注意を払わなくて済むようにするという解決策も考えられる。入力のしやすさに関するアンケート結果では従来手法が良い結果となった。これは今回の実験では従来手法でのロボット操作に慣れている人を被験者としたためである。このことから、提案手法は5分程度の練習をするだけで、従来手法とほぼ変わらない入力のしやすさを実現できていたことがわかる。したがって、提案するインターフェースは多くの人にとって操作が容易なものとなっている。

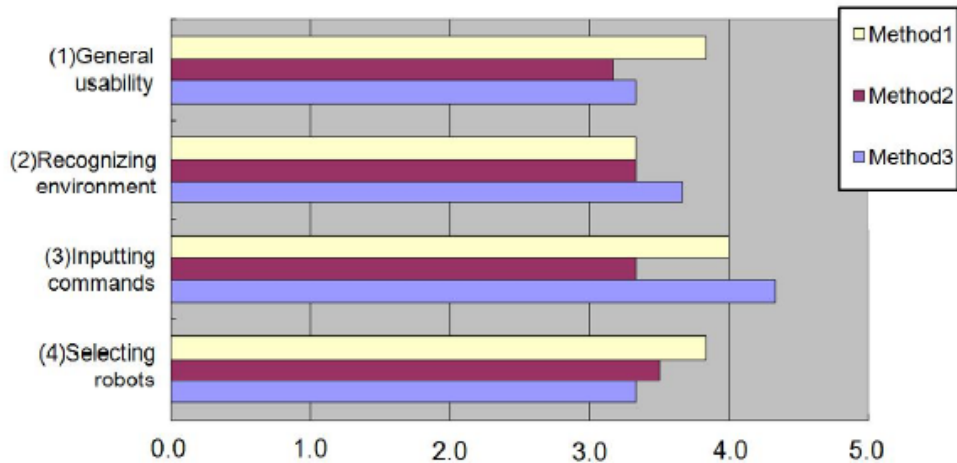


Fig. 24 アンケートの結果

(ウ) iPhone 通信モジュール

開発モジュール名称：

iPhone 通信モジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件

開発実施者：

京都大学・国際レスキューシステム研究機構（名古屋工業大学）

開発目的：

広範囲の利用者層に対して移動ロボットの使用を簡便にするため、操縦者が使用する携帯デバイスの使用を視野に入れて、操作インターフェースの開発を行う。開発したインターフェースは、ソフトウェアモジュールの形で提供する。

成果：

本開発プロジェクトでは、Segway に代表される立ち乗り電動モビリティを警備用途、もしくはテーマパーク・ゴルフ場において利用することを想定し、自律移動機能、複数台での連係動作、操作インターフェースに関する研究開発を行っている。iPhone は、マルチタッチスクリーン、加速度センサ、GPS、カメラなどを搭載し、携帯電話の電波到達範囲であればいつでもインターネットに接続可能であるという特長を持つため、操作用のデバイスとして応用の幅が広いと考えられる。

本開発プロジェクトでは、iPhone 上のアプリケーションと通信をし、操作者が iPhone 上で行った入力を RT システムに反映させると同時に、RT システムの状態を iPhone 上の GUI に提示することができるインターフェースを開発した。

開発したインターフェースの機能の一覧表を Fig. 25 に示す。Fig. 26 (1) は、リアルタイム操縦用の機能である。ここでは、ロボットの目視操作として十字キー操作、遠隔操作として LRF (Lazar Range Finder) の情報をもとにした地図上での操作が可能である。また、移動ロボットの事前経路計画を行うための機能として、比較的広範囲なものとは狭い範囲のものに分けて開発を行った。Fig. 26 (2) に示す広範囲なものとしては、「GoogleMap」と連携しあらかじめ決めておいた経由点を表示するとともに、速度制約領域と呼ばれる領域の入力を可能にした。Fig. 26 (3) に示す狭い範囲での走行についてはロボットから送られてくる LRF データを表示し、その地図上で目的地点と経

由点を入力することができる。さらに、地図を見ながらロボットに進ませたい方向に iPhone を傾けることでロボットを操作できる。iPhone 上の GUI 画面のスクリーンショットを Fig. 26 に示す。

リアルタイム操縦		事前経路計画	
(1) ロボットを目視	十字キー	(2) Global計画	GoogleMap+保存経路点
	操縦桿式操縦		速度制約領域を考慮した走行 (領域の入力)
(3) 遠隔操作	LRF地図+iPhone傾斜	Local計画	LRF地図+経路点入力

Fig. 25 開発したインターフェースの機能一覧



(1)

(2)

(3)

Fig. 26 iPhone 上の GUI のスクリーンショット。

(1)ロボットの目視操作時の画面。(2)Global 計画時の画面。(3)遠隔操作時の画面。

【システム構成】

本インターフェースを使用する際のシステム構成の一例を Fig. 27 に示す。ハードウェアとしては、iPhone、ロボット、ロボットに搭載された PC、ロボットに搭載された LRF、RTSystemEditor 用の PC (ロボット搭載 PC で行ってもよい) が必要である。ただし、ロボットやセンサなどハードウェアに依存する部分については、シミュレータで代用可能である。シミュレータを使用する際には 1 台の iPhone と 1 台の PC が最低必要となる。

本開発プロジェクトでは、iPhone の OS 上で直接動作する RT ミドルウェアは開発するのは困難であると考え、ここでは iPhone 上のアプリケーションと UDP で通信する智能モジュール(RTC)を開発した。iPhone と通信するモジュールが、入力ポートから受け取ったロボットの位置情報や LRF 情報を iPhone へ送信し、iPhone 上で行われた操作者の入力や iPhone に搭載されたセンサ情報はこのモジュールの出力ポートから出力される。

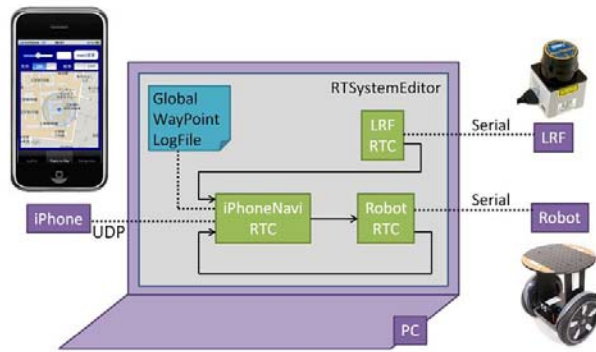


Fig. 27 iPhone 通信モジュール利用時のシステム構成図.
 本図では「iPhoneNaviRTC」が iPhone 通信モジュールに相当する。

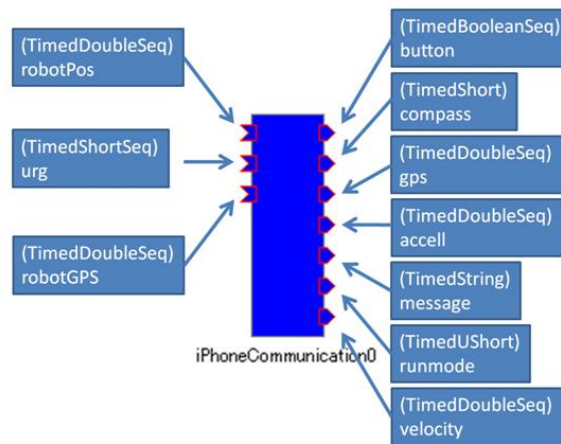


Fig. 28 モジュールの入出力ポート

【実機検証】

本モジュールを利用した実機検証をFig. 29に示す. 左列が十字キー操作, 右列が操縦桿式操縦の様子である. このように本モジュールにより iPhone を用いて倒立二輪型の移動ロボットを操作可能であることが分かる.

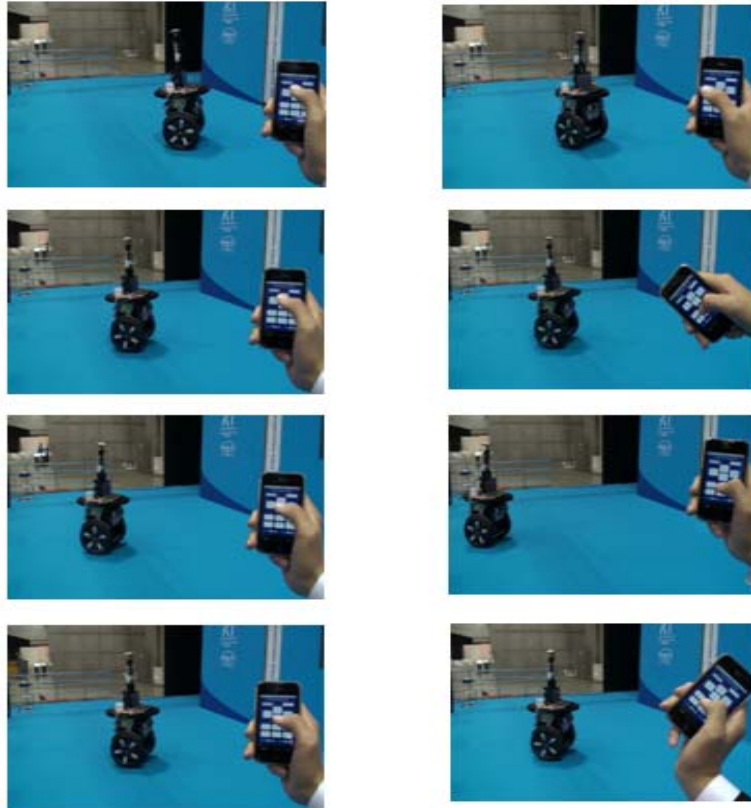


Fig. 29 (左) 十字キー操作による前後移動.
(右) 操縦桿式操縦による前後移動

(4) 自律移動知能モジュール群の開発 自律走行に関する知能モジュール群

開発モジュール名称

- ・自律移動モジュール群
 - 経路計画モジュール
 - マップマッチングドライブモジュール (経路追従コマンド生成)
 - マップマッチングドライブモジュール (経路追従)
- ・位置推定モジュール群
- ・速度制約領域を考慮した軌道計画モジュール

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件)

開発実施者： 東北大学，京都大学

開発目的：

自律移動のための走行制御，高精度自己位置推定，リアルタイム経路計画等，自律走行に必要な機能を備えているモジュール群の開発を行う。

成果：

自律走行を実現するためのコンポーネント群と，位置推定を行うためのモジュール群を開発した。

自律移動モジュール群を設計する上で，再利用性の向上のため，必要粒度に分割することと，その構造をシンプルとすることを重視した。下図にその全体構成を示す。自律移動モジュール

群は、紫枠で示す部分であり、目標位置と現在位置を入力として、車体速度を出力する。また、緑枠はFig. 30で示した障害物回避モジュール群であり、自律移動モジュール群が出力した車体速度に対し回避経路を出力する。また青枠部は位置推定モジュール群であり、多様なセンサに対応できるように構成されている。特に位置推定モジュール群は、モジュール化や処理の分散による通信遅延、処理遅延等が存在する場合でも位置修正が可能なくみを実現している。

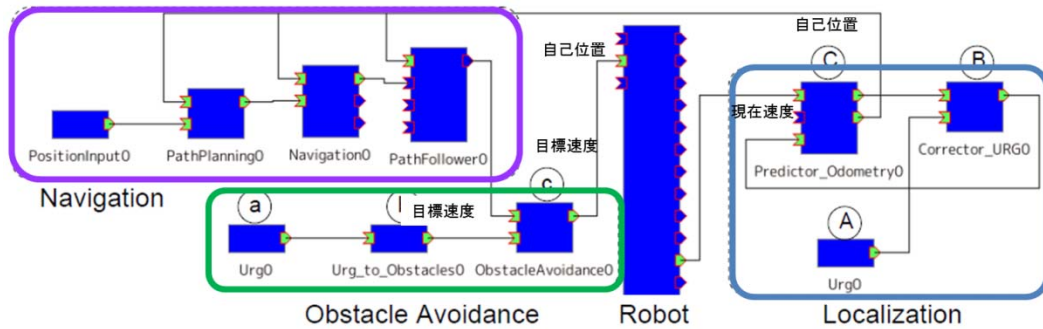


Fig. 30 自律移動モジュール群

開発した自律移動モジュール群は地図位置ベースのナビゲーションを実現するものであり、与えられた経路地図をもとに、現在位置と目的位置から最短経路を求め、推定した位置が経路に追従するように車体速度指令を出すことで、目的までの移動を実現する。無人搬送車等のように走行可能な場所・経路が定められている場合等を想定している。下記に自律移動モジュール群のそれぞれのモジュールの詳細を述べる。

- 経路計画モジュール

経路地図を用いて Dijkstra 法により最短経路を探索し出力する。

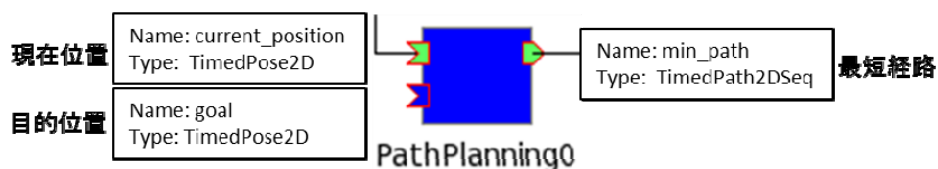


Fig. 31 経路計画モジュール

- マップマッチングドライブモジュール (経路追従コマンド生成)

経路計画モジュール等により得られた目標経路リストに対して、対向二輪型移動ロボットの行動を生成する。目標経路リストにおいて、直線区間については直線追従指令を生成し、経由点近傍に来た場合に、次の直線との角度に応じて、直線もしくはその場旋回指令を生成する。ステアリング方式等のロボットに対しては、その場旋回指令の出力を行わず、切り替える判定距離を大きく取ることによりある程度対応可能である。

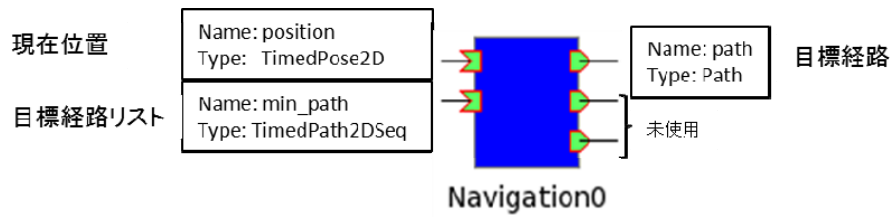


Fig. 32 マップマッチングドライブモジュール（経路追従コマンド生成）

・マップマッチングドライブモジュール（経路追従）

入力された目標経路情報と現在位置に応じて、目標車体速度を生成する。

経路情報としては、直線走行・その場旋回、円弧追従等が可能であり、目標経路への追従には、目標経路と現在位置姿勢の距離、角度及び角速度に比例した角速度を出力する。

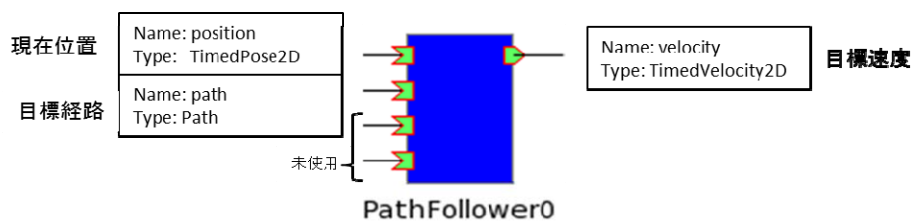


Fig. 33 マップマッチングドライブモジュール（経路追従）

・位置推定モジュール群

位置推定モジュール群はパーティクルフィルタを用いた位置推定を行うものであり、多種・複数の外界センサによる位置推定を、モジュールの交換により対応可能とするものである。位置推定モジュール群は下図に示すように位置予測コンポーネントと、位置修正コンポーネントからなり、外界センサに対応する位置修正コンポーネントを用意することで、位置修正に適用することが可能である。

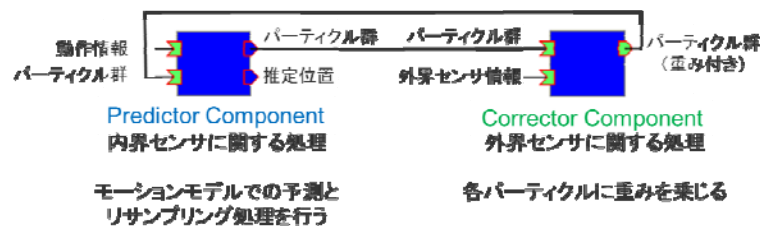
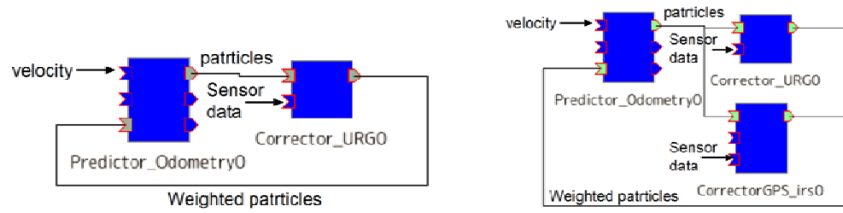


Fig. 34 位置推定モジュール群

下図に単一センサ及び複数センサによる位置推定を行う場合の構成を示す。複数センサにて位置推定を行う場合には下図(b)のように並列に位置修正コンポーネントを接続することにより実現可能である。



(a) 位置推定モジュール群(単一センサ) (b) 位置推定モジュール群(複数センサ)

Fig. 35 単一及び複数センサによる位置推定を行う場合の構成

複数センサを用いて位置修正を行うためには、計算に要する時間を考慮しなければならない。すなわち、位置修正の計算に時間がかかることで過去の位置に対しての修正情報となってしまうことと、処理時間の異なるセンサがある場合、順番が逆転してしまう可能性がある。これら問題に対し、我々は過去に遡り位置を修正する、遡及的位置推定機能をパーティクルフィルタにおいても可能であることを導き、これを位置予測モジュールに組み込む事により解決した。また、OpenRTM1.0 から正式サポートされた、一つのポートからの複数ポートへの出力、及び複数ポートからの一つのポートへの入力機能を利用することにより、一つの位置予測モジュールからパーティクルを出力し、複数の位置修正モジュールにより重み付けを行い、位置予測モジュールに返す事により位置修正を実現する枠組みを実現した。

拡張カルマンフィルタによる遡及的位置推定の枠組みは前山らにより提案されているが、パーティクルフィルタによる遡及的位置推定の枠組みについては知るところにはない。そこで我々はパーティクルフィルタによる位置推定でも遡及的位置推定が可能であることを検討した。その結果、パーティクルフィルタにおいてはリサンプリング処理を行わなければ、遡及処理そのものが不要無きこと、及びリサンプリング処理を行った場合でも、各パーティクルがどのようにリサンプリングされたかを記録しておくことにより対応可能であることを示した。また、リサンプリング処理は高頻度に行う必要はなく、数秒前の情報が与えられた場合でも現実的な時間及び記憶量で遡及処理が実現可能であることを示した。[Robomec2010, ロボット学会誌]

複数センサにて位置推定を行った場合のシミュレーション実験の結果について述べる。実験には下図に示すように、一つの位置予測モジュールに対して、3つの異なる軸に対しての修正、異なる時間遅れを有する位置修正モジュールを接続した。また実験において円形の経路を走行するとし、これに誤差を加えた速度情報を位置予測モジュールに、誤差を加えた位置情報を位置修正モジュールに出力し、これをセンサ情報とする。

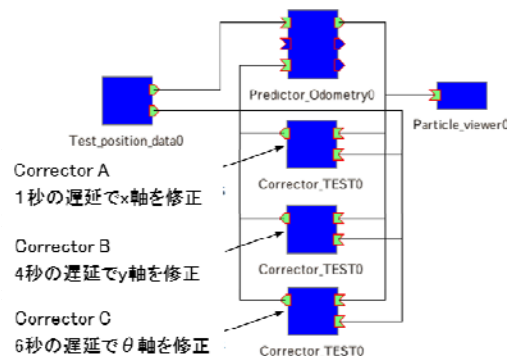


Fig. 36 異なる時間遅れを有する位置修正モジュールを用いた複数センサによる位置修正シミュレーション実験

下図にシミュレーションの結果を示す。下図左部赤線に位置推定モジュール群により得られた推定位置を、緑線にシミュレーション上の真値を示す。また下図左部に推定位置のパーティクルの標準偏差と通信タイミングを示す。下図において、修正情報の反映に最大6秒の遅延がありながら推定位置が真値近傍に沿っており、正しく位置修正が行われていることがわかる。また右図から、AB部に着目すると入力された順番と出力された順番が異なり、センサによる修正の順番が入れ替わっている。これにより本モジュール群はモジュール化により起こりうる時間遅れやそれによる順番の入れ替わり等に対応可能であることが示されている。

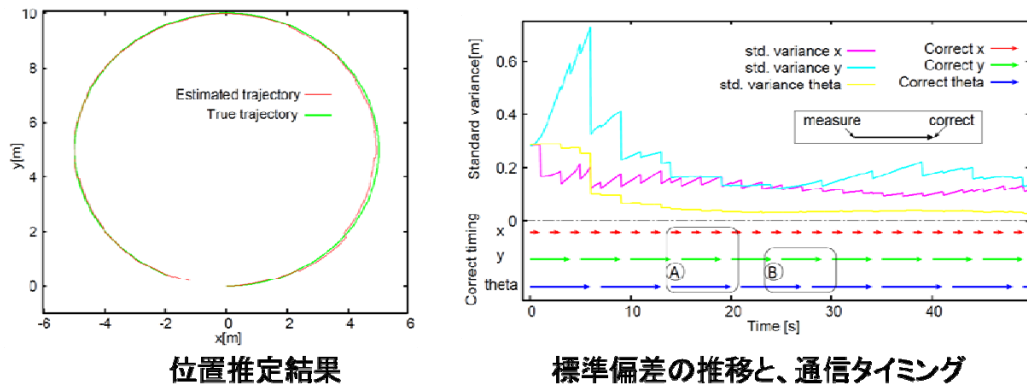


Fig. 37 異なる時間遅れを有する位置修正モジュールを用いた複数センサによる位置修正シミュレーション実験

・自由空間観測モデルによる位置修正モジュール

位置修正モジュールとして、測域センサを用いた位置修正モジュールを開発した。位置修正のための観測モデルとして、自由空間観測モデルを提案した。これは、レーザは障害物を貫通しないという仮定のもと、パーティクル位置から計測されたレーザをマッピングした際に既知障害物を貫通する場合、そのパーティクルの重みを下げるものであり、未知障害物に対して非常に強い。

実験の構成を下図に示す。実験環境は廊下片道約 25m であり、実験ではこれを 3 往復（計 150m）走行する経路を自律走行させた。

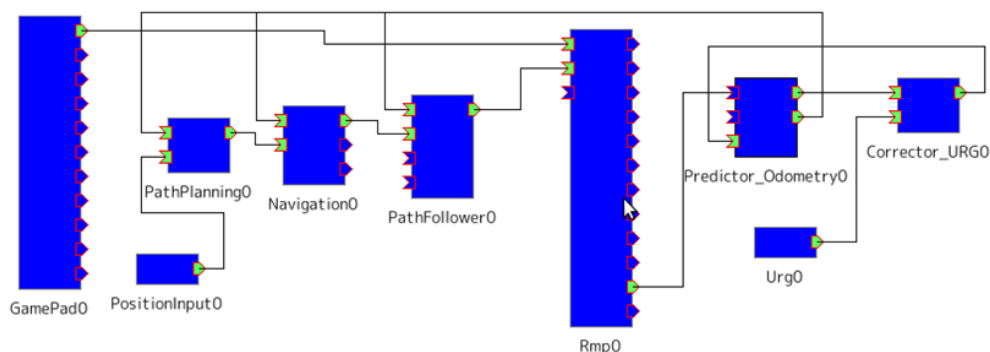


Fig. 38 位置修正モジュールを用いた自律移動実験のモジュール構成

実験結果をFig. 39に示す。図中緑線が修正しない場合のオドメトリであり、赤線が位置修正モジュール群により得られた推定位置である。また図中青線は位置修正に用いた既知障害物である。

実験においては通行人等地図に記載されていない未知障害物が存在するが、破綻することなく位置修正が実現でき、 Fig. 40のように自律走行が実現された。

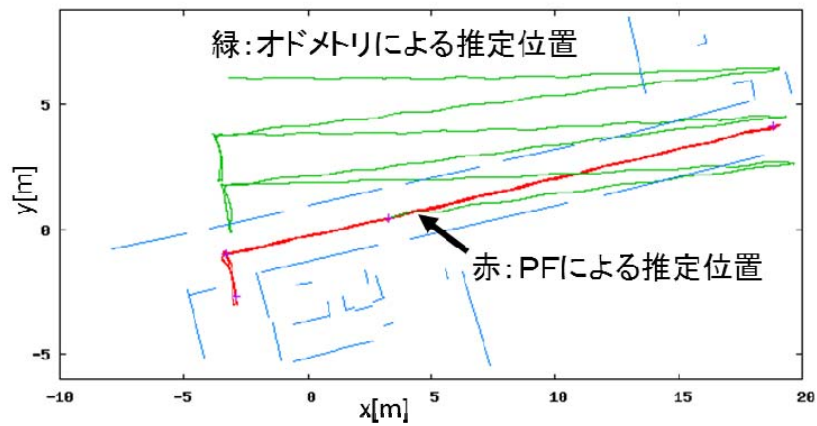


Fig. 39 自律移動実験により得られた推定位置



Fig. 40 自律走行の様子

・速度制約領域を考慮した軌道計画モジュール

本知能モジュールは、障害物をリアルタイムに回避しながら自律移動ロボットを目標位置に移動させるための軌道計画を行うものである。本知能モジュールは、特に“速度制約領域”に着目した軌道計画法を提案・実装したものである。

速度制約領域とは、ロボットが移動するには危険な領域(例えば、Fig. 41の起伏の激しい領域、人の交通量の多い領域など)に対して設定される領域であり、その領域に応じた速度制約が設けられる。この速度制約情報は事前に地図情報として移動ロボットに与えられる。移動ロボットは設定された速度制約に従い軌道を計画し自律走行する。したがって、移動ロボットは危険領域では、速度を落として走行するため、より安全性の高い自律走行を実現できるものと期待されるものである。

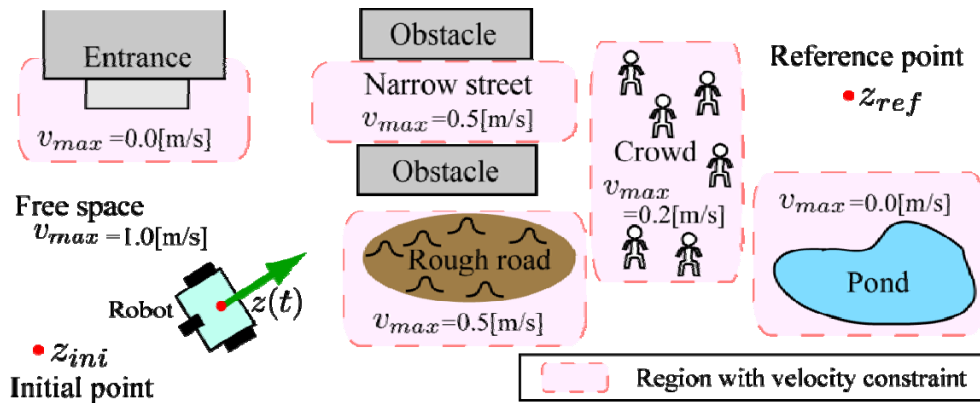


Fig. 41 速度制約領域を考慮した軌道計画の概念

提案した軌道計画法は、経路計画手法である Navigation Function と軌道計画手法である Global Dynamic Window Approach に基づく手法で、それらを速度制約領域が考慮できるように拡張を行ったものである。また、オンラインで軌道の再計画が可能ないようにアルゴリズムを拡張し、移動ロボットに搭載した LRF などのセンサから取得した障害物情報に基づき、未知障害物も回避できるようにした。

本知能モジュールを用いた構成例を Fig. 42 に示す。下記の構成では、「操作と自律の融合モジュール」により、操作指令と自律走行の指令値を切り替え、移動ロボットに出力するように設定している。本知能モジュールは「RVC2011」であり、移動ロボットの搭載した LRF から障害物情報を取得し、また移動ロボットから現在位置情報（本構成ではオドメトリ）を取得し、それらに基づき自律走行するための速度指令値を生成・出力している。

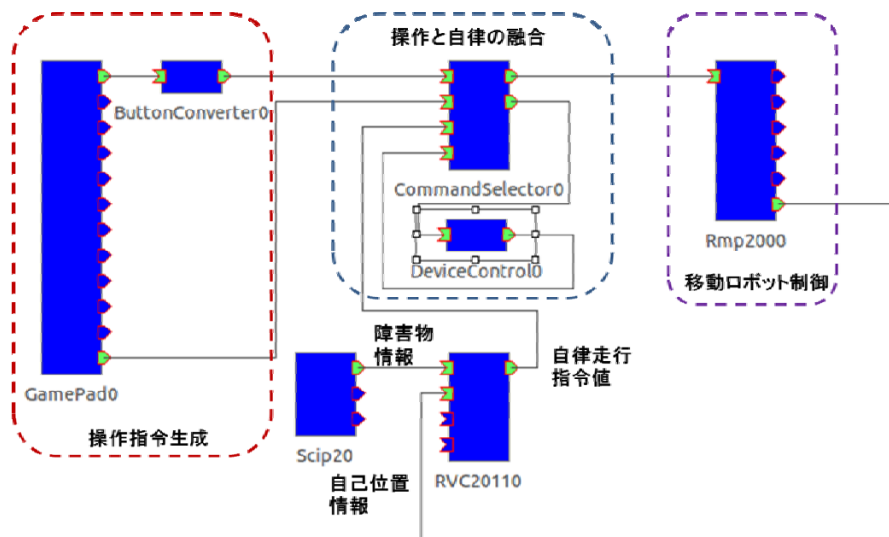


Fig. 42 速度制約領域を考慮した軌道計画モジュールを用いた構成例

本知能モジュールを用いて行った実験結果を Fig. 43 に示す。実験は Fig. 43 (a) のように Start 地点から Goal 地点まで約 240m の一般の遊歩道にて行った。移動ロボットの最大速度は、走行環境に応じてあらかじめ設定した。本実験の場合、Fig. 43 (b) のように領域での許容最大速度を最大速度の 50%、75%、50% に制約した 3 つの領域を設定している。これらの領域は人通りの多い領域や交差点などであり、移動ロボットの最大速度が抑えられるようにあらかじめ設定し

た. 本実験では, Start 地点から Goal 地点まで, 環境中に存在した未知障害物を含むすべての障害物等と衝突を起こすことなく, 到達することができた.

この時の移動ロボットの並進速度を示したグラフがFig. 43 (c)である. このグラフより, 設定された速度制約も満たしていることが確認できる. このように, 本知能モジュールを用いることで, 設定された速度制約を満たし, かつ障害物を回避しながら目標位置までの自律移動を実現できた.

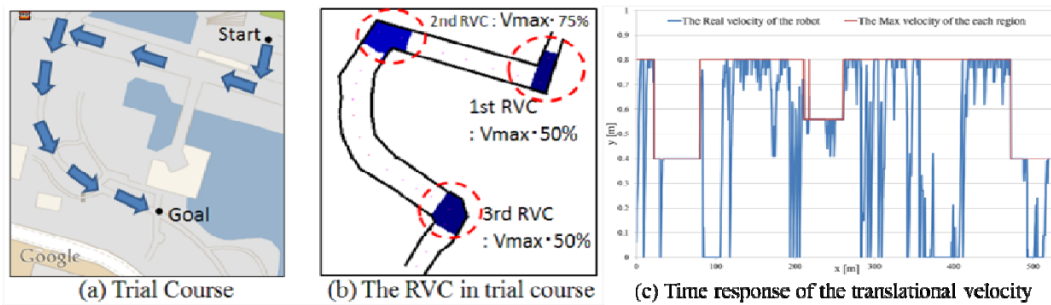
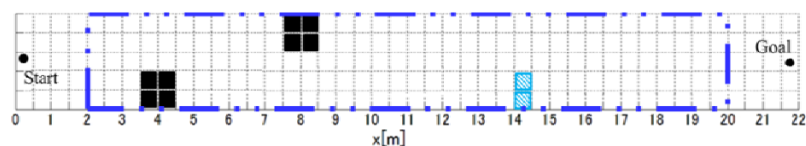
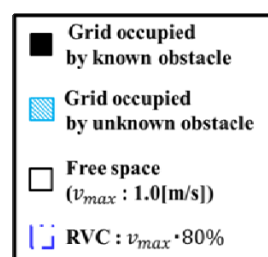


Fig. 43 速度制約領域を考慮した軌道計画モジュールを用いた実験結果

しかしながら, この実験から, 提案して軌道計画手法では速度制約領域の近傍で不必要に速度を低減化した軌道を生成してしまうという問題点も明らかとなった. すなわち, 速度制約領域を設定した環境では, 速度制約を満たすものの, とても遅い軌道が生成されてしまうということである. そこで, 生成される軌道の最適性向上を図るべく, 軌道計画法の改良も行った. その効果を, 比較実験により示す. 実験を行った環境を示した図がFig. 44である. この図に示すように, Start 地点から Goal 地点までの間に複数の既知の障害物と未知の障害物が配置されており, 点線で囲まれた領域が速度制約領域として設定されている. この環境下において, 軌道計画法の改良を行う前のものを行った後の2つについて実験を行い, その結果を比較した.



(a) 走行環境を表すグリッド地図

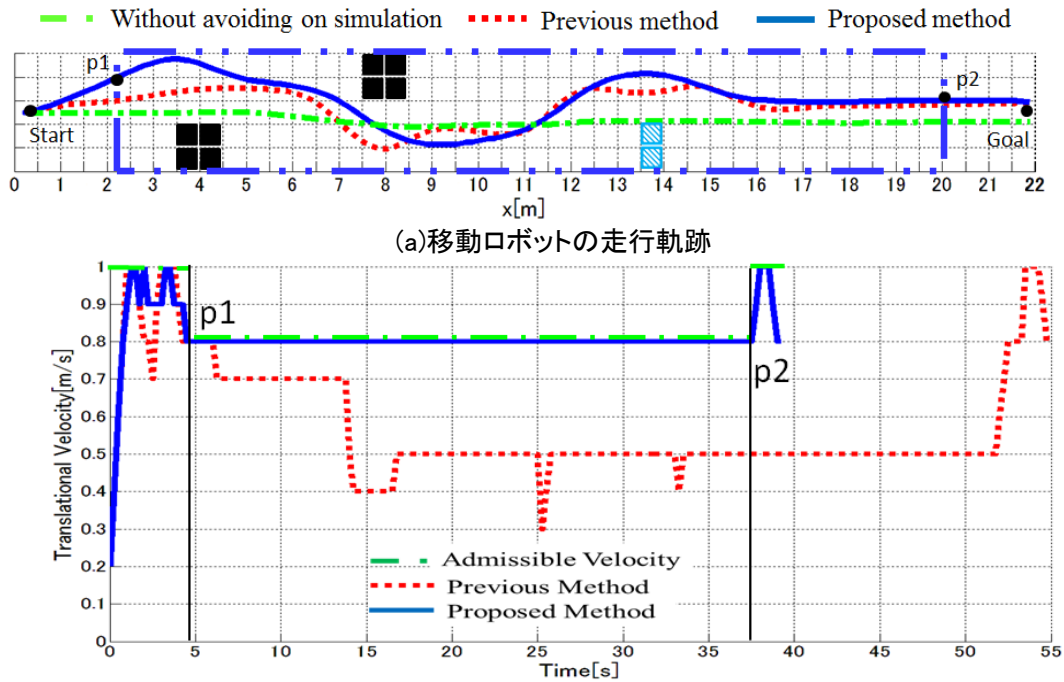


(b) 走行環境

Fig. 44 比較実験の実験環境の設定

比較実験結果を示したものがFig. 45である. Fig. 45 (a)は改良前後の手法それぞれを用いて行った実験での移動ロボットの軌跡を表している. 軌道計画手法の改良に関わらず, 障害物を回避しながら目標位置まで移動できていることが確認できる. 一方, その際の並進速度の時間応答の結

果を示した図Fig. 45 (b)をみると、改良の前後で大きな差が生じていることが確認できる。改良を行う前の手法を用いた場合、不必要に並進速度が抑えられてしまい、Goalに到達するまでに時間がかかってしまっていることが分かる。実際、速度制約領域内では0.8[m/sec]まで速度を出せるにも関わらず、0.5~0.7[m/sec]程度と不必要に減速してしまっていることが確認できる。一方、改良を行った後の軌道計画法を用いた場合には、速度制約領域においても速度制約の0.8[m/sec]まで出せており、ゴールに到達する時間も15[sec]程度短縮できていることが確認できる。このように、速度制約領域を考慮した軌道計画法の性能の向上も実現できた。



(a)移動ロボットの走行軌跡
(b)並進速度の時間応答
Fig. 45 比較実験の結果

(5)自律移動知能モジュール群の開発 自律帰還に関する知能モジュール

(ア) 位置推定機能モジュール

開発モジュール名称：位置推定機能モジュール群

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件)

開発実施者： 国際レスキューシステム研究機構

開発目的：

GPS からデータを受け取り、現在位置などを算出するモジュール。座標変換により世界測地系、平面直角座標系、ロボット座標系に変換し、自己位置推定などに使用可能。

成果：

システム構成図とシステム概要をFig. 46とFig. 47に示す。位置情報は株式会社トプコン製 LEGACY-E+のドライバモジュールを作成し、このドライバモジュールより GPS 情報を取得し出力する GPS デバイスモジュール、GPS からの生データを処理する情報処理モジュール、座標変換をおこなう座標変換モジュールから構成されている。

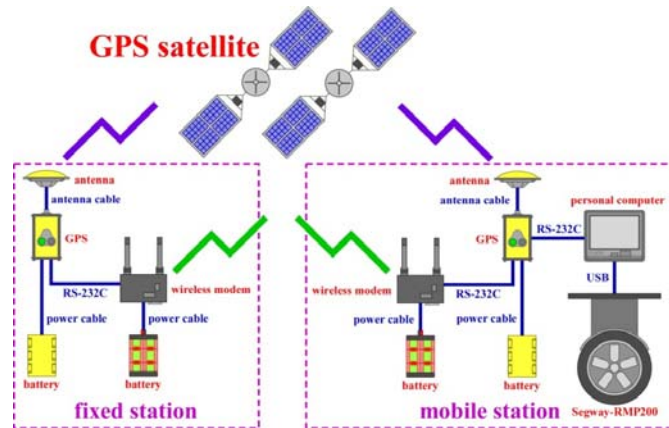
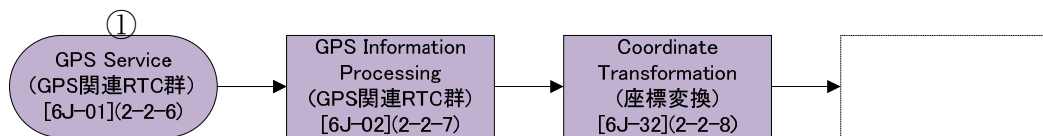


Fig. 46 システム概要図



(A) コネクタ情報

NO	データタイプ	説明
(1)	TimedLegacyData	GPS が受信した生メッセージ
(2)	TimedJpd2000Position	GPS の位置データ(世界測地系)
	TimedGpsData	GPS の情報データ
(3)	TimedJpd2000Position	GPS の位置データ(世界測地系)
	Timed19Position	GPS の位置データ(平面直角座標系)
	TimedRobotPosition	GPS の位置データ(ロボット座標系)

(B) モジュール一覧

NO	名称	種別	備考
①	GPS デバイスモジュール	RTC	
②	GPS 情報処理モジュール	RTC	
③	座標変換モジュール	RTC	

Fig. 47 システム構成

(イ) 地図管理機能モジュール

開発モジュール名称：地図管理機能モジュール群

オープンソースライセンス

商用以外の利用の場合、修正 BSD ライセンスが適用、商用利用の際には、個別に使用条件)

開発実施者：国際レスキューシステム研究機構

開発目的：

モビリティロボットが自律走行時などにおいて利用する地図情報を管理・配信するモジュール。地図情報管理には、ラスターデータとベクターデータの2つが使用可能で、ラスターデータについては、bitmapを用いることで管理および編集が容易になる知能モジュールである。

成果：

システム構成図とシステム概要をFig. 48とFig. 49に示すし。位置情報は株式会社トプコン製 LEGACY-E+のドライバモジュールを作成し、このドライバモジュールより GPS 情報を取得し出

力する.

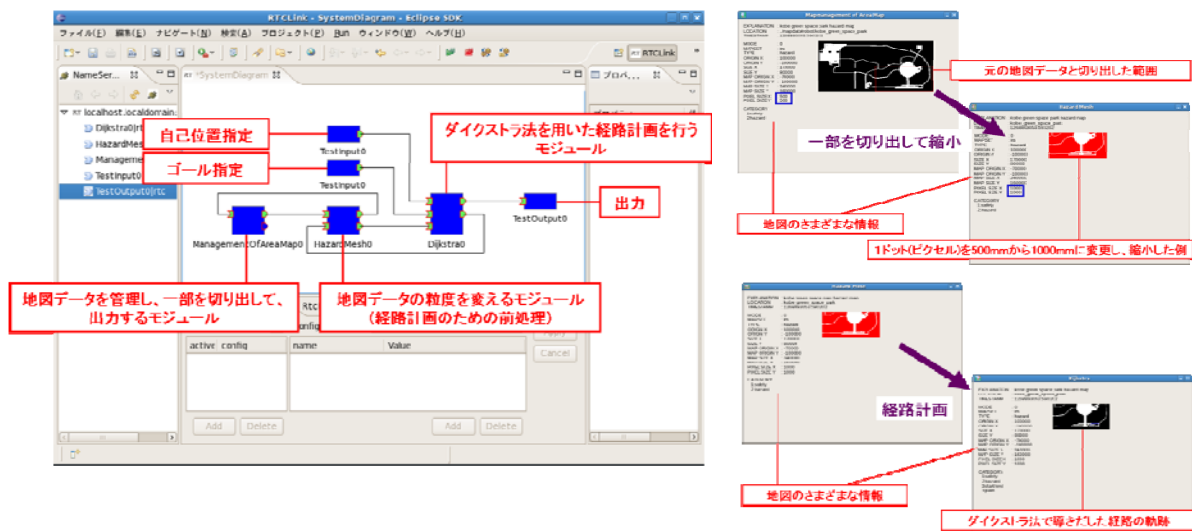
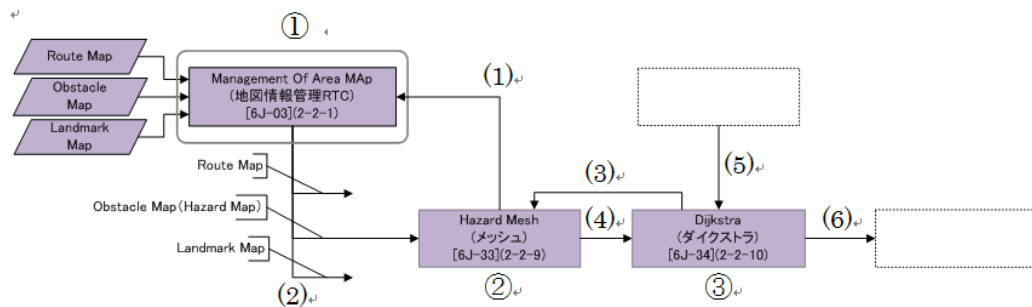


Fig. 48 地図管理機能モジュール概要図



(A) コネクタ情報

N O	データタイプ	説明
(1)	TimedMapOrder	地図情報要求(生データ)
(2)	TimedMapData	地図情報データ(ラスターデータ)
	TimedArcNode	地図情報データ(ベクターデータ)
	TimedLandmark	地図情報データ(ランドマーク)
(3)	TimedMeshOrder	地図情報要求(メッシュデータ)
(4)	TimedMapData	地図情報データ(メッシュデータ)
(5)	TimedRobotPosition	スタート位置(ロボット自己位置)
	TimedRobotPosition	ゴール位置
(6)	TimedPath	経路データ

(B) モジュール一覧

N O	名称	種別	備考
①	地図情報管理モジュール	RTC	
②	メッシュモジュール	RTC	
③	ダイクストラモジュール	RTC	

Fig. 49 地図管理機能モジュール構成