

作成日

平成20年2月22日

1. 事業名称	次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト (21世紀ロボットチャレンジプログラム)
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 今後、我が国が直面する少子高齢化、労働力不足といった諸課題を踏まえると、人間共存環境を含めた実環境で活動するロボットの需要はますます拡大が期待されている。</p> <p>しかしながら、現状ではロボットが実用化できる用途や使用条件は限定的であり、このような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。本プロジェクトでは、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、より幅広い用途と人間共存環境での次世代ロボットの実用化に繋げるため、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において、ロボットが確実性を持って自律的に活動するため、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認する。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費 79 億円 (平成20年度事業費 15 億円)</p> <p>(3) 事業期間：平成19年度[*]～23年度(5年間) [*]平成19年度は経済産業省で実施</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、1980年代以降、自動車や電機・電子産業等のユーザ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。</p> <p>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。</p> <p>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実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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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、ロボットがロバスト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。</p>

(2) 研究開発目標の妥当性

<目標>

本プロジェクトは、「我が国に蓄積されたロボット技術を活用して、ロボットの基盤的要素技術及びシステム開発をさらに推進することにより、製造分野をはじめとする一部の分野に限られているロボット適応分野を拡大し、ロボット産業を我が国における基幹産業の一つに成長させること」を目的とする。具体的には、次の3項目すべてを最終目標とし、次世代ロボットシステムに必要な基盤技術を確立する。

①ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

以下②にて開発するモジュールの蓄積管理フレームワークの構築及び当該モジュールの統合等により、次世代ロボットシステム的设计・開発を支援するシステムの開発を行う。

②モジュール型知能化技術の開発

周辺環境が変化しても所期の仕事を行うことができるロバスト性に優れ、かつ汎用性のあるモジュール型知能化技術の開発を行って、その成果である知能モジュールを実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供（有償を含む。）する。

③有効性の検証

上記①及び②に関し、開発した知能モジュールをロボットシステムに組み込む等により、その有効性を検証するとともに、その成果であるソフトウェアモジュールを、他者が利用（再利用）できる形で可能な限り広範に提供（有償を含む。）する。

上記目標を達成するために、次の7つの研究開発項目について、別添の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

また、開発したモジュールの有効性を検証するため、システムに組み込み実証試験を行うとともに、当該システムに必要な技術開発も併せて行う。

<基盤技術の開発>

研究開発項目①-1 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

研究開発項目①-2 ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

<知能モジュール群の開発>

研究開発項目② 作業知能（生産分野）の開発

研究開発項目③ 作業知能（社会・生活分野）の開発

研究開発項目④ 移動知能（サービス産業分野）の開発

研究開発項目⑤ 高速移動知能（公共空間分野）の開発

研究開発項目⑥ 移動知能（社会・生活分野）の開発

研究開発項目⑦ コミュニケーション知能（社会・生活分野）の開発

<妥当性>

ロボット技術の統合的な取り組みであり、ターゲットも幅広く考えられるところ、今後の次世代ロボットが必要とする機能やニーズ等を踏まえ、基本的な内容を絞り込んだことは、一定以上の評価ができると判断する。

具体的には、ニーズの高い作業（タスク）を設定し、必要な「知能」を絞り込むとともに要素技術を抽出し、効率的で実用的なモジュール型の知能システム化技術を開発・実証するため、高性能なモジュールと信頼性の高いプラットフォームの確立という両面からの研究開発アプローチは本研究開発を実現する上で必要かつ十分である。

さらに、実用的な知能モジュールを開発するための検証プロセスが重要であることから、研究開発項目①-2として「ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発」を追加したことは評価できる。ただし、成果の最大化を目指すために今後も有識者を交えた妥当性検討の必要がある。

(3) 研究開発マネジメント

平成20年度より、NEDOが本研究開発を運営・管理するに当たっては、平成19年度の進捗状況を踏まえた研究開発内容・計画及び実施体制の妥当性について、外部有識者による審議を含めた評価を行った上で最適な研究開発体制を構築し、委託して実施する。

また、本研究開発は、NEDO技術開発機構が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を選定し、プロジェクトリーダーと協議して研究管理を行う。具体的には、プロジェクト推進に係る委員会を年2～3回開催し、研究テーマ間の下に各研究体の責任者を置き、それぞれの研究テーマの達成目標を実現すべく効率的な研究開発を実施する連携、進捗状況を踏まえた予算配分・事業計画の策定を行う。

また、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義なら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21年度、事後評価を平成24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23年度までの各年度末に上記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。

(4) 研究開発成果

生産分野、生活環境など、状況変化の激しい環境における様々な作業を確実に遂行するためのロボットの知能化技術を、管理や組み合わせ等が可能なモジュール群として開発することによりロボットの性能の飛躍的向上を図るとともに、RT（ロボット技術）としてロボット以外の分野（自動車・情報家電、住宅等）への広範な技術波及を促進し、RT産業を我が国基幹産業の一つに成長させることまでを期待。

(5) 実用化・事業化の見通し

2015年以降に本研究開発成果を活用した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

平成19年度は、経済産業省で本プロジェクトを実施した。平成20年度からはNEDOが本プロジェクトを実施する。

5. 総合評価

本プロジェクトは、NEDOで実施するプロジェクトとして適切であると判断する。

また、NEDOの協力の下、経済産業省において適切なプロセスを経て選定した実施者は、NEDOプロジェクトの実施者として適切であると判断する。ただし、研究開発項目①-1において、(独)産業技術総合研究所から(社)日本ロボット工業会への再委託についてはNEDOから直接委託することとし、研究開発項目①-2については早期に公募を行い実施者の選定を行う必要があると判断する。

<基盤技術の開発>

研究開発項目①-1 : ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

【研究開発の具体的内容】

(1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

RT コンポーネント化された知能モジュール群を統合し、次世代ロボットシステムのシミュレーション・動作生成・シナリオ生成・システム設計を行うことのできるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行う。具体的には以下のとおり。

①RT コンポーネント開発支援機能

- (a) ロボットシステム、知能モジュール、ハードウェアの仕様の記述方式、作業シナリオの記述方式の設計を行い、他の研究開発項目の実施者に提供する。ロボットシステムの仕様記述は、ロボットの運動学・動力学パラメータ・センサの配置・アクチュエータの配置等ロボットシステムを構築するために必要な情報を含むものとする。なお、本仕様記述方式については、他の研究開発項目の実施者と協議の上決定する。
- (b) RT コンポーネントのコード作成、デバッグ、パッケージ化等の一連の作業をシームレスに行い、知能コンポーネント・部品コンポーネントを含むRT 部品コンポーネントを開発することができるRT コンポーネントビルダ、RT コンポーネントをデバッグできるRT コンポーネントデバッガ、及びRT コンポーネントで構成されるネットワークの設計・デバッグができるRT システムエディタの開発を行う。

②応用ソフトウェア開発支援機能

タイムライン・イベントに対して、RT コンポーネント間の起動・停止・接続等、一連のシーケンスとして実行するシナリオの作成ができる作業シナリオ設計ツール、ロボットの移動・作業等の動作の作成ができる動作設計ツール、作成されたシナリオに対して、実時間制御を実行するソフトウェアの作成支援ができる実時間ソフトウェア設計ツール、及びマニピュレータ・車輪型移動ロボット・脚型移動ロボットを含む多様なロボットを対象として、運動学・動力学・視野画像のシミュレーション、距離センサ・加速度センサ・ジャイロ・力センサ・アクチュエータを含む RT 部品機能のシミュレーションが行えるシミュレータを開発する。

③ロボットシステム設計支援機能

RT コンポーネントを組み合わせて、上記ロボットシステムの仕様記述を作成できるロボットシステム構築ツールを開発する。このため、上記の知能モジュール・ハードウェア仕様技術に基づいて、RT コンポーネントをコンテンツとする分散型データベースを管理する機能を開発する。

(2) ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性検証

検証用知能モジュール群及びこれを搭載するリファレンスハードウェアを研究開発し、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証及び改良を行う。具体的には以下のとおり。

①検証用知能モジュール群の開発

作業知能、移動知能、コミュニケーション知能それぞれ一つ以上含む知能モジュール群を研究開発し、RT コンポーネント化する。開発する知能モジュール群の内容については、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の公募内容を参考にして、応募者が提案するものとする。

②リファレンスハードウェアの開発

開発するRT コンポーネントを搭載可能なリファレンスハードウェアの開発を行う。構成要素であるRT コンポーネントはハードウェア的にもモジュール化され、RT コンポーネントの追加・削除が容易な構成とする。研究開発用として利用するため、低コストで製造可能であることを要件とする。

③ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証

検証用知能モジュール群をリファレンスハードウェアシステムにRT コンポーネントとして搭載し、ロボットシステムのシミュレーション、動作生成、シナリオ生成を行うことによりロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証を行う。

【最終目標】

- ①次世代ロボットシステムの応用ソフトウェアの開発が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いて効率よく実施できること。

- ②本プロジェクトで開発される、作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーション知能モジュールのすべてが、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームに組み込み可能となること。
- ③次世代ロボットシステムの設計を支援する機能が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム上に実現すること。

【中間目標】

本研究開発項目の成果は、本プロジェクトの他の研究開発に利用される必要があるため、以下の項目を中間目標とする。

①RT コンポーネント開発支援機能

- (a)本プロジェクトで開発されるすべての知能モジュールの仕様が記述可能となること。
- (b) RT コンポーネントの実装に関する専門的知識を有しないユーザが、RT コンポーネントを効率良く開発・デバッグできる機能、RT システムを効率よく開発・デバッグできる機能が実現されること。
- (c)本目標の基本部分については第2年度に達成されること。

②応用ソフトウェア開発支援機能

- (a) RT コンポーネント化された作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーション知能モジュールをそれぞれ一つ以上含む知能モジュール群について、知能ロボットシステムの運動学・動力学・視野画像のシミュレーション、動作生成、シナリオ生成が統合的に実施できること。
- (b)本目標の基本部分については第2年度に達成されること。

③ロボットシステム設計支援機能

- (a) RT コンポーネント化された知能コンポーネントと応用ソフトウェア開発支援機能を用いて、本プロジェクトで開発される検証用知能モジュール群を用いたロボットシステムが効率よく設計できるシステムを実現すること。
- (b)本目標の基本部分については、第3年度に達成されること。

④リファレンスハードウェアの開発

- (a) RT コンポーネントの集合体で構成され、各 RT コンポーネントはハードウェア的にもモジュール化され、RT コンポーネントの追加・削除が容易であり、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の RT コンポーネントをそれぞれ一つ以上含むハードウェアを開発すること。
- (b)また、これらの知能の一部を含むシステムとしても構成可能であること。
- (c)低コストで製造可能であること。
- (d)本目標については、第2年度に達成されること。

⑤ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証

- (a)リファレンスハードウェアシステム及び構成する RT コンポーネントの仕様が知能ロボット仕様技術方式で記述可能であり、リファレンスハードウェアシステムを構成する RT コンポーネントの開発が RT コンポーネント開発ツールを用いて行え、作業シナリオ、動作生成、実時間制御が応用ソフトウェア開発ツールを用いて行えること。
- (b)本目標については、第3年度に達成されること。

研究開発項目①-2 : ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発

【研究開発の具体的内容】

知能モジュールを他者が利用（再利用）できる形で提供するためには、適切な仕様に基づいた開発と品質試験、モジュールの有効性検証、データの蓄積、知能モジュールの再利用、実用性評価及び知能モジュール開発へのフィードバックという「知能モジュール・ライフサイクル」の効果的・効率的な工程管理及品質管理が必要不可欠である。このため、本事業では、知能モジュール開発における最適な環境を構築する。

（1）ロボット知能モジュールの開発体制の整備

研究開発項目②から⑦の各研究体（以下「各研究体」という。）の知能モジュール開発工程において、高品質なソフトウェアを開発するための手法の確立、開発仕様等記述方式の統一化を行うとともに、知能モジュールの機能仕様書及び試験仕様書に基づいた品質試験、一元的な蓄積・管理及び提供を行うための体制を整備する。

（2）ロボット知能モジュールの再利用環境の構築

提供される知能モジュールを各研究体が相互に利用し、利用者による評価を各研究体の開発工程に反映させて知能モジュールの改良を促進する環境を構築する。

ロボット知能モジュールの試験、蓄積及び提供を行う。

【最終目標】

再利用できる知能モジュールを開発するために必要な開発手法、検証・蓄積方法等を確立し「知能モジュール・ライフサイクル」を構築する。

【中間目標】

各研究体が提供する知能モジュールを高品質に開発する手法の確立を行い、それらの中間目標時点までに提供される知能モジュールについて、上記2.（1）に示すロボット知能モジュールの試験、蓄積及び提供を行う。

<知能モジュール群の開発>

研究開発項目②：作業知能（生産分野）の開発

【研究開発の具体的内容】

生産分野において想定される複雑作業の実現、生産設備立上時間の短縮、人手を介さない長期に亘る作業動作の安定化を実現するため、以下に示す汎用的な作業知能モジュールの開発及びその検証を行う。

なお、各知能モジュールの使用に当たっては、安全が確保されることを必須とする。

(1) 作業知能モジュール群の開発

① 教示支援に関する知能モジュール群

ロボット動作の教示作業において、その教示時間の短縮を実現する知能モジュール群。例えば、視覚制御のプログラミングが容易にできるようになる機能、複雑な部品の情報を容易に計算機に取り込める機能などにより、教示作業時間が短縮できること。

② チョコ停対応に関する知能モジュール群

チョコ停の事前回避を実現する機能、あるいは、チョコ停発生時に把持や運搬動作の補正等によりチョコ停状態から正常状態へ自動で復帰できる機能を実現する知能モジュール群。

③ 認識に関する知能モジュール群

上記①及び②の実現のため、作業対象物・周囲環境等の状態やロボットとの接触状態等をロボストにセンシングできる機能を実現するモジュール群。

(2) 知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに、上記(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を検証する。なお、実環境の実タスクでの検証が望ましいが、特段の支障がある場合には、模擬の検証システムを構築しても構わない。ただし、模擬システムでの検証は実態にあった環境下・作業で行うこと。また、当該ロボットシステムに必要とされる要素技術開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

- ① エンドエフェクタやティーチングボックス等のデバイス。
- ② 生産設備計画ツール等のシステム技術。
- ③ 環境側へのセンサ配置や知識の分散配置等を行う環境構造化手法等。

【最終目標】

上記**【研究開発の具体的内容】**(1)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、以下の全事項を達成すること。

- ① 教示における作業時間が、知能モジュールを利用しない場合に比較して1/3以下に減少し、かつ、同一作業を繰り返すときのタクトタイムが初期状態に比べて短くなること。
- ② チョコ停を誘発する頻度が高い原因(規定外のワークの混入、位置ずらし等)を、人為的に検証システムに与えた時、チョコ停の事前回避、あるいは多少のタクトタイムの増加を伴いながらも自動復帰が実現すること。

【中間目標】

① 教示支援に関する知能モジュール群

教示作業時間が従来に比べ2/3以下に低減されること。

② チョコ停対応に関する知能モジュール群

エラー状態認識信号を擬似入力したとき、エラー状態から正常状態へ復帰すること。その際、形状(3種類以上)・材質(2種類以上)が異なる複数の作業対象物を用いて検証すること。

③ 認識に関する知能モジュール群

形状・材質が異なる10種類の作業対象物の位置・姿勢がそれぞれ5秒以下でロボストに認識できること。

研究開発項目③：作業知能（社会・生活分野）の開発

【研究開発の具体的内容】

本事業では、人間が日常生活において指示した作業を遂行するサービス産業分野及び生活支援分野で活躍が期待されるロボットに必要な作業知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。なお、当該モジュールは、サービス産業分野及び生活支援分野のみではなく、他分野の知能ロボットにも利用可能な汎用性を有することとする。

(1) 作業計画知能モジュール群の開発

①作業計画に関する知能モジュール群

人から受けた指示をもとにロボットが遂行可能な作業計画を構築する機能を実現するモジュール群。作業計画を立てるために必要な情報が指示に含まれていない場合（例えば、作業対象物の置かれている場所等）は、作業対象物追跡・位置管理知能モジュール等を利用して情報を補完して計画すること。なお、指示や問い合わせは、音声認識・音声合成や持ち運びが容易な携帯端末装置の利用を推奨する。

②作業対象物追跡・位置管理に関する知能モジュール群

人やロボットによる日常物の移動を監視し、対象物が置かれている位置を管理できる機能を実現するモジュール群。作業対象物を追跡する際に、環境認識センサにより得られた情報のみを利用することを推奨するが、作業対象物に電子タグ等を付加する環境構造化技術を利用してもよい。また、作業対象物の特定が困難な場合には人への問い合わせをしてもよい。

(2) 作業遂行知能モジュール群の開発

①作業対象物認識に関する知能モジュール群

ロボットが日常物をマニピュレーションするために必要な情報（種類、位置、姿勢・状態等）を必要な精度で認識する機能を実現するモジュール群。作業対象物を認識する際に、環境認識センサにより得られた情報のみを利用することを推奨するが、作業対象物に電子タグ等を付加する環境構造化技術を利用してもよい。また、作業対象物の特定が困難な場合には人への問い合わせをしてもよい。

②対人作業に関する知能モジュール群

- (i) 作業計画知能モジュールや作業対象物認識知能モジュールで得た情報に基づき、作業対象物を把持し指示された場所まで作業対象物をマニピュレーションする機能を実現するモジュール群。
- (ii) マニピュレーション中に新たな作業指示（中断、停止、変更など）が出た場合は、作業計画を変更して遂行できること。
- (iii) 作業対象物をマニピュレーションする場合に、その妨げとなるような物体（重なっている物や収納庫の扉等）があった場合、それを検知し回避する動作を行うこと。
- (iv) 作業対象物を人に手渡しする場合は、人の位置・姿勢等を計測して、人に手渡すこと。作業対象物をマニピュレーションする範囲が、ロボットのアームの動作範囲を超える場合は、ロボット本体を移動させる機構を利用することや、別のロボットと協調することにより作業を遂行すること。

(3) 知能モジュール群の有効性検証

施設や家庭等の実際の作業環境又はそれを模した環境において、上記（1）、（2）で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムを用いて、その有効性を検証する。

【最終目標】

上記【研究開発の具体的内容】（1）、（2）で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、実際の作業環境あるいはそれを模した模擬環境において、6つ以上の作業対象物に対する3つ以上の作業指示を、成功率80%以上で達成すること。

なお、作業環境の条件は以下のとおり。

- a. 騒音レベル：40デシベル以上（生活支援分野）、60デシベル以上（サービス産業分野）
- b. 照明条件：家庭や施設で一般的に使用されている照明器具のみを光源とすること（ロボットに光源等を搭載する場合は、この限りではない）。なお、直射日光は入らないと仮定してもよい。

【中間目標】

①作業計画知能モジュール群の開発

(a) 作業計画に関する知能モジュール群

作業計画を立てる上で情報が不足している作業指示（例えば、作業対象物の置かれている場所情報が与えられていない）を3つ以上認識し、ロボットが遂行可能な具体的な作業計画を立てること。

(b) 作業対象物追跡・位置管理に関する知能モジュール群

作業対象物が置かれている位置を管理し、その場所（テーブル上、収納庫内等）を提示できること。また床のように広い場所の場合、500mm以下の精度で位置が提示できること。管理する作業対象物は6つ以上であること。

②作業遂行知能モジュール群の開発

(a) 作業対象物認識に関する知能モジュール群

距離が500mm離れた位置から広さ500mm×500mmの領域に置かれた6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、マニピュレーションに必要な情報（種類、位置・姿勢等）を認識し、提示できること。作業対象物が重なった状態で置かれている場合、一番上にある作業対象物の情報を提示できること。

(b) 対人作業に関する知能モジュール群

6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、下記のマニピュレーション機能を4つ以上実行できること。またそれらを組み合わせて、作業対象物の移動作業を行うこと。さらにマニピュレーション中に新たな作業指示（中断、停止、変更）が出た場合は、作業計画を変更し遂行できること。

- (イ-1) 開放的な場所（テーブル上など）や床に置かれた作業対象物を取り上げる。
- (イ-2) 開放的な場所（テーブル上など）に作業対象物を置く。
- (ロ-1) 人から作業対象物を受取る（人がロボットの動作に合わせる行為が無いこと）。
- (ロ-2) 人へ作業対象物を手渡す（人がロボットの動作に合わせる行為が無いこと）。
- (ハ-1) 閉鎖的な場所（扉が付いた収納庫など）から作業対象物を取り出す。
- (ハ-2) 閉鎖的な場所（扉が付いた収納庫など）へ作業対象物を収納する。
- (ニ-1) 籠などの中にバラ積みされた作業対象物を取り出す。
- (ニ-2) 籠などの中へ作業対象物を入れる。

研究開発項目④：移動知能（サービス産業分野）の開発

【研究開発の具体的内容】

人の往来や障害物が混在し複雑に変化する環境の中で、ロボット自身の位置を認識し、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移動できる汎用的な移動知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

（1）移動環境認識知能モジュール群の開発

複雑かつ変化する環境の中でロボット自身の位置を認識する知能モジュール群を開発する。当該知能は少なくとも以下の2つのモジュール群から構成される。

①自己位置認識に関する知能モジュール群

周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記述上で自己位置を認識する機能を実現するモジュール群。

②地図情報生成に関する知能モジュール群

新規環境での動作開始に至るまでの準備作業を簡便にし、物品の配置変化等にも速やかに対応するために、ロボットに搭載されたセンサ情報を用いて、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を実現するモジュール群。（1）①の自己位置認識は、ここで生成した環境記述を用いて行う機能を実現すること。

（2）人環境安全移動知能モジュール群の開発

人が往来する環境の中で、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移動する知能モジュール群を開発する。当該知能は少なくとも以下の3つのモジュール群から構成される。

①人・障害物認識に関する知能モジュール群

静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する機能を実現するモジュール群。

②動的経路計画に関する知能モジュール群

- (a) 現在地と目的地を結ぶ経路を求め、経路から外れたり一部経路が塞がれたりしても、補正又は再計画を自動的に行いながら、目的地に到達可能な機能を実現するモジュール群。
- (b) 人等の移動障害物の動きを予測し、状況に応じて、安全に回避できる機能を実現するモジュール群。

③安全移動制御に関する知能モジュール群

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するモジュール群。

（3）知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに、上記（1）、（2）で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を実環境の実タスクで検証する。また、当該ロボットシステムに必要なとされる要素技術の開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

①画像処理ハードウェア技術

開発する知能モジュールを移動ロボット上で実時間動作させるために必要な画像処理ハードウェア技術。

②環境構造化技術

環境側に機器等を設置することで、移動のロバスト性を高める技術。ただし、建物のデザインに影響を与えないこと。施工が容易であり、インフラ設置コストが内界センサ（現場での調整・試験コストも含む）に比較して安価であること。

【最終目標】

上記【研究開発の具体的内容】（1）で開発する知能モジュール群をすべて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。

【中間目標】

①移動環境認識知能モジュール群の開発

- (a) 自己位置認識に関する知能モジュール群

実際の公共空間で必要となる狭隘な通路やオープンスペースを含む 10 種類以上の環境条件を設定し、安定に自己位置を同定できることを確認する。ただし、日光が差し込むガラス窓がある環境条件を含めること。

(b) 地図情報生成に関する知能モジュール群

上記(a)で設定した環境において、移動に必要な地図等の環境記述を生成できること。

②人環境安全移動知能モジュール群の開発

(a) 人・障害物認識に関する知能モジュール群

人が 0.5m/秒以下の速度で往来する実際の公共空間において、起こり得る人や障害物の状況を 10 ケース以上抽出し、全ケースにおいて、回避が必要な人・障害物を認識できること。

(b) 経路計画に関する知能モジュール群

(i) 人が往来する実際の公共空間において、10 組以上の現在地・目的地を指定し、安定に経路を生成できること。

(ii) 2 組以上の現在地・目的地について、経路の一部を塞いだ場合も、目的地に到達する別の経路を再計画できること。

(iii) 上記(2)①で抽出した人・障害物状況の全ケースについて、安全な回避経路を生成できること。

(c) 安全移動制御に関する知能モジュール群

人が往来する実際の公共空間において、路面の状況・周囲状況に応じ、スムーズな速度制御を可能とし、車体に大きな振動的運動を起こさないこと。

研究開発項目⑤：高速移動知能（公共空間分野）の開発

【研究開発の具体的内容】

公共空間における高速移動体が周囲状況を瞬時に認識し、複数の移動体間で情報を共有し、最適な判断・制御を可能とする汎用的かつロバストな高速移動知能モジュールの開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 高速移動知能モジュール群の開発

①交通状況認知に関する知能モジュール群

センサから取得した情報や他の移動体から伝達される知識を含めて、交通状況等周囲の状況を高速移動（100km/時）中に確実に認知することが可能な機能を実現するモジュール群。他の移動体から入手した知識には、古いものや、移動体の性能の違いによる誤差を含んだものも含まれていることなどを適切に判断できること。また、認知した情報は知識として知識ベースに格納されること。

②知識共有に関する知能モジュール群

知識ベースに格納された知識を、移動体同士の直接通信によって必要なときに共有できる機能を実現するモジュール群。ただし、新たな通信インフラの敷設を前提としないこと。

③交通支援に関する知能モジュール群

信頼性が高い周囲状況に関する知識を操縦者に提示できる機能を実現するモジュール群。以下を要件とすること。

(a) 交通情報の生成、統合処理が可能なこと。

(b) 危険回避を支援できること。渋滞を回避し最適な経路の計画策定及び目的地までの移動時間と平均速度情報を生成可能なこと。

(2) 知能モジュール群の有効性検証

移動体に上記（1）で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、実環境に近い環境下でその有効性を検証する。なお、検証する移動体に求められる最低要件は以下のとおり。

①安全性能：人間が危険と判断した場合に、移動体の行動を制限できること。

②移動効率向上：通信インフラが敷設されていない地域も含め、渋滞を回避する等効率的に移動が可能なこと。

③全天候性：屋外での利用を想定し、全天候性を確保すること。

④一般性：最低3種の周囲状況に関する知識（走行路に関する知識、周囲の移動体に関する知識、自然環境に関する知識等）を獲得可能であること。

⑤連続稼働時間：24時間連続動作が可能であること。

⑥規模性：半径150mのエリアに120台の移動体が集合しているのと同等の環境において、意図した周囲状況が認知可能であること。

⑦移動耐性：公共空間における高速移動速度（100km/時）において、知識伝達が可能であること。

⑧メディア非依存性：特定の通信メディアに依存したシステムではないこと。

【最終目標】

上記【研究開発の具体的内容】（1）で開発する知能モジュール群をすべて搭載した移動体が、以下の全事項を達成すること。ただし、移動体は【研究開発の具体的内容】（2）に示す最低要件を満たすこと。

①半径150mのエリアに120台以上の移動体が存在する条件下で、時刻や天候、季節、場所、移動速度に適応して周囲交通状況を認知し、操縦者に提示可能なこと。また、認知した情報を移動体間で交換することによって、安全性、円滑性、環境等に関する5種以上の知識を共有可能であること。

②移動体が事故等を認知してから5分以内に、1km以上離れた場所に伝達可能であること。

【中間目標】

①交通状況認知に関する知能モジュール群

地図情報の利用とともに、移動体の走行に有益な3種以上の知識（走行路に関する知識、周囲の移動体に関する知識、自然環境に関する知識等）を獲得できること。周辺状況を認知する時、大きな誤差を含むセンサ情報は、自律的に削除する機能を有すること。

②知識共有に関する知能モジュール群

特定の位置で発生した情報を移動体間で共有可能であること。ランダムに知識を配信した場合と比較して、リソース消費、知識伝達時間等において有意な性能向上が認められること。また、60km/時の移動速度においても知識伝達が可能であること。

③交通支援に関する知能モジュール群

信頼性が高い周辺状況に関する知識を、その知識を欲している移動体の存在位置を予測しながら、当該移動体に提供可能であること。ランダムに知識を配信した場合と比較して、リソース消費、知識伝達時間等において有意な性能向上が認められること。また、60km/時の移動速度においても知識伝達が可能であること。

研究開発項目⑥：移動知能（社会・生活分野）の開発

【研究開発の具体的内容】

人を乗せて、操縦者の指令にしたがって安全かつ自在に移動する機能を実現する汎用的な操縦移動知能モジュール群、及び自律的な走行機能を実現する汎用的な自律移動知能モジュール群の開発並びにその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 操縦移動知能モジュール群の開発

①安定走行に関する知能モジュール群

指令値に基づく駆動力制御に加え、走行加速度や外力、未知環境等に対して自動的に姿勢を安定化する機能等基本的な移動機能群を備えているモジュール群。

②障害物回避に関する知能モジュール群

外界センサを利用した障害物（人を含む）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。

③操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群

広範な利用者層に対してモビリティ・ロボットの使用を簡便にするため、習熟が不要な新しい操作インタフェースに必要な機能群を備えているモジュール群。

(2) 自律移動知能モジュール群の開発

①自律走行に関する知能モジュール群

高精度自己位置推定、リアルタイム経路計画、操縦移動と自律移動の自然な融合機能等、操縦者不在時や操縦アシスト時を含めた自律・半自律走行に必要な機能群を備えているモジュール群。

②自律帰還に関する知能モジュール群

環境地図情報や移動履歴情報等を活用し、あらかじめ指定した対象物が存在する場所に自律走行で帰還するために必要な機能群を備えているモジュール群

③協調走行に関する知能モジュール群

モビリティ・ロボット間及びモビリティ・ロボットと使用者間の相対位置・方位検出機能に基づき、追従制御機能等の協調行動を行うために必要な機能群を備えているモジュール群。

(3) 知能モジュール群の有効性検証

モビリティ・ロボットシステムに、上記（1）、（2）で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を検証する。なお、検証するロボットシステムに求められる最低要件は以下のとおり。

(a) 小型軽量化：バッテリー、駆動ユニット、躯体を含めて携行利用も可能な重量、寸法とする。

(b) 走行性能：人間の速歩程度の速度（最大10km/時）、最小航続距離2km、安全で十分な回避、最大登坂性能10度。

(c) 操作インターフェース：年少者から高齢者まで簡便に利用できること。

【最終目標】

上記【研究開発の具体的内容】（1）、（2）で開発する知能モジュール群をすべて搭載したモビリティ・ロボットシステムが、長期間（3ヶ月程度）の技術実証試験において安定的に動作すること。ただし、モビリティ・ロボットシステムは【研究開発の具体的内容】（3）に示す最低要件を満たすこと。

【中間目標】

①操縦移動知能モジュール群の開発

(a) 安定走行に関する知能モジュール群

人間が押す程度の外力に対してロバストであり、最大10度の斜面上でも安定走行を可能とすること。

(b) 障害物回避に関する知能モジュール群

通常の歩行速度（4km/時）で接近する人を含む障害物を安全に回避できること。危険度に応じて使用者に警告を与えることができること。

(c) 操縦者の意図推定・操縦支援に関する知能モジュール群

年少者から高齢者まで簡便に利用できる操作インタフェースを実現すること。

②自律移動知能モジュール群の開発

(a) 自律走行に関する知能モジュール群

操縦者に違和感を与えることない自律走行を可能とすること。

(b) 自律帰還に関する知能モジュール群

環境地図情報または移動履歴情報が利用可能な条件下において、あらかじめ指定した対象物が存在する場所への自律走行での帰還を可能とすること。

(c) 協調走行に関する知能モジュール群

モビリティ・ロボット間及びモビリティ・ロボットと利用者間の協調行動により、複数台のモビリティ・ロボットによる移動と利用者への追従を可能とすること。

研究開発項目⑦：コミュニケーション知能（社会・生活分野）の開発

【研究開発の具体的内容】

サービス産業分野及び生活支援分野において活用されるロボットが、ロバストなコミュニケーション能力を獲得するために必要な汎用性を有する知能モジュール群の開発及びその検証を行う。具体的には以下のとおり。

(1) 環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発

① 環境・状況認識に関する知能モジュール群

ロボット前方の範囲内の人物の状況（人数、向き、接近等の動き）を把握すること、及びロボットと対話する相手の人数や位置を把握することが可能な機能を実現するモジュール群。

(2) 対話支援知能モジュール群の開発

① 音声認識に関する知能モジュール群

ロボットと対話しようとしている人の音声と周囲雑音を分離し、騒がしい環境であっても、子供や高齢者を含む対象者の音声を認識することが可能である機能を実現するモジュール群。

② 音声合成に関する知能モジュール群

対話すべき内容が与えられたとき、周囲環境や子供や高齢者を含む対象者の属性に応じて、適切な話し方で、聞き取りやすい発話を行うことが可能とする機能を実現するモジュール群。

③ 行動理解に関する知能モジュール群

以下の機能を実現するモジュール群。

- (a) 人の身振りや仕草の認識により、人の指示や意図を理解する機能。
- (b) 人の表情や非言語の発声の認識により、人の理解度や感情を認識する機能。
- (c) ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝える機能。

(3) 対話制御知能モジュール群の開発

① 対話コンテンツ管理に関する知能モジュール群

ロボットの機能・用途に応じて予め準備された多数の対話コンテンツを保持・管理し、対話者の属性や状況に応じて適切な対話コンテンツを選択することが可能な機能を実現するモジュール群。

② 対話制御に関する知能モジュール群

以下の機能を実現するモジュール群。

- (a) 対話者の反応や状況に応じて対話の流れを切り替えながら、対話フローを制御し、対話タスク（ある目的を達成するための対話コンテンツの実行）を実現することが可能な機能。
- (b) 複数の人物が話しかけてきたときに複数の人物からの話しかけであることを検出し、少なくとも1人の人物との対話を継続できる機能。

(4) 対話管理等知能モジュール群の開発

① 対話対象同定に関する知能モジュール群

顔認識等による人物同定機能や、対話しながら随時顔等を記憶することのできる人物登録機能を実現するモジュール群。

② 対話履歴管理に関する知能モジュール群

対話対象人物毎の情報やコミュニケーションの履歴を蓄積・管理して、同じ内容を繰り返さない、興味のある話題を提供する等、履歴から得られた知識・情報を対話内容に反映することが可能な機能を実現するモジュール群。

(5) 知能モジュール群の有効性検証

ロボットシステムに上記(1)～(4)で開発する知能モジュール群をすべて搭載し、その有効性を実環境の実タスクで検証する。また、当該ロボットシステムに必要とされる要素技術の開発も併せて行うこととする。例えば、以下の技術開発が想定されるが、これを必要条件とするものではない。

①環境・状況・対象認識知能技術

- (a) 近傍の人物全員を追跡し、新しく人物が登場したこと、ある人物がいなくなったこと、一度対話した人物との対話の再開であること等が認識できる技術。
- (b) 環境を構造化することにより、ロボットが環境・状況・対象を認識することを助ける技術。
- (c) 対話中の人の顔、音声、体型その他の特徴から、年齢、属性を推定する技術。
- (d) 近傍に複数の人物がいる場合、人物の音声の方向、口の動き等から、ロボットに話しかけられている状況であること、及びその人物を特定する技術。

②対話支援知能技術

- (a) 音声認識において、多様な言い回し・表現や方言に対応する技術。
- (b) 音声認識において、ロボットが発話中や動作中であっても、対話者の音声を認識する技術。
- (c) 音声認識において、複数の対話者が同時に話しかけた場合でも、それを適切に選別ないしは同時に認識する技術。
- (e) 音声合成において、多様な音声を低コストで開発することを可能にする技術。
- (f) ロボットが、話す内容に応じて自動的に適切な仕草を生成することを可能にする技術。
- (g) 身振り、仕草を用いたコミュニケーション技術。

③対話制御知能技術

- (a) 周囲に、対話妨害者（タスクの遂行を阻害する子供等）がいる場合でもタスク遂行が可能な対話制御技術。
- (b) 複数の人物がロボットと対話しようとするときに、複数の人物と同時に対話を進めることのできる対話制御技術。
- (c) 対話履歴管理モジュールにおいて、内容の履歴だけではなく、対象者の発話の特徴（声の質、明瞭さ、方言）等を記憶して、認識の成功率を高める技術。
- (d) 予めコンテンツとして準備されたタスクだけではなく、言語・非言語のインタラクションを自動的に生成し実行する技術。
- (e) 対話内容がユーザに伝わっていないことを検出して表現手段と変更することや、ユーザの発話が認識できないときに、適切に聞きなおしたりすることのできる対話エラーリカバリ技術。
- (f) 外部のコンテンツ管理サーバと連携し、随時新しいコンテンツを獲得することにより、対話の内容を変化させ、ロボットへの興味を持続させる技術。

【最終目標】

上記【研究開発の具体的内容】(1)～(4)で開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、3種類以上の実用的なコミュニケーションのタスクを実行し、成功率70%以上のタスク達成率と、70%以上のユーザ満足度を得ること。

なお、実行するタスクには、(a-1)、(a-2)の少なくとも一つ及び(b)のタスクを含むこととする。

(a-1) サービス産業分野向けを対象とする研究開発の場合は、BGMや人の話し声が聞こえる、一般的な騒がしさのスーパー等の商業施設において、顧客からの商品に関する質問の聞き取りや商品説明を行う対話が可能であること。

(a-2) 生活支援分野向けを対象とする研究開発の場合、テレビのついた状態のリビングで高齢者と対話して、ビデオの制御や録画・再生をアシストすることができること。

(b) タスク内での対話内容と対話対象を組み合わせたバリエーションは、少なくとも200以上とする。バリエーションとは、例えば、「テレビをつけて」「エアコンの温度を20度にして」等の指示の種類を指す。

【中間目標】

① 環境・状況・対象認識知能モジュール群の開発

(a) 環境・状況認識に関する知能モジュール群

ロボットの前方5m以内の人物の配置が70%以上の精度で検出できること。

② 対話支援知能モジュール群の開発

(a) 音声認識に関する知能モジュール群

BGM が聞こえるスーパーや、TV がついているリビング等の実用的な環境において、子供や高齢者を含む不特定話者の音声を70%以上の精度で認識できること。

(b) 音声合成に関する知能モジュール群

子供や高齢者を含む不特定の相手とのコミュニケーションにおいて、70%以上の精度で内容が伝達できること。

(c) 行動理解に関する知能モジュール群

「人の身振りや仕草の認識により、人の指示や意図を理解する技術」「人の表情や非言語の発声の認識により、人の理解度や感情を認識する技術」について、それぞれ少なくとも3種類の要素（例えば、3種類の身振り、3種類の表情等）の認識技術を開発し、実用的なロボットタスクの実証実験において、その効果を実証すること。また、「ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボットの状況を伝える技術」に関しては、仕草を伴うことの効果を、ユーザへのアンケートで実証すること。

③ 対話制御知能モジュール群の開発

(a) 対話コンテンツ管理に関する知能モジュール群

200以上の対話コンテンツを格納でき、また状況に応じて対話コンテンツを選択する機能を有すること。

(b) 対話制御に関する知能モジュール群

選択された対話コンテンツのフローを制御し、初心者ユーザに対して70%以上の成功率でタスクを達成できること。

④ 対話管理等知能モジュール群の開発

(a) 対話対象同定に関する知能モジュール群

100人を対象に80%以上の精度で人物を同定できること。

(b) 対話履歴管理に関する知能モジュール群

100人以上の対話履歴を管理し、その履歴から得られた情報を対話に反映する機能を有すること。