

科学技術連携施策群の 成果及び今後の課題

— 平成 20 年度までに補完的課題が全て終了した
科学技術連携施策群のフォローアップの結果 —

「次世代ロボット — 共通プラットフォーム技術の確立 —」

平成 21 年 4 月 21 日

ページ

・ 本文	1
・ 補完的課題	
・ 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ	20
・ ロボットタウンの実証的研究	26
・ 施設内外の人計測と環境情報構造化の研究	33
・ 環境と作業構造のユニバーサルデザイン	40
・ 概要	49

（１）次世代ロボット連携施策群の目標

総合科学技術会議が平成 17 年度に選定した科学技術連携施策群の一テーマである次世代ロボット連携群では、府省連携を強化して、次世代ロボット研究開発施策を効率的に推進するとともに、ロボットの研究開発を加速し、新たなロボットサービスの創出を可能とする基盤・インフラ技術である「次世代ロボット共通プラットフォーム技術」を提供することを中核ミッションとして活動を展開している。

第 3 期科学技術基本計画の分野別推進戦略(情報通信分野)において、次世代ロボットが属するロボット領域は情報通信分野の中の領域のひとつに位置付けられており、我が国が迎える高齡化社会において、次世代ロボットは社会活力を維持・拡大するための中核的な技術としてその成果が期待されている。このような社会的課題に対応すること、また新市場創出のため産業界からの要請も強いことから、ロボット領域では次世代ロボットにかかる 8 つの研究開発課題が重要な研究開発課題に選定され、戦略重点科学技術として「世界に先駆けた家庭や街で生活に役立つロボット中核技術」が選定されている。

次世代ロボットには、サービスロボット、介護・医療・福祉・生活支援ロボット、防災ロボット、農業ロボット、建築・土木ロボットなどの分野があるが、技術開発と社会への導入の両面において府省間の協力が必要な分野は多く、府省の連携を強化することを次世代ロボット連携群の第一の目標に掲げた。家庭や街で生活に役立つ次世代ロボットを実現するためには多数の課題を解決しなければならない。そのために、次世代ロボットの研究開発を加速することが必要である。次世代ロボット連携群では、ロボット研究者や技術者がロボットの研究開発にあたり共通に使える基盤・インフラ技術を「共通プラットフォーム技術」と定義し、その確立に取り組むべき喫緊の課題とした。「次世代ロボット共通プラットフォーム技術」を社会に提供することを第二の目標として掲げた。ここで、「次世代ロボット共通プラットフォーム技術」は「ソフトウェアプラットフォーム」と「環境プラットフォーム」で構成される。

まずソフトウェアの開発について、これまでのロボット開発では、必要となる様々なソフトウェアは多くの場合それぞれのロボット研究者・技術者、研究プロジェクト、研究事業主体が独自に開発しており、それらを互いに共有するような仕組みは存在しなかった。したがって、共有性のあるソフトウェアを誰にでも使える形で社会に提供する仕組みが整備されれば、ロボット用ソフトウェアの研究開発が加速する可能性がある。そこで次世代ロボット連携群では、これを「ソフトウェアプラットフォーム」として社会に提供することを目指す。

次に従来のロボットでは、必要なセンサ、演算装置、駆動装置など、すべての機能をロボット本体に搭載し、ロボットに自律性/自立性を持たせることに重点が置かれていた。この場合、ロボットの寸法や重量、消費エネルギーなど様々な機能間のトレードオフでロボットの機能が制限され、また開発コストも増す。一方、環境側に配置されたセンサや演算機能を活用し、物体やロボットの位置情報、物体の扱い方や地図などの知識を容易に取得できるようになれば、ロボット本体の機能を削減でき、小型軽量で省エネルギーのロボットを実現でき、また比較的簡単な情報処理機能しか持たないロボットでもサービスを提供できるため効率的な研究開発が期待できる。このように環境側の情報を活用するための基盤技術は「環境情報構造化(技術)」と呼ばれている。さらに、ここではユビキタスネット

ワーク技術が活用され、環境側センサの扱い方、環境とロボットとの通信方法などが標準化されていることが重要である。次世代ロボット連携群では、共通に使える環境情報構造化技術を「環境プラットフォーム技術」と呼び、街のような広い空間から公共施設のような空間、部屋や机上のような狭い空間まで、三つのレベルでの環境プラットフォーム技術の研究開発を推進し、さらにロボット研究者・開発者が実際に利用できる環境を提供することを目指す。

各府省のロボット研究開発施策において共通プラットフォーム技術を利用すれば、それらの間では重複の排除と連携の強化が自然に達成され、次世代ロボットの研究開発が効率化されることが期待される。したがって、第二の目標の達成は、直接的に第一の目標達成に繋がっていると言える。

（２）次世代ロボット連携施策群の活動

① 府省間等の連携活動

連携システム及び連携活動の総括

ここでは、府省連携会議を中心とする府省間の連携の体制と連携活動の総括を年度毎に記載し、最後に連携活動の成果をまとめる。

（２－①—１）平成 17 年度の活動

平成 17 年度に設立された次世代ロボット連携群では、活動を開始するにあたり、各省のロボット研究開発施策の不必要な重複を排除するため、各省施策のヒアリングを行い、以下のような結論を得た。

- ・ 要素技術には重複があるが、各省庁のミッションに応じて異なる応用分野が追求されていると同時に、基礎・応用・実用など研究フェーズが異なっているので、各省庁間の取り組みに明白な重複はみられない。
- ・ しかし、ロボットの開発・導入シナリオの明確でないものが多い。導入シナリオを明確にしたプロジェクト設定が必要。
- ・ また、技術シーズ開発とシーズを応用に移す政策との連携が薄い。政策にリンクしたシーズ開発プロジェクトの設定が必要。
- ・ 各省庁の研究開発を促進するために共通プラットフォーム技術（ロボットを導入しやすい環境の整備、すなわち、ソフトウェアの再利用性、共有性を保証するソフトウェアプラットフォームと環境構造化）の整理が必要。

このヒアリング結果に従って、各省にロボットの開発・導入シナリオの明確化を働きかけた。さらに、実用化に向けて研究開発省庁と実施担当省庁との連携の強化を働きかけた。このような連携強化のために、各省の代表が集まって情報交換を図る府省連携会議を定期的に開催した。以後、府省連携会議は、年 2～3 回開催してきた。

また、連携強化のために、補完的課題として次世代ロボット連携群が直接的に研究開発を行う共通プラットフォーム技術を決定することとし、公募により「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」と「ロボットタウンの実証的研究」を選定して研究開発プロジェクトを開始した。

（２－①—２）平成 18 年度の活動

平成 18 年度には、公募により「施設内外の人計測と環境情報構造化の研究」と「環境と作業構造のユニバーサルデザイン」を補完的課題に選定した。これにより、平成 17 年度に開始した 2 つの課題と合わせ、4 つの補完的課題が実施されることとなった。

さらに、日本ロボット学会学術講演会や計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会等で次世代ロボット連携群の活動周知のための講演会を年 4～7 回開催し、研究者や技術者への広報活動を進めた。また、次世代ロボット連携群の解説を学会誌や業界誌に積極的に発表する活動も開始し、共通プラットフォーム技術の普及活動を進めた。

一方、次世代ロボット市場の状況をより詳しく把握するため、(社)日本ロボット工業会が実施したロボットの市場調査をさらに進め、無人搬送機やサービスロボット、教育用ロボットから、ロボット技術を含む自動機械等までも考慮したロボット総合市場調査を行った。

（２－①—３）平成 19 年度の活動

次世代ロボット研究開発のロードマップとしては、経済産業省が作成・更新している技術戦略マップが質・量共に充実している。平成 19 年度には、ロボット開発のロードマップの共有化を目指して、府省連携会議で経済産業省の技術戦略マップを紹介し、経済産業省には他省のロボット施策の考慮を要請し、他省についてはその毎年の更新(ローリング)への協力を要請した。また、次世代ロボット連携群に属する施策の連携強化を図るための連携ロードマップを作成した。

（２－①—４）平成 20 年度の活動

次世代ロボット連携群の最終年度にあたる平成 20 年度は、これまでの活動を継続するとともに、次世代ロボット連携群の活動終了後をにらんで、府省連携を強化するための方策を検討した。

（２－①—５）府省連携活動の成果

次世代ロボット連携群のミッションとして各府省の施策の重複排除と連携強化がある。各府省が進める共通プラットフォーム技術(たとえば、ロボットとネットワークを繋ぐネットワークロボット技術やロボット要素機器モジュール化のための RT ミドルウェア技術など)や次世代ロボット連携群の推進する共通プラットフォーム技術の利用を各府省に働きかけると同時に、各府省の研究開発の成果を共通プラットフォーム技術として広く利用可能な形で公開するよう働きかけている。既に幾つかの共通プラットフォーム技術については各府省の施策における共有化が図られつつある。

総務省の「ネットワーク・ヒューマン・インターフェースの総合的な研究開発 ③ネットワークロボット技術」では、本連携群の補完的課題の成果であるユニバーサルシティウオーク大阪環境プラットフォームをネットワークロボットの実験に利用している。

経済産業省の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」では、次世代ロボット連携群で開発された共通プラットフォーム技術が活用されることになり、本連携群の成果はロボット知能ソフトウェアプラットフォームにも引きつがれている。

環境プラットフォーム間でも技術の共有化が進められており、特に位置情報の提供サー

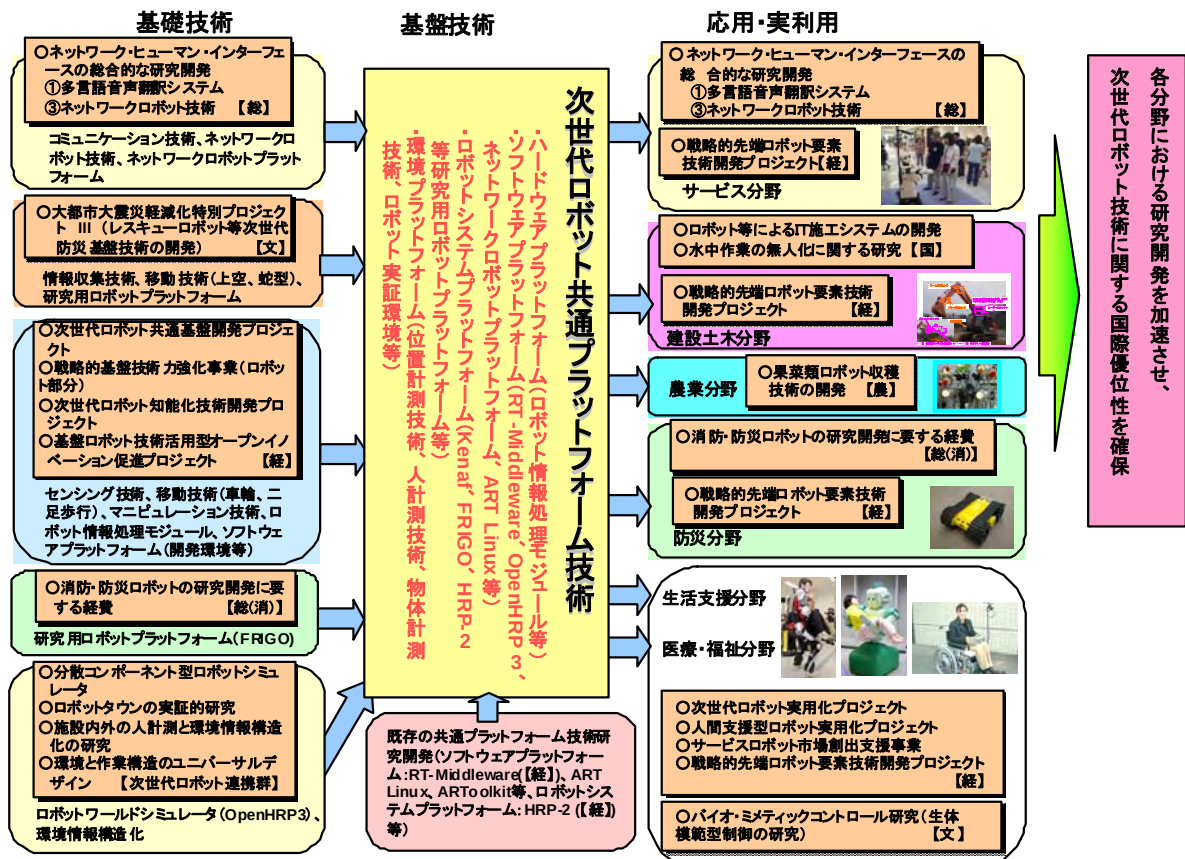
ビスについては、産総研のRT ミドルウェア研究グループと総務省のネットワークロボット研究グループが中心となり、国際標準化に向けた活動を進めてきた。

また、経済産業省は、次世代ロボット産業の推進のため、平成 20 年度にロボット産業政策研究会を設置し、それに関係府省が協力している。経済産業省が作成・更新している技術戦略マップについても、府省連携会議やシンポジウム等で情報共有を推進した。国土交通省や農林水産省のロボット等と関連の深い「野外で活動するロボット」は、それまで特殊環境用ロボット分野とされていたが、技術戦略マップ 2008 ではこれをフィールドロボット分野と改称し、そこに農業用ロボットを位置づけている。

このように、各省の進める次世代ロボットの情報共有は確実に進んでいる。

技術シーズ開発とシーズを応用に移す政策との連携強化についても進展が見られる。文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクトⅢのうち、レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」の技術を基に開発された研究開発用のクローラ型ロボット Kenaf が、NEDO/経済産業省の「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」において平成 20 年度に実施されたステージゲート評価の結果、今後 2 年間開発を継続する 6 種類のロボットのの一つに選定された。

科学技術連携施策群 次世代ロボット—共通プラットフォーム技術の確立—



科学技術連携施策群「次世代ロボット」施策一覧

各省施策	府 省 名	当該連携施策群の中での 位置付け及び政策・成果目 標	成果と研究目標の進捗状況	予算額（百万円）				計(百万 円)
				H17	H18	H19	H20	
連携施策群 計				5,031	4,001	5,054	2,718	16,805
ネットワ ーク・ヒ ューマ ン・イン ターフェ ースの総 合的な研 究開発 ①多言語 音声翻訳 システム	総 務 省	誰もが安心して安全に情報通信を利用できる環境を実現するため、ネットワーク・ヒューマン・インタフェース（ネットワークと人の接面）の総合的な研究開発を国が主導して産学官連携により推進する。具体的には、ネットワークと連携した実用的な携帯型の多言語音声翻訳システムの研究開発を行う。	携帯電話等を用いた多言語自動翻訳システムの実現に必要な音声認識技術、コーパスベース翻訳技術、出力技術、音声合成技術等の要素技術を開発した。研究開発当初に具体的な数値目標を設定し、研究予算の制約による日韓翻訳の開発を除き、その他の部分での研究開発は順調に進み、その目標を達成した。	121	-	-	-	121 (H17の み、事業 期間は H15-17)
ネットワ ーク・ヒ ューマ ン・イン ターフェ ースの総 合的な研 究開発 ③ネット ワークロ ボット技 術	総 務 省	ユビキタスネットワークに接続された様々なタイプのロボットや各種センサが相互に連携することにより、ロボット単体に比べて実世界の認識や人とのコミュニケーション能力が大幅に向上し、複雑な操作やストレスを感じることなく誰もが安産・安心に様々な機能やサービスを利用可能なネットワークロボットの実現に必要な基盤技術の研究開発を行う。	当初計画どおり順調に進捗しており、最終年度である平成20年度は、総合実証実験を行い、ネットワークロボット技術の有効性を確認した。要素技術である「ロボットPnP（プラグアンドプレイ）技術」として、単体で動作していたロボットをネットワークを介して制御・動作させるための共通基盤（ロボットプラットフォーム及びインタフェース）を構築し、「高度対話技術」として、ロボットと人との高度な対話を実現するための基礎的な行動パターンのデータベース化及び状況認識結果とロボットとの連携技術を確立した。	295	300	223	215	1,033 (H17-20 のみ、事 業期間は H16-20)

消防・防災ロボットの研究開発に要する経費	総務省消防庁	・NBC 災害現場で消防隊員の活動を支援する検知・探査型ロボットについて、ロボットを試作後、機能向上の観点から実施する性能評価実験によりロボットの改良点を分析した上、改良型のロボットを作製し、実用化の観点から実施する性能確認実験によりロボットの仕様を確定する。開発した成果を実戦配備する。 ・実戦使用に耐えうる、耐環境性の高い小型情報収集ロボットを開発する。 ・ガス漏洩災害などにおいて陽圧服を着用する必要がある際に、これを支援するロボットの技術開発を行う。	・NBC 災害現場で使用可能な” 検知・探査型ロボット”を開発し、H18 に消防本部に配備した。H20 には、” 検知・探査型災害対策ロボット”の性能評価型を改良し、2 消防本部に試験配備し、性能の検証を行っている。 ・小型情報収集ロボットとして、H18 に耐環境性の高い移動ロボットを開発した。H19 に 3 消防本部に試験配備し性能評価を行った。性能評価を基に、H20 に量産型を開発した。 ・マーカ―を身につけた隊員に、自律的に移動経路をトレースして追従する技術を開発した。また移動中に環境認識し、自律的に帰還できる技術を確立した。	121	25	23	22	191 (事業期間は H17-H22)
大都市大震災軽減化特別プロジェクト III のうちレスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発	文部科学省	大震災発生時において人命救助などの緊急対応のための人命検索、情報収集・配信等を支援することを目的とした、ロボット、インテリジェントセンサ、ユビキタス端末、ヒューマンインタフェース等の研究開発を行う。特に、人間のアクセスが困難な倒壊家屋、地下街等の被災地に係る人命検索及び情報収集のためのロボット等を活用したレスキューシステムの開発に重点を置く。	ヘビ型ロボットや能動スコープカメラなどの救助活動システム、エアロロボットや気球ロボットなどの防災対応機関のための機器の開発を行った。これらにより、能動的・インテリジェントに情報を収集し、ネットワークで情報の伝達・要約を行い、緊急災害対応活動や意志決定を支援するシステムや要素技術を開発した。さらには、実証試験やデモンストレーションを通して実用化を図り、製品化や実用化への基盤を構築した。	343	310	-	-	653 (H17-18 のみ、事業期間は H14-18)

バイオミ メティッ クコント ロール研 究	文 部 科 学 省	生物が長い期間を経て得た精緻で柔軟な運動制御機能を人工的に実現すべく、①生物システムの制御機構の解明、②高度に複雑な運動系のシステム制御理論の研究、③生物型感覚統合センサシステムの研究、及び④人間と接するロボットシステムの研究を行う。	生物型センシングシステム構築などの研究を実施し、感覚器を有し人間を抱き上げられるロボット「RI-MAN」を開発した。現在は、その成果を「理研-東海ゴム人間共存ロボット連携センター」(※)が受け継ぎ、更なる応用に向けて人間と直接ふれあうことのできる“やさしい”人間生活支援ロボットの研究開発を実施している。 (※)理化学研究所と東海ゴム工業(株)により平成19年8月に開設。	417	396	249	77	1,139 (H17-20 のみ、事業期間は H15-20)
果菜類ロボット収穫技術の開発	農 林 水 産 省	散在する収穫適期の果実の3次元位置や収穫適期(熟度)の認識技術とともに、軟弱かつ形状の多様な果実のソフトハンドリング技術や的確な採果制御技術の開発を民間企業との共同研究により実施する。	試作機を用いた収穫試験を実施し、収穫スピードと正確性の向上に向けたデータ収集等を行っているところである。今後、採果部分及びロボットのアーム部分のイチゴ果実へのアプローチルート最適化を図るとともに、果実の着色度判定アルゴリズムの改良等を進める予定である。	1,878 の内 数	1,886 の内 数	1,889 の内 数	1,814 の内 数	7,467 の内数 (H17-20 のみ、事業期間は H15-22)
次世代ロボット実用化プロジェクト	経 済 産 業 省	次世代ロボットの中でも、今後大きな市場が予測される生活分野及び福祉分野のロボットの早期市場導入を図る。またプロトタイプロボットの社会認知度を向上させるとともに、市場性、有効性を評価し、今後の製品開発につなげる。	現在企業がプロトタイプを製造していて、市場規模が大きい以下のロボットの高度化(全天候対応、画像・音声認識技術の高度化など)を行い、愛知万博期間中(2005年3月～2005年9月)において5分野9種類の実証試験を行うことで実環境におけるロボットの動作について評価し、次世代ロボットの実用化を促進した。	1,000	-	-	-	1,000 (H17の み、事業 期間は H16-17)

人間支援型ロボット実用化プロジェクト	経済産業省	新産業創造戦略等を踏まえて、これまで以上に高度な安全性と動作の柔軟性を求められる特定の人に接触して動作するロボットの実用化の技術開発を行い、2010年のロボット産業の市場規模予測(1.8兆円)を実現する。	この人間支援型ロボット実用化基盤技術開発では、高度な安全性と動作の柔軟性が求められる福祉・介護ロボットの開発及び実証試験を行い、人と接触して動作するロボットの実用化に必要な技術開発を行った。具体的には、1)リハビリ支援ロボット(人間の状態、動作に基づき、多自由度に関節・筋肉のリハビリ動作を支援)、2)自立動作支援ロボット(要介護者の立ち上がりや歩行、把持などの動作を支援)、3)介護動作支援ロボット(主に排泄の際の介護者の抱上げ作業等に係る力支援)の開発を行った。	900	900	800	-	2,600 (事業期間はH17-19)
次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト	経済産業省	次世代ロボット開発に新規参入者が見られるところ、より幅広い民間による用途拡大の促進の観点から、次世代ロボットの基本的パーツの共通基盤化を図る。	効率的なロボット開発に不可欠な基本パーツのモジュール化に対応し、ロボット産業の裾野を広げるため、要素部品とシステムを繋ぐインタフェース共通化のための基盤デバイスを開発した。具体的には、次世代ロボットを構成する基本ユニットを3パーツ(眼・耳・駆動系(腕・脚))に分解してソフト・ハード両面における共通基盤的な技術を開発した。その結果、①画像認識用、②音声認識用、③運動制御用のRTミドルウェアで共通化された基盤モジュールが実用化された。	400	400	380	-	1,180 (事業期間はH17-19)

戦略的基盤技術力強化事業（ロボット部分）	経済産業省	我が国における製造業全体の競争力強化や経済活性化に資すると考えられる中小企業が主たる担い手である基盤的分野について、特に戦略的に支援すべき技術テーマを選定し、この開発を中小企業とそのユーザー企業（自動車・電機等）、大学等からなる共同研究体に対して委託を行う。	実施したロボット部品分野の成果は以下の通り。 ■6 軸力覚センサに関する研究開発 ■食品ロボット用ハイブリッドアクチュエータの開発 ■屋外作業ロボットの操縦・監視用画像伝送・認識技術に関する研究開発 ■アシスト用直動アクチュエータユニットに関する研究開発 ■極限環境適用型アクチュエータユニットの開発 ■RT ネットワークプラグインアクチュエータの開発 ■移動ロボットの環境認識用レンジセンサシステムの開発 ■位置情報フィードバックが可能な多自由度モータに関する研究開発 ■ロボット用 6 軸運動センサに関する研究開発 ■自律移動ロボットのリアルタイム 3 次元計測用超音波マイクロアレイセンサに関する研究開発 ■ロボット用超小型 6 軸モーションセンサに関する研究開発 ■医療用コンパクト型センサ・駆動ユニットの開発 ■バイオ苗生産のための高速 3 次元形状認識センサと柔弱物ハンドリング機構の開発 ■超小型軽量アクチュエータ/サーボアンプに関する研究開発	1,338	-	-	-	1,338 (H17 のみ、事業期間は H15-17)
----------------------	-------	---	--	-------	---	---	---	--------------------------------

			■下水道管渠検査ロボットに関する研究開発					
サービスロボット市場創出支援事業	経済産業省	実際の生活空間でロボットを使うサービス事業(清掃、搬送等)において、安全技術開発等の取組を支援する。具体的には、メーカーとユーザーが共同で、ロボットのスペック検討やコスト評価を行うとともに、必要な技術開発(誤動作防止、安定制御等)及び実証実験を行う(現場ニーズ・使用を明確にする)。	実環境下でロボットを導入・運用するための実用化技術開発、安全性確保等の手法検討及びモデルケースの実施を支援し、さらに事業の成果として、それぞれの開発終了後、ユーザーによるロボットの導入・実運用を達成して、成功事例を提示した。	-	420	333	-	753 (事業期間はH18-19)
戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト	経済産業省	次世代産業用ロボット分野、サービスロボット分野、特殊環境用ロボット分野の3分野で7つのミッションを設定し、約10年後以降の現実の用途を想定し、それを遂行するためのロボット技術を開発する。それぞれのミッションについて、複数の開発者に参加させ、途中段階で評価を行い、最も成果が上がった開発者を引き続き重点的に支援するステージゲート方式を採用する。	現実の用途を想定し、それを遂行するためのロボット技術を開発する。現実の用途としては、市場のニーズと技術戦略マップを踏まえて設定した、製造業・サービス業・特殊環境作業の3分野における7つのミッション(具体的な用途)を競争的に技術開発する。同じミッションに対して複数の開発者に参加させ、途中段階(プロジェクト開始3年後)で評価を行い、最も成果が上がった開発者を、引き続き重点的に支援する「ステージゲート方式」を採用している。	-	1,100	1,000	800	2,900 (H18-20のみ、事業期間はH18-22)

次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト	経済産業省	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知能化技術を開発する。具体的には、作業知能技術、移動知能技術、コミュニケーション知能技術といった技術と、それらとの接続と連携を容易にし、ロボット開発を効率的にするための基盤となるソフトウェアプラットフォームの開発を行う。	ロボット事業者が、状況が変化する過酷な環境下でも確実にロボットが移動するためのソフトウェアを開発・利用できるよう、機能ごとの各種ソフトウェア・モジュールとなる「知能化モジュール」を整備している。2009年1月に内覧会を実施。ロボット開発のコスト低減を実現し、様々な用途向けのロボット開発と、多様な企業や研究機関等による共通知能モジュールの再利用を目指している。	-	-	1,900	1,500	3,400 (H19-20のみ、事業年度はH19-23)
基盤ロボット技術活用型オープンイノベーション促進プロジェクト	経済産業省	生活環境やロボットに使われる既存の要素部品を共通の接続方式、制御方式のもとで利用可能な形で提供することによりRTシステムを構築し、同システムの有効性を検証するための実証試験を行う。	ロボット事業者が、開発期間を短縮し、開発コストを低減するために、市販のセンサやモータなどをRTモジュール化し、簡便に使用可能な「RT要素部品」として整備することで、様々な用途のロボット開発コストの低減とともに、我が国が直面する諸課題の解決へのロボテックの活用を目指している。平成20年度に公募採択が行われた。	-	-	-	100	100 (H20のみ、事業年度はH20-22)
ロボット等によるIT施工システムの開発	国土交通省	土木工事における危険・苦渋作業の解消、就業者の高齢化、若年労働者や熟練者不足への対応、IT技術の導入による生産性・品質向上への対応が遅れているといった課題に対処するため、情報通信技術(IT)やロボット技術(RT)を活用して、土木施工・施工管理における危険・苦渋作業を解消し、コスト縮減、生産性・品質の向上を図る。	汎用建設機械である油圧ショベルについて、基盤となる3つの要素技術、①3次元設計情報と3次元地形情報の表示技術、②作業中における地形計測データを取得し、設計データと対比できる計測システム、③建設機械の自動制御システムの研究開発を行うとともにIT施工システムのプロトタイプの開発を行い、自律化した掘削作業を可能とした。	84	128	137	-	349 (H17-19のみ、事業期間はH15-19)

			開発研究成果は、災害復旧現場などの危険・苦渋作業への適用が期待される。					
海中ロボットによる作業と監視に関する研究	国土交通省	海中作業の機械化、無人化を促進するために、情報通信技術やロボット技術を活用して、港湾施設や海上空港の整備や維持管理における危険・苦渋作業を解消するとともに、作業の効率化、コスト縮減を図る。	自動ルート生成プログラムとソナーと画像解析による移動制御技術の開発、油圧制御系に重力補償を加えた精密なマニピュレーター技術の開発等を並行して行い、水中ロボットに必要となる要素技術は確実に蓄積されている。さらに、バックホウの先端部に構造物点検センサやフォークグラブを搭載して遠隔操作を支援する高度なインタフェースを開発し、これらを統合した安全で効率的な水中作業の実現を目指している。	12	22	9	4	47 (事業期間は H17-20)

(予算の内数は合計に含めない)

② 補完的課題の成果概要

・次世代ロボット連携群が実施した補完的課題について、その内容と成果の概要を記す。

(2-②-1) 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ

(平成17年度開始課題)

研究代表者：比留川 博久 (独)産業技術総合研究所知能システム研究部門 副部門長

参画機関： (独)産業技術総合研究所、東京大学、ゼネラルロボティクス(株)

内 容： これまでの研究開発において、多種多様なロボット技術が開発されてきているが、これらを相互に再利用し、統合するフレームワークは実現されていない。次世代ロボットの研究開発を効率的に実施し、高度なロボットを開発・普及するためには、ロボットソフトウェアの蓄積と再利用を可能とするソフトウェア基盤を構築し、ロボットソフトウェアの蓄積と再利用を推進していく必要がある。本課題は、基盤ソフトウェアの再利用を促進し、次世代ロボットの開発を効率化することを目的とし、ロボットソフトウェアの蓄積に適した分散コンポーネントフレームワークと、この上に構築されたロボットワールドシミュレータを開発する。

成果の概要：

(1) RT ミドルウェアを用いた分散コンポーネントフレームワークの研究開発

ロボットのセンサ・アクチュエータ等の各種ハードウェアおよび、制御、動作計画、シミュレータといったソフトウェアをコンポーネント化し、実機とシミュレータのシステムを RT ミドルウェア上で構築するための基盤技術の研究開発を行った。他の研究者・ベンダ等が作成したコンポーネントを追加・交換できるようにインタフェース仕様を策定した。

(2) 基本コンポーネントの研究開発

ロボットワールドシミュレータ全体の仕様を検討し、再利用性、拡張性等の観点からグラフィカルユーザインタフェース(GUI)、動力学計算エンジン、干渉チェック、コントローラ、デバイスシミュレータといった基本コンポーネントに分割し、開発を行った。アクチュエータやセンサ等のデバイスの機能をシミュレートするデバイスシミュレータにより、現実のロボットとシミュレーション世界にあるロボットを等価に扱うことが可能である。人型ロボットを用いて、シミュレーション結果と実験結果との比較検討を行い、基本コンポーネントが、ロボット開発に十分な精度を持っていることを実験的に検証した。

(3) 動力学シミュレータコンポーネントの研究開発

特に数値計算の安定性、並列計算の効率に注目し、汎用的で効率的な動力学シミュレータの計算エンジンを開発した。

(2-②-2) ロボットタウンの実証的研究

(平成17年度開始課題)

研究代表者：長谷川 勉 九州大学大学院 教授

参画機関： 九州大学、(財)九州システム情報技術研究所、(株)安川電機、九州日本電

気ソフトウェア(株)

内 容： ロボット単体の高機能化だけでは、様々な環境に適應することが困難である。ロボットが環境に埋め込まれたセンサ等からの情報を活用し、動作できるように新しいフレームワークを構築しなければならない。すなわち(a)環境側にプログラムや情報、知識を埋め込んだ環境情報構造化プラットフォーム技術の確立と(b)人間・ロボット共生社会のインフラ基盤整備と開発技術のオープン化・共有化が必要である。そのため(1)ロボットの活動を支援するための環境センシング技術及び(2)環境情報とロボット間の情報流通制御を管理するタウンマネジメントシステム(TMS: Town Management System)に関する研究開発を行う。

成果の概要：

(1)ロボットの活動を支援するための環境センシング技術に関する研究開発

(1-1)分散ビジョンシステムと環境の情報構造化に関する研究

移動体の位置や動作を計測する分散ビジョンシステムとその運用に必要なカメラキャリブレーションを自動で行う群ロボットシステム、分散ビジョンシステムとマネジメントシステム(TMS)を接続するための通信インタフェース等を開発し、実証実験環境にて、検証を行った。

(1-2)分散センシングとタグ配置に関する研究

電子タグをベースとした環境センシングをTMSに統合し、ロボット移動実験により技術の検証を行った。

(2)環境情報とロボット間の情報流通制御を管理するタウンマネジメントシステムに関する研究開発

(2-1)情報構造化環境のマネジメントシステムに関する研究

ロボットや環境センサ等の要素が連携する際に使用する標準的なサービスの記述とその記述を用いて全体制御を行うシステムの標準モデルを設計し、設計に基づいてTMSを開発した。TMSを用いたロボット実証実験によりその機能を検証した。

(2-2)移動作業型ロボットを用いた電子タグ応用

シナリオに沿って、TMSから移動や作業に必要な環境情報を取得しながら双腕ロボットと搬送ロボットを動作させ、従来のロボットでは実現が困難であった家庭内サービスアプリケーションを実現した。実験によりTMSや電子タグといった環境知能の有効性を実証した。

(2-②-3)施設内外の人計測と環境情報構造化に関する研究

(平成18年度開始課題)

研究代表者：萩田 紀博 (株)国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所 所長

参画機関：(株)国際電気通信基礎技術研究所、(独)情報通信研究機構

内 容： 室内外において人や物の位置・干渉関係を計測する空間位置計測技術と、ネットワークを介して、得られた空間情報を様々なサービスで利用できるように環境情報を構造化する環境情報構造化技術と、それらを共通プラッ

トフォーム化する技術を確立することを目的とする。このために、実証実験システムを開発し、一定の期間にわたって、室内外における人や物の位置を GPS やカメラ、IC タグなどで自動的に計測及び蓄積し、得られた空間情報をシームレスに構造化する。次に、それら空間情報を用いてロボットが人に円滑にサービスを提供できることを実証する。

成果の概要：

(1) 空間位置計測技術の研究開発

(1-1) 単一センサからの位置計測システムの開発

カメラ、RFID タグ、GPS、レーザ測距計の 4 種類のセンサにより複数人を実時間で位置計測可能な技術を開発した。

(1-2) 複数種センサによるシームレスな位置計測技術の研究開発

4 種類のセンサ計測結果をネットワークにより統合し、室内では人々を 5cm 精度で、室外では約 10cm 精度で計測できることを実証し、室内外でのシームレスな空間位置計測技術を実現した。

(2) 位置・環境情報に基づくサービス技術の研究開発

(2-1) 環境情報の構造化技術の研究開発

ロボットによるサービスと空間位置情報の関係付けが可能な環境情報 4 層構造モデルを提案し、1 週間に亘り人位置計測から、環境情報を構造化できることを実証し、共通プラットフォームを開発した。

(2-2) 位置・環境情報に基づくロボットサービスの実証実験

共通プラットフォームと異種ネットワーク環境と接続する実証実験を行ない、ロボットが人に円滑にサービスを提供できることを実証した。

(3) 共通プラットフォーム環境の研究開発

共通プラットフォーム仕様を策定・公開し、関西地区の 2 カ所で共通プラットフォーム環境を構築・管理・運営した。経産省情報大航海プロジェクト、総務省ネットワークロボット研究、ホンダ、イタリア聖アンナ大学院大学など、国内外の企業・研究機関計 8 件の利用があり、プラットフォームの有用性を実証した。

(2-②-4) 環境と作業構造のユニバーサルデザイン

(平成 18 年度開始課題)

研究代表者：大場 光太郎 (独)産業技術総合研究所 知能システム研究部門 研究グループ長

参画機関：(独)産業技術総合研究所、東京大学、高度測位衛星技術(株)、(株)東芝

内 容：本研究課題は、生活環境などロボットにとっての非整備環境での作業、さらには異機種・異環境間での作業を簡便に実現することを可能とする、ロボット・インフラ共通プラットフォーム技術を確立し、ロボットの利活用範囲を拡大し、新産業を創出することを目的とし、以下の技術開発と実証評価実験を行う。

(1) 物体の位置・姿勢情報の提供などの環境構造のユニバーサルデザイン技術の研究開発、

- (2) ロボット作業を円滑に行うための作業構造のユニバーサルデザイン技術の研究開発
- (3) 横浜市ハウスクエア横浜における実証スペースの構築、並びに、家庭内移動ロボットやヒューマノイドロボットを用いた、家庭環境での作業の実証評価実験の実施

成果の概要：

(1) 環境構造のユニバーサルデザインに関する研究

ロボットが作業の際に必要な知識として、物体知識(物体の位置・姿勢、形状など)、環境知識(照明条件など)、ロボット知識(ロボットの自由度やハンドの形状など)の情報が不可欠である。本課題では、ロボットが作業しやすく、かつ、人間生活を阻害しない物理的な環境構造のデザインを検討すると共に、知識的環境構造として特に物体の位置姿勢計測技術に注目し、環境センサとロボット搭載センサによるシームレス計測技術、屋内・屋外のシームレス測位技術、それらをロボットに提供する技術を開発した。特に、ユニバーサルデザイン(高齢者や、子供、障害者でも容易に扱えるデザイン)の概念を拡張し、人間でも、ロボットでも作業が容易にできるユニバーサルハンドルを開発し、ロボットに可能な作業を拡大した。また、ビジュアルマーカークルーを開発し、ロボットへの情報提供を行うと共に、ビジュアルサーボによって、ロボットの作業精度を実現した。

(2) 作業構造のユニバーサルデザインに関する研究

ここでは、目的とする作業が与えられた時に、ロボットが実際に作業を行う際に必要な作業構造について研究を行った。

(3) 実証評価実験

異機種、異環境での実証評価を行うため、産総研、ハウスクエア横浜などにおける実証スペースを構築し、家庭用移動ロボットやヒューマノイドを用いて、家庭環境での作業を行い、公開実証実験を行った。

(3) 次世代ロボット連携施策群の成果と研究目標の進捗状況の評価

(3-1) 府省連携の強化について

次世代ロボット連携群のミッションとして各府省の施策の重複排除と連携強化があった。これまでに述べた共通プラットフォーム技術の利用を各府省に働きかけると同時に、各府省の研究開発の成果を共通プラットフォーム技術として広く利用可能な形で公開するよう働きかけた。いくつかの共通プラットフォーム技術については各府省の施策における共有化が図られつつあり、府省連携のための連携ロードマップも作成された。また、次世代ロボット連携群で開発された共通プラットフォーム技術と各省施策との連携が進展している。それに加えて、国際標準化に向けた活動も始まっている。経済産業省が作成し、更新している技術戦略マップの情報の共有も進展している。技術シーズ開発とシーズを応用に移す政策との連携強化についても進展が見られる。これらの状況を考慮すると、次世代ロボット連携群が活動していた4年間で府省連携は確実に進展したと言える。関係者間での情報交換や交流が進んだことは大いに評価できる。

ただし、各府省における次世代ロボット共通プラットフォーム技術の認知は確実に進ん

だものの、研究開発施策での利用は始まったばかりという段階であり、今後の進展を見守る必要がある。また、技術を研究開発する省庁と利用する省庁との連携は進んだが、こちらでも今後より一層の連携強化が必要である。

近年、世界的には医療ロボットの市場が立ち上がっており、日本の病院においても手術ロボットの導入が始まっている。福祉機器、介護機器、医療機器についてもロボット技術を利用した新たな機器が開発されているが、その市場への投入においては様々な課題がある。それらの機器を管轄する厚生労働省は、次世代ロボット連携群にはオブザーバ参加であったが、平成 21 年度より開始される「生活支援ロボット実用化プロジェクト」に先駆けて、経済産業省と厚生労働省の人事交流も始まっており、今後の福祉・介護・医療分野におけるロボット技術の利活用拡大が期待される。

ロボットの国際標準化の取組が始まっており、位置情報関連の標準化は標準化団体 OMG (Object Management Group) を中心に進展しており、国際標準化機構 ISO (International Organization for Standardization) ではサービスロボットに関する議論が Robots in Personal Care として行われている。国際標準化は大変重要であり、日本主導で標準を戦略的に作り上げる姿勢を強化すべきである。また、標準化にも関連するが、ロボットの研究開発においては情報の収集・共有・発信が重要である。各省の施策ではこれらの取組のより一層の強化が期待される。

（３－２）補完的課題について

全体として、共通プラットフォーム技術の確立に向けて、当初の計画どおり研究目標を達成していると評価できる。ただし、補完的課題は、開発された共通プラットフォーム技術の普及によって次世代ロボットの開発が効率化されることを最終的な目標とする。本プロジェクトで開発され平成 20 年度より一般に公開されている分散コンポーネント型ロボットシミュレータ OpenHRP3 や各地の環境プラットフォームが様々なロボット研究者、技術者、企業に利用され、研究開発が行われて、その成果が出るのは来年度以降であり、本プロジェクトの真の評価はその後に行われるべきである。

（３－２－１）分散コンポーネント型ロボットシミュレータ

分散コンポーネント技術に基づく汎用かつ数値安定性の高いロボットシミュレータの開発、シミュレータと実機との実用的等価性の検証等、ミッションステートメントに宣言された個々の研究目標は達成されている。特に、次世代ロボット研究開発の共通ソフトウェアプラットフォームとして、分散コンポーネント技術に基づく汎用のロボットシミュレータ OpenHRP3 を開発し、オープンソースで公開してロボット研究者・開発者に提供し、それが多くの研究者に利用されはじめている点と、シミュレータ中の仮想ロボットと実機ロボットの巨視的挙動が一致することが実験的に検証されている点は高く評価されている。

ただし、OpenHRP3 は専門的なロボット研究者、技術者を想定して開発されているため、市販のソフトウェアのように簡単にインストールできるわけではない等、広く普及するためにはまだ課題が存在する。その一方で、OpenHRP3 を含むロボットソフトウェアの開発環境は経済産業省の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」において継続して研究開発が進められる予定であり、今後ソフトウェアプラットフォームとして完成度が高められることで上記の問題は解決される見通しである。なお、他の環境プラットフォームも知

能化技術開発プロジェクトにて活用されることになっている。

さらに、プロジェクト開始時に想定していなかった事態として、世界最大のソフトウェア会社である Microsoft 社がロボットソフトウェア開発環境 Microsoft Robotics Studio (MSRS) を発表し、この分野に本格的に参入してきたことが上げられる。開発できるプログラムが Windows 系の OS 上のプログラムに限定されており、ロボットに搭載するためのソフトウェアの開発には問題があるが、非専門家を中心に教育、研究、エンターテインメント用として MSRS は世界的に利用が進んでいる。OpenHRP3 の海外への情報発信は開始したばかりであり、今後その拡充が望まれる。

(3-2-2) ロボットタウンの実証的研究

想定されたミッションにしたがって、福岡アイランドシティに構築された環境プラットフォームや病院におけるロボットの実証実験を含めて実証システムレベルまで踏み込んだ成果を上げており、本研究は環境側にロボット作業に必要な情報を分散させる環境構造化技術の先駆的検証研究として評価できる。特に、ロボット研究者・開発者が様々なロボットサービスを開発するためのテスト環境として環境プラットフォームを構築して公開した点を高く評価すべきである。

環境プラットフォームは様々なロボット研究者や技術者に利用されて成果を生み出すことが期待されており、プロジェクト関係者以外の利用者による利用が期待されている。また、関連する研究との情報共有、環境がロボットに提供するサービスに関する標準化活動への積極的な参加が期待される。

(3-2-3) 施設内外の人計測と環境情報構造化に関する研究

本研究では、複数センサによる室内外の人の位置計測技術と、位置情報を用いてロボットがサービスを提供可能とする環境情報構造化技術が開発された。様々な研究機関や企業がこの成果を利用できる環境情報構造化プラットフォームがユニバーサルシティウオークという商業施設に構築され、ロボットにとって厳しい実環境下での実証実験が実現された点と、様々なロボットに対してロボット間コミュニケーションが実証された点は高く評価できる。既に複数の企業によって利用され、ロボットビジネス創出に繋がる研究として大きく期待されている。また、経済産業省の「情報大航海プロジェクト」や総務省の「ネットワーク・ヒューマン・インターフェースの総合的な研究開発 ③ネットワークロボット技術」でも利用され、府省連携に貢献している。さらに、この関西環境プラットフォームは国際的にも注目を集め、EU のゴミ収集ロボットの研究開発プロジェクトである DustBot プロジェクトのロボットとの接続実験が行われており、EU のチームとの連携が実現された実績は、開発されたプラットフォーム技術の基盤性の高さを実証している。本研究グループは、ロボットの位置情報提供サービスに関して、標準化団体 OMG での国際標準策定などでも積極的に活動しており、国際標準化活動への貢献でも評価できる。

人の計測技術については様々なニーズが有り、ビジネス化への期待は高い。本プロジェクトの成果を利用したビジネスの創出が期待される。

（３－２－４）環境と作業構造のユニバーサルデザイン

本研究では、人間生活環境などロボットにとって整備されていない環境で作業を可能にするための環境構造化手法と、ロボット作業のためのプログラムのテンプレートを開発した。さらに、ハウスクエア横浜に実証スペースを構築し、来年度からの一般の研究者、技術者への公開を予定している。作業のための環境構造化は非常に難しい課題であり、ユニバーサルハンドルとビジュアルマーカークルエを開発し、短期間のうちにほぼ一般家庭と同様な環境で実証実験を行える段階にまで進んだことは高く評価できる。また、既に欧州で個人用途として導入されている、車椅子に取り付けるタイプの操縦型ロボットアームについて、定型作業を自動化することにより身体の不自由なユーザーの不便を少しずつ減らして行こうとするアプローチは、今後、家庭へのロボット導入のための有力な方策と成る可能性がある。

さらに、本研究の目的が「ロボット利活用範囲の可能性を広め、新産業を創出すること」であることから、今後何らかの形でロボットビジネスへの繋がりを期待したい。特に、既に欧州で家庭に進出している操縦型ロボットアームを導入し、それに自動化機能を追加するというアプローチには大きな可能性がある。社会的にも意義のあることであり、本補完的課題で開発された環境構造化手法と位置計測技術を発展させ、実用化を推進してもらいたい。

（４）今後の課題

平成 20 年度末をもって次世代ロボット連携群の活動は終了するが、産業ロボット、サービスロボット、介護・医療・福祉・生活支援ロボット、防災ロボット、農業ロボット、建築・土木ロボット等、府省間の協力・連携が必要なロボット分野は多く、政府各府省の科学技術政策について重複を指摘し、連携を強化する組織が今後も必要である。また、次世代ロボット連携群の成果である共通プラットフォームの普及促進も重要である。さらに、本プロジェクトで開発された共通プラットフォームが利用され、研究開発が行われて、その成果が出るのは来年度以降であり、本連携群の本当の成功のためには継続して各プラットフォームの運営を支援する必要がある。

よって、府省連携の推進や共通プラットフォーム技術の普及等、本連携群の活動を継続的に行うことが次世代ロボット関連の科学技術および産業の発展に極めて重要と考えられる。特定府省のロボット施策担当課がこのような府省連携のリーダーシップを取ることは難しく、そのような連携推進の役目は内閣府総合科学技術会議に期待されている。また、各プラットフォームの普及活動は基本的には補完的課題の責任機関に一任されることとなるが、それが適切に運営されているか責任機関に意見を伝え、助言する組織の設立は望ましいことである。

以上のことから、「次世代ロボット研究連携推進会議」（仮称）を内閣府総合科学技術会議の情報通信 PT の下に設置し、引き続き、府省連携の強化と共通プラットフォーム技術の普及を推進することを検討している。

科学技術振興調整費 「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」
平成 17～19 年度実施「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」成果の概要

研究代表者 産業技術総合研究所知能システム研究部門 比留川 博久

概要

本報告では、科学技術連携施策群 次世代ロボット連携群が研究開発を推進したソフトウェアプラットフォームである分散コンポーネント型ロボットシミュレータ OpenHRP3 (Open architecture Human-centered Robotics Platform 3) の概要を報告する。

1. 背景と目的

これまで、ロボットのソフトウェアの研究開発を進めるための共通プラットフォームがなく、ロボットのソフトウェアは個別に一から開発されるのが一般的であった。本研究は、ロボットソフトウェアの蓄積に適した分散コンポーネントフレームワークと、この上に構築されたロボットワールドシミュレータを開発、普及することにより、基盤ソフトウェアの再利用を促進し、次世代ロボットの開発を効率化することを目的としている。具体的には、移動ロボット、マニピュレータ、脚型ロボット等の多様なロボットを対象として、視覚処理や運動制御をモジュール単位でシミュレーション可能なソフトウェアをオープンソースで提供し、この上で稼動するソフトウェアの共通基盤技術化を図ろうとするものである。この目的を明確にするため、本ソフトウェアの名称を OpenHRP3: Open Architecture Human-Centered Robotics Platform とした[1]。本稿では、OpenHRP3 の概要について紹介する。

2. 成果

2.1 RT ミドルウェアを用いた分散コンポーネントフレームワークの研究開発

本研究では、ロボットのセンサ・アクチュエータ等の各種ハードウェアおよび、制御、動作計画、シミュレータといったソフトウェアをコンポーネント化し、実機とシミュレータのシステムを分散コンポーネントフレームワーク上に構築した[1]。

分散コンポーネントフレームワークとして、標準仕様に基づく多様な実装が存在し、ロボットシステムに特有なリアルタイムレベルから上位レベルに至る多様なプログラム、多様な言語、複数 OS を透過的にサポートできることを考慮し、RT ミドルウェアを選定した[2]。RT ミドルウェアは RT コンポーネントと呼ばれるモジュールの組み合わせにより、ロボットシステムを効率よく構築できる。

シミュレーションおよび実機の研究開発をコンカレントに行うことができる統合シミュレーションシステムを RT ミドルウェアにより構築するため、開発の自由度、再利用性、インテグレーションおよび実機との連携などの視点からモジュール化されたソフトウェ

アに求められるインタフェースを整理し、従来の RT コンポーネントのモデルに、サービスとコンシューマのインタフェースおよびコンフィグレーション・インタフェースを追加し、RT ミドルウェアとしての実装を行った。さらに、C++/Python および Windows/Linux 上での相互運用性を確認した。

2.2 OpenHRP3 の概要

産総研と東京大学は、OpenHRP2 と呼ばれる動力学シミュレータを HRP プロジェクトで開発し、これまで国内外 150 以上の機関に対して提供していた。本研究では、OpenHRP2 の構成の構成を見直し、重複機能の整理、モジュールインターフェースの統一を行い、新たに OpenHRP3 を開発した。

OpenHRP3 開発にあたっては、ロボットワールドシミュレータ全体の仕様を検討し、全体仕様に基づいて再利用性、拡張性等の観点からグラフィカルユーザインタフェース(GUI)、動力学計算エンジン、干渉チェック、コントローラ、デバイスシミュレータといった基本コンポーネントに分割し、各コンポーネントの仕様を決定し、実装した。開発したシミュレータの全体構成を図 1 に示す。

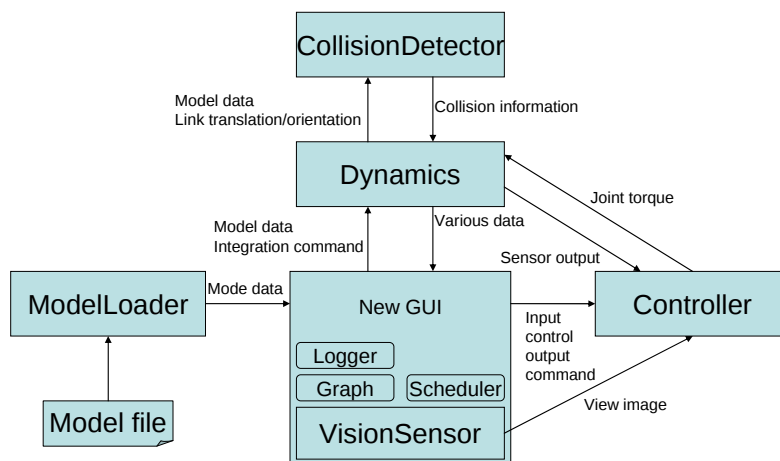


図 1 シミュレータの構成

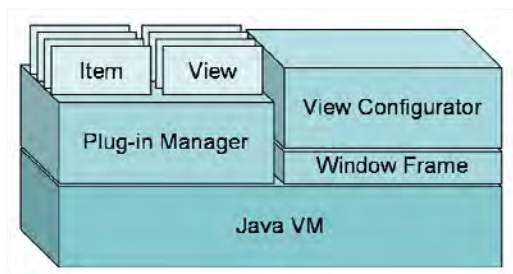


図 2 GUI の概要

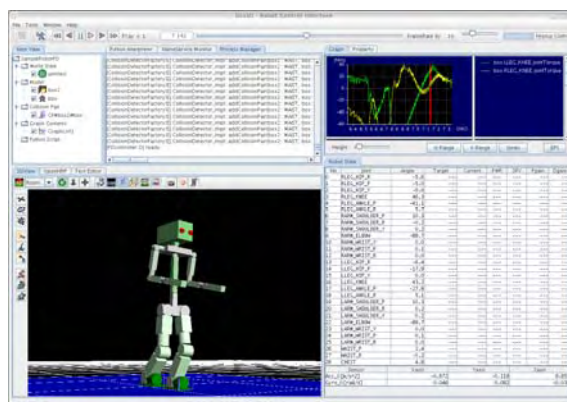


図 3 GUI 実行画面の例

GUI は演算部分とは別コンポーネントとし、シミュレーションのパラメータ設定や実行制御は GUI を用いて対話的に行えるだけでなく、学習などの用途で設定を変えながら繰り返し実行できるようにユーザプログラムからも行えることを目指した。GUI の概要を図 2 に、画面の例を図 3 に示す。詳細については、別報[1]を参照されたい。

デバイスシミュレータはロボットを構成するアクチュエータやセンサ等のデバイスの機能をシミュレートするコンポーネントである。このコンポーネントと実際のデバイスへの入出力を行うコンポーネントのインタフェイスを統一することで実際のロボットとシミュレーション世界にあるロボットを等価に扱えるようにした。

干渉チェックについては、ソースコードでの配布を実現するため OPCODE をエンジンとして利用した。ORB には Java ORB、omniORB を使用している。動力学計算エンジンの詳細については、2.3 で述べる。

以上のコンポーネントの中、ユーザが開発するのはコントローラである。そこで、OpenHRP3 では、コントローラを RT ミドルウェアによりコンポーネント化可能である。詳細は、2.4 で述べる。

2.3 動力学エンジン

OpenHRP3 では、超多自由度ヒューマノイド、車輪・脚駆動型移動ロボットなど、幅広いクラスのロボットシステムの運動を対象とする汎用的で効率的な動力学シミュレータの計算エンジンを開発中した。特に、数値計算の安定性、並列計算の効率に注目したプログラミングと実装を目指し、数値安定性を考慮した動力学計算に関する研究開発を推進した[1]。

ロボット・シミュレーションの基幹となるのが動力学を計算するエンジンである。OpenHRP3 では、従来法である Featherstone の ABA(Articulated Body Algorithm)と、東京大学中村・山根研究室で開発された ADA(Assembly-Disassembly Algorithm)の二つの順動力学計算アルゴリズムを実装した[1]。それぞれ ABA エンジン、ADA エンジンと呼んでいる。これにより閉リンク機構を含む剛体リンク機構の動力学シミュレーションが可能になっている。

ADA は、全てのリンクが独立(関節による拘束がない)状態からスタートし、その関節で働く拘束力と発生する加速度を計算しながら関節を 1 つずつ追加していく assembly ステップと、最後に追加された関節からスタートし、assembly ステップと逆の順序で全関節の最終的な拘束力と加速度を計算する disassembly ステップから成る。古典的な順動力学計算方法である単位ベクトル法と、上記計算方法を用いて計算したときの誤差を比較すると、提案手法では誤差が $1/10 \sim 1/100$ になっている。理由としては、単位ベクトル法では系全体の慣性行列を考えるため、逆行列の計算に誤差が生じやすいのに対し、開発した手法では扱う行列が大きくとも 6×6 までであり、大きな行列の逆行列を計算していないことが考えられる。

物体間に働く反力は、線形相補性問題(LCP)を解くことにより求める拘束条件法により

計算しているが、ABA エンジンではこれを収束計算により解く方法、ADA エンジンではピボット法により解く方法を採用した[1]。

動力学計算を高速化するために複数 CPU による並列計算が可能なアルゴリズム、およびそれを実行するソフトウェアを開発した。また、1 個以上の任意の数の CPU に対応して、CPU 数、計算量、数値安定性を考慮した最適なアルゴリズムを自動的に生成する手法も開発した[1]。

なお、検証用のロボットによりシミュレーションと実験の整合性を検証するとともに、シミュレーションの精度を高めるための知見を集積している。

2.4 RT コンポーネントを用いたコントローラの構成

OpenHRP3 のユーザは、コントローラを開発することによりシミュレータを利用する。OpenHRP3 で RT コンポーネントを用いてコントローラを構成する方法を採用している。シミュレーション時のコントローラの構成図を図 4 に、実験時のコントローラの構成図を図 5 に示す。

シミュレーション時には、実行タイミングはシミュレータの仮想クロックにより制御される。シミュレータとコントローラのインタフェースは、ブリッジコンポーネントにより行っている。実験時には、これがデバイス I/O コンポーネントにより置換され、クロックは実時間 OS により制御される。

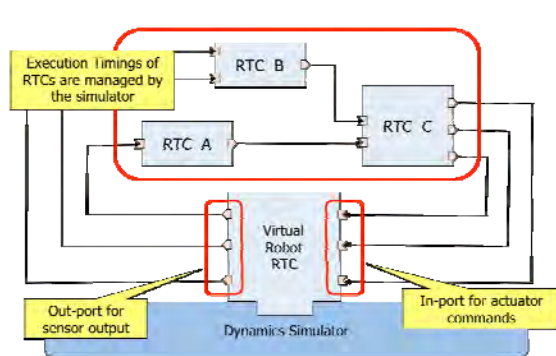


図 4 コントローラの構成図
(シミュレーション時)

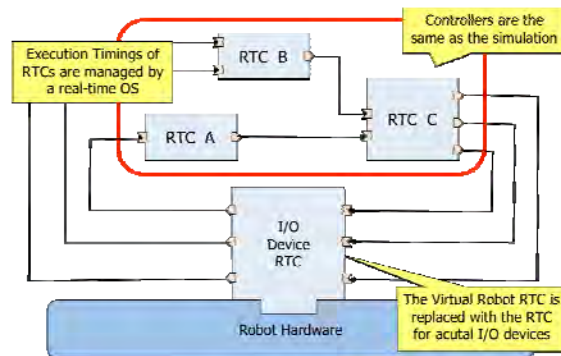


図 5 コントローラの構成図
(実験時)

3. シミュレーションの例と実機との比較

OpenHRP3 の前身である OpenHRP2 は、ヒューマノイドの歩行シミュレーション専用であったが、OpenHRP3 は、様々なロボットの様々な運動のシミュレーションが可能となっている。ヒューマノイドが手摺を掴んで体を支えながらテープを持ち上げる例を図 6 に、産業用ロボットが箱を持ち上げる動作の例を図 7 に、アーム付きの移動ロボットによる作業シ

ミュレーションの例を図8に示す。

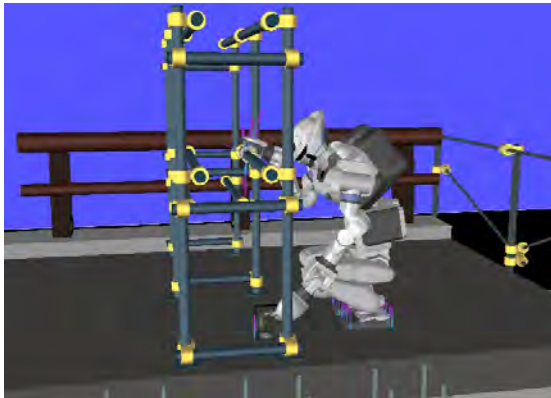


図6 産業用ロボットによる物体把持

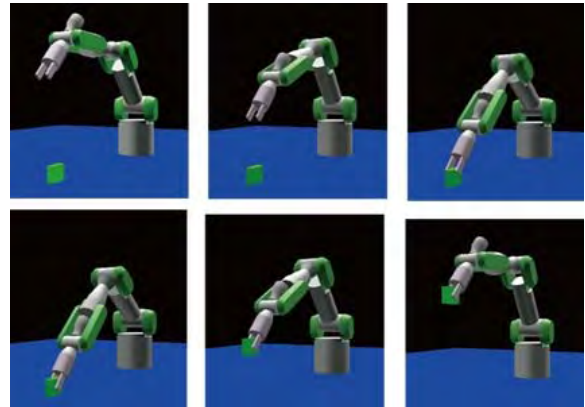


図7 ヒューマノイドロボットの動作

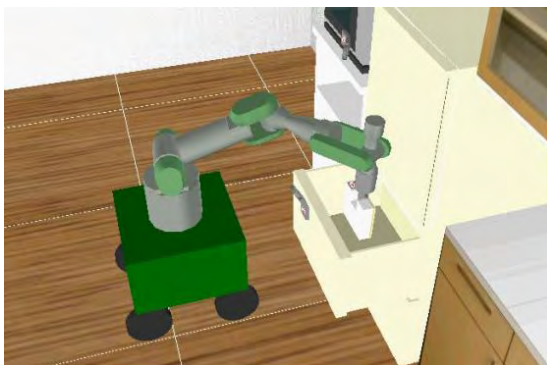


図8 アーム付き移動ロボットの作業
シミュレーション

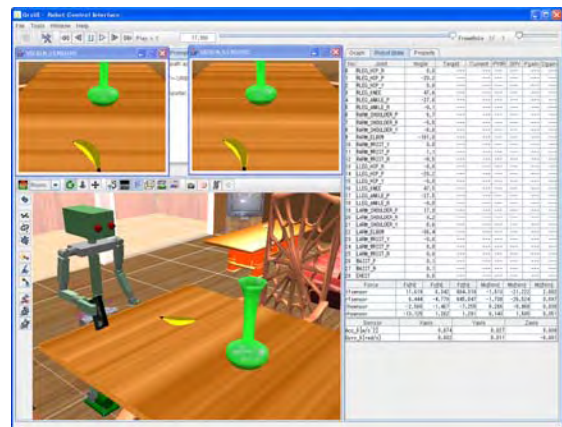


図9 視野画像シミュレータ

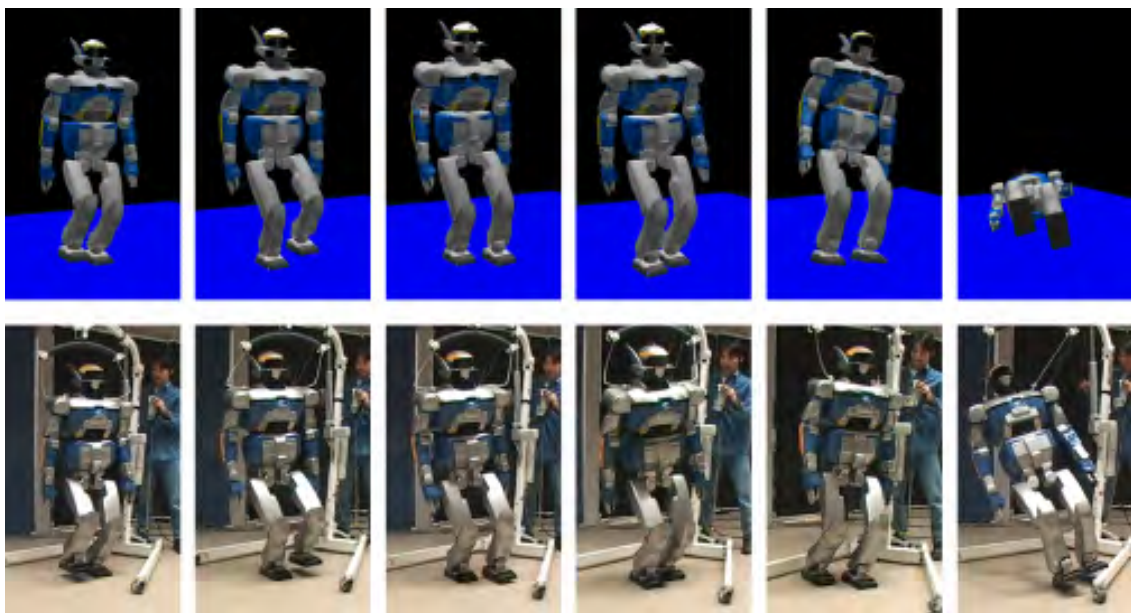


図10 安定化制御をしないヒューマノイドのシミュレーション結果と実験結果

OpenHRP3 では、ロボットの視野画像を生成し、これに画像処理を適用することにより、ハンドアイシステム等のシミュレーションを行うこともできる。図 10 にその例を示す。

OpenHRP3 のシミュレーション結果は、様々な現実のロボットを用いた実験により検証されており、そのことが、OpenHRP3 の長所となっている。例えば、ロボット研究開発におけるシミュレータ利用の妥当性を評価するため、安定化制御をしないヒューマノイドを用いて、実機とシミュレーションで比較を行っている。図 11 にその結果を示す。転倒に至る動作が概ね実機と同様にシミュレーションできていることが確認できている。

4. 今後の展望

OpenHRP3 は、平成 20 年 6 月 18 日から Eclipse Public License によりオープンソースで配布を開始し、<http://www.openrtp.jp/openhrp3/jp/>から取得可能である。今後、ロボット研究の共通基盤技術として広く利用されることを期待している。

参 考 文 献

- [1] 中岡慎一郎, 山野辺夏樹, 比留川博久, 山根克, 川角祐一郎: 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ OpenHRP3, 日本ロボット学会誌, vol. 26, no. 5, pp. 399-406, 2008.
- [2] N. Ando, T. Suehiro, K. Kitagaki, T. Kotoku and W.-K. Yoon: RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology), 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2005), pp. 3555-3560, 2005.
- [3] 安藤慶昭, 中岡慎一郎, 神徳徹雄: 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ・アーキテクチャ-RT コンポーネントを用いた実機と可換な制御ソフトウェア開発機能-, 日本ロボット学会誌, vol. 26, no. 5, pp. 407. 410, 2008.