解説

次世代ロボット共通プラットフォーム技術の進展

Progress of Common Platform Technology for Next-generation Robots

佐藤 知正^{*1*2} 松日楽 信人^{*1*3} 大山 英明^{*1*4}

^{*1}総合科学技術会議科学技術連携施策群次世代ロボット連携群 ^{*2}東京大学 ^{*3}(株) 東芝 ^{*4}(独) 産業技術総合研究所

Tomomasa Sato^{*1*2}, Nobuto Matsuhira^{*1*3} and Eimei Oyama^{*1*4}

^{*1}CSTP Coordination Program of Science and Technology Projects (Next Generation Robots) ^{*2}The University of Tokyo ^{*3}Toshiba Corporation

^{*4}National Institute of Advanced Science and Technology (AIST)

1. はじめに

総合科学技術会議は、各府省の縦割り施策を統合的に推進し、効率化を図るという観点から、国家的・社会的に重要かつ関係府省の連携の下に推進すべきテーマを定め、関連施策等の不必要な重複を排除し、連携を強化した上で、科学技術連携施策群として推進している。2005年度から始まった8テーマに、2007年度から新たに6テーマが加わり、3テーマが終了し、現在、全11テーマが科学技術連携施策群として実施されている。その中の一つである次世代ロボット連携群では、ロボット研究開発を加速化し、様々なロボットサービスの創出を可能にする基盤・インフラ技術を「次世代ロボット共通プラットフォーム技術」と位置づけ、社会に提供することを中核ミッションに活動を展開している[1]~[5]。本稿では、次世代ロボット連携群が研究開発を推進している共通プラットフォーム技術について紹介する。

2. 次世代ロボット共通プラットフォーム技術

次世代ロボット連携群では、ロボット研究者・技術者がロボットの研究開発に際し共通に使える技術を、「共通プラットフォーム技術」と定義し、取り組むべき急務の課題とした[1]~[5]。ロボット研究者・技術者が共通プラットフォーム技術を利用することで、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。

2.1 ソフトウェア・プラットフォーム

ロボットを機能させるためには様々なソフトウェアが必要となる。これらのソフトウェアは、研究者同士が共有す

る仕組みが整備されていないため、ロボット研究者、技術者はもとより異なる研究プロジェクトや研究事業体で独立に開発されている。しかし、これらには類似のソフトウェアがプロジェクトごとに重複して開発されていることも多く、共用できるものが少なからず存在する。また、構築したロボットの性能を同一のプログラム環境下で他のロボットと比較評価する手段がないなど、非効率な研究開発が行われている。そこで、共用性のあるソフトウェアを、他者が使える形で、社会に提供する仕組みを構築することが不可欠である。そのために、ロボットソフトウェアの基盤システム(ソフトウェア・プラットフォーム)を研究開発する必要がある[1]~[7]。次世代ロボット連携群では、ソフトウェアのモジュール化に適した分散オブジェクト技術をベースとして、ロボットのハード、センサおよびセンシング機能、制御構造・機能等を実現できる基盤ソフトウェアの普及を推進することとした。

具体的には、ロボットのセンシング機能、制御構造・機能を実現でき、各種ロボットソフトウェアを相互接続性と蓄積・再利用性を保証しつつ蓄積および拡張するための基盤ソフトウェアが必要となる。そして、基盤ソフトウェア上で開発されたコンポーネントの動作を検証するための、ロボットのハードウェアやセンシング機能、作業環境を模擬できるシミュレータが必要となる。次世代ロボット連携群では、これをロボット・ワールド・シミュレータと呼んでいる。図1にその概念を示す。シミュレータを備えたロボット基盤ソフトウェアは存在するが、コンポーネントとシミュ

図1 ソフトウェア・プラットフォーム

原稿受付 2008年5月7日

キーワード: Next-generation Robots, Common Robot Platform Technology, Sharable Robotic Resources, Information Structured Environment, Robot World Simulator

^{*1}〒100-0011 千代田区内幸町 2-2-2

^{*2}〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

^{*3}〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町 1

^{*4}〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1

^{*1}Chiyoda-ku, Tokyo

^{*2}Bunkyo-ku, Tokyo

^{*3}Saiwai-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa

^{*4}Tsukuba-shi, Ibaraki

図2 環境情報構造化

レータとの結合は未発達な段階であり、次世代ロボット連携群では、分散オブジェクト技術に基づく基盤ソフトウェアのためのロボット・ワールド・シミュレータを開発して、広くロボット研究者・開発者に提供し、その有効性を示すことを目指している。

2.2 環境プラットフォーム

次世代ロボットにおいては、ロボット単体が知能やソフトを持つだけでなく、ロボットが行動するためのプログラムや情報、知識（例えば、地図や物体のマニピュレーション方法など）を、センサやICタグ等のユビキタスネットワーク技術によって、環境側に埋め込むこと、いわゆる「環境の情報構造化技術」が、各種ロボットを開発する際の共通インフラとして重要性を増すと考えられる[1]～[5][7]。環境側のセンサを利用して、物体やロボットの位置情報を共通の仕組みで取得できれば、効率的に研究開発を行うことが可能になる。また、環境の情報構造化においては、ネットワークとの緊密な情報交換によるロボットとネットワークとの統合、すなわちネットワークロボット技術の推進も重要である[7]。

このような状況を踏まえて、今後、IT技術などを活用し、屋内、屋外双方に対し、環境にどのような設備(RFIDなど)と情報(例えば環境の地図など)を埋め込み、また、埋め込まれた機器間およびロボット間の通信をどのように標準化するか、インターネットや他のネットワークへの接続をいかに行うか、など環境を情報構造化するための標準モデルを研究開発する必要がある。図2に環境情報の構造化の概念図を示す。

次世代ロボット連携群では、情報構造化の標準モデルに従って構造化された環境を環境プラットフォームと呼び、ロボット研究開発のためのオープンスペースとして、ロボット研究者・開発者に提供することを目指している。

3. 共通プラットフォーム技術の研究開発

前章で述べた「ロボット・ワールド・シミュレータ」と「環境の情報構造化」については、次世代ロボット連携群が直接的に研究開発を推進している。次世代ロボット共通プ

図3 プラットフォームの全体構想

ラットフォーム技術を推進するため、文部科学省の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」により、2005年度に研究開発課題「環境の情報構造化プラットフォームの基本モデルの研究開発」と「蓄積と再利用可能なロボット用基盤ソフトウェアの確立」を公募し、それぞれ、九州大学を責任機関とする「ロボットタウンの実証的研究」と産業技術総合研究所を責任機関とする「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」が採択された。また、2006年度には、環境情報構造化を強化するものとして、「室内外を移動する人にサービスを提供するための環境情報化」と「作業空間における物体操作のための環境構造化」を公募し、それぞれ、国際電気通信基礎技術研究所(ATR)の「施設内外の人計測と環境情報構造化の研究」と産業技術総合研究所の「環境と作業構造のユニバーサルデザイン」が採択された。これらの研究開発課題は、政府各省で推進されている研究開発を補完するものとして、補完的課題と呼ばれており、3年間の計画で実施されている。

図3に、各施策におけるプラットフォーム開発の位置付けを示す。図3中の(1)タウンの領域を主として「ロボットタウンの実証的研究」が受け持ち、(2)施設内の領域を主として「施設内外の人計測と環境情報構造化の研究」が受け持ち、(3)作業空間の領域を主として「環境と作業構造のユニバーサルデザイン」が受け持つ。「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」で実現される(4)ロボットワールドシミュレータは、すべてのプロジェクトをソフトウェア面からサポートする。

以下の節で、四つの補完的課題について紹介するが、詳細は各課題の成果報告を参照されたい[8]～[16]。

3.1 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ

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」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に基づくロボット・ワールド・シミュレータを開発することにより、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す

図4 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ

図5 OpenHRP3のGUI

図6 ヒューマノイドの転倒シミュレーションと実験

る[8][9]。基盤ソフトウェアとしては、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する点でRT-Middlewareを選定する。その枠組みの基に、センサ、アクチュエータ、コントローラ等のプログラムを分散コンポーネント(RT-Component)化し、各コンポーネントに対して実機と同じ動作をするシミュレータを開発し、多種多様なロボットの動力学・経路計画・作業計画等のシミュレーションを行えるようにし、実機が無い環境でのソフトウェア開発を可能にする。本プロジェクトで開発されるシミュレータは、OpenHRP3(Open architecture Human-centered Robotics Platform 3)と名付けられている。2007年12月にユーザ限定配布版の講習会が開催され、2008年度には、オープンソースで公開される予定である。図4に分散コンポーネント型ロボットシミュレータの概念図を示す。開発するRTコンポーネントの接続先として、シミュレータと実機を切り替え可能であり、シミュレータで適切に動作するRTコンポーネントは、最小限のチューニングで、実機でも動作する。図5にOpenHRP3のGUIを示す。図6にOpenHRP3によるヒューマノイドの転倒シミュレーションの結果と実験結果を示す。転倒というシミュレーションが難しい状況にもかかわらず、運動の傾向は一致している。

図7 ロボットタウンの環境情報構造化

図8 実験住宅

図9 公開実証実験：車椅子ロボットの自動帰還

3.2 ロボットタウンの実証的研究

補完的課題「ロボットタウンの実証的研究」では、次世代ロボットが人間と共生して種々の作業を行うことを可能にするため、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(ロボットタウン)の研究開発が行われた[11]~[13]。

分散配置されたビジョンカメラにより移動体の位置姿勢や運動方向を計測し、屋外通路や建物内部床面にはRFIDを埋め込み配置し環境情報の構造化をはかり、タウンマネジメントシステムにおいて、GIS等のデータベースを含めすべての情報を統合・管理し、ロボットに必要な情報を管理・供給することで、目的の作業を達成する。図7に、タウンマネジメントシステムを中心とするロボットタウンにおける情報処理の概念図を示す。図8に示すように、実験住宅とその周囲の道路を含む環境プラットフォームが、福岡アイランドシティに構築されている。図9に示すように2008年1月には前年に引き続き公開実験が行われた。

3.3 施設内外の人計測と環境情報構造化の研究

補完的課題「施設内外の人計測と環境情報構造化の研究」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な環境情報構造化プラットフォームを研究開発する[12]~[14]。センサデータ層、セグメント層、プリミティブ層、サービスアプリ層の4層からなる環境情報4層モデルにより環境センサやロボット自身のセンサで人々の位置情報を統合し、空間

図 10 UCW 大阪環境プラットフォーム

図 12 ユニバーサル・ハンドルと CLUE

図 11 ロボットによる案内の様子

と行動に意味づけられた環境情報と照らし合わせてロボットが人にサービスを提供する枠組みを開発する。異種ネットワーク環境からなる展示施設、駅等の公共施設に対して、ロボットが人に円滑なサービスを提供できることを実証することが、研究開発の目標である。

人位置計測システムは、けいはんなの独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) 知識創成コミュニケーション研究センターのロビーに構築されたけいはんな環境プラットフォームにて、研究開発、実証された。さらに、2007 年度より、ユニバーサル・シティ・ウォーク大阪 (以下、UCW 大阪) にも環境プラットフォームの構築が開始された。

図 10 に UCW 大阪環境プラットフォームのセンサの配置の一部を示す。図 11 に、2008 年 1 月に UCW 大阪環境プラットフォームで行われた実証実験の様子を示す。ロボットが、立ち止まっている人に近づいて、話しかけて、案内を行っている。人の位置計測画面を図 11 中の右下に示す。

3.4 環境と作業構造のユニバーサルデザイン

補完的課題「環境と作業構造のユニバーサルデザイン」は、人間生活環境などロボットにとって非整備環境での作業、さらに異機種・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確立し、ロボット活用範囲の可能性を広め、新産業創出することを目的とする [15] [16]。環境と作業構造のユニバーサルデザインを具現化した環境プラットフォームのプロトタイプがつくばの産業技術総合研究所に構築されて

表 1 環境プラットフォームの仕様

プラットフォーム	福岡環境プラットフォーム	けいはんな/UCW大阪環境プラットフォーム	神奈川環境プラットフォーム
計測精度	50mm	50 mm	50 mm 5 mm (物体操作用)
センサ・デバイス	RFID Cameras LRF GPS	RFID Cameras LRF GPS	RFID Cameras LRF iGPS (Pseudolight) CLUE
ミドルウェア	RT-middleware(一部)	Cross ML	RT-middleware
提供される機能	-ロボットや人を含む移動物体の位置情報 -移動物体のID (APIとして提供)	-ロボットや人の位置情報 (APIとして提供)	-ロボットや物体の位置情報 (移動用と物体操作用) (RTコンポーネントを含むAPIとして提供)
場所	福岡アイランドシティ	けいはんなNICT知識創成コミュニケーション研究センター/UCW大阪	ハウスクエア横浜(予定)

おり、2007 年 10 月にはつくばにて実験が公開され、2009 年度より一般に公開される環境プラットフォームが神奈川県に構築される予定である。

環境構造のユニバーサルデザインとして、物体の位置姿勢情報を提供するためのインフラ技術の研究開発を行う。作業構造のユニバーサルデザインとして、ロボットによる多様な作業実行のために作業知識の蓄積手法とビジュアル・サーボのためのマーカー CLUE (Coded Landmark for Ubiquitous Environment), ロボットによる作業を容易にするためのユニバーサル・ハンドル、容器等の研究開発を行う。さらに、様々な作業を Pick and Place 作業の集合体としてモデル化し、作業を確実に遂行するための作業手順のテンプレートの提供を行う。図 12 に、ユニバーサル・ハンドル上の CLUE の様子を示す。左の画像は、紫外線照射により CLUE が出現している状態である。

3.2 節から 3.4 節までの環境プラットフォームの仕様を表 1 にまとめる。

4. おわりに

本稿では、研究開発が進んでいる共通プラットフォーム技術を紹介した。ロボットタウンと OpenHRP3 は 2008 年 3 月で開発期間が終了し、公開に向けた運用が検討されている。今後政府各府省の研究開発施策を含めて、ロボット

研究開発において、共通プラットフォームの利用が促進されることを期待している。最後に共通プラットフォーム技術の動向については、ウェブサイトを紹介するので参照されたい[17]。

謝 辞 科学技術連携施策群は、科学技術振興調整費「科学技術連携施策群の效果的・効率的な推進」により支援されている。ご指導いただいている科学技術連携施策群次世代ロボット連携群前コーディネーター 三浦宏文工学院大学学長、前主監 故谷江和雄首都大学東京教授、内閣府総合科学技術会議事務局 大久保明参事官（情報通信分野）、村井健介参事官付、前参事官 井澤一朗情報通信研究機構執行役、新井民夫東京大学教授、徳田英幸慶應義塾大学教授、藤江正克早稲田大学教授、水川真芝浦工業大学教授に深謝申し上げる。最後に、谷江氏のご冥福を心よりお祈りする。

参 考 文 献

- [1] 井澤一朗：“第3期科学技術基本計画における次世代ロボット施策”，第24回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 2N11, 2006.
- [2] 谷江和雄，松日楽信人：“次世代ロボット共通プラットフォーム技術の確立”，ロボット，no.172, pp.35-37, 2006.
- [3] 谷江和雄，松日楽信人：“次世代ロボット共通プラットフォーム技術—情報構造化環境プラットフォームの構築—”，日本ロボット学会誌，vol.25, no.4, pp.501-504, 2007.
- [4] 第25回日本ロボット学会学術講演会展開セッション：次世代ロボット共通プラットフォーム技術，1I11-1I18, 1I21-1I26, 1I31-1I36, 2007.
- [5] SI 2007 オーガナイズド・セッション：次世代ロボット共通プラットフォーム技術，3A1, 3A2, 3A3, 2007.
- [6] N. Ando, T. Suehiro, K. Kitagaki, T. Kotoku and W.-K. Yoon: “RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology),” Proc. of 2005 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2005), pp.555-3560, 2005.
- [7] 菅野重樹：“RT ビジネスの戦略”，日本ロボット学会誌，vol.24, no.3, pp.278-283, 2006.
- [8] S. Nakaoka, S. Hattori, F. Kanehiro, S. Kajita and H. Hirukawa: “Constrained-based Dynamics Simulator for Humanoid Robots with Shock Absorbing Mechanisms,” Proc. of IROS 2007, 2007.
- [9] 中岡慎一郎，比留川博久 他：“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.
- [10] T. Hasegawa and K. Murakami: “Robot Town Project: Supporting Robots in an Environment with Its Structured Information,” Proc. of The 3rd Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2006), pp.119-123, 2006.
- [11] 長谷川勉：“環境プラットフォーム「ロボットタウン」”，日本ロボット学会誌，vol.26, no.5, pp.411-414, 2008.
- [12] D.F. Glas, T. Miyashita, H. Ishiguro and N. Hagita: “Laser Tracking of Human Body Motion Using Adaptive Shape Modelling,” Proc. of IROS 2007, 2007.
- [13] T. Kanda, M. Shiomi, L. Perrin, T. Nomura, H. Ishiguro and N. Hagita: “Analysis of People Trajectories with Ubiquitous Sensors in a Science Museum,” Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2007), pp.4846-4853, 2007.
- [14] 宮下敬宏，神田崇行，西尾修一，萩田紀博：“施設内外の人計測と環境情報構造化プラットフォーム”，日本ロボット学会誌，vol.26, no.5, pp.423-426, 2008.
- [15] K. Ohara, T. Sugawara, J.H. Lee, T. Tomizawa, H.M. Do, X. Liang, Y.S. Kim, B.K. Kim, Y. Sumi, T. Tanikawa, H. Onda and K. Ohba: “Visual Mark for Robot Manipulation and Its RT Middleware Component,” Advanced Robotics, vol.22, no.3, 2008.
- [16] 大場光太郎：“環境と作業構造のユニバーサルデザイン”，日本ロボット学会誌，vol.26, no.5, pp.431-435, 2008.
- [17] 科学技術連携施策群次世代ロボット連携群：次世代ロボット共通プラットフォーム技術について，<http://www.renkei.jst.go.jp/platform/robot/index.html>

佐藤知正 (Tomomasa Sato)

1971 年東京大学産業機械工学科卒業。1976 年同博士課程修了。博士（工学）。電子技術総合研究所，東京大学先端科学技術研究センター，同大学大学院工学系研究科を経て，同大学大学院情報理工学系研究科教授。知能ロボットの研究に従事。総合科学技術会議科学技術連携施策群次世代ロボット連携群コーディネーター／主監。IEEE，日本機械学会会員。日本ロボット学会会長。

(日本ロボット学会正会員)

松日楽信人 (Nobuto Matsuhira)

1982 年東京工業大学大学院修士課程修了（機械物理学専攻）。同年（株）東芝入社。現在，東芝研究開発センター技監。博士（工学）。原子力，宇宙，医療，家庭用など各種ロボットシステムの研究開発に従事。次世代ロボット連携群副主監。日本機械学会フェロー，計測自動制御学会 SI 部門部門長。

(日本ロボット学会正会員)

大山英明 (Eimei Oyama)

1987 年東京大学大学院工学研究科修了。同年通産省工業技術院機械技術研究所入所。現在，独立行政法人産業技術総合研究所主任研究員。次世代ロボット連携群主監補佐。博士（工学）。学習制御，テレグジスタンス，環境情報構造化等に関する研究に従事。

(日本ロボット学会正会員)