

解説

モビリティロボット向け RTC の開発

Development of RT-components for Mobility Robots

五十嵐 広 希^{*1} 根 和 幸^{*2} 清水 正 晴^{*3} 竹 内 栄二朗^{*4}^{*1}電気通信大学 ^{*2}京都大学 ^{*3}千葉工業大学 ^{*4}東北大学Hiroki Igarashi^{*1}, Kazuyuki Kon^{*2}, Masaharu Shimizu^{*3} and Eijiro Takeuchi^{*4}^{*1}The University of Electro-Communications ^{*2}Kyoto University ^{*3}Chiba Institute of Technology ^{*4}Tohoku University

1. は じ め に

人間の行動の範囲およ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などが確立されているが、ショッピングセンターや娯楽施設など、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、モビリティロボット（搭乗型ロボット）の実用化が期待されている。

本稿では、経済産業省・NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）が平成 19 年度から 23 年度に実施した「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の委託を受け、RT ミドルウェア [1] を用いたモビリティロボット向けの、知能モジュール開発の成果についてのべていく。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知能モジュールの研究開発を、芝浦工業大学を筆頭とした、千葉工業大学、NEC ソフト（株）、セグウェイジャパン（株）、東北大学、京都大学、NPO 国際レスキューシステム研究機構らによるコンソーシアムで実施した。

2. 開発した知能モジュールの概要

研究開発した知能モジュールは、ソフトウェアの機能を部品化・モジュール化をすることで再利用性の向上を目指しており、ソフトウェア標準化団体 OMG（Object Management Group）が定めるロボット用ソフトウェアの仕様：OMG Robotic Technology Component Specification に

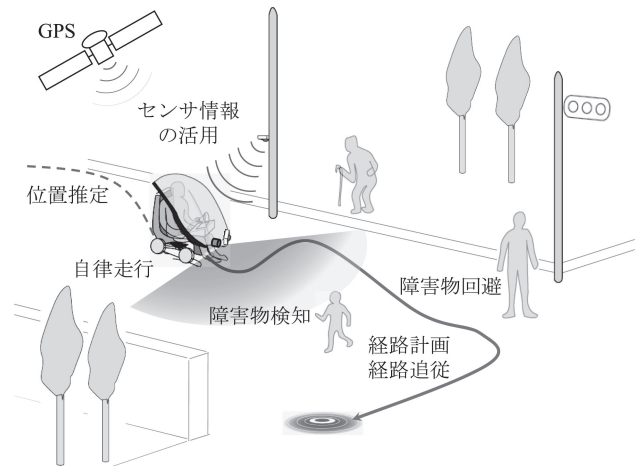


図 1 モビリティロボットのターゲットイメージ

準拠し開発されている。さらに、この標準規格に準拠したソフトウェア実装として（独）産業技術総合研究所により開発されている OpenRTM-aist（以後、RT ミドルウェア）を用いて開発を実施し、これにより開発した RT コンポーネント（以下、RTC）の再利用性の向上を図っている。開発した RTC を活用したターゲットロボットのイメージを図 1 に示す。開発した RTC を機能単位で構成した主要なモジュール群と、各 RTC 間を接続しやすくすることを目的とした共通インターフェースについて以下に示す。

2.1 自律走行モジュール群

モビリティロボットをあらかじめ決められたマップ上のルートに沿って巡回させる自律走行や、呼び出しに応じて特定の位置まで自律走行させるモジュール群である [2]。自律移動に必要な走行制御、高精度自己位置推定、リアルタイム経路計画等の機能を備えているモジュール群の開発を実施した。特徴として、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、その構造をシンプルとすることを重視し、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。さらに、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。

原 2012 年 10 月 9 日

キーワード：Mobility Robot, RT-Middleware, Rescue Robot

^{*1}〒 182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1^{*2}〒 606-8501 京都市左京区吉田本町^{*3}〒 275-0016 習志野市津田沼 2-17-1^{*4}〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01^{*1}Chofu-shi, Tokyo^{*2}Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto^{*3}Narashino-shi, Chiba^{*4}Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi

また、開発した自律走行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した。

2.2 障害物回避モジュール群

モビリティロボットが人間や障害物を検知し、衝突しないための自動的回避行動や停止動作を生成する智能モジュール群である [3]。センサで検知が困難な障害物が存在する環境を想定してあらかじめ危険エリア（速度制約領域）を設定し、ロボットが速度制約領域に侵入すると速度を制限する機能なども付加した。さらに、速度制約領域があっても短時間で目的地に到達可能な経路を算出する RTC も実現している [4]。これらの機能により、モビリティロボットが街の中を安心して移動し、施設全体の付加価値と利用者の利便性の向上が期待できる。

2.3 自動追尾モジュール群

非搭乗者との距離を一定に保ってモビリティロボットが自動で追尾し、人と協調走行するためのモジュール群である。カメラと測域センサ（レーザーレンジセンサ）を用いて人間（非搭乗者）の位置を認識し、自動で人間を追従することが可能である。電動車いすなどの複数台での移動や、スーパーなどの小売店、空港での荷物運搬、小型のゴルフカートなどで荷物を運搬するポーターロボットなどでの利用を想定している。

2.4 移動智能ロボット共通インターフェース

RT ミドルウェアでは、RTC 間で情報を授受するための接続インターフェース（以後、IF）を、インターフェース記述言語 IDL で独自に設定可能であり、特定の形式を規定していない。各ロボットが独自 IF を用いるとロボット間において情報の授受ができないなどの問題がある。そこで、RTC の再利用性の向上のために、RTC 間で情報を授受するための接続インターフェースの共通化を実施した。移動智能ロボットに関するワーキンググループ（移動 WG）を組織し、移動智能ロボット用 RTC の IF の共通化を検討した。共通化は位置推定 IF、経路計画 IF、走行指令・走行情報 IF、目的地 IF など項目について実施された [5]。定義した共通インターフェースのモジュール構成を図 2 に示す。

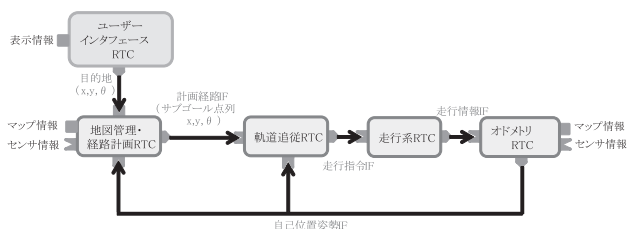


図 2 移動智能ロボット向けに定義した共通インターフェースのモジュール構成

3. 開発した智能モジュールの性能評価実験

各モジュールの接続や機能の確認のために、三つのフェーズに分けて各種統合実験を実施した。一つめはコンソーシアム内での RTC の研究開発と動作検証を、二つめはいくつかのコンソーシアム間での RTC の結合実験を実施した。そして、三つめに開発した RTC を結合した機能統合実験を実施し、性能評価を実施した。下記に代表的な実験について記載する。

3.1 つくばチャレンジにおける実証実験

2007 年から 2011 年まで、茨城県つくば市内の公共空間で、ロボットを自律走行させる実証実験「Real World Robot Challenge」（通称：つくばチャレンジ、主催：財団法人ニューテクノロジー財団）が実施された。つくばチャレンジは、ロボットがヒトと共存している環境で、ヒトと親和性を保ちつつ安全に動作するための技術を追求することを目的とし、本研究開発の目的と合致するため、つくばチャレンジに参加することで開発したモジュールの屋外環境での長期間の検証実験を実施した。本実証実験に 2008 年度から 2011 年度まで東北大学、京都大学、芝浦工業大学らがロボットをそれぞれ開発し実験に参加した。開発した RTC の長期的な検証を行うとともに、屋外自律走行での実験結果を蓄積し、智能モジュールの開発に反映させることを目的とした。以下に東北大学の開発・実験過程事例を示す [6] [7]。

2008 年度はセンサデータの蓄積と、ロボットのハードウェアなど基本 RTC の基礎理論の実装を行うとともに、屋外長距離自律移動の長期検証実験を実施した。2009 年度には、センサデータの蓄積と RTC 化を進めるとともに、屋外長距離自律移動に必要な基本機能の実現を目指し実装を行い、約 1 [km] の自律走行（つくばチャレンジの課題達成）を実現した。2010 年度はセンサデータの蓄積に加え、開発したすべての機能の RTC 化を実施した。2011 年度はセンサデータの蓄積に加え、より高度な自律移動のための動作計画に関する機能の拡充を実施した。2010 年度に使用したモビリティロボットと RTC 構成を図 3 に示す。

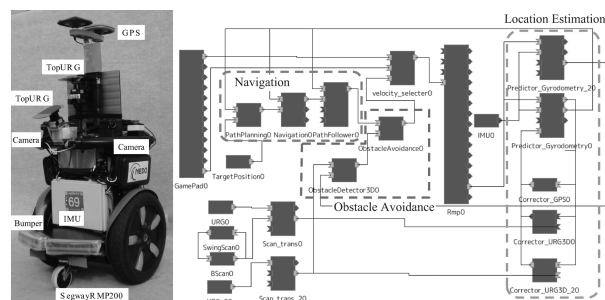


図 3 東北大学がつくばチャレンジ 2010 に用いたロボットとモジュール構成



図 4 2009 国際ロボット展のステージデモで披露した、統合実証実験の様子

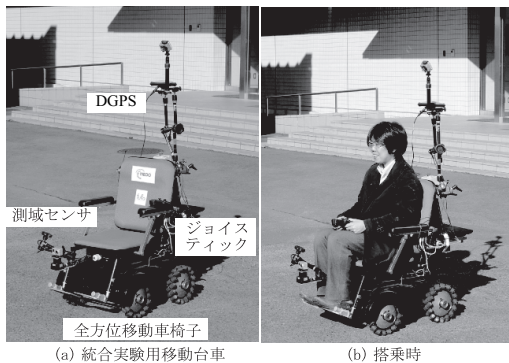


図 5 機能統合実機実験に用いた千葉工業大学開発の全方向車椅子台車

長期間の実証実験であるつくばチャレンジに参加することでより多くのデータや知見を得ることができ、本プロジェクトで開発した RTC に成果を反映させることができた。

3.2 コンソーシアム間結合実験

コンソーシアム間の RTC 結合実験を、移動 WG 内の三つのコンソーシアムが共同で実施した。実験では、各機関で開発された RTC のインターフェースとして共通インターフェースを採用した [8]。実験の一例として、2009 年に開催された 2009 国際ロボット展のステージにて、共通インターフェースの有効性を示す共同実証実験を実施した様子を図 4 に示す。ここでは、追従対象ロボットの動的変更や操縦桿モジュールの交換を行い、共通インターフェースの有効性が確認できた。

3.3 機能統合実機実験

実験には千葉工業大学にて開発された全方向車椅子台車を用い (図 5)、位置推定および障害物回避のためにジャイロや測域センサを搭載した。実験ではあらかじめ設定した経路を自律的に走行させ、途中ジョイスティックによる操縦に切り替え、手動操縦により走行させ、再び自律走行に戻る実験を実施した。

実験により得られた走行経路およびその様子を図 6 に示す。図中点線 (太線) が目標経路であり、実線 (細線) が位置推定モジュール群により推定された推定位置、実線 (太

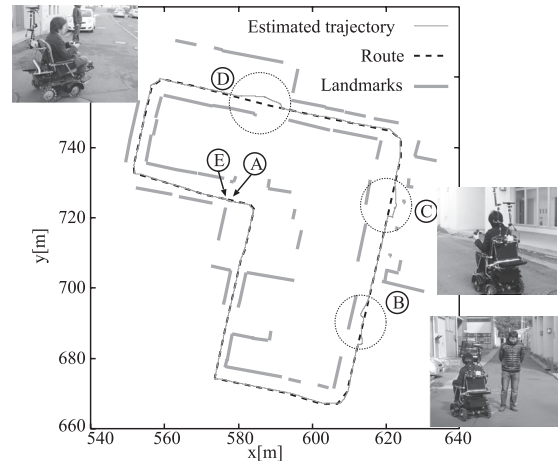


図 6 機能統合実機実験における走行経路および位置修正用既知障害物地図

線) が位置修正のための既知物体情報である。ロボットは人を乗せた状態で図 6 中 [A] からスタートし地図中を左回りに走行し [E] へ戻る経路を走行する。実験では、図 6 中 [B] に示す場所で障害物回避動作を行い、図 6 中 [C], [D] にて手動操縦に切り替え移動を行った。これらの場所では推定位置が目標経路から離れ、自律走行モードから切り替わっていることが見られる。この実験により、人が搭乗した車いすによる自律走行および操縦を操縦者の意図のもと切り替えつつ走行を行うことが可能であることが確認できた。

4. 成果普及に向けて

2011 年 3 月に発生した東日本大震災において、災害対応ロボットの重要性が再認識された。国際レスキューシステム研究機構、京都大学、東北大学により、これまでの研究開発の成果と、本プロジェクトで得られた成果を元に災害対応ロボットの研究開発に活用している。RT ミドルウェアに対応した研究開発用災害対応ロボットを、民間企業などへの技術移転とともに、研究開発の効率化を目指す。

具体的には、民間企業とともに電力会社などの実際の作業現場で、RT ミドルウェアを用いたロボットの模索的な実証実験を実施している。ここでは、平時と災害時の相互で利用可能な災害対応ロボットの開発をしており、RT ミドルウェアを用いることで試行錯誤が比較的容易に行えるために、研究開発が加速できると考えている。開発したロボットと実験の様子の一部を図 7 に示す。

今回の実験のために開発した研究用災害対応ロボット「MATOI」のソフトウェアは、本プロジェクトの成果の多くを再利用し [9]~[11]、モジュール化されたハードウェアも合わせて用いることで開発時の試行錯誤が容易になり、短期間での開発を実現することができた。この事例により、RT ミドルウェアを試作開発のフェーズに適用することで、開発の効率化に寄与できることが確認できた。



図7 RTミドルウェアに対応させた研究開発用災害対応ロボット(左)クローラ型ロボット「KOGAH3」(右)屋外探索用ロボット「MATOI」

5. ま と め

人や障害物が混在する状況において、人を乗せて移動する機能を実現する汎用的な知能モジュールの開発を実施し、その性能を確認することができた。今後は開発した知能モジュールの実用化を目指し成果の普及に努めていく。

なお、本研究開発で開発されたほとんどのRTCは、産業技術総合研究所のホームページよりオープンソースにて公開済みであり、ダウンロードし再利用可能である[1]。

謝 辞 本研究開発は、経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が平成19年度から平成23年度にかけて実施した「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の一環として実施されたものである。共通インターフェースの策定に当たっては、多くの研究コンソーシアムの協力を受けました。感謝致します。また、つくばチャレンジの多くの関係者各位に心より感謝します。さらに、研究用災害対応ロボットの実用化に対して、実証実験の機会をご提供いただいている中国電力株式会社様、日本電気株式会社様など関係者各位に深く感謝致します。

参 考 文 献

[1] RTミドルウェアのウェブサイト, <http://www.is.aist.go.jp/rt/>

- [2] 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭, 五十嵐広希, 齋藤俊久, 高森年, 松野文俊: “自律と操縦に対応した移動ロボット用RTCの開発 第11報自由空間観測モデルによる未知物体にロバストな自己位置推定RTC”, 第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 3D1-04, 2009.
- [3] 竹内栄二郎, Calisi Daniele, 大野和則, 田所諭, 五十嵐広希, 金城隆也, 高森年, 松野文俊: “自律と操縦に対応した移動ロボット用RTCの開発 第2報障害物回避用モジュール群”, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 1F3-9, 2008.
- [4] 後藤清宏, 根和幸, 松野文俊: “速度制約領域を考慮した自律移動ロボットの行動計画”, 日本ロボット学会会誌, vol.28, no.8, pp.930-937, 2010.
- [5] M. Shimizu, N. Kita, T. Saito, E. Takeuchi, Y. Nakajima, N. Takegawa, H. Igarashi, Y. Hayashibara, H. Yamato, K. Toda, T. Furuta and M. Mizukawa: “The Joint Inter-face of RT-Components for Mobile Robots: The Activity Report Inform the Mobile Robot Working Group of the NEDO Intelligent RT Software Project,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.22, no.6, pp.767-776, 2010.
- [6] 山崎将志, 竹内栄二郎, 大野和則, 田所諭: “三次元地形情報およびGPSを用いたパーティクルフィルタによるマルチパスを考慮した自己位置推定”, 日本ロボット学会誌, vol.29, no.8, pp.702-709, 2011.
- [7] 竹内栄二郎, 山崎将志, 田中一志, 大野和則, 田所諭: “複数の外界センサを用いた位置推定モジュール群による屋外環境における位置推定”, 日本ロボット学会誌, vol.30, no.3, pp.296-304, 2012.
- [8] 清水正晴, 喜多伸之, 齋藤俊久, 竹内栄二郎, 中島裕介, 武川直史, 五十嵐広希, 林原靖男, 大和秀彰, 戸田健吾, 古田貴之, 水川真: “移動ロボット用RTコンポーネントの共通インターフェース: 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおける移動1サブWG活動報告(第2報)”, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3D2-1, 2009.
- [9] 新隼人, 根和幸, 五十嵐広希, 金テヒョン, 豊島聡, 佐藤徳孝, 亀川哲志, 松野文俊: “災害対応を想定した移動ロボットプラットフォームの開発—第1報: 開発コンセプトとハードウェア構成—”, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1J4-3, 2011.
- [10] 根和幸, 金テヒョン, 新隼人, 安部祐一, 花本惣平, 山崎隆太, 五十嵐広希, 佐藤徳孝, 亀川哲志, 松野文俊: “災害対応を想定した移動ロボットプラットフォームの開発—第2報: 遠隔と自律に対応したソフトウェアモジュールの開発—”, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1J4-2, 2011.
- [11] H. Shin, K. Kon, H. Igarashi, Y. Anbe, T. Kim, S. Hanamoto, R. Yamasaki, S. Toyoshima, N. Sato, T. Kamegawa and F. Matsuno: “Hard-ware-Software Integration of a Practical Mobile Robot Platform,” 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, F4-1, 2011.



五十嵐広希 (Hiroki Igarashi)

電気通信大学博士課程後期。移動ロボットなどのリスクマネジメント手法などに関する研究に従事。2002年より日本SGI(株)。2009年より京都大学研究員を経て現在に至る。
(日本ロボット学会学生会員)



根 和幸 (Kazuyuki Kon)

2010年京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2009年度より日本学術振興会特別研究員。2011年度より京都大学工学研究科助教。複数移動体の制御に関する研究に従事。博士(工学)。
(日本ロボット学会正会員)



清水正晴 (Masaharu Shimizu)

千葉工業大学未来ロボット技術研究センター上席研究員。2002年文部科学省科学技術振興機構ERATO北野共生システムプロジェクト研究員。2002年青山学院大学博士(工学)。
(日本ロボット学会正会員)



竹内栄二郎 (Eijiro Takeuchi)

2008年筑波大学大学院システム情報工学研究科博士課程修了。博士(工学)。同年東北大学大学院工学研究科助教に着任し、同年東北大学大学院情報科学研究科助教。現在に至る。専門は自律移動ロボットによる位置推定と地図生成。
(日本ロボット学会正会員)