

ロボットの遠隔操作によるRPG風 キャンパス体験サービスの提案

高橋 雅彦^{1,a)} 野本 悠太¹ 伊藤 由佳¹ 土屋 陽介¹ 成田 雅彦¹ 加藤 由花¹

概要: 近年, インターネットサービスとユビキタスコンピューティング, ロボットサービスの3つのサービスドメインを融合した実世界データ利用サービスに注目が集まっている. しかしながら, それらをコモディティなサービスとして普及させるためには, プラットフォームの標準化に加えてロボットの利用目的に応じたサービス, アプリケーションの充実が必要となる. 本稿では, ロボットサービス向けプロトコル仕様である Robot Service Network Protocol (RSNP) を利用するとともに, 現実世界をロールプレイングゲームに見立てた仮想世界へマッピングした, 遠隔キャンパス体験サービスの提案を行う.

1. はじめに

情報通信サービスの世界において, クラウド化やモバイル端末の普及が著しい. センサ情報が手軽に利用できるようになったことで, ICT の従来サービスと実世界情報の融合がインターネット規模で進行している. ロボット分野においても, コンシューマ向け低価格ロボットの登場やロボットソフトウェアのコンポーネント化 [1][2] を契機に, ロボティクスと ICT の融合が注目されており, ロボットと既存の ICT サービスとを連携することで, ロボットの新しいサービスモデルを形成し, 産業用ロボット中心のビジネスモデルから脱却することが求められている [3][4].

中でも, 遠隔操作 (テレロボティクス) 分野は, 現在研究が盛んな分野であるが, ロボットをネットワークにつなぐ場合, 通信規格に主流がないことやロボット技術者にとってネットワークは専門外であることから, これまで, 自律型ロボット内の閉じたネットワーク環境で独自にインタラクションが進化してきた経緯がある [5][6]. そのため, ロボットをインターネット上で取り扱うためには, セキュリティやベンダ間の接続性の点で課題が存在している.

そこで我々は, ロボットサービスイニシアチブ (Robot Service initiative: RSi) [7] の策定したロボットサービス向け標準プロトコル仕様である RSNP (Robot Service Network Protocol) [8][9] を利用し, 多様な機種・機能のロボットを共用し, インターネットに接続するとともに, 一般ユーザでも無理なく遠隔操作できるための研究を進めてき

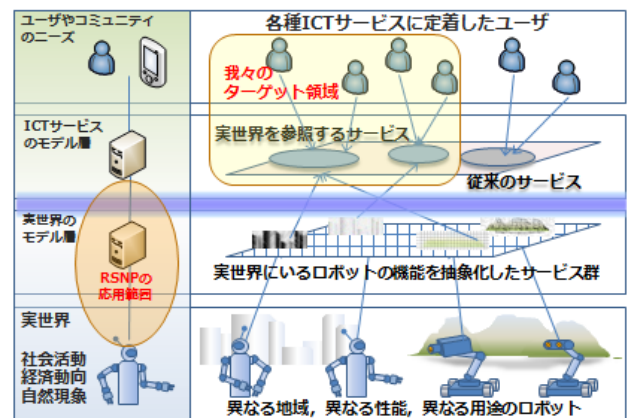


図 1 遠隔操作に関する概念モデル

Fig. 1 Conceptual model on remote control.

た [10][11]. この研究課題に取り組むにあたり, ロボットをインターネットクラウド上のリソースのひとつとみなし, 遠隔操作を ICT サービス化するために我々が定めた概念モデル図を 図 1 に示す. RSNP が実世界から抽出したデータを共通のインターフェースで既存の ICT サービスに渡すことが出来るため, 我々は, RSNP の応用域に接するユーザと ICT サービスの領域をターゲットに定めた. そのプロトタイプとして, 本稿ではロボットを遠隔操作し, バーチャルなキャンパスツアーを体験するサービス「Remote Open Campus System: ROCS」を提案する.

2. システムの概要

本システムは, 大学等構内に設置されたロボットをインターネット越しに遠隔操作し, 自らの自由な操作でキャンパスツアーを体験するシステムである. キャンパス内のロ

¹ 産業技術大学院大学
1-10-40 Higashi-Ohi, Shinagawa-Ku, Tokyo 101-0062, Japan
^{a)} a1134mt@aait.ac.jp

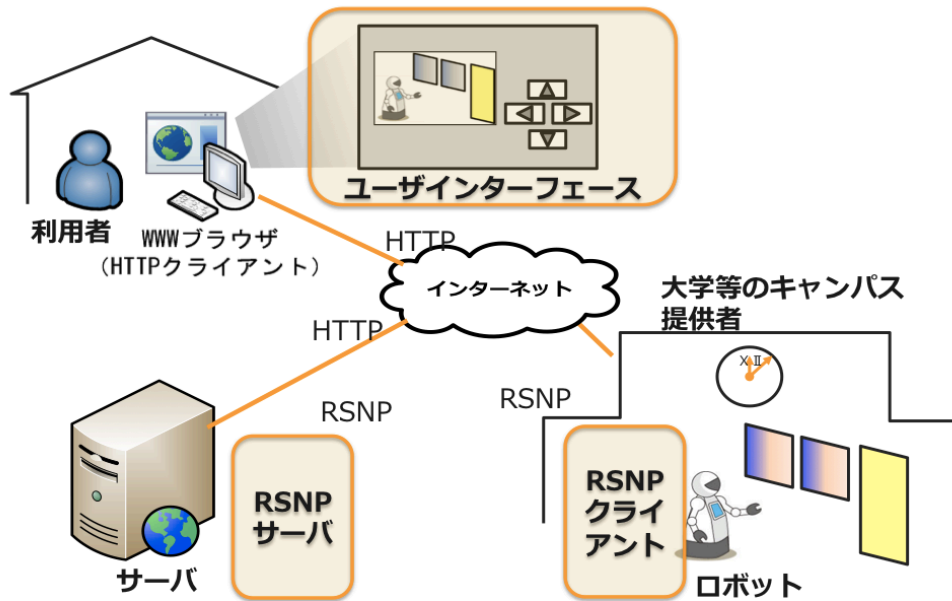


図 2 システムの構成

Fig. 2 System architecture of ROCS.

ロボットとサーバを RSNP で事前接続し、利用者が自宅など遠隔からブラウザでその状況を把握し、ロボットの操作を行う。システム構成図を図 2 示す。システムは、カメラを搭載したクライアント（ロボット）とサーバ（インターネット上の Web サーバ）および利用者端末（Web ブラウザ）で構成される。ROCS の構築にあたっては、下記 2 つの設計指針を策定した。

- サービス提供者毎の様々な環境に適用できるような汎用的なサービスであること
- ロボットの専門家ではなく、地理的な前提知識も持たないユーザでも、直感的な操作によってストレスなく操作可能であること

3. システムの設計

3.1 機能の概要

設計指針に基づき、実世界に存在するロボットがロボットサービスとして機能や操作を抽象化して ICT サービスに提供するために、ロールプレイングゲーム（以下 RPG）の知見を生かし、仮想世界へマッピングすることとした。RPG は、移動の仕方や探索対象の見せ方、場面遷移の仕方等に様々な特徴を持つが、今回は操作性の向上が期待できる部分に着目し、図 3 に示す表現技法を取り入れることとした。各キャンパスに実在するロボットの機種・性能が異なることや特殊な装置を用いず汎用性を高めることを考慮すると、現実世界のロボットの機能やインタラクションを高めるのではなく、仮想世界上でナビゲーション情報の充実を図ることが有効だと考えたためである。

ナビゲーション情報では各種機能により、操作者に対してロボット周辺の環境把握ができる視点や地図情報を提供



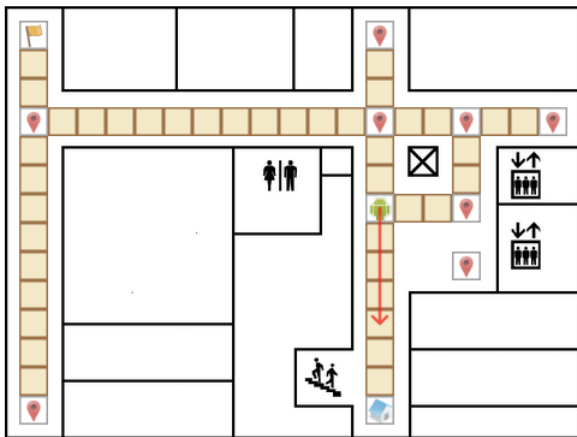
図 3 RPG 仮想世界の表現技法

Fig. 3 Expression methods on virtual world of RPG.

するとともに、各種センサから施設内を移動する上で参考となる案内情報を取得し、必要なタイミングでイベントを通知する。以下、各機能について説明する。

3.2 地図情報の提供

ROCS では、ロボットは地図上のマス目を双六のように進む。そのため、あらかじめ用意したフロアの二次元地図を元に、経路を直線エリアごとに区切り、その上で正方形のマス目ごとに分割する。ロボットの現在位置・姿勢をマス目に投影し、行き先として指定したマス目まで進み、それを直線の終点まで繰り返す。また、地図上のマス目は後述するイベントの起点としても機能する。一方で、ロボットを利用者に自由に操作させる場合、サービス提供者である主催者側にとっては、キャンパスツアーに解放しているエリア外へロボットが操作されてしまうリスクがある。そこでこの地図では、利用者が進路として指定できるマス目



目標までのライン数: 4本
検知できたライン数: 10本

図 4 ROCS の地図のイメージ

Fig. 4 An image of the map of ROCS.

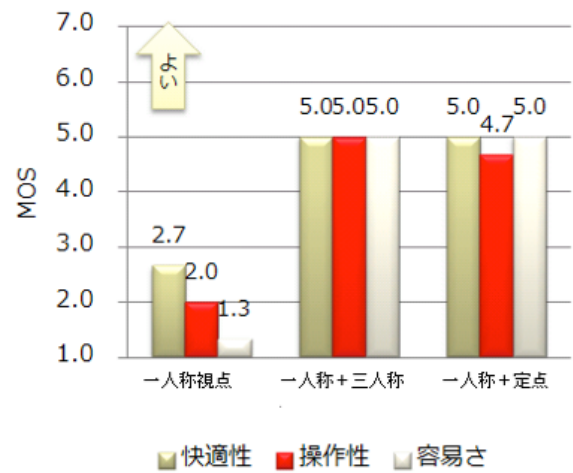


図 6 主観評価の結果

Fig. 6 An experimental result of subjective assessment.

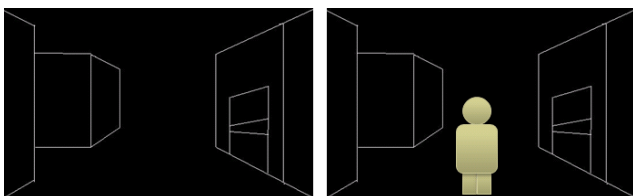


図 5 一人称視点 (左) と三人称視点 (右)

Fig. 5 An own view (left side) and a third party view (right side).

を制限することで、所定のエリアのみに利用者の移動経路を限定できるメリットをあわせ持っている。ROCS の地図のイメージ図を図 4 に示す。地図上でのロボット操作は、RPG において大陸横断のような拠点間移動をする際に用いられる表現であり、逐次操作の負担を軽減している。

3.3 三人称視点の提供

カメラ画像を見ながらロボットを操作する際には、RPG の洞窟内を探索するシーンなどで用いられる三人称視点のアバターを操作する (図 5 参照)。ロボットに搭載されたカメラセンサからの一人称視点では視点の一体感はあるものの、ロボット自身の体が見えず、ロボットの姿勢や壁との距離感がつかみづらいため、これから旋回する角度をアバターに投影し、実際の旋回移動を行う前にイメージを確認する。移動後の結果はカメラ映像でユーザが視認し、必要に応じてユーザ自身が補正移動を行う。前述の地図画像上でのロボット操作と区別するため、この移動を行うエリアにはマスを設けず、主に見学対象となる施設周辺のエリア散策に限定した移動方式とする。

視点の提供方式を決定するにあたっては、事前実験を行っている。カメラ画像の視点 (一人称視点, 三人称視点, 定点カメラ) の変化による操作性への影響に関する実験結果を図 6, 図 7 に示す。ここでは、ROCS のプロトタイプ



図 7 客観評価の結果

Fig. 7 An experimental results of objective evaluation.

システムを利用し、ROCS の操作に慣れた被験者 6 名 (成人男性 5 名, 女性 1 名) を対象に、快適性, 操作性, 容易さの 3 つの指標に対し 7 段階で評点を付けてもらった (主観評価)。同時に、決められたコースの走行時間およびコースアウトの回数を測定した (客観評価)。

実験結果から、定点カメラや三人称視点を加えることで、一人称視点よりも操作性が向上していることがわかる。ただし、三人称視点に比べ、定点カメラの結果では、接触回数が増加傾向にあり、被験者からカメラ設置位置によって死角が発生するとの指摘があったことから、操作性に何らかの悪影響があったことが推測される。また、この実験時の視点画像では、ロボットの足元付近の情報を取得することができず、コース際での操作には不安が残った。これについては他のセンサ (Laser Range Finder 等) の利用が有効な解決策であると思われる。

3.4 施設情報の提供

はじめてキャンパスを訪問するユーザにとって、当面の目的地を設定するための施設案内が必要となる。そのため簡易な施設情報をサイト上のコンテンツとして提供するこ



図 8 ROCS のメニュー画面
Fig. 8 The menu window of ROCS.

とした。

3.5 イベント情報の提供

走行経路上で発生するイベント情報をユーザに提供する。たとえば、エリアの到達状況などを RPG 風のメッセージダイアログとして提示することで、ユーザの状況把握を補助する。またその情報を、必要なタイミングで順番に通知することで、複数の判断や操作が必要となるケースにおいて、ユーザの操作の順序に制約を持たせる。

イベント通知のタイミングと内容としては、以下の 2 種類を提供することとした。

- ポイント地点の通過：到達エリア情報の提示
- 特定地点付近への到達：次操作の選択肢の提示

4. システムの実装

ROCS の有効性を検証するために、プロトタイプシステムを構築した。以下、その結果を述べる。なお、サーバ機能は学内のサーバ上に構築し、遠隔操作対象となるロボットとしては、富士通製のサービスロボット enon[12] を利用した。

4.1 ユーザインタフェース

ROCS のユーザインタフェースは Web ブラウザの画面として実現される。具体的には、メニュー画面とメイン画面の 2 つの画面が存在する。

4.1.1 メニュー画面

メニュー画面では、見学したいキャンパスおよび各キャンパスで利用可能なロボットを選ぶことができる。その後、ユーザ認証を行い、それぞれのキャンパス毎にユーザの管理を行う。メニュー画面のイメージを図 8 に示す。

4.1.2 メイン画面

メイン画面の GUI 部分は 4 分割されたフレーム構成とした。画面のイメージを図 9 に示す。



図 9 ROCS のメイン画面
Fig. 9 The main window of ROCS.

画面左上がカメラ画像に三人称視点のアバターを重ねて表示するエリアになり、その隣にロボットの旋回ができるダイヤル式のコントローラをつけることで細かい角度の調整を可能としている。画面左下が実世界から通知されたイベントを RPG 風の流れるメッセージとして表示するエリア、右上が地図表示エリアとなる。画面右下には、マップ上の施設概要の説明をつけた回転式のウィジェットを設け、フロア内施設の予備知識を得ることを可能としている。

4.2 イベントの検知

イベントの検知については、ロボットのカメラが経路上に設置された AR マーカを読み取る方式を採用した。具体的には、マーカから取得した ID を RSNP 経由でサーバへ渡し、DB と照合しメッセージコンテンツを表示する。DB サーバとの通信を極力減らすため、初回を除き、Web Storage と呼ばれる HTML5 規格のブラウザ内の DB を利用することとした。イベント検知のイメージを図 10 に示す。

4.3 位置推定の方式

位置推定の方法としては、実環境（キャンパス内）の床面に黒のラインを敷設し、このラインを地図上のマス目に対応させることで位置を決定することとした。ラインを何らかのセンサで検知し、実際に進んだ距離を把握するが、ここでは光センサを利用して検知を行うことにした（状況に応じ、他のマーカ・タグや自然特徴量を利用することも可能である）。なお、今回は前進のみでコースを進むこととし、後退は考慮していない。順方向の進行のみを許可すると、エリアが特定できればロボットの進むべき方向が決まり、姿勢を地図に投影することが出来るようになるためである。なお、この機能の検証のみ、前述の enon ではなく、LEGO MINDSTORMS を利用して行っている。

具体的な現在位置推定の流れは以下の通りである。

- (1) 直線入り口で AR マーカを読み取り、これから侵入するエリアのマス目の数を把握する

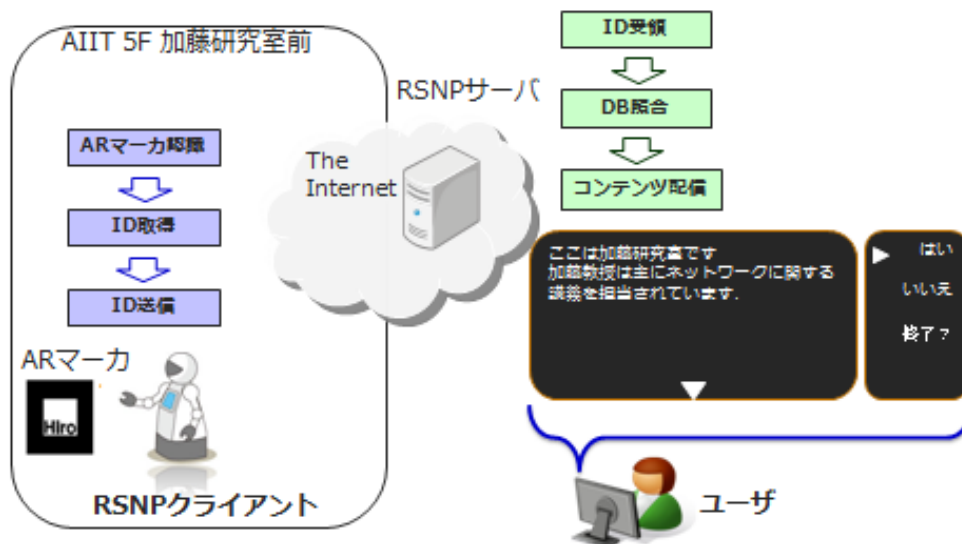


図 10 ROCS のイベント検知の流れ

Fig. 10 The event detection process of ROCS.

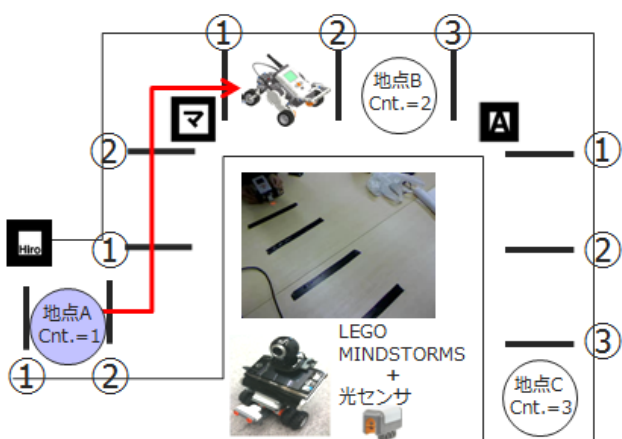


図 11 ROCS の位置推定の流れ

Fig. 11 The location estimation process of ROCS.

(2) エリア内においては、黒ラインの踏破回数によって進行状況を更新し、地図へ現在位置を反映する処理のイメージを図 11 に示す。

5. 評価

構築したプロトタイプシステムを利用し、ROCS の有効性を検証した。まず、設計指針の 1 つ目に挙げた「様々な環境に適用できるような汎用的なサービスであること」について、今回提案した手法と他の手法とを比較検討してみた。ロボットの遠隔操作においては、Wi-Fi など無線 LAN の電測情報から屋内位置を推定する手法や、固定カメラを複数台設置し外部のカメラから位置を特定する手法がよく利用される。これらの場合、設備設置のコストが課題となる。また、画像認識技術を用いて位置の推定を行う手法もよく採用されるが、画像 DB の事前準備が必要になること

や、精度の高い推定を行うためには演算コストがかかるという問題がある。これらに比較して、今回 ROCS で採用した紙の AR マーカと黒いテープを利用する方式は、コストがほとんどかからない上に、環境側の準備が容易であり、様々な環境に適用できるという指針を満たしていると言える。実際、我々がこれまで実験を行ってきた環境では、ブラウザ側の準備 (地図の作成等)、実世界上のマーカの敷設等を含め、半日かからない程度で準備が完了した。環境の撤去も非常に容易であり、オープンキャンパスのような一時的なイベントにも十分対応可能である。

設計指針の 2 つ目に挙げた「直感的な操作によってストレスなく操作可能であること」については、プロトタイプシステムを利用し、マップによるロボットの移動が操作者の快適性にもたらす影響について主観評価実験を行った。ここでは、地図が無い状態と、単なる見取り図としての静的な地図がある場合、ロボット操作の命令とその移動結果を動的に地図に投影する場合の 3 パターンを用意し、動かせたい方向にロボットを動かさせたか、およびチェックポイントや終点の位置を事前に予測できたかを被験者に 7 段階で評点を付けさせた。被験者は、ROCS の操作に慣れた 4 名の成人男性である。実験結果を図 12、図 13 に示す。

実験の結果から、ロボットをマップ上で操作し、その現在位置をマップに投影することにより、操作および予測が容易になることが確認できた。

一方、ロボットに搭載できるセンサには限りがあり、カメラの精度もロボットの種類により大きく異なる。Web カメラのような低性能なカメラを想定した場合、大雑把な風景以外、何が写っているかわからないため、人間が識別する立て看板のような文字を認識するためには相当に近寄ら

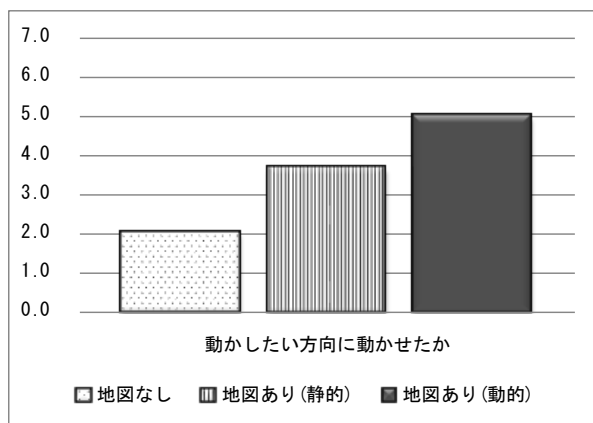


図 12 主観評価実験の結果 1

Fig. 12 An experimental result of subjective assessment (1).

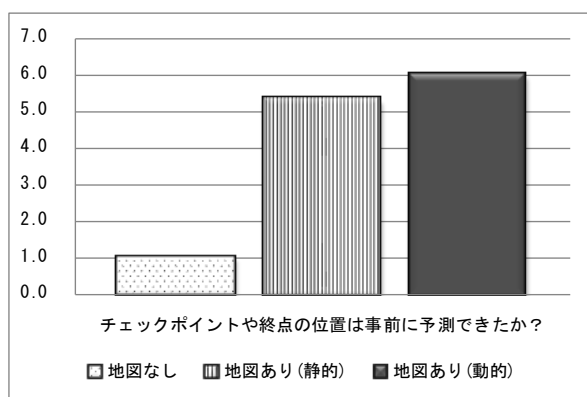


図 13 主観評価実験の結果 2

Fig. 13 An experimental result of subjective assessment (2).

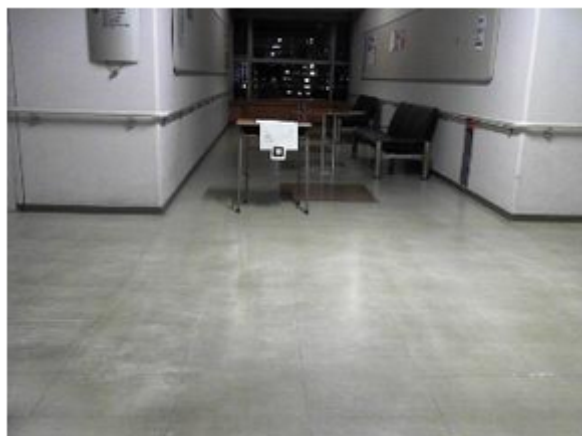


図 14 Web カメラによる文字の認識

Fig. 14 Character recognition using a Web camera.

ないと認識できず、また、そのような操作は非常にストレスとなる (図 14 参照)。そのため、マークで検知した地点情報を文字として伝えることはロボットから得られる視覚情報を人間が必要とするレベルへ補完するための有力な助けになると考えられる。

6. おわりに

RPG の知見を生かしたロボット遠隔操作サービスの提案について、我々は以下のアプローチで一定の効果を上げることが出来た。

- マップとマーカによる操作性の向上
- 簡易な位置推定手法による多様な環境への適用

今後、ネットワークの中断・電源喪失等トラブル発生時の自動回復機能の検討や、キャリブレーション等の環境に合わせた設定変更を不要とする、さらなる汎用性・利便性の追求を行っていく予定である。

謝辞 本研究を進めるにあたり、(株) 富士通研究所の神田真司様、岡林桂樹様、村川賀彦様から貴重なご意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Ando, N., Suehiro, T., Kitagaki, K., Kotoku, T. and Yoon, W.: RT-Middleware: Distributed Component Middleware for RT (Robot Technology), *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2005 (IROS 2005)*, pp. 3933-3938 (2005).
- [2] Quigley, M., Conley, K. and Gerkey, B.: ROS: an open-source Robot Operating System, *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Workshop on Open Source Robotics 2009* (2009).
- [3] Kuffner, J.: What's Next: Cloud Enabled Humanoids?, *10th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2010) Workshop* (2010).
- [4] Arumugam, R., Enti, R., Bingbing, L., Xiaojun, W., Baskaran, K., King, F., Kumar, A., Meng, K. and KitVikas, G.: DAVinCi: A Cloud Computing Framework for Service Robots, *IEEE International Conference on Robotics 2010* (2010).
- [5] 横小路泰義: テレロボティクスフロンティア, 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 6, pp. 562-564 (2012).
- [6] Tachi, S.: *Telexistence*, World Scientific Publishing Company (2009).
- [7] RSi Robot Service initiative: <http://robotsservices.org/>.
- [8] 成田雅彦, 村川賀彦, 植木美和, 中本啓之, 平野線治, 蔵田英之, 加藤由花: 普及期のロボットサービス基盤を目指す RSNP (Robot Service Network Protocol) 2.0 の開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 8, pp. 857-867 (2009).
- [9] 成田雅彦, 村川賀彦, 植木美和, 岡林桂樹, 秋口忠三, 日浦亮太, 蔵田英之, 加藤由花: インターネットを活用したロボットサービスの実現と開発を支援する RSi (Robot Service Initiative) の取り組み, 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 7, pp. 829-840 (2010).
- [10] Nakagawa, S., Ohtama, N., Sakaguchi, K., Nakayama, H., Igarashi, N., Tsunoda, R., Shimizu, S., Narita, M. and Kato, Y.: A Distributed Service Framework for Integrating Robots with Internet Services, *the 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2012)*, pp. 31-37 (2012).
- [11] 齊藤由香利, 五十嵐登, 大山直人, 阪口和明, 角田龍太, 中川幸子, 中山央士, 清水将吾, 成田雅彦, 加藤由花:

クラウドロボティクスのためのタスク分散フレームワーク, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会, DPS150, pp. 1-6 (2012).

- [12] 富士通サービスロボット enon :
<http://www.frontech.fujitsu.com/services/products/robot/servicerobot/>.