ROS-TMS ver. 4.0
— 情報構造化環境のためのオペレーティングシステム —

ピョ ユンソク [*1]，渡邊 裕太 [*1]，重兼 聡夫 [*1]，稲田 大亮 [*1]，辻 徳生 [*2]，
河村 晃宏 [*2]，倉爪 亮 [*2]

ROS-TMS ver. 4.0
— Operating System for Informationally Structured Environment —

Pyo Yoonseok[*1], Yuta Watanabe[*1], Akio Shigekane[*1], Daisuke Inada[*1],
Tokuo Tsuji[*2], Akihiro Kawamura[*2], and Ryo Kurazume[*2]

[*1] Graduate School of Information Science and Electrical Engineering Kyushu University
744, Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395, Japan
[*2] Faculty of Information Science and Electrical Engineering Kyushu University
744, Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395, Japan

This paper presents the management system for an informationally structured environment named ROS-TMS (Town Management System). The ROS-TMS consists of more than 150 modules including sensor drivers, robot controllers, task managers, user interfaces, and databases. All the modules are connected with the ROS network and thus this system has high modularity and flexibility. In addition, owing to the characteristics of the ROS, a plenty of resources of ROS developed in the world can be utilized. In this paper, we introduce a new informationally structured environment called Big Sensor Box in which the ROS-TMS is implemented.

Key Words : Informationally structured environment, Service robot, Cyber physical system, ROS

1. 緒　　言

ヒトと共生するサービスロボットを近い将来に実現する一手法として，ロボットを単体で知能化するだけではなく，ロボット周囲の環境を「知能化」する，いわゆる環境情報構造化（空間知能化）が提唱されている．これはロボットが作業を行う空間に様々なセンサを配置し，空間内のモノやヒト，ロボットの位置や状態を逐次収集，蓄積，提供することで，ロボットをより導入しやすい日常生活環境を構築するものである．環境情報構造化は，東京大学のロボティックルーム [1] やインテリジェント・スペース [2]，MIT MediaLab のスマートルーム [3]，AILab のインテリジェントルーム [4]，Gerogia Tech. の Aware Home [5]，早稲田大学の Wabot House [6] など，多くの研究例があり，現在でも精力的に研究が進められている [7–9].

著者らも 2005 年より街レベルでの情報構造化環境の構築を目指すロボットタウンプロジェクトを開始し，そのソフトウエア基盤として，タウンマネジメントシステム (Town Management System, TMS) を開発してきた．さらに近年では，TMS と汎用ロボットミドルウエアである ROS を融合した，ROS-TMS の開発を行っている．

環境に配置された多数のセンサにより，環境の情報を取得して状況を理解し，システムの動作を人の行動に適応させるアプローチは，アンビエントインテリジェンス [10] とも呼ばれる．著者らの研究も，アンビエントインテリジェンスやスマートホーム [11, 12]，また近年ではあらゆるものをネットワーク化する IoT (Internet of Things) [13] や，仮想化空間と実空間を連携することで実世界の諸問題を解決する CPS (Cyber Physical System) とも関連が深いが，ロボットと結びつけた生活支援サービスの実現により重点が置かれている点が特徴である．さらに，個々のセンサシステムやサービスロボットではなく，それらを統合して管理するマネジメントシステムの開発が最も重要なテーマであり，柔軟性・拡張性に優れたマネジメントシステムとして，ROS-TMS の開発をしている点が他の研究と異なる．

本稿では，これまでに著者らが開発してきた ROS-TMS を紹介するとともに，新たな ROS-TMS 技術の実

[*1] 九州大学大学院システム情報科学府（〒 819-0395 福岡市西区元岡 744）{pyo, watanabe, sakamoto}@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp
[*2] 九州大学大学院システム情報科学研究院（〒 819-0395 福岡市西区元岡 744）{tsuji, kawamura, kurazume}@ait.kyushu-u.ac.jp

証実験施設として開発中の，環境情報構造化プラットホーム，ビッグセンサボックス (Big Sensor Box, B-sen) を紹介する．

2. ROS-TMS の概要

ROS-TMS [14] とは，環境情報構造化空間において様々なセンサや多様なロボットを柔軟に統合し制御するソフトウエアパッケージであり，2015 年 9 月には最新バージョン ROS-TMS 4.0 を公開した [15]．この ROS-TMS には，レーザや IC カードリーダなどのセンサ処理モジュールや，ロボットの動作プラニングモジュール，タスクスケジューラ，GUI モジュールなど，150 以上の環境情報構造化モジュールが含まれている．

ROS を使用して多種多様なセンサや処理プロセスをモジュール化することにより，処理モジュールの再利用性が高まり，効率的なシステム開発が実現できる．また，一連の処理をステップ毎に細かく分割し，モジュール化することにより，センサ情報の取得から加工，利用，保存などの処理の組み合わせを柔軟に変更できる．新しいセンサや処理プロセスも，ROS のノードとして追加すればよいため，一部の処理の追加，変更によるシステム全体への影響も少なくて済む．加えて，世界中で公開されている多くの処理パッケージをそのまま利用することができ，必要な機能に絞った効率的なアプリケーション開発が可能となる．

Fig. 1 は，室内におけるセンサ群とノード群の構成例である．圧力センサとタグリーダは，冷蔵庫や収納庫などに設置され，内部の物品の位置と種類の情報を取得し，その情報をデータ保存用ノードを通してデータベースに保存する．レーザレンジファインダは床面上に設置され，その出力を追跡ノードに与えることにより，ロボットや人，物品の移動を推定する．9 軸加速度・角加速度・地磁気センサは，ワゴンや車椅子などの移動する家具に取り付けて，レーザレンジファインダの情報と統合し，それらの位置を計測する．RGB-D カメラ（Kinect）は，移動ロボットに取り付けられており，物体の識別と位置計測に利用する．ロボットは，プランニングノードにより計画された動作を実行し，ユーザにサービスを提供する．

3. ROS-TMS の詳細

Fig. 1 のノード群を，機能ごとに分類，整理したものを Fig. 2 に示す．それぞれのノード群を以降ではモジュールと呼ぶ．User Request(TMS_UR), Sensor Driver(TMS_SD), Robot Controller(TMS_RC) の各モジュールは人，センサ，ロボットと TMS のインターフェースであり，これらを通してそれぞれ情報をやり取

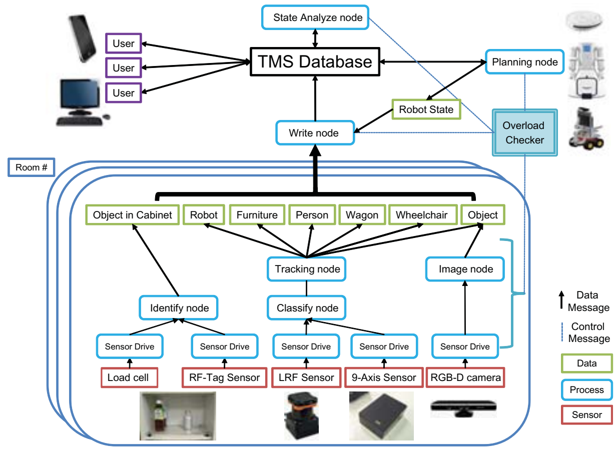


Fig. 1 Processing nodes of TMS

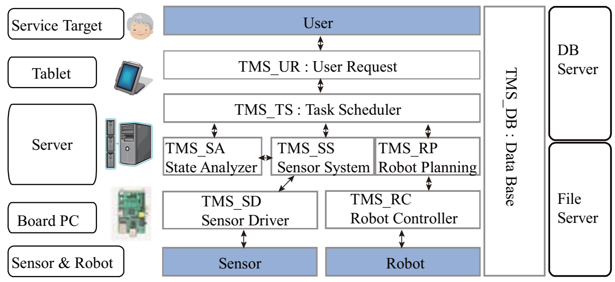


Fig. 2 ROS_TMS architecture

りする．タスクスケジューラ (TMS_TS) モジュールは，TMS_UR から得られたユーザからのタスク要請に基づき，データベース（TMS_DB) モジュールからタスクを実現するためのサブタスク列の情報を読み取り，サブタスクの実行スケジュールを計画する．さらにロボットプランナ (TMS_RP) モジュールは，計画されたサブタスク列の実行を管理し，適切なタイミングでサブタスクの実行命令をロボットコントローラ (TMS_RC) モジュールに送る．Sensor System(TMS_SS) モジュールはセンサデータを統合し，意味情報などの高次の情報を出力する．

このような階層的なモジュール構成は，他の多くのロボット制御アーキテクチャ[16–20] でも見られる．例えば，Fong ら [19] は，人間と共同作業するロボットのためのミドルウエアとして，“Human-Robot Interaction Operating System”(HRI/OS). を提案しており，その中にも同様のモジュール構造を見ることができる．提案する ROS-TMS は，このモジュール構成を全て ROS ノードで構築しており，拡張性，柔軟性に優れている点が特徴である．

ROS-TMS を構成する各モジュールについて，以下でより詳しく説明する．

3·1 Data Base (TMS_DB) TMS_DB は，データベース本体と，情報の書き込みを行う DB_Writer，情

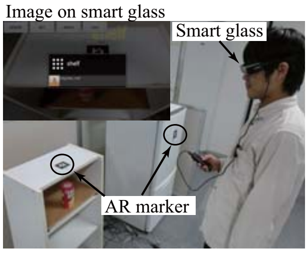


Fig. 3　Object recommendation by smart glass

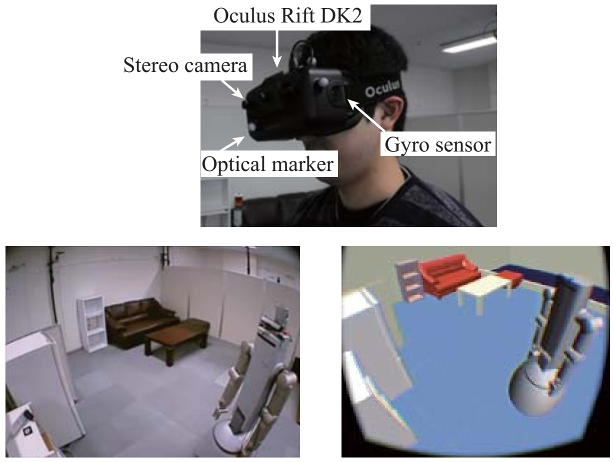
報の読み出しを行う DB_Reader から構成される．データベース本体の実装には mongodb を用いており，以下の種類の情報が格納される．

- ロボットの形状や外観などの情報
- 環境埋込センサに関する情報
- 地図などの静的な環境情報
- 計測された移動体位置などの動的な環境情報
- ロボットのタスクや，それを分割したサブタスクの情報

3·2　User Request (TMS_UR)　　TMS_UR は，スマートフォン，タブレットなどの端末からユーザからのタスク要請を受け取り，TMS_TS に送信する．また，データベースの登録内容の提示や，ユーザへの仮想空間の提示なども行う．Fig. 3 にスマートグラスを用いたユーザインターフェースの例を示す．このシステムは，スマートグラスのカメラにより家具を識別し，データベースに登録された家具内の物品を提示するものである．すなわち，ユーザは家具の扉を開けることなく，内部の物品を把握することができる．また Fig. 4 は没入感ディスプレイを用いた仮想現実感インターフェースであり，仮想化空間と実空間をシームレスに体感できる．Fig. 5 は，車いすロボットの呼び寄せや移動指示に用いる GUI 画面である．

3·3　Task Scheduler (TMS_TS)　　タスクスケジューラモジュール (TMS_TS) は，ユーザリクエスト (TMS_UR) から送信された要求（タスク）を受け付け，必要な情報をデータベース (TMS_DB) と連携して補充しながら要求を解析，ロボットの動作コマンドを発行して作業を実行する機能を持つ [21]．タスク実行の流れを Fig. 6 に示す．

データベースには，作業情報構造化 [22] [23] の概念に基づき，様々なタスクを分割した様々なサブタスクと，特定のタスクを実行するためのサブタスクの組み合わせ情報が登録されている．TMS_TS は，要請されたタスクに基づき，データベースから必要なサブタスク列を取得する．まず，ユーザからタスクが要請されたとき（①），そのタスクがどのようなサブタスクの集合からなるかをデータベースに問い合わせる（②，



Camera image　　VR image on Oculus Rift DK2

Fig. 4　Immersive display device consisting of Oculus Rift DK2, Ovrvision, and Vicon tracker

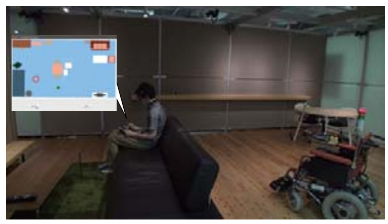


Fig. 5　GUI for wheel chair robot

③）．次に，得られたサブタスクの集合を解釈して，タスク実行マシン（SMASH) への入力となるスクリプトを発行する（④）．そして，スクリプトに記述された順序・並列度に従って，各サブタスクをスレッドで実行させる（⑤）．タスクスケジューラから実行命令が出されたサブタスクは，ロボットプランニングモジュール (TMS_RP) において，与えられた抽象的な情報をデータベースと連携しながら具体的な数値データに変換し，指定されたロボットを動かすためにロボットコントローラモジュール (TMS_RC) にコマンドを送信する（⑥）．

各サブタスクはスレッドで起動されるので，タスクスケジューラでは，現在実行中のスレッド数と終了したスレッド数の整合性をとる必要がある．そこで，各サブタスクは，サブタスクの正常な終了通知や，ロボットプランニング，ロボットコントローラレベルでエラーが発生した場合のタスクの異常終了通知などを実行タイミング制御ノードに送信する（⑦）．全てのサブタスクが正常終了すると，要求されたタスクの完了を通知する（⑧）．

このように，タスクをサブタスクの組に分解し，異なるタスクで同じサブタスクを用いることで，プログラムの再利用性を高めることができる．さらに，すべてのロボットに共通する部分（TMS_TS) と，ロボット

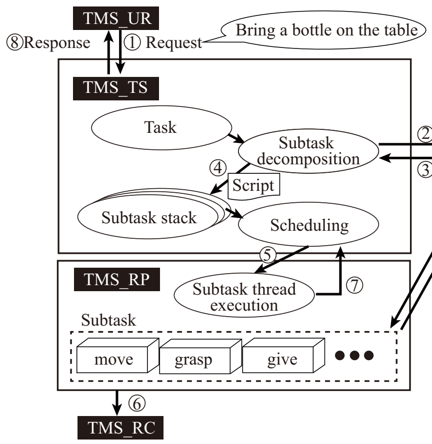


Fig. 6　Architecture of TMS_TS

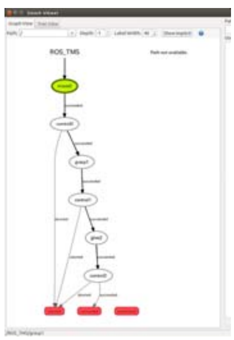


Fig. 7　Hierarchical automaton planned by SMACH

に固有の部分 (TMS_RP，TMS_RC) を分離することで，ロボットが変わっても同じ要求に対して同様のタスクが実行できる．

サブタスクの実行管理には，タスク実行マシン SMACH [24] を用いる．SMACH は，Python ライブラリとして提供されており，Fig. 7 のようなタスクレベルのロボット作業を記述・実行するための階層型オートマトンを生成できる．本システムでは，1 つの状態を 1 つのサブタスクに割り当て，サブタスクを直列または並列に接続した状態遷移図でタスクを表現する．

3·4　Sensor Driver (TMS_SD)　LRF, RGB-D カメラ，RFID タグ，ロードセル，Vicon モーションラッカ，9 軸加速度，角加速度，地磁気センサ，要介護者に装着した心拍センサや脳波センサなどのセンサを起動し，センサデータを取得する．取得されたセンサデータは，上位の TMS_SS に送られ，解析される．

3·5　Sensor System(TMS_SS)　TMS_SD から取得したセンサデータを，より高次の情報へ変換する．例えば，LRF を用いた床上物体の検出や人の行動推定，複数の RGB-D カメラを用いた人物の動作推定，RFID タグリーダとロードセルを用いた知的収納庫の物品検出などである．Fig. 8 に，RFID タグやロードセルを利用した知的収納庫，知的冷蔵庫を，Fig. 9 に知的収納庫による物品検出の例を示す．

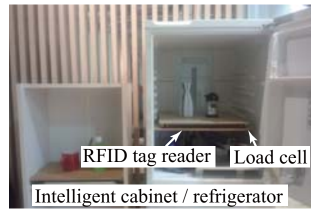


Fig. 8　Intelligent cabinet and intelligent refrigerator

Fig. 9　Registration to ROS-TMS using intelligent cabinet

3·6　State Analyzer (TMS_SA)　室内の特定状況の検出と，生じた状態の推定を行うためのモジュールである．TMS_SS から得られた室内のデータは，物の位置や人の位置などの情報であり，それらを人の行動などの意味情報に変換し，ロボットサービスの実行依頼として TMS_TS に送信する．例えば，人が手で持って移動，放置した物品の探索では，あらかじめ人が物品を収納庫から取り出したことを検出し，人が部屋から退出するまでの歩行軌跡を取得する．その滞在時間から，物品が放置された可能性が高い固定家具を推定し，固定家具の ID と物品探索サービスの実行依頼を TMS_TS に送信する．その他にも，転倒した人の検出や状態確認のためのロボットの派遣なども実装されている．

3·7　Robot Planning (TMS_RP)　TMS_TS から指令されたサブタスクに対し，ロボットの種類を考慮してサブタスクを遂行するのための動作計画を行うモジュールである．例えばロボットの移動であれば，障害物を避けながら目的地まで移動する安全な経路を計画し，TMS_RC に経由点を送信する．

3·8　Robot Controller (TMS_RC)　TMS_RP で計画されたサブタスクを，実際にロボットで実行するモジュールである．ロボットの移動であれば，TMS_RP から送られた目標点に到達するように，ロボットの前進・回転などの動作を計画し，実行する．ロボットアームによる物体把持動作であれば，指定された目標物体に指定方向からアプローチし，把持を行う．

4. Big Sensor Box (B-Sen)

これまでに説明した ROS-TMS の実証実験施設として，新たに屋内空間 CPS プラットフォーム「Big Sensor Box (B-sen)」を構築した．B-sen は，Fig. 10 に示すよ

Fig. 10　Big Sensor Box (B-Sen)

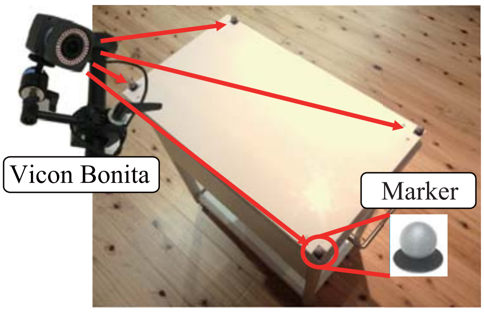


Fig. 11　Optical tracking system (Vicon Bonita) and pose measurement of a wagon

うに，寝室や居間を備えた 2LDK のマンションタイプの居住空間である．

本プラットホームには，様々なセンサやロボット，家電，家具が配置されている．代表的なものを以下に示す．

4·1　光学式モーショントラッキングシステム　本プラットホームには，光学式トラッキングシステム（Bonita, Vicon Motion Systems）が，合計 18 台備え付けられている．これは複数の赤外線 LED ライトと赤外線カメラを用いて，反射マーカの 3 次元位置を数ミリ精度で計測するものである．Fig. 11 に反射マーカーが取り付けられたワゴンを示す．このように反射マーカを移動家具やロボットに取り付けることにより，本プラットホーム内におけるそれぞれの 3 次元位置，姿勢情報を極めて高精度で取得できる．

4·2　知的冷蔵庫　プラットフォーム内に設置された冷蔵庫には，ロードセルと RFID リーダが取り付けられ，格納された物品の種別，位置を計測できる．知的冷蔵庫は，これに加えてドアの開閉を自動で行うためのアクチュエータが取り付けられ，ROS-TMS からの指示でドアを開け閉めできる．またこれらの家具には，Fig. 3 に示すように AR マーカが貼られており，3·2 節で紹介したように，スマートフォンやスマートグラスのカメラで撮影することで，ドアを開けることなく内容物が確認できる．Fig.12 は，スマートフォンを用いて ROS-TMS にアクセスし，知的冷蔵庫内の登録物品を確認している様子である．

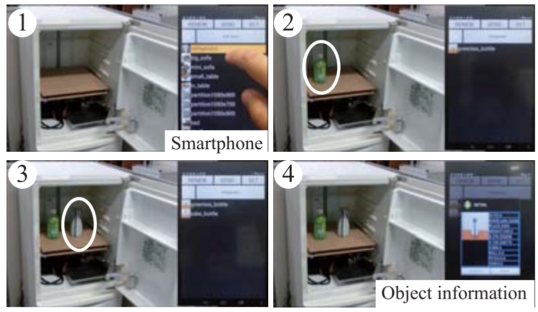


Fig. 12　Registration of objects in intelligent refrigerator

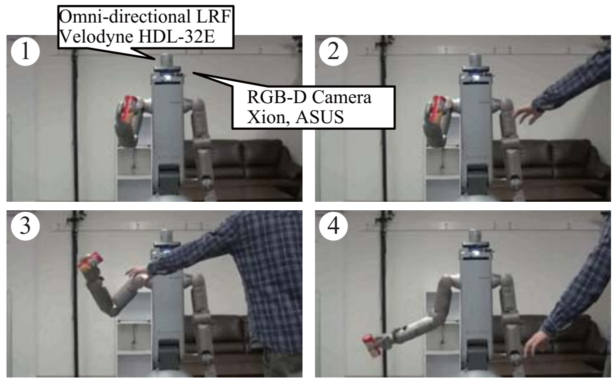


Fig. 13　Humanoid-type service robot (SmartPal V, Yaskawa Electric Corporation) and collision avoidance experiment using Velodyne HDL-32e

4·3　ヒューマノイド型サービスロボット　ROS-TMS により制御されるヒューマノイド型サービスロボット（SmartPal V, 安川電機）により，物品取り寄せなどのサービスを提供する．Fig. 13 に示すように，ヒューマノイド型サービスロボットの上部には，全方向レーザスキャナ（Velodyne HDL-32E）と，RGB-D カメラ（Xion, ASUS）が搭載されている．これらのセンサにより計測された障害物上の点群から，アームに対し仮想的な斥力を発生させ，アームを障害物から退避させる．このように物体形状を復元せずに直接点群を用いることにより，実時間での回避動作を生成をしている [25].

4·4　シミュレーション環境　シミュレーション環境として，産業技術総合研究所で開発された Choreonoid，ROS の標準可視化ツール RViz，および動力学シミュレータ Gazebo が利用可能である．Fig. 14 に Choreonoid によるシミュレーション画像の例を，Fig. 15 に取り寄せタスクを実行したときの Choreonoid の画面を示す．また，Fig. 16 に可視化ツール RViz，動力学シミュレータ Gazebo で作成した B-sen 環境の例

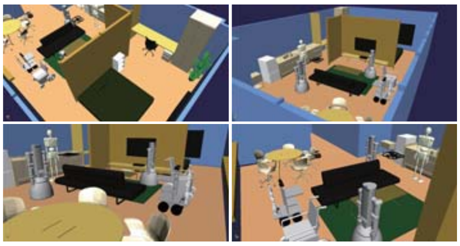


Fig. 14　3D model of the environment (Choreonoid)

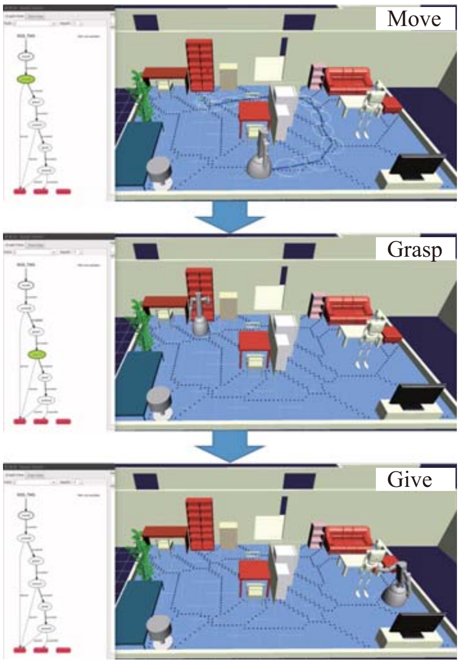


Fig. 15　Fetch and carry task by service robot (Simulation)

を，Fig. 17 に Gazebo を用いた物体把持シミュレーションの例を示す．

5. ROS-TMS を用いたサービス実験

5·1 ヒューマノイド型ロボットによる物品取り寄せサービス実験　開発した ROS-TMS を用いたサービス実験の例として，人から要求された物品を，別の場所まで取りに行き，把持して手渡す「物品取り寄せタスク」を実行した例を紹介する．想定するサービスシナリオは，室内の任意の場所にいるロボットに，室内の別の場所にある物品の取り寄せを指示することにより，ROS-TMS が必要な行動を計画し，実行するものである．

TMS_UR を通して受け取ったタスク指令に対し，TMS_TS はタスクを移動（Move, Fig. 15 上），把持（Grasp, Fig. 15 中），手渡し（Give, Fig. 15 下）のサブタスクに分解する．各サブタスクは，Fig. 15 の左の SMACH の画面のように，順々に TMS_RP に送られる．TMS_RP では，受けとったサブタスクの実行命令から，TMS_DB に記録されている物品の位置（棚の中），棚の位置，ロボットの現在位置，ヒトの位置などを用いて，移動目標軌道などの具体的な動作指令を生成し，TMS_RC に送信する．TMS_RC は，指示された動作指令をロボット毎に異なる具体的な制御命令に変えて実行する．

Fig. 16　3D model of the environment (RViz and Gazebo)

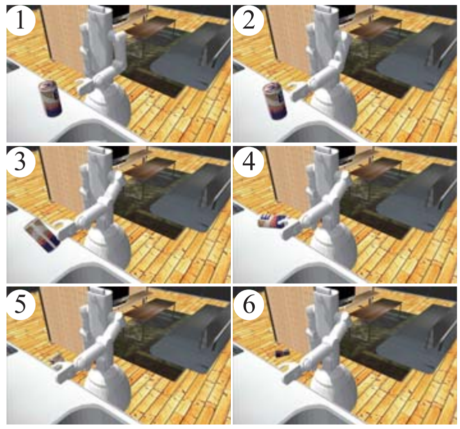


Fig. 17　Example of dynamics simulation using Gazebo

物品取り寄せタスクに対して行ったシミュレーションを Fig. 15 に示す．右は計画された動作であり，右の床面の点線は，TMS_RP により計画された移動目標起動を示している．これは環境や障害物の位置から最も離れた線（Voronoi 境界）であり，ロボットはこの Voronoi 境界上を安全に移動する．また Fig. 18 は，計画されたサービス動作を，実際にサービスロボット SmartPAL V およびマニピュレータ搭載掃除ロボット KXP により行っている様子である．

5·2 車椅子ロボットを用いたサービス実験　居住者が車椅子ロボットに乗り，ソファから円卓まで移動し，ペットボトルを取り，ベッドへ移動するシナリ

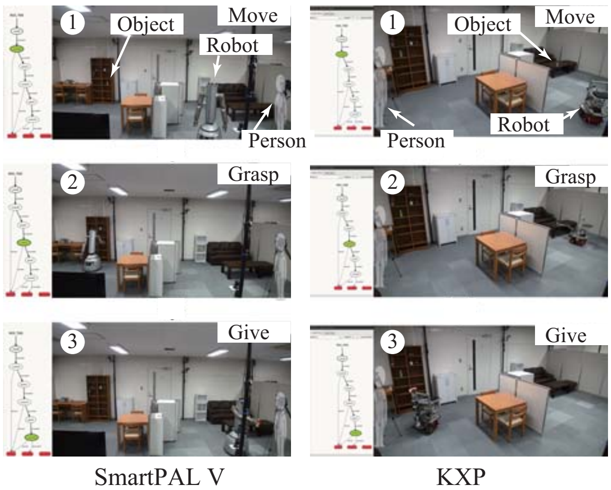


Fig. 18　Fetch and carry task by service robot (SmartPAL V and KXP)

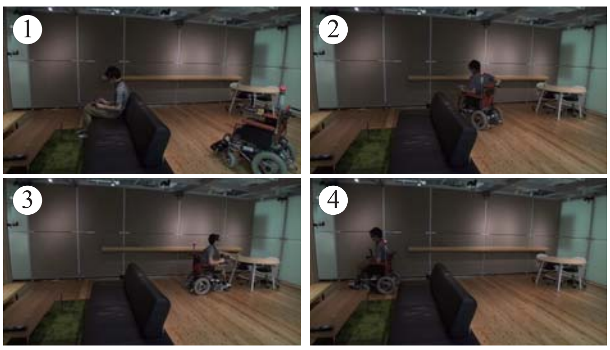


Fig. 19　Service experiment by wheel-chair robot

オに対して実験を行った．具体的には以下のシーケンスからなる．

1. 手元のタブレット PC を用いて自動操縦でソファまで車椅子ロボットを呼ぶ
2. 車いすに移乗
3. ジョイスティックを用いた手動操縦で円卓まで移動
4. ペットボトルを取った後，タブレット PC を用いて自動操縦でベッドへ移動

Fig. 19 に車椅子ロボットの動作を，Fig. 20 にタブレットで入力した車椅子ロボットの目標位置を示す．また，Fig. 21 に生体センサにより計測された搭乗者の心拍 (hr)，脳波センサから取得した瞑想度 (med)，集中度 (att) を Choreonoid に表示している様子を示す．これより，移動中に搭乗者の生体情報を計測し，ROS-TMS に逐次格納しながら，自動，手動による搬送サービスが実行できることが確認された．

6. 結　　言

本稿では，これまでに著者らが開発してきた ROS-TMS について説明した．また新たに構築した ROS-TMS 技術の実証実験施設として，現在開発中の環境情報構造化プラットホーム・ビッグセンサボックス (Big Sensor Box, B-sen) を紹介した．

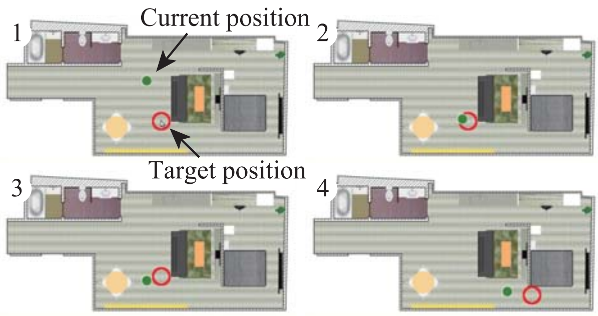


Fig. 20　GUI images for service experiment

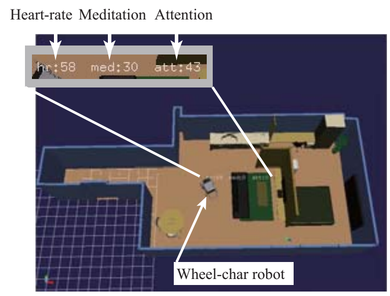


Fig. 21　Vital data displayed on Choreonoid

謝　　辞

本研究は，国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果展開事業センター・オブ・イノベーション（COI）プログラムにより，助成を受けたものである．

参 考 文 献

(1) Tomomasa Sato, Yoshifumi Nishida, and Hiroshi Mizoguchi. Robotic room: Symbiosis with human through behavior media. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 18, No. 1-2, pp. 185 – 194, 1996.

(2) Joo-Ho Lee, Noriaki Ando, and H. Hashimoto. Design policy of intelligent space. In *Systems, Man, and Cybernetics, 1999. IEEE SMC '99 Conference Proceedings. 1999 IEEE International Conference on*, Vol. 3, pp. 1077–1082 vol.3, 1999.

(3) Alex P Pentland. Smart rooms. *Scientific American*, Vol. 274, No. 4, pp. 54–62, 1996.

(4) R. A. Brooks. The intelligent room project. In *Proceedings of the 2Nd International Conference on Cognitive Technology (CT '97)*, CT '97, pp. 271–, Washington, DC, USA, 1997. IEEE Computer Society.

(5) Julie A. Kientz, Shwetak N. Patel, Brian Jones, Ed Price, Elizabeth D. Mynatt, and Gregory D. Abowd. The georgia tech aware home. In *CHI '08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '08, pp. 3675–3680, New York, NY, USA, 2008. ACM.

(6) S. Sugano and Y. Shirai. Robot design and environment design - waseda robot-house project. In *SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference*, pp. I–31–I–34, Oct 2006.

(7) Kwang-Hyun Park, Zeungnam Bien, Ju-Jang Lee, Byung Kook Kim, Jong-Tae Lim, Jin-Oh Kim, Heyoung Lee, Dimitar H Stefanov, Dae-Jin Kim, Jin-Woo Jung, et al. Robotic smart house to assist people with movement disabilities. *Autonomous Robots*, Vol. 22, No. 2, pp. 183–198, 2007.

(8) H. Gross, Ch. Schroeter, S. Mueller, M. Volkhardt, E. Einhorn, A. Bley, Ch. Martin, T. Langner, and M. Merten. I'll keep an eye on you: Home robot companion for elderly people with cognitive impairment. In *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 2481–2488, 2011.

(9) M. Tenorth, A.C. Perzylo, R. Lafrenz, and M. Beetz. The roboearth language: Representing and exchanging knowledge about actions, objects, and environments. In *IEEE International Conference on on Robotics and Automation*, pp. 1284–1289, 2012.

(10) Emile Aarts and Reiner Wichert. *Ambient intelligence*. Springer, 2009.

(11) Marie Chan, Daniel Esteve, Christophe Escriba, and Eric Campo. A review of smart homes -present state and future challenges. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 91, No. 1, pp. 55 – 81, 2008.

(12) D.H. Stefanov, Zeungnam Bien, and Won-Chul Bang. The smart house for older persons and persons with physical disabilities: structure, technology arrangements, and perspectives. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, Vol. 12, No. 2, pp. 228–250, June 2004.

(13) Kevin Ashton. That 'internet of things' thing. *RFiD Journal*, Vol. 22, No. 7, pp. 97–114, 2009.

(14) ピョユンソク, 辻徳生, 橋口優香, 永田晃洋, 中島洸平, 倉爪亮, 長谷川勉, 諸岡健一. 情報構造化アーキテクチャの提案とサービスロボットのオンライン動作計画の実現. 第 19 回ロボティクスシンポジア, pp. 624–630, 2014.

(15) `https://github.com/irvs/ros_tms/wiki/`.

(16) Reid G Simmons. Structured control for autonomous robots. *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, Vol. 10, No. 1, pp. 34–43, 1994.

(17) Reid Simmons, Richard Goodwin, Karen Zita Haigh, Sven Koenig, and Joseph O'Sullivan. A layered architecture for office delivery robots. In *Proceedings of the first international conference on Autonomous agents*, pp. 245–252. ACM, 1997.

(18) Rachid Alami, Raja Chatila, Sara Fleury, Malik Ghallab, and Félix Ingrand. An architecture for autonomy. *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 17, No. 4, pp. 315–337, 1998.

(19) Terrence Fong, Clayton Kunz, Laura M Hiatt, and Magda Bugajska. The human-robot interaction operating system. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction*, pp. 41–48. ACM, 2006.

(20) Jong-Hwan Kim, In-Bae Jeong, In-Won Park, and Kang-Hee Lee. Multi-layer architecture of ubiquitous robot system for integrated services. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 1, No. 1, pp. 19–28, 2009.

(21) 橋口優香, ピョユンソク, 辻徳生, 諸岡健一, 倉爪亮. 環境情報構造化プラットフォーム ros-tms におけるタスク管理機構. 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, pp. 1A1–N01, 2015.

(22) 吉見卓, 香月理絵, 大賀淳一郎. 環境・作業情報構造化を 利用したロボット作業技術. 東芝レビュー, Vol. 64, No. 1, pp. 14–18, 2009.

(23) 香月理絵, 西山学, 大賀淳一郎, 吉見卓, 菅原淳, 中本秀一. 異機種ロボット間のプログラム共通化を目指したソフトウェア構造-実装方法と東芝の双腕自律移動ロボットでの検証-. 第 9 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 1L2–4, pp.471–472, 2008.

(24) Jonathan Bohren and Steve Cousins. The smach high-level executive [ros news]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 4, No. 17, pp. 18–20, 2010.

(25) 稲田大亮, 辻徳生, 倉爪亮, 諸岡健一. 高速 3 次元距離センサによる計測点群とのリアルタイム干渉判定に基づくオンライン回避動作の生成. 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 2B2–05, 2015.