

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「ロボットタウンの実証的研究」成果の概要

研究代表者 九州大学 長谷川 勉

## 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による平成 17 年度採択プロジェクト「ロボットタウンの実証的研究」のプラットフォームの実装概要と今後の展開について述べる。

### 1. 背景と目的

オフィスや病院、道路などの公共空間、あるいは住宅などの日常生活環境で人のために様々な軽作業を行うサービスロボットを実現するには、ロボットに搭載された機能に依存するだけでなく、環境側にセンサネットワークや様々な情報を格納したマーカを配置して、ロボットを支援する仕組みが不可欠である<sup>1,2)</sup>。我々は、この仕組みを環境情報構造化と定義し、そのプラットフォームの開発をすすめた。これは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」を構成するものである。この成果は、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)の共同研究開発により得られた。

### 2. 成果

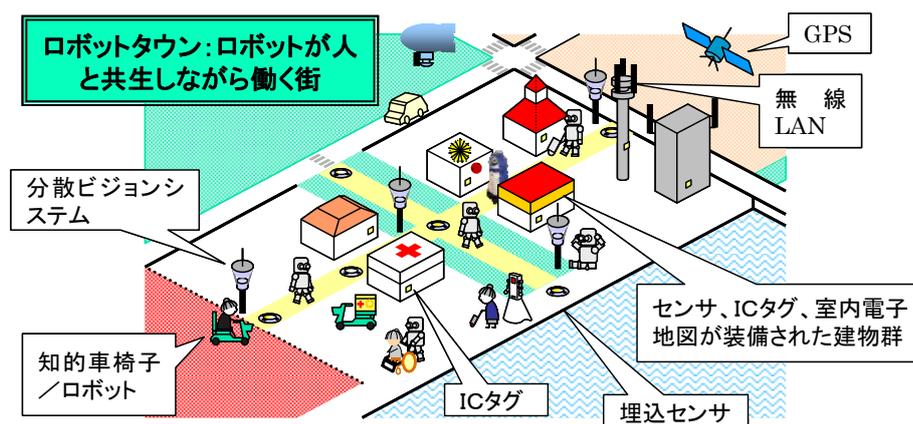


図 1 環境情報構造化の概念図

研究開発目標の概念図を図 1 にしめす。人間が日常生活をしている街区に、ビジョンカメラを分散配置し、視野内のロボットや歩行者などの移動体の位置や姿勢、運動方向を計測する。また、歩道路面や側壁面あるいは建物内部には RFID タグやセンサを分散

配置する。これら環境中に分散配置された多数のセンサからの情報はタウンマネジメントシステム(TMS)と呼ばれる情報管理機構が一元管理し、さらにその情報をロボットへ供給する。ロボットはTMSにアクセスし、人やロボットの位置、地図情報や埋込タグに関する情報など作業に必要な基本的な環境情報を取得する。実際に種々のロボットに対して環境側から支援を行うプラットフォームとして、福岡市の博多湾に造成中の埋め立て地アイランドシティにある一戸建て住宅(図2)の内部および周辺区域を対象に環境情報構造化を進めた。



図2 プラットフォーム実験住宅

## 2.1 ビジョンネットワーク

ビジョンの役割は、環境内を移動する人やロボットを追跡し、その位置をタウンマネジメントシステム内の実時間データベースに常時更新しつつ格納することである。分散配置されたカメラは、照明や背景など計測対象の環境条件が異なり、実時間処理上の制約もあることから、全ての状況に対応しうる処理方式はない。そこで設置場所や必要精度、あるいは制約に応じて異なるいくつかのビジョンを実装している。

### 2.1.1 屋内用ビジョン

#### (1) レーザレンジファインダと単眼カメラによる移動体追跡ビジョン

単眼カメラ画像に差分画像処理を行い視野内の移動体領域を計測するとともに、1次元走査型レーザレンジファインダで奥行き情報を得、さらにこれら2種の独立したセンサ情報をパーティクルフィルタにより融合することにより、頑健な移動体計測を実現している<sup>3)</sup>。

#### (2) 単眼カメラによる移動体追跡

生活環境では居住者によりレーザレンジファインダの使用を避けたい場合もある。一方、自然照明下の屋内では、窓の付近を人が歩いただけでも照明条件が変化する。照明変化に比較的強い移動体検出手法としてRRF(Radial Reach Filter)とフレーム間差分を組み合わせた方法についても実装し、性能評価を行っている<sup>4)</sup>。

#### (3) LEDマーカを装着したロボットの位置姿勢追跡

ロボットも人と同様に移動体として位置を計測できる。しかし姿勢(移動方向)は、顔のような向きを決定する普遍的な基準がなければ計測できない。そこで、ロボット上面に赤外LEDを三角形配置し、姿勢を視覚計測する手法(高瀬らによる i-GPS)<sup>5)</sup>を実装している。

### 2.1.2 屋外用ビジョン

屋外では、ビジョンでカバーすべき範囲や設置コストなどを考慮して、単眼カメラによるビジョンシステムを2種実装している。

第1のビジョンシステムは、差分画像処理と高速レベルセット法とを組み合わせた手法を用いて、複数移動体の追跡を実時間で行うものである<sup>6)</sup>。視野内地表面に対しカメラをキャリブレーションしてあるので、画像中で歩行者の足下を検出して実環境での位置を計測できる。また屋外で生じる影については、背景画像とカラーヒストグラムの類似度を調べることで除去している。

第2のビジョンシステムでは、背景画像を学習により逐次更新する方法として Parzen 推定を高速化する手法を開発し、照明条件変化に頑健な処理を実現している。ただし、この手法では、移動体でも長時間静止していると背景と区別できなくなるので、第1のビジョンシステムとの併用を考えている。

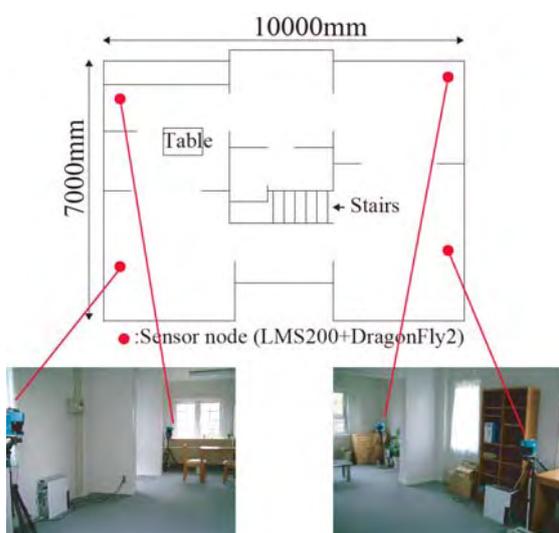


図3 実験住宅1階屋内のセンサ配置



図4 屋内外タグ配置

## 2.2 RFID タグによる環境情報構造化

屋外路面や屋内床面・壁面にはパッシブ型のRFIDタグを分散配置している。また、ロボットがハンドリングする日常生活用品、家具什器などにも必要に応じてRFIDタグを貼り付けている。センサやタグの設置状況を、図3、4に示す。

## 2.3 タウンマネジメントシステム (TMS)

環境内情報の管理システムである TMS は、環境に埋め込まれたセンサネットワークから得られる情報を統合、整理し、データベース (DB) に記録更新を行うとともに、ロボットからの問い合わせに応じて適切な表現、詳細度で環境情報を提供する<sup>7)</sup>。DB に格納する情報は以下の 4 種類に大別される。

- (a) ロボットの形状や外観などの登録情報
- (b) 環境埋込センサに関する情報  
(カメラ配置と視野範囲、RFID タグの設置状況等)
- (c) 地図などの静的な環境情報
- (d) 計測された移動体位置など動的な情報

ロボットが TMS から情報を取得できるようにするため、TMS 接続用 API (Application Program Interface) ライブラリを提供する。API には移動体の位置を取得する関数などが用意されている。ロボットは TMS 接続用 API ライブラリをリンクし、ロボット制御プログラム中の任意のタイミングで API を実行することで TMS から情報を取得できる。ロボットが送受信する情報のデータ

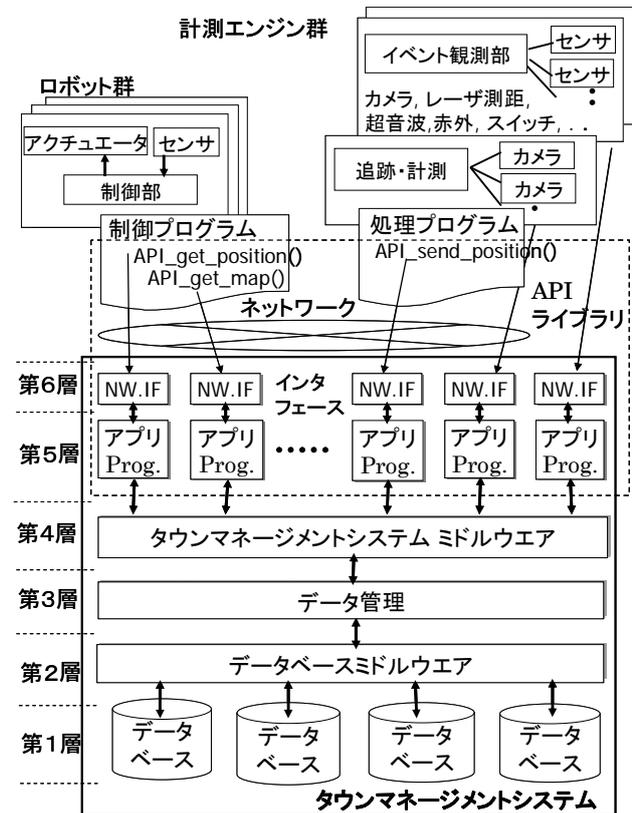
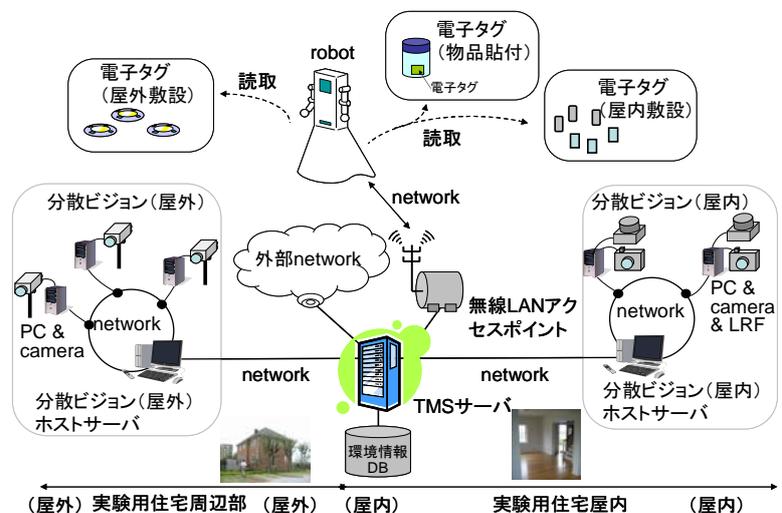


図5 タウンマネジメントシステム

図6 環境情報構造化ネットワーク



構造は API により規定され、通信方式や DB 操作などの実装形態は API の中に隠蔽されるため、ロボット側はこれらを考慮する必要がない。なお、センサ情報処理をおこなう計測エンジンと TMS との接続も同様に API を介して行われる。

図 5 にタウンマネジメントシステムおよび接続されるロボット、センサのソフトウェアの構造を示す。また、図 6 にはプラットフォームをロボットから見た構造を示す。

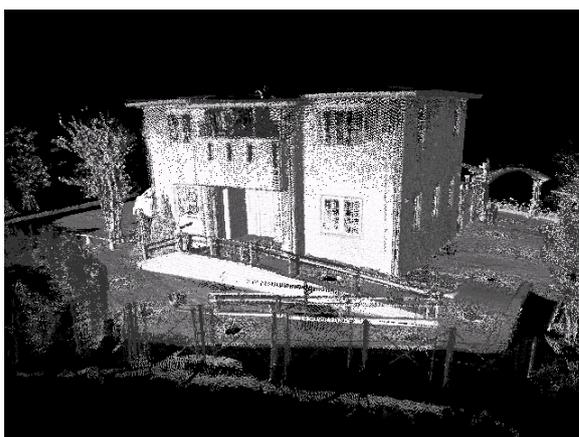


図 7  
ロボット群を用いて構成された実験住宅三次元モデル。地上からの測定のため死角となる屋根部分はデータが得られていない。

## 2.4 ロボットによる環境情報構造化

環境の情報構造化を実現するには、まず環境空間構造、あるいはカメラや RFID タグの配置などの実世界情報をデータベースとして TMS に格納する必要がある。これらは、空間的広がりを持った情報であるので、その獲得そのものが容易でなく、人手で計測しながら入力するのでは大変な労力がかかる。そこで、ロボットタウンプロジェクトでは、「ロボットによるロボットのための環境情報構造化」を実現している<sup>10,11)</sup>。

実際の環境を移動しながら、建物の内外の 3 次元構造を計測する 3 次元地図作製群ロボットシステム<sup>8)</sup>と、環境内に分散配置されたカメラの視野パラメータをキャリブレーションする群ロボットシステム<sup>9)</sup>とが、これまでに開発されている。図 7 には、この群ロボットシステムが構築した実験住宅の三次元地図を示す。

## 3. 今後の展望

次世代ロボットが人間と共生して種々の作業を行う事を可能にするための環境情報構造化プラットフォーム「ロボットタウン」について、その実装状況を述べた。このプラットフォーム

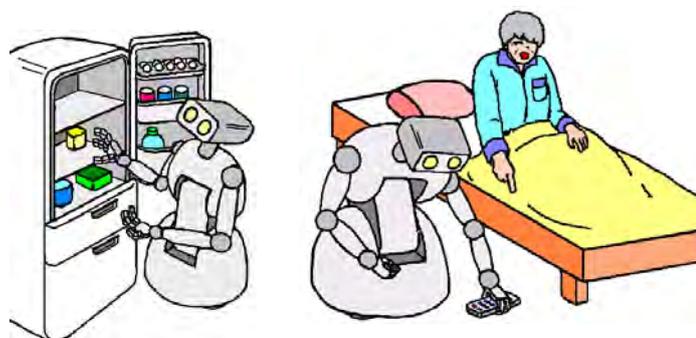


図 8 施設内生活支援ロボット知能の研究開発

は福岡アイランドシティに

構築され、福岡平成 20 年 1 月 25 日に公開実験が行われた、平成 21 年度より一般公開されている。研究開発にあたり、福岡市ならびにロボット産業振興会議(福岡県・北九州市・福岡市共同設立)の支援を受けている。

街のブロックレベルの拡がりを持った環境情報構造化を実現した真の意味での「ロボットタウン」は未完成であり、引き続き研究開発が必要である。すでに、平成 19 年から 5 年間の経済産業省ロボット知能化プロジェクトで採択された 2 つの課題、施設内生活支援ロボット知能の研究開発(図 8 参照、九州大学、九州工業大学、安川電機、産業技術総合研究所)、および、環境情報を共有するロボット GIS に関する知能モジュール群の開発(九州先端科学技術研究所ほか)では、成果を活用して更なる発展を目指すこととしている。これらを通じて、技術的側面だけでなく、社会的な側面からの研究も進むことを期待している。

本研究は文部科学省の平成 19 年度科学技術振興調整費による「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」の一環として実施したものである。

### 成果発表および参考文献

- [1] 長谷川：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
- [2] 長谷川：ロボット作業環境の情報構造化, 電子情報通信学会会誌, Vol. 91, No. 5, pp. 417-423, May 2008
- [3] R. Kurazume, H. Yamada, K. Murakami, Y. Iwashita, and T. Hasegawa, “Target Tracking Using SIR and MCMC Particle Filters by Multiple Cameras and Laser Range Finders,” Proc. 2008 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 3838-3844, Sep. 2008.
- [4] 羽田, 高瀬：屋内大域位置同定システム(iGPS)を用いた複数台移動ロボットのナビゲーションの研究, 第 6 回ロボティクスシンポジウム, pp. 354-359, 2001
- [5] 野辺, 長谷川, 村上, 倉爪：ロボットの行動支援を目的とした分散ビジョンシステムによる移動体計測, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1132, 2007
- [6] 柴田, 長谷川, 倉爪：照度変化のある屋内環境における実時間人物追跡, 第 8 回計測自動制御学会 S I 部門講演会講演予稿集, 3A3-3, 2007
- [7] 村上, 長谷川, 木室, 千田, 家永, 有田, 倉爪：情報構造化環境における情報管理の一手法, 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 2, pp. 192-199, 2008
- [8] 倉爪, 戸畑, 村上, 長谷川：GPS-SLAM の研究 - 大規模建造物の高精度 3 次元幾何形状レーザ計測システム, 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 8, pp. 90-98, 2007

- [9] 横矢, 長谷川, 倉爪, 村上 : 移動ロボットによる統一座標系での広域分散カメラキャリブレーション, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-D, No. 1, pp. 123-130, Jan. 2009
- [10] 千田, 木室, 財部, 長谷川 : 配置不明なタグを用いた自己位置推定, 電気学会論文誌 C, Vol. 128, No. 7, pp. 1212-1221, 2008
- [11] 千田, 財部, 木室, 長谷川 : 自己位置推定のための散策型ロボットによる電子タグ埋設位置推定, 日本機械学会論文集 C 編, 074 巻 746 号, pp. 2512-2520, 2008