

**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 18～20 年度実施「施設内外の人計測と環境情報構造化の研究」成果の概要**

研究代表者 (株) 国際電気通信基礎技術研究所 所長 萩田 紀博

## 概要

科学技術連携施策群の次世代ロボット研究プロジェクトが関西地区で開発・公開した人計測のための環境情報構造化プラットフォームの概要を紹介する。人の位置を 5cm の精度で計測する技術、人の行動と空間を意味づける構造化技術(人々が行き交うとできる地図)、異種ネットワーク環境である、総務省の「ネットワークロボットプロジェクト」、EU 版ネットワークロボットプロジェクト「DustBot」との連携実験を報告する。

### 1) 研究目的

ロボットがショッピングモールや駅などで人々に案内、誘導、回遊、情報提供などのサービスをするためには、まず、サービスをどんな人にすべきかを決定するために人の位置・行動に関する情報を知る必要がある。ロボット単体が「見る」「聞く」「話す」「ジェスチャする」「動く」などの単体の知能(ここでは個体知能とよぶ)を用いて、これらの情報を捉える方法もあるが、人が行き交う環境では、ロボットがサービスを行う人(々)のところにたどり着くまでに、人の往来や柱・障害物などによって、個体知能の情報だけでは不十分な場合が多い。これを補うために、環境側で人の位置や行動を計測して、様々なロボットがこれらの情報を検索できるように構造化する環境情報構造化(単体知能に対して環境知能とも呼ぶ)技術が不可欠になる。一方、ロボットが実環境のセンサ群やサイバースペースの情報を取り込んで個体知能を能力補完する考え方として、ネットワークロボットという概念[1]がある。その概念に基づいて、身体性を持つビジブル型ロボット、サイバースペースの情報を取り出すバーチャル型ロボット、環境情報構造化情報を提供するアンコンシヤス型ロボットの 3 種類に分類される。

本稿ではその成果の概要として、実環境における人計測のための環境情報構造化プラットフォームに関する開発内容と具体的な実証実験結果について紹介する。次に、このプラットフォームが総務省委託研究で開発中のネットワークロボット・プラットフォームと連携した実証実験、EU 版ネットワークロボットプロジェクト「DustBot」と連携した実証実験について報告する。

### 2) 研究成果の概要

#### 2.1 人計測のための環境情報構造化技術

##### 2.1.1 環境情報構造化 4 階層モデル

本プロジェクトは、ATR(国際電気通信基礎技術研究所)および NICT(情報通信処理機構)

によって 2006 年度～2008 年度に実施された。施設内外で環境情報をシームレスに扱うことができるように、図 1 に示す環境情報構造化 4 階層モデルを提案した[2]。このモデルは、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。環境センサやロボット自身のセンサで人(々)の位置情報(数値データ)を統合し、空間と行動に意味づけられた環境情報(言語情報)と照らし合わせてロボットが人にサービスを提供するための一般的な枠組みを表す。図 2 には、このモデルに基づき、ロボットが行うサービスイメージを示す。「センサデータ層」では、カメラ、RFID タグ、GPS(主に屋外のみ)といった各種センサシステムから得られるデータをシステム毎に処理し、そこから出力される人の位置情報を「セグメント層」で統合する。この層は人の位置計測技術に関する層である。例えば、図 2 に示すように、「座標(100, 10, 0.5)で個人 ID=875 の人が観測された」という位置データと計測精度(誤差モデル)を出力する。セグメント層のデータに基づき「プリミティブ層」では、ロボットサービスを行う際に計測精度に依存しないプリミティブという記述形式で意味づけを行う。図では「人が往来する場所」と「立ち止まっている」という、それぞれ空間と行動の意味づけの例を示す。「サービス・アプリ層」では、「セグメント層」から出力される位置情報および「プリミティブ層」から出力される構造化された情報を組合せて様々なロボットサービスを記述することが可能になる。例えばサービス・アプリ層に記述されている「通路で座っている・立ち止まっている子供に最寄りのロボットが声をかけ誘導する」といったロボットサービスを行う。プリミティブ層で設置場所に依存しないロボットサービスアプリが書けるようになれば、異なるロボットが同じロボットサービスアプリを用いて日本中至る所でロボットサービスを展開できるようになる。その展開を目指して、本プロジェクトは、この共通プラットフォームとネットワークロボット・プラットフォーム[1]などの異種ネットワーク間とも相互接続可能であることを実証する。2007 年 3 月に NICT けいはんな研究所エントランス(京都府)および 2008 年 1 月にユニバーサルシティウォーク(UCW)大阪にこの共通プラットフォームを設置し、UCW は 2008 年 6 月 24 日から、けいはんな地区は 2008 年 8 月 29 日から利用方法と技術仕様を公開している[3]。

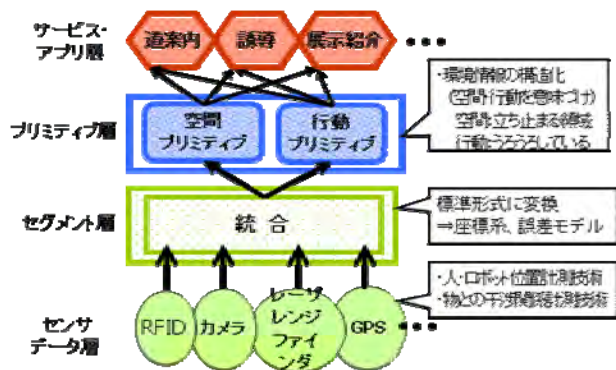


図 1 環境情報構造化 4 階層モデル

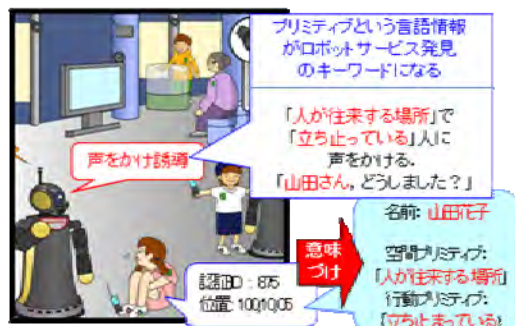


図 2 空間と行動の意味づけ

### 2.1.2 人位置計測技術

施設内外に設置した人位置計測システムの概要を図3に示す。複数のカメラから得られた画像データに対して、パーティクルフィルタによって3次元空間中に人の頭部の存在仮説を発生させ、再び各カメラの画像平面に投影し、それを評価・統合することで実空間において複数の人を検出・追跡する方法とLRFによる人位置計測の結果を用いて複数カメラの人の頭部3次元位置検出と追跡の復帰を行う方法を併用する方式を提案した[3]。前者は3次元位置計測が可能だが、低コントラストで頭部輪郭の追跡に失敗する可能性が高くなるという問題点がある。一方、後者の手法は照明条件の変化にロバストだが、2次元平面(鉛直方向に対して垂直な面)上のある高さ(本プロジェクトでは腰部位置)で人の位置を計測することに制限される。両者を併用することで照明条件の変化に対してロバストな計測を実現できる。この併用方式によって、セグメント層で5cmの精度で人位置を計測することが可能になった。

NICTおよびUCWに設置したレーザ距離計(LRF)SICK製LMS-200は、日本工業規格JIS C 6802「レーザ製品の安全基準」におけるクラス1レーザであり、人の眼に対して影響を及ぼさない安全なレベルである。屋外のGPSも含めて、本プロジェクトで使用したセンサの誤差指標をUCWおよびNICTについて表1に示す。

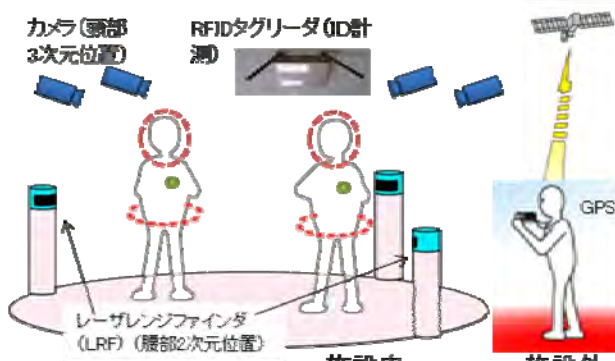


図3 複数種類のセンサシステムによる人の位置計測

表1 センサの計測内容と誤差指標値

センサ種類	人の計測内容		2次元位置の平均二乗偏差	
	人位置	人ID	UCW	NICT
LRF	(x, y)	計測せず	49mm	46mm
カメラ	(x, y, z)	計測せず	13cm	5cm
RFIDタグ	(x, y)	計測可能	330cm	240cm
GPS	(x, y)	計測可能	10m程度	測定不可

二乗偏差はLRFは真値との偏差、カメラ、RFIDはLRFとの偏差、GPSはGPS仕様による

### 2.1.3 環境情報構造化技術(空間と行動の意味づけ)

プリミティブ層では、計測された人位置情報に対して、一人ひとりの移動軌跡から空間の利用状況・履歴や人々の行動パターンから空間と行動を意味づけた空間・行動プリミティブを抽出する。具体的には、「局所行動」、「空間利用」、「大局行動」の各意味づけを行う[4]。

「局所行動」の意味づけでは、人の動きに関する基本プリミティブを抽出する。2秒または5秒程度の間隔で軌跡から歩く方向、速度等の特徴を得て、SVM(support vector machine)により歩き方(まっすぐ、右に曲がる、左に曲がる、うろろする、Uターン、不明の6クラス)、歩く早さ(走っている、忙しく歩く、ゆっくり歩く、止っている、待って

いるの 5 クラス)などの局所行動のプリミティブを判別する。プリミティブのクラス数やその粒度はサービス・アプリに依存するが、実験では 2 秒または 5 秒程度の間隔で 85 ~ 93%程度の認識率を得ている。

「空間利用」の意味づけとは、ある地点内を行き交う人々が空間をどのように利用したかを表す空間利用履歴のマップ(人々が行き交うとできる地図)を求める処理である。時空間的な履歴地図を作るだけで、ロボットが何曜日の何時頃、どの場所でサービスを待ち受け(待ち伏せ)ればよいかという大まかな時空間的環境情報を得ることが可能になる。図 4 は局所行動の行動プリミティブ 4 種類を用いた空間利用履歴マップを示す。図 4(a)は UCW で 25cm 四方の空間的グリッド別に 1 時間単位に蓄積された最高頻度の局所行動プリミティブだけを示す。これらのグリッドを入力して、ISODATA でクラスタリングすることで時空間的に平均化した 40 種類の空間利用マップ(クラスタ)が生成した。図 4(b)はその一部(クラスタ 1 とクラスタ 40)を示す。クラスタ 1 から平日 11~17 時および週末 12~13 時は店舗(Shop)付近で人が「うろうろする」「立ち止まる」といった行動、UCW の地図掲示板(map)付近やベンチ付近で「立ち止まる」という行動が多いことがわかる。一方、クラスタ 40 では地図掲示板付近で「ゆっくり歩く」人が多いことを示す。

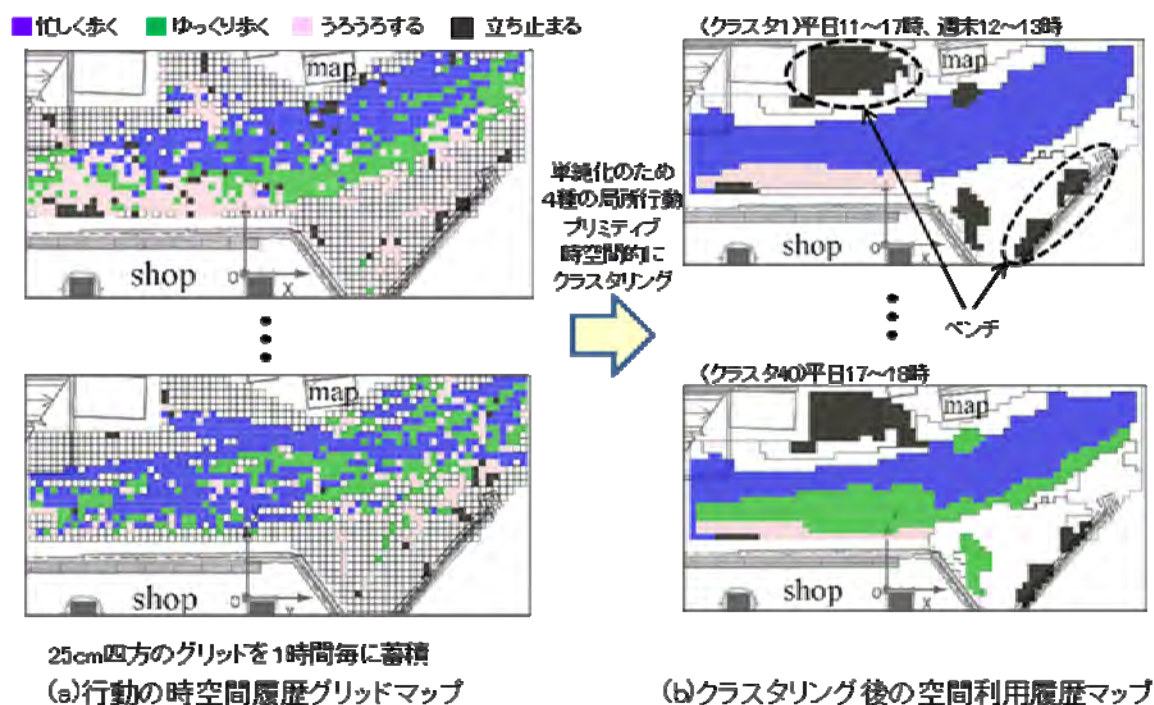


図4 行動プリミティブを利用して空間利用履歴マップを生成



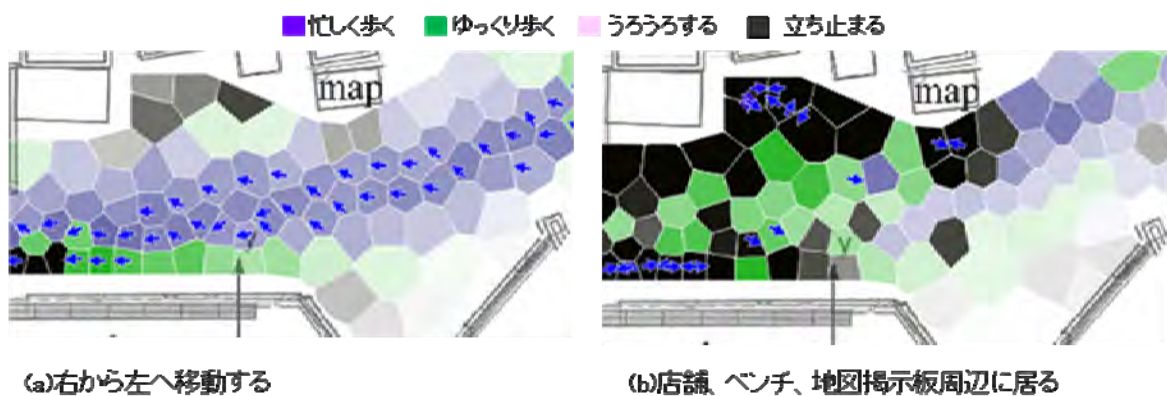


図5 大局行動の例(K=6の場合の2例)

「大局行動」の意味づけでは、 $K$ -means 法に基づく移動のクラスタリング法[4]によって移動軌跡に関する大局行動を求める。図 5 は、 $K=6$  の場合のクラスタリング結果の中で 2 つのクラスタ結果を示す。図中の色は、その領域で最高頻度になった局所行動プリミティブを表す。色の濃さは各行動の生起頻度を、矢印はグリッド間で頻繁に起きた遷移とその方向を表す。大局行動のマップで人の動き方向、個々の場所の滞在傾向などが時空間的に理解できる。

#### 2.1.4 サービス・アプリ事例

本システムによってロボットは客を店舗に誘導するサービスや道案内サービスなどを何時頃、どの場所で行えばよいかをサービスに対応した局所行動プリミティブを選べば、自動的に上記のマップを得ることができる。UCW の環境情報構造化プラットフォームを用いて、複数のロボットサービスについて、本システムの有効性を検証した。ここでは、店舗誘導サービスの例を紹介する。まず、ウィンドウショッピングなどを行うような時間が十分にあると考えられる、「ゆっくり歩く」の局所行動プリミティブを選ぶ。次に、このプリミティブに関連する空間利用履歴マップ、大局行動マップを用いてサービス実験を行った。図 4(b)のクラスタ 1(空間利用履歴マップ)は、このような想定のもとで対象とする局所行動を選択した場合の、平日午前 11 時から午後 5 時までを対象とする待ち受けマップを生成して[4]、店の前を行き来するロボットの待ち受け行動を実施した。店の前をうろうろと歩く人(々)をみて、ロボットが近づき、「こんにちは、僕ロボビー、ユニバーサルシティウォークによろこそ！ お買い物なら、そっちにある\*\*ストアってお店がお勧めだよ。古着を量り売りしているんだ」などと、店の方向を指さして話し、客の興味を店舗に誘導するサービスを実現した(図 6)。

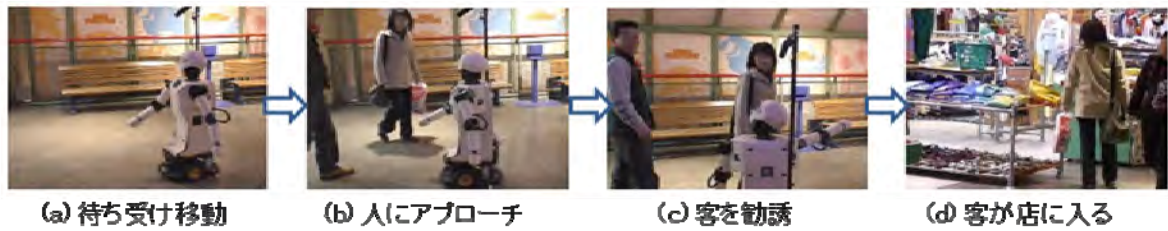


図6 店舗誘導ロボットサービス

## 2.2 異種ネットワーク環境（ネットワークロボット技術）との連携実証実験

2008年12月1日～3日に、UCWで本システムとネットワークロボット・プラットフォーム(総務省ネットワークロボットプロジェクトの成果)を連携した実証実験を行った。図7(a)に示すように、本システムによって得られた人々の位置情報をネットワークロボット・プラットフォーム側が読み取り、4台のロボット(Robovie-II)が同時に別々の人に説明、勧誘、案内、誘導などのタスクを一人の遠隔オペレータが制御する遠隔制御実験を行う。実験の結果、異種ネットワーク環境と連携できることを確認した(図7(b))。

2009年1月28日および29日に、UCWで本システムとネットワークロボット・プラットフォームを介して、EUのネットワークロボットプロジェクト(2006年～2009年)で開発中のDustBot(ゴミ収集ロボットでイタリア聖アンナ大学院大学が開発)[5]とRobovie-IIが連携する実証実験を行った。Robovieが人を案内・誘導すると同時にDustBotが荷物を運搬する連携・協調デモが動くことを確認した(図7(c))。

これ以外にも、2008年12月23日～25日にHonda ASIMOとRobovieの連携・協調実験なども行い、本システムが異種ネットワーク環境、異種ロボットと連携できることを確認した。



(a) ネットワークロボットとの連携 (b) ロボット4台が別々の客に対応 (c) DustBotが荷物運搬  
図7 ネットワークロボットプラットフォームとの連携実験(ユニバーサルシティウォーク大阪)

## 3) 今後の展望

人計測のための環境情報構造化プラットフォームの概要を紹介した。人の位置を 5cm

の精度で計測する技術、人の行動と空間を意味づける(構造化する)技術、および異種ネットワークとの連携実証実験を述べた。これらの実験を通じて、初めて持って行ったロボットがその場で動くロボットサービスアプリケーションを開発するために、本システムのような環境知能インフラが極めて重要であることを示した。関西の環境プラットフォームは現在 8 件の利用実績があるが、今後とも最新のネットワークロボットインフラをいつでも利用できるテストベッドを設置することが次世代ロボット技術開発を加速する有効かつ喫緊の課題であると痛感している。ネットワークロボットとの連携実験をきっかけにして、ロボットとネットワークとの相互接続が世界規模で実現されることを期待している。なお、本プロジェクトのホームページ[6]に、環境情報構造化プラットフォームの情報が公開されており、プラットフォームの利用の手続きも記載されている。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、ご協力、ご支援頂いた住商アーバン開発、大阪ロボットラボラトリー、NTT の皆様に深く感謝いたします。ATR 知能ロボティクス研究所の所員の皆様、特に神田崇行上級研究員、宮下敬宏室長、西尾修一主任員に感謝します。

## 参 考 文 献

- [1] 萩田紀博, “ ネットワークロボットの将来展望,” 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.6, pp.642-643, Aug. 2005.
- [2] 神田崇行, 塩見昌裕, 宮下敬宏, 萩田紀博, “ 人の位置計測に基づく環境情報構造化法,” 計測自動制御学会 システムインテグレーションフォーラム 2006 「次世代ロボット共通プラットフォーム技術」, 札幌, Dec. 2006.
- [3] 西尾修一, 宮下敬宏, 神田崇行, 山崎達也, 萩田紀博, “ ロボットサービスのための関西環境プラットフォームとその利用事例,” 第 9 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システムインテグレーションフォーラム「次世代ロボット共通プラットフォーム技術」, 1L1-4, 岐阜, Dec. 2008-12.
- [4] Takayuki Kanda, Dylan F. Glas, Masahiro Shiomi, Hiroshi Ishiguro and Norihiro Hagita, “ Who will be the customer?: A social robot that anticipates people's behavior from their trajectories,” Proc. of the Tenth International Conference on Ubiquitous Computing(UbiComp 2008), pp.380-389, Sep. 2008.
- [5] DustBot プロジェクト, <http://www.dustbot.org/index.php?menu=home>
- [6] 施設内外の人計測と環境情報構造化の研究ホームページ, <http://www.irc.atr.jp/ptStructEnv/index-j.html>