

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域

「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」

研究課題

「ロボットによる街角の情報環境の構築」

研究終了報告書

研究期間 平成22年10月～平成29年3月

研究代表者：神田 崇行

((株)国際電気通信基礎技術研究所
知能ロボティクス研究所ヒューマンロボット
インタラクション研究室、室長)

§ 1. 研究実施の概要

(1) 実施概要

街角を移動して人々と対話するロボットのために、環境に調和しつつ様々なサービスを提供するための技術の実現を目標として研究を進めた。街角ではロボットによる移動の妨げや混雑の発生といった調和の問題が起きていた。

研究項目1では、人々の広域での移動行動を計測、蓄積することにより、人々の普段の行動をモデル化して理解する街角環境理解技術の研究を進めた。3次元計測に基づく実用的な人位置追跡技術を実現した。また、計測した軌跡データに基づく研究を進め、通路の流れやロボットの周りの人の集まりも再現できるような歩行者行動モデルを実現した。

研究項目2では、研究項目1から得られる街角環境の理解に基づいてロボットが適切なインタラクションを行うことで、街角環境と調和して移動したり、人々に話しかけたりできる街角環境調和型のインタラクション技術の研究を進めた。たとえば、研究項目1で得られた歩行者行動モデルをロボットに適用することで、周囲の歩行者と調和して移動するロボットを実現した。また、歩行者行動モデルを行動計画の中でのシミュレーションに利用することで、混雑を起こさないような行動計画法を実現するに至った。ロボットの話しかけやすい行動や、ロボットに興味を持った人へのみ話しかける行動も実現した。

これらの実現技術を統合し、社会実装を進めた。ショッピングモールで、地図配り・案内サービス、迷っている人への案内サービス、店舗への案内・誘導サービス、などのサービスを実現し、街角でロボットがサービスするために必要な技術要素がそろってきていることを示した。実証実験を通じて各サービスの社会的受容性を明らかにした。人が行うサービスと類似したサービスでも、ロボットが行うことが、ロボットらしい新たな価値につながることを明らかにした。ロボットが街角に調和して行動しつつも、人々の新たな興味や行動を誘発するという、新しい人間調和型の情報技術が実現された。

さらに、1年延長して研究を実施し、発展的に、センサネットワークから離れて屋外や広範囲を移動するロボットサービスの可能性も検討を進めた。ロボット単体でも街角に調和して行動できる技術的道筋を立てることが出来た。また、移動範囲がセンサネットワークの範囲に制約されないロボットにより広範囲でのサービスや、イベント的に簡易に展開できるサービス、さらには街角のロボットのクラウド化など、新たな展開への道筋が見えてきた。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 街角環境を対象とした歩行者モデル

従来の歩行者モデルはパニックや避難誘導などの人が密集した環境を対象にしたモデルが主であった。これに対して、人の密度が 0.25 人/ m^2 以下の街角環境での人々の行動を実データに基づいてモデル化する先導的・独創的な研究を進めた。人が道を譲りあって歩くすれ違い行動(原著論文[1]:発表後5年で69件*引用された)や、グループ行動、環境の影響等のモデルを実現した。通路の流れのモデル(原著論文[5])がPLOS One誌に掲載されるなど、国際的に著名な論文誌に採録された。(*引用件数はGoogle scholarによる)

2. 歩行者行動モデルに基づくロボットの行動計画法

従来、街角環境での人々の普段の行動を計算的に扱うことが難しかったため、人と関わるロボットの行動計画法の実現が難しかった。上記の新しい歩行者モデルにより人の行動が計算可能になったことを基盤に、先駆的な研究を進め、人々に調和して移動する行動や、さらには、ロボットが複雑な人々の移動行動を予期して混雑を起こすことなく行動する、といった行動計画法を可能にした。人とロボットとの関わりに関するトップカンファレンスHRI2013にて最優秀論文賞を受賞(原著論文[7])するなど、国際的に高く評価されている。

3. 実環境での人々とロボットとの関わり合いの解明

人共存環境を移動しながら対人サービスするロボットを社会実装するという世界でもほぼ類を見ない先進的な試みを行い、ロボットの社会的受容性や新たな可能性を見出しつつある。中でも、提案時から知られていた混雑現象を解決した結果、新たに見いだされるようになった「ロボットいじめ」問題と、その精緻な観察・モデル化に基づいて実現された問題回避アルゴリズムは大きな注目を集め、この論文も HRI2015 にて最優秀論文賞を受賞(原著論文[20])するなど、国際的に高く評価されている。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 3次元計測に基づく人位置追跡技術

3次元計測型のセンサを高所に設置し、複数のセンサから得られる計測結果を統合することで大勢の人々がいる場合にも対応できる実用的な人位置計測技術を実現した。従来計測できなかったような実環境において、広域での人位置計測が可能になり、いくつもの新しい研究が可能になった。また、本技術は広域の人位置追跡技術の中では比較的安価に高精度の計測が可能になることから、産業界で注目されているスマートリテーリング分野での新しい事業創出に繋がっている。大手マーケティングリサーチ会社が本技術を利用して大規模量販店の顧客の動線解析等の事業を2015年から開始した。

2. 人共存環境で活動するロボットを環境に調和させるための技術

人の行動を模範に、邪魔にならない移動や、話しかけやすい振る舞い、興味を持った人への話しかけを実現した。広域での人々の行動を観測してモデル化し、場所の使われ方に応じた行動や、混雑を起こさない行動計画法が実現、ロボットが場所の利用を阻害しないようになってきた。このように、街角環境にロボットを調和させて様々な対人サービスさせるための基盤技術が整った。街角環境を動き回って人々に働きかけるロボットは他に類を見ない先駆的なものである。

3. 人々の新しい興味や行動を引き出す新たな人間調和型技術の社会実装

街角で移動しながら対人サービスするロボットの実用化・新産業化に向けて、出口を見据えた技術開発を世界に先駆けて進めている。上記のロボットを環境に調和させる基盤技術をもとに、チャシ配り、案内、顧客誘導といったサービスをこれまでに社会実装し、社会的受容性を確認、さらに、ロボットが人々の新しい興味や行動を引き起こすことを見出してきた。人々の期待感も高い。こういった社会実装の試みが、新しい事業創出につながっている。発展的な展開として、デジタルサイネージ配信会社と連携して、ロボットを新たな広告・顧客誘導メディアとして利用する「ロボットサイネージ」の実用化に向けた試みも進めている。

§ 2. 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 研究代表者グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
神田 崇行	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	室長	H22.10～ H29.3
宮下 敬宏	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	室長	H22.10～ H29.3
塩見 昌裕	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	室長	H22.10～ H29.3
池田 徹志	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	H22.10～ H28.3
ZANLUNGO Francesco	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	H22.10～ H29.3
林 宏太郎	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	H22.10～ H29.3
児堂 義弘	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H22.10～ H24.3
BRSCIC Drazen	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	H23.1～H28.9
城所 宏行	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研修研究員	H23.4～H25.3
CHIA Wei Wen	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H23.6～H24.5
CHOI King	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H23.6～H24.5
SHI Chao	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	H24.1～H29.3
井村 茂雄	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	派遣社員	H24.4～H28.3
BARNA SURIYA PATABENDIGE Deneth Rasara	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研修研究員	H24.5～H29.3
北出 卓也	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H24.6～H25.3
MORALES SAIKI Luis Yoich	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	H24.6～H28.6
SABELLI Alessandra Maria	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研修研究員	H24.6～H24.9
佐竹 聡	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	H24.8～H29.3
LI Zhi Teng	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H24.9～H25.4

末廣 芳隆	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H24.11～H26.3
富田 加奈子	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究技術員	H25.7～H29.3
伊庭 甫	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H25.6～H26.2
村上 良	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H25.4～H26.3
KACZMAREK Thomas	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究技術員	H25.12～ H27.7
嘉藤 佑亮	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H25.12～ H27.3
FERT Dimitri Gerard	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H26.2～H26.7
中谷 慶太	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H26.6～H27.3
竹本 有紀	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H27.4～H28.3
野村 竜也	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	客員研究員	H27.4～H29.3
内海 章	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	室長	H27.4～H28.3
中村 正恵	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	契約社員	H27.4～H28.3
磯野 梢	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	派遣社員	H27.10～ H28.3
北河 宏子	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	派遣社員	H28.1～H28.3
LIM Anderw Jason	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	学外実習生	H28.6～H29.3

研究項目

- ・ 街角環境理解技術の研究(研究項目1)
- ・ 街角環境調和型のインタラクション技術の研究(研究項目2)

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

- ・ 産業界との連携では、市場調査関連企業と連携して当プロジェクトで開発した技術の社会実装を進めている。当プロジェクトで開発した人位置追跡技術を大規模家電量販店などの店舗内に導入し、顧客の店舗内行動計測を精緻に行い、商品配置や動線設計などの店舗コンサルティングへ利用する方法を検討している。また、デジタルサイネージ関連企業と連携して、顧客の動線に応じて出力を変化させるデジタルサイネージの事業を開始した。
- ・ 産業界との連携に関して、デジタルサイネージ配信会社とも連携して、当プロジェクトで開発した技術の社会実装を進めている。当プロジェクトで開発した、街角環境調和型のロボット技術をもとに、広告・宣伝にロボットを利用する「ロボットサイネージ」の実用化を検討している。
- ・ ショッピングモール ATC (Asia and Pacific Trade Center: 大阪南港)と密に連絡を取り合い、ロボットの導入先として期待される小売店との連携を進めている。店舗管理者へのヒヤリングや、協働して実証実験を行うなど、社会実装を進めている。

- 3次元距離センサを用いた人位置・向き認識システムを、本田技術研究所との共同研究に利用し、2013年10月2日～10月21日に日本科学未来館にて実証実験を実施した。
- **CREST** の八木チームと連携して一部の研究を進めた。当プロジェクトで計測したショッピングモールでの歩行者の距離画像データや、位置計測結果を提供し、相互に利用価値があるようなコーパスを作る方向で研究を進め、いくつかのデータセットの公開に至った。このように、プロジェクト間で相乗効果が出るように取り組みを進めた。
- 「ロボットいじめ」現象については、その原因の解明や、学校場面など子供たちの支援への応用可能性の検討のために、国内外の研究者との連携を進めている。臨床心理学を専門とし、スクールカウンセラーなどの実践的な取り組みを進めている東海大学山田幸恵准教授と連携し、子供へのインタビュー研究も進めた。多くの子供たちが、ロボットが人らしく、妨害行動による痛みやストレスを感じると認知しながらも、楽しいから、他の子供もやっているから、といった理由でいじめ行動を行っていた。このような状況は、学校で起きているいじめとも通じるものがあり、さらなる研究を進めている。

§ 3. 研究実施内容及び成果

3.1 街角環境理解技術の実現（研究代表者グループ）

(1) 研究実施内容及び成果

人間は、暗黙的に場所の使い方や雰囲気、その場でとるべき行動に関する社会常識を踏まえて行動している。例えば、友達と輪になって談笑するためには、人の行きかう通路の真ん中ではなく、他の人々も立ち止まる広場を選ぶ。このような街角の常識にかかわる環境理解を得るための研究を進める。街角での人々の広域での移動行動を計測、蓄積、解析することにより、人々の集まりや流れといった街角の状況や場所の使い方を把握する街角環境理解技術の実現を目指す。ロボットが環境に適応した適切な行動をできるようになるための「環境理解」を得ることを目標として研究を進めた。

広域に設置する場合や大勢の人々がいる場合といった遮蔽領域が大きい場合にも対応可能な、3次元計測型のセンサを計測環境の高所に設置し、複数のセンサから得られる計測結果を統合することで人位置や身長などを取得できる「広域での人々の位置計測技術」を実現した。そのうえで、街角の状況の認識結果を蓄積し、解析することで、人々の普段の行動や場所の使い方を統計的に解析、モデル化する手法を実現した。また、これらのモデルを統合した歩行者行動シミュレーションを実現するなど、混雑した街角の状況を再現できるようにし、ロボットの行動計画に利用できるようにした(図 3-1-1)。

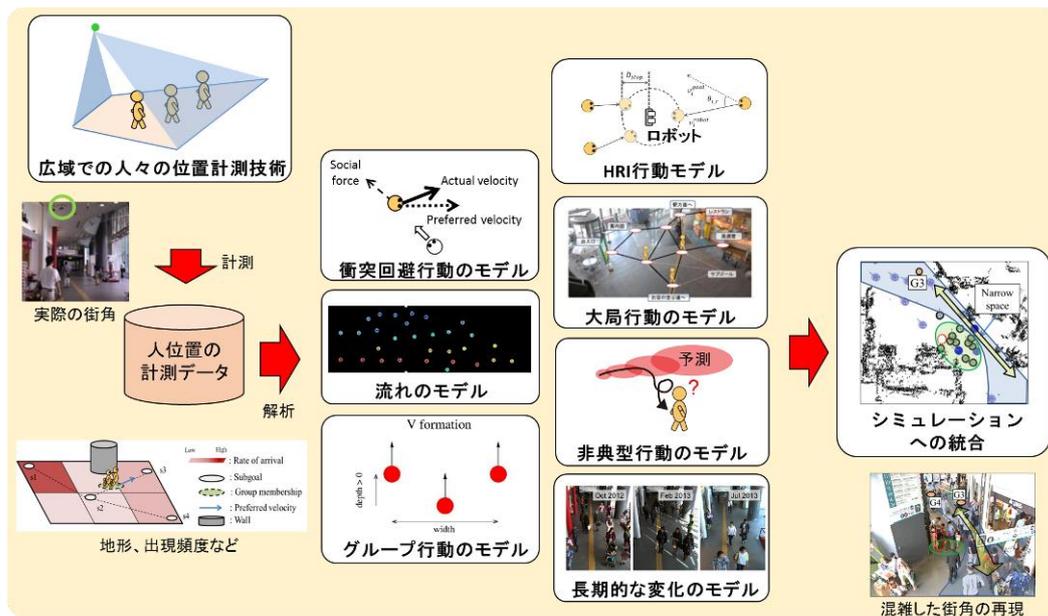


図 3-1-1: 実現した街角環境理解技術の概要

以下に、実施内容と成果を具体的に示す。

広域での人々の位置計測技術

3次元計測センサを用いた人追跡アルゴリズムの研究を進めた。3次元計測センサから得たデータから静的な部分を取り除き、クラスタリング処理によって個別の人を抽出、さらに、それぞれの点のクラスターを水平層に分割し、頭頂と肩の層を抽出する。頭頂層から人の位置や身長を、肩の層から体の向きを抽出する。計算量が少なく、かつ追跡性能も高い方法が実現できた。精度向上の工夫を進め、追跡している人の身長から安定して大人子供の判別ができるようになった。

複数のセンサを一緒に使うためにそれぞれのセンサの位置や向きを正しく設定しなければなら

ない(キャリブレーション). センサデータの3次元ビューアを作るなどの工夫により, 位置や向きのあわせ方がより簡単になるように工夫した. 更に, 他プロジェクトでは自動キャリブレーションソフトウェアの開発も進んだ(D.F. Glas, et al., SNAPCAT-3D: Calibrating Networks of 3D Range Sensors for Pedestrian Tracking, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2015).



図 3-1-2 3次元計測センサを用いた人の位置および体の方向の推定.

この人追跡アルゴリズムを利用して, 街角での広域での人位置計測システムを実現した. 大阪の南港にあるショッピングモール, ATC, に 49 台の距離画像センサを取り付け, キャリブレーションなどの調整を進めた. 直射太陽光に強いパナソニック D-IMager をメインのセンサとして 36 台設置した. 干渉のためこのセンサが使えない部分に, Asus Xtion を 11 台を設置した. 広場では長距離のセンシングが必要になったため Velodyne HDL-32E を 2 台設置した. センサごとに1台の PC がデータを受け取り, トラッキングは 1 台の PC が行うシステムを実現した. 図 3-1-3 に示す約 900 m²の範囲を計測対象とすることができた. CLEAR MOT 法による精度 (MOTA 値[%]) が 94.47 という高い性能を実現できた. このような広い場所で, この精度でのトラッキングができるようになったのは初めてである. この結果は, IEEE の Transactions on Human-Machine Systems に採録された(文献§4 (1) [11]) (2015 年のこの論文誌の impact factor は 1.982).

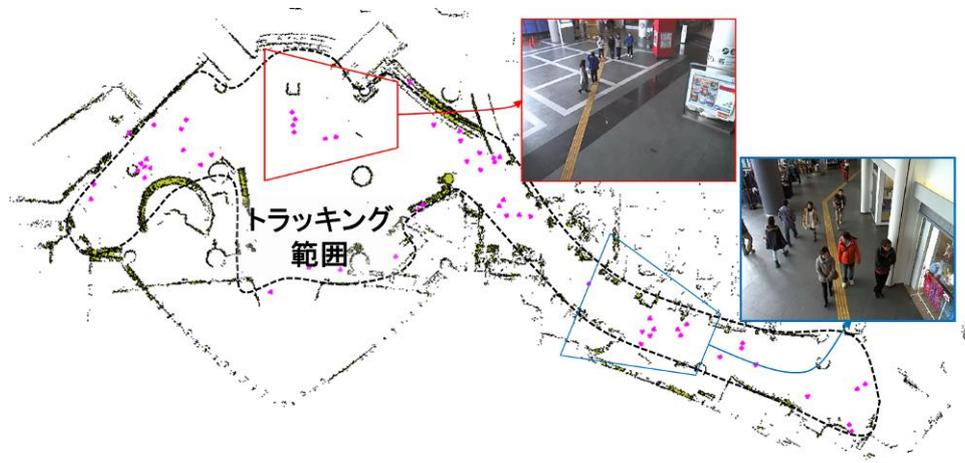


図 3-1-3. 大阪の南港にあるショッピングモール ATC での計測の様子

従来のコンピュータビジョンを用いた方法については, 街角環境と人の密度が近い PETS09 データセット S2.L2 での性能が, MOTA 値は 57.1% (M. Hofmann, et al., Unified Hierarchical Multi-Object Tracking using Global Data Association, PETS, 2013), 60.2% (A. Andriyenko, et al., An analytical formulation of global occlusion reasoning for multi-target tracking, ICCV, 2011), 66.7% (J. Zhang, et al., Online multi-person tracking by tracker hierarchy, AVSS, 2012), といった値が報告されており, 従来法よりも格段に性能の高い人追跡が実現できていると言える. (ただし, PETS09 は大人のみでデータで, 1 台のカメラでの性能. 広域での追跡は, 複数のセンサの接続地点で性能が劣化しやすい. また, 実際のショッピングモールでは, 高さが大きく異なる子供や, カートやベビー

カーなどの人と誤認しうる移動物体もあり、追跡はより難しい。このため、実際の性能差は上記の数字よりもさらに大きい。)このように、大規模な観測データをもとに、人々の集まりや流れといった街角の状況や場所の使われ方を把握する街角環境理解技術を実現するために十分な性能が実現できた。

広域での人々の位置計測技術 (単体型)

これまでの研究で、実現形態の1つとしてセンサネットワークと連動するロボットについての研究を進めたが、これまでに得られた知見を踏まえて、より初期導入が容易な実現形態である「単体型」のロボットによる実現方法・実現可能なサービスを明らかにすることで、利用促進に向けた研究への新たな展開もめざした。

ロボットに3次元のレーザスキャナーを搭載し、センサデータに基づきロボットの自己位置同定と周りの人の位置追跡を同時に行うようにした。センサデータから環境の3次元の地図を構築し、その地図とセンサのデータをマッチングし高精度のロボットの位置推定を得ることができた。ただ、ロボットの位置同定の誤差が比較的に大きく、人位置追跡に悪影響があったため、安定性を高める必要があることが分かった。そのため、環境の特徴的な地形(円や角等)を抽出し、その特徴を位置推定に利用する方法を考案した。また、ロボットの回転によりセンサのデータに歪が出る現象があり、これに対しては、回転補償方法を設計して導入した。さらに慣性計測装置をロボットに搭載し、ロボット車輪の空転等の影響を避けた。これらの工夫によって、十分に安定して精度良く自己位置同定を行えるようになった。

人の位置推定のために、センサデータを環境地図と照合し、環境地図に入っていない部分を抽出してクラスタリング処理をかけた上で、それぞれの人に一致するクラスターを追跡する方法を実現した。すでに、本プロジェクトでこれまでに環境に設置したセンサを使った人の位置追跡技術を実現済みであるが、この実現済みの方法やその際に得たノウハウを応用した。高所にセンサを置いた場合と違って、人が他の人の後ろに隠れるオクルージョンがよく起きるものの、パーティクルフィルタを使って連続的に追跡することによってこのオクルージョンの影響を軽減した。ロボストに安定して人のトラッキングができるようになった。ロボットから3メートル離れた人のおよそ97%、10メートル離れた人は85%を見失わず途切れることなく追跡することができるようになった。複数の環境で動作テストし、問題なく動くことを確認した。当初、目標としていた精度を十分得た。

さらに、発展的に、人の向きや属性情報の推定についても研究を進めた。近年の、脳型人工知能と呼ばれるニューラルネットワーク技術の進展により、複雑な特徴計算を工夫しなくても、大量のデータから適切な認識器が構築できるようになった。そこで、このような方法に当てはめるために、センサの3次元データを2次元画像に変換し、そのうえで、ディープニューラルネットワークの入力として用いるようにした。人の体の向きの推定について、ニューラルネットワークで学習した結果、半径8メートル以内にいる人の場合で、おおむね30度ぐらいの精度で向きを推定できた。用いたセンサは、鉛直方向の解像度がやや低いため、これ以上精度を高めることは難しいものの、前向きと後ろ向きの区別ができるため、人がロボットのほうに向いているかどうかを十分正確に推測することができる。これは、人とロボットのインタラクションには非常に有用な情報である。同様に、男女を区別するようなニューラルネットワークを構築して学習した結果、およそ80%の認識率を得た。このように、人とのインタラクションをより良くする要素技術の構築に結びつく見通しが見えてきた。

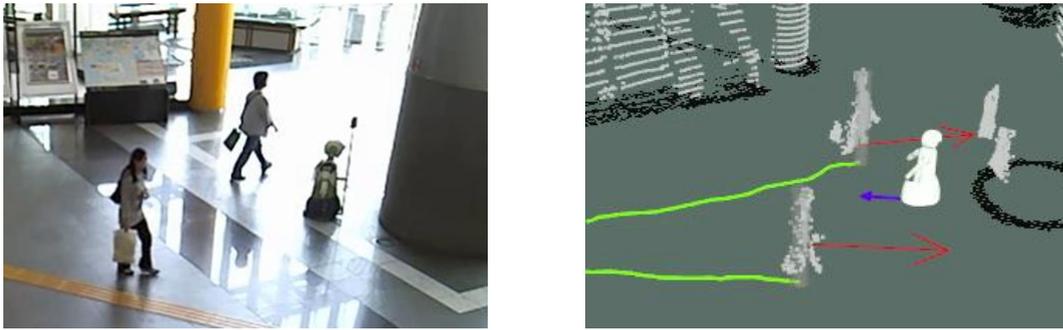


図 3-1-4. 単体型の人位置追跡
(右図の緑線が位置追跡結果、赤い矢印は体向き の推定結果)

衝突回避行動のモデル

街角の状況認識については「流れ」、「グループ」、「集まり」などの街角の状況の認識を目指している。まず、その基礎となる軌跡情報について、実験室内での軌跡収集実験、さらには大阪市内の地下街であるディアモール大阪、商業施設 ATC の2か所で人の通行データを計測し、データを蓄積した。ディアモール大阪では通路において比較的小規模なデータ収集を行い、6 時間の通行データを4日分蓄積した。ATC では10時間の通行データを毎週二日分継続的に1年にわたって集め、歩行者行動のデータを蓄積した。この蓄積したデータを解析するアプローチにより研究を進めた。まず、人々が互いに邪魔になることなく移動する歩行者行動のモデル化研究を進めた。いわゆる歩き方の社会常識があり、人々はこれを踏まえた行動をしている。この、人々の移動行動を計測し、モデル化する研究を進めた。歩行者モデルとしては Social Force Model が良く知られている (D. Helbing, and P. Molnar, Social force model for pedestrian dynamics, Physical Review E, vol. 51, pp. 4282-4286, 1995)。人の移動時に、人は互いにぶつかることなく移動する。すなわち、物理学的な力(衝突時の斥力など)が働く前に、まるで社会的な斥力 (social force) が仮想的に働いているとみなすと人々の移動行動が上手く説明される。

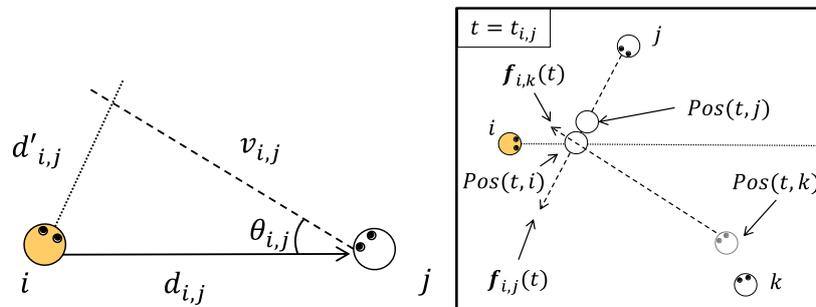


図 3-1-5. 衝突予測型の歩行者モデル

この従来型の Social force model は各時刻における互いの位置関係に基づき、その距離の逆数に比例するような Social force を仮定した。これに対して、本研究では Social force model を拡張し、現在の時刻ではなく、将来最も互いに接近する地点における将来的な位置関係に基づくとする計算を行うことにした(図 3-1-5)。すなわち互いの進路をお互いに予測し合い、衝突を互いに予測して避けるという、予測型の歩行者モデルを構築した。実験室内で人々が移動時に互いに回避しあう状態を作り出し、4人での回避場面 24 回、8人での回避場面 16 回の計 224 軌跡を収集し、歩行者モデルのキャリブレーションを行った。この歩行軌跡に対して、提案手法は従来手法よりも 15%以上も性能が良いモデルが得られた。この研究結果の報告は、歩行者モデルの研究がよく報告される著名なジャーナルの Europhysics Letters (2009 年のこの論文誌の Impact factor

は 2.893)に採録され(文献\$4 (1) [1]), 発表後 5 年で 69 件引用された. (引用件数は Google scholar による)

流れのモデル

歩行者モデルにおいて, 従来研究では環境からの影響に関するモデル化はあまり行われていなかった. そこで, これまでに取得したシンプルな形状の通路領域での移動行動に関するデータセットの統計的な解析を進めた. その結果, 歩行者は通路の左側を通る傾向があるが, なかでも, 通路の中央付近に歩く速度が速い歩行者が集まり, 端付近を速度が遅い歩行者が歩くことを発見した. この現象をモデル化するために, すれ違いに加えて, 追い抜き行動のモデルを新たに考案した. このモデルでは, すれ違いと追い抜きの双方を, エージェントが他者の速度を反時計回り方向にやや傾いて扱う, というシンプルな原理であるが, これによって従来法 (M. Moussaïd, et al., The Walking Behaviour of Pedestrian Social Groups and Its Impact on Crowd Dynamics, PloS one, vol. 5, 2010 など) よりも通路の流れ現象をより正確に再現できることが分かった(図 3-1-6, 3-1-7). この結果は, Plos One 誌(2009 年のこの論文誌の Impact factor は 4.092)に採録された(文献\$4 (1) [5]).

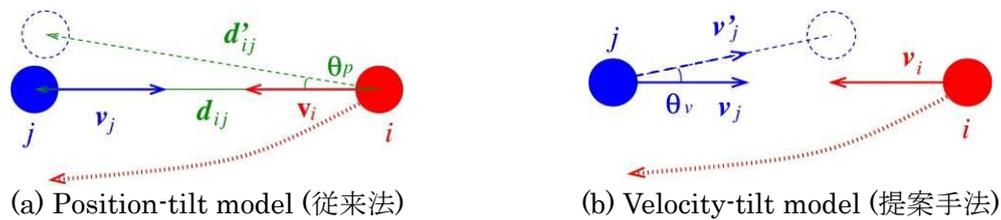


図 3-1-6 流れのモデル化

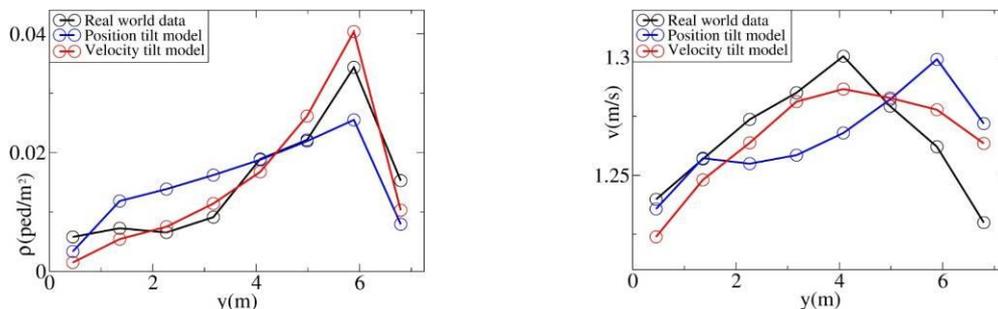


図 3-1-7 歩行者の分布密度(左), 速度分布(右)の再現結果

グループ行動のモデル

グループで歩く歩行者の行動のモデル化も進めた. 実環境で計測したグループの移動軌跡をもとに, 各エージェントが, 隣接するエージェントを視野内に入れようと行動する, というモデルを考案した. グループの人数が増えると速度が低下すること, 3人グループが基本的には V 字型のフォーメーションを取ることに, といったグループ行動の特性を再現するようなモデルを実現することができた. このモデルにより, 計測したデータと類似した分布が得られた(図 3-1-8). この結果は, 物理法則で歩行者行動を表現する著名な研究がよく掲載されてきた Physical Review E (2013 年のこの論文誌の impact factor は 2.313)に採録された(文献\$4 (1) [17]).

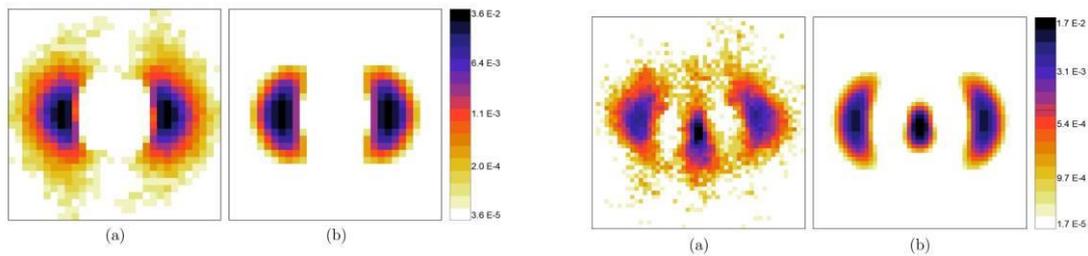


図3-1-8 2人グループ(左)と3人グループ(右)の場合のグループ内の相対位置の確率分布 (それぞれ(a)が実際のデータ, (b)がモデルから得られた分布を表す。)

さらに、混み具合(密度)の歩行者行動への影響について研究を進めた。計測データの分析から、身長の高い人ほど早く歩きがちであり、一方で平日のほうが休日よりも人々は速く歩いていることなどが分かった(文献§4(1)[16])。グループの形状については、2人グループでも、3人グループでも、 $[0-0.3]\text{ped/m}^2$ の範囲で、混み具合に寄らず奥行き(進行方向のグループのメンバー間の距離(図3-1-9中の depth))は一定であること(図3-1-9左)、速度と幅(進行方向に直交する方向のグループのメンバー間の距離(図3-1-9中の width))は混み具合に対して線形的に比例して下がることが分かった(図3-1-9左, 右)。形状については、密度が低い時には、3人グループの形はほとんどV字隊形(真ん中を歩くメンバーが左右のメンバーの少し後ろを歩く, 図3-1-10(a)だったが、密度が高くなると Λ 字隊形(真ん中のメンバーが先を歩く, 図3-1-10(b))のグループも現れるようになった。この結果も、物理法則で歩行者行動を表現する著名な研究がよく掲載されてきた Physical Review E (2013年のこの論文誌の impact factor は 2.313)に採録された(文献§4(1)[25])。

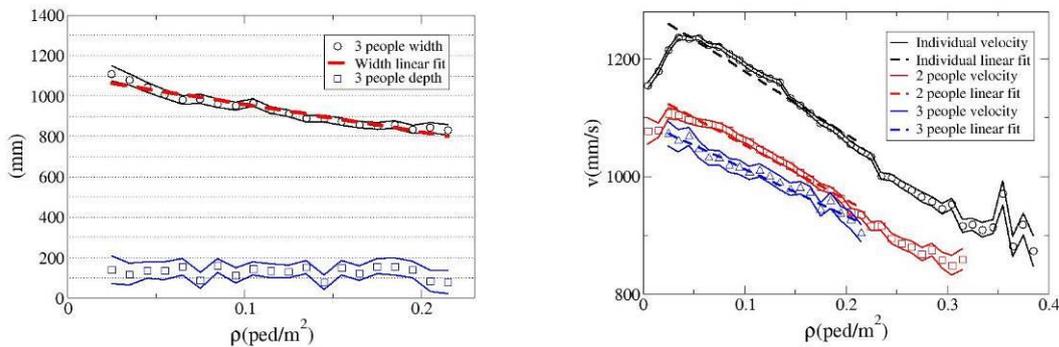


図 3-1-9 混み具合によるグループ行動の変化

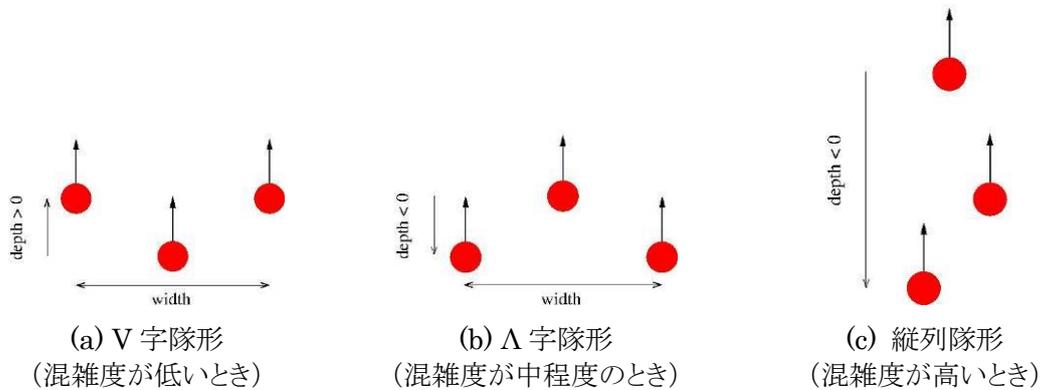


図 3-1-10 混み具合によるグループの隊形の変化

ここまでの分析結果を説明できるような、グループ行動の数学的なモデルを構築した。文献(文献§4 (1) [17])で報告したグループ行動の基本モデルのポテンシャルに、進行方向に直交する方向に密度に比例した調和振動子のポテンシャルを足すことで、上記の文献(文献§4 (1) [25])における人混みの密度と速度、幅、奥行き関数関係を再現出来た。グループの形状についても、分析から明らかになった中程度の混み具合での Δ 字隊形の出現も再現できた。さらに、混み具合がさらに高まると2人グループでも 3 人グループでも、横に並んで歩く隊形が、縦に列で歩く(図 3-1-10(c))ことになるといった「相転移」の予測も行った。奥行きの確率分布の分析から、数学的にこの「相転移」を調べることが出来る。3 人グループの場合、真ん中を歩くメンバーから奥行きを測ると、V 字隊形が多ければ、確率分布の最頻値は正である(図 3-1-10(a))。そして、 Δ 字隊形が現れると、負の最頻値も出現する(図 3-1-10(b))。縦に列で歩く場合、真ん中を歩くメンバーの位置はそれぞれなので、正と負とともに、0 の最頻値も出現する(図 3-1-10 (c))。図 3-1-11 から、0.15 ped/m² 程度の混み具合で Δ 字隊形が出現し(図中*1)、0.6ped/m² 程度の混み具合で縦列への相転移が起きることが分かる(図中*2)。この結果は、歩行者モデルの研究がよく報告される著名なジャーナルの Europhysics Letters (2015 年のこの論文誌の Impact factor は 2.095)に採録された(文献§4 (1) [26])。

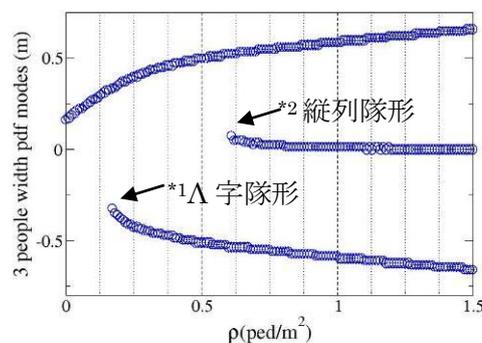


図 3-1-11 混み具合による奥行きの確率分布の変化 (混み具合と隊形の関係)

HRI 行動モデル

ロボットが環境にあるときに人々のロボットに対する様々な行動が見られる。ロボットの存在に気が付かない人もいれば、遠くからロボットを見に近寄ってくる人もいる(図 3-1-12)。人の動きを正しくモデル化するためにはこういったロボットとの相互作用(HRI(Human-Robot Interaction)行動)もモデル化する必要がある。人とロボットの相互作用の多くのデータを解析して、作用をいくつかのパターンに分けることができるとわかった。大きく分けて「ロボットに興味を持って近づいて相互作用する人」、「立ち止まり、離れて見ている人」、「興味を持ってロボットを見るため)歩くのが遅くなる人」、「ロボットに影響されない人」といったロボット周辺で見られる 4 つの行動がある(図 3-1-13)。それぞれのパターンの中で、どのような移動行動をするのかは数理的にモデル化し、その出現頻度や滞在時間などのパラメータの確率的なモデル化を行った。(文献§4 (1) [4])



図 3-1-12 ロボットに近づいてくる人

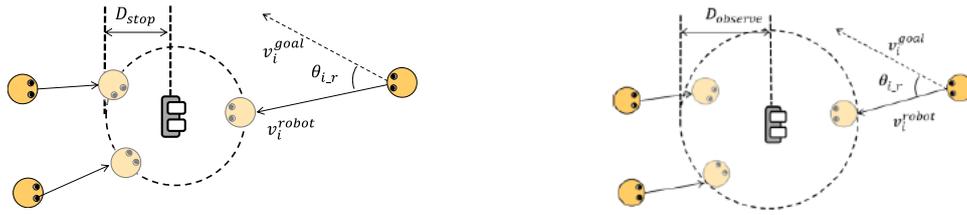


図 3-1-13 HRI 行動モデル

大局行動のモデル

より広範囲の移動行動に関する経由点(サブゴール)を算出し、移動行動のモデル化を進めた。広域における移動行動のモデルにおいて、従来手法では数十秒以上に渡る長期間での予測精度が低かった。そこで、人の大局的な動きを、短期的な目標地点(サブゴール)の切り替えによって表現する方法を考案した。また、蓄積された移動軌跡を用いて、サブゴールの位置を推定し(図 3-1-14)、サブゴールを用いた移動行動のモデルを学習する手法を提案した。歩行者の将来の移動をサブゴールの系列によって推定することにより、大局的な動きをより正確に予測できることが分かった(図 3-1-15)。この結果は、ロボット分野のトップカンファレンス、Robotics: Science and Systems (RSS2012)(採択率 33%)に採録された。(文献§4 (1) [3])

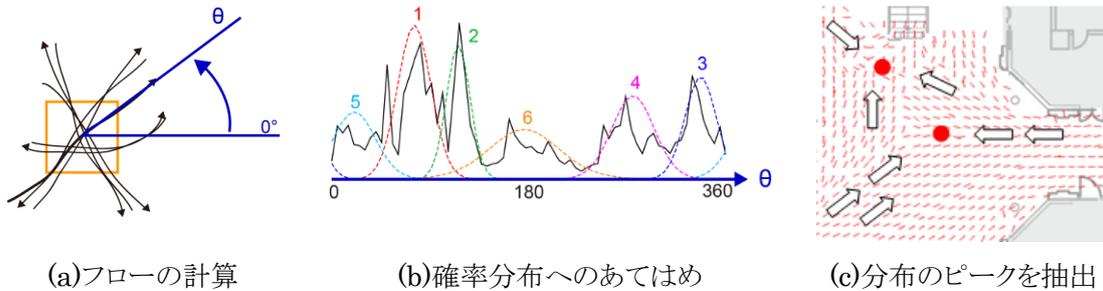


図 3-1-14. サブゴールの推定方法



図 3-1-15. 推定されたサブゴールと将来の移動予測

非典型行動のモデル

上で述べたように多くの人の環境を通った軌跡から大局行動のモデルを作ることができた。得られたモデルは大多数の人の行動を記述しているので、人の典型的な行動を予測できる。一方、道に迷った人や不審者などはたいていの場合、他の人と違う行動をとる。そこで、非典型行動を認識することが重要になる。研究を進めた結果、大局行動のモデルを使って数秒後の歩行者の位置を予測した際に予測された位置が実際に非典型行動する歩行者がたどり着いた位置と異なることが多いことが分かった(図 3-1-16)。この結果を使って人の「予測可能性」の特徴を定義した。典型的な動きをする人は予測可能性は高い。一方、図 3-1-16 のような非典型行動の場合、予測可能性は低い。実環境で収集した軌跡の中から非典型行動をとった人をラベルづけし、データセットを構築した。予測可能性に加えて歩く速度を入力として用い、SVM による認識器を構築し、構築したデータセットにより識別モデルの学習を行った。その結果、91%の認識率を得ることができた。従

来法数種類と比較したところ、従来法ではいずれも 70%以下の識別率しか得られなかったことから、従来法よりも格段に性能の高い、非典型行動の認識システムを作ることができたといえる。

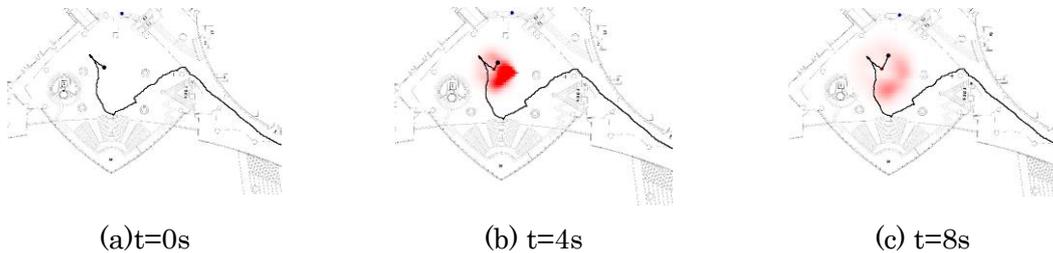


図 3-1-16 人の非典型的行動. 予測した数秒後の人の位置の確率は赤色で現している. 非典型行動の場合予測と実際の人の位置が異なる.

長期的な変化のモデル

大規模な観測データをもとに、人々の集まりや流れといった街角の状況や場所の使われ方を把握する街角環境理解技術を実現するための研究を進めた。人々の流れの時間による変化をモデル化する研究を進めた。1年間にわたり、人々の移動行動を計測し、分析、モデル化した。平日は昼休憩と夕方の帰宅時間に人通りのピークがあり、休日にはむしろ午後2時から4時ごろが混む、といった時間ごとの変化があること、一方で年間を通じた変化は季節や天候の影響は少なく、むしろイベントの有無や夏休みのような長期休暇の影響で人通りが増加することが分かった。これらの傾向を Gaussian process モデルによってモデル化することができた(図 3-1-17)。この結果も、IEEE の Transactions on Human-Machine Systems に採録された(文献\$4 (1) [21]) (2015 年のこの論文誌の impact factor は 1.982)。

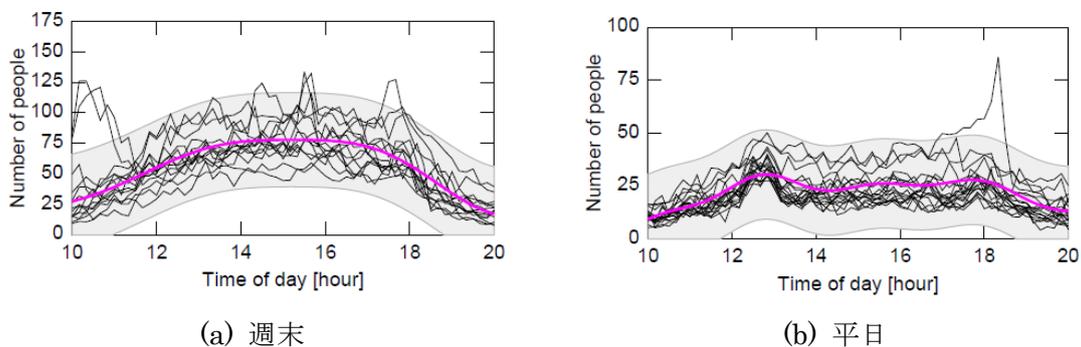


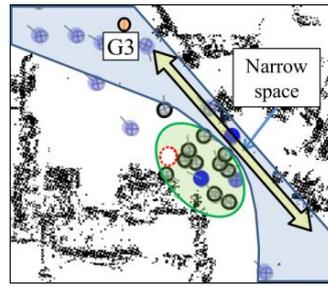
図 3-1-17 人通りの変化のモデル化結果

シミュレーションへの統合

上記の一連の技術を組み合わせることによって実世界での観測した人の行動を再現するシミュレータを構築した。シミュレーションは、新たな歩行者の生成、移動軌跡、ロボットとの相互作用、の 3 つの基本要素で構成される。シミュレーション上で新たな歩行者の現れる場所や時間を決定するために、実環境で検出された軌跡の統計情報から出現確率を抽出するようにした。また、それぞれの歩行者のグループの帰属関係を表現する確率的モデルも、実データに基づき構築した。これらのモデルに関する時間や日にち等の変化は上述の長期的な変化のモデルで再現できる。歩行者が生成された後どんな軌跡を通るかは上述の大局行動のモデルや衝突回避行動のモデルで計算される。歩行者がグループに属している場合、グループ行動のモデルも使う。更に、ロボットの周りの歩行者行動は HRI 行動モデルに基づいて計算される。こういったシミュレーションにより、実環境の状況を統計的に正しく再現できる。例えば、ロボットの周りが混んでくる状態(図 3-1-18)などの創発的現象のシミュレーションが可能になった。混雑の発生については、3.2 節の「環境に調和して混雑を起こさないための行動計画方法」において詳しく述べる。



(a) 実環境



(b) シミュレーション

図 3-1-18 シミュレーションで実世界の状況の再現

3.2 街角環境調和型のインタラクション技術の実現（研究代表者グループ）

(1) 研究実施内容及び成果

街角で、人々は互いに邪魔になることなく移動している。いわゆる歩き方の社会常識がある。一方、ロボットを街角で移動させると、この常識を踏まえないことゆえに環境と調和できないことが分かってきた。そこで、この研究項目では、街角の状況や場所の使われ方に関する常識(3.1 に示した街角環境理解技術により得られる結果)を踏まえてロボットが適切なインタラクションを行うことで、街角環境と調和して移動したり、人々に話しかけることを可能にする技術を実現することを目指して研究を進めた。

図 3-2-1 に、本提案により実現した基盤技術の基本アーキテクチャを示す。研究項目 3-1 で示したように、広域での人位置計測技術を基盤に、街角環境理解技術により明らかになった人行動モデルがモデル化の基礎となり、これらのモデルを統合することで人々の行動のシミュレーションが実現した。それによって、「歩行者と調和した移動」、「話しかけやすい行動」「興味を持った人への話しかけ行動」といった街角環境調和型のインタラクション技術を実現した。ロボットのサービスの基本機能である、環境との調和が可能になった。これらの技術の上で、ロボットによる街角の情報環境の基盤技術として実施可能なロボットサービスの例題として、後述の、チラシ配り、道案内、迷っている人への案内、店舗への案内・誘導などを実現し、基盤技術の有効性を確認した。おおむね、これらのモジュール群によって、多様な有用なサービスが実現可能であることが分かってきた。

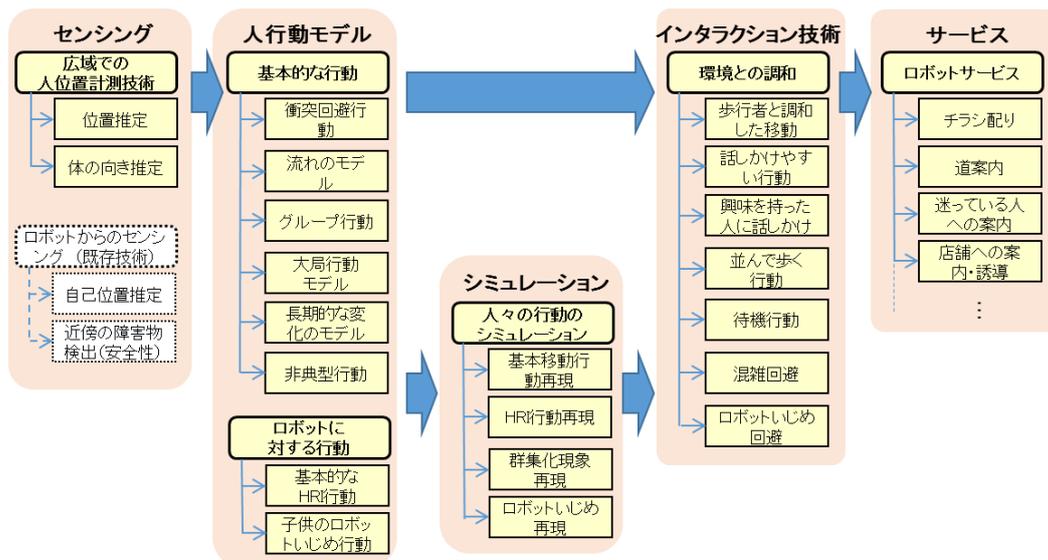


図 3-2-1「街角の情報環境」として活動するロボットシステムの基本アーキテクチャ
(本提案により実現した基盤技術によるモジュールを黄色の背景で示す)

図 3-2-2 に、これらの基盤技術に関して、センシングの範囲と可能になるロボットのサービスについての視点から考察した。従来型のサービスはロボットの周辺での人々の行動しか観測せず、環境との調和も考慮せずに行動していた。これに対して、10m 程度の範囲での観測が可能になることで、周囲の歩行者と調和した移動や、歩行者への接近が可能になった。また、20m 以上の広範囲でのセンシングにより、環境全体を見渡した計算が可能になり、迷っている人を見つける、混雑させないように適切な場所を見つける、といった環境調和型の基本機能が実現した。また、インフラとしても利用できるエリアが拡大し、様々な店舗前での顧客誘導サービスも容易に実現できるようになった。

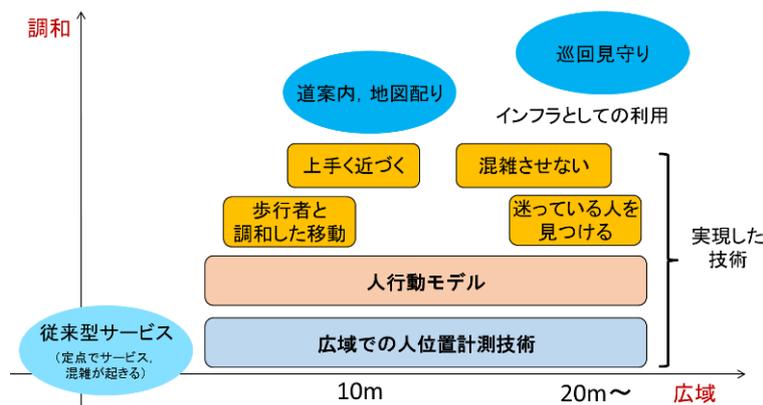
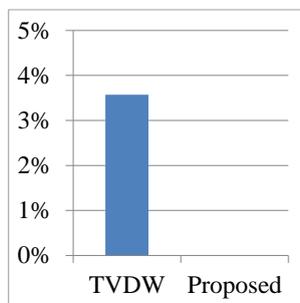


図 3-2-2 センシングの範囲と可能になるロボットのサービス

以下に、具体的な実施内容と成果を示す。

歩行者と調和した移動

前述の、街角程度の混雑度合いでの人の行動を再現する歩行者行動モデル（文献§4 (1) [1]）をロボットの移動に利用することで、ロボットによる自然な移動行動を実現することができた。歩行者行動モデルを用いることでロボットは人同士が避けあう場合と同様に距離を取って回避することができるが、既存手法はぶつからないための回避しか行わず、歩行者の方が大きく回避しがちである。これらの手法の印象比較を行う比較実験の結果、歩行者行動モデルを用いたロボットは、既存の障害物回避の手法（TVDW 法など）を用いた場合よりも、邪魔にならず総合的に高い評価を得たことが示された。実際のショッピングモールでもフィールド実験を行い、既存手法では 3.6%の歩行者が急によけたりする等の安全でない状況を起こすが、提案手法ではそのような状況が起きない（図 3-2-3）など、安全にロボットを移動させることができることを確認した。（文献§4 (1) [14]）



(a)安全ではない移動の割合



(b)安全ではない場面の例

図 3-2-3 実験結果

話しかけやすい移動行動

また、話しかけやすい移動の仕方についても研究に取り組んだ。具体的には、警備員の経験を持つ人々の歩行行動を分析し、どのような振る舞いが話しかけやすい移動の実現に有用であることを分析した。その結果、話しかけやすい移動を実現するために、歩行者に対して平行に移動すること、歩行者の付近で移動速度を低下させること、および歩行者に対して視線を向けること、の3つが重要であることが明らかになった。これらの分析からモデル化された振る舞いをロボットに実装することで、話しかけられやすい移動を実現した。39 人の被験者による比較実験を行い、視線の有無と移動軌跡の変化の有無による影響を検証した結果、モデル化した振る舞いを用いることで、ロボットは総合的に高い評価を得た（文献§4 (1) [2]）。さらに、提案した話しかけられやすい振る舞い

を、歩行者行動モデルによる移動行動を拡張して再現するアルゴリズムを実現した。これによって、実際のフィールドで歩行者と調和して移動しながら、同時に話しかけやすく振る舞うことが可能になった。

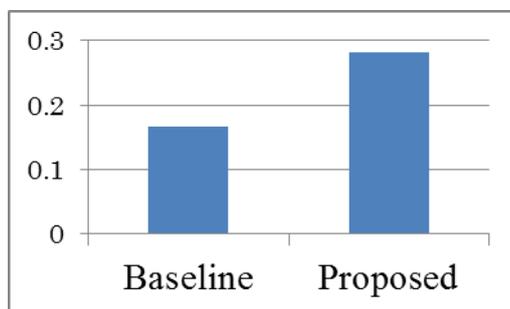


図 3-2-4 実験結果: 提案手法(Proposed)は「人々からの話しかけ」をより多く誘発する

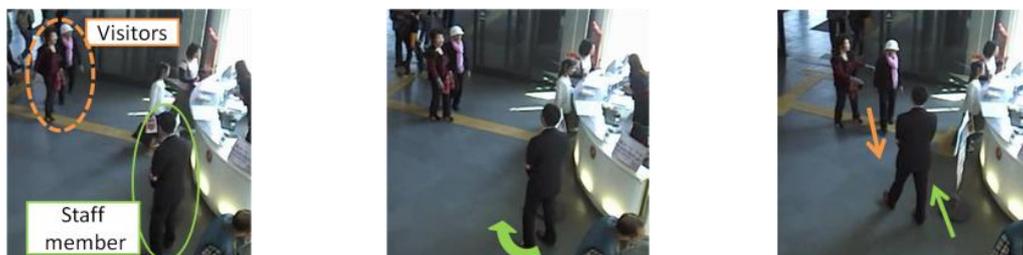
その効果をフィールド実験により評価した。図 3-2-4 にその結果を示す。そもそも、ロボットは、人からの話しかけを誘発して、人々の新しい興味や行動を引き出していたが、単に調和して移動した場合(図中の baseline)に比べて、実現方法により移動した場合(図中の proposed), より多くの人々からの話しかけを誘発することが分かった。このように、実環境内で複数の人々とすれ違う際にも、ロボットによる自然で話しかけられやすい移動行動を実現しすることができ、それが人々の話しかけをより誘発できることが分かった(図 3-2-5)。



図 3-2-5 話しかけやすい行動をするロボットが「人々からの話しかけ」を誘発

ロボットに興味を持った人にもみ話しかける行動

街角でのロボットサービスの実現に向けて、対話開始の際のアプローチ行動の研究も進めた。従来法では、ロボットはユーザーの接近を待ち受ける方法や、話しかけが成功しやすいように前方からアイコンタクトを保ちながら近づく方法が実現されていた。しかし、前者は、ロボットの存在に気付かないユーザーや、ロボットに自ら話しかけることはためらうユーザーとの対話が始まらないという問題があった。後者の方法は、ロボットとの対話を望まないユーザーへもロボットが接近して、邪魔や迷惑になってしまうという問題があった。



(a) 来訪者があたりを見渡す

(b) スタッフが来訪者を見る

(c) 互いに歩み寄る

図 3-2-6: スタッフの接近行動

この話しかけの問題について、プロであるショッピングモールのスタッフの振る舞いの分析を進めた。図 3-2-6 にその一例を示す。分析の結果、スタッフは、来訪者が話しかけやすいように待ち受けながら(図 3-2-6 (a)), 来訪者が話しかけようとしている意図を察知し(図 3-2-6 (b)), 声をかけられる前に自らも来訪者の方に歩み寄り始めている(図 3-2-6 (c))ことが分かった。

そこで、このようなスタッフの振る舞いをロボットが再現できるよう、移動軌跡から人々の話しかけ意図を推定するアルゴリズムを実現した。話しかけ意図がある場合とない場合の計 130 軌跡を収集し、データセットを構築した。そのうえで、話しかけ意図がある場合の軌跡が、話しかけ相手の正面やや前方の空間に向かう、という性質を見出し、それを表現する特徴量を用いて認識器を構築したところ、従来の認識方法の認識率をはるかに上回る性能で、話しかけ意図を認識できるようになった(提案手法:95.4%, 従来法:80.9%~86.1%)。この認識結果をもとに、ロボットの接近行動を実現した。ロボットに話しかける意図がある人を検出し、ロボットからも一歩近づくことで対話の開始を促進する(図 3-2-7)。

実現したロボットの行動の有効性をフィールド実験で確認した。図 3-2-8 にその結果を示す。ロボットがユーザーの接近を待ち受ける方法(Passive 法)や、話しかけが成功しやすいように前方からアイコンタクトを保ちながら近づく方法(Simply-proactive 法)といった従来法よりも効果的な対話開始が可能になることが見いだされた。この結果は、人とロボットとの相互作用に関するトップカンファレンス、Human-Robot Interaction 2015(採択率 25%)に掲載された(文献§4 (1) [19])。最終到達目標の1つについて、「ロボットと話しても良いと思う人への 87%の精度での話しかけ」を実現し、おおむね当該の到達目標を達成することができた。

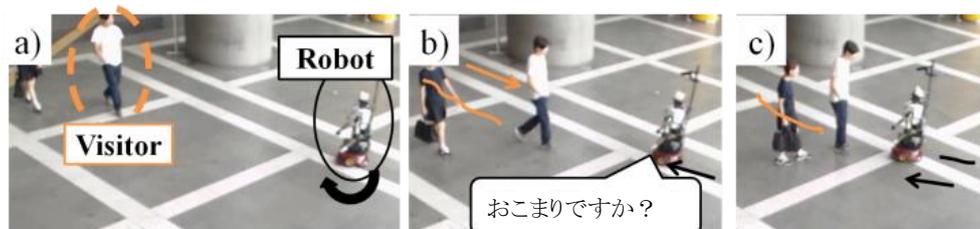


図 3-2-7: ロボットと対話する意図のある人へのロボットからの接近行動

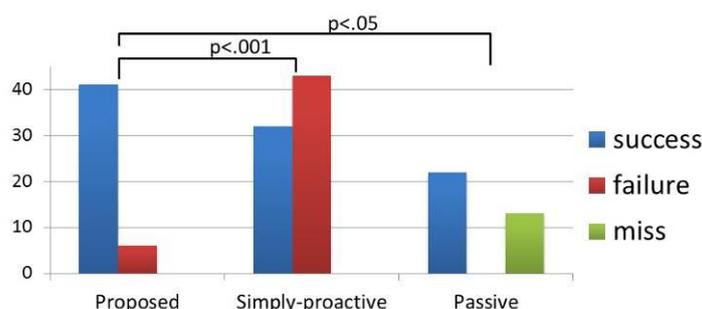


図 3-2-8: 実験結果:従来方法(Simply-proactive, passive)に比べて提案方法(Proposed)は、成功率が高い。通行する人々の邪魔にならずに話しかけができる。

並んで歩く行動

街角を移動しながらサービスするロボットの可能性を広げるために、人と並んで移動するロボットの研究を進めた。人と並んで移動するのは一見簡単に見えるが、単に速度が人と同じようになるように横に移動すると、人が進路を変える際に追従できず、ぶつかってしまう場合もあるため、なかなか実現が難しい。そこで、人々の並んで歩く軌跡を収集し、並んで歩く際の歩行者行動モデルを構築した。図 3-2-9 に示すように、環境内のどのサブゴールに向かっているのかの推定方法(図 3-2-9 左)と、互いの将来行動を互いに推定しあいながら行動するというプランニングのフレームワーク(図 3-2-9 右)を実現した。これにより、曲がり角があるような場面でも、パートナーが曲がりそう

な場合には進路を空け、そうでない場合には真横に並んで歩くという行動を実現することができた (図 3-2-10). この結果は、この結果は人とロボットとの相互作用に関するトップカンファレンス, Human-Robot Interaction 2014 (採択率 24%) に掲載された (文献§4 (1) [13]).



図 3-2-9: サブゴールの推定(左)と, 互いの将来行動を考慮したプランニング(右)

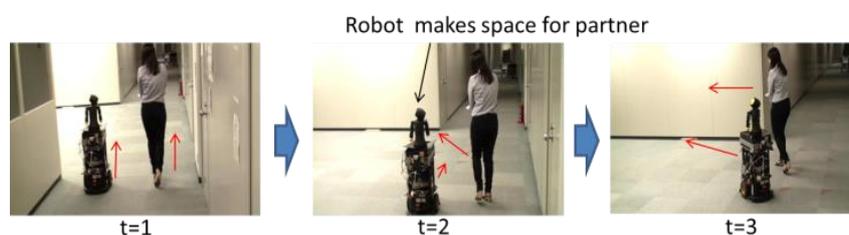


図 3-2-10: ロボットの並んで歩く行動の実現

待機行動

環境を理解したロボットのインタラクション行動として, 適切な位置で待つ行動の研究を進めた. 待機行動においても, 街角と調和した振る舞いが求められることが分かってきた. 実際, 商品棚の前や, 施設の入り口でロボットが長時間待機するという問題を引き起こしてしまったこともあった. そこで, 24 人の被験者から判断データを集め (図 3-2-11), 待機行動の適切さに関するモデルを構築した. 通行人に対する邪魔さと商業行動に対する邪魔さに分解し, 通行人に対する邪魔さを, 位置計測技術によって得られた軌跡データセットから場所の潜在的な通行量としてモデル化し, 商業行動に対する邪魔さを3次元地図情報を用いて店舗からの Visibility(見えやすさ)としてモデル化することで, 実現出来た. 実際の商業施設でロボットを連れた買い物場面のシナリオにおいて評価実験を行い, 待機行動の適切さを評価した. 図 3-2-12 左に示されるように, 本モデルを持ったロボット (Proposed) はユーザーが自分で操作した場合 (manual) やランダムに待機位置を決める場合 (random) よりも適切な場所で待機できるようになったことが分かった. この結果は, この結果は人とロボットとの相互作用に関するトップカンファレンス, Human-Robot Interaction 2013 (採択率 24%) に掲載された (文献§4 (1) [8]).

また, これ以外にも, 環境を理解したロボットのインタラクション行動の研究を進め, 店舗前で邪魔になる可能性のある領域, いわゆる店の縄張り, を環境の3次元地図から推定する手法を実現した. この結果は人とロボットとの相互作用に関するトップカンファレンス, Human-Robot Interaction 2014 (採択率 24%) に掲載された (文献§4 (1) [12]).



通行人の邪魔になる場所



商業行動の邪魔になる場所



適切な場所

図 3-2-11: 場所の使いわけ方のモデル

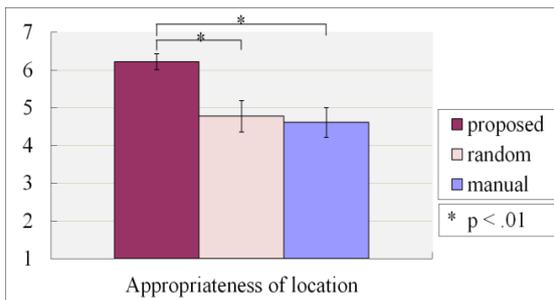


図 3-2-12: 評価実験の結果(左: 場所の適切さの評価, 右: 提案方法での待機例)

環境に調和して混雑を起こさないための行動計画方法

ロボットは多くの人々の注目を集めるが、時には過剰な混雑を起こしてしまう(図 3-2-13). 人々のロボットの周囲でのマイクロな行動を、大量の移動軌跡を基に「歩行者モデル」として数理的にモデル化し、混雑のようなマクロの現象をシミュレーションにより創発的に再現した. ロボットが将来状況をシミュレーションすることで、混雑を起こさない行動計画方法を実現した.



図 3-2-13: ロボットが引き起こす混雑による通行の妨げ

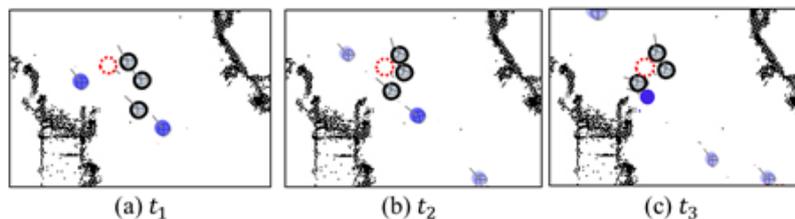


図 3-2-14 混雑状況のシミュレーション(薄い青色が快適, 濃い青色が不快)

3.1 節で歩行者行動のモデル化技術とそれに基づいたシミュレータの実現について述べた. このような研究を進める中で、シミュレータがロボットの周囲の混雑の発生の予測に利用できることに気が付いた. そこでシミュレーション技術に基づいて、環境との調和の問題、すなわち、ロボットの

周囲で起きる混雑、の問題に取り組むことにした。混雑に起因して個々のエージェントの感じる快・不快を実験データに基づいてモデル化した。他の人と最も近づいた距離の逆数に比例して、不快な度合いが増えることが分かった。この快・不快のモデルをシミュレーションに入れることで、混雑による迷惑の度合いを計算できるようになった(図 3-2-14)。そのうえでシミュレーションをロボットの行動計画に利用することで、ロボットが混雑を起こしにくい領域で活動するような行動計画ができることを実証した。この結果は人とロボットとの相互作用に関するトップカンファレンス、Human-Robot Interaction (HRI2013)(採択率 25%)に掲載され、さらに最優秀論文に選ばれた(文献§4 (1) [7])。

さらに分析を進めたところ、ロボットが移動しているときよりも、会話している時のほうが、より多くの人がロボットの周囲に立ち止まりがちであることが分かった。すなわち、いったんロボットと会話が始まると、急激に混雑が拡大していく傾向があった。このような動的な場面を扱えるよう行動計画方法を拡張し、実時間で行動計画できるようにした。より動的な環境でも混雑を起こさないようになった。例えば、図 3-2-15 のように、ロボットの周りで会話が始まると、シミュレーションにより周りが短時間で混んできて邪魔になる可能性を予見し、早いうちに広い場所へ移動し混雑を避ける。この結果はロボット工学分野のトップジャーナル IEEE Trans. on Robotics (2015 年のこの論文誌の impact factor は 2.432)に掲載されることになった(文献§4 (1) [28])。

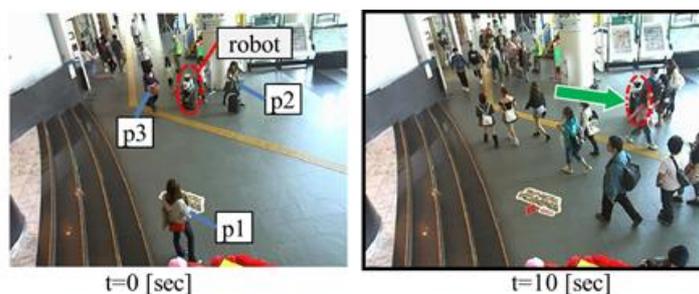


図 3-2-15 動的な混雑回避の実現

「ロボットいじめ」の予防のための行動計画方法

ロボットがサービス提供する際に、子供たちがロボットとインタラクションする中で時に行動がエスカレートし、子供達から攻撃行動(執拗な妨害, 悪口, 叩くなどの暴力)を受けるという「ロボットいじめ」現象が起きることが分かってきた(図 3-2-16)。特に、上述の混雑現象を緩和できるようになる中で、より「ロボットいじめ」現象が顕著にみられるようになってきた。

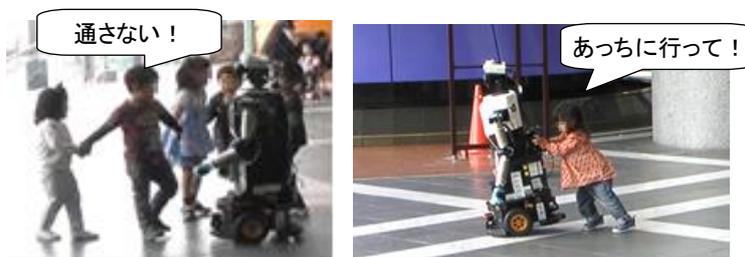


図 3-2-16: 「ロボットいじめ」行動の例

このような現象が起きると、ロボットがサービスを続けるのは難しく、また環境との調和の観点からも望ましくない。そこで、この現象を予防するために、この現象の生起を精緻に分析し、モデル化する研究を進めた。その結果、子供たちが親から離れ、複数人の子供たちが集まり、ロボットとのやり取りが長時間続いた場合、また人通りが少ない場合に、このロボットいじめ現象が起きやすいことが分かった。この分析結果を、3.1 節に示した歩行者シミュレーション上へ実装することで、シミュレー

シミュレーション上で実環境でのロボットいじめの生起や子供の行動(いじめの発生率, 相互作用時間など)を再現できた(図 3-2-17).

このシミュレーションをロボットの行動計画に利用することで, ロボットいじめが起きることを事前に予測し, 予防する仕組みを実現した. たとえば, 子供たちは親がそばにいるとインタラクションをやめる傾向があるため, ロボットはロボットいじめの生起を予測すると, その子供たちの親の近傍に移動する. これにより, ロボットいじめの生起率を 22.6%から 3.8%に大幅に減少させることに成功した(図 3-2-18). この研究成果も, 人とロボットとの相互作用に関するトップカンファレンスである HRI2015(採択率 25%)に採録され, さらに最優秀論文賞を受賞した(文献§4 (1) [20]). また, この結果は, IEEE Spectrum Robotics News (§4 (5) ② [6])をはじめ, 多くのインターネット上のメディアで報道され, Youtube 上のビデオ (§4 (5) ② [7])が公開から1か月で 32 万アクセスを集めるなど, 多くの注目を集めた.

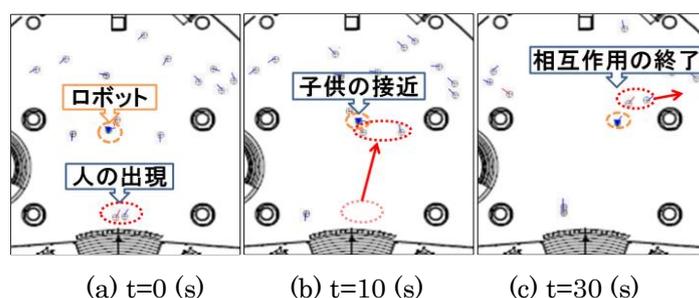


図 3-2-17 「ロボットいじめ」現象のシミュレーションによる再現

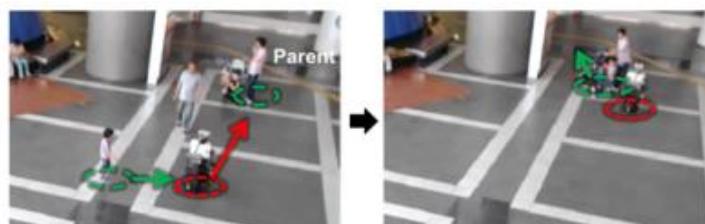


図 3-2-18: 「ロボットいじめ」の回避(子供に接近されたため親の近傍に移動した)

「チラシ配り」サービス

親和的なインタラクションを行うロボットサービスの一例として, 街角で歩行者に対してチラシを配るロボットを実装した. 実際に街角でチラシを配っている, チラシ配りが上手な人々の行動を分析し, 「歩行者に対して斜め前方から接近し, すれ違う直前で手を伸ばす」というモデル化を行った(図 3-2-19). モーションキャプチャシステムを用いて詳細な分析を行い, 手を差し出す高さなどのパラメータ抽出を行うことで, ロボットによるチラシ配り行動を実現した. 提案手法を用いてチラシを配るロボットは上手な人と同程度の 73.3%の成功率でチラシを受け取ってもらうことが出来た. この結果は, ロボット分野のトップカンファレンス, Robotics: Science and Systems (RSS2013)(採択率 30%)に採録された. (文献§4 (1) [9])



図 3-2-19 チラシ配りの上手な人の振る舞いを再現するロボットの実現

さらに、長時間にわたり、連続的にサービスできるような拡張を行った。広域の人位置計測を行う事で、人々の移動を10mの範囲で予測し、斜め前から近づく事を可能とした。図3-2-1に示した基本アーキテクチャのモジュール群を利用して、周囲の人々の邪魔にならないように移動しながら、チラシを配るような行動を実現した。また、先を歩いている人がチラシを受け取ると、後続の通行人がチラシを受け取る確率が増えることが分析からわかったため、なるべく連続してやってくる人にチラシを配るような行動計画を行うようにした(図3-2-20)。

実際のショッピングモールで評価実験を行ったところ、チラシを配る成功率は87.9%にまで達した。人間が行うチラシ配りの平均的な成功率(40.7%)のみならず、チラシ配りの上手い人の成功率(77.5%)を上回る結果となった。ロボットのチラシ配りの様子を見て、わざわざチラシをもらいに来る人もよく見られた。チラシを受け取った人々にインタビュー調査したところ、55.6%の人が、ロボットの目新しさや、人が配るより近づきやすいという「気兼ねなさ」といった、ロボットならではの理由をチラシを受け取った理由に上げていた。44.4%の人は、ロボットによる配り方の自然さや配り方の人らしさを上げた。このように、ロボットが行う新しいサービスは、「人らしさ」と「ロボットらしさ」の双方を兼ね備えており、人々の興味を引きだし、上手くサービス提供が出来ていることが明らかになった。



図3-2-20: フィールド実験の様子。次々にやってくる人にチラシを配るロボット

「案内」サービスの構築

施設内の案内に必要な知識構造を明らかにするため、施設内のインフォメーションスタッフの日常業務、および、訪問客の案内ロボットに対する期待について調査し、1) 行き方が分からない場所に対する道案内、および、2) 食事やお土産購入などに関する具体的なお店のお勧め、の2つが必要である事が分かった。これを実現する知識体系をオントロジとして整理した(図3-2-21)。これに基づいて、各々のリクエスト内容に応じて案内が自動的に生成される。最終的に、商業施設内の201ヶ所の場所に関する793種類のプロパティを記載した。実験評価した結果、訪問客の96.6%のリクエストに答えられる事が明らかになった。

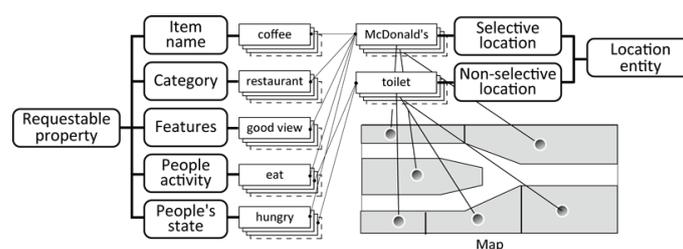


図3-2-21: 案内サービスに必要なオントロジ構造

しかし、フィールド実験を進める中で、ロボットが案内サービスを開始すると、時に、利用者が質問する事なく沈黙してしまうという現象がみられるようになった。このような現象は、人間のインフォメーションスタッフがサービス提供した際には見られない。分析を進めたところ、案内サービスするロボットが人々の興味を引き起こすことで、人々が近づいてくる一方で、ロボットの役割や機能を人々が想像出来ていないため、いざ対話が始まるとどうしていいか分からなくなることが分かった。そこで、対話開始時にロボットの能力を説明する自己紹介を行う事(図3-2-22左)、より答えやすい質問を行う(「どんなお勧めを行いますか?」といった Open-ended question よりも「どこに行きますか」といった選択肢の限られた Close-ended question を行う)こと(図3-2-22右)で対話が促進で

きる事が明らかになった。当初、54.4%の訪問客にしか情報提供できなかったが、最終的には84.5%の訪問客が沈黙する事なく質問を行うようになった。この結果は、PeerJ Computer Science に掲載された(文献§4 (1) [23])。

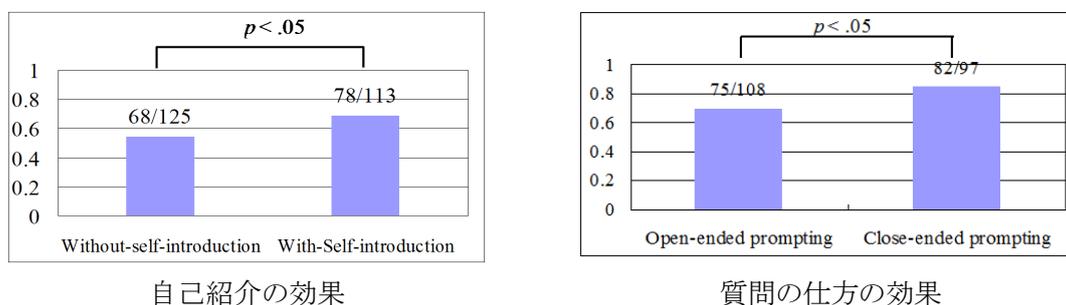


図 3-2-22: 道案内サービスの成功率

「地図配りと案内」を統合したサービス

チラシ配りと案内を統合し、環境を動き回って地図を配りながら、人の方から積極的に近寄ってきた場合には道案内やおすすめ情報の提供も行う、という案内ロボットを実現した(図 3-2-23)。図 3-2-1 に示した多くのモジュールが統合された。10m を超える広域での人位置計測技術を基に、周囲の人々の動きを予測し、斜め前方から近づいてすれ違う事が可能な通行人を選択し、サービス提供する。広域において現在の人々の位置に基づいて近い将来の状況をシミュレーションすることで混雑回避も行った。興味を持った人への話しかけ、なども統合し、人々と対話を開始した際には上記の案内サービスを提供した。



図 3-3-23: 「地図配りと案内」を統合したサービスの様子

11 日間(計 53.4 時間)に渡る実証実験を実施し、計 4349 人がロボットのサービスを利用した。ロボットを見て近づいてくる子供や、他の人々がサービスを受けているのを見て、近づいてくる大人グループがよく見られた。興味本位でロボットを使ってみようとする利用者も多かったが、「お店を探していた」など、道案内を必要としている利用者もしばしば見られた(図 3-2-24)。地図配りサービスをきっかけに、地図を受け取った人がロボットに話しかけて道案内サービスにつながった例も見られた。利用者の質問にロボットが反応し、指さしをしながら、道案内を開始すると、多くの訪問客は、感嘆の声を上げ、喜んだり、興奮したり、またロボットが指さした方向を指して案内内容を確認する、といった様子が見られた(図 3-2-25)。このように、「人の方から積極的に近寄ってくる」という現象をロボットが頻繁に引き起こすことを確認した。



図 3-2-24 お店を探している訪問客がロボットに気付き、近づく様子



図 3-2-25 ロボットの道案内サービスの様子: 指さしての案内は大変好評で(左), 多くの利用者が案内された方向を同様に指さした(中央), スマホで道を探していた人がロボットから道案内を聞いて道が分かる場面も見られた

サービス内容について評価するため、利用者の一部、89名にインタビューした所、96.6%の被験者がロボットのサービスを良いと答えていた。その良さの理由としては、「5Fに上がって右に曲がるといった、丁度迷っていた点を教えてくれた」「指さしや身体の向きを使って分かりやすく道案内をしてくれる事」といったロボットの案内能力や、「人間には案内を聞きづらいが、ロボットには気兼ねなく聞ける」といったロボットならではの特性、ロボットサービスの楽しさ、子供が喜ぶ、といった点が良さの理由に上がった。また、利用者の65.8%は、案内サービスを受ける場合、人よりロボットの方が良いと答えた。その理由として、51.9%が人に質問するより気兼ねなくてよい点を挙げた。他には、ロボットがサービスするのは目新しい、子供が喜ぶ、人と違って公平だ、といった理由があった。一方、残りの3.4%の利用者は、ロボットが遅いこと、声が聞き取りにくいこと、を問題に上げていた。また、全体の93.8%がロボットサービスをまた使いたいと述べた。この結果は、知能ロボットに関する2大国際会議の1つ、IROS2015で報告した(文献§4 (1) [27])。このように、ロボットは人間のするような有用なサービスをしながらも、人々の新たな興味や行動を生み出し、ロボットならではの新しいユニークなサービスを提供できていることが分かった。

「迷っている人への案内」サービス

より広範囲を見渡したセンシングを利用する例として、迷っている(ように見える)人への案内サービスを実現した。3.1章で述べたように、広い範囲で人の行動を追跡することで、来訪者の行動が典型的(目的地に向かって真っすぐ進んでいっている)か、非典型的(迷ったり次に行く場所を探すなど、まっすぐにどこかに行くような遷移をしていない)かを推定可能である。これを上記の案内サービスと組み合わせて、迷っている人をロボットが検出したら、ロボットがアプローチして道案内をするサービスを実装した。図 3-2-26 にそのサービス例を示す。通路をやってきた人々は通常、そのまま通路を通過するが、この家族は広場に入り(a)、いったん止まり(b)、もう少し前にゆっくり行ってからまた止まる(c)、といった非典型的の動きをした。そこで、ロボットが接近し(d)、道を案内をした(e, f)。

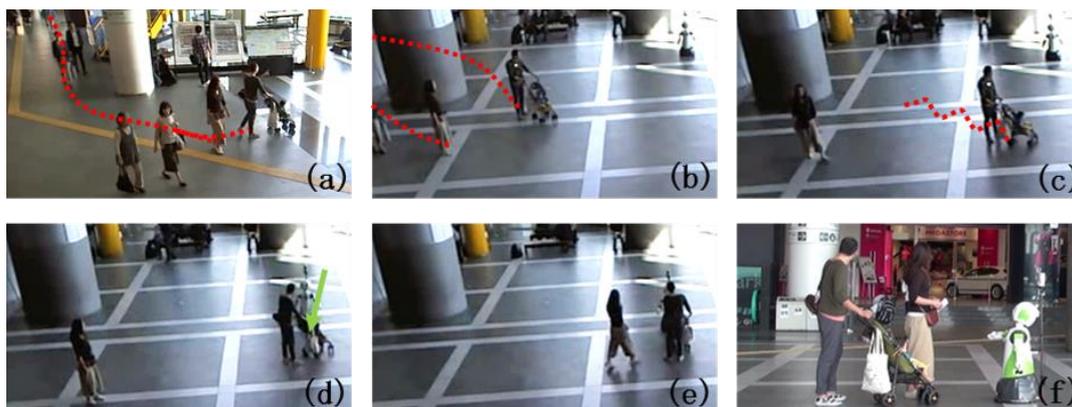


図 3-2-26 迷っている人にロボットがアプローチして道案内する

12 時間にわたりこのサービスの実証実験を行い、150 人の来訪者に話しかけて道案内サービスを提供した。道案内サービスを受けた人にインタビューしたところ、回答者のうちの 90%がサービスを良いと評価していた。たとえば、

「大塚家具に行きたいんです。(ロボットから受けた案内が)役に立ちました。指差してくれたところちゃんと指差して8階って。」

「方向が分からなかった。こっちなのかあっちなのかを、あの、手で示してくれたのが一番わかりやすかった。」

「アウトレットがあるなんて知らなかった。行ってみたいなあと思う。」

等の回答があった。一方、10%の回答者は、ロボットの道案内が誤っていたり(2つ駐車場があるうちの近い方を案内したところ、その来訪者は遠い方の駐車場に止めていた、等)、コミュニケーションがとりづらい、などの問題点をあげた。ロボットの行動を分析したところ、ロボットがアプローチした人の 94%は非典型的の行動をしており、おおむね正しい判断をしていた。このように、広い範囲を見守り続けるのは、人間には容易なことではない。ロボットならではの有意義なサービスを実現でき、また来訪者からのサービスの受容性も高かった。この結果はロボット工学分野のトップジャーナル IEEE Trans. on Robotics (2016 年のこの論文誌の impact factor は 2.028)に掲載されることになった (文献§4 (1) [33])。

「店舗への案内・誘導」サービス

広い範囲に人位置計測のセンサネットワークが構築されていることは、ロボットサービスのインフラとしても機能する。すなわち、環境内の様々な場所で、簡単に、ロボットがサービス提供できる。これを利用して、店舗への客引き・誘導を行うサービスの実証実験を進めている。



図 3-2-27 広域の人位置計測技術をインフラとして、多店舗に案内・誘導サービスを提供
(写真は、実証実験の対象としたエリア内の店舗)

こうした客引き・誘導サービスへの店舗側の期待は高い。この商業施設にある 10 店舗(図 3-2-27)に対してインタビューを実施したところ、8 店舗がぜひ使いたい、2 店舗が試しに使いたい、と回答した。その理由として、単に人間に代わる廉価な労働力という理由の他に、珍しいロボットが人間の店員より効果的に通行客を引きつける事への期待、接客で生じるストレスの低減への期待が挙げられた。これは、「人間の店員が通行客を見て客引きを行うと、通行客は買わなければいけないというストレスを感じ、お店の前で立ち寄らなくなるが、ロボットの場合、そういったストレスを感じず、立ち止まって商品を見やすくなる」といった訪問客にとってのストレスの低減と、「店員が通行客に声を掛けるのはストレスが高い仕事であり、そうした客引きをやりがらない」といった店員のストレスの低減が挙げられた。

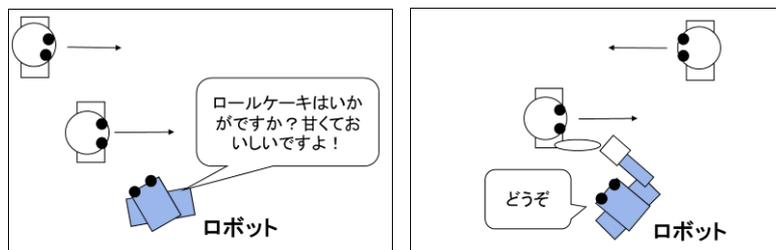


図 3-2-28 人位置計測技術をインフラとして実装したロボットのサービス

このうちの 6 店舗(ケーキ屋、薬屋、ドーナツ屋、サッカーチームのオフィシャルショップ、ファミリーレストラン、100 円ショップ)に対して案内・誘導サービスを準備した。ロボットの近傍 10m の範囲で通行客の現在の位置と、将来位置の予測を行い、ロボットが視線などを向ける声掛けの対象や、チラシ配布の対象の決定に利用した(図 3-2-28)。店舗ごとに少しずつ異なるデザインが必要になったため、それぞれの店舗毎にカスタマイズして実装した。ケーキ屋と薬屋では、ロボットが訪問客の方を向きながら声を上げて店舗の宣伝を行う呼びかけサービスを実装した。また、ドーナツ屋とオフィシャルショップではクーポンを配布しながら店舗の宣伝を行うサービスを実装した。ファミリーレストランと 100 円ショップでは、近くを訪れた訪問客に店舗の宣伝を音声で通知する音声アナウンスサービスを実装した(音声アナウンスサービスでは、人が大勢集まる事を避けたいという店長の希望によって、訪問客の方に視線を向ける事は行わない)。いずれの店舗でも、店舗とロボットとの関係性を明らかにするために、ロボットに店員のユニフォームを着せたり、店のロゴをロボットにつけたり、という希望があったため、これも対応した。この結果は、日本ロボット学会誌に採録された(文

献§4 (1) [32]). 広域での人位置計測技術をインフラとして用いる事で、どの店舗においても速やかにロボットサービスの構築ができた。



図 3-2-29 「購買行動」の例:ロボットの宣伝に興味に訪問客が興味を持ち(左), 宣伝を聞いた後(中央), 商品棚を眺め(右), 最終的に購入した

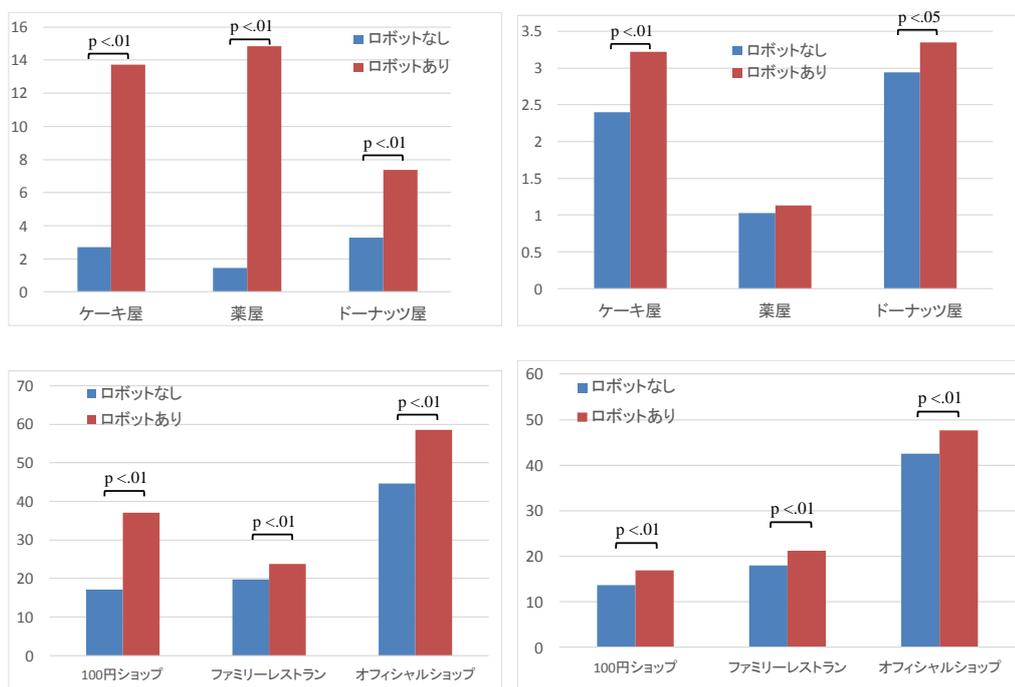


図 3-2-30 実験結果:店舗への立ち止まり率(左)と、「購買行動」の発生率(右)

各店舗ごとに4日間にわたり、フィールド実験を行った。全ての店舗で、ロボットがない場合に比べ、ロボットを置いた時に店舗の前(ロボットの周囲)での立ち止まり率(店舗内への入店を含む)が大幅に向上し、店舗への「購買行動」(商品を眺めたり、手に取ったり、店舗内に入ったり、購買したりする行動)(図 3-2-29)の発生率も、偶発的な購買が起きやすい5店舗(ケーキ屋、ドーナツ屋、オフィシャルショップ、ファミリーレストラン、100円ショップ)で有意に増えた(図 3-2-30)。ロボットが宣伝やクーポン配りを行う事が、人々の興味を引きだし、近づいて来るという現象を引き起こした。実験後、ロボットの効果を各店舗のマネージャーにインタビューした所、全ての店舗がロボットを再度使いたいと評価した。そのうちの1店舗は人間の2,3倍のコストであっても、2店舗が人間の店員と同等のコストであれば、2店舗が人間の店員よりも低いコストであれば、1店舗は利益の見込める範囲で、ロボットを導入したいと答えた。ロボットが来店・購買につながったり、店舗の宣伝になったり、店員の負荷が軽減したりする、といった効果があったとの回答があった。

ロボットの長期に渡る社会的受容性の質的な調査

人々がロボットにどのようなタスクを期待し、ロボットのサービスをどのように受け入れていくのか、研究を進めた(文献§4(1) [2])。来訪者が3年の長期に渡ってロボットに接してきたショッピングモー

ルの状況のエスノグラフィー研究を行い、その受容性について質的な研究を進めた（文献§4(1) [29]）。来訪者へのインタビューと、ロボットとのインタラクションの観察データを分析し、以下の傾向を見出した。

- ・**場所とロボットの関係性**: モール内の場所(入口, 店舗)とロボットを関連付けて想起する, 場所からロボットを思い出す, 良い感情が喚起される, といった関係性が構築された。
- ・**将来の役割**: 来訪者は, ロボットを見て, ロボットが現在は従事していない役割を想起することがあった。すなわち, 将来そのような役割につきうるロボットとしての受容も起きていた。
- ・**「マスコット」としてのロボット**: 多くの受容性の研究では, 具体的な効用, が重要だと考えられてきた。しかし, このモールの来訪者はロボットにそれほどの具体的な効用を見出さない場合にもロボットを大いに受容していた。子供たちが喜ぶ, かわいい, といった点や, 上記の場所との関係性からも, このモールにとっての「マスコット」的な立場で, ロボットの受容が起きていたといえる。
- ・**自律性に関する認識**: ロボットは実際には部分的に遠隔操作されていたが, 来訪者はロボットの見かけなどから, ロボットは自律的だと考えていた。一方, ロボットが実際には遠隔操作されていることを知らされても, 来訪者は特に失望することはなく, 安全性等の利点もあることから, 遠隔操作されていても構わないと考えた。

これらの傾向が示すように, 全般に, ロボットが提供しているサービスの効用による受容に加えて, ロボットの場合には目新しさをきっかけにロボットに興味をもつことが多く, 子供が特に興味を示していたが, 単に珍しいものとしてロボットを扱っているのではなく, キャラクター性を持った存在, いわば「マスコット」としてのロボットの受容も起きていた。

「チラシ配り」サービス（単体型）

ロボットサービスの利用促進に向けて, より初期導入が容易な実現形態である「単体型」のロボットによる実現方法・実現可能なサービスを明らかにすることを目指した研究を進めた。これにより, 利用促進に向けた研究への新たな展開もめざした。



図 3-2-31: 屋外環境でチラシを配るロボット

その1つとして, 単体型のロボットによるチラシ配りサービスを実現した。チラシ配りサービスは, センサネットワークのある環境ですでに実現済みであるが, 同様のサービスを単体型のロボットでも実現することで, どのサービスがどういった状況であれば実現可能であるかを検討した。単体型のロボットのためのセンシング技術の実現に加えて, 適宜, 人位置のノイズに対する処理等の工夫をしたうえで, 環境との調和については事前にコンピュータ上でシミュレーションするなどの代替案を導入することで, センサネットワークの設置が難しい屋外の環境であっても, 人々の移動を予測して, 予測進路に従って接近し, チラシを配布するロボットシステムを実現することができた(図 3-2-31)。

また, 開発したロボットサービスについて, 社会実装を進めた。商業施設のマネージャーにインタビューを行うなかで, この商業施設では, 主に中国からの訪日外国人の観光客を乗せたバスが毎日訪れており, こうした中国人の観光客に対する情報提供のニーズが明らかになった。施設内の回遊促進や, 施設自体の知名度向上が望まれていた。特に, マネージャーは, より多くの中国人観光客の来訪を望んでおり, そのために商業施設の存在をより多くの中国人へと知ってもらい必要性を感じていた。また, こうした知名度の向上を行うにあたり, スタッフが宣伝を行うよりも, 知り合い同士の口コミで広げてもらうことが有効であると考えていた。そこで, 観光客の注目を集めやす

いロボットが、商業施設を訪れた観光客に SNS への投稿を促進する、という取り組みを実施した。

実証実験では、のべ 7.5 時間の間、チラシ配りサービスを実施した。ロボットがチラシを配ることによって、バスから降りてきた中国人観光客がロボットの周りに集まり、チラシを受け取っているシーンがたびたび見られた(図 3-2-32)。また、これまでのところ、10 人の中国人にアンケートを実施したところ、10 人全てがロボットの存在をよかったと返答していた。また、8 人がロボットからチラシを受け取れたことを良いと判断しており、7 人の観光客が、もし機会があれば SNS に投稿したいと考えている事が明らかになった。商業施設側からも「チラシを見て、知り合いに話してくれる人が 1 人でも増えたらありがたい」といった声もあり、好評であった。



図 3-2-32: 中国人観光客を対象にしたチラシ配りサービス

「ツアーガイド」型の情報提供サービス (単体型)

「単体型」のロボットによる実現方法・実現可能なサービスを明らかにする研究をさらに進めた。単体型のロボットは、センサネットワークの設置範囲に制約されないため、広い範囲を移動するサービスの実現が容易である。そういったサービスの1つとして、来客を連れて環境内を移動しながら情報を提供する「ツアーガイド」型の情報提供サービスの実現を試みた。予備的な検討の中から、環境内を訪れる人々にロボットが話しかけて道案内などの情報提供をする中で、興味を持った人に対してサービスの提供を行うようなサービス形態が上手く行くことが分かった。

そのうえで、ツアーガイド型のサービスにおいても、調和の問題がサービス提供の成否に大きくかかわってくるのが分かってきた。ツアーガイドを実施した際、多くの参加者が、ツアー途中でツアーを離脱する現象がみられた。その原因として、当初は飽きの問題や、コンテンツの内容を検討したが、むしろ、ツアーに参加していない他の通行人(主に子供)によりツアーが中断されることに原因があることが分かった。ツアーガイドしているロボットを見て、参加者以外の子供が、ロボットへと近づいてくることで、ロボットが移動できなくなり、ロボットが移動できない様子をしばらく眺めていたツアー参加者があきらめ立ち去ってしまう、といった場面がよく見られた。また、このようにしてロボットの前に来る子供も、ツアーに参加せずに立ち去ってしまい、結果的に、ツアーが失敗してしまう。



図 3-2-33: ツアーガイドの成功例

これに対して、分析を進めたところ、子供による中断は、全ツアー失敗のうち 27.2%を占めており、ロボットの移動速度が低いときに起きがちであることが分かった(なお、残りの失敗は、参加者がツアーに飽きたことの場合が 50.0%、子供は参加しようとしたが、親が同意しなかった、といったメンバー

間の不都合によるものが 22.7%であった)。そこで、ロボットの移動速度の低下を避けるようなプランニング方法を実現し、その効果をフィールド実験により検証した。計 6 日間、計 6 時間の実証実験を実施した所、立ち止まらずにツアーガイドを行う方法(proposed)による成功率(ユーザーが最後までガイドに参加する確率)は 52.2%であり、従来から典型的に行われてきた説明地点ごとに立ち止まって説明を行う方法(stop-to-talk 法)よりも有意に成功率が高いことが分かった(図 3-2-34 左)。また、当初のユーザーが立ち去るまでに発生した他者によるツアー中断行動の回数も、少なくなる事も明らかになった(図 3-2-34 右)。

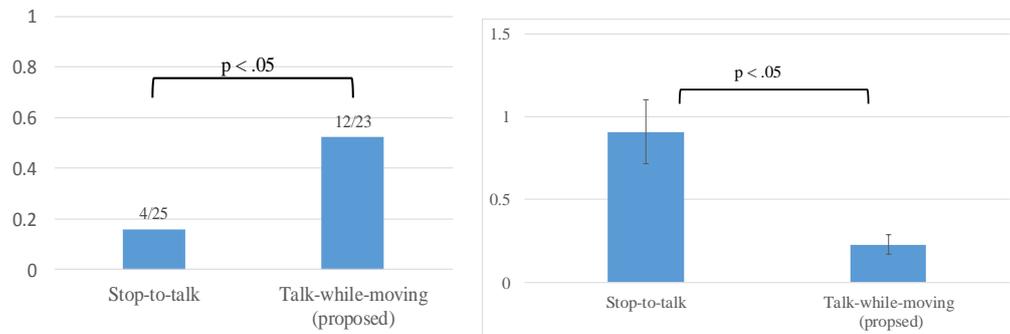


図 3-2-34: 実験結果: ツアーガイドの成功率(左)および、非参加者によるツアー中断行動の回数(右)

これらの2つのサービスの実現を通じて、単体型のセンサであっても、人通りがまばらな状況では 10m 程度の人の行動を予測したサービスや、広い範囲を移動するサービスが実現可能であることが明らかになった。また、センサネットワークを使用しない、初期導入の容易なロボット単体を用いたサービスにユーザーが満足していることも明らかになった。これらの結果より、ロボットによる人間調和型のサービスを様々な場所で簡易に提供できる道筋が見えてきたといえる。

§ 4. 成果発表等

(1) 原著論文発表 (国内(和文)誌 2 件、国際(欧文)誌 31 件)

- [1] Francesco Zanlungo, Tetsushi Ikeda and Takayuki Kanda, "Social force model with explicit collision prediction", **Europhysics Letters (EPL)**, Vol. 93, No. 6, 2011 (DOI: 10.1209/0295-5075/93/68005)
- [2] Kotaro Hayashi, Masahiro Shiomi, Takayuki Kanda, Norihiro Hagita, Friendly Patrolling: A Model of Natural Encounters, The 2011 Robotics: Science and Systems Conference (**RSS 2011**), 2011. (<http://www.roboticsproceedings.org/rss07/p18.html>, DOI コードなし) (Acceptance Rate 24.6%)
- [3] Tetsushi Ikeda, Yoshihiro Chigodo, Daniel Rea, Francesco Zanlungo, Masahiro Shiomi, Takayuki Kanda, "Modeling and Prediction of Pedestrian Behavior based on the Sub-goal Concept", The 2012 Robotics: Science and Systems Conference (**RSS 2012**), 2012. (<http://www.roboticsproceedings.org/rss08/p18.pdf>, DOI コードなし) (Acceptance Rate 33%)
- [4] Masahiro Shiomi, Francesco Zanlungo, Kotaro Hayashi, Takayuki Kanda, "A Framework with a Pedestrian Simulator for Deploying Robots into a Real Environment", Simulation, modeling, and programming for autonomous robots (SIMPACT2012), 2012. (DOI: 10.1007/978-3-642-34327-8_19)
- [5] Francesco Zanlungo, Tetsushi Ikeda, Takayuki Kanda, "A microscopic social norm model to obtain realistic macroscopic velocity and density pedestrian distributions", **PLOS ONE**, 2012. (DOI:10.1371/journal.pone.0050720)
- [6] Kotaro Hayashi, Masahiro Shiomi, Takayuki Kanda, Norihiro Hagita, "Are Robots Appropriate for Troublesome and Communicative Tasks in a City Environment?", IEEE Transactions on Autonomous Mental Development, 4(2), pp.150-160, 2012. (DOI: 10.1109/TAMD.2011.2178846)
- [7] Hiroyuki Kidokoro, Takayuki Kanda, Drazen Brscic, Masahiro Shiomi, "Will I bother here? - A robot anticipating its influence on pedestrian walking comfort -", ACM/IEEE 8th Annual Conference on Human-Robot Interaction (**HRI 2013**), 2013. (DOI: 10.1109/HRI.2013.6483597) (Acceptance Rate 24%) [**Best full paper award**]
- [8] Takuya Kitade, Satoru Satake, Takayuki Kanda, Michita Imai, "Understanding Suitable Locations for Waiting", ACM/IEEE 8th Annual Conference on Human-Robot Interaction (**HRI 2013**), 2013. (DOI: 10.1109/HRI.2013.6483502) (Acceptance Rate 24%)
- [9] Chao Shi, Masahiro Shiomi, Christian Smith, Takayuki Kanda, and Hiroshi Ishiguro, "A model of distributional handing interaction for a mobile robot," The 2013 Robotics: Science and Systems Conference (**RSS 2013**), 2013. (<http://www.roboticsproceedings.org/rss09/p55.pdf>, DOI コードなし) (Acceptance Rate 30%)
- [10] Francesco Zanlungo, Takayuki Kanda, Do walking pedestrians stably interact inside a large group? Analysis of group and sub-group spatial structure, The annual meeting of cognitive science society (**CogSci2013**), pp.3847-3852, 2013. (<http://mindmodeling.org/cogsci2013/papers/0680/index.html>, DOI コードなし)
- [11] Drazen Brscic, Takayuki Kanda, Tetsushi Ikeda, Takahiro Miyashita, "Person tracking in large public spaces using 3D range sensors", **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, Vol.43, Issue 6, pp.522-534, 2014. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/THMS.2013.2283945>)
- [12] Satoru Satake, Hajime Iba, Takayuki Kanda, Michita Imai, Yoichi Morales Saiki,

- May I Talk about Other Shops Here? Modeling Territory and Invasion in Front of Shops, ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction (**HRI 2014**), pp. 487-494, 2014.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2559636.2559669>) (Acceptance Rate 24%)
- [13] Ryo Murakami, Luis Yoichi, Morales Saiki, Satoru Satake, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Destination Unknown: Walking Side-by-Side without Knowing the Goal, ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction (**HRI 2014**), pp. 471-478, 2014.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2559636.2559665>) (Acceptance Rate 24%)
- [14] Masahiro Shiomi, Francesco Zanlungo, Kotaro Hayashi, and Takayuki Kanda, Towards a Socially Acceptable Collision Avoidance for a Mobile Robot Navigating Among Pedestrians Using a Pedestrian Model, International Journal of Social Robotics (IJSR), Vol.6, Issue 3 ,pp.443-455, 2014.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12369-014-0238-y>)
- [15] Drazen Brcsic, Francesco Zanlungo, Takayuki Kanda, Density and Velocity Patterns during One Year of Pedestrian Tracking, Transportation Research Procedia, vol. 2, pp. 77—86, 2014.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.011>)
- [16] Francesco Zanlungo, Drazen Brcsic, Takayuki Kanda, Pedestrian Group Behaviour Analysis under Different Density Conditions, Transportation Research Procedia, Vol.2, pp 149-158, 2014.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.020>)
- [17] Francesco Zanlungo, Tetsushi Ikeda, and Takayuki Kanda, Potential for the dynamics of pedestrians in a socially interacting group, **Physical Review E**, Vol.89, No.1, 2014.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.89.012811>)
- [18] Kuanhao Zheng, Dylan F. Glas, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita, Supervisory Control of Multiple Social Robots for Conversation and Navigation, Transaction on control and mechanical systems, Vol. 3(10), pp. 76-92, 2014.
(<http://www.tsest.org/index.php/TCMS/article/view/252>)
- [19] Yusuke Kato, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, May I help you? - Design of human-like polite approaching behavior -, ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction (**HRI 2015**), pp. 35-42, 2015. (Acceptance Rate 25%)
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2696454.2696463>)
- [20] Drazen Brcsic, Hiroyuki Kidokoro, Yoshitaka Suehiro, Takayuki Kanda, Escaping from Children's Abuse of Social Robots, ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction (**HRI 2015**), pp. 59-66, 2015. (Acceptance Rate 25%)
[Best paper award]
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2696454.2696468>)
- [21] Drazen Brcsic, and Takayuki Kanda, Changes in Usage of an Indoor Public Space: Analysis of One Year of Person Tracking, **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, 45(2), pp. 228 – 237, 2015.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/THMS.2014.2374172>)
- [22] 城所宏行, 末廣芳隆, ブルシュチッチ ドラジェン, 神田崇行, 子供たちの引き起こすロボットいじめ行動の回避, 情報処理学会論文誌, 56(4), pp. 1203 - 1216, 2015.
(https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/index.php?active_action=repository_view_main_item_detail&page_id=13&block_id=8&item_id=141594&item_no=1)
- [23] Satoru Satake, Keita Nakatani, Kotaro Hayashi, Takayuki Kanda, and Michita Imai, What should we know to develop an information robot?, PeerJ Computer Science, vol. 1, 2015.
(DOI: <https://dx.doi.org/10.7717/peerj-cs.8>)

- [24] Dylan F. Glas, Yoichi Morales, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita, Simultaneous people tracking and robot localization in dynamic social spaces, **Autonomous Robot**, 39 (1), pp. 43–63, 2015.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10514-015-9426-3>)
- [25] Francesco Zanlungo, Drazen Brscic, and Takayuki Kanda, Spatial-size scaling of pedestrian groups under growing density conditions, **Physical review E**, 91(6), 2015.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.91.062810>)
- [26] Francesco Zanlungo, and Takayuki Kanda, A mesoscopic model for the effect of density on pedestrian group dynamics, **EPL (Europhysics Letters)**, 111, 2015.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1209/0295-5075/111/38007>)
- [27] Satoru Satake, Kotaro Hayashi, Keita Nakatani, Takayuki Kanda, “Field Trial of Information-Providing Robot in a Shopping Mall,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2015), pp.1832-1839, 2015.
(Acceptance Rate 46%) (DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IROS.2009.5354242>)
- [28] Hiroyuki Kidokoro, Takayuki Kanda, Drazen Brscic, Masahiro Shiomi, Simulation-based Behavior Planning to Prevent Congestion of Pedestrians Around a Robot, **IEEE Transaction on Robotics**, vol. 31, no. 6, pp. 1419 – 1431, 2015.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2015.2492862>)
- [29] Alessandra Maria Sabelli, Takayuki Kanda, Robovie as a Mascot: A Qualitative Study for Long-Term Presence of Robots in a Shopping Mall, International Journal of Social Robotics (IJSR), Volume 8, Issue 2, pp 211-221, 2016.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12369-015-0332-9>)
- [30] Tatsuya Nomura, Takayuki Kanda, Hiroyuki Kidokoro, Yoshitaka Suehiro, Sachie Yamada, Why Do Children Abuse Robots?, Interaction Studies, pp. 347–369, 17(3), 2016.
(DOI: <https://doi.org/10.1075/is.17.3.02nom>)
- [31] Ryusuke Totsuka, Satoru Satake, Takayuki Kanda, Michita Imai, Is a Robot a Better Walking Partner If It Associates Utterances with Visual Scenes?, ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction (**HRI 2017**), pp. 313-322, 2017.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2909824.3020212>)
- [32] 石超、佐竹聡、神田崇行、石黒浩、客引きロボット導入に向けた社会実験、日本ロボット学会誌, 2017. (採録決定)
- [33] Drazen Brscic, Tetsushi Ikeda, and Takayuki Kanda, Do You Need Help? A Robot Providing Information to People Who Behave Atypically, **IEEE Transactions on Robotics**, 33(2), pp. 500-506, 2017.
(DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TRO.2016.2645206>)

(2) その他の著作物(総説, 書籍など)

- [1] Francesco Zanlungo, Yoshihiro Chigodo, Tetsushi Ikeda and Takayuki Kanda, "Experimental study and modelling of pedestrian space occupation and motion pattern in a real world environment", in "Pedestrian and evacuation dynamics 2012" Eds U. Weidmann, U. Kirsch, M. Schreckenberg, Vol I, pp 289-304, Springer, Berlin, 2014.
(DOI: [10.1007/978-3-319-02447-9_24](https://doi.org/10.1007/978-3-319-02447-9_24))
- [2] 神田崇行, 街角で人々と共生して活動するロボットの設計のために, 設計工学, Vol.51,No.4, pp. 199-204, 2016

(3) 国際学会発表及び主要な国内学会発表

- ① 招待講演 (国内会議 6 件, 国際会議 20 件)

- [1] *Takayuki Kanda, "Natural Human-Robot Interaction", 2nd International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN), Darmstadt, Germany, November 17, 2010. (Keynote)
<https://www.sim.informatik.tu-darmstadt.de/simpan/index.php/iv.html>
- [2] 神田崇行, 人とロボットとの自然なインタラクションに向けて, 関西大学第 15 回先端科学技術シンポジウム, 2011.1.14
- [3] Takayuki Kanda, "Natural Human-Robot Interaction", RSS Area chair workshop, Berkeley, April 8, 2011.
- [4] Takayuki Kanda, "Natural Human-Robot Interaction", Workshop on Social Robots for Assisted Living, Aalborg University, Denmark, November 28, 2011.
- [5] Takayuki Kanda, "Human-robot interaction (HRI) in daily environment", RSS Area chair workshop, Oxford, April 12, 2012.
- [6] 神田崇行, "街角で活躍するロボットを目指して", 日本心理学会 2012 Developmental Cybernetics シンポジウム, 東京, 2012/9/11.
- [7] 神田崇行, 街角で活躍するロボットを目指して, 第 4 回日本ロボット学会安心ロボティクス研究専門委員会, 大阪, 2013/1/24 <http://www.rsj.or.jp/blog/archives/3056>
- [8] Takayuki Kanda, Interacting with pedestrians, Human-Robot Interaction 2013 Workshop on Collaborative Manipulation, Tokyo, March 3, 2013.
- [9] 神田崇行, 人とロボットのコミュニケーション, OIT テクノフロンティア on ロボティクス, 大阪, 2013/7/3. <http://www.oit.ac.jp/rob/contents/technof.html>
- [10] Drazen Brscic, ロボットによる街角の情報環境の構築, 日本ロボット学会ロボティクス空間知能化研究専門委員会主催講演会, 2013/11/28
<http://www.rsj.or.jp/blog/archives/4157>
- [11] Takayuki Kanda, Interacting with humanoid robots: - Field observations -, IROS2013 Workshop on Towards social humanoid robots: what makes interaction human-like?, Tokyo, 2013/11/3.
<http://humanlikehumanoids.blogspot.jp/p/invited-speakers.html>
- [12] Masahiro Shiomi, Enabling a mobile social robot to adapt to a public space in a city, International Joint Workshop on Advanced Sensing / Visual Attention and Interaction -Toward Creation of Human - Harmonized Information Technology- (ASVAI2013), In Conjunction with ACPR2013.
- [13] Takayuki Kanda, Robots interacting with pedestrians, HRI PC meeting symposium, Seattle, 2014/11/21.
- [14] Drazen Brscic, Human-robot interaction in daily environments, The Centre of Research Excellence for Advanced Cooperative Systems (ACROSS), 2014/7/14
- [15] Drazen Brscic, Social Robots in Smart Public Environments, 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 651 – 653, 7-10 Oct. 2014. DOI: 10.1109/GCCE.2014.7031322
- [16] Takayuki Kanda, Enabling Human-Robot Interaction -Real World Approach-, RO-MAN2015 workshop on From Temporal Interactions to Sustainable Relationships, 2015/8/31. (Keynote) <http://kamidehiroko.jp/RO-MAN2015/key.html>
- [17] Satoru Satake, How to Build a Social Robot for the Real World? Easy or Difficult?, IROS2015 workshop on Social Norms in Robotics and HRI, 2015/10/2.
<http://www.spencer.eu/iros/ws/index.html>
- [18] Takayuki Kanda, Enabling a Mobile Social Robot to Adapt to a Public Space in a City, International Workshop on Human Behavior Analysis in the Real World, 2015/11/3. (Keynote)
<http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp/IWHBARW2015/program.html>
- [19] Satoru Satake, How to Build an Service Robot in Public Space: Extracting Attributes of Pedestrians for Human-Robot Interaction, Workshop on Human Behavior Analysis in the Real World, Kuala Lumpur, Malaysia, 2015/11/3
- [20] Deneth Karunarathne, A communication Robot Side by Side Walking in Real

- Environments, International Workshop on Human Behavior Analysis in the Real World, Kuala Lumpur, Malaysia, 2015/11/3
- [21] Drazen Brcsic, Open Datasets of Pedestrian Activity in Public Spaces, International Workshop on Human Behavior Analysis in the Real World, Kuala Lumpur, Malaysia, 2015/11/3
- [22] Takayuki Kanda, Challenges for Social Robots Operate in a Real World HRI2016 Workshop on Challenges and best practices to study HRI in natural interaction settings Christchurch, New Zealand, 2016/3/7
https://www.uni-due.de/sozialpsychologie/hriws2016_robotsinthewild.php
- [23] Takayuki Kanda, Child-Robot Interaction in a Natural Setting HRI2016 Workshop on Evaluating Child-Robot Interaction Christchurch, New Zealand, 2016/3/7 (Keynote)
<https://evaluatingchildrobotinteraction.wordpress.com/program/>
- [24] 神田崇行、ヒューマンロボットインタラクション～人々とコミュニケーションできるロボットの実現を目指して～、関西文化学術研究都市 7 大学連携市民公開講座 2016 講演会、2016/8/26
http://www.ndl.go.jp/jp/event/events/kansai_20160826.html
- [25] Takayuki Kanda, Enabling Human-Robot Interaction -Real World Approach-, IROS2016 workshop on Personal Robot Interaction, 2016/10/14.
<http://recnc.ustc.edu.cn/iros2016/IROS2016-Workshop-Personal-Robot-Interaction.html>
- [26] Takayuki Kanda, Enabling Human-Robot Interaction -Real World Approach-, ICMI2016 workshop on Workshop on Embodied Interaction with Smart Environments, 2016/11/16. (Keynote)
https://aiweb.techfak.uni-bielefeld.de/icmi2016_workshop_eise/program.html
- ② 口頭発表 (国内会議 9 件, 国際会議 2 件)
- [1] 神田崇行, ロボットによる街角の情報環境の構築, ATR オープンハウス 2011, 11/11, 2011.
- [2] 塩見昌裕, Francesco Zanlungo, 林宏太郎, 神田崇行, "歩行者モデルを用いた街角でのロボットナビゲーション", 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会講演論文集, RSJ2012,4M1-4, 札幌, 2012/9/20.
- [3] 塩見昌裕, Francesco Zanlungo, 林宏太郎, 神田崇行, "街角で活動する移動ロボットのための歩行者シミュレータ", 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会講演論文集, RSJ2012, 2N1-8, 札幌, 2012/9/18.
- [4] 林宏太郎, 塩見昌裕, 神田崇行, 萩田紀博, "街角で活動する移動ロボットのための邪魔にならず話しかけやすい移動行動の設計", 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会講演論文集, RSJ2012, 2N1-1, 札幌, 2012/9/18.
- [5] Chao Shi, Masahiro Shiomi, Christian Smith, Takayuki Kanda, and Hiroshi Ishiguro, "A model of handing interaction towards a pedestrian," ACM/IEEE 8th Annual Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2013) Video session, 2013. (DOI: [10.1109/HRI.2013.6483624](https://doi.org/10.1109/HRI.2013.6483624))
- [6] 城所宏行, 神田崇行, Drazen Brcsic, 塩見昌裕 "街角におけるロボット周辺の混雑モデル", 日本ロボット学会第 31 回学術講演会講演論文集, RSJ2013, 1J2-02, 2013.
- [7] 石超, 塩見昌裕, Christian Smith, 神田崇行, 石黒浩 "街角の歩行者にチャリンを配るロボット", 日本ロボット学会第 31 回学術講演会講演論文集, RSJ2013, 1G3-07, 2013.
- [8] 池田徹志, 児堂義弘, Daniel Rea, Francesco Zanlungo, 塩見昌裕, 神田崇行 "街角における歩行者のサブゴール遷移モデル", 日本ロボット学会第 31 回学術講演会講演論文集, RSJ2013, 3I2-03, 2013.
- [9] 塩見昌裕, 歩行者モデルを用いた話しかけやすい移動行動, 第 32 回 日本ロボット学会学術講演会(RSJ2014), 九州産業大学, 2014 年 9 月 4~6 日
- [10] 佐竹聡, Drazen Brcsic, 石超 センサネットワークによる人位置計測技術・人位置計測結果のデータの紹介 ものアプリハッカソン 大阪イノベーションハブ、日本 2015/3/28~2015/3/29

[11] Francesco Zanlungo, Zeynep Yucel, and Takayuki Kanda, The effect of social roles on group behavior, Proceedings of the 8th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED2016), Oct 17 – 21, 2016

③ ポスター発表 (国内会議 1 件, 国際会議 1 件)

- [1] 神田崇行ほか, "ロボットによる街角の情報環境の構築", CREST「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」領域第1回公開シンポジウム「調和と共生」ー 人と情報環境が創る新しい価値を目指して ー, 東京, 2010.11.25
- [2] Chao Shi, Satoru Satake, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, How Would Store Managers Employ Social Robots? ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction (HRI 2016), Christchurch, New Zealand 2016/3/7-10

(4) 知財出願

① 国内出願 (16 件)

- [1] 移動ロボット, 神田崇行, 塩見昌裕, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2010-263162, 2010.11.26 出願
- [2] 関係推定装置, 関係推定システム, 関係推定プログラムおよび関係推定方法, 神田崇行, 塩見昌裕, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2010-280018, 2010.12.16 出願
- [3] 利用記録システム, 神田崇行, 塩見昌裕, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2011-000488, 2011.1.5 出願
- [4] 移動ロボット, 移動ロボット用の学習システムおよび移動ロボットの行動学習方法, 神田崇行, 塩見昌裕, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2011-000489, 2011.1.5 出願
- [5] コミュニケーションロボット, 神田崇行, 塩見昌裕, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2011-025976, 2011.2.9 出願
- [6] 流れ状態判別装置, 流れ状態判別方法, 流れ状態判別プログラム及びそれらを用いたロボット制御システム, 塩見昌裕, 神田崇行, 宮下敬宏, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2011-067585, 2011.3.25 出願
- [7] 歩行者の軌跡を予測して自己の回避行動を決定するロボット, 塩見昌裕, 神田崇行, ザウルンゴフランチェスコ, 池田徹志, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2011-067591, 2011.3.25 出願
- [8] 価格決定装置, 価格決定システム, 価格決定プログラムおよび価格決定方法, 塩見昌裕, 神田崇行, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2011-071978, 2011.3.29 出願
- [9] 計測装置, 計測方法および計測プログラム, 池田徹志, 宮下敬宏, 神田崇行, ブルシュッチ・ドラジェン, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2011-074368, 2011.3.30 出願
- [10] 移動予測装置, ロボット制御装置, 移動予測プログラムおよび移動予測方法, 池田徹志, ザウルンゴフランチェスコ, 宮下敬宏, 神田崇行, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2011-074583, 2011.3.30 出願
- [11] 計測装置, 計測方法および計測プログラム, ブルシュッチ・ドラジェン, 池田徹志, 神田崇行, 宮下敬宏, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2012-033610, 2012/2/20 出願
- [12] ロボット制御システムおよびロボット制御方法, 神田崇行, 北出卓也, 佐竹聡, 今井倫太, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2013-040782, 2013/3/1 出願
- [13] ジェスチャ管理システム, ジェスチャ管理プログラム, ジェスチャ管理方法および指差し装置, 鳩 康彦, 神田 崇行, ブルシュッチ・ドラジェン, 特願 2014-168933, 2014/8/22 出願
- [14] 計測装置, 計測方法および計測プログラム, ブルシュッチ・ドラジェン, 池田徹志, 神田崇行, 宮下敬宏, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2015-232565, 2015/11/30 出願
- [15] 案内ロボット, 佐竹聡, 神田崇行, 国際電気通信基礎技術研究所, 特願 2017-038437, 2017/3/1 出願
- [16] 人推定システムおよび推定プログラム, ブルシュッチ・ドラジェン, 神田崇行, 国際電気通信

基礎技術研究所, 特願 2017-69865, 2017/3/31 出願

② 海外出願 (0 件)

③ その他の知的財産権
該当なし

(5) 受賞・報道等

① 受賞

[1] サイエンスアゴラ賞

サイエンスアゴラ 2011, (楽しいサイエンス部門) ロボットのいる街角を目指して, 2011.

<http://scienceagora.org/2011/award.html>

[2] * Best full paper award (最優秀論文賞)

人とロボットとの相互作用に関するトップカンファレンス, ACM/IEEE 8th Annual Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2013), 採択率 24%.

<http://humanrobotinteraction.org/2013/awards/>

(論文の著者・タイトル: Hiroyuki Kidokoro, Takayuki Kanda, Drazen Brscic, Masahiro Shiomi, "Will I Bother Here? A robot anticipating its influence on pedestrian walking comfort")

[3] 国際電気通信基礎技術研究所平成25年度研究開発表彰

Drazen Brscic, 「3次元計測型のセンサによる人位置追跡システムの実現」, 2014/3/25

[4] * Best full paper award (最優秀論文賞)

人とロボットとの相互作用に関するトップカンファレンス, ACM/IEEE 10th Annual Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2015), 採択率 25%.

<http://humanrobotinteraction.org/2015/hri-2015-awards/>

(論文の著者・タイトル: Drazen Brscic, Hiroyuki Kidokoro, Yoshitaka Suehiro, Takayuki Kanda, "Escaping from Children's Abuse of Social Robots")

② マスコミ(新聞・TV等)報道

[1] (報道発表)通行邪魔せずチラン配るロボット, 2014/9/12, 8社が報道(NHK, 関西テレビ, テレビ大阪, 京都新聞, 時事通信, 奈良新聞, 読売新聞(2014/9/22 科学面), KBS(11/14))

概要: ロボットが街角環境に調和してサービスを提供する技術を開発したことについて, 歩いてくる人に近寄って上手にビラを配れる例とともに, 発表した.

[2] 空気を読む 行動予測し人に気配り (特集 世界を変えるスマロボ), 日経ビジネス, 2014/9/15

[3] Altijd Wat Innovatie: robots in Japan, KRO-NCRV (Dutch national TV), 2014/9/16

[4] ロボより人間らしく 人の場所を察知しながらチランを渡すロボット, 京都新聞, 2014/11/8

[5] 解剖先端拠点 ATR 知能ロボティクス研究所, 日経産業新聞, 2014/12/3

[6] Children Beating Up Robot Inspires New Escape Maneuver System, IEEE Spectrum Robotics News, 2015/8/18

[7] IEEE Spectrum, Robot Tries to Escape from Children's Abuse, Youtube, 2015/08/06
公開 <https://www.youtube.com/watch?v=CuJT9EtdETU&feature=youtu.be>

(6) 成果展開事例

① 実用化に向けての展開

- ・ 3次元計測センサを用いた人追跡アルゴリズムを元の実現した人追跡システムを ATR のグループ会社である株式会社 ATR-Promotions, 株式会社 ATR Creative から販売を開始した. この販売のために, 特許実施許諾を各社に行った. また, グループ会社からの販売にあたり製

品開発支援を ATR として実施した。具体的には、プログラムの中に含まれている商用利用困難なライブラリ有無の確認、設置から計測までの技術指導、グループ会社の技術者への技術移転等を行った。

- ・ デジタルサイネージ企業が、3次元人追跡システムと組み合わせたデジタルサイネージの事業化に取り組んでおり、ATR が技術支援を行っている。
- ・ 初年度に試作をしたレーザレンジファインダを利用した3次元距離センサは、北陽電機株式会社が製品として開発を進めている。同社は、経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業(サポイン)「自律移動ロボットのリアルタイム環境形状認識用3次元レーザセンサの開発」に提案・採択され、当プロジェクトの参画者がアドバイザーになり、試作開発したノウハウに基づいて、当時困難であった小型・安価なレーザレンジファインダに基づく3次元距離センサを製品化した。
- ・ 3次元距離センサを用いた人位置・向き認識システムについて、高齢者介護施設での応用に関して、総務省 平成24年度補正予算 ICT 超高齢社会づくり推進事業文科省に採択された。課題名「ユビキタスネットワークロボット・プラットフォームによる介護施設における高齢者の見守り・移動支援サービス実証事業」(H25)
- ・ 3次元距離センサを用いた人位置・向き認識システムについて、小学校の教室場面での応用に関して、文科省 科学研究費助成事業に採択された。課題名「人間関係を理解する対話ロボットの実現」(H25-H27)
- ・ 3次元距離センサを用いた人位置・向き認識システムについて、本田技術研究所との共同研究にて利用し、2013年10月2日～10月21日に日本科学未来館にて実証実験を実施した。
- ・ 3次元距離センサを用いた人位置・向き認識システムについて、保育支援に向けた応用に関して、総務省 若手ICT研究者等育成型研究開発に採択された。課題名「保育行動理解に基づく保育支援技術の研究開発」(H25-H27)
- ・ 3次元距離センサを用いた人位置・向き認識システムについて、高齢者の見守り支援への応用に関して、総務省 若手ICT研究者等育成型研究開発に採択された。課題名「被介護者のための見守り支援ロボットシステムの研究開発」(H26)
- ・ 3次元距離センサを用いた人位置・向き認識システムについて、デジタルサイネージやロボットを用いた広告への応用に関して、総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE) 重点領域型研究開発(スマートネットワークロボット)に採択された。課題名「人通りが多い日常環境でサービスする接客ロボットやロボットサイネージのための社会的知能の研究開発」(H27-H28)
- ・ 歩行者行動のモデル化技術は、人共存環境で行動するロボットのための開発環境への応用に関して、NEDO 次世代ロボット中核技術開発(革新的ロボット要素技術分野)に採択され、現在実施中。課題名「人共存環境で活動するロボットのための HRI 行動シミュレーション技術の実現」(H27-H28)
- ・ インタラクション技術の内の、並んで歩く行動、の技術の応用に関して、立石財団 研究助成 S (ヘルスケア分野)に採択され、現在実施中。課題名「「人らしいロボット」によるウォーキング支援」(H27-H30)
- ・ ロボット単体型での人位置計測技術、インタラクション技術の応用に関して、総務省 情報通信技術の研究開発に採択され、現在実施中。課題名「ロボット等も含めた自律型モビリティシステムの共通プラットフォーム構築のための技術の確立」(H28-H30)

② 社会還元的な展開活動

- ・ 本 CREST の成果として実現されたロボットシステムは、ATR オープンハウス、サイエンスアゴラ 2011(会場全体への来場者数約 5000 人)といった公開の場で、来場者に実際に体験いただく機会を作っている(図 4-6-1 (a))。また、当研究所も日常的に見学を受け入れており、ここでも、実際に体験して、ロボット技術の進歩を体験いただいている(図 4-6-1 (b))。
- ・ ロボットのフィールド実験は、当該ショッピングモールの来客に公開されている。1時間あたり平均二千名程度の通行があり、この環境でロボットをのべ 500 時間以上動かしており(図

- 4-6-1(c), 最先端の科学技術を多くの人々が目にする機会を作っている.
- 人位置計測のデータの一部はインターネットで公開し, 学術分野に社会的に貢献するようにしている.
 - ◇ ATC(ショッピングモール, 900 m²の範囲)における人の位置計測結果
http://www.irc.atr.jp/crest2010_HRI/ATC_dataset/
 - ◇ グループ行動のデータセット
<http://www.irc.atr.jp/sets/groups/>
 - ◇ ロボット近傍での行動のデータセット
http://www.irc.atr.jp/sets/approach_robot/



(a) サイエンスアゴラ 2011



(b) 近隣の小学校からの見学



(c) フィールド実験

図 4-6-1. さまざまな機会にロボットとのインタラクションを体験する人々

(7) その他の重要な成果

特になし

§ 5. 研究期間中の活動

5. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2011年11月9日-11日	展示出展 「ロボットのいる街角を目指して」	ATR オープンハウス 2011 (株式会社国際電気通信基礎技術研究所)	会場全体への来場者数 1793人	人位置・向き認識システムおよびロボットの体験型の展示
2011年11月19日-20日	展示出展 「ロボットのいる街角を目指して」	サイエンスアゴラ 2011 (日本科学未来館)	会場全体への来場者数約 5000人	人位置・向き認識システムおよびロボットの体験型の展示
2013年11月5日	International Joint Workshop on Advanced Sensing / Visual Attention and Interaction -Toward Creation of Human-Harmonized Information Technology-(ASVAI2013)	ロワジュールホテル那覇, 那覇市, 日本	100人	人間調和型情報技術に関する国際ワークショップ (八木・河原・黄瀬・佐藤・武田 CREST プロジェクトと合同で開催)
2014年9月16日	報道発表	ATC	十数名	ビラ配りロボットについて発表した
2014年11月6日-7日	展示出展 「ロボットのいる街角を目指して」	ATR オープンハウス 2014 (株式会社国際電気通信基礎技術研究所)	会場全体への来場者数 1307人	街角に調和してサービスするロボットのデモの展示
2015年11月3日	International Workshop on Human Behavior Analysis in the Real World	Kuala Lumpur, Malaysia		人間調和型情報技術に関する国際ワークショップ (八木 CREST プロジェクトと合同で開催)

§ 6. 最後に

5年間の研究を経て、おおむね目指したものが実現できたと考えている。実施前には、ロボットは、珍しいだけで期待されつつも、いざ導入すると邪魔や混雑といった調和の問題を起こしてしまっていた。技術的には、こういった問題が解け、環境に調和しながらも移動してサービスするロボットが実現できるようになってきた。最近、このようなロボットの価格も下がり、実社会へのサービスの導入も視野に入りつつある(まだ、珍しいだけ、という状態かもしれないが)。タイムリーに、一步先の研究を進め、基盤技術を作り上げることができた。



混雑を起こしていたロボット
(本プロジェクト実施前)



街角に調和して、動き回ってのサービスが可能に
(本プロジェクトにより実現)

プロジェクト運営に関しては、参画して下さった多くの方が大変熱意をもって、良いチームワークで、困難なプロジェクトを進めて頂けたように思う。報告書ではなかなか見えないが(なかには、人らしい見かけのロボットが、人らしい作業をできるのは当たり前、と思われる時もあるようだが)、ロボットを実環境で動かすというのは、それ自体がたいへん困難な作業である。例を挙げるときりがないが、ロボットのモーターが壊れた、無線が繋がらない、想定したようなセンサデータが送られてこない、計算誤差が思ったよりも大きい、など様々なレベルでの問題が起きる。こういった問題を協力して乗り越えてプロジェクトを実施してきたことで、世界で他にほぼ例を見ない、先進的なプロジェクトを遂行できた。

最後に、前研究総括の東倉先生、研究総括の西田先生をはじめアドバイザーの先生方には多大なるご助言とご指導を頂きました。この場をお借りして感謝申し上げます。



プロジェクトの裏側:ロボット実験を準備している様子