

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700199

研究課題名（和文） 周囲の人の流れを妨げることなくユーザとの同行が可能な自律移動ロボット

研究課題名（英文） Autonomous Mobile Robot that Accompanies User without Disturbing Pedestrian Flow

研究代表者

今井 順一（IMAI JUN-ICHI）

千葉工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：30401623

研究成果の概要（和文）：本研究課題は、多数の歩行者が往来する空間を、特定のユーザとはぐれることなく、かつ周囲の人の流れを妨げることなく自律移動することが可能なロボットの実現を目標とし、そのために必要な要素技術を開発した。これにより、移動するロボットからの周辺歩行者の状態識別、ロボット周辺の人物の3次元的な視界推定、特定の環境下での人物の行動モデル構築、及びそれに基づく状況に応じたロボットの自律的移動などを可能にした。

研究成果の概要（英文）：In this study, in order to achieve autonomous mobile robots which can accompany a user without disturbing surrounding pedestrian flow, we have developed several elemental techniques for them; The classification of pedestrian states by moving robots using CHLAC features, the estimation of humans' three-dimensional fields of view, the construction of human behavior models under some environments, and the autonomous movement of the robot to appropriate position according to surrounding environments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：知能ロボティクス

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボティクス、自律移動ロボット、同行者、動的環境認識、視界・死角推定

## 1. 研究開始当初の背景

人間共生ロボットにとって、ユーザと同じ空間を共に安全に移動することは重要な課題である。特に人の往来が活発な空間では、はぐれることなくユーザとの適切な相対位

置関係を保つのと同時に、周囲の人の流れを妨げることなく安全に移動する、すなわち状況次第では意図的にユーザとの相対位置関係を崩す移動行動を取る（その後、再び元の相対位置へと復帰する）ことが必要となり、そのバランスを適切に取ることが求められ

る。例えばユーザと並んでの移動を原則とするロボット（図1 (a)）も、対向歩行者を避けるため「ユーザの後ろ（図1 (b)）や前（図1 (c)）に移動して縦に並び替える」「一時的にユーザから離れる方向に避け（図1 (d)）、再び合流する」等の行動を取る必要がある。人間なら誰しも自然に取るこのような行動も、その実現には人の流れを読むための動的環境認識及び人間の行動意図推定、状況に応じた適切な移動行動生成等、高度な情報処理技術が要求される。

本研究課題は実環境においてこうした自律移動が可能なロボットの実現を最終的な目標とし、そのために必要な要素技術の開発を目指すものである。

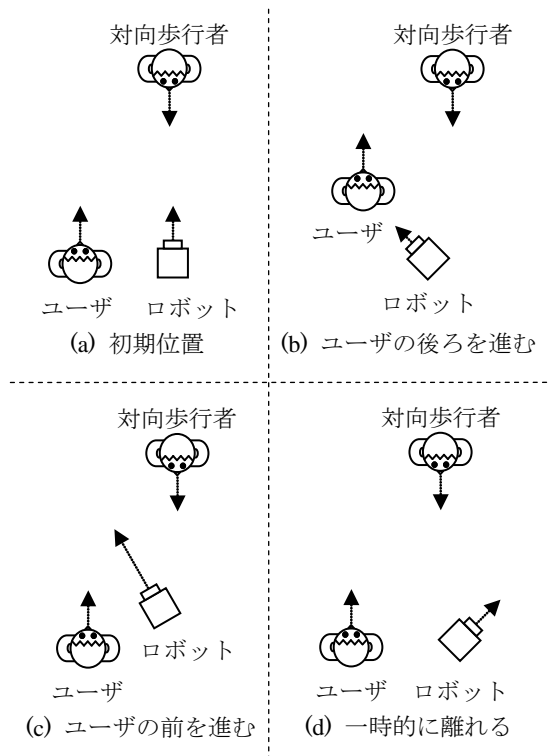


図1 追跡対象の自律的切替え

## 2. 研究の目的

上記の目的を達成するため、本研究課題では次のサブタスクについて研究を行う。

### (a) 頑健な動的環境認識技術の研究開発：

ロボット周囲の環境（人間を含む）の頑健な認識を実現する。特に、人間がどのような状態にあるのかを移動するロボットから認識できるようにする。

### (b) ロボット周辺の人物の視界・死角推定技術の研究開発：

ロボット周辺に存在する人物の視界・死角

を推定し、何を知覚できているか／いないか（ロボットや他の人間に気づいていない等）を推定できるようにする。

### (c) 人間行動モデル構築及びロボット自律移動行動生成の実現：

特定の環境下における人物の行動モデルを構築する。それとともに、そのモデルを利用して、ロボットが周囲環境の状況に応じて適切な位置へ移動できるようにする。

## 3. 研究の方法

前述の目的を実現するため、本研究課題では以下の各項目を実施する。

### (1) センサを搭載した自律移動ロボットシステムの構築：

ロボット周囲の歩行者や環境を認識するために必要なセンサ群を搭載した自律移動型ロボットを構築する。

### (2) 頑健な動的環境（ユーザ・周辺歩行者を含む）認識技術の確立：

周囲に存在する静的オブジェクト（壁や障害物）及び動的オブジェクト（ユーザや周辺歩行者）をロボットの視点から頑健に認識する技術を確認する。特に、ロボット周囲にいる人物が現在どのような状態（立ち止まっているのか、歩いているのか、など）を自分自身が移動しているロボット本体から的確に認識できるようにする。そのためには、時々刻々と姿勢が変化するロボットから観測したデータに対して適切な位置合わせを行い、そこから人物の動きを抽出して認識する必要がある。

### (3) 人物の3次元的な視界・死角推定技術の確立：

ロボット周囲に存在する人物の3次元的な視界・死角を推定し、その人物が何を知覚できているのか、もしくはできていないのかを推定する技術を確認する。これの実現により、例えば、ある歩行者が死角から現れる別の歩行者に気づいていないことを認識し、行動予測及びロボット自身の行動生成に生かすことができるようになると期待される（図2）。

### (4) 人間行動モデル構築及びロボット自律移動行動生成の実現：

ある特定の環境下（オブジェクトを注視している人物と互いに注意共有の行える位置への移動、及びエレベータ内での人物の移動など）での人物行動モデルを構築する。また、これらのモデルに基づき、ロボットが周囲環

境の状況に応じて適切な位置へ移動できるようにする。

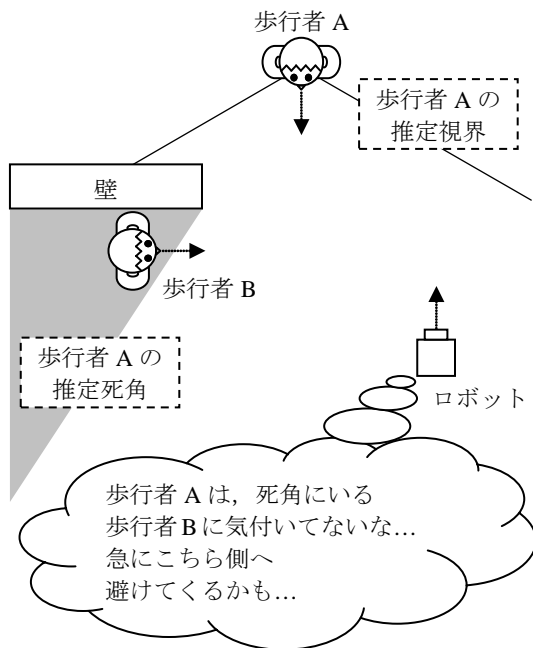


図2 歩行者の視界推定の例

#### 4. 研究成果

前述の方法に沿って研究を行い、以下の成果を得た。

(1) 自律移動ロボットシステムの構築を行った。ノートPCにより制御可能な台車ロボットの上にアルミフレームによる胴体を作成し、高さ約 30 cm、120 cm の位置にそれぞれ前後 1 台ずつ、計 4 台のレーザレンジファインダを搭載した。これにより、ロボット周辺の歩行者の脚部及び胸部の位置を計測することが可能となった (図3)。また、高さ約 170 cm の位置に全方位カメラを 1 台配置した。これにより、周辺歩行者の顔の向きを推定することなどが可能となった。

(2) 周囲に存在する静的オブジェクト (壁や障害物) 及び動的オブジェクト (ユーザや周辺歩行者) をロボットの視点から頑健に認識する技術を開発した。上下・前後計 4 台のレーザレンジファインダ及び 1 台の全方位カメラを相補的に利用し、全方位でのセンシングを実現することにより、ロボット後方を含む周囲の人の流れを的確に認識することを可能にした (図3)。

また、レーザレンジファインダで取得した位置データから抽出した立体高次局所自己相関特徴を利用して、自ら移動するロボットからでも周辺歩行者が現在どのような状態

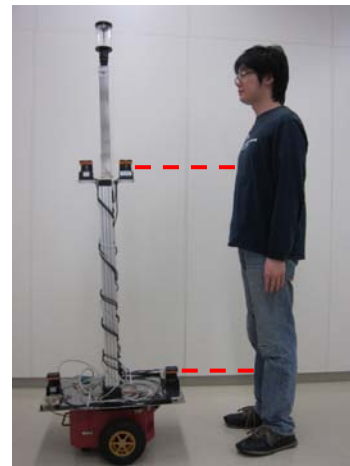


図3 自律移動ロボット

にあるかを頑健に認識する技術を開発した。センシングは移動ロボットに搭載された上下・前後計 4 台のレーザレンジファインダにより行い、ロボットが移動する際のデータ位置合わせに ICP アルゴリズムを適用した。これにより、移動中のロボットから周辺歩行者の状態を高精度で認識できるようになった。

ロボットが静止している状態、その場で回転している状態、平行移動している状態それぞれにおいて、周辺人物が直立している状態、歩行している状態、椅子に座り移動している状態 (車椅子による移動に見立てた状態) を識別する実験を行った。その結果を表 1 に示す。表 1 から、どの状態も一定の精度で識別を行っていることがわかる。

表1 識別率

ロボットの状態	周辺人物の状態	識別率[%]
静止状態	直立状態	100.0
	歩行状態	71.5
	車椅子状態	75.0
回転状態	直立状態	86.5
	歩行状態	64.5
	車椅子状態	52.0
平行移動状態	直立状態	93.5
	歩行状態	89.0
	車椅子状態	92.0

(3) 周辺人物の状態認識の一つとして、カメラと深度センサの組み合わせによる人物視界推定技術を開発した。

カメラ及び深度センサにより、人物の顔がどちらを向いているかを検出し、その視界を推定する。また、周囲環境を 3 次元的に観測することで、人物の視界がどこで遮られているかを推定することを可能にした。これにより、該当の人物が環境のどこが見えていてど

こが見えていないのかを把握することが可能となった。

図4に開発した手法による推定結果の例を示す。図中の赤、青、または緑に着色されている領域が対象の人物の視界内であると認識された領域、それ以外の部分が視界外、すなわち死角であると認識された領域である。また、視界内の領域のうち、赤く着色された部分は「人物とロボットが同じ面を見ている領域」、青く着色された部分は「人物とロボットとが異なる面を見ている領域」、緑に着色された部分は「人物とロボットが同じ面を見ていると思われるが、人物の視線がロボットの死角領域を通過するため、その中にある物体によってオクルージョンの可能性のある領域」をそれぞれ表している。

これらの認識結果は人物の主観ともよく一致しており、開発した手法により精度良く視界推定が行えていることを確認した。

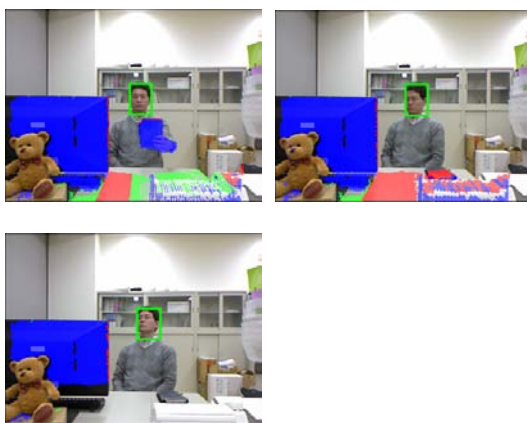


図4 視界推定の例

(4) 人間の行動モデルを構築し、それに基づいて適切な移動行動をとることのできるロボットシステムを構築した。検出した人物の位置及び状態をもとに、あらかじめ構築した行動モデルを利用して適切な目標位置を定め、ロボットが自律的に移動する。

実際にロボットを移動させる実験を行った結果、ロボットが適切な位置へ自律的に移動できることを確認した。実験結果の例を図5に示す。図5は、人物があるオブジェクトに注意を向けている状況での移動例である。図5から、ロボットが人物と注意共有できる適切な位置へ移動できていることがわかる。

以上、実環境において自律移動が可能なロボットの実現を最終的な目標として、そのために必要な各種の要素技術の開発を行った。

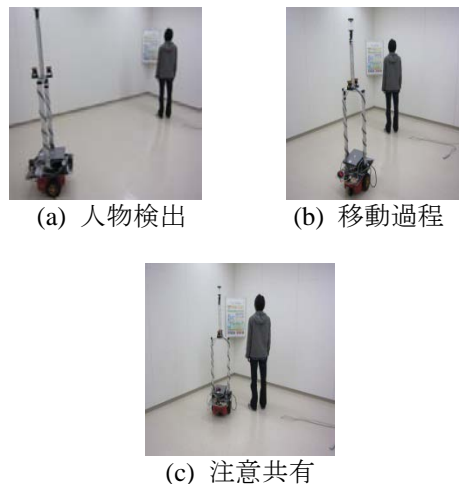


図5 移動実験結果の例

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

- ① 今井順一, カメラと深度センサによる3次元での人物視界・死角領域推定, 生命ソフトウェアシンポジウム 2011, 2011年11月26日, 福岡工業大学.
- ② 今井順一, ユーザの立場に立った判断が可能な「気の利いた」人間共生システム, 第13回日本感性工学会大会, 2011年9月3日, 工学院大学.
- ③ 今井順一, 「気の利いた」振舞いで自律的な働きかけが可能な人間共生システム, 第12回日本感性工学会大会, 2010年9月12日, 東京工業大学.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今井 順一 (IMAI JUN-ICHI)  
千葉工業大学・情報科学部・准教授  
研究者番号: 30401623

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし