ICS-13M-120

複数人からのサービス要求に対応する介護ロボットの開発

指導教員　　久野　義徳教授

平成25年2月5日提出

理工学研究科 数理電子情報系専攻
情報システム工学コース

11MM320
田畠 知弥

埼玉大学 理工学研究科・工学部
久野研究室
埼玉県さいたま市桜区下大久保255

概要

高齢社会を迎え，介護支援を目的としたサービスロボットへの期待が高まっている．食事の手助けをするSECOMのMy Spoonのように，特定個人に対して支援を行うロボットは開発されている．しかし，介護現場では複数人を相手にすることが多い．複数の人にサービスを行う場合，すべての人の要請に対応しなければならない．このような状況では，誰にどういう順番で対応するか，さらにそれをどう示すかが重要になる．

このようなことから我々は，実際の高齢者介護施設で働くケアワーカーの行動の調査を基に，複数人環境での人間同士のインタラクションを分析した．分析の結果，ケアワーカーは様々な非言語行動を用いることで，複数の高齢者に対してそれぞれに適切な情報を伝達していることが分かった．非言語行動の中でも特に，視線の用いられ方が特徴的であった．ケアワーカーは手が空いているときは，高齢者に呼びかけられやすい身体は位置をするということが見られた．また，なんらかのタスクを行っている途中に，別の人に呼ばれる状況では，ケアワーカーの人に視線を向け，その視線には2つの意味がそなわっていることがわかった．1つ目は，呼ばれた時に視線を向けることで,「依頼に気付いた」ことと，今の作業が終わってから向かうのでそれまで「待っていて」という意図を伝えている．2つ目は，呼ばれた時に視線を向けることで,「依頼に気付いた」ことと「次に向かう」ことを示している．人間とロボットがコミュニケーションを行う場合でも，インタラクションの技術は重要であると考えられる．今後，人間に対してサービスを行うロボットが増えていくものと思われるが，人間同士で見られたように，状況に応じて適切な非言語行動をとることで，ロボットがより良いサービスを行うことができると考えられる．

我々は，介護施設での観察で得られた，介護者の被介護者に対する行動を元に非言語行動を取りながらお茶配りを行うロボットを開発した．このロボットは，決められたルートを巡回しながら周囲を見回し，手が空いていることを示す．また，ユーザがロボットのことを呼び，ロボットがユーザのリクエストを認識したら，そのユーザの方向に移動しお茶を配る．ただし，特定のユーザにお茶を運んでいる途中に，他のユーザからリクエストを受けると，そちらの方向に視線を向け,「依頼に

気付いた」ことと「次に向かう」ことを示す．これらの行動を取ることで，ロボットはユーザにより良いサービスを提供することができる．

目 次

概要 **i**

図目次 **vi**

表目次 **vii**

第 1 章　はじめに **1**

1.1　本研究の背景 1

1.2　本研究の課題 1

1.3　本研究の目的 2

1.4　本論文の構成 2

第 2 章　複数人に対応するロボットの行動 **3**

2.1　見回し行動 3

2.2　視線による複数の人への対応 5

2.3　ロボットの動き 5

第 3 章　ロボットシステム **7**

3.1　ハードウェア構成 7

3.2　ロボットの移動制御 10

3.2.1　パーティクルフィルタ 11

3.3　ロボットの行動 14

3.4 実際の動作状況 14

第 4 章 リクエスト検出システム **16**

4.1 提案手法 16

4.1.1 オプティカルフロー 16

4.1.2 特徴抽出 17

4.1.3 リクエスト検出手法 18

4.2 実験 18

4.3 結果，考察 19

第 5 章 おわりに **23**

5.1 まとめ 23

5.2 今後の課題 23

謝辞 **25**

参考文献 **26**

発表文献 **28**

図 目 次

2.1 対応可能性の表示 4
2.2 対応可能性がない場合 4
2.3 非言語行動を用いる介護者の様子 5

3.1 ロボット概観. 7
3.2 Segway RMP50 の外観. 8
3.3 Smart-UPS 1000 の外観. 9
3.4 自律移動システム概観. 11
3.5 パーティクルフィルタの概要 13
3.6 見回し行動を行うロボットの様子 15
3.7 非言語行動を用いる介護ロボットの様子 15

4.1 特徴をグレースケールで表したもの 17
4.2 リクエスト検出の流れ 18
4.3 実験風景 19
4.4 リクエスト検出の実験結果 19
4.5 被験者 A-1 の実験結果 20
4.6 被験者 A-2 の実験結果 20
4.7 被験者 B の実験結果 21
4.8 被験者 C の実験結果 21

4.9　被験者 D の実験結果　. 22

表 目 次

3.1 Segway RMP50 の主な仕様. 8
3.2 Smart-UPS 1000 の主な仕様. 9
3.3 計算機の主な仕様. 9
3.4 PTU-D46-17 の主な仕様. 10

第1章　はじめに

1.1　本研究の背景

高齢社会を迎え，高齢化が深刻な問題となっている．平成 24 年版 高齢社会白書 [10] によると，2011 年の日本の総人口のうち 65 歳以上の高齢者が占める割合は 23.3%であり，過去最高の 2,975 万人となっている．さらに，高齢化は今後も進み，2060 年には高齢者の総人口に対して占める割合は 39.9%になると予想されている．

このような状況の中，ロボットの研究分野では，介護支援を目的としたサービスロボットへの期待が高まっている．例えば，手の自由がきかない人が自分で食事をするときに手助けとなる My Spoon[5] や，人を抱きかかえてベッドへの移動を手助けする RI-MAN[4] など介護を支援する様々なロボットが開発されている．これらのロボットは，ロボットが一人の人に対して介護を行うものであるが，実際の介護現場では一人の介護者が複数の人に対して介護を行う場面が少なくない．例えば，高齢者介護施設では，介護を行うケアワーカーは，高齢者の周囲を歩きまわることで，一人で複数の高齢者に対してサービスを行っている．このような状況から，サービスロボットにも，複数の人からのサービスの要求に対応することが求められている．

1.2　本研究の課題

我々は介護施設で見られる複数の人のサービス要求に対応するサービスロボットの開発を目指している．これまでに，社会学の研究者らと共同で，実際の介護施設内でのケアワーカーの方がどのようにして行動し，複数の高齢者を介護しているのかを調査してきた．そして，その結果得られた知見を元に，介護現場と同じようなタスクを行う環境で，ロボットに実際の介護施設でケアワーカーの方が行っている行動をとらせ，ロボットが複数の人に対応する際，どうのような行動を取るのが適切か調査してきた．しかし，今まで開発してきたロボットは，ロボットの適切な行動を調べるためのもので，人間がロボットを操作する必要があった．

1.3　本研究の目的

我々は複数の人からのサービス要求に対応するサービスロボットの開発を目指している．これまでに，社会学の研究者らと共同で，実際の介護施設内の様子を分析し，複数の人に対応する適切な動きを調査してきた．

そして，調査結果を元に，複数の人からのサービス要求に対応する際の適切な行動をロボットにとらせ，ロボットが複数の人に対応する場合でも，人間と同じような行動をとるのが，適切であることを確認した．

しかし，今まで開発してきたロボットは様々場面で人間に操作を要求しており，移動や確認された適切な行動を人の操作なしでは行うことができない．

本研究では，今までの研究で得られた知見を元に，お茶を配るというタスクに着目し，ロボットが複数の人からの要求に対して適切な行動を用いて対応することで，ユーザ全体が互いに許容可能なサービスを人の操作なしで提供できるケアサービスロボット開発を行う．

1.4　本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである．

第 1 章 はじめに
第 2 章 複数人に対応するロボットの行動
第 3 章 ロボットシステム
第 4 章 リクエスト検出システム
第 5 章 おわりに

第2章　複数人に対応するロボットの行動

本章では，高齢者介護施設において，介護を行うケアワーカーと高齢者との様子を分析し，ロボットにどのような行動を取らせるのが適切か調査する．

2.1　見回し行動

高齢者介護施設で働くケアワーカーの観察において，ケアワーカーは，高齢者に呼びかけられやすいような身体は位置をするということが見られた．例えば，高齢者がいる場所を中心とした場合，その外周に立ち，高齢者の方に身体を向けつつ，頭を左右に振り，見回し行動を行っていた (図 2.1)．このように，ケアワーカーは高齢者にとって話しかけやすい振る舞いをしている．これは，高齢者介護施設におけるケアワーカーの対応可能性の表示の一つであろう．もちろん，ケアワーカーは常に同じように見回し行動を行っているわけでない．しかし，身体的な指向が高齢者に向けられていない場合 (対応可能性が示されていない場合) は，高齢者がケアワーカーに話しかけるのは難しい (図 2.2)．

秋谷ら [9] は，上記のような介護施設における介護者の見回し行動の知見をロボットに反映させ，いくつかの「ロボットが，依頼を受ける人間を探索する動作」が相手にどのような印象を与えるか実験を行った．実験の結果を比較したところ，介護現場で得られた知見をもっとも反映した「ユーザごとに頭部の動作を一時停止しながら見回しを行い，依頼者を発見して反応する.」といった動作が，ロボットが行う場合でも，ユーザにもっとも親近感や安心感を与えることが分かった．

図 2.1: 対応可能性の表示

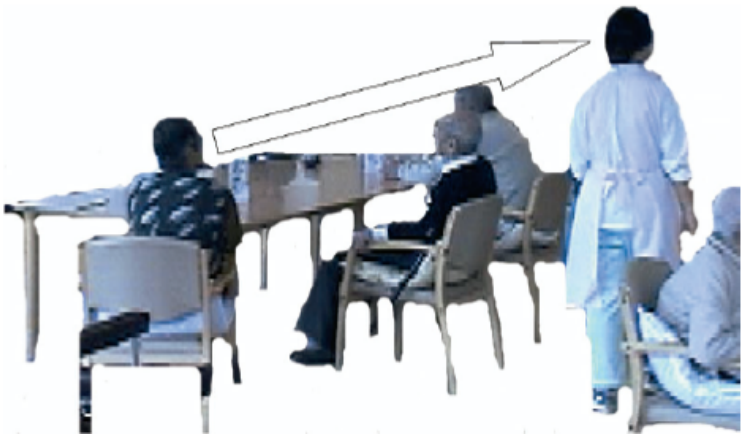


図 2.2: 対応可能性がない場合

2.2　視線による複数の人への対応

介護施設において，ケアワーカーは複数の人に対応する際，非言語行動を用いることがわかった．図 2.3 は介護施設でケアワーカーの非言語行動を行っている様子である．介護者は何らかのタスクを行っている途中である．この時，高齢者がケアワーカーに対してサービスを要求した場合，ケアワーカーは高齢者に対して視線を送り「気づいている」ことを高齢者に示し,「次に行く」ということを予期させている．

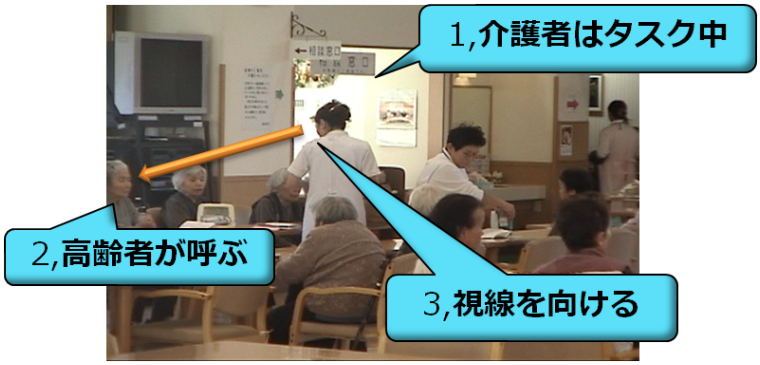


図 2.3: 非言語行動を用いる介護者の様子

ロボットがサービスを行う場合でも，上記で述べたように，複数人に対応する際の，視線を使うことにより依頼への「気づき」と，行動の「予期」を周囲に示すことが期待でき，サービスを受ける利用者全体の不安が少なくなることが考えられる．

小林ら [8] は，ロボットにより非言語行動でも「気づき」と「予期」を示すことが可能であるか実験を行った．実験は，ロボットがタスク (この場合はお菓子配り) を行っている最中に，ユーザがロボット呼ぶ．その時にロボットが，ユーザの方向を振り向く場合と振り向かない場合で，ユーザの行動や印象に差があるのか検証した．実験の結果，ユーザの要求に「気づいた」ことを示すことができ，ロボットが次の順番を「予期」させることができることが確認された．

2.3　ロボットの動き

我々は現在，お茶配りを行うロボットを開発している．ロボットはタスクを行っていない時は指定されたルートを巡回し，ユーザのリクエストを認識するとそのユー

ザの元に移動して，サービスを行う．上記の分析をもとに，ロボットは巡回中は，ユーザがいる方向にそれぞれ頭部を向けながら移動し，ユーザのリクエストを認識すると配布状態に移行する．配布状態では見回し行動を行いはないが，配布途中に新たに別のユーザのリクエストを認識した場合は，そちらの方向に頭部を向け,「気づいている」ことをユーザに示し,「次に行く」ということを予期させる．

第3章　ロボットシステム

3.1　ハードウェア構成

本研究では，2 章の分析で有効だと判明した，非言語行動が可能なサービスロボットを開発する．人に対して自然な非言語行動が行えるように，ロボットは図 3.1 のような人型の外装にした．

図 3.1: ロボット概観.

ロボットの足回りには，スムースな巡回を可能とするために，移動機構として Segway RMP50 (図 3.2，表 3.1) を採用した．その上にアルミパイプ (SUS 社製 GF

N Series) を用いて土台を作成し，ロボットに搭載されている機器に電源を供給するための無停電電源装置 (APC 社製 Smart-UPS 1000，図 3.3，表 3.2) や，ロボット制御用 PC(表 3.3) を搭載した.

図 3.2: Segway RMP50 の外観.

表 3.1: Segway RMP50 の主な仕様.

サイズ (幅 × 高さ × 長さ)[cm]	56 × 69 × 41
最高速度 [km/h]	6
積載重量 [kg]	45
バッテリ	NiMH (ニッケル水素電池)
総重量 [kg]	27

図 3.3: Smart-UPS 1000 の外観.

表 3.2: Smart-UPS 1000 の主な仕様.

サイズ (幅 × 高さ × 長さ)[mm]	170 × 216 × 439
バッテリ容量 [V/Ah/個]	12/12/2
質量 [kg]	18.8

表 3.3: 計算機の主な仕様.

OS	Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 3
CPU	Intel Core2 Duo E8400 3.00GHz
メインメモリ	3.00GB

頭部は，パンチルトユニット (Directed Perception 社製 PTU-D46-17) を取り付け，その上に人型の顔を取り付けてある．PTU-D46-17 の主な仕様を表 3.4 に示す．

表 3.4: PTU-D46-17 の主な仕様．

耐荷重量 [kg]	2.72
自由度	2
分解能 [°]	0.05143
パン速度 [°/s]	0.0123〜300
チルト速度 [°/s]	0.0123〜300
パン・レンジ [°]	±180
チルト・レンジ [°]	+3〜−80
サイズ (幅 × 高さ × 長さ)[mm]	176.2 × 130.3 × 108
質量 [kg]	1.5

3.2 ロボットの移動制御

自律移動システムの概観を図 3.4 に示す．開発したロボットの自律移動システムは，移動ロボット本体と，ロボットが移動する環境内に設置された基地局との 2 つの部分に分けられる．移動中のロボットの位置を同定するために，断面が楕円形状の発泡スチロール製のマーカを，ロボットの背中に取り付けた高さ約 2.2m のポールの上部に設置した．この楕円マーカは，室内の同じ高さに設置されたレーザ測域センサ (北陽電機製 UTM-30LX) により，その位置と向きが追跡される．そして，計測された楕円マーカの位置と向きは無線によりロボットに送信され，移動中のロボットは自身の位置と向きを把握する．この手法では，楕円マーカの位置を周囲の移動体に比べて十分高く設置できるため，ロボットの位置同定が周囲の影響を受けずに行える特徴がある．また，室内環境に設置するセンサも 1 台のみであるため，実験環境への設置も容易である．

レーザ測域センサによる楕円マーカの追跡には，パーティクルフィルタによる楕円体の追跡方法を用いた．レーザ測域センサは周囲 270°，距離 30m の計測範囲を 30fps，±1cm の精度で計測することができる．レーザ測域センサから得られる距離情報を，画像にマップ（これをレーザ画像と呼ぶ）すると，ロボットに設置した楕

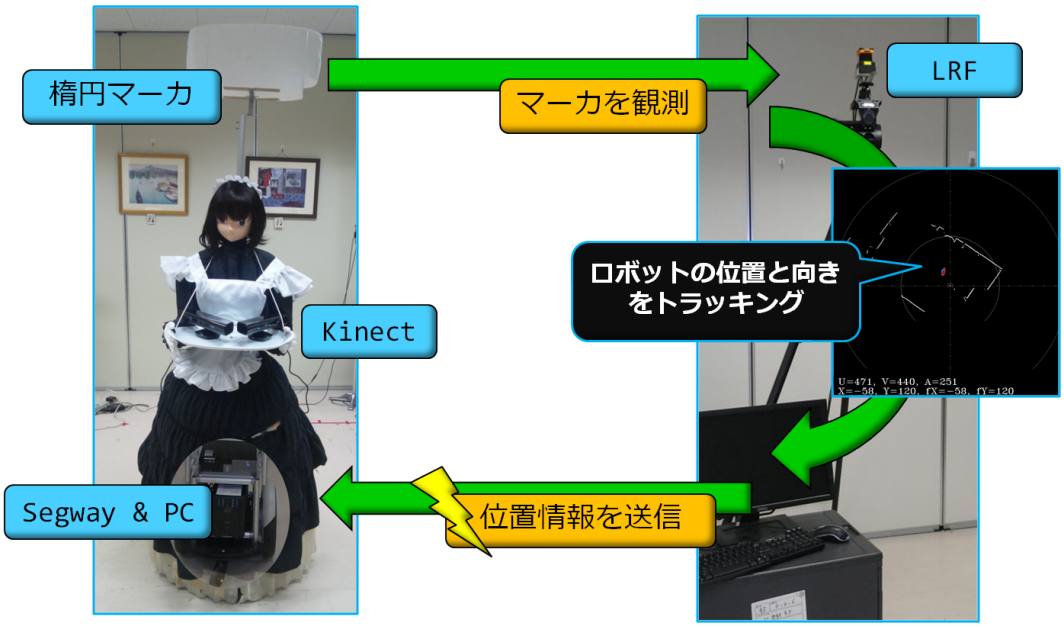


図 3.4: 自律移動システム概観.

円マーカは，ロボットとレーザ測域センサの位置関係により計測できる部分が変化する楕円の輪郭の一部として観察される．そこで，この変化を考慮した楕円形をモデルとして，パーティクルフィルタを用いて楕円マーカの位置と向きを追跡する．このようにして得られたロボットの位置と向きの情報を用いて，あらかじめ定めた巡回経路に沿って移動するよう，PC で Segway の制御を行う．

胴体下部には，PC と UPS を格納し，先ほど述べた位置測定システムから得られるロボットの現在位置に基づいて，移動機構の制御や上体の各関節の制御，センサ情報の処理等を行っている．

3.2.1 パーティクルフィルタ

本システムで用いられるパーティクルフィルタは，以下の流れで行われる [3].

時刻 t における対象の状態量を $\boldsymbol{x}_t$ ，画像による観測を $\boldsymbol{z}_t$ とし，時刻 t までに得られる観測を $\boldsymbol{Z}_t = \{\boldsymbol{z}_1, \ldots, \boldsymbol{z}_t\}$ とする．このとき，時刻 t における対象の事前確率 $p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_{t-1})$ は，マルコフ過程を仮定することにより，時刻 $t-1$ における事後確率 $p(\boldsymbol{x}_{t-1}|\boldsymbol{Z}_{t-1})$ と時刻 $t-1$ から t への状態遷移確率 $p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{x}_{t-1})$ を用いて以下の

ように表すことができる.

$$p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_{t-1}) = \int p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{x}_{t-1})p(\boldsymbol{x}_{t-1}|\boldsymbol{Z}_{t-1})d\boldsymbol{x}_{t-1} \tag{3.1}$$

ここで，$p(\boldsymbol{z}_t|\boldsymbol{Z}_{t-1})$ を一定とすると，時刻 t における事後確率 $p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_t)$ は，ベイズの法則より，時刻 t における尤度 $p(\boldsymbol{z}_t|\boldsymbol{x}_t)$ と事前確率 $p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_{t-1})$ により次式のように表すことができる.

$$p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_t) \propto p(\boldsymbol{z}_t|\boldsymbol{x}_t)p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_{t-1}) \tag{3.2}$$

対象の追跡は，この事後確率 $p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_t)$ の期待値を逐次求めることで実現される.

パーティクルフィルタでは，時刻 t における事後確率 $p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_t)$ を，状態量 $\boldsymbol{x}_t$ の仮説群 $\{\boldsymbol{s}_t^{(1)}, \ldots, \boldsymbol{s}_t^{(N)}\}$ と各仮説に対応する重み $\{\pi_t^{(1)}, \ldots, \pi_t^{(N)}\}$ により離散的に近似し，次のプロセスを経て，逐次的に更新する.

(1) 仮説の選択

時刻 $t-1$ における事後確率 $p(\boldsymbol{x}_{t-1}|\boldsymbol{Z}_{t-1})$ を離散的に近似した N 個の仮説 $\{\boldsymbol{s}_{t-1}^{(1)}, \ldots, \boldsymbol{s}_{t-1}^{(N)}\}$ の重み $\{\pi_{t-1}^{(1)}, \ldots, \pi_{t-1}^{(N)}\}$ の比に従い，仮説群 $\{\boldsymbol{s'}_{t-1}^{(1)}, \ldots, \boldsymbol{s'}_{t-1}^{(N)}\}$ を選択する.

(2) 状態遷移確率に基づく伝播

選択された仮説群 $\{\boldsymbol{s'}_{t-1}^{(1)}, \ldots, \boldsymbol{s'}_{t-1}^{(N)}\}$ を，状態遷移確率 $p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{x}_{t-1} = \boldsymbol{s'}_{t-1}^{(n)})$ に従い伝播し，$p(\boldsymbol{x}_t|\boldsymbol{Z}_{t-1})$ に相当する時刻 t における N 個の仮説群 $\{\boldsymbol{s}_t^{(1)}, \ldots, \boldsymbol{s}_t^{(N)}\}$ を生成する.

(3) 画像による重み $\pi_t^{(n)}$ の推定

画像から尤度の評価を行うことで，仮説群 $\{\boldsymbol{s}_t^{(1)}, \ldots, \boldsymbol{s}_t^{(N)}\}$ の重み $\pi_t^{(n)} \approx p(\boldsymbol{z}_t|\boldsymbol{x}_t = \boldsymbol{s}_t^{(n)})$ を推定する.

パーティクルフィルタのアルゴリズムは，図 3.5 のようになっている [11].

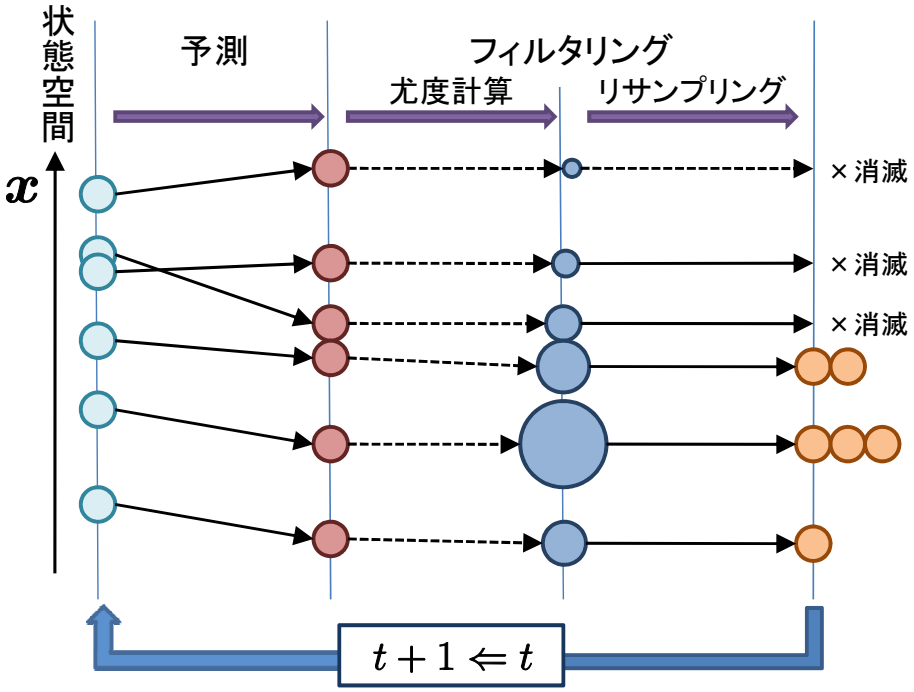


図 3.5: パーティクルフィルタの概要

3.3　ロボットの行動

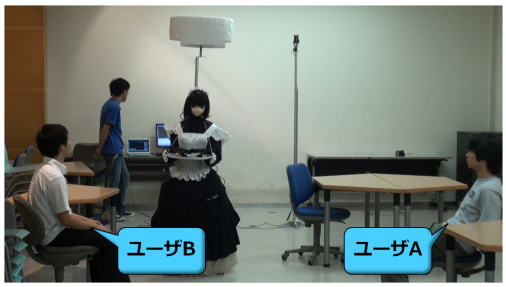
我々が，開発しているロボットは高齢者施設でお茶などを配るサービスを行うロボットである．お茶などを配る際，まずロボットは決められた巡回ルートを移動する．そして，ユーザに呼ばれたことを検知するとそのユーザの元に移動し，お茶などを配布する．

ロボットは 2 章で有効だとされた動きを行う．ロボットは巡回中は，ユーザの方向に頭部を向けながら移動し，ユーザに呼ばれると配布状態へ移行する．配布状態では見回し行動は行わないが，新たに別のユーザに呼ばれた場合，そちらの方向に頭部を向ける．

3.4　実際の動作状況

図 3.6 はロボットが巡回中に見回し行動を行っている様子である．ロボットは巡回中，周囲にいる人々を見回しながら移動を行う．

図 3.7 はロボットがユーザに対して視線による対応を行っている様子である．巡回中にユーザ A がロボットを呼ぶとそちらに反応する (a)．ユーザ A へ移動中にユーザ B がロボットを呼んだ時，ロボットはユーザ B に視線を向ける (b)．その後は呼ばれた順番に従いタスクを行う (c)(d)．



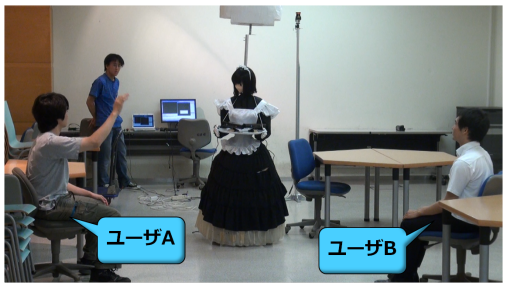
(a) ロボットは巡回中

(b) ユーザ A の方向を向く

(c) ユーザ B の方向を向く

(d) 巡回を続ける

図 3.6: 見回し行動を行うロボットの様子



(a) ユーザ A がロボットを呼ぶ

(b) ユーザ B がロボットを呼ぶ

(c) ユーザ A の元に移動

(d) ユーザ B の元に移動

図 3.7: 非言語行動を用いる介護ロボットの様子

第4章　リクエスト検出システム

介護ロボットが実際の環境でお茶配りを行うには，周囲の人の中でお茶をほしい人を見つけなればならない．すなわち，ユーザのリクエストを認識する必要がある．リクエストの仕方には，色々方法があるが我々はユーザがロボット手を上げる動作をリクエストと見なし，ユーザの手挙げ動作の認識を目標とする．

4.1　提案手法

開発中のロボットは，室内を巡回し，人からのリクエストを認識して，その人の元にサービスを提供する．そのためには，食堂などのような多くの人が活動する環境で，動きながらリクエストを認識しなければならない．リクエストには色々な方法があるが，今回は最も普通に用いられる手挙げ動作について検討する．動きながら，複雑な背景下で，手挙げのような局所的な動作を確実に認識するのは難しい．そこで，オプティカルフローを用いて，顔周辺の縦方向の動きを検出することで，手挙げ動作を認識する手法を提案する．

4.1.1　オプティカルフロー

オプティカルフローとは主に，連続するフレームの画像間で，物体の動きをベクトルで表したものである．このベクトルの検出方法については，Lucas-Kanad 法 [1] や Horn-Schunck 法 [2] などがあるが，我々はブロックマッチング法を用いてオプティカルフローを算出した．

ブロックマッチングとは，画像をブロックという小さな領域に分割して動きを求めるアルゴリズム類をすべて包括する概念である [7],[6].

ブロックは通常，正方形で数個のピクセルを含んでいます．これらのブロックは互いに重なりを持つことがあり，実際に多くの場合重なりを持つ．ブロックマッチ

ングアルゴリズムは，前の画像と現在の画像の両方をこのようなブロックに分割し，これらのブロックのモーションを計算します．ブロックマッチングアルゴリズムは個別のピクセルでなくピクセルの集まりごとに行う操作で，返される速度画像の画像サイズは以下の式で与えられます．

$$W_{result} = [\frac{W_{prev} - W_{block} + W_{shiftsize}}{W_{shiftsize}}]_{floor}$$

$$H_{result} = [\frac{H_{prev} - H_{block} + H_{shiftsize}}{H_{shiftsize}}]_{floor}$$

ベクトルの計算については，ベクトルを求めるブロックの周辺の前フレーム画像とブロックとピクセルの差から絶対値を取ったものの合計を計算し，十分に良い結果が得られたら探索は終了し，良い結果のブロックと探索を始めたブロックのベクトルが結果となります．

4.1.2 特徴抽出

手を上げてロボットを呼ぶ場合，その人はロボットの方向を見ていると予想される．そこで，顔の大きさに比例した，顔周辺領域のオプティカルフローを特徴として利用する．オプティカルフローで得られた各画素のベクトルの縦方向のベクトルを顔周辺のみを抜き出し，上方向のベクトルが大きいほど，値が大きく，下方向のベクトルが小さいほど，値が小さくなるベクトルの集合を特徴とした (図 4.1)．オプティカルフローはブロックマッチング法で検出され，一つのブロックの大きさは 10x10 である．

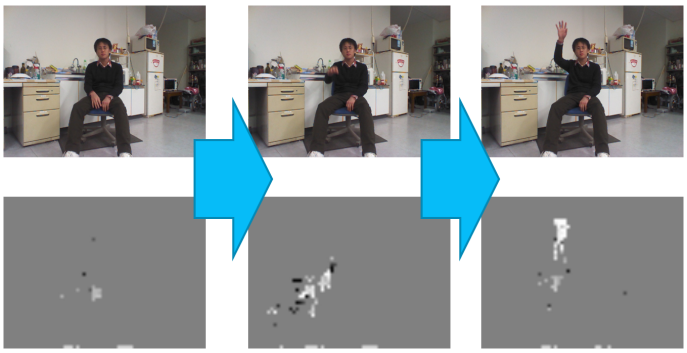


図 4.1: 特徴をグレースケールで表したもの

4.1.3　リクエスト検出手法

リクエスト検出手法のおおまかな流れを，図 4.2 に示す．毎フレーム，オプティカルフローを計算し，画像内で顔が検出されるとその顔の大きさに比例した顔周辺領域を求める．そして，領域内の過去一定フレームの特徴を圧縮したものを SVM を用いて識別する．

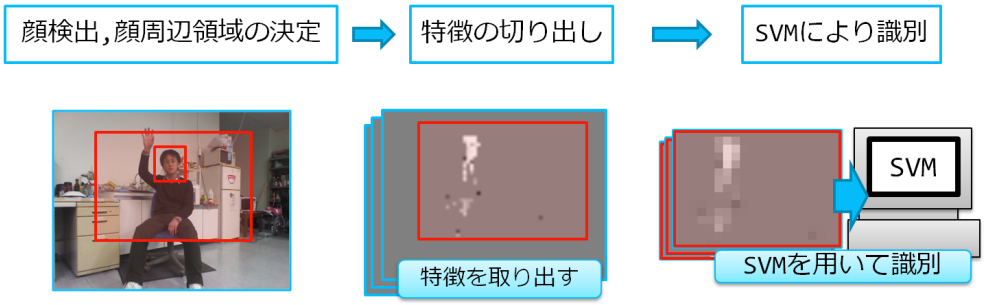


図 4.2: リクエスト検出の流れ

4.2　実験

前述した提案手法の有効性を検証するため実験を行う．

4 人の被験者に，人がたくさんいる環境 (大学の食堂) で手を上げてもらい，その録画映像を使用して実験を行った．カメラは 15FPS で撮影を行った．被験者にテーブルに着いてもらい，その様子を撮影する．被験者は，撮影中にカメラに向かって数回手を上げる動作を行い，その動作を検出できるか実験を行った．

学習に用いる特徴には手を上げきったところから過去 20 フレームの人周辺領域を切り出し，特徴を計算したものを 20x16 の大きさに縮小したものと，手を上げる動作をしていない状況で同じように特徴を計算したものを SVM を用いて学習させた．

学習に用いた正例は，一人の被験者にカメラに向かって，正面，左 30 度，左 60 度，右 30 度，右 60 度向いた状態で手を上げてもらい，すべて 90 件を学習に用い，計 450 件を正例の学習データとして用いた．負例として，実際の環境に近いところで，手を挙げ動作を行っていない様子を使用し，計 380 件を学習データとして用いた．

実験は実際にロボットが使われるであろう環境 (図 4.3) に近い環境で行った．4 人の被験者に手を上げてもらい，その様子を 15FPS で撮影し，そのデータを認識す

る．被験者には顔の位置をある程度固定し，カメラの方向を向きながら手を上げてもらった．

図 4.3: 実験風景

4.3 結果，考察

リクエスト検出の結果，手を上げたと見なしている連続したフレームを一つのリクエストと見なし，被験者が手を上げ，手が頂点に達した状態から，前後 20 フレーム以内にリクエストの連続したフレームの一部が含まれていたら，正しく認識できたことする．実験の結果を図 4.4 に示す．4 人の被験者に計 73 回手を上げてもらったところ，リクエストとして認識されたものが 72 件，認識されなかったものが 1 件となり，ユーザのリクエストを，約 98.6%の確率で認識できるといえる．

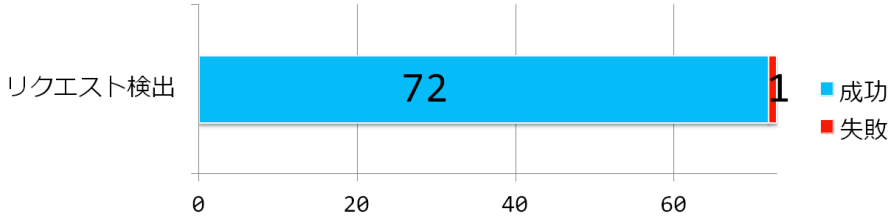


図 4.4: リクエスト検出の実験結果

またそれぞれの被験者についての実験結果を図 4.5 から図 4.9 に示す．この各グラフの横軸は，実験した時に撮影された映像のフレームを表しており，ユーザが手を上げる動作をしたフレームは，縦軸の値は 1.0 となり，そうでない場合は-1.0 となる．ground truth は人間が目で判断した結果を表し，recognition result は前述したシステムを用いて手挙げ動作を識別した結果である．

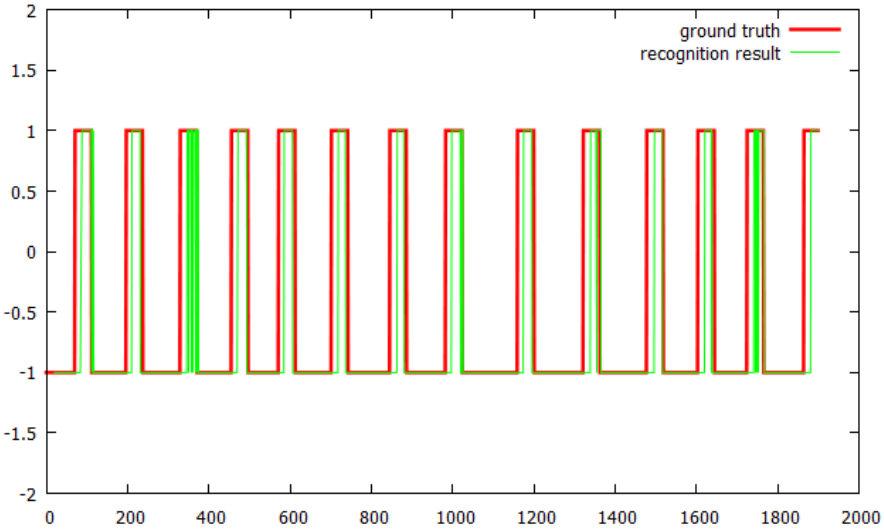


図 4.5: 被験者 A-1 の実験結果

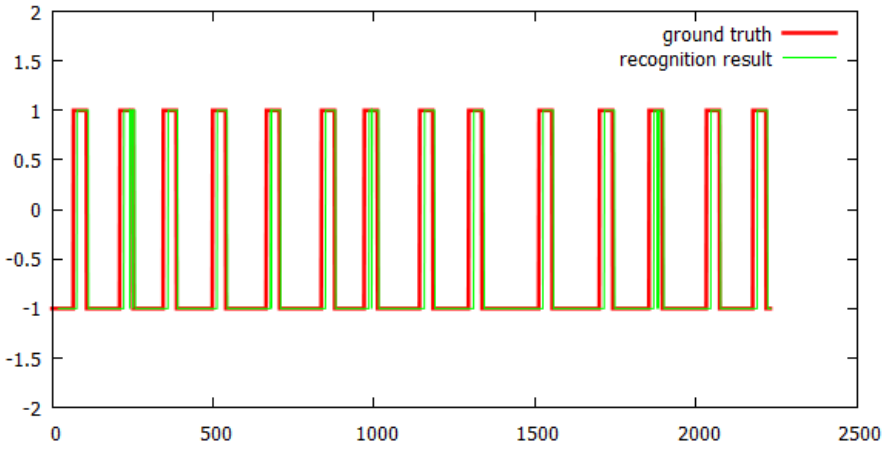


図 4.6: 被験者 A-2 の実験結果

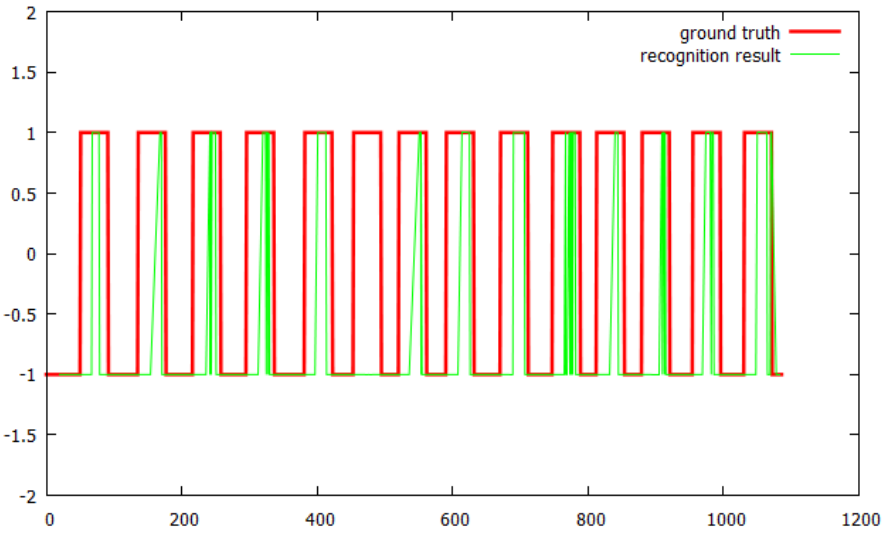


図 4.7: 被験者 B の実験結果

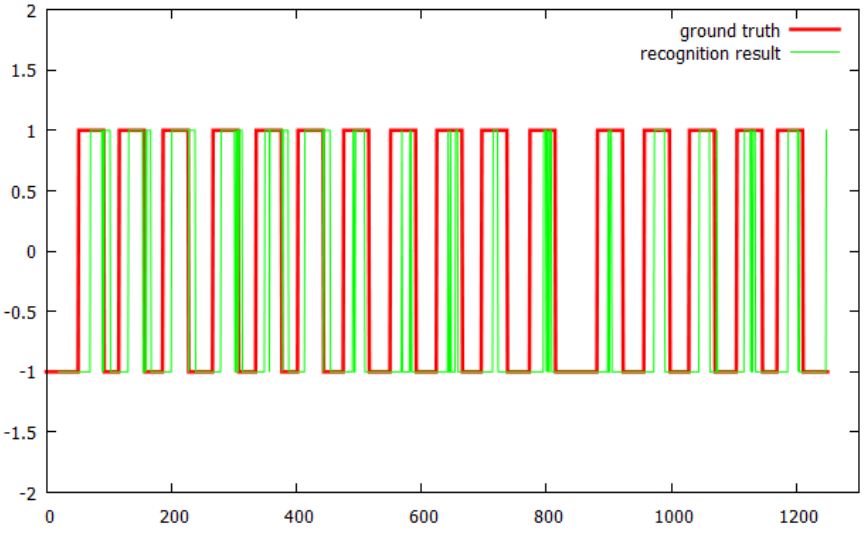


図 4.8: 被験者 C の実験結果

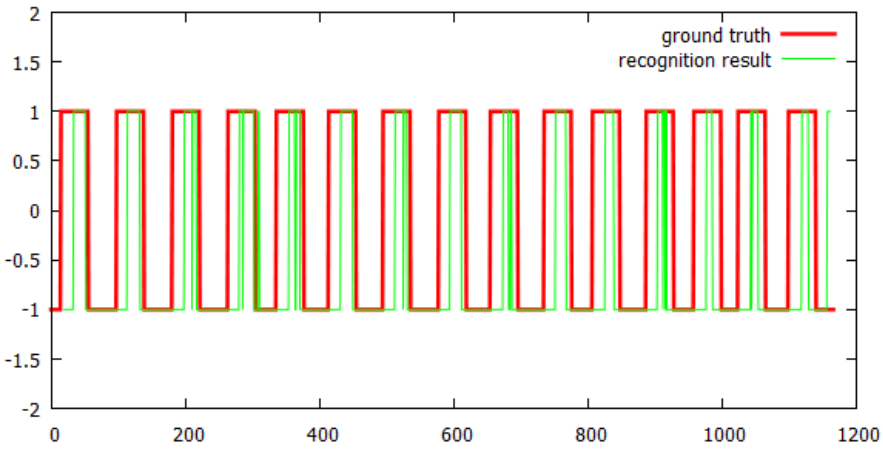


図 4.9: 被験者 D の実験結果

リクエストの誤検出については，被験者が手を上げ，手が頂点に達した状態から，前後 20 フレーム以内にリクエストの連続したフレームが含まれていなかったら，誤検出とし，実験の結果，全 7592 フレーム中，30 フレームで誤検出が行われた．この 30 フレームの誤検出のうち 25 フレームは被験者の顔以外の部分，例えば，床やテーブルなどを顔と検出しましい，その周辺で動きをリクエストと見なしてしまった．

今回の実験では，ユーザの計 73 回のリクエストを 72 回検出することができた．検出できなかった 1 回の映像を確認したが，検出できない原因ははっきりとはわからなかった．学習のさせかたなどを改良して対応していきたい．また，図 4.9 の被験者 D で映像の最後のフレーム付近で，誤検出が起きているが，これは被験者が頬をかいた様子に反応してしまった．学習データには，人の手を上げる動作以外の，人の動作を負例として学習させることで，より人の様々な動きに対応して識別できるのではないかと考えられる．今回の手法を実際に実装したところ，リアルタイムで処理を行うことができなかった．オプティカルフローの処理がボトルネックとなっているので，並列に処理をおこなうなどとして，処理速度を上げていく必要がある．

第5章　おわりに

5.1　まとめ

本研究では，介護施設におけるケアワーカーの行動の分析し，ロボットが複数の人に対応する場合の適切な行動を求め，そのような行動を行うロボットを開発した．また，リアルタイムで処理が行えるわけではないが，実際の介護施設に近い環境でユーザの手挙げる動作をリクエストと見なし，ユーザのリクエストを認識できるシステムを開発した．

5.2　今後の課題

今後，サービスロボットを開発するにあたって，利用者の立場を考えて設計するためには，状況に応じてジェスチャーの使い方を考える必要があると言える．また，それぞれの行為の効果の違いや，複合的な行為の効果については，文化的な違いや年齢や性別による違いもあるかもしれない．ヒューマンロボットインタラクションの研究においては，まだ解明されていない部分が多く，さらに実験を重ね，それぞれの違いや意味を探求することが必要であると思われる．

介護施設でケアサービスをするロボットの実現に向けては，まだ課題が残されている．本論文で述べたリクエスト認識システムは，リアルタイムでの認識ができていない．実際に，ロボットがサービスを行うためにはリアルタイムでユーザのリクエストを認識し，ユーザにサービスを行わなくてはならない．そのためにも，現在のリクエスト認識システムの高速かが必要である．また，ユーザが利用する場面を考えると，音声を用いてサービスを要求する可能性も当然考えられるので，音声による依頼認識も必要になってくると考えられる．

さらに，ユーザに対して直接サービスをするロボットでは，安全面に考慮する必要がある．移動ロボットで考えられる安全対策として，障害物検知機能が挙げられ

る．移動経路上に物があったり人がいたりした場合，それにぶつからない様にロボットは移動する必要がある．介護施設では，高齢者がユーザとなるため，特に注意が必要である．

謝辞

研究ならびに生活面においてご指導を賜りました久野義徳教授，小林貴訓助教に深く感謝致します.

また，いつもよきアドバイスをくださいました，研究室の皆様，そして同期学生の皆様，並びに私を暖かく見守って頂いた両親はじめとする周囲のすべての皆様に深く感謝致します.

参考文献

[1] B.D.LUCAS and T.KANADE: An iterative image registration technique with ans application to stereo vision., In *Proceedings of the 1981 DARPA Imaging Understanding Workshop*, pp. 121–130, 1981.

[2] B.K.P.HORN and B.G.SCHUNCK: Determining optical flow., In *Artificial Intelligence*, pp. 185–203, 1981.

[3] Y. KOBAYASHI, Y. KINPARA, T. SHIBUSAWA, and Y. KUNO: Robotic wheelchair based on observations of people using integrated sensors, In *Proc. IROS 2009*, pp. 2013–2018, 2009.

[4] T. MUKAI, M. ONISHI, T. ODASHIMA, S. HIRANO, and Z. LUO: Development of the Tactile Sensor System of a Human-Interactive Robot " RI-MAN ", *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 24, No. 2, pp. 505–512, 2008.

[5] R. SOYAMA, S. ISHII, and A. FUKASE: The Development of Meal-Assistance Robot 'My Spoon', In *The 8th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR2003)*, pp. 88–91, 2003.

[6] S.S.BEAUCHEMIN and J.L.BARRON: The computation of optical flow, In *ACM Computing Surveys*, pp. 433–466, 1995.

[7] Y.HUANG and X.H.ZHUANG: Motion-partitioned adaptive block matching for video compression, In *International Conference on Image Processing*, Vol. 1, p. 554, 1995.

[8] 小林貴訓, 行田将彦, 田畠知弥, 久野義徳, 山崎敬一, 渋谷百代, 関由起子, 山崎晶子: 多人数場面において受容者の予期を支援するケアサービスロボット, 情報処理学会論文誌, 第 52 巻, pp. 3316–3327, 2011.

[9] 秋谷直矩, 丹羽仁史, 岡田真依, 小林貴訓, 山崎敬一, 久野義徳, 山崎晶子: 高齢者介護施設におけるコミュニケーションチャンネル確立過程の分析と支援システムの提案, 情報処理学会論文誌, 第 50 巻, pp. 302–313, 2009.

[10] 内閣府: 平成 24 年版 高齢社会白書, 2012.

[11] 樋口知之: 粒子フィルタ, 電子情報通信学会誌, 第 88 巻, pp. 989–994, 2005.

発表文献

本論文の内容に関連する発表文献は以下の通りである.

論文誌

- 小林貴訓, 行田将彦, 田畠知弥, 久野義徳, 山崎敬一, 渋谷百代, 関由起子, 山崎晶子. “多人数場面において受容者の予期を支援するケアサービスロボット”. 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 12, pp. 3316–3327, 2011.

国際会議

- M. Gyoda, T. Tabata, Y. Kobayashi, and Y. Kuno. “Mobile Care Robot Accepting Requests through Nonverbal Interaction”. *17th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2011)*, February 2011, Korea.
- Y. Kobayashi, M. Gyoda, T. Tabata, Y. Kuno, K. Yamazaki, M. Shibuya, Y. Seki, and A. Yamazaki. “A Considerate Care Robot Able to Serve in Multi-party Settings”. *IEEE RO-MAN2011*, July-August 2011, USA.
- Y. Kobayashi, K. Yamazaki, A. Yamazaki, M. Gyoda, T. Tabata, Y. Kuno, and Y. Seki. “Care Robot Able to Show the Order of Service Provision through Bodily Actions in Multi-Party Settings”. *CHI2012*, Extended Abstract, May 2012, USA.

国内会議

- 田畠知弥, 行田将彦, 小林貴訓, 久野義徳. “複数の人に非言語で対応する介護ロボット”. 電子情報通信学会総合大会, p. 151, March 2011.
- 行田将彦, 田畠知弥, 小林貴訓, 久野義徳. “非言語行動で依頼を受け付ける移動介護ロボット”. 第 17 回 画像センシングシンポジウム (SSII2011), June 2011.
- 行田将彦, 田畠知弥, 小林貴訓, 久野義徳, 山崎敬一, 佐藤信吾, 山崎晶子. “多重的身体行動を用いて複数人からの依頼に対応するケアロボッ

ト”. 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, Vol. 2012-HCI-146, No. 12, pp. 1–8, January 2012.

デモンストレーション

- 次世代ロボット製造技術展 ROBOTECH, July 2010.