

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主論文の要旨

論文題目 視覚と触覚による人-ロボットのインタラクション

氏名 猪飼 拓哉

論文内容の要旨

近年、「人とロボットの共生」に代表される分野，すなわち人の生活の営みに直接関与するサービスロボット，たとえば高齢化社会に対応した，衣食住の補助，健康の維持，心の安寧などに役立つロボットに期待が寄せられている。

ロボットは，これまで主に産業用として使われ，人があらかじめ物の配置や形を規定した「構造的環境」で，人が規定した動作のみを行ってきた。しかしながら，上述のサービスロボットには，物の配置や形が決まっていない，日常生活の「非構造的環境」で，様々なサービスを行うことが求められている。そのような要求から，サービスロボットは，時に人から指示を受けて動作することが必要とされる。ロボットが，人から指示を受ける方法は，これまで人の発話やジェスチャーを利用する手法が試みられてきた。しかしながら，発話やジェスチャーによる指示法は，日常生活において，人の負担となることが考えられる。

したがって本研究では，人の「焦点の定まっていない相互行為」を利用し，人に負担にならない形で，人の意図を汲みとれるロボットシステムの構築と運用を研究構想として目指す。ここで「焦点の定まっていない相互行為」とは，「ある人がドアに近づくのを見て，その人がドアの向こうへ行きたいのだと察する」といったような，ある人が自身の伝達意図とは無関係に他者へ情報を送ることである。もしこの情報を元に他者がドアを開けてあげれば，自動ドアのサービスが成立する。このように「焦点の定まっていない相互行為」を，ロボットが受け取り，人からの指示と見なすことで，人の負担を減らすサービスや，人の期待を超えたサービスを提供するロボットの実現が可能となると考えられる。

上述の研究構想に従い，本研究では，「視線」や「表情」，「力加減」などといった，人の「焦点の定まっていない相互行為」を受け取れる視覚センサと触覚センサをロボットに搭載し，「視覚と触覚による，人-ロボット間のインタラクション」を設計することを目指す。このインタラクションは，「ロボットは，遠距離では視覚，近距離では触覚を用いて，人へサービスを行う」というシナリオに基づいている。本論文では，上述の研究構想に従い，序開として，以下について報告する。

- (1) 人の「焦点の定まっていない相互行為」である、「視線」、「思考集中状態の表情」を認識できる認識器の要素技術開発
- (2) インタラクションの補助に用いる、「焦点の定まっている相互行為」である指差しジェスチャーの方向を認識できる認識器の要素技術開発
- (3) 上述の要素技術を用いた視覚センサと、人の「焦点の定まっていない相互行為」である「力加減」を認識できる三軸触覚センサを搭載したロボットの試作
- (4) 遠距離では視覚、近距離では触覚を用いるというシナリオに基づいた、人との受け渡しタスクの試行と、それによる全体構想「視覚と触覚を用いた、人-ロボットのインタラクション」の、実環境適用可能性の例示

以下に本論文の構成と、成果について述べる。

第1章では、研究の背景と目的を述べる。本研究において、人の「焦点を定めていない相互行為」をロボットへの指示とすることで、人に疲労やストレスを感じさせずに、ロボットに非構造的環境へ対処させるアプローチを行うことを述べる。また、本論文の構成を示す。

第2章では、人と同じ環境でタスクを行うサービスロボットの設計において、人-環境-ロボットの3項インタラクションを考えることの重要性を述べる。続いてヒューマンロボットインタラクションに関する研究事例を示し、本研究が、非構造的環境に対処するため、人の弱い指示を活用することを述べる。以上の議論から、本研究では、ロボットの視覚と触覚を活用し、人の指示を受け取る「視覚と触覚による、人-ロボットのインタラクション」を目指すことを報告する。そのために本研究では、①要素技術の研究開発、②多様なロボットの試作、③人との相互作用の評価実験、④実際の動作環境での長期的実証というロードマップを順次進めていくことを述べ、本論文の内容が、①要素技術の研究開発、②多様なロボットの試作に相当することを報告する。

第3章では、視覚による人-ロボットのインタラクションのため開発した、視線認識と、思考集中状態認識の要素技術について報告する。視線認識では、先行してモルフォロジー変換を利用した目の開閉検出を行い、虹彩検出の誤検出を減らす。虹彩検出では、目尻目頭をテンプレートマッチングで、円検出で虹彩を探索する。評価実験では、4人の被験者に対して行い、視線方向が判別できていることを確認した。視線方向識別の際には、目の形の個人差を補正するため、正面画像をあらかじめ1枚記録する必要があるものの、人が着目しているおおよその空間を認識するために、開発した視線認識器は十分な水準であると確認した。思考集中状態の認識では、「口をつぐむ」から「口を開ける」までの動作中の唇形状を5つに分類し、思考集中状態に上述の唇形状が表出した場合、輝度値のヒストグラムで識別できるシステムを構築した。評価実験は、3人の被験者に対して行い、「口をつぐむ」、「口を小さく開ける」の唇形状では、80パーセントを超える高い識別率を記録した。したがって、考えている際に、口を小さく開けるユーザか、口を強くつぐむユーザであれば、思考集中状態の認識器として、十分に適用できることを確認した。また1人の被験者にIQテストをさせ、考えている際に唇に強くつぐむというShutの形状が現れることを確認した。

第4章では、視覚と触覚による人-ロボットのインタラクションのため開発した、指差し方向認識器の要素技術について報告する。本手法では「人の指差し精度は、被写面内指差し方向の方が、奥行き指差し方向より良い」というヒューリスティックに基づき、2つの

指差し方向へ分解し、人由来の精度を確保する手法の構築を試みる。構築の結果、被写面内指差し方向 θ の精度は、 $135^\circ \sim 180^\circ$ で距離50cm以内ならば、標準偏差 $\pm 3^\circ$ であり、その範囲内ならば、認識器は十分に実用可能な水準であるという知見を得た。しかしながら、奥行き指差し方向 ϕ の精度が全体的に悪く、推定誤差が、人の誤差である $\pm 5^\circ$ を上回っていた。したがって、人由来の精度を確保し、人が指差した空間を正確に把握するという、目標水準には達していない。この問題は、より高解像度の画像で推定することで解決できると考えられる。また評価実験において、手の甲か掌を見せるForm1の方が θ の結果が優れ、人差し指以外の指が隠れるForm2の方が、 ϕ の結果が優れているという結果を得た。以上の結果から、実環境に適用する際には、普段はForm2の方を使用し、もし自分が θ と ϕ のどちらの精度を求めているか意識できるならば、それに応じてForm1とForm2を使い分ければよい、という知見を得た。

第5章は、3章、4章で報告する要素技術を搭載して試作した、インタラクション用ロボットについて報告する。またそのロボットを用いて、「遠距離では視覚、近距離では触覚を用いる」というシナリオに基づいて、人との受け渡しタスクを行った結果を報告する。受け渡しタスクにおいて、ロボットは、人に要求された物体を把持した後、人から差し出された掌の上に物体を受け渡すことができた。この時、人は、人の手の位置や、物体を離すタイミングをロボットに教えておらず、最初に物体を指差し、掌を差し出すだけであった。この実験においてロボットは、視覚と触覚により、「腕を伸ばし、物体を受け取る」という動作に付随する指示を認識できることから、提案手法である「視覚と触覚を用いた、人-ロボットのインタラクション」が実環境で適用可能である、という一例を示した。

今後の課題として、「視覚と触覚に用いた人-ロボットのインタラクション」について、多様なタスク下で人との相互作用の評価実験をすることを挙げる。今回の受け渡し実験では、視覚と触覚に用いた人-ロボットのインタラクションの一例を示した。しかし、このインタラクション法は広い適用範囲を持つ可能性があるものの、協調運搬や、ダイレクトティーチングなど多くのタスクを通して、それを検証する必要がある。また、今回の実験では、実際にロボットとインタラクションした人がどのように感じたか、心理物理評価を行っていない。自動ドアの例に見られるように、人の無意識的、不随意的な行為をインタラクションに取り入れる方法は有効ではあるものの、実際にロボットとのインタラクションを体験した人のストレスや印象を細かく分析する必要がある。人の抱いた肉体的負担と心理的負担を測る方法としては、6つの対比較を用いるNASA-TLX法、相反する形容詞句対を用いるSD法(Semantic Differential method)などの心理評価法を用いて、視線や表情、力加減などがインタラクションにおいてどのような効果を持つか、互いの抵触や相乗効果などは存在するかを明確にする所存である。そのような研究が進めば、設計者はどの機能をロボットに搭載するべきかの見積もりが可能となり、ユーザはどの効果をロボットに求めているかに応じて、ロボットを選ぶことも可能となると考えられる。