

氏名（本籍）	岡本和也(和歌山県)
学位の種類	博士(工学)
学位授与番号	甲第13号
学位授与日付	平成19年3月23日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	線形ビジュアルサーボによるヒューマノイドロボットの移動制御
学位論文審査委員	(主査) 教授 安田 一 則 (副査) 助教授 丸 典 明 助教授 長 瀬 賢 二

## 論文内容の要旨

近年、ロボットが人間の生活空間内に進出し、生活支援や介護支援を行い、共存することが望まれている。人間の生活空間は、人間が快適に暮らせるよう設計されている。仮に、非人間型ロボットが人間の生活空間内にて人間に作業を行わせる場合、生活空間はロボットにとって使い勝手が良い環境とは限らない。これを解決するためにロボットを人間型にすれば、より人間と共存しやすくなるため、ヒューマノイドロボットが広く研究されている。また、福祉関係にロボットを利用する場合、対象者の心理的負担が軽減すると考えられる。人間の生活空間のように、環境に外乱が生じる場所でロボットに作業を行わせる場合、人間と同様に視覚・聴覚・触覚・嗅覚などのような感覚器官が大切である。中でも、視覚（カメラ）は対象と非接触に、且つ一度に大量のデータを取得できる手段として広く研究されている。このため、ロボットにおいても視覚（カメラ）を用いれば、周囲の状況を把握して環境の変化に対応することが可能となる。視覚情報を上手に利用することにより、ロボットに必要とされる重要な機能の一つである、固定してある目標物体まで移動したり、移動する目標物体を追従したり、障害物を認識して回避するというような移動機能を実現することが可能となる。

視覚を利用した制御方法として、一般的にルックアンドムーブ法が有名である。これは、目標位置や姿勢をカメラにて測定し、ロボットの位置や姿勢が目標と同じになるように制御する方法である。ルックアンドムーブ法は、制御方法は非常に簡単ではあるが、カメラのキャリブレーションエラーに非常に弱いという問題がある。キャリブレーションに強い方法として、ビジュアルサーボという方法がある。カメラ内の特徴点から直接制御量を計算できる方法であり、キャリブレーションエラーに強い。しかし、ビジュアルサーボは制御量を計算する際に、正確なカメラ角を必要とする問題がある。ビジュアルサーボを移動ロボットに適用して移動制御する場合、移動時の振動を抑えるために、カメラの補償眼球運動によりカメラ角を制御する必要がある。このとき、カメラ角の正確な測定に失敗してしまうと正確な制御量を計算できず、正しく制御できないという問題がある。

この問題を解決する方法として、線形ビジュアルサーボが提案されている。アームロボットとステレオカメラが人間の上体に似た配置をもつ人間型ハンドアイシステムにおいて、関節空間と視空間が線形に近い関係を持つという特徴を利用した線形式で表現されるビジュアルサーボであり、制御量の計算に関節角とカメラ角が不要であるという利点を持つ。本論文では、人間型ハンドアイシステムで有効性が示された線形ビジュアルサーボを車輪型ヒューマノイドロボットの追従制御にすることを提案する。このとき、車輪型ヒューマノイドロボットの移動空間と視空間の関係を線形式で表現できることを示す。また、追従制御と平行して腕の位置決め制御を行い、目標物体に近づきながら腕も目標物体に近づけるというリーチング制御を提案する。これらの制御はビジュアルサーボであるため、目標とマーカーがカメラから見えていなければならないが、オープンループ制御によりこれを解決する方法を提案する。また、視角を広げるために全方位カメラによるステレオビジョンを導入し、線形ビジュアルサーボ系を構築する方法を提案する。また、上記の全ての制御のそれぞれに対し収束安定性を求め、広い範囲で安定に制御ができることを示す。

最後に、上記の全ての制御方法の問題点を示す。そして、全ての制御方法を統合することにより、単体での制御方法における問題点を解決できることを検証し、結論とする。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、ハンドアイシステムで有効とされているLVS（線形ビジュアルサーボ）の技法を、車輪型ヒューマノイドロボットの移動制御に応用することを目的にしており、新たに移動空間を定義するとともにマーカを併用することによって移動制御にもLVSが有効に機能することを、理論的にまた実験によって明らかにしている。さらに、開発した手法を発展させ、移動とリーチングの同時制御の提案、視野に関する問題点改善のためのオープンループ制御や全方位画像を用いる方法の提案がなされている。以上の論点を校閲した結果、本論文は、新規性・実用性のいずれの観点からも博士論文として十分な水準にあることを認めた。なお、本論文での研究成果は、現時点で、学術誌掲載論文1編、国際会議発表論文5編、国内会議発表論文7編で公表されていることを付記する。

## 最終試験結果の要旨

2月13日に公聴会を開催し、質疑応答をもって最終試験とした。質問は、

- ・線形ビジュアルサーボにおける線形性の適格さについて
- ・仮想マーカ使用時の誤差の要因について
- ・誤差収束性の証明の妥当性について

等であり、これらに対し申請者は質問内容を十分に把握した上で、吟味不足な一部を除いて、的確な回答がなされた。この結果を受けて学位審査会は最終判定会議を開催し、全員一致で最終試験を合格と判定した。