

## 論文の内容の要旨

論文題目 ヒューマノイドにおける  
搭乗型機器の運転操作と適応行動

氏名 木村 航平

本論文は、「ヒューマノイドにおける搭乗型機器の運転操作と適応行動」と題し、人が乗って移動する機器をヒューマノイドロボットが利用する際に必要となる運転操作と適応行動に関する研究をまとめたものである。ヒューマノイドロボットは、人のために作られた道具を利用することで多様な行動が可能となり、自転車などの搭乗型機器もその一つであるが、バランス制御系を内部に備えた搭乗型電動機器では乗り込み時の挙動と搭乗時の安定化や速度制御の方法をロボット自身で獲得する行動実現法が必要となる。本研究では、受動的な搭乗型機器でのペダルとハンドルの操作、搭乗状態での姿勢の安定化、外界認識に基づく運転操作制御に加えて、能動的に電動駆動される搭乗型機器への乗り込み時と搭乗後の移動速度制御への適応行動の実現方法を論じ、等身大ヒューマノイドでの実験を通して提案手法の評価を示した。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的、本論文の構成について述べ、搭乗型機器への操作制御、搭乗するヒューマノイド自身のバランス補正、移動運転操作時の目標軌道に対する軌道修正、ならびに乗り込み時と搭乗後の制御系でのゲイン学習をオンラインで実行する方式を提案し、それらを一般化して示すことを目的とすることを述べた。

第2章「オンライン探索指標に基づく搭乗型機器の運転操作と適応行動」では、搭乗型機器の運転操作と適応行動において、目標軌道の修正と制御系のゲイン学習の必要性を述べ、軌道修正とゲイン学習の指標となるベクトルを探索指標とし、センシングで得られる状態変数を利用するオンライン探索指標の考えを導入した。そのオンライン探索指標の一般性を考慮に入れた軌道修正とゲイン学習の一般化更新則を提案した。

第3章「搭乗型機器の操作に対する軌道修正」では、ペダルやハンドルの操作を必要とする搭乗型機器の操作ではヒューマノイドにおける二脚でのペダル操作や双腕でのハンドル操作など内力を伴うマニピュレーション制御法が重要であり、内力を解消することを目的とした目標軌道の修正法について述べた。ヒューマノイド身体と搭乗型機器の間の閉ループ構造に着目して、オフラインで与える目標軌道とオンラインでその目標に合わせるための軌道修正法についてオンライン探索指標を用いて提案し、機器との間に発生する操作行動中の内力の負荷を解消した。提案した軌道修正法に基づき、ヒュー

マノイドによる双腕・双脚を協調させた三輪車の運転操作行動を実現した。

第4章「運転操作における搭乗姿勢と外界環境に対する軌道修正」では、搭乗中の姿勢安定化と外界環境の認識に基づく運転操作について論じた。搭乗姿勢の安定化については、転倒を引き起こす不安定要因に関して、割り込み処理に基づく座り直し制御とペダルとハンドルの操作中に並行処理する姿勢制御の2つの安定化処理法を提案し、搭乗姿勢の重心位置と体幹の目標姿勢角に対する軌道修正法に基づいた搭乗時の安定化行動を実現した。外界環境の認識においては、視覚で検出可能な大型障害物と力感覚で検出可能な小型障害物の両方に対応可能な目標操作量の軌道修正を行う認識行動システムを提案し、外界障害物へ対応可能な運転操作行動を実現した。

第5章「搭乗する環境に適応したゲイン学習」では、二足立脚状態から搭乗型機器へ乗り込む際の適応行動に関するゲイン学習法について述べた。搭乗者のバランスを保つ電動機構を備えた搭乗型機器へ乗り込む際には、即時的な移乗動作を必要とするため、迅速な確率的勾配降下法によるオンラインでのゲインの学習制御法を提案した。提案手法に基づいて平行二輪電動スクーターへの乗り込み動作において行動実現を示した。

第6章「搭乗した環境の運動に適応したゲイン学習」では、搭乗型機器への移乗後に、目的の速度を実現するためのゲイン学習法について述べた。搭乗型機器上のヒューマノイドが把握する並進速度と旋回角速度に対する調速行動制御系を構成するため、その閉ループ制御系のPIDゲインを速度の偏差を時間積分して蓄積するミニバッチ学習法によるオンラインでのゲインの学習制御法を提案した。提案手法に基づいて平行二輪電動スクーター上でヒューマノイドが移動速度を発散させることなく定位する調速行動を実現した。

第7章「オンライン探索指標の並行処理と切替処理による行動実現」では、オンライン探索指標を軸に軌道修正法とゲイン学習法を並行処理あるいは切替処理により複合させることで、各種運転操作と適応行動を実現する方法とシステム構成について述べて統合的な行動実験を示した。

第8章「結論」では、本研究の総括ならびに得られた成果と結論を述べ、今後の展望について論じた。

以上、本論文は、受動的に駆動される搭乗型機器および能動的に駆動可能な搭乗型電動機器に対して、オンラインで実行される目標軌道の修正と制御系のゲイン学習を統一的に処理する方法を論じ、等身大ヒューマノイドによる運転操作での双腕・双脚の協調操作、搭乗姿勢安定化、外界環境認識、乗り込み時の適応行動、搭乗後の調速行動の実現法と実験評価を示した。