

審査の結果の要旨

氏 名 石黒 康裕

本論文は、「ヒューマノイドによる遠隔作業における全身操縦システムの研究」と題し、遠隔地にあるヒューマノイドロボットを人が四肢を操縦して作業を行う上で必要となる操縦性と安定性の問題を解決する操縦システムに関する研究をまとめたもので、全7章からなる。既存の自動車・航空機・船舶分野において操縦システムの良否を議論する際に用いられている「操縦性」「安定性」「操舵反力特性」の概念を考慮し、双腕剛体把持や二脚床反力操作など作業ごとの要件に対応可能なシステム構成法の重要性を指摘し、四肢の反力を帰還可能な全身操縦システムの構築と等身大ヒューマノイドによる遠隔作業実験を通して有効性を示すことを行っている。

第1章「序論」では、ヒューマノイドの操縦において脚腕協調による行動範囲拡大や作業効率の向上が重要であるとして、本研究の背景と目的、論文の構成を述べている。

第2章「ヒューマノイド全身操縦が抱える課題と操縦システムを評価する要素」では、等身大ヒューマノイドロボットにおける実時間操縦の既存技術体系と既知の課題について述べ、成熟した操縦システムである自動車や航空機の操縦アシストシステムから有用な示唆が得られることを述べている。ヒューマノイド操縦において、自動車・航空機・船舶などで議論されてきた「操縦性」「安定性」「操舵反力特性」等の概念が重要であることを指摘し、体系的な構成法と遠隔作業性能向上が可能となると述べている。

第3章「ヒューマノイド全身操縦システムの安定性を向上させる二脚動力学アシスト制御」では、構造的に不安定な二足歩行ロボットの姿勢制御を操縦者による直接操縦に任せるのではなく、自動アシストソフトウェアで肩代替りする二脚動力学アシスト手法について述べている。このアシスト手法は前述の「操縦性」「安定性」「操舵反力特性」のうちの「安定性」を担保するものであり、倒立振り子モデルのダイナミクスに基づいた重心運動の短期予測を行いつつ、必要に応じて両足の地面への接地状態を自動制御することで、転倒に繋がる危険な二脚操縦入力には自動で修正されるアシスト制御法について述べ、動力学シミュレーションと実機実験での評価を示している。

第4章「ヒューマノイド全身操縦システムの操縦性と操舵反力特性を向上させる搭乗型全身外骨格コックピットの開発」では、ヒューマノイド全身操縦という用途に最適化された操縦ハードウェアインターフェースの構成法について述べている。遠隔操縦の既存研究に、Virtual Reality分野での全身姿勢計測デバイス等での検討を行い、四肢を

同時操縦できる「操縦性」と、人の四肢に接触反力を再現できる「操舵反力特性」の観点から、搭乗型全身外骨格コックピットという形態を提案している。このコックピットデバイスは、平歯車高効率減速機構、電流制御によるフィードフォワードトルク制御、強制空冷等により、脚用ハプティックデバイスとして利用可能なバックドライバビリティと人の脚力に拮抗可能な垂直発揮力470[N]を得ていることを示している。

第5章「ヒューマノイド全身遠隔作業に適した操舵反力特性を再現する反力提示システム」では、力フィードバック可能な全身外骨格コックピットと操縦対象のヒューマノイドロボットによってバイラテラル制御システムを構成する際の「操舵反力特性」に関する課題と解決法を示している。双腕剛体把持と二脚床反力制御で問題となる内力の発生や接触状態のチャタリングなどを回避する例外的な拘束条件が、作業ごとに対応させる「Task-Oriented」な手法として共通化でき、遅延通信環境下など十分なバイラテラル制御システムとしての性能が確保できない条件下における有効な手法であると述べている。

第6章「ヒューマノイド全身バイラテラル操縦システムの有効性評価」では、実運用を想定した実験によって、二脚動力学アシストソフトウェアと搭乗型全身外骨格コックピットによるヒューマノイド全身バイラテラル操縦システムの作業パフォーマンスを評価している。四肢を同時駆動できる「操縦性」が家事作業を実現し、足裏の環境形状を再現できる「操舵反力特性」が未知の段差を検知しつつ踏破することを可能にし、双腕での重量物運搬に対応する制御モードが別の建屋からの遠隔操縦による大型重量物運搬作業が実現可能であったことを示している。

第7章「結論」では、各章をまとめ、本研究の総括と得られた成果、今後の発展性について述べている。

以上、これを要するに本論文は、ヒューマノイドロボットによる遠隔作業を実現するための全身操縦システムとして、「操縦性」「安定性」「操舵反力特性」「Task-Oriented」の観点から論じ、人が搭乗して操縦し脚からの力帰還も可能な外骨格型全身操縦システムのハードウェアとソフトウェアの両面を実システムとして構築し等身大ヒューマノイドにより遠隔からの作業実験を通して評価を行った研究をまとめたものであり、知能機械情報学上貢献するところ少なくない

よって、本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。