

審査の結果の要旨

氏 名 小椎尾 侑多

本論文は、「ヒューマノイド作業における外力適応安定化制御システムの研究」と題し、外乱の予測が難しい環境でヒューマノイドが作業を行う際の安定化制御のシステム構成法を等身大ヒューマノイドによる作業実験評価により示した研究をまとめたものであり、全7章からなる。

第1章「序論」では、災害現場などでヒューマノイドによる代替作業が期待されている一方で、実環境における外乱に対処するための安定化制御の適用範囲が限定され実用化に至っていない背景について述べ、多様な足場および作業内容において機能する安定化制御システムを実現するという本研究の目的を示している。

第2章「ヒューマノイドの外力適応安定化制御システム」では、ヒューマノイド作業の安定性をロボットの安定性と作業継続の安定性の観点から議論している。従来の作業実現システムは、作業動作生成、物体操作外力適応、ロボット状態観測による移動安定化、ロボット周辺状態観測による移動安定化、に分かれるが、それらの統合によってロボットの安定性と作業継続の安定性の両方を満たす上での課題について述べ、周辺環境および作業状況を考慮し求められる応答性の違いを考慮した安定化モデルを用いることで、適用範囲の広い汎用的な安定化制御システムを実現しようとしていることを述べている。

第3章「短期的外乱に応じた歩行安定化制御法」では、足先力制御から踏み出し制御、転倒判定までを統一的に扱う手法を提案し、脚を収納し転倒復帰可能な枠を備えた等身大2脚ロボットでの転倒判定・復帰制御実験の他、砂地環境で着地面のある程度の凹凸と沈下による影響へも対処可能である実験について述べている。

第4章「長期的外乱のオンライン推定による外力適応制御」では、未知作業力による影響をオンラインで推定しつつ、ロボットのバランスを満たすために、作業力とは無関係な外乱に対処する方法を提案している。接触状態に依存せず外力に適応でき、未知斜面における踏破能力を向上させる効果があること、さらに、浮力のオンライン推定法を提案し、ロボットの股下まで浸かった水中において、水に関する事前情報を用いずに歩行できることを示している。第3章の短期的外乱適応法が水中でも有効であり、抗力による影響にも対処可能であることを実機実験により検証している。

第5章「安定化制御と視覚情報の統合による環境適応」では、視覚情報により得られ

た環境制約の中で、即時的に歩容や壁接触動作を生成する方法について述べている。周辺足場環境を凸分割し、第3章の即応歩容生成法を応用することで、着地可能領域を考慮した歩容を解析的に実時間で計算できる方法を提案し、不安定なコンクリートブロックの飛石環境におけるオンライン歩行生成と足場の揺れに対応する復帰動作を実現している。着地可能領域と踏み出しによる安定性を陽に考慮する方法であり、近辺に壁がある場合には適切なタイミングで環境接触動作へ移行できることも示している。

第6章「外力適応安定化システムによる作業実現」では、双腕・道具利用作業時の転倒回避行動について述べ、自律安定作業システムの構成法について説明している。立位作業時における外乱に対しては、作業力を考慮した安定領域を用いて転倒を判定し、緊急動作停止および踏み出しによる転倒回避が可能であることを実機実験により示している。バランスを取るための角運動量を、全身逆運動学計算を通して実現することで、上半身運動によりバランスを取りつつ作業目標姿勢を維持できると述べている。本論文で提案した手法を統合したシステムを用いた外乱印加状況下でのバルブ操作実験や物体運搬実験などにより、提案手法が多様な作業での安定性を付加できることを確認している。また、提案システムが安定状態を監視することで転倒を防ぐだけでなく、上位の経路計画器や動作生成器に検知された不測の状態を利用でき、未経験な状況での試行錯誤的学習過程におけるロボットの自律安定化と動作獲得の一助になると主張している。

第7章「結論」では、本研究の成果を、動的動作における外乱適応と未知作業力推定の両立、ロボット周辺状態を考慮した安定化制御、多様な作業を安定化可能な統一的な外力適応システムであるとし、本研究の結論と展望をまとめている。

以上、これを要するに、本論文は、水に浸かった足場や柔らかい土の上などでの作業では想定した動作に対する外乱が発生しやすいが、安定な作業実現にはそれらの外乱へ適応して作業継続を可能とするシステムが不可欠であるとし、作業実行中に動的に変化する環境で発生する外乱を短期的外乱と長期的外乱に分けて安定化制御するシステムを構成し、それぞれの外乱に応じた歩行安定化、転倒判定および即時反応行動を統一的に扱う手法を示し実機実験でその有効性を検証した研究をまとめたものであり、知能機械情報学へ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。