

論文の内容の要旨

論文題目 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

氏 名 小椎尾 侑多

本論文では、ヒューマノイドが外乱状況下でも安定して作業継続するための安定化制御システムを実現することを目的とする。その実現のためには、上位で生成された作業動作との両立性、多様な作業において機能する汎用性、ロボット周辺状態への適応性が重要となる。本研究では、作業安定化のための状態を抽象化し、周辺状態制約、作業姿勢制約、および外乱周期差異として扱うことで、接触状態に依存せず多様な環境および作業に適用可能な作業安定化制御システムを提案する。また、システム統合法だけでなく、各要素技術についても性能向上を目指し、特に、水中歩行実現と飛石環境における外乱に応じた歩容修正は、他に例のない成果である。

第 1 章「序論」では、ヒューマノイドロボットはそのポテンシャルから実用化が大きく期待されているにも拘らず、実環境での作業に対して現在の安定化制御技術が未熟であることについて述べる。その背景を受けて、本研究では、未知環境における自律安定作業の実現を目的とする。

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動作生成の構成要素を、動作、作業状態、センシング対象、外力考慮動作生成、外乱、の観点から考察する。また、ヒューマノイド作業安定化の要件について議論し、それに対する先行研究のアプローチについて述べる。しかし、従来の要素技術の統合では、実環境におけるヒューマノイド作業の安定化は困難であり、それを踏まえて、本研究の提案手法について概説する。

第 3 章「短期的外乱に応じた歩行安定化制御法」では、一歩ごとの安定性を保証する両脚支持期を有する歩行軌道生成法について述べる。大きな外乱にも対応できるよう、外乱に応じた歩容生成法および転倒判定法を提案する。提案する安定化手法は ZMP 操

作から転倒動作までを統一的に扱えるため、従来の手法に比べ、外乱に対して柔軟に対応できる手法である。また、外乱抑制制御により、視覚情報なしでもある程度未知路面による影響に対応できることを確認する。実機を用いた Push Recovery 実験および砂地歩行実験により、歩行のロバスト性を評価する。

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、未知環境における作業力に適応する手法について説明する。所望外力と釣り合いバランスが取れる重心位置である FCOG を導入し、足部力センサを用いた浮力推定と体幹姿勢センサを用いた外力推定により、作業力に応じて FCOG をオンライン生成する方法について述べる。また、外力適応法が未知斜面踏破にも有効であることを示す。提案手法により、等身大ヒューマノイドの太腿まで水に浸かった水中で、流体に関する事前情報なく歩行できることを確認する。

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、視覚情報を用いて得られた環境制約の中で安定な歩容を決定する方法について説明する。まず、即応歩容生成と視覚情報を統合した先行研究について説明し、本研究の特徴について述べる。着地可能領域を凸領域として扱うことで、限られた足場の中で高速に即応歩容を決定できることを示す。着地位置の変化に対して、Heightmap を保持したノードと通信することで着地位置周辺の路面高さおよび角度に即時的に対応することができる。従来の歩行経路計画では、未来の目標着地位置列を厳密に与えていたが、本手法により上位からの指令に必要な情報はだまかな経路へと緩和される。また、腕環境接触による転倒回避法を提案し、周辺環境を考慮・利用して転倒回避能力を向上できることを示す。実機実験では、不安定な飛石環境における即応歩容修正による踏破および Push Recovery を実現する。

第 6 章「外力適応安定化システムによる作業実現」では、第 3 章から第 5 章で述べた手法を、双腕・道具利用作業の中で如何に適用するかについて説明する。立位作業時の転倒状態も、作業外力に応じた FCOG を利用して判定可能であることを示す。立位時の転倒に対しては、緊急動作停止および緊急踏み出しが有効であり、それらの対応法について述べる。また、提案手法を用いて汎用作業における自律安定化を実現させるためのシステム統合について説明する。最後に、本論文で提案した手法・システムを用いて実機実験検証を行う。ロボット状態およびロボット周辺状態を活用し、自律的に外力に適応することで、未知環境における様々な作業を実現できることを示す。

第 7 章「結論」では、本研究で行った実験の結果とその成果についてまとめ、今後の展望について述べる。

以上のように、本研究では、未知環境におけるヒューマノイドによる安定な作業実現を目指し、ロボット状態およびロボット周辺状態の変化に即時的に適応する安定化制御手法およびシステムを提案する。ロボット状態と周辺状態両方を考慮して、未知外力に臨機応変に対応できるため、本研究により、上位の動作生成器が些細な誤差を気にせず未知環境下で動作を安定に実行できるようになると期待する。