

論文の内容の要旨

論文題目 吸引着把握併用ハンドの動作構造同時設計論と
融合感覚把持制御に関する研究

氏 名 長谷川 峻

本論文の目的は、物品棚などの狭隘空間における物体の把持と操作を対象として、吸引・吸着・把握という異なるモダリティを併用するロボットハンドの動作・構造の設計論と動作の制御法を明らかにすることである。そのために、把持の安定性を把握力と吸引着力の両方を考慮して評価する把持安定余裕と、ハンドが物体に順次接触していく期間である把持移行期の安定性を評価する把持移行期リスクという二つの安定指標を基盤として、狭隘空間における安定な把持動作を実現するだけでなく、それが機能しない場合の代替動作や吸引着成立後の把握の併用による把持の安定化まで、構造の簡潔さと動作の安定性のバランスを取りながら実現できるよう、ハンドの動作と構造を同時に設計する手法を提案する。また、複数のセンサの出力を統合した融合感覚を入力とする簡潔かつ精密な動作制御法を提案する。

第1章「序論」では本研究の背景と目的について述べ、狭隘空間における吸引着の有用性と、把握との併用により把持安定性を高める吸引着把握併用という概念、及びそれを可能とするハンドの設計論と制御に関する本研究の方針を導入した。

第2章「吸引着把握併用マニピュレーション」では、狭隘空間におけるマニピュレーションを概観して、物体を壁に押し付けて吸引着することが有効であるとの経験則から、到達動作と把持の間の、予定されている接触の一部しか実現されていないために実世界認識や動作制御の誤差によって物体が想定外に動いてハンド外に出てしまう可能性がある期間と定義した把持移行期を安定化する重要性を指摘し、その安定化を環境の許す範囲で行うための動作群と吸引着成立後の把握の併用による把持安定化が、ハンド構造の簡潔さと動作の安定性のバランスを取りながらハンドの動作と構造を設計する設計論により実現可能となることを述べた。さらに、吸引着が有用な事例を整理し、把握を含めて体系化する上で、提案手法が従来不足していた部分を埋めることを述べた。

第3章「吸引着把握併用ハンドの把持動作安定指標」では、吸引着把握併用ハンドの把持動作の安定性を評価するための指標について述べた。この指標は、従来は把握力の

みを考慮した把持安定指標であったフォースクロージャにおける把持安定余裕を吸引着力も統一的に考慮できるように拡張したものと、ハンドが物体に順次接触していく期間である把持移行期の安定性を評価する把持移行期リスクによって構成されている。

第4章「吸引着把握併用ハンドの動作構造同時設計論」では、狭隘空間で活用できるハンドの構造は簡潔かつ安定な把持動作が可能なものとして実現する必要があることから、物体を壁に押し付けて吸引着する動作のような安定な動作を把持移行期リスクに基づいて判定し、それが機能しない場合の代替動作や吸引着成立後の把持安定余裕に基づく把握の併用による把持安定性強化法まで含めて考慮して、望ましいハンド動作群とそれらが可能なハンド構造を同時に設計する設計論を、具体的な狭隘空間タスクである倉庫物品棚ピッキング・ストーイングを題材に提案した。そのタスクのためのハンド動作と構造を導出するとともに、壁に押し付けて吸引着する動作とその後の把握による把持安定化という提案手法が壁との相対姿勢によらず機能する物体の条件を求め、提案手法の有用性を示した。また、非剛体物体への応用として、本のような可変形状物体の変形を矯正可能で収納まで実現しやすい把持の実現と、紙のような薄く脆弱な物体を傷つけないよう吸着可能なハンドの構造を示した。

第5章「吸引着把握併用ハンドの融合感覚把持制御」では、従来の実ロボットの把持制御において、複数のセンサ情報を用いて複数の制御対象が複数の段階に分かれて制御されており、複雑化していたことに鑑み、複数のセンサの出力を融合感覚と呼ぶ感覚に統合し、それに制御入力を統一することによる単純化を提案した。その枠組みの中で、視覚由来の融合感覚に基づく制御として、タスクに応じて物体クラスへの依存性の有無と把持動作の分割の有無を組み合わせる実世界認識を用いた制御を示すとともに、末端効果器にあるセンサ由来の融合感覚に基づく制御として、効果器距離覚と近接覚を組み合わせた視覚認識誤り訂正や力の制御を行う精密認識・制御を示した。

第6章「吸引着把握併用マニピュレーション実験」では、動作構造同時設計論に基づき構築したハンドを融合感覚把持制御で動作させることにより、狭隘空間でのピッキング・ストーイングや可変形状物体の把持操作、薄く脆弱な物体の把持操作が実行可能であることを、実機実験を通じて示した。

第7章「結論」では、本研究の結論を述べた。

以上、本論文は、狭隘空間における物体の把持と操作を行うため吸引・吸着・把握を併用したロボットハンドの構成法と制御法として、把持移行期リスクと吸引着力を考慮した把持安定余裕という二つの把持動作安定指標に基づくタスクに応じたハンド動作と構造の同時設計法と、視覚と末端効果器の距離覚及び近接覚という複数のモダリティを統合した融合感覚に基づく簡潔かつ精密な認識動作制御法を提案し、実際の倉庫物品棚ピッキング・ストーイングにおいて機能することを示した。また、提案した把持動作安定指標や融合感覚把持制御は、把持過程において変形する可能性のある本や紙などの把持と操作に適用可能なことを示し、提案手法の有用性を確認した。