

審査の結果の要旨

氏 名 長谷川 峻

本論文は「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」と題し、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・把握という異なる把持様式を併用したロボットハンドの動作と構造の設計法について論じたものである。物品棚などの狭隘空間における物体把持操作において吸引着が有用であることを背景とし、その実現方法の分析と更なる安定化手法の開発に取り組み、吸引着と把握を有効活用可能なハンドの動作と構造の設計論と制御法を明らかにすることを目的としており、以下の全7章からなる。

第1章「序論」では、狭隘空間における物体把持操作における吸引着の有用性と、把握との併用による更なる物体操作安定化の可能性を指摘し、研究の目的を定めた。

第2章「吸引着把握併用マニピュレーション」では、狭隘空間における物体の把持と操作に特徴的なマニピュレーションとして、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を基に、その理由として、到達動作段階と把持段階の間にある一部の接触しか実現していない把持移行期に注目し、これが動作制御の誤差により物体が想定外に動く可能性がある不安定な期間であるものの、壁を用いて物体の動きを制限することで安定化できると考え、その安定性を明示的に考慮することで特に吸引着においてより安定性の高い動作とそれが可能なハンド構造が同時に設計できることを主張して、吸引着と把握の体系において有効活用できることを示している。

第3章「吸引着把握併用ハンドの把持動作安定指標」では、従来の把持安定指標である、ハンドの指が対象物体に与える合力・合モーメントに基づく把持安定余裕を、吸引着力を扱えるように拡張した。また、指が対象物体に順次接触していく把持移行期の安定性を評価する指標として、各接触点が単独で接触した場合に物体がハンドの動作予定範囲から出て把持が失敗してしまう割合を把持移行期リスクとして定義・定式化し、把持安定余裕に続く新たな把持動作安定指標とした。これらにより、吸引着把握併用ハンドを用いた把持移行期を含む物体のマニピュレーションにおいて利用可能な、把持安定余裕と把持移行期リスクの二つの理論基盤を構築した。

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安定な把持動作が可能かつ簡潔な必要があることから、壁への押し付け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安定性強化法ま

で含めて考慮して望ましい動作群とそれらが可能なハンド構造を導出する、ハンド動作と構造の同時設計論を提案した。提案した設計論に基づき、狭隘空間である倉庫物品棚タスクのためのハンドの動作と構造を導出し、提案手法の有用性を示した。

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感覚把持制御におけるセンサ・制御対象・制御処理の複雑化を回避するため、複数のセンサの出力を融合感覚と呼ぶ感覚に統合し、制御入力を統一して単純化することを提案した。この中で、視覚由来の融合感覚に基づく制御と、末端効果器にあるセンサ由来の融合感覚に基づく制御について述べ、前者ではタスクにおける未知物体の有無・形状情報による把持動作予測の可否・把持動作の複雑性・種類の数に対応して実世界認識から吸引着把握併用を制御する手法を、後者では効果器距離覚と近接覚を組み合わせる前者の認識の誤りの訂正や前者の認識では困難な力の制御を行う精密認識・制御法を示した。

第6章「吸引着把握併用マニピュレーション実験」では、提案した設計論に基づき構築したハンドを提案した制御で動作させることで、倉庫物品棚タスク実験において狭隘空間に把持機構が入るだけでなく、その壁を活用した把持動作や吸引着把握併用への遷移が可能であることを示した。また、動作構造同時設計論の発展例として、本のような可変形状物体の把持操作実験では物体の変形を矯正可能で収納まで実現しやすい把持が可能なハンドを、紙のような薄い脆弱物体の把持操作実験では物体を傷つけにくい把持が実行可能なハンドを、それぞれ示した。

第7章「結論」では、結論と今後の課題を示している。

以上、これを要するに、本研究では、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して、従来把握のみで体系づけられていた把持安定指標を吸引着も含めて拡張し、さらに把持失敗のリスクが高まる到達動作段階と把持段階の間にある把持移行期に注目し、そのリスクを定式化した把持移行期安定指標を提案し、この二種類の安定指標を用いてタスクに応じた吸引着把握併用ハンドの動作と構造の同時設計法を提案した。特に、狭隘空間のように簡潔な機構で大きな安定性を実現したい場合において、把持移行期に物体を壁に押し付け吸引着による安定した把持動作を実現できるだけでなく、それが行えない場合の代替動作や吸引着成立後の把握による安定化を行える方式であり、このハンドを実際の倉庫物品ピッキング・ストーイングタスクで利用し、機能することを示した。さらに、把持における感覚誘導は一般に多種センサ情報の統合になり複雑化しやすいが、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の考え方を提案し、簡潔かつ精密な認識動作制御が可能なことを示した。また、提案した把持動作安定指標、動作構造同時設計論、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を対象としたハンドの構造設計と動作に適用可能なことを示し、提案手法の有用性を確認しており、知能機械情報学に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。