

## 審査の結果の要旨

氏名 エイワウド フランク ファン ウエスト

本論文は「Study on a Haptic Assisted Non-Contact Handling Tool」(和訳：力覚補助された非接触ハンドリングツールに関する研究)と題し英文で記述されており、全8章から構成されている。磁気浮上や静電浮上といった非接触浮上技術と力覚提示技術とを統合的に用いることで、人が直感的に操作可能な非接触ハンドリングツールを実現することを目的として行われた一連の研究成果がまとめられている。

シリコンウェハや塗装鋼板などのように高い表面品質を要求されるパーツにおいては、搬送時のパーツ表面への接触をできるだけ避けることが望ましい。この問題は、磁気浮上や静電浮上といった非接触浮上技術を用いて、非接触で物体をハンドリングすることによって回避できるが、そうした非接触ハンドリング技術には、通常の接触式ハンドリングに比べて外乱に対する安定性が低いという問題が存在する。特に、人による操作を前提としたハンドリングツールに、非接触ハンドリング技術を適用しようとした場合、次のような問題が発生する。(1) ツールを操作する人の操作行為自体が、非接触ハンドリングシステムに対する外乱となる。特に物体のピックアップ時とプレーシング時には、人の操作行為がきわめて大きな外乱となりシステムの安定性を損なう、すなわち、浮上制御を破綻させる恐れがある。(2) ウェハや鋼板などの薄いパーツを非接触ハンドリングする場合、水平方向の保持剛性が低いため、水平方向へ高い加速度で搬送しようとした場合に物体を保持しきれない。その結果、搬送動作に被搬送物体が追従しきれずに落下する恐れがある。本論文ではこれらの問題点を解決し、直感的な非接触ハンドリングツールを実現するために、主として次の3つの技術を新しく提案し、その特性を論じている。

第一の技術は、力覚提示技術と非接触浮上技術を統合的に用いることで、安定かつ直感的な非接触ハンドリングを実現する技術である。力覚提示技術により、被搬送物と非接触浮上機構との間にバーチャルに高い剛性を付与することで、物体のピックアップおよびプレーシングにおける人の操作能力を改善すると同時に、力覚提示技術を人の動作と協調的に用いることで、人の知性や操作

における柔軟さといった利点を活かしつつ、操作の精度や安定性を改善できることが示されている。

第二の技術は、非接触浮上された物体を自動的に浮上状態から開放しプレーシングする手法、すなわち、自動プレーシング技術である。提案された手法は浮上制御に対するスイッチング操作が不要であり、非接触浮上機構の位置を制御するだけで浮上物体をプレーシングすることができる。そのため、より直感的なプレーシング作業が実現できるほか、ロボット等による自動化作業においても技術の適用が期待できる。論文では、プレーシング現象の解析を通じて、自動プレーシングには浮上制御系内部の積分ループが重要な役割を果たすことを明らかとし、その具体的な設計方法を論じている。

第三の技術は、非接触浮上機構の傾斜による水平搬送加速度の向上に関するものである。提案技術では、浮上機構全体を被搬送物体の重心回りに回転させることで、水平搬送時の加速度による影響を補償する。重心回りに回転させることで、被搬送物体に余計な外乱を与えることなく加速度の影響を補償することが可能であり、加速度情報に基づいた傾斜角度のフィードフォワード制御のみで安定かつ高速な搬送が実現できることが示されている。また、この技術の一つの実装として、遠隔回転中心を持つユニークな構造の2自由度傾斜アクチュエータを実現している。

本論文では、上記の手法を、それぞれ個別に解析し実験的に検証することで、それぞれの手法が、いずれも非接触物体ハンドリングの性能改善に優れた効果をもたらすことを示している。また、論文で述べられる最終試作機においては、磁気浮上機構、スカラ型力覚提示装置、2自由度傾斜アクチュエータを組み合わせ、上記の全ての技術を統合した実装例が示されており、ピックアップ、搬送、プレーシングといった一連の物体ハンドリング作業を、非接触浮上システムの安定性を損なうことなく行えることが示されている。

一連の研究成果は、非接触物体ハンドリング技術の性能向上や応用範囲の拡大に寄与する内容であり、本論文が主目的としている、人が操作するツール、としてだけでなく、産業用ロボットなどのオートメーション機器への適用も期待できるものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。