

博士論文審査報告書

論 文 題 目

A Study on Multi-fingered Manipulation
System with Flexibility and Task
Versatility

申 請 者

Keung	OR
柯	強

総合機械工学専攻 知能機械学研究

2017 年 10 月

(1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す．

- ・ 2016 年 11 月 15 日 副査説明会
- ・ 2016 年 12 月 1 日 予備審査会
- ・ 2016 年 12 月 8 日 教室受理決定
- ・ 2016 年 12 月 22 日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- ・ 2017 年 1 月 10 日 博士論文読み合わせ会
- ・ 2017 年 1 月 26 日 公聴会

研究内容の独自性主張に関して，さらなる内容の充実が必要との判断から，審査期間を延長することを決定．

- ・ 2017 年 6 月 10 日 改訂版論文確認
- ・ 2017 年 7 月 10 日 再改定版論文確認
- ・ 2017 年 9 月 24 日 最終版論文配布
- ・ 2017 年 10 月 12 日 審査分科会
- ・ 2017 年 10 月 26 日 研究科運営委員会予定

(2) 論文背景・内容・評価

多指を備えたロボットハンドの設計と制御は，ロボットの巧緻性と環境適応性向上に不可欠な研究課題であるが，指の形状や素材の検討，多指の配置と各指の自由度構成，それらの協調制御など，方法論が必ずしも確立されていない事項が多く，研究者によってさまざまなアプローチがとられてきた．特に環境への適応性を目指して柔軟素材を取り入れた多指ハンドの場合，解析的な設計は行われておらず，試行的な方法となっていた．また，特殊材料，小型センサなどを用いたハンドシステムの構築はきわめて高コストとなりやすく，技術的課題解決と合わせて，その対応方法が求められている．

そこで，アクチュエータを複数個組み合わせただけのシンプルな機構のハンドに，指先の対象物への適応性を備えることができれば，多くのハンドにおいて簡便な高機能化が期待できる．その技術のポイントは，対象物に接する指先の形状と位置・力制御の組み合わせである．指先形状のデザインを工夫することで，制御に頼らずに受動的に対象物や環境に指先が倣うことができることは先行研究で示されているが，その形状の設計が有する数値的な意味や形状の特性を活かした制御方法とその評価については，十分には検証されておらず，ノウハウに基づく設計と制御にとどまっている．

以上の背景から，本研究では，指先の形状と把持対象物との接触面積との関係を記述した接触モデルに基づく指先の設計論の導出，把持時の姿勢制御と力制御の組み合わせによる把持後の操り動作の安定性向上方法の導出を行っている．

具体的には、指先の接触モデル導出では、ヒューマンミメティックな指先の断面積、ヤング率を取り入れることで、指先の硬さ、形状（曲率など）、柔軟素材の厚さ、指先の接触角度の関係を定量化し、ロボットハンド・指先の仕様が変った場合でも、対象物との間の力制御に必要な接触面積の変化を求めることを可能としている．このモデルに基づくロボットハンド・指の設計方法では、指先と対象物との接触面積変化を確認しながら、制御で必要となる仕様の受動柔軟性を実現できる指先形状の決定方法を示している．

さらに、受動柔軟性を活かした制御における安定性の向上のために、姿勢線形補間制御を提案している．これは従来の位置と力のハイブリッド制御とアクティブコンプライアンス制御の長所を組み合わせた方法であり、明確な力軌道を準備せずとも、指先の接触モデルに基づく制御を行うことで、安定した操りを実現できる．実際の評価実験に適用した結果、安定把持を維持した操りを実現している．

以上要するに、本論文は限定された機能かつ低コストのロボットハンド・指であっても、その巧緻性向上を実現する指先設計方法とその特性を活かした把持・操り制御を、独自の接触モデルを基に提案し、その有効性を実証したものである．柔軟性を有するハンドの研究が盛んとなりつつある中で、指先の形状に関する設計論に集中してそれを定量的に検討し、その効果を示したことは、今後のロボットハンド・指の設計と制御に大きく寄与するばかりでなく、最近特に注目されている人間協調ロボットの環境適応性を高める研究に深く関わり、ロボット工学全般への高い貢献が認められる．よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める．

2017 年 10 月

審査員

主査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 菅野 重樹

年 月 日

副査 早稲田大学教授 工学博士（早稲田大学） 高西 淳夫

年 月 日

副査 早稲田大学教授 医学博士（東京女子医科大学）、
工学博士（早稲田大学） 梅津 光生

年 月 日

副査 早稲田大学教授 工学博士（東京大学） 大谷 淳

年 月 日

副査 早稲田大学教授 博士（工学） 早稲田大学 尾形 哲也

年 月 日

副査 早稲田大学教授 博士（工学） 早稲田大学 岩田 浩康

年 月 日
