

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	Ho Anh Van (ほ あん ぶあん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 803 号
○授与年月日	2012 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	LOCALIZED DISPLACEMENT PHENOMENON INTERPRETED BY BEAM BUNDLE MODEL OF A SOFT FINGERTIP AND ITS APPLICATION TO ASSESSING SLIP PERCEPTION OF SOFT TACTILE SYSTEMS (ビーム束モデルに基づく柔軟指の局所滑り現象の解明と柔軟触覚系に おける滑り認識への応用)
○審査委員	(主査) 平井 慎一 (立命館大学理工学部教授) 川村 貞夫 (立命館大学理工学部教授) 牧川 方昭 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

本論文は、ビーム束モデルによる局所滑りのモデリングと、ビーム束モデルの触覚センシングへの応用について述べている。柔らかい指先が平面の上を滑るとき、指先の一部が局所的に滑り、それが接触面全体に伝播して完全な滑り状態に達する。局所的な滑りは、物体の操作や触覚のセンシングに重要な役割を果たすと考えられる。しかしながら、このような局所滑りを表現することが可能な力学モデルが存在しないため、物体の操作や触覚センシングにおいて滑りがどのような役割を演じるかは不明のままであった。そこで本論文では、局所滑りを表現することを目的として、ビーム束モデルを提案する。

本論文の第 2 章と第 3 章では、2 次元ビーム束モデルと 3 次元ビーム束モデルについて述べる。ビーム束モデルでは、柔軟な指先を有限個のビームの集合として表す。面上を滑る柔らかい指先の挙動は、ビーム束の運動方程式により表される。シミュレーション結果と実験結果を比較し、二つの結果が一致することを確認した。

本論文の第 4 章、第 5 章、第 6 章では、ビーム束モデルの滑り覚センシングへの応用について述べる。滑り覚センシングにおいては、柔らかい指先が対象面上を滑る。そこで、ビーム束モデルを用いて局所滑りを表現し、滑り覚センシングを解析する。第 4 章では、マイクロフォースモーメントセンサを用いた滑り覚センシングについて述べる。第 5 章で

は、導電性繊維を用いた滑り覚センシングについて述べる。第 6 章では、分布圧センサを用いた滑り覚センシングについて述べる。ビーム束モデルを用いた解析により、滑り覚センシングの性能を向上させることができることを示す。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文の貢献を以下にまとめる。

- ビーム束モデルにより、局所滑りをモデリングすることに成功した。
- 局所滑りモデリングを実験的に検証した。
- ビーム束モデルを用いた解析が、滑り覚センシングに適用できることを示した。
- マイクロフォースモーメントセンサ、導電性繊維センサ、分布圧センサで滑り覚をセンシングする手法を提案した。

2次元ビーム束モデルでは、力学的相互作用を隣接するビーム間のフォークトモデルで表す。3次元ビーム束モデルでは、接触面に2次元弾性変形の有限要素モデルを導入し、2次元的に分布するビーム間の力学的相互作用を表す。その結果、シミュレーションにより局所滑り現象を表すことに成功した。また、指先が面上を往復するときに、摩擦係数にヒステリシスが表れる現象を表すことができた。マイクロフォースモーメントセンサを用いたセンシングでは、半球柔軟指の中心にセンサを埋め込み、力とモーメントの成分を計測した。局所滑りの解析を通して、全体の滑りが生じる前に周辺部に局所滑りが生じ、結果として力の計測値が変化する時刻とモーメントの計測値が変化する時刻にずれがあることを見出した。これにより、全体の滑りが生じる前に、滑りが生じる時刻を推定することができる。導電性繊維センサを用いたセンシングでは、ビーム束モデルと繊維のパイルとの接触を定式化し、導電性繊維センサの出力をシミュレーションした。ウェーブレット解析を用いることにより押し動作と滑り動作を識別できること、複数のテクスチャーを識別できることがわかった。分布圧センサによるセンシングでは、分布圧センサの計測結果に画像処理における特徴点追跡アルゴリズムを用いて、滑りを検出する。滑り率を導入することにより、局所滑りを安定的に検出することに成功した。

本論文の審査に関して、2012年2月8日(水)13時00分~14時00分イーストウイング4階機械システム系演習室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 HO ANH VAN 氏に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、モデルの限界、モデルパラメータの同定に関する質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出

後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。本論文は学術的な面において国際的に評価される研究を行っており、ロボット学の分野で世界的に評価の高い雑誌 **IEEE Transactions on Robotics** に論文が採択された。また、日本学術振興会特別研究員(DC2)に採用されている。以上、優れた研究業績により後期課程 2 年半在学での修了が適当と判断した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。