

Title	ER 流体を用いた安全性の高いパッシブ型およびアクティブ型力覚提示システムに関する研究
Author(s)	小柳, 健一
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/46950">https://hdl.handle.net/11094/46950</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	小 柳 健 一 こ やなぎ けん いち
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 19773 号
学位授与年月日	平成 17 年 9 月 7 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	ER 流体を用いた安全性の高いパッシブ型およびアクティブ型力覚提示システムに関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 古荘 純次  (副査) 教授 太田 快人 教授 田中 敏嗣

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、パッシブ型およびアクティブ型力覚提示システムにおいて、ハードウェア・ソフトウェアの両面から提示性能を高める研究を行い、同時に、ER 流体機器を用いることで、機構的に安全性の高いものとした。

第 1 章および第 2 章では、研究の背景等について述べ、関連する研究や技術の内包する問題点や研究目標を明らかにした。第 3 章では、パッシブ型力覚提示システムにおける壁なぞりの特性解析を行った。また、壁のなぞりに対し新しい制御アルゴリズムを取り入れ、複数のアルゴリズムにおける提示性能を比較すると共に、仮想物体の表面のなめらかななぞり動作を実現した。第 4 章では、冗長個数の ER ブレーキを持つパッシブ型力覚提示システムを開発した。特に、新たな設計自由度を加え、より一般化された冗長化機構の設計および開発を行った。また、さらなる操作性の改善を目指し、手先から見た慣性の低減などを図った。第 5 章では、任意の向きを持つ仮想壁の提示において、最も滑らかななぞり動作が行えるブレーキを選択するアルゴリズムを提案した。このアルゴリズムを発展させ、三角形や円形状の提示を行い、さらに、凹な角部を持つ物体を提示した。これにより、パッシブ型力覚提示による任意形状物体の提示を可能なものとした。第 6 章では、安全性を考慮した中型・大型のアクティブ型力覚提示システムの開発を目的とした。まず、力覚提示システムに対し安全性の面で要求される事項について述べた。次に、力覚提示装置に流体クラッチ機構を用いたアクチュエータを適用し、そのクラッチ入力軸を低速駆動する有効性を論じた。最後に、力覚提示システムにおいて最大速度を制限することが、基本的な力覚提示特性にどのような影響を及ぼすかについて、実験的に検証した。第 7 章では、主に 3 次元上肢運動訓練機 (Exercise Machine for Upper Limb, EMUL, エマル) などアクティブ型力覚提示システムを応用したハードウェアの開発について報告した。特に、より安全に配慮するため、リハビリテーションシステムへの ER 流体機器の応用を提案した。第 8 章では、療法士らがティーチングにより作成した任意軌道 (軌跡) に対し、他動運動訓練・自動助動運動訓練・自動運動訓練がそれぞれ行える、3 種の運動訓練用基本ソフトウェアを開発した。また、基礎実験により、その動作特性を確認した。第 9 章では、本論文で紹介した力覚提示システムを応用した、新たな医学教育の可能性について考察した。例えば、外科的手術訓練や理学療法における訓練補助動作などの訓練学習を、安全に行えることを示した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、パッシブ型およびアクティブ型力覚提示システムにおいて、ハードウェア・ソフトウェアの両面から検討を行い、安全で高性能なシステム開発を目的としたものである。アクティブ型力覚提示システムとは、アクチュエータを用いたいわゆるロボットと機構的に同等のもので、実用化のためには高い安全性を確保することが重要である。パッシブ型力覚提示システムとは、アクチュエータの代わりにブレーキやクラッチ等の受動要素のみを用いて構成されたもので、本質的に安全性が高い代わりに提示能力に限界がある。本研究では、ER 流体機器を用いることで、高性能かつ機構的に安全性の高いシステムを開発した。本論文で得られた結果を要約すると、次の通りである。

- (1) パッシブ型力覚提示において、壁なぞり動作の再現・提示は、最も基礎的な提示対象でありながらも、能動的に力を発生できないため困難である。本論文では、新しい制御アルゴリズムを取り入れ、従来は行えなかった仮想物体表面のなめらかななぞり動作を実現している。
- (2) パッシブ型力覚提示では、操作力に対する反力しか提示できないため、提示不能な仮想物体表面の向きがある。本論文では、冗長個数の ER ブレーキを持つパッシブ型力覚提示システムを開発し、従来のパッシブ型システムに比べ、提示可能な仮想物体の範囲を大きく増加させている。また、任意の向きを持つ仮想壁の提示が可能なアルゴリズムを構築し、さらに任意形状物体の提示を可能にするもの発展させている。
- (3) 高安全かつ高性能なアクティブ型力覚提示システムには、ER アクチュエータが適していることを示している。まず、安全性の面で力覚提示システムに要求される事項を述べ、次に、力覚提示装置に流体クラッチ機構を用いたアクチュエータを適用する有効性を論じている。また、それが基本的な力覚提示特性にどのような影響を及ぼすかを、実験的に検証している。
- (4) アクティブ型力覚提示の応用例の一つとして、3次元上肢運動訓練機 (EMUL) の開発を行っている。(3)と同様に ER アクチュエータにより安全性を確保している。また、療法士らがティーチングにより作成した任意軌道 (軌跡) に対し、他動運動訓練・自動介助運動訓練・自動運動訓練がそれぞれ行える、3種の運動訓練用基本ソフトウェアを開発している。
- (5) 力覚提示システムの新たな応用例として、外科的手術訓練や理学療法における訓練補助動作などの訓練学習が考えられることを示している。

以上のように、本論文はハードウェア・ソフトウェアの両面から検討を行い、安全で高性能な力覚提示システム開発を行っており、学術的に極めて有用な知見を提供するものである。本論文により、医療福祉・アミューズメント等に実用化可能な力覚提示システムの開発が可能となり、力覚提示システムおよび ER 流体機器の応用分野の拡大が期待できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。