

Title	機能性流体ブレーキ・アクチュエータを用いた力覚提示システムの研究開発及びその上肢運動機能訓練・評価システムへの応用
Author(s)	原口, 真
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/390">https://hdl.handle.net/11094/390</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	原 口 真
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 23809 号
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科機械工学専攻
学位論文名	機能性流体ブレーキ・アクチュエータを用いた力覚提示システムの研究開発及びその上肢運動機能訓練・評価システムへの応用
論文審査委員	(主査) 教授 古荘 純次 (副査) 教授 大須賀公一 教授 田中 敏嗣

### 論文内容の要旨

本研究では安全な力覚提示システムを構築し、上肢機能訓練システムに応用するための基礎研究を行った。本論文は全8章から成る。

第1章では緒論および目的、概要について述べた。

第2章ではブレーキの個数を自由度の数用いないシステムの場合、どのような弊害が起こるのかについて述べ、その問題を解決する為に冗長個数のブレーキを用いる手法を紹介した。十分な力覚提示をする為にはどのような手先抵抗力を発生させるべきかについて明確な定義を行い、その手先抵抗力を発生させる為に満たすべき条件を詳細に導いた。最後にそれらの理論の確認を数値計算にて行い、その確かさを示した。

第3章ではER流体ブレーキとER流体クラッチの原理を紹介した。実際のシステムにおいて第2章で定義した理想抵抗力を発生させる為の新しい制御アルゴリズムを導入した。さらに冗長個数のERブレーキを用いた2次元力覚提示システムを紹介し、そのシステムを新規制御方式にて制御し、目的の抵抗力が出すことに成功した。

第4章では新規開発した低電圧でも高トルクが発生可能なER流体ブレーキを用いた新規2次元力覚提示システムについて紹介した。本システムのリンクやリニアガイドなどを用いた高剛性な構造に大きな長がある。このシステムについても目的の手先抵抗力を発生させる力覚提示実験を行い、その有効性について示した。最後にこのシステムを用いた方向誘導訓練への応用について述べた。

第5章ではMR流体ブレーキの原理について紹介した。MR流体ブレーキを用いた力覚提示システムを用いて、3つの基礎力覚提示：振動提示・壁面提示・粘性抵抗提示を行った。本システムは高速応答可能なMR流体ブレーキを用いている為、良質な力覚提示を行うことが出来る。最後にそれらの力覚提示能力を利用して、訓練アプリケーションを作成した。

第6章ではER流体アクチュエータの原理について述べ、それを用いた力覚提示システムEMULを紹介した。さらに動的な計測が可能な脳機能計測法NIRSについて、このEMULとNIRSを用いた上肢訓練・評価システムの有用性について述べた。このシステムにおいて軌道追従訓練プログラムを開発し、訓練中の上肢運動データと脳活動データを測定し、評価を行った。

第7章では結論を述べた。

第8章では付録であり、本編では行わなかった雑多な計算や証明について詳細に記した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は機能性流体を用いた力覚提示装置に関する基礎研究、およびその上肢機能回復訓練・評価への応用の為の研究を行うものである。その主な成果を以下に示す。

(1) システムにブレーキ等の受動要素のみを用いたシステムをパッシブ型システムと呼ぶ。ブレーキの個数を自由度の数しか用いないパッシブ型システムは、姿勢や運動方向によって運動方向の逆方向の抵抗力さえ提示できない姿勢や運動方向がある。この問題点を解決する為に、自由度の数に対して、冗長個数のブレーキを用いる手法を導入している。最初に、十分な力覚提示をする為にはどのような手先抵抗力を発生させるべきかについて詳細に定義している。次に、その手先抵抗力を発生させる為に満たすべき条件を詳細に導き、定理として整理を行っている。

(2) 上記(1)の抵抗力を発生させる為の制御アルゴリズムを導出し、次にこの制御アルゴリズムをオンラインで自動的に生成できるように改良を行っている。さらに、電場でそのレオロジー特性が制御できる機能性流体であるER流体を用いたブレーキを冗長個数有するパッシブ型システムに適用することにより、任意の姿勢や運動方向に対して、運動方向の逆方向の抵抗力を含む広い範囲の抵抗力を発生可能であることを実験的に確認している。

(3) 低電圧でも高トルクが発生可能なER流体ブレーキを開発し、それを用いた新規2次元力覚提示システムを研究開発している。このシステムでは力の伝達要素にリニアガイドなどの高い剛性および摩擦損失の少ない要素を用いることにより、システムを高剛性かつ低摩擦損失としており、高い周波数成分を持つ微妙な力覚が提示可能である。そこで、このシステムは微妙な力の提示が必要となる上肢機能回復訓練における方向誘導訓練へ十分応用可能である。

(4) MR流体とは磁場でそのレオロジー特性が制御できる流体である。高速な応答特性を持つMR流体ブレーキを用いて高い周波数成分を持つ力覚が提示可能なパッシブ型力覚提示システムを研究開発した。大きな振幅成分を持つ300Hz程度の力覚が提示可能であり、基礎的な力覚提示である振動提示、壁面提示等によりその優れた性能を確認している。次に、この優れた力覚提示能力を用いて、上肢機能回復訓練に適用可能なリハビリ訓練ソフトを研究開発している。

(5) ER流体アクチュエータを用いた3次元上肢リハビリ支援システムおよび被験者への拘束性が低い近赤外線を用いた脳機能計測法NIRSを導入した上肢訓練・評価システムを研究開発している。さらにこのシステム上で軌道追従訓練プログラムを開発し、その訓練中での上肢運動と脳活動を観察することにより、運動前野における運動学習の様子およびその相互関連性を示している。

以上のように、本論文は機能性流体を用いた力覚提示装置に関する基礎研究、およびその上肢機能回復訓練・評価への応用の為の研究を行っており、力覚提示システム、リハビリ支援システムを含む人間共存型ロボット技術分野の発展に大きく寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。