

Title	空気圧駆動ヒューマノイドロボットの特性を利用した運動学習システム
Author(s)	池本, 周平
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/57467">https://hdl.handle.net/11094/57467</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	いげ ちと しゅう へい 池 本 周 平
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 3 8 0 0 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 工学研究科知能・機能創成工学専攻
学 位 論 文 名	空気圧駆動ヒューマノイドロボットの特性を利用した運動学習システム
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 石 黒 浩 (副査) 教 授 浅 田 稔 教 授 南 埜 宜 俊 教 授 安 田 秀 幸 教 授 中 谷 彰 宏 教 授 平 田 勝 弘 教 授 菅 沼 克 昭 准教授 細 田 耕

### 論 文 内 容 の 要 旨

ヒューマノイドロボットでは歩行やリーチングなどのロボット単体のタスクに留まらず、人間と同一の環境での協調作業やコミュニケーションなどの様々なタスクの達成が期待されている。そのため、ヒューマノイドロボットの開発において達成が求められる性能は多岐にわたり、全ての要求を満たすことは現在の技術では非常に難しい。そこで本研究では、ヒューマノイドロボットで最も重要な性能は安全性であると考え、空気圧駆動による柔軟な関節を持つヒューマノイドロボットに注目した。本稿では、全体を通して空気圧駆動ヒューマノイドロボットによる高い運動性能の実現を目指し、二つの運動生成アプローチの視点から運動学習の適用を行う。また、提案手法を複数のタスクへ応用する際の問題として追加学習を挙げ、オンラインの運動学習によって運動生成問

題を解き、オフラインの追加学習によって結果を統合する手法の提案を行う。

第1章では、本研究全体の背景および本研究で扱う問題に注目する必要性を説明した。第2章では、我々の研究グループで開発した空気圧駆動ヒューマノイドロボット「リブリー-Q2」および「CB<sup>2</sup>」が有する制御特性を明らかにするための実験、およびその結果について説明した。第3章では、リブリー-Q2の逆動力学の学習において、一般的な学習手法であるフィードバック誤差学習を単純に適用できないことを第2章の結果に基づいて説明した。その後、その問題を解決するための提案手法について説明し、その有効性を検証した。本研究では提案手法の有効性を検証するために、リブリー-Q2と同様の制御特性を有する1自由度空気圧マニピュレータと2自由度空気圧マニピュレータにおける軌道追従問題を扱った。第4章では、空気圧駆動ヒューマノイドロボット「CB<sup>2</sup>」を用いた人間-ロボット間の物理的インタラクションの実現に注目した。このとき、非常に単純な制御システムによって人間-ロボット間の物理的インタラクションの実現が可能であることを示すことで、空気圧駆動ヒューマノイドロボット物理的インタラクションの実現に適した特性を有することを示した。更に、人間の補助を利用する運動学習の枠組みとしてHuman-in-the-Loop Learningを提案し、その枠組みにおける運動学習の有効性を物理的インタラクションにおけるヒューマノイドロボットの運動を改善する運動学習問題を通じて説明した。第5章ではロボットの運動学習におけるオンライン学習とオフライン学習を統合する追加学習手法の提案を行った。その後、従来手法の問題点に対して提案手法が動作することを示すために、ベンチマークテストとして関数近似問題を行った。また、第3章での提案手法と組み合わせることで1自由度空気圧マニピュレータに適用し、複数軌道における逆動力学の追加学習が可能であること、および提案手法がロボットの運動学習において有効であることを示した。第6章では本研究についての結言を述べた。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、人間と安全に共存できる空気圧駆動ヒューマノイドロボットに注目し、機械学習手法を適用することでロボットの運動を生成する運動学習手法の提案を行っている。現在、ロボットの運動生成は注目するタスクや用いるロボットに応じて様々なアプローチが採られ、運動学習において学習器が担う役割も学習システムによって大きく異なる。本論文では、現在までに提案された様々な運動生成、運動学習手法を大きく2つアプローチに分類することで、それぞれのアプローチにおいて解決が期待される空気圧駆動ヒューマノイドロボットの運動学習問題を示し、それらの問題を解決する運動学習システムの提案を行っている。また、運動学習をロボットのハードウェアや動作環境の複雑化による問題の複雑化に対処する主要なアプローチとして捉えることで、複数の運動を追加で学習する問題の重要性を説明し、問題クラスの定義および追加学習手法の提案を行っている。

本論文が着目する3つの問題を以下にまとめる。

①空気圧駆動のアンドロイド「リブリー-Q2」における、予め計画された運動を精緻に実現する問題：ここでは空気圧駆動システムが非常に大きな応答の遅れを有する場合に一般的な逆動力学の学習システムが不安定化する問題を実験を通して明らかにし、それを安定化する学習システムの提案している。

②空気圧駆動ヒューマノイドロボット「CB<sup>2</sup>」における、人間との物理的な相互作用を必要とする運動の実現とその運動の改善を行う問題：ここでは空気圧駆動ヒューマノイドロボットの特徴である関節の柔軟性に着目することで、従来のロボットおよび手法では実現が困難な人間-ロボット間の物理的インタラクションを実現し、インタラクション中のロボットの運動を改善する学習システムを提案している。

③単一タスク内での一括学習を許容した追加学習問題：ここでは単一のタスクの実現に注目する従来の運動学習に関する研究で得られている結果を損なわずに追加学習問題に拡張するため、単一タスク内での一括学習を許容した追加学習問題クラスに注目し、オフラインで学習結果の統合を行う学習システムを提案している。

以上のように、本論文では空気圧ヒューマノイドロボットにおける運動学習を体系的に捉え、それぞれの着目点において解決が期待される問題に対する運動学習システムを提案している。特に、上記の着目点2において取り組んだ人間-ロボット間の物理的インタラクションの実現および学習による運動の改善では、実際の空気圧駆動ヒューマノイドロボットを用いてこれまでにない高い運動性能を実現しており、当該分野に強い示唆を与える結果を示している。

また、本論文の最後では提案された運動学習システムの改善方法や応用方法について議論しており、本研究の今後の発展が十分に期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。