

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	空気圧人工筋肉を用いた精密システムの簡単なコントローラ設計と特性評価
Title(English)	Simple Controller Design and Characteristic Evaluation of Precision Systems with Pneumatic Artificial Muscles
著者(和文)	王少飛
Author(English)	Shaofei Wang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10036号, 授与年月日:2015年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:佐藤 海二,香川 利春,川嶋 健嗣,只野 耕太郎,高山 俊男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10036号, Conferred date:2015/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	氏名	職名
				Wang Shaofei	
論文審査 審査員		氏 名	職 名	氏 名	職 名
	主査	佐藤海二	准教授	高山俊男	准教授
	審査員	香川利春	教授		
		川嶋健嗣	教授		
		只野耕太郎	准教授		

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「Simple Controller Design and Characteristic Evaluation of Precision Systems with Pneumatic Artificial Muscles」（空気圧人工筋を用いた精密システムの簡単なコントローラ設計と特性評価）と題し、全6章より構成されている。

第1章「INTRODUCTION」では、まず、空気圧人工筋の基本性質と応用について概観し、高い出力／重量比、高い安全性、非磁性などの利点を持つが、顕著な非線形性を示すため、高精度な運動を必要とする用途には用いられないこと、これまで様々な制御方法が適用されてきたが、その誤差はマイクロメートルオーダ以上であることを説明し、高精度制御を簡単に可能とすることが、その応用分野拡大につながる重要な課題であると述べている。次いで空気圧人工筋はエネルギー効率が低いと認識されているが、運動機構としての評価が十分にされていないこと、運動制御時の熱的挙動も明らかにされていないことを説明し、それらの情報を提示することが重要であることを指摘している。そして本論文の目的が、空気圧人工筋を用いた機構のための高精度制御系を、数学モデルなしで簡単に設計する方法を明らかにすることと、精密運動時の空気圧人工筋を用いた機構のエネルギー効率と熱的挙動に関する知見を提供すること、であることを述べている。

第2章「EXPERIMENTAL MECHANISM WITH PNEUMATIC ARTIFICIAL MUSCLES AND ITS MACROSCOPIC CHARACTERISTICS」では、精密運動性能を評価するために MacKibben 型空気圧人工筋を用いた 1 軸機構を試作し、これまで報告されている代表的な非線形力学モデルを適用して、その力学モデルの有効性を調べている。その結果、1Hz 以下の低い周波数領域での巨視的挙動を調べるには有効であるが、それ以上の周波数領域や微動特性には有効でないことを明らかにしている。そしてこの力学モデルは第5章のエネルギー効率を検討するときのみに利用すると述べている。

第3章「PRECISION POINT-TO-POINT POSITIONING」では、制御系の役割を間欠位置決めに限定し、目標値に到達するまでは開ループ制御、その後閉ループ制御と切換えて、閉ループコントローラの調整を単純化している。その上で、顕著な非線形特性の補償器と古典制御器を組み合わせた閉ループ制御系の構成と、その要素の

簡単な決定方法を提案し、その有効性を検証している。そして位置誤差 $1\mu\text{m}$ 未満を実現している。位置誤差は、装置の中央位置から離れるほど振幅が大きく、かつ周波数が高くなる傾向を示す残留振動によって制約されており、その振動低減が高精度化の課題であると述べている。

第4章「PRECISION MOTION CONTROL」では、まず空気圧人工筋を用いた機構の微動特性を実験により調べ、入力信号の振幅が小さく周波数が高くなると、位相遅れの影響が顕著になることを明らかにし、位相進み補償器を追加することで位置決め精度が改善できることを示している。次に間欠位置決め用の制御系を基礎に、精密軌跡制御系を簡単に構成する方法を提示し、その有効性を検証している。ステップ応答実験結果を基礎に、1次遅れ要素と非線形関数で表現した簡易な要素をフィードフォワード要素として利用し、0.5 Hz の正弦波入力に対する応答で誤差 $5\mu\text{m}$ 未満を実現している。

第5章「ENERGY CONSUMPTION AND THERMAL PHENOMENON」では、まず精密運動制御時のエネルギー効率とエネルギー損失の要因について、検討している。供給エネルギーとして、電磁バルブへの電気エネルギーと空気圧エネルギーを実験により測定し、機械的なエネルギー消費として、機構の仕事と、空気圧人工筋のダンピング損失とばね特性に起因するヒステリシス損失、ガイドの摩擦に起因する損失を実験結果と第2章の非線形力学モデルから算出し、その割合を検討している。この場合の運動への変換効率は0.05%未満であり、機構を動作させない定常状態でも、空気圧エネルギーの約90%が失われることを指摘している。次に4種類の正弦波入力に対する制御実験を20分間行って、熱的挙動として空気圧人工筋の温度上昇を観察し、調べている。温度は動作周波数や振幅の増加とともに上昇し、その温度上昇は、本研究で対象とする精密運動の領域では、エネルギー効率や運動制御に影響を与えないことを示している。また空気流れによる冷却効果があり、温度上昇が小さいと述べている。

第6章「CONCLUSION AND FUTURE WORK」では、本研究を総括するとともに今後の課題について述べている。

以上要するに本論文は、高い出力／重量比、非磁性などの利点を持ちロボットへの応用研究が進む一方で、非線形性が強く精密制御が困難な空気圧人工筋を用いて、簡単に高精度運動を実現する方法を明らかにするとともに、制御時のエネルギー効率や損失、熱特性を実験的に調べており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって我々は、本論文を博士（工学）の学位論文として価値あるものとして認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。