

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Control Design of the Pneumatic Servo System Considering the Effect of Connected Pipelines
著者(和文)	LiJun
Author(English)	Jun Li
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9318号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:川嶋 健嗣,香川 利春,横田 眞一,吉田 和弘,吉岡 勇人
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9318号, Conferred date:2013/9/25, 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	李 君 (Li Jun)	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	川嶋 健嗣	教授	吉岡 勇人	准教授
	審査員	香川 利春	教授		
		横田 眞一	教授		
吉田 和弘		准教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Control design of the pneumatic servo system considering the effect of connected pipelines」(空気圧配管を考慮した空気圧サーボシステムの制御系設計)と題し、全5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、精密位置決め装置の現状について概観し、空気圧サーボシステムがコンプライアンス制御に適している、熱や磁場の発生がほとんどない等の利点から、除振台、半導体製造装置や電波暗室内のアクチュエータ等で利用されていることを述べている。ついで、空気圧アクチュエータと制御用サーボ弁をつなぐ空気圧配管の動特性が、位置決め精度低下の要因となっていることを指摘している。以上の背景を踏まえて本研究では、空気圧サーボシステムにおいて、空気圧配管長を短くできない場合においてもその悪影響を低減する方法、ならびに磁場漏れ低減や保守の観点から圧力センサをアクチュエータ部ではなく制御用サーボ弁側に配置した場合でも、同等の位置決め精度を実現する方法の提案と実証を目的としている。

第2章「Precise position control of the pneumatic servo table considering the dynamics of pipelines」では、静圧軸受を用いた精密位置決め空気圧サーボテーブルにおいて、従来3次遅れ系として制御系設計が行われていたが、サーボ弁および空気圧配管の動特性も考慮する方法を提案している。静圧軸受を用いることでシリンダ内の圧力変化が小さく線形性の高いシステムであることから、空気圧配管およびサーボ弁をそれぞれ2次遅れ系でモデル化できることを実験によって明らかにし、システム全体を合計7次遅れ系として制御系設計を行っている。極配置法によって、位置、速度ならびに加速度フィードバックのゲインを選定し、位置決め精度が向上することを実験によって実証している。また、フィードフォワード補償を実施する際には、2つの極が他の極と離れていることから、5次遅れ系として扱うことが実用的であることを指摘し、2秒間で100mm移動する目標軌道に対して追従誤差 $0.3\mu\text{m}$ 以下を実現している。

第3章「Distributed model of connected pipelines」では、一般的な空気圧シリンダを制御対象とし、空気圧シリンダと制御用サーボ弁間の空気圧配管長の影響を低減するとともに、圧力センサをサーボ弁側に配置しても、空気圧シリンダ部で圧力測定を行った場合と同等の位置決め精度を実現する方法を提案している。はじめに、空気圧配管を1軸の分布定数系としてモデル化し、配管内の圧力分布を実時間で計算して、空気圧シリンダ内の圧力を推定する方法を提案している。計算には差分法を用い、分割数は音速とサンプリング時間1msより、計算が収束する条件を満たすように選定している。種々の配管長、配管径に対して実験を行い、提案した分布定数モデルの有効性を明らかにしている。次に、正弦波の目標軌道を与えた位置決め実験において、圧力センサをサーボ弁側に配置した場合には、空気圧シリンダ部に取り付けられた場合と比較し、空気圧配管での遅れの影響で位置決め精度が低下することを示している。そこで、提案した分布定数モデルを位置決め制御系に導入し、圧力センサがサーボ弁側に配置された場合でも、同等の位置決め制御が実現できることを実験によって実証している。

第4章「Index to judge the necessity of the distributed pipeline model」では、第3章での実験結果を踏まえて、空気圧配管の動特性の影響を考慮する必要性の有無を判断する指標を考察している。空気圧シリンダの内径、ストローク、サーボ弁の最大開度、空気圧配管長および配管径を初期条件として、シリンダの最大移動速度から空気圧配管での圧力損失を計算し、それを本実験で用いた圧力センサの分解能で割った値を指標とすることを提案している。その値が1以下であれば、空気圧配管の影響を無視できることを、第3章の位置決め実験の結果と対比して実証している。

第5章「Conclusions and future work」では、本研究により得られた成果を総括し、今後の課題について述べている。

以上要するに本論文は、空気圧サーボシステムの位置決め制御において、空気圧配管長による位置決め精度の低下を防ぐために、空気圧配管の動特性を考慮した制御系設計方法を提案し、システムに実装してその有効性を実験的に明らかにしたものであり、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、我々は、本論文を博士(工学)の学位論文として十分価値があるものと認める。