

氏 名 山 田 祐 士
授与した学位 博 士
専攻分野の名称 工 学
学位授与番号 博甲第3748号
学位授与の日付 平成20年 9月30日
学位授与の要件 自然科学研究科産業創成工学専攻
(学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目 空気圧サーボ系の適応制御に関する研究
論文審査委員 教授 則次 俊郎 教授 井上 昭 教授 鈴森 康一

学位論文内容の要旨

本論文では、空気圧サーボ系の制御性能を向上させるため、適応制御を適用し、その制御性能の改善を行った。構成は空気圧サーボ系の位置決め制御と力制御に関する研究の2つに分かれる。1つ目は空気圧サーボ系の基礎的な研究として、第2章から第5章において空気圧サーボ系の高性能化を目的とした位置決め制御について述べた。2つ目に空気圧サーボ系の応用を想定して、第6章において空気圧サーボ系の力制御に関する研究をまとめた。

空気圧シリンダの位置決め制御は、電気系や油圧系に比較して制御性能が低く、あまり積極的に用いられてはこなかった歴史がある。しかし、空気圧サーボ系は、安全性、清潔性、環境保全性などに優れているため、防爆対策が必要とされる用途やクリーンさを要求される場所での応用がなされており、その制御性能の向上が期待されている。そこで、空気圧シリンダの位置決め制御の性能を向上させるため、適応制御の適用をおこなった。空気圧サーボ系では元の連続時間プラントが最小位相系であってもその離散化モデルは、サンプリング間隔や負荷質量等の違いによって、非最小位相になるため、本研究では、まず適応極配置制御 (APAC) の応用から始めた。第2章では、間接法適応極配置および直接法適応極配置制御の一構成法を示し、それぞれの構成法を用いて実機実験を行った。一般的な間接法適応極配置制御では、付加外力が加わるときに、数十ミリの大きな偏差が生じるが、この章で提案した直接法適応極配置制御では、約0.2mm以内の精度が得られることがわかった。第3章では、間接法適応極配置制御の改善を行った。入力合成および同定機構を改善するための外乱を考慮した構成法と非線形性を考慮した構成法を示し、空気圧サーボ系に掛かる負荷などの条件を変化させながら、それぞれの構成法において実験を行った。空気圧サーボ系の非線形性を考慮したニューラルネットワーク (NN) を併用した構成法では、第2章で提案した直接法適応極配置制御より高精度の±0.08mm以内の位置決め精度を達成することができた。第4章では、空気圧サーボ系が最小位相系となる場合に限定し、モデル規範型適応制御 (MRAC) の適用を行った。MRACは、制御対象の極だけでなく零点も指定できるため、過渡的な制御性能の向上が期待でき、さらに位置決め精度では±0.04mm程度の精度を得ることができた。第5章では、プラントのパラメータ同定の結果に基づいてMRACとAPACを適時切替える適応制御系にNNを併用した構成法を提案した。本構成法では、プラントが最小位相である場合にはMRACを、非最小位相の場合にはAPACを用いる手法にNNを併用する構成法を採用した。これにより、プラントの状態変化を察知し、プラントの状態に合わせた最適な制御系を構成し、良好な制御性能が維持されるため、安定した制御を行うことができた。

第6章では、適応制御を空気圧サーボ系の力制御に応用する研究を行った。実機実験において、対象物が移動するときの外力の測定を行い、外乱に対応した構成法の適用を行った。PID制御と比較し、本構成法の有用性を実機実験により確認を行った。動いている対象物に対して力制御を行う実験では、対象物の剛性が変化するとPID制御では応答が振動的になり十分な制御を行うことができないことがわかった。このような条件下においても、本論文で提案する構成法では、対象物の剛性の変化をプラントの特性変化として捕らえて適応機構により安定化を行うだけでなく、対象物の移動に伴う外力の変化を外乱として捉え、外乱除去機能により制御性能を高めた。位置決め制御だけでなく、力制御においても適応制御を適用することで、空気圧サーボ系の応用範囲が広がったと考えられる。

最後に、第7章では、以上の研究で得られた知見をまとめた。

論文審査結果の要旨

本研究では、空気圧サーボ系の制御性能を向上させるため適応制御を応用し、実機実験によりその有用性を検証している。本論文はその成果をまとめたものであり、第1章序論の後、第2章から第5章で空気圧サーボ系の位置決め制御、第6章で空気圧サーボ系の力制御について述べ、第7章を結論としている。

第1章では、空気圧サーボ系の特徴と、空気圧サーボ系の位置決め制御性能を向上させるために適応制御の応用が期待されることを述べるとともに、その場合に問題となる非最小位相の問題を指摘している。第2章では、非最小位相の問題を避けるため適応極配置制御（APAC）を応用し、間接法型適応極配置制御と直接法型適応極配置制御の構成法を示している。また、実験により、一般的な間接法型適応極配置制御では付加外力により数十ミリの大きな位置決め誤差が生じるが、直接法型適応極配置制御では約0.2mm以内の精度が得られることを示している。第3章では、従来の間接法型適応極配置制御を外乱を考慮した構成に改善するとともに、空気圧サーボ系の非線形性を補償するためニューラルネットワーク（NN）補償器を併用している。これによれば、第2章で示した直接法型適応極配置制御より高い精度の±0.08mm以内の位置決め精度が達成されている。第4章では、空気圧サーボ系が最小位相系となる場合に限定し、モデル規範型適応制御（MRAC）を適用している。MRACは規範モデルの極だけでなく零点も指定できるため過渡的な制御性能の向上が可能であり、±0.04mm程度の位置決め精度が実現されている。第5章では、プラントパラメータの同定結果に基づいてMRACとAPACを適時切替える適応制御系を構成し、これにNNを併用した制御法を提案している。プラントが最小位相の場合にはMRACを、非最小位相の場合にはAPACを用いる手法にNNを併用したものであり、プラントの状態に応じて最適な制御系を構成することができ、安定な制御を実行できる。第6章では、空気圧サーボ系の接触対象物が移動する場合の押し付け力制御に適応制御を応用している。第3章と同様の外乱を考慮した制御系を構成することにより、対象物の剛性変化や移動により従来PID制御では制御不可能な条件下においても安定な力制御を実施できることが確認されている。これにより力制御においても適応制御を適用することにより空気圧サーボ系の応用範囲が大きく広がる。第7章は得られた結果をまとめて結論としている。

以上のように本論文の内容は学術的ならびに実用的にきわめて有用であり、本論文は、博士(工学)の学位論文に値するものと認める。