

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 馬 澄斌

本論文は、「Fractional Order Control and Its Applications in Motion Control (非整数次制御およびモーションコントロールへの応用)」と題し、非整数次制御の理論構築およびモーションコントロールへの応用を行った成果を述べたもので、英文で書かれた 10 章より成る。

非整数次制御システムは、非整数次微積分を制御系の要素に積極的に取り込む新しい方策である。非整数次微積分そのものは Leibniz によって古く 1695 年に言及され、また、Tustin は 1958 年、トルク飽和のある位置制御系に非整数次の微分器を適用しているが、当時から非整数次微積分にはなじみが薄く、制御器の実現やシミュレーションが困難であったことから、応用もなく注目もされていない。

しかし近年では、マイクロプロセッサの使用が普通になり、制御器の実現上の問題が少なくなり、非整数次微積分方程式によるモデリングや同定、非整数次微積分で表現された制御対象に対する非整数次制御器の設計に関する研究が盛んになってきており、専門のシンポジウムや会議が、ASME, IFAC をはじめ国際的な学術団体で開催されている。

このような状況の中で、本論文は非整数次制御の全容をシステムティックに俯瞰し、いくつかのオリジナルな提案とそれらに基づいた非整数次制御の設計から実現までを広く扱い、具体的にモーションコントロール分野へ応用した成果をまとめたものである。

第 1 章 (INTRODUCTION) は序論で、非整数次制御の歴史と現状を述べている。第 2 章 (MATHEMATIC PRELIMINARY) は、本論文での研究に必要な数学的知識を簡潔に紹介している。第 3 章 (FUNDAMENTAL ISSUES) では、非整数次制御の数学表現、非整数次制御系の線形性、モデリングなどについてまとめている。

第 4 章 (CONTROL IMPACTS) は、非整数次制御の導入によって従来形整数次制御理論が受ける影響について議論している。制御系のタイプ、安定判別、周波数特性、ロバスト性などを解析し、さらに、著者が提案した二段階設計法について述べている。第 5 章 (SAMPLING TIME SCALING PROPERTY) では、離散時間非整数次制御系におけるサンプリングタイムスケールリング法を提案している。この特性を利用し、非整数次制御は、記憶した過去の入力に重みをつけて新しい出力を算出するものであるという解釈を与えて

いる。第6章 (REALIZATION METHODS) では、複数の非整数次制御器の実現法 (周波数軸上の折れ線近似法や直接離散化法) を時間領域と周波数領域で評価している。

第7章 (FRACTIONAL ORDER $PI_{\alpha}D_{\beta}$ CONTROL), 第8章 (FRACTIONAL ORDER FILTER), 第9章 (FRACTIONAL ORDER DISTURBANCE OBSERVER) は、非整数次制御の応用に関する成果をまとめたものである。それぞれ、PID 制御器、ローパスフィルタおよび外乱オブザーバを非整数次制御に拡張し、バックラッシュ付き2慣性軸ねじれ装置を用いた速度制御実験を行っている。その結果、非整数次制御は、制御器設計が明快であり、モーションコントロール問題に本質的に含まれる非線形要素に対するロバスト性に優れていることを実証している。

第10章 (CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS) では、結論および今後の研究課題を詳述し、将来の研究指針を示している。付録として、実験装置の説明 (EXPERIMENTAL TORSIONAL SYSTEM), および、本論文で整数次 PID 制御器を設計する時に使った係数図法の説明 (COEFFICIENT DIAGRAM METHOD) を補足している。

以上これを要するに、本論文は、非整数次制御の理論と実用におけるさまざまな問題点、すなわち、数学的基礎を整備し、制御系設計と制御器の実現法などにおいて、いくつかの優れた提案を行い、非整数次制御が明快かつロバスト性に優れた将来性のある制御系設計法であることを、理論と実験の両面から示したものであって、電気工学、とくに制御工学上貢献するところが少なくない。よって、本論文は、博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。