

論文審査の結果の要旨

氏名 三善 悠矢

本論文は「Research on robust control for fusion core plasmas (核融合炉心プラズマのロバスト制御に関する研究)」と題し、6章からなっている。

第1章は序論であり核融合炉心プラズマ、制御工学のレビュー及び研究背景が書かれている。将来の核融合炉運転を考えた際、多数のプラズマパラメータやプラズマ分布の制御が必要となる。本研究では古典、現代、ロバスト制御理論を炉心プラズマ制御に適用することにより、核融合炉心プラズマに対する多変数制御、分布制御のための制御器設計手法の構築を目的としている。

第2章は応答特性から設計されたPID制御器により、中性粒子ビーム入射(NBI)とガスパフによって安全係数最小値と核融合出力を制御するという2入力2出力のプラズマ制御シミュレーションを行っている。本シミュレーションにおいて2変数の制御は可能であったものの、将来的に制御対象の数が増えた場合や、直接測定不可能なパラメータの制御を行う場合には従来のPID制御器設計法で制御器設計を行うことは困難であるという予想が得られた。

第3章では、現代制御理論の適用による制御器設計が試みられている。本章では将来の核融合炉心プラズマ制御では必須となる多変数制御の先駆けとして、制御対象の数と制御入力の数が同一である場合の制御器を設計している。多くの物理量が非線形にカップルした0次元プラズマモデルに対して、線形状態方程式を導き、極配置法により積分器付状態フィードバック制御器を作成して制御シミュレーションが行われた。本シミュレーションではNBI、ガスパフ、誘導電流を制御入力とし、プラズマ電流、プラズマ密度、核融合出力を制御対象とする3入力3出力のシステムとなっている。カップリングが強い系に対し各パラメータを独立に制御できたことから、手法の有効性が示された。

第4章はロバスト制御理論の核融合炉への適用が行われている。炉心プラズマ制御を考えた場合、厳密なプラズマの物理モデルを得ることは困難と考えら、ロバスト制御理論の適用は必須と予想される。本章では H^∞ ロバストサーボ理論を用いての核融合炉制御器設計が行われた。 H^∞ 制御理論は伝達関数の H^∞ ノルムが最小となるよう設計されるが、目標追従性能を上げるための感度関数と、ロバスト性能を上げるための相補関数の和は単位行列となってしまうため、感度関数、相補関数それぞれに重み関数をかけねばならない。本章では重み関数の調整により制御器を設計し、第3章と同様のシステムに対してのシミュレーションが行われた。その結果、 H^∞ 制御理論が核融合炉にも適用可能であることを示すとともに、積分器付状態フィードバックとの比較を行い、適切なゲイン調整により両者でほぼ同等なロバスト性が得られる事を示すことができた。

第 5 章は分布制御について扱っている。炉心プラズマ分布を制御する場合、分布を代表する有限個の重要パラメータを選んで制御することになると考えられる。本章では電流拡散方程式の両辺を共通の基底関数によって分解する手法を構築し、分布パラメータの状態方程式化が行われている。本ケースでは制御入力ガスパフ、NB I、高周波、誘導電流の 4 つであるのに対して、制御対象はプラズマ電流、安全係数最小値、安全係数最小値の位置、核融合出力、プラズマ密度の 5 つであるため、各パラメータを完全に目標値に近づけることは不可能となる。そのため最適制御理論を用い、各パラメータの目標偏差が最小となる状態フィードバック制御シミュレーションが行われ、ほぼ所期の分布制御が可能であることが示せ、将来の分布制御器設計の基本手法を提示することが出来た。

第 6 章は本論文全体のまとめとなっている。

以上要するに、本論文は、ロバスト制御理論により核融合炉心プラズマの多変数制御・分布制御を行ったものであり、まずは多数の物理パラメータが非線形カップルした炉心プラズマに対して、3 入力 3 出力制御を H^∞ 制御手法で行い、PID 制御と同等の制御性能を示し、次に制御対象が制御入力より多い場合の H^∞ 制御手法を用いて、プラズマ電流分布制御を試み、ほぼ所期の電流分布制御が可能であることが示せており、核融合炉心プラズマの先進制御に向けた制御器設計手法としての活用が期待できることから、ここでの知見は先端エネルギー工学、特に核融合学に貢献するところが少なくない。

本論文の第 2 章は、小川雄一氏、中村誠氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。また本論文の 3 章から 5 章は小川雄一氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認められる。

以上 1990 字