

核融合炉における多変数制御、分布制御に向けた制御器設計

東京大学大学院新領域創成科学研究科

先端エネルギー工学専攻

博士三年 三善悠矢

1. 背景

将来の核融合炉運転を考えた場合、プラズマの制御は必須の課題となる。その際、制御対象であるプラズマは複数入出力のシステムであり、入力と出力は必ずしも1対1対応しない、制御対象の数の方が入力の数よりも多いといった状況が考えられる。そのような系に対する制御器（制御アルゴリズム）の設計は必須であるが、未だ十分な研究がなされているとは言い難い状況にある。

本研究では将来の核融合炉におけるプラズマの多変数制御、及び分布制御に向けた制御器設計手法を提案するとともに、設計された制御器を用いた制御シミュレーションを通し手法の有効性を確認する。

2. 本研究で行ったこと

複数入出力のシステム（プラズマに限らない）の制御を行う場合、現代制御理論、ポストモダン（ロバスト）制御理論を用いるのが一般的となる。現代制御理論は制御対象の物理を以下の様な線形微分方程式（状態方程式と呼ばれる）で記述し、制御問題を線形代数問題へと帰着させることで制御器設計を行う。

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu}, \mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du}$$

ここで \mathbf{y} は出力、 \mathbf{u} は入力を表し、 \mathbf{x} はそれらをつなぐ内部状態を表している。しかし多くのシステムにおいて制御対象の物理を状態方程式形式で記述することは困難であり、また状態方程式を元に設計された制御器は、状態方程式を満足するようなシステムに対してしか制御性能が陽に保障されず、制御器がシステムに対しどの程度有効なのかは実際に試してみなければわからない。

ロバスト制御理論はそのような状況を解決するため生まれた理論であり、状態方程式と実際の物理との差（モデル化誤差と呼ばれる）を Δ で表し、ある Δ の範囲内における制御性能を保障する制御器を設計する。

本研究では核融合出力、プラズマ電流、プラズマ密度の3つの変数を誘導電流、ガスパフ、NB Iの3つの入力で制御することを想定し、現代、ロバスト制御理論を用いた制御器設計を行った。また、電流分布を制御することを想定し、5出力4入力という出力数>入力数の状況における制御器を設計した。これらの制御器を用いた制御シミュレーションにより、現代制御理論、ロバスト制御理論は核融合炉運転に対して非常に有効であることが示唆された。