

FPGAを用いた縦長断面トカマクプラズマの位置制御

Control of the elongation tokamak plasma by FPGA

杉野 弘幸, 村山 真道, 坂本 惇, 筒井 広明, 飯尾 俊二

Sugino Hiroyuki, Murayama Masamichi, Sakamoto Atsushi, Tsutsui Hiroaki, Tsuji-Iio Shunji

東工大
Tokyo Tech

縦長断面トカマクでは閉じ込めが良く高ベータ化に有利であるが、垂直位置不安定性の問題がありプラズマ位置のフィードバック制御が必要となる。しかし、プラズマ位置の実時間制御を行うためには高速制御($<100 \mu s$)が要求される。そこで、本装置(PHiX)の制御部に高速な演算処理が可能なFPGAを備えたNI製のCompactRIO(LabVIEW FPGA)を組み込むことにより実時間制御を可能とした。PHiXのパラメータは以下の通りである。 $(I_p = 2kA, B_t = 875G, a = 0.09 m, R = 0.33 m, \kappa = 1.8)$

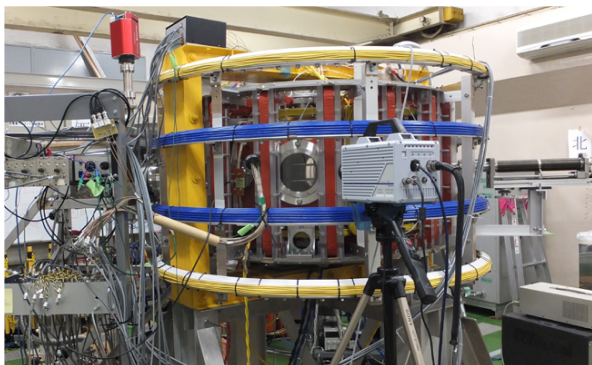


図1. 小型トカマク装置(PHiX)の外観

PHiXは鉄芯付きCSコイルによるプラズマ電流駆動を採用しており、制御に用いるインダクタンス行列が鉄芯の相互作用を考慮しなければならない。そこで、MATLAB System Identification Toolboxを用いてシステム同定によりインダクタンス行列を計測した。システム同定法は、入出力データから状態空間モデルのA, B, C, D行列を導出するモデリング法であり、

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

これを相互インダクタンス計測に当てはめると、

$$v = M \frac{di}{dt} + Ri$$

$$u(t) = (CB)^{-1} \frac{dy(t)}{dt} - B^{-1}AC^{-1}y(t)$$

という関係で表され、インダクタンス行列は $(CB)^{-1}$ 、抵抗行列は $-B^{-1}AC^{-1}$ で導出することができる。

プラズマ位置制御の制御方針は、真空容器内にあるフラックスループから得られる磁束の差分をプラズマ位置の誤差とし、その変位をプレプロ波形に加えて制御する(図2)。

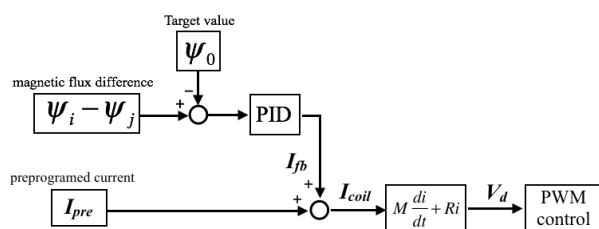


図2. 位置制御ブロック図

本発表では、システム同定による相互インダクタンス計測とインダクタンス行列を考慮したプラズマ位置制御の結果について報告する。