

JT-60 プラズマ電流分布実時間制御計算機システムの開発

細山 博己、末岡 通治、鈴木 隆博

日本原子力研究所 那珂研究所

1 はじめに

JT-60 では、プラズマ性能の向上を目指してプラズマ電流分布を制御する実験が計画されている。プラズマ電流分布算出に必要な入力データのほとんどはプラズマ位置形状同定 (Plasma Real-time Shape Reproduction : 以降 PRSR) 計算機システムの入力データであるが、メモリーや計算時間の制約から電流分布制御ロジックを組み込むことは難しい。このため、電流分布制御専用の新たな実時間制御計算機システムを開発することとなった。本報告では、実時間処理機能の開発結果について報告する。

2 電流分布制御システムの要求機能分析

電流分布制御計算機 (j-Profile Controller : 以降 j-PC) は、プラズマ最外殻磁気面データ、プラズマ制御パラメータ、トロイダルコイル電流値、プラズマ電流値、及びプラズマ内部磁場計測信号等を入力し、電流分布、または安全係数分布を算出する (図 1 参照)。この結果を以下に述べる制御方式を用いアクチュエータである LH 装置 (低域混成波 (Lower Hybrid Radio Frequency) 入射加熱装置 : 以降 LH 装置) に対する入射パワー、入射位相を算出し、制御指令値として出力する。LH 装置への出力は、従来からの粒子供給・加熱制御計算機システム (以降 IbR) を介して行うことで、装置との取り合い条件を維持することとした。これらの制御周期は 10msec で行っている。

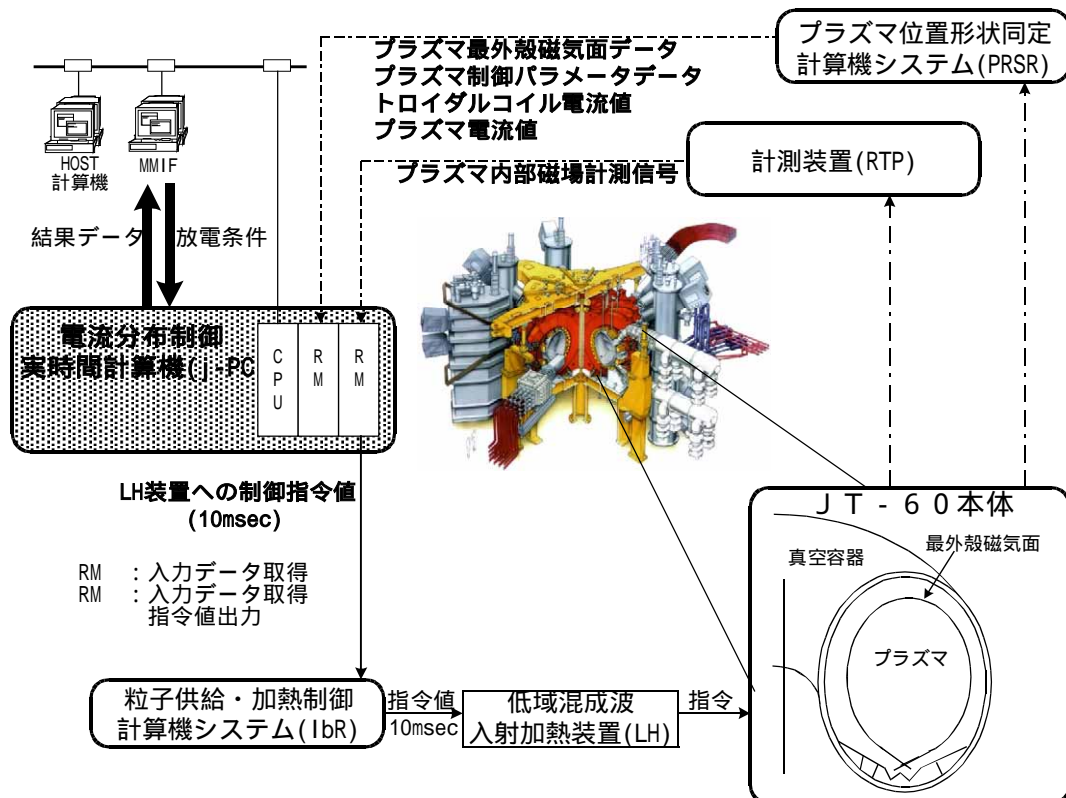


図 1. 電流分布制御システムデータフロー

(1) 電流密度分布制御 (図 2)

プラズマ電流密度について、ある時刻におけるプラズマ電流密度目標値と現状値の差 (d) が最大となるチャンネル (A) に対し、現状値がプラズマ電流密度目標値に近づくように該当チャンネル (プラズマ半径方向位置) に入射位相を実時間で設定し、アクチュエータである LH パワーを入射する。

現時点で計測装置から受信する計測点は最大 16 点。このうちの 1 チャンネルについて制御する。

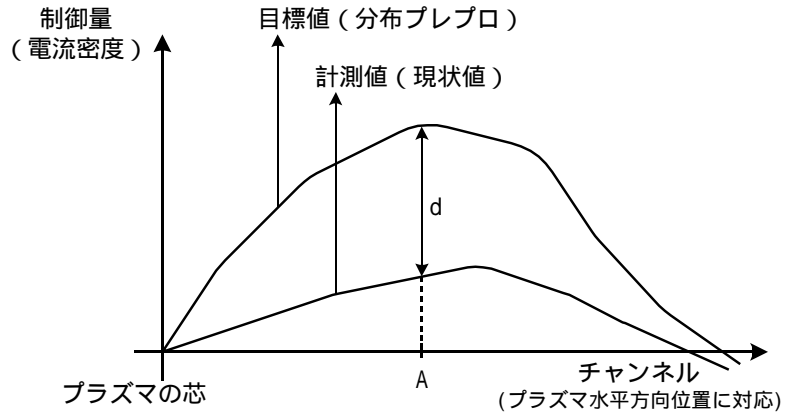


図 2 . 電流分布制御概念図

(2) 安全係数分布制御 (図 3)

(1)と同様の制御を安全係数について行う。

(3) 安全係数最小値制御,最小位置制御 (図 4)

安全係数について、ある時刻における現状値 (最大 16 点) を二次関数近似し、位置・安全係数値共に最小である点 (P_{obs} , Q_{obs}) を求める。

最小値制御では、予め与える安全係数分布最小値目標値 (Q_{ref}) に現状値 (Q_{obs}) が近づくように LH 装置の入射パワー、及び入射位相を制御する。

最小位置制御では、予め与える安全係数分布最小位置目標値 (P_{ref}) に現状値 (P_{obs}) が近づくように LH 装置の入射パワー、及び入射位相を制御する。

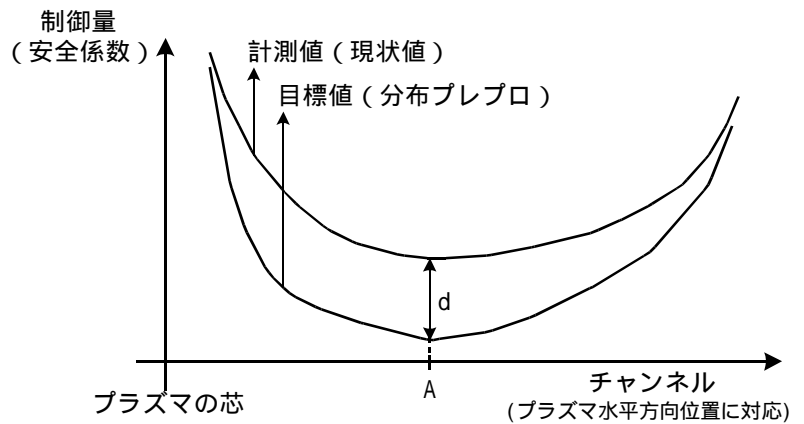


図 3 . 安全係数分布制御概念図

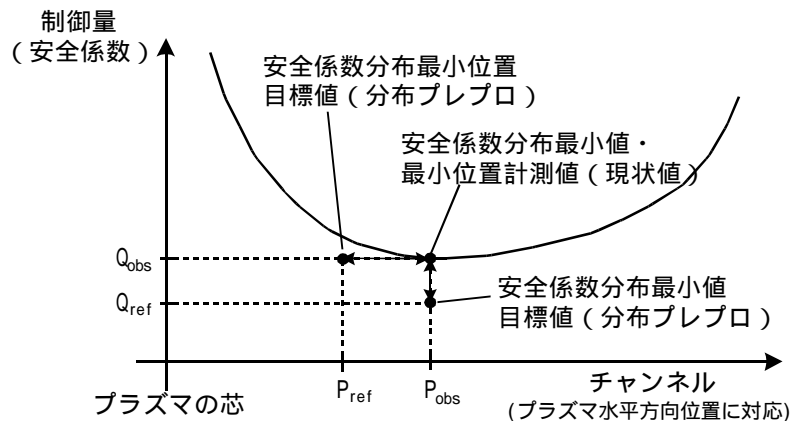


図 4 . 安全係数分布最小値・最小位置制御概念図

3 ハードウェア構成

前節で述べたように PC は 1 台の PCI バス規格に則ったクレートに、CPU モジュール、2 台のリフレクテ

イブメモリ（以降 RM , RM ）モジュールを配置して構成する。これらモジュールのハードウェア仕様を表 1 に示す。

表 1 . 電流分布制御計算機ハードウェア仕様

シンボル	型 式	機能/性能	メーカー
CPU	EBM 23-AW	Alpha Processor 21164, 500MHz,メモリ512MB	スマートモジュール テクノロジーズ社
RM	VMIPCI5576	256KBリフレクティブメモリ、6.2MB/s	VMIC Co.

CPU モジュールは、マンマシンインターフェース(以降 MMIF)とのメッセージ通信、MMIFからの放電条件受信、結果データ格納などのオフライン処理と、

10msec 周期で電流密度分布 (j 分布) 検出 , 及び制御指令値を算出するリアルタイム処理を行っている。

RM モジュールでは PRSR から 10msec 毎に演算用入力データ (プラズマ最外殻磁気面データ , プラズマ制御パラメータ , トロイダル磁場コイル電流値 , プラズマ電流値) を受信する。

RM モジュールは計測装置 (以降 RTP) から演算用入力データ (プラズマ内部磁場計測信号) を受信し、更に CPU モジュールが実時間 (10msec 周期) で分布量の検出をした後、ここで述べた制御方法に従って入射パワー , LH 入射位相を I_{bR} の RM を介して LH 装置へ出力する。

4 ソフトウェア機能

実時間処理部は、実時間中にデータ入力 , 制御演算 , 指令出力を行うとともに、放電前後の時間帯では放電条件入力、結果データ出力等がある。以下に処理内容の概要を示す。

(1) 電流分布制御実時間処理

図 5 に実時間処理のフローチャートを示す。実時間処理の全体は、Iib から受信する制御クロックを用いて 10msec 周期で動作する。

次の制御入力処理では、演算に使用する入力データを PRSR,RTP から取得し、演算に使用するエリアに格納する。

演算処理は、操作対象機器毎に設定するアルゴリズム No. プレプロ ((2) 参照で述べた制御方式毎に番号を付したものを呼ぶ) に従った制御演算を実行し、指令値の算出を行う。

出力処理においては、算出した LH 入射パワー

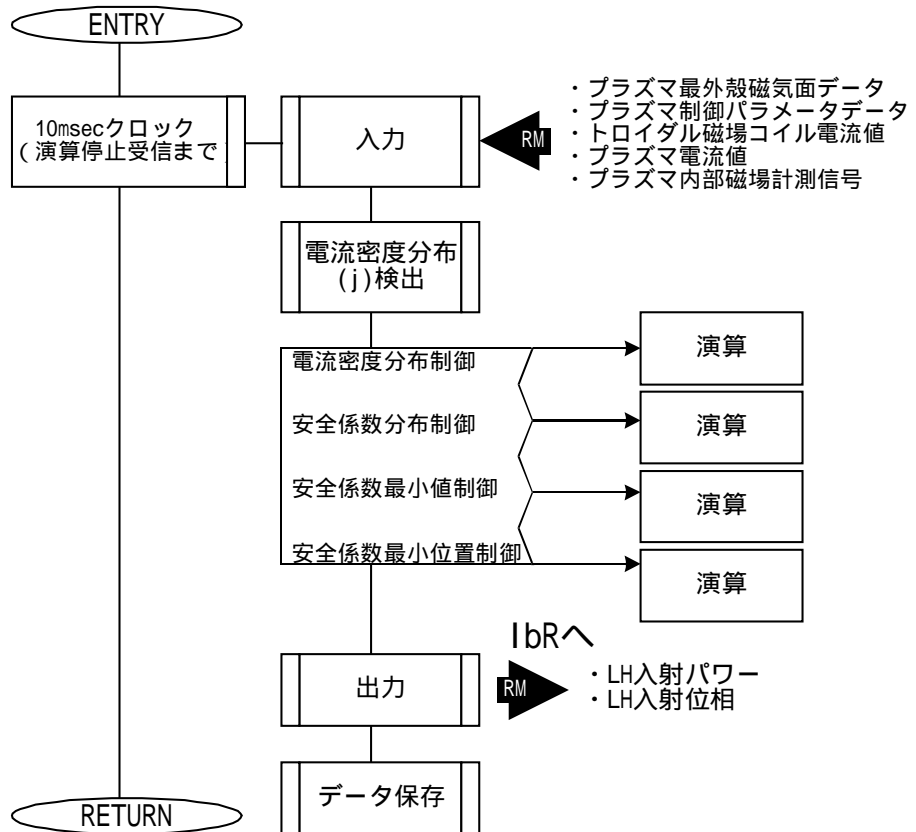


図 5 . 実時間処理フローチャート

及び LH 入射位相を IbR の RM を介して LH 装置へ送信する。またデータ保存では放電完了後の結果データ生成に備え、10msec 毎の現状値と指令値についてデータを保存しておく。

(2) 放電条件設定処理 (参考)

電流分布制御のために必要な放電条件パラメータは、その設定を含め複雑で多岐にわたる。このため、図 6 に示す GUI (Graphical User Interface) を用いて放電条件パラメータ (予め与える目標値 (プレプロ), プラズマ計測信号 (MSE) 32 チャンネルの座標, 係数情報, 制御対象の時間毎 (10msec 毎) の制御方式等) を与える。

また、これまで JT-60 で使用されているプレプログラム波形 (時間変化で与える指令値条件) は “時刻” と “物理量” という 2 次元の波形を設定していたが、今回、3 次元プレプロの設定を可能にするために “空間上の指定点” というデータ (最大 “32 チャンネル”) 毎にこれまでの 2 次元の波形を設定する対応策を採った。

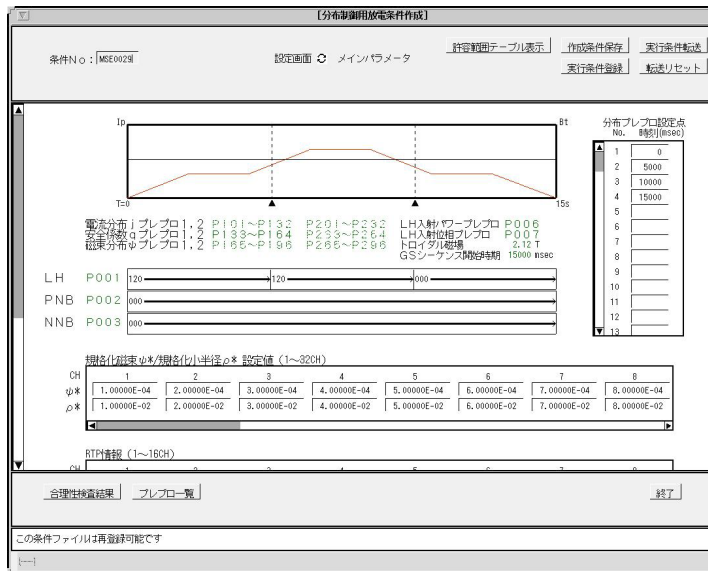


図 6 . 放電条件作成画面

5 今後の課題

今後の実験運転での結果を分析し、更なる機能向上を目指していく。また、現時点では、LH 装置のみ操作機器としているが、将来的には複数の制御操作機器を実時間制御できる制御方法に機能向上させる。同様に分布検出方法についてもプラズマの平衡を考慮して精度を上げる方法などを組み込む予定である。

6 参考文献

[1] 末岡 通治, 川俣 陽一, 細山 博己, 戸塚 俊之, 米川 出, 栗原 研一, 鈴木 隆博, 及川 聡洋, 坂本 宜照, 吉田 英俊, “JT-60 プラズマ分布量制御のための新 GUI の開発”, (社) プラズマ・核融合学会第 20 回年会予稿集, 2003 年 11 月, P159