U.D.C. 621.039.66:533.9.087.9:681.323.014

# 核融合プラズマの計測・データ処理技術

# **Diagnostic and Data Processing Technology for Nuclear Fusion Plasma**

核融合プラズマの研究では、プラズマの状態を把握し、プラズマ及び装置を制御 するために、種々の計測技術が要求される。更に、1回の実験で採取されるデータ量 が膨大であるため、高速のデータ収集・処理技術が重要となる。このため、日立ト カマク装置を主対象にプラズマ計測システム及びデータ収集・処理システムを開発した。 本システムは12種の計測器とCAMACを用いたデータ収集系、及びHIDIC 80E計

4	1	ムは14月	2017日(则石合(		を用いたり	 収朱不,	汉 U'HIDIC	001
算機	を用い	いたデータ	処理系から	ら 構成され	13.			

更に、日本原子力研究所の指導を得て大型核融合プラズマ試験装置用として、プ ラズマ制御を目的とした実時間データ収集・処理システムを開発した。

西	政嗣*	Masatsugu Nishi
射場	大造**	Daizô Iba
中山	尚英**	Takahide Nakayama
伊藤	裕***	Yutaka Itô

#### 言 1 緒

核融合プラズマの状態を把握するためには、電子とイオン の温度・密度、プラズマ電流量、プラズマの位置・断面形状, 加熱量,核融合反応量など,種々の計測を必要とする1)。プラ ズマ計測の特徴は、プラズマが超高温であるため、すべて非 接触計測であり、更にある量を直接計測できることが少ない ことにある。このため、一つの量を複数の方法で測定するこ



とが多い。また、各プラズマ量の時間変化も測定するため、 1回の放電実験で収集するデータ量が膨大となり、高速のデー タ収集・処理技術が必要技術となっている。このため、社内の 実験装置を用い、プラズマ計測技術の総合的開発を図るととも に,大型装置用の大規模のデータ処理技術を開発してきた。

本報では、日立トカマク装置用に開発したプラズマ計測, データ収集・処理システムについて述べるとともに、大型核 融合プラズマ試験装置用に開発したプラズマ計測制御用デー タ処理システムについて述べる。

#### 2 日立トカマク用計測・データ処理システム

HT-1(日立トカマク装置)<sup>2)</sup>で使用しているプラズマ計測系, 及びデータ収集・処理システムの構成を図1,図2に示す。 本システムの特徴は、全システムがHT-1用電源制御装置の 下でシーケンス制御されており, 自動運転が可能となってい ることにある。これにより、トカマク装置の運転から実験デ ータの収集・処理に至るまで一人の実験者で対応できる。以 下に各システムについて説明する。

#### 2.1 プラズマ計測システム

本システムは電磁気計測器,マイクロ波干渉計測器,トム ソン散乱計測器,軟X線計測器,硬X線計測器,荷電交換中 性粒子エネルギー分析器及び可視域・真空紫外域分光器から 成る。図1に各測定器と計測量との対応を示す。以下に主な 計測器についてその概要を述べる。なお、電磁気計測器につ いてはHT-1の経験をもとにし、JT-60用計測器を開発し、製 品化した。

2mm波と4mm波の発振器をもち、プラズマの密度により使 測定には通常のゼブラ・パターン法と直読法を併用している。 い分けている。測定法としてはプラズマ中を上下方向にマイ (2) トムソン散乱計測器 クロ波を貫通させる透過法と、横方向からマイクロ波を入射 測定器の構成を図3に示す。出力10Jのレーザ光をレンズ系 し,真空容器壁面に設けた反射板からの反射波を計測する反 で集光させ、プラズマ中心で直径約1mmに絞っている。トム

日立トカマク装置用プラズマ計測システム × 1 日立トカマク装 置で使用している計測器と測定量の関係を示す。

63

射法を使い分けている。プラズマの電子密度は、プラズマ中 (1) マイクロ波干渉計測器 を通過させた波と参照波との位相差から求めるが、位相差の

\* 日立製作所エネルギー研究所 工学博士 \*\* 日立製作所大みか工場 \*\*\* 日立製作所日立工場

694 日立評論 VOL. 66 No. 9(1984-9)



日立トカマク装置用デ ータ収集・処理システム 日立トカマク装置で使用しているシ ステムの構成を示す。データ収集部 にはCAMACを使用している。

ソン散乱の断面積は10<sup>-16</sup>cm<sup>2</sup>程度と小さいため、散乱光の測 なっている。プラズマ中の不純物イオンの挙動を調べるため、 真空紫外分光システムを用いている。システム構成を図4に 示す。このシステムは、瀬谷-波岡型分光器を中心に構成され、 30~150nmの波長域のスペクトルを測定できる。受光器には マイクロチャネルプレートを用い,多チャネル化しており, 約1nmの波長幅のスペクトルの時間変化を1msの周期で測定 できる。HT-1のプラズマで観測される主な不純物イオンはC と0である。

定では,迷光などの雑音除去がポイントとなる。このため, 真空容器への入射部にはバッフル板を,真空容器下部には, プラズマを透過したレーザ光を吸収するためのビームダンプ を設けている。更に、散乱光計測系の相対する真空容器壁面 には、ステンレス鋼製の刃を斜めに並べた形のビューイング ダンプを設け、真空容器壁面からの反射光が散乱光計測系に 入るのを防いでいる。

散乱光はレンズ系で集光した後,分光器と500チャネルの受 光器でスペクトル分析し、その半値幅Δλから電子温度を求め ている。

(3) 真空紫外分光システム

プラズマ中に含まれる不純物イオンは、 プラズマからの輻 射によるエネルギー損失量を増大させるため,不純物イオン 量の抑制技術の開発が核融合炉を実現する上で重要な課題と

#### 2.2 データ収集・処理システム

デー収集システムにはCAMAC\*)モジュールを使用してい る。このシステムは24チャネルの高速A-D変換部, 波高分析 システムから構成される。A-D変換器は最短2µsの周期でサ ンプリングできる。サンプリング周期は、1回の測定中に外 部信号により3段階の切換えが可能となっており、プラズマ の放電開始や放電末期のようにプラズマの状態変化が速い場



トムソン散乱計測系の構成 電子温度計測に使用しているトム 図 3 ソン散乱計測系の構成を示す。

ステムを構成している。本システムはプラズマ中の不純物イオン量の計測に使

CAMAC: Computer Automated Measurement and Controlの略。 **※** ) 計測器に関するIEEE(米国電気電子学会)規格。

64

核融合プラズマの計測・データ処理技術 695



図5 データ処理結果の一例 ロゴスキーコイルと磁気プローブの信号 を処理し、プラズマの中心位置の時間変化として表示している。

合には短いサンプリング周期で、その他の時間帯は長いサン プリング周期でデータを収集するようにしている。A-D変換 後のデータはいったんバッファメモリ(記憶容量4kワード/ チャネル)に収容し、放電終了後、HIDIC 80E計算機に転送 し、データ処理及びデータ保管をする。HIDIC 80E計算機で のデータ処理結果の一例を図5に示す。この例では、磁気プ ローブとロゴスキーコイルの信号から、プラズマの水平方向 の位置を求めている。更に詳細なデータ解析を要する場合に は、磁気テープに格納したデータを大形計算機に入力するよ うにしている。 (2) プラズマ計測データを実時間で監視し、必要に応じインタロック信号を発信する。

(3) 放電時のプラズマ計測データを高速度でサンプリング, 蓄積し,放電後に解析用データとしてデータ処理計算機に収 集,処理する。

図6に上記ニーズに対応したプラズマ計測制御用データ処理システムの実施例を示す。本システムはデータ処理計算機, 実時間制御計算機,タイミングシステム,データ収集CAMAC システムから構成され,相互は計算機リンケージ,CAMAC ハイウエイ,タイミング信号により結合されている。システ ムを構成する各装置の概略機能を以下に述べる。

#### (1) データ処理計算機

データ処理システムの中核となる計算機であり,放電後下 位システムで蓄積したプラズマ計測データを収集し,データ 解析を行なってグラフィック表示器に表示するとともに,こ れらのデータのファイリングを行なう。また,実験内容に適 応したプラズマ計測を可能とするため,計測条件の設定など のマンマシンインタフェースをサポートするとともに,その 結果をタイミングシステムに設定する。

#### (2) 実時間制御計算機

プラズマ制御にかかわる情報を実時間で収集し、プラズマ制御を行なうとともに、プラズマ制御にかかわるデータを保存し、放電後に解析用データとしてデータ処理計算機に伝送する。

### **1** プラズマ計測制御用データ処理システム

JT-60に見られるように最近の大型核融合プラズマ試験装置では、プラズマ計測データがプラズマ制御や装置制御に用いられるため、下記の機能が新たに必要となっている。 (1) プラズマ制御のために必要なデータを実時間で収集し、 実時間制御計算機に伝送する。 (3) タイミングシステム

プラズマ計測データのデータ収集タイミングの同期を図る ため、実時間制御計算機及びCAMACシステムに対しクロッ ク信号を発信する。

(4) プラズマ計測CAMACシステム

プラズマ計測装置からの信号を受信し、タイミングシステ ムのクロックに同期してサンプリングし、付属メモリに解析 用データとして保存するとともに、プラズマ制御に使用する データは実時間で実時間制御計算機に伝送する。また、CAM ACシステムに内蔵されるマイクロコンピュータシステムは、

65





## 注: 🚫 検出器, □=> 実時間信号, →→ 実時間タイミング信号, □□□> 非実時間信号

図 6 プラズマ計測制御用データ処理システムの構成 データ収集CAMACシステムは、プラズマ実時間制御用データとモニタ用データを用途に応じて収集する。マイクロコンピュータシステムは、プラズマ計測データを実時間で監視し、異常状態を検出した場合は、保護インタロックシステムへ信号出力を行なう。

696 日立評論 VOL. 66 No. 9(1984-9)

項目	CAMACハイウェイ光伝送方式	検出器信号光伝送方式			
概 略 構	検 出 器       データ収集       データ処理         (検出装置)       CAMAC         システム       ジステム	検田器 (検田装置)			
特徴	<ul> <li>(1) 光CAMACハイウエイによる多重信号伝送を行なう。</li> <li>(2) CAMACシステムを現場設置とするため、検出器(検出装置)の 制御が容易に行なえる。</li> <li>(3) 大規模システムに向く。</li> </ul>	<ul> <li>(1) 光ファイバケーブルによる検出器信号伝送を行なう。</li> <li>(2) CAMACシステムを中央設置とするため、電磁誘導ノイズなどの影響が少ない。</li> <li>(3) 小規模システムに向く。</li> </ul>			

表 | 光データ伝送方式 プラズマ計測データの伝送は,システム環境,データ量により最適な方式を選択する。

データ処理計算機からの計測条件に基づき計測装置やCAM を出力する。

ACモジュールに条件設定を行なうほか、プラズマ計測データ を実時間で監視し、プラズマ不着火などのインタロック信号

データ処理システムでは, 強磁場環境での信号伝送が必要



なため,耐ノイズ性能及び絶縁性能を確保するため光伝送方 式を使用している。表1にデータ処理システムで使用してい るプラズマ計測データの伝送方式を示す。また、タイミング 信号についても光伝送を使用している。

なお解析用データの収集は、クロックパルスに同期して一 定周期でサンプリングを行なうが, 高密度のサンプリングが 必要なデータに対しては図7に示す可変クロックデータ収集 方式を採用し、メモリ容量の有効利用を図っている。

#### 言 4 結

日立トカマク装置用にプラズマ計測システム及びデータ収 集処理システムを開発した。その特徴は以下に述べるとおり である。

(1) プラズマ計測系はマイクロ波干渉計測系,真空紫外分光 系など、12種の計測器から構成される。

(2) データ収集系にはCAMACを使用し、最短 2 µsの周期で サンプリングできる。

(3) 放電終了後にデータ収集系に蓄えたデータをHIDIC 80E 計算機に転送し、データ処理を行なっている。

更に,大型核融合プラズマ試験装置用として,実時間で計 測データの収集・処理が可能なシステムを開発した。本シス テムは、マイクロコンピュータを内蔵したCAMACシステム を採用し、データ収集タイミングの制御、データ監視などの プラント制御に必要な機能をもっている。また、システムの 耐ノイズ性能,絶縁性能を確保するため,信号伝送には光伝 送方式を用いている。

本報で述べたプラズマ計測・データ処理技術は, 核融合実 験炉にも適用できるものである。



終わりに、システムの開発に当たり御指導いただいた日本原 子力研究所の関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

図7 可変クロックデータ収集方式 プラズマ状態変化の小さい区間 では低速サンプルクロックで、状態変化の大きい区間では高速サンプルクロッ クで、プラズマデータを収集することにより、メモリ容量を有効に利用したプ ラズマデータ収集が可能である。

参考文献 宮本:核融合のためのプラズマ物理,岩波書店(昭51) 1) 西,外:日立トカマク型非円形プラズマ実験装置,日立評論, 2) **62**, 5, 355~358(昭55-5)

66