JT-60SAにおける荷電交換分光計測装置の概念設計 Conceptual design of charge exchange recombination spectroscopy system in JT-60SA

寺門 明紘、小出 芳彦、吉田 麻衣子、本間 寛人、大山 直幸 TERAKADO Akihiro, KOIDE Yoshihiko, YOSHIDA Maiko, HOMMA Hiroto and OYAMA Naoyuki

QST那珂 QST, Naka Fusion Institute

JT-60SAの荷電交換再結合分光(CXRS)計測装置は 中性粒子ビーム(D⁰)とプラズマ中のC⁶⁺の荷電交換反 応(D⁰ + C⁶⁺ \rightarrow D⁺ + C⁵⁺(*n*=8) \rightarrow C⁵⁺(*n*=7) + hv)に起因す るC VI発光スペクトルのプロファイルからイオン温 度、トロイダル・ポロイダル回転速度、不純物イオン 密度を評価する。現在、基本仕様の策定が完了してお り、ハードウェアおよびソフトウェアの概念設計や 計測用ポートプラグの詳細設計、製作、データ収集・ 処理部の基本設計を進めている。図1にCXRS計測装 置のシステム構成図を示す。

CXRS計測装置は加熱用中性粒子ビームをトロイ ダル方向、ポロイダル方向に見込む視野を持ち、それ ぞれ空間分解能は20 mm, 5 mm、計測範囲はr/a = 0.1~1.1. r/a = 0.65~1.1である。また、3台の分光器と EMCCDを用いて時間分解能2.5msで計75chの空間同 時計測を行う。上記の計測範囲を満たすために対物 光学系を収めるポートプラグはプラズマに最大限に 近づける必要があり、高加熱パワーの長時間放電で はプラズマからの熱流束によるポートプラグや真空 窓等の温度上昇に伴う強度低下や熱応力の発生、更 にディスラプションに起因する電磁力の発生が懸念 される。これまでの解析からCXRS計測装置用ポート プラグへの熱負荷はITERの計測用ポートプラグに匹 敵する0.3 MW/m²と見積もられている。また、高プラ ズマ電流におけるプラズマディスラプションにより 35Gの加速度が先端に印加される。これらの負荷に十

分耐えられるようポートプラグ先端の冷却コンポー ネントや真空窓を設計し、汎用有限要素法解析ツー ル「ANSYS」による部品ごとの接触を考慮した非線 形熱構造解析により健全性の評価を行った。設計お よび評価結果の詳細は本講演で述べる。

CXRS計測装置は、実時間でイオン温度勾配とトロ イダル回転速度を制御するためのセンサーとして利 用される。Levenberg Marquardt(LM)法を用いたスペ クトルの非線形フィッティングの計算コストが大き いため、これまでのCXRS実時間制御システムではハ ードウェア処理速度の制限により使用できるチャン ネル数に限りがあった[1]。そのため制御対象の位置 (例えばイオン温度勾配の大きい領域)が時間的に移 動する場合(内部輸送障壁の形成過程など)ではイオ ン温度分布の制御は出来なかった。そこで、CPUより もピーク演算性能と空間並列性に優れる GPU(Graphics processing unit)とLMアルゴリズムが CUDAで実装されたGpufitライブラリ[2]を活用した 多チャンネルデータ処理システムを新たに設計し、 JT-60UのCXRS計測装置のデータを用いてテストコ ードの処理速度を評価した。JT-60SAでの実時間処理 を想定した30ch分のスペクトル(合計60個のスペクト ルデータ)の毎フレーム処理が制御対称のタイムス ケール(エネルギー閉じ込め時間)の1/10以下である 3~4 ms以内に完了し、実時間処理の多ch化にGPUが 十分適用可能であることを確認した。

> 本講演では、CXRS計測装置の 開発状況について、ANSYSを用 いたポートプラグ冷却コンポー ネント、真空窓の健全性評価や、 実時間処理のための多チャンネ ルデータ処理システムの性能評 価を中心に報告する。

 M. YOSHIDA et al., Fusion Eng. Des. 84, 2206 (2009).
A. PRZYBYLSKI et al., Sci. Rep. 7, 1 (2017).

