# 3 波長同時計測可能な分光計測系を用いた FRC プラズマの分光計測 3 wavelength spectroscopic measurement for Field-Reversed Configuration plasma.

○渡邉洋貴<sup>1</sup>, 高橋努<sup>2</sup>
\*Hiroki Watanabe<sup>1</sup>, Tsutomu Takahashi<sup>2</sup>

Abstract: 3 wavelength spectroscopic measurement system is possible to observe radiations from field-reversed configuration plasma such as bremsstrahlung and spectrum(H,D,He) at the same time and position. We conduct to spectroscopic measurement for a FRC plasma with the system and develop new method to estimate radiation coefficient of multiple spices particle in a FRC plasma at the same time. Because a FRC plasma is axial symmetry, we employed Abel inversion as technique to reconstruct radiation coefficient distribution.

### 1. はじめに

プラズマを閉じ込める磁場閉じ込め方式の中に磁場反 転配位(Field-Reversed Configuration:FRC)という非常に 磁場利用効率が高く,高温高密度のプラズマを生成可能 な方式がある.この方式は中性子の発生が少ないとされ ている D-<sup>3</sup>He 核融合炉の炉心プラズマとして注目され日 本,アメリカを中心に研究が行われている.FRC プラズ マは Fig 1.のように開いた磁力線と閉じた磁力線のみか らなる非常にシンプルな磁場構造を有しており磁力線に 沿って軸方向への移送が可能であるため,移送領域にお いてNBIや電流駆動などでプラズマを追加熱するといっ たことが可能となる.[1]

FRC プラズマの周辺に中性粒子が存在すると,接線方向の NBI のパワー付与率への影響[2]やコアプラズマ中に流入し,中性粒子の電離にエネルギーが消費され,エネルギー閉じ込め特性に影響するなど中性粒子の影響を調査することは重要であると考えられる.

そこで本研究では FRC プラズマ中の粒子(電子,イオ ン,中性粒子)の分布を調査するため,コアプラズマ,スク レイプ・オフ層中の分布を同時に決定するため,開発した 複数波長同時計測可能な分光計測を用いて求めることを 試みている. 今回はその分光計測計とアーベル変換によ る放射係数の算出について発表する。



Fig 1. Schematic view of FRC plasma.

### 2. 3波長同時計測可能な分光計測系

Fig 2.に本研究室の所有する FRC プラズマ生成装置 NUCTEIII(Nihon University Compact Torus Experiment III) 断面の計測系の概略図を示す.NUCTEIII の放電管半径 は 12.8cm, 生成される FRC プラズマの典型的なセパラ トリックス半径は約 5~6cm でその周辺部で $D_{\alpha}$ ,  $D_{\beta}$ など のスペクトルが観測されていることから分布を求める ためには放電管壁付近までの計測が必要である.従って コリメーターは $x = \pm 12cm$ の間に1.5cm 間隔で17本設 置する. プラズマから放射された光は,光ファイバを通 り,途中で3つに分かれた後,光学フィルタにより波長を 選択し制動放射光や重水素スペクトル等の2 つあるい は3つの波長の光を同時に,同位置で計測できる.この分 光計測を行うことにより,従来行っていたコアプラズマ の計測と,スクレイプ・オフ層中のプラズマの計測を同 時に同位置で行うことが可能となる.



Fig 2. Optical diagnostic system

#### 3. アーベル変換を用いた放射係数の導出[3]

アーベル変換は被測定体が外部に放射する物理量を基 に内部分布を解析する方法である.計算はプラズマが軸 対象であると仮定して行われる.プラズマからの放射光 は視野に沿った方向の線積分値として得られる.

<sup>1:</sup>日大理工・院(前)・物理 2:日大理工・教員・物理

プラズマ中心からxの位置でy方向から計測した 放射光強度をI(x)とするとI(x)は(1)式のように表さ れる.



Fig 3. Schematic view of Abel inversion.

$$I(x) = \int_{L} i(r) dy = 2 \int_{x}^{R} \frac{i(r) r dr}{(r^{2} - x^{2})^{1/2}}$$
(1)

これをi(r)について解くと

$$i(r) = -\frac{1}{\pi} \int_{x}^{R} \left[ \frac{dI(x)}{dx} \right] \frac{dx}{(x^{2} - r^{2})^{1/2}}$$
(2)

ここでRは放電管の半径を表し,i(R) = 0とする.

本研究ではアーベル変換の最も簡単な Pearce の方 法を用いて計算を行う. Fig 4.にテストデータの線積 分値(a)とアーベル変換を用いて再構成した放射係数 分布(b)を示す。

制動放射光は連続光であり、使用している光学フィ ルタには幅があるため $D_{\alpha}$ , $D_{\beta}$ などのスペクトルを観 測する際には制動放射光が含まれる.そこでテストデ ータは発光強度が比較的近い値を示す $D_{\beta}$ ,制動放射光 の2 波長の計測を行うことを想定し $D_{\beta}$ ( $\lambda$  = 486nm) のみ,制動放射光( $\lambda$  = 550nm),波長依存性を考慮に 入れた制動放射光+ $D_{\beta}$ のテストデータを作成し放 射係数を算出した.ただしR = 1とし、データ間は3 次のスプライン関数を用いて補間している.また,制 動放射光の分布はFRC プラズマのモデルとしてよ く用いられる剛体回転モデルを採用し、 $D_{\beta}$ の分布 はセパラトリックスの外側に分布していることから 円筒形の分布を想定しデータの作成を行った.

再構成後の放射係数を見てみると,2 波長を含んだ ものはそれぞれの足し合わせになっていることから 制動放射光の放射係数分布を求めることができれ ば, $D_{\beta}$ あるいはその他スペクトルの分布を決定でき ると思われる.



Fig 4. (a)Radiation profiles and (b)emissivity profiles of test data reconstructed by Abel inversion.

今回はテストデータを用いてアーベル変換による放射 係数の算出を行ったが,今後は実験を行い実際のプラズ マの放射係数の算出を行い,コアプラズマとスクレイ プ・オフ層中プラズマについて考察する.

この研究は、平成25年度理工学部応用化学研究助成金の 支援を受けている.

## 1. 参考文献

[1] 浅井朋彦ほか、プラズマ・核融合学会誌, Vol.84, No.8, pp489-510, 2008

[2]T. Takahashi et al. J. Plasma Fusion Res. Vol.82, No.11 (2006) 775

[3]矢尾板 昭,「Abel 変換の数値計算法」,電子技術総合研 究所調査報告書 172 号(1971)