

O-33

## 線対法を用いた RFP プラズマ周辺部の電子温度・電子密度計測

## Measurement of electron temperature and density by a line pair method on the RFP plasma

○齋藤達雄<sup>1</sup>, 曾我裕人<sup>1</sup>, 円谷大樹<sup>2</sup>, 渡部政行<sup>3</sup>Tatsuo Saito<sup>1</sup>, Yuto Soga<sup>1</sup>, Daiki Tsumuraya<sup>2</sup>, Masayuki Watanabe<sup>3</sup>

The RFP plasma is a kind of toroidal current carrying system for nuclear fusion reactor. It is well known that the plasma characteristics near the plasma edge strongly influence the bulk plasma confinement. In this study, to understand the behaviors of the edge plasma and the its influence to the global confinement, the electron temperature and density near the plasma wall are measured by using line pair method from the strength measurement of three wavelengths helium spectrum. In addition, the plasma confinement properties are discussed by using results of ion temperature in the central plasma by the Doppler spectroscopy, soft X-rays and H-alpha.

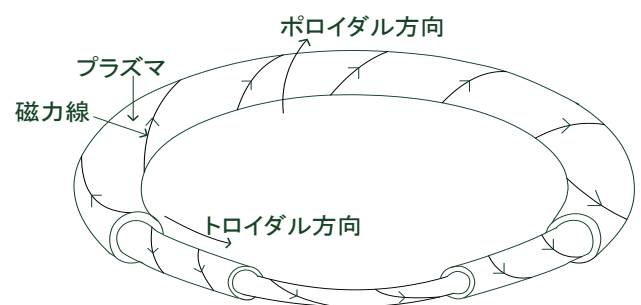
## 1. 初めに

1950年代以降, 急激な技術進歩と人口の増加に伴い, 世界はエネルギーの大量消費社会となってきた. 主なエネルギー源として用いられてきた化石燃料も現在では枯渇の危機に直面している. 石油は30~40年, 天然ガスは60年, 石炭は150~200年で枯渇することが予測されている. また, 発電等に伴う二酸化炭素の排出による地球の温暖化現象も深刻となりつつある. そこで, 二酸化炭素の排出も少なく, 大量のエネルギーを生産できるエネルギー源として, 原子力を用いた発電が注目されてきた. 現在の原子力発電では核分裂反応を用いた発電が主である. 核分裂反応を用いたエネルギー発電は大量のエネルギーを生産できる反面, 大量の放射性廃棄物が発生することが知られている. この問題を解決できるエネルギー源が核融合反応による発電である. 核融合反応は放射性廃棄物の生成に関する問題も少なく, 燃料もほぼ無尽蔵にあるため, 将来のエネルギー源として特に期待されている. 核融合炉実現のための高温プラズマ閉じ込め方式にも様々があるが, 本研究室では逆磁場ピンチ方式(RFP)による高温プラズマ閉じ込め実験を行っている.

## 2. 逆磁場ピンチプラズマ

逆磁場ピンチプラズマ(Reversed Field Pinch : RFP)とは, 磁場を用いた高温プラズマの閉じ込め核融合の方式の一つである. RFPはトカマクと同様にトーラス系

のプラズマ閉じ込め方式に属する. トカマクは外部の強いトロイダル磁場によってプラズマを閉じ込める方式に対して, RFPではダイナモ効果による自己組織化によってプラズマを閉じ込める磁場をプラズマ自身が作り出すという特徴がある. そのため, トロイダル磁場発生コイルに流す電流がトカマクの10分の1程度で済む利点がある. 図1にRFPプラズマの概略図を示す. RFPプラズマでは自己組織化によりプラズマ中心とプラズマ表面では磁場の向きが逆向きになる. これより, 磁力線のねじれを示す指標である磁気シアが大きくなり, プラズマの圧力平衡を保つために必要な磁場が少なくて済むことも利点の一つと言える. 以上からRFPプラズマでは比較的高い $\beta$ 値を持つプラズマをMHD安定に閉じ込めることが出来る. ここで $\beta$ 値とは $\beta = p / (B_0^2) / 2\mu_0$ で定義され, プラズマ閉じ込めの効率を示す指標である. しかしながら, RFPプラズマ配位の形成・維持に必要なダイナモ効果は磁場等の揺動に起



1 : 日大理工・院・量子 Graduate School (M) of Science and Technology, Nihon University

2 : 日大理工・学部・物理 Collage of Science and Technology, Nihon University

3 : 日大・教員・量科研 Institute of Quantum Science, Nihon University

因しているため、その揺らぎによって粒子やエネルギーを損失してしまう問題がある。これまでの RFP プラズマの研究では、主にこのダイナモ効果とプラズマ閉じ込めの特性を理解することに重点を置いて研究がなされている。

### 3. 実験装置

本研究では高温プラズマの磁場閉じ込め実験装置 ATRAS を用いて実験を行っている。ATRAS 実験装置の主半径は 0.5m であり、副半径は 0.1m である。図 2 に典型的な RFP プラズマの放電波形を示す。典型的な実験においてプラズマ電流の最大は約 55kA、その時の周回電圧は約 150V、放電時間は 1.6ms 程度である。

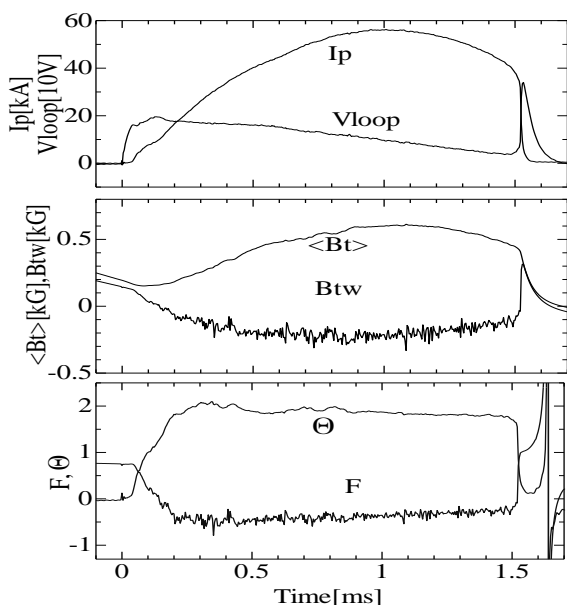


Figure2. Typical waveform of the ATRAS RFP plasma.

### 4. 電子温度および電子密度の計測

本実験ではヘリウム不純物のスペクトル線強度比を用いてプラズマの電子温度・密度を計測している。ここでは電子温度および電子密度を導出するために衝突輻射モデル(Collisional Radiative Model) を用いている<sup>1,2</sup>。原子の励起過程では、あるレベル(p)にある原子の数量 n(p)は、別のレベルからそのレベルへ流入する原子の数  $\Gamma_{in}(p)$ と、そのレベルから別のレベルに流出する原子の数  $\Gamma_{out}(p)$ で求まる。衝突輻射モデルを考慮して立てたレート方程式を以下に示す。

$$\frac{dn(p)}{dt} = \Gamma_{in}(p) - \Gamma_{out}(p) = 0$$

また(p)レベルにおける原子の数 n(p)は

$$n(p) = [R_0(p) \times n(He^+) + R_1(p) \times n(He)] \times n_e$$

と表せる。R<sub>0</sub>, R<sub>1</sub>は電子温度と電子密度の関数で、ポピュレーション係数と呼ばれる。ある与えられたプラズマのパラメータに対する励起準位ポピュレーションを求めるこのような考え方を衝突輻射モデルと呼ぶ。

本実験では、衝突輻射モデルを用いてプラズマの温度・密度を計測するためにヘリウム(He I)の強度比を

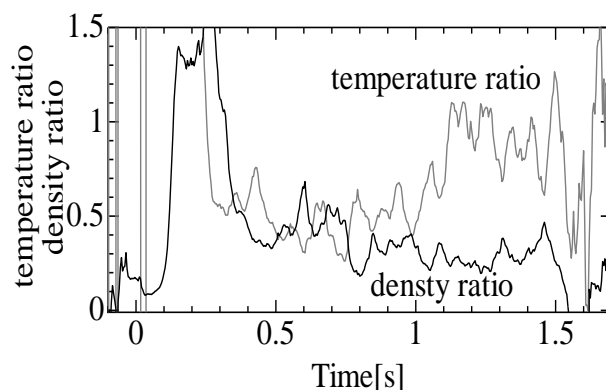


Figure3. The time evolution of the intensity ratio of the He-I lines

利用している。それぞれ電子温度および電子密度を求めるために 668nm, 706nm, 728nm の異なる 3 種類の He I のスペクトル強度を測定する。そして 2 種類の波長の強度比から温度比、密度比を求める。例えば、プラズマの温度比を求めるためには  $I(728nm)/I(706nm)$ 、また密度比を求めるには  $I(668nm)/I(706nm)$ の組み合わせを用いる<sup>3</sup>。図 3 に典型的な温度比、密度比の時間変化を示す。講演では、レート方程式を解いて求めたポピュレーションについての議論を行い、実験で得られた電子温度と電子密度やその他のパラメータからプラズマの閉じ込めについての議論を行う。

#### 参考文献

- [1] M.Goto, I.Murakami and T.Fujimoto, J. Plasma Fusion Revs.Vol.79, No.12(2003), 1287-1296
- [2] M.Goto, I.Murakami and T.Fujimoto, J. Plasma Fusion Revs.Vol.80, No.1(2004), 45-52
- [3] NIFS-DATE-043, M.Goto and T.Fujimoto