

## Self-Reversal 法を用いて生成した RFP プラズマの基礎特性

A basic characteristic of the Reversed Field Pinch plasma using a Self-reversal method

○円谷大樹<sup>1</sup>, 渡部政行<sup>2</sup>\*Daiki Tsumuraya<sup>1</sup>, Masayuki Watanabe<sup>2</sup>

Reversed field pinch (RFP) is one of the toroidal current drive systems for nuclear fusion research. The high temperature plasma can be confined by toroidal and poloidal magnetic fields. In the RFP, almost toroidal magnetic field is produced by the dynamo effect. Although the dynamo is an essential role in the formation of the RFP configuration, it also has a bad influence on the plasma confinement. To improve the energy and particle confinements, the understanding the dynamo is most important. There are two methods of the RFP formation. One is the “added-reversal mode”, and the other is the “self-reversal mode”. The added-reversal mode is a conventional mode for RFP plasma and the toroidal magnetic field is reversed by the electric circuits enforcedly. The plasma has a good confinement, but it is difficult to investigate the dynamo phenomena. On the contrary in the self-reversal mode, the toroidal magnetic field is reversed by the dynamo effect. The plasma has a poor confinement, but it is possible understand the dynamo physics in detail..

## 1. はじめに

近年、科学技術の急速な進歩や人口の増加に伴い、世界のエネルギー消費量は増加し続けている。しかしながら、現在の主なエネルギー源である火力発電では、石油、石炭、天然ガス等の化石燃料の枯渇問題や発電時に発生する二酸化炭素や窒素酸化物、硫黄酸化物に起因する大気汚染や地球温暖化等の環境問題が懸念されている。一方、核分裂反応を用いた原子力発電は温室効果ガスを排出せずに大量のエネルギーを生産できる反面、放射性廃棄物の問題など解決できていない課題が依然として多く残されている。以上より、次世代のエネルギー源の1つとして核融合反応を用いた発電が世界的に研究されている。核融合反応を用いた発電は放射性物質の問題が少なく、資源は無尽蔵に存在するなどの利点がある。これまで、核融合炉を実現するために高温高密度なプラズマを閉じ込める様々な方式が研究されてきた。本研究では逆磁場ピンチ方式を用いて高温プラズマの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) とは核融合を目指したトロイダル電流駆動型プラズマ閉じ込め方式の1つであり、磁場を用いて高温高密度プラズマを閉じ込めることができる。トカマク方式は外部からの強力なトロイダル磁場を用いてプラズマを安定に閉じ込める。一方、逆磁場ピンチ方式ではダイナモ効果に起因した自己組織化が強く働き、プラズマを閉じ込める磁場をプラズマ自身が作り出す特徴を利用

して配位を形成している。そのため、逆磁場ピンチ方式はトロイダル磁場発生コイルに流す電流がトカマク方式の10分の1程度で済む利点がある<sup>[1]</sup>。よって、逆磁場ピンチ方式は経済性の高い核融合炉となる可能性を持っている。Fig.1に逆磁場ピンチ方式の概略図を示す。逆磁場ピンチ方式は外部からのトロイダル磁場とプラズマが作り出すポロイダル磁場によってプラズマを閉じ込める。プラズマ内部においてトロイダル磁場とポロイダル磁場が同程度の強さであり、プラズマと磁場との相互関係が大きいことも特徴の1つである。また、自己組織化により、プラズマ中心での磁場とプラズマ端での磁場が逆転する配位を自己形成する。そのため、磁気シアが高く、弱い磁場でプラズマを閉じ込めることが可能となる。しかしながら、RFP配位の形成に必要なダイナモ効果は磁場等の揺動に起因しているため、揺動による粒子やエネルギーの損失が問題となる<sup>[2]</sup>。よって、ダイナモ効果や磁場の揺動を研究することは、RFPプラズマの閉じ込め効率の向上につながると思われる。

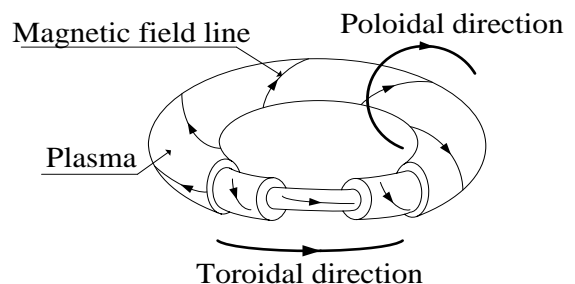


Figure 1. The magnetic field profile of the RFP plasma distribution .

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

2 : 日大・教員・量科研 Institute of Quantum Science. Nihon University

### 3. 実験装置

本研究では高温プラズマ磁場閉じ込め装置 ATRAS を用いて実験を行っている。ATRAS 実験装置は主半径 0.5m, 副半径 0.1m である。Fig.2 に典型的な放電波形を示す。プラズマ電流  $I_p$  は最大 60kA, その時の周回電圧  $V_{loop}$  は 100V 程度, 放電時間は 1.6msec 程度である。ピンチパラメータ  $\Theta$  ( $\equiv B_p / \langle B_t \rangle$ ) は 2.0 程度, 反転パラメータ  $F$  ( $= B_{tw} / \langle B_t \rangle$ ) は -0.5 程度である。

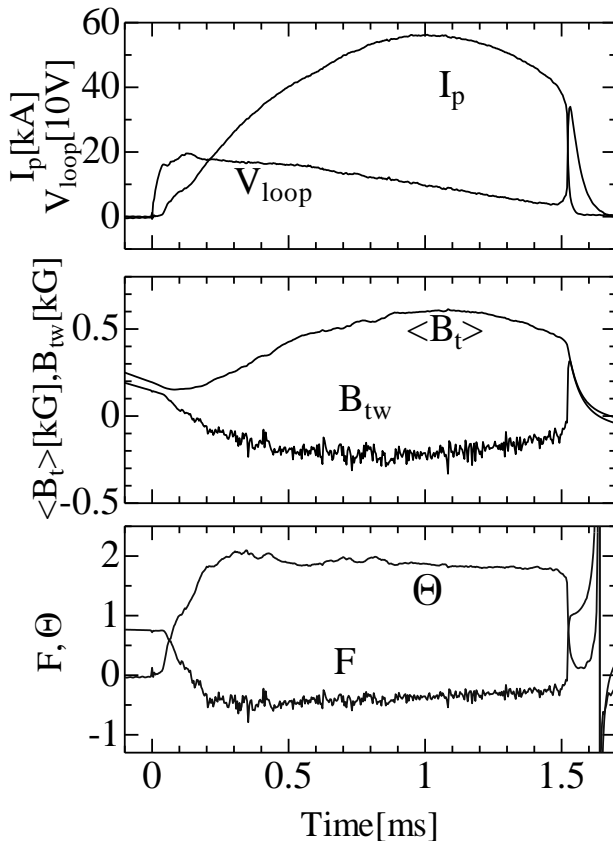


Figure 2. Typical waveform of the ATRAS RFP plasma.

### 4. RFP 磁場配位形成

RFP プラズマはプラズマ自身の作り出す磁場による自己組織化によりプラズマを閉じ込めるため、プラズマの不安定性や揺動等の振る舞いが閉じ込めに強く影響を与える。そのため、ダイナモ効果やプラズマの不安定性等に起因した粒子の輸送、磁場配位の変化等の特性を理解する必要がある。本研究では RFP 磁場配位の変化を磁気プローブを用い、また磁場配位の変化に伴う粒子の輸送過程を静電プローブを用いて計測することで、RFP 磁場配位の特性の理解を目的とする。さらに、プラズマ自身の作り出す磁場による自己組織化を理解するために、印加するトロイダル磁場に変化を与える。一般的な RFP 配位の生成におけるトロイダル磁場はプラズマの閉じ込め特性をよくするために図 3

に示すような時間変化で印加される。この方法を Added-Reversal 法と呼ぶ。一方、本研究では外部磁場の補助を最小限にし、ダイナモ効果による自己組織化のみで RFP 磁場配位を形成する。この方法を Self-Reversal 法と呼ぶ。Fig.3 に Self-Reversal 法での印加するトロイダル磁場を示す。Self-Reversal 法による RFP 磁場配位の形成は外部磁場の補助がないため、より短時間で RFP 磁場配位は崩壊することがわかっている<sup>[3]</sup>。しかしながら、この方法では外部磁場の変化が少ないため、ダイナモ効果やプラズマの不安定性に起因する静電揺動や磁場揺動のみを計測することが容易となる<sup>[4]</sup>。これまでの研究において、Added-Reversal 法を用い、トロイダル磁場の変化に伴う粒子の輸送が確認されている。さらに、Self-Reversal 法を用いることで計測された静電揺動と磁場揺動からダイナモ効果や粒子の振る舞い等の特性について議論を行う。

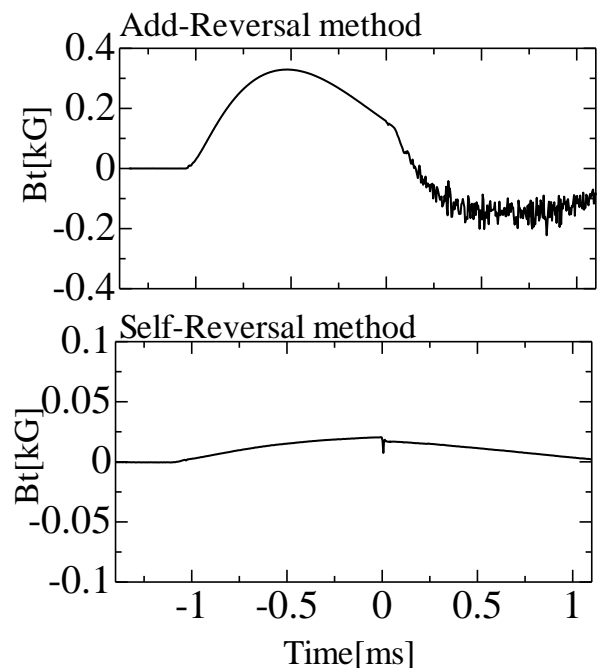


Figure 3. Typical wave from of Toroidal magnetic field using Added-Reversal method and Self-Reversal method.

### 5. 参考文献

- [1] 宮本健郎：プラズマ物理・核融合 2004年 pp319-325
- [2] 平野洋一, 小川潔：逆磁場ピンチ研究の現状, 1991年, pp610-635
- [3] 曾我裕人, 修士論文 2013年
- [4] H.Ji, S.C.Praeger, Y.Yagi, K Hattori, H.Toyama : Measurement of the dynamo effect in plasma, 1995year, pp1935-1942