

## 磁場反転配位プラズマへの低周波波動印加実験 Impression of low-frequency in a field-reversed configuration plasma

○ 細澤明好<sup>1</sup>, 石渡淳平<sup>2</sup>, 江戸貴広<sup>2</sup>, 廣橋光始<sup>2</sup>, 井通暁<sup>3</sup>,  
高橋俊樹<sup>4</sup>, 岡田成文<sup>5</sup>, 関口純一<sup>6</sup>, 高橋努<sup>6</sup>, 浅井朋彦<sup>6</sup>

\*Akiyoshi Hosozawai<sup>1</sup>, Junpei Ishiwata<sup>2</sup>, Takahiro Edo<sup>2</sup>, Kouji Hirohashi<sup>2</sup>, Michiaki Inomoto<sup>3</sup>,  
Toshiki Takahashi<sup>4</sup>, Shigefumi Okada<sup>5</sup>, Junichi Sekiguchi<sup>3</sup>, Tutomu Takahashi<sup>3</sup>, Tomohiko Asai<sup>3</sup>

Abstract: A field-reversed configuration (FRC) plasma has extremely high beta value because it is a compact toroid mostly with poloidal magnetic field. Therefore, it has a potential to be an advanced fuel fusion reactor core. On the FAT-CM facility, two FRCs are formed by the field-reversed theta-pinch (FRTP) on the both side of a confinement region and translated along a gradient of external magnetic field toward the confinement region. Thereafter, merged FRC is confined in the confinement region. In this experiment, low-frequency wave is excited by a set of externally installed loop antennas in a FRC plasma formed by this collisional merging method to verify the additional heating and current drive effect.

### 1. はじめに

磁場反転配位(Field-Reversed Configuration : FRC)プラズマは,その配位をポロイダル磁場のみに形成するため,体積平均ベータ値が極限的に高く,そのため,先進燃料核融合炉を実現する可能性を持つ.しかしその高ベータ特性のため,追加熱の方法が限られている.近年,米国の Tri Alpha Energy, Inc. の大型 FRC 装置 C-2/C-2U において,2つの FRC の衝突合体により,高いイオン温度,捕捉磁束の大きな FRC の生成に成功した.さらに,中性粒子入射ビームにより高速イオンを導入することで,閉じ込め性能が向上した<sup>[1]</sup>.

FIX (大阪大学) では,移送された FRC に対し,数十 kHz を印加することにより,振動磁場を励起し,これをプラズマ内部に伝搬させることで, FRC のイオン温度,およびプラズマエネルギーの上昇,またトロイダル磁場の発生が確認された.このことから,低周波磁場を印

加することにより, FRC の加熱が可能であることが示された.また観測されたトロイダル磁場から電流駆動の可能性が指摘されている<sup>[2]</sup>.

本研究では,日本大学理工学部の FAT-CM 装置を用い,衝突合体法により,印加する振動磁場に対して十分配位維持時間の長い FRC を形成し,閉じ込め領域端部に設置したループアンテナにより,低周波波動を励起することで,追加熱や電流駆動の効果を検証することを目的とした実験を開始した.

### 2. 実験装置

本実験で用いた FAT-CM 装置の詳細を Figure 1 に示す. FAT-CM 装置は,装置両端の生成領域とステンレス鋼製の閉じ込め領域から構成されている.各領域は,ソレノイドコイルにより覆われた円筒状の真空容器となっている. FAT-CM 装置では,閉じ込め領域両端に設置された2つの生成部で逆磁場テータピンチ法により

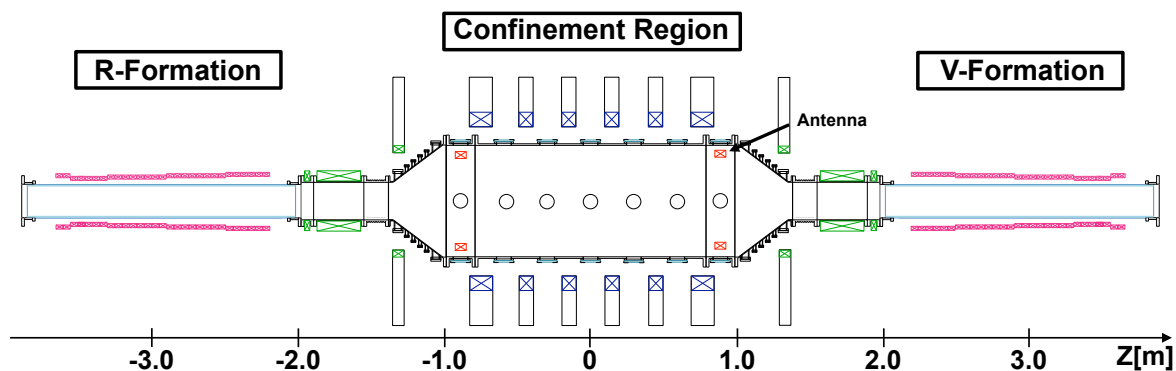


Figure.1 Schematic view of the FAT-CM device

FRC を生成する。その後、ソレノイドコイルにより制御された開いた磁力線により、閉じ込め領域へ FRC を対向して高速移送、衝突合体させ FRC を形成し、これを保持する。閉じ込め領域端部 2 箇所には波動励起用のループアンテナを設置した。Fig.2 に波動印加装置の概略図を示す。ループアンテナの作る磁場成分は  $B_z$ ,  $B_r$  である。波動印加装置は、FRC を方位角方向にとりまく半径 0.3 m のタンデム型のコイルを組み合わせループアンテナを構成することにより、回路の接続を変えることでコイル 1 個あたりのインダクタンスを下げ、周波数の変更が可能である。

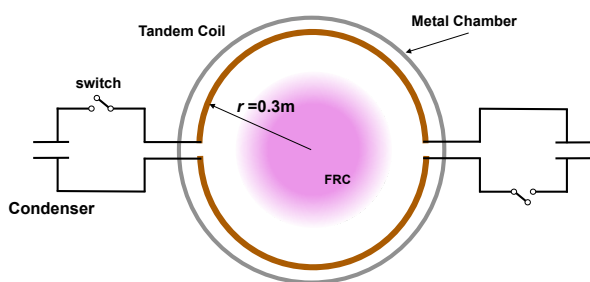


Figure.2 Configuration of the antenna in a poloidal section for excitation of low frequency wave

### 3. 実験結果

低周波波動印加実験を行うため、FIX での実験結果を参考にし、新たに波動印加装置を開発した。アンテナの印加可能な周波数を計測するため、波動印加装置の回路を変更し放電実験を行った。Fig.3 に約 21 kV 充電した時の、アンテナに流れた各電流波形を示す。回路の接続を変えることにより、45 kHz, 63 kHz, 83 kHz の周波数を印加することが可能であることが確認できた。タンデムコイルの場合、印加する振動磁場は、約 100  $\mu$ s で十分に減衰する。アンテナ中心で作られる最大磁束密度は、約 0.08 T であることが確認できた。

Table1. Parametor of discharge each antenna

Antenna	Loop (C=2.4 $\mu$ F)	Loop (C=4.8 $\mu$ F)	Tandem (C=4.8 $\mu$ F)
Current [kA]	20	30	27
Flux density [mT]	45	64	54
Frequency [kHz]	62	43	83
Inductance [ $\mu$ H]	5.9	2.4	0.7

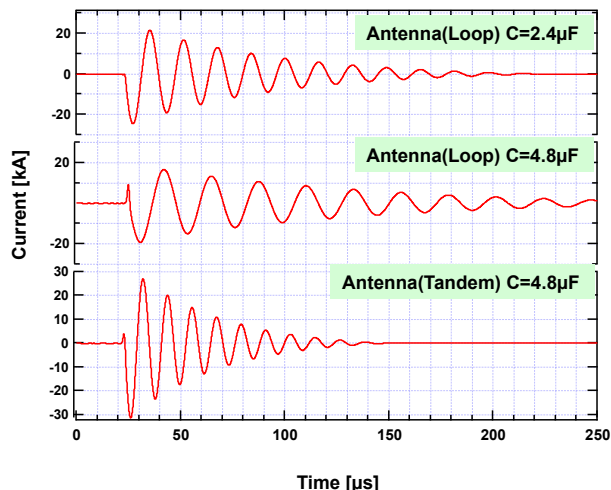


Figure.3 Typical Antenna current

### 4. まとめ

今回、波動印加実験のための新たに開発した波動印加装置の性能を調べるため、予備実験を行った。波動印加装置の回路の接続を変えることにより、83 kHz, 63 kHz, 45 kHz の 3 種類の振動磁場を印加できることが確認できた。また、FAT-FRC の外部磁場は、約 0.07 T であるため、外部磁場より強い磁場を印加することが可能であることが確認できた。

### 5. 今後の展望

今後は、ループアンテナを閉じ込め領域に設置し、印加する振動磁場に対して十分配位維持時間の長い FRC に対して低周波波動を励起し、追加熱、電流駆動の効果の検証を進める。

### 6. 参考文献

[1] M. W. Binderbauer *et al.*, : “A high performance field-reversed configuration” *Physics of Plasmas* 22, 056110 (2015)  
 [2] Koji Yamanaka *et al.*, : “Heating experiment of field-reversed configuration plasma by low frequency magnetic pulse”, *Phys. Plasmas*, Vol. 7, No. 7, July 2000