

FRC 反射過程における金属チェンバーに流れる誘導電流計測

Measurement of induced current on a conducting chamber wall in a FRC translation process

○柳沼智樹¹, 安藤宏敏², 関口純一², 高橋努³, 浅井朋彦³

*Tomoki Yaginuma¹, Hirotohi Ando², Jun'ichi Sekiguchi², Tsutomu Takahashi³, Tomohiko Asai³

Abstract: A field-reversed configuration (FRC) is translated with sub-Alfvénic speed in a FAT (FRC Amplification via Translation) facility. The FAT has conical shape conducting chamber at both ends. The metal chamber is employed to reflect the translated FRC by induced eddy current. In order to evaluate the effect of the induced current onto the translation process and measurement, a Rogowski coil is installed on a downstream chamber surrounding the cross-section of metal chamber.

1. 序論

逆磁場テーatapinチ (Field-Reversed Theta-Pinch : FRTP) 法によって生成された磁場反転配位 (Field-Reversed Configuration : FRC) は, 単連結構造のため閉じ込めコイルと鎖交せず^[1], 磁気圧差によって軸方向への移送が可能である.

本実験では, FRTP 法によって生成された高温・高密度な FRC プラズマを移送部に高速移送し, ミラー磁場によって反射させ準定常磁場によって閉じ込める.

移送部両端には, 高速で移送される FRC を反射するため, ステンレス鋼 (SUS304) 製の金属チェンバーが採用されている。この金属チェンバー内に FRC プラズマが進入・反射する過程において, 金属チェンバーに誘導電流が流れると予想される.

本研究では, この金属チェンバーに流れる誘導電流をログスキーコイルを使用して直接計測し, FRC の移送過程や磁場によるセパトロクス形状計測への影響を評価することを目的としている.

2. 実験装置

本実験を実施した FAT 装置の概略図を Figure 1 に示す.

生成部は, 全長 2.0m, 外径 0.256m の石英製放電管の周りに, 幅 50mm のコイル素子を 5 mm 間隔で配置することで形成されたソレノイド状のシータピンチコイルが設置されている。29 本の銅製コイル素子は, 内径 0.300m から 0.360m であり移送に必要な磁場勾配を形成する.

移送部は, 石英放電管, ステンレス鋼製のコンカル状の金属チェンバー, 準定常磁場を発生させるコイルからなる。石英放電管は全長 1.0m, 外径 0.8m , コンカル状の金属チェンバーは長さ 0.4m, 外径が最細部で

Table 1. Coil parameter

	ID Φ [m]	z position [m]	Turn Number
Mirror Coil	0.267	+1.265	128
		-1.265	288
	0.600	+0.930	87
		-0.930	127
	0.800	± 0.780	104
0.900	± 0.630	94	
Center Coil	1.030	± 0.405	87
		± 0.135	87

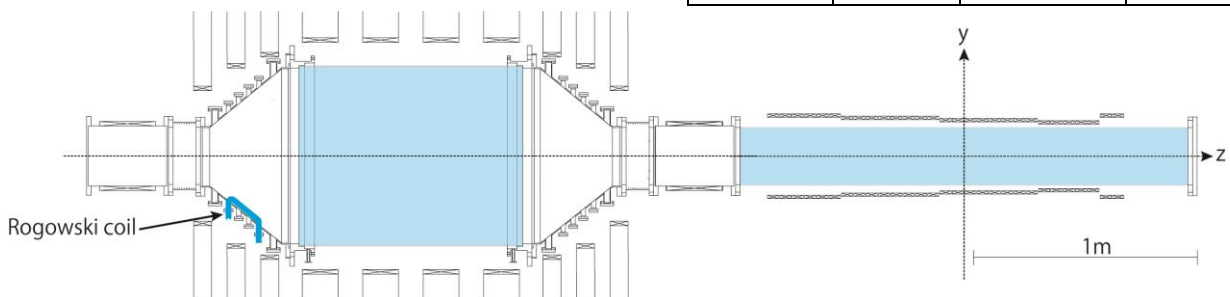


Figure 1. Schematic view of FAT

1 : 日大理工・学部・物理 2 : 日大理工・院・物理 3 : 日大理工・教員・物理

0.268m のコニカル形状をしている。移送部の磁場構造を形成する各コイルのパラメータを Table 1 に示す。ここで、移送部の中央断面を $z=0$ とした。

3. FRC プラズマの形状と移送

FRC プラズマの概略図を Figure 2 に示す。FRC は、コアプラズマを閉じ込める閉じた磁力線構造の周りに開いた磁力線領域を持つ。その境界面をセパトリクス (separatrix) と呼ぶ。このセパトリクスの形状は、偏長な FRC においては排除磁束法^[2]を用いて見積もることができる。装置の幾何学的な中心軸を z 軸とし、 z 軸からセパトリクスまでの距離をセパトリクス半径 (separatrix radius) と呼び r_s と表す。FRC プラズマの両端の磁場がゼロになる 2 点 (X-point) 間の距離をセパトリクス長 (separatrix length) と呼び l_s と表す。

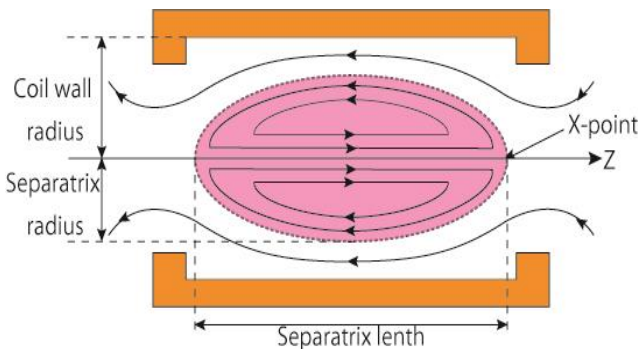


Figure 2. Schematic view of an FRC

放電管外径を r_t 、 z 方向の磁場および磁束をそれぞれ B_z 、 ϕ とおくと、FRC プラズマを閉じ込めた時の磁場および磁束をそれぞれ B_{zp} 、 ϕ_p とし、真空中での磁場および磁束をそれぞれ B_{zv} 、 ϕ_v とする。このとき r_s は次の式のように表される。

$$r_s = r_t \sqrt{1 - \frac{\phi_p B_{zv}}{\phi_v B_{zp}}} \quad (1)$$

FAT では、生成部にて約 $5\mu\text{s}$ で FRC プラズマの生成が完了し、その後磁気勾配によって閉じ込め領域へと移送される。この移送は約 $15\mu\text{s}$ 間持続し、ミラー磁場によって数回反射した後、崩壊する。移送部における r_s の z 軸方向分布と時間発展を Figure 3 に示す。ここでは、生成部の中心を原点と置いた。移送された FRC プラズマの r_s は、生成時の約 0.06m から約 0.11m 程度まで膨張する。

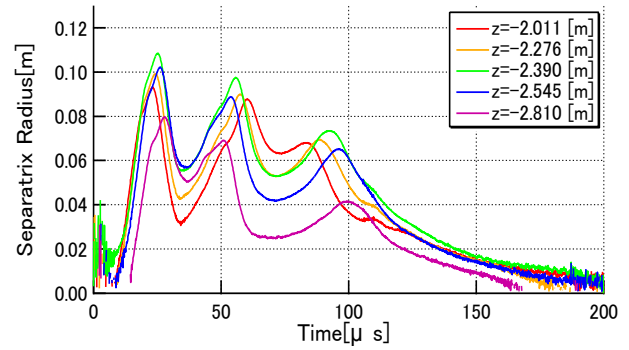


Figure 3. Time evolution of separatrix radius

4. ロゴスキーコイルの原理と設置

ロゴスキーコイルは、パルス電流の作る変動電流から、ケーブルに流れる電流を非接触で計測する計測器である。

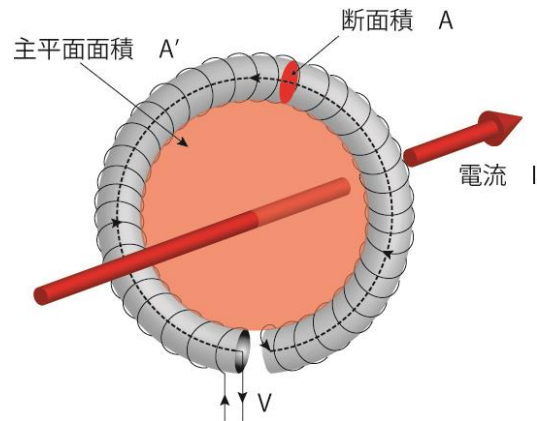


Figure 4. Schematic view of the Rogowski coil

巻き数を n 、ロゴスキーコイルの断面積を A 、透磁率を μ_0 とおくと、ロゴスキーコイルの主平面を貫く電流 I によって生じる起電力 V は、次の式で表される^[3]。

$$V = -\mu_0 A n \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

これを Figure 1 に示したように、移送部下流のコニカル状金属チェンバーに設置し、チェンバーに誘導される電流を測定する。

5. 参考文献

- [1] "J. Plasma Fusion Res". Vol.84, No.8, pp.511 - 513, 2008
- [2] 井口 一輝「超音速移送による磁場反転配位プラズマの形状遷移」日本大学大学院理工学研究科物理学専攻、修士論文、2011.
- [3] 「プラズマ・核融合学会誌」 vol.69, No.10, pp1187-1193, 1993.