

CT 衝突合体実験用逆バイアステータピンチ装置の開発 Field-reversed Theta pinch device for CT-merging experiment

○渡部慎太郎¹, 内出隼², 廣橋光始², 伊藤千紘², 石崎美月², 小野直人¹, 関口純一³, 浅井朋彦³, 高橋努³
*Shintaro Watanabe¹, Hayato Uchide², Koji Hirohashi², Chihiro Ito², Mizuki Ishizaki², Naoto Ono¹,
Junichi Sekiguchi³, Tomohiko Asai³, Tutomu Takahashi³

Abstract: A new field-reversed theta pinch device for collisional merging experiments on FAT device, has been under constructed. The equivalent circuit parameters for bias field, pre-ionized, and compression field circuits, have been evaluated by singly discharge experiments. The Characteristics of each circuit have been examined and compared with those of FAT device. The performance of the new FRTP device and operation conditions has been investigated from the estimated circuit parameters.

1. はじめに

磁場反転配位 (FRC) プラズマは, 外部閉じ込め磁場に対するプラズマの閉じ込め効率である β 値が極めて大きく, D-3He に代表される先進的核融合反応を利用した炉心プラズマの可能性があり米国を中心に研究が進められている. 配位持続時間が短いという欠点があったが, 米国のベンチャー企業である Tri Alpha Energy (TAE) 社によりふたつの種 FRC を超音速で衝突合体させ FRC プラズマを生成する手法が開発され, 配位持続が飛躍的に伸長し, 中性粒子ビーム入射による追加熱が行われ 10 ms を超えるプラズマの配位維持が達成されている[1].

本研究室の FRC プラズマ生成・移送装置 FAT においても衝突合体実験を行うために, Fig. 1 に示すように左側に新しい逆バイアステータピンチ (FRTP) 装置を建設中である. 本報告では, 建設中の逆バイアステータピンチ装置の放電実験から推定する各放電回路の回路パラメータについて報告する.

FRTP 法は, 放電管内に重水素ガスを封入しておき, バイアス磁場を印加し, 周期の早い振動磁場を加え封入したガスの予備電離を行う. バイアス磁場強度が最

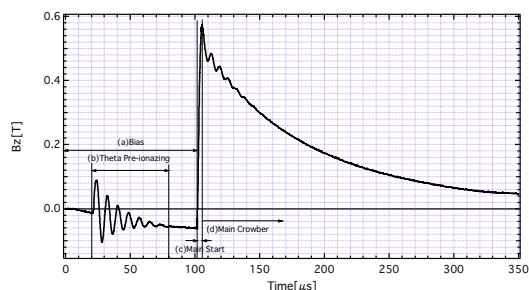


FIG.1 The typical waveform of magnetic field on FAT device

大になるタイミングで, 立ち上がりはやく ($4 \mu s$) 磁束密度が 20 倍近い逆磁場を印加することで FRC プラズマを生成する方法である. Fig. 2 は, 現在稼働中の FAT 装置の典型的な磁束密度の波形である.

FRTP 装置は, 閉じ込め磁場コイルにコレクタープレートを通して 3 つの回路 (バイアス磁場回路, 予備電離回路, 主圧縮磁場回路) が並列に接続される. そのため各放電回路の回路パラメータを調べ各回路パラメータを最適化することが必要になる.

2. 新 FRTP 装置の回路パラメータの推定

図 3 に新装置の放電回路の等価回路を示す. 各回路は LCR 放電回路と見なすことができる. また, その放電波形は, 通常減衰振動となる. そのため等価回路のパラメータ (インダクタンスおよび抵抗) は, コンデンサーバンクの静電容量を既知として, 振動周波数と減衰率から求めることができる.

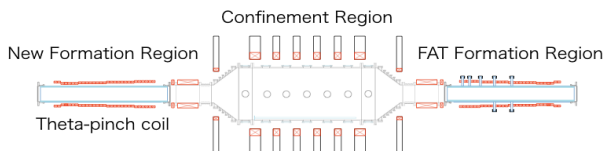


FIG.1 FAT device for Collision Merging Experiment

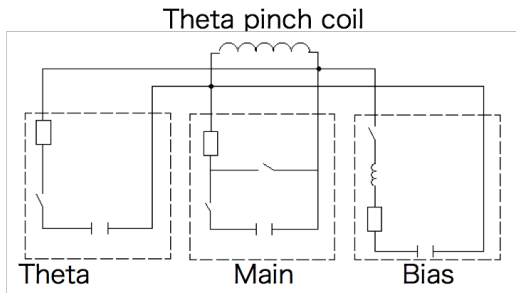


Fig. 3 Equivalent Circuit for FRTP device

Figure 4 は、各放電回路を単独にコレクタープレート、テータピンチコイルに接続して放電を行った場合の典型的な放電波形である。いずれの放電回路も減衰振動波形となることがわかる。Table 1 に推定される回路パラメータをまとめる。

2-1 バイアス回路

バイアス回路の放電周期 (Fig. 4(a) を参照) が、FAT 装置に比べると 1.5 倍に伸びていることがわかる。また、FAT 装置と同じバイアス磁場強度を得るためには 1.5 倍の充電電圧が必要になることもわかった。これは、主圧縮磁場回路および θ 予備電離回路との、カップリング避けるために、保護コイルが設置されている。また、始動スイッチとしてイグナイトロンスイッチ用いたためと考えられる。実験から明らかになったインダクタンスは、それぞれ 3.49 μH 、1.61 μH である。衝突実験ではこれらを考慮して運転方法や予備電離プラズマの密度制御を行う必要があり、保護インダクタンス最適化を行い、回路全体のインダクタンスを減らす必要がある。

2-2 テータ予備電離回路

テータ予備回路は、使用しているコンデンサーおよびスタートスイッチが異なるため、コンデンサーの全静電容量および給電ケーブルとスタートスイッチを含めた全インダクタンスが同じになるように、コンデンサーの台数と給電ケーブルの本数を調整した。そのため、放電周期は、ほぼ同じ値 8.9 μs になった (Fig. 4 (b)). 15 kV 充電で 93 kA の電流が流れていることがわかった。また、各給電ケーブルにはほぼ同じ電流値が流れているものと思われる。

2-3 主圧縮磁場回路

主圧縮磁場回路で用いるコンデンサーおよびスタート・クローバースイッチとも FAT 装置と異なるものを用いているためコンデンサーの蓄積エネルギーおよび電流の立ち上がり時間を同じにするため充電電圧等を調整することになる。Figure 4(c)は、7 個のコンデンサ

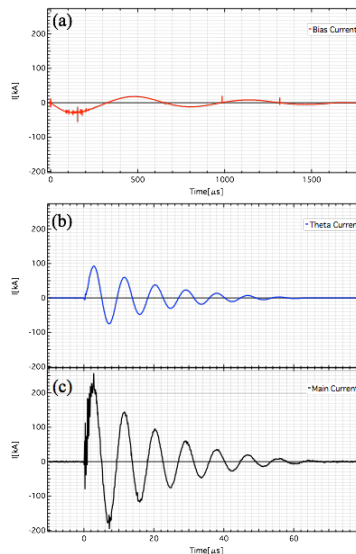


Fig. 4 Typical discharge current wave form. (a)Bias, (b)Theta pre-ionization, (c) Main compression circuits

Table 1. Estimated circuit parameter of new device

	Bias	Theta	Main
Capacitance [μF]	2000	9.6	16.8
Period [μs]	659	8.93	9
Damping factor [s^{-1}]	1.33×10^3	6.96×10^4	6.41×10^4
Inductance [μH]	5.44	0.2	0.12
Resistance [$\text{m}\Omega$]	14.3	28.9	15.4

ーを 25 kV 充電し放電した波形である。周期 9 μs 、最大電流 258 kA の電流が流れた。実験から推定される回路のインダクタンスから 24 個のコンデンサーを放電した場合の周期はおよそ 17 μs 前後となる。これは、FAT 装置の 16 μs とほぼ同じになる。また、35 kV 充電では、およそ 1.2 MA の電流を流すことができると予想される。

3. まとめ

今後、バイアス磁場回路、主圧縮磁場回路および θ 予備電離回路を同時放電するに当たり保護コイルのインダクタンス最適化が必要になる。また、主圧縮磁場回路で使用するコンデンサーの数を増やし、この報告で推定される立ち上がり時間、放電電流値が達成されるか調べる予定である。

参考文献

[1] M. W. Binderbauer, et al., "A high performance field-reversed configuration", AIP, Physics of Plasmas **22**, 056110, (2015)