

## FRCへの磁気ポンピング加熱のためのトランス結合回路の開発 Development of Transformer-Coupled Pulse Circuit for Magnetic Pumping on FRC Plasma

加藤拓人, 高橋努, 浅井朋彦, 小林大地, 関太一,  
KATO Takuto, TAKAHASHI Tsutomu, ASAI Tomohiko, KOBAYASHI Daichi, SEKI Taichi,

日大理工  
Nihon Univ.

磁場によるプラズマの閉じ込め方式の1つである磁場反転配位 (Field Reversed Configuration) は, 閉じ込め効率を表わす体積平均  $\beta$  値が極限的に高いという特徴がある. また, FRC は鎖交する構造物のない単連結構造であり, 装置軸方向への移送, 加速に対してロバストな安定性を持つ[1].

核融合反応を起こすためには炉心プラズマの加熱が必要だが, ジュール加熱による高温化には限界があるため, 他の手法による追加加熱が必須となる. FRC プラズマの追加加熱には, 中性粒子ビーム入射が有効であるが, 高エネルギーなビーム粒子を捕捉するためには十分なポロイダル磁束が必要であるため, 電流駆動/磁束供給の補助手段が重要となる[2].

日本大学ではプラズマ加熱とともに電流駆動が期待できる磁気ポンピング加熱に着目し, これを FRC プラズマに適用, 追加加熱および電流駆動を目指した実験を開始した. そのための放電回路としてトランス-ギャップスイッチ結合回路を開発した (図 1). 初期実験では, 磁気ポンピング用コイルに流れる電流が十分ではなく, 明確な加熱効果等が確認できなかった. 本研究では, コイル電流の増加を目的に, 結合回路の動作特性を実験および回路解析から評価する.

磁気ポンピング加熱とは閉じ込め磁場を周期的に変化させることでプラズマを加熱する手法である. 振動磁場を印加する場合, LCR 回路が最も単純な回路であるが, 閉じ込め磁場を打ち消す方向に磁場を作り, 閉じ込め磁場を弱めてしまうため, プラズマの膨張による装置壁への接触, 崩壊が考えられる. そのため磁気ポンピングでは閉じ込め磁場を弱めることなく振動磁場を印加する必要がある. そこで LCR 回路からなる 1 次回路と LR 回路からなる 2 次回路を, トランスを用いて結合した回路を開発した. 図 1 に回路図を示す. ここで  $L_1, L_2, L_A, M_{12}, M_{21}, R_1, R_A$  は各トランスに巻かれたコイル, 磁気ポンピング用コイルの自己インダクタンス, 2 次回路, 1 次回路の相互インダクタンス, および各回路の抵抗を表わしている. 添え字の 1, 2 は, 1 次, 2 次回路を示す. この回路では, 1 次回路に最大の電流が流れている時刻に 2 次側のギャップスイッチを動作させることにより, 符号を変えない振動電流を作り出すことができる (図 2).

結合定数が  $k^2 \neq 1$  のとき 2 次回路の回路方程式を解くと以下の式となる.

$$I_2 = B_1 e^{-\alpha t} + B_2 e^{-\beta t} \sin \omega t + B_3 e^{-\beta t} \cos \omega t$$

ここで,  $\alpha$  は 2 次回路の時定数,  $\beta, \omega$  は 1 次回路の LCR 回路の減衰率, 角周波数,  $B_1, B_2, B_3$  は任意定数で相互インダクタンス  $M_{12}, M_{21}$ , と 2 次回路ギャップスイッチ起動時の 1 次回路の電流値に比例し, 2 次回路の自己インダクタンスに反比例する. ポンピング回路の振動数は, 1 次回路の振動数, 電流値は相互インダクタンスと 2 次回路のインダクタンスで決まることが分かる. 磁気ポンピング用コイルに流れる電流値の最大化を目指し, これらのパラメータの最適化を行う.

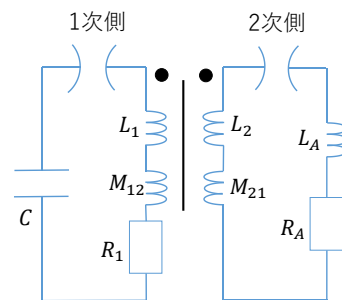


図1 磁気ポンピング回路図

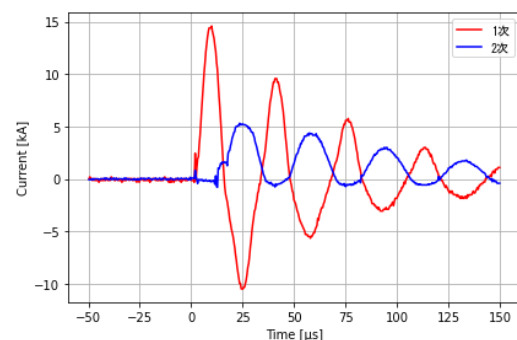


図2 結合回路における電流波形

### 参考文献

- [1] M. Tuszewski, *Nuclear Fusion* **28**, 2033 (1988).
- [2] H. Gota *et al.*, *Nuclear Fusion* **57**, 116021 (2017)