

## 誘導結合型高繰り返しパルス磁場発生システムの検討

## Study on high-repetition-rate inductively coupled pulsed magnetic field system

竹崎太智, 重田宗明, 伊藤弘昭

Taichi Takezaki, Muneaki Shigeta, Hiroaki Ito

富山大学

Univ. Toyama

レーザー核融合やレーザー実験室宇宙物理など、大型パワーレーザーを用いた高エネルギー密度科学 (HEDS) 研究が世界的に展開されている。近年のレーザー技術の進歩により高繰り返しパワーレーザーの開発が進み、ショットレートの劇的な向上による HEDS 研究のパラダイム・シフトが期待されている [1]。パワーレーザーを用いた HEDS 研究では数テスラ級の外部磁場が利用される [2]。高繰り返しパワーレーザーの開発が進められる一方、数ヘルツ以上で動作が可能なパルス強磁場発生技術は開発されておらず、この技術が確立しない限り、強磁場を利用した高繰り返し HEDS 実験は実現しない。本研究は高繰り返し HEDS 実験に向けたパルス強磁場発生システムの開発を目的とする。

近年のパルス磁場発生装置の開発研究では、パルス電源の大容量化による最大磁場の向上が図られている [3]。高繰り返し運転を目的とする場合、電源の大容量化はエネルギー充電時間と磁場コイルへの熱負荷の増大を招くため、電源容量には上限が課せられる。そのため、高繰り返しパルス強磁場の実現には比較的に小容量の電源で強磁場を駆動することが必要となり、電源からパルス磁場へのエネルギー変換効率の向上が要求される。そこで、本研究では誘導結合コイル (IC) を利用する。IC は降圧トランスによりパルス電源 (1次側) と磁場コイル負荷 (2次側) を誘導結合し、エネルギーを転送する。先行研究では空芯トランスに数ターンの磁場コイルを接続した IC の開発が報告されている [3,4]。IC は有効な回路パラメータ領域が限られており、応用範囲を拡充するためにはトランスおよびコイル負荷の詳細設計が必要となる。

図 1 に IC の等価回路図を示す。図 1 の回路は RLC 放電回路とみなすことができ、理想トランスを仮定した場合の解析を行った。図 2 に RLC 臨界条件に対するエネルギー変換効率の解析結果を示す。ここで、 $\alpha = R_{\text{coil}}^2 / (4L_{\text{coil}}/C)$  は

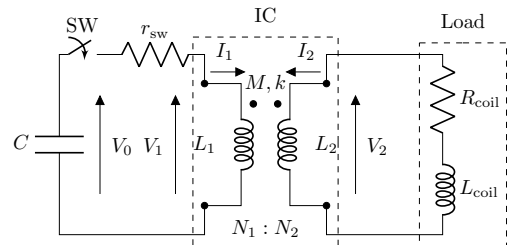


図 1 誘導結合コイルの等価回路図

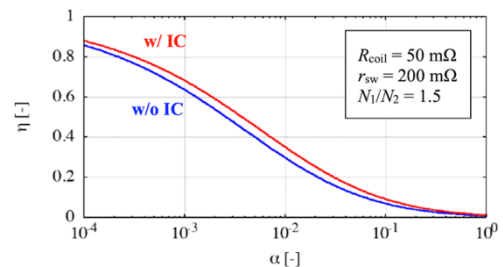


図 2 RLC臨界条件に対するエネルギー変換効率の解析結果

RLC 放電回路の臨界条件、 $\eta = E_B / E_C$  (ただし  $E_B = L_{\text{coil}} I_2^2 / 2$ ,  $E_C = C V_0^2 / 2$ ) は充電エネルギーから磁気エネルギーへの変換効率である。図 2 より、IC の利用によるエネルギー効率の向上が示された。理想トランスの場合、1次側からみた合成抵抗は  $R_0 \approx (N_1/N_2)^2 R_{\text{coil}} + r_{\text{sw}}$  となる。ここで、 $R_{\text{coil}}$  は磁場コイルの抵抗、 $r_{\text{sw}}$  はスイッチの寄生抵抗であり、小型コイル負荷の場合は  $r_{\text{sw}} \geq R_{\text{coil}}$  となる場合が多い。IC がない場合、合成抵抗は  $r_{\text{sw}}$  と  $R_{\text{coil}}$  の直列接続となり、 $r_{\text{sw}}$  が支配的となる。IC がある場合、巻線比  $N_1/N_2$  の条件によって  $R_{\text{coil}}$  が大きくみえ、 $r_{\text{sw}}$  の影響が小さくなり、エネルギー効率が向上する。一方、回路パラメータによっては IC の利用によりエネルギー効率が低下する条件があることも明らかとなった。他の RLC パラメータ条件や巻数比  $N_1/N_2$ 、結合係数  $k$  について調査した結果の詳細は発表にて報告する。

[1] 日本学術会議提言「パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学の量子的飛躍と産業創生」(2020).

[2] R. Yamazaki, *et al.*, Phys. Rev. E **105**, 025203 (2022).

[3] P. Hu, *et al.*, JINST **17**, P07036 (2022).

[4] D.H. Barnak, *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **89**, 033501 (2018).