

## SiC パワー半導体技術を用いた高出力高安定化電源の開発

理化学研究所、ニチコンの共同研究グループは、次世代のパワー半導体デバイスである「SiC MOSFET」を用いて、高出力と高い安定性を両立しつつ、出力電流の方向や大きさを広い範囲で変えられるコンパクトなパルス電源を開発しました。本研究成果は、世界中で建設が進められている、直線型加速器で生成した高品質電子ビームを利用する X 線自由電子レーザー (XFEL) 施設における利用実験時間の拡大や効率化に大きく貢献すると期待できます。

今回、共同研究グループは、高出力と高い安定性を併せ持つ電源をコンパクトな筐体に集約するため、耐電圧が高く、100kHz を超える速いスイッチングスピードで大電流を制御できる SiC MOSFET 素子に着目しました。SiC MOSFET 素子から構成されるチョッパーユニットを 2 直列 5 並列の主回路に組み上げることで、高出力と高い安定性を実現しました。さらに開発した電源では、出力電流が少ないときに稼働する SiC MOSFET のユニット数を減らすとともに、バイパス回路に余剰電流を流すことで常に一定量以上の制御電流を確保するシーケンスを実装し、低出力電流時における安定性も実現しました。

本研究は、米国の科学雑誌『Review of Scientific Instruments』のオンライン版に 6 月 15 日に掲載されました。

### 研究手法と成果

目標とするパルス電源の主要性能は、①60Hz の繰り返しで運転可能、②60Hz の繰り返しごとに任意のパターンで運転が可能、③定格出力電力：0.24MW（電圧 1kV、電流 240A）、④電流の安定性：240A に対して変動量が 0.002%以下、⑤電流の設定範囲：-240A～+240A です。従来の共振回路や PFN（Pulse Forming Network）を用いるパルス電源では、これら全ての性能を同時に満たすことができません。特に、パルスごとに電流のパターンを自由に変更することは、これらの電源では不可能でした。

一方で、60Hz のパルスごとに、電流の大きさや流れる方向も含め任意に電流パターンを制御するには、4 象限電源が適しています。しかし従来の 4 象限電源では、大電流から微小電流にわたる広い範囲で電流の安定性を達成することが難しく、同様に目標の性能を満たすことができませんでした。

4 象限電源の最大出力電力や電流の安定性は、使用するハイパワー素子の性能向上により改善できます。検討の結果、1kV 以上の高い耐電圧特性を持ち、100A 以上の大電流を 100kHz

を超える速度でスイッチングができる「SiC MOSFET」によるチョッパユニットを2直列5並列に組み上げ、これらを高精度のPWM（Pulse Width Modulation）により制御することで、目標とする主要性能の①から④までを同時に達成できることが分かりました。

最後に残された課題は、ゼロ電流付近における電源動作の不安定性でした。これを解決するため、余剰電流を通過させるバイパス回路を導入しました。低電流時に、負荷（今回は電磁石）をバイパスする回路に電流を流すことで、一定量以上の制御電流を確保できます。さらに稼働するユニット数を減らし、1台のユニットの出力電流の下限を制限するシーケンスを実装し、低出力電流時における電源動作の安定性を実現しました。これにより、⑤のゼロをまたぐ広い電流範囲において、目標性能を満たす運転を実現できました。

開発した電源の系統図を図1に、240Aの出力電流における電流の安定性を図2に、電源本体の外観とチョッパユニットの写真を図3に示します。電源の製作はニチコン株式会社が行いました。

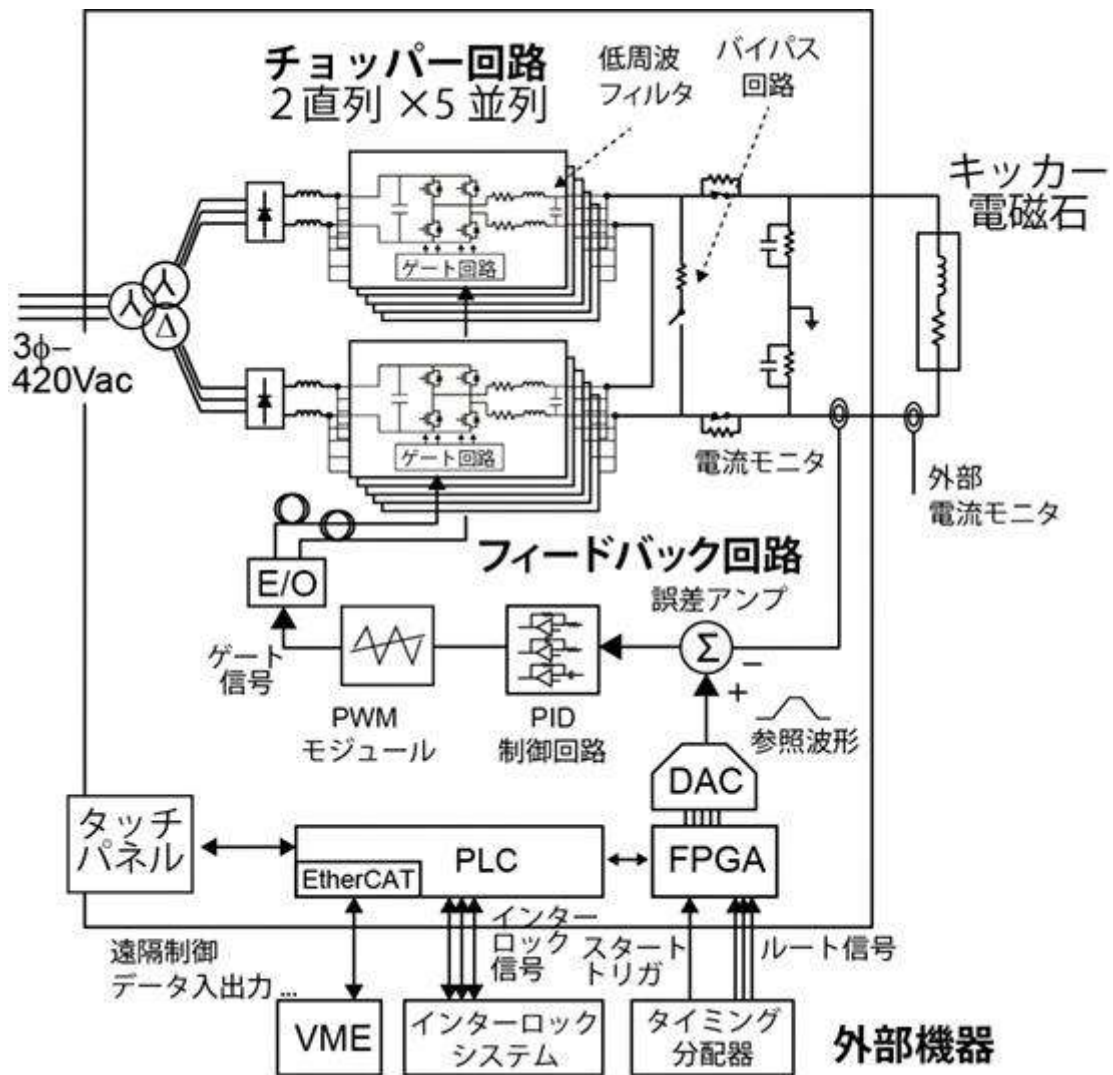


図 1 開発した電源の系統図

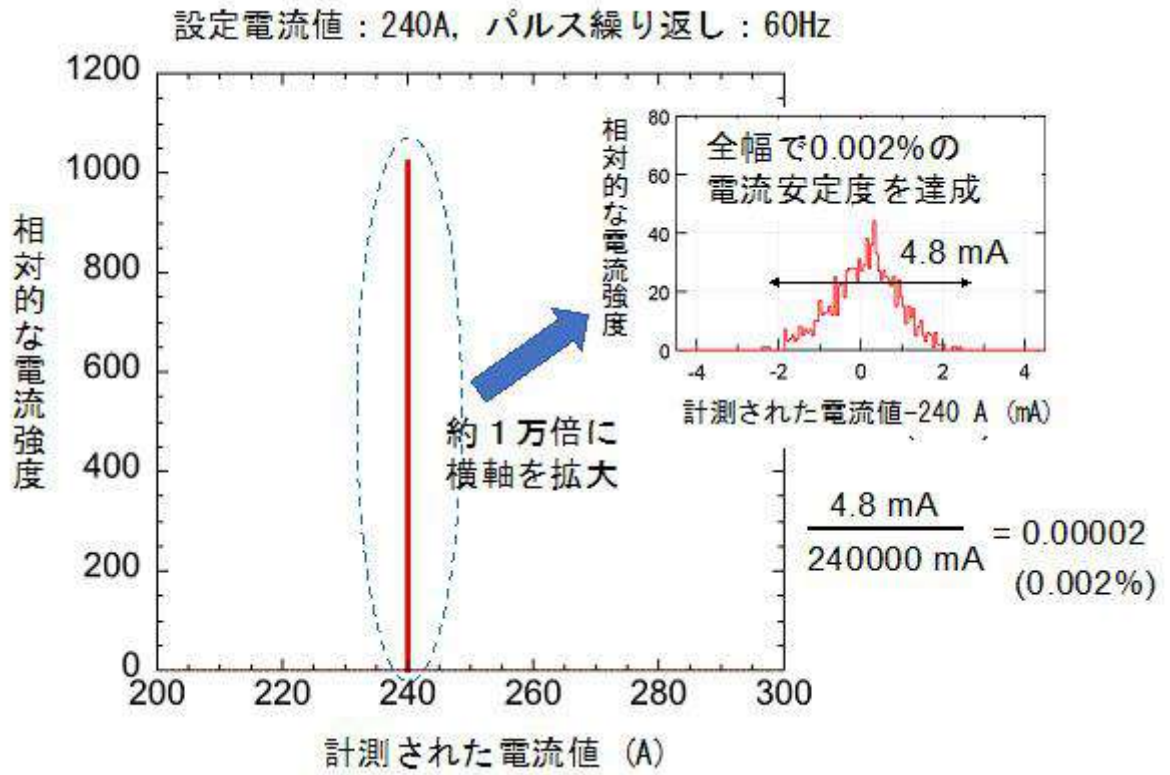


図 2 パターン運転での電流の安定性

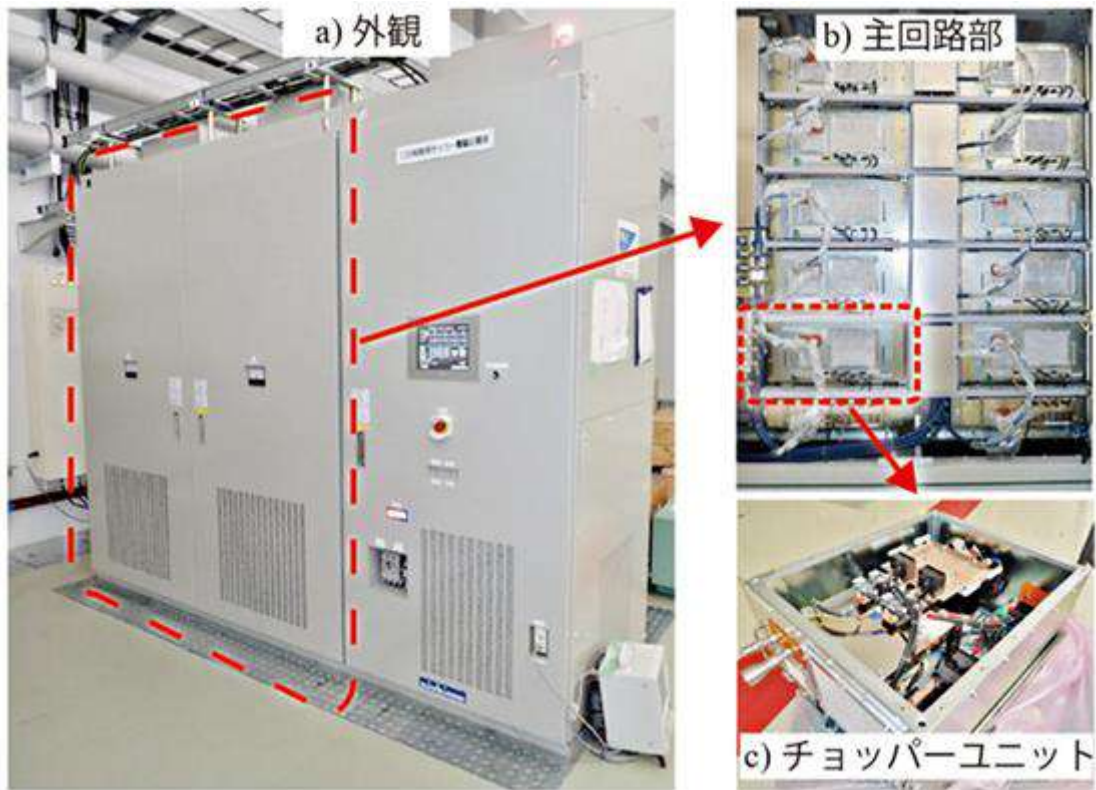


図 3 開発したパルス電源本体の外観と回路の心臓部であるチョッパユニット