

ついに拓かれた 1,000 テスラ物性科学への道 ——電磁濃縮法の世界記録の達成



中村 大輔

東京大学物性研究所附属国際超強磁場科学研究施設
dnakamura@issp.u-tokyo.ac.jp

強磁場マグネットと聞いて多くの方が思い浮かべる装置は、研究室での運用が可能で1~10 T程度の磁場を発生できる、市販の電磁石や超伝導マグネットではないだろうか。国内では、それ以上の強磁場は東北大学金属材料研究所の31 T定常ハイブリッドマグネットや、東京大学物性研究所等の75 T非破壊パルスマグネットによって発生できる。これらはソレノイドコイルに電流を流して繰り返し磁場発生ができるマグネットである。物性研究所では、これらとは全く異なる発想で、磁場発生後にマグネットが破壊されることと引き換えに100 T以上の磁場発生が可能な「破壊型」パルスマグネットの開発に長年にわたって取り組んできた。中でも、300 T以上の磁場を発生できる**電磁濃縮法**を用いた装置は物性研究所でしか運用されていない世界唯一の装置である。電磁濃縮法では数 mm の空間に再現性良く磁場を発生できるため、1,000 T 級の磁場を用いた物性研究を目標とした技術開発が1970年代から進められてきた。その結果、1995年には550 T、2002年に620 T、2008年には730 Tの最高磁場に到達し、これまでに600 Tに至る磁場下において磁性体やナノカーボン物質を対象とした物性研究が行われた。

しかし、1,000 Tを凌駕する超強磁場の発生には、磁場発生電源（コンデンサバンク）の根本的な見直しと、信頼性のある超強磁場測定法の確立という、2つの大きな壁を乗り越える必要があった。そのため、2010年度より開始された新プロジェクトでは、コンデンサバンク電源、電源からの

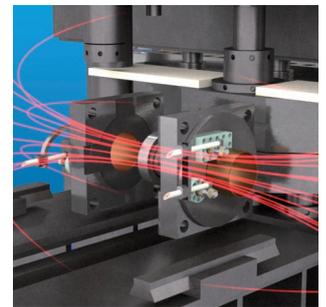
電流が集約される集電板、主コイルのクランプ装置など電磁濃縮法装置の構成要素すべてを刷新し、1,000 T級の磁場発生が可能な総エネルギー5 MJの装置が2018年に完成した。これらの大規模な装置開発と並行して、筆者は1,000 Tを超える磁場の効率的な発生方法を提案した。最適な実験パラメータを数値計算によって探索した結果、磁束濃縮前の初期磁束を抑制することによって、磁束濃縮を行うライナーの最終的な内径がより小さくなり、発生する最大磁場が増加することが示された。

しかし、磁場計測に使用されてきたピックアップコイルによる誘導起電力測定では、電磁ノイズの影響や測定リード線の絶縁破壊などにより、従来より小さい径に発生する超強磁場を計測することは困難であった。そこで、筆者は磁気光学的手法である**ファラデー回転法**を用いた磁場計測プローブを開発した。総エネルギー5 MJの新型電磁濃縮法装置を用いて初期磁束がある程度抑制された下での実験を行ったところ、2018年4月18日に1,200 Tの磁場発生・計測に成功し、電磁濃縮法によって1,000 Tの壁を越えるという長年の宿願が成就した。1,000 T級の超強磁場による効果は、室温の熱エネルギーや物質中でのファンデルワールス結合エネルギーを凌駕し、電子のサイクロトロン運動が原子間隔程度にまで小さくなる。そのため、超強磁場特有の新現象・新機能が現れるだけでなく、既存の強磁場物質科学研究の枠組みを超えて、化学反応や生命科学などの分野との融合的な研究が芽生えることが期待できる。

用語解説

電磁濃縮法：

重い金属製の一卷きコイル（主コイル）内に軽い金属の内筒（ライナー）をセットし、主コイルに大電流を瞬時に流すことで、電磁誘導によりライナーに大電流を生じさせ、両者の間の電磁力により軽いライナーを超高速に収縮させる。このとき、あらかじめライナー内に導入しておいた初期磁束がライナー内に閉じ込められたまま濃縮されることで超強磁場が発生する。



ファラデー回転法：

光の電場・磁場成分が特定の方向のみに振動する電磁波を直線偏光という。直線偏光を光が透過する材料に入射し、入射光の軸と平行な向きに試料に磁場を印加すると、偏光面が回転する。これをファラデー回転、偏光の傾きをファラデー回転角と呼び、磁場強度の計測に利用できる。本研究では石英ガラスを用いて1,000 T領域で使えるファラデー回転磁場プローブを開発し、利用した。