

超伝導磁石の精密磁場設計手法と応用

阿部充志

KEK 超伝導低温工学センター

本発表では、超伝導磁石の磁場設計について、実例を含めて、述べる。以下で、磁石は主に超伝導磁石である。磁気応用を目的とする磁石の新規製作は、磁場設計から始まると言える。しかし、磁場設計が単独に存在するのではなく、個々の磁石装置に依存した制約条件の中で、磁場設計を行い、磁石の規模・概略構造を把握していく。また、熱設計、機械強度設計と共存することも求められる。その結果、磁石全体の形は磁場設計に依存する。この発表では、放射光源である超伝導ウイグラーを中心に、MRI 用磁石や J-PARC での E34 実験（ミューオンの磁気・電気モーメントを精密に計測する実験）用磁石の磁場設計について、高精度を目指した磁場設計についても述べる。

九州シンクロトロン超伝導ウイグラーの磁場設計(図 1)は、4T でガウスオーダー(10^{-4})精度の磁場設計である。起磁力配置を与え、磁場計算を行い、そして電子ビームの軌道計算をチェックする順方向の計算を繰り返し試行することで、仕様を満足する起磁力配置を探索した。鉄芯を効率的に使うことで全体のコンパクト化に務めた。鉄芯利用の自由度は大きく、逆問題への定式化は難しいので、順方向の磁場計算で対応した。鉄芯による磁場が安定するように、磁気飽和(2.15T に飽和)の鉄を主要部に使うことで、必要な磁場分布を実現した。この考え方は、より精密な磁場が必要な他の磁石でも利用している。また、励消磁時の渦電流による発熱と共存できる鉄芯・支持・冷却の構造としている。

一方、MRI 用磁石や E34 実験用磁石では、ppm オーダ以下の磁場精度が必要である。このため特異値分解を利用して逆問題を解く手法を開発した。上記の飽和鉄芯の考え方と共に発展させながら、J-PARC での、ミューオンを対象とした実験用の磁場設計や MRI 磁石設計(図 2 参照)に応用している。

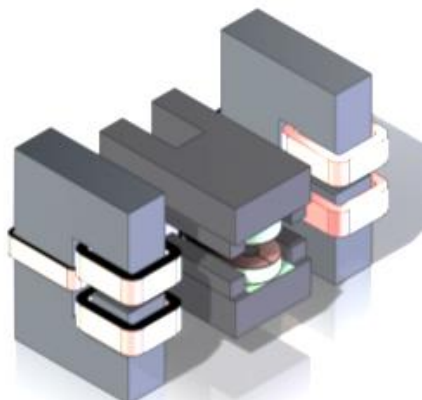


図 1 Saga-Wiggler の起磁力配置

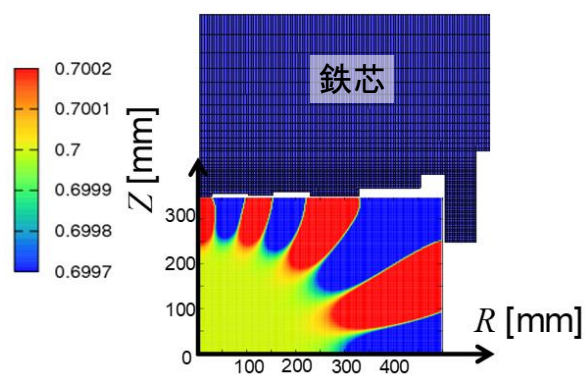


図 2 鉄芯利用の MRI 磁石磁場設計例
鉄芯突起部を利用し磁場を安定化