

4.2K 動作自己シールド型 800MHz 超電導マグネット

濱田 衛^{*}(工博)・尾崎 修^{*}(学術博)・福永伸一^{**}

^{*}技術開発本部 電子技術研究所 ^{**}ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー㈱

背景

構造生物学の分野を中心に 800MHz^{注)}や 900MHz クラスの上位機種が導入されるとともに、世界各国で強磁場核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance = NMR) 用マグネットの開発が進められている。当社は独立行政法人物質・材料研究機構強磁場研究センター (Tsukuba Magnet Laboratory = TML) と共同で 2002 年に 920MHz マグネットを、2004 年に 930MHz マグネットを完成した。当社の関連会社である JASTEC はそれらの開発成果を横展開して 800MHz 以下の NMR 用マグネットを年間約 80 台製造している。

超電導マグネットの中心磁場の強度化に伴い、マグネット周辺の漏れ磁場強度の増加および漏れ磁場領域の拡大が、大きな問題となっている。対策として 800MHz 以下ではセルフシールド型が開発されてきた。しかしながら、他社で開発された 800MHz のセルフシールド型マグネットは、液体ヘリウムを真空ポンプで減圧して温度を約 2K に下げて運転する方式を採用しており、十分な停電対策が必要であるとともに、2K 発生機構をクライオスタットに内蔵しているためクライオスタットの高さが高くなり設置室天井高さを高くする必要がある。

当社では TML と共同で、超電導特性の向上を目指してブロンズ中のスズ濃度を増加したブロンズ法 Ti 添加 Nb₃Sn 線材を開発してきた。その成果を活用してスズの固溶限 (15.8wt%) 近辺までスズ濃度を増加させたブロンズを使用した Ti 添加 Nb₃Sn 線材を採用してコイル平均電流密度を増加するとともに、マグネットの保護・設計技術と JASTEC の製造技術を結集した結果、世界初の 4.2K で動作するセルフシールド型 800MHz 高分解能 NMR 用マグネットを開発した。

性能

表 1 に主な仕様を、写真 1 に外観写真を、図 1 に 800/54 マグネットの漏れ磁場比較図を示す。0.5mT (地球磁場の約 10 倍相当) 漏れ磁場の床面積は、シールドしない従来機に比べ 84% 削減されている。マグネットはクエンチすることなく定格磁場を発生し、磁場安定度は励磁 10 日後には目標仕様値である 10Hz/h を満足した。3 カ月間の工場試験中全く異常は無く、最終的には 2Hz/h 以下であることも確認した。



写真 1 マグネット外観

脚注) NMR では共鳴周波数が磁場に比例するため、一般にマグネットおよび装置を発生磁場に相当する水素の共鳴周波数で呼称している。23.5T で 1000MHz に相当する。

今後の進め方

現在、先端計測分析技術・機器開発の重要性が認識されているが、国産の技術によって NMR という重要な計測機器の上位機種が開発されたことは、極めて重要な意義を持つ。比較的導入が容易でありながら最高の磁場である 800MHz 高分解能 NMR 用マグネットで、設置条件の緩和された低漏洩磁場型で 4.2K 動作のマグネットが開発されたことで、わが国の NMR スペクトロメータの開発とこれを活用したバイオテクノロジーの開発が一段と加速すると期待される。今後は中低磁場マグネットにおいても、さらに漏れ磁場領域を低減したマグネットを開発し、ユーザーズに応えていく。

表 1 マグネット仕様

| 動作温度 | 動作温度 | (K) | 4.2 |
|------------|-----------------|--------|------------|
| メインコイル | 中心磁場強度 | (T) | 18.8 |
| | 磁場安定度 (仕様値) | (Hz/h) | 15 |
| | " (目標値) | (Hz/h) | 10 |
| | 運転電流 | (A) | 260 |
| 超電導シムコイル | チャンネル数 | | 9 |
| | 最大電流 | (A) | ±20 |
| 漏洩磁場 (軸方向) | 0.5mT | (m) | 4.29 |
| 漏洩磁場 (径方向) | 0.5mT | (m) | 2.68 |
| | ボア径 | (mm) | 53.84 |
| | ボア長さ | (mm) | 1 985 |
| | 全高 (シールドプラグを含む) | (mm) | 3 230 |
| | スタンド高さ | (mm) | 950 |
| | OVC 胴体径 | (mm) | 1 512 |
| | OVC フランジ径 | (mm) | 1 570 |
| 重量 | 本体質量 | (kg) | 5 000 ± 50 |
| | 冷媒質量 | (kg) | 420 ± 10 |
| | 防振スタンド質量 | (kg) | 360 ± 20 |
| 必要天井高さ | 電流リード | (mm) | 4 150 |
| | トランスファチューブ | (mm) | 4 130 |
| 液体窒素 | 保持日数 | (日) | 24 |
| | 補充容量 | (l) | 297 |
| | 蒸発速度 | (ml/h) | 500 |
| | 全容量 | (l) | 330 |
| 液体ヘリウム | 保持日数 | (日) | 50 |
| | 補充容量 | (l) | 160 |
| | 蒸発速度 | (ml/h) | 120 |
| | 全容量 | (l) | 1 220 |

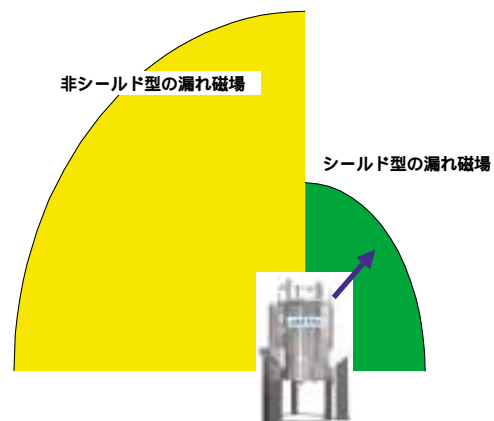


図 1 800/54 マグネットの漏れ磁場比較図 (0.5mT 領域を示す概念図)