5 T 伝導冷却型超電導マグネット

神門 剛[†], 伊藤 聡, 林 征治,
川手 剛雄, 渋谷 和幸*, 濱田 衛

(株)神戸製鋼所技術開発本部電子技術研究所 神戸市西区高塚台 1-5-5

* (株)ジャパンマグネットテクノロジー 神戸市西区高塚台 1-5-5

5 T Superconducting Magnets Cooled by a 4 K GM Refrigerator

Takeshi KAMIKADO[†], Satoshi ITOH, Seiji HAYASHI, Yoshio KAWATE,
Kazuyuki SHIBUTANI* and Mamoru HAMADA

Electronics Research Laboratory, Technical Development Center, Kobe Steel Ltd.,
1-5-5 Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe 651-2271

* JAPAN MAGNET TECHNOLOGY Inc., 1-5-5 Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe 651-2271

1. はじめに

小型冷凍機による伝導冷却型超電導マグネットに使用される超電導体は NbTi, Nb₃Sn, 酸化物超電導体の数種類である。この中で、値段的にもっとも安価なものは、NbTi であり、合金であることから、マグネット製造上取り扱いやすく、原材料費も、製造コストもやすい。しかし、この線材は臨界温度が低いため伝導冷却型超電導マグネット使用の際、熱設計に十分な配慮をする必要がある。我々は、伝熱シミュレーションなどによって部品配置や使用材料を最適化して、NbTi のみを用いてコストを削減した 5 T の伝導冷却型<以下、無冷媒型>超電導マグネットを開発した¹⁾。ここでは、その JMTD-5T52M のマグネットをはじめとして 5 T の伝導冷却型超電導マグネットの諸特性を紹介する。

2. 各種 5 T 伝導冷却型超電導マグネット

2.1 JMTD-5T52M 無冷媒型超電導マグネット

Fig. 1 に JMTD-5T52M 無冷媒型超電導マグネットの写真を示す。また、特性を Table 1 に示す。このマグネットは、内直径 52 mm の鉛直ボア内に 5 T の磁場を発生させ、0 T から 5 T まで励磁に要する時間は約 8 分である。Fig. 2 に 0 T から 5 T までを約 8 分で励磁した場合の温度変化を示す。温度センサの

取り付け位置はマグネット下部はマグネットの巻枠ランジ部分、マグネット上部は巻線部に取り付けられた冷却板の上部につけられている。励磁時の温度上昇はマグネット上部で 4.9 K、マグネット下部で 3.8 K である。Fig. 1 の写真はキャスター付きとなっているが、このほかに常温ボアを垂直から水平に切り替えられる回転機構もオプション設定されている。

2.2 JMTD-5T100M 無冷媒型超電導マグネット

5 T の無冷媒型マグネットはさらに直径の大きなボアを持つマグネットがある。JMTD-5T100M のボア

Fig. 1 Photograph of the JMTD-5T52M superconducting magnet.

[†] E-mail : t-kamikado@rd.kcr1.kobelco.co.jp
1999 年 3 月 12 日受理

Table 1 Performance of the JMTD-5T superconducting magnet series.

Model	JMTD-5T52M	JMTD-5T100M	JMTD-5T300M
Central field	5 T	5 T	5 T
Clear bore diameter	52 mm	100 mm	300 mm
Field homogeneities	0.1% (10 mmDSV)	0.1% (10 mmDSV)	0.05% (10 mmDSV)
Operating current	89 A	95 A	82 A
Cooling down (60 Hz zone)	15 h	24 h	70 h
Ramp rate	5 T/10 min	5 T/10 min	5 T/30 min
Dimensions	$\phi 570 \times H500\text{mm}$	$W700 \times D570 \times H759\text{mm}$	$W1,090 \times D718 \times H994\text{mm}$

Fig. 2 Temperature behavior of the JMTD-5T52M superconducting magnet during excitation.

Fig. 3 Precision field control with IEEE-488 interface of the high-resolution power supply.

径は 100 mm である。このマグネットの特徴は、構造材に非磁性のものを積極的に取り入れ、運転電流と発生磁場の直線性の向上を図った。我々は、このマグネットに、出力電流値を 1 mA 単位でセットできるバイポーラの精密電源をセットにして出荷した。パーソナルコンピュータ上から GPIB インターフェイスを通じて電流を 1 mA 変化させることで、中心磁場の値を -10 G から 20 G までおよそ 0.5 G 毎に変化させることに成功した (Fig. 3)。

また、電源に備えられているアナログ調整器を使用することで、さらに細かな調整が可能である。また、構造材料に非磁性材料を選択していることから、マグネットを励磁した後、0 T に消磁したときの残留磁化

は 10 G 以下に抑えられている。この磁化は、超電導体の磁化に起因しており、内蔵の昇温ヒータを用いて、マグネットを転移温度以上にあげると、残留磁化は 1 G 以下になることも確認できた。これにより、精密な磁化率の測定が高磁場下で行えるようになっている。

2.3 JMTD-5T300M 無冷媒型超電導マグネット

大口径を所望するユーザーに対してボア径 300 mm の JMTD-5T300M マグネットを開発した (Fig. 4)²⁾。直径が 300 mm あることから、プレスなどの高圧装置をボア内部に入れることも可能で、磁場中での高圧試験なども実施できる。磁場均一度は 10 mm 球 (DSV) で 0.05% である。このマグネットのコイル間

Fig. 4 Photograph of the JMTD-5T300M superconducting magnet.

に低抵抗の半田接続を実施し、CuNi マトリックスを有する NbTi 超電導体製の熱制御型永久電流スイッチ^{3,4)}を搭載した結果、磁場減衰率が 2.2 ppm/h を達成した (Fig. 5)。これらのマグネットの特性を Table 1 に示した。

3. ユーティリティー

本マグネットシステムに必要なユーティリティーを Table 2 に示す。マグネット電源は、空冷であるため、電力のみが必要である。スタンダードとしては、0.8 kVA 程度である。冷凍機のコンプレッサーは、ほとんどの機種で同じものを使用しているために、共通の仕様である。冷却水が不要な空冷コンプレッサーも選択可能である。

4. ま と め

5 T の伝導冷却型超電導マグネットについて紹介し

Fig. 5 Field decay of the JMTD-5T300M superconducting magnet with a persistent current switch.

た。NbTi 線材はいろいろなタイプの線材が入手しやすいことから、他の超電導線材に比べて自由にマグネットの設計ができる。ボア径の大きなものや、複雑な形状など、いろいろなマグネットが 7 T 程度までなら無冷媒型で可能である。ボア径を大きくすることで、マグネットボア内部に高温、高圧装置など、いろいろな試験装置を入れて実験を計画されている人も多い。我々は、そういった研究者の要望に順次応えていく。

参 考 文 献

- 1) 渋谷和幸, 林 征治, 濱田 衛: 神戸製鋼技報 48 (1998) 82
- 2) 渋谷和幸ら: 第 56 回春季低温工学・超電導学会講演概要集 (1997) 181
- 3) 社団法人低温工学協会編: 超伝導・低温工学ハンドブック, オーム社, 東京 (1993) 622
- 4) 渋谷和幸ら: 低温工学 32 (1997) 499

Table 2 Requirements for the 5 T superconducting magnet system.

Magnet power supply	Electric power	AC 1 ϕ	200 V $\pm 10\%$	0.8~1.3 kVA (50/60 Hz)
Refrigerator compressor	Electric power (maximum)	AC 3 ϕ	200 V	7.2/8.3 kW (50/60 Hz)
	Electric power (steady-state)	AC 3 ϕ	200 V	6.5/7.5 kW (50/60 Hz)
	Cooling water requirement			7 l/h, 4-28°C