Vo. 39 No. 12 (2004) pp. 651~659 研究論文「永久電流高温超電導マグネットの開発—磁気浮上式鉄道への適用性検証—」五十嵐基仁（東海旅客鉄道(株)）ら

本論文の冒頭にあるように超電導磁気浮上式鉄道（超電導リニア）は1970年頃から開発が進められ、宮崎実験線、山梨実験線での走行試験を経て、昨年末に、2027年の品川—名古屋間の開業を目指した建設が着工されたとの報道があった。また、延伸した山梨実験線（42.8 km）で走行試験が進められており、報道によれば、2015年4月21日に有人走行試験で603 km/hを記録し鉄道の世界最高速度を更新したとのことである。

山梨実験線の車両には、NbTi コイルを液体ヘリウムで浸漬冷却した低温超電導磁石が搭載され、運用されている。本論文は高温超電導線材である Bi2223 線材が、ある程度量産できるようになったことを背景として、冷凍機で伝導冷却した高温超電導コイルの適用可能性を探ることを目的とした開発について述べられたもので、2004年の12号に掲載された。車両に搭載する磁石には、1つのクライオスタットに4個のレーストラック型超電導コイルが収納されているが、この開発では1個のコイルを製作し、実機で想定される構成のクライオスタットに収納した Fig. 2 に示す磁石で通電試験や加振試験が実施された。この開発における重要な技術課題の1つが永久電流モード運転の実現である。当時の Bi2223 線材を用いて製作したコイルでは、Fig. 6 のように、 10^6 V/cm で定義される臨界電流値が同じでも低い電界領域で n 値が低くなる電流—電圧特性を示すことがあった。そのため、大きなフラックスフロー抵抗が発生し、永久電流モード運転で磁場減衰が大きくなる問題があった。調査の結果、Bi2223 線材に元々含まれる欠陥が低電界領域で低い n 値を示す原因であるとともに、これまでの線材の検査基準では見逃されていたことがわかった。そこで、線材全長に渡り $10^6 \sim 10^9$ V/cm の範囲で n 値を定義する新たな検査基準を導入することで Fig. 8 に示すような電流—電圧特性を示すコイルを製作できるようになったことが述べられている。それにより、Y 系薄膜を用いて新たに開発した永久電流スイッチと組み合わせて、冷凍機伝導冷却で 20 K 以下に冷却した高温超電導コイルを 532 A（起磁力 750 kA）まで励磁し、磁場減衰率 0.44%/day の永久電流モードを実証することができた。この開発の後、4 個のコイルを搭載した高温超電導磁石が製作され¹⁾、山梨実験線の車両に搭載して最高速度 553.9 km/h の走行試験に成功したことが報告されている^{2,3)}。

本論文によって、振動等の過酷環境で用いられる超電導リニアでも高温超電導磁石が実用に耐えることが証明された。高温超電導磁石には低コスト化等のハードルが依然として存在するが、今後の応用展開に可能性を切り開いたといっても過言ではないと思う。また、本論文は、2005年度の論文賞を受賞している。同年、新潟の朱鷺メッセで開催された秋季低温工学・超電導学会において、その受賞講

Fig. 2 A photograph of a persistent current magnet.

Fig. 6 The I - V characteristics of a 1/2 scale single-pancake coil at 77 K.

Fig. 8 The I - V characteristics of a single-pancake coil at 77 K.

演が行われたが、まさにその講演中に山梨実験線で高温超電導磁石を搭載した磁気浮上列車が時速 500 km を達成したことが壇上から報告された。あの時の震えるような感動は今でも鮮明に覚えている。品川—名古屋間を疾走する磁気浮上列車の姿を見る日が待ち遠しい。

出版委員 戸坂泰造 ((株)東芝)

参考文献

- 1) M. Terai, et al.: "The R&D project of HTS magnets for the superconducting maglev," IEEE Trans. Appl. Supercond. **16** (2006) 1124-1129
- 2) K. Kuwano, et al.: "The running tests of the superconducting maglev using the HTS magnet," IEEE Trans. Appl. Supercond. **17** (2007) 2125-2128
- 3) S. Kusada, et al.: "The project overview of the HTS magnet for superconducting maglev," IEEE Trans. Appl. Supercond. **17** (2007) 2111-2116

研究論文

永久電流高温超電導マグネットの開発

—磁気浮上式鉄道への適用性検証—

五十嵐 基仁[†], 根本 薫, 奥富 健志, 平野 智士, 桑野 勝之, 草田 栄久,
寺井 元昭, 栗山 透*, 戸坂 泰造*, 田崎 賢司*, 丸川 宏太郎*,
花井 哲*, 山下 知久*, 柳瀬 康人*, 山地 睦彦*, 中尾 裕行*

Persistent Current HTS Magnet for Maglev Applications

Motohiro IGARASHI, Kaoru NEMOTO, Takeshi OKUTOMI, Satoshi HIRANO, Katsuyuki KUWANO,
Shigehisa KUSADA, Motoaki TERAJI, Toru KURIYAMA*, Taizo TOSAKA*, Kenji TASAKI*,
Kotaro MARUKAWA*, Satoshi HANAI*, Tomohisa YAMASHITA*, Yasuto YANASE*,
Mutsuhiko YAMAJI* and Hiroyuki NAKAO*

Synopsis: This paper describes a persistent current HTS magnet that has been developed for Maglev applications. The HTS coil for the magnet consists of 12 single-pancake coils wound with four parallel Ag-sheathed Bi2223 wires. The HTS coil is connected with a persistent current switch (PCS) made of YBCO films and cooled below 20 K by a two-stage GM pulse-tube cryocooler. Detachable current leads are used to reduce heat leakage to the 1st stage of the cryocooler. The initial target for the current decay rate of the magnet was 10%/day. In order to achieve the target, wires with n-value of more than 14 in a range of 10^9 – 10^6 V/cm at 77 K, 0 T were selected and coil winding processes were improved. As the result, a current decay rate of 0.44%/day was obtained under persistent current operation of the HTS magnet. To observe the mechanical capability of the magnet, mechanical vibration tests up to ± 15 G and electromagnetic vibration tests were carried out.

Keywords: superconducting magnet, HTS coil, persistent current switch, Ag-sheathed Bi2223 wire, Maglev

1. はじめに

超電導磁気浮上式鉄道は、1966年に J. R. Powell と G. R. Danby により基本原理が提案され¹⁾、その後、各国で多種多様な構成について研究されてきた。わが国においては磁気支持・案内、地上一次リニアシンクロナスモータ推進による方式について 1970 年頃から開発が進められ²⁾、宮崎実験線を経て、現在、山梨実験線において走行試験を行っている³⁾。山梨実験線では、これまでの列車累積走行距離が概ね 400,000 km となり、その間の試乗者数は 84,000 名

を超えている。さらに、試乗走行において 1 本の運休もなく安定した運用がなされており、このことは現システムの信頼性の一端を示していると言える。

この山梨実験線で車両に搭載し走行試験により評価している超電導マグネットでは、これまで NbTi 線材をレーストラック型に巻線したコイルを液体ヘリウムで浸漬冷却する低温超電導マグネットを使用している^{4,5)}。一方で高温超電導線の近年の研究開発には目覚ましい進歩が認められる。Bi 系超電導線の大量生産が実現され、またこれを用いた高温超電導マグネットも実用的な規模のものが開発されている⁶⁾。本研究はこのような背景の中で、高温超電導マグネットを使用した場合の磁気浮上式鉄道への適用可能性について検討し、試作・試験により検証および評価したものである。

高温超電導マグネットの適用については、最終的にはシステムの信頼性向上と低コスト化に寄与することが評価対象となるが、本研究では第一段階として磁気浮上式鉄道用高温超電導マグネットの電氣的、機械的特性に関して検証した。具体的には、山梨実験線で評価中の従来の低温超電

Received November 29, 2004

東海旅客鉄道株式会社

〒108-8204 東京都港区港南 2 丁目 1 番 85 号 JR 東海品川ビル A 棟

Central Japan Railway Company, JR Central Shinagawa Bldg. -A wing 2-1-85 Konan, Minato-ku Tokyo 108-8204, Japan

* 株式会社東芝 電力・社会システム社

〒105-8001 東京都港区芝浦 1 丁目 1 番 1 号

Industrial and Power Systems & Services Company, TOSHIBA Corporation, 1-1, Shibaura 1-Chome, Minato-Ku, Tokyo 105-8001, Japan

[†] E-mail: m.igarashi@jr-central.co.jp