

寒剤を用いないヒト脳研究用高温超伝導 3T-MRI 装置の 開発 [大会長賞記録]

浦山 慎一¹, 尾崎 修², 北口 仁³, 武田 和行⁴,
中島 巖⁵, 大西 尚樹⁶, マイケル プール⁷, 佐藤 謙一⁸,
福山 秀直¹

¹京都大学医学研究科 ²神戸製鋼所技術開発本部

³物質・材料研究機構超伝導線材ユニット ⁴京都大学大学院理学研究科

⁵高島製作所株式会社 ⁶アストロステージ株式会社開発部

⁷クイーンズランド大学情報電気工学科 ⁸住友電気工業株式会社材料技術研究開発本部

背景・目的

マグネットの寒剤として使用されているヘリウムは天然資源であり、年々高まる需要のため価格高騰や枯渇の恐れがある。一方で、1986年、Bednorz と Müller による転移温度 30 K の化合物 $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ の発見¹⁾をきっかけに様々な発見が続いた高温超伝導 (HTS) 物質は、現在では大気圧下での転移温度が最高で 135 K (大気圧下) となり²⁾、液体ヘリウム不要の MRI 装置の実現が期待されている。本報告では、我々が 2008 年秋から開発を開始した、高温超伝導線材 Bi-2223 テープを用いたヒト脳研究用 MRI システムを紹介する。本システムは、磁場強度 3T として設計/開発されたが、ここでは、1.5T 環境下での結果について報告する。

高温超伝導 MRI 開発

人は活動時に立位もしくは座位であることを考慮し、垂直ボアを採用した。使用した高温超伝導テープは、セラミックである高温超伝導物質 Bi-2223 をコイルとして巻けるよう開発され

たもの^{3~5)}であり、総延長 44.6 km、132 本の線材を用いた。高温超伝導線材は今のところ超伝導状態を保つテープ同士の接続手法が開発されておらず、接続部分がわずかな電気抵抗をもつため、超安定化電源を用いて一定電流を保つようにした。磁場強度 1.5T/3T それぞれに必要な電流量は、92/184 A であった。運転温度は 20 K とし、マグネットの冷却には寒剤を使用せず、GM 型冷凍機による伝熱冷却のみとした。FOV 領域は 250×250×200 mm の回転楕円体であり、その領域内での磁場均一性は 5 ppm を目標とした。

マグネット以外に、傾斜磁場コイル、スペクトロメータ、RF コイル、システムソフトウェアなども独自に開発した。傾斜磁場コイルは、FRP (強化プラスチック) 円筒に、X, Y, Z 各方向用のコイルや、アクティブシム用コイル、冷却パイプなどを層状に積層し、エポキシ樹脂で真空成型することで作製した。傾斜磁場コイルのつくる磁場分布を計測した結果、X, Y, Z 方向の最大傾斜磁場強度はそれぞれ、0.07/0.06/0.15 mT/m/A であった。傾斜磁場コイルは、その振動がマグネットに伝わらないよう、別途設置したアルミ製フレームに固定し

キーワード high-temperature superconducting tape, cryogen-free magnet, Bi-2223, neuroscience

た。スペクトロメータは、プログラム可能な IC チップである FPGA をベースに、OPEN-CORE NMR プロジェクト技術を用いて開発した^{6),7)}。

調整・評価実験

別途行った線材評価実験の結果、磁場強度が 3T (通電電流が 184A) の場合の転移温度は 30 K となり、運転温度にまだ 10 度の余裕があると推定された⁸⁾。1.5T 環境下で十分な磁場均一度調整を行った結果、目標値である均一度 5 ppm を達成した。磁場強度の時間安定性評価のため、励磁後 24 時間の磁場変動を計測した。その結果、遮蔽電流抑制のために励磁時に通電電流を 1% だけオーバーシュートさせた場合には、励磁後 5 時間程度で 14 ppm と大きく変動したが、その後の変化は 1 ppm の範囲に収まっており、許容範囲であった。現在のところ、スピンエコー法によるファントム画像撮像には成功している。

文 献

1) Bednorz JG, Müller KA : Possible high T_c super-

conductivity in the Ba-La-Cu-O system. Z Physik B 1986 ; 64 : 189-193

- 2) Schilling A, Cantoni M, Guo JD, Ott HR : Superconductivity above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O system. Nature 1993 ; 363 : 56-58
- 3) Ayai N, Yamazaki K, Kikuchi M, et al. : Electrical and mechanical properties of DI-BSCCO type HT reinforced with metallic sheathes. IEEE Trans Appl Supercond 2009 ; 19 : 3014-3017
- 4) Ayai N, Kobayashi S, Kikuchi M, et al. : Progress in performance of DI-BSCCO family. Physica C 2008 ; 468 : 1747-1752
- 5) Ayai N, Kikuchi M, Yamazaki K, et al. : The current transport properties of a 200A-class Bi-2223 superconducting wire at various temperatures and magnetic fields. IEEE Trans Appl Supercond 2007 ; 17 : 3075-3078
- 6) Takeda K : Chapter 7-highly customized NMR systems using an open-resource, home-built spectrometer. Ann Rep NMR Spectros 2011 ; 74 : 355-393
- 7) <http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/bun/projects/OPEN-CORE/opencore.html>
- 8) Kitaguchi H, Ozaki O, Miyazaki T, Ayai N, Sato K, Urayama S, Fukuyama H : Development of a Bi-2223 HTS magnet for 3T MRI system for human brains. IEEE Trans Appl Supercond 2010 ; 20 : 710-713

Cryogen-free 3T MR Imaging System for Human Brain Research using B-2223 High Temperature Superconducting Tapes [President Award Proceedings]

Shin-ichi URAYAMA¹, Osamu OZAKI², Hitoshi KITAGUCHI³,
Kazuyuki TAKEDA⁴, Iwao NAKAJIMA⁵, Naoki OONISHI⁶,
Michael POOLE⁷, Ken-ichi SATO⁸, Hidenao FUKUYAMA¹

¹*Graduate School of Medicine, Kyoto University
54 Shogoin-Kawaharacho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8507*

²*Technical Development Group, Kobe Steel, Ltd.*

³*National Institute for Material Science*

⁴*Graduate School of Science, Kyoto University*

⁵*Takashima Seisakusyo Co., Ltd.*

⁶*Astrostage Inc.*

⁷*ITEE, University of Queensland St Lucia, Australia*

⁸*R & D Unit, Sumitomo Electric Industries, Ltd.*

The demand for the exhaustible natural resource helium is increasing rapidly, with 20% of the helium produced globally used as the cryogen in superconducting magnetic resonance (MR) imaging magnets. High temperature superconducting (HTS) materials show great potential for realizing helium-free magnets. We report such a cryogen-free 3-tesla MR imaging scanner for human brain research that employs Bi-2223 tapes operating at a temperature of 20 K.