

ハイブリッド顕微法による MgB₂ 線材の非破壊評価

- 磁気顕微法による局所 I_c 分布評価と X 線 CT による組織構造観察 -

Nondestructive Diagnostics for MgB₂ Wires Based on Hybrid Microscopy:

Magnetic Microscopy for Local I_c Distribution and X-ray CT for Microstructure Observation

○ 鱈 海志¹、東川 甲平¹、井上 昌睦¹、モハン シヤム¹、松本 明善²、熊倉 浩明²、木須 隆暢¹

(1.九大、2.NIMS)

○ Hiroshi Tataru¹, Kohei Higashikawa¹, Masayoshi Inoue¹,

Shyam Mohan¹, Akiyoshi Matsumoto², Hiroaki Kumakura², Takanobu Kiss¹ (1.Kyushu Univ., 2.NIMS)

E-mail: h.tataru@super.ees.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

今後の長尺化を含めた MgB₂ 線材の開発において、線材の非破壊検査は不可欠になると考えられる。電流制限因子の解明や製品の信頼性向上の為に、局所的な I_c 特性を評価し、組織構造との対応を明らかにすることで、特性のボトルネックとなる箇所とその原因を解明することが重要である。このような背景から、我々は磁気顕微法と電子顕微鏡を組み合わせた評価技術を開発してきており、電流制限因子をピンポイントに検出することに成功している^[1]。一方、磁性シース材が使用される MgB₂ 線材に関しては、磁気顕微法や電子顕微鏡を用いて評価する為に、サンプルを研磨して破壊する必要があることが課題となっていた。そこで本研究では、磁性シース材の飽和領域を利用した非破壊計測法^[2]と X 線 CT による組織構造観察を組み合わせたハイブリッド顕微法で、曲げ歪みによる特性低下部を非破壊で特定することを試みた。

2. SHPM による局所 I_c 分布評価

評価対象とした試料は、内部 Mg 拡散法によって作製された 0.6 mm 径の鉄シース単芯 MgB₂ 線材である (Fig. 1)。この線材を直径 3 mm の治具に押し当てて人工的に曲げ歪みによる欠陥を導入した (a)。試料の曲げを元に戻した後 (b)、鉄の飽和磁束密度 (約 2 T) を超える外部磁界を印加し、走査型ホール素子顕微鏡 (SHPM) によって線材直上の磁界分布を取得した。線材を 5 K に冷却した後に、3 T の外部磁界を印加した際の磁界分布を Fig. 2. に示す。(a) に減磁時、(b) に増磁時の結果を示した。フィラメントの磁化の正負が反対となる (a) の減磁時から (b) の増磁時の磁界分布を差し引くことで、(c) にみられるような情報を取り出すことができた。これは鉄の飽和領域で磁界分布の差分を取ることにより、鉄シースによる信号が打ち消され、超伝導フィラメントの磁化由来の信号が得られるのである。同図より、曲げ歪みを加えた部分だけ超伝導の履歴分の信号が極小さくなっていることが確認され、曲げ歪みにより超伝導特性が著しく劣化した部分を可視化することに成功した。

3. X 線 CT による組織構造観察

X 線 CT を用いて同試料の特性低下部の組織構造観察を行った結果を Fig. 3 に示す。Fig. 2. (c) の青の四角領域が観察を行った領域と対応する。上下の黒い部分はシースの Fe、中央の白い部分が MgB₂ である。MgB₂ の右側の領域に、特性低下部に対応して多数の筋状のクラックが確認された。この筋状のクラックは、曲げの外側部分の引張応力が作用する部分に特に多く確認されたことから、特性低下の原因となったクラックであると考えられる。このように、磁気顕微法と X 線 CT を組み合わせることで、線材を非破壊のまま局所欠陥の位置を検出し、組織構造を観察することが可能となった。当日は、有限要素法を用いた数値解析と本実験結果との比較も含めて発表する。

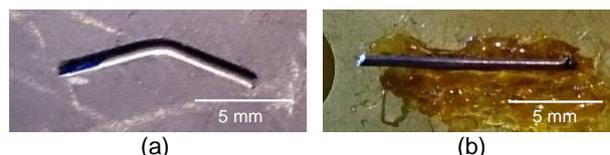


Fig. 1. Photographs of the sample: iron-sheathed mono-core MgB₂ wire fabricated by the IMD process. (a) bended sample (b) straightened sample set on SHPM.

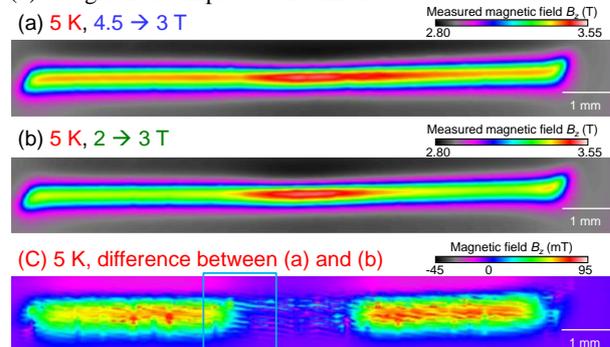


Fig. 2. Experimental results on magnetic micrographs at 5 K (a) with external magnetic field history of 4.5 → 3 T, (b) with 2 → 3 T, and (c) the difference between (a) and (b). The blue square of (c) is X-ray scanning area.

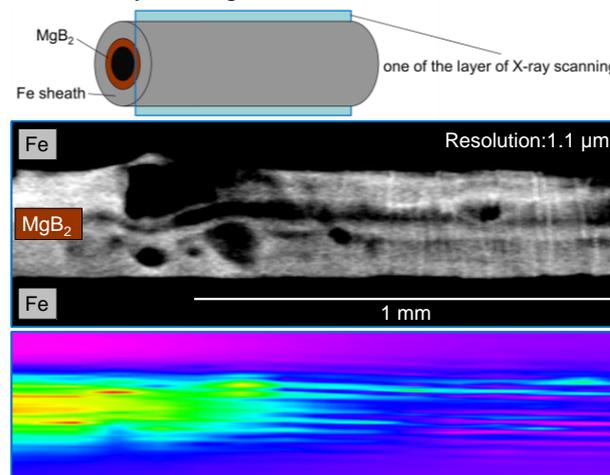


Fig. 3. Experimental results on X-ray computed tomography and that scanning area of the SHPM magnetic micrograph.

参考文献

- [1] K. Higashikawa *et al.*: 2013 年度春季低温工学・超電導学会, 2C-a03.
 [2] K. Higashikawa *et al.*: IEEE Transactions on Applied Superconductivity, **26** (2016) 3 6200804.

謝辞: 本研究は JST 先端的低炭素化技術開発 (ALCA) 「未来の水素利用社会を支える低コスト高性能 MgB₂ 線材の開発」による助成を得て行ったものである。