

次世代ヘリカル装置の高温超伝導マグネットの工学設計

Engineering Design Studies on the Next-Generation Helical Device with High-Temperature Superconducting Magnet

*柳 長門^{1,2}, 後藤拓也^{1,2}, 三戸利行¹, 宮澤順一^{1,2}, 寺崎義朗¹, 小野寺優太¹, 平野直樹¹, 成嶋吉朗^{1,2},
松永信之介², 田村 仁^{1,2}, 濱口真司¹, 高畑一也^{1,2}, 伊藤 悟³, 橋爪秀利³
YANAGI Nagato^{1,2}, GOTO Takuya^{1,2}, MITO Toshiyuki¹, MIYAZAWA Junichi^{1,2}, TERAZAKI Yoshiro¹,
ONODERA Yuta¹, HIRANO Naoki¹, NARUSHIMA Yoshiro^{1,2}, MATSUNAGA Shinnosuke², TAMURA Hitoshi^{1,2},
HAMAGUCHI Shinji¹, TAKAHATA Kazuya^{1,2}, ITO Satoshi³, HASHIZUME Hidetoshi³

¹ 核融合研, ² 総研大, ³ 東北大
¹NIFS, ²SOKENDAI, ³Tohoku Univ.

1. はじめに

次世代のヘリカル型核融合装置のマグネットに高温超伝導 (HTS) 導体を適用することを検討している。現在、内部構造の異なる3種類の大電流導体を並行して開発しており、STARS、FAIR、WISEと名付けている。いずれも、 80 A/mm^2 という高い電流密度の実現が要求される。また、それぞれの導体仕様に対して、ヘリカルコイル巻線手法の検討やクエンチ保護の検討を進めている。

2. 3種類の HTS 導体開発

STARS (Stacked Tapes Assembled in Rigid Structure) 導体は多数枚のREBCO線材を単純に積層して安定化銅ジャケットに収納し、外側をステンレスジャケットで補強した構造である[1]。ヘリカル型核融合炉FFHRへの適用をめざして開発を行ってきたものであり、以前に予備試験体を製作し、温度 20 K 、磁場 5.3 T において、電流値 100 kA を達成した。 20 kA 級で実用となる導体について、断面図を Fig. 1に示す。ステンレスジャケットにレーザービーム溶接を施した長さ約 3 m のサンプルを製作し、液体窒素冷却 (温度 77 K)、自己磁場における試験を行ってきた。臨界電流約 4 kA を確認し、繰り返し冷却による劣化も 1% 程度であることを確認した。

FAIR (Friction Stir Welding, Aluminum alloy jacket, Indirect cooling, REBCO) 導体は、積層したREBCO線材をアルミニウム合金に入れ、導体全体を緩く擦った構造としている。断面図を Fig. 1(b)に示す。多数本の導体サンプルを製作し、液体窒素冷却で試験を行ってきた。当初、臨界電流の低下が見られたが、アルミニウム合金に施す摩擦攪拌接合 (FSW) について最適化を行ったところ、臨界電流の低下が生じなくなり、さらなる最適化を図っている。

WISE (Wound and Impregnated Stacked Elastic tapes) 導体は、ステンレス製のスパイラルチューブにREBCO線材を積層して挿入して導体とし、その柔軟性のもと、まずコイル巻線してから低融点金属で固めるものである。構造図を Fig. 1(c)に示す。小型コイルサンプルを製作し原理検証を進めるとともに、長さ 1 m の短尺導体サンプルを製作して、 2 kA の電流値においてもクエンチしないことを確認した。

いずれの導体も、今後ヘリウムガスを用いた冷却 ($4\text{-}50 \text{ K}$) を行い、最大 9 T の外部磁場を印加して通電試験を行う計画である。

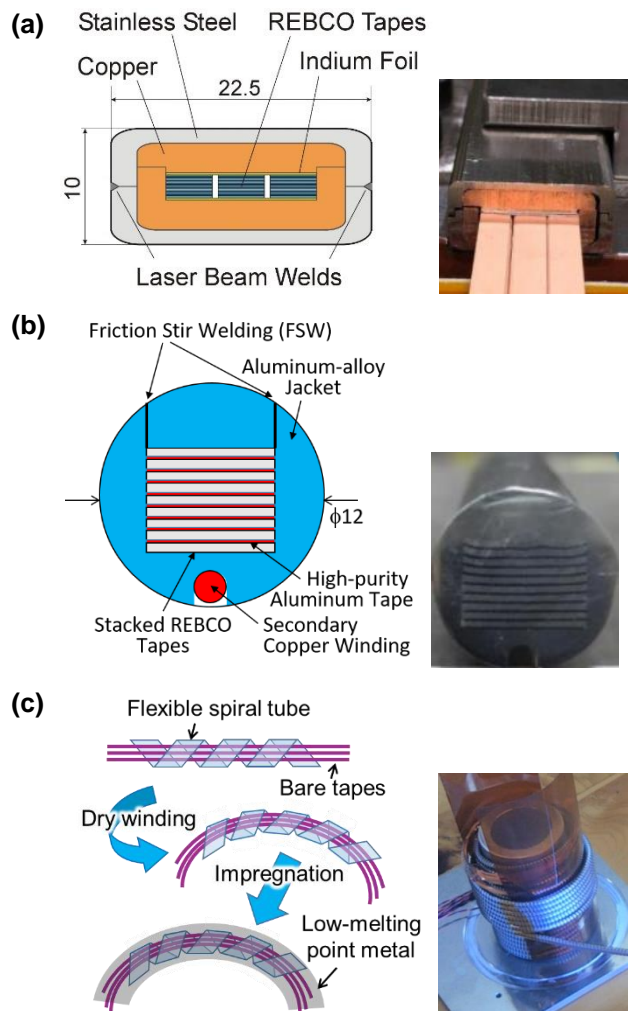


Fig. 1 Schematic drawings and photos three types of HTS conductors: (a) STARS, (b) FAIR, and (c) WISE.

参考文献

- [1] N. Yanagi et al., J. Fusion Energy **38** (2019) 147–161.
[2] T. Mito et al., J. Phys. Commun. **4** (2020) 035009.
[3] S. Matsunaga et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. **30** (2020) 4601405.