

# 高強度高熱伝導度 REBCO 導体の開発 -核融合用導体の可能性-

## R&D for REBCO Conductor with High Tensile and Conductivity Cu Alloy

### -Possibility for Compact Fusion Applications-

山田 穰 (物材機構, 上海超電導); 伴野 哉 (物材機構); 植田 浩史 (岡山大学); 諏訪 友音 (量子機構);  
 岩井 貞憲 (京都フュージョンリング); 淡路智 (東北大金研); SONG Bai, ZHU Jiamin (上海超電導)  
 YAMADA Yutaka (NIMS, SST); BANNONobuya (NIMS); UEDA Hiroshi (Okayama Univ.); SUWA Tomone (QST);  
 IWAI Sadanori (Kyoto Fusionering); AWAJI Satoshi (Tohoku univ.); SONG Bai, ZHU Jiamin (SST)  
 E-mail: yutakayamada@fsc.chubu.ac.jp

#### 1. はじめに

REBCO 線材の量産化が活発化し、大型マグネットへの適用も盛んである [1]。大型化や高磁場化に伴い電磁力も大きくなるので、高強度、高熱伝導度の CuM 合金と REBCO 線の複合化を検討し、REBCO 線の適用範囲を広げることを考えた。そのため、CuM 合金や REBCO 線材の強度、熱伝導度、 $I_c$  を測定した。また、両者を一体化する拡散接合の可能性も検討した。その結果を用いて、最近開発が活発な核融合用導体への適用性を議論する。

#### 2. 実験方法

用いた REBCO 線は上海超電導製の 4mm 幅線材で  $I_c$ (77K, 自己磁場)は 100A 程度のものである。CuM 合金は(株)精達製のやはり 4mm 幅のテープ状線材である。これを NIMS の拡散接合装置を用いて接合した。接合した線の  $I_c$  は液体窒素中、自己磁場下で行った。

CuM 合金の引張強度は(株)A&D 社 MCT-2150W 引張試験機により、室温で測定した。熱伝導度  $\lambda$  は(財)JFCC の熱拡散法により求めた。熱拡散率  $\alpha$  を測定し、熱伝導度  $\lambda = \alpha \rho C$  の式から求めた。ここで  $\rho$ 、 $C$  は密度、比熱である。

#### 3. 結果

**拡散接合と  $I_c$ :** 拡散接合は 200-300°C の低温で数分間の処理でも剥離することなくでき、かつ十分な  $I_c$  を維持できた。REBCO 線に Cu メッキ層があり、拡散反応が容易なためであろう。図 1 に拡散接合前後の  $I_c$  を示す。接合前は 98A/4mm 幅であったが、真空中で加熱し、拡散接合した後も 96A の十分な  $I_c$  を示した。Cu メッキ層のない Ag 層のみの線材でも行ったが、剥離しやすく、 $I_c$  も劣化が著しかった。

**引張強度:** CuM 合金について図2のように、900MPa 程度の SUS に相当する強度が得られた。よって、拡散接合複合体の強度も十分向上すると思われた。

**熱伝導度:** CuM 合金について測定した。その結果、315W/mK の純銅に相当する値が得られた。ちなみに Fe, Ni は 100 W/mK 程度、ハンダは 50W/mK 程度と低い。

**ハンダ複合体長尺の場合:** CuM 合金と REBCO 線をハンダ付けした長尺線材では、650MPa 以上の引張強度が得られ、SUS テープをハンダ付けした場合と同等であった。

#### 4. 考察

**汎用マグネットの場合:** 上記結果から、拡散接合、ハンダ付けの場合とも、CuM/REBCO 複合導体は、その高強度、高熱伝導度から十分メリットのあるコイル設計が可能と思われる。

**核融合導体の場合:** 図 3 は CFS 社の CS コイル用 PIT-VIPER である[2]。純銅と SUS が大部分である。銅部分を 4 分割することでパルス運転の際の温度上昇が抑えられ 20K 運転も可能となり、かつ、4T/sec の高速励消磁でも焼損が抑えられた。また、強度試験でも実用に耐えるとの報告である。しかし、この構造を見ると銅、ハンダの割合が多く、CuM 合金を使用すれば、さらにコンパクトにできると思われた。

#### 参考文献

- 山田穰 応用物理 93 巻(2024) p206
- C. Sanabria, et al.: Supercond. Sci. Technol., Vol.37 (2024) p115010

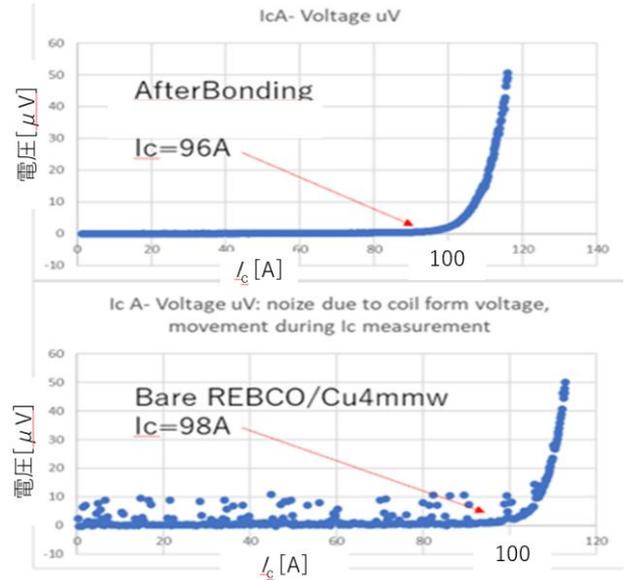


Fig.1  $I_c$  (77K, self) of REBCO/CuM conductor after diffusion bonding (above) and of REBCO tape

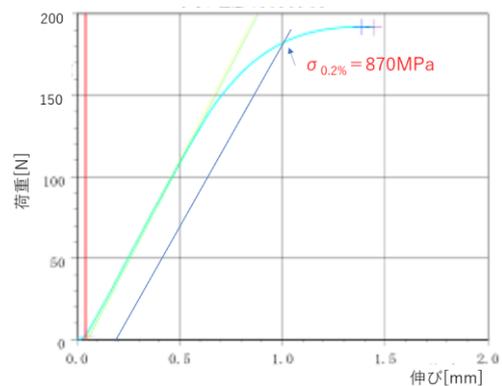


Fig.2 Tensile stress of CuM alloy 4mm tape at RT

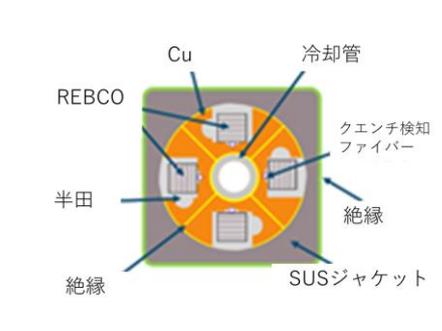


Fig.3 CFS PIT-VIPER Conductor [2]. Jacket size=23x23mm, No. of REBCO tapes=136.