

YBCO コート線材のホットスポット特性

Hotspot Behaviors of YBCO Coated Conductors

淡路 智¹, 侯 瑩¹, 小黒英俊¹, 渡辺 和雄¹, 井上 充², 坂本久樹², 安永紳也², 劉勁²

¹東北大・金研, ²古河電工(株)

S. Awaji¹, Y. Hou¹, H. Oguro¹, K. Watanabe¹, A. Inoue², H. Sakamoto², S. Yasunaga² and J. Ryu²

¹Institute for Materials Research, Tohoku University

²Furukawa Electric Co., Ltd.

1. はじめに

高温超伝導体 (HTS) の中でも希土類系超伝導テープ REBCO (REBa₂Cu₃O_y; RE は Y を含む希土類) は、高い磁場中臨界電流密度 J_c と優れた機械特性を有することから、強磁場マグネットに応用することが期待されている。マグネット応用において、HTS 線材は、高 T_c 特性と広い超伝導-常伝導転移領域に起因して、臨界電流を超えても微小抵抗状態でも安定通電できることが知られている。この現象は、高い安定性のため発熱と冷却がバランスした状態が、安定となる領域があることを意味している。しかし、一方で局所的に発熱した場合には、常伝導領域の伝搬が起こりにくく、容易にホットスポットへと発展し、焼損する危険性がある。本研究では、 J_c が不均質である線材を用いて、臨界電流と熱暴走電流との関係を調べて、マグネットの熱的安定性を検討した。

2. 実験方法

用いた線材は、CVD 法によって金属基板 (Hastelloy) テープ上にバッファ層を介して作製した幅 2mm の YBCO テープである。実験ため、線材を直径 40mm の FRP ボビンに約 3 ターン巻いたコイルを作製した。試料には複数の電圧端子により、4 端子法を用いてサンプルの各セクションの電界を測った。さらに、電圧タップの中間に 3 個の CernoxTM 薄膜抵抗低温温度センサーを取り付けてサンプルの温度測定を行った (図 1)。

臨界電流値 I_c は $1 \mu\text{V}/\text{cm}$ の電界基準により決定

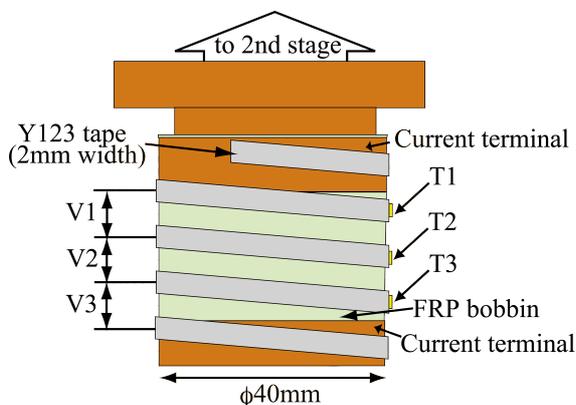


Fig. 1. Schematic configuration of the experimental set-up.

した。電界-電流 ($E-I$) 曲線の立ち上がりの鋭さを示す n 値は、 $E = 1-10 \mu\text{V}/\text{cm}$ の測定範囲で決定した。一般的には熱暴走電流 I_{tr} は線材の発熱と冷凍機の冷却能力のバランスが崩れるときの電流値として定義される。ここでは、熱暴走を $dV/dt = 20 \mu\text{V}/\text{s}$ となる電圧として定義した。

3. 結果と議論 [1]

図 2 に、線材の 3 つのセクションにおける I_c と n 値の磁場依存性を示す。温度は 38K である。 I_c は、いずれのセクションも磁場の増加とともに減少するが、中心部分のセクション 2 で最も I_c が高く、両端で低くなっていることが分かる。この違いは主に、線材をボビンに取り付けるハンダ付けによる劣化の可能性が高い。この線材を 38K に保持したまま、通電し熱暴走電流を測定した。図 2 には熱暴走電流も掲載してある。熱暴走は 3T 以上の高磁場ではセクション 1 で起こり、他のセクションは熱暴走していないことが分かった。熱暴走が起こる場所は、2T 以下の低磁場では、セクション 1 から 3 へ変化していることも結果から明らかとなった。図 3 に、10T における熱暴走挙動を示す。図から分かるように、電流一定にもかかわらず、セクション 1 では電圧と温度の急激な上昇が見られている。これが熱暴走であ

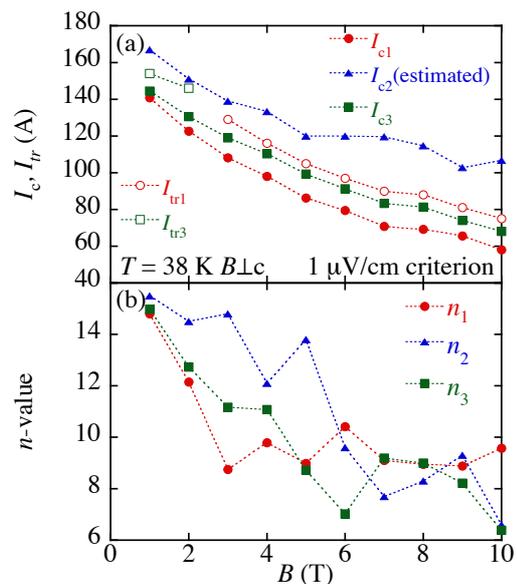


Fig. 2. (a) I_c and thermal runaway current I_{tr} , and (b) n -values at 38 K.

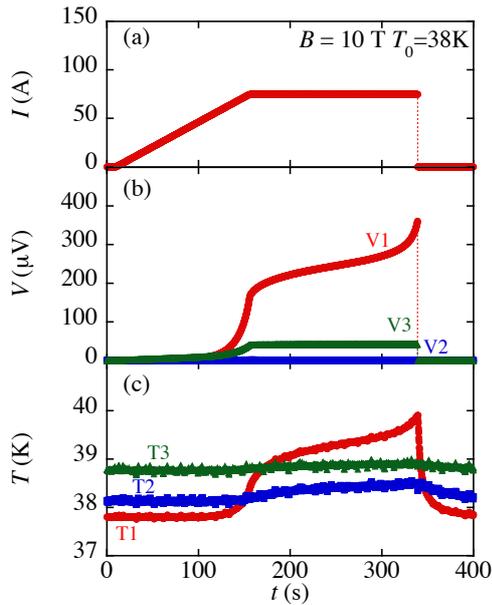


Fig. 3. Detailed thermal runaway behaviors at 10 T and 38 K.

る。一方で他のセクションの電圧と温度は、大きな変化を示さず、セクション1でのみ局所的な温度上昇が起こっている。すなわち、局所的な熱暴走により、一部の温度が上昇し、最終的にはこの部分がホットスポットに発展すると考えることができる。次に図4に1Tにおける熱暴走挙動を示す。10Tの場合とは異なり、熱暴走がセクション3から起きていることが分かる。また、電圧の立ち上がりは10Tと比べて非常に鋭くなっている。低磁場と高磁場では、熱暴走電流が大きく異なっているため、熱暴走時の電圧の立ち上がりが急峻となったと考えられる。また、低磁場領域では、図2から分かるように、各セクションの I_c の差が小さくなるとともに、その絶対値が増加するため、 I_c に対する相対的なばらつき（線材の I_c 分布の幅に相当）が小さくなるため、他のセクションの温度も通電によって同じように上昇していると考えられる。それにもかかわらず、熱暴走が局所的

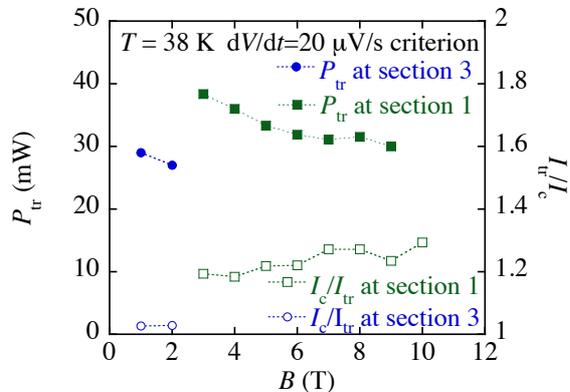


Fig. 5. Magnetic field dependence of the thermal runaway power $P_{th} = I_{th} \times V_{th}$ and I_{tr}/I_c at 38 K. Thermal runaway was defined by a $dV/dt = 20 \mu V/s$ criterion.

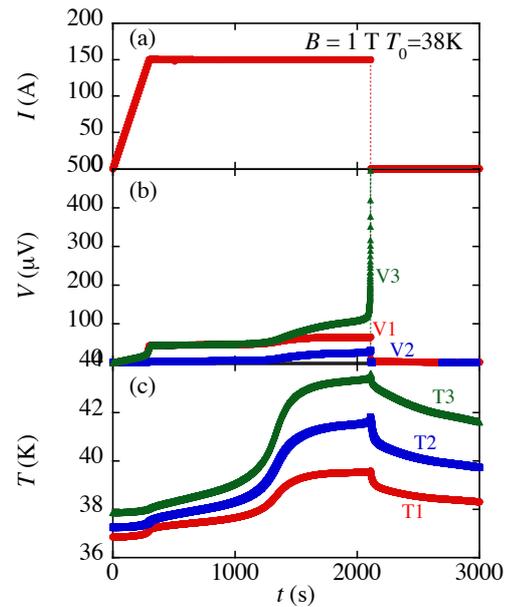


Fig. 4. Detailed thermal runaway behaviors at 1 T and 38 K.

に起こっている結果は、高温超伝導マグネットのクエンチ保護を考えた場合、深刻な問題である。熱暴走は基本的に発熱と冷却のバランスによって決まるので、熱暴走エネルギーを求めた結果を図5に示す。ここで、熱暴走エネルギーは、磁場の増加に伴ってわずかに減少するが、38Kでは概ね30-40 mWであることが分かる。2T以下と3T以上で熱暴走が起こるセクションが異なっているが、図5から熱暴走エネルギーも異なっていることが分かる。これらは、場所によって冷却状況が異なっていることを示している。したがって、これらの局所的な熱暴走挙動の機構解明と制御方法の確立が、高温超伝導マグネットの実現において、クエンチ保護の観点から非常に重要であると考えられる。

4. まとめ

CVD法で作製したYBCOテープ線材の熱的安定性について調べた。特に、試料に I_c の不均質性がある場合には、 I_c の低い部分から局所的な熱暴走が起こることが明らかとなった。その熱暴走挙動は、局所的な I_c と冷却のバランスで成り立っており、 I_c から決まる発熱量だけでなく、冷却状態も考慮する必要があることが分かった。また、局所的な熱暴走はホットスポットへと発展することから、マグネット保護の観点からその機構解明が重要である。

参考文献

- [1] S. Awaji et al, IEEE TAS, in press.