

## 超電導線材の強磁場下における性能向上のための研究開発

Development of high performance superconducting wire under high magnetic field

奥部 真樹<sup>1)</sup>, ガイフリン マラット<sup>1)</sup>, ペトリキン ヴァレリー<sup>1)</sup>, リー セルゲイ<sup>1)</sup>,  
兼谷 聡<sup>2)</sup>, 嵯峨 桂助<sup>2)</sup>

Maki OKUBE, Marat GAIFULLIN, Valery PETRYKIN, Sergey LEE, Hiroaki HANAYA, Satoshi KANEYA,  
Keisuke SAGA

<sup>1)</sup> SuperOx Japan 合同会社 <sup>2)</sup> 量子科学技術研究開発機構

### (概要)

超電導線材の磁場中特性向上を目的とし、3MV タンデム加速器を用いたイオン照射による人工ピンニングセンター導入実験を行った。照射後の試料について、磁場中での臨界電流特性の測定を行い、イオン照射による効果の評価を行った。

キーワード : 超電導線材、強磁場、人工ピンニングセンター

### 1. 目的

高温超電導体は、医療用 MRI、超電導リニア、核融合炉など、強磁場を利用した技術に応用されており、その技術向上のための研究が近年非常に活発化している。これらの応用研究において、超電導線材には強磁場下で高い臨界電流特性を持つことが求められるが、本来超電導体には強磁場下において臨界電流( $I_c$ )が減少する性質がある。求められる要求を満たす高温超電導線材の作成には、強磁場下における線材の特性向上が強く求められている。

磁場中での  $I_c$  特性を向上させるための方法として、人工ピンニングセンター(Artificial Pinning Center, 以下 APC) の導入がある。超電導物質の中に超電導特性を持たないナノ粒子(ピンニングセンター)を人工的に入れることによって、磁場中での特性を向上させることが可能になる。APC の導入法としては、非超電導性の酸化物微粒子の添加やイオン照射、超伝導物質の組成の変更などの方法があり、SuperOx Japan(以下 SOJ)では、これらの複数の方法を用いた APC 導入による高温超電導線材の特性向上のための研究開発を進めている。本研究課題では、強磁場下における超電導線材の性能向上を目的とした、イオン照射による APC 導入と強磁場下における特性評価を行った。

### 2. 実施方法

超電導線材試料にイオン照射を行うことで APC の導入を行った。3MV タンデム加速器を用い、18MeV での Au イオン照射を行った。試料は Hastelloy 基板の上に酸化物の薄膜を積層した超電導線材であり、積層構造の構成は、基板層/中間層(緩衝層)/超電導層  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  (RE: 希土類元素)/保護層とした。超電導線材試料は希土類元素の元素種と含有量の異なる幾つかの試料を用意し、それぞれの組成について、照射量を変えた幾つかの実験を行った。イオン照射実験後には、東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料研究センター設置の超電導マグネットを用いて、強磁場下での  $I_c$  測定を行った。

### 3. 結果及び考察、今後の展開等

照射後の試料について、磁場中での  $I_c$  測定を行った。図 1 に結果を示す。図は超電導層に希土類系超電導体を用いた高温超電導線材試料について、77K, 65K, 40K の 3 つの温度での、 $I_c$  の磁場依存性を示したものである。イオン照射により超電導特性が大きく向上したことが確認された。データ点の黒は未照射の試料、黒以外の色

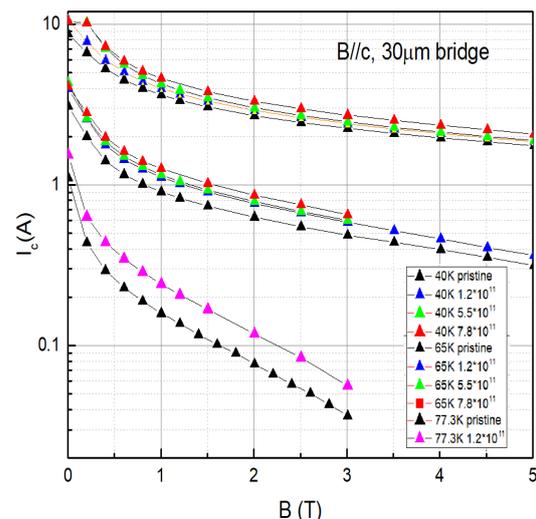


図 1: 希土類系超電導線材の磁場中特性測定は 4mm 幅の線材に作成した 30 $\mu$ m の幅のブリッジについて行った。磁場は帯状の線材に対して垂直に印加した。

は照射した試料を示し、異なる色は照射量の違いを示す。3つの温度全てでイオン照射による  $I_c$  の向上が見られた。傾向としては、温度が下がるほど、磁場が強くなるほどその効果は小さくなった。特に 77K では大きな特性向上の効果が得られ、1-3T の磁場下において 50%程度  $I_c$  が向上した。この 77K, 1-3T の磁場温度領域は、ちょうど超電導回転機への応用において超電導線材に求められる動作環境である。電気推進航空機やモーターへの応用が期待でき、電気推進飛行機をターゲットにした研究開発においては、今回の Au の照射が非常に有用である事を示す結果である。また、65K、40K で同様に 1-3T における  $I_c$  の向上は、それぞれ約 30、20%であった。また、照射試料の磁場に対する角度依存性の結果の一部を図 2 に示す。イオン照射により超電導層には柱状の欠陥が生成されると考えられたため、 $0^\circ$  近傍に強く特性向上の効果が表れると考えていたが、これまでの実験結果における異方性はそれほど強くなく、条件によってはほとんど観測されなかった。超電導層内でのイオンの飛行過程を検証するために行った TRIM コード<sup>(2), (3)</sup>を用いたシミュレーションでは、Au イオンの飛程はイオンビーム照射方向 ( $\theta = 0^\circ$ ) に対して  $50^\circ$  程度の分散があることが示唆されており、これが異方性の低さにつながっていると考えられる。

今後は、今回実験を行った Au イオンに加え、イオン種を変えてイオン照射による APC 導入を行った場合の超電導線材の磁場中特性の変化についても検証してゆく予定である。

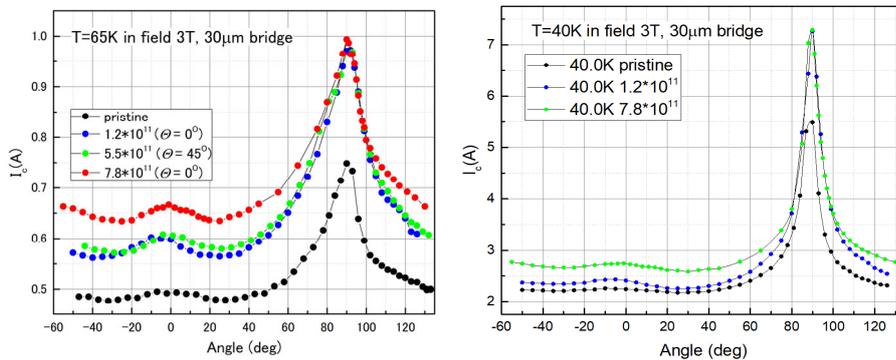


図 2: 希土類系超電導線材の磁場中特性の角度依存性  
 線材幅 4mm、ブリッジ幅 30 $\mu$ m、横軸の角度は、線材に対して磁場が垂直の配置を  $0^\circ$  としている。

#### 4. 引用(参照)文献等

- (1) Rupich *et al.*, *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **26** (2016) 6601904.
- (2) Ziegler *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B, Beam Interact. Mater. Atoms*, **268** (2010) 1818-1823. 2010.
- (3) Ziegler, <http://www.SRIM.org>.