

高温超電導で世界最強の磁場をつかまえた！
絶対温度29Kで17テスラ(17万ガウス)の磁場

平成15年1月29日

(財)鉄道総合技術研究所
(財)国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所

[鉄道総合技術研究所](#)¹⁾の富田優と超電導工学研究所²⁾の村上雅人は、高温超電導バルク体を使って、高温超電導磁石としては世界最高である17テスラを超える磁場を捕捉することに成功し、その成果をNature 2003年1月30日号(未定)に発表する。

この成果により、従来は不可能であった強磁場を自由空間に提供することができるようになり、材料プロセスや高性能の磁気分離、また新交通システムへの応用など幅広い分野への波及効果が得られることになる。今後、強磁場応用が加速化されるものと期待される。

今回、使用した高温バルク体はY-Ba-Cu-O系と呼ばれるもので、わずか2.6cm直径、1.5cm高さの小さなものであるが、わずか直径2.6cmの空間に、17テスラという驚異的な磁場を捕捉したものである。

このような強磁場捕捉が可能となったのは、樹脂含浸技術と金属含浸技術という新しい技術の開発により、材料の強度上昇とともに、低温における超電導状態の安定性を大きく向上させたことによる。

高温超電導バルク体に磁場を捕捉するためには、大きな電流を抵抗ゼロで流す必要がある。この限界の大きさを臨界電流と呼んでいる。臨界電流は低温になると飛躍的に向上するが、同時に大きな力(電磁力)が作用するため、バルク体が破壊してしまう。このため、捕捉できる磁場の向上には、超電導特性の向上よりも超電導体の機械特性の向上が急務となっていた。

バルク超電導材料は溶融状態から凝固させることで作製されるが、この作製過程で、内部に巣(空孔)が生じたり、クラックが発生する。高温超電導体は脆いセラミックスでできているため、これら欠陥が破壊の起点となって割れが発生しやすいのである。

本研究における最初のブレイクスルーは、溶けたエポキシ系の樹脂にバルク体を浸して外気を脱気することにより、樹脂が表面きずを通して、材料内部のクラックや巣に樹脂が浸透し、その結果、機械特性を大きく向上できることを発見したことにある。

しかし、樹脂が浸透できる深さは2~5mm程度であるが、最大応力の発生箇所は試料の中心部にある。そこで、第2のブレイクスルーはバルク体の中心に孔を空けて、樹脂含浸を施すことで内部からの強化を可能にしたことである。小さな孔であれば捕捉磁場特性に悪影響を与えることなく、バルク体を強化することができる。

ところが、強磁場捕捉にはつぎの試練があった。それは、バルク体内部の発熱である。磁場を捕捉させる過程では、バルク体内の磁場分布が時々刻々変化する。この時、磁束の運動にともなって熱が発生するのである。この熱をただちに取り除かないと、バルク体の温度が局所的に上昇する。10万ガウスというような強い磁場があると、この温度上昇によって磁場が急激に発熱部に集中するなだれ現象が起きて、バルク体が破壊してしまう。

この問題は、低温安定性と呼ばれ、すべての超電導体に共通の問題でもある。実際、多くの研究者から、バルク超電導磁石の本格応用には、この問題の解決が不可欠であることが

指摘されている。

ここで、第3のブレイクスルーは低融点合金のウッドメタルの含浸が可能であることを発見したことになる。樹脂は熱伝導度が低いため、熱はけには向かないのである。そこで、バルク体の中心に孔を空け、ウッドメタル含浸を施すことにより、熱伝導特性を飛躍的に向上させることに成功した。さらに、金属含浸する時に、孔に熱伝導性に優れたアルミニウムワイヤーを埋め込むことができることに気付き、この処理を施すことで、機械特性と熱安定性の両者に優れたバルク超電導磁石の製造に成功したのである。

今回の技術開発により、従来では考えられない15Tを越える強磁場を自由空間で利用できるようになり、新しい磁場科学が出現すると期待できる。

なお本研究は、超電導応用基盤技術研究体の研究として、(財)国際超電導産業技術研究センター・超電導工学研究所が、新エネルギー産業総合開発機構(NEDO)から委託を受けて実施したものである。

1)鉄道総合技術研究所

2)超電導工学研究所は、国際超電導産業技術研究センター(理事長:荒木 浩)の研究所で、所長は田中昭二東大名誉教授である。

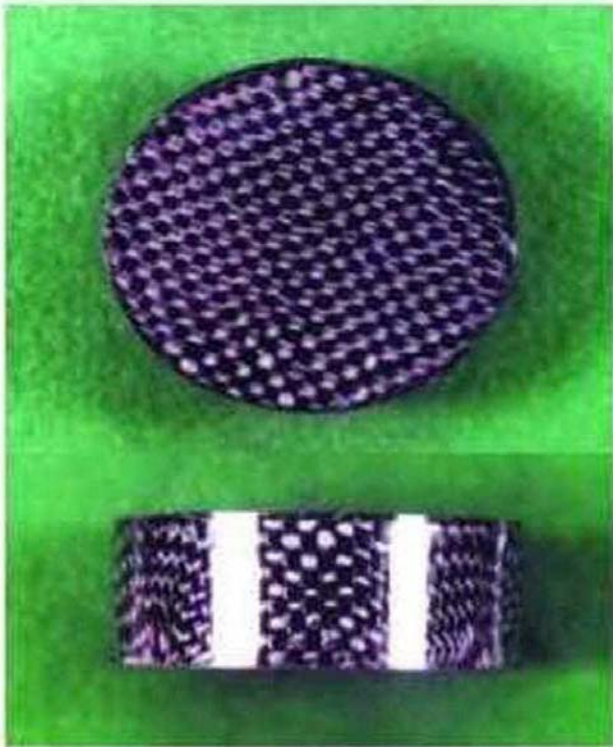
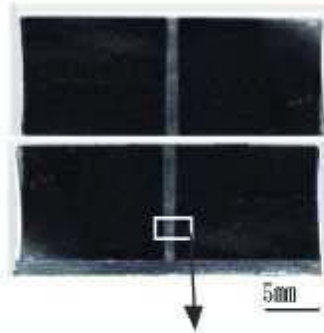


図 樹脂含浸処理された超電導バルク体



10mm



5mm

図 直径約1mmの穴に合金を含浸したY-Ba-Cu-Oバルク超電導体



300 μm

図 金属含浸後のバルク超電導体断面の顕微鏡写真

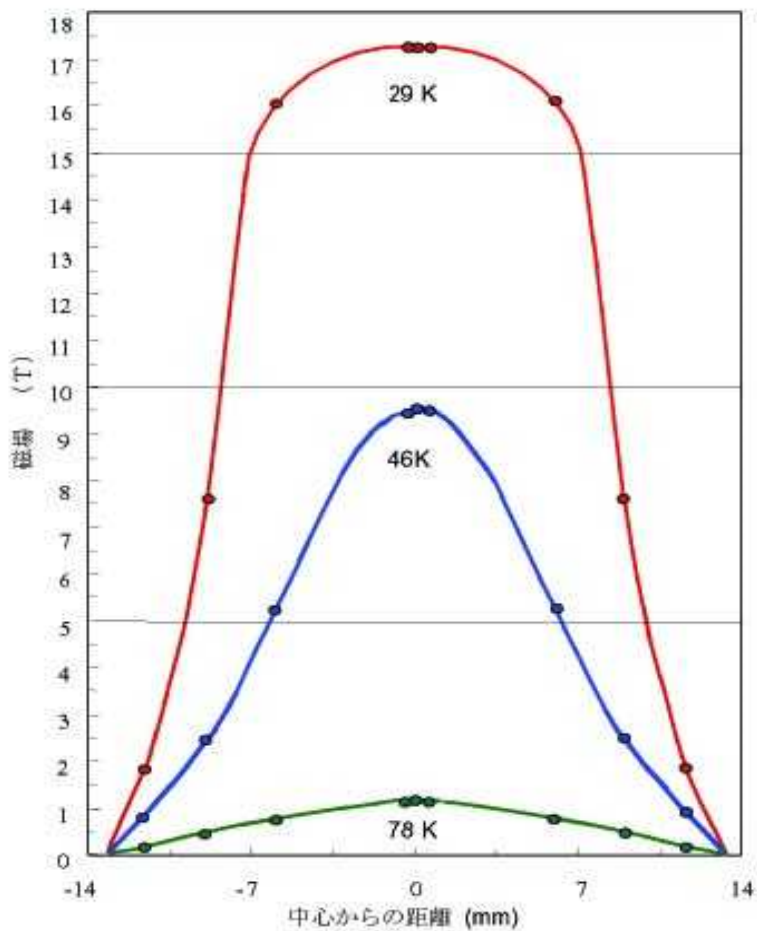


図 冷却温度 29K で達成した 17.24T の捕捉磁場