

ビスマス系高温超電導線材

研究者：前田 弘 独立行政法人物質・材料研究機構 特別名誉研究員

開発企業：松本正義 住友電気工業株式会社 社長

(推薦者：熊倉浩明 独立行政法人物質・材料研究機構 超伝導材料センター長)



前田弘氏



松本正義氏

1. 技術の背景

酸化物超電導体は 1986 年に発見され、世界中の物理・化学系の研究者を巻き込んだ一大ムーブメントが引き起こされた。ビスマス系酸化物超電導体はそのブームの最中の 1988 年、前田弘氏らによって臨界温度が絶対温度 100K (-173°C) を超える初めての高温超電導体として報告された。それまでに実用化されていた金属系超電導体は高価な液体ヘリウムを使って 4K (-269°C) まで冷やして使われていたが、ビスマス系酸化物は液体窒素温度 77K (-196°C) よりも 30°C 以上高い温度で超電導状態となるため、発見直後から幅広い応用が期待できる材料として注目された。しかしながら、線材の形に仕上げて、性能を実用的なレベルまで高めるには、多くの困難な課題を克服する必要があった。

2. 技術の概要

ビスマス系酸化物超電導体は Bi、Sr、Ca、Cu、O という 5 つの元素が複雑な構造をなすセラミックスで、限られた温度、酸素分圧でしか化学的に安定しない合成の難しい材料である。発見当初の試料も、臨界温度が低い相が混ざったものだったが、微量の Pb を添加し、微細粉末原料の加工・合成条件を極めることで純度の高いものが得られるようになった。また焼結体としては、中間圧縮加工を挿入する 2 段焼結法を開発し、密度 90% の緻密な組織を作り上げた。

ゼロ抵抗状態で流すことができる最大の電流値である臨界電流の高い材料を得られるようになってきたが、様々な形状のコイルやケーブルに利用するためには、硬くて脆いセラミックス超電導体をフレキシブルで長い線材の形に仕上げる必要があった。図1に示すように超電導体を非常に細いフィラメントにし、銀の中に多数埋め込んだ多芯構造を採用することにより、曲げに強い、長尺線を実現した。加工プロセスも改良して、銀の量を減らして、超電導体の比率を高めた。こうした改良の積み重ねによって、2002 年には、銀を含む全断面積が 1 平方ミリと小さく、長さ 1km を超える長尺線材において、液体窒素冷却で 100A を超える臨界電流を達成した。この電流密度は銅線の 100 倍に相当する高い特性である。

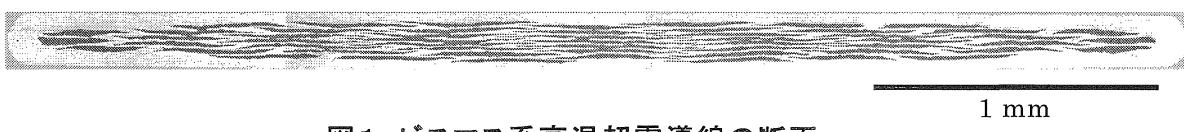


図1 ビスマス系高温超電導線の断面

高い臨界電流が、長尺線で得られるようになり、マグネット、ケーブルなどの応用

技術開発が進められたが、この段階でバルーニングと呼ばれる深刻な問題が持ち上がった。これは、超電導体内部の僅かな空隙に侵入した液体窒素が、温度が急上昇したときにガス化して体積膨張することより、線材が膨れ上がる欠陥だった。セラミック体であるがゆえの本質的な問題だったが、ビスマス系超電導体の合成に求められる厳密な温度、酸素分圧条件を 300 気圧の高圧下で行う独自の加圧焼成技術、CT-OP (ConTrolled OverPressure Sintering)法により、ビスマス系超電導体の密度を 100%まで持ち上げることで、これを解決した。超電導内部の隙間が解消され、バルーニング問題を解決すると同時に、結晶の繋がりが良くなることと、ボイドを撲滅することにより、臨界電流、機械的特性も大幅に向上させた。工業的に長尺線材の量産が可能な大型炉で CT-OP を実現し、歩留りを改善、線材長も 2km まで引き上げた(図2)。臨界電流は 2006 年に 200A を超え、今なお上昇を続けている。

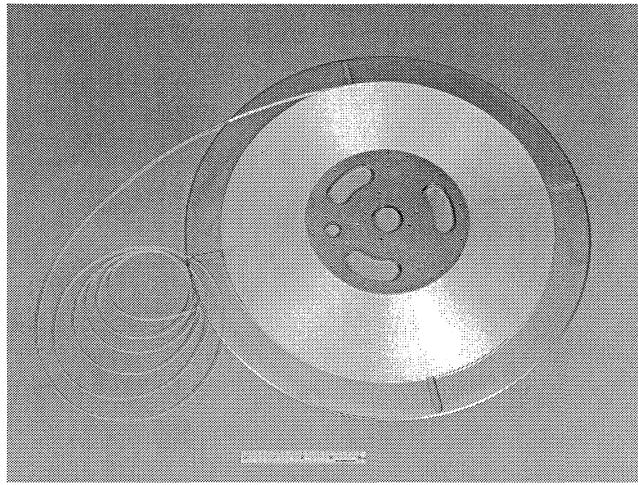


図2 CT-OP を適用した長尺ビスマス系高温超電導線

3. 効果

開発したビスマス系高温超電導線材を用いて、2005年1月には、温室効果ガスの排出等の規制に有効的に対応できる動力装置として、世界で初めて液体窒素で冷却する実用化レベルの超電導同期モータが開発され、このモータを内蔵した船舶用ポッド型推進装置が完成した。また、同4月には、モータの界磁コイルと電機子コイルの両方にビスマス系高温超電導線材を適用した世界初の全超電導モータが完成した(図3)。

2006年7月には、米国で検討されている強固な超電導ケーブル送電網を構築する計画の一環として、ビスマス系高温超電導線を用いた高温超電導ケーブルがニューヨーク州の州都 Albany 市に敷設され(図4)、超電導ケーブルとして世界で初めて実用送電路への送電が開始された。この高温超電導ケーブルを用いて9ヶ月間、約 70,000 家族への送電が行われ、安定した運転実績が確認された。

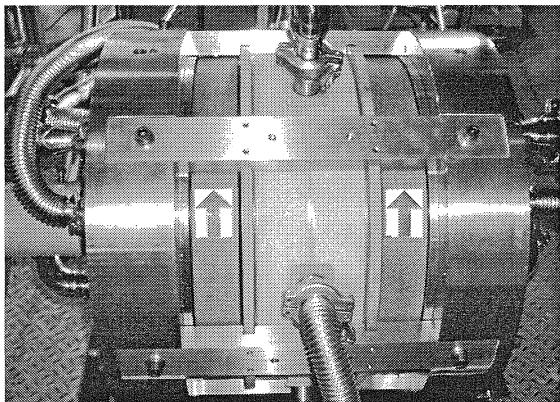


図3 液体窒素冷却全超電導モータ

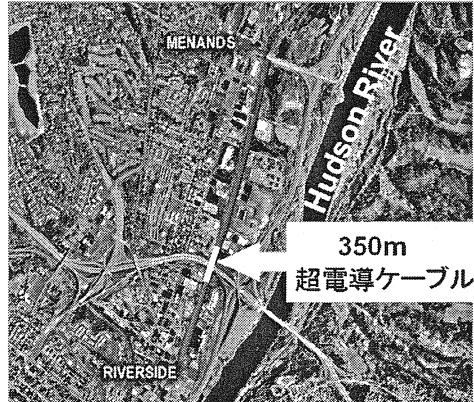


図4 超電導ケーブルの敷設ルート
(Albany 市、NY)

このようにビスマス系高温超電導線材の実用化によって高温超電導の応用技術開発の基盤が構築され、送電ケーブルをはじめ、船舶推進装置、リニア、磁気分離装置、変圧器、NMR、MRI などへの展開が進行している。ビスマス系高温超電導線材は省エネルギー技術・革新技術として期待が高く、この“日本発の材料と製法の組合せ”により、21世紀の“持続可能な社会”へ向けて貢献が期待される。