

氏 名	佐 藤 謙 一
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3895 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	ビスマス系超電導線と応用製品開発の研究

論文調査委員 (主 査) 教授 長 村 光 造 教授 高 野 幹 夫 教授 落 合 庄 治 郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ビスマス系超電導材料の基礎特性、線材の製造方法、その応用について論じた結果をまとめたものであって、5章からなっている。

第1章は序論であり、第2章では、ビスマス系超電導線の臨界電流密度向上に関する研究について、特に微細組織との関連について研究し、以下の臨界電流密度向上の指針を明らかにした。

(1)臨界電流密度(77K)が、 $1,000\text{A}/\text{cm}^2$ から $54,000\text{A}/\text{cm}^2$ の幅広い特性を持つ線材の電磁気的特性を系統的に調査することにより、粒界でのウィークリンクの改善により、臨界電流密度が向上すること、また、線材長手方向に配向した板状結晶間を流れるc軸方向の電流が磁場特性には支配的に作用し、結晶間の結合や微細構造が磁場下での臨界電流特性に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。

(2)臨界電流密度(77K)が幅広い特性を持つ線材の微細組織を系統的に調査することにより、結晶の配向性、相の均一性、粒界構造が臨界電流密度に大きな影響を及ぼすこと、また結晶の配向性および非超電導相の割合と臨界電流密度の関係を定量的に明らかにするとともに、粒界における非超電導相の存在が電磁気的特性で明らかとなったウィークリンクとして働いていることを指摘し、粒界モデルを提案した。

第3章では、ビスマス系高温超電導線の実用特性についての検討を実施して、機械的特性(曲げ歪み特性、引張特性)、幅広い温度、磁場のもとでの臨界電流特性を評価し、以下の指針を得た。

(1)ビスマス系高温超電導材料を銀マトリックス中にフィラメント状に分散配置させることにより、繰り返し曲げ歪み特性に耐えられる線材とすることが出来る。

(2)ビスマス系高温超電導線にシース材料として用いる銀マトリックスを超電導材料と反応しない合金元素を選択して銀合金化することにより、軟銅線と同等の強度までの引張応力に耐えることが可能である。

(3)液体ヘリウム、および液体水素を冷媒として用いることにより、20T以上の高磁場においても金属系超電導線に比べ高い臨界電流密度を保持していることを明らかにした。

(4)上記の幅広い温度領域、磁場領域での検討を通じて、ビスマス系高温超電導線の臨界局面を明らかにし、幅広い条件での応用の可能性を明らかにした。

第4章では、ビスマス系超電導線の応用製品の研究を実施し、実使用に向かって大きな可能性を示した。

(1)ビスマス系高温超電導線を用いた冷凍機冷却型20K運転の超電導マグネットを可能であることを実証し、実際の応用に適用可能な4Tマグネット、7Tマグネットを開発して、応用研究(化学反応、磁気分離)に供した。

(2)金属系超電導線と同一の冷媒である液体ヘリウムを用いる場合、ビスマス系高温超電導コイルは、23T以上の磁場を発生できる可能性を、コイルの形で実証した。この結果は、従来の金属系超電導線では不可能と考えられる1GHz/NMR(23.5T)の超電導マグネットの可能性を指し示した。

(3)ビスマス系高温超電導線を用いて、長尺で繰り返し曲げに耐えられるフレキシブル導体が形成できることを実証し、この

導体を用いてコンパクトで大容量の電力ケーブルが可能であることを3心一括型ケーブルプロトタイプで指し示した。また、交流ケーブルとして、課題と考えられる交流ロスについて、層間絶縁導体による多層大容量導体でしかも低交流ロスの導体が可能であることを示した。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、ビスマス系超電導材料の基礎特性、線材の製造方法、その応用について論じまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. ビスマス系超電導線の臨界電流密度向上に関して微細組織との関連について研究し、粒界でのウィークリンクの改善により、臨界電流密度が向上すること、線材長手方向に配向した板状結晶間を流れるc軸方向の電流が磁場特性には支配的に作用し、また結晶の配向性、相の均一性、粒界構造が臨界電流密度に大きな影響を及ぼすこと、結晶の配向性および非超電導相の割合と臨界電流密度の関係を定量的に明らかにするとともに、粒界における非超電導相の存在がウィークリンクとして働いていることを指摘し、粒界モデルを提案した。
2. ビスマス系高温超電導線材の機械的特性、幅広い温度・磁場のもとでの臨界電流特性を評価し、銀マトリックス中に超電導相をフィラメント状に分散配置させることにより、繰り返し曲げ歪み特性が向上し、シース材料として銀合金を用いれば軟銅線と同等の強度までの引張応力に耐えることが可能であること、幅広い温度領域、磁場領域でのビスマス系高温超電導線の臨界曲面を明らかにし、幅広い条件での応用の可能性を明らかにした。
3. ビスマス系高温超電導線を用いた超電導マグネットを20Kで運転できることを実証し、実際の応用に適用可能な4Tマグネット、7Tマグネットを開発して、化学反応や磁気分離などの応用研究に供した。ビスマス系高温超電導線を用いて、長尺で繰り返し曲げに耐えられるフレキシブル導体が形成できることを実証し、この導体を用いてコンパクトで大容量の電力ケーブルが可能であることを3心一括型ケーブルプロトタイプで実証した。また、交流ケーブルとして、課題と考えられる交流ロスについて、層間絶縁導体による多層大容量導体でしかも低交流ロスの導体が可能であることを示した。

以上要するに本論文は、ビスマス系超電導材料の基礎特性、その応用について論じまとめたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年2月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。