

ふりがな
氏名 石栗慎一
学位 博士(工学)
学位記番号 新大院博(工)第250号
学位授与の日付 平成19年3月22日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
博士論文名 高温超伝導コイルの高性能化に関する研究

論文審査委員
主査 教授 山口 貢
副査 教授 小椋一夫
副査 教授 加藤景三
副査 助教授 福井 聡
副査 助教授 岡 徹雄

博士論文の要旨

高温超伝導体を用いた機器の研究が盛んに行われている。これは、高温超伝導体は金属系の超伝導体に比べ、臨界温度が著しく高く、そのため伝導冷却や液体窒素で運転できることから、冷却コストの点で有利性を持つためである。しかしながら、高温超伝導テープ線などの製造コストは、いまだ高価といわざるをえず、そのため、大型の高温超伝導コイルは現在のところ、実用化に至っていない。本研究では、高温超伝導の将来性を見据えたうえで、高温超伝導コイルの高性能化およびコスト低減を図っていく。そのためには、より少ない使用線材で、高い蓄積エネルギーおよび中心磁界を発生する高温超伝導コイルを開発および設計する必要がある。

高温超伝導テープ線材の臨界電流および n 値は磁界強度と磁界印加角度に依存して、減少する特性をもつ。高温超伝導コイルの高性能化のためには、この線材の特性を考慮した上での設計が必要である。そこで本研究では、Bi-2223/Ag 高温超伝導テープ線の臨界電流と n 値をいろいろな磁界強度および磁界印加角度において測定し、得られたデータから任意の磁界強度と印加角度を変数にもつ臨界電流と n 値の近似式を導出し、これらの近似式を基に高温超伝導コイルの通電性能を解析できるようにした。

まず低温超伝導コイルの場合における体積最小コイルの解析を基に、矩形断面コイルのアスペクト比を変化させ、コイルの特性を解析した。その結果、コイル体積最小を満足するコイル断面において、フラックスフロー損失が最小となる矩形断面コイルの最適形状が求められた。

次に、高温超伝導コイル性能が向上する最適形状に関して更に三種類の方法を考案した。コイルに臨界電流を通電すると、コイル断面端部に磁界と磁界印加角度の影響により高い電

界が発生する。これにより端部のテープ線の臨界電流が低下する。この端部のテープ線の臨界電流が向上すれば、コイルの通電性能も増加する。そこで、端部を同一の線材を用いて、部分的に疎に巻線するグレーディング巻線コイルを考案し、解析した。その結果、端部の磁界強度が減少しているため、その箇所の臨界電流が向上し、これを受けて、線材長あたりの蓄積エネルギーおよび中心磁界が大幅に向上した。増加した蓄積エネルギーは約 36%である。

また、別の方法として、端部の高い電界発生箇所を切除するコイルの解析を行った。このコイルにおいても、線材の使用量を約 20 %削減できたにもかかわらず、蓄積エネルギー密度が向上することを確認した。

最後に、コイルの外層端部を部分的に分離移動する外層端部シフトコイルの解析を行った。このコイルでは、端部の分離移動により、磁界分布が変化し、そのため、端部の線材への磁界印加角度が緩和し、コイルの通電性能が向上し、同時に、蓄積エネルギーが、同体積の矩形コイルに比べ、約 20 %向上した。

審査結果の要旨

本論文は、臨界電流と n 値に対して磁界異方性のある高温超伝導テープ線材で巻線された高温超電導コイルの蓄積エネルギー密度を最大にするコイル形状を解析的に追求する事に関する。

そこで、Bi-2223/Ag 高温超伝導テープ線の臨界電流と n 値について磁界強度と磁界印加角度に対して測定し、得られたデータから任意の磁界強度と印加角度を変数にもつ臨界電流と n 値の近似式を導出し、これらを基に高温超伝導コイルの通電性能を解析できるようにした。

高温超伝導コイル性能が向上する最適形状に関して、三種類の方法を考案した。グレーディング巻線コイルは、端部を同一の線材を用いて部分的に疎に巻線される。その結果、端部の磁界強度が減少しているため、その箇所の臨界電流が向上し、これを受けて、線材長あたりの蓄積エネルギーを約 36%増加させることができた。

第二の方法は、端部の高い電界発生箇所を切除する方法でこのコイルにおいても、線材の使用量を約 20 %削減できたにもかかわらず、蓄積エネルギー密度を向上することができた。

第三の方法では、コイルの外層端部を部分的に分離移動する外層端部シフトコイルで、端部の分離移動により、磁界分布が変化し、そのため、端部の線材への磁界印加角度が緩和し、コイルの通電性能が向上し、蓄積エネルギーが同体積の矩形コイルに比べて約 20 %向上した。

これらの研究は高温超伝導コイルの技術開発の指針を与えるものでその研究開発に多大な貢献をしている。

以上のように、本研究は独創性と新規性が認められるとともに工学的な発展にも大いに寄与するものである。よって、本論文は博士（工学）の論文として十分であることを認定した。