

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	希土類系高温超電導線材を用いた浮上式鉄道用超電導磁石の実現に向けた研究
Title(English)	
著者(和文)	水野克俊
Author(English)	Katsutoshi Mizuno
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11125号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岡村 哲至,奥野 喜裕,末包 哲也,肖 鋒,長崎 孝夫
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11125号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	水野 克俊		指導教員 (主)： 岡村 哲至 Academic Supervisor(main)
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

磁気浮上式鉄道用超電導磁石に希土類系高温超電導線材を用いることにより寒剤不要・低消費電力・軽量な車載超電導磁石が実現できる見込みがあり、本研究は希土類系高温超電導磁石の実現に不可欠な要素技術の確立と希土類系高温超電導コイルの基本性能の実証を目的としている。1970 年代の磁気浮上式鉄道開発初期から山梨実験線に至るまで、車載超電導磁石には低温超電導材料であるニオブチタンが用いられており、長年にわたる性能向上が進められてきた。その一方で、希土類系高温超電導材料は 1987 年に発見されて以来、線材開発が続けられている。線材の長尺化、臨界電流の向上が進められ、2000 年代後半に入ると、通電特性としては機器応用も可能な水準に到達している。

しかしながら、浮上式鉄道応用に限らず、コイル化技術を筆頭に希土類系高温超電導磁石の実用化に必要な要素技術は完全には確立されていないのが現状である。線材の形状や強度がニオブチタンとは異なるため、従来のコイル製作手法をそのまま転用できない。また、冷凍機で直接冷却できるのは利点である反面、寒剤(液体ヘリウム、液体窒素)を用いないためコイルが熱的に不安定になりやすく、外部からの熱侵入経路も低温超電導磁石とは異なるので熱設計の見直しも必要である。さらに、機器応用においては信頼性・耐久性も不可欠であり、そのための検証も行う必要がある。本研究では、高温超電導磁石固有の問題であるアウトガスの評価と対策に関する検証、希土類系高温超電導線材を用いたコイル製作手法の提案と実証試験、実機大・実起磁力のレーストラックコイル製作および、同実機大コイルを用いた機械加振試験を行った。

浮上式鉄道用車載超電導磁石は真空排気なしで長期間運用することが求められ、アウトガス対策が不十分だと真空度の劣化から熱侵入が増加してしまう。高温超電導磁石においては、運用温度の向上に伴いクライオポンプ効果が弱くなり、窒素や水素などのアウトガスの吸着が困難になることが検証試験で明らかとなった。そこで、高温超電導磁石を構成する部材からのアウトガス放出速度評価および成分分析を実施した。樹脂材料はアウトガス放出量が多いことが知られているものの、冷却された状態ではアウトガスの放出量が測定不能なレベルまで低下することがわかり、アウトガスの放出現は室温部の部材に限定されることが明らかとなった。また、クライオポンプ効果を補うために吸着剤の使用を検討している。高温超電導磁石内部に吸着剤を設置する場合を想定すると、ベーキングと呼ばれる過熱状態での真空排気による再生が不可能である。そのため、吸着性能の評価と加熱なしでの真空排気による再生を繰り返す試験を実施した。活性炭はアウトガスの主成分である水素に対し高い吸着性能を持つだけでなく、加熱なしでの再生でも能力が低下しないことが確認され、高温超電導磁石の長期的な高真空保持が可能となる見通しを得た。

コイル製作手法については、エポキシ樹脂含侵に伴う劣化が大きな課題である。希土類系高温超電導コイルに対してエポキシ樹脂含侵を行うと、線材とエポキシ樹脂の熱収縮率の違いから冷却時に線材に剥離方向の応力が働く。希土類系高温超電導線材はテープ形状で積層構造となっているため、熱応力が働くと層間剥離してしまい、臨界電流の著しい低下を引き起こす。しかしながら、非含浸コイルではコイルターン間、あるいはコイルと伝熱部材との熱接触が極めて不安定になり、熱暴走のリスクが高くなってしまう。そこで、コイルターン間是非接着としつつ、コイル端面のみを伝熱部材と強固に固着させることで劣化の回避と伝熱を両立できると考え、コイル端面に熱可塑性樹脂を用いて銅板などの伝熱部材を固着させる手法を考案した。熱可塑性樹脂の低温での熱抵抗測定、小型コイルでの劣化評価試験を行い有用性が確認されたので、実機大コイル(レーストラック形状：幅 1070 mm、高さ 500 mm、2800 ターン、起磁力 700 kA)の製作を行い、35 K での励磁試験に成功した。

さらに、製作した実機大コイルを用いて、走行状態を想定した機械加振試験を実施した。浮上式鉄道走行時には、地上コイルピッチと走行速度に応じた加振力が発生し、加振周波数と超電導コイルの固有振動数が一致した際に共振により大きく振動する。機械加振で共振を再現したところ、共振に伴う発熱は数 W 程度でありコイルへの定常熱侵入と比較すれば十分に小さく、走行時の共振が車両加減速時の短時間であることを考慮すれば冷却の問題になることはない。また、励磁状態で加振中も常電導転移やその前兆は確認されず、周波数応答も加振の前後で変化しなかったことから構造部材の損傷もなかったものと考えられる。

本研究によって長期間の真空保持や耐振動性など、浮上式鉄道用超電導磁石に求められる基礎的な特性は希土類系高温超電導磁石でも実現可能なことが実証された。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	機械	系
Department of, Graduate major in	機械	コース
学生氏名：	水野 克俊	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	岡村 哲至	
Academic Supervisor(main)		
指導教員 (副)：		
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

REBCO (Rare-Earth Barium Copper Oxide) coated conductor is a promising superconducting wire for the maglev because of its high current density in high magnetic field environments. The on-board magnet will be operated without cryogenes and become lighter. The energy consumption of the cryocoolers will be also reduced. However, few practical REBCO magnets have been manufactured in the maglev or other fields. The purposes of this study are establishment of the fundamental techniques which are necessary for the REBCO on-board magnet and the demonstration of the basic performance of the REBCO coil.

One of critical problem is outgassing in a high temperature superconducting magnet. Because of high-operating temperature, the cryopump effect is weak and the vacuum condition is degraded. The dominant source of outgas was surveyed. Activate carbon is selected as the adsorbent and the performance was evaluated. The activate carbon can be regenerated by vacuum pumping at room temperature.

A novel coil fabrication method was also invented. The REBCO coated conductor is weak against peeling stress. Therefore, thermal stress due to the epoxy impregnation degrades the REBCO coil. The degradation is avoidable by controlling the adhesion area. Only the top and bottom surfaces of the coil are strongly bonded to heat transfer members by thermoplastic resin. This method realizes secure cooling path. A real-scale REBCO coil was produced with that coil fabrication method. The coil was successfully excited with the magnetomotive force of 700 kA, which is necessary for the maglev operation.

Mechanical vibration tests were also carried out using the real-scale coil. The coil was vibrated at the eigen frequencies under the excited condition. Although the vibration acceleration reached 10 G (98 m/s²), The REBCO coil maintained excited condition. The vibration heating was several watts, which is sufficiently small compared with the stable heat load to the magnet. In addition, no mechanical damage was confirmed.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).