

推進用バルク高温超電導モータの高出力化に目処

液体窒素冷却Gd系バルク高温超電導体磁石を多層回転界磁極とする モータの実用化に向けて

北野精機株式会社、東京海洋大学海洋工学部、福井大学工学部

【概要】

3機関を中心とするグループ^[1]は、Y系高温超電導体と同系のGd系超電導体を溶融成長させた結晶の塊であるバルク磁石を応用した超電導同期モータの設計、試作を行ってきました。まず渦巻き型電機子コイルによるパルス着磁法を提案^[2]、昨年3月末に発表した試作機^[3]では、8個のバルク磁石から回転界磁1層が構成されていましたが、昨年12月末から公開したプロペラ回転試験^[4]の検証結果等をふまえて、さらに大容量化・高出力化の実証をめざしたモータを製作、このほど完成しました。

モータは8個のバルク磁石を配置した回転界磁を2層実装して複層界磁としました(3層の回転界磁を固定電機子間におさめて1層あたり30kWとし合計90kWの出力を得るように設計しました:図1下図)。16個のバルク磁石を電機子コイルによって瞬時に着磁した後、初期回転試験に成功しました。グループでは100kW級の実現に確証を得ました。現用永久磁石同期機比で3分の1以上の減容が可能となりました。

このモータでは^[4]、

- (1) 直径60 mm、厚さ20 mmのバルク磁石8個を界磁極として1枚の回転子円板上に配置(アキシアル型)。
- (2) 出力軸と一体となった回転子内部に外部からロータリージョイント(図1)を通じて回転子円板内部に冷媒(液体窒素(77 K = -196))を循環させてバルク磁石を冷却する(回転子と電機子の間は真空で風損はなし、ブラシレス、鉄心は使用していません)。
- (3) 回転子円板上のバルク磁石を、回転子を挟む固定電機子の巻き線に瞬間的にパルス電流を印加することによって、バルク磁石に瞬間的に磁場を加える。このパルス磁場によって、バルク磁石内部に磁場を捕捉(着磁)させる。

- (4) 回転界磁内部のバルク磁石だけでなく電機子コイルも循環冷媒で冷却している。
- (5) 機械的な衝撃なく着磁ができる。

などの特徴があります^[4]。今回は、8個のバルク磁石を配置した回転界磁を1枚から2枚に複層化して従来の2倍の16個の界磁磁石により同期運転することに成功しました。バルク磁石の磁場を0.5 テスラに着磁した時に15 kWまでの出力が得られることが明らかになりました。

液体窒素(液体窒素(77 K = -196 マイナス196))冷却では、バルク磁石に1.0テスラ以上の磁場をモータ内部でパルス着磁できることを、従前の試作機内部で実証しており、冷媒の過冷却等によって、回転界磁が2層のときに60 kWの設計仕様を、また、回転界磁が3層のときに90 kWの設計仕様を十分に実現できるものとなりました。

以上のように超電導バルク磁石を冷却して回転させる高温超電導モータにおける基本的技術課題は殆ど解決されたばかりか、高トルク小型推進用モータとして製品化する技術的目処がついたといえます。グループでは液体窒素以外の冷媒と小型冷凍機をもちいた、より取り扱いの容易な冷却システムを開発中です。

高温超電導バルク磁石は、直径わずか26 mmの寸法でも17 テスラという非常に強い磁場を保持することができることから^[5]、着磁技術の進歩により小型船舶の推進機としてはもちろん、次世代の多様な移動体の超小型推進用電動機や発電機として急速な普及展開が期待できます。

わずか直径2 - 数センチの寸法のバルク磁石によって、その寸法の領域に、これまでの超電導線材コイルや鉄心つき界磁巻き線、あるいは永久磁石では実現不可能だった強磁場を生成保持できることは大きな特徴であり、コンパクト化が要求される電磁力応用機器に適合しています。

また、最近、財団法人国際超電導産業技術研究センター超電導工学研究所バルク研究開発室では、直径140mmに至るGd系バルク磁石の作成に成功しています^[6]。このような大型バルク磁石の出現は、その捕捉磁場や捕捉総磁束の大きさへの期待から、中小型の電動機・回転機をはじめとするいろいろな機器への応用の研究にはずみを与えています。

説明図

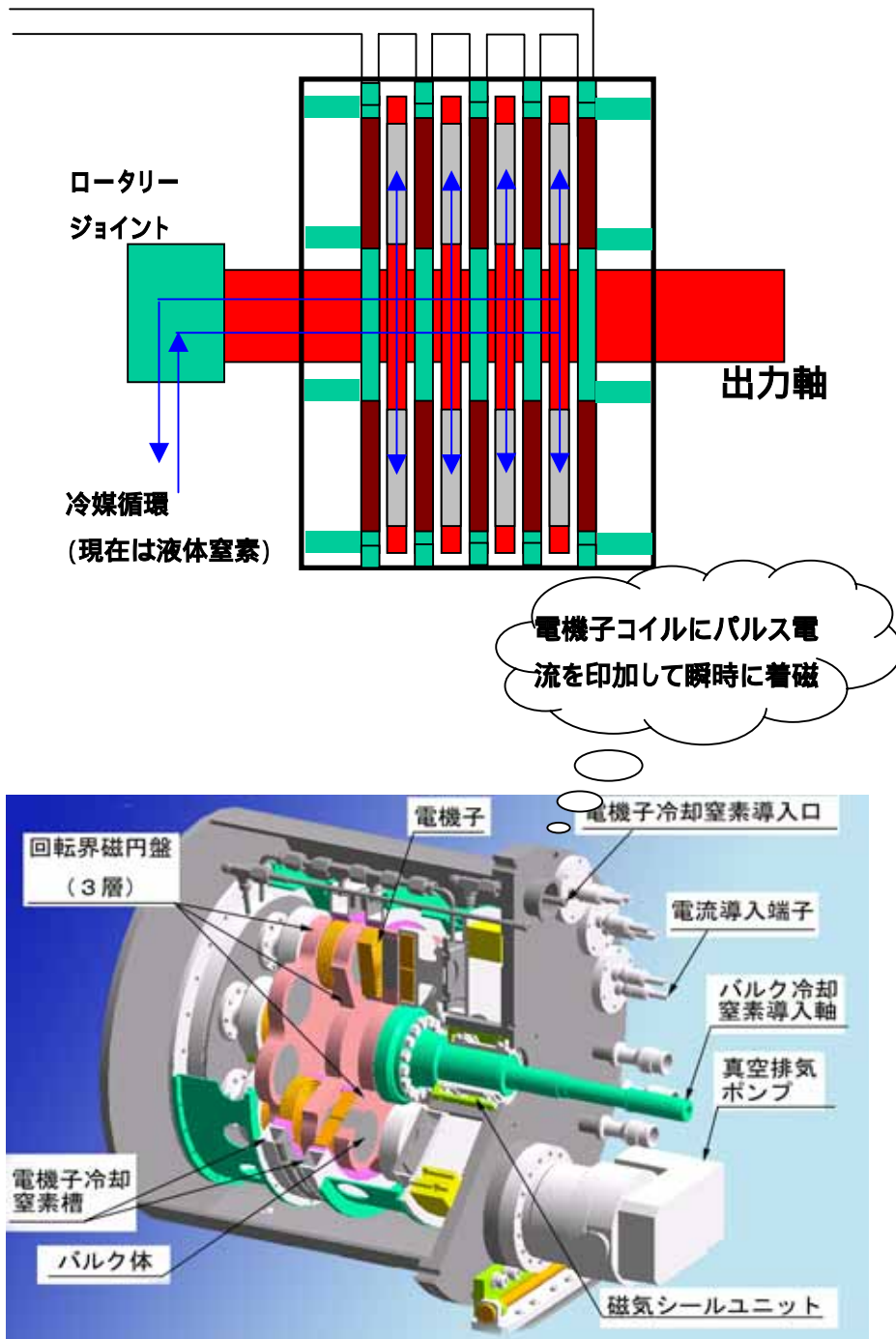


図1 【上図】高出力型多層界磁バルク高温超電導モータ内部横断面概観図(回転界磁が4層の場合)、赤色部分が回転界磁と出力軸、茶色は電機子コイル(兼着磁コイル)、灰色はGd系バルク磁石;【下図】3層界磁3層バルク高温超電導モータの概念図



図2 複層界磁型バルク高温超電導モータ回転試験写真
(回転界磁が2層で16個のバルク磁石を実装している)

バルク高温超電導モータに関する問い合わせ先(順不同)

北野精機株式会社

代表取締役社長 北野 雅裕

〒143-0024 東京都大田区中央7-17-3

電話:03-3773-3956 FAX:03-3778-0379

電子メール:masahiro@kitano-seiki.co.jp

国立大学法人東京海洋大学 海洋工学部

海洋電子機械工学科 教授 和泉 充

〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6

電話:03-5245-7462 FAX:03-5245-7462

電子メール:izumi@e.kaiyodai.ac.jp

国立大学法人福井大学 工学部

電気・電子工学科 教授 杉本 英彦

〒910-8507 福井県福井市文京町3-9-1

電話:0776-27-8563, FAX:0776-27-8749

電子メール:sugimoto@kyomu1.fuee.fukui-u.ac.jp

高温超電導バルク材料・機器応用に関する問い合わせ先

芝浦工業大学 工学部
材料工学科 教授 村上 雅人
〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14
電話:03-5476-2418, FAX: 03-5476-2418
電子メール: masatomu@sic.shibaura-it.ac.jp

注釈・用語解説

- 【1】 本研究の一部は日本財団の援助を受けて(財)シップアンドオーシャン財団が行う技術開発基金の補助を受けて行われており、別記3機関の他に富士電機システムズ、日立金属、かもめプロペラ、新日本製鐵株式會社技術開発本部先端技術研究所、芝浦工業大学工学部、財団法人国際超電導産業技術研究センター超電導工学研究所(ISTEC-SRL)、国立高等専門学校機構広島商船高専(順不同)が協力している。
- 【2】 “高温超電導バルク磁石の実用的で高効率な強磁場着磁法を開発
超電導バルク磁石のその場着磁が可能に、モ - タ - 開発にはずみ”
福井大学、東京商船大学(現東京海洋大学)、北野精機、関係記事:
SUPERCONDUCTIVITY COMMUNICATIONS, Vol.12, No.1, Feb. 2003
(平成15年1月22日).
(http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/61/61_2.html)
- 【3】 “推進用アキシアルギャップ型高温超電導モータの回転に成功 - 船舶の推進
や風力発電に期待” 北野精機、東京海洋大学、福井大学、関係記事:
SUPERCONDUCTIVITY COMMUNICATIONS, Vol.13, No.2, April.
2004 (平成16年3月29日).
(http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/68/68_1.html)
(<http://www.istec.or.jp/Operation/OP-pdf/HTSMotor.pdf>)
- 【4】 “パルス着磁法をもちいた高温超電導同期機の開発:プロペラ回転試験”
北野精機、東京海洋大学、福井大学 (平成16年12月22日公開実験)
(http://www.istec.or.jp/Web21/PDF/05_5/all.pdf)
- 【5】 富田 優、村上 雅人、Nature, 421 (2003) 521.
(http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/62/62_1.html)
- 【6】 財団法人国際超電導産業技術研究センター超電導工学研究所(2004)
(http://www.appchem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/kitazawa/SUPERCOM/72/72_3.html)

絶対温度:絶対零度は氷点下 273 であり、これが世の中のもっとも低い温度である。この温度を 0 ケルビンと呼んでいる。77 ケルビンは、絶対零度よりも 77 高い温度で、マイナス196 である。

液体窒素:空気中に 8 割存在する窒素ガスを冷却して液体状態にしたもの。この液体の沸点がマイナス 196 、77 ケルビンである。

超電導:ある種の金属や酸化物などを冷却すると、ある温度以下で電気抵抗がゼロになる現象である。この超電導になる温度を臨界温度と呼んでいる。

1986 年に、ある種の酸化物(La-Ba-Cu-O)が、世界最高の臨界温度である 30K を記録したことで世界的な大フィーバーとなった。

RE-Ba-Cu-O 超電導体:1987 年に発見された酸化物超電導体で、世界ではじめて臨界温度が液体窒素温度である 77K を更新した。RE: 希土類元素で Y(イットリウム)などが知られる、Ba:バリウム、Cu:銅、O:酸素、今回のバルク磁石の希土類元素は Gd(ガドリニウム)である。Y-Ba-Cu-O は次世代線材としても開発が進んでいる。

臨界電流:超電導体に電流を流すと、ある臨界値で超電導がこわれてしまう。この限界を臨界電流と呼んでいる。超電導体の実用化にとっては、最も重要な特性である。RE(YやGd)-Ba-Cu-O 超電導体は、高温での臨界電流特性にすぐれているため、線材やバルク材として実用化が期待されている。

テスラ:磁場の大きさの単位。正確には磁束密度の大きさである。10000 ガウスが 1 テスラに相当する。

ピン止め効果:磁力線をピンで止めるように固定する現象である。超電導体の中に常電導相が分散していると、磁力線は、この部分に固定される。

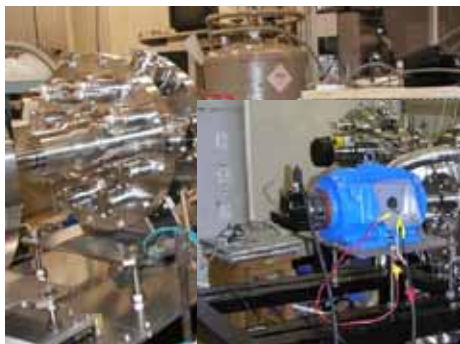
超電導体に電流を流すと、磁力線が動いて抵抗が発生するが、ピン止め効果があれば磁力線の動きを止めて、電気抵抗ゼロで大電流を流すことができる。

バルク超電導磁石:超電導磁石には超電導線をコイル形状に巻いて磁場を発生するタイプと、超電導のピン止め効果を利用して、バルク(かたまり)の状態を超電導体に磁力線を固定し、磁石とするタイプがある。後者をバルク超電導磁石と呼んでいる。コイルは電流を流して着磁するが、バルク超電導磁石は外部から磁場を印加することで着磁させる。よって、いかにバルク超電導磁石をうまく着磁させるかが開発課題となる。

モータ:電流と磁場の相互作用を利用して軸を回転させる電動機。出力は(電流)×(磁場)で与えられるので、大きな磁場があれば出力はそれだけ大きくなる。よって超電導磁石を利用すると大きな出力を得たり、小型で強力なモータをつくることが可能となる。本件のモータは同期モータである。

パルス着磁:コイルなどに瞬間的に大電流を流して、大きな磁場を発生させて着磁させる方法である。

発表グループによるバルク高温超電導モータ開発の流れ



平成14年
開発機



平成15年 試作機



平成16年 単層界磁型



平成17年 複層界磁型
(設計は3層界磁型で複層界磁を実装して回転)