

イットリウム系高温超電導モータで実用化に大きく前進

— 特殊形状の実用規模大型コイルの実証に世界で初めて成功 —

富士電機株式会社
国立大学法人 九州大学
産業用超電導線材・機器技術研究組合

このたび、富士電機株式会社（社長 北澤通宏）*¹、国立大学法人九州大学（総長 有川節夫）*²及び産業用超電導線材・機器技術研究組合（理事長 長浜洋一）*³は、イットリウム(Y)系高温超電導線材*⁴を用い、世界で初めて500kW 級超電導モータ向けの実規模でコンパクト化が可能となる特殊形状(平傘型)の大型コイルを作製し、約3T(テスラ)の発生磁場とともにその際に生じる150MPaの電磁応力にも耐えることを確認し、モータや風力発電機などのイットリウム系超電導回転機への適用を見通すことができました。こうした超電導技術の導入は、超電導回転機実用化に大きく前進すると共に、回転機分野において永久磁石機に比べて希少金属使用量の大幅な低減効果が期待されます。

この成果は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)*⁵による助成事業「イットリウム系超電導回転機用電磁石の開発」(研究開発責任者:和泉輝郎 産業用超電導線材・機器技術研究組合 特別研究員)において達成したものです。

今回開発・評価した回転機用イットリウム系超電導コイルの概要は、以下の通りです。

<実用規模超電導コイル>

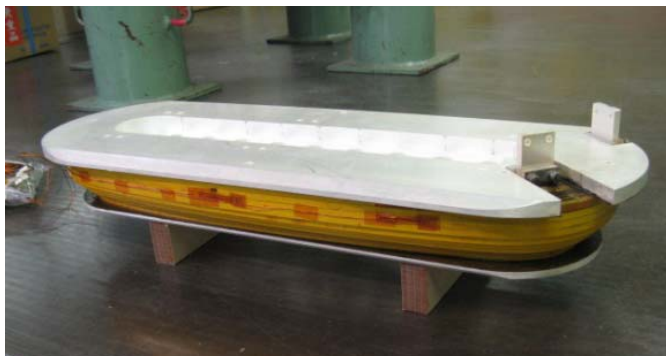
対象: 500kW 級産業用モータ
形状: 平傘型レーストラック型
サイズ: 184mm x 514mm x 86 mm
(体積比で従来実績*⁶の6倍)

<コイル性能>

通電電流: 220A@30K
最大発生磁場: 約3T
最大電磁応力: 150MPa
(従来実績*⁶の8倍)

<使用線材>イットリウム系線材

長さ:1.2km 幅:5mm 臨界電流値:250A @77K、自己磁場
(使用する希土類重量は、同じ容量の回転機に用いる永久磁石に使用される希土類重量の1/130以下)*⁶



今回の成果のポイント

世界で初めて、実用規模の大型で特殊形状を有するイットリウム系超電導コイルの作製を実証し、磁場発生に加えて強力な電磁力に耐えうることを確認し、イットリウム系超電導回転機の実用性を証明したこと。

【解説】

1. 高温超電導

「電気抵抗がゼロ」を特長とする超電導材料は電気が流れる段階で発生する(電力)損失を大きく低減できることから地球温暖化防止のためのCO₂削減、飛躍的な性能向上・軽量化・コンパクト化等を実現するキーテクノロジーとして実用化が期待されています。従来用いられてきた金属系超電導材料はマイナス270度まで冷やさないと超電導状態が得られませんでした。1986年以降に発見された酸化物超電導材料の中には液体窒素温度(マイナス200度)以上でも超電導状態になるものがあり、これらは「高温超電導」と呼ばれ、より広い用途での実用化が望まれています。

2. 超電導モータの意義

現存のモータは、いずれも内部コイルに銅線を用いて作られており、銅の持つ電気抵抗に起因したジュール発熱による損失があります。この発熱があることにより銅線に流せる電流に限界があることから、発生する磁場を有効に集めるためにコイルの中心に鉄芯を用いています。このため、コイルの磁場が変動する際には、鉄芯によるヒステリシス損失が発生します。これらの損失に対し、まず、超電導線材が電気抵抗がないことからジュール損失をゼロにすることが可能です。中でも、イットリウム系超電導線材は、磁場中の特性に優れていることから、将来的にはコイル自体が発生する磁界を強くすることで鉄芯を無くす事ができ、ヒステリシス損失も低減と大幅な軽量化が可能と考えられています。

3. 超電導モータに関する従来の開発

国内ではこれまで、超電導モータについて、ビスマス系高温超電導線材^{*7}を用いて、2005年1月に8共同開発産学チーム(石川島播磨重工業(株)、住友電気工業(株)、大陽日酸(株)、ナカシマプロペラ(株)、新潟原動機(株)、(株)日立製作所、福井大学、富士電機システムズ(株))による12.5kWアキシャルギャップ型超電導モータ^{*8}、2005年4月に石川島播磨重工業(株)による12.5kWアキシャルギャップ型全超電導(界磁子+電機子が超電導)モータ等の開発が行われてきました。

今回開発したモータは、ラジアルギャップ型同期モータ^{*9}と呼ばれ、直流磁場を発生する界磁コイルと交流磁場を発生する電機子コイルとを径方向にギャップを介して組み合わせることにより回転エネルギーを取り出す仕組みです。このタイプのモータは、ビスマス系高温超電導線材を用いて、AMSC社が36.5MWの船用モータを開発し、国内では川崎重工業(株)が1MW級の開発を行っているところです(NEDO省エネルギー革新技術開発事業/船舶用高温超電導モータ内蔵ポッド推進システム実用化のための研究開発)。イットリウム系超電導線材を用いた開発では、2005年に米国でSuperPower社^{*10}とRockwell社^{*11}が作製した5.6kW(7.5馬力)のものが先駆けで、日本においては、「超電導応用基盤技術研究開発プロジェクト」において2006年に15kW級モータの試作を行っていますが、サイズが小さく、コイル形状は単純なレーストラック形状のコイルであったため、回転機能の検証のみを目的に実施したものであることから充填率が低く、モータの小型化の実現には至っていませんでした。

その後、2010年度NEDO受託事業「希少金属代替材料開発プロジェクト/超軽量高性能モータ等向けイットリウム系複合材料の開発」において、占積率向上を目指したモータ構造の設計技術開発とここで示された特殊形状を有した小型モデルコイルの試作を行い、その電磁特性の確認を行いました^{*6}。この時点で、イットリウム系超電導実用モータを具現化するために残された課題の中で、最も重要であると考えられるものとして、実用規模のコイルの製作性とともに通電時に発生する強力な電磁力への耐性の評価が挙げられていました。

4. 本成果の意義

今回は「希少金属代替・削減技術実用化開発助成事業/イットリウム系超電導回転機用電磁石の開発」による開発として、直流電流を流す固定界磁巻線をイットリウム系高温超電導線材で作製したもので、サイズは500kWの実用規模に対応したもので大きな電磁力を発生するものです。また、モータとしての小型、軽量化に必要な

線材の充填率を向上させるための特殊な平傘型の形状を有するコイルを作製する技術開発であり、特性の劣化なく大きな電磁力にも耐えうることを確認したという意味で、国内では初めての成果となりました。

今回は、コイル1個の実証ですが、本成果を設計済みの500kW機への展開を図ることで各種モータの実現を見通せたこととなります。また、本質的な機械強度はまだ余裕があることから、本成果の発展として、例えば風力用発電機として10MWを実現する小型軽量で高効率な発電機へつながる成果として期待されています。

- * 1 富士電機株式会社: <http://www.fujielectric.co.jp/>
- * 2 国立大学法人 九州大学 :<http://www.kyushu-u.ac.jp/>
- * 3 産業用超電導線材・機器技術研究組合(iSTERA):平成21年設立(組合員:株フジクラ、昭和電線ケーブルシステム(株)、(公財)国際超電導産業技術研究センター)
- * 4 イットリウム系高温超電導線材 : イットリウム(Y)・バリウム(Ba)・銅(Cu)・酸素(O)からなる酸化物超電導線材。長尺の線材では2005年8月に「超電導応用基盤技術研究開発プロジェクト」において212mで245Aの線材作製に成功(世界記録)しているほか、短尺(数 cm 級)の線材では500~1000A級の線材作製に成功している。
- * 5 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 : <http://www.nedo.go.jp/>
- * 6 NEDO「希少金属代替材料開発プロジェクト／超軽量高性能モータ等向けイットリウム系複合材料の開発」(事後評価)分科会資料6-3: <http://www.nedo.go.jp/content/100431205.pdf>
- * 7 ビスマス系超電導線材 : ビスマス(Bi)・ストロンチウム(Sr)・カルシウム(Ca)、銅(Cu)、酸素(O)からなる酸化物超電導線材。
- * 8 アキシアルギャップ型超電導モータ:http://ihins.ihl.co.jp/ihl/file/technologygihou/10008_4.pdf
- * 9 ラジアルギャップ型同期モータ:<http://www.istec.or.jp/fruit/news-pdf/H18-8-24.pdf>
- * 10 Superpower社 : <http://www.superpower-inc.com/>
- * 11 Rockwell社 :<http://www.rockwellautomation.com/>

お問合せ先:

富士電機(株) 電力・社会インフラ事業本部 発電プラント事業部 原子力プラント部 プラント技術課 神奈川県川崎市川崎区田辺新田 1-1 電話:044-329-2188 今野雅行(こんの まさゆき)
--