

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：12614

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630401

研究課題名(和文)実海域を想定した超伝導軸発/電気推進システムに関する研究

研究課題名(英文) Study of electric propulsion with axis power generation by superconducting rotating machine

研究代表者

和泉 充 (IZUMI, MITSURU)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授

研究者番号：50159802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：推進動力向け超伝導電動機を電気推進船に実装した実海域での長時間運転を想定し、超伝導コイルに作用する電磁力や入発熱などの影響に対する信頼性の確保のために必要な計測設備、試験項目や解析手法を確立した。波浪や運転モードを想定した電気推進システムの試験条件を検討した。東京海洋大学の練習船「海鷹丸」に設備されている在来の推進電動機を利用した洋上での前後進試験により、電機子・界磁電流、出力等を測定し、負荷変動による影響を評価した。この結果にもとづき課題となった冷却システムの熱負荷応答について実験研究を行いコイルの性能保持に関する知見を得た。また国内外における進捗状況を整理し関連する技術動向を明確にした。

研究成果の概要(英文)：We have studied on key points to verify the operation of superconducting ship propulsion motor on board by using a research vessel "Umitaka-maru" with conventional motor. Based on the on-board data, we focused on the heat load capability and electromagnetic force applied to field pole winding of superconducting wire cooled down. The laboratory and on-board testing for cooling are comparatively discussed. In conclusion, we have obtained requested information and knowledge on the heat load survivability for on-board operation of the motor. The obtained result would provide a useful basis to practical application of superconducting ship propulsion.

研究分野：船舶海洋工学、応用物理学

キーワード：電気推進 超伝導モータ 軸発電機 高温超伝導体 エネルギー効率化 推進・運動性能

### 1. 研究開始当初の背景

環境負荷低減、航行の安定性向上、騒音・振動の軽減、操船性能の向上などの電気推進のメリットを生かす先端技術として船舶推進用の超伝導電動機が注目されている。国際的にも、燃費改善と排ガス低減の要請から電気推進システムの導入が進んでおり、今後、燃料費の高騰や炭素税の導入などにより超伝導電気推進システムの経済的メリットは確実に大きくなる。欧米では氷海タンカー (DAT)、LNG 輸送船、特殊用途の船舶をはじめ電動機をポッドにおさめた数 10 MW クラスの大型漁船も構想されている[文献 ]。国内では、3 MW の船舶推進電動機開発と陸上試験が進んでいる。超伝導電気推進システムの信頼性が成立すれば実用化は進む。米国で開発された出力 36.5 MW 超伝導電動機をはじめ、独 SIEMENS 社の出力 4 MW 電動機などの開発があるが、実際に船舶の推進システムで統合運用した例はまだない。現在、求められるのは実海域での超伝導電動機のプロペラ推進の検証である。海洋大の海鷹丸には資源調査用の水中伝播雑音低減目的の軸発/電気推進装置 (推進モードで 600 kW, 500 min<sup>-1</sup>、軸発電モードで 990 min<sup>-1</sup>) が設備され、本船を利活用した超伝導電動機の研究を構想した。

### 2. 研究の目的

超伝導電動機は超伝導磁石を界磁や電機子に実装し、小さな体格で低速かつ高トルクの推進動力を高効率で推進システムに賦与するメリットがある。超伝導電動機が電気推進船に実装されれば、波浪や運転モードにより負荷変動条件下で長時間運転される。この実稼動のもとでは、超伝導部分に作用する電磁力や熱応力の変動と入発熱などの影響が懸念される。超伝導回転機を実用化するためには実稼動条件下における信頼性の確保が課題である。本研究では、実船舶の軸発/電気推進システムの推進電動機を超伝導電動機に換えて減速機と接続し、実海域での稼動試験を行うために必要な計測設備、試験項目や解析手法を確立する。

### 3. 研究の方法

実用化を目指す超伝導電動機は、超伝導磁石で構成される超伝導界磁を使用し、かつ超伝導磁石を 30 K 付近に冷却するという点において従来の回転機と大きく異なる。船舶推進用電動機の回転機は、一般に自然環境や運転モードにより時間的に負荷が変動する条件下で長期間使用されるが、このような実稼動条件下では、超伝導部分に作用する電磁力や熱応力の変動、更には低温部への入発熱などの影響が懸念される。これらのことから超伝導回転機を実用化の上では実稼動条件下における信頼性の確保が課題となる。そこで、この研究では、実船舶の軸発/電気推進システムの推進電動機を超伝導電動機に換装ま

たは並列に超伝導電動機を設置して実海域試験を想定した設備、試験項目、解析手法を検討するフェージビリティスタディを行う。具体を以下に列挙する。

- (1) 東京海洋大学練習船「海鷹丸(1886 t)」に装備されている出力 600 kW の軸発/推進同期電動機および電気推進装置を対象に、実海域における波浪や運転モードによる負荷変動特性を乗船実測・評価する。具体的には、正回転から逆回転へ加減速時間を指定しての前後進試験により、電機子・界磁電流、出力等を測定し、その負荷変動による影響を評価した。これらは、次年度に行う予定の現存する超伝導電動機のプロトタイプの実験特性との比較や、超伝導電動機を船内に設備することを想定した場合の負荷変動・運転モードに依存したシステム応答の検討を行う際の基礎データとなる。
- (2) 波浪や運転モードを想定した超伝導電動機を利用した電気推進システムの試験条件を検討する。連続運転や負荷変動から超伝導電動機が受ける物理的影響と評価項目ならびに挙動計測手法を界磁 電機子構造にもとづき考察する。
- (3) 練習船に設備されている軸発・推進電動機の負荷変動応答等から超伝導電動機における各部に与える影響を検討する。これから新しく必要となった、または実船試験で予想されるノウハウや物理概念、国外における進捗状況を整理するとともに今後進むべき技術開発動向を明確にする

### 4. 研究成果

(1) 海鷹丸に装備されている出力 600 kW の軸発/推進同期電動機および電気推進装置を対象に、試験条件を設定して実海域における波浪や運転モードによる負荷変動特性を乗船実測・評価した。具体的には、正回転から逆回転への加減速時間を 40 秒から 120 秒までいくつか指定して前後進試験を洋上で行い、電機子・界磁電流、出力等を系統的に測定することができた。これらのデータにもとづき負荷変動による影響等を評価・検討した。これらは、今回の研究期間に限らず、現存する超伝導電動機のプロトタイプの実験特性との比較や、今後において超伝導電動機を船内に設備することを想定した場合の負荷変動・運転モードに依存したシステム応答の検討を行う際の貴重な基礎データとなる。

(2) 海鷹丸での計測等をふまえて超伝導電動機に換装した場合の試験条件と性能耐性評価項目、ならびにそれらの具体の計測と評価の方法を考察した。これらの検討から実船での連続運転や負荷変動試験等で推定される計測評価のうち、界磁超伝導コイルの耐久性と密接に関わる冷却システムの熱負荷応答が

界磁コイルの性能耐性指標にかかるポイントとして顕在化した。

(3)以上の研究結果から、界磁コイルの冷媒冷却システムの動作を追跡計測する装置(図1)により実験と計測を行い、実海域運転時における冷却冷媒の振る舞いをかなりの程度推定することができるようになり、また、超伝導コイルの性能保持につながる知見を得た。



図1 冷却システム熱負荷応答計測装置

(4) 波浪や運転モードを想定した超伝導電動機を利用した電気推進システムの試験条件を検討し、連続運転や負荷変動から超伝導電動機が受ける物理的影響と評価項目ならびに挙動計測手法を界磁電機子構造にもとづきまとめることができた。さらに、練習船に設備されている軸発・推進電動機の負荷変動応答に関する実計測データ等から超伝導電動機における各部に与える影響を推定した。今回新たに得られた冷却系に関する知見とともに、国内外における進捗状況を整理し関連する技術動向を明確にした。以上の成果は、今後の超伝導電動機の電気推進船への適用に向けた実践的な研究に寄与するものと期待される。

#### <引用文献>

超伝導発見 100 年記念国際会議: CCS-EUCAS2011 基調講演 和泉充: <http://www.eucas2011.org/PlenaryTalks.php>

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

K. Yamaguchi, R. Sato, M. Miki, K. Yamagata, T. Ikeda, M. Izumi, Y. Murase, K. Umemoto and M. Yokoyama, Study of the thermosyphon cooling system with a vessel in the sea states, Physics Procedia, 査読有, in press [http://authors.elsevier.com/TrackPaper.html?trk\\_article=PHPRO4724&trk\\_surname=Yamaguchi](http://authors.elsevier.com/TrackPaper.html?trk_article=PHPRO4724&trk_surname=Yamaguchi), 2015

[学会発表](計2件)

K. Yamaguchi, M. Miki, M. Izumi, Y. Murase, E. Yanase and T. Yanamoto, Study of HTS machine system cooling with a closed loop thermosyphon: stability for unsteady heat load and transient conduction, 12<sup>th</sup> European Conference on Applied Superconductivity, 2015年9月8日, Lyon (France).

K. Yamaguchi, R. Sato, M. Miki, K. Yamagata, T. Ikeda, M. Izumi, Y. Murase, K. Umemoto and M. Yokoyama, Study of the thermosyphon cooling system with a vessel in the sea states, 25<sup>th</sup> International Cryogenic Engineering Conference and the International Cryogenic Materials Conference in 2014, 2014年7月8日, Enschede(The Netherlands)

[図書](計0件)

[産業財産権]  
出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等  
なし

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

和泉 充 (IZUMI MITSURU)  
東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授  
研究者番号: 50159802

##### (2)研究分担者

坂本 牧夫 (SAKAMOTO MAKIO)  
東京海洋大学・船舶運航センター・教授  
研究者番号: 80272730

木船 弘康 (KIFUNE HIROYASU)  
東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授  
研究者番号：90323849

(3)連携研究者

野田 明 (NODA AKIRA)  
東京海洋大学・船舶運航センター・教授  
研究者番号：80262343

伊東 裕子 (ITO HIROKO)  
東京海洋大学・産学・地域連携推進機構・リ  
サーチアドミニストレータ  
研究者番号：50377074

(4)研究協力者

三木 基寛 (MIKI MOTOHIRO)  
東京海洋大学・海洋科学技術研究科・博士研  
究員  
研究者番号：60559475