TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo University of Marine Science and Technology (東京海洋大学)

超電導回転機の熱サイフォン冷却システムに関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-06-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山口, 康太 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1789

［課程博士・論文博士共通］

博士学位論文内容要旨
Abstract

専　攻 Major	応用環境システム学専攻	氏　名 Name	山口　康太
論文題目 Title	超電導回転機の熱サイフォン冷却システムに関する研究		

近年、世界規模で温室効果ガスの排出量削減が推進されており、海上輸送の更なる省エネルギー化や海洋再生エネルギーの利活用の研究開発が進められている。超電導回転機は、強力な電磁力を実現できることから推進動力モータなどの高出力かつ小型化が可能となる。しかしながら、超電導磁石を扱うためには、磁石を極低温域まで冷却し維持する冷却システムが必要となる。超電導回転機への使用が期待されている高温超電導体の臨界温度は 110 K 程度であり、実用性を考慮すると臨界温度の半分以下の温度まで冷却する必要がある。また、超電導回転機の回転体内部を冷却することが求められる。超電導回転機の冷却システムは大別して冷やした He ガスをポンプ等により強制循環させる冷却システムと冷媒の自然循環を用いた熱サイフォン冷却システムに分類することができる。現在、超電導回転機には冷やした He ガスを圧送/循環させる冷却システムが主に採用されている。しかし、この方法では循環装置・再冷却装置など大きな補機容積を必要とする。熱サイフォン冷却システムは冷媒の自然循環を用いるため循環装置を必要としない。また伝熱に冷媒の相変化を用いるため高い熱伝達率・熱輸送能力をもつ。従って、小型化かつ高効率化を目指す超電導回転機の目的には合致しているといえる。熱サイフォン冷却システムの熱輸送能力は、各構成要素である凝縮器、冷媒管、蒸発器の設計に依存しており、超電導界磁の冷却に必要な設計パラメータを明らかにする必要がある。

本研究では、舶用超電導モータ向け熱サイフォン冷却システムの模擬モデルを製作し、設計において重要になる装置の蒸発器での熱流束を求め、二重管構造による傾斜耐性への影響と冷媒輸送管である内管/外管径を変更することによる影響を研究した。また、凝縮器個数の変更に伴う凝縮器伝熱面積が与える影響についても研究した。

まず、模擬モデルを用いて、蒸発器内における冷媒ネオンの沸騰形態を視認するとともに伝熱面積を算出した。伝熱面積と与えた熱負荷から熱流束を求め、ネオンの沸騰曲線を導いた。これにより、蒸発器の設計に要する伝熱面積及び気相ネオン投入量を求めることが可能となった。熱サイフォン冷却システム内における液化ネオン量は凝縮器の運転温度及び伝熱面積に依存する。伝熱面積が同一の凝縮器の個数を変更すること及び凝縮器の運転温度の変更により、生成される液化ネオン量と内圧の関係についても明らかにした。これにより、冷却システムの設計に必要な凝縮器温度及び液相ネオン量を求めることが可能となった。さらに、超電導回転機の実装が検討されている船舶及び次世代電気推進航空機では、傾斜状態でも安定的な冷却が求められる。本研究では冷媒管が単管の場合と二重管構造とした場合でそれぞれ 30°の傾斜を与えて熱負荷試験を行い、二重管構造であれば傾斜状態においても蒸発器の温度を一定に保持出来ることを見出した。傾斜状態の熱サイフォン冷却システムにおける熱輸送能力は二重管の内管径に依存しており、別に熱サイフォン冷却システムの模擬モデルを組み立て、二重管の外管径 1/2 インチに対して、異なった寸法の内管を適用して実験した。その結果、内管の有効断面積と熱輸送能力の関係が明らかとなった。

以上の結果から、超電導回転機向け熱サイフォン冷却システム設計において、蒸発器の設計指標となる熱流束を求めることを可能とし、凝縮器温度と伝熱面積に対応したネオン投入量を算定可能とした。二重の冷媒管により、30°の傾斜状態でも安定な冷却を可能とした。あわせて内管の有効断面積と熱輸送能力の関係から冷媒移送管の設計も可能とした。これらの結果は、今後の輸送機器向け超電導回転機における冷却システムの最適設計に資するものである。