

## 高温超伝導電力機器用ネオン冷媒冷凍機の開発研究

平井, 寛一

<https://doi.org/10.15017/1807016>

---

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 平井寛一

論 文 名 : 高温超伝導電力機器用ネオン冷媒冷凍機の開発研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

高温超伝導を利用した送電ケーブルや変圧器などの高温超伝導電力機器には、送電設備のコンパクト化や送電ロスの削減、送電システムの安定化などの実現が期待されている。高温超伝導電力機器では、超伝導状態を維持するために 70 K の温度で数 kW の冷凍能力を有する冷却システムが不可欠である。これまでの高温超伝導電力機器の研究・開発では、小型蓄冷式冷凍機や窒素の蒸発潜熱を利用した冷却システムが利用されてきた。小型蓄冷式冷凍機は、作動ガスの圧縮や膨張を行う機構部に摺動部があるため構成部品の保守点検間隔が半年から 1 年と短く、また、大容量の寒冷を冷媒へ伝える熱交換の方法にも課題があった。液体窒素蒸発方式の冷却システムでは、常に蒸発した液体窒素を補充しなければならず、実用化における運用面で現実的ではない。したがって高温超伝導電力機器の実用化を推し進めるには、構成部品の保守点検間隔を 4~5 年程度に長期化すること、消費電力の削減および小型化などの課題を克服する必要がある。解決策としてヘリウム冷媒のタービン式冷凍機が候補になり得たが要求される冷凍能力では、ヘリウムの分子量が小さいため、ターボ回転機が遠心強度以上の回転数となり実現困難である。そこで、ネオンを冷媒としたターボブレイトン冷凍機（以下、ネオン冷凍機）による高温超伝導電力機器冷却システムが提案された。

本研究では、ネオンを作動ガスとする小型ターボ圧縮機と小型膨張タービンを開発し、最適化した熱交換器と組み合わせて試作した実証用ネオン冷凍機が高温超伝導電力機器に適用可能であることを実証するとともに、実証用ネオン冷凍機で構築した冷却システムによる 2MVA 級高温超伝導変圧器の冷却試験を実施し、ネオン冷凍機の有効性を明らかにすることを目的としている。

第 1 章は序論であり、超伝導電力機器の実用化に向けた冷却システムの現状について説明し、本研究の目的について述べた。

第 2 章では、まず、ネオン冷凍機の基本サイクルであるブレイトンサイクルに関する理論を説明しスターリングサイクルとの比較を行うと共に、ネオン冷凍機の開発、試作における目標および課題を整理した。次に、ネオン冷凍機の目標性能として冷凍能力を 2kW（冷却温度 65K）、冷凍効率を 0.06（冷却温度 80K）とし、本目標値の達成に必要な冷媒流量や冷媒圧力比など冷凍機サイクルを検討し、膨張タービン、ターボ圧縮機、熱交換器などの各要素機器の設計に必要な機器出入口の圧力および温度条件を決定した。

第 3 章では、前章で決定した設計条件に基づいて、膨張タービンの基本構造やインペラ等の構成部品、軸受方式及び制動方式について検討し、評価用膨張タービンの設計・製作について述べた。製作した評価用膨張タービンを試作タービン式冷凍機へ組み込んでの性能評価試験を行い、断熱効率などの性能データを取得し、冷凍機の目標性能達成に必要なタービン効率 70%を確保できることを確認した。

第 4 章では、膨張タービンと同様にターボ圧縮機の基本構造や主要構成部品の検討を行うと共に、

評価用ターボ圧縮機の製作について記した。ネオンを作動ガスとした評価用ターボ圧縮機の性能評価試験を行い、ターボ圧縮機の効率や運転特性に関するデータを取得した。この結果に基づき、ターボ圧縮機の流量や圧力比が冷凍機サイクルの要求を満足する結果を得た。加えて、冷凍機の容量制御に必要な回転数可変運転が可能であることを確認した。また、ターボブレイトンサイクルの特長の一つである低温圧縮プロセスに着目し、低温空気による低温圧縮試験を実施し、低温圧縮プロセスの実現可能性を示した。

第5章では、第2章で検討した基本プロセスを元に主熱交換器のブロック数などの詳細な仕様について検討を行った。さらに、冷凍機で発生した寒冷を超伝導電力機器の冷却のために循環される液体窒素へと熱交換させるサブクール熱交換器の詳細な検討結果を示した。

第6章では、これまでに検討、製作された膨張タービン、ターボ圧縮機、主熱交換器、サブクール熱交換器を組み合わせた実証用ネオン冷凍機の製作とともに各種性能試験の結果を述べた。性能試験では、超伝導電力機器の冷却を想定したネオン冷凍機の運転・制御方法を検討した。冷凍能力測定試験を実施し、冷凍能力 2.17kW (冷却温度 65K) および冷凍効率 (COP) 0.060 (冷却温度 80K) の性能が得られ、目標性能を達成した。さらに実証用ネオン冷凍機と液体窒素循環装置とを接続した冷却システムを構築し、2MVA 級超伝導変圧器の冷却試験を実施した。これらの試験結果から、ネオン冷媒によるターボブレイトン冷凍機において、実用の高温超伝導電力機器に必要な冷凍能力や運転特性が得られ、高温超伝導電力機器用冷却システムに適用可能であることを示した。

第7章では、本論文の結論と今後の展望について述べた。