

1720-30

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

排熱駆動吸収冷凍機の高効率化に関する研究

(Study on the Waste Heat driven Absorption Refrigerator with high efficiency)

申 請 者

玄 成建

SungGun HYUN

機械工学 プロセス工学

2000 年 12 月

近年、オゾン層破壊、CO₂排出量の増大による地球温暖化など地球環境問題、エネルギー資源の枯渇が深刻になりつつあり、その対策が緊急の課題となっている。このような中でヒートポンプをはじめとする各種熱システムにおいても、非フロン化、効率向上、排熱の有効利用等が求められている。

吸収冷凍機は、冷媒として水、アンモニアといった自然冷媒を採用しているため、空調、冷凍機器の中でも地球環境に優しい冷凍機といえることができる。しかし、ガスをはじめとした一次エネルギーを直接投入して駆動する吸収冷凍機においては、実用機レベルでは、一次エネルギー換算効率（＝冷房能力／投入一次エネルギー）が圧縮式冷凍機と比較するとかなり低いのが現状である。これはCO₂排出量の削減、エネルギー資源の有効利用の観点からも望ましくないことである。よって、今後の吸収冷凍機は、圧縮式冷凍機なみ、あるいはそれ以上の効率を実現することが要求される。これに対し、高効率を実現する吸収冷凍機の研究・開発も進められており、再生過程を三段とした三重効用サイクル、再生器から発生した冷媒蒸気を圧縮機で圧縮し、熱源として再利用するMVRハイブリッド吸収サイクルなどが提案されている。しかし、吸収溶液の高温化による腐食性、高濃度化による結晶化等の問題から、実用化にはまだ解決すべき多くの課題が残されているのが現状である。

一方で吸収冷凍機を、ガスエンジン、化学プロセス等から排出される排熱を優先的に用いて駆動する場合には、エネルギーの高効率利用が可能となり、これにより地球温暖化問題に対応することも可能となる。しかし、吸収冷凍機を排熱のみを用いて駆動すると、排熱が不足した場合には所定の冷房能力を満足することができず、冷房能力が低下した場合には、余剰な排熱が生ずることとなる。このような問題に対応するためには、排熱駆動吸収サイクルに高効率でしかも安定した電力あるいは動力で駆動される圧縮式サイクルを複合したハイブリッドサイクルを採用することが有効となる。しかし、従来から提案されているハイブリッドサイクルを採用した吸収冷凍機では、このような排熱あるいは、冷房の変動を吸収し、一定した冷房を供給することができない。また、排熱が変動しながら供給される場合には、安定して冷房を供給するために、吸収冷凍機の詳細な動特性を解明することにより、排熱の変動をはじめとする各種外乱に対する制御系の設計等に指針を得ることが必要不可欠となっている。しかし、これまでにシステム全体としての動特性は明らかとされているが、排熱の変動を直接受ける再生器のような個々の構成要素まで詳細に動特性は明らかにされていない。

そこで、本研究では、以上のような吸収冷凍機を排熱で駆動する場合に生ずる諸問題を解決し、吸収冷凍機における排熱の優先的な利用を実現し、エネルギーの高効率利用を可能とするために、次の点を目的として検討を進める。

1) 排熱と動力を一台の冷凍機で同時に用いて駆動可能なWMVR(Waste heat and Mechanical vapor recompressing driven type)ハイブリッド

吸収冷凍機を提案する。そして、シミュレーションによりその設計、制御方法を明らかにする。

2) 吸収冷凍機の構成要素の中で排熱の変動に対して最も大きな影響を受けることとなる再生器の詳細な動特性を明らかにする。

本論文は、3部10章から構成されている。第1部では、吸収冷凍機の解析を行ううえで、極めて有効となる熱システムの解析手法について説明している。第2部では、WMVRハイブリッド吸収冷凍機の実用化のための設計、制御方法について検討を行っている。第3部では、プール沸騰式再生器と流下液膜式再生器に注目し、両再生器の詳細な動特性を検討している。以下に本論文の各章の内容について説明する。

第1章では、本研究の背景、目的について述べるとともに、従来の研究と本研究を比較することにより本研究の位置づけを明確にしている。

第2章では、吸収冷凍機を解析するうえで基本となる解析手法について検討している。広義回路論にもとづき、まず個々の構成要素のモデルを構築し、これらを接続することによりシステム全体の特性解析を行う手法を確立する。本手法は、数種類の構成要素から多数のサイクルを作成することが可能な吸収冷凍機のようなシステムの特性解析、設計、制御手法の検討には極めて有効な手法であることを明らかにしている。

第3章では、吸収冷凍機の駆動源として排熱の優先的な利用を可能とするサイクルと、高効率駆動を実現するサイクルを提示し、その性能評価及び性能比較を行い、今後の排熱駆動サイクルの有効性、展望について検討を行っている。特にWMVRハイブリッド吸収冷凍機のベースのサイクルとなるMVRハイブリッドサイクル、単効用吸収サイクルについては詳細に特性を明らかにしている。

第4章では、第3章における各吸収サイクルの性能評価にもとづいて、排熱を優先的に利用することが可能なサイクルの応用として、新たに排熱ならびに動力を同時に用いて駆動可能なWMVRハイブリッド吸収冷凍機を提案し、設計上の検討および特性解析を行っている。WMVRハイブリッドサイクルは、再生器で再生された冷媒蒸気を、動力を駆動源とした圧縮機で圧縮することによって高温・高圧とし、駆動熱源として再利用するMVRハイブリッドサイクルと排熱で駆動する単効用吸収サイクルを複合したシステムである。本システムにより一台の冷凍機で排熱と動力を同時に用いた駆動が可能となる。

第5章では、前章のWMVRハイブリッド吸収冷凍機の設計結果にもとづいて、シミュレーションによりWMVRハイブリッド吸収冷凍機の運転特性と制御手法について詳細な検討を行っている。提案するWMVRハイブリッド吸収冷凍機は複数の熱交換要素、動力変換要素が含まれているため、制御は容易ではない。そこで、複数の制御パターンを提案し、本冷凍機に有効な制御手法を明らかにしている。

第6章では、比較的高温の排熱を吸収冷凍機の駆動源として利用できる場合に、WMVRハイブリッド吸収冷凍機をより高効率で駆動することを実現すべく、排熱駆動側サイクルを二重効用サイクルとした高効率WMVRハイブリッド吸収冷凍機を提案している。そして、詳細な特性解析を行い、大幅に性能向上が図れることを明らかにしている。

第7章では、吸収冷凍機の再生器として一般的に用いられているプール沸騰式再生器を対象とし、その詳細な動特性について検討を行っている。具体的にはまず、温水、伝熱管、シェルの熱容量を考慮した分布定数系の動特性モデルを構築している。次に構築した解析モデルを用いて、シミュレーションにより動特性を明らかにするとともに、再生器要素試験装置を用いて実験的にも詳細に動特性を明らかにしている。さらに、シミュレーション結果を実験結果と比較することにより、動特性解析モデルの妥当性の検証を行っている。

第8章では、吸収冷凍機用の再生器で、より低温の熱源で駆動可能であり、吸収溶液の保有量が少ないため、応答の改善が見込まれる流下液膜式再生器を対象とし、動特性解析を行っている。本再生器は、冷媒である水の濃度差を駆動力とした物質拡散によって支配されているため、熱移動・物質移動を考慮した動特性解析モデルを新たに構築している。この際、直交して流れる管内の温水と吸収溶液の流れ方向を考慮した二次元動特性解析モデルと、このモデルを簡略化するために熱交換器を完全な向流型熱交換器とみなした一次元動特性解析モデルを構築している。そして、両モデルを用いたシミュレーション結果を比較することより一次元動特性解析モデルの有効性について検討している。次に、再生器要素試験装置を用いて実験的にも動特性について詳細に検討を行うとともに、実験結果とシミュレーション結果を比較することにより動特性解析モデルの妥当性について検討を行っている。

第9章では、プール沸騰式再生器と流下液膜式再生器の両再生器の動特性を比較検討している。ここでは、シミュレーションによりまず、両再生器単体の動特性を比較するとともに、吸収冷凍機の基本となる単効用吸収冷凍機システムにそれぞれの再生器を採用した場合のシステム全体の動特性をも比較検討している。この検討結果から、プール沸騰式再生器を採用することにより、吸収冷凍機の応答が大幅に改善されることが明らかにされている。

第10章は、本研究を通して得られた研究成果を要約し、今後の展望について述べている。

以上、本研究では、排熱の優先的な利用を実現する新たなシステムを提案するとともに、排熱の変動をはじめとする各種外乱に対する制御系の設計等に必要不可欠となる再生器の詳細な動特性を明らかにした。本研究の成果により、排熱の積極的な活用が可能となれば、今後の、地球環境問題、エネルギー資源の枯渇問題の解決に大きく寄与できるものと考えている。