

内98-75

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

排熱駆動吸収式冷凍機を含む熱システムの挙動と  
システム設計に関する研究

申 請 者

君島 真仁

Shinji Kimijima

機械工学専攻・プロセス工学研究

1999 年 1 月

近年、CO<sub>2</sub>ならびにフロン系物質に代表される温暖化ガスの排出量削減をはじめとする地球環境保護に対する技術的な処置が世界的な規模での課題となってきた。1997年12月に開催された気候変動枠組み条約第三回締約国会議（地球温暖化防止京都会議 COP3）において、温暖化ガスの排出削減を先進国に義務づけることを規定した議定書が採択されるなど、地球環境保護に対する技術開発を取り巻く状況は大きく変化しているといえる。

このように、従来までの省エネルギーのみならず地球環境保護の観点から、熱システムの高効率化が強く要請されているといえる。現在では、技術的な処置として、コージェネレーションシステムの普及に大きな期待が寄せられており、今後のエネルギー供給の形態として重要な位置を占めるものと考えられている。コージェネレーションシステムにおいては、電気エネルギーと熱エネルギーを同時に有効利用することで、その本質であるエネルギーのカスケード利用を実現することが可能となる。このことから、コージェネレーションシステムの適切な運用方策の決定、さらには、合理的なシステム設計の手法の確立が求められているといえる。

コージェネレーションシステムにおける排熱利用は熱需要に対応して種々の形態を考えることができるが、一般的には、温熱需要として暖房および給湯、冷熱需要として冷房等の用途に大別することができる。排熱を利用することにより冷熱需要に対応するためには、吸収式冷凍機の利用が不可欠となる。吸収式冷凍機は熱エネルギーにより直接駆動することが可能であることから、コージェネレーションシステムにおける排熱利用に適した機器であるといえる。先に述べているように、コージェネレーションシステムにおいては、高効率な電力供給にあわせて熱エネルギーの有効利用により、所要の目的を達成することが可能となるが、そのためには、システムを構成する各機器レベルでの性能向上とともに、システムとしての効率向上を実現しなければならない。このような観点から、排熱利用の一形態として吸収式冷凍機を使用するシステムについても、吸収式冷凍機の高性能化のみならずシステム全体の高効率化の視点にもとづいた技術開発が要請される。

従来までのコージェネレーションシステムの設計問題に関する研究は、最適計画・設計ならびに最適運用を主体としたものが多くみられるが、最適化の方法論ならびに計算プロセスの開発に重点がおかれている傾向があり、システムの特性を十分に考慮しているとはいえない面がみられる。コージェネレーションシステムのような複数の機器から構成されている熱システムの最適設計・最適運用を実現するためには、まず、対象となる熱システムの特性を詳細に把握することが極めて重要な課題であるといえる。

これを受けて、本研究では、コージェネレーションシステムにおける技術的課題として、排熱利用吸収式冷凍機を含む排熱回収系の挙動解析ならびにシステムの設計手法、運転制御手法の確立に関する検討を行う。具体的には、リン酸型燃料電池を中核とするコージェネレーションシステムにおける排熱回収系ならびに排熱駆

動吸収式冷凍機を対象として、システムの挙動解析ならびに高効率化に関する検討を行う。その結果から、排熱駆動吸収式冷凍機を含む熱システムに対する設計指針に関する知見を得ることを主たる目的としている。本研究が目的とするところを具体的に整理すると次のようになる。

- (1) 排熱駆動吸収式冷凍機の一例として水蒸気と温水の2熱源により駆動する一重二重効用併用型吸収式冷凍機を対象として、その解析モデルを構築する。
- (2) 2熱源駆動一重二重効用併用型吸収式冷凍機の運転特性を明らかにする。とくに、排熱駆動の場合に固有の運転特性を明らかにすることにより、リン酸型燃料電池の排熱回収系にみられるように水蒸気と温水の二形態にて熱回収が行われるようなシステムへ適用する吸収式冷凍機の基本的な運転特性を明らかにする。それとともに、排熱駆動吸収式冷凍機の高効率化に対する指針を示す。
- (3) リン酸型燃料電池の排熱回収系の特性を明らかにする。具体的には、次のような課題に取り組む。まず、電極冷却系の熱回収方式として水蒸気を熱需要側へ直接供給するシステムを提案し、その有効性を示す。次に、電極冷却系の動特性モデルを構築し、これをもとに電極温度制御と高温の排熱回収を両立しうるような制御手法ならびに設計指針に対する指針を得る。さらに、排気ガスからの熱回収特性を明らかにする。とくに水蒸気成分を含む混合ガスからの回収熱量の推定方法を示し、回収熱量を増加させるための方策について検討する。
- (4) 吸収式冷凍機の冷熱搬送に低沸点媒体を利用するシステムの特性を明らかにするために、冷熱搬送系の解析モデルを構築する。さらに、この冷熱搬送系を接続した吸収式冷凍機の挙動を解析し、冷熱需要側の変動が排熱回収特性におよぼす影響を明らかにする。
- (5) リン酸型燃料電池の排熱回収系ならびに低沸点媒体を利用した冷熱搬送系と吸収式冷凍機を接続したシステムの挙動解析を行う。その結果から、排熱駆動吸収式冷凍機を含む熱システムのシステム設計に関する指針を得る。

本論文は11章から構成されている。以下に各章の概略を整理しておく。

第1章では、本研究の背景ならびに目的について述べるとともに従来の研究を調査・整理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、排熱駆動吸収式冷凍機を含む熱システムの挙動解析ならびに設計問題への取り組みを展開するにあたって、広義回路論的視点にもとづいたモデル化ならびに解析の手法について検討を行っている。

第3章では、リン酸型燃料電池発電システムにおける排熱のように、温度レベルの異なる水蒸気と温水を熱源として駆動する一重二重効用併用型吸収式冷凍機のサイクル構成等の基本事項を整理し、さらに、第2章にて示した解析手法にもとづいて、2熱源駆動一重二重効用併用型吸収式冷凍機のモデル化を行っている。

第4章では、2熱源駆動一重二重効用併用型吸収式冷凍機を対象として、その基本的な運転特性を明らかにしている。具体的には、運転条件の変化として、駆動熱

源の変動（水蒸気圧力および温水温度変化），ならびに冷却水温度，冷水温度の変化に対する吸収式冷凍機の特性の把握とともに2熱源により駆動する場合の固有の特性を解明することを目的とした実験的検討を行っている．

第5章では，構築した解析モデルを使用して2熱源駆動一重二重効用併用型吸収式冷凍機に固有の特性として水蒸気と温水の供給条件が2熱源の相互干渉の特性におよぼす影響について検討している．さらに，吸収式冷凍機における低温度レベルの熱源の有効利用を目的として温水の利用方式に関する検討を行っている．

第6章では，吸収式冷凍機の高効率化の一手法である吸収溶液循環流量の操作に関する検討を行っている．対象とする吸収式冷凍機の溶液循環方式がパラレルフローであることから，溶液循環量および溶液分配率の操作に対する吸収式冷凍機の基本的な運転特性を明らかにする．さらに，溶液循環量ならびに溶液分配率を操作することによる高効率化に関する検討を行った結果をまとめている．

第7章では，リン酸型燃料電池の排熱回収系を対象として，電極本体からの排熱回収について検討を行っている．水蒸気を直接取り出す方式により，熱回収ならびに電極冷却水温度制御を行うリン酸型燃料電池冷却系を対象として，従来までの高温水回収方式に対する水蒸気回収方式の優位性を明らかにする．さらに，電極冷却系の動特性解析モデルを構築し，これをもとに，電極温度制御の視点をも考慮にいたしたリン酸型燃料電池電極冷却系の排熱回収について考察を行っている．

第8章では，リン酸型燃料電池の排気ガスからの熱回収特性について検討を行っている．リン酸型燃料電池の排気ガスは電極本体ならびに燃料供給部の燃料改質器から排出されるが，これらの排気ガスからの回収熱量の算出方法を示すとともに熱回収用熱交換器を含めた解析モデルを作成し，これをもとに熱回収特性を明らかにしている．

第9章では，吸収式冷凍機の冷熱を低沸点媒体により搬送するシステムを対象としてそのモデル化を行い，熱源温度の変動時の特性等の基本的な運転特性を明らかにしている．

第10章では，従来までの吸収式冷凍機単体の特性（固有特性）の解析を実システム中における特性（実効特性）の解析へと展開することを目的として，排熱駆動吸収式冷凍機を駆動熱源および冷熱負荷と接続した場合の特性について検討を行っている．前章までに検討を行った排熱駆動吸収式冷凍機およびリン酸型燃料電池排熱回収系，低沸点媒体による冷熱搬送系の特性を考慮した吸収式冷凍機の特性の評価を行うことにより，システム設計に対する指針を示している．

第11章は本研究のまとめであり，各章での検討結果の総括を行っている．

以上，本研究は，排熱駆動吸収式冷凍機を含む熱システムの挙動解析の手法を明確にするとともに，システムの設計に対する基本的な指針を提示するものである．その結果は，排熱駆動吸収式冷凍機を含む熱システムの最適設計ならびに最適運用方策の決定に代表される技術課題の解決に寄与するものと考ええる．