

外95-5

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

新作動媒体を用いた未利用エネルギー  
活用吸収ヒートポンプの研究

申 請 者

西 山 教 之

Noriyuki Nishiyama

1995 年 6 月

## 1. 本研究の背景および目的

近年、地球環境問題や、国民生活のアメニティ指向の高まりに伴う冷暖房・給湯需要増大への対応から、未利用エネルギーの積極的な活用が期待されている。これは、未利用エネルギー活用システムが既存のシステムに比べて省エネルギー効果が高く、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 発生量を大幅に削減できるからである。下水処理水は、 $50^\circ\text{C}$ 以下の低温未利用エネルギーの40%を占め最も大量に存在すること、水温や水量は年間を通じて安定しており熱源機が利用しやすいレベルにあることから、最も積極的な活用が期待されている。

一方、吸収ヒートポンプは、優れた省エネルギー性と冷媒にフロンを使用していない点から未利用エネルギー活用機器として注目を集めているが、圧縮式と比較して省エネルギー性の点で若干劣る面もあり、高効率化を含めた熱源機の高性能化を行う必要がある。しかし、従来から作動媒体として用いられているLiBr水溶液は、高濃度で晶析し高性能化に制約を与えるため、作動媒体を含めた取り組みを行う必要がある。

このような背景を踏まえて、本研究はLiBr水溶液よりも優れた新作動媒体の探索とシミュレーションによる吸収サイクルの検討を行い、下水処理水を利用して冷暖房・給湯を行う高効率な吸収ヒートポンプを開発することを目的とする。

## 2. 従来の研究

未利用エネルギー活用システムは、近年注目を集めており、平成3年度より開始された国家プロジェクト「未利用エネルギー高度活用技術開発」によるものと、電力会社による箱崎地区の河川水活用などが主要である。これに対して都市ガス業界は熱利用に係わる豊富な事業経験を背景として、従来からごみ焼却排熱やコージェネレーション等の発電排熱など比較的高温の排熱の活用を積極的に進めており、今後は低温未利用エネルギーの活用が期待される。

作動媒体は多くの系が提案されているが、現在実用に供されているのは $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}$ 系と $\text{NH}_3+\text{H}_2\text{O}$ 系のみである。作動媒体は、水、アルコール、アンモニア、フロンを冷媒とする系の4つのグループに大別される。水系では $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}$ 系の性能改善のために無機物や有機物を添加した系、アルコール系ではTPEを冷媒とする系、アンモニア系では $\text{NH}_3+\text{H}_2\text{O}$ 系の研究が盛んに行われている。フロン系はフロン規制から現在研究はほとんど行われていない。

吸収サイクルは、GAXサイクルやデュアルループサイクルといった作動媒体の特長を生かし熱源機の高効率化を目的とした研究が進んでいる。

## 3. 新作動媒体の研究

LiBr水溶液よりも優れた特性を有する新作動媒体の研究は、以下の6つのステッ

プで行った。第1に、下水処理水の温度レベル( $12\sim 25^\circ\text{C}$ )と熱源機のCOPを考慮し、4つの作動媒体のグループの中で最も高いCOPの期待できる水系作動媒体を中心に新作動媒体を探索することにした。

第2に、水系で実用に供されているLiBr水溶液の特性を調べ、熱源機の高性能化に制約を与えている最大の要因は吸収溶液の晶析であることを明らかにした。

第3に、新作動媒体に要求される条件は、①LiBr水溶液よりも晶析ラインが $5\sim 10^\circ\text{C}$ 程度緩和していること、②金属に対する腐食性の少ないこと、③粘度が低いなど優れた熱力学的性質を有することにした。

第4に、晶析ラインの緩和の程度で「タイプ1」と「タイプ2」の2種類の新作動媒体を探索し、複数の塩から成る水溶液に決定した。

第5に、条件を満足する新作動媒体の組成比を決定した。新作動媒体タイプ1は、 $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}+\text{LiI}$ から成る2成分系水溶液で、組成比(モル比)は $\text{LiBr}:\text{LiI}=1.0:0.45$ である。晶析ラインの緩和が $5^\circ\text{C}$ 以上あり、金属に対する腐食性も鉄は $180^\circ\text{C}$ 、銅は $100^\circ\text{C}$ まで使用できるため、一般の吸収冷凍機に適した媒体である。この系は、従来提案されたものよりもLiIの組成比が大きい点が新規である。

新作動媒体タイプ2は、 $\text{H}_2\text{O}+\text{LiBr}+\text{LiI}+\text{LiCl}+\text{LiNO}_3$ から成る4成分系水溶液で、組成比(モル比)は $\text{LiBr}:\text{LiI}:\text{LiCl}:\text{LiNO}_3=1.0:0.75:0.41:0.25$ である。晶析ラインの緩和が $10^\circ\text{C}$ あり、金属に対する腐食性もステンレスは $180^\circ\text{C}$ 、鉄は $160^\circ\text{C}$ 、銅は $70^\circ\text{C}$ まで使用できるため、大きな昇温幅を必要とする吸収ヒートポンプに適した媒体である。この系は、成分および組成比が新規である。

第6に、シミュレーションによる熱源機の性能予測や最適設計を行うために、新作動媒体の蒸気圧・密度・動粘度等の熱物性値を測定し、相関式を作成した。

## 4. 新作動媒体を用いた未利用エネルギー活用吸収ヒートポンプの研究

新作動媒体タイプ2を用いた熱源機の研究は、以下の5つのステップで進めた。第1に、熱源機の用途は、下水処理水利用を主とし、冷房排熱等利用を従とした。このため、下水処理水は、冷房時は吸収冷凍機の冷却水として利用し、暖房・給湯時は吸収ヒートポンプの熱源水として利用することにした。

第2に、シミュレーションを用いて吸収サイクルの検討を行い、COPや熱源機の運転範囲(冷媒蒸気圧・吸収溶液温度・濃度)から、冷房時は二重効用型、暖房時は単効用型とした。このようなサイクル切り替え型の熱源機を「単効用・二重効用切り替え型の冷温水吸収ヒートポンプ」と命名し、各機能で異なる吸収溶液濃度や冷媒蒸気の差圧を考慮して、サイクル切り替え方法や構造を新規に考案した。

第3に、伝熱管管内流速の制約や材質の選定条件を踏まえ、シミュレーションを用いて熱源機の仕様を検討し、開発目標値を定め、熱源機を試作した。

第4に、試作した熱源機の性能試験をLiBr水溶液と新作動媒体の両者について行

った。試験結果から、シミュレーションの妥当性を確認するとともに、新作動媒体を用いたほうが熱源機のCOPや運転範囲の点で優れていることを明らかにした。さらに、環境性・省エネルギー性・利便性の観点から電動圧縮式と性能を比較し、本熱源機が同等以上の性能を有することも明らかにした。

第5に、熱源機の2,000時間におよぶ耐久試験を行い、熱源機や作動媒体に問題がなく実用化が可能であることを明らかにした。さらに、熱源機の性能を維持するための作動媒体のインヒビターや還元性に関する管理基準も明らかにした。

#### 5. 新作動媒体を用いた一般の吸収冷凍機の用途別検討

新作動媒体タイプ1を用いた熱源機の用途別検討は、以下の3つのステップで行った。第1に、新作動媒体タイプ1とタイプ2の比較を行い、銅に対する腐食性と不凝縮ガスの成分から、一般の吸収冷凍機に適した作動媒体はタイプ1であると判断した。

第2に、シミュレーションを用いて、①熱源機のコンパクト化、②熱源機の高効率化、③冷却塔のコンパクト化、④二重効用吸収ヒートポンプの検討を行い、新作動媒体タイプ1の効果を明らかにした。ここで、熱源機の運転範囲は、冷媒蒸気圧は法規制を考慮して大気圧以下、吸収溶液温度は腐食性を考慮して180℃以下、濃度は晶析を考慮して69wt%以下とした。なお、現行の法規制では、冷媒蒸気圧が大気圧以上で第一種圧力容器の適用を受け、構造規格や各種検査で制約を受ける。

第3に、シミュレーションを用いて、冷媒蒸気の低圧化のために、①凝縮器・吸収器系の温水や冷却水の通水方法の変更、②吸収溶液流量の増加、③伝熱面積の増加の検討を行った。これは、新作動媒体の長所である晶析ラインの緩和を最大限に発揮させるためである。

#### 6. 今後の吸収式の高性能化の方向

要素は、再生器と吸収器の伝熱促進が重要である。吸収器は、最も大きな伝熱面積を占めるため、伝熱面形状だけでなく界面活性剤による界面攪乱現象の促進も重要となる。再生器は、単なる蒸気ボイラーと異なり、吸収溶液の腐食抑制の観点から局所加熱の抑制と限界熱収束の把握や、冷媒蒸気と吸収溶液の分離技術が重要となる。

熱源機は、家庭用ガス冷房機と未利用エネルギー活用機器の開発が重要である。このために、熱源機の空冷化、あるいは吸収ヒートポンプや排熱で駆動する吸収冷凍機の高性能化が必須となってくる。

今後、本研究で提案された熱源機は低温未利用エネルギー活用機器として実用化され、新作動媒体は次世代のガス空調のキーテクノロジーとして期待される。