

研究成績

サブテーマ名：1-1-2 廃熱の高度利用技術の研究開発

小テーマ名：1-1-2① マイクロ波照射型吸着ヒートポンプの開発

サブテーマリーダー：名古屋大学 小林敬幸

研究従事者：(財)科学技術交流財団 藤沢 亮、ニクザット フーマン

名古屋大学 架谷昌信、小林敬幸、出口清一、渡辺藤雄、小林 潤、窪田光宏

トヨタ自動車(株) 近藤元博、中垣友樹

研究の概要、新規性及び目標

①研究の概要

地球規模の資源・エネルギー問題の解決のために、その大半が環境に廃棄されている80°C程度以下の低温熱エネルギーの有効利用技術を確立することが急務とされている。吸着ヒートポンプはこの熱エネルギーを回収・高レベル変換する機能を有する唯一の熱機器に位置づけられ、その実用化開発が待たれている。本研究では、この吸着ヒートポンプの高性能化の最大課題のひとつである脱着促進に関して、これを可能とするマイクロ波照射を導入した新形式の熱・マイクロ波照射併用型吸着ヒートポンプを提案し、実用化を目指した開発研究を行った。具体的には、1)吸着材単粒子におけるマイクロ波照射場の脱着促進効果の把握、2)吸着材充填吸着器におけるマイクロ波照射の脱着促進効果の把握及び問題点の抽出、3)熱・マイクロ波照射併用型吸着材モジュール構造の検討を行い、これらの結果に基づいて4)本形式の吸着ヒートポンプの実用性の評価を行った。

②研究の独自性・新規性

熱駆動型吸着ヒートポンプの高出力化は吸・脱着のサイクル時間を短縮することで達成される。しかし、一般に吸着過程に比べて脱着過程が遅く進行するためこの過程の高速化、つまり脱着促進が不可欠とされる。この課題に本研究では最小限の動力附加をマイクロ波照射の形で補うことによっての高性能化を図ろうとするところに研究の独自性がある。具体的には、マイクロ波は吸着材内部に直達すること、マイクロ波の水に対する損失係数は吸着材のゼオライト、シリカゲルのそれぞれ50倍および200倍程度であり水に選択的に作用し吸着水を速やかに脱着させると考えられ、このマイクロ波の特性を積極的に応用するところに本研究の特色がある。

③研究の目標（各フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に）

フェーズI：吸着材単粒子における種々の温度条件ごとのマイクロ均一波照射場の脱着過程の熱・物質移動機構を実験的に明らかにするとともに脱着過程のマイクロ波照射による脱着促進効果を定量的に把握する。さらに、吸着材充填吸着器における脱着過程のマイクロ波照射の問題点を抽出する。

フェーズII：吸着材の種類ごとに吸着材充填吸着器におけるマイクロ波照射の脱着促進効果を実験的に明らかにし、マイクロ波照射条件下で使用可能な吸着材の種類、吸着材の幾何学的形状を明らかにする。さらに、マイクロ波照射型吸着器装填最適吸着材モジュール構造を明らかにし、本形式の吸着ヒートポンプの実用性の検討を行う。

研究の進め方及び進捗状況（目標と対比して）

1)マイクロ波照射場の脱着過程の熱・物質移動機構の解明：マイクロ波照射が可能な熱重量分析器を試作した。マイクロ波には周波数2450MHzを使用し、試料部（シリカゲル）にほぼ均一照射されるようにアセンブリした。実験では所定の温度条件下でマイクロ波照射を行い、試料温度（光ファイバー温度計）と脱着による重量減少を計測した結果に基づいて本条件下の熱・物質移動機構を解明した。

2)吸着材充填吸着器におけるマイクロ波照射の脱着操作の課題抽出：マイクロ波照射が可能な外部冷却式の充填層型吸着器と蒸発器/凝縮器で構成される吸着ヒートポンプを試作した。所定の吸着平衡到達後の脱着過程での熱・マイクロ波照射条件下の脱着速度測定を行った。本研究項目では吸着材試料としてシリカゲルを用い、マイクロ波照射条件下の脱着操作の課題抽出を行った。

3)吸着材充填吸着器におけるマイクロ波照射の脱着促進効果の把握：改良型のマイクロ波照射が可能な外部冷却式の充填層型吸着器を試作し、2)と同様の吸着ヒートポンプを構成し、脱着過程のマイクロ波照射効果を定量的に把握した。本項目では吸着材試料としてシリカゲルおよびゼオライトを当てた。

4)マイクロ波照射型吸着器装填吸着材モジュール構造の最適化：吸・脱着に伴う発熱・吸熱の除熱・級熱とマイクロ波照射が可能な2種の吸着材モジュールを試作し、これを装填した吸着器で構成される吸着ヒートポンプにより、熱出力を最大にしうる吸着材モジュール構造の検討を行った。併せてこのモジュール使用の吸着ヒートポンプの実用化の評価を行った。

主な成果

具体的な成果内容：本研究におけるマイクロ波照射型吸着ヒートポンプの開発研究において以下の研究成果を得た。

- ・マイクロ波脱着では通常の加熱脱着に比べて脱着速度は速く、熱脱着を上回る脱着が達成される。これはマイクロ波が吸着材内部に直達することによる。
- ・吸着材の種類を問わず、充填層形式のマイクロ波脱着では層内の定在波の存在による脱着むらが生じるが、これを許容しても熱脱着に比べてマイクロ波脱着の脱着速度が速く、熱脱着を上回る脱着量の増大が観察される。
- ・ゼオライトに比べてシリカゲルにおけるマイクロ波照射による吸着材層の温度上昇が小さい。これはシリカゲルのマイクロ波損失係数がゼオライトの4分の1程度であることによる。それゆえ、マイクロ波照射型吸着ヒートポンプにはシリカゲルを吸着材として使用することが好ましい。
- ・マイクロ波照射型吸着ヒートポンプの吸着器装填吸着材モジュール構造として、吸着材充填部中心軸及び側面にマイクロ波通路を配したフィン型モジュールが適している。

特許件数： 論文数： 1 (投稿中) 口頭発表件数： 3

研究成果に関する評価

1 国内外における水準との対比

マイクロ波を吸・脱着に利用する研究は、大気中での固体の乾燥、NO_xの吸着などを対象に検討されているが、本研究のいわゆる減圧条件（最大40Torr）下で用いる試みは国内外においてほとんど見当たらない。それゆえ、本研究成果は極めてオリジナル性を有する。とくに、マイクロ波を吸着ヒートポンプの脱着過程に供給し吸着ヒートポンプの熱出力の向上を図ろうとする試み、ならびにこの観点から実験的に得られた上記のいくつかの研究成果はいずれも極めて新規性が高い。

2 実用化に向けた波及効果

吸着ヒートポンプは80°C程度以下の熱エネルギーを回収し冷熱変換できる熱機器として機能することはもとより、本器は蓄熱型として稼動させることが可能である。提案のマイクロ波照射型吸着ヒートポンプは一種の熱・電併給型吸着ヒートポンプであり、サイクル制御を行うことで夜間電力の脱着過程への利用を可能とする。それゆえ資源・エネルギー問題の観点から求められている高効率エネルギー利用技術に適合すると考えられる。また、本器の導入は、例えば分散電源のひとつであるガスタービン、ガスエンジン、燃料電池などのコジェネシステムの排熱、余剰電力の合理的利用を可能とするなどの利点があり、工業的、社会的波及効果はきわめて大きい。

残された課題と対応方針について

フェーズⅠ、フェーズⅡで計画した研究目標は達成でき、提案のマイクロ波照射型吸着ヒートポンプの有効性が示され、吸着器装填吸着材モジュールについても実験的にその設計指針が示された。しかし、熱とマイクロ波を同時に吸着器に導入するため熱駆動型に比べて本形式の吸着器が大きくなることに問題があることが指摘され、このことが吸着ヒートポンプのコンパクト・高性能化を図る上で最大課題として浮上する。また、本吸着ヒートポンプの実用化導入に当たってはその最適運転制御法の確立が不可欠となる。これらの課題に対して、今後、吸着材モジュール構造の改善、熱交換器の改善、ならびに実排熱条件下の実証試験を行うことによりその解決を図る。

| | J S T負担分 (千円) | | | | | | | 地域負担分 (千円) | | | | | | | 合計 |
|--------|---------------|-------|-------|------|-------|------|--------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|---------|
| | H11 | H12 | H13 | H14 | H15 | H16 | 小計 | H11 | H12 | H13 | H14 | H15 | H16 | 小計 | |
| 人件費 | 1488 | 7318 | 7077 | 880 | 7287 | 4009 | 28,059 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28,059 |
| 設備費 | 13257 | 26033 | 10595 | 33 | 1350 | 0 | 51,268 | 2800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,800 | 54,068 |
| その他研究費 | 1075 | 2831 | 1783 | 0 | 4594 | 350 | 10,633 | 800 | 500 | 300 | 300 | 300 | 300 | 2,500 | 13,133 |
| 旅費 | 66 | 140 | 310 | 30 | 216 | 80 | 842 | 0 | 0 | 150 | 50 | 50 | 200 | 450 | 1,292 |
| その他 | 844 | 408 | 655 | 296 | 747 | 657 | 3,607 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,607 |
| 小計 | 16730 | 36730 | 20420 | 1239 | 14194 | 5096 | 94,409 | 3600 | 500 | 450 | 350 | 350 | 500 | 5,750 | 100,159 |

代表的な設備名と仕様〔既存（事業開始前）の設備含む〕

J S T負担による設備：高性能多検体全自動ガス吸着量測定装置、ヒートポンプ試験装置

地域負担による設備：マイクロ波発生装置・東京電子製1-KW型

※ 複数の研究課題に共通した経費については按分する。