

令和元年6月17日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14173

研究課題名(和文) 吸着式エンジンの研究

研究課題名(英文) Study on Adsorption Engine

研究代表者

宮崎 隆彦 (Miyazaki, Takahiko)

九州大学・総合理工学研究院・教授

研究者番号：70420289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：100 未満の熱を利用した発電は、原理的に高効率の達成が難しい。そこで、低温排熱を利用した冷凍・空調システムで実用化されている吸着・脱着現象に着目し、吸着現象に起因する圧力差を利用した新たなサイクルを提案した。吸着熱交換器を用いてサイクルを模擬した実験を行い、吸着・脱着による圧力挙動を把握し、実際の挙動との差異を明らかにするとともに、吸着剤と作動媒体の最適選定による効率向上の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

吸着サイクルが外部にする仕事を熱力学的に表現することは、吸着現象を利用した機器(エンジンや冷凍機)を本質的に理解するために重要である。従来の研究では、吸着冷凍サイクルの研究は多数なされているが、吸着サイクルによる仕事について言及する研究は皆無であった。本研究では吸着サイクルを熱機関と捉え、その熱力学的サイクル特性を解明し、また、実験によって理論サイクルと実際のサイクルの挙動の違いを明らかにした。これらは、今後の研究の進展に大いに貢献する成果である。

研究成果の概要(英文)：A high thermal efficiency cannot be achieved by power cycles driven by low temperature thermal energy below 100 degree Celsius. We proposed a new thermodynamic cycle using adsorption phenomena to improve thermal efficiency with low grade thermal energy. Experimental study revealed the difference between ideal cycle and a real system and it was shown that the system performance could be largely improved by optimum combination of adsorbent-adsorbate.

研究分野：熱工学

キーワード：吸着 熱機関 エンジン 熱力学サイクル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

吸着剤によるガス/蒸気の吸着・脱着現象を利用した冷凍サイクル(吸着式冷凍サイクル)は、100 未満の低温排熱を駆動熱源に用いて冷凍効果を得る仕組みとして世界中に研究例が多く、実用化もされている。吸着式冷凍サイクルは、熱力学的には「熱機関」と「冷凍機」が一体となったサイクルと理解されており、冷媒の循環サイクルが「冷凍機」のサイクルに相当し、吸着剤による吸着・脱着のサイクルが「熱機関」の役割に相当する。動力(または電気)で駆動される一般的な冷凍機も、「熱機関」で得た動力(電気)が「冷凍機」への入力となるため、本質的には同一な仕組みであるが、吸着式冷凍サイクルの「熱機関」着目し、新たな熱機関サイクルの提案とその実現を目指した研究例は、国内外ともに極めて少ない。

2. 研究の目的

吸着・脱着現象を利用した動力回収に関する基礎的な知見を取得し、その実現に向けた課題を抽出する。具体的には、以下の要素に主眼を置いて研究を実施した。

- i) 動力回収に適した吸着剤と吸着質の組み合わせの選定。
- ii) 効率の良いシステム構成の明確化。
- iii) 吸着熱交換器挙動の把握。

3. 研究の方法

3. 1 吸着・脱着挙動実験

図1に示す実験装置を構成し、吸着過程および脱着過程における挙動を計測した。吸着剤は活性炭であり、コルゲートフィンタイプの熱交換器に活性炭を充填した吸着熱交換器を使用した。吸着質は R134a (テトラフルオロエタン) である。カーエアコン等で使用されている冷媒であり、信頼できる熱物性値情報が利用可能であること、また、実験する温度範囲において、容器内の圧力を 1MPa 未満に保つことができることを主な理由として実験用吸着質に採用した。

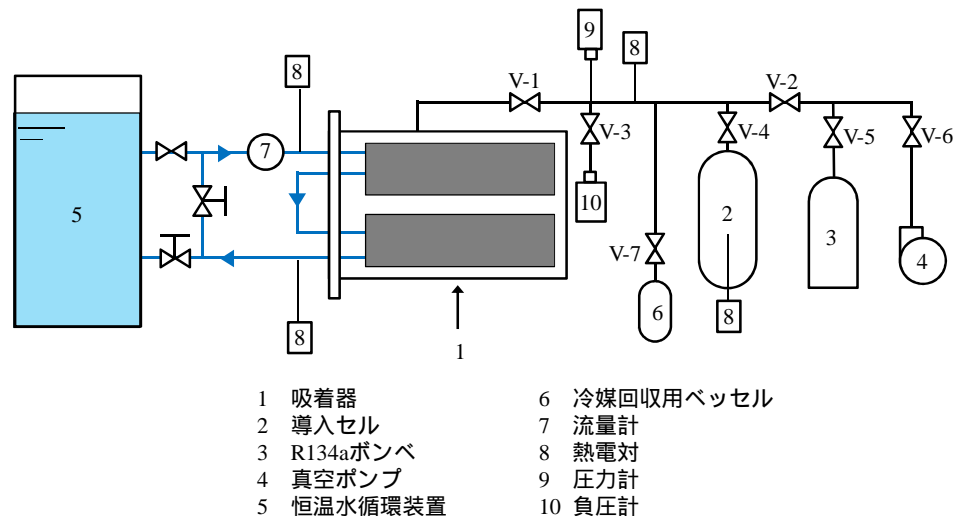


図1 実験装置概要図

実験では、図2に示す予熱過程、脱着過程、予冷過程、吸着過程を1サイクルとして温度変化および圧力変化を測定した。各過程の動作は以下の通りである。

予熱過程

吸着過程が終了した状態で吸着器と導入セルをバルブにより切り離し、吸着熱交換器を脱着温度まで加熱する。吸着剤の温度が上昇することにより、吸着器内の圧力が上昇する。吸着器内の吸着している吸着質は一部脱着する。

脱着過程

吸着器が加熱された状態で吸着器と導入セルを接続する。吸着器と導入セルの圧力差により、吸着器内の吸着質が導入セルに流入する。それにより吸着器内の圧力が低下し、平衡吸着量が減少することで脱着が進む。

予冷過程

脱着過程が終了した状態で吸着器と導入セルをバルブにより切り離し、吸着熱交換器を吸着温度まで冷却する。吸着剤の温度が低下することにより、吸着器内の圧力が低下する。吸着器内の吸着している吸着質は一部吸着する。

吸着過程

吸着器が冷却された状態で吸着器と導入セルを接続する。吸着器と導入セルの圧力差により、導入セル内の吸着質が吸着器に流入する。それにより吸着器内の圧力が上昇し、平衡吸着量が

増加することで吸着が進む。

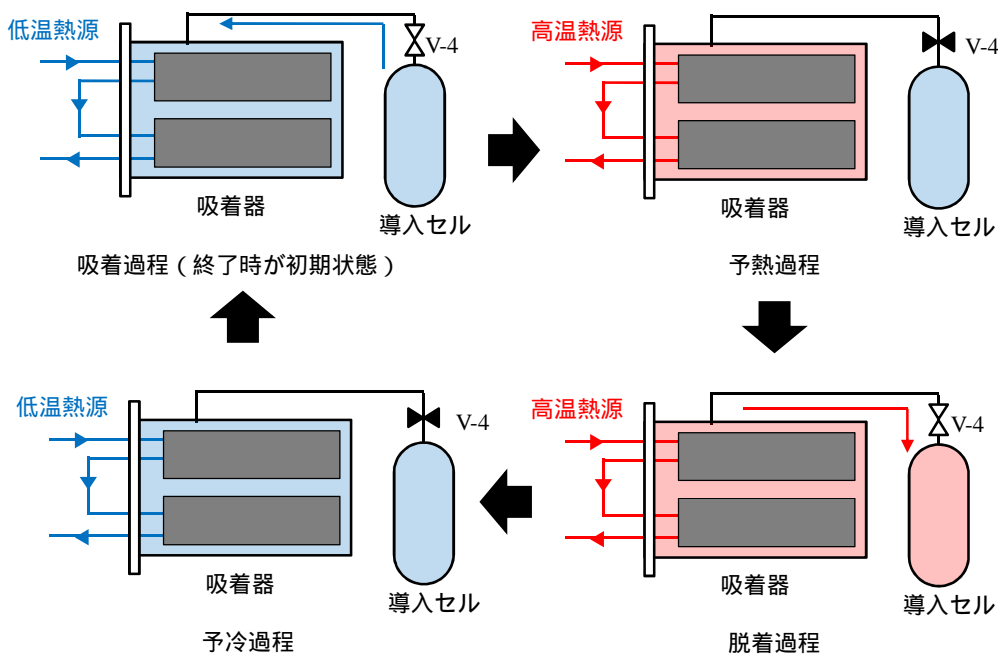


図2 各過程の概要

3.2 シミュレーションによるサイクル解析

二種類のシステム構成を想定し、シミュレーションにより熱効率を予測した。

サイクルA (吸着器-定容容器)

図3にサイクルの概略図を示す。サイクルAは吸着器、定容容器として導入セル、およびタービンで構成されている。吸着器で脱着した吸着質が導入セルに移動する際にタービンで仕事をする。吸着過程で導入セルから吸着器に吸着質が移動する際には仕事をしない。

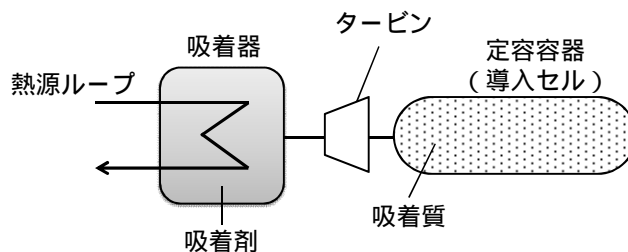


図3 サイクルA 概略図

サイクルB (吸着器-吸着器)

図4にサイクルBの概略図を示す。サイクルBは2個の吸着器およびタービンで構成されている。2個の吸着器は一方が脱着過程の時、もう一方は吸着過程である。一方の吸着器から脱着した吸着質が、もう一方の吸着器に移動する際にタービンで仕事をする。その後、吸着と脱着を入れ替え、吸着質を移動させる。その際にも仕事をする。

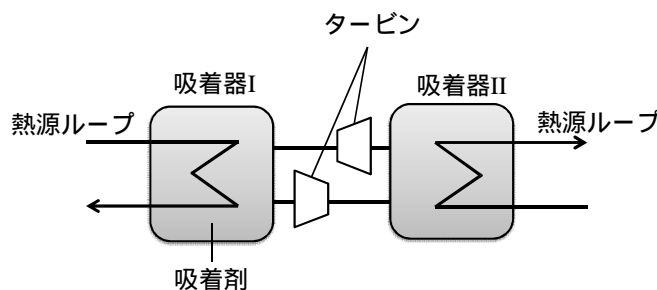


図4 サイクルB 概略図

4. 研究成果

4.1 吸着・脱着挙動実験の結果

実験結果の一例を図5に示す。黒の破線は計算値であり、カラーの実線が測定値のプロットである。実験では、各過程の終了点は、計算値と重なっており、設定した平衡状態に達していることが確認できた。しかし、予熱および予冷過程では計算値との圧力の差が生じている。計算においては吸着器内の温度は場所によらず一様であり常に吸着平衡状態を保つと仮定しているが、実験の予熱過程においては、吸着熱交換器温度が上昇しても、熱伝導および対流による吸着器内の気相の吸着質の温度上昇、および脱着に時間を要するため、差が生じたと考えられる。予冷過程においても同様に、吸着器内の気相の吸着質の温度上昇、および脱着に時間を要するため、計算値との圧力差が生じる。脱着および吸着過程においては、計算値と吸着熱交換器温度の差が生じている。計算においては脱着熱および吸着熱による温度変化は考慮していないが、実際にはそれらの熱が吸着剤の温度変化に影響する。そのため、計算値と実験値に温度差が生じたと考えられる。

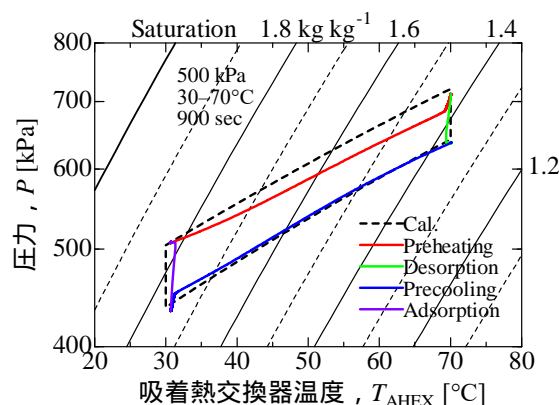


図5 各過程における挙動(初期圧力 500 kPa, 脱着温度 70 °C, 吸着・脱着時間 900 sec)

その他、パラメータを変えた実験を実施し、吸着・脱着に要する時間や予熱過程における顕熱と潜熱の比率等を明らかにした。

4.2 シミュレーションによるサイクル解析結果

シミュレーションによって、吸着器容器内の空間容積(死容積)が大きいと作動媒体の圧力が上がらないため、効率低下につながるということがわかった。また、熱交換器の熱容量が大きい場合は顕熱加熱量が大きくなるため、効率が低下する。サイクルAで死容積を0とした理想の場合について、効率、仕事、入熱量の計算結果を図6に示す。吸着剤は活性炭、吸着質(作動媒体)はR134aである。熱力学的なサイクル効率を η_{cycle} 、熱交換器の熱容量分の顕熱加熱を加味した効率を η_{system} (システム効率)とした。初期圧力によって吸着量が変わるため効率が変化するが、サイクル効率が最大になる初期圧力を設定すれば、効率は3%強である。サイクル効率とシステム効率の差には、熱交換器自体の加熱に使われた顕熱量が寄与しており、熱交換器設計の最適化によって差を縮小することができる。

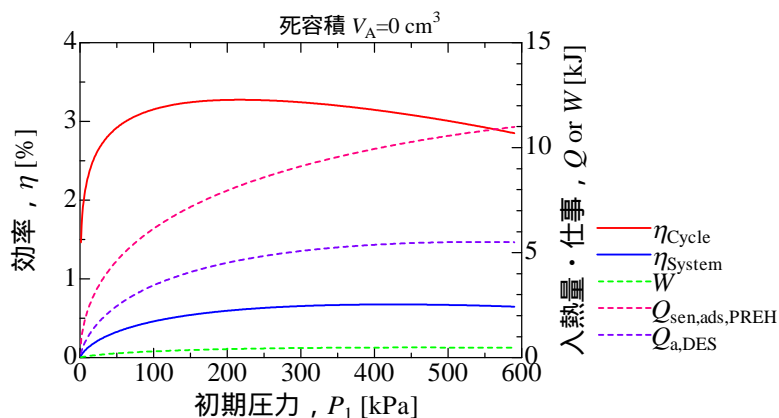


図6 死容積なしにおける効率、仕事および入熱量(サイクルA)

システム B は、タービン前後の圧力差を大きくできるため、システム A よりも仕事が大きくなり、熱効率が低いと考えられる。2 種類の活性炭と 3 種類の吸着質についてシステム B のシステム効率を比較した結果を図 7 に示す。

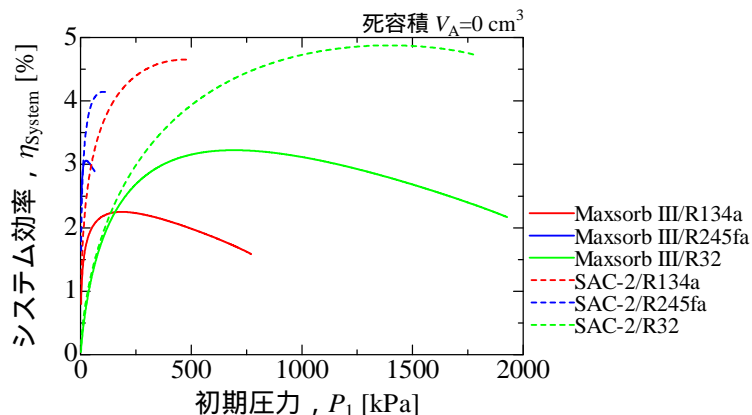


図 7 システム B のシステム効率

システム A と比較して、システム効率が大きく改善しており、また、吸着剤と作動媒体の組み合わせによってシステム効率が大きくことなることがわかった。適切な組み合わせの選定によって大幅な効率改善が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

川上隼人, 宮崎隆彦, 吸着現象を利用した動力サイクルの基礎研究, 第 53 回空気調和・冷凍連合講演会, 2019 年 4 月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。