

平成22年 6月25日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20700629

研究課題名 (和文) 排熱を利用した学生実験用ヒートポンプシステムの構築

研究課題名 (英文) Making of a heat pump system using waste heat for a student experiment

研究代表者

本間 寛己 ( HOMMA HIROKI )

松江工業高等専門学校・機械工学科・講師

研究者番号：40413827

研究成果の概要 (和文) : 本研究では 100℃以下の低レベル熱源を駆動熱源とする学生実験用熱駆動型ヒートポンプシステムを構築した。ヒートポンプシステムにはシリカゲル-水吸着式ヒートポンプを用いた。システムを活用することによる教育効果の評価として、学生の熱エネルギー有効利用についての理解度を調査した。アンケート結果から、本システムが効率の良い熱エネルギー利用や環境に対する学生への意識付けに効果的であることが確認できた。

研究成果の概要 (英文) : In this study, a thermal drive type heat pump system using low level heat source less than 100℃ was made for a student experiment. A silica gel - water adsorption heat pump was adopted as the heat pump system. Student's understanding of effective use of thermal energy was surveyed as an evaluation of educational effect. The survey result shows the system developed by us was effective for students to increase in high efficiency thermal energy utilization and environmental problems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,300,000	390,000	1,690,000

研究分野：総合領域，熱工学

科研費の分科・細目：科学教育，教育工学・科学教育

キーワード：科学教育，工学教育，環境教育，熱工学，廃熱利用

## 1. 研究開始当初の背景

全世界での一次エネルギーはほとんど化石燃料に依存している。化石燃料は太陽エネルギー，水力，風力などの自然エネルギーに比べ，エネルギー密度が高く，エネルギー変

換技術が確立されているため全世界で広く用いられてきた。しかしながら，化石燃料から電気に変換する際，その大部分を熱エネルギーとして大気中に放出している。化石燃料の埋蔵量が有限であることから，熱エネルギー

一を効果的に利用する技術開発および若手技術者への啓蒙活動が重要である。

前者で述べた、排熱を利用する技術開発は多くの研究機関で進められており、例えば、熱エネルギーのカスケード利用システムなどがエネルギー利用の高効率化のため、高温レベルにおいて導入されている。

近年、全世界において環境問題が叫ばれており、化石燃料の使用には厳しい制約が設けられると考えられることから、排熱を有効利用するこれらの研究テーマは重要となる。一方、多くの若手技術者が大学等の高等教育機関で化石燃料の重要度を熱力学などの学問によって学習するが、排熱利用に関する学生実験テーマは少ない。前述したように今後、排熱を含めトータルとしての化石燃料の利用が重要な課題となることから、定量的かつ定性的に学習できる小型の学習システムの構築が重要となる。現在、100℃以下の低温度レベルの排熱については用途が限られ、熱エネルギーはほとんど未利用のまま排熱として放出されているのが現状である。これを利用し、排熱を含めたトータルとしての化石燃料の利用実験を検討することに学術的・教育的な価値がある。

申請者の所属する高等専門学校は、15歳からの技術者教育を行う高等教育機関であり、社会を担う将来のエンジニアに対して早い段階から環境教育が可能である。

## 2. 研究の目的

本研究は、エンジニア教育を行う上で地球環境に配慮した実験学習システムの開発であり、本システムを用いた実験実習を行った際の教育効果について定量的に評価することを目的とする。

研究期間内において、現在ほとんど未利用のまま放出されている100℃以下の低温度レベルの排熱が利用できる、学生実験用熱エネルギー評価システムを構築する。一般に、排熱を利用するカスケードシステムは現在発展途上であり、技術的に克服すべき課題も多いことから実験システムとして用いるケースはほとんどない。実験学習システムは、後述する申請者のこれまでの学術的な研究を応用することで、低温度レベルの熱エネルギーを駆動源にして冷熱を生成する熱駆動型ヒートポンプシステムを考案する。

同時に、開発した実験学習システムを用いた排熱利用に関する学生実験テーマを新規に開講し、実験に携わった学生へのアンケート調査を実施することで、環境を配慮したエンジニア教育へ新たな教育提案を行う。

機械工学を設置する高等教育機関の多くは、熱力学を教授すると共にエンジンに代表される熱機関を用いた学生実験を行っている。実験において、化石燃料などを燃焼させ

た場合における熱エネルギーを評価することで熱機関のメカニズムを学習する。一方、既存のエンジンや火力発電システム等においては熱効率の向上はほぼ限界にきており、実際には再生・再熱サイクルやコジェネレーションシステムの導入等による熱効率向上の取組がなされている。さらに、エネルギーの有効利用をトータルで促進させるため、熱機関で生じた排熱を有効利用するシステムも実用化されつつある。しかしながら、排熱を含めた熱エネルギーを総合的に学習する学生実験用システムは現在提案されていない。

本研究は、学生実験に利用可能な排熱を利用した熱エネルギーの効果的な学習システムの構築と、本システムを用いて学習したエンジニアの環境に関する意識を定量的に評価することに、大きな特色・独創性を有する。このように、環境に配慮した実験学習システムを構築し、わかりやすく学生に提示することは、環境問題を考えることのできるエンジニアの輩出につながる。すなわち、本研究の実施により化石燃料の有効利用方法の教育および環境に対する技術者の意識付けが行えると考えられる。

## 3. 研究の方法

代表的なカスケード利用システムである熱駆動型ヒートポンプシステムを製作する。しかしながら、従来のシステムは効率が低いことや、装置が大型となるといった問題があり学生実験用に適していない。そこで、申請者がこれまでに研究してきた、吸着モジュール(図1)を利用し、その吸着剤にバインダ(図2)と呼ばれる接着剤を付加した固体粒子吸着剤を用いた熱駆動型ヒートポンプ(図3)を採用することで、低コストでかつ比較的熱効率のよいシステムを構築する。構築したシステムを用いて下記の実験を行う。

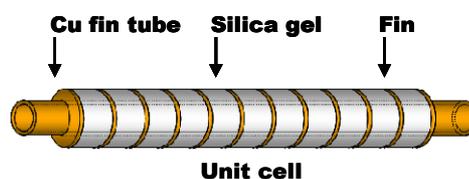


図1 ユニットセル吸着モジュール

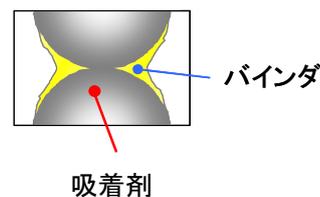
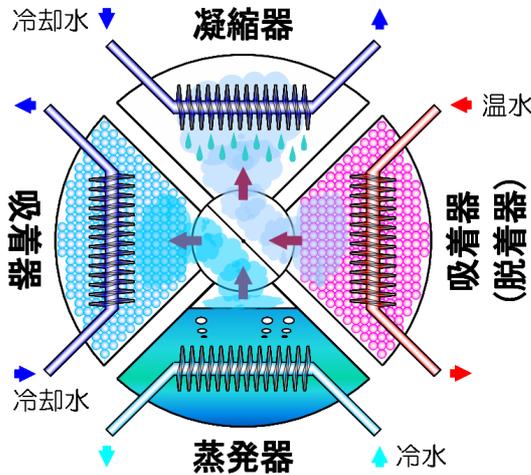


図2 吸着剤とバインダ

(1) 熱効率の評価

入力を 100℃以下の排熱とし、吸着器で取出すことのできる熱量を計測する。  
 サイクル切り替え時間および熱源温度を変化させることで、ヒートポンプに与える各種パラメータの影響を評価する。



吸着過程(冷熱の生成)

冷媒の蒸発(蒸発器) → 冷媒蒸気  
 → 吸着器 → 吸着剤に吸着

再生過程(吸着剤の再生)

吸着剤から脱着(吸着器) → 冷媒蒸気  
 → 凝縮器 → 冷媒の凝縮

図3 熱駆動型ヒートポンプ原理図

(2) 吸着等温線測定

ヒートサイクルを理解させるため、吸着等温線を測定するための装置(図4)を製作する。計測装置上に試料とヒータを一体構造とした容器を設置し、容器全体の質量変化から吸着量を測定するものである。蒸気発生装置より水蒸気を導入して容器内の圧力を制御する。

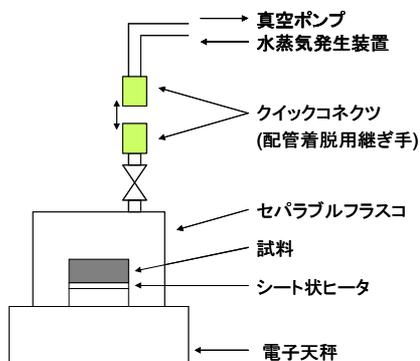


図4 吸着等温線測定装置

(3) アンケート調査

実際に実験実習で学習した学生に対しアンケート調査を実施することで、熱力学に関する習熟度および、技術者として環境への意識向上に関し定量的な評価を行う。

4. 研究成果

実験学習システムとして、低温度レベルの熱エネルギーを駆動源にして冷熱を生成する熱駆動型ヒートポンプシステム(図5)を考案し製作を行った。システムの中核である熱駆動型ヒートポンプは吸着式とし、吸着剤にはシリカゲル、冷媒には水を用いた。実験学習に適したシステムとするため、シリカゲルはフィンチューブ型の吸着モジュールを製作し、そこに充填した。一般的な充填層型の場合、熱および物質移動特性が悪いため効率が悪く、装置が大型化してしまう。加えて、ヒートポンプのサイクル切り替え時間が長時間化するため限られた授業時間中での実験回数が少なくなってしまう。一方、本方式であれば、熱および物質移動特性に優れているためサイクル時間を短時間にすることができ、実験回数を多くすることができる。また、フィンチューブをモジュール化して交換が容易に行えるようにしたため、フィン形状等の条件を変えて実験することも可能である。

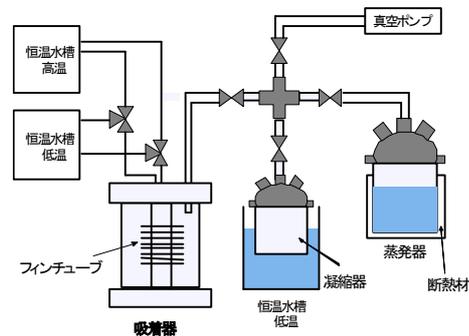


図5 熱駆動型ヒートポンプ実験装置

製作した実験学習システムの評価として、サイクル切り替え時間と熱源温度を変化させたときの出力の変化を測定した。なお、吸着器に取り付けた吸着モジュールのフィン形状は管径 12.7 mm、フィン高さ 10 mm、フィンピッチ 4 mm であり、シリカゲルが 172 g 充填されている。熱源温度が 90℃の場合に、サイクル切り替え時間を変化させた結果(図6)、5分が最適であることが分かった。次に、サイクル時間を5分に固定し、熱源温度を70, 80, 90℃と変化させた結果(図7)、80℃のときに最も出力が大きく約 15 W となった。

また、簡易型の吸着等温線測定装置(図8)を製作して、シリカゲルの静的な吸着特性の評価を行えるようにした。

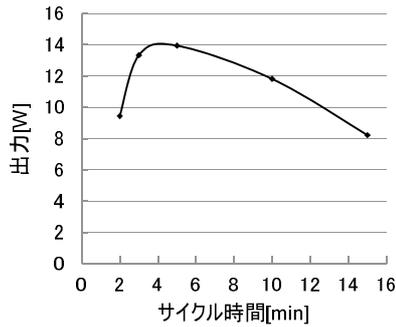


図6 サイクル切り替え時間と出力

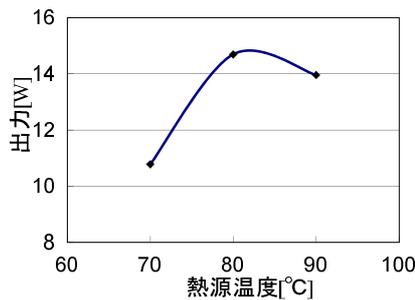


図7 熱源温度と出力

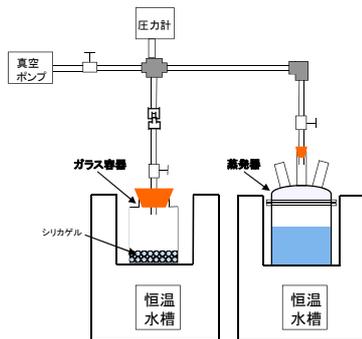


図8 簡易型吸着等温線測定装置

装置製作および装置評価に携わった学生は、温熱から冷熱を生成できることに驚き、興味深く取り組んでいた。また、熱エネルギーの有効利用について高い関心を持たせることができたと思われる。

構築したシステムは学生実験の中で活用して、廃熱利用の有効性を学生に教授した。その際にはメリットだけでなく、初期コストが掛かるなどのデメリットも解説して、学生に総合的に考えさせるようにした。実験後には廃熱利用システムのメリットとデメリットの両面から意見を述べさせるアンケートを実施した。廃熱利用システムの存在を知っていたかを問う質問(図9)から、一部の学生はインターンシップを通じて知っていたが、80%近くの学生は本実験で初めて知ったこ

とが分かった。また、廃熱利用システムについての意見を述べさせる質問(図10)では、初期コストが掛かるなどのデメリットの方が大きいと考える学生が40%いることが分かった。しかし、残りの60%は導入による省エネルギー性のメリットが大きいと考える学生と、技術革新や普及により初期コストの削減が達成できればメリットが大きいと考える学生であり、半数以上は肯定的な意見を持っていることが分かった。

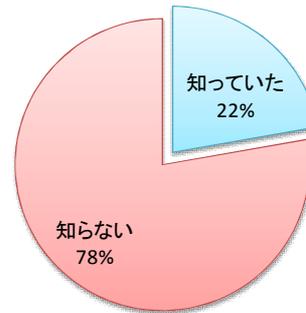


図9 ”廃熱利用システムを知っているか”についてのアンケート結果

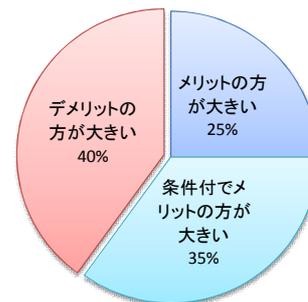


図10 ”廃熱利用システムの導入のメリットとデメリットはどちらが大きいか”についてのアンケート結果

アンケート結果では、本システムのような熱利用の方法を知ったことへの喜びや、現在の地球環境と照らし合わせて早期の普及を望む意見もあり、本システムが効率の良い熱エネルギー利用や環境に対する学生への意識付けに効果的であることが確認できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

本間 寛己 (HOMMA HIROKI)  
 松江工業高等専門学校・機械工学科・講師  
 研究者番号：40413827

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：