

ヒートポンプ^①についての実験教材

小林義行

茨城県立土浦工業高等学校

〔要約〕近年、地球温暖化問題に関連してフロン冷媒を用いない方式のヒートポンプが盛んに開発されている。しかし生徒にとっては、それらの技術と理科で学習する知識との隔たりが大きい。そこで、ヒートポンプに関する一連の実験教材として、輪ゴム式、気化液化式、スターリング式の3つの実験を提案する。これらは理科教師や生徒が自作できる教材であり、それらの活用によって、環境問題を積極的に解決しようとする科学技術の側面を紹介することができる。

キーワード：輪ゴム、注射器、ヒートポンプ、ノンフロン、スターリングクーラ

1. はじめに

ヒートポンプは低温のものから熱をくみ上げて高温を作る装置であり、その装置の低温側を利用するクーラ、高温側を利用するヒータとして使われる。身の回りではルームエアコンやカーエアコン、冷蔵庫やヒートポンプ式給湯器など、多数のヒートポンプが使われている。近年、地球温暖化問題に関連してフロン冷媒を用いない様々な方式のヒートポンプが盛んに開発されている。

しかし、例えば「空気でお湯を沸かす」などといったキャッチコピーを耳にしても、生徒はそれらの新しい技術に対して、気化熱や地球温暖化といった理科で学習する知識を応用して検討することができない。学習する科学原理と現実の技術とのギャップが大きいからである。それを埋めるような適当な教材、特に実験教材がなかった。

著者は今までエネルギー変換教材として模型スターリングエンジンの研究を行ってきた。^{*1} その中で、容易に実現できるスターリング式ヒートポンプ実験を開発した。^{*2} その実験を含めると、各種ヒートポンプを概括する視点が得られる。

本研究はヒートポンプに関する一連の実験教材を紹介し、技術的な内容を加味したヒートポンプの学習を提案するものである。

2. 固体ヒートポンプ

輪ゴムを用いたファインマンの熱機関が知られているが、本実験はそれを逆利用するも

のである。

- (1) 輪ゴムを両手の人差し指の間にかける。
- (2) 思い切り力を入れて伸ばすとゴムはわずかに熱くなるので、くちびるを触れて確かめる。
- (3) 伸ばしたまま、空気中で上下に数回動かし放熱させてから、輪ゴムをもとの長さに戻す。このとき輪ゴムはわずかに冷たくなるので、くちびるを触れると冷たいのが感じられる。
- (4) 伸ばしては空気中に放熱し、縮めては唇を冷やす、この操作を繰り返す。

この原理を使った固体式ヒートポンプの実用装置は存在しない。ヒートポンプという装置のはたらきを知らせるための実験である。生徒に輪ゴム一本を渡せば、各自のくちびるを温度計として簡単に実験させることが可能である。

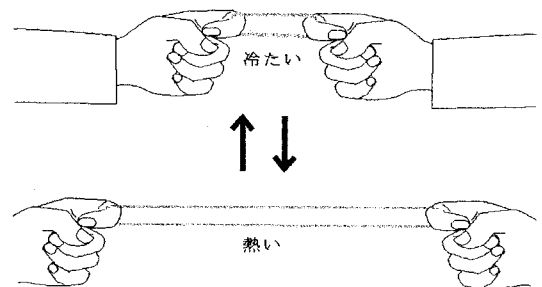


図1 輪ゴム・ヒートポンプ

3. 気化液化ヒートポンプ

図2は気化液化式クーラの原理を示す実験である。エアコンや冷蔵庫等で使われているガス冷媒は常温常圧で気体であるため、コンプ

レッサにより圧縮して液化するが、本実験ではメタノールを使用するので、逆に真空ポンプによって減圧して気化を行う。

理科室にある油式真空ポンプを使った場合、電源を入れると数秒でメタノールが沸騰し、1分間でいどの後、試験管の気液面近くは0℃以下に達する。数分後には試験管のまわりに霜が付着する。

試験管内の低圧で気化したメタノールは真空ポンプの排気側で高圧（大気圧）のため液化し、その一部が排気口に取り付けた

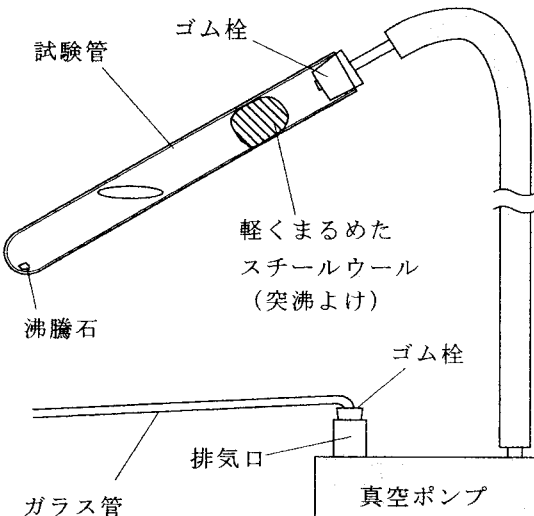


図2 メタノール・クーラ

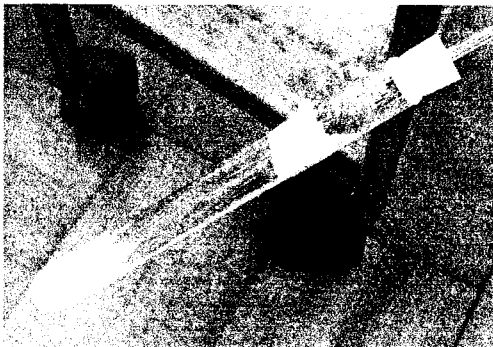


図3 霜が付いた試験管

ガラス管の内壁に結露することを観察できる。

メタノールのかわりに水を使ってでも可能である。図4は試験管の側面に熱電対温度計を貼り付けて温度を測定したグラフである。室温18℃で行ったが、メタノールで低温部が-12℃、水の場合は3℃程度まで温度が下がった。

この実験を演示し、低温部に生徒の手を触れさせながら、減圧による気化→その際に吸熱→加圧による液化→その際に発熱、というサイクルを説明できる。

表1は実際に使われている冷媒ガスの性質をまとめたものである。温暖化問題への対策として炭化水素や二酸化炭素が家庭用に使用されはじめている。これらは冷媒ガスそのものの温暖化係数は小さいものの、冷媒としての性能はフロン類に比べて劣る。したがって、悪くすると発電所での二酸化炭素排出を増加させかねない。

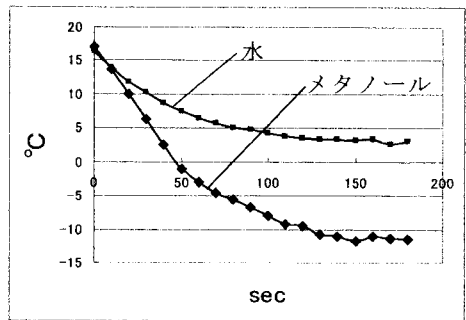


図4 温度変化の測定例

気液式ヒートポンプ技術はすでに完成された技術である。その性能は蒸気圧特性など冷媒ガス固有の物性値に大きく支配される。したがって、フロンに代わる新しい冷媒ガスが見つからない限り、性能の向上は期待できないだろう。

表1 気化液化式ヒートポンプ用冷媒ガスの性質まとめ

冷媒ガス	オゾン層破壊	地球温暖化	ポンプの性能	用途、特徴など
特定フロン(CFC類)	▲	▲	◎	冷媒、製造。エアコン、冷蔵庫。すでに廃止。
代替フロン(HCFC, HFC類)	△	▲	○	冷媒、製造。エアコン、冷蔵庫。今後、廃止予定
炭化水素(インブタン等)		△	△	家庭用「ノンフロン」冷蔵庫、可燃性
二酸化炭素		△	△	業務用冷蔵庫、家庭用給湯システム

4. 気体ヒートポンプ

気体の膨張・収縮のみを行う気体式ヒートポンプの例として、著者が開発したスターリングヒートポンプの構造を図5に示す。

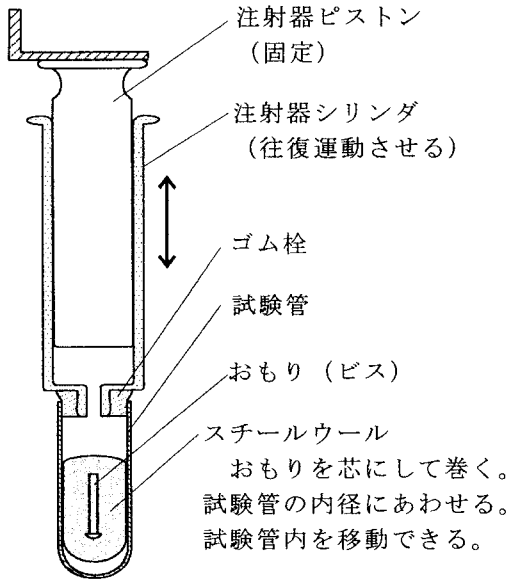


図5 スターリング・ヒートポンプの構造

ガラス製注射器のピストンは固定しておき、シリンダの方を外部からモーター等の動力によって往復運動させる。スチールウールは上下端での非弾性衝突とおもりの慣性によって試験管の中を上下に往復する。試験管内の空気はスチールウールのすきまを通過して上下に移動する。

図6は本ヒートポンプの動作図である。内部の空気は図の左側に移動してから膨張して

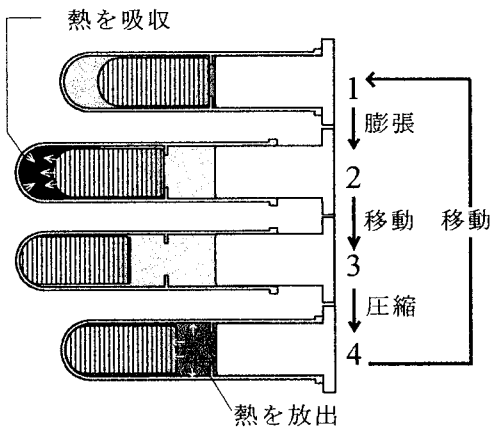


図6 スターリングヒートポンプの動作

吸熱、右側に移動してから圧縮されて放熱する。これを繰り返すと、試験管の左側では温度が次第に下がり、試験管右側はしだいに温度が上がる。

実は、図5の装置に外部動力をつけず、試験管底部を加熱するとシリンダが上限に振動を行う、つまり熱機関となる。これがスターリングエンジンである。このように、温度差を利用して動力を生み出すスターリングエンジンを逆利用しているのがスターリングヒートポンプである。

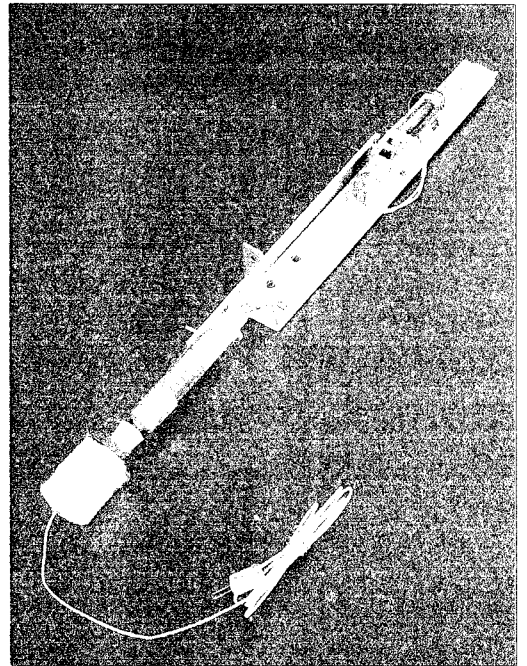


図7 3Vクーラ

図7は単三電池2個を電源として市販の模型モーターとギアボックスを動力とした製作例である。表に主な部品の規格等を示した。^{*3} 図10のように手回し式も可能である。

表2 主な部品の規格

試験管	口径18mmガラス試験管、長さ60mmに切断
スチールウール	ボンスター 市販のたわし状のもの
注射器	翼工業10ml用ガラス注射器、洗滌先タイプ
モーター	マブチFA130
ギヤボックス	TAMYA 3速ギヤボックス、ギヤ比 16.6:1
クランク半径	11.3mm (ギヤボックス内蔵のクランク)
電池	アルカリ単三電池×2本

スチールウール部分の太さや密度によって性能が変化する。きれいな棒状に整形し、試験管内ぎりぎりの太さにする。試験管の低温部には熱の流入を防ぐため発泡スチロールのカバーを取り付ける。

図 8 のイのように低温部に熱電対を差し込み温度を測定した結果が図 9 である。

低温部（試験管底）は 5 分間で室温から十数度 $^{\circ}\text{C}$ の温度が下がる。もちろん、温度計を取り付けず、手で触ることで低温を確かめても良い。

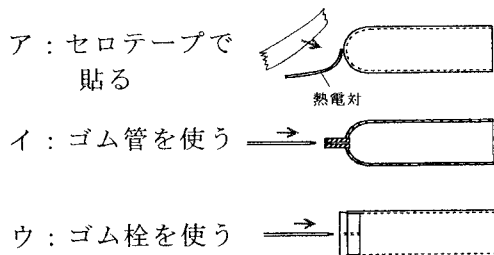


図 8 熱電対の取り付け方いろいろ

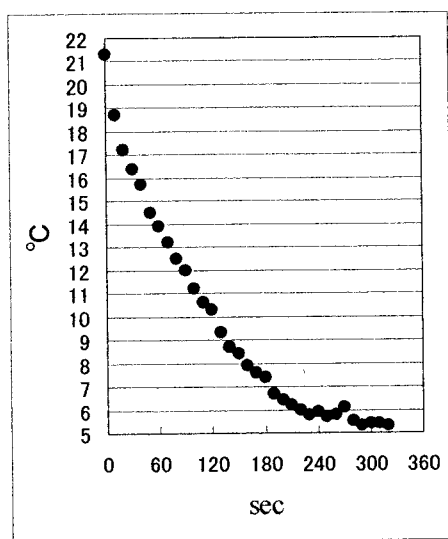


図 9 3V クーラ低温部の温度変化

スターリングヒートポンプは内部気体としてどのような気体でも使用可能であるが、実用的な極低温クーラではヘリウムが中心である。

その原理は古いものであるが、オイルショック以降エンジンとして研究され、その後、 -200°C 以下の極低温クーラが量産され工業用に利用されている。そして現在、フロン

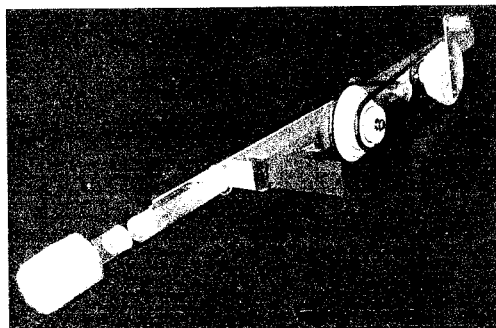


図 10 手回しスターリングクーラ

止をきっかけとして、家庭用の小型低温差型クーラも開発され始めた。ヒータとしての利用はこれからとなる。

5. おわりに

生徒には積極的に問題解決しようとする科学技術の姿を示したいものである。紹介した教材を用いて、生徒が自前の知識から身近な機器を理解することが第一の目的であるが、合わせて次のような点の理解も期待したい。

- (1) 現在多用されている気液式ヒートポンプではオゾン層破壊と地球温暖化対策の観点から止むを得ずフロンを使用を止め、それ以外の冷媒を使用する機器を模索している。
- (2) 最近取り入れられている CO_2 やイソブタンなどの冷媒ガスは決して高性能でなく、いろいろな問題点もある。発電所での問題も含めて総合的に考える必要があること。
- (3) ヒートポンプは気液式だけではないこと。いろいろなヒートポンプが可能だろうこと。特にスターリング式は今後の発展が期待されること。

参考文献

- *1) スターリングサイクルシンポジウム講演論文集
2001/10/25,p73-74, (ISSN 09189238)
2003/10/24,p89-90, (ISSN 09189238)
- *2) 雑誌「子供の科学 2005 年 4 月号」
(誠文堂新光社)
- *3) 著者インターネットページ
<http://members.jcom.home.ne.jp/kobysht/experiment/experiment.html>