

冷凍機(熱ポンプ)を理解するための教具に関する一考察：暖房性能測定用簡易型カロリメータの製作

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-05-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 上田, 整, 大倉, 宏之, 大年, 正行 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00008378

冷凍機(熱ポンプ)を理解するための教具に関する一考察

— 暖房性能測定用簡易型カロリメータの製作 —

A Study of Materials for Teaching "Heat Pump":

Production of a Simple Calorie Meter for Measuring the Heating Capacity

上田 整 ・ 大倉宏之 ・ 大年正行*

Sei UEDA, Hiroshi OHKURA and Masayuki OHTOSHI

(昭和63年10月11日受理)

Abstract

To understand the mechanism of a heat pump, we produced a simple calorie meter to measure the heating capacity of the heat pump. Using this calorie meter, we measure the heating capacity by comparing the capacity of a heat pump with an electronic heater. Moreover we can know the temperatures of refrigerant at the discharge pipe, suction pipe and the front of the expansion valve, and the pressures of one in the discharge pipe and suction pipe.

1. 緒言

冷蔵庫、クーラーなどの冷凍機は、現代社会では必要不可欠のものとなり、一般家庭での冷蔵庫の保有率は90%をゆうに越えたといわれ、またクーラーについては一般建築物を始め、電車、バス、乗用車等への装着もかなり進んでいる。このように冷凍機は、我々の生活のなかに広く普及しているが、その動作原理や機構については余り知られていないのが現状である。一方、工業高校の学習指導要領⁽¹⁾においても空気調和設備の科目が設置されており、「空気調和設備に関する基礎的な知識と技術を習得させ、これを実際に活用する能力を養う。」ことを目標としている。また、内容については、空気調和における冷房能力と暖房能力の計算ができること、あるいは冷凍機の構造、性能、用途を理解することなどが盛り込まれている。このような学習のための冷凍空調用実習装置も幾つか市販されており⁽²⁾、構成機器の機能および冷凍サイクルの制御、点検、補修およびガス充填等に関する実験実習に効果的に用いられている。

しかしながら、これらの装置では冷凍機の性能面を評価するための機能が備わっていないため、冷凍機の性能に関する理解を促すのは非常に困難であると思われる。冷凍機の機能を冷蔵庫を例にとって簡単に説明すると、「温度の低い庫内の熱を温度の高い庫外に運ぶ」という動作を繰り返しているということになり、電力というエネルギーを用いて熱というエネルギーを低温側から高温側に運搬していることになる。この動作が、あたかも低いところにある水を高いところに汲み上げているように見えるところから、冷凍機は熱を汲み上げるポンプ、すなわ

* 下田市立下田中学校

ち「熱ポンプ」とも呼ばれている⁽³⁾。冷凍機の機能を性能面も含めて十分に理解するためには、上に述べたような動作原理を知る必要があると考えられる。

本研究では、我々の日常生活と深くかかわっている冷凍機の機能を十分に理解させるための実験実習装置として簡易型カロリーメータを設計・製作した。冷凍機は一般的には冷凍・冷房用に用いる機器であると理解されているが、冷凍機の機能は前述のように熱を運搬することであり、熱が放出される高温側は、暖房用として用いることができる。本装置はこの暖房性能と電気ヒータの暖房性能を比較するものである。この装置を用いて同一ダクト内を冷凍機の凝縮器を利用して暖房する場合と電気ヒーターを利用して暖房する場合の比較実験を行うことにより、冷凍機のほうが60%も消費電力が少ないことが確認できる。このことにより電気エネルギーを100%熱エネルギーに変換している電気ヒーターよりも効率が良いことを気づかせ、このことは熱力学の法則に矛盾するのではなく、冷凍機での電力消費は「熱を低温側から高温側に運ぶ」原理そのものに気づかせることができる。この教具を用いることにより工業高校の空気調和の授業がより内容の濃いものになるものと期待される。

また、現行の技術・家庭科の機械領域では、エネルギー変換とその利用としての原動機学習が主流となっているが、この実験装置を用いることにより熱を扱った別の授業展開も可能となり、我々の日常生活と深くかかわりのある「熱」についての学習に発展できるものと期待される。

2. 冷凍機の作動原理

冷凍の方法にはいくつかの方法があるが⁽⁴⁾、ここでは最も多く利用されている液体の蒸発熱を用いた冷凍機のなかの蒸気圧縮冷凍機について、その作動原理を簡単に説明する。

図1に液体の蒸発による冷凍の原理を応用した装置を示す。図1のように熱絶縁された庫内に、ビンを入れた蒸発し易い液体（例えばアンモニア）を入れておくと、この液体が蒸発する

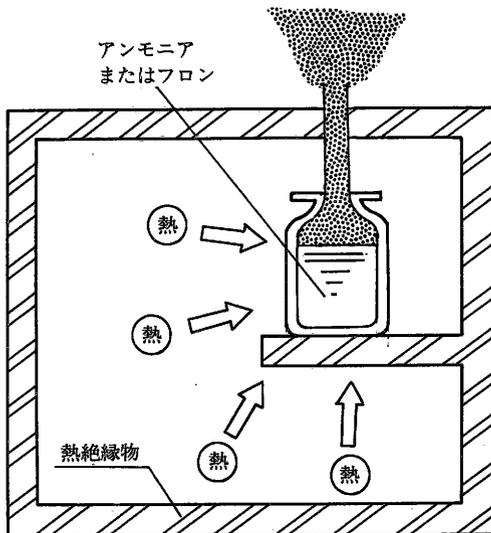


図1 冷凍の原理（その1）

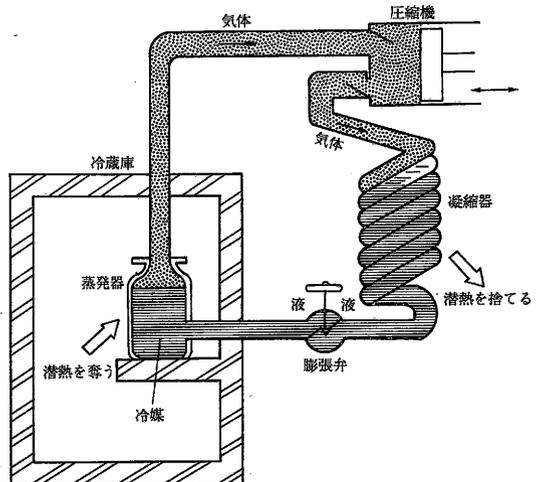


図2 基本的冷凍サイクル

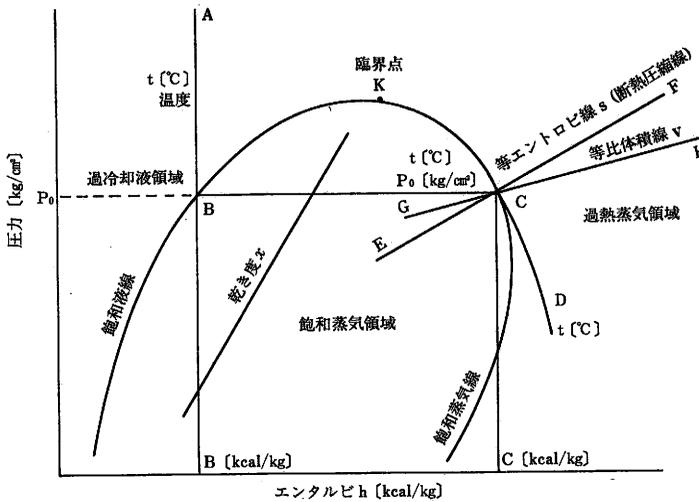


図3 モリエール線図

につれて、その周囲から蒸発熱としての熱エネルギーを奪うために庫内の温度が低下する。このことを冷凍作用という。しかしながら、この装置では、蒸発する気体を大気中に放出しているため、ビンの中の蒸発液体がなくなるともはや冷凍作用は行われなくなる。そこで連続した冷凍作用を行わせるためには蒸発の終わった気体を集めてもとの液体に戻すようなサイクルを形成してやればよい。このようなサイクルのことを冷凍サイクルといい、蒸発熱などの潜熱を外界と授受することにより冷凍作用を行う液体のことを冷媒という。図2に実際に使用されている冷凍機の基本的冷凍サイクルを示すが、これは、凝縮器、蒸発器、圧縮機および膨張弁の4つの基本部品より形成されている。

これらの基本部品の内、凝縮器は気化冷媒の凝縮作用によって発生する凝縮熱を外部に放熱するための、また蒸発器は液化冷媒の蒸発に必要な蒸発熱を周囲から吸熱するための熱交換器である。熱力学の基本的法則であるボイル・シャルルの法則より明らかなように、一定質量の気体は等温においては圧力が高ければ容積が減少し液化しやすくなり、また圧力が低ければ容積が増大し液化しにくくなる。この性質を利用して、上述の2種の熱交換器がそれぞれの温度において冷媒を蒸発あるいは凝縮させることにより、潜熱の授受を行わせるための圧力差を作り出すのが圧縮機であり、膨張弁は圧縮機による圧力差を維持するためのものである。

冷凍機の動作原理は前述のとおりであるが、冷凍サイクルの各部における冷媒の状態あるいは冷凍能力の理論値などは、図3に示されるようなp-h線図（モリエール線図）を用いることにより把握できる。

3. 簡易型カロリーメータの製作

3-1 簡易型カロリーメータの設計

本研究では、冷凍機の動作原理を理解し、また暖房性能を測定する実験実習教具として簡易型カロリーメータを設計・製作した。この装置によって冷凍機の凝縮器から得られる熱エネルギーと電気ヒーターから得られる熱エネルギーを等しくして各々の消費電力を計測することに

より、熱効率がほぼ100%である電気ヒーターよりも冷凍機のほうが消費電力が少ない事実を確認することができる。さらに、この事実より電気ヒーターに供給された電力は熱エネルギーの発生のために用いられているのに対して、冷凍機に供給された電力は熱を低熱源から高熱源に運搬するために用いられていることを認識することを目的としている。凝縮器から放出された熱エネルギーの絶対量を測定することは断熱処理などの問題もあり困難であるので、本装置では同一容器内の空気を冷凍機の凝縮器あるいは電気ヒーターによって加熱し、その空気の温度上昇を放出された熱エネルギーの相対量と見なして性能比較をする機構とした。

本装置は上述のような機構を採用しているため凝縮器での冷媒の凝縮温度が時間と共に上昇することになる。冷凍機は熱源の温度によって能力が非常に大きく変化するため、放出される単位時間当たりの熱エネルギーも時間と共に変化することが予想される。従って、本装置で用いた冷凍機の暖房能力は通常運転時ではほぼ1500W程度であるが、比較のための電気ヒーターの暖房能力を300Wから1500Wまで変化させることができるようにした。

以上の点をふまえて、次の点を考慮して簡易型カロリーメータを設計・製作した。

- ①電気ヒーターと冷凍機を別々に運転することができ、しかも同じダクト内を加熱できる構造にすること。
- ②冷凍機の蒸発器および凝縮器は熱交換が完全に行えるようにすること。
- ③冷凍機の運転条件を設定するため、また運転状態の良否を判断するために、圧力計を設置し、低圧側と高圧側の圧力をモニターできるようにすること。

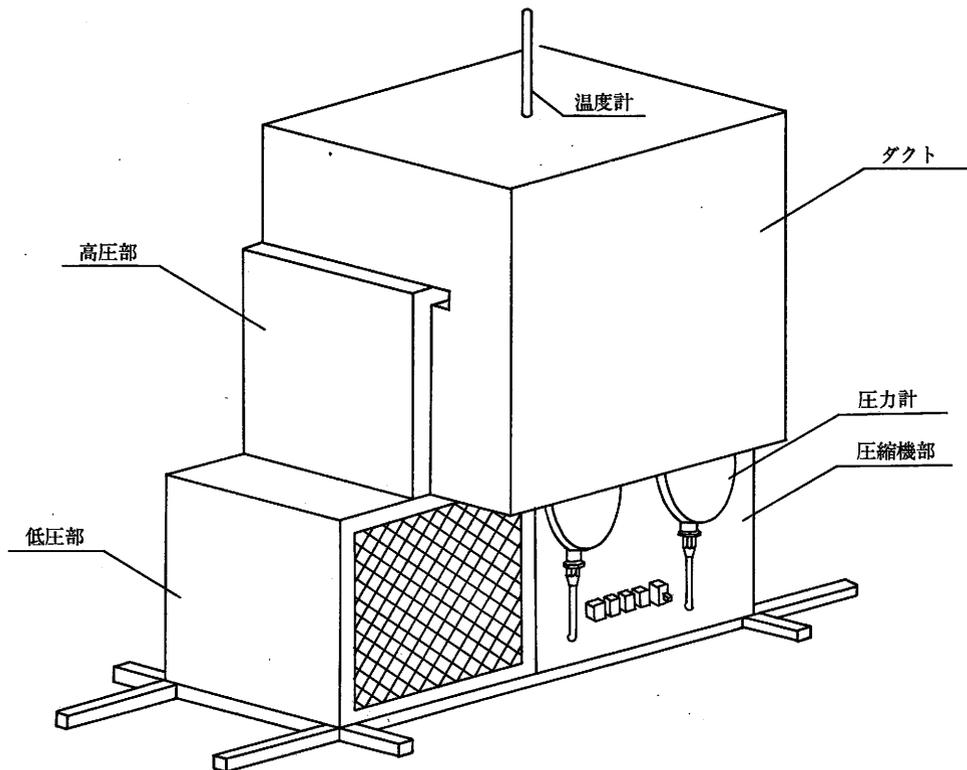


図4 簡易型カロリーメータの外観図

3-2 簡易型カロリーメータの構成

図4に簡易型カロリーメータの外観図を示す。簡易型カロリーメータは冷凍サイクルを低圧部、高圧部、圧縮機部の3つに分割したユニットと電気ヒーターユニットからなる。

低圧部ユニットは、キャピラリチューブ出口から蒸発器を経て、圧縮機吸入口手前までであり、圧縮機部ユニットは圧縮機、冷媒ガスを充填するサービスバルブ、圧力計を含んでいる。また、高圧部ユニットには圧縮機吐出口から凝縮器、キャピラリチューブおよび電気ヒーターユニットが組み込まれている。低圧部ユニット・高圧部ユニットには、それぞれにファンを設け、熱交換を円滑に行っている。高圧部にはダクトが設けられており、ダクト内で空気を循環させているが、低圧部は開放されている。つまり、本簡易型カロリーメータに組み込まれた冷凍機は、実験室内から熱を吸収し、ダクト内に放熱する構造になっている。図5から図9に各々のユニットの配管図および説明図を示す。

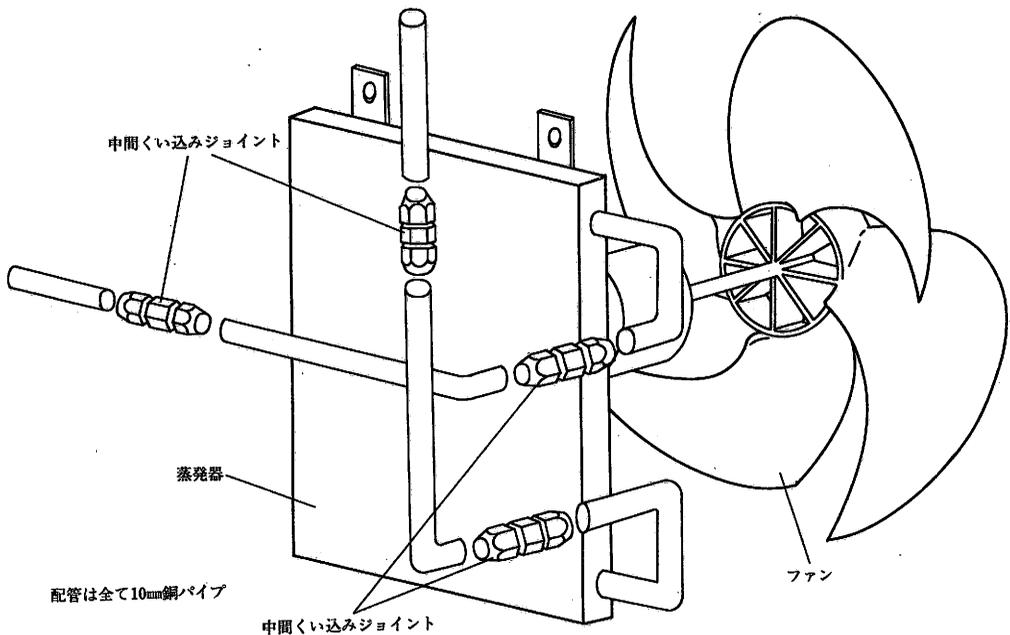


図5 低圧部ユニット配管図

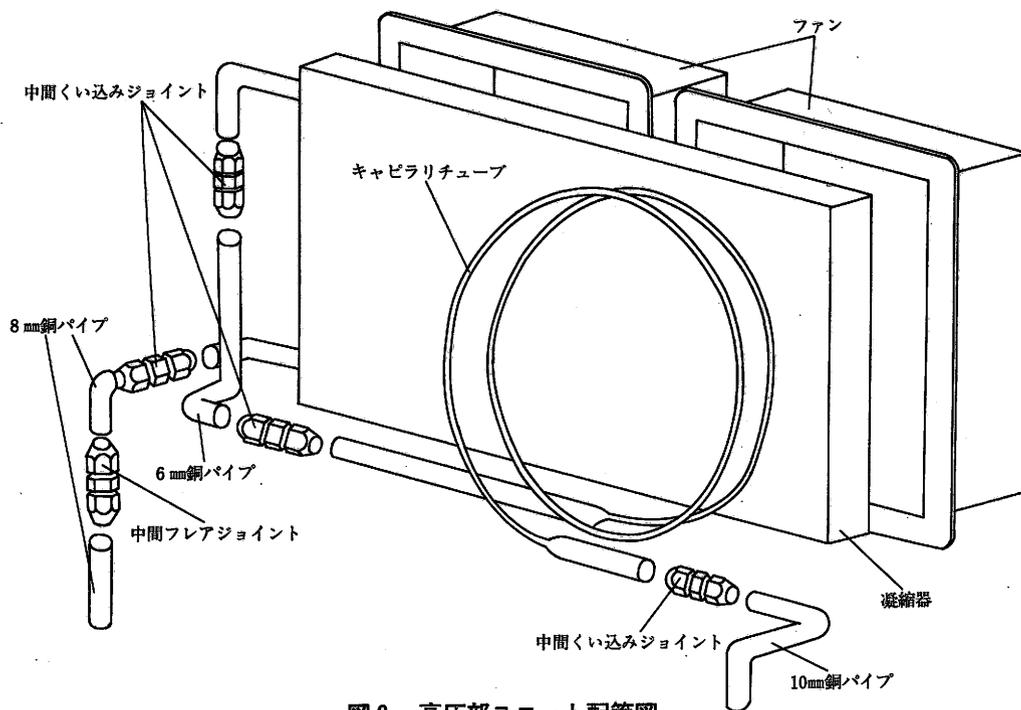


図6 高圧部ユニット配管図

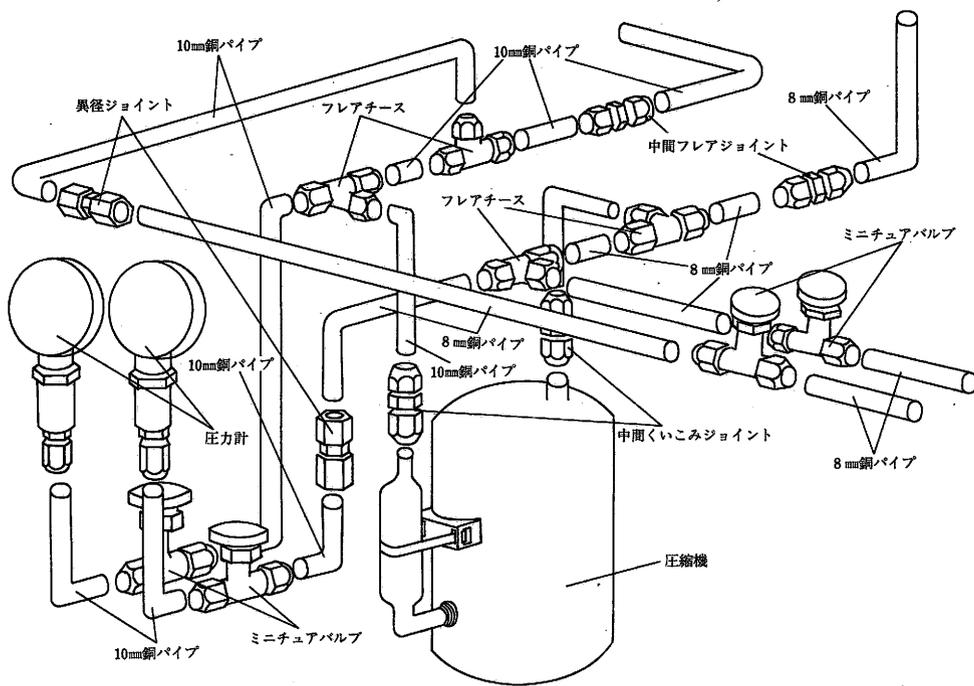


図7 圧縮機部ユニット配管図

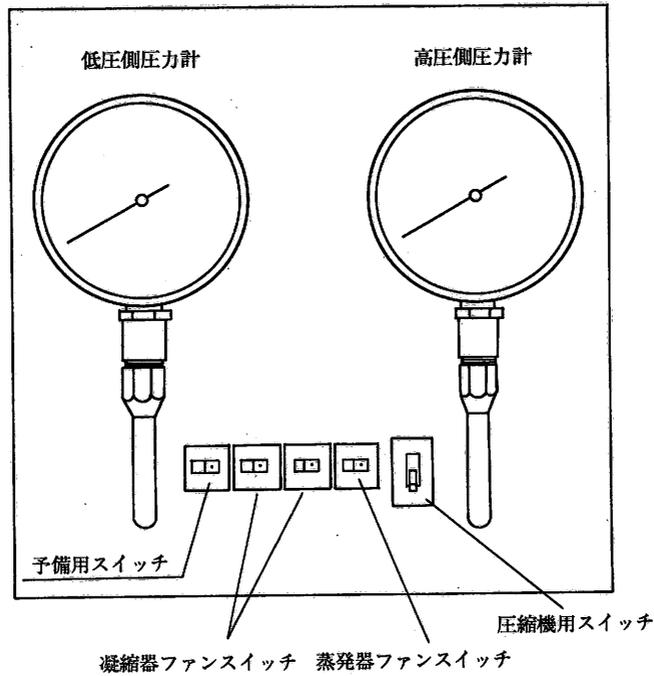


図8 圧縮機部ユニット前面パネル

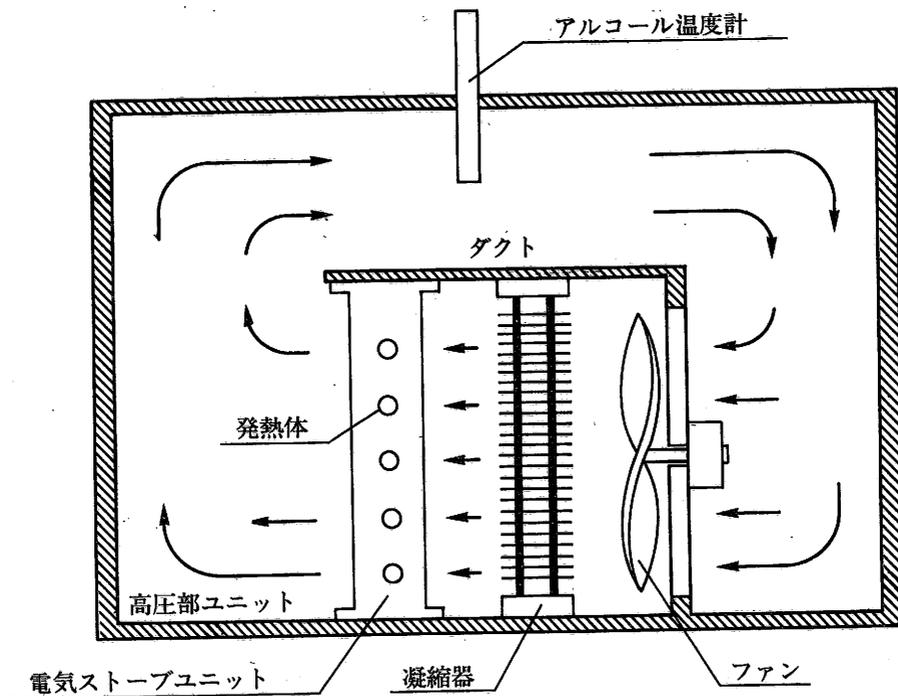


図9 高圧部ユニットおよびダクト部断面図

4. 試験方法

同一ダクト内を冷凍機の凝縮器で暖房した場合と300Wの電気ヒーター（1～5本）で暖房した場合の6通りの暖房試験を行い、それぞれダクト内の温度変化と、このときの電力消費量を測定した。

ダクトを付けて凝縮器ユニットを密閉した状態で、冷凍機を運転すると凝縮温度の上昇にともない高圧側の圧力も次第に上昇し、6分間以上運転を続行すると圧縮機の安全装置である自動停止装置が作動する状態となることがあり、このような状態が多数発生すると圧縮機損を引き起こす可能性があるため各々の試験時間は6分とした。ダクト内の空気の温度変化の測定は電気ヒーターなどの直接の放射加熱の影響を受けない場所でアルコール温度計を用いて行った。また電力量の測定は、電力積算計3181-01（日置電機製）を使用した。

5. 試験結果および考察

図10に冷凍機および電気ヒーターの時間経過にともなう温度変化を示す。縦軸に各測定値と試験前の温度との差をとり、横軸は経過時間である。また同一試験において5回測定し、その平均値を示した。また、表1は各試験における使用した電力量の平均値を示す。

本試験では、電気ヒーター1～5本と冷凍機の計6通りの試験を行い、それぞれダクト内の温度変化と使用した電力量を測定した。ダクト内の温度変化は図10から電気ヒーター3本を使用したときと、冷凍機の曲線がほぼ重なることから簡易型カロリーメータに使用した冷凍機の

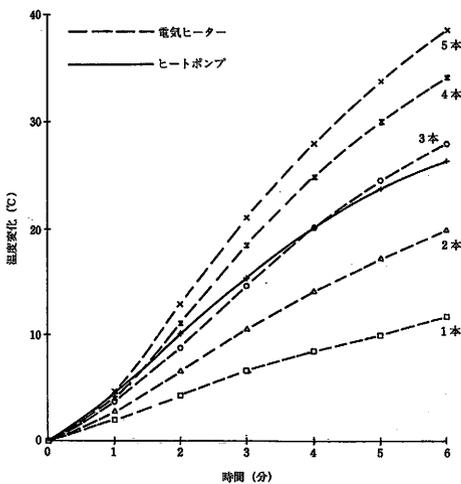


図10 ダクト内の温度変化

表1 各試験における使用電力量

被測定機器	測定値 (Wh)
電気ヒーター 1本	33.1
電気ヒーター 2本	52.0
電気ヒーター 3本	95.1
電気ヒーター 4本	124.6
電気ヒーター 5本	145.7
ヒートポンプ	73.9
ファンモーター	13.8
圧縮機のみ	60.1

暖房特性は、すなわち、約900Wの電気ヒーターを使用したときの暖房性能とほぼ同等であると判断した。ここでの判断は試験時間である6分間の全体的な傾向に着目して行った。これは、3章で述べたように本装置においては冷凍機の能力が時間と共に変化しているためである。さらに、この図から冷凍機の冷凍能力は凝縮温度の上昇にともなって減少するという現象も確認できる。

冷凍機の場合と電気ヒーター3本の場合について、表1から各々の使用電力量を比較してみると、冷凍機の場合は、平均で、60.1wh、電気ヒーター3本の場合の平均で95.1whとなっており、電気ヒーターのほうが冷凍機より60%近く高い数値である。したがって、同程度の暖房能力を持つ冷凍機と電気ヒーターを比較すると、冷凍機のほうが少ない電力量で済むということが確認された。電気ヒーターの場合、与えられた電気エネルギーを100%熱に変換していると仮定すると成績係数⁽⁵⁾は1と考えることができ、冷凍機は電気ヒーターの60%の電力量でほぼ同じ能力であるから、成績係数は1.67になる。このことは、効率100%とした電気ヒーターよりも冷凍機の方が効率が良いという熱力学の第1、2法則に一見矛盾する結果となるが、冷凍機は低熱源から高熱源に熱を運ぶために電力を使用しているのに対し、電気ヒーターは熱を直接つくりだすのに使用しているという根本的な原理の相違を理解することにより解決される問題である。

6. まとめ

今回製作した簡易型カロリーメータで同一ダクト内の暖房試験を行うことにより、冷凍機と電気ヒーターで同程度の暖房を行うときは、両者の間に電力消費量の違いを認識することができ、熱効率100%と考えられる電気ヒーターよりも冷凍機のほうが消費電力が少ないことが確認された。この認識から熱力学の法則に一見矛盾する結果に帰着されるが、このため冷凍機の構造、原理にもましてその機能を確実に理解できるものと思われる。すなわち、電気ヒーターでは電気エネルギーをエネルギー源として、熱を作っているのに対して、冷凍機では、熱を運ぶために電気エネルギーを使っているという根本的原理を理解すれば、そのような法則に全く矛盾するのではないことが理解できる。この点が、冷凍機の動作原理を理解する上で最も重要なことであり、本簡易型カロリーメータは、冷凍機についての理解を深めるための教具として価値があると思われる。

さらに、視覚での理解が困難である電気概念を理解させる際に、電気を水、電圧を水位、電流を水流で置き換えているのと同様に本装置を用いることにより、熱という非常に抽象的で理解しにくいものに関しても、熱を水、温度差を水位差、熱ポンプを水ポンプと置き換えることが可能になる。従って、熱が水のように量を持ったものであると認識させることができ、熱が高熱源側から低熱源側に移動する現象は水が高いところから低いところに流れる現象と比較して理解することができる。また、熱を低熱源側から高熱源側に移動するためには、水を低いところから高いところに運ぶために水ポンプおよびそれを駆動するための動力が必要なのと同様に熱ポンプおよび熱ポンプを駆動するための動力が必要であることも認識することができる。すなわち、本装置は「熱」そのものの概念の理解を助ける教具としても用いられ得ると考えられる。

今後、この簡易型カロリーメータを改良することにより効果的な冷凍機学習が展開されることを期待する。

終わりに、本研究の遂行にあたり適切な御指導をいただいた静岡大学教育学部須見尚文教授および有益な御討論を頂いた山崎昌甫教授、畑俊明教授さらに製作技術に関する御助言をいただいた中村勇技官に深く感謝いたします。また簡易型カロリメータの製作において圧縮機等の部品の入手にあたり、多大な労力をおかけした三菱電機株式会社静岡製作所営業部圧縮機営業課の斎藤洋二氏に心より感謝いたします。

参考文献

- (1)文部省, 高等学校学習指導要領解説(工業編), 実教出版, p.124(昭和54年5月)
- (2)冷凍・空調実習装置カタログ, 株式会社メガケム
- (3)山田治夫, 冷凍および空気調和, 養賢堂, p.15(昭和57年)
- (4)文献(3), p.18
- (5)文献(3), p.14