

# 空気調和用熱源機器の省エネルギー化

## Energy-Saving of Cooling-Heating Machine for Air Conditioning

空気調和用の電力が、夏季の電力需要のピークを左右するようになり、空気調和用熱源機器は強く省エネルギー化が望まれている。空調用のように負荷率の低いものでも、年間運転費が機器単体の価格に迫りつつあり、需要家からの省エネルギーの要望も強まっている。これらの情勢に対応するため、日立製作所では単体機器の高効率化や熱の有効利用を図った機器を製品化してきた。比較的大容量の範囲では、約20%効率向上を図ったターボ冷凍機、吸収式冷温水ユニットを、小容量の範囲では、熱源機器の一元化を図ったヒートポンプがその代表的な例であり、既に広く各所で採用されている。また排熱の有効利用も採算にのるようになり、各所で採用が検討されている。これらの動きの具体的な検討を示し、また一般的に省エネルギーによる費用節減の効果を調べて、省エネルギーがコストニーズの局面に入ったことを明らかにした。

杉本滋郎\* Sugimoto Shigeo  
 金子淳一\* Kaneko Junichi  
 瀬賀弘志\*\* Segi Hiroshi

### Ⅰ 緒 言

エネルギーの有効な利用は、今日の世界的な課題であり、特に「熱」を直接取り扱う、冷凍空調技術の分野では最大の関心事である。社会的にも冷房の普及とともに電力需要が夏ピーク形となり、冷房用を主体とする民需電力が、全国の電力需要を決めるようになり、その節減が強く望まれている。

一方、空気調和用熱源機器は負荷あるいは運転時間割合が低いいため、社会的要請としての省エネルギーは強く叫ばれているが、エネルギーコストとしての効果はあまり大きくなく、需要家からはあまり積極的な評価を受けることが少なかった。ところが最近、エネルギー料金体系が、従来は主として消費エネルギー総量に比例して回収していたのを、かなりの部分を設備容量に比例させた料金体系へ変わりつつある。このため、省エネルギー機器の利用が設備容量の低減につながり、中～大規模(30,000kcal/h程度以上)の設備では、エネルギーコストの低減へ大きく貢献することになった。本稿では、この情勢にこたえて急速に進みつつある、中～大規模の空調用冷熱源機器の省エネルギー化について述べる。建築設備自体の省エネルギー化、(断熱化、内部熱や外気の直接利用など)は極めて重要なことであるが、ここでは触れないこととする。

### Ⅱ エネルギー料金体系の変化と省エネルギーの効果

エネルギー節減が一般に強く要請されているが、特に最近、エネルギーコストのかなりの部分が設備容量に比例して回収される動向にあるため、省エネルギーによるエネルギー費節減の効果が大きく訴えられるようになった。図1は最近の動力及び都市ガス料金の推移を示したものであって、料金の絶対額の著しい上昇と、電力については基本料金(すなわち、設備容量に比例する固定料金)が相対的に非常に大きくなっていることが分かる(都市ガスでも、冷房期にはより低廉な従量料金と、かなりの割合の基本料金という制度に切り替えている)。このような料金制度では、負荷率の低い空調用の場合、極めて高い単価のエネルギーを使用することとなる。図2はその関係を示すものであって、事務用ビルの空調としての一般的な条件である全負荷相当運転時

間(年間負荷率×運転時間)300時間程度の場合でもかなり大きなエネルギー費となることが分かる。最近のように夏季の冷房用電力が、全国の需要のピークを作っている情勢では、電力についての社会的な全費用(あるいは、発電-送電設備に使用されるエネルギー資源)の分担という意味でも、このような料金体系は正しい方向を示しているといえよう。ガス料金についても、電力のピークを抑えるため、冷房用エネルギーを都市ガスでまかないたいという方向の改訂が行なわれつつあるが、その結果、設備容量に比例する部分が大きな割合を占めるようになる。すなわち、エネルギー供給の固定設備をもつ電力及び都市ガスでは、設備容量に比例した基本料金的な部分が大きくなり、従来の通念と比べると負荷率の低い空調

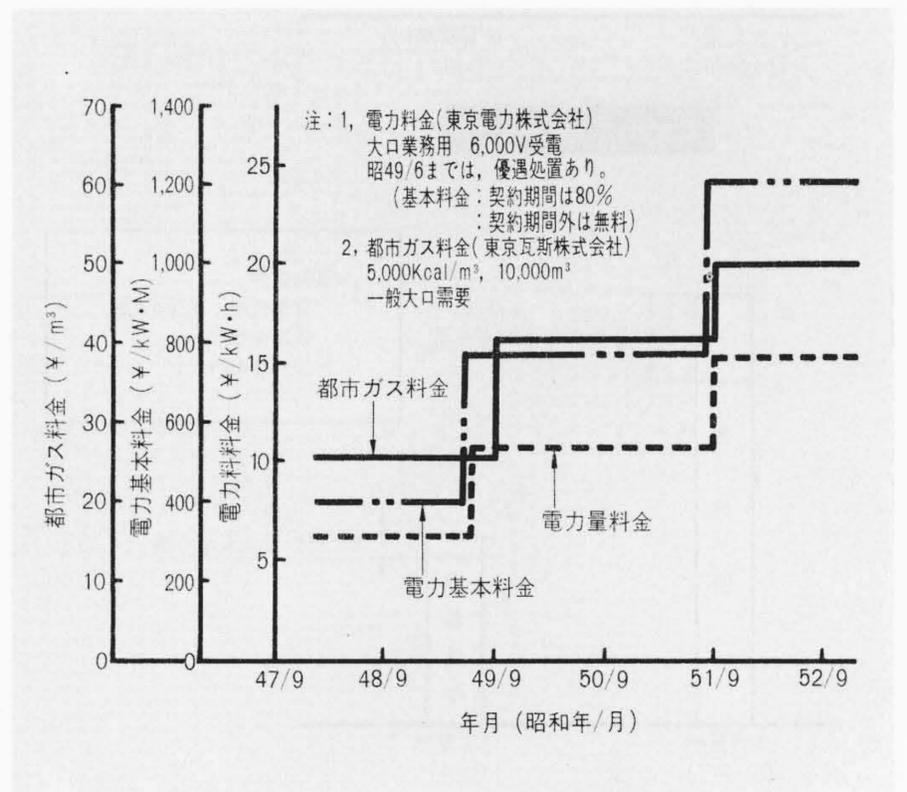


図1 電力料金、都市ガス料金の推移 特に基本料金部分が大きくなっていることが注目される。

\* 日立製作所土浦工場 \*\* 日立製作所清水工場

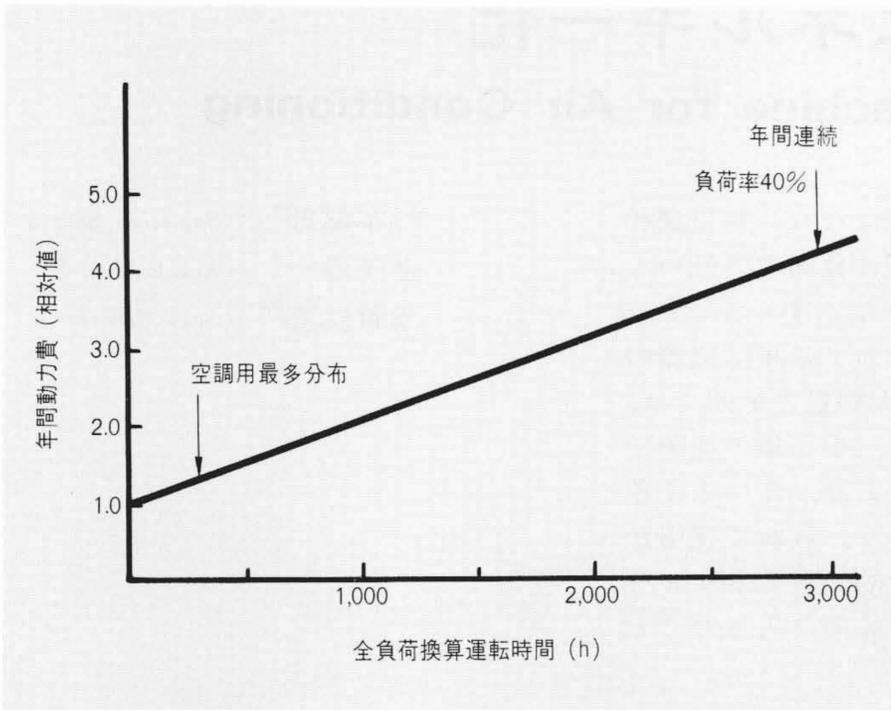


図2 負荷率と年間エネルギー費 空調用のように、著しく負荷率が低い場合でも、かなりの年間エネルギー費となる。図は電力の場合を示した。

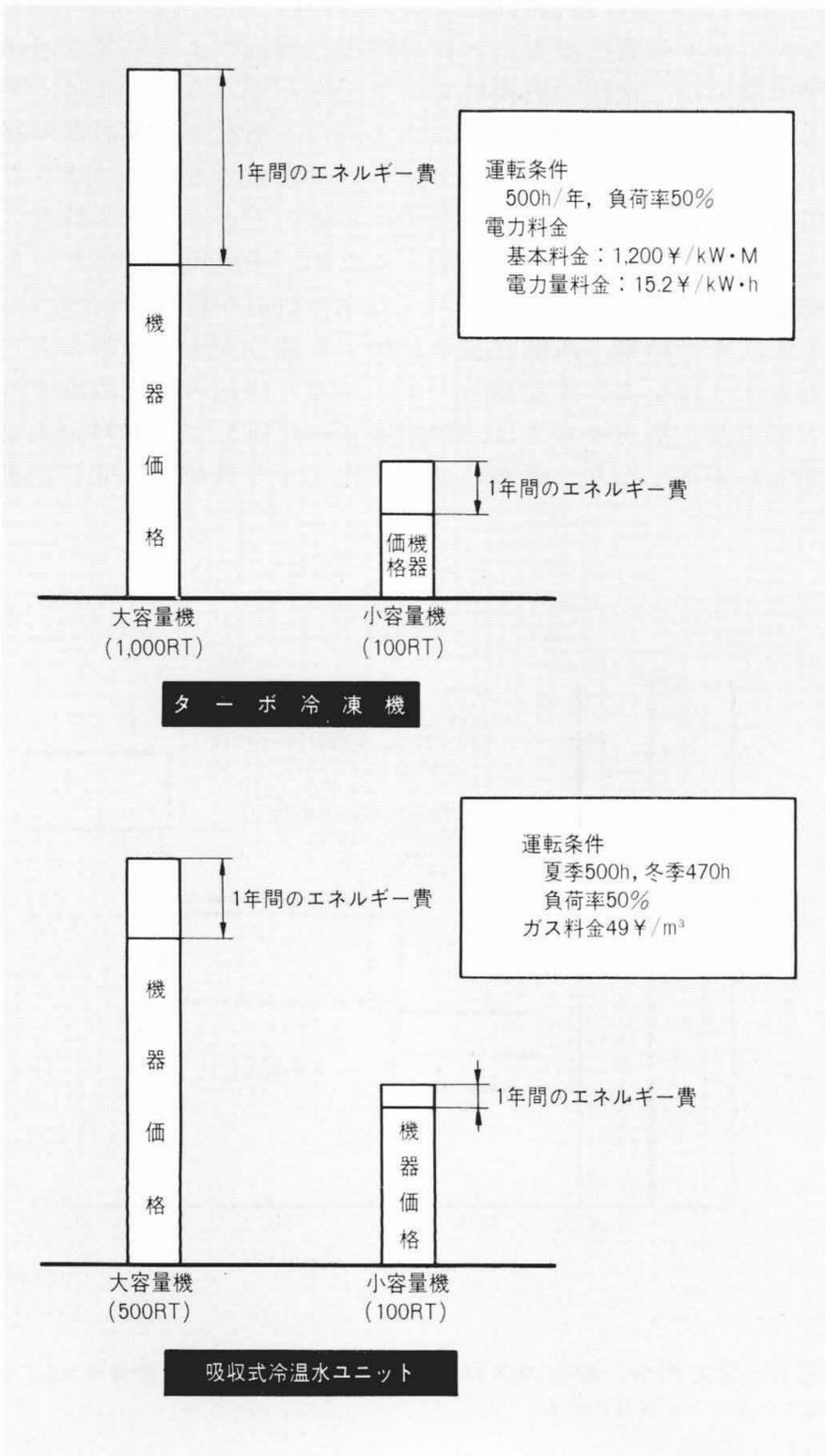


図3 機器価格とエネルギー費 空調用のように年間運転時間の短いものでも、年間エネルギー費が機器価格に匹敵する大きさになってきた。

用でも、省エネルギーは、基本料金の低減に直接つながり、大きなエネルギー費節減の効果をもつようになったといえる。

このような固定費のいらない燃料である灯油、重油を使用すると、直接エネルギー費の点では極めて有利であるが、燃料油を貯蔵して使用することについては、行政指導の制約、消火設備、貯蔵設備、取扱者の資格などの面で制約を受ける。公害対策を含めこれら総合的な判断が必要であり、現時点ではかなりのエネルギー費の差にもかかわらず、直接、灯油、重油などを使用する方法はそれほど広範に利用されるに至っていない。

比較的省エネルギー効果の大きい大容量機について既に述べたエネルギー料金をベースに、幾つかの事例からまとめた機器価格とエネルギー費の関係を図3に示す。1年間のエネルギー費は、機器価格に比べてかなり大きな割合となり、省エネルギーが重要なことが理解できる。いま、 $N$ 年後に、ランニングコスト減少による増益分と、イニシャルコスト上昇分とが等しくなるとすると、次式が成り立つ。

$$\frac{\Delta R/R}{\mu} = \frac{(1+\mu)^N}{(1+\mu)^{N-1}} \frac{I}{R} \dots \dots \dots (1)$$

- ここに、 $\Delta R$  : 1年間のランニングコストの減少
- $R$  : 1年間のランニングコスト
- $\Delta I$  : イニシャルコストの増加
- $I$  : イニシャルコスト
- $\mu$  : 1年間の利率

図4は、 $N=3$ すなわち、3年間で省エネルギーのための投資を回収する場合について、 $(\Delta I/I)/(\Delta R/R)$ と $R/I$ の関係を示したものである。図3に示したように、大容量のターボ冷凍機(1,000kW級)では $R/I=0.5$ 程度に達しているが、この図から $R/I=0.5$ の時に、 $\Delta R/R=0.15$ 、すなわち15%の省エネルギーを図ろうとすると、 $\Delta I/I=0.2$ となり、イニシャルコストが20%低いことと同じ効果をもつということになる。すなわち、大容量機では省エネルギーの効果は極めて大きい。

### 3 冷熱源機器の効率向上

#### 3.1 吸収式冷凍機の省エネルギー

吸収式冷温水ユニットは、夏季の冷房にも、冬季の暖房にも使用されるため、年間運転時間が長く、また都市ガス(あるいは、灯油)などの比較的高級な燃料を使用しているため、省エネルギー効果の大きな機種といえる。

昭和51年以来、各メーカーでは冷房時約20%、暖房時5~10%の効率改善を図った、いわゆる省エネルギータイプの吸収式冷温水ユニットを製品化し、現在では、この省エネルギータイプが主流を占めるに至っている。

日立製作所では、この機種がビル空調用機器としては極めて大形であり、スペースの節減や搬入寸法の制約などの解決に小形、軽量化が特に有効なことに着目し、省エネルギーを図りながら40%の小形化を達成したHAU-F-Eシリーズを製品化している。

#### 3.2 大容量ターボ冷凍機の省エネルギー化

空調用のターボ冷凍機は、我が国では低圧冷媒フロン11を用いた単段ターボ冷凍機が一般化しており、100US冷凍トン(以下、単にRTと記す)~600RT前後については1台の圧縮機、600~1,200RT前後については2台の圧縮機の並列運転によっている。冷凍機の生産量が最も多いアメリカでは、比較的大容量の範囲は、高圧冷媒フロン12を用いた2段圧縮機を用いて、1台の圧縮機でまとめているものが多いが、我が

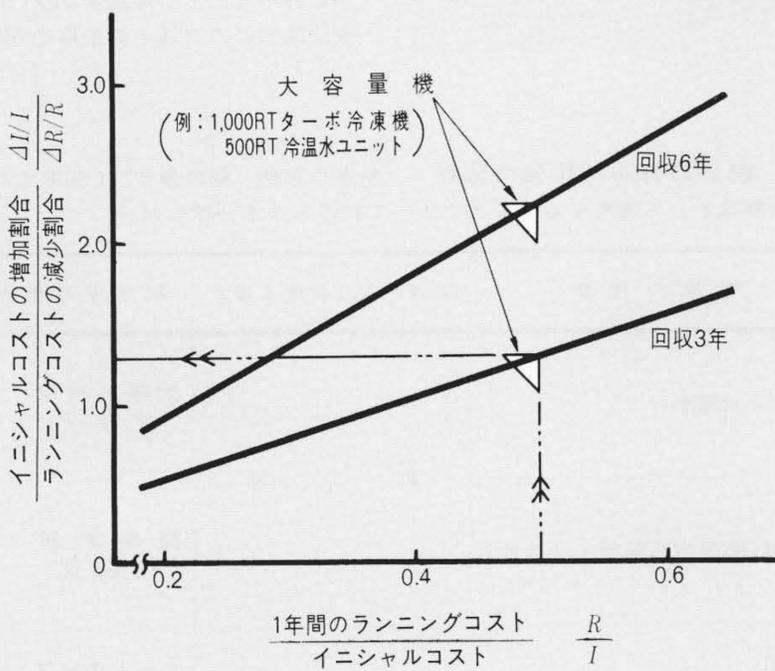
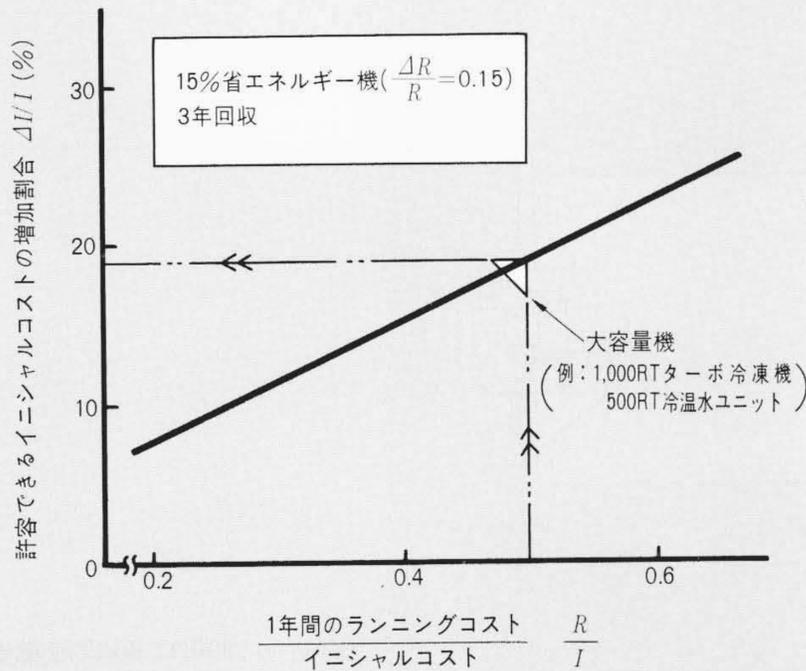


図4 省エネルギー投資の回収 年間エネルギー費のウエートが大きくなったので、比較的容易に回収されるようになった。

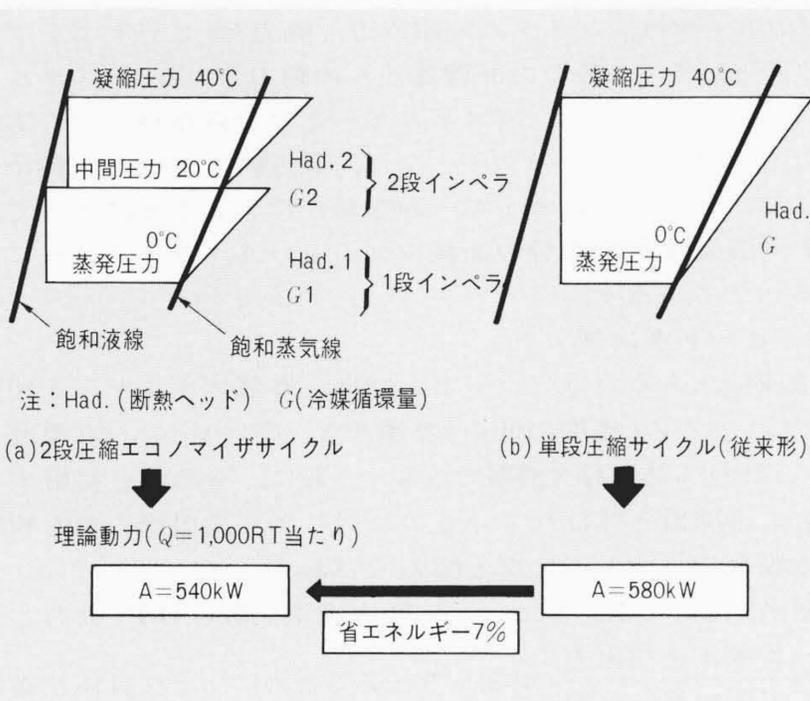


図5 2段圧縮エコノマイザサイクル採用による省エネルギー 1,000RTのターボ冷凍機で、2段サイクル採用の省エネルギー効果を示した。

国では、高压ガスを使用すると運転者に資格を要するため、普及に制約を受ける。

既に述べたように、600~1,200RTの範囲は省エネルギー効果が大きく、効率向上が望まれる領域であるが、フロン11使用単段圧縮機2台並列運転という方式では、

- (1) 一般に、大規模化に伴い効率が向上するが、2台並列運転ではこの効果が望めない。
- (2) 単段機では段効率が2段圧縮に比べて数パーセント低くなる。またエコノマイザサイクルの採用による省エネルギー効果を試算すると、図5に示すようになり、冷媒フロン11使用で、標準的な温度条件で7%程度の省エネルギーとなる。しかし、単段機ではエコノマイザを採用できない。というような点で、省エネルギー化の見地からは必ずしも有利ではない。一方、1台圧縮機化、あるいは2段化については次のような制約がある。
- (3) 圧縮機の単機容量が大きくなると、羽根車の直径は容量の平方根に比例して大きくなり、圧縮機もこれに伴って大形化する。単段で単機1,000~1,200RTの冷凍機を製作すると、羽根車直径は800~1,000mmとなり、量産品としては製作上問題が多い。また、空調用の標準的なターボ冷凍機では、一体化された熱交換器の上に圧縮機を載せ、ユニット化するという構成をとっているが、圧縮機の高さ寸法がある限度を超えると、このような構成は採用できなくなる。
- (4) 単段機の簡単な構造を生かして、1枚の羽根車の代わりに、2枚の羽根車を載せた構造をとると、大きく重い羽根車が2枚オーバハングされるため、動力伝達、振動設計などの面で機構上特別な工夫がいる。

アメリカで行なわれているように高压冷媒フロン12を用いると、羽根車の直径はフロン11の場合に比べて約1/2.5でよいので、これらの問題は解消するが、我が国では採用が困難なことは前述したとおりである。

これらを解決する方向として、日立製作所では、630~1,250RTの範囲に対して、

- (a) 低压冷媒フロン11を使用する(これは、我が国の空調用としては絶対条件と考えられる)。
- (b) 2段機とすると、羽根車直径は理論的には、単段機の70%でよい。1,000~1,200RTでも、600RT級の圧縮機よりあまり大きくならないので、(3)の問題は解消する。
- (c) かなり大きな羽根車を2段オーバハングさせるが、これについては機構上、特別な工夫をする。

という構想に基づき、フロン11、2段圧縮及びオーバハング構造を採用したHS19~20C省エネルギー形ターボ冷凍機のシリーズを製品化した。図6はその圧縮機の断面である。このシリーズでは、従来の2台並列、単段機に比べて15%程度の省エネルギーとなっている。大規模プラントで、高压ガス使用が特に不利とはならない場合には、アメリカの場合と同様に、高压冷媒フロン12を用いた単機、2段圧縮機も採用されている。

また、図7に示すように、熱交換器(蒸発器・凝縮器)を大形化あるいは性能向上すると、かなりの省エネルギー化が図れることが分かる。この方向は、伝熱管の高性能化(より面積の大きいフィンの採用、高性能伝熱面、例えば「サーモエクセル」などの採用)、熱交換器の構造上の工夫、あるいは単なる巨大化によって達成できるが、いずれも本質的にはコスト増加の方向にある。したがって、一般的にはこの方向の技術的な改良が達成された場合には、省エネルギーではなく、小形化に向けられることが多かった。

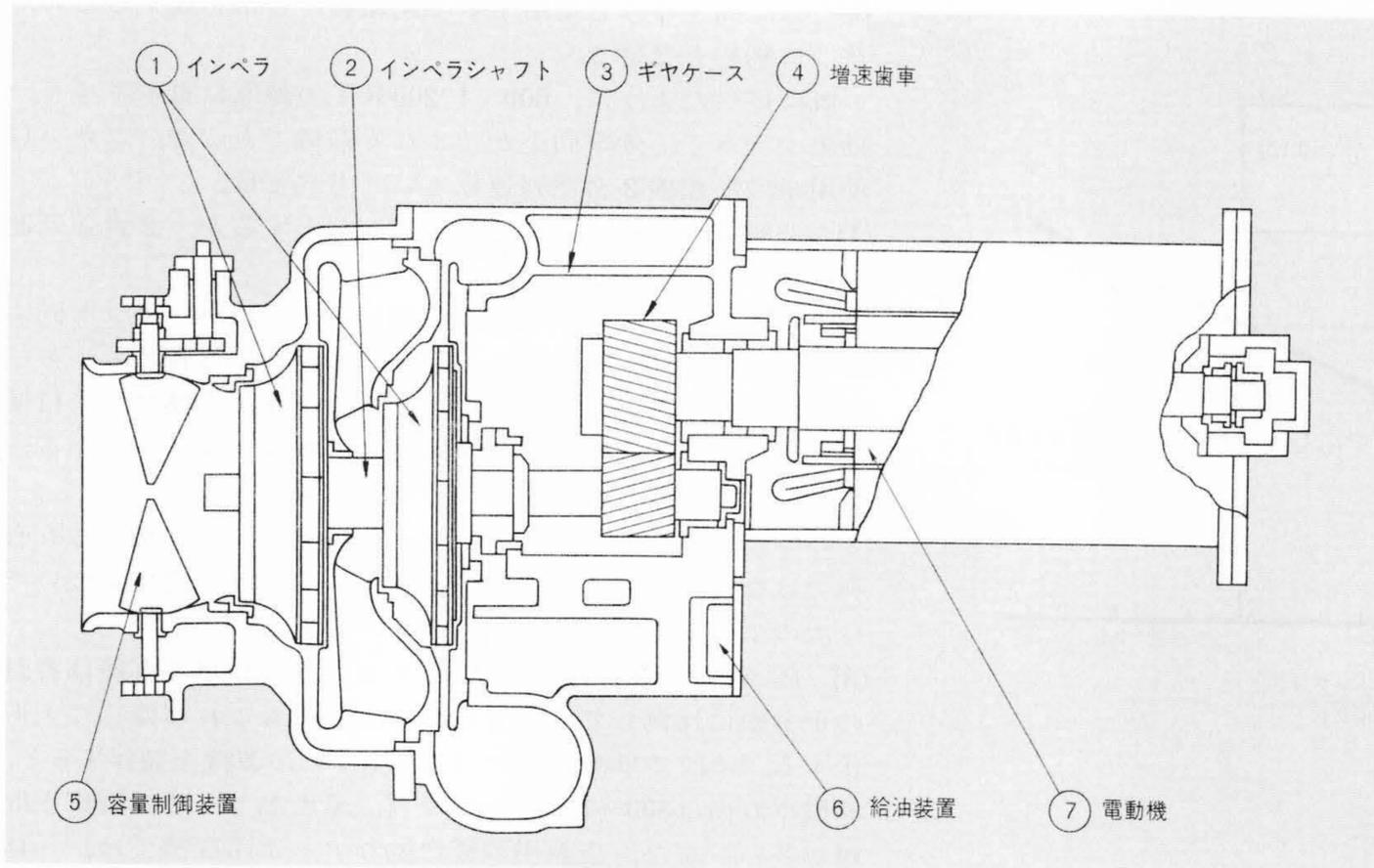


図6 1,000RT級2段圧縮省エネルギー形ターボ冷凍機の圧縮機 構造も簡素にまとめられ、また外形寸法も小形化するので、単段圧縮機とのコストの差は小さい。

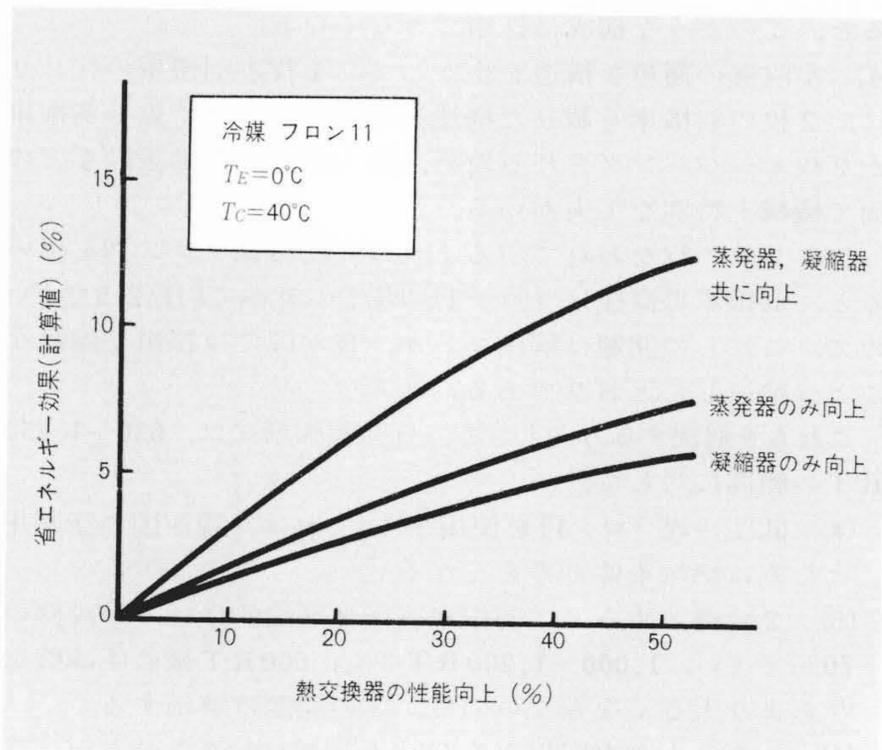


図7 熱交換器の性能向上による省エネルギー 熱交換器をいろいろな意味で大きくすればかなりの省エネルギーが図れるが、コストアップを招く。

表1 熱源の有効利用法の分類 熱源の形態、動力源として利用するか、低温側熱源として使用するかなどによって利用方法を分類した。

熱源の種類	熱源をどう利用するか	利用する機種
自然熱(太陽熱など)	動力源	太陽熱利用 吸収式
排出熱(燃焼ガス排気, その他)		排熱利用 吸収式
大気	低温側熱源	ヒートポンプ
建築設備, 電機などの発熱		ヒートリカバリー

ープは、明らかに省エネルギーとなるが単に低温熱源としているグループは、システムの組み方、動力源(ヒートポンプサイクルとして、一般の冷凍機器並みの動力がある)のエネルギーコストによっては、省エネルギーとはならないこともあるのは当然である。このグループは、最近のエネルギー料金体系では、冷暖房のエネルギー源を単一にすることによって、いわゆる基本料金部分の節減を図るといふ、カテゴリーに入れるべきであろう。

#### 4.1 ヒートポンプ

冷凍機、あるいはヒートポンプは、外部エネルギーを利用して低レベルの(温度の低い)熱源から、高いレベルの(温度の高い)熱源へ熱を移す機械である。一般に、冷熱源を利用する場合に冷凍機と呼ばれているのに対して、高温側の熱を利用する場合をヒートポンプと呼んでいる。

従来、ヒートポンプは、いわゆる成績係数C.O.P(動力としての  $\frac{\text{エネルギー出力}}{\text{エネルギー入力}}$ )が3~5であるために、それ自体が省エネルギーの決定的手段として受け取られる傾向にあったが、これは、電力を電熱器として使用するような低レベルの利

#### 4 熱利用の有効化を図った冷熱源機器

以上に述べた省エネルギーは、熱源機器それ自体の高効率化を目指したものであるが、排熱利用や太陽熱利用のように従来利用していなかった熱を利用して冷凍サイクルを構成するものや、内部発熱や大気を熱源とし、他の動力を用いたヒートポンプでポンプアップするなど、熱利用の有効化を図るのが「空調冷熱源機器に関連した省エネルギー」のもう一つの大きな分野である。

熱利用の有効化について提案されている各種の方式を、熱源の利用方法という観点から整理してみると、表1に示すようになる。このうち、動力源として無料の熱を利用するグル

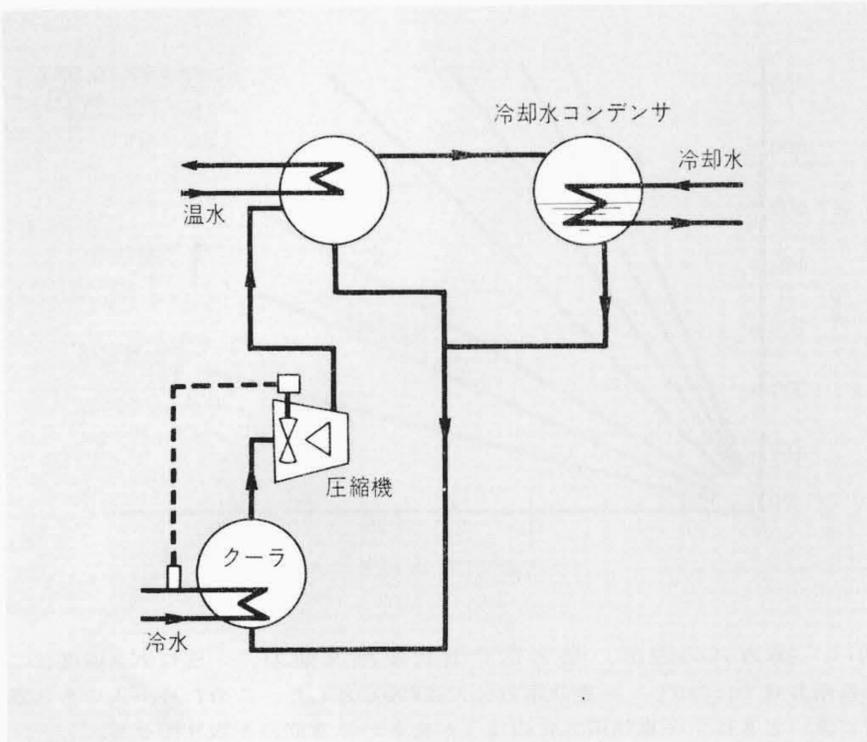


図8 ダブルバンドルコンデンサ(二重管群凝縮器) ダブルバンドルコンデンサを用いた、冷凍サイクルを示す。

用に対する比較を示すものであって、必ずしもエネルギーコストの節減とはつながるものではない。ヒートポンプが、エネルギーコスト節減の面で有効な場合として、次の三つに整理できる。

- (1) 比較的、温度の高い低温源があり、少ない動力で、必要なレベルの温度まで吸み上げられるとき(内部熱源ヒートポンプ、河水、井戸水、排熱あるいは太陽熱を熱源としたヒートポンプ)。
- (2) 冷熱源及び高温熱源をいずれも有効な出力とできるとき(ヒートリクレーム方式)。

この場合、例えば冷熱源の利用を主体として考えれば、高温側は、余剰熱を利用しているのであるから、エネルギーコストの面での有利さは明らかである。最近では、冷熱源と高温熱源のバランスをとるためと、冷却水(冷水塔を介して、外気と接し汚染されやすい)と高温熱源を循環するシステムを分離するため、図8に示すように二つの管束から成る凝縮器(ダブルバンドルコンデンサ)をもった方式が標準化されている。

- (3) ヒートポンプそれ自体としては、それほど省エネルギーとはならないが、冷凍及び暖房のエネルギー源を一元化することによって、エネルギー料金のうち設備容量に比例する部分の節減を図るもの。

ヒートポンプの成績係数は、図9に示すように低温側温度(蒸発温度)が低いと、かなり小さいものしか得られず、省エネルギー効果は期待できない。周辺に有利な熱源がない場合には空気熱源を利用することになるが、この場合蒸発温度は、 $-15 \sim -20^{\circ}\text{C}$ となり成績係数はあまり高くない。しかし、冷暖房のエネルギー源を一元化できれば、エネルギー費のうち、設備容量に基づいて決まる部分は大幅に節減できる。

空気熱源ヒートポンプ方式は、小規模設備では、省エネルギーの効果以外にも、取扱いの容易さや冷却水システムが不要となるなどの利点もあり、著しい普及をみせている。大規模設備では、空気熱交換器の大きさとコスト高の問題であまり普及してないが、本質的には大規模設備ほどエネルギー費節減が重要であり、今後の伸長を期待したい。

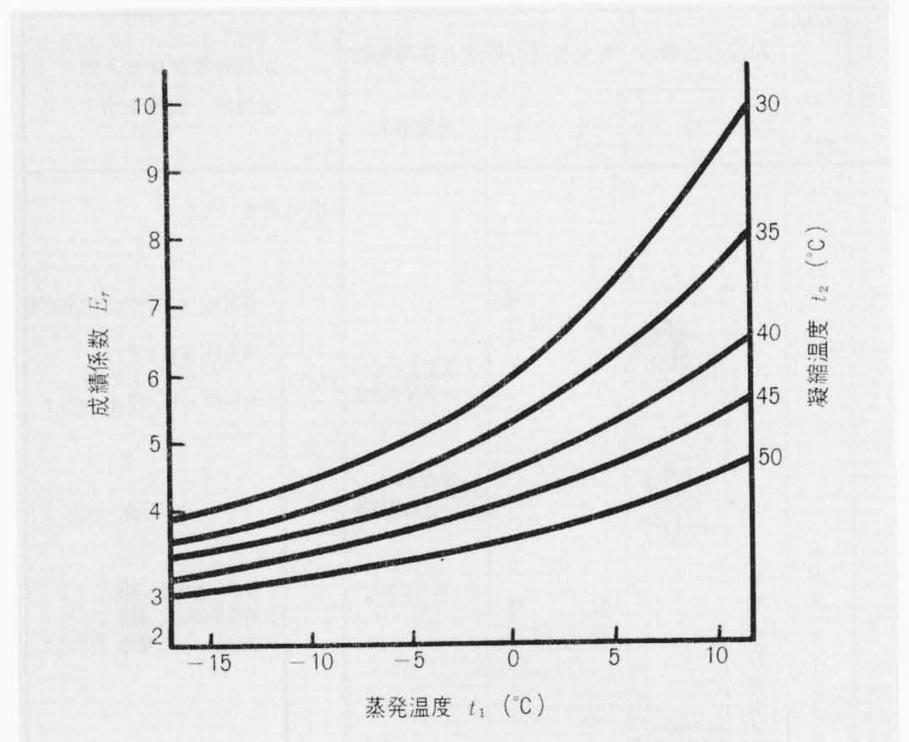


図9 ヒートポンプの成績係数 蒸発温度 $-15^{\circ}\text{C}$ 、凝縮温度 $45 \sim 50^{\circ}\text{C}$ での成績係数は3であり、あまり高くない。ヒートポンプの効果は冷熱源の一元化にある。

#### 4.2 排熱利用

各方面に使用される巨大なエネルギー量の半分以上は、未利用のまま大気や海に放散されている。

図10に排エネルギーの一般的な形態と温度レベル、及び温度レベルに応じた利用方法を示す。

温度レベルの高い良質な排熱は、発電や一般用途への蒸気発生に用いられ、既にかかなり有効利用されているが $400^{\circ}\text{C}$ 程度以下の領域には未利用の排熱が多く、一般的な加熱源としての利用とともに、吸収冷凍機の駆動源としての利用が進められている。一般的な熱媒に変換して、吸収式あるいは蒸気タービン駆動冷凍機を駆動するものは、冷凍技術からみると特に新しい内容はないのでここでは触れない。

最近の動向として注目されるのは、

- (1) 排熱を直接、冷凍機(特に吸収式冷凍機)の駆動源とする方式の実用化
  - (2) 低温度の温水を利用できるようにした、いわゆる低温熱源利用吸収式冷凍機の実用化
- である。

排熱利用を計画する場合、大きな初期投資を要し、実用化の障害の一つとなるのは、変換機器と熱媒の移送システムであった。排熱がかなりの規模で集中して存在し、また発生した冷熱を遠方へ移送せずに、排熱発生プロセス近傍で利用できる場合には、排熱(ガス)を直接吸収式冷凍機の加熱に利用することによって、比較的安価な設備で排熱利用を図ることができる。この点に着目して、排熱利用専用の吸収式冷凍機が実用化されている。

図11は、排ガスの温度、量と、発生できる冷凍能力との関係を示すものである。未利用排熱として検討対象となる低温度排熱では、熱の回収下限温度の低くとれる一重効用方式のほうが、大きな冷凍能力が発生できることが注目される。

プロセスで発生する排熱を、比較的安価に採集する方法の一つとして、 $100^{\circ}\text{C}$ 以下の温水によるシステムが採用される例が多い。また、太陽熱を利用するシステムでも、熱の採集は低温度温水を媒体とする例がほとんどである。一般の吸収式冷凍機では、 $110 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 程度の熱源を利用しているが、サイ

No.	形排 エネルギー 状態	回収再生機器		再生熱媒の用途と使用機器		回収対象プロセス例 括弧内：業種を示す。
		名称	略 図	用 途	機器名称	
1  2  3  4  5	排ガス(クリーンガス・ダスティガス・プロセスガス・炉壁放熱)	各種排ガスボイラ・排ガス吸収冷凍機		発 電 動力利用	○ 蒸気タービン + 発電機設備	排出温度 (°C) 900 ○ 銅精錬(反射炉など, 1,000°C以上) ○ 鍛造炉(鍛鋼など) ○ キルン(セメントなど) ○ 加熱炉(化学, 石油, ガラスなど)
				発 電 動力利用	○ 蒸気タービン + 送風機設備	○ リフォーマ(石油, 化学など)
				発 電 動力利用	○ 動力系設備	○ 転炉(銅精錬, 製鉄など) ○ 焙焼炉(化学, 硫酸など) ○ 反応炉(化学, 繊維, 製紙など)
				発 電 動力利用		○ 各種ヒータ(石油など)
				プロセス利用 (加熱, 冷凍)		○ 均熱炉(製鉄など) ○ 加熱炉(製鉄, 石油など) ○ 溶解炉(ガラスなど) ○ 脱臭装置(印刷, 食品, 石油など)
4	一般加熱 暖 房 冷 房 プロセス利用	○ 熱交換器 ○ 各種プロセス 機器 ○ 蒸気タービン + ターボ冷凍 機	○ 各種プロセス(化学, ガラス, 石油など) ○ 焼結炉クーラ(製鉄など)			
5	一般加熱 暖 房 冷 房 乾燥, 脱湿	○ 吸収冷凍機 (蒸気, 温水) ○ 乾燥脱湿機器	○ 一般燃焼排ガス ○ ガスタービン, ディーゼル エンジン  ○ ごみ焼却炉 ○ 熱風炉(製鉄など) ○ 一般ボイラ			
6	排蒸気・温排水	熱交換器吸収冷凍機	暖 房 冷 房  養 殖 植 培	○ 養殖施設 ○ 栽培施設	○ プロセス排蒸気 ○ プロセス温排水 (ビール, ウイスキー 清酒, 食品, 製紙など)	

図10 排エネルギーの形態と温度による活用方法 排エネルギーの形態と温度による利用方法を示した。冷凍機器としては、400°C以下の排熱利用を推進すべきである。

クル上の工夫や、伝熱面積の配分などの設計上の工夫によって、80~90°Cの熱源を利用できるようにした、いわゆる低温熱源利用吸収式冷凍機が実用化されつつある。

図12は、年間の冷熱発生に必要なエネルギー費と、直接排ガスを受け入れる排熱利用吸収式冷凍機の設備費を比べたもので、新設備(設備費の差はあまりない)ではもちろんのこと、

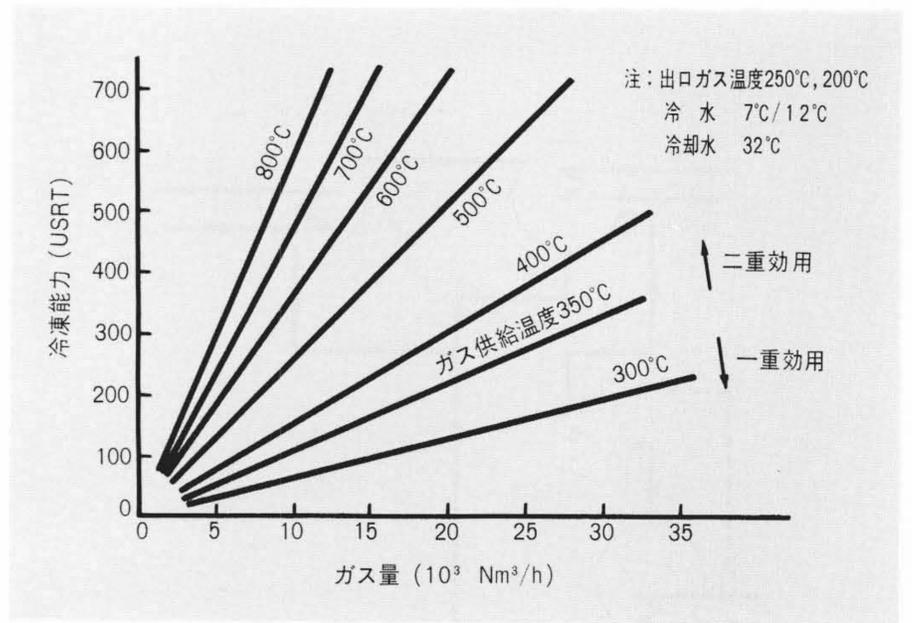


図11 排ガスの温度、量と取り出せる冷凍能力 出口ガス温度は二重効用方式では250°C、一重効用方式では200°Cとした。このため、入口ガス温度が低いときは、一重効用方式のほうが大きい冷凍能力を取り出せる。

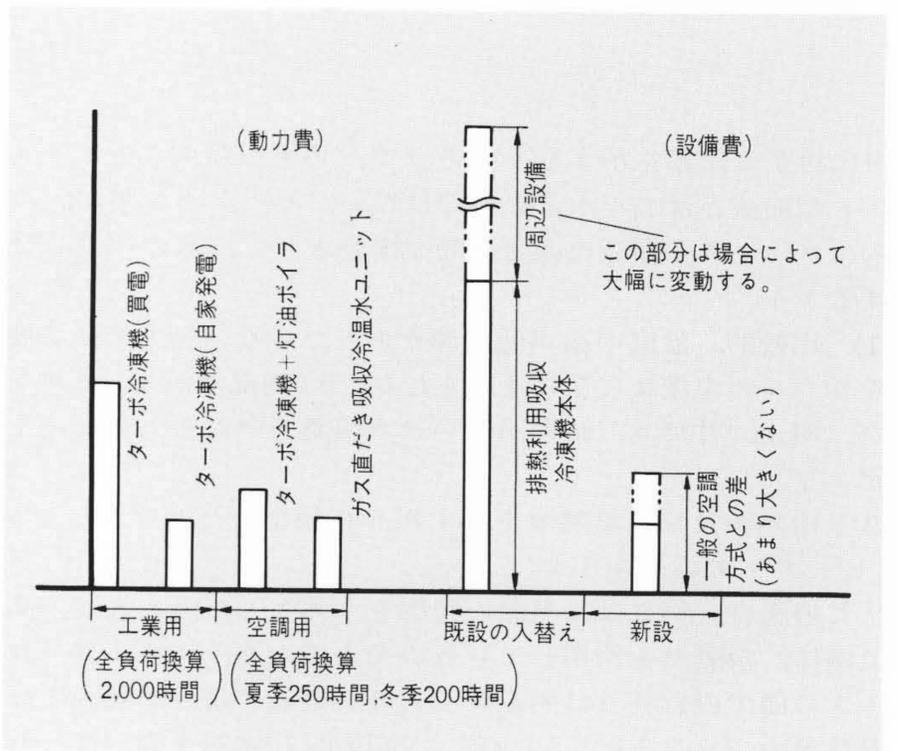


図12 排熱利用吸収式冷凍機の経済比較 600,000kcal/h程度の冷熱源で、年間エネルギーと機器コストを比べた。

既設設備を休止させる場合(設備費を全部回収する)でも短い期間に回収でき、この種の省エネルギーが実用化段階に入ったことが分かる。

### 5 結 言

エネルギー源の枯渇、あるいは国際的な入手難を基調とした省エネルギーへの社会的要請が強く叫ばれるようになって久しい。更に、最近ではエネルギー費の高騰のため、空調用のように負荷率の低いものでも、コストニーズとして省エネルギーが要求される段階に入った。大容量のターボ冷凍機あるいは吸収式冷凍機では、既に省エネルギー機が標準的に用いられており、排熱の利用や冷熱源の一元化を図ったヒートポンプの普及も著しいものがある。日立製作所では、これらの要請にこたえて省エネルギー化を進めるとともに、例えば、省エネルギーとともに40%もの小形化を図った直だき吸収式冷温水ユニットにみられるような特徴のある製品を産み出していきたいと考えている。