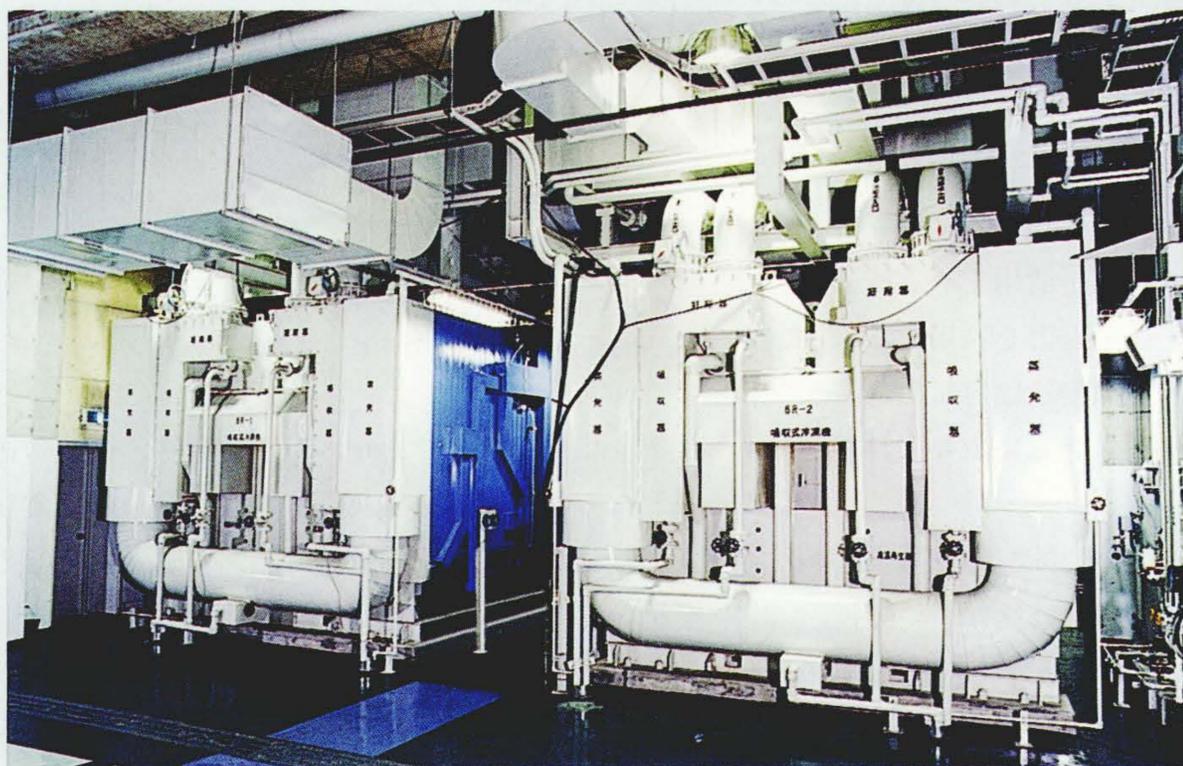


# 省エネルギーと省コストを目指した 地域冷暖房システム

Cost Saving Technologies of District Heating-Cooling System  
to Contribute Toward Global Environment

坂内正明\* Masaaki Bannai 尾見仁一\*\*\* Jin'ichi Omi  
三善信孝\*\* Nobutaka Miyoshi 内田修一郎\*\*\*\* Shūichirō Uchida



東京ガス株式会社新宿副都  
心地冷センター納めトッピ  
ングシステム用ツインモジ  
ュール型蒸気吸収冷凍機  
〔冷凍容量2,065冷凍トン×  
2台, 蒸気入口圧力270 kPa  
(2.8 kg/cm<sup>2</sup>G)〕

## 環境保全と省エネルギーに寄与する冷熱源機器

熱をカスケード利用し効率を向上させたトッピングシステムの蒸気吸収冷凍機の納入事例を示す。

1985年から1993年にかけて、国内各地で急速に普及発展した地域冷暖房プラントも、ここ2、3年はバブル経済の崩壊によって新規着工件数は減少の傾向にある。しかし、都市に要求される重要な機能の一つである環境保全性、省エネルギー性に対応する技術として、地域冷暖房の潜在的な伸長性は根強いものがあり、近い将来再び推進・拡大するものと考えられる。特にこれからは地球環境への負荷を低減するという視点も必要になる。

一方、熱供給の対象となる事務所ビルのOA化が推進され、作業環境の改善が進むにしたがって、特に昼間の電力負荷、冷房負荷はますます増大の傾向にある。これらの背景から、地域冷暖房システムには次に示す機能が求められてきた。

(1) プラントの建設費、運転費を低減できるシス

テム

- (2) 特に運転費を低減するために河川水、海水などの未利用エネルギーを活用する高度熱利用技術
- (3) 深夜の低価格の電力を利用した蓄熱技術を応用して運転費を低減し、同時に昼間の電力平準化に寄与する技術

日立製作所は、環境保全に寄与する省エネルギー型冷熱機器、未利用エネルギーを活用したヒートポンプ、コジェネレーションシステム、電力負荷の平準化に貢献する大規模蓄熱システムなど、これからの地域冷暖房システムに必要な機器、システムを開発し、これらを組み合わせて地域冷暖房システムそれぞれの規模やニーズに合わせた最適なシステムを提供している。

\* 日立製作所 システム事業部 \*\* 日立製作所 空調システム事業部 \*\*\* 日立製作所 機電事業部 \*\*\*\* 日立製作所 土浦工場

## 1 はじめに

わが国での地域冷暖房事業では、1985年から1993年にかけての経済の好況期に都市再開発ブームの波に乗り、毎年10余地点もの事業認可が相次ぎ、1993年末には71社115地点<sup>1)</sup>を数えるに至った。

1995年3月末現在、73社が117の地域で事業を展開しているが、近年地域冷暖房システムの建設費が高騰し、熱需要家への売熱単価が高いため、ここ数年の新規事業は減少の傾向にある。

今後再び地域冷暖房システムを普及させるためには、(1)プラントの建設費、運転費を低減する、(2)特に運転費を低減するために、未利用エネルギーを活用できる機器をシステムに導入する、(3)夜間の余剰電力を利用した蓄熱技術を導入し、運転費の低減、冷凍機設備容量の低減を図るなどの技術を、地域冷暖房システムに取り入れていかねばならない。

ここでは、地域冷暖房システムに要求されるニーズと、このニーズにこたえる日立製作所の技術について述べる。

## 2 地域冷暖房システムの普及状況と取組み

わが国の熱供給事業の熱販売量は、1986年までは冷熱が温熱・給湯を合わせた量の半分以下であった(図1参照)。しかし、1993年には販売熱量の合計値 $3.23 \times 10^9$  kWh(2,777 Tcal)に対する冷熱、温熱、給湯の割合はそ

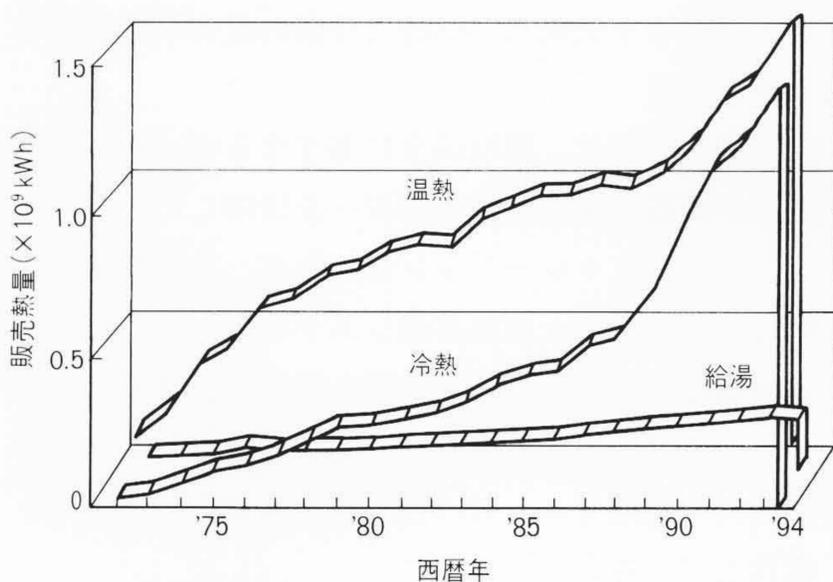


図1 熱供給事業の熱販売量の年次推移<sup>1)</sup>

熱販売量は、1994年では冷熱、温熱、給湯を合わせて $3.23 \times 10^9$  kWh(2,777 Tcal)であり、比率はそれぞれ45:50:5であった。グラフでわかるように近年では冷熱販売量の伸びが著しい。

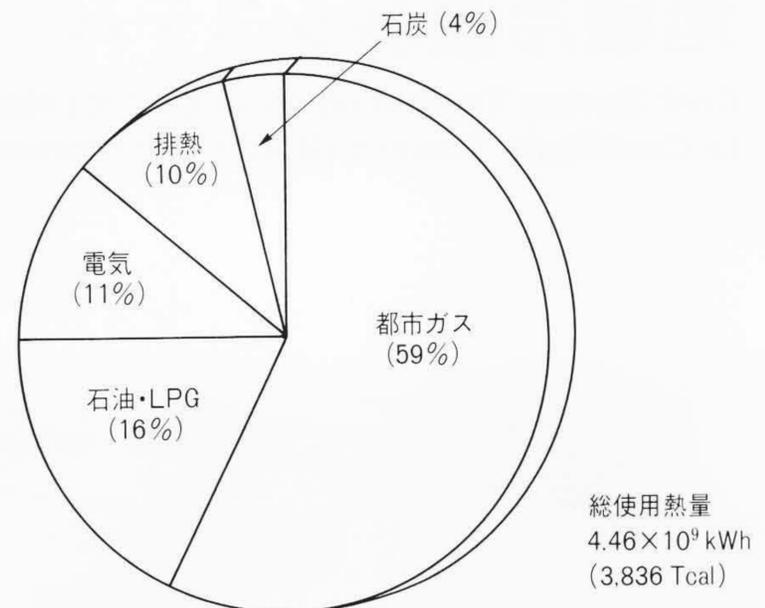


図2 1993年における熱供給事業の使用燃料

使用される燃料は都市ガスを筆頭に石油・LPG、電気、排熱の順である。近年では都市ガスと電気の伸びが著しい。

れぞれ45:50:5であり、冷熱と温熱・給湯の比は45:55となった。近年冷熱販売量の増加が顕著であり、このまま伸びが続けば数年中には温熱の販売量を超えるような勢いである。

また、熱供給事業の燃料消費量は、1978年から1993年にかけては2.7倍に伸びたが、1993年には都市ガスを筆頭に、石油・LPG、電気、排熱、石炭の順であり、都市ガス、電気、排熱の伸びが著しい。1993年での熱供給事業で使用されている燃料別の割合を図2に示す。

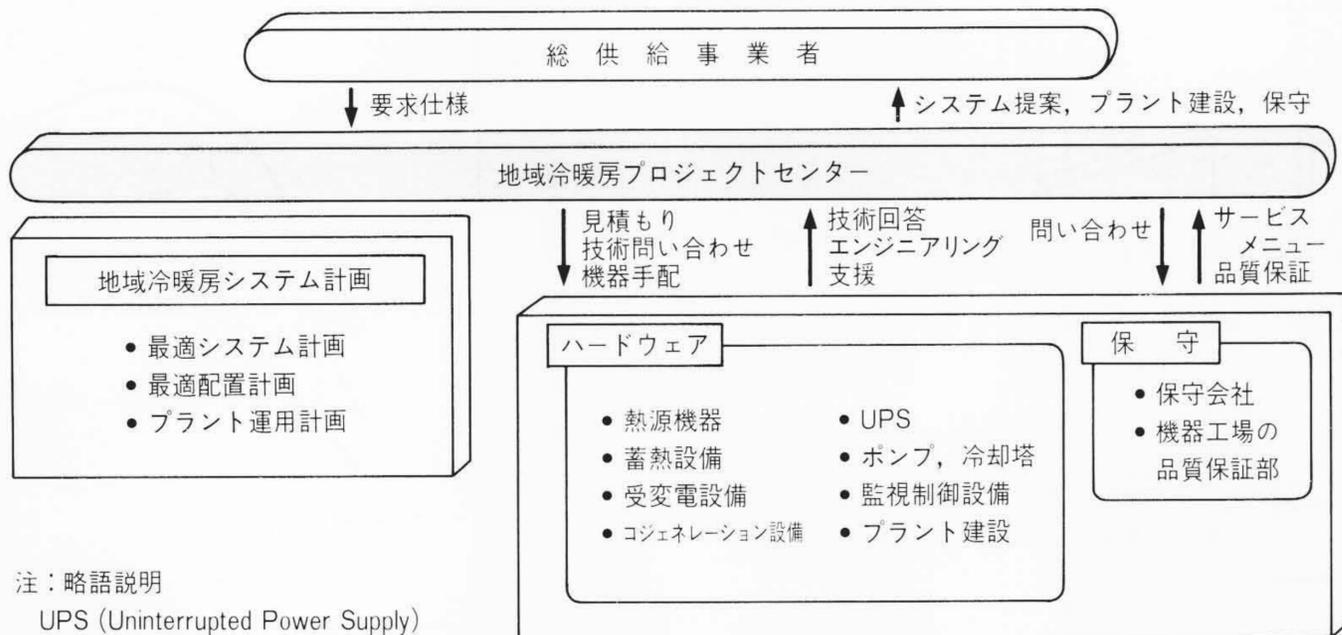
これらの地域冷暖房システムを取り巻く状況から、地域冷暖房システムに導入する機器は以下の項目を念頭に入れて開発していかなければならないと考える。

(1) 冷房需要の伸びが温熱、給湯を含む暖房需要の伸びを大幅に上回っているため、運転費、建設費の低減は冷熱源機器をターゲットにしたほうが熱事業者にとってより効果大きい。

(2) 燃料源は、都市ガス、電気、排熱の順に伸びが大きいので、この3種類のエネルギーを用いて省エネルギー化を図ることが事業者の採算性向上に結びつく。

日立製作所は、エネルギーの有効活用、大気汚染防止などの社会的ニーズにこたえた地域冷暖房プラントのシステム計画から、プラント建設および引き渡し後の保守に至るまでの業務を一貫して取りまとめる地域冷暖房プロジェクトセンターを1994年春に設立した。プロジェクトセンターの位置づけと取りまとめ体制を図3に示す。

このセンターでは、熱供給事業者から出される建設費や運転経費などの種々のニーズに適合するシステムの評価や配置検討を行ったり、社内の各工場で作成している熱



注：略語説明  
UPS (Uninterrupted Power Supply)

図3 地域冷暖房システムの取りまとめ体制

専任の部署である地域冷暖房プロジェクトセンターでは、基本計画、プラント建設から保守まで一貫して取りまとめを行う。

源、電源設備や監視設備を有機的に結合し、事業者へ最適システムの提案を行う。またこのセンターでは、受注後のプラントの建設から試運転および引き渡し後の保守業務も行う機能を持ち、プレサービス段階から納入後の保守に至るまで、一貫して顧客のニーズを満足するシステムが提供できる。

### 3 地域冷暖房システムの構成機器へのニーズと対応技術

熱事業者にとって最大のニーズは、省コスト、機器の使い勝手、保守の容易さである。運転費や設備費を低減

し、熱単価を下げるために活用できる技術を図4に示す。

トッピングシステム、大容量吸収式冷凍機、ヒートポンプは省エネルギーを実現するための技術であり、コージェネレーションの高出力化や深夜電力を利用する大規模水蓄熱技術を適用すると、電源・冷熱源機器容量を小さくして熱単価を低減することができる。

#### 3.1 熱エネルギーをカスケード利用して 運転効率を高めたトッピングシステム

トッピングシステムとは、熱をカスケード利用して冷水を効率よく製造するためにターボ冷凍機と吸収式冷凍機を組み合わせた複合システムである。ベースロード機

熱事業者のニーズ	目的	対応技術	機器容量
省コスト (熱単価の低減)	高効率, 省エネルギー	熱エネルギーをカスケード利用するトッピングシステム	14,000~24,600 kW (6,600~7,000 RT)
		水系の搬送動力を低減する大容量吸収式冷凍機	3,500~10,500 kW (1,000~3,000 RT)
		河川水などの未利用エネルギーを活用するヒートポンプ	700~5,300 kW (200~1,500 RT)
	夏季のコージェネレーションの高出力化 (電源容量低減)	ガスタービン入口空気冷却を用いた出力増技術	ガスタービン 4,000~60,000 kW
	深夜電力利用による大規模蓄熱 (冷凍機設備容量低減)	省スペース型氷蓄熱技術	蓄熱量 90,000 Mcal (105 MWh) 開発中

図4 地域冷暖房プラントに要求されるニーズと対応技術

熱事業者は地域冷暖房を計画する場合、省コストに結び付く各種技術をシステムの条件に合わせて導入し、あるいは検討しようとしている。

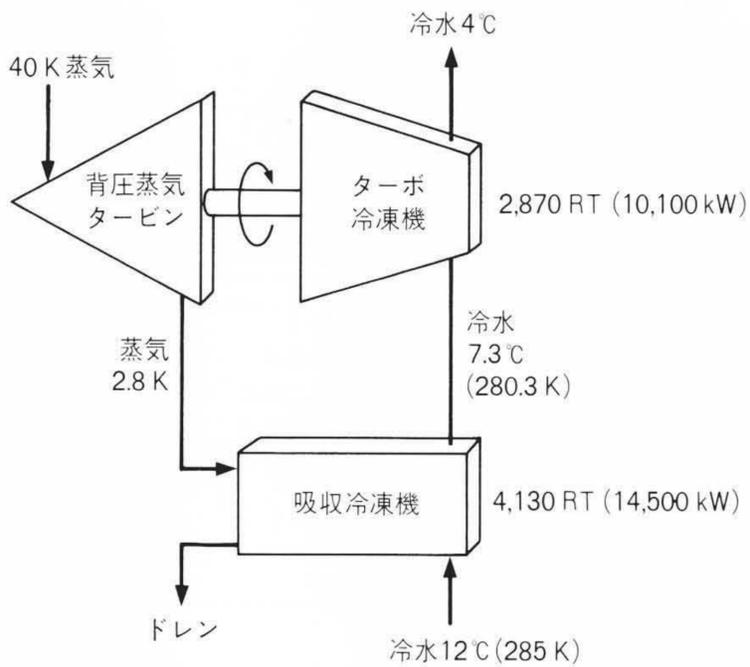


図5 7,000冷凍トン(RT)トッピングシステムの概念フロー図  
 高圧蒸気を背圧蒸気タービンと吸収式冷凍機でカスケード利用するシステムで、冷水製造の低温側をターボ冷凍機が受け持つ。

に求められる高い効率を達成した東京ガス株式会社新宿副都心地冷センター納め7,000冷凍トントッピングシステムの構成を図5に示す。高圧蒸気を持つ高品位の圧力エネルギーを、背圧タービン駆動ターボ冷凍機で極力低圧まで回収する。背圧タービンでの動力回収は出口背圧を低くするほど大きくなるので、圧力を270 kPa(2.8 kg/cm<sup>2</sup>G)まで低下させる。この圧力は吸収式冷凍機で二重効用サイクルを成立させるために必要な最低圧力である。このように、高圧蒸気を高圧、低圧の2段階でカスケード利用することにより、冷凍するために必要な蒸気のエネルギーの消費量を大幅に低減した。

冷凍システムの定格容量での効率は、図6に示すように大規模地冷プラントでの最新の復水タービン駆動ターボ冷凍機に比べ、34%の効率向上を図ることができた。部分負荷では、ターボ冷凍機に回転数制御を採用し、低圧側で熱回収する吸収式冷凍機特性との熱バランスを最適化することにより、高い効率を確保した。また、年間を通しての一次エネルギー換算のエネルギー効率を比較しても、電動ターボ冷凍機を上回るエネルギー効率向上の達成が可能である。

### 3.2 冷水・冷却水の搬送動力低減も容易な ツインモジュール型大容量吸収冷凍機

蒸気吸収式冷凍機は、地域冷暖房システムの計画で中心となる冷熱源設備となっており、1,000冷凍トンから30,000冷凍トンクラスを複数台設置する計画、設置事例が多い。吸収式冷凍機の運転では、起動・停止時の冷水温度の乱れを避けるため、一度起動した冷凍機を極力停

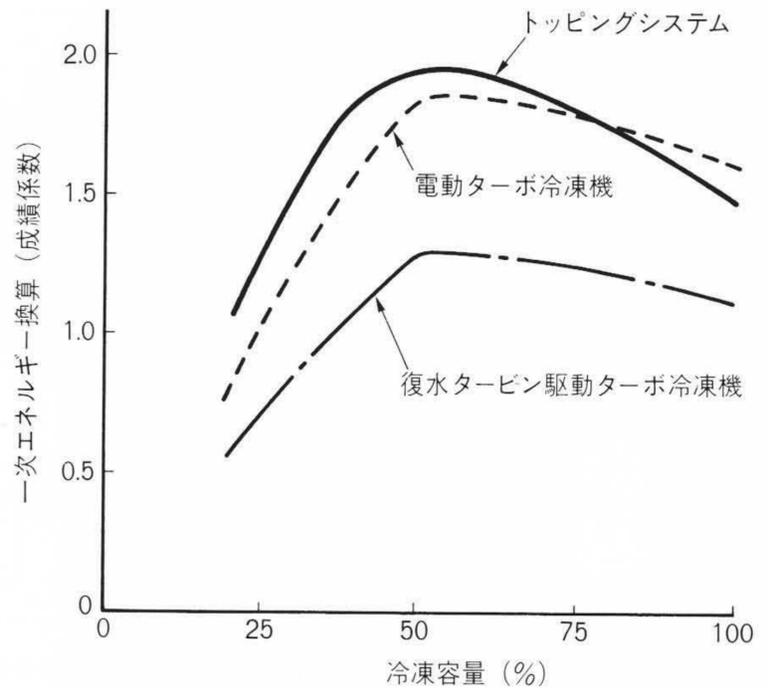


図6 7,000RT各種システム別成績係数比較  
 曲線は、負荷20~50%、冷却水入口温度20℃とした場合の仮想作動線を示す。成績係数が大きいほど高効率であることを示す。

止させないで運転を継続させることが望ましい。したがって、省エネルギーの観点から考えると、低負荷から中間負荷帯でも効率が高いことが望まれる。また冷凍機の冷水、冷却水を搬送するための冷水・冷却水ポンプ動力を低減することも補機電力使用量の低減になるため、地域冷暖房プラントの運転費の低減につながる。日立製作所はこれらのニーズにこたえるために、信頼性の高い分割方式であるツインモジュール型大容量吸収式冷凍機で対応している。その特長は次の2点である。

#### (1) 冷水、冷却水の搬送動力を低減

冷却水出口温度を40℃(入口温度32℃)とし、従来の出口温度38℃を採用する機械に比べ、冷却水量を減らし、冷却水ポンプ動力を25%低減した。同様の考え方を冷水温度差を大きくすることに採用すれば、冷水ポンプの動

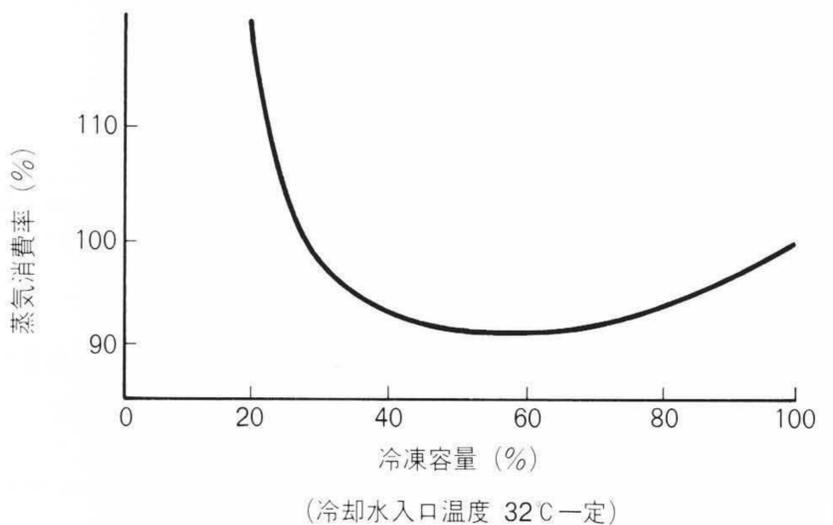


図7 蒸気吸収冷凍機の部分負荷特性カーブ  
 広い範囲で高効率運転ができる。

表1 未利用エネルギー(河川水)利用システムと従来の空気熱源システムの効率比較例

未利用エネルギーを利用することにより、大幅な効率アップが可能となる。

	空気熱源システム (従来システム)	未利用エネルギー システム
熱源	空気	河川水
熱源温度	冷房32°C, 暖房0°C	冷房25°C, 暖房15°C
冷温水温度	冷水出口7°C, 温水出口45°C	
冷房成績係数	3.6	6.0
暖房成績係数	3.0	4.9

力低減も可能である。本機は、カスケード冷却方式を採用しているため、冷水温度差が大きくなるほど冷凍機の高効率化・小型化が図れる設計になっている。

(2) 部分負荷効率をいっそう向上

冷媒循環の系統に冷凍機の負荷に応じて循環量を制御する方式を採用した。部分負荷特性カーブを図7に示す。この方式を採用すると、冷凍機負荷率が30%以上あれば、定格点の蒸気消費率以下で冷水を発生することができるので、運転費の削減が図れる。

3.3 未利用エネルギーを活用するターボ式ヒートポンプ

河川水、下水、海水などの低温未利用エネルギーの温度は、季節による温度変動が少なく外気に比べ冬季は高く、夏季は低いという特性を持つ。この性質を利用して河川水などをヒートポンプシステムの熱源または冷却源に利用すると、ヒートポンプでくみ上げる温度差を小さくできるので、従来より高い効率で冷暖房を行うことができる。

未利用エネルギー(河川水)利用システムと従来の空気

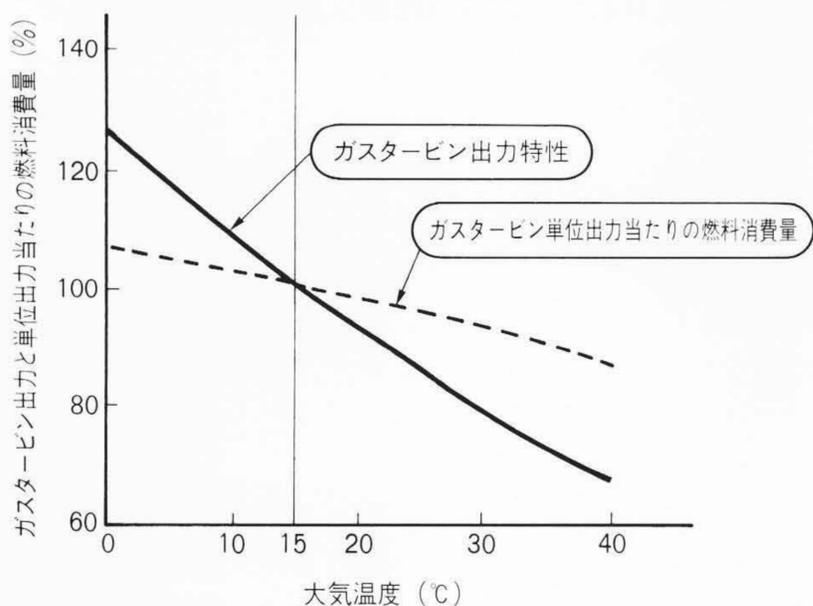


図8 10 MW級ガスタービンの性能と大気温度特性  
ガスタービンの出力と燃料消費率はいずれも大気温度に依存する。外気温度が15°Cから30°Cまで上がると出力は約18%低下する。

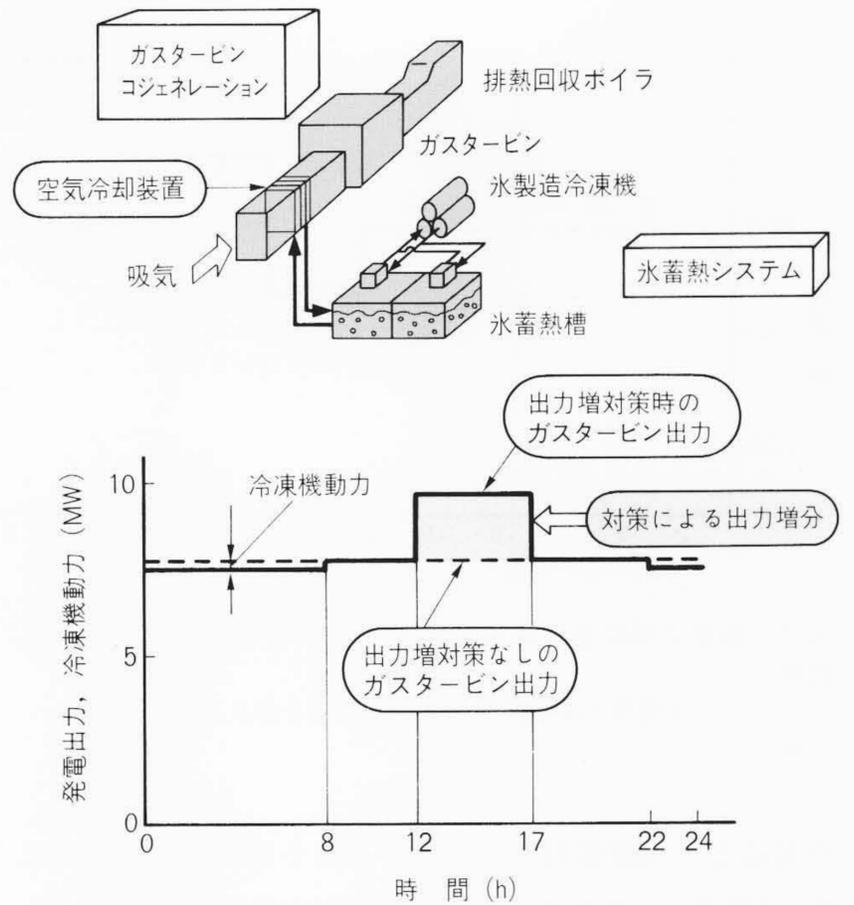


図9 深夜電力利用ガスタービン出力増対策の検討例  
深夜電力を利用して氷を蓄熱し、昼間にガスタービンへの吸気を冷却して発電出力を増加する方式が着目されている。

熱源方式との効率比較例を表1に示す。冷房時と暖房時とは、ヒートポンプの圧縮ヘッドが大幅に異なるため、おのおのに最適な運転ができるように、二つの圧縮機によるタンデム方式や回転数制御などによる対応が行われている。また、ターボ式ヒートポンプの冷媒には、特に地球環境に配慮した長期的観点から、オゾン破壊係数ゼロのHFC1349を使用している。

3.4 夏季のガスタービン吸気冷却方式

地域冷暖房プラントにかかる電力、冷房負荷が最大となるのは、大気温度が上昇する夏季の昼間の時間帯である。この時間帯にプラント機器として稼動しているガスタービンの吸気冷却を行い、発電出力を増大させ、同時に発電効率も改善する方式(ガスタービン吸気冷却方式)が着目されている。この場合、吸気冷却の熱源として夜間の安価な電力を利用して冷凍機で作られた氷の潜熱エネルギーを用いる方式が検討されている。

10 MW級のガスタービンの性能と吸気(大気)温度の関係を図8に示す。同図から大気温度30°C (303 K)では、15°C (288 K)に比べ18%出力が低減し、効率も8%低下することがわかる。

ガスタービンコジェネレーションに氷蓄熱システムを組み合わせた発電出力増対策の検討例を図9に示す。深夜10時間(22時から翌朝の8時まで)で冷凍機によって氷

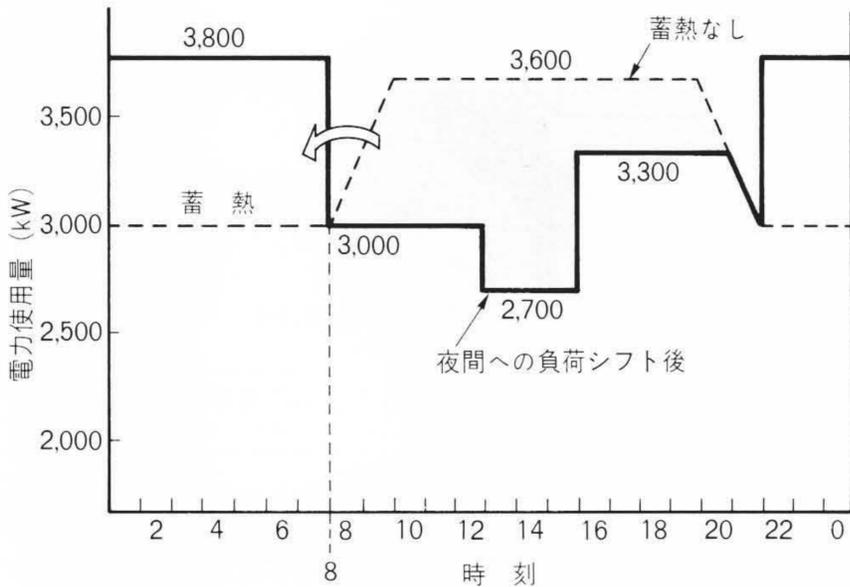


図10 製造工場における夜間蓄熱による電力負荷シフトの検討例

「---」で示す昼間の空調用電力負荷を蓄熱を導入して夜間(22時～8時)にシフトした。

を製造し、昼間電力がピークとなる5時間(12時から17時)で解氷し、ガスタービンへの吸気を冷却している。深夜は冷凍機駆動に必要な電気動力相当分が発電出力から減ることになるが、昼間は吸気が冷却されるために、ガスタービン出力は対策なしの場合に比べて20%アップすることができる。

### 3.5 深夜電力を用いて運用コストを低減する大規模氷蓄熱システム

空調負荷が大きい事務所ビルや半導体工場などでは、空調のための運転コストを低減するために、大規模な氷蓄熱方式が計画・導入される事例も増えてきた。

地域冷暖房システムでも従来水蓄熱を主体とした方式が採用されてきたが、水の顕熱利用だけでは蓄熱槽が大きく実用化のための一つのネックとなっていた。一方、低価格な深夜電力を用いて夜間氷を製造する氷蓄熱方式は、運用コストの低減、水の潜熱を利用するので水蓄熱

に比べて蓄熱スペースを小さくできるなどのメリットを持つため、今後地域冷暖房プラントにも大規模蓄熱の方式として導入が進むものと期待される。

受電容量が3,700 kW, このうち空調のために必要な電力量が700 kWの工場に氷蓄熱システムを導入して電力負荷を昼間から夜間にシフトしたときの検討例を図10に示す。現状の蓄熱を行わない方式(電力会社との契約形態は季節別時間帯別調整契約)と、氷蓄熱システムを導入し、契約を時間帯別調整契約に変え電力を積極的に夜間に移行する方式の年間電気代は、それぞれ約3億円、約2億7,000万円となり、その節減効果は約3,000万円となる。

エネルギー需給構造改革投資促進税制による税制上の優遇措置(税額控除または特別償却)や、1995年から新設される電力会社による機器メーカーへの普及奨励金制度などにより、氷蓄熱システムは今後普及が促進されると思われる。日立製作所は、6,980 kWh(6,000 Mcal)以上の大規模氷蓄熱方式について地域冷暖房に適用できる高密度蓄熱を開発中である。

## 4 おわりに

ここでは、地域冷暖房プラントの冷熱源機器に強く求められている運転コストの低減や使い勝手などのニーズと、日立製作所がこれにこたえて開発している機器について述べた。

これらのニーズに対応するために日立製作所は、熱事業者とともに地域冷暖房プラントを計画する時点で使用するエネルギー源や、システムの設置条件などに配慮した綿密なシステム計画を立てていく考えである。今後も、地球環境に貢献する地域冷暖房システムの技術開発をさらに進めていく。

## 参考文献

1) 坂口忠正：熱供給事業について、財団法人 ヒートポンプ技術開発センター会報 Heat Pump Tech, JUN/JUL, 4~7(1995)