

空冷ヒートポンプ式空気調和機

Unitary Heat Pump Equipment

Among many types of unitary heat pump type air conditioners the air-to-water heat pump is engaging growing interests since this pump is operated at off-peak hours such as night time to economize in electric energy. This article introduces characteristics of the pump and some examples of its application in which a storage tank is used jointly for storing warmed or cooled water during night. At the time when fast increasing power consumption by air conditioners is causing serious power shortage at peak hours, this new air conditioning system is considered a significant, timely development.

春川恒雄* *Tsuneo Harukawa*

岩田和彦* *Kazuhiko Iwata*

1 緒 言

空気調和設備（以下、空調設備と略す）の普及は夏季と冬季、また昼間と夜間との電力需要のアンバランスを生みだし、夏季昼間の電力ピークが問題となっているため、夜間の電力を利用して運転する蓄冷熱式の空気調和機（以下、空調機と略す）が実用化されつつある。

無限にある空気を熱源として、冷暖房の効果を上げることのできる空冷ヒートポンプ式空調機にはパッケージ形空調機、チラーユニット、ターボ冷凍機、ルームエアコンなどがあり、それぞれの特長により用途を使い分けている。そのうちで空冷ヒートポンプ式チラーユニットは深夜電力により、冷温水の蓄冷熱ができ、エネルギーの有効利用からも関心が高まっている。ここに空冷ヒートポンプ式チラーユニットの特性を紹介し、更に、実施例として蓄熱槽を使用した実際の稼働データを紹介しますとともに問題とされていた冷房時の昼間のピークカット及び暖房時の夜間、外気温度の低いときの暖房能力低下を蓄熱運転により十分カバーできるなどの利点を述べる。

2 空冷ヒートポンプ式チラーユニット

日立空冷ヒートポンプ式チラーユニットには30～90 kWの6機種があり、それらの特長、構造および性能は下記のとおりである。

2.1 特 長

(1) 低騒音で運転される。

市街地の屋外設置、深夜の蓄冷熱運転を考慮し、圧縮機、水側熱交換器ユニットのキャビネット内面に特殊吸音材をはり付けている。また、空気側熱交換器ユニットには低騒音ファン及び通風抵抗の少ない熱交換器を使用しているため低騒音である。夏季の冷房時には、夜間外気温度が低下すると、圧縮機の吐出し圧力の低下に伴って4～12台の送風機を1台あるいは2台ずつ順次停止させるようになっており、冷房時の夜間、中間期などは更に騒音が低減される。

(2) 二重デフロスト機構により着霜によるトラブルを防止する。

空気側熱交換器は暖房時に蒸発器となり着霜し、外気温度の低下及び冷媒の蒸発温度の低下に伴って着霜量が増加し暖房能力が低下する。したがって、定期的に除霜してやらねばならない。

日立空冷ヒートポンプ式チラーユニットは、タイマによって定期的に圧縮機からのホットガスを空気側熱交換器に送って除霜を行なうホットガスデフロスト方式を採用している。また、タイマが除霜指示しない場合でも着霜量が一定限度以上になると除霜サーモスタットが感知し、自動的に除霜を行なう二重デフロスト機構になっているので着霜によるトラブルを防止する。

(3) 除霜運転による水温の低下はない。

前述のようにホットガスデフロスト方式を採用しており、水側熱交換器に低温冷媒が流れないので除霜運転による水温の低下はない。

2.2 構 造

日立空冷ヒートポンプ式チラーユニットの外観は図1に、また冷凍サイクル系統は図2に示すとおりである。

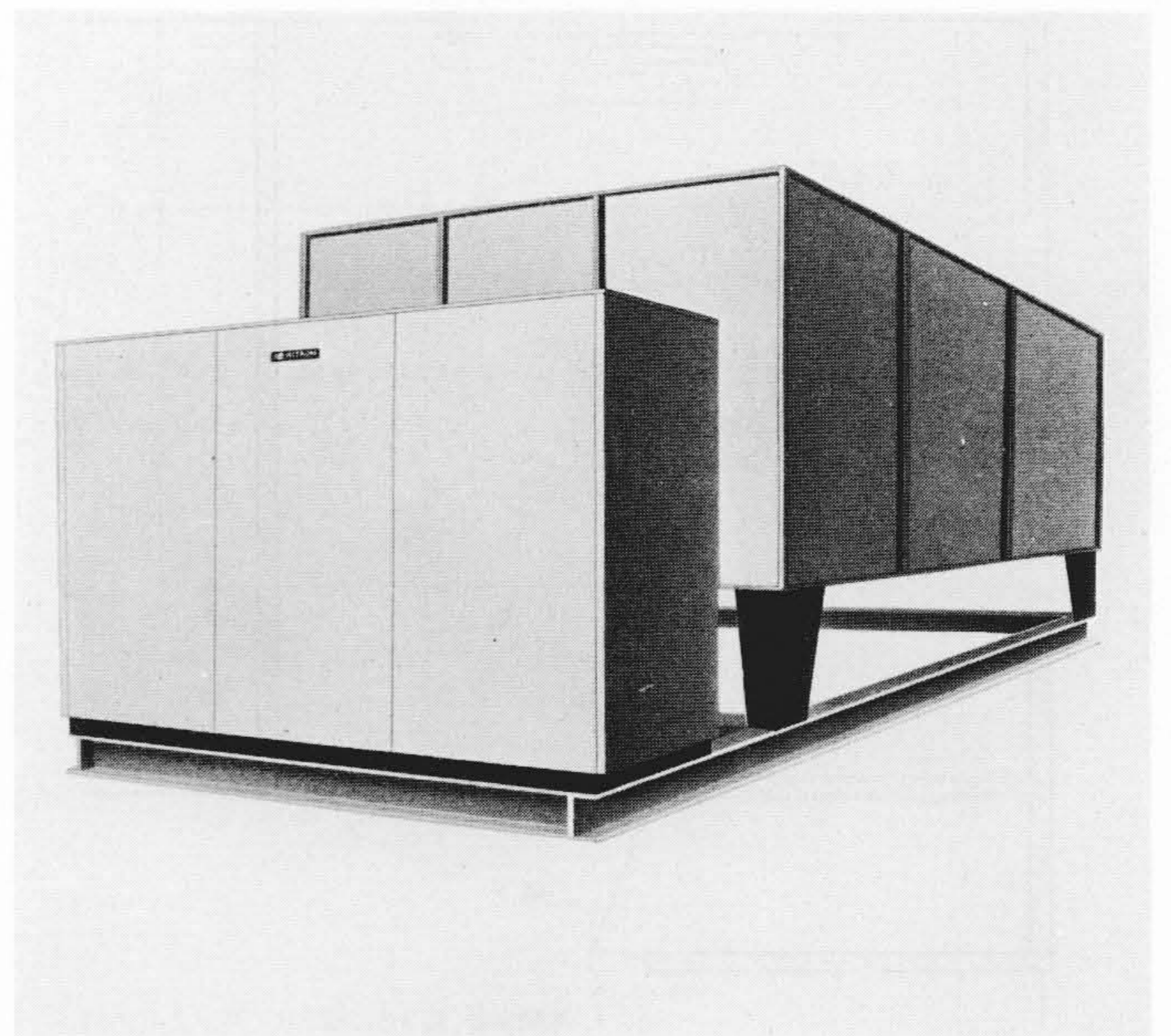


図1 空冷ヒートポンプ式チラーユニット 水側熱交換器ユニットと空気側熱交換器ユニットを一体ベースに載せている。

Fig. 1 General View of Air to Water Heat Pump

*日立製作所清水工場

2.3 性能

代表として出力60kW空冷ヒートポンプ式チラーユニットの各種性能曲線を記載する。

(1) 性能曲線

冷房、暖房における性能曲線は図3に示すとおりである。

冷房能力曲線においては、冷水出口温度が高いほど成績係数は大きくなる。一方ファンコイルユニットなどの冷水を使

用する機器側においては、入口水温が低いほど冷房能力は増加するので、この両者を合わせての効率が最大となる水温で使用されるのが望ましい。

暖房能力曲線においては、外気温度が下がり暖房負荷が大きくなるに従い、逆に暖房能力が下がる傾向は、空冷ヒートポンプ方式の宿命といえる。

(2) 暖房運転連続時の能力低下

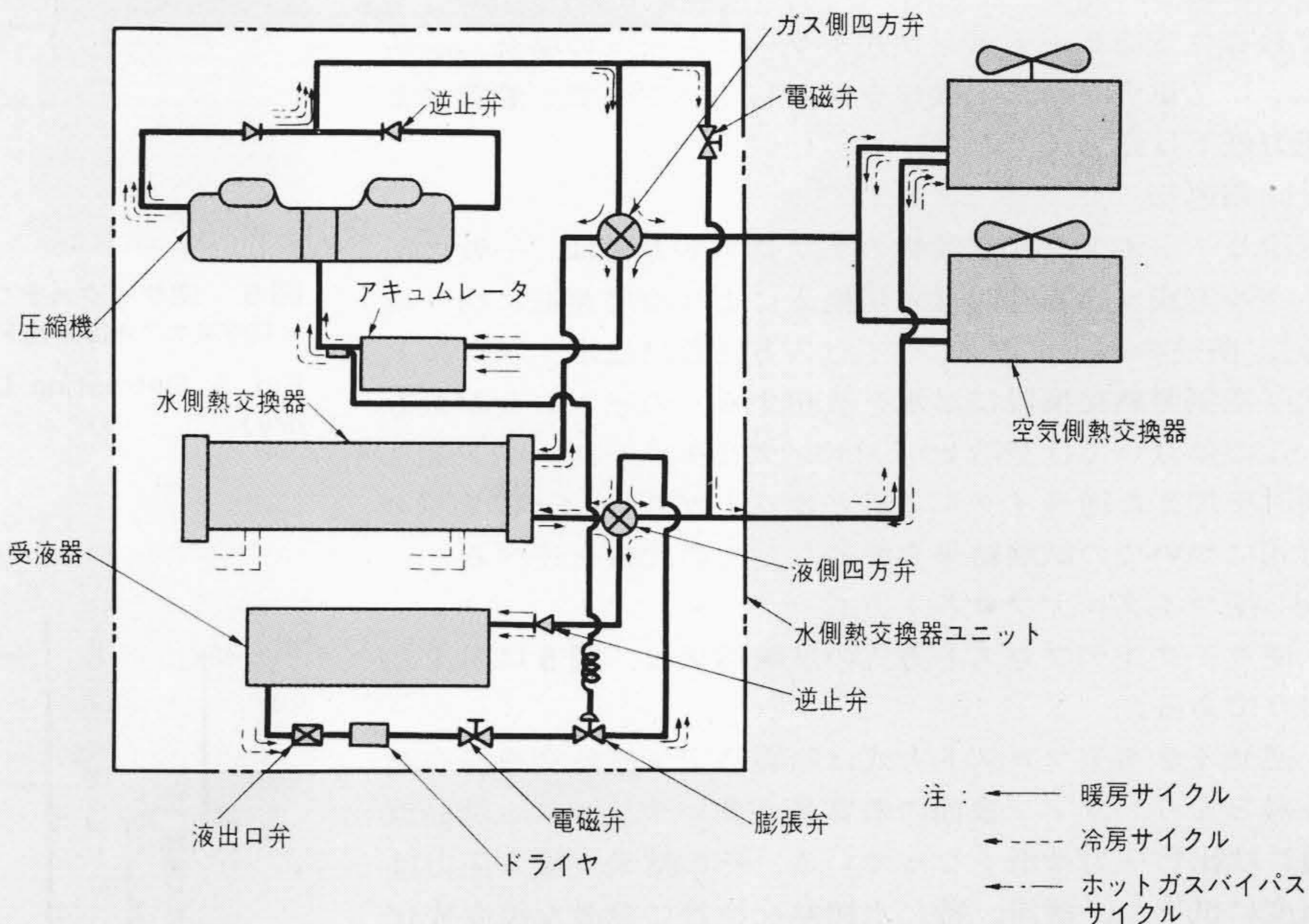


図2 冷凍サイクル系統図 ホットガスデフロスト方式のサイクル系統図である。

Fig. 2 Refrigerating Cycle

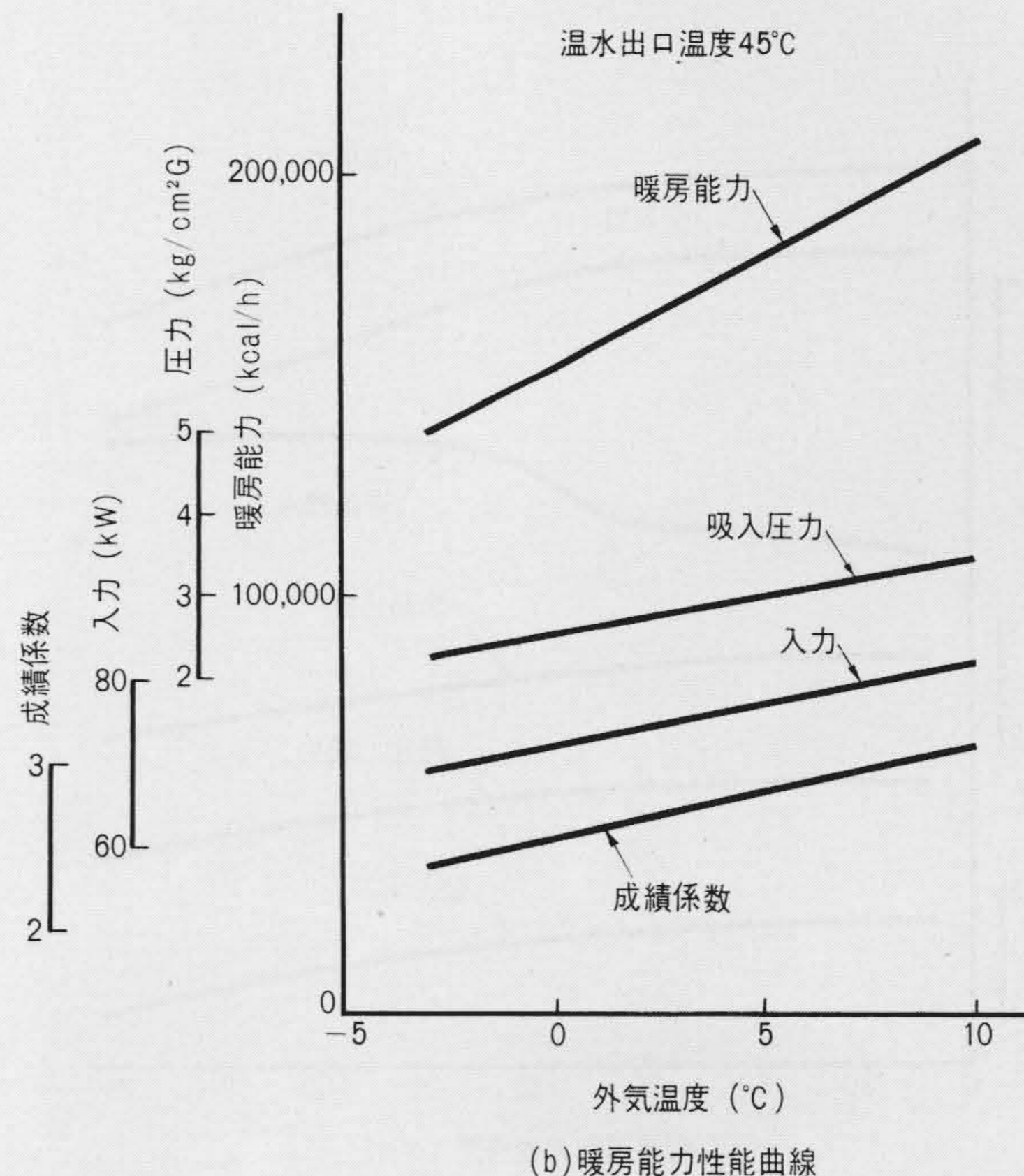
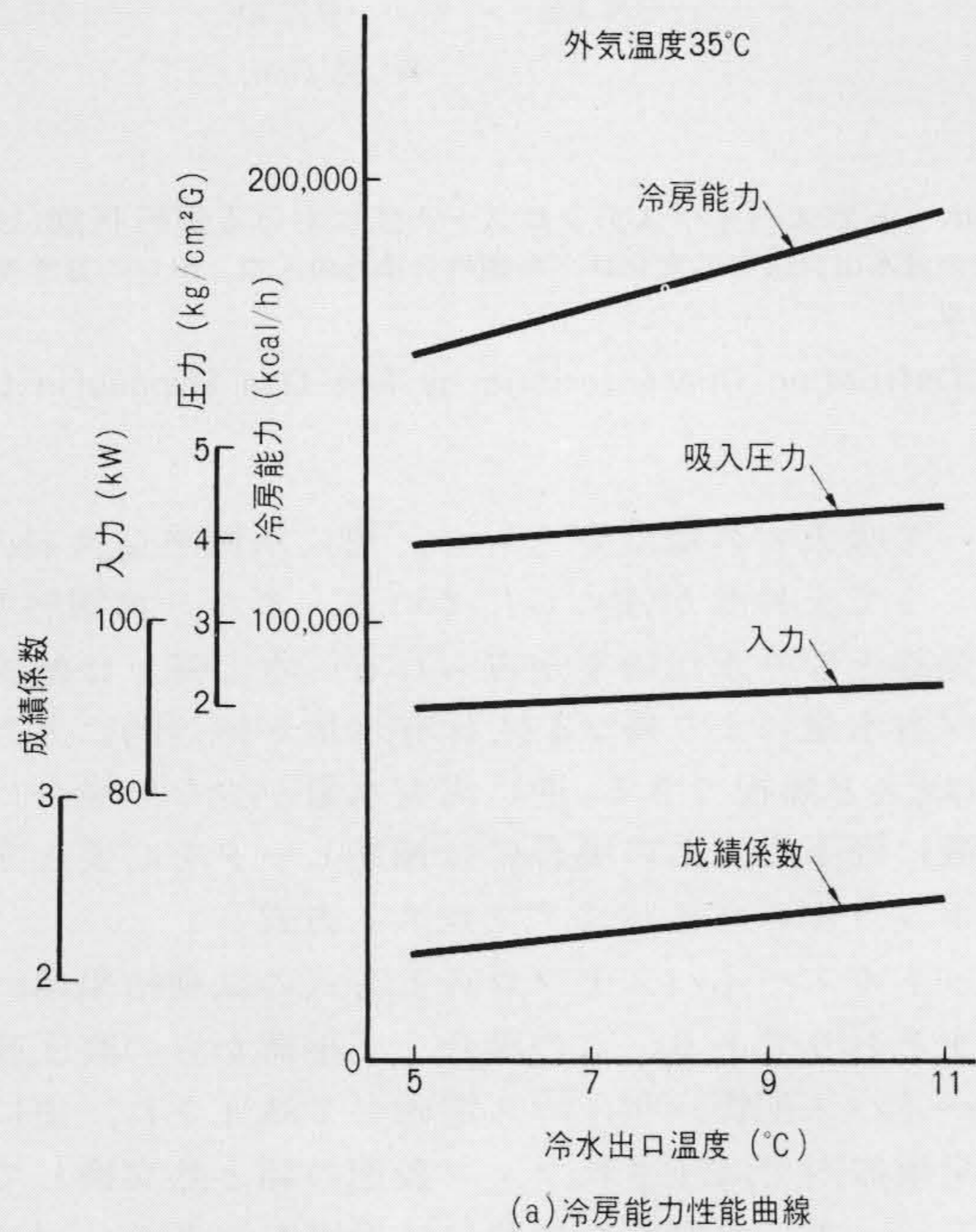


図3 性能曲線 特に暖房能力曲線において、外気温度が下がると暖房能力が低下するのは、空冷ヒートポンプ式空調機の宿命といえる。

Fig. 3 Characteristic of Cooling and Heating

暖房運転を連続した場合の経過時間による特性曲線は図4に示すとおりである。

暖房運転を連続すると空気側熱交換器表面の着霜量の増加に伴い、能力、成績係数が低下し、90～100分ぐらいでは暖房運転開始直後の約85%、また、240分後は約40%に低下している。また、運転時間90～100分ぐらいで急激に着霜量が増えていることが送風機入力の増加から判断できる。それ以上運転を継続してみても暖房能力も低く、除霜する際長時間を要するだけで実用に供さないと判断される。すなわち、暖房運転連続時間は90分ぐらいが最適であり、90分に1回除霜を行なう必要がある。

なお日立空冷ヒートポンプ式チラーユニットの場合、前述のように二重デフロスト機構を採用しているので、着霜による能力低下はほとんどない。

(3) 除霜運転

空冷ヒートポンプ式空調機のデフロスト方式は、一般に逆サイクル方式（除霜時四方弁切換えにより冷房運転に切り換える）、前述のホットガスバイパス方式及び温水デフロスト方式（空気側熱交換器に温水を散布する）の三とおりがあるが、ここにおいては空冷ヒートポンプ式チラーユニットとして検討を加えた逆サイクル方式とホットガスバイパス方式の両方式についての試験結果を要約し、その比較を述べる。

(a) 逆サイクルデフロスト方式

逆サイクルデフロスト方式の試験結果は、図5に示すとおりである。

逆サイクルデフロスト方式は除霜時空気側熱交換器が凝縮器となり、フィン表面の着霜量が多いデフロスト開始直後に吐出し圧力は低くなっている。その結果、吸入圧力は極度に低下し、機器、特に水側熱交換器に急激な温度変化を与えることになり、機器に悪影響を与えることになる。除霜が進行するにつれて吐出し圧力は上昇してゆき、これ

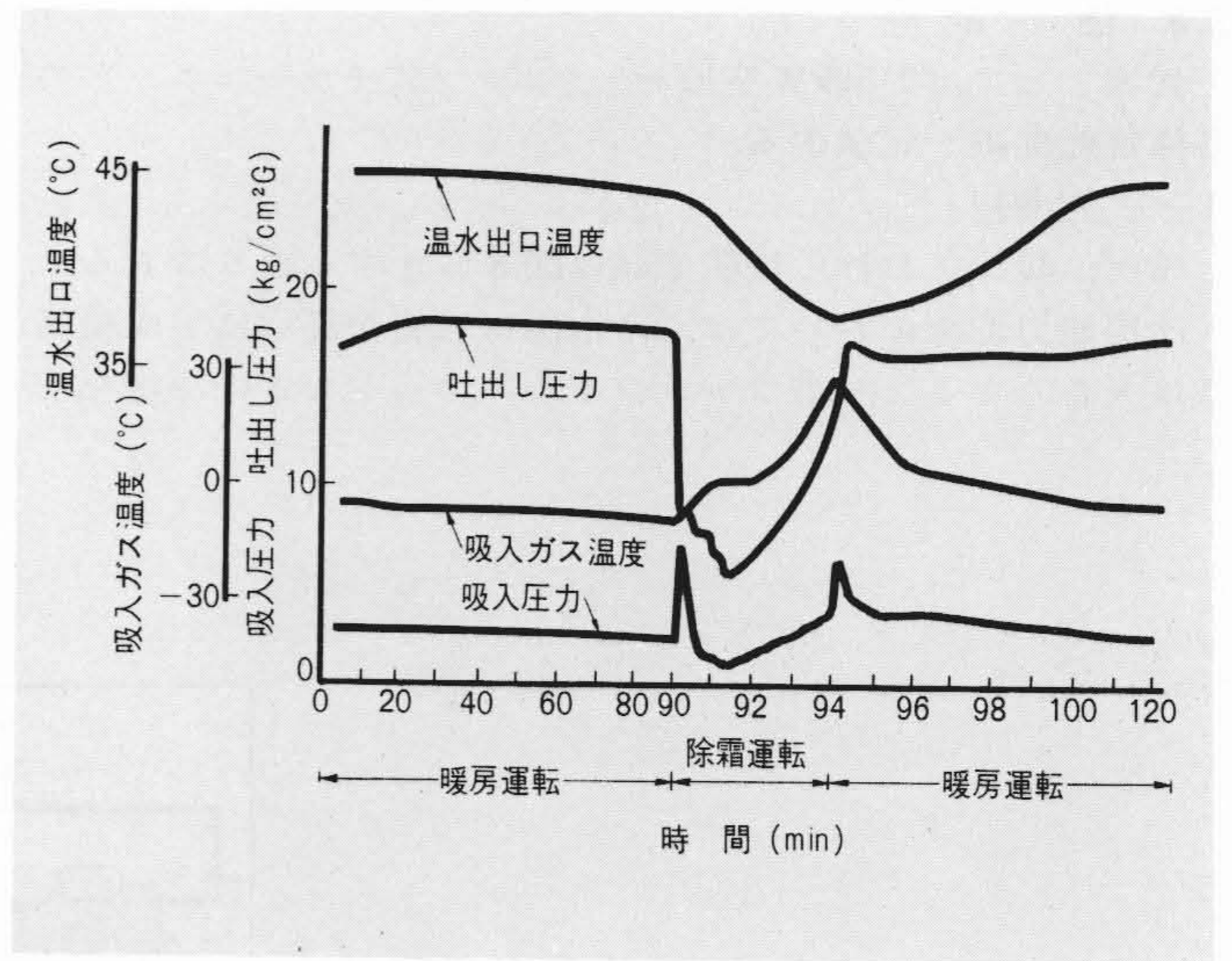


図5 逆サイクルデフロスト方式における運転状態(試験室) 除霜時温水の水温を低下させている。

Fig. 5 Defrosting Characteristic by Reverse Cycle(in Laboratory)

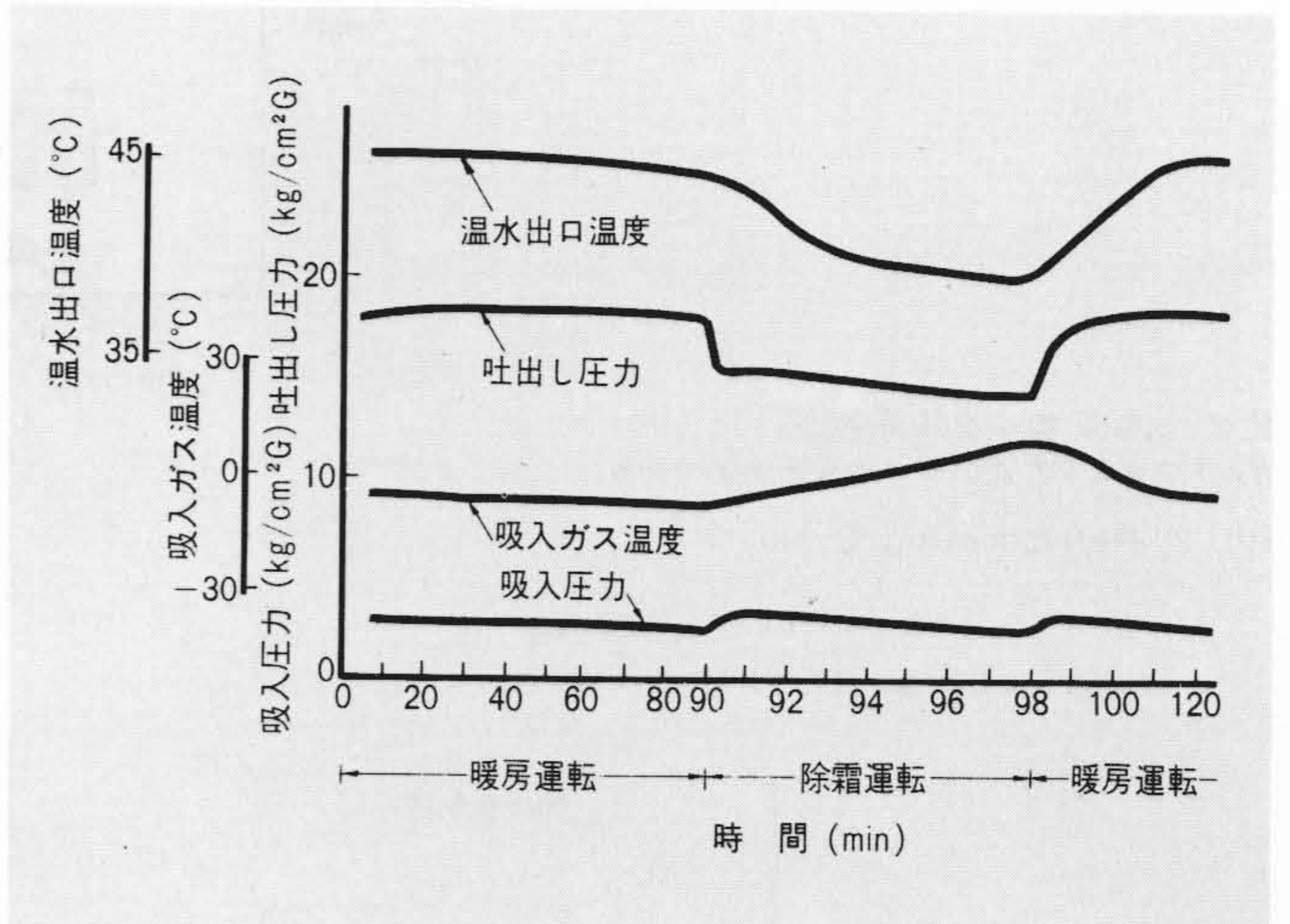


図6 ホットガスバイパスデフロスト方式における運転状態(試験室) 除霜前後の温水出口温度の変化は、水側熱交換器の入口、出口の温度差によるものである。

Fig. 6 Defrosting Characteristic by Hot Gas Bypass(in Laboratory)

に伴って吸入ガス温度が上昇し、更に水側熱交換器内の温水によって上昇度が強められている。また、水側熱交換器は蒸発器となり水温降下がみられる。水温降下は配管系統内の保有水量により異なるが、保有水量が絶対的に大きい場合はほとんど無視できる。逆に保有水量が少ない場合は水温が急激に降下し、この場合には補助ヒータを必要とする。

(b) ホットガスバイパスデフロスト方式

ホットガスバイパスデフロスト方式の試験結果は、図6に示すとおりである。この場合、圧縮機からの高压高温ガスがバイパス配管、バイパス電磁弁で減圧され、更に空気側熱交換器内で減圧されフィン表面の霜と熱交換して低温となる。一方、水側熱交換器には冷媒を流さないのので、水温降下は全くなく、水側熱交換器に急激な温度変化を与えることもない(図6において出口水温が低下しているのは、水側熱交換器の入口、出口の温度差を示している)。しかし、空気側熱交換器へのホットガスバイパスデフロスト方式は、

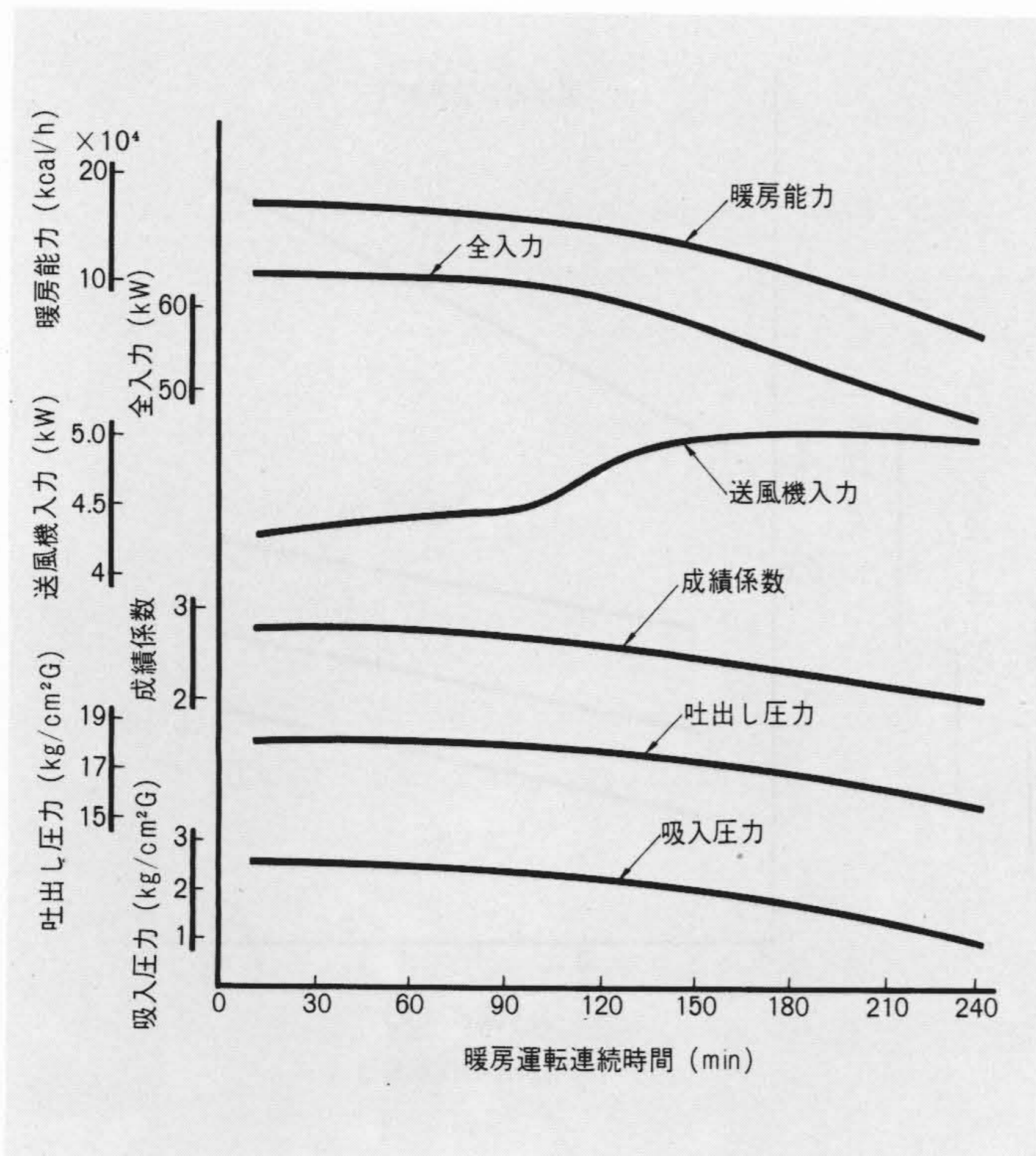


図4 暖房運転連続時間による性能変化 送風機入力が急激に増えるときに着霜量も急激に増加している。

Fig. 4 Heating Characteristic on Running



図7 空冷ヒートポンプ式チラーユニット設置状況 水側熱交換器ユニットは空気側熱交換器ユニットの下側に設置されている。

Fig. 7 Installing Condition of Airto Water Heat Pump

表1 騒音レベル 騒音レベルは製品より距離1m, 高さ1mの位置での値を示す。なお、正面側には水側熱交換器ユニットが配置されている。

Table 1 Sounds Level

測定位置	騒音値(Aスケール・ホン)
正面	70
左右側面	64
背面	65.5

表2 設計条件 機器仕様決定に当たっての設計温湿度条件を示す。

Table 2 Condition of Design

区分	温湿度		乾球温度(°C)	相対湿度(%)
	外気	室内		
夏季	外気		34	63
	室内		26	50
冬季	外気		0	60
	室内		22	45

逆サイクルデフロスト方式に比較し低圧、低温のため除霜時間は長くなっているが、除霜の際サイクルチェンジをしないので、吸入圧力、吐出し圧力の急激な変化もなく、四方弁の作動もないため、機器の寿命などにおいて優れているといえる。

(4) 騒音

表1は、空冷ヒートポンプ式チラーユニットの騒音レベルを示したものである。

2.4 実機運転状況

(1) 設備の概要

(a) 建築設備

建物規模：鉄筋コンクリート造り（地下1階、地上8階、塔屋1階）

建物面積：739m²、延床面積：6,744.3m²

なお、空冷ヒートポンプ式チラーユニットの設置状態は図

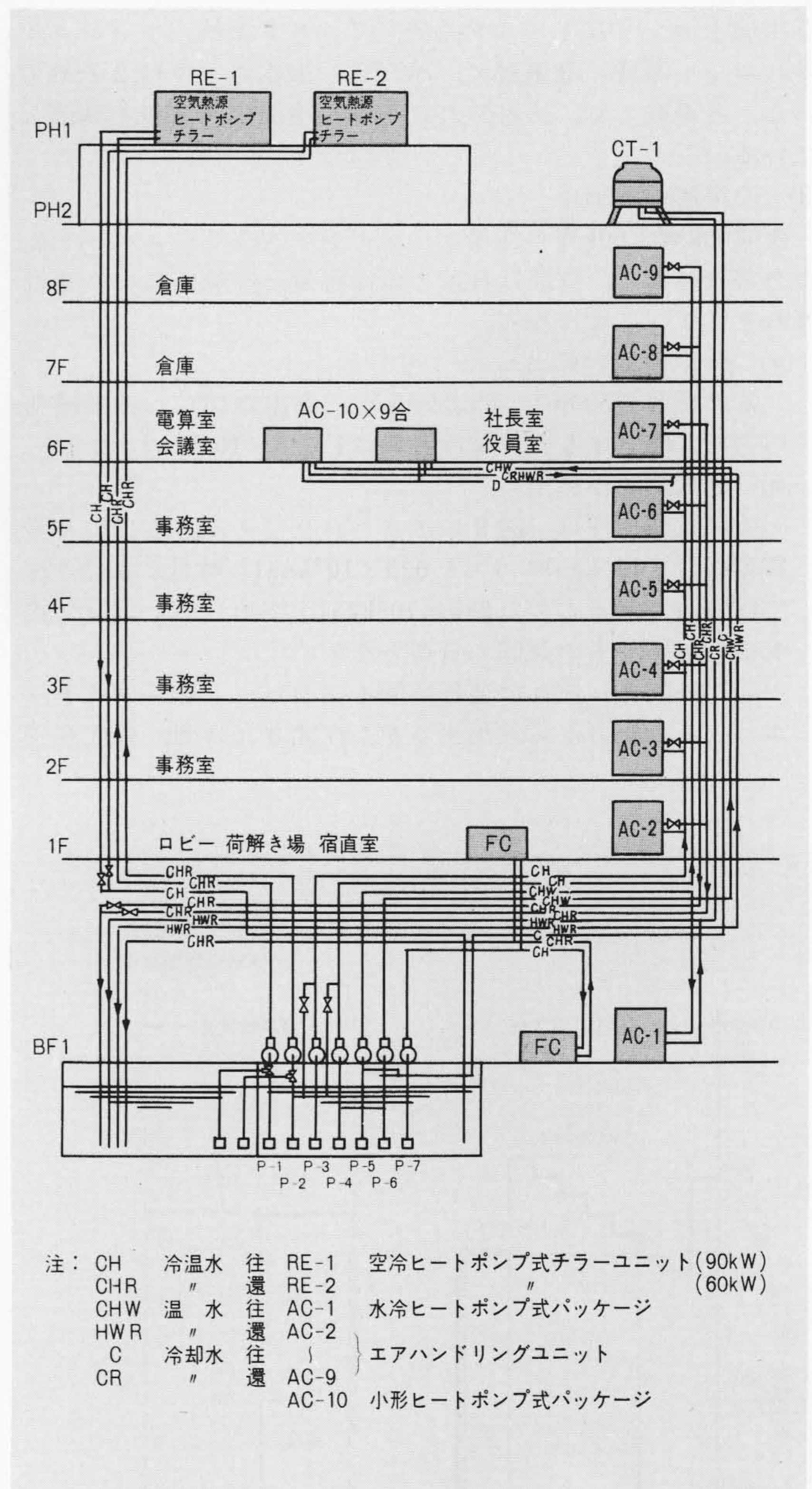


図8 配管系統図(暖房) 蓄熱槽内のポンプP-1, P-2の三方弁により蓄熱運転と負荷運転で蓄熱槽内の水取入れ口を変えている。

Fig. 8 System Drawing of Pipe Lines

7に示すとおりである。

(b) 空調機器

空調機器決定に当たっての設計条件は表2に、使用空調機器の種類及び台数は、後述の図8に示すとおりである。

(2) 空調システム

配管系統図は図8に示すとおりである。

一次側(熱源側)システムは、夜間電力利用の空冷ヒートポンプ式チラーユニットにより、冬季は温水を、夏季は冷水を地下1階床下の蓄熱槽に貯水し、二次側(負荷側)システムは各階設置のエアハンドリングユニットに冷温水二次ポンプで冷温水を循環し、単一ダクト方式により空調を行っている。

また6階の一部に熱回収ヒートポンプ式パッケージ形エアコンを設置し、熱回収方式を併用している。

空冷ヒートポンプ式チラーユニットの発・停は蓄熱槽内の

温度調節器とタイマにより全自動運転を行なっている。

冷温水ポンプは1～6F系統、7～8F系統、ファンコイルユニット系統の3系統で、冷却水、温水ポンプは2系統である。各系統とも、それぞれ二方弁で冷温水の流量を調節している。

(3) 冷房運転計画

夜間90kWと60kWの空冷ヒートポンプ式チラーユニット2台を蓄冷運転し、昼間は負荷と蓄冷容量との関係により随時運転を行なうことになる。

(a) 蓄冷容量の算出

蓄熱槽容量500m³、低温側5℃、高温側10℃、蓄熱槽利用率を0.65とすると、蓄冷容量は1.625×10⁶kcalとなる。

(b) 運転時間の算出

冷房負荷特性は、図9に示すとおりである。1日の冷房負荷4.51×10⁶kcalのうち1.625×10⁶kcalの熱量が蓄冷されているので、その差2.885×10⁶kcalが空冷ヒートポンプ式チラーユニットの昼間の負荷となる。

夜間、昼間それぞれの運転時間を空冷ヒートポンプ式チラーユニットの能力から算出すると、夜間3.6時間、昼間6.9

時間となる。

(4) 暖房運転計画

運転方法は冷房運転と同様である。

(a) 蓄熱容量の算出

蓄熱槽容量500m³、低温側40℃、高温側45℃、蓄熱槽利用率を0.65とすると蓄熱容量は1.625×10⁶kcalとなる。

(b) 運転時間の算出

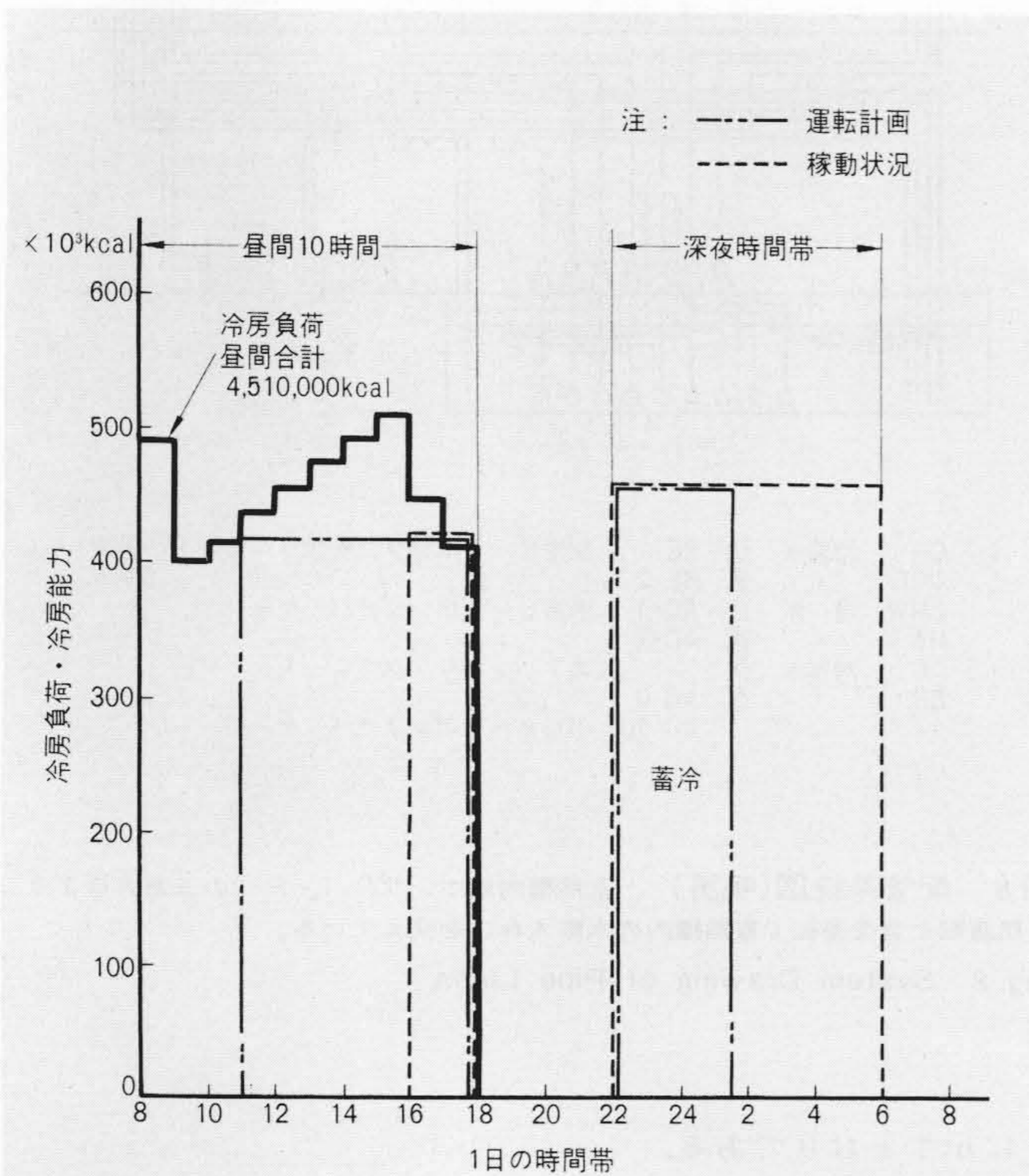
暖房負荷特性は図10に示すとおりである。1日の暖房負荷3.189×10⁶kcalのうち1.625×10⁶kcalの熱量が蓄熱されているので、1.564×10⁶kcalが空冷ヒートポンプ式チラーユニットの昼間の負荷となる。夜間、昼間それぞれの運転時間を空冷ヒートポンプ式チラーユニットの能力から算出すると、夜間は60kW及び90kWとで4.2時間、昼間は90kWのみで6.0時間となる。

(5) 運転実績

(a) 冷房運転

冷房運転の稼動状況は、図9に示すとおりである。

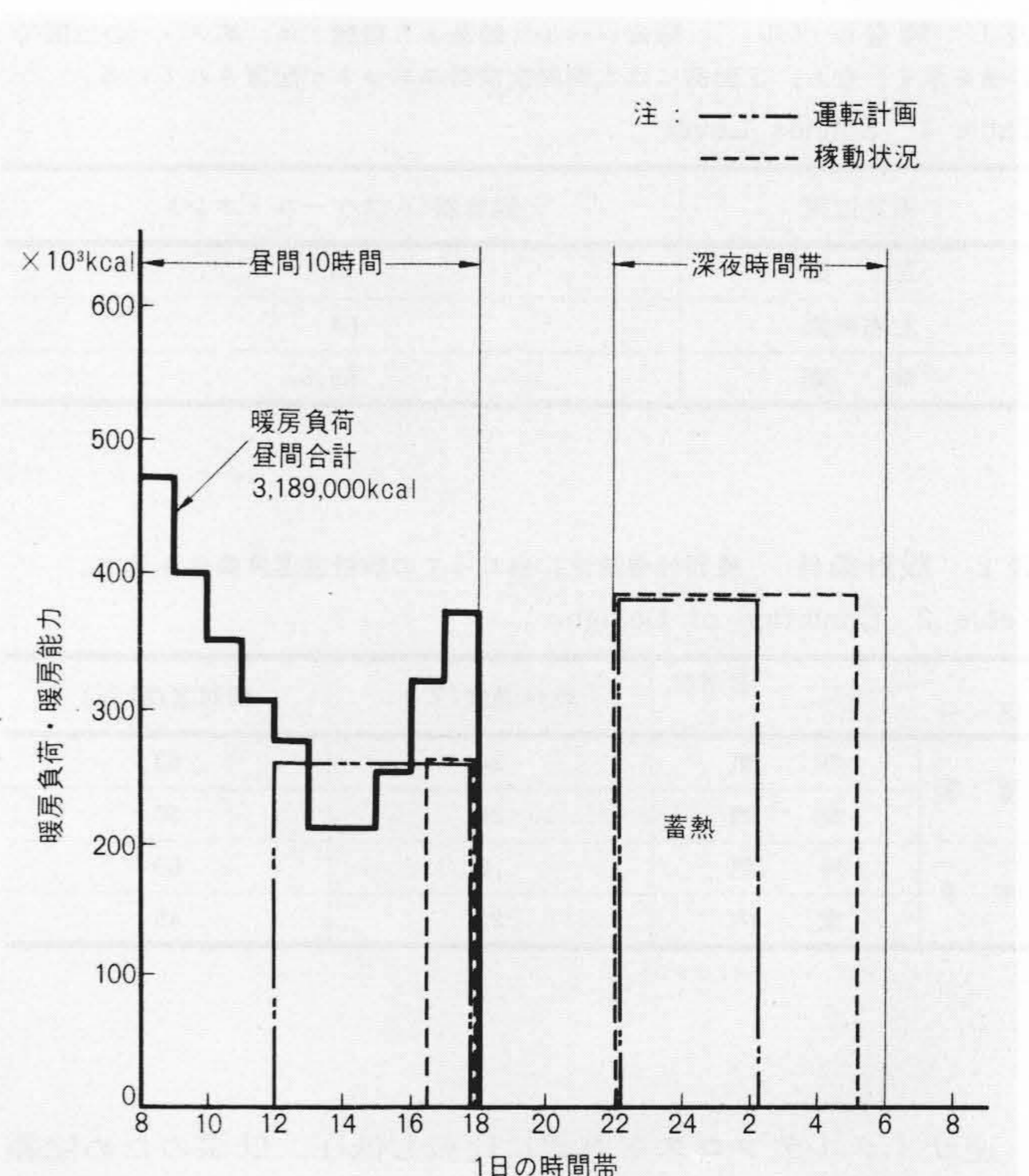
空冷ヒートポンプ式チラーユニットの運転制御は前述したように、タイマと蓄熱槽内の温度調節器の組合せにより



冷房能力	計 画	稼 動
昼間運転	(250,400+167,300) × 6.9 ≒ 2,885,000kcal	(250,400+167,300) × 2 ≒ 825,400kcal
蓄冷運転	(272,500+182,000) × 3.6 ≒ 1,625,000kcal	(272,500+182,000) × 8 ≒ 3,636,000kcal

図9 冷房運転計画及び稼動状況 深夜の蓄冷運転により、夏季昼間の電力ピークカットを行なえる。

Fig. 9 Design and Running Condition of Cooling



暖房能力	計 画	稼 動
昼間運転	261,000 × 6 ≒ 1,564,000kcal	261,000 × 1.5 ≒ 389,000kcal
蓄熱運転	(232,300+154,700) × 4.2 ≒ 1,625,000kcal	(232,300+154,700) × 7.2 ≒ 2,800,000kcal

図10 暖房運転計画及び稼動状況 昼間と深夜とで外気温度の差により空冷ヒートポンプ式チラーユニットの暖房能力が異なっている。昼間は90kW空冷ヒートポンプ式チラーユニット1台運転。

Fig. 10 Design and Running Condition of Heating

自動運転を行なっているが、運転実績の結果、エアハンドリングユニットの能力余裕及びランニングコストをできるだけ安くするため、夜間の外気温度が低いとき、空冷ヒートポンプ式チラーユニットの冷房能力が増加する特長を生かして、夜間の蓄熱運転時間を増やし、室内環境も湿度を若干高めにしたこと、更に蓄熱槽に検討を加えたことなどにより蓄熱槽の利用状況は利用温度差10deg、蓄熱槽有効利用率0.75となった。その結果、蓄冷容量は $3.75 \times 10^6 \text{kcal}$ となり、冷房運転時間は夜間8時間、昼間約2時間という結果を得た。この結果、蓄熱槽を利用して夜間に蓄熱運転を行ない昼間の運転時間帯をずらすことにより図9に示すように夏季における昼間の電力ピークカットを十分行なえることが判明した。

(b) 暖房運転

実機は逆サイクルデフロスト方式の空冷ヒートポンプ式チラーユニットであるが、暖房運転状況を自動記録計で測定した結果は図11に、除霜時の詳細データは図12に示すとおりである。図12で空冷ヒートポンプ式チラーユニットの運転前後において温水出口温度が急激に変化しているのは、水側熱交換器の入口、出口の温度差によるものである。

図11より深夜に長時間連続運転を行なっても温水温度は順調に上昇しており、また冷凍サイクルの吐出し圧力、吸入圧力、吐出しガス温度、吸入ガス温度ともいずれも安定しており、除霜運転が順調に行なわれていることを示している。一方、図12の除霜時の詳細なデータにおいては、前述のように水温降下が明らかであるが、蓄熱容量が大きい

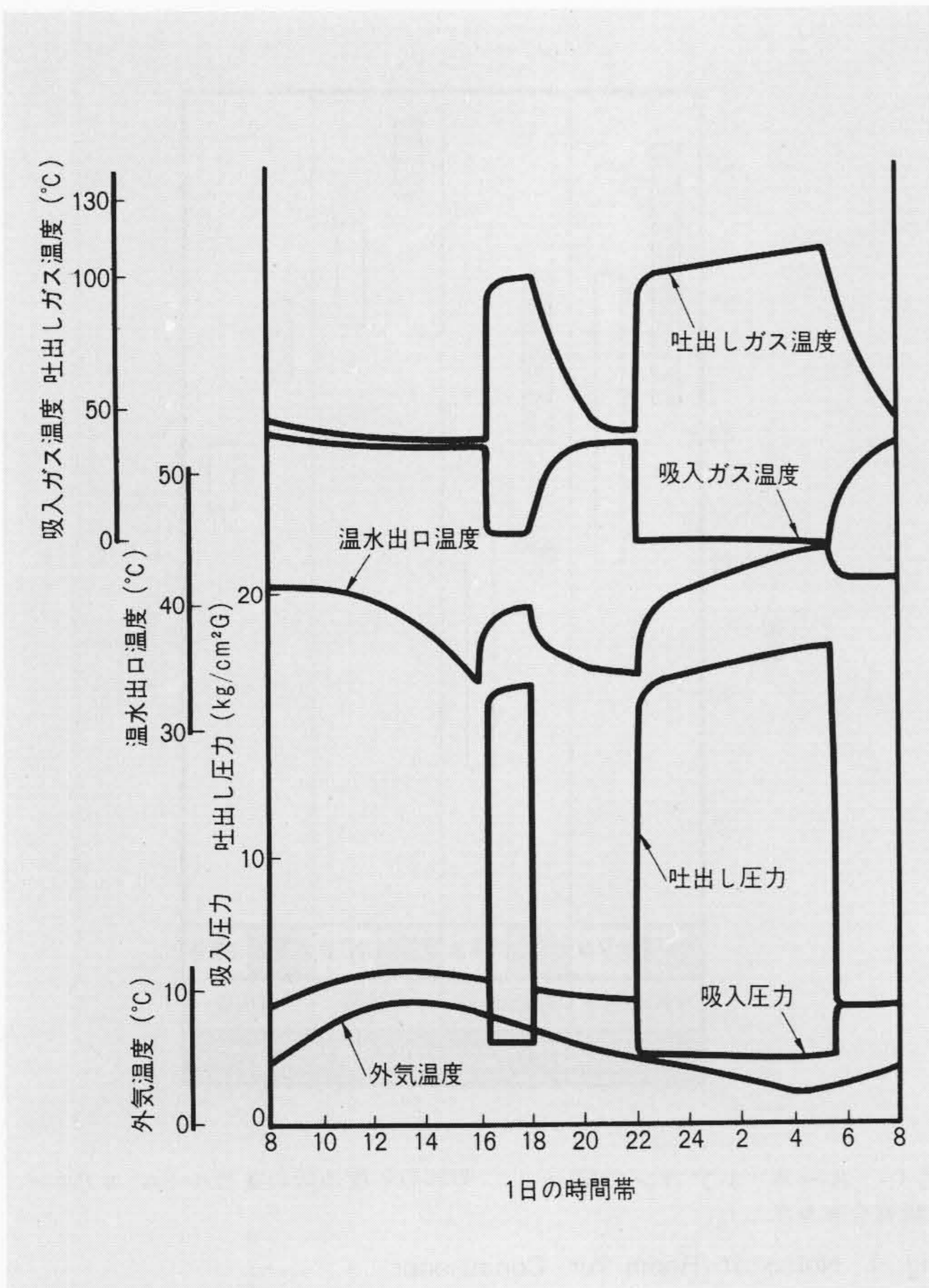


図11 暖房運転状態(実地運転) 空冷ヒートポンプ式チラーユニットの運転時間帯は、16:30~18:00及び22:00~8:00の間である。

Fig. 11 Running Condition of Heating (in Field)

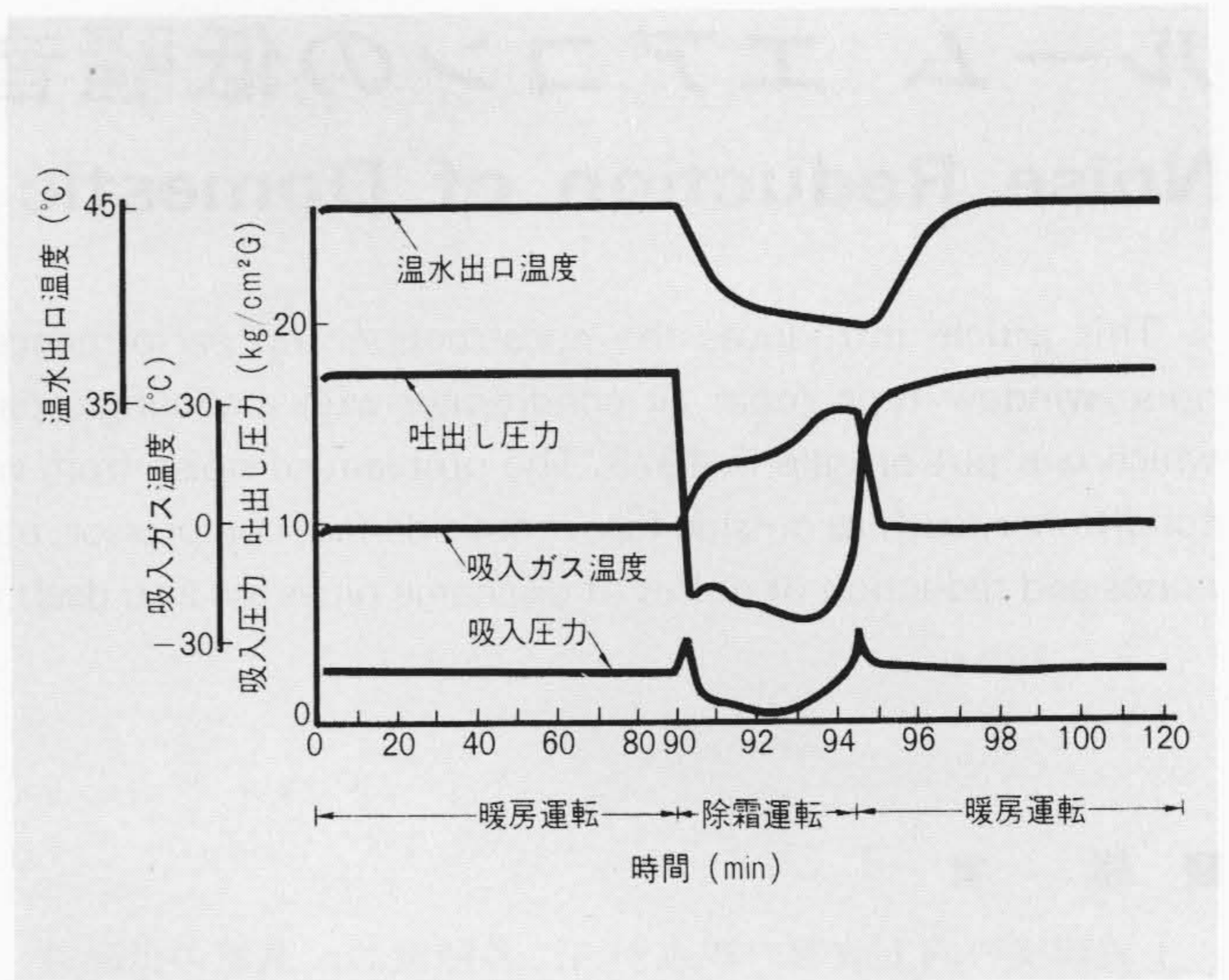


図12 逆サイクルデフロスト方式における運転状態(実地運転) 蓄熱運転により除霜後の温水温度の復帰は短時間である。

Fig. 12 Defrosting Characteristic of Reverse Cycle (in Field)

ので、除霜終了時点で即時に除霜前の水温に復帰している。すなわち、二次側においてほとんど水温降下はないといえる。

以上の暖房運転稼動状況は図10に示すとおりである。

暖房運転においては、冷房時に比べ蓄熱槽温水温度と外気温度との温度差が大きいため、蓄熱槽有効利用率は小さく、また利用温度も小さいが、蓄熱槽の蓄熱容量は $2.8 \times 10^6 \text{kcal}$ となり、暖房運転時間は深夜60kWと90kW 2台が7.2時間、昼間90kW 1台が1.5時間となる。

この結果、図10でも明らかなように、朝の立上り暖房負荷に対し蓄熱運転で十分対処でき、ユニットが小容量で済むことが実証された。

3 結 言

試験室における試験結果と実地運転結果を対比しながらのデフロスト方式の比較と、蓄冷熱運転の有効性を述べてきたが、以上を要約すると下記のとおりである。

- (1) 蓄熱槽を使用した蓄冷運転は、夏季昼間の電力ピークカットを十分行ない蓄熱槽の有効性が示された。
- (2) 蓄熱運転においても朝の立上りにおける暖房負荷ピークに十分対処でき、ユニットが小容量となる利点が示された。
- (3) 空冷ヒートポンプ式チラーユニットは、夜間外気温度が下がると暖房能力が低下するが、蓄熱運転により十分カバーすることができた。
- (4) 暖房運転連続時間は外気温度条件にもよるが、概略90分が最適であり、実地運転においても水温が順調に上昇し、冷凍サイクルの安定性も確認された。
- (5) ホットガスバイパスデフロスト方式は、逆サイクルデフロスト方式に比較し除霜時間は長いが、除霜の際冷凍サイクルのチェンジを行なわないので吸入圧力、吐出し圧力の急激な変化はなく、四方弁の作動もないため機器の寿命などにおいて有利である。
- (6) 逆サイクルデフロスト方式において、除霜時水温は降下するが、蓄熱運転においてはその影響はほとんど無視できる。

終わりに当たり、種々御指導いただいた中部電力株式会社並びに株式会社東海設計の稲垣主任設備技師に対し、深く謝意を表わす次第である。