

技術レポート 6

氷蓄熱システムについて

平成 5 年 12 月

社団法人 大阪ビルメンテナンス協会  
設備保全部会

## 巻頭のことば

大阪ビルメンテナンス協会設備保全部会は、現在、担当委員17名がチームを組んで幾つかの課題に取り組んでいる。それぞれが会社の仕事を持ちながらの身であるが、お互いに助け合って協会の事業のうち設備保全に関する業務を遂行している。

その中の一つとして、新技術開発チームが新しい技術の情報の収集、調査をしているが、このたび「氷蓄熱について」のレポートが完成したので、会員の皆さんにお届けする。今年7月に、見学研修チームがお世話して大阪市立科学館を訪問し、氷蓄熱システムの実際を体験したが、更に資料を集めてまとめたのがこのレポートである。

作成に当たっては、寺内委員がリーダーとなり、関西電力㈱市場開発部のご協力をいただいた。謝意を表するとともに、会員の皆さんのお仕事に少しでもお役に立てれば、喜びとする次第である。

平成5年12月

社団法人 大阪ビルメンテナンス協会

設備保全部会

# 目 次

1. はじめに

2. なぜ氷蓄熱システムが必要か

3. 蓄熱システムの概要と目的

  3-1. 蓄熱システムの概要

  3-2. 蓄熱システムの目的

4. 氷蓄熱システム

  4-1. 氷蓄熱システムの基本フロー

  4-2. 氷蓄熱システムの採用増の背景

  4-3. 氷蓄熱システムの特徴と水蓄熱システムとの比較

  4-4. 氷蓄熱システムの種類

  4-5. 氷蓄熱システムの運転方法

5. 蓄熱式ヒートポンプシステムの経済性

  5-1. 一般的傾向

  5-2. モデルビルによる経済性検討

  5-3. 蓄熱システムの省エネルギー効果

# 氷蓄熱システムについて

## 1.はじめに

最近の建築物は大型化・高層化とともに高度な室内環境を要求するようになった。また、建築技術の発達に伴って新しい空間を造ってきたため、設備費の総工費に占める割合も高くなってきた。そして、このビル設備のほとんどがエネルギーを消費しながらビルの環境を維持しており、その運転に電力や燃料、水などの膨大なエネルギーを消費している。我々はビル設備を運転・保守管理するに当たって、常に省エネルギー・低ランニングコストを目指して管理する必要がある。

そこで今回、大阪ビルメンテナンス協会設備保全部会では、平成5年度のテーマの1つとして、ビルの空調設備の熱源システムとして最近話題になっている氷蓄熱システムについてとりあげることにした。

## 2. なぜ蓄熱システムが必要か

- (1) 蓄熱システムは、低廉で安定した電力供給の効果的対策である。
- (2) 蓄熱システムは、効率の良いヒートポンプを組み合わせたシステムであり、海水・河川水などの未利用エネルギーを有効に活用できるため、省資源・省エネルギーが図れる。
- (3) 電力は、地球温暖化に影響を及ぼさない原子力・水力のウエイトが比較的高いため、蓄熱システムは地球温暖化、ヒートアイランド等地球環境問題に優れたシステムである。

## 3. 蓄熱システムの概要と目的

### 3-1. 蓄熱システムの概要

建物内の熱需要に対して、非蓄熱システムでは図A-(a)に示すように熱源装置から発生した熱を直接供給するが、蓄熱システムでは図A-(b)に示すように熱源装置からの熱を蓄熱装置に一時蓄えてから供給する。そのため、熱源装置からの熱の発生と熱の需要に時間的ずれを生じさせることができる。

図A-(a) 非蓄熱システム



図A-(b) 蓄熱システム



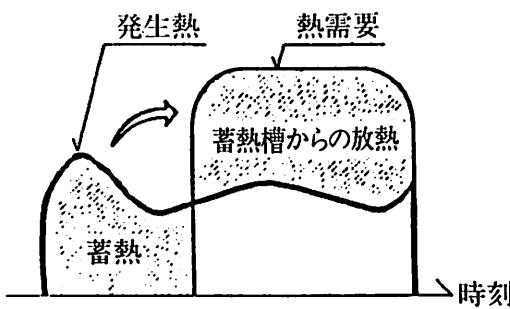
蓄熱システムの使い方には熱発生と熱需要の関係から見て、大きく2つの場合に分けられる。

熱源装置からの発生熱が熱需要には無関係に存在し、時間的にもずれている場合、蓄熱装置を設けることで有効に発生熱を利用することができる。

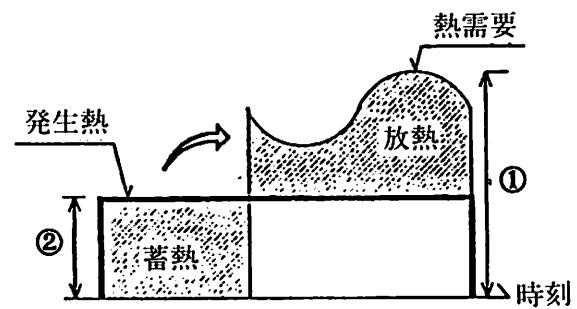
図B-(a) にみるように、蓄熱装置がなければ白部分の発生熱のみが利用できるが、蓄熱装置を設けることによりそれ以外の発生熱も利用できる。電算機、変圧器の排熱回収や太陽熱の集熱などがこれに相当する。

他方、蓄熱装置を設けて意図的に熱源装置からの発熱発生と熱需要とを時間的にずらしてしまう使い方がある。蓄熱式ヒートポンプシステムの多くの場合がこれに相当する。図B-(b) にみるように、蓄熱装置がなければ熱需要に対応する熱源装置の容量は①の大きさが必要であるが、蓄熱装置があれば②の大きさでよいことになり、熱源装置の小容量化、深夜電力利用によりランニングコストの低減などのメリットが生まれる。

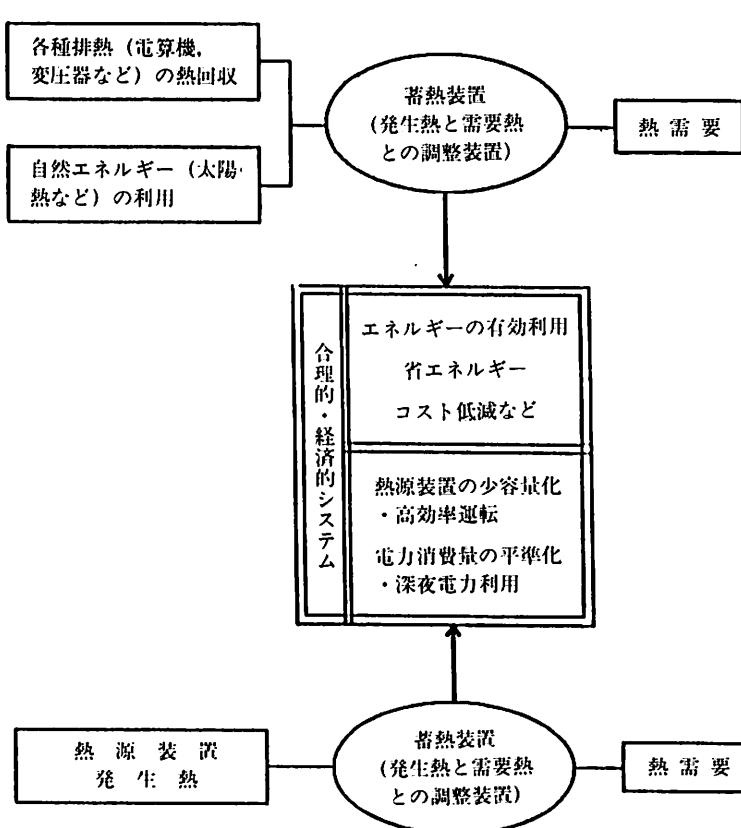
このように、蓄熱システムは蓄熱装置が発生熱と需要熱との調整装置となるため、図Cに示すように熱発生と熱需要が時間的にずれている場合、あるいは意図的にずらすことによりエネルギーを有效地に利用でき、しかもコストの低減が可能になり、合理的で経済的なシステムを作ることができる。



図B-(a) 発生熱と熱需要とが  
時間的にずれている場合



図B-(b) 発生熱と熱需要とを  
意図的にずらす場合



図C 蓄熱システムの意義

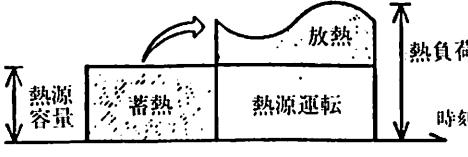
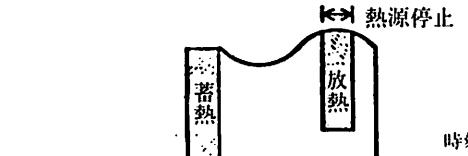
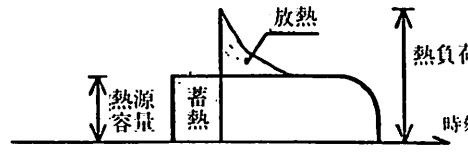
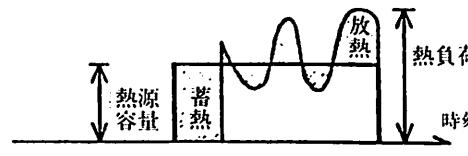
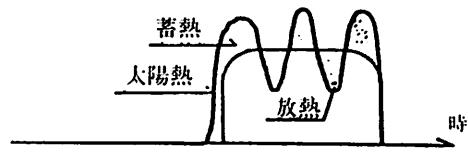
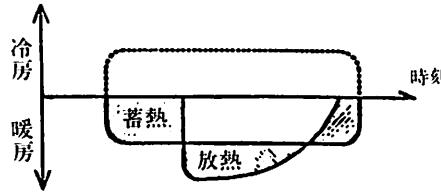
### 3-2. 蓄熱システムの目的

蓄熱システムにはいろいろなものがあり、太陽熱の集熱槽や給湯における貯湯槽も蓄熱装置であり、蓄熱システムである。

夜間に熱需要がある建物において夜間の無人化を図るため、昼間にのみ熱源を運転して蓄熱槽に蓄熱し、夜間に蓄熱槽からの放熱のみを行うシステムもある。

蓄熱システムを目的に応じて分けてみると表Aのようになり、多くの目的があることが分かる。

表A 蓄熱の目的に応じた分類

目的	蓄熱・放熱の方法	備考
熱源容量の低減 電力負荷の平準化		熱源を空調時間より長く運転することにより、熱源容量の低減、電力負荷の平準化となる。熱源を24時間運転するとき最小となる。
電力のピークカット		電力負荷のピーク時（例えば13時から16時）に熱源を全部あるいは一部停止し、電力のピークカットをする。
負荷立ち上り用		特に暖房時のウォーミングアップ用として効果がある。
負荷変動が激しい場合の対応		給湯における貯湯システムがこれに相当する。
自然エネルギー（太陽熱）の利用 (供給側の変動がある場合)		太陽熱集熱システムがこれに相当し、エネルギー供給側の変動がある場合で、上段の貯湯システムとは逆の使い方である。
排熱回収		冷房負荷と暖房負荷の発生パターンが異なっても蓄熱することにより、多くの排熱が回収できる。 (電算機、変圧器など)
時間外対応		昼間に熱源を運転し、時間外・夜間分を蓄熱しておくことで、時間外は熱源運転が不要で、ポンプのみの運転ですむ。
熱源故障時対応		熱源の短時間の故障時に対応できる。 電算センターでは、この目的のために蓄熱システムが採用される。

## 4. 氷蓄熱システム

蓄熱システムの種類には何に蓄熱するかにより

水蓄熱システム

氷蓄熱システム

潜 热システム

などがあるが、氷蓄熱システムは冷熱を氷にして蓄熱するシステムである。（0℃の水が氷になるときの潜熱80 kcal/kgを利用）

氷蓄熱システムの原理は非常に単純で、水を氷点下まで冷却し、主にその潜熱の形態で蓄熱するシステムである。すなわち、冷熱を氷にして蓄熱し、0℃の水が氷になるときの潜熱80 kcal/kgを利用するので、単位体積当たりの蓄熱量は水よりも1桁大きいという特徴を持っている。

### 4-1. 氷蓄熱システムの基本フロー

氷蓄熱システムは最近多くのシステムが開発・実用化されており、採用例が急増している。

水蓄熱槽が建物の基礎梁二重スラブ内に設置されるものが多いのに対し、氷蓄熱槽はFRP製等で床上設置されるものが多い。

氷蓄熱システムの基本的フローを図D-(a)に示しているが、負荷側から見れば熱源と氷蓄熱槽およびその自動制御装置から構成されるもの、いわば氷蓄熱装置から負荷側の要求に応じて冷熱が供給されるシステムである。

氷蓄熱システムには数多くのものがあるが、熱源・氷蓄熱装置・自動制御装置からなる蓄熱装置と考えると、基本的フロー図D-(b)となり氷蓄熱システムと基本的に同じである。

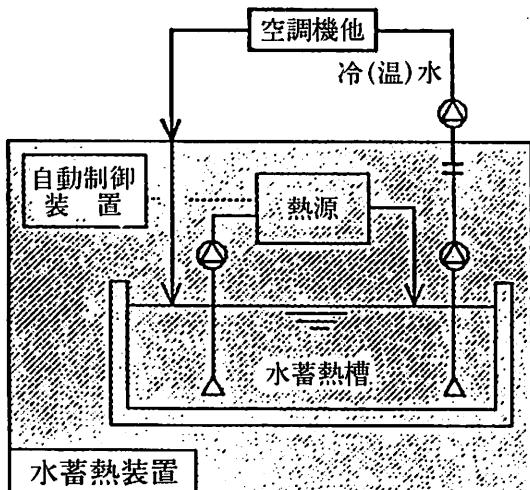
基本的フローは同じであるが、氷蓄熱システムにおいては熱源・氷蓄熱装置・自動制御装置が一つに製品化されていることはなく、別々

の製品あるいは施工品であり、建築設備の設計・施工でこれらを組み合わせて全体のシステムを作ることになる。

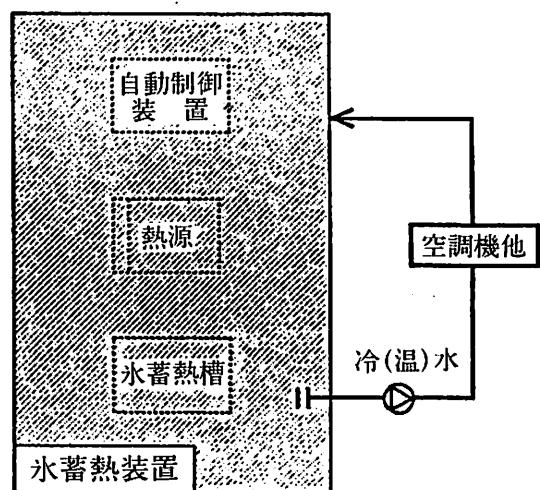
ところが氷蓄熱システムでは開発実用化している企業の考え方には差があり、氷蓄熱槽のみを製品化しているもの、氷蓄熱槽と熱源を合わせたものを製品化しているもの、自動制御装置まで含めたものを製品化しているものがあり、その製品化レベルにはらつきがある。

これが氷蓄熱システムが理解しづらい理由の一つであり、早急な規格の整備が望まれる。

図 D 蓄熱システムの基本的フロー



図D-(a) 水蓄熱システム



図D-(b) 水蓄熱システム

このように、現状では氷蓄熱システムの製品化レベルの統一性がとれておらず、使う側にとっては氷蓄熱槽・熱源・自動制御装置の性能・仕様等をすべて選定しなければならない。将来、氷蓄熱装置として製品化され、いわばブラックボックス化されても、その特性についての理解は必要である。

氷蓄熱装置の特徴は後述するが、図Dに示すように氷蓄熱システムと基本的フローは同じでもかなり特性に異なるところがある。

それらは主に次のようなものである。

- (1) 蓄熱槽がコンパクトで、設置位置がかなり自由であること。
- (2) 製氷時の能力が冷水発生時の能力より小さいこと。
- (3) 温水蓄熱量が小さいこと。
- (4) 夜間移行重視型であること。(負荷の予測制御が必要であること。)

#### 4-2. 氷蓄熱システムの採用増の背景

ここ最近、氷蓄熱システムが大きい注目を浴び、技術開発も盛んでき種々のタイプの氷蓄熱システムが実用化されてきている。それに伴い採用例も年々増えている。10年前には蓄熱式ヒートポンプシステムといえば、氷蓄熱システムとほとんど同意語であったが、今では「水」か「氷」かを区別しなければならない。

氷蓄熱システムの採用が急増している要因は主に、

- (1) 電力供給事情
- (2) 氷蓄熱システムの限界
- (3) OA機器の普及による冷房負荷増
- (4) 氷蓄熱システムは新技術であり、製品化が可能

ということが挙げられる。

#### (1) 電力供給事情と蓄熱調整契約

電力供給事情から、電力負荷の平準化が電力会社のみならず社会的にも急務の課題となっている。蓄熱による夜間電力の割引は以前からあったが、昭和63年に改訂された蓄熱調整契約により、夏期の昼夜間の電力負荷の平準化を目指して夜間の蓄熱用電力量料金が昼間の電力量料金の約1／3と大幅な割引が実施された。これにより、水蓄熱システムの導入が促進されることになった。

#### (2) 水蓄熱システムの限界

水蓄熱システムと氷蓄熱システムの比較は次項で述べるが、水蓄熱システムには長所がある反面短所もある。氷蓄熱システムは水蓄熱システムの長所をのばし、欠点が解消されている。特に、水蓄熱システムにおける蓄熱槽が基礎梁二重スラブ内となり、ポンプ動力が大きく熱損失も多大で、水質管理が必要となるなどの欠点が解消される。

#### (3) OA機器の普及による冷房負荷の増加

氷蓄熱システムは、冷熱の蓄熱量は大きいが温熱の蓄熱量は小さいという特性をもっている。そこで、ヒートポンプシステムでは通常冷房負荷により熱源容量が決まるが、氷蓄熱システムでは暖房負荷にも注意しなければならない。ところが、高度情報化に伴うOA機器の普及により建物内の冷房負荷が増加し、冷暖房負荷のバランスが変化し、氷蓄熱システムでも、冷房負荷から決まる熱源容量で暖房能力不足にはならないようになってきている。

#### (4) 氷蓄熱システムは新技術であり、製品化が可能

氷蓄熱システムは、ゼネコン・サブコン・メーカーがこぞって種々のタイプを開発実用化している。新しい技術による市場開発性があり、開

発意欲をそそる魅力を持っていることが理由として考えられる。また、水蓄熱システムが、ほとんどの場合コンクリート軸体を利用する蓄熱槽となっており、建設現場での施工労力が大きく、現場での調整にも手間が掛かるのに比べ、氷蓄熱システムでは、蓄熱槽が工場生産品で製品化でき、現場の施工、調整の労力が省け、製品として販売できるというメーカー・ゼネコン・サブコンからみたメリットを持っている。

#### 4-3. 氷蓄熱システムの特徴と水蓄熱システムとの比較

表B、表Cに水蓄熱システムと氷蓄熱システムの比較をしている。水蓄熱システムと氷蓄熱システムを同条件で比較するのは難しいが、表Bでは基本諸元の比較を、表Cでは両システムの代表的な例での比較を行っている。

一般的な表現では、氷蓄熱システムは水蓄熱システムの長所を伸ばし、欠点を補うシステムであるといえ、蓄熱密度が大きいため蓄熱槽が小さくなるので、水蓄熱システムに比較して、

- 夜間移行率が大きくなり、熱源容量、電力基本料金の低減ができ、蓄熱調整契約を最大限利用できる。
- 設置スペースが比較的自由で建物内のどこにでも設置でき、配管系をクローズ回路化できポンプ動力が増加せず、水処理も不要である。という長所がある。

反面、氷蓄熱システム特有の欠点もあり、

- 氷蓄熱槽のコストが高い
- 製氷時のCOPが低い
- 温熱の蓄熱が少ない

などがある。

表B 水蓄熱システムと氷蓄熱システムの比較(1) - 基本諸元 -

	水蓄熱システム	氷蓄熱システム	備 考
蓄熱密度	$\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ で 蓄熱すると 5 M cal / $\text{m}^3$	重量 IPF=40%で 32Mcal / $\text{m}^3$ (蓄熱のみ)	蓄熱量を同じとする と氷は水の1/5~1/10 蓄熱槽容量となる
熱損失	大	小	氷蓄熱は温度は低い が蓄熱量当たりの表 面積がかなり小さい
冷凍機 効率	冷水取出時 COP=3~4	製氷時 COP=2.5~3.0	ただし、氷蓄熱シス テムでも昼間の冷水 発生時は水蓄熱シス テムと同じ

I P F : 氷蓄熱槽内の水量に対する氷の割合

表C 水蓄熱システムと氷蓄熱システムの比較(2)

両方式の代表的な例で比較

- ・水蓄熱システム … 建物基礎梁二重スラブ内に日最大負荷日の数時間分を蓄熱
- ・氷蓄熱システム … 夜間10時間の蓄熱運転を行い、氷蓄熱槽はFRP製等で床上設置

	水 蓄 热 シ ス テ ム	氷 蓄 热 シ ス テ ム
日最大負荷日の運転状況		
熱源(冷凍機)容量 電力基本料金	大	小
	日最大負荷 蓄熱運転時間+昼間10時間	日最大負荷 製氷能力×10+冷水発生能力
	(注) 昼間運転10時間とした空気熱源の場合、昼間と夜間の外気温度が違うが、同じとした。	
熱源(冷凍機)効率		製氷時は冷水発生時の0.7～0.8となる
エネルギー消費量 (熱源)		多 製氷時COPが低下するため電力消費量は多くなる
夜間移行率 電力料金	低 多	高 少 夜間移行率が高いので電力消費量料金も少なくなる
ポンプ動力	大	小
負荷側	・配管系がオープン回路となるので大きい ・熱交換器を設置する例もあるが、冷凍機の取出し温度が低下しCOPが低下する	・氷蓄熱槽を最小階に設置すると、配管系はクローズ回路 ・最下階に設置した場合でも、氷が低温で熱交換器が容易に設けられクローズ回路にすることができる
	同 上	システムにより異なるが、スタティックの場合はクローズ回路
放熱能力	制約はほとんどない	融水能力に上限がある
熱源運転効率	常時全負荷高効率運転	スタティックでは負荷追従運転となる
水処理	必 要	ほとんど不要
蓄熱槽のコスト	断熱防水費用	冷凍機の2倍程度
そ の 他		温水蓄熱量が小さい(1～2時間分)ので暖房能力の検討が必要
	時間外・深夜負荷への対応容易	夜間製氷時の負荷対応に課題
		低温利用する二次側空調システムの可能性あり

## 4-4. 氷蓄熱システムの種類

製氷方式により

◎スタティック型 (静的製氷型)

1, 外表面着氷型 [図E-(a) 参照]

2, 内表面着氷型 [図E-(b) 参照]

◎ダイナミック型 (動的製氷型)

1, ハーベスト型 [図F-(a) 参照]

2, リキッドアイス型 [図F-(b) 参照]

3, 過冷却アイス型 [図F-(c) 参照]

4, 直接熱交換器型 [図F-(d) 参照]

5, 機械かき取り型 [図F-(e) 参照]

冷媒循環方式により

◎直膨式 [図G-(a) 参照]

◎ブライン式 [図G-(b) 参照]

• スタティック型

製氷した氷を移動させない。つまり製氷部と貯水部が同じで氷は動かないタイプで、通常製氷時間が経過するとともに成績係数(COP)が低下する。

• ダイナミック型

製氷した氷を移動させる。つまり製氷部と貯水部が異なり、作った氷を移動させるタイプで、製氷COPの時間的低下はないが、氷を移動させるための動力が必要となる。

• 外表面着氷型

スタティック型ではコイル面に着氷させるが、冷媒をコイル内面に通し、コイル外面に着氷させる方法。最も一般的な方式で、氷充填率

(IPF) は 50% 程度。氷塊現象（アイスブリッジ）防止策が設計上のポイントである。

- 内表面着氷型

外表面着氷型とは逆にコイル内面に着氷させる方法。二次側が密閉回路となるため、ポンプ動力を低減できる。管内着氷のため閉塞の可能性があり、蓄熱量の検出も難しい。

- ハーベスト型

冷媒の液、ガスの切り替えにより、製氷用熱交換器表面より氷をはく離させる。

- リキッドアイス型

蓄熱槽から特殊水溶液を蒸発器を持つ冷凍機に送り込み、ここで直径約 50 ~ 150 ミクロンの微細な氷を生成し、溶液と混合された状態で蓄熱槽へ送り込む。微細な氷の結晶は蓄熱槽内で溶液との比重の差により上方へ浮かび上がって蓄えられている。負荷側は蓄熱槽下部から氷と分離した溶液を取り出し、空調機へ直接送るか、溶液 — 水熱交換器または溶液 — 冷媒熱交換器を介して冷水や冷媒との熱交換を行うものである。

- 過冷却アイス型

過冷却水の状態まで冷却し、熱交換器を出たところで衝撃を与え製氷する方式。熱交換器内での凍結を避けるために、温度と水質の管理・防振対策がポイントとなる。

- 直接熱交換器型

冷媒との直接接触にて製氷させるため熱効率は高い。冷媒と溶液との分離、冷媒と溶液との化学的安定性も技術的課題。

・機械かき取り型

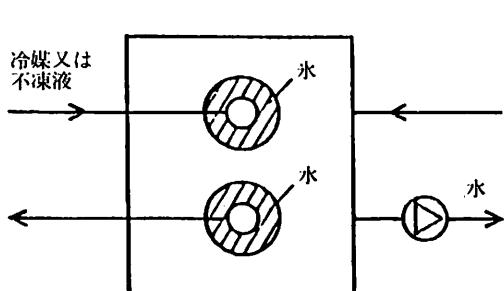
熱交換器表面で作られた氷をカッターにてかき取る方式。蓄熱槽を気相とするため水の保有率が高く、安定した低温度冷却水が得られるが、高さ方向にスペースが必要なのが欠点。

・直膨式

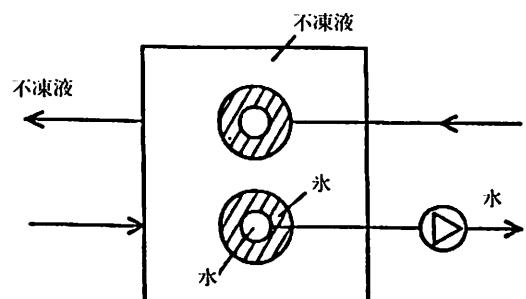
製氷部を冷凍サイクルの蒸発器とし、フロン冷媒で直接氷を作る方式。氷蓄熱槽内に冷媒コイルがあり、冷凍機と氷蓄熱槽との間の冷媒配管が現場施工となる。

・ブライン式

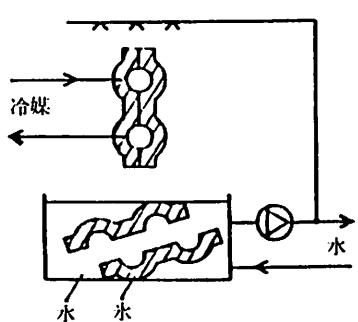
冷凍機でブラインを冷却し、それを製氷部に送り氷を作る方式。熱交換器を設けているので直膨式に比べ蒸発温度が低くなり、COPが低下し、ブラインポンプ動力も必要になるという欠点を持っているが、現場での施工はブライン配管となるため施工が容易である。



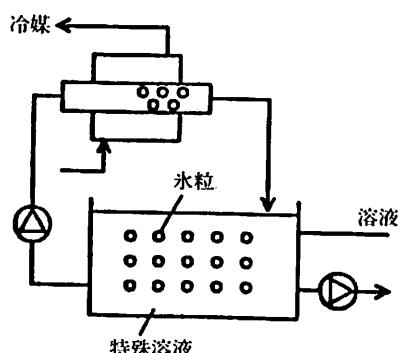
図E-(a) 外表面着氷タイプ



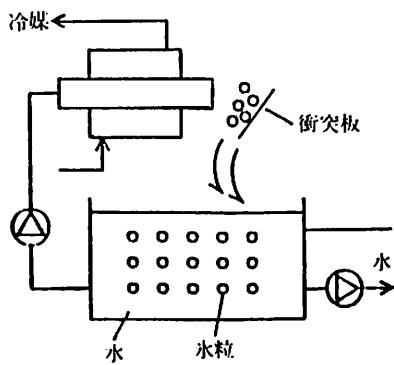
図E-(b) 内表面着氷タイプ



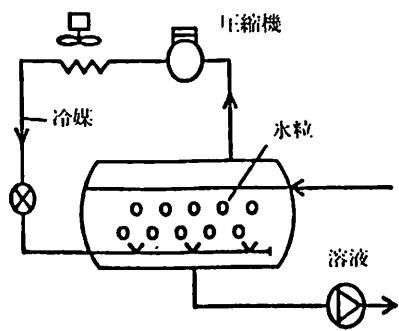
図F-(a) ハーベストタイプ



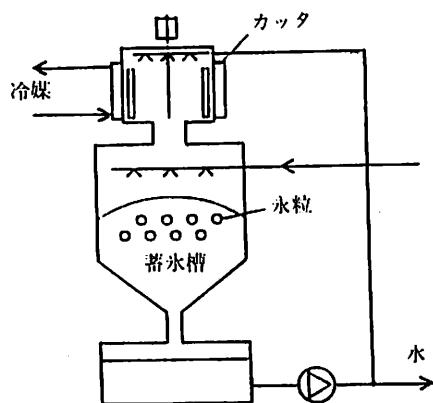
図F-(b) リキッドアイス方式



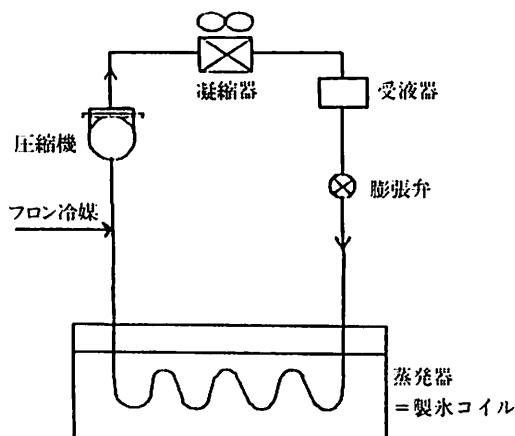
図F-(c) 過冷却アイス方式



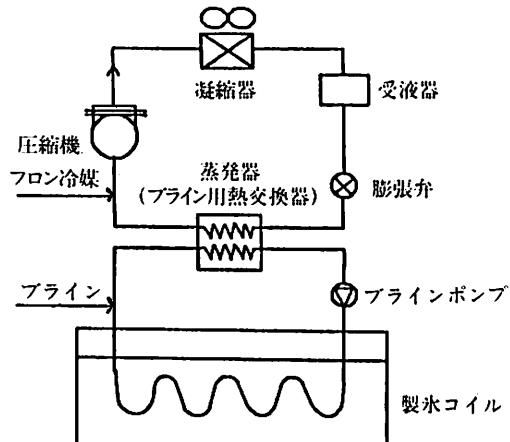
図F-(d) 直接熱交換器方式



図F-(e) 機械かき取り方式  
(気相蓄熱方式)



図G-(a) 直膨式



図G-(b) ブライン式

#### 4-5. 氷蓄熱システムの運転方法

氷蓄熱システムの運転は、夜間移行重視型とされる。そのため負荷の予測制御が必要となる。数多くのシステムの中には、この自動制御装置を含めたものを小容量であるが製品化しているものがあり、使い易いものになっている。

夜間移行重視型では、負荷の予測制御を行い、昼間に蓄熱を使い切ること、すなわち、氷をすべて融かすことが必要となる。氷蓄熱システムでは昼間の冷凍機COPを高くするため冷水発生運転をさせることが多く、融氷と冷水発生の比率を時々刻々制御しなければならない。氷が融ける時間、すなわち、融氷能力に限界がある場合がある。図H-(a)に示すように融氷能力に限界がなければ、熱源を午前中に全負荷高効率運転し、午後は融氷のみで処理することができるが、融氷能力に限界がある場合には、図H-(b)に示すように、熱源を残蓄熱量および負荷に応じて部分負荷運転しなければならない。氷蓄熱システムには放熱能力に限界はないので、図H-(a)のようになり、このことも水と氷の異なるところである。

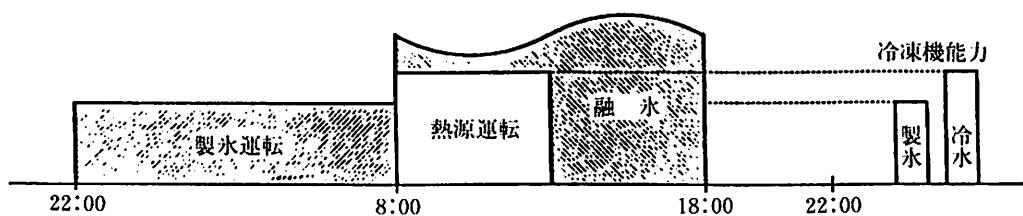
いずれにしても氷蓄熱システムを運転するには、蓄熱量の把握が1つのポイントになる。氷蓄熱システムでは、蓄熱槽内の温度により、ある程度の蓄熱量が把握できるが、氷蓄熱システムでは温度では把握できない。システムによりいろいろな方法が考えられているが、氷と水の比重差から氷ができると水位が上昇するのでその水位を検出する方法、コイル表面の氷の厚みを検出する方法などがある。

夜間移行重視型の運転は少し難しいが、氷蓄熱システムの中には、ピークカット重視型の運転ができないものもあるので注意を要する。例えばスタティックアイス型でコイル外面製氷、外面融氷のタイプでは、氷が完全に融ける前に製氷を始めると隣接するコイルに氷がくっつくというブリッジング現象が起き、融氷が不完全となるトラブルを

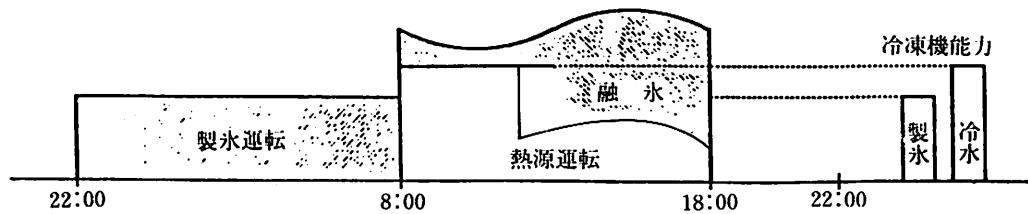
起こすことがあるためである。

以上のように、氷蓄熱システムの運転は水蓄熱システムに比べ少し難しくなる。また、システムにより異なるので、システムごとの特性から最適な方法を選択しなければならない。

図H 氷蓄熱システムの部分負荷時の運転方法



図H-(a) 融氷能力に限界がない場合



図H-(b) 融氷能力に限界がある場合

## 5. 蓄熱式ヒートポンプシステムの経済性

### 5-1. 一般的傾向

空調用熱源システムの選定には、さまざまな要因が考えられるが、その中でも経済性が最も重要であろう。蓄熱式ヒートポンプシステムが非蓄熱式ヒートポンプシステムあるいは他の熱源システムと比較して経済性で有利になるかどうかは、ケースバイケースであり、いつも有利とはいえない。一般論で有利不利を論ずることはできないが、ある程度の傾向は分かっている。蓄熱システムを非蓄熱システムと比較すると、イニシャルコスト面で、

- 热源コストの低減（設置スペースも低減）
- 受変電設備コストの低減
- 蓄熱槽コストの増加（設置スペースの増加）
- 自動制御コストの増加

があり、通常イニシャルコストは増加する。ランニングコスト面では、

- 電力基本料金の低減
- 電力量（従量）料金の蓄熱調整契約による低減

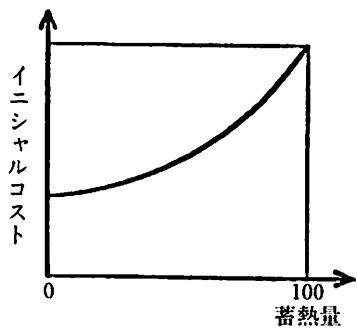
があり、ランニングコストは低減する。

これを模式的に表現すると、図1のようになる。日最大負荷に対する蓄熱量を横軸に、イニシャルコスト、電力基本料金、電力量料金とそれらを合わせた年間経常費を縦軸に示している。横軸の蓄熱量0が非蓄熱システムに相当する。

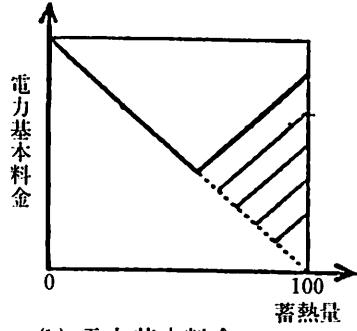
イニシャルコストは、蓄熱量が増えるにつれ大きくなる。電力基本料金は、蓄熱量が0から増えるにしたがい比例的に減少するが、約50%（水と氷で異なる）のポイントから逆に増加する。ただし、夜間の他の電力需要により異なってくる。電力量料金は蓄熱量が増えるにつれて減っていき、100%で約1/3となる。ただし、これは夜間移行重視型であり、ピークカット重視型では図の破線となる。

これらを合わせた年間経常費は図1(d)のようになる。蓄熱量が0で最も小さいケース、蓄熱量が数10%で最も小さくなるケース等、使い方(熱負荷パターン)、建物の用途によりさまざまであり、建物ごとに最小となるポイントが違ってくる。

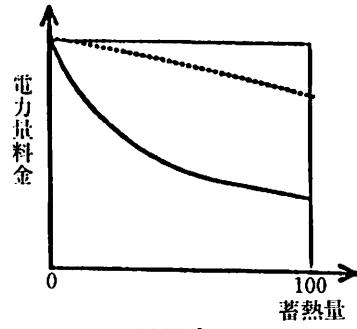
図 I 蓄熱式ヒートポンプシステムの経済性



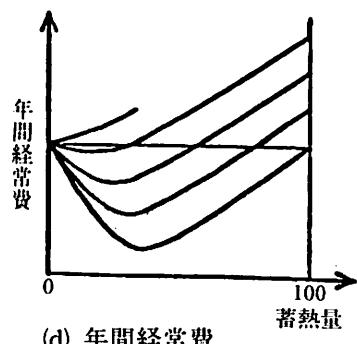
(a) イニシャルコスト



(b) 電力基本料金



(c) 電力量料金



(d) 年間経常費

## 5-2. モデルビルによる経済性検討

蓄熱システムの経済性は、建物の負荷パターンに強く左右される。これは、蓄熱規模・熱源容量がピークの日の負荷で決定されるためである。実態に沿った検討を行うために実際の建物の実測を行い、熱負荷および電力負荷を調査した10物件につき、システムシミュレーションによって最経済ケースを検討したのが表Dである。蓄熱規模に関しては、水蓄熱ではおおむねピーク日の負荷の50%を蓄熱する規模の経済性が良く、氷蓄熱ではこれより小さいところに最適点がある。

図Jは、年間経常費の比較を示す。年間経常費では、6件の物件で非蓄熱システムより経常費が小さいが、4件の物件では逆に高くなっている。空調時間の長いホテルや病院は経常費が低減せず、空調時間が短い事務所に効果が出ている。美術館は暖房負荷が大きいために氷蓄熱では熱源容量を低減できず、経常費が増加している。

蓄熱規模と熱源容量は相互に関係があり、経済性の良い蓄熱システムには、熱源規模と蓄熱規模の組み合わせが適切であることが必要となる。一般に最適な組み合わせは、熱源を最小とするケースである。最経済ケースにおいて、熱源容量比と経常費削減率の相関性を図Kに示す。

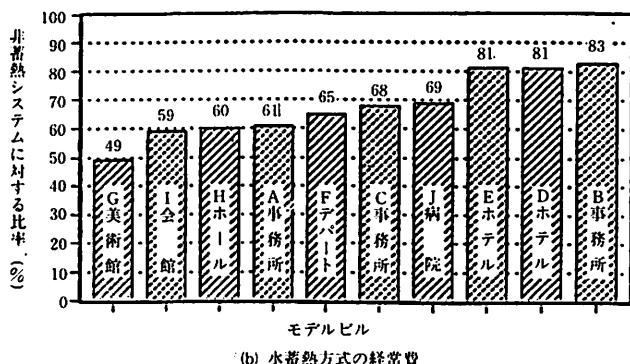
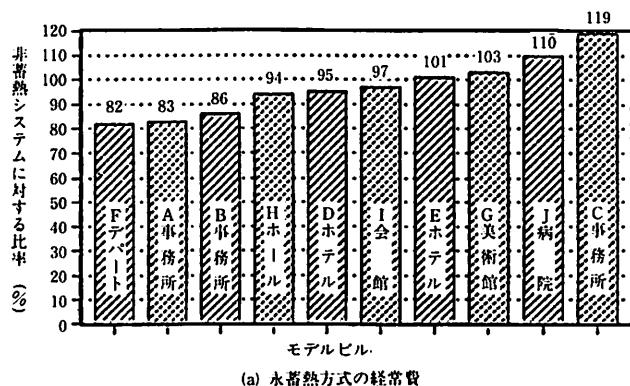
実際の設計では、初期投資の増加を嫌い、最経済ケースより小さな規模で部分的に氷蓄熱を採用する場合が多い。

表D 最経済ケース

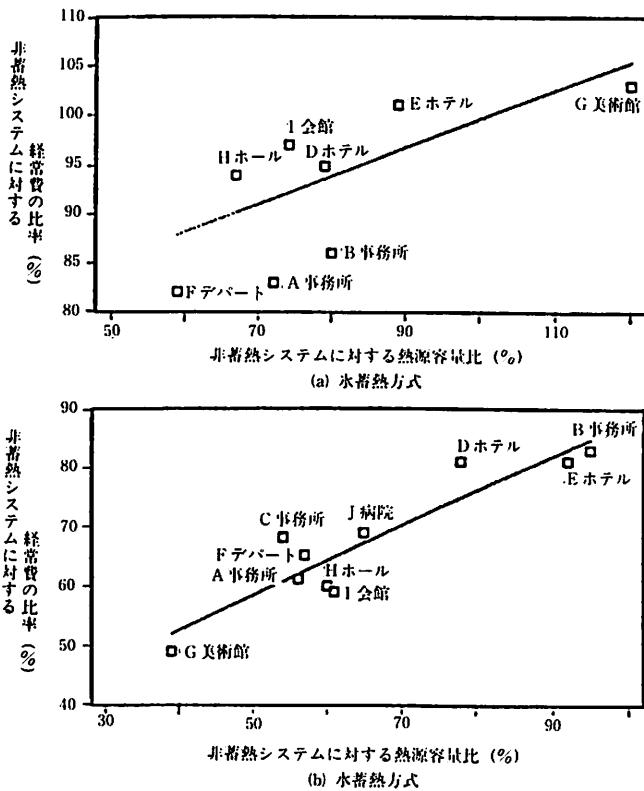
モデルビル	A事務所	B事務所	C事務所	Dホテル	Eホテル	Fデパート	G美術館	Hホール	I会館	J病院
1) 水蓄熱システム										
蓄熱槽容量 [%]	25	25	75	25	14	37.5	37.5	37.5	50	25
熱源容量 [%]	72	80	108	79	89	59	120	67	74	159
2) 水蓄熱システム										
蓄熱槽容量 [%]	50	50	50	25	25	50	50	50	50	50
熱源容量 [%]	56	95	54	78	92	57	39	60	61	65

注. 水蓄熱システムの熱源容量が100%を超えるものは、暖房負荷が冷房負荷より大きいか、もしくは同程度の建物である。

図J 蓄熱システムの建物相互比較（最経済ケース）



図K 热源容量比と経常費削減比率の関係



### 5-3. 蓄熱システムの省エネルギー効果

蓄熱空調システムは、需要者側にとっては安価な深夜電力の利用および契約電力の低減、電力供給者側にとっては電力負荷の平準化というメリットがある一方、蓄熱槽からの熱損失、最適運転制御の難しさ、機器COPの低下（氷蓄熱）、搬送動力の増加（水蓄熱）等々のデメリットもある。

一般に空調システムの省エネルギーは、エネルギー消費量で判断されるので、蓄熱式のような電力型空調システムは年間電力消費量で評価される。また、最近のように夏場のピーク電力不足においては、ピーク電力の軽減も、都市エネルギーの有効利用という見地で省エネルギーの内に含む必要があると考えられる。

図Lは、前項における10物件の最経済ケースで、水・氷蓄熱の比

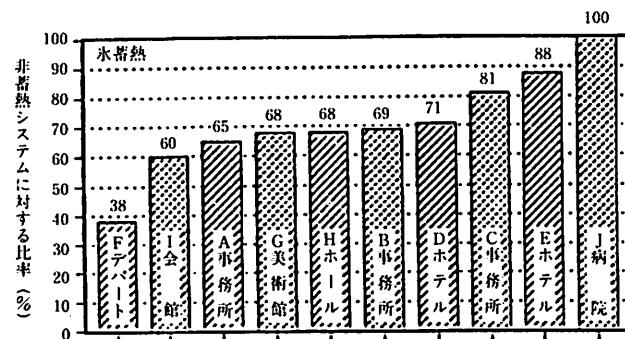
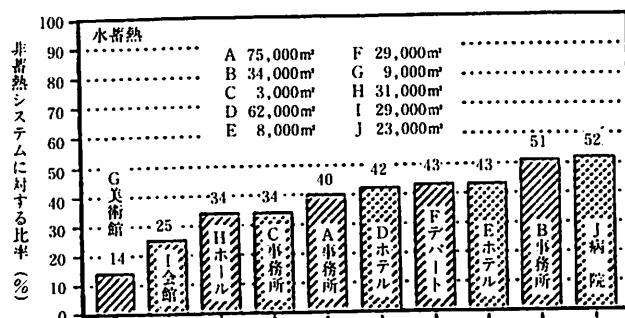
ーク電力を比較したものである。水蓄熱の場合、非蓄熱システムの約4割程度に低減される建物が多く、特に熱源容量が非蓄熱システムより大きく減少できる美術館・会館にその効果が大きい。氷蓄熱の場合、非蓄熱システムの約7割前後に低減しているものが多いが、デパートは特に低く、C事務所、Eホテルは高めでJ病院は全く減少していない。

図Mは、年間電力消費量の比較である。水蓄熱の場合、100%を中心に上下に分布し、建物により省エネになるもの、ならないものに分かれる。C事務所、Eホテルは小規模の建物で、非蓄熱システムは熱源台数が少なく部分負荷運転が多いのに対し、蓄熱システムでは熱源が定格運転されるため省エネルギーとなっている。非蓄熱システムを上回る建物は、蓄熱槽の熱損失によるものであり、特にHホールのように空調日が少ない建物では、電力消費量がかなり増えている。氷蓄熱の場合、製氷時のCOPの低下により非蓄熱システムより増加するケースがほとんどである。例外的にB事務所では1%の省エネルギーとなつたが、部分負荷運転が改善されたものである。

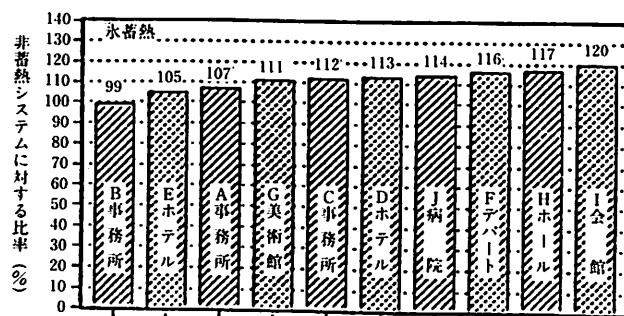
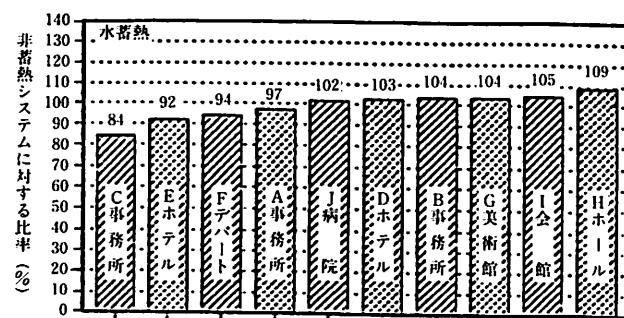
図L、図Mより、蓄熱の省エネルギー効果は、ピーク電力の軽減という広義の意味では効果があるが、年間電力消費量の狭義の省エネルギー効果は、ほとんどないことが分かる。

蓄熱システムが省エネルギー・システムといわれるためには、熱回収、高効率等の工夫を行い、年間消費エネルギーを減じることが必要であるが、一方、都市エネルギーの有効利用として、ピーク電力の軽減が都市でエネルギーを利用するものにとって責務であり、都市における省エネルギーに有効であるという考え方を普及させる必要がある。

図L 水・氷蓄熱のピーク電力



図M 水・氷蓄熱の年間電力消費量



本書は関西電力㈱市場開発部（平成5年2月）発刊の蓄熱空調システムテキストから抜粋引用し、下記の設備保全部会委員によって作成されました。

担当理事（部会長）	平木 弘
〃	戸石 泰司
担当委員（リーダー）	寺内 民一
〃	松村 豊
〃	岡 新一郎