

特集

冷熱技術の新展開

氷蓄熱利用の空調システムについて

Ice Thermal Storage Heat Pump System for Air Conditioning of Buildings

大久保 進*

Susumu Okubo

1. はじめに

ビル空調分野において蓄熱式ヒートポンプを利用した空調のシステムが近年増えてきている。蓄熱式の主な特徴は次のような点があげられる。①蓄熱槽を持つことにより、今までのヒートポンプシステムではリアルタイムでの空調負荷要求に対して機器を運転する必要があり、最大負荷に合わせて機器容量が決まってきたが、蓄熱式では槽割合に応じて機器容量を減少させることができ、設備費の圧縮ができる。(契約電力も圧縮できる)②昼間必要な空調負荷を夜間にヒートポンプなどの熱源機を運転し、冷温水として蓄熱する(空調に使用する電力を昼間から夜間へ移行することにより安い電力料金を利用することができる。(夜間利用の業務用蓄熱調整契約料金は昼間の1/3~1/4である)③空調負荷の増加にもスムーズに対応出来る。などに代表される。

蓄熱システムは1930年代に米国の教会に取り入れられて以来序々に発展してきたが、近年多く採用されている。まず第一は経済性であり、ライフサイクルコストの考えなどが世の中に定着してきたことと、それとともに自動制御装置の発達により信頼性が増し運転が容易になったなどによるものである。

蓄熱材としては水・氷・潜熱材などがあるが、在来からある水蓄熱が安価であり使いやすいため一番多い。表1に水蓄熱と氷蓄熱システムとの比較を示すが、潜熱を利用した水などのシステムがこの数年多くなっている。ここでは主に潜熱による蓄熱システムについて述べる。

2. 氷(潜熱)蓄熱システムの普及状況

氷蓄熱システムは従前からあるが昭和60年の夏、東京電力(株)が、空調用に冷房用として氷・暖房用と

*東京電力(株)営業開発部ビルシステムプロジェクト課長
〒100 東京都千代田区内幸町1-1-3

表1 氷蓄熱と水蓄熱システムとの比較

項目	氷蓄熱	水蓄熱
エネルギー(冷凍機)	効率は氷より良い	冷媒温度が上なので氷より低下するのでなるべく高い温度が望ましい
(搬送動力)	大温度差が望まれる	低温を利用した送水・送風が課題
蓄熱量	暖房が多い所は有利	潜熱による蓄熱量が大暖房を考慮する必要あり
スペース	槽容量は大きくなる	槽容量は小冷房が大の所有利
制御	二次側の回り温度を一定に保つことが有効	潜熱と顕熱の使い方を考慮する必要あり
経済性	二重スラブ空間など蓄熱槽が作りやすい所では安価	蓄熱槽が取りにくい所では有利であるが一般的には水蓄熱より建設費は大

して温水を作り、両方の熱の使用が可能としたシステム開発をし発表して以来、急速に各社で特徴のあるシステムが開発・販売されてきている。これは単に夜間の電気料金が安価になってきたのみではなく、ビルのインテリジェント化に伴い冷房負荷が増大してきており、負荷が内部機器の稼働によって変動し、その負荷の変動には蓄熱をしておくことにより対応が容易であるなどの利点があり、時代の要請にあったこともある。東京電力管内の蓄熱システム全体の採用も年々増えてきており、60年 66件、61年 83件、62年 99件、63年 129件、平成元年/上は83件で過去最大である。その中で氷蓄熱システムの占める割合は約1/3程度となっており、表2に普及状況と採用需要家の業種別の一覧を示す。開発の当初は研究所などの用途に

表2 氷蓄熱システムの業種別普及状況

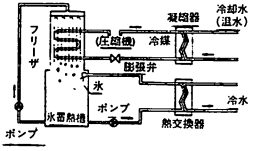
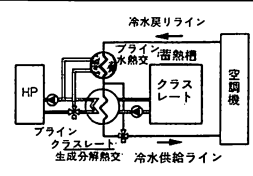
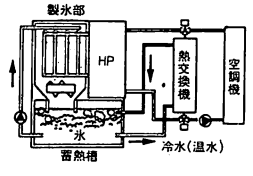
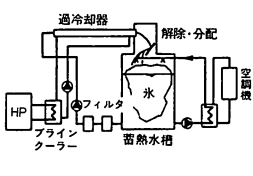
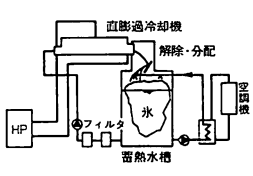
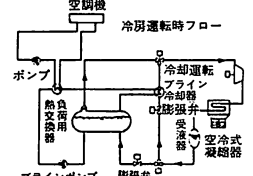
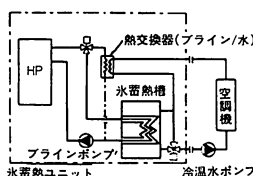
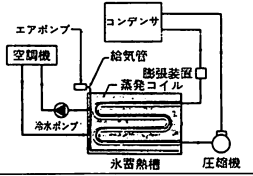
年度 内訳	60	61	62	63	元年	計 軒
事務所	2	9	9	18	13	51
研究所	0	5	2	2	8	17
公共施設	2	2	3	1	6	14
学校	0	0	2	1	2	5
工場	0	2	1	5	7	15
その他	1	2	2	6	6	17
合計	5	20	19	33	42	119

図-1 各社の水（潜熱）蓄熱

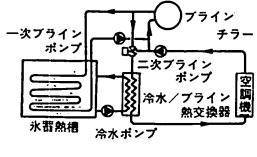
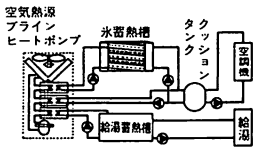
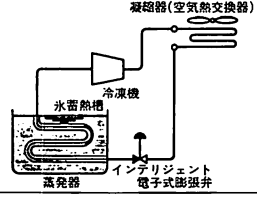
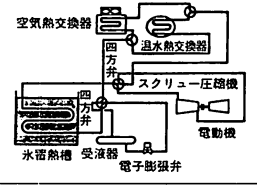
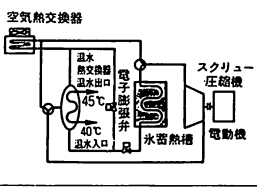
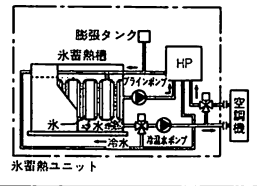
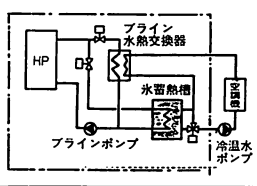
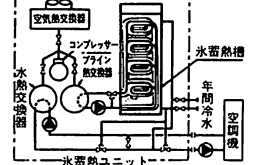
HP=空気熱源ヒートポンプ

区分	製水方法	システム	製氷率(%)	製氷用熱交換器	特長	開発および実績
セパレーター	スタティック型 (静的製氷)		10 ~ 20	架橋 ポリエチレン管 (二重らせんユニット型)	<ol style="list-style-type: none"> チューブの外表面に製氷 フライン-水切替方式 	東京電力・鹿島建設共同開発 ●東京電力技術研究所 ●鹿島建設技術研究所 ●バンザイ本社ビル ●東熱新川ビル 他
			20	架橋 ポリエチレン管	<ol style="list-style-type: none"> チューブの外表面に製氷 冷凍機をダブルエバポレータとして使用 コイルはヘッダ方式+ループユニット 	東京電力・東動不動産管理・竹中工務店共同開発 ●銀座2, 3丁目地域冷暖房プラント
			20	銅管 (ループ型)	<ol style="list-style-type: none"> 太陽熱と水蓄熱を利用したシステム(ソルエアパネルから夜間副放射熱により製氷、暖房はソーラーコレクターとして集熱) 	鹿島建設開発 ●ひまわりビル ●葉山村庁舎 ●嶺北老人ホーム ●相良町庁舎 ●高知県国民年金健康保健センター ●機械情報産業記念会館
			60 以上	樹脂製 ベアチューブ	<ol style="list-style-type: none"> ベアチューブの使用で水厚を均一にできる 製氷率と熱交換率の向上 	東京三冷社開発 ●東京三冷社技術センター 他
			90 以上	ポリ エチレン管 (多重らせん型)	<ol style="list-style-type: none"> チューブの外表面に製氷 チューブ表面より解氷(製氷・解氷が高効率) チャラーとアイスバンクの併用運転可能 全凍結型のためコンパクトで断熱効果が大きく、据付は簡単 蓄熱能力で100 RT・h, 190 RT・hの2機種あり 	カルマック社(米国)開発 日本スピンドル製造提携 ●日本スピンドル製造総務部事務所 ●中石食品工業 ●沖縄電力中央電力所 他
ダイナミック型 (動的製氷)			60	製氷器 スーパーチャラー	<ol style="list-style-type: none"> クリスタルリキッドアイスシステム(シャーベット状の水を生成) 冷凍サイクルが高効率 製氷率が高いため蓄熱槽を小型化できる 	サンウエルエンジニアリング社(カナダ)開発 竹中工務店技術導入 ●梅田センタービル ●名古屋センタービル ●日本生命茅場町ビル ●丹陽商会ビル
			60	製氷器 スーパーチャラー	<ol style="list-style-type: none"> ペーパークリスタルシステム 冷媒サイクルが高効率 冷媒自然循環のための搬送動力不要 冷暖房可能 	竹中工務店・新晃工業・ダイキン工業共同開発 ●クリスタルタワー ●定禅寺ビル
			40 ~ 60	型 アン ド シ ュ ー ブ	<ol style="list-style-type: none"> リキッド式システム フリーザーによりフライン+リキッドアイスを生成 搬送が容易 冷暖房可能 	中部電力・大林組・日立造船タンクシステム共同開発 ●中部電力電気利用技術研究所

(平成2年2月現在)

区分	製氷方法	システム	製氷率 (%)	製氷用熱交換器	特長	開発および実績
セパレートタイプ			50以上	プレート式フリーザー	<ol style="list-style-type: none"> ハーベスト式システム (板状の水を生成) 冷凍リサイクルが高効率 冷暖房に利用可能 	大林組・東西工業共同開発 ●大林組技術研究所 R&D棟
			60	シェルアンドチューブ	<ol style="list-style-type: none"> クラスレート (水と有機媒体との結晶体) を蓄冷材に使用 高い蓄冷温度 (約5℃) により冷凍サイクルが高効率 スラリー輸送により配置の自由度大 暖房時は水蓄熱方式 	清水建設・三菱重工業共同開発 ●京橋SKビル
ダイナミック型 (動的製氷)			30 ~ 50	プレート型 (直膨式)	<ol style="list-style-type: none"> ハーベスト式システム (板状の水を生成) 暖房に強いシステム (温水を10℃まで水熱源ヒートポンプ運転) 高い成績係数と水充満率 従来の基礎梁利用蓄熱槽の利用可能 	中部電力・清水建設・三菱重工業共同開発 ●中部電力電気利用技術研究所
			40 ~ 60	過冷却器	<ol style="list-style-type: none"> シャーベット状の水を生成 蓄熱材料が水道水のみ 製氷時の伝熱特性が常に一定 蓄熱槽内に製氷設備が不要 	高砂熱学工業開発 ●高砂熱学工業総合研究所 ●名古屋大学工学部建築学科実験室
			40 ~ 60	直膨過冷却器		高砂熱学工業開発 ●高砂熱学工業総合研究所
				直接接触熱交換	<ol style="list-style-type: none"> 蓄熱槽内のラインに冷媒を送り直接接触熱交換をさせ、リキッドアイスを生成 	関西電力・三井造船共同開発 ●関西電力総合技術研究所
			40	銅管 (ループ式)	<ol style="list-style-type: none"> チューブの外表面に製氷 シングル冷却方式 マイコン制御 機種/15HP, 30HP, 40HP, 50HP, 60HP 	東京電力・日立製作所共同開発 ●芳賀町庁舎 ●東部電気工事 ●飛島建設技術研究所 ●茨城県歴史民俗博物館 ●日立エレベーターサービス研究所 他
スタティック型 (静的製氷)			60	垂鉛メッキ管 (ルーパ型)	<ol style="list-style-type: none"> 直膨方式によりCOPがよい ユニット式と現場組込コイル方式あり ユニット式で145~990 RT・hの機種あり 液循環式あり 	日本BAC開発 ●電力中央研究所 ●和歌浦中央病院 ●小野薬品工業工場 ●大塚食品工業滋賀工場 ●日世大坂工場 ●東京重機工業事務センター ●全日空情報センタービル 他

(平成2年2月現在)

区分	製水方法	システム	製水率(%)	製水用熱交換器	特長	開発および実績
セパレート・ユニット併用タイプ	スタティック型(静的製水)		60	亜鉛管メッキスケジューム	<ol style="list-style-type: none"> 1. ブライン方式により設計が容易 2. ユニット式と現場組込コイル式 3. ユニット式で 135~940 RT・h の20機種あり 4. システム設計の融通性あり 	日本BAC開発 ●東邦ガス総合技術研究所 ●東京電力神奈川支店 ●新晃工業岡山工場 他
			35	函型ラセン状コイル	<ol style="list-style-type: none"> 1. 排熱回収型T2システム 2. チューブの外表面に製水 3. ブライン回路, 冷温水回路, 給湯回路と3回路 4. 排熱給湯, 冷温水同時取り出し可能 5. 機種/15HP, 20HP, 30HP, 40HP, 50HP 	東海電気工事・ゼネラルヒートポンプ工業共同開発 ●中部電力弁天荘 ●東海電気工事総合教育センター 他
			41~54	銅管	<ol style="list-style-type: none"> 1. チューブの外表面に製水 2. 直膨製水方式 3. ユニットタイプ, セパレートタイプあり 4. 機種/40~250kW (8機種) 	前川製作所開発 ●久喜総合会館 ●中国電力本館 ●鹿児島県工業技術センター
			40~50	銅管	<ol style="list-style-type: none"> 1. チューブの外表面に製水 2. 直膨製水方式 3. ユニットタイプ, セパレートタイプあり 4. 機種/11~300kW (14機種) 5. 暖房蓄熱容量が4~5倍増大 6. 昼間暖房時のデフロスト運転なし 	前川製作所開発 ●岡山県美術館 他
			40~50	銅管	<ol style="list-style-type: none"> 1. チューブの外表面に製水 2. 直膨製水方式 3. ユニットタイプ, セパレートタイプあり 4. 機種/11~300kW (14機種) 5. 冷水・温水・冷温水同時の3通りの運転可能 	前川製作所開発 ●三田三丁目ビル ●墨田区庁舎 ●毎日放送 他
ユニットタイプ			20	ボング鋼管レンコ型配管	<ol style="list-style-type: none"> 1. チューブの内側に製水 2. ダブル冷却方式 3. マイコン制御 4. 機種/40HP 	大成建設・三洋電機共同開発 ●大成建設教育訓練センター ●府中NHビル ●中部電力港営業所 ●九州電力電気資料館 ●広島バスセンタービル ●東京生命本社ビル 他
			45	銅管	<ol style="list-style-type: none"> 1. チューブの外表面に製水 2. シングルクーラー方式 3. マイコン制御 4. 機種/30HP, 40HP, 50HP 	大成建設・三洋電機共同開発 ●三洋電機東京製作所 他
			50	銅管(パンケイコイル)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 暖房に強いカスケード方式(50℃~10℃の温度差を暖房に利用) 2. マイコン制御 3. 機種/30HP 	清水建設・東洋製作所・住友軽金属工業共同開発 ●京橋丸喜ビル ●栄町ビル西館 ●横浜フコク生命ビル 他

(平成2年2月現在)

区分	製氷方法	システム	製氷率 (%)	製氷用熱交換器	特長	開発および実績
ユニットタイプ	ステイック型 (静的製氷)		35	ヒートパイプ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ヒートポンプを利用 2. 高い蓄熱効率 3. マイコン制御 4. 機種/15HP, 30HP 	鴻池組・古河電工共同開発 ●鴻池組技術研究所 ●古河電工横浜研究所 ●東京鴻池ビル
			47 48	架橋ポリエチレン管	<ol style="list-style-type: none"> 1. チューブの外表面に製氷 2. 2クーラー方式 3. マイコン制御 4. 機種/30HP, 40HP, 50HP 	三菱電機開発 ●東京電力立川営業所 (セパレートタイプ) ●九州電力総合研究所 ●名古屋市農業文化園 ●中部電力熱田営業所 ●藤倉電線本社ビル 他
			70	銅管	<ol style="list-style-type: none"> 1. パネル型コイルの外表面に製氷 2. 2ウェイ解氷方式 (安定した解氷効率) 3. パラレル蓄熱方式 4. 直膨製氷方式 	NKK (日本鋼管) 開発 ●日本鑄造本社ビル ●エヌケーエクサコンピュータセンタービル 他
			80	銅管	<ol style="list-style-type: none"> 1. 直膨式マルチエアコンタイプ (水配管不要) 2. 蓄熱槽を凝縮器とした冷媒ポンプによる運転 (空調動力の低減) 3. 冷媒ポンプと圧縮機の並用運転可能 4. 冷媒配管工事が単純 5. 機種/30HP, 40HP, 60HP 	NKK (日本鋼管) 開発 ●鶴見健康保険組合
			80	銅管	<ol style="list-style-type: none"> 1. 個別分散型空調設備 2. 蓄熱槽を冷房時は凝縮器, 暖房時は蒸発器として運転 3. インバータ付コンプレッサーにより細かな能力制御 4. 圧縮比を小さくして空調動力を低減 5. 機種/2.5HP, 3HP, 4HP, 5HP 	NKK (日本鋼管) 開発 ●富山健康保険組合
			55	細径伝熱管	<ol style="list-style-type: none"> 1. チューブの外表面に製氷 2. 水蓄熱とマルチエアコンを組合せたシステム 	ダイキン工業開発
潜熱蓄熱材			60		<ol style="list-style-type: none"> 1. 球状カプセル (ノジュール) 使用蓄熱器 2. 熱交換効率が高い 3. コンパクト 4. 設置形状が自由 	クリストピア社 (仏) 開発 三菱商事・三菱油化エンジニアリング・亀山鉄工所導入 ●富士写真フィルム宮台技術開発センター
			53		<ol style="list-style-type: none"> 1. PCM充填板状カプセル蓄熱方式 2. 高密度蓄熱 3. 完全密封方式 	久保田鉄工・中部電力共同開発 ●サークビル (実施開発: 東海興業)

使われ、その建物の一部の負荷を賅う程度の所が多かったが、最近では規模の大きい所や種々の用途に使われている。用途の中では事務所建物への採用が一番多い。

3. 氷（潜熱）蓄熱システムの方式

氷（潜熱）システムの方式としては、製作（施工）方式・蓄熱（製氷）方式・冷凍機の方式など分けかたがある。製作（施工）方式では工場で全体を製作し現場では設置するだけとしたユニット型と、大型で機器や製氷コイルを現場で組み立てるセバレット型（現場施工）とに分けられるが、現在設置されているほとんどはユニット型である。蓄熱（製氷）方式としては、氷の潜熱利用をしたものが多いが、この場合は暖房には温水を利用している。この場合でも氷をコイルの外側か内側に付けるスタティック型と蓄熱槽にシャーベット状態などの氷を蓄えるダイナミック型がある。潜熱蓄熱材を利用した方式の場合は一定の容器に蓄熱材を密封し、固相・液相変化を利用したもので、温度レベルの違いから冷房用と暖房用の蓄熱材は異なるが、潜熱蓄熱材の開発がされておりこの方式は増えてきている。温度レベル的に冷水と氷の中間的なクラスレートと言う多結晶体の状態の物質を使用した方式もある。冷凍機の方式としては、直膨式とブライン式に大別できる。直膨式は、製氷コイルに直接冷媒ガスを送り熱交換を行うものであり、ブライン式は、0℃以下でも凍結しないような低温のブラインを作り、これを製氷コイルに送り熱交換させるものであり、このタイプが取扱いやすいので機種としては多い。

4. 氷（潜熱）蓄熱システムの各社の方式

氷（潜熱）蓄熱は実に多種の方式が各社から発売ないし発表されており、さらに開発が進められているので、今後も新たな製品が出てくるものと思われる。一般的にはユニット型が多く採用され定着してきたが、ダイナミックのタイプは後発のため実際の建物での稼働実績は多くないが、今後増えていくものと思われる。図-1に主な各社のシステムを示す。

5. 今後の課題

熱源の分野での開発はこの数年急速に進んできてお

表3 氷（潜熱）蓄熱システムの技術的な動向と課題

項目	改良されてきた技術	今後の課題
システム	各社の特徴性のあるシステムの開発	システムが多過ぎて、あまり必要としない部分を取り除き簡易化と各社の整合性も図る必要あり
冷凍機効率の向上	冷媒の最低必要温度が判明してきた	冷媒温度のアップによる効率の向上と経済的な運転状態の確保
搬送動力の低減	低温送水・低温送風の検討、冷媒搬送技術の開発	低温送水温度の確保 低温送風の技術の確率 結露防止技術の確立
運 転	必要蓄熱量の判断ができるようになり自動運転は可能	負荷増大などに対応していけるファジィ制御などの開発による省人化
制 御	熱源と負荷側の制御がある程度確立	パーソナル空調も含めた二次側負荷の予測確立による蓄熱量の最大化
排熱回収	特注すれば機器製作可能	汎用システムとしての確立
評 価	JIS 原案作成中	統一的な表示方法の確立 性能評価の確立 統一的な経済性も含めた評価手法の確立

り、氷蓄熱システムの場合ダイナミックのタイプが多くなってきている。これはより効率の高いシステムを追及しているのであるが、簡易にすることによる建設コストの低減が求められている。潜熱蓄熱材は各所で研究が進んでおり期待できるが、特に7℃レベルでの経済的な蓄熱材の開発が待たれている。この温度域で経済性のある製品ができると、既設の蓄熱槽に蓄熱材を入れることにより、負荷の増大に合わせて蓄熱容量をましていくことができるからである。現在熱源の分野のみでなく、全体のシステム効率を上げ、二次側の搬送動力を少なくするため大温度差システムや冷媒による搬送動力を必要としない商品名でペーパークリスタルシステム（竹中工務店等開発）も開発されているが、同時に排熱を回収し空調システム全体の効率を上げていくことが望まれる。なおユーザー保護のため氷蓄熱ユニットのJ・I・S原案の作成も進められておる。

参 考 文 献

- 1) 大久保進 蓄熱システムの現状と将来 日本空調衛生設備士協会
- 2) 氷蓄熱空調システムの開発 ヒートポンプによる冷暖房 NO24・38 東京電力 氷蓄熱式パンフレット