

ハーベスト式氷蓄熱空調方式の実証試験

竹本 靖 福島 正之
冨家 貞男

Proof Test on “Harvest” Ice Storage System for Air Conditioning

Yasushi Takemoto Masayuki Fukushima
Sadao Tomiie

Abstract

The “Harvest” Ice Storage System is a new heat source system for air-conditioning which consists of a harvest-type ice maker, heat pump, and storage tank. This study is composed of preliminary experiments and actual proving tests to ensure performance and reliability.

Preliminary experiments using the ice maker and ice storage-tank models were performed to find out suitable tank shapes for storing and consuming ice. Next, a proving test plant was constructed, and this has been in continuous successful operation through many seasons.

Performance data such as on ice making, ice storing, ice consuming, and heating were collected. These data and plant operating experiences confirmed that this system has good performance and high reliability.

概要

ハーベスト式氷蓄熱システムとは、ハーベスト式製氷機と多機能型ヒートポンプと氷蓄熱槽より構成された空調用熱源システムである。この研究では、このシステムの実用性を確かめ、性能を評価するために実施した一連の実験結果をまとめたものである。

まず、ハーベスト式製氷機と模型蓄氷槽を用いて行なった予備実験で、蓄氷・解氷の基本性状を把握した。次いで、実証プラントを建設し、夏季・冷房運転時の製氷・蓄氷・解氷の各特性、及び、冬季・暖房運転時の温水生成特性について、それぞれデータ採取を行なった。

これらの各データ及び、連続運転の経験から、この方式の技術的有用性・実用性が確認できた。

1. はじめに

ハーベスト式氷蓄熱システムとは、製氷機内において、並状に配置された製氷板表面に板状の氷を生成させ、一時的にホットガスを通すことにより脱水し、槽内に氷を蓄える方式である。従来、氷蓄熱方式は、蓄熱槽内に設置したコイルに冷媒またはプラインを通し、その表面に着氷する、ソリッド式が多く用いられてきた。当社では、①IPF（氷充填率）の向上、②COP（成績係数）の向上、③躯体内無駄スペースの有効利用、④負荷追従性等の点から、リキッド式¹⁾とハーベスト式に着目し、開発研究を推進してきた。

リキッド式がエチレングリコールなどの不凍液を使用するのに比べ、ハーベスト式は水を使用するので、管理が容易であり、また、製氷板の熱抵抗が小さく冷媒の蒸発温度を高められるので、COPをより高くできる。今回、その実用性を確かめるため、一連の実験を行なったので、ここに報告する。

2. 模型槽による予備実験

実証試験に先立ち、ハーベスト式製氷機と模型蓄氷槽を用いた予備実験により、蓄氷・解氷の基本性状を把握した。

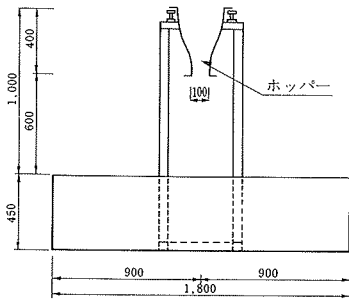


図-1 蓄氷実験装置

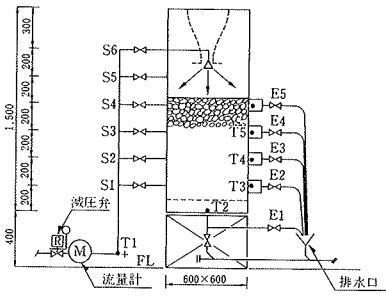


図-2 解氷実験装置

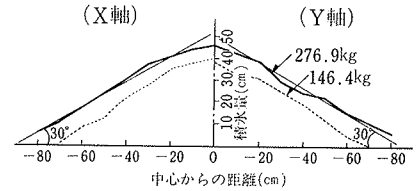


図-3 蓄氷実験結果

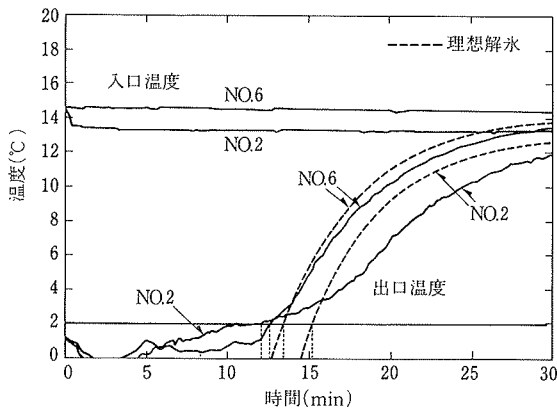


図-4 解氷時出口温度の経時変化

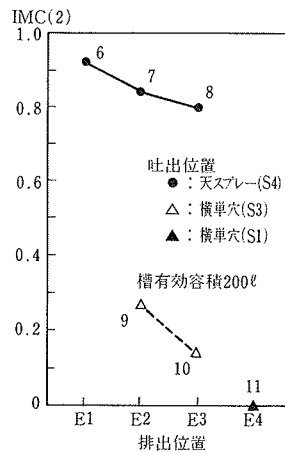


図-5 吐出・排出位置と IMC(2)

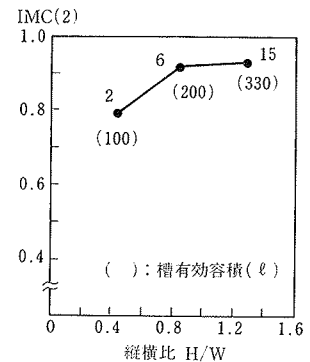


図-6 縦横比と IMC(2)

2.1. 蓄氷実験²⁾

図-1 に実験装置を示す。高さ1,450 mm より、槽(1,800×1,800×450) 中央に、ホッパーを通して氷を投入し、積み上げられた氷の高さを測定した。図-3 に測定結果を示す。氷の重量に係わりなく、その安息角は、約30°であった。

2.2. 解氷実験²⁾

2.2.1. 解氷係数 (IMC: Ice Melting Coefficient)

解氷特性の評価指標として、次に示す解氷係数(IMC)を用いた。

$$IMC(\theta_c) = \frac{T_{imt}}{T_0}$$

但し、 T_{imt} : 実測時の冷水取出時間 (min)

T_0 : 理想解氷時の冷水取出時間 (min)

また、 T_0 は次式で示される。

$$T_0 = \frac{1}{Q} \left\{ \frac{80W}{\theta_1} - V \ln \left(\frac{\theta_1 - \theta_c}{\theta_1} \right) \right\}$$

但し、 W : 氷量 (kg)

V : 循環水量 (l/min)

θ_1 : 入口温度(°C) θ_c : 冷水取出限界温度(°C)

2.2.2. 実験方法 図-2 に実験装置を示す。S1~S6

が吐出位置で、E1~E5 が排出位置である。また、T1~T5 に熱電対を設置し、継続的に温度を測定した。

2.2.3. 結果と考察 この実験では、冷水取出限界温度 θ_c を2°Cに設定した。図-4 は、実験 NO.2 と NO.6 の解氷時の出口温度の経時変化を示したものである。NO.2 と NO.6 は、槽有効容積が異なる。NO.6 の場合、12分前後まで0~1°Cの間を変動し、それ以降、急激に上昇している。実測時の冷水取出時間 T_{imt} は12.5分、理想解氷時の冷水取出時間 T_0 は13.5分であり、IMC(2) は0.92となる。以下に、IMC(2)の観点から得た、槽形状に係る知見を記す。

(1) 吐出位置・排出位置 (図-5 参照) 天井スプレー散水方式は、全体に解氷性能が良い。横単穴吐出は、水みちが生じるので、吐水には不適當である。排出位置は低い方が良い。

(2) 縦/横比 (図-6 参照) 縦/横比が大きいほど、解氷性能が良い。しかし、ある一定値 (今回の実験では0.85) を越えると解氷性能に差は無くなる。

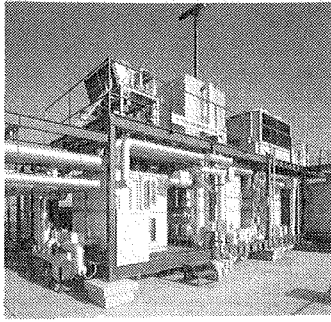


写真-1 実証プラント外観

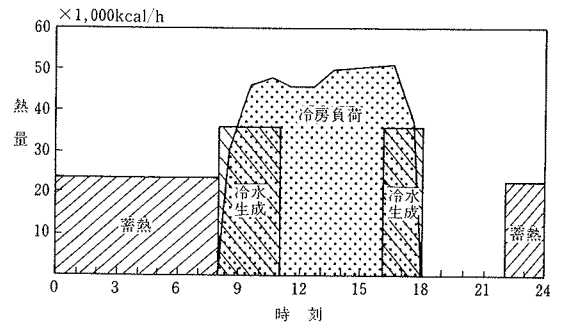


図-7 冷房負荷・蓄熱パターン

名称	台数	仕様
ヒートポンプユニット	1	圧縮機 11kw 製氷能力 23,500kcal/h(外気DB 30℃) 冷水運転時能力 35,000kcal/h(外気DB 30℃) 温水運転時能力 30,600kcal/h(外気DB 7℃)
製氷機	1	製氷板: ステンレス製 サイズ 787×1,524 枚数 18枚
氷蓄熱槽	1	FPR製 2,000×2,000×2,000H 呼称 8 m ³
製氷ポンプ	1	ラインポンプ 50φ×450ℓ min×10mAq×1.5kw
冷水ポンプ	1	ラインポンプ 40φ×180ℓ min×30mAq×2.2kw
温水ポンプ	1	ラインポンプ 32φ×90ℓ min×14mAq×0.75kw

表-1 主要機器仕様

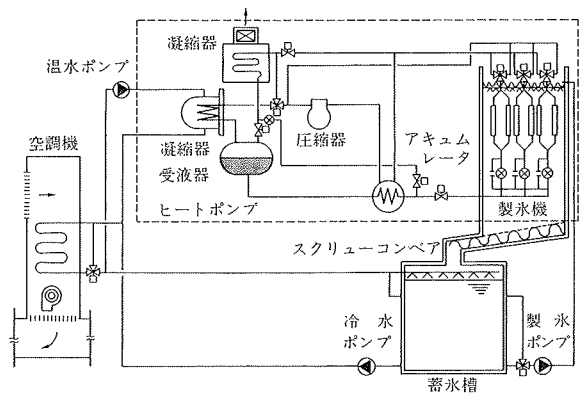


図-8 システム系統図

3. 実証プラントの概要

ハーベスト式氷蓄熱空調方式の実用性を確かめるため当社技術研究所ハイテク R&D センターの屋上に、実証プラントを昭和62年8月に建設した。

図-7に冷房対象室：コンピュータセンターの冷房負荷と蓄熱・冷水生成のパターンを示す。冷房負荷の半日分を夜間の氷蓄熱で、残りを昼間の冷水生成運転で賄う。

氷蓄熱槽の形状は、予備実験の結果を参考に、2M角の立方体（有効容積：Ve=5,370 L）と決めた。

表-1に主要機器の仕様を示す。

システム系統図を図-8に示す。ヒートポンプは、製氷・冷水生成・温水生成・冷温水同時生成が行なえる多機能型である。冷水2次側は、氷の持つ低温度が有効に使えるよう、氷蓄熱槽からの冷水を直接ポンプで空調機へ供給している。氷の搬送性能を確認できるよう製氷機と氷蓄熱槽の位置を、上下方向、水平方向にずらし、スクリーコンベアで搬送する。計測は、計測ポイント48点（温度・圧力・流量・発停状況）の1分間データを記録し、随時、パソコンで計測値を処理する。実証プラントの外観を写真-1に示す。

4. 実証プラントの運転実績

実証プラントは、昭和62年9月に運転を開始した。表-2に、昭和63年3月までの連続運転状況を示す。冷房負荷の大きな9月と10月は、主として夜間の氷蓄熱と昼間の冷水生成で賄われ、冷房負荷の小さい11月より3月までは、夜間の氷蓄熱でほとんど賄われている。

4.1. 運転状態

運転状態の一例を図-9に示す。これは、冷水生成・冷房運転モードの運転状態を示している。冷媒は、圧縮機入口で4.4 Kg/cm²G, 14.6℃, 圧縮機出口で13.4 Kg/cm²G, 79.2℃である。製氷板での圧力損失は0.1 Kg/cm²と小さい。

4.2. 製氷特性³⁾

実証プラントの最適運転条件を見出すため製氷時間・脱水時間がCOPにあたる影響について実測した。

4.2.1. 製氷時間とCOPの関係 ハーベスト式製氷機は脱水間隔をかえることにより、製氷時間を調節できる。製氷時間を10～40分とかえた時の製氷量を求めた。結果を図-10に示す。この時、外気温は22～28℃であった。この結果、製氷時間は20～30分が最適であることがわかった。

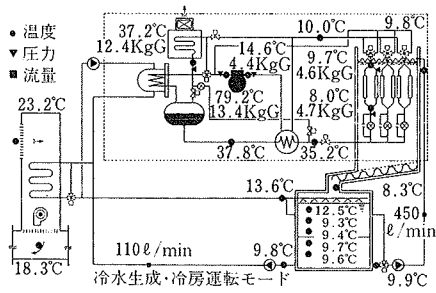


図-9 運転状態監視図

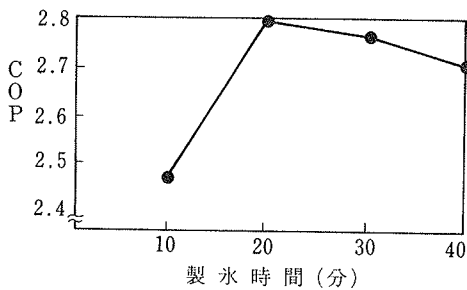


図-10 製氷時間とCOPの関係

4.2.2. 脱氷時間と水温変化 このシステムは、製氷中にホットガスを一時的に流して氷を離脱させる。このホットガスを通して時間を脱氷時間とよんでいる。脱氷時間が短すぎると脱氷不良が生じ、あまり長いと水温が上昇して、COPを低下させてしまう。脱氷時間を30～60秒と変えて、製氷板下端の水温変化を測定した。結果を図-11に示す。目視調査より、全ての氷が離脱するのに要する時間は25～35秒であった。この結果、余裕をみて脱氷時間は40～45秒(季節により変える)と決めた。

4.3. 冷却性能ヒートバランス

氷蓄熱空調システムの24時間単位の熱的性能を、一分間データを基に求め表示したのがヒートバランスデータである。図-12に冷房時のヒートバランスデータの一例を示す。21時より6時まで製氷し、IPFは製氷終了時に約40%に達し、この時のCOP*)は約2.7であることを示している。また、この24時間でIMC(2)は0.96と、蓄氷熱量の96%が2°C以下の冷水で利用されたことを示している。このデータにより、冷却性能を評価すると、表-3のようになる。

4.4. 加熱能力³⁾

図-13に実測方法の概要を示す。実証プラントの暖房負荷が小さいため、実験用空調機を屋外に仮設し、大気を直接負荷として用いた。また、温水配管に水道水を送

条件	月	9	10	11	12	1	2	3
氷蓄熱で冷房		1	2	12	12	0	0	17
氷蓄熱と冷水生成で冷房		16	16	7	0	0	0	0
氷蓄熱で冷房かつ暖房		0	0	0	10	20	28	7
従来方式で冷房		5	7	2	0	0	0	1
合計(日)		22	25	21	22	20	28	25

表-2 実証プラントの運転日数

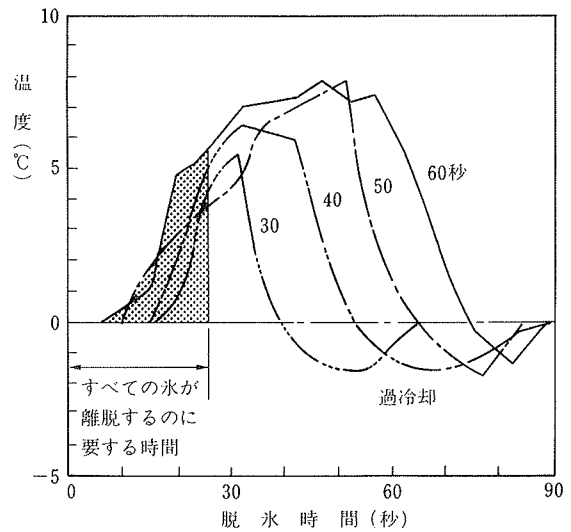


図-11 脱氷時間と水温変化

項目	実績	設計値	
製氷	冷却熱量 (to=30°C)	24,200kcal/h (to=30°C)	23,500kcal/h (to=30°C)
	COP	2.6~2.9	2.48
	COPf	2.5~2.8	2.36
	SCOP	2.2~2.5	2.09
冷水生成	冷却熱量 (to=30°C, tw=7°C)	37,500kcal/h (to=30°C, tw=7°C)	35,000kcal/h (to=30°C, tw=7°C)
	COP	3.7~4.0	3.70
	COPf	3.5~3.8	3.51
	SCOP	3.1~3.4	3.11

to: 外気温 tw: 製氷機入口水温

表-3 冷却能力比較表

り負荷量を調節した。水冷凝縮器の出入口水温と温水流量を測定することで、温水生成熱量を算出した。

4.4.1. 結果と考察 図-14に温水生成熱量と外気温の関係を示す。外気温の上昇と共に、温水生成熱量は増大している。測定中の水冷凝縮器の出口水温は

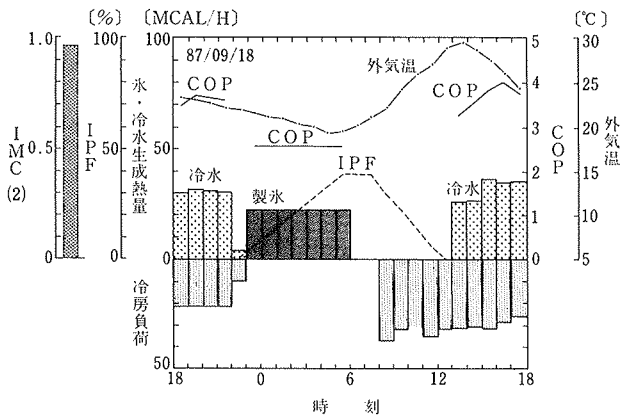


図-12 冷房時ヒートバランス

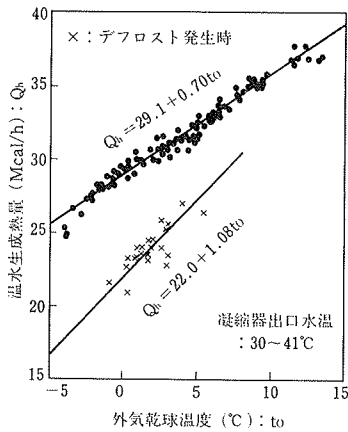


図-14 温水モード時の暖房能力

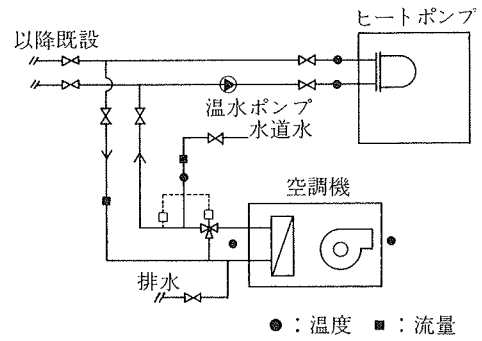


図-13 加熱実験

30~43°Cであったが、温水生成熱量との相関は認められなかった。×印はデフロストを一回含む一時間当たりの能力を示している。デフロストは外気温が7°C以下かつ露点温度が-5°C以上の場合、1~3時間に一度行なわれ、暖房能力は一時間当たり最大約20%低下した。実証プラントの冷却・加熱能力の総合成績表を表-4に示す。

5. おわりに

実証実験の結果、このプラントは設計値と同等またはそれ以上の高い性能を有すること、また、運転管理上のトラブルもほとんどないことなどがわかった。これらの各データ及び、連続運転の経験から、この方式の技術的有用性・実用性が確認できた。さらに、一連の実験を通して設計に必要な資料をまとめることができた。

謝辞

この研究の遂行に当たり、製氷機及びヒートポンプの製作においてご協力を頂いた(株)東西工業の方々や、多大の御援助を頂いた東京本社設備設計第一部 蜂須賀次長、同設備計画部 酒井次長・島田職員、本店設備設計部 五町課長代理に対し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 竹本, 安江, 片岡: リキッド式氷蓄熱空調方式に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 37, (1988. 7), pp. 120~124
- 2) 竹本, 福島, 富家: ハーベスト式氷蓄熱空調方式に関する研究(その1), 空気調和衛生工学会学術論文集, (1987. 10), pp. 661~664
- 3) 竹本, 福島, 富家: ハーベスト式氷蓄熱空調方式に関する研究(その3~4), 空気調和衛生工学会学術論文集, (1988. 9), pp. 973~984

項目	実績	設計値	
温水モード	加熱量 (to = 7°C, tc = 43°C)	34,000kcal/h	30,600kcal/h (to = 7°C, tc = 48°C)
	COP	3.9~4.1	3.23
	COPf	3.7~3.9	3.07
	SCOP	3.5~3.7	2.88
熱回収モード	製氷時 加熱量 (tw = 0°C, tc = 37°C)	29,500kcal/h	
	COP	3.5~3.8	
	SCOP	2.9~3.2	
	冷水生成時 加熱量 (tw = 7°C, tc = 45°C)	43,000kcal/h	
COP	4.1~4.6		
SCOP	3.4~3.8		

但し, to: 外気温, tw: 製氷機入口水温, tc: 凝縮器出口水温

表-4 加熱性能比較表

*) COPとは、一般に冷却または加熱量(kcal/h)／圧縮機動力(kWh×860)で表され、COPfとは、これに空冷凝縮器ファン動力を加えた場合、SCOPとは分母をシステムに必要な全動力とした場合を意味している。