

直膨型過冷却水製氷ユニットによる氷水搬送氷蓄熱システム

(株)東洋製作所 研究開発部 関 光雄

キーワード / 熱回収・省エネルギー・氷蓄熱・ヒートポンプ

1. はじめに

夜間電力を使用する氷蓄熱システムは電力の平準化に大きな役割を果たしてきた。さらに近年は地球温暖化の防止が叫ばれ、この氷蓄熱システムは単に電力の平準化だけではなく、高効率化・省エネルギー化も重要視されるようになってきている。

この時代要請に対して、ビル空調用のユニット型氷蓄熱機器として、「過冷却水製氷ユニット」「蓄熱槽」「ポンプ類」「放熱用熱交換器」などで構成するダイナミック型氷蓄熱システム『ヒートサムD』を当社では商品化した。

製氷ユニット内に「氷水発生器」を設置することで、ユニット内で過冷却水を連続的に氷水とすることができる「密閉製氷システム」である。

また、「過冷却水製氷ユニット」に、ブラインを使用しない「直膨型の過冷却器(蒸発器)」と「サブクーラ」を採用することで、高効率化、省エネ化をはかり、スタティック型システムに比べ、製氷時ユニット COP は約15%も高効率となった。(当社比)

本システムは平成12年度より販売を開始している。用途としては、空調用だけでなく、氷水搬送の特徴を生かした産業用の冷水供給設備としての要求もある。ここでは、システムの技術的な基本部分である製氷ユニットについてその概要を紹介する。

本システムは(財)ヒートポンプ蓄熱センターの第3回電力負荷平準化機器・システム表彰(平成13年6月)における振興賞を受賞したシステムである。

なお、時代要請は使用冷媒についても HCFC 冷媒から HFC 冷媒への転換を促し、さらに HFC 冷媒も規制冷媒対象となってしまった。この冷媒対応については、並行して実施しているが、今後の報告としたい。

2. 機器仕様

本ユニットの要目表を表-1に、外形図を図-1に、外形写真を図-2に、系統図を図-3示す。

ユニットの構成は空気熱源ヒートポンプチラーユニットに過冷却水製氷回路を付加した形となっており、通常の冷水生成運転および温水生成運転もできるようになっている。

表-1. 過冷却水製氷ユニット要目表

項 目			HSD-501H	
運 転 特 性	製氷運転	製氷能力	kW(USRT)	1188 (338) / 1400 (398)
		消費電力	kW	40.3 / 49.5
	冷水運転	冷水能力	kW	132 / 150
		消費電力	kW	46.3 / 56.6
	温水運転	温水能力	kW	160 / 180
		消費電力	kW	46 / 56.3
キャビネット	高さ×幅×奥行	mm	2580×4000×2000	
	製品重量(運搬重量)	kg	5600(5850)	
電 源			3相 200V 50HZ/60HZ	
冷 却 装 置	圧縮機	型 式	スクロー	
		電機機	kW	37
	凝縮器	型 式	プレートフィンチューブ	
		送風機	軸流式	
	過熱熱交換器	型 式	プレート熱交	
		水量	l/min	853/1003
	水熱交換器	型 式	乾式シェルアンドチューブ	
		水量	l/min	378/430
	サブクーラ	型 式	プレート熱交	
		水量	l/min	85/100
能力制御		%	100-75-50-0	
冷 媒			R22	
配管寸法	過熱熱交換器入口/出口		100A	
	冷温水熱交換器入口/出口		80A	
	排水口		40A	
法定冷熱効		ト	1994(届出不要)	2402(届出)

*表中/は50/60Hzの値を示す。

(注: 冷媒は、現在 R134a を使用した製品を開発済みである)

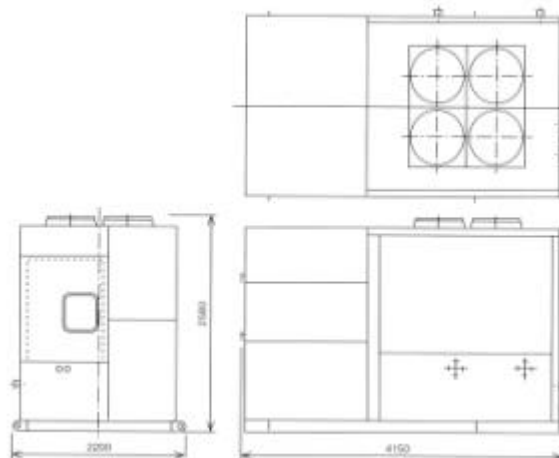


図-1. 過冷却水製氷ユニット外形図



図-2. 過冷却水製氷ユニット外観写真



図-4. 蓄熱槽内へ氷水搬送蓄熱している様子

3. 製氷運転例

製氷運転の例を図-4.に示す。

約 - 2 の過冷却水を過冷却水製氷ユニット内で氷水に変化させ、蓄熱槽まで氷水状態で搬送して、蓄熱槽に貯水している様子である。

4. 特長

本システムの特長は次の通りである。

- 高効率・省エネルギー
- ・製氷時はブラインを使用しない直胴型蒸発器により、-3 と云う高い蒸発温度と冷媒液過冷却で冷凍機を高効率運転する。
- ・解氷時に1~2 の冷水利用ができるので、搬送動力

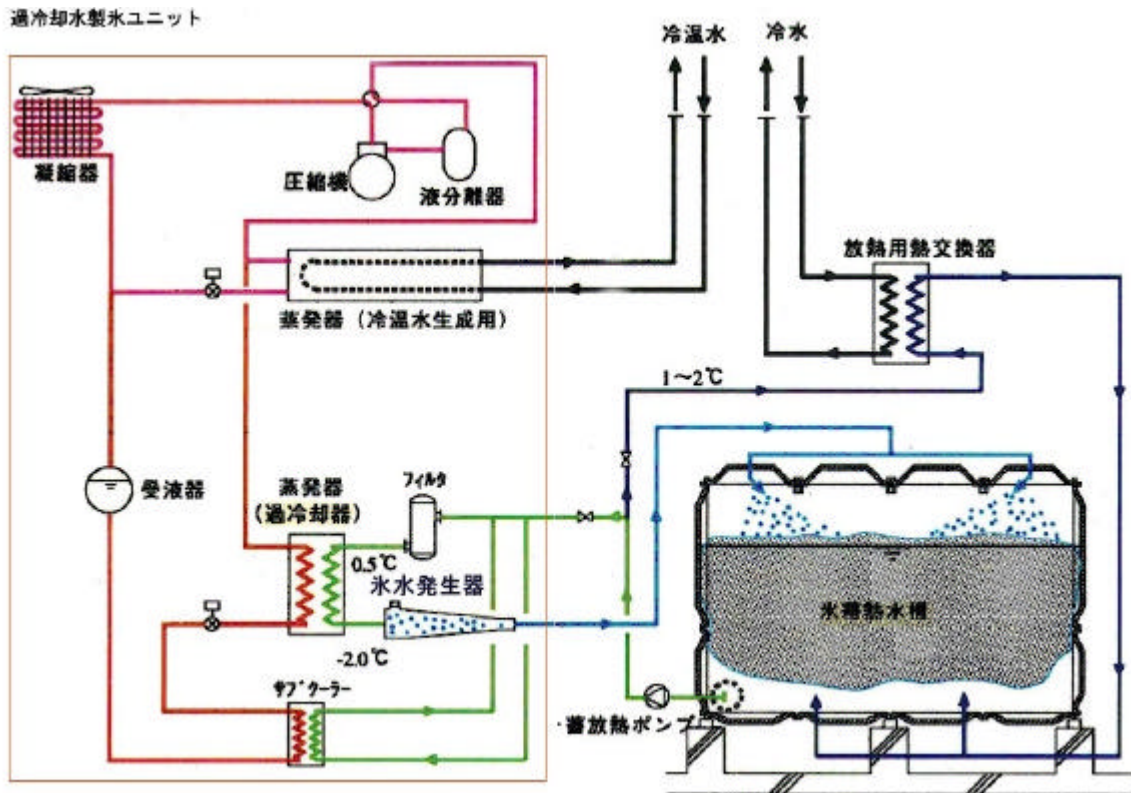


図-3. 過冷却水製氷システム概略図

の低減やピークカット運転が可能である。
高自由度・省スペース

- ・ユニット内で氷水を生成するため、搬送配管内での凍結、閉塞の心配がない。ユニットと蓄熱槽の配置関係が自由で、空いているスペースを有効利用できる。(図-5.、図-6.)
- ・既設の地下水槽の使用が可能である。(図-7.)
- ・氷水生成時に空気を巻き込まないので高密度で氷を充填でき、IPFを最大50%にできる保守管理が容易
- ・水槽内に機器類がなく、シンプルで保守が容易。
- ・市水を使用。ラインを一切使用しないので、環境破壊の心配がない。
- ・満水状態に製氷管理するだけである。次の日の残氷を気にする製氷量調整などは不要である。

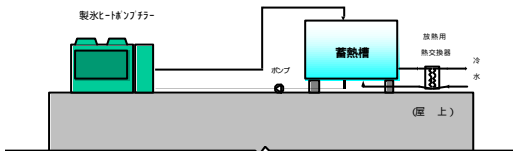


図-5. ユニット及び蓄熱槽を屋上に設置した例

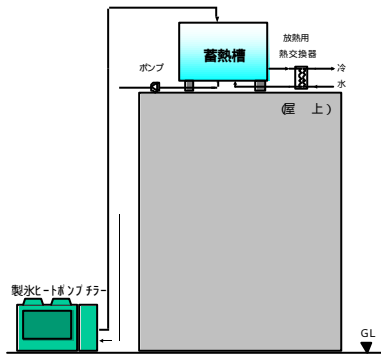


図-6. 屋上蓄熱槽への氷水搬送蓄熱の例

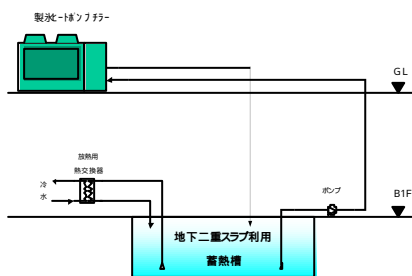


図-7. 地下二重スラブ利用の一例

5. 技術的内容

5-1. 開発課題

ダイナミック型氷蓄熱システムとして特徴のある有用なシステムである過冷却水製氷方式の氷蓄熱は、冷凍機で冷却したラインとの間接熱交換で過冷却水を生成し、その過冷却水を貯水槽まで搬送後衝撃板などで過冷却解除してシャーベット状の氷を蓄熱する方式が一般的であった。

この方式には次のような課題がある。

過冷却熱交換器の入口冷水中の氷晶を溶かすための加熱により、製氷能力減少および冷凍機 COP が低下する

過冷却熱交換器内の過冷却水の不確定凍結
過冷却水を水槽まで搬送する配管途中での過冷却水の不確定凍結

気流中の衝撃板での製氷による水中溶存酸素量の増加及び氷充填密度の低下

ライン間接冷却による冷凍機効率の低下

5-2. 技術的改良点

過冷却水製氷法特有のこれら課題を技術的に改良を図った。

課題を解決するための技術的改良点は次の4つが重要な点である。

- 2 の過冷却水を安定に生成する技術
- 密閉系内で過冷却状態を解除する技術
- 相変化伝搬を防止する技術
- システム化時の効率向上化技術

これらの技術的な点を以下に解説する。

(1) 過冷却水安定生成技術

-2 の過冷却水を安定に生成するためには、過冷却熱交換器の設計仕様(蒸発温度・過冷却水温度・冷媒流量・過冷却水流量・伝熱面積など)や制御技術(冷媒流量・蒸発温度の安定化など)とともに、氷核除去技術が重要である。

これは、蓄熱槽から流入する冷水のわずかな加熱(0 + 0.5)と加熱後に設ける氷核除去フィルターで行う。

また、過冷却水の生成には直接膨張式特殊プレート式熱交換器と電子膨脹弁による過熱度制御の精度を良くすることにより、蒸発温度を -3 と限界まで高めた運転を行っている。これは凍結防止を図る事とともに、成績係数(COP)を高くすることにもなっている。

(2) 密閉系内で過冷却状態を解除する技術

過冷却熱交換器で生成した過冷却水を密閉系内で過冷却解除させるために、熱交換器直後の密閉配管中に「氷水発生器」(図-8.)を設けた。

氷水発生器は入口の「相変化伝搬防止ノズル」、「氷核発生器」および過冷却水が一部循環する「テーパ型循環

管路」により構成する。

過冷却熱交出口水温が -0.3 程度になった時点で氷核発生器を一瞬動作させる。瞬時に発生する氷核が氷水発生器内で過冷却水と接触すると、流入過冷却水は氷水に変換され、氷水発生器出口の密閉配管内へ氷水として搬送される。なお、氷核発生器は交流電磁石のリニアピストン動作による機械的衝撃力によって過冷却水から氷核を発生させる。

氷水の一部は太い発生器外周部分を循環し、連続的に発生器に入ってくる過冷却水と順次接触し、連続的に氷水ができる。エネルギー的には最初に電磁石を作動させるだけであり、省エネルギーな安定した氷水発生方法である。

(3)相変化伝搬を防止する技術

なお、このようにして氷水発生器中で発生した氷水は管壁に沿って上流側に伝搬しやすく、過冷却熱交換器まで伝搬してしまうと熱交換器内での凍結を引き起こす。

これを防止するために、氷水発生器の入口に相変化伝搬防止ノズルを設ける。過冷却水の流速を速くする(管径を細くする)ことと、管壁付着力を弱めるための特殊樹脂で形成している。

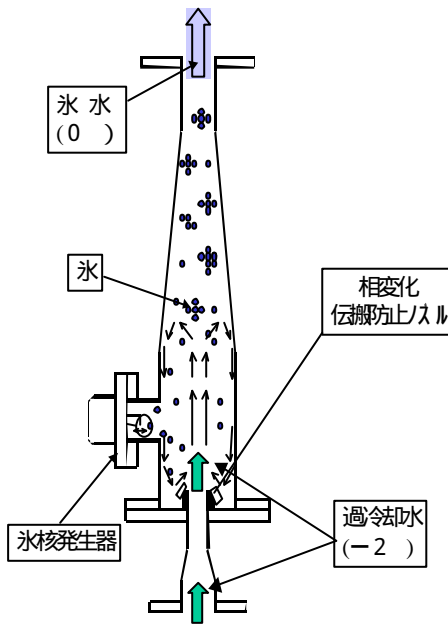


図-8. 氷水発生器

(4)システム化時の効率向上化技術

熱交入口冷水の加熱がわずか $+0.5$ であっても、 -2 までの過冷却であるから、氷にできる割合は8割(=2/2.5)となってしまう。そこで、この入口冷水加熱に暖かい冷媒液(凝縮器出口高圧冷媒液)を利用する。

「サブクーラー」で冷水を加熱するとともに冷媒液を過

冷却し、冷凍効果を1.25倍にすることにより加熱分のロス相殺し、冷凍機効率の低下を防止する。(図-9.)

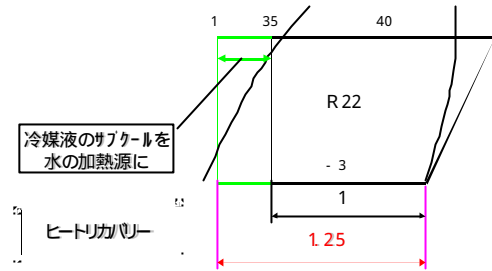


図-9. 冷媒液過冷却による冷凍効果アップ

(5)ホットガス凍結解除運転

本ユニットは凍結を起こさないで安定した製氷運転が行えるように十分配慮された設計がされている。しかし、不測の事態が生じて過冷却熱交換器内などで凍結が起きた場合には、それを素早く検知して冷凍サイクルを逆サイクルに切り換え、熱交換器内にホットガスを投入して3分程度で凍結を解除する。素早く製氷運転への復帰をする様に工夫をしている。

従来の過冷却水製氷システムは不測の凍結が発生した場合、充分な計画した蓄熱量を確保できなくなる可能性があったが、本システムでは計画蓄熱量を問題なく達成することができる。

6. 安全性・環境性・省エネ性について

安全性・環境性・省エネ性について比較する。比較対象は、非蓄熱(汎用チラー製品)とスタティック型蓄熱システムである。

6-1. 安全・保全性

安全性・保全性については以下のことが云える。

水道水のみを使用するため、環境破壊がない。
水道水のため、ブラインのような保守メンテナンスは不要。

蓄熱の管理は、満水管理のみ。

本ユニットではブラインを使用していないため、濃度管理などのメンテナンスが不要であり、ブライン漏洩などによる環境破壊がないシステムである。

従来のアイスオンコイルシステムに代表されるスタティック型蓄熱装置は、氷のブリッジングを防止するために、氷を使い切る必要がある。しかし、本システムは、氷水のシャーベットであるため、使用した分だけ製氷すれば良く、難しい運転制御は不要である。

6-2. 省エネ性

非蓄熱システム(空冷ヒートポンプチラー)とスタティック型蓄熱(空冷ヒートポンプ)と本ダイナミック型蓄熱システム(ヒートサムD)の効率(COP)を比較する。

6-2.1 機種選定条件

蓄熱時(夜間)と蓄熱利用時(昼間)および全日の各 COP を算出する。

機器の選定・計算条件

蓄熱夜間移行率：50%とする。

冷房熱負荷：本製品の最大能力とする。

(= 製氷能力 × 10h + 冷却能力 × 10h)

非蓄熱システムの冷却能力

= 冷房熱負荷 / 平均負荷係数 (= 0.85)

昼間の冷却時条件：外気 35 DB 冷水 7

夜間の製氷時条件：外気 25 DB

蓄熱分の昼間の放熱は10時間平均的に放熱とする。

蓄熱時の運転

- ・ 運転時間は10時間とする。

- ・ 一次ポンプ消費動力は必要流量(2deg 温度差)と全水頭圧15m などから算出する。

昼間の運転

- ・ 運転時間は蓄熱の放熱分とエットの冷水運転の併用10時間運転とする。

放熱能力 = 10h × (製氷能力 + 昼間冷却能力)

消費電力 = 10h × (蓄熱分の放熱ポンプ電力 + 昼間冷却時消費電力)

- ・ 一次ポンプ消費動力は必要流量(5deg 温度差)と全水頭圧15m などから算出する。

- ・ 二次ポンプ消費動力は必要流量(5deg 温度差)と全水頭圧30m などから算出する。

6-2.2 選定機種と各 COP 計算結果

表-2. に各種システムの選定機種とその計算結果を示す。圧縮機容量は従来の氷蓄熱が45kW、非蓄熱のチラーが90kWとなる。これに対して、本ユニットは37kWである。高効率であるため、ユニットサイズが小さくてよい例である。

蓄熱時のシステム COP はスタティック型に比べ、約15%程度改善されている。また、非蓄熱システムの全日 COP と比較しても遜色ない値である。

6-3. 環境性

環境性の指標であるCO₂・Nox・Sox 排出量を比較する。比較条件は、下記の年間冷暖房運転条件で比較する。

(1) 計算条件

冷房運転は4から10月とする。(20日/月とする)

冷房の最大負荷は295kWとする。

その時の4月から10月の負荷率は、

それぞれ0.08,0.17,0.45,0.69,0.8,0.48,0.12とする。

暖房運転は11月から3月までとする。

暖房の最大熱負荷は318kWとする。

その時の11月から3月の負荷率は、

それぞれ0.2,0.36,0.6,0.6,0.45とする。

表-2. 各システム選定機種と各種 COP

		冷却方式	非蓄熱システム	スタティック型蓄熱	ダイナミック型蓄熱
		メーカー		東洋製作所	東洋製作所
		型式		HSL-61H	HSD-51H
		圧縮機容量(kW)	45×2	45	37
冷水 運転	冷房	昼間冷却能力(kW)	315	144.2	132
		消費電力(kW)	111	63	46.3
		ユニットCOP	2.84	2.29	2.85
	一次ポンプ消費電力(kW)		-	-*	4.20
	二次ポンプ消費電力(kW)		8.01	6.51	6.38
		蓄熱利用時COP	2.65	3.68	4.41
製氷 運転	冷房	蓄熱時製氷能力(kW)	-	111.6	118.8
		消費電力(kW)	-	47.4	40.3
		ユニットCOP	-	2.35	2.95
	一次ポンプ消費電力(kW)		-	-*	3.78
		蓄熱時COP	-	2.35	2.70
全日 運転	全日冷却能力(kWh)		3,150	2,558	2,508
	全日消費電力(kWh)		1,190	1,169	1,010
	全日COP(-)		2.65	2.19	2.48

* : ダイナミック型の一次ポンプ動力は、エットに含む。

表-3. 各方式の年間使用電力量及環境保全性

		メーカー		東洋製作所	東洋製作所
		型式		HSL-61H	HSD-51H
		圧縮機容量(kW)	45×2	45	37
冷房 時間	昼間 時間 (h/年)	夏季料金時	337.4	270.6	263.6
		その他の季節料金時	140.5	13.6	3.8
	夜間 時間 (h/年)	夏季料金時	-	595.2	600.0
		その他の季節料金時	-	376.0	368.0
暖房 時間	昼間時間(h/年)	287.3	412.8	480.8	
	夜間時間(h/年)	-	268.0	233.0	
年間 使用 電力量 (kWh/年)	昼間	84,124	47,874	34,497	
	夜間	-	62,490	49,961	
年間 CO ₂ 排出量 (t/年)	昼間	8.7	4.9	3.6	
	夜間	-	5.2	4.1	
	合計	8.7 (1.0)	10.1 (1.17)	7.7 (0.89)	
年間NOx排出量(Nox kg/年)		16.0	21.0	16.0	
		(各システム/非蓄熱システム)	(1.0)	(1.31)	(1.00)
年間SOx排出量(Sox kg/年)		12.6	16.6	12.7	
		(各システム/非蓄熱システム)	(1.0)	(1.31)	(1.00)

(2) 環境性の計算結果

表-3. に各機種の冷暖房負荷に対応する運転時間と年間使用電力量を示す。

スタティック型氷蓄熱は計算条件によっては、CO₂ 排出量が非蓄熱より増えることがある。しかし、本システムのダイナミック型は効率がよいので、非蓄熱システムよりもCO₂ 排出量が11%も減ることになる。

なお、排出原単位は下記を採用した。

- ・ CO₂ 排出原単位：昼間(8~22時)：103g-C/kWh

- ・ 夜間(22~8時)：83g-C/kWh

- ・ Nox 排出原単位：0.19 g/kWh

- ・ Sox 排出原単位：0.15 g/kWh

7. 納入実施例

本システムの納入実施例を以下に示す。
空調用の実施例として図-10、図-11 を示す。また、産業用の冷水供給用としては、図-12 と図-13 を示す。



図-10. 某大学空調設備

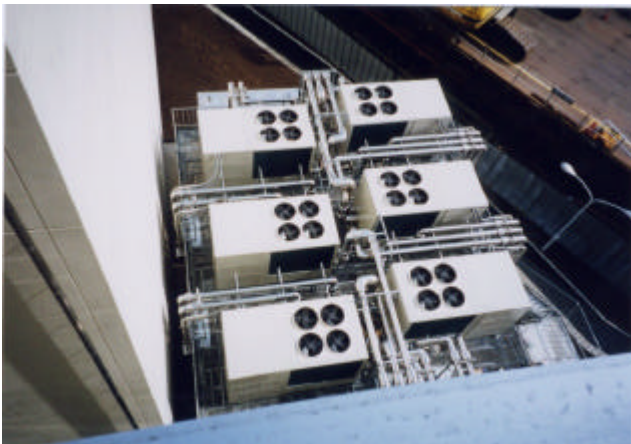


図-11. 某印刷所空調設備



図-12. 某食品メーカー プロセス冷却設備



図-13. 某乳業メーカー プロセス冷却設備

8. おわりに

環境問題が深刻化し、省エネルギー化の必要性が高まる中でダイナミック型氷蓄熱システムにおける過冷却水製氷方式に着目し、この方式の抱える過冷却の不安定さと冷水の加熱による原理的な効率低下の問題を解決する方法として、直膨型の製氷ユニットを開発した。

空調用での今後の利用拡大に期待したい。また、産業用では、0 に近い冷水の需要は多く、このダイナミック蓄熱による数倍の急激な負荷変動対応や、0 に近い安定した氷水の利用については、このシステムの特徴の重要な一つである。この点でも、今後の用途開発を考えていきたい。

このシステムの普及、拡販に今後力を入れて行く方針であり、現在の空冷ユニット1機種から、シリーズ化の計画を図り、また、水冷ユニットシリーズや新冷媒・自然冷媒の採用など、早急に社会ニーズに応えるべく対応する所存である。

参考文献

- 1) 関光雄・黒川佳寛、直膨型過冷却水製氷ユニットによる氷水搬送システム
日本機械学会熱工学講演会(2001.11)、169-170
- 2) 関光雄・黒川佳寛、直膨型過冷却水製氷ユニットによる氷水搬送氷蓄熱システム、Workshop on Solar Vehicles and Solar Bicycles
2002(2002.10)、73-80