

家庭用蓄熱式空調給湯器の開発

Development of Ice Storage Room Air Conditioner
with Hot Water Supply Using Alternative Refrigerant System

エアコン製作所 高瀬和茂*¹ 佐々倉正彦*²
岩城弘和*³
技術本部 前野政司*⁴

氷蓄熱式空調機器は、夜間電力を利用するため、電力ピーク負荷を低減し平準化するのに有効な手段として普及しつつある。当社は、九州電力(株)と共同で従来の氷蓄熱に加え、代替冷媒(HFC 134a)を用いた給湯用温水供給も可能な家庭用蓄熱式空調給湯器の開発を行った。本システムでは、夜間電力利用の氷蓄熱及び温水の昇温は夏期は冷房や製氷運転の排熱を利用し、他の期間はヒートポンプで行うことで効率向上と電力負荷平準化の両立をねらった。

Ice-storage air conditioners are widely used to narrow the gap between on- and off-peak electricity demand and to effectively reduce electricity demand and electricity charges. We developed an ice-storage air conditioner with hot water supply using an alternative refrigerant, HFC 134a. The system supplies hot water by using heat otherwise discharged into the atmosphere in summer and uses a heat pump to supply hot water in other seasons.

1. ま え が き

現在、夏の午後の電力負荷ピーク時間帯では、業務用、家庭用空調機器等の使用が増大し深夜の2倍以上の電力量が必要となっている。地球環境保全のためには、空調機の使用電力量の低減(機器の省エネルギー化)と平準化が重要となっている。一般家庭では省エネルギーのアイテムとして、貯湯はヒートポンプで行うとともに冷房及び製氷時には排熱を回収して貯湯運転すること、電力量平準化のためには夜間電力を利用して空調用蓄熱を行い日中のピーク時に使用することが考えられる。今回、オゾン層保護のため、HFC冷媒を使用した夜間電力を利用するヒートポンプ蓄熱式空調給湯器の開発を行い、フィールドで省エネルギー性を評価したので結果を報告する。

2. 研究の概要と目標

2.1 概 要

(1) ピークカット率

空調機の電力は圧縮機の運転分が大半であり、圧縮機の電力量をどこまで下げられるかで決まる。

本システムではピークカット運転時に圧縮機を停止させ、夜間に蓄えた氷又は湯を利用し、冷水又は温水を室内機に循環させて空調を行う方式を採用することにより、高いピークカット率を目標とすることを可能とした。

$$\text{ピークカット率} = (A - B) \times 100 / A$$

ここで、

A: 蓄熱を利用しないときの入力

B: 蓄熱を利用したときの入力

(2) ヒートポンプ貯湯温度

冷房や夜間に氷を蓄えるときの排熱を回収し、貯湯の熱源とすることにより省エネルギー性を高め、地球温暖化防止につなげることができ、貯湯をヒータで行う電気温水器と比較するとヒートポンプ方式では2~3倍の高効率化が可能となる。

そのヒートポンプ貯湯での運転率を高くするために、低圧冷

媒であるHFC 134aを採用することによりHCFC 22の空調機器と同じ設計圧力内で湯温80℃までヒートポンプ貯湯運転が可能となった。

(注) 凝縮温度80℃時の飽和圧力 HFC 134a : 2.63 MPa
HCFC 22 : 3.66 MPa

2.2 目 標

(1) ピークカット率

室内機の空調に水循環方式を採用することにより、ピークカット率85%以上を目標とした。

(2) ヒートポンプ貯湯温度

冷媒に代替冷媒HFC 134aを採用することにより、ヒートポンプ貯湯温度は80℃を目標とした。

(3) 氷充てん率 (Ice Packing Factor : 以下、IPFと称す)

外融式スタティック方式なのでブリッジングを考慮し、55%を目標とした。

3. システムの検討

3.1 全体システム概要

開発した全体システムを図1、回路を図2に示す。室外側には室外機、蓄熱ユニット、給湯槽があり、室内側には空調機と床暖パネル計5台が接続できるようになっている。蓄熱ユニット内で空調用の冷温水や氷を作り、水を作動媒体として室内側で空調を行う。室外機には給湯用水熱交を有しており、給湯槽との間は水(湯)の循環となる。システムの仕様概要は表1のとおりである。

3.2 水循環方式

本システムのねらいの一つとして、高ピークカット率を実現し、家庭用空調機の夏期昼間の電力ピークを下げることに繋げることがある。そこで従来の方式にとらわれず、いかにして高ピークカット率で高効率なシステムが実現できるかを検討した。

(1) 水循環方式はピークカット運転時に圧縮機を停止して空調を行うことが可能なため、高ピークカット率運転が可能となる。

(2) 水循環方式とすれば後からの室内機増設対応が容易であり、小部屋等の小スペース空調の対応も容易というメリットがある。

*¹ 技術部ルームエアコン設計課
*² 技術部パッケージエアコン設計課

*³ 品質保証課主務
*⁴ 名古屋研究所冷熱システム研究室主務

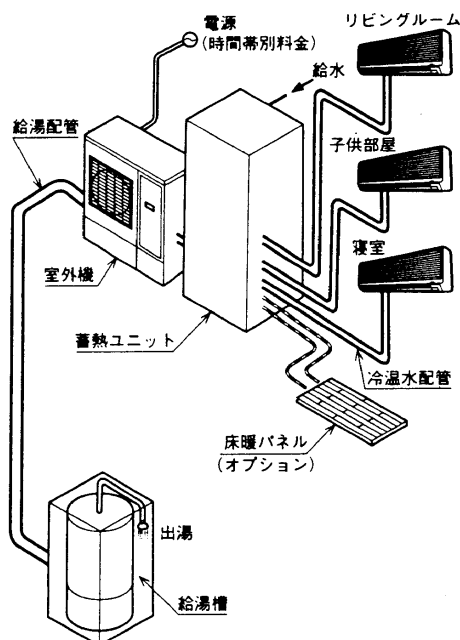


図1 全体システム ユニット全体システムを示す。
Unit total system

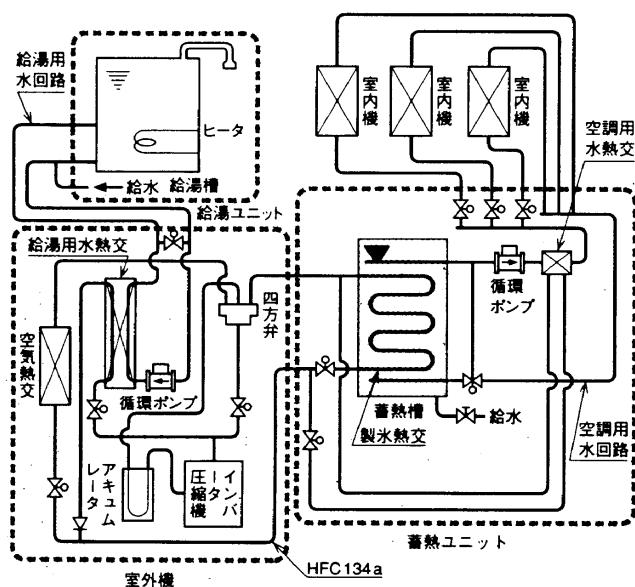


図2 システム回路 冷媒及び水回路を示す。
Refrigerant and water circuit

表1 仕様概要
Specification of this system

冷房能力/入力	7.5kW/3.1kW
暖房能力/入力	9.5kW/3.4kW
蓄熱槽容量	270 l
給湯槽容量	460 l
IPF	55 %
ヒートポンプ給湯温度	80°C

さらに床暖房の対応も容易であり、一軒すべての空調に対応可能なシステムである。

以上のような内容より、水循環方式を採用し、5人家族の一戸建にも対応可能なように冷房能力7.5kW、暖房能力9.5kW、給

湯タンク容量460 lとした。

3.3 冷媒

冷媒の選定については、高効率化のためにヒートポンプ貯湯運転の範囲を広くすることが有効であること及びオゾン層破壊防止のためのHCFCの規制が始まっていることにより、低圧冷媒でオゾン層破壊係数0の代替冷媒HFC134aを採用することとした。

3.4 製氷熱交

システムの低コスト化のためにスタティック方式とし、外融式にて室内機へ送る冷水を取出す。そこで以下の(1)(2)を実施した。
(1) 蓄熱槽の水の出入口についてはヘッダ式として図3に示すように槽内に均一に分布する流れで均一に解氷するようにした。
(2) 製氷量は室内機2台運転でも約3hピークカット運転が可能な量を確保し、外融式の問題となる氷のブリッジングを防止するため水量270 lでIPF 55 %となるよう、製氷熱交を最適設計した。

3.5 冷媒回路と運転モード

冷媒回路の特長は、冷房、製氷時に排熱を利用した給湯ができること及び立ち上り時性能を直膨式と同等とするため、蓄熱槽バイパス回路を設けて空調に利用する水容量を低減した点等である。また、使用者の要求に対応しつつ省エネルギー運転を実施する仕様とした。ユニットの保護システム等により、現在の運転モードが継続できなかった場合には、次の優先順で運転モードを決定する。

空調>貯湯>蓄冷>蓄熱

特長ある運転としては、次のとおりである。

- (1) 蓄冷+通常冷房時には、製氷熱交と空調用熱交で蒸発温度が異なるため、空調用水熱交換器出口部配管で圧力を調整し、異なる二つの蒸発温度を持つ運転を可能とした。
- (2) 通常暖房+貯湯では給湯槽温度が低いと凝縮温度が低下して、温風が吹出すまで時間がかかる。打手として給湯水熱交の回路に制水弁を設け、低温時は循環水量を絞り凝縮温度を設定温度まで素早く上昇させるシステムとした。

4. 試験計画と結果

本システムの基本性能を把握し、実使用状態での省エネルギー性、経済性評価を行うため、まずラボテストを実施し、引続きフィールドテストを平成9年秋～平成10年冬に実施した。

4.1 ラボテスト

4.1.1 性能試験

本システムの基本冷媒回路確立と基本性能の把握のため、まず

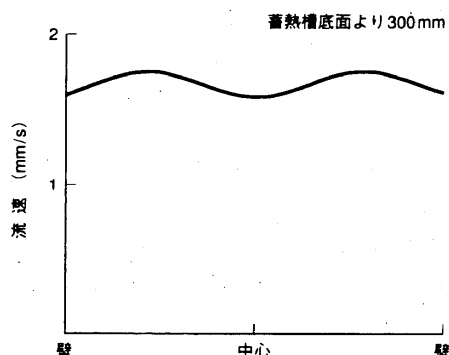


図3 速度分布シミュレーション 蓄熱槽内の速度分布を示す。
Result of velocity distribution simulation

ラボテストを実施した。基本的な運転モードごとの試験条件と性能計画値を表2に示す。冷房・暖房の性能は市販されている直膨式3室マルチエアコンの性能と同等、蓄冷・貯湯については、夜間時間帯に完了できる能力を確保することを優先とした。蓄冷の完了はIPF 55%，貯湯の完了は貯湯温度80℃に達した時点である。計画値達成のため、熱交換器容量及びサーキット、配管サイズ（冷媒圧損）、液ガス熱交換器を検討して実機に反映させ、ほぼ計画値どおりの性能が得られた。

4.1.2 蓄冷、放冷

蓄冷については、蓄冷時の性能とともに放冷時の氷の融解特性を検討した。蓄冷された氷が均一に融解し、氷がなくなるまで、安定した取出し水温が得られることが重要である。

今回、蓄熱槽からの水の取出口及び戻し口を検討し、試験した結果を図4に示す。氷が融解し、水量が減少するが能力はほぼ一定を保っており、水量が0 kg 付近になってから能力が低下していることで、氷の融解はほぼ均一に行われているといえる。

4.1.3 貯湯

貯湯については、性能の確保とともに貯湯槽内の温度成層を保ちながら昇温する必要がある。本システムは、昇温用熱交換器が貯湯槽の外部にあるため、水を流動させる必要があり、循環流量と温度成層を検証した。貯湯追だき運転を行った場合の貯湯槽壁温状況を図5に示す。貯湯槽上部の湯温は維持しながら昇温した。貯湯槽への入口の流速及び方向を適正化することで温度成層を保ちながら昇温することは可能であることが分かった。

表2 試験条件と計画値
Test condition and planning performance

	室内* 温度 (℃)	室外* 温度 (℃)	計画値		備考
			能力 (kW)	COP	
冷房	27/19	35/-	7.5	2.4	
暖房	20/-	7/6	9.5	2.8	
蓄冷	-	25/-	-	2.1	10℃→IPF 55%
貯湯	-	7/6	-	2.1	7℃→80℃ 460 l
蓄熱	-	7/6	-	2.1	7℃→80℃ 270 l
放冷	27/19	35/-	5.5	-	ピークカット率85% 3 h

*：ドライベース/ウェットベース

4.2 フィールドテスト

夜間電力を利用した家庭用蓄熱式空調給湯器について、実用規模でのフィールドテストを行い、ラボテストで確立したシステムの妥当性、省エネルギー性、経済性を実証・評価した。

実施場所は、中部地区2箇所とし、詳細は表3のとおりである。

4.2.1 フィールド試験運転データ

フィールド試験は、中間期から冬期まで実施し、夏はラボテストデータで代用した。

4.2.2 ピークカット

本システムは、ピーク時間帯の放冷冷房時は圧縮機を運転せず、蓄熱槽内の冷水を循環させて冷房を行うシステムである。図6のテストでは、通常冷房1台運転から、放冷冷房2台運転、通常冷房2台運転に移行し、放冷冷房2台運転時の消費電力は、水循環ポンプ及び室内機分のみで約350 Wである。冷房2台運転時は消費電力約3.1 kWであることから、ピークカット率は約89%とな

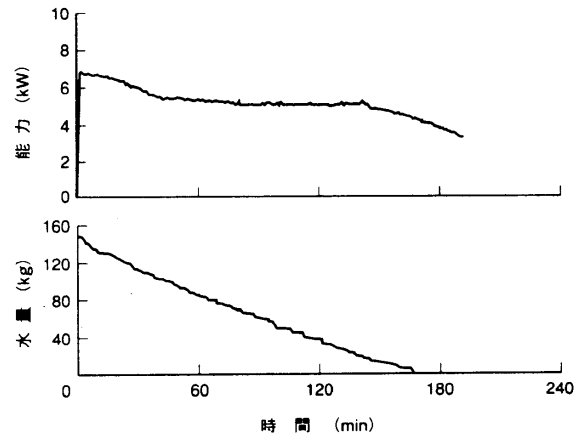


図4 放冷特性 蓄冷利用の冷房運転状況を示す。
Cooling performance using ice storage

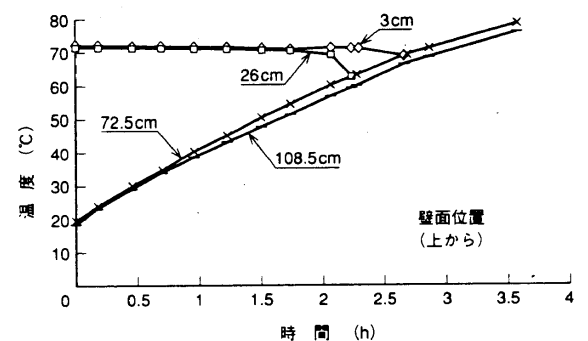


図5 貯湯特性 貯湯運転時の槽壁温上昇の状況を示す。
Ascending tank wall temperature

った。

4.2.3 省エネルギー性・経済性評価

本システムでフィールドテストを集合住宅及び一戸建てで実施し、従来機システム〔通常冷暖房空調機（壁掛形3室マルチ）+電気温水器〕との省エネルギー性（電力量）と経済性（電気代）の比較を行った。年間の内訳は夏期3箇月、中間期5箇月、冬期4箇月である。空調部分の効率は同等であり、貯湯・蓄冷・蓄熱運転の比較である。

(1) モード別運転時間

図7に運転モード別の発生時間をまとめた。全時間のうち約70%が停止で、30%が稼働時間である。年間のモード別稼働状況をみると、ヒートポンプ貯湯、通常冷暖房が主である（ヒートポンプ貯湯には、排熱を利用した部分は含まれていない）。貯湯性能をアップすることは、省エネルギーのために有効であるといえる。

(2) 省エネルギー性

表3 フィールドテスト実施場所
Site of field test

	A 宅	B 宅
住 所	愛知県	岐阜県
家 屋	鉄筋集合住宅 (3階建の1F)	木造一戸建
家族構成	3人 (夫婦+幼児)	4人 (夫婦+子供2人)
空調面積	2部屋 6畳、4.5畳	3部屋 8畳、6畳、6畳(2F)

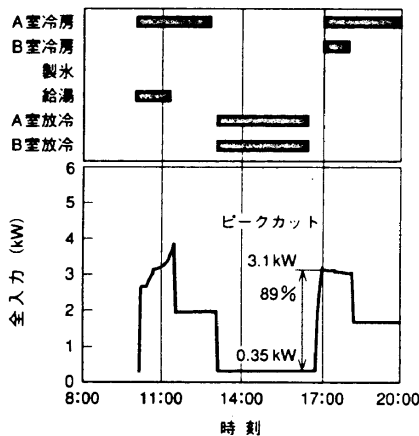


図6 ピークカット効果 蓄冷利用時のピークカット効果を示す。
Effect of cooling performance using ice storage

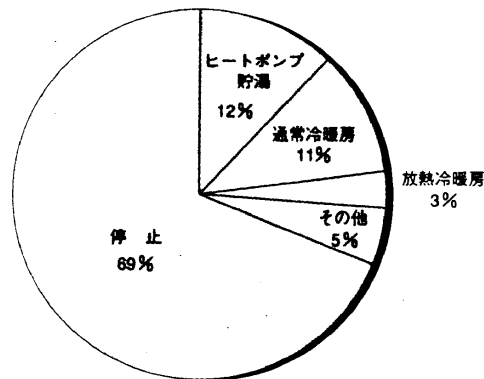


図7 運転モード別発生時間割合 運転モードの時間割合を示す。
Time ratio of operating mode

表4 期間別電力量低減量
Reducing electric consumption every season

	電力量低減量
夏 期	410 kWh/月 (40%)
中間期	259 kWh/月 (57%)
冬 期	261 kWh/月 (23%)
年 間	3 569 kWh/年 (36%)

注) () 内数値は割合を示す

表5 期間別電気代低減額
Reducing electric power rate every season

	電気代低減額
夏 期	6 769 円/月 (42%)
中間期	1 964 円/月 (46%)
冬 期	2 439 円/月 (15%)
年 間	39 883 円/年 (30%)

注) () 内数値は割合を示す

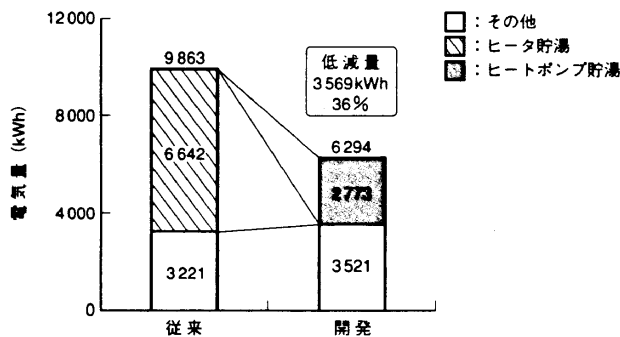


図8 年間省エネルギー性 従来システムとの年間消費電力量の比較を示す。
Comparison of annual electric consumption with present system

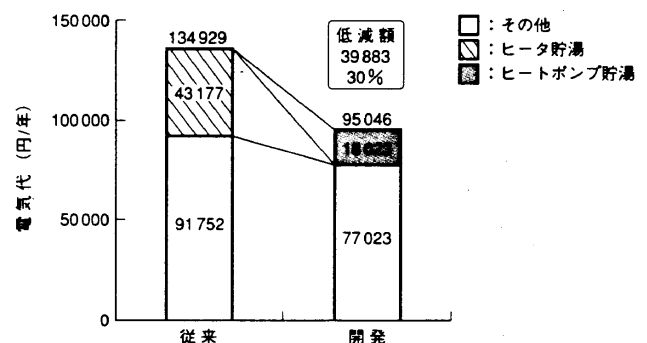


図9 年間経済性 従来システムとの年間電気代の比較を示す。
Comparison of annual electric power rate

期間及び年間の省エネルギー性を表4と図8に示す。貯湯にヒートポンプを用いたことと、通常冷房や蓄冷の排熱を貯湯に利用したことから、年間での電力量を3 569 kWh/y (約36%)低減することができた。期間別では、夏期は冷房、製氷の排熱を利用するためヒートポンプ貯湯単独運転はほとんどなく、中間期、冬期はヒートポンプ運転での成績係数向上による低減である。

(3) 経済性

ユーザの経済性の観点から、電気代の試算を行った。電気代試算は、従来機システムの空調部分は従量電灯B料金、ヒータ貯湯部分は深夜電力料金を用い、開発機システムは時間帯別電灯料金で試算した。期間及び年間の電気代低減額を表5、図9に示す。

夏期、中間期はヒートポンプ化によるCOP向上の効果が大きく、電気代低減割合も大きくなるが、冬期は電気代低減割合が

少なくなる。これは昼の暖房運転時間が長く、従来機の従量電灯B料金と時間帯別料金に差があるためと考えられる。

5. あ と が き

一般住宅の夏期ピーク電力負荷を軽減し、平準化する目的で夜間電力を空調・貯湯等に利用する蓄熱式空調給湯器の開発研究を実施し、ピーク時間帯の電力を89%抑制するピークカット効果が得られた。また、従来空調機+電気温水器システムと比較すると約36%の電力量、約30%の電気代を低減できる見通しが得られた。

現状の電気料金や機器のシステムでは、償却年数は約15年と推定されることから、今後、イニシャルコストとランニングコストの一層の低減を検討していく。

なお開発に当っては、九州電力(株)の協力を頂きました。ここに感謝します。