

# 環境工学研究

No. 273

2008. 9. 24

1. 潜熱蓄熱材とコンテナを利用した都市排熱の  
輸送再利用システム

青 木 勇

2. 水冷媒冷凍機と外気処理兼用調湿器を組み合わせた  
放射空調システム

今 井 正 昭

## 環境工学研究会

社団法人 空気調和・衛生工学会近畿支部

SHASE Kinki Branch, Japan

TEL 06(6612)8857

FAX 06(6613)7890

# 目 次

## — 研 究 報 告 —

1. 潜熱蓄熱材とコンテナを利用した都市排熱の輸送再利用システム ----- 1  
青 木 勇
2. 水冷媒冷凍機と外気処理兼用調湿器を組み合わせた放射空調システム ----- 7  
今 井 正 昭

開催日 平成 20 年 9 月 24 日 (水)

# 潜熱蓄熱材とコンテナを利用した都市排熱の輸送再利用システム

## Thermal Energy Transport System for Waste Heat Used Phase Change Material and Thermal Energy Storage Cassette

(株)神鋼環境ソリューション  
KOBELCO ECO-SOLUTIONS CO., LTD.

青木 勇  
Isamu AOKI

キーワード：熱輸送システム(Thermal Energy Transport System)、廃熱(Waste Heat)、蓄熱装置(Thermal Energy Storage Cassette)、エリスリトール(Erythritol)、直接接触(Direct Contact)

### 1. はじめに

都市特有の環境問題であるヒートアイランド現象は、都市における人間活動に伴うエネルギー消費と排熱、アルファルトによる土地被覆の増加や緑地の減少による自然界とは異なる熱バランスに起因している。ヒートアイランドの対策として、建物（屋上・壁面）や道路沿道の緑化、保水性舗装や太陽光高反射性塗装といった地表面被覆の高温化を抑制するための取り組み、高効率・省エネルギー型機器の使用や断熱性や自然換気性を高めた省エネルギー建物、自動車対策として低燃費車や物流の高効率化といった人工排熱を低減するための取り組みが進められている。

工場のボイラーや煙突などから大気中に排出される未利用熱を回収して利用する取り組みはヒートアイランドの対策として有効であり、例えば、排熱を使って作った温水をパイプラインで熱利用施設に供給する方法があるが、インフラが必要となるため地理的な制約が大きい。そこで、この未利用の廃熱を蓄熱コンテナに蓄えて、トラック等の車両によって輸送し、熱利用先で熱エネルギーを取り出して温水供給や冷暖房用途に利用する新しい蓄熱輸送システムについて紹介する。

### 2. 都市における人工排熱インベントリー

都市における人工排熱インベントリーを定量的に把握する取り組みとして、環境省による東京 23 区における人工排熱量の調査例<sup>1)</sup>がある。この調査結果(図 1)によると、業務ビルや住宅からの空調の排熱量、自動車からの排熱量が大きく全体の 7 割を占め、そのつぎに工場や清掃工場などの事業所排熱が大きい。

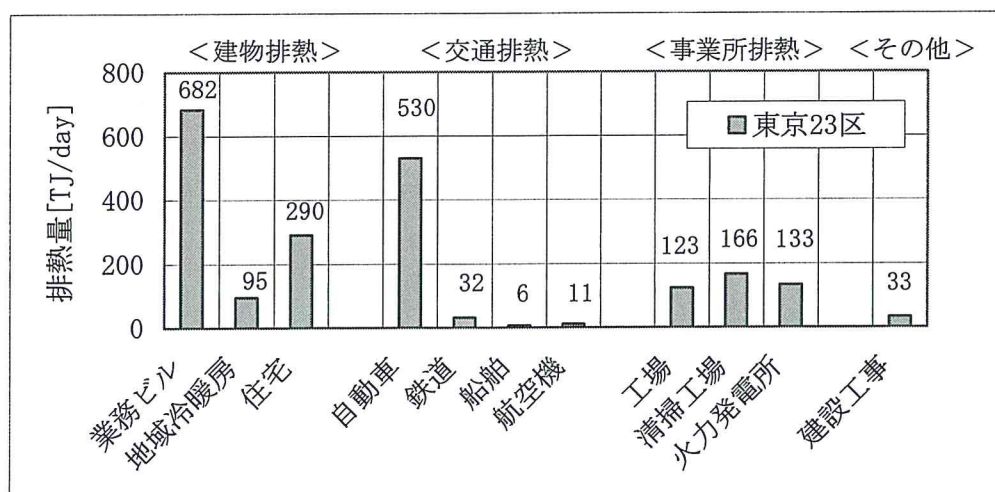


図 1 都市における人工排熱インベントリー (環境省 H15 年度調査)

また、全国の工場等から排出される排熱量について、省エネルギーセンターが 2000 年に実施したアンケート調査によると日本全体で約 100 万 TJ/年と推算された。<sup>2)</sup> 排熱温度の内訳で見ると、全排熱量の 4 割程度が 150～250℃の中・低温域の排熱であり、この排熱を有効利用できればヒートアイランド緩和対策として効果を期待でき、エネルギー消費の削減、CO<sub>2</sub> 排出量の削減に貢献できる。

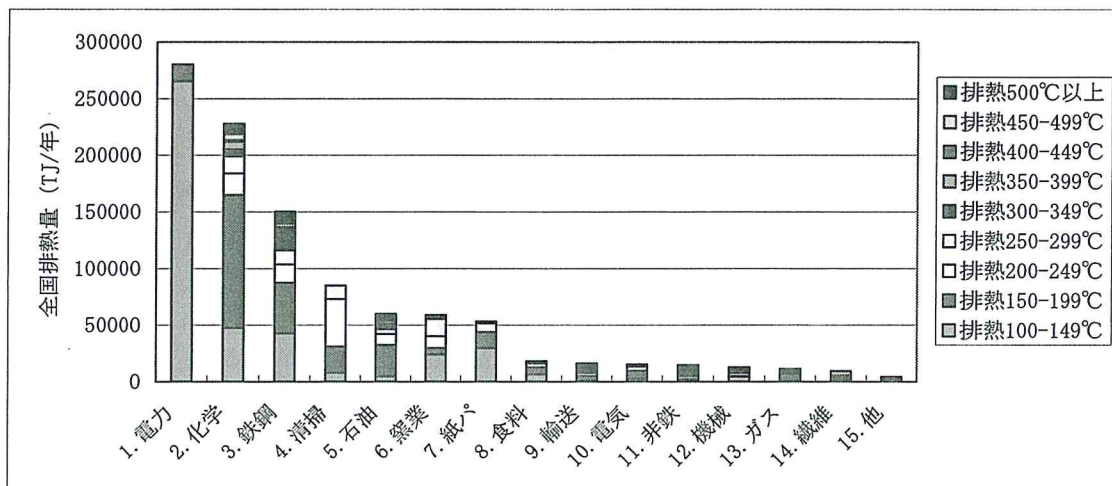


図2 全国の工場等からの排熱量 (省エネルギーセンター調査)

### 3. 潜熱蓄熱材を使った蓄熱輸送システム

工場や清掃工場から排出される廃熱には、ボイラーなどの放熱器からの放熱ロスと自己消費できずに煙突などから大気中に排出される未利用熱がある。この未利用熱を回収して蓄熱し、熱利用先まで輸送して再利用しようという新しい概念が蓄熱輸送システムである。蓄熱輸送システムの概念図を図3に示す。工場や清掃工場から排出される中・低温域の廃熱を蓄熱装置に蓄えて車両等により遠隔地まで輸送し、熱エネルギーを無駄なく高効率で取り出して利用できるシステムとして、オフライン方式の高効率蓄熱輸送システム「サーモウェイ」を開発した。<sup>3)</sup> 車両等を使って廃熱を輸送するため、熱利用施設の地理的範囲や選択の自由度が非常に大きい。すなわち、将来的な熱利用施設や熱供給(熱源)施設の変更や増減にも適応が容易で複数施設への適用も可能であり、これまで未利用だった廃熱の有効利用の促進に貢献できると期待される。

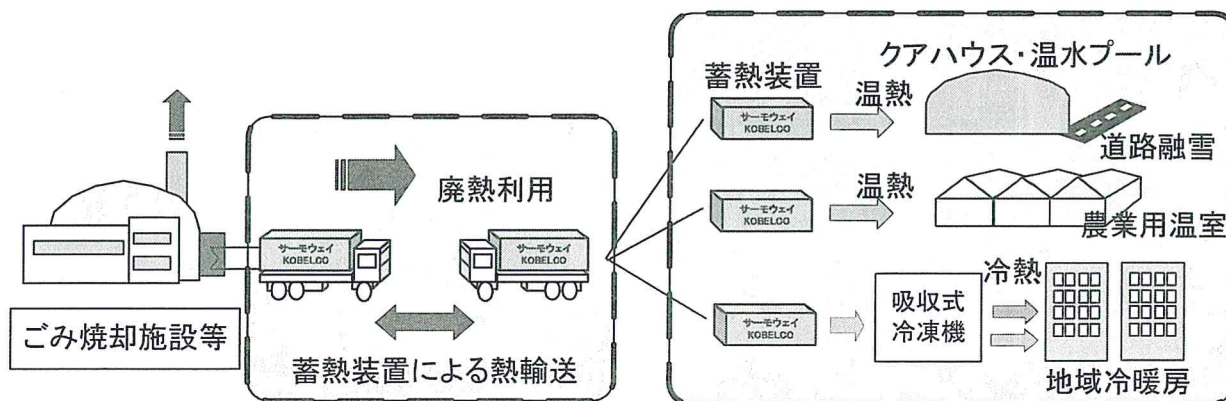


図3 蓄熱輸送システムの概念図



神鋼環境ソリューションと神戸製鋼所が共同で開発した高効率蓄熱輸送システム「サーモウェイ」は、蓄熱装置内に充填した潜熱蓄熱材（PCM：Phase Change Material）に熱エネルギーを蓄熱する。潜熱蓄熱材とは、固体から液体への相変化における融解潜熱を利用して蓄熱するもので、蓄熱密度が大きいと、蓄熱装置をコンパクトにできるというメリットがある。図4に4トンの小型蓄熱装置の写真を示す。「サーモウェイ」は、潜熱蓄熱材としてエリスリトールを使い、専用の高効率な直接接触型の熱交換方式を（株）神戸製鋼所と共同で独自開発することで、コンパクトで高性能な蓄熱装置を実現した。<sup>4)</sup>

なお、本研究開発の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構との共同研究事業「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発／バイオマスエネルギー転換要素技術開発／バイオマス資源の有効利用のための熱輸送システムの研究開発」として実施したものである。

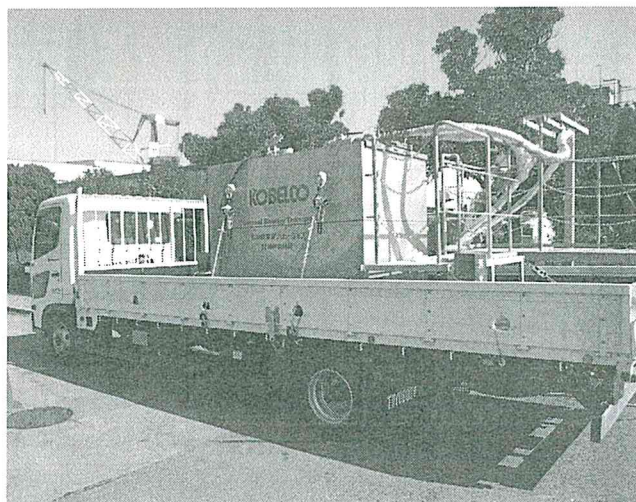


図4 小型蓄熱装置（4トン）の写真

#### 4. 高効率蓄熱輸送システム「サーモウェイ」の特徴

##### ①潜熱蓄熱材の特長

「サーモウェイ」は、潜熱蓄熱材としてエリスリトール（融点 119℃、融解潜熱 340kJ/kg）を使用している。エリスリトールは中低温用の潜熱蓄熱候補材料（図6）の中で融解潜熱が大きいと、蓄熱容量の大きいコンパクトな蓄熱装置を実現できる。また、エリスリトールはメロン、ブドウや梨などの果実や醤油・味噌・清酒などの発酵食品に含まれている天然にも存在する糖アルコールの一種であり、ノンカロリーの甘味料として使用されている安全性が高い材料である。

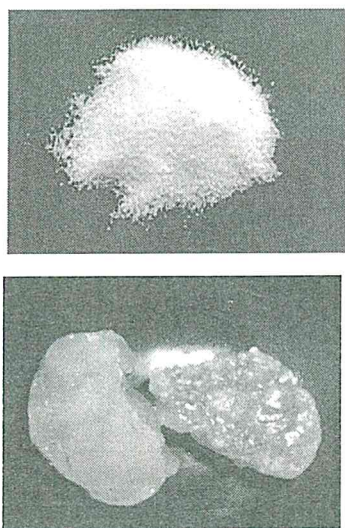


図5 エリスリトールの写真  
（上；新品粉末、下；溶解後再凝固）

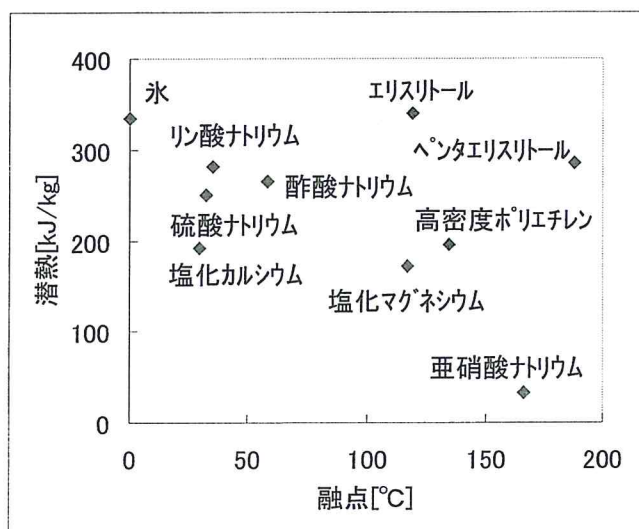


図6 中低温用の潜熱蓄熱候補材料の物性値<sup>5)</sup>



## ②蓄熱装置の蓄熱・熱回収運転

「サーモウェイ」は、エリスリトールを使用することで蓄熱容量が大きいという特徴を最大限に活かすために、専用の高効率な直接接触型の熱交換方式を独自開発し、蓄熱容量の90～95%の熱エネルギーを取り出して利用できる高性能な蓄熱装置を実現した。

図7に蓄熱装置の蓄熱過程と熱回収過程の運転方法を示す。エリスリトールへの蓄熱及びエリスリトールからの熱回収は熱媒油を介して行い、エリスリトールと熱媒油が蓄熱装置内で直接接触して熱交換を行う。蓄熱過程において、廃熱を使って加熱された熱媒油を熱媒ポンプによって蓄熱装置に送り、蓄熱装置内のエリスリトールが加熱されて蓄熱される。逆に熱回収過程では、温度の低い熱媒油を蓄熱装置に送り、蓄熱装置内のエリスリトールから熱を受け取って加熱された熱媒油を回収して、熱交換器で温水を加熱することで熱エネルギーを回収する。

「サーモウェイ」の蓄熱装置は、エリスリトールの融点119℃付近の温度で蓄熱するため、熱源として150～250℃の中・低温域、熱利用として90℃以下の温度での用途に適している。

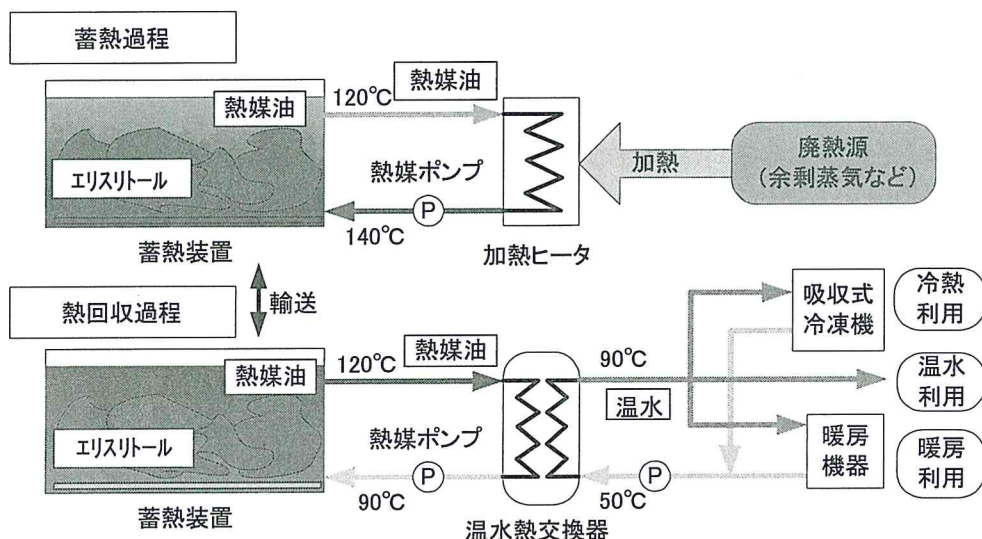


図7 蓄熱装置の蓄熱・熱回収運転

## ③廃熱エネルギーの冷房用途への利用

「サーモウェイ」は、市販の排熱利用型吸収式冷凍機と組み合わせることで、廃熱エネルギーを冷熱転換して冷房用途にも利用可能である。<sup>6)</sup> 図7に「サーモウェイ」と排熱利用型吸収式冷凍機の組合せ利用の概念図を示す。排熱利用型吸収式冷凍機は、駆動熱源として吸収液の加熱濃縮過程で90℃の温水を使用する。

「サーモウェイ」は輸送先の熱利用施設で90℃の温水を供給可能であり、この90℃の温水を駆動熱源として供給することで排熱利用型吸収式冷凍機を運転できる。すなわち、廃熱エネルギーを利用して、夏季は冷房用途、冬季は暖房用途に切り替えて利用が可能である。

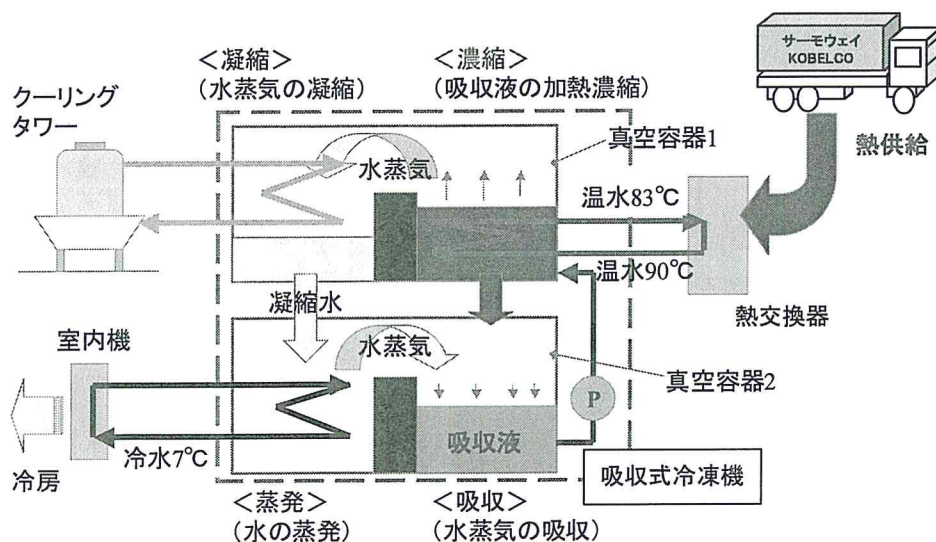


図8 「サーモウェイ」と排熱利用型吸収式冷凍機の組合せ利用の概念図

④蓄熱装置のラインアップ

表1に「サーモウェイ」の蓄熱装置のラインアップを示す。20トン蓄熱装置、10トン蓄熱装置、4トン蓄熱装置の3タイプを有し、熱利用施設の負荷に応じて選択できる。

表1 蓄熱装置のラインアップ

	蓄熱容量	総重量	寸法
20トン蓄熱装置	7.1GJ	20トン	6m×2.4m×1.7mH
10トン蓄熱装置	3.4GJ	10トン	3.3m×2.4m×1.7mH
4トン蓄熱装置	1.2GJ	4トン	1.2m×2.4m×1.7mH

5. 「サーモウェイ」の適用例

「サーモウェイ」の適用例として、4トン蓄熱装置を使用したケースと、20トン蓄熱装置を使用したケースについて、燃料削減とCO<sub>2</sub>排出削減の効果を試算した事例について以下に紹介する。

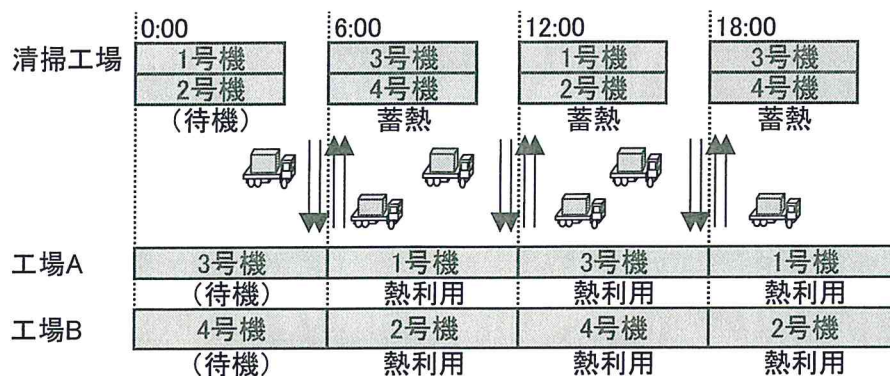
① 適用例（1）

蓄熱装置) 4トン蓄熱装置  
 熱源種類) 清掃工場の余剰蒸気  
 熱需要施設) 工場（暖房・給湯）

熱輸送システムの概要	
蓄熱装置	4トン蓄熱装置
台数	4台
熱輸送時間	6:00-24:00
輸送回数	6 往復/日
輸送距離	10 km
熱輸送量	7.2 GJ/日
熱源種類	清掃工場の余剰蒸気
熱需要施設	工場 (200m <sup>2</sup> ×2力所) 使用用途;暖房・給湯 (燃料;A重油)

A重油 削減効果	運転日数	180 日/年
	A重油単価	90 円/L
	削減量	46 kL/年
	削減金額	4,140 千円/年
CO <sub>2</sub> 削減 効果	換算係数	2.7 kg-CO <sub>2</sub> /L
	燃料削減に伴うCO <sub>2</sub> 削減量	125 ton-CO <sub>2</sub> /年
	輸送に伴うCO <sub>2</sub> 排出量	9 ton-CO <sub>2</sub> /年
	CO <sub>2</sub> 削減量	116 ton-CO <sub>2</sub> /年

<運行パターン例>





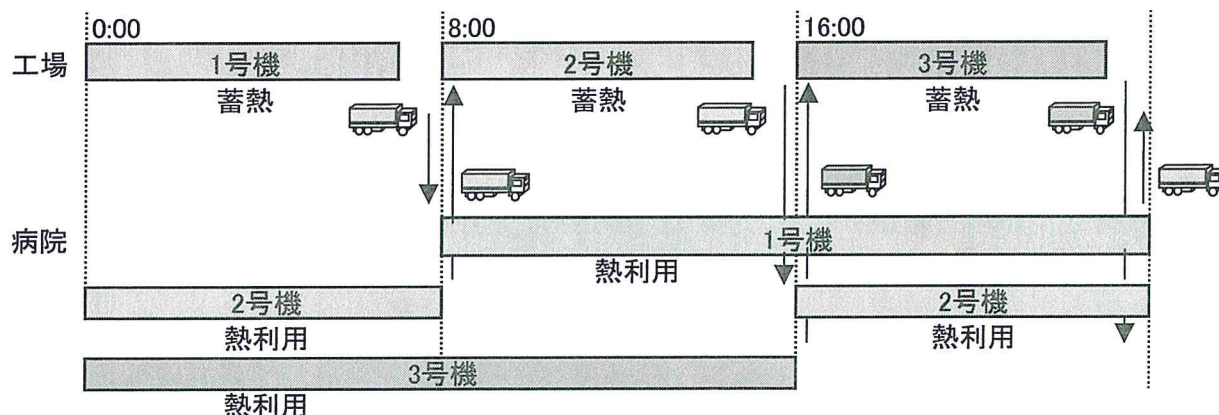
② 適用例（2）

蓄熱装置) 20 トン蓄熱装置  
 熱源種類) 工場の排ガス  
 熱需要施設) 病院（冷暖房）

熱輸送システムの概要	
蓄熱装置	20トン蓄熱装置
台数	3台
熱輸送時間	0:00-24:00
輸送回数	3 往復/日
輸送距離	20 km
熱輸送量	21.3 GJ/日
熱源種類	工場の排ガス
熱需要施設	病院 (延床面積3,600m <sup>2</sup> )
	使用用途; 冷暖房 (燃料; 都市ガス)

都市ガス削減効果	運転日数	260 日/年
	都市ガス単価	70 円/m <sup>3</sup>
	削減量	172 km <sup>3</sup> /年
	削減金額	12,000 千円/年
CO <sub>2</sub> 削減効果	換算係数	2.1 kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
	燃料削減に伴うCO <sub>2</sub> 削減量	357 ton-CO <sub>2</sub> /年
	輸送に伴うCO <sub>2</sub> 排出量	20 ton-CO <sub>2</sub> /年
	CO <sub>2</sub> 削減量	337 ton-CO <sub>2</sub> /年

< 運行パターン例 >



6. まとめ

これまで未利用だった工場や清掃工場等から排出される中・低温域の廃熱を蓄熱コンテナに蓄えて輸送し、熱利用先で熱エネルギーを取り出して温水供給や冷暖房用途に利用する新しい蓄熱輸送システムについて紹介した。未利用廃熱を有効利用することで、エネルギー消費及び CO<sub>2</sub> 排出量の削減に貢献できる。さらに、都市において複数の施設を対象に熱輸送のネットワークを構築することで、より一層地域におけるヒートアイランド緩和対策として一役を担っていくことが期待される。

【参考文献】

- 1) 環境省 平成 15 年度 都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書
- 2) (財) 省エネルギーセンター資料：工場群の排熱実態調査研究 (2000)
- 3) 青木勇ほか, 神鋼環境ソリューション技報, Vol. 4, No. 1, p. 16 -21 (2007)
- 4) 高橋和雄ほか, 第 17 回環境工学総合シンポジウム講演論文集, p. 143-146 (2007)
- 5) 蓄熱技術—理論とその応用 第 II 編「潜熱蓄熱、化学蓄熱」, (社) 化学工学会蓄熱・潜熱・熱輸送技術特別研究会 (2001)
- 6) 高橋和雄ほか, 神戸製鋼技報, Vol. 56, No. 2, P. 10-14 (2006)



# 水冷媒冷凍機と外気処理兼用調湿器を組み合わせた放射空調システム (Radiation Air Conditioning System Using Water Refrigerant Heat Pump & Dual Purpose Unit for Fresh Air Treatment and Humidity Control)

株式会社ササクラ 研究開発部  
(Sasakura Engineering Co., Ltd.)

今井正昭  
(Imai Masaaki)

キーワード：放射空調 (Radiation Air Conditioning System)、水冷媒 (Water Refrigerant)、  
ヒートポンプ (Heat Pump) 放射パネル (Radiation Panel)、除湿 (Dehumidity)

## 1. はじめに

先の洞爺湖サミットにおいて16カ国首脳が2050年までに地球温暖化ガスの発生量を現在の50%にすることで一致し、日本政府は国内のCO<sub>2</sub>排出量を2050年までに50~80%削減する「福田ビジョン」を発表した。また国内で初めて温室効果ガスの排出規制を義務化する東京都の改正環境確保条例が6月に可決した。対象となるオフィスビルなどでは削減の取組みが始まっているが、業務部門においては京都議定書(1990年)時よりも40%もCO<sub>2</sub>の発生量が増えており、現在の対流空調では、クールビズ運動やトップランナー方式の省エネルギー推進だけではもはや達成困難で技術的限界にきている。

資源エネルギー庁は「省エネルギー技術戦略2007」を示し、その核となる技術として、ノンフロン、水冷媒ヒートポンプ、顕熱潜熱分離空調、放射空調、躯体蓄熱、タスクアンビエント空調を提案している。この提案に対応するため日本の気候に適した水冷媒冷凍機と外気処理兼用調湿器を組み合わせた水冷媒放射空調システムを開発した。水冷媒放射空調は、冷房時の冷水が20℃と高く、又暖房時の温水は25℃と低いため、ノンフロン水冷媒ルーツヒートポンプは高COPが可能な熱源機として開発できた。また除湿は人間が必要とする換気風量(25CMH/人)で人間が発生する水蒸気100g/h人を除去するため、絶対湿度0.007kg/kg'の乾燥空気を供給し、換気風量と除湿風量を一致させた。さらにオフィスビルに適した意匠で高効率な放射パネルを開発すると共に放射理論や放射の最適な制御方法を確立し、だれでも容易に放射空調の設計を可能としたので紹介する。

## 2. 放射空調の理論

放射空調は従来空調の延長線上にあるのではなく、人間の発生熱を直接放射パネルが吸収する独立したシステムである。放射パネルはその表面温度を23℃にしておけば、人間が体内で発生させる発熱速度と放射パネルが吸収する熱損失速度がシバランスした場合が最も快適である。

人間の体表面(男子)=1.6m<sup>2</sup>、人間の発熱量=45W/m<sup>2</sup>、人間の平均表面温度=31℃とすれば、人間の発熱量は72W/人となる。人体からの熱放出割合は放射50%、対流25%、蒸発20%、伝導5%が快適と言われており、放射熱伝達で除去すべき熱量はステファンボルツマンの放射熱伝達量の計算式より37W/人となる。

この熱量を体表面温度31℃のときに除去するには放射面を23℃にすればよい。人間の発熱量、体表面温度は常に一定のため放射パネルの表面温度は年間を通じて23℃一定にしておく必要がある。これが放射理論の基本である。従来の対流空調は室内の温度を一定にして室内の空気人間を冷却していたが、放射空調は直接放射伝達によって冷却するため、対流空調よりも2℃室温を高くできる。

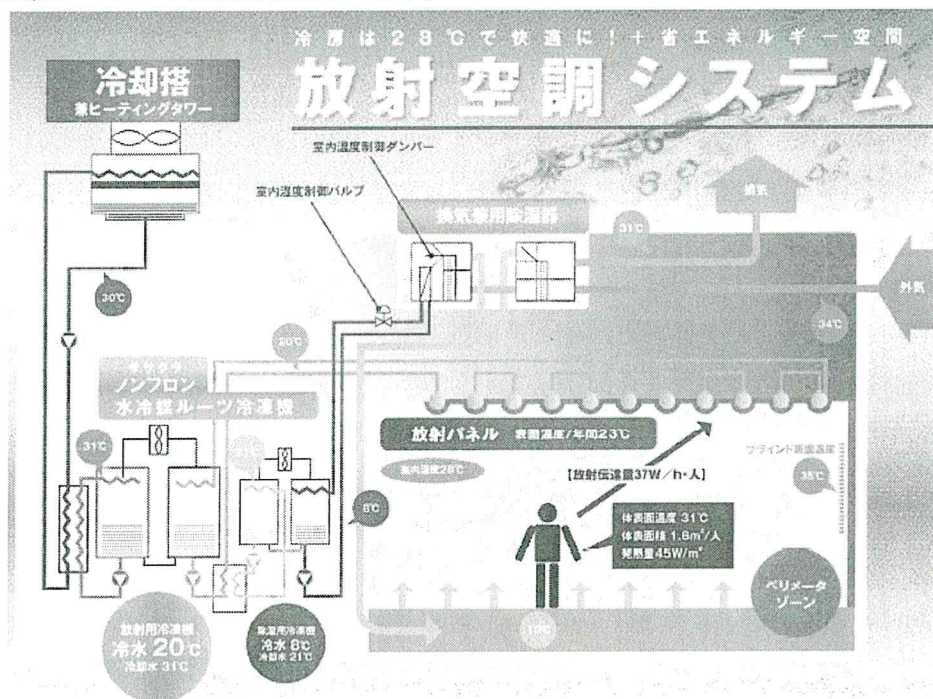
## 3. 水冷媒放射空調システム

### 3.1 機器構成

- (a) 水冷媒ヒートポンプ  
放射パネル用 20℃～25℃ COP6.5 以上  
中間期フリークーリング
- (b)放射パネル  
能力 150W/m<sup>2</sup>  
パネル表面温度 年間 23℃一定制御
- (c) 外気処理兼用調湿器  
夏 絶対湿度 0.007 kg/kg' 供給⇒湿度 45～48%  
冬 絶対湿度 0.0064 kg/kg' 供給⇒湿度 40%  
室温制御はバイパスダンパーによる
- (d) 冷却塔  
冷却水出口温度 30℃  
ヒーティング、フリークーリング兼用
- (e) 躯体蓄熱  
夏季、冬季のピーク負荷時のみ予冷、予熱
- (f) パネル流量制御  
サイリスターポンプによる流量制御

### 3. 2 水冷媒放射空調システム

水冷媒放射空調システムの系統図を図1に示す。



図一1 水冷媒放射空調システム

冷房期間の冷水温度は20℃、暖房期間の温水は25℃とする。

除湿用水冷媒ヒートポンプは7℃の冷水生成のため、放射用水冷媒ヒートポンプとカスケード運転にすることで冷却水を20℃とした。



放射パネルには4月～11月の冷房期間は20℃の冷水を送り、ポンプによる流量制御でパネル表面温度を一定とする。12月～3月の暖房期間は25℃の温水を送り、ポンプによる流量制御でパネル表面温度を一定にするが、インテリアは年間冷房となるので熱回収により20℃の冷水を送ることとする。

換気兼用調湿機は、外気の絶対湿度が0.007 kg/kg' (DB20℃ RH50% WB14℃) 以上の場合は運転し、以下の場合は換気のみとする。外気絶対湿度が0.0064 kg/kg' (DB15℃ RH58% WB7℃) 以下になれば加湿が必要となる。特に外気が10℃以下の場合は加熱加湿が必要となる。

除湿の場合絶対湿度0.007 kg/kg' にするためには10℃まで冷却が必要で、もし10℃の風を室内に送風すれば室温は低下し、低温多湿となる。そこで顕熱交換器を用いて外気によって再熱すれば20℃まで温度をあげられる。又外気は20℃までプレクールされ冷却負荷は大巾に低減できる。

加湿の場合も絶対湿度0.0064 kg/kg' まで加湿するためには26℃までプレヒートする必要があり、26℃を室内に送風すれば冬でも冷房しているインテリアでは室温が上昇しクレームとなる。そこで上記の顕熱交換器を外気でレ・クールし、15℃で送風すればその心配はない。又外気は18℃まで再熱されるために加熱負荷が大巾に低減できる。又顕熱交換器にバイパスダンパーをもうけ室温制御を行なう。

全熱交換器のバイパスダンパーは外気が28℃以下になったとき全閉とし、外気が15℃以下になったときは全開とする。水冷媒ヒートポンプは冷水20℃、温水25℃のため高COPが期待でき、ノンフロン空調が完成する。本水冷媒放射空調は人間の発生熱を効率よく直接吸収するとともに余剰能力は躯体蓄熱し、平均放射温度を下げる。換気兼用調整器は外気を処理して室内を換気するとともに除湿、加湿を行ないさらに室温制御も併せて行なう。このような機能を持ち、放射、室温、調湿の制御を同時に行なうのが水冷媒放射空調である。

#### 4. 水冷媒ルーツヒートポンプ

当社は1949年の創業以来、海水淡水化の専門メーカーであり、その海水淡水化の基本技術である真空蒸発技術がこの水冷媒ヒートポンプに生かされている。水は真空下で蒸発すると、発生蒸気の蒸発潜熱分の熱量が水から奪われ、その水の温度が下がる原理を使用している。

水蒸気は温度が低いと比容積が桁違いに大きいことから、一般空調に必要な7℃の冷水を水冷媒で製造するのは、エネルギー的にも構造的にも適当でないと敬遠されていた。しかし、負荷側としての放射空調技術の開発により、20℃程度の高温冷水で快適な冷房空調が可能となれば、水冷媒ヒートポンプは実用的な効率で運転することが可能となった。水冷媒を使用する場合は、大量の水蒸気を高圧縮することが必要となるが、その圧縮機にルーツブロワを採用することで、一般建物などの放射空調用熱源機として小型水冷媒ヒートポンプが完成した。ルーツブロワとは、互いに反対方向に回転する一對のまゆ形ロータが回転する容積式の構造であり、真空中において大容量の圧縮・排気を行うことができる。二軸で構造が簡単なことから、取扱いが容易で長寿命なうえにオイルフリーでクリーンな真空が得られるブロワーである。

# 水冷媒ルーツ冷凍機の系統図と特長

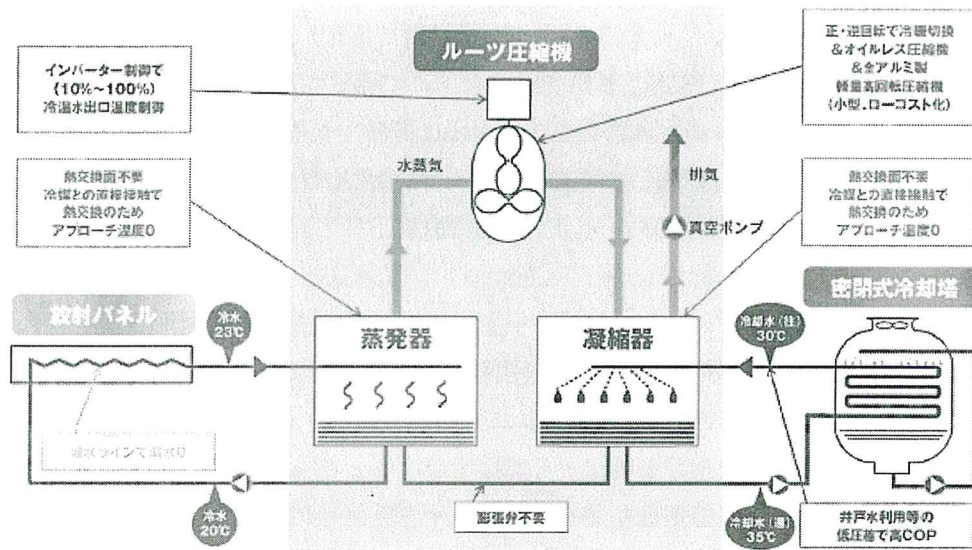


図2 水冷媒ルーツヒートポンプ系統図

## 4. 1 システム概要

システムの系統図(冷房モード)を図2に示すが、冷水を負荷側と循環する蒸発器、水冷媒(水蒸気)を圧縮するルーツ圧縮機、冷却水を循環する凝縮器、凝縮器から蒸発器に水冷媒(液)を戻すための接続液管で構成され、冷凍サイクルを形成している。系全体は真空ポンプ(適宜運転)により真空に保持されている。

第3図に記載した温度で説明すると、冷水は蒸発器から20°Cで出て行き、放射パネルなどの負荷で温度上昇し蒸発器に23°Cで戻ってくる。23°Cで戻ってきた冷水は蒸発器内で冷水の一部を真空蒸発させることで飽和温度の20°Cまで冷却され、その蒸発した水蒸気をルーツ圧縮機で圧縮(昇圧・昇温)し凝縮器に送り出す。すなわち、ルーツ圧縮機の仕事は、蒸発器で発生した水蒸気を吸い込みながら蒸発器の真空度を20°Cの飽和圧力2.3kPaに維持することで20°Cの冷水を負荷側に連続的に供給できることとなる。蒸発器で発生した水蒸気をルーツ圧縮機で凝縮圧力の5.6kPa(飽和凝縮温度35°C)まで圧縮し、凝縮器内に流入した水蒸気は30°Cの冷却水と直接接触により熱交換することで凝縮し液となり、冷却水は凝縮に使われた熱量とルーツ圧縮機の圧縮動力の熱量により加熱され、飽和温度の35°Cで凝縮器からポンプにより冷却塔に送り出される。凝縮器で凝縮した水冷媒(液)を蒸発器側に戻すのは凝縮器と蒸発器を接続した液管から圧力差により戻すのみで良く、一般的なフロンなどの冷凍サイクルのような制御機能を持った膨張弁を使うシステムとは異なり、非常に簡単なシステムとなる。

熱を負荷側へ搬送する熱媒(冷水)と冷凍サイクルを形成する冷媒(水蒸気)が同じ水となることから、熱媒と冷媒の熱伝達に熱交換面で分離する必要が無いため、熱交換器を組込んだ場合に必要となる3~5°Cの無効温度差が不要となり、その分蒸発温度を高く出来ることから冷凍機の効率が高くなる。



暖房時はルーツ圧縮機の回転方向を逆転させるだけで、配管等の切り替えなしで、蒸発器は凝縮器に役割が変わり、負荷側へ26℃の温水を供給し、放射パネルで温度低下して凝縮器に23℃で戻ってくることとなる。また、凝縮器は蒸発器へ役割が変わり、熱源水から熱回収することで暖房サイクルとなる。それぞれの仕組みと役割は冷房サイクルと同じである。

ルーツ圧縮機は容積式のため回転数に応じて排気量が比例するため、インバーターを使用した回転数制御により排気量、すなわち冷房能力・暖房能力が比例制御可能で、調整範囲は5~60Hzと幅広く、低周波数での性能低下も少ないため部分負荷特性に優れており、冷温水出口温度制御を標準装備している。

## 4.2 冷房能力

第3図に冷房能力を示すが、冷房能力は冷却水入口温度の影響は小さく、冷水出口温度には大きく影響され、冷水出口温度が高い程冷房能力が大きくなる。これはルーツ圧縮機吸込側の水蒸気の比容積が温度の低い程飛躍的に大きくなることに起因している。水蒸気の比容積は5℃で147m<sup>3</sup>/kg、20℃で58 m<sup>3</sup>/kgとなり、R134aの0.06 m<sup>3</sup>/kg、0.04 m<sup>3</sup>/kgと比較して桁違いに大きいだけでなく、蒸発温度が低くなるほど著しく大きくなる。このことはフロン冷媒より同じ熱を移動させるにも大量の水蒸気を移動させることが必要となるので、蒸発温度(=冷水出口温度)を高くすることと、低い凝縮温度(=冷却水出口温度)を利用することが逆に飛躍的に効率を高めることとなる。一般のスクリーチラーでは冷水温度5℃が20℃になると冷却能力は約160%となるが水冷媒ルーツ冷凍機では約400%となることから、水冷媒ルーツ冷凍機は従来空調で必要な冷水標準温度の7℃付近での使用には適さず、放射空調のように高温の冷水で空調の快適感を損なわない用途には非常に適している。第4図に冷房時のCOP(冷却能力/圧縮機入力)を示すが、冷水出口温度の影響が大きく、高くなればCOPも飛躍的に増加する。冷水出口温度20℃、冷却水入口温度30℃の場合、一般のスクリーチラーのCOPが5.6に対し、水冷媒ルーツ冷凍機は6.4と同等以上となり、さらに冷却水入口温度が20℃になると一般のスクリーチラーのCOPが7の約140%に対し水冷媒ルーツ冷凍機の場合は16の250%と水冷媒の物性を生かし飛躍的に効率が高くなる結果となり、井戸水等の低温の冷却水の利用が非常に有効となる。もちろん井戸水を使用すれば冷水出口温度が7℃でも実用的なCOPで運転できるため、除湿機用の冷水としても実用可能となり、ノンフロンで高効率な外気処理除湿機も構築できる。

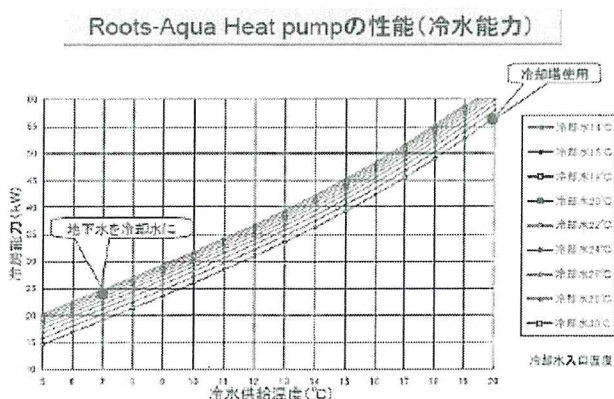


図3 冷房能力

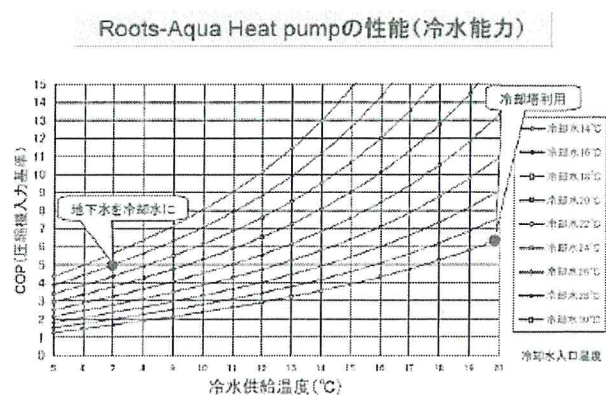


図4 冷房時COP

## 5. 放射パネル

放射空調は人体と放射パネルの間で放射熱を直接交換するため健康的であり、従来空調のコールドドラフト、騒音も解決、在室者の冷温熱的快適性を追及した究極の空調システムである。

放射パネルの人体発生熱の直接吸収により冷房時室温設定を 28℃ (PMV+0.5) 暖房時低温設定 20℃ (PMV-0.5) にしても快適性が得られ空調負荷が軽減され省エネルギー効果が得られる。

放射空調の空調負荷が軽減される理由は

- ① 外気負荷が 34℃→28℃でよく、25%節約できる。
- ② 外壁からの侵入熱も室温が高い分だけ節約できる。又窓側にドラフトが少ないので侵入熱が減少する。
- ③ 躯体の温度低下が 28℃でよいため、躯体冷却の負荷が少なくなる。

さらに放射パネルによる躯体蓄熱のために昼間のピーク負荷は 60W～70W /m<sup>2</sup> と従来空調の負荷の 50%となる。又放射パネルは両面が放射面となるために放射パネルの能力は 2 倍となる。パネルの自然対流を加えればパネルの能力は 150W～200W /m<sup>2</sup> となる。特に窓側のブラインドのように表面温度が高い場合は 30%程度の能力アップとなる。

### 5.1 放射パネルの仕様

パネル 材質アルミスパンドレル

パイプ アルミ強化ポリエチレン管

外径 16.1 mm 内径 12.1 mm

パネル巾 600 mm 長さ 3000 mm以下

これまでの放射空調は放射能力不足、除湿能力不足、水漏れの心配、コストなどの点で問題があったが放射パネルと冷温水管が一体となるように固定することにより放射面の温度が均一となり、放射面を波型形状とすることで、高性能な放射パネルとなった。高性能な放射パネルとなったことで天井への放射パネル敷設率は 50% でよく、しかも冷房時は 20℃程度の冷水、暖房時は 25℃程度の温水と常温に近い冷温水で 1 年を通じて快適な冷暖房空間が提供できることとなった。冷水温度が 20℃程度の冷水でよいとなると室内の露点温度からの温度差が大きくなり、結露に対する安全性が高くなる。冷温水管は内外面ポリエチレン被覆三層構造アルミ複合管で軽量・耐圧・耐食性に優れ、長尺管（シームレス）を使用することで継ぎ目もなく水漏れも排除した。

## 6. 外気処理兼用調湿器

放射空調は換気、除湿、加湿ができないことが大きな課題であった。そこで外気処理を行なうとともに室内で発生する水蒸気分を見込んだ低湿度空気を室内に供給し除湿を行なうこととした。人間が発生する水蒸気 100g/h 人を人間が必要とする外気量(25CMH/人)で除去するためには、外気を 0.007 kg/kg' の絶対湿度にする必要がある。

冷却除湿で 0.007 kg/kg' にするためには 10℃まで空気を冷却せねばならず、もしこの 10℃の空気をそのまま室内に吹けば室内温度を 28℃に維持することは不可能となる。そこで顕熱交換器で外気を用いて再熱することとした。そして外気をプレクールすることで除湿負荷の低減をはかった。除湿器の系統図を図 5 に示す。本除湿器には、より省エネルギーのために全熱交換器をもうけるとともに、顕熱交換器にバイパスダンパーを用いて冷風をバイパスさせ室内温度コントロールを行なっている。

加湿器となる場合は顕熱交換器で加熱した後に加湿するが、さらにその顕熱交換器で室内に吹く空気を 15℃までレ・クールしている。

このように外気処理兼用調湿器は換気、除湿、加湿のみならず室温制御も行なっている。



# 自己完結式外気処理兼用調湿器

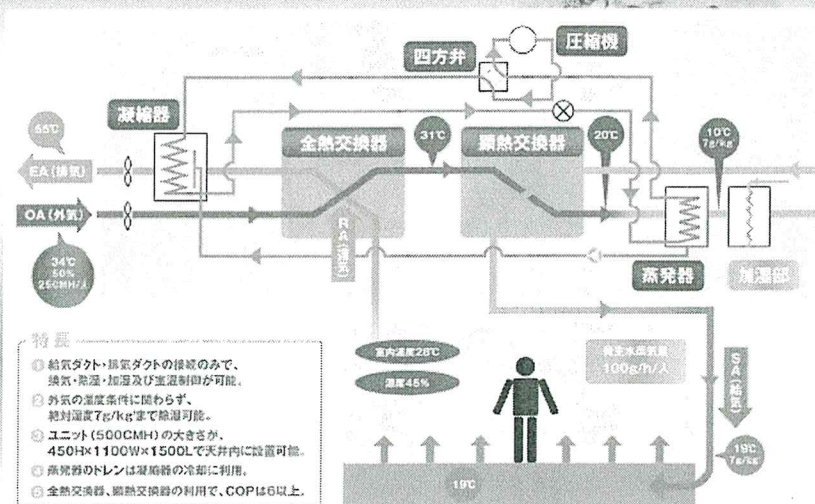


図5 外気処理兼用調湿器系統図

## 8. まとめ

水冷媒放射空調は国家施策を満足するだけでなく次のような特長をもつものである。

- ① 水冷媒によりノンフロム空調の達成
- ② エネルギー
  - ・放射空調と外気処理兼用調湿器の組合せにより、顕・潜熱分離空調となり大幅な省エネ
  - ・放射伝達により送風動力(4W~50 W/m<sup>2</sup>)が不用
  - ・室温をクールビスの28°Cに設定しても快適
  - ・中間期フリークーリングが可能
  - ・冬は冷房の熱回収が可能
  - ・顕熱器の採用により除湿器のCOPをアップ
- ③ ローコスト
  - ・放射パネルによる躯体蓄熱のため空調装置容量半減
  - ・放射パネルの高性能化で天井布設率50%
  - ・換気風量と除湿風量の同一化でコストダウン
  - ・ペリメータも放射パネルのみで処理
- ④ 快適性
  - ・放射冷却、室温、湿度が適性に制御されるために快適
  - ・躯体蓄熱と同時にMRTも制御
- ⑤ 経済性
  - ・稼動部分は熱源のみで信頼性、メンテナンス性が高い
  - ・システムのCOPが高いためにランニングコストは50%以下となる。