

# 顕潜分離で快適空調

## デシカント外調機とチルドビームシステム 快適執務環境を創造し、仕事の効率向上を図る

(一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

### 1 はじめに

私たちが快適に仕事をする上で、空気調和設備はなくてはならないものとなっております。しかし、空気調和の目的である、温度、湿度、気流、空気の清浄度に対して、温度のみの制御を行う、やや不快な執務環境も見受けられます。

日本の気候風土は、高温多湿であり、特に高湿度により、不快感を覚えます。また、近年、大気中のCO<sub>2</sub>の上昇に伴う換気量不足も問題にされております。これらの問題を解決し、快適な執務環境を実現するために再生エネルギーを最大限活用できる、顕熱・潜熱分離方式（以下、「顕潜分離方式」という）を取り入れたシステムを紹介します。

### 2 顕潜分離システムの概要

顕潜分離システムは、湿度制御用にデシカントローター（除湿剤ローター）を組み込んだ外気処理専用空調機（以下、「デシカント外調機」という）と顕熱処理ユニット（以下、「チルドビーム」という）との除湿と冷却を組み合わせたシステムです。従来のユニット形空気調和機による単一ダクト方式では、除湿を行うために低温まで除湿冷却をするため、7℃前後の冷水を必要とし、冷凍機の効率を低下させていました。しかし、今回のシステムでは、デシカントローターを用いて除湿を行うため、除湿に用いる冷水の温度を上げることが可能となり、熱源の効率を落とさず低露点の外気を得ることができます。その外気を室内のチルドビームに給気し、チルドビームでは、供給さ

れた外気で室内空気を誘引し、内蔵のコイルで室内空気の冷却を行います。外気の湿度除去を行うデシカント外調機と室内の冷却を行うチルドビームを組み合わせることにより快適性が増し、省エネ性と静音空間を創造することが可能となります。図1に顕潜分離システムの概要図を示します。

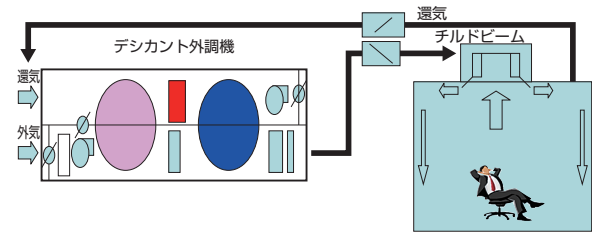


図1 システム概要図

### 3 デシカント外調機について

#### 3-1 基本構成

外気負荷低減の全熱交換器、低温再生用デシカントローター、排熱や太陽熱を利用することの可能な再生コイル、中温冷水利用可能な冷温水コイルと冷却コイルを装備した、外調機の構成を図2に示します。

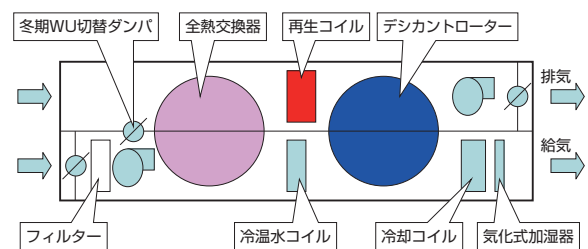


図2 外調機の基本構成

### 3-2 エアフローについて

夏期の除湿モードでは、外気は還気と全熱交換器で熱交換し、プレクーラーで予冷し相対湿度を高め、次にデシカントローターで除湿した後、アフタークーラーで冷却します。デシカントローターは再生コイルで加熱し相対湿度を下げた還気で連続的に除湿が行われ、再生されます。

冬期の外気は、全熱交換器で熱交換後、温水コイルで加熱し相対湿度を下げ、デシカントローターで還気から水分を取得することで加湿補助を行います。デシカント外調機の還気エアフローを図3に、外気エアフローを図4に示します。

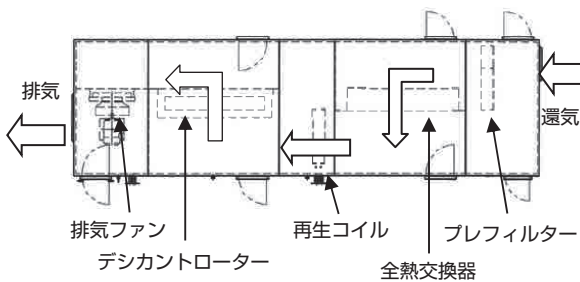


図3 還気エアフロー

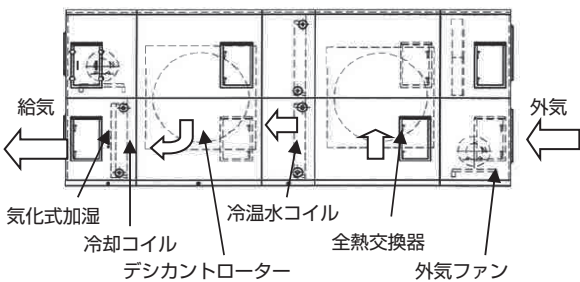


図4 外気エアフロー

## 4 チルドビームについて

チルドビームにはアクティブチルドビームとパッシブチルドビームがあります。今回はアクティブチルドビーム(写真1)を紹介します。

一次空気(外気)を顕熱コイル上部のノズルより、高速で吹き下ろすとコイル片側が負圧にな

り、室内空気を誘引します(図5)。誘引比は一次空気100m<sup>3</sup>/hに対し350m<sup>3</sup>/hの室内空気を誘引し、450m<sup>3</sup>/hの風量として室内に吹出されます。誘引効果により室内空気が攪拌されることで温湿度を均一にし、機器騒音もないことで室内騒音も低く抑えることができます。

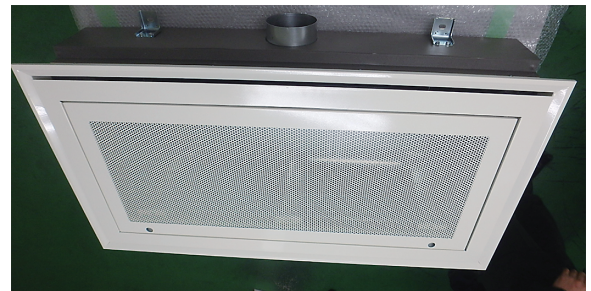


写真1 アクティブチルドビーム

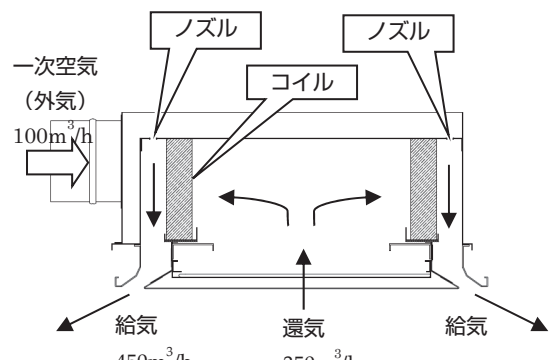


図5 アクティブチルドビーム構成図

## 5 デシカント外調機の設計例

### 5-1 室内温湿度の検討

快適性の指数として用いられている不快指数は1959年にアメリカで考えられたもので、温度と湿度から算出されます。気流が考慮されていない指数なので、体感気流の小さいチルドビームシステムでの体感に近い数値と言えます。

不快指数は28℃ 45%の場合75となり、26℃ 50%で73.1、24℃ 55%では70.9となります。一般

に75から65が快適範囲とされていますが、70に近ければ作業効率も上がると思われます。今回は24℃ 55%を目標とした例を示します。

### 5-2 外気量の検討

1人当たりの必要外気量を計算します。大人の呼吸により排出される二酸化炭素を22,000ppmとします<sup>1</sup>。

外気は450ppmとし、室内を900ppmで制御するとした場合に、下記の計算式より49m<sup>3</sup>/hになるので、1人当たりの外気量は50m<sup>3</sup>/hとします。

$$0.022 / (0.0009 - 0.00045) = 49 \text{ m}^3 / \text{h}$$

### 5-3 設計条件

設計条件を以下のように設定します。

(室内条件)		(外気条件)	
夏期	24℃ 55%	夏期	34.3℃ 56.3%
冬期	20℃ 55%	冬期	0℃ 40%

人体潜熱負荷 夏期40W/人 (着衣量0.6)  
冬期33W/人 (着衣量1.0)

室内顕熱負荷 夏期77W/m<sup>2</sup>  
(照明15 機器40 人体14 他8)  
冬期70W/m<sup>2</sup>  
(照明15 機器40 人体15)

※人体負荷は、『第14版空気調和・衛生工学便覧』作用温度別人体発熱量より参照。

外気量50m<sup>3</sup>/h・人

全熱交換器効率 60%

発現率 (除湿性能) : 夏期50%、冬期30%

風量比 (SA/RA) 90%

人員密度は6m<sup>2</sup>に1人 (0.17人/m<sup>2</sup>)

### 5-4 夏モードの再生温度と空気線図 (図6)

デシカント外調機の構成と除湿空気線図の関係を以下に示します。

潜熱負荷を40W/人とし、発現率50%の場合に、除湿量 (Δx) [g/kg (DA)] ÷ 潜熱負荷 (qL) / (0.83 × 外気量m<sup>3</sup>/h) = 40 / (0.83 × 50) ÷ 0.97 故に0.97gの室内除湿量となります。

室温②24℃ 55%は絶対湿度10.24gなので、目標絶対湿度は、10.24 - 0.97 = 9.27gとなります。予冷後の除湿開始温度④を18℃ 95%とし、等エンタルピー上での交点が給気温度⑤です。その時の除湿限界点⑥は発現率50%とした場合、33.0℃ 20.3%となります。

次に再生空気温度⑧は熱交後の室温⑦の絶対湿度と除湿限界の相対湿度の交点の52.0℃ 20.3%となり、ここまでの加熱が必要となります。なお、実際の除湿後の外気⑤は熱移行を考慮し⑤35.0℃となります。最後にアフタークーラーで17℃まで冷却し、給気します。

注) 発現率とは、除湿開始点④と除湿限界点⑥の絶対湿度差に対し、④と給気⑥の絶対湿度差の割合です。

1 学校施設の換気設備に関する調査研究報告書より抜粋

表 1人当たりのCO<sub>2</sub>呼出量

対象種別	1人当たりのCO <sub>2</sub> 呼出量
幼稚園・小学生 (低学年)	0.011m <sup>3</sup> /h
小学生 (高学年)・中学生	0.016m <sup>3</sup> /h
高校生・大人	0.022m <sup>3</sup> /h

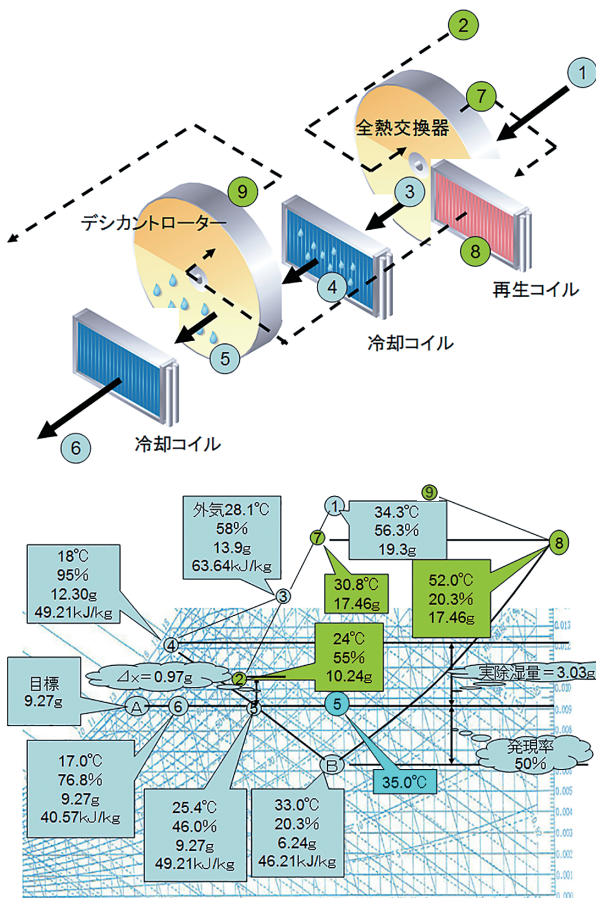


図6 夏モードの構成図と空気線図

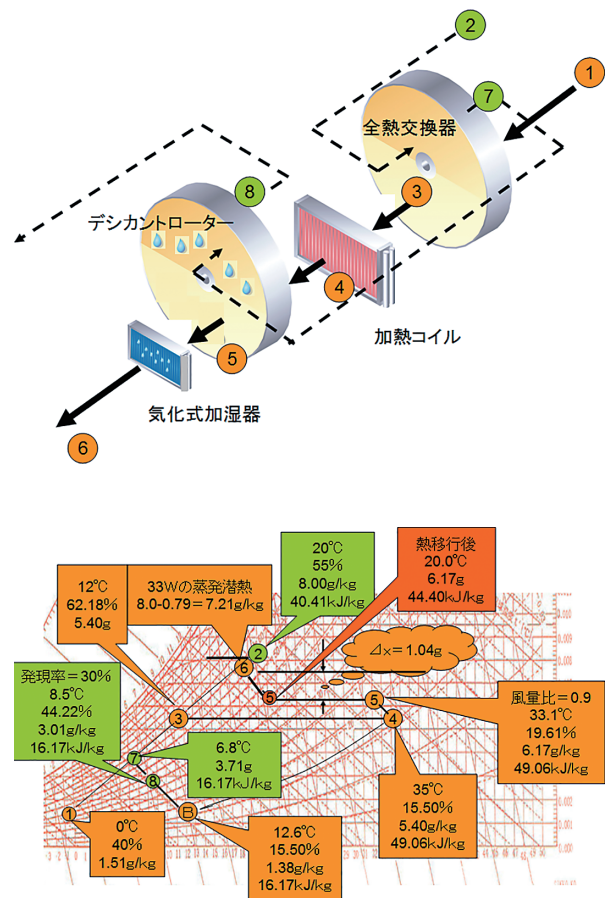


図7 冬モードの構成図と空気線図

### 5-5 冬モードの加湿負荷と空気線図 (図7)

冬期の加湿補助にデシカント外調機を用いた場合の加湿負荷を求める空気線図を示します。

室内温度20℃ 55%、外気を0℃ 40%とし、熱交換機通過後の状態③を12℃ 62.2%とします。外気加熱を35℃とし最大除湿点を求めます。発現率30%より⑧の除湿点を求めて、再生出口⑤を風量比(90%)より算出します。

ここで、除湿量(Δx) × 還気風量 = 加湿量(Δx) × 外気風量、人体潜熱負荷が33Wの場合、供給空気⑥が求まります。外気負荷は50m<sup>3</sup>/h × 人員 × (35℃ - 12℃) × 0.33となり、加湿負荷は0.65g × 50m<sup>3</sup>/h × 人員 × 1.2です。ただし、ウォーミングアップ時の加湿負荷は2.6g × 50m<sup>3</sup>/h × 人員 × 1.2とします。

### 5-6 運転モード

各モードにより構成部品の役割の違いを下記に示します。

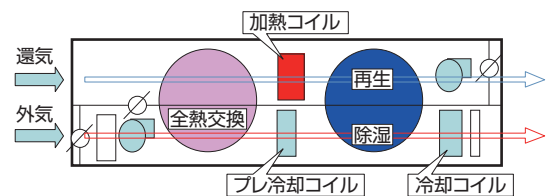


図8 夏期モード

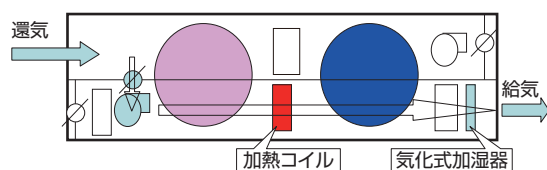


図9 冬期ウォーミングアップモード



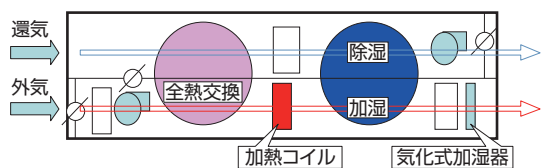


図10 冬期モード

## 6 従来システムとの比較

従来システムとは、除湿を過冷却し再熱を行うユニット形空調機による単一ダクトシステムとします。

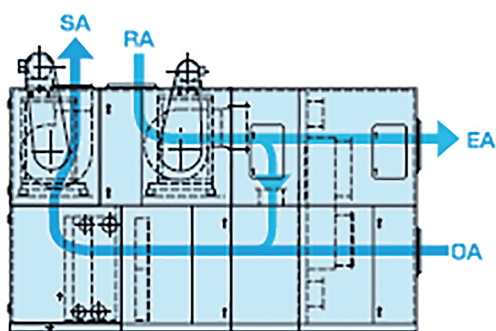


図11 従来システム空調機エアフロー

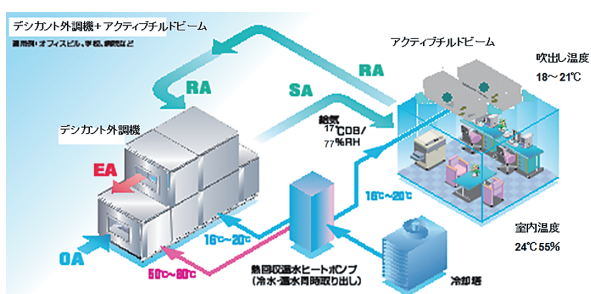


図12 デシカント空調機システム + アクティブチルドビーム例

<比較条件>

空調面積：600㎡ 室温：24℃ 55%  
 その他の条件は、5-3 設計条件による。  
 ポンプ動力は省きます。

表1 機器動力比較

機器仕様	従来システム	デシカント外調機	チルドビーム
風量	15000m <sup>3</sup> /h	5000m <sup>3</sup> /h	350m <sup>3</sup> /h×50
動力kW	11.0+5.5=16.5	3.7+3.7=7.4	-
ダクトサイズ	600×1300	300×900	-
空調機サイズ	15型	5型	
冷水温度	7℃	16℃～18℃	16℃～18℃
温水温度	60℃	60℃	-
機器冷房負荷kW	100	23+30	34
再熱負荷kW	10	31	-
合計熱量kW	110	118	
動力kW	16.5	7.4	

表2 室内条件比較

空調仕様	従来システム	デシカント外調機+チルドビーム	
居住域気流	0.5m/s以下	-	0.25m/s以下
室内騒音	NC-40以下	-	NC-30以下
不快指数	70～75	-	65～70
夏期湿度	45%	55%	-

表3 費用比較

運転費用	従来システム	デシカント外調機	チルドビーム
イニシャルコスト	100	80	50
ランニングコスト	100	60	0
機器寿命(年)	15	30	30

従来システムを100とした場合、デシカント外調機+チルドビームでは、動力は(16.5kW：7.4kW) 45、熱源は再生熱量分があるため(110kW：118kW) 107、イニシャルは130、ランニングは60、寿命は夏期のドレン・冬期の加湿量が少ないため劣化が少なく2倍となります。

## 7 まとめ

- 1) 顕潜分離方式は、顕熱をデシカントローターで処理するため、室温を24℃設定とした場合でも、除湿を過冷却し再熱を行う従来方式で28℃設定とした場合と同程度のエネルギーで処理が可能です。
- 2) 外調機で除湿や加湿を行うので、メンテが容易です。
- 3) 外調機は外気量をCO<sub>2</sub>センサーで制御を行うため、省エネルギーです。

- 4) チルドビーム採用で搬送動力軽減、室内静寂化が図れます。
- 5) 外調機の上に空気清浄フィルターを装着するので経済的です。
- 6) 低めのCO<sub>2</sub>濃度設定で生産効率アップと爽やか空間を維持できます。
- 7) 中温冷水の採用で熱源効率の上昇が期待できます。
- 8) 16℃冷水なのでフリークーリングや井水の利用等が可能となります。
- 9) 天井内ドレン配管がなく、チルドビームも薄型なので、室内の天井高が高くできます。
- 10) 空調機がコンパクトになり空調機械室の面積を抑えることができます。

## 8 今後の展望

チルドビームは、1980年台半ばにヨーロッパで開発され、その後ヨーロッパ全土に広がり、世界各国のグリーンビルに採用されています。

世界市場も拡大しており、2015年には2億3,990万米ドル（前年比10.0%増）、2020年には4億680万米ドル、2015～2020年の年平均成長率（CAGR）は11.14%に達する見通しです。現在は欧州諸国が世界最大の市場ですが、北米市場やアジア太平洋地域市場も急速に成長しています。

日本においては、高温多湿の気候のため、顕熱のみを処理するチルドビームは事務所ビルへの採用が中々進みませんでした。しかし、低温再生のデシカントローター（除湿剤ローター）の開発によりチルドビームの一般ビルへの採用が可能になり、普及し始めています。

また、デシカントローターは、家庭用エアコンに採用されてから20年程度になりますが、その間、デシカント素材が次々と開発され、低温（40℃～80℃）でも再生可能な高分子収着材（シリカゲルなど）の実用化により事務所空間の湿度制御が容易になりました。デシカントローターに

より、湿度を制御し、チルドビームで、温度を制御する本システムは将来の継続性・発展性を考えたすばらしいシステムです。デシカントローターの開発は現在も進んでおり、湿度だけではなく二酸化炭素や有害物質も同時に除去可能な素材が実用化されようとしています。これは外気導入が最小限にできる開発です。

建物の無駄を最小限にし、機器サイズも小さくなり、自然エネルギーの拡大に寄与できる本システムは、これからのZEB（ゼロ・エネルギービル）の主流になると思われます。

## 9 おわりに

今後の一般事務所ビルの設備設計に、今回のレポートがより良い執務環境設計の手助けになれば幸いです。

最後に、本調査に当たり新晃工業(株)殿に資料提供等のご協力をいただいたことに対し、感謝の意を表します。



写真2 パッシブチルドビーム設置例