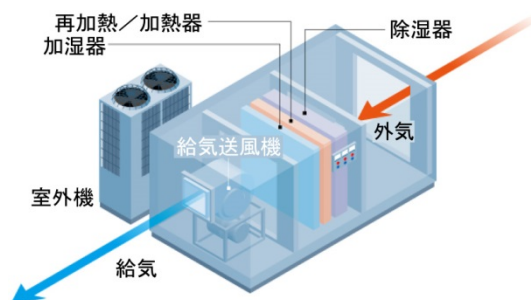


# 省エネ性と快適性を両立させた調湿外気処理直膨式 エアハンドリングシステム(ダイレクト X Comfort)の開発

Development of Humidity Control Outdoor Air Processing AIR HANDLING System  
(Direct X Comfort) Achieving both Energy Saving and Comfort



松尾 一哉\*<sup>1</sup>  
Kazuya Matsuo

所谷 雅史\*<sup>2</sup>  
Masashi Tokorotani

阪口 知宏\*<sup>3</sup>  
Tomohiro Sakaguchi

河西 竜也\*<sup>4</sup>  
Tatsuya Kasai

千賀 匡悟\*<sup>1</sup>  
Masanori Senga

現在、ビル空調の省エネの一手法として冷房設定温度を上げることが推奨されている。しかし多くの空調機器は乾球温度制御に限られており、梅雨時には潜熱分の除湿能力が不足し、不快感を発生させる場合が存在する。この不快要因である潜熱負荷は換気による外気導入に一因があることが多い。今回、従来の外気処理用直膨式エアハンドリングシステムに、露点温度を制御する冷却除湿機能と排熱利用再熱機能を追加した調湿外気処理直膨式エアハンドリングシステム(ダイレクト X Comfort)を商品化した。本機は、再熱用熱源にヒートポンプ排熱を利用することで、再生用熱源に電気ヒータを用いた従来のデシカント方式対比で消費電力 60%低減を達成した。

## 1. はじめに

直膨式エアハンドリングシステムは主に事務所・工場・学校・病院向けに納入されている空調システムであり、その中の 75%は室内空気循環方式空調機ではなく、外気導入方式の外気処理機として採用されている。また最近では省エネ対策として冷房時設定温度を上げることが推奨されているが、通常のビル用マルチ空調機の乾球温度制御では、潜熱負荷を制御できないため、省エネと引換えに室内環境が高湿度の不快感となる場合がある。表1に温湿度環境に対する人間の不快指数を示す。同じ空気温度でも湿度が高くなると不快指数が高くなり、逆に湿度を低く抑えると不快指数が抑制されるため、湿度を低く抑えれば冷房設定温度を上げても同じ快適性を維持できる。このように、省エネ空調の実現には湿度の調整すなわち潜熱負荷処理が重要であり、最近の市場でも空気温度と湿度の両方を制御する潜熱分離空調のニーズが高まっている。また昨今のコロナ禍により換気回数(外気導入量)の重要性も見直されており、調湿外気処理直膨式エアハンドリングシステムのニーズがより増している。

今回、開発した調湿外気処理直膨式エアハンドリングシステムは、冷却時の排熱を再熱に利用することで優れた省エネ性を実現した。本報では開発したダイレクト X Comfort システムの特長を紹介する。

\*1 三菱重工冷熱株式会社 空調事業本部

\*2 三菱重工冷熱株式会社 空調事業本部 課長

\*3 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 空調機技術部

表1 空気環境と不快指数一覧

不快指数	相対湿度 %							
	40	45	50	55	60	65	70	
温度 ℃	11	54	54	54	53	53	53	53
	12	55	55	55	55	55	54	54
	13	56	56	56	56	56	56	56
	14	57	57	57	57	57	57	57
	15	59	59	59	59	59	59	59
	16	60	60	60	60	60	60	60
	17	61	61	61	61	62	62	62
	18	62	62	63	63	63	63	63
	19	63	64	64	64	64	65	65
	20	65	65	65	66	66	66	66
	21	66	66	67	67	67	68	68
	22	67	67	68	68	69	69	69
	23	68	69	69	70	70	70	71
	24	70	70	70	71	71	72	72
	25	71	71	72	72	73	73	74
	26	72	73	73	74	74	75	75
	27	73	74	74	75	76	76	77
	28	74	75	76	76	77	78	78
	29	76	76	77	78	78	79	80
30	77	78	78	79	80	81	81	

不快指数 数一般的感覚私的な意見  
 ~55 寒い暖房を付けましょう  
 55~60 肌寒い服を着込みましょう  
 60~65 何も感じないそのまま  
**65~70 快適そのまま**  
**70~75 暑くないそのまま**  
 75~80 やや暑く日中は扇風機程度でも可  
 80~85 暑くて汗が出る(常時冷房が必要)  
 85~ 非常に暑い(常時冷房が必要)

不快指数とは、Earl Crabill Thom が1957年に発表した指数で夏の蒸し暑さを数量的に示している。日本では下記式で算出される。

不快指数=0.81T+0.01H(0.99T-14.3)+46.3  
 (T:気温℃ H:相対湿度%)

## 2. ダイレクト X Comfort の空調運転の特長

### 2.1 潜熱負荷処理方式の違い

潜熱負荷処理の主な方式であるデシカント方式と冷却除湿方式概要図を図1に示す。潜熱負荷処理方式の現在の主流はデシカント方式である。デシカント方式は、デシカント剤が空気中の水分を吸着するシステムで、給気経路にはデシカントロータと、その前後に温調用の熱交換器が配置され、排気経路にはデシカントロータに吸着された水分を除去するための再生熱交換器が配置されている。デシカント剤は吸着、再生を繰り返す必要があり、ユニットとして連続運転するには、ロータ状にする必要があるため筐体が大型化する。またデシカント剤の再生には高温空気(通常50℃以上)が必要なため熱源には、電気ヒータ又は温水/蒸気等の高価な熱源供給設備も必要である。更に、デシカント剤は寿命が比較的短く定期的な交換が必要なため維持費用の負担も大きい。

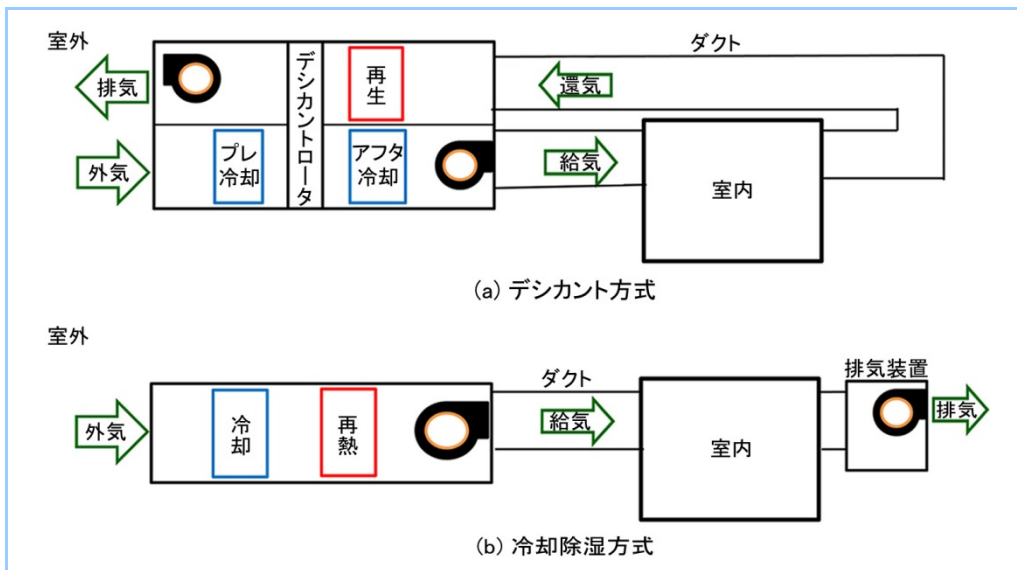


図1 潜熱負荷処理方式のしくみ

一方、冷却除湿方式は、空気を露点温度以下に冷やし除湿する熱交換器と、冷やしすぎた空気を設定値に戻す再熱熱交換器のみで構成される。このため、筐体寸法に自由度が持てる。従来の冷却除湿方式では、再熱用熱源に電気ヒータが採用されている場合が多く、本方式の消費電力増加の要因となっていた。

**2.2 ダイレクト X Comfort の潜熱負荷処理方式**

今回開発した直膨式エアハンドリングシステムは、冷却除湿時の排熱を利用し再熱時の消費電力の低減を図った。このため熱源機には、同時に冷房/暖房運転が可能な業務用空調機“冷暖フリーマルチ室外機”を採用した。システム図を図2に示す。後流に再熱用の加熱熱交換器(再熱器)を設置し、室外機の高圧ガス冷媒を加熱熱交換器に導入することで吹出温度の再加熱処理が可能となり、従来採用していた再熱用の電気ヒータを削除でき消費電力の低減を図ることができた。

ダイレクト X Comfort システムの除湿運転時の空気線図上の動きを図3に示す。本機は、室外の空気を部屋の適切な温湿度まで処理するシステムである。ユーザが設定した温度と湿度から露点温度(②、例えば 26°CDB/50%RH 設定なら 15°C DP)を演算し、吸い込んだ室外空気を冷却熱交換器(冷却除湿器)でその露点温度まで冷却する(①→②)。その後加熱熱交換器により目標の設定温度まで加熱し(②→③)給気送風機により室内へ供給する。

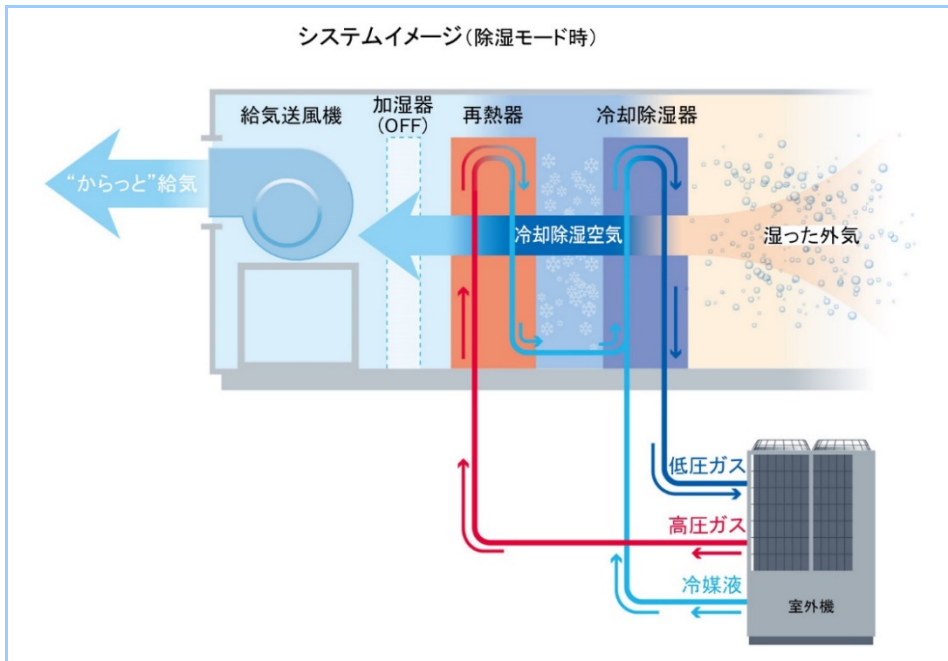


図2 ダイレクト X Comfort のシステム図

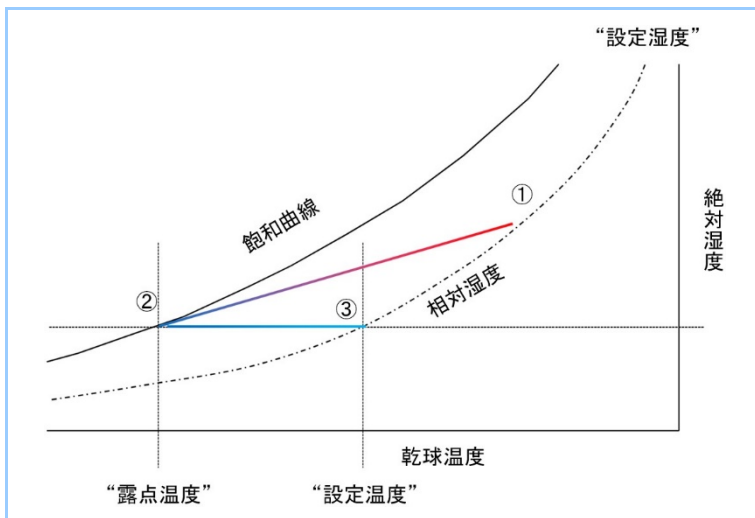


図3 除湿モード運転時の空気線図

### 2.3 ダイレクト X Comfort の仕様

今回開発したダイレクト X Comfort の仕様表を表2に示す。本機のラインナップは 16HP～108HP(冷房能力 42.4kW～286.2kW)までの幅広い能力に対応可能であり、システムの使用可能外気温度範囲は、冷房側:15℃～43℃CDB, 暖房側:-5℃～24℃CDB まで対応できる。除湿モード運転時の可能設定湿度範囲は 30%～70%RH, 設定吹出温度範囲は 10℃～30℃まで対応、また、暖房モード運転時の設定吹出温度範囲は 18℃～30℃まで対応できる。

表2 ダイレクト X Comfort 仕様一覧表

仕様・寸法		型式											
呼称馬力数	単位	16HP	20HP	28HP	32HP	42HP	48HP	64HP	72HP	84HP	96HP	108HP	
参考室外機馬力×台数	HP	8×2	10×2	14×2	16×2	14×3	16×3	16×4	18×4	14×6	16×6	18×6	
電源	-	3相 200V 50/60Hz											
冷房能力	kW	42.4	53	74.2	85.2	111.3	128	170.6	190.8	222.6	254.4	286.2	
再熱能力	kW	10	12.5	17.5	20	26.2	30.1	40.1	45	52.45	60	67.6	
暖房能力	kW	34.5	43.15	60.34	69.3	90.5	104	138.7	155.2	181	207.2	233	
送風機 給気用	风量	CMH	2290	2850	4000	4600	6000	6900	9200	10300	12000	13750	15450
	外気量	CMH	2290	2850	4000	4600	6000	6900	9200	10300	12000	13750	15450
	定格出力	kW	2.2	2.2	3.7	5.5	5.5	5.5	5.5	7.5	11	11	11
加湿器	-	気化式											
	kg/h	21.7	27.2	38	43.7	57	65.5	87.4	97.8	114.1	130.5	146.8	
外形寸法	TW	1260	1260	1260	1260	1560	1860	1860	1860	2360	3060	3210	
	TL	3460	3460	3560	3660	3760	3660	3810	3810	3910	4060	4060	
	TH	1630	1630	1830	2130	2530	1930	2180	2180	2530	2130	2130	
概算重量	kg	1420	1480	1620	1850	2230	2230	2550	2630	3450	3600	3750	

ダイレクト X Comfort には、除湿モード、暖房モード、送風モードの3つの運転モードがある。

図4は除湿モードと暖房モード時の冷媒回路の作動状況を示す。

- (1) 除湿モード運転を図4(a)に示す。リモコンからの除湿運転指令により運転する。前流の冷却熱交換器を蒸発器、後流の加熱熱交換器を凝縮器として使うことで、取り入れた外気を目標の湿度と温度に制御する。リモコンに設定された吹出温度(℃CDB)と湿度(%)から目標吹出空気の露点温度を計算し、冷却熱交換器で目標露点温度まで冷却し、後流の加熱熱交換器にて目標吹出温度まで加熱する。
- (2) 暖房モード運転を図4(b)に示す。リモコンからの暖房運転指令により運転する。加熱熱交換器を凝縮器として使うことで暖房する。リモコンに設定された吹出温度(℃CDB)から圧縮機運転の目標高圧を計算し、圧縮機回転数と加熱熱交換器の膨張弁開度を制御して目標吹出温度まで加熱する。

また暖房モード時の加湿コントロールは加熱熱交換器後流に設置された加湿器を吹出側の湿度センサにて制御することで実現している。

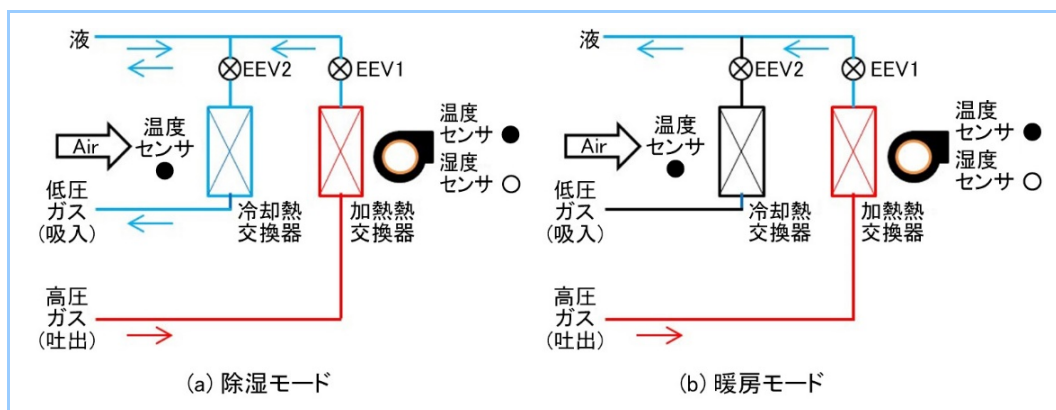


図4 ダイレクト X Comfort の除湿モードと暖房モード

## 2.4 ダイレクト X Comfort の吹出温度制御

本システムの熱源機には、吹出温度を制御するため、圧縮機高低圧を任意に変化する制御仕様が追加されている。除湿モード運転では、設定温度と湿度から目標露点温度を算出し、それに見合った低圧になるように圧縮機回転数とエアハンドリングユニット側電子膨張弁開度をコントロールしている。また暖房の場合は、高圧をその圧力になるように運転している。

## 3. ダイレクト X Comfort の除湿運転の省エネ性検証

デシカント方式と従来の冷却除湿方式、今回開発したダイレクト X Comfort の省エネ性を比較するため、各方式での除湿運転時の消費電力を試算する。

試算条件として、風量:7000m<sup>3</sup>/h で JIS 定格条件の吸込温湿度:33°CDB/68%RH を想定し、吹出温湿度:26°C/45%RH を目標とする運転を考えた。比較条件を揃えるため、各システムの冷却方式は直膨式とする。デシカント方式の再生用熱源は再生温度により除湿量が異なるため、再生温度を 40°Cの場合と 51.2°Cの場合を試算する。再生温度 40°Cの場合は、熱源にヒートポンプを採用できるためダイレクト X Comfort 同様に“冷暖フリーマルチ室外機”を利用した排熱利用(ホットガス)方式とし、再生温度 51.2°Cの場合、業務用空調機の冷媒 R410A では凝縮圧力が設計圧力と接近し対応困難と考え、電気ヒータ方式として試算した。また従来の冷却除湿方式の再熱機器は、電気ヒータとして消費電力を試算する。各計算条件を表3にまとめる。

表3 デシカントと冷却除湿とダイレクト X Comfort の消費電力試算条件一覧

試算パターン	(a) 従来のデシカント方式	(b) 従来の冷却除湿方式	(c) ダイレクト X Comfort	(d) 排熱利用デシカント方式
吸入条件(外温)	33°CDB/68%RH			
吹出条件(内温)	26°CDB/45%RH			
風量	7000m <sup>3</sup> /h			
冷却用熱源	直膨式	直膨式	直膨式	直膨式
再生用熱源	電気ヒータ方式	—	—	排熱利用 (ホットガス方式)
再熱用熱源	—	電気ヒータ方式	排熱利用 (ホットガス方式)	—
備考	デシカント再生温度を51.2°Cとする。		冷暖フリーマルチの高圧ガスを熱源に利用する。	・デシカント再生温度を40°Cとする。 ・冷暖フリーマルチの高圧ガスを熱源に利用する。

デシカントと冷却除湿方式の空気線図上の動きを図5に示す。図5の黒線はデシカント式、赤線は冷却除湿式の動きをプロットしている。デシカント方式は、再生熱量を抑えるためのプレ冷却工程(①→②)後に、デシカント剤にて水分吸着(②→③)が行われる。水分吸着時の発熱により空気温度が上昇するため、アフター冷却工程(③→⑤)により目標の空気温湿度を生成している。このためデシカント方式の消費電力の計算は、①→②のプレ冷却と③→⑤のアフター冷却の消費電力を計算した。さらに、吸着した水分を排気するための再熱用の消費電力を加えたものが、システムの総消費電力となる。

一方、冷却除湿方式は冷却熱交換器で空気中の水分を凝縮させるために目標露点温度まで冷却(①→④)する。その後、加熱熱交換器で加熱(④→⑤)し目標の空気温湿度を生成している。従来の冷却除湿方式では、この加熱に電気ヒータが採用されているが、ダイレクト X Comfort では、冷却熱交換器の排熱を利用することで電気ヒータを不要にすることができた。このため、従来の冷却除湿方式の消費電力は①→⑤の消費電力の合計、ダイレクト X Comfort の消費電力計算は、①→④の冷却までの合計がシステムの総消費電力となる。

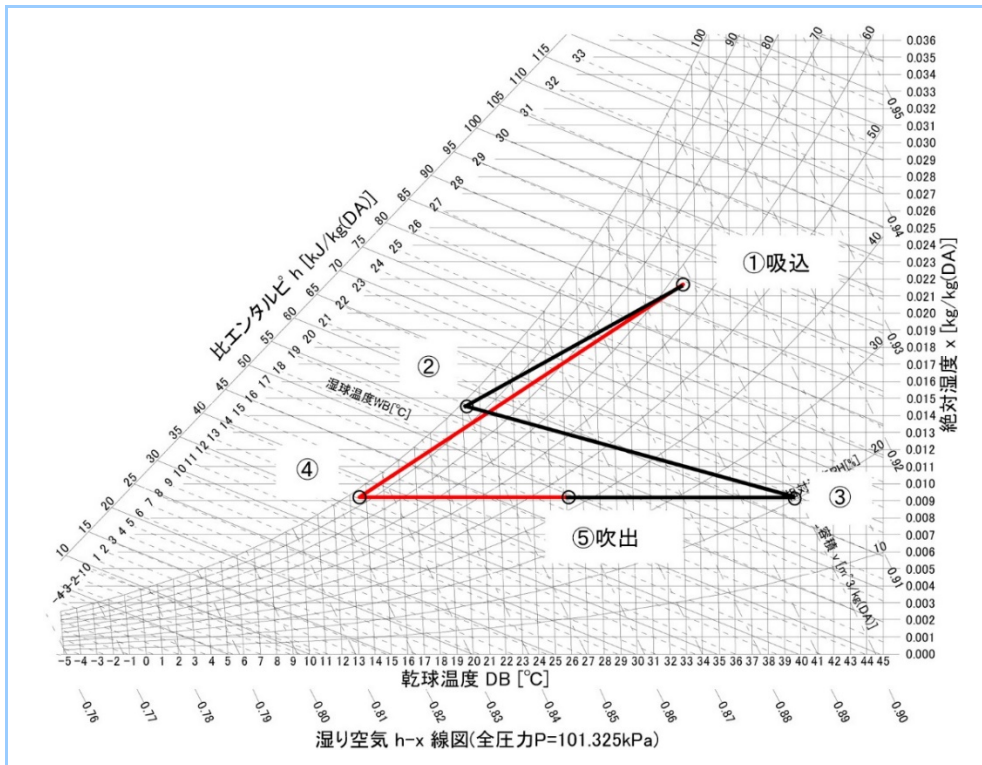


図5 デシカント式と冷却除湿式の除湿時空気線図

各方式の除湿運転時の消費電力を試算した結果を図6と表4に示す。表4(a)は、再生熱源に電気ヒータを使用した、従来のデシカント方式の消費電力の計算結果である。合計消費電力は86.31kW となり最も消費電力が大きいことがわかる。表4(b)は、再熱に電気ヒータを使用した従来の冷却除湿方式を示し、消費電力総計は60.69kWであった。同条件でのダイレクト X Comfort の消費電力は表4(c)に示し、消費電力は33.49kWと試算できた。これは再生熱源に電気ヒータを用いた従来のデシカント方式(表4(a)) 対比 60%減の消費電力値である。

ダイレクト X Comfort と同様のヒートポンプによる排熱利用を採用したデシカント方式の試算も行った。試算結果を表4(d)に示す。再生温度を 40°Cに下げる必要があるため、除湿側の冷却能力が大きくなるが再生用の電力が不要となり消費電力総計は33.51kWとなった。この排熱利用デシカント方式であればダイレクト X Comfort と同等の省エネ性となるものの、デシカント剤再生のため、室内側から再生用空気が必要であり、ダクトワーク制限も大きくなる。また、デシカントロータと駆動部が必要なため、機器構成部品が増加傾向であり、ロータ部からの風漏れ問題も残る。これに対し、今回開発したダイレクト X Comfort システムは、デシカント方式に対して、現地設置時の設計自由度が多く、機器構成もシンプルであるため、市場ではダイレクト X Comfort の方に優位性があると考えている。

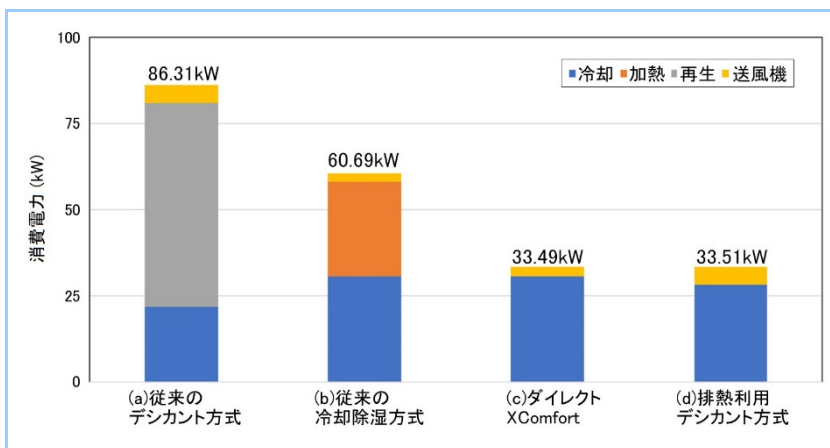


図6 各方式の除湿運転時の消費電力試算まとめ

表4 デシカントと冷却除湿とダイレクト X Comfort の消費電力

(a) 従来のデシカント方式の除湿運転消費電力

除湿方式	従来のデシカント方式		
	必要能力[kW]	消費電力[kW]	備考
プレ冷却	80.0	16.30	—
アフター冷却	34.0	5.50	—
再生昇温	59.2	59.20	電気ヒータ方式
室内供給用送風	—	3.16	—
再生用送風	—	2.15	—
	合計消費電力	86.31kW	

(b) 従来の冷却除湿方式の除湿運転消費電力

除湿方式	従来の冷却除湿方式		
	必要能力[kW]	消費電力[kW]	備考
冷却除湿	124.0	30.80	—
再熱	27.2	27.20	電気ヒータ方式
室内供給用送風	—	2.69	—
	合計消費電力	60.69kW	

(c) ダイレクト X Comfort の除湿運転消費電力

除湿方式	排熱利用冷却除湿方式		
	必要能力[kW]	消費電力[kW]	備考
冷却除湿	124.0	30.80	—
再熱	27.2	0.00	排熱利用 (ホットガス方式)
室内供給用送風	—	2.69	—
	合計消費電力	33.49kW	

(d) 排熱利用デシカント方式の除湿運転消費電力

除湿方式	排熱利用デシカント方式		
	必要能力[kW]	消費電力[kW]	備考
プレ冷却	97.2	25.83	—
アフター冷却	16.1	2.37	—
再生昇温	35.0	0.00	排熱利用 (ホットガス方式)
室内供給用送風	—	3.16	—
再生用送風	—	2.15	—
	合計消費電力	33.51kW	

#### 4. ダイレクト X Comfort の実機検証

弊社工場内に 16HP の実機システムを設置し、フィールドテストを実施した。実機運転にて、除湿運転時の吹出湿度と暖房運転時の吹出温度の制御性を検証する。除湿時の目標露点は、通常 13°C DP で設定されることが多いが、フィールドテストでは低めの 10°C DP を目標露点に設定し確認した。また、暖房運転は、加湿後の気化熱による温度低下分を見込み、吹出温度 45°C 設定への到達性を確認した。試験機の除湿運転と暖房運転の計測データを図7に示す。

図7の(a)は、除湿モード運転時の吸込と吹出の湿度の計測データを示す。外温が概ね 30°C DB, 70%RH 条件で、目標湿度設定を 39%RH (25°C DB, 10°C DP) とし除湿運転を行った。運転開始から約 20 分経過後に露点温度が目標 (10°C DP) に到達し、約 40 分経過すると吹出湿度も目標の 39%RH に到達し保持できることが確認できた。

図7の(b)は、暖房モード運転時の吸込温度と吹出温度の計測データを示す。外温が概ね 5°C DB 条件で、目標吹出温度設定を 45°C DB とし暖房運転を行った。運転開始約 20 分経過後に吹出温度が目標の 45°C DB に達し保持できることが確認できた。

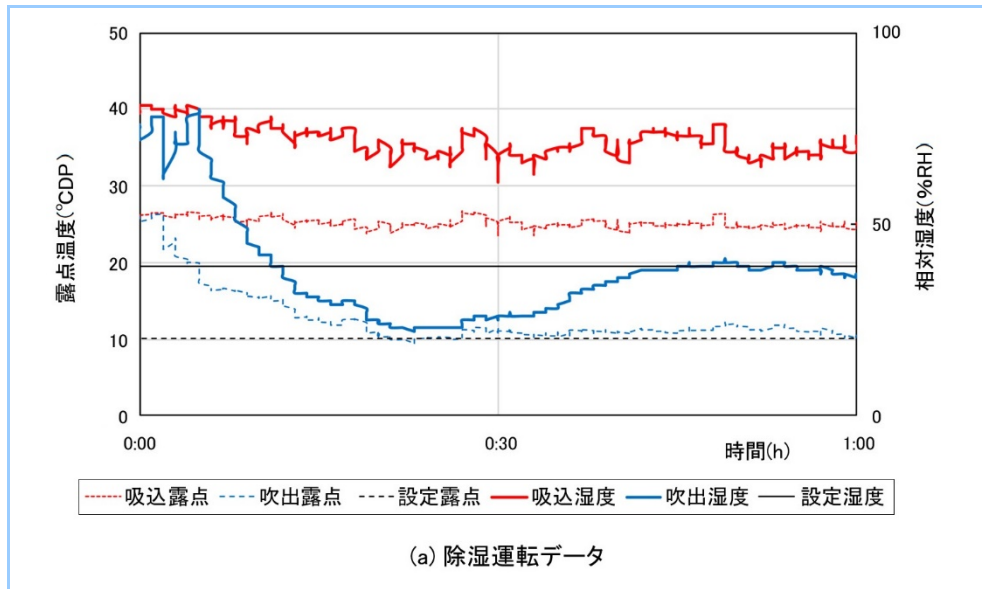


図7(a) フィールドテスト機の検証結果

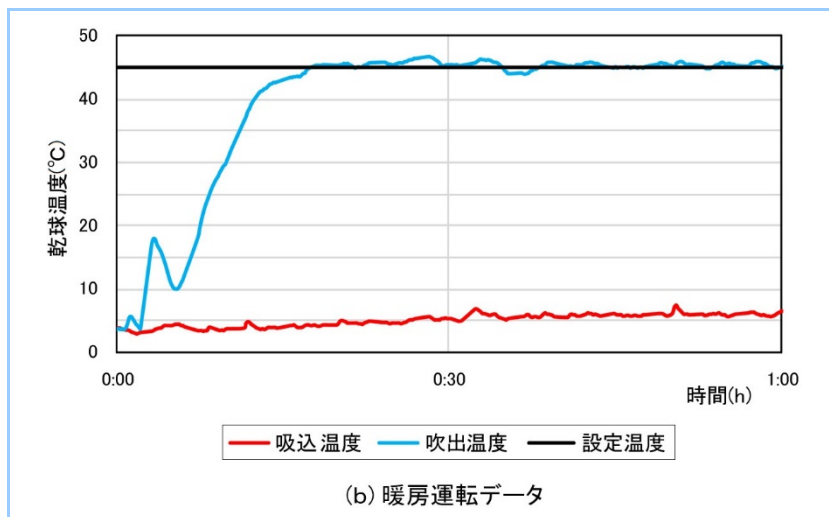


図7(b) フィールドテスト機の検証結果

## 5. ダイレクト X Comfort のその他の特長

今回開発したダイレクト X Comfort は、他にも次に挙げるような特長がある。

### (1) 暖房用加湿器制御機能

暖房運転時の加湿は、加熱熱交換器の後流に配置される加湿器によって行われる。本開発機の制御ソフトには気化式加湿器用の ON/OFF 制御と、蒸気式加湿器用の比例制御が組み込まれており、加湿器用の制御装置の追加購入は不要である。また、制御点を相対湿度と露点温度の2種類選択可能となっている。

### (2) 分散デフロスト機能

本機は、暖房運転時の蒸発器に着霜が発生する空冷式ヒートポンプのため暖房運転時にはデフロスト運転が必要である。デフロスト運転は、冷暖を切り換えることで蒸発器の除霜を行うが、このためデフロスト運転中は吹出温度に変動が発生する。この影響を最小限とするために、同時にデフロスト運転する熱源機をコントロールする制御を追加した。この機能により、連携している熱源機のデフロストに入るタイミングをコントロールすることで、吹出温度変動を最小限に抑えることが可能である。

### (3) リニューアル(既存設備)への対応

エアハンドリングユニットは、現地組立て仕様も選定可能である。エアハンドリングユニットは



各機能品単位で分解が可能となっており、既設機械室への既存のドアやエレベータを使い搬入組立てが可能である。また、デシカント方式とは異なり居室側からの排気の有無や排気温度、排気量に依存せず除湿システムが構築できるため、既存設備を選ばないリニューアリティを持っている。

#### (4) 中央管理システムへの対応

本システムの機器間通信方式は、業務用空調機の“SUPERLINK® II”を採用しており、最大配線長 1500mの無極性2線式的高速通信ネットワークに接続できる。このネットワークからゲートウェイを介し、中央のビル管理システムへ接続することも可能である。

## 6. まとめ

今回開発した調湿外気処理直膨式エアハンドリングシステム(ダイレクト X Comfort)は、従来のデシカント方式に比べ大幅な消費電力の削減が実現できた。また熱源機の業務用空調機を流用することで施行性やメンテナンス性が業務用空調機と同等となり、遠隔監視システムも共用化でき市場への受入れやすさも考慮できた。本機の採用により外気導入時の潜熱負荷の通年処理ができ、省エネ性と快適性を両立させた潜熱分離空調が提供可能となった。