

空冷ヒートポンプ式 立形ルーフトップ外調機

木村工機株式会社
石田 貴之

1. はじめに緒言

建物の換気や陽圧化を図るにあたって、外気処理の良し悪しは室内環境品質を大きく左右する。その為、近年では様々な用途の建築物(オフィス、店舗、食品工場、病院、研究施設など)においても「外気導入の質」を重視するケースが増えている。また、国策としてZEB化が推進される中、熱負荷にもなり自然エネルギーでもある外気の上手な利用技術などが求められている。

一方、最近では利便性の高さなどからオール直膨空調設備の需要が増えているが、外調機(外気処理空調機)にとって気象環境の影響を受けやすい同方式は、加湿不足や不安定な供給温度によるドラフト感など、改善されるべき課題も備えている。

本稿で紹介するルーフトップ外調機は、外調機としての用途に特化した構造と独自制御により、安定性の高い運転を実現している。また、豊富な設定や拡張機能で現場毎の運用に合わせた省エネ運転も可能で、施工性・環境性も備えた特長を持っており、その概要を紹介する。

2. 開発の背景

製品開発にあたってはいくつかの背景を留意して、専用設計による問題解決と性能向上を目指している。

2-1 環境変化による外気負荷の増加

地球温暖化に伴い大気中のCO₂濃度は年々上昇を続け、2015年には世界月平均で400ppmに達したことが報告された。これは産業革命以前の濃度(1750年頃で280ppmとされる)と比較すると43%もの増加となっている。この様な環境変化は、今後も建物換気の為に必要な設計上の外気量が増加していく事を示唆し、既に一般的な25~30m³/(h・人)では不十分な事態となっている。

建築側では今後省エネ基準への適合義務や性能表示制度(BELSなど)の普及により、外皮負荷性能の向上が期待できる。相対的には室内負荷が抑制されていく一方で、外気負荷が増加することが見込まれ、外調機の担う役割が一層高まることが予想される。

表1はモデルケース熱負荷計算による室内負荷

と外気負荷の比率を比較したものである。

表1 ケース比較による外気負荷比率

条件	取入 外気量 m ³ /h・人	建物外皮性能			熱負荷			外気負荷 比率
		外壁 U値	窓システム U値	SC	室内 kW	外気 kW	合計 kW	
1	25	2.5	4.8	0.5	36.8	15.8	52.6	0.30
2	30	2.0	4.8	0.5	35.3	19.0	54.3	0.35
3	37	1.2	2.2	0.3	29.5	23.4	52.9	0.44

※一般事務所ビルを想定したモデル建物試算値。
大阪条件とし、床面積600m²、中間階、LED照明、0.1人/m²とした。
※条件3の取入外気量は大気中CO₂濃度を400ppmに設定し算出した。

2-2 不十分な外気処理による室内環境

(1)湿度環境

室内の湿度は取込外気湿度に大きく依存し、室温制御を主体とする室内空調機でコントロールすることは難しい。

表2は東京都が主導する室内空気環境立入検査報告資料(H28年度版)にある相対湿度とCO₂濃度の不適率である。例年、空気環境管理基準の内、不適合上位を占めるのが両者であり、いずれも外気処理システムにおける性能の良し悪しも関与していると言える。特に加湿に関しては、例年半数~70%程度が不適として報告¹⁾されている。

表2 室内空気環境不適率(東京都)

地域	相対湿度	二酸化炭素
特別区・島しょ地区	24.8%	19.3%
多摩地区	46.7%	37.8%

※相対湿度は通年での結果を示し、冬期(暖房期)に限っては「半数程度が不適」として報告されている。

加湿不足の要因に関しては様々なケースがあるが、ピーク設計による成行き除湿・加湿設備となっている場合や、外調機性能によるものも多い。

(2)給気温度

外調機はその特質上、送風機を常時運転させることが求められるが、直膨方式は給気温度が変動しやすく、室内空調環境へも影響を及ぼす。例えば、冬期デフロストによるリバース運転を行うと低温外気をさらに冷却供給し、ドラフト感や室内結露にも繋がる。また低負荷期では過冷却・過加熱供給や圧縮機のON-OFFによりハンチング状態にも陥りやすい。

3. 製品概要

(1) 概要 (図1, 2)

本製品は、給気系統(外気を導入し室内に供給)と吸熱・放熱系統(室外機部分に該当する)が上下に隣接して構成される一体型外調機であり、冷凍サイクルや加湿器・フィルタなどの各種空調部品、自動制御盤、操作スイッチ、各種インターフェースなどを備えている。また、立形配置構造にする事で設置面積を抑え、現地での冷媒配管や複雑な計装工事を不要とし、据付後はダクト工事だけで即座に運転ができる。

外装は屋外設置においても耐食性の高いガルバリウム鋼板を採用し、吸熱・放熱系統には日射や強風・飛来物から熱交換器を守る保護プレートを備えている。この保護プレートは特に冬期の霧雨・風雨による凝縮器への着霜量や積雪堆積を抑制する効果を持ち、着霜抑制板とも呼んでいる。

ラインアップは風量定格 4800~12000CMH までの4型番を基準として、圧縮機容量比例制御を行うスタンダードモデルから段階制御、冷房専用品などを揃えている。また、送風機インバータを搭載し、任意な風量設定と CO₂ 制御を可能としている。

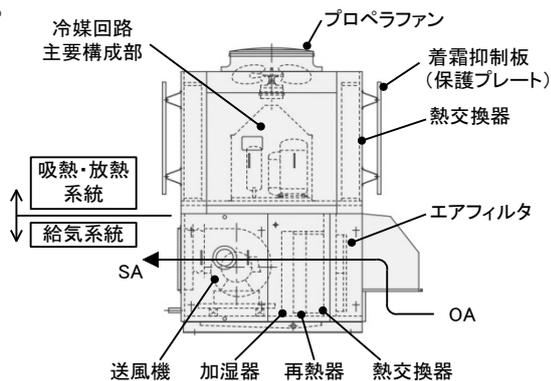


図1 構成概要図

(2) 基本制御

自動運転モードでは、吸込外気条件によってモ

ード(冷却-加熱-送風)判断し、操作スイッチで設定した給気温度・湿度を主な制御対象としている。この他、手動での運転も可能である。

夏期通常は室内設計条件の等エンタルピー付近(20℃前後)を目標とした冷却制御を行うが、梅雨時など多湿時期には過冷却による除湿運転と標準搭載した再熱器によって温調を行うことができる。また、冬期は設定温度を目標にした加熱制御と、強制加湿または室内ヒューミからの信号による加湿器操作を行う。

送風量に関しては、操作スイッチで手動切替えができる他、外部入力によって定格風量40~100%の範囲で制御でき、VAV・CAVに対応する。また、オプションのCO₂センサを使用して、室内濃度監視することによる外気量導入量制御で省エネを図る事も可能である。

(3) 給気温度の安定化

直膨方式における給気温度の安定化は、特に外調機にとって重要な課題であり、とりわけ低負荷状態やデフロスト時の不安定さはユーザにとっても使い勝手を悪くしている。本製品ではこれらの改善を図る手段も講じており、一例を紹介する。

① 再熱処理

低負荷期の給気温度ハンチング対策として、冷却運転時に蒸発器を通過した空気が過冷却状態となった場合は、リニア弁によりバイパスさせたホットガスを再熱器に送り再熱処理を行う(図3)。過冷却状態を回避した運転ができる為、圧縮機を不用意に停止させる必要がない。

② 再加熱処理

中間期など吸込外気温度が設定給気温度付近である場合は、冷却も加熱も行わない送風運転となるが、この場合でも外気が低湿度である場合は加湿することが望まれる。その際、搭載した気化式加湿器の気化冷却による温度低下や冷風感を防止するため、再加熱処理を行う(図3)。

ユニット外観

操作スイッチ

制御盤

■諸元 (RFT-OA 型)

型番 (RFT-OA)	4800	6000	9500	12000
風量範囲 [m ³ /h]	3840~5280	4800~6600	7600~10450	9600~13200
冷却能力 [kW]	37.3	46.6	74.4	93.4
加熱能力 [kW]	32.9	41.5	65.7	82.9
冷却COP	3.39	3.21	3.4	3.22
加熱COP	4.36	4.22	4.38	4.21
加湿量 [kg/h]	15.4	19.4	30.7	38.8
充填冷媒	R407C			
圧縮機	全密閉スクロール (INV制御)			
送風機	ベルトレス直結式 (INV制御)			

※能力外気条件・・・冷却：外気33℃DB/63%RH、加熱：外気7℃DB/87%RH

図2 外観・諸元

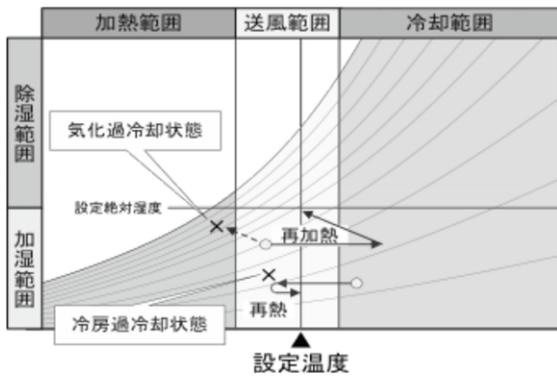


図3 低負荷領域の制御例

③ デフロスト軽減

冬期外気温低下によって起こる蒸発器の着霜に対しては、リバースサイクルではなくバイパス方式によるデフロスト構造としている(図4)。バイパス方式はデフロスト運転中に給気側熱交換器に冷媒を通さない様バイパス管を設けることで、給気温度の低下を抑制している。凝縮した冷媒液の器として、大容量化したアキュムレータを一時的な液溜器として設計している。

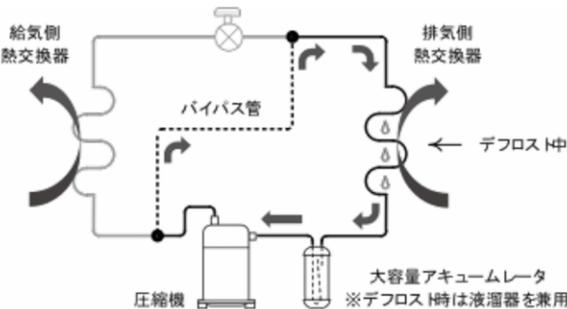


図4 デフロスト運転時の回路

この他、凝縮器一次側直近に取付けた着霜抑制板によって、霧雨や風雨影響によるデフロスト軽減を図り、気象影響によるデフロスト回数や時間を不用意に増加させない構造としている。写真1は強制的に冬期の風雨環境を作りだした試験室内において、一定時間連続暖房運転を行った際の着霜状態比較であり、着霜量が改善されていることが確認できる。



抑制板なし 抑制板あり

写真1 着霜状態の比較

(4) BACnet 対応

本製品は各種外部入出力接点の他、専用のゲートウェイを用いてBACnetに接続することができ、拡張性を持たせている。多様なオブジェクトに対応する他、ゲートウェイ1台で最大100台の空調機を接続することができる。(図5,表3)

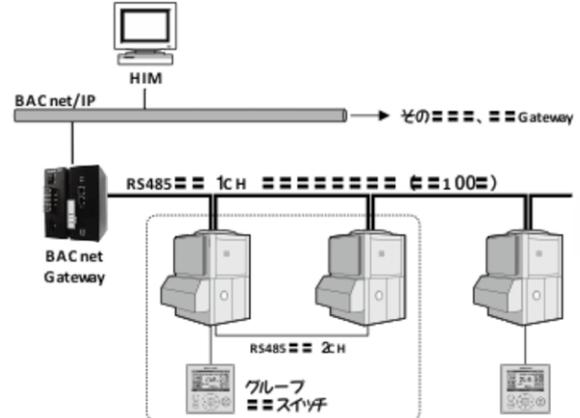


図5 BACnet 接続構成例

表3 対応オブジェクトの一例

type	名称	type	名称
BI	通信ステータス	AO/AI	CO ₂ 濃度設定
BI	異常状態参照	AO/AI	ファン容量設定
AI	異常情報参照	AO/AI	圧縮機最大容量設定
BO/BI	動作状態	AI	吸入温度
MO/MI	モード設定	AI	吸入湿度
MO/MI	風量設定	AI	給気温度
MO/MI	手元禁止設定	AI	給気湿度
AO/AI	温度設定	AI	運転情報参照
AO/AI	湿度設定	BI	フィルタ点検状態

(5) 冷媒使用量と管理

個別分散型のPACなどでは、配管実長や配管総長など、接続自由度の拡大も進んでいる。利便性が迫及される一方では、搬送の為にフロン冷媒を多用することになり、市場ストックの増加や現地施工による漏洩リスクなどの問題が表裏一体となって存在している。さらには冷媒配管が長尺化することによる能力補正は、選定室外機の大形化や冷凍サイクルCOPの低下にも繋がっている。

本製品では一体型であるが故に、冷媒の使用量を最小限に留めた設計となっている。表4に示す市販外気処理PACとのモデルケース参考比較では総フロン冷媒充填量が55%少ない結果であった。また、現地での配管施工・充填を必要としないため、メーカーサイドでの徹底した品質管理によって漏洩防止を図っている。

表4 使用冷媒量の参考比較

型番	×台数	ルーフトップ外調機 RFT-4800-OA	市販外気処理PAC 室内機×2・室外機×2
外気処理風量		4200 m ³ /h	4200 m ³ /h
室外機選定馬力		-	8馬力×2
液管接続径	室外機	-	φ9.52×2
	室内機	-	φ9.52×2
冷媒配管長		-	30m
総フロン冷媒充填量		11.0 kg	24.6 kg

(6) 運転 COP

ピーク基準で空調設備システムが構築される中、通年における多くの時間帯は、低負荷運転である。これは外調機においても同様であり、JISB8616 パッケージエアコンによる外気温度発生時間をベースとした本製品平均装置負荷率の試算では冷房運転期で40%前後、暖房運転期で60%程度となった。図6はこれらの実運転環境を反映したCOPを示したグラフであり、部分負荷領域での効率が良好なインバータスクロール圧縮機の採用により、年間消費電力の抑制に繋がっている。

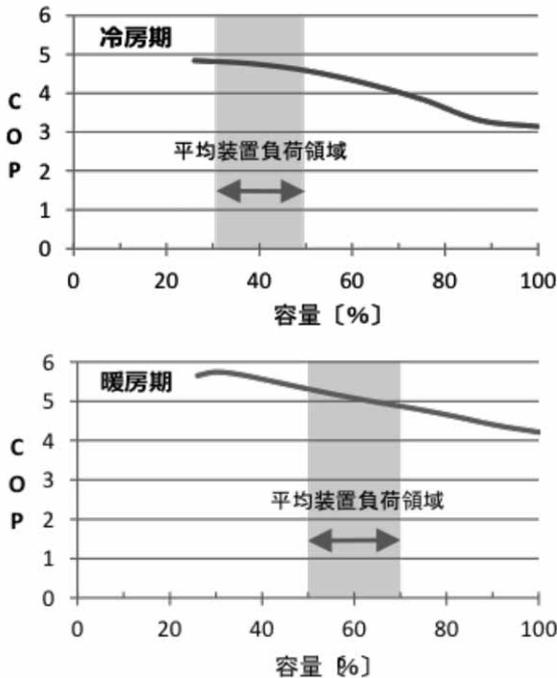


図6 平均装置負荷領域とCOP

(7) ツインサイクル形 (参考紹介)

よりパワフルな除湿・加湿能力を必要とする環境向けには、2つの冷凍サイクルを搭載したツインサイクル形シリーズもラインアップしている。

本製品は外気を直接16℃または13℃まで2段冷却し、室内環境の露点温度以下まで除湿して給気する(図7,8)。個々の冷凍サイクルは吸熱・放熱用熱交換器のフィンのみを共有した独立冷媒配管構造で異なる運転を行う事ができ、冷暖同時運転の場合は熱回収を行いながら効率の良い運転を行うことができる。

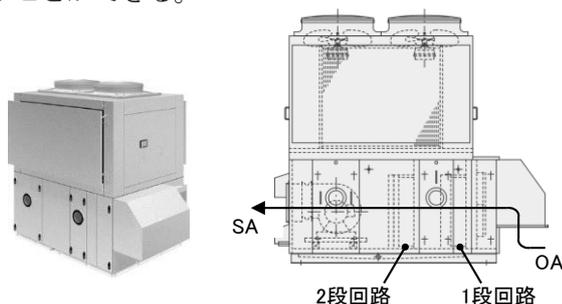


図7 ツインサイクル形 外観

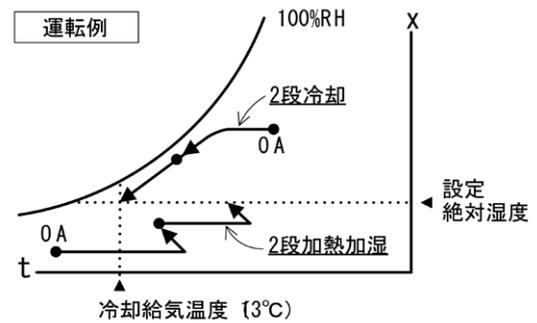


図8 ツインサイクル形 運転例

4. 用途・事例

本製品の用途には、大勢が空間を共有するオフィスや学校・大型店舗への外気安定導入や、HACCP導入に伴う給食センター・食品工場・調理場の陽圧・湿度衛生管理として、また研究施設でのドラフトチャンバとの連動、生産設備での調湿、病院の汚染空気・臭気換気や工場暑熱対策を目的としたオールフレッシュ空調など多岐に渡る。

これら一つ一つの現場要求に答える形で必要なアレンジを加えながら実績を積み重ねている。(写真2)



写真2 某食品加工工場への据付風景

5. おわりに

外調機は換気設備の延長として認識され、さほど性能は重視されずに選定される事もある。市場にある安価で利便性の良いものでも換気の結果を果たすことはできる。しかし実態では室内の空調環境にも影響を及ぼし、湿度や給気温度に関わる問題などを抱え、後から相談をいただくケースも多い。

快適性や生産性を損なわず、使用環境に見合った機器提案や個別要求への対応など、選択肢も広げながら最適なシステム構築を後押しする事が我々の使命と考えている。

参考文献

- 1) ビル衛生管理講習会資料, 東京都健康安全研究センター (平成19~28年度)