

R32天吊／天埋形除湿機

R32 Ceiling - Suspended / Concealed Dehumidifier

*冷熱システム製作所

要 旨

地球温暖化に伴う潜熱負荷の増大や衛生管理の厳格化によって、除湿需要が高まっている。今回の開発では、高い除湿能力と省スペース性を両立した“R32天吊(つり)／天埋(うめ)形除湿機”を製品化した。環境面では低GWP(地球温暖化係数)冷媒R32を採用し、フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律(フロン排出抑制法)の2029年度目標値に適合させた。さらに、配管長(80m)や機外静圧(300Pa)の仕様上限を拡張し、設置の自由度を大幅に向上させた。技術面では、室外機への放熱分散によって、併設空調機の顕熱負荷を抑制したことに加えて、従来機を上回る高い除湿性能を確保した。これによって、食品倉庫など厳密な温度管理が求められる環境でも、温度への影響を抑えた上で、近年の高い潜熱負荷に対応可能な製品を実現した。

1. ま え が き

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象の影響によって国内の平均気温は上昇を続けているが、これに伴う大気中の水蒸気量(絶対湿度)の増加は、空調設計での想定条件と実環境との乖離(かいり)を招く深刻な要因になっている。気象庁の公開データ⁽¹⁾を基に作成したグラフ(図1)が示すとおり、高温化に連動して絶対湿度が上昇する傾向は顕著であり、この潜熱負荷の増大が空調・除湿設備の運用に多大な影響を及ぼしている。

このような環境変化に加えて、産業分野では食品衛生管理の徹底や換気強化に伴って、温湿度管理に対する要求が一段と厳格化している。その結果、除湿機の需要は従来の低温倉庫から、スーパーマーケットや食品工場といった非低温分野にも拡大しており、市場全体の需要(全需)は増加傾向にある(図2)。

従来、除湿機の導入はカビトラブル等の発生後に行われる事後対策としての側面が強く、施工の簡便な一体形の小型機で対応されるケースが多く見られた。しかし、近年の環境下では、施設設計の段階から本格的な除湿対策を組み込むケースが増加している。その際、限られた作業スペースを有効活用しつつ、広範囲の負荷を処理できる高い除湿能力を備えた“天吊／天埋形”の需要が高まっている。

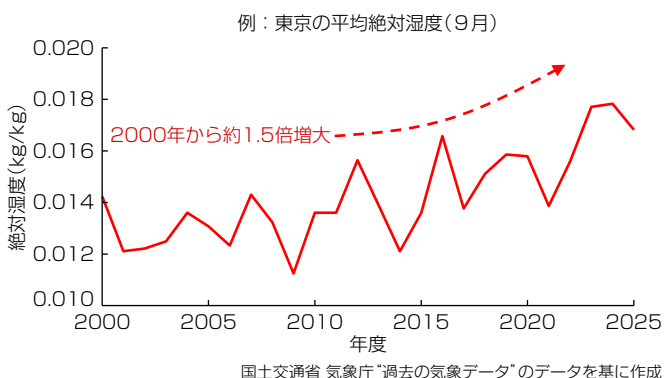


図1-日本国内での絶対湿度の推移

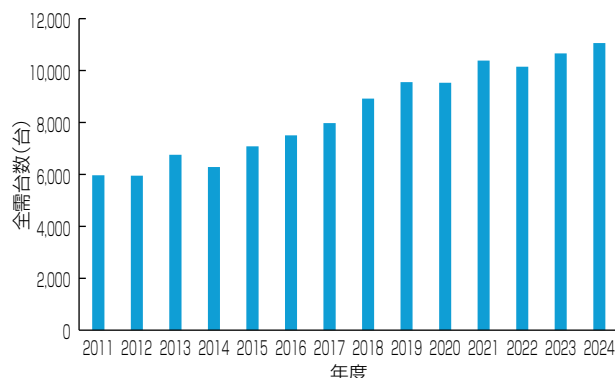


図2-当社業務用除湿機の全需台数の推移⁽²⁾

2. 開 発 目 的

今回の開発では、高い除湿能力と省スペース性を両立したR32天吊／天埋形除湿機を製品化した。室外機を持つセパレート方式の採用によって高能力を確保しつつ、従来機の課題であった施工性を大幅に改善した。さらに、R32冷媒を使

用することによってフロン排出抑制法(2029年度目標値)への適合を図った。

この開発での主要な設計要件は、次のとおりである。

- (1) 高潜熱負荷に対応可能な高除湿能力の確保
- (2) 天井設置による省スペース化と、施工自由度及び運転範囲の拡大
- (3) 併設される空調機への熱負荷を抑える運転
- (4) フロン排出抑制法(2029年度目標値)に適合する冷媒の採用

3. 機器構成・仕様

この章では、機器構成・仕様について述べる。

3.1 セパレート方式の採用

開発機は、室内機と室外機を分離したセパレート構成とした(図3、図4)。天井設置を前提とする場合、室内機寸法、特に高さ方向に厳しい制約が生じる。一体形構成では筐体(きょうたい)内に圧縮機と熱交換器を同時に搭載する必要があるが、必要な熱交換面積の確保が困難であった。この開発では、圧縮機等を室外機に配置し、室内機を熱交換器と送風機だけの構成とすることで、室内機の薄型化と必要除湿能力に見合う熱交換器容量の確保を両立した。



図3-開発機の外観

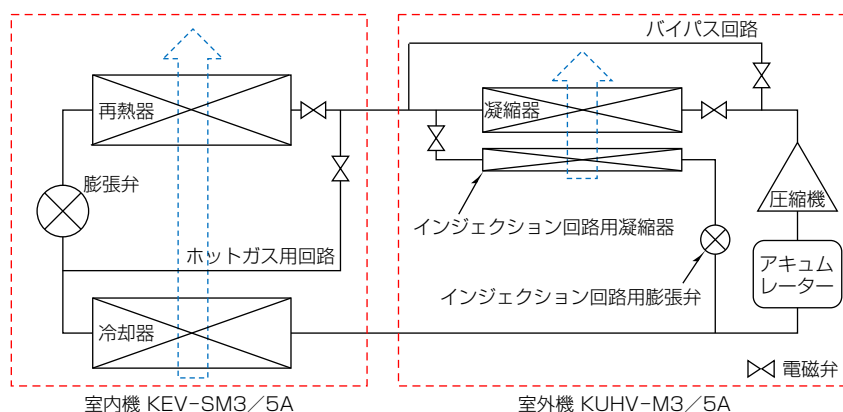


図4-開発機の冷媒回路図

3.2 運転範囲の拡大及び施工性向上

デフロスト(除霜)方式については、従来のオフサイクル方式からホットガス方式に変更することで、運転範囲の下限を拡大した(図5)。あわせて、圧縮機を従来の一定速からインバーター方式に変更し、運転範囲の上限を拡大させている。

この圧縮機のインバーター化は、冷媒制御の最適化を通して施工自由度の向上にも大きく寄与している。インバーターによる精緻な回転数制御が可能になったことで、長尺配管時や高静圧時の負荷変動に対しても安定した運転維持が可能に

なり、次のとおり、大幅な仕様拡張を実現した。まず、許容配管長を従来機の30mから80mに拡大し、室外機の設置制約を大幅に緩和した。これによって、大規模施設や多層構造建屋への適用を可能としている。さらに、室内送風機の機外静圧を100Paから300Paへ引き上げて、長尺ダクトの接続や天井内埋め込み設置でも、安定した性能を確保できる構成とした。

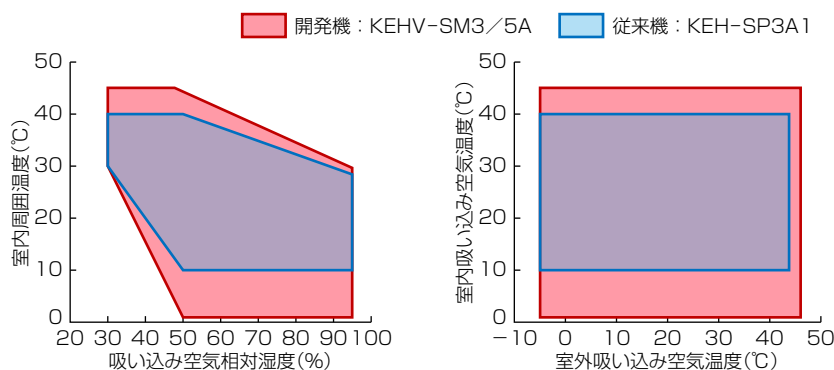


図5-従来機と開発機の運転範囲の比較

3.3 冷媒仕様と安全設計

フロン排出抑制法の指定製品制度で、除湿機は“設備用エアコンディショナー”に区分されており、2029年度までにGWPを750以下にすることが目標値として定められている。今回の開発では、この目標を達成するため、低GWP冷媒であるR32(GWP:675)を採用した。R32は微燃性冷媒であるため、安全性確保の観点から、室内機の設置高さや床面積の関係に基づいて、冷媒漏洩(ろうえい)時の濃度が安全基準値以下になる設置制約を策定した。この制約を遵守することで、検知器や警報器などの追加の安全装置を必要としないシステム構成としている。なお、これらの制約は、店舗や工場といった想定される使用環境で、実用上の支障がない範囲に設定されている。

4. 製品の特長

この章では、製品の特長について述べる。

4.1 再熱除湿サイクルの構成と特長

開発機は、冷却器による冷却除湿と再熱器による加熱を組み合わせた再熱除湿サイクルを採用している。吸い込み空気は冷却器で露点温度以下まで冷却され、水分を凝縮・除去した後、再熱器によって加熱されて供給される。

この方式は、単一の冷媒サイクル内で除湿と再熱を同時に実現し、凝縮時に発生する排熱を再利用できる点に特長がある。これによって、除湿後の吹き出し空気の温度低下を抑制しつつ、低湿度空気を効率的に供給することが可能である。一般的な空調機が顕熱処理を主目的とするのに対して、開発機は潜熱処理に重点を置いた構成であり、高い除湿性能を発揮する。

4.2 セパレート構成による室内熱負荷の低減

一体形除湿機では、圧縮機及び再熱器からの放熱が全て室内に放出されるため、運転時に室温上昇を招く課題があった。温度管理がなされているスーパーマーケットや食品工場では、この放熱が併設空調機の顕熱負荷になる。

開発機では、室外機に補助凝縮器を設けて、放熱の一部を室外へ分散する構成とした。これによって、圧縮機由来の熱負荷を室外へ排出し、室内への放熱量を低減している。これによって、併設空調機への影響を抑えつつ、潜熱負荷の処理を行うことができる。

5. 技術的課題と解決策

この章では、技術的課題と解決策について述べる。

5.1 運転範囲の拡大及び高負荷時の能力確保

高温多湿環境下で安定した除湿性能を維持するためには、運転範囲の拡大と高負荷時の能力確保が不可欠である。しかし、今回の開発で採用したR32冷媒は、従来の冷媒と比較して圧縮機の吐出温度が上昇しやすい特性があり、高負荷運転時の信頼性の確保が課題になった。通常、吐出温度の抑制には液インジェクションが有効であるが、これを機能させるには冷媒の過冷却(以下、“SC”という。)を十分に確保する必要がある。一方、開発機の再熱除湿サイクルでは、再熱器の加熱量を維持するために、凝縮器での過冷却をとることはできず、インジェクション用のSC確保と再熱量の維持が相反する関係にあった。この課題に対して、凝縮器の二次側にインジェクションのためだけのSC用凝縮器を新たに設置することで、再熱量を損なうことなくインジェクションに必要なSCを確保する回路構成とした。あわせて、圧縮機のインバーター化による出力調整で、吐出温度の最適化を図った。また、インジェクションに伴う能力低減分については、凝縮器の熱交換量をSCが生じない限界まで高める設計変更によって補完し、装置全体の能力向上を実現した。これらの対策によって、従来機と比較して運転範囲の拡大、高負荷時の高能力化、及び除湿COP(Coefficient Of Performance)^(注1)の向上を達成した。従来機との3馬力での性能比較結果を図6に示す。

(注1) 除湿能力(L/h)/消費電力(kW)で計算している。

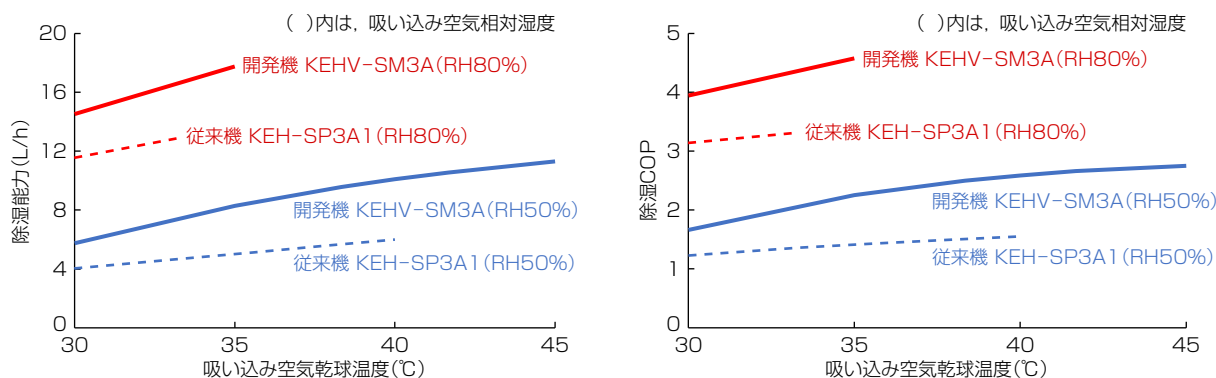


図6-従来機と開発機の性能比較(高負荷時)

5.2 室内放熱量の最適化と再熱器機能の維持

室内空気の温度変化を抑制するため室内放熱量の低減を図ったが、室外機への放熱配分を過度に増やした場合、再熱器の機能が維持できなくなるという課題が生じる。室外機で冷媒が過度に冷却されると、再熱器に流入する冷媒温度が吸い込み空気温度を下回って、再熱器が凝縮器として機能せず蒸発器として作用するためである(図7)。この結果、SCが不足し、除湿能力の低下及び冷凍サイクルの不安定化を招く。

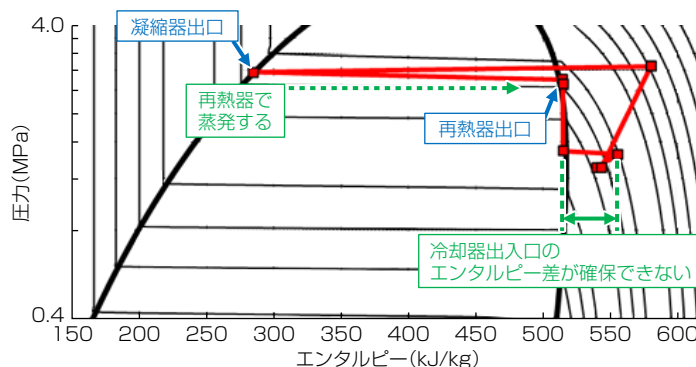


図7-再熱器で冷媒が蒸発する場合のp-h線図

これらの条件を踏まえて、室内機／室外機での放熱配分を最適化し、再熱器に流入する冷媒温度を常に室内空気温度以上に維持する設計とした。それに加えて、高圧圧力に応じて室外ファン回転数を調整することで凝縮圧力の過度な低下を防止した。さらに、低外気温時のSC過多を抑制するため、凝縮器をバイパスする冷媒回路構成を採用した(図4)。これらの制御及び回路設計によって、再熱器の機能を維持しつつ、室内放熱量の低減と安定した除湿性能の両立を実現した。

6. 今後の展望

今回の開発によって、セパレート構成の採用による設置自由度の向上と、室内熱負荷を抑制した除湿特性を確立した。今後は、多様化する市場ニーズへの対応と更なる高機能化を目指して、この開発で得られた知見を基盤として、次の技術課題の検討を推進していく。

(1) 温度安定性

開発機では、吹き出し空気温度の変動を抑制したが、吸い込み空気温度との差をなくすまでには至らなかった。

温度管理が更に求められる空間で、顕熱(温度)に影響を与えず潜熱(湿度)だけを処理する技術は、更に安定した湿度制御環境の提供につながるため、実現に向けた検討を進めていく。

(2) 環境性

フロン排出抑制法による冷媒規制への対応として、2029年度目標値の未達成機種での冷媒転換を順次進めていく。また、2029年以降の長期的な規制動向を注視し、将来的な環境負荷低減に資する技術開発を継続していく方針である。

7. む す び

R32冷媒の採用によって環境規制への適合と、室内機的能力向上かつ省スペース化を両立し、さらに施工自由度の向上によって多様な設置条件への適応を実現した。特に、室内放熱量の低減と再熱除湿性能の維持という背反する課題に対して、冷凍サイクルの最適化によって解決を図った点は、温度管理を重視する現代の産業ニーズに応える重要な成果である。

今後も、変化し続ける気象環境や多様化する顧客ニーズに迅速に対応し、高度な温湿度管理技術を通して、持続可能な社会の実現と快適な作業環境の構築に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省 気象庁：過去の気象データ検索
<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>
- (2) 一般社団法人 日本冷凍空調工業会 小形冷凍機委員会 参考統計 業務用除湿機出荷実績