

デシカント空調システム

小柳 謙一 (こやなぎ けんいち)

神崎 克也 (かみざき かつや)

齋藤 秀介 (さいとう しゅうすけ)

特集2

1 まえがき

2005年の京都議定書発効や化石燃料の枯渇などの社会状況から地球環境に対する関心が高まる中、2006年に経済産業省より示された「新・国家エネルギー戦略」では、空調機などから排出される低温排熱（主として60℃以下の排熱）の利用が地球温暖化防止への課題として明示された。デシカント空調システムは、この低温排熱を有効に利用する技術を応用した製品の⁽¹⁾一つである。

一方、富士電機が携わる食流通分野のスーパーマーケット市場に目を向けると、総売上は10年連続減少という厳しい状況にある。各スーパーマーケットは、消費者にお店に来ていただくために商品の品ぞろえや商空間の演出に他店との差別化を競っている。

商空間の演出においては、店舗環境（快適な空間）の向上が重要な要素に挙げられる。そこではコールドアイル（オープンショーケースの冷氣漏れによる足元の冷え）の発生などさまざまな問題がある。また「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」（通称：ビル衛生管理法）や「建築基準法」により、店内の換気のために外気導入が必要である。デシカント空調システムはこれらの解決にも有効である。

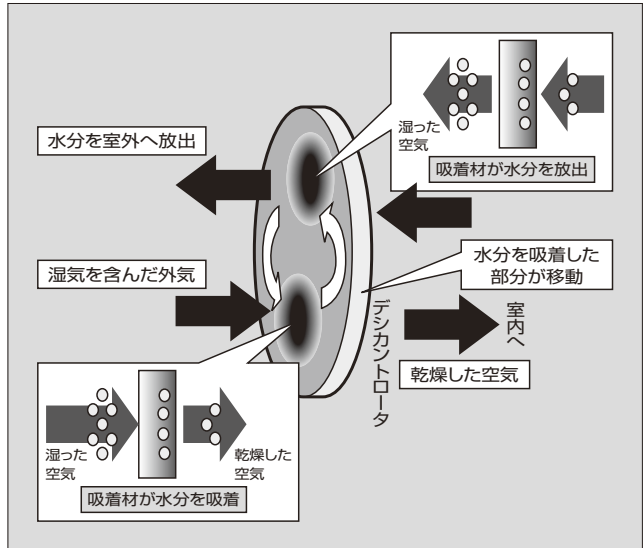
2 デシカント空調の概要

2.1 従来の空調方式

従来の空調はエアコンに代表されるようなコンプレッサ方式である。原理を簡単に説明すると、冷媒を循環させて室内から室外へ熱を運び出すことで冷房を行うものである。室外にあるコンプレッサにおいて冷媒を圧縮し、外気で冷却することにより熱を室外に放出する。除湿するためには、所望の空調温度よりも過度に冷却し、室内に空気を供給するときには再加熱して所望の空調温度にしなければならない。そのために加熱用熱源が別に必要である。

このように、コンプレッサ方式では冷却後に再加熱が必要であり、エネルギーを余分に消費している。また、室

図1 デシカント空調の原理



内換気のために外気導入を行うと空調に対する追加負担になってしまう。

2.2 デシカント空調の原理

デシカント (desiccant) とは、水分を吸い込む吸着材を意味している。すなわち、デシカント空調システムとは、空気から直接水分を除去・分離し、適切な温度・湿度に調整して室内へ供給する空調システムである。

デシカント空調のキーコンポーネントは除湿ロータである。吸着材にはシリカゲルやゼオライトなどが用いられ、吸着材をロータ状にすることにより水分の吸脱着を連続的に行う。その原理を図1に示す。ロータの下半分に湿った空気を通すと、吸着材が水分を吸着する。水分を吸着した吸着材はロータの回転により、上半分に移動する。ロータの上半分に熱した空気を通すと、吸着材は水分を放出する。この動作により除湿材は乾燥し、その吸湿性が回復する。

デシカント空調は空気中の水分を直接取り除くために、コンプレッサ方式よりエネルギー消費が少ない。さらに



小柳 謙一

コールドチェーン関連製品の研究企画・開発に従事。現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社コールドチェーン事業本部商品企画本部開発技術部。



神崎 克也

コールドチェーン関連製品の開発設計に従事。現在、富士電機リテイルシステムズ株式会社コールドチェーン事業本部三重工場 CC 製造統括部マネージャー。



齋藤 秀介

コールドチェーン、自動販売機関連の機器開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー株式会社機器技術研究所グループマネージャー。日本伝熱学会会員。

空気を熱するために低温排熱を利用することが可能である。また、外気を調節して店内へ供給するので空調に対する負荷が少なく、同時に外気導入が可能である。そのため大量の外気を必要とする場合にはコンプレッサ方式に対して優位性がある。

③ ヒートポンプ式1ロータデシカント空調システム

3.1 構成

ヒートポンプ式1ロータデシカント空調ユニットの外観を図2に、構成を図3に示す。

ヒートポンプ式1ロータデシカント空調ユニットは、処理側と再生側の二つの空気流路を有する筐体（きょうたい）内に、双方の空気が通過するように除湿ロータを配置するとともに、送風機とヒートポンプ冷凍機回路を内蔵した構成としている。

(1) 除湿ロータ

吸着材を担持したハニカム状のロータであり、処理側流路においてユニットに取り込まれた外気が通過する際に水

分を吸着し、乾燥処理した大量の空気を店舗内に供給する。また、再生側流路において吸着した水分を脱着（再生）し、空調ユニット外に排出する。

除湿ロータは低速回転しており、水分の吸着と脱着を連続的に効率よく行っている。

(2) 処理ファン・再生ファン

処理ファンにより乾燥処理した空気を店舗内に供給し、再生ファンにて除湿ロータに再生用の高温空気を通す。処理ファンは、店舗の給排気方式に応じて周波数調整できるように、インバータ駆動を行っている。

(3) ヒートポンプ式冷凍機

ヒートポンプ式冷凍機と熱交換器（蒸発器・凝縮器）にて冷媒回路を構成している。除湿運転では、凝縮器による再生空気の加熱と蒸発器による処理空気の冷却を行い、冬季には蒸発器と凝縮器を切り換えて暖房運転を行う。

ヒートポンプ式冷凍機はインバータ方式を採用し、運転条件に応じた周波数の最適制御を可能としている。

(4) 排熱熱交換器

ショーケース冷凍機などの排熱を通して再生空気の加熱補助を行い、除湿運転時のヒートポンプ運転率の低減を図る。また、処理側にも排熱熱交換器を配置可能としており、暖房運転時の加熱補助に排熱を利用することもできる。

ヒートポンプ式1ロータデシカント空調ユニットを用いたスーパーマーケットにおけるシステム構成を図4に示す。

デシカント空調ユニットは店舗の建屋外に設置され、給気ダクトを通じて乾燥処理した空気をショーケース下部または天井から吹き出す。店内からの戻り空気は、別経路のダクトを通じてデシカント空調ユニットに戻される。戻り空気量は給気量の半分程度に設定し、店内陽圧化を実現している。

店内に設置した温湿度センサにより、夏季の除湿運転では店内湿度を40%程度に制御している。また、外気および給気温湿度センサにより、運転条件に応じた高効率運転を可能としている。

ショーケース用冷凍機からの排熱配管を通して、ホット

図2 デシカント空調ユニットの外観

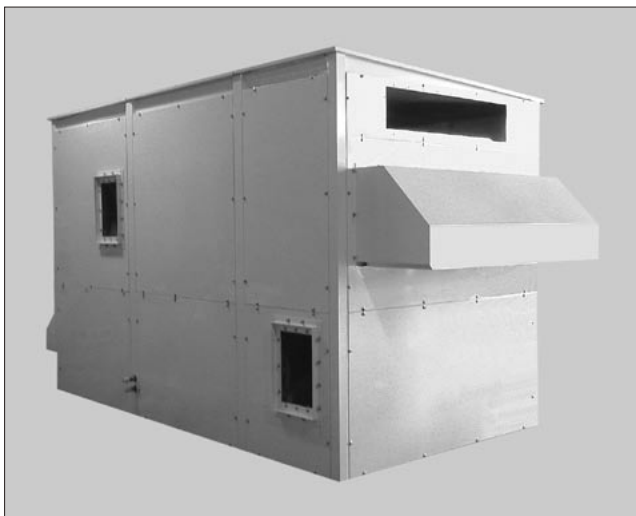


図3 デシカント空調ユニットの構成

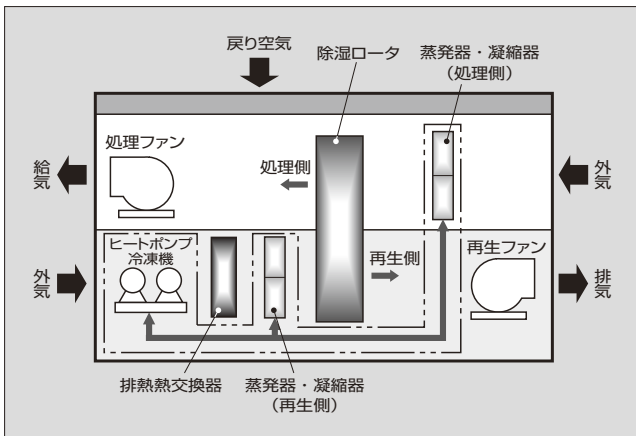
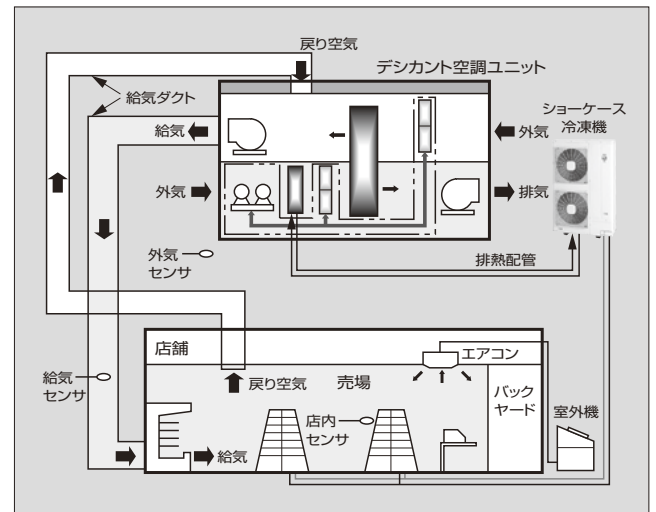


図4 スーパーマーケットにおけるシステム構成



ガス冷媒を排熱熱交換器に供給している。

3.2 特長

ヒートポンプ式1ロータデシカント空調システムの特長を以下に示す。

(1) 低温再生ロータの採用によるオール電化対応

低温での再生が可能な除湿ロータを採用し、オール電化対応を可能とした。従来の除湿ロータは、高温再生の熱源としてボイラが必要であった。

都市ガスなどを使用しているスーパーマーケットでは、ボイラ燃料を確保することは可能であったが、近年オール電化を進める店舗が増加しており、デシカント空調システムの導入を断念せざるを得ない場合があった。

1ロータデシカント空調ユニットでは、低温再生ロータを採用しヒートポンプ式冷凍機による再生を実施した結果、電気のみをエネルギー源とする空調システムが実現可能となり、今後の店舗設計に最適な製品となっている。

(2) 小型化

ヒートポンプ方式の採用により2ロータ方式における顕熱ロータを不要とし、1ロータでユニットの小型化を実現した。さらにヒートポンプ式冷凍機を内蔵することで、1ユニットでのシステム実現が可能となった。スーパーマーケットでは建屋外または屋上に冷凍・空調機器を並べて設置しているが、従来のデシカント空調ユニットはこれらの機器と比べても大きなスペースを占め、さらにボイラや専用冷凍機などの付帯設備を必要とするため、導入の際の大きな障壁となっていた。1ロータデシカント空調ユニットでは、2ロータ方式の同等機に比べユニット容積を50%低減でき、付帯設備も不要となり導入が容易になった。

(3) 排熱有効利用による高効率運転

ショーケース冷凍機の排熱は40～60℃程度のため、従来は利用されることなく大気に放出されていた。1ロータデシカント空調ユニットでは低温での再生を可能としたため、無駄に捨てられていた冷凍機排熱の有効利用が可能となった。

排熱用熱交換器を標準搭載し、排熱を有効利用する運転制御を導入することで高エネルギー効率での運転を実現した。

(a) 再生用補助熱源としての排熱利用

夏季の除湿運転においては、ヒートポンプ式冷凍機の補助熱源として除湿ロータの再生に利用する。運転条件の変化に応じてヒートポンプ式冷凍機の運転周波数を抑え、電力使用量を低減することができる。

(b) 暖房補助熱源としての排熱利用

冬季の暖房運転においては、ヒートポンプ式冷凍機の補助熱源として暖房給気の加熱に利用する。店内や外気温度条件の変化に応じてヒートポンプ式冷凍機の運転周波数を調整し、電力使用量を低減することができる。

運転モードや外気条件などに応じて、これらの運転を有効に組み合わせることにより、年間を通じた電力使用量の抑制が可能となる。

表1 デシカント空調システムの導入効果

| | |
|-------------|-------------------------------|
| (1) 店内環境の改善 | ○温度環境の改善 ○湿度環境の改善 ○外気導入 |
| (2) 省エネルギー | ○ランニングコストの軽減 ○イニシャルコストの抑制 |
| (3) 環境対応 | ○低温排熱の有効利用 |

3.3 効果

スーパーマーケットにデシカント空調システムを導入することにより、表1のような効果が得られる。

(1) 店内環境の改善

(a) 温度環境の改善（コールドアイルの解消）

精肉・鮮魚や冷凍食品を陳列する冷凍・冷蔵ショーケースの前面は、夏場でも15℃程度のコールドアイルが生じており、来店客やレジ従業員の快適性を損ねている。

コールドアイルにデシカント空調システムから供給される乾燥空気を吹き付けることにより、コールドアイルを解消しケース下部の温度を20℃以上に上昇できる。

(b) 湿度環境の改善

店内の湿度低減により、ショーケース内商品の着霜・結露抑制、天井・壁のかびの抑制や菌類の抑制が期待できる。

(c) 外気導入

大量の外気を乾燥処理して導入するため、室内空気質（Indoor Air Quality）の改善や店内陽圧化によるほこり・虫の侵入抑制が期待できる。

(2) 省エネルギー

(a) ランニングコスト（消費電力）の軽減

店内の湿度低減により冷凍機、ショーケース、空調設備の顕熱負荷が軽減し、消費電力の低減効果が期待できる。

(b) イニシャルコストの抑制

冷凍機、空調設備の負荷が軽減されるため、導入設備を縮小することが可能になる。

(3) 環境対応

ショーケース冷凍機などの無駄に捨てられていた低温排熱を有効利用し、環境に配慮した店舗設計が可能になる。

4 ヒートポンプ式デシカント空調システムの技術課題

4.1 低温再生除湿ロータ

デシカント空調システムで使用する吸着材にはシリカゲルやゼオライトなどが用いられていたが、従来の吸着材からの水の脱着に80～120℃に加熱した空気を必要としていた。今回、装置の大型・高コスト化の抑制と排熱利用の二つの課題を解決するための、低温排熱での水分吸着・脱

図5 吸着材と水の結合状態図

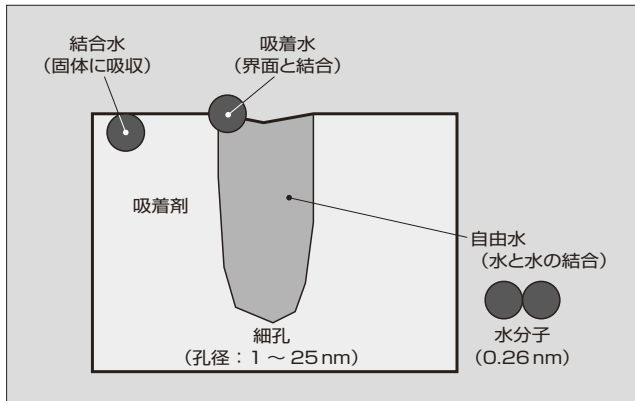


表2 吸着材の除湿特性

| | |
|------|--------------|
| 再生温度 | 50℃ |
| 除湿量 | 4.8g/kg-乾燥空気 |
| 外気 | 35℃/53.4%RH |

着を可能とするデシカント空調システムを開発した。

吸着材に吸着した水分を低温排熱による少ない熱量で脱着可能とさせるため、細孔内に存在する自由水に着目した細孔径を調整したゼオライトを用いた。自由水は図5に示すように結合水や吸着水と違い、水と水の結合であるために結合エネルギーが弱く、少ない熱量でも水の脱着が可能である。

表2に、使用したゼオライトの除湿特性を示す。脱着温度50℃において理論的な限界値に近い4.8g/kg-乾燥空気の除湿特性を実現している。

4.2 ヒートポンプ式冷凍機制御

デシカント空調システムはヒートポンプ式冷凍機を内蔵し、ヒートポンプ式冷凍機の冷熱を用いて供給空気の温度調整を行い、その排熱を用いて吸着材による脱着を行ってエネルギーを無駄なく活用している構成に特徴を持つ。しかし、日本には四季があり外気の温湿度条件が広範囲であるため、湿度調整量が多い場合や温度調整量が多い場合など必ずしもヒートポンプ式冷凍機の冷熱と排熱のバランスが保たれない。そこで、ヒートポンプ式冷凍機の熱量制御と店内からの戻り空気制御を組み合わせた新しいヒートポンプ式冷凍機制御法を開発した。

制御法の概略フローを図6に示す。外気の温湿度から吸着材による除湿量、それに伴う吸着材の再生に必要な再生熱量および吸着材に水が吸着する際に生じる吸着熱量を演算し、戻り空気と外気の混合量とヒートポンプ式冷凍機の運転を制御して所定の温湿度の空気を生成する。

4.3 外気導入量の最適化

デシカント空調システムは一般の空調と異なり、外気導入型の空調システムである。外気を導入して対象空間内から外部への空気の流れを作ることにより店内陽圧化を図り、

図6 ヒートポンプ冷凍機の制御フロー

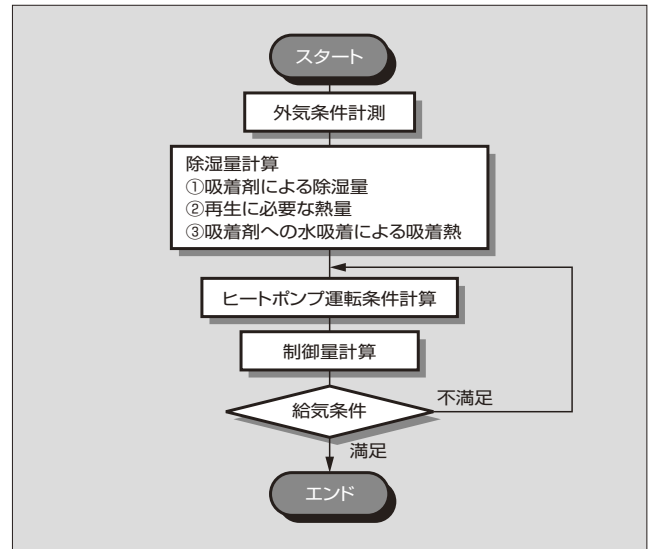
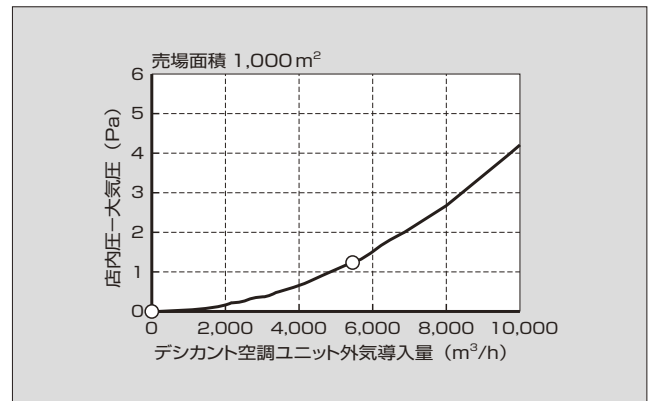


図7 デシカント空調ユニットの外気導入量と店内圧力



対象空間内の換気やほこり・虫の侵入を防げるという特長を持ち、特に食品を扱う食品工場やスーパーマーケットなどにおいて好まれている。しかし、一般に外気は対象空間より高温であるために冷却負荷が大きく、外気を多く供給しすぎると温度調節のためのエネルギーが必要となる。そこで、開発したデシカント空調ユニットは外気の導入量を最適化し、省エネルギーを図った。

図7に、売場面積1,000m²規模のスーパーマーケットにおける店内陽圧化に必要な外気導入量を実測した結果を示す。惣菜(そうざい)などを調理するバックヤードと売場の換気システムを分離した条件において、外気導入量は1,500m³/hで店内陽圧化が可能である。この結果から開発したデシカント空調ユニットは、売場面積1,000m²のスーパーマーケットにおいては外乱要因を踏まえ、外気導入量2,500m³/hに設計している。

5 デシカント空調システムの今後の方向性

デシカント空調システムのさらなる高効率運転のため、吸着材の性能向上に加えて、吸着熱や排熱の利用量の向上を検討している。

吸着材に関しては、各種企業が研究開発に取り組んでいる。最近では、スポンジ酸化チタン⁽³⁾や新規ゼオライト系吸着材⁽⁴⁾などが発表され、除湿性能の向上・吸着材の使用量削減が期待される。

次世代へ向けての課題は、装置の小型化、顕熱ロータを回転させるためのモータ動力の排除などがある。

富士電機では、新しい構造の吸着熱回収機構としてサーモサイフォン式を開発中である。サーモサイフォン式は作動媒体の沸騰・凝縮現象を利用して熱移動を行うもので、エネルギーを使わずに吸着熱を回収できるメリットがある。

⑥ あとがき

デシカント空調システムにおける原理や構成、その特長などについて紹介した。今後も顧客の要望に応じた開発に

取り組んでいく所存である。

最後に、本開発において多大なご指導・ご協力をいただいた関係各位に感謝する次第である。

参考文献

- (1) デシカント空調システム、ヒートポンプ・蓄熱センター低温排熱利用機器調査研究会、日本工業出版、2007.
- (2) 年度で見る規模統計、日本チェーンストア協会ホームページ、〈http://www.jcsa.gr.jp/2_statistics/2_statistics.htm〉、(参照 2007-04-24)。
- (3) 21世紀が求める革命的省エネ新空調機を実現「アースクリーンデシカント」&「メガクール」、アースクリーン東北、環境時代、1月号、2007、p.34-35.
- (4) 大島一典ほか、新規吸着材のデシカントへの応用、日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、2006、p.237-240.

