

論文の内容の要旨

論文題名 衛生的な調湿を省エネルギーに実現するデシカント外調機の開発研究

氏名 川本光一

除湿期間のドレン、空調系統が長期間高湿度にさらされることで生じる空気汚染による健康への弊害、加湿期間における水、蒸気使用による空調機内汚染の危険性が今日課題となっている。現状では主に事後的に滅菌する方法が研究されているが、効果には限界がある。事前に菌が発生しにくい環境に室内、空調系統を保つことが望ましい。すなわち室内の高湿度環境を避けるように室内湿度を管理し、空調系統についてはドレンを発生させずかつ最も湿度が上昇する空調機吹出し口まで湿度 70%以下を保つことが理想である。しかしこの点に着目した研究は少ない。冬季加湿についても水を用いる従来の方式では加湿エレメント、ドレンパン等にカビ、雑菌が繁殖する場合があります、水を用いない加湿とすることが理想である。

一方、空調効率については、潜熱顕熱分離処理空調による効率改善について研究、実用化が進んでいる。顕熱処理の効率改善、顕熱処理空間の極小化については種々の手法が開発されているが、相乗効果をもたらす潜熱処理の効率化の重要である。

双方を解決する方法としてデシカント外調機による潜熱処理を提唱した。デシカント空調機の場合、再生部に多大のエネルギーを必要とするがヒートポンプを用いることで効率を高めることが可能となる。

デシカント空調に関しては従来、低温排熱利用の面からの研究が主であり不足する除湿能力を補うため冷却除湿であるプレクールを最大限活用する方法が一般的であった。ドレンの排除による高 IAQ を追及した研究はほとんどなく、内容も空調夏季設計条件での検討のみに限られている。またデシカント空調機による無給水加湿については室内排気より湿分を汲み上げる方法以外は、これまでは研究室レベルの研究にとどまり実機による実証は行われていない。

本論文では衛生的な調湿と省エネルギーを両立するデシカント外調機による空調システムの開発検討をシミュレーション計算と実機による検証を通じて行った結果を論ずる。

第 2 章では潜熱顕熱分離処理空調において潜熱処理のために一般的なプレクール使用と蒸気ヒータによる再生を用いたデシカント外調機を用いた場合の特徴について述べた。潜熱顕熱分離処理空調においては潜熱と顕熱をそれぞれ最適の風量、効率で処理してシステ

ム効率を向上させる。後段で温度処理を要する潜熱処理は低効率になるため低露点給気として低風量にすることが望ましい。しかしながら、低露点給気を実現するためには従来の冷却再熱方式の場合には、冷却側の効率低下と再熱量の増加で大きく効率が低下する。一方、デシカント空調機はエネルギー効率を大きく落とさず低露点給気が可能である特徴を持っており、低風量除湿による潜熱処理効率化という潜熱顕熱分離の本来の目的をより効率的に可能とする。潜熱顕熱分離空調での潜熱処理機としての外調機の場合、デシカント空調機は従来の冷却再熱方式に比べ空調夏季設計条件での CO₂ 排出量での比較で 25% 以上効率向上が可能であることを試算結果は示した。除湿期間通期での比較では、外気のエンタルピーが低下して処理熱量が低下すると再熱量が固定されているため効率が悪化する冷却再熱方式より、顕熱処理ロータの熱交換量の増加により効率が向上するデシカント方式はさらに有利になると考えられる。

第3章では蔡らが提案し、小金井らが夏季空調設計条件について検討し、西田らがデシカント排気熱回収を提案した CO₂HP 組込型デシカント空調機について、除湿期間通期について潜熱顕熱分離処理の潜熱処理外調機として実際のホテルに使用した場合の温湿度環境の改善による IAQ の向上及びエネルギー面での効果をシミュレーション計算で検討した。ドレンを排除することにより高 IAQ を実現するため、一般的に使用されるプレクールを使用せず、除湿能力の低下に対しては全熱交使用で対応し、また多大のエネルギーを消費する再生部分は効率化のため CO₂ ヒートポンプを用い、熱は高温のデシカント給気、及びデシカント再生排気より汲み上げ高蒸発温度による高効率が可能なシステムを提案した。デシカント外調機による出口露点温度制御により室内の高湿状態を避け、かつデシカント外調機から最も相対湿度が上昇する FCU 吹出し口までの空調系統全体を湿度 70% 以下に保ちドレンが発生しない高 IAQ を実現する温湿度環境が可能となる。

実際の外気条件とホテルの稼働状況を与えた計算を外調機の吹出温度、絶対湿度を一定にする 3 方式：デシカント外調機（ダブルロータ方式）、デシカント外調機（シングルロータ方式）、一般機外調機システム（過冷却再熱方式）と、外調機吹出し温度一定、湿度は成行の一般外調機システムの計 4 方式について行った。計算は室内 FCU 部分、冷水搬送動力も含めて行い、チラーの部分負荷効率、デシカントロータの性能はメーカー資料を用いている。

計算の結果、温湿度環境改善による IAQ の向上については以下の結論が示された。提案したデシカント外調機システムは、外気が低温高湿のごくわずかの時期を除いては空調系統全体で最も相対湿度が上昇する FCU 吹出口に

においても相対湿度 70%以下を常に保て、室内を相対湿度 50%以下に保つシステムであることが示された。一方、一般外調機システムの場合は大部分の期間において相対湿度湿度は FCU 出口で 70%、室内で 50%を上回った。

同様、効率においては、外調機部分を除いてほぼ同様の IAQ を実現する過冷却再熱方式の外調機方式の約 2 倍の COP、現在一般的な湿度成行き (IAQ に問題のある) 一般外調機システムを約 20%上回る COP を示した。

しかしデシカント外調機を用いてドレンを排除して高 IAQ に必要な温湿度環境を実現する空調を除湿期間通期に行うことは、従来型の湿度成行きの空調に比べて除湿期間通期で約 1.5 倍のエネルギーを必要とすることも明らかになった。実用化と普及に向けてはより一層の効率化による消費エネルギーの低減が課題となる。排気冷却に大部分使用された CO₂HP 冷熱の有効利用等を検討する必要がある。

第4章では潜熱顕熱分離処理の加湿潜熱処理機としてヒートポンプ組込み型のデシカント外調機実機を用いた実験により加湿性能、効率の検証を行い、運転・制御方法、改善点について論じた。従来主に研究されている水使用后、事後的に滅菌する方法ではなく、水は全く用いないで外気よりデシカントロータによって湿分を汲み上げる衛生的な加湿空調を目指した。高効率を得るため加湿側の再生ヒータはヒートポンプとし、高温低湿の吸湿側排気より熱を汲み上げ高蒸発温度による高効率運転と冷却コイルのフロスト発生の極限を図り、加熱能力が不足する場合は後段に配置した電気ヒータで昇温するシステムとした。加湿能力の不足が懸念されたため加湿側の風量 500m³/h に対して吸湿側の風量を 500m³/h、1000 m³/h、1500 m³/h と増やした場合の加湿性能を検証した。実験に用いたデシカント空調機は夏季除湿用のものを加湿用にダクトを改修して用いた。加湿性能及び適切な運転・制御方法を検討するため、実験は外気条件の異なる 2 回に分けて実施した。

加湿性能は高气密の建物を想定しても 20°C 40%に相当する絶対湿度 5.8 g/kg'以上を安定して給気する必要がある。実験の結果、北海道を除く日本のほぼ全域の空調冬季設計条件以下である外気絶対湿度 2g/kg'の条件で給気絶対湿度 5.8g/kg'を多くの運転条件で確保できた。期待通り、吸湿側風量を増やした場合加湿量はほぼ比例して増加することも示された。

効率の面ではヒートポンプ使用としては低いシステム COP1.0 前後の値に

とどまった。この効率は従来のボイラーを用いる加湿暖房システムより若干劣る効率である。これはヒートポンプの凝縮温度が高く蒸発温度が低いことと低効率の補助電気ヒータに起因すると考えられる。加湿側風量に比べて吸湿側の風量を大きくしたほうがヒートポンプの蒸発温度上昇により、また再生温度が低い方が、低効率の補助電気ヒータの稼働率低下とヒートポンプの凝縮温度低下によりシステム効率が向上することも示された。実際の運転の場合は給気露点温度一定運転となるため、再生温度が低く制御され実験結果よりはシステム効率は改善されると考えられる。

運転については吸湿側の風量をなるべく多くすること及び、吸湿側出口の絶対湿度が下限に達することによる性能の飽和が発生しない範囲で再生温度の自動制御を行うことが効率向上について重要であることがわかった。

除湿用のデシカント空調機を加湿用に使用したため、空調機内での圧力差による空気漏れ、保温の欠如等、加湿能力と効率を向上させるための機器側の多くの改善点が判明した。これらの課題を解決することで既存のボイラーを使用した加湿暖房システムと同等以上の効率を得られると考えられる。

今後の課題としては風量比等の最適化等に加え、機器の小型化と効率化のためにデシカント剤の変更も検討する必要がある。今回使用したシリカゲル A 型よりも吸着等温線上で優れた吸脱着性能を有する吸着剤の採用は小型化に有効と考えられる。一方再生温度の低下による効率化についてはデシカント空調機の原理上、求める加湿後絶対湿度を得るには吸着(除湿側)入口相対湿度で決定される必要最低再生温度が存在する上、吸着側からの顕熱持込量を決定する熱容量が重要なファクターとなることから材料の吸脱着性能のみでは論じられない。基材、バインダーも含めたデシカントロータ全体での特性と性能を実験で検証する必要がある。

除湿期間のシミュレーション計算及び加湿期間の実験を通じて衛生的な調湿空調を IAQ に問題のある従来の空調以上の高効率で実現できる可能性が示された。