

潜熱・顕熱分離空調システムの実用化に向けた取り組み

東京電力株式会社 都市エネルギーソリューション部
空調・給湯普及推進グループ 宮本 和弘

1. はじめに

地球温暖化による大きな被害を防ぐには、2050年に少なくとも世界の温室効果ガスの排出量を現状から半減させる必要があると言われている。欧州連合（EU）は1990年比で60～80%削減という厳しい目標値を既に打ち出しており、日本も国連気候変動サミットの開会式で鳩山首相が、米中などの削減努力を前提に「90年比で25%」という2020年までの日本の温室効果ガスの削減目標を国際的に公約し、排出量取引導入を明言するなど国内対策を加速する姿勢を示した。

このような中、空調分野においては、省エネルギーと室内温熱環境の質の向上を両立させる可能性がある技術として、潜熱・顕熱分離空調方式への期待が高まりつつある。空気調和衛生工学会においても、潜熱・顕熱分離空調方式の適用可能性に関する調査研究が行われるなど実用化にむけた研究が活発化している状況である。

当社も(株)竹中工務店さま他と共同で潜熱・顕熱分離空調システム（中温空調システム）の研究に取り組んでいるので本稿にて紹介する。

2. 潜熱・顕熱分離空調システムの概要

潜熱・顕熱分離空調システムのプロットを図-1示す。

従来の空調では、冷房時に冷却と除湿とを一つの熱源機と一つの空調機（熱交換器）で行っていた。この為、ヒートポンプによる冷房運転で除湿するには、冷媒の蒸発温度を露点温度より更に過冷却して水分を凝縮させる必要があり、除湿には必要であるが冷却には不必要な低温の冷水を冷却・除湿の区分なく使用してきた。

潜熱・顕熱分離空調システムでは冷却・除湿を区分し、顕熱処理には従来の空調に用いる7℃以下の冷水や45℃以上の温水とは異なり、環境温度（空調室温）に近い冷水（13℃～20℃程度）や温水（30℃～35℃程度）を用いる事で、熱源機の効率向上、空調の省エネルギー化が図れる可能性がある。一方で潜熱処理は、中温冷水を用いた場合、従来の冷却除湿が困難となることから、デシカント

空調機等の除湿システムが別途必要となり、除湿システムの省エネルギー化が空調システム全体の省エネルギー化を実現するうえで重要となる。

そこで本研究では、近年除湿材料の低温再生化が進み、50℃程度の再生温度でも実用域での除湿量が得られる可能性があることに着目し、ヒートポンプ排熱を利用した除湿システムの開発に取り組んだ。また室内の調湿調湿システムも総合的に考慮した中温空調システムの省エネルギー性を明確にすることが重要と考え、実空調システムを想定した期間試験を行い、ヒートポンプ排熱を利用した調湿外調機の除湿・加湿性能の確認、期間試験を基にした年間の一次エネルギー消費量の試算をおこなった。

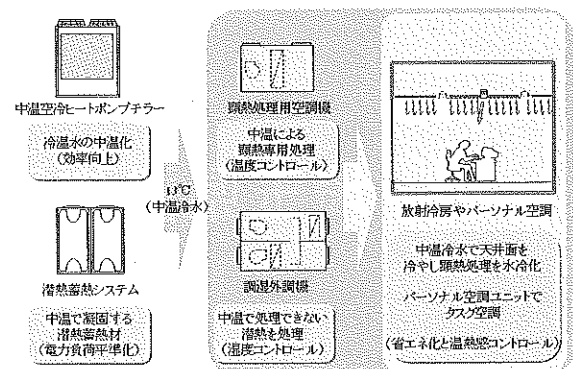


図1 潜熱・顕熱分離空調システムの概要

3. フィールド試験設備の概要

フィールド試験設備の概要を図-2に示す。

1フロア1,000m²の事務所に対し、空調ゾーニングを2分割した床面積500m²相当の設備システムを想定した設備であり、必要外気量を満足する換気と室内の湿度コントロールを行なう調湿外調機、室内の温度コントロールを行なう顕熱処理用空調機を設置している。

室内潜熱負荷処理も含む調湿外調機の給気は空調還気と混合させ、顕熱処理用空調機で顕熱処理を行なうシステムであり、調湿外調機の再生に用いる室内排気は、トイレ等の排気量を除き、給気に対して70%の風量としている。試験においては、事務室を想定したチャンバー内で模擬負荷（顕熱及び潜熱）を

発生させ、調湿外調機と顕熱処理用空調機にて室内湿度と温度を別々に制御している。

調湿外調機と顕熱処理用空調機に供給される中温冷温水は、屋外に設置した空冷ヒートポンプチラーより供給する。熱源出口温度設定は、冷房時13℃、暖房時40℃設定である。

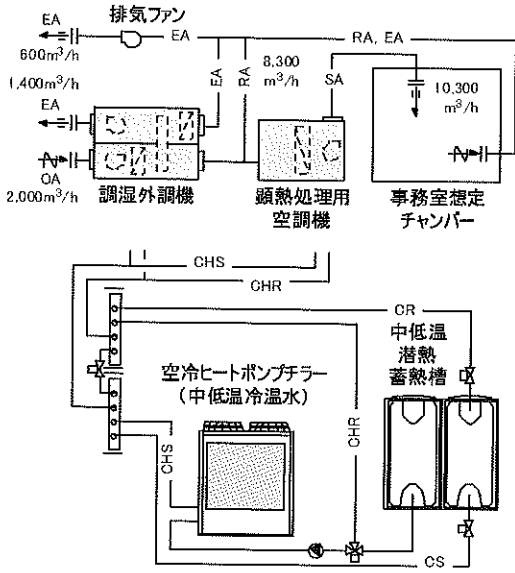


図2 フィールド試験設備の概要

4. 調湿外調機の概要

調湿外調機の設置状況を写真-1に、機器仕様を表-1に示す。高分子収着剤は、50℃以下の空気でも再生可能な除湿材料であり、ヒートポンプ排熱の利用が可能となる。フィールド試験では、小型の水冷ヒートポンプを利用した調湿外調機を用いている。

調湿ローターを用いた除湿サイクルを図-3に、加湿サイクルを図-4に示す。

除湿時には、外気を中温冷水で予冷し、調湿ローターを通過させることで必要な乾燥空気を得る。調湿ローターに収着された水分は、室内排気をヒートポンプ排熱で暖めて再生空気として利用し、屋外へ排出させる。また、冬期には、室内排気をヒートポンプ排熱で冷却して調湿ローターを通過させることで、室内に取り入れる外気へ水分を移動させ、加湿するシステムである。

水冷ヒートポンプ排熱を利用した再生加熱方法を図-5に示す。水冷ヒートポンプの凝縮コイルにより、湿分除去に必要な再生加熱を行ない、凝縮熱吸収と外気処理に必要な予冷コイルの冷却熱源を主熱源である空冷ヒートポンプチラーから供給する中温冷水で処理することが基本となる。フィールド試験設備に採用した調湿外調機では、水冷ヒートポンプの凝縮熱吸収バランスと予冷熱バランスを

とるために、三方弁によるバイパス制御を導入している。測定は図-5に併記しているように、調湿外調機廻りの冷温水温度と流量、空気温湿度、風量の測定を行なっている。

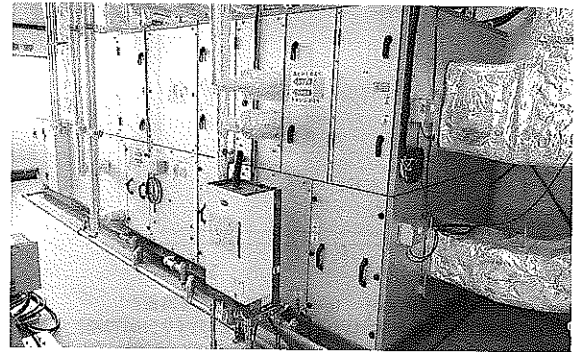


写真1 調湿外調機の設置状況

表1 機器仕様

調湿外調機	<p>【調湿ローター】高分子収着剤</p> <p>【処理側（収着側）】風量：2,000m³/h, 全静圧/機外静圧：914/400Pa, 電動機：1.5kW, 冷却加熱兼用コイル全熱量：27.73kW, 水量：80L/min, 損失水頭：19.6kPa</p> <p>【再生側（脱着側）】風量：1,400m³/h, 全静圧/機外静圧：762/400Pa, 電動機：1.5kW</p> <p>【水冷ヒートポンプ】（除湿時）水側冷却能力：8.5kW, 空気側加熱（再生）能力：11.33kW, 水量：40.6L/min</p>
顕熱処理用空調機	<p>風量：10,300m³/h 全静圧/機外静圧：724/400Pa, 電動機：3.7kW, 冷却加熱兼用コイル全熱量：44.0kW, 水量：120L/min, 損失水頭：16.7kPa</p>

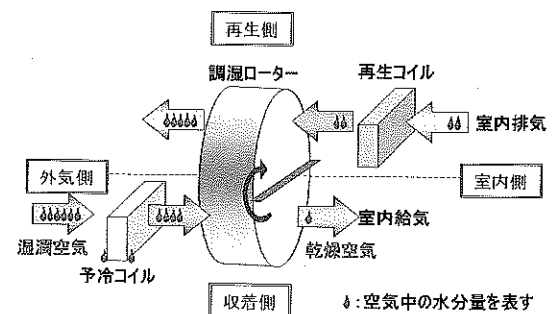


図3 調湿外調機の除湿サイクル

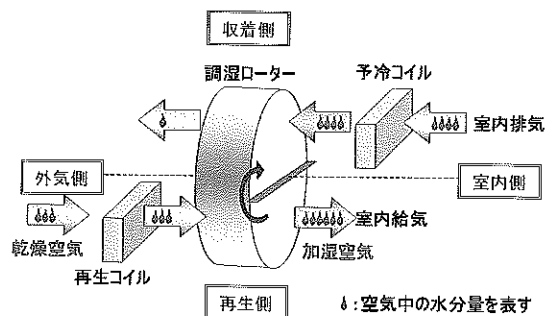


図4 調湿外調機の加湿サイクル

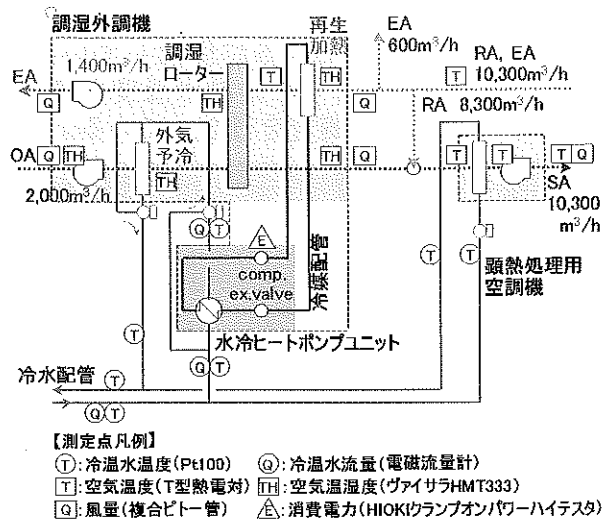


図5 水冷ヒートポンプ排熱を利用した再生加熱及び測定点

5. 調湿外調機の除湿・加湿性能評価

(1) 試験概要

調湿外調機の最大除湿量及び除湿制御性に関する評価試験を行なった。

両試験共、室内を想定した断熱パネルチャンパー内にて、事務所床面積500m²相当の顕熱負荷と潜熱負荷を電気ヒーターと電熱式加湿器にて模擬的に発生させ、空調給気と混合させることで熱負荷の処理を行なった。最大除湿量評価においては、室内負荷を最大負荷相当の一定条件とし、除湿制御性評価においては事務所人員の増減等に伴う室内潜熱負荷の変動と、顕熱負荷の変動を想定して、模擬負荷として用いている加湿器及びヒーターの出力調整を1時間毎に行なった。室内潜熱負荷を発生させる加湿器の出力は、室内最大潜熱負荷12.8W/m²に対して、9時に100%、10時に72%、12時に36%、13時に72%、14時に90%、17時に72%に設定した。なお、中間期において除湿試験を行なったため、取入外気を加湿加湿し、夏期相当の外気状態とした。

(2) 除湿試験結果

■最大除湿量の評価

試験を行なった3日間の9時から18時の各部温湿度について、1分間測定データと平均値を空気線図上に表したものを図-6に示す。この期間の再生入口側（調湿外調機排気側）の空気条件は、平均46.3℃、10.7g/kg'であった。取入外気は平均33.2℃、19.1g/kg'の状態から、予冷コイルを通過し平均15.9℃、10.8g/kg'となった。この予冷空気が調湿

ローター取着側を通過し、外調機から給気される時点で平均31.6℃、6.5g/kg'であり、室内絶対湿度との差は4.2g/kg'（外気量1m³/h当たり3.5Wの潜熱処理量）であることから、人員から発生する室内の潜熱負荷を十分に処理可能な乾燥空気が得られる結果となった。

■予冷コイル制御による除湿制御性能の評価

予冷コイル制御で除湿量制御を行なった3日間の温湿度計測結果を空気線図上に表したものを図-7に示す。

潜熱負荷の変動に追従し、予冷コイルのバルブ開度を調整していることから、予冷コイル通過後の空気は相対湿度95%程度でプロットされ、予冷コイル出口の絶対湿度を制御する結果である。外調機給気は予冷コイル出口空気状態の変動と共に変化して、室内への給気湿度を調整でき、室内相対湿度は±10%範囲内にプロットされる結果となった。

■加湿試験結果

外気が乾燥する冬期において、調湿ローターによる加湿量の評価試験を行なった。なお、試験中は事務室想定チャンパー内においては顕熱潜熱負荷共に発生させていない。調湿ローターによる加湿量の試験結果を空気線図で表したものを図-8に示す。なお、加湿試験結果は取入外気の絶対湿度毎に示している。

外気絶対湿度3.5g/kg'の条件の場合、調湿ローターで加湿後の給気絶対湿度は6.5g/kg'となる。室内温度22℃、40%時の絶対湿度は6.6g/kg'、20℃、40%時の絶対湿度は5.8g/kg'であることから、ウォームビズを想定した室内温湿度20℃、40%の条件下では十分に無給水で加湿が可能であり、22℃、40%の条件下においても必要最低限の加湿が可能と考えられる。

実際の事務所使用下においては、人体から発生する水分により加湿されるため、外気絶対湿度3.5g/kg'の条件下では、無給水加湿運転が可能と考えられる。一方で、外気絶対湿度が1.7g/kg'の条件下では、給気絶対湿度は3.9g/kg'となり、人員から発生する水分により室内が加湿されることを考慮しない場合、調湿ローターのみでの十分な加湿は困難と考えられる。

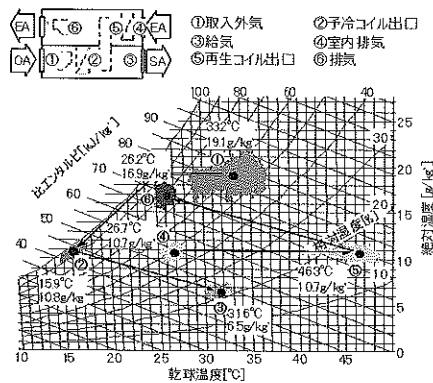


図6 最大除湿試験結果

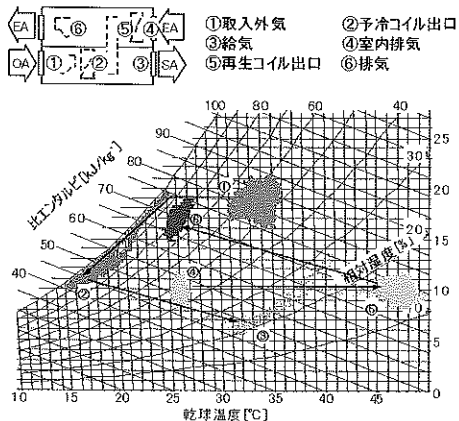


図7 予冷コイル制御時の除湿制御試験結果

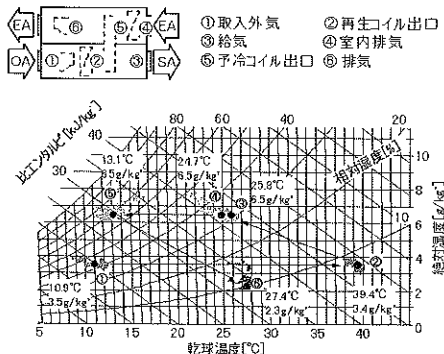


図8 最大加湿量試験結果

6. 年間一次エネルギー消費量の試算

試験により得られた調湿外調機の調湿性能を基に、年間一次エネルギー消費量の試算を行なった。ガス吸収式熱源のメーカー特性を参照した試算結果との比較事例を図-9に示す。

適用対象は10,000m²の一般業務用ビルであり、試算条件は註に示す通りである。

年間一次エネルギー消費量は、低温冷水及び高温温水を利用する従来のガス吸収式熱源システムの6,153GJ/年に対して、中低温熱源システムは3,959GJ/年となり、35.7%削減される試算結果となった。

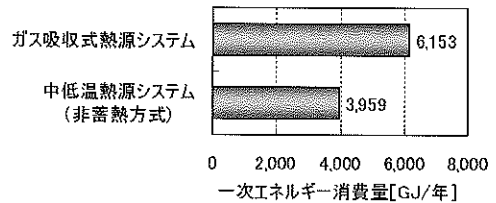


図9 年間一次エネルギー消費量試算 (10,000 m²)

7. おわりに

本稿では、潜熱と顕熱を別々に処理することで、冷房時に熱源機の蒸発温度を上げて省エネルギー化を図る中温空調システムの概要と、調湿外調機のフィールド試験結果の一部について紹介した。

中温空調システムは、熱源機の効率向上のみでなく、加湿時において空気中の水分を利用して無給水で加湿可能な季節もあり、省エネルギー・省資源に貢献できる技術と考えられる。

今後、潜熱・顕熱を分離処理する空調方式は、省エネルギー・省CO₂化に貢献する技術として、また質の高い空調空間を提供できる技術として、より一層の研究開発が望まれる分野と考える。