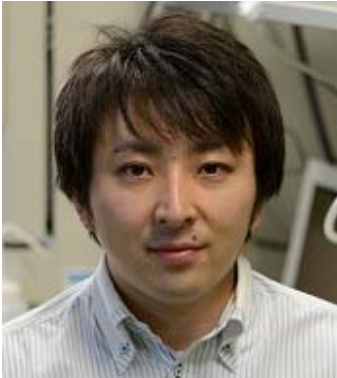


TED Plaza

吸着式デシカント空調の高性能化に向けたアプローチ



辻口 拓也

金沢大学 助教
理工研究域 機械工学系
tsujiguchi@se.kanazawa-u.ac.jp



児玉 昭雄

金沢大学 教授
理工研究域 機械工学系
akodama@se.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

近年、夏になると猛暑・酷暑に関する情報がメディアを賑わす日が多い。その一方で、冷房にまつわる電力消費量削減を求める声は一層大きくなっている。電力消費量や環境問題が重要であることは十分に理解していながらも、これらのために空調機の使用を控えることは、根性なしの著者にはなかなか難しい。環境負荷の低減とQOL (quality of life) の向上を両立することが工学の使命である。このような観点から、本研究室では、熱駆動型空調「デシカント空調機」の開発に取り組んでいる。これは吸着材を用いた潜熱処理型空調である。また、オープンサイクル空調として室内空気品質の向上にも貢献できる。本稿では、このデシカント空調の動作原理と開発課題を簡潔に説明し、本研究室における本空調装置の開発状況を説明する。

2. デシカント空調プロセス

図1にデシカント空調プロセスの概略を示す。本空調プロセスは吸着材デシカントローター(DW)、加熱器、顕熱交換器などから構成されている。また、図2にはDWと空気流路を示す。DWはハニカム形状の空気流路から構成されており、流路壁面には吸着材が塗布されている。吸着材にはシリカゲルや合成ゼオライト、高分子吸着剤、酸化チタンなどが用いられる^(1,2)。高温・湿潤状態の外気をデシカントローターに導入すると、吸着材により空気中の水分が除湿されるが、吸着熱により空気温度が上昇する。この空気を室内空気と熱交換し、必要な場合は冷却器によって所望の温度まで空気を冷却し、室内へと給気する。一方で、吸着材を連続使用するためには吸着材を再生する(水蒸気を脱着させる)が必要であり、室内からの還気を熱交換器で予熱し、加熱器で加熱して吸着材を再生する。吸着材を再生した空気は屋外へと排気する。なお、吸着材の再生には、排熱や太陽熱等の低級熱エネルギーを用いることができる⁽³⁻⁷⁾。このような空調方式から、省電力駆動のみならず冷えすぎない除湿と室内空気品質の向上といった効果も期待できる。このように優れた特長をもち、すでに商品化されているデシカント空調であるが、本格的な普及

には至っていない．その要因として，装置サイズが大きいことやローターの製造コストが高いことなどがあげられる．そこで本研究では，デシカント空調システムの心臓部である吸着材デシカントローター内部の熱および物質移動の解明に向けた数値解析を行ってきた⁽⁸⁻¹⁰⁾．また，その結果，操作指針を調整することにより従来比 30%程度 of ローター体積を削減できることを明らかにした⁽¹¹⁾．一方で，実際に導入されるデシカント空調プロセスの性能は，吸着材デシカントローターのみならず，熱交換器や冷却器等といった構成要素やプロセスの流路構成などにより大きく影響を受ける．これらがプロセス性能におよぼす影響を明らかにすることは，デシカント空調プロセスの導入促進に非常に重要である．そこで本稿では，デシカント空調プロセスに全熱交換器を組み合わせた際の冷房性能について検討した結果の一例を報告する．

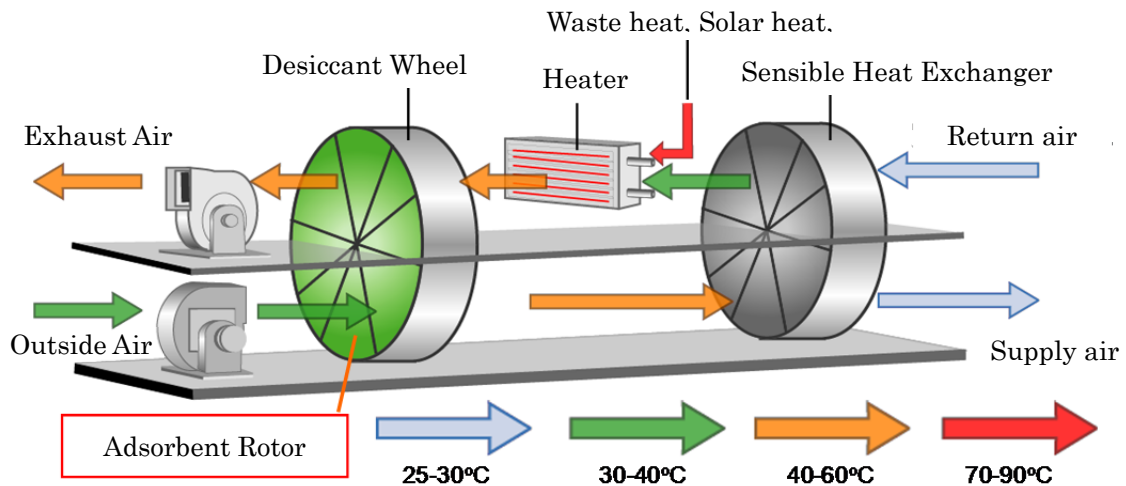


図 1 Schematic diagram of the desiccant air conditioning system

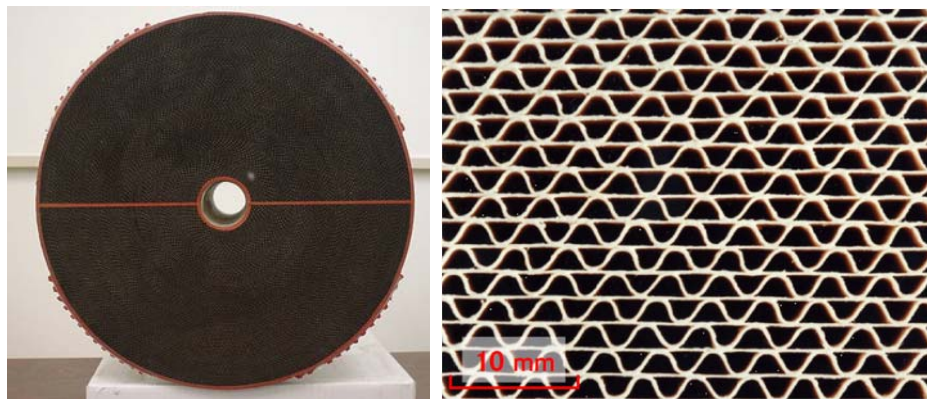


図 2 Photo of the desiccant wheel and the channel

3. 全熱交換器を導入したデシカント空調プロセスの冷房性能⁽¹²⁾

全熱交換器 (THE) を導入したデシカントシステムとして，室内からの還気を DW で除湿した後の空気と外気を全熱交換器で熱交換し，温度湿度ともに下がった外気を冷却して屋内へと供給するようなシステム (リタンエアデシカント空調機，昭和鉄工)⁽¹³⁾ や，デシカントローターでの除湿前外気と室内からの還気を全熱交換するシステム⁽¹⁴⁾ 等が提案されている．これらによって省エネルギー運転が可能であることは報告されているが，THE 導入時のデシカントシステムの冷却効果や冷房性能についての定量的な考察は行われていない．そこで，本研究では，THE 導入時と THE 非導入時におけるデシカントシステムの冷房性能を数値解析により比較した．

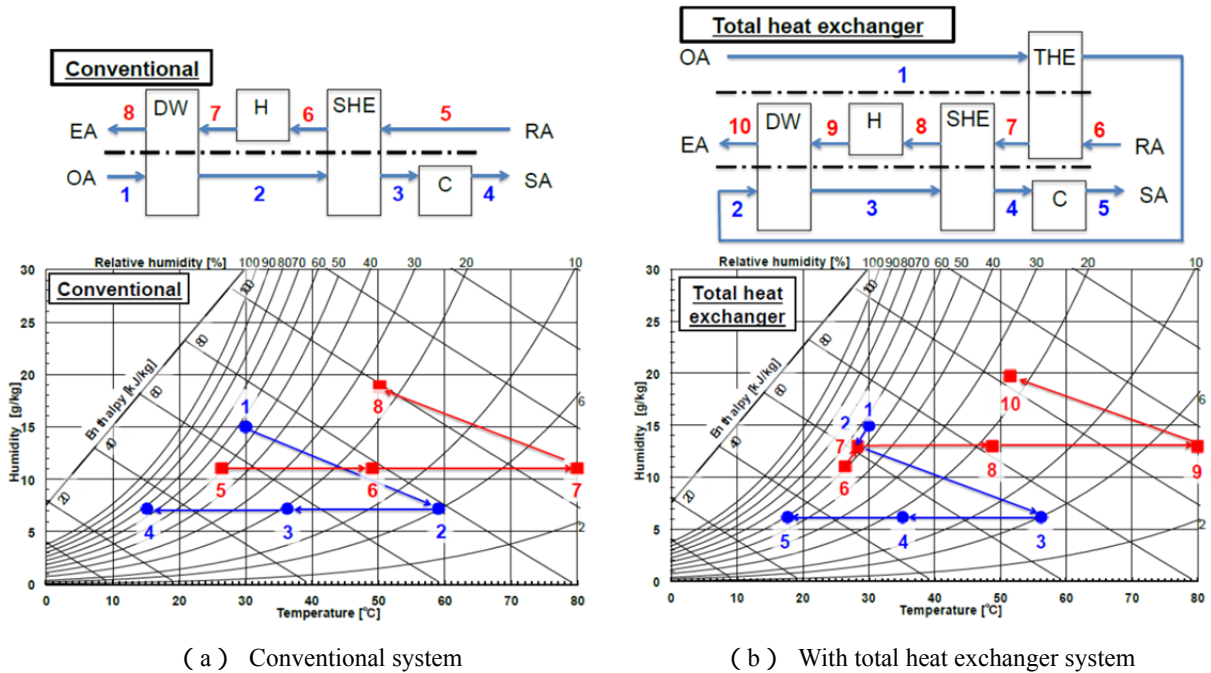


図3 System configurations and the typical change of the air state in the desiccant system.

図3に今回検討対象としたデシカントシステムの構成および空気の状態変化を空気線図上にプロットしたものを示す。ここで、Hは加熱器、SHEは顕熱交換器、Cは冷却器を示す。今回は、室内からの還気を用いる従来型の一般的なデシカントシステム（従来型）と除湿前の外気と室内空気を全熱交換して従来型デシカント空調プロセスに供給するシステム（全熱交換型）の2つを想定した。なお、全熱交換型は既に提案されているシステムとは流路構成が異なるが、これは除湿前予冷⁽¹⁵⁾と再生空気加湿⁽¹⁶⁾によるデシカント空調の性能向上を狙ったものである。

DWの除湿性能は、既往研究⁽⁸⁻¹¹⁾の数学モデルを用いて算出した。なお、DWの性能予測モデルの妥当性に関しては既往研究で確認済みである。この数値解析モデルにより得られたローター出口温度と湿度から、SHEやTHEの熱交換効率から出口の温度・湿度を推算した。このときローター回転数は36rphとした。

Table 1に示した計算条件の下で計算を行った。今回検討対象とした変数は、再生温度、外気温度、全熱交換器効率である。全熱交換機の効率は顕熱効率=潜熱効率とした。また、室内の熱負荷と風量、顕熱比から、室内へ供給する空気（SA）の温度・湿度が算出でき、16.2℃、6.9g/kgとなった。このSAと顕熱交換器出口空気（従来型の3、全熱交換型の4）との温度・湿度の差は冷却器で除去することを想定し、冷却器で除去すべき温度・湿度 X を下記のように定義した。

$$\Delta T = T_{SA} - T_{3\text{or}4} \quad (1)$$

$$\Delta X = X_{SA} - X_{3\text{or}4} \quad (2)$$

また、冷却器を除くデシカントシステムにおける冷却効果 CE と冷房成績係数 COP_d を以下のように定義した。

$$CE = h_1 - h_{3\text{or}4} \quad (3)$$

$$COP_d = \frac{CE}{h_{7\text{or}9} - h_{6\text{or}8}} \quad (4)$$

なお、式(1)～(4)において添字の数字が小さいものは従来型、数字が大きいものは全熱交換型の空気状態を示している。

Table 1 Parameters of the numerical analysis

Fixed parameters	
Return air temperature	26.5 °C
Return air humidity	11 g/kg
Outside air humidity	15 g/kg
Air velocity (adsorption)	2 m/s
Air velocity (regeneration)	2 m/s
Thermal load of room	9.2 kW
Sensible heat fraction	0.5
SHE efficiency	0.7
Amount of air flow	1600 kg (DA) /h
Supply air temperature	16.2 °C
Supply air humidity	6.9 g/kg
Variables	
Regeneration temperature	60, 70, 80 °C
Outside air temperature	30, 33, 36 °C
THE efficiency (sensible)	0.5 or 0.7
THE efficiency (latent)	0.5 or 0.7

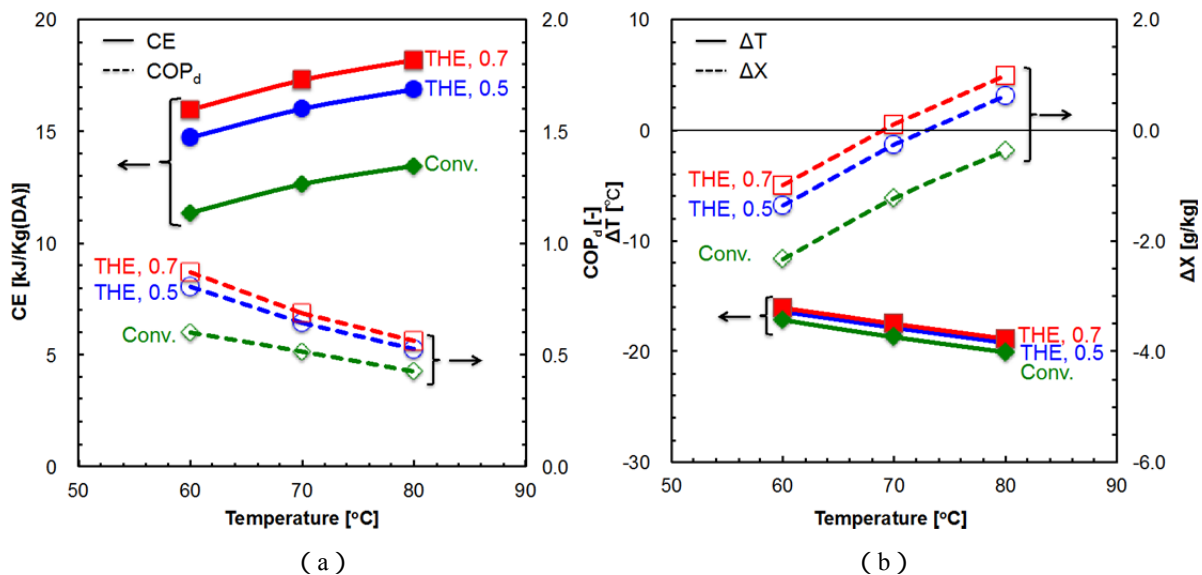


図4 Effect of the regeneration temperature on the CE, COP_d, ΔT and ΔX under various system configurations. (Outside air 30 °C)

図4に異なる装置構成において再生温度がCE, COP_d, ΔT, ΔXにおよぼす影響を示す。ここで, THE 0.7は全熱交換器の効率を0.7と仮定した場合, THE0.5は効率を0.5と仮定した場合を示しており, Conv.は従来型を示している。まず図4(a)を見ると, 全熱交換器を使用するとCE, COP_dとも従来型よりも高い値を示していることがわかる。図4(b)において負の値は, 冷却器で低下させなければならない値であるため, これらの値が正に近づくほどデシカントシステムの性能が良いことを示す。これより, 全熱交換器の使用により, 除湿性能が向上し, 70以上では給気に必要な除湿量をデシカントシステムのみでまかなえていることがわかる。つまり, 全熱交換器の使用により, デシカントシステムの除湿性能が向上し, CEやCOP_dが向上したことになる。一方で, 冷却器で冷却すべき顕熱に関しては全熱交換器を導入しても従来型と大きな差異が見られなかった。このことから全熱交換器の導入は潜熱の処理に大きく寄与することがわかった。

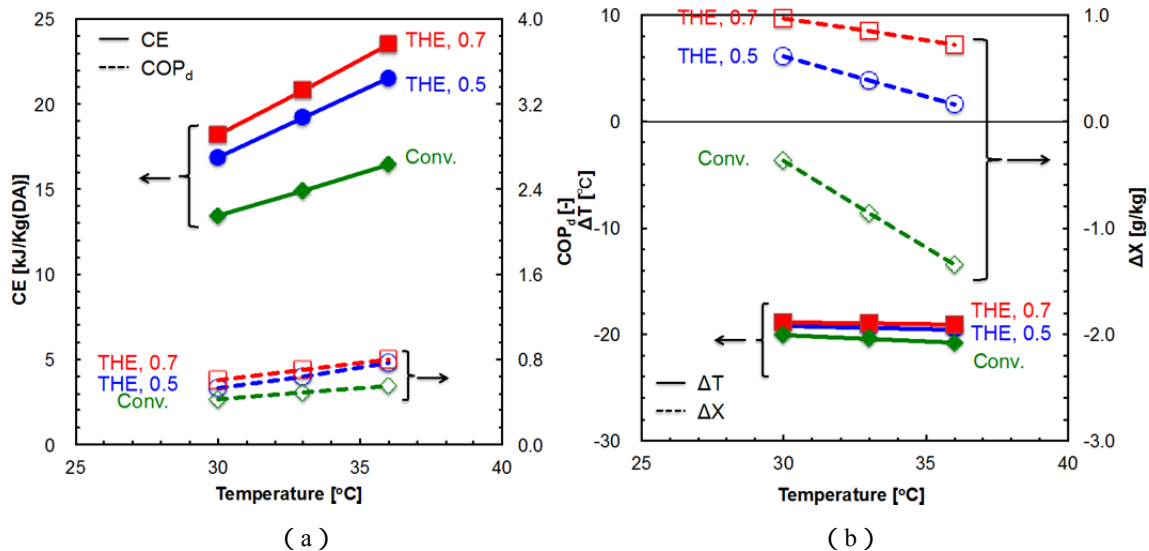


図5 Effect of the outside air temperature on the CE, COP_d, ΔT and ΔX under various system configurations. (Regeneration air 80 °C)

図5に異なる装置構成において外気温度がCE, COP_d, ΔT, ΔXにおよぼす影響を示す。なお、再生温度は80 °Cである。いずれの外気温度においても全熱交換器を導入した場合において、高い冷房性能が得られることがわかる。また、外気温度の増加に伴い、従来型との差は大きくなった。図5(b)に注目すると、全熱交換器を導入することで、外気温度が上昇しても、必要とされる給気湿度よりも低い湿度を達成することができた。つまり、潜熱負荷は全てデシカントシステムで賄えることがわかった。一方で、従来型では外気温度の増加に伴い除湿性能が著しく低下し、冷却器への潜熱負荷が大きくなることがわかった。また、全熱交換器を導入すると外気温度が増加しても除湿後空気の温度は変化しなかった。これらのことから、全熱交換器の導入は、外気負荷の変動を緩和する効果があると言える。さらに、全熱交換器の効率が増加すると、外気温度の増加に伴う除湿性能の変化が小さくなった。従って、全熱交換器との組み合わせにより外気負荷変動に伴う性能低下を抑制でき、さらに全熱交換器の効率が向上すること抑制効果を向上させることがわかった。

4.まとめ

省エネルギー空調としてデシカント空調プロセスを紹介した。また、本研究室の最近の研究成果の一例として、全熱交換器導入時のデシカント空調プロセスの冷房性能を検討した結果を報告した。この結果、全熱交換器と組み合わせることで、デシカントプロセスにおける潜熱処理性能が向上することがわかった。また、全熱交換器の組み合わせることで、外気負荷の変動に伴う冷房性能の低下を抑止することができ、全熱交換器の効率が向上することでその効果を増大させることができることがわかった。

References

- (1) Sultan, M., El-Sharkawy, I. I., Miyazaki, T., Saha, B. B. and Koyama, S., An overview of solid desiccant dehumidification and air conditioning systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 46 (2015), pp.16-29.
- (2) 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター低温排熱利用機器調査研究会, 改訂版 デシカント空調システム, 日本工業出版 (2013)
- (3) 大蔵将史, 児玉昭雄, 廣瀬勉, 太陽熱温水器を駆動熱源とする吸着式デシカント空調システムの実証試験 - 第1報: 日射量および外気湿度の影響 -, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.22, No.3 (2005), pp.269-278.
- (4) 児玉昭雄, 大蔵将史, 太陽熱駆動デシカント空調システムにおける温水器集熱面積および循環水量の影響, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.116 (2006), pp.43-49.

- (5) 大蔵将史, 児玉昭雄, 太陽熱温水器を駆動熱源とする吸着式デシカント空調システム - 室内潜熱負荷を考慮した装置規模システム性能の推算 -, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.23, No.1 (2006), pp.33-44.
- (6) 児玉昭雄, 大蔵将史, 太陽熱利用デシカント空調システムに対する室内空調負荷および換気回数の影響評価, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.127 (2007), pp.11-18.
- (7) 大蔵将史, 児玉昭雄, 太陽熱温水器を駆動熱源とする吸着式デシカント空調システム - 第2報: 日射量を考慮したシステム性能と必要となる熱供給装置規模の推算 -, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.24, No.1 (2007) pp.43-54.
- (8) 辻口拓也, 児玉昭雄, 吸着材デシカントローターの水蒸気吸脱着挙動, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.22, No.4 (2005), pp.417-428.
- (9) 辻口拓也, 児玉昭雄, 吸着材デシカントローターの水蒸気吸脱着挙動 第2報: 物質移動係数の推算とローター回転数および空気流速の影響, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.23, No.4 (2006), pp.467-477.
- (10) 辻口拓也, 児玉昭雄, 吸着材デシカントローターの水蒸気吸脱着挙動 - 第3報: 吸着等温線形状と粒子内拡散係数の影響 -, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.24, No.3 (2007), pp.205-216.
- (11) 辻口拓也, 児玉昭雄, 吸着材デシカントローターの最適操作設計指針, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.29 (2012), pp.107-118.
- (12) 辻口拓也, 沈堯, 大坂侑吾, 児玉昭雄, デシカント空調プロセスの装置および流路構成が冷房性能におよぼす影響, 2014年度冷凍空調学会年次大会講演論文集 (2014), pp. A133.
- (13) 伊藤剛, 安松直樹, 平田清, 中山和樹, 低炭素化と知的生産性に配慮した最先端オフィスにおける潜熱顕熱分離型空調の研究 - 第1報 レタンエア型デシカント空調機の実負荷運転における最適能力調整 -, 日本冷凍空調学会論文集, Vol. 29 No.1 (2012), pp.69-79.
- (14) Kodama, A., Andou, K., Ohkura, M., Goto, M. and Hirose, T., Process Configurations and their Performance Estimation of an Adsorptive Desiccant Cooling Cycle for Use in a Damp Climate, J. Chem. Eng. Japan, Vol. 36 No.7 (2003), pp.819-826.
- (15) Jeong, J., Yamaguchi, S., Saito, K., and Kawai, S., Performance analysis of desiccant dehumidification systems driven by low-grade heat source, Int. J. Refrig., Vol.34 (2011), pp.928-945.
- (16) 安藤幸助, 児玉昭雄, 広瀬勉, 後藤元信, 岡野浩志, 吸着式デシカント空調プロセスにおける還気側加湿操作の導入効果, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.21, No.4 (2004), pp.345-353.