

フィールド試験におけるリキッドデシカントユニットの 加湿性能の検証

澁澤 朱音・馬場 大輔・川上 理亮・谷野 正幸

三宅 友香・前田 彩子・原田 政利^{*1}

Verification of Humidification Performance on Liquid Desiccant Unit in the Field Test

Akane Shibusawa・Daisuke Baba・Yoshiaki Kawakami・Masayuki Tanino
Tomoka Miyake・Ayako Maeda・Masatoshi Harada

脱炭素に資する新たな加湿システムの開発を目的とし、従来のリキッドデシカント空調システムから気液接触部のみを抽出し、小型で構造を簡素化したリキッドデシカントユニットを開発した。本報では、一般空調並びに産業空調を念頭に定格風量 10,000 m³/hr のフィールド試験機を当社イノベーションセンターの外調機系統に設置して、加湿性能の検証と液体調湿剤である塩化リチウム水溶液の飛散検証を行った。入口空気の温湿度条件が変動する場合でも出口空気の乾球温度 [°CDB]と相対湿度 [%RH]の標準偏差 3 σ はそれぞれ 0.5°CDB 以下、0.5%RH 以下であり、高い温湿度制御性を示した。また、当該ユニットからの塩化リチウム水溶液の飛散試験では、設計面風速より速い 3.0 m/s においても腐食リスクとなる飛散は見られなかった。

1. はじめに

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて、一般空調および産業空調の更なる消費エネルギーの削減および脱炭素化が求められている。特に一般空調において、新型コロナウイルスやインフルエンザウイルス等の感染予防策である室内湿度の維持^{1,2)}と換気量の増加³⁾により、空調機器の消費エネルギーが増加する課題が顕在化してきている。これらの課題を解決するために、省エネと室内環境の維持を両立する加湿システムの開発が望まれる。産業空調において、外気の加湿処理等に用いられる蒸気加湿器は高い加湿能力と加湿効率を有していることで多く採用されているが、他の加湿方式と比較して蒸気生成における消費エネルギーが大きいため、CO₂排出量も多くなる⁴⁾。そこで、省エネ性と加湿制御性を達成する加湿方式としてヒートポンプ加熱と気化式加湿器を用いた加湿システムが開発されている^{5,6)}。しかしながら、水加湿の共通課題として、微生物に起因する空気質の汚染やスライムの発生がある。定期的な清掃の実施、抗菌効果のある薬剤添加や素材の適用などの対策が行われているが、そのリスクがゼロとなる根本的な解決まで至っていない⁷⁾。

そこで我々は、液体調湿剤による高精度な除湿および加湿制御が可能なリキッドデシカント空調システムに着目した^{8,9)}。基本原理としては、液体調湿剤と空気を接触させることで液体調湿剤濃度により供給空気の相対湿度を制御するものである^{10,11)}。蒸気生成が不要であり、なおかつ使用する冷温水の温度帯もヒ

^{*1} ダイナエアー株式会社 製品開発部門

ートポンプで対応可能な範囲であるため、蒸気加湿よりも消費エネルギーが抑えられる¹²⁾。一般的なリキッドデシカント空調システムは図1のように除湿および加湿を行う処理部と除湿時に希釈された液体調湿剤を濃縮する再生部から構成されている。液体調湿剤である塩化リチウム水溶液（LiCl aq.）は除菌作用を有しているため、エレメントでの微生物や菌等の繁殖を抑えられ、細菌などの空気汚染物質の除去が期待できる^{13,14)}。しかしながら、LiCl aq.は高い金属腐食性を有するため¹⁵⁾、熱交換器と配管には耐腐食性の材料を用いる必要がある。そのため、機器コストが高いという課題があった。また、供給空気の乾球温度は空気とLiCl aq.が接触する過程で制御される。したがって、気液接触部を流れるLiCl aq.は、空気を加熱または冷却するための熱量を十分に供給できる循環流量とする必要がある。LiCl aq.の循環流量が多いほど飛散しやすくなるため、従来のリキッドデシカント空調機的设计面風速は1.5 m/s程度が限界であり、機器サイズが大きいという課題もあった。

前報ではそれらを解決するため、図1赤枠内の加湿機能部である気液接触器部のみ（リキッドデシカントユニット：LDU）を抽出することで乾球温度の制御はLDU外で行うシステムを構築し、加湿性能の基礎特性を報告した^{16,17)}。本報ではLDUの実建物への導入に向けてフィールド試験機による加湿性能の検証、および飛散試験の結果について報告する。なお、本検証はリキッドデシカント空調メーカーであるダイナエア株式会社と共同で行った。

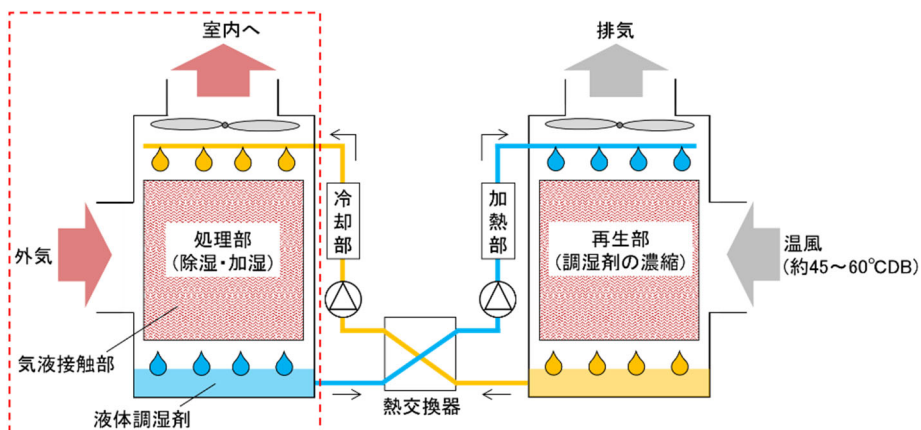


図1 一般的なリキッドデシカント空調システムの概略図

2. 検証試験の概要

2.1 LDU 調湿原理

LDUの概略図を図2に、気液接触部の外観を写真1に示す。LDUは気液接触部、循環ポンプ、給水配管、LiCl aq.から構成されている。加湿時には循環ポンプによりLiCl aq.が上部から散布され、気液接触部を液膜状に流下する。気液接触部は吸水性に優れたセルロース系の材料でできており、LiCl aq.と導入空気が十分に接触するような形状に設計されている¹⁸⁾。そして、導入空気とLiCl aq.が接触する際、両者に含まれる水分の水蒸気圧の大小関係により、空気が除湿されるか加湿されるかが決まる。LiCl aq.濃度と相対湿度の平衡関係を図3に示す。図3より、溶液の濃度が高いほど、空気の相対湿度が低くなることがわかる。これはLiCl aq.の気液平衡水蒸気圧は濃度が高いほど低くなり、空気中の水分を吸収しやすくなるという性質を持つためである。加湿時は気液接触部において水溶液中の水分は空気側へ移動するため、水溶液は濃縮する方向に進んでいく。そのため、LDUの出口空気の相対湿度を制御ターゲットとし、給水量の調節によりLiCl aq.濃度を変化させることで加湿量を制御する。

また各LiCl aq.濃度におけるLiCl aq.の温度と相対湿度の平衡関係を図4に示す。図4より、各濃度において相対湿度はLiCl aq.の温度変化に対してほぼ一定であることがわかる。そのため、本システムでは出口空気の乾球温度と相対湿度を個別に制御することが可能である。すなわち、LiCl aq.の濃度（給水量）を調

節することで出口空気の相対湿度を制御し、入口空気の乾球温度を調節することで出口空気の乾球温度を制御することができる。なお、LDU では溶液の加熱・冷却は直接行わないことから空気線図上の動きは等エンタルピー変化となる。

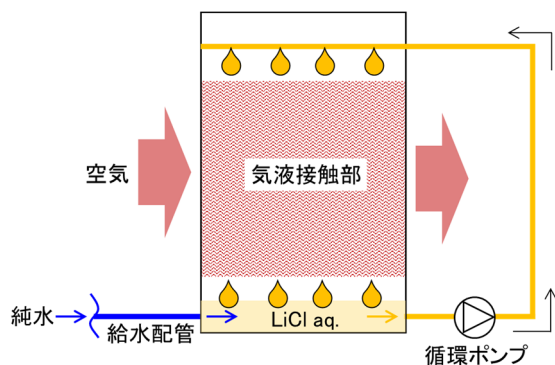


図2 LDU 概略図

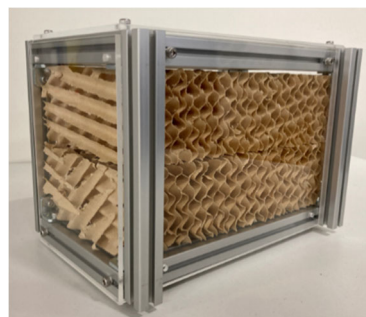


写真1 LDU 気液接触部の外観

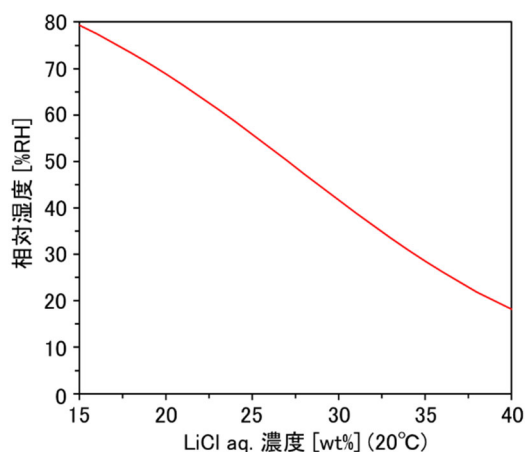


図3 LiCl aq.濃度と相対湿度の平衡関係

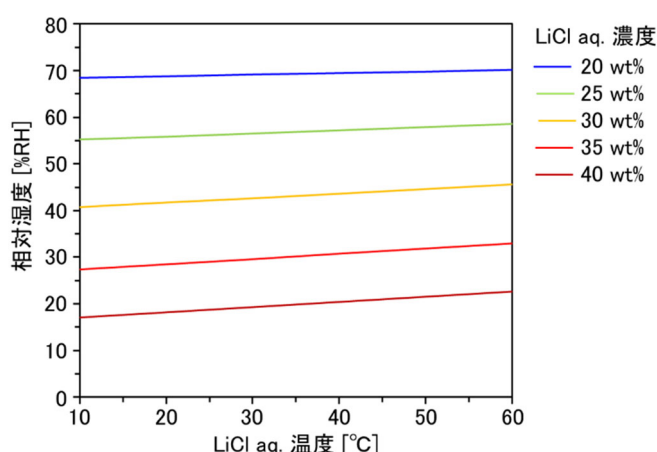


図4 各 LiCl aq.濃度における LiCl aq.温度と相対湿度の平衡関係

2.2 試験装置および内容

2.2.1 フィールド試験機による加湿性能試験

実建物規模を想定した風量（10,000 m³/hr）における加湿性能の検証のため、フィールド試験機（機器サイズ: 1,300^W×1,800^D×1,600^Hmm）を2023年6月に当社イノベーションセンターの外調機系統に設置した。試験期間は2023年6月から11月までとした。写真2にフィールド試験機の外観、図5に系統図を示す。本試験装置は外調機とLDUで構成されており、LDU通過後の空気は当該施設のラボ棟各部屋に供給される。LiCl aq.の循環流量は物質伝達率等を事前に確認することで決定し、従来のリキッドデシカント空調機の1/10以下とした。本検証では、フィールド試験機の加湿制御性および追従性の確認のため、LDUの入口空気を種々の条件に設定し、LDUの出口空気における温湿度の時間変化を測定した。出口空気の相対湿度は、LDU下流側に設置した温湿度センサの値をもとに給水比例弁により給水量を調整し、LiCl aq.濃度を制御することで設定値に調整される。各センサは、温湿度センサの測定精度 ±0.1℃DB、±0.8%RH、風速センサの指示精度 ±2.5%F.S（25℃）、差圧計の測定精度 ±1.0%F.S、コリオリ流量計の直線性は 0~25%F.S.時に ±1.0%F.S、25~100%F.S.時に ±4.0%R.D.である。なお、風速センサは角ダクト（600×550）の長辺と短辺に3個ずつ取り付け、6箇所の平均風速 [m/s] とダクトの断面積 [m²] から風量 [m³/hr] を算出した。

まず、入口空気を定常状態として、各加湿負荷における加湿制御性を確認した。表1に入口空気条件を示

す。入口空気の乾球温度は一定として相対湿度を変化させることで、各加湿負荷を再現した。試験手順は、初めに LDU に出口相対湿度の設定値 (50%RH) を入力し、制御ターゲットの設定を行った。次にファンの回転数により風量を調節した。そして、入口空気の乾球温度と相対湿度を、外調機の冷温水コイルおよびデシカントローターにより調節した。本検証では、各装置の出力が安定し、入口空気の乾球温度および相対湿度が $\pm 0.5^{\circ}\text{CDB}$ 、 $\pm 2.0\%\text{RH}$ で定常状態となったことを確認した後、60 min 間のデータ取りを行った。なお、装置規模による加湿性能の比較として後述する小型試験機においても同様の試験を行った。

次に、入口空気を外気成り行きの非定常状態として、LDU の追従性を確認した。このとき、出口空気の乾球温度は、LDU 下流側の露点/乾球温度センサの値を基に外調機の冷温水流量によって 25°CDB になるように制御した。

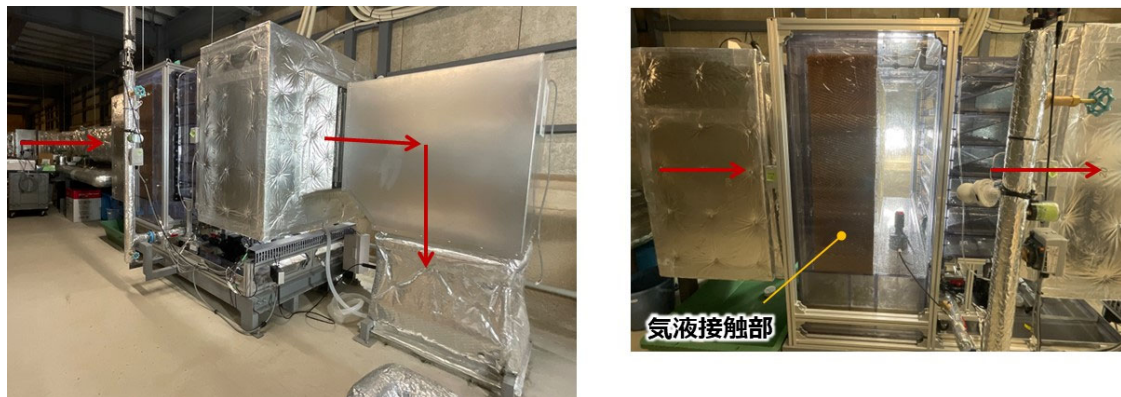


写真 2 フィールド試験機の外観 (左)全体、(右)正面

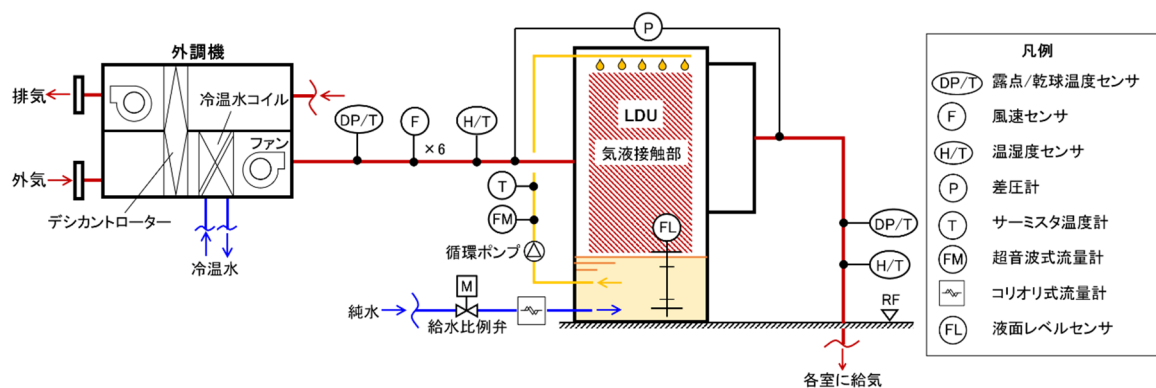


図 5 フィールド試験機の系統図

2.2.2 小型試験機による微粒子の飛散試験

LDU から微粒子状で飛散する LiCl aq. の量を調べるために、定格風量 $1500 \text{ m}^3/\text{hr}$ の小型試験機 (機器サイズ: $920^{\text{W}} \times 850^{\text{D}} \times 1,250^{\text{H}} \text{ mm}$) にて飛散物のサンプリングと定量分析を行った。図 6 に小型試験機の系統図とサンプリング箇所を示す。小型試験機は、空調機、ヒーター、HEPA フィルター、LDU、活性炭フィルター、それらを接続するダクトから構成されている。LDU 入口相対湿度の調節は、空調機内のブラインが流れる熱交換器によりなされ、風量の調節は空調機内のファンの回転数により行った。LDU の出口相対湿度はフィールド試験機と同様に LDU 下流側に設置した温湿度センサの値をもとに給水量により制御した。出口乾球温度は同様の温湿度センサをもとにヒーター出力により制御した。各センサの測定精度は、温湿度センサ $\pm 0.1^{\circ}\text{CDB}$ 、 $\pm 0.8\%\text{RH}$ 、差圧計 $\pm 1.0\%\text{F.S.}$ 、定置式複合ピトー管センサ $\pm 2\%\text{R.D.}$ であり、パーティクルカウンターの測定粒径区分は $0.3/0.5/1.0/3.0/5.0 \mu\text{m}$ 以上である。

試験手順としては、初めに LDU の出口相対湿度と乾球温度の設定値を入力した。次にファンの回転数により LDU にて面風速が 3.0 m/s（風量 2,500 m³/hr）になるよう調節した。そして入口空気の相対湿度はブラインの温度および流量により調節した。以上の操作により、入口空気は 32°CDB、19%RH、出口空気は 25°CDB、50%RH とし、出口空気が定常状態に達した後、微粒子のサンプリングを行った。まずサンプリング箇所①において、パーティクルカウンターとダクトをチューブで接続し測定を行い、次にサンプリング箇所③、最後に②の順に各箇所の粒子数を測定した。いずれの箇所も測定条件は 1 min×5 回として、5 回の平均値を測定結果とした。

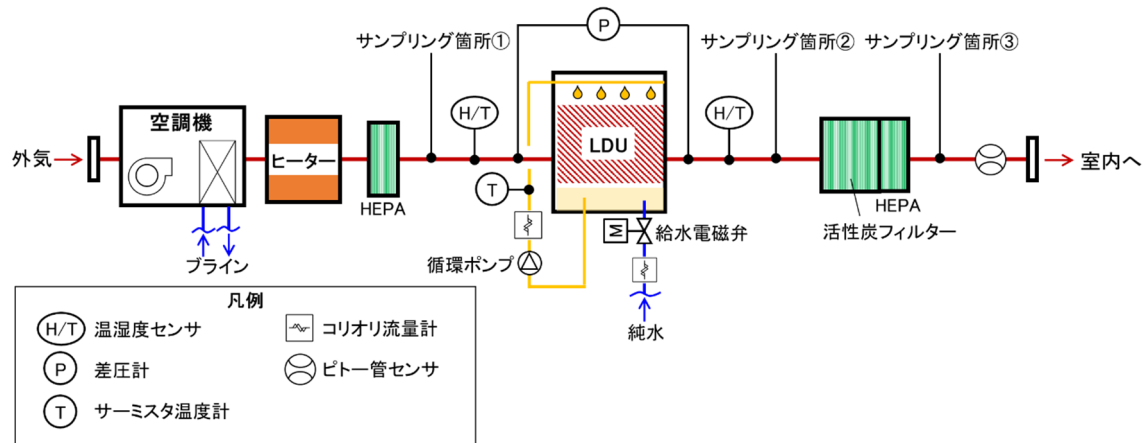


図 6 小型試験機の系統図

2.3 計算方法

乾球温度 [°CDB]および相対湿度 [%RH]においては試験時間における時間平均 $\bar{x}$ と標準偏差 σ を算出した。標準偏差 σ は式(1)により算出した。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

n はデータ総数 [個]、 x_i は測定間隔ごとの乾球温度または相対湿度である。フィールド試験機の測定間隔は 5 s、小型試験機は 1 s である。

小型試験機の風量 Q [m³/h]は式(2)により算出した。

$$Q = 3600 \times A \times \alpha \times \sqrt{\frac{2}{\rho} \times P_v} \quad (2)$$

P_v は動圧 [Pa]、定数 A, α, ρ はそれぞれ管路の断面積 [m²]、センサ係数 [-]、空気密度 [kg/m³]である。

微粒子の飛散試験において、粒子数から質量濃度への換算は以下の計算方法によって行った。なお、飛散した微粒子の形状は球形、計測されたものは全て LiCl aq.と仮定した。初めに、式(3)により計測粒径区分ごとの粒子質量濃度 C'_m [g/m³]を算出する。

$$C'_m = C_p \times M_p \quad (3)$$

C_p は粒子の個数濃度 [個/m³]、 M_p は粒子の単位質量 [g/個]であり、それぞれ式(4)および(5)により求める。

$$C_p = \frac{\bar{n}}{Q_p \times t} \quad (4)$$

$$M_p = V_p \times \rho_p \times 10^3 \quad (5)$$

$\bar{n}$ は測定した粒子数の平均値 [個]、 Q_p はパーティクルカウンターの空気吸引量 [m³/min]、 t は試験時間 [min]である。本検証では $Q_p = 0.00283$ m³/min、 $t = 1$ min である。また、 V_p は粒子の単位体積 [m³/個]であり粒子径から算出した。 ρ_p は LiCl aq.の密度 [kg/m³]であり、本検証ではサンプリング中にコリオリ流量計に

て測定した値の平均値（1130 kg/m³）を用いた。そして、各計測粒径区分の粒子質量濃度 C'_m を合計して求めた総粒子質量濃度 C_m を式(6)に代入し、空気中に含まれる塩素の気相濃度 $C_{m,Cl}$ [g/m³] を算出した。

$$C_{m,Cl} = C_m \times \frac{MW_{Cl}}{MW_{LiCl}} \times \frac{C_s}{100} \tag{6}$$

MW_{LiCl} は LiCl の分子量（42.39 g/mol）、 MW_{Cl} は Cl の原子量（35.50 g/mol）である。 C_s は LiCl aq. の溶液濃度 [wt%] であり、本検証ではサンプリング中の溶液密度から算出した値（22.1 wt%）を用いた^{19,20}。

3. 検証試験結果

3.1 フィールド試験機の加湿性能の検証

実建物規模を想定した風量における LDU の加湿性能を検証するため、最大風量が約 11,000 m³/hr のフィールド試験機を用いて、入口空気を定常状態とした場合の出口空気の時間変化を測定した。各試験条件における、小型試験機およびフィールド試験機の風量、出口空気の乾球温度と相対湿度、LDU への給水量の測定結果を表 1 に示す。また、表 1 の No. 3 における出口空気の乾球温度と相対湿度の時間変化のグラフを図 7 に示す。表 1 より、いずれの条件においてもフィールド試験機の標準偏差 3σ は小型試験機と同様に 0.5 以下であった。そして、加湿負荷が大きい条件ほど給水量が増加していることから、LDU は給水量による濃度調整によって加湿制御が行われることを検証できた。加えて図 7 より、入口および出口空気の絶対湿度差が 0.3 g/kg^{*} であり加湿負荷が特に小さい No.3 においても、乾球温度および相対湿度は設定値で安定する結果が得られた。これらの結果から、LDU は装置規模によらず液体調湿剤の濃度調整による安定した相対湿度制御が達成できることを確認した。

表 1 小型試験機、フィールド試験機における入口空気条件および出口空気の測定結果

No.	試験対象	入口空気条件		出口空気 測定結果					給水量 [L/hr]
		乾球温度 [°CDB]	相対湿度 [%RH]	風量 [m³/hr]	乾球温度 [°CDB]		相対湿度 [%RH]		
					平均値	標準偏差 (3σ)	平均値	標準偏差 (3σ)	
1	小型試験機	25	34	1,494	21.8	0.2	50.1	0.1	2.1
	フィールド試験機			10,593	21.5	0.4	49.9	0.2	18.0
2	小型試験機	25	39	1,494	23.1	0.2	50.2	0.1	1.8
	フィールド試験機			9,923	22.6	0.2	49.9	0.2	9.9
3	小型試験機	25	45	1,507	24.0	0.2	50.3	0.1	1.3
	フィールド試験機			11,235	24.1	0.2	50.0	0.2	3.9

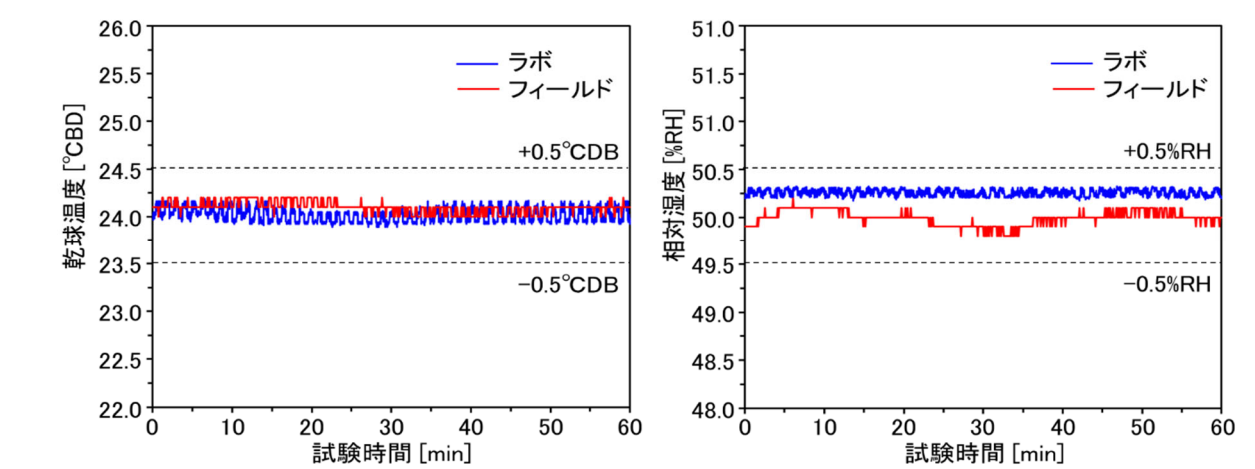


図 7 LDU の出口乾球温度(左)および相対湿度(右) 時間変化

次に追従性を検証するため入口空気を外気成り行きの非定常状態として、出口空気の時間変化を測定した。入口および出口空気の乾球温度、相対湿度の時間変化を図 8 に示す。試験時間全体の出口乾球温度の平均値と標準偏差 3σ は $24.8 \pm 0.1^\circ\text{CDB}$ 、相対湿度は $50.0 \pm 0.4\%\text{RH}$ という結果が得られた。そして図 8 より、入口空気の変動によらず乾球温度と相対湿度がともに設定値で安定していることを確認した。これらの結果から LDU は高い追従性を有し、本システムでは乾球温度と相対湿度を個別に制御することで安定した温湿度が得られることを検証できた。

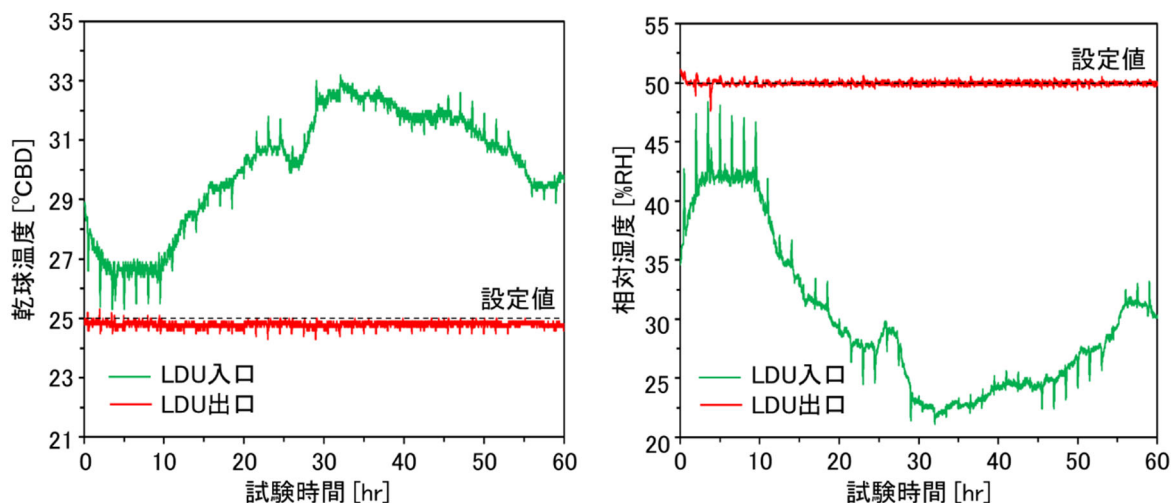


図 8 フィールド試験機 入口および出口空気の乾球温度(左)、相対湿度(右)の時間変化

この時の入口および出口空気の絶対湿度の時間変化、絶対湿度差と給水量の相関関係を図 9 に示す。そして、加湿負荷が小さい時間帯である 3 hr から 5 hr 間における入口出口の絶対湿度差および給水量と、加湿負荷が大きい時間帯である 30 hr から 35 hr 間におけるそれらを表 2 に示す。図 9 および表 2 より、定常試験と同様に加湿負荷が大きいほど給水量が多くなることがわかる。これは、入口空気の水蒸気圧が低い場合、LiCl aq. から空気側に移動する水分量が増加するためである。加えて、図 9(b) より、絶対湿度差に対して給水量は比例関係にあることがわかった。以上の結果から、LDU では給水量の比例制御による相対湿度の調整が可能であることを確認した。

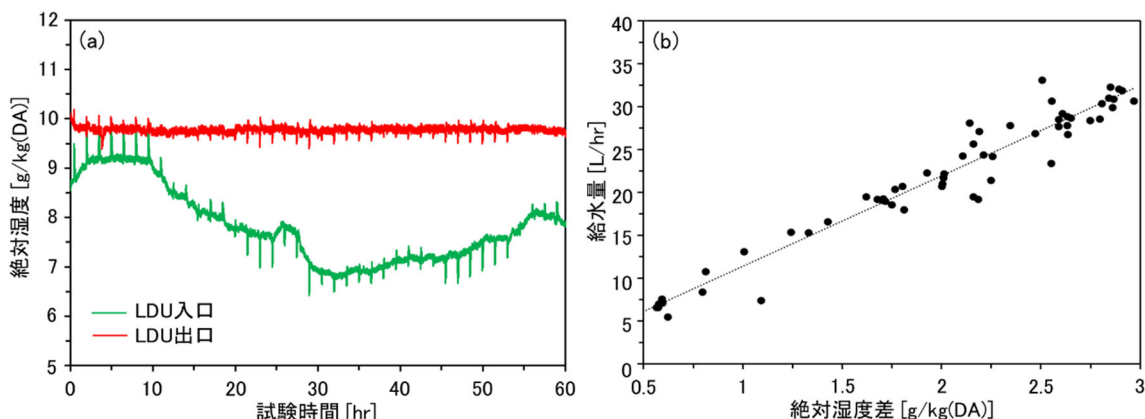


図 9 フィールド試験機 (a) 入口および出口空気の絶対湿度の時間変化 (b) 絶対湿度差と給水量の相関関係

表 2 フィールド試験機 入口および出口空気の絶対湿度と給水量

試験時間 [hr]	絶対湿度 [g/kg(DA)]		給水量 [L/min]	
	入口(平均値)	出口(平均値)	差	平均値
5～10	9.21	9.79	0.58	7.1
30～35	6.87	9.76	2.89	31.6

なお、風量 10,000 m³/hr におけるフィールド試験機の圧力損失は 171 kPa であり、同規模のデシカントローター（風量 10,000 m³/hr、191 Pa）と同程度であった。以上の結果から、LDU は実建物規模の風量にも適用でき、なおかつ高精度な加湿制御が可能であることがわかった。

3.2 微粒子の飛散試験

LDU から飛散する微粒子数を調べるため、小型試験機において面風速を設計値よりも速い 3.0 m/s まで上げて、各サンプリング箇所の微粒子数をパーティクルカウンターで測定した。その結果を表 3 に示す。表 3 より、LDU 出口直後となるサンプリング箇所②において 5.0 μm 以上の粒子の飛散は見られないことがわかった。また、サンプリング箇所②で検出された微粒子数を質量濃度に換算したところ、0.0029 μg/m³ であった。これは東京ドームの体積（124 万 m³）に対して 0.0036 g の微粒子が存在する換算となり、非常に低い値である。加えて、試験後に LDU 下流側のダクトを観察したところ腐食は見られなかったことから、LiCl aq. 微粒子の飛散によるダクトの腐食リスクはほぼないと言える。以上の結果から、LDU では乾球温度の制御を加湿ユニット外で行うことで LiCl aq. の循環流量が抑えられ、面風速 3.0 m/s まで使用可能であることを検証した。従来のリキッドデシカント空調機的设计面風速は 1.5 m/s 程であるため、LDU では大幅に小型化が可能であることを確認した。

表 3 各サンプリング箇所の微粒子数

粒径[μm]	粒子数(平均値)[個]		
	①	②	③
0.3	1	17	0
0.5	0	6	0
1.0	0	2	0
3.0	0	1	0
5.0	0	0	0

※①～③は図 6 中のサンプル箇所を示す

4. おわりに

本報では、一般空調および産業空調を念頭に定格風量 10,000 m³/hr のフィールド試験機を当社イノベーションセンターの外調機系統に設置して、リキッドデシカントユニットの加湿性能および LiCl aq. の飛散量の検証を行った。その結果、得られた結論を下記に示し、今後の展望について言及する。

- ・実建物における LDU の加湿制御性の検証のため、入口空気を定常状態として、種々の条件における出口空気の乾球温度と相対湿度を測定した。いずれの条件において乾球温度および相対湿度の標準偏差 3σ は 0.5°CDB 以下、0.5%RH 以下であり、加湿負荷が低い条件においても高い加湿制御を示した。また、加湿負荷に応じて給水量が変化することを確認した。
- ・追従性の検証のため、入口空気を外気成り行きの非定常状態とし、出口空気の乾球温度および相対湿度の時間変化を測定した。出口乾球温度の平均値と標準偏差 3σ は 24.8±0.1°CDB、相対湿度は 50.0±0.4%RH となり、設定値で安定した温湿度が給気された。このことから、LDU は外気の負荷変動に対し、高い追従性を示すことを確認した。また、加湿負荷に対して給水量がほぼ比例関係にあったことから、LDU では給水量の比例制御による安定した加湿制御が可能であることがわかった。
- ・LDU の圧力損失は風量 10,000 m³/hr で 171 kPa であり、同規模のデシカントローター（風量 10,000 m³/hr、191 Pa）と同程度であった。以上の結果から LDU は実建物規模の風量にも適用可能であり、高精度な加湿制御性と追従性を有することを確認した。

・LDU 由来の微粒子数を調べるため、飛散試験を行った。面風速 3.0 m/s まで風速を上げた際に LDU 下流に飛散した微粒子濃度は 0.0029 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であることから、LiCl aq.によるダクトの腐食リスクは低いと判断できる。したがって、LDU は LiCl aq.の循環流量を抑えることで面風速 3.0 m/s まで使用可能であり、従来のリキッドデシカント空調機から大幅に小型化が可能であることを確認した。

以上の結果から、LDU は蒸気レスによる省エネと高い加湿制御性を必要とする産業空調、例えば塗装工場などにニーズがあると考えられる。また、LiCl aq.自体の殺菌作用を合わせると、LDU は高い加湿制御性と衛生的な環境を必要とする建物、例えば病院、医薬品工場、ホテルなどへの適用が期待できる。今後は、LDU の市場化に向けた開発と展開を進めていきたいと考えている。

文 献

- 1) A. Ahlawat, A. Wiedensohler, S. K. Mishra: An Overview on the Role of Relative Humidity in Airborne Transmission of SARS-CoV-2 in Indoor Environments, *Aerosol and Air Quality Research*, **20**, 1856-1861(2020).
- 2) L. Duo, Z. Yang, L. Zhang, S. Wang, T. Bai, Y. Xiang, E. Long: Systematic review of the effects of environmental factors on virus inactivation: implications for coronavirus disease 2019, *International Journal of Environmental Science and Technology*, **18**, 2865-2878(2021).
- 3) 山中俊夫：自然換気と感染リスク評価，“空気調和・衛生工学”，**95**(8), 11-17(2021).
- 4) 武田尚吾, 古賀修, 熊田瑤子, 丹羽英治, 高橋直樹, 進藤宏行：次世代都市型病院の室内環境・エネルギー性能の検証・評価研究（第 4 報）加湿方式によるエネルギー評価性能，“空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集”，**8**, 345-348(2014).
- 5) ウェットマスター株式会社 HP：<https://www.wetmaster.co.jp/product/vapor/vhr/>.
- 6) 間宮啓介, 田中英, 有村哲郎：制御性の高い滴下浸透気化式加湿方式に関する研究（第 2 報）二段加湿時の制御性の検証，“空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集”，**7**, 161-164(2020).
- 7) 田村一, 安井文男：気化式加湿方式を用いた空調機における微生物汚染の調査結果, *空気清浄*, **50**(5), 11-17(2013).
- 8) S. Yamaguchi, J. Jeong, K. Saito, H. Miyauchi, M. Harada: Hybrid liquid desiccant air-conditioning system; Experiments and simulations, *Applied Thermal Engineering*, **31**, 3741-3747(2011).
- 9) A. Giampieri, Z. Ma, A. Smallbone, A. P. Roskilly: Thermodynamics and economics of liquid desiccants heating, ventilation and air-conditioning—An overview, *Applied Energy*, **220**, 455-479(2018).
- 10) X. Chen, S. Riffat, H. Bai, X. Zheng, D. Reay: Recent progress in liquid desiccant dehumidification and air-conditioning: A review, *Energy and Built Environment*, **1**, 106-130(2020).
- 11) 小西雄大, 外山裕貴, 山口誠一：リキッドデシカント空調システムの除湿期間における性能評価, “日本冷凍空調学会年次大会講演論文集”, (2021).
- 12) 七尾龍一, 原田政利, 丹羽英治, 河野匡志：液式デシカント空調システムの高度化と適用性向上に向けた研究 液式デシカント空調機の概要と加湿時のエネルギー性能評価, “空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集”, **3**, 193-196(2020).
- 13) H. Fu, X. Liu: Review of the impact of liquid desiccant dehumidification on indoor air quality, *Building and Environment*, **116**, 158-172(2017).
- 14) 柚本玲, 田中辰明：デシカント空調機による浮遊真菌除去効果, “第 24 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会”, 78-19(2006).
- 15) 山田治夫：液体吸収剤による除湿について, *化学工学*, **22**(8), 38-45(1958).
- 16) 澁澤朱音, 馬場大輔, 川上理亮, 谷野正幸, 三宅友香, 原田政利：リキッドデシカントユニットにおける加湿性能の基礎特性の把握, *高砂熱学イノベーションセンター報*, **36**(2022).
- 17) 澁澤朱音, 馬場大輔, 川上理亮, 谷野正幸, 三宅友香, 原田政利：リキッドデシカントユニットにおける加湿性能の検証, “空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集”, 301-304(2023).

- 18) 安田直史, 山口誠一, 齋藤潔, 宮内彦夫, 原田政利: リキッドデシカントの除加湿メディアにおける熱物質移動特性に関する研究, “日本冷凍空調学会年次大会講演論文集”, 331-334(2011).
- 19) M. R. Conde: Aqueous solutions of lithium and calcium chlorides – Property formulations for use in air conditioning equipment design, *Int. J. Thermal Sciences*, 43(367), (2004).
- 20) 山口誠一, 齋藤潔, 宮内彦夫, 原田政利: リキッドデシカント空調システム用除湿器の熱・物質移動特性の究明—第1報: 実験による検討—, “日本冷凍空調学会論文集”, 29(1), 229-236(2012).

ABSTRACT

To develop a new humidification system that contributes to decarbonization, we have developed a liquid desiccant unit with a compact and simplified structure by extracting only the gas-liquid contact part from a conventional liquid desiccant air conditioning system. A field test machine with a rated airflow rate of 10,000 m³/hr was installed in the outdoor air handling system of our Innovation Center to verify humidification performance for use in general or industrial air conditioning system. The standard deviation 3σ of the dry bulb temperature and relative humidity of the supply air was less than 0.5°CBD and 0.5%RH respectively, regardless of the steady/unsteady state of the introduced air, indicating high controllability of temperature and humidity. In the scattering test of lithium chloride solution, no amount of scattering was found to pose a corrosion risk under a surface wind speed 3.0 m/s, which is faster than the design value.
