

# ドライルーム®向け低温再生型デシカント除湿機

秋山貴洋・河岡将行・川上健志・稲葉仁

## Low Temperature Regenerative Desiccant Dehumidifier for DRY ROOM®

Takahiro Akiyama・Masayuki Kawaoka・Takeshi Kawakami・Hitoshi Inaba

### ABSTRACT

The objective of this study is energy conservation of low dew point rotary desiccant dehumidifier by effective use of low temperature waste heat. First, dehumidification performance of single-stage rotary desiccant dehumidifier which has been developed in previous report under condition of low regeneration temperature (60 and 80 deg C) has been examined. As experimental results, developed dehumidifier has been able to provide high dehumidification performance approximate to a conventional (140 deg C regeneration) single-stage rotary desiccant dehumidifier. As results of annual energy simulations, it has been estimated that utilization of recovered waste heat (recovered as 85 deg C hot water) for regeneration heat source of developed dehumidifier will reduce the annual energy costs of dehumidification over 40% in comparison with conventional dehumidifier.

### 1. はじめに

リチウムイオン電池、キャパシタ、有機 EL 等の湿分を嫌う製品の工場では、製造室（ドライルーム®）や製造装置内に露点-50～-70℃（絶対湿度 0.024～0.0016g/kg(DA)）程度の低露点空気を供給するために、ロータ方式のデシカント除湿機が用いられている。

量産工場では、保守期間等を除き年間を通じて常に低露点空気が必要とされ、除湿機の運転のために多くのエネルギー（電力・蒸気）が使用されている。大規模な工場では除湿機の運転のために年間1億円を超えるエネルギーコストがかかる場合もあり、除湿機の省エネルギーは極めて重要な課題となっている。

Fig. 1(a)に、従来型デシカント除湿機（以降、従来機）

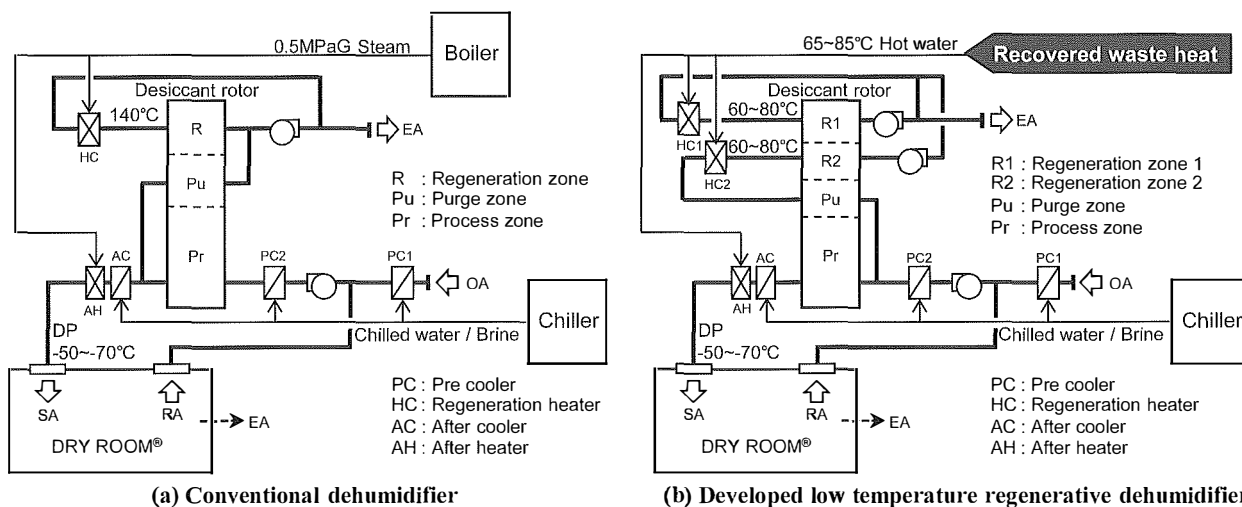


Fig. 1 Application example of desiccant dehumidifier for DRY ROOM®

のドライルーム<sup>®</sup>への適用例を示す。従来機では、除湿ロータを 140℃程度の高温で再生する必要があり、再生空気の加熱のために多量の蒸気（再生を電気ヒータで行う場合は電力）が使用される。

Fig. 1(b)に示す低温再生型デシカント除湿機のように、ロータを 60～80℃程度の低温で再生できれば、生産設備やコジェネレーション設備からの排熱、あるいはヒートポンプを再生空気の加熱に用いることで蒸気使用量をゼロにすることができるため、除湿機のエネルギー使用量の大幅な削減につながる。

本報では、当社が独自に開発したドライルーム<sup>®</sup>向け低温再生型デシカント除湿機（以降、開発機）の除湿性能の試験結果および省エネルギー効果の試算結果を報告する。

## 2. 開発機の構成と除湿性能

### 2.1 開発機の構成

Fig. 1(a)に示す従来機は、1つの除湿ロータに対して再生ゾーンを1つのみ備えている。この構成では、80℃以下の低温再生時には除湿ロータの再生が不十分となり、単段ロータでは満足な除湿性能を得ることができない。

Fig. 1(b)に示す開発機は、既報<sup>1)</sup>と同じく2つの再生ゾーンによって段階的に除湿ロータを再生する構成として、除湿ロータの再生能力を高めた。このことにより、80℃以下の低温再生時にも単段ロータで高い除湿性能を発揮できる。

### 2.2 除湿/再生プロセスにおける空気状態変化

Fig. 2(a)に示す開発機の性能試験装置を用いて、開発機の除湿フロー中の①～⑧点の温度/湿度を測定し、その除湿性能を検証した。

再生温度  $T_R=80℃$ 、処理ゾーン面風速  $v_{Pr}=2.0\text{m/s}$  の条件での試験結果の一例を、Fig. 2(b)に示す。処理ゾーン Pr において、絶対湿度約  $3\text{g/kg(DA)}$ （露点約  $-3℃$ ）から露点  $-60℃$  近傍まで除湿できている（①→②）。この除湿性能は、Fig. 1(a)に示した再生温度  $140℃$  の従来機とほぼ同等である。

このような、低温再生時の開発機の高い除湿性能は、Fig. 2(a), (b)に基づいて次のように説明できる。

第1再生ゾーン R1 には、絶対湿度が約  $9\text{g/kg(DA)}$  の  $80℃$  の再生空気⑦が導入されている。再生前の除湿ロータに吸着していた湿分の大部分はこの第1再生ゾーンで脱着されて排出されるが（⑦→⑧）、再生空気⑦は相対湿度が比較的高い（3%RH 以上）ため、除湿ロータの再生が不十分な状態でこのゾーンでの再生は終了する。

次の第2再生ゾーン R2 には、絶対湿度が  $0.1\text{g/kg(DA)}$  以下の  $80℃$  の再生空気④が導入されている。この再生空気④の温度は第1再生ゾーンの再生空気⑦と同じだが、相対湿度ははるかに低い（0.1%RH 以下）ため、第1再生ゾーンで脱着されなかった湿分がこのゾーンで脱着される（④→⑤）。

以上の2段階の再生プロセスを経て湿分吸着量がゼロに近い乾燥状態になった除湿ロータがパージゾーン Pu と処理ゾーン Pr へ送られることにより、処理ゾー

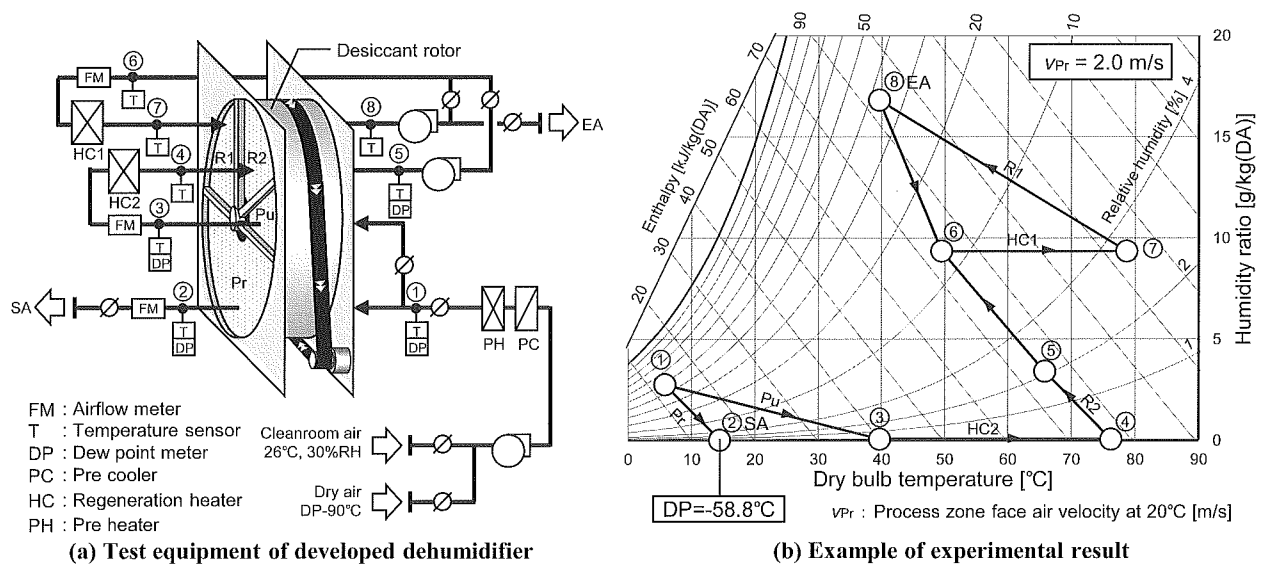
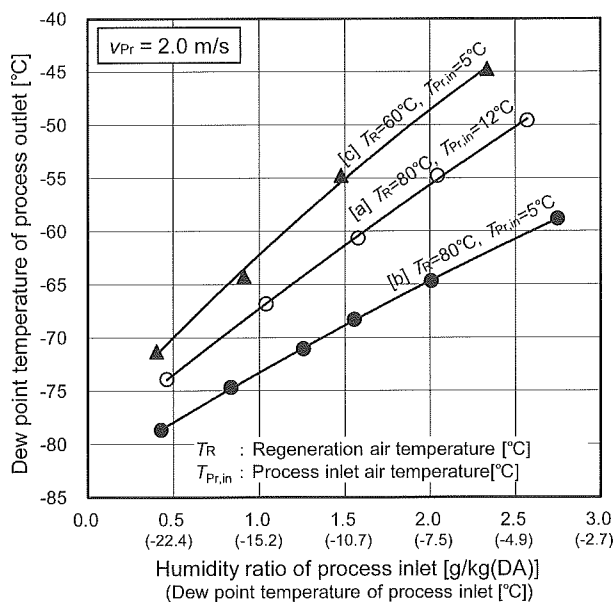
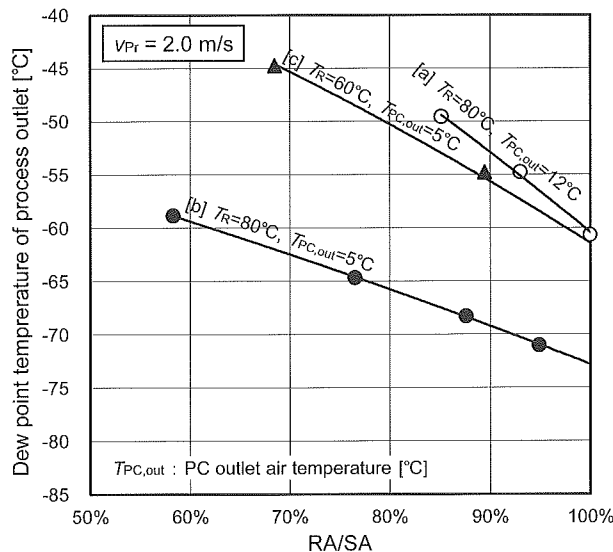


Fig. 2 Schematic of performance test for developed dehumidifier



(a) Correlation between dew point temperature of process outlet and humidity ratio of process inlet



(b) Correlation between dew point temperature of process outlet and RA/SA

Fig. 3 Experimental dehumidification performance data of developed dehumidifier

ンでは除湿ロータ本来の除湿能力が効果的に発揮される (①→②)。

### 2.3 開発機の単段ロータでの除湿性能

開発機の除湿性能試験の結果として、再生温度 80°C および 60°C, 処理ゾーン面風速 2.0m/s の条件での処理出口空気露点と処理入口空気絶対湿度の関係を Fig. 3(a)に示す。

Fig. 3(b)は、Fig. 3(a)の横軸を除湿機設計における還気と給気の風量比 (RA/SA) に換算して表した図である。ドライルーム®向けの除湿機を設計する際には、在室人員数や生産排気量等のドライルーム®側の条件に応じて RA/SA 条件が異なってくる。給気露点 (=処理出口露点) と RA/SA の関係を見ると除湿機の性能と適応範囲が理解しやすいので、開発機の除湿性能に関する以下の説明では Fig. 3(b)を用いる。なお、Fig. 3(b)中の  $T_{PC,out}$  は、Fig. 1(b)中の 2つのプレクーラ (PC1, 2) の出口空気温度であり、 $T_{PC,out}=12°C/5°C$  の各温度条件は、それぞれ PC1, 2 の双方に 7°C 冷水/0°C ブラインを供給するケースを想定した温度条件である。

再生温度 80°C, プレクーラ出口空気温度 12°C の条件 (Fig. 3(b)中の[a]) では、RA/SA が 86%以上の領域で露点-50°C以下の給気が可能である。

プレクーラ出口空気温度を 5°Cにまで低下させると、単段ロータでの適応範囲は広がる。再生温度 80°C の条件 (Fig. 3(b)中の[b]) では、RA/SA が 62%以上の領域

で露点-60°C以下、RA/SA が 92%以上の領域では露点-70°C以下の低露点空気を供給することができる。また、再生温度を 60°Cにまで低下させても (Fig. 3(b)中の[c])、RA/SA が 80%以上の領域で露点-50°C以下の給気が可能である。

最近いくつかの除湿機メーカー等から販売されはじめて「低温再生」と「低露点」を謳ったデシカント除湿機は、単段ロータでの除湿性能不足を補うために、2~3 台の除湿ロータを直列につないで多段化するか、あるいは外気処理用に専用の除湿ユニットを別途設ける必要があるなど、大がかりな装置構成となっている。単段ロータでの除湿性能を飛躍的に高めた本開発機は、簡素な装置構成で多様な条件のドライルーム®に対して露点-50~-70°C程度の低露点空気を供給できるという大きな利点がある。

### 3. 低温再生化による省エネルギー効果

低温再生化による省エネルギー効果を確認するために、RA/SA=90%の条件下でドライルーム®に露点-50°C以下の給気を行うモデルケースを想定して、Fig. 1(a)の従来機と Fig. 1(b)の開発機の年間エネルギーコストを試算して比較した。

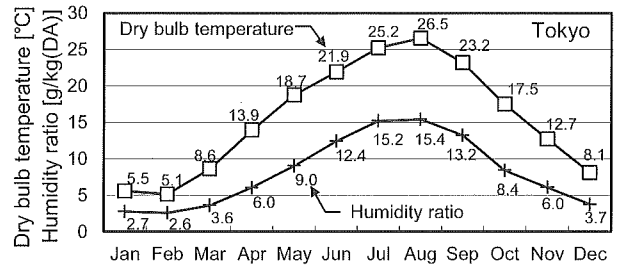
試算条件を Table 1, 2 に示す。いずれの除湿機も、冷熱源には冷凍機 (7°C 冷水供給, COP=3.5) を用いるものとし、処理入口空気温度は 12°Cとした。

**Table 1 Basic conditions for annual energy calculation**

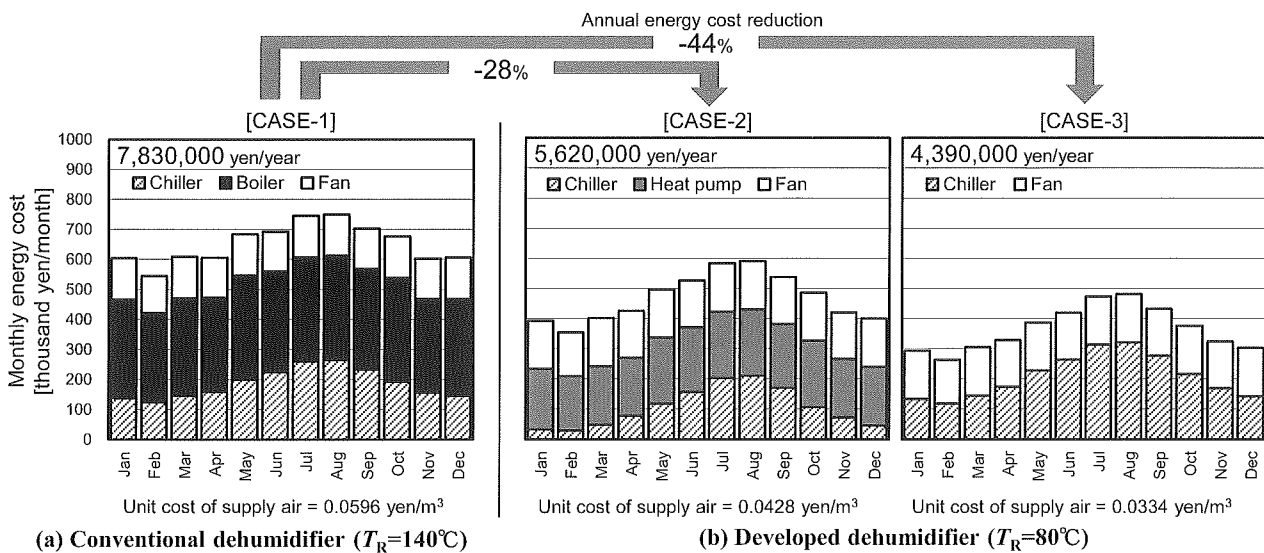
SPECIFICATIONS OF DEHUMIDIFIERS	
-Air flow rate	: SA 15,000 m <sup>3</sup> /h, RA 13,500 m <sup>3</sup> /h (RA/SA=90%)
-SA humidity ratio	: <0.0242g/kg(DA) (DP<-50°C)
-RA humidity ratio	: 0.233g/kg(DA) (DP=30°C)
-SA temp.	: 16°C (controlled by AC/AH)
-RA temp.	: 23°C
-Pre-cooled air temp.	: 12°C
HEAT SOURCES	
-Heating	: Described on Table 2
-Cooling	: Chiller (7°C chilled water supply, COP=3.5)
OPERATING CONDITIONS OF DEHUMIDIFIERS	
-Annual operating time	: 8,760 hours (24 hours ×365 days)
-Outdoor air conditions	: Monthly average weather data of Tokyo (Details are described on Fig. 4)
ENERGY UNIT COSTS	
-Electric power	: 12 yen/kWh
-Steam (0.5MPaG)	: 4 yen/kg

**Table 2 Heating energy sources for each calculation cases**

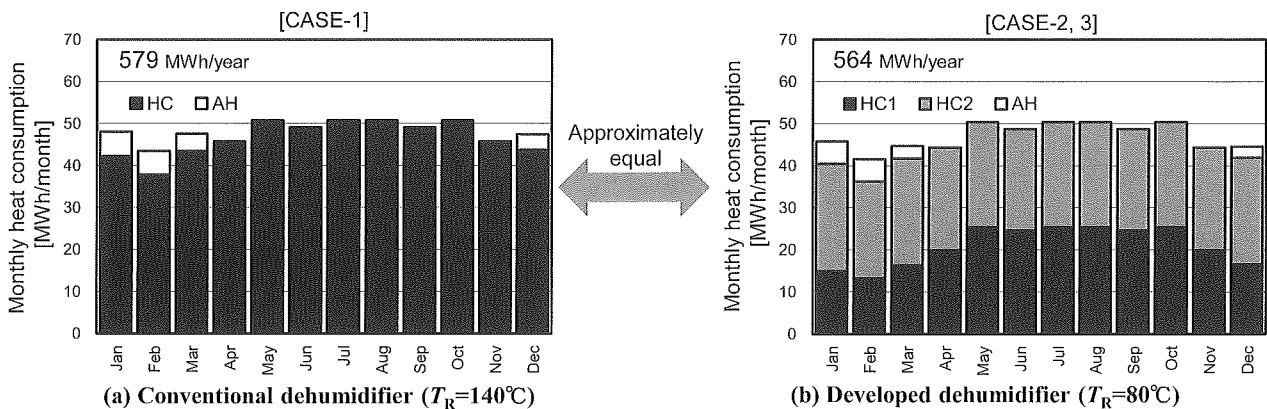
[CASE-1] Conventional dehumidifier ( $T_R=140^\circ\text{C}$ ) Steam boiler -0.5 MPaG steam supply
[CASE-2] Developed dehumidifier ( $T_R=80^\circ\text{C}$ ) Heat pump -85°C hot water and 7°C chilled water simultaneously supply -Total COP=4.5 (Heating COP=2.75, Cooling COP=1.75)
[CASE-3] Developed dehumidifier ( $T_R=80^\circ\text{C}$ ) Waste heat in industry -Recovered as 85°C hot water



**Fig. 4 Outdoor air condition for energy calculation**



**Fig. 5 Calculated annual energy cost**



**Fig. 6 Calculated annual heat consumption**

従来機の試算 (CASE-1) では、再生温度は 140℃とし、温熱源には蒸気ボイラ (0.5MPaG 蒸気供給) を用いるものとした。

開発機の試算では、再生温度を 80℃とし、温熱源の種類異なる 2 ケースの試算を行った。CASE-2 では 85℃温水と 7℃冷水の同時取り出しが可能なヒートポンプ (総合 COP=4.5) を温/冷熱源に用いるものとし、CASE-3 ではエネルギーコストがゼロとみなせる余剰排熱を 85℃温水として回収して温熱源に用いるものとした。なお、CASE-2 では、ヒートポンプで温熱と同時に生成される冷熱だけではプレクール・アフタークール用の冷熱の全量は賅えないので、その不足分の冷熱は冷凍機で補うものとした。外気条件には、Fig. 4 に示す東京の標準気象データを用いた。

Fig. 5 に年間エネルギーコストの試算結果を示す。開発機の温熱源をヒートポンプとした場合 (CASE-2)、および余剰排熱とした場合 (CASE-3) の年間エネルギーコストは、従来機 (CASE-1) と比較してそれぞれ 28%および 44%減少すると試算され、低温再生化によって大きな省エネルギー効果が得られることが確認できた。

なお、本開発機のような低温再生型デシカント除湿機は、温熱源に従来どおりの蒸気ボイラや電気ヒータを用いてはほとんど省エネルギー効果を得ることはできない。これは、Fig. 6 に示す従来機 (CASE-1) と開発機 (CASE-2, 3) の年間温熱使用量の試算結果からわかるように、再生温度を下げたからといって除湿機での温熱使用量そのものが大幅に減少するわけではないためである。

除湿機の低温再生化によって大きな省エネルギー効果を得るには、従来の電気ヒータや蒸気ボイラに替えて、COP が 1 を大きく超えるヒートポンプ (65~85℃程度の温水供給が可能な機種) や、生産設備・コジェネレーション設備からの低温排熱等の低エクセルギー

の温熱を上手に活用する必要がある。低温再生型デシカント除湿機の導入にあたっては、除湿機単体の性能だけでなく工場内の熱源設備や生産設備の特性と規模をよく把握した上で、工場全体のエネルギー利用・熱利用計画の一環として除湿機の導入計画を行う必要がある。

#### 4. おわりに

60~80℃という従来よりもはるかに低い温度で除湿ロータを効果的に再生する技術を獲得したことで、ドライルーム<sup>®</sup>向けの低露点除湿機で利用できる温熱源の選択肢が大幅に広がった。従来は利用できなかった低温排熱を除湿ロータ再生用の温熱源として選択できるようになり、極めて省エネルギー性の高いドライルーム<sup>®</sup>設備を構築することが可能となった。

当社は、ドライルーム<sup>®</sup>設備の設計施工とともに、各種工場の空調設備・熱源設備・生産付帯設備の設計施工で豊富な実績とノウハウを有する。工場全体のエネルギー利用・熱利用計画に長けたエンジニアリング会社としての強みを活かして、本開発機を量産工場の省エネルギーと環境負荷低減につなげてゆく。

なお、本報の低温再生型デシカント除湿機は既に、コジェネレーション設備の排熱を有効利用する目的で、給気露点-50℃以下、給気風量 20,000m<sup>3</sup>/h 前後の比較的大風量の機種が量産工場での採用が進んでいる。今後は、生産設備の排熱やヒートポンプを有効利用するシステムとしても本除湿機を広く展開してゆく。

#### 文 献

- 1) 秋山貴洋, 河岡将行, 川上健志, 稲葉仁: 低露点デシカント除湿機の高性能化と省エネルギー化, 高砂熱学工業総合研究所報, 27, 37-41 (2013)