

〈技術レポート〉

低温再生除湿ローターエレメント

T/#8800 GX7 「ハニクルGX7」

鶴見研究所 開発部門 環境分野 山崎 晃次
米田 雅彦

ハニクルGX7は、ハニカム構造体に吸湿特性に優れた親水性特殊合成ゼオライトを担持したローターエレメントである。このローターエレメントは従来の親水性ゼオライトを担持した除湿用ゼオライトローターよりも低い再生温度で乾燥空気を得ることが可能であり、エアコンの除湿・無給水加湿、家庭用の除湿機等実績がある。

本報ではこの除湿ローターエレメントについて解説し、その基本特性、実際のローター使用例について紹介する。

1. はじめに

電子部品、エンジニアリングプラスチック、食品製造等の高度化、高品質化した産業界では湿度管理が必須であり、様々な除湿装置が使われている。使用条件とエネルギー効率の点から除湿方式として冷却、圧縮、吸湿材によるものを使い分けられている。特に今回紹介する吸湿材による除湿は、冬場の低温・低湿時および低露点を必要とする条件において有利とされる充填塔の切換えバッチ式やローター回転式に使用されている。日本の気候は、夏場は全体的に高温多湿であり、冬場の太平洋側は低温・低湿、日本海側は低温・高湿という特殊な風土であることから室内環境の快適さ追求のため除湿は欠かせないものになっている。これまでは小型化、ランニングコストの点からコンプレッサーによる冷却式除湿の普及がすすんでいる。これに対し弊社は産業用除湿ローターの技術を応用し、改良を加えることで家庭用エアコンや除湿機に組込むことができるコンパクトな除湿ローター「ハニクルGX7」の開発に業界で初めて成功した。ハニクルGX7は冷却式にはない優れた特徴を生かし、エアコンの無給水加湿や部屋・衣類乾燥能力を持った除湿機等の製品に採用され

るようになった。

2. ハニクルGX7とは

2.1 構成材料

ハニクルGX7は、不燃性の無機繊維からなるペーパーを段ボール状に加工し、成巻もしくは積層することにより様々な形状に加工したハニカム構造体に親水性特殊合成ゼオライトを担持したものである。吸湿材担持前の繊維質ハニカム構造体は2~13 μ mの繊維を骨格とし非常にポーラスな構造になっており、弊社の担持技術によって繊維間の空隙および壁の内部まで特殊合成ゼオライトを多量に担持することが可能である。

2.2 吸湿材

空気中の湿分を吸着除去する機能材(=吸湿材、ここではハニクルGX7に使用されている特殊合成ゼオライト)について説明する。湿分除去用の吸着材として良く知られているシリカゲル、親水性ゼオライトといった従来の吸湿材は家電用としては後で説明するように性能的に限界があった。

一般的にゼオライトは結晶性含水アルミノケイ酸塩の総称で、 $M_{2n}O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$ (nは陽イオンMの価数、xは2以上の数、yは0以上の数)で表される。式中のxは一般的にシリカ/

アルミナ比と呼ばれ、2～10程度のものが極性物質との親和性が強いゼオライトとして知られている。従来の親水性ゼオライトは吸着した水が強くゼオライトに吸着しており、その再生（脱着）に180℃～250℃程度の温度が必要でエネルギー消費量が多く問題があった。しかし、ハニクルGX7に使用している特殊合成ゼオライトは、80℃～150℃程度でも再生可能なものとなっている。図1, 2に各種吸湿材の吸湿性能比較を示す。80℃, 150℃で各種吸湿材を再生した後、25℃における種々相対湿度雰囲気下で48時間吸湿させた時の重量増加割合である。

シリカゲルでは吸湿特性が悪い50%RH以下の低相対湿度から高相対湿度までの幅広い領域で特殊合成ゼオライトは優れた吸湿特性を示す。ハニクルGX7は特殊合成ゼオライトの採用によりシリカゲルと同等の低い再生エネルギーで親水性ゼオライトのような幅広い相対湿度領域での吸湿特

性を持つことが可能となった。

2.3 各種除湿ローターとハニクルGX7との比較

ここで各種吸湿材を担持した弊社製品について表1に示した。各吸湿材の特性から、処理したい温・湿度、用途に応じてこれらを使い分けている。

ハニクルGX7は温度0～40℃のあらゆる相対湿度域の除湿性能に優れている。さらに、再生温度が140℃と従来のゼオライトと比較して低い。また、ゼオライトの特徴を最大限に発揮できるローター設計のため高性能でコンパクト化が可能になり300mmφ以下の家電用途に適した仕様になっている。

ハニクルMS-A, MS-Xは水との親和力が非常に強い事から温度0～100℃のあらゆる相対湿度域に適しており、産業用途のため圧縮強度も大きく大型化設計が可能である。さらに、露点温度-60℃以下のような低露点から超低露点空気を得ることが可能である。しかし再生に多大な熱エネ

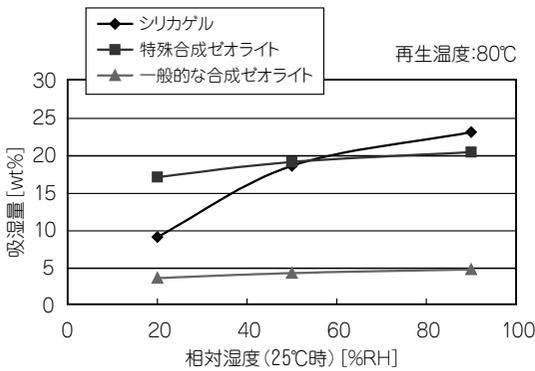


図1 各吸湿材毎の吸湿特性

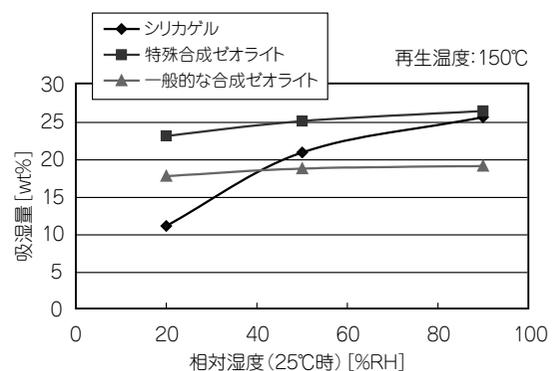


図2 各吸湿材毎の吸湿特性

表1 各種除湿ローターの特徴

	ハニクルGX7	ハニクルMS-A, MS-X	ハニクルSG-HP
吸湿材	特殊合成ゼオライト	親水性ゼオライト	特殊シリカゲル
密度 [kg/m ³]	190	350	220
圧縮強度 [N/mm ²]	0.34	1.96	1.47
標準再生温度 [°C]	120～140	180～250	120～140
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 劣化しにくい 相対湿度に関わらず一定の吸湿特性を示す 		<ul style="list-style-type: none"> 劣化しやすい 相対湿度によって吸湿特性が大きく変動する

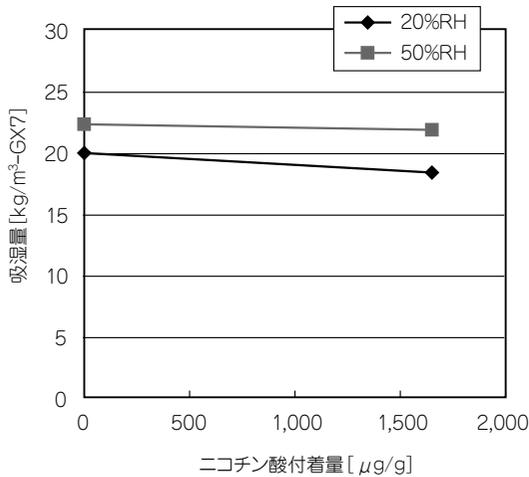


図3 ニコチン酸付着量とGX7の吸湿特性の関係

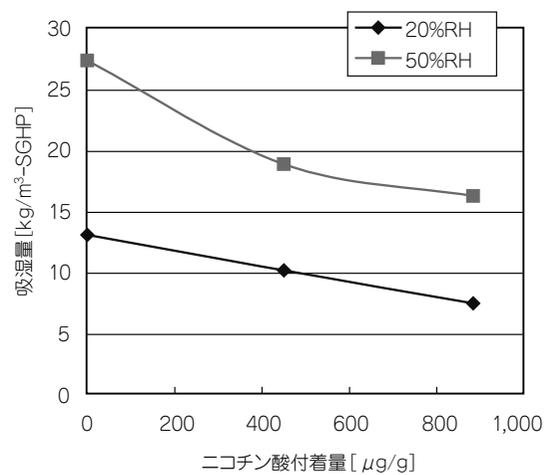


図4 ニコチン酸付着量とSG-HPの吸湿特性の関係

ギーが必要であることから超低露点空気を必要とする特殊な用途に使用されている。

ハニクルSG-HPは温度0～40℃の高湿度域で除湿性能が優れている。また、140℃程度で再生が可能であり、高湿度から低露点の空気を得ることができるうえ圧縮強度は比較的強く、大型化が可能で大風量の処理にも適していることから乾式除湿機として多量に使用されている。

2.4 吸湿材の耐久性について

家電用途において特に注意しなければならないことは居住空間に身の回りの品々から発生する微量な各種有機物質が存在する点にある。特に喫煙時に生ずる多種多様な物質の中には吸湿材との接触によりその吸湿特性を劣化させてしまう物質も存在する。ここではその一例としてハニクルGX7および弊社のシリカゲルローターであるハニクルSG-HPをタバコの煙に暴露し、吸湿特性にどのような影響を及ぼすか調査した。タバコの煙に各ローターサンプルを暴露し、サンプルに付着した物質の定性、定量を試みた。その結果、付着した物質としてニコチン酸が検出された。そこでニコチン酸の付着量に対してハニクルGX7、ハニクルSG-HPの静的な吸湿特性を調べ、その関係を図3、4に示した。ハニクルGX7はハニクルSG-HPと比べニコチン酸の付着量は多かったにもかかわらず、吸湿量が殆ど低下しないことが確認された。

また、各々のローターサンプルで吸着特性に重要なファクターとして比表面積を調べたところ図5に示すようにハニクルSG-HPではニコチン酸の付着量が増すにつれ比表面積が著しく低下することが確認されたが、ハニクルGX7では多くのニコチン酸が付着しても比表面積の低下が少ない事が確認された。

このように家電用途では劣化し吸湿特性が低下してしまうシリカゲルローターハニクルSG-HPよりも特殊合成ゼオライトを使用したハニクルGX7が適している。

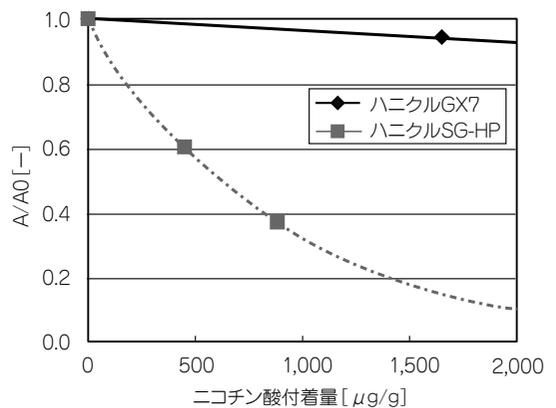


図5 ニコチン酸付着による比表面積の低下率

2.5 抗菌・防カビ性について

ハニクルGX7は湿気の多い環境でも使用されるため、細菌の増殖やカビの発生をなくす必要がある。そのためハニクルGX7では抗菌・防カビ剤を添加しておりその効果について述べる。添加されている抗菌・防カビ剤は食品添加物、食品包材、ビルダーで使用されているゼオライトにある種の金属をイオン交換したもので構成されており、安全性は極めて高いものである。またカビ抵抗性に関してJIS Z 2911 (1992)「かび抵抗性試験方法」繊維製品の試験、湿式法に準じて試験を行った。その結果、試料又は試験片の接種した部分に菌糸の発育は認められず、カビ抵抗性は高い値を示した。

3. ハニクルGX7の使用例

3.1 ローター回転式システム

3.1.1 除湿基本システム

ハニクルGX7は主にローター回転式除湿機に使用されている。このシステムは冷却式除湿方式が得意とする高温多湿の雰囲気をはじめ、冷却式では除湿困難な冬場の比較的乾燥した雰囲気でも安定した除湿性能が得られることが特徴である。基本システムを図6に示す。

本システムは主に処理（吸着）ゾーンと再生（脱着）ゾーンに区分けされた機構の中でローターを回転させる。湿った空気はファン等により処理ゾーンを通過する。この時、吸湿材により湿分が吸着除去され乾燥された空気を得る。そして湿分を吸着した部分は再生ゾーンで加熱された熱風により湿分が脱着され系外へ放出される。この処

理、再生を連続的に繰り返すことで、安定した乾燥空気を得ることができる。

3.1.2 加湿システムへの応用

この方式を応用した家庭用エアコンでは先述の除湿と原理は同様であるが図7に示すような加湿用途で使用される場合がある。その際は、室外の空気中の湿分をローターエレメントにて吸着し、乾燥された処理空気をそのまま室外へ排気する。同時に、ヒーターにより加熱された湿分を多く含む再生空気を室内に導入することで外気中の湿分を室内へ取り込むことができる。これによりエアコンには水を一切補給することなく加湿することができる。

3.2 小型除湿システム

前項で除湿の基本システムについて述べたが、屋内、特に一般家庭で使用する場合には再生空気を室外へ排気するための配管工事等が必要となる。そこで家電用途では湿分を多く含む再生空気を室外へ排気せず、除湿機内に設置された熱交換器にて、湿分を凝縮回収する図8に示す方式が一般的である。再生空気には多量の湿分が含まれるのに加え比較的高温であるため、熱交換器を通すことで室温の処理空気と熱交換により湿分を冷却・凝縮させることができる。そして凝縮した水分だけを別個に設けたタンク等にて回収することで再生空気の排気をなくすことができる。

近年はこの様なシステムを採用した家庭用除湿機が国内数社より販売されており、特に冬場の窓辺の結露防止や洗濯物の乾燥等に効果があり、好評を得ている。これまでの家庭用除湿機として冷却式除湿機が主流であったが表2に示すような相

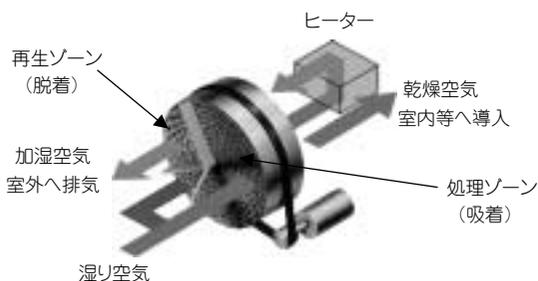


図6 除湿システムの基本フロー

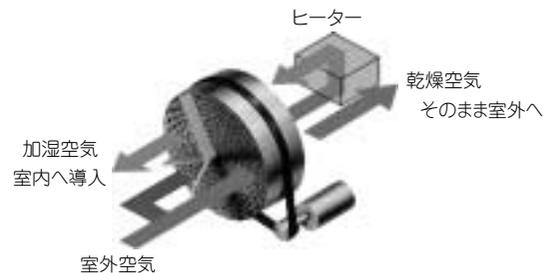


図7 加湿システムフロー

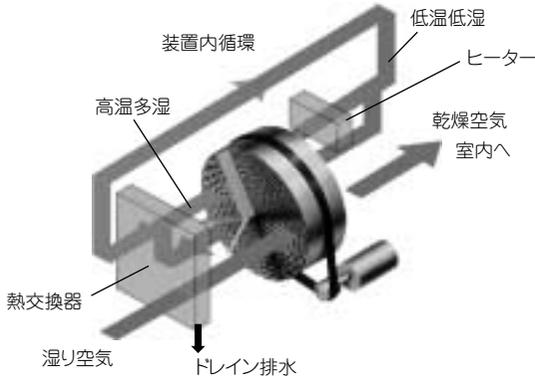


図8 小型除湿（家電用途）システムフロー

表2 除湿方式の相違点および特徴

	冷却式	ローター回転式
使用時期	主に夏（低温時不可）	全シーズン
除湿後乾燥空気	低温（クーラー効果）	高温（衣類乾燥/結露防止/防カビ/暖房効果）
装置重量	重い	軽い
音	うるさい	静か
冷媒（フロン）	必要	不要（ノンフロン）

違点があり、使用環境に応じて選定できる。

このように冷却式除湿の場合、夏場などの高温多湿条件では除湿空気を得やすいが、冬場に代表される低温条件では除湿効率が極端に低下する。また、除湿機内にはコンプレッサーを内蔵する必要があることに加え配管等の部材が多くなり複雑な構造で装置重量が重くなる。これに対し、ローター回転式ではローター自体の重量が軽量であることや、特殊な配管は必要無ことから内部構造をシンプルにできなおかつ軽量化できる。そして最も大きな特徴は冷却式では冷媒としてフロンが使用されているが、ローター回転式では全く使用しておらず、地球環境に対し負荷をかけずに快適な室内環境を作り出すことができる。

4. 除湿ローター性能評価

ハニクルGX7を前項で紹介したシステム例で使用するにあたり、各種除湿ローターの湿分吸

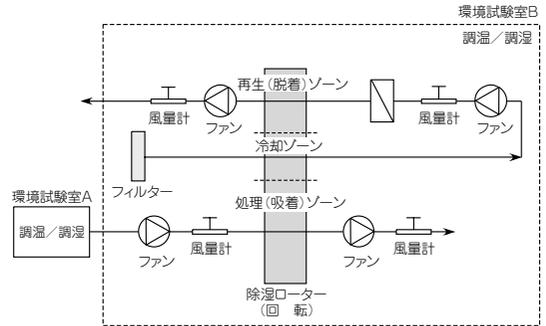


図9 除湿ローター性能評価装置フロー

着・脱着特性を使用条件に基づき評価する必要があり、得られた評価結果はローター仕様の決定に使用される。一例として弊社で使用している除湿ローター性能評価装置のフローを図9に示す。

4.1 性能評価装置

一定温度、湿度条件下に保つため評価装置は環境試験室Bに設置されており、温度・湿度が調整された環境にある。処理空気には環境試験室A内にて温度・湿度を調整して使用する。これにより様々な温度・湿度に調製された処理空気を連続的に除湿性能評価装置に供給することができる。また、再生空気はヒーターにより目的の温度になるよう制御する事が可能である。この性能評価装置では調温・調湿された空気を処理（吸着）ゾーン、再生（脱着）ゾーン、および冷却ゾーンの仕切られた空間に送り、そこに設置されているローターに吸着・脱着させそのときの温度変化、湿度変化を同時に調べることができる。また、ローターを任意の回転数で連続的に回転させることが可能であり、これにより、処理と再生を連続的に繰返すことで、吸着と脱着のバランスが最も良くなる最適な回転数を割り出すことも可能である。

4.2 性能評価の一例

前節の性能評価装置を使用して下記の条件で測定を行った。

- テストローター：ハニクルGX7（# 3319）
- ローターサイズ：単位 [mm]
- 外径×内径×厚み = 190 φ × 50 φ × 30
- 処理（吸着）条件

処理ゾーン : 約0.013m²
 温・湿度 : 27℃, 13.4g/kg (60%RH)
 風速 : ①1.0m/s (50m³/hr)
 ②2.0m/s (100m³/hr)

- 再生(脱着)条件
 - 再生ゾーン : 約0.006m²
 - 温・湿度 : 80, 100, 120, 140℃,
13.4g/kg'
 - 風速 : ①1.0m/s, ②1.5m/s

○パージゾーン : 約0.006m²

以上の条件に調整した空気を用い, 処理・再生ゾーンのローター前後における空気温度, 湿度を測定した。

4.3 性能評価結果

測定した処理風量, 処理入口温・湿度, 処理出口温・湿度と次式によって一日あたりの除湿量が計算で求めることができる。そこで各条件での測定結果を基にまとめたものを図10に示した。

$$\text{除湿量 (l/day)} = (X_1 - X_2) \times \rho \times Q_1 \times 24$$

X₁ : 処理入口絶対湿度 [g/kg']

X₂ : 処理出口絶対湿度 [g/kg']

ρ : 空気比重 = 1.15

[27℃, 60%RHの時]

Q₁ : 処理風量 [m³/hr]

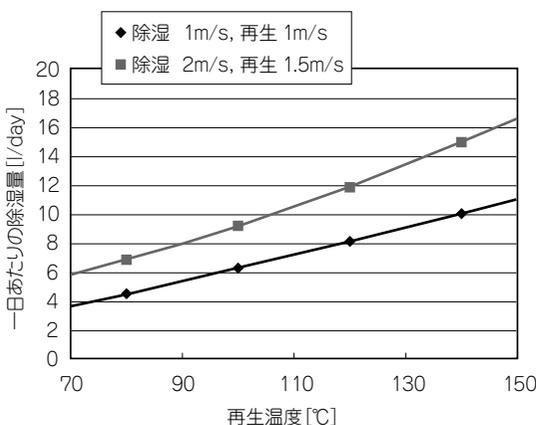


図10 再生温度と除湿量

4.4 性能評価まとめ

実際の設計には前項で示したような限定された条件(処理風量, 処理温度, 再生風量, 再生温度, 各ゾーンの面積配分, 等々)だけでなく, 目標とする除湿量が得られるよう条件設定を変化させデータを収集する必要がある。家電用途では製品の大きさから内部機器類の大きさや消費電力が制限されることが多く, いくつかの条件は固定されるため最も除湿量が得られるよう変動可能な条件を変化させ測定を行っている。この様にハニクルGX7の広範囲にわたる性能データを蓄積してゆくことで, ユーザー各位の基礎条件に対する性能データのご要望に対し迅速に対応している。

5. おわりに

家庭用のローター回転式除湿機により年間を通じて除湿が可能となり, 梅雨時期の除湿やカビ発生防止だけでなく冬場の衣類乾燥や結露防止にも利用できるなど新しい用途が見出されており, ローター回転式除湿機によって用途や需要はますます広がっていくことと思われる。

今後も高性能なローターの開発をおこないつつ, データを蓄積していき, ユーザー各位のご要望, ご要望を満足できるよう更なる努力をしていく所存である。

筆者紹介



山崎 晃次

鶴見研究所 環境分野
チームリーダー



米田 雅彦

鶴見研究所 環境分野