

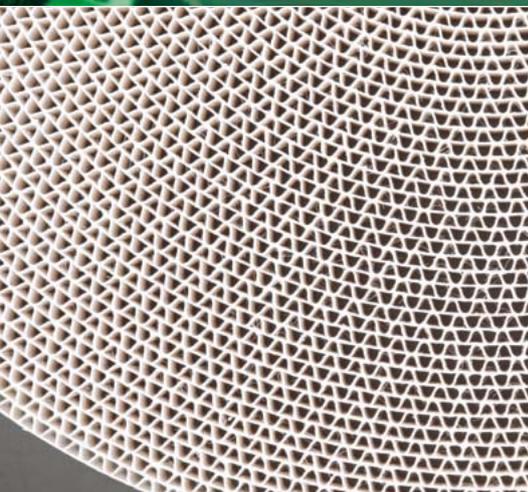
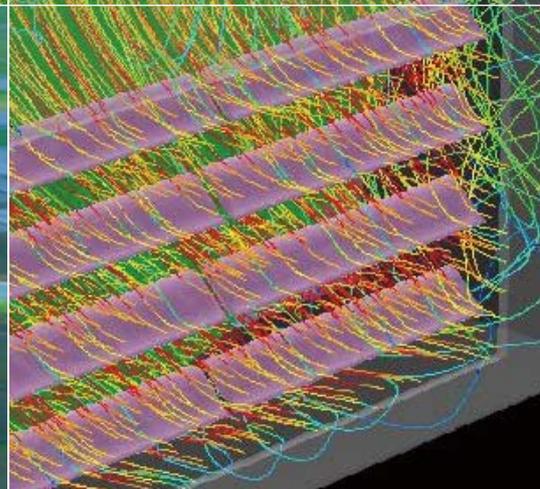
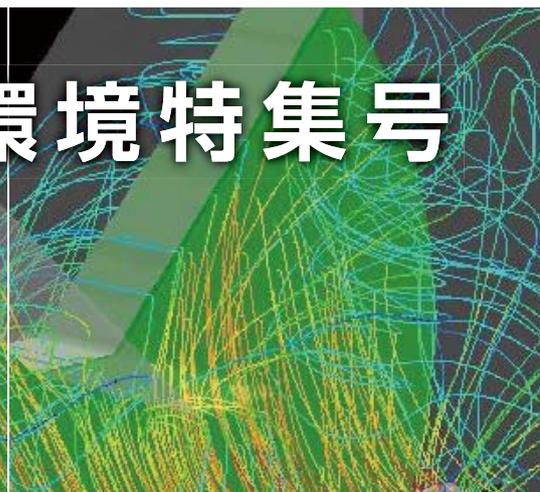
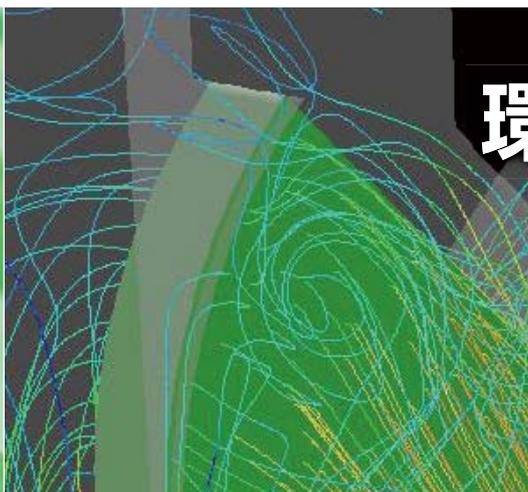
# ニチアス 技術時報

# 2012

No.359

3号

## 環境特集号



【巻頭言】  
環境特集号の発刊にあたって

【技術レポート】  
シミュレーションを用いた除湿ロータの設計手法  
化学プラントの騒音対策  
電気二重層キャパシタ用電極シート  
高温加熱時の発生ガス分析

【製品紹介】  
高面速VOC濃縮ロータ「ハニクルHZシリーズ」



## 目次

### 【巻頭言】

- ◆環境特集号の発刊にあたって ..... 1  
技術本部 環境管理室 室長 戸塚 優子

### 【技術レポート】

- ◆シミュレーションを用いた除湿ロータの設計手法 ..... 2  
工業製品事業本部 環境事業推進室 環境部品開発課 山名 和樹  
内容) ロータ回転式除湿装置の主要部位となる除湿ロータについて、概要と開発および設計にかかる除湿性能のシミュレーション技術を紹介します。

### 【製品紹介】

- ◆高面速 VOC 濃縮ロータ「ハニクル®HZ シリーズ」 ..... 8  
工業製品事業本部 環境事業推進室 環境部品開発課  
内容) VOC濃縮処理装置の小型化や除去性能の向上に対する市場要求が高まっています。高い通過風速でも除去性能を維持できるVOC濃縮ロータを開発いたしましたので、その製品概要を紹介します。

### 【技術レポート】

- ◆化学プラントの騒音対策 ..... 11  
工事業本部 工事技術部 環境対策課  
内容) 化学プラントにおける騒音源とその対策の現状について、個別の騒音源ごとに実例を交えて紹介します。
- ◆電気二重層キャパシタ用電極シート ..... 16  
高機能製品事業本部 樹脂技術開発部 樹脂製品開発課 深江 泰治  
内容) 電子機器のメモリーバックアップなどの補償装置として優れた性能を発揮するキャパシタ用電極シートの技術について紹介します。
- ◆高温加熱時の発生ガス分析 ..... 20  
研究開発本部 分析解析室 材料解析課 廣瀬 亜矢子  
内容) 加熱時に発生したガスの分析は、健康障害の原因解明や製品の安全性を評価するうえで重要になってきています。高温加熱時の発生ガスの分析手法について有機成分およびアルデヒドの分析例を中心に紹介します。

### 【2012 年度目次総録】 ..... 25

※本誌に記載された製品名はニチアス㈱の登録商標または商標です。TOMBOはニチアス㈱の登録商標です。

送り先ご住所の変更、送付の停止などにつきましては、下に記載の連絡先までご連絡ください。  
なおその際は、宛て名シールに記載されている7桁のコードを必ずお知らせくださいますよう、お願いいたします。

#### 〈連絡先および本誌に関するお問い合わせ先〉

ニチアス株式会社 経営企画部広報課  
TEL : 03-3433-7244  
E-mail : info@nichias.co.jp  
FAX : 03-3438-0600

本誌の内容は当社のホームページでもご紹介しております。  
当社ホームページでは、1999年1号から最新号までの内容をご覧いただけます。  
<http://www.nichias.co.jp/>

## 〈巻頭言〉

## 環境特集号の発刊にあたって



技術本部 環境管理室 室長 戸塚 優子

近年、毎年のように多大な被害を発生させている台風、局所的な豪雨、一昨年に発生したタイの大洪水など自然災害が相次いで発生し、地球温暖化の影響が出始めてきたのではないかと感じられるようになりました。

また、工場や自動車から排出されるガスが原因となって発生する「光化学スモッグ」についても、1970年代の公害対策で改善してきたものの、未規制の物質の影響か、海外からの大気汚染の影響か、最近になって再び「光化学スモッグ警報」が発令されるようになり、地球・地域環境汚染はまだまだ拡大していることを再認識させられました。

本年6月には、国連環境計画（UNEP）が「地球環境展望」総合報告書の中で、「世界は依然として持続困難な発展の道を歩んでおり、地球上の各生態系の受容能力は生物の物理的な極限にまで押しやられている」と指摘し、将来への警鐘を投げかけております。

このような状況下、製造業は今まで以上に「環境」を意識した製品を作る必要がありますが、弊社の製品は創業当初より環境問題に貢献してきました。例えば、シール材は、液体や気体の漏れを「断つ」ことで化学物質による環境汚染を防止し、断熱材は熱を「断つ」「保つ」技術で省エネルギーについては二酸化炭素削減で地球温暖化防止に寄与しています。

現在、弊社は、流体の漏れを断つ（シール技術）、熱を断つ・保つ（断熱技術）、音・振動を断つ（防音技術）、火を断つ（耐火技術）、腐食を断つ（耐食技術）、クリーンを保つ（クリーン技術）の6つの技術を中心に事業を展開しています。これらの技術で開発した製品・工法は、直接・間接的に環境負荷を低減し、地球環境や生活環境の改善に寄与しております。

一方、環境ビジネスの幅も広がりつつあります。毎年、環境省から「環境産業市場規模推計」が発表されますが、2010年度の環境産業の市場規模は約70兆円、雇用規模約185万人と、リーマンショックで一時的に成長が鈍化したものの、順調に市場規模を伸ばしております。従来型環境産業のほか、地球温暖化対策として、再生エネルギー発電、スマートグリッドなどの産業分野が拡大する中、弊社としてもパートナーとともにその技術の一役を担い、地球の明るい未来に貢献していかなければならないと考えております。

今号では、従来からの環境改善技術に加えて、新エネルギーへの応用技術をご紹介します。今後ともニチアス技術時報のご愛読と、ニチアス製品の一層のご愛顧を賜りますようお願い申し上げます。

〈技術レポート〉

# シミュレーションを用いた除湿ロータの設計手法

工業製品事業本部 環境事業推進室 環境部品開発課 山名和樹

## 1. はじめに

電子部品、エンジニアリングプラスチック、食品などをはじめとする高度化した製造工程においては湿度管理が必須であり、さまざまな方式の除湿装置が用いられている。主として(1)冷却除湿、(2)圧縮除湿、(3)バッチ式(=吸着材充填塔切り替え式)除湿、(4)ロータ回転式除湿といった方式に分類され、このうち当社は(4)の主要部位となる除湿ロータを製品として取り扱っている。ロータ回転式除湿は機構の簡単さ、メンテナンスの容易さに加え、条件によっては比較的低温の排熱を用いた運転が可能であることから空調における省エネルギー化の観点からも関心が高まっている。

本稿では除湿ロータの概要と、その開発および設計に係る除湿性能シミュレーション技術について報告する。

## 2. 概論

### 2.1 除湿ロータの構成

除湿ロータはガラス繊維などの無機繊維ペーパーをコルゲート加工したのち成巻(=巻き取り)することで製造されるハニカム構造体に各種吸湿材を担持させたものである。概略の構成を図1に示す。ハニカム構造体の壁を形成する無機繊維ペーパーは体積比率として90%以上の空隙を有しており、当社独自の製法によりその内部まで吸湿材が高密度に担持されている。この吸湿材の作用によって、空気がハニカムの流路を通過

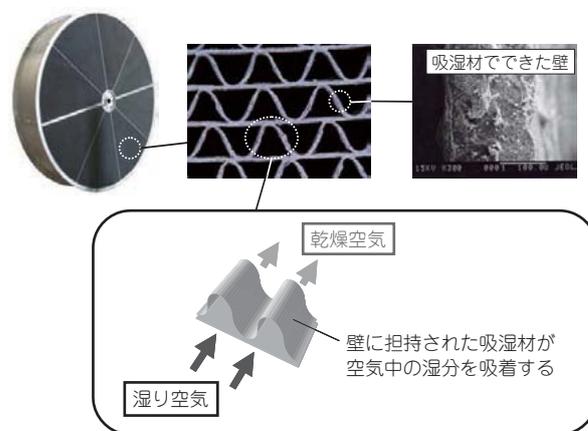


図1 除湿ロータ外観および拡大写真

する間に水蒸気が吸着され、その結果乾燥した空気が供給される。

### 2.2 除湿ロータの使用方法(フロー)

除湿ロータの最も一般的な使用例を図2に示す。シール構造によって「処理ゾーン」と「再生ゾーン」に区画された機構で用いるのが一般的である。「処理ゾーン」では、除湿ロータに担持された吸湿材によって空気中の湿分が吸着・除去され、乾燥した空気が製造される。除湿ロータは駆動モータによって一定の速度で回転しており、湿分を吸着した領域はやがてヒータで加熱された熱風が通気されている「再生ゾーン」に達する。水分子は物理吸着に起因する弱い結合力によってロータ中の吸湿材に捕捉されているため、熱風のエネルギーによって吸湿材から脱着し外部へと排気される。これによりロータは再び吸湿性能を回復した状態で処理ゾーンに

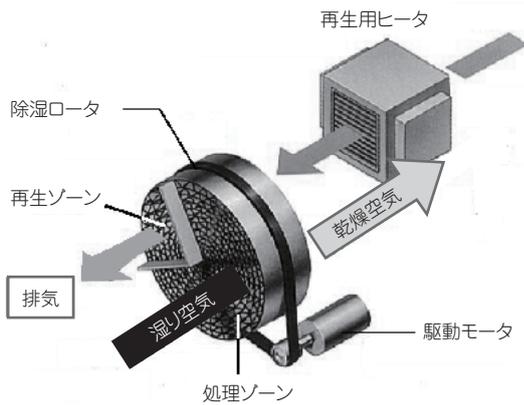


図2 除湿ロータのフロー例

戻るので、連続的に乾燥空気の製造が可能なシステムが成立する。

### 2.3 吸湿材

除湿ロータに吸湿性能を付与している吸湿材にはさまざまな特性のものが開発・製造されており、図3に示されるような相対湿度と吸湿量の関係を表した水蒸気吸着等温線と呼ばれる線図によって個々の特徴が明らかになる。

たとえば、A型シリカゲルや高分子吸湿材は相対湿度に対して吸湿量が直線的に変化し、ほぼ全ての湿度領域にわたって吸着等温線が勾配を持つ。そのためわずかな相対湿度の変化を与えるだけでも吸・放湿量が変化するので、低い再生温度でも高い除湿性能を示す除湿ロータを得ることができる。いっぽう、親水性ゼオライト

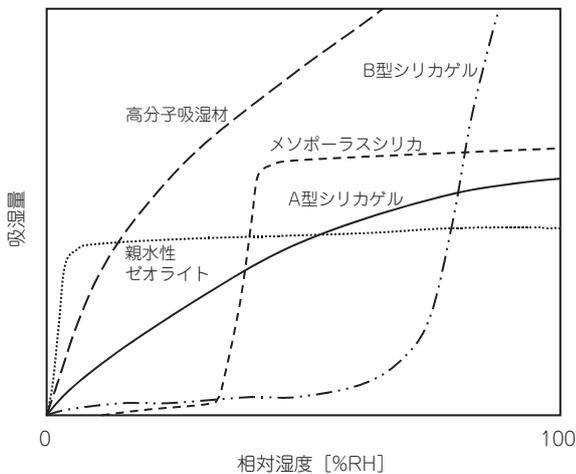


図3 種々吸湿材の平衡吸着量（吸着等温線）模式図

は吸湿力が非常に強く、低湿度領域にあっても飽和に近い吸湿量を示すので、比較的大きい再生エネルギーが必要ではあるが、条件によっては単段式で露点 $-80^{\circ}\text{C}$ にも達する超低露点空気を生成することもできる。また、近年ではメソポーラスシリカのように低湿度域ではほとんど吸湿しないが、ある相対湿度を境に急激に吸湿量が増大する材料についての研究も進められている。除湿ロータ用途にどの吸湿材が適するかは目標除湿量、風量、再生熱源として準備可能なエネルギー量により異なるため、最適な吸湿材・最適な運転条件でロータを使用するためには「設計」の技術が非常に重要な要素となる。

## 3. 除湿性能シミュレーション方法について

### 3.1 目的

前述したように、除湿ロータを用いたシステムを構築するには、処理すべき風量の空気をどのレベルまで除湿するかという目標除湿量に対し、再生熱源として準備可能なエネルギー量を加味して吸湿材の種類を選定する必要がある。さらにロータのサイズ、フローの取り回し、各ゾーンの角度などを決定する設計作業が必要となる。しかし、図4に示すように除湿性能はロータに担持された吸湿材の物性、ハニカムの開口率や幾何学表面積（ $\equiv$ セルの細かさ）といったハニカム構造に関するパラメータ、さらには空気の温湿度や通過面風速、ロータ回転数をはじめとする操作条件など数多くの因子が複雑に影響しあって決まるものである。そのため多種多様な条件に対して最適設計を行うためにはあらかじめこれらの因子を多水準に振った実験デー

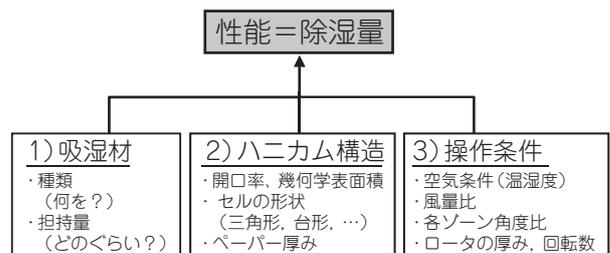


図4 除湿性能に寄与する因子

タを取得しておくことが不可欠である。しかしこの設計データの蓄積には膨大な手間と時間を必要とするうえ、ロータの仕様を変更したり、あるいは新しいロータを開発したりした場合は初めから取得作業をやり直す必要があるなど、迅速さという意味で難点があるのは否めない。

そこで、当社ではこの膨大な工数を要する実験作業を理論計算で代用する手法を導入している。具体的には除湿ロータの内部で生じている物質移動・熱移動現象を数式としてモデル化し、これを解くことで操作条件と吸湿材の物性から除湿性能の理論値を直接推算する手法である。

### 3.2 基礎方程式 (計算モデル)

計算モデルは固定層吸着破過曲線の数値解析法<sup>1, 2)</sup>と同様の考え方にに基づき、ロータ内部の微小体積要素内における熱と物質の収支を取ることによって数式として導き出している。このとき、より広範な操作条件に対応可能な計算モデルとなるよう、各種物性についても一定値として扱うのではなく温度や吸着量などに依存する関数として扱うことで、実際の現象に近づけるよう配慮した。

これらの基礎方程式群を有限差分法によって非線形連立方程式に変換し、Gauss-Newton法系の反復計算法で数値解を求めるアルゴリズムにより除湿性能シミュレータを構築している。これにより、吸着等温線パラメータ/吸着熱/ハニカム構造定数/ロータサイズ/操作条件を入力事項として、それに対応する動的除湿性能および空気温度の理論値を計算することが可能となる。

### 3.3 検証実験

#### 3.3.1 ロータサンプルの作製

上述のシミュレーション計算により得られる除湿性能の妥当性・精度を検証するため、さまざまな吸湿材を担持したロータを試作した。試作ロータの内容を表1に示す。試作ロータAはゾル-ゲル法によってハニカム上にメソポーラスシリカ<sup>3)</sup>を直接合成したものである。また、試作ロータB~Dは市販のシリカゲル、親水性ゼオライトを無機の結合材(バインダ)によってロータに担持したものである。これらの水蒸気吸着

表1 試作ロータの内容

試作ロータ	吸湿材
A	メソポーラスシリカ
B	シリカゲル1
C	シリカゲル2
D	親水性ゼオライト

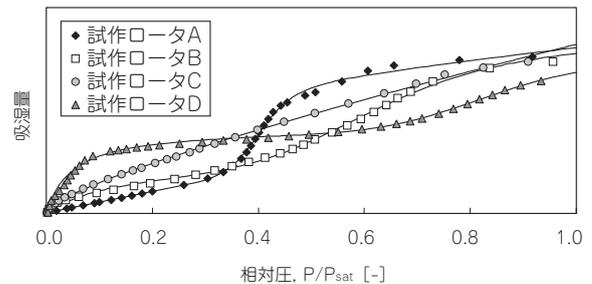


図5 作成したサンプルの吸着等温線

等温線は図5に示すとおりであり、異なる吸湿特性を持つことを確認することができる。

#### 3.3.2 除湿性能の実測値とシミュレーション値の比較検証

試作ロータの物性をもとに計算した動的除湿性能を実測と比較した。測定条件を表2に、結果を図6~8に示す。これらは比較検証を行ったデータの一部であるが、吸湿材の種類/ハニカム構造/ロータ厚み/空気条件/その他操作条件がさまざまに変わってもシミュレーション結果と実測値は良好に一致することを確認している。特に、水蒸気吸着等温線の形状が異なる材料にあっても、ロータ化した際の動的除湿性能を予測できる点は有用と思われる。数g程度の吸湿材粉末もしくはそれを担持したハニカムの小片から得られる基礎物性(主として吸着等温線と等量微分吸着熱)をもとにその用途に対する材料の有用性が判断できるためである。

## 4. 適用事例

### 4.1 製品開発への応用

前述のとおり、本稿で報告したシミュレーション法はさまざまな吸着等温線形状の吸湿材に対応可能であることが示唆されたので、これを利用した製品開発の事例を紹介する。これは概ね(1)

表2 試作ロータの性能試験条件

条件No.	フロー
1	
2	
3	

※いずれも風速は20℃換算値

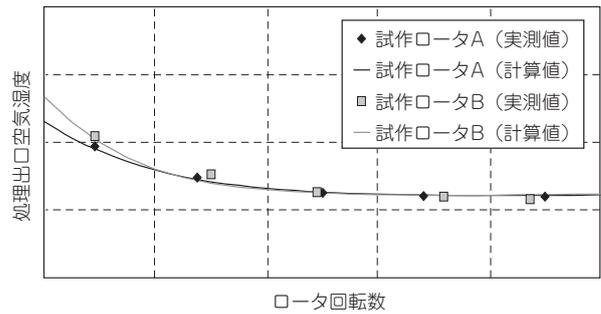


図6 「条件1」における除湿性能の実測値と計算値の比較

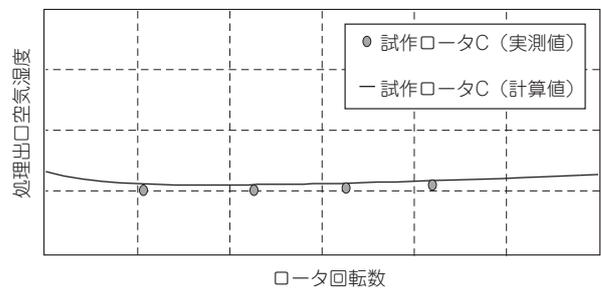


図7 「条件2」における除湿性能の実測値と計算値の比較

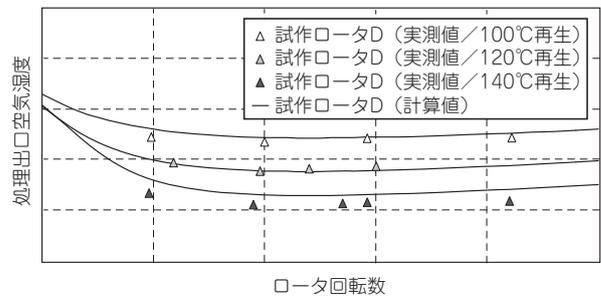


図8 「条件3」における除湿性能の実測値と計算値の比較

～ (4) に示した手順により開発品の仕様を決定したものである。

**(1) 吸湿材選定**

さまざまな吸湿材について測定した物性パラメータ（吸着等温線と等量微分吸着熱）を用い、ロータ化した際の動的除湿性能を推算して比較評価後吸湿材を選定。

**(2) ハニカム構造、担持量の決定**

(1) と同時にセルサイズおよび吸湿材担持量が除湿性能に与える影響も推算し、最適化を実施。

**(3) 最終仕様の決定**

コスト計算および別途実施の耐久性評価試験結果と併せて最終仕様を決定。

**(4) 確認試験**

実機にて除湿性能を確認。

この手法により開発された製品「ハニクル®AC-SG」の試験条件を表3に、その結果を図9および10に示す。目論見どおりの除湿性能を有していることを確認した。

この製品は低露点空気の生成用途から排熱を

熱源とした空調用途に至るまで幅広く適応可能な除湿ロータである。また、製造工程内で吸湿材を化学処理して水熱耐久性を強化しているため長期的に安定した除湿性能が得られる点も特長の一つである。

**4.2 最適条件の探索**

シミュレーションにおいては操作条件を任意

表3 試作ロータの性能試験条件

条件No.	フロー
4	
5	

※風速はいずれも20℃換算値

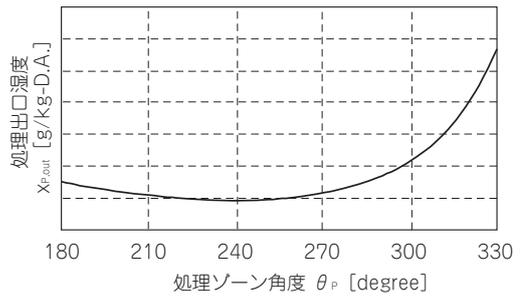


図11 処理ゾーン最適角度の試算例

に設定して除湿性能を推算することが可能であるため、最適条件の探索に係る労力を大幅に低減できる。簡単な一例を図11に示した。これはある風量の条件に対して処理ゾーン角度の最適値がどこに存在するかを試算した一例である。この事例では240°近辺にその最適値が存在し、残りを再生ゾーンにあてることが望ましいことがわかる。実測でこれを実施しようとした場合、実験治具の作製から測定に至るまで多くの工数とコストを伴うがシミュレーションを用いることによりそれを大幅に削減することが可能となる。

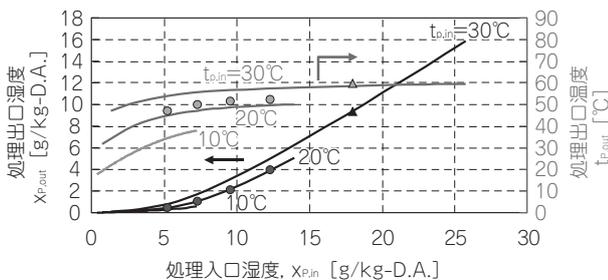


図9 「条件4」における開発品（ハニクル®AC-SG）の除湿性能曲線（実線は計算値、プロットは測定値）

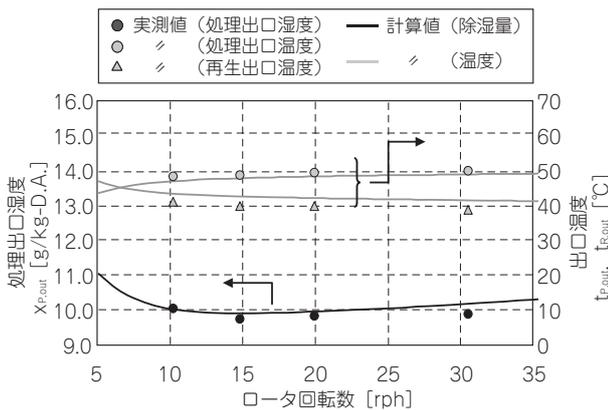


図10 「条件5」における開発品（ハニクル®AC-SG）の除湿性能および温度曲線

## 5. おわりに

本稿では除湿ロータの原理と、その操作設計に係る性能シミュレーション技術について報告し、製品開発に応用した事例を紹介した。除湿ロータは担持された吸湿材に起因する吸湿特性と、与えられた条件の中でその最大のパフォーマンスを引き出す最適設計が非常に重要な要素技術であり、除湿性能シミュレーションはその有力なツールになりうると考えられる。

近年は空気品質の高度化とそれに係る消費エネルギーの低減化を両立する需要がますます高まっており、当社としてもこれらのニーズに対して迅速な設計提案ができるよう努力してゆく所存である。

<基礎方程式>

$$\text{厚み方向の物質収支} : u_{STP} \rho_{STP} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} + \gamma \frac{\partial \bar{q}}{\partial \tau} = 0 \dots (1)$$

$$\text{境膜拡散過程} : \gamma \frac{\partial \bar{q}}{\partial \tau} = k_F a_v \rho_F (\bar{c} - c) \dots (2)$$

固相拡散過程 :

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial \tau} = \frac{24}{L^2} \left[ \frac{D_P(T_s)}{RT_s \rho_s} \left( \frac{\partial q}{\partial c} \right) + D_s(T_s, Q_{st}) \right] (q - \bar{q}) \dots (3)$$

$$\text{吸着平衡} : q = f_1(c, T_s) \dots (4)$$

$$\text{等量微分吸着熱} : Q_{st} = f_2(q) \dots (5)$$

熱収支(気相) :

$$-u_{STP} \rho_{STP} \frac{\partial (C_p T_F)}{\partial z} + h_F a_v (T_s - T_F) = 0 \dots (6)$$

熱収支(吸着材相) :

$$\gamma \frac{\partial (C_{ps} T_s)}{\partial \tau} + \gamma \frac{\partial (C_{pw} \bar{q} T_s)}{\partial \tau} = \gamma \frac{\partial (\bar{q} Q_{st})}{\partial \tau} - h_F a_v (T_s - T_F) \dots (7)$$

$$\text{空気比熱} : C_p = A + B T_F + C T_F^2 \dots (8)$$

<使用記号>

- $a_v$  : ハニカムの幾何学表面積 [cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>]
- $c$  : 界面における水蒸気濃度 [mol/mol-流体]
- $\bar{c}$  : 流体中の平均水蒸気濃度 [mol/mol-流体]
- $C_p$  : 空気比熱 [J/mol・K]
- $C_{ps}$  : 素子の比熱 [J/g・K]
- $C_{pw}$  : 水の比熱 [J/mol・K]
- $D_P$  : 細孔拡散係数 [cm<sup>2</sup>/s]
- $D_s$  : 表面拡散係数 [cm<sup>2</sup>/s]
- $h_F$  : 境膜伝熱係数 [J/cm・s・K]
- $k_F$  : 境膜物質移動係数 [cm/s]
- $L$  : ハニカム構造の壁厚み [cm]
- $q$  : 界面における吸着量 [mol/g-素子]

- $\bar{q}$  : 平均吸着量 [mol/g-素子]
- $Q_{st}$  : 等量微分吸着熱 [J/mol]
- $t$  : セルシウス温度 [°C]
- $T$  : 絶対温度 [K]
- $u_{STP}$  : 面風速 [cm/s]
- $x$  : 乾き空気 1kg 中に含まれる水蒸気量 (=絶対湿度) [g/kg-D.A.]
- $z$  : ロータの厚み方向座標 [cm]
- $\gamma$  : 素子密度 [g/cm<sup>3</sup>]
- $\rho$  : 空気密度 [mol/cm<sup>3</sup>]
- $\tau$  : 操作時間 [sec]

<下付き記号>

- F : 流体相
- s : 固相
- STP : 標準状態
- P : 処理ゾーン
- R : 再生ゾーン
- in : 入口空気
- out : 出口空気

参考文献

- 1) 竹内雍ら:最新吸着技術便覧, エヌ・ティー・エス (1998)
- 2) 竹内雍:吸着分離~入門から操作設計まで~, 培風館 (2000)
- 3) 公開特許公報:特開 2007-182341

筆者紹介



山名和樹

工業製品事業本部 環境事業推進室  
環境部品開発課

〈製品紹介〉

# 高面速VOC濃縮ロータ「ハニクル®HZシリーズ」

工業製品事業本部 環境事業推進室 環境部品開発課

## 1. はじめに

地球規模での大気汚染が問題になっている昨今、VOC (Volatile Organic Compound) の排出規制が2006年の大気汚染防止法の改正で強化され、VOC処理技術に関する関心が高まっています。

VOCとはトルエンやキシレンなどの、『揮発性有機化合物』と呼ばれる化学物質群の略称です。塗料、接着剤、印刷用インク、洗浄剤、各種化学製品など幅広い産業分野で利用される一方、常温で揮発しやすいので容易に大気中へ拡散し、健康への悪影響や、光化学スモッグの発生源になるなど排出管理が必要な物質です。このようなVOC含有排ガスの除去・回収技術としてさまざまな方法が開発、使用されております。特に低濃度・大風量のVOC含有排ガスを処理する場合、燃焼法や回収法で直接処理をすると大掛かりなVOC処理設備となり、イニシャルコストやランニングコストが非常に高くなります。

これらの問題を解決するため、活性炭や疎水性ゼオライトのような吸着材を担持したハニカムロータにより、低濃度・大風量のVOC含有排ガスを、高濃度・小風量のVOC含有排ガスに連続的に濃縮する方法があります。これによりVOC処理設備が小型化し、コスト低減が図れます。

弊社では、従来VOC濃縮ロータ「ハニクル®HZシリーズ」を上市するとともに、VOC濃縮機「ソルベントクリーン®」(図1)を製造、販売しています。

近年、VOC濃縮処理装置の小型化や高い除去



図1 ソルベントクリーン®

性能に対する市場要求が高まっています。VOC濃縮装置本体を小型化するためには、濃縮ロータ自体を小さくする必要がありますが、それによりロータの通過風速が早くなり、除去性能の低下を引き起こします。そこで、従来のVOC濃縮ロータの物性面や構造面を見直し、VOC吸脱着性能の最適化を行うことで、高い通過風速でも除去性能を維持できるVOC濃縮ロータを開発しました。図2に従来ロータと開発ロータの概略を示します。

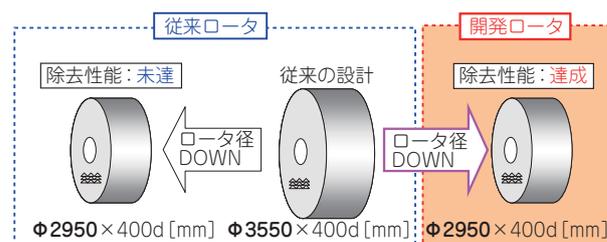


図2 従来ロータと開発ロータの概略図

## 2. 製品概要

### 2.1 VOC 濃縮ロータの構成

VOC 濃縮ロータは、無機繊維ペーパーをコルゲート加工したハニカム構造体に、VOC を選択的に吸着する疎水性ゼオライトを弊社独自の技術により多量に担持することで、高い VOC 吸着性能を発揮します。

### 2.2 VOC 濃縮基本システム

VOC 濃縮処理装置の基本システムを以下に示します (図 3)。

- ①吸着剤を担持したハニカムロータを処理(吸着)ゾーン、再生(脱着)ゾーン、冷却ゾーンに区画した機構の中で回転させます。
- ②大風量の処理空気中に含まれる低濃度 VOC ガスは、処理ゾーンで吸着材に吸着除去され、浄化空気となって排気されます。
- ③ VOC ガスを吸着したロータは、回転して再生ゾーンに移り、小風量の加熱された熱風により、吸着した VOC が脱着し、高濃度に濃縮された VOC ガスとなって、再生ゾーン後段に設けられた VOC 濃縮処理装置に導入されます。
- ④再生ゾーンで熱せられたロータは、冷却ゾーンでロータの冷却と熱回収を行います。熱回収した空気は再生ゾーンの熱風となり、冷却されたロータは、処理ゾーンで再び VOC の吸着除去を行います。

この基本システムにおいて、どれだけ VOC を濃縮するかは、処理空気と再生空気の風量比によって決まります。

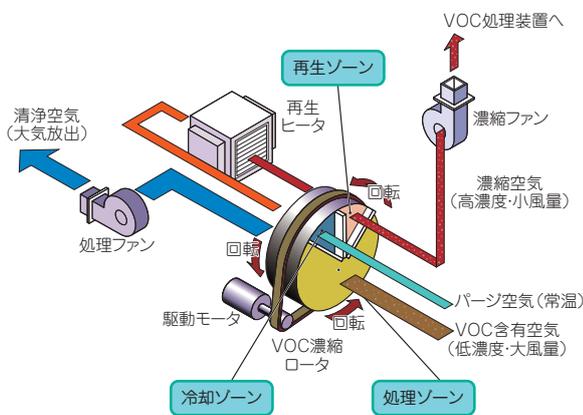


図3 VOC濃縮基本システム

## 3. 開発品の適応用途

弊社は VOC 濃縮ロータを、除去する VOC の種類・用途に応じてロータを選定・設計しています。新たに開発したロータの種類としては3タイプ (HZ-AM, HZ-BM, HZ-XM) があります。HZ-AM は大分子径 (約 6 Å 以上) の VOC 除去用に、HZ-BM は小分子径 (約 6 Å 以下) の VOC 除去用ロータです。また、HZ-XM はさまざまな分子径が混ざった VOC の除去に使用されるロータです。表 1 に各ロータにおける代表的な VOC の適応リストを示します。

表1 代表的な VOC 適応リスト

VOC	ロータ種類			
	HZ-AM	HZ-BM	HZ-XM	
芳香族化合物	トルエン	○	○	○
	キシレン	◎	×	◎
	トリメチルベンゼン	◎	×	◎
	スチレン	×	○	×
ケトン類	アセトン	○	◎	○
	MEK	○	◎	◎
	MIBK	○	◎	◎
	シクロヘキサノン	◎	○	○
エステル類	酢酸エチル	○	◎	◎
	酢酸ブチル	○	◎	◎
	PGMEA	○	◎	◎
アルコール類	メタノール	×	△	×
	エタノール	×	○	△
	IPA	△	◎	○
	ブタノール	○	◎	◎
アルカン類	ヘキサン	○	◎	◎
	シクロヘキサン	×	×	×
ナフサ類	ナフサ	×~◎	×	×~◎
アミン類	NMP	◎	△	○
ハロゲン類	塩化メチレン	×	○	△
	トリクレン	○	◎	◎

※無機化合物を除く ◎: 推奨  
○: 可  
△: 可  
×: 不可

## 4. 開発品の特長

VOC 濃縮ロータの除去性能\*の一例として、HZ-BM ロータの VOC 除去性能を図 4 に示します。また、特長を以下に示します。

- (1) ハニカム構造の最適化により VOC 含有空気との高接触効率（従来比：約 20% 増）を実現し、VOC 除去性能を向上させた。
- (2) VOC 濃縮ロータ密度の最適化により低熱容量化（従来比：約 30% 減）させ、再生効率を向上させた。
- (3) 連続回転式を採用しているため、安定した処理（VOC の濃縮・除去など）が可能。
- (4) VOC 濃縮ロータは無機材料で構成されているので不燃性である。
- (5) 多種の VOC 処理が可能。
- (6) 20 倍以上の濃縮が可能。
- (7) 高面速（3.0m/s 以上）でも安定した除去性能を発揮する。

$$\text{※除去性能} = \frac{\text{処理入口濃度} - \text{処理出口濃度}}{\text{処理入口濃度}} \times 100$$

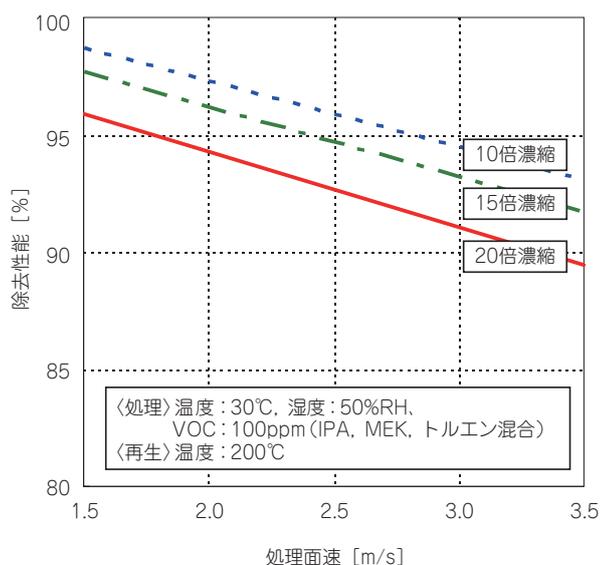


図4 VOC濃縮ロータ（HZ-BM）除去性能の一例

## 5. おわりに

VOC 濃縮ロータの使用により、VOC 含有排ガスを濃縮してコスト低減を図るだけではなく、NMP などの高価な VOC を濃縮回収することで製造コストの削減を図ることも可能です。

今後とも、ユーザー各位のご要望にお応えして、製品の改良、開発に努めていく所存ですので、ご意見ご要望などをお聞かせください。なお、本製品に関するお問い合わせは、工業製品事業本部環境事業推進室（TEL：03 - 3438 - 9725）までお願いいたします。

## 〈技術レポート〉

## 化学プラントの騒音対策

工事技術部 環境対策課

## 1. はじめに

石油精製，石油化学など化学プラントにおける騒音対策は，その方法として化学プラント固有の特殊な方法があるわけではなく，既知の騒音防止技術の組み合わせで行われている。

また騒音対策のための投資は，直接生産性に寄与しないが，公害の防止，労働環境改善の観点からの確かな実態把握の上に立って対策を進める必要がある。

以後に騒音源と，その対策の現状について紹介する。

## 2. 化学プラントの騒音源とその対策

表1に騒音低減のための一般的方法，表2に化

学プラントにおける主な騒音源とそのおよその騒音レベル，周波数特性，通常とられている対策方法を示す。以下個別にその現状を，留意点を含めて説明する。

## 2.1 送風機，圧縮機

形式としてターボ形（遠心型，軸流型），容積形（往復動型，スクリュウ型，ルーツ型など）がある。ターボ形の送風機，圧縮機の流体音については，およその騒音レベルや周波数特性を推定でき，騒音が問題となる場合，サイレンサが機械にできるだけ近いダクト，配管の一部に取り付けられる。容積形の送風機，圧縮機の流体音については，取り扱う流体，圧力，温度，回転数，機械の精度などにより千差万別で，過去の類似使用条件のデータより推定しているの

表1 騒音低減のための一般的方法

方 法	内 容	効 果
1) プラントレイアウト上の配慮	受音点と音源との距離をとる 受音点と音源の間に遮蔽物をおく	騒音源の最大寸法より距離がはなれたところでは距離が倍になると6dB減 25dB程度が限度 実用的には5~10dBが期待値
2) プロセス上の配慮	製造プロセス上代替案がないか検討する	一概にはいえない
3) 低騒音機器の選定	本質的な低騒音機器とサイレンサなどをつけユニットとして騒音を外に出さないようにしたものがある	一概にはいえない
4) 騒音源の指向性の配慮	音源の向きをかえる	音源近傍でおよそ10dB
5) サイレンサの設置	吸音型，共鳴型，膨張型，干渉型の種類がある	任意の減音量の設計は可能であるが，一般的には40dBが限度
6) 騒音源の包囲遮蔽	建屋防音，防音カバー，防音ラギングなどがある	任意の減音量の設計は可能であるが，常識的には40dBが限度
7) 防 振	振動絶縁，制振がある	15dBが限度
8) 特定方向への伝播防止	いわゆる防音塀をたてること	25dB程度が限度 実用的には5~10dBが期待値

表2 化学プラントにおける代表的騒音源と対策

騒音源	およその騒音レベル 機側1mにての dB	主なる 周波数帯域 オクターブバンド Hz	一般的な対策方法		およその 減音量 dB	ニチアスの対応 防音材料
			機械本体	流体音		
圧縮機 遠心型、軸流型 スクリュウ型 往復動型	90~105 ~110 85~100	500~1,000 1,000~4,000 125~ 250	防音建屋 防音カバー 防音ラギング	サイレンサ サイレンサ スナッパ	~30 ~30 ~30	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
送風機 遠心型、軸流型 容積型	~105 ~110	250~1,000 500~2,000	防音建屋 防音カバー 防音ラギング	サイレンサ サイレンサ	~30 ~30	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
ポンプ 遠心型 容積型	~105 ~ 85	250~1,000 250~ 500	防音建屋 防音カバー 防音ラギング	サイレンサ スナッパ, オリフィス	~20 ~20	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
電動機	~105	250~1,000	低騒音モータ, 防音カバー		~20	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
蒸気タービン	~ 90	250~1,000	防音建屋, 防音カバー, 防音ラギング		~30	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
ガスタービン	~115	~8,000	防音建屋, 防音カバー, 防音ラギング	サイレンサ	~35	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
ディーゼルエンジン	95~105	500~2,000	防音建屋, 防音カバー	サイレンサ	~25	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
加熱炉 オイルガス混焼バーナ ガス専焼バーナ	85~105 80~100	125~ 250 1,000~2,000	ウインドボックス	サイレンサ	15~30 10~30	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
空冷式熱交換器	80~100	125~ 500	低騒音ファン	サイレンサ	5~20	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
冷水塔	~ 95	125~1,000	低騒音ファン 消音マット, 防音堀	サイレンサ	5~20	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
エジェクタ	~115	2,000~4,000	防音ラギング	サイレンサ	~30	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
制御弁	~120	1,000~4,000	低騒音弁, 防音カバー, 防音ラギング	サイレンサ オリフィス	~30	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス
蒸気, ガスの大気放出	~130	125~8,000	——	サイレンサ	~40	防音建屋 エコラックス®,メタラミネ®, 防音パネル, ロックウール MG 製品, アルミ繊維吸音材, 吸音ブロック, スーパーフェルトン®III, マリンテックス®クロス

が現状である。往復動型圧縮機では、騒音の原因ともなる脈動を低減するため、スナッパまたはオリフィスが配管の適当な位置に取り付けられるのが通例である。スクリュウ型圧縮機、ルーツ型送風機の場合、ターボ形と同様、問題があればサイレンサが取り付けられる。一般に送風機、圧縮機の流体音は中高周波音であるため、吸音型サイレンサが使用されることが多い。この場合、吸音材の材質について使用温度やプロセスに影響を与えないかチェックする必要がある。

機械本体から出る騒音について、設計圧の低い汎用性のある送風機では、経験式による比較的精度の高い推定が可能となっている。圧縮機の場合、外観形状が多様であること、設計圧によりケーシング肉厚がそれぞれ異なることなどにより、容積形の送風機、圧縮機の流体音と同様、過去の類似使用条件でのデータより推定しているのが現状である。対策の方法としてはその中で保守、点検作業のできる防音建屋、機械本体を小さく囲む防音カバー、機械のケーシングに直接施す防音ラギングがあり、使用条件、立地

条件、必要減音量により適宜採用される。また送風機の場合、ケーシングは平板部分が多く、しかも板厚も薄いため放散される騒音も大きい、対応も比較的容易で防音カバーで15~30dB、防音ラギングで10~20dBの減音が可能である。

一方圧縮機の場合、冷却水配管、ループオイル配管、シールオイル配管など付属機器の小配管類が多数出入りしているため防音カバー、防音ラギングでは大した減音量は得られず、実用的には防音カバーで10dB、防音ラギングで5dB程度が限度である。

危険ガスを扱う送風機、圧縮機にあつては、ガスが洩れ滞留するおそれがあるため、通常防音建屋や防音カバーの採用は避けられている。もし防音の必要上、採用しなければならないときは、ガスは洩れるものだという前提に立ち、強制給気、強制排気設備、ガス検知設備、異常検知設備、消火設備、パニックドア、爆風口設備などを設置する必要がある。過去、機械本体とほぼ同程度の費用がかかったケースもあった。また可燃性ガスを扱わない送風機、圧縮機にあつ

でも、周辺に滞留する重いガスが室内に侵入するおそれがあるため、上記の対策が必要となる。

通常プロセス用の圧縮機本体ではそのプラントの心臓ともいえる機械で、大体工場の中央部に配置し、騒音に対してもそれなりに配慮し設計されているため、問題となることはそう多くなく、むしろその付属機器類に問題が起きることが多いので注意を要する。ユーティリティ用の圧縮機は、プロセスプラントの端の工場敷地境界近くに配置されることが多く、公害の問題となることが多い。問題が起こったときは、防音建屋または防音塀で処理されることが多い。また加熱炉やボイラの誘引排風機の騒音が直接スタックより出て、思わぬところから苦情がくるが多々ある。事前に十分検討し、必要あればサイレンサを設置するか、設置する場所を確保しておく必要がある。

## 2.2 ポンプ

化学プラントでは、原油直接脱硫装置、ボイラプラントなどの高温、高圧系のポンプを除き、通常の運転であれば、ポンプの騒音はほとんど問題とならない。上記のポンプではノズルネックなど断面積の変化するところ、リサイクルライン、フラッシングラインなどにある減圧部で、一種のキャビテーション現象が起こり騒音を発する。減圧部は多段に分けて減圧し、配管は防音ラギングをして対応している。

## 2.3 電動機

駆動機として電動機、蒸気タービン、ガスタービン、ディーゼルエンジンが使われているが、数としては電動機が圧倒的に多い。化学プラントでは全閉外扇型の電動機が主として使用されている。騒音の原因として電磁音と冷却用の外扇の音があるが、外扇音が支配的で、機側1mで100dBを超える電動機も珍しくない。最近では、低騒音型が市販されているので、新設プラントでは許容騒音レベルに合わせ、低騒音シリーズの中から選択購入すればよい。既設のものへの対応としては、防音カバーの設置で、20dB程度の減音は可能である。

## 2.4 蒸気タービン、ガスタービン

蒸気タービンについては、保温の目的でラギン

グされていることも相まって、問題となることは少ない。問題となった場合は防音ラギングまたは防音カバーで対応されている。蒸気タービンの形式のうち、コンデンシングタービンの場合、蒸気の復水器で大きな振動、騒音が出ることもある。復水器のケーシング補強と防音ラギングをすればよい。

化学プラントのガスタービンについては、サイレンサ、防音カバー付きのパッケージとして納入されているためか、あまりトラブルは聞かれない。

## 2.5 ディーゼルエンジン

ディーゼルエンジンは、非常用発電機、冷却水取水用予備ポンプの駆動機として使われていることが多いが、常時動かないため問題になることは少ない。

## 2.6 加熱炉

加熱炉には燃焼用空気がドラフトにより自然に炉内に導かれる自然通風炉と、燃焼空気を送風機により押し込む強制通風炉がある。化学プラントでは自然通風炉が、その燃焼用のバーナとしては重油焚きの場合蒸気噴霧式バーナが、ガス焚きの場合インスピレータ式バーナがよく使われている。自然通風炉ではバーナ周りがオープンであるため、そこから強烈な騒音が出て、化学プラント最大の騒音源となっていた。騒音の原因としては、重油焚きバーナでは重油のアトマイズ音と燃焼音が、ガス焚きバーナでは燃料ガスの噴射音と燃焼用空気の吸込音が挙げられる。現在では重油焚き自然通風炉にはバーナ周りに吸音材内貼のウインドボックス（図1参照）を、ガス焚き自然通風炉にはバーナにサイレンサを取り付けることにより解決している（図2参照）。強制通風炉については送風機の対策を加味すればよい。

## 2.7 空冷式熱交換器

空冷式熱交換器とは、フィンの付いたチューブ群を直径が2~5mのプロペラファンで空気を送り冷却する、いうならば大型のラジエータである。化学プラントでは工業用水節約の目的もあり多用され、多いところでは200基を超える数の空冷式熱交換器が稼働しており、しかも比較



図1 ウインドボックス

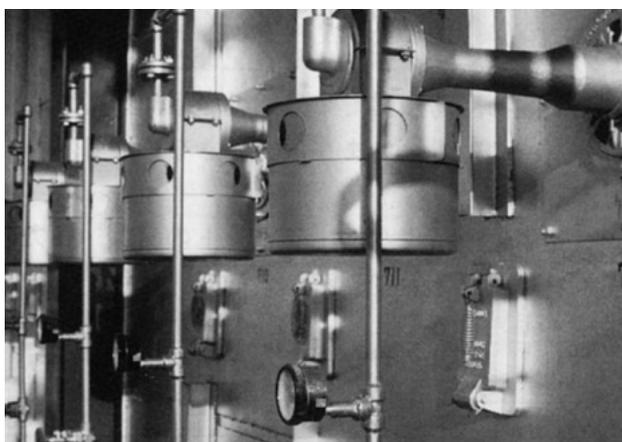


図2 バーナ用サイレンサ

的高いところに設置されることが多いため、騒音公害のもととなるケースが多々ある。音源は軸流プロペラファンであるため、2.1項で述べたようにその騒音の推定は可能である。対策として以前はサイレンサ設置で対応していたが、現在は翼幅を広くし低速で回転する低騒音ファンが広く採用されている。

## 2.8 冷水塔

温かくなった冷却水を再冷却する設備で、化学プラントでは不可欠のものである。騒音源は大型のプロペラファンと水の落下音である。プロペラファンの騒音については前項同様サイレンサと低騒音ファンで、水の落下音については水面に消音マットを浮かべ対応している。また工場敷地境界付近に設置されることもあり、この場合、水滴の飛散防止を兼ね防音塀で対応しているところもある。

## 2.9 エジェクタ

蒸気をノズルからディフューザのノド部に噴流させることにより系内を減圧させる機器で、減圧蒸留装置では大型のものが使われている。ノド部をガスが音速で通過するため、高周波音で大きな騒音を発する。後流に設置されるクーラを含めて配管系全体に重装備の防音ラギングを施している。この際エジェクタおよびその配管と、その支持架台との間は防振材で十分振動を絶縁しておかないと、その効果はあまり期待できなくなる。

## 2.10 制御弁

管路中に抵抗を与え、プラントの流量、圧力、温度を制御する弁で、流体の種類、温度、圧力、弁のポートの形状、弁後流の配管形状などにより、しばしば大きい騒音を発することがあるが、現在この騒音は予測できるレベルにある。抵抗を多段に分けて与える低騒音弁の採用、ポートの変更、配管形状の変更、サイレンサの挿入、配管の防音ラギングの施工など、その状況に合わせ対策がとられている。

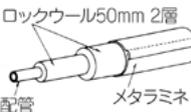
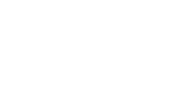
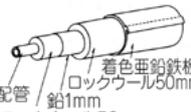
## 2.11 蒸気、ガスの大気放出

化学プラントでは安全確保のため蒸気、ガスの放出は避けられない。予測は可能なので必要に応じサイレンサで対応している。

## 2.12 配管

配管より放散される騒音は、配管系内にある他の騒音源から配管管壁および配管内流体を伝播してくるものと、配管内流体自体の乱れにより発生するものがある。前者については、2.1、2.10項に記載した通りである。後者については、通常の化学プラントの配管設計の配管サイジングの管内流速では異常な騒音は発生しない。しかしプロセス上、ある程度圧力損失を与えてもかまわないライン、例えばベントライン、サージング防止用バイパスラインなどでは注意を要する。対策としては音源対策としてのサイレンサの設置、配管形状の改造のほか、配管表面から放散される騒音低減のための防音ラギングがある。表3に防音ラギングの仕様を挙げる。減音の必要度に応じグレードを使い分ける。常温サービスの配管に防音ラギングを施工する場合、配

表3 配管の防音仕様一覧表

Class	減音量 (オーバーオール)																													
	5dB~15dB					15dB~20dB					20dB~25dB					25dB~30dB					30dB~									
メタラミネ工法																														
重量 (kg/m <sup>2</sup> )						面密度 7.7					面密度 11.7					面密度 14.9					面密度 20.1									
厚み (mm)						51					101					102					129									
周波数 (Hz)						250	500	1k	2k	4k	250	500	1k	2k	4k	250	500	1k	2k	4k	250	500	1k	2k	4k					
減音量 (dB)						11	15	19	22	27	14	18	22	25	29	18	22	26	28	31	20	25	30	31	33					
鉛工法																														
重量 (kg/m <sup>2</sup> )						面密度 7.1					面密度 12.8					面密度 22.5					面密度 28.2					面密度 40.8				
厚み (mm)						50					51					101					102					121				
周波数 (Hz)						250	500	1k	2k	4k	250	500	1k	2k	4k	250	500	1k	2k	4k	250	500	1k	2k	4k	250	500	1k	2k	4k
減音量 (dB)						7	13	17	19	21	10	16	20	22	24	13	20	24	26	27	14	23	26	28	29	18	26	30	31	32

管表面からの腐食のおそれがあるためラギング  
 施工前配管に防錆処理する必要がある。また可  
 燃流体サービスの配管については、フランジ部  
 から流体が洩れる可能性があり、この部分のラ  
 ギング施工は避けるか、または取り外せる構造  
 としなければならない。

### 3. シミュレーション

最近の国内外の化学プラント建設プロジェクト  
 には、プラントレイアウトの検討、購入機器  
 の騒音制限値決定、対策方案策定など、プラン  
 トエンジニアリングの資料としてのみならず、

プラント完成後問題が起こった時の検討の資料  
 として活用される。シミュレーションの結果と  
 してはプラント全体として音の広がりを見る予  
 想騒音等音線図、特定地点に到達する個別音源  
 の騒音レベルリストなどがある。図3にその一例  
 を挙げる。

このシミュレーションは、既設のプラントの  
 騒音対策を実施するときも、実測値をベースに  
 行うことにより、将来の姿が把握でき非常に有  
 用である。

### 4. おわりに

騒音対策の成否は、防音技術の良否もさること  
 ながら他の分野の要因により決まることが多い。  
 また計画が最も重要で、計画の良否が結果の成  
 否の90%を支配するといっても過言ではない。そ  
 のためにはプラントオーナ、エンジニアリング  
 会社、機器メーカ、材料メーカ、施工会社が一  
 体となって作業を進める必要がある。

より快適な、より安全なプラント作りにお手  
 伝いできれば幸いである。

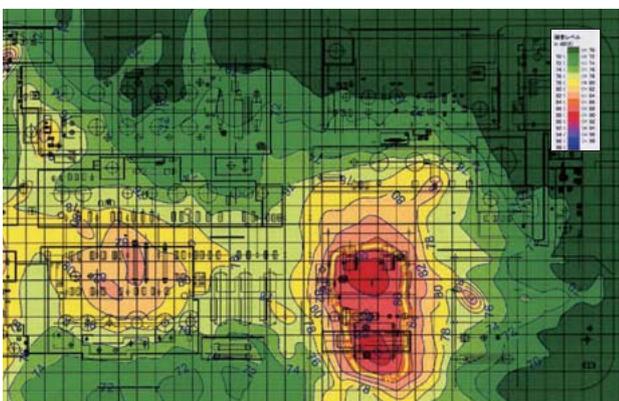


図3 騒音等音線図の一例

〈技術レポート〉

# 電気二重層キャパシタ用電極シート

高機能製品事業本部 樹脂技術開発部 樹脂製品開発課 深江 康治

## 1. はじめに

電気二重層キャパシタ（以後「キャパシタ」と記す）は、活性炭と電解液を接触させた時に発生する電気二重層を利用したコンデンサーの一種である。

キャパシタはリチウムイオン電池などの化学反応をとまなう二次電池に比べると電気容量は小さいので、主電源としての利用は難しいが、急速な充放電が可能であり、繰り返し使用による性能低下が非常に少ない特徴がある。

そのため、電子機器のメモリーバックアップや落雷などによる瞬時電圧低下の補償装置といった用途に加え、近年では風力発電の補助電源や自動車の減速エネルギー回生といった分野への応用が進んでいる。

キャパシタは静電容量や内部抵抗といった物性で評価され、用途に応じて要求される性能は異なっているが、キャパシタの性能は電極に使用される炭素材料と大きな相関があり、活性炭やカーボンブラックの選定が大きな意味を持つ。そこで本稿では、電極に使用される炭素材料とキャパシタの性能との関係を紹介する。

## 2. キャパシタの原理

キャパシタの充放電原理は図1のようなモデルで説明される。キャパシタに電圧を加えると、電極にたまる電荷に応じてイオンが移動・吸着して充電される。逆に、キャパシタの電圧を下げると、イオンは電極から離れて放電される。

このように、キャパシタはイオンの移動という物理現象により充放電するので、化学反応による遅延や劣化が無く、急速充放電と長寿命という特長を持っている。一方、一般的な二次電池の場合、充放電時に化学反応がともなうため、充電時間が長く性能低下しやすい。

## 3. キャパシタの材質

キャパシタは図1で示したように、集電体、電極、セパレータ、電解液といった部材で構成されている。集電体はアルミ箔、セパレータは紙や多孔質樹脂、電解液にはアンモニウム塩などを溶かした有機溶媒が用いられ、電極には活性炭とカーボンブラックをバインダ（樹脂やゴム）で固めたシートが用いられている。

キャパシタ電極の材料構成比は「活性炭：カーボンブラック：バインダ = 8：1：1」が一般的に知られており、活性炭が大部分を占めている。

活性炭は出発原料や賦活（多孔化）の違いに

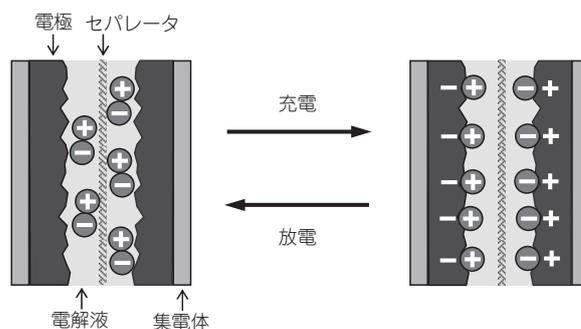


図1 キャパシタの充放電原理

より数多くの種類が存在するが、ヤシ殻系の水蒸気賦活性炭やコークス系のアルカリ賦活性炭がキャパシタ電極用として販売されている。なお、キャパシタは金属不純物を嫌うので、キャパシタ用活性炭は酸による表面洗浄が実施されている。

活性炭とカーボンブラックを固めるためのバインダとしては、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) やポリビニリデンフルオライド (PVDF)、スチレンブタジエンゴム (SBR) などが知られている。

これらのバインダのうちPTFEは耐薬品性・純粋性に優れており、強度・柔軟性の高いシート状電極が成形可能であることから、当社ではPTFEを用いた活性炭電極シートの製造方法を開発した。

#### 4. 活性炭電極シートの製法

活性炭電極シートは、混合、押出、圧延といった工程により成形される。バインダのPTFEは、せん断力を加えると繊維化する性質を持っており、このPTFE繊維が活性炭とカーボンブラックをからめ取ることで形状を保持し、強度・柔軟性といった電極シートに求められる物性を発現している。

しかしながら、PTFEの繊維化には限界があり、繊維化が進みすぎると材料との絡み合いを作ることが難しくなり、活性炭電極シートに穴や割れといった外観不具合が発生する。

一方、PTFEが繊維化せずに固まったまま残る場合、炭素材料同士の導通を妨げるばかりでなく、電解液の流動も妨げるので、キャパシタの内部抵抗を悪化させる原因となる。

そのため、PTFEは最終的に繊維化していることが望ましいが、製造工程の途中で繊維化が進みすぎると外観不良の原因となるので、工程毎にどの程度繊維化させるかのバランスが非常に重要である。また、ごく一部に過度なせん断が加わっても外観不良となるので、製造装置には過度なせん断を与えないような装置設計と条件設定が必要である。以上のようにPTFEは取り扱いが難しいバインダである。

当社では、混合・押出・圧延条件を検討し、

100m以上連続した活性炭電極シートを成形することに成功した。

図2には活性炭電極シートの製品ロールの写真を、図3には活性炭電極シート表面のSEM写真を示す。

#### 5. 活性炭電極シートの評価方法

活性炭電極シートの性能は、図4のようなキャパシタのラミネートセルを作製して、静電容量や内部抵抗といった電気特性を測定することで評価している。

電解液には有機系（プロピレンカーボネート溶液）を使用しているが、電解質は水分により分解しやすい性質がある。そのため水分の影響を極力受けないように、図5の低湿度に保ったグローブボックス内でラミネートセルを組み立てた。

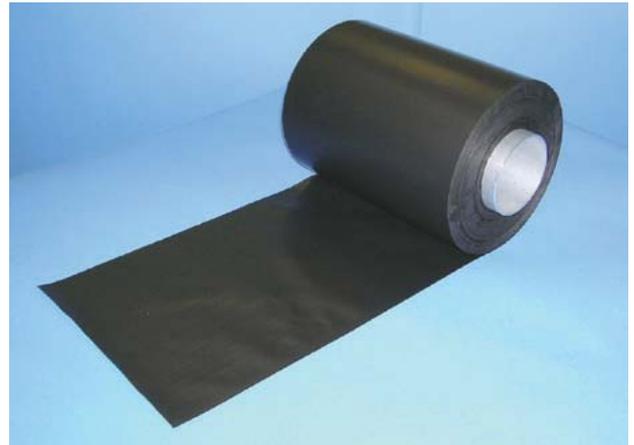


図2 活性炭電極シート製品

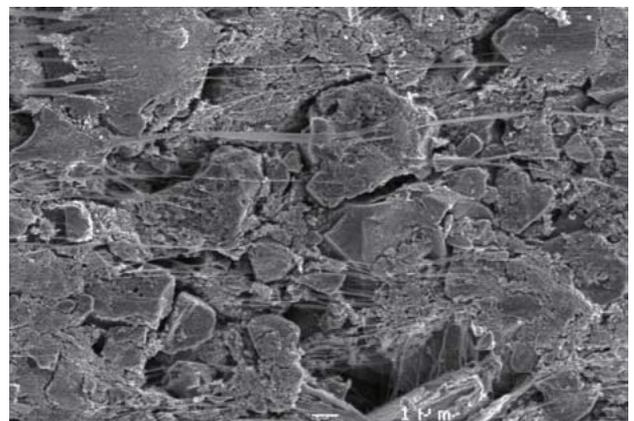


図3 活性炭電極シート表面



図4 ラミネートセル

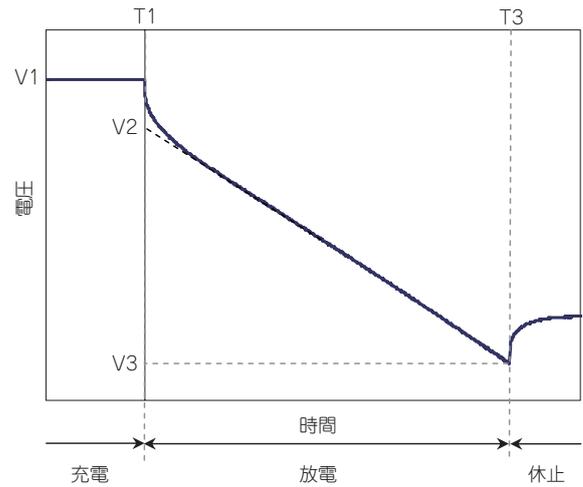


図6 充放電波形



図5 グローブボックス

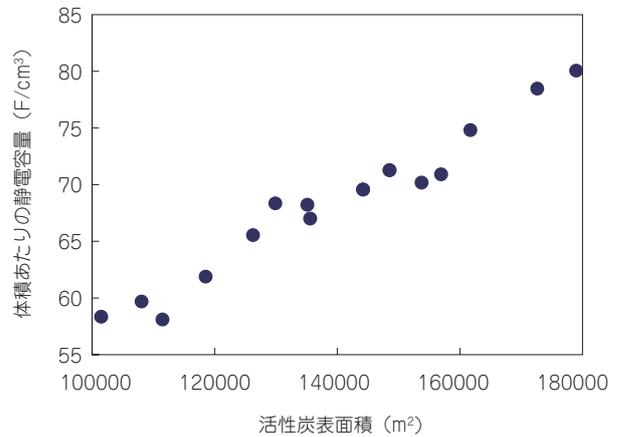


図7 静電容量と活性炭表面積

作成したラミネートセルの電極に電圧 (V) を加えて充電した後、一定電流 (I) で放電した場合の電圧低下の波形 (図6) を記録し、以下の式から、静電容量と内部抵抗を算出した。

$$\text{静電容量 } C = \frac{I \times (T3 - T1)}{V2 - V3}$$

$$\text{体積あたりの静電容量 } C_v = \frac{2 \times C}{Vol}$$

Vol: 電極シート体積

$$\text{内部抵抗 } R = \frac{V1 - V2}{I \times S}$$

S: 電極シート面積

## 6. 活性炭電極シートの評価結果

### 6.1 静電容量

比表面積の異なる2種類の活性炭の混合比を調

製し、比表面積と静電容量との関係を測定した結果を図7に示す。電極シートに配合されている活性炭の表面積の合計と、キャパシタの静電容量には比例関係が成り立っている。そのため、活性炭の配合比を変えることで、必要とされる静電容量を得ることができる。

### 6.2 内部抵抗

カーボンブラックの配合比を変化させた場合、内部抵抗がどのように変化するかを測定した結果を図8に示す。カーボンブラック配合比と内部抵抗は反比例関係が成り立っている。そのため、内部抵抗を下げるにはカーボンブラックの配合を増やすのが有効である。ただし、カーボン

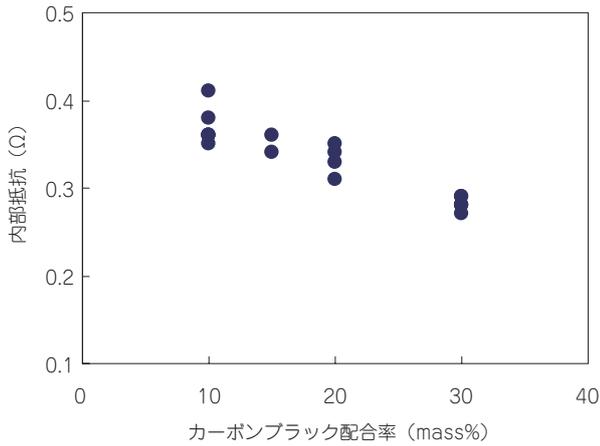


図8 内部抵抗とカーボンブラック配合率

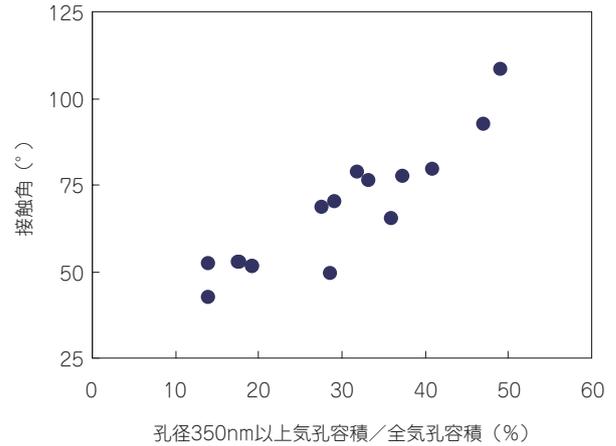


図9 細孔径と接触角度

ラックは活性炭に比べ耐久性が劣るので、配合を増やしすぎるのには注意が必要である。

### 6.3 電解液とのぬれ性

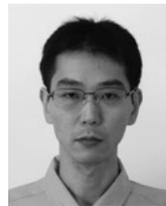
キャパシタは活性炭に電解液が接触することで充放電が可能となるため活性炭電極シートに電解液が浸透しないと、十分機能を発揮できない。したがって、電解液にぬれやすく浸透しやすい電極シートが望まれる。図9に電極シート細孔の大きさと電解液との接触角の関係を示す。小さい細孔が多い電極シートは電解液との接触角も小さく、電解液は浸透しやすくなる。

## 7. おわりに

キャパシタの性能は活性炭電極シートと大き

な関係があり、当社では電極シートの配合を制御することで、さまざまな用途の要求性能に答えることが可能となった。活性炭やカーボンブラックといった粉体のシート化技術は、その他の機能性粒子のシート化にも応用可能であり、ご意見・ご要望をお聞かせ頂ければ幸いです。

### 筆者紹介



#### 深江 康治

高機能製品事業本部

樹脂技術開発部 樹脂製品開発課

## 〈技術レポート〉

# 高温加熱時の発生ガス分析

研究開発本部 分析解析室 材料解析課 廣瀬 亜矢子

## 1. はじめに

製品や材料を加熱した際に発生するガスには、臭気や有害性など人体に影響を与えるものや、使用環境で腐食他の不具合原因となり得るものなど、さまざまな成分が含まれている。発生ガスを詳細に分析することは、このような問題の原因解明や製品の安全性を評価するうえで極めて重要である。また、法規制の現状について目を向けると、管理濃度の改正により対象物質として新たにホルムアルデヒドが設定されるなど、健康障害のリスクを減らすための整備が進んでいる。このような側面からも、発生ガスの低減が求められている。

工業製品は、断熱材に代表されるように高温で使用されることも多く、その安全性を評価するためには使用時の温度・雰囲気における分析が要求される。しかしながら、高温加熱時に発生するガスの分析に適した装置はなく、各分析機関にて設備を自作し分析しているのが現状である。

本稿では、高温加熱時の分析について、有機成分およびアルデヒドの分析方法と分析例を中心に紹介する。

## 2. 加熱発生ガス分析の概要

製品および材料から発生したさまざまな成分に対し、分析目的や対象に応じて、適切な捕集・濃縮方法および測定方法を選択することがポイントとなる。

有機成分については、測定方法として、まずは種々化合物の定性および定量が可能なGC/MS（ガスクロマトグラフ質量分析法）が挙げられる。捕集・濃縮方法としては、P&T（パーミアンドトラップ）法やヘッドスペース法などがある。P&T法は感度が高く、広範囲な成分分析が可能なため、よく用いられる。材料からの加熱発生ガス分析に対しては、これら技術を複合したP&T-GC/MSにて試料を直接分析することが有効である。しかしながら、市販されているP&T装置では現在のところ400℃が加熱温度の上限となっており、400℃以上の高温での評価には専用設備を自作する必要がある。専用設備でのガスの捕集・濃縮方法としては、固体捕集法やバッグ捕集法、液体捕集法などがあるが、その濃縮効率から微量ガス分析には固体捕集法が用いられる。

有機成分のうち、アルデヒドについては、その有害性や臭気の点からより正確な分析が求められるものの、特に低級アルデヒドは揮発性が高く不安定な成分であり、GC/MSでの測定は困難である。そのため、アルデヒドは、誘導体化試薬を含浸した捕集剤を用い、その抽出液をHPLC（高速液体クロマトグラフィー）にて測定する。

無機成分については、ハロゲンイオンやNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、アンモニアなどが対象となり、発生ガスを酸またはアルカリ吸収液に捕集した後、イオンクロマトグラフィーにて測定する。必要に応じ、燃焼イオンクロマトグラフィーにてオンライン分析することもある。

図1に加熱発生ガス分析の概略を示す。加熱温度や雰囲気は、発生ガスの種類や量に大きく影響する。当社では自作の専用設備により、室温から600℃までの加熱処理を行っている。また、加熱雰囲気は空気や不活性ガス（窒素、ヘリウムなど）を任意に選択することができる。この設備を活用して、製品の使用時の状況に近い条件を設定し、評価している。

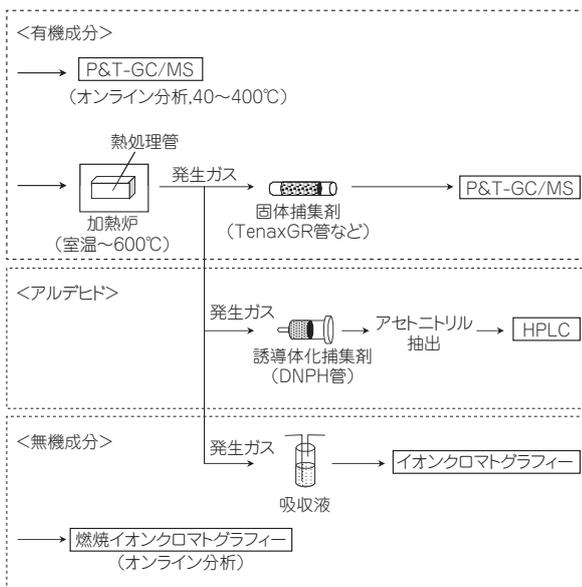


図1 加熱発生ガス分析の概略

### 3. 高温加熱時の発生ガス分析方法

本章では、当社で実施している有機成分およびアルデヒドの分析方法について述べる。

#### 3.1 有機成分（固体捕集 P&T-GC/MS）

試料を熱処理管に入れ、清浄な雰囲気ガスにて置換する。雰囲気ガスを通気しながら、熱処理管を一定温度に設定された加熱炉へセットし、発生ガスをTenaxGR管などの固体捕集剤へ捕集する。特に高温加熱時には、低沸点成分の捕集効率を上げるため、固体捕集剤を冷却することが必要となる。捕集したガス成分はP&T-GC/MSにて加熱脱着し、測定する。一般的な有機成分の分析条件を下記に示す。分析目的や対象によっては、GCカラムやカラム温度を変更することもある。

〈試料加熱部〉

- ・加熱温度：最高600℃
- ・雰囲気：空気、不活性ガス（窒素など）

〈P&T-GC/MS部〉

- ・測定装置：日本分析工業製JHS-100A (P&T) 日本電子製HP-6890/Automass SUN (GC/MS)
- ・脱着温度：250℃
- ・GCカラム：Ultra Alloy-1 (0.25mm × 30m)
- ・カラム温度：40℃ (5min) → 300℃ (10min), 10℃/min

#### 3.2 アルデヒド（誘導体化捕集 HPLC）

試料の加熱処理までは前項と同様の手順である。ただし、捕集と同時に誘導体化されるDNPH (2,4-ジニトロフェニルヒドラジン) 管を捕集剤として用いる。DNPHによる誘導体化反応を図2に示す。発生ガスをDNPH管に捕集し、これをアセトニトリルにて抽出・定容する。アルデヒド誘導体の抽出液をHPLCにて測定する。

アルデヒド誘導体のHPLCクロマトグラムを図3に示す。各アルデヒドについて、定性・定量が可能である。

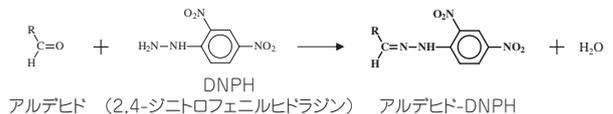
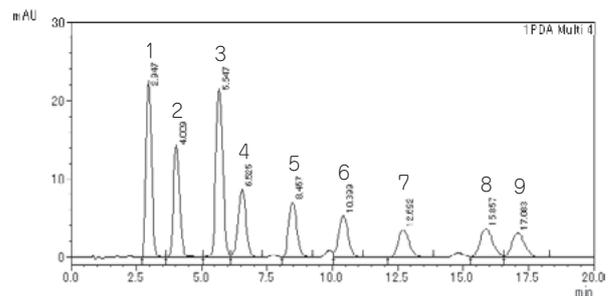


図2 アルデヒドの誘導体化反応



- 1: ホルムアルデヒド-DNPH
- 2: アセトアルデヒド-DNPH
- 3: アクロレイン-DNPH, アセトン-DNPH
- 4: プロピオンアルデヒド-DNPH
- 5: クロトンアルデヒド-DNPH
- 6: フチルアルデヒド-DNPH
- 7: ベンズアルデヒド-DNPH
- 8: イソ吉草酸アルデヒド-DNPH
- 9: 吉草酸アルデヒド-DNPH

図3 アルデヒド誘導体のHPLCクロマトグラム

〈HPLC部〉

- ・測定装置：島津製作所製Prominence
- ・カラム：Sunfire C18 (2) 3.5 $\mu$ m, 2.1 $\phi$  × 150mm
- ・カラム温度：40℃
- ・移動相：アセトニトリル/超純水 = 50/50
- ・流量：0.5ml/min
- ・検出：MC-PDA 360nm

4. 段階加熱による分析

断熱材などの工業製品は、実際の使用状況では、比較的ゆるやかに昇温され、最終使用温度に到達する場合も多い。前述のとおり、通常の加熱発生ガス分析は、試料を一定温度で加熱する方法をとる。しかし、発生ガスは温度の影響を大きく受けるため、実際の使用に即した条件で分析することが重要である。当社の専用設備は、昇温速度や保持時間などの温度プログラム設定が可能である。目的に応じて、評価温度まで昇温させながら温度区分ごとに分析することも行っている。段階加熱により発生温度域が把握できるため、発生挙動や機構についての知見が得られる。以下に、段階加熱の分析例について紹介する。

4.1 加熱条件

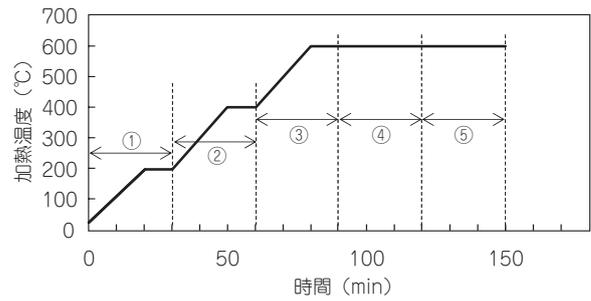
段階加熱条件を図4に示す。室温から600℃まで200℃ごとに区分し、それぞれの温度区分の発生ガスを捕集した。600℃に達した後は発生量の減衰を確認するため一定時間保持した。温度区分ごとの結果を得るため、TenaxGR管およびDNPH管は単位時間ごとに取り換えた。有機成分およびアルデヒドの分析は、3.1項および3.2項の手順で行った。

4.2 分析例

4.2.1 ポリエチレンテープの分析

ポリエチレンは汎用高分子として挙げられ、その製品のひとつであるポリエチレンテープは、工業製品の構成部材に多用されている。ポリエチレンテープを空気気流中にて600℃まで段階加熱し分析した。

有機成分の分析結果を図5に示す。温度区分により検出成分・量に顕著な違いがみられた。主な



加熱条件
①室温～200℃×20min+200℃×10min保持
②200～400℃×20min+400℃×10min保持
③400～600℃×20min+600℃×10min保持
④600℃×30min保持
⑤600℃×30min保持

図4 段階加熱条件

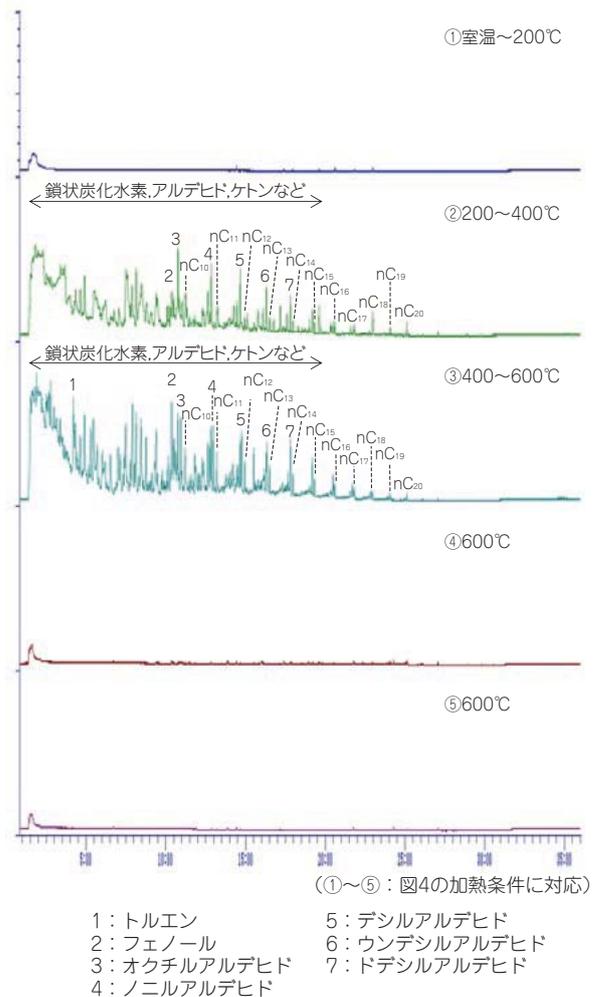
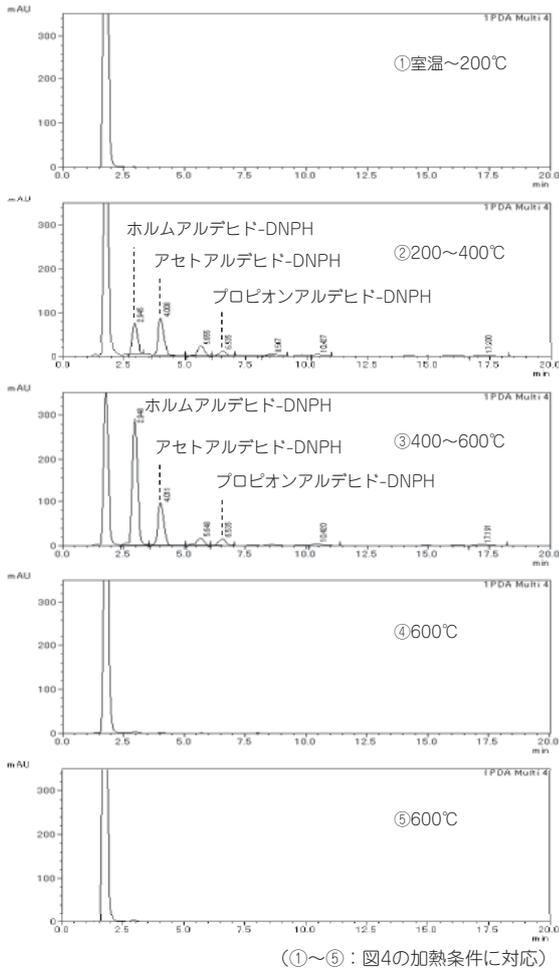


図5 ポリエチレンテープの加熱発生ガス分析～有機成分～

発生温度区分は200~600℃であり、脂肪族アルデヒドおよび鎖状炭化水素が主成分として検出された。また、600℃保持以降は非検出であった。

アルデヒドの分析結果を図6に示す。主な発生温度区分は有機成分と同じく200~600℃であり、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドが多く検出された。



(①~⑤：図4の加熱条件に対応)

図6 ポリエチレンテープの加熱発生ガス分析～アルデヒド～

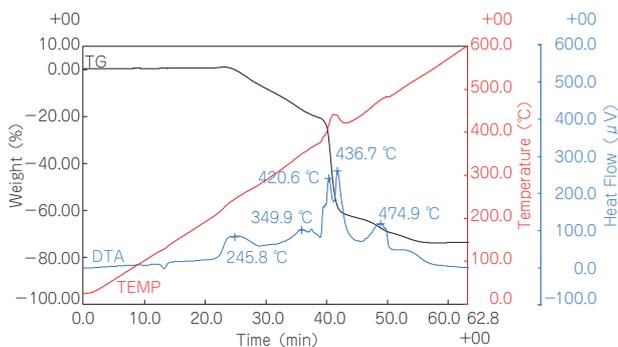


図7 ポリエチレンテープのTG-DTA曲線 (空气中)

参考データとして、空気中のTG-DTA (熱重量-示差熱分析) 曲線を図7に示す。主な減量温度域は200~600℃であり、ガス分析結果を支持している。

これらの結果より、400℃付近でポリエチレン主鎖の分解・酸化が起こり、ポリエチレンテープからアルデヒドおよび鎖状炭化水素が多量に発生することが分かった。

#### 4.2.2 粉体シリカの分析

粉体シリカは、その特性から、さまざまな分野で用いられる。粉体シリカには、親水性シリカと疎水性シリカがある。疎水性シリカは、親水性シリカを化学的に処理することによって製造され、その表面はメチル基などの疎水性官能基で覆われている。したがって、加熱時に有害成分や臭気が発生することが懸念される。親水性シリカおよび疎水性シリカについて、段階加熱し分析した。ここでは、興味深い結果が得られたアルデヒド分析の結果についてのみ紹介する。

親水性シリカと疎水性シリカの空気中段階加熱による分析結果を図8, 9に示す。親水性シリカはいずれのアルデヒドも非検出であったのに対し、疎水性シリカはホルムアルデヒドの発生量が顕著に多いことが明らかとなった。疎水性シリカのアルデヒド発生挙動を次にまとめる。

- ・発生成分は、ホルムアルデヒド主体であり、本条件における試料重量当りの総発生量は1%であった。
- ・発生温度区分は400~600℃であり、一般的な有機物質の分解領域より高温である。
- ・600℃加熱以降もホルムアルデヒドが発生し続けている。

疎水性シリカは、400℃以上の高温加熱時に多量のホルムアルデヒドを発生することが分かった。親水性シリカと疎水性シリカの相違点は、表面官能基である。多量に検出されたホルムアルデヒドは、表面官能基の脱離・酸化により生成するものと推定される。疎水性シリカを含む製品を高温で使用する際は、十分に換気を行うなど注意を払う必要がある。

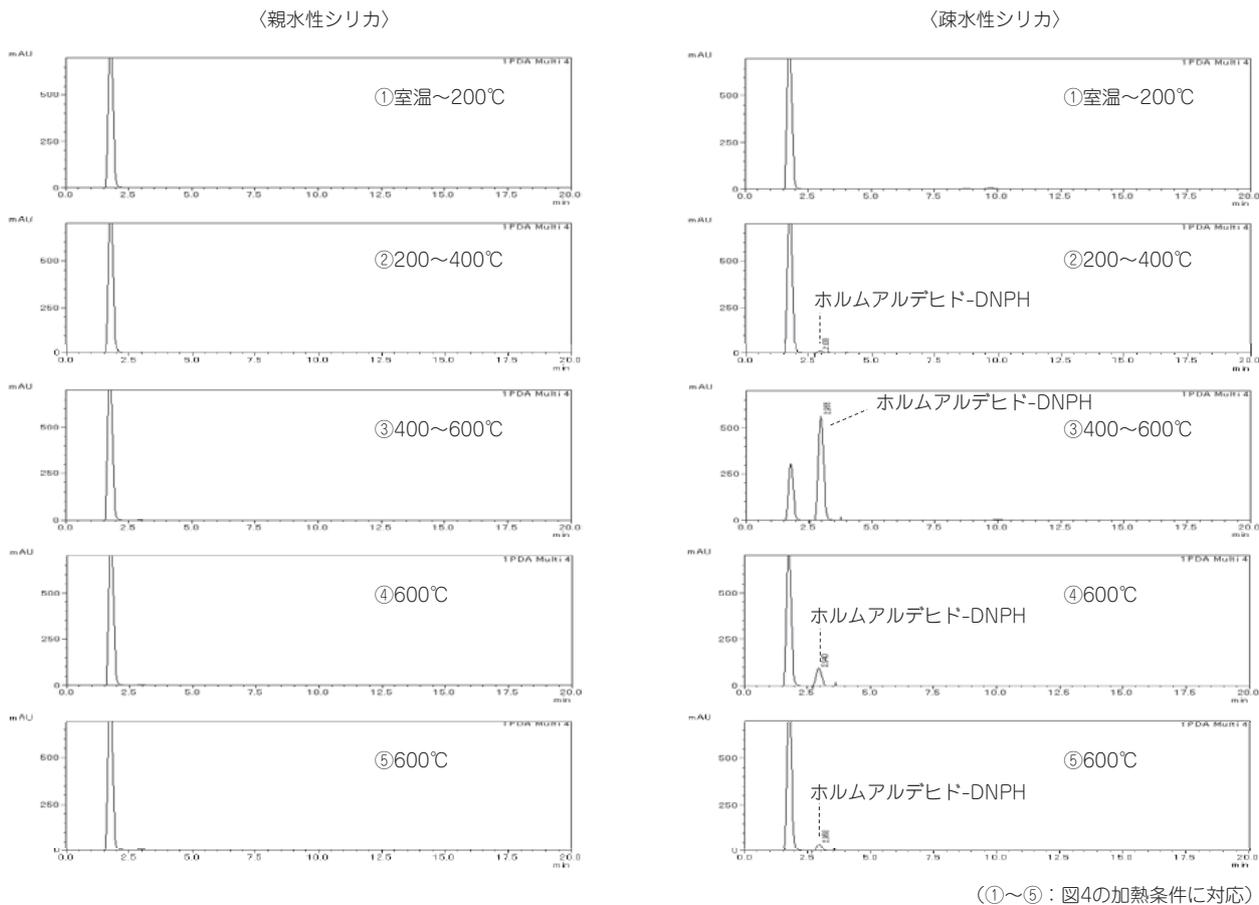


図8 親水性シリカおよび疎水性シリカの加熱発生ガス分析～アルデヒド～

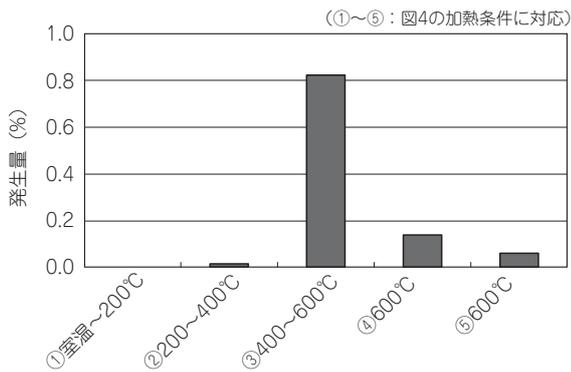


図9 疎水性シリカのホルムアルデヒド定量結果

## 5. おわりに

加熱発生ガス分析について、高温加熱時の分析内容を中心に、実例を交えて紹介した。製品の安全性を評価するには、実際の使用に即した条件での分析が有用と考えられる。今後、応用範囲を拡大するとともに、総合的な分析技術をさらに向上させ、各位にご満足いただける分析結果を提供していく所存である。

## 筆者紹介



廣瀬亜矢子

研究開発本部 分析解析室 材料解析課

---

**「ニチアス技術時報」《2012 年度目次総録》**  
**(2012/1 号 通巻 No. 357・2012/2 号 通巻 No.358)**

2012/1 1 号 通巻 No. 357

- 〈巻頭言〉 新年雑感 …ニチアス株式会社 執行役員 研究開発本部長 ニチアス技術時報編集委員長 米澤昭一 … (1)
- 〈技術レポート〉 マイクロ波試料分解法によるケイ酸塩試料中のケイ素およびホウ素の定量分析  
…………… 研究開発本部 分析解析室 微量分析課 矢嶋一仁 … (2)
- 自動車部品の評価技術 (シール性) – 評価装置と設計技術の紹介 –  
… 自動車部品事業本部 技術開発部 シール材設計課 (自動車部品テクニカルセンター駐在) 新井正史 … (7)
- 〈新製品紹介〉 自動車, 二輪車用ガスケット T/#1608-MV 「メタフォーム® (MV シリーズ)」  
…………… 自動車部品事業本部 技術開発部 … (12)
- 触媒担体用保持材 T/#5350-MU 「エコフレックス™200M-ULB」  
…………… 自動車部品事業本部 技術開発部 … (14)
- 耐熱性パーフロロエラストマー T/#2670-B 「ゴム O リング プレイザーネクスト®」  
…………… 高機能製品事業本部 樹脂技術開発部 … (17)
- 〈2011 年度目次総録〉 …………… (21)

2012/9 2 号 通巻 No. 358

- 〈巻頭言〉 省エネルギー特集号発刊にあたって …………… 工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部 部長 中山正章 … (1)
- 〈特別企画〉 ニチアスの断熱材の熱伝導率と温度の関係 …………… (2)
- 〈技術レポート〉 断熱材の熱伝導率解析に関する研究  
…………… 浜松研究所 研究開発部門 大村高弘 … (4)
- 〈新製品紹介〉 住宅用ロックウール断熱材 「ホームマット®NEO」  
…………… 建材事業本部 技術開発部 … (11)
- 高性能超低熱伝導断熱材 TOMBO No.4350 「ロスリム® ボード H/GH」  
…………… 工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部 省エネ開発課 … (14)
- 〈工法紹介〉 保温機能を回復させ, 省エネに貢献する 「e-AIM®工法」  
…………… 工事業本部 エアロジェル事業推進チーム … (17)
- 〈製品紹介〉 着脱自在なフレキシブル保温材 TOMBO No.4500 「エネサーモ®」  
…………… 工業製品事業本部 省エネ製品技術開発部 … (22)
- 〈2012 年度目次総録〉 …………… (25)

次号 2013/1 号 通巻 No. 360 (2013 年 1 月発行予定) は建材特集号です。

# ニチアス株式会社

<http://www.nichias.co.jp/>

お問合せは最寄りの営業拠点までお願いします。

## 【東日本地区】

札幌支店	TEL (011) 261-3506
苫小牧営業所	TEL (0144) 38-7550
仙台支店	TEL (022) 374-7141
福島営業所	TEL (0246) 38-6173
日立営業所	TEL (0294) 22-4321
鹿島支店	TEL (0479) 46-1313
前橋営業所	TEL (027) 224-3809
大宮営業所	TEL (048) 658-2112
千葉支店	TEL (0436) 21-6341
東京支社	TEL (03) 3438-9711
横浜支店	TEL (045) 508-2531
山梨営業所	TEL (055) 260-6780
新潟営業所	TEL (025) 247-7710

## 【中部地区】

富山営業所	TEL (076) 424-2688
若狭支店	TEL (0770) 24-2474
静岡支店	TEL (054) 283-7321
浜松営業所	TEL (053) 450-2200
名古屋支社	TEL (052) 611-9200
豊田支店	TEL (0565) 28-0519
四日市支店	TEL (059) 347-6230

## 【西日本地区】

京滋支店	TEL (0749) 26-0618
大阪支社	TEL (06) 6252-1371
堺営業所	TEL (072) 225-5801
姫路支店	TEL (0792) 89-3241
岡山支店	TEL (086) 424-8011
広島支店	TEL (082) 506-2202
宇部営業所	TEL (0836) 21-0111
徳山支店	TEL (0834) 31-4411
四国営業所	TEL (0897) 34-6111
北九州支店	TEL (093) 621-8820
九州支社	TEL (092) 739-3639
長崎支店	TEL (095) 801-8722
大分営業所	TEL (097) 551-0237
熊本支店	TEL (096) 292-4035
鹿児島営業所	TEL (099) 257-8769

## 本 社 〒105-8555 東京都港区芝大門1-1-26

・工業製品事業本部	TEL (03) 3433-7200
海外営業部	TEL (03) 3433-7261
・高機能製品事業本部	TEL (03) 3433-7204

## 〒105-0011 東京都港区芝公園1-3-1

・自動車部品事業本部	TEL (03) 3433-7240
海外営業課	TEL (03) 3433-7247

## 〒105-0012 東京都港区芝大門1-10-11

・建材事業本部	TEL (03) 3433-7256
設計開発課	TEL (03) 3433-7207
・工事事業本部	TEL (03) 3433-7201
プラント営業部	TEL (03) 3433-7825

## 研 究 所

・浜松 ・鶴見

## 工 場

・鶴見 ・王寺 ・羽島 ・袋井 ・結城

## 海外拠点

・インドネシア ・マレーシア ・シンガポール ・ベトナム  
・タイ ・中国 ・インド ・カタール ・チェコ ・メキシコ