

名工研・技術情報

Vol.16
(No.851)

技術紹介特集（月刊名工研 2022 年 9 月～2023 年 2 月号編集版）

Vol.15 に引き続き 5 つの分野の技術をご紹介します

※Vol.15 では、①物性評価、②不良・破損解析、③熱設計と電磁・光、④材料特性・構造の4分野を掲載しています

目次

特集 1 AI・IoT (P1～P2)

- ・MQTT を用いた熱画像 IoT システムの構築
- ・協働ロボットシステムについて
- ・変分オートエンコーダーによる異常検知の改善

特集 2 材料開発 (P3～P4)

- ・破断を加熱により修復できる高分子材料の開発
- ・無機材料の開発評価 ～可視光型光触媒を例に～
- ・超分子ポリマー

特集 3 3D 計測 (P4～P5)

- ・非接触三次元デジタイザ
- ・三次元表面形状測定機
- ・レーザー顕微鏡による3D 測定

特集 4 品質評価 (P6～P7)

- ・複合環境試験による信頼性評価(温湿度・振動)
- ・接着不良や塗装、めっきの剥がれの原因調査
- ・めっき・塗膜の耐食性評価

特集 5 成分分析 (P7～P8)

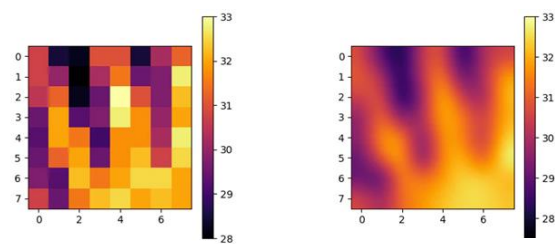
- ・金属加工用薬剤中の界面活性剤の定量分析
- ・分析方法による成分分析結果の違い
- ・依頼試験(製品の変色トラブル)

特集 1 AI・IoT

MQTT を用いた熱画像 IoT システムの構築

近年は IoT を活用した新たなサービスや価値の創造が活発に行われています。当所でも IoT システムの構築支援を行っており、構築した事例を紹介します。IoT では様々なセンサが用いられますが、本稿では AMG8833 というパナソニック製の熱画像センサを用いました。本センサは 8×8 ピクセルの赤外線アレイセンサです。I2C 通信によってデータ取得、可視化した例を図 1 に示します。図 1(a)はデータをそのまま画像化、図 1(b)はバイキュービック補間法を用いて平滑化しました。

センサから得られたデータはネットワークを介し



(a) データ未処理

(b) バイキュービック補間

図 1 熱画像センサによる手の撮影例

て蓄積、活用されます。ネットワーク通信は様々なプロトコルが用いられますが、MQTT というプロトコルはシンプル、軽量、省電力といった特徴から IoT への活用が盛んです。MQTT はブローカーと呼ばれるサーバを介し、パブリッシャー(送信側)とサブスクライバー(受信側)が非同期で多対多の通信をします。図 2 に今回構築した IoT システムの全体像を示します。これにより IoT による「見える化」環境を構築することができました。

当所では簡便かつ安価な IoT の構築支援が可能です。興味のある方はお問い合わせください。

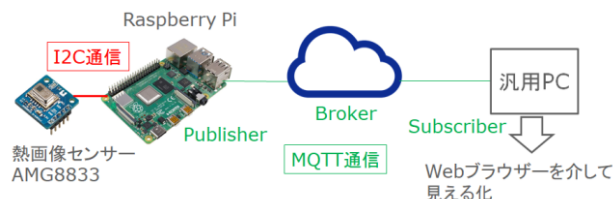


図 2 IoT システム全体像

(計測技術研究室 間瀬 剛)

TEL(052)654-9946

協働ロボットシステムについて

産業用ロボットは、正確な位置決めと高速動作を特徴としており、単位時間あたりの仕事量と導入コストにより費用対効果が決まります。しかし、「三品産業」と称される食品、医療品、化粧品産業では、導入課題もあります。例えば、形が一定でなくつかみにくい対象物を扱う、組み立て・検査・仕分けのような複雑な連続動作が必要とされる場合などです。こういった課題の解決には、カメラをはじめとするセンサの活用とその情報処理、適切なハンドの開発などより高度な技術が必要です。

協働ロボットは、人の近くで高度な作業を行うもので、上記のような三品産業にも応用されるようになってきました。協働ロボットは、人と接触すると自動停止する安全装置が設けられており、出力の小さい場合は、安全柵が不要です。当所では、協働ロボットを用いた技術支援のためデンソーウェーブ製の「COBOTTA」(図 1)を導入しています。本装置は、小型で持ち運びも簡単です。このような小型

の協働ロボットは、単位時間あたりの生産量を大きくすることより、複雑な作業の省力化と少ない設置スペースを特徴としています。研修向けの「COBOTTA」は、パソコンのプログラムで動作し、ロボットアームの角度検出や動作指示とカメラやセンサ等を活用した既存のプログラムとの融合が容易です。また、ロボットを手動で動かしてアーム軌道を教示できるため、ロボット動作のプログラミングも容易です。検査と仕分けを兼ねる、仕分け部品をプールするなどの工夫により、動作速度条件を緩和すると、小規模工場でも活用が期待できます。実習や研究にご活用ください。



図 1 COBOTTA の外観

(情報・電子技術研究室 黒宮 明)

TEL(052)654-9948

変分オートエンコーダーによる異常検知の改善

近年では AI 技術の発展により、中核技術であるニューラルネットワークについて様々な応用が試みられています。中でも変分オートエンコーダー(VAE)は、異常検知への応用が期待されています。

VAEは入力データを低次元に圧縮するエンコーダーと、圧縮したデータを復元するデコーダーで構成されています。VAE のエンコーダーはデータを直接出力せずに、正規分布の平均と分散を出力することが特徴です。VAE を画像の異常検知に応用する場合、正常な画像のみを学習データとして使用します。学習していない異常な画像については適切に復元できないので、入力と出力の差が大きければ異常と判断できるようになります。

当所では VAE による画像の異常検知を改善するために、キーポイントレスマッチング法¹⁾を応用して学習用の画像同士から中間画像を生成し、それらを学習に使用することを検討してみました。チップコンデンサと抵抗の画像を使用した実験におい

て、学習に使用していない検証用の画像について、中間画像なし/ありの VAE で復元した例を図 1 に示します。本実験では、異常検知の指標としてよく使われる受信者操作特性曲線の線下面積(ROC-AUC)が 0.9573~0.9601 に改善しました。今後は生成した中間画像の混ぜ合わせ比率を活用して VAE の学習処理を改善していく予定です。

1) 長坂ほか, 精密工学会誌, 84[4], pp.339-347

	入力	中間画像 なしの復元	中間画像 ありの復元
良品			
不良			

図 1 変分オートエンコーダーによる復元例

(情報・電子技術研究室 長坂 洋輔)

TEL(052)654-9858

特集 2 材料開発

破断を加熱により修復できる高分子材料の開発

動的共有結合 (Dynamic Covalent Bond ; DCB) は、特定条件下で可逆的な組み換え反応(図 1)を実現し、破損した部位の結合状態を元の状態に戻すことが出来るため、注目を集めています。BITEMPS-S2 (以下 S2)は温和な加熱の下、SS 結合開裂に基づく組み替え反応を起こし、S2 部位を架橋点として架橋高分子に導入した際、破断しても 100℃ 程度の加熱により元の状態の力学物性まで復元出来ます。一方、S2 に対して硫黄が 1 個増加した類縁体である BITEMPS-S3 (以下 S3)は、S2 の合成過程で簡単に単離できる副生成物ですが、その性質は不明でした。そこで、S3 の性質を調査したところ、S3 も DCB として機能し、破断しても見た目を修復するだけでなく、力学物性も復元できる機能を架橋高分子に付与できることが明らかになりました(図 2)¹⁾。ご興味がありましたら、お気軽にお問い合わせください。

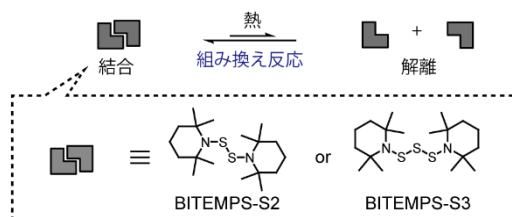


図 1 DCB の可逆的な組み換え反応と BITEMPS-S2、BITEMPS-S3 の化学構造

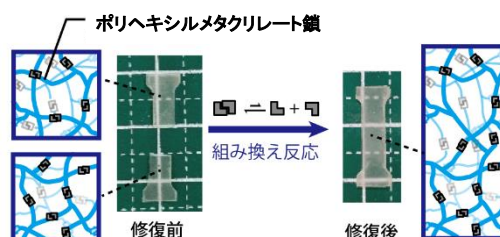


図 2 架橋点に S2 または S3 を含む架橋高分子の破断後 24 時間、110℃ 加熱による修復の様子

1)相羽、二村、岡本、山中、石垣、大岡他、*ACS Appl. Polym. Mater.* **2020**, 2, 4054-4061.

(環境・有機材料研究室 相羽 誉礼)

TEL(052)654-9932

無機材料の開発評価 ～可視光型光触媒を例に～

光を照射することで有機物を分解できる光触媒は、防汚・消臭以外に抗菌作用もあるため、昨今の感染症対策に多用される機能性無機材料です。

ポリタングステン酸アンモニウムを焼成すると可視光型光触媒である酸化タングステン (WO_3) を得ることができます。460、480、500℃ でそれぞれ 3 時間焼成して得た WO_3 の X 線回折測定を行いました(図 1)。焼成温度が高いほど回折線強度は大きく、線幅は狭いことから、算出された結晶子サイズも焼成温度に依存して大きくなっています(表 1)。一方、窒素吸着測定の結果から表面積値を算出すると、500℃ で焼成した WO_3 は表面積の値が半減しました。

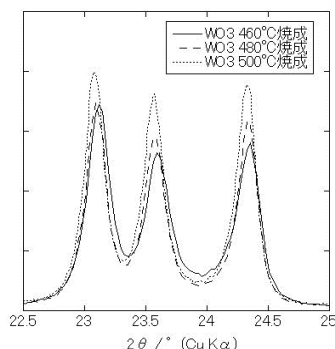


図 1 WO_3 の X 線回折図形
左から (002), (020), (200) 面

これらの光触媒能を有機物分解反応試験で評価すると、480℃ で焼成した WO_3 が最も優れた性能を示しました。500℃ で焼成した WO_3 の結晶状態は良好なので触媒能は向上するはずですが、表面積減による有機物接触機会減少のため触媒能低下に繋がったと考えます。

このように無機材料の開発を行うためには様々な物性評価が必要です。組成や結晶状態、粒子径や比表面積値等を調査することで、材料の性能を発揮できる最適条件を見つけることができます。

無機材料の開発の際にはご相談ください。

表 1 算出された結晶子サイズと表面積値

	460℃焼成	480℃焼成	500℃焼成
結晶子サイズ (002)/ Å	526	618	700
表面積/ m^2g^{-1}	9.33	9.30	4.95

(表面技術研究室 岸川 允幸)

TEL(052)654-9884

超分子ポリマー

複数の分子やイオンなどが非共有結合的に相互作用して組織化し、個々の分子ではなしえない構造や機能を発現する集合体は超分子と呼ばれています。特に、可逆的で指向性の非共有結合によって一次元に連結して形成される分子集合体は、超分子ポリマーとして分類され、高分子分野において近年最も注目されているトピックの一つです。そこで、簡便に機能性基を導入でき、かつ分子間で複数の水素結合を形成して積み重なるように組織化することにより、超分子ポリマーを形成するベンゼントリアミド（BTA、図 1）に着目しました。具体的には分岐アルキル基を有する BTA を合成し、既知の直鎖アルキル基の BTA と物性を比較しました。分岐アルキル基の BTA は、室温において直鎖アルキル基による部分結晶化がなく、室温でよく運動していることが ^{13}C 固体 NMR 測定で明らかになりました。にもかかわらず、融点は分岐アルキル基の BTA のほうが高く、溶融潜熱も大きいことから耐熱性が高いことがわかりました。

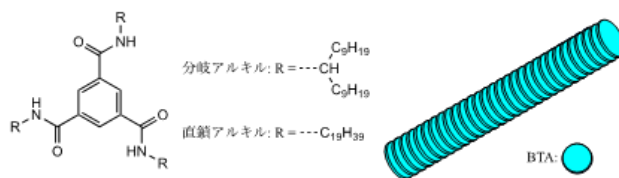


図 1 BTA の構造式（左）と
BTA 超分子ポリマーの模式図（右）

これらの特性は分岐構造がアルキル基による部分結晶化を阻害するとともに、超分子ポリマー主鎖を形成する BTA の水素結合を保護したためと推測されます。現在、このような特性を生かした機能性材料の実現を目指して、分岐アルキル基を有する BTA への、機能性基の導入を検討しています。

当所では技術相談や受託研究等を通じて、機能性の高分子や超分子ポリマーの開発のお手伝いもしておりますので、ご興味ございましたら、ご相談下さい。

（環境・有機材料研究室 石垣 友三）

TEL(052)654-9907

特集 3 3D 計測

非接触三次元デジタイザ

近年では 3D プリンタや 3DCAD の利用により、3D モデルの作成や確認のために実部品から 3D データを取得する必要性が増加しています。当所では、平成 24 年度から光学式非接触三次元デジタイザ（以下デジタイザ、図 1）を設置しており、対象の表面形状を詳細に測定することが可能です。デジタイザは青色光を放つプロジェクタと 2 つの CCD カメラから構成されています。プロジェクタから測定対象に投影した縞模様（図 2）を撮影することで表面形状の点群データを取得し、参照点と呼ばれる円形シールの座標を基準に複数の点群データを貼り合わせることで、表面形状全体を測定します。取得した形状データは、CAD データとの比較によって三次元的に形状評価が可能であり、STL 形式のメッシュデータとして出力することもできます。当所では、5 種類のレンズを測定対象に合わせて使用することで、対象の大きさに幅広く対応しております。

X 線 CT や三次元表面形状測定機など、3D 形状測定が可能な装置は他にもあります。どの装置を使用して測定すればよいか分からない場合は、相談を伺った際に目的に沿った装置をご紹介しますことも可能です。お気軽にお問い合わせください。



図 1 非接触三次元デジタイザ

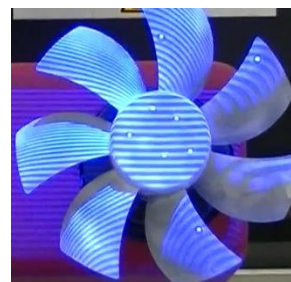


図 2 投影された縞模様

（生産システム研究室 田中 智也）

TEL(052)654-9942

三次元表面形状測定機

メカトロニクス製品の設計の際に実装部品の形状の把握は非常に重要であり、当所にも電子基板の三次元形状測定依頼が数多く寄せられています。ここでは三次元表面形状測定機(キーエンス製 VR-3200, 図 1)を利用した、電子基板上の実装部品の形状測定の例を紹介します。

図 2 は実装部品の高さを計測した例です。左図のように基板表面の三次元形状を得た後に、右図のような任意の位置の断面の高さプロファイルが得られます。3D データも出力できるため、CAD データと合わせることで効率よく設計の検証等に活用できます。図 3 は電子基板のレジスト被覆された回路パターンを計測した例です。本装置の高さ方向の測定精度($\pm 3 \mu\text{m}$)により、マイクロメートルオーダーの微細な凹凸の計測が可能です。

当所には他にもX線 CT など三次元計測が可能な装置が揃っています。設計や加工不良などの課題をお持ちの場合はお気軽にご相談ください。



- ・表示分解能 $0.1 \mu\text{m}$
- ・最大測定可能高さ 10 mm
- ・XYステージ可動範囲 $184 \times 88 \text{ mm}$
- ・測定精度 高さ $\pm 3 \mu\text{m}$, 幅 $\pm 2 \mu\text{m}$

図 1 三次元表面形状測定機

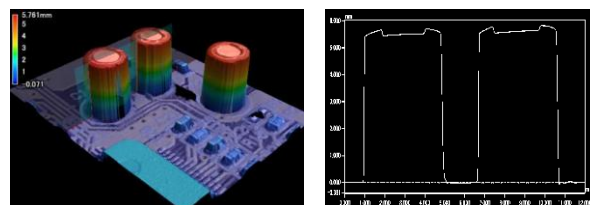


図 2 実装部品の高さ・形状計測

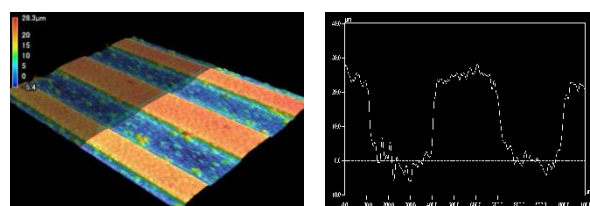


図 3 電子基板のパターン部の厚み計測

(環境・有機材料研究室 上野 雄真)

TEL(052)654-9868

レーザー顕微鏡による 3D 測定

製品の輪郭形状測定において近年では様々な非接触の 3D 測定機が利用されています。測定機の特長として、短時間で測定するには精度を犠牲にしてしまい、精密に測定するにはスピード犠牲になってしまうという関係にあります。短時間で測定できる代表的なものとして画像を用いる方法があり、測定自由度が高く比較的大きなサンプルの形状を取り込むことができます。それに対し精密に測定できる代表的なものとしてレーザー顕微鏡を用いる方法があり、測定自由度は低くなりますが、反射防止スプレーを用いることなく光沢面や透明度の高いサンプルの形状も取り込むことができます。

当所には、レーザーオートフォーカス顕微鏡で 3D 測定を行う非接触三次元測定機 NH-3(三鷹光器)があります。本装置で行ったレンズの 3D 測定の結果を図 1 に示します。透明体のレンズ表面をレーザーが追従して精密な形状測定を行っています。この 3D データから断面データを指定

して表面の曲率半径を演算した結果を図 2 に示します。このように精度の高い測定データから各種演算も可能です。

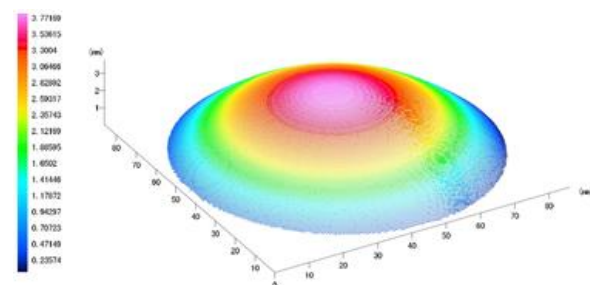


図 1 レンズの 3D 測定結果

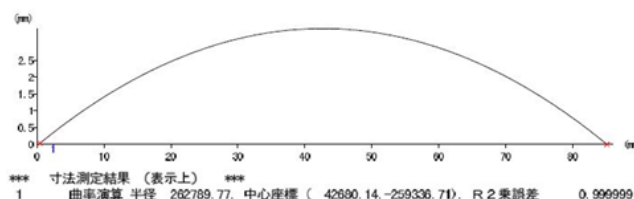


図 2 レンズの断面形状

(計測技術研究室 奥田 崇之)

TEL(052)654-9883

特集 4 品質評価

複合環境試験による信頼性評価(温湿度・振動)

工業製品が実環境で用いられる際には、異なる種類の負荷を同時に受けることがあります。例えば、自動車の部品においては、外気等からの温湿度負荷と、路面の凹凸等に起因する振動負荷が想定され、これらを同時に受けた場合の耐久性能が要求されます。こうした複合的な負荷を再現する試験として、振動試験機と恒温槽を併用した複合環境試験が行われています。

図 1 に当所の複合環境試験機の外観写真を示します。振動試験機上部の加振部が鉛直方向に振動できる状態で、恒温槽の内部に入りこむ構成となっています。加振部に立方体形状の治具を取り付け、試験品を設置する面を変えることで、3 軸方向に振動を加えることが可能となります。

複合環境試験を行う場合には、通常の振動試験に関するノウハウに加え、恒温槽内部の温度変化の把握や、高温・低温下での振動測定の実績など

が求められてきます。当所では複合環境試験に関する多くの依頼試験・受託研究の実績があり、技術相談も積極的に行っております。ご興味のある方は、お気軽にお問い合わせください。

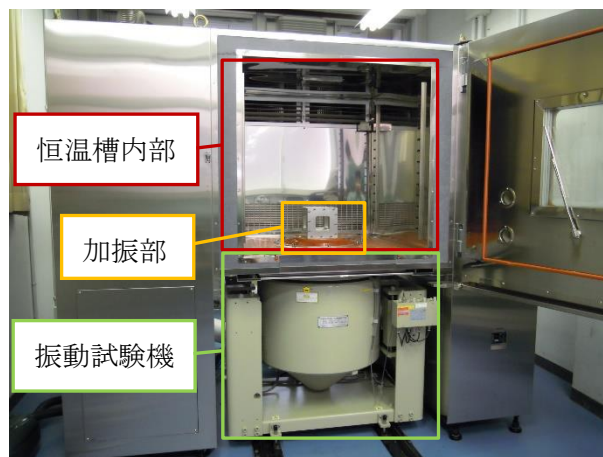


図 1 複合環境試験機

(製品技術研究室 吉村 圭二郎)

TEL(052)654-9867

接着不良や塗装、めっきの剥がれの原因調査

多種多様な素材の接着や、物質表面を別の素材の薄膜で覆うめっき、塗装は共にものづくりにおいて重要な手法です。当所ではこれらの不良に関する相談を数多く承っております。このように 2 種の異なる材料を張り合わせる場合、材料の表面(界面)状態が非常に重要です。界面に油などの汚れが付着していれば、剥がれが発生します。その場合、汚れの成分を分析することができれば、その発生原因を特定することができます。

一般的に、汚れの分析を行うには、赤外線スペクトル(IR)測定が有効です。基材が金属の場合、金属には IR の吸収がないため汚れの IR 測定は比較的容易です。一方、基材が樹脂の場合、樹脂の吸収と汚れの吸収が重なるので、汚れの同定は困難になります。この時は、基材のみの IR スペクトルを測定し、両者の差スペクトルを取ることで汚れの判別が可能になります。

他には汚れを基材から採取する方法があります。液体であれば綿棒で擦り取り、固体であれば針やピンセットで単離します。この方法であれば、基材に関係なく汚れのみの IR スペクトルが測定可能になり、成分の特定ができます。また、基材に関わらず、汚れの付着量が非常に少ない場合や汚れが目視では確認できない場合、溶剤による濃縮や抽出という操作を行った後、IR スペクトル測定を行います。例えば、汚れが油の時はヘキサンを浸した綿棒で剥離面全体を擦り、汚れを採取した後、IR 測定用の金ミラーへ汚れを転写することにより IR スペクトル測定を行います。この方法は、汚れの採取に適した溶剤を選択する必要があります。

同様の案件でお困りでしたら、お気軽にお問い合わせください。

(信頼性評価研究室 小田 三都郎)

TEL(052)654-9905

めっき・塗膜の耐食性評価

当所で実施可能な塩水噴霧試験(JIS Z 2371)の判定法やクロスカット試験(JIS H 8502)について紹介します。塩水噴霧試験とは、試料に塩水を噴霧し、腐食を促進して耐食性を評価する方法です。

◆ レイティングナンバ(RN)法による判定

RN は腐食面積率により、腐食の程度を 0～10 で表す指標で、腐食なしは RN10 と規定されています。例えば、図 1 のように点状に腐食が発生した試料の場合、画像解析処理ソフトを用いて腐食面積率を算出すると、0.17% と求められ、RN8 と判定できます。但し、腐食の出方によっては、腐食面積率を正確に求められず、判定が困難な場合もありますので、あらかじめご了承ください。



図 1 RN 判定の試料例(RN8)

◆ クロスカット試験

めっき・塗膜で被覆された鋼板の耐食性を知りたい場合、クロスカット試験が有効です。例えば、3種類の異なる塗装試料(試料 1～3)において、それぞれ、下半分に×状の傷を付けた試料を準備し(図 2)、塩水噴霧試験後、平坦部とカット部での腐食程度を試料間で比較することにより、耐食性の良し悪しを調べることができます。

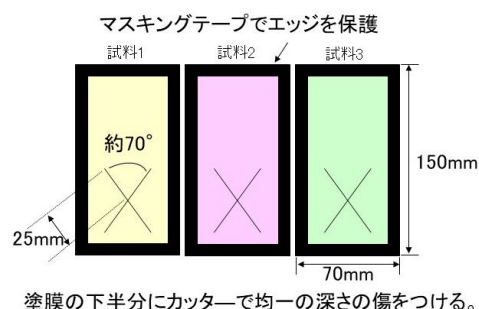


図 2 クロスカット試料準備例

(信頼性評価研究室 小野 さとみ)

TEL(052)654-9852

特集 5 成分分析

金属加工用薬剤中の界面活性剤の定量分析

高周波炉/管状炉切替式炭素・硫黄分析装置は鉄鋼などの炭素及び硫黄を極微量域(ppm)から数%オーダーまで高精度に分析することができます。試料を燃焼するつばや燃焼ポートに量り取り、酸素気流中の加熱炉で燃焼し、試料中の炭素及び硫黄が酸化されて生成した二酸化炭素及び二酸化硫黄を赤外線検出器により定量します。一般的には金属中の微量炭素・硫黄の定量に使用することが多いですが、有機物等の炭素・硫黄の定量にも利用可能です。

本装置を用いた有機物の分析事例として、金属加工用薬剤中の界面活性剤の定量を紹介します。薬剤は界面活性剤を 0.1wt% 程度含む水系の無機スラリーであったため、HPLC、UV-Vis、TG-DTA、TOC などの方法による分析はマトリックスの影響が大きく分析が難しいと考えられます。炭素・硫黄分析装置であれば試料を燃焼し、気体である二酸化炭素を検出する分析装置によりマトリックスの影響が少なく、また、薬剤中の炭素源は界面活性剤のみであったため、分析が可能であると判断

しました。まず、界面活性剤のみを分析し、得られた強度をプロットすることで検量線を作成しました。次に、試薬を用いて薬剤と同じ組成の無機スラリーを作成、分析を行い、検量線から得られた定量値が無機スラリー作成時に添加した界面活性剤量と一致するか確認したところ、1% 以下の誤差で分析できることがわかりました(表 1)。

表 1 試薬で作成した無機スラリーの分析結果

無機スラリー中の界面活性剤量(mg)	分析結果(mg)
150.0	150.7

以上の結果から、現場で使用されている薬剤も分析できることがわかり、相談された企業では工程管理でこの分析法を利用しています。

当所ではこのように JIS で決められたような定型の分析法がない場合でも、分析方法の検討が可能ですので、お気軽にご相談ください。

(表面技術研究室 松村 大植)

TEL(052)654-9857

分析方法による成分分析結果の違い

固体表面の様々な分析手法の中で、蛍光 X 線分析(XRF)と X 線光電子分光分析(XPS)についてご紹介します。どちらの手法も試料に含まれている成分の種類とおおよその量を調べることができます。また、励起源が X 線であるため、導体が絶縁体かに関わらず前処理なしに分析することが可能です。2 つの手法で大きく異なる点として分析深さが挙げられます。XRF では表面からおおよそ数十 μm に対し、XPS では数～10 nm 程度です。

表 1 に XRF(リガク製 ZSX PrimusIV)および XPS(アルバック・ファイ製 PHI X-tool)を用いて同一のステンレス鋼 SUS304 を分析した結果を示します。SUS304 はクロム 18.0 - 20.0%、ニッケル 8.0 - 10.5% を含むオーステナイト系ステンレスであり、最も広く普及するステンレス鋼です。鋼材表面には耐食性に優れたクロムを主成分とした不動態皮膜が形成されています。XRF では鋼材自体の

成分の規定値と良く一致していますが、XPS ではクロムの濃度が 26.9mass% と高くなっています。

ここで挙げた一例のように、各分析手法にはそれぞれの特徴があり、目的に応じた手法の選択が必要です。ご興味がありましたらお気軽にお問い合わせください。

表 1 XRF および XPS による SUS304 の分析結果

成分	XRF	XPS	成分	XRF	XPS
Fe	70.11	64.6	Mo	0.27	1.8
Cr	19.25	26.9	Co	0.21	ND
Ni	8.00	3.9	V	0.05	ND
Mn	1.15	ND	P	0.03	0.6
Si	0.46	2.1	Nb	0.01	ND
Cu	0.45	ND	S	ND	ND

(単位: mass%)

(表面技術研究室 川瀬 聡)

TEL(052)654-9925

依頼試験(製品の変色トラブル)

未使用鉄板部品の変色トラブルについて相談がありました(図 1)。そこで分析機能付走査電子顕微鏡により変色部の元素分析を行ったところ、変色部からは、正常部からは検出されなかった酸素(O)、塩素(Cl)、カルシウム(Ca)が検出されました(図 2)。この結果から、変色の原因は Cl の付着による鉄板の腐食であると考えられます。

金属製品の腐食や食品の吸湿を防ぐため、乾燥剤を使用することがあります。乾燥剤は多くの種類があり、代表的なものとしてシリカゲルが挙げられます。その他には塩化カルシウムを利用した乾燥剤もあり、これはシリカゲルの 3 倍の吸水力があると言われています。今回の製品では塩化カルシウムの乾燥剤が使用されており、乾燥剤の漏れも確認されました。この点、変色部から検出された Cl、Ca と一致しました。本来、防錆目的で使用されている乾燥剤ではありますが、使用上の注意が

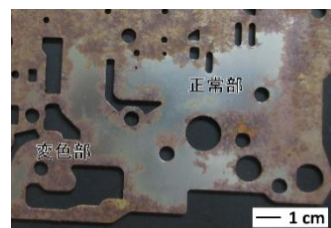


図 1 未使用で変色した鉄板部品

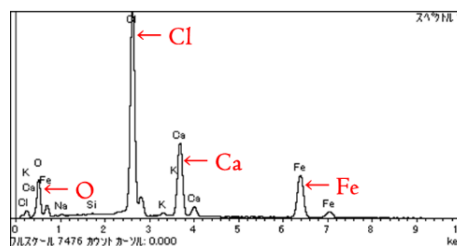


図 2 変色部の EDS スペクトル

必要であると言えます。

製品表面トラブルでは分析機能付走査電子顕微鏡が有効です。何かお困りの際はお気軽にご相談ください。

(表面技術研究室 浅野 成宏)

TEL(052)654-9887

名工研・技術情報 Vol. 16(No.851)

技術紹介特集

発行日 令和 5 年 4 月 1 日

発行部数 1,500 部

無 料 特定配布

編 集 名古屋市工業研究所 支援総括室

発行 名古屋市工業研究所

名古屋市熱田区六番三丁目 4 番 41 号

電話: 052-661-3161 FAX: 052-654-6788

URL: <https://www.nmiri.city.nagoya.jp>

E-mail: kikaku@nmiri.city.nagoya.jp