

調査・研究報告書の要約

書名	平成20年度新素材の産業化を促進する計測・分析技術の動向調査報告書				
発行機関名	社団法人 日本機会工業連合会・社団法人 日本分析機器工業会				
発行年月	平成21年3月	頁数	106頁	判型	A4

[目次]

序 (会長 金井 務)

はしがき (会長 堀場 厚)

目次

調査の概要

第1章 新素材の産業化を促進する計測・分析技術の現状

1. 1 はじめに
1. 2 新素材への関心度
1. 3 新素材開発に使用される機器の現状
1. 4 使用機器に対する評価と方向性
1. 5 ヒアリング調査から見た新素材にかかわる計測・分析技術の現状と期待
1. 6 まとめ

第2章 新素材にかかわる計測・分析技術に関する開発の動向

2. 1 分野ごとの新素材にかかわる計測・分析技術に関する開発の動向
2. 2 まとめ

第3章 新素材にかかわる計測・分析技術の課題と提言

添付資料

[要約]

第1章 新素材の産業化を促進する計測・分析技術の現状

1. 1 はじめに

ソフトマテリアル（機能性高分子材料、無機・有機複合化材料、バイオマテリアル等）など新素材は、広範な産業分野から要求されており、次世代の産業を支える根幹となるも

のの一つと考えられ、多方面にわたる実用化が望まれている。この新素材の産業化を促進するために、新素材の構造、物性及び機能応用を評価するための計測・分析技術の実用化・高機能化が期待されている。

新素材の構造、物性及び機能応用に関わる計測・分析技術の状況を調査し、計測・分析技術に関する現状の問題点と将来ニーズを抽出することを目的として、アンケート及び研究者へのヒアリングを実施した。

アンケート回答者の 83%は民間企業からの回答で、業種は化学工業・石油化学及び電気・電子・半導体がともに全体の 20%強であった。民間企業からの回答者の主業務は、60%弱が研究開発で、分析・評価解析を加えると 90%を占める。

1. 2 新素材への関心度

新素材については多くの人に関心を持っており、「機能性高分子」、「無機・有機複合材料」、「バイオマテリアル」の順に関心度が高かった。新素材とその社会的な貢献として、機能性高分子ではファイナセラミックス、バイオプラスチック、有機導電膜、高誘電膜、有機 EL 材料、高吸水性高分子などがあげられている。無機 / 有機複合材料ではナノ Si、炭素繊維/ガラス繊維、熱電/熱光変換材料、耐高温材料などであった。バイオマテリアルでは再生可能資源からの新材料、生分解性プラスチックなどであり、将来の貢献を見据えた新素材の開発姿勢がうかがわれる。

新素材を使用する分野では、電気・電子分野が回答者の 42%、医療・診断・生体材料が 24%、次いで資源・環境 21%、エネルギー 20%と続く。発光素子や燃料電池、再生医療・細胞医療など先端技術に結びついた新素材の開発が行われていると考えられる。

1. 3 新素材開発に使用される機器の現状

新素材の構造、物性及び機能応用を評価する計測・分析技術について、使用されている既存の計測・分析機器を調査した。新素材の構造を評価するために走査電子顕微鏡 (SEM)、透過電子顕微鏡 (TEM)、フーリエ変換赤外分光計、X 線回折装置などが使用されている。物性を評価するためには紫外・可視吸光光度計、示差走査熱量計、熱重量測定装置、フーリエ変換赤外分光光度計、液体クロマトグラフ (LC) などが、機能応用を評価するために X 線回折装置、フーリエ変換赤外分光光度計、走査電子顕微鏡 (SEM) などが使用されている。

使用頻度の高い機器の用途をみると、走査電子顕微鏡は構造全体で非常によく使われている。フーリエ変換赤外分光光度計は構造解析や物性、特に化学的性質に関して多く使用されている。X 線回折装置は機能、特に結晶性や配向性で非常に多く使用されている。これらの結果から、研究者は評価目的に応じて機器をうまく使い分けている。構造解析のた

め 15 種類の分析機器を使用するなど、様々な機器を使用して研究開発を進めていることが推定される。

1. 4 使用機器に対する評価と方向性

使用機器に関する現状の満足度に関して、満足及びやや満足が半数であった。分野ごとでは医用検体検査装置並びにバイオ関連機器の満足度が高かった。これらの機器は比較的目的がはっきりした専用装置が多く、使用する方も十分に理解した上で使われていると考えられる。

また、対象新素材ごとの満足度は、機能性高分子では比較的満足度が高かったが、有機・無機複合材料において満足度が低かった。表面のみでなく深さ方向の解析も必要になるため、現状の機器では簡単に解析するまでには至らず、不満が多くなっていると思われる。不満の具体的な内容として、解析の能力不足や分解能などがあげられている。

開発・研究者の分析機器・分析技術への期待は、簡単操作、低価格、高感度化、解析サポートに関して大きい。また、その他に分類される要望も多く、使用者のニーズに合わせたカスタマイズ化や微小な変化を捉える時間的な分解能、環境への配慮など具体的な要望が寄せられている。

1. 5 ヒアリング調査から見た新素材にかかわる計測・分析技術の現状と期待

信州大学 繊維学部 谷口研究室では、有機半導体に重点をおいた研究開発を展開している。有機発光ダイオード（有機 EL）は、カラー液晶ディスプレイに代わるフラットパネルディスプレイへの応用が期待されており、既に車載用オーディオや携帯電話のマルチカラーディスプレイとして実用化されている。谷口研究室では、有機発光ダイオードの低消費電力化に有効な電子輸送材料の開発に取り組み、有機 EL 光源を使った「野菜工場」の開発を行っている。

研究開発を進めるうえで、各種の計測・分析が重要であり、特に有機エレクトロニクス薄膜（厚さ 100nm 程度）の状態（構造、欠陥、平面均一性など）や分光特性の把握、有機エレクトロニクス材料の発光過程の把握が重要である。谷口教授らは有機 EL と CO₂ 測定器を組み合わせた光合成活動を確認できる測定装置や、有機 EL デバイスの温度測定を行う分子温度計の開発製作をしている。研究に必要な計測・分析装置は市販品がなければ、工夫して自作しているのが現状である。

東京理科大学グリーン光科学技術研究センターは、グリーンケミストリーを光の高度利用により総合的に取り組むため、光科学の研究者が結集して研究を推進している。3つの研究プロジェクトグループ（光環境解析グループ、太陽光エネルギー変換グループ、光応答物質創製グループ）があり、プロジェクトが相互連携して新しい評価技術、高性能光受

容性有機色素・光触媒の開発、光機能性材料、光デバイス、高効率太陽電池などの研究を推進している。中井研究室（光環境解析グループ）では、光を使って物質に潜在する物質史情報を高感度に引き出すための先端的分析手法の開発と応用研究を進めている。革新的次世代 X 線検出器を用いる電子顕微鏡 EDS 分析システムの開発などを紹介いただいた。

宮村研究室（化学科）では、金属イオンと有機物が化合した金属錯体を使って、新しい機能を持った材料の開発を目指している。原子を使って分子を組み立てるように、分子を使って新しい構造を持つ「超分子」を組み立てて、今までにない電子物性や光物性を探求している。これら分子集合体の評価のため、トンネルギャップイメージング法の開発、光照射型走査トンネル顕微鏡の開発などの研究を進めている。大塚研究室（応用化学科）では、生体という特殊な環境下で高度な機能を発揮する材料を合成し、生体との界面現象を解明し、さらに積極的に機能制御することを目指している。

1. 6 まとめ

アンケート及びヒアリングを通して、新素材の構造、物性、機能応用に関わる計測・分析技術に関する現状の問題点と将来ニーズが明らかになった。分析機器メーカーと開発・研究者が協力をし、カスタマイズされた機器開発が必要である。一方、コスト面を考えると市場の台数規模が大きいほど低くなるため、この両者を満足するような機器開発と仕組みを考える必要がある。各要素を共通モジュール化し、要素を安価に押さえることも一つの方法と考えられる。

(1) ソフトマテリアル（機能性高分子材料、無機・有機複合化材料、バイオマテリアル等）など新素材は多くの人に関心を持っており、新素材の構造、物性及び機能応用を評価するための計測・分析技術の実用化・高機能化が期待されている。

(2) 新素材の構造を評価するために走査電子顕微鏡（SEM）、透過電子顕微鏡（TEM）、フーリエ変換赤外分光計、X 線回折装置などの分析機器が使用されている。これら既存の計測・分析機器に対しては、満足度がほぼ半数である。使用者のニーズに合わせたカスタマイズ化や微小な変化を捉える時間的な分解能など具体的な要望が寄せられている。

(3) 開発現場のヒアリングから、新素材の研究開発を進めるうえで計測・分析技術の重要性が確認できた。構造、欠陥、平面均一性などの情報や分光特性の把握など研究に必要な計測・分析装置は、市販品がなければ工夫して自作しているのが現状である。

第 2 章 分析の自動化に関する技術開発の実際

2. 1 分野ごとの分析の自動化に関する技術開発の動向

分析の自動化にかかわる技術開発の動向について、科学技術文献調査、科学系雑誌調査

などから関連する資料を収集し、環境、半導体、食品、資源、エネルギー、電機、電子、バイオ、医療、医薬、生体材料の分野に分けてまとめた。

(1) 環境分野

環境分野における新素材と分析技術のかかわりは、新素材そのものを分析するというより、新素材そのものが環境等にどう影響を及ぼしているかを計測する文献が見受けられた。

(2) 半導体分野

半導体分野の新素材は、ほとんどが無機物である。したがって、かかわってくる分析技術は、原子吸光分析、原子発光分析、ICP、X線分光分析、赤外線分光分析、光電子分光分析、オージェ電子分光分析などの元素分析、物性分析が主体となっている。

表面分析法は、高機能材料を中心とした研究開発において重要な役割をはたしている。さらに、新材料、素材開発等の分野では分子レベルの材料設計が求められるようになり、従来以上にマイクロなレベルでの分析が求められるようになってきている。最近、半導体分野において、深さ方向のさらなる高分解能化が要求されるようになってきている。この場合、AESやXPSの分析深さ(数nm)では不十分であるため、TOF-SIMSが注目されている。

(3) 食品分野

食品分野においては、食品の機能改良のための添加物や、疲労回復、健康保持、疾病予防などに有効な成分の評価についての報告があった。

(4) 資源分野

資源分野における文献は、皮革廃棄物からの活性炭に調製や道路工事中用新素材資源としての海洋浚渫土など廃物利用と新素材開発に向けた森林生物資源の機能解明に関するものであった。

(5) エネルギー分野

触媒ZnO素子の開発では、固体表面の電子顕微鏡による観察、EPMA(Electron Probe Micro-Analysis)、XPSX-Ray Photoelectron Spectroscopyなどの表面分析装置による元素分析、化学結合状態の分析、X線回折装置による構造解析などから、材料や製造条件が結晶粒径、微細構造、析出物にどのような影響をあたえるか多くの知見を得ている。

(6) 電機・電子分野

電気電子分野におけるソフトマテリアルの位置づけは、金属・セラミックス・半導体などのハードマテリアル、特にシリコン加工を中心に発展してきたエレクトロニクス分野の材料開発より微細、柔軟、高性能であり、かつ環境負荷を考慮した材料開発を要求される点からも非常に重要なターゲットエリアといえる。

応用物理学会がまとめたアカデミックロードマップによると、その要素技術研究開発の主要テーマは、新デバイス、新物性、新計測の3つである。新デバイスでは低環境負荷印刷プロセス、新分子素子構造などを、新物性では構造制御、有機・無機界面制御、モデル計算などを、新計測では三次元計測、高分解能物性測定、高分解能分光などを挙げている。ソフトマテリアルの観点から、フレキシブル有機 EL ディスプレイ、有機太陽電池、有機メモリ・ソフトマテリアルディスプレイ、バイオディスプレイなど有機分子材料の構造・界面制御の高度化による高性能・低環境負荷型の材料およびデバイス開発を目指している。材料開発のコアテーマは、階層構造の形成や特異な機能を制御可能な技術を確立することである。また、その基盤となる局所ナノ構造・機能計測などの高空間分解能、超高分解能計測技術等の役割も当然のことながら大きい。

(7) バイオ・医療・医薬・生体材料

フィブリン繊維である絹糸は古くから手術糸として使用され、分子量に関係なく生体適合性素材と考えられ、スキンケア素材として使われてきた。最近では高付加価値素材として医療や化粧分野へ一部利用されていることもあり、絹新素材開発に大きな期待が持たれている。

2. 2 まとめ

新素材にかかわる計測・分析技術に関する文献を12の分野について、180報を抽出した。対象となる新素材としては、金属系が多く11報で、木材系が5報、高分子、結晶、カーボン、膜など各4報あった。使用されている計測機器は、元素分析、表面分析、構造解析などが主体であり、分離分析装置であるガスクロマトグラフ質量分析計は少なかった。

文献調査において分野毎に特徴のある知見を得ることができた。顕微鏡による観察像が頻繁に登場し、走査電子顕微鏡をはじめ各種顕微鏡、X線回折装置、ラマン分光装置などの構造情報を解析する機器が、新素材開発にかかわる現場で多用されているアンケートの調査結果を裏付けている。なお、新素材自体が多岐にわたっているため、新素材の開発にとって何が鍵を握るのか、完全には抽出しきれなかった印象がある。

第3章 新素材にかかわる計測・分析技術に関する課題と提言

情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど多くの分野において、高い機能を有する材料を開発することがその分野の発展にとって必要不可欠となっている。また、希少金属の代替材料開発による資源制約の打破、製造プロセスの簡略化につながる素材開発、ハイブリッド車に搭載される電池の高性能化を実現する新素材開発、太陽エネルギーを電力に変換する新素材の開発を通じた圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社

会的課題に対しても、新素材の開発はもっとも有効な手段である。一方、このような新材料は、微量に含まれる成分の存在や原子・分子スケールでの複雑な構造がその性質に大きく影響する場合が多く、その開発にあたっては、計測・分析技術が技術的なボトルネックとなる場合が多い。また、その製造プロセスにおいては、材料の安定性、動的挙動などの評価や非破壊かつ製造ライン中での検査が要求されるし、最終製品としては、構造安定性、信頼性、安全性も評価する必要がある。新素材にかかわる計測・分析技術は広範にわたるため、関係する技術の現状と要望を把握することが大切である。

アンケートの集計結果によって明らかになったことは、第一に走査電子顕微鏡をはじめとする顕微鏡、X線回折装置、ラマン分光装置などの構造情報を解析する機器が新素材開発にかかわる現場で多用されていることである。これは新素材の多くが固体機能性材料であり、固体のモルフォロジーがその機能に大きく影響することを反映している。また、顕微鏡として電子顕微鏡や原子オーダーの空間分解能を持つ走査トンネル顕微鏡が比較的上位に登場していることから、材料のナノメートル以下の構造把握が必要となっていることが予想される結果である。目的が達成できない理由の中でも分解能の項目が高いことから、まずは空間分解能の高さが計測・分析技術に要求されていると結論できた。第二に、機能性高分子、無機・有機複合材料、バイマテリアルと対象となる新素材が多岐にわたっていることである。その応用範囲もしたがって広く、製品の品質向上にとどまらず、エネルギー、環境、医療など、現代社会が抱える諸問題を解決する新しい技術の核としての利用が検討されていることが明らかとなった。第三に、既存の計測・分析機器に対しては、満足度がほぼ50%となっていることから、現在の計測・分析機器に一定の評価を与える一方、まだその性能は十分ではなく、一層の性能向上に大きな期待が寄せられていることもうかがえる。

文献調査では、分野毎に特徴のある知見を得ることができた。顕微鏡による観察像が頻繁に登場することからも、アンケートの調査結果を裏付けるものとなった。一方、文献中では様々な計測・分析機器が利用されており、既存の計測・分析機器を網羅する結果となった。新素材の開発にとって何が鍵を握るのか、完全には抽出しきれなかった印象である。文献検索に使用した「新素材」といったキーワードは必ずしも適切ではなく、太陽電池や再生医療といった特定のトピックスをキーワードとした方が最新の新素材研究に行き着く可能性が高いとの指摘もあった。前述したとおり、新素材自体が多岐にわたっているため、分類しきれない面があるのも事実であり、新素材開発がいわゆるホットな状況にある分野に的を絞るのも確かに一案であった。その意味で、研究現場でのヒアリング調査の結果は、今回の文献調査と相補的な結果を与えた。新素材の現場では、既存の機器ばかりでなく、

目的とする新素材に適合した自作の計測・分析機器が用いられていた。素材毎に要求される機器の特性が異なることを意味しており、今後の機器開発に一つの方向性を示す調査結果であろう。

以上の考察をふまえて、今後の新素材開発にかかわる計測・分析技術についてその課題を記すと、やはり高い空間分解能の実現が第一にあげられる。高機能の新素材開発では、材料の組成や構造を平均値としてではなく、成分の分布、欠陥の有無、偏在をナノメートルオーダーで把握することが求められることが背景にある。わずかな製法の違いによって生じる機能の変化の原因がそこにあるからである。第二に機器のカスタマイズが可能な装置の開発があげられる。得られる試料の組成、形状、計測条件などに応じて最適な性能を発揮し、必要な情報を組み合わせて計測できる機器が現場では要求されている。個々の要求にフレキシブルに対応できる機器が求められているのである。その他、今回の調査では捉えきれなかったが、動的な変化を解析する計測・分析機器にも今後要求が増えるであろう。環境応答性高分子、相転移による吸発熱材料など、動的な変化を伴う新素材も続々開発されている。今回の網羅的な調査からいくつかの課題が見えてきたが、個々の新素材について、個別の計測・分析機器に対する要望をさらに解析すれば、必要とされている化学情報や機器の性能についてもっと広範で詳細な結論が得られるだろう。



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>

