

## 調査・研究報告書の要約

書名	平成 2 1 年度次世代産業の技術開発に必要とされる計測・分析技術の動向調査報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・社団法人 日本分析機器工業会				
発行年月	平成 2 2 年 3 月	頁数	1 4 4 頁	判型	A 4

## [目次]

序 (会長 伊藤 源嗣)

はしがき (会長 堀場 厚)

委員会名簿

目次

調査の概要

第 1 章 機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する現状とニーズの把握

1. 1 アンケート調査の配付先と回答状況

1. 2 アンケートの集計結果

1. 3 ヒヤリング調査

1. 4 まとめ

第 2 章 機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する開発の動向

2. 1 調査方法

2. 2 計測分析機器の現状

2. 3 計測分析技術に関する開発の動向

2. 4 まとめ

第 3 章 機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する課題と提言

添付資料

## [要約]

次世代産業の技術開発に必要とされる計測・分析技術の動向調査において、計測・分析技術に関する現状と動向についてアンケート調査、ヒヤリング調査を実施し、技術開発の

動向については文献調査によって実施した。

アンケート調査は、135 機関から回答が得られ、機能性材料の研究開発現場での使用中の分析機器に対する活用度、満足度及び期待度について明らかになった。ヒヤリング調査は、4 研究室を訪問し、実際の研究においてどのような分析機器を使用し、その不満、問題点等について伺うことができた。文献調査は、文献情報検索システムを利用して 879 文献を抽出し、必要と思われる文献については取り寄せ、詳細に技術動向を調査した。

調査によって得られた結果を検討し、計測・分析技術に関する現状の問題点と研究開発動向、及び将来ニーズを抽出することにより、将来開発が期待される分析機器の要求項目を明確にした。

## 第 1 章 機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する現状とニーズの把握

機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関して、その現状とニーズを把握するために、アンケート調査およびヒヤリング調査を行った。

### 1.1 アンケート調査の送付先と回答状況

機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する現状と、ニーズを把握するため、材料開発機関、分析機器メーカーなど広く約 500 機関を対象とした。対象機関は、2009 分析展来場者などから無作為に抽出した。回答は 135 機関より得られ、回収率は、27.3%であった。

### 1.2 アンケートの集計結果

今回のアンケート対象とした企業、官公庁、学校、工業会の中で機能性材料との係わりがあると答えた方は 95 件で、これは回答全体の 70%を占めている。

次に機能性材料との係わりはないが、関心はあるという答えた方は 47 件で全体の 80%であったことから、機能性材料に対する関心度は高いと思われる。

機能性材料と係わりがある方、もしくは（係わりがなくても）関心があると答えた方の中で、今後、機能性材料を開発する上で重要となる分野として挙げられているのが、エネルギー、資源・環境がほぼ同数（105 件）を占め、次いで医薬・診断 101 件、電機・電子 83 件となっている。また、比較的少数として化学工業・石油（22 件）、農水産・食品（18 件）、安全・セキュリティ（3 件）、その他（3 件）の順に挙げられている。

機能性材料の開発が最重要と考えられている分野は、医薬・診断・生体材料（28 件）、エネルギー（28 件）、電機・電子（22 件）、資源・環境（20 件）の順に上位を占めている。この中で機能性材料に求めるものとして、機能の効率（93 件）、安定性・寿命（79 件）が

上位となっており、次いでエネルギー変換効率（73件）、安全性（72件）、環境負荷軽減（再利用性・生分解性など含む）（71件）、生体親和性（31件）、その他（5件）となっている。

機能性材料に求めるもので最重要と挙げられているのが、機能の効率（28件）、エネルギー変換効率（22件）、安全性（15件）、環境負荷軽減（11件）となっている。そして、これらを実現する上で重要な課題と挙げられているのは、物性（93件）、原材料（79件）、製法（78件）及び構造（74件）で上位を占めている。次いでコスト・経済性（62件）、評価方法（50件）、反応性（41件）、計測方法（40件）、分離・抽出・精製（31件）、その他（1件）となっている。

機能性材料の研究や評価に対して、実際に使用している又は今後使用したい分析機器は、光分析装置、電子線応用機器が70件を超え、次いで質量分析装置、X線分析装置が50件を超えるという結果であった。アンケート対象者が石油、化学、電機分野が多かったこともあり、ライフサイエンス系の装置は少なく、表面観察できる電子線応用機器、分光学的知見の得られる光分析装置が多用されていることがわかる。また、熱分析装置が比較的多用されている。近年の技術革新に伴い、各種質量分析装置も均等に使用されているのがわかる。光分析装置の中ではフーリエ変換赤外分光光度計が突出して多用されているが、これはライブラリなどによる構造解析ができ、赤外顕微鏡などとの併用による表面イメージングが容易であるなど汎用性の高さに起因していると考えられる。また、電子線応用機器では、電子顕微鏡が多く使用されていることがわかる。

機能性材料で、分析機器を用いて評価したい項目は、表面構造、立体構造、濃度変化、経時変化、界面状態が上位にランクされ、この5項目で全体の約64%を占める結果となった。単なるケミカルでなく表面構造や立体構造の解析が重要とされている。

目的の評価項目に、ある評価方法を適用する場合のある種の得手不得手のようなものが表れている。例えば、界面状態の評価で、機能の効率、エネルギー変換効率の評価の割合に比し、安全性さらに環境負荷の割合が著しく少ない。また、立体構造の評価では、環境負荷軽減の割合が目立って大きい、といった特徴がある。環境負荷軽減を重要視する人が立体構造を評価項目としてあげる例と、機能効率重視で表面構造を評価項目とする人が多い、という結果を得た。全体的にも「機能の効率」「エネルギー変換効率」「環境負荷軽減」と「立体構造」「表面構造」「界面状態」の相関は高くなっている。

機能性材料の開発、評価に対して、現在、使用中の機器の活用度、満足度及び期待度については、次の結果である。

「活用度」の傾向 評価として、大いに活用している（3）、活用している（2）、あまり活

用していない (0)、どちらとも言えない (1) の重み付けにより集計を行った。各セルに示される数値は、各評価項目に対する各機器の総合評価ポイントである。表面分析での FT/IR、電子分光装置、電子顕微鏡、SPM/STM が上位にあり、また濃度変化・分離精製におけるクロマト機器の優位が見て取れる。

「満足度」の傾向 評価として、大いに満足している (4)、満足している (3)、やや不満 (1)、不満 (0) どちらとも言えない (2) の重み付けにより集計を行った。各セルに各評価項目に対する各機器の満足度に関する評価ポイントを示しさらに、上位 27 のセルをハイライトで強調した。

「期待度」の傾向 評価として、大いに期待している (4)、期待している (3)、あまり期待していない (1)、全く期待していない (0) どちらとも言えない (2) の重み付けにより集計を行った。各セルに各評価項目に対する各機器の期待度満に関する評価ポイントを示しさらに、上位 27 のセルをハイライトで強調した。

「不満」の抽出 「不満」、「やや不満」があったとした回答者 62 件を選び出した。これらの回答者の特徴であるが、まず第一にその業務が研究開発、分析評価である点で、例外は 2 例であった。第二には「実際に関わりがある」が 87%を占める点である。この 2 点で、これから見る不満の中身は、切実なものと思えるべきであろう。分野、目的、課題については、いずれも全体の結果との差違は認められなかった。

「不満」の中身 ここでは「機器の活用度、満足度及び期待度」とは異なる集計を行った。102 件の回答から、設問 2.5.3 中、「不満」あるいは「やや不満」とした回答者 62 件を選び出した。使用する機器について、「満足」、「やや満足」、「どちらでもない」を除外し、不満とする意見に絞って集計を行った。

現状の機器で期待できない理由は、研究開発部門では、概ねほぼ全ての分析機器が使用されており、『分析機器の性能に不満を感じている』との意見が多かったにも係わらず、『性能』を期待しない理由とは考えていない事が分かる。一方、分析部門では同様に幅広い分析機器が使用されているが、評価内容は構造解析に集中している。このため、『感度』『分解能』さらには『使用している分析機器の原理的な限界』を期待しない主な理由と上げている。また、学校・官公庁では、共用設備であることが多いためと考えられるが、やはり『原理的な限界』を期待しないとする意見が多い。『価格』を理由とする意見もあり、昨今の金融不況に伴い、評価のために新たな分析装置を準備できない要因もあると推察される。現状機器の状況を受けて、“今後の分析技術・分析機器への期待”について記述式にて尋ねた結果、52 件の回答があった。前項までの回答を反映して、今後の分析技術・分析機器への期待としては、高感度化/分解性能向上/機能向上、を含む『高性能化』(13 件)に加え、

新材料の開発に追従する『分析技術の革新』(8件)を期待する意見が非常に多く、次世代産業の発展のためには分析機器が重要役割を果たしていることが分かる。また、データの互換性あるいは継続利用の要望からデータや操作性に関する『ソフト面での仕様の業界標準化』を求める意見もあり、『簡単操作』や『低価格化』とあわせて分析機器の普及を望む意見も多く見られた。定型的な測定を行うには大変便利な装置の“ブラックボックス化”に対して、既存装置を利用しながら新たな評価を行うためには、逆にカスタマイズが可能な分機器を望む意見も研究開発部門から多くあった。

### 1.3 ヒヤリング調査

機能性材料の研究開発に携わる4研究機関を訪問し、ヒヤリング調査を実施した。

#### 1) 東京理科大学大学院総合化学研究科～色素増感型太陽電池の開発

SEM・TEM、SPM、XRD、分取LC、各種質量分析装置、紫外可視分光光度計、蛍光光度計などを使用。電子の移動を動的時間分解で見たい。分取LCの分離性能向上、ナノ状態での観察、in situで使用できる機器。

#### 2) 東京理科大学理学部応用化学科～Li二次電池の開発

SEM、TEM、X線回折、Raman、FTIR、表面分析、各種質量分析装置など。研究室に分析の専門家がいなかったため、何を使用すれば何がわかるという基礎的なことがわからない。in-situで使用できる機器。特殊な実験系雰囲気で使用できる装置。

#### 3) 東京理科大学 理学部第一部応用化学科～水の光分解反応に高活性を示す粉末系半導体光触媒材料の開発

XRD、SEM・TEM、GC、XPS、UV-VIS等を使用。多元素材料を試行錯誤しながら作成、多元素の無機材料評価(組成と結晶性)、精製ガスの分析、表面改質、光源の波長スペクトルを確認している。ルーチン分析が主であり、オートメーション化、スクリーニング的分析の潜在的ニーズ。

#### 4) (独)日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門～燃料電池の電解質膜開発

電解質膜に求められる導電性、燃料バリア性、膜強度、長期耐久性といった特性のバランスの評価。特性の改善に $\gamma$ 線を照射で反応を精密制御するプロセスを開発中。イオンチャンネル構造は中性子小角散乱、X線小角散乱を併用。形態観測にFE-SEM、TEM、AFMを使用。固体NMRによる膜構造解析に期待。品質管理には膜厚計が有効。イオン交換容量の面内分布を非破壊で計測したい。電解質膜のマイクロ構造を観測する手法がない。

FE-SEMは分解能/コントラスト不足。TEMは前処理が煩雑、全体構造が見えない、真空中でないと測定できない。AFMは表面構造しか見えない。1～10nmオーダの高次構造が重要。

## 1.4 まとめ

ここで見られるように、市販の機器を通常通りの方法で使用していただだけでは済まされない状況というものが、機能性材料という先端技術開発上、必要不可欠なものであることが分かる。そしてそれは、例えば「今まで見えなかったものを、見えるようにする」ための分析のブレークスルーが求められているとも言える。とすると、アンケート結果での、「特定の不満ポイント/平均的満足ポイント」で見た、常識的にはあり得ないような機器の用途であっても、今一度向き合う必要があるだろう。設問3での回答”「10倍の感度がほしいんですけど・・・」「では、10倍に濃縮できるカラムを買ってください」みたいな発想ではダメと思います。”は、そのことを端的に表している。機器供給者は、そのような用途に対して、一般論ではなく、個別に向き合う姿勢を持ち続けられるか否か、が問われている。さらに、機器の「ブラックボックス化」や「汎用性」に関連して、ヒヤリング調査②で指摘のあった「何を使用すれば何がわかるという基礎的なことがわからない」にも着目したい。これは、所謂分析受託サービスとも違った、いってみれば「分析コンサルティング」の潜在需要ともとれるからである。分析展来場者の約70%以上が新技術説明会の聴講を来場目的に挙げ、そこでの演題の半数以上が分析のノウハウとなっている現実と、表裏の関係ともいえるだろう。分析機器と供給者という立場を超えて、前処理技術も含めた方法論としての分析技術を、ある特定のアプリケーションに当てはめたときの強み・弱み、それを補完・補強する別手法などの情報データベース（ナレッジベース）の構築と、その設計上ではソフト戦略思考が必須となるだろう。

## 第2章 機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する開発の動向

### 2.1 調査方法

第1章では、機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する開発の調査結果を示した。本章では、機能性材料の機能応用評価に関わる計測・分析技術開発の動向について、科学技術文献から関連資料を収集し、エネルギー関連製品を中心に燃料電池、太陽電池、リチウムイオン電池、ディスプレイ、リソグラフィ、リチウムイオン電池、有機EL、インプリント、インクジェット、アクチュエーターなどの製品別に調査した。調査対象の科学技術文献については、科学技術振興機構(JST)の文献情報検索システム JDream II を利用して、科学技術文献データベース JSTPlus から最新3年間について文献検索を行った。

燃料電池と太陽電池でほぼ4分の3を占めていた。燃料電池の文献件数が多いのは、クリーンな化石燃料代替エネルギー源として、技術の広がりが大きく、研究開発が発展段階

に入ったことを反映していると考えられた。

## 2.2 計測分析機器の現状

今回抽出した全文献 879 件において解析対象とされた目的物をシステム/デバイス、材料、プロセスに分類し示したものを図 2-2 に示した。いわゆる材料解析において一般に分析機器が多く用いられていることがわかる。また使用されている分析装置としては、特に電池分野においてボルタムメトリーがもっとも多く、ついで X 線回折装置(XRD)、透過電子顕微鏡(TEM)、走査電子顕微鏡(SEM)、紫外可視分光光度計(UV-VIS)が続いた。ただし、電池という分野を除いて比較すると電気化学計測の使用頻度が下がり、特徴的な傾向は見られなかった。図 2-3 に出現頻度の高かった分析装置上位 10 種類について件数とそれのうち電池関連(太陽電池、燃料電池、リチウム電池)とそれ以外の文献数を示した。

## 2.3 計測分析技術に関する開発の動向

各種製品やその部材分析に用いられる計測分析機器の動向について、代表的な文献をもとに紹介する。

### 2.3.1 燃料電池

燃料電池には、磷酸型・アルカリ型・熔融炭酸塩型・固体電解質型・固体高分子型があり、電解質の種類によって分類される。中でもイオン伝導性高分子膜と白金触媒電極からなる固体高分子形燃料電池(PEFC)は常温作動が可能な小型燃料電池であり、クリーンなエネルギー源として携帯機器、燃料電池自動車などへの実用化が期待されている。現段階は使用状況によって機能の低下が見られるため、10 年程度の長期動作といった本格的な実用化には至っておらず、燃料電池の早期実用化のためにはセル材料(電極、膜)の劣化挙動を明確にすることが必須である。そこで、燃料電池の電解質と電極の研究に用いられている分析機器について、また、それがどのような目的のために用いられているかについて記載されている 7 文献を元に紹介する。

### 2.3.2 太陽電池

太陽電池は、光起電力効果を利用し、光エネルギーを直接電力に変換する。pn 接合型と色素増感型に大別される。太陽電池に関する 2 文献を選びそれらの内容を紹介する。ひとつは、pn 接合型で代表的な材料となる多結晶 Si の良否判定を可能とする電子顕微鏡の応用技術に関するものであり、他方は、色素増感太陽電池の増感子の効率を積分球により測定するというものである。いずれも、従来からある分析機器の機能強化をしたもので、前者はハードの開発、後者はソフトの開発を行って、太陽電池用の材料が評価できるようにしている。

## 2.4 まとめ

今回の文献調査では、機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する動向について科学技術振興機構(JST)の文献情報検索システム JDream II を利用して、科学技術文献データベース JSTPlus から最新 10 年間、合計 879 件を抽出した。そしてそれらの抄録より今回の調査に関わると思われる文献を抽出し、詳細に読解した。現在の研究トレンドを反映し、75%が電池関連の文献となった。このため、電子授受の過程計測などのための電気化学分析や、製品やその部材の構造の違いを観察するための電子顕微鏡、エネルギー変換効率をチェックするための分光光度計など、製品性能や品質の直接計測機器が多く用いられるとともに、研究者自身による既存装置の改良高度化も行われており、その一方、クロマトグラフィーなどの手法はあまり使用されていないことがわかった。

### 第 3 章 機能性材料の機能応用評価にかかわる計測・分析技術に関する課題と提言

次世代産業の技術開発の促進には機能性材料の開発と安定的な供給が不可欠である。特に国の重要分野に位置付けられるエネルギー・環境・資源の分野は様々な産業から注目されており、電機・電子産業をはじめ、自動車等の輸送産業、プラント関連などその運用に真剣に取り組んでいる。この分野の優位性は日本国内にとどまらず、日本の競争力強化のために不可欠である。計測・分析はこれらの開発に対し様々な面から科学的に立証していく手段として、また、新素材の実用化の段階での安定供給していくための評価手段として、さらには製品の中での安全性や安心の確保や廃棄における安全性の保証としてきわめて有効かつ重要な技術とすることができる。平成 20 年度では産業発展に不可欠な新素材を広く取り上げ、それに対する仮題と提言をまとめ上げた。しかし、新素材とそれを利用する分野が多岐にわたっており、網羅的な把握にとどまっていた。今年度は、この調査を元に、分野をエネルギー・光変換・環境・資源に絞り、ソフトマテリアルを中心に現在の状況、技術的なシーズに関してまとめるために、委員会を設置し調査を進めてきた。現状とニーズを把握するためにアンケート及びヒヤリングを実施し、技術動向を把握するために文献の調査を行い、第一章及び第二章にまとめ上げてきた。機能性材料の開発に対し、重要なことは当たり前ではあるが機能の発現をあげることができるが、その他に、安定性・寿命、安全性、エネルギー変換効率、環境負荷軽減で重要と考える人の割合が同様に高い比率であった。計測・分析技術を考える際に、単に機能評価を追うのみでなく、製品化する上での安定性・寿命、安全性や、廃棄の際の環境負荷に対しての評価に関しても対応していかなければならないことを示している。一方、機能性材料の評価したい項目で見た場合に、ほとんどが表面構造をあげていた。他には空間分解を含む立体構造など、機能性材料の構造に関する事項に関しては、多くの場合重要な項目であることが明らかになった。また、



構造ほどではないにしても、濃度変化や経時変化なども評価項目としてともに高いポイントを上げている。構造では SEM や TEM などの電子線応用機器が多く使われており、濃度変化などでは分離分析関連機器が多く使われている。また、全般にわたり光分析、特に FTIR が様々な解析に使用されている。機能性材料に関係する人の満足度及び期待度に関する調査で、構造に関しては満足度も期待度も高いことがわかったが、エネルギー変換では満足度も期待度も低く、適正な評価機器が少ないのが現状である。アンケートの回答を見ると、研究者が多くの機器を使って評価を行っている現状も浮かび上がる。

第二章でまとめられた文献調査は、前回の調査の内容を踏まえ、エネルギー、環境、資源に絞り込んでその動向を見た。アンケートでは分野を絞ったとは行っても、比較的広範に意見を徴集したのに対し、文献では更に絞り込んだ結果となった。特に、エネルギー関係が中心となり、その中でも燃料電池関係が文献の中心であった。おおむね、アンケート内容を反映したものになっているが、電気化学機器関連が機能評価に良く使用されている。構造に関しても主要の評価項目であり、アンケート同様電子線応用機器が多く使用されている。これらの調査を補完する意味で、エネルギー関連を中心にヒヤリングを実施したが、同様の傾向に加え、開発者が多くの機器を扱わなくてはならない実態が見えてきた。

以上の調査結果からいくつかの課題が浮かび上がってきた。第一には機能性材料の開発者にとって、知りたい情報が適切に提供されるかという問題である。特に、機能性材料開発状況の評価をする上で、開発者が様々な分析方法を選択し、その性能を引き出していかなければならない。しかし、一方では分析に関する専門家というわけではなく、開発者に対する負担が非常に大きい。第二には機器を提供する側が十分にそのニーズを把握できるかという問題である。先端的な技術であればあるほど情報の公開が行われない現状から、必ずしも機能性材料の評価にマッチした機器の提供と、使用するためのアプリケーションソフトの提供がなされていない。これらには汎用機器の提供では満足されず、開発に合わせたカスタマイズ化が必要である。第三には機器の性能が追いついていない。特に 3 次元構造を非破壊で見るとは様々な障害がある。また、2 次元構造においても、微小領域の観察に関してはまだまだ不足である。また、製品あるいは材料そのものの時間的な変化の観察に関して、適正な機器の供給が完全ではない。機能性材料を様々な環境下で観測しようとした場合に、機器の大きさや価格、操作性、周辺機器との組み合わせなどの問題も出てくる。操作性では簡便さを追求すればブラックボックスかは避けられず、原理と機器のポイントが理解できる工夫が必要となる。それでは今後の方向に関してどのような展望が考えられるであろうか。第一には測定・分析機器に対する情報、特に、何を、どこまで、あるいはどのような状態で測定できるかを容易に得られるデータの公開と共有化である。

また、操作のスペシャリスト（オペレータ）の養成による開発者の負担軽減が必要である。これらは個々の企業あるいは研究室単独では負担が大きく、何らかの共同体が必要であると考えられる。また、アプリケーションソフト開発がそのまま商業的な価値を持つような仕組み作りも重要である。第二には機器の基本的性能の向上である。とくに、構造分析では微小部分での平面分解能や空間分解能の向上、動的変化の解析や試料をできるだけ未処理の状態で見測できるシステム向上など挑戦すべき面は多い。第三にはカスタマイズ化の容易さである。例えば、基本部分以外はモジュール化し機能性材料開発者が任意に組み合わせることによってカスタマイズ化を図る方法や、材料開発者が自ら手を加えられるような構造の簡素化などの方法が考えられる。また、他の製品との組み合わせが容易なインターフェースの共通化や得られた結果の解析技術の共通化なども必要な事項としてあげられる。計測・分析機器が高価であることも研究者にとって負担が大きく、古い機器を駆使又は一つの機器の共同使用を余儀なくされる。安価な機器を提供することは計測・分析機器メーカーの義務ではあるが、企業原理も無視することができない。重要課題に対する国としての支援、共同開発などの推進が必要となる。機能性材料の開発に伴う優先的課題を精査し、機能性材料開発者、分析機器メーカー、公的研究機関などが一体となった情報交換と開発体制の確立が望まれる。



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>