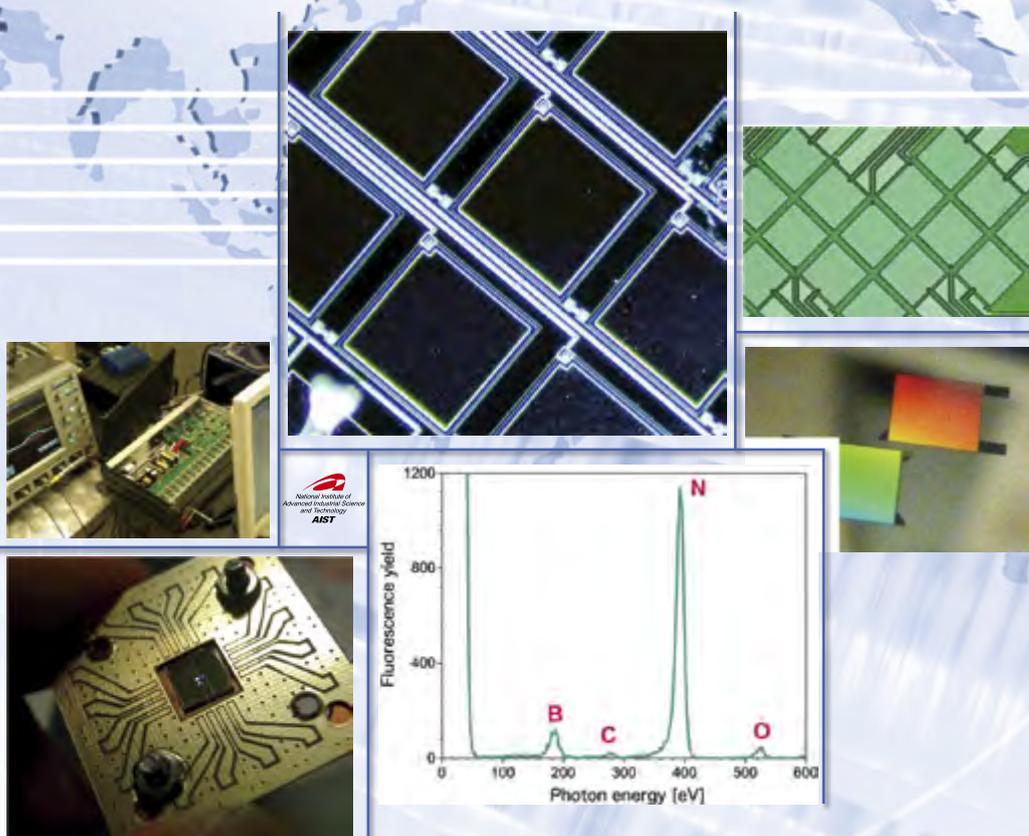


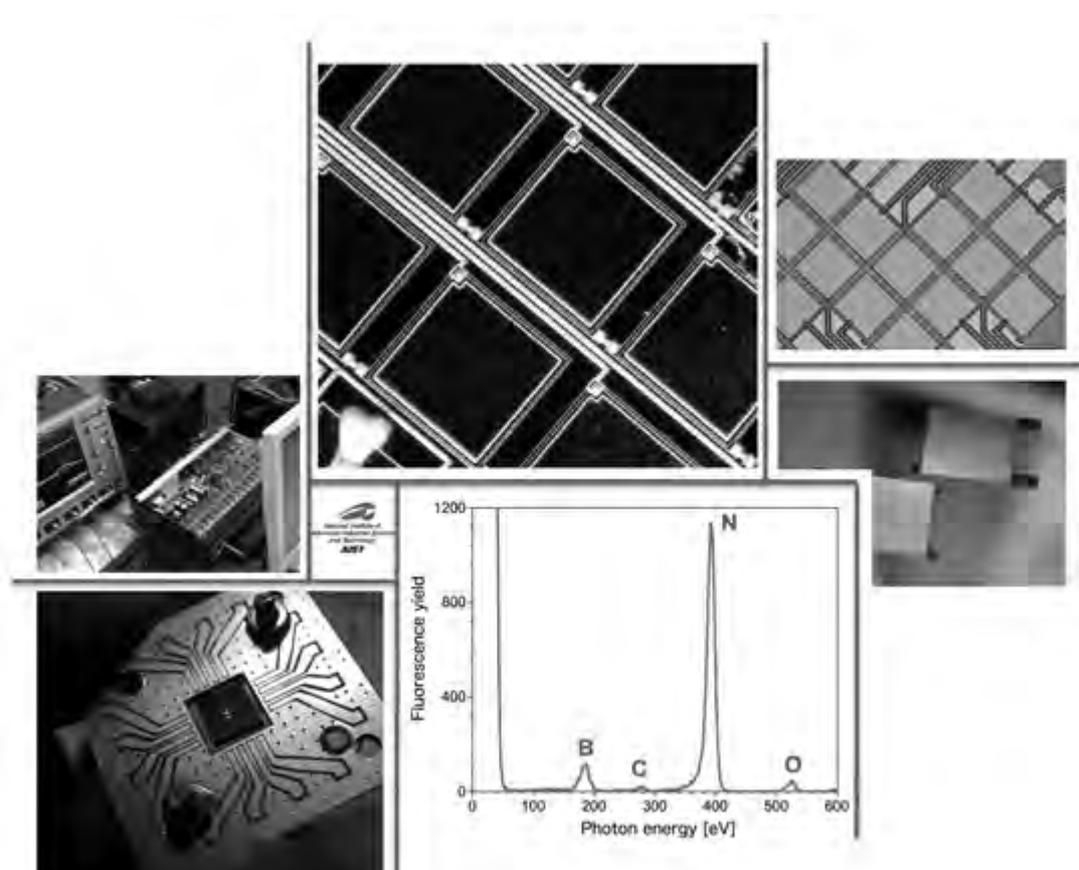
調査報告書

日本分析機器産業の競争力強化について



調査報告書

日本分析機器産業の 国際競争力強化について



産業技術総合研究所ナノインテリジェント計測調査委員会

担当理事 一村 信吾

委員長 大久保 雅隆

副委員長 菅原 孝一

委員 池上 敬一

秋永 広幸

松畑 洋文

本田 一匡

三戸 章裕

高辻 利之

廣島 洋

岡崎 俊也

綾 信博

アドバイザー

田中 充

清水 敏美

秋宗 淑雄

野中 秀彦

佐々木 毅

松原 一郎

事務局 中村 健

協力 古屋 武

清末 和之

産業技術総合研究所 <http://www.aist.go.jp>

調査報告書

日本分析機器産業の 国際競争力強化について

産業技術総合研究所
つくば市梅園 1-1-1

2011年10月



産業技術総合研究所 AIST11-B00006-1

目次

概要

1. はじめに	8
2. ラボ用分析機器の世界情勢	11
2.1 世界市場と国別シェア	11
2.2 国別シェアの推移	15
2.3 分析機器に関する開発力の国際比較	20
2.4 日本の課題	21
3. 産業技術分野毎の分析ニーズ、分析ボトルネック	23
3.1 パワーエレクトロニクス分野（半導体分野）	23
3.2 MEMS 分野	30
3.3 バイオ分野	31
3.4 化学工学分野	34
3.5 産業機械分野	39
3.6 標準分野（イノベーション加速に必要な標準）	41
4. 分析機器及び分析技術に対する民間企業調査	47
4.1 調査の背景と目的	47
4.2 書面調査の集計結果	47
4.3 分析機器ユーザー企業の面談調査結果	105
4.4 分析機器製造企業の面談調査結果	113
5. アクションプラン	116
6. まとめ	119
付録 書面調査票	121
「計測機器及び分析技術に対する民間企業様等へのニーズ調査」	

要約

日本分析機器産業の世界シェアは、2009年時点において、アメリカの66%に次ぐ14%と世界第2位であった。第3位はドイツの13%である。これらの3つの国で世界の分析機器需要の93%を占めており、他の国は分析機器先進3カ国の企業が製造した機器を輸入して研究開発、検査等を行っている。アメリカと日本では、輸出が輸入を約2倍上回っており、有力な輸出産業となっている。統計はないが、近年成長が著しいドイツも、日米ほどの額ではないが輸出超過と予想される。世界市場規模は、2004年の300億\$（2兆5000億円）から2009年には370億\$（3兆円）に成長している。さらに、2014年には480億\$（4兆円）と予想されている（2009年9月の為替レートにて）。このような成長市場を制するのはどの国であろうか？

分析機器産業の市場は、各国の研究開発投資の伸びに応じて成長する。分析機器の製造には先端技術が必要不可欠である。このため、分析機器を製造できる国は自ずと科学技術先進国である。他の国を大きく引き離している分析機器先進3カ国の世界シェアは、科学技術分野における先進性、あるいは科学技術立国であることを示している。特に、アメリカは分析機器市場において高いシェアを確保しており、アメリカ製の機器で測定しないとデータが信用されないといった風潮も一部にある。アメリカは、高いシェアを背景にデファクトスタンダードで勝負できるという、圧倒的な優位さをもっている。

アメリカは、統計のある2003年から61-66%のシェアを維持しており、絶対優位は変わらない。日本は、14-16%のシェアを維持している。一方、ドイツは、近年急速に成長しており、2003年の7%から2009年には13%とほぼ倍にシェアを拡大している。2003年には日本の売上はドイツの倍であったが、ドイツの成長にともない、2009年にほぼ並ばれており、2010年の統計では抜かれることが予想される。

過去5年間の世界成長市場はライフサイエンス分野であり、ドイツはNMR、質量分析といったライフ分野の成長市場を制してきたと思われる。また、従来から存在する分析機器においてもシェアを伸ばしている。ドイツ製の機器の普及は、日本国内のユーザー企業や大学における分析機器整備状況からも裏付けられる。日本国内企業へのアンケートや面談調査では、ライフ分野で海外製の割合が高く、今後の成長分野と期待されるグリーン分野では日本製がまだ検討している。半導体分野の研究開発では日本製の機器が強い。しかし、世界市場でドイツに抜かれる今、戦略的な取り組みが必要である。

日本製品の特徴は、表面分析装置といった一定の市場が確保できている従来型の分析機器に強く、成長分野のための新しい分析機器が出ていないと言えるのではないだろうか。また、日本では、新しいアイデアや芽が出てベンチャーが分析機器産業に参入しづらいという問題もある。分析機器大手は、市場開拓が必要な新規装置よりは、市場が

見えている従来型機器を重点化する傾向があるように思われる。アンケートでは、日本の分析機器製造業では新製品の開発をほとんど自社費用で賄っており、最初から市場が見込める従来型機器の改良に注力する傾向があるのではないだろうか。一方、公的資金にてチャレンジングな新技術開発を進める場合、公的機関からの発注になる傾向があり、1台のみ納入して次ぎの市場展開がないという事態が生じていると思われる。欧米では、公的研究機関に機器の自主開発能力があり、その機器にユーザーが付いた後市場に出てくる場合が多いという指摘がある。また、公的研究機関がキーとなる技術を多く有している。例えば、透過電子顕微鏡の収差補正の技術やX線エネルギー分散分光におけるシリコンドリフト検出器(Silicon Drift Detector : SDD)の例がある。日本製の機器は、欧米製の技術の寄せ集めで、組立を行っているのではないかといった批判がある。一方、日本の公的機関は重要な技術を有していないといった批判もある。日本の分析機器開発能力について、大学、研究開発法人、企業の構造的問題があることが示唆されている。

今までのように、個々の企業における新製品開発の努力だけでは、このままドイツに抜き去られ、さらに成長著しい中国の機器開発にも脅かされる状況が想像される。中国の機器市場は現在最も成長しているが、中国内の機器需要の上昇に対応して、ハイエンド機器を国内で開発するというプランが、2011年春の中国5年計画に記述されている。中国は、海外で博士号を取得した優秀な人材の帰国を奨励している。これらの人材が機器開発に乗り出せば、従来日本が行ってきたように、海外製品を上回る機器性能を達成することができるかもしれない。一方、日本では、優秀な学生は博士号を取得せず、学士や修士取得後に就職する傾向にあり、さらに、海外で経験を積もうといった学生が減っていると言われている。日本には、人材的にもマイナス要因がある。

日本は、オリジナルではなかったが海外に優る高品質の工業製品のものづくりで、多くの分野の世界市場を席卷した時期があった。分析機器も同様に、動作原理などが確立した機器について、欧米製に優る機器性能を達成して市場を確保していた面がある。現在、危機的な状況にある日本の分析機器産業について、日本の研究開発能力に構造的欠陥にあるとあって、手を拱いているわけにはいかない。すぐに行動を起こすべきである。今までのように、競合する個別企業の自主的新製品開発の取り組みだけでなく、企業の枠を越えた業界全体の戦略が分析機器産業界に必要と思われる。

公的な立場において、企業との協力関係構築に必要な、秘密保持などの体制を強化している研究開発法人の環境を活用できないであろうか？研究開発法人には、産学官の研究者が結集している。分析機器のプロトタイプや新製品に対して、機器とユーザーの一对一の関係ではなくて、一对多数の機器開発環境を構築することは、国際競争力の強化や新規市場形成に貢献できると考える。対症療法ではなく抜本的なイノベーション加速を可能にするために、複数のハイエンド分析機器の開発、ユーザー開拓を行える場が、分析機器国際競争力強化のために必要であると考えられる。

第1章 はじめに

この報告書は、日本の分析機器産業界を取り巻く国内外の情勢を俯瞰して、国際競争力強化のために何が必要かをとりまとめたものである。特に、科学技術の発展やライフイノベーション、グリーンイノベーション、安全安心、標準といった日本が取り組むべき重要分野において、必要不可欠となる分析機器開発に関して、公的立場の研究開発法人の果たすべき役割について考察した。世界情勢は、ラボで使われる機器を対象としたSDi社のレポート¹や、同社から個別に提供いただいたデータを参考にした。国内市場については、アールアンドディ社の分析機器・装置、試験機器・装置、バイオ関連機器に関するレポート²や、日本分析機器工業会の統計³がある。

統計データに加えて、研究開発投資額が大きな国内の分析機器ユーザー企業と、分析機器製造企業に関する独自アンケート調査、個別の聞き取り調査結果を分析した。さらに、JST 戦略センター発行の複数の報告書を参考にした。特に、「計測・分析技術に関する諸外国の研究開発政策動向」⁴が挙げられる。

科学技術基本計画においては、多くの分野の共通の基盤として、計測分析技術開発を推進することが重要であると指摘されている。ラボ用分析機器産業において、日本の国際競争力の現状はどの程度であろうか？ 日本は、この産業分野において輸出超過であり、有力な輸出産業である。しかし、世界シェアの推移を見ると危機的状況にあることが明らかになった。早急に対策を講じることが、科学技術立国日本にとって必要であるとの結論に達した。

今回の報告では、企業や大学における研究開発、検査、品質管理等のために使用されるラボに設置される分析機器を取り扱う。製造プロセスラインに直接組み込まれた機器や、単なるモニター用途に使われるものは含まれない。含まれない例として以下のものがある：オンラインガスクロマトグラフ、測長走査型電子顕微鏡(SEM)、製造プロセス中に組み込まれたセンサー計測機器類、個人用放射線量計等のモニター機器。プロセスやモニター用途の機器の動作原理はラボ用分析機器と同一であるが、市場競争原理、ユーザー層、導入選定基準などがラボ用機器とは全く異なる。

本報告では、計測と分析を以下のように定義し区別する。ラボ用分析機器製品の開発には、計測技術が必要不可欠である。新しい計測技術は、今まで取得できなかった情報を我々にもたらす。しかし、新しい情報は整理されていないので、我々はその情報を使って未知の材料などを分析することはできない。データのもつ意味が知識として蓄積される必要がある。子供が文字のイメージは見えるが、最初は、文字として認識できないことと似ている。新たな情報を取得できる計測技術を、分析技術に仕上げるためには、計測機器ハードウェア開発に加えて、そのハードを使いこなすための手法開発、計測さ

れた情報と比較するためのデータベースあるいは知識といった、3つのフロンティアを開拓しなければならない。すなわち、「1. 新規なデータを提供する新たな計測機器」、「2. 新たな計測手法による迅速で高度なデータ取得」、「3. それらのデータを元に材料等の分析を可能にする比較のための知識の蓄積」が必要となる。この3つが開発できて、初めて、新たな計測技術は分析技術として社会で使われるようになると思う。以下分析機器と表記したときには、その製品開発には、上記3つの要素が含まれる。

本報告書は6章と付録から構成される。

第1章は「はじめに」として、本調査研究の背景となる問題意識と本調査研究の目的を提起している。

第2章は「ラボ用分析機器の世界情勢」として、米国 Strategic Directions International, Inc. (SDi 社)の報告に基づき、分析機器の「世界市場と国別シェア」「国別シェアの推移」「分析機器に関する開発力」等の現状分析を行い、日本の分析機器の国際競争力が困難な状況に直面しつつあることを指摘する。

第3章は「産業技術分野毎の分析ニーズ、分析ボトルネック」として、産業技術の個別分野における計測・分析機器の現状と課題を技術的な観点から取りまとめる。取り上げた個別分野は、ナノテクノロジーと深く関わる分野のうち、パワーエレクトロニクス(半導体)、MEMS、バイオ、化学工学、産業機械の6分野に、これら計測に共通に関わる標準を加えた7分野である。

第4章は、日本を代表する分析機器のユーザー企業及び製造企業からの調査結果を取りまとめた「分析機器及び分析技術に対する民間企業調査」である。同調査は書面調査及び面談調査から成り、書面調査は第I部「総論」、第II部「各論」、第III部「産総研に対するご要望」の3部構成で、これらの構成に沿って行った面談調査の結果を併せて取りまとめている。

第5章は、第4章までの現状分析と課題の抽出を踏まえて、「アクションプラン」として、先端分析機器を集約、公開して、ユーザー開拓を行う拠点を分析機器の開発環境として、提案している。

最後に本報告書の総括と今後の展望として、第6章「まとめ」を置いている。付録は、各企業に行った書面調査票である。

参考資料

1. Global Assessment Report 11th Edition, “The laboratory Analytical & Life Science Instrumentation Industry,” published Oct. 2010 by Strategic Directions International, Inc. (SDi), www.strategic-directions.com.

SDi社は、分析機器に特化した国際的経営コンサルティング会社である。同社のレポートの第1の情報源は、独自のデータ情報収集活動であり、その活動には、エンドユーザー、規制当局に所属する個人、関係するベンダー、他の知識人との密接な交流が含まれる。2次的な情報源として、産業や市場関係の出版物、Wall Street journalのような経済活動金融に関する新聞、工業新聞である。SDi社は、政府の工業生産、工業実績、国際貿易に関する刊行物を参考にはするが、それらは、詳細情報と信頼性に欠けるため、レポートにルーチン的には取り込まない方針である。本報告書作成にあたり、SDi社のデータを使用することについて承諾を得ている。

2. 科学機器年鑑 2010年版、株式会社 アールアンドディ, <http://www.rdco.info/>
3. 日本分析機器工業会ホームページ, <http://www.jaima.or.jp/>
4. 調査報告書「計測・分析技術に関する諸外国の研究開発政策動向」独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター: CRDS-FY2010-RR-01, <http://crds.jst.go.jp/>

販売目的で本報告書を配付することを禁止します。無断で、本報告書をコピーして配付すること、本報告書で使われている図や記述内容を転載することを禁止します。

第2章 ラボ用分析機器の世界情勢

2.1 世界市場と国別シェア

研究開発や各種の検査で使われるラボ用機器は、SDi レポートでは、分離分析、ライフサイエンス用機器(質量分析を除く)、質量分析、分子分光、原子分光、表面分析、材料特性評価、ラボラトリーオートメーション、その他のラボ用機器に分類されている。74 種の分析機器とそれらが関係する技術の統計が報告されている。エンドユーザーの分野は、次の 19 種である。統計データは、これらの分野のラボで使用されている分析機器そのものと、機器を使用する際に必要とされるサービス、消耗品に関するものであり、ラボ用分析機器産業界全体の規模を現している。

1. 大学、2. 航空/自動車、3. 農業/食品/飲料、
4. バイオテクノロジー、5. セメント、6. 化学 (有機・無機・石油)、
7. 研究開発業務受託機関、8. 民間検査所(環境分析を含む)、
9. 政府系研究開発機関、10. 政府系検査機関、11. 医療機関、
12. 金属/鉱業、13. 石油/ガス、14. 塗料/コーティング、15. 医薬品製造、
16. ポリマー/プラスチック(繊維を含む)、
17. 半導体・エレクトロニクス・ナノテク、18. 公益事業 (電気/ガス/水道)、
19. その他

SDi 社の分類に対して、日本分析機器工業会の生産高・輸出高統計における分類は、ラボ用分析機器、環境(公害)用分析機器、プロセス現場用分析機器、作業環境用保安用分析機器、医用検査機器、自動化関連機器、バイオ関連分析機器、食品関連分析機器となっている。本報告書で取り上げるラボ用機器としては、個々の分析機器について照合しなければならないが、日本分析機器工業会の以下の機器群が含まれる：ラボ用分析機器、環境(公害)用分析機器、医用検査機器、自動化関連機器、バイオ関連分析機器、食品関連分析機器。SDi 社のレポートは、分析機器工業会のデータの 95%をカバーしており、残りの 5%は日本科学機器団体連合会の一部に対応する。

2.1.1 国別の分析機器シェア

この産業分野における 2009 年トップ 50 社の国別販売額は、世界市場の 80%を占め、その額と割合は次の通りである。以降、図中等で 1,000,000\$を million\$あるいは\$M と表記する。分析機器製造メーカーは国際的な合併や買収によりグローバル化しており、この統

計では、本社がある国に販売額をカウントしている。上位 20 位までは、クロマトグラフのような分離分析とライフサイエンス関連の技術を重点化している傾向がある。20 位以降の企業は、表面分析や材料特性評価が主力の企業が多い。トップ 50 社の中には、日本企業は 10 社含まれている。

2009 年国別販売額の割合

- アメリカ：19,203\$M (66%)
- 日本：4,118\$M (14%)
- ドイツ：3,793\$M (13%) (EU 全体では 16%)
- スイス：755\$M (3%)
- オランダ：656\$M (2%)
- イギリス：614\$M (2%)
- デンマーク：170\$M (1%)

2009 年の世界シェアは、アメリカ製の分析機器が約 7 割、日本とドイツが同程度で残りの約 3 割を占めている。日本は 2 位の世界シェアであり、一見健闘しているように見えるが、後述するように年次推移を見ると危機的状況が明らかになる。図 2.1 に 2009 年国別販売シェアの図を示す。

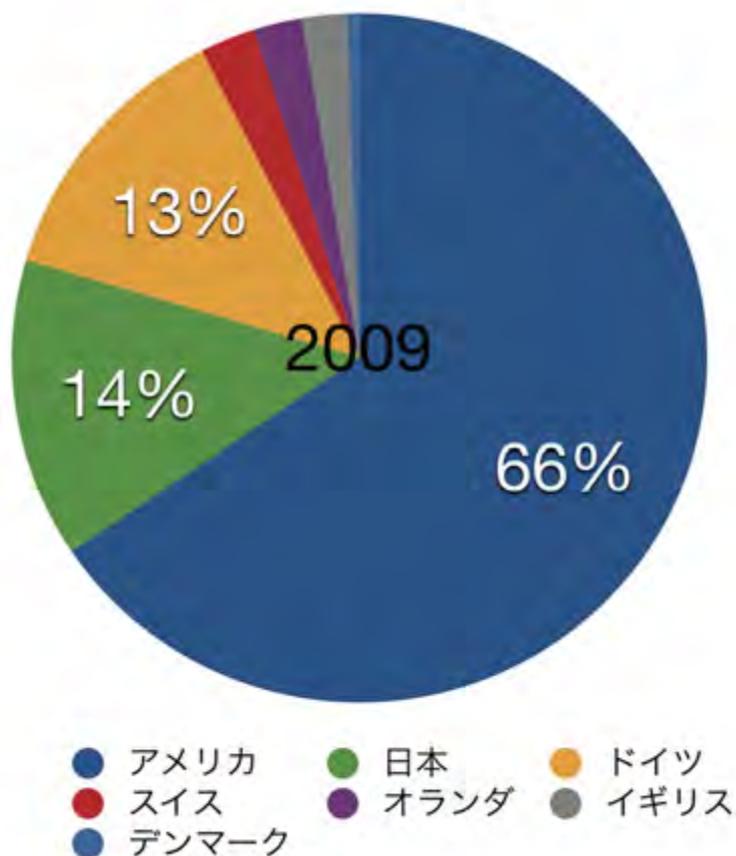


図 2.1 ラボ用分析機器トップ 50 社の 2009 年国別販売割合。トップ 50 社の販売額は、29,309\$M で、全世界販売額 37,219\$M の 80%を占めている。

2.1.2 輸出入バランス

図 2.2 に分析機器の輸出入バランスを示す。輸出超過は、アメリカが突出している。次ぎが日本で、SDi 社はドイツのみのデータを集計していないが、僅かに輸出超過と予想している。これらの国以外は、他の EU 加盟国を含めて全て輸入超過となっている。

分析機器の世界シェアや輸出入バランスは、科学技術立国であることを反映していると言える。図 2.1 から、アメリカ、日本、ドイツの 3 国（分析機器先進国）が、世界のほとんどのラボ用分析機器を供給していることが分かる。2009 年時点の貿易の流れを見ると、アメリカ、日本の市場では、自国内で生産された製品が約 70%を占めている。分析機器先進国では、分析機器産業は、外貨を稼げる輸出超過の輸出産業であり、同時に国内で生産されたものは大部分が国内に出荷されているという特徴がある。これは、自国内に研究開発基盤があり、機器開発のニーズが常に国内から寄せられることを示している。研究開発現場から機器開発サイドへのニーズの提供 → 先端分析機器開発 → 研究開発の加速 → 研究開発から機器開発へのニーズ というサイクルがうまく回ることによって、国際競争力のある分析機器製品が創出され続け、輸出超過となっていると言える。

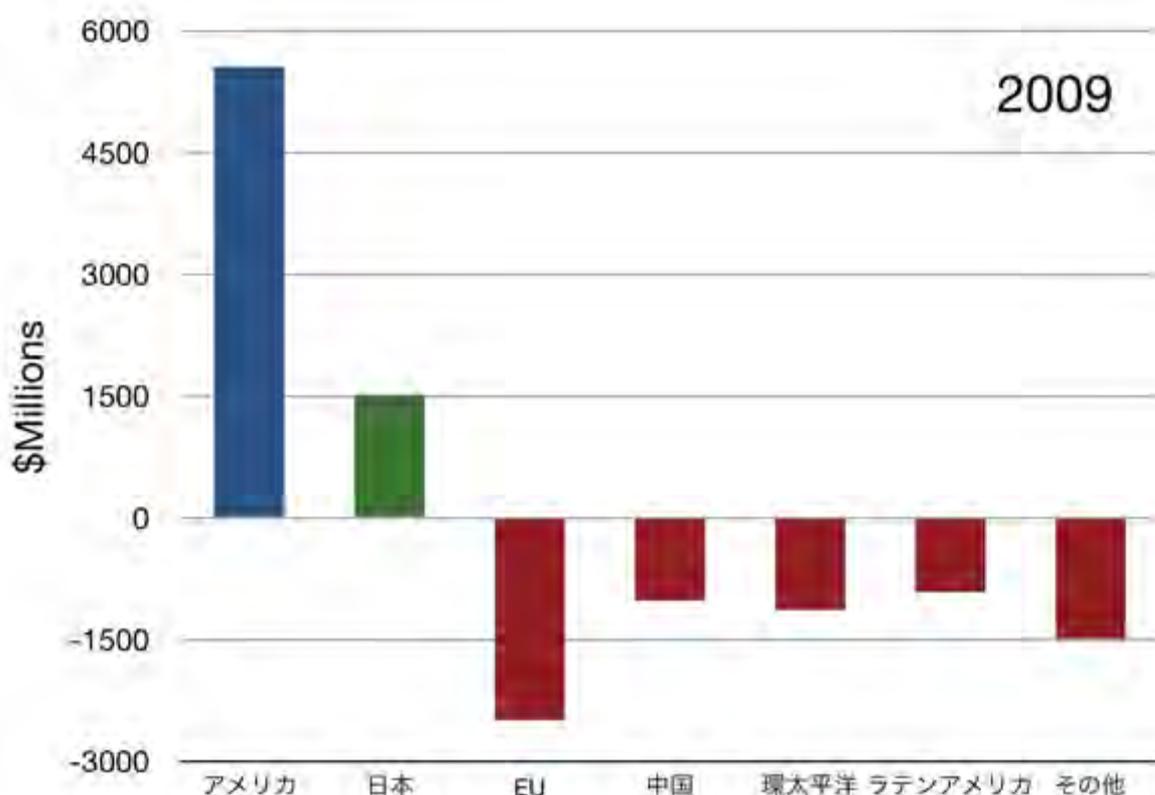


図 2.2 2009 年のラボ用分析機器輸出入バランス。アメリカ、日本は輸出超過。統計はないが SDi 社によると、ドイツも額は大きくないが輸出超過と推定される。他の国は全て輸入超過となっている。この図は、本社のある国ではなく、製造された場所からの輸出入フローを示している。

日本国内市場の約 70%を国内で生産された機器が占めている事実は、第 4 章で述べる、日本国内ユーザー企業の面談調査でも裏付けられる。日本企業は、研究開発に必要な分析機器として、カタログ製品をそのまま整備することはほとんどなく、自社に合った改造を施す場合がほとんどであった。特に、ハイエンド機器についてその傾向が強い。改造の発注先としては、ライフサイエンス分野を除いて、国内の分析機器製造メーカーが多いということであった。意志の疎通が容易で、万全のアフターサービスが期待される国内メーカーが好まれる傾向にある。しかし、分析機器によっては、国内製品と海外製品の性能に歴然たる差があり、その場合、ユーザーは躊躇なく海外製品を選択している。特に、面談調査の結果では、ライフサイエンス分野の機器に顕著にその傾向があった。

科学技術立国であるための条件は、分析機器先進国である必要がある。例えば、研究開発環境が急速に向上しつつある中国の分析機器産業を見てみると、中国製品の割合 25%、アメリカからの輸入が 53%、日本からの輸入が 11%、他国からの輸入が 11%である。世界の科学技術情勢を考慮すれば、分析機器の先進性が科学と技術を先導しており、“Better instruments, better products”と言える。優れた分析機器がなければ、質の良い製品は開発できていない。

中国では国内の機器を自国内で開発しようという動きがあり、輸入機器から学びながら高性能の分析機器が開発されていくであろう。統計上も急速に科学機器の製造業が立ち上がっている。これは、日本の戦後の状況と似ているかもしれない。2011 年の春に出された中国の新 5 カ年計画においては、大気、水、土壌の環境モニタリング、非化石燃料へのクリーンエネルギー転換、新エネルギー輸送、バイオ産業が取り上げられている。これらの研究開発における分析機器の需要上昇が期待されている。この 5 カ年計画では、ハイエンド機器製造も取り上げられており、国内需要を自国内で賄おうという姿勢が覗える。輸入した分析機器を参考に、国内生産を目指すであろうことが予想される。

2.1.3 世界市場推移と将来の市場推定

ラボで使用される分析機器の世界グローバル市場は、2004 年の 300 億 \$ (2 兆 5000 億円) から 2009 年には、370 億 \$ に (3 兆円) に成長している。さらに、2014 年には 480 億 \$ (4 兆円) に成長すると予測されている。2004 年から 2009 年の成長は、日米欧(カナダを含む)の最先端ライフサイエンスに関わる研究機関からの需要に支えられた。注目すべき中国市場は、2004 年から 2009 年に掛けて、2 倍以上の成長を見せ、主に製薬と電子部品製造に関する分析機器の需要が上昇した。2009 年から 2014 年の成長予測では、中国需要の上昇は、2009 年以前ほどではないにしても継続すると考えられる。環太平洋諸国では他に、インドの成長が見込まれる。これらの国の需要の大部分は、ハイエンド機器ではなく、平均的性能の機器であると思われる。一方、日米欧の需要は、ハイエンド分析機器への二

ズが強く、引き続き堅調な成長が予想されている。

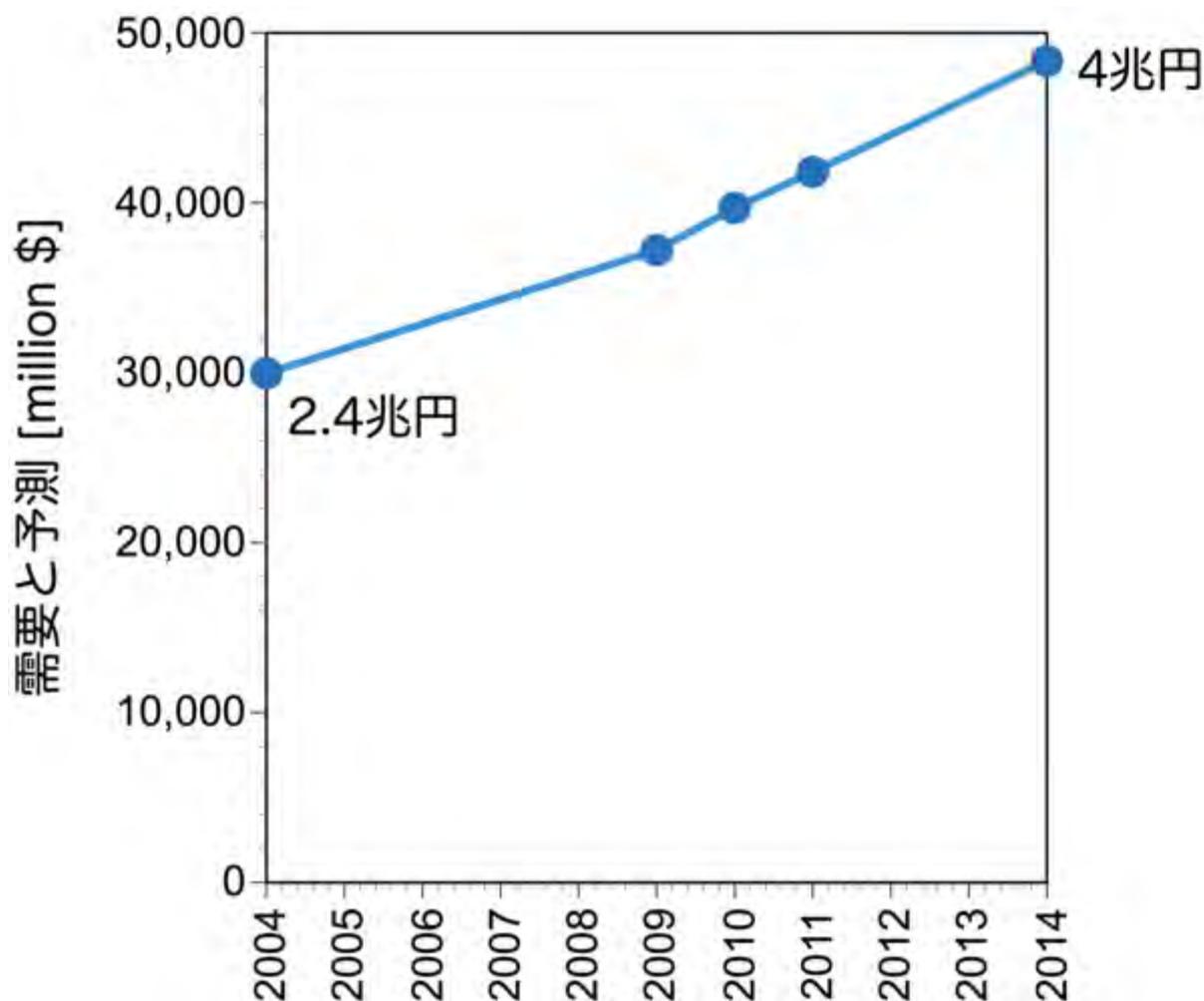


図 2.3. 2004 年から 2009 年の分析機器世界需要実績と 2014 年までの予測。円は現在の為替レートで換算。

2.2 国別シェアの推移

最初に、アメリカ、日本、中国の GDP の過去の推移について概観し、それを考慮しつつ、ラボ用分析機器の過去の年次推移について考察する。

2.2.1 アメリカ、日本、中国の GDP 推移

1985 年にアメリカの GDP は、日本の 2 倍であったが、2009 年には 3 倍にその差が広がっている。日本の研究開発資金の投入方法がベストでなく、効率が悪いという指摘がある。アメリカは、成長産業に資金を先行投資し、日本は斜陽産業に投資する傾向にあるという指

摘もある。

前述したように、中国は、分析機器について-1,022\$Mの輸入超過(2009年)であるが、中国のGDPは2010年に日本を抜いたのは確実である。中国の分析機器市場規模は、現在、2,338\$Mで全世界の6%しかないが、2004年から2009年に最も高い成長率を示し、今後その状況は変わらないと予想されている。「中国生命科学研究所が必要とする汎用型機械・設備の研究開発を自前で行う。それに伴う新しい方法論の研究やその技術の実現についても合わせて行う。」という考えが、中国の新5カ年計画に現れており、アメリカ製が53%を占める分析機器市場の現状を反省し、自国内調達率を上げようという政策が見えてくる。自国内における計測機器開発力の増強がオリジナルの産業創出や国際競争力の向上に繋がると認識ははじめたと考えられる。中国は、現在、研究開発に必要な機器を輸入しているが、自主開発力を持つことによって、さらに急速にGDPが上昇すると予想される。



図 2.4 名目 GDP の変化。アメリカと日本の差は、20 年前の 2 倍から 3 倍に拡大。近年の円高の影響を加味する必要があるが、ドル建てでは、2010 年に日本は中国に抜かれる。

以上の状況を考えると、日本は、分析機器シェア世界 2 位(2009 年)であると安心してはられない。GDP と分析機器シェアで大きくアメリカに引き離されている上に、中国、韓国、台湾等の台頭を無視することはできない。中国は、海外留学により高い能力を身に付けた研究者、技術者の帰国を奨励している。彼らが分析機器開発を行えば、近い将来、日本で

使われる分析機器はほとんど中国製という状況になるかもしれない。その時には、日本は科学技術立国ではあり得ない。衣類、食料品などに加えて、電気自動車、半導体など高度な工業製品においても、中国から輸入せざるを得ない事態が想定される。第 3 期科学技術基本計画においては、「先端的機器（計量標準、計測・分析・試験・評価方法に使用する）が最先端の研究を先導する性格を持つことを踏まえ、重要な分野の研究に不可欠な機器や、我が国が比較優位を持ちつつも諸外国に追い上げられている機器について、鍵となる要素技術やシステム統合技術を重点開発する。」と明記されている。第 4 期基本計画にも同様に記述される。計測機器開発は、国力の源泉であると認識されてはいるが、この考えは、日本国内において広く広まっているとは言えない。産業の出口に近いところには対症療法的に予算配算されるが、産業構造の上流に投資し抜本的な対処を行おうという気運は、現在感じられない。

景気と分析機器市場は密接に関係している。景気が悪くなれば研究開発投資が減り、計測機器の需要も減る。新しい機器開発はストップする。鶏と卵の議論はあるが、景気を一時的に回復させるために、多額の補正予算を市場に直接投入するよりは、間接的な基盤への投資を行い、日本国内の研究開発の基礎体力を高める必要があるのではないだろうか。世界市場 3-4 兆円のラボ用分析機器産業への投資は、産業の出口への投資に比べて、桁違いに少ない額で済む。すなわち、前述したように、下流への投資は対症療法であるが、上流への投資は抜本的解決に繋がる可能性がある。

分析することにより製造プロセスの各種パラメーターの最適化ができ、高度な製品が生産できる。高い分析技術をもった国（高度な分析機器産業界を有する国）が最初にその製品を出すことができる。また、標準は計測分析技術があって初めて設定できる。アメリカの研究者や技術者と話すと、未だにデファクトスタンダードの考えである場合が多い。アメリカの技術が最も高いのであるからそれを使えばよいという考えである。標準は、高いシェアを維持し国際競争力のある分析機器製品を有しているアメリカから発信されることが多い。

2.2.2 2003-2009 年の国別シェアの推移

SDi 社は 2003 年から世界トップ 50 社のラボ用分析機器売上高の調査データを保有している。そのデータを図 2.5 に示す。世界の研究開発投資の上昇とともに、総売上高（世界需要）は増加している。2003 年から 2007 年の世界市場は 2 年当たり 24-31% の高い伸びを示している。これは、ライフサイエンス分析機器の伸びに対応している。2007 年から 2009 年は、その伸びは 6% に鈍化し、飽和傾向にあるが、確実に市場は拡大している。この図から国別の売上高の推移を見ることができる。アメリカは前述のように 70% 程度と高いシェアを占めているので、アメリカ以外の国別シェア推移を図 2.6 に示す。

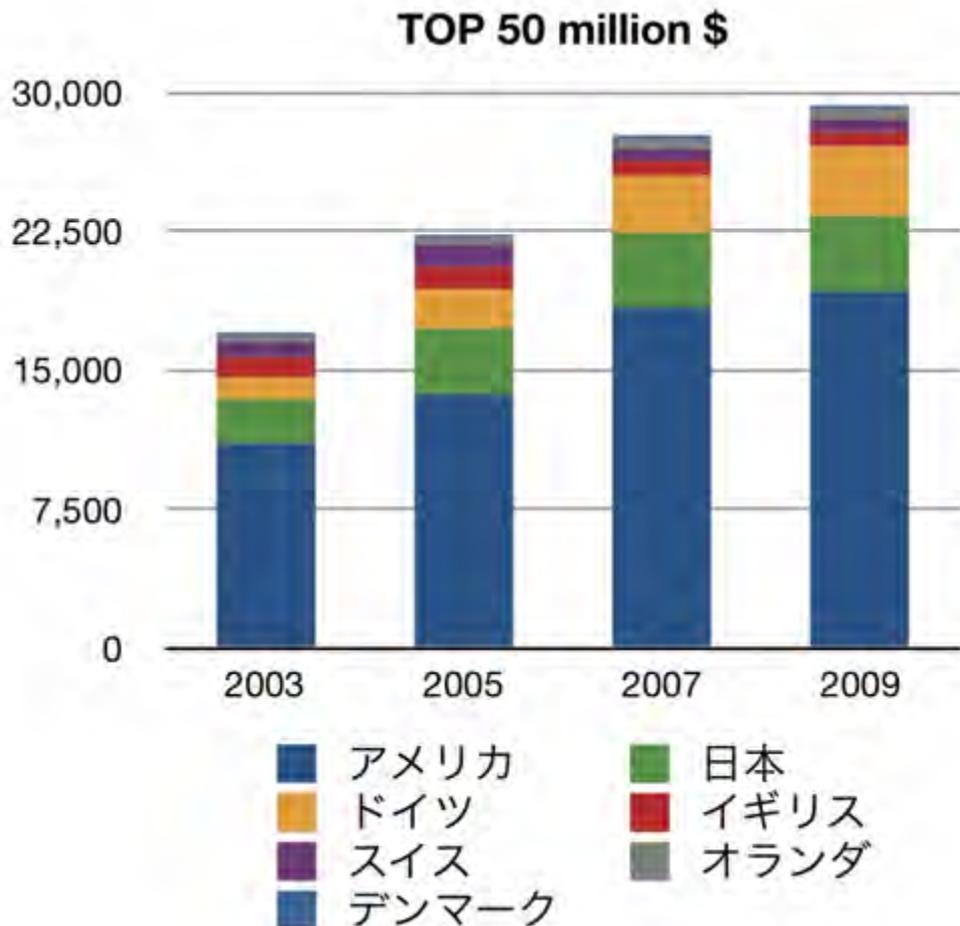


図 2.5 トップ 50 社の 2003-2009 年国別売上高の推移

分析機器の製造を行っているトップ7ヶ国は、アメリカ、日本、ドイツ、イギリス、スイス、オランダ、デンマークである。アメリカを除いた6ヶ国の推移を見ると、2003年から2007年に掛けて世界市場は伸びているが、日本の売上は飽和傾向を示していることが分かる。これに対して、直線的な伸びを示しているのが、ドイツである。2003年には日本の約半分しかなかった売上が、2009年には日本とほぼ同額になっている。これは、ドイツの輸出入バランスの正確なデータがないので、さらなる調査が必要であるが以下のことを示していると考えられる。2007年以前は、ドイツには有力な分析機器メーカーがあったが、国全体では分析機器の輸入国であったと考えられる。しかし、特に、ライフサイエンス系の機器のシェアが拡大していると考えられる。2008-2009年頃には輸出入バランスはマイナスからプラスに転じたと思われる。ドイツの躍進にともなって、他のEU諸国で有力なイギリス、スイス等のシェアは低下している。世界トップ20位以内は、ライフ系の機器を主力としており、20位以降は表面分析や材料特性評価が主力であることを考えると、ドイツ企業はライフ系の新製品を開発し、新成長市場を獲得してきたと言える。

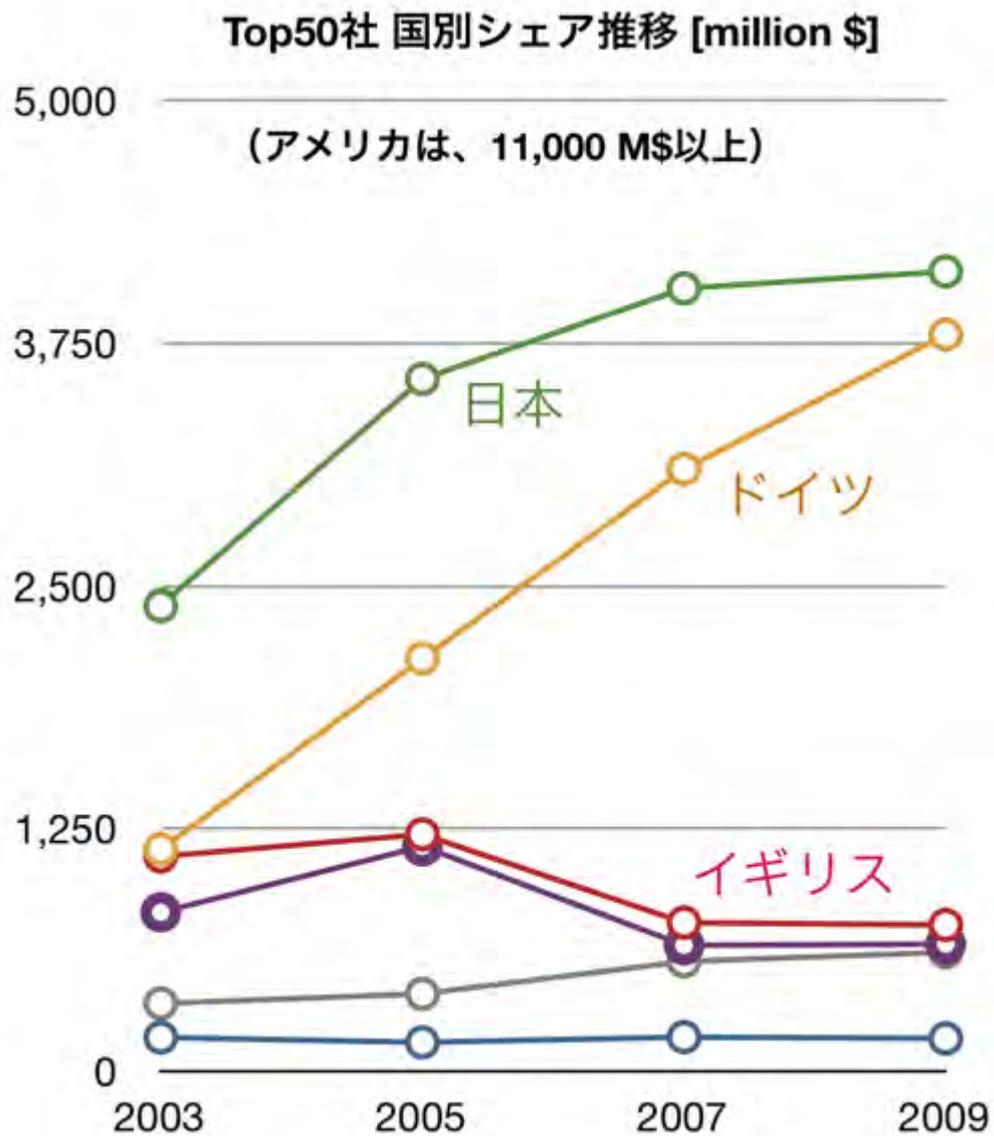


図 2.6 アメリカを除いた 2003-2009 年の Top50 社の国別売上高の推移。アメリカのシェアは、65%から 66%とほとんど変化していない。製品販売額が、製造場所によらず本社のある国にカウントされている。アメリカの推移は図 4.4.1 を参照。

前述したように、日本の分析機器産業界は 2009 年まで世界第 2 位のシェアであったが、2010 年にはおそらくドイツに抜かれる。このことは、日本の多くの関係者も感じ取っているはずである。しかし、日本分析機器産業界は、まだ、輸出入バランスがプラスの輸出産業であることは事実である。多品種少量生産の分析機器開発は、日本の科学技術立国を支えるだけでなく輸出産業として今後残すべき重要な産業分野と言える。この危機的状況にある分析機器産業に対して、今、政策的な手段を講じなければならないと言える。

2.3 分析機器に関する開発力の国際比較

日本は、表面分析や材料特性評価といった従来型分析機器で強く、成長が予測される研究開発分野のための新しい分析機器を出すことができなかつたと考えられる。ここで、従来型とは原理的には昔から存在し、定常的な需要がある分析機器のことである。例えば、走査型電子顕微鏡、X線回折装置、熱分析装置、電子プローブ微量分析(EPMA)などが相当する。一方、過去10年ほどは、新しい分野、特にライフサイエンス系の機器がほとんど出ていないと思われる。この原因として考えられるのは、日本国内で新しい技術が出て、分析機器まで仕上げることができていることである。例えば、2002年のノーベル賞を受賞したソフトイオン化(島津製作所 田中耕一氏)は、Hillenkamp教授をはじめドイツを中心に実用に近いレベルに仕上げられ多くの製品を生み出した。前述した研究開発から機器開発へのニーズ → 先端分析機器開発 → 国際的競争力のある製品の創出というサイクルの何処かが途切れているのではないだろうか。日本では、欧米で注目されて初めて国内で製品化することが多いことを否定することはできない。新しい分析技術が出て、実用化されるには10-20年の時間を要することは、過去の歴史から明かである。この期間を乗り切る文化が日本には希薄と言える。特に、性急なリターンを要求し、新しい芽を潰すような議論が見受けられるように思われる。ラボ用分析機器の世界市場は3-4兆円であり、企業の規模等を考えると、この問題を分析機器企業の努力のみに頼ることはできないと考えられる。

日本の成長は飽和傾向にあるのに、ドイツはなぜこのような成長を遂げることができたのであろうか?ドイツのハイテク戦略には、17の重点分野が挙げられており、ナノテクノロジーのアクションプランの中に、計測分析技術はイノベーションを推進するための重要な技術の1つとして記載されている。これだけでは説明できない。上記質問に直接答えることは簡単ではないが、日本のアクションプランを考える上で重要と思われるので、日本企業の聞き取り調査等の結果を参考に推察してみる。

欧米における分析機器製品化の構図

- 科学技術において計測や分析を行うことは必須であり、それを開発するところから始める文化がある。
- 新商品の元となる試作機の開発とユーザーを見つけるところまでを、研究機関が担っている。
- 分析機器企業は生産体制を整えて、その試作機を製品として使いやすい機器に仕上げる。既にユーザーが付いているので、生産した装置は必ず売れる。
- 分析機器に付属するソフトも研究機関で開発されている。
- ドイツには、マックスプランク協会(基礎研究) → フラウンホーファー研究機構(応用

研究) → 企業 (製品化) という流れがある。サイエンスのためにマックスプランク研究所が作ったデバイスが、製品化されて分析のためのキーテクノロジーとなる、あるいは分析機器に組み込まれるような例が散見される。

日本における分析機器製品化の構図

- 科学技術の歴史が欧米に比べて浅い日本は、欧米製のハイエンド分析機器を輸入してサイエンスや技術開発を立ち上げてきた歴史がある。欧米製の機器を購入しないとデータが出ない時代が長かった。新しい測定を行いたいと思ったら、ほとんどの場合、それを可能にする欧米製の機器が出てくるので、日本の研究者は欧米製を待っていればよかった。
- 研究者自ら機器開発を行うという文化が育たなかった。そのため、日本の大学や研究開発法人といった研究機関の機器開発力は、低下したのではないか。分析機器メーカーに発注することが多くなり、機器開発に関して、外注研究開発となる場合が多いのではないか。結果として、ほとんどの場合、機器開発は分析機器企業が担当している。
- 日本国内の大学や研究機関の成果で製品化すべき新しい技術は少ないという声がある。また、日本企業は海外製のキーコンポーネントを使って、機器を組み上げているだけという指摘がある。
- 日本国内の大学や研究機関は学問の進歩への貢献には熱心だが、研究成果の普及や製品化には熱心ではなかった。
- 新しい分析機器を世に出そうとすると、企業がユーザーを見つけるところからスタートしなければならない。あるいは、製品化した後にユーザー開拓を行わなくてはならない。
- 日本企業では、新製品を出し採算が取れるようになるまで、3年程度しか待てない。新しい分析機器が普及するタイムスケールに合わない。新しい技術が研究者や技術者に受け入れられるのに、10-20年が必要で、その死の谷を乗り切るのは企業では難しい。新しい装置が出て今までにないデータが取得可能になり、その後、多くのデータが蓄積されてから、一般の研究開発者が日常的に使うようになる。

2.4 日本の課題

分析機器の製品化において、前節のような違いが欧米と日本に生じた理由は何であったのだろうか？この問いに即答することは簡単ではないが、その背景について考察してみる。海外製の機器をお手本に高性能な機器を日本が生み出していた時代は過ぎ、変化が著し

い科学技術分野において、そのトレンドに応じた新しい機器を出して行かなくては、成長市場を確保できない。薄利多売のものづくりの場所は流転しており、日本は、多品種少量生産の付加価値の高い先端産業を育成すべきではないだろうか。研究開発や検査で使われる機器は、その産業の1つである。新しい分析機器の創出は、物理、化学、電気工学等における先端技術と取り入れなければならない。この意味で、分析機器は、多くの工業製品を先取りしたものであり、前述したように分析機器開発能力の高さは、その国が科学技術立国であることの証しであると思われる。

根底に問題として存在するのは、サイエンスや研究開発への取り組み姿勢といった、文化的な違いがあると思われる。この問題の解決は短期間では困難と思われる。欧米と同じ環境や文化を日本に作ることは容易にはできない。それには膨大な時間が必要となる。しかし、日本の分析機器技術の周辺にある構造的な問題にあった独自の取り組みを迅速かつ効果的に図ることによって、ライフサイエンスの次に来るべき成長が予測される最先端分析機器の開発と普及において、日本発の分析機器が世界市場において優位に立つことに狙いを絞れば、それは難しくないと考える。

第3章 産業技術分野毎の分析ニーズ、分析ボトルネック

3.1 パワーエレクトロニクス分野（半導体分野）

3.1.1 パワーエレクトロニクス分野で必要とされる分析機器

地球温暖化対策や、電力の有効利用の観点から、スマートグリッドなどの新しいパワーエレクトロニクス技術の開発が提案され、現在この研究開発分野では大きな進展が期待されている。パワーエレクトロニクスの研究開発分野で必要とされている分析技術のうち、いわゆる Si 系半導体エレクトロニクスとは異なり、パワーエレクトロニクス技術の研究開発分野に特徴的で重要な分析技術として大きな比重を占めているのは、大規模な配電システム自体の機能性や信頼性の評価技術、大規模な配電システム中に組み込まれるインテリジェント機能を持った電力変換制御システムの機能性や信頼性についての評価技術である。しかしながらこれらのパワーエレクトロニクスに特徴的な計測評価技術は、本報告書で取り扱う分析技術の範疇に入れることができるのかどうかについては、議論の余地がある。ここでは取り扱わないこととする。本報告書の範疇と推察される分析技術としては、個々のパワーデバイスに関する構造機能評価、歩留まり、信頼性についての計測分析技術である。

個々のパワーデバイスに関する歩留まり、信頼性についての計測分析技術は概括的には、Si 系半導体エレクトロニクスで利用されている技術と同じものである。それらは、フォトルミネッセンス(PL)イメージング法/マッピング法、ラマン散乱法、X線回折法、X線トポグラフィ法、走査型電子顕微鏡(SEM)、カソードルミネッセンス法(CL)、電子線励起電流測定法(EBIC)イメージング法、透過型電子顕微鏡法(TEM)、電子線エネルギー損失分光法(EELS)、二次イオン質量分光法(SIMS)、走査型原子間力顕微鏡法(AFM)や関連する各種走査型プローブ顕微鏡法などは共通に利用されている評価手法である。しかしながら、一方で、現在研究開発が進められているパワーデバイスに特徴的に必要とされ利用されている計測分析技術が存在している。これらの特徴的なナノ分析技術は、低電圧で動作する Si のナノエレクトロニクスとは異なってパワーデバイスとして特徴的に必要となっている場合と、現在のパワーデバイスの研究開発は 4H-SiC やあるいは GaN を中心に行われており、これらの結晶の状態に起因して必要になっているナノ計測分析技術が存在している。以下にこれらの分析技術について述べる。

ゲート長が 50 ナノメートル前後のサイズの低電圧で動作する Si-デバイスの場合、1 個の LSI 中に膨大な数の Si-CMOS が作り込まれる。1 個の LSI 中の Si-CMOS のうち、ある程度の数のものが動作不良であってもそれらの不良部の影響を回避して、動作するように LSI は設計されている。一方、大電力を変換制御するパワーデバイスの場合、そのデバイス

のサイズは数 100 μm から数 10 mm の大きさであり、多くの場合単体デバイスである。そのサイズのデバイスの中に不良部分が一カ所存在すると、デバイスの歩留まりや信頼性に致命的な影響を与えることが知られており、Si-CMOS の場合とは異なる技術の厳密性を必要としている。これらのデバイス中の不良部分は、デバイスプロセスの不適切、デバイス設計の不適切、などに起因する格子欠陥、あるいはもともとから結晶中に存在していた格子欠陥に起因するものなどによって発生していると考えられている。格子欠陥は原子レベルの結晶構造の乱れであるから、パワーデバイス開発で必要とされる分析技術とは、原子レベルの結晶構造の乱れを、数 10 mm の単体デバイス全体に渡って検出する必要に迫られている技術である。

一方、現在のパワーデバイスの研究開発は 4H-SiC や GaN を中心に行われており、結晶成長技術、デバイスプロセス技術の現在のレベルでは、これらの結晶に特有の欠陥が存在している。これらの欠陥の検出と精密な分類、それらに基づいた欠陥の同定、それぞれの発生原因の究明、パワーデバイスへの影響の解明が急がれている。4H-SiC を例に、現状で本結晶に特徴的に現れる欠陥を分類する。

エピタキシャル成長プロセスに係る欠陥

エピ膜成長のプロセスに起因して特徴的にエピ膜中に現れる欠陥として、パーティクル、ダウンフォール、三角欠陥、3C 構造のインクルージョン、キャロット、コメントなどの存在が確認されている。これらの発生原因、デバイスへの影響については、不明な部分が多い。

また、各種のピット、ステップバンチング、スクラッチ、バンプ、鈍角三角形欠陥などが報告されている。各種のピット類は、エピ膜中に存在している $b = +[0001]$ のバーガースベクトルを持つ貫通螺旋転位により形成されるピットや、 $b = +1/3\langle 11-20 \rangle$ のバーガースベクトルを持つ貫通刃状転位により形成されるピットは、特に、MOS 構造に致命的なダメージを与える欠陥であることが近年の研究で明確になって来ている。

結晶構造に起因する欠陥

各種の転位として、基底面転位、貫通螺旋転位、貫通刃状転位、各種の積層欠陥として、フランク型積層欠陥、ショックレー型積層欠陥、8H 型積層欠陥がある。これ以外には、ポリタイプ、亜粒界などがある。これらの欠陥は、サブナノメートルの原子変位を伴う結晶構造の乱れである。おおむねのウェーハに存在しているものと、エピ膜成長や、デバイスプロセス中のアニールなどにより新たに導入されたり、もともと存在しているものが形を変えたりしている。また、発生原因は複数存在しており、発生原因の整理を必要としている。これらの欠陥は致命的なダメージをパワーデバイスに与える場合と、点欠陥との相互作用により致命的なダメージを与えると推察されるもの、条件がよければ、重いダメージを与えないと考えられているものなどに分類される。

アンチサイト、格子間原子、空孔、不純物原子

これらの点欠陥もサブナノメーターの原子構造乱れである。SiC の場合、現在のところあるレベル以上の高濃度のイオンを注入すると連鎖衝突現象などにより多量の点欠陥を結晶の深い位置に生み出し、それらの点欠陥が貫通螺旋転位などの拡張欠陥との相互作用を引き起こし、pn 接合界面で問題が生じる。

前述したように、デバイスの歩留まり、信頼性低下の原因を明確にするには、これらの欠陥の存在を数 10 mm サイズのデバイス全体で検出する必要がある。また、これらの欠陥の形成原因も明確に究明されなければならない。さらに歩留まり信頼性の評価を統計的に行うには、単体デバイス内部の欠陥を検出するのではなく、パワーデバイスが作製されたウェーハ全面に渡る検出が能率的である。

以上をまとめるとパワーエレクトロニクスで必要とされる分析技術は、パワーデバイスの歩留まり、信頼性評価技術と結びついているため、マクロ的な I-V 特性評価技術と、マクロスケールの数インチのウェーハ全面に渡って把握されるべき、サブナノメーター以下のスケールの計測解析評価技術を必要としている。これらは、特定の計測評価技術のみを活用しても不可能であり、各種の、マクロ計測評価技術と各種のナノ計測解析評価技術を統合することによって押し進めている。

前述のように、パワーエレクトロニクスで必要とされるナノスケール解析技術は、現状では 1) デバイスの I-V 特性の評価、2) ウェーハ全面に渡るマクロ的な構造評価技術、3) サブナノスケールでの分析技術の 3 つの技術の統合により成り立っている。産総研で行われている統合化されたナノ分析技術を一例として以下に記述する。

デバイスの I-V 特性の評価

ウェーハ全面に作製された多数個のデバイスや TEG を、多数の電極針を持つプローバーで同時に検査し、コンピューター制御により I-V 特性の評価を行う。また、特定のデバイスに対して測定と同時に、エミッション顕微鏡で被検査のデバイスを観察し、デバイスの発光や発熱の位置及び、その状態を記録する。さらに、デバイスや TEG が破壊に至る場合、前駆的な微細な発光などを高速で検出し破壊の前段階で I-V 特性評価を止め、その位置を記録するなどの技術を用いて評価する。これらの発光の観察された位置を下記で示す手法などと組み合わせて検査する。

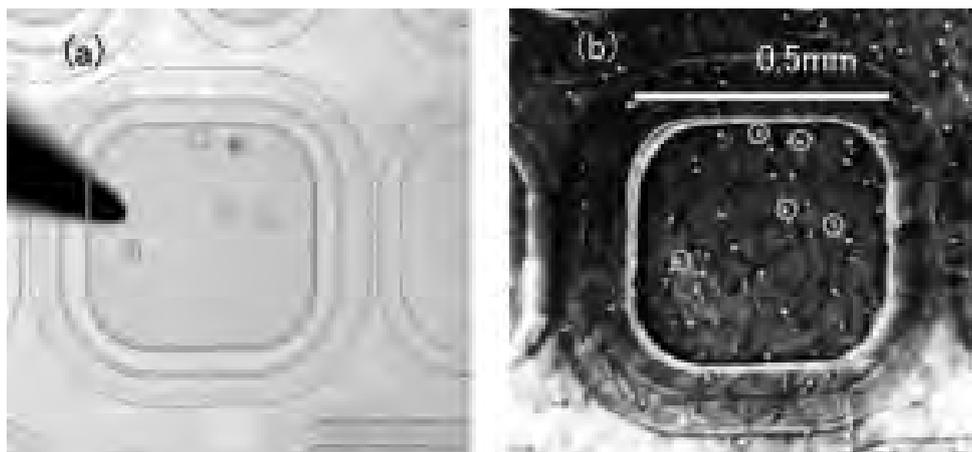


図 3.1.1 (a) PN-ジャンクション構造の IV 特性の評価のようす。逆バイアスで電流リークが発生した時のエミッション顕微鏡像。緑の円で囲んだ部分で発光が観察される。(b)同一場所の放射光を用いた斜入射トポグラフ像。発光位置と同一位置に格子欠陥が存在していることが確認される。

ウェーハ全面に渡るマクロ的な構造評価技術

ウェーハ全面に渡る検査はいくつかの手法により行われている。旧カンデラインスツルメンツ社（現、KLA テンコール社）製のウェーハ表面検査装置を SiC ウェーハの表面検査装置用に数年に渡りチューニングを加え利用している。本装置は、ウェーハを回転させながらレーザー光をウェーハ表面で反射させその反射強度変化より、コンピューターで表面状態を解析し、欠陥種を判断し、欠陥の位置を記録する装置である。本装置で、ウェーハ全面に渡る表面の欠陥や光学的に検出可能なエピ膜内部の欠陥を検出し、それらを分類し、位置を記録させている。また、カンデラ社のウェーハ検査装置では光学的に追いきれない数マイクロン以下の表面欠陥や、コンピューターの判断能力では不可能な表面のピットや表面のステップ、微細なスクラッチを検出する装置として、レーザーテック社のウェーハ表面検査装置を近年新たに導入した。本装置は、コンピューター制御で自動的に、ウェーハ全面にわたり共焦点微分干渉光学顕微鏡像を撮影し、コンピューターのアルゴリズムにより SiC ウェーハの表面欠陥を分類し、その座標を記録する。産総研に設置されている本装置の SiC ウェーハの表面欠陥の分類には産総研での研究成果の蓄積が反映されている。これらの、カンデラ社や、レーザーテック社で得られる表面欠陥のデータには相補性がありいずれかの装置で十分というわけではない。

エピ膜内部に存在している、各種の転位や積層欠陥は、単色化した放射光を用いた斜入射 X 線トポグラフ法によりウェーハ全面に渡る面積を短時間で調べている。この単色化した放射光を用いた斜入射 X 線トポグラフ法による、各種転位の解析技術、及び各種積層欠陥の解析技術は産総研で開発されたオリジナル技術である。本手法ではウェーハ内部に存在している高密度の格子欠陥の情報を取り扱うことなくパワーデバイスが作製されるエピ膜

内部のみや、あるいはパワーデバイスの内部にのみ存在している格子欠陥をウェーハ全面に渡り調べることが可能である。本手法は高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーと産業技術総合研究所との共同研究により手法が確立され、他研究機関では得ることの出来ない精密な研究成果が蓄積されている。また、ウェーハ全面に渡りウェーハ内部の格子欠陥を解析する手法としてとして PL イメージング装置が産総研では活用されており、本装置により手軽に、積層欠陥の分布の状態、座標などを知ることが可能である。

これらの単色化した放射光を用いた斜入射 X 線トポグラフ法や PL イメージング法によるデータは相補的なところがあり片方のデータのみでは不十分である。これらの放射光トポグラフや PL イメージング法による結果と、ウェーハ表面検査装置によるデータを統合し比較すると、エピ膜内部や、デバイス内部に存在している転位や、積層欠陥などの存在と、検出される表面欠陥との間には相関がある場合があり、表面の検査のみで、格子欠陥の存在の確認、種類、位置を検出することが可能である。現在のエピ膜作製技術で作製されたエピ膜の表面は格子欠陥が存在すると、エピ膜表面にその影響が出てくる場合が大半だが、出てこない場合があり、ウェーハ表面検査装置のみによるデータで格子欠陥の有無自体を判断することはできない。



図 3.1.2 次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構により産総研に設置された、ウェーハ表面検査装置の例

サブナノスケールでの分析技術

ウェーハ表面検査装置で記録された表面欠陥のウェーハ上の位置データを走査型電子顕微鏡に入力すると、その場所に走査型電子顕微鏡のステージが自動的に移動し、高分解能像走査型電子顕微鏡像が容易に撮影されるようになっている。本システムのおかげで、表面欠陥の精密な分類と解析が可能となっている。走査型電子顕微鏡による各種の格子欠陥の高分解能像解析については、現在までに産総研ではある程度の蓄積がなされている。また、FIB による透過型電子顕微鏡観察用の断面観察試料の作製や、平面観察用の試料の作製では、力

ンデラ社の表面検査装置で記録されている位置の近辺まで FIB のステージを数値データで移動させ、その近辺で目標とする位置を目視で捜し、透過型電子顕微鏡用試料の作製を行っている。また、放射光を用いたトポグラフィ像による欠陥の位置や、PL 像 CL 像などによる位置関係より、FIB による透過型電子顕微鏡観察用断面観察試料の作製や、平面観察用の試料の作製が行われている。透過型電子顕微鏡による各種の格子欠陥の解析結果については、SiC 結晶中の格子欠陥の解析に対して、高分解能像観察法、ウィークビーム法、 $g \cdot b$ 解析法、Cherns-Preston 法などを活用した各種格子欠陥の解析を行っており、他研究機関では得ることにできない高度で高精度な研究成果の蓄積がなされている。

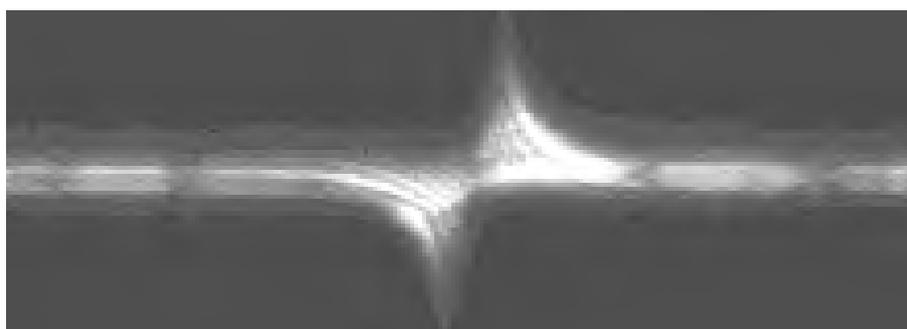


図 3.1.3 PN ジャンクション構造で、逆バイアス時に電流リークを起こす位置を FIB で切り出しの後、透過型電子顕微鏡を用いた観察の結果。 $g=00012$ 反射を用いた Cherns-Preston 法による転位の解析の像。本解析によりバーガスベクトルが 1 ナノメートルに達する貫通螺旋転位が存在することが確認された。本実験結果と、デバイスプロセス法の改良により、あるプロセスにより作製されたデバイスではバーガスベクトルが 1 ナノメートルに達する貫通螺旋転位と点欠陥による相互作用がデバイスキラーとして働くことが解明された。

一方、透過電子顕微鏡技術は近年、急速に新たな進歩を示している。特に収差補正技術の向上と、近年、新たに開発された ABF 法により酸素、ヘリウム、さらに水素の原子像の観察が可能になって来つつある。このような軽元素が観察可能な透過型電子顕微鏡は産総研パワーエレクトロニクス研究関連の部署には存在せず、これらの最新機器の産総研への導入が期待される。このような軽元素の検出が活用されれば、パワーデバイスの歩留まり、信頼性や性能向上への貢献は計り知れない。

SiC パワーデバイス中の点欠陥の解析には、PL 法や CL 法を用いた解析がなされており、イオン注入後のアニールによる点欠陥の挙動などについて近年系統的に調べられており、産総研研究者により新しい知見などがいくつか得られている。また、産総研の陽電子消滅グループの協力によりイオン注入やアニール後の空孔の挙動についての解析を行っている。しかしながら不明な点も依然として多く、さらなる研究を必要としている。これらの点欠陥が転位近傍で高い濃度に集まり、デバイスの歩留まりが低下するとの推察がなされているが、今のところ明確な確証は得られていない。またライフタイムキラーとしての欠陥の検出には

DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) が用いられている。この手法の場合、空間分解能は低い。さらに SiC デバイス中での不純物の検出には Si の場合と同様に SIMS が良く利用されている。この手法は深さ方向の空間分解能は確保されているものの、表面に平行な方向の空間分解能が低い。しかしながら、比較的微量な不純物を検出する本手法に代用される他の技術が存在しておらず、パワーデバイスの解析などでは、比較的頻繁に、受託分析が利用されている。また、ドーパントの濃度の解析に、近年発達して来た走査型キャパシタンス顕微鏡法による SiC エピ膜への応用と解析が試みられている。これらの各種ナノスケールの分析技術を統合して、産総研ではパワーデバイスの信頼性や歩留まりの評価がなされている。

3.1.2 パワーエレクトロニクス分野の分析ニーズ、ボトルネック

現在、パワーエレクトロニクスの研究開発で必要とされている技術は、以下の通りである。

- 個々のデバイスの歩留まり信頼性を低下させる因子や位置を特定する技術。各デバイスの電気特性の評価技術と連動したデバイスの不良部分の特定と同定。
- ウェーハ全面にわたるマクロスケールで、サブナノスケールの格子欠陥を検出する技術。
- サブナノスケールで欠陥構造を解析する技術。
- これらの最先端の解析技術を組み合わせ、不良部等の座標をコンピューターの共通データとして連動化させ、各技術一つでは得ることのできない新しい解析結果を得るシステムの構築を進めている。

高精度で加工の位置決め可能な FIB 装置の導入や、軽元素の観察が可能となりつつある収差補正機能つき走査透過型電子顕微鏡の導入が望まれる。これらの装置はエレクトロニクス技術、環境エネルギー技術といった他の研究開発でも必要とされる技術であり、戦略を持った解析技術のシステムの構築が望まれる。

3.2 MEMS 分野

3.2.1 MEMS 分野で必要とされる分析機器

MEMS やナノインプリントのデバイスの評価では様々な評価方法があるが、量産フェーズでの全数検査を考えた場合、スループットの観点から光学的な手法による形状評価が最も有望な評価手法であると考えられる。同一形状が複数形成されている場合には、画像処理でパターンマッチングを行い、両者の差分を評価する手法が有効であると考えられる。また、均一なパターンが比較的大面積に形成されている場合には、スキャットロメトリーにより光の波長よりも微細なナノメートルパターンの形状評価を行うことが可能である。このような場合に異常箇所を特定するだけであれば、得られる像の「ムラ」を評価することで異常箇所の検知が可能と考えられる。

3.2.2 MEMS 分野の分析ニーズ、ボトルネック

MEMS の分析ニーズであるが、フェーズによって要求は異なる。研究開発フェーズでは通常は市販の装置で必要な測定を行うことができる。しかしながら、量産フェーズでは適当な測定装置がない。これは、もっぱらスループットの問題である。リソグラフィーで作製される MEMS デバイスは全数検査が原則であり、数ミリ角の MEMS デバイスであれば 8 インチウェーハ 1 枚あたり数万個になり、これらが形成された大量のウェーハを検査する必要があるからである。チップの中に自己診断機能を埋め込んだものもあるが、そうでない MEMS デバイスもあり、MEMS 分野においては、高スループットの検査装置が求められている。形状検査において、一般的な MEMS デバイスであれば、形状は光ステッパ等で形成されるために、光学顕微鏡等の光学機器により検査を行える寸法領域になる。MEMS デバイスに立体的な構造が形成されている場合には、比較的長い焦点深度を有する光学検査装置が必要となる。MEMS デバイスではないが、ナノインプリントを利用したデバイスの場合、光学顕微鏡等で直接パターンを観察することが困難な場合が多い。このような場合、高い空間分解能を有する電子顕微鏡や原子間力顕微鏡による評価が必要である。しかしながら、これらの顕微鏡は光学顕微鏡と比較するとスループットが遅く、例えば、ナノインプリントにより形成した数 10nm レベルのパターンドメディアのパターン形状などは、部分を高分解能で評価することは可能であるが、全面の検査は非現実的な時間が必要であり、量産フェーズでは非常に問題である。MEMS デバイスにせよナノインプリントにせよ、微細な形状を大面積で高速で評価することが求められている。

3.3 バイオ分野

3.3.1 バイオ分野で必要とされる分析機器

バイオ分野の一例として、生命に未知なナノ物質、特にカーボンナノチューブ（CNT）、にかかわる生体安全評価において使用されている分析機器及び手法について紹介する。

● 透過型電子顕微鏡（TEM）、走査型電子顕微鏡（SEM）、原子間力顕微鏡（AFM）
ナノ物質の形状及びサイズ評価に用いられる。例えば、カーボンナノチューブの層数、直径、長さなどの構造評価や純度を評価することが必要である。

● ラマン散乱分光

CNT の直径、カイラル指数分布評価及び純度評価に用いられる。

● 発光分析

CNT の直径、カイラル指数分布評価に用いられる。

● 光吸収

CNT の直径分布や金属半導体比の評価に用いられる。

● 熱重量分析

CNT の純度評価に用いられる。

● …

以上の測定手段に求められている事項として、測定感度向上など測定機器のハード面の他に、測定データから各物理量を導く解析手法の確立などソフト技術が挙げられる。

生命を支えるナノ物質であるペプチド、タンパク質といった生体分子の分析には、従来抗原抗体反応等を使った生化学的分析が行われていた。近年、質量分析に代表されるような機器分析がスループットなどの理由から多様されている。使用されている機器は、以下のよう
に多岐に渡る。

● X線構造解析

● 核磁気共鳴(NMR)

● 質量分析

● 生体分子間相互作用解析装置

● DNA マクロアレイ

● DNA シーケンサー

● フローサイトメトリー

● …

これらの機器の需要の伸びが、近年の分析機器世界市場の拡大に繋がっている。例えば、

質量分析を例にとると、2002年のノーベル賞に輝いたのは、質量分析でペプチドやタンパク質の分析を可能にしたイオン源の開発とNMRによる生体分子構造解析であった。イオン源は現在生体分子用の質量分析装置に搭載され、広く普及している。質量分析で生体分子が扱えるようになって、その市場は急激に拡大した。NMRも多数が企業や研究機関に整備されている。機器や手法の開発が、ノーベションを可能にした例であり、現在、今までにない速度で、創薬、疾患マーカー探索などが進められている。

3.3.2 バイオ分野の分析ニーズ、ボトルネック

2009年10月に開催されたISO/TC229（ナノテクノロジー）第9回テルアビブ総会において、ナノ物質に関する環境・安全・衛生（EHS）問題のための計測・評価についてタスクグループ会議が行われた。その会議においてEHS評価に以下のような測定量が必要であるとの認識が示された。

構造	外観	その他
化学的組成 表面化学	粒子サイズ・サイズ分布 凝集状態 形状 表面積	表面電荷 溶解性 分散性

この種の議論において求められている分析とは、精度が高い先端計測分析法ではなく、汎用性の高い手法によって、簡便に上記測定量を見積もることができるものである。試料調整法も含めた測定プロトコルの策定が必要とされる。

同総会のワーキンググループ4（WG4）（材料規格関連）において、ナノ標準物質規格に関する意見交換が行われた。ナノ材料を評価する産業上ロバストな評価法（必要十分な信頼性及び不確かさを有し、かつ設備・時間・人のコストが小さく、トレーサビリティが確保された計測法という意味）については決定打がない状態であり、引き続き審議されることになった。

生体分子分析における分析ニーズとしては、他の分野と同様に検出感度や分解能の向上がある。これに加えて、網羅的解析という手法がよく用いられるバイオ分野においては、スループットに関するものが重要である。このため、分析原理に関する技術革新に加えて、大量の試料数を分析するために、分析プロセスをロボット化するニーズもある。さらに、ソフトウェアが非常に重要な分野である。分析機器はブラックボックス化し、機器ユーザーは試料作製と、ブラックボックスから出力されるデータのみを扱う傾向にある。物理学の研究などに比べて、分析機器開発とユーザーが明確に分離される傾向にある。奨励されるべきこと

ではないが、この分野の機器ユーザーは装置の動作原理について無関心である場合が多い。したがって、分析機器のブラックボックス化のニーズが高い分野である。また、各種のデータベースを検索して、分析機器が出力するデータを解析する必要があり、分析機器に加えてソフトウェアの役割が重要である。

3.4 化学工学分野

3.4.1 化学工学分野で必要とされる分析機器

化学工学が関連する産業分野は幅広いいため、本節では、化学産業・化学プロセス産業に関する現状を説明する。日本の化学産業は、出荷額約 44 兆円、従業員約 96 万人を占めており、出荷額では輸送用機械器具に次いで第 2 位である。日本の分析機器産業の約 80 倍の市場規模である。化学産業においても研究開発には、分析機器が必要不可欠であることは明かで、分析機器を用いた製品開発により大きな利潤が生まれる。

化学産業の基幹であるエチレン生産においては、中国やインドに代表されるアジアの新興国の需要増に歩調をあわせる形で、中国や中東諸国でのエチレン生産能力増強が進められている。このため、国際市場において日本や欧米諸国のエチレン生産割合が低下してきている。この結果として、日本や欧米諸国の主な化学企業では、石油化学からスペシャリティケミカルあるいは機能性化学と呼ばれる、付加価値の高い分野へのシフトが見られる。

プロセス産業におけるもの作りは、原料から最終製品までの物が配管や塔槽類などの中を流れるため、現場作業員（オペレータ）が製造工程中の物の状態や変化を直接見ることができない。そのため、オペレータは製造工程中の化学・物理現象を直接制御するのではなく、センサを通して間接的に得られた情報（プロセス変数）に基づいて管理するという特徴を持つ。その中でも特に視認性が低い化学プロセス産業においては、計器室で監視作業を行うオペレータが、製造工程中の大量のセンサ情報と自分の過去の経験から得た知見に基づいて反応器・配管内部の流体の状態を推定し、監視・判断・操作を日常業務として行っている。このように、製造工程中にオペレータという人間による情報処理や判断が不可避免的に介在することが、プロセス産業の大きな特徴である。

化学プロセス産業は、危険な物質を取り扱うこと、高温高圧など負荷がかかる製造条件での生産工程が多いことから、高度な安全性が求められる。プラントはスタートアップとシャットダウン時に最も不安定な状態となることや、安全性とコスト面からも生産停止が容易でない。さらに、製品と共にプロセスから排出される未反応原料を製造工程に戻して再利用する循環システムを採用するなど、運転を中断しにくいという特徴を持つ。これらの特徴から、どのようにして安全かつ安定した操業を継続するかが、化学プロセス産業における競争力強化の鍵となっている。

化学プロセス産業で取り扱う物質は固体・液体・気体（ガス・蒸気）の全てが含まれ、温度は -162°C （液化天然ガス）から 1100°C （炭化水素の水蒸気改質）程度まで、圧力は真空から 20MPa（アンモニア合成法）以上まで幅広い。化学プロセス産業は一般的に流体を用いた連続プロセスを用いることが多いが、医薬品原料や少量多品種生産においては回分式（バッチ）プロセスを使用することもある。これら多種多様な物質・温度・圧力条件、

連続あるいは回分式に対応したプロセスとするために、化学プロセス産業ではその成立初期から、温度・圧力・流量・液位といった代表的なプロセス変数を検出可能な測定器・センサを備えていた。そのため化学プロセス産業では、現状においてもプロセス変数の高精度測定が可能である。それでも近年は、測定精度のさらなる向上、測定可能な温度・圧力・流量範囲の拡張のための新しいセンサの開発、気液両成分のオンライン近赤外分光分析装置（ラボ用の分析機器と動作原理は同じ）の開発などが続けられている。日本の化学プロセス産業においては、オペレータのプロセス運転を支援するために、DCS（Distributed Control System）などの制御システムが早くから導入されている。近年はプロセスのネットワーク化も進んでおり、ネットワークを介した測定データ・画像データの送受信も始まっている。2000年からは、化学プロセス産業のさらなる競争力強化のため、企業の枠を越えてコンビナート全体の効率化・省エネ化を目指した、エネルギー・原料・製品の相互利用を可能とする生産統合システム開発が進められている。

先に述べたように、化学プロセス産業においては、製造工程中にオペレータという人間による情報処理や判断が不可避免的に介在する。そのため、プロセスの安全・安定運転が、オペレータの技能や経験に属人的に依存してしまうことになる。ところが熟練オペレータの大量退職時期を迎え、熟練オペレータが持つ技能・技術を次世代に伝えていく必要が生じた。さらに製造現場では、オペレータ数の削減に伴って一人あたりの作業負荷が増大していることもあり、熟練オペレータが持つ技能や技術をプロセス運転システムに取り込み、少人数の非熟練オペレータでもプロセスを安全・安定運転できるようにする必要性がかつてなく高まっている。

そのため、熟練オペレータが持つ暗黙知を形式知として記録し、技術的な裏付けを行う。そうして、熟練オペレータが行っている様々なノウハウを標準化・システム化することによってプロセスの安全・安定運転を運転システムとして担保する、生産革新（プロダクションイノベーション）が進められている。これにより、オペレータの熟練度に依存することなく、プロセスを安全・安定運転することが可能となると考えられる。さらに、運転要員数の削減や企業の重点分野への人員資源の集中が可能となるため、企業の競争力強化につながっていくことにもなる。

以上まとめると、現在の化学プロセス産業においては、センサや分析手法の開発というよりも、既にデータリッチな環境にあるプロセス運転を、熟練オペレータのノウハウを標準化・システム化することにより、安全・安定運転を運転システムとして担保するという方向に進んでいる。ラボ用の分析機器として開発された機器や計測分析原理がプロセス中で用いられ、実際に市場に投入する製品の品質管理等で重要な役割を果たしている。本報告は、ラボ用の分析機器を取り扱うが、プロセス中で用いられる分析機器の市場については将来の検討課題である。

3.4.2 化学工学分野の分析ニーズ、ボトルネック

計測ニーズとして、活発に研究開発が進められているマイクロリアクタに必要となる、センサや分析手法について説明する。この分析手法は研究開発のためのラボでも使用される。

マイクロリアクタは、1～1000 μm の流路（マイクロチャンネル）を持ち、マイクロチャンネル内を反応流体が流れる管型反応器である。図3.4.1に、様々な形式のマイクロチャンネルを示す。キャピラリ-チューブや極細内径のチューブをマイクロチャンネルとすることも可能であり、ガラスや金属基板上にマイクロチャンネルを作製する場合には、半導体微細加工や精密機械加工技術を用いる。

特に数 cm 角の基板上にマイクロチャンネルを作り込んだマイクロ化学チップは化学・生化学分析に非常に有効であり、Lab on a ChipあるいはマイクロTAS(Micro Total Analysis Systems)と呼ばれる。MEMS技術と組み合わせられることにより、臨床検査用チップ・微小な化学反応チップとして独自の発展を続けていくと考えられる。

マイクロリアクタの特徴をまとめると、次のようになる。

- 拡散距離が短く混合速度が速い
- 束縛された空間で精緻に流れを制御可能（層流から乱流まで）
- 伝熱抵抗が小さく、迅速な加熱と冷却が可能
- ミリ秒オーダーでの平均滞留時間の精密制御が可能

このような特徴を持つマイクロリアクタを用いて生産プロセスを構築するためには、ナンバリングアップやイコーリングアップといった生産量を増加するための工夫が必要になるが、以下の特徴を持った新たな生産プロセスを構築することが可能となる。

- 実験室レベルから製品出荷までに必要な時間を最小化可能
- 洗浄などに必要な有機溶剤の使用量を大幅に削減可能
- 危険な物質を過酷な生産条件で生産可能
- 医薬品などでバリデーションが必要な場合、実験室で保証された製品スペックを生産まで保証可能
- 生産プラント自身を移動し、必要な製品を必要な場所で必要な量だけ生産可能

加えて、スケールが小さいことによって本質的に安全性が高いことや、プロセスの制御性を高めやすいことから、非熟練オペレータに運転を任せても安全に高品質の製

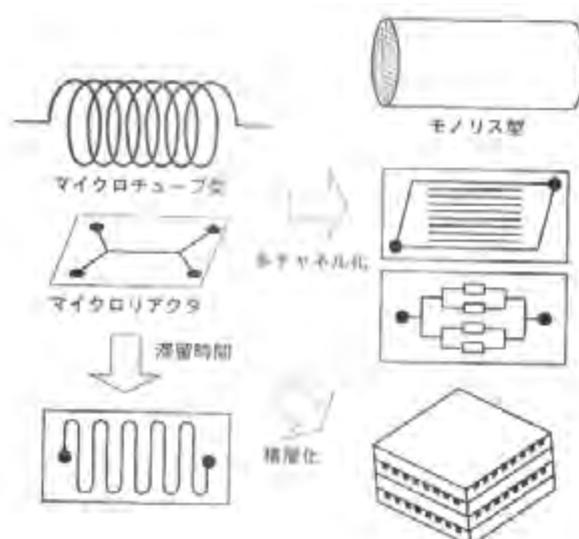


図 3.4.1 様々なマイクロチャンネル

品が生産できると考えられる。

マイクロリアクタを用いたマイクロ化学プロセスは、3.4.1 で説明した化学プロセス産業の持つ特徴を同じように持っている。そのため、温度・圧力・流量といったプロセス変数を測定可能なセンサが必要になる。また、常温常圧付近で操作されるマイクロリアクタはテフロンチューブやガラス基板などで構成されることが多く、内部の流体の挙動を観察することが可能である。その一例として、図 3.4.2 にマイクロチャンネル内の液液相接触状態の観察例を示す。有機溶媒と炭化水素溶媒（非相溶系）の液液相接触状態を、室温条件下、テフロンチューブのマイクロチャンネル内で観察したものである。このように、マイクロチャンネル内では、非相溶系の相接触状態を保持して流体を流すことが可能である。ところが、高温高圧条件下の操作では金属製のマイクロリアクタを利用することになり、マイクロリアクタ内部の流体観察は困難になる。

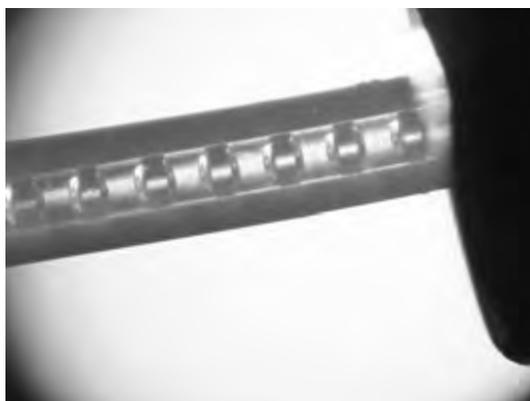


図 3.4.2 マイクロチャンネル内の有機溶媒 + 炭化水素溶媒系液液相接触状

マイクロ化学プロセス用のセンサの一例として、流量センサが持つべき特性が次のように提示されている。1) 微量流量まで対応可能なこと 2) 形状が小さいこと 3) 測定流体が限定されないこと 4) 接液部が腐食されないこと 5) デッドボリュームが小さいこと 6) 可動部がないこと。これらの特性のいくつかは、温度や圧力センサにもあてはまる条件である。このような特徴を持った、マイクロリアクタ用流量センサの外観を、図 3.4.3 に示す。この流量センサは熱線式の測定原理に基づいており、目標仕様は、流量範囲：0.01～10mL/分、測定精度：読み取り値の±5%，使用温度範囲：15～35℃となっている。ガラス基板に MEMS プロセスによって測定回路が形成してあり、接液部に耐腐食性を与えると共に、ガラス基板を用いたマイクロリアクタとの接続を容易にしている。ガラス基板上に構成されていることから使用できる条件は限定されるが、マイクロリアクタ用センサを具体化する時の、考え方の参考になると考えられる。

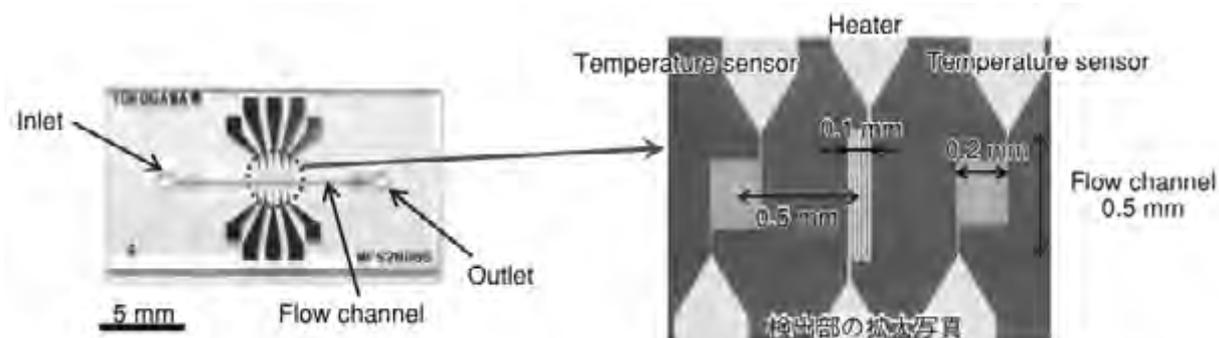


図 3.4.3 微小流量センサチップの外観

マイクロリアクタを用いた化学プロセス産業を確立するには、マイクロリアクタの適用範囲を拡大する必要がある。これまでの化学プロセス産業の運転条件を考えると、温度は300°C程度まで、圧力は20~30MPa程度まで、層流から乱流域までの操作を可能にするために流量範囲は0.01~100mL/分程度が、少なくとも必要になると考えられる。マイクロ化学プロセス産業においては、特に圧力測定が重要である。一般的な圧力センサは大きな感圧面を持ち、使用可能温度範囲が150°C程度までであるため、そのままマイクロ化学プロセスに利用することは、デッドボリュームの点からも困難である。そのため、使用可能温度範囲が広く、マイクロリアクタにそのまま接続可能なデッドボリュームが小さな圧力センサの開発が望まれる。また、マイクロリアクタ内部のその場分析から組成や流速分布が測定可能になれば、マイクロ化学プロセスの開発や運転に非常に有用である。例えば、高温高压条件下で運転されているマイクロリアクタにまで使用でき、配管に組み込む形式でインライン分析可能な光散乱センサや濁度センサがあれば、流体中の溶質の溶解度変化などが測定可能になる。さらに技術的難度は高いが、高温高压条件下でのマイクロリアクタ内部の可視化観察が可能になると、マイクロリアクタ内部の気液・液液の異相系接触状態や、流動状態変化の理解が飛躍的に進むと考えられる。

3.5 産業機械分野

3.5.1 産業機械分野で必要とされる分析機器

産業機械及びその部品を開発し生産にたずさわっている企業等で必要とされている計測技術や分析装置について述べる。本業種では、基本的な長さ、質量、電気量、温度などとあわせて物質の種類や量及び構造状態を把握する装置を運用している。対象物は固体液体気体や分散系であり、金属酸化物半導体や有機化合物及び高分子など、広範囲な材料系を分析する必要がある。物質の分析装置としては、分光分析、質量分析、X線分析、電子顕微鏡、ガスクロマトグラフィー、電子分光、核磁気共鳴分光や熱測定器などが用いられている。計測には高精度、高確度で迅速に計測できる低価格な機種が期待されている。分析機器購入時の選定では、仕様と装置の予備試験結果及び価格見積もりが重要項目である。導入する装置は目的に合ったもので日本製の簡便な装置が多い。

自社でできない計測については社外の公的機関を活用することがあるが、その機関に依頼する時の検討事項は、その分析機器や技術に関わる研究者やその所属機関の実績・評価、分析機器開発者との綿密な議論による解析、及び試料や技術に関する機密保持の確保などである。我が国の知的基盤の一環として、公的機関における分析機器及び技術開発の促進が期待されている。

フーリエ変換型赤外分光光度計（FTIR）や紫外・可視分光光度計、及び蛍光発光分光光度計などの仕様では、空間分解能の向上や測定の迅速性及び機器取り扱いや試料の取り扱い簡便性が期待される。走査型電子顕微鏡（SEM）や透過型電子顕微鏡（TEM）は他分野と同様に多用されており、必要とされる仕様は、感度の向上や空間分解能の向上及び価格の安さが重要なポイントである。また特殊な高額な機器は、自社で保有するよりも、分析受託サービスに外注することが考慮される。

産業機械及びその部品を生産している工場では、材料などの受け入れ検査や部品及び製品の機能検査のためのラボで分析機器を用いる。工場の検査や生産ラインで用いる装置としてはガスクロマトグラフィー、走査型電子顕微鏡（SEM）、フーリエ変換型赤外分光光度計（FTIR）などの汎用的な機器があり、特にその場測定などの長さの計測や組成分析の計測が必要とされている。分析場所は、工場のライン中（インライン計測）やライン近傍での計測（アトライン計測）として必要とされている。これらは、部品や製品の品質維持・向上に直接つながる。今回の報告書では、インラインの装置は除外される。

入荷した材料及び部品について詳細に調べる必要がある場合は、サンプルを抜き取り、ラボでの分析（オフライン）を行い、詳細な検討を行っている。透過型電子顕微鏡（TEM）、SEM、各種分光分析、中性子線による元素分析など先端的な解析が必要な計測分析技術であり、オフラインで活用している。これらは生産途中での品質管理ではなく、該当製品の本

質的な作り込み技術の正否を見極めるもので、計測された結果と生産技術を詳細に調べることによって新たな製造技術へ発展させることが可能となるため新たな技術開発につながることを期待できる。

3.5.2 産業機械分野の分析ニーズ、ボトルネック

新たに技術開発が期待される分析技術（装置がないというボトルネック）では材料や部品中の元素の空間配置が判る分析技術などであり、“その場計測”ができる機器である。前項のインライン計測やアトライン計測の検出能を向上させ、オフライン計測の機能を兼ね備える装置の開発が必要とされている。当然、早く簡便に測定できる安価な装置が望まれる（図 3.5.2）。また、国内や海外で同質の生産能力を維持するために、国内海外でも同質の計測データを取得できる装置や分析の開発や運用が必要である。もっとも期待される技術では材料変化を確認できる分析装置や強度の変化を測定できる装置の開発と運用である。

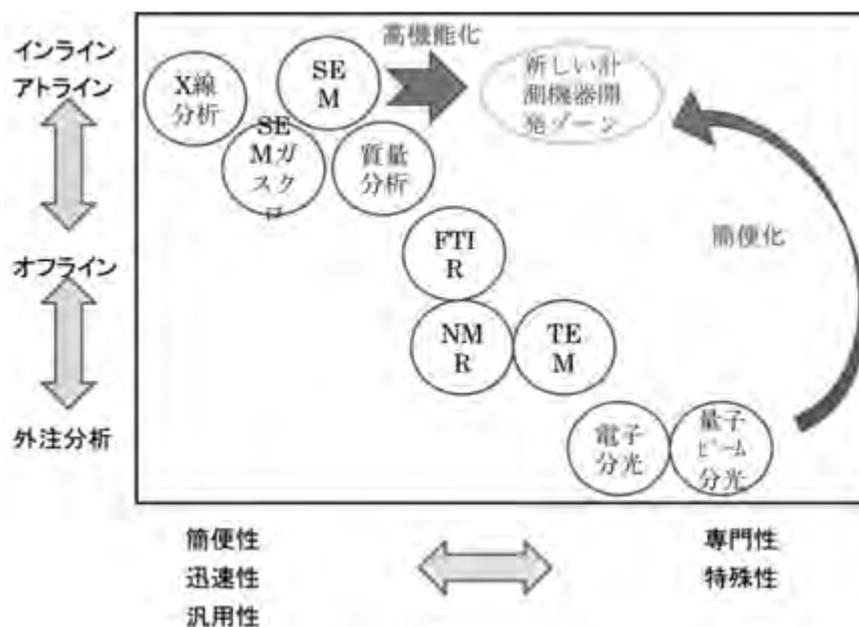


図 3.5.2 産業機器メーカーが使っている分析機器と今後期待される機器開発のゾーン

3.6 標準分野（イノベーション加速に必要な標準）

3.6.1 計量標準の必要性

日常生活、生産活動、取引など様々な分野で、長さや温度など、誰もがその値を疑うことなく認め合う社会に住んでいる。こうした社会の営みを可能にしているのは、それぞれの量に基準となる“ものさし”があり、十分な信頼性をもって利用できるからといえる。この“ものさし”が計量標準であり、時代の要請に応じて新たな計量標準が次々と整備されてきた。例えば、半導体分野において、電子顕微鏡下で極微小の寸法を正しく計るための長さの標準が求められており、微小なスケール（標準物質）の形で供給されている。先端的な技術要求に応えるために、様々な量に対する計量標準が整備され、持ち込まれる計測器に対しては校正・試験で、自ら校正や計測値の確認をするユーザーに対しては標準物質の頒布で標準供給サービスが行われる。このようにして、現場の計測器の信頼性が担保される。

研究開発においては、計量標準を利用することにより、計測、分析値に科学的な信頼性を付与することができ、国内外の異なる機関が行う測定値の互換性が保たれ、比較が可能になる。また、個々の企業も、国家計量標準との関係（トレーサビリティ）を明らかにすることにより、ユーザーに対し、計測、分析の信頼性の説明が容易になる。安全・安心な社会への要望がますます強くなってきており、計測、分析の信頼性が説明できない場合にはイノベーションが阻害されると考えられ、認定、認証、先端技術開発、技術的法規制の新たな分野において、供給が必要な計量標準が増えている。戦略的に推進される以下のような先端技術開発や評価技術開発に対して、関係機関や事業者と一体となって標準供給体制を整備し、計測・分析に信頼性を付与することでイノベーション創出の支援が行われると考える。

- 新技術、新製品の安全性や性能の評価技術開発を支援する

従来にないコンセプトの製品や材料が市場に登場する機会が今まで以上に増加している。新製品の機能、安全性、耐久性や性能を証明するためには、評価、分析手法や装置も同時に開発する必要がある。計量標準を利用してデータの信頼性を検証し、手法の国際標準化を主導することは、国内企業が海外展開していく上で重要である。

- 企業等における安全性評価・管理技術開発を支援する

食品や一般消費者向け製品を中心に、安全に対する消費者の意識が向上してきており、消費者の安全を担保するための計測、評価技術の開発が重要である。企業にとっても安全に対する問題を引き起こすことは、従来以上にダメージとなる時代になってきた。その対処には、リスクマネジメントが必要であるが、正確なデータに基づくリスク評価でなければ意味がなく、計測、分析能力を客観的に示すには、計量標準が必要である。精度管理の向上により製品の歩留まり向上や「安全食品」や「安全製品」としての付加価値の増加も期待される。

また、製品開発に関わる部品や材料の調達先がグローバル化し、ネット調達など、取引

先が広範囲になっている。そのため、調達する部品、原料の品質保証あるいは受入れ検査が、従来以上に難しくなっていており、正確な計測、分析値が重要である。

- 環境、健康のモニタリングや規制への対応を支援する

低炭素社会、エコ社会を形成し、高齢者が健康な生活を送れるようにするために、環境技術・製品、医療・介護・健康関連サービスの普及拡大を後押しする必要がある。そのためには、温暖化による大気や海洋への影響、河湖水水質の維持管理、診断・治療に必要な健康状態などを正確に計測、分析し、整合性のとれたデータを蓄積することが必要である。また、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、食品衛生管理法など国民の安心安全に関する各種技術的法規則に対応するための計量標準も要望されている。

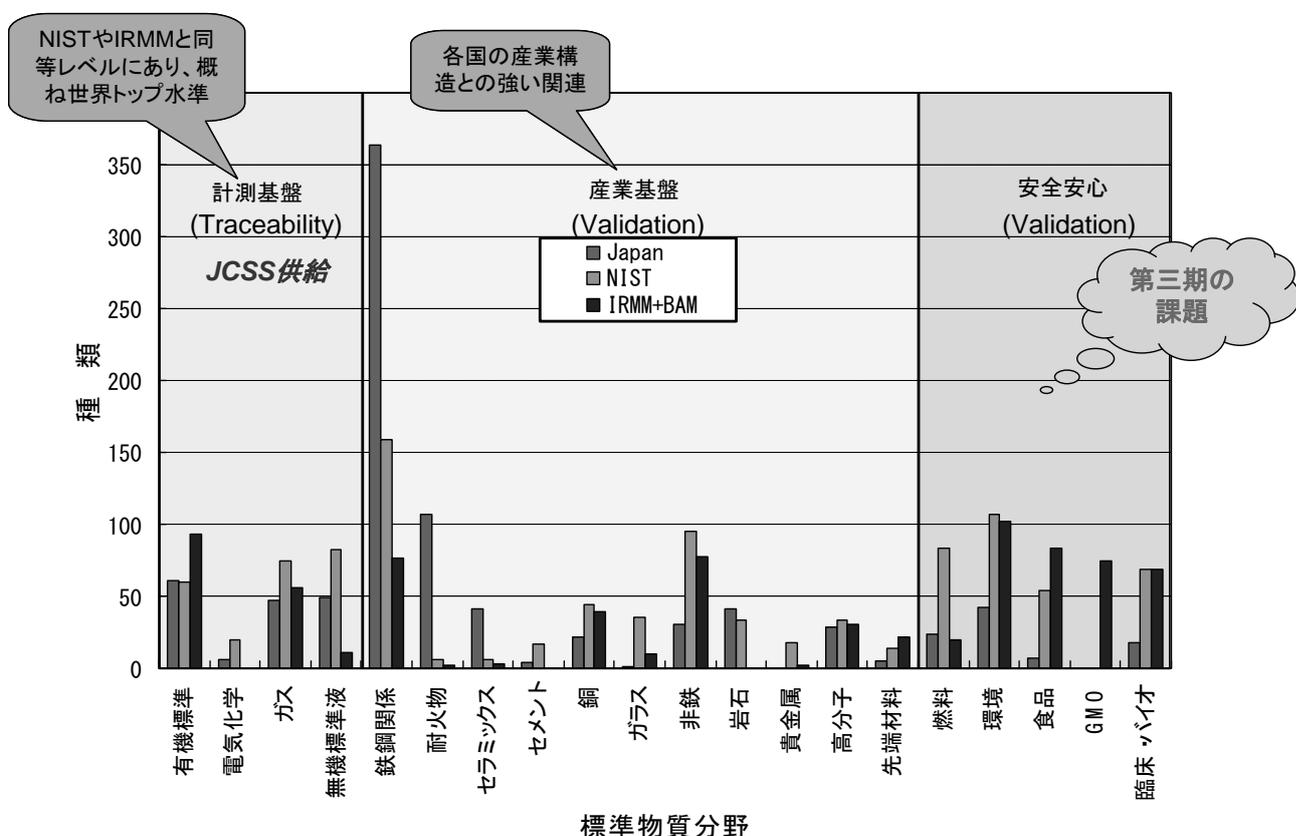


図 3.6.1 日米 (NIST) 欧 (IRMM+BAM) における標準物質開発の現状

3.6.2 標準分野の分析ニーズ、ボトルネック

バイオ標準物質関連

臨床検査の互換性・信頼性向上による健康社会の実現と医療費の削減のために、生体高

分子・低分子など種々の生体成分の化学的な評価方法及び高精度かつ高感度な計測、分析手法を確立し、臨床検査のための上位の標準物質を開発するとともに、関連機関の連携の下に国内のトレーサビリティ体系の確立のための枠組みを作る必要がある。計測標準部門ではトレーサビリティソースである純物質標準物質についての開発を中心に進めており、基本的な臨床検査項目（有機化合物）の整備が進んできた。さらにアミノ酸や遺伝子組み換え製品など、日本の産業界が得意とする製造技術を用いて標準物質の開発を行っている。タンパク質や核酸に関しては、量的評価に着目した標準物質開発を進めているが、タンパク質や DNA といった大きな分子量(数万～数十万)を持つ生体高分子を分離し測定する手段がないため、標準物質としての評価が困難である。液体クロマトグラフィーによる分離は難しく、また、電気泳動法ではイオンに限らず中性分子も分離可能であるが、検出濃度感度が低い。

無機標準物質関連

環境安全配慮設計工業材料（RoHS, REACH)に関して、EU の化学物質規制である REACH 規則、電気・電子機器有害物質規制の RoHS 指令をはじめとする規制が引き続きあり、その適用対象は広がる傾向にある。RoHS 指令の新規追加候補物質、REACH 規則の高懸念物質、玩具 への使用規制物質の分析用の標準物質が必要である。包装材等に関しては、食品や製品の安全性の要求はますます高まってきており、分析需要の高まりに応じて関連の標準物質が求められてきている。

XRF（蛍光 X 線分析）、レーザーアブレーションと組み合わせた分析機器に対しては、定量性が不十分なため、標準物質供給の要望が強い。特に、ホウ素、ケイ素といった軽元素分析用の標準物質が必要である。通常、標準物質はマトリックスへの練り込みや均一にドープする方法で作られている。

また、プラズマイオン源分析では、十分にイオン化できるわけでないため、強力なイオン化源の開発が必要である。また、Ar や He を大量に使うため、小流量化や省入力源化が求められている。

有機標準物質関連

質量分析に関して、汎用性の高いイオン化方法が存在しないことが問題である。分子には極性の高いもの、低いものいろいろあるが、共通してイオン化する方法がない。

液体クロマトグラフ質量分析（LC-MS）は、カラムと質量分析計は直結されておらず、中間にインターフェイスがあり、一般的に LC の溶離液を噴霧して大気圧下でイオンを生成させ、イオンと溶媒蒸気を分離して MS に導入する。この大気圧イオン化(API) 法には、コロナ放電やエレクトロスプレーなどがあるが、目的成分だけでなく、同時に色々なものが出てくるため定量性に影響が出る。操作や解析に専門知識を必要としないイオン選択性の高い装置が望まれる。

抽出法の問題は、クロマトグラフに持って行く前にサンプル処理が必要とされることである。現在、トライアンドエラーで長時間の煩雑な操作が必要であり、簡略化した手順の確立が望まれる。また、バッチ処理において多量の有機溶媒を使用するため、分析者の安全や環境負荷低減のために省溶媒化の技術が必要である。

濃度計等の計測器の校正に必要な実用的な標準物質について、その標準物質の基礎となる国家標準物質の開発を早期にかつ安価に行うための技術開発が必要である。現在、一つの標準物質について一つの上位標準物質が必要であるが、一つの国家標準から複数の標準物質を製造できれば、食品の検査計測に必要な 700 種以上の標準物質を迅速に製造可能になり、食の安全等、安心安全な社会構築に寄与する。具体的には、一つの標準物質から複数の標準物質を製造できる技術と装置、例えば、定量可能な核磁気共鳴（NMR）法の開発が必要である。NMR は化学物質の分子構造を決定するための代表的な分析法の 1 つであり、タンパク質の解析等、分子構造の決定に多くの成果を上げている。化学シフトの異なる各ピークの面積比は、一般にそのピークに寄与する原子の数の比を示すので、水素原子の核磁気共鳴に着目した ^1H NMR では有機化合物の定性分析に重要な各炭素に結合する水素原子の数の比を簡単に確認することができる。有機化合物の分子構造が分かった状況であれば、各共鳴周波数のピークに寄与する水素原子の数が明確なため、化学物質の定量分析に応用することが可能である。実用化には、感度の向上、分解能向上、定量化のためのシステム設計が必要である。

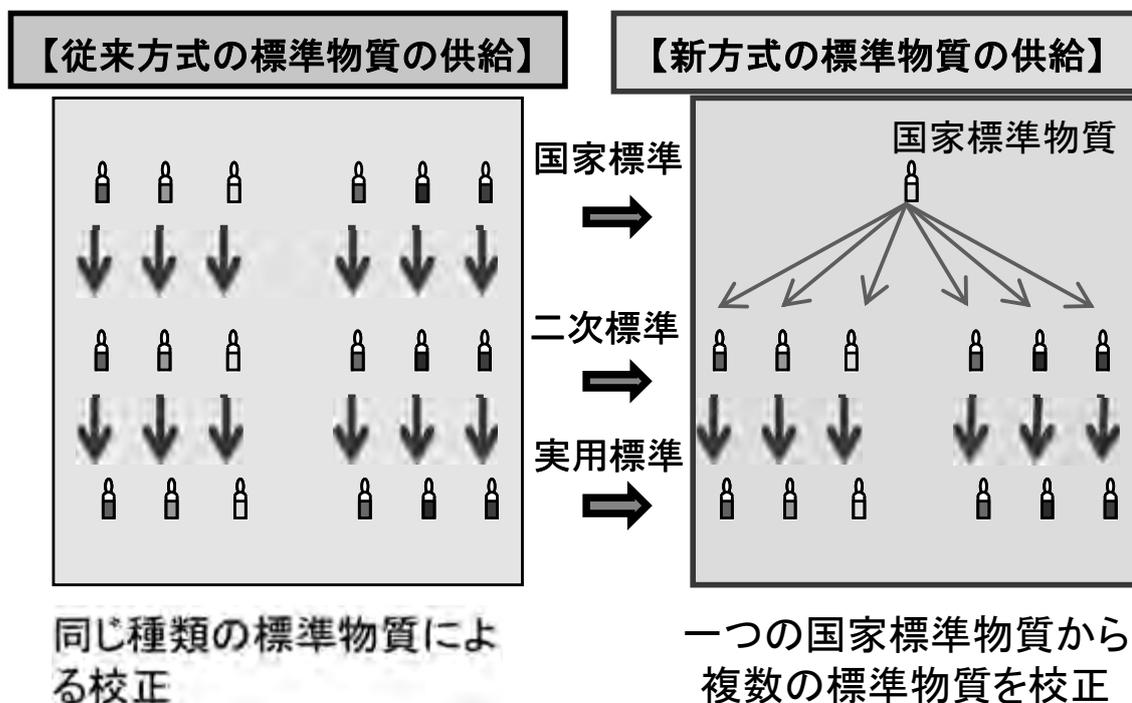


図 3.6.2 定量 NMR を用いた標準物質の供給

標準ガス関連

通常、ガス濃度のゼロ点は分析装置のゼロ点を当てにしているが、装置のドリフトやバイアスにより精度が十分でない。そのため、光波長 $2\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ において濃度 1ppm 以下で測定可能な高感度分析方法の開発が望まれる。具体的には、波数 0.01cm^{-1} 程度の高分解能 FTIR の高精度化や波長帯域の広いレーザ分光法が開発が挙げられる。質量分析計 (GC-MS) では、マトリックス依存性があり、依存性のないものは感度が悪く、高感度化が必要である。

半導体分野で使われる反応性の高いガス (例えば、HCl) の精度のよい分析装置がない。標準物質もよいものがない。

サンプルなどによく使われるシロキサンは廃棄物に入った後、バイオガスとしてタービンなどにこびりついて不具合を引き起こす。シロキサンは蒸気圧が低く、吸着性が高いため、よい標準物質がない。

炭酸ガス、一酸化炭素、メタン、酸化窒素など地球温暖化ガスは非分散型赤外分析計 (NDIR) 等で測定されるが、機関によって測定値にばらつきがあるため、SIトレーサビリティの取れた標準物質の供給が望まれている。

先端材料関連

半導体材料として使われる薄膜・多層膜材料の膜厚評価装置を作っているメーカーより、装置の精度管理、信頼性の確保のために、安価で信頼性の高い標準物質や膜厚校正に対するニーズが有る。

近年ナノ粒子を固体中に分散した材料の研究開発が進んでおり、粒子の形状や分散状態を正確に評価する手段が必要とされている。例えば、X 散乱用の金属 (Au、Pt 等の貴金属) を分散した薄膜の標準物質が求められている。

研磨剤や顔料業界では、異なるサイズが混合することにより材料のレオロジーや特性が大きく影響を受けるケースがある。このため、計測装置や観測者による計測値のバラつき防止や粒径分布計測装置開発のための粒径分布標準の開発、ならびにバリエーションにとんだ粒径分布標準試料が必須である。さらに、高精度粒子径計測技術を基盤とした校正サービスやナノテクノロジー産業における製品開発、品質管理、及びリスク評価などさまざまな分野におけるナノ粒子サイズ評価に使用される標準物質が望まれる。

半導体デバイスの電気特性をコントロールするためには、 HfO_2 膜厚やドーパント量を目標値にする必要がある。デバイス作製に用いられる高誘電率の High-k 膜 (HfO_2 膜) 中の Hf 量、極浅領域のドーパント (As) 量、化学物半導体の組成、Si ウェーハの欠陥測定及び多孔質低誘電率絶縁膜、リソグラフィー用レジスト膜の微細空孔測定のための標準物質が必要である。なお、化合物半導体では組成の違いが電気特性に大きく影響するため、その組成標準物質が求められている。

製造プロセスは微細かつ複雑になってきており、故障に至る原因やメカニズムも様々でかつ複雑化しているため、透過電子顕微鏡を用いた CT 法により、IC パッケージ（複数のチップ）を空間分解能サブナノレベルで三次元計測、組成分析をしたい要望がある。そのため微粒子分散標準物質も必要と考えられる。

第4章 分析機器及び分析技術に対する民間企業調査

4.1 調査の背景と目的

我が国の科学技術の研究開発費は、総務省平成 22 年科学技術研究調査結果によると、2 年連続で減少しているが、平成 22 年度の科学技術研究費総額は、17 兆円 2463 億年であり、このうち企業の研究開発投資は 11 兆 9838 億円と、我が国の科学技術における研究開発投資の 70%を占めている。ただし、この金額には科学技術の研究開発に従事する人材の人件費も含まれている。70%の研究開発費を民間が支出していることから、民間企業における研究開発は、我が国の科学技術の研究開発全体を見通す上で極めて重要であり、ラボ用分析機器の主な納入先である。特に本報告書における調査研究の対象である「ナノ計測」、あるいはそれを包含する計測分析技術全般は、あらゆる科学技術の基盤となる重要な技術であり、民間企業の調査は必要不可欠である。そこで、民間企業・各種機関各位の研究開発業務における分析機器及び技術へのニーズ調査を行った。日本の研究開発を主導する民間企業と、分析機器の製造・流通を主導する民間企業にご協力をいただいた。

調査の方法は書面及び面談調査により行った。書面調査は、本報告書付録として再録した調査票の設問に企業より回答を頂戴することによって行なった。面談調査は、本委員会の委員を中心に、回答いただいた企業を訪問し書面調査への回答を踏まえた聞き取り調査を行なった。書面調査・面談調査とも、回答企業の研究開発業務を総括的に回答できる立場の方に回答をお願いした。

調査対象企業の選定は、以下の通り行なった。分析機器を研究開発に利用していることが想定される企業として、日本において研究開発投資の大きい 20 社を選び調査への協力を依頼し、そのうち 11 社から書面回答を頂戴し、9 社と面談調査を行った。経済産業省による調査に基づけば、この 11 社で日本の民間企業の研究開発費約 12 兆円のうち約 30 %を占めていると推測される。したがって、本調査結果は、民間企業における研究開発を代表するものと言える。分析機器の製造・流通に関わる企業としては、日本分析機器工業会の会員でもある日本を代表する分析機器メーカーの中から 6 社に調査への協力をお願いし書面回答を頂戴した。書面調査及び面談調査に当たっては企業名を公開しないことを前提に回答いただいたので、本報告書では企業名を記述しない。

4.2 書面調査の集計結果

書面調査は、第 I 部から第 III 部までの 3 部構成とした。各部の設問の性格は以下の通り

である。

第Ⅰ部（設問 1 から設問 33 まで）は「総論」として、研究開発における分析技術全般に関わることを質問した。特に、設問 1 から設問 7 では分析機器や技術の全般的なこと、設問 8 から設問 16 では分析機器や技術の製造や流通に関すること、設問 17 から設問 24 では分析機器や技術の利用・使用に関すること、設問 25 から設問 33 では社外の分析機器の共同利用や関連する共同研究開発も含めてお伺いした。設問 8 から 16 については分析機器製造業の企業に回答をお願いし、その他の設問に関しては主として分析機器ユーザー企業に回答をお願いした。

第Ⅱ部では、「各論」として、広く使われている分析機器を以下の 4 つに分類した：A. 光分析機器、B. 質量分析機器、C. 電子線応用機器(走査型プローブ顕微鏡や電子分光装置を含む)、D. バイオ関連機器。それぞれの分析機器に関する使用状況や性能に関する設問から構成される。

第Ⅲ部では、「産総研に対するご要望」として、産総研の計測分析技術に関する研究開発課題の選定や公開についてご要望等を承った。以下に書面調査の設問とそれに対する回答をとりまとめた結果を示す。

第1部 総論

1. 御社の事業と計測・分析機器及び技術の係わりは、下記のどれに該当しますか？ 最も近いものを1つだけ選択して下さい。

分析機器ユーザー企業 分析機器製造業 分析機器販売業

本調査への回答企業は、分析機器ユーザー企業11社及び分析機器製造業6社の合計17社である。

2. 御社の研究開発で扱っている計測機器・分析技術で計測対象としているのはどのようなものですか？

長さ 質量 時間・時刻 電気量 温度 光 物質*の種類・量(定性・定量分析) 物質*の構造・状態・性質(構造解析や状態分析) 生体構成物質の種類・量(定性・定量分析) 生体構成物質の構造・状態・性質(構造解析や状態分析) 生体(細胞・組織・器官・個体レベル) その他(ここに記入して下さい。)*物質には生物由来の物質を除く。

複数回答を許容しているので図1のように多様な結果が得られているが、これは回答企業の研究開発活動全体の中において、どの計測対象のニーズが高いかを示す結果ともなっている。特に、「物質の種類・量(定性・定量分析)」及び「物質の構造・状態・性質(構造解析や状態分析)」に関しては、回答企業11社の全社が計測を行っていると回答した。このことから、民間企業の研究開発活動において物質・材料の計測・分析・評価が研究開発の重要な要素であることは明らかである。

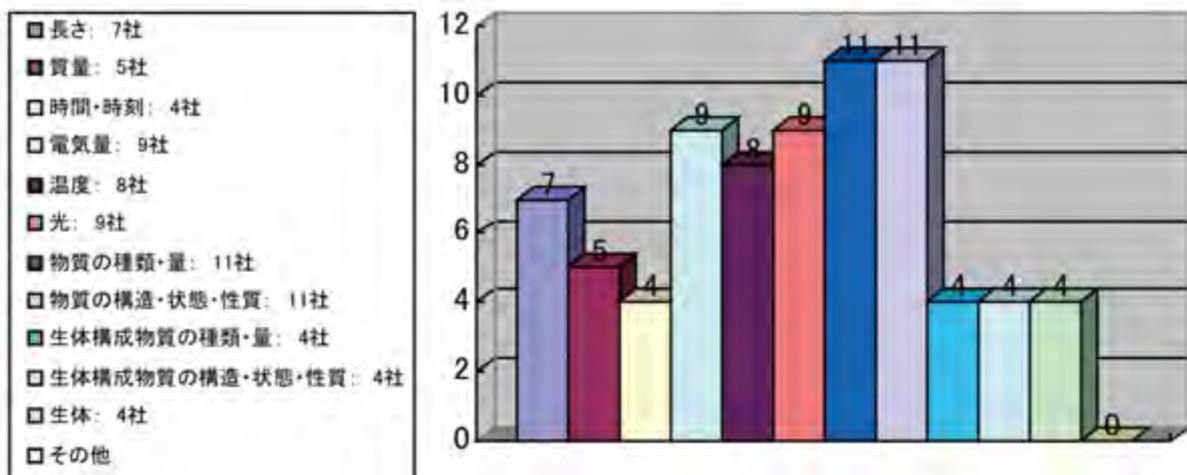


図1 研究開発における計測対象

3. 上記で「物質」「生体構成物質」を選ばれた場合、分析すべき元素として最近特に注目している元素の範囲をお教え下さい。

□第1及び第2周期の典型元素(H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne) □アルカリ金属・アルカリ土類金属 □第12族(亜鉛族)元素 □第13族(ホウ素族)元素 □第14族(炭素族)元素 □第15族(窒素族)元素 □第16族(酸素族)元素 □第17族(ハロゲン)元素 □第18族(希ガス)元素 □第3周期以上の典型元素 □第一(3d)遷移元素 □第二(4d)遷移元素 □第三(4f)遷移元素 □ランタノイド元素 □アクチノイド元素 □その他(ここに記入して下さい。)

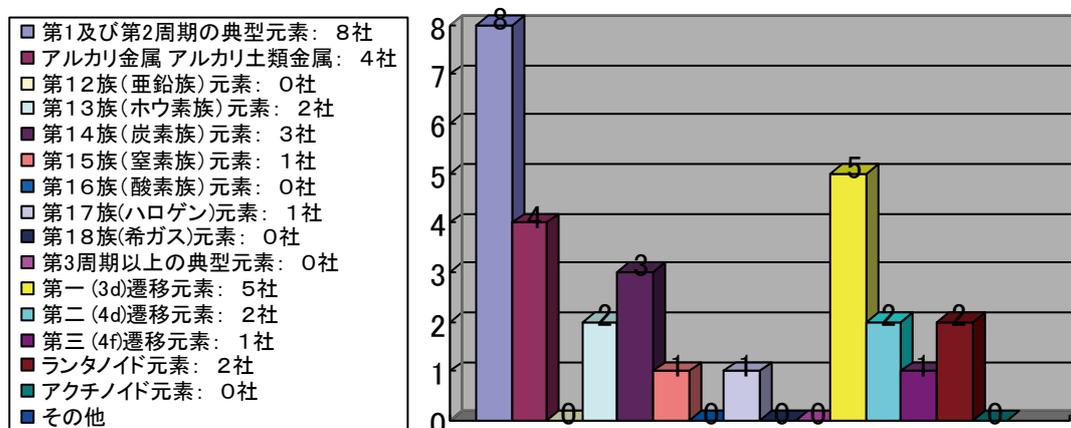


図 2 研究開発における分析対象として関心のある元素群

設問の対象に一部重複があるが、回答企業の関心がある分析対象を元素の分類ごとに選んでもらったものが設問3である。図2からわかる通り、原子番号の小さな典型元素(いわゆる軽元素)のうち第1周期及び第2周期の元素に8社、第1遷移元素に5社、アルカリ及びアルカリ土類金属に4社が最近特に着目していると回答した。また、物質・材料開発の観点から関心のある元素として H, Be, B, C, N, O, Al, Si, P, Ga, In, Cu, La 等を挙げられた回答企業があった。参考のために周期律表を図3に示す。

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
周期	1	2																	2
	1	H																	He
	2	3	4										5	6	7	8	9	10	
		Li	Be										B	C	N	O	F	Ne	
	3	11	12										13	14	15	16	17	18	
		Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	Ar	
	4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
		K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
		Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
		Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
		Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

ランタノイド	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
アクチノイド	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

図 3 周期律表 (参考)

4. 上記で「物質」「生体構成物質」を選ばれた場合、具体的にはどのようなものが計測の対象ですか？差し支えない範囲でご回答ください。

物質の状態: 固体 液体 気体 分散系 その他

物質の種類: 金属 酸化物 半導体 炭素系物質(フラーレン、CNT、グラフェンなど) 有機化合物 高分子 アミノ酸・ペプチド タンパク質 核酸 糖質 脂質

その他生体関連物質

回答は控えない

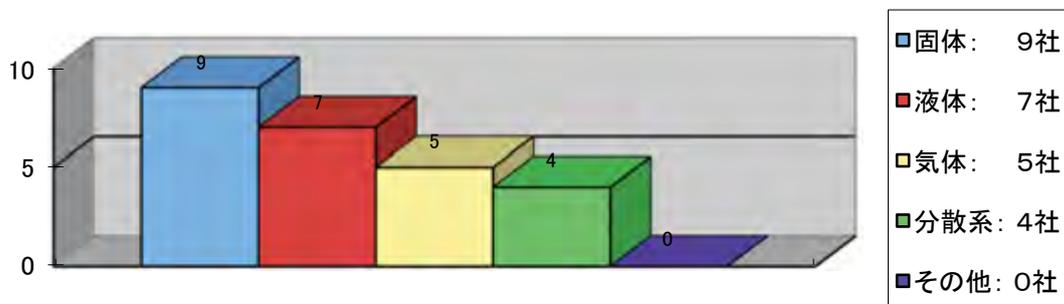


図 4 計測対象としての「物質」「生体構成物質」の状態

工業製品の多くは固体材料から成っていることから、研究開発投資の多い民間企業における計測対象としては固体が多い(9社)ことは当然である。これに次いで、液体(7社)、気体(5社)、分散系(4社)の各状態も計測対象の状態に上げられており、固体に比してニーズは低いものの、分析機器ユーザー企業が計測する物質の状態は多様であることが示される。

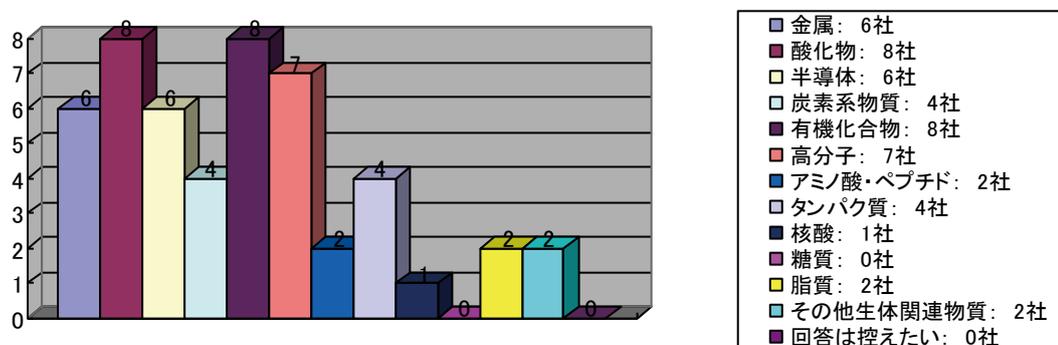


図 5 計測対象の「物質」「生体構成物質」の種類

また、計測対象である「物質」「生体構成物質」の種類に関しては、酸化物(8社)、有機化合物(8社)、高分子(7社)、金属(6社)、半導体(6社)などであった。酸化物、有機化合物、についてはほとんどの企業が分析の対象としていることがわかり、半導体が6社に留まったことは企業の研究開発における主軸の変化を示唆していると思われる。一方、近年注目を浴びているフラーレンやグラフェンなどを含む炭素系物質の指摘は4社にとどまり、まだ民間企業における研究対象としての関心が一部に留まっていることが明らかになった。また研究開発投資の大きい企業の中で、必ずしも生体物質が研究対象となっているわけではないことが示されている。

5. 上記で「物質」「生体構成物質」を選ばれた場合、御社で扱っている計測機器・分析技術の種類はどのようなものですか？

- 光分析機器
 質量分析機器
 X線分析装置
 電子顕微鏡
 走査プローブ顕微鏡
 電子分光装置
 その他表面分析機器
 磁気共鳴分光機器
 ガスクロ・液クロ・電気泳動などの分離分析装置
 熱測定装置
 バイオ関連機器
 その他(ここに記入して下さい。)

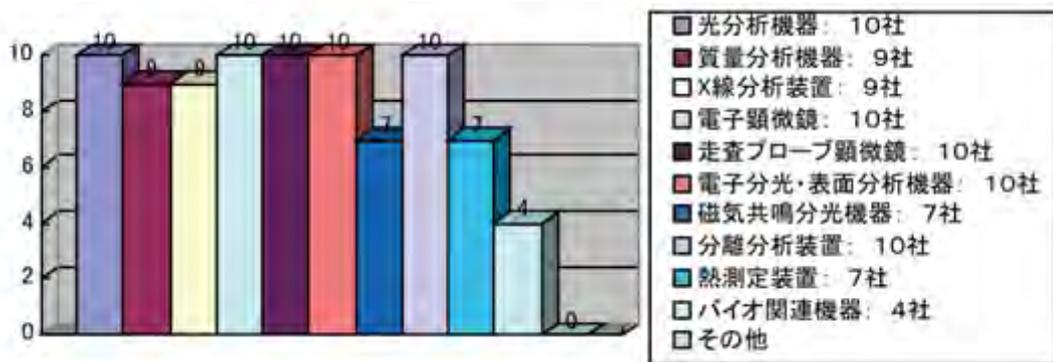


図 6 計測対象の「物質」「生体構成物質」を扱う計測機器・分析技術

設問5の回答から、今回調査対象とした大企業の研究開発部門(特に分析を担当する部署)には、分析機器を満遍なく全般的に揃えていることが示されている。磁気共鳴装置(7社)、熱測定装置(7社)及びバイオ関連機器(4社)が所有している割合が低い分析機器であった。ただし、使用頻度の低い機器は依頼分析で使用または分析機器を集約して自社の関連する分析業務専門会社に移管している場合もあるので、必要性・重要性が低いとは一概に判断できない。

6. 一般的に計測・分析機器の性能や仕様等で何を重視されますか？(3 つ選択してください。)

- 感度 検出限界 精度・確度 トレーサビリティ 信頼性
- 時間分解能 空間分解能 空間的測定範囲の広さ 測定範囲(レンジ)の広さ
- 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
- 価格の安さ コンパクトさ
- その他(ここに記入して下さい。)

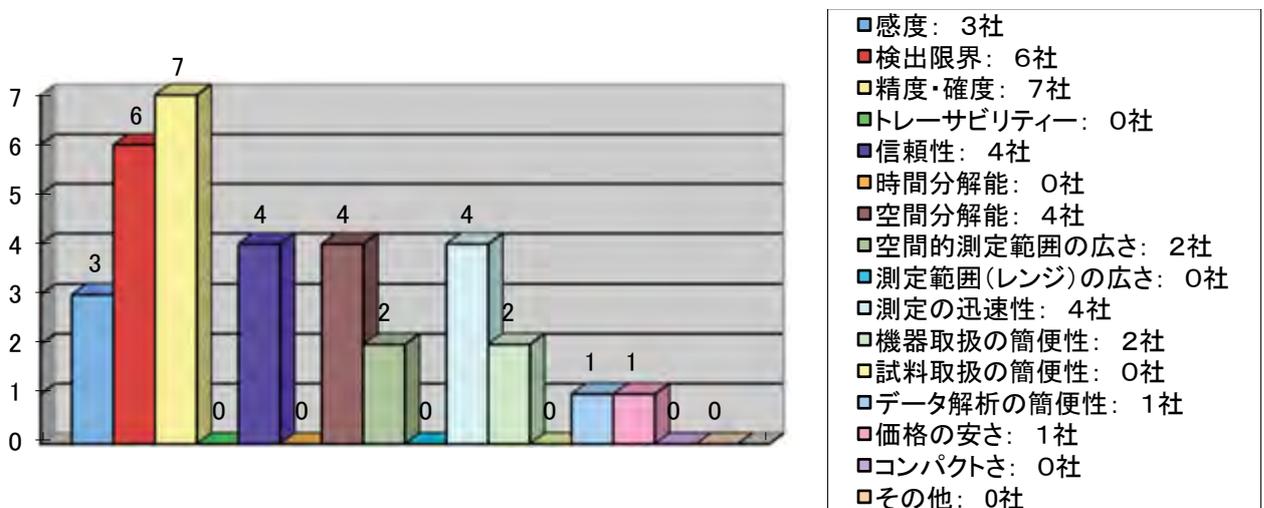


図 7 計測・分析機器において重視する性能や仕様等

民間企業の研究開発における計測・分析機器に関して、どのような仕様に対して更なる向上の要求があるのかを問うた設問である。計測における基本的な評価指標である感度・検出限界、精度・確度を上げた回答企業が多い。

そのほかに、信頼性や空間分解能、測定 of 迅速性(各々4社ずつ)を挙げた回答企業があった。これらの要求は第II部各論の部でも指摘されると通りである。またいわゆる「使い勝手」に関する評価項目(機器取扱・試料取扱・データ解析の簡便性)はあまり考慮の対象にはならないという結果であるが、これは性能最優先であり、使い勝手は2番目ということだと推測される。

7. 新たな計測機器・分析機器あるいは技術として、どのようなものがあればよいとお考えですか？(ここに記入して下さい。)

自由形式での記入において以下の回答があった。

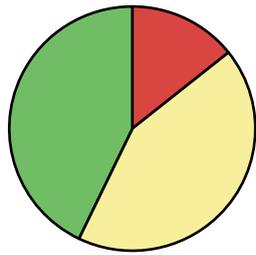
- ・その場観察/分析技術(例)SEM, TEM, Raman 分光等)
- ・界面計測/評価技術(特に固体/液体界面)
- ・3次元計測/分析技術(電子線トモグラフィ等)
- ・半導体分野では基板上的デバイスの組成、欠陥、結晶性(格子ひずみを含む)などの性状を非破壊、高い空間分解能(ナノデバイスサイズ)で検出する分析機器が製造ライン上で利用できることが望ましい。
- ・微小(100nm以下)領域の物質を同定、構造解析する技術。
- ・10nmレベルの空間分解能で、有機物のマッピングができる分析装置。

——計測・分析機器や技術の製造や流通に関してお伺いします。

分析機器ユーザー企業の方は設問17へお進み下さい。社内に分析機器開発部署がある場合には、設問8以下の全ての設問にお答え下さい。

8. 分析機器製造業の方はお答え下さい。(既存機器の性能向上やマイナーチェンジ以外の)新製品開発について、以下の何れかを選択して下さい。

- 採算が十分取れており、新分野開拓の必要性は低い。
 - 既存機器分野の維持には危機感があるが、新分野開拓の余裕がない。
 - 既存機器分野の維持には危機感があり、新分野開拓開始を検討している。
 - 新分野開拓を積極的に進めている。
- コメントがあれば、ここに記入して下さい。



- 採算が十分取れており、新分野開拓の必要性は低い: 0社
- 既存機器分野の維持には危機感があるが、新分野開拓の余裕がない: 1社
- 既存機器分野の維持には危機感があり、新分野開拓開始を検討している: 3社
- 新分野開拓を積極的に進めている: 3社

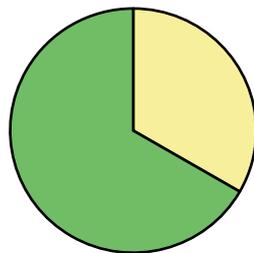
図 8 分析機器製造業の新分野開拓への取り組み

分析機器製造業各社では、既存製品の製造・販売とその市場の維持だけではなく、新分野の開拓を積極的に進めている企業が3社、検討している企業が3社など、新製品の開発とその市場への投入に鋭意取り組んでいる。

9. 分析機器製造業の方はお答え下さい。直近過去5年間の新製品開発において、「自社の技術のみで独自開発した新製品の機種数/当該年間での全ての新製品の機種数」の割合について概ね以下の何れかを選択して下さい。

25%以下 25-50% 50-75% 75%以上

コメントがあれば、ここに記入して下さい。



- 25%以下
- 25~50%
- 50~75%: 2社
- 75%以上: 4社

図 9 分析機器製造業の直近過去5年間の新製品開発における自社技術の導入

設問8の回答で示された分析機器製造企業の新製品開発への前向きな取り組みの中で、4社は自社新製品の75%以上を自社技術のみで開発し、2社は自社新製品の50~75%を自社技術のみで開発したと回答している。換言すると、大学・研究機関・他社等の外部機関の技術を取り入れて開発した新製品が25%(あるいはそれ以下)の社が4社、25~50%の社が2社ということになる。各社の年間の新製品の機種数等が同程度とすると、日本の分析機器製造企業が上市する新製品の7割程度は自社技術単独、3割程度は外部の技術を導入して開発された製品と考えられる。

10. 分析機器製造の方は答え下さい。新製品開発に際して、一部あるいは全額公的資金で行われた場合の割合について概ね以下の何れかを選択して下さい。

25%以下 25-50% 50-75% 75%以上

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

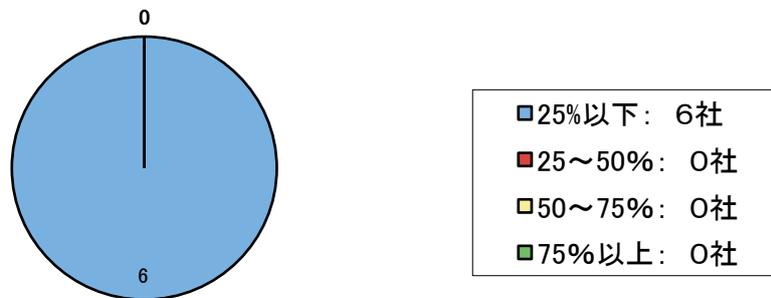


図 10 分析機器製造業の新製品開発における公的資金の投入状況

回答した分析機器製造業の全ての社(6社)は、公的資金を投入して開発した新製品の割合は全体の25%以下であると回答している。換言すると、各社はほとんどの場合、主な新製品の開発を、公的研究資金の補助を受けずに、自己資金で行っていることが分かる。分析機器製造企業の研究開発と製品化の現状からは、以下の可能性があるかもしれない:(1)研究開発助成金を投入した研究開発が実用化され製品化まで至る割合は低い、(2)研究開発助成の制度が企業の実状にあっておらず、適切に助成金を受け取ることができない。

11. 分析機器製造業の方は答え下さい。新製品開発の方法について以下の何れかを選択して下さい。

秘密保持等のため、自社内のみ関係者で開発することが多い。

秘密保持等のため、公的機関の研究者と1対1の共同研究で行う事がほとんどである。

複数のアプリケーション等を想定して、複数のユーザーを交えて製品開発している。

コメントがあれば、ここに記入して下さい。



図 11 分析機器製造業の新製品開発における外部との連携

回答した分析機器製造業のうち4社は自社内で開発を行ない、1社は複数ユーザーを交えた製品開発を実施していると回答している。また1社は、「ケースバイケースである」とし、「社外に必要な技術を有している機関がある場合、共同で研究開発を行うことも多い。必要な技術が社外にない場合が多い」と述べている。我が国の分析機器製造企業では、秘密保持のために基本的には自社内関係者のみで新製品開発に取り組むことが多いのが現状と言えよう。

12. 分析機器関連の販売において「消耗品及びアフターサービス事業収益/全事業収益」の割合をお教え下さい。

25%以下 25-50% 50-75% 75%以上

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

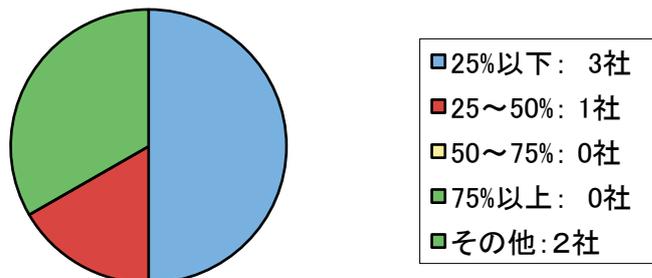


図 12 分析機器製造業の販売における消耗品及びアフターサービス事業収益の全事業収益に対する割合

分析機器関連の販売における消耗品及びアフターサービス事業収益の全事業収益に対する比率は25%以下が3社、25~50%が1社であった。

13. 分析機器製造業の方は答え下さい。新製品販売促進のためのデモンストレーションの方法をお教え下さい(複数選択可)。

- 自社内のショールーム
- 企業に試用のため新製品を提供
- 研究機関に試用のため新製品を提供
- 公的機関の分析機器センター等に提供

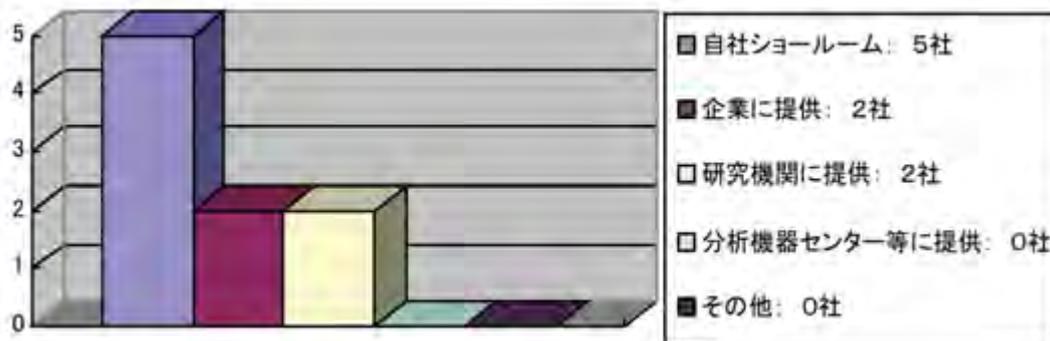


図 13 分析機器製造業における新製品販売促進のためのデモンストレーションの方法

基本的には自社内のショールームを利用して、新製品の販売促進が行われている。その他、企業や研究機関のラボに提供してアプリケーション開拓が行われている。

14. 分析機器製造業の方は答え下さい。新製品販売促進や性能向上のために最も効果的と考えられる方法を1つ選択下さい。

- 自社内のショールーム
- 企業の特定研究者に試用のため新製品を提供
- 研究機関の特定研究者に試用のため新製品を提供、意見を聞く。
- 公的機関の分析機器センター等に新製品を提供、意見を聞く。

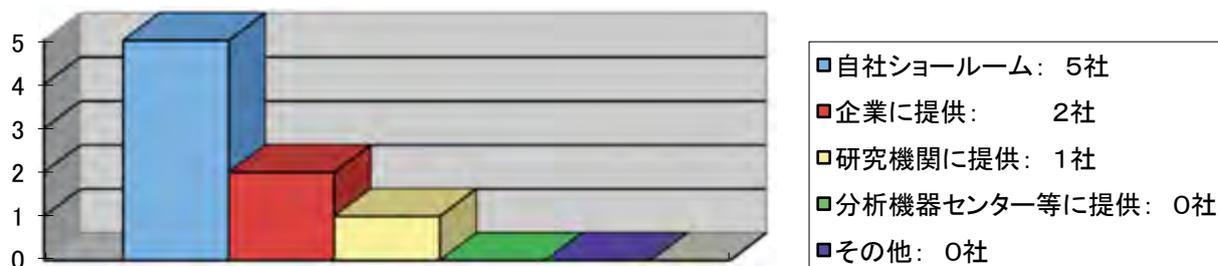
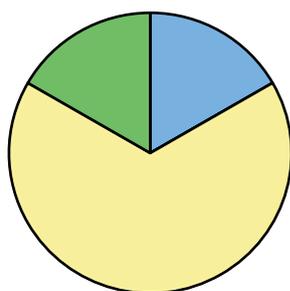


図 14 分析機器製造業における新製品販売促進や性能向上のために最も効果的な方法

1 社が複数回答(ショールーム、企業に提供、研究機関に提供)したので回答の合計は 8 社になっている。設問13で選択の多かった自社ショールームの販売促進等への効果が大きい、との回答が多かった(5社)。コメントとしては、「自社内ショールームの効果は高い。社外については、貸与先の能力やアクティビティに強く依存する。」との指摘があった。

15. 御社が分析機器製造業あるいは分析機器販売業の場合、自社で開発あるいは販売されている計測・分析機器のデモンストレーションを行える共同の場所があれば自社の製品を設置されますか？

- 各社の機器が一同に会していれば、ユーザーの集客力が高くなるので利用したい。
- 競合他社の機器がある近くには、自社の機器を設置できない。
- デモンストレーション施設を自社内に保有しているので共同の場所は利用しない。



- 各社の機器が一同に会していれば、ユーザーの集客力が高くなるので利用したい： 1社
- 競合他社の機器がある近くには、自社の機器を設置できない： 0社
- デモンストレーション施設を自社内に保有しているので共同の場所は利用しない： 4社
- その他： 1社

図 15 分析機器製造業の自社製品のデモンストレーションに関する意向

計測・分析機器の使用者の立場からは、複数の社の製品が揃っていれば購入機器の選定に便利であるが、分析機器製造業各社にとっては自社内のショールームが、秘密保持に好都合である等の理由が考えられる。

16. 分析機器製造業の方はお答え下さい。研究開発型独立行政法人に希望することを選択して下さい(重要と思われるもの2つ以内)。

- 新製品開発のための計測原理実証等のハードウェアの基礎的研究を行ってほしい。
- 新たな分析手法(アプリケーション)を開拓してほしい。
- データベース、新製品の勝手の向上に資する基盤を整備してほしい。
- 標準サンプル、標準プロトコル等使い勝手の向上に資する基盤を整備してほしい。

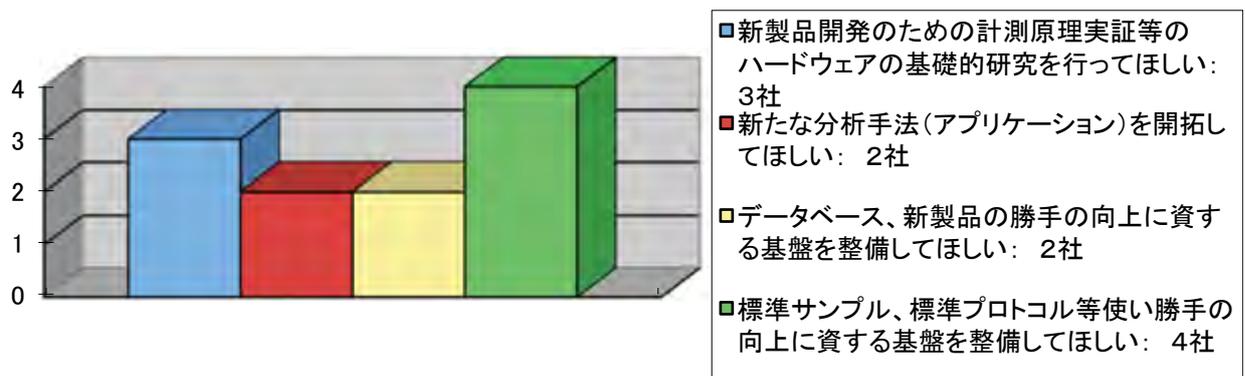


図 16 分析機器製造業の研究開発型独立行政法人への希望

分析機器メーカーから、産総研等の研究開発型独立行政法人への要望を挙げていただいた。特に産総研が国家計量機関として物理標準や標準物質の維持・供給を行っていることから、標準基盤の整備への希望が4社から寄せられたが、その他の項目へも希望が寄せられた。分析機器製造業では自社技術による製品開発が中心であるが、自社製品に取り込める技術が社外あればそれを積極的に取り込みたいと考えている。しかし、前述のように日本国内には取り込むべき技術がないとの意見もある。

——計測・分析機器や技術の利用・使用に関してお伺いします。

以下分析機器ユーザー企業の方は設問17からお答え下さい。

③. 設問17から設問24では、計測・分析機器や技術の利用・使用に関してお伺いしました。

17. 分析機器の使用について、以下の設問にお答え下さい。

機器分析がなければ製品の開発、サービスの提供等の事業を行えない。

→そのような事態に至ったら:

主に受託分析サービスを利用する。

主に自前の市販分析機器をそのまま使用することで十分である。

主に社内機関内の分析セクションに整備済みの市販分析機器を使用する。

主に公的研究機関に設置されている、市販計測機器を使用している。

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

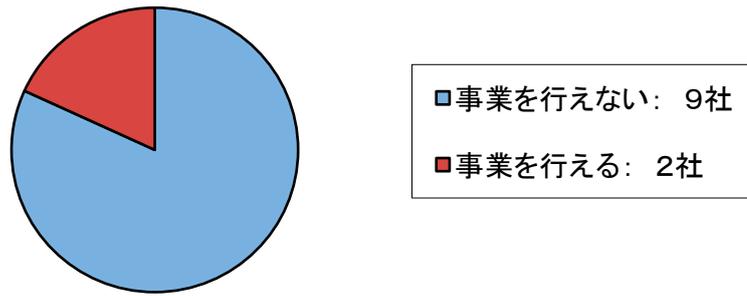


図 17 機器分析の分析機器ユーザー企業の事業への影響

回答企業11社のうち9社までが、機器分析がなければ事業を行えないと回答している。機器分析が単に民間企業の研究開発活動を推進する手段であることのみならず、民間企業の事業の継続をも左右する重要な手段であることを示している。

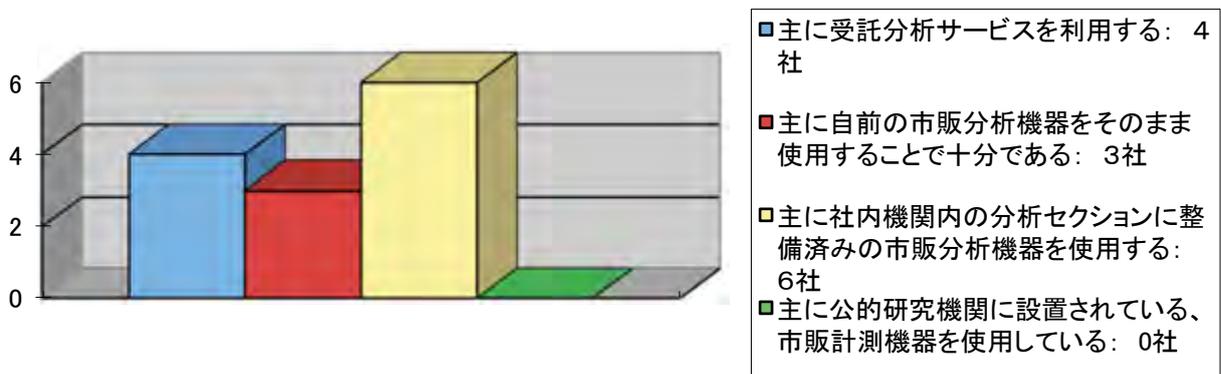
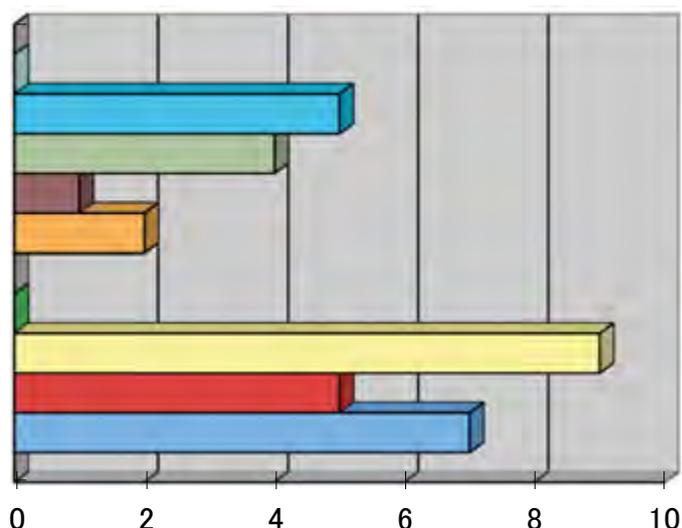


図 18 機器分析が自社内にない場合の対応

機器分析に関しては、可能な限り自社内の分析セクションで課題解決を行いたいという希望がある。コメントとして「できる限り社内設備(関連会社、関係会社含む)充実を図っているが頻度が著しく高い場合、特殊な分析装置(たとえば放射光や中性子回折など)を要する場合には外部機関への外注や分析依頼、共同研究を実施している」との回答があった。しかし、公的機関に設置されている市販装置を利用している会社はなかった。公的機関には、市販装置では行えないような高度な分析が期待されているものと思われる。

18. 計測・分析機器の機種選定に際して重視される情報は何でしょうか？(3つ選択してください。)

- 当該機器を含めた仕様(カタログ等での記載情報)の比較
 当該機器を含めた見積価格の比較
 御社提供の試料の当該機器による予備的計測・分析の結果
 当該機器の販売実績
 競合企業等の納入実績
 当該機器の学術研究への貢献の実績(学術論文等での記載など)
 当該機器製造メーカーの他の製品の御社における稼働状況
 メンテナ



□その他: 0社

■デモンストレーションで得られた性能や使い勝手の実感: 5社

□メンテナンス、アフターサービスの充実: 4社

■当該機器製造メーカーの他の製品の御社における稼働状況: 1社

■当該機器の学術研究への貢献の実績(学術論文等での記載など): 2社

■競合企業等の納入実績: 0社

■当該機器の販売実績: 0社

□御社提供の試料の当該機器による予備的計測・分析の結果: 9社

■当該機器を含めた見積価格の比較: 5社

■当該機器を含めた仕様(カタログ等での記載情報)の比較: 7社

図 19 分析機器の機種選定の際に重視する情報

市販の汎用分析機器の購入に際して重視する情報としては、「自社試料の当該機器による予備的計測・分析の結果」(9社)が最も多く、これに続き「当該機器を含む仕様の比較」(7社)及び「当該機器を含む価格の比較」(5社)、「デモンストレーションによって得られた性能や使い勝手の実感」(5社)が続く。分析機器の購入に際しては、分析に必要な試料を実際に測ってみた上で、機器の仕様や価格の比較を行い購入を決定する、また分析機器製造企業の側も、営業においてユーザーのこのような要望に適宜応じているものと見られる。

19. 御社の研究開発費において有形固定資産の購入に充てる金額のうち、計測・分析機器の購入の占める割合はおおよそどのくらいでしょうか？

25%以下
 25~50%
 50%~75%
 75%以上

□その他(ここに記入して下さい。)1社

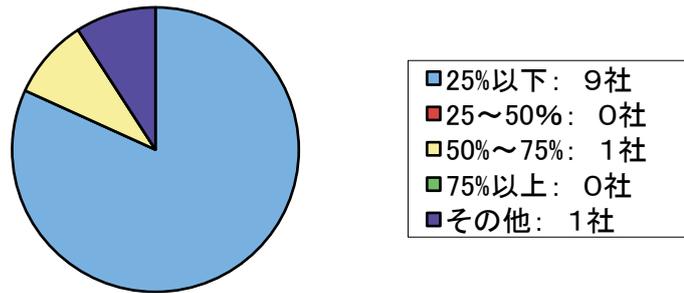


図 20 研究開発費にて購入する有形固定資産に占める分析機器の割合

回答を控えた1社を除く10社のうち、研究開発費にて購入する有形固定資産のうち計測・分析機器の占める割合が 25%以下である社が9社と圧倒的であり、50~75%の社が1社であった。

20. 御社における計測・分析機器の平均的な更新期間はおよそ何年くらいでしょうか？
3年以下 3~5年 5~7年 7~10年 10年以上
その他(ここに記入して下さい。)



図 21 分析機器の平均的な更新期間

回答を控えた1社以外の10社が回答した。民間企業の研究開発の現場で用いられている計測・分析機器は、資金が潤沢な大企業であっても平均するとおよそ10年間近くは利用され続けているものと思われる。したがって、高性能な新型分析機器が市場に投入されても、これら更新の時期から外れているとユーザー企業が新製品を購入することは難しい。したがって、新機種の開発・製品化・販売が分析機器製造企業の市場での収益としての短期的回収に直ちに結びつきにくい産業構造になっている。

21. 御社で使用中の分析機器に関して、日本製品の台数に対する外国製品の台数の割合についてお答え下さい。

□25%以下 □25-50% □50-75% □75-100% □100%以上

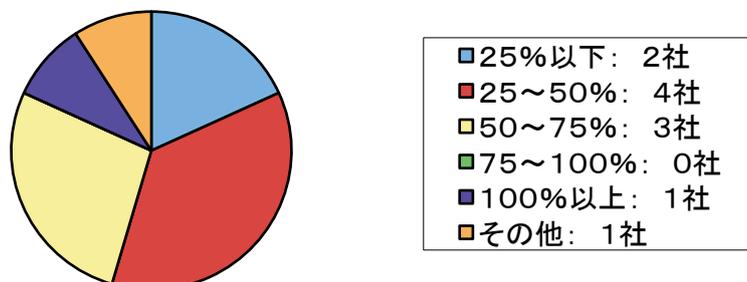


図 22 使用する日本製の分析機器に対する外国製品の割合

所有する分析機器のうち、日本製と外国製の比率を問うた設問である。回答を控えた1社のほかの10社が回答した。外国製の分析機器は、バイオ分野で比率が高い。またコメントとして、実質の部品は国産でも IP の関係で外国製品になっている機器が多く問題と思う、との指摘があった。

22. 御社の研究開発において、市販の分析機器を使用するだけでは課題解決できない案件の割合についてお答え下さい。

□25%以下 □25-50% □50-75% □75%以上

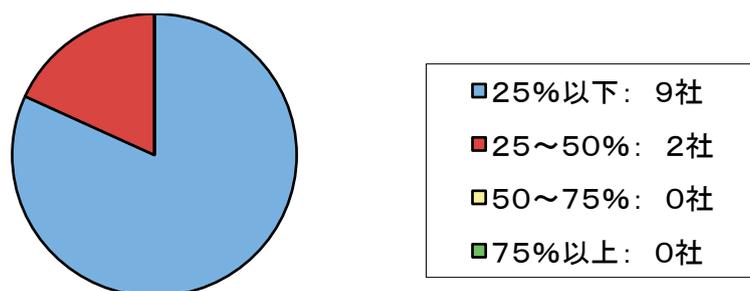


図 23 市販の分析機器の使用では解決できない課題の割合

市販の分析機器によって解決できない課題の割合は 25%以下が 9 社、25~50%が 2 社であった。多くの企業は、自社の研究開発において市販の分析機器を十分に使いこなしていると理解できる。これは後の設問24への回答にもある通り、回答企業は計測・分析機器を使いこなす高度な専門的知識を持った技術者の採用及び育成に熱心であることから、市販の分析機器が提供できる機能を十分に引き出して使用していると理解できる。

23. 市販の分析機器の改造や、特注の分析機器では解決できない課題がある場合にお答え下さい(複数選択可)。そのような場合には:

- 公的研究機関に設置されている、特殊な先端分析機器を使用する。
- 分析機器改造を分析機器製造メーカーに発注する。
- 次世代分析機器を分析機器製造メーカーと共同開発し製作する(単に発注するだけでは対応できず、製作に深く関わる)。
- 次世代分析機器を公的研究機関と共同開発する。

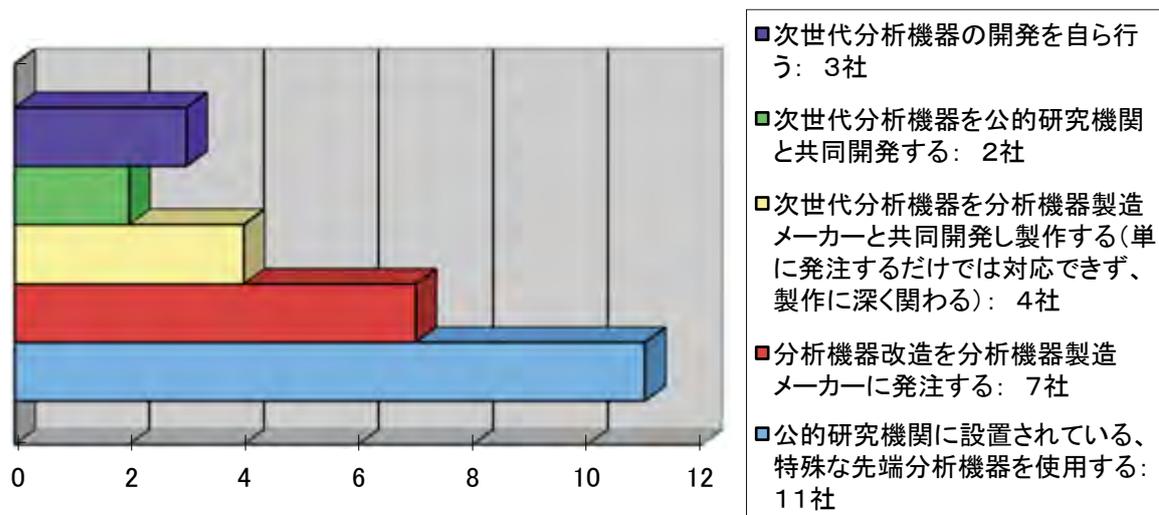


図 24 分析機器の改造や特注では解決できない課題がある場合の対応

上記設問22で課題解決できない場合も含めて、市販の分析機器では得られない情報を必要とする場合の対応について問うた設問である。11社全てのユーザー企業が「公的研究機関に設置されている、特殊な先端分析機器を使用する」と回答している。加えて、既存の分析機器の改造の発注を選択するとの回答があった。公的研究機関が公開する分析機器の利用は、民間企業における選択肢として定着している。しかし、その利用は従来のような個別の共同研究契約によっており、イノベーションを加速するには、近年の試みに見られるような先端的分析機器のグローバルな公開制度が必要と思われる。

24. 計測・分析機器を用いてデータの取得・解析等を行う人材には高度の専門知識と技能が求められますが、御社においてはこのような人材をどのように確保されていますか？

- 社内の OJT/OffJT による社員教育
- 大学院博士課程修了者を含む高度専門知識・技能をすでに持つ人材の採用
- 労働者派遣
- 外部機関等との共同研究員
- 計測機器メーカー等による講習会への社員の派遣
- 社内に人材は確保しない(依頼分析等による業務のアウトソーシングで対応する)
- その他(ここに記入して下さい。)

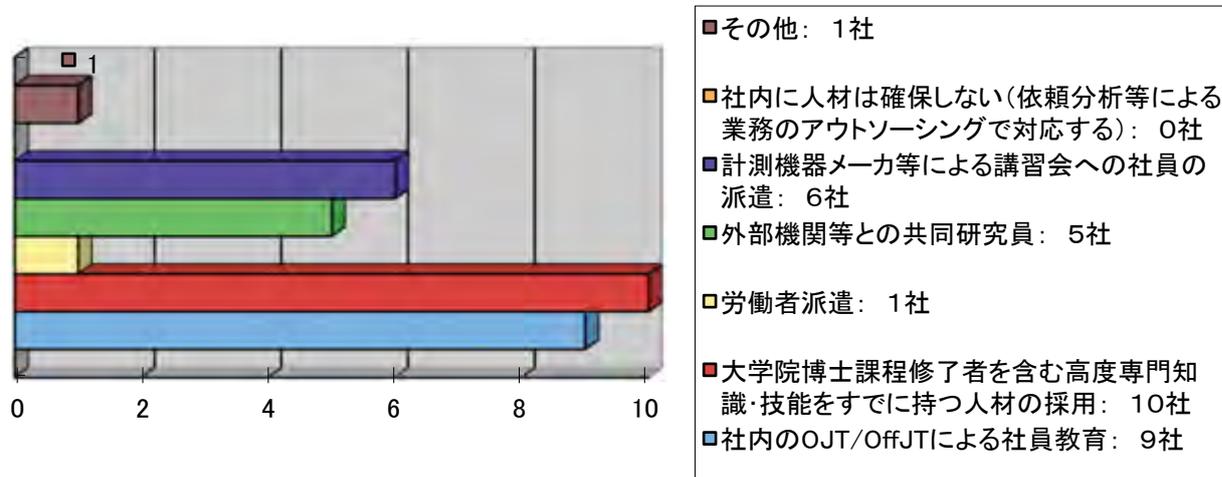


図 25 分析機器を使用する高度の専門知識と技能を持つ人材の確保

計測・分析機器及び関連する技術を使いこなす人材を、民間企業はどのように確保しているのか明らかにするための質問である。自社の人材の能力向上の努力と、すでに能力を有している人材の採用の両面から高度な専門知識と技能を有する人材を確保していることが明らかである。その他として、研究機関への派遣との回答もあった。

我が国の企業が採用後の人材に対してきめ細かな社内教育を行い、企業のポテンシャル維持向上に努めてきたことは広く知られているところである。1990年代以降に大幅に増加した博士号取得者の吸収先として、多品種少量生産で付加価値の高い分析機器開発製造は、最適なものと思われる。

——研究開発の基盤としての計測・分析技術の整備について、御社外での計測・分析機器の共同利用や関連する共同研究開発も含めてお伺いします。

④. 設問25から設問33では、研究開発の基盤としての計測・分析技術の整備について、御社外での計測・分析機器の共同利用や関連する共同研究開発も含めてお伺いしました。

25. Spring-8、KEK-PF、J-PARCなどの大型研究施設は利用されていますか？

- 利用している 利用していない 利用していないが必要があれば利用する
 その他（ここに記入して下さい。）

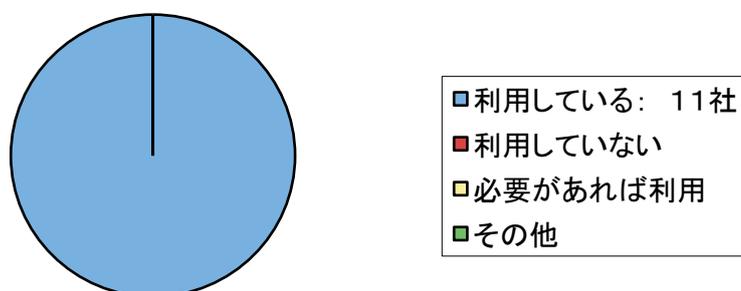


図 26 大型研究施設の使用状況

回答した全てのユーザー企業(11社)が、大型研究施設を利用していると回答している。国が整備したこれら施設は民間企業の研究開発業務でも重要な位置づけを持っていることが理解できる。

26. このような公開研究施設の存在は必要だとお考えですか？

- 必要 不要 必要だが改善の余地がある
 その他（ここに記入して下さい。）

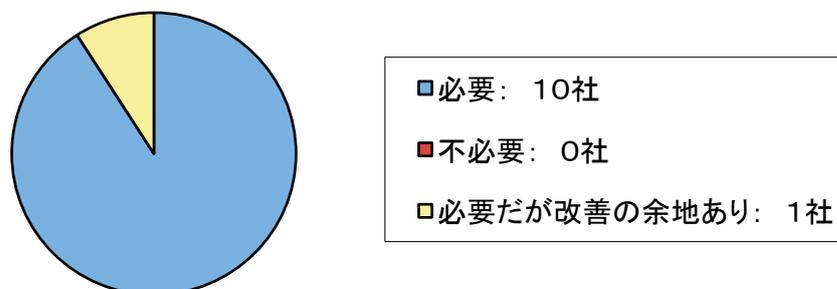


図 27 大型研究施設の必要性の認識

改善の余地があるとの回答(1社)も含めて、公開研究施設の必要性はすべてのユーザー企業(11社)が認めている。改善の余地に関しては「一般論であるが、人件費を含めたコスト意識を持って活動すべきである。実際には存在の必要性が低いのに(存在しなくても、特に大きな支障が無いのに)、自らの施設の存続のために活動することは避けるべきである。」との意見があった。大型施設の運用には莫大な公費が投入されており、そのため納税者の納得のいく財務管理が必要である。

27. 本書面調査のご回答者様は、産総研の先端的分析機器が、「先端機器共用イノベーションプラットフォーム(IBECS)」として有料で公開されており、何方でも使用できることをご存じでしょうか？

全く知らない。 産総研のホームページのトップに「公開研究施設」のボタンがあることを知っている。 ホームページ(<http://open-innovation.jp/ibec/>)をアクセスしたことがある。 装置・施設の紹介にリストアップされている装置群のスペック等

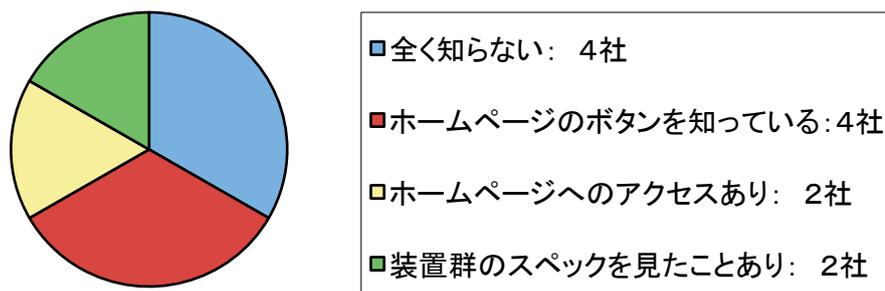


図 28 産総研公開研究施設(IBECS)の認知度

産総研の公開研究施設である「先端機器共用イノベーションプラットフォーム(IBECS)」は、産総研の所有する計測分析機器を開放して、外部のニーズに応えるものである。しかし残念ながら、その認知度が極めて低いことが示されている。公的機関の分析機器へのニーズが高いにもかかわらず認知度が低い点は、公開する産総研側の広報活動も含めたマーケティング戦略の再考を迫られているといえよう。

28. 市販の分析機器の改造や、特注の分析機器では解決できない課題がある場合にお答え下さい(複数選択可)。そのような場合には、企業、大学、公的機関で研究開発の段階にある計測・分析機器や技術が御社の研究開発の上での課題解決に貢献できる可能性と判断されたら、利用したいとお考えですか？

利用したい 利用したくない
 その他 (ここに記入して下さい。)

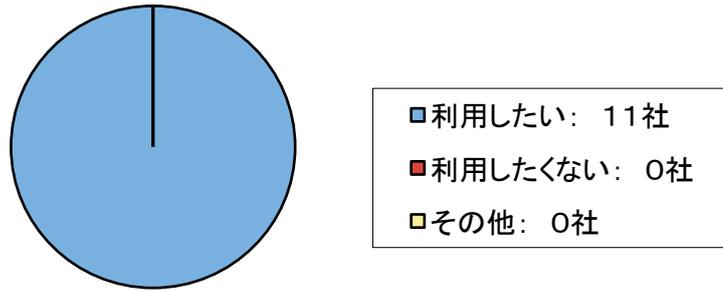


図 29 企業・大学・公的機関で研究開発段階にある分析機器の利用可能性

研究開発の段階にある分析機器であっても、利用価値があると判断できればすべての企業が利用したいと回答している。大学や公的機関の研究開発において創出される計測分析機器には、隠された大きな市場が存在していると考えられるべきであろう。

29. 上記で大学や公的研究機関の計測・分析機器や技術を利用する場合に重視される点は何でしょうか？

- その計測・分析機器や技術への客観的な評価
- その計測・分析機器や技術に係わる研究者やその所属機関のこれまでの実績・評価
- 分析機器開発者との綿密な議論による解析
- 測定データのみでもよいので迅速な返答
- コスト(分析価格や運搬その他の費用)の妥当性
- 利用手続の簡便さ
- 試料や技術に関する秘密保持の確保
- その他 (ここに記入して下さい。)

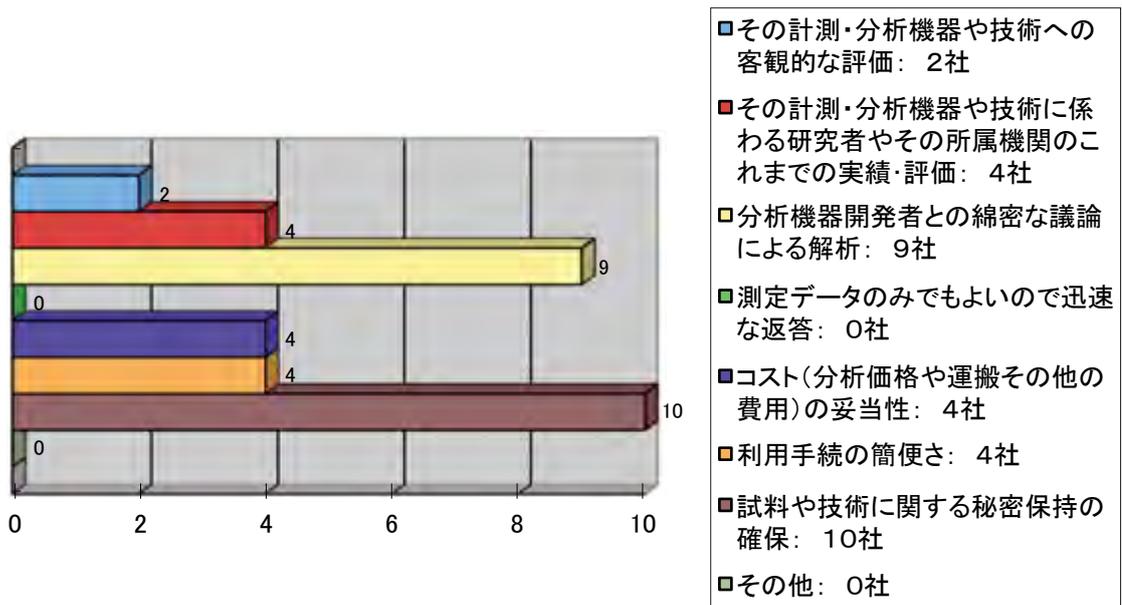


図 30 大学や公的機関の分析機器・技術を利用する場合に重視する点

大学・公的機関の計測・分析機器や技術の利用に際して重視する主な点として、「試料や技術に関する秘密保持の確保」(10社)と「分析機器開発者との綿密な議論による解析」(9社)が挙げられた。前者は当然のこととして、後者に関しては分析機器については機器の開発だけではなく、その機器を用いた分析(解析)を通じて課題に対する回答を与えるところまでを提供できることが求められていることがわかる。

30. 上記で大学や公的研究機関の計測・分析機器や技術の利用を検討される場合、その事前評価として具体的に下記のどのような点を参考にされますか？

その計測・分析機器や技術が

- 特許登録されている
- 特許出願/公開されている
- 学術雑誌に論文が掲載されている
- 学会発表がなされている
- 学会等での評価がなされている(学会賞など)
- 展示会等に積極的に出展している
- 報道で紹介がなされている
- 同業者等による利用実績があること
- その他 (ここに記入して下さい。)

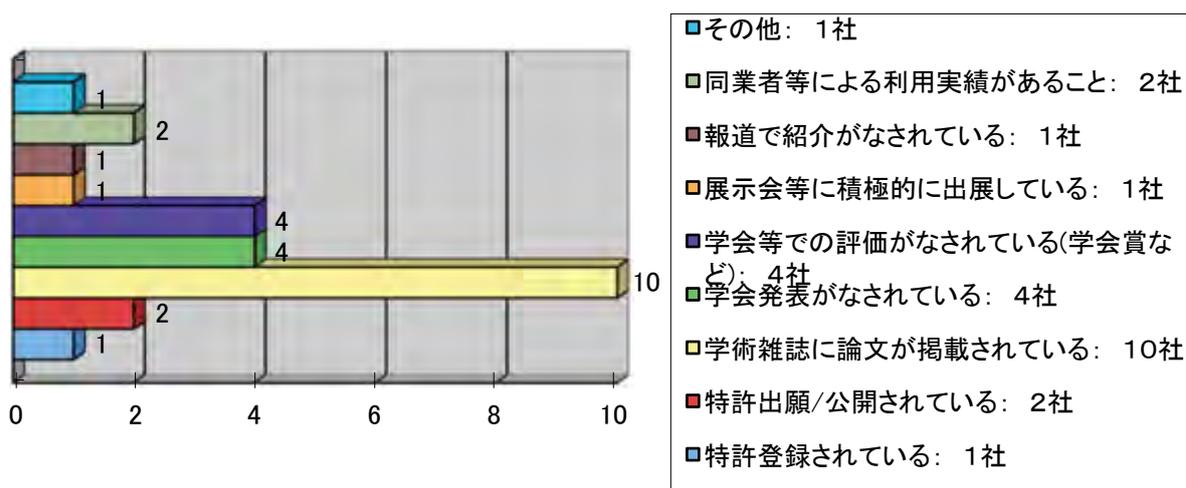


図 31 大学や公的機関の分析機器・技術の評価の指針

分析機器のユーザー企業が大学や公的研究機関において開発された新たな計測・分析機器の技術水準を評価する方法としては、圧倒的に学術雑誌への論文掲載を通じてであることが示されている(10社)。これに次いで、学会発表がなされていること(4社)や学会賞等の学会での評価(4社)が挙げられている。本調査回答企業が大企業であることから、研究開発投資の中に学術雑誌の講読あるいは文献資料の入手なども十分に含まれていると考えられる。そのような研究情報基盤の整備により必要な1次情報にアクセスしやすいこともあるだろうが、大学や公的研究機関の研究者の従来からの成果報告の媒体である論文がユーザー企業において最もよく使われる評価手段になっていることがわかる。また「先端的な分析に関する実績とその評価が高いこと」との回答もあった。

31. 御社が必要と思われる計測・分析機器の研究開発を効果的・効率的に進める体制は、どのようなものだとお考えですか？

- 計測機器メーカーの個別開発
 ユーザー企業の個別開発
 計測機器製造メーカー同士の共同研究
 ユーザー企業同士の共同研究
 ユーザー企業と計測機器製造メーカーの共同研究
 ユーザー企業と大学・公的機関の共同研究
 大学・公的機関と計測機器製造メーカーの共同研究
 ユーザー企業、大学・公的機関、計測機器製造メーカー三者の共同研究
 その他(ここに記入して下さい。)

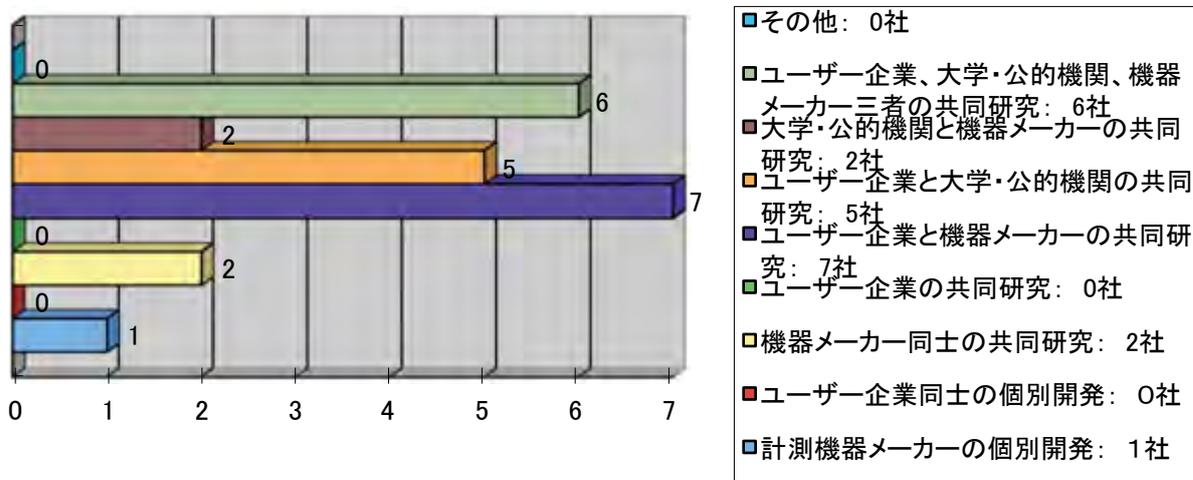


図 32 分析機器ユーザー企業が考える分析機器の効果的・効率的な研究開発体制

分析機器のユーザー企業の多くは、計測・分析機器の研究開発にユーザー企業を含めることが必要だと考えている。ユーザー企業は、分析機器の製造企業との共同研究(7社)、製造企業と大学・公的機関の3社での共同研究(6社)、大学・公的研究機関との共同研究(5社)等によって計測・分析機器の効果的・効率的な研究開発が進むと考えている。一方、設問 11~13で示されたように、分析機器製造業各社の新製品開発の現場においては、自社内関係者によって自社技術を用いて開発することが主流である。ここに、自分達のニーズを取り込んだ計測・分析機器を開発して欲しいユーザー企業と、自分達の技術で自分達だけで新製品を開発している製造企業との間のギャップが存在しており、この縮小を如何に図るのが重要な課題と思われる。

32. わが国の知的基盤整備の一環として、公的資金を投入した大学・公的研究機関における計測・分析機器及び技術の研究開発は今後も促進すべきと考えますか？

はい いいえ

コメント(ここに記入して下さい。)

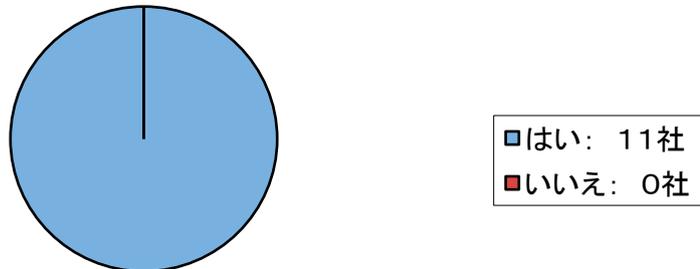


図 33 公的資金による大学・公的研究機関の分析機器及び技術の研究開発の促進

設問 32 への意見として「一般論として、公的機関の研究開発を促進すべきだとは思いますが、コスト意識を持って研究開発を進めて頂きたい。コストがかかっても、「最終的にはユーザー企業への使用料金の上乗せをすれば良い。」との考え方は避けるべきである。また、研究開発の必要性を十分に精査してから開始するべきである」との意見があった。

33. 上記で「はい」とお答えの方に伺います。

公的資金を民間企業に投入 公的資金を大学・公的機関に投入 民間資金を大学・公的機関に投入

その他(ここに記入して下さい。)

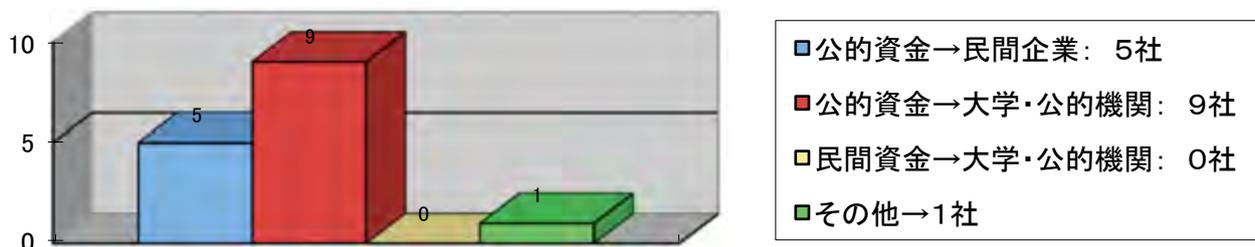


図 34 資金と投資先のあるべき関係への意見

公的資金の投入先については、大学や公的研究機関が多く、民間へ投入することには消極的である。「民間の審査のもと、公的資金を効率的に大学に投入」との意見があった。民間資金を大学や公的機関に投入することには消極的であった。これは、ドイツのブラウンホーファー研究機構の経費の70%が民間資金であると言われており、対照的である。制度や組織的な問題があると思われる。

第Ⅱ部 各論

質問項目の詳細については、付録 書面調査票 を参照して下さい。

広く使われている4つの計測・分析機器(光分析装置・質量分析装置・電子線応用分析機器等・バイオ関連分析機器)についてお伺いします。

上記の設問5. において、「御社で扱っている」計測機器・分析技術として光分析機器・質量分析機器・電子顕微鏡や走査プローブ顕微鏡または電子分光装置その他表面分析機器・バイオ関連機器のいずれかを挙げられた方は、第Ⅱ部の設問A. ～D. の該当部分もご回答ください。それ以外の方は第Ⅲ部へお進みください。

A. 光分析機器に関してお伺いします。

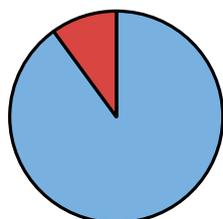
A. 1. 光分析機器における代表的な下記の3機種を使用していますか？ 使用している場合、さらにどのような仕様の向上を求められますか？

① フーリエ変換赤外分光光度計

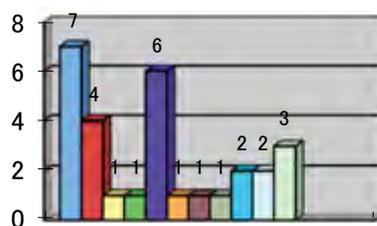
使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ コンパクトさ その他



使用している: 9社
使用していない: 1社



感度の向上: 7社
検出限界の向上: 4社
精度・確度の向上: 1社
時間分解能の向上: 1社
空間分解能の向上: 6社
空間的測定範囲の拡張: 1社
測定範囲(レンジ)の広さ: 1社
測定の迅速性: 1社
機器取扱の簡便性: 2社
試料取扱の簡便性: 2社
データ解析の簡便性: 3社
価格の安さ
コンパクトさ
その他

図 35 フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR) の使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業11社のうち本設問に10社が回答し、うち9社がフーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR) を使用している。FT-IRの使用企業が求める仕様としては、感度の向上(7社)及び空間分解能の向上(6社)が挙げられ、これらに次いで検出限界の向上(4社)やデータ解析の簡便性(3社)が求められている。FT-IRは市販されている代表的な汎用分析機器であるが、赤外吸収を用いた振動分光法は分子構造の決定や化学結合状態の解析に有用な情報を提供することから、ナノ計測手法として要求される仕様の向上が求められている。

② 紫外・可視分光光度計
使用している 使用していない
 ——使用している場合に求める仕様として:
感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性
機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ コンパクトさ その他

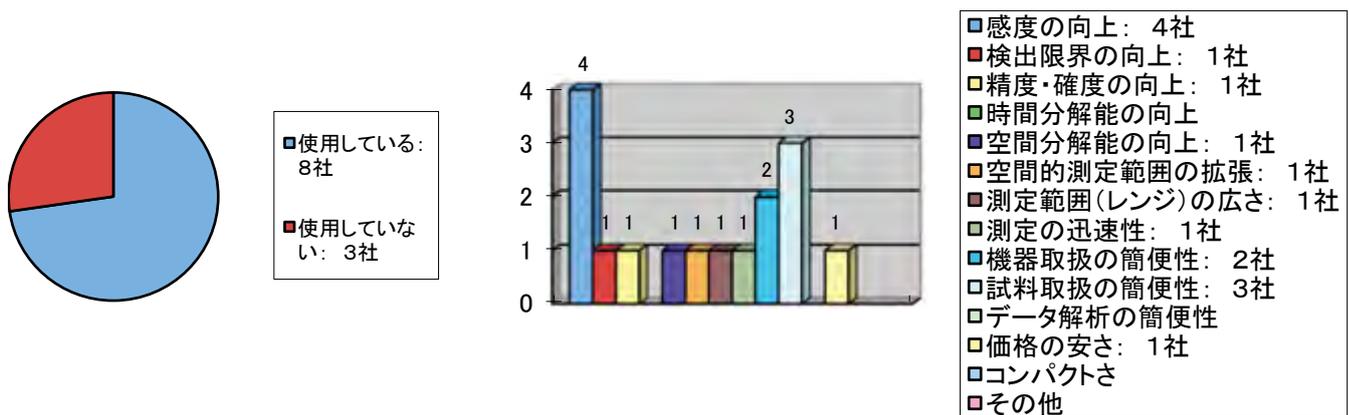


図 36 紫外・可視分光光度計の使用状況と求める仕様

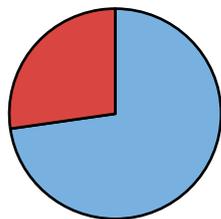
分析機器ユーザー企業11社のうち、8社が紫外・可視分光光度計 (UV-VIS) を使用している。UV-VISを使用企業が求める向上すべき仕様等としては、感度の向上(4社) 試料取扱の簡便性(3社) 及び機器取り扱いの簡便性(2社)が挙げられる。

③ 蛍光・発光分光分析装置

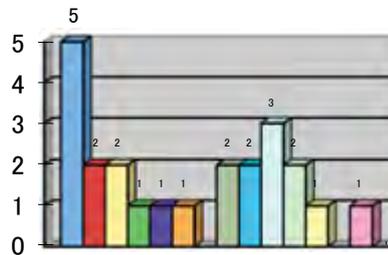
使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ コンパクトさ
- その他 (ここに記入して下さい。)



■ 使用している: 8社
■ 使用していない: 3社



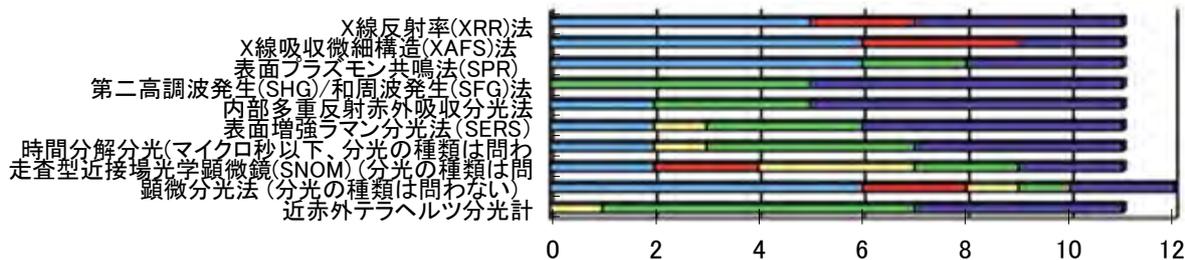
- 感度の向上: 5社
- 検出限界の向上: 2社
- 精度・確度の向上: 2社
- 時間分解能の向上: 1社
- 空間分解能の向上: 1社
- 空間的測定範囲の拡張: 1社
- 測定範囲(レンジ)の広さ
- 測定の迅速性: 2社
- 機器取扱の簡便性: 2社
- 試料取扱の簡便性: 3社
- データ解析の簡便性: 2社
- 価格の安さ: 1社
- コンパクトさ
- その他(波長分解能の向上(定性能力の改善)): 1社

図 37 蛍光・発光分光分析装置の使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業11社のうち、8社が蛍光・発光分光分析装置を使用している。蛍光・発光分光分析装置の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、感度の向上(5社)及び試料取扱の簡便性(3社)が挙げられる。

A. 2. 光分析機器・技術の分野での比較的新しい、または、比較的専門的な下記の 10 項目の計測・分析機器・技術に関して、①～⑤の該当する欄をチェックしてください。

- ① すでに使用している。
- ② 依頼分析等を通じて使用している。
- ③ 使用を検討している。
- ④ 使用の予定はないが興味がある。
- ⑤ 特に必要/関心がない。



- すでに使用している
- 依頼分析等を通じて使用している(大学・公的機関への分析依頼も含む)
- 使用を検討している
- 使用の予定はないが興味がある
- 特に必要/関心がない

図 38 光分析機器・技術の分野での各種機器の使用状況

顕微分光法、表面プラズモン分析法(SPR)、及び X 線吸収微細構造 (XAFS) 法が 6 社ずつ、X 線反射率(XRR)法は 5 社がすでに使用している。これに依頼分析で使用している数を加えると、顕微分光は計 8 社、XAFS は計 9 社、XRR は計 8 社が使用しており、これらが汎用の分析手法になっていることがわかる。また走査型近接場光学顕微鏡 (SNOM)をすでに使用しているのは 2 社に過ぎないが、依頼分析で 2 社、さらに使用を検討している社が 3 社あり、今後普及していくものと思われる。

A. 3. 上記 A. 2. にて、①すでに使用している、②依頼分析に出している、③使用を検討している機器・技術について伺います。その機器・技術を用いる必要性は以下のどれでしょうか？個々の機器/技術についてご回答ください。

- ・感度の向上、検出限界の向上、精度・確度の向上、トレーサビリティの確保、時間分解能の向上、空間分解能の向上、空間的測定範囲の拡張、測定範囲(レンジ)の拡張、測定の迅速性、機器取扱の簡便性、試料取扱の簡便性、価格の安さ

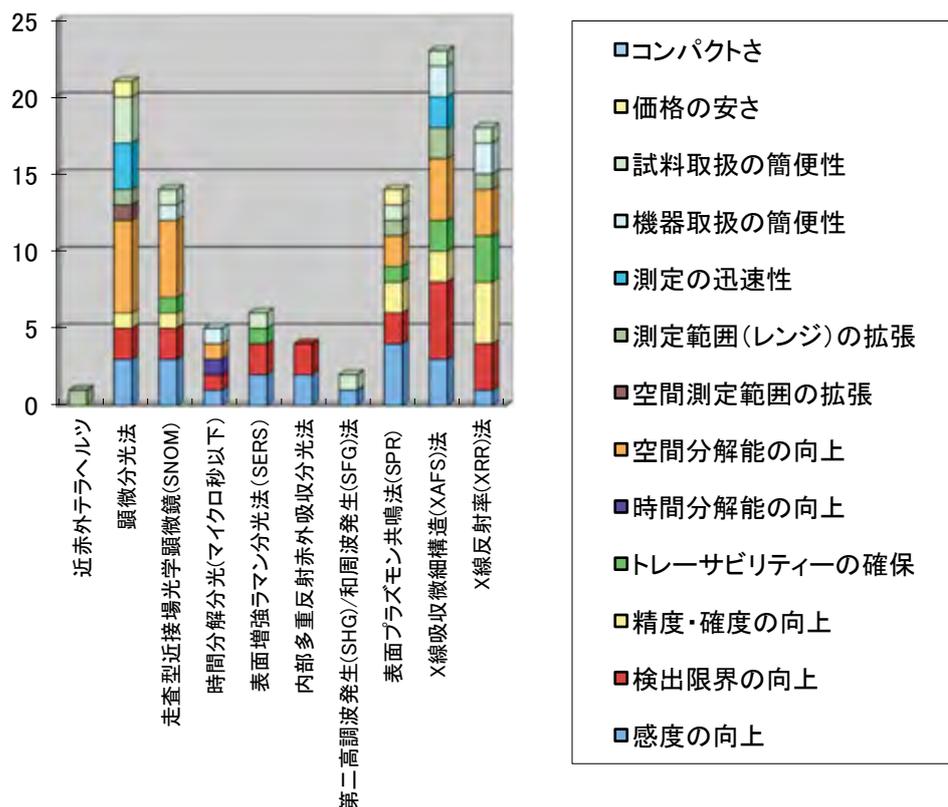


図 39 光分析機器・技術の分野の各種機器への要求仕様

自社使用及び依頼分析を合わせると、顕微分光は8社、XAFS は9社、XRR は8社が使用しており、SNOM や SPR への関心も高いことから、これらの機器への多くの要求仕様が挙げられている。顕微分光やSNOMは言うまでもなく、XAFS, XRR, SPRにおいても空間分解能向上への要求が顕著に目立っている。また、XRRやXAFS等でのより正確な測定の必要性から、トレーサビリティ確保への要求も高い。

A. 4. 上記 A. 2. にて、②依頼分析等を通じて使用している機器・技術の理由について伺います。

- 装置を保有するより分析を外注した方が経済的に安価なため
- 自社内での装置作製または市販購入装置の操作をできる人材がないため
- その他（ここに記入して下さい。）

依頼分析を行っている会社は全部で6社で、内訳は顕微分光2社、SNOM2社、XAFS3社、XRR2社である。1社が3機種を依頼分析、3社が2機種を依頼分析に出している。依頼分析を行っている6社のうち、5社がその理由に経済的に安価であることを挙げ、その中で2社が併せて人材不足を、別の2社がその他の理由を挙げた。その他の理由としては、企業グループ内の

業務分担によることや、社内分析では対応できない試料数への対応、あるいは特殊な分析を実施したいため、が挙げられた。依頼分析を行っている6社のうち、1社はその理由に人材不足のみを挙げた。

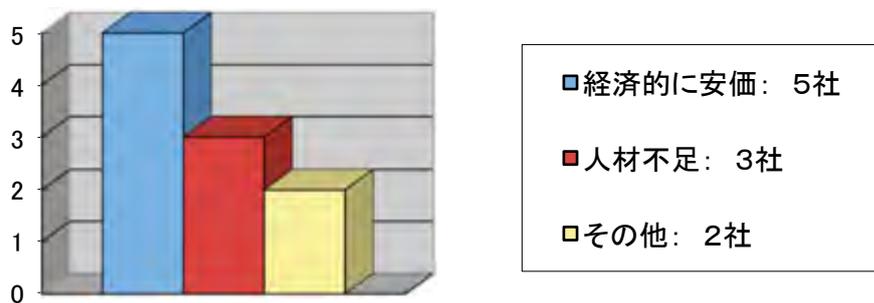


図 40 光分析機器・技術の分野の各種機器で依頼分析を行う理由

A. 5. 上記 A. 2. にて、④興味がある機器・技術について伺います。御社はどのようなところでそれらを知り興味を持ちましたか？

特許検索 学術雑誌 学会 展示会等 報道(テレビや新聞・商業誌など) ホームページ 計測機器メーカーの営業

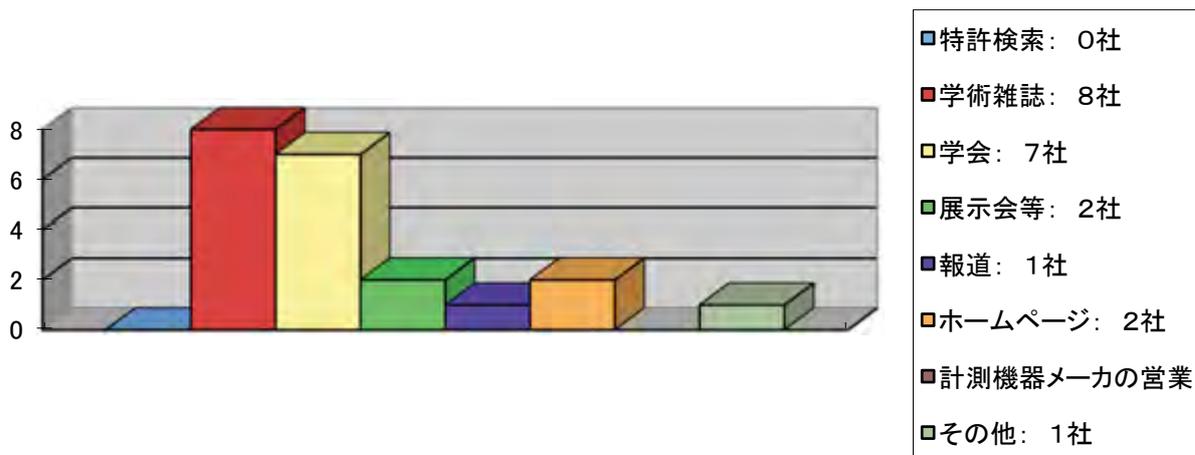


図 41 光分析機器・技術の分野で興味ある各種機器に関する情報源

近赤外テラヘルツ分光計(6社)、第二高調波発生(SHG)/和周波発生(SFG)法(5社)、時間分解分光法(4社)等のように、まだ使用していないが興味のある光分析技術に関して、民間企業の研究開発担当者は主として学術雑誌や学会などを通じてその情報を得ていることがわかる。またその他の情報源として、受託分析サービスを専業とする関連会社からの情報を挙げた企業があった。

A. 6. 上記以外の光分析機器で使用を検討されているもの、興味のある技術・手法をご指摘ください。

(ここに記入して下さい。)

書面調査においては本欄への回答はなかった。面談調査で指摘のあった件は、4-3 にまとめて記載する。

B. 質量分析機器に関して伺います。

B. 1. 質量分析機器における代表的な下記の5機種を使用していますか？ 使用している場合、さらにどのような仕様の向上を求められますか？

① 四重極型質量分析装置

使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として：

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 質量分解能の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

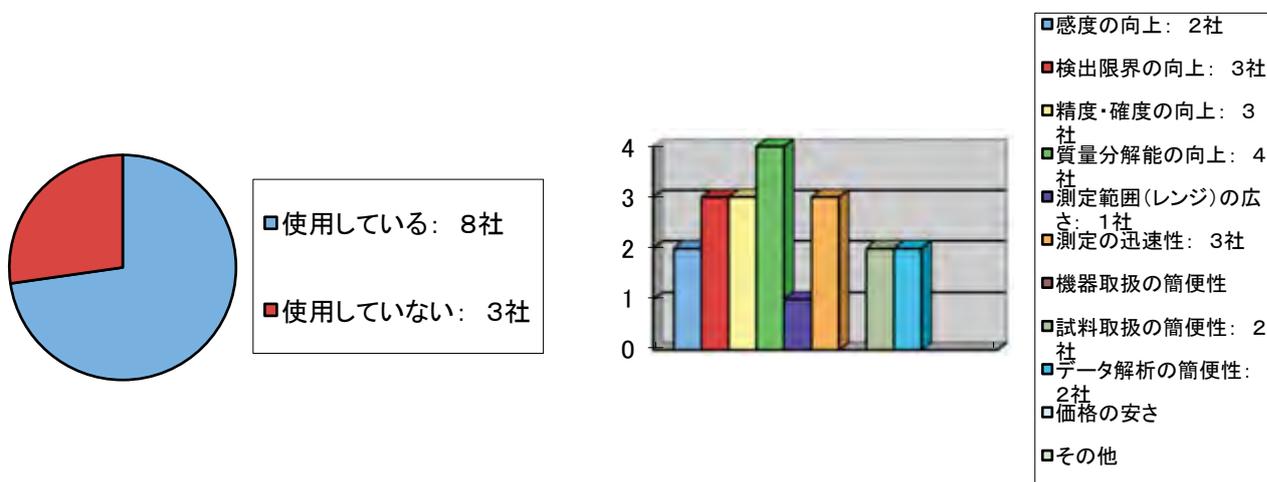


図 42 四重極型質量分析装置の使用状況と求める仕様

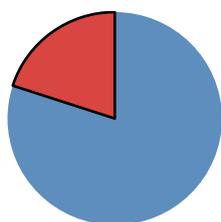
分析機器ユーザー企業 11 社のうち 8 社が四重極型質量分析装置(QMS)を使用している。QMS の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、質量分解能の向上(4社)の他に検出限界の向上(3社)、精度・確度の向上(3社)、測定の迅速性(3社)などである。

②GC/MS

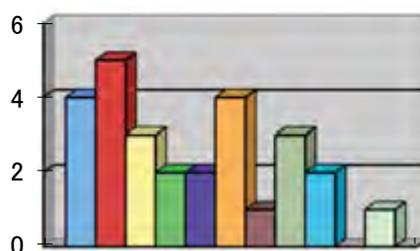
使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 質量分解能の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
- その他 (ここに記入して下さい。)



■ 使用している: 8社
■ 使用していない: 2社



■ 感度の向上: 4社
■ 検出限界の向上: 5社
■ 精度・確度の向上: 3社
■ 質量分解能の向上: 2社
■ 測定範囲(レンジ)の広さ: 2社
■ 測定の迅速性: 4社
■ 機器取扱の簡便性: 1社
■ 試料取扱の簡便性: 3社
■ データ解析の簡便性: 2社
■ 価格の安さ
■ その他(データライブラリの更なる充実): 1社

図 43 GC/MS の使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業 11 社のうち 10 社が本設問に回答し、8 社が GC/MS を使用している。GC/MS の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、検出限界の向上(5社)がまず挙げられ、これに感度の向上(4社)、測定の迅速性(3社)が続く。GC/MS ではまずクロマトグラフにより混合物の分離が行われた後に単体ごとの質量スペクトルが測定されるため、混合物の分離に要する時間の短縮が求められる。

③LC/MS

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 質量分解能の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
- その他 (ここに記入して下さい。)

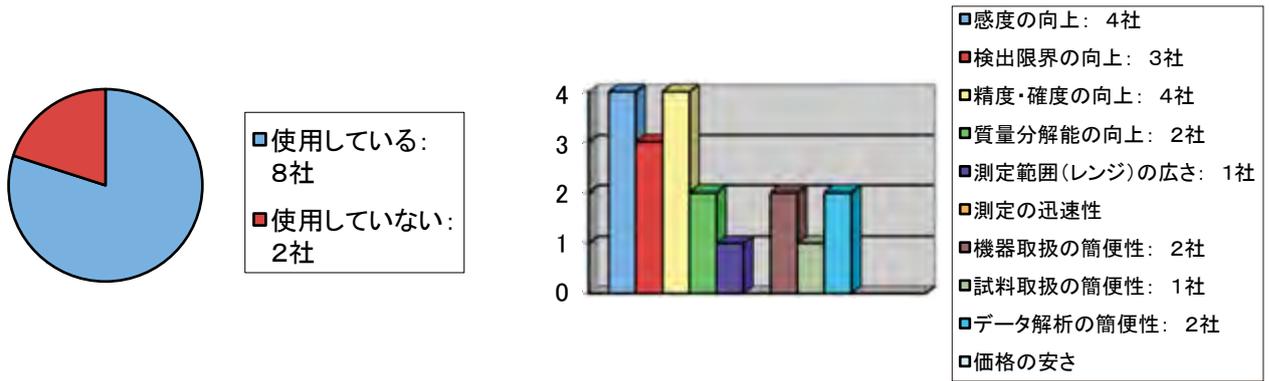


図 44 LC/MS の使用状況と求める仕様

分析機器ユーザ企業 11 社のうち 10 社が本設問に回答し、8 社が LC/MS を使用している。LC/MS の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、感度の向上 (4 社) と精度・角度の向上 (4 社) がまず挙げられ、これに検出限界の向上 (3 社) などが続く。LC/MS でもまずクロマトグラフにより混合物の分離が行われた後に単体ごとの質量スペクトルが測定されるため、混合物の分離に要する時間の短縮が求められる。

④MALDI/MS または ESI/MS

使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 質量分解能の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

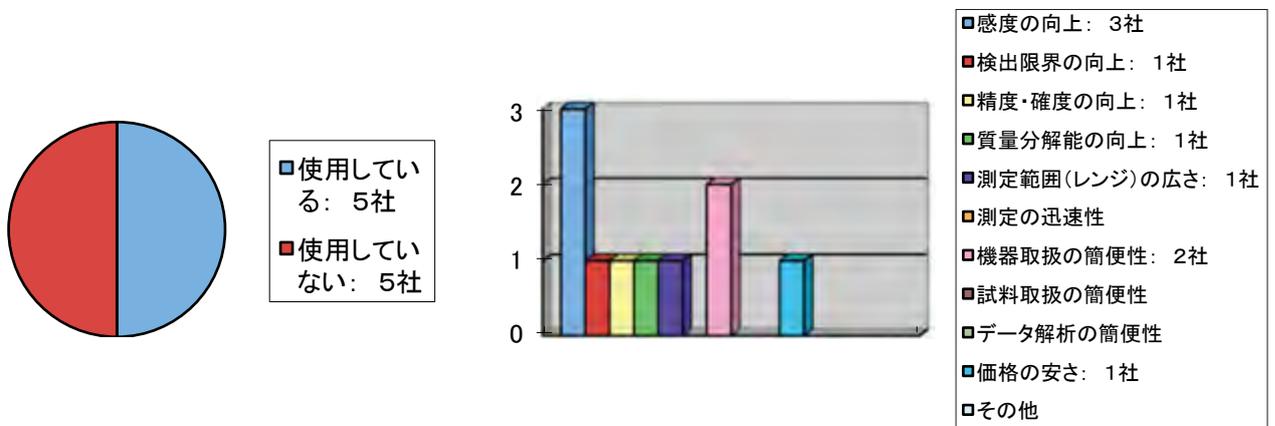
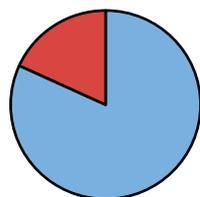


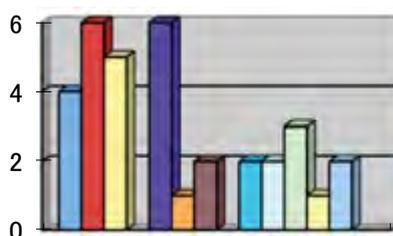
図 45 MALDI/MS または ESI/MS の使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業 11 社のうち 10 社が本設問に回答し、5社が MALDI/MS または ESI/MS を使用している。MALDI/MS または ESI/MS の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、感度の向上(3社)及び機器取り扱いの簡便性(2社)などが挙げられる。

⑤二次イオン質量分析装置(SIMS)
使用している 使用していない
 ——使用している場合に求める仕様として:
感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 質量分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の



■使用している: 9社
 ■使用していない: 2社



■感度の向上: 4社
 ■検出限界の向上: 6社
 ■精度・確度の向上: 5社
 ■時間分解能の向上
 ■空間分解能の向上: 6社
 ■質量分解能の向上: 1社
 ■空間的測定範囲の拡張: 2社
 ■測定範囲(レンジ)の広さ
 ■測定の迅速性: 2社
 ■機器取扱の簡便性: 2社
 ■試料取扱の簡便性: 3社
 ■データ解析の簡便性: 1社
 ■価格の安さ: 2社
 ■その他

図 46 二次イオン質量分析装置(SIMS)の使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業11社のうち9社がSIMSを使用している。SIMSの使用企業が求める向上すべき仕様等としては、検出限界の向上(6社)及び空間分解能の向上(6社)が挙げられ、これらに次いで精度・確度の向上(5社)や感度の向上(4社)が求められている。SIMSは、一次イオンによるスパッタリングで放出された材料表面の構成原子イオンを検出する質量分析法の一種であるから、面内及び面深さ方向の空間分解能向上が求められる。

B. 2. 質量分析機器・技術の分野での比較的新しい、または、比較的専門的な下記の5項目の計測機器・分析技術に関して、①～⑤の該当する欄をチェックしてください。

- ① すでに使用している。
- ② 依頼分析等を通じて使用している。
- ③ 使用を検討している。
- ④ 使用の予定はないが興味がある。
- ⑤ 特に必要/関心がない。

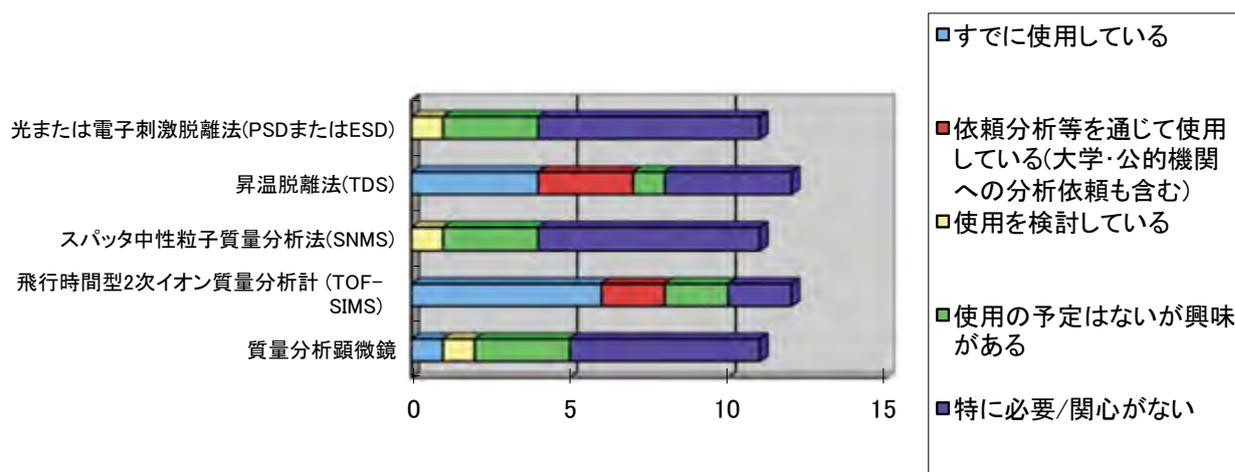


図 47 質量分析機器・技術の分野での各種機器の使用状況

飛行時間型二次イオン質量分析法(TOF-MS)が6社、昇温脱離法(TDS)は4社がすでに使用している。これに依頼分析で使用している数を加えると、TOF-MS は計8社、TDS は計7社が使用しており、これらが広範に用いられていることがわかる。

B. 3. 上記 B. 2. にて、①すでに使用している、②依頼分析に出している、③使用を検討している機器・技術について伺います。その機器・技術を用いる必要性は以下のどれでしょうか？個々の機器/技術についてご回答ください。

・感度の向上、検出限界の向上、精度・確度の向上、トレーサビリティの確保、質量分解能の向上、測定範囲の拡張、測定の迅速性、機器取扱の簡便性、試料取扱の簡便性、価格の安さ、コンパクトさ

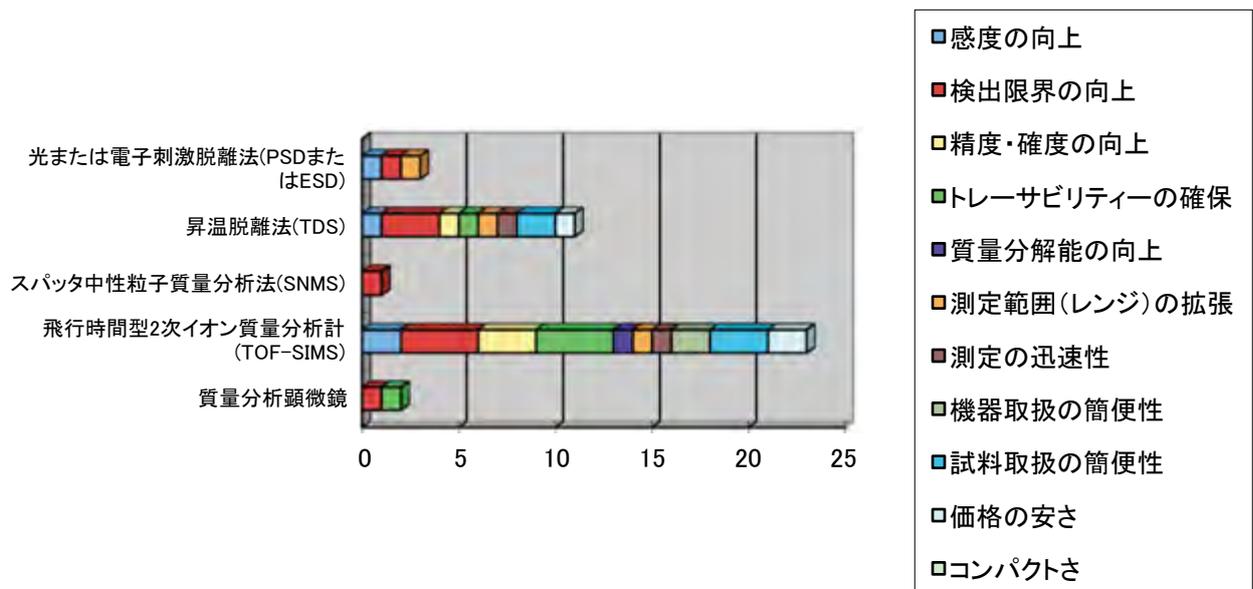


図 48 質量分析機器・技術の分野の各種機器への要求仕様

自社使用及び依頼分析を合わせると、TOF-MS は計8社、TDS は計7社が使用していることから、これらの機器に関する多くの要求仕様が挙げられている。これらの機器には、特に微量元素の検出と分析への要望が強いことから、より高感度・高精度な仕様の実現への期待が大きい。またTOF-MSに対してはトレーサビリティの確保への要望も強く、異なった機器間の測定データの比較における信頼性の必要性が大きいことも示されている。

B. 4. 上記 B. 2. にて、②依頼分析等を通じて使用している機器・技術の理由について伺います。

装置を保有するより分析を外注した方が経済的に安価なため

自社内での装置作製または市販購入装置の操作をできる人材がないため

その他（ここに記入して下さい。）

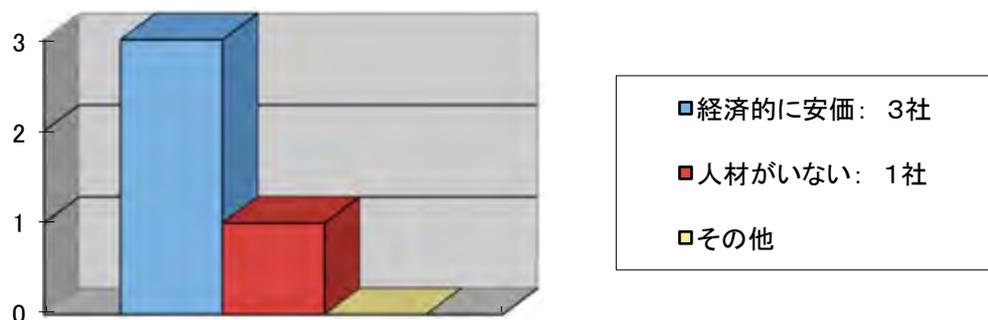


図 49 質量分析機器・技術の分野の各種機器で依頼分析を行う理由

依頼分析を行っている会社は全部で3社で、内訳はTOF-SIMS2社、TDS3社である。2社がSIMSとTDSの両方を依頼分析、1社がTDSを依頼分析に出している。依頼分析を行っている3社のうち、3社がその理由に経済的に安価であることを挙げ、その中で1社が併せて人材不足を挙げた。

B. 5. 上記 B. 2. にて、④興味がある機器・技術について伺います。御社はどのようなところでそれらを知り興味を持ちましたか？

- 特許検索
 学術雑誌
 学会
 展示会等
 報道(テレビや新聞・商業誌など)
 ホームページ
 計測機器メーカーの営業
 その他 (ここに記入して下さい。)



図 50 質量分析機器・技術の分野で興味ある各種機器に関する情報源

質量分析機器・技術の分野における使用していないが興味のある機器は、質量顕微鏡(3社)、スパッタ中性粒子質量分析法(SNMS)(3社)、時間分解分光法(3社)等のように少なかったが、これらの技術に関して、民間企業の研究開発担当者は主として学術雑誌や学会などを通じてその情報を得ていることがわかる。

B. 6. 上記以外の質量分析機器で使用を検討されているもの、興味のある技術・手法をご指摘ください。

要望事項として、

- ・質量イメージング技術は、空間分解能は10nm程度。
- ・ソフトイオン化技術を用いたイメージング技術。
- ・イオン化は、広範囲な物質をソフトイオン化できる技術(質量、極性などにとらわれず網羅性の高い)が必要との回答があった。

C. 電子線応用分析機器(電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡など)についてお伺いします。

C. 1. 電子線応用機器(電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡)における代表的な下記の5機種を使用していますか? 使用している場合、さらにどのような仕様の向上を求められますか?

①走査型電子顕微鏡(SEM)

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ その他 (ここに記入して下さい。)

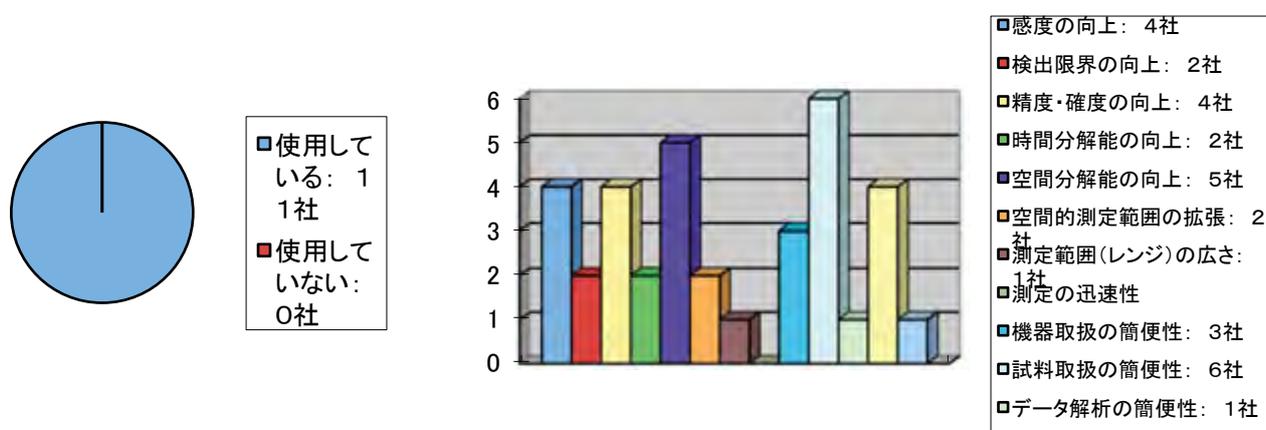


図 51 走査型電子顕微鏡(SEM)の使用状況と求める仕様

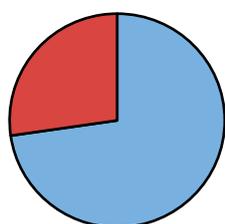
すべての分析機器ユーザー企業(11社)がSEMを使用している。SEMの使用企業が求める向上すべき仕様等としては、試料の取扱の簡便性(6社)や空間分解能(5社)に加えて、感度の向上(4社)、精度・確度の向上(4社)、価格の安さ(4社)などである。特に要求する機能として、2次電子、反射電子のエネルギー分光機能及びエネルギーフィルター像の取得機能、低加速電圧時(1kV以下)の分解能向上(サンプル形態に依存せずに)、超軽元素(Li~)の分析機能(軟X線分光機能)、雰囲気制御下及び液中でのSEM観察機能、FIB-SEM-EBSP機能を統合した解析機能等をあげた企業があった。

②透過型電子顕微鏡(TEM)

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ その他 (ここに記入して下さい。)



■使用している: 8社
■使用していない: 3社



■感度の向上: 5社
■検出限界の向上: 3社
■精度・確度の向上: 5社
■時間分解能の向上: 1社
■空間分解能の向上: 3社
■空間的測定範囲の拡張: 1社
■測定範囲(レンジ)の広さ: 2社
■測定の迅速性: 1社
■機器取扱の簡便性: 4社
■試料取扱の簡便性: 5社
■データ解析の簡便性: 3社
■価格の安さ: 2社
■その他

図 52 透過型電子顕微鏡(TEM)の使用状況と求める仕様

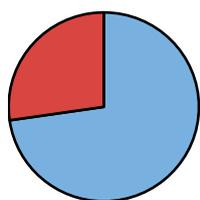
分析機器ユーザー企業 11 社のうち 8 社が TEM を使用している。TEM の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、感度の向上 (5 社)、精度・確度の向上 (5 社)、試料取扱の簡便性 (5 社) のほか、機器取り扱いの簡便性 (4 社)、データ取り扱いの簡便性 (3 社)、検出限界の向上 (3 社)、空間分解能の向上 (3 社) などである。環境制御型 TEM (ガス雰囲気及び溶液中) への要望を述べたユーザー企業もあった。

③X 線光電子分光(XPS)法

使用している 使用していない

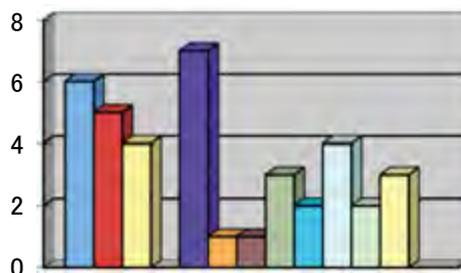
—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ その他 (ここに記入して下さい。)



■ 使用している
8社

■ 使用していない
3社



- 0 感度の向上
- 0 検出限界の向上
- 0 精度・確度の向上
- 0 時間分解能の向上
- 0 空間分解能の向上
- 0 空間的測定範囲の拡張
- 0 測定範囲(レンジ)の広さ
- 0 測定の迅速性
- 0 機器取扱の簡便性
- 0 試料取扱の簡便性
- 0 データ解析の簡便性
- 0 価格の安さ
- 0 その他

図 53 X線光電子分光(XPS)法の使用状況と求める仕様

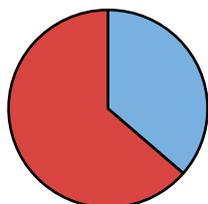
分析機器ユーザー企業 11 社のうち 8 社が XPS を使用している。XPS の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、空間分解能(7 社)、感度の向上(6 社)、検出限界の向上(5 社)などであり、これらに加えて精度・確度の向上(4 社)、試料の取り扱いの簡便性(4 社)などが続く。

④ 走査型トンネル顕微鏡(STM)

使用している 使用していない

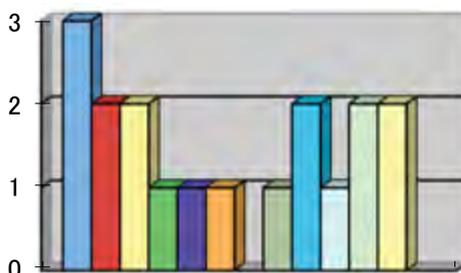
——使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ その他 (ここに記入して下さい。)



■ 使用している
4社

■ 使用していない
7社



- 感度の向上: 3社
- 検出限界の向上: 2社
- 精度・確度の向上: 2社
- 時間分解能の向上: 1社
- 空間分解能の向上: 1社
- 空間的測定範囲の拡張: 1社
- 測定範囲(レンジ)の広さ
- 測定の迅速性: 1社
- 機器取扱の簡便性: 2社
- 試料取扱の簡便性: 1社
- データ解析の簡便性: 2社
- 価格の安さ: 2社
- その他

図 54 走査型トンネル顕微鏡(STM)の使用状況と求める仕様

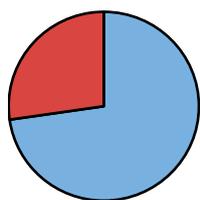
分析機器ユーザー企業11社のうち4社が STM を使用している。一連の走査型プローブ顕微鏡(SPM)の開発の先駆けとなった分析機器であるが、現在使用している企業はあまり多くはない。STM の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、感度の向上(3社)に加えて、検出限界の向上(2社)、確度・精度の向上(2社)などが挙げられている。

⑤原子間力顕微鏡(AFM)

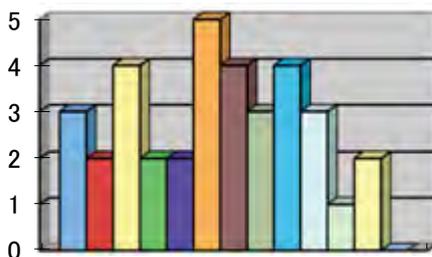
使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ その他 (ここに記入して下さい。)



■使用している: 8社
■使用していない: 3社



■感度の向上: 3社
■検出限界の向上: 2社
■精度・確度の向上: 4社
■時間分解能の向上: 2社
■空間分解能の向上: 2社
■空間的測定範囲の拡張: 5社
■測定範囲(レンジ)の広さ: 4社
■測定の迅速性: 3社
■機器取扱の簡便性: 4社
■試料取扱の簡便性: 3社
■データ解析の簡便性: 1社
■価格の安さ: 2社
■その他

図 55 原子間力顕微鏡(AFM)の使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業11社のうち8社が AFM を使用している。大気中・真空中を問わず、また材料の導電性の有無を問わずに測定できるので、一連の走査型プローブ顕微鏡(SPM)ファミリーの代表格となっている。AFM の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、空間的測定範囲の拡張(5社)に加えて、精度・確度の向上(4社)、測定範囲(レンジ)の広さ(4社)、機器取り扱いの簡便性(4社)がこれに続く。ナノメートルスケールの構造・形態観察を広範囲・大面積にて容易に行いたいという要求が示されていると考えられる。

C. 2. 電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡の分野での比較的新しい、または、比較的専門的な下記の10項目の計測・分析機器・技術に関して、御社の対応において該当する①～⑤の欄をチェックしてください。

- ① すでに使用している。
- ② 依頼分析等を通じて使用している。
- ③ 使用を検討している。
- ④ 使用の予定はないが興味がある。
- ⑤ 特に必要/関心がない。

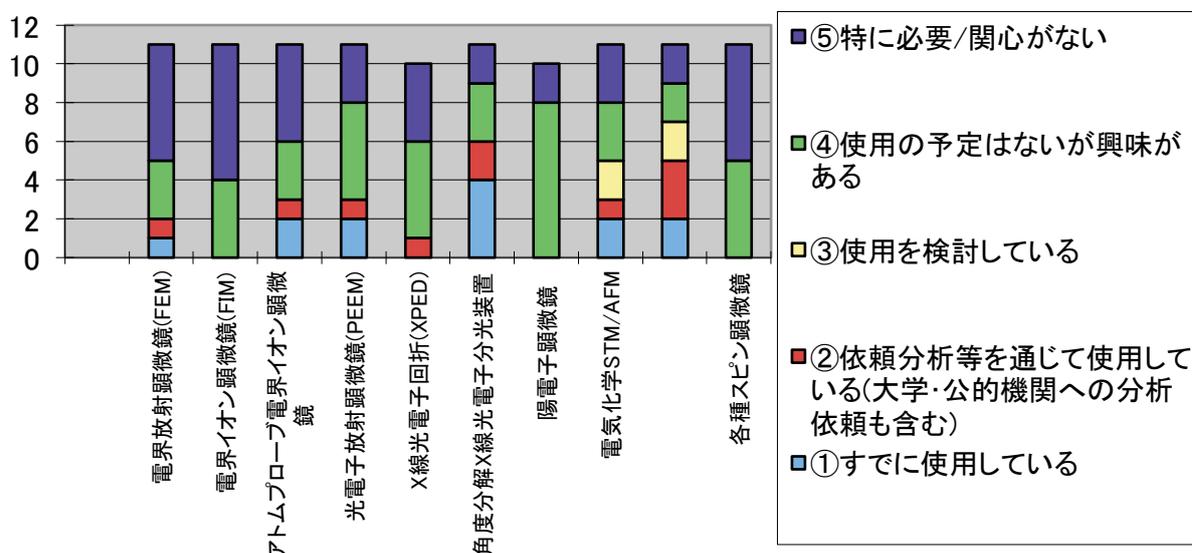


図 56 電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡の分野での各種機器の使用状況

角度分解 X 線光電子分光装置(XPS)は4社がすでに使用している。他にアトムプローブ電界イオン顕微鏡、光電子放射顕微鏡 (PEEM)、電気化学 STM/AFM 及び走査型近接場光学顕微鏡 (SNOM) を各2社が使用している。これに依頼分析での使用社数及び使用を検討している社の数を加えると、角度分解 XPS は計6社、SNOM が計7社、電気化学STM/AFM が計5社、アトムプローブ及び PEEM が計3社、使用もしくは使用を検討している。特に、電気化学STM/AFMとSNOMの今後の普及が推測される。

C. 3. 上記 C. 2. にて、①すでに使用している、②依頼分析に出している、③使用を検討している機器・技術について伺います。その機器・技術を用いる必要性は以下のどれでしょうか？個々の機器/技術についてご回答ください。

・感度の向上、検出限界の向上、精度・確度の向上、トレーサビリティの確保、時間分解能の向上、空間分解能の向上、空間的測定範囲の拡張、測定範囲の拡張、測定の迅速性、機器取扱の簡便性、試料取扱の簡便性

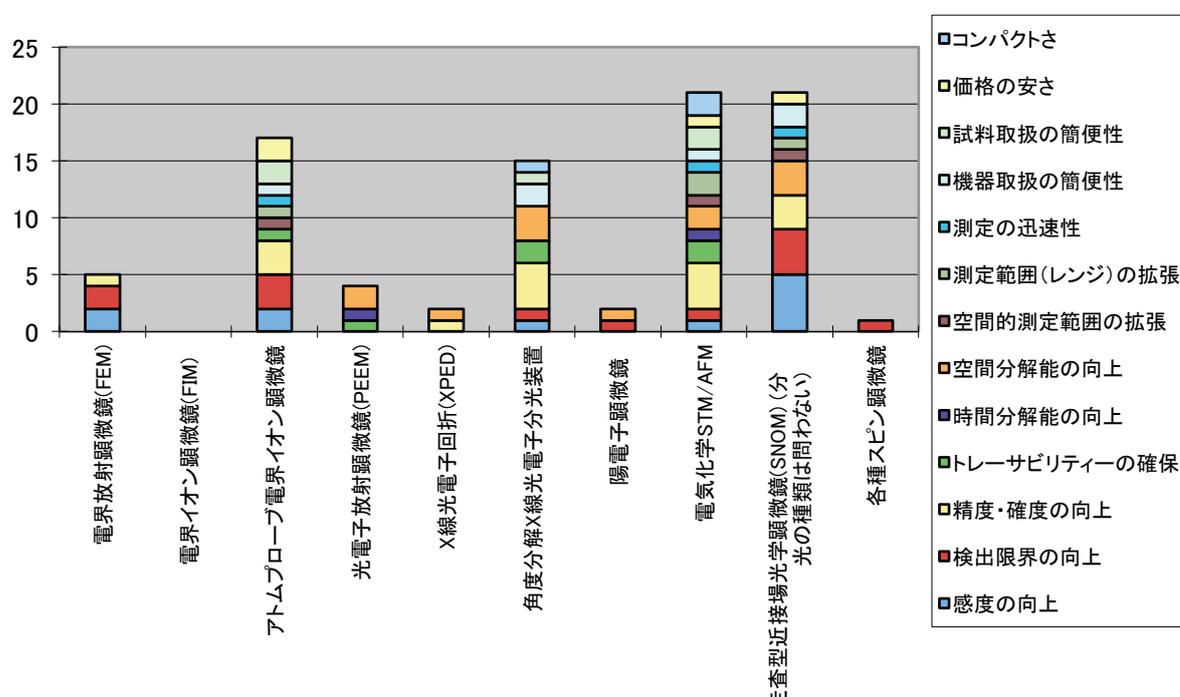


図 57 電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡の分野の各種機器への要求仕様

自社または依頼分析で使用し及び使用検討中を合わせると、角度分解 XPS は計6社、SNOM が計7社、電気化学 STM/AFM が計5社に上ることから、これらの機器への多くの要求仕様が挙げられている。電気化学や固液界面分析の分野で利用される電気化学 STM/AFM に対しては、性能だけではなく使い勝手に対する要求も多く、実用的なニーズの高さが窺える。また、アトムプローブを使用もしくは使用を検討している企業は3社に過ぎないが、多くの要求仕様が挙げられており、3次元ナノ計測へのより具体的な使用または使用の検討がなされていることが示唆されている。

C. 4. 上記 C. 2. にて、②依頼分析等を通じて使用している機器・技術の理由について伺います。

装置を保有するより分析を外注した方が経済的に安価なため

自社内での装置作製または市販購入装置の操作をできる人材がないため

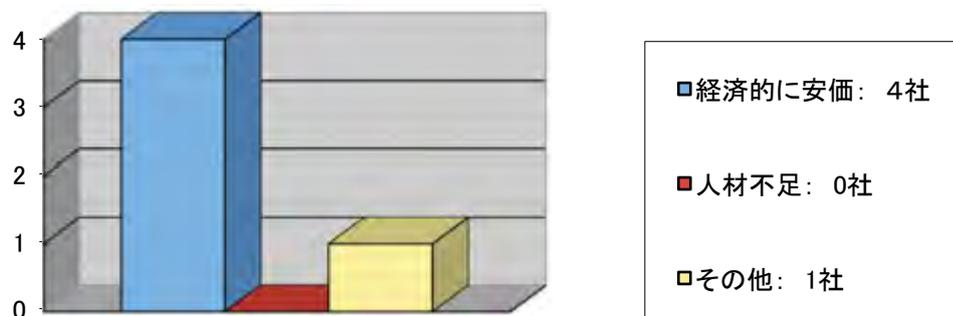


図 58 電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡の分野の各種機器で依頼分析を行う理由

依頼分析を行っている会社は全部で4社で、内訳は角度分解 XPS2社、SNOM3社、電界放射顕微鏡(FEM)、アトムプローブ、PEEM、X線光電子回折(XPED)、電気化学 STM/AFM が各1社ずつである。依頼分析を行っている4社のうち、4社がその理由に経済的に安価であることを挙げ、その中で1社が併せて他の理由(企業グループ内の業務分担による)を挙げている。

C. 5. 上記 C. 2. にて、④興味がある機器・技術について伺います。御社はどのようなところでそれらを知り興味を持ちましたか？

特許検索 学術雑誌 学会 展示会等 報道(テレビや新聞・商業誌など)

ホームページ 計測機器メーカーの営業

その他 (ここに記入して下さい。)

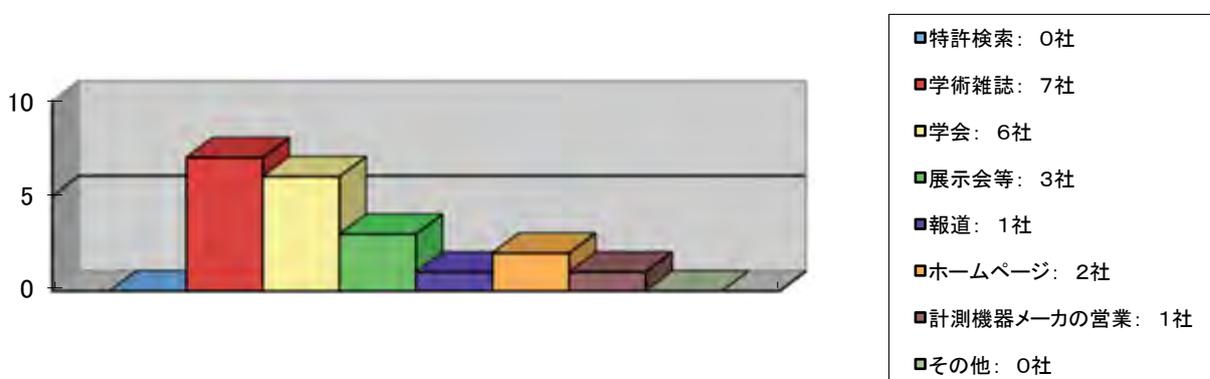


図 59 電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡の分野で興味ある各種機器に関する情報源

設問 C.2 の各種分析機器には、実際に使用している、あるいは使用を検討している機器が少ない反面、使用の予定はないものの興味を寄せられるものが目立った。例えば陽電子顕微鏡は8社のユーザー企業が関心を寄せており、PEEM(5社)、XPED(5社)、各種スピン顕微鏡(5社)等にも関心が示された。これらの技術に関しても、民間企業の研究開発担当者は主として学術雑誌や学会などを通じてその情報を得ていることがわかった。

C. 6. 上記以外の電子線応用機器(電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡)で使用を検討されているもの、興味のある技術・手法をご指摘ください。
(ここに記入して下さい。)

書面調査においては本欄への回答はなかった。面談調査で指摘のあった件は、4-3 にまとめて記載する。

D. バイオ関連機器についてお伺いします。

D. 1. バイオ関連機器における代表的な下記の6機種を使用していますか？ 使用している場合、さらにどのような仕様の向上を求められますか？

①DNA シークエンサー

使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ ランニングコストの安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

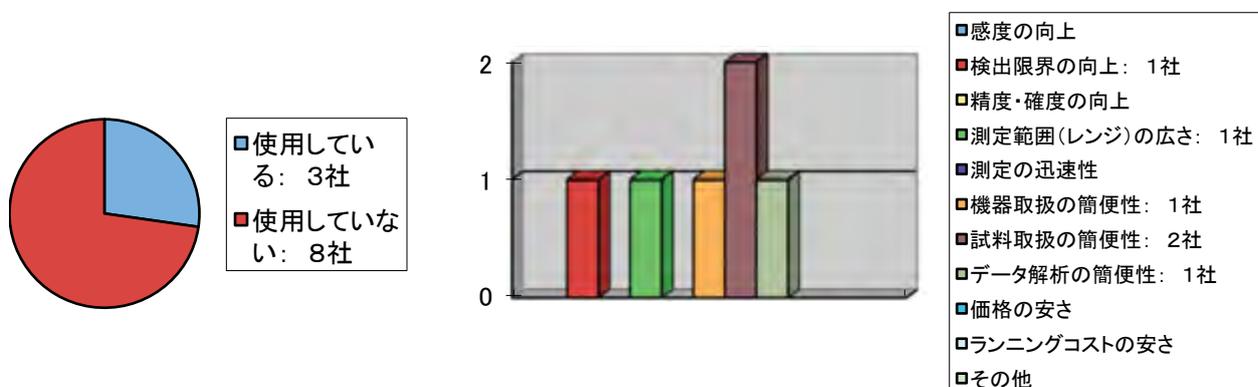


図 6060 DNA シークエンサーの使用状況と求める仕様

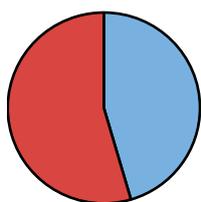
分析機器ユーザー企業11社のうち3社がDNAシーケンサーを使用している。DNAシーケンサーの使用企業が求める向上すべき仕様等としては、試料取り扱い簡便性(2社)及びこれらに次いで検出限界の向上(1社)、測定範囲の広さ(1社)、機器取り扱いの簡便性(1社)、データ取り扱いの簡便性(1社)が求められている。

②リアルタイム DNA 増幅装置(PCR)

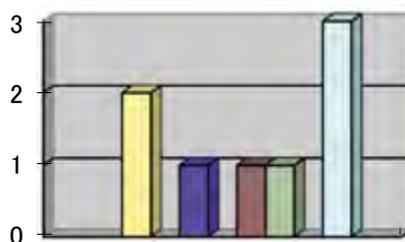
使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ ランニングコストの安さ



使用している: 5社
使用していない: 6社



感度の向上
検出限界の向上
精度・確度の向上: 2社
測定範囲(レンジ)の広さ
測定の迅速性: 1社
機器取扱の簡便性
試料取扱の簡便性: 1社
データ解析の簡便性: 1社

図 61 リアルタイム DNA 増幅装置(PCR)の使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業11社のうち5社がリアルタイム DNA 増幅装置(PCR)を使用している。PCR の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、ランニングコストの安さ(3社)、精度・確度の向上(2社)が挙げられ、他に測定の迅速性(1社)、試料取り扱いの簡便性(1社)及びデータ解析の簡便性(1社)が求められている。

③イメージングアナライザー

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ

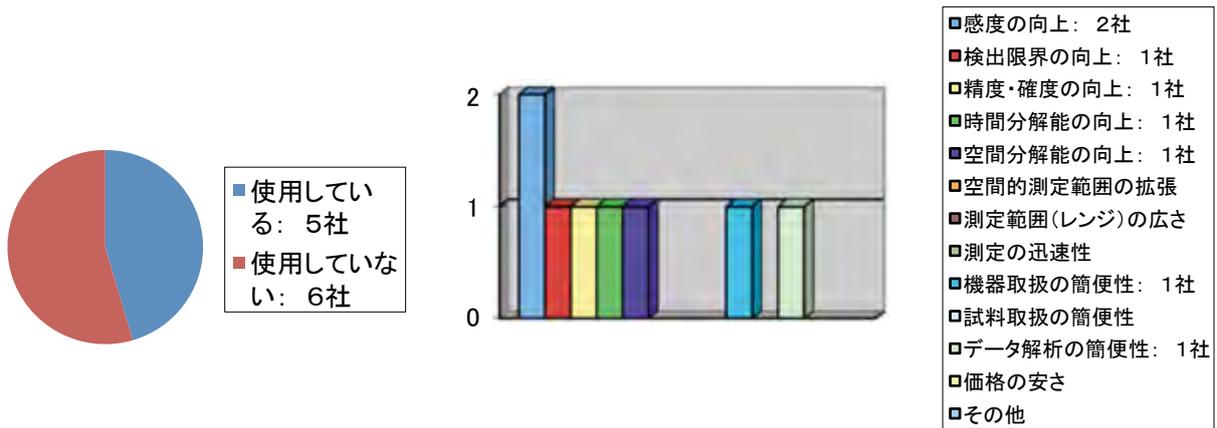


図 92 イメージングアナライザーの使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業11社のうち5社がイメージングアナライザーを使用している。イメージングアナライザーの使用企業が求める向上すべき仕様等としては、感度の向上(2社)が挙げられ、他に検出限界の向上(1社)、精度・確度の向上(1社)、空間分解能の向上(1社)、時間分解能の向上(1社)が求められている。

④生体分子間相互作用解析装置

使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ

その他 (ここに記入して下さい。)

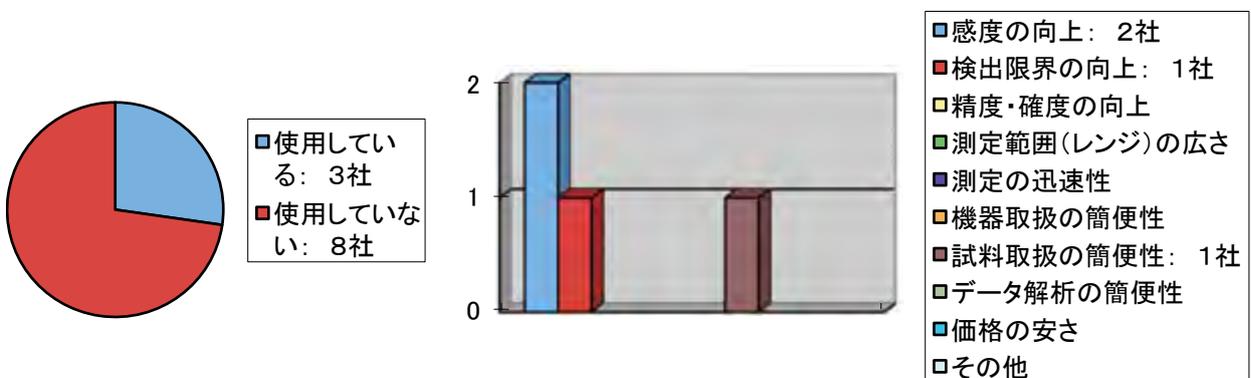


図 93 生体分子間相互作用解析装置の使用状況と求める仕様

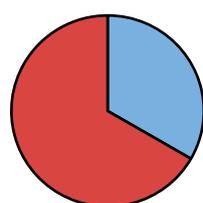
分析機器ユーザー企業11社のうち3社が生体分子間相互作用解析装置を使用している。生体分子間相互作用解析装置の使用企業が求める向上すべき仕様等としては、感度の向上(2社)が挙げられ、他に検出限界の向上(1社)、試料取扱の簡便性(1社)が求められている。

⑤フローサイトメトリー

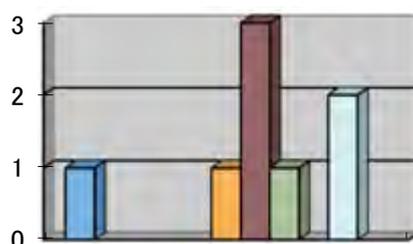
使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ ランニングコストの安さ
その他 (ここに記入して下さい。)



■使用している:
4社
■使用していない:
8社



- 感度の向上: 1社
 ■検出限界の向上
 ■精度・確度の向上
 ■測定範囲(レンジ)の広さ
 ■測定の迅速性
 ■機器取扱の簡便性: 1社
 ■試料取扱の簡便性: 3社
 ■データ解析の簡便性: 1社
 ■価格の安さ
 ■ランニングコストの安さ: 2社
 ■その他

図 64 フローサイトメトリーの使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業11社のうち4社がフローサイトメトリーを使用している。フローサイトメトリーの使用企業が求める向上すべき仕様等としては、試料取り扱いの簡便性(3社)とランニングコストの安さ(2社)が挙げられ、他に感度の向上(1社)、試料取り扱いの簡便性(1社)及びデータ解析の簡便性(1社)が求められている。

⑥DNAマイクロアレイ

使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ ランニングコストの安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

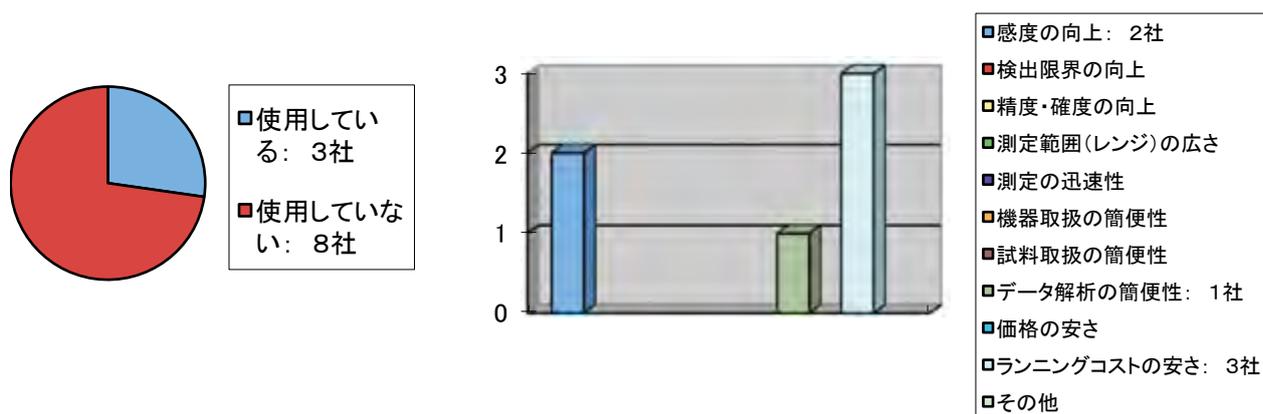


図 65 DNAマイクロアレイの使用状況と求める仕様

分析機器ユーザー企業11社のうち3社がDNAマイクロアレイを使用している。DNAマイクロアレイの使用企業が求める向上すべき仕様等としては、ランニングコストの安さ(3社)が挙げられ、他に感度の向上(2社)及びデータ解析の簡便性(1社)が求められている。

D. 2. バイオ関連機器の分野での比較的新しい、または、比較的専門的な下記の10項目の計測・分析機器・技術に関して、御社の対応において該当する①～⑤の欄をチェックしてください。

- ① すでに使用している。
- ② 依頼分析等を通じて使用している。
- ③ 使用を検討している。
- ④ 使用の予定はないが興味がある。
- ⑤ 特に必要/関心がない。

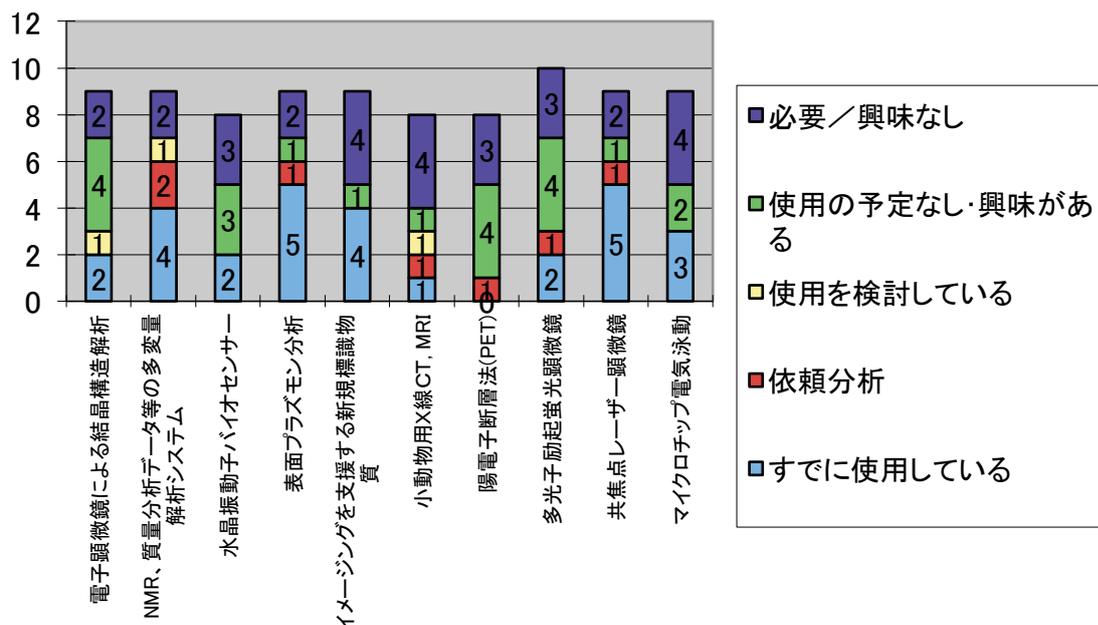


図 66 バイオ関連の各種機器の使用状況

D. 1. で使用の有無を問い合わせた機器と同程度に使用されている機器が目立った。表面プラズモン分析及び共焦点レーザー顕微鏡は、5社がすでに使用している上に各々1社が依頼分析でも使用している。他に NMR、質量分析データ等の多変量解析システムを4社がすでに使用し2社が依頼分析で使用している上、さらに1社が使用を検討している。さらに新規標識物質は4社がすでに使用している。

D. 3. 上記 D. 2. にて、①すでに使用している、②依頼分析に出している、③使用を検討している機器・技術について伺います。その機器・技術を用いる必要性は以下のどれでしょうか？個々の機器/技術についてご回答ください。

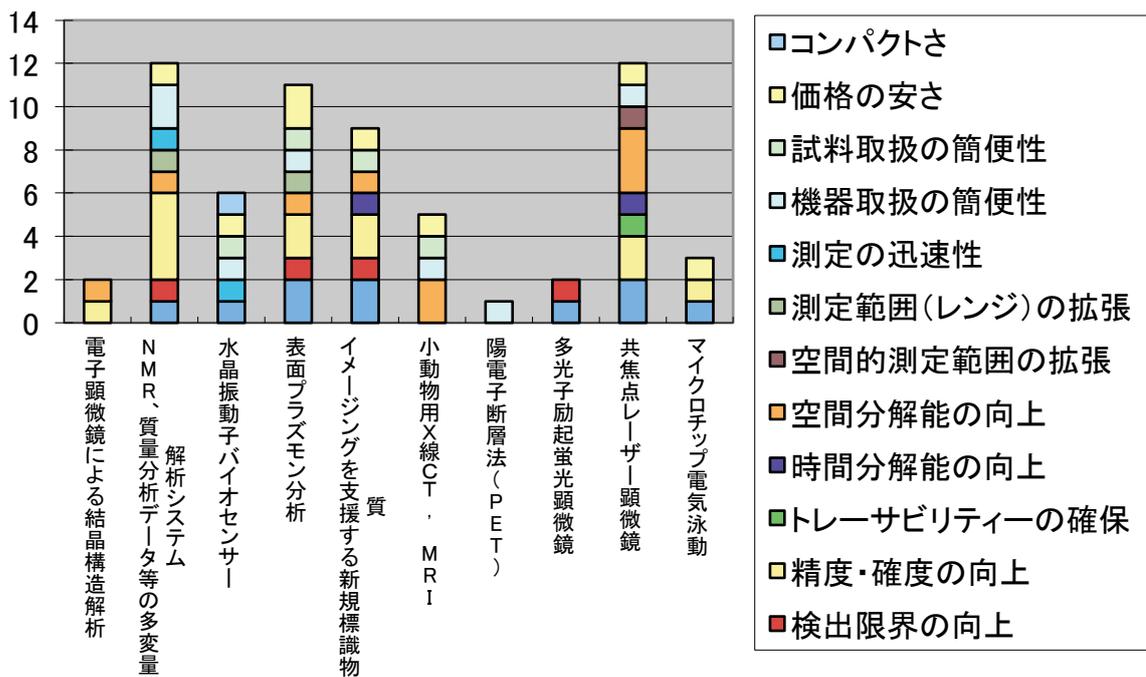


図 67 バイオ関連の各種機器への要求仕様

多変量解析システム、SPR、新規標識物質、共焦点レーザー顕微鏡に多くの要求仕様が挙げられている。データ解析である多変量解析システムでは、精度・確度の向上への要求が高い。新規標識物質に関しては、感度・検出限界・確度・精度などの基本性能向上への寄与が、また共焦点レーザー顕微鏡については、空間分解能の向上などが求められている。

D. 4. 上記 D. 2. にて、②依頼分析等を通じて使用している機器・技術の理由について伺います。

- 装置を保有するより分析を外注した方が経済的に安価なため
- 自社内での装置作製または市販購入装置の操作をできる人材がいないため
- その他（ここに記入して下さい。）

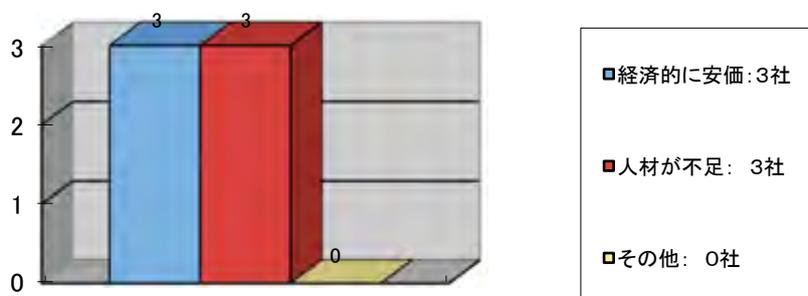


図 68 バイオ関連の各種機器で依頼分析を行う理由

依頼分析を行っている会社は全部で4社で、内訳は多変量解析システム2社、表面プラズモン分析、小動物用 X 線 CT 及び MRI、陽電子断層法(PET)、多光子励起蛍光顕微鏡、共焦点レーザー顕微鏡各 1 社ずつである。依頼分析を行っている4社のうち3社がその理由に経済的に安価であることを挙げ、その中で1社が併せて他の理由(人材が不足およびその他(使用頻度))を挙げている。また4社のうち1社が、その理由に人材が不足していることを挙げている。

D. 5. 上記 D. 2. にて、④興味がある機器・技術について伺います。御社はどのようなところでそれらを知り興味を持ちましたか？

- 特許検索 学術雑誌 学会 展示会等 報道(テレビや新聞・商業誌など) ホームページ 計測機器メーカーの営業
その他 (ここに記入して下さい。)

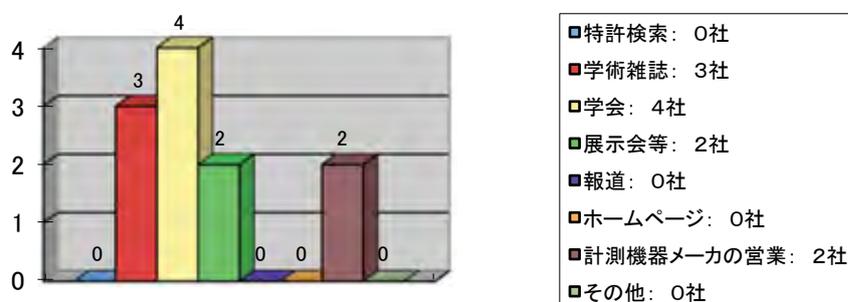


図 69 バイオ関連の興味ある各種機器に関する情報源

バイオ関連機器・技術の分野における使用していないが興味のある機器は、電子顕微鏡による結晶構造解析(4社)、PET(4社)、多光子励起蛍光顕微鏡(4社)等のように少なかったが、これらの技術に関して民間企業の研究開発担当者は、学会や学術雑誌など多様な媒体を通じてその情報を得ていることがわかる。

D. 6. 上記以外のバイオ関連機器で使用を検討されているもの、興味のある技術・手法をご指摘ください。

(ここに記入して下さい。)

書面調査において本欄への回答はなかった。面談調査で指摘のあった件は、4-3 にまとめて記載する。

D. 7. 生体関連物質(創薬、抗体、医薬品など)の分析・評価に関して、開発中の計測・分析機器や共用計測分析施設に設置されている計測機器の活用について問題点をお教え下さい。

試料を御社から持ち出すことができないので測定できない。

試料を他の機関に持ち込むことができないので測定できない。

研究開発中の試料の測定はできないが、類似の試料で公開となっているもので測定して、計測装置の購入を検討する。

試料を測定することはできないが、先端の計測装置について情報が得られるので、市販試料による測定を行ってみたい。

使用している計測装置のスペックや、どの装置で測定しているということ自体が機密事項であり、一切使用できない。

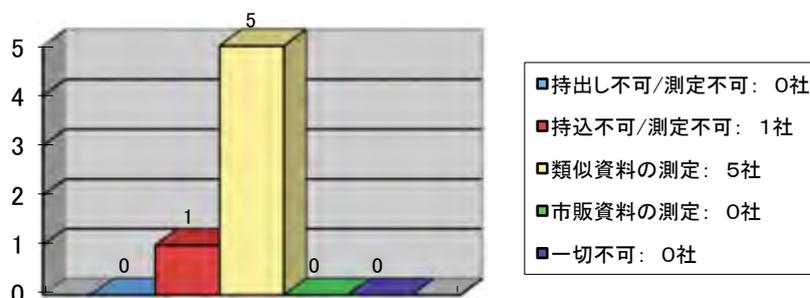


図 90 生体関連物質の分析における開発中の装置や共用装置での測定

開発中の試料の測定は社外ではできないので、測定できないが1社、公開されている類似試料を測定するが5社であった。

第 III 部 産総研に対するご要望

1. 計測・分析機器と技術に関わる産総研の研究開発課題の選定に関して、ご要望がございましたらお書きください。

- エネルギーデバイス・材料の開発に資する計測・分析、特に電気化学環境その場観察を容易にする機器システムの開発。
- 小型、可搬、超寿命の X 線源、中性子線源、検出デバイスの開発(生産現場での計測装置などへの適用を見据えて)。
- 進めておられる各種「標準試料」の整備により、安価で求められる国際標準試料の国産化を推進して欲しい。現状では、NIST 等の海外機関に頼っているところが大きい。
- 課題(テーマ)選定とその効果予想の流れがわからない。
- その場観察など、通常の実験室では困難なことが出来たら良い。

2. 計測・分析機器と技術に関わる産総研との共同研究や研究成果の普及に関して、ご要望がございましたらお書きください。

- 頻繁に研究開発結果の報告会等を開催して欲しい。大学等の教育機関に対し、化学系の学生への最新機器分析技術教育を働きかけてほしい。
- 共同研究などをする際の秘匿契約など手続きに時間が掛かっているようです。もっと効率よく進められないでしょうか。また、すでに他と共同研究されているようなテーマの類似テーマについては、共同研究させてもらえないようなことがあります。秘匿の扱いなど難しい点はあると思いますが、柔軟に対応していただくようなことはできませんか。
- 計測・分析機器に関してだけでなく、一般論として、民間企業との共同研究を行いやすくして欲しい。現状では、民間企業から研究費を拠出しなければならないことが共同研究を妨げていると思われる。
- 研究成果の普及に関し、応物、金属、高分子、化学、分析化学等の学会誌に定期的に解説記事的なものを掲載する等、情報の発信手段の多様化を図って欲しい。
- 共同研究費が高い。

3. 産総研の計測・分析機器の公開に関して、ご要望がございましたらお書きください。

- マッピングラマン、ナノプローブ、Mill & View 等をお持ちでしたら、公開していただけると助かります。
- 市場にあまり出回っていない最先端の計測・分析機器についても、試用・利用できる機会があるとありがたい。

- 一般論として、できるだけ、低料金で使用・提供できるようにして欲しい。そのためには、研究開発段階からのコスト意識が必要である。
- 研究開発の実績(論文、学会発表リスト、過去の外部利用状況と成果などが分かりやすく公開されること。
- 公開に関しても、2と同様に、それに関する情報発信手段の多様化を望む。
- 汎用の設備を産総研が所有することには、無駄が多いのでやめるべき。民間でやればよい。また、現実としても稼働率は低く効果は出ていない。また、拠点が近くの企業だけが使えるので不公平。

4.3 分析機器ユーザー企業の面談調査結果

前章の書面調査後に、分析機器ユーザー企業 11 社の分析部門を中心に面談調査を行った。書面だけでは得られない分析機器に関する情報を深掘り調査した。今回は、聞き取り調査先の数に限られているが、事前の予想通りであったのは、日本製分析機器と海外製の割合である。日本製の分析機器の割合は、ライフ系では 30%程度、グリーン系では 40%程度、半導体では 80%程度と思われる。これらの数値は、対応頂いた方々の感想であり、製品数などを積み上げたものではない。それでも、日本国内に出荷される分析機器は約 70%であるという SDi 社の統計と矛盾しない。

4.3.1 ライフイノベーション関連の分析

今回の調査では、従来、ライフ系（バイオ系）とは全く関係ない事業を行っていた企業でも、この分野に参入していた。日本のライフ系全体を網羅したものではないが、この分野の特徴は聴取できたと思われる。

分析対象

バイオ系で分析対象としているのは主成分の軽元素である。しかし、合成過程で混入する微量金属の分析も医薬品安全性試験基準(Good Laboratory Practice: GLP)等で必要となる場合がある。この GLP や優良医薬品製造基準(Good Manufacturing Practice: GMP)対応は、分析セクションが行う。研究開発においては、研究者が直接装置を操作するが多い。

研究拠点として、日本は総合的に実施しているが、海外には研究開発対象をフォーカスした拠点を持っている。海外拠点の分析対象は、ガン、脳神経、創薬化学と対比関係にあるプロセス化学に関するものである。

分析機器開発整備、更新のサイクル

分析機器の自主開発については、分離技術のためのカラムを自主開発する場合はあるが、基本的に市販装置をそのまま使用するか、それらをマイナーチェンジした装置を特注する。ほとんどの場合、市販装置の使用で十分と考えているが、感度等不足する性能もある。分析機器の購入サイクルは、数億円の大規模装置については 10-20 年である。その部品を入れ替えて使用している。最新鋭機器に即入れ替えるということはず、性能が異なる複数の機器で対応している。NMR や X 線回折といった装置のほとんどが海外製（ブルカー社）に入れ替わってきている。その理由は、海外製は玄人が使用すれば最高性能を発揮し、素人も使用できそこそこの性能が出る点にある。また、特注時の機器開発力も海外が優れている。海

外には、ユーザーの希望に適確に対応できるよいベンチャーがあると感じている（例：ハイコンテンツスクリーニング装置など）。現在、海外製の分析機器製品は、全体の70%程度であると思われる。ライフ系では、機器性能で海外製が勝っていると言える。

研究開発法人、アカデミアとの関係

研究開発法人との関係は、以前は国の機関にしか高価な分析機器がなかったので頻繁に使いに行った。しかし、現在は、主な装置を自前で整備しており、独法に使いに行くべき装置がない。サイクロトロンやPETなど限られた装置については独法のものを使用している。公的機関で測定する場合には、研究者が測定に立ち会うことにしており、データも機器内に残さないようにしている。研究開発法人には、アカデミアと企業の橋渡しとしての機能を発揮してもらいたい。ドイツのフラウンホーファー研究機構のような役割を期待している。

ライフサイエンスは今後のビジネスとして重要と考えられており、従来家電製品とされていた企業も取り組んでいる。ベンチャー買収や、ターゲットを明確にはしていないが、大学等との共同研究により将来ビジョンについて検討している。

4.3.2 グリーンイノベーション関連の分析

従来半導体や家電中心であった企業の多くが、電池や環境といったグリーン系の事業に移行しつつあるか、完了している場合もある。また、グリーンイノベーションは、自動車産業の最重要課題の1つでもある。

分析対象

多くの企業で、分析対象がLi電池といったものになっている。有機エレクトロニクス素子、Liイオン電池の製造では塗布プロセスが使われており、塗りの厚さ、懸濁状態、不純物などである。元素では、酸素や炭素といった軽元素が重要である。大面積を測定すると同時にナノ構造も見たい。電池の寿命は、車では5-10年でよいが、住宅用では20-30年が必要とされる。半導体の劣化加速試験のような寿命推定方法がほしい。

分析機器開発整備、更新のサイクル

分析機器は、10年以上使用し直ぐには入れ替えない。更新時や新規購入時には、カタログスペックで選ぶ場合が多いが、実際にデモしてもらおう場合もある。分析部門が子会社化されている場合も多い。この場合、ルーチン的な分析は子会社に依頼する。自社にない、SIMSやRBSなどは受託分析サービスを利用する。日本製の分析機器の割合は半分程度か海外製品の方が少し多いと思われる。ライフ系よりは国内製品の割合が高い。

研究開発法人、アカデミアとの関係

酸化物中の酸素欠損については、J-PARC の中性子など大型施設を利用する予定である。Li 電池関連で X 線吸収微細構造測定には放射光施設を使っている。計測分析に関わる原理的な研究は企業ではできないので、公的機関の役割を期待している。企業は分析機器の開発というよりは、酸化を防止して測定可能にするなどサンプルの取扱いに関する手法開発を分担したい。3次元アトムプローブについては、測定条件が最適化されていないなど問題があるが、今以上の性能を期待して注目している。独法との共同研究を行っている。この場合、論文用のサンプルを用意することがあるが、重要なサンプルやデータはその場で消去する。電池では、Li の分布計測ニーズがある。また、固液界面の観察に AFM が有望かもしれない。

独法との共同研究は、試料に関わる秘密保持契約や共同研究契約に時間が掛かるという問題があり、改善が望まれる。

4.3.3 機器システム関連の分析

機器システムは、使っている部品が半導体から鋼板といった多岐に渡る。したがって、幅広い分析機器が使用されている。機器システム分野では、計測と分析は異なる。アンケートでは2つの言葉の使い分けが不明瞭であった。分析機器に対する拘りはなく、自社製品を仕上げるために必要な機器を、国内関係無く整備するといった印象であった。

分析対象

プラスチック、ゴム、半導体(MOS 等ではなく、不具合箇所や配線の接触などである)、三次元形状計測、鋼材、非鉄金属などである。この分野では、製品の先進性を実現するために、新しい分析機器に対する緊急性は低いのもかもしれない。

分析機器開発整備、更新のサイクル

減価償却の平均値を考えると、7-10 年程度で更新している。ルーチンとなっている分析は他の会社に委託している。ルーチンでない計測分析は自社内で行う。例えば、SEM は子会社、TEM は本社という具合である。子会社以外にも受託分析サービスを使っている。日本製、海外製と違って区別せず、目的にあったものを整備する。

材料分析では、50%以上が日本製と思われる。特に難しい分析は行っていないが、特殊な装置は海外製もある。動力源の多様化に伴って、絶縁や電気関係の評価が増えることは確実であるが、その他の分析には変化がないと予想している。

研究開発法人、アカデミアとの関係

放射光をアルミや鉄の鋳造部品の分析に使っている。SPring-8 と J-PARC を、回折、XAFS、鉄鋼材料の残留応力測定などで使用している。大学等に依頼する場合もある。依頼する場合には、スピード、コストが重要であり、定常的に使用するには海外でも同じデータが測定出来る必要がある。経年変化や強度低下といった評価が多い。秘密保持や共同研究契約の締結が完了するまでの時間が長い。

4.3.4 半導体関連の分析

半導体産業界のロードマップは、全般的には半導体技術ロードマップ(ITRS, <http://www.itrs.net/>, <http://strj-jeita.elisasp.net/strj/>)に記述されている。ITRS は平均値であり、それぞれの会社の独自の戦略と合っていないので、ITRS のみで語ることはできない。しかし、ITRS に記述されている計測分析に関するニーズは参考になる。半導体は、グリーンイノベーションにも含まれる部分がある。半導体、情報技術、重電、家電といった複数事業が展開されている場合には、半導体部分のみを抽出した。

分析対象

例えば、Si MOS デバイスでの問題点の1つに、ランダム・テレグラフ・ノイズ(RTN)がある。ゲート長 22 nm 程度の超微細トランジスタになると、ゲート内に存在するドーパント原子も数えられる程度になる。しきい値電圧はポアソン分布になるはずであるが、予想以上に平均値の 10 倍以上の幅でばらつくトランジスタが出現するようになる。これは、時間的にしきい値レベルが変動する RTN 現象が関わっており、原子レベルの構造欠陥が原因であると言われている。デバイス中の欠陥や、ドーパントのような軽元素を原子スケールで見たい。これには、陽電子欠陥評価や 3 次元アトムプローブの今後の進展に期待している。

パワーデバイスとして SiC や GaN に取り組んでいる。グラフェンなどの新規ナノ半導体材料の探索なども行っている。シリコンデバイスの基礎研究は、1990 年代に縮小している。

分析機器開発整備、更新のサイクル

プロセス機器が優先され、計測分析機器は二の次となる場合が多い。例えば、メモリーの製造設備は、2 年毎に更新し、4,000-5,000 億円を投資しているのに対して、分析機器は数 10 億円程度である。しかし、計測分析を主業務とする人材を確保しており、計測分析業務以外に他の社員への OJT も行っている。ルーチン的な分析は受託分析も行っている子会社で行う。

半導体の計測分析に関するプロジェクト化は、日本ではうまく行っていない。米国では

NIST に半導体計測分析部門があり、活発に活動していることと対照的である。

日本製の分析機器が大部分であり、海外製品の方が少ない。機器の特注などの場合に、意思の疎通を図るのが容易な国内メーカーが好まれる傾向にある。海外製の主なものは、SIMS や海外製品しか市場に出ていないものである。

国産の分析機器について、検出器などの要素技術は国内にない場合が多い。国内の分析機器メーカーは部品を組み立てているとの印象がある。しかしながら、メンテナンス性を考えて、国産品を選定したいという希望がある。

研究開発法人、アカデミアとの関係

市販装置による計測分析は、自分達で行う。独法は、市販装置でできない分析を可能とする大学病院として機能してほしい。公的機関とは、新しい計測分析装置について共同研究している（例えば、後述するアトムプローブ）。SPring-8 など放射光利用では XPS、XAFS、蛍光 X 線分析などを使用しているが、軽元素が測定できる軟 X 線領域が得意でないという問題がある。

分析ではないが、中性子や α 線による誤動作に関する信頼性のデータは現在、米国の研究所で行っている。半導体デバイスで使っている材料からの中性子や α 線の放出は十分制御されており、宇宙線の影響が問題となっている。この誤動作をシミュレーションしているが、必要な基礎データがない。基礎的データなので、独法での測定を希望する。日本国内の半導体の計測分析に関しては、Selete, MIRAI といったプロジェクトが終了した後も、「計測分析技術交流広場」<http://www.tsc-web.jp/tsc/> が運用されており、参考になる。

半導体デバイスサイズの超微細化にともなって、原子単位で、3次元構成像や化学状態を見たいという要望がある。3次元アトムプローブは、これを実現出来る可能性がある。NIMS と共同研究を行っている。しかし、以下の欠点がある：1. 同じ m/z のイオン（例えば、 N^+ と Si^{2+} ）を分離することができず、深刻な問題となっている、2. 微量元素（ドーパント）が見えない、3. 質量分解能が低く、例えば、Si と P が分離できない、4. 厚い絶縁体は測定できない、5. 原理的には可能だが、実際には原子スケールの空間分解能は難しい、6. 組成比が正しくない。現状では使用できる試料が限られており、3億円という装置価格では導入できない。SIMS は高価だが、スループットが高く、アプリケーションの幅も広いので導入できる。

大学との共同研究は、株式会社半導体理工学研究センター（STARC）を通して行っている。大学への研究費提供と人の派遣を実施する。公的機関との連携では、論文と評判を重視している。研究開発の実績（論文、学会発表リスト、過去の外部利用実績等）を公開してほしい。また、独法の場合には共同研究契約を個別に検討しなければならず、時間を要する場合が多い。

4.3.5 情報通信関連の分析

今回の調査で情報通信分野の情報は限られたものであり、日本全体を網羅したものではない。

分析対象

GaN 等の化合物半導体、グラフェンやダイヤモンドにおいて、リン、ボロン、窒素といった軽元素が重要である。また、水素、ベリリウム、炭素、酸素など微量でデバイス特性に影響するので、注目している。また、脂質二重層にタンパク質を埋め込んだバイオセンサーなども研究開発している。

分析機器開発整備、更新のサイクル

ルーチン的な分析は他の会社の分析サービスに発注し、研究者はデバイス等の開発において、その特性を見たいという動機から自ら計測分析を行っている。子会社での分析は秘密保持が最初から保障されるので都合がよい。研究開発費の 25%程度が分析機器購入で、残りはプロセス装置や結晶成長装置といった機器の購入に充てている。計測分析手法の開発は行うが、商品化を目指した機器の開発を行うことはない。

日本製品の割合は分野によって異なる。改造して使用する装置に日本製品が多い。半導体系では 75%程度が日本製だが、バイオ系は 50%かそれ以下と思われる。

研究開発法人、アカデミアとの関係

放射光などの大型施設については、研究開発法人の施設を使用している。SPring-8 が代表的で、ビームタイムを購入して使用している。このような大型施設整備についての要望は、日本には多くの放射光施設があり、重複投資の感がある。1 度走り出しても見直しを入れるべきではないか。

研究開発法人の利用に際しては新しい材料を開発している立場上、その材料を取り扱っていることも秘密にしてほしい。近年の研究開発法人は、何かあるとお金を要求するので、以前より共同研究がやりづらくなった。壁を感じる。ぜひ、その壁を破り win-win 関係を構築できればベストである。

4.3.6 まとめ

分析機器ユーザーから聞き取った、業種別（今回の聞き取り調査の範囲のみ）の日本製

品と海外製品の割合は以下の通りである。これらの数値は、台数を積み上げたものではなく何%くらいかという問いに面談調査で回答いただいたものである。ライフ分野では海外製品がほとんどであり、逆に半導体分野では日本製品の占有率が高い。各種表面分析法が使われる半導体分野は、日本が強いところである。これらの数値は、日本がライフ系の機器で苦戦しているが、表面分析機器では健闘していることと矛盾しない。

分野	日本製機器/(日本製機器+海外製機器)
ライフイノベーション	30%
グリーンイノベーション	40%
機器システム	60%
半導体	80%

海外製品を購入する理由として以下のような回答があった。

- 海外製は玄人が使用すれば最高性能を発揮し、素人でもそこそこの性能が出る。
- 特注時の開発力に差が出てきているのではないか。
- 検出器といったキーテクノロジーは海外製で、日本ではそれらを組み上げているだけという印象がある。

装置選定のときに、「装置の性能だけではなく、その装置がどのように使われて、どのように役に立つかが報告されていることが重要である。」とのコメントがあり、新しい機器を販売するときに多くのアプリケーション例を同時に示すことが必要と思われる。分析機器メーカーは当然アプリケーションの例を示すが、既存製品の性能向上ではない、新しい機器の場合にはこれが不足することがあるのではないだろうか。このことは、機器の開発段階から複数のユーザーに使ってもらい、すなわち、一対多数の関係を構築することが重要であることを示している。日本のユーザーは、サービス、メンテナンスを考えると、日本製を選択したいという希望を持っており、複数のユーザーがいる開発環境が重要と思われる。

機器の更新サイクルは、二極化している。分析機器の新製品が出れば直ぐ購入するという企業では、高い開発力の維持や他社との差別化において、先端分析機器の整備が重要であると考えている。しかし、今回の調査ではこれができる企業は極限られている。一方、多くの企業がそうであるが、新製品が出ても直ぐには機器を更新しない。更新サイクルは、10-20年と長周期である。日本の企業では研究開発投資額の約 25%程度が分析機器に使われている。ほとんどの分析機器は、高額であるため頻繁な更新が許されない場合がほとんどである。携帯電話やパーソナルコンピュータでは、新製品投入により買い換えが促進され、販売が伸びる。一方、分析機器のような高額な機器では、新製品投入が爆発的なヒットには繋がりにくい。新製品投入後、おそらく数年間は待たなくてはならない。したがって、製品化までの死の谷を克服できたとしても、第2の死の谷が存在する可能性がある。分析機器産業界は、

多くの工業製品のサイクルと比べて長周期であるが、近年、短期サイクルへ全てが移行しており、企業経営上、第2の死の谷を克服できない場合があるのではないだろうか。

研究開発法人との関係は大きく変わってきた。それを表すコメントとして、「以前は公的機関にしか導入されていない最先端機器があり、使用する頻度が高かったが、最近では自前で整備しているので使用頻度は減っている」というものがある。高額な海外製品を旧国研が購入し、その装置がハブ機能を果たしていたと考えられる。企業からは、公的機関には、市販装置ではできない分析技術を開発し、大学病院になってほしいとの要望が寄せられている。また、ユーザー企業では機器開発までは行えず、サンプルの取扱や導入機構などの手法開発が主となる。公的機関にはキーとなる技術の開発を行ってほしいという要望がある。研究開発法人は、研究開発プロジェクトにおいて、機器開発からスタートし、それを分析機器産業界に渡す役割を担うことが必要と考えられる。

これは、前述したように、分析機器開発の一種の構造的欠陥である。近年、企業が、研究開発法人の施設を利用している例は、SPring-8に代表される放射光やJ-PARCといった超大型施設であり、分析機器工業会や科学機器団体連合会の守備範囲を越えた元々はサイエンスのための巨大装置である。これらの巨大装置で行っている分析技術を小型化して商品にするという取り組みは、同じ性能はでないが普及型の装置として、研究開発の1つの方向と考えられる。また、これらの巨大装置のビームラインでは、最先端の計測技術が求められており、その開発から生まれた技術を搭載して分析装置に仕上げることも、新規分析装置開発に有効である。このスタイルは、ヨーロッパでよく見られ、日本も行うべき路線と考えられる。アメリカでは、軍事応用が計測分析機器を牽引する傾向にあり、高い世界シェアの維持が可能と思われる。

今回の調査で、ラボサイズの分析機器として3次元アトムプローブに対するコメントや要望が多かった。3次元アトムプローブは、電界イオン顕微鏡とイメージング質量分析を組み合わせて、元素の種類を同定しながら原子の3次元マッピングを行うことができる。半導体、電池などナノデバイスやナノ材料の分析方法として注目されている。現在、フランスに本社があるCAMECA社から市販されているが、3億円程度とまだ高価である。また、ルーチン的な分析に用いるためには、以下の問題点が挙げられた：1. 同じ m/z のイオン（例えば、 N^+ と Si^{2+} ）を分離することができず、深刻な問題となっている、2. 微量元素（ドーパント）が見えない、3. 質量分解能が低く、例えば、SiとPが分離できない、4. 厚い絶縁体は測定できない、5. 原理的には可能だが、実際には原子スケール空間分解能が難しい、6. 組成比が正しくない。透過電子顕微鏡はドーパント原子を見たとの報告はあるが、基本的に原子列の投影であり、また、元素の種類は分からない。3次元アトムプローブは電子顕微鏡では得られない情報を提供するため、期待は大きいですが、装置価格、スループット（ナノサイズの針の作製が必要）、適切に測定できる材料がまだ限られているなどにより、広く普及するには至っていない。近年、FIBによりデバイスの狙った場所をナノサイズ針に加工

することが可能になり、物理実験から分析機器としての展開が実現しつつある。

4.4 分析機器製造企業の面談調査結果

分析機器製造企業は、6社から書面回答をいただいた。この書面調査に加えて、4社と面談した結果について記述する。

4.4.1 機器研究開発体制の現状

書面調査結果では、既存製品の維持に危機感があり、新分野の開発を検討している、あるいは積極的に進めているとした企業がほとんどである。新製品の開発はほとんど自社の予算で行っている。新製品開発時の秘密保持は重要であり、自社内のスタッフのみで開発することがほとんどである。近年、計測分析機器開発や実用化の予算が整備されているが、それらが新製品の開発に使われる割合は25%以下である。一方、企業の開発現場からは、新製品を社内で開発する余裕がなくなっているという声がある。これは、現場では、予算、人材の両面から問題があると考えているということであろう。ユーザーがすでに確保されている新しい分析機器が、大学や研究開発法人から出るのを待っている。しかしながら、歴史的に見て、日本の公的研究機関は、分析機器のユーザーではあっても、開発者であったことは極希であった。現在、日本で機器開発が行える環境は極めて限られていると言わざるを得ない。この場合の機器開発とは、海外製などのコンポーネントを組み合わせることや、ライセンス供与を除く。研究開発の新たなうねりがあっても、日本はそれに対応して新製品を出せる環境が整っていない。

日本がライフサイエンス系の機器開発で弱いとされる原因については、ライフサイエンスのユーザーが欧米に比較して国内に少なく、アプリケーション開拓が弱いことが上げられている。メーカーでは装置を作る議論しかできないので、日本製品にはアプリケーションが伴わない。欧米ではこのようなアプリケーションの研究者が機器開発からスタートするケースが多いと思われる。今まで行われたことのない研究をスタートするときには、市販装置では対応できない。このときに、分析機器メーカーに特注するのではなくて、自分達で作ろうとする傾向にある。

4.4.2 研究開発法人、アカデミアとの関係

欧米では、新分析機器の開発とユーザーを見つけるところまでが、公的機関が行ってい

る。世界の分析機器大企業はユーザーの付いた機器を製品として仕上げている。プロトタイプと製品の間には壁が存在する。製品化に繋がる開発が日本の研究機関に少なく、論文にして終わりにになってしまう例が多い。

ドイツには、大学、マックスプランク協会（基礎研究）→ フラウンホーファー研究機構（応用研究）→ 企業（製品化）という基礎研究から製品開発の流れがある。国が最初の10-20台を購入することを保障してプロジェクトがスタートしている場合がある。これにより、新規分析機器が産業として成り立ち、かつその後の普及を助けている。日本には現在のところそのような流れはない。多くの場合、大学は分析機器のユーザーであって、計測分析基礎研究がない。機器開発は分析機器製造メーカーに集中している。大学—研究開発法人—企業という連携が日本では不足している。アンケートでは、研究開発法人に新しい計測原理実証等のハードウェアの開発を望む声が多い。

4.4.3 分析機器メーカー間の関係

現状では、複数社が参画して1つの装置を仕上げるのは難しい。競合する製品があれば、他社との共同開発は、その製品以外でも難しいのが現状である。特に、プロトタイプを社外で開発することは困難である。このような状況では、複数社の最先端機器が並ぶことはあり得ない。しかしながら、競合製品がない他社との協力はあり得る。

4.4.4 まとめ

ラボ用分析機器の世界市場は前述のように順調に成長している。アメリカやドイツの売上は順調に伸びているのに対して、日本の伸びは飽和傾向にある。一方、新製品の開発には各社とも積極的に取り組んでいるとの回答である。しかしながら、実状は、従来にはない新しいカテゴリーの新製品は国内では開発しにくくなっているとの開発現場の声がある。これは何を意味するであろうか？開発は行っているが、アメリカやドイツほどには売上が伸びていないことになる。

図 4.1 にアメリカも含めたトップ 50 社の売上推移を示す。前述したように現在の世界トップ 20 社はライフサイエンス関連機器を主力としている。2006-2008 年にライフサイエンス機器の需要が急激に伸びており、この分野の機器で日本の競争力が高くないことが、日本の売上が飽和傾向になっている一因である。アメリカとドイツはこの成長市場に適確に対応したと言える。しかし、前述したように日本の分析機器開発体制には、構造的問題が存在すると思われる。

日本の分析機器企業の 2009 年の分析機器収益を見てみると、日本トップは世界トップの半分程度、トップ二位から四位は 1/6 程度である。世界トップ 50 に入っている日本企業 10 社の分析機器のみの売り上げは、2009 年の為替レート換算で(91 円)、1,165 億円から 122 億円である。分析機器以外の製品も含めた売上高は、8653 億円から 143 億円と大きくばらつくが、収益に占める分析機器の割合が 40%以上の企業の総収益は、2334 億円から 143 億円と、超大企業と比較すると規模が小さい。このため、科学技術立国の源泉であり、最先端技術が投入される分析機器ではあるが、研究開発投資を行うのは容易ではない。

日本企業は開発の対象を、開発費が嵩む新分野に向けるより、従来機器の性能向上に注力せざるを得なかったのではないかとと思われる。これに加えて、日本における製品開発は、秘密保持のために自社内でのみ行うことが多い。開発予算は公的資金を活用する場合は 25%以下と少ない。あるいは公的資金を投入した開発は製品として残っていない可能性がある。以上を考慮すると、日本の分析機器企業は、負帰還が掛かっている危険な状態になっていないだろうか。

分析機器開発は、ポテンシャルユーザー（研究者）と一対一で進めることが多い。これは、新製品に関する秘密保持のためである。また、新製品のデモンストレーションも自社内のショールームで行われ、他社とともに展示することに前向きな企業はない。しかしながら、世界シェアの推移を見て、日本の危機的状況では、各社間の協力が必要不可欠であると思われる。事業規模は大きくないのに、製品の棲み分けがなく競合している。半導体産業のような、経営統合も起こっていない。相互の協力体制も構築しづらく、工業会として意見がまとまりにくい傾向にあると言われている。今後改善の必要があると思われる。

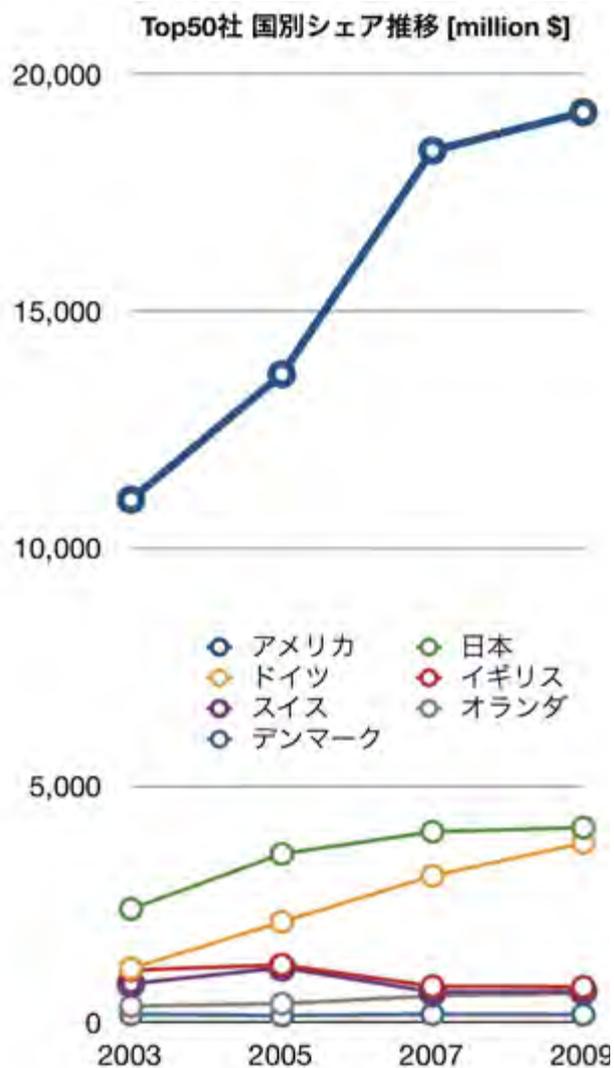


図 4.4.1 世界トップ 50 社の売上推

第5章 アクションプラン

日本のラボ用分析機器売上の伸びが飽和傾向にあり、世界シェアでドイツに抜かれる今、行動を起こす必要がある。急速に科学技術研究が立ち上がり、ハイエンド機器の自国内開発を謳っている中国、ICT以外にも製造業が伸びているインド、その他ブラジルや、シンガポールやタイなどの ASEAN 諸国において分析機器を必要とする国が増えている。これらの国が輸入機器を参考に輸入超過を改善しようとする動きが起こるのは自然である。この動きにより、ハイエンドではない従来型の分析機器において、価格、性能で日本が国際競争力を無くす危険性がある。今、早急に対策を講じる必要がある。

日本独自の取り組みが必要である。まず、取りまなければならないと考えられるのは、容易には真似されないハイエンド機器の開発環境整備や開発能力の向上である。企業よりチャレンジングな課題に取り組みやすい、公的な研究開発法人等の機器開発能力を向上させることと、その装置をユーザーに公開してブラッシュアップする環境を整備することが考えられる。日本国内に眠っている新計測技術を掘り起こし、ユーザーに開放できるレベルの分析機器として仕上げ、ユーザーを見つけるまで研究開発法人で行う。このための環境として、研究開発法人が適しているのは、企業や大学が参画する多くの出口指向のプロジェクトがあるからである。即ち、分析機器のユーザーが集結している。このような環境があれば、分析機器企業が開発したハイエンド新製品のユーザーアダプタビリティをチェックすることも可能だし、機器の国際競争力を増すことができる。複数の機器が集結するこの機器開発のハブ拠点ができれば、イノベーションの加速に貢献できる。また、研究開発法人の施設を使った研究開発は、ベンチャー企業が多額の初期投資なしに、新技術を競争力ある分析機器製品として仕上げることを可能にする。

日本の研究開発投資の70%は民間企業であり、大学、研究開発法人に加えて、ユーザー企業の機器購入動向が重要である。ユーザー企業にとって分析機器の性能は最も重要であるが、一方、研究開発に使用する分析機器の多くは市販装置をそのまま購入することはなく、改造を施す必要がある。ルーチンワークでない研究開発の現場では、特にその頻度が高い。このため、ユーザー企業は、特注やメンテナンスを考慮して、自国製の分析機器を購入したいという潜在的希望を持っている。国内の工業製品等の開発における分析機器ニーズに適確かつ迅速に応えるためには、国産の分析機器が必要不可欠である。日本では、ハードウェアとソフトウェアの開発が企業にのみ集中し、大学、研究開発法人がほとんどの場合機器のユーザーであるという構図であるが、これを、欧米のように大学、研究開発法人がハードウェアからソフトウェアの開発まで行い、ユーザーを開拓した後に産業界にトランスファーするサイクルを構築する必要がある。その移行を果たすために、複数の関連する分析機器開発とユーザー開拓を行うための拠点を提案する。

拠点の利点は、複数の最先端ハイエンド分析機器が集まることにより、高い課題解決力を発揮できることである。ハイエンド機器が孤立して 1 台あっても研究開発の課題を解決することは困難である。日本の厳しい現状を改善するには、企業—研究開発法人—大学の連携が可能な環境が必要である。新技術と普及のための研究開発環境の構築が必要不可欠であると考えられる。

世界分析機器市場は、中国、インドなどの研究開発の立ち上がりや欧米、日本のハイエンド機器へのニーズが継続するため、2009 年から 2014 年に掛けて約 3 兆円から 4 兆円に成長すると予測されている。今までの成長はライフサイエンス向けの機器に支えられてきたが、今後はグリーンイノベーションのための分析機器が重要になると考えられる。RoHS 指令といった規制向けには、重元素の分析が重要であったが、グリーンイノベーションでは、アンケート結果からも明かなようにユーザー企業は軽元素を主な分析対象にしている。工業製品としては、電池、省エネルギー半導体などナノテクノロジーを活用するものが想定される。ライフイノベーションで扱う元素も軽元素である。しかし、H, B, C, N, O から Si, P といった元素軽元素の分析は容易ではない。X線や電子線を使ったイメージングでは、コントラストが付きにくい。元素の種類を同定するために特性X線を使う場合においても、検出系の分解能不足などのために分離が難しい。リチウムではX線を使った例はほぼなく、水素に至ってはX線が使えない。これらは、軽元素分析の困難さの一部である。本調査において分析への共通したニーズは、大面積をナノスケールで、原子構造、欠陥などについて分析したいということである。しかし、アンケート結果でニーズの高い軽元素に注目して行うのは容易ではない。解決方法のヒントは、第3章のMEMS分野やパワーエレクトロニクス分野を中心に見られる。1つの装置により、1 nmの空間分解能で10 cmの面積を観察するといったことは現実的でない。例えば、最新の収差補正TEMは、0.1 nm以下の空間分解能があるが、観察できる領域はFIBによる薄片サンプルの出来具合にもよるが、高々数10 μm程度である。3D-TEMや3Dアトムプローブといった局所的に原子スケールの観察が可能な分析機器と観察すべき場所のスクリーニングの組み合わせというように、複数の装置を組み合わせて課題解決に当たるのが現実的なアプローチである。しかしながら、前述したアンケート結果からも明かなように、現在、ユーザーが日常的に使用できるレベルには達していない。

アクションプランと1つとして考えられるのは、書面調査や面談調査で明らかになった、ライフイノベーションやグリーンイノベーションにおいて、軽元素ナノ計測分析のための複数の機器群を集約化した研究開発とユーザーとの密な交流が行える拠点整備である。個別の機器開発は行われているが日本国内に散在している。装置間の連携が希薄であり、複数の機器を活用して課題解決できる体制とはなっていない。図 5.1 は、このような現状を改革するための体制案である。H, B, C, N, O といった軽元素と、究極の軽元素と言える欠陥の分析を行うための、オリジナルの装置群の開発、大面積試料のスクリーニング技術や機器、サ

サンプル調整技術や機器を集約する。通常、新しい機器が普及するまでには、長期間が必要となる。まず、ニーズが高い軽元素をキーワードに、機器開発者、機器ユーザーが協力して、第二の死の谷の期間を短縮するための環境を整備する。大学のサイエンスと企業の産業を繋ぐ役割を果たす。

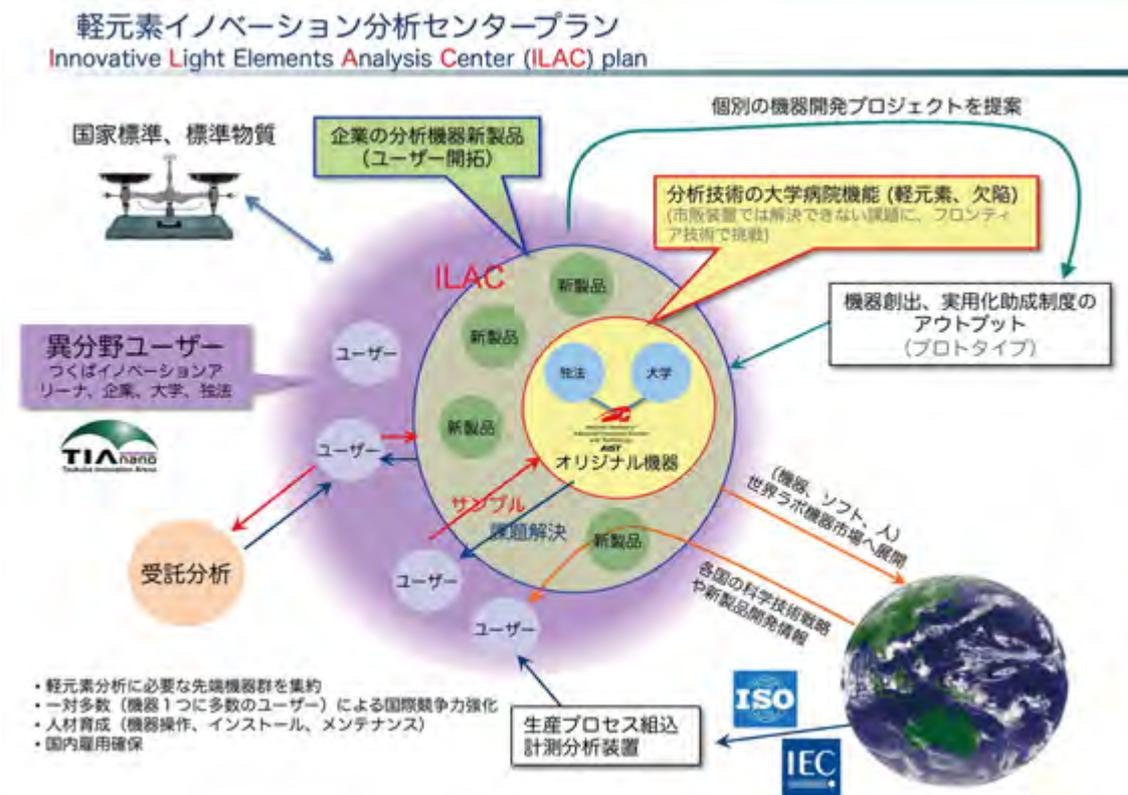


図 5.1 アクションプランの例

第6章 まとめ

本報告書は、産業技術総合研究所 ナノインテリジェント計測調査委員会が、工業製品の研究開発やサイエンスのために必要不可欠である計測分析機器を巡る日本国内外の現状分析と課題の認識を通して、日本発の分析機器の国際競争力強化のために何をなすべきか、公的研究機関の視点から取りまとめた調査研究の成果である。

総務省統計局の人口推移と将来予測では、日本の人口は 2004 年の 127,787 千人をピークに、その後減少に転じている。94 年後の 2105 年にはピーク時の約 1/3 の 44,592 千人まで減少すると予測されている（図 6.1）。江戸時代末期の予測人口 33,000 千人と大差ない値である。2010 年の名目 GDP 479 兆円から将来は大幅に減少することは避けられず、継続的な経済成長は望めない。もう一度鎖国をしても継続できる社会は構築可能かもしれないが、1 度工業的発展を経験した社会が元に戻ることはない。このような人口減少、GDP 減少の傾向において、どのような産業を日本に残していくべきであろうか？工業製品等の輸出産業で輸入超過の食料等を相殺する必要がある。日本国内でのものづくりはコストが高く、薄利多売の大量生産には向かない。国内に雇用を確保するには、付加価値の高い多品種少量生産である必要がある。分析機器産業は、先端技術を搭載した高付加価値の多品種少量生産である。したがって、将来に渡って残すべき輸出産業である。

トップ 50 社の世界シェアにおいて現在、日本は飽和傾向にあり、ドイツに抜かれるといっても、分析機器工業会の平成 22 年度統計では、生産高 394,168,159 千円、輸出高 218,024,578 千円と 55%を輸出している有力な輸出産業である。分析機器の高いシェアは、標準分野においても必要不可欠である。まだ、輸出超過を維持できているうちに、アクションを起こすべきである。成長著しいアジア諸国の科学技術を先導するためには、日本の分析機器企業—研究開発法人—大学が高い研究開発力を有する必要がある。

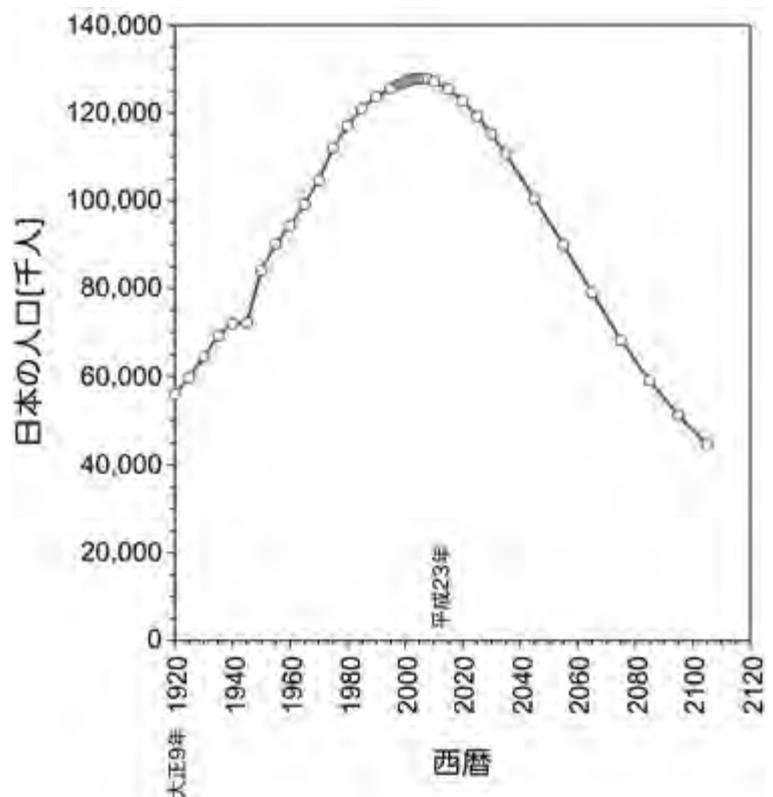


図 6.1 日本の人口推移と将来予測（総務省統計局）

第4期科学技術基本計画 知的基盤の整備においては、以下のように記述されている。
「国は、先端的な計測分析技術及び機器について、事業化の主体や利用者を交えた連携体制による開発を進めるとともに、開発された技術や機器について、大学や企業等の研究開発機関や市場への普及、活用を促進する」。今回の調査により、上記計画を推進するために、大学と企業を繋ぐ研究開発法人の役割が、分析機器開発環境の構築において重要であると考えられる。

「計測機器及び分析技術に対する民間企業様等へのニーズ調査」

計測機器および分析技術に対する 民間企業様等へのニーズ調査

2011年1月28日

独立行政法人 産業技術総合研究所
ナノインテリジェント計測調査委員会

調査の趣旨

1. 本調査は、独立行政法人産業技術総合研究所(産総研)の業務の一貫として、民間企業・各種機関様の研究開発業務における計測・分析機器及び技術への需要(ニーズ)の調査を行うことを目的に行います。
2. 本調査は、産総研ナノインテリジェント計測調査委員会(以下、委員会という)が行います。
3. 本調査は委員会の調査研究の一部であり、この他に技術シーズの調査、計測分析技術の研究開発及び成果の普及体制の調査、などを行い、これらの調査結果を踏まえた上で、ニーズに対応した計測・分析技術の研究課題を提案させていただくことを最終目標とします。
4. 本調査では、研究開発に意欲的な日本を代表する民間企業・各種機関様に、法人としてのご回答を依頼申し上げております。御社の研究開発関連ご担当部署により、御社内の研究開発業務全般を踏まえたご回答を頂けますようお願い致します。
5. 本調査は、書面調査及び面談調査により行います。
6. 書面調査では、本調査票の設問へのご回答をお願いしております。
7. 面談調査では、書面調査への回答を踏まえて委員会の委員等による民間企業様への聞き取りを行わせていただきます。
8. 本調査も含めた委員会の調査研究活動の成果は、調査報告書として公表するものとします。
9. 本調査の過程でいただいた氏名・所属の情報は産総研個人情報保護規程に則り適切に取り扱うと同時に、調査報告書に氏名・所属企業名は掲載しないようにいたします。

ご回答の手順

1. 本書面調査は3部より成ります。
2. 内をクリックして選択して下さい。文字入力は「ここに記入して下さい。」の箇所をお願いします。
3. 第Ⅰ部は「総論」として、御社の研究開発における計測・分析技術全般に関わることをお伺いいたします。設問1から設問33までの33問から成ります。
 - ①. 設問1から設問7では、計測・分析機器や技術の全般的なことをお伺いいたします。
 - ②. 設問8から設問16では、計測・分析機器や技術の製造や流通に関してお伺いします。
 - ③. 設問17から設問24では、計測・分析機器や技術の利用・使用に関してお伺いします。
 - ④. 設問25から設問33では、研究開発の基盤としての計測・分析技術の整備について、御社外での計測・分析機器の共同利用や関連する共同研究開発も含めてお伺いします。
4. 第Ⅱ部は「各論」として、計測分析機器の中でも広く使われている4つの計測・分析機器：
 - A. 光分析機器
 - B. 質量分析機器
 - C. 電子線応用機器(走査型プローブ顕微鏡や電子分光装置を含む)
 - D. バイオ関連機器についてお伺いいたします。設問Aから設問Dまでの大問4問がさらに小問に分かれております。
5. 第Ⅰ部の設問5において、上記の4種類の計測・分析機器のいずれかを扱っているとご回答された社の方は、第Ⅱ部へお進みいただき該当部分をご回答下さい。
6. 第Ⅰ部の設問5において、上記の4種類の計測・分析機器のいずれも扱っていらっしゃらない社の方は、第Ⅲ部へお進みいただきご回答下さい。
7. 第Ⅲ部では、産総研の計測・分析技術に関する研究開発へのご要望等を承ります。
8. 回答は、御社の研究開発業務を総括的にお答えできる立場の方にお伺いしたいと存じます。複数のご回答者に共同で回答を作成していただくことを想定して設問を作成いたしましたので、調査票の冒頭にご回答いただいた代表者のお名前を賜れば幸甚です。

書面調査へのご回答に先立って、ご回答者並びにご回答者の所属される会社様に関する情報をご記入ください。

0-1. 回答代表者のご氏名、ご所属、ご連絡先をご記入ください。

ご芳名 ここに記入して下さい。

ご所属 ここに記入して下さい。

連絡先

e-mail ここに記入して下さい。

tel ここに記入して下さい。

fax ここに記入して下さい。

0-2. 他の統計調査[1-3]の結果と比較検討を行うため、御社の事業のうち最も適当なものを下記A及びB群よりそれぞれ一つ選んでください。

A 群 [1]: 学術機関 航空/自動車 農業/食品・飲料 バイオテクノロジー セメント 化学(有機・無機・石油) 研究開発業務受託機関 民間検査所(環境分析を含む) 政府研究機関 政府検査等機関 医療機関 金属/鉱業 石油/ガス 塗料/コーティング 医薬品製造 ポリマー/プラスチック(繊維を含む) 半導体・エレクトロニクス・ナノテク 公益事業(電気/ガス/水道) その他(適当と思われる産業科学分野名をここに記入して下さい。)

B 群 [4]: 農林水産業 鉱業 建設業 食品製造業 飲料・たばこ・飼料製造業 繊維工業 木材・木製品製造業(家具を除く) 家具・装飾品製造業 パルプ・紙・紙加工品製造業 印刷・同関連業 化学工業 石油製品・石炭製品製造業 プラスチック製品製造業 ゴム製品製造業 なめし革・同製品・毛皮製造業 窯業・土石製品製造業 鉄鋼業 非鉄金属製造業 金属製品製造業 はん用機械器具製造業 生産用機械器具製造業 業務用機械器具製造業 電子部品・デバイス・電子回路製造業 電気機械器具製造業 情報通信機械器具製造業 輸送用機械器具製造業 その他の製造業 電気ガス水道熱供給業 情報通信産業 運輸業 教育、学習支援業 学術研究、専門・技術サービス業 その他の産業(適当と思われる産業分野名をここに記入して下さい。)

[1] Global Assessment Report 11th Edition, The Laboratory Analytical & Life Science Instrumentation Industry (Strategic Directions International, Inc., 2010, Los Angeles)

[2] 工業統計調査 (経済産業省大臣官房調査統計部)

[3] 科学技術研究調査 (総務省統計局)

[4] 日本標準産業分類 <http://www.stat.go.jp/index/seido/sangyo/index.htm>

第1部 総論

1. 御社の事業と計測・分析機器及び技術の係わりは、下記のどれに該当しますか？ 最も近いものを1つだけ選択して下さい。
分析機器ユーザ企業 分析機器製造業 分析機器販売業
2. 御社の研究開発で扱っている計測機器・分析技術で計測対象としているのはどのようなものですか？
長さ 質量 時間・時刻 電気量 温度 光
物質*の種類・量(定性・定量分析) 物質*の構造・状態・性質(構造解析や状態分析)
生体構成物質の種類・量(定性・定量分析) 生体構成物質の構造・状態・性質(構造解析や状態分析) 生体(細胞・組織・器官・個体レベル)
その他(ここに記入して下さい。)*物質には生物由来の物質を除く
3. 上記で「物質」「生体構成物質」を選ばれた場合、分析すべき元素として最近特に注目している元素の範囲をお教え下さい。
第1及び第2周期の典型元素(H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne) アルカリ金属・アルカリ土類金属 第12族(亜鉛族)元素 第13族(ホウ素族)元素 第14族(炭素族)元素 第15族(窒素族)元素 第16族(酸素族)元素 第17族(ハロゲン)元素 第18族(希ガス)元素 第3周期以上の典型元素 第一(3d)遷移元素 第二(4d)遷移元素 第三(4f)遷移元素 ランタノイド元素 アクチノイド元素 その他(ここに記入して下さい。)
可能であれば分析対象の元素を(ここに記入して下さい。)
4. 上記で「物質」「生体構成物質」を選ばれた場合、具体的にはどのようなものが計測の対象ですか？ 差し支えない範囲でご回答ください。
物質の状態: 固体 液体 気体 分散系 その他
物質の種類: 金属 酸化物 半導体 炭素系物質(フラーレン、CNT、グラフェンなど) 有機化合物 高分子 アミノ酸・ペプチド タンパク質 核酸 糖質 脂質 その他生体関連物質
回答は控えたい
5. 上記で「物質」「生体構成物質」を選ばれた場合、御社で扱っている計測機器・分析技の種類はどのようなものですか？
光分析機器 質量分析機器 X線分析装置 電子顕微鏡 走査プローブ顕微鏡 電子分光装置その他表面分析機器 磁気共鳴分光機器 ガスクロ・液クロ・電気泳動などの分離分析装置 熱測定装置 バイオ関連機器 その他(ここに記入して下さい。)

6. 一般的に計測・分析機器の性能や仕様等で何を重視されますか？(3つ選択してください。)
- 感度 検出限界 精度・確度 トレーサビリティ 信頼性
- 時間分解能 空間分解能 空間的測定範囲の広さ 測定範囲(レンジ)の広さ
- 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
- 価格の安さ コンパクトさ
- その他(ここに記入して下さい。)
7. 新たな計測機器・分析機器あるいは技術として、どのようなものがあればよいとお考えですか？
- (ここに記入して下さい。)

——計測・分析機器や技術の製造や流通に関してお伺いします。

分析機器ユーザー企業の方は設問17へお進み下さい。社内に分析機器開発部署がある場合には、設問8以下の全ての設問にお答え下さい。

8. 分析機器製造業の方はお答え下さい。(既存機器の性能向上やマイナーチェンジ以外の)新製品開発について、以下の何れかを選択して下さい。

- 採算が十分取れており、新分野開拓の必要性は低い。
 既存機器分野の維持には危機感があるが、新分野開拓の余裕がない。
 既存機器分野の維持には危機感があり、新分野開拓開始を検討している。
 新分野開拓を積極的に進めている。

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

9. 分析機器製造業の方はお答え下さい。直近過去5年間の新製品開発において、「自社の技術のみで独自開発した新製品の機種数/当該年間で全ての新製品の機種数」の割合について概ね以下の何れかを選択して下さい。

- 25%以下 25-50% 50-75% 75%以上

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

10. 分析機器製造の方はお答え下さい。新製品開発に際して、一部あるいは全額公的資金で行われた場合の割合について概ね以下の何れかを選択して下さい。

- 25%以下 25-50% 50-75% 75%以上

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

11. 分析機器製造業の方はお答え下さい。新製品開発の方法について以下の何れかを選択して下さい。

- 秘密保持等のため、自社内のみの関係者で開発することが多い。
 秘密保持等のため、公的機関の研究者と1対1の共同研究で行う事がほとんどである。
 複数のアプリケーション等を想定して、複数のユーザーを交えて製品開発している。

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

12. 分析機器関連の販売において「消耗品及びアフターサービス事業収益/全事業収益」の割合をお教え下さい。

- 25%以下 25-50% 50-75% 75%以上

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

13. 分析機器製造業の方はお答え下さい。新製品販売促進のためのデモンストレーションの方法をお教え下さい(複数選択可)。

- 自社内のショールーム
- 企業に試用のため新製品を提供
- 研究機関に試用のため新製品を提供
- 公的機関の分析機器センター等に提供

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

14. 分析機器製造業の方はお答え下さい。新製品販売促進や性能向上のために最も効果的と考えられる方法を1つ選択下さい。

- 自社内のショールーム
- 企業の特定研究者に試用のため新製品を提供
- 研究機関の特定研究者に試用のため新製品を提供、意見を聞く。
- 公的機関の分析機器センター等に新製品を提供、意見を聞く。

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

15. 御社が分析機器製造業あるいは分析機器販売業の場合、自社で開発あるいは販売されている計測・分析機器のデモンストレーションを行える共同の場所があれば自社の製品を設置されますか？

- 各社の機器が一同に会していれば、ユーザーの集客力が高くなるので利用したい。
- 競合他社の機器がある近くには、自社の機器を設置できない。
- デモンストレーション施設を自社内に保有しているので共同の場所は利用しない。
- その他(ここに記入して下さい。)

16. 分析機器製造業の方はお答え下さい。研究開発型独立行政法人に希望することを選択して下さい(重要と思われるもの2つ以内)。

- 新製品開発のための計測原理実証等のハードウェアの基礎的研究を行ってほしい。
- 新たな分析手法(アプリケーション)を開拓してほしい。
- データベース、新製品の勝手の向上に資する基盤を整備してほしい。
- 標準サンプル、標準プロトコル等使い勝手の向上に資する基盤を整備してほしい。

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

—計測・分析機器や技術の利用・使用に関して伺います。

以下分析機器ユーザ企業の方は設問17からお答え下さい。

17. 分析機器の使用について、以下の設問にお答え下さい。

機器分析がなければ製品の開発、サービスの提供等の事業を行えない。

→そのような事態に至ったら：

主に受託分析サービスを利用する。 主に自前の市販分析機器をそのまま使用することで十分である。 主に社内機関内の分析セクションに整備済みの市販分析機器を使用する。 主に公的研究機関に設置されている、市販計測機器を使用している。

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

18. 計測・分析機器の機種選定に際して重視される情報は何でしょうか？（3 つ選択してください。）

当該機器を含めた仕様（カタログ等での記載情報）の比較 当該機器を含めた見積価格の比較 御社提供の試料の当該機器による予備的計測・分析の結果 当該機器の販売実績 競合企業等の納入実績 当該機器の学術研究への貢献の実績（学術論文等での記載など） 当該機器製造メーカーの他の製品の御社における稼働状況 メンテナンス、アフターサービスの充実 デモンストレーションで得られた性能や使い勝手の実感 その他（ここに記入して下さい。）

19. 御社の研究開発費において有形固定資産の購入に充てる金額のうち、計測・分析機器の購入の占める割合はおよそどのくらいでしょうか？

25%以下 25～50% 50～75% 75%以上

その他（ここに記入して下さい。）

20. 御社における計測・分析機器の平均的な更新期間はおよそ何年くらいでしょうか？

3年以下 3～5年 5～7年 7～10年 10年以上

その他（ここに記入して下さい。）

21. 御社で使用中の分析機器に関して、日本製品の台数に対する外国製品の台数の割合についてお答え下さい。

25%以下 25-50% 50-75% 75-100% 100%以上

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

22. 御社の研究開発において、市販の分析機器を使用するだけでは課題解決できない案件の割合についてお答え下さい。

25%以下 25-50% 50-75% 75%以上

コメントがあれば、ここに記入して下さい。

23. 市販の分析機器の改造や、特注の分析機器では解決できない課題がある場合にお答え下さい(複数選択可)。そのような場合には：

公的研究機関に設置されている、特殊な先端分析機器を使用する。 分析機器改造を分析機器製造メーカーに発注する。 次世代分析機器を分析機器製造メーカーと共同開発し製作する(単に発注するだけでは対応できず、製作に深く関わる)。 次世代分析機器を公的研究機関と共同開発する。 次世代分析機器の開発を自ら行う。コメントがあれば、ここに記入して下さい。

24. 計測・分析機器を用いてデータの取得・解析等を行う人材には高度の専門知識と技能が求められますが、御社においてはこのような人材をどのように確保されていますか？

- 社内の OJT/OffJT による社員教育
- 大学院博士課程修了者を含む高度専門知識・技能をすでに持つ人材の採用
- 労働者派遣
- 外部機関等との共同研究員
- 計測機器メーカー等による講習会への社員の派遣
- 社内に人材は確保しない(依頼分析等による業務のアウトソーシングで対応する)
- その他(ここに記入して下さい。)

——研究開発の基盤としての計測・分析技術の整備について、御社外での計測・分析機器の共同利用や関連する共同研究開発も含めてお伺いします。

25. Spring-8、KEK-PF、J-PARC などの大型研究施設は利用されていますか？

利用している 利用していない 利用していないが必要があれば利用する その他(ここに記入して下さい。)

26. このような公開研究施設の存在は必要だとお考えですか？

必要 不要 必要だが改善の余地がある
その他(ここに記入して下さい。)

27. 本書面調査のご回答者様は、産総研の先端的分析機器が、「先端機器共用イノベーションプラットフォーム(IBECS)」として有料で公開されており、何方でも使用できることをご存じでしょうか？

全く知らない。産総研のホームページのトップに「公開研究施設」のボタンがあることを知っている。ホームページ(<http://open-innovation.jp/ibec/>)をアクセスしたことがある。装置・施設の紹介にリストアップされている装置群のスペック等を見たことが

ある。 一度アクセスいただき、ご要望等をここに記入して下さい。

28. 市販の分析機器の改造や、特注の分析機器では解決できない課題がある場合にお答え下さい(複数選択可)。そのような場合には、企業、大学、公的機関で研究開発の段階にある計測・分析機器や技術が御社の研究開発の上での課題解決に貢献できる可能性と判断されたら、利用したいとお考えですか？
- 利用したい 利用したくない
その他 (ここに記入して下さい。)
29. 上記で大学や公的研究機関の計測・分析機器や技術を利用する場合に重視される点は何でしょうか？
- その計測・分析機器や技術への客観的な評価
その計測・分析機器や技術に係わる研究者やその所属機関のこれまでの実績・評価
分析機器開発者との綿密な議論による解析
測定データのみでもよいので迅速な返答
コスト(分析価格や運搬その他の費用)の妥当性
利用手続の簡便さ
試料や技術に関する秘密保持の確保
その他 (ここに記入して下さい。)
30. 上記で大学や公的研究機関の計測・分析機器や技術の利用を検討される場合、その事前評価として具体的に下記のような点を参考にされますか？
その計測・分析機器や技術が
- 特許登録されている 特許出願/公開されている 学術雑誌に論文が掲載されている 学会発表がなされている 学会等での評価がなされている(学会賞など)
展示会等に積極的に出展している 報道で紹介がなされている 同業者等による利用実績があること その他 (ここに記入して下さい。)
31. 御社が必要と思われる計測・分析機器の研究開発を効果的・効率的に進める体制は、どのようなものだとお考えですか？
- 計測機器メーカーの個別開発 ユーザー企業の個別開発 計測機器製造メーカー同士の共同研究 ユーザー企業同士の共同研究 ユーザー企業と計測機器製造メーカーの共同研究 ユーザー企業と大学・公的機関の共同研究 大学・公的機関と計測機器製造メーカーの共同研究 ユーザー企業、大学・公的機関、計測機器製造メーカー三者の共同研究
その他(ここに記入して下さい。)
32. わが国の知的基盤整備の一環として、公的資金を投入した大学・公的研究機関における計測・分析機器及び技術の研究開発は今後も促進すべきと考えますか？
- はい いいえ
コメント(ここに記入して下さい。)
33. 上記で「はい」とお答えの方に伺います。
- 公的資金を民間企業に投入 公的資金を大学・公的機関に投入 民間資金を大学・公的機関に投入
その他(ここに記入して下さい。)

第Ⅱ部 各論

——広く使われている4つの計測・分析機器(光分析装置・質量分析装置・電子線応用分析機器等・バイオ関連分析機器)についてお伺いします。

上記の設問5. において、「御社で扱っている」計測機器・分析技術として光分析機器・質量分析機器・電子顕微鏡や走査プローブ顕微鏡または電子分光装置その他表面分析機器・バイオ関連機器のいずれかを挙げられた方は、第Ⅱ部の設問A. ～D. の該当部分もご回答ください。それ以外の方は第Ⅲ部へお進みください。

A. 光分析機器に関してお伺いします。

A. 1. 光分析機器における代表的な下記の3機種を使用していますか？ 使用している場合、さらにどのような仕様の向上を求められますか？

① フーリエ変換赤外分光光度計

使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として：

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ
測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
価格の安さ コンパクトさ
その他 (ここに記入して下さい。)

② 紫外・可視分光光度計

使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として：

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ
測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
価格の安さ コンパクトさ
その他 (ここに記入して下さい。)

③ 蛍光・発光分光分析装置

使用している 使用していない

——使用している場合に求める仕様として：

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ
測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
価格の安さ コンパクトさ
その他 (ここに記入して下さい。)

A. 2. 光分析機器・技術の分野での比較的新しい、または、比較的専門的な下記の 10 項目の計測・分析機器・技術に関して、①～⑤の該当する欄をチェックしてください。

		①すでに 使用して いる	②依頼分 析等を通じ て使用して いる(大学・ 公的機関 への分析 依頼も含 む)	③使用を 検討して いる	④使用の 予定はな いが興味 がある	⑤特に必 要/関心 がない
1	近赤外テラヘルツ 分光計	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	顕微分光法(分光 の種類は問わない)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	走査型近接場光学 顕微鏡(SNOM)(分 光の種類は問わ ない)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	時間分解分光(マイ クロ秒以下、分光 の種類は問わない)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	表面増強ラマン分 光法(SERS)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	内部多重反射赤外 吸収分光法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	第二高調波発生 (SHG)/和周波発生 (SFG)法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	表面プラズモン共 鳴法(SPR)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	X線吸収微細構造 (XAFS)法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	X線反射率(XRR)法	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

その他ご記入欄:

(ここに記入して下さい。)

A. 3. 上記A. 2. にて、①すでに使用している、②依頼分析に出している、③使用を検討している機器・技術について伺います。その機器・技術を用いる必要性は以下のどれでしょうか？個々の機器/技術についてご回答ください。

		感度の向上	検出限界の向上	精度・確度の向上	トレーサビリティの確保	時間分解能の向上	空間分解能の向上	空間的測定範囲の拡張	測定範囲(レンジ)の拡張	測定の迅速性	機器取扱の簡便性	試料取扱の簡便性	価格の安さ	コンパクトさ
1	近赤外テラヘルツ分光計	<input type="checkbox"/>												
2	顕微分光法(分光の種類は問わない)	<input type="checkbox"/>												
3	走査型近接場光学顕微鏡(SNOM)(分光の種類は問わない)	<input type="checkbox"/>												
4	時間分解分光(マイクロ秒以下、分光の種類は問わない)	<input type="checkbox"/>												
5	表面増強ラマン分光法(SERS)	<input type="checkbox"/>												
6	内部多重反射赤外吸収分光法	<input type="checkbox"/>												
7	第二高調波発生(SHG)/和周波発生(SFG)法	<input type="checkbox"/>												
8	表面プラズモン共鳴法(SPR)	<input type="checkbox"/>												
9	X線吸収微細構造(XAFS)法	<input type="checkbox"/>												
10	X線反射率(XRR)法	<input type="checkbox"/>												

その他ご記入欄:

(ここに記入して下さい。)

A. 4. 上記 A. 2. にて、②依頼分析等を通じて使用している機器・技術の理由について伺います。

- 装置を保有するより分析を外注した方が経済的に安価なため
 自社内での装置作製または市販購入装置の操作をできる人材がいないため
 その他（ここに記入して下さい。）

A. 5. 上記 A. 2. にて、④興味がある機器・技術について伺います。御社はどのようなところでそれらを知り興味を持ちましたか？

- 特許検索 学術雑誌 学会 展示会等 報道(テレビや新聞・商業誌など)
 ホームページ 計測機器メーカーの営業
 その他（ここに記入して下さい。）

A. 6. 上記以外の光分析機器で使用を検討されているもの、興味のある技術・手法をご指摘ください。

（ここに記入して下さい。）

B. 質量分析機器に関してお伺いします。

B. 1. 質量分析機器における代表的な下記の5機種を使用していますか？ 使用している場合、さらにどのような仕様の向上を求められますか？

① 四重極型質量分析装置

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 質量分解能の向上
測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

②GC/MS

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 質量分解能の向上
測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

③LC/MS

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 質量分解能の向上
測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

④MALDI/MS または ESI/MS

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 質量分解能の向上
測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

⑤二次イオン質量分析装置(SIMS)

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 質量分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性
データ解析の簡便性 価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

B. 2. 質量分析機器・技術の分野での比較的新しい、または、比較的専門的な下記の5項目の計測機器・分析技術に関して、①～⑤の該当する欄をチェックしてください。

		①すでに使用している	②依頼分析等を通じて使用している(大学・公的機関への分析依頼も含む)	③使用を検討している	④使用の予定はないが興味がある	⑤特に必要/関心がない
1	質量分析顕微鏡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	飛行時間型2次イオン質量分析計 (TOF-SIMS)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	スパッタ中性粒子質量分析法 (SNMS)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	昇温脱離法 (TDS)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	光または電子刺激脱離法 (PSD または ESD)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

その他ご記入欄:

(ここに記入して下さい。)

B. 3. 上記B. 2. にて、①すでに使用している、②依頼分析に出している、③使用を検討している機器・技術について伺います。その機器・技術を用いる必要性は以下のどれでしょうか？個々の機器/技術についてご回答ください。

		感度の向上	検出限界の向上	精度・確度の向上	トレーサビリティの確保	質量分解能の向上	測定範囲(レンジ)の拡張	測定の迅速性	機器取扱の簡便性	試料取扱の簡便性	価格の安さ	コンパクトさ
1	質量分析顕微鏡	<input type="checkbox"/>										
2	飛行時間型2次イオン質量分析計(TOF-SIMS)	<input type="checkbox"/>										
3	スパッタ中性粒子質量分析法(SNMS)	<input type="checkbox"/>										
4	昇温脱離法(TDS)	<input type="checkbox"/>										
5	光または電子刺激脱離法(PSD またはESD)	<input type="checkbox"/>										

その他ご記入欄：

(ここに記入して下さい。)

B. 4. 上記 B. 2. にて、②依頼分析等を通じて使用している機器・技術の理由について伺います。

- 装置を保有するより分析を外注した方が経済的に安価なため
 自社内での装置作製または市販購入装置の操作をできる人材がいないため
 その他（ここに記入して下さい。）

B. 5. 上記 B. 2. にて、④興味がある機器・技術について伺います。御社はどのようなところでそれらを知り興味を持ちましたか？

- 特許検索 学術雑誌 学会 展示会等 報道(テレビや新聞・商業誌など)
 ホームページ 計測機器メーカーの営業
 その他（ここに記入して下さい。）

B. 6. 上記以外の質量分析機器で使用を検討されているもの、興味のある技術・手法をご指摘ください。

（ここに記入して下さい。）

C. 電子線応用分析機器(電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡など)に関してお伺いします。

C. 1. 電子線応用機器(電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡)における代表的な下記の5機種を使用していますか? 使用している場合、さらにどのような仕様の向上を求められますか?

①走査型電子顕微鏡(SEM)

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ
測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

②透過型電子顕微鏡(TEM)

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ
測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

③X線光電子分光(XPS)法

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ
測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

④走査型トンネル顕微鏡(STM)

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ
測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性
価格の安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

⑤原子間力顕微鏡(AFM)

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上
空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ

測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ
 その他 (ここに記入して下さい。)

C. 2. 電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡の分野での比較的新しい、または、比較的専門的な下記の10項目の計測・分析機器・技術に関して、御社の対応において該当する①～⑤の欄をチェックしてください。

		①すでに使用している	②依頼分析等を通じて使用している(大学・公的機関への分析依頼も含む)	③使用を検討している	④使用の予定はないが興味がある	⑤特に必要/関心がない
1	電界放射顕微鏡 (FEM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	電界イオン顕微鏡 (FIM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	アトムプローブ電界イオン顕微鏡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	光電子放射顕微鏡 (PEEM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	X線光電子回折 (XPED)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	角度分解 X線光電子分光装置	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	陽電子顕微鏡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	電気化学 STM/AFM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	走査型近接場光学顕微鏡 (SNOM) (分光の種類は問わない)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	各種スピン顕微鏡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

その他ご記入欄:

(ここに記入して下さい。)

C. 3. 上記 C. 2. にて、①すでに使用している、②依頼分析に出している、③使用を検討している機器・技術について伺います。その機器・技術を用いる必要性は以下のどれでしょうか？個々の機器/技術についてご回答ください。

		感度の向上	検出限界の向上	精度・確度の向上	トレーサビリティの確保	時間分解能の向上	空間分解能の向上	空間的測定範囲の拡張	測定範囲(レンジ)の拡張	測定の迅速性	機器取扱の簡便性	試料取扱の簡便性	価格の安さ	コンパクトさ
1	電界放射顕微鏡 (FEM)	<input type="checkbox"/>												
2	電界イオン顕微鏡 (FIM)	<input type="checkbox"/>												
3	アトムプローブ電界イオン顕微鏡	<input type="checkbox"/>												
4	光電子放射顕微鏡 (PEEM)	<input type="checkbox"/>												
5	X線光電子回折 (XPED)	<input type="checkbox"/>												
6	角度分解 X線光電子分光装置	<input type="checkbox"/>												
7	陽電子顕微鏡	<input type="checkbox"/>												
8	電気化学 STM/AFM	<input type="checkbox"/>												
9	走査型近接場光学顕微鏡(SNOM) (分光の種類は問わない)	<input type="checkbox"/>												
10	各種スピン顕微鏡	<input type="checkbox"/>												

その他ご記入欄:

(ここに記入して下さい。)

C. 4. 上記 C. 2. にて、②依頼分析等を通じて使用している機器・技術の理由について伺います。

- 装置を保有するより分析を外注した方が経済的に安価なため
 自社内での装置作製または市販購入装置の操作をできる人材がいないため
 その他（ここに記入して下さい。）

C. 5. 上記 C. 2. にて、④興味がある機器・技術について伺います。御社はどのようなところでそれらを知り興味を持ちましたか？

- 特許検索 学術雑誌 学会 展示会等 報道(テレビや新聞・商業誌など)
 ホームページ 計測機器メーカーの営業
 その他（ここに記入して下さい。）

C. 6. 上記以外の電子線応用機器(電子顕微鏡・電子分光装置・走査型プローブ顕微鏡)で使用を検討されているもの、興味のある技術・手法をご指摘ください。

(ここに記入して下さい。)

D. バイオ関連機器についてお伺いします。

D. 1. バイオ関連機器における代表的な下記の6機種を使用していますか？ 使用している場合、さらにどのような仕様の向上を求められますか？

①DNA シークエンサー

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ ランニングコストの安さ

その他 (ここに記入して下さい。)

②リアルタイム DNA 増幅装置(PCR)

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ ランニングコストの安さ

その他 (ここに記入して下さい。)

③イメージングアナライザー

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 時間分解能の向上 空間分解能の向上 空間的測定範囲の拡張 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ

その他 (ここに記入して下さい。)

④生体分子間相互作用解析装置

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ

その他 (ここに記入して下さい。)

⑤フローサイトメトリー

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ ランニングコストの安さ

その他 (ここに記入して下さい。)

⑥DNAマイクロアレイ

使用している 使用していない

—使用している場合に求める仕様として:

- 感度の向上 検出限界の向上 精度・確度の向上 測定範囲(レンジ)の広さ 測定の迅速性 機器取扱の簡便性 試料取扱の簡便性 データ解析の簡便性 価格の安さ ランニングコストの安さ
その他 (ここに記入して下さい。)

D. 2. バイオ関連機器の分野での比較的新しい、または、比較的専門的な下記の10項目の計測・分析機器・技術に関して、御社の対応において該当する①～⑤の欄をチェックしてください。

		①すでに使用している	②依頼分析等を通じて使用している(大学・公的機関への分析依頼も含む)	③使用を検討している	④使用の予定はないが興味がある	⑤特に必要/関心がない
1	電子顕微鏡による結晶構造解析	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	NMR、質量分析データ等の多変量解析システム	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	水晶振動子バイオセンサー	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	表面プラズモン分析	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	イメージングを支援する新規標識物質	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	小動物用X線CT, MRI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	陽電子断層法(PET)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	多光子励起蛍光顕微鏡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	共焦点レーザー顕微鏡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	マイクロチップ電気泳動	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

その他ご記入欄:

(ここに記入して下さい。)

D. 3. 上記 D. 2. にて、①すでに使用している、②依頼分析に出している、③使用を検討している機器・技術について伺います。その機器・技術を用いる必要性は以下のどれでしょうか？個々の機器/技術についてご回答ください。

		感度の向上	検出限界の向上	精度・確度の向上	トレーサビリティの確保	時間分解能の向上	空間分解能の向上	空間的測定範囲の拡張	測定範囲(レンジ)の拡張	測定の迅速性	機器取扱の簡便性	試料取扱の簡便性	価格の安さ	コンパクトさ
1	電子顕微鏡による結晶構造解析	<input type="checkbox"/>												
2	NMR、質量分析データ等の多変量解析システム	<input type="checkbox"/>												
3	水晶振動子バイオセンサー	<input type="checkbox"/>												
4	表面プラズモン分析	<input type="checkbox"/>												
5	イメージングを支援する新規標識物質	<input type="checkbox"/>												
6	小動物用X線CT, MRI	<input type="checkbox"/>												
7	陽電子断層法(PET)	<input type="checkbox"/>												
8	多光子励起蛍光顕微鏡	<input type="checkbox"/>												
9	共焦点レーザー顕微鏡	<input type="checkbox"/>												
10	マイクロチップ電気泳動	<input type="checkbox"/>												

その他ご記入欄:

(ここに記入して下さい。)

D. 4. 上記 D. 2. にて、②依頼分析等を通じて使用している機器・技術の理由について伺います。

- 装置を保有するより分析を外注した方が経済的に安価なため
 自社内での装置作製または市販購入装置の操作をできる人材がいないため
 その他（ここに記入して下さい。）

D. 5. 上記 D. 2. にて、④興味がある機器・技術について伺います。御社はどのようなところでそれらを知り興味を持ちましたか？

- 特許検索 学術雑誌 学会 展示会等 報道(テレビや新聞・商業誌など)
 ホームページ 計測機器メーカーの営業
 その他（ここに記入して下さい。）

D. 6. 上記以外のバイオ関連機器で使用を検討されているもの、興味のある技術・手法をご指摘ください。

（ここに記入して下さい。）

D. 7. 生体関連物質(創薬、抗体、医薬品など)の分析・評価に関して、開発中の計測・分析機器や共用計測分析施設に設置されている計測機器の活用について問題点をお教え下さい。

- 試料を御社から持ち出すことができないので測定できない。
 試料を他の機関に持ち込むことができないので測定できない。
 研究開発中の試料の測定はできないが、類似の試料で公開となっているもので測定して、計測装置の購入を検討する。
 試料を測定することはできないが、先端の計測装置について情報が得られるので、市販試料による測定を行ってみたい。
 使用している計測装置のスペックや、どの装置で測定しているということ自体が機密事項であり、一切使用できない。

第Ⅲ部 産総研に対するご要望

1. 計測・分析機器と技術に関わる産総研の研究開発課題の選定に関して、ご要望がございましたらお書きください。

(ここに記入して下さい。)

2. 計測・分析機器と技術に関わる産総研との共同研究や研究成果の普及に関して、ご要望がございましたらお書きください。

(ここに記入して下さい。)

3. 産総研の計測・分析機器の公開に関して、ご要望がございましたらお書きください。

(ここに記入して下さい。)

以上で終わりです。お忙しい中を誠にありがとうございました。

問い合わせ先

〒305-8568

独立行政法人 産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門

電話 029-861-5300, ファックス 029-861-5881

e-mail: riif_info@m.aist.go.jp

調査報告書

日本分析機器産業の国際競争力強化について

2011年10月

販売目的で本報告書を配付することを禁止します。無断で、本報告書をコピーして配付すること、本報告書で使われている図や記述内容を転載することを禁止します。

技術を社会へ
Integration for Innovation



独立行政法人
産業技術総合研究所