

システム技術開発調査研究

14 - R - 4

モバイル型分析装置の現状と将来展望に
関する調査研究
報告書
- 要旨 -

平成15年3月

財団法人 機械システム振興協会
委託先 社団法人 日本分析機器工業会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、経済産業省のご指導のもとに、機械システムの開発等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業等を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長 放送大学 教授 中島尚正 氏）を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を民間の調査機関等の協力を得て実施しております。

この「モバイル型分析装置の現状と将来展望に関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が社団法人 日本分析機器工業会に委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成15年3月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

本報告書は、社団法人日本分析機器工業会が、平成14年度事業として、財団法人機械システム振興協会から受託した「モバイル型分析装置の現状と将来展望に関する調査」の実施内容をまとめたものである。

科学技術の研究と共に誕生した分析機器は、材料開発のための評価や、品質管理用のツールとして製造産業の基盤を形成してきた。製造業の生み出す新材料や製品が我々の生活を豊かにする一方、これらの人工的な生成物が我々の健康や生活を脅かす面があることも一部で顕著となってきた。このような環境問題、例えば製造工程等で混入する微量の重金属の不純物の同定や健康を維持するために鍵となる微量のホルモンと酷似している人工生成物の検出に分析機器を駆使することが必要となってきている。

分析機器の市場規模は世界で約2兆円程度と推定されているが、これに対して我が国の生産高は現在約3000億円で、そのうち約3割が輸出されている。世界市場において我が国の分析機器は欧米との競争の中で、確実にその一角を占めている。しかし、平成12年度の特許庁の特許出願技術動向調査「環境計測・分析技術における産業競争力と技術報告書」によれば、日本が注力すべき技術開発の方向として「小型分析装置の開発」「簡易分析法の開発」「分析技術のプロセス技術化」が取り組むべき課題として取り上げられており、その報告書の調査結果では、我が国の分析機器の小型化に関する特許は米欧に比べて少ないことが示されている。

当工業会では平成13年の11月に「分析産業の直面する課題と将来展望報告書」を上梓し、この報告書の中で、今後の我が国の分析産業の国際競争力強化のための方策としてモバイル型分析機器の開発を挙げており、この調査が開発を推進する一助となることを期待する。

最後に、この調査研究事業の実施に当たって、委託事業として取り上げていただきました財団法人機械システム振興協会に深く感謝申し上げますとともに、この調査研究事業にご協力を戴きましたアンケート先、面接調査先各位、及び実施機関である社団法人日本分析機器工業会において「モバイル型分析装置の現状と将来動向に関する調査研究」に参加し、貴重なご意見、ご審議を戴きました委員長をはじめとする各委員のご尽力に対し、厚くお礼申し上げます。

平成 15 年 3 月

社団法人 日本分析機器工業会
会 長 竹 内 隆

目次

序

はじめに

1 . 調査研究の目的	1
2 . 調査研究の実施体制	3
3 . 調査研究の内容	6
提言	7
第1章 モバイル型分析機器の概要	9
1 - 1 はじめに	9
1 - 2 モバイル型分析機器の定義	9
1 - 3 モバイル型分析機器が備えるべき必要条件	10
第2章 モバイル型分析機器のニーズの調査	11
2 - 1 はじめに	11
2 - 2 モバイル型分析機器を必要とする市場	18
2 - 3 モバイル型分析機器を必要とする装置	21
2 - 4 モバイル型分析機器に求められる機能	27
2 - 5 まとめ	29
第3章 モバイル型分析機器の実現性に関する調査	31
3 - 1 はじめに	31
3 - 2 分析機器のモバイル化の現状と課題	31
3 - 3 モバイル型分析機器の実現性の検討	47
3 - 4 まとめ	54
第4章 モバイル型分析機器の普及に障害となる要因の調査	57
4 - 1 はじめに	57
4 - 2 障害となる要因	57
4 - 3 まとめ	60
第5章 調査研究の成果	61
5 - 1 調査研究の成果	61
5 - 2 今後の課題	62

1．調査研究の目的

1) 背景

ラボ用の分析機器は科学技術の研究開発のために不可欠のツールとして現在、大学や企業の研究室で使用されているが、この分析機器を生活の安全や環境の保全という目的の手段として使用する場が増加してきた。最高の性能が出るように装置を使用する研究室に対して、食品検査や環境測定を行う現場用の装置では、小型で軽量のモバイル型分析機器が必要となる。しかし、モバイル型の分析機器では、汎用に使用することが期待されるラボ用の機器に対し、測定対象の物質が絞られるため装置を簡素化することが可能となる一方で、データの信頼性を確保するために装置の長期安定性やリアルタイムの分析等が要求される。また、環境計測では点の測定ではなく、ある地域といった面の情報が必要となることから、分析機器の計測部分を現場に置き、データ処理や解析の部分を一箇所に集中して行うことが必要となるため、機器のネットワーク化も大切になる。既にこのような要求に対応するため、現在のラボ用装置を小型化した可搬型(ポータブル)の分析機器が開発されている。しかし上記の要求を満たすレベルには程遠いのが実情である。

まず、性能面においては生活の上での安全や環境の保全のために必要とされる各種の物質の規制値が小さくなるのに対応して、装置の検出限界(すなわちどれだけ微量の物質が検出できるか)の向上が必要になる。しかし、微量の検出に優れた最高級の汎用ラボ用分析機器においても、機器そのものの分解能と感度は既に理論的な限界に近づいており、機器の分析の前に行う一連の化学操作により(前処理)、実効的に検出限界を上げることが行われている。

また、機能面についても、従来型の汎用ラボ用分析機器では、測定の自動化と得られたデータの解析を行うためのコンピュータシステムが組み込まれており、データの測定からデータ処理、解析までが自動的に行われるのが普通である。

これに対して、現場でのいわゆる環境ホルモン状物質の分析や、食品中の残留農薬等の分析等では、極微量の分析を短時間で、その場で行うことが必要とされている。

このような観点から、モバイル型の分析機器においては、多様なニーズを満たすためには、従来の分析機器を単に小型にするとか、可搬型にするのではなく、専用機とした上で、データ解析部分の分離や、前処理部分の一体化等、現在の機器からのブレークスルーが求められる。

2) 調査目的と必要性

製造技術において急速に我が国の技術をキャッチアップし始めた中国、台湾、韓国や東アジアの国々の追隨を許さないためには、我が国の得意とする微細化技術、センサー技術等をベースとした高機能部品や高性能デバイスを中核とした製品を供給することが必須と

なる。このようなデバイスや部品を搭載するモバイル型の分析機器は分析産業の発展によってこれからの必須の製品になると期待できる。（このような高性能デバイスの一つとしてマイクロ化学チップがあるが、既に平成12年度に「マイクロチップを用いた分析機器・技術に関する調査研究」として実施し、平成14年度を初年度として経済産業省の研究開発テーマとして実施予定であるので、本調査ではニーズ面からの調査を行う。）

このようなシーズからの期待と共にモバイル型の分析機器は多方面でのニーズが期待できる。そこで本調査研究では現在急務になりつつある主として環境・医療分野について将来性を探る。まず、モバイル型分析機器において必要となる、ラボ用の分析機器と異なる要求を正確に把握する。次にモバイル化にあたりコアとなる高機能、高性能のデバイス、部品の開発状況について現状の調査を行い、それに基づいてモバイル型装置の実現性について検討する。これと平行して環境・医療分野では既に各種の規格や標準等があるがそれが普及の阻害要因となるかどうかを調査する。

以上の方針に沿って下記の2つのカテゴリーに分けてアンケート、ヒアリング、文献調査を行う。

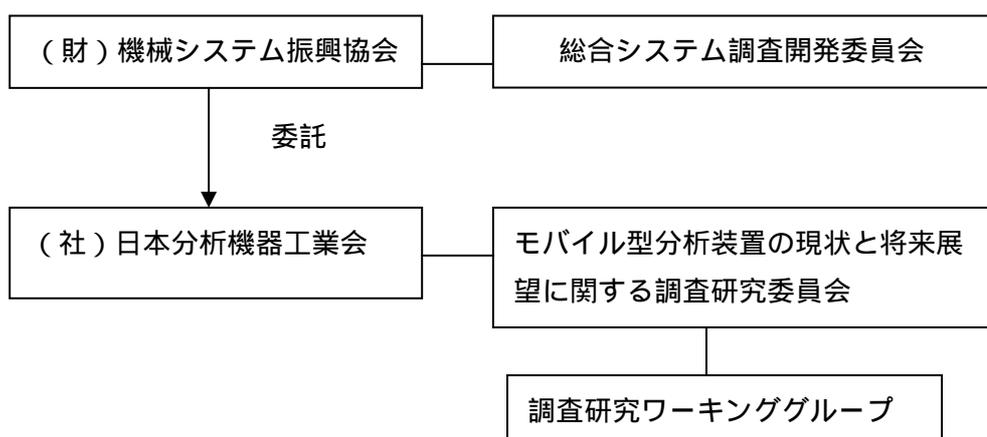
主に環境用、医療用向けモバイル機器に必要とされる分析手法（分光分析、クロマトグラフ法等）の基本性能と開発が必要な部品と高性能デバイス
モバイル型機器の普及の阻害要因となる規制等

3) 期待される効果

ニーズに基づいた将来のあるべきモバイル型分析機器について正確に把握し、また市場導入に伴って阻害要因となる各種の規制についてあらかじめ現状を把握することにより早期の市場導入と普及を可能とする方策を立案する。このことにより大学等との共同研究をはじめとした民間企業による研究開発の取り組みの強化、官における標準等の制定を有機的に連携させ、モバイル型の分析機器において我が国のリーダーシップを確立し、先進国から途上国へと広がるモバイル型分析機器市場で我が国の国際競争力の強化に貢献する。

2. 調査研究の実施体制

(社)日本分析機器工業会内に「モバイル型分析装置の現状と将来展望に関する調査研究委員会」を設け、ここで事業計画細部の決定と執行を図り、かつ「ワーキンググループ」を設けて専門事項に関する作業を分担し、また、必要に応じて適切な専門家にアドバイスを求め、当初の目的を達成すべくこれを推進する。



総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	放送大学 教養学部 教授	中島尚正
委員	政策研究大学院大学 政策研究科 教授	藤正巖
委員	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授	廣田薫
委員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤岡健彦
委員	独立行政法人産業技術総合研究所 つくば東事業所 管理監	野崎武敏
委員	独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第2事業所 管理監	太田公廣

モバイル型分析装置の現状と将来展望に関する調査研究委員会委員構成

(順不同・敬称略)

委員長	南 茂夫	大阪大学名誉教授
副委員長	北森 武彦	東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻教授
副委員長	神野 清勝	豊橋技術科学大学工学部教授
	千賀 康弘	東海大学海洋学部地球環境工学科教授
	石原 盛男	大阪大学大学院理学研究科助教授
	谷口 一雄	大阪電気通信大学教授
	大塚 浩二	京都大学大学院工学研究科教授
	内山 一美	東京都立大学大学院工学研究科助教授
	西村 勲	オリンパス光学工業(株)分析機開発部技術開発G課長代理
	古川 良知	京都電子工業(株)東京営業所営業企画部部長代理
	品田 恵	(株)島津製作所基盤技術研究所主任
	内田 豊明	セイコーインスツルメンツ(株)科学機器事業部開発部主任
	後藤 良三	東亜ディーケーケー(株)営業企画部営業推進課課長
	石川 治	東ソー(株)科学計測事業部
	大木 貞嗣	日本電子(株)応用研究センター副本部長
	熱田 雅信	日本電子データム(株)販売本部環境グループ長
	長谷川勝二	日本分光(株)開発部技術管理室課長
	横井 高嶺	浜松ホトニクス(株)電子管事業本部電子管第2事業部第4製造部長
	平井 正徳	三菱化学(株)情報電子カンパニー企画管理部部長
	瀧川 義澄	横河アナリティカルシステムズ(株)マーケティング部
	言水 修治	理学電機工業(株)企画部部長
	作間 英一	(社)日本分析機器工業会専務理事
幹事	小島 建治	日本電子(株)経営戦略室副理事
幹事	原田 勝仁	(株)日立ハイテクノロジーズライオンス事業統括本部専門部長
幹事	大浦 俊彦	(株)堀場製作所開発センター技術情報チームシニアマネージャー
幹事	齋藤 壽	(株)島津製作所分析計測事業部専門部長
幹事	渡邊 知彦	理学電機(株)X線回折事業部主任部員
アドバイザー	吉野 昌治	経済産業省産業機械課課長補佐
アドバイザー	小西 洋展	経済産業省産業機械課
事務局	戸野塚房男	(社)日本分析機器工業会

3. 調査研究の内容

本調査研究では、まず、既に市販されている可搬型の分析機器や、携帯型の分析機器に対して、モバイル型分析機器の概念を明確するため、モバイル型分析機器において必要となる、ラボ用の分析機器と異なる要求を正確に把握する。食品、環境、バイオ等を対象としてマーケットニーズの調査を実施するが、特に世界的な規模で研究から応用にわたり競争が激化している環境・医療分野を中心に現状とともに将来性も探る。次にモバイル化にあたりコアとなる高機能、高性能のデバイス、部品の開発状況について現状の調査を行い、それに基づいてモバイル型装置の実現性について検討する。分析機器の普及には標準物質や物質の情報に関するデータベース等が必要なため、これと平行してモバイル型分析機器普及に伴う標準等の知的基盤の強化についても調査する。特に環境・医療分野では既に各種の規格や標準等があるがそれが普及の障害要因となるかどうかを調査対象とする。最後に

これらを合わせて課題を抽出し、将来展望について報告書としてまとめた。

1) モバイル型分析機器のニーズの調査

携帯型あるいは可搬型の分析装置を使用している、あるいは使用を希望している機関、分析技術者の中から最大 300 名程度を抜粋し、アンケート調査を行って、モバイル分析機器に対するニーズを把握する。市場ニーズについては、国家レベルでの規制等により、分析機器による測定が必要となる環境、医療分野を中心に調査を行った。

2) モバイル型分析機器の実現性に関する調査

学術文献について学識者により推薦を受けた基本的な文献と、キーワード検索により抽出された文献について文献調査により、モバイル化にあたりコアとなる高機能、高性能のデバイス、部品の開発状況とモバイル分析機器の開発の状況を把握する。また、環境あるいは医療用に分析機器を使用している国内の大学、研究所、工場等の中から数箇所を選び、実際に訪問して聞き取り調査を行った。

3) モバイル型分析機器の普及に障害となる要因の調査

文献調査により規格や基準について実態を把握し、各種の規制の現状についてヒアリング等により調査を行う。又、普及のために必要となる標準物質や定量化手法等の整備についても合わせて調査を行った。

4) まとめと提言

上記 1) 2) 3) の調査結果を基に、モバイル型分析機器の現状と将来展望を総括し、実現に向けた提言をまとめた。

提言

ニーズの発掘のための戦略としてまず、光分析機器の技術を確立

小型の部品等の調達が可能で光分析機器について共通的な技術指針を確立し、モバイル型分析機器の実現、普及を推進

今回のニーズ調査では、トップに環境分野が挙がってはいるものの、ニーズの具体例は多くは無く、機器供給側として更なるニーズの発掘が必要であることを痛感した。ニーズを探りそれに見合った機器を供給することもさることながら、出来た機器を使って、「この様な所にも使えたのか」というシーズ指向がニーズを掘り返すために必要と考える。

しかし、メーカー側としてはシーズ指向はリスクを伴う。最大のニーズ層をターゲットにした製品企画が楽であり、経営陣の許可も取りやすい。敢えてこの際、明確なマーケティングのやり難いモバイル機器では、シーズ指向でも当たってみるべきではなかろうか。

以上から考え、政府支援のもと、モバイル機器のプロトモデルをベテラン技術者集団で組織された非営利団体組合が試作し、モバイル機器の極限を追及すると共にニーズを掘り起こす努力をするのも効果的であろう。その出発点として、調査結果にあるように高機能部品の調達が容易となってきた光分析機器を選び、逐次他の分析機器群にターゲットを移すようにする。これら実際経験を踏むことは、ニーズ掘り起こしもさることながら、データ処理系や通信系を含むシステム化共通技術を醸成するにも役立つことは言うまでもない。

プロトタイプ的光分析機器の試作と実地現場での性能評価を始めるに当たっては、まずは具体的な方向を設定する必要がある。

(1) 分光分析手法は発光、吸光、蛍光、ラマン散乱など多岐を極めているが、前処理の負担が少ない上に、定性・定量の両者が非接触で可能な方法として、元素分析ではLIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: レーザ励起ブレイクダウン分光法)、分子化合物分析では蛍光分光やラマン分光が考えられ、両者ともレーザーを励起源としている点が共通的である。レーザーを基軸にして、上記三者の測定に対応しうる一台のモバイル融合機器を構成できるメリットもあり、ハードウェアの共通性が高い点も特徴といえる。まだ、モバイル化が遅れているこの分野での試みは、半導体レーザー、光ファイバー、アレイセンサーなど最新オプトエレクトロニクスデバイスの活用を含め、極めて価値は高いと考える。

(2) 勿論、前処理は簡単とはいえ、小型化による感度低下は何らかの前処理で補うことも必要である。マイクロTAS (Total Analysis Systems) の研究グループとの連携を強め、ミニチュア前処理システムに向けての展開も同時に必要と思われる。

(3) 小型化のための機器の感度や確度の低下は、コンピュータによる数値処理を介して改善できる可能性も多い。ポータブルでユーザーフレンドリーな波形や画像の数値処理ソフトの開発もまだ余地を残している。また、フィールドの各所に分散展開しているモバイル機器の群管理や、中央分析室とのデータや指令の高速交換など、既存の通信システムを有効に利用する方策も重要検討課題である。

モバイル型分析機器の普及のためにユーザーと共同でニーズの顕在化を メーカー、ユーザーが共同でモバイル型分析機器を普及する基盤を整備するために

(1) モバイル型分析機器に対するメーカー、ユーザーの共通理解の促進、

調査結果では、モバイル機器化への一般認識は、まだ性能に限度がある小型ゆえローコストは当然というのが大勢である。モバイル条件を満たそうと思えば、却ってコスト高になることが多いという意識の植え付けも必要だろう。感度、精度などの機器性能がラボ用機器に対して劣るのは自明である。むしろ、フィールドスクリーニング用として割り切ることにも必要である。モバイル化のための軽量化、機械的堅牢さ、防爆性、通信機能の強化、電源対策などに予想以上のコストが掛かり、性能の割には高価なものとなるという認識がなくてはならない。それよりも、輸送中のコンタミや変性を受けたサンプル試料を高性能のラボ用機器で分析した方が良いのか、フレッシュなサンプルを即現場で低性能のモバイル機器で分析した方が良いのかの長短を考えるべきであろう。後者の利点が勝つ条件では、ある程度のコスト上昇は止むを得ないと思われる。日本のユーザーに以上のような割り切りを見込むのは、なかなか難しい。性能は少々劣っても、取り扱いの簡便さ、保守の容易さに利があるに拘わらず、同じ価格なら性能の良い方を選ぶし、また、一台で何にでも対応出来る機器を選ぶ癖が昔からあるからである。もちろん、日本人ユーザーのこの性癖が、メーカー側の競争心を奮い立たせて技術向上に繋がった事は否めないが、モバイル機器の普及にはユーザー、メーカー共々、割り切りが必要であることを再度強調したい。

(2) 他の分野との提携、連携の推進

現在のところ、環境分野での対象は、花粉などを除けば非生物無機体が圧倒的であるが、食品、医療分野では病原菌など有機的生体が対象となり、増殖や変性に対応するためにより高度で短時間分析能力を持つモバイル機器が必要となる。また、生体活性の監視など、ウェアラブル分析機器へのアプローチも浮上してくるだろう。この点、バイオや医療機器分野との提携も必須と思われる。

第1章 モバイル型分析機器の概要

1-1 はじめに

機器分析は物質情報の計測技術であり、古くから基礎研究や製品の検査や品質管理に大きな力を発揮してきた。もともとは研究室環境（ラボ環境）で用いられる高感度で脆弱な機器である分析機器も、機器制御や情報抽出のためのコンピュータの小型化とともに、省スペースと現場分析のためのダウンサイジングが進んできている。環境問題、資源探査、犯罪捜査、文化財保護などに加えて、近年、テロ防止や化学兵器・生物兵器対策など、フィールド分析を含めたその場分析用のモバイル型分析機器が脚光を浴びるようになってきた。この種のダウンサイジング機器名には、コンピュータ分野と同じく各種の表現が使われている。

1-2 モバイル型分析機器の定義

古くから使われている「モバイルラボラトリー」とは、環境計測車、気象計測車、健康診断車など分析機器を含む各種の計測機器を積み込んだトレーラーハウスのような計測車を指している。「モバイルインスツルメンツ」に対しては、Transferable type, Transportable type, Fieldable type, Cart type, Portable type, Field-portable type, Hand-held type, Palm-top type, Pocketable type, Wearable type のほか、MiniaturizedやMicroなどを冠した名称が使われている。私見ではあるが、モバイル型分析機器をトランスポートブルタイプ（可搬型）とポータブルタイプ（携帯型）に大別し、前者には飛翔体搭載型、車載型やカート型、後者にはハンドヘルド型、パームトップ型、ポケット型、装着型を対応させるのも一法と考える。前者は重量上限40kg（ファーストクラス無料航空手荷物上限）で容量は大型スーツケース以下、後者は上限20kg（エコノミークラス無料航空手荷物上限）で小型スーツケースやアタッシュケース以下というのが妥当なところではなかろうか。

プロセスラインや環境監視用のオンライン、インラインなど半永久設置型は、極めて小型で堅牢、防爆型であってもモバイルとはいえない。極論すれば、設置型とモバイル型の差は、電力供給環境の差で定義してもよさそうである。このように考えてみると、「モバイル型分析機器」の「モバイル」の意味は、「移動できる」ということに違いないが、むしろ軍事用語である「機動力のある」という訳語がぴったりのようである。

これまでもモバイル型分析機器は、特に環境モニタリングに数多く使われてきた。とりわけ、pH計を含む水質検査用の電気化学分析計や光散乱を利用した濁度計などが代表であろう。また、物質計測用としては非分散ガスアナライザーを含む小型の分光計測器も早くから市場に出ている。携帯型のこれらの機器の大部分は、特定化学パラメータや化学種を目的とした定量用の小型専用機であり、測定対象相も、気体、液体、固体など相別に専用化したものも多い。

モバイル型分析機器の理想の姿は、モバイルなラボ用分析機器であり、化学種の定量、定性、状態分析が可能な多用途汎用型となるべきであろう。予測できない化学種への対応には定性能力は不可欠であり、とりわけ環境計測や生体計測での応用面の拡大が期待できる。モバイル型分析機器には、「何処でも」、「何時でも」に加えて、「何でも」という条件を課すことが必要であり、これこそ、ラボ用機器のモバイル化の今後の方向といえよう。

1 - 3 モバイル型分析機器が備えるべき必要条件

前述のように、モバイル型分析機器の理想は、ラボ機器のモバイル化である。例をとれば、電圧計や電流計など種々の電気計器を装着した設置型総合計測パネル盤を、パームトップ型のマルチメータ（サーキットテスター）に総てねじ込んでしまおうという試みである。おまけに、踏んでも蹴っても大丈夫という条件は、もともと研究者が使っていたひ弱な分析機器には、極めて酷な要求といえる。一応、理想条件を目標に、モバイル型分析機器が備えるべき条件の幾つかを取り上げてみよう。

- 1) 非接触分析
- 2) 非破壊分析
- 3) 多成分同時分析
- 4) 多パラメータ同時計測
- 5) 検出感度, 確度, 選択性
- 6) 前処理過程の回避
- 7) キャリブレーション
- 8) コンピュータ支援
- 9) 堅牢性, 耐久性
- 10) 小型, 軽量化, 省電力化
- 11) 操作性, 保守性
- 12) コスト

第2章 モバイル型分析機器のニーズの調査

2 - 1 はじめに

モバイル型分析機器の用途は大まかに分類すると以下の3項目になる。

正確な含有量等を知るため計量器として、信頼性に足りる数値を提供する。

基準値を満たしているか否かをスクリーニングをする。

状況を把握するためモニターをする。

そこで、本章の調査では、ラボ用の分析機器をベースとしたモバイル型分析機器のニーズの調査を、「モバイル型分析機器を必要とする分野」、「モバイル型分析機器として必要な装置」、「これらの分野で必要とする機器に要求されるに機能や性能」について実施した。

2 - 1 - 1 アンケート調査について

(1) アンケート内容

アンケート票は、 項では回答者の所属機関、事業所、業種、及び業務内容に関するもの、及び定常的に使用されている分析機器の不具合部分の調査、 項ではニーズ側とシーズ側に分けモバイル化のメリットやモバイル化しても効果がない機能等について調査し、ニーズ側としてユーザーの方には現在使用している装置についての評価を尋ねた。 項では将来像について、普及の度合い、分野、期待する点を尋ね、モバイル化により解決できる機能、不可欠な前処理機能と不可欠と思われる機能等を調べ、最後は問題点についての記述から構成されている。尚、秘密保持のため、回答者の氏名・所属等を切り離して、アンケートの集計を行った。

(2) 送付先

アンケートの送付先は、該当する学会会員名簿や、委員会委員が推薦した研究機関、及び民間企業、当事業の委託先である(社)日本分析機器工業会の会員名簿を基にして、できるだけ広い分野から回答を得るように552名を選抜し、アンケート調査を行った。アンケートは10月8日に発送し、10月25日を回答最終日とした。このうち153名から回答を得ることができた。

(3) アンケート結果

今回、アンケートを実施するにあたって総数で552箇所に対し、アンケート用紙を配布した。配布先は環境関連企業が多いが、食品、医療など業種を分散させることに心がけた。回答を返信された方は153名で、回収率は27.7%という高いものであった。特に社団・財団法人の回収率が高く4割の方が回答を返信してくれた。アンケート配布及び回収の結果を表2 - 1 - 1に示す。

表2 - 1 - 1 アンケート配布及び回収

	配布	回収	回収率
大学	61	16	26.2
国公立研究所	133	44	33.1
社団・財団法人	26	11	42.3
民間	332	82	24.7
総数	552	153	27.7

アンケート中の国公立研究所の中に自治体を含めて集計をした。この内訳は国公立研究所27に対し、自治体17であった。配布及び回収を図2 - 1 - 1に示す。

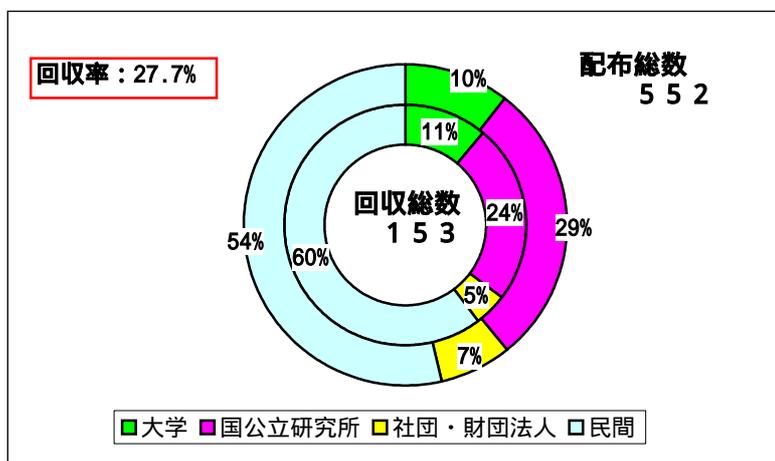


図2 1 - 1 配布数と回収数

図の中で円の外側が配布数（552）、内側が回収数（153）である。

回答者の職種を表2 - 1 - 2及び図2 - 1 - 2に、また所属する団体の業種・分野を表2 - 1 - 3及び図2 - 1 - 3に示す。このうちaは教育・研究職、bはそれ以外である。

表 2 - 1 - 2 回答者の職種

	人数	比率	人数／回答者
研究・教育	29	17.8	19.0
開発	10	6.1	6.5
製造・品質保証	3	1.8	2.0
分析・検査	75	46.0	49.0
管理・企画・調査	28	17.2	18.3
営業	13	8.0	8.5
その他	5	3.1	3.3
合計	163		

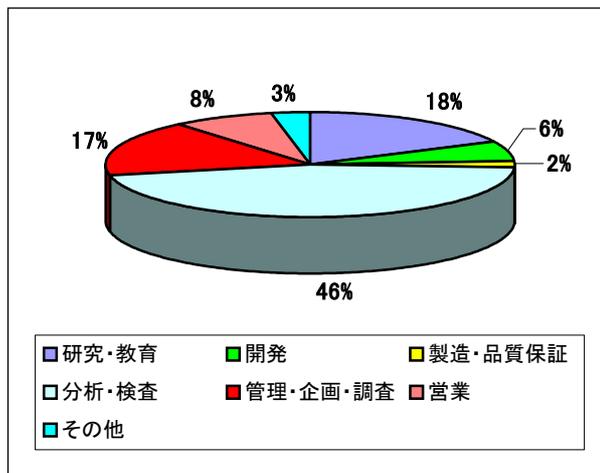


図 2 - 1 - 2 回答者の職種

表 2 - 1 - 3 a 所属団体の業種・分野

(教育・研究職)

	人数	比率	人数／回答者
化学系	23	37.1	15.0
物理系	3	4.8	2.0
薬学系	2	3.2	1.3
医学・保健系	9	14.5	5.9
生物系	7	11.3	4.6
機械系	1	1.6	0.7
情報通信系	2	3.2	1.3
材料系	1	1.6	0.7
電気・電子系	0	0.0	0.0
その他	14	22.6	9.2
合計	62	100.0	40.5

表 2 - 1 - 3 b 所属団体の業種・分野

(教育・研究職以外)

	人数	比率	人数／回答者
バイオ	2	1.3	1.3
食品	10	6.3	6.5
医薬品	5	3.1	3.3
電子機器・半導体	4	2.5	2.6
材料	1	0.6	0.7
化学	8	5.0	5.2
機械	4	2.5	2.6
精密機器	14	8.8	9.2
分析・検査	66	41.5	43.1
文化財・考古学・保存科学	2	1.3	1.3
捜査・法医学	3	1.9	2.0
環境	35	22.0	22.9
その他	5	3.1	3.3
合計	159	100.0	103.9

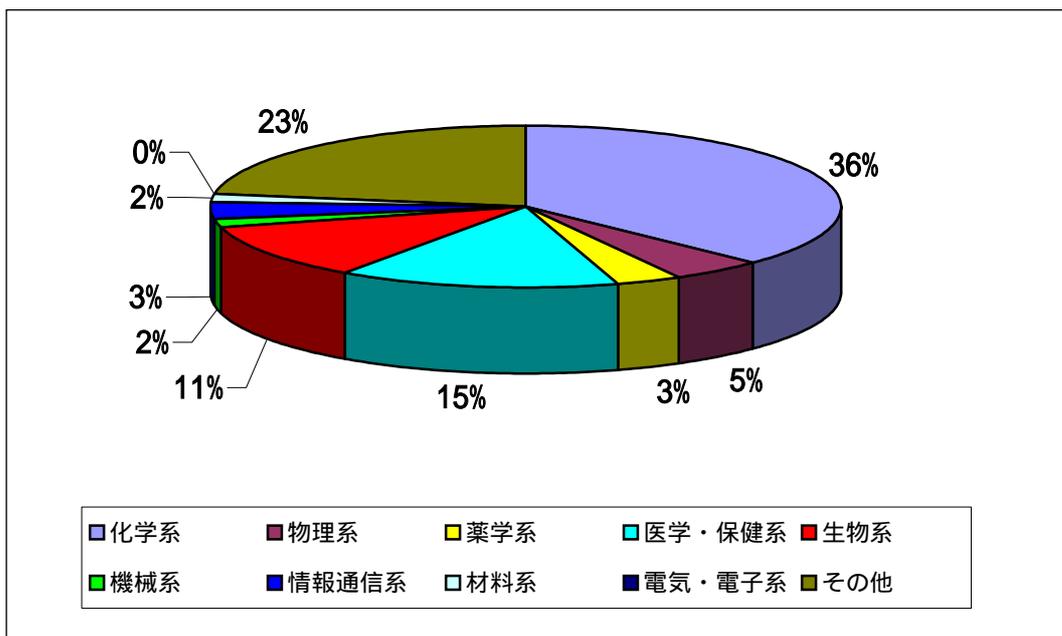


図2 1 - 3 a 所属団体の業種・分野（教育・研究職）

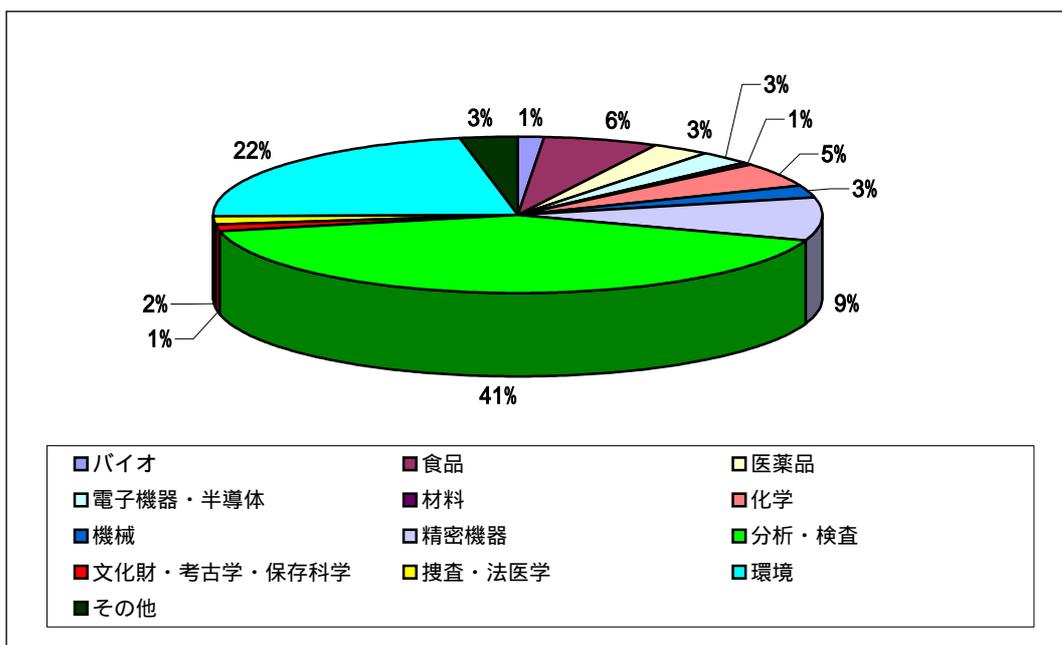


図2 - 1 - 3 b 所属団体の業種・分野（教育・研究職以外）

職種では分析・検査に従事している人が多く全体の半数を占めていた。複数の職種もこなしている人も多く、全体の単純合計では163であった。所属団体ではやはり40%強が分析・検査業務を行っている。

2 - 1 - 2 文献調査の方法

日本科学技術振興事業団の J I C S T データベースを検索した。

J I C S T の検索においては、公開されている 2002 年 9 月までのデータベースから、A 群：分析機器やセンサーに関するキーワード、B 群：モバイルやポータブルに関するキーワードで検索し、各々の群で足し算 (O R) を行った後、両群の乗算 (A N D) を取り、抽出した。2002 年分は 9 月までの全発表が J I C S T に登録されている訳ではないため、少ない件数を示していると思われる。本調査の目的が最新の技術状況を調査することにあるため、1999 年～2002 年 9 月までに登録された文献、約 480 報の抄録から本調査の目的に合致した文献 239 件を抽出し以降の調査対象とした。

238 報で報告された分析装置を分類した結果を図 2 - 1 - 4 に示す。

図中で、AAS は原子吸光、AES はオージェ電子分光、GC はガスクロマトグラフ、HPLC は高速液体クロマトグラフ、IR は赤外分光、IMS はイオン移動度スペクトロスコピー、XRF は蛍光 X 線分析を表す。

分析装置を多い順に述べると、XRF が 35 件、IR が 27 件 (内、近赤外分光が 60%、赤外分光が 40%)、GC が 23 件 (内、GC/MS が 11 件)、電気化学測定が 21 件 (内、溶出ポルタンメトリーが 9 件)、吸光光度計が 15 件、質量分析が 13 件 (内、四重極 M S が 5 件)、血液ガス分析計が 11 件、FIA が 7 件、蛍光光度計が 6 件であった。

図 2 - 1 - 5 にモバイル型分析計の主な用途を機種毎に示す。

環境	: 環境汚染、環境修復に関する測定
食品	: 食品、農産物に関する測定
テロ	: テロ、化学兵器、爆発物、毒物などに関する測定
医療	: 臨床試験、医療、健康に関する測定
文化財	: 美術品、遺跡、考古学、文化財に関する測定
品質管理	: 品質管理に関する測定
その他	: その他 (宇宙、成層圏、鉱山、火山、法医学) の測定

最も用途が多い環境分析の分野を更に分類した結果を図 2 - 1 - 6 に示す。

機種毎に用途を分類した結果を表 2 - 1 - 4 に示す。

以下に報告の件数が多い機種について、モバイル型分析機器開発の状況を示す。

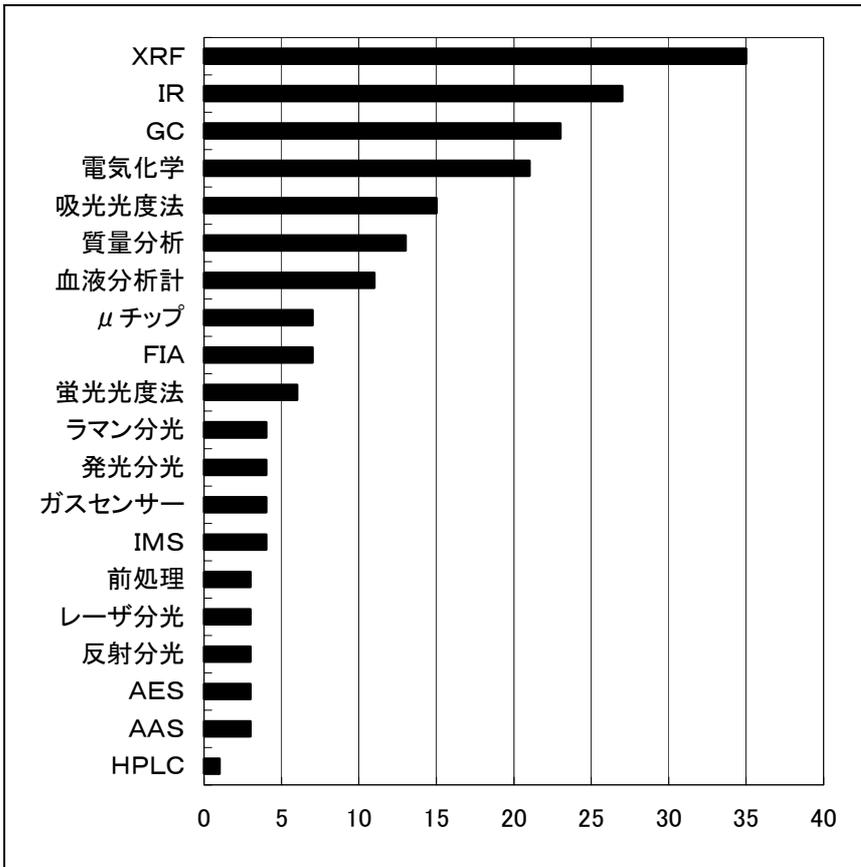


図 2 - 1 - 4 調査した文献に記載されている分析機器と件数

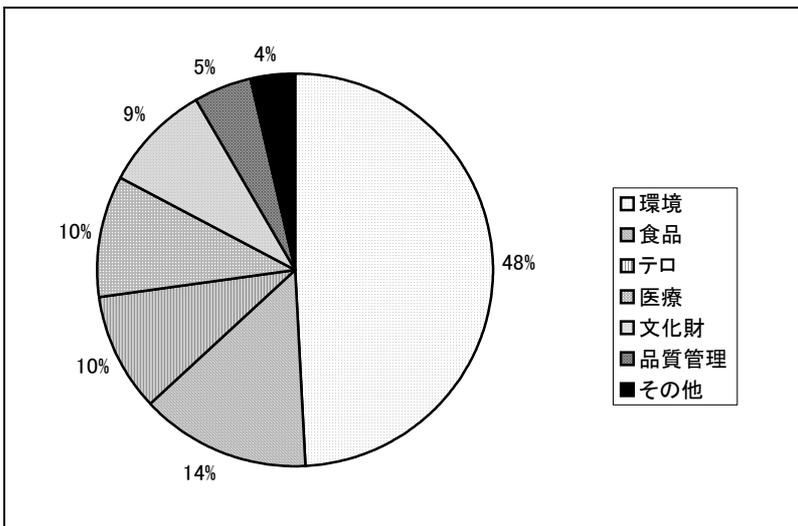


図 2 - 1 - 5 モバイル化分析計の主な用途

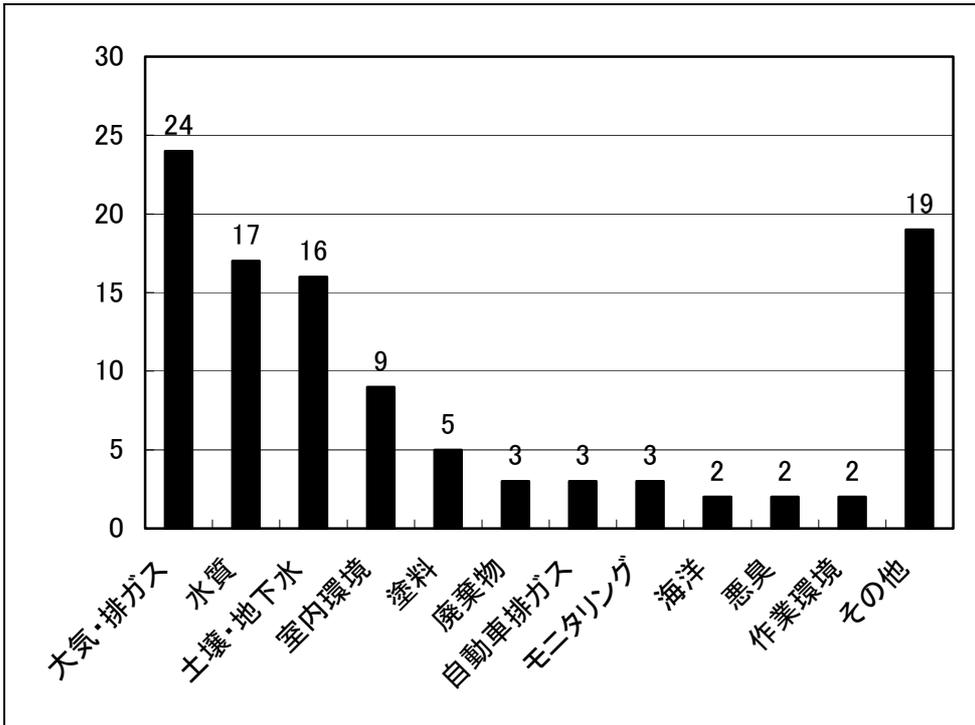


図2 - 1 - 6 最も用途が多い環境分析の分野

表2 - 1 - 4 機種ごとの用途

機種	環境	安全	食品	医用診断	文化財等	品質管理	工程管理	その他
蛍光X線	10				19	1		4
赤外分光	7	2	15	1				
ガスクロ	16	6						3
電気化学	12	1	3	3			1	2
吸光光度	10		2	1		1		
質量分析	5	2		1			1	3
蛍光分光	2	3		1		1	1	
FIA	6							1
ラマン分光		2				1	1	

2 - 2 モバイル型分析機器を必要とする市場

将来におけるモバイル型分析装置について「飛躍的にのびる」及び「徐々に進展する」方向と見ている人が90%を占めており、ほとんどがモバイル機器の伸びを予想している。集計結果を表2 - 2 - 1、また各比率を図2 - 2 - 1に、回答者全体に対する比率を図2 - 2 - 2に示す。

表2 - 2 - 1 将来におけるモバイル型分析機器の展開

	人数	比率	人数／回答者
飛躍的に伸びる	16	10.6	10.5
徐々に進展普及	120	79.5	78.4
現状維持	9	6.0	5.9
不明	6	4.0	3.9
合計	151		

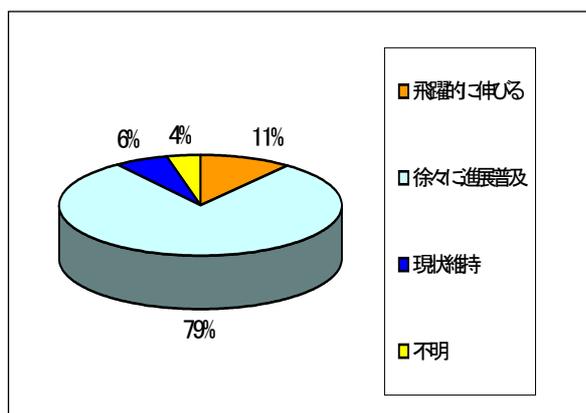


図2 - 2 - 1 モバイル型分析機器の将来展開

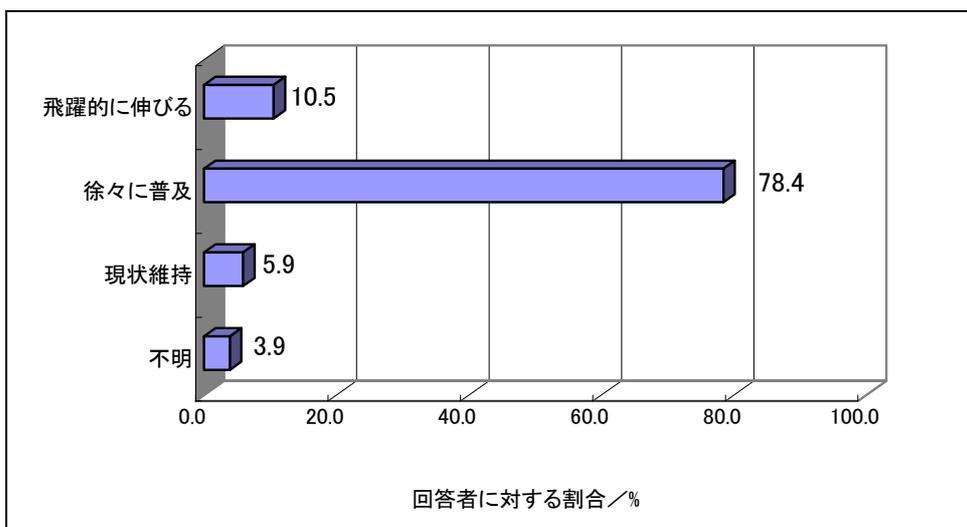


図2 - 2 - 2 今後、開発、普及する分野

また、今後開発、普及する分野の問いに対しては環境モニタリング分野が多く、次いで食品管理、臨床検査、プラント管理の順であった。回答者の比率で言うと85%が環境関係で普及が進むと見ており、食品関係でも42%が同様に考えている。従来は実験室や試験室で測定していたものが、現場に近い環境ですぐに測定したいという要望が強くなっている現れであり、特に環境及び食品分野で強いためと思われる。その他では考古学関係があげられている。集計結果を表2 - 2 - 2に、比率を図2 - 2 - 3 aに、また回答者全体に対する割合を図2 - 2 - 3 bに示す。

表 2 - 2 - 2 今後、開発・普及する分野

	人数	比率	人数/回答者
製薬開発	6	1.7	3.9
遺伝子検査	26	7.2	17.0
臨床検査	41	11.4	26.8
環境モニター	130	36.1	85.0
食品管理	65	18.1	42.5
化粧品開発	5	1.4	3.3
半導体	4	1.1	2.6
化学	12	3.3	7.8
鉱工業	12	3.3	7.8
貴金属精錬	4	1.1	2.6
高分子開発	6	1.7	3.9
プラント管理	39	10.8	25.5
その他	10	2.8	6.5
合計	360		

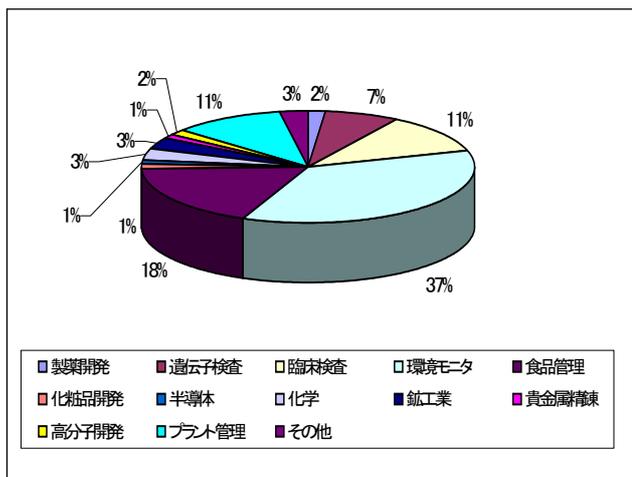


図 2 - 2 - 3 a 回答内訳

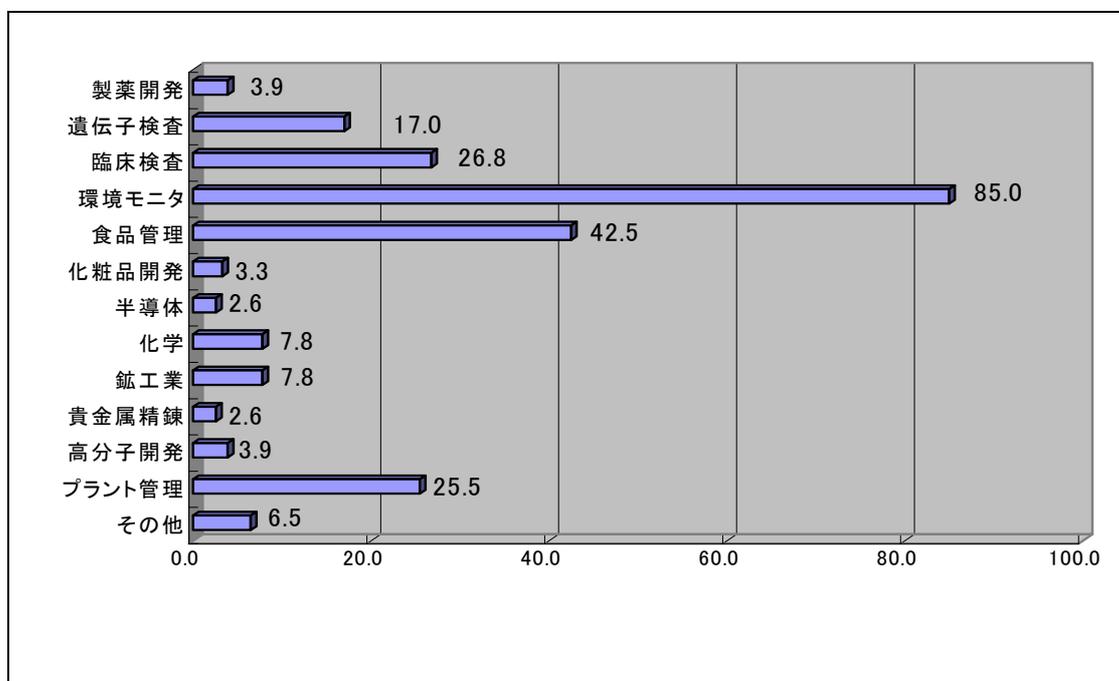


図 2 - 2 - 3 b 回答者に対する割合

将来のモバイル型分析装置についての要求について、記述形式で調査したところ、45件の回答が得られた。記述された内容について、分析対象を分野としてくくり、モバイル型分析機器に対する期待・要求をまとめるとグラフのような結果になった。

分野については、図2-2-4のように環境が圧倒的に多く57%となっている。図2-2-5に示されたように期待・要求については、モバイルとして必須と思われる小型化は34%であった。性能に関する要求は、精度、迅速、高感度を合わせて30%でありモバイル型分析機器であっても高性能を要求していることが伺える。また、現場での測定が想定されることから、現場に適合した軽量化や操作の簡易化などの機能（要求18%）が重要視されている。

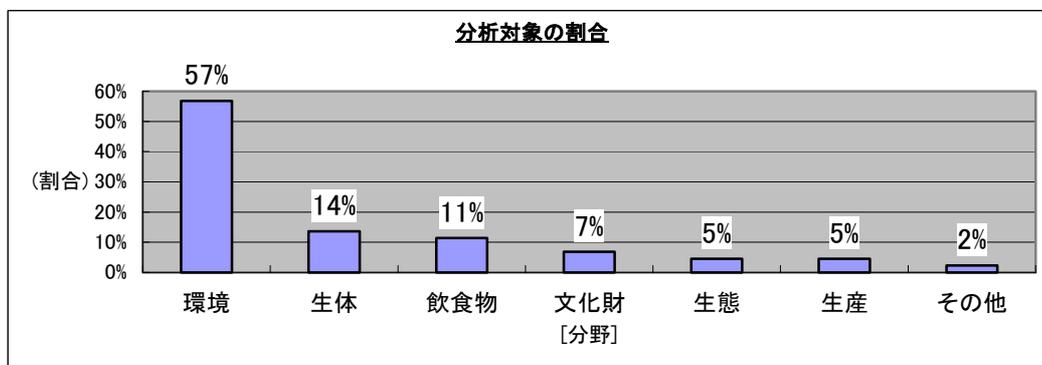


図2-2-4 分析対象

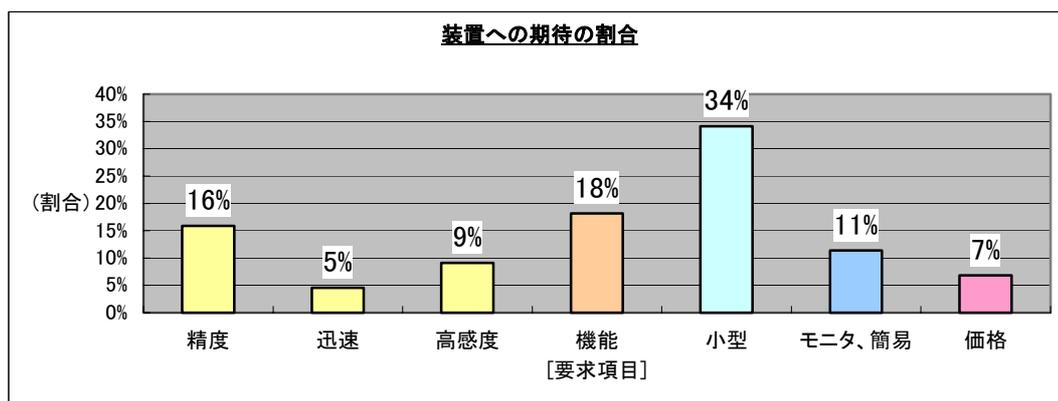


図2-2-5 装置への期待

2 - 3 モバイル型分析機器を必要とする装置

2 - 3 - 1 現状装置の把握

まず、ユーザーから現在関係している分析機器と分析対象について困っていることや不便に感じていることを調査し、現状の把握を行った。

複数回答を可能とし、調査を行った結果、アンケート回答の153人中77人より有効回答を得た。項目別に見ると、全回答数（複数回答可）631件中、「前処理が必要」が196件（31.1%）ともっとも多く、次いで「ランニングコスト」98件（15.5%）、「分析時間が長い」84件（13.3%）、「感度」69件（10.9%）、「分析処理能力」49件（7.8%）、「再現性」39件（6.2%）、「試料量多い」36件（5.7%）、「試薬量多い」31件（4.9%）と続いている。不満、問題を指摘した装置について、631件中の割合は以下のとおりであった。結果を図2 - 3 - 1に示す。

1) ガスクロマトグラフ	86件(13.6%)
2) 質量分析装置	80件(12.7%)
3) 液体クロマトグラフ	76件(12.0%)
4) ICP-AES	63件(10.0%)
5) 原子吸光光度計	56件(8.9%)
6) 紫外可視分光光度計	50件(7.9%)
7) イオンクロマトグラフ	38件(6.0%)
8) 電子顕微鏡	28件(4.4%)
9) その他	154件(24.5%)

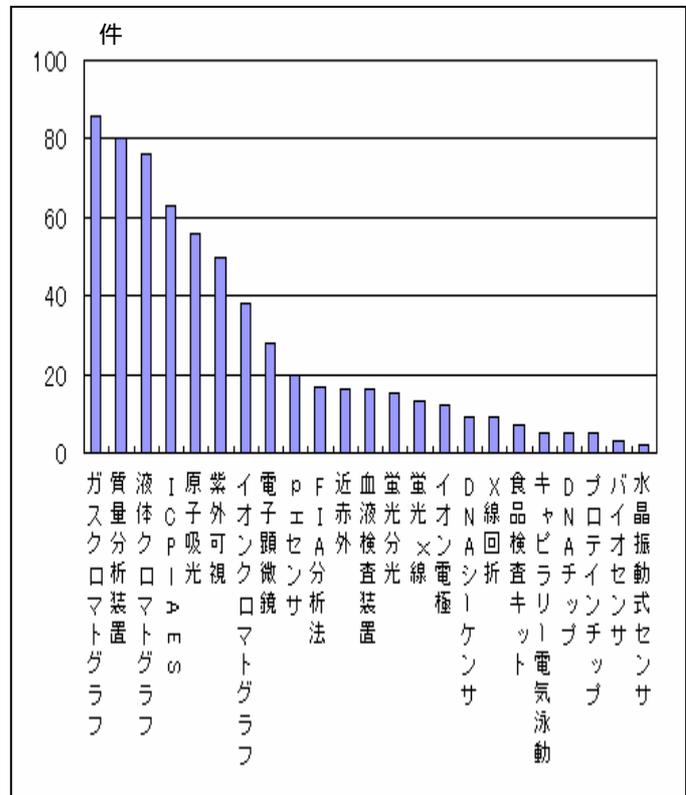


図2 - 3 - 1 問題点指摘順分析装置

次に 装置別に不満点・問題点の指摘について考察した。

表 2 - 3 - 1 装置別不満点・問題点指摘

	前処理 必要	試料量 多い	試薬量 多い	長い分析 時間	分析処理 能力	感度	再現性	ランニング コスト	その他	計	比率
紫外可視	22	3	3	6	4	10	1	1	0	50	79
近赤外	5	1	0	1	2	3	1	2	1	16	25
蛍光分光	6	2	1	0	2	1	2	1	0	15	24
原子吸光	24	4	3	6	5	7	3	3	1	56	89
ICP-AES	23	5	1	2	1	6	3	18	4	63	100
pHセンサー	1	3	0	0	3	3	5	1	4	20	32
イオン電極	0	1	1	1	1	3	3	0	2	12	19
パイセサ	0	0	0	0	1	0	1	1	0	3	05
水晶振動式セン	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	03
液相クロマトグラフ	27	5	5	14	7	6	3	7	2	76	120
イオンクロマトグラフ	12	1	2	10	1	5	1	5	1	38	60
FIA分析法	4	0	2	2	2	2	2	3	0	17	27
ガスクロマトグラフ	26	4	7	15	7	8	4	12	3	86	136
キャピラー電気泳動	2	0	0	0	0	1	1	0	1	5	08
質量分析装置	22	3	4	13	7	4	3	18	6	80	127
蛍光X線	2	0	1	1	0	4	1	3	1	13	21
X線回折	1	1	0	1	0	1	2	2	1	9	14
電子顕微鏡	10	1	0	3	4	2	1	6	1	28	44
DNAシーケサ	2	0	0	3	0	0	0	4	0	9	14
DNAチップ	2	0	0	1	0	0	0	2	0	5	08
プロテインチップ	1	0	1	1	0	0	0	2	0	5	08
食品検査キット	1	0	0	1	0	2	0	3	0	7	1.1
血液検査装置	3	2	0	3	1	1	1	4	1	16	25
計	196	36	31	84	49	69	39	98	29	631	1000
比率	31.1	5.7	4.9	13.3	7.8	10.9	6.2	15.5	4.6	1000	

表 2 - 3 - 1 の結果を図 2 - 3 - 2 に示す。

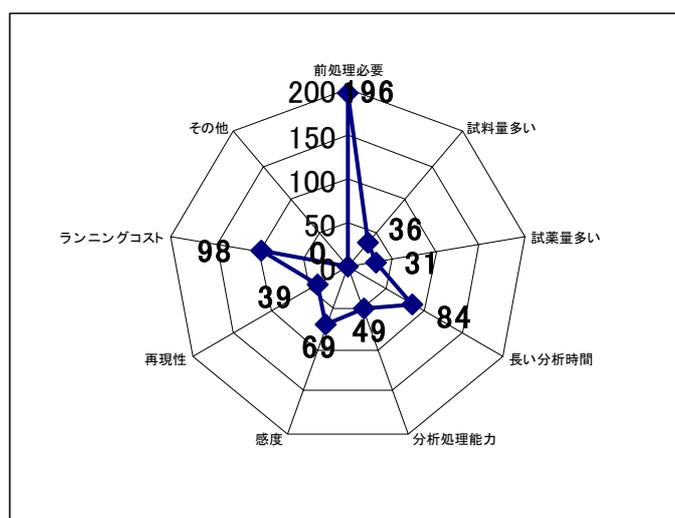


図 2 - 3 - 2 装置全体の不満点・問題点の指摘

それぞれの装置で多かった指摘を見ると、表 2 - 3 - 2 に見るように、各々の装置での特徴的な指摘がなされていることがわかる。

表 2 - 3 - 2 各装置に対する不満点・問題点の指摘まとめ

ガスクロマトグラフ	1. 前処理が必要 2. 分析時間が長い
液体クロマトグラフ	1. 前処理が必要 2. 分析時間が長い
質量分析装置	1. 前処理が必要 2. ランニングコスト
ICP-AES	1. 前処理が必要 2. ランニングコスト
原子吸光光度計	1. 前処理が必要 2. 感度
紫外可視分光光度計	1. 前処理が必要 2. 感度
イオンクロマトグラフ	1. 前処理が必要 2. 分析時間が長い
電子顕微鏡	1. 前処理が必要 2. ランニングコスト

今回は、数は多くないが、医用やバイオ分野の機関にもアンケートを行った。これらの分野の指摘としては1. ランニングコスト、2. 分析時間が長い、3. 前処理が必要の順となっており、これらの分野の特徴を表している。

2 - 3 - 2 ユーザー側の意見

前記内容を踏まえ、モバイル型分析装置化への意見を聞いた。

ユーザーのモバイル型分析装置についての認知度を尋ねた結果、回答総数は113であった。集計結果を、図2-3-3に示す。このうち88%（回答数99）が「知っていた。」と回答し、12%（回答数14）が「知らなかった。」と回答した。このように、認知度はおよそ9割に達することがわかった一方で、1割を超える無視できない程度の不認知度もあることがわかった。



図2-3-3 モバイル型分析機器の認知状況

次に、モバイル型分析機器の使用の有無および使用中の場合の使用経験期間、ならびに使用予定等について尋ねた。集計結果を、図2-3-4に示す。集計総数は116であった。このうち、「良いものがあれば使用したい」（回答数39）との回答が最も多く、「5年以上使用中」（回答数38）が僅差でそれに次いだ。また、使用中（5年以上、1～5年、1年未満を合計）との回答が過半数を占め、これに「使用の予定あり」を加えると全体の54%となった。ここで「良いものがあれば使用したい」との回答が第1位となったことに、モバイル化への期待感と不安感との双方の思いを窺うことができる。

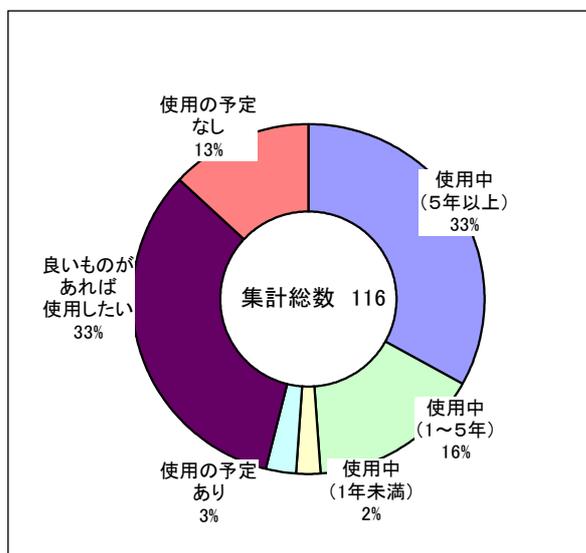


図2-3-4 モバイル型分析装置の使用状況

次に「使用中」および「使用の予定がある」との回答者に、重ねて「どのようなモバイル型分析機器をどのような分野にお使いですか、また、どのような測定にお使いですか。」と、分析機器、分析対象および対象物質を尋ねた。併せて、使用中のモバイル型分析機器の課題（問題点や改善点）についても回答を求めた。

まず使用されているモバイル型分析機器についての集計結果を、図2-3-5に示す。回答総数は123（複数回答あり）であった。

最も多い回答はpHメーター（回答数19）であり、溶存酸素計（回答13）がそれに次いだ。さらには、液体試料（回答数12）および気体試料（回答数9）を分析対象とする多項目の分析装置がそれぞれ続いた。次のグループ（回答数7）に含まれる導電率計を含め、電極を用いる計器がモバイル型分析機器とし活用されていることがわかる。さらに、単一の分析項目のみならず複数の分析を行う装置のモバイル化の状況がわかる。固体試料を対象とする蛍光X線分析装置は第5位のグループ（回答数7）に入った。

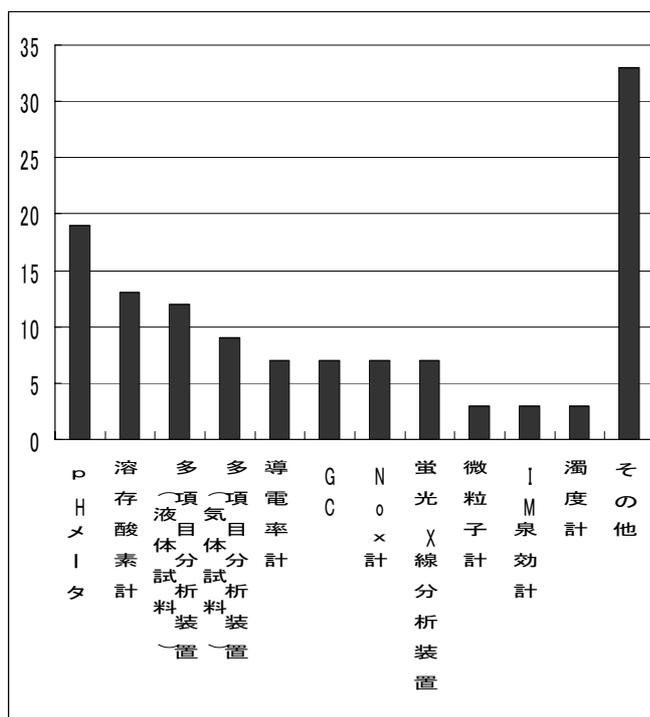


図2-3-5 使用されているモバイル機器
(予定を含む)

次に、分析対象試料を集計したところ回答総数は156(複数回答あり)であった。集計結果を図2-3-6に示す。

次に、測定対象成分を集計した。回答総数は188(複数回答あり)であった。集計結果を図2-3-7に示す。上位に、pH、窒素酸化物、溶存酸素がこの順に並び、使用されているモバイル機器(図2-3-5)の集計結果を裏付けるものであった。

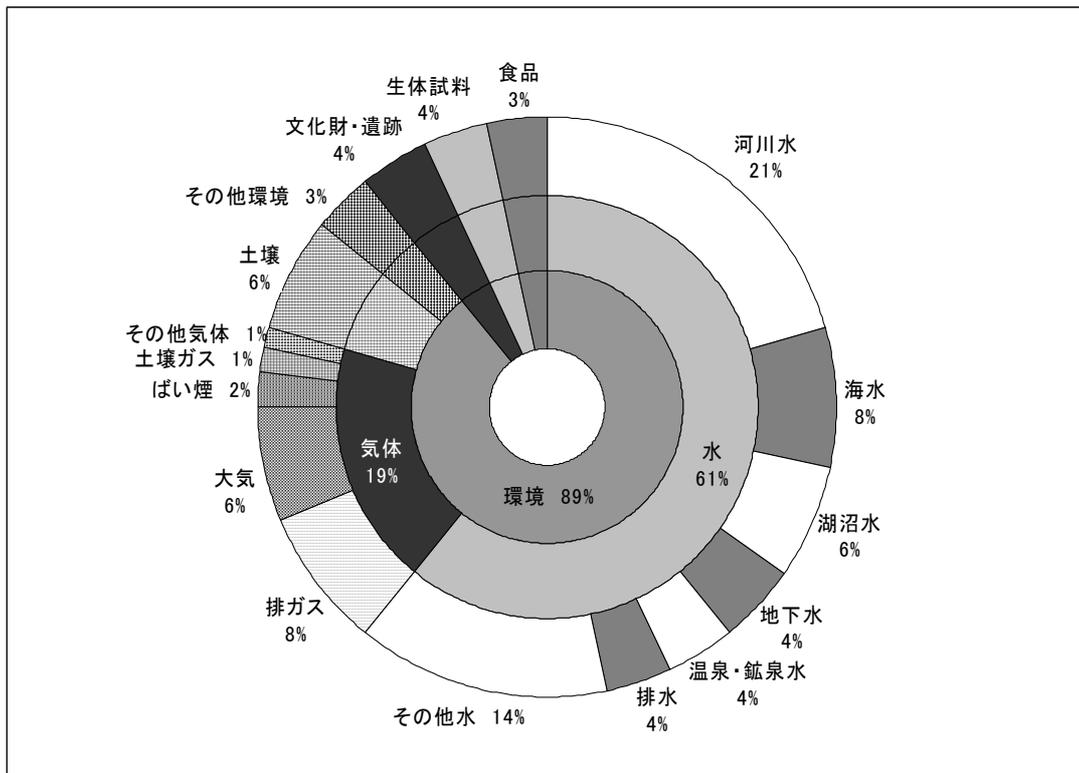


図 2 - 3 - 6 モバイル型分析機器による分析対象試料 (予定を含む)

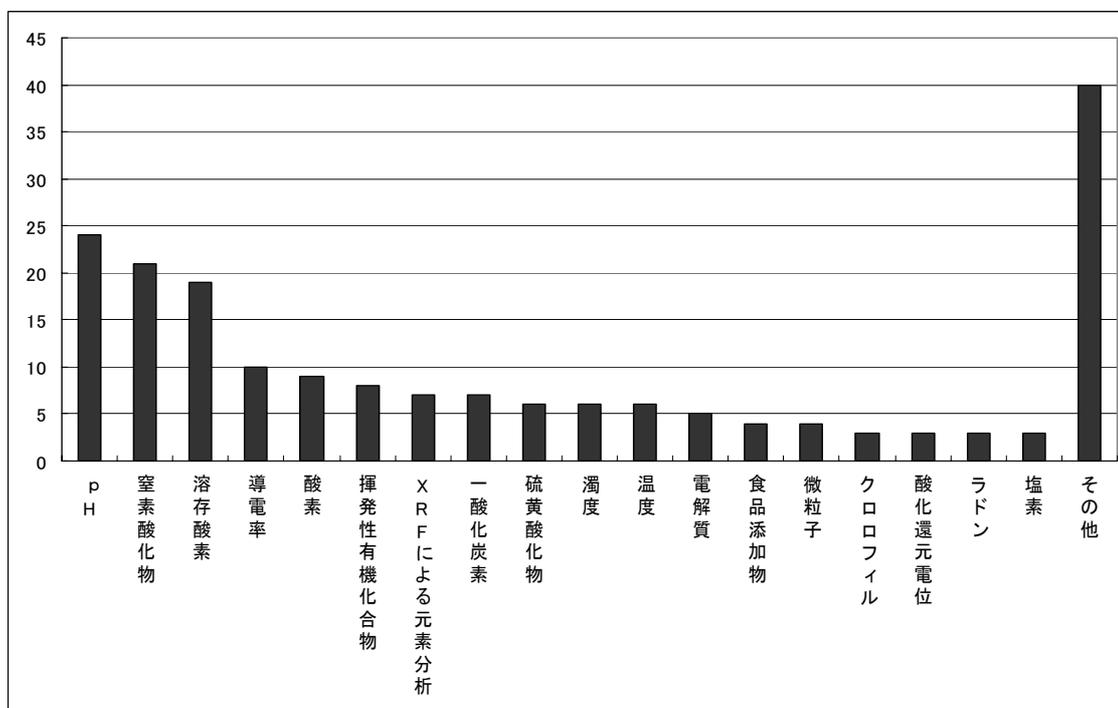


図 2 - 3 - 7 モバイル型分析機器による測定対象成分 (予定を含む)

2 - 4 モバイル型分析機器に求められる機能

モバイル型分析機器は現場で使用することを要求されるが、その場合にも測定の前に試料の前処理が必要となることが予想される。前章の調査結果からも、困っていることや不便に感じていることで一番回答数の多かったのは、「前処理が必要」である。そこで、モバイル型分析機器に欠かせない前処理機能について複数回答可で回答を求めた。その結果、153名の回答者中、151名より回答があった。全回答数は301件でこれは回答者が平均して2つの機能が不可欠であると予測していることになる。その他の項目への回答は精製が2件、前処理不要が望まれるが1件であった。欠かすことのできない前処理機能を表2 - 4 - 1に示す。

表2 - 4 - 1 欠かすことのできない前処理機能

項目	回答数	全回答数比	回答者比
抽出	74	24.6%	48.4%
濃縮	76	25.2%	49.7%
希釈	32	10.6%	20.9%
合成	3	1.0%	2.0%
反応	18	6.0%	11.8%
分離	73	24.3%	47.7%
分取	21	7.0%	13.7%
その他	4	1.3%	2.6%

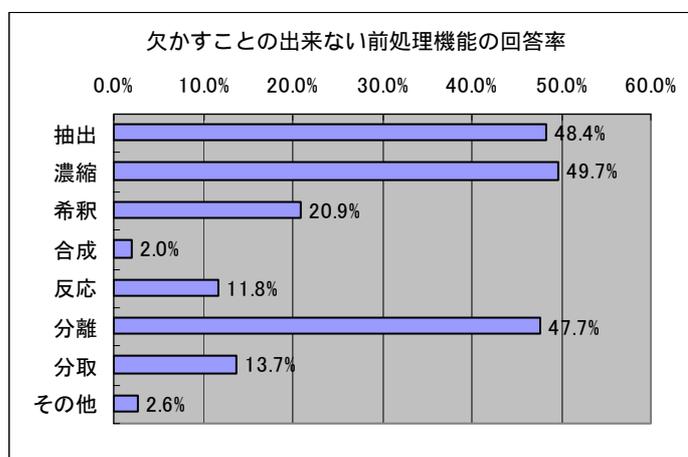


図2 - 4 - 1 欠かすことのできない前処理機能の回答率

各機能について欠かすことが出来ないと答えた人の割合を図2 - 4 - 1に示した。前処理の中で、抽出、濃縮、分離についてはほぼ半数の回答者が必須であるとの回答を寄せられた。全回答数の割合でもこの3機能で4分の3を占めている。図2 - 4 - 2に欠かすことのできない前処理機能を示す。

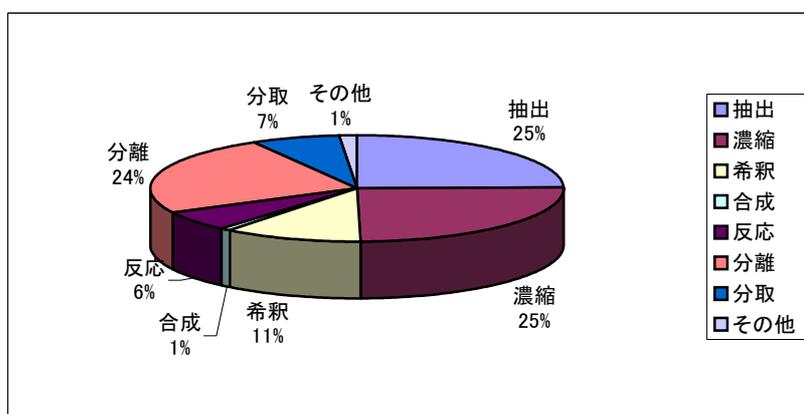


図2 - 4 - 2 欠かすことのできない前処理機能

では前処理以外にモバイル型分析機器として備えなければならない機能にはどのようなものがあるだろうか。そこで欠かせない前処理機能に続いて前処理以外にもモバイル型分析機器として必要な機能は何かについて回答を求めた。回答は複数回答可としたが、この回答については全員が何らかの回答を寄せてくれた。全回答は375件で一人平均2件強の回答が得られたことになる。

表 2 - 4 - 2 備えなければならない機能

項目	回答数	全回答数比	回答者比
データ通信機能	85	22.7%	55.6%
直流電源化	59	15.7%	38.6%
自己メンテナンス機能	76	20.3%	49.7%
異常警告機能	35	9.3%	22.9%
データバックアップ機能	61	16.3%	39.9%
GPS機能	12	3.2%	7.8%
データベース/データ解析機能	38	10.1%	24.8%
その他	9	2.4%	5.9%

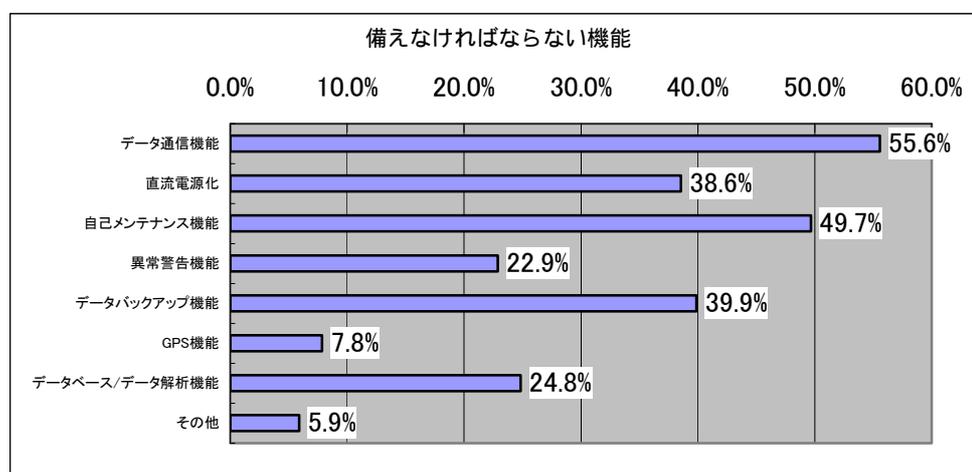


図 2 - 4 - 3 備えなければならない機能

備えなければならない機能として取り上げた各機能について必要と答えた人の割合を図 2 - 4 - 3 に示した。備えなければならない機能の中で、データ通信、自己メンテナンスについてはほぼ半数の回答者が必須であるとの回答を寄せられた。

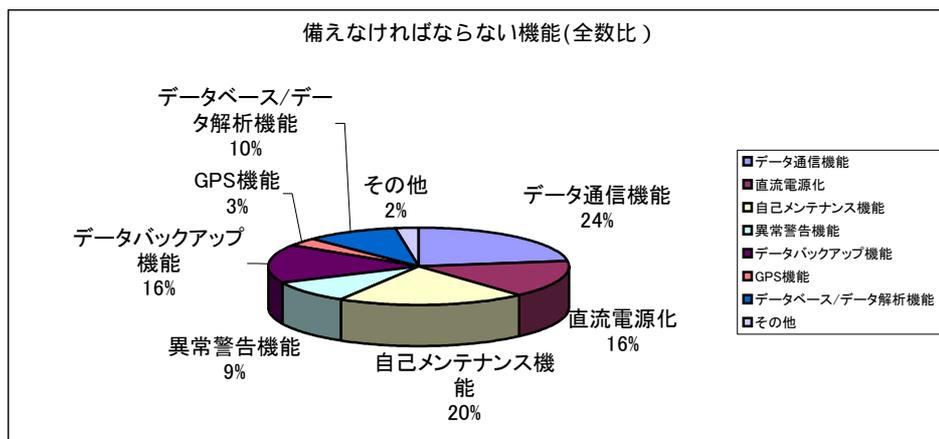


図 2 - 4 - 4 備えなければならない機能

2 - 5 まとめ

ニーズの調査は、携帯型あるいは可搬型の分析装置を使用している、あるいは使用を希望している大学・国公立研究所・社団・財団法人、民間企業に所属する分析技術者の中からアンケート調査で得られた 153 名の回答結果を中心にし、一部、文献調査の結果を活用してまとめた。モバイル機器の認知率は 9 割近くあり、現在の使用目的は環境分析が圧倒的に多く、続いて食品検査に使用されている。

アンケート調査の回答者 153 名中、ユーザーが 113 名、メーカー、ディーラーが 40 名であった。モバイル型分析機器については回答者の 90% が知っており、ユーザーの回答者の半分は使用中で 1 / 3 は 5 年以上使用していた。現在、使用中のモバイル型分析機器の用途は環境が 9 割を占め、内訳は水質が 61%、大気が 19%、土壌が 6% であった。使用者の半分は水質の分析や検査にモバイル型分析機器を使用しており、使用機種では pH メーター、溶存酸素計等電極を用いる機器が多かった。

今後のニーズとしては環境分野では現場で分析する機器(オンサイト用)として期待されており、他の分野でのニーズとしては食品検査や健康、医療の他、テロ、爆発物、文化財等の分析等、幅広いニーズが期待できる。

アンケートの調査結果では、現在使用中の機器の用途は環境向けが大部分なのに対して、文献調査の結果ではモバイル型分析機器のニーズは環境汚染物質の分析の他に、食品、農作物の汚染や育成状態の管理、健康、医療、臨床試験、POC 関連の測定、美術品、遺跡、考古学、文化財に関連する測定等多岐にわたっている。ラボ用分析機器にない新しいニーズとして、テロ、爆発物、文化財等の分析や、従来とは測定要求がことなるオンサイト分析などがあるが、これらの新しいニーズに適したモバイル型分析機器の性能・機能への要求は使い勝手の改善、測定データの正確性、精度・安定性の向上、より一層の小型化、等が挙げられている。

第3章 モバイル型分析機器の実現性に関する調査

3-1 はじめに

第1章で定義をしたようにモバイル型分析機器は現在、科学技術の研究開発や、材料の開発、工場での品質管理に使用されているラボ用の分析機器を、実験室ではなく、日常空間の中で使用する必要から開発されている。分析機器は計測機器と異なり、測定された情報が2次元の情報（スペクトラム、クロマトグラム）として得られる。この情報から計測機器と同等の信頼性を持つ計測値を得ることがモバイル型分析機器の開発に課せられた課題である。

本章の調査では、モバイル型分析機器の実現性に関して主なラボ用の分析機器を対象として調査を「分析機器のモバイル化の現状と課題」「モバイル型分析機器の実現性の検討」について実施した。

分析機器のモバイル化の現状と課題については文献調査とヒアリング調査により実施し、実現性の検討については理論的な検討も含めて専門委員に依頼した。

3-2 分析機器のモバイル化の現状と課題

3-2-1 光分析機器

赤外・近赤外分析計

調査した文献27件を波長領域で分類すると、近赤外分光（NIR）が60%、赤外分光（IR）が40%であった。更に、測光方式で分類するとNIR法ではCCD検出器を使用したもの（CCD-NIRと略）とリニアイメージセンサー（アレイ-NIRと略）を使用したものがあるが、後者の普及が目立ち、85%を超えている。IR法では、FT/IRベースであり、フィルタ分光方式や古典的な分散形分光器の例はみられなかった。さらに全反射ATR、DR（拡散反射）、PAS（光音響検出器）といったアタッチメントを加えFT/IR分析システムとして構成された例があった。

装置の形態は、可搬型45%、携帯型35%、特殊用途（火山設置型オープンパス方式、海中500m投げ込み方式）15%、ハンドヘルド5%となった。赤外分光、近赤外分光ともにモバイル化が進んでおり、市販品が9社（国産5社）から販売されている。

寸法・重量：モバイル化が進んでいる装置の寸法・電源・重量の例を次に示す。

測光方式	形態	寸法	重量	電源	性能
FT-IR	携帯型	200*320*220	11kg	12VDC-4A(カーバッテリー駆動)	超小型FTIR
FT-IR/PAS	携帯型	205*430*500	18kg	100VAC	VOC 0.1-10ppm
アレINIR	ハンドヘルド	150*250*60	1.6kg	60W(パソコンから供給)	AOTE搭載
CCD/NIR	海中投入	110 *500	3.5kg	8-25VDC 6W	海中500m NO2- nmoI
アレINIR	可搬型	110*90*202		100VAC	分解能30±5nm 7°ラ識別

用途：応用分野を次に示す。環境・農業・食品分野が90%弱を占めている。

環境分析

海水中の亜硝酸発色反応のnmolレベルでの分析

火山噴火ガスのSO₂, HCl定量

6種類の廃プラの高速識別

大気中のHC, NO_x, COなど汎用ガス分析

ガソリン成分37項目定量

食品・農業分野

カツオ脂肪量の非破壊定量

メロンなどの糖度・酸度・果肉硬度など品質・等級分けに関わる分析

樹上果実の糖度、熟度、クエン酸

食肉の品質検査

土壌のCO₂呼吸や状態測定

その他の分野

メタンガス漏れ検出

サリン、タブン、マスタードガスの検地

発明・創意・工夫： サンプルングを含め試料ハンドリングを向上させたアタッチメントの組み込みと、その場での高精度かつ迅速な判定を志向したソフトウェア、たとえば多変量解析やライブラリの装備などがキーワードとなっていることがわかる。

以上まとめると、使用されている装置のほとんどが市販品を使用している状況で、それらの製品は、小型軽量化、耐環境性向上、バッテリー駆動を視野に入れた省電力化、自由度の高い操作性と高度なソフト、据え置き型に劣らない分析精度のどれかを謳っていた。極めて特殊仕様ではあるが、性能よりはむしろコンパクトさを意図した分光器と直流駆動できる光源を用い、反応系を兼ねた1mm光路長を持つスパイラルセルから流路系ともども、水深500mへの海中へと投げ込むのに耐えるガラスチャンバに封入するという目的に合致させたシステムアップ品自作の報告もあり、技術革新の一環といえる。

蛍光分析、吸光分析、ラマン分析

現場で分析を行うために、用途に応じて種々のタイプの装置が要望とされる。特に吸光分析や蛍光分析などの分光分析では、その適用性の広さから装置も多岐にわたっている。

測定のために現場に装置を移動して使用するという要求に対応するためには、小型化された可搬型の装置が必要となる。しかしながら、通常は小型化と性能の維持・確保が要求されるために、光源として半導体レーザーを採用したり、高感度な検出器を使用する。さらに様々な試料の形態に適合できるように、光学系には光ファイバーなども使用されている。

測定のたびに現場に装置を移動するのではなく、現地に設置した状態で使用する場合もある。この場合には、検出器の性能の他に、システム全体の形状を用途（目的）に合わせたものが必要とされる。

吸光光度計

調査した文献14報に記載された用途は環境分析が最も多く70%、その他は農業分野である。これらを表3 - 2 - 1に示す。

表3 - 2 - 1 吸光光度計の用途

分野	試料	測定項目	感度	分析手法、特長など
大気汚染	大気	アンモニア		テープ式光電光度法
水質	定点観測			多波長拡散スペクトル・未濾過、無試薬注入
水質	排水	Cr(VI)	5ng/m ³	携帯型固相抽出装置と携帯型分光光度計の組み合わせ ガラスフィルター捕集・溶解・カラム濃縮・溶出・比色
水質	排水・地下水	As	0.2 ppm	
水質	河川水	Fe		活性炭カラムで鉄キレート濃縮 白色LED + CCD (バッテリー駆動)
水質	工場排水	V Mn	4 μM 50 μM	黒色PTFEセルとマルチメータより構成
海洋	海水	pH		
室内環境	室内空気	ホルムアルデヒド		テープ式光電光度法
健康	唾液	Li		デジタルカラー分析
農業	稲	作物生育		穂肥料の管理
農業	果実	熟度 糖度 色		
品質管理	プラスチック	カラーリング		

蛍光分光

調査した文献に記載されている用途を以下に示す。

試料	試料	測定項目	分析方法・特長など
屋内緑化	カワコイル	レザ-励起蛍光検出	
レタス	生育状態	レザ-励起蛍光測定	
細胞	Caイオン動態	Indo 2 で染色し、蛍光測定	
野菜	残留農薬	農薬と反応する試薬をスプレイ	蛍光測定
土壌汚染	土壌	石油留分	

ラマン分光分析

ラマン分光分析の例は4件と少なかったが、工程管理や化学兵器のモニタリングの例が報告されている。

レーザー光源、プラズマ光源を利用した分析法

高感度化を達成するとき、強いレーザー光やプラズマ光源は有効な手段である。それらの光源部分の小型化を目指した研究が報告されている。

3 - 2 - 2 蛍光X線

蛍光X線分析装置

1. モバイル化の必要性

蛍光X線分析法は、原理的に非破壊、迅速性、前処理が不要であるなどの特長を持つことに加えて、エネルギー分散方式では多元素同時分析が可能であるなどの特長を備えていることから、古代遺跡や美術品の考古学的調査や貴金属の鑑定、犯罪調査のための鑑識調査などでは、従来から化学組成の分析が試験室内に設置された蛍光X線分析装置で行われてきた。

しかし、これらの調査では測定対象物を現場から試験室に持ちこむことが困難または不可能な場合が多く、さらに現場でのデータ収集と解析を即座に行う必要があるなどの特有の事情から蛍光X線分析装置のモバイル化が求められていた。報告されているモバイル化の状況を別紙表3 - 2 - 2に示す。

2. 実施された技術開発

調査した文献のすべてがエネルギー分散型の蛍光X線に関するものであり、その殆どが液体窒素を必要としない新しいタイプの半導体検出器を利用している点が特長的である。

また、励起源としてはRI(放射性同位元素)を利用しているものもあるが、小型X線管が多い。RIがX線管にくらべてX線放射量や安全性の面で劣ることからこのような傾向になったと思われる。

また、X線管を利用している例では、分析感度の向上を目的として、X線管からのX線をモノクロメーターにより単色化したり、キャピラリーによる集光技術を利用したケースが報告されている。

表3-2-2 モバイル化の状況(1)

No.	419	115	258	319	346	30
発行年	1999	2001	2000	2000	2000	2002
著者	R.Cesareo et al.	中井 泉	科学技術振興事業団	宇高 忠 他	C.Neelmeijer et al.	G.Reames et al.
国	イタリア	日本	日本	日本	ドイツ	USA
モバイル化の状況	可搬型	可搬型	可搬型	可搬型	可搬型	携帯型
寸法・重量			25kg	5kg(ヘッド部)		
電源			蓄電池可能			
連続稼動時間						
立上げ時間						
性能						土壤中のPb400ppm規制へ対応
発明・創意・工夫	検出器:Si-PIN、SDD、CZT、HgI2 液体窒素不要、ヘルティエ冷却(-30℃) 小型X線管:3~50kV、0.1~1mA、空冷 微小部分分析	検出器:SDD 液体窒素不要、ヘルティエ冷却(-10℃) 小型X線管:50kV、5mA、空冷 1次X線の単色化:トロイダル型湾曲結晶 微小部分分析:キャビタリー 軽元素分析:Pd-La利用、真空フロー XRF+XRD機能	小型X線管:50kV、5mA、空冷 1次X線の単色化: 検出器:液体窒素不要、ヘルティエ冷却	検出器:SDD(-20℃)、Si-PIN(-10℃) 液体窒素不要、ヘルティエ冷却(-10℃) 小型X線管:50kV、5mA、空冷 1次X線の単色化:トロイダル型湾曲結晶 微小部分分析:キャビタリー 軽元素分析:Pd-La利用、真空/Heフロー XRF+XRD機能	PIXEとの相補的適用 検出器:Si(Li)160eV at 5.9keV 励起源:RhX線管、RI Am241、Fe55	RI
応用	考古学・美術品調査(製法、保存法)、貴金属工芸品調査、環境分析(大気、水)	考古学、文化財、科学捜査、宇宙科学、環境分析	工業製品の現場検査 排水の現場検査 考古学試料、犯罪試料の現場検査 鉱山の現場検査 宝石・貴金属点の品質チェック	考古学調査、犯罪捜査	絵画の顔料成分分析、絵の具層配列分析による絵画技法の判別	土壌、ペイントの鉛分析 銅精錬所の土壌汚染
必要な技術革新				軽量化	X線管のマルチターゲット または合金ターゲット	
その他						

No.	41	418	106	396	320	333	112
発行年	2002	1999	2001	1999	2000	1999	2001
著者	永田正嗣 他	A.K.Khusainov et al.	野村恵章 他	田村浩一	美濃林妙子 他	C.Fiorini et al.	H.Bronk et al.
国	日本	ロシア	日本	日本	日本	イタリア	ドイツ
モバイル化の状況	小型蛍光X線分析装置	携帯型	可搬型XRF/XRD、小型TXRF	可搬型	可搬型	可搬型	可搬型
寸法・重量		4.5kg(フープ1kg) 収納箱:400×300×700mm		5kg			100kg
電源		蓄電池		AC100V、バッテリー、 自動車シガレット電源			
連続稼働時間		電池使用時間:8hr					
立上げ時間		充電時間:10hr以下					組立て時間:30分以内
性能	土壌中のAs,Hg,Pb:LLD 10ppm以下 土壌中のCd:LLD 35ppm (300秒 測定)	CeのLLD:0.03% UのLLD:0.1%			CuのLLD:2.65ppb Cu0.2ppm水溶液50μLを ポリエチレンフィルム上に点滴 乾燥		ガラス中の各元素LLD Na2O:3.8wt%、Al2O3:0.39wt% Fe:19ppm、Sr:29ppm、U:120ppm 漏洩X線:0.5mSv/Hr at 1m (水1L入りのPETボトルに照射時)
発明・創意・工夫	検出器:SDD(-20℃) 小型X線管:50kV、1mA、 空冷、Mo,Pd 1次X線の単色化:トイダル 型湾曲結晶 微小部分分析:キャピラリー 軽元素分析:Pd-La利 用、真空フープ 1次X線フィルタ:Zr100ミクロン (Cd用) 小型発電機使用	検出器:CdTe(ヘルティエ冷却) (30-120keVでSiより優る) 励起源:RI 3-30keV:Am241,Pu238 5-130keV:Cd109,Co57 ~1500keV:核物質検出 ゲイン温度特性:0.003%/℃ 適用温度:-10~+35℃ 適用湿度:最大95%	検出器:SDD(XRF)、 Si-PIN(XRD) X線管:Cr/Agターゲット (XRF/XRD)、 Cr,W,Agターゲット (TXRF) XRF+XRD機能	検出器:液体窒素不要 X線管:小型	2重湾曲型分光結晶によ る1次X線の強度向上と バックグラウンドの低減 X線管:Mo 40kV-1mA 検出器:Si-PIN	検出器:SDD(ヘルティエ冷 却) X線管: 小型、Wターゲット、 30kV-0.2mA コリメータ:1mmφ 半導体レーザーでの位置決め	検出器:SDD(ヘルティエ冷却) X線管:小型、Moターゲット50kV、30W 焦点サイズ70×50ミクロン 微小部:ホリキャピラリー 94ミクロン (FWHM) 位置決め:CCDカメラ、光ダイオード XYZテーブル付三脚:Z方向再現性 ±10μ 開放Heフラッシュ:0.8L/min.
応用	土壌の有害重金属分析	税関での重金属同定 環境分析 (水、大気中のPb,As) (土壌中のHg,Ti,Bi,Pb) オイル中のPb 鉱物中の重金属、希土類 貴金属の鑑定 核物質生産工程のガンマ線分 析	考古学調査、犯罪捜 査:XRF/XRD 環境分析:TXRF	大型試料 建造物、固定物 貴重資料(源氏物語絵 巻) 鑑識 資料 産 業廃棄物 金属リサイクル品 地質・土壌のフィード分析 工場でのオンライン分析		考古学調査 ガラスの成分分析 文書の真贋判定 非鉄金属の成分分析	考古品測定学、美術品、金属、ガラ ス、セラミクス、宝石原石、顔料、壁画、 書籍
必要な技術革新	Cd,Hgの感度向上						装置の耐久性 FPソフトの改良 (多重、広領域波長対応) キャピラリーと検出器の性能向上
その他							X線によるエマル材の着色に注意が 必要 (45kV、600μA、5分照射)

3．応用例と市場性

考古学、文化財、美術品、貴金属、土壌などの実用例の報告があり、モバイル化が急速に進歩している状況が窺える。モバイル化の実現により期待できる応用分野についての示唆も多く記述されていたので、それらも含めて以下に列挙する。

- (1) 考古学、文化財試料の材料・顔料分析
- (2) 美術工芸品
- (3) 貴金属の真贋判定
- (4) 環境分析(土壌、排水、大気などの有害金属の分析)
- (5) 宇宙科学(火星の土壌分析)
- (6) 犯罪現場での科学捜査
- (7) 鉱山現場での成分分析
- (8) 産業廃棄物の分析
- (9) 金属リサイクル材の分析

4．今後の課題

- (1) 装置の耐久性
屋外での使用に耐える頑丈さや使いやすさが求められている。
- (2) 半導体検出器のエネルギーレンジ拡大
Si-PINやSDDなどではCd、Hgなど高エネルギー領域での高感度化が求められている。
- (3) FPソフトの改良(多重波長、広領域波長対応)
ファンダメンタルパラメータソフトウェアにより分析値を求める方法が多く用いられているが、1次X線の単色化やキャピラリーによるエネルギー選択のハードウェアの進歩に伴って、ソフトウェアの拡充が求められている。

5．その他

- (1) 蛍光X線とX線回折の共用装置
考古学調査や犯罪現場でのその場測定では、元素情報だけでなく、結晶情報も要求される。小型化と同時に蛍光X線とX線回折の共用化の試みも報告されている。
- (2) 小型全反射蛍光X線分析装置
全反射蛍光X線分析法は従来のエネルギー分散型蛍光X線分析法にくらべて約3桁の検出下限向上が可能であるが、小型化により環境試料への適用を試みた例が報告されている。

3 - 2 - 3 質量分析装置

ラボ分析において、質量分析計は極めて有用な装置の一つであり、その有用性をラボを離れたフィールドで活用するための研究が行われている。しかしながら、質量分析計の特質

からモバイル化は部分的な検討の段階にあるといえる。モバイル化に向けて検討されている質量分析計は四重極型が多く、形態には Field Portable 型や水中移動ロボットに組み込んだリモート型などもある。

応用例：調査した文献に示された応用例を表3 - 2 - 5に示す。

表3 - 2 - 3 質量分析装置の応用例

装置構成	形態	応用分野	測定項目	特長
ESI-APIMS -TOFMS	Field Portable	安全： テロ対策	化学兵器、生物兵器 覚せい剤、炭疽菌、薬物	1分以内の分析
膜導入 イオントラップQMS	Field Portable	健康： 病原性バクテリア	脂肪酸、DNA、たんぱく質 4種類のバクテリア	迅速（10分以内） 現場で加水分解やメチル化
QMS		環境： 大気	大気ガス成分	冷陰極電解エミッター採用による小型化
QMS		環境： ディーゼル排ガス	NOx	NOxの動的反応速度の解析
QMS	Field Portable	宇宙： 船外活動	NH ₃ 、ヒドラジン、N ₂ 、O ₂	宇宙船仕様 （操作性、格納性、搭載性）
GC-QMS		宇宙： 船内空気	NH ₃ 、ヒドラジン、N ₂ 、O ₂ H ₂ 、CO、H ₂ O、CO ₂ 等 40成分	小型GCとの組み合わせ 分離カラムによる分離性能向上
膜導入 イオントラップQMS	ロボットで移動	環境： 水中汚濁物	水中DMSO 0.5ppb 水中VOCs	水中イオントラップMSと水中移動ロボットの組み合わせ

3 - 2 - 4 分離分析装置

ガスクロマトグラフ（GC）

1. モバイル化の状況

GCは比較的早くから小型化、ポ - タブル（可搬形）化が検討され、現在のμチップ技術の先駆けともいえるシリコンウエハ - 上にカラム等を形成したGCも既に過去に報告されている。それらの技術を利用したポ - タブル（可搬形）GCも過去に既に製品化されている。このようにGCは比較的モバイル化が進んでいる機種といえる。

モバイル化されたGCは、大きくは次の2つに分類できる。

- 1) ボンベ、電源が本体に内蔵され、人が携帯できる程度の大きさで、測定場所まで運び現場で測定する携帯型GCタイプ。
- 2) ボンベ、電源は外付で、通常のGCよりも非常にコンパクトに設計され、ミニGC、マイクロGCとか呼ばれ、簡単に移動可能なポ - タブル（可搬形）GCタイプ。

2. 用途・応用分野

モバイルGCの用途・応用分野としては大気中のVOCの分析を中心とした環境分野が主たるものといえる。代表的なものとしては下記のものがある。

- ・ 塗装工場、ABS樹脂工場、石油精製プラント工場等の現場分析

- ・ 土壌汚染調査（土壌ガス）の現場分析
- ・ 各種工場内の作業環境測定
- ・ 地下都市ガス配管からのガス漏れ検出
- ・ 火災時の発生ガスの分析

以上が市販モバイルGCを中心とした現状と用途・応用分野である。以下に今回実施したモバイルGC関連文献調査の結果概要について述べる。

3．文献調査結果

今回調査した文献23件（内、GC12件、GC/MS11件）のうち用途別では環境16件、安全5件、その他4件であった。GC12件では環境8件、安全2件その他2件であった。

4．今後の課題

モバイルGCとしては更に小型、軽量化が図られると思われる。今後の課題として、可搬型はある程度小型化されて来ており、性能的にもあまり問題はないといえる。携帯型GCは、キャリアガスの供給のための高圧ガスボンベ内蔵に関して、高圧ガスの充填、搬送等取り扱いに関しての問題があり、この高圧ガスの使用がフィールドでのモバイルGCの普及を妨げている要因の1つと考えられる。空気キャリア - の利用等の報告もあるが、使用できる検出器の制約もある。これらが今後の課題と考えられる。

また、大半の測定対象が大気、雰囲気ガスであるが、フィールドにおける水質、土壌汚染に係る試料の場合は抽出等の前処理操作が必要となるので、この前処理を如何に現場で簡単にできるかが重要となってくる。今後、モバイルGCの発展には現場分析に対応した前処理装置の開発が今後の大きな課題となる。

3 - 2 - 5 FIA、電気化学分析計

電気化学分析計

電気化学分析計は、小型化しやすい方法であり、21件の報文があった。検出法は12件がポーラログラフであり、その中でも、9件がASV法（Anodic Stripping Voltammetry）であった。その他には、ISE法やアンペロメトリ、イムノアッセイとの組み合わせ、NDIRとの組み合わせなどがある。

応用分野：ASVはCu、Zn、Cd、Pbなどの重金属の高感度分析が可能であり、本調査でも、飲料水、排水、土壌、家庭塗料、建築解体現場などの鉛分析が数多く見られた。

その他には、排ガス中のNO_x、CO、O₂などの分析（定電位電解法）、水質や土壌、変圧器オイル中のPCB（ISE法）、残留塩素（ポーラログラフ）、ビール、ジュース、ワイン、食品中の酸素（ポーラログラフ）、グロブリン、感染症、生物兵器、炭疽病（免疫センサーと組み合わせ）、フェリシアン化物（光センサーとの組み合わせ）などがある。

モバイルの形態は、ハンドヘルド型、携帯型、可搬型など様々である。電極も使い捨てタイプものも報告されている。

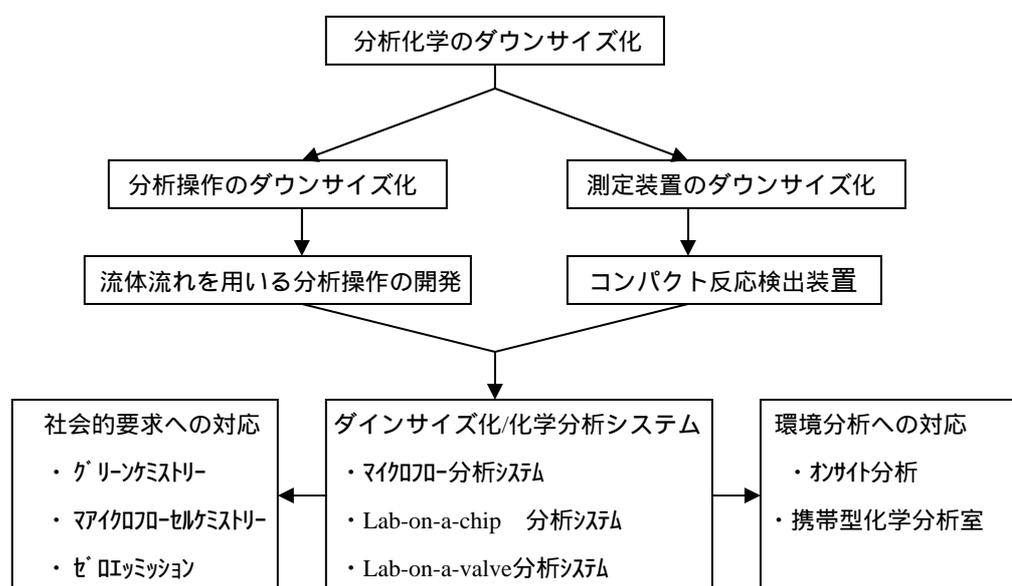
前処理もいろいろ検討されており、変圧器オイル中のPCB測定では、金属ナトリウムによ

って脱塩素して測定、有害廃棄物中のフェリシアン化物の測定では、化学的な選択膜と電極と吸光光度計の組み合わせでの測定、塗料中の鉛測定では超音波抽出などの報告があった。

F I A (Flow Injection Analyzer)

化学分析のダウンサイズ化には、化学分析操作と測定装置の改良、開発が必要である。分析操作のダウンサイズ化の近道は液体流れを用いる分析操作の開発であり、これには流れの中で行うことができる前処理操作、化学反応、検出反応の開発が必要となる。

一方、測定装置のダウンサイズ化のためには、液体流れシステムのコンパクト化（ポンプ及び制御部の改良、開発）と検出システムのコンパクト化が必要となる。図3 - 2 - 1にF I A測定装置のダウンサイズ化の流れを示す。



本水ら；環境と計測技術,vol.28(4), p47(2001)より引用

図3 - 2 - 1 F I A測定装置のダウンサイズ化

フローインジェクション分析法は、幅広い適用範囲と特異的な化学反応を利用した選択性と簡便さと迅速なレスポンスが特長である。更に、蛍光検出法を採用すると、極めて高感度な分析法である。これらに加えて、 μ FIAでは、バッチ式マニュアル分析法に比べ、試料量、試薬量などが通常の10～100分の1程度にダウンサイズ化が可能となり、携帯型測定システム（ μ PFA；Portable micro flow analysis）として開発されている。 μ PFAの基本構成を表3 - 2 - 4に示す。

表3 - 2 - 4 μ PFAの基本構成

ポンプ	ダブルプランジャー(ステッピングモーター方式) 0~200 μ l/min 2.5 μ l/stroke (ϕ 2mm、0.8mm)
チューブ	id.0.25mm PTFE
反応恒温槽	温度制御;室温+10~70°C
検出器	VIS (干渉フィルタ方式) ハロゲンランプ 又は 発光ダイオード
フローセル	ϕ 0.8mm \times 10mm (5 μ l) ϕ 0.4mm \times 3mm (0.38 μ l)
試料ループ	2~20 μ l 六方バルブ
データ記録、保存	ストリップチャートレコーダ パーソナルコンピュータ、メモリーカード
制御システム	流量、検出器感度、恒温槽温度制御、ポンプの制御
電源	100V 又は DC12V (6.5A)
サイズ	160 \times 160 \times 320 mm
重量	約8 kg

マイクロ送液システムとしてダブルシリンジ型ポンプがある。このポンプはストローク当たり0.25 μ lも可能であり、 μ FIAにも十分使用できる。このポンプを使用すると、

吐出量; 0.25 μ l/stroke チューブ内径; 0.1mm 長さ; 250mm 試料量; 7 μ l
試料処理数; 60検体/時

が可能となるが、シリンジ型ポンプの現状は 寸法が大きい 消費電力が大きい
バッテリー駆動不可であり、モバイル化には不適當である。

表3 - 2 - 5 に通常のバッチ方法、FIA法、 μ FIA法の試薬など消費量の比較を示す。

表3 - 2 - 5 各手法での試薬などの消費量比較

	試料量	試薬量	廃液量
バッチ式手法	10~20ml	5~10ml	50~100ml
通常のFIA(C-FIA)	0.1~0.5ml	0.5~1ml	1~2ml
μ FIA	7~20 μ l	20~50 μ l	50~100 μ l
μ FIA/C-FIA	約1/1000	約1/100	約1/1000

FIAの超微量化技術として、近年「集積マイクロ流路FIAシステム」の研究が進んでいる。これは、フラットなプラスチックあるいはガラスの上にマイクロチャンネルを作るための

溝を形成してカバーをし、これに、試料溶液の注入バルブと溶液の送液要ポンプを連結するとともに、検出器のフローセルをチップ上に形成し、更には、試料の前処理や分離や抽出などの操作を組み込んだシステム（マイクロ総合分析システム； μ TAS）である。FIAではチャンネルの幅0.05～0.2mm、深さ0.1mm、長さは数cmのサイズが採用されている。そしてこれらに適したマイクロポンプやマイクロバルブ、マイクロ検出器などの技術開発が進められている。

一方、 μ FIAと μ TASとの中間的な研究もある。溶融シリカキャピラリーを反応間とし、デジタルシリンジポンプにマイクロシリンジを装着した送液部、キャピラリーの先端にマイクロフローセル(0.025 μ l)を形成して吸光度を測定するシステム(Ultra μ FIA)である。

これらのいずれも今後の発達のためには、実用的な超微量送液ポンプの開発・改良が必要である。

3 - 2 - 6 医療検査装置

医療検査（臨床検査）分析計

1. モバイル化の状況

ここ数年、臨床検査における新しいトレンドとして、患者を前にした簡易検査や、患者のベッドサイドでモニター検査するポイント・オブ・ケア検査（point of care testing, POCT）が注目されている。臨床検査のモバイル化としては、このPOCTという検査形態が当てはまるものと思われる。

POCTは診療・看護現場で医療スタッフが実施する簡易検査、ならびに患者自身が在宅で実施する自己検査が包括されている。これらの検査は、外来での診療中に直ちに結果を得ることを主眼とした簡易・迅速検査、入院患者のベッドサイドでリアルタイムに測定結果をモニターする検査、および救急救命、ICU/CCUなど広範囲にわたって使用されている。

POCTに関するものには臨床の現場で使用する検体検査機器をはじめとして、患者が自己管理のために使用する分析器や、薬局で取り扱う試験紙（尿検査試験紙や妊娠検査試薬）等の簡易測定キットを挙げることができる。表3 - 2 - 6に簡易検査の現状を示す。

表3 - 2 - 6 簡易検査の現状

臨床化学検査	試薬をフィルム上に固相化したスライドまたは試験紙を用いて検査を行うドライケミストリーがある。ここでは全血、血清を試料として電解質を含む日常一般検査項目の単項目から多項目までの同時測定が可能である。また、血糖測定では卓上型から小型まで数々の機種が市販され、ポケットサイズは通院糖尿病患者の在宅医療用測定機器として多く利用されている。	臨床化学一般 可搬型 血糖 ハンド ヘルド
尿定性検査	尿中の糖や蛋白など定性・半定量用の尿試験紙は最も早くから利用されている簡易検査であり、検出装置と一体化した簡易装置が多くの施設で採用されている。	携帯型～ハン ドヘルド
血液検査	赤血球数、白血球数、血小板数など卓上型簡易検査による血算測定。	可搬型
免疫・感染症検査	Hbs抗原・抗体、HCV抗体などの免疫検査は卓上型機器と試薬が一体化したものやイムノクロマトグラフィ法を応用した用手法用の簡易検査がある。その他に、血液ガス測定の簡易検査などがある。	可搬型

可搬型：可搬といっても例えば車移動中の測定は困難な状況であると思われる。

現状として、特に、血糖測定、pH/血液ガス分析、電解質の装置でPOCT化が進んでいるので、これらの代表機種を例にとり、サイズなど詳細を表3 - 2 - 7、表3 - 2 - 8に示す。

表3 - 2 - 7 血糖自己測定

事例	装置名「エキストラ」(D社)
(1)モバイル化の状況	ハンドヘルド
(2)寸法・重量	10.0(縦)×5.6(横)×2.2(厚さ)cm 重量79g
(3)電源	単4アルカリ電池2本
(4)連続駆動時間	
(5)立ち上げ時間	
(6)性能	測定時間20秒、測定範囲20～500mg/dL
(7)モバイル化のために実施されている発明・創意・工夫	酵素電極法という測定手段
(8)応用	インシュリン治療中の糖尿病患者では血糖の変動が激しく、良好な血糖コントロールを維持し、あるいは確認するために欠かせない検査となっている。

表3 - 2 - 8 pH/血液ガス/電解質分析

事例	装置名「i-STAT」(D社)
(1)モバイル化の状況	ハンドヘルド
(2)寸法・重量	210(長さ)×64(幅)×52(高さ)mm 重量520g
(3)電源	リチウム電池
(4)連続駆動時間	一組2個のリチウム電池で最低250回の使用が可能
(5)立ち上げ時間	試薬カートリッジが挿入されると電源がON。(立ち上げ時間に関しては?)
(6)性能	
(7)モバイル化のために実施されている発明・創意・工夫	血液ガス分析では必要不可欠なものであると考えられてきたガスポンペを不要とし、電極を用いた。 カートリッジ挿入の都度、キャリブレーションが行われ、機器間差をなくしている。
(8)応用	血液ガスや電解質検査は患者の生命を維持する生理的機能を把握、維持するための重要な検査であり、検査結果は迅速性が要求される。

2. 性能

POCT機器全般に言われていることは、以下のようである。

- ・機種間差がある
- ・臨床家が求める精度はクリアしていない
- ・POCTで得られた測定値が分析器や測定原理の異なる中央検査体制の測定値と一致するとは限らない。むしろ一致しないことの方が多い。
- ・現状、精度管理、品質管理、経済性、検査項目の品揃えなど問題は多い。

この様に、精度面ではまだ汎用機レベルには達しておらず、あくまで簡易測定器としてモニター的な用途に限られて使用されているのが現状である。

3. 市場性

検査結果が迅速に出て、その場で説明され、健康指導を受けるということが今後普及するであろう。日本の多くの施設では病棟から検査室までの検体の搬送に時間が掛かっているのが現状である。この点から考えても分析精度の良い機器でベッドサイド検査が出来れば迅速性、検体保存状態の観点から考えて利点が多いと思われる。

POCT 機器が今後かなりの役割を担うことになるのは間違いないであろう。

3 - 2 - 7 μ TAS

μTAS (Micro Total Analysis Systems) 技術は、モバイル型分析機器の現状および将来を考える上で、欠かせないキーテクノロジーである。しかも、μTAS技術は単に装置の小型化・可搬を可能にするだけでなく、

- ・ 省時間（分析時間の短縮）
- ・ 省資源（サンプル量や試薬量の低減）
- ・ 省エネルギー（消費電力の低減）

などの利点もあるため、新しいタイプの分析装置を創出する可能性を持っている。例えばマイクロチップ電気泳動装置のように、デスクトップ装置の一部をマイクロチップで置き換えることで、省時間・省資源という利点を生かした実用化が行われている。

μTASによるモバイル型分析機器の現状は、全体としてみるとμTASの各要素技術の開発に集中している段階であり、システム化・実用化の例はまだ少ない。μTAS技術は上記の各要素技術がバランス良くシステム化されないと、小型化や高速化・微量測定などの効果を発揮できないことも、実用化が遅れている原因と推定される。しかし応用分野の例でも示したように、実用化されれば従来のデスクトップ装置では不可能であった分野での応用が広がっていく可能性を持っており、今後さらなる研究開発が期待される。

表3 - 2 - 9 に市販モバイル型分析装置の現状を示す。

表3-2-9 市販モバイル型分析装置の現状

分析装置分類	装置名	代表的なラボ分析装置			市販のモバイル型分析装置							装置のモバイル化を一步進めるために解決すべき課題 (装置のモバイル化の障害となっている項目)		
		寸法(W×D×H)	重量(kg)	代表的な仕様・性能	寸法(W×D×H)	重量	電源	連続稼働	立ち上げ	代表的な性能	使用されている分野・用途			
電気化学分析	簡易COD計	190×385×192	3.5	測定レンジ : 0~20/40/100/... mg/L	携帯型			AC			分析時間15分以内	環境、排水管理	電源、大きさ、時間、JISとの相関、熱安全性など	
	ホルムトリー	200×300×250	10	1 ppb ~	携帯型	200×150×80	1.5 kg	DC	40時間	10分	測定下限 : 重金属 1 ppm	地下水汚染調査		
	pH計及びORP計	182×318×60	1	分解能 : 0.01/0.001pH 繰り返し性 : 0.01/0.001pH	ハンドヘルド型	187.5×75×37.5	320 g	DC			1分以内	分解能 : 0.01pH 繰り返し性 : ±0.01 pH	環境、排水管理、その他	
	イオン極濃度計	182×318×60	1	測定範囲 : 0.00~20.00mg/L 繰り返し性 : ±0.02mg/L±1digit	ハンドヘルド型	187.5×75×37.5	320 g	DC			5分以内	測定範囲 : 0.00~20.00mg/L 繰り返し性 : ±0.02mg/L	環境、排水管理 液肥管理、その他	
	導電率計 電気伝導率計	182×318×60	1	測定範囲 : 0.1 μg/L~999g/L 繰り返し性 : ±1%rdg±1digit	ハンドヘルド型	187.5×75×37.5	320 g	DC			1分以内	測定範囲 : 0.1 μg/L~999g/L 繰り返し性 : ±1%rdg±1digit	環境、排水管理 液肥管理、その他	
光分析装置	紫外可視 分光光度計	460×595×250	30.5	波長レンジ : 190? 1100nm ダブルビーム フォトマル	携帯型 ハンドヘルド型	117×185×65	0.5 kg	AC/DC			1分以内	測定波長 : 330nm~690nm 再現性 : ±0.001Abs.	環境、排水管理 液肥管理、その他	
	フーリエ変換 赤外分光光度計	600×680×320	54	波数範囲 : 7,800? 350cm-1 分解能 : 0.5? 16cm-1	可搬型・携帯型	132×421×480	12 kg	AC/BT	2	10分	測定範囲 : 4000? 650cm-1 分解能 : 2cm-1 感度 : 1 ppm			
	蛍光光度計	550×560×300	45	波長精度 : ±1.5nm										
	ラマン分光光度計	600×400×400	25	波数域 : 4000-50 cm-1	携帯型・可搬型	300X200X150	10 kg	AC/BT			10分		犯罪捜査	電源、性能/サイズのトレードオフ
	濁度計	360×360×160	8	測定下限 : 0.1 ppm	携帯型	250×95×160	2.3	AC/DC			1分	測定範囲 : 0~800NTU / mg/L 繰り返し性 : ±1%rdg±5NTU	環境、排水管理、その他	
電磁気分析	波長分散型 蛍光X線分析装置	1620×1070×1310	750	測定範囲 : F~U 定量下限 0.1ppm (重金属) 照射スポット : 0.5 φ	可搬型	570×730×450	80kg	AC			15分	測定範囲 : F~U 定量下限 0.1ppm (重金属) 照射スポット : 0.5 φ	石油・潤滑油 合金・表面処理 産業廃棄物 セラミックス・セメント・ガラス 食品 文化財・遺跡	各要素部品の重量、寸法
	エネルギー分散型 蛍光X線分析装置	580×650×420	80	測定範囲 : C/Na? U 分解能 : 155 eV	可搬型・携帯型 ハンドヘルド型	(ハンドヘルド型) 248×273×95	1.7 kg	充電式	6時間	15分	測定範囲 : Al~U 分解能 : 250 eV	各種合金の成分分析 環境分析、土壌中の重金属分析 大気粉塵中金属、フィルタ捕集 鉱業用分析 文化財・遺跡	・X線管球の小型化 ・高圧電源部の小型化	
	質量分析計 (ガス質量分析計)	630×450×4000	60	測定範囲 : 1~1000 amu 感度 : EI 100 fg CI 100 pg	可搬型	107×72×130 (不含:PC)	1 kg	AC				質量範囲 : 1~500 amu 分解能 : 0.2 amu (at 28 amu)	環境分析、大気分析 土壌汚染調査 残留農薬 犯罪捜査、事故調査 呼気分析	
分離分析	ガスクロマトグラフ	515×530×440	30		可搬型・携帯型	270×390×150	6.8 kg	BT	6-9 時間	2分	検出範囲:ppb? ppm	環境分析、大気分析 土壌汚染調査、土壌ガス12項目 塗装工場・ABS樹脂工場・洗剤工場 石油精製プラント・製紙工場		
	GC-MS	960×700×700	500	質量範囲:m/z 1.5~1024	携帯型	430×460×180	16 kg	AC/DC			1~300amu	VOCの現場調査	質量分析部小型化困難(真空ポンプ)	
	イオンクロマトグラフ	370×450×550	22	測定範囲 : 1 ppb~	可搬型・携帯型	215×467×326	11 kg	AC/BT		30分	測定範囲 : 0.1 ppm~	環境分析、排水管理、土壌分析 水道水、半導体部品洗浄水	小型化、軽量化 電源、溶離液管理、安定性	
ガス分析	Nox, Sox, CO, CO2, CH4	430×550×220	25	測定範囲 : 0~0.1 ppm 0~1 ppm	携帯型	323×270×430	15 kg	AC			測定範囲:0~25ppm	燃焼装置排ガス		
	VOCモニタ	630×450×4000	60		ハンドヘルド型	760×248×66	800 g	DC	8時間		イソプレン(0.5? 2000ppm)	空気、地下水、土壌の汚染チェック 作業環境の有毒ガス、VOC 有機ガスモニター		
	水銀分析計	400×250×400	5	測定範囲 : 1ppt ~100 ppb	可搬型・携帯型	110×260×220	3.1 kg	BT	10時間	20分間	測定範囲:0.001~5.00 mg/m3	作業環境モニタリング	小型化、軽量化	
医用分析	臨床化学 自動分析計	1850×800×1240	530	処理能力 1200 検体/h	可搬型・携帯型	153×292×242	6.9 kg	AC			処理能力 : 13分/ 検体 測定項目数 : 13	緊急検査室、診療所	使用者環境の課題 : 現在は項目数を限定 (血糖、生化学、電解質、血液ガス) 検査環境・体制の課題 : 項目数不足	
	電解質分析計	260×600×590	35	処理能力 150 検体/h	可搬型・携帯型 ハンドヘルド型 ハンドヘルド型 (カート)	135×225×138 65×20×52 50×90×145	1.5 kg 520 g 45 g	AC DC BT			処理能力 1分/検体(電解質) 20検体/h (10項目) 30秒/検体		技術的な課題 : 全血からの血漿の分離(前処理) 試薬のマイクロ化による反応の向上 コストの低減	

3 - 3 モバイル型分析機器の実現性の検討

3 - 3 - 1 光分析装置

(A) 光分析機器（原子スペクトルを利用するもの）

光による物質計測の歴史は、キルヒホッフとブンゼンによる原子スペクトルの利用に端を発している。原子スペクトル分析の対象は成分元素の分析であるが、物質の物理分析法として最も長い歴史を持ち、ラボ用分析で蓄積された多くの知見が、モバイル機器によるその場分析でも有効に活用されている。

ダウンサイジングの必要性と今後の展開

ダウンサイジングにおいて、そのサイズ縮小率が大きいほど、それにほぼ逆比例して機器性能が劣化していく傾向にある。携帯型指向では、性能が保持できる分析種固定の専用機、あるいは特殊現場のみに通用する専用機に限定するのの一法である。機動性に優れた汎用機は、スクリーニングあるいは判別用と割り切ったほうが良い。

この点、原子スペクトル分析の中でも発光分光分析装置は定性分析とともに多元素同時定量が可能な点が特徴であり、それを生かすためには、分光系部を極端に小さく出来ない。むしろ車載型にして光ファイバプローブを使いこなすほうが賢明である。実際例においてもその点が良く現れているし、ラボ用機器に近い性能を出している点も納得できる。

前処理なしで比接触測定可能なLIBSは、レーザーの小型化と低価格化が進んできた現在、極めて有望なモバイル化候補の一つであろう。元素分析ではハンドヘルド蛍光X線分析装置が広く使われているが、測定スポットサイズの絞込みに無理がある。モバイル型LIBS装置は厳密には非破壊的とはいえないが、破壊部所が100 μm以下であり元素のデプスプロファイリングが可能な上、ラボ用機器に近い性能を持たせ得ることから、文化財保存や犯罪捜査にも極めて有効な武器となることは疑いない。

バラエティに富む半導体レーザーが続々と市場に現れており、波長変調法を用いた共鳴蛍光法による大気中元素の微量検出に使われている。今のところ、Li、K、Rb、Csなどアルカリ金属が対象であるが、モバイル指向の半導体レーザーガス分析計としての発展も期待できよう。

(B) 分子分光機器（紫外可視および赤外）

吸光および蛍光分析を含む紫外可視分光分析は工業、医療、食品、環境などあらゆる分野で日常的に利用されており、汎用性を持った大型の機器から特定成分の分析に用いるパームトップ型まで機器の大きさ、性能も多種多様である。最近では汎用型機器でも半導体レーザー、効率の高い分光素子、高感度アレイセンサなどの普及により装置の小型化が進んでおり、設置場所を簡単に移動できるものも多い。農業や環境調査など、試料を現場で直接測定する場合には機器を固定設置せずに用いるモバイル型機器が利用される。この場合には電源として蓄電池を利用し、軽量かつ堅牢な構造が要求される。光学系の一部に光

ファイバーを利用することも多い。

ダウンサイズの限界と今後の展開

分光機器の中心部である光源、検出器に関しては半導体素子を利用することで高感度を維持しながら小型化、省電力化が可能となってきた。分光素子については収差補正フラットフィールド回折格子が普及しているが、波長分解能は格子の大きさで制限される。

また、大部分の分光機器はコンピュータに接続して制御とデータ収集・処理を行っている。このコンピュータとの接続部分は小型化の制限因子ともなる。ケーブルを用いた接続ではケーブル自体の体積または重量が本体の分光機器よりも大きくなる場合さえある。一部で利用されている赤外線通信または無線 LAN を用いた機器制御およびデータ受信方式の導入は今後の重要な課題となる。

(C) 微粒子計測

大気中の粉塵計測、水中の濁度および植物プランクトン計測など、現場観測を基本とする環境中での微粒子計測ではモバイル機器が不可欠となる。大気中の微粒子計測対象としては粉塵、花粉、エアロゾルなど種類は様々であり、その計測には、特定成分の濃度変化を監視する機器から、組成分析分析も含めた複雑なものまで幅広い。飛散花粉やダストを検出するような単機能機器では光散乱を利用したものが多い。水中での微粒子計測では電解液中の粒子が細孔を通過する際の電気抵抗変化を利用したコールターカウンター法がよく用いられ、過般型のコールターカウンターも多種製品化されている。しかし現場観測には光散乱を利用した機器が多く利用されている。水中での植物プランクトン計測では種類の識別と定量が可能な光散乱と蛍光を組み合わせたフローサイトメータのモバイル化が進んでいる。

表 3 - 3 - 1 光散乱を利用した環境計測分野でのモバイル機器の例

装置	検出対象	検出粒子径	測定原理 光源/検出器	サイズ・電力等
ダスト センサー	ほこり, ダスト、 タバコ煙	1 μm以上	側方散乱 赤外LED励起/PD受光	W88 × H60 × D20mm 38g, DC5V30mA
花粉 センサー	花粉	20 ~ 50 μm	偏光解消, 前方散乱 + 側 方散乱 赤外LED励起/PD受光	W90 × H70 × D20mm 70g, DC5V200mA
水中濁度計	水中懸濁粒 子	0.01~10ppm	前方散乱 DL励起/PD受光	90cm × H66cm リチウム電池8Ah 耐圧2000m
CytoSense	水中植物プ ランクトン	1 ~ 1000 μm	前方散乱 + 側方蛍光 可視DL励起/PDアレイ検出	37cm × H57cm 20kg, 5-7Wh/sample

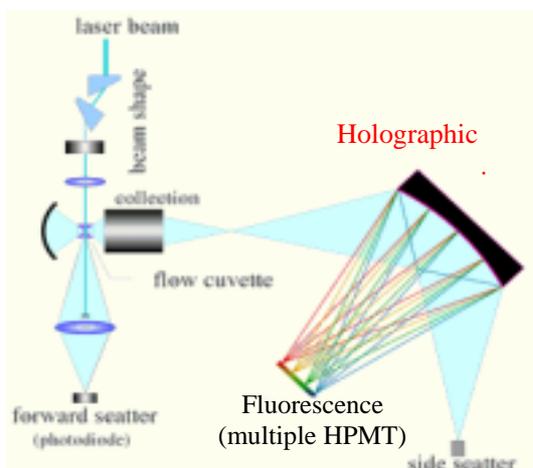


図 3 - 3 - 1 CytoSenses光学系

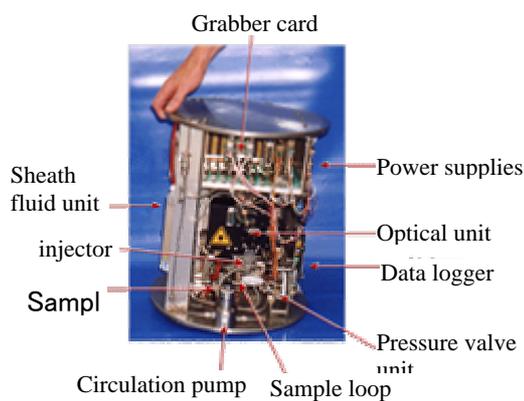


図 3 - 3 - 2 CytoSenses本体の概観

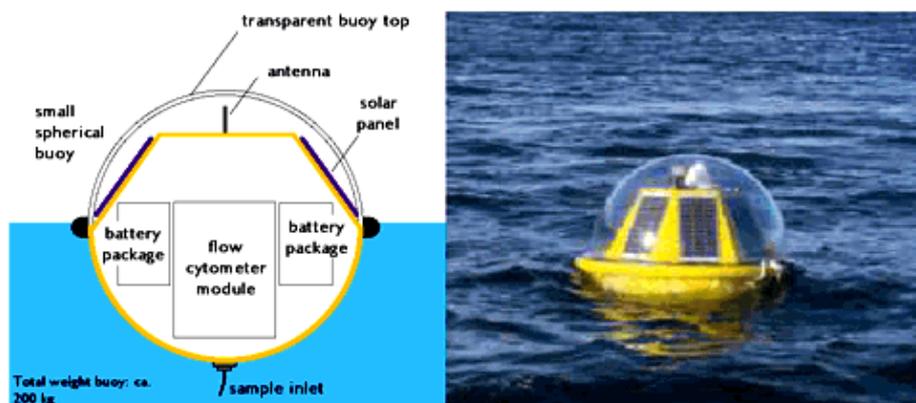


図 3 - 3 - 3 CytoBuoyの概観

今後の展開と問題点

散乱測定では励起光学系、検出光学系ともに半導体素子を用いることで小型・省電力化が実現されている。汎用性を抑えて測定対象を限定し、最適な光学系設計を行うことで感度を確保している。すでにパームトップ型の散乱測定装置も実用化されている。一方でフローサイトメータのような複雑な光学系を持つ研究を主目的とした機器でも光学系の小型化と高感度多チャンネル検出素子の導入によって現場観測可能なモバイル装置の開発が進んでおり、今後多くの製品が発表されると期待される。しかし、研究目的の場合には汎用性が求められる場合が多く、広いダイナミックレンジを要求される場合が多い。この場合の解決策の一つとして、異なるダイナミックレンジを持った検出系を複数接続する方法も試みられている。

測定対象によってはデータの時空間的な変動が大きく、長時間のサンプリングを必要とする場合もある。この場合、安定したサンプリング手段が不可欠である。同時にできる限

り環境誘乱の少ないサンプリング手法が望まれる。水中フローサイトメータCytoSenseの例では、無人潜水艇に搭載する場合を考慮して、高水圧下での試料をそのまま計測するための高圧サンプルループを開発している。

また、環境計測ではしばしば気球やブイなどに設置してデータを収集する無人観測が行われる。無人観測では電力供給が大きな問題となる。できる限り電力消費を抑える事がこれからの開発のポイントとなり、長時間駆動可能な軽量電池、特に環境への対応を考えると、小型燃料電池の活用が強く望まれる。

3 - 3 - 2 X線分析装置

従来までのX線分析装置は分析精度の向上、分析時間の短縮等の要請より装置が複雑化し、また装置の大型化をもたらした。しかしながら、全反射蛍光X線分析装置の出現以降、エネルギー分散型蛍光X線分析装置や、X線回折装置に半導体検出器を用いて装置の小型化を図りつつ分析精度の向上が期待できる数々の報告がなされた。特に従来の液体ヘリウムを用いるSi(Li)型半導体検出器と同等のエネルギー分解能を有しながらもペルチェ素子による冷却で検出可能なSi-PIN検出器やSDD(silicon drift detector)検出器が出現し、また超小型X線管の開発が進む中で、蛍光X線分析装置やX線回折装置の小型化の指向が一気に加速された。本章では、X線分析装置におけるモバイル化の現状とその概要を述べる。

X線分析機器のモバイル化

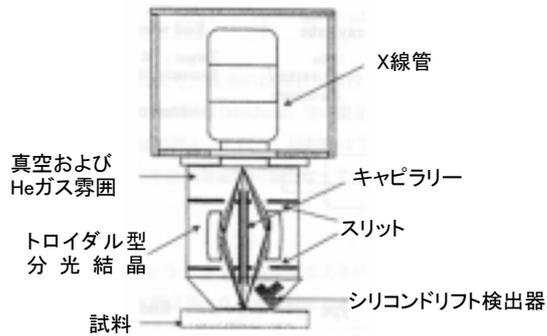
X線分析機器にはX線の透過を用いた“X線透過検査装置”、X線の干渉・回折を利用した“X線回折装置”および構成元素からの蛍光X線を用いる“蛍光X線分析装置”が主である。このうちモバイル化が進んでいるものは、X線透過検査装置と蛍光X線分析装置である。ここでは最近開発されている蛍光X線分析装置を中心に述べる。

蛍光X線分析は非破壊で且つあまり試料の前処理を必要とせず、しかも比較的高精度で結果が得られるために、定性・定量分析に多く用いられている。この分析装置を屋外で使いたいとの要求は早くからあった。1980年代頃は主に励起源にラジオアイソトープ(RI)を用い、検出器にはシンチレーションカウンタ(NaI検出器)や沃化水銀(HgI₂)を用いたものが主であった。しかしながら屋外でのラジオアイソトープの使用には法的な制限が多く、あまり実現しなかった。しかしながら、試料の非破壊をメリットとする蛍光X線分析法を用いたフィールド測定の要求が考古学調査や鑑識科学分野で強く、これに対応するために励起源を小型X線管に置き換えた装置が出現した。

モバイル型X線分析装置の高度化、高精度化が進む中で、もっと安価で容易にX線スペクトルが得られる超小型モバイル蛍光X線分析装置が昨年中国を中心に数社より販売された。図3 - 3 - 5にその1つの外観を示す。いずれの装置もほぼ大きさは同じで、片手で装置を保持できるピストル型で、且つ片手ですべての操作が可能である。Si-PINが用いられ、パ



(a) 装置外観



(b)測定ヘッド部

図3 - 3 - 4 可搬型蛍光X線分析装置



図3 - 3 - 5 ピistol型蛍光X線分析装置

ルス処理はいずれもデジタルパルスプロセッサが用いられている。概ねTiからBiまでの元素が定性・定量できる。今後多くの現場でこのような安価なモバイル型蛍光X線分析装置が普及するものと期待される。

3 - 3 - 3 質量分析装置

質量分析法は分析計（分光器に相当）に非常に多くの方式が存在することが、他の分析手法にはあまり見られない特徴である。実用装置として市販されているものだけでも、扇形磁場型、四重極型（Qマス）、イオントラップ型、イオンサイクロトロン共鳴型、飛行時間型（TOF）がある。

ここではモバイル質量分析装置の可能性を装置製作の問題から考えてみたい。磁場型分析装置では現在150kg程度のベンチトップ型装置が市販されている。電磁石の重量は40kg程度であり、有機物分析用としてはこの程度が実用的分解能と感度を得られる限界と考えられる。手軽に持ち運びが出来るとはいい難いが、車搭載用としては使用可能ではある。一方、感度あるいは質量範囲などを限定すれば惑星探査のように10kg程度の装置も製作可能と考えられる。磁場型の安定性、信頼性を生かすような火山のリモートセンシングのような装置として利用できると思われる。

一方、Qマス、イオントラップについては小型軽量分析計はすでに存在しており、仮に需要があるとすれば30kg程度で実用的な装置は製作できると考えられる。また、TOFについては、現在の市販装置では小型化をめざしたものはほとんど存在しないが、本質的に軽量化が可能であり、質量分解能が悪化することを許容できるなら小型化も容易である。

現在これら装置で最も大きさ、重量を支配しているものは、実は質量分析計本体ではなくそれに付随している真空装置である。真空容器の問題は、コストの点を考えなければ宇宙機器のような特殊構造のものを使うことで原理的には解決可能と考えられる。

装置が大型で重くなるもう一つの問題点は、通常ガスクロマトグラフと併用することである。最近の水道水分析用ベンチトップガスクロマトグラフ質量分析装置では質量分析装置よりもガスクロマトグラフのほうが数倍大きいのが普通となっている。この場合ガスクロマトグラフも小型化する必要がある。またキャリアーガスをどうするかと言う問題もさげられない。しかしこれも通常の汎用装置の概念をすてれば解決できる問題である。

以上のようにモバイル質量分析装置は、それを製作する上での原理的あるいは現実的な問題点はほとんどないものと考えられる。それにもかかわらず、現在モバイル型質量分析装置はほとんど普及していない。その原因は、切実な需要がないこと、及び質量分析装置が誰でもが容易に扱えるまでには成熟していないことにあると思われる。

3 - 3 - 4 分離分析装置

クロマトグラフィーなどの分離分析機器をモバイル型にした例はガスクロマトグラフィーでは古くからなされている。即ちシリコン基板上流路及びインジェクションバルブを作り込み、ここに別の基板を重ね合わせるで接合してキャピラリー流路を形成し、検出は別のシリコン基板上に熱伝導度型検出器を組み込むというものである。クロマトグラフィーの場合には通常の単機能分析機器と異なり、試料の導入、分離、検出、定量という一連の操作を行う必要があるため必然的に種々かたちのハイブリッド化が必要となる。その手段もその適用分野によって形体が異なる。モバイル型を意識したクロマトグラフィーの分野としては以下のようなものがある。即ち1)プラントや工場等の現場分析、2)環境汚染調査の現場分析、3)作業環境測定、4)ガス漏れ検出、5)災害時の発生ガスの分析などである。

いずれもサンプリングして実験室に持ち帰ると現場での値と異なる可能性があるものや、すぐに測定する必要のあるものである。

手のひらに乗るようなGC、LCの実現はある意味では究極の姿であろう。技術的なシーズとしては近年盛んになってきたマイクロチップ技術の延長線上でGC、LCを超小型化することは可能と思われる。しかし、現実問題として実際の分析をするためにはサンプリングから始まり、分解、抽出、部分精製、誘導体化などの種々の試料の前処理が必要である。他の分析システムの場合と同様に前処理のマイクロ化は必須であろう。このような問題が解決された後にはどの程度の市場性があるのか？というのが重要なポイントと思われる。感度、確度、安定性の限界についてはGCについては現状では性能的にあまり問題のないレベルで

ある。LCについてはGCFIDのような汎用検出器が現状ではないので、試料により検出に問題がある場合がある。感度、確度、安定性については大きな問題とはならないようである。

モバイル型GCやLCは今後さらに小型、軽量化が図られると思われるが、今後の課題としては可搬型はある程度小型化されて来ており、性能的にもあまり問題は多くはない。特にGCではキャリアガスの供給のための高圧ガスボンベ内蔵に関しては、高圧ガスの充填、搬送等について法的規制の問題がある。この高圧ガスの使用がフィールドでのモバイルGCの普及を妨げている要因の1つと考えられる。空気キャリア - の利用等の報告もあるが、使用できる検出器の制約もある。またLCについてはこのような制限はない。

フィールドにおける水質、土壌汚染に係る試料などの場合は抽出等の前処理操作が必要となるので、この前処理を如何に現場で簡単にできるかが重要となってくる。今後、モバイル型GC、LCの発展には現場分析に対応した前処理装置の開発が今後の大きな課題である。

3 - 3 - 5 マイクロ分析チップ

マイクロチップを用いた場合、チップ自体のダウンサイジングは十分達成されている。しかしこれをどこに用いるか？そしてチップに対する周辺機器とのインターフェイスを如何に構築するか？というのが問題になる。マイクロチップを用いたダウンサイジングは分析化学、計測化学の根本にかかるとのことであり、従来法をすべてチップ技術に置き換えるなど大きな変革を起こす可能性がある。

現状において(分析)化学のダウンサイジング化が必要な理由は、1)試料の前処理から測定、廃棄に至るすべての過程で用いる試薬の量はサイズを1/10にすれば1/1000となり、飛躍的に減少する。近年環境汚染や人体に対する毒性などで問題となっている有害試薬の使用量もサイズの3乗に比例して減少するので環境と人にやさしい測定ができる。2)ダウンサイジングすることにより拡散律速の反応(ほとんどすべての化学反応)はサイズの2乗に比例して速くなるので効率の飛躍的垂上昇をもたらす。3)スペースをほとんどとらない。等々である。このようにダウンサイジング化は時代の要請である。

感度、確度、安定性

これらの問題については現状ではモバイル化を達成しているものは少ないので今後の評価を仰ぐことになる。しかし、上に示したようにマイクロチップのサイズ効果を十分に発揮すると拡散律速反応は極めて高い効率で進むことが可能となるため感度、確度は従来法と同程度かあるいはそれ以上となる可能性がある。実際に通常の96孔プレートを用いて行うイムノアッセイをマイクロチップに置き換えた場合測定時間が1/10以下、感度は同等またはそれ以上になるという報告もあり、マイクロチップのサイズ効果の感度、確度に対する効果は非常に大きいといえる。しかし、安定性に関しては特に微小液体のディスペンシングが未だに発展途上にあり今後解決すべき点である。

今後の展開と問題点

上に記したように現状ではマイクロチップと他の機器とのインターフェイスが最大の問題と思われるが、これも解決されつつある。液体試料の場合の分析装置には流体を流すためのポンプ、バルブ、配管などが基本的構成要素として必要であるが、これらを一枚のチップ上に作り込むための要素技術はほぼ確立されている。これを用いて分離、抽出、検出などが可能となる。しかしすべてをマイクロチップ化した場合、1カ所の故障がすべてのシステムに及んでしまうことも考えられる。安定性が十分確立されれば、このような点は問題とならないが、現状ではシステムをいくつかの基本ブロックに分けて開発しそのインターフェイスを確立するというのが現実的であると思われる。

またマイクロチップでは流路の“詰まり”が致命傷となる。たとえば誘導体化や化学反応、抽出などを行う場合反応物と生成物ではキャリアー溶液に対する溶解度が異なることが多く、高濃度の場合は溶液中に析出する。これによりシステム全体のパフォーマンスが著しく低下することもあり得るので流路設計、反応設計には十分注意することが必要と思われる。またサイズ効果が体積や拡散速度についていわれることが多いが、溶液中の物質の表面に対する影響はサイズに反比例して大きくなるので材料表面の設計がきわめて大きな鍵を握るといえ、材料化学の分野の研究者の参加が望まれる。

3 - 4 まとめ

今回の調査でモバイル型分析機器の現状は機種によってモバイル化の進展状況が大きく異なっていることが浮き彫りとなった。モバイル化が進んでいる機種として赤外吸収分光、電気化学計測、蛍光X線分析、ガスクロマトグラフ、四重極質量分析等がある。これらの機種では調査に該当する文献数も多数あった。一方でモバイル化を視野に入れたユニットの小型化も進んでおり、特に光分析用に励起源では1.5V電池2個で10時間駆動できるプラズマ光源やコンパクトなレーザー、手のひら大の分光器や、チップ状の検出器等が開発されている。

モバイル型分析機器の実現のため共通の課題として装置の小型化と、現在手作業で行われることの多い前処理の省力化あるいは自動化を行うことの必要性が指摘できる。そこで小型化によりラボ用の装置と同等の性能・機能の得られる限界について光分析機器、X線分析機器、質量分析機器、ガスクロマトグラフ、マイクロ分析チップについて個別に検討を行い実現性についてまとめた。これらの基本的な性能とともにモバイル型分析機器では構成の中に機能として、省力化あるいは自動化された前処理機能が必要であることがわかった。またモバイル型分析機器では分析が試料の採取から前処理、測定と一連の操作となるため、これらのプロセスを同時に小型化してシステム化をはかる重要性も浮き彫りとなった。

また、調査の過程でモバイル型分析機器の分野でも、日米間に大きな開きがあることが垣間見えてきた。アメリカのモバイル機器のメーカーは、エネルギー庁、環境庁などから

の支援を受けたベンチャーから発展したものが多い。現在、国際的にはテロ攻撃や化学兵器・生物兵器（防御兵器）としてのモバイル型分析機器の研究開発が機密裡に進められており、とりわけ米国でのそれは強力であることは容易に理解できる。今後、モバイル型分析機器の分野で、軍事技術の民生化が進展するようであれば、日米技術格差は益々広がる可能性があることが指摘できる。

第4章 モバイル型分析機器の普及に障害となる要因の調査

4-1 はじめに

モバイル型分析機器に相当する装置やシステムについては供給するメーカーが様々な名称を使用している。ダイオキシン汚染等の環境問題の高まりや食品における農薬汚染等により、現場での装置の使用機会も増加しており、その結果としてモバイル型分析機器に関する問題点も浮き彫りにされてきているので、これらの確認をすることも含めてアンケート調査の中で設問を設けて調査を実施した。

4-2 障害となる要因

まず、アンケート調査のなかで将来モバイル型分析機器の市場動向について質問し、その中で、普及しないと思われる要因（阻害要因）についてたずねた。

表4-2-1 普及しない理由

	人数	比率	人数/回答者
現在の分析方法で十分	12	9.2	7.8
メリットが感じられない	35	26.9	22.9
適用が技術的に困難	35	26.9	22.9
法的規制	41	31.5	26.8
その他	7	5.4	4.6
合計	130		

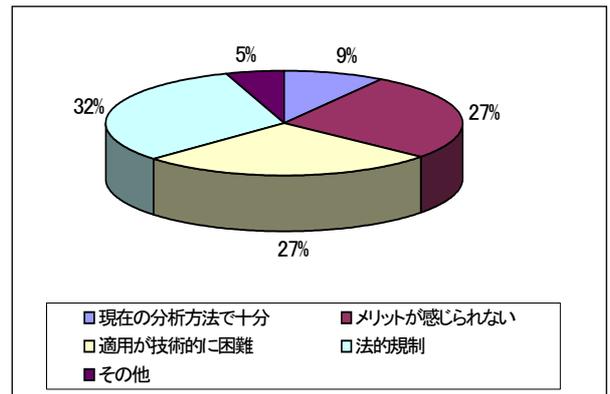


図4-2-1 普及しない理由

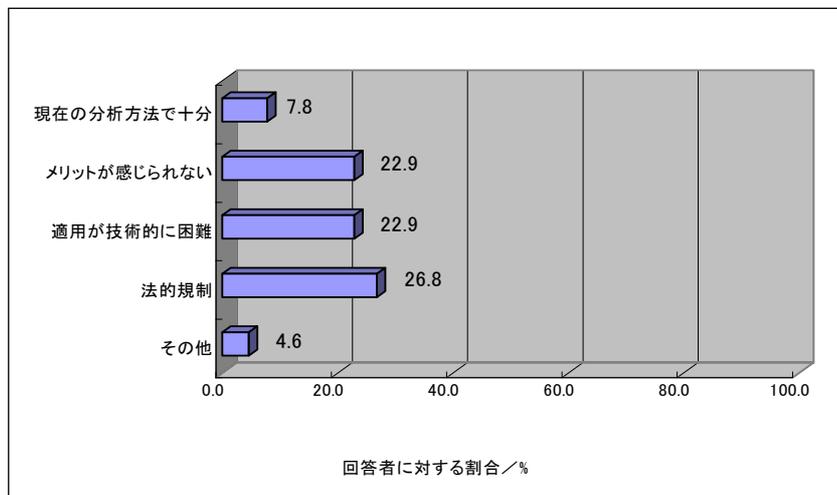


図4-2-2 普及しない理由の回答者に対する割合

同時に回答してもらったモバイル型分析機器の課題（問題点や改善すべき点）についての結果をしようしている人と使用していない人について別々に集計した。

回答総数は65（複数回答あり）であった。集計結果を図4-2-3に示す。使い勝手、精度・安定性、が第1位（回答数12）で並び、サイズ・重量（回答数7）が次いだ。このように、直接の分析性能への課題が指摘されると共に、装置の取り扱いに関わる指摘の多いことがわかる。ここでのその他の問題点としては、アプリケーション不足、モデルのライフサイクルの短さなどが指摘された。

一方、モバイル型分析機器を使用していないと回答した方々（最初の質問で、“良いものがあれば使用したい”、あるいは“使用する予定がない”と回答された方々）には、使用していない理由を尋ねた。回答総数は64（複数回答あり）であった。集計結果を図4-2-4に示す。

ここでは、性能・精度上問題があるとの回答が第1位（回答数17）となった。この点は現在のユーザーが指摘する課題においても第1位となったものであり、モバイル型分析機器ノンユーザーとユーザーが使用経験の有無によらず同様の見解をもっていることがわかった。ここでの第2位の回答は、現状装置で十分、というものであった。

次に、「現在の測定対象物質の分析をモバイル型分析機器化するにあたってのメリット」について尋ね、項目に順位をつけた回答を求めた。回答総数は111であった。集計結果を図4-2-5に示す。メリットとして第1位に挙げた回答者の多い項目は、「移動できない試料を分析できる」が最も多く、次いで、試料の変質を防ぐことが出来る、であった。このようにモバイル型分析機器を用いた分析に、特殊な状態の試料を対象としたものが含まれていることが窺える。ついで、メリットとして第1位に挙げられたものはスクリーニング用として効果がある、であり、モバイル型分析機器の1つの方向性を示唆するものと考えられる。

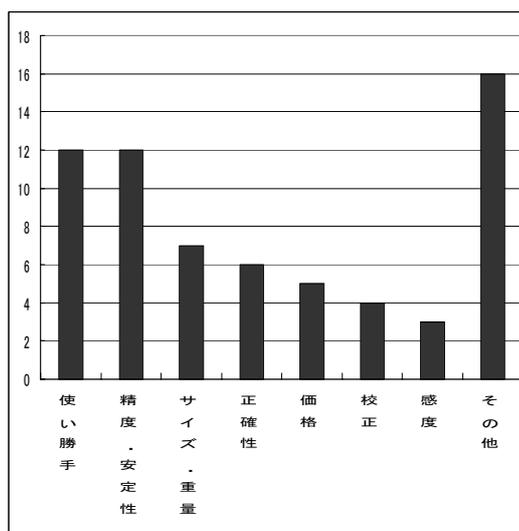


図4-2-3 モバイル型分析機器の課題
(モバイル型分析機器ユーザー)

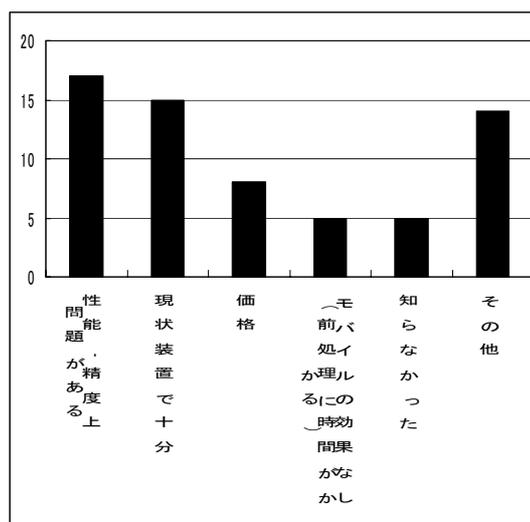


図4-2-4 モバイル型分析機器の課題
(モバイル型機器ユーザー外)

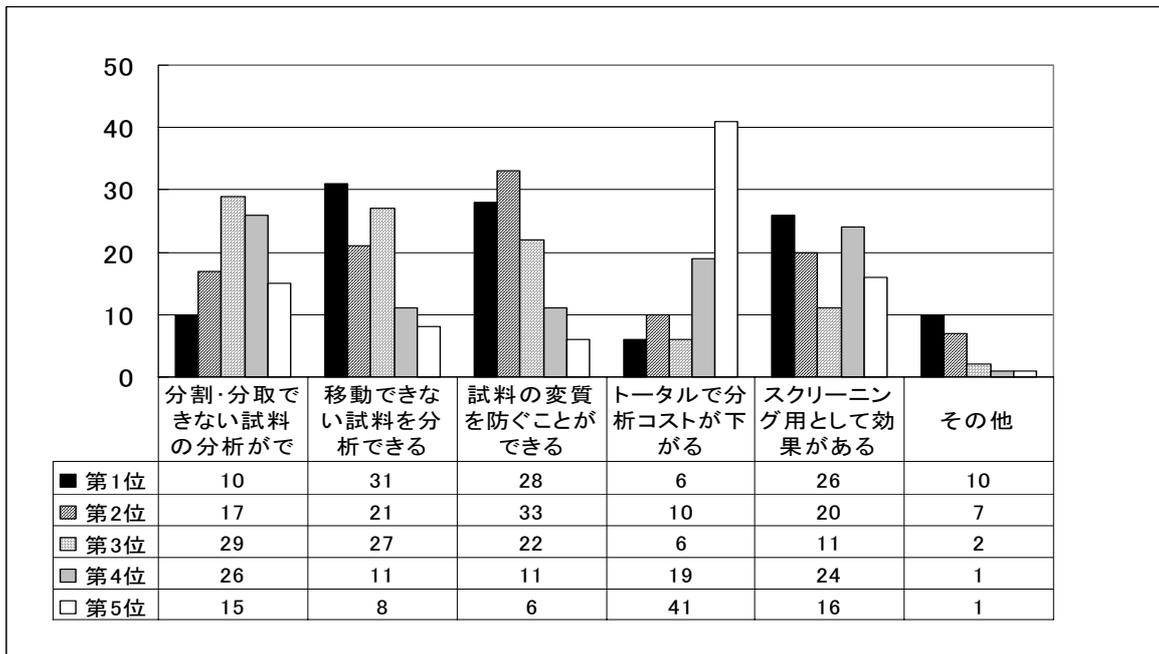


図4 - 2 - 5 モバイル型分析機器化のメリット

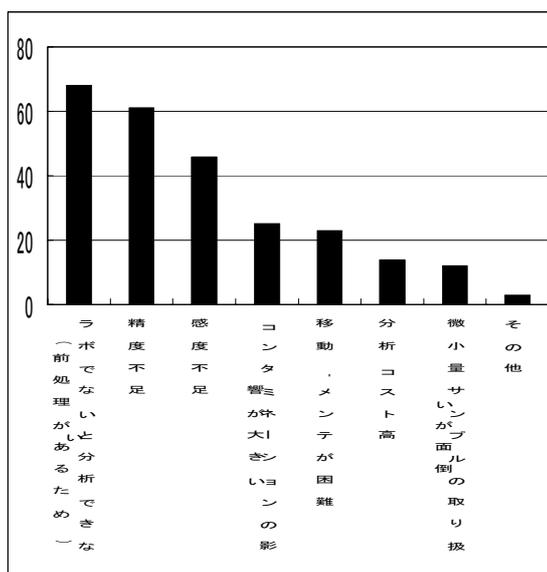


図4 - 2 - 6 モバイル化の効果のない理由

4 - 3 まとめ

普及が進まない要因として、「メリットがない」、「技術的に困難」、「法的規制」の3つが挙げられた。「メリットがない」理由は前処理が自動化されていないところにあり「技術的に困難」の理由は、精度と感度の不足、「法的規制」は環境分析では公定法で使用機器がラボ用分析機器に限定されていることによる。

障害となる要因として、多いほうから順に前処理の必要性、精度不足、感度不足が挙げられた。環境分析では公定法により、分析をする機種がラボ用のものに限定されているため普及が進まず、ランニングコストが高いとの指摘もあった。また、モバイル型分析機器が性能、機能に見劣りがするという誤解が根強いことも障害要因として指摘された。

第5章 調査研究の成果

5 - 1 調査研究の成果

(1) モバイル型分析機器の市場は環境分野から食品、医療分野に拡大

現状調査では、ニーズの高さは環境分野が圧倒的であるが、今後は食品、医療分野でのニーズが高まると思われ、アンケート結果にもそれが表れている。文化財保存分野は、モバイル機器の長所が最も生かされる所であるに違いないが、市場の広さは限られる。現在のところ、環境分野での対象は、花粉などを除けば非生物無機体が圧倒的であるが、食品、医療分野では病原菌など有機的生体が対象となり、増殖や変性に対応するためにより高度で短時間分析能力を持つモバイル機器が必要となる。

(2) モバイル型分析機器の普及には前処理機能の自動化が必須

ユーザーの声の中には、ラボ分析機器の性能を保持したままでのモバイル化を望む希望が多い。また、検出感度を保持するためには、機器自体のハード的感度向上と共に濃縮や分離を含む複雑な前処理が必要であり、前処理への要望は尽きないと思われる。ラボ用機器対応と同様の前処理をモバイル機器に望むのはもともと困難であるが、モバイル化のための前処理用マイクロロボットの研究は今後必要であり、この部分へのマイクロTASの利用が大いに期待される。

(3) モバイル型分析機器に対する認識に実態との隔たり

調査結果では、モバイル型分析機器化への一般認識は、性能に限度があり、小型でローコストというのが大勢である。モバイル条件を満たそうと思えば、感度、精度などの機器性能がラボ用機器に対して劣るのは自明であるのでフィールドスクリーニング用として割り切ることも必要である。モバイル化のための軽量化、機械的堅牢さ、防爆性、通信機能の強化、電源対策などに予想以上のコストが掛かり、性能の割には高価なものとなるという認識も必要となる。それよりも、輸送中のコンタミや変性を受けたサンプル試料を高性能のラボ用機器で分析した方が良いのか、フレッシュなサンプルを即現場で低性能のモバイル機器で分析した方が良いのかの長短を考えるべきであろう。

(4) 分析機器メーカーの積極的な取り組みが求められる。

今回の調査で、モバイル機器に対するユーザーニーズをある程度把握することが出来た。予想通り、フィールド用のモバイル機器には、宇宙、海洋、地質、農水食品などの分野で、各個分野に密着した御用達専門メーカーが対応しており、勘と経験によって機器が組み立てられていることが多い。技術力の高い老舗の分析機器専門メーカーが、専ら多数共通ユーザーを相手にした量産機種のみに対応してきたからである。極論すれば日本分析機器工業会会員でない小メーカーがモバイル化に一役買って来たといえる。しかし、多様な用途に対応してその用途に応じて個別にモバイル型分析機器を開発すると多額の開発費と多数の人材が必要となる。この点でも、モバイル型分析機器の共通的技术指針を確立が急務で

ある。

(5) このままでは日米間の格差は広がる

今回の調査結果に、平成12年度の特許出願技術動向調査分析報告書の結果を加味して分かるのは、モバイル型分析機器の分野でも、日米間に大きな開きがあることである。アメリカのモバイル機器のメーカーは、エネルギー庁、環境庁などからの支援を受けたベンチャーから発展したものが多く、現在、国際的にはテロ攻撃や化学兵器・生物兵器（防御兵器）としてのモバイル型分析機器の研究開発が機密裡に進められているともいわれており、とりわけ米国でのそれは強力であることは容易に理解できる。米国の産業空洞が軍事技術の民間移転で埋められ、1990年代の経済発展をみたように、今後のモバイル機器の分野でも、軍事技術の民生化により日米技術格差は益々広がるであろう。

5 - 2 今後の課題

地球環境問題の高まりや、海外からの農薬に汚染された食品の問題等、モバイル型分析機器を必要とする社会的な状況が高まりつつある。モバイル型分析機器は、このように我が国の社会的な基盤を構成する重要な機器である。米国に益々水をあけられると思われるモバイル型分析機器の開発について、今後、我が国の分析産業がもつラボ用分析機器等で保有する競争力を生かして、世界をリードするための課題は以下ようになる。

1) モバイル型分析機器の種類と用途の明確化

モバイル型分析機器をトランスファーブル（可搬型）、ポータブル（携帯型）、ウェアラブル（装着型）の三者に分類し、各種分析手法と分析機器の対応能力をきめ細かく検討し、「その場分析」環境とのマッチングを検討する。

定量に目的を絞った専用モバイル機器は既に市場に幾つか出回っているが、分析対象化学物質種や化学量を限定すればするほど小型化は容易になる。また、分析化学種を限定して絞り込めば、定量性能をラボ用機器に近づけることも可能である。不特定化学種に対応するには、定量に加えて定性やスペシエーション能力が必要になり、小型化の制約が大きくなるのは必然である。それは、ラボ用機器に近いモバイル機器という理想の姿を実現する方向であり、勢いコスト高を招くのは止むを得ない。妥協の産物として、定性・半定量用という機器も一つの形態と考えられる。

定性・定量の両目的に適う機器としては、光、X線、などの電磁波や電子・イオンなどの荷電粒子のスペクトルを利用するものや、移動相と固定相間の相互作用や電気泳動などによる分子やイオンの時間的・空間的パターンを利用するものが主流であり、機器としても複雑化する。

以上のように、分析手法や機器構成要素が三者に分類されたモバイル化の形態や、要求分析機器性能にどのように適合しうるかの検討には、機器メーカーとユーザー側のベテラン技術者の知識と経験の結集が必須である。

2) マイクロ化学分析チップ研究開発グループとの連携

前処理不要あるいは単純な前処理で済むドライな物理分析手法と、流体系を用いるウェットな化学分析手法のモバイル化に向けての長短を、分析対象ならびに分析環境を考慮しながら十分に検討する必要がある。モバイル化が分析感度や確度の低下という一般的な宿命を持つ以上、抽出、濃縮、分離、発色などの前処理がこれをカバーするという局面も逆に多くなることも十分考えられる。また、外国では消防士が質量分析計を使うという例があるように、モバイル型分析機器は分析化学者のみが使うとは限らない。この点でも、ウェット系を含む前処理部の小型化、簡便化は勿論のこと、そのロボット化への期待が大きい。ウェアラブル型ではマイクロ分析チップの独壇場となるが、可搬型や携帯型でも前処理部分としてのマイクロ分析チップへの期待は計り知れない。モバイル化の実現に当たり、マイクロ化学分析チップ研究グループとの密なる連携が不可欠である。

3) モバイル型機器系での感度と確度の限界の検討

ラボ用分析機器では、検出感度の向上と確度の保持が至上命令であり、そのための努力が営々と続けられてきた。究極的には、実際に測定器がカバーする試料ボリュームの中に目的化学種がどれ位存在し、それらの中の何パーセントが機器スルーットを介して目的信号量に変換されるかという点に絞られる。機器の信号変換効率やSN比が一定とすれば、機器が対応する試料空間内にある目的化学種の数が出検限界を決めるので、モバイル型分析機器の限界もこれによって左右されることは自明である。機器を小型化したときの感度や確度の推定は、大型ラボ用機器の試料空間の縮小化と、機器効率のスケールファクターの推定によって、ラボ機器による感度・確度限界のシミュレーションも可能であり、この検討も重要事項である。何れにせよこれらの検討は、ラボ機器からのトップダウンとミニ要素部品側から見たボトムアップの流れ、その両者を並行して進めるべきである。

4) モバイル化のための要素部品と要素技術の選択と開発

信号処理やデータ処理のための要素部品は殆ど問題はないが、まだセンサー部やアナログ信号処理部、インタフェース回路などには解決すべき点も少なくない。モバイル化の大きなネックは本体機器の中の要素部品である。送液ポンプ、真空ポンプ、電源などの小型化とともに代替技術の確立、機械的可動部分を避けるための要素技術も不可欠である。

報告書の冒頭に述べた提案事項では、まずは、自然環境下で非破壊的分析が実行でき且つ真空系を必要としない光やX線など電磁波を用いた物理分析法を取り上げ、その中でも原子から高分子まで広い化学種に対応する光分析機器モバイル化の具体的実行案を示している。その理由としては、上述した各制約が比較的容易にクリア出来ることに加えて、オプトエレクトロニクス市場の活況の中、多彩な光部品やデバイスが安価に供給されるようになったことがある。

光源や励起源としての小型半導体レーザーや発光ダイオード、柔軟な導光光学系である光ファイバーや光バンドル、分光素子である各種フィルターや小寸ホログラフィック回折格子、ダイオード・CCD・MOS型の各種アレイセンサーなど、素子やデバイスは極めて豊

富であり、この中からモバイル型光分析機器に適合するものの選択手法を確立することも大きなポイントである。いうまでもなく、モバイル用として新たな素子・デバイス技術の開発も並行して行う必要もある。

5) システム化手法の開発

素子・デバイスやサブシステムを結合してモバイル化光分析システムを構成するには、最初に述べたモバイル機器化の必須条件を満足させるためのシステムの結合技術が不可欠である。そのためには、前処理を含めた試料導入系からコンピュータを含むデータ処理ならびに制御系に至る、一貫した全システムの合理的構成を目標としなければならない。

システム化で重要なのは、機器システム全体を軽く丈夫に構成するという常識的な考え方を覆し、軽量・堅牢な複数のサブシステムを現場に持ち込み、測定場所で簡単にシステムが組み立てられるという設計コンセプトを持ち込むことも必要である。具体的には、建築・土木現場で活躍する測量機器を考えればよい。モバイル化光分析機器では、環境計測用オープンパス分光光度計がその事例となろう。

モバイル化の場合にも、システム化はコンピュータ抜きでは語れない。機器間や中央分析センターとの高速通信ネットやGPSによる位置確定などは当然ながら、ここで強調したいのは、波形や画像を扱う定性分析用のデータ回復処理である。モバイル化に基づく機器性能の劣化は、データ処理プログラムによってある程度回復可能だからである。データ復元用のロバストかつ信頼度の高いコンパクトソフトの検討も、重要課題の一つである。

6) 分析値のバリデーション

定性のためのデータベースや定量のための標準試料について、フィールド分析用に専用化したものをどのように準備すべきかも、バリデーションに関連した重要課題である。試料マトリクスを十分考慮に入れた標準試料をどのように現場に持ち込むか。現在でも、携帯用の標準試料キットや試薬キットなどが出始めているが、モバイル型分析機器が普及すると多くの問題点が浮き彫りになること必定である。固体標準試料はさておき、気相や液相の標準試料の携帯については種々の制約が出ると思われる。分析手法によっても大きく左右されるのは当然であり、バリデーションから見た公定法の確立も、ラボ分析とは全く別の枠組みの中で考えられるべきであろう。

7) バイオや医用分析機器グループとの提携

変性、増殖、耐性の性格を持つ生きた微小生体を相手にするフィールド計測は、遺伝子組換え技術がクローズアップしたその昔、いわゆる組換え体の物理的封じ込めのための監視技術として重要視された。現在では、バイオや化学兵器がテロへの恐怖と重なって表沙汰になりつつあり、そのためのフィールド監視用のモバイル型分析機器に関心が集まっている。しかし、殺伐な話よりも、食品汚染や院内感染など身近にモバイル型分析機器の対象が多いことを認識すべきである。これまで化学的物質が主たる対象であった一般分析機器分野でも「生き物」をターゲットとした機器に関心を広げる必要があり、モバイル化がそれを加速することは目に見えている。これを契機に、バイオや医用機器グループとの連

携が強く望まれる。

8) 規制の一元化と技術革新の進展を阻害しない規制の運用

一方モバイル型分析機器の開発と共に、その普及については規制の一元化と技術革新の進展を阻害しない規制の運用が望まれる。前にも述べたようにモバイル型分析機器の必要性は今後、環境分野のみでなく、食品分野やバイオ分野へと拡大する。これはモバイル型分析機器が様々な法律や省令により決められた規制値を達成できているかどうかのモニターや診断に使用されるためである。このために分析値の信頼性の確保等に万全を期する必要があるが、半面、せっかく開発したモバイル型分析機器が公定法に定められた手法でないためにその普及が進まない懸念がある。また、各省庁がそれぞれ規制をすることにより、一つの物質に対して複数の規制が存在するが、これらの整合性についても調整をする必要がある。ラボ用の分析機器とは別の規制方法をとる等のことも考えられるがいずれにせよ、今後の課題である。

以上、調査結果を踏まえて今後のモバイル型分析機器の課題の幾つかを挙げてみた。これらから結論付けられるのは、モバイル機器を単にラボ用機器のダウンサイジングと見るのではなく、「ラボ用機器とは一線を画した別の機器分野である」という認識を持つべきことである。公定法の設定にしてもモバイル分析機器用という別枠の中で扱う流れが始まることを期待している。

- 禁無断転載 -

14 - R - 4

モバイル型分析装置の現状と将来展望に関する調査研究
報告書
- 要旨 -

平成15年3月

作成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田1丁目4番28号

TEL : 03(3454)1311

委託先 社団法人 日本分析機器工業会
東京都千代田区神田小川町3丁目22番

TEL : 03(3292)0642