

高スループット委託分析ラボにおける 従来型金属分析手法と ICP-MSの相対コストの比較

アプリケーション

著者

Steve Wilbur
Agilent Technologies, Inc.
3380 146th PI SE Suite 300
Bellevue, WA 98007 USA

要旨

フレームレス原子吸光法および誘導結合プラズマ発光分光分析法を使用する金属分析ラボのために、誘導結合プラズマ質量分析法へ移行した場合のコスト削減額を計算できるコストモデルを作成しました。ここでは、アメリカにおける複数の典型的なラボでの結果を例として紹介します。

はじめに

環境・半導体・地質・ライフサイエンス分野の多くの分析では、過去5年間で誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）の需要が急速に増加しています。この増加には、3つの要因があります。第1には、多くの分析において、各金属で要求される検出限界がますます低くなっていること。第2の要因は、最新のICP-MS装置の性能、信頼性、使いやすさが大幅に改善されていること、そして第3の要因はその経済性が挙げられます。

これまで、ほとんどの元素分析では、原子吸光分析法（AA）か発光分光分析法（OES）が用いられてきました。一般に、超微量（サブppbレベル）の元素測定には、極めて感度の高い単一元素分析手法であるフレームレス原子吸光法（GFAA）が用いられてきました。また、微量および少量（ppbからppmレベル）の元素測定には、感度では劣るもの

の、同時に複数元素を分析できる誘導結合プラズマ発光分光分析法（ICP-OES）が用いられてきました。

現在では、各種サンプル中の多くの元素において、サブppbレベルの検出限界が要求されるようになってきていることから、ICP-OESの有効性は低下し、GFAAへの依存度が高くなっています。しかし、GFAAは感度こそ高いものの、分析速度が遅く、分析コストも高いうえに、ダイナミックレンジにも限界があります。GFAAの分析速度がICP-OESよりも大幅に遅いため、多くのルーチンラボでは、GFAAでの分析が必要な元素ごとに専用のGFAA装置を用意し、複数のGFAA装置を1台のICP-OES装置と併用しています。さらに、水銀分析の場合には、第3の手法として、冷蒸気原子吸光法か原子蛍光法も必要となります。ただし、モデルを簡略化する狙いから、ここで用いた例では個別の水銀分析手法は除外しています。それぞれの手法には、個別のサンプル処理や調製手順のほか、個別の分析、データ処理および保存が必要となる場合があるため、サンプルあたりのコストが大幅に増加することになるからです。

本アプリケーションノートの目的は、高感度・複数元素のルーティン分析装置としてのICP-MSの生産性およびコスト効率を検証し、ICP-OES、複数のGFAA装置、および水銀分析装置の代替手法として、単一のICP-MS装置をルーチン元素分析の大部分に導入する可能性を探ることです。さまざまなタイプのサンプルの分析にICP-MSを応用できることは、すでに良く知られています。最近では、Agilentの7500シリーズICP-MS装置にオクタポールリアクションシステムが導入されたことで、ICP-MSがGFAAやICP-OESの完璧な代替手法となるのを妨げてきた、性能に関する最後の課題が解決されました。



Agilent Technologies

手法

本研究を効率化するために、スプレッドシートを用いたサンプルコスト比較モデルをExcelで作成しました。このツールを使えば、サンプルの数や種類のほか、サンプル調製・装置使用・分析にかかるコストの詳細なパラメータを設定することができます。これにより、サンプルあたりの分析コストが出力されます。また、サンプル分析に要する1か月あたりの総時間、必要な分析回数、装置数もレポートされます。このモデルでは、GFAA、ICP-OES、ICP-MSの各結果を比較できます。ほとんどのパラメータは、ほぼどんな値でも入力することができ、提示される結果は、同様の分析を行なう複数の委託分析ラボから得られた値に基づいています。すべての状況における結果を正確に予測できるモデルはありませんが、使いやすくするために単純化することはできます。そのため、単純化する狙いから、モデルのデザインおよび実例データの入力にあたっては、いくつかの仮定条件を設定しました。これらの仮定は現実的なもので、結果に大きな偏向をもたらすものではありません。この使いやすいツールにより、ラボ独自の情報に基づき、上記3手法のコスト効率を簡単かつ迅速に評価することができます。

仮定条件

- GFAAシステムのコストは3万USドルとする。
- ICP-OESシステムのコストは10万USドルとする。
- ICP-MSシステムのコストは18万USドルとする。
- 資金コストは6%とする。
- 通常の施設コスト（空間コスト、光熱費など）については、概算が困難で、たいいてい場合は結果に大きく影響しないため、度外視する。

- 装置のオペレーター1人につき、最新の自動GFAA、ICP-OES、またはICP-MS装置を1日あたり2シフト（16時間）稼働できるものとする。いずれの手法でも、1日あたりの分析時間が16時間を越えた場合には、追加の装置使用およびオペレーターが必要となる。装置は1台単位で追加する。オペレーターについては、該当者がラボの他の作業を並行して行なう場合、対象となる分析に費やした時間の割合に基づいてコストが計算されるため、分数で追加する。
- GFAAは単一元素分析手法とする。複数ランプを備えた装置も、1回につき1元素の分析を行なうものとする。一般的な分析時間は1元素あたり90秒で、各元素につき2度の繰り返し分析が要求されるものとする。
- ICP-OESとICP-MSは複数元素分析手法で、元素数は分析時間に大きく影響しないものとする。これは厳密には正しくないが、単純化という点を考慮すると、この仮定は妥当といえる。
- GFAAには加圧アルゴンを用い、消費時間はシリンダあたり40時間とする（100ドル）。
- GFAA黒鉛チューブとプラットフォームのコストは1セットあたり50ドルとし、100回の分析に耐えるものとする。
- ICP-MSとICP-OESには液体アルゴンを用い、消費時間はデュワー瓶あたり3週間とする（250ドル）。
- ICP-MS検出器の寿命は3年とし、3年の寿命に基づき1年あたりのコストを償却するものとする。

結果

ラボの現在の装置使用状況や、現在および今後に予想される1か月あたりの分析サンプル数がさまざまに異なる複数の典型的なラボを例に、コスト効率を評価しました。また、検出限界の要件上、GFAAでの分析が必要とされる元素について（ICP-MS未所有のラボの場合）、元素数が効率に与える影響も検証しました。

例1

このラボは現在、GFAA1台とICP-OES1台を所有し、分割払いを継続しています。ICP-MSについては、新たに購入して3年で償却する必要があります。表1参照。

表1. 例1

サンプル数/月	GFAA分析 元素数	必要な GFAA台数	コスト/サンプル GFAA + ICP-OES	必要な ICP-MS台数	コスト/サンプル ICP-MS	節約額/月
400	8	1	\$41	1	\$30	\$4,536
1000	8	2	\$33	1	\$15	\$18,196
5000	8	9	\$31	2	\$9	\$112,968

例2

このラボは現在、GFAA2台とICP-OES1台を所有し、分割払いを継続しています。ICP-MSについては、新たに購入して3年で償却する必要があります。表2参照。

表2. 例2

サンプル数/月	GFAA分析 元素数	必要な GFAA台数	コスト/サンプル GFAA + ICP-OES	必要な ICP-MS台数	コスト/サンプル ICP-MS	節約額/月
400	8	1	\$41	1	\$30	\$4,536
1000	8	2	\$32	1	\$15	\$17,283
5000	8	9	\$31	2	\$9	\$112,055

例3

このラボは現在、どのような装置も所有しておらず、GFAAとICP-OESの組み合わせ、またはICP-MSのいずれかを購入する必要があります。表3参照。

表3. 例3

サンプル数/月	GFAA分析 元素数	必要な GFAA台数	コスト/サンプル GFAA + ICP-OES	必要な ICP-MS台数	コスト/サンプル ICP-MS	節約額/月
400	8	1	\$51	1	\$30	\$8,491
1000	8	2	\$37	1	\$15	\$22,151
5000	8	9	\$32	2	\$9	\$116,923

例4

GFAAで分析する元素数を変数として、サンプルあたりのコストを比較しました（装置はすべて購入の必要があります）。表4参照。

表4. 例4

サンプル数/月	GFAA分析 元素数	必要な GFAA台数	コスト/サンプル GFAA + ICP-OES	必要な ICP-MS台数	コスト/サンプル ICP-MS	節約額/月
1000	2	1	\$24	1	\$14	\$9,601
1000	4	1	\$28	1	\$14	\$12,751
1000	8	2	\$38	1	\$14	\$22,151
1000	10	3	\$42	1	\$14	\$27,490

考察

すでにGFAA2台とICP-OES1台（一般的な構成）を所有し、ICP-MSを購入する必要があるラボを含め、すべてのケースでサンプルあたりのコストはICP-MSのほうが低くなっています。これはおもに、GFAAでは消耗品コストが高くなるほか、GFAAとICP-OESで別々のサンプル調製手順が必要となるためです。また、1か月あたりのサンプル数が少なめの400から1000、さらには5000と増えるに従って、コストの差は格段に大きくなります。この要因としては、GFAAの労働コストが著しく増加することに加え、ICP-MSではサンプル容量が極めて高いうえに消耗品コストが低く、サンプル調製も1度の手順で済むという点が挙げられます。

ICP-MSの投資利益率

上記の表から、簡単な投資利益率（ROI）を算出することができます。このケースでは、新しいICP-MSシステムの1か月あたりのコストは、約5500.00USドルです（購入価格を18万USドル、資金コストを3年間で6%と仮定）。図1では、すでにGFAA2台とICP-OES1台を所有するラボにおける利益回収時間を、サンプルのロード数を変数としたグラフで示しています。グラフのY軸は、GFAA + ICP-OESに代わってICP-MSを導入した場合の、3種類のサンプルロード数における1か月あたりの累積節約額を表しています。それぞれのサンプル数に対応する3直線を、ICP-MS装置の未払い残高の直線と比較しています。グラフからもわかるように、1か月あたり2000サンプルの場合、ICP-MSの累積節約額は、わずか4か月で未払い残高と等しくなっています。1か月あたり400サンプルの場合でも、累積節約額は約20か月でICP-MS装置の金額を回収できるレベルに達しています。このケースでは、GFAAの分析元素を8種類と仮定しています。その他の仮定は、前述のとおりです。

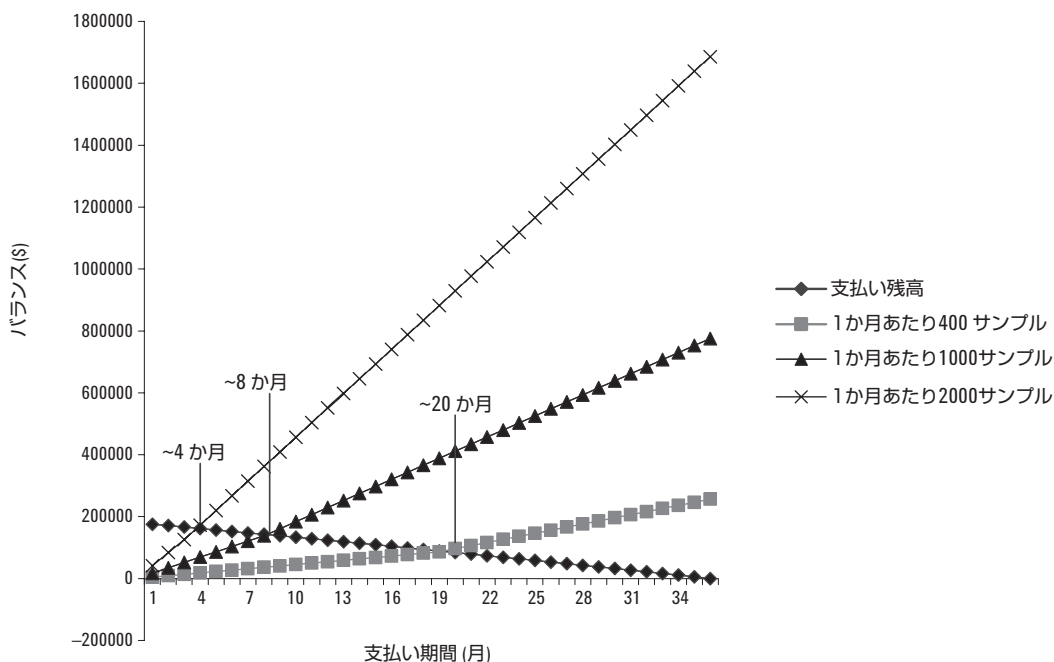


図1. ICP-MSの月ごとの未払い残高と比較した、3種類のサンプルロード数におけるICP-MS購入の累積投資利益率。このケースでは、バランスがローン残高と等しくなった時点で、累積節約額をローンの返済に充てると仮定しています。その時点で、1か月あたりの純利益は、ローン支払額の差額ごとに増加していきます。例えば、1か月あたり2000サンプルを分析するラボでは約4か月、1000サンプルでは約8か月、400サンプルでは約20か月でICP-MSの購入額を回収できます。36か月後（元々のローン支払い期間）には、400サンプルを分析するラボの純利益は20万ドル、1000サンプルでは75万ドル、2000サンプルでは170万ドルに達しています。

まとめ

GFAAとICP-OESを併用して週に少なくとも100サンプル（月に400サンプル）を分析している場合、ほぼすべての金属分析ラボで、ICP-MSに移行すればコストを削減することができます。サンプル数によっては、ICP-MSの元金をわずか数か月で回収できます。すでにGFAAやICP-OES装置を所有しているラボでも、コスト削減率が大幅に低下することはありません。また、GFAAで分析する元素の数が少なくても、コスト削減率にはあまり影響はありません。例4が示すように、少なくとも月1000サンプルを分析するラボでは、GFAAで分析する元素が2種類だけの場合でも、ICP-MSへの移行によるコスト削減額は1か月あたり約1万ドルにのぼります。さらに、ICP-MS分析の信頼性が向上していることや、GFAA（またはそれ以上）の検出限界レベルですべての元素を分析できること、さらには最新ICP-MSの頑丈さや操作の容易さを考え合わせれば、選択はきわめて簡単です。高スループットラボではICP-MSの生産性が高くなるため、装置の購入金額を迅速に回収し、ラボの収益性を大幅に向上することができます。

詳細情報

Agilentの製品およびサービスの詳細については、
当社のWebサイト (www.agilent.com/chem/jp) を
ご覧ください。

お問い合わせは： 0120-477-111
横河アナリティカルシステムズ株式会社
〒192-0033 東京都八王子市高倉町9-1

Agilentは、本文書に含まれる誤り、および本文中製品の据付、作動、または使用
に関連して付随的または間接的に引き起こされる損害については、一切の責任を負
いません。

本文書に記載の情報、説明、および仕様は、予告なく変更されることがあります。

© Agilent Technologies, Inc. 2004

Printed in the USA
January 17, 2005
5989-1585JAJP