



Agilent ICP-MS ジャーナル

2013 年 ダイジェスト版 – 第 50 – 54 号

本号の内容

- 2 トリプル四重極 ICP-MS を用いた超純水中のカルシウムの超微量分析
- 3 困難なサンプル分析において高精度の結果をもたらす ICP-QQQ : 米国で最初の導入事例
- 4 クイーンズランド工科大学に設置された 2 台の Agilent 8800 ICP-QQQ
- 5 ヨーロッパで初の 8800 導入事例
- 6-7 IC-ICP-MS による環境水中のイオプロミドの測定
- 8-9 FFF-ICP-MS を用いた金属ナノ粒子の特性解析
- 10-11 LC-ICP-MS を用いたリンゴジュース中のヒ素の定量
- 11 ナノ粒子分析に関する、3 テーマのウェビナー紹介
- 12 単一粒子 ICP-MS を用いたナノ粒子の分析
- 13 LA-ICP-MS を用いた鉱物研究の拡大
- 14-15 LA-ICP-MS を用いた、アリゲーターおよびニシアフリカコビトワニの皮膚の化学的的特性解析
- 16-17 HPLC-ICP-MS を用いた環境サンプル中のフッ化アルミニウム錯体および Al^{3+} の化学種の分析
- 18-19 ICP-MS MassHunter の新バージョン、Agilent コンプライアンスソフトウェアオプションの追加および USP<232> への対応
- 20 白金製コーン引取りプログラムのご紹介



トリプル四重極 ICP-MS を用いた超純水中の カルシウムの超微量 分析

Albert Lee, Vincent Yang, Jones Hsu,
Eva Wu and Ronan Shih
BASF Taiwan Ltd., Taipei, Taiwan
溝淵勝男
アジレント・テクノロジー株式会社

概要

半導体業界において、素子の性能および歩留まり向上を得るためには、作業工程における金属の不純物の管理は非常に重要です。デバイスの性能は上がり続け、不純物金属汚染管理はさらに厳しくなっています。例えば、生産工程で用いられる超純水 (UPW) に含まれる金属含有量はサブ ppt レベルが要求されています。現在、ICP-MS は、半導体プロセスに用いられる超純水や試薬の微量金属分析に適しており、その中でもシールドトーチクールプラズマ法は、広く使用されています。クールプラズマ法 (参考文献 1) とは、1990 年代中頃に開発されたもので、Na, K, Fe などのプロセス管理上、重要な元素をシングル ppt レベルで測定することを可能にした手法です。ICP-QMS に搭載されているコリジョン・リアクションセルは、2000 年頃から開発され、複雑な半導体マトリクスの直接分析を可能にしましたが、クールプラズマ条件下での検出限界値とバックグラウンド相当濃度 (BEC) の改善は見られませんでした。サブ ppt レベルの測定を実現するためには、より低い BEC の達成が必要です。Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-MS (ICP-QQQ) は、Ca の BEC < 50 ppq を達成する新たなリアクションセルテクノロジーを搭載しています。

実験

装置条件

半導体分析用標準装置である Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-MS (半導体分析用、オプション #200) を用いました。サンプル導入系は石英のトーチと同軸型 PFA ネブライザ (自吸用)、白金インターフェースコーンを使用しました。表 1 に示した通り、クールプラズマ条件である測定パラメータを用いました。

RF 出力 (W)	600
キャリアガス流量 (L/min)	0.7
メイクアップガス流量 (L/min)	1
サンプリング位置 (mm)	18

表 1. Agilent 8800 ICP-QQQ の測定パラメータ

従来の ICP-QMS に比べ、8800 は新たなマスフィルター Q1 を搭載しており、オクタポールリアクションシステム (ORS³) と四重極マスフィルター (Q2) の前方に配置されています。Agilent 8800 ICP-QQQ には、シングルクワッドモードと MS/MS モードという、2 つのスキャンモードがあります。シングルクワッドモードは ICP-QMS とほぼ同等の機能で、Q1 はイオンガイドとして機能します。MS/MS モードは、ICP-QQQ 特有の機能です。Q1 が 1 amu のバンド幅でマスフィルターの役目を果たし、セルに入射するイオンを制限します。つまり、⁴⁰Ca 測定の場合は、Q1=40 に設定されるため、質量数 40 以外の質量数のイオン (例えばクールプラズマの主たるイオンソースである NO⁺ など) は、全て Q1 で排除されるので、セル内での不要な反応を最小限に抑制できるメリットがあります。

検量線用標準溶液

0.1 % の高純度 HNO₃ を含む UPW (Ultra pure water) を加え、Ca の標準溶液 50 ppt、100 ppt を調整し、0.1 % の高純度 HNO₃ を含む UPW のブランク溶液も作成しました。

結果

図 1 に標準添加法 (MSA) を用い、シングルクワッドモードでのノーガスモード、MS/MS モードでのノーガスモード、流量 1 mL/min の H₂ を用いた MS/MS モードの 3 手法で Ca の測定を行った際の BEC を示します。1 番目のメソッドは Agilent 7700 ICP-QMS のクールプラズマ法とはほぼ同様の分析条件で、BEC は 6.8 ppt となり、既存の Agilent 7700 の BEC とほぼ同等でした。セルガスなしの MS/MS モードでは、BEC が 1.4 ppt に改善されました。さらに、流量 1 mL/min の H₂ を用いた MS/MS モードでは、BEC は 0.041 ppt (41 ppq) となりました。検量線を図 2 に示します。Agilent 8800 を使用して、従来の ICP-QMS よりも、BEC が 2 桁良く UPW 中の Ca を測定することができました。

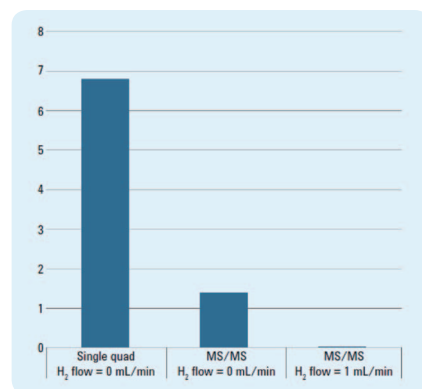


図 1. シングルクワッドモードのノーガスモード、MS/MS モードのセルガスモード、H₂ セルガスを流量 1 mL/min 用いた際の MS/MS モードでの測定結果。それぞれの Ca の BEC は、6.8 ppt、1.4 ppt、0.041 ppt でした。

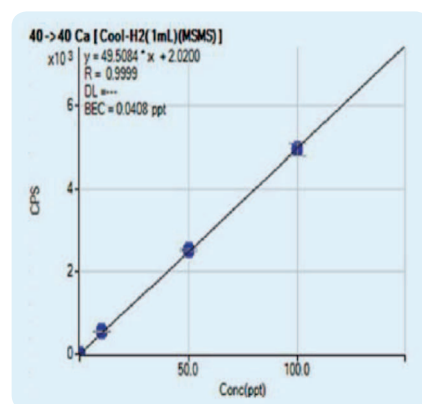


図 2. H₂ セルガスを流量 1 mL/min 用いた際の MS/MS モードの Ca の検量線

結論

Single-MS によるクールプラズマ法使用時において、プラズマソースイオンである NO⁺ は、セルに入射し、セル内に残留するわずかな Ar⁺ との衝突により、電荷移動反応により微量の Ar⁺ がセル内で形成され、Ca の質量数 40 に干渉します。Agilent 8800 ICP-QQQ の特長である MS/MS モードを使用すれば、セルに入射するプラズマ起因の干渉イオン (NO⁺ など) を遮断し、セル内での副生成物反応 (NO⁺ と Ar の電荷交換による Ar⁺ 生成) を回避することができま。また、微量な水素添加 (H₂ 1 mL/min) はクールプラズマ中で、生成されたごくわずかな Ar⁺ を除去するために用いられています。これらの特長から、Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-MS を用い、UPW 中の Ca の測定にて、BEC=41 ppq を達成することができました。

困難なサンプル分析において高精度の結果をもたらす ICP-QQQ : 米国で最初の導入事例

はじめに

バーミングハムにある Southern Research Institute にて、2012 年 6 月に米国で最初の Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-MS (ICP-QQQ) が納品されました。Southern Research は非営利な科学研究機関で、最新のテクノロジーにて、最高の R&D サービスをお客様に提供しています。最近では Agilent の GC-QTOF も米国で初めて納品されました。現在ラボに設置してある Agilent 7700x シングル四重極 ICP-MS の経験を踏まえ、8800 ICP-QQQ セットアップの最終確認を行い、据付テストは Agilent の John Deszell が行いました。装置は問題なく仕様をクリアすることができました。

会社概要

Southern Research はマテリアルのエンジニアリング研究、システム開発、環境およびエネルギー、前臨床薬物の発見および開発を行っています。ICP-QQQ は環境科学ラボに設置され、大気質や水質の改善、およびよりクリーンなエネルギーの生産のための技術開発に用いられます。Southern Research のシニアリサーチサイエンティスト、Mark Kelinske 氏によると、この新しい装置は様々なアプリケーションに用いられる予定で、50 % は研究用として、他の 50 % は既存のシングル四重極 ICP-MS と共に大量のサンプル分析に使われる予定です。Kelinske 氏は、ICP-QQQ は従来のシングル四重極 ICP-MS と同等の特徴を有しながら、タンデム型の MS/MS モードを使用することでデータの質と一貫性が大幅に改善されたと言っています。

複雑なサンプルでもより正確な結果を提供

ICP-QQQ では、従来困難であった煙道ガス脱硫 (FGD) 廃液中の As、Hg、Se、Cr などの元素について更に低い検出限界が得られます。総溶解不純物濃度 (TDS) が 6 % w/v の FGD など、複雑なマトリクスが存在する物質の分析に ICP-QQQ を用いると、最初の四重極 (Q1) のマスフィルターにて分析対象物が ORS³ セルに進入する元素を選択し、他の元素を排除できるという利点があります。プラズマ、およびマトリクス由来のイオンが Q1 で排除されるため、ORS³ の反応プロセスが正確にコントロールされ、複雑で、高マトリクスのサンプルでも精度の高い測定をすることが可能になります。



Southern Research Institute の Mark Kelinske 氏と 8800 ICP-QQQ

更に、ICP-QQQ に HPLC を繋げば、FGD 中の As、Hg、Se、Cr、S のスペシエーション分析が可能です。

本年末までに、米国環境保護庁 (US EPA) は、蒸気発電所から排出される廃液に適用されるガイドラインを改定する予定です。Southern Research の研究チームは、無期汚染物質の正確かつ精度の高い測定のための再現性の高いメソッドを開発し、新しいガイドラインの規定に遵守できるよう取り組んでいます。

パイオニアアプリケーション開発

電力産業における Southern Research とその顧客に対する関心や研究とは、有害物質の放出や温室効果ガスを低減可能な燃焼ガスの回収、隔離 (貯蔵) 技術の開発と促進です。

炭化水素の燃焼で生じる燃料ガスの CO₂ は溶媒に補足できます。溶媒中に長時間蓄積して最終的に CO₂ を補足する、Cr、As、Se、S、P のような有害元素を測定する必要があります。

ICP-MS を用いての有機溶媒の測定は、ペルチェ冷却スプレーチャンバーおよび周波数マッチング型 RF ジェネレータなどの装備により行うことができます。しかし、有機溶媒中のリンおよび硫黄は、炭素、窒素、酸素起因の多原子イオンによる干渉が存在するため、従来のシングル四重極 ICP-MS ではこれらの干渉を完全に除去することは困難です。

ICP-QQQ では、MS/MS モードを用いることで初段の四重極 Q1 で設定した質量数以外のイオンを除去できるため、大幅に感度が向上し、干渉イオン除去能が向上しました。測定質量数以外のイオンを除去してセルに入るイオンを選択することで、セル内の反応をコントロールでき、効率よく干渉を除去できます。Q1 はまた、セルで生成された生成物イオンと干渉する可能性のあるオフマスイオンを排除するため、マスシフトモードの反応ガスモードでの精度と信頼性が大幅に改善されます。

これにより初めて、Southern Research は、ICP-QQQ を用いて CO₂ 回収に使用された 30 % MEA (モノエタノールアミン) 溶液中のリンおよび硫黄に対応する信頼性が高く高感度の分析メソッドを顧客に提供することができるようになります。

今後の取り組みについて

Mark Kelinske 氏は 6 ~ 7 人の研究スタッフを率い、スタッフ全員が現在 7700x を操作し、ほどなく ICP-QQQ での測定も開始します。8800 は従来のシングル四重極 ICP-MS とほぼ同等の多くのハードウェア構成とソフトウェアを搭載しているため、新しい装置に慣れるまでに、それほど時間を要さないだろうと考えています。

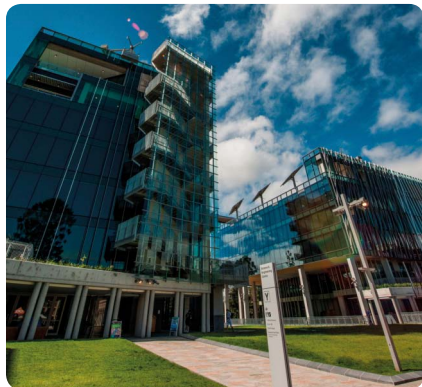
詳細情報

以下の Southern Research Institute のウェブサイトをご覧ください。

www.southernresearch.org

クイーンズランド工科大学に設置された さまざまな研究で 活躍する 2 台の Agilent 8800 ICP-QQQ

オーストラリアの首相は近年、オーストラリアのブリスベンにあるクイーンズランド工科大学 (QUT) に科学工学の教育および研究施設を開設しました。



新しい科学工学センター (写真参照) は、最先端に行く研究ラボで、「キューブ」と呼ばれる 2 階構造の講堂も併設されています。キューブは、世界的にも最大規模なタッチ & ディスプレイ機能を兼ね備え、ライブ科学実験を訪問者に提供し、家族や子供たちにとって理想的の場所であることを目指しています。またキューブでは、「見れる科学」と称して展示が行われており、研究者が内部および外部に研究を発表できる場を設けています。この試みは、下の写真にもあるとおり、科学工学センター内でも行われます。

科学工学センターは、Institute for Future Environments (IFE) に属しています。IFE は、世界の食糧安保、貴重な天然資源の管理といった問題を解決するための学際的研究を支援するために、最近設立された組織です。

IFE 内には、大学全体の科学および技術系学部の実験を支援するための中央分析部が設置されています。研究責任者の Charlotte Allen 博士 (写真) が分析ラボ



QUT 内のパブリックスペースより Agilent ICP-MS が見えるようになっています。



研究責任者の Charlotte Allen 博士と Sunny Hu 博士。センターが購入した 2 台の 8800 ICP-QQQ のうちの 1 台。この 8800 は、New Wave レーザーアブレーションシステムに連結されています。

を管理しています。最近導入された 2 台の Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-MS 機器の設定および使用については、Sunny Hu 博士 (写真) が責任を負っています。8800 の導入前、QUT は高分解能 ICP-MS とシングル四重極 ICP-MS の購入を検討していました。

8800 の発表のタイミングが偶然重なり、最高責任者の Ian Mackinnon 教授には、高分解能 ICP-MS と比較した場合に、8800 の分析許容量、柔軟性、および操作の容易さが本施設の処理量に与える利益がより大きいことをいち早く認識していただきました。偶然にも、QUT はアジアにて 8800 を最初に購入し、世界で初めて 2 台をオーダーしたラボとなりました。

1 台目の 8800 は、環境サンプル向けに使用される予定で、ASX 520 オートサンプラー、ISIS および HPLC を繋げて化学種別の分析も行う予定です。これは Hu 博士が担当します。写真の ICP-MS は、固体サンプルを直接分析できる New Wave レーザーアブレーションシステムに連結されています。このシステムは Allen 博士が監督します。QUT では、全般的なソリューション分析に Agilent ICP-OES を用いているほか、学部生の教育に 7500ce ICP-MS を使用しています。

8800 を発注した当時、IFE は組織構築と人材配備の最中でした。地質分野の研究にて既に Agilent の LA-ICP-MS での分析経験がある Allen 博士が担当者として分析ラボを統括し、鉱業、鉱物、地質、物質およびライフサイエンスなど、大学が目標とする様々なアプリケーション開発の発展を任せられました。そうした多様なアプリケーションに対応する必要がある QUT では、ICP-MS をできるだけ柔軟に使用するための機器機能が求められます。

ICP-QQQ の使用が必要なものについて、以下にある初期プロジェクト研究が行われました。

- 金属が小昆虫の外骨格の硬さに与える影響に関する研究
- 外科的移植部位周辺の骨および歯の成長に関する研究
- 地球が惑星としてどのように形成されたかを知るための先カンブリア時代の岩石中の希土類元素パターンの精密な研究

QUT は、Australian Research Council (ARC) Discovery Grant からの助成金を受賞し、様々なテクニックを利用した大陸堆積岩の年代測定を行い、遠隔大陸縁辺における造山運動の高堆積物フラックス効果を調査しました。崩壊して Pb となる U を含む砂中のミネラルの年代測定を行い、結晶化が完了した年代を特定しました。研究の目標は、大陸の中心部と縁辺の地殻の影響 (山脈や盆地の形成) の範囲をより深く理解することです。こうした地殻のプロセスは、陸上の資源ポテンシャルに直接的な影響を及ぼします。

Allen 博士に、いち早く使ってみたいアプリケーションを尋ねたところ、8800 の据付から日が浅く、まだ操作をする状態ではない、ということでしたが、「早くこの装置を動かして、性能を見てみたい」と、楽しみにしているようでした。Allen 博士は、同僚が大学内の異なる施設と研究面で多角的に交流を深め、その中で LC や LA と 8800 がいかに有効なものであるかを認識して欲しいと期待しています。博士はまた、自分の研究のためにも時間を見つけて実験を行いたいと願っています。

ヨーロッパにおける 最初の 8800 導入事例

ヨーロッパで初の 8800 はドイツの旧 GKSS として知られる HZG Helmholtz Zentrum Geesthacht Institute に海岸研究のために納品されました。このラボには、2000 年 1 月に初の Agilent 7500 ICP-MS が納品され、7700 ICP-MS が初期に導入されたラボの一つでもあります。2 つの写真は、海洋生物分析化学課の Andreas Prange 教授 (中央)、Agilent ICP-MS のサービスエンジニアである Hans Kavka (右)、Agilent ICP-MS のヨーロッパサポートスペシャリストの Glenn Carey (左) が 12 年前と現在で変わらぬ姿で映っています。Geesthacht Institute に初の 8800 が納品されたということは、アジレントが長年 HZG と良いコラボレーション関係にあるということも証明しています。



2000 年 1 月に撮影された、HZG ラボでの Agilent 7500 ICP-MS

Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-QQQ が海洋生物分析化学ラボにもたらす利益を考える-環境サイエンティストの Daniel Proefrock 博士のインタビュー

- 本研究所は主にどのような無機分析を行っていますか?他にどのような装置を所有していますか?

我々の部署では、北海で採取した生物蓄積物と毒性物質 (PBT) の空間-時間分析を行っています。海洋有機物の影響も研究の対象です。現在では、ポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE) およびカドミウムやニッケルなどの重金属、ヒ素やトリブチルスズなどの金属種およびプロテインのバイオマーカー (CYP 450 などの解毒酵素や HSP などのストレスマーカー) などの研究も行っています。



ドイツ、ゲーストハットにある HZG ラボにて据付された Agilent 8800 ICP-QQQ

主な目的は、新たな統合的手法を開発し、生化学的パラメーターの指向定量測定とともに有害化合物の空間的かつ時間的解決の決定を行うことです。これは、水質活動の影響に関して、海洋環境の汚染レベルの評価向上のための新たな基盤を提供します。

時間積分による代表的な結果を得るために、パッシブサンプラー (ポリマーシートなど) ならびにアクティブサンプラー (ムラサキガイ) などが PBT 物質の濃縮のために使用されます。アクティブサンプラーの配備により、測定された化学的パラメータと生物学的効果をリンクすることができるようになり、物質に関連した効果をバイオマーカーの使用によって明らかにすることができます。

CRC-ICP-MS のほかに、本ラボでは高分解能 ICP-MS や、ICP-MS と繋げて化学種分析に用いられるさまざまなクロマトグラフ、さらに ESI, MALDI-MS を所有しています。

- ICP-MS の処理量をふまえ、分析において一番困難なことは何ですか?

分析において一番困難なのは、目的元素の濃度が低い上に複雑なマトリクスが存在する環境サンプルにて測定を行うことです。

- 現在の ICP-MS メソッドにおいて、8800 でしか評価しないといけなようなものはありますか?

感度に加え、一部のマトリクス存在下での厳選された元素の分析は、セルガスによる制限があるため、ICP-QQQ で評価することになります。

- 本装置をどのように評価しましたか?

既存の研究テーマに関連する、さまざまなサンプルを用いて評価を行いました。結果正確さ、確実さが、購入の決め手となりました。

- 8800 を用いた最初のプランは何ですか?

現在は、7500 cx で測定していた生物相のサンプルなど、環境アプリケーションのメソッドの移行を考えています。ICP-QQQ にて、セルガスの選択肢の増加と、MS/MS モードにより十分な結果が期待できると考えています。

- 8800 は貴研究所のアプリケーションにどのような利益をもたらしますか?

Cr, V, As, Se などの重要な元素において、干渉を低減し、より高い精度で測定ができると考えています。また、O₂ をセルガスとして用いることにより、環境プロテオミクスの分野において硫黄およびリンの高感度測定が可能になるのではないかと期待しています。

- 何名の技術者を 8800 向けにトレーニングするつもりですか?また、装置のハンドリングは容易であると思いますか?

始めは 4~5 人をトレーニングするつもりです。Agilent ICP-MS は、7500s, 7500c, 7500cx-cs, 7700cx と長年に渡って操作経験があるので、8800 も容易に操作できるのではないかと期待しています。

IC-ICP-MS による環境 水中のイオプロミドの 測定

Armando Durazo、Tarun Anumol、
Shane A. Snyder
アリゾナ大学、米国アリゾナ州ツーソン

イオプロミドはヨード X 線造影剤 (ICM) で、一般に g/L 濃度で患者に投与され、24 時間以内に患者の尿に排出されます。親水性がきわめて高く、非イオン性であるため、環境中にとどまりやすいという性質があります。ICM は下水処理の影響を受けにくく、複数の研究では、従来の処理プロセスではあまり除去できないことが示されています。

イオプロミドや他の ICM は、酸化と殺菌をおこなう水処理プロセスの際に、毒性のあるヨウ化消毒副生成物 (I-DBP) を形成することがあります。一部の I-DBP は、塩素化および臭素化消毒副生成物の数倍の毒性があることが知られていますが、現時点では、米国環境保護庁 (USEPA) などの規制当局の規制対象にはなっていません。

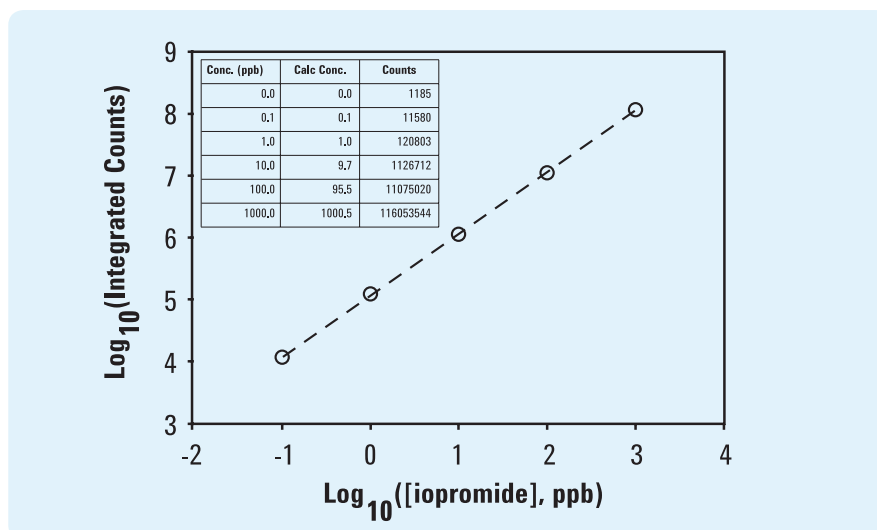


図 1. イオプロミドの検量線 (log log)。表にはキャリブレーション標準のレスポンスを記載。

実験手法

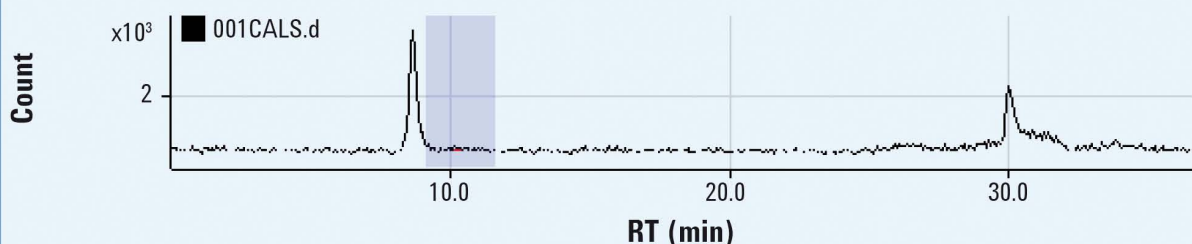
カリフォルニア州の河川沿いの規定のモニタリング地点で、環境水サンプルを採取しました。採取地点には、水処理施設に近い場所も含まれています。その後、水サンプルを前処理し、IC-ICP-MS で分析しました。詳細については、参考文献 1 に記載されています。

Agilent 7700x ICP-MS に Agilent 1260 HPLC を接続し、サンプル抽出液を注入しました。注入量は 500 μ L です。分離には、Dionex

IonPac AG16 (4 x 50 mm) ガードカラムと Dionex IonPac AS16 (4 x 250 mm) 分析カラムを使用しました。グラジェントの溶出パラメータおよび手順も参考文献 1 に記載されています。

Agilent 7700x ICP-MS は、高マトリックス試料導入 (HMI) モード (キャリアガス 0.5 L/min、希釈ガス 0.6 L/min、サンプリング深さ 9 mm) とヘリウムコリジョンモード (He ガス流量 3.5 mL/min) で使用しました。ヨウ素 (m/z 127) 強度は、時間分析

Full Time Range EIC/127) : 001CALS.d



Full Time Range EIC/127) : 002CALS.d

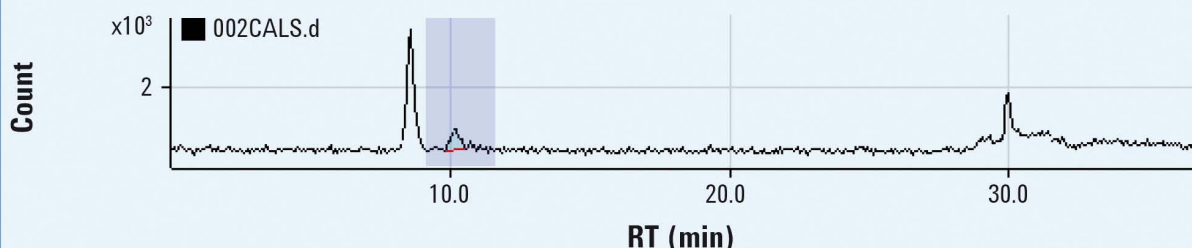


図 2. 水性ブランク抽出液 (上) と水性 0.1 ppb イオプロミド標準 (下) の注入から得られたヨウ素クロマトグラム (m/z 127) の比較。イオプロミドのリテンションタイムは 10.1 分

(TRA) モードを用いて 2 秒積分し、37 分間クロマトグラムを取り込みました。HMI を使えば、インターフェースコーンへのマトリクス堆積を最小限に抑えながら、高マトリクスサンプルを長時間分析することができます。また、He コリジョンセルを用いれば、 126XeH^+ などの質量 127 に影響を与える可能性のある多原子干渉を除去できます。イオプロミドの検量線は、濃度 0.0、0.1、1、10、100、1000 ppb の水性標準溶液を用いて作成しました (図 1)。

結果と考察

前述のメソッドを用いて、本研究で用いた濃度 0 以外のすべての標準溶液でイオプロミドを検出することができました。図 2 に示すように、0.1 ppb の測定で得られたクロマトグラムは、ブランクのものとは明らかに異なっています。また、検量線は 4 桁にわたって直線性が得られています (図 1)。この濃度範囲は、未希釈流出廃水などの環境水で観察されるイオプロミドの濃度レベルを網羅しています。

今回得られたクロマトグラムでは、イオプロミドに加えて、他の複数のヨウ素含有化合物が検出されました。化合物非依存性キヤ

リブレーション (CIC) を用いれば、ヨウ素含有量をもとに、これらの未知化合物種を定量することができます。CIC では、既知のヨウ化化合物のヨウ素レスポンスを用いて、未知化合物のヨウ素含有量をキャリブレーションします。このケースでは、既知化合物としてイオプロミドを使用します。高温の ICP イオン源は、目的元素 (本研究ではヨウ素) の応答が、目的元素を含む化合物の形態に依存しないことを十分確保するので、CIC を用いて他の化合物を算出することができます。これらの未知ピークに含まれるヨウ素含有量の定量結果を表 1 に示します。

結論

Agilent 1260 HPLC と Agilent 7700x ICP-MS を組み合わせ、環境水中のイオプロミドを定量することができました。本研究では、理論上水サンプルの下限残留基準値 (MRL) は 2 ppt となり、希釈抽出物中の 0.1 ppb イオプロミドの MRL を達成することができました。

参考文献

1. Agilent アプリケーションノート : イオンクロマトグラフィー ICP-MS による環境水中のイオプロミドの測定、5991-1044 JAJP



Agilent 1260 HPLC を接続した Agilent 7700x ICP-MS と Durazo 博士

詳細情報

アリゾナ大学の Snyder Research Group の詳細は、以下をご覧ください。

www.snyderlab.arizona.edu

サンプル データ ファイル	測定日時	タイプ	サンプル名	未知化合物 1 保持時間 5.2 分 濃度 (ppb)	未知化合物 2 保持時間 8.5 分 濃度 (ppb)	イオプロミド (I として) 濃度 (ppb)	未知化合物 3 保持時間 12 分 濃度 (ppb)	未知化合物 4 保持時間 30 分 濃度 (ppb)
007SMPL.d	4/20/2012 2:03 PM	Sample	SJC1	268.55	0.24	118.17	5.77	9.64
008SMPL.d	4/20/2012 2:48 PM	Sample	LAR Ref	1.43	0.23	0.07	0	55.55
009SMPL.d	4/20/2012 3:33 PM	Sample	LAR Eq blank	1.86	0.2	0.09	0	0.38
010SMPL.d	4/20/2012 4:18 PM	Sample	LAR 6	84.23	0.29	1.21	6.16	17.13
011SMPL.d	4/20/2012 5:04 PM	Sample	LAR 5	98.87	0.39	0.95	7.11	11.95
012SMPL.d	4/20/2012 5:49 PM	Sample	LAR 4	128.68	0.38	1.17	12.97	13.03
013SMPL.d	4/20/2012 6:34 PM	Sample	LAR 3	116.4	0.27	0.89	10.21	12.62
014SMPL.d	4/20/2012 7:19 PM	Sample	LAR 2	156.01	0.22	0.28	12.86	14.87
015SMPL.d	4/20/2012 8:04 PM	Sample	LAR 1	189	0.29	1.05	12.15	22.51
016SMPL.d	4/20/2012 8:50 PM	Sample	Eq blank	0.28	0.19	0	0	0.21
017SMPL.d	4/20/2012 9:35 PM	Sample	100 ppb STD	0	0.15	51.47	N/D	0.11
018SMPL.d	4/20/2012 10:20 PM	Sample	SGR ref	0.34	0.21	0.07	0	0.29
019SMPL.d	4/20/2012 11:05 PM	Sample	SGR 6	142.49	0.16	15.69	8.46	20.54
020SMPL.d	4/20/2012 11:51 PM	Sample	SGR 5b	194.45	0.12	16	11.2	14.92
021SMPL.d	4/21/2012 12:36 AM	Sample	SGR 5a	7.27	0.19	0.81	0.37	54.73
022SMPL.d	4/21/2012 1:21 AM	Sample	SGR 5	326.73	0.1	40.91	11.29	5.66
023SMPL.d	4/21/2012 2:06 AM	Sample	SGR 3b	24.46	0.28	0.54	3.95	6.56
024SMPL.d	4/21/2012 2:52 AM	Sample	SGR 3a	322.5	N/D	52.01	11.36	3.14
025SMPL.d	4/21/2012 3:37 AM	Sample	Blank	0.03	0.23	0.03	0	0.18

表 1. 全ての抽出液に含まれるヨウ素含有量の定量結果 (ヨウ素の濃度として) のまとめ

FFF-ICP-MS を用いた 金属ナノ粒子の 特性解析

¹Soheyl Tadjiki, ²Evelin

Moldenhauer, ²Tony Pfaffe

¹Postnova Analytics Inc., UT, USA

²Postnova Analytics GmbH, Landsberg,
Germany

Sebastien Sannac

アジレント・テクノロジー、フランス

はじめに

消耗品に用いられるナノ物質の製造と使用が急増したことにより、工業ナノ粒子 (ENP) の環境への放出が深刻になってきています。世界中の研究者が、健康被害や環境汚染への影響を考え、ENP の毒性を研究しています。

ENP の環境への影響を理解するための最初のステップは、強力で高感度な分析技術を構築し、複雑な環境マトリクス中の ENP を検出して分析することです。環境中に存在する濃度は 1 L あたりサブマイクログラムからナノグラムです。

従来の ENP 分析には、動的光散乱やエレクトロニクスマイクロブレイなどのバルク分析方法が用いられます。しかし、これらの分析方法は、環境サンプルのような幅広く複雑なサンプルに応用するには困難です。

遠心性フィールドフローフラクショネーション (CFFF) は、高分解質量ベースの分析手法で、6 nm から 30 μm のサイズ領域の水中および有機物中で散乱した天然の粒子および ENP を分離し分析します。

CFFF での分離は、遠心力場およびサンプル種との相互作用により決まります。CFFF のチャンネルは、ベルトのように遠心軸を取り囲みます。チャンネルの回転は、流れの方向と直角に異なる加速力を発生させます。サンプル種への垂直な場の力および拡散による移動のバランスが保たれた際、平衡となります。チャンネルの中央に近い場所に位置するサイズの小さいサンプル種は、大きいものよりも早く掃出されます。粒子サイズ (球相当径) は、参考文献 1 にある CFFF 理論を用いて溶出時間より計算しました。

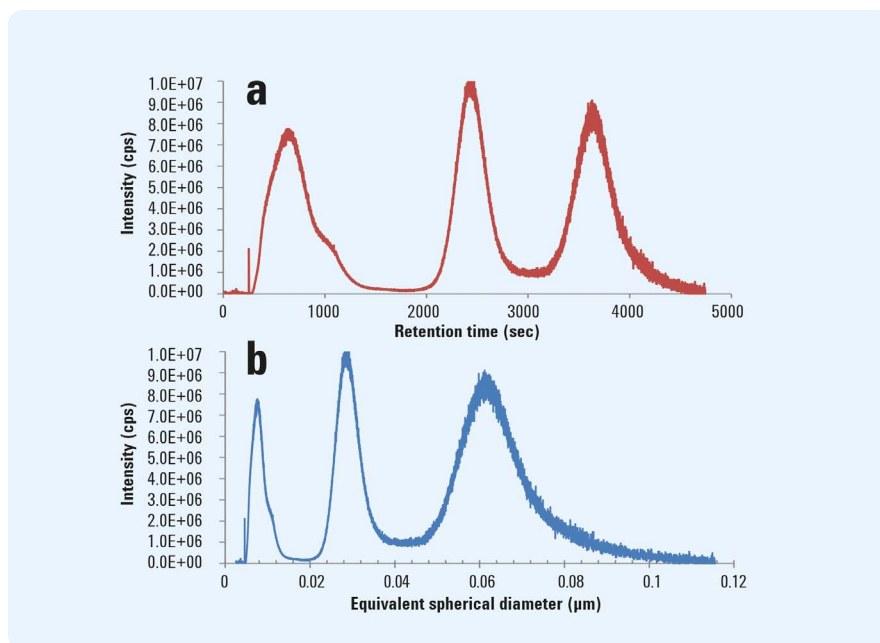


図 1. NIST 金ナノ粒子 10 nm、30 nm、60 nm 混合液の CFFF-ICP-MS 分析
(a) ^{197}Au の強度 (cps) と保持時間 (sec)、(b) ^{197}Au の強度 (cps) と球相当径 (μm)。球相当径は、CFFF 理論を用いて溶出時間より計算しました。

また、ナノ粒子の組成、コーティングの厚さ、コーティングの物質に基づく分離も行うことができます。この独自の特長により、組成が複雑な環境サンプルの分析にも適しています。

ICP-MS は、高感度な多元素分析テクニックを兼ね備え、天然の粒子や ENP の分析において低い検出限界 (ppt) を達成することができます。ICP-MS と CFFF を接続することにより、オンライン検出を行うことができます。このハイフネーテッドシステムでは、ENP における多元素ベースのサイズおよび元素比分布が得られ、総合的な元素の分析を行うことができます。

本研究では、金のナノ粒子 (NP)、類似するサイズ分布 (密度は異なるもの) を持つ金および銀の NP の混合溶液の分離および分析を行いました。

実験手法

材料

3 種類の金 NP 標準溶液 (10 nm、30 nm、60 nm) 50 ppm を National Institute of Standards and Technology (NIST) (米国メリーランド州ゲイザースバーグ) より購入しました。類似したサイズ分布 (公表平均径 20 nm)、公表濃度 56 ppm (Au NP)、3 ppm (Ag NP) の銀および金の NP 標準物質を英国、カーディフの BBI International 社より購入しました。

2 種類の混合液を購入した NP より調製しました。(1) 10 nm、30 nm、60 nm の Au NP 標準溶液を 1:1:1 の比で調整、(2) 20 nm Au、20 nm Ag NP 標準溶液を 1:9 の比で調整

測定条件

ドイツ、ランスベルグ、Postnova Analytics GmbH 社の CF 2000 システム (CFFF) を Agilent 7700x ICP-MS に繋ぎ、分離の際に ^{197}Au および ^{107}Ag の信号をモニターしました。動作パラメータを表 1 に示します。

表 1. CFFF-ICP-MS 動作条件

CFFF	
装置	CF2000
初期フィールド	4500 rpm
最終フィールド	100 rpm
t_1	10 分
チャンネル流量	0.5 mL/min
チャンネル厚さ	231 μm
リラクゼーションタイム	2.5 分
キャリア	0.05 % NovaChem*
注入量	5 & 20 μL

ICP-MS	
機器	7700x
ネブライザ	MicroMist
ネブライザ流速	1.02 L/min
メイクアップガス流量	0.1 L/min
サンプリング深さ	7 mm
RF 出力	1550 W
滞在時間	0.1 秒
モニターした同位体	^{107}Ag 、 ^{109}Ag 、 ^{197}Au

*Postnova Analytics 社のイオン性および非イオン性の界面活性剤の混合液

結果と考察

Au NP 標準物質の混合液

図 1a は、NIST 標準物質の混合液を CFFF-ICP-MS システムで測定した際の ^{197}Au の強度 (cps) と溶離時間 (秒) のプロットを表しています。プロットは、10 nm (570 秒) と 30 nm (2386 秒) 間の Au NP のベースライン分離、および 30 nm と 60 nm (3616 秒) 間のベースライン分離を示しています。10 nm の Au の標準物質には 1220 秒に小さなショルダーがあり、NP が凝集していることがうかがえます。

図 1b は、混合液中の ^{197}Au の強度 (cps) と CFFF 理論により溶出時間から算出された粒子半径のプロットを示しています [参考文献 1]。プロットは、7.4 nm、29.2 nm、59.5 nm を中心とした 3 つの標準物質のピークを表しています。10 nm の標準物質のピークにみられる小さなショルダーの半径は 12 nm と測定されました。

Au および Ag NP の混合液

図 2 に、CFFF-ICP-MS で測定された 20 nm 銀および 20 nm 金 NP 混合液の元素ベースのフラクトグラム (個別/全強度と保

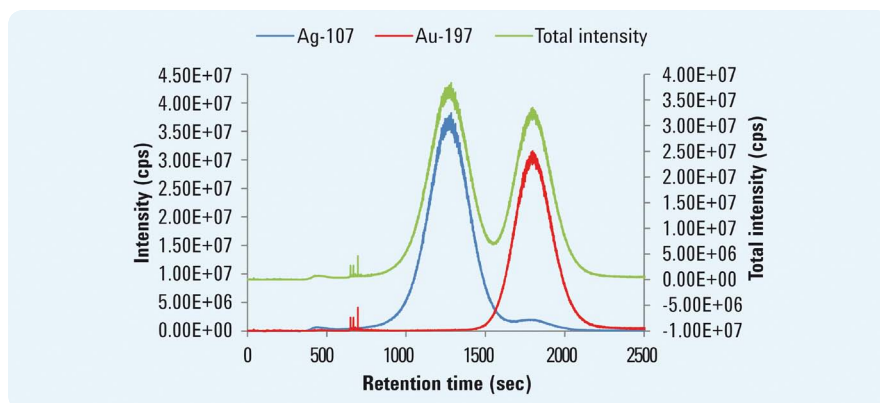


図 2. ハイフネーテッド CFFF-ICP-MS にて測定された 20 nm 銀および 20 nm 金ナノ粒子混合液中の ^{197}Au および ^{107}Ag の強度 (cps) と保持時間 (sec)

持時間) を示します。混合液の総元素強度 ($^{107}\text{Ag} + ^{197}\text{Au}$) はおよそ 9 分で 2 つの分離を見せ、二峰性分布でした。最初に保持時間 1220 秒で観測された溶離液は、Ag NP でした。二つ目に観測された溶離液は主に、Au NP およびわずかな Ag NP でした。元の標準物質を個別バッチで分析を行い、Au NP 中の Ag の含有は、元の溶液に含まれる不純物であることがわかりました。

図 3 は、 ^{107}Ag (a) および ^{197}Au (b) の強度に対する球相当径プロットを示しています。両方のグラフの軸は、参考文献1にある CFFF 理論を用いて、 $\Delta\rho$ (粒子とキャリア溶液の密度の差) を Ag および Au NP それぞれ 9.5 g/mL および 18.3 g/mL として、保持時間より直接変換して求めました。Ag NP はメインピーク 16.2 nm を中心にサイズ分布を示しました。Au のナノ粒子は 20.4 nm がピークの中心となりました。

分解能

NIST 混合液の分析データより、分解能は 10 nm および 30 nm 粒子間で 2.6、30 nm および 60 nm 粒子間で 1.3 ($R_s = \Delta t / 4\sigma$ [2]) であることがわかりました。20 nm 銀

および 20 nm 金の混合液の分解能は 1.0 と算出され、粒子質量の差は 27 % でした。最小質量分解能は、実験で用いた測定条件から 13 % と算出されました。

結論

ハイフネーテッド CFFF-ICP-MS を用いて、金属ナノ粒子の高分解能で高精度の分離および分析を行うことができました。CFFF 理論を用いると、キャリブレーションなしにサイズの測定を直接行うことが可能です。データより、この理論は異なるタイプやサイズの金属ナノ粒子の分離が、最小質量分解能 13 % にて可能であることが分かります。この独自の特長により、強力で感度が高い分析テクニックが求められる研究機関や工業分野において、複雑で多分散の複数元素サンプルの分析を実現することができます。

測定において、市販の標準物質 1 種類について低レベルの不純物を観測しました。この結果から、この理論が参照物質や標準物質の品質管理にも役立つと判断できます。

参考文献

1. Giddings J.C. Science 1993 (260), 1456-1465
2. Giddings J.C., Unified Separation Science, Wiley and Sons, New York, 1991

詳細

フィールドフロー分別についての詳細は、以下のウェブサイトをご覧ください。

www.postnova.com

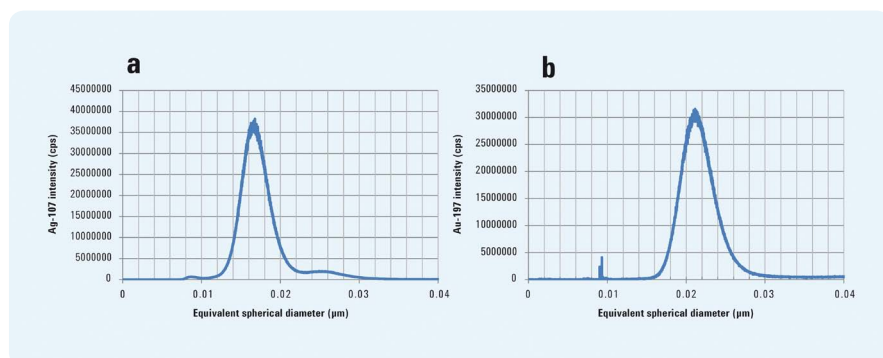


図 3. 20 nm 銀 NP および 20 nm 金 NP 混合液の (a) ナノ銀および (b) ナノ金の強度と球相当径の相関

LC-ICP-MS を用いた リンゴジュース中の ヒ素の定量

酒井徹志, Ed McCurdy

アジレント・テクノロジー、日本、英国

リンゴジュースに高いレベルの無機 As が含まれることが懸念されており、一部には、これらのレベルが、米国環境保護庁 (US EPA) が飲料水中の As について設定している制限 (10 µg/L または ppb) を超えるという報告もあります。リンゴジュース中のヒ素は、ヒ素系農薬、ヒ酸水素鉛 (II)、ヒ酸カルシウムの歴史的な利用に由来するものです。これらの化学物質の使用は 1970 年代に中止されましたが、残留性があるため、汚染された土地で栽培された穀物に現在でも影響を与えている可能性があります。

実験手法

この実験では、Agilent 1200 Infinity LC を Agilent 7700x ICP-MS と結合して使用し、日本のスーパーマーケットで購入した 6 種類の市販のリンゴジュースに含まれる As を分離し、測定しました。リンゴジュースサンプルは、単純なる過と脱イオン水による 2 倍希釈によって前処理し、化学種の相互変化を最小限に抑え、検出下限を維持しました。対象となる化学種、As(III)、As(V)、および有機形態のアルセノベタイン (AB)、ジメチルアルシン酸 (DMA)、モノメチルアルソン酸 (MMA) を、アニオン交換のガードカラム (Agilent P/N G3154-65002、内径 4.6 mm x 10 mm、ポリメタクリレート) と、As 分離カラム (Agilent P/N G3288-80000、内径 4.6 mm x 250 mm、ポリメタクリレート) を使用して分離しました。

結果と考察

毒性がある無機 As の検量線を図 1 に示します。検量線の範囲は 10~500 ng/L (ppt) で、サブ ppb レベルで良好な感度と直線性を示しました。

4 種類のリンゴジュースサンプルに含まれる As 化学種のクロマトグラムを図 2 に示します。最初に溶出するピークがアルセノベタイン (AB) であることに注意してください。この物質はカラムに保持されないため、ボイドボリュームで溶出します。ボイドボリューム

ムでは、カラムに保持されないその他の中性または陽イオン化学種と AB が共溶出することもあります。AB は、ここで説明する LC-ICP-MS メソッドを使用して測定できますが、共溶出する他の化学種がサンプルに含まれる場合は結果に偏りが生じます。AB は非常に高い濃度でも毒性がないと考えられているため、この制約は食品安全性を評価するアプリケーションでは問題にはならないと考えます。

食品安全性を目的とした場合、微量域での正確な定量が必要な化学種は As(III) と As(V) で、これらを合計したものが「総無機ヒ素」です。

6 種類のすべてのリンゴジュースサンプルに含まれる各化学種の濃度を表 1 に示します。この分析値は 2 を乗じて元サンプル値に換算しました。表 1 に示したように、すべてのサンプルにある程度の無機 As が含まれていることは明らかですが、そのレベルは低く、US EPA の飲料水に関する制限の半分以下になりました。

結論

リンゴジュースに含まれる数十 ppt レベルの As 化学種の分析に 7700x が適していることを示しました。低い希釈率で迅速に行える簡便なサンプル前処理と、信頼性の高いクロマトグラフ分離は、飲料水中 As の定常的なモニターに適したメソッドといえます。

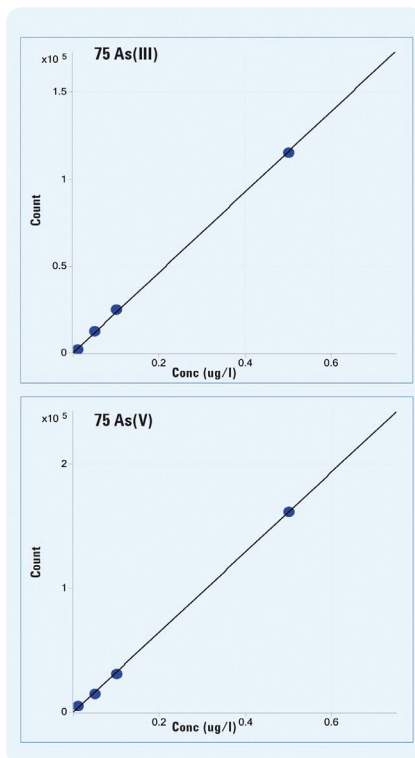


図 1. As(III) および As(V) の検量線 (10~500 ng/L (ppt))。

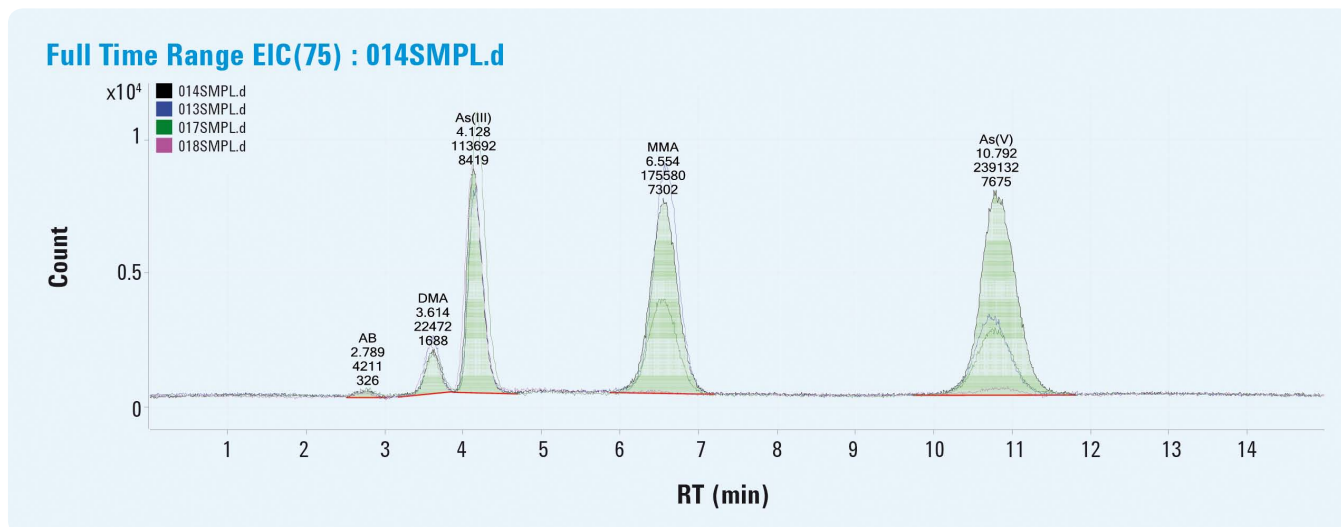


図 2. 4 種類のリンゴジュースサンプルに含まれる As 化学種を重ね書きしたクロマトグラム

Sample		AB	DMA	As(III)	MMA	As(V)	Total Inorganic As (As(III) + As(V))
Sample Name	Dilution	Conc. [ug/L]	Conc. [ug/L]	Conc. [ug/L]	Conc. [ug/L]	Conc. [ug/L]	Conc. [ug/L]
Apple Juice 1	2	0,036	0,189	0,724	N/D	0,651	1,375
Apple Juice 2	2	0,026	0,022	0,041	N/D	0,058	0,099
Apple Juice 3	2	0,02	0,267	0,883	1,587	0,758	1,641
Apple Juice 4	2	0,039	0,208	0,992	1,466	1,958	2,95
Apple Juice 5	2	0,043	0,209	1,256	0,785	0,709	1,965
Apple Juice 6	2	0,036	0,235	1,098	N/D	0,068	1,166

表 1.6 種類のリンゴジュースサンプルに含まれる 5 つの As 化学種の濃度ND=未検出

詳細情報

同じリンゴジュースサンプルについて、7700 シリーズ ICP-MS よりも高い感度と低い検出下限を持つ Agilent 8800 ICP-QQQ を

LC メソッドと組み合わせた測定も行いました。Agilent 8800 ICP-QQQ で測定された結果は、アプリケーションノート 5991-0622JAJP で紹介されています。

www.agilent.com/chem/jp

ナノ粒子分析に関する、3 テーマのウェビナー紹介

工業ナノ粒子 (nanoparticle、以下 NP) は、各種製品や製造工程、食品添加物、民生品などに用いられ、新たな分析メソッドが急速に開発されています。更に、NP は燃焼などの人間活動や火山灰など自然過程で発生し、環境中や消費者製品に無作為に存在します。出所にかかわらず、消費者および環境への NP の影響はほとんど知られていません。その結果として、ナノ物質を分析する信頼性の高いメソッドが求められています。NP の分析では、以下のことを行います。

- **検出**：マトリクス中に NP が存在するか？
- **特定**：どんなタイプの分析対象物が存在するのか、その形態とサイズは？
- **定量化**：何個の粒子がナノスケール (1-100 nm) で存在し、それらの割合 (%、サイズ分布) はどうか？

Postnova Analytics および アジレントによる一連のウェビナーでは、NP の最新情報が解説されています。最初のプレゼンテーションでは、Hubert Rauscher 博士 (欧州委員会)、Sebastien Sannac 博士 (アジレント)、および Soheyl Tadjiki 博士 (Postnova) が、「**Nanoparticles : Definition, regulations and analytical challenges (ナノ粒子：定義、規制、および分析への挑戦)**」というタイトルのセミナーを 2 時間行いました。

Rauscher 博士は、EU において規制目的で使用されているナノ物質の定義、および化粧品や食品、殺生物性製品中のナノ物質に関連する現在の EU 規制の概要について説明しました。また、博士は他の国の規制との調和や将来のナノ物質のテストメソッドなどについても説明しています。

Sannac 博士は、Agilent ICP-MS の単一粒子モード (SP-ICP-MS) についての説明を主に行いました。分析を成功させるために最適化しなければならない重要なパラメータは、以下の 2 つです。

- **ICP-MS の採取スピード** – 2 つの NP の重複分析 (積分時間が長すぎると起こります) または一つの NP の部分的分析 (積分時間が短すぎると起こります) を防ぐために重要です。
- **サンプル希釈**も、採取時間中に 1 つの NP のみを ICP-MS に導入させるために重要です。

7700 ICP-MS により 30、60 nm の金 Au の NP の混合液を分析しました。詳細は、7 ページの記事を参照してください。

Sannac 博士はまた、NP 分析のための各種の分離手法が ICP-MS に容易に接続できることも紹介しました。Tadjiki 博士は、ICP-MS にフィールドフロー分別 (FFF) を繋げる分析手法について説明を行いました。FFF はナノおよびマイクロサイズのサンプルの分離分取分析には強力なメソッドです。Tadjiki 博士は、現在利用できるあらゆる FFF の方法論を紹介しました。

2 つ目のウェビナーは、食品および化粧品におけるナノ粒子のキャラクタリゼーションおよびスペシエーション例について、二部に分けて紹介されました。Volker Nischwitz 博士 (FZ Jülich) が英国 LGC にて最近まで Heidi Geonaga-Infante 氏と行っていた非対称流速 FFF-ICP-MS アプリケーションの開発についてプレゼンテーションを行いました。日焼け止めクリームに含まれる TiO₂ NP、コーヒークリームなどの食品に添加される SiO₂ NP の特性の研究詳細を発表しました。ウェビナーの第二部では、ベネチア大学の Frank von der Kammer 教授が、FFF-ICP-MS と補足的な粒度情報を得るために光散乱 (LS) を用いて、食品中の NP の定量分析について議論しました。教授は、トマトスープに含まれる SiO₂ NP の検証されたメソッドの概要を説明しました。

最後のウェビナーでは、James F Ranville 教授 (コロラド鉱物学校) が SP-ICP-MS (粒子計測やサイズ分布の情報を得るため) および FFF-ICP-MS (NP の特定のため) を用いたナノ粒子のキャラクタリゼーションとスペシエーションのための環境アプリケーションの例に関するメソッドの概要を紹介しました。博士は、これらのテクニックは補足的であるとしています。

オンラインでも視聴可能

3 つのウェビナーはオンラインにて無料で視聴することができます。次を参照してください：

agilent.com/chem/nanoparticles

単一粒子 ICP-MS を用いたナノ粒子の分析

Sébastien Sannac¹, Soheyl Tadjiki², Evelin Moldenhauer³

¹Agilent Technologies, France;

²Postnova Analytics Inc., UT, USA;

³Postnova Analytics GmbH, Landsberg, Germany

ナノ粒子 (NP) の特異な性質により、化粧品、医薬品、食品パッケージ、燃料電池技術、電子工学などの分野における製品やその製造工程での使用について調査が行われています。しかし、環境および健康への影響の懸念が高まり、特定の NP の評価に適した分析メソッドの開発が早急に求められています。これらのメソッドは、質量濃度、サイズの評価およびサイズ分布など、ナノ粒子の特異性に沿ったものでなければなりません。

2004 年に、Degueldre 等 [1] は、Agilent 4500 ICP-MS を用いた、元素分析に基づく NP 分析を行いました。NP を含んでいるサンプルを低流量で導入し、溶液中の粒子の数が少ない場合、ICP-MS の時間分解モード分析にて、プラズマで気化した単一粒子の信号を読み取ることができます。その後、個々の測定されたデータポイントを固有の NP のサイズおよび質量分率に関連付けることができます。このメソッドは単一粒子 ICP-MS (SP-ICP-MS) と呼ばれます。この分析手法の主な特長は、単一の NP のデータ採取が可能なこと。そのため、サンプル希釈率および積分時間の選択が重要になってきます。

金および銀 NP のサイズ分布の特定

2 種類の金 NP 標準試料 (NIST 8012 および NIST 8013、(ゲイザースバーク、メリーランド州、米国、認証値はそれぞれ 30 および 60 nm) の混合溶液中の NP の測定を Agilent 7700x ICP-MS の時間分析 (TRA) モードを用いて行いました。サンプルは、Tygon ポンプチューブ (内径 1.02 mm) と ASX-520 オートサンプラーを用いて標準装備のペリスタルティックポンプにより ICP-MS に直接導入しました。各分析間でサンプルの洗浄がきちんと行われるようにリン酸溶液には 1 % 硝酸を用いました。7700x の設定条件を表 1 に示しました。

パラメータ	値
RF 出力	1550 W
キャリアガス	1.05 L/min
スプレーチャンバ温度	2 °C
ネブライザーポンプ	0.1 rps
サンプリング深さ	8.0 mm
積分時間	3 ms
採取時間	60 秒
モニターした質量数	¹⁰⁷ Ag または ¹⁹⁷ Au

表 1. ICP-MS 設定条件

図 1 に 7700x ICP-MS の TRA モードにて測定した金 NP 標準 (NIST 8012) の典型的な信号パターンを示します。生データからバックグラウンド値を差し引き、残りの信号強度を粒子サイズに変換し、サイズ分布パターンを得ました。

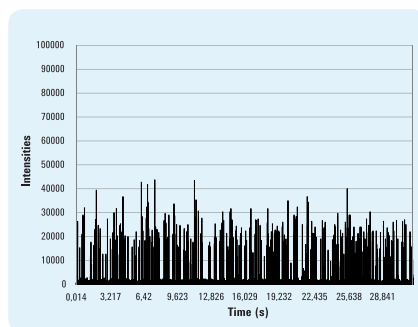


図 1. SP-ICP-MS を用いた NP の測定 30 nm 金 NP 標準物質 (NIST 8012) の測定例

30 nm (NIST 8012) および 60 nm (NIST 8013) における金の混合 NP 標準物質の粒子サイズ分布パターンを図 2 に示します。このメソッドでは明らかに 2 種類の異なる分布の NP の存在を特定でき、2 種類の異なる粒子サイズのピークをベースラインから分離できました。このメソッドには、1 つのサンプル中の異なるサイズの NP を検出し識別する十分な分解能があることが分かります。60 nm 以上のサイズでは粒子イベントが顕著に存在しないことから、サンプル前処理により粒子の凝集が避けられたことが分かります。図 2 にあるサイズ分布パターンからは、使用した採取パラメーターが各 TRA 分析期間において複数の NP を測定しなかったことを確認できました。粒子サイズ分布図では、複数の NP がより大きな粒子サイズとして現れました。これにより、メソッドで採用した積分時間が装置に導入された NP の個別分析に適していることがわかりました。

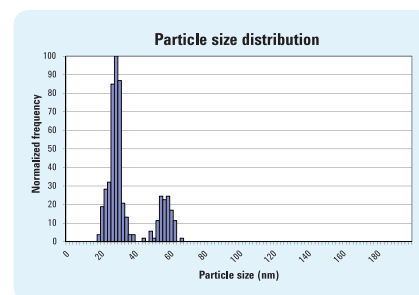


図 2. 30 nm および 60 nm の金 NP 標準物質 (NIST 8012 および 8013) の粒子サイズ分布。データ変換は RIKILT (オランダ国立食品安全研究所) で開発されたスプレッドシートにて行いました。

結論

開発したメソッドにて 15 から 60 nm のサイズの金および銀の NP の分析を行うことができました。SP-ICP-MS では、NP サンプルのサイズ分布、メジアン径、粒子数および元素の濃度を得ることができました。

SP-ICP-MS での測定やデータ解析アプローチを完全に検証するには、更なる研究が必要となります。特に、測定した信号強度を NP のサイズに変換する際に使われている現在の条件を検証するには、この研究が重要になってきます。また、SP-ICP-MS 分析での測定結果を確認するために、走査型電子顕微鏡 (SEM) や フィールドフローフラクショネーション (FFF) を ICP-MS に接続して測定するアプローチも必要です。

参考文献

1. Degueldre S., Favarger P.-Y., Bitea C., (2004) *Analytica Chimica Acta*, 518:137-142

詳細

Agilent アプリケーションノート: "Single particle analysis using the 7700x ICP-MS", 5991-2894EN、または以下のサイトでライブラリから検索してください。

agilent.com/chem/jp

LA-ICP-MS を用いた 鉱物研究の拡大

Prof. Leonid Danyushevsky

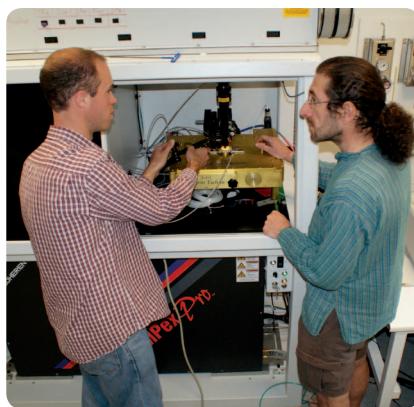
CODES CoE and School of Earth
Sciences、タスマニア大学、ホバート、
オーストラリア

オーストラリアのタスマニア大学に所属する Australian Research Council Centre of Excellence in Ore Deposits (CODES) は、School of Earth Sciences (SES) と共同研究を行っています。本センターは1989年に創立され、実質上、長年に渡って鉱物付着物研究にて世界をリードしています。本センターには40名の熟練した研究スタッフと、80名の学生が在籍しており、世界を代表する鉱物付着物研究に特化した大学機関です。

CODES/SES は1998年にレーザーアブレーション ICP-MS 手法を導入しました。当初から、その信頼性、高感度、多才さ、およびオーストラリアのユーザーに提供する優秀な技術/アプリケーションサポートにより、Agilent の四重極 ICP-MS を導入していました。最初の装置は HP 4500 ICP-MS および NEW Wave Research 社 LUV266 レーザーアブレーション装置でした。装置およびアプリケーションの数は、近年徐々に拡大していきました。現在、ラボはクラス 100 のクリーンルームを装備し、サンプルをウルトラクリーン環境で処理し、Agilent 四重極 ICP-MS 3 台 (7500a、7500cx、7700s レーザーアブレーション装置 4 台 (Resonetics 社 RESOLUTION S-155、New Wave Research 社 UP213 および UP193ss)) が設置されています。全てのレーザーアブレーション装置は、UP プラットフォーム向けにデザインされたセル内のガスを迅速に入れ替えることのできる特別なセルを搭載しています。この装置により、アプリケーションを広く網羅することができます。

Leonid Danyushevsky 教授は2002年より本施設を率えています。CODES のシニアリサーチャーである S. Meffre 博士を含め現在の研究スタッフは S. Gilbert、J. Thompson、I. Little、E. Lounejeva が在籍しています。

本センターは LA-ICP-MS での研究プログラムを積極的に引き受けています。最近のプロジェクトは、鉱物中元素分布のマッピングのためのアルゴリズムおよびデータ採取プロトコルの開発、LA-ICP-MS 検量線用標準の開発、元素別のレーザーアブレーションプロセスおよび原因の探求 (レーザー波長およびパルス幅、レーザーエネルギー



**RESOLUTION S-155 レーザープローブに繋がれた
Agilent 7500cx で作業をする Leonid
Danyushevsky 氏 (右) と Jay Thompson 氏**

ギー、アブレーションセルデザイン、レーザーと ICP-MS を接続するインターフェースの形状)、LA-ICP-MS の最適化を行っています。Journal of Analytical Atomic Spectrometry, Geostandards and Geoanalytical Research, Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis に文献を投稿しています。

現在 LA-ICP-MS では、次のようなアプリケーションを扱っています。

- ・地球科学
- ・特別に開発された検量線用標準による硫化物鉱物中の微量/多量元素の分析
- ・特別に開発された検量線用標準およびメタルアルゴン補正による硫化物鉱物中の PGE 分析
- ・ケイ酸塩、酸化鉱物、ガラス中の微量/多量元素の分析
- ・鉱物中の元素分布のマッピング (図 1)
- ・ジルコンapatite およびモナザイトの U-Pb 年代測定
- ・鉱物中の流体包有物の分析
- ・銅金属試料の分析

地質学ではないアプリケーションでは、耳石やスタイルットなど生物学的サンプルなども扱っています。

鉱物産業における LA-ICP-MS テクニックの重要性が認識され、CODES は最近、LA-ICP-MS 施設の拡大のため

に Newcrest Mining 社より5年間で2,500,000豪ドルの資金を受け取りました。新たな LA-ICP-MS R&D ラボも現在建築中です。新たなラボには、RESOLUTION S-155 レーザープローブと Agilent 7700s ICP-MS を設置し、2013 年 4 月から使用する予定です。Newcrest Mining からの資金により、LA-ICP-MS を用いた研究スコープはより幅広くなり、硫化物鉱物分析のための検量線用標準の開発、より使いやすい元素マッピングソフトウェアの開発に焦点を当てることができます。

2012 年には、アジレントより「Laser-ablation ICP-MS analysis of spatial variations of sulfur isotopic composition: advancing applications in the field of ore deposit research (レーザーアブレーション ICP-MS を用いた硫黄同位体組成の空間分析: 鉱物付着物研究での先進アプリケーション)」というプロジェクト名で研究費として 40,000 米ドルを受け取りました。このプロジェクトは、硫化物鉱物中の硫黄同位体の測定における3つの要素を最適化することで、商業ラボの LA-ICP-MS についての理解を加速することに狙いを向けています。この要素とは、以下のようなものです。

- ・レーザーパラメータの最適化
- ・レーザーアブレーションセルの最適化 - ICP-MS インターフェース (装置の構成、デザイン、構造、メモリ効果の低減を含む)
- ・Agilent 7700s ICP-MS コリジョンセルにて、 ^{32}S および ^{34}S 同位体に干渉する酸素の排除のための動作パラメータの最適化

詳細については、以下のウェブサイトをご覧ください。

www.utas.edu.au/codes/

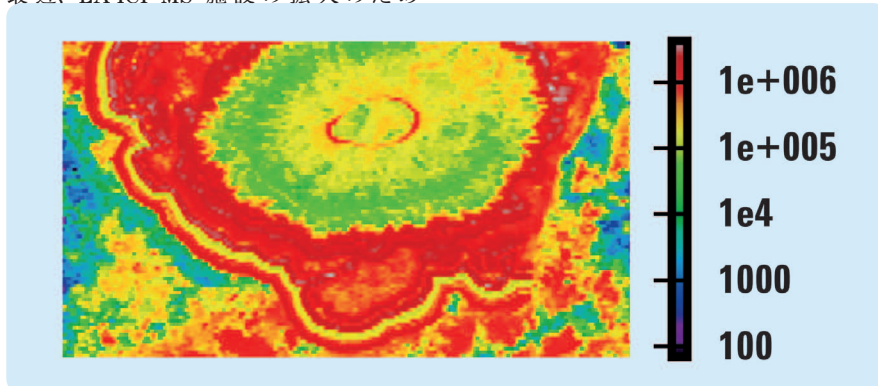


図 1. 硫化物鉱物中の Sb 分布を表した LA-ICP-MS マッピング (1 秒間当たりのカウント数)

LA-ICP-MS を用いた、アリゲーターおよびニシアフリカコビトワニの皮膚の化学的特性解析

Emma R. Williams & Teresa Jeffries

Imaging and Analysis Centre (IAC)、
ロンドン自然史博物館、英国

はじめに

ロンドンのサウスケンジントンにあるロンドン自然史博物館は、世界的に有名な観光名所であり、博物学の研究所でもあります。膨大なコレクションを公開し、特に子供たちに科学の楽しさを伝えるために研究を行っています。博物館のコレクションの多くはビクトリア時代からのもので、過去に標本加工の際に用いられた保存メソッドには現在では危険とみなされているものもあります。従って、公の場で標本を公開する前に、あらかじめきちんと点検を行う必要があります。

本博物館のイメージ・分析センター (The Imaging and Analysis Centre, IAC) には、本センター、外部研究者、外部契約研究機関などで使用される、ICP-AES および ICP-MS といった分析装置に加え、レーザーアブレーション (LA)-ICP-MS といったイメージング装置や分析装置を扱うエキスパートが揃っています。

また、本センターの学習部では、2 種類のワニの標本 (アリゲーター (図 1 および図 2) およびニシアフリカコビトワニ (図 2)) を子供たち向けの展示に使用したいと考えてい



図 2. アリゲーターおよびニシアフリカコビトワニと Agilent 7500cs ICP-MS

ました。標本は博物館のコレクションの一部で、死後、保存されています。しかし、用いられた保存方法はほとんど分かっておらず、ヒ素で皮膚が洗浄されたかどうかの懸念があります。IAC は 2 種類の標本の皮膚について一般的な化学的特徴解析を行うよう、また、ヒ素などの有害物質が来場者の皮膚に影響がないように評価するよう指示を受けました。LA-ICP-MS はサンプルを破壊することなく、迅速に測定を行えることから分析手法に採用しました。

実験手法

サンプリング

標本の目立たない箇所から、メスとピンセットを用いて皮膚の断片を慎重に採取しました。(図 1 参照) それぞれの標本から 2 サンプルずつ断片を採取し、両面テープにて表向き、裏向きに貼り付けました。サンプルが貼り付いた両面テープをスライドガラスに置き、サンプルホルダーに留めて、レーザーアブレーションのセルに設置しました。

測定条件

Agilent 7500cs ICP-MS (図 2) を New Wave 社 UP193FX レーザーアブレーションシステムに繋げ、ニシアフリカコビトワニおよびアリゲーターの皮膚の分析に用いました。Agilent 7500cs ICP-MS の測定条件を表 1 に示します。装置は酸化物比が 1 % 未満、2 価イオン比が 0.1 % 未満になるようチューニングを行いました。He ガスをキャリアガスとして用い、アブレーションを行いました。皮膚サンプルには有機物が含まれているため、レーザーの条件は、従来のルーチンのミネラル分析よりも控えめに調整しました。繰り返し周波数は 10 Hz、フルエンス 1.5 J cm^{-2} で、スポットサイズは $80 \text{ }\mu\text{m}$ でした。

ICP-MS 測定パラメータ	
RF 出力	1500 W
キャリアガス流量	1.1 L/min
オプションガス流量	44.5 %
データ採取	時間分析モード 積分時間: 10 ms/ピーク

表 1. ワニの標本の分析に用いた Agilent 7500cs の測定条件



図 1. アリゲーターの頸の皮膚サンプルを採取する Emma Williams 氏

結果

皮膚サンプルに未知な分解物質が測定されましたが、標準試料および内部標準物質となるものがなかったため、定量はできませんでした。しかし、サンプルにレーザーを照射しながらそれぞれの元素の信号をモニターして定性分析を行いました。図3に示した通り、時間分析モード (TRA) を用いて As、Cr、Hg、Pb、Sn、V の信号を比較しました。

ニシアフリカコビトワニの時間分析モードのデータ (図3A) から、As ではなく Pb が含有していることが分かりました。しかし、Pb の含有量は、環境中から来る汚染量より低いものでした。ニシアフリカコビトワニは非常に均一な皮膚を有しています。皮膚サンプルおよび表面のコーティングの化学的な層 (ニスなど) は同定されませんでした。

アリゲーターの皮膚 (図3B) の TRA プロットから、異なる化学構成を持つ層があることが分かりました。1つの層にて、As がパッ

クグラウンドと比べて顕著に観測されました。これは、表向きおよび裏向きに貼り付けた皮膚サンプルの深さのプロファイルでも見られました。我々は、As を含む層は標本の表面には存在せず (図3B で言うニスの層)、上層部のコーティングが剥がれ落ちて暴露されたものだと予想しました。

結論

Agilent 7500 cs を使った LA-ICP-MS 法を用い、ロンドン自然史博物館で所有される2種類のワニの皮膚サンプルを非破壊で化学的に特性解析することができました。いくつかの元素において時間分析を行い、双方の皮膚サンプルの層において化学的構成の違いが判明しました。アリゲーターの皮膚サンプルの層にはヒ素が定性されましたが、正確な定量までは至りませんでした。

これらの結果により、学習チームは訪問者への害なくこれらのサンプル標本を展示する方法を考案できるようになりました。

ニシアフリカコビトワニのサンプル標本は、本博物館で行われた BBC Planet Dinosaur の "build a dinosaur" の展示にて、スピノサウルスと現代爬虫類との比較のために展示されました。

詳細については、以下をご覧ください。

www.nhm.ac.uk/research-curation/science-facilities/analytical-imaging

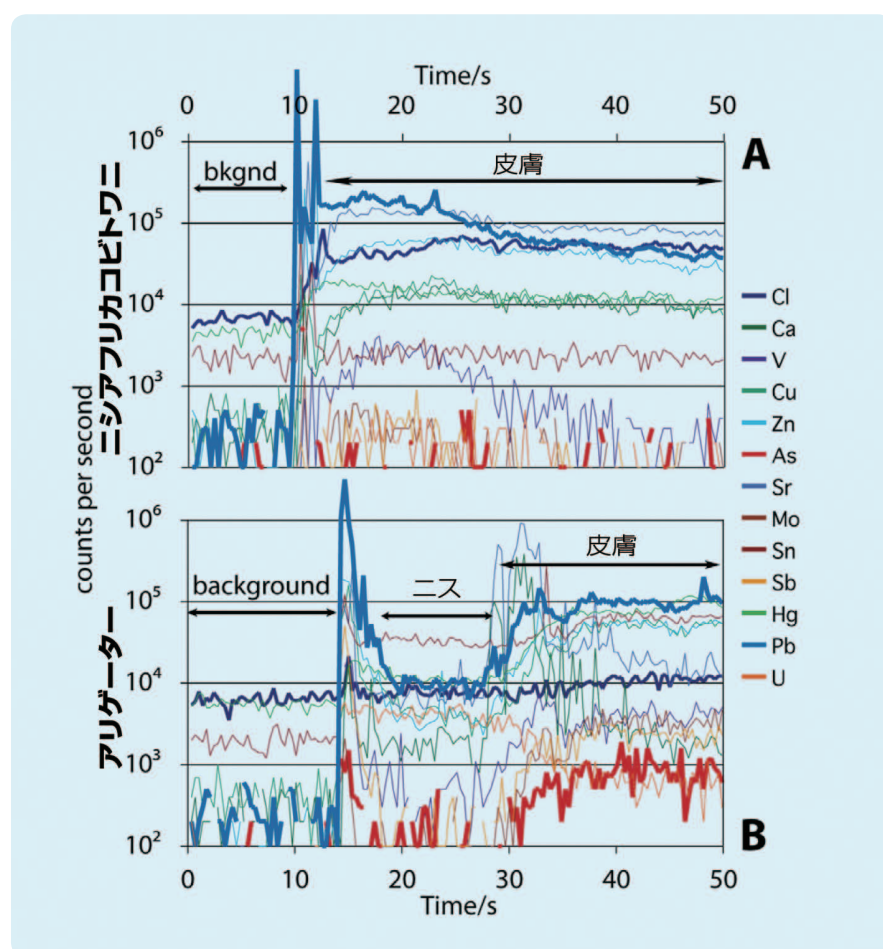


図3. 太線で示した As (赤)、Cl (紫)、Pb (青) の強度と時間信号

(A) ニシアフリカコビトワニの皮膚 - 層状にはなっておらず、均等な構成。

(B) アリゲーターの皮膚は層により異なる Pb レベルを持つ。As はより深い層に存在し、Cl とは独立した挙動を持つ

HPLC-ICP-MS を用いた 環境サンプル中の フッ化アルミニウム錯体 および Al^{3+} の化学種の 分析

¹Marcin Frankowski, ²Jan Kuta

¹Adam Mickiewicz University in
Poznan, Poland, ²Masaryk University,
Brno, Czech Republic

はじめに

天然に存在する酸溶液中の $\text{AlF}_x^{(3-x)}$ 錯体の形成は、フッ化物イオンの濃度により制限されます。アルミニウムの毒性のほとんどは、フリーな Al^{3+} イオンや $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ などのヒドロキシ錯体、無機錯体などの存在によるものです。アルミニウムおよびフッ化物イオンは、主に AlF_2^+ 、 AlF^{2+} 、 AlF_3 、 AlF_4^- など、水、土壌双方に溶解する錯体を形成します。これらは、ヒドロキシ型や Al^{3+} より毒性は低いものの、成長過程や生存生物の恒常性などの代謝に変化を及ぼすのではないかとという懸念が浮上しています (参考文献 1)。

本研究の目的は、HPLC-ICP-MS を用いて土壌水抽出物および地下水サンプル中の Al^{3+} およびフッ化アルミニウム錯体の簡潔な分離・化学種分析のメソッドを開発することです。

サンプルとメソッド

分析装置

Agilent 7500ce ICP-MS と Agilent 1100 シリーズ HPLC を接続して本研究を行いました。ICP はプラズマガス流量 15 L/min、RF 出力 1500 W に設定しました。MicroMist ネブライザにて流速 1.1 L/min (キャリア+メークアップガス) のアルゴンガスを流し、HPLC の溶離液を噴霧しました ^{27}Al (同位体なし) を 0.5 秒積分にてデータ採取しました。HPLC にはクォータナリーポンプ、真空デガッサー、オートサンプラー、ヒートカラムコンパートメントを用いました。イオン交換カラム、Dionex IonPac CS5A (分析カラム、250 mm、内径 4.0 mm、粒子サイズ 9.0 μm 、スルホン酸およびアルカノール四級アンモニウム基の官能基が同居して陰イオンと陽イオンが混合して含まれている) および IonPac CG5A (ガードカラム、50 mm、内径 4 mm、粒子サイズ 9.0 μm) (ダイオネックス社、米国) を使用しました。表 1 に HPLC パラメータをまとめます。

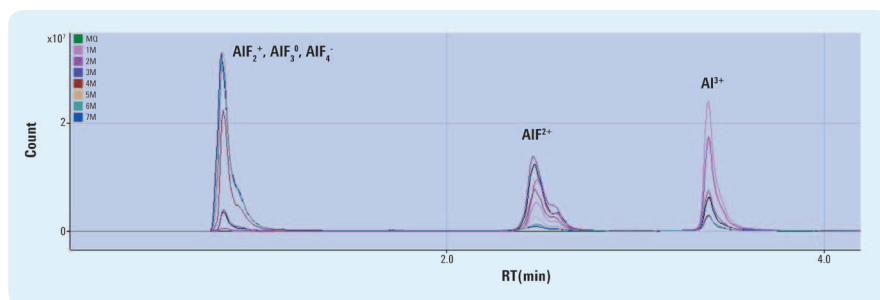


図 1. Al および F の 7 種類の模擬試料のクロマトグラムの重ね書き

溶離液 A	1.5 mol/L NH_4Cl pH $\approx$ 3.0
溶離液 B	pH $\approx$ 3.0 に調整された水
カラム	Dionex IonPac CS5A、 IonPac CG5A
溶離液の流量	2.0 mL/min
注入量	100 μL
カラム温度	25 $^{\circ}\text{C}$

表 1. HPLC-ICP-MS に用いられた HPLC パラメータ

模擬試料

Al の濃度についてフッ化物の濃度が異なる様々な $\text{AlF}_x^{(3-x)}$ の模擬試料を用意し、アルミニウムおよびフッ化アルミニウム錯体の形成過程を観察しました。Mix A : 2.5/0.5、Mix B : 2.5/1.0、Mix C : 2.5/2.0、Mix D : 2.5/4.0、Mix E : 2.5/6.0、Mix F : 2.5/8.0 および Mix G : 2.5/10.0 (mg/L Al/F)

結果と考察

7 種類の模擬試料分析の結果、フッ化アルミニウム錯体 (AlF_2^+ 、 AlF_3 、 AlF_4^- 、 AlF_2^+) および Al^{3+} の分離を一度の分析サイクルにて行うことができました。分離の際、溶離液の塩の析出およびトーチのつまりが観測されました。これは、ポストカラム溶液として 5 % HNO_3 を加えることにより解決しました。図 1 に模擬試料のクロマトグラムを重ね書きしたものを示します。

土壌サンプル (土壌-水抽出) と地下水サンプル (結果の記載なし) には新しいメソッドを用いました。サンプルは、結晶化後の浸出液の廃棄物を扱う化学工場に近い地域で採取されました。採取場所の詳細は、参考文献 2 に記載されています。分析したサンプルの Al の濃度、フッ化物の濃度および pH を考慮しました。土壌水抽出物の HPLC-ICP-MS 分離分析の結果 (表 2) には、クロマトグラムとともに、 Al (FAAS を使用) およびフッ化物 (フッ素イオン選択電極を使用) の濃度、サンプルの pH、 F/Al の比率および pH に基づく対応する Al の形態の濃度を示しています。

総 Al 濃度の結果は、フッ化アルミニウム錯体および Al^{3+} の合計によく似た結果となりました。

結論

ポストカラム溶液として 5 % HNO_3 を加えた新たな HPLC-ICP-MS のメソッドは、 Al^{3+} および AlF_2^+ 、 AlF_3 、 AlF_4^- 、 AlF_2^+ などのフッ化アルミニウム錯体の分析や、フッ化アルミニウム錯体中の重要な Al の形態の迅速な分析 (4 分) に有効であることがわかりました。この HPLC-ICP-MS メソッドは、他のサンプルにも応用することができます。

謝辞

本研究はポーランド科学高等教育省の第 N 304 374 338 号 (2010 年-2012 年) 研究プロジェクトの支援により行われました。

参考文献

1. Frankowski, M., Ziola-Frankowska, A., Siepak, J. (2010), Talanta 80, 2120-2126
2. Frankowski, M., Ziola-Frankowska, A., Siepak, J. (2010), Microchem J. 95, 366-372.



* FAAS によって測定された総 Al の濃度 ** フッ化物の濃度はフッ素イオン選択電極 (FISE) により測定しました。

表 2. HPLC-ICP-MS で測定した土壌水抽出物サンプル (1:10 v/v) の結果 (単位は mg/kg d.m.)

ICP-MS MassHunter の 新バージョン、Agilent コンプライアンスソフト ウェアオプションの追加 および USP<232> へ の対応

Ed McCurdy
アジレント・テクノロジー

Agilent 7700 シリーズ ICP-MS および 8800 ICP-QQQ 向け ICP-MS MassHunter ソフトウェアの新バージョンがリリースされました。この新しいリビジョン (G7201B、rev. B.01.03) では、Agilent OpenLAB Data Store コンプライアンスソフトウェアとの統合がサポートされ、USP<232> 向けの新しいプリセットメソッドやその他の新機能が含まれます。

Agilent ICP-MS MassHunter ソフトウェアのリビジョン G7201B (64 ビットプラットフォーム) は、2012 年 6 月より 7700 シリーズ ICP-MS および 8800 ICP-QQQ に搭載されています。

アップデートされたリビジョン (2012 年 12 月にリリースされた B.01.02) は SDA (アジレントの PC ベースの独立したコンプライアンスソフトウェアソリューション)、時間分析の迅速化、ユーザーチューンおよびグローバルチューン機能、高性能なクロマトグラフィーデータ解析、Excel 2013 に対応しています。

今回、更にアップデートされたリビジョン (B.01.03) がリリースされ、2013 年 8 月より Agilent ICP-MS および ICP-QQQ に標準搭載されています。

MassHunter B.01.03 の主な特長

B.01.03 リビジョンでの主な改善点は以下の通りです。

- OpenLAB Data Store コンプライアンスソフトウェアに対応しました。
- SDA および OpenLAB ECM コンプライアンスソフトウェアの機能を追加しました。
- USP<232>/<233> 医薬品中の不純物元素向けの新しいプリセットメソッドを追加しました。
- データアウトプットとレポートの保存オプションが新しくなりました。
- GC 7890B に対応しました。
- LC オートサンプラー向けインジェクタープログラムに対応しました。

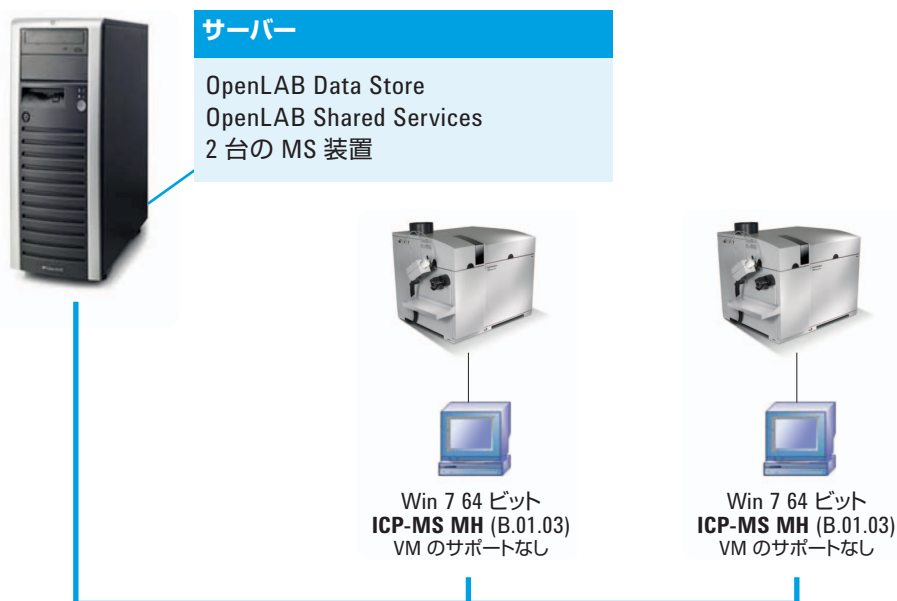


図 1. ICP-MS Data Store のセットアップ

コンプライアンスソフトウェア オプション

Agilent Data Store コンプライアンスソフトウェアのサポートが追加されたことで、Agilent ICP-MS のユーザーは、ラボのタイプ、ICP-MS 機器の数、データ量、およびセキュリティ環境に基づいて幅広くコンプライアンスソリューションを選択できるようになります。

- **SDA** : 簡潔なコンプライアンスパッケージが必要な場合で、ICP-MS を 1 台のみ所有している場合、アジレントの SDA は経済的なソリューションになります。安全なデータベースが、個別のサーバーではなく、ICP-MS のコントロール PC 内にあるため、機器の数およびセットアップのコストを削減できます。しかし、各 SDA がサポートするのは、ICP-MS 1 台のみです。SDA は 21 CFR Part 11 に対応しています。

- **OpenLAB Data Store** : ICP-MS MassHunter B.01.03 での ICP-MS データコンプライアンスの新しいオプション Data Store はサーバーベースのコンプライアンスソフトウェア製品で、中規模および現在拡大中のラボに適しています。ICP-MS Data Store は、標準で 2 台の Agilent ICP-MS システムをサポートし、最大で 15 台の装置と接続可能です。21 CFR Part 11 に対応している他、3 ヶ国語 (英語、日本語、中国語) から選ぶことができ、あらかじめ定義されたデータフィルターにより記録の検索を行うことができます。
- **OpenLAB ECM** : Agilent OpenLAB ECM は、サーバーベースのコンプライアンスソリューションでもあります。ECM は、複数の場所にある装置や、多様なベンダーの数多くの装置を処理する必要がある場合に、最も強力かつ柔軟性のあるソリューションを提供します。

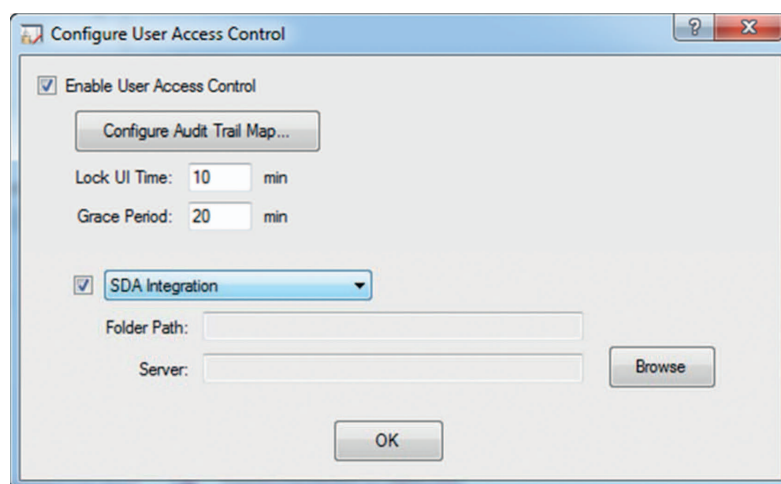


図 2. ICP-MS MassHunter ユーザーアクセスコントロール

USP<232> 向けプリセット メソッド

米国の薬局方 (USP) およびその他の国の対応する規格で、医薬品に含まれる不純物元素のモニタリングおよび制御のための手法が改定されました。新たに提案された USP General Chapter <232> (下限値) および <233> (メソッド) は、薬品中の不純物検査に使用される元素や下限値、メソッドを定めています。

USP<233> で定義されているメソッドは、ICP-OES と ICP-MS を使用するものです。ICP-MS MassHunter の新しいリビジョンには USP<232> 向けのプリセットメソッドが含まれています。プリセットメソッドでは、あらかじめ分析対象物および内部標準物質の質量数、チューンモード、積分時間、オートチューンパラメータが設定されており、初心者でも Agilent ICP-MS を設定し、操作することができるようになっています (図 3)。プリセットメソッドのバージョンは、7700 (ICP-MS MassHunter) のフルバージョンである必要があります) および 8800 ICP-QQQ で使用することができます。

現在、USP <232>/<233> (2014 年 5 月) の改定は、関連する International Conference on Harmonization (ICH) の開発を考慮して延期されています。しかし、多くの医薬品業者は既に ICP-MS を導入しており、USP <232> のメソッドが必須になった場合に対応できるようにしています。

強化されたレポート機能

規制産業を含む多くのラボは、定期的に採取メソッド、データ解析メソッド、QC メソッドのコピーをデータバッチに保存しなければなりません。ICP-MS MassHunter B.01.03 では、容易に“Configure MassHunter”ダイアログにてバッチまたは各データファイルにレポートを保存することができます (図 4)。

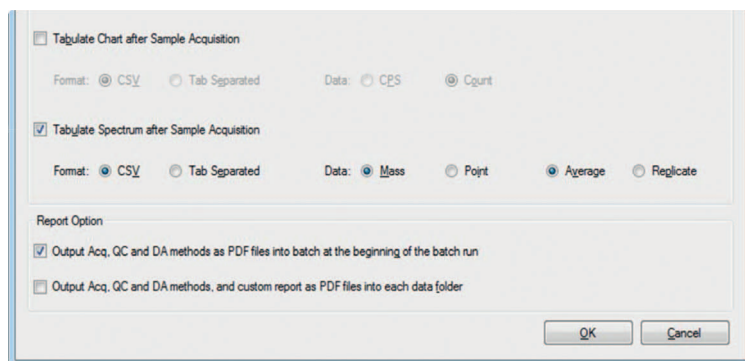


図 4. 新レポートオプション

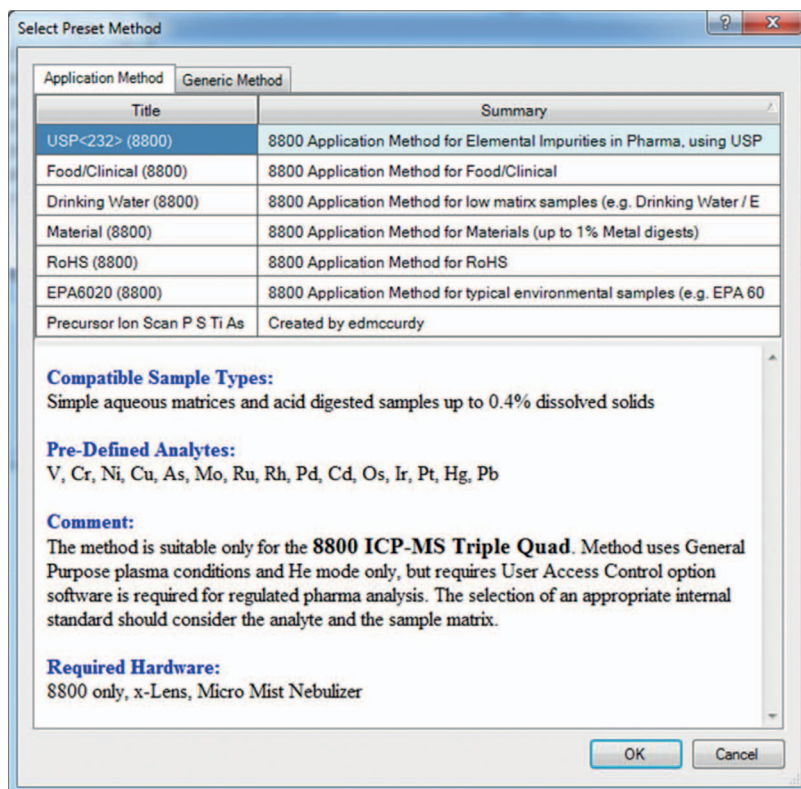


図 3. USP<232> のプリセットメソッド

かつての ICP-MS MassHunter では、TRA モードで測定されたカウントを含むテキストファイル (csv またはタブ区切り) のエクスポート機能に対応していました。リビジョン B.01.03 は、スペクトラムデータ向けの同様の機能をサポートしています。双方のデータタイプのオプションを図 4 に示します。

Agilent GC および LC に対応

ICP-MS MassHunter のリビジョン B.01.03 は最新の Agilent 7890B GC に対応する GC ドライブパッケージを搭載しています。これにより、GC-ICP-MS アプリケーションのあらゆるセットアップおよび操作が可能になり、ICP-MS MassHunter のバッチから GC ハードウェア、メソッド、シーケンスを操作することができます。

LC オートサンプラーの高度な機能も追加され、LC-ICP-MS ユーザーが LC オートサンプラーのインジェクタープログラム機能を使用できるようになりました。

ご利用について

新しい ICP-MS MassHunter リビジョン B.01.03 は、2013 年 8 月より 7700 シリーズ ICP-MS および 8800 ICP-QQQ に標準装備として搭載され、出荷されています。

最新のリビジョンは既存の 7700 シリーズおよび 8800 ICP-QQQ 装置にもインストールすることもできます。

- 現在、G7201B rev.B.01.01 および B.01.02 のユーザーは、B.01.03 に無償でアップデートすることができます。これは、弊社のサポートウェブサイトからダウンロードするか、または弊社サポート担当者注文することができます。
- 以前の MassHunter (G7200B および G7201A) の 7700 シリーズのユーザーは、G7201B rev.B.01.03 へのアップグレードを購入することができます。このアップグレードでは、新たな PC の購入または 32 ビットから 64 ビットオペレーティングシステムへのオンサイトアップグレードが必要な場合があります。

白金製コーン引取り プログラムのご紹介： コスト削減と環境保全

Eric Vanclay

Supplies Product Manager,
Agilent Technologies



図 1：白金製コーン引取りプログラムでは、
使用済みコーンのリサイクルとコスト削減が
可能です。

ICP-MS の性能は、サンプリングコーンとスキマーコーンのサイズ、形状、コンディションに大きく左右されるため、機器のパフォーマンス維持にはコーンを定期的に交換することが求められます。

アジレントは環境に優しい企業をめざして、白金製コーン引取りプログラムを開始いたしました。

プログラムの利点：

- ラボのコスト削減
- 環境への影響を軽減
- 希少なプラチナのリサイクル

プログラムのご利用方法

使用済み白金製コーンの引取りを希望されるお客様は、アジレント担当営業または販売店にご連絡をお願いします。

1. 新品コーンの購入時に引取りプログラム利用をリクエスト (1 オーダーでの引取りは最高 3 個まで)
2. 使用済みコーンをクリーニングし、EHS フォームと一緒にコーンをアジレントに返送 (送料はお客様負担)。引取り価格は、コーンのタイプ、白金の市場価格に応じて算出されます。

詳細は

www.agilent.com/chem/ptcone:jp
をご覧ください。

Agilent ICP-MS ジャーナル編集者

Karen Morton, Agilent Technologies
mail: icpms@agilent.com

本書に記載の情報は予告なく変更されることがあります。

アジレント・テクノロジー株式会社
© Agilent Technologies, Inc. 2013
Printed in Japan, November 30, 2013
5991-2843JAJP



Agilent Technologies