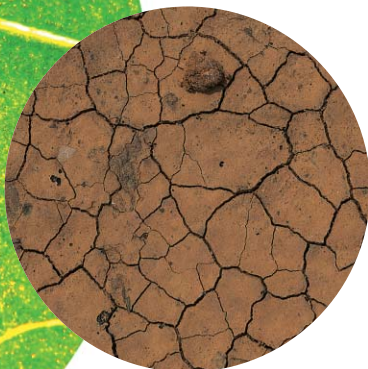
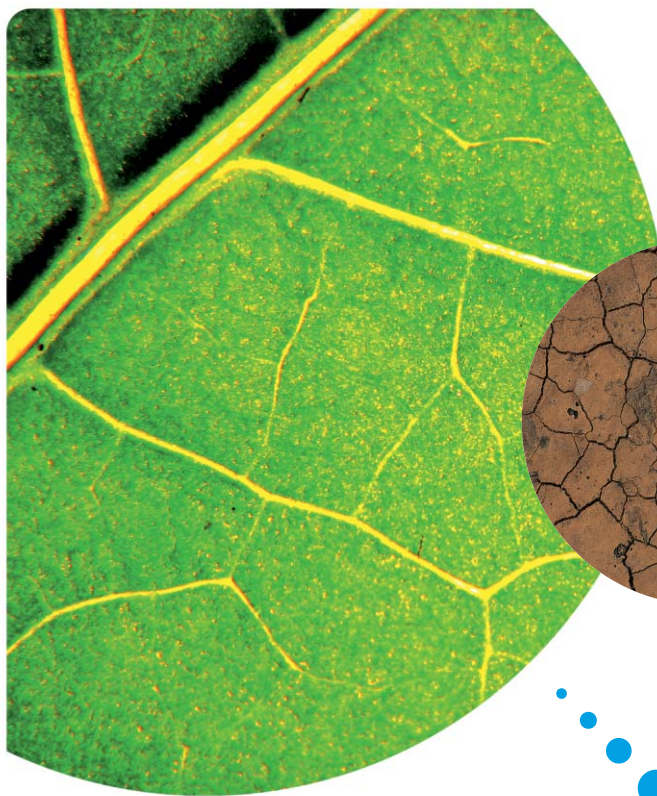


Agilent ICP-MS ジャーナル

2008 年 1 月 - 第 33 号



本号の内容

- 2-3 GC-ICP-MS によるバイオガス中の揮発性シロキサン化合物測定
- 4-5 ホウ素およびホウ素同位体比分析における洗浄液の比較
- 6 ICP-MS ChemStation ソフトウェアアップグレードのダウンロード方法
- 7 7500 ICP-MS 用新型トーチ、静音ボックスによるポンプノイズ低減、ユーザー様事例: 停電時における 7500 の安定性
- 8 Winter Plasma Conference 2008、4500 サポート終了、展示会と国際会議、最新資料紹介



Agilent Technologies

GC-ICP-MS による バイオガスの分析

Steven Wilbur

Agilent Technologies, USA

はじめに

バイオガスとは、動物排泄物、家庭下水スラッジ、都市埋め立てゴミなど、さまざまな生分解性物質の嫌氣的発酵から生じる、メタン、二酸化炭素、窒素などを含むガスを指します。

バイオガスは、メタンを 40 ~ 75% 含むため、天然ガスの代替ガスとして、排水処理施設や埋立地での施設の暖房、発電、自動車燃料などに使用されています。しかし、廃棄物の副生成物であるバイオガスには、揮発性硫黄やハロゲン含有化合物だけでなく、揮発性シリコン化合物（シロキサン）など好ましくない成分が含まれている可能性があります。

硫黄やハロゲン化合物は燃焼時に腐食性の酸を生成し、シロキサンは研磨性の二酸化シリコン（シリカ）を生成する恐れがあります。二酸化シリコンは、ボイラー、レシプロエンジン、タービンエンジンなどの処理装置内に堆積して、摩耗を早め、故障を引き起こす恐れがあるため、特に問題となります。このため、バイオガスを高価な機械の燃料に使用する場合には、揮発性シロキサン濃度を注意深くモニタリングし、制御する必要があります。

揮発性シロキサンの分析

従来、バイオガス中のシロキサンは検出下限 0.02 ~ 1 ppmv (100 万分の

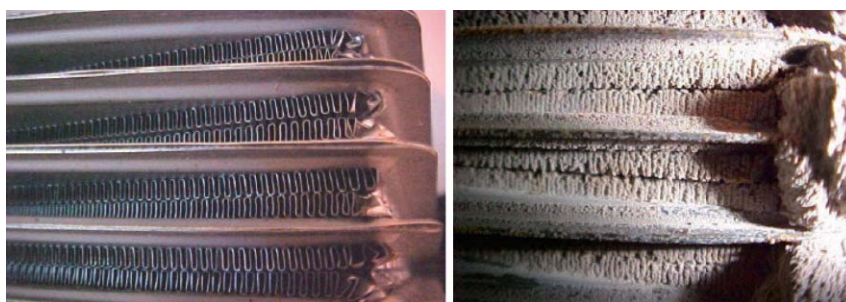


図 1. 揮発性シロキサンを含むバイオガスの汚染を受ける前（左）と受けた後（右）のマイクロタービンコンポーネントの様子 [1]

1 体積分率) の GC/MS を用いて測定されてきました。しかし、頑丈なレシプロエンジンから、排ガスのきれいなマイクロタービン（図 1）へと、エンジン技術が変化したのに伴い、シロキサンの許容範囲が低下し、さらに感度の良い分析方法が必要となってきました。

シロキサン分析を行う場合の感度、使いやすさ、堅牢性について、GC-ICP-MS システムの評価を行いました。Si 分析は ICP-MS では困難とされていますが、アジレントの GC インタフェースでは、ドライプラズマを使用することで効率的なイオン化を実現し、酸素と窒素ベースの多原子イオン干渉を大幅に減らすことができます。さらに、7500ce の水素反応モードを使用することで、Si に対する N_2 のバックグラウンドを減少させ、その結果、シロキサン分析において優れた感度を実現しました。

Agilent 6890/7500ce GC-ICP-MS システムを用いて、メタノール溶液中の 8 種類のシロキサン、それぞれ約 45 ppb ($\mu\text{g/L}$) を分析しました。トータルの分析時間は 10 分未満で（図 2）、

S/N 比の 2 倍から算出した検出下限は、化合物換算で 1 pg 未満でした。これをバイオガス中の濃度に変換すると、標準的な試料の捕集方法を用いた場合、検出下限は 0.03 ~ 0.07 ppbv (100 万分の 1 体積分率) になります。この値は、もっとも厳しいエンジンメーカーの要求値の 1/100 であり、GC/MS の検出下限の 1/500 以下の値です。

さらに、ICP-MS の感度は化合物の形態に依存しないため、一部の化合物の標準試料が入手できなくても問題にはなりません。1 種類の Si 標準化合物のレスポンスに基づいて、他の Si 含有化合物の正確な定量が可能です。

図 3 は、4.5 ~ 90.45 ppb のドデカメチルペンタシロキサンの検量線で、優れた直線性 ($r^2 = 1.000$) を示しています。この検量線を用いて 4,520 ppb の標準を分析した場合、定量値は 4,244 ppb (回収率 94%) となり、検量線の最高濃度の 50 倍まで直線性があることがわかりました。

化合物	略語	分子式	分子量	沸点 (°C)
ヘキサメチルジシロキサン	L2	$C_6H_{18}O_1Si_2$	162.38	99
ヘキサメチルシクロトリシロキサン	D3	$C_6H_{18}O_3Si_3$	222.47	134
オクタメチルトリシロキサン	L3	$C_8H_{24}O_2Si_3$	236.54	153
オクタメチルシクロテトラシロキサン	D4	$C_8H_{24}O_4Si_4$	296.62	175.8
デカメチルテトラシロキサン	L4	$C_{10}H_{30}O_3Si_4$	310.69	194
デカメチルシクロペンタシロキサン	D5	$C_{10}H_{30}O_5Si_5$	370.78	210
ドデカメチルペンタシロキサン	L5	$C_{12}H_{36}O_4Si_5$	384.85	232
ドデカメチルシクロヘキサシロキサン	D6	$C_{12}H_{36}O_6Si_6$	444.93	245

表 1. バイオガス中に一般的に検出される揮発性シロキサン [2]

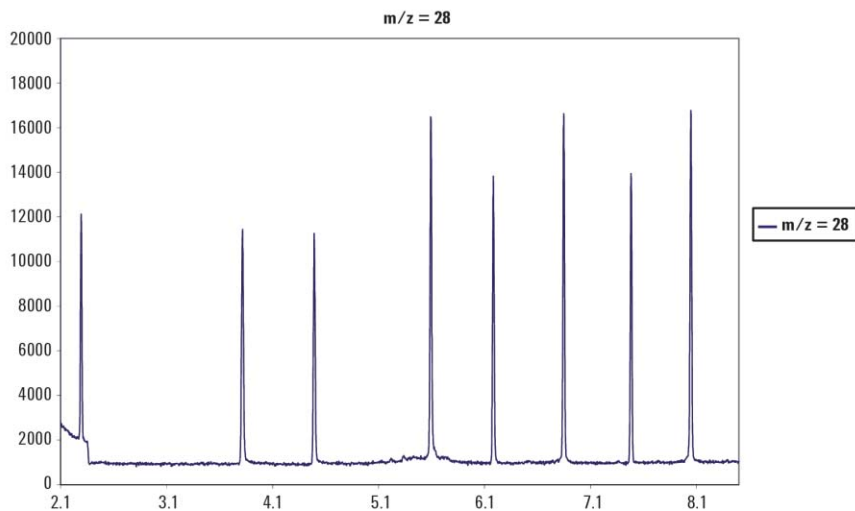


図 2. GC-ICP-MS を用いて分析したメタノール中の 8 種類のシロキサン、それぞれ約 45 ppb (μg/L) のクロマトグラム

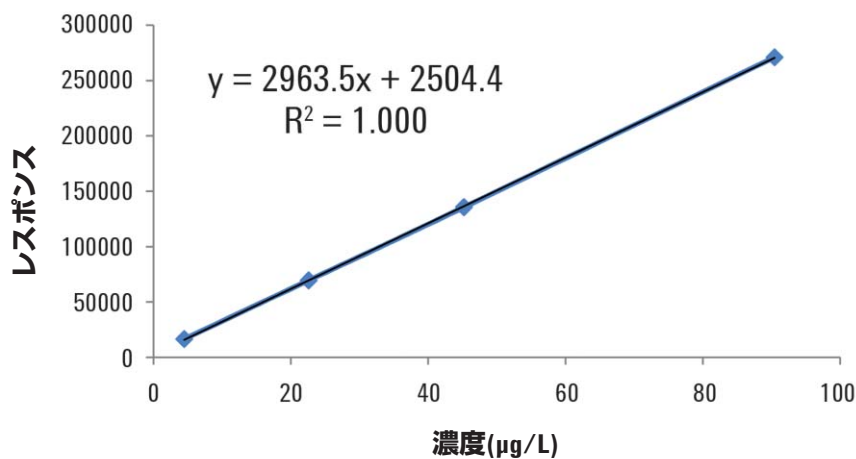


図 3. 4.5 ~ 90.45 ppb のドデカメチルペンタシロキサンの検量線

結論

排水処理施設や埋め立て地でのバイオガス使用において、揮発性シロキサンは問題を起こす場合があります。そのため、バイオガス処理装置メーカーはガス中の Si 濃度をより厳しくモニターする必要に迫られています。現在使用されている手法では、信頼性の高い測定が不可能な場合があります。GC-ICP-MS は、直線性、再現性、使いやすさの点で優れており、求められる検出下限値を簡単に達成できます。

謝辞および参考文献

1. Jeffery Pierce, SCS Engineers 提供
2. Wheless, E. and Pierce J., "Siloxanes in Landfill and Digester Gas Update"

www.scsengineers.com/Papers/Pierce_2004Siloxanes_Update_Paper.pdf

ホウ素およびホウ素同位体比分析における洗浄液の比較

Claire Wright, CSIRO Land and Water, Center for Environmental Contamination Research Urrbrae, South Australia

Fred Fryer

Agilent Technologies, South Asia

Glenn Woods

Agilent Technologies, UK

はじめに

ホウ素は、植物の成長、再生、生存に必要な必須微量元素です。

同位体希釈質量分析 (IDMS) を用いて、土壤中ホウ素 (置換フラクション) の生体内利用または貯留不安定性を推定できます。この手法では、ある一定期間、土壤溶液と土壤相のホウ素の安定同位体 (^{10}B) の分布を測定します。放射性ホウ素同位体の半減期は 1 秒未満のため、安定ホウ素同位体を選択します。ホウ素の IDMS 定量では、添加された濃縮 ^{10}B を含む、質量数 10 と 11 のホウ素同位体を正確に測定する必要がある、さまざまな干渉を除去または補正する必要があります。既知質量比率が認証されている標準試料を基準にすることでマスバイアス補正できます。しかし、 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比率の測定の誤差は、過去に導入したサンプル (残留したサンプル) によるホウ素の Memory や、 ^{12}C のピークのテーリングによる ^{11}B シグナルの上昇から生じている可能性もあります。土壤中の炭素濃度は大きく異なる可能性があり、使用する洗浄液に炭素が含まれる可能性があるため、炭素シグナルは大きく変動する恐れがあります。ホウ素の保持 (Memory 効果) は主として、ICP-MS のサンプル導入部、つまりサンプルチューブ、ペリスタルティックポンプチューブ、スプレーチャンバー、ネブライザ、トーチ、サンプルインタフェース等で生じます。自給式または直接注入の方法を用いることでペリスタルティックポンプチューブ汚染を回避できますが、これらのシステムでは手動での操作や、ハードウェアの追加が必要です。直接注入や PFA マイクロ同軸ネブライザなどの特殊ネブライザを使用すると、ホウ素の Memory が減ることが示さ

れてきましたが [1]、このようなネブライザ使用は追加費用がかかる場合があります。

ここでは、標準サンプル導入システムを利用した、ICP-MS による、ホウ素同位体測定の方法構築について紹介します。

ホウ素の Memory 効果

7500ce ICP-MS を用いて、さまざまな洗浄液を比較しました (表 1)。装置条件は表 2 のとおりです。各洗浄液に対するホウ素のベースラインシグナルを安定化させるために、10 分間導入洗浄しました。洗浄に続いて、ホウ素標準 ($10\text{ }\mu\text{g/L}$ と $100\text{ }\mu\text{g/L}$) の 2% HNO_3 溶液 (分解土壤サンプル中の予想されるホウ素濃度として) を 10 分間導入しました。時間分析 (TRA) を用いて、 ^{10}B をモニタリングしました。

溶液 1	硝酸 - サンプル分解物の化学的性質と同じ
溶液 2	* マンニトール水溶液 - 0.25% マンニトール
溶液 3	* マンニトールのアンモニア溶液 - 0.25% マンニトールの 0.1M NH_4OH 溶液
溶液 4	アンモニア - 0.1M NH_4OH
溶液 5	アジレント洗浄液

表 1. ホウ素 Memory を除去するために一般的に使用される洗浄液

* ホウ素は多糖類やアルコールと錯体を形成しやすいため、マンニトール ($\text{C}_6\text{H}_8(\text{OH})_6$) は、ホウ素の安定化のため溶媒によく添加されます。

洗浄液の検討結果

ベースラインレベルは硝酸 (洗浄液 1) とマンニトール (洗浄液 2) では高く、サンプル導入後のベースラインが安定するまでに 15 分以上必要でした。同様に、ホウ素サンプルのシグナルを安定させるために 5 分以上を要しました。全体として、これらの方法ではサンプルあたり 25 分以上を要することになります。

ペリポンプ回転速度	0.25 rps
ペリスタルティックポンプチューブ	Solva™ - 内径 0.89 mm (オレンジ/オレンジ)
ネブライザ	Glass Expansion 製 v-スプレータイプ
ネブライザガス流量	0.5 L/min
メークアップガス流量	0.7 L/min
スプレーチャンバー	石英製スコットタイプ
スプレーチャンバー温度	2 °C
サンプリング深さ	8 mm
RF 出力	1550W
インタフェースコーン	Ni

表 2. 7500ce ICP-MS 操作パラメータ

アルカリ性マンニトール (洗浄液 3) は、アンモニアまたはマンニトール単独の溶液と比べてバックグラウンドが高く、使用することができませんでした。アンモニア/マンニトール洗浄液は、数年の分析で堆積したホウ素をアルカリ etching により、ガラス表面から取り除き、そのため、これが最善の洗浄液であると予想されましたが、コンタミネーションによるバックグラウンドが高く、使用不可能でした。しかし、安定化時間は 3 分未満で、洗浄時間が 5 分未満であることは、清浄なガラス器具を用いればこの溶液が効果を発揮することを示しています。アジレントの洗浄液 (洗浄液 5) - アンモニア、EDTA、Triton X100、 H_2O_2 の組み合わせでは、安定化時間と洗浄時間 (元のベースラインに対して 3 分未満) が短く、最低のホウ素バックグラウンド ($< 5,000\text{ cps}$) を示しました (図 1)。

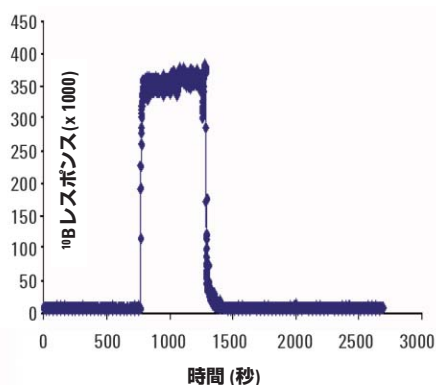


図 1: アジレント洗浄液を用いた ^{10}B のレスポンス

¹¹B 測定に対する炭素の影響

この研究では、ホウ素の分析への炭素干渉の影響についても考察しました。10 µg/L のホウ素、ベリリウム、リチウムと 1,000 mg/L のショ糖を含む溶液を 7500ce で分析しました。図 2 に示すとおり、質量 11 (B) への質量 12 (C) のピークの重なりはありませんでした。

炭素濃度を変化させ、ホウ素への影響を考察しました。異なる濃度のショ糖溶液 (1,000 mg/L ショ糖 = 421 ppm C) で NIST CRM 951 ホウ酸 (¹¹B = 80.1% アバundance、¹⁰B = 19.9% アバundance) を分析することで評価しました。表 2 に示した結果から、最も低いホウ素濃度でも 11:10B 比率に炭素の影響がないことが分かります。

ホウ素 µg/L	ショ糖 mg/L	11/10B
10	0	4.4 ± 0.02
10	10	4.4 ± 0.07
10	100	4.3 ± 0.04
10	500	4.4 ± 0.03
10	1000	4.4 ± 0.02
100	0	4.4 ± 0.004
100	10	4.4 ± 0.03
100	100	4.4 ± 0.02
100	500	4.4 ± 0.02
100	1000	4.4 ± 0.01

表 2. ホウ素同位体比率への炭素の影響

結論

ICP-MS によるホウ素測定の Memory 効果除去についての最も効率的な洗浄液として、EDTA、過酸化水素、界面活性剤を含むアルカリ性洗浄液の効果が高いことがわかりました。ベースラインが低く、安定しているため、ホウ素の定量下限 (1 µg/L 未満) は低くなり、サンプル安定化時間 (4 分未満)、サンプル分析後の洗浄時間 (3 分未満) とともに短いため、迅速な測定が可能です*。

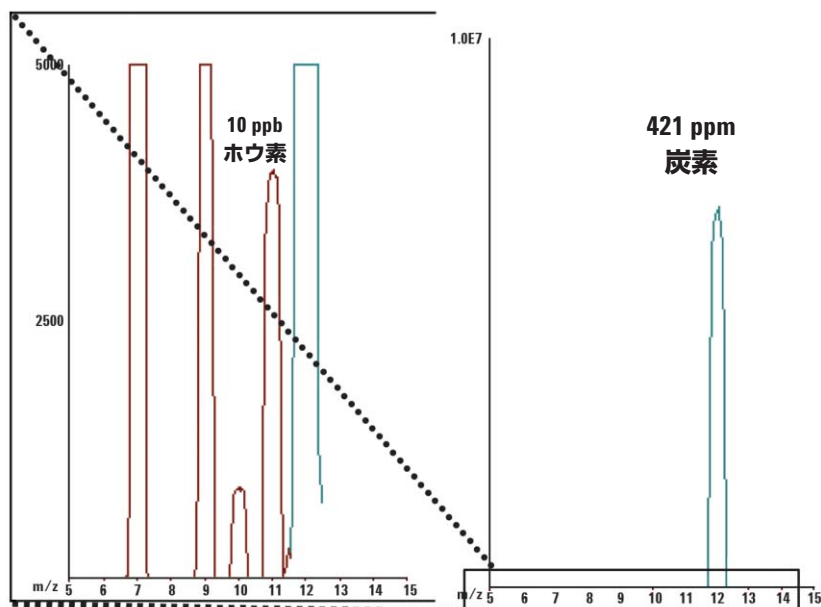


図 2: 拡大したマス軸のスケールは質量 7 ~ 12 amu を示します。
注: ホウ素 (m/z 11) ピークと炭素ピーク (m/z 12) の重なりはありません

¹¹B シグナルへの ¹²C のピークテーリングの干渉はありませんでした。

メモリ効果と炭素の干渉の両方を排除することで、同位体希釈 ICP-MS による簡単に正確なホウ素定量が可能になります。

* ただし、極微量 (0.01 µg/L) のホウ素分析 (例: 半導体分野における分析等) の場合、洗浄液に含有するホウ素汚染が Memory 原因になる場合があります。

参考文献

1. Ana Claudia S. Bellato; Amauri A. Menegario; Maria Fernanda Gine, Boron isotope dilution in cellular fractions of coffee leaves evaluated by ICP-MS with direct injection nebulization, J. Braz. Chem. Soc. vol.14 no.2 Sao Paulo Mar./Apr. 2003.

詳細情報

アジレントの洗浄液 (洗浄液 5) の詳細は、Agilent ICP-MS ユーザーフォーラム (英語のみ) をご覧ください。

フォーラムには、アジレントのウェブサイトからログインしてください。未登録の場合には登録が必要です。初回のログイン時のみ、お使いの装置のシリアル番号の入力が必要です。

- ICP-MS ユーザーフォーラムへのリンクは、以下のサイトから可能です。
www.agilent.com/chem/icpms にアクセスしてください
- Additional Information の下の User Forum リンクをクリックします
- ICP-MS User Forum 内の Agilent ICP-MS User Resources をクリックします。
- ファイル “Rinsing Protocol for Rapid Measurement of ‘Sticky’ Analytes by 7500 Series ICP-MS” を開いてください

ICP-MS ChemStation ソフトウェア アップグレードの ダウンロード方法

山田知行

化学分析事業部
Agilent Technologies

7500 シリーズ ChemStation ソフトウェアを最大限に活用するために、最新バージョンの ICP-MS ChemStation ソフトウェアをお使いください。Windows 2000 用、XP 用のそれぞれについて、最新ソフトウェアのアップデート情報をお知らせします。

まず、ChemStation ソフトウェアの「ヘルプ」メニューをクリックし、「バージョン情報」を選択すると、現在のソフトウェアの製品番号とバージョンを確認することができます。

前のバージョンからの各種の改良を反映し、また、今後の効果的なサポート

のためにも、最新バージョンへの更新をお勧めします。

現在、B.0x.0x 版をお使いのユーザー様は、Agilent ICP-MS ウェブサイトから、B.03.04 (Windows 2000 ユーザー様)、B.03.07 (Windows XP ユーザー様) へのアップグレード版を無料でダウンロードできます (下記の方法を参照してください)。

1. 以下のウェブサイトをご覧ください
www.agilent.com/chem/icpms

2. ページの中央列にある「**ICP-MS** ソフトウェア」を選択します。

3. 「**ICP-MS ChemStation アップデートおよびダウンロード**」を選択します。
(このページにアクセスするには、アジレントのサイトにログインする必要があります。初めてログインする場合は登録する必要があります。ログイン後、装置付属の「Software Certificate & Registration Packet」(黄色の封筒形状) に示された 10 桁の登録番号を入力します)。

4. 「**ICP-MS ChemStation**」をクリックします。

5. ChemStation バージョンの関連パッチファイルをダウンロードするには、該当する ChemStation アップデートをクリックします。

オンラインでダウンロード可能なアップグレードの一覧を表 1 に示します。

以前の Windows NT 版 ChemStation ソフトウェアレビジョン (レビジョン A) をご使用の 7500 ユーザー様の場合は、G3149B をご購入いただくと、B.03.07 (OS は含まず) へのアップグレードができます。

なお、旧 7500 に付属の PC によっては、アップグレードに対する必要要件を満たしていない場合があります。ウェブサイトの「インストール前の注意」を参照してください。新しい PC が必要な場合は、ICP-MS 用 PC のセット (G3150A #321) を用意しています。

ChemStation 製品番号	更新前	更新後	オペレーティングシステム/ インタフェース	概要
G1834B	B.01.00 – B.03.05	B0.030.06	Windows XP SP2 / LAN	B.03.04 の機能の他に ・ヘリウムモード用の半定量係数 ・CETAC EXR-8 オートサンブラの制御
G1834B	B.01.00 – B.030.03	B0.030.04	Windows 2000 SP4 / LAN または GP-IB	・新チューニングウィンドウ ・システムワイドパラメータ機能 ・3つのガスモード用オートチューン ・プレランモニター ・バッチビュー ・オフラインデータ採取編集 ・先行リンス機能 ・15チャンネル可能な感度チューン ・新しい検量線編集画面 ・ファイルの圧縮および展開ツール ・自己診断
G1834A	A.01.00 – A.02.01	A.02.02	Windows NT4 SP6a / GP-IB	・マルチチューン

表 1: Windows XP、2000、NT オペレーティングシステム用にオンラインでダウンロード可能な Agilent 7500 ICP-MS ChemStation アップグレード一覧

位置合わせが簡単な 7500 ICP-MS 用トーチ

Paul McMahon

Technical Marketing Engineer,
化学分析事業部、Agilent Technologies



図 1. 新しい標準トーチ、2.5 mm 径、
(製品番号: G3270-67002)

7500 ICP-MS 用石英製トーチの設計が変更され、最適な位置合わせが容易になりました。

従来のトーチとトーチスタンドでも、x 軸と y 軸の精密な位置合わせが可能でしたが、新しいトーチとトーチスタンドでは突起を追加することで、z 軸も再現性よく位置合わせできます。新しいトーチは高マトリクス導入キット (HMI) にも適合します。

新しいトーチスタンド (製品番号: G3270-60501) のご注文は担当営業までお願いします。

注: 新トーチは、従来のトーチスタンドのままでご使用いただけます。

新しい内径 2.5 mm トーチ (製品番号: G3270-67002) は、Agilent 7500 シリーズで使用できます。G1833-65423 の代替品としてご注文ください。

ポンプノイズを低減する 静音ボックス

山田知行

化学分析事業部、Agilent Technologies

「静音ボックス II」を使うと、7500 ICP-MS の真空ポンプの騒音を低減することができます。



図 1. 7500 ICP-MS に設置された静音ボックス II

新しい静音ボックス (製品番号: G3199B) は、Agilent 7500 ICP-MS に使用される E2M18 を含む、BOC Edwards ポンプに対応します。

静音ボックスの特徴:

- ポンプからの騒音の低減: 発泡材断熱材を使用したキャビネットによる吸音
- ロック付きキャスターにより移動が簡単
- アクセスが簡単: カバーの取り外しには工具不要
- 保守が簡単: 内蔵の「持ち上げ/傾斜」レバーで本体を傾けてオイルを排出します
- 安定した温度: 2 つのファンによりカバー内部の温度を維持します

詳細は、ホームページをご覧ください。
www.agilent.com/chem/jp

ユーザー事例: 電圧降下や停電からの 回復

米国と英国のユーザーで、電圧降下や停電に対する 7500 ICP-MS の信頼性と利便性を確認できる事例がありました。一時的な電圧降下や停電により、他の機器はダウンしても、7500 はラボの生産性低下を最小限に抑えました。

「Agilent 7500c の稼働中に、ラボの電圧が低下しました。照明は暗くなり、多くの機器やコンピュータがシャットダウンしました。しかし、Agilent 7500c は稼働し続けました。」と、TestAmerica 社 (米国) の Ernie Walton 氏は述べています。ラボでの電圧低下は滅多にないことですが、7500 の堅牢性により、TestAmerica 社では分析を中断せずに続けることができました。

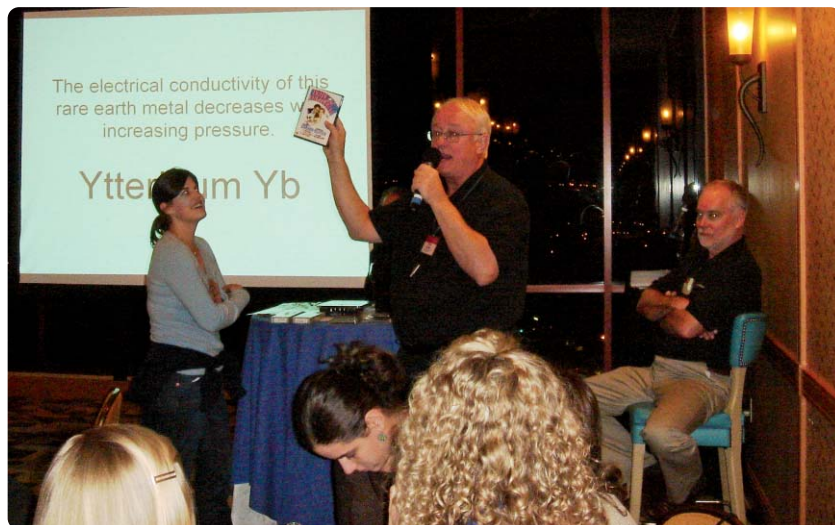
英国国立歴史博物館の Teresa Jeffries 博士も、7500 の耐久性に感心された一人です。「昨晚、停電が発生しました。その時に分析を行っていた担当者は、すべての装置がシャットダウンしたことによりかなりショックを受けており、始業時に予想される混乱状態について心配していました。ところが、驚いたことに、Agilent 7500cs は自動的に真空排気を開始し、スタンバイ状態で自動復帰していました。そして、朝から通常どおり分析でき、回復のための調整などは一切不要だったのです。」

7500 シリーズは、停電後も効率的に装置が復帰できるように設計されています。すべての Agilent ICP-MS は、衝撃、振動、異常な電源状態に関する試験を含む、厳しい品質管理試験に従って開発されています。さらに、自動回復機能により、電源供給遮断時にはスタンバイモード (真空状態) に自動的に戻ります。これにより、分析開始までの準備時間は最小限に抑えられます。

Winter Plasma Conference 2008

Don Potter

ワールドワイド ICP-MS マーケティングマネージャ、
化学分析事業部、Agilent Technologies



Agilent ICP-MS ユーザミーティング

1月7～12日に、米国カリフォルニア州で開催された第15回 Winter Plasma Conference には、世界中から多くの分析化学者が参加しました。今年の会議では、メタロミクスとプロテオミクスに関するセッションも目立ち、この分野で多くの研究活動が行われていることがうかがえました。

例年通り、会期中に会場内で行われた Agilent ICP-MS ユーザミーティング には、180名以上のユーザー様にご参加いただきました。司会者の Chris Scanlon は新たな趣向の「元素ビンゴ」(番号の代わりに元素記号をビンゴカードに使用したもの)で会場を盛り上げました。参加された方にも楽しんでいただけたようです。

次の Winter Conference は、2008年11月16～21日、日本のつくば市と、2009年2月17～20日、オーストリアの Graz です。皆様とお会いできることを楽しみにしています。

本誌に記載の情報は予告なく変更される場合があります。また、発行時点で終了しているキャンペーン、イベントなどが含まれる場合があります。

© Agilent Technologies, Inc. 2008
Printed in Japan, February 25, 2008
5989-7727JAJP

新しい Agilent ICP-MS ユーザの皆さまへ

Agilent ICP-MS を導入いただいた皆様のユーザフォーラムへのご参加を心から歓迎致します。Agilent ICP-MS ユーザフォーラム (英語版) は、Web をベースとした交流の場で、7500 に関する情報を交換できます。

このフォーラムにアクセスするには、アジレントのウェブサイトでログインしてください。未登録の場合には登録を行ってください。初回のログイン時には、お使いの装置のシリアル番号の入力が必要です。ICP-MS ユーザフォーラムへのリンクは、以下のサイトから可能です。

www.agilent.com/chem/icpms

4500 シリーズの公式サポート終了

Agilent 4500 シリーズ ICP-MS の公式サポート期間は2007年10月31日をもって終了となりました。詳細は、アジレントの販売代理店または営業担当にお問い合わせください。 www.agilent.com/chem/jp

展示会と国際会議

Agilent 半導体セミナー

2008年6月3日 (東京)、5日 (大阪)

2008 分析展

2008年9月3日～5日、幕張メッセ

<http://www.jaimashow.jp>

2008 Asia Pacific Winter Conference

2008年11月16日～21日、つくば市

<http://envsun.chem.chuo-u.ac.jp/plasma/2008apwc.htm>

ICP-MS 関連資料

最新の資料の閲覧、ダウンロードは、www.agilent.com/chem/jp の「ライブラリ」から検索してください。

- アプリケーションノート: ORS 搭載 7500ce ICP-MS によるバイオディーゼルの直接元素分析、5989-7649EN (英語版)
- ユーザー事例: サノフィ・アベンティス、臨床サンプル中オキサリプラチンのハイスループット分析、5989-7077EN (英語版)

表紙写真:

「分光学的手法による極微量元素分析法の開発とその普及」により、日本分析化学会から技術功績表彰を受けたアジレントの高橋純一博士 (写真左)。

Agilent ICP-MS ジャーナル編集者

Karen Morton, Agilent Technologies
e-mail: editor@agilent.com



Agilent Technologies