

ICP-MS と超高マトリックス導入および ディスクリートサンプリングを用いた 無希釈海水の分析

Agilent 7850 ICP-MS と ISIS 3 DS による高精度かつ
安定した微量分析



著者

Tetsuo Kubota, Agilent
Technologies, Inc.

はじめに

2015年に国連が採用した17の持続可能な開発目標（SDGs）では、2030年までに貧困を解消して、地球を保護し、すべての人々が平和と繁栄を享受することを目指しています（1）。17のSDGsはすべて、直接的（17目標のうち13）または間接的（残りの4目標）に環境に関連しています。SDGsに対する取り組みにおいては、大気、異なる種類の水（海水を含む）、世界各地の土壌のようなすべての種類の環境サンプルを広範に継続してモニタリングすることが必要になります。

国連は次のように述べています。「私たちの海 - その温度、循環、化学物質、および生態系 - は、地球を居住可能にするための基本的な役割を果たしています。この不可欠な世界規模の資源を注意深く管理することは、持続可能な将来において重要な点です。」海洋環境の重要性について真剣に考えるための目標14の目的は、「海洋および海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する」ことです。具体的には、目標14.1は、特に陸上の活動による海洋汚染を、2030年ではなく2025年までに減少させると述べています。産業廃水および生活廃水中に存在する微量元素は、海洋汚染の主な要因です。そのため、海水サンプルの無機物含有量を測定することは、目標14.1を達成するために必要になる重要な評価メソッドです。

ICP-MS は高速の多元素分析法です。高濃度の総溶解固形分 (TDS) を含む可能性のある、多岐にわたる複雑な環境サンプル中の複数の成分を測定するためによく用いられます (2 ~ 5)。特に ICP-MS により海水中のさまざまな元素を測定することは、海水中の塩の含有量が非常に高いため困難になります (6 ~ 8)。高 TDS を含むサンプルを ICP-MS により直接 (無希釈) 分析する際には、インタフェースコーンの開口部に解離していないマトリックスが堆積する場合があります、測定の感度と機器の長期安定性に影響を与えます。また、サンプル中の Na や K のような簡単にイオン化する高濃度の元素は、高いイオン化ポテンシャルにより他の元素のイオン化を低減させており、この影響は「イオン化干渉」として知られています。さらなる課題は、海水中に存在する Na、Ca、Cl、S のような主成分元素は、ICP-MS 質量スペクトル中に多原子イオンを形成する場合がありますということです。例えば、 $^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}$ は ^{51}V に干渉する場合があります、 $^{40}\text{Ar}^{23}\text{Na}$ は ^{63}Cu に干渉します。これらの干渉により、Ti、V、Cr、Ni、Cu、Zn、As、およびその他の元素の微量濃度を正確に測定できなくなります。

これらの課題を取り除くために、海水分析用の一部の ICP-MS メソッドでは、高サンプル希釈係数またはキレート剤によるマトリックス除去を使用します。これらの追加のサンプル前処理段階は時間がかかるため、希釈液やキレート樹脂による汚染のリスクがあります。

分析者は、さまざまな開発により高マトリックスサンプル中の複数元素の直接分析ができるようになった Agilent ICP-MS を使用できます。Agilent ICP-MS には、スペクトル干渉を処理するために、ORS⁴ コリジョンリアクションセル (CRC) が組み込まれています。ORS⁴ は、ヘリウム (He) コリジョンモードと運動エネルギー弁別 (KED) による一般的な多原子の重なりをすべて除去するように最適化されています。He モードでは多くの一般的な種類のサンプル中の大部分の元素について同じセル設定を使用でき、この点でもルーチン分析が容易になります。

Agilent ICP-MS には、超高マトリックス導入 (UHMI) エアロゾル希釈システムも搭載されており、高マトリックスサンプルを ICP-MS に直接導入できます。UHMI では、アルゴンガスを使用してサンプルエアロゾルを希釈していますが、これにより高温と堅牢な ICP が実現されるため、高マトリックスサンプルに対して長い分析時間にわたって安定性を維持できます。プラズマの堅牢性は、 CeO^+/Ce^+ 比としてモニタリングします。この比が低いほどプラズマが堅牢であることを示しています (9)。Agilent ICP-MS の堅牢な使用条件 (低 CeO/Ce 比) により、高マトリックスサンプル中の効果的なマトリックス分解と成分のイオン化が実現し、長い分析時間にわたるドリフトが最小限に抑えられ、インタフェースコーンのルーチンメンテナンスの頻度が低減します。この研究で示すように、Agilent 7850 ICP-MS を使用することにより、無希釈海水の場合でも直接測定でき、良好な精度と長期安定性を得られます。

Agilent ICP-MS MassHunter ソフトウェア (バージョン 5.1 以降) には、オートチューン機能、プリセットメソッド、IntelliQuant、アーリーメンテナンスフィードバック機能 (EMF) のような一連の有用な機能が組み込まれており、ラボが ICP-MS 分析をより効率的に実施するのに便利です。これらの機能によりメソッド作成を最適化し、不要な機器メンテナンスを回避して、海水のような分析困難なサンプルで高品質のデータを生成できます。

実験方法

標準とサンプル前処理

標準液とサンプルは、1 % の HNO_3 と 0.5 % の HCl の酸マトリックスで調製しました。Sb、Hg などの元素の安定性を確実にするために、ICP-MS 分析では通常、 HCl をサンプルに加えます。Agilent ORS⁴ CRC の標準 He セルモードは、塩化物マトリックスから形成されるすべての Cl ベースの干渉を取り除きます。

標準液、スパイク、大部分の品質管理 (QC) 標準は、Agilent 環境キャリブレーション標準液 (p/n 5183-4688) で調製しました。単元素標準液は、B、P、Ti、Sn、Hg (関東化学株式会社、日本) で使用しました。Sn は、高濃度の場合、標準液の調製に使用される比較的低濃度の HCl では長期間において化学的に安定していません。Sn の検量線の直線性と安定性を確保するために、各バッチ分析の前に標準を新しく調製しました。

検量ブランクを含む 6 点の標準液は、表 1 の濃度範囲で調製しました。分析中の QC については、B、P、Ti、Sn、および Hg 用の環境標準液と単元素標準液を、1 % HNO_3 および 0.5 % HCl 酸マトリックス中で混合しました。大部分の QC サンプルの濃度は、検量線の間差点でした。

サンプルには、人工海水 (マリンアート、大阪薬研株式会社、日本)、実際の海水 (千葉、日本で採取)、および海水中の NMIA MX014 微量元素認証標準物質 (National Measurement Institute CRM、オーストラリア) を使用しました (10)。標準を各海水サンプルに添加して、マトリックススパイクサンプルを調製しました。スパイク濃度を表 6 に示します。

内部標準 (ISTD) 溶液 (p/n 5183-4681) には、1 % HNO_3 および 10 % HCl の酸マトリックス中に 2 ppm の Li、Y、In、および Bi が含まれていました。10 % HCl を ISTD 溶液に追加して、海水サンプルをマトリックスマッチングしましたが、この中には高濃度の塩化物イオンが含まれています。溶液は、Agilent ISIS サンプリングシステムバルブの専用 7 番ポートを介して、オンラインで自動的に追加しました。内径が小さいポンプチューブを使用したため、ISTD 溶液の流量はサンプル流量の約 1/15 でした。

表 1. 元素、検量線濃度範囲、および QC サンプルの濃度

元素	検量線範囲 (ppb)
Na, Mg, Ca, Fe	10 ~ 100,000
その他の微量元素	0.1 ~ 100
B	10 ~ 5,000
P	10 ~ 1,000
Ti, Sn	1 ~ 100
Hg	0.01 ~ 1

装置構成

Agilent 7850 ICP-MS に ISIS 3 ディスクリートサンプリング (DS) システムを搭載して使用し、多様な海水サンプルを分析しました。7850 は、ニッケルチップ銅サンプリングコーン、ニッケル製スキマーコーン、UHMI エアロゾル希釈システム、および ORS⁴ CRC を搭載しています。

大部分の代表的な種類のサンプルの分析においては、分析者が UHMI 設定、レンズオートチューン、シングル He セルモードを選択することにより、プリセットメソッド、自動プラズマ補正を使用できます。He モードは Quick Scan データ取り込みのデフォルトモードとしても使用されるため、IntelliQuant (半定量) データには一般的な多原子イオン干渉に起因するエラーが発生しません (10)。ただし、分析者には分析の目的に応じて、異なるセルガスモードを適用し、レンズチューニングを調整して、感度を最大化するオプションが用意されています。

この研究では、海水中に天然に存在する微量元素の濃度を直接測定する際に、低い検出限界が必要でした。測定の感度を最大化するために、ORS⁴ セルをノーガス、He、拡張 He (HEHe) (11)、および H₂ セルガスモードで動作させました。長い分析時間にわたって堅牢で安定したプラズマ条件を提供するために、UHMI を希釈レベル 8 (UHMI-8) に設定しました。高塩サンプルを分析する際には、キャリアガスを加湿してネブライザおよびトーチインジェクタに塩が蓄積するのを防止するのが一般的な手法です。この研究では、Agilent アルゴン加湿器を使用して、ネブライザガスと希釈ガスの両方を加湿しました。He モードでの CeO/Ce 比は約 0.2 % でした。長期にわたって安定するように、レンズパラメータを最適化しました。

通常は、ICP-MS により高マトリックスサンプルを測定する前に、機器のサンプル導入システムをプレコンディショニングします。この研究では、500 ppm Ca 標準溶液を、一般的なプラズマ使用条件で 15 分吸引しました。ブランク溶液で即座に洗浄した後、無希釈海水サンプルを 15 分吸引しました。最後に、ブランクサンプルを機器に 30 分導入して、サンプル導入システムを洗浄しました。

オートサンブラは Agilent SPS 4 を使用しました。ISIS 3 DS システムは、前のサンプルのデータを取り込みながら洗浄プログラムを開始することによって、分析全体を高速化します。ISIS 3 DS は、従来のサンプル導入よりも分析時間を 2 分短縮し、同時に前のサンプルからのキャリアオーバーを最小限に抑えました。ISIS 3 の構成と機能の詳細については、別の資料で紹介しています (4, 5)。

機器の使用条件を表 2 に、ISIS 3 の操作パラメータを表 3 に示します。

表 2. Agilent 7850 ICP-MS の操作パラメータ

パラメータ	設定			
プラズマモード	UHMI-8			
RF 出力 (W)	1600			
サンプリング深さ (mm)	10			
ネブライザガス (L/min)	0.70			
希釈ガス (L/min)	0.28			
引き出し 1 (V)	-4			
引き出し 2 (V)	-250			
オメガバイアス (V)	-100			
オメガレンズ (V)	9			
ガスモード	ノーガス	H ₂	He	HEHe
偏向レンズ (V)	13.2	1.2	1.4	-74
ガス流量 (mL/min)	-	4.5	4.5	10
エネルギーディスクリミネーション (V)	5	5	4	7

影付きのパラメータは、UHMI-8 を選択した際に、ICP-MS MassHunter ソフトウェアにより自動的に設定されました。

表 3. Agilent ISIS 3 のパラメータ

パラメータ	設定	
	ループ容量 (mL)	1.4
	時間 (秒)	ポンプスピード (%)
サンプルロード	9	35
安定化	23	5
プローブの洗浄	25	8
プローブの洗浄 2	10	60
プローブの洗浄 3	10	5
オプションのループプローブ洗浄	13	60
オプションのループ洗浄	3	5

結果と考察

MDL と検量線

表 2 の取り込みパラメータを用いて、すべての分析対象物を測定しました。メソッド検出限界 (MDL) は、酸希釈マトリックス中の検量ブランクの 10 回測定の標準偏差を 3 倍して計算しました (表 4)。微量分析対象物の MDL は大部分が ng/L (ppt) レベルで、7850 ICP-MS の高感度分析が今回のアプリケーションに適していることが確認できました。²⁰¹Hg は、多様な種類のサンプルで推奨される (デフォルト) 同位体です。²⁰²Hg も測定できますが、アバンダンスが高いことにより DL が多少低くなる場合があります。図 1 は、Mg、P、Cr、Ni、Zn、As、Cd、および Pb の検量線を示しています。検量線は、0.1 ppb ~ 100 ppm の広いダイナミックレンジにわたって良好な直線性を示しており、決定係数 R は 0.9999 を超えていました。

表 4. ガスモード、積分時間、ISTD、および MDL

分析対象物	ガスモード	積分時間 (秒)	ISTD	MDL (ppb)
9 Be	ノーガス	0.3	6 Li	0.003
11 B	ノーガス	0.3	6 Li	9.67
23 Na	He	0.1	45 Sc	98.7
24 Mg	He	0.1	45 Sc	0.874
31 P	HEHe	0.3	45 Sc	5.59
44 Ca	H ₂	0.3	45 Sc	3.08
47 Ti	He	0.3	45 Sc	0.218
51 V	He	0.3	45 Sc	0.033
52 Cr	He	1.0	45 Sc	0.022
55 Mn	He	0.3	45 Sc	0.070
56 Fe	H ₂	1.0	45 Sc	0.058
59 Co	He	0.3	103 Rh	0.006
60 Ni	He	0.5	103 Rh	0.022
63 Cu	He	0.5	103 Rh	0.025
66 Zn	He	0.5	103 Rh	0.043
75 As	He	1.0	89 Y	0.076
78 Se	H ₂	1.0	89 Y	0.010
95 Mo	He	0.3	103 Rh	0.008
111 Cd	He	1.0	103 Rh	0.004
118 Sn	He	0.3	115 In	0.054
121 Sb	He	0.3	115 In	0.009
201 Hg	He	3.0	209 Bi	0.005
Pb*	He	0.33 x 3	209 Bi	0.004
238 U	He	0.3	209 Bi	0.003

Pb は最も豊富な 206、207、208 の 3 種類の同位体の合計により測定しました。

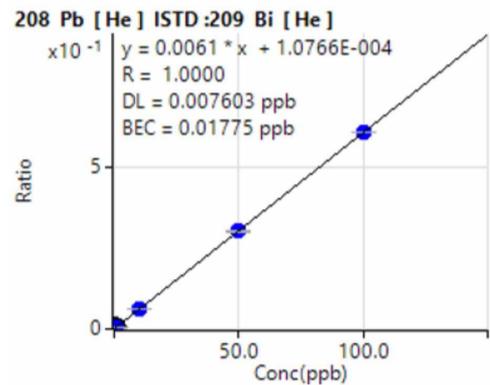
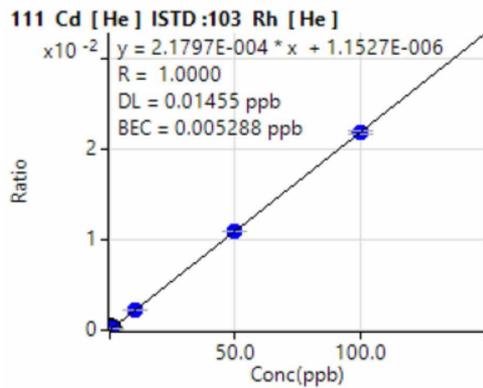
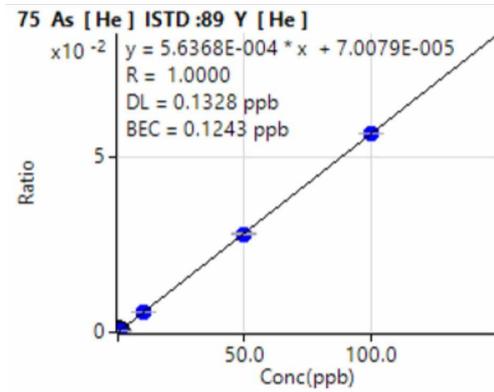
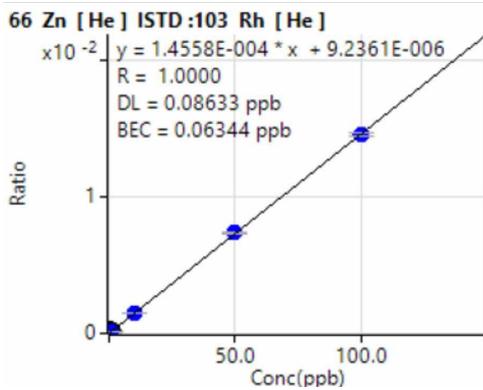
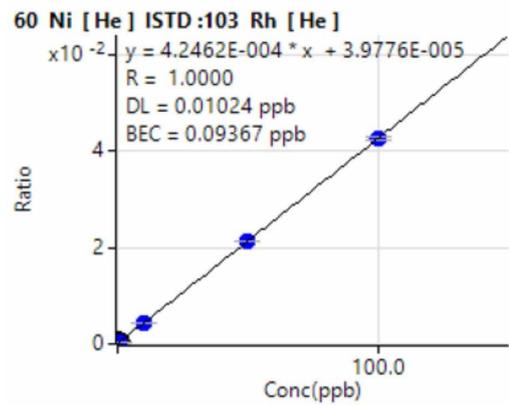
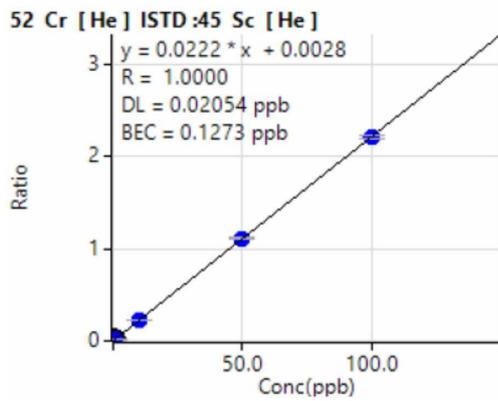
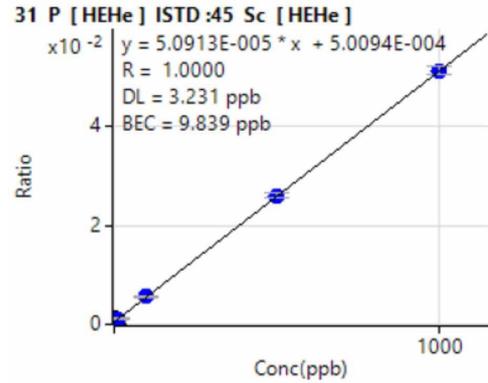
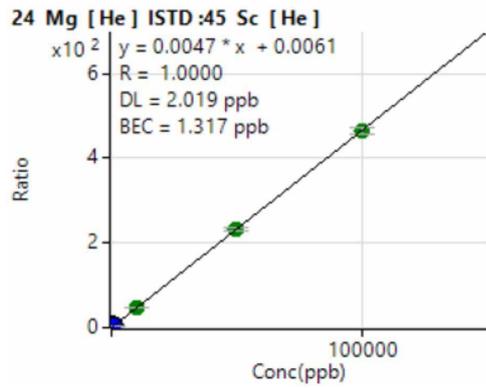


図 1. Mg、P、Cr、Ni、Zn、As、Cd、および Pb の検量線

サンプル中の固形分濃度の IntelliQuant による測定

IntelliQuant Quick Scan データを、定量メソッドの一部として取得しました。IntelliQuant の結果は、元素ごとに特定の標準を使用せずに、最大 78 の元素に対する半定量の濃度を示しています。また IntelliQuant は、同位体アバダンスプレートとの比較による、予期しない元素の同定と確認にも対応しています。結果の周期表「ヒートマップ」では、サンプル中のすべての元素の濃度が即座にシンプルに表示されます。また IntelliQuant では、各サンプルの総マトリックス固形分 (TMS) 含有量も計算して表示できます (12)。TMS は、新規または一般的でないサンプルの種類におけるメソッド作成の強力なツールであり、総マトリックスレベルに対して代表的なサンプルを即座に評価できます。また TMS を使用して、インタフェースコーン上のサンプルロードを追跡できるため、ルーチンメンテナンスの計画に便利です。海水サンプル、QC、およびブランクの TMS の結果を図 2 に示します。

Sample Name	23 Na		24 Mg		
	TMS (ppm)	Conc.	SQ Unit	Conc.	SQ Unit
seawaterB	11161.849	9615.383	mg/l	1095.728	mg/l
QC	106.559	91.496	mg/l	4.327	mg/l
blank	2.703	2.353	mg/l	0.093	mg/l

図 2. 3 種類のサンプル中の Na と Mg の IntelliQuant TMS データと半定量濃度。Quick Scan データから、Na (91 %) と Mg (86 %) の正確な QC 回収率を得ました。

海水サンプルと海水 CRM の分析

2 種類の海水サンプルと海水 CRM をそれぞれ、7850 ICP-MS により 3 回分析しました。平均濃度と CRM 回収率を表 5 に示します。認証元素の回収率はすべて ±10 % 以内に収まっており、メソッドが高精度であることが実証されました。NMIA MX014 中のすべての分析対象物に認証値があるわけではなく、表 5 の空欄のセルは認証 (参照) 値が存在しないことを示しています。

表 5. 人工海水、現地海水中で測定した濃度、および NMIA MX014 海水 CRM 中の認証元素の回収率。濃度の単位は µg/L です。ただし、影付きの行の元素の単位は、mg/L です。

	人工海水	海水サンプル	NMIA MX014	NMIA MX014 認証値	回収率 (%)
9 Be	0.114	0.003	< MDL	-	-
11 B	5.18	5.58	6.20	-	-
23 Na	8,960	9,070	9,580	-	-
24 Mg	1,240	1,090	1,160	-	-
31 P	10.9	59.1	26.0	-	-
44 Ca	377	381	415	-	-
47 Ti	< MDL	< MDL	< MDL	-	-
51 V	0.057	1.77	4.80	4.76 ± 0.12	101
52 Cr	0.630	0.129	2.35	2.613 ± 0.075	90
55 Mn	1.07	0.154	1.37	1.48 ± 0.16	93
56 Fe	6.52	0.327	20.5	21.70 ± 0.32	94
59 Co	0.428	0.033	2.98	2.864 ± 0.068	104
60 Ni	0.246	0.548	3.61	3.66 ± 0.10	98
63 Cu	0.232	0.643	2.94	2.90 ± 0.25	101
66 Zn	0.142	1.38	9.88	-	-
75 As	0.133	1.52	3.01	2.96 ± 0.26	102
78 Se	0.130	0.092	2.75	3.06 ± 0.26	90
95 Mo	9.84	11.7	11.2	-	-
111 Cd	0.022	0.017	1.21	1.318 ± 0.034	92
118 Sn	0.029	0.022	0.043	-	-
121 Sb	0.043	0.210	0.185	-	-
201 Hg	0.017	0.016	0.404	0.433 ± 0.010	93
Pb*	0.162	0.008	2.51	2.467 ± 0.065	102
238 U	0.022	3.14	3.24	-	-

* Pb は最も豊富な 206、207、208 の 3 種類の同位体の合計により測定しました。

添加回収率

2 種類の海水サンプルと海水 CRM のマトリックススパイク (MS) の結果を表 6 に示します。海水には B、Na、Mg、Ca が 1000 µg/L の添加より高い濃度で含まれているため、これらの元素では回収率の結果が得られていません。他の元素の回収率はほぼ添加濃度の ±10 % 以内に収まっており、メソッドが高精度であることがさらに実証されました。

表 6. 人工海水、実際の海水、および NMIA MX014 海水 CRM の添加回収率 (%)

元素	添加濃度 (ppb)	人工海水 (%)	海水サンプル (%)	NMIA MX014 (%)
9 Be	10	109	110	104
31 P	500	115	111	118
47 Ti	10	111	101	107
51 V	10	102	99	99
52 Cr	10	96	94	93
55 Mn	10	98	99	97
56 Fe	1000	100	101	100
59 Co	10	106	108	106
60 Ni	10	103	102	100
63 Cu	10	100	101	98
66 Zn	10	103	101	95
75 As	10	104	103	100
78 Se	10	96	97	89
95 Mo	10	107	108	107
111 Cd	10	100	100	99
118 Sn	10	102	99	98
121 Sb	10	106	105	101
201 Hg	0.1	107	103	109
Pb*	10	105	105	103
238 U	10	108	106	103

* Pb は最も豊富な 206、207、208 の 3 種類の同位体の合計により測定しました。

長期安定性

無希釈海水の分析での 7850 ICP-MS の堅牢性を実証するために、120 のサンプルおよび 30 の標準と QC サンプルを 7 時間繰り返して分析しました。ISIS ディスクリートサンプリングと UHMI エアロゾル希釈を組み合わせて使用することにより、7850 は高マトリックスサンプルのこのような長時間のルーチン分析に対応できます。ただし、マトリックスレベルが高くなると、サンプル移送、ネブライゼーション、およびエアロゾル転送の物理プロセスが変化するため、信号変動を引き起こします。

また、プラズマが適切に最適化されて堅牢な場合でも、高塩サンプルの測定時にイオン化干渉が発生します。これらの物理的およびイオン化による影響を補正するために、分析者は各サンプル溶液に内部標準をオンラインで自動的に追加します。

図 3 に示すように、ISTD 回収率は、質量依存のドリフトなしに、大部分の分析全体を通して 70~120 % 以内に収まりました。ISTD 回収率データにより、プラズマおよび UHMI の堅牢性とマトリックス耐性を確認し、機器のインタフェース上のマトリックス堆積を最小限に抑えています。また、ISTD のプロットも、質量およびイオン化ポテンシャルの範囲をカバーする元素について ISTD 信号が一貫しており、7850 が信号の抑制を適切にコントロールすることを示しています。QC 試験も実施しました。QC サンプル中のすべての元素の回収率は、分析全体を通して 90~110 % 以内に収まっており、これはメソッドの安定性が高いことを示しています (図 4)。

両セットの回収率の結果は、UHMI 付き 7850 ICP-MS の長期堅牢性および高いマトリックス耐性を示しています。

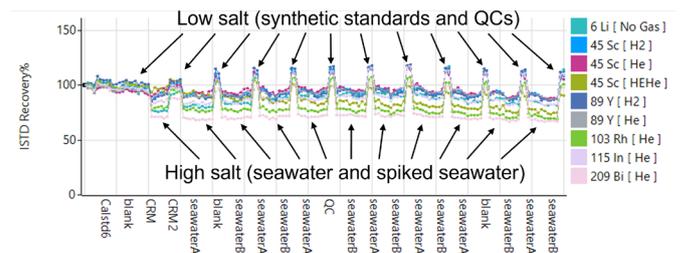


図 3. 150 シーケンスの ISTD 安定性 (120 サンプル、7 時間)。スペースに制限があるため、すべてのサンプル名が表示されているわけではありません。ISTD 信号が高くおよび低く変動するのは、それぞれ低マトリックスサンプルおよび高マトリックスサンプルの種類の移送およびネブライゼーションの変動が原因です。低マトリックスサンプルには、混合標準液や QC 溶液があり、高マトリックスサンプルには、無希釈海水や添加した海水溶液があります。

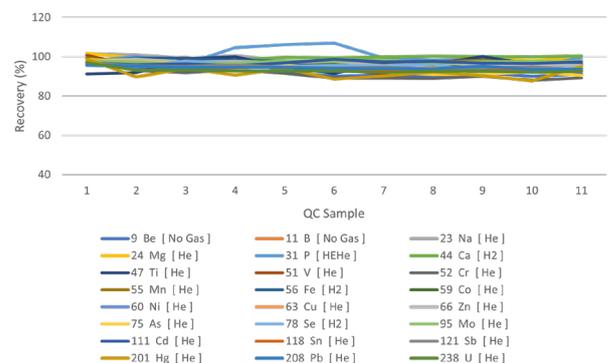


図 4. 7 時間にわたる QC サンプル中の元素の回収率

自動メンテナンスアラート

海水のような高マトリックスサンプルの分析は、ICP-MS のサンプル導入システムでは困難な場合があります。分析性能を最大限に高め、予想外の機器のダウンタイムを最短にするためには、サンプルの種類と作業負荷を基にして、ルーチンメンテナンス作業をスケジューリングすることが有益となる場合があります。ICP-MS MassHunter を使用して、分析者がサンプル数と経過時間に基づいてサンプルの種類に固有のカウントを設定することにより、機器の使用状況をモニタリングして、EMF アラートをトリガできます (13)。ISIS 3 ディスクリットサンプリングシステムはコーンに達するサンプルマトリックスを低減するため、カウントの数値を高く設定することができます。

通常の分析前の機器の性能確認だけではなく、サンプルシーケンスの完了後に分析後確認を実行するようにスケジュールできます。この分析後確認は、翌日の朝の分析前にコーンのクリーニングなどのルーチンメンテナンス作業を実施する必要がある場合、分析者に明確に通知するため、メンテナンスのスケジュールが立てやすくなります。

結論

この研究では、Agilent ISIS 3 ディスクリットサンプリングシステムを装着した Agilent 7850 ICP-MS が、無希釈海水サンプル中の複数の元素の長期分析に最適であることを示しました。

ICP-MS を用いて高マトリックスレベルのサンプルを分析すると、信号のドリフトと抑制、および多原子イオン干渉を引き起こす場合があります。7850 による分析が正常に実施された要因は、プラズマと UHMI-8 の堅牢性、ORS⁴ の干渉除去機能、および最適化された分析ワークフローを提供する ICP-MS MassHunter ソフトウェアの機能です。

7 時間にわたる無希釈海水サンプルの分析時に実施した内部標準測定の実験により、7850 と UHMI エアロゾル希釈技術のマトリックス耐性と安定性が実証されました。機器の安定性は、ルーチン、ハイスループットアプリケーションの生産性にとって重要で、ドリフト、QC 不合格、サンプルの再分析、メンテナンスを低減させます。

2 種類の海水サンプルおよび海水 CRM 中の 24 元素に対して、海水 CRM を分析して添加回収率試験を実施することにより、メソッドの精度を評価しました。CRM 中で測定されたすべての認証元素は ±10 % 以内に収まり、マトリックススパイクの結果もほぼ ±10 % 以内に収まりました。結果が高精度であったのは、ヘリウムおよび水素モードで ORS⁴ の多原子イオン干渉が効果的に制御されているためでした。初回に適切な答えを得ることで、サンプル再測定の必要性を回避できます。再測定は、スペクトル干渉をより低い信頼性で制御する分析法を使用するルーチンラボでは重大な負担となります。

EMF ルーチンおよび分析後性能確認を使用し、分析者に対してメンテナンスが必要になる時期を警告しました。また IntelliQuant により、海水分解物の総マトリックス含有量も推定しました。これは、ルーチンメンテナンスのスケジューリングおよび予想外の機器のダウンタイムを回避するのにも役に立ちます。

参考文献

1. United Nations Division for Sustainable Development Goals (DSDG), The 17 Goals, accessed November 2021, <https://sdgs.un.org/goals>
2. Tetsuo Kubota, ICP-MS とディスクリットサンプリングによる土壌のルーチン分析, Agilent publication, [5994-2933EN](#)
3. Tetsuo Kubota and Dong Yan, China Soil Pollution Survey: Elemental Analysis of Soil and Sediment Digests by ICP-MS, Agilent publication, [5994-0309EN](#)
4. Tetsuo Kubota, Simple and Reliable Soil Analysis using the Agilent 7800 ICP-MS with ISIS 3, Agilent publication, [5991-8674EN](#)
5. Kazuo Yamanaka and Steve Wilbur, Maximizing Productivity for High Matrix Sample Analysis using the Agilent 7900 ICP-MS with ISIS 3 Discrete Sampling System, Agilent publication, [5991-5208EN](#)
6. P. Leonhard, R. Pepelnik, A. Prange, N. Yamada, and T. Yamada, *J. Anal. At. Spectrom.*, **2002**, 17, 189–196 <https://doi.org/10.1039/B110180N>
7. Shaun Fletcher and Glenn Woods, High Throughput, Direct Analysis of Seawater using the Agilent 7800 ICP-MS with HMI for Aerosol Dilution, Agilent publication, [5991-7936EN](#)
8. Performance of the Agilent 7900 ICP-MS with UHMI for high salt matrix analysis, Agilent publication, [5991-4257EN](#)
9. Plasma Robustness and Matrix Tolerance, Agilent ICP-MS technology brief, [5994-1173EN](#)
10. Australian Government, National Measurement Institute, Certificate of Analysis for NMIA MX014 Trace Elements in Sea Water, accessed November 2021, <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/nmi/chemical-reference/mx014.2018.01.pdf>
11. Enhanced Helium Collision Mode with Agilent ORS⁴ Cell, Agilent publication, [5994-1171EN](#)
12. Agilent IntelliQuant による ICP-MS 分析, Agilent publication, [5994-2796JAJP](#)
13. ICP-MS 装置のスマートな自己診断機能, Agilent publication, [5994-2780JAJP](#)

消耗品リスト

消耗品の説明	部品番号
サンプラコーン：ニッケルチップと銅ベース。標準コーン、x-レンズと使用、多数のルーチンアプリケーション用	G3280-67040
ICP-MS スキマーコーン：ニッケル。標準コーン、x-レンズと使用、最も一般的なアプリケーション用	G3280-67041
イージーフィットペリスタルティックポンプチューブ、サンプル取り込みの標準、水性、酸、またはアルカリマトリックスに推奨、12 個入り 1 パック	5005-0020
イージーフィットペリスタルティックポンプチューブ、内部標準取り込みの標準、水性、酸、またはアルカリマトリックスに推奨、12 個入り 1 パック	5005-0021
イージーフィットペリスタルティックポンプチューブ、長寿命、スプレーチャンバドレインの標準、12 個入り 1 パック	5005-0022
アルゴン加湿装置、ガスライン x 2	G8400-60700
アルゴン加湿装置用チューブセット	G8400-60710
環境キャリブレーション用標準液、100 mL	5183-4688
内部標準混合液、100 mL	5183-4681

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンタ

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、医薬品医療機器等法に基づく登録を行っていません。本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに変更されることがあります。

DE00683196

アジレント・テクノロジー株式会社

© Agilent Technologies, Inc. 2022

Printed in Japan, January 25, 2022

5994-4467JAJP