

ICP-OES による土壌分析ワークフローの自動化

Agilent 5800 ICP-OES と Advanced Dilution System による高マトリックスサンプル分析での生産性向上



著者

Daniel McCarthy
Agilent Technologies, Inc.

はじめに

多くの環境分析ラボにおいて一般的な大量サンプルを管理するには、サンプル間の分析時間を高速化し、一貫した高品質の結果をもたらす装置が ICP-OES ユーザーに必要です。アジレントは、Agilent ICP-OES (および ICP-MS) 用の Advanced Dilution System (ADS 2) を開発しました。ADS 2 はインテリジェントな自動希釈システムで、アドバンスドバルブシステム (AVS) が搭載されています。このシステムは、分析シーケンス全体における多くの手作業を自動化することで、ICP-OES ワークフローの生産性を向上させます¹。

ICP-OES メソッドの適切な実行には、以前は分析者による手作業が重要でした。こうした作業の例として、一般的なサンプル前処理手順の一部である標準溶液の調製やサンプルの希釈などが挙げられます。また、サンプルの測定で検量線範囲を超える結果が出た場合、分析者によるサンプルの希釈がさらに行われます。こうした手作業の各段階で、試薬からの汚染やユーザーエラーが生じることがあり、結果の品質が損なわれる可能性があります。

ICP-OES のサンプル導入システムの一部として、スイッチングバルブを組み込むことで、サンプルスループットを大幅に向上できます。また、自動希釈アクセサリを追加すれば、手動での希釈に関連するユーザーエラーの低減に役立ちます。ただし、自動希釈アクセサリの多くは、スイッチングバルブのサンプルスループットの利点を部分的に無効にするという方法で作動しており、希釈を行っていない時にサンプルスループットに影響を及ぼします。しかし、ADS 2 自動希釈装置を用いれば、標準溶液の調製やサンプルの希釈において、手間がかかる作業やエラーが起こりやすい作業を自動化することで、ユーザーはあらゆる利点を享受できます。これらのすべての利点は AVS 7 スwitchingバルブを使用することで得られるサンプルスループットの利点を損なうことなくもたらされます。希釈が不要な場合には、ADS 2 がサンプル間の測定時間に与える影響は最小限です。

本研究では、AVS 7 スwitchingバルブ付 Agilent 5800 バーティカルデュアルビュー (VDV) ICP-OES と ADS 2 自動希釈装置 (図 1) を使用して、EPA 6010D 標準メソッド² に従い、土壌サンプルを分析しました。土壌サンプルの含有物は多岐にわたるため、この方法は幅広い標準溶液を使用する必要があります。直線性を示す検量線の作成と検量線範囲外のサンプルに対する再希釈が可能な ADS 2 により、AVS 7 付 5800 ICP-OES は高品質のデータを提供し、ハイスループットのアプリケーションに適したサンプル間の時間を短縮した分析を実現します。

土壌サンプルは EPA メソッド 3051A.³ に従い、マイクロ波による硝酸 (HNO₃) 分解を用いて前処理しました。本研究で報告する 32 種類の元素は、銀、アルミニウム、ヒ素、ホウ素、バリウム、ベリリウム、カルシウム、カドミウム、セリウム、コバルト、クロム、銅、鉄、水銀、カリウム、リチウム、マグネシウム、マンガン、モリブデン、ナトリウム、ニッケル、リン、鉛、アンチモン、セレン、スズ、ストロンチウム、チタン、タリウム、バナジウム、亜鉛、ジルコニウムです。

実験方法

装置構成

ICP-OES

測定はすべて、Agilent ICP Expert Pro ソフトウェアで作動する 5800 VDV ICP-OES を使用して実施しました。5800 ICP-OES の垂直配置トーチは、EPA 6010D メソッドを用いて分析できる多様な土壌サンプルを含む、さまざまなサンプルを長時間にわたり安定して測定できます。また、5800 ICP-OES の高度な VistaChip III 検出器は、連続した波長範囲を高速でカバーします。これにより、分析時間を延ばすことなく、元素ごとに複数の波長を選択できます。



図 1. AVS スwitchingバルブ付 Agilent 5800 VDV ICP-OES (左)、Agilent ADS 2 (中)、Agilent SPS 4 オートサンブラ (右)

自動希釈およびサンプル希釈処理システム

自動希釈、サンプルの高速分析、高いサンプルスループットを実現するため、5800 VDV ICP-OES に ADS 2 と Agilent SPS 4 オートサンブラを組み合わせてみました (図 1)。

ADS 2 はデュアルシリンジ、3 バルブ自動希釈装置で、装置の隣に設置され、ICP Expert Pro ソフトウェア^{*} を用いて完全にコントロールできます。自動希釈を行うと、シリンジによって希釈液とサンプルが迅速かつ正確な割合でループに送り込まれ、2 ~ 400 の希釈係数がかけられます。自動希釈を行わない場合は、スイッチングバルブによってサンプルは ADS 2 システムのほぼ全体をバイパスすることができます。この設計により、サンプルの希釈が不要な場合において、高速サンプル取り込みと高いサンプルスループットという利点を確実に維持できます。

5800 ICP-OES に、ダブルパスガラス製サイクロニクスプレーチャンバ、1.8 mm インジェクタを備えた Easy Fit デマンダブル VDV トーチ、SeaSpray ネブライザを取り付けました。装置の使用条件を表 1 ~ 3 に示します。

表 1. Agilent 5800 VDV ICP-OES およびメソッドパラメータ

パラメータ	設定値	
	アキシヤル	ラディアル
観測モード		
リード時間 (秒)	10	10
繰り返し回数	3	3
サンプル取り込み遅延時間 (秒)	0	
安定化時間 (秒)	10	0
リンス時間 (秒)	0	
ポンプスピード (rpm)	12	
RF パワー (kW)	1.2	
補助ガス流量 (L/min)	1	
プラズマガス流量 (L/min)	12	
ネブライザー流量 (L/min)	0.7	
観測位置 (高さ) (mm)	該当なし	8
サンプルポンプチューブ	白-白	
内標準ポンプチューブ	黒-黒	
排液ポンプチューブ	青-青	
バックグラウンド補正	オフピーク左/右*	

* オフピークバックグラウンド補正および元素間干渉補正 (IEC) は一般的に、US EPA 6010D メソッドを実行する場合に使用されます。

表 2. Agilent AVS 7 スイッチングバルブシステムパラメータ

パラメータ	設定値
サンプルループサイズ (mL)	1.5
ポンプ流量 - 取り込み (mL/min)	40
ポンプ流量 - 注入 (mL/min)	7
バルブ取り込み遅延 (秒)	11
バルブインジェクタ注入時間 (秒)	1.4
プレリンス時間 (秒)	2

表 3. Agilent ADS 2 自動希釈装置のパラメータ

パラメータ	設定値
希釈ループサイズ (mL)	1.5
キャリアシリンジ容量 (mL)	5
希釈液シリンジ容量 (mL)	10

* アジレントの単元素標準液も使用可能

標準とサンプル前処理法

標準液

標準原液および干渉補正標準は、High-Purity Standards (チャールストン、サウスカロライナ州、米国) * から購入したさまざまな単元素原液から調製しました。単元素標準液を複数組み合わせさせた 4 種類の高濃度原液を 10% HNO₃ で調製しました。

次に、この標準原液を複数回希釈してインラインで自動的に調製し、ADS 2 システムを用いて 5800 ICP-OES に導入しました。希釈係数 100、10、および 1 (無希釈) で、標準液を分析しました。より広い桁数の検量線範囲が必要な場合、ADS 2 システムを用いれば、さまざまな濃度の元素を含む複数の異なる原液を使用できるようになります。

標準物質およびサンプル

メソッドの精度は、2709a サンホアキン土壌、2710a モンタナ土壌 I、2711a モンタナ土壌 II という 3 つの NIST 標準参照物質 (SRM) を分析して評価しました。10% HNO₃ 中に 5 ppm のイットリウム (Y)、5 ppm のルテチウム (Lu)、5 ppm のイリジウム (Ir)、100 ppm のルビジウム (Rb) を含む内標準 (IS) 溶液を、AVS 7 を用いて、すべての溶液にインラインで自動的に添加しました。

サンプル前処理法

土壌 SRM サンプルは EPA 3051A で定められたガイドラインに従って、前処理を行いました。各サンプル約 0.75 g を正確に秤量し、清浄な石英製マイクロ波容器に移しました。サンプルを 6 mL の 18 MΩ 脱イオン (DI) 水 (Millipore) と 6 mL の HNO₃ (Merck) 中に約 15 分間静置し、事前分解させました。その後、この容器にキャップをして CEM Blade マイクロ波分解システム (CEM Corporation、ノースカロライナ州、米国) に配置し、表 4 のプログラムを用いて分解を行いました。冷却したら、溶液に DI 水を加えて 50 mL に調製しました。ポルテックスミキサを使って、サンプルを完全に混合した後、3,000 rpm で 10 分間遠心分離しました。

表 4. マイクロ波メソッドパラメータ

パラメータ	設定値
温度 (°C)	115
圧力 (psi)	700
ランプ (分)	5
ホールド (分)	10

希釈リスト

ADS 2 自動希釈装置は指定した希釈リストに基づいてサンプルの希釈を行うことができます。ICP Expert ソフトウェアで希釈係数を指定すると、ADS 2 はワークシート分析の一部として自動希釈を行います。指定した希釈リストに基づく自動希釈は、測定前に一部またはすべてのサンプルに対して希釈を手作業で行っていたラボにとって便利なツールです。この事前希釈は、通常、前処理後に追加の希釈工程を要するサンプルや、既知の検量線範囲外元素（特に、ホウ素など洗浄が困難な元素）や高マトリックスを含むサンプルに対して行われます。また、指定した希釈リストに基づく自動希釈は、初期較正ベリフィケーションと連続較正ベリフィケーション (ICV、CCV) や低いレベル (LL) の品質管理 (QC) 溶液などの QC 溶液を、調製済み溶液から既知の希釈係数で調製する際に用いることができます。QC 溶液調製の自動化により、エラーの他の要因が排除され、ユーザーは溶液が正確に調製されていることに自信を持った上でデータ解析を行えます。本研究では、QC 溶液の調製に ADS 2 を使用しました。

自動希釈および結果の概要

ADS 2 システムは、QC パラメータを超えるすべてのサンプルの自動希釈を実行します。サンプルがユーザー定義の濃度基準値を超えた場合は、検量線範囲内に収めるために必要となる適切な希釈係数を、ICP Expert ソフトウェアにより計算します。その後、自動希釈が実行され、関連サンプルが再分析されます。

どの結果が自動希釈をトリガーするかについて、ADS 2 では厳密にコントロールできます。ユーザーは波長ごとに、自動希釈をメソッドに合わせて簡単にオン/オフでき、ワークシートのすべてのサンプルに対してこの設定を適用できます。ワークシート内、または異なるサンプルのバッチごとに、どの波長を自動希釈のトリガーとするかを正確に定義することもできます。このオプションにより、全サンプルの全成分に対して範囲内の結果を得なくてもよい状況において、時間を大幅に節約できます。

さらに、検量線範囲外の場合に、ソフトウェアがどの希釈係数を生成するかについて、ある程度コントロールすることができます。ユーザーは ICP Expert ソフトウェアを用いて、検量線範囲の中間点または下限のいずれかまでの範囲内に入るように希釈を選ぶことができます。このオプションは、検量線が直線性を示していることがポイントで希釈して測定することにより、非常に高い精度で結果を得ることができます。

複数回希釈して再分析したサンプルに対して複数の結果が得られる場合、ICP Expert ソフトウェアでは 1 つの「サマリー」結果を取得できます。この結果サマリーは各希釈で（ユーザーが定義した QC パラメータに従い）許容される成分結果のみで構成されています。希釈または結果サマリリの作成のいずれにおいても、分析者が関わる必要がありませんので、労力が大幅に削減され、サンプルの分析結果の合格率が向上します。

結果と考察

装置およびメソッド検出下限

装置検出下限値 (IDL) は表 1 の 5800 VDV ICP-OES 使用条件を用いて決定しました。IDL 決定後、添加溶液を 10 % HNO₃ で IDL の 300 ~ 500 倍の濃度に調製しました（検量線用溶液に使用したものと同一マトリックス）。その後、ADS 2 自動希釈装置を用いて、この溶液を IDL の 3 ~ 5 倍に希釈し、測定しました。メソッド検出下限 (MDL) を決定するため、この溶液を 3 日間かけて 10 回測定しました。MDL は添加測定の 3 シグマとして算出しました（表 5）。

表 5. 50 mL 中の 0.75 g サンプルに基づく溶液およびサンプルの MDL

元素	波長 (nm)	溶液の MDL (mg/L)	サンプルの MDL (mg/kg)	元素	波長 (nm)	溶液の MDL (mg/L)	サンプルの MDL (mg/kg)
Ag	328.068	0.0004	0.0225	Mn	257.610	0.0001	0.0072
Al	237.312	0.0214	1.37	Mo	204.598	0.0011	0.0692
As	188.980	0.0039	0.252	Na	589.592	0.0071	0.454
B	249.678	0.0003	0.0158	Ni	231.604	0.0005	0.034
Ba	233.527	0.0002	0.0117	P	213.618	0.0004	0.0264
Be	313.107	2E-05	0.0013	Pb	220.353	0.0028	0.175
Ca	317.933	0.0036	0.231	Sb	217.582	0.0063	0.399
Cd	214.439	0.0001	0.0068	Se	196.026	0.0038	0.244
Ce	418.659	0.001	0.0653	Si	251.611	0.0013	0.0817
Co	230.786	0.0006	0.0348	Sn	189.925	0.0038	0.239
Cr	205.56	0.0003	0.0181	Sr	421.552	0.0001	0.0044
Cu	327.395	0.0004	0.0239	Ti	334.941	0.0001	0.0053
Fe	238.204	0.0008	0.0487	Tl	190.794	0.0046	0.29
Hg	184.887	0.001	0.0644	V	292.401	0.0008	0.0527
K	766.491	0.0903	5.75	Zn	206.2	0.0005	0.0331
Li	670.783	0.0012	0.0779	Zr	327.307	0.0002	0.0127
Mg	285.213	0.0005	0.0295				

自動検量線作成および直線性

図 2 は主要元素 (Al) および微量元素 (As) の代表的な検量線を示しています。すべての検量線において、相関係数は ≥ 0.9998 でした。すべての元素の各検量線は 100 倍、10 倍、1 倍の希釈係数で ADS 2 自動希釈を用い単一の標準原液から作成しました。幅広い濃度範囲にわたって元素ごとに、ブランクを含めて 4 点の検量線を作成しました。

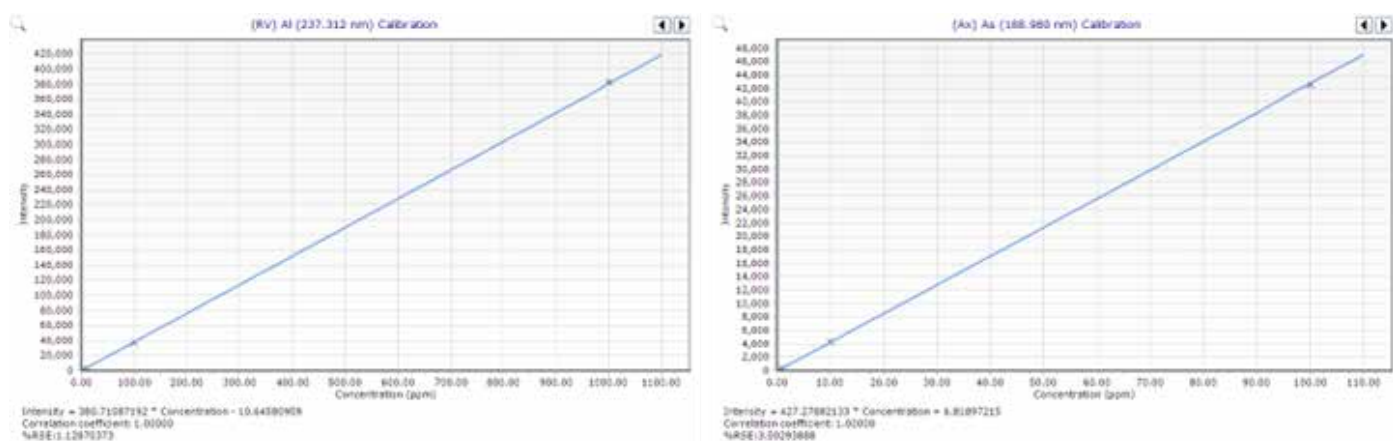


図 2. ブランク、1、10、100 ppm 標準溶液を含む Al および As の代表的な検量線。Agilent ADS 2 自動希釈装置で単元素標準原液を希釈して、検量線を作成

SRM およびマトリックススパイク (MS) 回収率試験

表 6 は ADS 2 を組み合わせた 5800 VDV ICP-OES による 3 つの土壌 SRM の分析結果を示しています。すべての元素の測定は、EPA 3051A HNO₃ マイクロ波抽出手順に従い、予測範囲内で測定されました。通常、土壌には、高濃度でよく存在する Al、Ca、Fe、K、Mg、Na といった金属とともに、幅広い濃度範囲の元素が含まれています。

したがって、すべての成分に対して範囲内の結果を確実に報告できるようにするために、SRM のサンプル希釈が必要でした。希釈は ADS 2 の希釈機能を用いて自動的に行われ、ICP Expert ソフトウェアがサンプルごとの結果を 1 つのサマリーに自動的にまとめました。

表 6. Agilent 5800 VDV ICP-OES と ADS 2 を用いて測定した 3 種類の土壌 SRM の結果。単位はすべて mg/kg

元素	希釈係数	SRM 2709a			SRM 2710a			SRM 2711a		
		下限	上限	測定値	下限	上限	測定値	下限	上限	測定値
Al	10	13000	17000	16262	8200	12000	9441	9800	15000	14075
Ca	10	12000	14000	13748	1700	2000	1855	14000	17000	16028
Fe	10	22000	26000	25923	30000	36000	34262	14000	18000	15464
K	10	2600	4000	3023	3800	4700	4189	3300	4600	4174
Mg	10	9700	11000	10932	3200	3600	3427	5000	6600	6292
Na	10	460	610	527	550	650	582	140	210	145
Ag	1	0.14	4.1	0.6	31	39	3.8	4	6.1	5.5
As	1	6.4	10.0	10.0	1300	1600	1577	81	110	102
B	1			30.0			3.5			7.2
Ba	1	350	400	384	490	540	515	170	220	185
Be	1	0.5	0.72	0.7	0.24	0.51	0.5	0.73	1.10	1.05
Cd	1	0.33	0.66	0.33	9.6	12	12.0	43	56	53
Ce	1			30.1			23.1			42.1
Co	1	8.2	13	10.2	2.8	5.2	3.0	5.5	9	7.0
Cr	1	46	67	55.7	9.2	11	9.2	12	18	13.8
Cu	1	24	28	28	3100	3500	3242	120	160	130
Hg	1	0.79	0.92	0.8	9.3	12	9.9	6.3	8.3	7.7
Li	1			28.2			9.3			11.3
Mn	1	380	450	450	1500	1800	1578	450	580	504
Mo	1			1.1			7.5			1.1
Ni	1	59	71	70.5	4.8	6	5.1	13	18	15.0
P	1			567			915			715
Pb	1	8.1	11	10.0	4700	5800	5259	1100	1400	1294
Sb	1	1.2	1.5	1.2	5	12	6.2	2.8	7.2	3.1
Se	1	0.69	1.9	0.8	1.5	2.6	2.1	1.4	1.9	1.8
Sn	1			0.8			7.6			2.6
Sr	1			98.8			53.9			36.7
Ti	1			147			622			174
Tl	1	0.74	1.6	0.8	1.3	3.6	3.2	0.71	3.1	2.8
V	1	43	71	53.5	35	43	36.2	24	34	27.5
Zn	1	69	87	84.9	3300	4400	3882	310	380	361
Zr	1			5.6			8.1			8.1

表 6 の結果は、溶液中の Ag、Sb、Hg などの微量濃度元素の安定性を確実にするためにサンプルに添加される HCl を添加せずに得ました。回収率は 2 種類の SRM 中の Ag、3 種類の SRM 中の Sb および Hg に関して、予測範囲内で得られました。HCl を添加せずに、すべての微量元素の測定精度を決定するため、0.4 mL の添加溶液を各 SRM の分解物 10 mL に添加しました。この添加は表 7 の「添加濃度」の列に示されています。Ag、Sb、Hg を含むすべての元素の添加回収率の結果は EPA 6010D が指定する ±25 % の許容基準内に収まりました。添加サンプルの測定値および期待値は溶液の mg/L で示しています。

表 7. 土壌 SRM 分解物に添加された微量元素の添加回収率の結果。単位はすべて mg/L

元素	添加濃度	SRM 2709a			SRM 2710a			SRM 2711a		
		測定値	期待値	回収率 %	測定値	期待値	回収率 %	測定値	期待値	回収率 %
Ag	0.96	1.04	0.97	107	1.05	1.02	103	1.11	1.04	107
As	0.96	1.09	1.11	99	23.58	23.76	81	2.45	2.43	102
B	0.10	0.53	0.53	103	0.14	0.15	98	0.21	0.20	106
Be	0.10	0.11	0.11	102	0.10	0.10	99	0.11	0.11	103
Cd	0.10	0.10	0.10	98	0.27	0.27	98	0.87	0.86	116
Ce	0.96	1.39	1.39	99	1.27	1.29	98	1.57	1.57	100
Co	0.10	0.23	0.24	92	0.13	0.14	93	0.19	0.20	97
Cr	0.96	1.76	1.76	100	1.08	1.09	98	1.18	1.16	102
Cu	0.96	1.33	1.36	97	47.69	47.85	84	2.85	2.83	101
Hg	0.10	0.11	0.11	103	0.23	0.24	96	0.21	0.21	106
Li	0.96	1.37	1.37	100	1.07	1.10	97	1.15	1.13	102
Mo	0.10	0.11	0.11	102	0.20	0.20	100	0.12	0.11	104
Ni	0.10	1.10	1.11	93	0.17	0.17	96	0.31	0.31	101
P	0.96	9.06	9.13	93	14.10	14.20	90	11.39	11.30	110
Sb	0.10	0.11	0.11	97	0.20	0.19	109	0.14	0.14	101
Se	0.10	0.11	0.11	98	0.11	0.13	84	0.14	0.12	118
Sn	0.10	0.11	0.11	99	0.20	0.21	96	0.14	0.13	102
Ti	0.96	3.19	3.09	111	10.07	9.96	111	3.59	3.47	112
Tl	0.10	0.10	0.11	96	0.14	0.14	94	0.13	0.14	89
V	0.96	1.76	1.73	103	1.49	1.48	101	1.41	1.36	106
Zr	0.10	0.17	0.18	96	0.21	0.21	93	0.21	0.21	99
Sr	0.10	1.52	1.52	99	0.87	0.88	96	0.64	0.63	118

長期安定性

図 3 は ADS 2 を使用して QC 溶液を調製する際に達成可能な希釈精度を示しています。長時間での 5800 VDV ICP-OES の安定性と ADS 2 による繰り返し自動希釈の一貫性を判断するため、258 個の溶液を 7 時間にわたって分析しました。この溶液は分解された土壌サンプルと CCV 溶液で構成されており、ADS 2 自動希釈装置を用いて測定ごとに原液を 10 倍希釈して調製したものです。CCV の測定は、10 サンプルごとに行いました。長時間分析での 5800 ICP-OES の安定性と ADS 2 による希釈の一貫性を示すために、CCV 溶液の回収率を時間に対してプロットしました。CCV のすべての結果は期待値の $\pm 10\%$ 以内であり、RSD はすべての元素で 2% 未満でした。

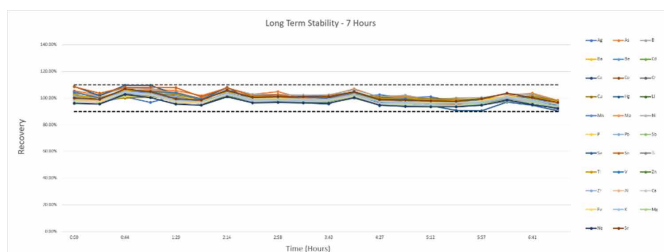


図 3. 7 時間にわたって分析した CCV 溶液の回収率を示す長期安定性試験。点線は $\pm 10\%$ の管理限界値

サンプルスルーブット

表 8 は、ADS 2 を用いて今回のメソッドで得られたサンプルの分析時間を複数の希釈係数で示しています。この時間は、希釈係数ごとに、サンプルの 10 回繰り返し測定における時間を平均化して算出しました。すべての時間には、表 1 が示すように合計測定時間の 60 秒が含まれています。

表 8. ADS 2 を用いて得られた複数の希釈係数での測定時間

希釈係数	合計タイム
1 (無希釈)	1 分 30 秒
10	1 分 56 秒
100	1 分 58 秒
200	2 分 1 秒

今回のアプリケーションで得られた無希釈の測定時間は、US EPA メソッド 6010D に従った AVS 7 付 5800 ICP-OES による廃棄物サンプルの分析⁴ に関する過去の研究で得られた時間が、わずか 2 秒延びたものでした。この過去の研究では、自動希釈システムは使用されていませんでした。この時間から、サンプル希釈が不要な場合に ADS 2 によるサンプルスルーブットへの影響が最小限であることが示されます。

結論

Agilent 5800 VDV ICP-OES は、US EPA メソッド 6010D の手法要件に準拠しながら、高精度の結果とハイサンプルスルーブットを求めるラボに最適な装置です。5800 ICP-OES と AVS 7 スイッチングバルブに Agilent ADS 2 自動希釈装置を組み合わせると、特に土壌などの複雑なサンプルの分析においてワークフローの効率が高まります。環境サンプルの分析における Agilent ICP-OES ワークフロー自動化システムの利点には次のようなものがあります。

- 自動検量線作成により、最初の原液からマルチレベルの検量線の自動およびリアルタイム作成が可能になります。ADS 2 では最大 400 倍の希釈が可能で、自動で検量線を幅広い濃度範囲で作成することができます。また、長時間にわたって非常に再現性の高い希釈が可能で、これにより毎日の検量線作成において一貫性が得られます。
- 指定した希釈リストに基づく自動希釈により、分析者がサンプルの事前測定のために希釈係数を指定でき、ADS 2 でワークシート分析の一部として自動希釈を行えます。多くのラボで行われている従来の手作業での希釈に比べ、指定した希釈リストに基づく自動希釈は時間を大幅に短縮し、ヒューマンエラーの可能性を低減し、汚染のリスクを抑えます。
- 自動希釈により、成分または内標準の結果がユーザーが定義した許容範囲から外れた場合に、ADS 2 はサンプルの自動希釈を行います。このインテリジェントな自動希釈機能は、分析の最後でサンプルの再分析の必要性を大幅に減少させ、作業時間の短縮と 1 サンプルあたりのコスト削減を実現します。
- Agilent ICP Expert ソフトウェアの結果サマリー機能は、サンプルを複数回希釈して得られた結果を、解釈しやすいよう分析ページの 1 つの行に自動的にまとめることで、さらなる時間短縮を実現します。

ADS 2 を組み合わせた 5800 ICP-OES はサンプル中の大半の元素において MDL 1 mg/kg 未満を達成し、このことから土壌の多元素分析におけるメソッドの感度を示されました。土壌 SRM の元素の回収率は予測範囲内であったことから、サンプル前処理法の適合性が確認されました。土壌 SRM に添加した微量成分は ±20 % 以内で回収され、メソッドの精度が実証されました。5800 VDV ICP-OES は 7 時間にわたって優れた安定性を示し、QC 測定回収率は ±10 % 以内であり、平均 %RSD は 2 % 未満でした。

参考文献

1. Agilent Advanced Dilution System (ADS 2) – Technical overview, Agilent publication, [5994-7211EN](#)
2. EPA Method 6010D (SW-846): Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry, Revision 5, July 2018, accessed January 2024, <https://www.epa.gov/esam/epa-method-6010d-sw-846-inductively-coupled-plasma-atomic-emission-spectrometry>
3. EPA Method 3051A Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils, Revision 1, February 2007, accessed January 2024, <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf>
4. Riles, P., Analysis of Waste Samples According to US EPA Method 6010D, Agilent publication, [5994-2027EN](#)

注：ICP-OES を用いた廃棄物サンプルの分析のための消耗品ガイドは、[こちら](#)です。

アジレント部品番号

製品名	部品番号
5000 シリーズ VDV/SDVD ICP-OES 用 Easy Fit 1.8 mm セミデマン タブルトーチ	G8010-60228
ダブルパススプレーチャンバ、ボールジョイントソケットおよび UniFit ドレインアウトレット付きガラス製サイクロニック設計、 Agilent 5000 シリーズ ICP-OES 用	G8010-60256
SeaSpray ガラス製同軸ネプライザ、5000 シリーズ ICP-OES 用 ポンプチューブ、白/白、12 個	G8010-60255 3710034400

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンター

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おりません。
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。

DE36347297

アジレント・テクノロジー株式会社

© Agilent Technologies, Inc. 2024

Printed in Japan, March 19, 2024

5994-7203JAJP

ポンプチューブ、黒/黒、12 個	3710027200
ポンプチューブ、青/青、12 個	3710034600
Agilent 多元素品質管理用標準 27	5190-9418
シリンジ、5 mL、ADS 希釈装置 (ICP-OES および ICP-MS キャリア用)	5299-0037
シリンジ、10 mL、ADS 希釈装置 (ICP-OES 希釈液用)	5299-0038
サンプルループ ADS/AVS 1.50 mL 内径 1.00 mm 1 個	5005-0425
ADS 2 およびオートサンブラ用希釈液/キャリアボトルキット (6 L HDPE)	5005-0435
アルミニウム (Al) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8353
アンチモン (Sb) 標準液、10,000 µg/mL、1 % HNO ₃ 、1 % 酒石酸、500 mL	5190-8355
ヒ素 (As) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8357
バリウム (Ba) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8359
ベリリウム (Be) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8361
ボロン (B) 標準液、10,000 µg/mL、1 % NH ₄ OH、500 mL	5190-8365
カドミウム (Cd) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8367
カルシウム (Ca) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8369
セリウム (Ce) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8371
クロム (Cr) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8375
コバルト (Co) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8377
銅 (Cu) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8379
鉛 (Pb) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8407
リチウム (Li) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8409
マグネシウム (Mg) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8413
マンガン (Mn) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8415
水銀 (Hg) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8417
ニッケル (Ni) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8423
リン (P) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8429
カリウム (K) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8433
セレン (Se) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8449
銀 (Ag) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8453
ナトリウム (Na) 標準液、ICP-OES および MP-AES 用、 10,000 µg/mL 500 mL	5190-8206
ストロンチウム (Sr) 標準液、ICP-OES および MP-AES 用、 10,000 µg/mL 500 mL	5190-8208
チタン (Ti) 標準液、10,000 µg/mL、H ₂ O、500 mL	5190-8225
バナジウム (V) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8229
亜鉛 (Zn) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、500 mL	5190-8235
鉄 (Fe) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、100 mL	5190-8402
モリブデン (Mo) 標準液、10,000 µg/mL、1 % NH ₄ OH、100 mL	5190-8418
タリウム (Tl) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、100 mL	5190-8217
スズ (Sn) 標準液、10,000 µg/mL、20 % HCl、100 mL	5190-8221
ジルコニウム (Zr) 標準液、10,000 µg/mL、5 % HNO ₃ 、100 mL	5190-8236