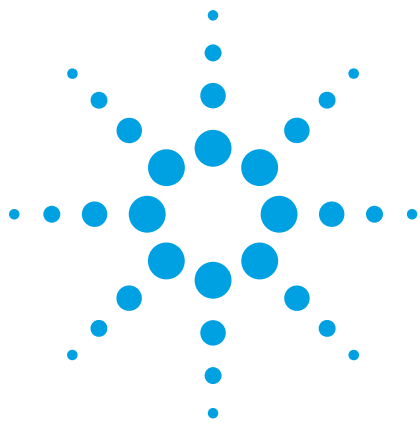




Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-MS による O_2 、 NH_3 、 H_2 ガスを用いた 70 元素の反応データ

テクニカルノート

著者

杉山 尚樹
中野 かずみ

アジレント・テクノロジー株式会社



はじめに

現在、コリジョン/リアクションセル (CRC) 技術を用いたメソッドは、ICP-MS におけるスペクトル干渉を除去するための手法として広く利用されています。コリジョンモードでは、化学的に不活性なガス (通常はヘリウム (He)) を用いて、運動エネルギー弁別 (KED) の原理により分析対象イオンと干渉する多原子イオンを分離します。KED はあらゆる多原子イオン干渉に効果を発揮します。また、特定の干渉やサンプルの種類に応じた最適化やカスタマイズは、ほとんどの場合必要ありません。そのため、He を用いたコリジョンモードは、ICP-MS による元素分析の干渉を除去するうえで、もっとも適用性の広い手法となっています。他の手法としては、リアクションモードがあります。このモードは、干渉イオンもしくは分析対象元素イオンとリアクションセルガスとの間で生じる化学反応を利用して、特定の干渉を除去するというものです。リアクションセルモードでは、除去したい干渉により、水素 (H_2)、酸素 (O_2)、アンモニア (NH_3)、メタン (CH_4)、亜酸化窒素



Agilent Technologies

(N₂O)、二酸化炭素 (CO₂) など種々のリアクションガスが用いられます。セル内での反応はきわめて迅速に生じるため (多くの場合は、イオンとリアクションガス分子との最初の衝突で進行)、スペクトル干渉除去によっては、リアクションモードがコリジョンモードよりも効果的な場合があります。たとえば、リアクションモードは、高純度半導体試薬など超微量分析が求められる場合に、⁴⁰Ca⁺ に対する ⁴⁰Ar⁺、⁵⁶Fe⁺ に対する ⁴⁰Ar¹⁶O⁺、⁸⁰Se⁺ に対する ⁴⁰Ar₂⁺ といったプラズマ起因による非常に強い干渉の除去に用いられます。しかし、従来の四重極 ICP-MS (ICP-QMS) では、複雑で多様なサンプルに対しリアクションモードを十分に活用することができませんでした。従来の ICP-QMS においては、リアクションガスがプラズマ中で生成された多くのイオン、マトリックスイオンや他の分析対象元素イオンなどとも反応します。この反応生成物イオンが予期しない新たな干渉を引き起こし、不正確で整合性のない分析結果を生じることがありました。こうした理由から、ICP-QMS におけるリアクションガスの適用は、特性が十分に判明しているマトリックス中のいくつかの分析対象元素の測定に限定されてきました。

分析対象元素の多様化、分析濃度の引き下げ、マトリックスの多様化、測定の信頼性の向上など、ますます厳しくなる業界のニーズに対応するために、新たなタイプの ICP-MS であるトリプル四重極 ICP-MS (ICP-QQQ) が開発されました。Agilent 8800 ICP-QQQ は、ICP-MS におけるリアクションモードの潜在能力をあますところなく引き出すシステムです。このシステムでは、MS/MS モードを用いてセル内での化学反応を制御し、従来の ICP-QMS で見られたリアクションモードでのエラーやばらつきを排除します。これにより、従来の四重極 ICP-MS よりもはるかに効率的に干渉を除去することで、検出下限を大幅に向上させ、これまでよりも一貫性のあるアクションモード性能を得ることが可能です。MS/MS モードでは、2 つの四重極がいずれもマスフィルター (ユニット質量分解) として機能し、第 1 の四重極 (Q1、セルの前の位置) がセル内へ入射するイオンを制御します。これにより、多様なサンプル組成の場合でもセル内での反応が一貫性があり、予測可能なものになるため、ICP-QMS と同じ反応ガスメソッドを使用した場合でも、ICP-QMS では成し得ない、信頼性の高い分析結果とより低い検出下限値を得ることができます。

また、ICP-QQQ の MS/MS モードでは、ICP-QMS でリアクションセルガスを用いる際に必要となる、干渉または分析対象物/同位体に応じたセル条件のカスタマイズが不要です。そのため、リアクションモードのメソッド開発が簡単になります。

リアクションモードの開発にはリアクションセル技術 [1, 2, 3] や熱力学的反応データ [4, 5] に関する文献から得られる情報を用いることができます。このテクニカルノートでは、8800 ICP-QQQ をリアクションモードを用いてメソッド開発をする場合に必要となるチューニングパラメータや基本的な反応データを提供します。

リアクションセルメソッド

オンマスモードとマスシフトモード

8800 ICP-QQQ には、オンマスモードとマスシフトモードという 2 つのリアクションセルモードがあります。

オンマスモードでは、分析対象イオンが本来の同位体イオンとして検出されます。たとえば、⁵¹V⁺ は m/z 51 で検出されます。このメソッドは、選択したセルガスと分析対象イオンの反応性が比較的低いのにに対し、干渉イオンはセルガスと効率的に反応する場合に使用します。干渉イオンは、中性種に変換されるか、反応して分析対象イオンとは異なる新たな質量のプロダクトイオンを生成するかにより、分析対象イオンの質量から除去されます。

一方、マスシフトモードでは、分析対象イオンは反応により、別質量数をもつプロダクトイオンに変換され、その質量数で検出されます。たとえば、O₂ をセルガスとして使用する場合、⁵¹V⁺ は m/z 67 で V0⁺ として検出されます。このメソッドは、分析対象イオンがセルガスと効率的に反応しプロダクトイオンを生成するのにに対し、干渉イオンはセルガスとほとんど、もしくは全く反応しないため、分析対象のプロダクトイオンの質量数に有意な影響を与えない場合に用います。塩素 (Cl) マトリックス中のバナジウム (V) の定量を例に 2 つのメソッドの概要を図 1 に示しました。

各種のリアクションガスの評価

Agilent 8800 ICP-QQQ では、一般的に O_2 、 NH_3 (He 中 10 % NH_3 の混合ガスとして使用)、 H_2 の 3 種のガスをリアクションガスとして使用します。今回の実験では、特性が異なるこれら 3 種のガスと 70 元素の反応を調べました。

H_2 の特徴：

H_2 は分析対象元素イオンと比較してアルゴン化物イオン (ArM^+) と相対的に高い反応性をもつ分子です。そのため、 $^{40}Ca^+$ に対する $^{40}Ar^+$ 、 $^{39}K^+$ に対する $^{38}ArH^+$ 、 $^{52}Cr^+$ に対する $^{40}Ar^{12}C^+$ 、 $^{80}Se^+$ に対する $^{40}Ar^{40}Ar^+$ といったアルゴン化物イオンの干渉除去に効果があります。このケースでは、オンマスモードを用いて分析対象イオンを本来の質量数で測定することが可能です。また、一部の元素については、 H_2 分子と反応してプロダクトイオン、 MH_n^+ を生成するので、マスシフトモードを用いて測定することができます。たとえば、リン (P) を PH_4^+ として検出し、 m/z 31 における $^{30}SiH^+$ [6] の干渉を避けることが可能です。同様に、 $^{35}Cl^+$ を $^{35}ClH_2^+$ として測定し、 m/z 35 における $^{16}O^{18}OH^+$ の干渉を避けることができます [7]。

O_2 の特徴：

多くの分析対象元素イオンと反応し、その酸化物イオン (MO^+) を生成するためにマスシフトモードでよく使用されます。この場合には、 $Q2 = Q1 + 16 \text{ amu}$ に設定します。たとえば、分析対象の硫黄 (S) イオンは O_2 セルガスと反応するので、 O_2 マスシフトモードを使い、 $^{32}S^+$ をプロダクトイオン $^{32}S^{16}O^+$ として m/z 48 で検出します。一方、 O_2^+ と O_2 セルガスで O_3^+ を生成するような反応はしないので、このマスシフトモードによって、 ^{32}S に対する O_2^+ の強い干渉を避けることが可能です。

NH_3 の特徴：

NH_3 (Agilent 8800 ICP-QQQ では He 中に混合した NH_3 を使用) は、孤立電子対を持つため、きわめて反応性の高い分子です。 NH_3 はオンマスモード、マスシフトモード、両方のモードのセルガスとして用いられます。チタン (Ti) は、S 起因の多原子イオンによる干渉を強く受けます。このような干渉を避けるために、 NH_3 を用いて Ti^+ をアンモニウムとのクラスタイオン (通常は、 $Ti(NH_3)_6^+$) に変換して分析するメソッドが開発されています。このメソッドを用いれば、高濃度の S や Ca を含むサンプルマトリックス中の Ti を低濃度レベルまで測定することが可能です [8]。

実験方法

装置はオクタポールリアクションシステム (ORS³) セルを搭載する Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-MS (オプション #100) を使用しました。ORS³ はオクタポールイオンガイドを使用した、アジレントの第三世代のコリジョン/リアクションセルです。標準仕様の 8800 ICP-QQQ は、Ni インタフェースコーン、X レンズ、サンプル導入システム、MicroMist ガラス同軸ネブライザ、ベルチェ冷却付石英ダブルパススコット型スプレーチャンバ、内径 2.5 mm の石英トーチで構成されます。

O 、 NH_3 、 H_2 それぞれのリアクションガスについて、MS/MS モードを用いて 70 元素イオンに対する反応性を調べました。全体を通して、レンズ条件はソフトエクストラクションレンズチューン ($Ex1 = 0 \text{ V}$ 、 $Ex2 = -180 \text{ V}$ 、オメガバイアス = -80 V 、オメガレンズ = $+10 \text{ V}$)、プラズマ条件としては CeO^+/Ce^+ 比で 1 % 未満の堅牢性 (ロバスト性) を持った「低マトリックス」をプリセット条件よりセットして使用しました。

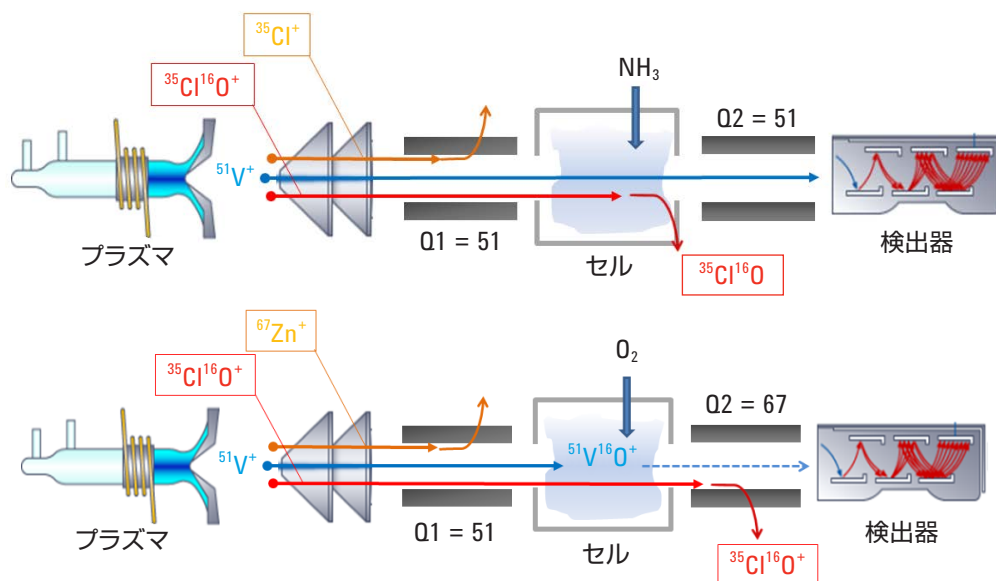


図 1. Cl マトリックス中の V 測定におけるオンマスおよびマスシフトメソッド: $^{35}Cl^{16}O^+$ は $^{51}V^+$ に干渉します。オンマスモード (上) では、干渉イオン ClO^+ が NH_3 と反応し、中性の ClO (電荷なし) に変換されます。電荷を帯びない ClO は除去され、分析対象の V^+ イオンだけが検出器に到達します。マスシフトモード (下) では、分析対象イオン V^+ が O_2 と反応し、プロダクトイオン VO^+ に変換され、 m/z 67 で検出されます。干渉イオン ClO^+ は $Q2$ により除去されます。

ICP-QQQ のさまざまな装置条件の中でも、反応効率に影響を与え、キーとなる重要なチューニングパラメータは、「オクタポールバイアス」と「セルガス流量」の 2 つです。オクタポールバイアスは、セル内で一回目のイオンとガス分子との衝突エネルギーに影響します。イオンがセルガスと反応しない場合は、セル内を通過する過程で衝突を受けた後のイオンの運動エネルギーを決定づけます。セルガス流量は、セルガス分子のセル内密度に影響を与えます。つまり、イオンがセルガスと (反応的に) 衝突する確率や、反応しないイオンの衝突回数に影響を与えます。この 2 つの条件について、本研究では各セルガスモードにおける最適化を次の通り行いました。セルにガスを流さない (ノーガス) チューンでは Co^+ のカウントが最大になるように、 H_2 チューンでは PH^+ のカウントが最大になるように、 O_2 チューンでは SeO^+ のカウントが最大になるように、 NH_3 チューンでは $\text{Ti}(\text{NH}_2)^+$ のカウントが最大になるようにそれぞれ最適化を行いました。

8800 ICP-QQQ では、偏向レンズが ORS³ のうしろに配置されています。偏向レンズ内のイオンの軌道は、イオンの運動エネルギーとレンズへの印加電圧によって決まります。オクタポールバイアスやセルガス流量を変え、偏向レンズにおけるイオンの運動エネルギーが変化しますので、偏向レンズの電圧は各セル条件において最大のイオン透過率が得られるように設定しました。それぞれのガスモードでのチューニングパラメータを表 1 にまとめました。

表 1. 各ガスモードの 8800 ICP-QQQ チューニングパラメータ

	ノーガス モード	H_2 モード	O_2 モード	NH_3 モード
セル出射 (V)	-90			
偏向レンズ (V)	20	-10	-4	3
プレートバイアス (V)	-100			
セルガス	N/A	H_2	O_2	NH_3/He
セルガス流量 (mL/min)	N/A	5.0	0.5	1.5
OctP バイアス (V)	-8	-25	-18	-8
OctP RF (V)	180			
KED (V)	5	-8		

プラズマ条件は ICP-MS マスハンターのプリセットプラズマ条件を用いて、十分なロバスト性をもつ “低マトリックス” を設定しました。各イオン種はプラズマ中で複数の電子状態 (基底状態および励起状態) で存在します。また、異なる電子状態のイオンでは反応性が異なることが知られています [9, 10]。そのため、理論的には、プラズマ条件 (プラズマ温度を決定づけるもの) は反応効率に影響を与える可能性があります。しかし、プラズマが常に「ホットプラズマ条件」(Ce^+/CeO^+ が数 % 未満と定義) に保たれている限りでは、プラズマ条件のわずかな変化が反応効率に大きく影響する可能性は低いと考えられます。

検液調製

SPEX Certiprep (ニュージャージー州、米国) から購入した混合標準溶液と関東化学 (埼玉、日本) から購入した単一標準を用いて、6 種の混合標準溶液を作成しました。詳細を以下に記載しました。

溶液 1:	Li, Be, Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Cs, Tl, Pb, Bi, Th, U (1 % HNO_3 , 各 1 ppm)
溶液 2:	Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu (1 % HNO_3 , 各 1 ppm)
溶液 3:	B, Si, P, S, Ti, Ge, Zr, Nb, Mo, Ta, W, Re (0.1 % HF, 各 1 ppm)
溶液 4:	Ru, Rh, Pd, Sn, Sb, Te, Hf, Ir, Pt, Au (1 % $\text{HNO}_3/0.5$ % HCl, 各 1 ppm)
溶液 5:	Cl, Br, I (1 % TMAH, 各 1 ppm)
溶液 6:	1 Hg (1 % $\text{HNO}_3/0.5$ % HCl, 100 ppb)

各溶液の酸濃度に合わせてブランク溶液を作成し、ブランク減算をして各モードの正味の感度を測定しました。各元素について、目的元素と生成するさまざまなプロダクトイオンの感度を測定するため複数の質量ペア (Q1 設定質量と Q2 設定質量の組み合わせ) を測定して調べました。つまり、分析対象となる各質量ペアについて、Q1 を天然同位体の質量に設定し、Q2 を同じ質量 ($\text{Q1} = \text{Q2}$) かマスシフトしたプロダクトイオンの m/z ($\text{Q2} = \text{Q1} + \Delta m$) に設定しました。ICP-MS MassHunter ソフトウェアでは、一般的な反応生成によるマスシフト (O_2 リアクションモードの +16 amu など) が共通のマスシフト設定 (Q1 と Q2 の質量差) としてあらかじめ組み込まれており、メソッド開発を支援します。

反応データ

70 の元素とそれぞれのプロダクトイオンの感度を、ノーガス、 O_2 、 NH_3 、 H_2 モードにおいて調べ、その結果を表 2A (絶対感度) と表 2B (ノーガスモードに対する % としての感度) にまとめました。

ここで示す感度データは、各元素について最適化されたものではない点を強調しておきます。すべての結果は、表 1 に示したチューニングパラメータを用いて得られたものです。目的の分析対象イオンについてセルパラメータをチューニングすれば、感度は向上するだろうと考えられます。

この表で示すデータは、 O_2 、 NH_3 、 H_2 をセルガスとして用いた場合の各元素の反応とプロダクトイオンの生成に関する知見を提供します。たとえば、このデータから、一部の元素イオンは酸化物イオンだけでなく、二酸化物イオンや三酸化物イオンを生成することを知ることができます。アプリケーションによっては、これらのクラスターイオンを測定することで、より低い検出下限を得られる可能性も考えられます。

結論

このアプリケーションノートでは、ORS³ コリジョン/リアクションセルを搭載する Agilent 8800 トリプル四重極 ICP-MS (ICP-QQQ) を用いてリアクションセルモードで得られる基本的な反応データを示しました。タンデム質量分析計設計の構造を有する 8800 ICP-QQQ では、2 つの四重極 (Q1 および Q2) をユニットマスフィルタとして動作させる MS/MS モードを用いることができます。これにより、オンマスモードおよびマスシフトモードにおける化学反応を精密に制御し、従来の ICP-QMS では困難だったスペクトル干渉を排除することが可能です。MS/MS モードを用いれば、第 1 の四重極 (Q1) により質量が選択されるため、従来よりも高い効率と選択性でセルを動作させることができ、さらに広範な元素に対してリアクションセルを適用させることが可能になります。8800 ICP-QQQ をリアクションモードで用いた場合のメソッド開発を支援するために、各種のリアクションガスモード (酸素、アンモニア、水素) における 70 元素の感度と反応に関するデータを調査し、リアクションセル手法に関する重要な知見を提供しました。表中のデータを参照すれば、どの元素がどのようなプロダクトイオンを生成するのかを知ることができます。

参考文献

1. D.R.Bandura, V.I.Baranov and S.D.Tanner, *Fresenius J. Anal. Chem.*, 2001, 370, 454-470
2. John W. Olesik and Deanna R. Jones, *J. Anal.At.Spectrom.*, 2006, 21, 141-159
3. *Agilent 8800 ICP-QQQ application handbook*, 5991-2802EN
4. V.G.Anicich, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 1993, 84, 215-315
5. York University web site, http://www.chem.yorku.ca/profs/bohme/research/selection_table.html
6. Agilent application note, Improvement of ICP-MS detectability of phosphorus and titanium in high purity silicon samples using the Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS, 5991-2466EN
7. Agilent application note, Trace level analysis of sulfur, phosphorus, silicon and chlorine in NMP using the Agilent 8800 Triple Quadrupole ICP-MS, 5991-2303EN
8. Lieve Balcaen and et al, *Anal.Chim.Acta*, 2014, 809, 27, 1-8
9. M. Hamdan and et al., *J. Phys.B:At.Mol.Phys.*, 1984, 17, 849-856
10. P. B. Armentrout, *J. Anal.At.Spectrom.*, 2004, 19, 571-580

表 2A. ノーガスモードおよび 3 つのリアクションセルモードにおける元素イオンとその反応プロダクトイオンの感度。
 緑の丸印は感度が > 1000 cps/ppb、黄色の丸印は感度が > 100 cps/ppbであることを示しています。

元素	原子番号	質量数	ノーガス (cps/ppb)	H ₂ (cps/ppb)				O ₂ (cps/ppb)			
				M ⁺	MH ⁺	MH ₂ ⁺	MH ₃ ⁺	M ⁺	MO ⁺	MO ₂ ⁺	MO ₃ ⁺
			ΔM	0	1	2	3	0	16	32	48
Li	3	7	● 41759	● 4521	0	0	0	● 232	0	0	0
Be	4	9	● 10193	● 3898	● 526	1	1	● 136	18	6	0
B	5	11	● 5266	● 2193	5	39	0	● 317	6	1	0
Na	11	23	● 57839	● 39584	0	0	0	● 16182	0	0	0
Mg	12	24	● 39815	● 24945	9	0	0	● 13593	● 1031	8	2
Al	13	27	● 56763	● 34045	1	0	0	● 22139	● 1398	3	22
Si	14	28	● 16421	● 10884	● 5137	22	1	● 3386	● 2482	● 187	7
P	15	31	● 2486	● 1285	● 485	95	6	21	● 902	3	0
S	16	32	● 6181	● 4137	● 631	97	4	● 131	● 2038	2	0
Cl	17	35	● 226	2	6	● 102	0	0	6	0	0
K	19	39	● 43539	● 33850	0	0	0	● 20183	0	0	0
Ca	20	44	● 2142	● 1249	0	0	0	● 987	80	22	0
Sc	21	45	● 95839	● 48343	● 807	0	0	● 1186	● 45969	● 524	16
Ti	22	47	● 5107	● 2940	21	0	0	77	● 2502	49	17
V	23	51	● 74095	● 43074	● 132	0	0	● 2118	● 46960	● 1605	● 170
Cr	24	52	● 64552	● 34482	7	0	0	● 28691	● 11279	● 254	52
Mn	25	55	● 81996	● 33599	40	0	0	● 37512	● 13080	22	24
Fe	26	56	● 66340	● 32190	● 143	0	0	● 29356	● 15154	66	14
Co	27	59	● 69707	● 45629	57	1	0	● 29359	● 16187	59	31
Ni	28	60	● 14472	● 12522	2	0	0	● 7848	● 1877	22	2
Cu	29	63	● 34480	● 27423	0	0	0	● 20842	● 294	35	0
Zn	30	66	● 11313	● 3930	0	0	0	● 6120	● 303	2	1
Ga	31	71	● 38632	● 14743	0	0	0	● 22568	0	0	0
Ge	32	72	● 17998	● 7688	92	0	0	● 7062	● 1719	● 161	1
As	33	75	● 10603	● 6438	● 131	1	0	● 334	● 6013	6	0
Se	34	82 [*]	● 732	● 282	9	0	0	● 212	● 204	0	0
Br	35	81	● 1847	● 799	● 260	8	0	● 116	● 173	1	0
Rb	37	85	● 76018	● 32869	0	0	0	● 43163	0	0	0
Sr	38	88	● 95671	● 40573	15	0	0	● 52149	● 5582	● 1471	0
Y	39	89	● 150007	● 81923	98	0	0	● 978	● 77354	● 1877	11
Zr	40	90	● 58386	● 31671	35	0	0	● 188	● 26699	● 5106	● 1432
Nb	41	93	● 102753	● 76003	57	0	0	● 557	● 4744	● 48482	14
Mo	42	95	● 17028	● 10677	3	0	0	● 752	● 956	● 6125	6
Ru	44	101	● 16832	● 10171	1	0	0	● 4789	● 3427	● 121	46
Rh	45	103	● 85372	● 47902	5	0	0	● 32214	● 7102	40	6
Pd	46	105	● 15176	● 11137	1	0	0	● 8697	● 161	7	0
Ag	47	107	● 42300	● 24631	0	0	0	● 29437	1	1	0
Cd	48	111	● 10075	● 3724	0	0	0	● 6238	55	0	0
Sn	50	118	● 28708	● 8585	2	0	0	● 10789	● 1496	88	0
Sb	51	121	● 34183	● 12507	4	0	0	● 8256	● 8954	31	0
Te	52	125	● 1413	● 554	0	0	0	● 394	● 324	0	0
I	53	127	● 20843	● 10059	5	0	0	● 9338	● 2819	2	0

⁸²Se はノーガスモードの感度測定を可能にするために使用。

表 2A. 続き、H₂ および O₂

元素	原子番号	質量数	ノーガス (cps/ppb)	H ₂ (cps/ppb)				O ₂ (cps/ppb)			
				M ⁺	MH ⁺	MH ₂ ⁺	MH ₃ ⁺	M ⁺	MO ⁺	MO ₂ ⁺	MO ₃ ⁺
			ΔM	0	1	2	3	0	16	32	48
Cs	55	133	● 100507	● 45313	0	0	0	● 72832	0	0	0
La	57	139	● 132424	● 98130	24	0	0	● 320	● 87357	● 2007	0
Ce	58	140	● 130831	● 53284	18	0	0	● 115	● 80926	● 1311	72
Pr	59	141	● 181014	● 47241	18	0	0	● 139	● 88626	● 767	0
Nd	60	146	● 26895	● 9859	3	0	0	30	● 16631	● 175	0
Sm	62	147	● 21771	● 8404	2	0	0	● 315	● 14053	● 305	0
Eu	63	153	● 85415	● 28133	7	0	0	● 24774	● 19372	● 1969	0
Gd	64	157	● 28661	● 9333	4	0	0	● 1282	● 14006	● 362	1
Tb	65	159	● 164457	● 56971	17	0	0	● 511	● 95468	● 1918	5
Dy	66	163	● 36080	● 14809	6	0	0	● 175	● 28535	● 420	1
Ho	67	165	● 181582	● 56523	27	0	0	● 680	● 99092	● 2435	11
Er	68	166	● 50501	● 18679	9	0	0	● 296	● 34575	● 982	7
Tm	69	169	● 172859	● 51606	73	0	0	● 8973	● 100996	● 2411	17
Yb	70	172	● 34696	● 11596	30	0	0	● 10624	● 9081	● 415	1
Lu	71	175	● 153754	● 55401	11	0	0	● 1994	● 104484	● 3932	32
Hf	72	178	● 36060	● 13109	6	0	0	15	● 13849	● 7833	0
Ta	73	181	● 150282	● 63258	48	0	0	63	● 5121	● 75315	● 235
W	74	182	● 36381	● 17171	20	0	0	60	● 2035	● 17187	● 266
Re	75	185	● 48114	● 19353	36	0	0	● 3173	● 4413	● 10111	● 5323
Ir	77	193	● 50400	● 41464	57	3	0	● 17592	● 12528	● 664	● 105
Pt	78	195	● 18826	● 17165	12	3	0	● 10722	● 1409	11	1
Au	79	197	● 32902	● 31730	4	3	0	● 18775	● 114	4	0
Hg	80	202	● 8205	● 3859	0	0	0	● 4710	4	0	0
Tl	81	205	● 67878	● 25667	0	0	0	● 42998	0	0	0
Pb	82	208	● 46191	● 18386	0	0	0	● 26069	● 589	0	0
Bi	83	209	● 77596	● 29212	1	0	0	● 41364	● 3776	0	0
Th	90	232	● 87948	● 31544	22	2	0	2	● 16035	NA	NA
U	92	238	● 90868	● 32366	14	0	0	2	● 559	NA	NA

表 2A. 続き、NH₃

元素	原子番号	質量数	NH ₃ (cps/ppb)									
			M+	M(NH) ⁺	M(NH ₂) ⁺	M(NH ₃) ⁺	MNH(NH ₃) ⁺	MNH ₂ (NH ₃) ⁺	M(NH ₃) ₂ ⁺	MNH(NH ₃) ₂ ⁺	MNH ₂ (NH ₃) ₂ ⁺	M(NH ₃) ₃ ⁺
			0	15	16	17	32	33	34	49	50	51
Li	3	7	● 1543	0	0	2	0	0	1	0	0	1
Be	4	9	● 366	0	38	3	0	● 116	16	0	● 190	● 249
B	5	11	● 131	0	12	2	51	1	0	● 258	3	0
Na	11	23	● 40985	0	0	80	0	0	15	0	0	0
Mg	12	24	● 28157	0	0	● 178	0	0	55	1	0	36
Al	13	27	● 35328	0	0	80	0	2	3	1	0	0
Si	14	28	● 1511	0	● 438	3	1	0	0	1	0	0
P	15	31	9	1	2	0	0	0	0	0	0	0
S	16	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	17	35	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	19	39	● 36532	0	0	21	0	0	1	0	0	0
Ca	20	44	● 1562	0	1	5	1	0	1	0	0	0
Sc	21	45	● 18843	● 7197	● 2139	64	● 2167	● 372	47	● 1256	● 406	● 115
Ti	22	47	● 1148	● 469	78	1	100	13	0	84	17	2
V	23	51	● 39430	● 831	● 4927	● 185	● 301	● 362	124	● 338	● 668	● 130
Cr	24	52	● 48910	8	9	● 182	3	1	● 405	4	3	14
Mn	25	55	● 64783	0	4	● 278	0	1	● 187	0	1	26
Fe	26	56	● 50691	2	27	● 280	1	8	● 2474	2	7	● 254
Co	27	59	● 48441	3	20	● 493	2	5	● 3499	2	4	● 800
Ni	28	60	● 10516	0	1	96	0	0	● 317	0	0	● 566
Cu	29	63	● 25533	0	1	● 210	0	0	● 1856	0	0	17
Zn	30	66	● 9000	0	0	● 119	0	0	61	0	0	12
Ga	31	71	● 30730	0	0	68	0	0	11	0	0	0
Ge	32	72	● 6211	0	● 2571	25	0	● 1418	73	0	● 185	● 588
As	33	75	● 2569	8	● 1599	59	1	● 230	32	1	16	4
Se	34	82*	347	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Br	35	81	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rb	37	85	● 54979	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Sr	38	88	● 79654	0	48	● 147	15	2	16	3	1	11
Y	39	89	● 47349	● 22301	● 5740	● 587	● 5828	● 974	● 154	● 1903	● 672	● 187
Zr	40	90	● 11579	● 10060	● 790	14	● 2172	● 155	6	● 1433	● 255	29
Nb	41	93	● 19857	● 6968	● 206	5	28	1	0	22	1	0
Mo	42	95	● 10344	23	12	31	0	0	● 143	0	0	1
Ru	44	101	● 11426	1	2	47	0	0	● 137	0	0	10
Rh	45	103	● 55102	0	3	● 226	0	1	● 548	0	0	27
Pd	46	105	● 11381	0	0	49	0	0	● 127	0	0	● 130
Ag	47	107	● 37325	0	0	81	0	0	● 247	0	0	3
Cd	48	111	● 8290	0	0	21	0	0	6	0	0	1
Sn	50	118	● 16684	0	5	76	0	1	69	0	0	3
Sb	51	121	● 24016	3	13	● 1147	1	3	● 179	1	1	4
Te	52	125	● 1096	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	53	127	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

⁸²Se はノーガスモードの感度測定を可能にするために使用。

表 2A. 続々、NH₃

元素	原子番号	質量数	NH ₃ (cps/ppb)									
			M+	M(NH) ⁺	M(NH ₂) ⁺	M(NH ₃) ⁺	MNH(NH ₃) ⁺	MNH ₂ (NH ₃) ⁺	M(NH ₃) ₂ ⁺	MNH(NH ₃) ₂ ⁺	MNH ₂ (NH ₃) ₂ ⁺	M(NH ₃) ₃ ⁺
			0	15	16	17	32	33	34	49	50	51
Cs	55	133	● 80994	0	0	3	0	0	0	0	0	0
La	57	139	● 51900	● 31021	● 12190	● 868	● 1145	● 284	96	● 245	● 123	76
Ce	58	140	● 47439	● 22882	● 8447	● 521	● 915	● 328	68	● 238	● 130	71
Pr	59	141	● 96491	● 3154	● 7649	● 505	● 107	● 158	47	26	47	39
Nd	60	146	● 18452	● 190	● 1053	62	10	22	8	2	8	7
Sm	62	147	● 14593	1	● 513	32	1	16	7	0	7	7
Eu	63	153	● 59006	0	● 150	79	4	3	8	1	0	7
Gd	64	157	● 11875	● 4066	● 840	56	● 589	77	13	● 160	44	12
Tb	65	159	● 78912	● 13589	● 4297	● 160	● 3202	● 498	67	● 941	● 318	77
Dy	66	163	● 28299	● 121	● 635	33	11	42	8	3	18	7
Ho	67	165	● 112235	● 826	● 2120	● 133	93	262	35	20	98	31
Er	68	166	● 32776	● 367	● 730	38	45	89	10	9	32	10
Tm	69	169	● 113722	27	● 749	● 103	4	64	20	1	16	17
Yb	70	172	● 22193	0	24	22	0	1	3	0	0	3
Lu	71	175	● 115121	● 1507	● 3205	● 259	● 359	● 449	56	85	● 153	47
Hf	72	178	● 6021	● 13915	● 703	15	● 2018	99	2	● 470	54	4
Ta	73	181	● 23148	● 29292	● 2691	32	● 230	16	1	● 117	5	0
W	74	182	● 9277	● 6208	● 315	3	13	1	0	1	0	0
Re	75	185	● 39126	● 289	19	2	1	0	0	0	0	0
Ir	77	193	● 25337	● 1931	20	● 143	89	22	31	4	5	1
Pt	78	195	● 15021	7	4	82	2	2	● 200	1	2	● 121
Au	79	197	● 23788	5	1	● 112	2	0	● 595	1	0	7
Hg	80	202	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tl	81	205	● 52670	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Pb	82	208	● 35788	0	1	5	0	0	1	0	0	0
Bi	83	209	● 60593	2	4	11	0	0	1	0	0	0
Th	90	232	● 15603	● 32219	● 6181	● 229	NA	NA	NA	NA	NA	NA
U	92	238	● 29649	● 24271	● 4917	● 248	NA	NA	NA	NA	NA	NA

表 2B. 3つのリアクションセルモードにおける元素イオンとそれぞれのプロダクトイオンの感度 (ノーガスモードの感度に対する相対感度)。
 緑の丸印は感度が > 2 %、黄色の丸印は感度が > 0.5 % であることを示しています。

元素	原子番号	質量数	ノーガス (cps/ppb)	H ₂ (%)					O ₂ (%)						
				M ⁺	MH ⁺		MH ₂ ⁺		MH ₃ ⁺	M ⁺	MO ⁺	MO ₂ ⁺	MO ₃ ⁺		
				ΔM	0	1	2	3	0	16	32	48			
Li	3	7	41759	●	10.8%		0.0%	0.0%	0.0%	●	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	
Be	4	9	10193	●	38.2%	●	5.2%	0.0%	0.0%	●	1.3%	0.2%	0.1%	0.0%	
B	5	11	5266	●	41.6%		0.1%	●	0.7%	0.0%	●	6.0%	0.1%	0.0%	
Na	11	23	57839	●	68.4%		0.0%	0.0%	0.0%	●	28.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Mg	12	24	39815	●	62.7%		0.0%	0.0%	0.0%	●	34.1%	●	2.6%	0.0%	
Al	13	27	56763	●	60.0%		0.0%	0.0%	0.0%	●	39.0%	●	2.5%	0.0%	
Si	14	28	16421	●	66.3%	●	31.3%	0.1%	0.0%	●	20.6%	●	15.1%	●	1.1%
P	15	31	2486	●	51.7%	●	19.5%	●	3.8%	0.2%	●	0.8%	●	36.3%	0.1%
S	16	32	6181	●	66.9%	●	10.2%	●	1.6%	0.1%	●	2.1%	●	33.0%	0.0%
Cl	17	35	226	●	1.0%	●	2.8%	●	45.3%	0.0%	0.1%	●	2.6%	0.0%	
K	19	39	43539	●	77.7%		0.0%	0.0%	0.0%	●	46.4%	0.0%	0.0%	0.0%	
Ca	20	44	2142	●	58.3%		0.0%	0.0%	0.0%	●	46.1%	●	3.7%	●	1.0%
Sc	21	45	95839	●	50.4%	●	0.8%	0.0%	0.0%	●	1.2%	●	48.0%	●	0.5%
Ti	22	47	5107	●	57.6%		0.4%	0.0%	0.0%	●	1.5%	●	49.0%	●	1.0%
V	23	51	74095	●	58.1%		0.2%	0.0%	0.0%	●	2.9%	●	63.4%	●	2.2%
Cr	24	52	64552	●	53.4%		0.0%	0.0%	0.0%	●	44.4%	●	17.5%	0.4%	0.1%
Mn	25	55	81996	●	41.0%		0.0%	0.0%	0.0%	●	45.7%	●	16.0%	0.0%	0.0%
Fe	26	56	66340	●	48.5%		0.2%	0.0%	0.0%	●	44.3%	●	22.8%	0.1%	0.0%
Co	27	59	69707	●	65.5%		0.1%	0.0%	0.0%	●	42.1%	●	23.2%	0.1%	0.0%
Ni	28	60	14472	●	86.5%		0.0%	0.0%	0.0%	●	54.2%	●	13.0%	0.1%	0.0%
Cu	29	63	34480	●	79.5%		0.0%	0.0%	0.0%	●	60.4%	●	0.9%	0.1%	0.0%
Zn	30	66	11313	●	34.7%		0.0%	0.0%	0.0%	●	54.1%	●	2.7%	0.0%	0.0%
Ga	31	71	38632	●	38.2%		0.0%	0.0%	0.0%	●	58.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Ge	32	72	17998	●	42.7%	●	0.5%	0.0%	0.0%	●	39.2%	●	9.5%	●	0.9%
As	33	75	10603	●	60.7%	●	1.2%	0.0%	0.0%	●	3.2%	●	56.7%	0.1%	0.0%
Se	34	82 [*]	732	●	38.5%	●	1.3%	0.0%	0.0%	●	29.0%	●	27.9%	0.1%	0.0%
Br	35	81	1847	●	43.3%	●	14.1%	0.4%	0.0%	●	6.3%	●	9.4%	0.1%	0.0%
Rb	37	85	76018	●	43.2%		0.0%	0.0%	0.0%	●	56.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Sr	38	88	95671	●	42.4%		0.0%	0.0%	0.0%	●	54.5%	●	5.8%	●	1.5%
Y	39	89	150007	●	54.6%		0.1%	0.0%	0.0%	●	0.7%	●	51.6%	●	1.3%
Zr	40	90	58386	●	54.2%		0.1%	0.0%	0.0%	0.3%	●	45.7%	●	8.7%	●
Nb	41	93	102753	●	74.0%		0.1%	0.0%	0.0%	●	0.5%	●	4.6%	●	47.2%
Mo	42	95	17028	●	62.7%		0.0%	0.0%	0.0%	●	4.4%	●	5.6%	●	36.0%
Ru	44	101	16832	●	60.4%		0.0%	0.0%	0.0%	●	28.4%	●	20.4%	●	0.3%
Rh	45	103	85372	●	56.1%		0.0%	0.0%	0.0%	●	37.7%	●	8.3%	0.0%	0.0%
Pd	46	105	15176	●	73.4%		0.0%	0.0%	0.0%	●	57.3%	●	1.1%	0.0%	0.0%
Ag	47	107	42300	●	58.2%		0.0%	0.0%	0.0%	●	69.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Cd	48	111	10075	●	37.0%		0.0%	0.0%	0.0%	●	61.9%	●	0.5%	0.0%	0.0%
Sn	50	118	28708	●	29.9%		0.0%	0.0%	0.0%	●	37.6%	●	5.2%	0.3%	0.0%
Sb	51	121	34183	●	36.6%		0.0%	0.0%	0.0%	●	24.2%	●	26.2%	0.1%	0.0%
Te	52	125	1413	●	39.2%		0.0%	0.0%	0.0%	●	27.9%	●	22.9%	0.0%	0.0%
I	53	127	20843	●	48.3%		0.0%	0.0%	0.0%	●	44.8%	●	13.5%	0.0%	0.0%

⁸²Se はノーガスモードの感度測定を可能にするために使用。

表 2B. 続き、H₂ および O₂

元素	原子番号	質量数	ノーガス (cps/ppb)	H ₂ (%)				O ₂ (%)								
				M ⁺	MH ⁺	MH ₂ ⁺	MH ₃ ⁺	M ⁺	MO ⁺	MO ₂ ⁺	MO ₃ ⁺					
				ΔM	0	1	2	3	0	16	32	48				
Cs	55	133	100507	●	45.1%	0.0%	0.0%	0.0%	●	72.5%	0.0%	0.0%	0.0%			
La	57	139	132424	●	74.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	●	66.0%	●	1.5%	0.0%		
Ce	58	140	130831	●	40.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	●	61.9%	●	1.0%	0.1%		
Pr	59	141	181014	●	26.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	●	49.0%	0.4%	0.0%	0.0%		
Nd	60	146	26895	●	36.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	●	61.8%	●	0.6%	0.0%		
Sm	62	147	21771	●	38.6%	0.0%	0.0%	0.0%	●	1.4%	●	64.5%	●	1.4%	0.0%	
Eu	63	153	85415	●	32.9%	0.0%	0.0%	0.0%	●	29.0%	●	22.7%	●	2.3%	0.0%	
Gd	64	157	28661	●	32.6%	0.0%	0.0%	0.0%	●	4.5%	●	48.9%	●	1.3%	0.0%	
Tb	65	159	164457	●	34.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	●	58.1%	●	1.2%	0.0%	0.0%	
Dy	66	163	36080	●	41.0%	0.0%	0.0%	0.0%	●	0.5%	●	79.1%	●	1.2%	0.0%	
Ho	67	165	181582	●	31.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	●	54.6%	●	1.3%	0.0%	0.0%	
Er	68	166	50501	●	37.0%	0.0%	0.0%	0.0%	●	0.6%	●	68.5%	●	1.9%	0.0%	
Tm	69	169	172859	●	29.9%	0.0%	0.0%	0.0%	●	5.2%	●	58.4%	●	1.4%	0.0%	
Yb	70	172	34696	●	33.4%	0.1%	0.0%	0.0%	●	30.6%	●	26.2%	●	1.2%	0.0%	
Lu	71	175	153754	●	36.0%	0.0%	0.0%	0.0%	●	1.3%	●	68.0%	●	2.6%	0.0%	
Hf	72	178	36060	●	36.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	●	38.4%	●	21.7%	0.0%	0.0%	
Ta	73	181	150282	●	42.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	●	3.4%	●	50.1%	0.2%	0.2%	
W	74	182	36381	●	47.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.2%	●	5.6%	●	47.2%	●	0.7%	
Re	75	185	48114	●	40.2%	0.1%	0.0%	0.0%	●	6.6%	●	9.2%	●	21.0%	●	11.1%
Ir	77	193	50400	●	82.3%	0.1%	0.0%	0.0%	●	34.9%	●	24.9%	●	1.3%	0.2%	0.2%
Pt	78	195	18826	●	91.2%	0.1%	0.0%	0.0%	●	57.0%	●	7.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Au	79	197	32902	●	96.4%	0.0%	0.0%	0.0%	●	57.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hg	80	202	8205	●	47.0%	0.0%	0.0%	0.0%	●	57.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Tl	81	205	67878	●	37.8%	0.0%	0.0%	0.0%	●	63.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pb	82	208	46191	●	39.8%	0.0%	0.0%	0.0%	●	56.4%	●	1.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Bi	83	209	77596	●	37.6%	0.0%	0.0%	0.0%	●	53.3%	●	4.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Th	90	232	87948	●	35.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	●	18.2%	NA	NA	NA	NA	NA
U	92	238	90868	●	35.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	●	0.6%	NA	NA	NA	NA	NA

表 2B. 続き、NH₃

元素	原子番号	質量数	NH ₃ (%)															
			M ⁺	M(NH) ⁺	M(NH ₂) ⁺	M(NH ₃) ⁺	MNH(NH ₃) ⁺	MNH ₂ (NH ₃) ⁺	M(NH ₃) ₂ ⁺	MNH(NH ₃) ₂ ⁺	MNH ₂ (NH ₃) ₂ ⁺	M(NH ₃) ₃ ⁺						
			0	15	16	17	32	33	34	49	50	51						
Li	3	7		3.7%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%		
Be	4	9		3.6%	0.0%	0.4%	0.0%		0.0%		1.1%	0.2%	0.0%		1.9%		2.4%	
B	5	11		2.5%	0.0%	0.2%	0.0%		1.0%	0.0%	0.0%		4.9%	0.1%		0.0%		
Na	11	23		70.9%	0.0%	0.0%	0.1%		0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Mg	12	24		70.7%	0.0%	0.0%	0.4%		0.0%	0.0%	0.1%		0.0%	0.0%		0.1%		
Al	13	27		62.2%	0.0%	0.0%	0.1%		0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Si	14	28		9.2%	0.0%		2.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
P	15	31		0.3%	0.1%	0.1%	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
S	16	32		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Cl	17	35		7.3%	0.0%	0.0%	0.1%		0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
K	19	39		83.9%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Ca	20	44		72.9%	0.0%	0.1%	0.2%		0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Sc	21	45		19.7%		7.5%		2.2%		2.3%	0.4%	0.0%		1.3%	0.4%	0.1%		
Ti	22	47		22.5%		9.2%		1.5%	0.0%		2.0%	0.2%	0.0%		1.7%	0.3%	0.0%	
V	23	51		53.2%		1.1%		6.7%	0.3%	0.4%		0.5%	0.2%	0.5%		0.9%	0.2%	
Cr	24	52		75.8%	0.0%	0.0%	0.3%		0.0%	0.0%		0.6%	0.0%	0.0%		0.0%		
Mn	25	55		79.0%	0.0%	0.0%	0.3%		0.0%	0.0%	0.2%		0.0%	0.0%		0.0%		
Fe	26	56		76.4%	0.0%	0.0%	0.4%		0.0%	0.0%		3.7%	0.0%	0.0%		0.4%		
Co	27	59		69.5%	0.0%	0.0%		0.7%	0.0%	0.0%		5.0%	0.0%	0.0%		1.1%		
Ni	28	60		72.7%	0.0%	0.0%		0.7%	0.0%	0.0%		2.2%	0.0%	0.0%		3.9%		
Cu	29	63		74.1%	0.0%	0.0%		0.6%	0.0%	0.0%		5.4%	0.0%	0.0%		0.0%		
Zn	30	66		79.6%	0.0%	0.0%		1.1%	0.0%	0.0%		0.5%	0.0%	0.0%		0.1%		
Ga	31	71		79.5%	0.0%	0.0%	0.2%		0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Ge	32	72		34.5%	0.0%		14.3%	0.1%	0.0%		7.9%	0.4%	0.0%		1.0%		3.3%	
As	33	75		24.2%	0.1%		15.1%		0.6%	0.0%		2.2%	0.3%	0.0%	0.2%	0.0%		
Se	34	82*		47.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Br	35	81		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Rb	37	85		72.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Sr	38	88		83.3%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Y	39	89		31.6%		14.9%		3.8%	0.4%		3.9%		0.6%	0.1%		1.3%	0.4%	0.1%
Zr	40	90		19.8%		17.2%		1.4%	0.0%		3.7%	0.3%	0.0%		2.5%	0.4%	0.0%	
Nb	41	93		19.3%		6.8%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
Mo	42	95		60.7%	0.1%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%		0.8%	0.0%	0.0%		0.0%		
Ru	44	101		67.9%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%		0.8%	0.0%	0.0%		0.1%		
Rh	45	103		64.5%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%		0.6%	0.0%	0.0%		0.0%		
Pd	46	105		75.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%		0.8%	0.0%	0.0%		0.9%		
Ag	47	107		88.2%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%		0.6%	0.0%	0.0%		0.0%		
Cd	48	111		82.3%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%		0.0%	0.0%		0.0%		
Sn	50	118		58.1%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%		0.0%	0.0%		0.0%		
Sb	51	121		70.3%	0.0%	0.0%		3.4%	0.0%	0.0%		0.5%	0.0%	0.0%		0.0%		
Te	52	125		77.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		
I	53	127		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%		0.0%		

⁸²Se はノーガスモードの感度測定を可能にするために使用。

表 2B. 続き、NH₃

元素	原子番号	質量数	NH ₃ (%)										
			M ⁺	M(NH) ⁺	M(NH ₂) ⁺	M(NH ₃) ⁺	MNH(NH ₃) ⁺	MNH ₂ (NH ₃) ⁺	M(NH ₃) ₂ ⁺	MNH(NH ₃) ₂ ⁺	MNH ₂ (NH ₃) ₂ ⁺	M(NH ₃) ₃ ⁺	
			0	15	16	17	32	33	34	49	50	51	
Cs	55	133	80.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
La	57	139	39.2%	23.4%	9.2%	0.7%	0.9%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	
Ce	58	140	36.3%	17.5%	6.5%	0.4%	0.7%	0.3%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	
Pr	59	141	53.3%	1.7%	4.2%	0.3%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Nd	60	146	68.6%	0.7%	3.9%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Sm	62	147	67.0%	0.0%	2.4%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Eu	63	153	69.1%	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Gd	64	157	41.4%	14.2%	2.9%	0.2%	2.1%	0.3%	0.0%	0.6%	0.2%	0.0%	
Tb	65	159	48.0%	8.3%	2.6%	0.1%	1.9%	0.3%	0.0%	0.6%	0.2%	0.0%	
Dy	66	163	78.4%	0.3%	1.8%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	
Ho	67	165	61.8%	0.5%	1.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	
Er	68	166	64.9%	0.7%	1.4%	0.1%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	
Tm	69	169	65.8%	0.0%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Yb	70	172	64.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Lu	71	175	74.9%	1.0%	2.1%	0.2%	0.2%	0.3%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	
Hf	72	178	16.7%	38.6%	2.0%	0.0%	5.6%	0.3%	0.0%	1.3%	0.2%	0.0%	
Ta	73	181	15.4%	19.5%	1.8%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	
W	74	182	25.5%	17.1%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Re	75	185	81.3%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Ir	77	193	50.3%	3.8%	0.0%	0.3%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	
Pt	78	195	79.8%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	1.1%	0.0%	0.0%	0.6%	
Au	79	197	72.3%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%	
Hg	80	202	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Tl	81	205	77.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Pb	82	208	77.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Bi	83	209	78.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Th	90	232	17.7%	36.6%	7.0%	0.3%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
U	92	238	32.6%	26.7%	5.4%	0.3%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

www.agilent.com/chem/jp

アジレントは、本文書に誤りが発見された場合、また、本文書の使用により付随的または間接的に生じる損害について一切免責とさせていただきます。

本資料に記載の情報、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。

アジレント・テクノロジー株式会社
© Agilent Technologies, Inc. 2014
Published May 30, 2014
5991-4585JAJP



Agilent Technologies