

ICP-MS を用いた飲料水中の元素類一斉分析法における妥当性評価

草原紀子, 橋本博之, 橋本ルイコ, 田中智子, 神力絢子, 鶴岡則子

Validation of Simultaneous analysis of Elements in Drinking-water by ICP-MS

Noriko KUSAHARA, Hiroyuki HASHIMOTO, Ruiko HASHIMOTO, Satoko TANAKA, Ayako SHINRIKI
and Noriko TSURUOKA

要旨

誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) を用いた飲料水中の元素類一斉分析において、当所で現在使用している検量線の濃度範囲の再設定を検討し、検量線の精度向上および水質検査に採用可能な複数のガスモードの確保を目的として妥当性を評価したので報告する。

キーワード：誘導結合プラズマ質量分析装置、飲料水、元素、金属、一斉分析、妥当性評価

Keywords : Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, Drinking-water, Element, Metal, Simultaneous analysis, Validation Study

(令和 3 年 8 月 30 日受付 令和 3 年 9 月 30 日受理)

はじめに

当所では県有施設の飲料水等の水質検査を実施しており、誘導結合プラズマ質量分析装置 (以下、「ICP-MS」という。) により水質基準項目¹⁾であるホウ素 (B)、アルミニウム (Al)、六価クロム (Cr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、セレン (Se)、カドミウム (Cd)、鉛 (Pb) の 11 項目 (以下、「金属類 11 項目」という。) の一斉分析²⁾を行っている。

ICP-MS は多くの元素を広い濃度範囲で測定することが可能であり、当所で現在使用している検査標準作業手順書 (以下、「SOP」という。) では、通知³⁾に基づき必要な測定精度を確保したうえで、水質検査で通常必要な濃度範囲より広い検量線を用いて検査を実施している。

しかし、検量線の濃度範囲が広い場合、回帰直線の直線性および低濃度領域での精度が低下する。

また、検量線の標準試料については金属類混合標準液を段階的に希釈して調製し、検量線には直線回帰式を用いているが、SOP では各金属の濃度点の設定や重み付けの有無が統一されておらず、試験操作や結果解析が煩雑になって

いる。

さらに、当所の ICP-MS にはアルゴンガスのみ使用して測定する No Gas モードの他、マトリクスおよびプラズマ起因の多原子イオンを低減化するための水素ガス (H₂) モードおよびヘリウムガス (He) モード (以下、「3 種類のガスモード」という。) がある。

ICP-MS で Fe の検査を行う場合は多原子イオン低減化機能が必要なことを除き²⁾、SOP において採用されているガスモード (Fe と Se : H₂ モード、その他 9 項目 : He モード) 以外のガスモードも採用可能となれば、特定のガスモードが使用できない不測の事態が生じた場合にも、残りのガスモードで一斉分析が可能と考えられる。

以上のことから、金属類 11 項目の一斉分析における、検量線の精度向上、検査の簡便化および複数のガスモードの確保を図るため、検量線の濃度範囲および重み付けの再設定を検討し、3 種類のガスモードにおいてガイドライン⁴⁾に基づく検量線および添加試料の妥当性評価を行ったので報告する。

実験方法

1. 試薬

1) 硝酸は硝酸 1.42 (Ultrapure-100、関東化学 (株) 製) を、以下の全ての試料および内部標準溶液に対し硝酸 1% となるよう用いた。

2) 検量線用標準液は金属類 15 成分混合標準液 A (ICP-MS 用、GL サイエンス製) (Fe : 30 mg/L、Al、B、Cu、Zn : 10 mg/L、Mo : 7 mg/L、As、Pb、Ni、Se : 1 mg/L、Cr、Mn : 0.5 mg/L、Cd : 0.3 mg/L、Sb、U : 0.2 mg/L) を用いた。

3) 内部標準液はベリリウム標準原液(Be 1000)、ガリウム標準液(Ga 1000)、インジウム標準液(In 1000)およびタリウム標準液(Tl 1000) (各 1,000 mg/L、関東化学 (株) 製) を用いた。

4) 超純水はメルクミリポア社製 Milli-Q 製造装置 (Advantage A10) により製造したもの (比抵抗>18.2 MΩ・cm、TOC<5 ppb) を用いた。

2. 標準試料の調製

検量線用標準液を硝酸および超純水で希釈・混合し、6 段階の濃度の標準試料を調製した。

標準試料の各金属の濃度を表 1 に示す。

また、検量線用標準液を添加しない試料を同様に操作し、ブランク試料とした。

3. 内部標準溶液の調製

各内部標準液を硝酸および超純水で希釈・混合し、Be を 1 μg/L、Ga、In および Tl を 0.1 μg/L となるよう内部標準溶液を調製した。

各金属の質量数と内部標準物質を表 2 に示す。

4. 器具および機器

測定には 7900x ICP-MS (アジレントテクノロジー社製) を使用した。

また、試料の加熱処理にはデジブレップ分解システム (SCP Science 社製) を使用した。

5. ICP-MS 分析条件

全ての試料に対し内部標準溶液をオンライン添加で 1/10 に希釈して導入し、3 種類のガスモードにおける金属類 11 項目と内部標準物質の信号強度比を求めて分析した。

ICP-MS 測定条件を表 3 に示す。

表 1 標準試料の各金属の濃度

金属類	濃度点 (μg/L)					
	Std1	Std2	Std3	Std4	Std5	Std6
B	2	4	10	20	40	100 ^{**}
Al	2	4	10	20 ^{**}	40	100
Cr	0.1	0.2	0.5	1	2 ^{**}	5
Mn	0.1	0.2	0.5	1	2	5 ^{**}
Fe	6	12	30 ^{**}	60	120	300
Cu	2	4	10	20	40	100 ^{**}
Zn	2	4	10	20	40	100 ^{**}
As	0.2	0.4	1 ^{**}	2	4	10
Se	0.2	0.4	1 ^{**}	2	4	10
Cd	0.06	0.12	0.3 ^{**}	0.6	1.2	3
Pb	0.2	0.4	1 ^{**}	2	4	10

※基準値の 10 分の 1 の濃度に該当する濃度点

表 2 各金属の質量数と内部標準物質

金属類	測定質量数	内部標準物質
B	11	⁹ Be
Al	27	
Cr	52	
Mn	55	
Fe	56	
Cu	63	⁷¹ Ga
Zn	66	
As	75	
Se	78	
Cd	111	¹¹⁵ In
Pb	208	²⁰⁵ Tl

表 3 ICP-MS の測定条件

測定パラメータ	ピークパターン (ポイント)	1		
	繰り返し回数 (回)	3		
	積分時間/質量 [sec]	As, Se 以外 : 1 As, Se : 3		
プラズマ	プラズマモード	低マトリックス		
	RF パワー [W]	1550		
	ネブライザガス [L/min]	1.05		
セルガス	ガスモード	No Gas	H ₂	He
	H ₂ 流量 [mL/min]	オフ	6.0	オフ
	He 流量 [mL/min]	オフ	オフ	4.3

6. 妥当性評価の方法

1) 検量線の作成

(1) 濃度範囲

標準試料中の各金属の濃度と正の相関関係がみられる濃度範囲内で検量線を作成し、定量下限値は検量線の最低濃度 (Std1) とした。

(2) 回帰式および各濃度点

直線回帰式の検量線を最小二乗法で作成した。

なお、回帰式は原点を強制的に通過させず、各金属の 1 本の検量線につきブランク試料を含まない 6 点の濃度点を用いて算出した。

また、各金属の検量線の重み付けの有無を統一するため、各濃度点の重み付けがない検量線 (以下、「重みなし」という。) および濃度 X_i に信号強度比 Y の分散が比例すると仮定して重み $1/X$ で補正を行った検量線を作成し (以下、「重み=1/X」という。)、3 種類のガスモードを用いて重み付けの必要性を検討した。

(3) 測定順序と測定回数

最初にブランク試料を測定し、次に低濃度から高濃度の標準試料を順番に測定し、最後にブランク試料を測定する一連の測定を繰り返し、各濃度の標準試料の測定データを 3 個取得した。

2) 検量線の評価

(1) キャリーオーバー

最高濃度の標準試料 Std6 の測定後に測定したブランク試料中の各金属の濃度が、定量下限値を下回ることを確認した。

(2) 真度

標準試料を繰り返し 3 回測定し、各濃度の標準試料を検量線により定量した濃度の平均値が調製濃度の 80% から 120% であることを確認した。

(3) 精度

標準試料を繰り返し測定し、各濃度の標準試料を検量線により定量した濃度の相対標準偏差 (RSD) が 10 % 以下であることを確認した。

3) 添加試料の調製

(1) 添加を行う水

当所 (千葉市中央区) の給水末端を開栓し 5 分以上経過後に採水した水道水および「1. 試薬」に示した超純水を用いた。

なお、当所の水道水と近隣の水道水水質検査結果^{5),6)}の比較において含有成分等に大きな差は見られず、一般的な水道水と考えられる。

(2) 添加濃度

水道水の添加試料は定量下限値の濃度 (Std1) および水道水の常在成分である元素の影響がないとみなせる濃度 2 種類 (Std2 および Std3) の計 3 種類、また超純水の添加試料は定量下限の濃度 1 種類 (Std1) とした。

添加試料の各金属の濃度を表 4 に示す。

(3) 添加および前処理方法

上記の 3) (1) の水道水および超純水に検量線用標準液および硝酸を添加・混合し、添加試料を調製した。

添加試料は調製後、デジプレッ分解システムで 95 °C、2 時間、加熱処理を行った。

また、検量線用標準液を添加しない試料を同様に操作し、空試験試料とした。

4) 添加試料の評価

(1) 選択性

検量線用標準液を添加前の水道水および超純水の (以下、「空試験試料」という。) についてデータを併行条件下で 2 個取得し、得られた試験結果の平均値の定量下限値に対する比を求め (以下、「選択性」という。)、その比が 30 % 未満であり定量を妨害する信号がないことを確認した。

(2) 真度

各濃度の添加試料についてデータを併行条件下で 5 個

表 4 添加試料の各金属の濃度

金属類	添加試料 (μg/L) ¹⁾			
	水道水			超純水
	(Std1)	(Std2)	(Std3)	(Std1)
B	2	4	10	2
Al	2	4	10	2
Cr	0.1	-	-	0.1
Mn	0.1	-	-	0.1
Fe	6	12	-	6
Cu	2	-	-	2
Zn	2	-	-	2
As	0.2	-	-	0.2
Se	0.2	-	-	0.2
Cd	0.06	-	-	0.06
Pb	0.2	-	-	0.2

1) 評価を実施しなかった濃度点は「-」で表記

取得し、得られた試験結果の平均値の添加濃度に対する比を求め、真度が 70%から 130%であることを確認した。

(3) 併行精度

検査員 1 名が、同一の添加試料を同一日に 5 併行で自由度が 4 となるよう試験し、得られた試験結果の併行精度 (RSD) が 10 %以下であることを確認した。

結果および考察

1 検量線の評価

検量線の真度および精度に関して、重み付けの必要性を検討したところ、重みなしの場合は Mn の No Gas モードおよび Zn の H₂ モードで定量下限値の真度が評価目標値を満たさなかったが、重み=1/X の場合は評価目標値を満たしていた (データ示さず)。

重み付けの有無の比較において上記以外の差は確認されなかったが、各金属の検量線の濃度点を統一化するため、以降の検討では重み=1/X の検量線を採用した。

評価結果を表 5 に示す。

1) キャリーオーバー

いずれのガスモードにおいても評価目標値を満たしていた (データ示さず)。

2) 真度

Fe の No Gas モードにおいて Std1 では 58.5 %、Std2 では 78.8 %であり評価目標値を満たさなかったが、その他は 80%から 120%の範囲内であり評価目標値を満たしていた。

3) 精度

Fe の No Gas モードにおいて Std1 では 67.4 %、Std2 では 22.2 %および Se の No Gas モードにおいて Std1 では 69.4 %、Std2 では 35.3 %、Std3 では 12.5 %であり評価目標値を満たさなかったが、その他は 10 %以内であり評価目標値を満たしていた。

4) 検量線の直線性およびバックグラウンド相当濃度

Fe および Se の No Gas モードを除き、その他の検量線の相関係数は 0.999 %以上であった (データ示さず)。

また、検量線のバックグラウンドの値を濃度に換算したバックグラウンド相当濃度 (以下、「BEC」という。) について、Fe および Se の No Gas モードを除き、その他で比較したところ、B の H₂ モードと No Gas モード、Al の H₂ モード、Cu の H₂ モードと No Gas モード、さらに Cd

の H₂ モードにおいて BEC の絶対値は SOP で採用されているガスモードよりも低い値を示したが、その他は同等または高い値を示した。

なお、BEC の絶対値の高低と検量線の評価結果の比較において、ガスモードによる差はみられなかった。

5) 基準値の 10 分の 1 の測定精度

検量線の Std3 から Std6 に該当する各金属の基準値の 10 分の 1 の濃度における精度を比較したところ、Se の No Gas モードにおいて Std3 では 12.5 %であったが、その他は 10%以下であり測定精度 10 %以下の評価目標値を満たしていた。

さらに、SOP で採用されている検量線では Cr および Cd の No Gas モードの定量下限値における評価目標値を満たさなかったが、今回の検量線では評価目標値を満たしており、定量下限値における検量線の真度および精度の向上が確認された (データ示さず)。

同様に、今回の検量線では Al の He モードおよび No Gas モードの低濃度試料における検量線の真度および精度の向上が確認された (データ示さず)。

以上のことから、今回の検討に用いた検量線で測定した場合、Al の He モードおよび Cr、Al、Cd の No Gas モードにおいて、現在の検量線より高い測定精度で水質検査が実施可能と考えられる。

また、各金属の検量線の濃度点および回帰式の統一化は検量線標準液の調製作業と検量線の回帰式の確認作業の簡便化にも繋がると考えられる。

2 添加試料の評価

検量線の評価目標値を満たさなかった Fe および Se の No Gas モードを除き、添加試料の評価を行った。

評価結果を表 6 に示す。

1) 選択性

水道水の空試験では、Fe の H₂ モードおよび B、Al、Cr、Mn、Cu、Zn、As、Se、Pb の 3 種類のガスモードにおいて 30 %以上であり評価目標値を満たさなかった。一方、Fe の He モードおよび Cd の 3 種類のガスモードにおいては 30 %未満であり評価目標値を満たしていた。

なお、超純水の空試験では、いずれのガスモードにおいても評価目標値を満たしていた。

2) 真度

定量下限値における真度を水道水の添加試料 (Std1) を用いて評価したところ、B の H₂ モードでは 67.0 %、No Gas モードでは 57.0 % および Fe の H₂ モードでは 151.0 %、He モードでは 141.5 % であり評価目標値を満たさなかったが、その他は 70 % から 130 % の範囲内であり評価目標値を満たしていた。

なお、B の H₂ モードと No Gas モードおよび Fe の H₂ モードと He モードにおいて超純水の添加試料 (Std1) を用いて評価したところ、定量下限値における真度は評価目標値を満たしていた。

また、水道水の常在成分の影響がないとみなせる濃度における真度を水道水の添加試料 (Std2) を用いて評価したところ、B の H₂ モードでは 54.4 %、No Gas モードでは 63.1 % であり評価目標値を満たさなかったが、Fe の H₂ モードと He モードでは評価目標値を満たしていた。

さらに、水道水の添加試料 (Std3) を用いたところ、B の H₂ モードと No Gas モードにおいても評価目標値を満たしていた。

3) 併行精度

定量下限値における併行精度を水道水の添加試料 (Std1) を用いて評価したところ、B の H₂ モードでは 35.2 %、He モードでは 13.7 %、No Gas モードでは 23.8 % であった。また、Al の H₂ モードでは 10.1 %、No Gas モードでは 22.4 % であり評価目標値を満たさなかったが、その他は 10 % 以下であり評価目標値を満たしていた。

なお、B の 3 種類のガスモードおよび Al の H₂ モードと No Gas モードにおいて超純水の添加試料 (Std1) を用いて評価したところ、定量下限値における併行精度は評価目標値を満たしていた。

また、水道水の常在成分の影響がないとみなせる濃度における併行精度を水道水の添加試料 (Std2) を用いて評価したところ、B の H₂ モードでは 10.8 %、He モードでは 22.3 %、No Gas モードでは 27.5 % であった。また、Al の No Gas モードでは 14.3 % であり評価目標値を満たさなかったが、Al の H₂ モードは評価目標値を満たしていた。

さらに、水道水の添加試料 (Std3) を用いて評価したところ、B の 3 種類のガスモードおよび Al の No Gas モードにおいても評価目標値を満たしていた。

以上のことから、Fe および Se の No Gas モードを除き、

SOP で採用されている以外のガスモードも検量線および添加試料の評価目標値を満たしており SOP に採用可能と考えられる。

なお、定量下限値における水道水の添加試料の評価において、SOP で採用されているガスモードよりも BEC の絶対値が低い値を示した Al の H₂ モードでは評価目標値を満たさなかったが、SOP で採用されているガスモードでは評価目標値を満たしていた。さらに、B、Cu および Cd において、BEC の絶対値が低い値を示したガスモードと SOP で採用されているガスモードでは、添加試料の評価目標値を満たした濃度に差はみられなかったことから、今回の評価における BEC の絶対値はガスモード選択の際の参考値と考えられる。

まとめ

金属類 11 項目の一斉分析における、検量線の精度向上、検査の簡便化および複数のガスモードの確保を図るため、検量線の濃度範囲および重み付けの再設定を検討し、3 種類のガスモードにおいて妥当性評価を行った。

検量線の評価結果を重み付けの有無で比較したところ、重み=1/X の方が定量下限値における真度の評価目標値を満たすガスモードの数が多かったことから採用した。

また、Fe および Se の No Gas モードを除き、その他のガスモードでは検量線および添加試料の評価目標値を満たしていたことから、SOP に採用可能と考えられる。

なお、今回の検量線では定量下限値および低濃度試料において検量線の真度および精度の向上が確認された。

今後も測定精度の向上に取り組んでいきたい。

引用文献

- 1) 水質基準に関する省令, 厚生労働省令第 101 号, 平成 15 年 5 月 30 日
- 2) 水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法, 厚生労働省告示第 261 号, 最終改正令和 2 年 3 月 25 日
- 3) 水質基準に関する省令の制定および水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について, 健水発第 1010001 号, 最終改正令和 3 年 3 月 26 日
- 4) 水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン, 健水発 0906 第 1 号別添, 最終改正平成 29 年 10 月 18 日

5) 千葉県営水道水質検査結果,千葉県企業局水道部浄水課

6) 千葉県企業局水道部：令和元年度水質年報第 44 号

(URL : <https://www.pref.chiba.lg.jp/suidou/jousui/suishitsu/kensa/index.html>)

表 5 検量線の結果 (重み=1/X)

金 属 類	ガス モード	真度 (%)						精度 (RSD%)						BEC (µg/L)
		目標：80~120%の範囲内						目標：10%以下						
		Std1	Std2	Std3	Std4	Std5	Std6	Std1	Std2	Std3	Std4	Std5	Std6	
B	H ₂	103.3	100.3	100.5	99.8	99.1	99.7 ^{**}	3.6	1.7	0.9	0.1	0.7	0.3 ^{**}	0.001
	He	97.1	99.7	100.5	100.4	101.8	101.2 ^{**}	1.0	3.5	2.4	1.8	0.6	1.8 ^{**}	0.093
	No Gas	103.0	98.1	98.1	97.0	96.5	100.6 ^{**}	2.7	1.7	2.0	1.3	1.9	0.7 ^{**}	-0.012
Al	H ₂	102.6	99.7	98.7	98.3 ^{**}	97.0	99.6	1.7	1.4	1.0	1.5 ^{**}	1.7	1.0	-0.016
	He	103.1	100.4	99.5	99.3 ^{**}	99.3	101.3	0.7	0.5	0.7	0.9 ^{**}	0.5	1.0	0.031
	No Gas	102.7	99.0	102.9	100.0 ^{**}	98.5	101.4	3.3	2.4	3.0	3.2 ^{**}	4.1	0.9	0.054
Cr	H ₂	103.7	100.5	101.7	100.9	100.0 ^{**}	100.1	4.1	1.5	1.8	1.9	0.9 ^{**}	1.5	0.053
	He	101.5	101.1	102.3	101.6	100.9 ^{**}	101.5	2.3	0.9	1.5	1.3	1.1 ^{**}	1.3	0.030
	No Gas	92.6	96.0	99.8	100.3	99.6 ^{**}	100.4	7.1	3.3	0.6	0.2	0.2 ^{**}	0.6	0.262
Mn	H ₂	101.7	100.6	101.8	101.3	100.5	101.1 ^{**}	2.0	0.3	1.5	1.2	0.7	0.9 ^{**}	0.003
	He	101.6	100.5	102.6	101.0	100.3	101.3 ^{**}	0.7	1.3	2.1	1.4	0.8	0.9 ^{**}	0.003
	No Gas	109.6	103.6	101.9	100.2	98.7	103.6 ^{**}	5.7	2.9	2.0	1.0	1.2	2.2 ^{**}	0.021
Fe	H ₂	106.1	112.3	101.2 ^{**}	101.0	100.8	102.4	1.4	0.8	2.2 ^{**}	1.5	2.0	2.1	1.583
	He	88.7	104.1	115.9 ^{**}	100.4	99.7	101.9	1.6	0.9	1.2 ^{**}	2.3	1.7	1.7	2.500
	No Gas	58.5	78.8	95.1 ^{**}	98.2	99.3	101.2	67.4	22.2	4.9 ^{**}	3.6	1.0	0.9	81.393
Cu	H ₂	99.7	98.7	98.9	99.0	97.7	98.4 ^{**}	0.8	0.5	1.7	1.5	1.8	1.5 ^{**}	0.025
	He	105.0	100.5	99.7	98.3	102.6	102.3 ^{**}	1.1	1.1	1.1	0.8	1.6	1.7 ^{**}	-0.139
	No Gas	102.1	98.3	98.3	103.7	101.0	101.7 ^{**}	1.0	1.2	1.2	1.4	1.6	1.9 ^{**}	-0.090
Zn	H ₂	105.2	101.3	100.8	99.8	98.8	103.6 ^{**}	1.4	1.4	1.6	1.4	1.1	2.0 ^{**}	-0.091
	He	102.1	101.2	102.3	101.6	100.7	101.6 ^{**}	1.2	1.6	1.7	1.5	1.0	1.2 ^{**}	0.021
	No Gas	104.1	100.7	101.1	99.9	98.7	103.4 ^{**}	1.3	1.3	1.1	0.6	0.7	2.1 ^{**}	-0.050
As	H ₂	98.2	98.6	100.2 ^{**}	100.2	99.5	99.9	2.4	1.5	1.7 ^{**}	1.0	0.5	0.8	0.004
	He	102.6	101.7	102.1 ^{**}	101.2	100.8	101.4	1.7	1.8	1.5 ^{**}	1.8	1.2	1.1	-0.004
	No Gas	101.2	99.8	102.1 ^{**}	101.2	100.1	100.5	1.2	1.0	1.1 ^{**}	0.9	0.5	0.5	0.004
Se	H ₂	101.6	99.0	100.6 ^{**}	100.3	99.7	100.2	1.1	0.7	0.9 ^{**}	0.3	0.6	0.3	0.001
	He	102.3	98.9	98.7 ^{**}	100.1	99.2	100.1	5.8	7.7	2.3 ^{**}	1.2	0.7	0.8	0.342
	No Gas	94.1	112.3	103.7 ^{**}	101.2	98.5	99.5	69.4	35.3	12.5 ^{**}	2.3	1.3	0.8	11.128
Cd	H ₂	100.6	98.5	100.7 ^{**}	99.6	99.2	99.6	2.6	1.3	0.2 ^{**}	0.6	0.6	0.4	0.000
	He	101.0	101.6	102.0 ^{**}	101.0	100.3	101.3	0.2	2.0	0.8 ^{**}	1.8	1.0	0.8	0.001
	No Gas	100.1	98.9	102.0 ^{**}	101.2	99.8	100.1	0.5	2.1	0.7 ^{**}	0.4	1.7	0.7	0.001
Pb	H ₂	99.9	99.7	101.6 ^{**}	101.3	100.1	101.0	0.8	1.1	0.7 ^{**}	0.6	0.7	1.1	0.006
	He	100.7	100.4	101.6 ^{**}	101.2	99.9	100.8	1.2	0.7	1.1 ^{**}	1.1	0.8	0.7	0.003
	No Gas	101.0	101.9	102.8 ^{**}	102.7	100.9	101.6	2.2	2.1	2.1 ^{**}	1.7	1.8	1.6	0.006

※基準値の 10 分の 1 の濃度に該当する濃度点

表6 添加試料の結果(重み=1/X 検量線)

金属 類	ガス モード	選択性 (%)		真度 (%) ²⁾				併行精度 (RSD%) ²⁾			
		目標：定量下限値 の30%未満		目標：70~130%の範囲内				目標：10%以下			
		水道水 ¹⁾	超純水	水道水		超純水		水道水		超純水	
		(Std1)	(Std2)	(Std3)	(Std1)	(Std1)	(Std2)	(Std3)	(Std1)		
B	H ₂	2148.2	5.8	67.0	54.4	107.0	104.0	35.2	10.8	5.4	2.1
	He	2125.7	1.0	86.3	50.1	103.8	100.5	13.7	22.3	3.8	5.0
	No Gas	2109.2	5.7	57.0	63.1	101.3	101.2	23.8	27.5	6.1	0.8
Al	H ₂	853.0	4.5	92.6	73.1	-	102.2	10.1	7.8	-	0.9
	He	859.5	3.3	71.8	-	-	-	9.96	-	-	-
	No Gas	891.5	2.7	119.4	84.9	100.7	99.8	22.4	14.3	5.7	1.5
Cr	H ₂	109.9	8.5	95.6	-	-	-	5.5	-	-	-
	He	79.3	4.1	103.1	-	-	-	2.2	-	-	-
	No Gas	53.8	0	88.7	-	-	-	4.3	-	-	-
Mn	H ₂	384.8	0.2	80.7	-	-	-	3.8	-	-	-
	He	384.3	1.1	83.5	-	-	-	5.5	-	-	-
	No Gas	390.2	11.8	87.9	-	-	-	2.3	-	-	-
Fe	H ₂	30.0	0	151.0	116.1	-	99.4	1.0	1.1	-	0.5
	He	21.4	0	141.5	115.3	-	91.1	1.3	0.9	-	0.9
	No Gas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	H ₂	185.8	2.2	84.5	-	-	-	4.0	-	-	-
	He	183.2	8.5	89.1	-	-	-	2.4	-	-	-
	No Gas	192.7	5.7	84.4	-	-	-	1.7	-	-	-
Zn	H ₂	133.0	7.1	96.7	-	-	-	2.4	-	-	-
	He	130.3	1.5	102.1	-	-	-	2.3	-	-	-
	No Gas	134.3	5.2	98.5	-	-	-	2.4	-	-	-
As	H ₂	141.9	0	94.4	-	-	-	4.0	-	-	-
	He	142.8	2.1	98.8	-	-	-	1.4	-	-	-
	No Gas	193.4	0	96.2	-	-	-	3.6	-	-	-
Se	H ₂	56.6	0.3	95.8	-	-	-	1.6	-	-	-
	He	61.5	9.7	103.4	-	-	-	3.3	-	-	-
	No Gas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	H ₂	9.8	0.2	109.2	-	-	-	1.1	-	-	-
	He	8.7	0	111.3	-	-	-	2.2	-	-	-
	No Gas	8.9	0	110.0	-	-	-	1.7	-	-	-
Pb	H ₂	78.1	0	100.3	-	-	-	0.9	-	-	-
	He	79.4	0	100.4	-	-	-	0.7	-	-	-
	No Gas	80.5	0	102.2	-	-	-	1.9	-	-	-

1) 水道水(Std1)測定時の空試験の結果を記載(水道水(Std2)および水道水(Std3)は別日に測定し、空試験の結果は不掲載)

2) 評価を実施しなかった濃度点は「-」で表記