

MP-AES による廃水のハイスループット 多元素分析

Agilent 4210 MP-AES と AVS 4 スイッチングバルブによる、
ブラジルの規制に準拠した低コストのメソッド



著者

Rodolfo Lorençatto
Debora Nascimento Monção
Rafael Araújo Silva
Agilent Technologies, Inc.

はじめに

廃水は、産業、商業、農業における幅広いプロセスで発生しています。As、Cd、Pb、Hg などの潜在的に有害な元素が環境を汚染するのを防止するために、廃水が放出または処理される前に分析をする必要があります。地表水または地下水中に微量に存在する Cd や Pb は、土壌の肥沃度や植物の成長に影響を与えたり、魚に蓄積したりする可能性があります (1 ~ 4)。ブラジル環境省が発行した規制 (CONAMA 430/2011) では、処分前の廃水中のいくつかの元素に最大許容濃度が定められています (5)。該当する元素は、Ag、As、B、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Hg、Mn、Ni、Pb、Se、Sn、Zn です。

廃水の分析には、フレイム原子吸光 (FAAS)、グラファイトファーネス-AAS (GFAAS)、誘導結合プラズマ原子発光分析 (ICP-AES)、ICP 質量分析計 (ICP-MS) といった多様な原子分光法が使用されています (6 ~ 8)。しかし、コントラクトラボや品質管理 (QC) ラボは高品質データを提供しながら効率化を図っているため、多くのラボでは元素分析のためにマイクロ波プラズマ原子発光分光分析装置 (MP-AES) を加えました。MP-AES は自動で分析でき、可燃性ガスや高価なガス、ホローカソードランプは不要なため、ラボの安全性が向上し、運用コストを削減できます (9)。

Agilent 4210 MP-AES は、マイクロ波エネルギーと窒素 (N₂) ガスを用いて堅牢な安定したプラズマを生成します。N₂ は、Agilent 4107 窒素ジェネレータを用いて空気中から抽出するか、ポンペから供給します。運用コストはオンラインカリキュレータで算出でき、FAAS と比べると大幅な低減が可能です (9)。CONAMA 430 メソッドで廃水を分析する場合、MP-AES の使用によって運用コストを削減できるため、わずか 5 か月間で投資を回収できます*。MP-AES は、FAAS よりもハイスループットアプリケーションに適した多元素分析装置です。また、MP-AES は、図 1 に示す Agilent SPS 4 オートサンプラや Agilent アドバンスドバルブシステム (AVS 4) などのアクセサリと組み合わせることにより、生産性をさらに向上させることができます。



図 1. Agilent 4210 MP-AES と SPS 4 オートサンプラおよび AVS 4 スイッチングバルブシステム

生産性向上アクセサリの利点

SPS 4 オートサンプラと AVS 4 スイッチングバルブシステムによって自動分析が可能になるため、生産性が大幅に向上します。この 2 つのアクセサリは、各サンプル間のサンプル導入システムの効率的な洗浄を実現します。AVS 4 は、データ取得中にサンプルを MP-AES に供給しますが、高濃度の総溶解固形分 (TDS) に暴露されます。これらの特長により、優れた長期的安定性が得られ、消耗品の寿命が大幅に延びます。

実験方法

装置構成

すべての測定は、Agilent 4210 MP-AES に SPS 4 オートサンプラと AVS 4 スイッチングバルブを組み合わせて実行しました。4210 MP-AES には、OneNeb シリーズ 2 ネブライザ、ダブルパスのガラス製サイクロニックスプレーチャンバ、Easy Fit トーチを搭載しました。また、As、Se、Hg の分析用に、オプションのマルチモードサンプル導入システム (MSIS) アクセサリを取り付けました (10)。MSIS は、サンプルから水素化物発生元素を分離するか、または低温気化法を使用することによって、従来のネブライザ法よりも優れた性能と低い検出下限を提供します。

また、Agilent 5110 ICP-OES を使用して、Ag、B、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Sn、Zn の測定における MP-AES メソッドの精度をチェックしました。

検量線用標準の作成

Ag、B、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Sn、Zn 測定のための手順 1 多元素検量線用標準液を中間希釈液から作成しました。中間希釈液は、アジレントの Ag、B、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Sn、Zn の 1,000 mg/L 単元素標準液を 3 % (v/v) HNO₃ 溶液 (Merck 社、ブラジル、サンパウロ) と超純水 (UPW) (Sartorius 社、ドイツ、ゲッティンゲン) で混合して調製したものです。塩化セシウム (CsCl) (Sigma-Aldrich 社、ブラジル、サンパウロ) のイオン化緩衝液は 1.0 % (w/v) で調製して、Agilent 内部標準キット (p/n 9910124100) を使用してサンプルラインに連続的に加えました。

Agilent 単元素標準溶液の 1,000 mg/L As と Se を混合して希釈することによって中間標準溶液を調製しました。その後、検量線用標準液を 0.2 ~ 1.0 mg/L で調製しました。

As および Se 測定のための手順 2

1.2 % (w/v) NaBH₄ (Sigma-Aldrich 社、ブラジル、サンパウロ) の 0.5 % (w/v) NaOH (Sigma-Aldrich 社、ブラジル、サンパウロ) 溶液を還元剤として使用し、MSIS を水素化物発生モードで使用しました (図 2)。検量線用標準液を 50 % (v/v) HCl (Merck 社、ブラジル、サンパウロ) で準備し、表 1 に示すように Multiwave GO マイクロ波分解システム (Anton-Paar 社) を使用して前処理を実施しました。

表 1. マイクロ波分解装置を使用した As と Se 標準液の前処理

| ステップ | ランプ時間(分) | 温度(°C) | ホールド時間(分) |
|------|----------|--------|-----------|
| 1 | 10 | 110 | 10 |

* 1 週間に 200 個のサンプル分析を FAAS と比較した場合

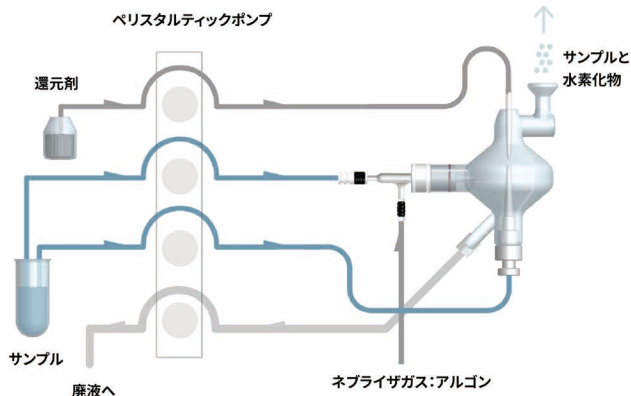


図 2. 3 チャンネルペリスタルティックポンプを用いた水素化物モードでの MSIS

Hg 測定のための手順 3

水銀測定用標準液は、アジレントの 1,000 mg/L Hg 単元素標準溶液を使用し、0.005 ~ 0.025 mg/L の 0.1 % (v/v) HCl および 0.1 % (v/v) HNO₃ 溶液で調製しました。25 % (w/v) SnCl₂ (Química Moderna 社、サンパウロ州、バルエリ) の 20 % (v/v) HCl 溶液を還元剤として使用し、MSIS を低温気化モードで使用しました。

表 2 に Agilent 4210 MP-AES 機器の運転条件を、表 4 にすべての元素の検量線濃度範囲を示します。

表 2. 4210 MP-AES の測定パラメータ

| パラメータ | 測定条件 1 | 測定条件 2 | 測定条件 3 |
|-----------------|--|---------------------------|--------------|
| 元素/波長 (nm) | Ag (328.068)、B (249.772)、Ba (455.403)、Cd (228.802)、Cr (425.433)、Cu (324.754)、Fe (371.993)、Mn (403.076)、Ni (352.454)、Pb (405.781)、Sn (317.505)、Zn (213.857) | As (193.695)、Se (196.026) | Hg (253.652) |
| バックグラウンド補正 | オート | | |
| 読み取り時間 (秒) | 3 (Pb は 10) | 10 | 20 |
| 観測位置 | 0 | | |
| スプレーチャンバ | ダブルパス | MSIS | |
| ネブライザ | OneNeb シリウス 2、窒素加湿器 | MiraMist (PTFE) | |
| ネブライザ流量 (L/min) | 0.50 | 0.40 | 0.75 |
| 繰り返し回数 | 3 | 5 | |
| ポンプスピード (rpm) | 15 | | |

| | | | |
|------------|--|-------------------------------|------|
| ポンプチューブ | オレンジ/緑 (CsCl 1.0 %)、 オレンジ/白 (サンプル)、 青/青 (廃液) | 黒/黒 (サンプルおよび 還元剤)、青/青 (廃液) | |
| 取り込み時間 (秒) | 20 (高速ポンプ ON) | 25 (高速ポンプ ON) | |
| 切り替え遅延 (秒) | 20 | NA | |
| リンス時間 (秒) | 30 (高速ポンプ ON) | | |
| 安定化時間 (秒) | 10 | 25 | |
| 検量線タイプ | 直線 | | |
| 重み付け | オン | | |
| 分析時間 (分) | 3.30 | 3 | 2.20 |

サンプルとサンプル前処理

分析用に、10 種類の産業および家庭廃液を準備しました。CONAMA 430 では Cu、Fe、Mn の溶解上限が定義されているため、各サンプルを 0.45 μm シリジフィルタ (Agilent p/n 5190-5266) を用いてろ過しました。サンプル中の As、Ba、B、Cd、Pb、Cr、Sn、Hg、Ni、Ag、Se、Zn はろ過なしで測定します (全量として定義されているため)。表 3 に記載されている Multiwave GO マイクロ波分解システムプログラムを使用して、ろ過前と後のサンプルを酸分解しました。すべての元素に対してこのプログラムを使用しました。5 mL のサンプルと 0.3 mL の HNO₃ を各ベッセルに加えました。サンプルを分解して冷却した後、溶液を 10 mL にメスアップして、最終酸濃度を 3 % (v/v) にしました。As および Se の測定では、分解のために別の酸濃度が必要となりました。5 mL の HCl と 0.1 mL の HNO₃ を 5 mL のサンプルに加えて、約 50 % HCl (v/v) および 1 % HNO₃ (v/v) の最終酸濃度としました。

表 3. サンプル前処理で使用するマイクロ波を利用した分解プログラム

| ステップ | ランプ時間(分) | 温度(°C) | ホールド時間(分) |
|------|----------|--------|-----------|
| 1 | 10 | 180 | 10 |

結果と考察

検量線

> 0.999 の相関係数 (表 4) が示すように、CONAMA 430 で指定されている 15 元素すべての検量線で、良好な直線性が示されました。図 3 に、分析が特に困難な元素 (Cd、Pb、As、Hg) の代表的な検量線を示します。

7 回のブランク測定値の標準偏差を 10 倍し、希釈倍率を掛けて方法定量下限 (MLOQ) を計算しました。表 4 に示すように、すべての元素の MLOQ が CONAMA 430 で指定されている最大許容濃度よりも低い濃度となりました。

表 4. 相関係数、MLOQ、CONAMA で規制された濃度上限値

| 元素/波長 (nm) | 検量線濃度範囲 (mg/L) | 相関係数 (R) | MLOQ (mg/L) | CONAMA 430/2011 最大許容濃度 (mg/L) |
|-----------------------------|----------------|----------|-------------|-------------------------------|
| Ag (328.068) | 0.1 ~ 0.5 | 0.9999 | 0.07 | 0.1 |
| ³ As (193.695) | 0.2 ~ 1.0 | 0.9996 | 0.05 | 0.5 |
| B (249.772) | 2.0 ~ 10 | 0.9999 | 0.07 | 5.0 |
| Ba (455.403) | 2.0 ~ 10 | 0.9999 | 0.01 | 5.0 |
| Cd (228.802) | 0.1 ~ 0.5 | 0.9999 | 0.08 | 0.2 |
| Cr (425.433) | 0.05 ~ 0.25 | 0.9999 | 0.03 | 0.1* |
| Cu (324.754) | 0.5 ~ 2.5 | 0.9999 | 0.02 | 1.0 |
| Fe (371.993) | 5 ~ 25 | 0.9999 | 0.06 | 15 |
| ²⁰¹ Hg (253.652) | 0.005 ~ 0.025 | 0.9995 | 0.008 | 0.01 |
| Mn (403.076) | 0.5 ~ 2.5 | 0.9999 | 0.01 | 1.0 |
| Ni (352.454) | 0.5 ~ 2.5 | 0.9999 | 0.08 | 2.0 |
| Pb (405.781) | 0.2 ~ 1.0 | 0.9999 | 0.15 | 0.5 |
| ⁷⁸ Se (196.026) | 0.2 ~ 1.0 | 0.9993 | 0.05 | 0.3 |
| Sn (317.505) | 2.0 ~ 10 | 1.0000 | 0.17 | 4.0 |
| Zn (213.857) | 2.0 ~ 10 | 0.9999 | 0.04 | 5.0 |

*Cr(VI)

a MSIS を水素化物発生モードで使用して測定

b MSIS を低温気化モードで使用して測定

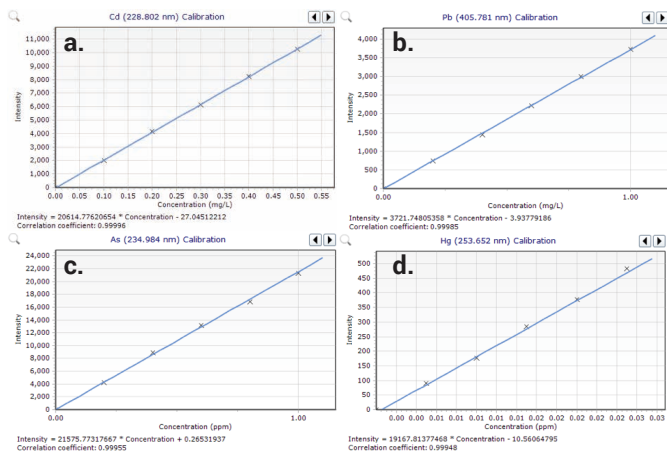


図 3.a. Cd、b. Pb、c. As、d. Hg の検量線

サンプル分析

廃水の元素組成は廃水がどのように発生したかに依存します。廃水の処理では、サンプル成分の高速かつ信頼性の高い定量が重要です。表 5 に、MP-AES を用いて 10 種類の廃水を分析した結果を示します。すべてのサンプルで Ag、As、Cd、Hg、Pb、Se、Sn の濃度は MLOQ 未満となったため、B、Ba、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Zn のデータが得られました。サンプル 7 中のホウ素のみが、CONAMA 430/2011 の最大許容濃度の 5.0 mg/L を超え、処分前にさらなる処理が必要であることを示しています。いずれかのサンプルでクロムの合計が 0.1 mg/L を超える場合は、Cr(III) と Cr(VI) を UV-Vis (11) または HPLC-ICP-MS (12) で測定する必要があります。

表 5. 4210 MP-AES に SPS 4 および AVS 4 を組み合わせて使用し、10 種類の廃水を分析した結果。すべてのサンプル中で濃度が MLOQ 未満だったため、Ag、As、Cd、Hg、Pb、Se、Sn の分析結果は提示していません。

| サンプル | 濃度 (mg/L) | | | | | | |
|------|-----------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| | B | Ba | Cu* | Fe* | Mn* | Ni | Zn |
| 1 | 0.09 | 0.03 | 0.05 | 1.2 | 0.05 | <MLOQ | 0.39 |
| 2 | <MLOQ | 0.09 | 0.20 | 5.2 | 0.08 | <MLOQ | 0.25 |
| 3 | 0.21 | <MLOQ | <MLOQ | 3.2 | 0.07 | <MLOQ | 3.5 |
| 4 | <MLOQ | 0.02 | <MLOQ | 0.08 | 0.01 | <MLOQ | <MLOQ |
| 5 | <MLOQ | 0.10 | 0.06 | 0.33 | 0.20 | <MLOQ | 0.49 |
| 6 | 0.22 | 0.14 | 0.27 | 5.6 | 0.10 | <MLOQ | 1.5 |
| 7 | 8.4 | 0.10 | 0.05 | 5.8 | 0.82 | <MLOQ | 0.31 |
| 8 | <MLOQ | 0.04 | 0.03 | 0.38 | 0.03 | <MLOQ | 0.06 |
| 9 | 2.5 | 0.16 | <MLOQ | 0.27 | 0.02 | 0.12 | <MLOQ |
| 10 | <MLOQ | 0.03 | 0.02 | 0.16 | 0.02 | <MLOQ | 1.3 |

* 溶解成分

長期安定性 (LTS)

Ag、B、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Sn、Zn の長期安定性をチェックするために、標準液をスパイクした廃水サンプルを約 8 時間、繰り返し分析しました。窒素加湿器を使用し、すべての元素で長期にわたる測定精度は < 1.5 % RSD でした。LTS テストは、4210 MP-AES に SPS 4 および AVS 4 を組み合わせて使用した場合、丸 1 日の作業の間、優れた精度および安定性で動作することを示しています。

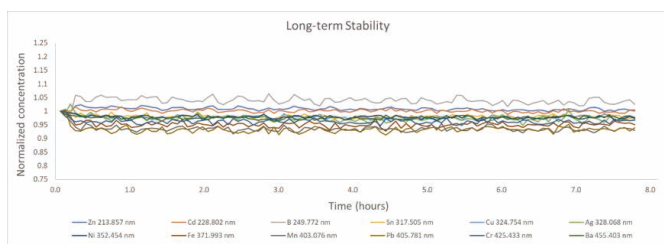


図 4. Ag、B、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Sn、Zn の長期安定性。約 8 時間の連続運転で最大 %RSD は Pb 405.781 nm での 1.2 % でした。

精度チェック：ICP-OES 分析とスパイク回収率

手順 1 (表 1) に従って分析した 12 元素について MP-AES での結果の精度をチェックするために、5110 ICP OES で同じ 10 種類の廃水サンプルを測定しました。MLOQ (表 5) よりも高い濃度の元素を MP-AES と ICP OES で測定した結果を図 5a ~ 5f で比較しています。すべての場合で、B、Ba、Cu、Fe、Mn、Zn の直線性の係数は > 0.99 となり、両方の装置の結果は良好な相関が得られました。

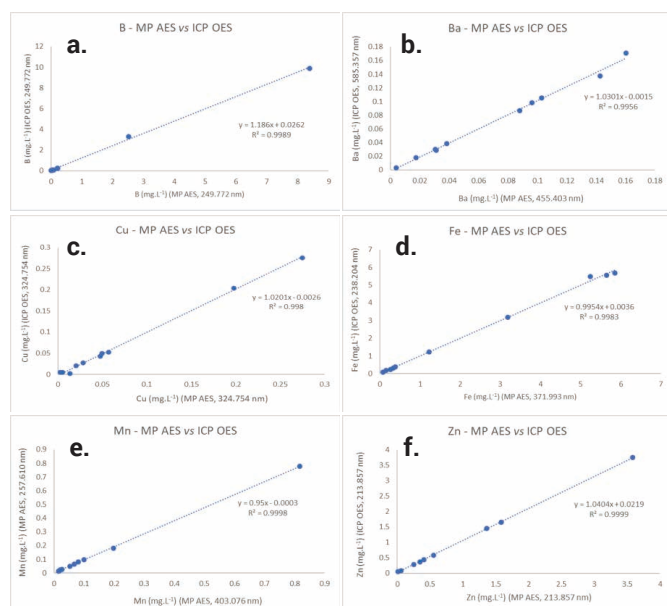


図 5. 10 種類の廃水サンプル中の a. B、b. Ba、c. Cu、d. Fe、e. Mn、f. Zn の MP-AES と ICP-OES での測定結果の比較

添加回収試験用に、サンプル 4 を選択しました。サンプル前処理の前に、各分析対象物 (表 6) の低濃度および高濃度の標準液をサンプルに添加しました。すべての元素の添加回収率は、表 6 に示すように、±10 % の範囲内となりました。

MP Expert のユーティリティ：クイックリードとダッシュボード

分析者はメソッドを作成する前に、クイックリードスキャンを実行して、サンプルをより正確に理解することができます。廃水は多くの場合、高濃度の 1A 族と 2A 族の元素や、Na、K、Mg、Ca などの成分を多く含んでいます。これらのイオン化しやすい元素 (EIE) は、元素によってはイオン化のバリエーションなど、分析上問題を引き起こすことがあります。メソッドの作成前にサンプルのクイックリードスキャンを実施することで、さらなる希釈操作に費やす時間を短縮でき、干渉の可能性に関する情報を得られます。

図 6 のクイックスキャンを使用して、スキャンする元素や波長を選択できます。選択が完了すると、わずか数秒でスキャンが終了します。図 7 に、サンプル 4 中の Na (588.995 nm)、K (766.491 nm)、Mg (285.213 nm)、Ca (393.366 nm) のクイックリードスキャンの結果を示します。クイックリードは、メソッドを作成する前に、特定の元素のピーク形状や強度をチェックできる診断ツールです。

今回の研究では、イオン化緩衝液を使用して EIE 効果を克服しました。表 6 の回収率データが示すように、この手法は効果的です。

表 6. MP-AES によるサンプル 4 の低および高濃度標準液 (mg/L) の回収率

| 分析対象物 | サンプル 4 測定値 | 添加低濃度 | 低濃度添加後の濃度 | 回収率 (%) | 添加高濃度 | 高濃度添加後の濃度 | 回収率 (%) |
|-----------------|---------------|--------|-----------|------------|-------|-----------|------------|
| Ag | < 0.07 | 0.200 | 0.180 | 90 | 0.400 | 0.411 | 103 |
| As ^a | < 0.05 | 0.200 | 0.202 | 101 | 0.800 | 0.759 | 95 |
| B | < 0.07 | 4.00 | 4.07 | 102 | 8.00 | 8.21 | 103 |
| Ba | 0.02 | 4.00 | 4.06 | 101 | 8.00 | 8.43 | 105 |
| Cd | < 0.08 | 0.200 | 0.203 | 102 | 0.400 | 0.415 | 104 |
| Cr | < 0.03 | 0.100* | 0.097 | 97 | 0.200 | 0.213 | 107 |
| Cu | < 0.02 | 1.00 | 0.999 | 100 | 2.00 | 2.10 | 105 |
| Fe | 0.08 | 10.0 | 9.89 | 98 | 20.0 | 21.4 | 107 |
| Hg ^b | < 0.008 | 0.010 | 0.009 | 90 | 0.020 | 0.020 | 100 |
| Mn | 0.01 | 1.00 | 0.986 | 99 | 2.00 | 2.17 | 109 |
| Ni | < 0.08 | 2.00 | 2.01 | 100 | 4.00 | 4.21 | 105 |
| Pb | < 0.15 | 0.400 | 0.393 | 98 | 0.800 | 0.855 | 107 |
| Se ^a | < 0.05 | 0.200 | 0.218 | 109 | 0.800 | 0.804 | 101 |
| Sn | < 0.17 | 4.00 | 4.00 | 100 | 8.00 | 8.53 | 107 |
| Zn | < 0.04 | 4.00 | 4.02 | 100 | 8.00 | 8.24 | 103 |

*Cr(VI)

^a MSIS を水素化物発生モードで使用して測定

^b MSIS を低温気化モードで使用して測定

The screenshot shows the MP Expert software interface. On the left is a periodic table with the element Na (Sodium) selected. Below the table is a 'Read' button and a wavelength input field showing '88.995'. On the right, a table titled 'Selected element Na' lists recommended emission lines. The table has columns for Wavelength (nm), Ion, Intensity, and Order. The first row is highlighted in blue.

| Wavelength (nm) | Ion | Intensity | Order |
|-----------------|-----|-----------|-------|
| 588.995 | I | 108731.2 | 1 |
| 589.592 | I | 81616.0 | 2 |
| 330.237 | I | 597.4 | 3 |
| 568.820 | I | 516.8 | 4 |
| 568.263 | I | 254.0 | 5 |
| 330.298 | I | 239.4 | 6 |
| 616.075 | I | 96.1 | 7 |
| 498.281 | I | 68.7 | 8 |
| 315.953 | II | 50.4 | 9 |
| 615.423 | I | 48.3 | 10 |

図 6. MP Expert バージョン 1.6 (以降) ソフトウェアのクイックリード。ナトリウムを例として、波長を選択できます。選択された各波長がクイックリードによってスキャンされ、図 7 に示すように、ピーク形状やピーク強度をチェックできます。

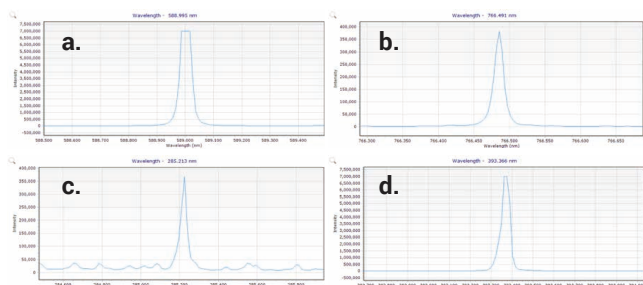


図 7. サンプル 4 のクイックリードスキャンから得られた、a. Na (588.995 nm)、b. K (766.491 nm)、c. Mg (285.213 nm)、d. Ca (393.366 nm) のスペクトル

装置の運転状況を短時間で簡単にチェックできるため、MP-AES 分析の安全性、効率、生産性を容易に確保できます。MP-AES のダッシュボードには、主電源の電圧や周波数、温度、ガス流量、ガス圧力などの複数の機器パラメータ値が表示されます (図 8)。これらのパラメータのモニタリングによって予防が可能となり、信頼性に優れた機器性能を実現できます。

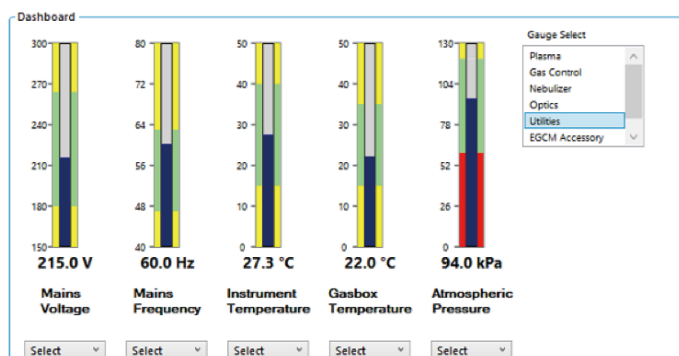


図 8. ソフトウェアのダッシュボード機能で表示された装置パラメータの概要。各パラメータ測定値 (青色のバー) は推奨 (緑) 範囲内に収まっている必要があります。

結論

Agilent 4210 MP-AES と SPS 4 および AVS 4 の組み合わせは、CONAMA 430/2011 で定義された規制に準拠した、廃水の元素測定に最適です。

10 種類の廃水サンプル中の Ag、B、Ba、Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Sn、Zn の MP-AES による測定結果は、ICP-OES による分析で得られた結果と良好な相関がありました。廃水サンプル中の各元素の添加回収率試験によって、メソッドの精度がさらに裏付けられました。低濃度と高濃度の両方の添加回収率は ± 10 % 以内でした。サンプルの 1 つのホウ素のみが、ブラジルの規制で指定された濃度上限を上回りました。

また、As、Se、Hg の分析用に、4210 MP-AES にマルチモードサンプル導入システム (MSIS) アクセサリを取り付けました。As、Se、Hg を水素化物または低温気化モードで測定しました。

MP Expert ソフトウェアのクイックリードスキャン機能を使用して、メソッドを作成する前に有用な情報を得ることができました。EIE は干渉を引き起こす可能性があるため、クイックリードによって Na、K、Mg、Ca についてサンプルをスキャンしました。1 スキャンあたりに要した時間はわずか数秒でした。メソッド作成前に、スキャンデータを用いて、ピークの形状や強度をチェックしました。

Agilent 4210 MP-AES に SPS 4 および AVS 4 を組み合わせて、長時間にわたり、良好な精度かつ %RSD < 1.5 % の安定性でサンプルの自動測定を実行できました。このメソッドは、廃水や排水の元素分析において、FAAS に代わる高速で信頼性も高く、低コストの手法を求める QC ラボやコントラクトラボのニーズに適合します。

謝辞

本書の執筆にあたり、廃水サンプルをご提供くださった、国立工業実習訓練所 (SENAI マリオアマト、ブラジルのサンパウロ州サン・ベルナルド・ド・カンポ市) の Camila Costa Petróleo 氏、Cátia Cristina Guzela 氏、Valéria Rafashi 氏に感謝の意を表します。

参考文献

1. L. Sebastiani, F. Scebba, R. Tognetti, Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides* × *maximowiczii*) and I-214 (*P. euramericana*) exposed to industrial waste; *Enviro and Exp Bot.*, 52, **2004**, 79-88
2. A. Michalak, Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activity in Plants Growing under Heavy Metal Stress; *Pol.J. Environ.Stud.*, 15, **2006**, 523-530
3. R. Reza, G. Singh, Heavy metal contamination and its indexing approach for river water; *Int. J. Environ.Sci.Technol.*, 7, **2010**, 785-792
4. S. A. Mansour, M. M. Sidky, Ecotoxicological Studies.3.Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Governorate, Egypt; *Food Chem.*, 78, **2002**, 15-22
5. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA); Resolução No. 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; DOU, Brasília, Brasil, 2011, No. 092, seção 1, p. 89, accessed January 2020, <http://www.brazilianr.com/brazilian-environmental-legislation/conama-resolution-43011/>

6. R. M. Sterritt and J. N. Lester, Atomic absorption spectrophotometric analysis of the metal content of wastewater samples, *Enviro Tech*, 1:9, 402–417, **1980**
7. J. Cauduro, A. Ryan, Ultrafast ICP-OES Determination of Trace Elements in Water, per US EPA 200.7, Agilent publication, [5991-4821EN](#)
8. W. Proper, N. Sugiyama, S. Wilbur, Using Qualifier Ions to Improve ICP-MS Data Quality for Wastewater Analysis, Agilent publication, [5990-5890EN](#)
9. MP-AES Cost Savings Estimator, accessed in January 2020, <https://www.agilent.com/en-us/products/mp-aes/mpaes-estimator>
10. Flexible Sample Introduction with the Multimode Sample Introduction System, Agilent publication, [5991-6453EN](#)
11. Environmental Protection Agency (EPA) Method 7196A: Chromium, Hexavalent (Colorimetric), Revision 1, 1992, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/7196a.pdf>
12. LC-ICP-MS Method for the Determination of Trivalent and Hexavalent Chromium in Toy Materials to meet European regulation EN71-3:2012 Migration of Certain Elements, Agilent publication, [5991-2878EN](#)

注:AVS 4、クイックリードスキャン、ダッシュボードには、MP Expertバージョン 1.6.X (以降) のソフトウェアが必要です。QC 標準の自動および定期分析を可能にするには、MP Expert PRO ライセンスが必要です。

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタマコンタクトセンタ

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。

アジレント・テクノロジー株式会社
© Agilent Technologies, Inc. 2020
Printed in Japan, March 17, 2020
5994-1746JAJP
DE. 8216898148