

排ガス中の水銀測定法について（案）

目次

1. 排ガス中の水銀測定方法についての基本的考え方	1
（1）測定対象	1
（2）測定方式	2
（3）試料採取方法	2
（3－1）ガス状水銀の試料採取方法	3
（3－2）粒子状水銀の試料採取方法	4
（4）分析方法	4
（4－1）ガス状水銀の分析方法	4
（4－2）粒子状水銀の分析方法	4
（5）規定の具体的内容	4
（6）測定結果の補正方法	5
（7）測定頻度	6
2. 測定結果の確認方法	6
3. 今後の課題	7
（1）試料採取方法	7
（2）その他	8

1. 排ガス中の水銀測定方法についての基本的考え方

排ガス中の水銀測定方法は、別紙1のとおり、ガス状水銀及び粒子状水銀（以下、「全水銀」という。）を測定対象とし、ガス状水銀については、原子吸光分析装置により、粒子状水銀については、湿式酸分解法-還元気化-原子吸光法又は加熱気化-原子吸光法により測定する方法とすることが適当である。その基本的考え方は以下のとおりである。

(1) 測定対象

測定対象については、欧米の測定方法（EN13211、EPA method 29 等の湿式吸収法）が全水銀を対象としており、諸外国の水銀排出データと比較検証可能な測定対象となることが望ましいこと、平成27年度に環境省及び事業者が実施した水銀排出実態調査の結果において一部の施設で粒子状水銀がガス状水銀と同程度検出されていることから、全水銀とすることが適当である。

ただし、事業者の負担を軽減する観点から、排ガス中の全水銀に占める粒子状水銀の質量比が十分に低いことが確認できた場合¹には、ガス状水銀のみの測定結果をもって全水銀の測定結果に代えることができることを今後検討すべきである。加えて、本測定法による全水銀の排出状況が十分に把握されていない現状においても、各施設において全水銀に占める粒子状水銀の質量比が測定結果の誤差の範囲に収まることが確認できた場合に限り、ガス状水銀のみの測定結果をもって全水銀の測定結果に代えることができることを適当である。

具体的には、事業者が、粒子状水銀の濃度について、ガス状水銀の試料ガスにおける定量下限値未満又は全水銀に占める粒子状水銀の割合が5%未満であることを、法施行後3年間、本測定法により定められた測定頻度と同回数¹の測定によって確認することが必要である。ただし、水銀濃度の測定結果の年平均値が50 µg/Nm³以上の施設にあっては、粒子状水銀の濃度について、ガス状水銀の試料ガスにおける定量下限値未満又は2.5 µg/Nm³未満であることを同様に確認することとする。さらに、その後少なくとも水銀濃度の測定結果の保存義務期間（3年）を超えない期間に1回の頻度で、その排出状況が継続していることを確認することとし、水銀排出施設若しくは排ガス処理設備に変更があった場合又は水銀排出施設への投入物に大幅な変更があった場合には、その都度確認することが必要である。

また、規制主体である都道府県等においても、排ガス中の水銀測定について適切な運用がされているか立入検査等によって確認することが必要である。

¹ EN13211 では「If the sum of the mercury content in the dust phase and droplets to less than 1 µg/m³, then gaseous mercury can be sampled non-isokinetically.」との記載があり、粒子状水銀の試料採取を省略できるわけではないが、定量するために必要となる等速吸引を実施しなくてもよいという規定がある（The European Standard EN 13211(2001)）。

(2) 測定方式

連続測定は、水銀濃度の変動をとらえて年間排出総量を把握できる点において優れているものの、測定機の導入・維持管理にかかる事業者の負担が大きいこと、現在の測定機では粒子状水銀が測定対象外であること及び測定範囲の下限値が $1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ (JIS K 0222(3)) 程度であるため石炭火力発電所等から排出される低濃度域²の水銀濃度の測定には不向きであること等の難点がある。このため、水銀の測定方式としては、バッチ測定が適当である。

なお、今後、ガス状水銀のみの測定結果をもって全水銀の測定結果に代えることができるとした施設においては、連続測定を水銀濃度の測定方法に追加することも考えられるが、その場合にも連続測定にかかる事業者負担が過大でないこと及び定量下限値又は指示誤差が十分に低いことが前提となる。このことは、将来的に連続測定においても粒子状水銀の測定が可能となり、連続測定の測定対象が全水銀となった場合も同様である。

また、連続測定については、測定機の納入後も保守点検等による性能維持が必要となるところ、一定の測定精度を確保する観点から、保守点検等にかかる体制や実施項目（特に、二価水銀の還元装置の還元効率の性能確認）等を検討する必要がある。

(3) 試料採取方法

全水銀を測定する場合、試料採取方法については、ガス状水銀と粒子状水銀を一括で試料採取することが望ましいことから、「等速吸引により粒子状水銀をろ紙に捕集した後、ガス状水銀についても同吸引流速により試料採取する方法（以下、「メインストリームサンプリング」という。）」が基本となる。ただし、適切な試料採取量が、一部の施設を除き、ガス状水銀と粒子状水銀とで大きく異なることから、ガス状水銀の吸収液について、水銀吸収量を大幅に増加させることが必要となり、吸収液の濃度及び量並びに容器の容量を上げること等による作業効率の低下等の様々な課題が考えられる。

一方、一括で試料採取する場合、「等速吸引により粒子状水銀をろ紙に捕集した後、ガスラインを分岐することにより吸引量を減少させてガス状水銀を試料採取する方法（以下「サイドストリームサンプリング」という。）」も考えられる。しかしながら、サイドストリームサンプリングは国内で広く普及した試料採取方法ではないことから、測定実績に乏しいという課題がある。

したがって、現時点では、全水銀を測定する場合にメインストリームサンプリング又はサイドストリームサンプリングを用いて一括で試料採取する方法を義務付けることは時期尚早と考えられ、ガス状水銀と粒子状水銀は別々に試料採取することが適当である。ただし、可能な限り、それぞれの試料採取の開始を同時に

² 水銀大気排出実態調査結果によると、石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラーの排ガス中水銀濃度は、概ね $1\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度と考えられる。

することが望ましい。

(3-1) ガス状水銀の試料採取方法

ガス状水銀については、JIS K 0222（排ガス中の水銀分析方法）の（1）湿式吸収—還元気化原子吸光分析法（以下、「JIS法」という。）と同様、硫酸酸性過マンガン酸カリウム溶液（1.5 g-KMnO₄/L）に吸収させることとし、吸引流速は 0.5～1.0 L/min とすることが適当である。

また、吸引量は、平均的な排出状況を捉えるため、JIS法の20 L程度から増量させ、100 L程度とすることが適当である。ただし、水銀排出施設を1時間間隔でバッチ稼働させている場合など、100 L程度の連続吸引が不可能な場合は、連続吸引可能な最大吸引量とすることが適当である。

100 L程度の吸引量であれば、ほとんどの施設の排ガスでは、吸収液量がJIS法と同様の100 mLでもガス状水銀の吸収能力を維持できると考えられる（一部の施設の排ガスでは、吸収液の増量又は吸収瓶（吸収液を入れた容器）の増加が必要な場合も想定される。）³。ただし、吸収能力が維持できていることを確認するため、吸収瓶を2本以上直列に連結し、最終の吸収液中の水銀濃度が、直前の吸収液中の水銀濃度の5%以下であることを確認することが適当である。

また、吸引流速が0.5～1.0 L/minであれば、100 mLの吸収液の容器として、国内で一般的な容量である250 mL容器（ろ過型又は円筒ろ過型のバブラー付きのものが望ましい）を用いても、下流に設置している吸収瓶の吸収液に飛沫することはないと考えられる。

この他、JIS法において、「鉍石などのばい焼ガスなど二酸化硫黄の濃度の高い排ガスや有機物の多い排ガスでは、水酸化カリウムなどの吸収液による洗浄を行う。」とされているものの、硫黄分を多く含む排ガスでは、水酸化カリウム溶液による排ガス洗浄を行った場合に疑似ピークが検出されることに加え、欧米の規格では、洗浄に過酸化水素を採用⁴している。したがって、排ガスの洗浄が必要な場合は、過酸化水素などを用いることとし、洗浄に用いた溶液の下流の吸収液への飛沫を防ぐこと及び下流にある装置を保護するため、洗浄に用いた溶液と過マンガン酸カリウム溶液との間に空瓶を置くことが適当である。更に、洗浄に用いた溶液及び空瓶に捕集された溶液についても、水銀濃度の定量を行うことが必要である。

排ガスの洗浄を行う場合、実際の排ガス中に含まれる夾雑物の種類や濃度は様々であると考えられることから、一律に規定しないが、試料採取中に過マンガン酸カリウム溶液の変色が生じないように、それぞれの排ガスの特徴に応じて、事業者が適切に洗浄の方法を判断することが望ましい。

³ 水銀大気排出実態調査結果によると、302施設中6施設の排ガスで、硫酸性過マンガン酸カリウム溶液の色が消失したが、それ以外の施設の排ガスでは溶液の色の消失が確認されなかった。

⁴ EPA method 29では、10%H₂O₂/5%HNO₃を用いている。

(3-2) 粒子状水銀の試料採取方法

粒子状水銀の試料採取については、JIS Z 8808（排ガス中のダスト濃度の測定方法）に準拠してフィルターに粒子状水銀を含むダストを等速吸引により捕集し、試料ガス採取量は 1000 L 程度を目安とすることが適当である。ただし、水銀排出施設を 1 時間間隔でバッチ稼働させている場合など、1000 L 程度の連続吸引が不可能な場合は、連続吸引可能な最大吸引量とすることが適当である。

なお、試料採取にあたっては、原則として JIS Z 8808 の 9.2（ダスト試料採取装置の構造）の 1 形とし、採取管及びダスト捕集器の温度を煙道の排ガスの温度と同じにすることが可能な場合には、2 形でもよいとすることが適当である。

(4) 分析方法

(4-1) ガス状水銀の分析方法

ガス状水銀の分析については、JIS 法と同様、原子吸光分析装置を用いることが適当である。

諸外国においては、原子蛍光分析装置による分析も行われているが、我が国においては使用実績が少なく、JIS 規格やその他の水銀にかかる規制の測定法においても、原子吸光分析装置のみが用いられている。このため、原子吸光分析装置による分析以外の方法については、JIS 規格等において取り入れられた時点で、追加を検討すべきである。

(4-2) 粒子状水銀の分析方法

粒子状水銀の分析については、湿式酸分解法-還元気化-原子吸光法又は加熱気化-原子吸光法を用いて分析することとし、湿式酸分解法-還元気化-原子吸光法を用いる場合は、底質調査法（平成 24 年 8 月 環境省水・大気環境局）により分析することが適当である。

その他の分析方法については、研究機関において用いられているものが多く、一般的な事業者が用いる測定方法としては、習熟が必要な分析方法であると考えられる。

(5) 規定の具体的内容

分析に関する具体的な内容についてガス状水銀は、JIS 法を基本とし、粒子状水銀は、JIS Z 8808（排ガス中のダスト濃度の測定方法）及び底質調査法（平成 24 年 8 月 環境省水・大気環境局）又は加熱気化-原子吸光法を基本とすることが適当である。

ただし、排ガスの洗浄方法や試料調製時の配管（採取管及び導管を含む。）等の洗浄方法については、個々の施設の特徴が様々であることから、一律に規定しないが、それぞれの施設の特徴に応じて事業者が適切に対応することが適当である⁵。

（6）測定結果の補正方法

補正方法については、水銀及びその化合物（以下、「水銀等」という。）の大気排出規制が濃度規制を採用していることから、原則として標準酸素濃度補正方式を採用することが適当である。

また、標準酸素濃度については、他の大気排出規制物質の排出基準において設定されている値とすることが適当である。具体的な補正方法を式1に示す。

$$C = (21 - O_n) / (21 - O_s) \times C_s \quad \dots \dots \dots \text{式1}$$

C：酸素濃度 O_nにおける濃度

O_n：水銀排出施設の種類ごとに定められた標準酸素濃度（%）

O_s：排ガス中の酸素濃度（20%を超える場合にあっては20%とする。）

C_s：排ガス中の実測水銀濃度

表1

施設の種類	O _n
石炭を燃焼するボイラー	6
セメントの製造の用に供する焼成炉	10
廃棄物焼却炉（廃棄物焼却炉でもある製鋼用電気炉を除く。）	12

ただし、非鉄金属の精錬（二次精錬を含む。）又は精製の用に供する焙焼炉、焼結炉（ペレット焼成炉を含む。）、煨焼炉、溶鋇炉（溶鋇用反射炉を含む。）、転炉、平炉、溶解炉、及び乾燥炉については、個別の工程や施設ごとに燃焼温度、空気比等の燃焼条件が異なり、排ガス中の残存酸素により評価することが困難であると認められること等から、標準酸素濃度補正を行わないことが適当である。

同様に、廃棄物焼却炉でもある製鋼用電気炉についても、排ガス中酸素濃度が一般大気程度⁶の比率であることから、標準酸素濃度補正を行わないことが適当である。

⁵ EN13211 では「The amount of mercury collected in the second absorber shall correspond to less than 5% of total amount of mercury in both absorbers or less than 2 µg/m³, whichever is the greatest.」との記載がある（The European Standard EN 13211(2001)）。

⁶ 水銀大気排出実態調査結果によると、廃棄物焼却炉でもある製鋼用電気炉の排ガス中酸素濃度は、18.4～21.0%（5施設、21データ）であった。

(7) 測定頻度

測定頻度については、規制対象となる事業者及び規制を実施する行政の双方に対して過度な負担を強いることのない、合理的なものとするため、水銀排出施設における他の大気排出規制物質の測定頻度⁷及び後述する再測定を含めた水銀濃度の測定にかかる時間を考慮し、排ガス量が4万Nm³/時以上の施設にあつては、4ヶ月を超えない作業期間ごとに1回以上とし、排ガス量が4万Nm³/時未満の施設にあつては、6ヶ月を超えない作業期間ごとに1回以上することが適当である。

なお、水銀大気排出実態調査結果において、水銀排出がほぼ確認されなかった「専ら硫化亜鉛を原料とする乾燥炉」及び「専ら鉛バッテリー、ハンダ屑又はハンダクリームを原料とする溶解炉」については、排ガス量に関わらず、年1回以上とすることが適当である。

また、ばい煙規制における排出基準は、「規制対象物質の量が著しく変動する施設にあつては、一工程の平均の量」とされている。一方、排ガス中の水銀濃度は、全ての施設において投入物の水銀含有量による変動があると考えられるため、その排出基準は全ての施設に対し「平常時における一工程の平均の量」することが適当である。

2. 測定結果の確認方法

水銀等の大気排出を抑制するためには、投入物の水銀含有量の低減化や排ガス処理を実施することが有効である。投入物については、その水銀含有量を管理することが利用可能な最良の技術の一つとされ、事業者が取り組むべき重要な措置であるものの、突発的に高い水銀含有量のものが混入する可能性がある。

このため、排ガス中の水銀濃度は、水銀排出施設及び排ガス処理施設が安定的に稼働しており、かつ排ガス処理施設として水銀等の大気への排出の削減に関する利用可能な最良の技術が導入されている場合であっても、投入物の水銀含有量によっては、突発的に高濃度となる可能性がある。

答申では、水銀に関する水俣条約第8条第4項が認める「利用可能な最良の技術に適合する」排出限度値による規制が適当とされ、その規制を行うに当たって、水銀濃度は一定の変動があるところ、平常時における平均的な排出状況を捉えた規制とする必要があるとされている。また、水銀の測定方法について、排出状況を適切に代表する試料を測定できるサンプリング時間、方法及び頻度とすることに留意しつつ定めるべきとされているが、改正大気汚染防止法では、排出基準違

⁷ ばい煙規制では、排ガス量が4万Nm³/時以上の施設にあつては、2ヶ月を超えない作業期間ごとに1回以上、排ガス量が4万Nm³/時未満の施設にあつては、6ヶ月を超えない作業期間ごとに1回以上の測定頻度となっている。

反の継続性を改善勧告の要件⁸としているため、排出基準の評価方法について、年平均値や移動平均のような評価に長期間を要する方法ではなく、測定の都度、排出基準に照らして評価する方法が適当である。加えて、事業者負担等の観点から一定の割り切りの下に試料採取時間及び測定頻度を設定するため、十分に変動を平準化する測定方法とすることが困難である。

このため、排出基準については、測定結果に一定の濃度変動が内在することに留意し、対象施設において一度でも超えてはならない水準として設定するものではなく、平常時における平均的な排出状況として達成し得る水準として設定される。また、測定結果には水銀濃度の変動が内在することを踏まえれば、測定結果について平常における平均的な排出状況を捉えたものか適切に確認する必要がある。

とりわけ、個々の水銀排出施設について、排出基準値を上回る水銀濃度が検出された場合、複数回の再測定を速やかに行い、平均的な排出状況において排出基準値を上回っているのか一時的な高濃度を検出したのかについて可能な限り早く確認することが適切である。

具体的には、排出基準を上回る水銀濃度が検出された場合には、水銀排出施設の稼働条件を一定に保った上で、速やかに計3回以上の再測定（試料採取を含む。）を実施し、初回の測定結果を含めた計4つ以上の測定結果のうち、最大値及び最小値を除く全ての測定結果の平均値により評価することが適当である。なお、速やかな再測定とは、初回の測定結果が排出基準の値の1.5倍を超過していた場合は、初回の測定結果が得られた後から遅くとも30日までの間に実施すること、それ以外の場合は初回測定結果が得られた後から遅くとも60日までの間に実施することを原則とする。加えて、測定結果は、初回のものを含め、全て記録・保管しておく必要がある。再測定後の評価においても排出基準値を上回る水銀濃度が検出された場合には、関係自治体にその旨を連絡するとともに、原因究明を行い、再発防止の措置をとることが必要である。

また、規制主体である都道府県等においても、水銀濃度の測定や結果の記録・保管排出状況の測定・保管等について適切な運用がされているか立入検査等によって確認することが必要である。

3. 今後の課題

(1) 試料採取方法

⁸ 都道府県知事は、水銀排出者が排出する水銀等の排出口における水銀濃度が排出基準に適合しない水銀等を継続して大気中に排出すると認めるときは、当該水銀排出者に対し、期限を定めて、当該水銀排出施設の構造若しくは使用の方法若しくは水銀等の処理の方法の改善又は当該排出施設の使用の一時停止その他水銀等の大気への排出を減少させるための措置をとるべきことを勧告することができる（改正大気汚染防止法第18条の29）。

「メインストリームサンプリング」は、吸収液の増量や過マンガン酸カリウム濃度を上げることに伴う作業効率の低下等の懸念が考えられる。

また、「サイドストリームサンプリング」は、ガス状水銀と粒子状水銀を別々に試料採取する方法に比べ、流量制御システムが必要となり、試料採取にかかる装置が複雑となる欠点がある。

これらの方法は、全水銀の測定を前提としているため、排ガス中の全水銀に占める粒子状水銀の質量比が十分に低い施設の場合、過剰な事業者負担となる可能性がある。ただし、排ガス中の全水銀に占める粒子状水銀の質量比が十分に低くない施設の場合、別々に採取する方法よりも一括で試料採取できることから、効率的となる可能性がある。例えば、試料採取孔の内径の制約により、粒子状水銀とガス状水銀の試料採取の開始を同時にできない場合には、「メインストリームサンプリング」又は「サイドストリームサンプリング」が試料採取にかかる時間の短縮につながり、事業者負担の軽減につながる可能性がある。

よって、「メインストリームサンプリング」又は「サイドストリームサンプリング」等の一括で試料採取する方法について、今後、測定方法として取り入れることを検討すべきである。

この他、金アマルガム法等のような湿式吸収法以外の方法についても、本測定法との等価性が確認された場合、取り入れるべきである。

(2) その他

改正大気汚染防止法の施行後は、全ての水銀排出施設において、水銀濃度の測定が行われることから、今回の実態調査よりも詳細な排出実態が把握できる。また、今後は、水銀等の大気排出量のインベントリーも定期的に更新されていることになる。こうした詳細かつ最新の排出実態を踏まえて、施行後 5 年を目途に、必要に応じて粒子状水銀についての測定、省略の考え方、測定頻度等、測定方法の見直しを行うことが適当である。

また、諸外国の水銀排出データと比較検証可能なものとするため、精度管理等について、今後引き続き検討すべきである。

水銀濃度の測定方法（案）

平成 28 年 2 月 10 日時点版

1 用語の定義

(1) 排ガス

燃料、その他のものの燃焼・合成・分解、熱源としての電気の使用、機械的処理などに伴って発生する固体粒子を含むガス。水分を含まないガスを乾き排ガスといい、水分を含むガスを湿り排ガスという。

(2) ガス状水銀

排ガス中に気体として存在する水銀及びその化合物の総称

(3) 粒子状水銀

排ガス中のダストに含まれる水銀及びその化合物の総称

2 試料採取

ガス状水銀及び粒子状水銀の試料採取は、可能な限り同じ開始時間とする。

なお、試料採取に当たっては、事前の調査及び準備を十分に行うこと（参考 1 .参照のこと）。

また、試料採取時の状況は、異常値や特異値が検出された際の測定結果の検証に必要な情報であるため、必ず記録すること（参考 2 .参照のこと）。

2.1 ガス状水銀

(1) 試薬

試薬は必要に応じ、有害金属分析用又は精密分析用を用いる。試料採取に当たっては、次に掲げる試薬を用いる。

ア 水

JIS K 0557 に規定する A4（又は A3）の水

イ 硫酸 (1+15)

水 15 容をビーカーにとり、これを冷却し、かき混ぜながら JIS K 8951 に規定する硫酸 1 容を徐々に加える。

ウ 過マンガン酸カリウム溶液 (3 g/L)

JIS K 8247 に規定する過マンガン酸カリウム 3 g を水に溶かし、ガラスろ過器 (G4) でろ過後、水を加えて 1 L とする。着色ガラスに保存する。

エ 吸収液

等量の過マンガン酸カリウム溶液 (3 g/L) と硫酸 (1+15) とを混合し、着色ガラス瓶に保存する。

オ 硝酸 (5%) (洗浄用)

JIS K 8541 に規定する硝酸を水で調製する。

カ 過酸化水素水 (10%)

JIS K 8230 に規定する過酸化水素を水で調製する。

キ 過酸化水素水 (20%)

JIS K 8230 に規定する過酸化水素を水で調製する。

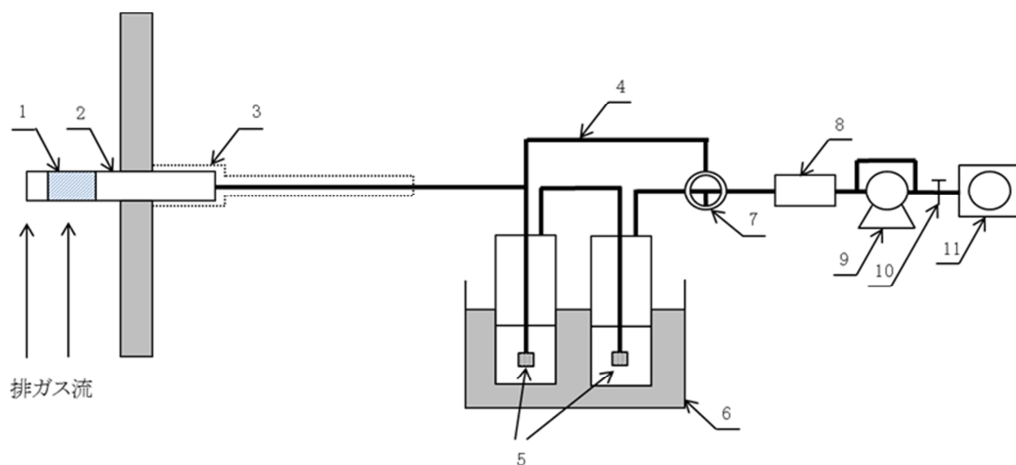
ク 硝酸 (5%) / 過酸化水素水 (10%)

硝酸 (10%) と過酸化水素水 (20%) を等量混合し、調製する。

(2) 器具及び装置

試料採取に当たっては、次に掲げる器具及び装置を用いる。

また、JIS K 0095 の 6. (試料採取装置) に規定するほか、次のとおりとする。試料採取装置の構成の一例を図 1 に示す。なお、器具及び装置は、5%硝酸で十分洗浄し、空試験によって測定に支障がないことを確認する。



- | | | | |
|---------|------------|------------|--------|
| 1:ろ過材 | 2:試料ガス採取管 | 3:保温ヒーター | 4:バイパス |
| 5:吸収液 | 6:冷却槽 | 7:流路切換コック | 8:乾燥管 |
| 9:吸引ポンプ | 10:流量調整コック | 11:湿式ガスメータ | |

図1 試料採取装置の構成（一例）

ア 採取管

採取管は、排ガス温度に応じてほうけい酸ガラス、石英ガラス、チタン、セラミック又は四ふっ化エチレン樹脂製のものを用いる。

イ 導管

四ふっ化エチレン樹脂製のものを用いる。加熱が必要ない場合には、特殊塩化ビニル樹脂製の導管を用いることができる。接続部にグリースは使用しない。

ウ 吸収瓶

吸収瓶は容量 250 mL のものを用いる。

エ 吸引ポンプ

ア～ウまでの器具を装着した状態において0.5～1 L/minの流量でガスを吸引することができるもの（流量調整機能を有するものに限る。）

オ 流量計

湿式または乾式ガスメーターを用いる。また、当該ガスの流量を0.1 L/分の単位まで測定できるものを用いる。

（3）採取方法

試料採取方法の一般的事項は、JIS K 0095による。

また、試料採取に当たっては、JIS K 0095 の 6.8 (吸収瓶法 [試料ガス量をガスメーターで計測する [図 2 a)] 場合] によるほか、次のとおりとする (注 1) 。

(注 1) 鉱石などのばい焼ガスなど二酸化硫黄の濃度の高い排ガスや有機物の多い排ガスでは、5%硝酸/10%過酸化水素溶液などによる洗浄を行う。なお、排ガスの洗浄を行う場合は、JIS K 8230 に規定する過酸化水素を用いるなど試薬の品質に留意する。また、洗浄に用いた溶液についても、水銀の定量を行う。

ア 試料採取位置

流速の分布が均一な位置を選ぶ。

イ 吸収瓶

吸収瓶は、あらかじめ 5%硝酸 (1+9) 及び水で洗浄し乾燥したもの。吸収液を 100 mL 入れ、冷却槽に入れて冷却する。吸収瓶は、ろ過型又は円筒ろ過方型のバブラー付きのものが望ましい。

また、採取に当たっては、吸収瓶は 2 本以上 (注 2) を直列に連結する。

なお、試料採取に当たって排ガスの洗浄を行う場合は、洗浄のための瓶と吸収瓶との間に空瓶を 1 個置く。

(注 2) 最終の吸収液中の水銀濃度が、直前の吸収液中の水銀濃度の 5% 以下であること。
また、2 本超の吸収瓶が必要な場合、1 本目の吸収瓶の交換によって、吸収液の水銀吸収能力を維持してもよい。

ウ 吸引量

吸引流速を 0.5 ~ 1.0 L/min とし、吸引量は 100 L 程度とする。ただし、吸収液の過マンガン酸カリウムの色が消失するまで吸引してはならない。

2.2 粒子状水銀

(1) 器具及び装置

測定点の排ガス流速に対して相対誤差 -5 ~ +10% の範囲内で等速吸引による試料ガスの採取が可能であり、採取装置のダストなどによる汚染及び試料採取中に現場の大気への混入などがない器具及び装置を用いる。なお、器具及び装置は、5%硝酸で十分洗浄し、空試験によって測定に支障がないことを確認する。

また、ダスト捕集器の位置は、JIS Z 8808 の 9.2 (ダスト試料採取装置の構成) の 1 形とする (注 3) ことその他、次のとおりとする。

(注 3) 採取管及びダスト捕集器の温度を煙道の排ガスの温度と同じにすることが可能な場合には、2 形でもよい。

ア 採取管

採取管は、排ガス温度に応じてほうけい酸ガラス、石英ガラス、チタン、セラミック又は四ふっ化エチレン樹脂製のものをを用いる。また、採取管内外のガスの流れが乱れないようにする。

(ア) 吸引ノズル

ノズルの内径は4 mm以上とし、これを0.1 mmの単位まで正確に求めておく。

先端は、30°以下の鋭角に仕上げるか、滑らかな半球状とし、内外面は滑らかになっていなければならない。採取管のノズルから捕集部までの管内は滑らかで、急激な断面の変化があってはならない。

また、材質はJIS K 0095の6.2(材質)に、構造はJIS Z 8808の9.3.1.2a(吸引ノズル)によることとし、あらかじめ5%硝酸で洗浄し、乾燥して保存する。

なお、ステンレス製を用いた吸引ノズルは、成分分析上の妨害となるおそれがあるので用いない。

イ ダスト捕集器

ダスト捕集器は、JIS Z 8808の9.3.1.2b(ダスト捕集器)に規定するろ紙を用いるダスト捕集器とする。ただし、ろ紙は、JIS K 0901に規定する気体中のダスト試料捕集用ろ材の性能試験方法によって捕集率、圧力損失、吸湿率、加圧強度及びJIS K 0901の5.6において規定された金属の含有量が明らかなものを選定する。

ウ 吸引ポンプ

アからウまでの器具を装着した状態において10~40 L/minの流量で排ガスを吸引することができるもの。

エ 流量調整部

湿式または乾式ガスメーターを用いる。また、排ガスの流量が10~40 L/minの範囲を0.1 L/minまで測定できるものを用いる。

(3) 採取方法

試料採取方法の一般的事項は、JIS K 0095による。

また、試料の採取方法は、JIS Z 8808の10.(ダスト試料の採取方法)の規定によることとし、1000 L程度以上採取する。

なお、試料ガスの採取の準備や試料ガスの採取の記録にあたっては、それぞれ参考1.及び参考2.を参照のこと。

ア 測定位置

試料の採取位置は代表的な性状のガスが採取できる位置とし、JIS Z 8808 の 5. (測定位置、測定孔及び測定点) に規定する測定点のうち、可能な限り平均流速に近い地点 (等速吸引が可能な地点) とする。

イ JIS Z 8808 に準じて、排ガスの温度、流速、圧力、水分量などを測定し、測定点における排ガス流速を計算する (注 4)。

(注 4) 一酸化炭素、酸素などの連続測定を同時に行う場合には、特に断らない限り試料採取時間帯の 1 時間以上前から終了まで連続して行い、運転状態の同時確認を行う。

ウ 試料ガスの採取量、採取時間を考慮して吸引流量を算出し、等速吸引となるようにノズルの内径を決定する。

エ 採取装置を組み立て、漏れ試験を行う。漏れ試験は、採取管のノズルの口をふさいで吸引ポンプを作動させ、ガスメーターの指針が停止していればよい。この試験結果を記録しておく。

オ 採取管のノズルを、排ガスの流れと逆向きにして測定孔から測定点まで挿入し、ガスメーターの指示値を読み取っておく。吸引ポンプの作動とともに採取管のノズル方向を排ガスの流れに正しく直面させ、等速吸引によって排ガスを吸引する。そのときの注意点は次による。

(ア) 採取管のノズルから吸引するガスの流速は、測定点の排ガス流速に対して相対誤差 -5 ~ +10% の範囲内とする。排ガスの流速を 60 分間ごとに測定し、等速吸引量を調節することが望ましい。また、等速吸引を行っているうちに吸引流量が低下し、等速吸引が困難な場合には、吸引を一時停止し、捕集部のろ過材などを交換する。

(イ) 試料採取中少なくとも 1 回は採取装置の漏れ試験を行う。この場合は、試料採取点の酸素の濃度と採取装置のポンプ出口の酸素の濃度とに差がないことで漏れがないことを確認する。この試験結果は記録しておく。酸素の濃度の測定は、JIS K 0301 による。また、フィルター捕集部のろ過材の交換などでラインが外された場合には、復帰後に必ず行う。

カ ガスメーターの温度及び圧力を記録しておく。

キ 試料ガスの必要量を吸引採取したならば、採取管のノズルを再び逆向きにし、吸引ポンプを停止し、ガスメーターの指示を読み取った後、採取管を取り出す。なお、ダクト内が負圧の場合は、吸引ポンプを作動させたまま速やかに採取管をダクト外に取り出し、ポンプを停止する。

3 分析試料の調製

3.1 ガス状水銀

(1) 試薬

試薬は必要に応じ、有害金属分析用又は精密分析用を用いる。試料採取に当たっては、次に掲げる試薬を用いる。

ア 水

JIS K 0557 に規定する A4 (又は A3) の水

イ 硫酸 (1+1)

水 1 容をビーカーにとり、これを冷却し、かき混ぜながら JIS K 8951 に規定する硫酸 1 容を徐々に加える。

ウ 過マンガン酸カリウム溶液 (50 g/L)

JIS K 8247 に規定する過マンガン酸カリウム 50g を水に溶かし、ガラスろ過器 (G4) でろ過後、水を加えて 1 L とする。着色ガラスに保存する。

エ 塩化ヒドロキシルアンモニウム溶液 (200 g/L)

JIS K 8201 に規定する塩化ヒドロキシルアンモニウム 20g を水に溶かして 100 mL にする。

オ 塩化ヒドロキシルアンモニウム溶液 (20 g/L)

塩化ヒドロキシルアンモニウム溶液 (200 g/L) 10 mL に硫酸 (1+1) 数滴を加え、水で 100 mL とする。

カ 硝酸 (5%)

JIS K 8541 に規定する硝酸を水で調製する。

(2) 器具及び装置

分析試料の調製に当たっては、次に掲げる器具及び装置を用いる。なお、器具及び装置は、5%硝酸で十分洗浄し、空試験によって測定に支障がないことを確認する。

ア フラスコ

ガラス製。500 mL フラスコで、還流冷却器をすり合わせて装着できるもの。

イ 還流冷却器

長さが約 30 cm のもの。

(3) 操作

ア 試料ガスを通じた吸収液(2.1(3)イで空瓶を置いた場合は、空瓶に溜まった水分を含む。)をフラスコに移す。吸収瓶(空瓶を含む。以下、同じ。)を少量の塩化ヒドロキシルアンモニウム溶液(20 g/L)及び水で洗い、フラスコに加える(注5)。試料採取に用いた採取管、導管及び吸収瓶について、5%硝酸で洗い、フラスコに加える。

(注5) 試料ガス中に有機物を含まない場合には、イの操作は省略できる。この場合には、アの吸収液を適当なビーカーに移し、ウの操作を行う。

イ 還流冷却器を取り付け、突沸を避けながら静かに加熱し、1時間煮沸する。この間に、過マンガン酸カリウムの色が消失する場合(注6)には、温度を約60℃に下げ、過マンガン酸カリウム溶液(50 g/L)2 mLを加え、再び煮沸し、過マンガン酸カリウムの色が約10分間残るまでこの操作を繰り返す。温度を40℃以下に冷却する。

(注6) 過マンガン酸カリウムの色が消失しても、二酸化マンガ生成しているときは過マンガン酸カリウム溶液の追加は行わない。

ウ 溶液を振り混ぜながら塩化ヒドロキシルアンモニウム溶液(200 g/L)を滴加し、過剰の過マンガン酸カリウムを分解する(注7)

(注7) 過剰の塩化ヒドロキシルアンモニウム溶液の添加は避ける。

エ 冷却後、溶液を全量フラスコ300 mLに移し、水を標線まで加え、試料溶液とする。

オ 試料溶液に用いたと同量の吸収液について、ア～エと同様な操作を行い、空試験用溶液とする。

3.2 粒子状水銀

ろ紙に付着した粒子状水銀を底質調査法(平成24年8月環境省水・大気環境局)により湿式酸分解して試料溶液とする。ただし、加熱気化-原子吸光法を用いる場合は、分析試料の調製を省略できる。

4 濃度測定

4.1 ガス状水銀

(1) 試薬

試薬は必要に応じ、有害金属分析用又は精密分析用を用いる。また、濃度の測定に当たっては、次に掲げる試薬を用いる。

ア 水

JIS K 0557 に規定する A4 (又は A3) の水

イ 硫酸 (1+35)

水 35 容をビーカーにとり、これを冷却し、かき混ぜながら JIS K 8951 に規定する硫酸 1 容を徐々に加える。

ウ 塩化すず () 溶液

JIS K 8136 に規定する塩化すず () 二水和物 10 g に硫酸 (1+20) 60 mL を加え、かき混ぜながら加熱して溶かす。冷却後、水を加えて 100 mL とする。この溶液は調製後 1 週間以内に使用する。

エ 水銀希釈用溶液

L-システイン 10 mg を全量フラスコ 1000 mL に入れ、水を加えて振り混ぜて溶かし、JIS K 8541 に規定する硝酸 2 mL を加え、水を標線まで加える。

オ 水銀標準液 (100 mgHg/L)

JIS K 8139 に規定する塩化水銀 () 67.7 mg を全量フラスコ 500 mL に入れ、水銀希釈溶液に溶かし、さらに、水銀希釈液を標線まで加え、原液とする。原液は冷蔵庫中に保存する。標準溶液は、使用時に、この原液を水銀希釈溶液で希釈して調製する。

(2) 器具及び装置

濃度の測定に当たっては、次に掲げる器具及び装置を用いる。

ア 原子吸光分析装置

原子吸光分析装置又は水銀用原子吸光分析装置

イ 還元容器

通気管に気泡発生用フィルターをもつもの。容量は測定装置によって定められた量とする。

ウ 吸収セル

長さ 100 ~ 300 nm の石英ガラス、ガラス又はプラスチック (水銀を吸着しないもの。) 製の管の両端に石英ガラス窓を付けたもの。

エ 空気ポンプ

0.5 ~ 3 L/min の送気能力をもつダイヤフラムポンプ又は同等の性能をもつ空気ポンプ。密閉循環方式の場合、水銀の吸着に注意する必要がある。

オ 流量計

0.5～3 L/minの流速が測定できるもの（注8）

（注8）密閉循環方式の場合には、流量計に水銀が吸着するおそれがあるため、流量計は装着しない。流量はあらかじめ空気ポンプの流量を調整し、最適流量とする。

カ 乾燥管

電子冷却式によるもの。又は、直管若しくはU字管に粒状の乾燥剤を充てんしたもの（注9）

（注9）吸収セル内の温度が周囲の温度よりも約10℃高くなるようにすれば乾燥管は用いなくてもよい。

オ 連結管

軟質の塩化ビニル樹脂とする。

（3） 操作手順

ア 試料溶液の適量（注10）を還元容器にとり、硫酸（1+35）（注11）を試料に添加する。

（注10）試料採取量は、測定装置によって定められた量を採取する。

（注11）硫酸添加量は、測定装置によって定められた量を採取する。

（備考）塩化物イオンを多量に含む試料では、試料溶液の調製時に、過マンガン酸カリウムによる処理において、塩化物イオンが酸化されて塩素となり、光を吸収して正の誤差を与える。この場合、塩化ヒドロキシルアンモニウム溶液を過量に加え、塩素を還元しておく。また、還元容器中に存在する塩素は、窒素などによってあらかじめ追い出しておく。

イ 塩化すず（ ）溶液をアの溶液の1/20量を手早く添加し、空気ポンプを作動させてあらかじめ設定した最適流速（注12）で空気を流し、発生した水銀を吸収セルに導く。

（注12）最適流量は装置によって異なるので、あらかじめ最適流量を求めておく。

ウ 波長253.7 nmにおける吸収を測定する（注13）。

（注13）開放送気方式の場合、試料によって反応速度が異なることがあるので、吸収ピークの積分値を測定する。

エ 密閉循環方式の場合、バイパスコックを回してバイパス状態とし、吸収の指示値が元の値になるまで通気を続ける（注14）。

（注14）水銀除去装置を通して大気中に放出する。

オ 空試験溶液について、試料溶液採取量と同量の溶液をとり、ア～エの操作を行って吸収の指示値を求め、試料について得られた指示値を補正する。

カ 検量線を用いて試料中の水銀の質量を求め、試料ガス中の水銀濃度を式 1 によって算出する。

$$\text{式 1} \quad C = A \times (v/v_f) \times (1/v_s)$$

ここに、 C ：水銀濃度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

A ：検量線から求めた水銀の質量 (ng)

v ：試料溶液の体積 (mL)

v_f ：分取した試料溶液の体積 (mL)

v_s ：試料ガス採取量 (0、101.32 kPa) (L)

キ 検量線の作成は、水銀標準液を段階的に還元容器にとり(注 15)、アの試料溶液と同量の水及び硫酸(1+35)を添加し、ア～エの操作を行う。使用した水及び硫酸(1+35)について、ア～エの操作を行い、空試験値を求め、指示値を補正する。補正された指示値と水銀の質量との関係線を作成し、検量線とする。検量線の作成は試料測定時に行う。

(注 15)水銀標準液の採取量は装置によって異なるが、検量線の最低濃度が水銀として 1 ng 以下となるように採取する。

4.2 粒子状水銀

粒子状水銀の濃度測定は、試料全量を用いて測定することとし、測定方法は、底質調査法(平成 24 年 8 月環境省水・大気環境局)又は加熱気化 - 原子吸光法を用いること。

5 水銀等の濃度の算出

ア 4 で求めたガス状水銀及び粒子状水銀について合算して求める。イ 酸素の濃度による補正が必要な場合には、アで求めた濃度を式 2 によって所定の酸素の濃度に換算したものを濃度とする。

$$\text{式 2} \quad C = (21 - O_n) / (21 - O_s) \times C_s$$

ここに、 C ：酸素の濃度 O_n における濃度 (0、101.32 kPa) ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

O_n ：施設毎に定める標準酸素濃度 (%)

O_s ：排ガス中の酸素の濃度 (%)。ただし、排ガス中の酸素の濃度が 20% を超える場合は、 $O_s = 20$ とする。

C_s ：排ガス中の実測水銀濃度 (0、101.32 kPa) ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

表 1

施設の種類	On (%)
石炭を燃焼するボイラー	6
セメントの製造の用に供する焼成炉	10
廃棄物焼却炉	12

ウ 水銀等の実測値は、 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (0、101.32 kPa) で表示する。

エ 濃度の表示における数値の取扱いは、特に指定がない場合には、次による。

(ア) 濃度については、ガス状水銀及び粒子状水銀それぞれについて有効数字下3桁目を切り捨て、有効数字を2桁として表し、検出下限未満の場合には、検出下限未満であったことを表示する。ただし、表示する桁は、試料ガスにおける検出下限の桁までとし、それより下の桁は表示しない。なお、試料ガス採取量については、JIS Z 8401 によって数字を丸め、有効数字3桁とする。

(イ) 検出下限については、ガス状水銀及び粒子状水銀それぞれについて JIS Z 8401 によって数値を丸め、有効数字を1桁として表示する。

6 検出下限及び定量下限

6.1 分析装置の検出下限及び定量下限

最低濃度の検量線作成用標準液を測定し、定量する。この操作を5回以上繰り返し、得られた測定値から式3により標準偏差を求め、その3倍を装置の検出下限、10倍を装置の定量下限とする。ここでは、測定値の丸めを行わずに標準偏差を算出し、得られた検出下限は、有効数字1桁とし、定量下限は検出下限と同じ桁まで丸める。

ここで得られた装置の検出下限が、1 ng より大きいときには、器具、機器などを確認して、この値以下になるよう調節する。

この装置の検出下限及び定量下限は、使用する分析装置の状態などによって変動するため、ある一定の周期で確認し、常に十分な値が得られるように管理する。また、使用する分析装置及び測定条件を変更した場合などには必ず確認する。

$$\text{式 3 } S = \left\{ \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)} \right\}^{1/2}$$

ここに、 S : 標準偏差

X_i : 測定値 (ng)

\bar{X} : 測定値の平均値 (ng)

n : 測定回数

6.2 測定方法の検出下限及び定量下限

試料ガスを通じず 3.1(3)の操作を行った吸収液及び試料ガスを通じず 3.2の操作を行ったろ紙に式4によって算出した量の水銀を添加し、測定に用いるのと同量調製し、それぞれ4により測定する。この操作を5回以上繰り返し、得られた測定値から式3により標準偏差をガス状水銀及び粒子状水銀についてそれぞれ求め、その3倍を測定方法の検出下限、10倍を測定方法の定量下限とする。ここでは、測定値の丸めを行わずに標準偏差を算出し、得られた検出下限は有効数字1桁とし、定量下限は検出下限と同じ桁まで丸める。

この測定法の検出下限及び定量下限は、前処理操作及び測定条件によって変動するため、ある一定の周期で確認し、常に十分な値が得られるように管理する。また、前処理操作及び測定条件を変更した場合などには必ず確認する。

$$\text{式4 } Q = QL' \times v/v_i$$

ここで、 Q :水銀の添加量 (ng)

QL' :分析装置の定量下限 (ng)

v :測定量試料の液量 (mL)

v_i :分析装置への注入量 (mL)

6.3 試料ガスにおける検出下限及び定量下限

試料ガスにおける検出下限及び定量下限は、試料ガスの採取量などによって異なってくるため、式5及び式6によってガス状水銀及び粒子状水銀についてそれぞれ試料ごとに求める。

$$\text{式5 } C_{DL} = DL \times v/v_i / V$$

$$\text{式6 } C_{QL} = QL \times v/v_i / V$$

ここで C_{DL} :試料ガスにおける検出下限 (0、101.32 kPa) ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

C_{QL} :試料ガスにおける定量下限 (0、101.32 kPa) ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

DL :測定方法の検出下限 (ng)

QL :測定方法の定量下限 (ng)

v_i :分析装置への注入量 (mL)

v :測定用試料の液量 (mL)

V :試料ガスの採取量 (0、101.32 kPa) (L)

7 空試験

空試験は、捕集剤、吸収液、前処理時等に使用する試薬などの汚染のレベルを確認する空試験(以下、操作ブランク試験という。)と試料ガス採取及び試料の運搬における汚染を確認するための空試験(以下、トラベルブランク試験という。)の2種類とする。

ア 操作ブランク試験

操作ブランク試験は、測定用試料の調整又は分析装置への導入操作などに起因する汚染を確認し、測定に支障のない測定環境を設定するために行うものである。試料採取用と同一ロットの捕集剤及び吸収液を用意し、3及び4の操作を試料と同様に行う。

この試験は、試薬のロットが変わるときなど一定の周期で定期的に行い、操作時の汚染などに対して十分に管理をしなければならない。さらに、次の場合には測定に先立って行い、操作ブランク試験の結果が十分低くなるようにしておくことが望ましい。

- (ア) 新しい試薬又は機器を使用したり、修理した機器を使用したりするなどの前処理操作に大きな変更があった場合。
- (イ) 試料間汚染が予想されるような高い濃度の試料を測定した場合。

イ トラベルブランク試験

トラベルブランク試験は、試料ガス採取準備時から採取試料の運搬までの汚染の有無を確認するためのものであり、採取操作以外は試料と全く同様に扱い、持ち運んだものについて、3及び4の操作を試料と同様に行う。

この試験は、試料採取から採取試料の運搬までに汚染が考えられる場合[電気集じん(塵)機で集められた灰などによる汚染]には必ず行わなければならないが、それ以外の場合には、汚染防止が確実に行われていることが確認できれば毎回行わなくてもよい。しかし、試料採取における信頼性を確保するため、あらかじめトラベルブランク試験について十分検討しておき、必要があればそのデータが提示できるようにしておく。

トラベルブランク試験を行う場合には、少なくとも3試料以上行い、その結果の平均値(e)を求めて、次のように測定値の補正を行う。

- (ア) トラベルブランク試験の結果の平均値(e) (以下、トラベルブランク値という。) が操作ブランク試験の結果(a) (以下、操作ブランク値という。) と同等(等しいか、小さい)とみなせる($e < a$)ときには、移送中の汚染は無視できるものとする。
- (イ) トラベルブランク値(e) が操作ブランク値(a) より大きい($e > a$)場合には、次のようにする。
 - (1) トラベルブランク値(e) が、試料の測定値(d) 以下であり($d > e$)、測定値(d) がトラベルブランク試験結果の標準偏差の10倍から算出した濃度値(f) 以上($d > f$) の場合には、測定値(d) からトラベルブランク値(e) を差し引いて濃度を計算する。
 - (2) 測定値(d) がトラベルブランク試験結果の標準偏差の10倍から算出した濃度値(f) より小さい($d < f$)、又はトラベルブランク値(e) が試料の測定値(d) より大きい($e > d$) 場合には、測定の信頼性に問題があるため、通常欠測扱いとする。このような場合には、汚染の原因を発見して取り除いた後、再度、試料ガスの採取を行う。

参考1 試料ガスの採取の準備

1. 事前調査

測定する焼却処理施設は、規模、排ガスの処理方法などによって排ガスの性状が異なり、測定場所も作業する上で危険な場合が多い。このため、あらかじめ測定現場を調査して排ガスの性状及び作業場の安全性を確認しておく必要がある。この事前調査には、次の項目が含まれる。

なお、排ガスの採取位置は、代表的な性状のガスが採取できる位置とし、JIS Z 8808 の5.（測定位置、測定孔及び測定点）に規定する流速点のうち、可能な限り平均流速に近い位置とする。

（1）排ガスの性状

排ガスの温度、流速、組成、圧力、水分量など。

（2）測定位置

地上からの高さ、測定孔の状況、送排風機の位置など。

（3）ダクト

ダクトの形状、大きさ（寸法）など。

（4）作業の安全性

測定ステージの広さ、はしごの状況など。

（5）電源、水道

電源、水道の有無。

2. 器材の準備

事前調査の結果から、測定現場の実態に合わせて必要な測定器材を選定、整備するとともに、次の準備を行う。

（1）排ガス中のダスト捕集に必要な機材

（2）排ガス中の水銀を捕集する吸収瓶、吸収液など

（3）冷却用の氷又はドライアイス

（4）採取後の捕集系の洗浄に必要な試薬（硝酸溶液（5%））など

参考2．試料ガスの採取の記録

試料ガスの採取を行った場合は、通常、次の項目についてまとめて整理し、記録する。また、必要に応じて現場写真も撮る。

(1) 試料採取の日時

(2) 試料採取場所の状況

発生源の種類、使用状況、採取位置、付近の状況、概略図など。

(3) 採取対象の条件及び状況

温度、水分量、静圧、流速、湿り及び乾き流量、その他採取系の着色など。

(4) 試料採取の条件

試料採取装置の構成、漏れ試験の結果、吸引流量、吸引時間、吸引ガス量及び捕集ダスト量など。

参考3 . 精度評価

4 施設の排ガスにおいて、本測定方法と EN13211 規格との並行測定を行った。その結果は、表2のとおりであった。

表2 本測定法と EN13211 規格との並行測定結果 (単位: $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

施設種類	RUN	ガス状水銀					粒子状水銀				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
亜鉛の二次 精錬施設 C	MOE 法	1000	1000	910	680	880	0.21	0.33	0.32	0.25	0.24
	EN 法	1000	1200	1000	750	690	0.17	0.36	2.1	0.22	4.0
廃棄物焼却 炉 (産廃 G)	MOE 法	14	10	7.0	14	19	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	EN 法	11	8.0	6.0	11	14	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
廃棄物焼却 炉 (産廃 I)	MOE 法	4.9	6.8	19	10	4.6	<0.01	0.09	<0.01	<0.01	<0.01
	EN 法	5.3	7.5	20	12	7.3	<0.01	0.10	<0.01	<0.01	<0.01
セメント K	MOE 法	7.6	13	6.8	13	5.9	2.2	1.9	2.0	2.0	5.1
	EN 法	11	13	13	11	8.0	1.9	1.9	1.8	2.0	5.5

MOE 法 : 本測定方法

EN 法 : EN13211 規格

鉛の二次精錬施設 C

排ガス処理設備 : バグフィルター + 湿式脱硫

産業廃棄物焼却炉 G

処理能力 50 トン/日以上、廃プラの割合が高い (79.2%)

排ガス処理設備 : バグフィルタ + 乾式脱硫 + 触媒脱硝

産業廃棄物焼却炉 I

処理能力 50 トン/日以上、廃プラの割合が高い、感染性廃棄物あり、

排ガス処理設備 : バグフィルタ

セメント製造施設 K

石灰石 58.5% + その他 (けい石、石炭等) 12.1% / 廃棄物 29.4%、

排ガス処理設備 : 乾式電気集じん機

この他、1 分析機関において、別紙の 6 . 2 測定方法の検出下限及び定量下限に従って求めた本測定法の検出下限及び定量下限は、それぞれ表3のとおりであった。

表3 ガス状水銀及び粒子状水銀の検出下限及び定量下限 (単位: $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)

	ガス状水銀	粒子状水銀
検出下限	0.033	0.00033
定量下限	0.11	0.0011

算出に用いたそれぞれの測定結果は、表4～9のとおり。

ガス状水銀の検出下限及び定量下限

水銀添加量: 0 ng (ブランク) 及び 0.2 ng

吸引量 (流速: 0.5~1.0 L/min): 100 L

吸収液量: 100 mL

測定結果の数: 各 5 回

分析方法: 還元気化原子吸光光度法

分析装置: RA3420 (日本インスツルメンツ社製)

表4 ブランクの測定結果 (n=5)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値 (ng)	(ng)	3 (ng)	10 (ng)
応答値	0.0770	0.0415	0.0817	-0.0742	0.0447	-0.0059	0.0186	0.0557	0.19

表5 0.2 ng の測定結果 (n=5)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値 (ng)	(ng)	3 (ng)	10 (ng)
応答値	0.6863	0.6890	0.7304	0.7456	0.7585	0.1962	0.0097	0.0290	0.10

表6 ガス状水銀の検出及び定量下限一覧

	分析装置の下限		測定方法の下限 ^{*1}		試料ガスにおける下限 (換算値) ^{*2}	
	検出下限	定量下限	検出下限	定量下限	検出下限	定量下限
ブランク (n=5) ^{*3}	0.056 ng	0.19 ng	3.3 ng	11 ng	0.033 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0.11 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
標準 0.2 ng (n=5)	0.029 ng	0.10 ng	1.7 ng	5.8 ng	0.017 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	0.058 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

*1...吸収液定容量 300 mL、分取量 5 mL、分析装置の下限より算出

*2...捕集ガス量 100 L_N で換算、測定方法の下限より算出

*3...数値が高い方を採用

粒子状水銀の検出下限及び定量下限
 水銀添加量：0 ng (ブランク) 及び 2 ng
 吸引量 (等速吸引): 1000 L
 測定結果の数：各 5 回
 分析方法：加熱気化原子吸光光度法
 分析装置：MA-2000 (日本インスツルメンツ社製)

表7 ブランクの測定結果 (n=5)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値 (ng)	(ng)	3 (ng)	10 (ng)
応答値	0.0081	0.0070	0.0075	0.0071	0.0069	-0.1713	0.0071	0.0214	0.071

表8 2 ng の測定結果 (n=5)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値 (ng)	(ng)	3 (ng)	10 (ng)
応答値	0.1609	0.1622	0.1652	0.1650	0.1619	2.0491	0.0275	0.0826	0.28

表9 粒子状水銀の検出及び定量下限一覧

	分析装置の下限		測定方法の下限 ^{*4}		試料ガスにおける下限 (換算値) ^{*5}	
	検出下限	定量下限	検出下限	定量下限	検出下限	定量下限
ブランク (n=5)	0.021 ng	0.071 ng	0.086 ng	0.29 ng	0.000086 μg/Nm ³	0.00029 μg/Nm ³
標準 2 ng (n=5) ^{*3}	0.083 ng	0.28 ng	0.33 ng	1.1 ng	0.00033 μg/Nm ³	0.0011 μg/Nm ³

*3...数値が高い方を採用

*4...4回に分けて測定

*5...捕集ガス量 1000 L_N で換算、測定方法の下限値より算出

また、測定方法の評価方法として、水銀蒸気を発生後、吸収液で吸引捕集する標準添加回収試験について、発生水銀量別に繰り返し測定を行い、その変動係数（CV（％））により、測定方法の精度について評価を行った。その結果は、表 10 のとおり。

表 10 通気水銀量別の添加回収試験結果

通気水銀量	測定回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均値	標準偏差	CV（％）
10 μg	検出量(ng)	10026	9761	10321	10069	9872	10009.8	213.02	2.1
	回収率(％)	100.3	97.6	103.2	100.7	98.7	100.1	2.1302	
	換算濃度*5 (μg/m ³)	100.26	97.61	103.21	100.69	98.72	100.10	2.1302	
1 μg	検出量(ng)	956	958	955	930	923	944.4	16.562	1.8
	回収率(％)	95.6	95.8	95.5	93.0	92.3	94.4	1.6562	
	換算濃度*5 (μg/m ³)	9.56	9.58	9.55	9.3	9.23	9.444	0.1656	
0.1 μg	検出量(ng)	109	94.4	88.5	99.1	94.6	97.12	7.6339	7.9
	回収率(％)	109.0	94.4	88.5	99.1	94.6	97.1	7.6339	
	換算濃度*5 (μg/m ³)	1.09	0.944	0.885	0.991	0.946	0.9712	0.0763	
0.05 μg	検出量(ng)	43.5	49.6	34.7	38.4	48.5	42.94	6.4049	14.9
	回収率(％)	87.0	99.2	69.4	76.8	97.0	85.9	12.810	
	換算濃度*5 (μg/m ³)	0.435	0.496	0.347	0.384	0.485	0.4294	0.0640	

*6...排ガス 100 L 捕集した場合の換算濃度

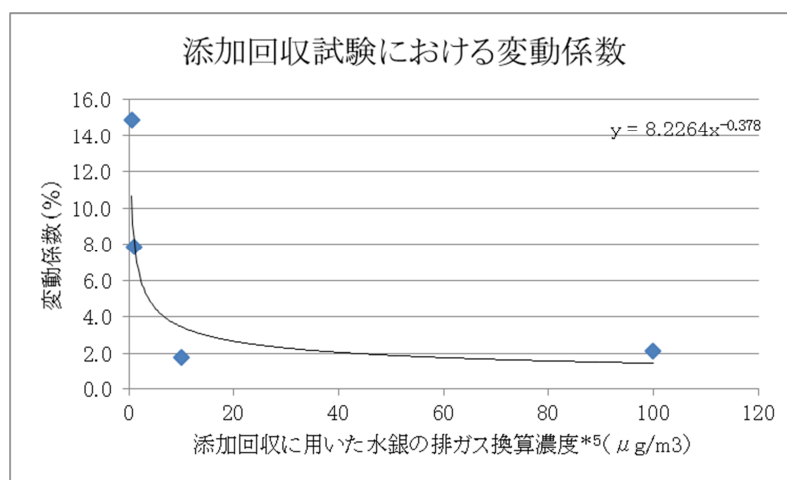


図 1 添加回収換算濃度別の変動係数

添加回収試験の全操作によるバラツキから算出した結果、CV10%に相当する排ガス換算濃度は 0.60 μg/m³であった。