

前回委員会における指摘事項について（一覧）

| 該当箇所 | 指摘事項等 | 対 応 |
|------------------------------|--|---|
| 資料 2 - 1 4 .水銀の国際流通 | 2つの表で 2012 年の金属水銀輸出量が違っていたりするので、整理して正確なデータを示してほしい。（貴田委員） | 別添 1 参照。 |
| 資料 2 - 1 8 .我が国の水銀の大気排出状況 | 海外の水銀大気排出規制では、条約対象施設 5 種以外にどういったところまで規制対象としているか、調べてほしい。（貴田委員） | 調査の上、第 4 回小委員会にて情報を提示。 |
| | 国内大気排出状況インベントリーの生のデータを示してほしい。（貴田委員） | 別添 2 - 1、2 - 2 参照。 |
| 資料 3 - 1 | VOC 規制導入の経緯は、本委員会での検討にも役立つと思うので、整理して示してほしい。（中杉委員） | 別添 3 参照。 |
| | VOC の排出インベントリーを、これまでどのようにして作ってきたか、紹介してほしい（中杉委員） | インベントリーについては、各委員の御助言を得つつ、事務局にて論点整理を行い、その結果を、「主な論点についての検討」を行う第 4 回小委員会に提示する。 |
| | 海外の大気汚染法制について調べてほしい（地球環境汚染物質的な性質も持つ物質の扱い、「大気汚染物質」の定義、リスク評価の範囲等）。（増沢委員） | 調査の上、第 4 回小委員会にて情報を提示。 |

| | | |
|-----|---|--|
| 資料4 | <p>国立水俣病研究センターが九州各地で行った大気中水銀濃度のモニタリング調査結果を示してほしい。(浅野委員)</p> | <p>別添4参照。</p> |
| | <p>インベントリーの詳細な算定根拠(各施設種毎の排出係数の幅や設定時期等)を教えてください。(貴田委員)</p> | <p>インベントリーについては、各委員の御助言を得つつ、事務局にて論点整理を行い、その結果を、「主な論点についての検討」を行う第4回小委員会に提示する。</p> |
| | <p>他国におけるインベントリーの算定方法を示してほしい。(指宿委員)</p> | |
| | <p>国内外における排気中の水銀の測定方法に関する情報を整理して示してほしい。(高岡委員、若松委員)</p> | <p>第2回小委員会において、(一社)産業環境管理協会から情報提供(別添5参照。)</p> |
| 資料6 | <p>インベントリーについて、方法論等をきちんと検討するため、本小委とは別に検討の場を設けた方がよい。(永田委員)</p> | <p>インベントリーについては、各委員の御助言を得つつ、事務局にて論点整理を行い、その結果を、「主な論点についての検討」を行う第4回小委員会に提示する。</p> |

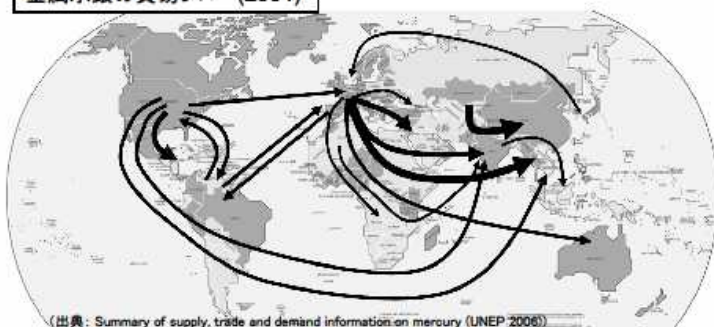
2012 年の日本の金属水銀輸出量について

第 1 回小委員会資料 2-1 「水銀に関する国内外の状況」 p.7

4. 水銀の国際流通

- 2004年にはEUから750トン以上、旧ソ連地域から700トン以上が世界中に輸出。
- EUは、2011年から金属水銀と水銀化合物の輸出を、米国は2013年から金属水銀の輸出を、それぞれ原則禁止。

金属水銀の貿易フロー(2004)



主な国の金属水銀輸出量(2012)

| 輸出国 | 輸出量 (t) |
|---------------------------|---------|
| 1 スペイン | 951 |
| 2 シンガポール | 478 |
| 3 メキシコ | 262 |
| 4 中国(香港を含む) | 245 |
| 5 アルゼンチン | 188 |
| 6 スイス | 165 |
| 7 ドイツ | 108 |
| 8 米国(プエルトリコ、USヴァージン諸島を含む) | 103 |
| 9 カナダ | 73 |
| 10 日本 | 69 |
| 11 オランダ | 67 |
| 12 インド | 50 |
| 13 チリ | 50 |
| 14 ポルトガル | 26 |
| 15 マレーシア | 19 |

日米欧の金属水銀輸出量推移(2009-2013) (t)

| 年 | EU(域外輸出) | 米国 | 日本 |
|------|----------|--------|-----|
| 2009 | 1221 | 753 | 129 |
| 2010 | 973 | 461 | 72 |
| 2011 | 311 | 133 | 96 |
| 2012 | 22 | 103 | 84 |
| 2013 | (データ無し) | 359(※) | 77 |

注: 日本は年度ベース (出典) EU, 米: UN-Comtrade, 日: 財務省貿易統計より作成
 (※) 米国貿易統計によれば、「水銀」として計上されていたものの相当量は「砒化物等」の誤りであったと訂正されている。 <http://www.census.gov/foreign-trade/statistics/corrections/index.html>

(出典) UN-Comtradeより作成

上記の頁中の 2 つの表で、2012 年の日本の金属水銀輸出量に違いがあるのは、年度集計か年集計かの違いによるもの。左下の表(「日米欧の金属水銀輸出量推移」)では年度ベースの集計値が、右の表(「主な国の金属水銀輸出量」)では年ベースの集計値が、それぞれ用いられている。

表 1-1 水銀大気排出インベントリー（平成 22 年度ベース）

| 分類 | 項目 | 大気排出量(t/年) ¹ | 小計(t/年) | | |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------|-----|
| 条約対象 | 石炭火力発電所 | 0.83 - 1.0 | 11 - 16 | | |
| | 石炭焼き産業ボイラ | 0.21 | | | |
| | 非鉄金属製造施設 | 0.94 | | | |
| | 廃棄物焼却施設 | 一般廃棄物焼却施設 | | 1.3 - 1.9 | |
| | | 産業廃棄物焼却施設 | | 0.73 - 4.1 | |
| | | 下水汚泥焼却施設 ² | | 0.17 - 0.85 | |
| セメント製造施設 | 6.9 | | | | |
| 条約対象外 | 鉄鋼製造施設 | 一次製鉄施設 | 4.1 | 4.9 | |
| | | 二次製鉄施設 | 0.62 | | |
| | 石油精製施設 | 0.1 | | | |
| | 石油・ガス生産施設 | <0.001 | | | |
| | 石油等の燃焼 | 石油火力発電施設 | 0.01 | | |
| | | LNG 火力発電所 | 0.001 | | |
| | | 産業用ボイラ(石油系) | 0.003 | | |
| | | 産業ボイラ (ガス系) | 0.02 | | |
| | 生産プロセスに水銀または水銀化合物を使用する施設 ³ | 塩素アルカリ製造施設 | N.O. | | |
| | | 塩化ビニルモノマー製造施設 | N.O. | | |
| | | ポリウレタン製造施設 | N.O. | | |
| | | ナトリウムメチラード製造施設 | N.O. | | |
| | | アセトアルデヒド製造施設 | N.O. | | |
| | | ビニルアセテート製造施設 | N.O. | | |
| | 水銀添加製品製造施設 | バッテリー製造施設 ⁴ | 0 | | |
| | | 水銀スイッチ製造施設 | N.E. | | |
| | | 水銀リレー製造施設 | N.E. | | |
| | | ランプ類製造施設 ⁵ | 0.01 | | |
| | | 石鹸及び化粧品製造施設 | N.O. | | |
| | | 殺虫剤及び殺生物剤(農薬)製造 | N.O. | | |
| | | 水銀式血圧計製造施設 | N.E. | | |
| | | 水銀式体温計製造施設 | N.E. | | |
| | | 歯科用水銀アマルガム製造施設 | 0.0004 | | |
| | | チメロサル製造施設 | N.E. | | |
| | | 銀朱製造施設 | N.E. | | |
| | その他 ⁸ | 石灰製品製造 | 1.0 | | 1.5 |
| | | パルプ・製紙(黒液) | 0.23 | | |
| カーボンブラック製造 | | 0.11 | | | |
| 蛍光灯回収・破砕 | | 0.000005 - 0.000006 | | | |
| 火葬 | | 0.07 | | | |
| 運輸 ⁶ | | 0.07 | | | |
| 廃棄物の中間処理施設 ⁷ | | N.E. | | | |
| 水銀回収施設(蛍光灯を除く) | | N.E. | | | |
| 自然由来 | 火山 | >1.4 | >1.4 | | |
| 合計 (自然由来を除く) | | | 19 - 24 (17 - 22) | | |

1N.E.は Not Estimated, N.O.は Not Occurring を意味する

2 国内法においては廃棄物焼却施設に該当しないものがあるが、廃棄物焼却施設として取り扱う

3 我が国における全ての当該施設では既に水銀は用いられていない

4 我が国においてボタン型電池のみの製造に水銀が用いられているが、製造プロセス上大気中に水銀を排出しない装置を使用しているため 0 とした。

5 一般蛍光ランプ、バックライト、HID ランプを含む

6 対象は燃料由来のガソリン及び軽油

7 廃棄物焼却処理を除く

8 過去の政府間交渉で取り上げられていないが、水銀の大気排出に蓋然性がある発生源

1. 発生源（業種）ごとの水銀大気排出量の推計

1.1 石炭火力発電所

(1) 原燃料中の水銀濃度を用いた推計

国内で使用されている発電用炭中水銀濃度（86炭種、181データの算術平均値）および国内実測データに基づく排出割合（9発電所14ユニットで測定された煙突出口への移行割合（%）、電力中央研究所報告）に2010年度の活動量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 原料等種類 | Hg濃度 (mg/kg) | 石炭消費量 (千t/年)※2 | 煙突出口への 移行割合 (%) | 備考 | 水銀排出量 (t-Hg) |
|-------|-----------------|-------------------|--------------------|----|-----------------|
| 石炭 | 0.0454 | 67,271 | 27.1 | ※1 | 0.83 |

※1：電力中央研究所報告は10電力会社と電源開発(株)が対象。

「10電力会社+卸電気事業者等」の38発電所中、9発電所で測定された値（カバー率～約24%）

※2：石炭消費量は「10電力会社+卸電気事業者等+特定電気事業者及び特定規模電気事業者」分の合計（資源エネルギー庁電力調査統計）

(2) 総括排出係数を用いた推計

・国内実測データに基づく総括排出係数（11発電所17ユニットで測定された総括排出係数 [$\mu\text{g/kWh}$]、電力中央研究所報告）に2010年度の活動量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 施設の種類 | 発電電力量※2 (kWh/年) | 総括排出係数 ($\mu\text{g/kWh}$) | 備考 | 大気排出量 (t-Hg) |
|---------|--------------------|---------------------------------|----|-----------------|
| 石炭火力発電所 | 2,323億 | 4.43 | ※1 | 1.0 |

※1：電力中央研究所報告は10電力会社と電源開発(株)が対象。38発電所中、11発電所で測定された値（カバー率29%）

※2：発電量は「年度別発電電力量（一般電気事業用[10電力計（受電を含む）]）推計実績（エネルギー白書2010）」

(3) 水銀大気排出インベントリーの考え方

(1)(2)のいずれの方法を用いても、大気排出量はほぼ同じ結果となった。なお、(1)(2)の推計に用いた係数等は、同じ文献から引用しているが、同じデータを用いて算出した値ではない。

そのため、我が国のインベントリーでは両方の推計値を用いることとした。

(4) 推計の課題及びインベントリーの更新について

総括排出係数 ($\mu\text{g-Hg/kWh}$) は、排ガス中の水銀濃度および発電効率によって定まる。排ガス中の水銀濃度が一定であっても、発電効率の変化によって排

出係数は変化する。火力発電の効率は年々良くなっており、発電効率（発電端）の平均は、2002年から2010年にかけても若干ではあるが向上していると推計されている¹。

今後、技術の進歩等による発電効率の改善、発熱量の低い石炭の割合増加、排ガス処理設備の増設、及び石炭中水銀濃度の変化等によって、排出係数の変動が見込まれる場合には、改めて実測調査を行い、排出係数を見直す必要があると考えられる。

¹ EDMC／エネルギー・経済統計要覧（2010年版）

1.2 石炭焚き産業ボイラ

日本産業機械工業会および日本ボイラ協会へのヒアリング（2011年12月）によれば、我が国における石炭焚きボイラの使用状況は次のとおりである。

- ・小型ボイラについては、近年、コストと環境対策の観点から天然ガスに切り替わりつつあり、石炭焚きボイラを使用しているのは主に大規模製造業（製紙業・繊維業・鉄鋼業など）である。
- ・これらの業種では IPP（卸電力事業）にも取り組んでいる。日本では、発電設備のついていない石炭ボイラはほとんどないと考えられる。
- ・IPP のように大型の装置には、電気集塵機＋湿式排煙脱硫装置がついており、火力発電とほぼ同等の排ガス処理がなされている。

以上より、産業用ボイラは、発電のみならず熱供給も目的とされているが、石炭焚きボイラは火力発電と同程度の排出除去効率が達成できていると推定される。

（1）原燃料中の水銀濃度を用いた推計

国内で使用されている発電用炭中水銀濃度（86炭種、181データの算術平均値）および国内実測データに基づく排出割合（9発電所14ユニットで測定された煙突出口への移行割合（%）、電力中央研究所報告）に、2010年度の活動量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 原料等種類 | Hg 濃度 (mg/kg) | 石炭消費量 (千 t/年)※2 | 煙突出口への移行割合 (%) | 備考 | 水銀排出量 (t-Hg) |
|-------|---------------|-----------------|----------------|----|--------------|
| 石炭 | 0.0454 | 17,077 | 27.1 | ※1 | 0.21 |

※1：国内9発電所14ユニットで測定された値（産業用ボイラの実測値ではないためカバー率0%）

※2：「自家用発電用・産業用蒸気用・地域熱供給用」の石炭エネルギー転換量

（2）総括排出係数を用いた推計

産業用石炭ボイラの国内実測データに基づく排出割合（3施設で測定された石炭消費量ベース排出係数（ $\mu\text{g/kg-coal}$ ）、玉論文²）に、2010年(暦年)の活動量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

石炭火力発電の国内実測データに基づく推計（上表）に比べて、2～3オーダーも排出量が少ないと推計された。

² 玉 永壮；石炭燃焼およびガス化プラントにおける微量元素挙動（2005）、守富委員提供

| 原料等種類 | 石炭消費量ベース 排出係数(mg/t) | 備考 | 石炭消費量 (千 t/年) | 水銀排出量 (t-Hg) |
|-------|------------------------|----|------------------|-----------------|
| 石炭 | 0.021~0.306 | ※1 | 17,053 | 0.00036~0.0052 |

※1：国内3施設で測定された値の最大値－最小値（カバー率は不明）

（3）水銀大気排出インベントリーの考え方

（1）と（2）の推計結果には大きな乖離がある。（2）は産業用石炭ボイラの国内実測データを基にしているが、 $n=3$ と少ないため、水銀大気排出インベントリーの推計に当たっては、（1）の方法を採用する。

（4）推計の課題及びインベントリーの更新について

石炭焼きボイラからの水銀排出量推計に、石炭火力発電の排出係数を使うことの妥当性を確認する必要がある。排ガス処理設備の導入状況を把握するとともに、実測等により（2）の推計を見直し、（1）と比較することで推計値の正確さを担保していく必要がある。

1.3 非鉄金属製造施設

(1) 業界団体による推計

日本鉱業協会からの報告によれば、国内の非鉄金属製造施設における排ガス実測データに基づき、大気排出水銀量は下記のとおり推計されている。

| 施設の種類 | 排ガス中 Hg 濃度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) | 年間排ガス量 ($\text{Nm}^3/\text{年}$) | 備考 | 大気排出量 (t·Hg) |
|----------|---|--------------------------------------|----|-----------------|
| 非鉄金属製造施設 | 18.6 (平均値) | 5.0×10^{10} | ※1 | 0.94 |

※1：国内 6 社 18 事業所のデータに基づく。国内で鉱石を扱う一次製錬会社のほぼ全てをカバー。

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

非鉄金属製造施設においては、水銀の主要な Input 源は鉱石であるが、大気排出については、熔融飛灰、製鋼ダスト、及び廃電池類等のリサイクル原料の寄与が大きい。上記調査には、国内で鉱石を扱う一次製錬会社のほぼ全社（6 社 18 事業所）が参加しており、国内の最新の実測データに基づく推計値であることから、大気排出量の推計にあたっては当該推計結果を用いる。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

日本鉱業協会の調査は、調査対象となった 6 社 18 事業所以外の事業所（主に二次製錬施設）からの排出量を含まない。そのため、今後の調査において対象外となった施設からの排出量を把握する必要がある。

非鉄金属製造施設からの水銀排出量の多くをリサイクル原料由来の水銀が占めていることから、インベントリーの更新にあたってはリサイクル原料の動向を把握する必要がある。

1.4 廃棄物焼却施設

1.4.1 一般廃棄物焼却施設

(1) 原燃料中の水銀濃度を用いた推計

2005年インベントリー推計時に用いた原料中水銀濃度および排出低減効率に、2010年度の活動量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 原料等種類 | Hg 濃度 (mg/kg) | 備考 | 焼却量 (千 t/年) | 排出低減効率 ※3 | 水銀排出量 (t·Hg) |
|-------|------------------|----|----------------|--------------|-----------------|
| 一般廃棄物 | 0.034 | ※1 | 33,799 | 0.749 | 0.3 |
| | 0.0784 | ※2 | | | 0.7 |

※1：一般廃棄物焼却炉（n=1）の分析結果に基づき推計された一般廃棄物の水銀含有濃度

※2：試験焼却炉での RDF 燃焼試験結果（n=3）の分析結果に基づき推計された廃棄物中の水銀含有濃度

(2) 総括排出係数を用いた推計

国内の一般廃棄物焼却施設における排ガス測定データを用いて算出した総括排出係数³に2010年度の活動量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 一般廃棄物焼却施設の種類 | 焼却量 (千 t/年) | 総括排出係数 (mg·Hg/t) | 備考 | 大気排出量 (t·Hg) |
|----------------------|----------------|---------------------|----|-----------------|
| 焼却施設 (灰溶融併設施設を除く) | 28,565 | 42~61 | ※1 | 1.2~1.7 |
| 灰溶融併設施設 | 6,381 | 16~28 | ※2 | 0.10~0.18 |
| 計 | | | | 1.3~1.9 |

※1：全国稼働中の1,878施設中、58施設のデータを基に算出（カバー率3%）

※2：全国稼働中の360施設中、6施設のデータを基に算出（カバー率1.7%）

(3) 水銀大気排出インベントリーの考え方

(1)の方法は種々雑多な一般廃棄物中の水銀量を把握するにはデータ数が少ないため、水銀大気排出インベントリーの推計にあたっては、(2)の方法を採用する。

(4) 推計の課題及びインベントリーの更新について

一般廃棄物中の水銀濃度の情報が追加で入手される場合は、(1)の方法で再度推計を行うことにより(2)の推計結果との整合性を検証する必要がある。しかし、一般廃棄物焼却施設について、受入れる廃棄物中の水銀量を把握することは困難であるため、偏りの無い施設選定に基づく実測データの収集を実施

³ 平成22年度PRTR届出外排出量推計等検討業務報告書第2分冊 廃棄物処理施設に係る検討等

していくことで（２）の方法により推計値の信頼性を担保していくことが必要である。

また、一般廃棄物中の水銀量の変化を捉えたインベントリーの更新を実施するためには（２）の方法による継続的な調査が必要であると考えられる。

1.4.2 産業廃棄物焼却施設

(1) 原燃料中の水銀濃度を用いた試算

2005年インベントリー推計時に用いた原料中水銀濃度および排出低減効率に、2008年度の活動量（医療廃棄物は2010年(暦年)）をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 廃棄物種類 | 水銀濃度(g/t) | 焼却量 (千 t/yr) ※1 | 排出低減 効率 | 水銀排出量 (t-Hg) |
|----------|-------------|--------------------|------------|-----------------|
| 汚泥 | 0.446 | 11,774 | 0.479 | 2.7 |
| 廃油 | - | 1,601 | | |
| 廃プラスチック類 | 0.115~0.384 | 660 | | 0.04~0.13 |
| 燃え殻 | - | 1,368 | | |
| 廃酸 | 0.002~0.187 | 59 | | 0.0001~0.006 |
| 廃アルカリ | - | 1,181 | | |
| 紙くず | 0.018 | 368 | | 0.003 |
| 木くず | 0.013~0.113 | 522 | | 0.004~0.031 |
| 金属くず | - | 31 | | |
| ガラスくず等 | - | 203 | | |
| 鉱さい | - | 4,433 | | |
| ばいじん | - | 6,722 | | |
| 繊維くず | 0.161~0.493 | 10 | | 0.0008~0.0025 |
| 動植物性残渣 | - | 819 | | |
| 医療廃棄物 | 1.00~2.35 | 983 | | 0.52~1.2 |
| 計 | | | | |

※1：「汚泥～動植物性残渣」の焼却量は、中間処理のための焼却処理施設への投入量の推計値⁴。中間処理業者に対するアンケート調査結果および「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書（環境省）」の産業廃棄物の中間処理量を基に推計されており、必ずしも信頼性が高くない推計結果も含まれている可能性がある。

「医療廃棄物」の焼却量は、全国の病床数に、下記の1床あたり排出量および焼却率（いずれも医療廃棄物白書2007を参考に設定）を掛けて算出したものの合計。医療廃棄物白書2007より、医療廃棄物を院内または自治体のみで処理している割合は少ないと考えられることから、外部委託率は考慮しなかった。

| | 1床あたり排出量 | 推定焼却量 | 焼却率 |
|---------|---------------|-------|-----|
| 感染性廃棄物 | 0.174 (t/年・床) | 250 | 90% |
| 非感染性廃棄物 | 0.575 (t/年・床) | 733 | 80% |

「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書（環境省）」においては、医療廃棄物焼却量は「汚泥～動植物性残渣」の焼却量の内数となるため、医療廃棄物焼却量はダブルカウントされることになるが、全体の約3%と少ないため加算している。

⁴ 平成21年度PRTR届出外排出量推計業務報告書 第2分冊廃棄物処理施設に係る検討等、平成22年3月、(株)環境計画研究所

(2) 総括排出係数を用いた推計

①医療廃棄物非焼却時の総括排出係数、②医療廃棄物焼却時の総括排出係数⁵、及び③両者を区別しない総括排出係数を用いた推計を試みた。

国内の産業廃棄物焼却施設における排ガス測定データを用いて算出した総括排出係数に産業廃棄物焼却量(年度)および医療廃棄物焼却量(暦年)をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 廃棄物種類 | | 焼却量 (千 t/年) | ※3 (年) | 総括排出係数 (g-Hg/t) | 備考 | 大気排出量 (t-Hg) |
|-------|-------------------|----------------|-----------|--------------------|----|-----------------|
| ① | 産業廃棄物(医療廃棄物を含まない) | 22,140 | 2009 | 0.019 | ※1 | 0.42 |
| ② | 医療廃棄物 | 983 | 2010 | 0.31 | ※2 | 0.31 |
| ①+② | 合計 | | | | | 0.73 |
| ③ | 産業廃棄物(Total) | 22,140 | 2009 | 0.048 | ※4 | 1.1 |

※1：全国稼働中の産業廃棄物焼却施設 1991 施設中、12 施設のデータを基に算出（カバー率 0.6%）。ただし、医療廃棄物を焼却していない施設数は不明。

※2：全国稼働中の産業廃棄物焼却施設 1991 施設中、6 施設のデータを基に算出（カバー率 0.3%）。ただし、医療廃棄物を焼却している施設数は不明。

※3：医療廃棄物非焼却施設における焼却量＝産業廃棄物焼却量を用いており、医療廃棄物焼却量はこの内数であるが、全体の約 4%と少ないため加算している。

※4：全国稼働中の 1,991 施設中、18 施設のデータを基に算出（医療廃棄物の焼却の有無を考慮しない推計）

(3) 水銀大気排出インベントリーの考え方

現時点では、(1) (2) いずれの方法もデータ数が少ないため、(2) の推計値を最小値、(1) の推計値の最大値をもとに産業廃棄物焼却施設からの排出量とする。

(4) 推計の課題及びインベントリーの更新について

廃棄物の種類ごとの水銀濃度情報が追加で入手される場合は、(1) の方法での推計を行いつつ、(2) の推計結果との整合性を検証する必要がある。しかし、産業廃棄物焼却施設について、受入れる廃棄物中の水銀量を把握することは困難であるため、偏りの無い施設選定に基づく実測データの収集を実施していくことで(2) の方法によって推計値の信頼性を担保していくことが必要である。

また、産業廃棄物中の水銀量の変化を捉えたインベントリーの更新を実施するためには(2) の方法による継続的な調査が必要であると考えられる。

⁵ 非医療廃棄物も含む。

1.4.3 下水汚泥焼却施設

※国内法においては廃棄物焼却施設に該当しないものがあるが、廃棄物焼却施設として取扱う。

(1) 原燃料中の水銀濃度を用いた推計

2005年インベントリー推計時に用いた原料中水銀濃度および排出低減効率に、2009年度の活動量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 原料等種類 | Hg 濃度 (mg/kg-dry) | 備考 | 焼却量※2 (千 t-dry/年) | 排出低減効率 ※3 | 水銀排出量 (t-Hg) |
|-------|----------------------|----|----------------------|--------------|-----------------|
| 下水汚泥 | 0.31~1.6 | ※1 | 1025 | 0.479 | 0.17~0.85 |

※1：下水汚泥中の水銀濃度については、下記の国内データを入手した。2005年のインベントリー推計時には、「*」印のデータから、下水汚泥中水銀濃度を「0.31~1.6 mg/kg-dry」と設定した。新たに入手した文献調査結果(3, 4)では、平均値等がこの濃度範囲内であったことから、今回の推計においても2005年インベントリー推計時に用いた下水汚泥中濃度を引き続き使用した。

| 国内データ | 下水汚泥中水銀濃度 | 備考 |
|----------|---|--|
| 文献調査結果 1 | 0.64 mg/kg-dry | 2008年の調査結果（「排ガス処理装置前の排ガス中Hg濃度×排ガス量÷下水汚泥焼却量」により推計）* |
| | 0.31 mg/kg-dry | |
| 文献調査結果 2 | 平均値：1.60 mg/kg-dry (0.11~4.99 mg/kg-dry) | 1972年~2003年の10文献の調査結果* |
| 文献調査結果 3 | 平均値：1.1 mg/kg-dry (0.2~8.0 mg/kg-dry) | 2003年の全国22か所の測定結果 |
| 文献調査結果 4 | 1.3 mg/kg-dry | 2008年の調査結果 |

：2005年インベントリー推計時に参照したデータには「」印を付けた。

※2：「湿重量ベース焼却量（国交省調査）×（1-0.78）」で算出した。0.78は、「汚泥焼却設備に投入された脱水汚泥の平均含水率（出典：下水道統計）」の算術平均値（78%）を用いた。H19~H21年の下水道統計を参照したが、いずれも算術平均値は同程度だった。

※3：産業廃棄物焼却施設の排出低減効率

(2) 総括排出係数を用いた推計

国内の文献調査結果から得られた総括排出係数に2009年度の活動量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| | 焼却量 (千 t-wet/年) | 総括排出係数 (mg-Hg/t-wet) | 備考 | 大気排出量 (t-Hg) |
|----------|--------------------|-------------------------|----|-----------------|
| 下水汚泥焼却施設 | 4,660 | 0.013~0.29 | ※1 | 0.061~1.4 |

※1：下水汚泥中の水銀濃度については、下記の国内データを入手し、これらの最小値~最大値を用いることとした。いずれも原燃料中の水銀濃度の入手に用いた文献と同一の文献である。

| 国内データ | 総括排出係数 | 備考 |
|----------|-----------------|---|
| 文献調査結果 1 | 0.013 mg/kg-wet | 2008年の調査結果 （「排ガス処理装置後の排ガス中Hg濃度×排ガス量÷下水汚泥焼却量」により推計） |
| | 0.29 mg/kg-wet | |
| 文献調査結果 4 | 0.117 mg/kg-wet | |
| | 0.067 mg/kg-wet | |

(3) 水銀大気排出インベントリーの考え方

(1)の方法では、下水汚泥中水銀濃度の設定に用いる国内文献数や実測データ数が比較的多い。(2)の方法は、実測データ数が4と比較的少ないため、水銀大気排出インベントリーの推計にあたっては、(1)の方法を採用する。

(4) 推計の課題及びインベントリーの更新について

産業廃棄物焼却施設の排出低減効率を用いた推計であるため、下水汚泥焼却施設の排ガス処理設備の導入状況を把握し、排出低減効率の妥当性の確認を行う必要がある。また、下水汚泥焼却施設における実測データを収集することで(2)で用いる総括排出係数の精度向上を図るとともに、(1)の方法との整合性を確認していく必要がある。

今後、インベントリーの更新を実施していくためには、(1)の推計を行うための下水汚泥中の水銀量の定期的調査、及び(2)の方法による継続的な排ガスの実測調査が必要であると考えられる。

【下水汚泥中水銀濃度に係る出典】

文献調査結果 1…貴田晶子 他；循環廃棄過程を含めた水銀の排出インベントリーと排出削減に関する研究（廃棄物処理時等化学研究補助事業（平成17年度～平成19年度）

文献調査結果 2…上記1の文献で、下記元文献を基にして整理されている。

- ・原田良誠、藤原久仁一、鈴木政弘、岡田真人：下水汚泥の緑農地利用と含有重金属、下水道協会誌、25（284）、30-38（1988）
- ・五十嵐操、上田義一：下水汚泥旋回溶解における重金属の挙動、下水道協会誌、36（446）、133-141（1999）
- ・近藤順子、岡沢和好、浜田隆治：汚泥焼却における重金属と窒素の挙動、第9回下水道研究発表会講演要旨集、272-273（1972）
- ・松井三郎、平岡正勝：下水汚泥に伴って発生する大気汚染の諸問題、下水道協会誌、11（124）、13-24（1974）
- ・H.W.Cambell,P.J Crescuolo,R.Bridle: Fate of heavy metals and potential for clinker formation during pilot scale incineration of municipal sludge, Water Sci.Technol,Vol14., 463-473, 1982
- ・野村幸弘、降旗敦海：有機性汚泥の重金属除去に関する研究、長野県衛生公害研究所研究報告、13,23-27（1990）
- ・大石達明、房家正博、佐藤四郎、安富俊雄：汚泥・燃えがら等に含まれる重金属類の含有量と溶出率の関係、静岡衛生環境センター報告、29,123-130（1986）
- ・杉島和三郎：汚泥処理—7. I N D U S T（いんだすと）、18（10）、50-54（2003）
- ・水野勝、宮川作次、服部廉：下水汚泥コンポストの有害物質調査、水処理技術、43（2）、71-75（2002）
- ・鈴木祐志、伊藤新治、鈴木明、渡辺春樹、森孝志、町田茂：超臨界水酸化法による下水汚泥の処理、用水と廃水、44（10）、885-889（2002）

文献調査結果 3…高岡昌樹,他；下水汚泥焼却施設からの水銀排出量及び水銀排出挙動に関する研究、学会誌「EICA」第13巻、第2・3合併号(2008)

文献調査結果 4…鈴木穰：下水汚泥有効利用に伴うリスク評価に関する研究,(独)土木研究所,(2001～2003)

1.5 セメント製造施設

(1) 原燃料中の水銀濃度を用いた推計

2005年インベントリー推計時に用いた原料中水銀濃度等を用いて、2010年度の活動量をかけると、水銀排出量は以下のとおり算出された。

| 品目 | | 濃度 (mg/kg) | 備考 ※4 | 投入量 (千 t) | 排出低減 効率 ※3 | 水銀量 (t-Hg) |
|----|-----------|---------------|----------|--------------|---------------|---------------|
| 原料 | ケイ石 | 0.057 | | 3,882 | 0% | 0.22 |
| | 粘土 | 0.0025 | | 11,817 | | 0.030 |
| | 鋳物砂 | 0.0266 | | 517 | | 0.013 |
| | 石灰石 | 0.048 | | 58,571 | | 2.81 |
| | 石炭灰※1 | 0.20 | | 6,631 | | 1.33 |
| | 汚泥・スラッジ※2 | 0.32 | | 2,627 | | 0.84 |
| | 燃え殻ばいじん | 0.144 | | 1,307 | | 0.19 |
| | 高炉スラグ | 0.0025 | | 7,408 | | 0.019 |
| 燃料 | 木くず | 0.113 | | 574 | 0.065 | |
| | 廃プラ | 0.384 | | 418 | 0.16 | |
| | 重油 | 0.001 | | 55 | 0.00006 | |
| | 石炭 | 0.0454 | | 6,416 | 0.29 | |
| 合計 | | | | | | 6.0 |

※1：石炭灰中水銀濃度は、電気事業連合会の報告を基に算出

※2：汚泥中水銀濃度は、下水汚泥中濃度(wet 重量当たり)を使用（他の汚泥については水銀濃度情報が入手できていないため、下水汚泥の濃度を用いた。）

※3：現状ではセメントキルンでは排ガス処理で除去したダストを全量工程内に戻しており、クリンカ中への移行分もほとんど無いことから、「排出低減効率 0%」と設定した。

※4：1972年～2007年に報告された国内外の文献から収集したデータ。ただし、重油の濃度データは、石油連盟より提供された2001年～2002年の国内実測データ（下表）を踏まえて、検出限界値=1ppb（0.001 mg/kg）を使用。

| 製品名 | 水銀濃度* | サンプル数 | 製品名 | 水銀濃度* | サンプル数 |
|------|-----------|-------|------|-----------|-------|
| A 重油 | 1ppb 未満 | 38 | C 重油 | 1ppb 未満 | 38 |
| | 0.5ppb 未満 | 7 | | 0.5ppb 未満 | 7 |

*：いずれも検出限界未満（検出限界=1ppb または 0.5ppb）

(2) 総括排出係数を用いた推計

セメント協会が平成19年度に行った排ガス測定結果を用いて算出した総括排出係数に2010年(暦年)のクリンカ生産量をかけると、水銀排出量は次のとおり算出された。

| 施設の種類 | クリンカ生産量 (千 t/年) | 総括排出係数 (mg-Hg/t) | 備考 | 大気排出量 (t-Hg) |
|---------|--------------------|---------------------|----|-----------------|
| セメントキルン | 47,800 | 144 | ※1 | 6.9 |

※1：2007年当時の全国57施設中、55施設のデータを基に算出（カバー率96%）

(3) 水銀大気排出インベントリーの考え方

セメント製造施設では二次廃棄物や排水は発生しない。集塵機で捕集したダストは全て原料として使用される工程となっており、クリンカ中への水銀取込みも殆ど無いことから、「原燃料由来の水銀量 \approx 水銀大気排出量」となると考えられる。この考え方の妥当性は、(1)と(2)の推計結果がほぼ一致したことから裏付けられる。ただし、原料中水銀濃度については、1972年の文献値など古いものが含まれており、また同じ品目であっても性状・水銀濃度には幅があると考えられる。そのため、我が国の水銀大気排出インベントリーの推計にあたっては、(2)の方法を採用する。

(4) 推計の課題及びインベントリーの更新について

原燃料中の水銀濃度の情報が追加で入手される場合は、(1)の方法で再度推計を行うことにより、(2)の推計結果との整合性を検証する方法が考えられる。

ただし、原燃料中の水銀濃度は今後も変化していくことが考えられるため、インベントリーの更新に際しては、(2)の方法を採用し、定期的な実測により総括排出係数を見直していくことが望ましい。

1.6 鉄鋼製造施設

1.6.1 一次製鉄プラント

(1) 原燃料中の水銀濃度を用いた推計

国内で調査されたコークス製造用石炭、焼結原料、および高炉原料中の水銀濃度の調査結果および排ガス・副生ガスへの分配割合を踏まえ、2010年度の活動量をかけると、大気への水銀排出量は次のとおり算出された。

なお、原燃料中の水銀濃度を用いた推計では、通常は「原燃料中水銀濃度 (mg/kg)」および「原燃料使用量 (t/年)」を用いるが、一次製鉄プラントで使用する原燃料の品目別使用量の統計量が得られないことから、今回は「原燃料中水銀量の原単位 (mg/t・製品)」および「製品生産量 (t/年)」を用いた。

| 施設の種類 | 品目 | 原単位 (mg/t・製品) | 備考 | 製品生産量 (千 t) | 排ガス・副生 ガスへの 分配割合 (%) | 大気排出量 (t-Hg) |
|-------|-------|------------------|----|----------------|----------------------------|-----------------|
| コークス炉 | 石炭 | 58 | ※1 | 29,230 | 不明※2 | 不明 |
| 焼結炉 | 粉鉱石 | 76 | ※3 | 109,000 | 58 | 4.8 |
| | 石炭 | | | | | |
| | 副原料 | | | | | |
| | 粉コークス | | | | | |
| 高炉 | 焼結鉱 | 16 | ※4 | 86,297 | 21 | 0.3 |
| | コークス | | | | | |
| | 塊鉱石 | | | | | |
| | 副原料 | | | | | |
| | 微粉炭 | | | | | |
| | ペレット | | | | | |
| 計 | | | | | | 5.1 |

※1：全国の50炉中⁶、3炉のデータの算術平均値（カバー率6%）。

※2：幾つかの副生品について水銀濃度が調査されていないため、原燃料でコークス炉内に入った水銀が、Output側で副生ガスにどの程度分配されるか把握できていない。なお、実稼働炉では、コークス炉からの副生ガスは燃料として再利用されている。

※3：原単位および排ガスへの分配割合は、全国の25炉⁷中、6炉のデータの算術平均値（カバー率24%）。

※4：原単位および副生ガスへの分配割合は、全国の稼働中の28炉⁸中、3炉のデータの算術平均値（カバー率11%）。なお、実稼働炉では、高炉からの副生ガスは燃料として再利用されている。

⁶ 鉄鋼年鑑（平成20年度版）

⁷ 鉄鋼連盟へのヒアリング、2013年2月

⁸ 転換する鉄鋼業（改定10版）、2010年11月

(2) 総括排出係数を用いた推計

国内で調査されたコークス炉、焼結炉および高炉の排ガス・副生ガス中水銀濃度の調査結果を踏まえて、2010年度の活動量をかけると、大気への水銀排出量は次のとおり算出された。

| 施設の種類 | 製品生産量 (千 t/年) | 総括排出係数 (mg-Hg/t) | 備考 | 大気排出量 (t-Hg) |
|-------|------------------|---------------------|----|-----------------|
| コークス炉 | 29,230 | 0.89 | ※1 | 0.026 |
| 焼結炉 | 109,000 | 36 | ※2 | 3.9 |
| 高炉 | 86,297 | 1.6 | ※3 | 0.14 |
| 計 | | | | 4.1 |

※1：全国の50炉中⁹、3炉のデータの算術平均値（カバー率6%）。

※2：原単位および排ガスへの分配割合は、全国の25炉¹⁰中、6炉のデータの算術平均値（カバー率24%）。

※3：原単位および副生ガスへの分配割合は、全国の稼働中の28炉¹¹中、3炉のデータの算術平均値（カバー率11%）。

(3) 水銀大気排出インベントリーの考え方

(1) と (2) の水銀大気排出量の推計結果は、ほぼ一致した。(1) (2) の推計に用いた係数等は、同じ文献から引用しているが、同じデータを用いて算出した値ではないため、一次製鉄プラントからの水銀排出量（約4t～5t）の妥当性が相互に確認できたと考えられる。しかしながら、(1)の方法では、コークス炉のOutput側の副産物の水銀分布割合や、Input側の焼結原料種類別の水銀量など、一部確認できていない項目が残っているため、水銀大気排出インベントリーの推計にあたっては、(2)の方法を採用する。

(4) 推計の課題及びインベントリーの更新について

コークス炉、焼結炉、高炉のうち、特に焼結炉については国内施設数に対するカバー率が約23%と他の2つの炉に比べて高いが、一次製鉄施設からの水銀大気排出の95%を占めることから、データ数を増やすことが望ましい。

インベントリーの更新にあたっては、原燃料の質の変化等をインベントリーへ反映させるため、継続的に排出係数等を見直すことが必要である。

⁹ 鉄鋼年鑑（平成20年度版）

¹⁰ 鉄鋼連盟へのヒアリング、2013年2月

¹¹ 転換する鉄鋼業（改定10版）、2010年11月

1.6.2 二次製鉄プラント

(1) 業界団体による推計

日本鉄鋼連盟による自主調査により得られた総括排出係数に 2010 年度の活動量を乗じることで水銀の大気排出量を推計した。

| 施設の種類 | 電炉鋼生産量 (千 t/年) | 総括排出係数 (g-Hg/t-steel) | 備考 | 大気排出量 (t-Hg) |
|----------|-------------------|--------------------------|----|-----------------|
| 二次製鉄プラント | 24,496 | 0.0253 | ※1 | 0.62 |

※1：普通鋼電炉及び特殊鋼電炉より 30 施設(測定サンプル数 32)が調査対象（稼働中の全電炉の 1/3 をカバーしている）。また、国内における電炉は規模等に大きな違いがないことから、施設の選定において偏りは少ないと考えられる。

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

二次製鉄プラントにおいては、水銀の主要な混入源はスクラップであるが、種々雑多なスクラップ中の水銀含有量を把握することは困難であることから、原料中の水銀濃度を用いた推計は困難である。

上記調査は、国内で二次製鉄を行う 90 施設(炉)の 3 割を占め、また国内の最新の実測データに基づく推計値であることから、大気排出量の推計にあたってはこの調査結果を用いる。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

二次製鉄プラントにおいては、種々雑多なスクラップ中の水銀含有量を把握することは困難であることから、インベントリーを更新していく上では継続的な実測調査により総括排出係数を更新していくことが望ましい。

1.7 石油精製施設

(1) 原燃料中の水銀濃度を用いた推計

石油精製施設については、国内の実測データが得られていないため、UNEP ツールキット(Version 1.1)に示されているデフォルト値の分配係数を用いて推計を行った。なお、活動量には2010年度の活動量を、原油中水銀濃度は業界団体調査による2.6mg/kL(原油中水銀濃度の産地別実測データをもとにした加重平均値)を使用した。

| 施設の種類 | 原油処理量 (ML/yr) | 水銀濃度 (mg/kL) | 備考 | 大気への分配率 | 水銀大気排出量 (t-Hg/yr) |
|--------|------------------|-----------------|----|---------|----------------------|
| 石油精製施設 | 208,633 | 2.6 | ※1 | 0.25 | 0.14 |

※1：n数は不明だが、国内の各社の原油種別データから、国別に加重平均水銀含有量(ppb)を算出したもの。

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

ツールキットに示される大気への分配率の妥当性の検証は出来ていないが、当該推計結果をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

追加の情報が得られれば、ツールキットに示される大気への分配率の妥当性の検証を行うことが必要である。また、今後、大気排出口における実測により推計値の妥当性を検証することが必要である。

実測が困難であれば、継続的に原油中の水銀量を把握しインベントリーを更新していく必要がある。

1.8 石油・ガス生産施設

(1) 水銀大気排出インベントリーの考え方

石油鉱業連盟へのヒアリングによれば、年間の排出量は多くとも 1kg 程度とされることから、我が国インベントリーにおいては不等号を用いた値を記載する。

(2) 推計の課題及びインベントリーの更新について

追加の情報が得られれば、推計値の妥当性を検証する。インベントリーの更新について、排出量が比較的少ないことから優先順位は低い。

1.9 石油等の燃焼施設

1.9.1 火力発電所（石炭火力を除く）

（１）原燃料中の水銀濃度を用いた推計

以下に示す火力発電所における排ガス処理設備の導入状況及び燃料中の水銀濃度を踏まえ、排出量を推計した。なお、活動量には 2010 年度の値を用いた。

| 施設の種類 | 排ガス処理設備 | 排出低減効率 |
|-----------|---------------------|----------|
| 石炭火力発電所 | 電気集塵機 + 脱硫装置 | 0.729 ※1 |
| 石油火力発電所 | 電気集塵機 + 脱硫装置（一部の施設） | 0.5 ※2 |
| LNG 火力発電所 | 電気集塵機および脱硫装置の設置なし | 0 ※3 |

※1：電力中央研究所報告「石炭火力発電所の微量物質排出実態調査（調査報告：W02002）」の値。

※2：電力中央研究所報告「石炭火力発電所の微量物質排出実態調査（調査報告：W02002）」の値。湿式脱硫装置の水銀除去影響を除き、電気集塵機の水銀除去影響のみの値。

※3：LNG 火力発電所では集塵装置および脱硫装置の設置はないため 0 とした。

| 燃料 | 濃度 | 単位 | 出典 |
|-----|--------|--------|---|
| 石炭 | 0.0454 | g-Hg/t | 国内で使用される石炭中水銀濃度の平均値 |
| 重油 | 1 | mg/t | 業界団体実測値(2001,2) |
| 原油 | 2.6 | mg/kL | 業界団体報告値(2009,10) |
| ナフサ | 1 | mg/t | OPEN SPEC NAPHTHA 上限値 |
| NGL | - | | 不明 |
| LNG | 0.014 | mg/t | 一般的に天然ガス中の水銀は液化基地において除去されており、液化プロセスにおける設計基準は $0.01 \mu\text{g-Hg/Nm}^3$ とされる。なお、水銀濃度は密度を 0.7kg/Nm^3 として設定した。 |
| LPG | 0.0025 | mg/kg | 国内実測値(検出限界値) なお、水銀濃度は密度を 2kg/Nm^3 として設定した。 |

| 施設の種類 | 燃料 | 活動量 | 単位 | 水銀濃度 | 単位 | 排出低減効率 | 排出量 (kg) |
|-----------|-----|--------|---------|--------|-------|--------|----------|
| 石油火力発電所 | 重油 | 6,318 | 千 kL/yr | 1 | mg/t | 0.5 | 2.8 |
| | 原油 | 4,759 | 千 kL/yr | 2.6 | mg/kL | 0.5 | 6.2 |
| | ナフサ | 0 | | 1 | mg/t | 0.5 | 0.0 |
| | NGL | 13 | 千 kL/yr | - | | 0.5 | NE |
| | 合計 | | | | | | 9.0 |
| LNG 火力発電所 | LNG | 41,743 | 千 t/yr | 0.014 | mg/t | 0 | 0.6 |
| | LPG | 328 | 千 t/yr | 0.0025 | mg/kg | 0 | 0.8 |
| | 合計 | | | | | | 1.4 |
| 合計 | | | | | | | 10.4 |

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

LNG に係る水銀濃度については、水銀が液化基地において除去されていることから、水銀除去設備における設計基準をもとに設定した。しかし、液化基地を経た LNG 中の水銀量に関する情報は得られていない。また、液化基地における水銀除去設備の導入状況及び水銀除去に係る設計基準の程度に係る情報も十分に得られていないことから、追加的な情報が得られた場合、ガス系燃料中の水銀濃度を見直す必要がある。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

LNG 等のガス系燃料についての追加情報が得られれば、推計値の妥当性を検証する。インベントリーの更新について、排出量が比較的少ないことから優先順位は低い。

1.9.2 産業用ボイラ（石炭焚きを除く）

（1）原燃料中の水銀濃度を用いた推計

火力発電所における排ガス処理設備と同様の排ガス処理設備が導入されていると仮定し排出量を推計した。なお、活動量には2010年(暦年)の値を用いた。

| 燃料 | 濃度 | 単位 | 出典 |
|------|--------|---------------------|---|
| 石炭 | 0.0454 | g-Hg/t | 国内で使用される石炭中水銀濃度の平均値 |
| 重油 | 1 | mg/t | 業界団体実測値(2001,2) |
| 原油 | 2.6 | mg/kL | 業界団体報告値(2009,10) |
| ナフサ | 1 | mg/t | OPEN SPEC NAPHTHA 上限値 |
| 灯油 | 1 | mg/t | 業界団体実測値の検出限界値(2001,2) |
| 軽油 | 1 | mg/t | 業界団体実測値の検出限界値(2001,2) |
| LNG | 0.014 | mg/t | 一般的に天然ガス中の水銀は液化基地において除去されており、液化プロセスにおける設計基準は $0.01 \mu\text{g-Hg/Nm}^3$ とされる。なお、水銀濃度は密度を 0.7kg/Nm^3 として設定した。 |
| LPG | 0.0025 | mg/kg | 国内実測値(検出限界値) なお、水銀濃度は密度を 2kg/Nm^3 として設定した。 |
| 天然ガス | 0.005 | mg/m ³ N | (LPG の値を代用) |
| 都市ガス | 0.005 | mg/m ³ N | (LPG の値を代用) |

| 施設の種類の | 燃料 | 活動量 | 単位 | 水銀濃度 | 単位 | 排出低減効率 | 排出量 (kg) |
|----------------|------|-------|----------------------|--------|---------------------|--------|----------|
| 産業ボイラ (石油系) | 重油 | 4,413 | ML/yr | 1 | mg/t | 0.5 | 2.0 |
| | 原油 | 4 | ML/yr | 2.6 | mg/kL | 0.5 | 0.005 |
| | ナフサ | 3 | ML/yr | 1 | mg/t | 0.5 | 0.9 |
| | 灯油 | 80 | ML/yr | 1 | mg/t | 0.5 | 0.032 |
| | 軽油 | 1 | ML/yr | 1 | mg/t | 0.5 | 0.0004 |
| | 合計 | | | | | | 2.9 |
| 産業ボイラ (ガス系) | LNG | 658 | 千 t/yr | 0.014 | mg/t | 0 | 0.009 |
| | LPG | 349 | 千 t/yr | 0.0025 | mg/kg | 0 | 0.9 |
| | 天然ガス | 404 | Mm ³ N/yr | 0.005 | mg/m ³ N | 0 | 2.0 |
| | 都市ガス | 3,116 | Mm ³ N/yr | 0.005 | mg/m ³ N | 0 | 15.6 |
| | 合計 | | | | | | 18.5 |
| 合計 | | | | | | | 21.4 |

（2）水銀大気排出インベントリーの考え方

LNGに係る水銀濃度については、水銀が液化基地において除去されていることから、水銀除去設備における設計基準をもとに設定した。しかし、液化基地を経た LNG 中の水銀量に関する情報は得られていない。また、液化基地における水銀除去設備の導入状況及び水銀除去に係る設計基準の程度に係る情報も十分に得られていないことから、追加的な情報が得られた場合、ガス系燃料中の水銀濃度を見直す必要がある。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

火力発電所の排出低減効率を用いた推計であるため、産業用ボイラに敷設される排ガス処理設備の導入状況を把握し、排出低減効率の妥当性の確認を行うことが望ましい。

LNG 等のガス系燃料についての追加情報が得られれば、推計値の妥当性を検証する。インベントリーの更新について、排出量が比較的少ないことから優先順位は低い。

1.10 生産プロセスに水銀または水銀化合物を使用する施設

生産プロセスにおいて水銀又は水銀化合物を使用し得る施設として、塩素アルカリ（苛性ソーダ）製造施設、塩化ビニルモノマー製造施設、ポリウレタン製造施設、ナトリウム・メチラート（ナトリウム・メトキシド）製造施設、アセトアルデヒド製造施設、及び酢酸ビニル（ビニルアセテート）製造施設が挙げられる。

我が国においては、全ての当該施設において生産プロセスに水銀及び水銀化合物を用いない工程を採用している。そのため、水銀の大気排出はないと考えられる。

1.11 水銀添加製品製造施設

1.11.1 バッテリー製造施設

国内において2010年(暦年)に電池生産に使用された水銀量は0.996tとされる¹²。なお、国内の製造施設においてはボタン型電池以外の電池への水銀使用は無い¹²。電池工業会によれば、製造プロセス上大気へ水銀を排出しない装置を使用しているため大気への排出量を0とした。

1.11.2 水銀スイッチ製造施設

水銀スイッチの国内における生産状況は不明¹²。

1.11.3 水銀リレー製造施設

水銀リレーはごく一部のメーカーで製造されているとされる¹²。

1.11.4 ランプ類製造施設

(1) 総括排出係数を用いた推計

海外文献における電気スイッチの総括排出係数¹³を用いて推計を行った。なお、活動量には2010年(暦年)の生産数量を用いた。

| 項目 | 生産数量 (千本/yr) | 水銀使用 量 (mg/本) | 総括排出係 数 (g-Hg/t) | 水銀大気排出 量 (t/yr) |
|---------|-----------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| 一般蛍光ランプ | 251,061 | 6.9 | 4,000 | 0.007 |
| バックライト | 294,347 | 3.0 | 4,000 | 0.004 |
| HID ランプ | 9,725 | 47.3 | 4,000 | 0.002 |
| 合計 | | | | 0.013 |

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

総括排出係数の国内における検証が必要であるが、当該推計値をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

総括排出係数の国内における検証が必要であるが、総括排出係数が変化した

¹²神鋼リサーチ株式会社「平成23年度環境対応技術開発等（水銀等重金属及び添加製品等の需給・ライフサイクル等状況調査）報告書」、経済産業省製造産業局化学物質管理課委託調査

¹³ US-EPA, Locating and Estimating Air Emission from Sources of Mercury and Mercury Compounds, EPA-454/R-97-012, 1993.

としても大気への排出量が大きく変動することは考えにくい。

そのため、インベントリーの更新に係る追加調査の必要性は低いと考えられる。

1.11.5 石鹼及び化粧品製造施設

化粧品（石鹼含む）への水銀添加は薬事法における化粧品基準の配合禁止物質として規制されているため、製造プロセスにおける大気への排出はないと考えられる。

1.11.6 殺虫剤及び殺生物剤(農薬)製造施設

農薬取締法（農薬の販売の禁止を定める省令）において、水銀及びその化合物を有効成分とする病害虫の防除に用いられる薬剤に該当する農薬を販売してはならないとされている。なお、国内において非有効成分として水銀使用の実態はないため、製造プロセスにおける大気への排出はないと考えられる。

1.11.7 水銀式血圧計製造施設

水銀式血圧計中の推定水銀量は 1,680kg（2008 年の生産数量中水銀量：50g/台）とされる¹²。製造プロセスにおける大気への排出量は不明だが、無視できる量であると考えられる。

1.11.8 水銀式体温計製造施設

水銀体温計（医療用計測器）中の推定水銀量は 319kg（2007 年の生産量中水銀：0.75g/本）とされる¹²。製造プロセスにおける大気への排出量は不明だが、無視できる量であると考えられる。

1.11.9 歯科用水銀アマルガム製造施設

（1）総括排出係数を用いた推計

海外文献の総括排出係数¹³を用いて推計を行った。なお、活動量には 2010 年(暦年)の歯科用水銀生産量（水銀消費量）を用いた。

| 施設の種類 | 歯科用水銀生産量 (t-Hg/yr) | 総括排出係数 (g-Hg/t) | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|----------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| 歯科用水銀アマルガム製造施設 | 0.019 | 20,000 | 0.00038 |

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

総括排出係数の国内における検証が必要であるが、当該推計値をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

我が国では既に歯科用水銀の使用量が減少していることから総括排出係数が変化したとしても大気への排出量が大きく変動することは考えにくい。

そのため、インベントリーの更新に係る追加調査の必要性は低いと考えられる。

1.11.10 チメロサル製造施設

2009年における生産分中水銀は約62gとされる¹⁴。製造プロセスにおける大気への排出量は不明だが、無視できる量であると考えられる。

1.11.11 銀朱製造施設

漆、絵具、朱肉に一定の需要があり、銀朱の国内販売量は1,600kgとされる(年度等不明)¹⁴。製造プロセスにおける大気への排出量は不明だが、無視できる量であると考えられる。

1.12 その他

1.12.1 石灰製品製造施設

(1) 原料中の水銀濃度を用いた推計

2005年インベントリー推計時に用いた推計方法での推計を行った¹⁵。石灰製品製造に係る水銀大気排出量は、石灰用石灰石出荷量に排出係数(製品生産量当たりの石灰石出荷量に水銀含有量を乗じて算出)及び排出低減効率を乗じることで推計した。なお、石灰製品は石灰石を1,000℃程度で焼成することで生産されるため、石灰石中の水銀は全て排ガス中へ移行すると仮定した。また、排出低減効率は電気集塵機が導入されていると仮定し設定した。

| 施設の種類 | 石灰石出荷量 (千 t/yr) | 排出係数 (g-Hg/t) | 排出低減効率 | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|----------|--------------------|------------------|--------|-------------------|
| 石灰製品製造施設 | 10,264 | 0.127 | 20.4% | 1.0 |

¹⁴神鋼リサーチ株式会社「平成22年度環境対応技術開発等(水銀含有製品需給マテリアルフロー等に関する調査)報告書」、経済産業省製造産業局化学物質管理課委託調査

¹⁵ 貴田ら「循環廃棄過程を含めた水銀の排出インベントリーと排出削減に関する研究」

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

排ガス処理設備の導入状況を把握し、現在の排出低減効率を用いることの妥当性を検証する必要があるが、当該推計値をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

当該施設からの排出量は他の発生源の区分と比較し多いため、推計値の妥当性を検証する必要がある。検証にあたっては、石灰石中の水銀濃度を再確認することが考えられる。

インベントリーの更新においては、石灰石中の水銀濃度の変化を捉える事が重要であると考えられる。

1.12.2 パルプ・製紙製造施設

(1) 総括排出係数を用いた推計

2005年インベントリー推計時に用いた推計方法での推計を行った¹⁵。活動量は2010年(暦年)の黒液処理量を用いた。

| 施設の種類 | 黒液処理量 (千 t/yr) | 総括排出係数 (g-Hg/t) | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|------------|----------------|-----------------|----------------|
| パルプ・製紙製造施設 | 12,000 | 0.0195 | 0.23 |

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

当該推計値をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

黒液中の水銀量の把握及び、排ガス処理設備の導入状況を把握し、原燃料中の水銀濃度を用いた推計方法を試みることで推計値の妥当性を検証する必要がある。また、総括排出係数を見直す必要がある。

1.12.3 カーボンブラック製造施設

(1) 総括排出係数を用いた推計

国内において2010年(暦年)にカーボンブラック生産量に、海外文献の総括排出係数¹³を乗じることで推計を行った。

| 施設の種類 | 生産量 (千 t/yr) | 総括排出係数 (g-Hg/t) | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|-------|--------------|-----------------|----------------|
|-------|--------------|-----------------|----------------|

| | | | |
|--------------|-----|------|------|
| カーボンブラック製造施設 | 729 | 0.15 | 0.11 |
|--------------|-----|------|------|

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

総括排出係数の国内における検証が必要であるが、当該推計値をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

総括排出係数の国内における検証が必要であるが、総括排出係数が変化したとしても大気への排出量が大きく変動することは考えにくい。

そのため、インベントリーの更新に係る追加調査の必要性は低いと考えられる。

1.12.4 蛍光灯回収・破碎施設

(1) 総括排出係数を用いた推計

蛍光管のうち、蛍光ランプのみリサイクルされるとき、2010年(暦年)に生産された蛍光ランプ生産数量中の水銀使用量にリサイクル率及び総括排出係数を乗じることで排出量を推計した。なお、リサイクル率及び総括排出係数は平成2005年度調査の値を用いた。

| 施設の種類 | 水銀使用量 (kg-Hg/yr) | リサイクル率 (%) | 総括排出係数 (g-Hg/t) | 大気排出量 (t/yr) |
|------------|---------------------|---------------|--------------------|------------------------|
| 蛍光灯回収・破碎施設 | 1,732 | 16 | 16.67 - 20.83 | 0.000005 - 0.000006 |

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

当該推計値をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

リサイクル率が向上していることが考えられるが、大気への排出量が大きく変動することは考えにくい。また、大気への排出量が低いことからインベントリー更新の必要性は低いと考えられる。

1.12.5 火葬場

(1) 総括排出係数を用いた推計

国内において 2010 年度に火葬された総件数に、火葬場での実測により算定した総括排出係数¹⁵を乗じることで推計を行った。なお、当該総括排出係数はバグフィルタが設置された火葬場における実測を基に算出されている。

| 施設の種類 | 活動量 (千件/yr) | 総括排出係数 (g-Hg/件) | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|-------|----------------|--------------------|-------------------|
| 火葬場 | 1,246 | 0.0518 | 0.065 |

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

当該推計値をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

総括排出係数の検証が必要であるが、総括排出係数が変化したとしても大気への排出量が大きく変動することは考えにくい。

そのため、インベントリーの更新に係る追加調査の必要性は低いと考えられる。

1.12.6 運輸（燃料由来）

(1) 総括排出係数を用いた推計

国内において 2010 年度に運輸部門におけるガソリン消費量及び軽油消費量に、前年度調査の推計に用いられた総括排出係数に乗じることで推計を行った。なお、総括排出係数は業界団体実測による検出下限値（0.001g-Hg/t）に密度を乗じて求めている。算定における密度はガソリンが 0.75t/kL、軽油が 0.8 t/kL とした。

| 項目 | 消費量 (ML/yr) | 総括排出係数 (g-Hg/kL) | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|------|----------------|---------------------|-------------------|
| ガソリン | 57,497 | 0.00075 | 0.043 |
| 軽油 | 27,450 | 0.0008 | 0.022 |

(2) 水銀大気排出インベントリーの考え方

当該推計値をインベントリーに採用する。

(3) 推計の課題及びインベントリーの更新について

総括排出係数の検証が必要であるが、総括排出係数が変化したとしても大気への排出量が大きく変動することは考えにくい。

そのため、インベントリーの更新に係る追加調査の必要性は低いと考えられる。

1.12.7 火山

自然由来の水銀の大気排出量は 1.4t/年以上と見積もられている¹⁶。

¹⁶ Nakagawa, R. Mercury sources in environmental atmosphere. *Anzen-Kogaku*, 26, 70-78, 1987.

4. 水銀大気排出インベントリの更新

4.1 推計方法の改善及びデータの追加・更新

4.1.1 平成 25 年度におけるインベントリ更新結果

平成 25 年度調査における水銀大気排出インベントリの更新結果は以下のとおりであり、網掛け部分を更新した。

表 4.1.1 水銀大気排出インベントリ更新結果（平成 22 年度ベース）

| 分類 | 項目 | 大気排出量 (t/年) ¹ | 小計(t/年) | |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------|
| 条約対象 | 石炭火力発電所 | 0.83 - 1.0 | 11 - 16→ 9.5 - 14 | |
| | 石炭焚き産業用ボイラ | 0.21 | | |
| | 非鉄金属製造施設 | 0.94 | | |
| | 廃棄物焼却施設 | 一般廃棄物焼却施設 | | 1.3 - 1.9 |
| | | 産業廃棄物焼却施設 | | 0.73 - 4.1 |
| | | 下水汚泥焼却施設 ² | | 0.17 - 0.85 |
| セメント製造施設 | 6.9→5.3 | | | |
| 条約対象外 | 鉄鋼製造施設 | 一次製鉄施設 | 4.1 | 4.9 |
| | | 二次製鉄施設 | 0.62 | |
| | 石油精製施設 | 0.1 | | |
| | 原油・天然ガス生産施設 | 0.001→>0.00005 | | |
| | 石油等の燃焼 | 石油火力発電施設 | 0.01 | |
| | | LNG 火力発電所 | 0.001 | |
| | | 産業用ボイラ(石油系) | 0.003 | |
| | | 産業ボイラ (ガス系) | 0.02 | |
| | 生産プロセスに水銀または水銀化合物を使用する施設 ³ | 塩素アルカリ製造施設 | N.O. | |
| | | 塩化ビニルモノマー製造施設 | N.O. | |
| | | ポリウレタン製造施設 | N.O. | |
| | | ナトリウムメチラード製造施設 | N.O. | |
| | | アセトアルデヒド製造施設 | N.O. | |
| | 水銀添加製品製造施設 | ビニルアセテート製造施設 | N.O. | |
| | | バッテリー製造施設 ⁴ | 0 | |
| | | 水銀スイッチ製造施設 | N.E. | |
| | | 水銀リレー製造施設 | N.E. | |
| | | ランプ類製造施設 ⁵ | 0.01 | |
| | | 石鹸及び化粧品製造施設 | N.O. | |
| | | 殺虫剤及び殺生物剤(農薬)製造 | N.O. | |
| | | 水銀式血圧計製造施設 | N.E. | |
| | | 水銀式体温計製造施設 | N.E. | |
| | | 歯科用水銀アマルガム製造施設 | 0.0004 | |
| チメロサル製造施設 | N.E. | | | |
| 銀朱製造施設 | N.E. | | | |
| その他 ⁸ | 石灰製品製造 | 1.0→<0.22 | 1.5→0.7 | |
| | パルプ・製紙(黒液) | 0.23 | | |
| | カーボンブラック製造 | 0.11 | | |
| | 蛍光灯回収・破砕 | 0.000005 - 0.000006 | | |

| 分類 | 項目 | | 大気排出量 (t/年) ¹ | 小計 (t/年) |
|-----------------|----|-------------------------|-----------------------------|--|
| | | 火葬 | 0.07 | |
| | | 運輸 ⁶ | 0.07 | |
| | | 廃棄物の中間処理施設 ⁷ | N.E. | |
| | | 水銀回収施設（蛍光灯を除く） | N.E. | |
| 自然由来 | 火山 | | >1.4 | >1.4 |
| 合計 (自然由来を除く) | | | | 19 – 24→ 17 – 21 (17 – 22)→ (15 – 20) |

1N.E.は Not Estimated, N.O.は Not Occurring を意味する

2 国内法においては廃棄物焼却施設に該当しないものがあるが、廃棄物焼却施設として取り扱う

3 我が国における全ての当該施設では既に水銀は用いられていない

4 我が国においてボタン型電池のみの製造に水銀が用いられているが、製造プロセス上大気へ水銀を排出しない装置を使用しているため0とした。

5 一般蛍光灯、バックライト、HID ランプを含む

6 対象は燃料由来のガソリン及び軽油

7 廃棄物焼却処理を除く

8 過去の政府間交渉で取り上げられていないが、水銀の大気排出に蓋然性がある発生源

4.1.2 水銀大気排出インベントリの更新方法

平成24年度の水銀大気排出量の推計方法の課題³⁹を踏まえ、以下の調査を実施し、排出量推計値を更新した。

表 4.1.2 平成 25 年度調査内容

| | 排出源 | 項目 | 調査方法 |
|-------------|-----------------|------------------------|---|
| 附属書 D 対象 | 1. 石炭火力発電所 | (石炭の水銀含有量) | 電気事業連合会へのヒアリング調査 |
| | 2. セメントクリンカ生産施設 | 水銀大気排出量 | セメント協会提供データ |
| | 3. 石炭焼き産業用ボイラ | (石炭中の水銀濃度) (大気排出係数) | 業界団体へのヒアリング等調査 |
| その他 | 4. 原油・天然ガス生産施設 | 水銀大気排出量 | 国内主要企業3社へのヒアリング調査 |
| | 5. 石灰製品製造 | 石灰石の水銀含有量 | 日本石灰協会へのヒアリング調査 |
| | 6. 最終処分場（新規） | 水銀大気排出量 | 「平成 25 年度水銀廃棄物の処理実態調査委託業務」の推計結果 ⁴⁰ を反映 |

*カッコ内の項目は今年度更新されなかったもの

³⁹ ①未推計の発生源への対応（水銀のリサイクル施設、最終処分場等）、②発生源区分ごとに推計を精緻化、③一部施設からの排出量しか推計できていない発生源への対応（非鉄金属製錬施設、廃棄物焼却施設）

⁴⁰ 年間埋立廃棄物に含まれる水銀量の0.1%として推計する。

(1) 石炭火力発電所

平成 25 年度の電気事業連合会へのヒアリングでは石炭中の水銀濃度は更新されなかったため、水銀大気排出量は平成 24 年度推計値のままとする。

(2) セメントクリンカ製造施設

1) 平成 24 年度の推計結果

平成 24 年度推計では、セメント協会が平成 19 年度に行った排ガス測定結果を用いて算出した総括排出係数に 2010 年（暦年）のクリンカ生産量を乗じて、下記のとおり推計されている。

表 4.1.3 平成 24 年度推計結果（石灰製品製造からの水銀大気排出量）

| 施設の種類 | 2010CY クリンカ生産量 (千 t/yr) | 総括排出係数 (mg-Hg/t) | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|---------|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| セメントキルン | 47,800 | 144 | 6.9 |

*2007 年当時の全国 57 施設中、55 施設のデータを基に算出（データカバー率 96%）

2) セメント協会の平成 24 年度調査結果

セメント協会にて平成 24 年度に実施した水銀の大気排出に係る調査結果により、総括排出係数は表 4 のように更新された。またクリンカ生産量を 2010CY から 2010FY データとして、2010 年度の水銀大気排出量は以下のとおり更新された。

表 4.1.4 平成 25 年度推計結果（石灰製品製造からの水銀大気排出量）

| 施設の種類 | 2010FY クリンカ生産量 (千 t/yr) | 総括排出係数 (mg-Hg/t) | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|---------|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| セメントキルン | 47,279 | 112 | 5.3 |

平成 25 年度の更新結果は以下のとおり。

| 更新項目 | 平成 24 年度推計結果 | 平成 25 年度推計結果 |
|--------------|--------------|--------------|
| セメントクリンカ製造施設 | 6.9 t | 5.3 t |

(3) 石炭焚き産業用ボイラ

平成 25 年度調査を継続して実施しているところ。有効な情報はまだ得られていないため、現時点では水銀大気排出量は平成 24 年度推計値のままとする。

(4) 原油・天然ガス生産施設

平成 25 年度調査では、国内に原油・天然ガス生産施設を保有する企業 3 社に個別にヒアリング

を実施した。3社全てから回答があり、3社の排出量合計値は約50g(0.00005t)であった。

国内の原油・天然ガス生産施設からの2010年度の水銀大気排出量としては、上記のヒアリング結果を最小値として取り扱うこととする。

| 更新項目 | 平成24年度推計結果 | 平成25年度推計結果 |
|-------------|------------|--------------|
| 原油・天然ガス生産施設 | 0.001 t 未満 | 0.00005 t 以上 |

(5) 石灰製品製造

1) 平成24年度の推計結果

石灰製品製造からの水銀大気排出量は、平成24年度調査で下記のとおり推計されている。

表 4.1.5 平成24年度推計結果（石灰製品製造からの水銀大気排出量）

| 施設の種類 | 2010年度 石灰石出荷量 (千 t/yr) | 排出係数 (g-Hg/t) | 排出低減効率 | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|----------|------------------------------|------------------|--------|-------------------|
| 石灰製品製造施設 | 10,264 | 0.127 | 20.4% | 1.0 |

(推計方法詳細)

石灰用石灰石出荷量に排出係数(製品生産量当たりの石灰石出荷量に水銀含有量を乗じて算出)及び排出低減効率を乗じることで、水銀大気排出量を推計した⁴¹。なお、石灰製品は石灰石を1,000℃程度で焼成することで生産されるため、石灰石中の水銀は全て排ガス中へ移行すると仮定した。また施設には電気集塵機が導入されていると仮定し、排出低減効率を設定した。

2) 石灰石の水銀含有量について

平成24年度推計では、石灰石の水銀含有量として、1990年の国内文献値⁴²に記載のあるドロマイト(苦灰石)の水銀含有量が使用されている。

| | |
|-------|--|
| 試料 | ドロマイト。栃木県安蘇郡葛生町、吉澤石灰工業株式会社、三峯地区名木久保鉱床、中部ドロマイト層(厚さ約120mのほぼ中心の層準)より採取。 |
| 水銀含有量 | 0.048 ppm |
| 測定方法 | 中性子放射化分析法(INAA) |

平成25年度調査では日本石灰協会の会員1社に対してヒアリング調査を実施した。ヒアリング先より提供された石灰石の総水銀含有量測定試験結果は以下のとおりである。

表 4.1.6 石灰石の総水銀含有量 測定試験結果

⁴¹ 貴田ら「循環廃棄過程を含めた水銀の排出インベントリと排出削減に関する研究」に基づき、2005年インベントリ推計時と同様の方法である。

⁴² 工業技術院地質調査所(現地質調査総合センター)による「地質調査報告書」41巻(1990年発行)
<https://www.gsj.jp/publications/pub/bull-gsj/index.html>

| 分析年 | 試験結果 (検出下限値の5倍の 安全率を踏まえた値) | 検出下限値 | 試験方法 |
|-------------------|----------------------------------|-------------|-----------|
| 2007年、2010年 | 0.5 ppm 未満 | 0.1 ppm 未満 | 還元気化原子吸光法 |
| 2011年、2012年、2013年 | 0.05 ppm 未満 | 0.01 ppm 未満 | |

また、ヒアリング先より以下のコメントがあった。

- 上記測定試験結果には検出下限値の5倍の安全率がかかっており、実際の分析結果は検出下限値以下である旨、測定委託先より説明があった。
- 平成24年度推計で採用されている石灰石の水銀含有量0.048 ppmは、当社分析実績に比べると高めの印象である。石灰石の産出場所によっても含有量は異なると思われるため、国内の石灰石に含まれる水銀含有量を推計するには、分析実績が少ないのではないかと。

以上を踏まえ、石灰石の水銀含有量には「0.01 ppm 未満」を採用する。

3) 石灰製品製造からの水銀大気排出量 推計結果

2) より、石灰石の水銀含有量を「0.01ppm 未満」とした場合、排出係数は0.0265 (g-Hg/t) 未満となる。新しい排出係数を用いた推計結果は以下のとおりである。

表 4.1.7 平成25年度推計結果（石灰製品製造からの水銀大気排出量）

| 施設の種類 | 2010年度 石灰石出荷量 (千 t/yr) | 排出係数 (g-Hg/t) | 排出低減効率 | 水銀大気排出量 (t/yr) |
|----------|------------------------------|------------------|--------|-------------------|
| 石灰製品製造施設 | 10,264 | 0.0265 未満 | 20.4% | 0.22 未満 |

以上より、平成25年度の更新結果は以下のとおり。

| 更新項目 | 平成24年度推計結果 | 平成25年度推計結果 |
|--------|------------|------------|
| 石灰製品製造 | 1.0 t | 0.22 t 未満 |

揮発性有機化合物（VOC）排出抑制について

1．背景

固定発生源から排出される揮発性有機化合物（VOC）については、平成 16 年時点において、

- 浮遊粒子状物質（SPM）や光化学オキシダント（Ox）に係る大気汚染の状況が深刻であり、緊急に対処する必要があったこと、
- それらの原因物質である VOC の我が国における排出量のうち 9 割は固定発生源起源のものであったこと、
- 固定発生源からの VOC 排出については、海外（欧米各国、韓国、台湾）においても法に基づく規制が行われていたこと

を踏まえ、「包括的に排出の抑制を図ることが必要であり、かつ、緊急の課題となっている」とされていた。¹

2．検討の経緯

中環審大気環境部会は、第 9 回大気環境部会（平成 15 年 9 月）において、環境省に対し、固定発生源からの VOC の排出抑制について早急に検討を深めるよう指示。これを受けて、揮発性有機化合物（VOC）排出抑制検討会において専門的な観点からの検討がなされ、その検討結果「揮発性有機化合物（VOC）の排出抑制について」（ ）が、第 10 回大気環境部会（同年 12 月）に報告された。

この報告を踏まえ、中環審は、平成 16 年 2 月、「揮発性有機化合物（VOC）の排出抑制のあり方について」（ ）を意見具申を行った。これを踏まえた「大気汚染防止法の一部を改正する法律案」が同年の通常国会で成立した（平成 16 年法律第 56 号）。

この改正法では、VOC の排出事業者に対し、排出基準の遵守義務等を課していることから、同年 7 月 1 日、「揮発性有機化合物（VOC）の排出抑制制度の実施に当たって必要な事項について」環境大臣から中環審への諮問がなされ、同日、中環審大気環境部会の下に、VOC の排出抑制に関する専門の事項を調査する揮発性有機化合物排出抑制専門委員会と VOC の測定方法等を調査審議する揮発性有機化合物測定方法専門委員会とが設置された。

これに併せ、同月 22 日、規制対象施設、施設ごとの排出基準値、自主的取組と規制のベスト・ミックスを実現するための方策等の技術的検討を行うため、環境省環境管理局长が委嘱した専門家による揮発性有機化合物（VOC）排出抑制対策検討会が設置された。また、同検討会の下には、施設類型ごとに、事業の実態を熟知する多数の専門家の参画を得た 6 つの小委員会が設置され、審議が重ねられた。

¹ 揮発性有機化合物（VOC）排出抑制検討会「揮発性有機化合物（VOC）の排出抑制について」（平成 15 年 12 月）及び中央環境審議会「揮発性有機化合物（VOC）の排出抑制のあり方について（意見具申）」（平成 16 年 2 月）より

検討会及びその小委員会の検討結果を受けた両専門委員会は、平成 17 年 3 月、それぞれ、「揮発性有機化合物（VOC）の排出抑制制度について」（ ）及び「揮発性有機化合物（VOC）の測定方法等について」（ ）を報告した。これらを踏まえた大気環境部会での審議を経て、中環審は、平成 17 年 4 月、「揮発性有機化合物（VOC）の排出抑制制度の実施に当たっての必要な事項について」答申を行った。

これを受け、大気汚染防止法施行令及び施行規則の改正が平成 17 年 6 月までになされ、約 10 月間の周知期間の後、平成 18 年 4 月 1 日より改正法が施行されている。

一方、自主的取組に関する部分の実施方法に関しては、平成 17 年 4 月末以降、揮発性有機化合物排出抑制専門委員会において審議がなされ、平成 18 年 3 月 30 日、中環審より「揮発性有機化合物の排出抑制に係る自主的取組のあり方について」（ ）報告がなされている。

■地域・地球環境グループ(基盤研究)

大気中水銀の輸送及び沈着現象、並びに化学反応に関する研究(RS-12-15)

－大気中における金属水銀及び酸化態水銀、粒子状水銀の通年観測と濃度変動要因－

Research on chemical reactions, transport and deposition of atmospheric Hg

- Continuous observation on atmospheric concentrations of speciated Hg and factors influencing their seasonal variations -

[主任研究者]

丸本幸治(国際・総合研究部)
研究の総括、実験全般の実施

[共同研究者]

鈴木規之(国立環境研究所)
大気中水銀観測および輸送モデルの開発
柴田康行(国立環境研究所)
大気中水銀観測に関する助言
田中 茂(慶應大学)
水銀化合物の標準ガス発生装置に関する助言

る知見を得ることを目的とする。そのため、水俣市での大気・降水中の水銀のモニタリングを実施する。同時に、大陸由来水銀の長距離輸送による影響をより強く受ける九州地方北部に新たなサイトを設け、モニタリングを実施する。また、日中韓多地点同時モニタリングおよびEU主導による地球規模の観測プロジェクト Global Mercury Observation System (以下、GMOS)に協力し、データを提供する。さらに、大気中のガス状二価水銀およびガス状メチル水銀の測定データの信頼性を確保するため、これらの水銀について、実大気濃度レベルに近い低濃度標準ガス発生装置を開発する。

[区分]

基盤研究

[背景]

近年世界的に関心が高いメチル水銀の低濃度・長期曝露による人への影響およびそのリスクを評価する上で、水域における食物連鎖を介したメチル水銀の生物濃縮過程の解明が重要となっている。水域への無機水銀およびメチル水銀の供給源として大気からの湿性沈着および乾性沈着がある¹⁾。

[重点分野]

メチル水銀の環境動態に関する調査・研究

当センターでは、湿性沈着物である降水に着目して、水俣市内2地点において降水中のメチル水銀濃度の通年モニタリングを行った。その結果、降水中のメチル水銀濃度は冬季に濃度が増大することがわかった。しかしながら、冬季の濃度増大要因や湿性沈着過程については明らかでない。

[グループ]

地域・地球環境

一方、アジア大陸の東側に位置する日本では、東アジア地域において大気へ放出された水銀の長距離輸送による影響が指摘されている²⁾³⁾。水銀による越境大気汚染の影響は日本国内外において関心が高い。現在のところ、環境省によって沖縄県辺土岬にて大気中水銀の形態別モニタリングが実施されている。また、日本、中国、韓国の研究者が協力して多

[研究期間]

平成22年度－平成26年度(5ヶ年)

[キーワード]

水銀(Mercury)、大気(atmosphere)、形態別分析(Speciation)、長距離輸送(long range transport)、東アジア(East Asia)

[研究課題の概要]

本課題では、アジア大陸からの長距離輸送現象および大気中におけるメチル水銀の生成・消滅反応を含めた、大気中水銀の輸送、沈着、化学反応に関する

地点同時モニタリングを行う Mercury in East Asian Network (以下、MEAN)プロジェクトが計画されている。さらに、EU 主導による地球規模の観測プロジェクト GMOS)も進行している。

[目的]

本研究では、アジア大陸からの長距離輸送現象および大気中におけるメチル水銀の生成・消滅反応に関する知見を得ることを目的とする。そのため、アジア大陸由来物質が到達しやすい九州地方において大気・降水中水銀の形態別モニタリングを実施する。また、国際的観測網である MEAN および GMOS にも協力する。

[期待される成果]

1. 国際的な大気中水銀の広域観測網 (MEAN および GMOS) への協力による国際貢献
2. 大気中メチル水銀のモニタリング技術の確立
3. メチル水銀および無機水銀を対象とした低濃度標準ガス発生装置の実用化
4. 大気・降水中におけるメチル水銀の濃度、沈着量データの蓄積
5. 大気中メチル水銀の生成・消失に関する知見

[平成 24 年度の研究実施成果の概要]

水俣市および平戸市では 2011 年 6 月以来、大気・降水中の水銀を週単位でモニタリングしており、現在も継続している。また、降水についてはメチル水銀濃度の測定も行っている。一方、大気中水銀の形態別モニタリングを水俣市では 2011 年 2 月から月 1 回 6～7 日間の頻度で、平戸市では各季節 1 回 7～8 日の頻度で実施しており、これも現在継続中である。さらに、福岡市では Tekran 社製自動モニタリング装置を用いて 2012 年 3 月から大気中水銀の形態別モニタリングを開始している。

本報告書では、比較的まとまったデータが得られている水俣市における大気中水銀の形態別モニタリングの結果と 2012 年 3 月 7 日～20 日まで実施した九州地方の複数の観測点における大気中水銀の同時モニタリングの結果を主に報告する。

1. 水俣市における大気・降水中の水銀の通年観測

このモニタリングでは、ガス状金属水銀 (Gaseous Elemental Mercury ; 以下、GEM) を金アマルガム水銀捕集管に、ガス状酸化態水銀 (Gaseous Oxidized Mercury ; 以下、GOM) を KCl でコーティングした石英製二重管 (デニューダ捕集管) に、粒子状水銀 (Particulate Mercury ; 以下、PHg) をフィルターに採取した。なお、PHg については、サイクロンを用いて粒径 2.5 μm 以下の粒子状物質のみを捕集した。これらの捕集管やフィルターを半日もしくは 1 日毎に交換し、捕集後の捕集管やフィルターは実験室に持ち帰って、それぞれ加熱気化冷原子吸光分析法もしくは冷原子蛍光分析法にて水銀を定量した。PHg の分析については分析装置の洗浄を頻繁に行うことによりブランク値が安定するようになったため、半日毎のデータを得られるようになった。

表 1 に平成 23 年と平成 24 年における年平均値を示した。表には沖縄県辺土岬における平成 22 年度観測の平均値⁴⁾も併せて示した。また、図 1 に平成 23 年 1 月から平成 24 年 12 月までの GEM、GOM、PHg の月平均濃度の変動を示した。水俣市における年平均値は沖縄県辺土岬の平均値に比べて GOM と PHg の濃度が 3～4 倍高かった。水俣市では、GEM の平均濃度は晩冬から春季にかけてやや高い傾向がみられたが、変動幅は小さく、日中と夜間の濃度差もなかった。一方、GOM 濃度は日中に高く、夜間に低かった。季節変動をみると、春季と秋季に高く、夏季に低かった。また、PHg 濃度は冬季から春季に高く、GOM と同様に夏季に低かった。

表 1 水俣市の大気中 GEM、GOM、PHg の年平均濃度

| | GEM (ng/m ³) | GOM (pg/m ³) | PHg (pg/m ³) |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Minamata (2011) | 1.95 | 3.4 | 8.6 |
| Minamata (2012) | 1.92 | 4.1 | 7.1 |
| Cape Hedo, Okinawa (FY 2010) | 1.9 | 1.3 | 2.2 |

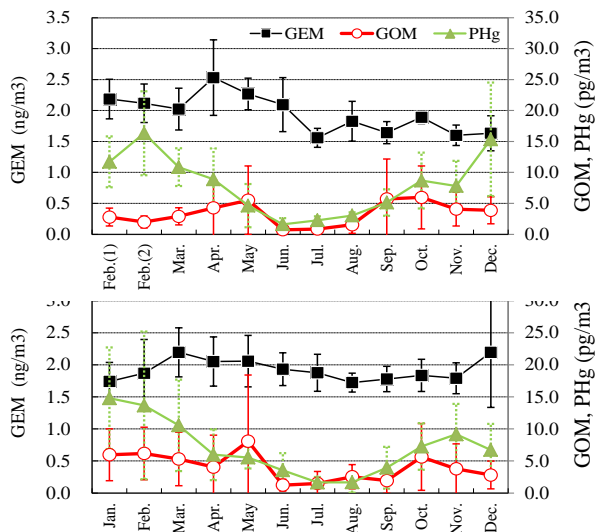


図 1 水俣市における大気中 GEM、GOM、PHg の月平均濃度 (上図: 2011 年、下図: 2012 年)

表 2 に各水銀濃度と大気汚染物質 (SO₂、NO、NO₂、Oxidants(O₃)、SPM) の濃度および気象要素との相関関係を示した。なお、相関係数は PHg の半日毎のデータが得られた 2011 年 12 月から 2012 年 12 月までのデータを用い、暖候期 (6 月～11 月) および寒候期 (12 月～翌 5 月) と分けて求めた。また、大気汚染物質濃度は環境省大気汚染物質広域監視システム (通称、そらまめ君) の水俣保健所での観測値 (速報値) を利用した。

表より、暖候期における GEM は今回検討した各要素との相関がみられず、他の要因によって濃度変動が支配されていることが考えられる。GOM は SO₂ と O₃ との有意な正の相関があった。また、日射量と正の相関もあった。しかし、相対湿度および大気中水蒸気圧とは負の相関がみられた。また、PHg は大気汚染物質濃度との相関がなく、気温や気圧、水蒸気圧といった気象要素と有意な相関があった。そのため、暖候期の PHg の濃度変動は気象要因に強く支配されていると考えられる。暖候期には GEM と GOM、PHg の間に相関はみられなかったが、GOM と PHg の間には弱い相関関係がみられた ($r = 0.40, P < 0.001, N = 74$)。GOM と PHg は降水時および曇天時に低い傾向があり、降水量の多い夏季には大気中 GOM と PHg が効率的に雨滴に取り込まれるため

表 2 GEM、GOM、PHg の濃度と他の大気汚染物質濃度および気象要素との相関係数 (上表) 暖候期、(下表) 寒候期

| | | | | Warm season (From Jun. to Nov.) | | |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| | | GEM (ng/m ³) | GOM (pg/m ³) | PHg (pg/m ³) | | |
| SO ₂ | (ppmv) | -0.14 | 0.67 | 0.21 | | |
| NO | (ppmv) | -0.02 | 0.26 | -0.04 | | |
| NO ₂ | (ppmv) | 0.28 | 0.05 | 0.18 | | |
| NOx | (ppmv) | 0.23 | 0.12 | 0.14 | | |
| Oxidants | (ppmv) | 0.19 | 0.51 | 0.29 | | |
| SPM | (mg/m ³) | 0.14 | 0.15 | 0.21 | | |
| Wind speed | (m/s) | -0.01 | 0.11 | 0.18 | | |
| Air temperature | (°C) | 0.02 | -0.16 | -0.71 | | |
| Relative Humidity | (%) | 0.14 | -0.58 | 0.38 | | |
| Solar radiation | (MJ) | -0.02 | 0.49 | -0.11 | | |
| UV-A | (W/m ²) | -0.02 | 0.42 | -0.15 | | |
| UV-B | (W/m ²) | -0.02 | 0.36 | -0.19 | | |
| Air pressure | (hPa) | -0.07 | 0.33 | 0.61 | | |
| Water vapor Pressure | (hPa) | 0.02 | -0.32 | 0.75 | | |
| | | | | Cold season (Dec. and from Jan. to May) | | |
| | | GEM (ng/m ³) | GOM (pg/m ³) | PHg (pg/m ³) | | |
| SO ₂ | (ppmv) | -0.05 | 0.45 | 0.38 | | |
| NO | (ppmv) | -0.24 | 0.06 | 0.19 | | |
| NO ₂ | (ppmv) | -0.18 | 0.03 | 0.42 | | |
| NOx | (ppmv) | -0.21 | 0.04 | 0.39 | | |
| Oxidants | (ppmv) | 0.04 | 0.57 | 0.01 | | |
| SPM | (mg/m ³) | 0.38 | 0.22 | 0.29 | | |
| Wind speed | (m/s) | -0.12 | -0.03 | 0.27 | | |
| Air temperature | (°C) | 0.33 | 0.23 | -0.33 | | |
| Relative Humidity | (%) | 0.46 | -0.45 | -0.25 | | |
| Solar radiation | (MJ) | -0.07 | 0.75 | -0.09 | | |
| UV-A | (W/m ²) | -0.07 | 0.74 | -0.11 | | |
| UV-B | (W/m ²) | -0.07 | 0.76 | -0.13 | | |
| Air pressure | (hPa) | -0.47 | 0.21 | 0.15 | | |
| Water vapor Pressure | (hPa) | 0.39 | -0.24 | 0.39 | | |

Yellow box: P < 0.01

Orange box: P < 0.001

に大気中濃度が低くなると考えられる。

一方、寒候期にも GOM は SO₂ と O₃ との有意な正の相関があり、日射量と強い正の相関があった。PHg も SO₂ と相関があったが、NO₂ と SPM とともに正の相関があ

った。また、気温と有意な負の相関があり、水蒸気圧と正の相関があるが、気象要素との関係性は弱かった。そのため、寒候期の PHg は他の大気汚染物質と同様に観測点周辺の放出源もしくはより遠方の放出源からの影響を受けて濃度が変動していると考えられる。なお、GEM、GOM、PHg 間の相関関係をみると、寒候期では GEM、GOM、PHg の間に有意な相関関係はみられなかった。PHg が高濃度(全平均濃度 $7.6 \text{ pg m}^{-3} + 2 \times \text{標準偏差 } 6.7 \text{ pg m}^{-3} = 21 \text{ pg m}^{-3}$ 以上)のときの気塊の履歴を NOAA の HYSPLIT model⁵⁾ を用いた後方流跡線解析により調べたところ、該当する 8 ケースすべてにおいて気塊が中国揚子江以北を經由して日本列島に到達していたことがわかった。そのため、PHg 濃度の変動要因の一つとしてアジア大陸で放出された物質の影響が考えられる。

2. 水俣市以外の地点における大気中の水銀等化学成分の観測

国内外における水銀放出源が大気中水銀濃度に与える影響を調べるため、2012年3月7日～21日の約2週間、水俣市、平戸市、五島市、福岡市2地点の計5地点で大気中のガス状水銀(Total Gaseous Mercury、以下 TGM)と PHg を測定した。なお、TGM は前項の GEM と GOM を合わせたものに概ね相当する。また、ここでの PHg は全粒子を対象としたものである。この観測は国立環境研究所、産業総合技術研究所、福岡大学の協力のもと実施した。表3に各地点における TGM と PHg 濃度の平均値(±標準偏差)を示した。また、図2に期間中の濃度変動を示した。TGM および PHg の濃度は共に福岡市2地点で最も高く、水俣市と平戸市が低かった。図2より、福岡市の2地点は日毎の濃度変動パターンもよく似ており、都市域の大気環境を代表していると考えられる。五島市における PHg 濃度は福岡市よりも低かったが、約 100km 東側の平戸市や水俣市の濃度に比べて約2倍高かった。観測期間中の毎日9時に各地点を起点とする気塊の履歴を後方流跡線解析で調べたところ、全期間にわたってアジア大陸からの気塊が九州地方に到達していた。五島市の観測点は市街地からも離れており、周辺に水銀の放出源は存在

しないことから、アジア大陸由来物質の影響を受けている可能性がある。

観測期間中には3月8日～9日、3月16日～18日の間に降水現象がみられ、そのときに PHg 濃度が低かった。降水時のデータを除いて TGM 濃度と PHg 濃度との相関関係を調べたところ、福岡市2地点のみで両者の間に両者の有意な相関がみられた(福岡大学: $r=0.88, P<0.01, N=8$ 、福岡東部: $r=0.79, P<0.01, N=9$)。このような相関関係は2010年12月の観測でもみられており、都市域で特徴的な現象である可能性がある。福岡市では2012年3月下旬より大気中水銀の形態別モニタリングを実施しており、今後データの解析を行って、アジア大陸由来物質と都市域の放出源の影響を評価していく予定である。

表3 各地点における TGM と PHg の平均濃度

| | Minamata (N=14) | Gotou Fukue (N=11) | Hirado (N=14) | Fukuoka Univ. (N=12) | Fukuoka East (N=13) |
|-----|--------------------|--------------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|
| TGM | 2.0 ± 0.5 | 2.4 ± 0.4 | 2.1 ± 0.4 | 2.7 ± 0.5 | 2.7 ± 0.5 |
| PHg | 10 ± 4 | 19 ± 12 | 10 ± 6 | 24 ± 4 | 24 ± 4 |

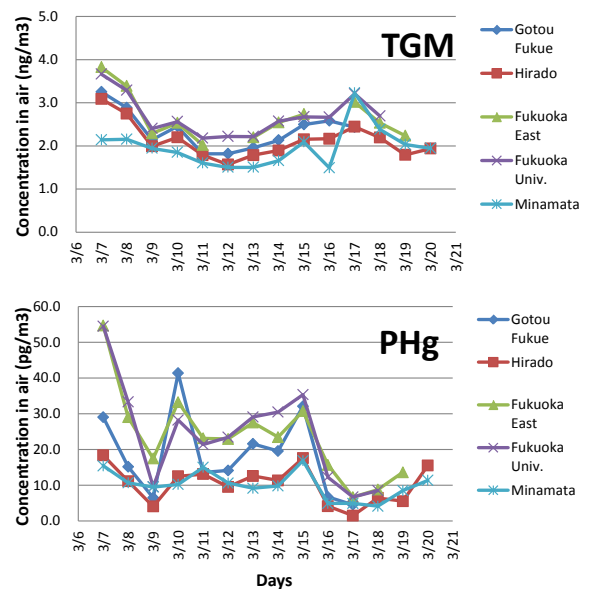


図2 九州5地点における2012年3月7日から21日までの TGM 濃度と PHg 濃度の変動

[備考]

平成24年度から科研費により「大気および大気液

相中におけるメチル水銀濃度の測定と濃度変動要因の解明」の研究を開始している。また、環境省の有害金属モニタリング検討会に委員として参加し、沖縄県辺戸岬の大気中水銀モニタリングに関して必要な助言を行っている。

[研究期間の論文発表]

なし

[研究期間の学会発表]

- 1) 丸本幸治、松山明人：水俣市における降水中メチル水銀濃度の季節変動とその要因 第51回大気環境学会年会 平成22年9月(大阪)。
- 2) Kohji Marumoto, Akito Matsuyama : Wet deposition fluxes of total mercury and methyl mercury around Minamata Bay, Japan. The 10th International conference on mercury as a global pollutant (ICMGP2011) 2011.07 (Halifax, Canada).
- 3) 丸本幸治、高見昭憲、伊礼聡、兼保直樹、長沼歩、林政彦：福岡市と水俣市における大気中水銀濃度の同時観測(2010年冬季観測結果) 第52回大気環境学会年会 平成23年9月(長崎)。
- 4) K. Marumoto: Monitoring activities by NIMD and other organization in Japan. 2012 Atmospheric Mercury Monitoring Workshop, September, 2012 (Taipei, Taiwan).
- 5) 丸本幸治、長坂洋光、服部達也：水俣市における大気中のガス状酸化態水銀および粒子状水銀の通年観測。第53回大気環境学会年会。平成24年9月(横浜)。

[文献]

- 1) Schroeder W, Munthe J (1998) Atmospheric mercury - An overview - . Atmospheric Environment 32: 809-822.
- 2) 丸本幸治, 坂田昌弘 (2007) 日本海側における水銀等化学成分の大気中濃度と湿性沈着量の季節変動. 環境科学会誌 20: 47-60.

- 3) Sakata M, Asakura K (2007) Estimating contribution of precipitation scavenging of atmospheric particulate mercury to mercury wet deposition in Japan. Atmospheric Environment 41: 1669-1680.
- 4) 環境省環境保健部 (2012) 平成22年度大気中水銀バックグラウンド濃度等のモニタリング調査結果について. 環境省報道発表資料
- 5) <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>

排ガス中の水銀の測定方法

燃焼排ガス中の水銀化合物

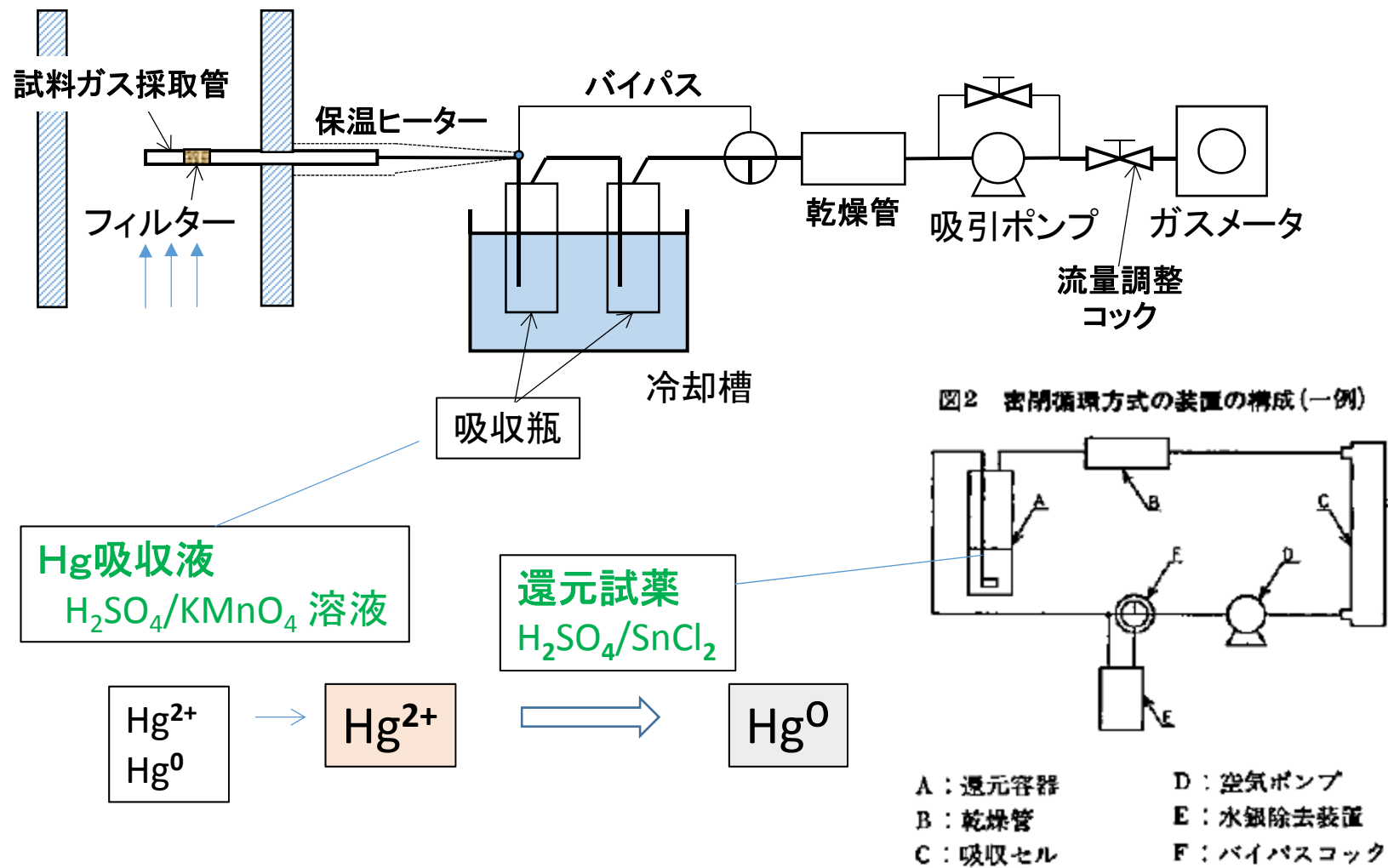
| | | |
|---|---|----------|
| Hg ⁰ (金属水銀) | } | ガス状水銀化合物 |
| Hg ²⁺ (HgCl ₂ など) | | |
| ダストに付着したHg | | 粒子状水銀 |

測定方法の規格

- ・日本 JIS K 0222(排ガス中の水銀分析方法)
- ・米国 EPA Method 29、Method 30A、30B
ASTM Method D 6784 (Ontario Hydro method)
- ・EU CEN(欧州標準化委員会)
EN 13211、EN 14884

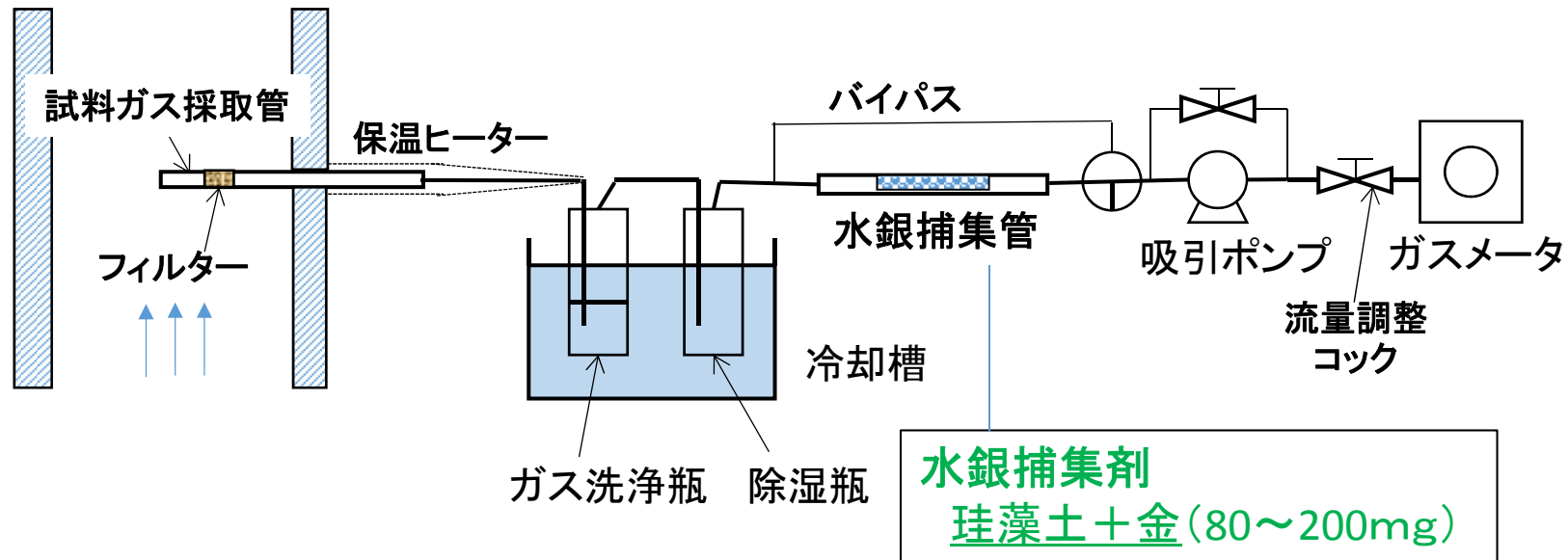
JIS K 0222 (排ガス中の水銀分析方法)

(1) 湿式吸収-還元気化原子吸光分析法

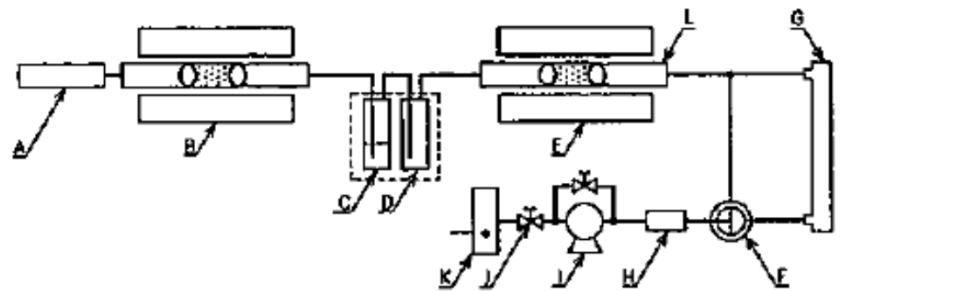


JIS K 0222 (排ガス中の水銀分析方法)

(2) 金アマルガム捕集-加熱気化原子吸光分析法



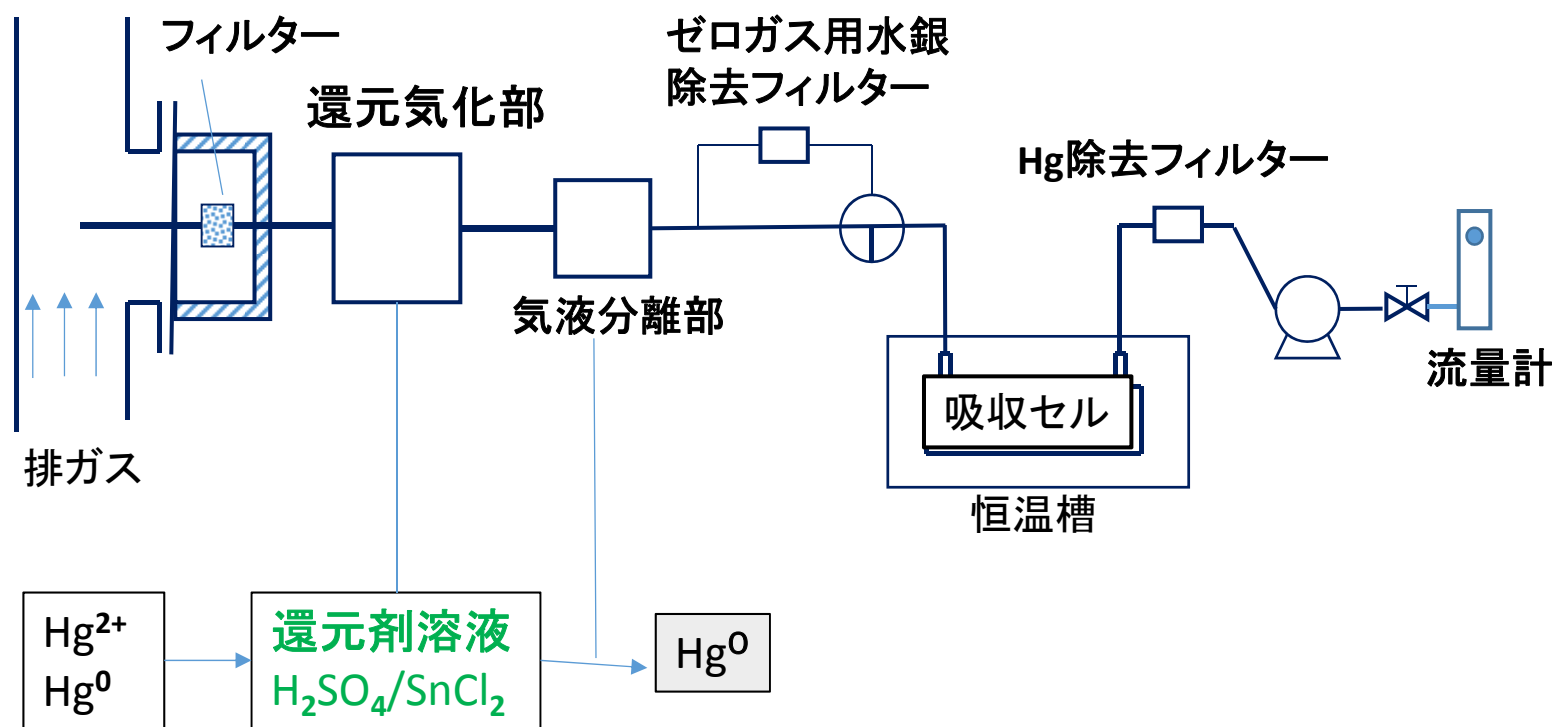
加熱気化装置の構成(一例)



- | | | | |
|---------------|-------------|-----------|------------|
| A : 水銀除去フィルター | B : 加熱気化炉 | C : ガス洗浄瓶 | D : 除湿瓶 |
| E : 水銀再捕集炉 | F : 流炉切換コック | G : 吸収セル | H : 水銀除去装置 |
| I : 吸引ポンプ | J : 流量調整コック | K : 流量計 | L : 水銀再捕集管 |

JIS K 0222 (排ガス中の水銀分析方法)

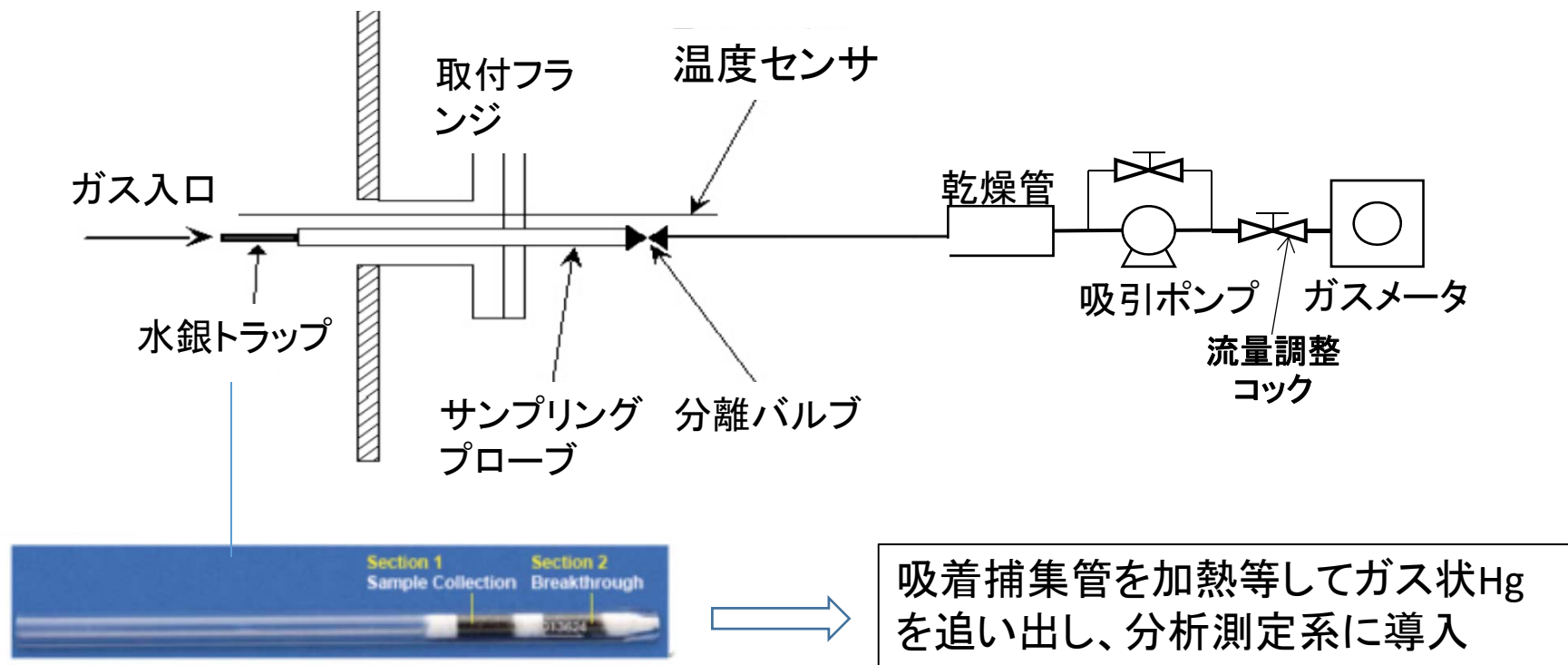
(3) 連続測定法



USEPA (米国環境保護庁)

METHOD 30B

– Determination of Total Vapor Phase Mercury Emissions from Coal-fired Combustion Sources using CARBON SORBENT TRAPS



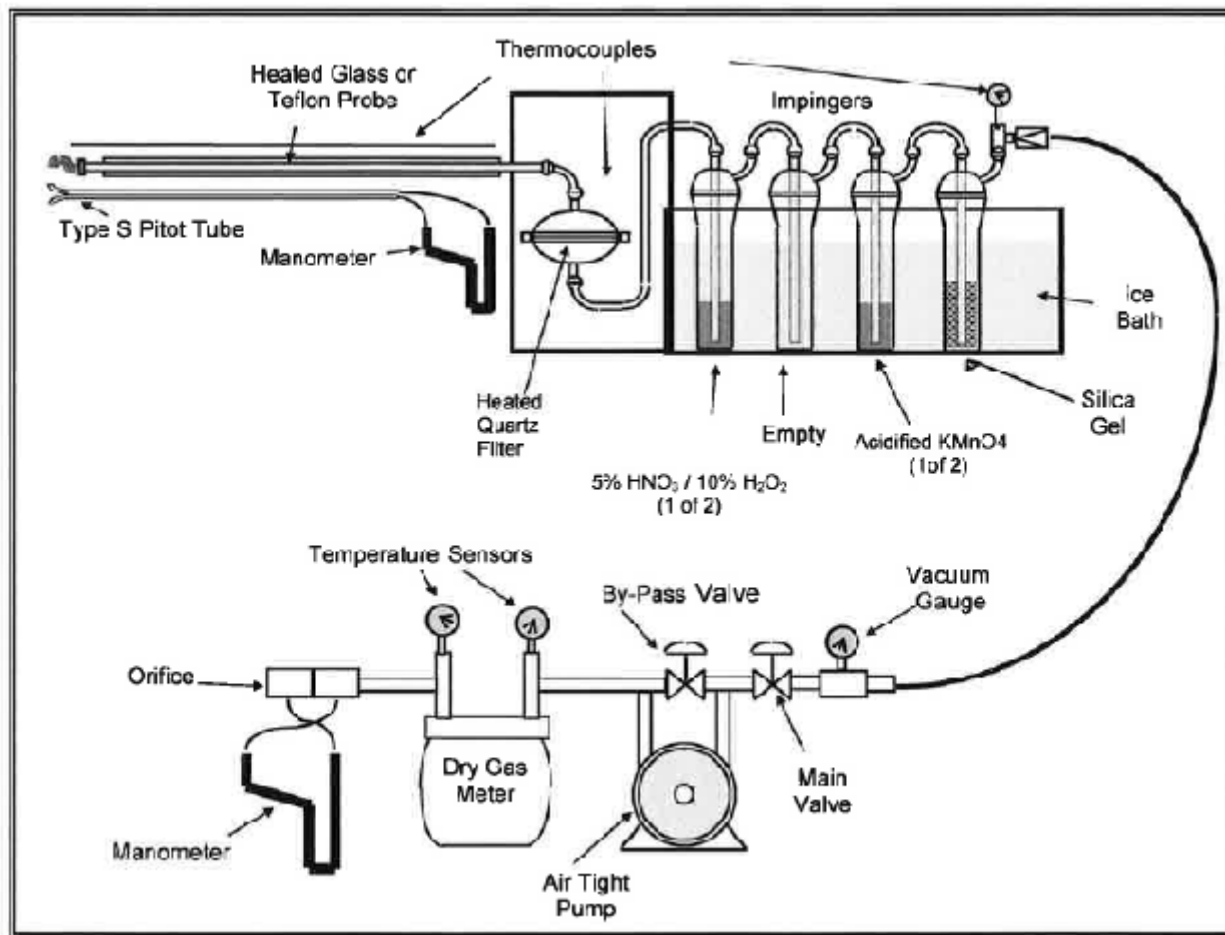
Sorbent trap (吸着捕集管)

ヨウ素、その他のハロゲンで修飾された活性炭を入れたカートリッジ

表1 湿式吸収方式によるHg測定法

| 測定規格 | 測定対象成分 | 測定範囲 | Hg吸収液 | 分析法 |
|--------------------------|---|--|--|---------|
| JIS K 0222 (1) | 全ガス状Hg (粒子状Hgも可) | 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | H ₂ SO ₄ /KMnO ₄ (吸収瓶各1本) | 還元気化AAS |
| USEPA Method 29 | 全ガス状Hg 粒子状Hg | 0.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (検出限界) | HNO ₃ /H ₂ O ₂ H ₂ SO ₄ /KMnO ₄ (吸収瓶各2本) | AASなど |
| EN 13211 | 全ガス状Hg 粒子状Hg | 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | H ₂ SO ₄ /KMnO ₄ HNO ₃ /K ₂ Cr ₂ O ₇ (吸収瓶各1本) | AASなど |
| ASTM Method D 6784 | 全水銀 Hg ⁰ 濃度 Hg ²⁺ 濃度 粒子状Hg濃度 | 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | KCl HNO ₃ /H ₂ O ₂ H ₂ SO ₄ /KMnO ₄ | CVAASなど |

USEPA Method 29の構成



ASTM Method D 6784 (Ontario Hydro Method)

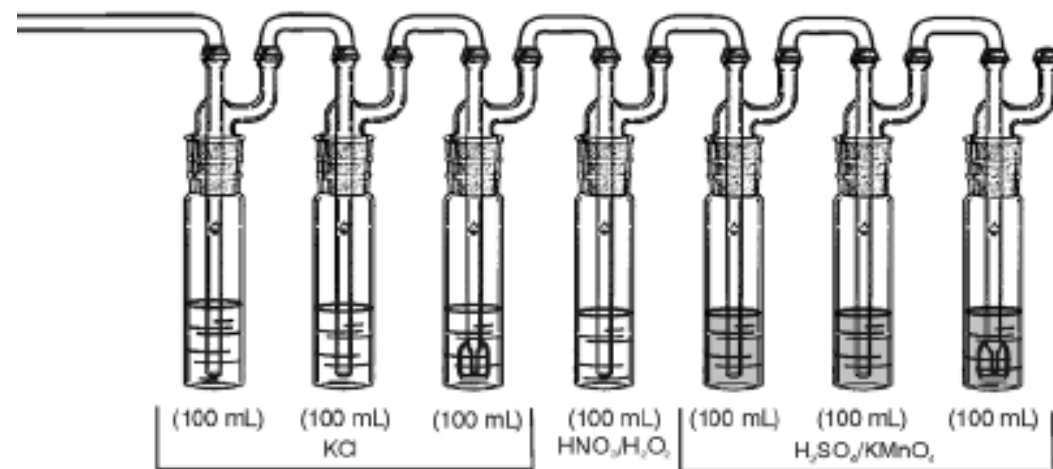


Figure 1. OH method impinger train.

吸収瓶が6つあり、KCl、HNO₃/H₂O₂、H₂SO₄/KMnO₄の3種類の吸収液を用いて、Hg²⁺、Hg⁰のそれぞれの濃度が測定される。フィルターに捕捉された粒子状Hgも別途定量される。

表2 水銀と反応/吸着する固体材料を用いるHg測定法

| 測定規格 | 測定対象成分 | 測定範囲 | 反応/吸着材 | 分析法 |
|---------------------|---|---|----------------------------------|----------------------------|
| JIS K 0222 (2) | Hg ⁰ (Hg ²⁺ も可能) | 0.1μg/m ³ ~ 100 μg/m ³ | 金アマルガム | 還元気化 AAS (1-1000 ng) |
| USEPA Method 30B | 全ガス状Hg | 0.1μg/m ³ ~ >50μg/m ³ | Carbon sorbent trap (活性炭等) | UVAAなど |

表3 水銀の連続モニタリング方法

| 規格 | 測定対象成分 | 測定範囲 | 還元吸収液 | 分析法 |
|---------------------|-----------------|---|--|-------------|
| JIS K 0222 (3) | 全ガス状Hg | 1 μ g/m ³ ~ 5 mg/m ³ | H ₂ SO ₄ /SnCl ₂ | 還元気化 AAS |
| USEPA Method 30A | 全ガス状Hg | 測定感度: 校正スパン の2%以下 | Hg変換法に 制限 なし | AASなど |
| EN 14884 | 全ガス状Hg 粒子状Hg | 30 μ g/m ³ ~ 500 μ g/m ³ | 具体的な記載はない。自動測定システム(Automated Measuring System)に求められるQA/QCについて規定。 | |

水銀測定法に関する国際的な動向と対応

ISO(国際標準機構)

TC146(大気質技術委員会)/SC1(固定発生源分科会)

2013年10月の東京での全体会合

日本から新規作業項目の候補として、排ガス中の水銀測定法の議論を提案。

主な論点

- ・CEN/TC264はWG8を設置し、水銀測定規格作成を開始。SC1とWG8の協働。
- ・米国の水銀測定法報告(EPA、ASTM)が多数あり、これらを参照すべき。
- ・SC1はグローバルに認定される水銀測定方法の確立を目標とする。

決議: SC1はCEN/TC264に公式に協働について打診。

2014年9月のSC1全体会合で日本から水銀測定法に関する調査報告。

排ガス中の水銀及びその化合物の測定法に関する国際標準化

(国際標準共同研究開発・普及基盤構築事業枠)

・本年度開始

国内外で使用されている水銀測定法の種類(原理)や規格・マニュアル、水銀モニタリング状況の調査→規格化すべき測定法の検討。規格化に必要な精度評価データの収集。各国の意見収集とSC1会合での説明/提案資料の作成。