

我が国の水銀大気排出抑制対策の実態

1. 背景

1. 1 水銀に関する水俣条約について

石炭利用などによる人為的な水銀排出が、大気や水、生物中の水銀濃度や堆積速度を高めている状況を踏まえ、地球規模での水銀対策の必要性が認識される中、「水銀及び水銀化合物の人為的な排出から人の健康及び環境を保護すること」を目的とした水銀に関する水俣条約が2017年8月に発効した。この条約において水銀の大気排出規制に関しては、主に以下の内容を定めている。

- (1) 附属書Dに掲げる発生源の分類（石炭火力発電所、産業用石炭燃焼ボイラー、非鉄金属（鉛、亜鉛、銅及び工業金）製造に用いられる製錬及びばい焼の工程、廃棄物の焼却設備、セメントクリンカーの製造設備）を対象に、水銀及び水銀化合物の大気への排出を規制し、実行可能な場合には削減する（第8条第1項）。
- (2) 締約国は、排出を規制するための措置をとるものとし、当該措置並びに期待される対象、目標及び結果を定める自国の計画を作成できる。締約国は、自国の計画を、第20条の規定に従って作成した実施計画に含めることができる（第8条第3項）。
- (3) 新規の発生源については、各締約国での条約発効後5年以内に、利用可能な最良の技術（BAT）及び環境のための最良の慣行（BEP）の利用を義務付ける（BATに適合する排出限度値の使用をもってこれらの義務を履行したとみなすこともできる。）。（第8条第4項）
- (4) 既存の発生源については、各締約国での条約発効後10年以内に、①排出規制目標、②排出限度値、③BAT及びBEP、④水銀の排出規制に相互に効果のある複数汚染物質規制戦略又は⑤代替的措置から1つ以上の措置を実施する（第8条第5項）。
- (5) できる限り速やかに、遅くとも各締約国での条約発効後5年以内に、関係する排出発生源の目録（インベントリー）を作成し、維持する（第8条第7項）。

1. 2 水銀大気排出の現状

地球全体での水銀の大気排出量は約 2,220t（2015 年）と推計され、水俣条約の大気排出規制対象となっている発生源からの排出量が約 5 割を占める。我が国の水銀の大気排出量は自然由来を除いて約 19t（2018 年度）と推計されており、そのうち約 8 割が水俣条約の大気排出規制の対象となっている。なお、鉄鋼製造施設は 3 番目に大きな排出源となっている。

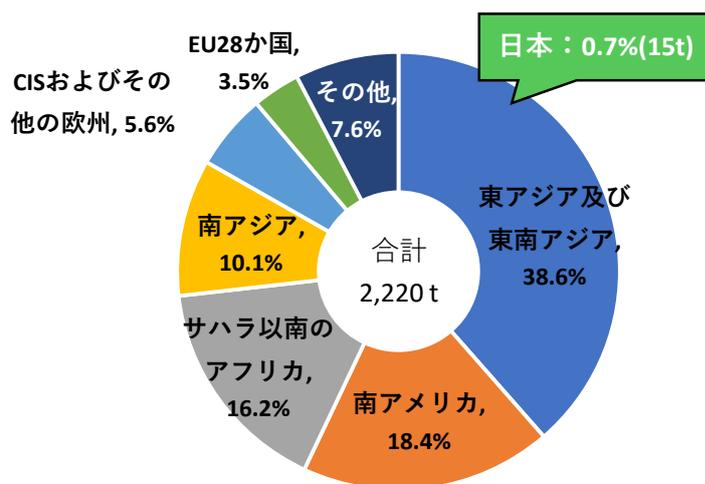


図 1 世界における大気中への水銀排出割合（2015 年，地域別）

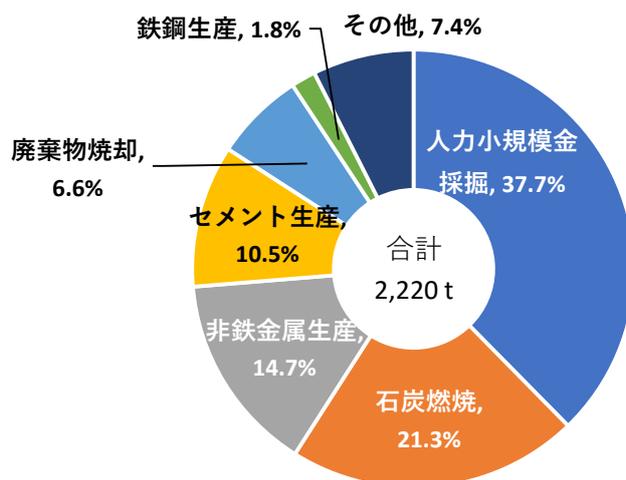


図 2 世界における大気中への水銀排出割合（2015 年，排出源別）

（出典）Global Mercury Assessment (UNEP 2018)、Technical Background Report to the Global Mercury Assessment 2018 “(UNEP, 2019)”

表 1 日本における水銀大気排出インベントリー（2018 年度対象）

分類	項目		2018FY	
条約附属書 D 対象	石炭火力発電所		1.2	
	産業用石炭燃焼ボイラー		0.21	
	非鉄金属製造施設		1.4	
	廃棄物焼却施設等	一般廃棄物焼却施設	1.5	
		産業廃棄物焼却施設	2.4	
		下水汚泥焼却施設 ²	1.5	
水銀含有再生資源及び水銀回収義務付け産業廃棄物から水銀を回収する施設（回収時に加熱工程を含む施設に限る。） ²		0.00045		
セメント製造施設		5.4		
条約附属書 D 対象外	鉄鋼製造施設	一次製鉄	焼結炉（ベレット焼成炉含む）	2.4
			その他（高炉副生ガス由来、コークス炉副生ガス由来）	0.14
		二次製鉄	製鋼用電気炉	0.51
	石油精製施設		0.11	
	石油・ガス生産施設		0.000050	
	石油等の燃焼	石油火力発電施設		0.0026
		LNG 火力発電所		0.0012
		産業用ボイラー（石油系）		0.0019
		産業用ボイラー（ガス系）		0.00077
	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		N.O.	
	水銀使用製品 廃棄物の中間 処理施設 ⁴	加熱工程を含まない施設 [うち、蛍光ランプ回収・破碎施設]		< 0.000047 [0.0000038]
		水銀回収時に加熱工程を含む施設		0.000015
	水銀使用製品 製造施設	バッテリー製造施設 ⁵		N.E.
		水銀スイッチ・リレー製造施設		< 0.0000012
		ランプ類製造施設 ⁶		0.0036
		石鹼及び化粧品製造施設 ⁷		N.O.
		殺虫剤及び殺生物剤（農薬）製造 ⁷		N.O.
		水銀血圧計製造施設 ⁸		N.E.
		水銀体温計製造施設 ⁷		N.O.
		歯科用水銀アマルガム製造施設 ⁷		N.O.
		チメロサル製造施設 ⁷		N.O.
		銀朱製造施設		0.0000046
	その他 ⁹	石灰製品製造		0.045
		パルプ・製紙（黒液）		0.041
		カーボンブラック製造		0.092
		火葬		0.073
		運輸 ¹⁰		0.059
バイオマス燃焼を用いた電力・熱供給施設		0.016		
フェロアロイ製造施設		0.21		
自然由来	火山		> 1.4	
合計※()は自然由来を除いたもの			18.6 (17.3)	

注 1：活動量等の情報収集にあたっては、原則として 2018 年度（2018 年 4 月～2019 年 3 月）のデータを使用している。

注 2：発生源別の大気排出量については有効数字 2 桁で表記し、合計値については小数点第 1 位まで表記した。

1 N.E.は Not Estimated(排出源の有無が不明又は排出源は存在するものの未推計)、N.O.は Not Occurring(排出源が存在しない、又は排出源は存在するものの、製造プロセスや製造施設の構造上水銀の大気への排出がない)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（次の 6 種類の施設）では既に水銀は用いられていない（平成 24（2012）年度に確認された。）。
- 塩素アルカリ製造施設、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ド製造施設、アセトアルデヒド製造施設、ビニルアセテート製造施設 -

4 廃棄物の中間処理施設から、条約附属書 D 対象施設を除く。

5 我が国ではボタン型電池のみ製造に水銀が用いられており、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とされているが、詳細な製造フローについては把握できていないため N.E.とした。

6 一般蛍光ランプ、バックライト、HID ランプを含む。

7 石鹼及び化粧品製造施設、殺虫剤及び殺生物剤（農薬）製造については平成 24（2012）年度に、水銀体温計製造施設、歯科用水銀アマルガム製造施設については平成 25（2013）年度に、チメロサル製造施設については平成 28（2016）年度に、排出源がないことが確認された。

8 施設の構造上、排出口からの水銀濃度測定が困難であり、排出量の推計が不可能であることが平成 28（2016）年度に確認された。

9 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

10 対象はガソリン及び軽油の燃料消費（営業用）。

1. 3 大気汚染防止法の改正・施行等の経緯

水銀に関する水俣条約の的確かつ円滑な実施を確保するため、中央環境審議会の答申を踏まえて大気汚染防止法が改正され、2018年4月1日に施行された。

従来の大気汚染防止法の目的は、「大気の汚染に関し、国民の健康を保護するとともに生活環境を保全する」ことであったが、環境中を循環する水銀の総量を地球規模で削減するという水俣条約の趣旨に沿って、水銀等の大気排出量をできる限り抑制することを目的として、「水銀に関する水俣条約の的確かつ円滑な実施を確保するため工場及び事業場における事業活動に伴う水銀等の排出を規制」することが追加された。このため、排出基準の性格や測定値の評価等については、大気汚染防止法における従来の大気汚染物質の規制の在り方とは異なった取扱いとなっている。

表 2 大気汚染防止法の改正・施行等の経緯

時期	内容
平成 25 年 10 月	水銀に関する水俣条約を採択（熊本市・水俣市で開催された外交会議）
平成 26 年 3 月	「水銀に関する水俣条約を踏まえた今後の水銀対策について」諮問
平成 27 年 1 月	「水銀に関する水俣条約を踏まえた今後の水銀対策について」答申
6 月	大気汚染防止法を改正（水銀排出施設の届出、排出基準の遵守等）
11 月	大気汚染防止施行令を改正（水俣条約の対象施設を水銀排出施設に指定）
12 月	水銀に関する水俣条約を踏まえた水銀大気排出対策の実施について」諮問
平成 28 年 2 月	日本が水俣条約を締結
6 月	「水銀に関する水俣条約を踏まえた水銀大気排出対策の実施について」第一次答申（水銀排出施設の種類及び規模ごとの具体的な排出基準値について）
9 月	大気汚染防止法施行令・施行規則を改正（排出基準の規定等） 排出ガス中の水銀測定法（告示）を制定・公布
11～12 月	水銀大気排出規制の実施に向けた説明会（全国 8 箇所で開催）
平成 29 年 5 月	「水銀に関する水俣条約を踏まえた水銀大気排出対策の実施について」第二次答申（要排出抑制施設の自主的取組のフォローアップのあり方について）
8 月	水俣条約が発効
平成 30 年 4 月	改正大気汚染防止法施行

2. 大気汚染防止法における規制内容

2. 1 改正大気汚染防止法における関係主体の義務・役割

大気汚染防止法では、関係主体に以下の義務・役割を課している。

① 水銀排出施設

水銀排出施設の設置の届出

水銀排出施設（石炭火力発電所、産業用石炭燃焼ボイラー、非鉄金属製造施設、廃棄物焼却設備、セメントクリンカー製造施設）の設置・構造等を変更しようとする場合、都道府県知事等に事前の届出が必要

※施行時点で現に施設を設置している者は、施行日から 30 日以内の届出

排出基準の遵守

水銀排出施設に係る排出基準の遵守

水銀濃度の測定

当該水銀排出施設に係る水銀濃度の測定、記録、保存

② 要排出抑制施設の設置者

水銀等の排出量が相当程度多い施設で、排出を抑制することが適当である要排出抑制施設（製鉄の用に供する焼結炉（ペレット焼成炉を含む。）と製鋼の用に供する電気炉）の設置者は、排出抑制のための自主的取組として、単独又は共同で、自ら遵守すべき基準の作成、水銀濃度の測定・記録・保存等を行うとともに、その実施状況及び評価を公表しなければならない。

③ 地方公共団体

都道府県知事・大気汚染防止法政令市長は、水銀排出施設の設置・構造等の変更の届出受理日から 60 日以内に限り、計画変更又は設置計画廃止の命令ができる。また、排出基準に適合しない水銀等を継続的に排出する者に対する改善勧告及び勧告に従わない場合の改善命令ができる。事業者に対し、水銀の大気排出抑制に必要な措置を講ずることを促進するための情報提供に努めるとともに、住民に対し、水銀の大気排出抑制に関する知識の普及を図るよう努めなければならない。

④ 国

我が国における水銀の大気排出状況を把握し、その結果を公表すること、水銀の大気排出抑制のための技術情報を収集整理し、その成果の普及を図るなど、水銀の大気排出抑制施策の実施に努めなければならない。

2. 2 水銀排出施設の種類及び排出基準適合の確認方法

(1) 水銀排出施設の種類及び排出基準

規制対象となる水銀排出施設及び排出基準は以下のとおり。

表 3 規制対象となる施設（水銀排出施設）

水俣条約の 附属書D	大気汚染防止法の 水銀排出施設		施設の規模・要件 (以下のいずれかに該当するもの)	排出基準 ^(注1) ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
				新規 施設	既存 施設 ^(注2)
石炭火力発電所 産業用石炭燃焼 ボイラー	石炭専焼ボイラー 大型石炭混焼ボイラー		●伝熱面積が 10m^2 以上 ●バーナーの燃料の燃焼能力 ^(注3) が重油 換算一時間当たり 50L 以上のもの。	8	10
	小型石炭混焼ボイラー ^(注4)			10	15
非鉄金属（銅、 鉛、亜鉛及び工 業金）製造に用 いられる精錬及 び焙焼の工程	一次 施設	銅又は工業金	金属の精錬の用に供する焙焼炉、焼結炉 (ペレット焼成炉を含む。)及び煅焼炉/ 金属の精錬の用に供する溶鋳炉（溶鋳用反 射炉を含む。）、転炉及び平炉： ●原料処理能力 $1\text{t}/\text{時}$ 以上 金属の精製の用に供する溶解炉 (こしき炉を除く。)： ●火格子面積 1m^2 以上 ●羽口面断面積 0.5m^2 以上 ●燃焼能力 ^(注3) $50\text{L}/\text{時}$ 以上 ●変圧器定格容量 200kVA 以上 銅、鉛又は亜鉛の精錬の用に供する焙焼 炉、焼結炉（ペレット焼成炉を含む。）、 溶鋳炉（溶鋳用反射炉を含む。）、転炉、 溶解炉及び乾燥炉： ●原料処理能力 $0.5\text{t}/\text{時}$ 以上 ●火格子面積 0.5m^2 以上 ●羽口面断面積 0.2m^2 以上 ●燃焼能力 ^(注3) $20\text{L}/\text{時}$ 以上 鉛の二次精錬の用に供する溶解炉： ●燃焼能力 ^(注3) $10\text{L}/\text{時}$ 以上 ●変圧器定格容量 40kVA 以上 亜鉛の回収の用に供する焙焼炉、焼結炉、 溶鋳炉、溶解炉及び乾燥炉： ●原料処理能力 $0.5\text{t}/\text{時}$ 以上	15	30
		鉛又は亜鉛		30	50
	二次 施設	銅、鉛又は亜鉛		100	400
		工業金		30	50
廃棄物の焼却設 備	廃棄物焼却炉 (一般廃棄物/産業廃棄物 /下水汚泥焼却炉)		●火格子面積 2m^2 以上 ●焼却能力 $200\text{kg}/\text{時}$ 以上	30	50
	水銀含有汚泥等の焼却炉 等		水銀回収義務付け産業廃棄物 ^(注5) 又は 水銀含有再生資源 ^(注6) を取り扱う施設	50	100

水俣条約の 附属書D	大気汚染防止法の 水銀排出施設	施設の規模・要件 (以下のいずれかに該当するもの)	排出基準 ^(注1) ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
			新規 施設	既存 施設 ^(注2)
		(加熱工程を含む施設に限る。) (施設規模による裾切りはなし。)		
セメントクリン カーの製造設備	窯業製品の製造の用に供 する焼成炉	火格子面積が 1m^2 以上であるか、バーナー の燃料の燃焼能力が重油換算一時間当たり 50L 以上であるか、又は変圧器の定格容量 が 200kVA 以上であるもの。	50	80 ^(注7)

(注1) 既存施設であっても、水銀排出量の増加を伴う大幅な改修(施設規模が5割以上増加する構造変更)をした場合は、新規施設の排出基準が適用。

(注2) 施行日において現に設置されている施設(設置の工事が着手されているものを含む。)

(注3) バーナーの燃料の燃焼能力を重油換算で表したもの

(注4) バーナーの燃焼の燃焼能力が重油換算 10 万 L/時未満のもの

(注5) 水銀回収義務付け産業廃棄物は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令で規定されている。

(注6) 水銀含有再生資源は、水銀による環境の汚染の防止に関する法律で規定されている。

(注7) 原料とする石灰石 1kg 中の水銀含有量が 0.05mg 以上であるものについては、 $140\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 。

(2) 排出基準適合の確認方法

① 測定対象・方式

全水銀(ガス状水銀及び粒子状水銀)を対象として、バッチ測定で行う。

② 試料採取・分析方法

○ガス状水銀(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)を基本とし、排出ガス吸引量を 100L 程度に、 SO_2 濃度の高い排出ガスや有機物の多い排出ガスは、硝酸(5%)過酸化水素水(10%)混合溶液等による洗浄に変更。

○粒子状水銀(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)

JIS Z 8808(排ガス中のダスト濃度の測定方法)に準拠して、1,000L 程度以上採取。

③ 測定頻度

○排出ガス量が $4\text{万 Nm}^3/\text{時}$ 以上の施設: 4 か月を超えない作業期間ごとに 1 回以上

○排出ガス量が $4\text{万 Nm}^3/\text{時}$ 未満の施設: 6 か月を超えない作業期間ごとに 1 回以上

○専ら銅、鉛、亜鉛の硫化鉱を原料とする乾燥炉、専ら廃鉛蓄電池又は廃はんだを原料とする溶解炉: 年 1 回以上

④ 測定結果の確認方法

平常時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。

<排出基準を上回る濃度が検出された場合>

水銀排出施設の稼働条件を一定に保った上で、速やかに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回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。

※再測定は、初回の測定結果が排出基準の1.5倍を超過していたときは、初回測定結果が得られた後から30日以内、それ以外の場合は60日以内実施。

※測定結果は全て記録・保管（再測定を実施した場合は、最大値及び最小値も含む。）。

※再測定後の評価でも排出基準値を上回る場合は、関係自治体に連絡するとともに、原因究明を行い、再発防止措置をとる。

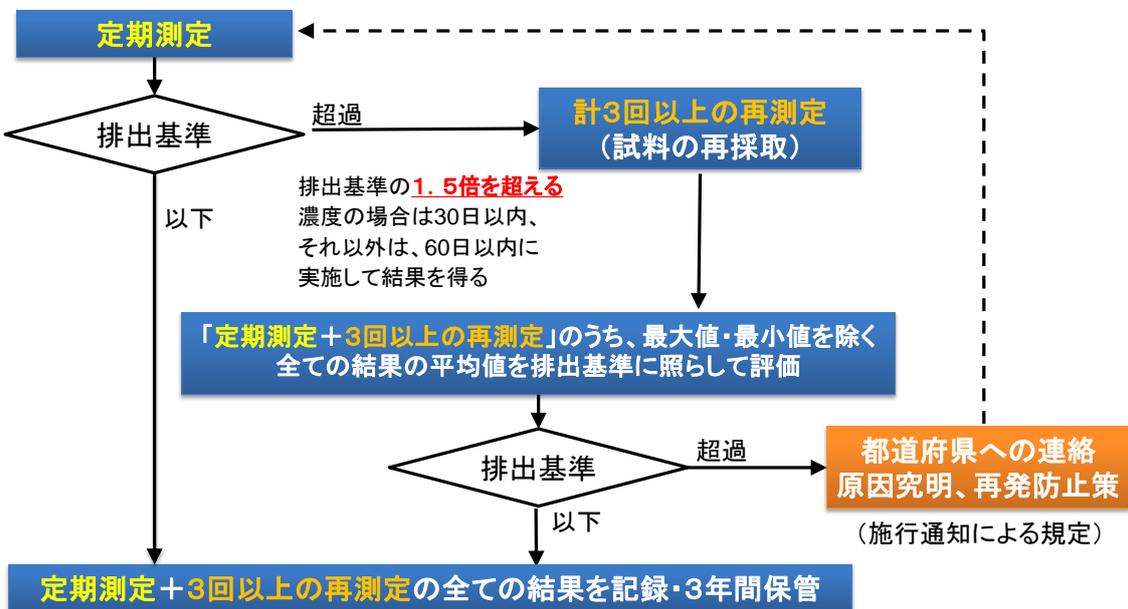


図 3 定期測定の結果が排出基準を超過した場合のフロー図

2. 3 排出基準設定の考え方

第一次答申では、排出基準の検討に当たっては、以下の点を考慮して設定されている。

- 原料・燃料等の水銀含有量及びその変動並びに水銀濃度及びその変動の程度
- BAT/BEP ガイダンス案における BAT に適合する水銀濃度と比較した排出状況
- 諸外国の排出基準と比較した排出状況

なお、BAT/BEP ガイダンス案等を参考に BAT と想定した一定の排ガス処理技術は以下のとおりである。

表 4 第一次答申における水銀排出施設種類別の BAT に関する記載事項

発生源	第一次答申における BAT に関する記載事項		
石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラー	新規施設に対する BAT	脱硝設備、除じん設備及び脱硫設備	
	既存施設に対する BAT	「脱硝設備、除じん設備及び脱硫設備」以外の排ガス処理設備	
非鉄金属製造施設（一次施設）	新規施設及び既存施設に対する BAT（現在の一般的な原料を使用する場合）	排ガス洗浄設備及び硫酸製造設備	
	新規施設及び既存施設に対する BAT（高い水銀含有物を原料とする場合）	排ガス洗浄設備及び硫酸製造設備並びに Boliden-Norzink プロセス等	
非鉄金属製造施設（二次施設）	新規施設、既存施設に対する BAT（水銀含有量が多い鉍滓を主な原料とする場合）	除じん設備及び高度な排ガス洗浄設備等	
	新規施設に対する BAT	除じん設備及び排ガス洗浄設備	
	既存施設に対する BAT	除じん設備又は排ガス洗浄設備	
廃棄物焼却炉（一般廃棄物焼却施設／産業廃棄物焼却施設／下水汚泥焼却施設）	水銀回収義務付け産業廃棄物や水銀含有再生資源を取り扱う場合	新規施設に対する BAT	バグフィルター、スクラバー（キレート剤添加）及び高度な活性炭処理等
		既存施設に対する BAT	バグフィルター、スクラバー（キレート剤添加）及び活性炭処理等
	上記以外の場合	新規施設に対する BAT	バグフィルター及び活性炭処理又はスクラバー及び活性炭処理
		既存施設に対する BAT	バグフィルター又はスクラバー
セメントクリンカー製造施設	新規施設に対する BAT	BAT/BEP ガイダンスにおいて水銀の排出抑制に有効とされる複数の技術*	
	既存施設に対する BAT	・水銀含有量が少ない原料・燃料等を選択すること。（主原料である石灰石の採掘場所の近傍に立地しており、石灰石の水銀含有量が低い原料に変更することが困難な場合であっても、可能な限り水銀含有量が低いものを選択すること）	

- * 水銀含有量の低い原料を選択する方法、排ガス処理設備により捕集したダスト（「セメントキルンダスト」という。水銀が含まれる。）を製品であるセメントに添加する方法（「ダストシャトリング」という。）、ばいじん排出抑制対策による方法、相乗便益としての排ガス処理対策（脱硫設備又は脱硝設備）による方法が BAT として紹介されている。

3. 水銀排出施設からの水銀の大気排出状況

3. 1 水銀排出施設の設置状況

大気汚染防止法では、設置者に対し測定結果の報告義務を課していないため、地方自治体が任意で情報提供を受けた結果を環境省が収集・集約し、公表¹している。

(1) 水銀排出施設数、設置事業所数

全国の水銀排出施設数は 4,419 施設であり、水銀排出施設を設置している事業所数は 2,723 事業所である。

表 5 水銀排出施設数、設置事業所数（令和 2 年 3 月末時点）

	水銀排出施設数	水銀排出施設を設置している事業所数
届出全施設	4,419	2,723
稼働中の施設	3,923	2,269

(2) 水銀排出施設種類別の施設数及び割合

最も多い施設は一般廃棄物焼却施設で 2,248 施設あり、全体の 57%を占める。2 番目に多い施設は産業廃棄物焼却施設で 987 施設あり、全体の 25%を占める。

表 6 水銀排出施設種類別の施設数及び割合（令和 2 年 3 月末時点）

水銀排出施設			施設数	割合
大防法上の区分	内訳			
1 小型石炭混焼ボイラー	石炭火力発電所		65	1.7%
	産業用石炭燃焼ボイラー		32	0.8%
2 石炭燃焼ボイラー (上記以外)	石炭専焼ボイラー	石炭火力発電所	91	2.3%
		産業用石炭燃焼ボイラー	18	0.5%
	大型石炭混焼ボイラー	石炭火力発電所	3	0.08%
		産業用石炭燃焼ボイラー	1	0.03%
3 非鉄金属製造* 一次施設(銅、工業金)	銅	27	0.7%	
	工業金	0	0%	
4 非鉄金属製造* 一次施設(鉛、亜鉛)	鉛	1	0.03%	
	亜鉛	7	0.2%	
5 非鉄金属製造* 二次施設(銅、鉛、亜鉛)	銅	21	0.5%	
	鉛	57	1.5%	
	亜鉛	36	0.9%	
6 非鉄金属製造* 二次施設(工業金)	工業金	0	0.00%	
7 セメントの製造の用に供する焼成炉		53	1.4%	
8 廃棄物焼却施設	一般廃棄物	2,248	57%	
	産業廃棄物	987	25%	
	下水汚泥	270	6.9%	
9 水銀回収施設		6	0.2%	
合計			3,923	

¹ 環境省 HP（水銀大気排出対策）<https://www.env.go.jp/air/air/suigin/jyoukyou%20.pdf>

(3) 水俣条約における施設分類別に見た施設数及び割合

水俣条約における施設分類別に見ると、廃棄物の焼却設備が最も多く、全体の約 90% を占める。

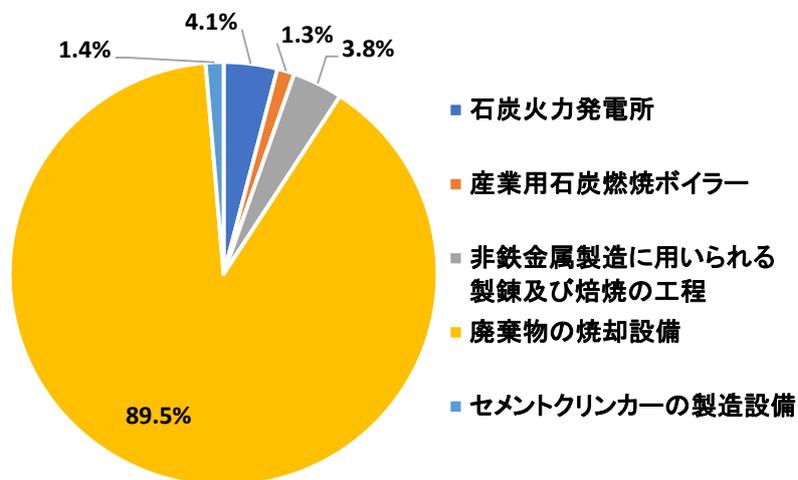


図 4 水俣条約における施設分類別に見た設置割合（令和 2 年 3 月末時点）

表 7 水俣条約における施設分類別に見た施設数及び割合（令和 2 年 3 月末時点）

施設分類	施設数	割合
石炭火力発電所	159	4.1%
産業用石炭燃焼ボイラー	51	1.3%
非鉄金属製造に用いられる製錬及び焙焼の工程	149	3.8%
廃棄物の焼却設備	3,511	89.5%
セメントクリンカーの製造設備	53	1.4%
合計	3,923	

3. 2 水銀排出施設別の水銀排出状況

水銀排出施設ごとの排ガス中水銀の測定結果と届出情報を活用し、発生源種類ごとにBATを想定した上で、排ガス処理技術別の排ガス中水銀濃度の比較を行った。BATについては、第一次答申で想定したBAT(表4)を参考に、次の技術をBATと想定していた。

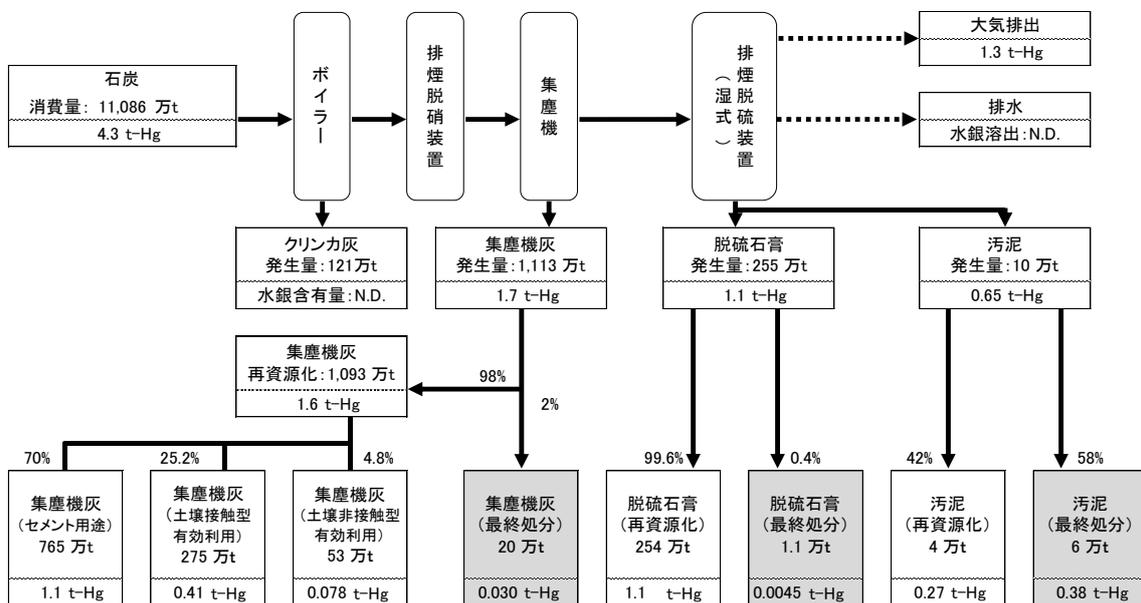
なお、以降の発生源別の水銀フロー、実態調査結果を用いた解析、及び表1に示す水銀大気排出インベントリーについては、集計・算出に用いたデータの測定年度がそれぞれ異なるため、大気排出量等が相互に対応していないことについて留意が必要である。

表8 水銀排出施設種類別のBATと想定した排ガス処理技術

発生源	第一次答申におけるBATとの関係	解析における処理技術の区分
石炭火力発電所 ／産業用石炭燃 焼ボイラー	①新設BAT相当	脱硝+集じん機(バグフィルター/その他)+脱硫
	②既設BAT相当	集じん機(バグフィルター/その他)+脱硫
		集じん機単独(バグフィルター/その他*)
③その他技術	上記以外	
非鉄金属製造施 設(一次施設)	①新設/②既設BAT相当	集じん機+硫酸製造施設
	③その他技術	集じん機+脱硫装置
		集じん機単独
③その他技術	上記以外	
非鉄金属製造施 設(二次施設)	①新設BAT相当	集じん機+排ガス洗浄
	②既設BAT相当	集じん機単独
	③その他技術	排ガス処理装置なし
上記以外		
一般廃棄物焼却 施設/産業廃棄 物焼却施設/下 水汚泥焼却施設	①新設BAT相当	バグフィルター+活性炭
		湿式の排ガス処理(スクラバー、電気集じん機)+活性炭
	②既設BAT相当	バグフィルター
湿式の排ガス処理(スクラバー、電気集じん機)		
③その他技術	上記以外(サイクロン、電気集じん機(乾式)等)	
セメントクリン カー製造施設	③その他技術	バグフィルター+電気集じん機
		バグフィルター
		電気集じん機

(1) 石炭火力発電所

① 水銀フロー



(出典) 環境省, 水銀に関するマテリアルフロー (2016 年度ベース), 2020 年 3 月

フロー: 電気事業連合会に対するヒアリング調査結果をもとに作成

フロー内数値: 電気事業連合会に対する平成 30 年度ヒアリング調査結果を基に、資源エネルギー庁電力調査統計のデータを用いて拡大推計

図 5 石炭火力発電所の水銀フロー (2016FY)

② 実態調査結果（令和元年度実績）を用いた解析

- バグフィルターを設置している施設では、集じん機単独よりも、第一次答申の新規・既存施設BATに相当する脱硫や脱硝との組み合わせの方が全水銀濃度は低かった。
- なお、バグフィルターを設置している施設の全水銀濃度がその他の集じん機を設置している施設よりも低い傾向が見られた。

表 9 排ガス処理装置別全水銀濃度（石炭火力発電所）

排出ガス処理施設の種類		施設数	排ガス中全水銀濃度（ $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）				
			中央値	最大値	最小値	算術 平均値	幾何 平均値
①集じん機＋ 脱硫＋脱硝	BF	4	0.17	0.20	0.13	0.17	0.17
	その他	37	0.53	3.0	0.023	0.81	0.53
②集じん機＋ 脱硫	BF	13	0.13	1.0	0.022	0.37	0.18
	その他	47	0.97	3.6	0.034	1.0	0.63
②集じん機単 独	BF	25	0.24	7.9	0.054	1.1	0.33
	その他	29	0.60	4.3	0.15	1.1	0.67
集じん機なし		1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
全体		156	0.54	7.9	0.022	0.92	0.48

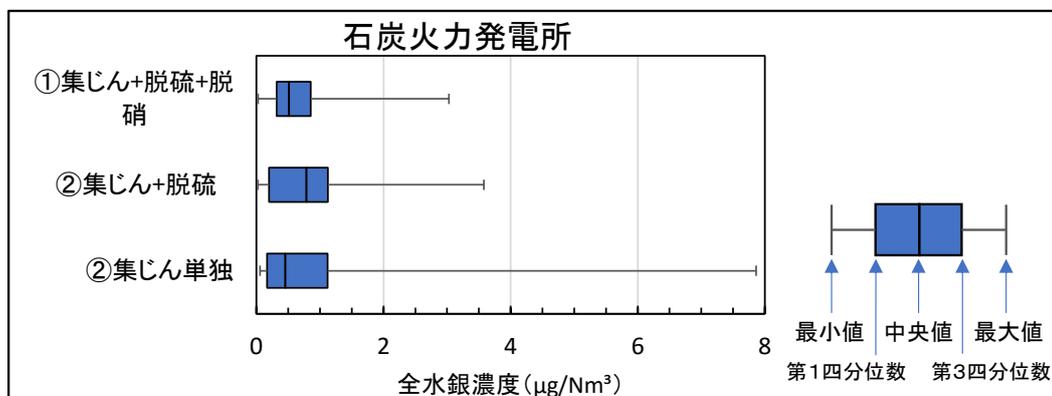


図 6 排ガス処理装置別の濃度分布（石炭火力発電所）

（参考）大気汚染防止法における排出基準

	排出基準（ $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）	
	新設	既設
小型石炭混焼ボイラー	10	15
石炭専焼ボイラー	8	10
大型石炭混焼ボイラー		

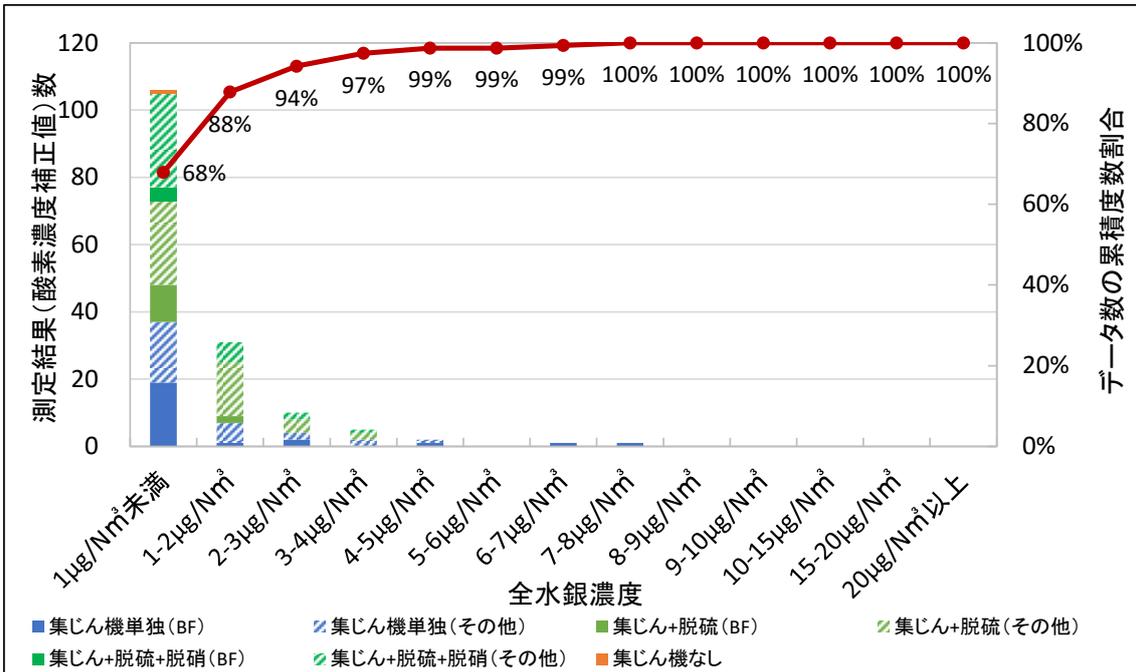


図 7 排ガス処理装置別の濃度分布 (石炭火力発電所)

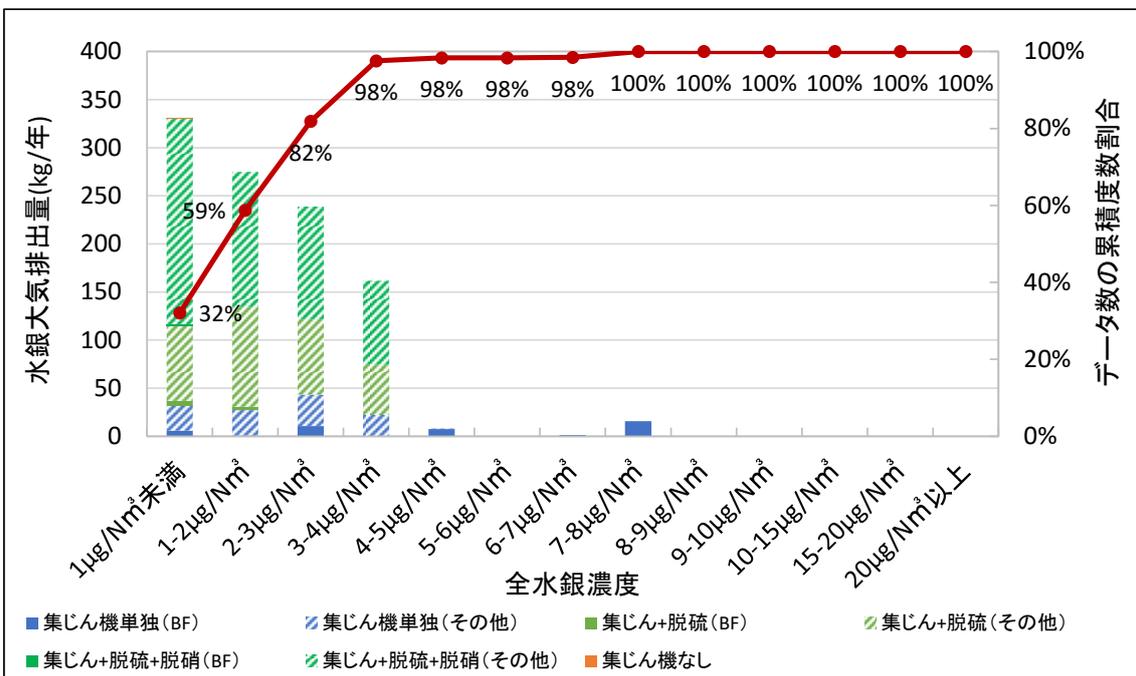
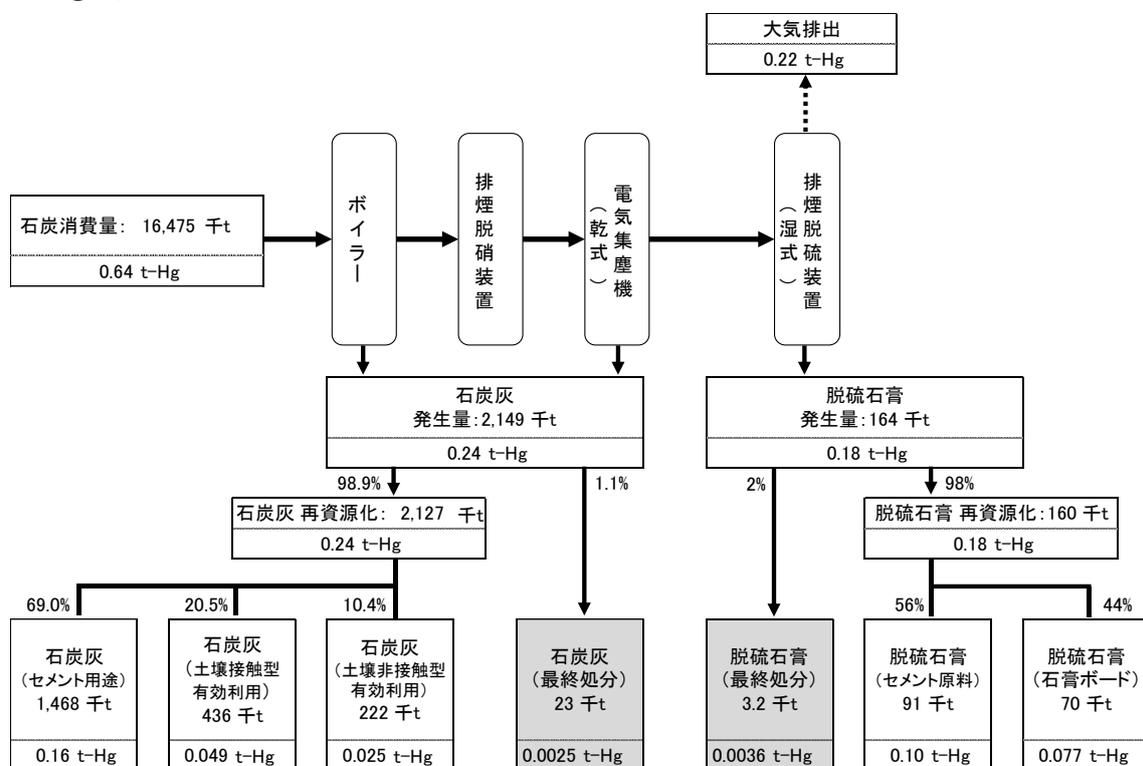


図 8 排ガス処理装置別の排出量分布 (石炭火力発電所)

(2) 産業用石炭燃焼ボイラー

① 水銀フロー



(出典) 環境省, 水銀に関するマテリアルフロー (2016 年度ベース), 2020 年 3 月

フロー: 日本ボイラー協会に対するヒアリング調査結果をもとに作成

フロー内数値: 「水銀大気排出インベントリー (2016 年度対象)」の推計結果、及び「石炭灰全国実態調査報告書 (平成 28 年度実績)」(平成 30 年 2 月、石炭エネルギーセンター) を用いて数値を更新

図 9 産業用石炭燃焼ボイラーの水銀フロー (2016FY)

② 実態調査結果（令和元年度実績）を用いた解析

- 産業用石炭燃焼ボイラーは、全ての施設で $4\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 未満の値となっており、他の発生源と比較すると、全体的に全水銀濃度には低い傾向が見られた。
- バグフィルターを設置している施設の全水銀濃度がその他の集じん機を設置している施設よりも低い傾向が見られた。

表 10 排ガス処理装置別全水銀濃度（産業用石炭燃焼ボイラー）

排出ガス処理施設の 種類		施設数	排ガス中全水銀濃度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)				
			中央値	最大値	最小値	算術 平均値	幾何 平均値
① 集じん機 + 脱硫 + 脱硝	BF	1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	その他	3	0.77	1.5	0.50	0.93	0.84
② 集じん機 + 脱硫	BF	12	0.17	3.7	0.038	0.53	0.21
	その他	6	1.0	2.2	0.78	1.3	1.2
② 集じん機単独	BF	19	0.31	2.1	0.010	0.53	0.23
	その他	10	0.84	1.6	0.20	0.76	0.65
全体		51	3.7	0.010	0.010	0.68	0.36

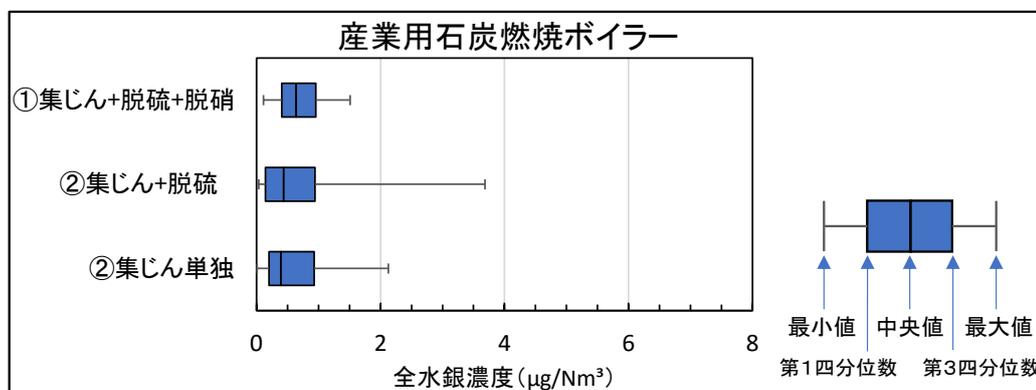


図 10 排ガス処理装置別の濃度分布（産業用石炭燃焼ボイラー）

（参考）大気汚染防止法における排出基準

	排出基準 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
	新設	既設
小型石炭混焼ボイラー	10	15
石炭専焼ボイラー	8	10
大型石炭混焼ボイラー		

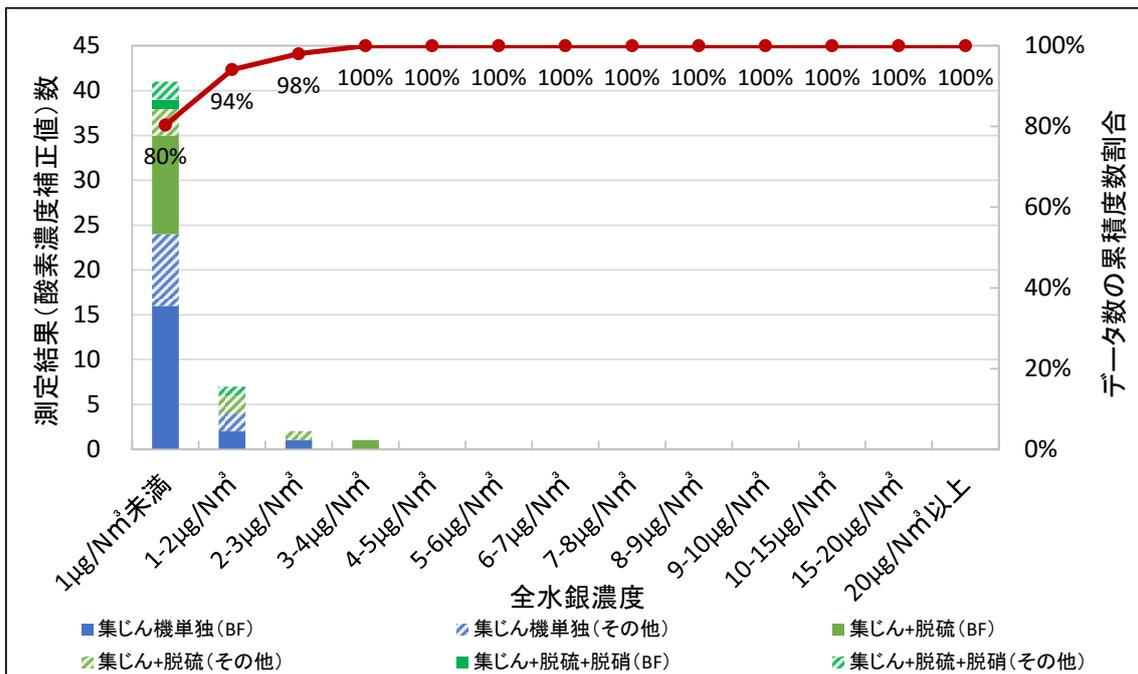


図 11 排ガス処理装置別の濃度分布（産業用石炭燃焼ボイラー）

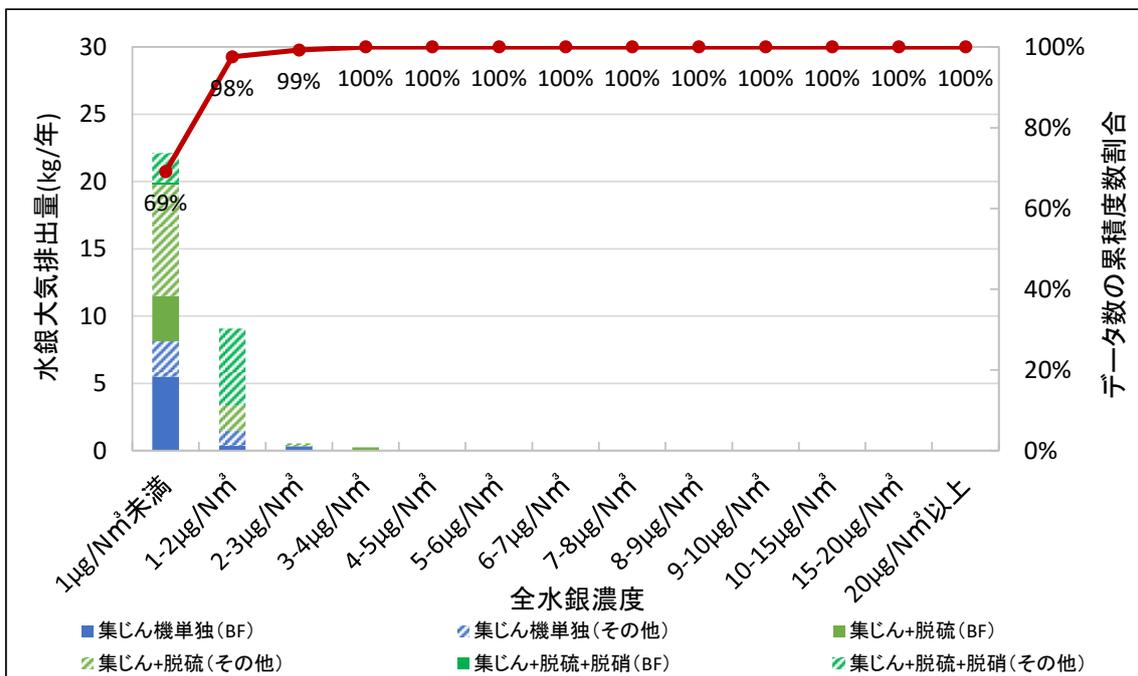
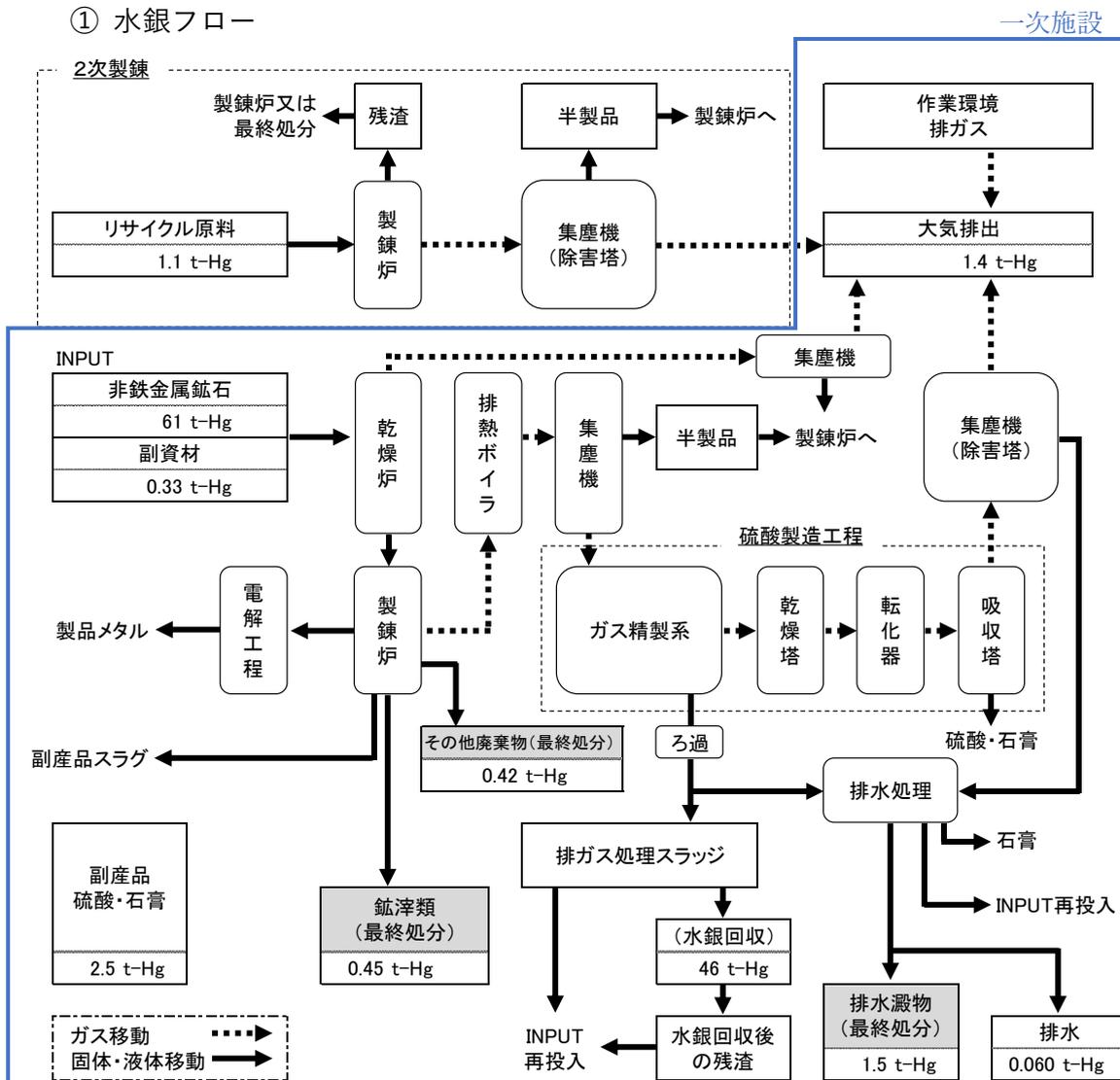


図 12 排ガス処理装置別の排出量分布（産業用石炭燃焼ボイラー）

(3) 非鉄金属製造施設 (一次施設)

① 水銀フロー



(出典) 環境省, 水銀に関するマテリアルフロー (2016年度ベース), 2020年3月

フロー: 日本鉱業協会に対するヒアリング調査結果をもとに作成

フロー内数値: 日本鉱業協会に対する平成30年度ヒアリング調査結果

図 13 非鉄金属製錬施設の水銀フロー (2016FY)

② 実態調査結果（令和元年度実績）を用いた解析

- 非鉄金属製造施設（一次施設）では、第一次答申の新規・既存施設 BAT に相当する「集じん機+硫酸製造施設」を設置している施設は、「集じん機+脱硫」に比べて全水銀濃度が低かった。

表 11 排ガス処理装置別全水銀濃度（非鉄金属製造施設（一次施設））

排出ガス処理施設の種類の種類		施設数	排ガス中全水銀濃度（ $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）				
			中央値	最大値	最小値	算術 平均値	幾何 平均値
非鉄 (一次)	①②集じん機+硫酸製造施設	10	1.1	7.1	0.52	1.5	1.1
	③集じん機+脱硫	6	4.2	7.3	0.11	3.9	2.0
	③集じん機単独	2	0.47	0.83	0.12	0.47	0.32
	③その他*	3	1.1	1.4	1.1	1.2	1.2
非鉄（一次）全体		21	1.1	7.3	0.11	2.1	1.1

*排ガス脱硫設備単独、排ガス洗浄設備単独 等

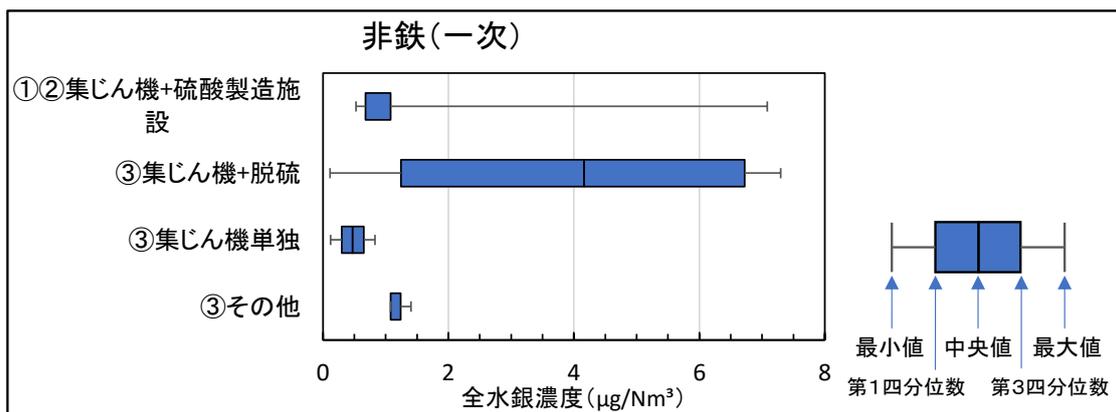


図 14 排ガス処理装置別の濃度分布（非鉄金属製造施設（一次施設））

（参考）大気汚染防止法における排出基準

		排出基準（ $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）	
		新設	既設
一次施設	銅、工業金	15	30
	鉛、亜鉛	30	50

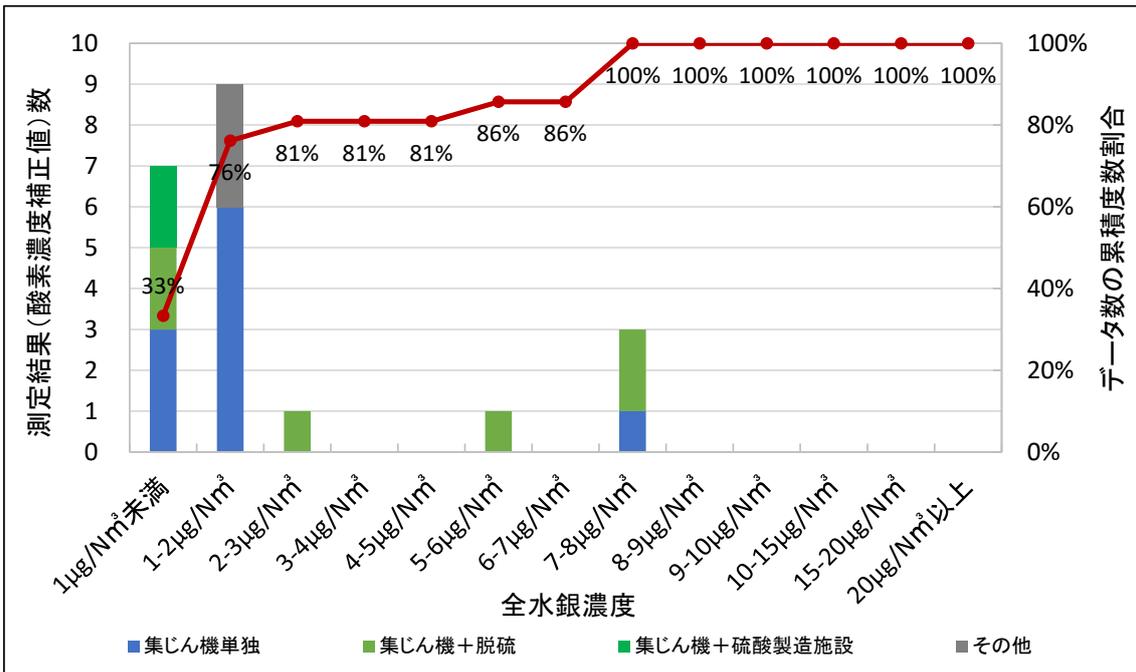


図 15 排ガス処理装置別の濃度分布（非鉄金属製造施設（一次施設））

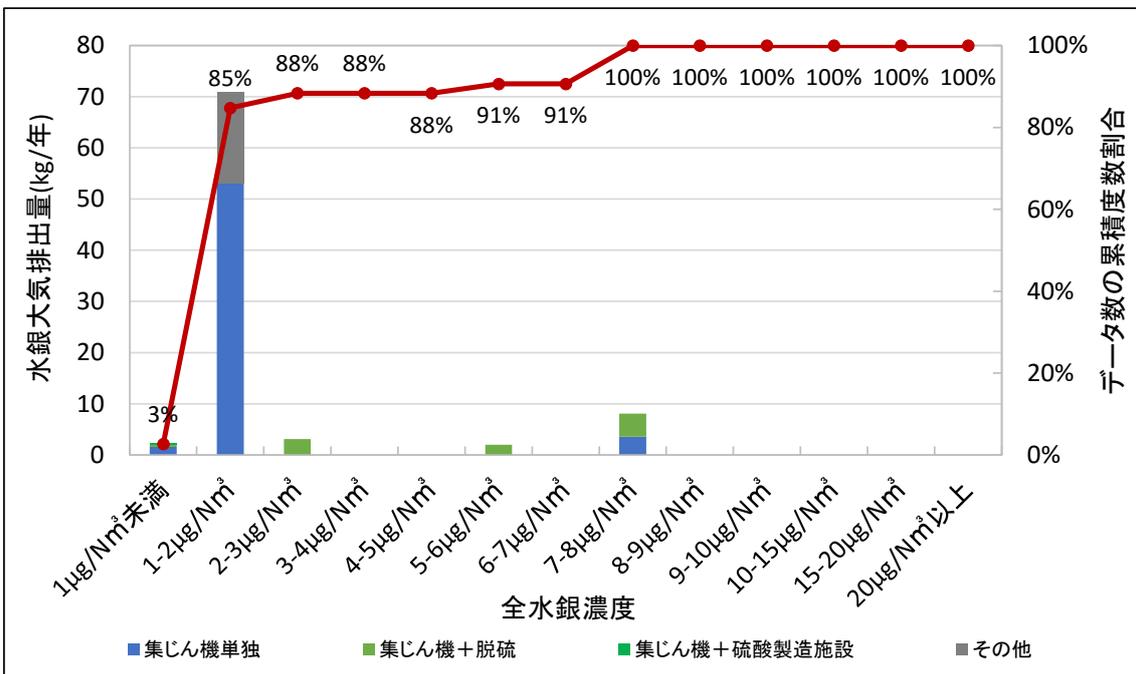
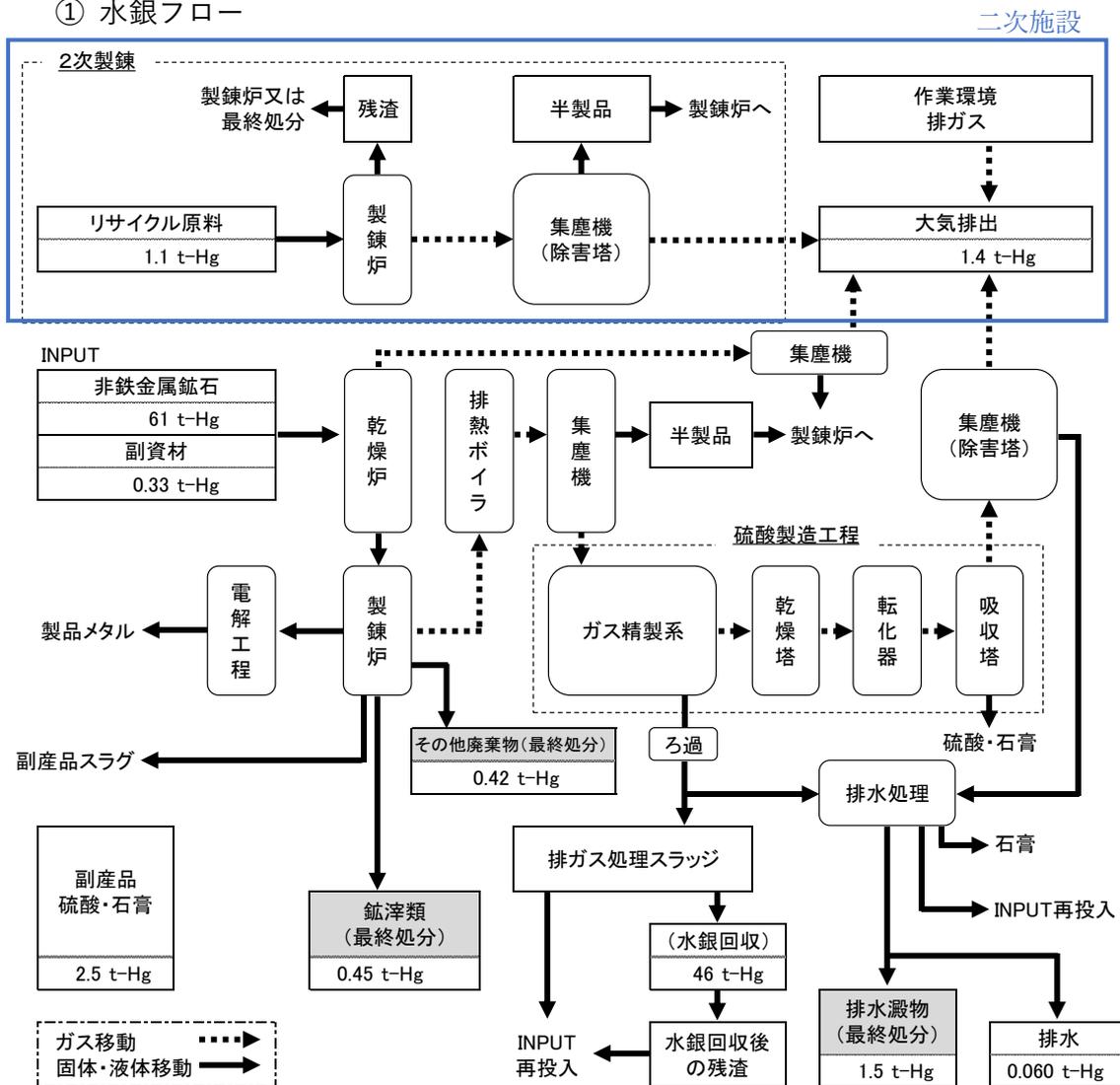


図 16 排ガス処理装置別の排出量分布（非鉄金属製造施設（一次施設））

(4) 非鉄金属製造施設 (二次施設)

① 水銀フロー



(出典) 環境省, 水銀に関するマテリアルフロー (2016年度ベース), 2020年3月
 フロー: 日本鋳業協会に対するヒアリング調査結果をもとに作成

フロー内数値: 日本鋳業協会に対する平成30年度ヒアリング調査結果

図 17 非鉄金属製錬施設の水銀フロー (2016FY)

② 実態調査結果（令和元年度実績）を用いた解析

- 非鉄金属製造施設（二次施設）では、排出ガス処理施設の違いによる全水銀濃度の違いはあまり明確ではなかった。

表 12 排ガス処理装置別全水銀濃度（非鉄金属製造施設（二次施設））

排出ガス処理施設の種類		施設数	排ガス中全水銀濃度（ $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）				
			中央値	最大値	最小値	算術 平均値	幾何 平均値
非鉄 (二次)	①集じん機+排ガス洗浄	39	0.87	130	0.093	15	1.6
	②集じん機単独	49	0.54	250	0.015	24	1.2
	③排ガス処理装置なし	6	0.29	1.0	0.030	0.36	0.15
	③その他*	8	8.7	230	0.032	42	6.4
非鉄（二次）全体		102	0.72	250	0.015	21	1.3

*排ガス脱硫設備単独、排ガス洗浄設備単独 等

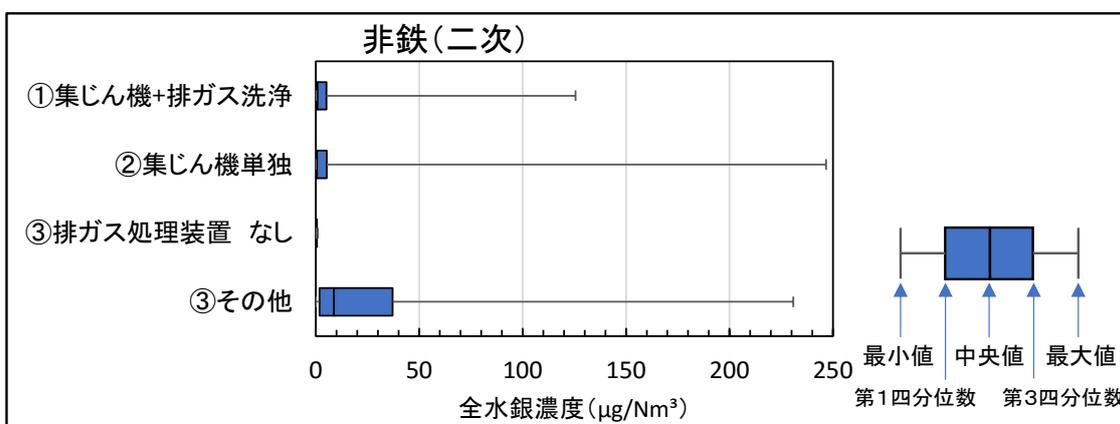


図 18 排ガス処理装置別の濃度分布（非鉄金属製造施設（二次施設））

（参考）大気汚染防止法における排出基準

		排出基準（ $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）	
		新設	既設
二次施設	銅、鉛、亜鉛	100	400
	工業金	30	50

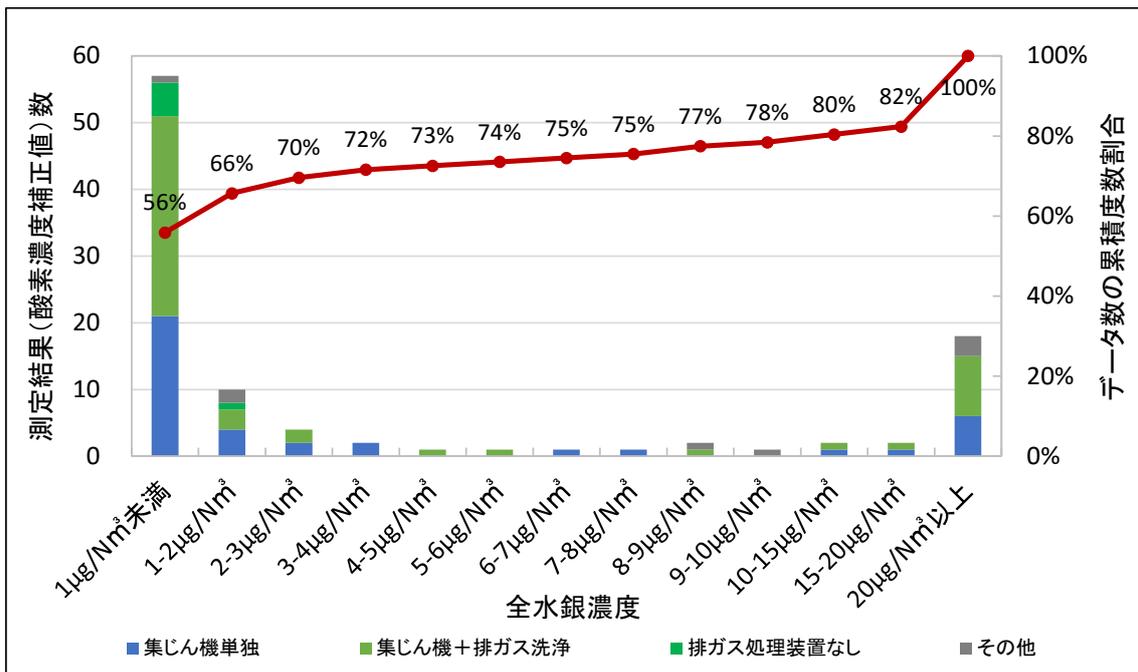


図 19 排ガス処理装置別の濃度分布（非鉄金属製造施設（二次施設））

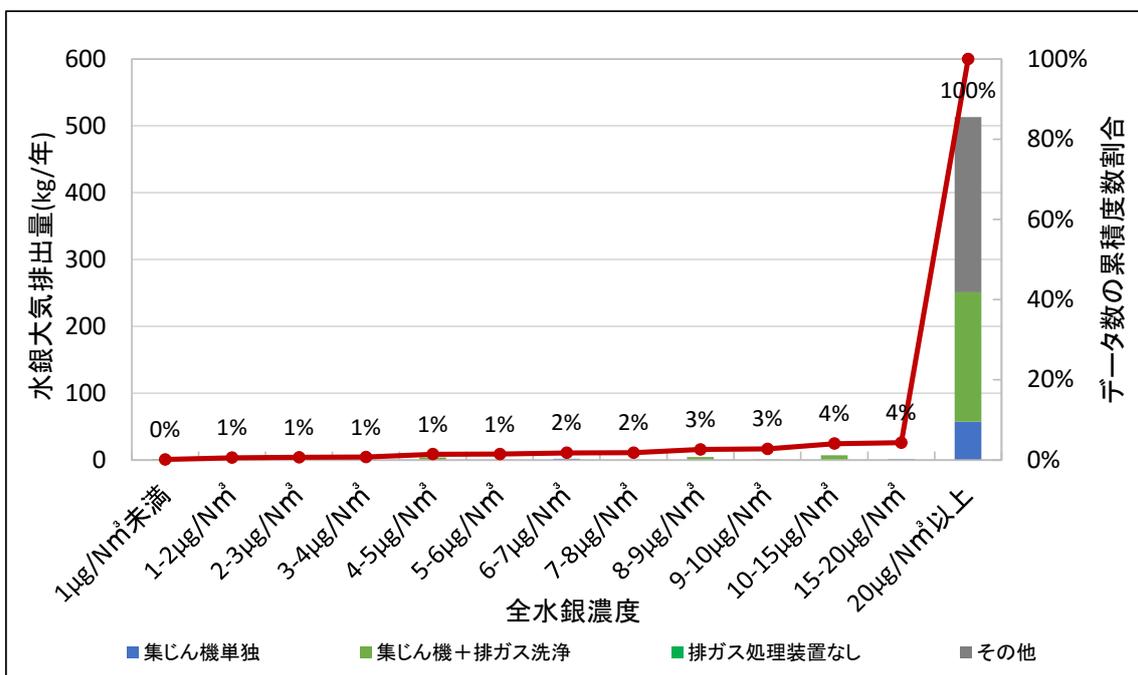
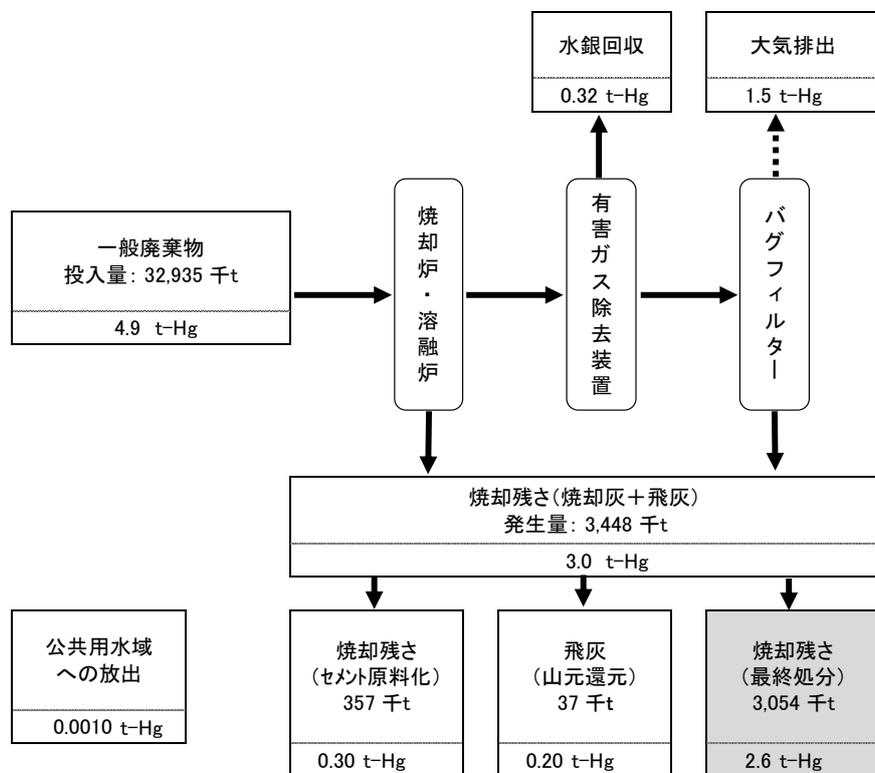


図 20 排ガス処理装置別の排出量分布（非鉄金属製造施設（二次施設））

(5) 一般廃棄物焼却施設

① 水銀フロー



(出典) 環境省, 水銀に関するマテリアルフロー (2016 年度ベース), 2020 年 3 月
 フロー: 一般廃棄物処理事業者に対するヒアリング調査結果をもとに作成
 フロー内数値: 一般廃棄物処理実態調査結果 (平成 28 年度実績) に基づく推計結果、及び廃棄物等処理事業者に対する平成 30 年度ヒアリング調査結果

図 21 一般廃棄物焼却施設の水銀フロー (2016FY)

② 実態調査結果（令和元年度実績）を用いた解析

- 第一次答申の新規・既存施設 BAT に相当するバグフィルターを設置している施設で、相対的に全水銀濃度の中央値、算術平均値が低かった。
- 活性炭処理がある施設の方が、活性炭処理がない施設と比較して、概ね全水銀濃度の中央値、算術平均値は低かった。

表 13 排ガス処理装置別全水銀濃度（一般廃棄物焼却施設）

排出ガス処理施設の種類	施設数	排ガス中全水銀濃度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)				
		中央値	最大値	最小値	算術平均値	幾何平均値
①バグフィルター (他の施設が併設されているものも含む。以下同じ。)	1,908 (246)	1.7 (0.92)	926 (121)	0.0039 (0.027)	6.7 (3.8)	1.8 (1.1)
②湿式の排ガス処理施設(スクラバー、湿式電気集じん機等) ※上述の区分の施設を除く	80 (5)	6.1 (0.22)	78 (9.1)	0.024 (0.080)	8.5 (2.9)	2.7 (0.67)
③サイクロン ※上述の区分の施設を除く	120 (4)	9.0 (2.8)	66 (11)	0.055 (2.1)	11 (4.7)	5.9 (3.6)
③電気集じん機(乾式) ※上述の区分の施設を除く	57 (6)	5.8 (4.2)	43 (9.3)	0.068 (0.19)	8.7 (4.4)	4.6 (2.3)
③その他 ※上述の区分の施設を除く	15 (0)	0.58	36	0.068	3.0	0.52
全体	2,180 (261)	2.0 (0.94)	926 (121)	0.0039 (0.027)	7.1 (3.8)	2.0 (1.1)

*カッコ内の数値は、活性炭処理がある施設の集計値

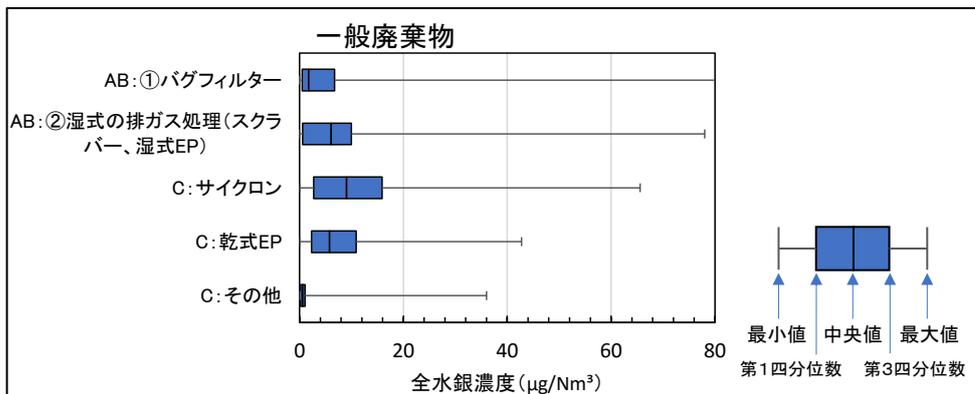


図 22 排ガス処理装置別の濃度分布（一般廃棄物焼却施設）

(参考) 大気汚染防止法における排出基準

	排出基準 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
	新設	既設
廃棄物焼却炉	30	50
水銀回収施設	50	100

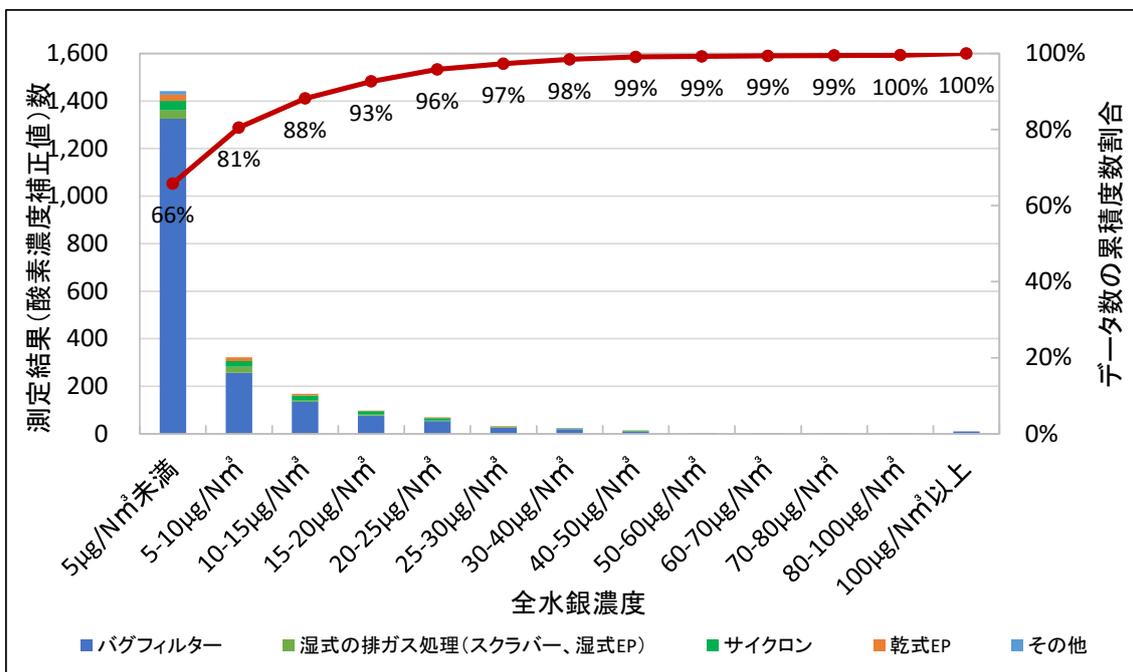


図 23 排ガス処理装置別の濃度分布（一般廃棄物焼却施設）

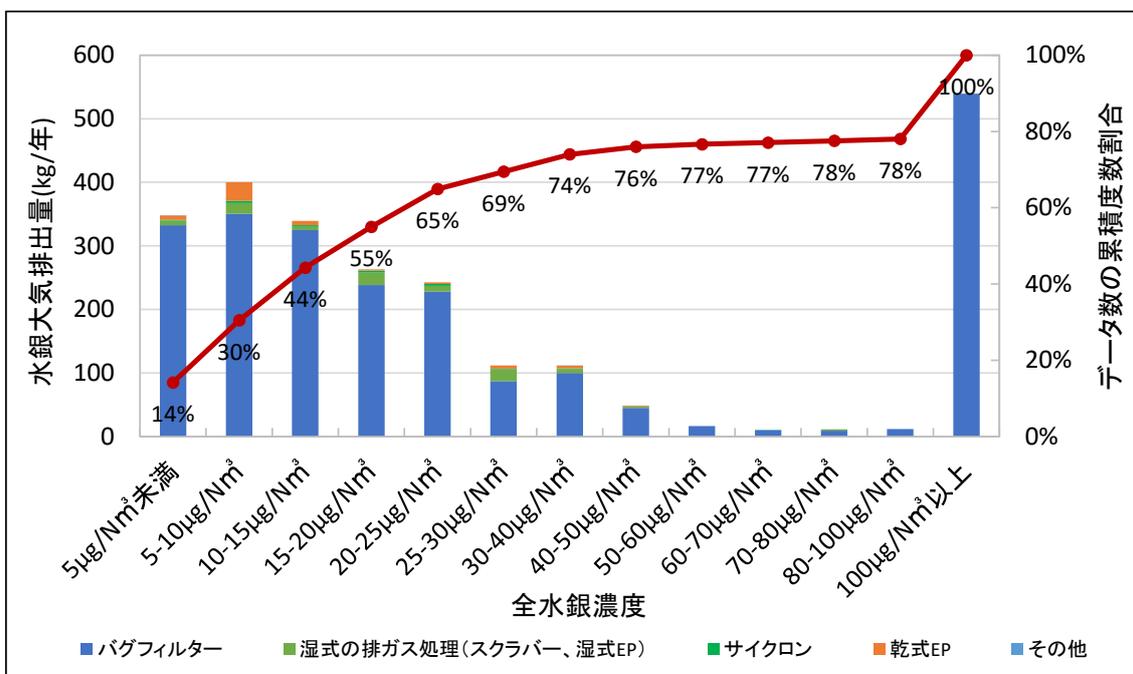
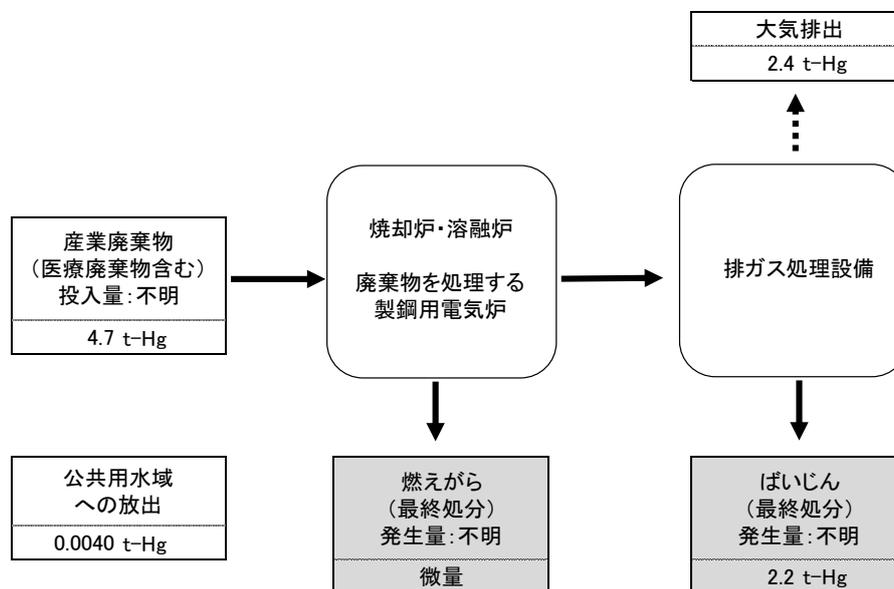


図 24 排ガス処理装置別の排出量分布（一般廃棄物焼却施設）

(6) 産業廃棄物焼却施設

① 水銀フロー



(出典) 環境省, 水銀に関するマテリアルフロー (2016 年度ベース), 2020 年 3 月
 フロー内数値: 「水銀大気排出インベントリー (2016 年度対象)」に基づく環境省推計値

図 25 産業廃棄物焼却施設の水銀フロー (2016FY)

② 実態調査結果（令和元年度実績）を用いた解析

- 第一次答申の新規・既存施設 BAT に相当する湿式の排ガス処理施設を設置している施設で、相対的に全水銀濃度の中央値、算術平均値が低かった。
- バグフィルターが設置されている施設では、活性炭処理がある施設の方が、活性炭処理がない施設と比較して、全水銀濃度の中央値、算術平均値は低かった。

表 14 排ガス処理装置別全水銀濃度（産業廃棄物焼却施設）

排出ガス処理施設の種類	施設数	排ガス中全水銀濃度（ $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）				
		中央値	最大値	最小値	算術平均値	幾何平均値
①バグフィルター (他の施設が併設されているものも含む。以下同じ。)	592 (42)	1.0 (1.0)	11,400 (16)	0.00077 (0.023)	23 (2.2)	1.1 (0.81)
②湿式の排ガス処理施設(スクラバー、湿式電気集じん機等) ※上述の区分の施設を除く	226 (4)	0.58 (2.3)	38 (8.1)	0.0019 (0.19)	3.4 (3.2)	0.60 (1.3)
③サイクロン ※上述の区分の施設を除く	84 (0)	1.6	58	0.0090	4.4	1.4
③電気集じん機（乾式） ※上述の区分の施設を除く	27 (0)	1.2	17	0.049	3.7	1.2
③その他 ※上述の区分の施設を除く	17 (0)	0.094	3.4	0.024	0.54	0.14
全体	946 (46)	0.94 (1.0)	11,400 (16)	0.00077 (0.023)	16 (2.3)	0.93 (0.84)

*カッコ内の数値は、活性炭処理がある施設の集計値

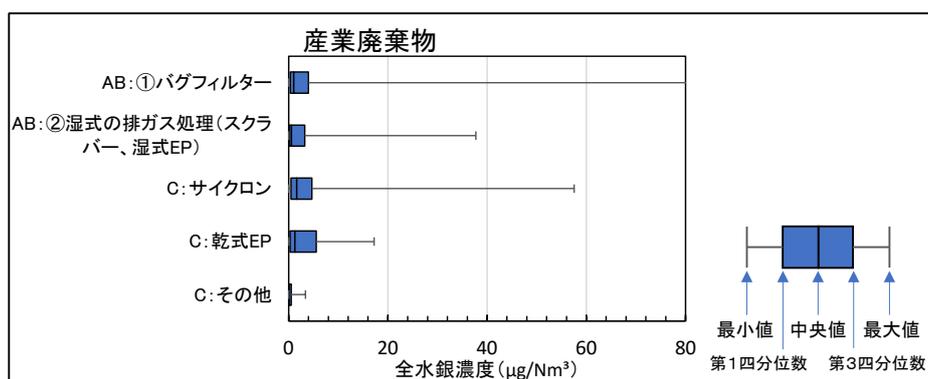


図 26 排ガス処理装置別の濃度分布（産業廃棄物焼却施設）

(参考) 大気汚染防止法における排出基準

	排出基準（ $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ）	
	新設	既設
廃棄物焼却炉	30	50
水銀回収施設	50	100

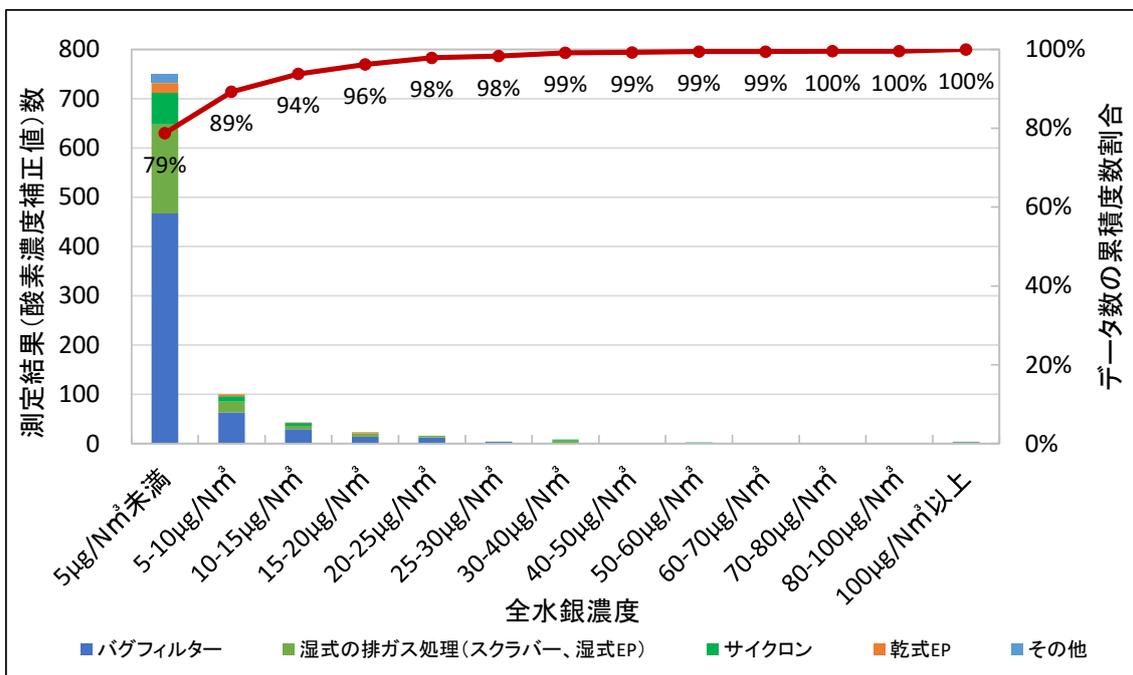


図 27 排ガス処理装置別の濃度分布（産業廃棄物焼却施設）

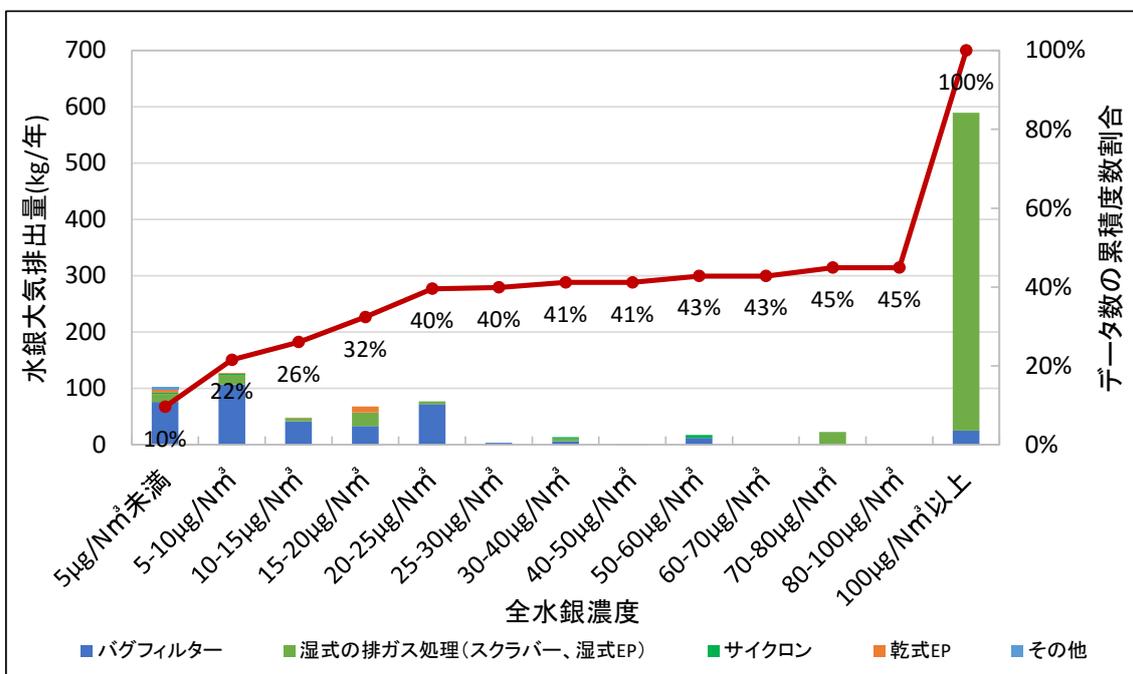
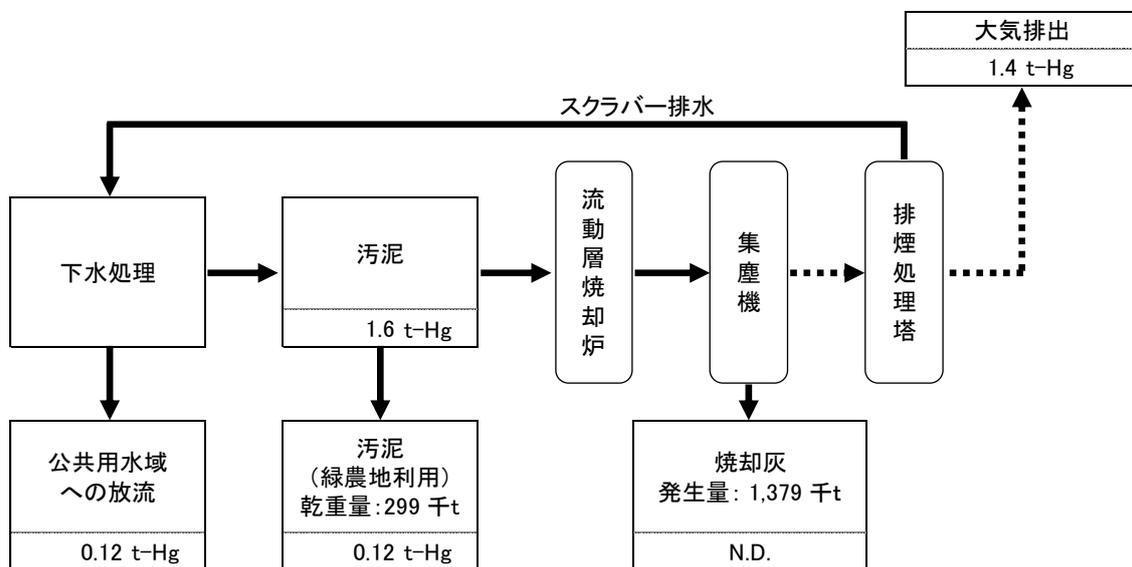


図 28 排ガス処理装置別の排出量分布（産業廃棄物焼却施設）

(7) 下水汚泥焼却施設

① 水銀フロー



※処理水の水銀濃度はN.D.、公共用水域への放出量はPRTRの届出排出量

(出典) 環境省, 水銀に関するマテリアルフロー (2016年度ベース), 2020年3月

フロー: 国土交通省提供データ

フロー内数値: 国土交通省提供データ (平成30年度実績)

図 29 下水汚泥焼却施設の水銀フロー (2016FY)

② 実態調査結果（令和元年度実績）を用いた解析

- 第一次答申の新規・既存施設 BAT に相当する湿式の排ガス処理施設を設置している施設については、電気集じん機（乾式）のみ設置している施設に比べて全水銀濃度の中央値、算術平均値が低かった。
- なお、下水汚泥焼却施設では、活性炭処理がある施設はなかった。

表 15 排ガス処理装置別全水銀濃度（下水汚泥焼却施設）

排出ガス処理施設の種類	施設数	排ガス中全水銀濃度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)				
		中央値	最大値	最小値	算術平均値	幾何平均値
①バグフィルター (他の施設が併設されているものも含む。以下同じ。)	128	5.7	35	0.21	7.1	4.7
②湿式の排ガス処理施設(スクラバー、湿式電気集じん機等) ※上述の区分の施設を除く	108	9.4	45	0.29	10	7.7
③サイクロン ※上述の区分の施設を除く	25	8.4	21	1.2	8.6	6.5
③電気集じん機（乾式） ※上述の区分の施設を除く	5	18	22	8.9	16	16
③その他 ※上述の区分の施設を除く	1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
全体	267 (0)	7.2	45	0.21	8.8	6.0

*カッコ内の数値は、活性炭処理がある施設の集計値。

下水汚泥焼却施設では、活性炭処理がある施設はない。

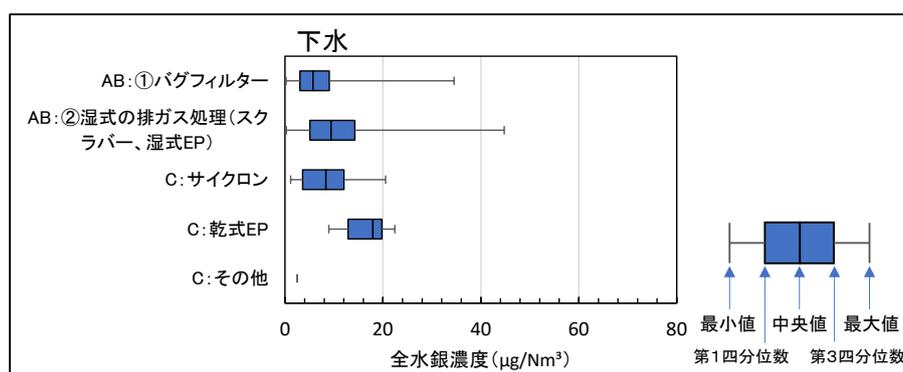


図 30 排ガス処理装置別の濃度分布（下水汚泥焼却施設）

(参考) 大気汚染防止法における排出基準

	排出基準 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
	新設	既設
廃棄物焼却炉	30	50
水銀回収施設	50	100

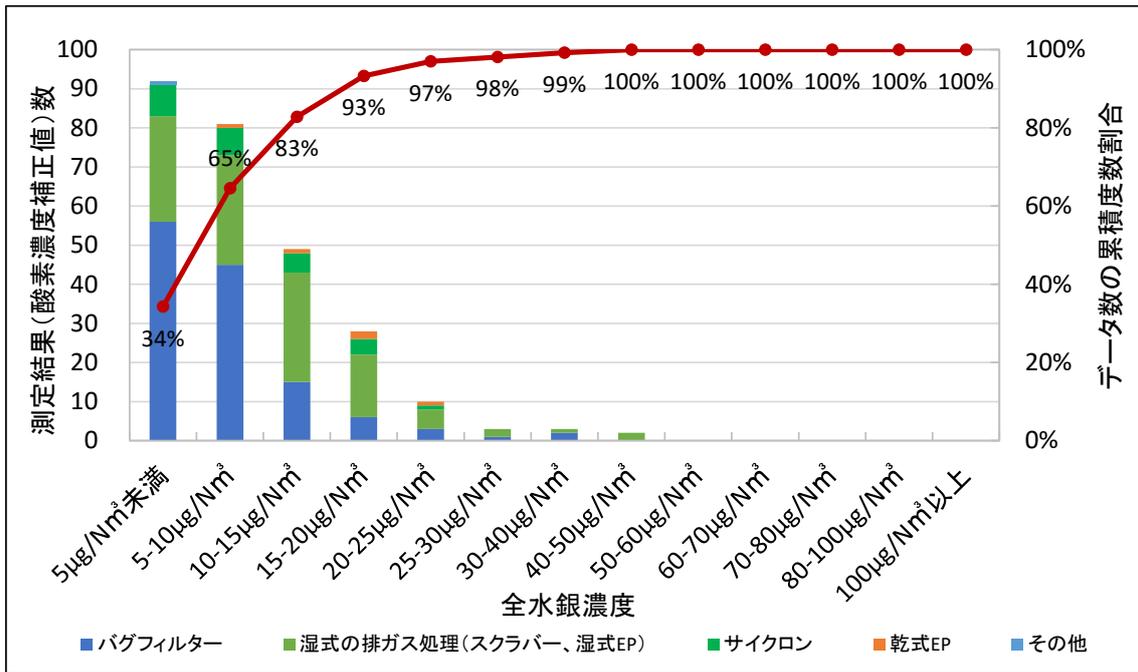


図 31 排ガス処理装置別の濃度分布 (下水汚泥焼却施設)

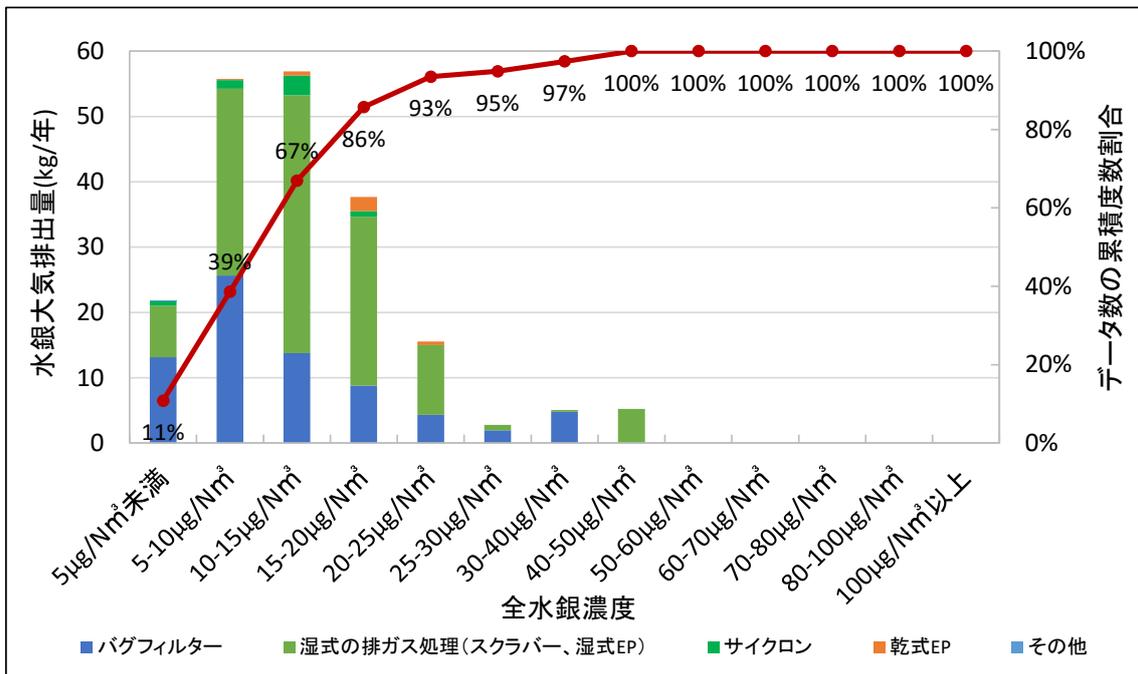
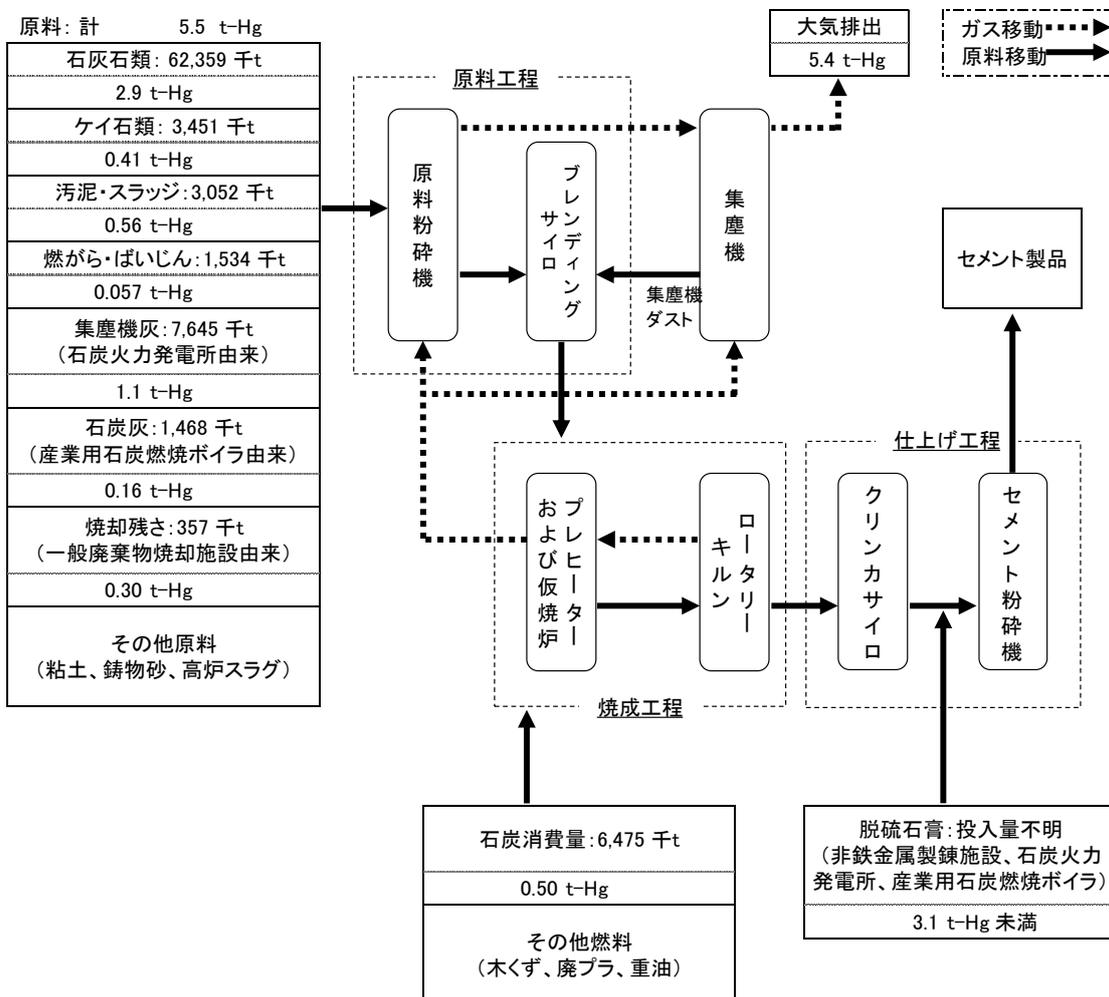


図 32 排ガス処理装置別の排出量分布 (下水汚泥焼却施設)

(8) セメント製造施設

① 水銀フロー



(出典) 環境省, 水銀に関するマテリアルフロー (2016年度ベース), 2020年3月
 フロー: セメント協会に対するヒアリング調査結果をもとに作成
 フロー内数値: セメント協会に対する平成30年度ヒアリング調査結果及び他業種の水銀フロー推計結果

図 33 セメント製造施設の水銀フロー (2016FY)

② 実態調査結果（令和元年度実績）を用いた解析

- 電気集じん機+バグフィルターを設置している施設の全水銀濃度の中央値及び算術平均値は相対的に低かった。
- なお、第一次答申においては、セメント製造施設の既存施設では、原料・燃料等の管理技術をBATと想定しており、排ガス処理装置についてはBATと想定していないことに留意が必要である。

表 16 排ガス処理装置別全水銀濃度（セメント製造施設）

	施設数	排ガス中全水銀濃度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)				
		中央値	最大値	最小値	算術平均値	幾何平均値
電気集じん機+バグフィルター	2	2.4	3.5	1.2	2.4	2.1
バグフィルター	10	29	73	1.6	28	18
電気集じん機	36	32	77	8.3	33	29
全体	48	29	77	1.2	31	24

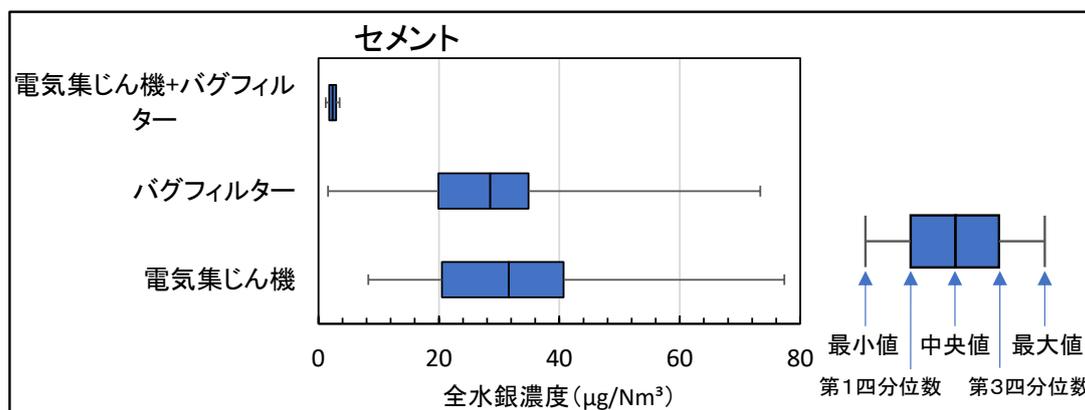


図 34 排ガス処理装置別の濃度分布（セメント製造施設）

（参考）大気汚染防止法における排出基準

	排出基準 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	
	新設	既設
セメントクリンカー製造施設	50	80

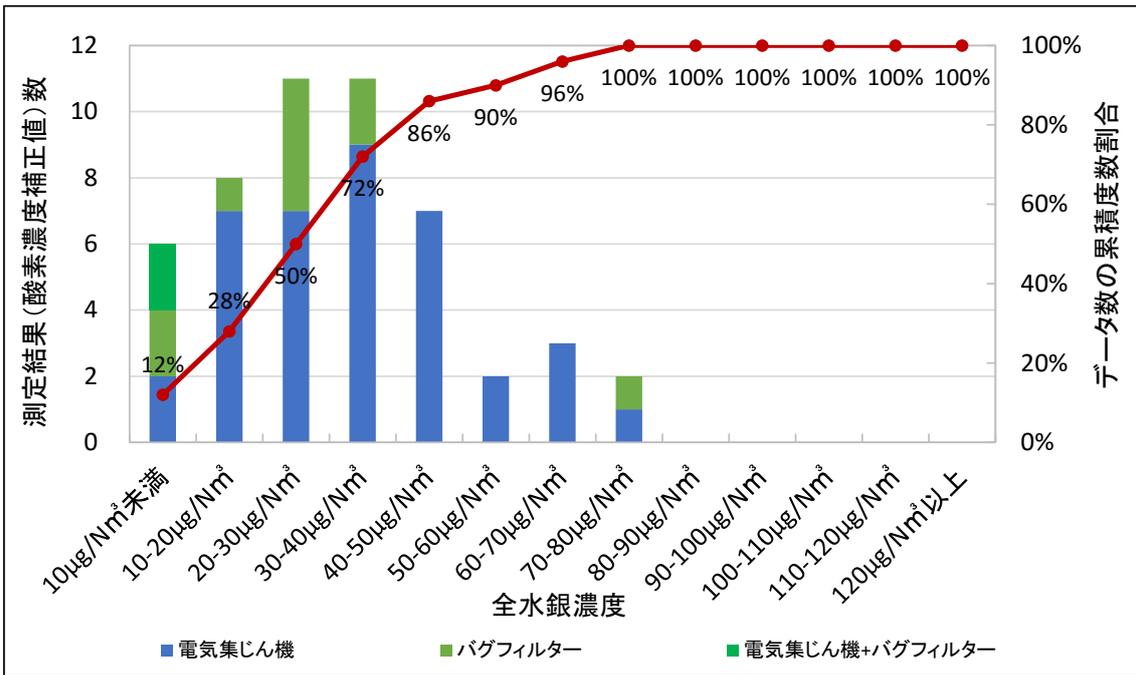


図 35 排ガス処理装置別の濃度分布 (セメント製造施設)

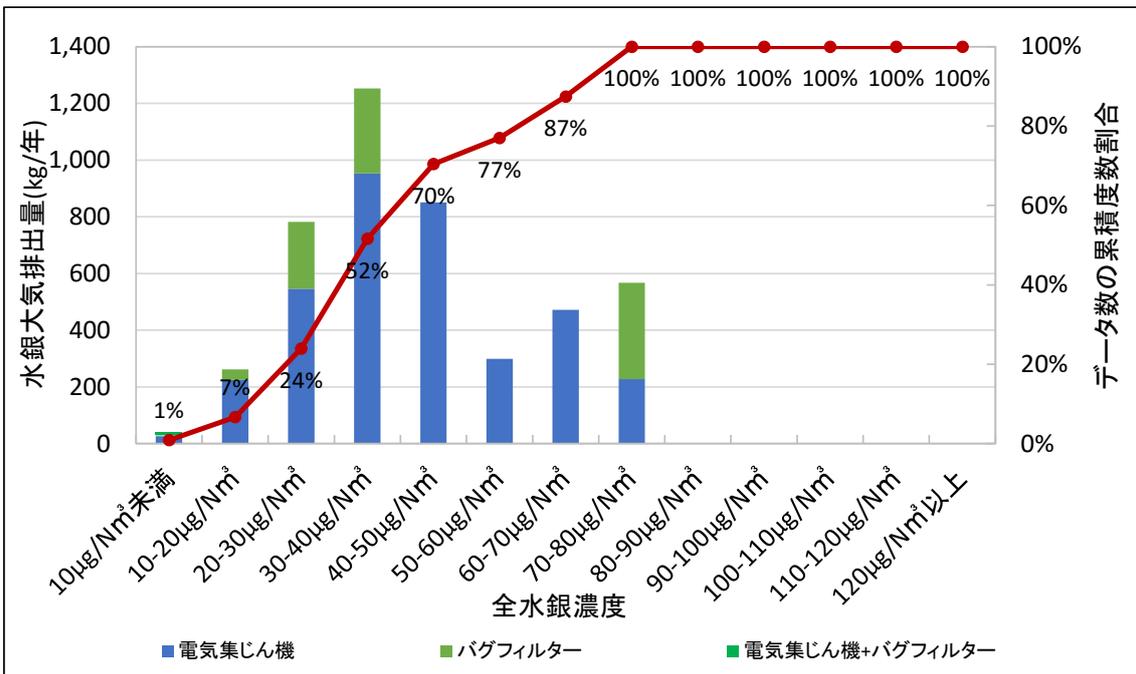


図 36 排ガス処理装置別の排出量分布 (セメント製造施設)

4. まとめ

水銀排出施設では、今後も大気汚染防止法に基づき定期的に排ガス中水銀濃度の測定を実施するため、環境省では継続して測定結果を収集し、より有効な排出抑制技術等が明らかになるように情報を取りまとめていく予定である。特に、第一次答申では「今般とりまとめた排出基準の特徴は、可能な限り BAT に適合した値としたことである。このため、水銀排出抑制技術の進歩に対応して、排出基準についても見直していく必要がある。(中略) 国内外の技術の進歩や原料・燃料等の動向を把握し、規制対象施設や排出基準等について見直していくことが適当である。」とされていることから、今後の制度見直し等の検討にも活用できるように、情報を整理する。