

BAT/BEP ガイダンス(案)について

1. 背景と目的

水俣条約第8条（排出）には、同条に定められる義務の遂行のため、以下のガイダンスを締約国会議で採択することが示されている。

- ① 新規の発生源と既存の発生源との相違及び複数の環境媒体にまたがる影響を最小限にする必要性を考慮に入れた利用可能な最良の技術／環境のための最良の慣行（Best Available Techniques /Best Environmental Practices : BAT/BEP）に関するガイダンス
- ② 既存発生源からの水銀排出削減（特に目標の決定及び排出限度値の設定）の実施における締約国に対する支援に関するガイダンス
- ③ 締約国が附属書Dに掲げる発生源の分類の対象となる発生源を特定するための基準に関するガイダンス
- ④ 排出インベントリーの作成方法に係るガイダンス

①及び②のガイダンスについては、第1回締約国会議で採択することを求めている。

また、締約国は、条約の規定を実施するにあたり、上記のガイダンスを考慮することとされている。

2. ガイダンス作成方法

国連の各地域から推薦された専門家によって構成される専門家グループ（政府間交渉委員会の議長がオブザーバーとして招待する産業界及び NGO の代表者を含む）を設置し、ガイダンス案を作成することとなった。専門家グループの構成は以下のとおり。

| 分類 | | メンバー属性 |
|-----------------------|----------------------|---------------------------------------------|
| 各地域から推薦された専門家 | アジア太平洋地域 | バングラデシュ、中国、インドネシア、イラン、日本、ネパール、パキスタン、韓国 |
| | アフリカ地域 | エジプト、モロッコ、ナイジェリア、タンザニア、トーゴ、チュニジア、南アフリカ、ザンビア |
| | ラテンアメリカ及びカリブ海諸国 | ボリビア、ブラジル、チリ、メキシコ、パナマ |
| | 東欧諸国 | ポーランド、ロシア、マケドニア |
| | 西欧及びその他の国 | 欧州委員会、スウェーデン、ドイツ、英国、オーストラリア、カナダ、米国 |
| オブザーバー | 議長が招待する産業界及び NGO の代表 | 環境 NGO、非鉄製錬・セメントの各業界団体、コンサルタント |
| 専門的見地からの貢献のために招待された組織 | | IEA、バーゼル・ロッテルダム・ストックホルム条約事務局 |

3. ガイダンス作成スケジュール

ガイダンス作成にあたってのこれまでの経緯及び今後の予定は以下のとおり。

| 時期 | 会合等 | 検討事項 |
|-------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2013年 10月 | 外交会議 | ● 水俣条約第8条に掲げるBAT/BEPガイダンス案の作成を行う専門家会合の設置を決定 |
| 2014年 2月 | 第1回専門家会合 | ● BAT/BEPガイダンスの分野分け ● ガイダンス作成体制 ● BAT/BEPガイダンス及び既存発生源への排出への取組支援ガイダンスの基本構成案 |
| 2014年 9月 | 第2回専門家会合 | ● 各分野でのBAT/BEPガイダンスの検討 ● インベントリー作成、ELV設定に関するガイダンス内容案の検討 |
| 2014年 11月 | 第6回政府間交渉委員会 | ● 専門家グループからのガイダンス案作成に関する進捗状況の報告 |
| 2015年 3月 | 第3回専門家会合 | ● 各分野でのBAT/BEPガイダンスの検討、共通事項（モニタリング、共通技術）に関するガイダンスの検討 ● インベントリー作成、ELV設定に関するガイダンス内容案の検討 |
| 2015年 6月18日～ 8月1日 | パブリックコメント | ● 序章、石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラー、非鉄金属製錬及びばい焼工程、廃棄物の焼却施設、セメントクリンカーの製造施設、事例研究についてのガイダンス案公開及びコメント受付 |
| 2015年 9月 | 第4回専門家会合 | ● パブリックコメントを踏まえた、BAT/BEPガイダンス案についての議論（序章、モニタリングを含む） ● 対象施設の設定、既存発生源に関する措置（特に目標及びELVの設定）、インベントリー作成に関するガイダンス案についての議論 |
| 2016年 3月 | 第7回政府間交渉委員会 | ● 専門家グループが作成したガイダンス案の議論 |

ELV：Emission limit values（排出限度値）

4. 規制対象分野のガイダンス案

2016年3月に開催される第7回政府間交渉委員会向けに公表された、石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラー、非鉄製錬及びばい焼工程、廃棄物焼却施設、セメントクリンカー製造施設のガイダンス案¹の概要を別添に示す。

¹http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/meetings/inc7/English/7_6_add_1_BATBEP.pdf

石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラーに関する

BAT/BEP ガイダンスの概要

1. ガイダンスの構成

1. 1 ガイダンスのサマリー

石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラーは、大気への水銀排出が大きい重要な排出源である。2010年における世界の水銀排出量のうち475トンが石炭燃焼に由来しており、その大半は石炭火力発電と産業用ボイラーから発生したものである。これは世界全体の人為的な水銀排出量の約40%に相当する。世界中で燃焼される石炭は微量の水銀を含んでおり、抑制されなければ大気中に排出される。

本章は、水俣条約附属書Dの対象となる石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラーからの水銀排出を抑制し、可能な場合には削減するための、BAT及びBEPに関するガイダンスを提供している。

大半の石炭火力発電所は、大規模な電力生産施設であり、その一部は熱も供給する。産業用ボイラーは、それらが設置された施設の需要を満たすための熱又は蒸気を提供する。

石炭火力発電所からの水銀排出は、石炭中の水銀濃度及び水銀種、石炭種及び種別の石炭割合、燃焼技術、既存の汚染物質抑制システムの効率など、多くの要因の影響を受ける。しかし、水銀排出抑制技術は、適用先が発電所であれ産業施設であれ、一般的に全ての石炭燃焼にとって類似のものである。

大気汚染物質抑制システムは、粒子状物質、窒素酸化物、硫黄酸化物など水銀以外の伝統的な大気汚染物質の排出削減のために既に多くの国で利用されている。これらのシステムは、水銀捕集を主目的とするものではないが、排ガス中の水銀捕集が可能であるため、水銀排出削減の相乗便益を提供する。相乗便益が十分で信頼できる水銀削減を提供できない場合、追加的な水銀抑制のために水銀に特化した抑制技術が開発され、多くの国で適用されている。

本章は、水銀抑制のための多様なBATについて論じ、それらのパフォーマンスや推計費用についての例示的な情報を提供している。また、石炭燃焼施設の操業に関するBEPの重要な構成要素についても記述している。最後に、本章は、選ばれた最新の水銀排出抑制技術を示すとともに、石炭燃焼施設という特定の文脈における水銀排出モニタリングについても論じている。

1. 2 ガイダンスの構成

石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラーのBAT/BEPガイダンスの構成は以下のとおりである。

1 イントロダクション

2 石炭火力発電所と産業用石炭燃焼ボイラーで用いられるプロセス（投入物とプロセスにおける水銀挙動の考慮を含む）

2.1 石炭質

2.2 石炭燃焼中の水銀形態変化

3 水銀排出抑制技術のメニュー

3.1 洗炭

3.2 水銀除去という観点からの大気汚染抑制システムの寄与

3.2.1 粒子状物質抑制装置

3.2.2 二酸化硫黄 (SO₂) 抑制装置

3.2.3 窒素酸化物 (NO_x) 抑制装置

3.3 相乗便益を高める技術

3.3.1 石炭の混燃

3.3.2 水銀酸化促進剤

3.3.3 水銀再排出を抑制するための湿式スクラバー添加剤

3.3.4 選択的水銀酸化触媒

3.4 水銀抑制に特化した活性炭吹き込み

3.4.1 化学処理なしの吸着剤の吹き込み

3.4.2 化学処理された吸着剤の吹き込み

3.4.3 活性炭吹き込み適用制限

3.5 水銀抑制技術の費用

3.5.1 相乗便益のある水銀抑制技術にかかる費用

3.5.2 相乗便益を高める技術と活性炭吹き込みにかかる費用

4 最新技術

4.1 非炭素吸着剤 (Non-carbon sorbents)

4.2 非熱プラズマ

4.3 処理済み活性炭

4.4 吸着剤ポリマー混合モジュール (Sorbent polymer composite module)

5 石炭燃焼のための BAT と BEP

5.1 BAT

5.1.1 石炭の水銀量削減のための一次的措置

5.1.2 燃焼中における水銀削減措置

5.1.3 従来型大気汚染抑制システムの相乗便益による水銀除去

5.1.4 水銀に特化した抑制技術

5.2 BEP

5.2.1 主要なプロセス・パラメーター

5.2.2 施設全体のエネルギー効率の考慮

5.2.3 大気汚染抑制システムの維持管理と除去効率

5.2.4 施設の環境上適正な管理

5.2.5 石炭燃焼残渣の環境上適正な管理

6 水銀排出のモニタリング

- 6.1 連続排出モニタリング
- 6.2 吸着トラップによるモニタリング
- 6.3 インピンジャーによる試料採取
- 6.4 マスバランス
- 6.5 予測排出モニタリング・システム (PEMS)
- 6.6 排出係数
- 6.7 工学的推定 (Engineering Estimates)

7 参考文献

2. BATとして掲載されている技術

2. 1 石炭の水銀量削減のための一次的措置

燃焼前の水銀除去。洗炭、選炭、混合が石炭利用効率の向上及び大気汚染物質の削減に効果的である。しかし、洗炭そのものはBATではないことから、石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラーにおける洗炭の適用は非常に低く、洗炭の割合の増加も遅滞としている。だが、以下に示す抑制措置と組み合わせることによって、水銀排出が削減できる。

2. 2 燃焼中における水銀削減措置

流動床ボイラーの利用は下流における水銀削減に重要な役割を果たす。微粉炭燃焼の場合と比べると流動床ボイラーからの排ガス中の粒子状水銀の割合はかなり高く、下流でのバグフィルターや電気集じん機による水銀除去効率を高める。だが、流動床ボイラーそのものは、BATではない。

2. 3 従来型大気汚染抑制システムの相乗便益による水銀除去

SO_x、NO_x、粒子状物質の抑制措置は、相乗便益として水銀排出をかなり削減する。いくつかの先進国では、この相乗便益が、石炭火力発電所及び産業用石炭燃焼ボイラーからの水銀排出削減のためにまず考慮される措置となる。欧州、米国、中国、日本の石炭火力発電所で用いられている選択的還元触媒 (SCR)、電気集じん機 (ESP)、脱硫装置 (FGD) の組み合わせは、無煙炭及び瀝青炭²を燃焼させる場合、水銀除去率最大 95%、排ガス中水銀濃度 1µg/Nm³を達成できる。選択的還元触媒、バグフィルター (FF)、脱硫装置の組み合わせは、褐炭を燃焼させている施設では、水銀除去率最大 99%、排ガス中水銀濃度 0.5µg/Nm³未滿を達成できる。

² 本ガイダンスにおける hard coal は、bituminous and anthracite coal を意味している。

2. 4 水銀に特化した抑制技術

活性炭吹き込みや添加剤の使用など。現在、米国において、活性炭吹き込み技術は広く商業的に流通し、石炭火力発電所で適用されており、85～95%の削減を求める排出限度値の遵守に貢献している。米国において、活性炭吹き込み及びバグフィルターの後で水銀濃度 $1\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ を示している。

3. BEP として掲載されている取組

石炭燃焼における BEP としては、以下の取組が掲載されている。

- 主要なプロセス・パラメーター（石炭中水銀量、関連するモニタリング等）の特定
- 施設全体のエネルギー効率の考慮
- 大気汚染抑制システムの維持管理と除去効率
- 施設の環境上適正な管理
- 石炭燃焼残渣の環境上適正な管理

非鉄金属の製錬及びばい焼工程に関する BAT/BEP ガイドンの概要

1. ガイドンの構成

1. 1 ガイドンのサマリー

製錬プロセスの主目的は、精鉱を自然の状態から純粋な金属に転換することであり、製錬は抽出を行う冶金の一形態である。金属は自然界において通常、酸化物又は炭酸塩として存在しており、製錬プロセスは金属を分離させる還元剤の存在下での化学反応を必要とする。水銀は、ほぼ全ての冶金原料に微量に存在しており、熱プロセスによって大気中に放出される。

金属生産、特に非鉄金属生産は、一般的に、人為的な水銀排出の大規模排出源であり、世界における排出量の約 10%を占めると推計されている。この推計は、かなりの不確実性を仮定しており、個別の施設レベルでの水銀管理には、施設特定のデータが必要となる。

本章は、非鉄金属分野（具体的には、条約対象となっている銅、亜鉛、鉛、産業金）からの水銀排出抑制のための選択肢に関するガイドンを与えるものである。本章は、水俣条約締約国に、条約下での締約国の義務を遵守できるよう、BAT 及び BEP を特定するためのガイドンを提供することを目的としている。

ガイドンは、上記の非鉄金属の生産に用いられる製錬及びばい焼プロセスからの排出のみに言及している。湿式製錬といった、製錬（溶錬）及びばい焼プロセス以外のプロセスも水銀を排出する可能性があるが、水俣条約附属書 D には掲載されていない。従って、これら他のプロセスは本ガイドンでは扱っていない。

非鉄分野の金属の二次製錬は、スクラップメタルやドロスを用いて金属をリサイクルするため、水銀排出は無視できる量となる。例外は、電子機器廃棄物の二次製錬に見られるであろうが、二次製錬からの排出削減に用いられる技術は、一次製錬に用いられる技術と大きく異なるものではない。

本章は、ガイドンの対象としている金属（銅、亜鉛、鉛、産業金）の生産において必要とされるプロセスを扱っている。ガイドンは、水銀排出抑制のために特別に開発された技術、水銀排出削減の相乗便益を持つその他の汚染物質の抑制技術の両方を含む、抑制技術をカバーしている。最新の技術を記述しており、BAT 及び BEP に関するガイドンも提供している。非鉄金属分野に特有のモニタリングに関する情報も提供している。

1. 2 ガイドンの構成

非鉄金属の製錬及びばい焼工程に関する BAT/BEP ガイドンの構成は以下のとおりである。

1 イントロダクション

2 プロセス

2.1 鉛製造プロセスのステップ

2.1.1 精鉱の前処理

- 2.1.2 製錬
- 2.1.3 精錬
- 2.1.4 硫酸プラント
- 2.2 亜鉛製造プロセスのステップ
 - 2.2.1 混合、ばい焼、ダスト回収
 - 2.2.2 ガス洗浄
 - 2.2.3 硫酸プラント
 - 2.2.4 浸出
- 2.3 銅製造プロセスのステップ
 - 2.3.1 精鉱の乾燥
 - 2.3.2 ばい焼
 - 2.3.3 製錬
 - 2.3.4 転換
 - 2.3.5 精錬及びキャスティング
 - 2.3.6 スラグ洗浄
 - 2.3.7 硫酸プラント
- 2.4 金製造プロセスのステップ
 - 2.4.1 ばい焼
 - 2.4.2 浸出
 - 2.4.3 剥土及び再生
 - 2.4.4 精錬
 - 2.4.5 炉

3 排出抑制技術

- 3.1 Boliden Norzink プロセス
 - 3.1.1 概要
 - 3.1.2 適用可能性
 - 3.1.3 パフォーマンスレベル
 - 3.1.4 媒体横断的影響
 - 3.1.5 設置及び運転費用
- 3.2 セレンフィルター
 - 3.2.1 概要
 - 3.2.2 適用可能性
 - 3.2.3 パフォーマンスレベル
 - 3.2.4 設置及び運転費用
 - 3.2.5 媒体横断的影響
- 3.3 活性炭
 - 3.3.1 概要

| | |
|----------|-----------------------------------------------|
| 3.3.2 | 適用可能性 |
| 3.3.3 | パフォーマンスレベル |
| 3.3.4 | 設置及び運転費用 |
| 3.3.5 | 相乗便益 |
| 3.3.6 | 媒体横断的影響 |
| 3.4 | DOWA フィルタープロセス（硫化鉛で覆われた軽石フィルター） |
| 3.5 | Jerritt プロセス |
| 3.5.1 | 概要 |
| 3.5.2 | 適用可能性 |
| 3.5.3 | パフォーマンスレベル |
| 3.5.4 | 媒体横断的影響 |
| 3.5.5 | 設置及び運転費用 |
| 3.6 | 水銀抑制における一般的な大気汚染防止技術及び硫酸プラントの相乗便益 |
| 3.6.1 | 汚染防止技術 |
| 3.6.2 | ガス洗浄と硫酸プラントの組み合わせ |
| 4 | 最新及びその他のプロセス |
| 4.1 | セレンスクラバー |
| 4.2 | 硫酸反応による除去 |
| 4.2.1 | 概要 |
| 5 | BAT と BEP |
| 5.1 | BAT 概観 |
| 5.1.1 | 非鉄金属分野の製錬及びばい焼における水銀抑制対策の選択における考慮点 |
| 5.2 | BEP |
| 5.2.1 | 環境管理システム |
| 5.2.2 | 水銀排出量を抑制するための投入物の混合 |
| 5.2.3 | 水銀大気排出 |
| 5.2.4 | 粒子状物質抑制 |
| 5.2.5 | 大気汚染物質の環境上適正な管理と処分 |
| 6 | 非鉄金属の生産に用いられる製錬及び精錬プロセスにおける水銀のモニタリング技術 |
| 6.1 | 直接的測定方法 |
| 6.1.1 | インピンジャーサンプリング |
| 6.1.2 | 吸着トラップ及び吸着トラップモニタリングシステム |
| 6.1.3 | 連続排出モニタリングシステム |
| 6.2 | 間接的測定方法 |

- 6.2.1 マスバランス
- 6.2.2 予測的排出モニタリングシステム
- 6.2.3 排出係数

7 参考文献

2. BATとして掲載されている技術

2. 1 BATの概要

非鉄金属製錬分野のBAT/BEPガイダンスに記載されているBATを表1に示す。また、排ガス処理技術及び硫酸プラントの相乗便益も受容可能な水銀排出レベルを達成できるとしている。

表1 非鉄金属の製錬及びばい焼プロセスに用いられる水銀に特化した抑制技術の概要

| 技術 | 技術の概要 | 削減率及び達成濃度 | 長所/短所 |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Boliden-Norzink プロセス | 第二塩化水銀と水銀が反応することによって第一塩化水銀（液体から沈殿）を生成する反応を利用した湿式スクラバー | 99.7%・入口 9.9mg/Nm ³ - 出口 0.030 mg/Nm ³ 74%・入口 0.051mg/Nm ³ - 出口 0.013 mg/Nm ³ [ガス流量 30,000Nm ³ /h] | ○広く実証されている ×塩素ガスの扱い ×塩化水銀の扱い ×塩化水銀の有害廃棄物としての処分 |
| セレンフィルター | セレンフィルターは、空隙のある不活性物質を亜セレン酸に浸漬し、無定形セレン（赤色）を沈殿させるために乾燥させたもの。無定形セレン（赤色）は水銀と反応してセレン化水銀を生成 | 95%・入口 1.0mg/Nm ³ - 出口 0.048mg/N m ³ 71%・入口 0.042mg/Nm ³ - 出口 0.012mg/Nm ³ [ガス流量 80,000 Nm ³ /h] | ○ガス中水銀濃度が低い場合に特に適している ○冶金プラントでは成功 ×水銀の入口濃度が限定される ×使用済フィルターの環境上適正な処分が必要 |
| 活性炭フィルター ベッド | 活性炭はその吸着性能がよく知られている。活性炭は通常自重の10-12%の水銀を吸着 | 97%・入口 1.2mg/Nm ³ (- 出口 0.036mg/Nm ³) 93%・入口 0.037mg/Nm ³ (- 出口 0.0026mg/Nm ³) 硫黄含浸活性炭の場合： 99%（達成濃度 0.01 mg/m ³ ） | ○硫黄含浸活性炭は、商業的に流通している ○0 価の水銀及びその他の水銀を除去する ○使用済活性炭からの水銀溶出の可能性は低い ×使用済活性炭は埋立処分場への処分が必要となる |

| 技術 | 技術の概要 | 削減率及び達成濃度 | 長所／短所 |
|--------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| DOWA | 硫化鉛(II)をコーティングした軽石に水銀を吸着 | 97%・入口 0.050mg/Nm ³ (・ 出口 0.0015mg/Nm ³) 88%・入口 0.011mg/Nm ³ (・ 出口 0.0013mg/Nm ³) 99% : 達成濃度 0.01 ~ 0.05mg/Nm ³ | ×広く用いられていない ×硫化水銀の有害廃棄物としての処分 |
| Jerrit | 溶解している塩素、気体としての塩素との反応により、金属水銀を塩化第二水銀に転換 | 99.97% | ○非常に高い水銀除去効率 ×副産物の処分 |

相乗便益が期待できる排ガス処理技術として、以下が言及されている。

- バグフィルター
- 湿式電気集じん機
- 湿式スクラバー
- 排ガス洗浄と硫酸プラントの組み合わせ

特に、排ガス洗浄と硫酸プラントの組み合わせについては、日本の事例（排ガス中の水銀濃度 1.7~6.1µg/Nm³）が紹介されている。

2. 2 水銀抑制対策の選択における考慮点

非鉄製錬分野における水銀抑制の選択に影響を与える要素として、以下がまとめられている。

表 2 ガス洗浄システムにおける水銀分布に影響を与える要素

| ガスの特徴 | 水銀分布に対する結果 |
|----------------------------|----------------------------------------|
| セレン、硫黄、硫化水素の存在 | セレン化水銀又は硫化水銀の生成→バグフィルター及び湿式電気集じん機による回収 |
| ガス洗浄システムへの金属水銀の非常に高い投入 | システムにおける液体金属水銀の生成、濃縮 |
| B/N 塔におけるガス冷却後の高いガス温度 | B/N 塔後の比較的高い水銀濃度 |
| 湿式電気集じん機の機能 | 高効率が必要。さもないと、水銀に富む粒子状物質が硫酸に移る。 |
| バグフィルターにおけるプロセスガス中の酸化水銀の存在 | バグフィルターのダストにより多くの水銀 |

3. BEP として掲載されている取組

BEP としては、以下が掲げられている。

- 環境管理システム
- 水銀排出量を抑制するための投入物の混合（投入される水銀量の平準化）
- 水銀大気排出（プロセス設計の最適化、負圧下での炉等の操業、炉のシーリング、漏れ感知プログラムの実施等）
- 粒子状物質抑制
- 大気汚染物質の環境上適正な管理と処分

廃棄物焼却施設に関する BAT/BEP ガイダンスの概要

1. ガイダンスの構成

1. 1 ガイダンスのサマリー

水俣条約において、廃棄物焼却炉は水銀の主な産業排出源の一つであると特定されている。排出源の分類は、水俣条約附属書 D に掲載されている。

廃棄物焼却の目的として考えられるのは、減容、エネルギー回収、有害成分の分解又は最小化、消毒、そして残渣の回収である。

環境保護において全体として最良の結果を残すためには、(廃棄物管理技術など) 上流活動から、(廃棄物焼却から発生する固形残渣の処分など) 下流活動まで廃棄物焼却プロセスを調整することが必要不可欠である。

新たな廃棄物焼却炉の建設について検討する際には、廃棄物発生量の最小化(資源回収、再利用、再生利用、ごみ分別を含む)、廃棄物中の水銀を削減または排除に貢献する製品の推進などの代替案を考慮すべきである。また、焼却される廃棄物への水銀混入防止のアプローチも検討すべきである。

廃棄物焼却施設を環境上適正に設計し運営するには、水銀のような有害物質の排出の防止又は最小化のため、(両者はある程度重複するが) BAT 及び BEP の両方の利用が必要である。

廃棄物焼却の BEP は、適切な(全体的な廃棄物管理や焼却施設立地による環境影響の検討など) 焼却施設外での取り組みと、(廃棄物検査、廃棄物の適切な取り扱い、焼却炉の操作及び管理、残渣の取り扱いなどの) 焼却施設内での取り組みを含む。

廃棄物焼却の BAT は、適切な立地の選定、廃棄物投入と管理、焼却及び排ガス・固形残渣・廃水の処理のための技術を含む。廃棄物焼却施設からの水銀抑制の BAT は、洗浄液に薬剤を添加した高効率スクラバー、スクラバー+臭素を含む化学物質の燃焼室投入、活性炭投入+バグフィルター、未処理排ガス中の水銀濃度が高い場合はこれらの技術の組み合わせを含む。

BAT 及び BEP に適合した設計や運営がなされている都市廃棄物焼却炉では、水銀は主に飛灰、主灰及び廃水処理時の脱水ケーキ(汚泥)から放出される。それゆえ、これらの廃棄物のための安全な受け皿、例えば、BAT に則った設計及び運営がなされている前処理及び埋立地での最終処分を提供することが非常に重要である。

一次的、二次的な措置を適切に組み合わせた、BAT に適合する水銀排出レベルは、(11% O₂ において) 1~10µg /m³ 以下である。更に言えば、適切に設計された廃棄物焼却施設であれば、通常の運営条件下でこの水準より低い排出量を達成することが可能である。

1. 2 ガイダンスの構成

廃棄物焼却施設の BAT/BEP ガイダンスの構成は以下のとおりである。

1 イントロダクション

2 廃棄物焼却施設で用いられるプロセス(投入物とプロセスにおける水銀挙動の考慮を含む)

- 2.1 焼却時に水銀・水銀化合物を排出する廃棄物の概説
 - 2.1.1 廃棄物ヒエラルキー
 - 2.1.2 廃棄物焼却施設からの水銀排出という観点からの廃棄物の種類別イントロダクション
- 2.2 焼却プロセス
 - 2.2.1 一般的な焼却技術の説明
 - 2.2.2 焼却のための廃棄物の前処理
 - 2.2.3 焼却施設の種類別説明
 - 2.2.4 特定廃棄物の焼却

3 排出抑制技術

- 3.1 除じん（粒子状物質）技術
- 3.2 湿式洗浄技術
- 3.3 活性炭吹き込み
- 3.4 ボイラーへの臭素添加
- 3.5 固定層フィルター
- 3.6 上記の技術によって達成される排出値の例
- 3.7 焼却によって発生する固形残渣の処理技術
 - 3.7.1 主灰とボイラー灰の処理技術
 - 3.7.2 排ガス残渣（固形）の処理
 - 3.7.3 残渣の再利用
 - 3.7.4 安定化と固型化
 - 3.7.5 残渣の最終処分
- 3.8 焼却時に水銀・水銀化合物を排出する廃棄物の焼却に対する代替処理技術

4 最新技術

- 4.1 高効率活性炭吸着塔
- 4.2 石炭系活性炭の代替選択肢としてのヤシ髓炭

5 廃棄物焼却施設での BAT と BEP

- 5.1 廃棄物焼却に関する BAT の紹介
- 5.2 焼却前の廃棄物の前処理
- 5.3 廃棄物投入と管理に関する BAT
- 5.4 廃棄物焼却に関する BAT
 - 5.4.1 一般的な焼却技術
 - 5.4.2 都市廃棄物焼却技術
 - 5.4.3 有害廃棄物の焼却技術
 - 5.4.4 下水汚泥の焼却技術
 - 5.4.5 医療廃棄物の焼却

5.5 排ガス処理に関する BAT

5.5.1 既存処理技術の性能向上と改善

5.5.2 BAT 利用に適合したパフォーマンスレベル

5.6 廃棄物管理の BEP の紹介

5.6.1 廃棄物管理

5.6.2 火災リスクの防止

6 水銀のモニタリング技術

6.1 直接的測定方法

6.2 間接的測定方法

6.3 廃棄物焼却分野における最適技術

7 参考文献

2. BAT として掲載されている技術

2. 1 焼却前の廃棄物の前処理（投入される水銀量の平準化）

廃棄物受入設備の設計仕様書で求められるレベルまで、廃棄物を混合すること（例えば、バンカーでのクレーンによる攪拌の利用）・更なる前処理をすること（例えば、液体・ペースト状廃棄物の混合、固形廃棄物の破砕）は重要である。受入設備が同種の廃棄物といった狭い範囲の仕様で設計されている場合、前処理が必須になる場合が多い。

2. 2 廃棄物投入と管理に関する BAT

以下の、廃棄物投入と管理に関する一般的慣行は、水銀含有または水銀汚染廃棄物を取り扱うための BAT を用いる際に考慮されるべきである。

- 廃棄物受入場所は清潔・整然とした状態に維持する。
- 受け入れる廃棄物種類に応じて、廃棄物投入に関して品質管理を確立し維持する。これには、以下が含まれる。
 - プロセス投入制限を設け主要なリスクを特定する。
 - 受け入れる廃棄物の品質管理の改善のため、廃棄物排出業者とのコミュニケーションをとる。
 - 焼却施設での投入廃棄物の品質を管理する。
 - 受け入れる廃棄物を確認・サンプリング・試験する。

2. 3 廃棄物焼却に関する BAT

廃棄物焼却炉の操作にあたって、潜在的にトレードオフが存在する。最高レベルの分解 (highest level destruction) を達成するためには、完全燃焼が目的となる。

本節には、廃棄物焼却に関する BAT は、最大限の燃焼を図るために一般的に考慮すべきこと、各廃棄物区分で特に考慮すべきことが説明されている。燃焼技術の選択は焼却する廃棄物の種類による。

2. 4 排ガス処理に関する BAT

(1) 排ガス処理技術

廃棄物焼却施設に関する BAT/BEP ガイダンスにおいては、排ガス処理に関する BAT は「バグフィルター (FF) と揮発性物質を抑制する乾式・湿式システムとの組み合わせ」とされている。実用化されている排ガス処理方式は多様にあるが、BAT/BEP ガイダンスで水銀削減効果が具体的に記載されているのは次のとおり。

表 3 排ガス処理技術とその水銀削減効果

| 処理方式 | 水銀削減効果 | 詳細 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NaHCO ₃ 又は Ca(OH) ₂ 添加 + FF + 活性炭*吹き込み *; 硫黄や臭素などの吸着剤を含浸した活性炭を含む | >95% | 排ガス中の金属水銀濃度が相対的に高いケースでは、硫酸やハロゲン (例えば臭素) を含浸した活性炭を使わなければ十分な除去効率が達成できない。 ESP で同じ量の水銀を捕集するには、FF の 3 倍量の吸着剤が必要。FF は ESP より接触時間が長いため捕集効果が高い。 |
| 高効率スクラバー (洗浄液中の添加を含む) | 約 85% (全水銀として) | HgCl ₂ の除去効率: 95% 以上 金属水銀の除去率: 0-10% (運転温度 60~70°C での凝縮による。洗浄水に硫黄化合物や活性炭を添加すると、金属水銀の吸収が最大 20-30% まで改善する。) 可溶性水銀の再放出を避けるため、沈殿剤を使うことも可能。 |
| スクラバー + 臭素含有物質の燃焼室への投入 | >90% | スクラバー後の排ガスから高濃度の水銀が検出されたタイミングで、Br/Hg の質量比 300 以上の臭素化合物を燃焼室に投入すると、可溶性の 2 価水銀の生成が促進され、除去率が改善する。ただし、この技術は水銀ピークが短時間の場合には効果が無い。 臭素を使うことで、PBDDs/Fs や PXDDs/Fs 生成の原因となる可能性がある。 |

(2) BAT の利用に伴うパフォーマンスレベル

セクション5.5に記載された技術を組み合わせると、水銀濃度 $10\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ の清浄な排ガスとなることが報告されている。セクション3.6の図表は、ほぼ全ての施設で、特に活性炭が他の技術と組み合わせられていた場合、水銀濃度 $10\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ が達成可能であることを示している。活性炭が用いられた場合、欧州と日本のいくつかの施設では、水銀濃度 $1\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 未満となっている。

<セクション3.6に引用されている図表と説明>

図 1に、ドイツにおける51の都市廃棄物・医療廃棄物・有害廃棄物の焼却施設における複合もしくは単独の排ガス管理技術を適用した場合の水銀排出の年平均値を示す。すべての施設は水銀の連続測定装置が備わっている。それぞれの技術の組み合わせごとに、報告されたすべての値の平均値（中央の線）が、標準偏差値（オレンジの線）、最小値と最大値（灰色）とともに示されている。

水銀排出濃度の年平均値は約 $2.5\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ （日平均値を基にした年平均値）で、どの抑制技術の組み合わせを用いた場合でも値は類似している。90%超の施設が $10\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 未満の排出となっている。すべての組み合わせで、報告された排出量が狭い範囲内に収まったことから、適用された技術の組み合わせは水銀削減に有効であるといえる。

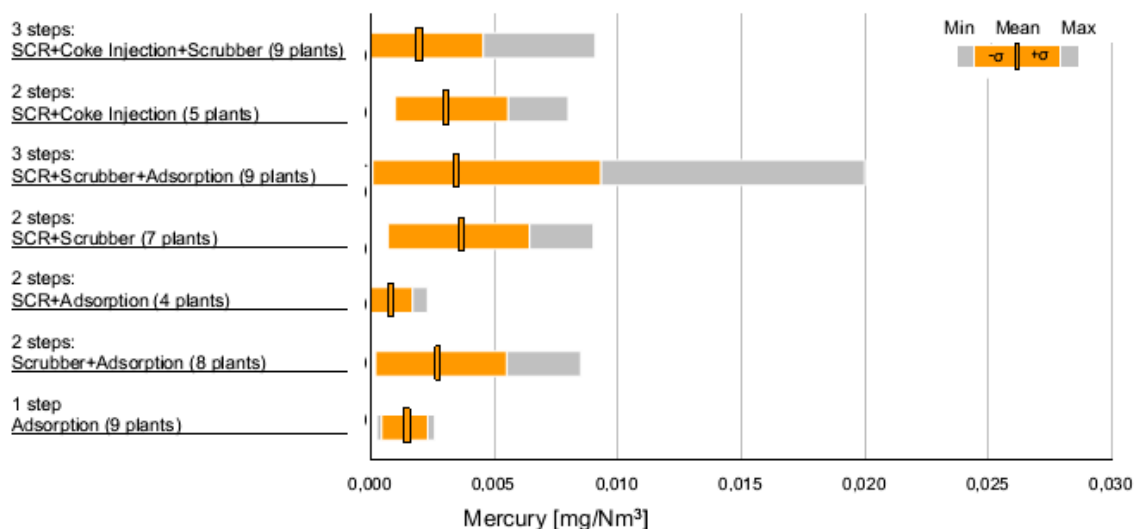


図 1 水銀削減に用いられる排ガス管理技術の比較（施設数はカッコ内に示す）

日本における産業廃棄物及び一般廃棄物焼却施設の実際の測定データを Table 3 及び 4 に示す。産業廃棄物焼却施設の場合、排ガスの水銀濃度が大きく変動している。全ての産業廃棄物及び一般廃棄物焼却施設において活性炭が用いられているわけではないことに留意する必要がある。一般的に、活性炭の吹込みを行っている施設において、よりよいパフォーマンスが達成されている。

Table 3 Distribution of mercury concentration (mg/Nm³) of flue gas by flue gas treatment technology (municipal waste incinerator)

| Flue gas treatment type | Min. | Arithmetic mean | Max. | Standard deviation σ |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------|-------|-----------------------------|
| FF + Slaked lime injection (dry) (86 incinerators) | 0.0005 | 0.0176 | 0.165 | 0.022 |
| FF + Scrubber (32 incinerators) | 0.0002 | 0.0114 | 0.074 | 0.015 |
| FF + (Slaked lime or scrubber) + Activated carbon treatment (229 incinerators) | 0.0002 | 0.0081 | 0.249 | 0.020 |
| ESP + Scrubber (9 incinerators) | 0.004 | 0.0154 | 0.047 | 0.014 |
| ESP + Scrubber + Activated carbon treatment (11 incinerators) | 0.0005 | 0.0043 | 0.014 | 0.004 |

Activated carbon treatment: Activated carbon injection, activated carbon adsorption tower or activated coke adsorption

Table 4 Distribution of mercury concentration (mg/Nm³) of flue gas by flue gas treatment technology (industrial waste incinerator)

| Type of flue gas treatment, business permit | | Min. | Arithmetic mean | Max. | Standard deviation σ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------|-----------------|-------|-----------------------------|
| FF (with dry or wet system) Industrial waste ^a (18 incinerators) | *1 | 0.0001 | 0.0057 | 0.046 | 0.010 |
| FF (with dry or wet system) Infectious waste or industrial hazardous waste (15 incinerators) | *1 | 0.0002 | 0.0062 | 0.039 | 0.0084 |
| FF + Scrubber (liquid chelating agent added) Industrial waste, infectious waste or industrial hazardous waste (5 incinerators) | *2 | 0.0004 | 0.0064 | 0.035 | 0.0077 |
| ESP + Scrubber Industrial waste, infectious waste or industrial hazardous waste (7 incinerators) | *3 | 0.0001 | 0.035 | 0.210 | 0.051 |

^a The term "industrial waste" here does not include industrial hazardous waste.

*1 : Incinerators with flue gas treatment by fabric filters (FF) and one or more of the following: scrubbers (water or alkali washing), activated carbon injection, activated carbon adsorption tower or catalytic reactor

*2 : Incinerators with flue gas treatment by a combination of FF and scrubbing solution added with liquid chelating agent for mercury removal.

日本の一般廃棄物焼却施設（ストーカー炉）でスプレー塔とその後の水酸化カルシウム及び活性炭吹き込み（バグフィルター前）を行っている施設では、水銀排出レベルは 0.4～11.3 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ となっている。

セクション 3.6 の図表はほぼ全ての施設において、特に活性炭が他の技術との組み合わせで用いられた場合、10 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 未満の水銀濃度が達成可能であることを示している。欧州と日

本におけるいくつかの施設では、水銀排出濃度 $1\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ 未満となっている。

3. BEP として掲載されている取組

水俣条約で定義された BEP とは、言い換えれば最適な環境抑制措置と戦略を組み合わせで適用するということである。以下に段階的に示した措置は BEP を適用する際に配慮されるべきである。

- 廃棄物焼却施設の許可、定期的な水銀排出の抑制・モニタリングのための十分な能力と規制インフラの整備
- 公衆・使用者・意思決定者に対して、特定の活動及び製品の選択・最終処分による環境への影響に関する情報提供と教育
- 製品のライフサイクルにおける行動の全てを網羅する、環境に関する良好な慣行の行動規範の作成と適用
- 廃棄物取扱者に適切な処理の指示を誘導するためのラベルの貼付
- 環境リスクを使用者に示すことによって、情報を踏まえた選択を可能とするラベルの貼付
- エネルギーを含む資源の利用
- 全ての廃棄物が環境上適正に管理されることを保証する、住宅、商業、工業プロセスへの廃棄物収集・処分システムの統合
- 有害物質・有害物質を含んだ製品の使用、有害廃棄物発生抑制
- リサイクル・回収・再使用
- 経済的措置、許可システム、制限、禁止、認証、基準、その他の政策ツール
- 水銀廃棄物の環境上適正な管理において重要な観点とされる、廃棄物焼却プロセスに投入される水銀の削減を目的とした水銀ライフサイクル評価（バーセル条約技術ガイドライン参照）
- 許認可プロセスに対する公衆の参加の重要性の認識。公衆の認識・関与を改善する効果的な取組は次のとおり。新聞記事での事前通知、区域内世帯への情報提供、設計・操業の選択肢に関する意見募集、公的スペースでの情報揭示、環境汚染物質排出・移動登録制度の維持、公的ミーティング・議論フォーラムの頻繁な開催。焼却プロジェクトの権限ある当局・提案者は公衆の利害関係者を含めたすべての関係者と協働すべきである。公衆との協議が効果的であるためには、透明で意義があり誠実でなければならない。

BEP としては、以下が掲げられている。

< 廃棄物管理 >

- 廃棄物最小化
- 排出源での分別とリサイクル
- 焼却前の廃棄物検査と特定

- 焼却施設における不燃物除去
- 適切な取扱い・保管
- 保管期間の最小化
- 廃棄物投入（適切な混合）
- 焼却炉操作・管理実践（practices）
- 焼却施設の立地選択
- 焼却炉の適切な設計
- 施設の定期検査と維持管理
- オペレーターの訓練

<火災リスクの防止>

セメントクリンカー製造施設に関する BAT/BEP ガイダンスの概要

1. ガイダンスの構成

1. 1 ガイダンスのサマリー

石灰石及び他の鉱物成分は焼成されてクリンカーとなり、粉碎され、特定の添加物と混合されて、最終製品のセメントとなる。生産プロセスに必要な熱を供給するために、異なる種類の燃料が用いられる。

セメントクリンカーの生産は、原燃料に由来する水銀を大気に排出させる。水俣条約の規定に従って、水銀排出を抑制し、可能な場合には削減するため、BAT/BEP が新規建設施設又は実質的改修を行う施設に適用される。さらに、締約国は、長期的にみて排出の削減における合理的な進展を達成するための対策のひとつとして、既存のセメントクリンカー生産施設に BAT/BEP を適用してもよい。

従って、本章の目的は、セメントクリンカー生産施設からの水銀大気排出を抑制するための BAT/BEP の選択肢を概説することである。セメント生産プロセスの概要から始まり、プロセスにおける水銀の挙動を概説する。水銀排出のための一次的、二次的抑制戦略及び複数汚染物質抑制戦略が示され、BAT/BEP の選択肢が概説される。また、分野特有の水銀排出モニタリングに関する情報も提供される。添付資料には、セメントクリンカー生産施設における水銀の挙動、多様なセメント施設から排出される水銀の化学形態の概要も追加的な情報として提供される。

1. 2 ガイダンスの構成

セメントクリンカー製造施設の BAT/BEP ガイダンスの構成は以下のとおりである。

1 イントロダクション

2 用いられるプロセス（投入物とプロセスにおける水銀挙動の考慮を含む）

2.1 セメント製造プロセスの概要

2.2 クリンカー製造プロセス

2.2.1 クリンカー焼成に関する概要

2.2.2 ロータリーセメントクリンカーキルンに関する概要

2.3 プロセス中での投入物と水銀挙動

2.3.1 投入物区分ごとの水銀量

2.3.2 水銀挙動と水銀バランス

3 水銀排出抑制措置/技術

3.1 一次的措置

3.1.1 投入物管理（慎重な投入物の選択）

3.2 二次的措置

3.2.1 ダスト・シャトリング

3.2.2 ダスト・シャトリングと吸着剤投入

3.2.3 吸着剤投入と仕上げバグハウス

3.3 複数汚染物質抑制措置

3.3.1 湿式スクラバー

3.3.2 選択的還元触媒

3.3.3 活性炭フィルター

4 BAT と BEP

4.1 一次的措置

4.2 二次的措置

4.3 複数汚染物質抑制措置

5 モニタリング

5.1 イントロダクション

5.2 セメント製造プロセスにおける試料採取場所

5.3 セメント製造プロセスにおける水銀の化学形態

5.4 セメント製造プロセスにおける水銀試料採取と測定方法

5.4.1 物質バランス（間接的方法）

5.4.2 水銀のバッチ測定のための手分析（インピンジャー法）

5.4.3 長期的測定

5.4.4 水銀のための連続排ガスモニタリング・システム

6 添付資料

6.1 クリンカー製造施設における水銀挙動

6.2 排出される水銀の化学形態

参考文献

2. BAT/BEP として掲載されている技術

BAT/BEP として、一次的措置、二次的措置、複数汚染物質抑制措置が掲げられている。また、新規及び既存施設において BAT/BEP の適用により達成可能な水銀濃度として、日平均又はサンプリング期間の平均として $0.03\text{mg}/\text{Nm}^3$ 未満（酸素濃度 10%）が示されている。これまでに報告された水銀排出濃度は、世界の大半のセメント施設で $0.03\text{mg}/\text{Nm}^3$ であることを示しており、Renzoni et al.,(2010)の報告書によると、多くの値は $0.001\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下（検出限界以下）であり、 $0.05\text{mg}/\text{Nm}^3$ を超えるものはほとんどないとしている。

本ガイダンス文書に示された技術の適用によって、 $0.03\text{mg}/\text{Nm}^3$ の達成は可能であるが、

例えば、地域の石灰石中の水銀含有量の高さ、施設の設計及び操業モード・条件、排ガス中水銀測定を行うサンプル採取時といった要因によって、当該レベルが達成できないこともあることも言及されている。

<事務局による注釈>

ここで言及されている $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ 未満という濃度は、Renzoni et al.,(2010)の報告書を参照したもの。同報告書は、CEMBUREAU 及び CSI の加盟企業に対して実施したアンケート調査結果に基づき、62 カ国における 1681 の排ガス濃度（乾ガス、酸素濃度 10%）データを分析し、算術平均 $0.012\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、幾何平均 $0.005\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、データの 98%が $0.07\text{mg}/\text{Nm}^3$ 未満であること、データの大半は $0.002\sim 0.032\text{mg}/\text{Nm}^3$ の範囲に入っていること等を考察している。

2. 1 一次的措置

キルンに入る原料及び燃料の選択及び抑制が水銀排出量の削減に効果的であり、キルンへの水銀投入量の削減措置として以下が掲げられている。

- 原料及び燃料中の水銀濃度限度値の利用
- 投入物の品質保証システムの利用（特に原料及び燃料から発生する廃棄物について）
- 水銀濃度の低い投入物の利用、水銀濃度の高い廃棄物の利用回避
- 砕石中の水銀濃度が異なる場合は、選択的採鉱
- 石灰石中の対銀濃度を考慮した新規施設の立地選定

2. 2 二次的措置

二次措置として、以下が掲げられている。

- ダスト・シャトリング及びダストの回収（ダスト・シャトリングにおいてオフガス温度を 140°C 未満にするとさらに効果的）
- ダスト・シャトリング及び吸着剤投入：水銀削減効率 70-90%
- 集じん後の吸着剤投入及び仕上げバグフィルター（polishing bag filter）：水銀削減効率 90%

また、吸着剤投入において、臭素など水銀の酸化剤となる添加剤は水銀削減効率を上昇させる。

2. 3 複数汚染物質抑制措置

SO_x 及び NO_x の除去に設置された大気汚染物質抑制措置も水銀捕集の相乗効果を達成できる。具体的な言及があるのは以下の技術である。

表 4 複数汚染物質抑制措置として言及されている技術

| 抑制措置 | 水銀除去メカニズム | 留意点 |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 湿式スクラバー | 酸化された水銀は水溶性であるため、湿式スクラバーの水状スラリーに吸着される | 金属水銀は非水溶性のため、水銀を酸化させる添加剤を用いない限り、スラリーには吸着されない |
| 選択的還元触媒 | NO と NO ₂ が還元される際、水銀が酸化され、ダストフィルターや湿式スクラバーで除去される | Low Dust SCR ではこの効果はない |
| 活性炭吸着 | SO ₂ 、有機化合物、金属、NH ₃ 、NH ₄ 化合物、HCl、HF、ダストが活性炭により吸着される | 湿式スクラバーから発生する石膏といった製品に水銀が移転する。使用済活性炭の処分が必要となる |