

公開セミナー

水銀に関する水俣条約と我が国の対応

日時：2014年3月12日(水) 14:15~17:30

場所：京都大学 総合研究8号館3階 NSホール

水銀の大気排出対策

**岐阜大学 大学院工学研究科
環境エネルギーシステム専攻
守富 寛**

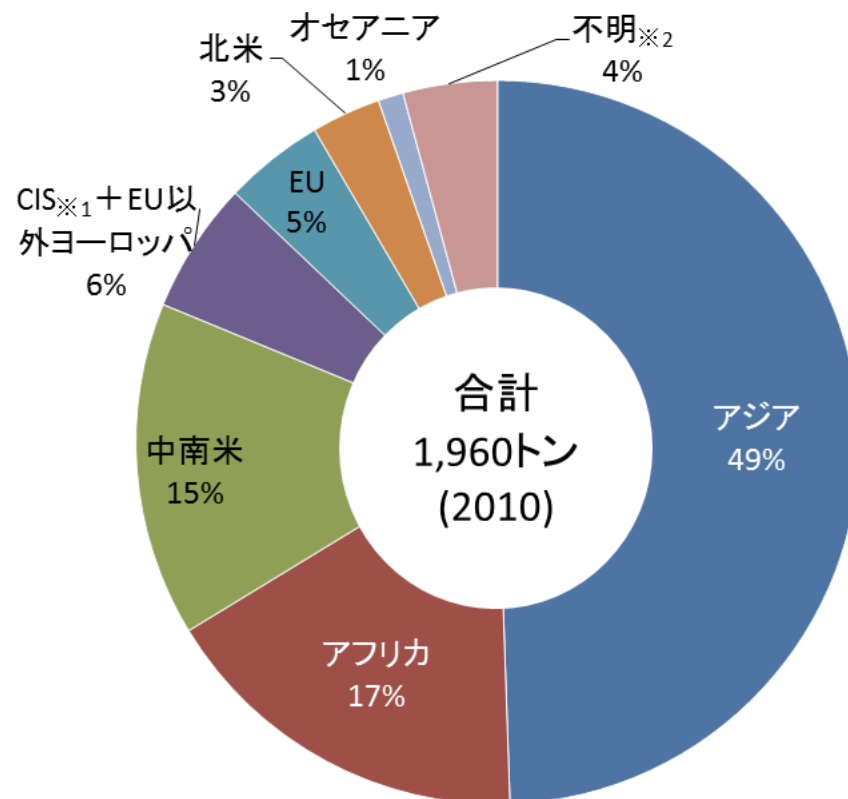
moritomi@gifu-u.ac.jp

発表の構成

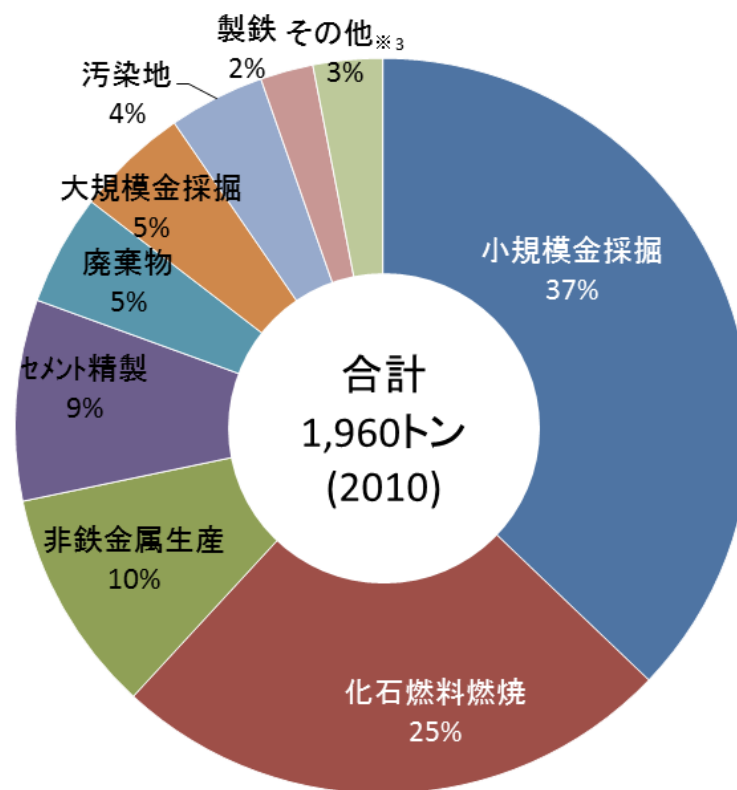
- 1. 国内外の水銀排出状況**
- 2. 水銀削減技術の概説**
- 3. 水俣条約における水銀大気排出規制の内容**
- 4. BAT/BEPに関する専門家会合の結果**
- 5. 海外でBAT事例**
- 6. 水俣条約担保に伴う国内規制のあり方について**

世界での大気排出量：UNEP・環境省

地域ごとの大気排出量(2010年)



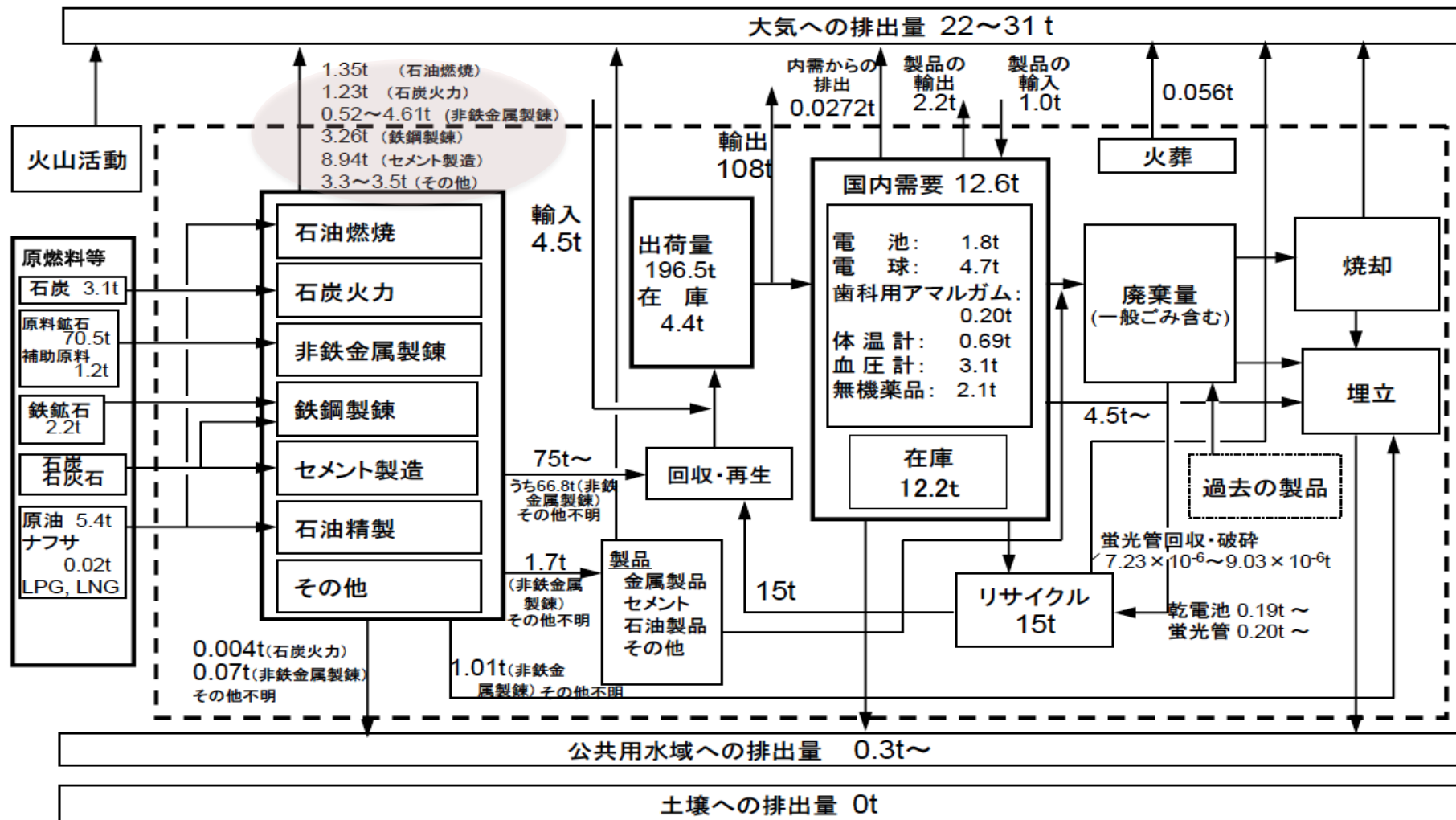
排出源ごとの大気排出量(2010年)



http://www.env.go.jp/chemi/tmms/convention/treaty_outline.pdf

日本の水銀マテリアルフロー及び大気排出インベントリー (平成20 年度環境省有害金属対策戦略策定のための基礎調査において作成)

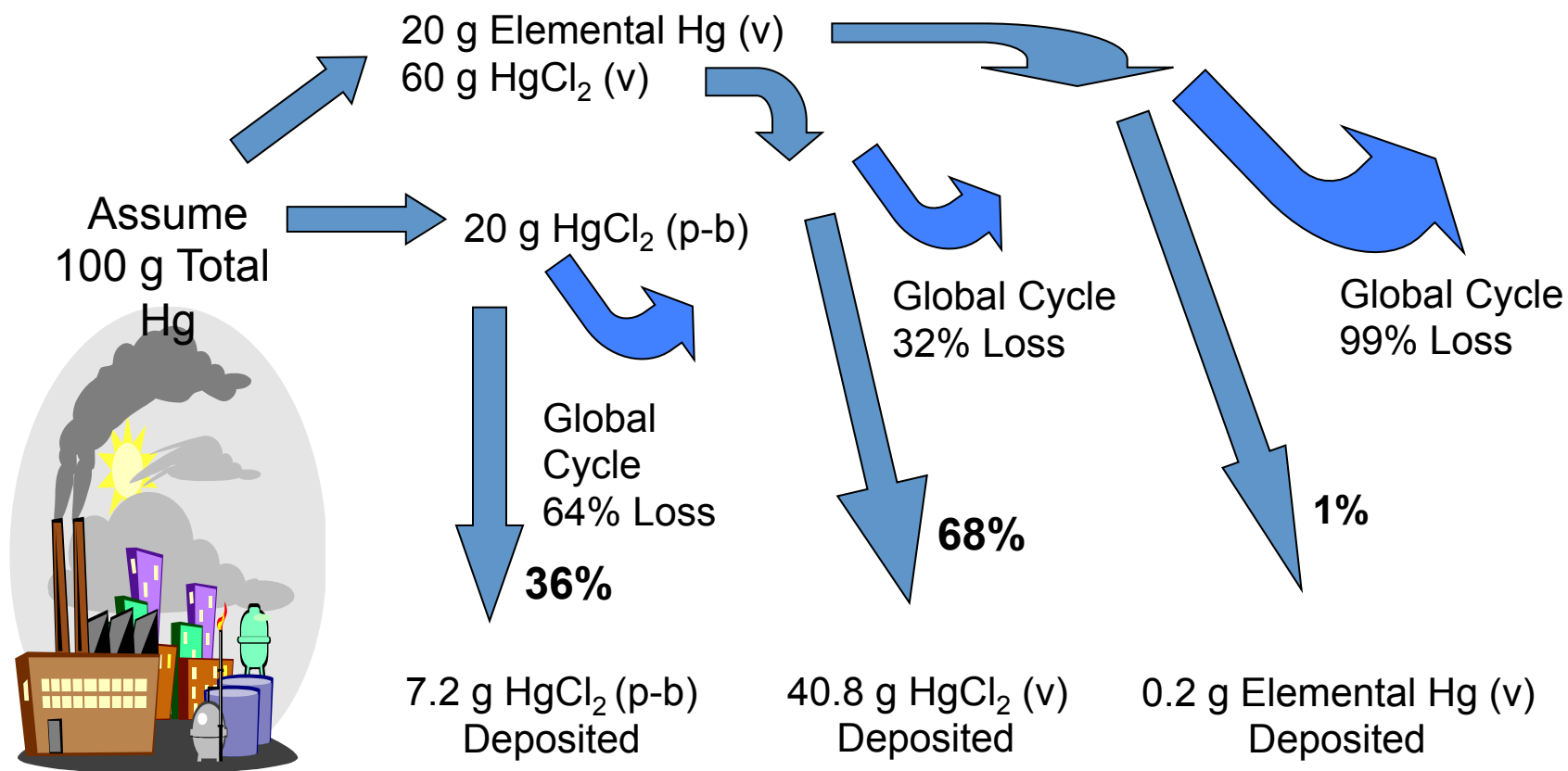
(2002～2006 年の5カ年の統計データ等の平均値を用いて作成)



注) 1. 図中の一部の数値については、出典の異なる数値を合わせている。
2. 在庫は期末時点での在庫量を示す。

Mercury Emissions Partitioning (Dry deposition assumption)

(Reference, EPA OSW-Environmental Protection Agency Office of Solid Waste)



HWC Facility

Only 48.2 g Total Hg Deposited

Emission Rates

Hg⁰ = 0.2% of Total Hg

HgCl₂ = 48% of Total Hg

Vapor Phase Fractions, F_v

F_v for Hg⁰ (0.2/0.2) = 1.0

F_v for HgCl₂ (40.8/48.0) = 0.85

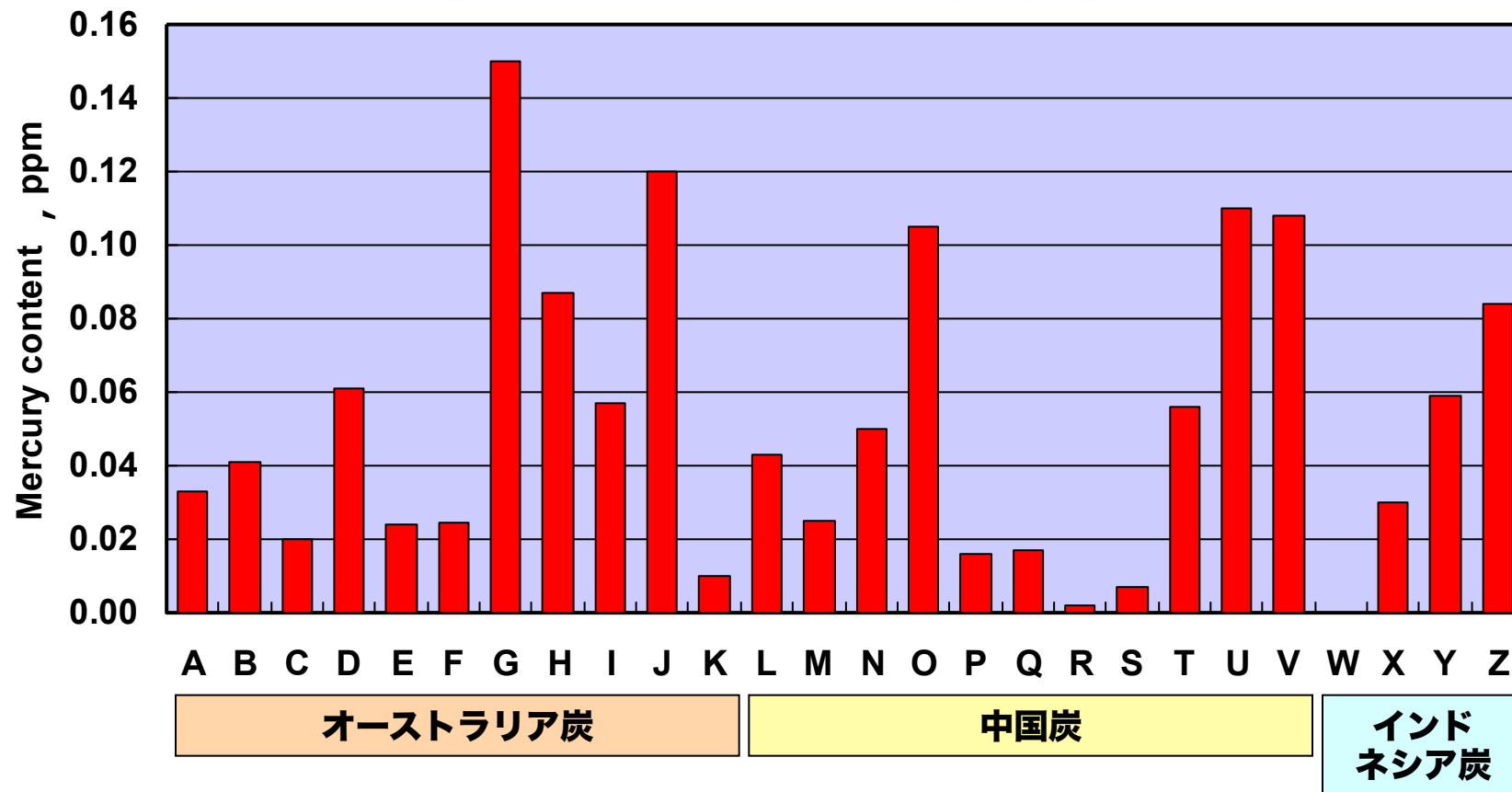
日本の水銀測定結果 (H23)

対象	基準値	測定結果	測定頻度 (測定年度)
大気	指針値：水銀（水銀蒸気） 40ngHg/m ³ 以下 (年平均)	有害大気汚染モニタリング調査結果 ・ 指針値超過数:0/261地点 ・ 平均濃度：2.1ngHg/m ³ ・ 最大濃度：5.3ngHg/m ³	月1回 平成23年度
公共用水域	環境基準値：総水銀 0.0005mgHg/L以下 (年平均)	公共用水域水質測定 (総水銀として測定) ・ 環境基準超過数 0/4219地点	概ね月1回 平成23年度
地下水	環境基準値：総水銀 0.0005mgHg/L以下 (年平均)	地下水質測定 ・ 環境基準超過数 概況調査(2/2908本) 汚染井戸周辺地区調査(3/75本) 定期モニタリング調査(24/107本)	概ね月1回 平成23年度
土壌	・ 環境基準：検液 0.0005mgHg/L ・ 溶出量基準：水銀及びその化合物 0.0005mgHg/L以下，かつアルキル水銀検出不可 ・ 含有量基準：水銀およびその化合物15mg/kg以下	土壌汚染調査 (法に基づかない調査を含む) ・ 環境基準等の超過事例数：83事例	平成23年度

微量成分研究会 (2000年～)

- 1. 発生源の特定化 (自然発生源, 人為発生源)**
- 2. 燃料中の含有量 (石炭等の化石燃料, 廃棄物)**
- 3. 発生メカニズム (単体, 微粒子)**
- 4. プロセス内の収支 (排ガス, 固体, 水処理)**
- 5. 環境影響 (大気, 土壌, 水圏汚染)**
- 6. 健康影響 (直接人体, 食物連鎖, 環境影響)**
- 7. 分析技術 (従来法, 高速, 高精度)**
- 8. 監視技術 (オンライン, リアルタイム)**
- 9. 低減対策技術の可能性 (高温, 低温)**
- 10. 法規制 (海外, 国内, 現在, 将来)**

日本で使用されている石炭中水銀濃度 (出光興産：藤原尚樹)



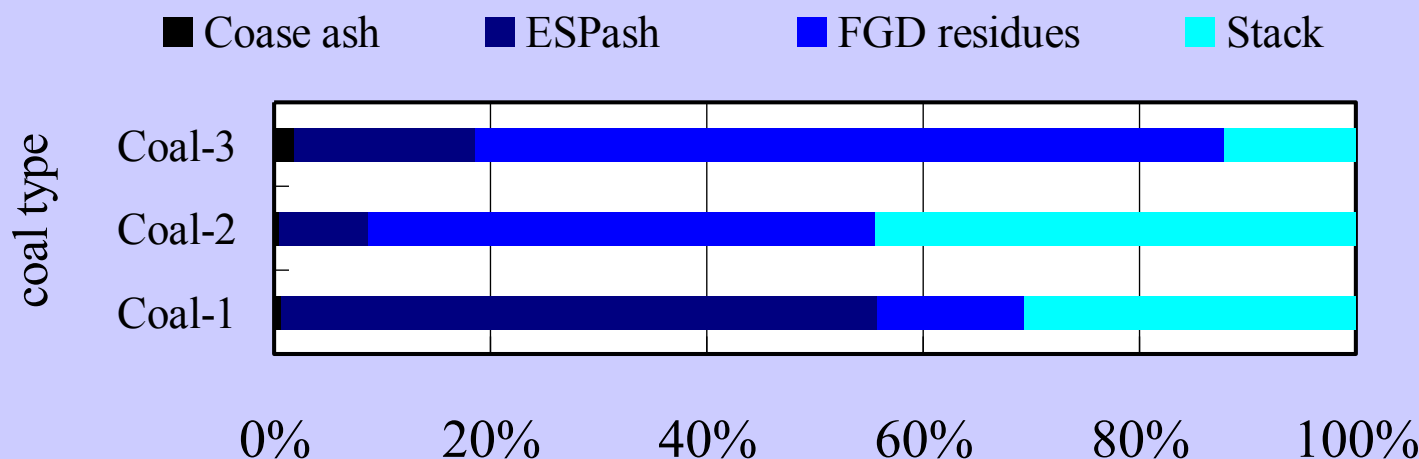
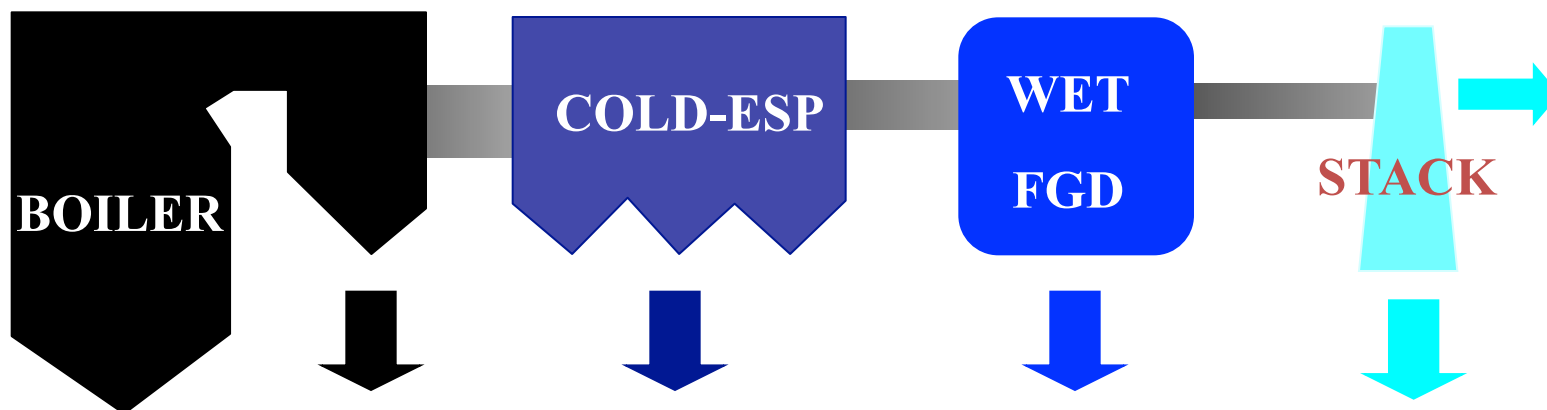
平均濃度: 0.047mg/kg (ppm) , 日本
 0.150(ppm) , 米国

石炭火力からの水銀排出先



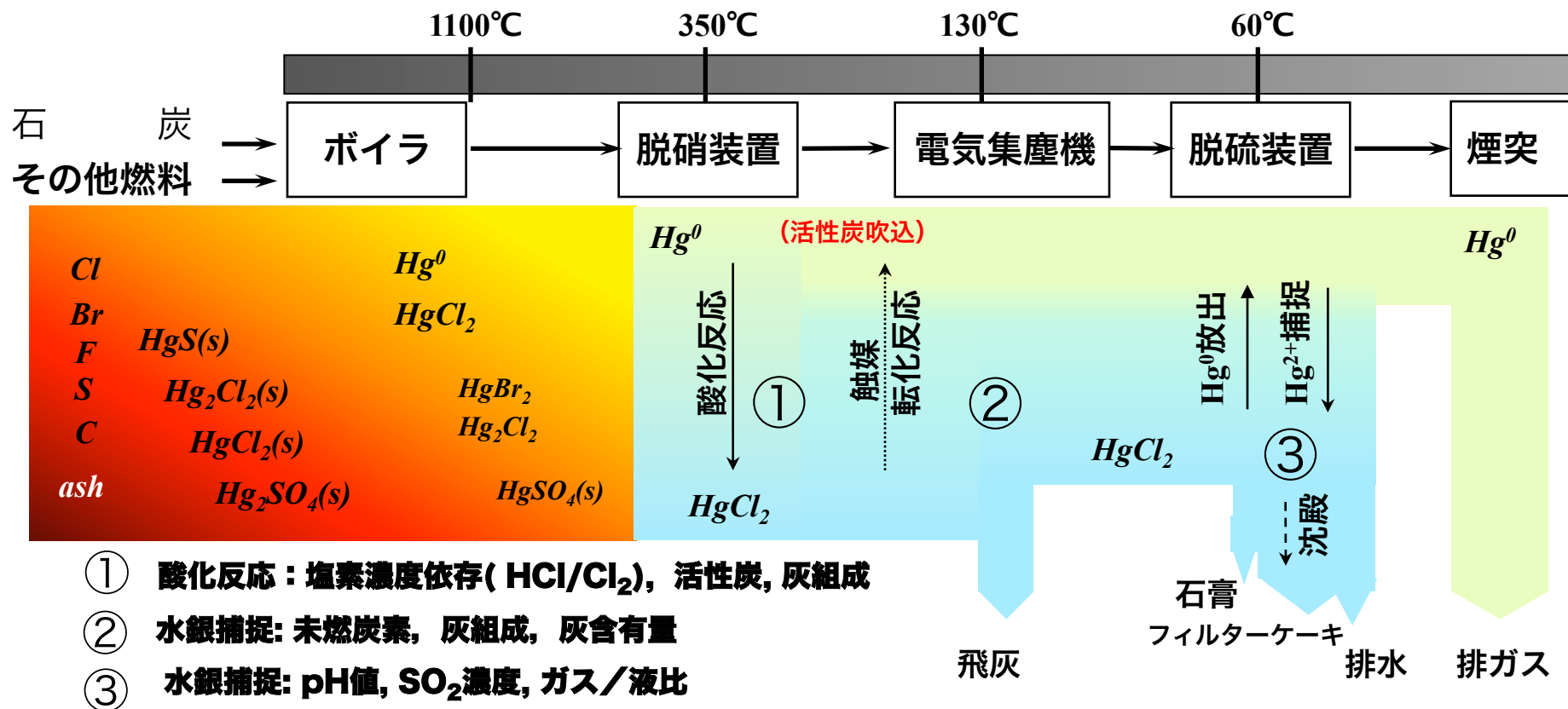
CRIEPI

電中研：横山隆壽



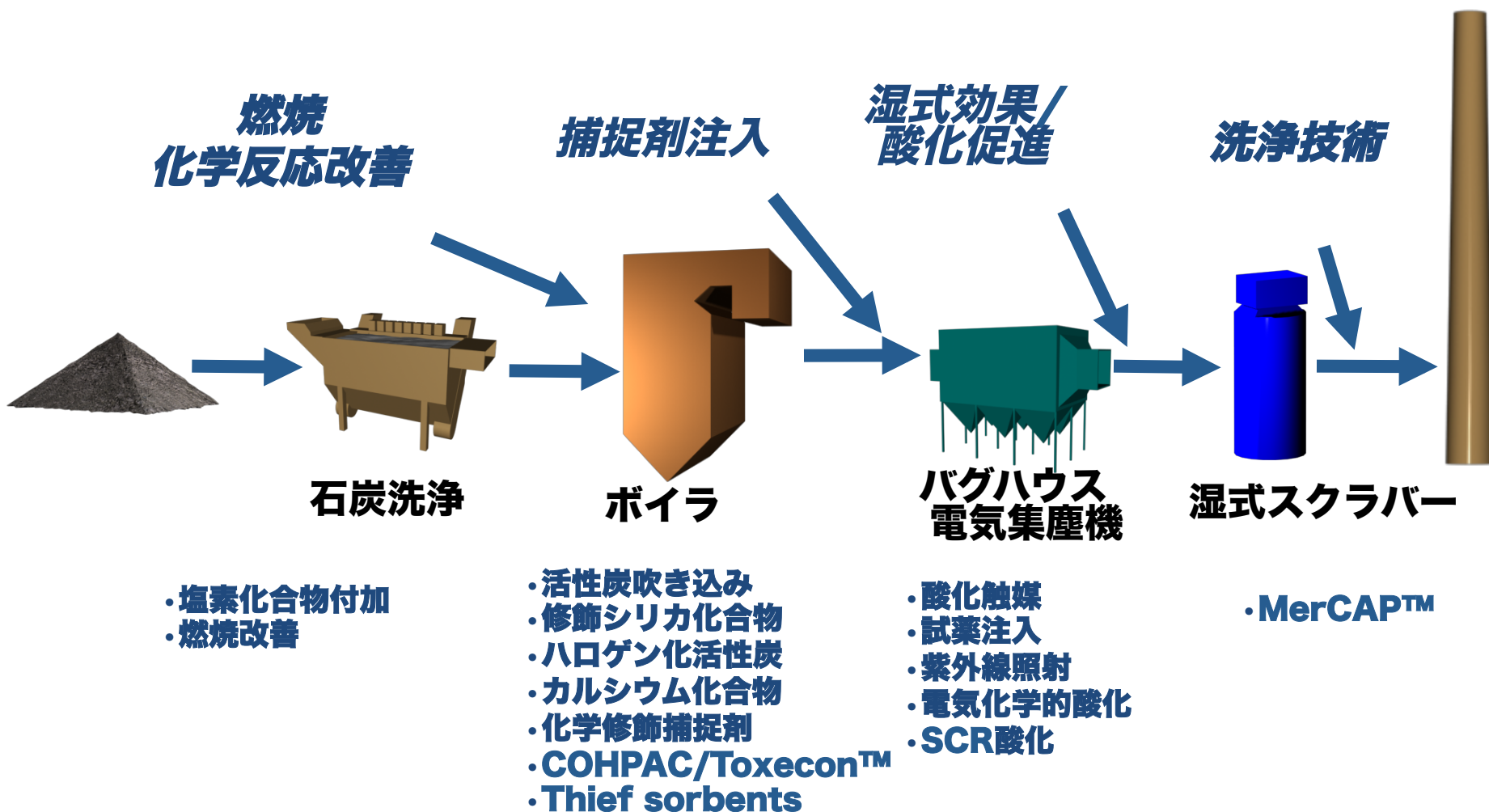
大気へは1/3

石炭燃焼プロセスにおける排ガス処理装置による水銀除去効果と課題



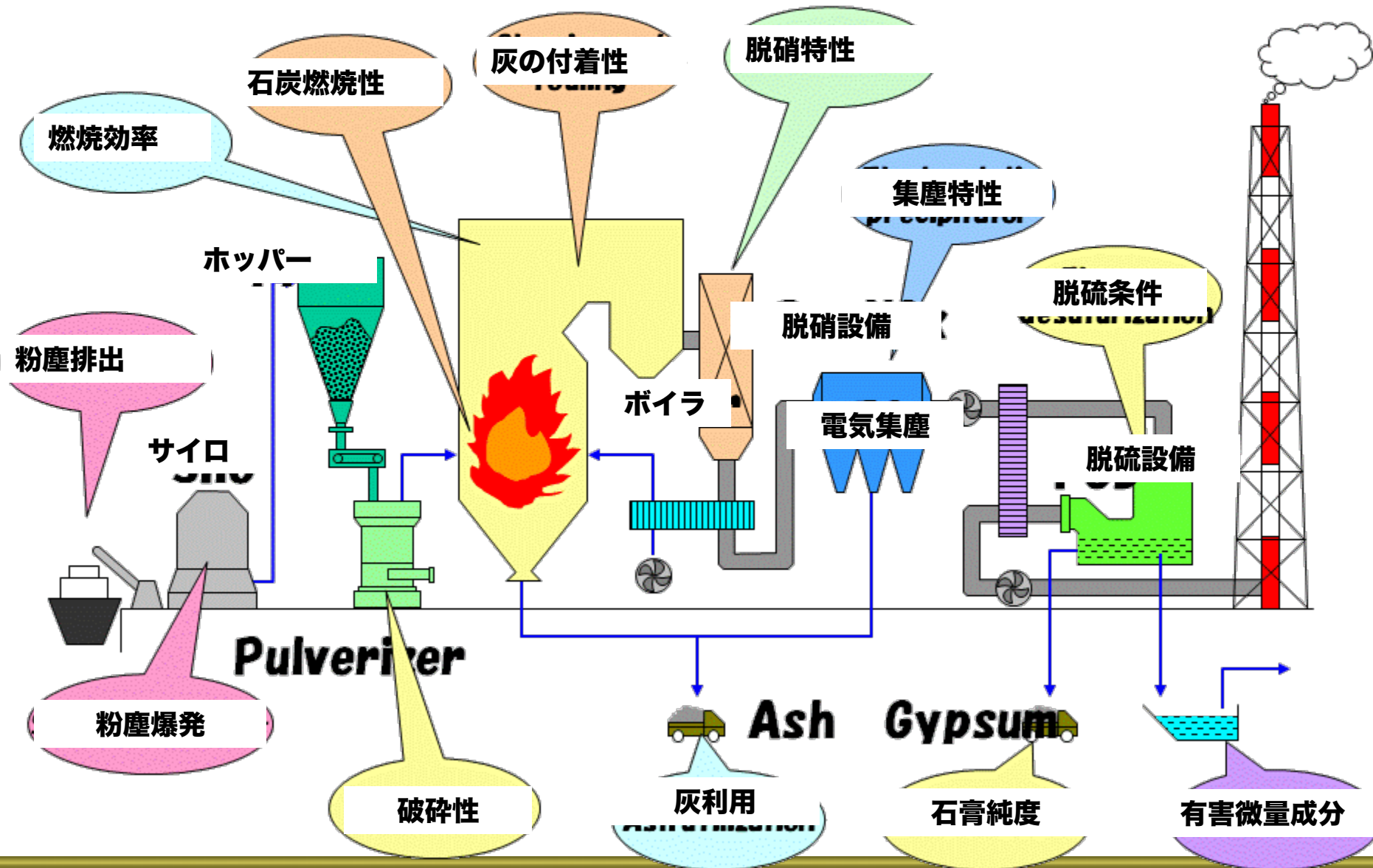
燃焼装置	燃料	洗炭	炉底灰	電気集塵機	脱硫装置	煙突	
微粉炭ボイラ	亜瀝青炭	10-50%	(10%)	0-27%	-63%	10-81%	USEPA(1998,2002)
微粉炭ボイラ	瀝青炭	10-50%	(10%)	18-81%	1-41%	2-52%	USEPA(1998,2002)
ストーカ炉			17%	17%(集塵)		56%	Wang et al.(2000)
小型微粉炭			7%	23%		70%	Wang et al(2000)
都市ごみ				30-60%	6-40%	15-60%	Pirrone et al.(2001)
焼却炉			1.8%	13.9%	77%	7.3%	Nakamura(1994)

石炭火力発電所施設における水銀処理法



Coal quality impact

水銀排出に影響を与える石炭品質と燃焼プロセス条件を入力する



水俣条約における水銀大気排出規制の内容

- **規制対象（附属書Dに掲げられる発生源カテゴリー）**
 - ① 石炭火力発電所
 - ② 石炭焚き産業用ボイラー
 - ③ 非鉄金属生産に用いられる製錬及びばい焼工程
 - ④ 廃棄物焼却施設
 - ⑤ セメントクリンカー生産施設

***各カテゴリーにおける水銀排出量の75%以上をカバーするような発生源特定の基準を定める場合は、締約国は独自に規模要件を設定できる。**

専門家会合で
発生源特定の
基準ガイダン
スを作成

水俣条約における水銀大気排出規制の内容

- 新規発生源に対する規制
 - 新規発生源：次の日の少なくとも1年後に建設又は実質的な改修が開始されるもの
 - ・ 水俣条約が締約国にとって発効した日
 - ・ 附属書Dが改正された場合，附属書Dの改正が締約国にとって発効した日
 - 新規発生源については，水俣条約が締約国にとって発効した日から5年以内に，利用可能な最良の技術（BAT：Best Available Technique）及び環境のための最良の慣行（BEP：Best Environmental Practice）の利用を義務付ける
- ＊BATの適用に適合する排出限度値を用いてもよい。

専門家会合
でBAT/
BEPガ
イダンス
を作成

水俣条約における水銀大気排出規制の内容

・ 既存発生源に対する規制

- 既存発生源：新規発生源以外の発生源
- 既存発生源については、水俣条約が締約国にとって発効した日から10年以内に、次のうち1つ以上の措置を自国の計画に含め、実施する。

- ① 排出規制及び可能な場合には排出削減のための定量的目標
- ② 排出規制及び可能な場合には排出削減のための排出限度値
- ③ 排出規制のためのBAT/BEPの利用
- ④ 水銀排出規制に寄与する複数の汚染物質の規制に関する戦略
- ⑤ 排出削減のための代替的な措置

専門家会合
で取組支援
ガイダンス
を作成

専門家会合で
BAT/BEP
ガイダンス
を作成

水俣条約における水銀大気排出規制の内容

・既存発生源に対する規制

＊異なる既存発生源に対して，同一の措置でも異なる措置でもよい。

＊適用される措置は，長期的にみて排出削減を達成すること。

・その他の義務

- － 排出インベントリーの作成（締約国における条約発効から5年以内）及び維持
- － 締約国がとった措置及びその効果に関する情報を報告

専門家会合
でインベン
トリーの作成
方法に関す
るガイダン
スを作成

BAT/BEPに関する専門家会合の結果

- ・ 会合の概要

- 日時：2014年2月25日～28日
- 場所：オタワ（カナダ）
- 参加者：国連の5つの地域から推薦された専門家，UNEP事務局長から招待されたNGO及び産業界の代表（全体31名のうち，29名が出席）
- 議題
 - ・ 水俣条約第8条で要求される資料の作成
 - 他の国際協定におけるガイダンス資料の他の事例
 - ガイダンス文書の構成案に関する討議及び作成手順
 - ・ 第2回会合の準備

BAT/BEPに関する専門家会合の結果

- ・ 専門家会合が案を作成する4つのガイダンス文書のうち、以下の下線部分は第1回会合で、残りは第2回会合で議論することとなった。
 - BAT/BEPに関するガイダンス（条約第8条45関連）
 - 既存発生源の排出への取組を支援するガイダンス（条約第8条5関連）
 - 発生源分類の特定のための基準ガイダンス（条約第8条2(b)関連）
 - 排出インベントリの作成に関するガイダンス

BAT/BEPに関する専門家会合の結果

- ・ **BAT/BEPガイダンス文書作成の進め方**
 - － 次の4つのセクターごとに専門家会合メンバーがグループを形成し、文書案を作成する。
 - ・ 石炭火力発電所・石炭焚き産業用ボイラー
 - ・ 非鉄金属生産に用いられる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生産施設
 - － 第2回専門家会合（2014年9月9日～12日）でドラフトが議論できるよう、8月12日までに専門家に全てのセクターの文書案を送付するとともに、ホームページに掲載して意見を募る。

BAT/BEPに関する専門家会合の結果

- ・ **BAT/BEPガイダンス文書の構成案（大まかな構成案であり，各グループの裁量で変更してよい）**
 - 序章（目的，関連する水俣条約規定，他の国際的イニシアティブとの関連）
 - 新規及び既存発生源に対するBAT/BEPの概要
 - 水銀による大気汚染の特徴とリスク（WHOのような関連機関と協議のうえ記述）
 - BAT/BEPに関するガイダンス
 - ・ 一般的な原則
 - ・ 媒体横断的な考慮
 - ・ 附属書Dの各発生源カテゴリーに対するBAT/BEP

BAT/BEPに関する専門家会合の結果

- **附属書Dの各発生源カテゴリーに対するBAT/BEP**
 - プロセスの記述
 - 大気排出抑制対策・技術（対策・技術の記述，パフォーマンスレベルの範囲，モニタリング，媒体横断的な影響，設備導入及び運転管理の費用，相乗便益）
 - 新規及び既存発生源のBAT/BEP
 - 事例研究
 - BAT適用における代替選択肢の検討
 - 革新的及び開発中の技術

BAT/BEPに関する専門家会合の結果

- ・ 既存発生源の排出への取組（特に目標設定と排出限度値の設定）を支援するガイダンス文書の構成案
 - － 序章（目的及び構成，条約第8条その他の関連する規定，条約第8条5(a)～(e)に規定される措置）
 - － 考慮事項
 - ・ 定量的目標の設定において考慮すべき事項
 - － ベースライン設定の方法に対するニーズ
 - － 優先順位の設定のためのクライテリア
 - － 目標設定において考慮すべき事項
 - － 各国の目指すレベル
 - － 各国または地域において利用可能なBAT/BEP

BAT/BEPに関する専門家会合の結果

- ・ 既存発生源の排出への取組（特に目標設定と排出限度値の設定）を支援するガイダンス文書の構成案
 - － 考慮事項
 - ・ 排出限度値の設定において考慮すべき事項
 - － 世界レベルではなく、セクターごとの国レベルの値の設定に焦点をあてる
 - － 国情、セクター、プロセスを考慮して、排出限度値の設定方法に焦点をあてる（排出インベントリ及び測定パラメータが必要。既存の排出限度値のほかその背景となる根拠等も含める。）
 - － 国情を考慮してBAT/BEPを特定し、そのBAT/BEPの利用による排出量削減が排出限度値の設定を導く

BATとは 国連欧州経済委員会（UNECE）

UNECE. The Guidance Document
on Best Available Techniques
for Controlling Emission of
Heavy Metals and their
Compounds from the Source
Categories Listed in Annex II of
the Heavy Metals Protocol to the
Convention on Long-range
Transboundary Air Pollution,
July 2013.

11のカテゴリーの排出源に対して、締約国は国情に合わせて、効果的な手段を取ることに
より、水銀、カドミウムおよび鉛を基準年（1990年もしくは1985年～1995年までの特
定の年）の排出量以下に抑制することが求められている。

BATを決める評価基準

- ・ 廃棄物が少ない技術の使用
- ・ より有害物質の少ない技術の使用
- ・ プロセスでの発生および使用する物質、必要なら廃棄物のさらなる回収と再利用
- ・ 産業規模で成功裏に運用されているものと同等のプロセス、施設または操作方法
- ・ 科学的知識および理解における技術的進歩と変化
- ・ 対象とする排出の特性、影響および体積
- ・ 新規あるいは既存設備の運転開始期日
- ・ BATを導入するに必要な期間
- ・ プロセスで使用する原料（水を含む）の消費と特性およびエネルギー効率
- ・ 排出の環境への全体的影響およびリスクを最小化する必要性
- ・ 事故防止およびその環境影響を最小化する必要性
- ・ 国家および国際機関から刊行されている情報

UNECE; United Nations Economic Commission for Europe
LRTAP; Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution Heavy
Metals ; 1979年重金属の広域越境大気汚染条約の議定書)

水銀条約と我が国の課題
 ー排出削減手段としてのBATを中心にー
 電力中央研究所 報告：印刷中（2014）
 下田昭郎，横山隆壽，窪田ひろみ

BATとは

国連欧州経済委員会（UNECE）

化石燃料排ガスに対する水銀抑制技術

抑制手段	除去効率 (%)	除去コスト(トータルコスト US\$)
重金属類排出の少ない燃料への転換 ^a	煤塵として 70 – 100	極めてケースバイケース
コールクリーニング	Cd, Pb: 最大 80; Hg ^a : 10 – 50	
ESP (低温)	Cd, Pb: >90; Hg ^a : 10 – 40 PM: >99.5 – 99.8	特別投資 US\$ 5-10/m ³ (1時間当たり排ガス量) (> 200,000 m ³ /h)
(湿式)排煙脱硫 (FGD)	Cd, Pb: > 90; Hg ^b : 30 – 70	US\$15-30/Mg排ガス量
FF	Cd: >95; Pb: >99; 5 Hg ^b : 10 – 60 PM >99.95	特別投資 US\$8-15/m ³ (1時間当たり排ガス量) (> 200,000 m ³ /h)
ESP またはFF, 及びFGD	Hg ^b : 75 (平均)	0.03 – 0.15 US\$ cts/kWh ⁷
ESP またはFF, 及び吸着剤吹込み	Hg: 50 – 95	90 % 抑制: US\$ 35,000 – 70,000/Hg 1lb(0.45 kg)除去, (0.0003 – 0.002 US\$/kWh)
(臭化) 活性炭 (ACI) 吹込み	Hg: >90	US\$ 15,000 Hg 1lb除去/ 0.0012 US\$/ kWh (ACI のみ)/ 6 – 30 Million. € / 装置単位 または 0.0001€ / k Wh); 1 – 2 Million. US\$装置単位; 0.0005 – 0.003 US\$/ kWh
ESP または FF, 及びカーボンフィルタベッド	Hg: 80 – 90	US\$ 33,000 – 38,000 1lb除去
ESP または FF, 及びFGD 及び SCR (複数汚染物質アプローチ)	Hg: 90 (平均) Hg: 30 – 70 (亜歴青炭及び褐炭)	SO ₂ 及び NO _x に関する同時除去アプローチをベースとして水銀除去に対する追加コストはなし

^a炭種類による

^b存在する水銀の形態による (HgO, Hg²⁺)

BATとは 欧州連合（EU）

EU環境政策の柱はIED（統合的アプローチ、BAT、柔軟性、査察、公衆参加）
BATに関する参照文書はBREF

EU-IEDの水銀排出基準

瀝青炭燃焼から排出される水銀に関するBATに関連する排出水準(BAT-AEL)				
燃焼プラントの熱入力 (MWth)	BAT-AEL($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)		平均時間	モニタリング 頻度
	新設プラント	既設プラント		
<300	0.5 - 5	1 - 10	1年間で得た試料の 平均	定期測定: 4回/年
>300	0.2 - 2	0.2 - 6	年平均	連続モニタ
亜瀝青炭及び褐炭燃焼から排出される水銀に関するBATに関連する排出水準(BAT-AEL)				
<300	1 - 10	2 - 10	年平均	連続モニタ
>300	0.5 - 5	0.5 - 10	年平均	連続モニタ

水銀条約と我々が国の課題
ー排出削減手段としてのBATを中心にー
電力中央研究所 報告：印刷中（2014）
下田昭郎，横山隆壽，窪田ひろみ

BATとは 欧州連合（EU）

EU-IEDの水銀排出抑制技術

技術	適用
他の汚染物質のために取られた手段の相乗便益効果	
バグフィルタ	一般に適用可能
ESP（電気集塵機）	一般に適用可能
SCR（選択的触媒還元法）	一般に、300MWthを超えるプラントに適用可能 300MWth未満の微粉炭燃焼ボイラにも適用可能
FGD（脱硫）技術（湿式石灰法、スプレイドライ法、乾式石灰吹き込み法）	排ガス中のSO _x 含有量を低減する必要がある場合に一般的に適用可能
水銀に特化した削減方法	
燃料選択 （水銀含有量が25μg/kg以下の石炭および褐炭の選択）	様々な種類の燃料が入手し得るという条件内で適用可能 加盟国のエネルギー政策に影響する可能性
ACI（活性炭吹き込み）	一般に適用可能
燃料へのハロゲン添加剤の使用またはハロゲン添加剤炉内吹き込み	ハロゲンのされる大気中への排出が抑制される条件下で、燃料中のハロゲン含有量が低い場合に適用可能
燃料の前処理（燃料洗浄、ブレンドおよび混合）	適用性は、過去の燃料特性の調査とこの技術の潜在的効果の推定に基づいている

BATとは 米国（US）

US環境政策の柱はCAAからMATS

米国の既設および新設石炭火力発電所に関する排出基準値

区分	フィルタ捕集性PM	HCl	Hg
既設ー低品位バージンコールでないもの	3.0E-2 lb/MMBtu (3.0E-1 lb/MWh)	2.0E-3 lb/MMBtu (2.0E-2 lb/MWh)	1.2E0 lb/TBtu (1.3E-2 lb/GWh)
既設ー低品位バージンコール	3.0E-2 lb/MMBtu (3.0E-1 lb/MWh)	2.0E-3 lb/MMBtu (2.0E-2 lb/MWh)	1.1E+1 lb/TBtu (1.2E-1 lb/GWh) 4.0E0 lb/TBtu a (4.0E-2 lb/GWh a)
既設ーIGCC	4.0E-2lb/MMBtu (4.0E-1 lb/MWh)	5.0E-4lb/MMBtu 5.0E-3 lb/MWh)	2.5E0 lb/TBtu (3.0E-2 lb/GWh)
新設ー低品位バージンコールでないもの	9.0E-2 lb/MWh	1.0E-2 lb/MWh a	3.0E-3 lb/GWh
新設ー低品位バージンコール	9.0E-2lb/MWh	1.0E-2 lb/MWh a	4.0E-2 lb/GWh
新設ーIGCC	7.0E-2 lb/MWh b 9.0E-2 lb/MWh c	2.0E-3 lb/MWh d	3.0E-3 lb/GWh e

5.9μg/kWh

1.36μg/kWh

a MACTフロアを超える基準値。

b 合成ガスに関するダクトバーナー：受理したコメントにおける許可レベルに基づく

c 天然ガスに関するダクトバーナー：受理したコメントにおける許可レベルに基づく

d 同様な排出源の最善性能に基づく。

e 受理したコメントにおける許可レベルに基づく

**日本の平均的排出量
4.43μg/kWh**

CAA; Clean Air Act (大気浄化法)
HAPs; Hazardous Air Pollutants (有害大気汚染物質)
MATS ; Mercury and Air Toxics (水銀および有害大気物質)

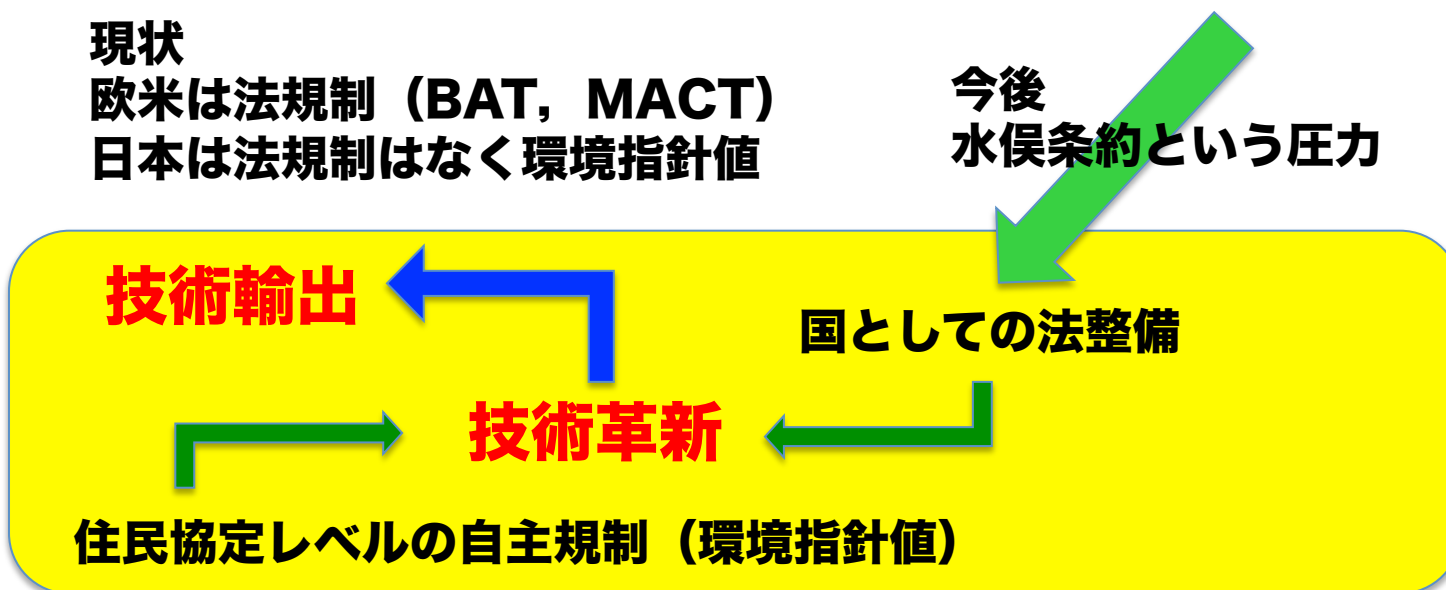
石炭と他の燃料を組み合わせる場合、3ヶ年の年平均熱入力に占める石炭の割合が15%を超える場合は石炭燃焼とする。

水俣条約担保に伴う国内規制のあり方について（技術専門家の観点から）

水俣条約は、法的拘束力の強い部分（水銀の生産禁止、水銀の輸出入禁止、水銀含有製品の製造および輸出入の禁止）がある一方、削減のためのオプションという形で柔軟性を認めた義務（石炭火力発電所を含む4施設および家内的小規模採掘からの水銀排出）との両面がある。

現状
欧米は法規制（BAT, MACT）
日本は法規制はなく環境指針値

今後
水俣条約という圧力



地球にも人にも愛を！

ご静聴ありがとうございました

黒いダイヤモンドが輝きますように！