

我が国及び世界の 水銀の使用・排出状況

1. 水銀の生産量・需要量（日本と世界）
2. 水銀の国内フロー
3. 水銀の大気排出量（日本と世界）

（独）国立環境研究所 貴田晶子

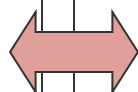
Hgの課題

国内

1. Hgを含む魚類に対する摂食の注意(厚生省H15.6) → 見直し作業へ → 環境対策の必要性
2. リサイクル → アジア圏への廃棄物・二次資源の移動 特にHgはアジア圏へ
3. アジア圏で品質の悪い石炭燃焼 → 酸性雨と同様日本への影響
4. 有害物質の排出登録→排出インベントリ→排出抑制物質

国際

1. メチル水銀の毒性評価の改訂 FAO/WHO
TWI:3.3 $\mu\text{g/kg}$ 体重 → 1.6 $\mu\text{g/kg}$ 体重
2. UNEP、EU、アメリカで水銀削減プロジェクト進行 (特に2000～)
 - ◇ 感受性の高い女性・妊婦・胎児への健康影響
 - ◇ 水銀の長距離移動
 - ◇ 石炭燃焼の排出規制強化
3. Hgの大気排出量はアジアが最大



Mercury Programme

- 2001年水銀汚染に関する活動を地球規模で推進することを決定。世界水銀アセスメントを実施
- 2003年アセスメントのレビューに基づき、UNEPは正式に水銀プログラムを設置。
- 2007年水銀対策の優先分野。
 - 人為的な大気への水銀排出の削減
 - 水銀を含む廃棄物の処理対策
 - 製品及び生産プロセスへの 水銀需要の削減
 - 水銀の一次生産の削減の検討を含む水銀供給の削減
 - 環境影響の少ない水銀の長期保管
 - 汚染された場所の修復
 - 知識の増進

水銀規制に関する条約の制定に向けて、2010年に政府間交渉委員会を開催することが合意(交渉の期限は2013年のUNEP第27回管理理事会)

朝日新聞 (2/21 朝刊 1面)

水銀の輸出入 条約で規制へ

国連環境計画

国境を越えた汚染の広がりが懸念される水銀について、排出の抑制や輸出入の規制を定める条約の制定を目指すための交渉が、約150カ国が参加してナイロビで開催された国連環境計画(UNEP)の管理理事会で、18年の期間をめざして来年から交渉を始めることが合意した。

水銀は蛍光灯や電池などに含まれ、鉄鋼やセメントの生産工程などでも排出。途上国を中心に、石炭火力発電所や化学工業の排気などで大気への放出が急増し、工場廃液に

による水銀汚染とともに健康被害の恐れが指摘されていた。これまで、鉛やカドミウムを含めて規制する条約の制定を促せる欧州連合(EU)と、自主的な取り組みで削減する米国や中国、インドなどの主要な水銀輸出国が対立していた。しかし、交渉は政府機関間の交渉を促進し、条約の制定に向けた交渉を加速させることになった。

条約では、輸出入規制の内容や製品中の含有量の保管・管理の方法、途上国の削減促進のための技術支援のあり方などを定める見込み。

水銀規制は、EUが08年9月、域外への輸出を11年までに禁止すると決定。米国でも08年10月、当時上院議員だったオバマ大統領が提出した、13年までに輸出を禁止する法案が成立した。日本政府も水銀汚染の軽減を生かす立場から条約化に前向きだった。

日本では、水銀鉱山の閉鎖や代替技術の開発で、水銀需要は04年の約2500トンから05年には約10トンに減った。しかし、工業生産の廃棄物として、工業廃棄物として分別収集を始めて07年度には240トンが回収され、2007年がアジアで唯一輸出された。水銀は完全に無害な状態にするのが難しく、投棄にわたる国内での保管の確立が課題だ。

(平井良和)

世界の水銀の生産量

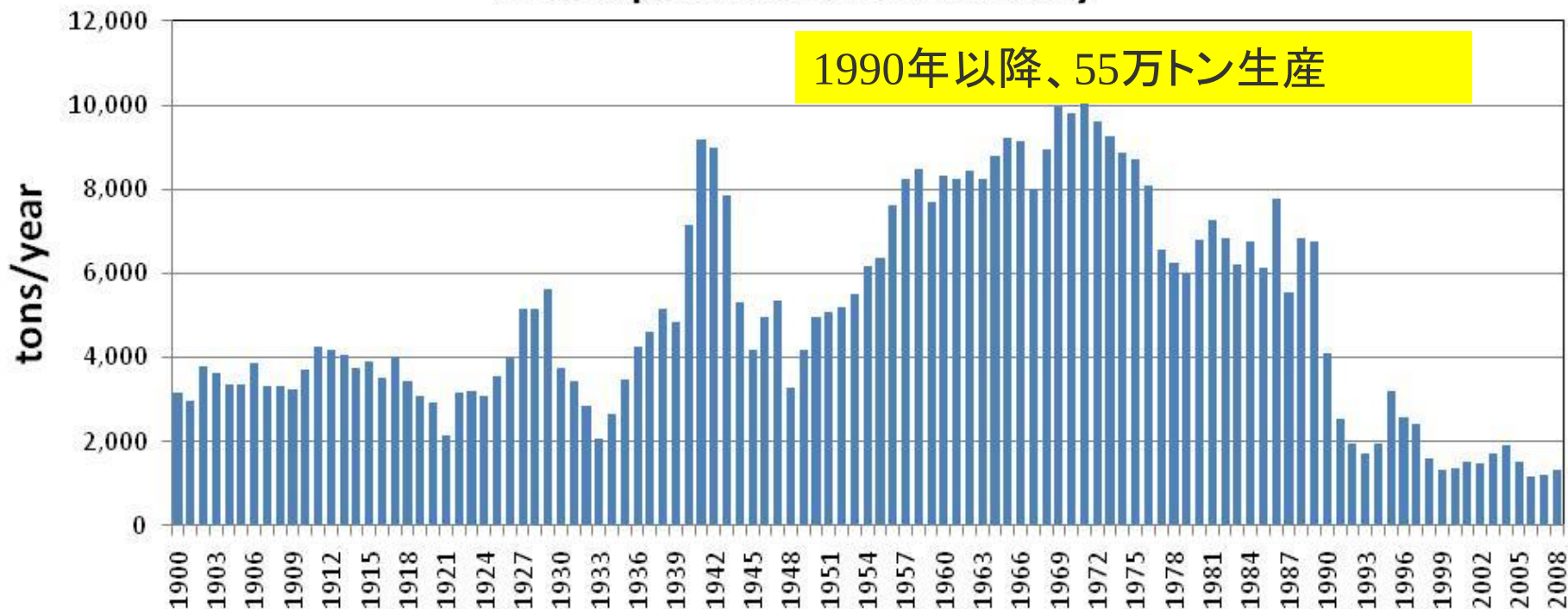
1900年～1940年：3000トン前後

需要量(消費量)とは異なる

1940年代：9000トン、1950年～1980年：8000～10000トン、

1990年以降減少し2000トン以下 2008年で約1300トン

World production of Mercury

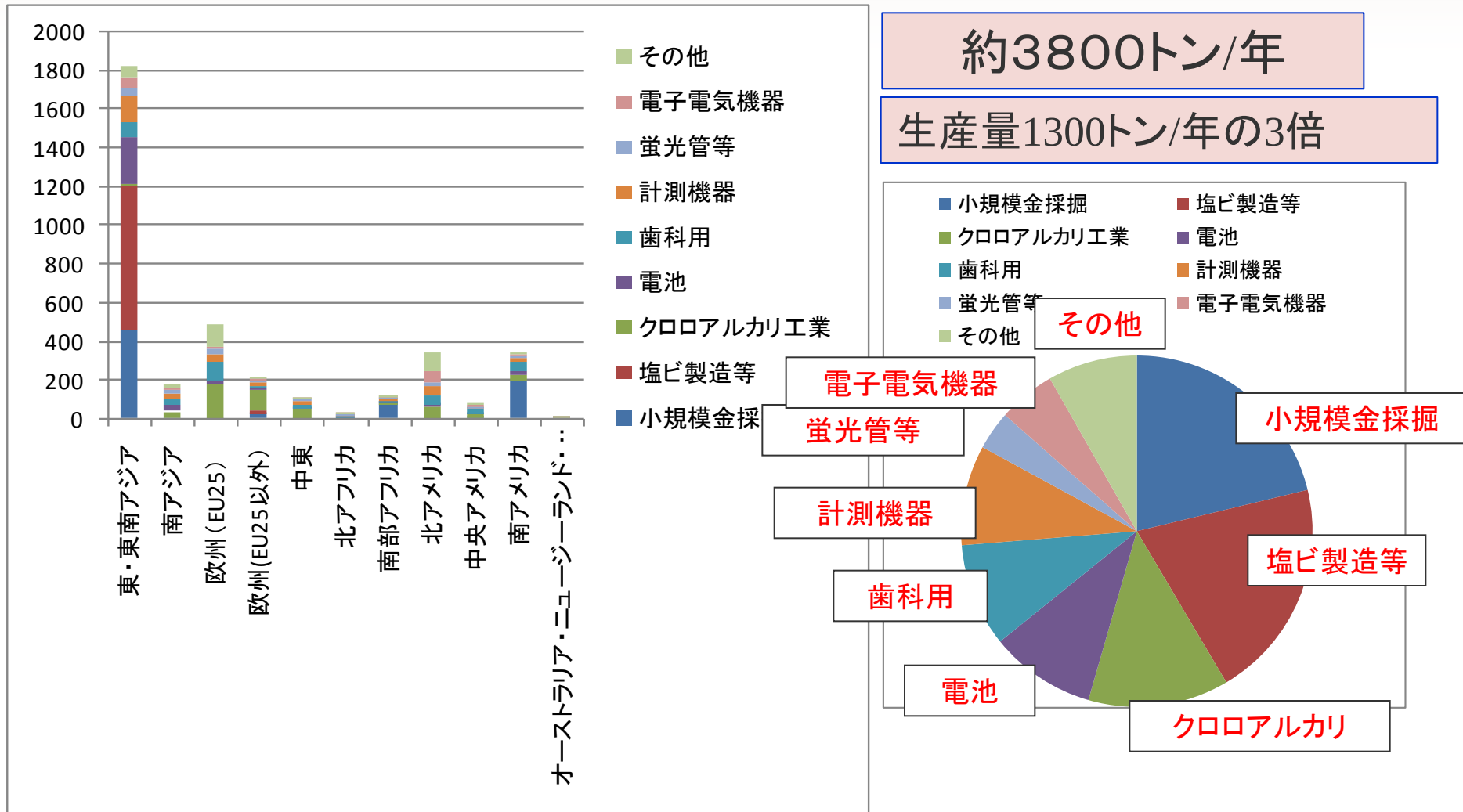


<http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/index.html>

USGS(US Minerals Survey)

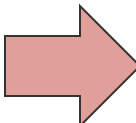
世界の水銀消費量(2005)

UNEP: Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment(2008)より



クロロアルカリ工業の水銀法採用割合

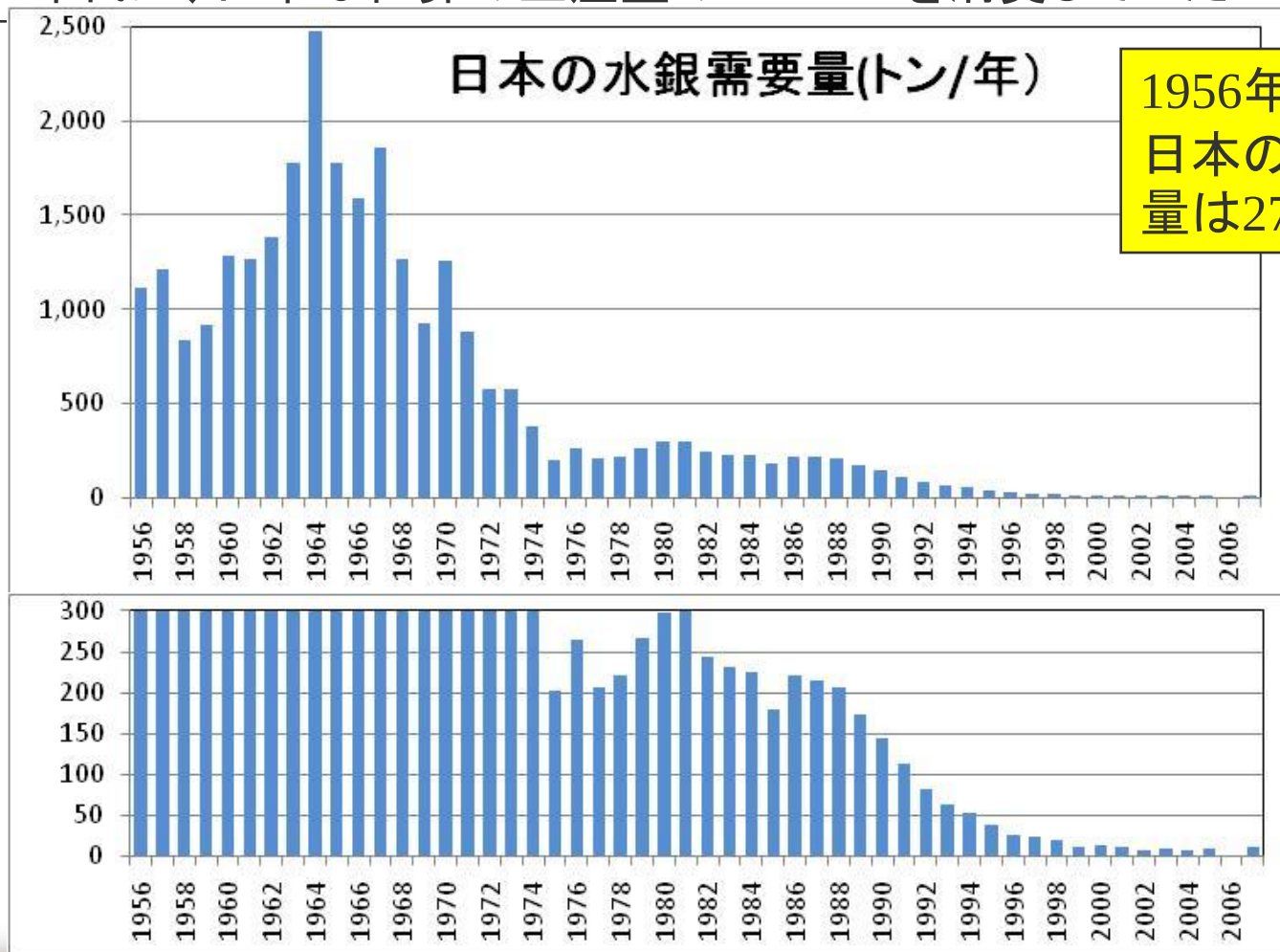
多くの工業国で、まだ水銀法が用いられている → EUにおけるHg使用削減の最優先分野



国	生産能力 (kt/y)		製法別割合(%)		
	総計	アンモニア ソーダ法	隔膜法	水銀法	イオン 交換膜法
アメリカ	12594	2.1	73.2	12.8	11.8
日本	4042	—	18.4	—	81.6
ドイツ	3969	—	36.1	63.4	0.5
ソ連	3822	—	50.5	44.2	5.2
中国	3482	2.4	80.7	7.1	9.8
フランス	1666	—	38.9	43.6	17.5
カナダ	1563	—	79.6	10.6	9.8
ブラジル	1413	—	59.9	21.9	18.2
イギリス	1395	—	13.6	73.8	12.6
イタリア	1238	—	3.2	83.1	13.7
インド	1217	1.9	8.2	60.1	29.7
スペイン	902	—	22.4	69.3	8.3
ルーマニア	884	19	24.9	56.1	—
オランダ	710	—	20.7	32.3	47
ベルギー	651	—	0.0	78.5	21.5
ポーランド	614	—	10.9	89.1	—
スウェーデン	534	—	22.9	59.9	17.2
メキシコ	529	—	61.6	38.4	—
韓国	518	—	38.2	2.3	59.5
世界全体	48027	1.1	44.5	33.9	20.5

日本の水銀の需要量

1950年代～1970年代半ば: 1000～2500トン、
1970年半ば～1990年: 100～300トン 1990年以降: 数十トン
1960年代に、日本は世界の生産量の1/5～1/4を消費していた

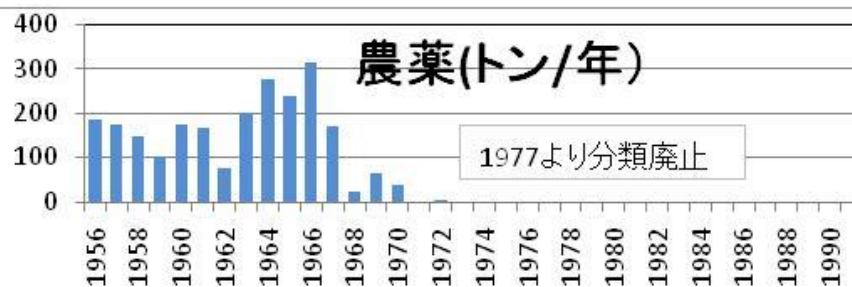
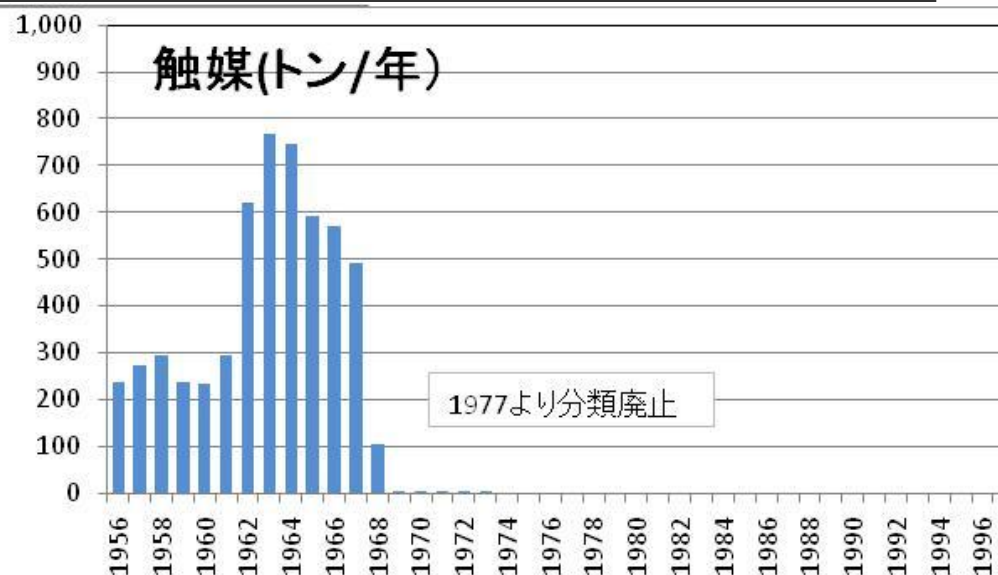
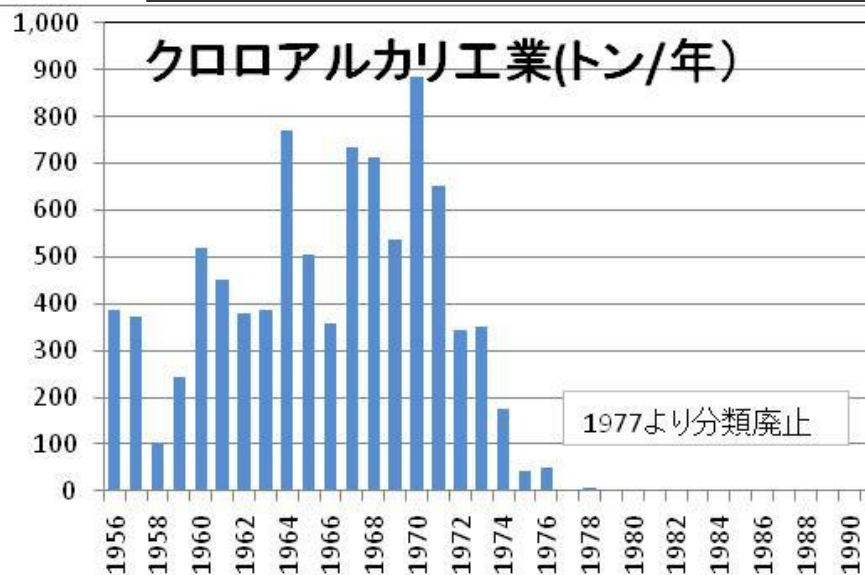


1956年以降の
日本の全消費
量は27,400トン

日本の水銀の使用用途

1970年代まで多量に使用された用途：

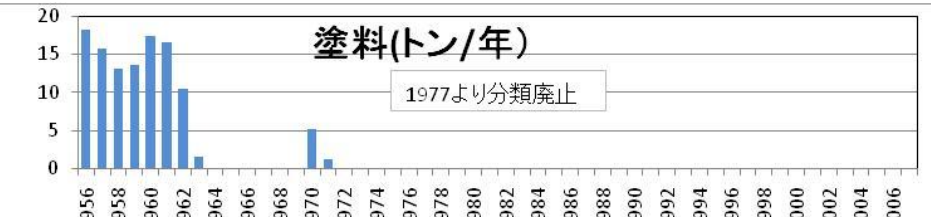
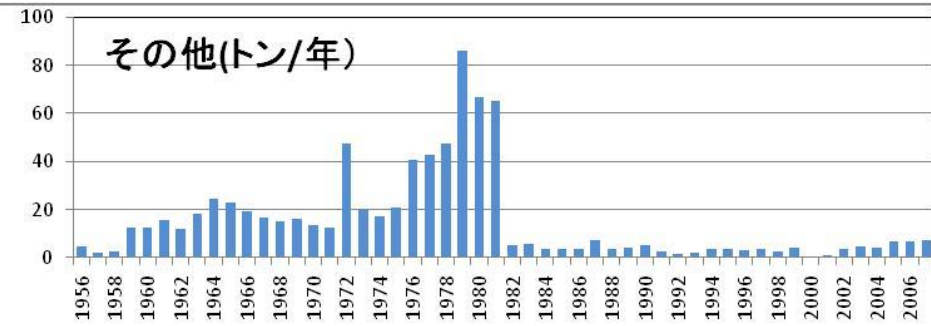
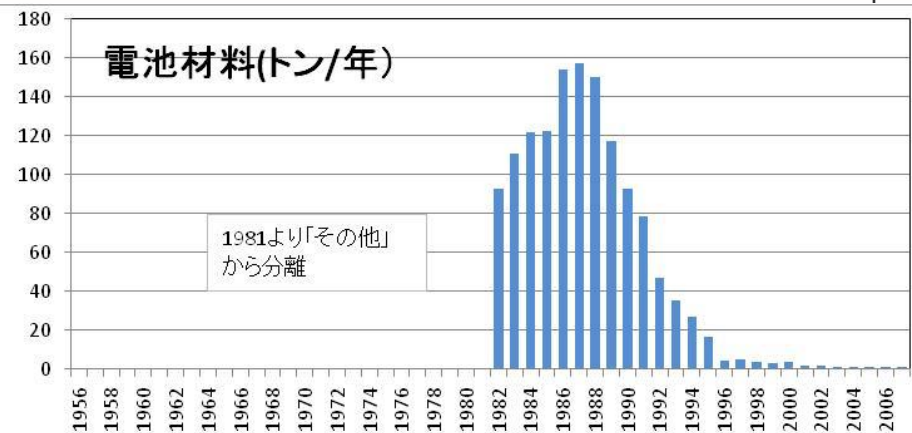
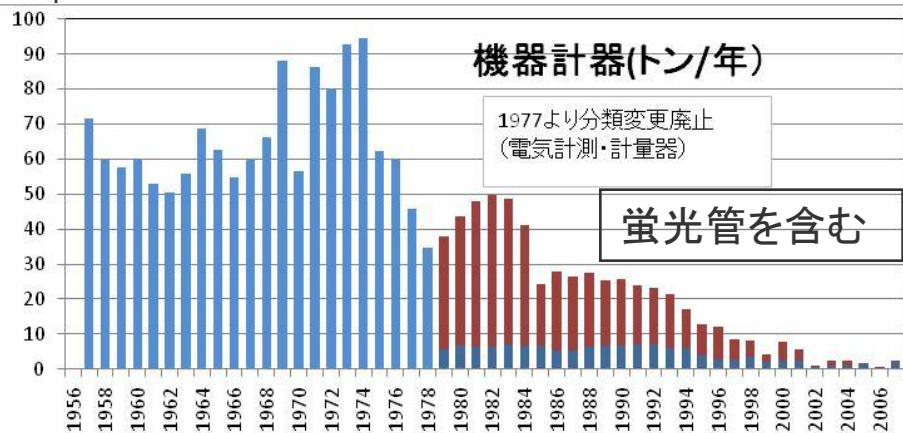
クロロアルカリ工業（水銀電極）、触媒、無機薬品、農薬



日本の水銀は何に使用されたか

計測機器：1970年代の60～90トンから減少し、2000年以降10トン以下

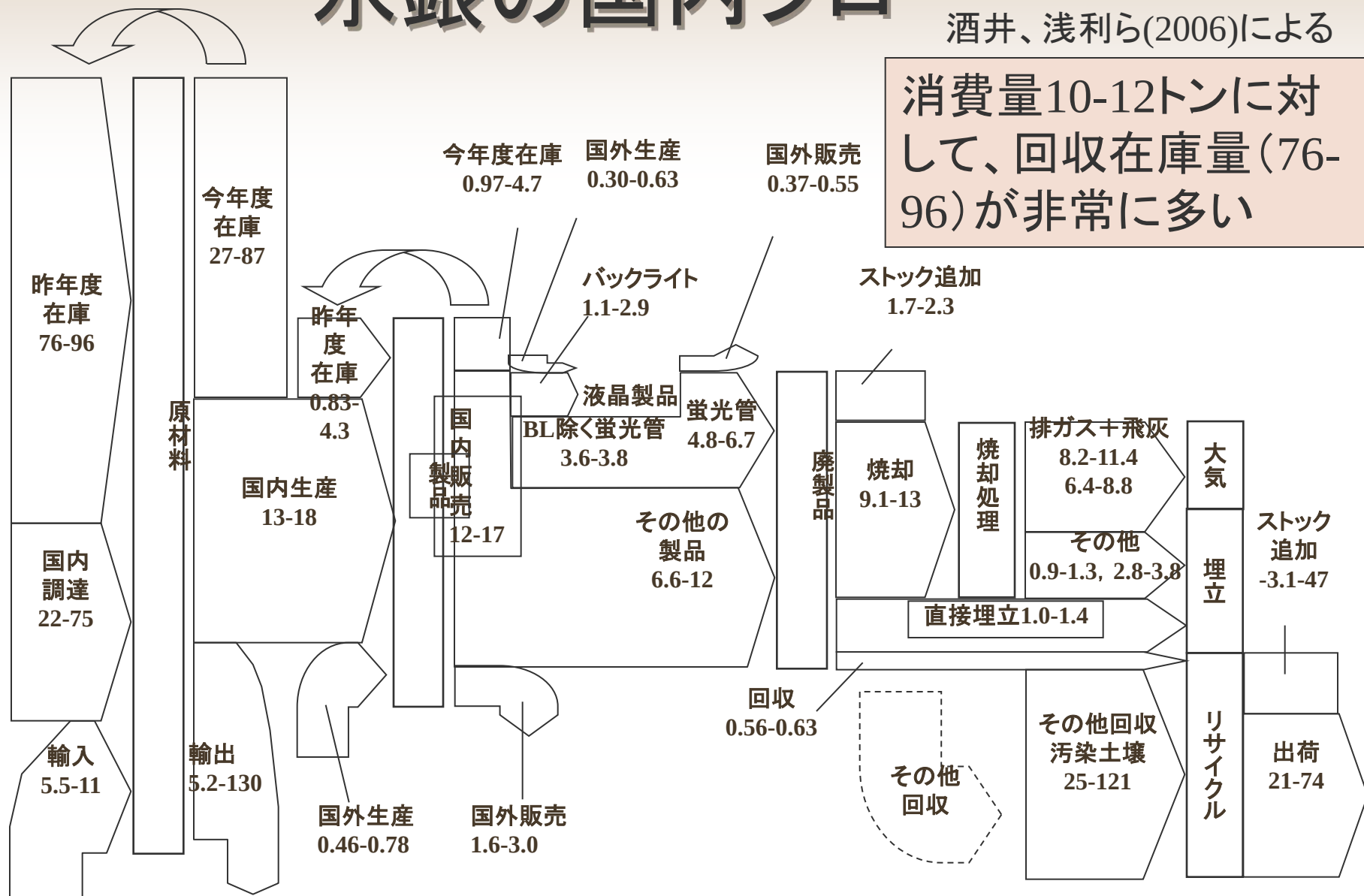
電池材料：1970年代増加、1980年代は150トン、1990年代半ば以降激減



水銀の国内フロー

酒井、浅利ら(2006)による

消費量10-12トンに対して、回収在庫量(76-96)が非常に多い

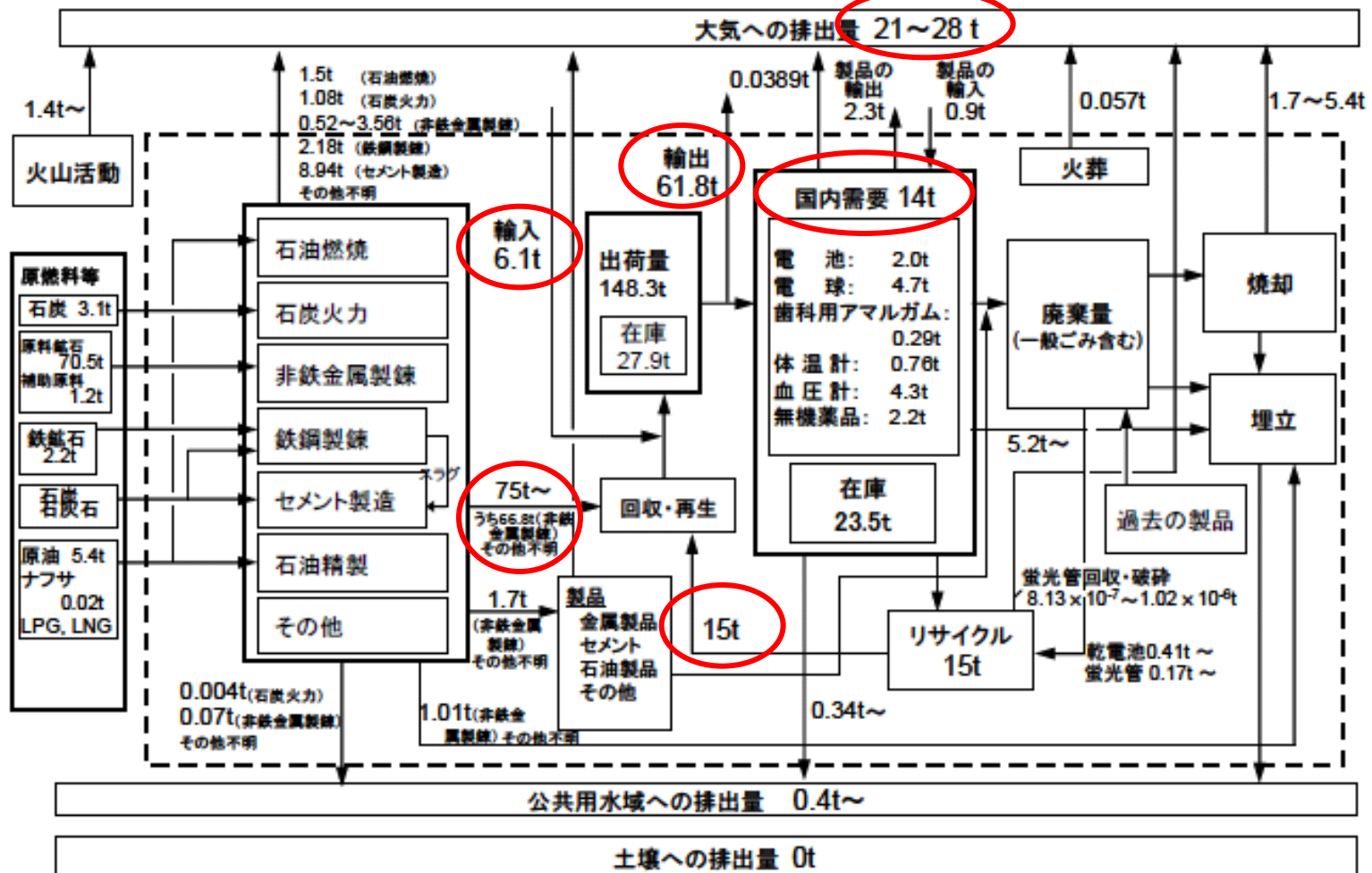


水銀の国内フロー

有害金属検討会資料

2008.03.28

留意:在庫量、輸出量等は5年平均のため、収支は合わない



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。

水銀のリサイクル量

表 2.10 水銀の回収・再生・リサイクル量

項目	回収量
製錬副産物等からの回収量 ¹⁾	75 t～
製品からの水銀リサイクル量 ¹⁾	15 t
乾電池からの水銀リサイクル量 ²⁾	0.41 t～
蛍光管からの水銀リサイクル量 ²⁾	0.17 t～

出典 1) : 75t、15t:野村興産株式会社データ 2) : 0.41t、0.17t: (社) 全国都市清掃会議資料

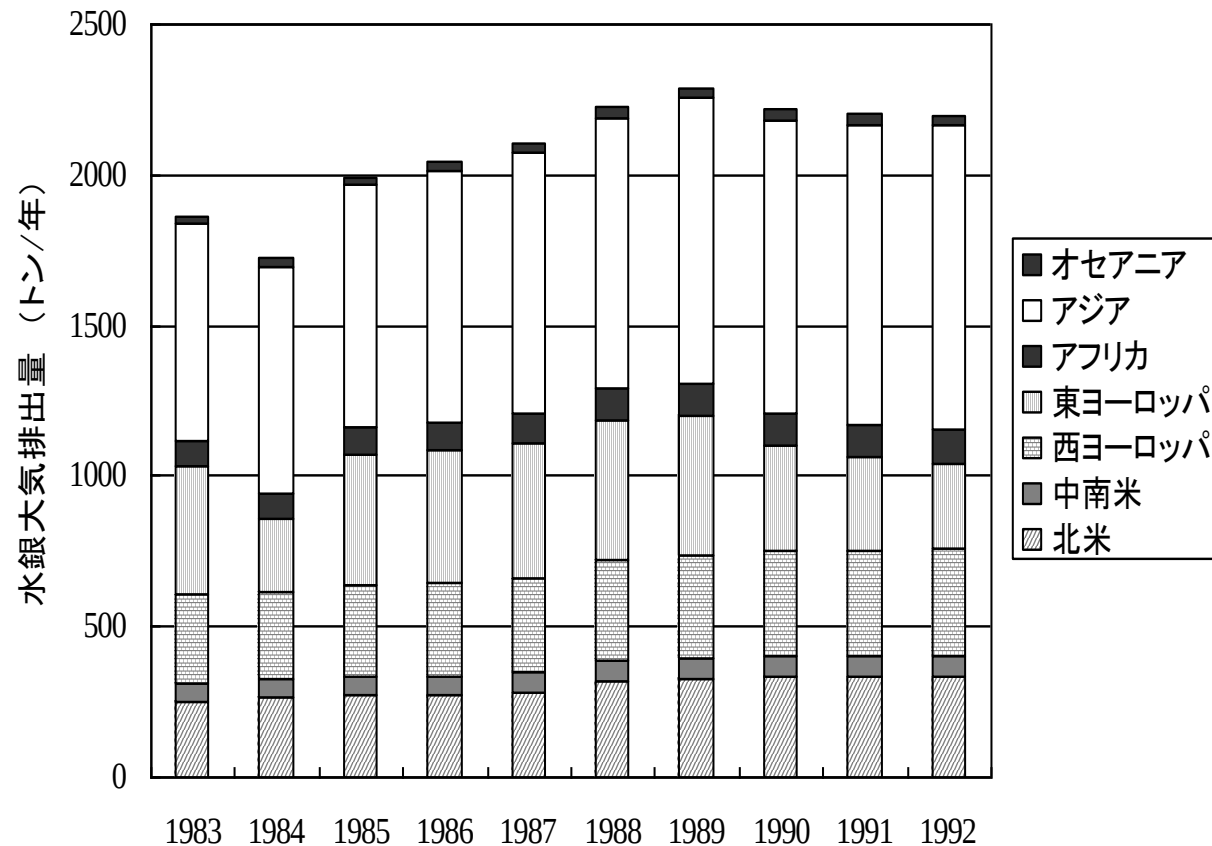
精錬副産物にHgが含まれるのは:

銅・亜鉛・鉛鉱石中に不純物として数百mg/kg含有

世界の水銀排出量(地域別)

1992年まで

約2000トン強と推定されていた



N. Pirrone, G.J. Keller, J. O. Nriagu : Regional differences in worldwide emissions of mercury to the atmosphere, Atmos Environ., 30(17), pp. 2981-2987 (1996)

水銀の大気排出量—世界と日本

2006年報告の世界の大気排出Hg量は1590トン/年

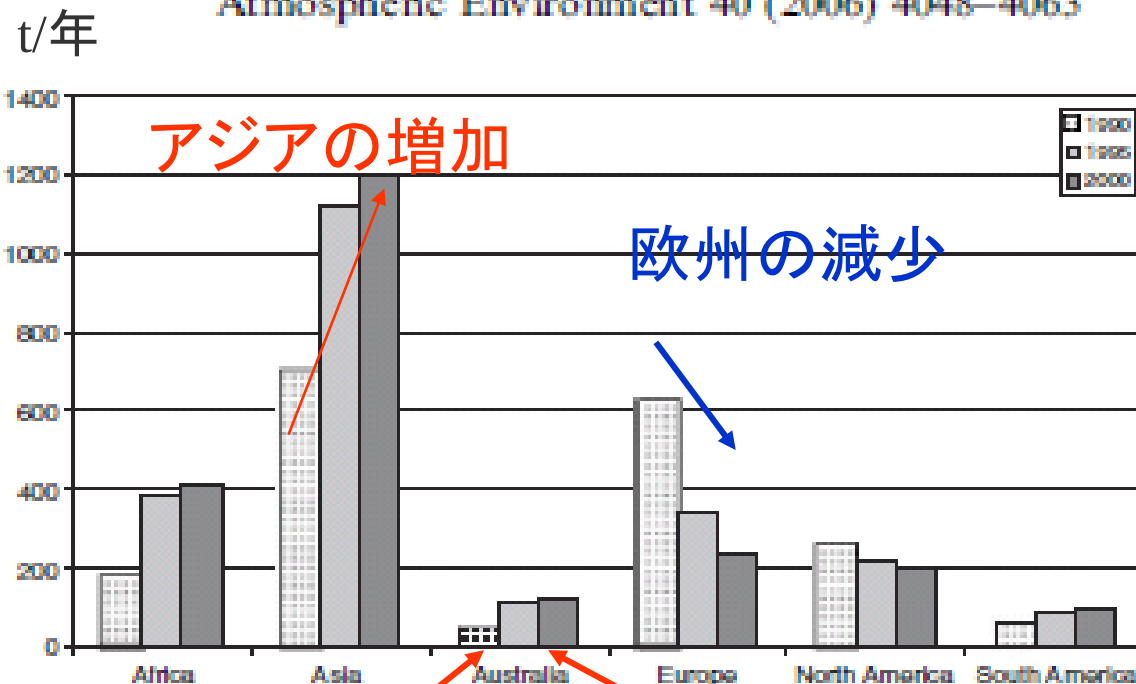
日本(推定値)は143.5トン/年で、世界の9%を占め、4位と報告された。

→ 日本における実調査をふまえた大気排出量のインベントリを作成した。

Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000

Elisabeth G. Pacyna^a, Jozef M. Pacyna^{a,b,*}, Frits Steenhuisen^c, Simon Wilson^d

Atmospheric Environment 40 (2006) 4048–4063



過大数値である

1	中国	604.7
2	南アフリカ	256.7
3	インド	149.9
4	日本	143.5
5	オーストラリア	123.5
6	アメリカ	109.2
7	ロシア	72.6
8	カザフスタン	43.9
9	北朝鮮	46.0

水銀の排出量

排出源

燃焼・焼却部門	石炭燃焼	火力発電 事業用ボイラー	製造部門	鉄鋼・製鉄	その他	火葬	
	石油燃焼	火力発電 事業用ボイラー		非鉄金属		蛍光灯回収・破碎	
	一般廃棄物燃焼			セメント製造		歯科(アマルガム)	
	医療廃棄物燃焼			石灰石製造		埋立地ガス	
	下水汚泥焼却・溶融			カーボンブラック製造		運輸(燃料由来)	
	産業廃棄物燃焼	廃プラスチック類		コーク製造	自然由来		火山
		紙くず		パルプ・製紙			山火事
		木くず		塩素アルカリ工業	二次的な放出		農薬
		繊維くず		バッテリー製造	他地域からの流入		
		ゴムくず		電気スイッチ製造			
		その他汚泥		蛍光灯製造			
		シュレッターダスト		その他の製造業			
		その他					

世界の水銀排出量(2005年)

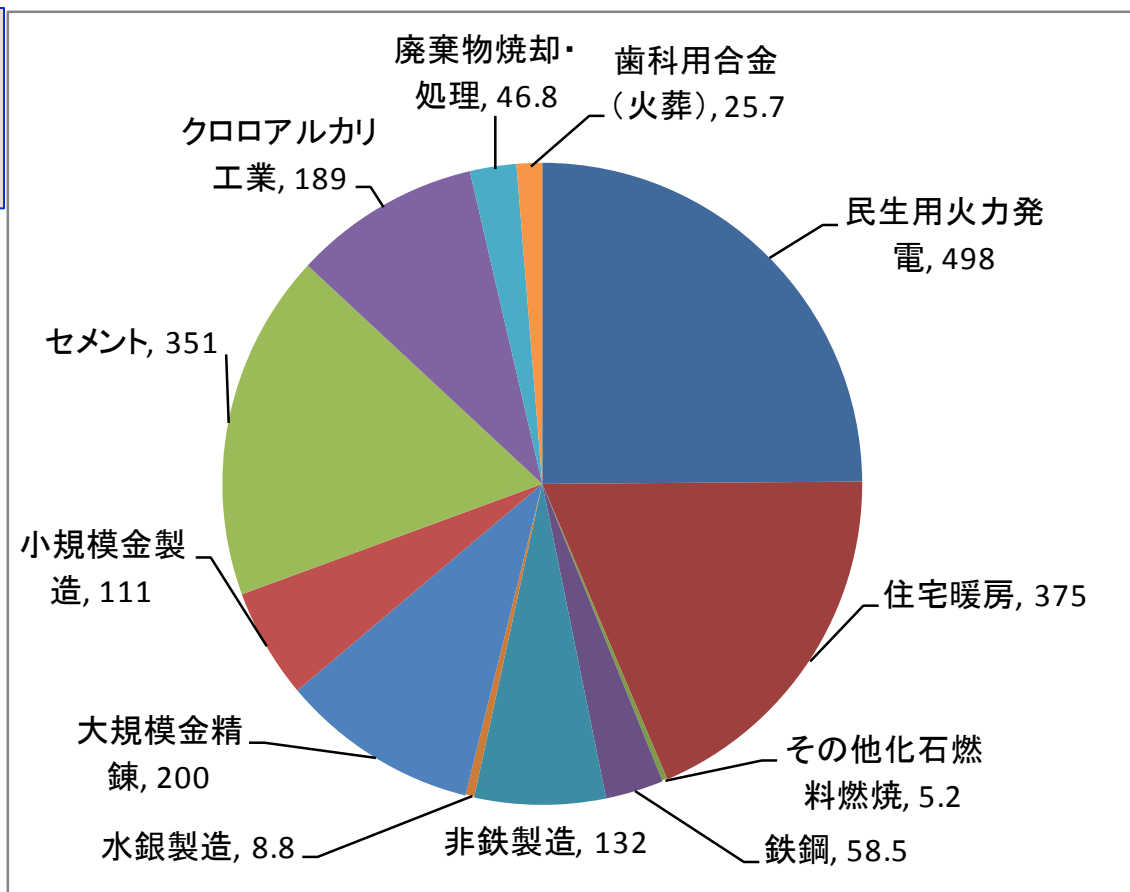
国連環境計画(UNEP)水銀プロジェクト(2009.2)

世界: 1930トン

日本: 22トン
(1%強)

自然由来を除く

UNDP: Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment(2008)より



日本の水銀排出量(1980年代推定)

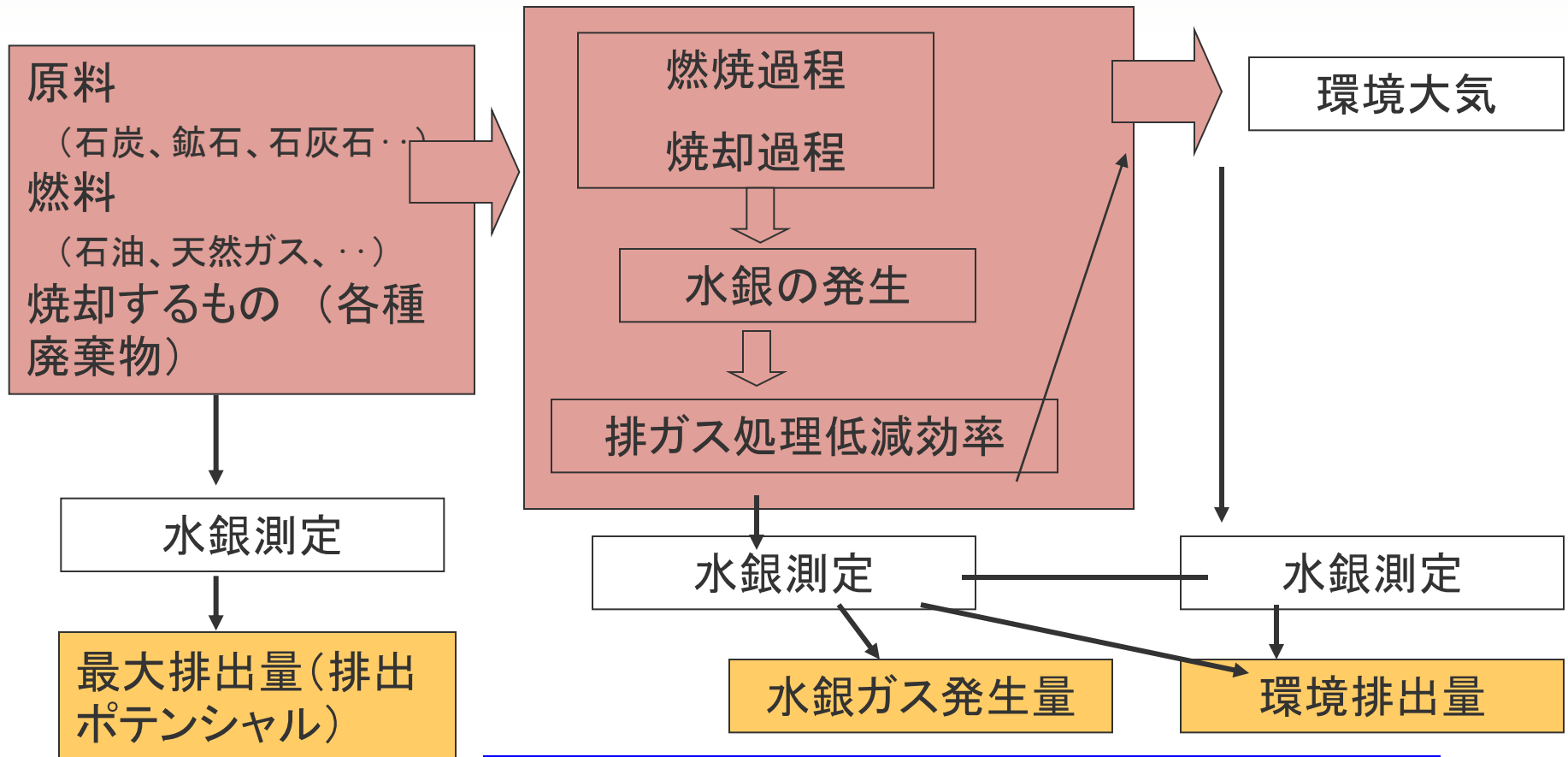
1980年代、非水銀使用の製造業からの大気排出量は60トンと推定された

生産・原料品名	平均水銀濃度 (mg/kg)	水銀発生率 (%)	使用量 (10 ⁶ t)	水銀発生量 (t/yr)
石炭類	0.2	90	102	18.4
石油	0.02	90	215	3.9
天然ガス	0.02	85	1.48	0.025
鉄鉱	0.2	80	127	20.3
非鉄金属鉱	3	70	4.39	9.2
セメント	0.1	80	78.85	6.3
ガラス	0.1	80	3.28	0.26
耐火物	0.1	80	1.17	0.094
陶磁器	0.1	80	1.98	0.16
その他				1
合計				59.64
需要水銀量 (t)			230	138

中川良三:環境大気中の水銀発生源、安全工学、26(2)、70-78(1987)

水銀の排出量

貴田ら：環境省補助金による研究「水銀の大気排出インベントリーと排出削減に関する研究（H17-H19）年度」報告書より



排出係数：活動量(使用量など)に対して
どれだけ発生するかを示す指標

日本の水銀の大気排出量(2002)

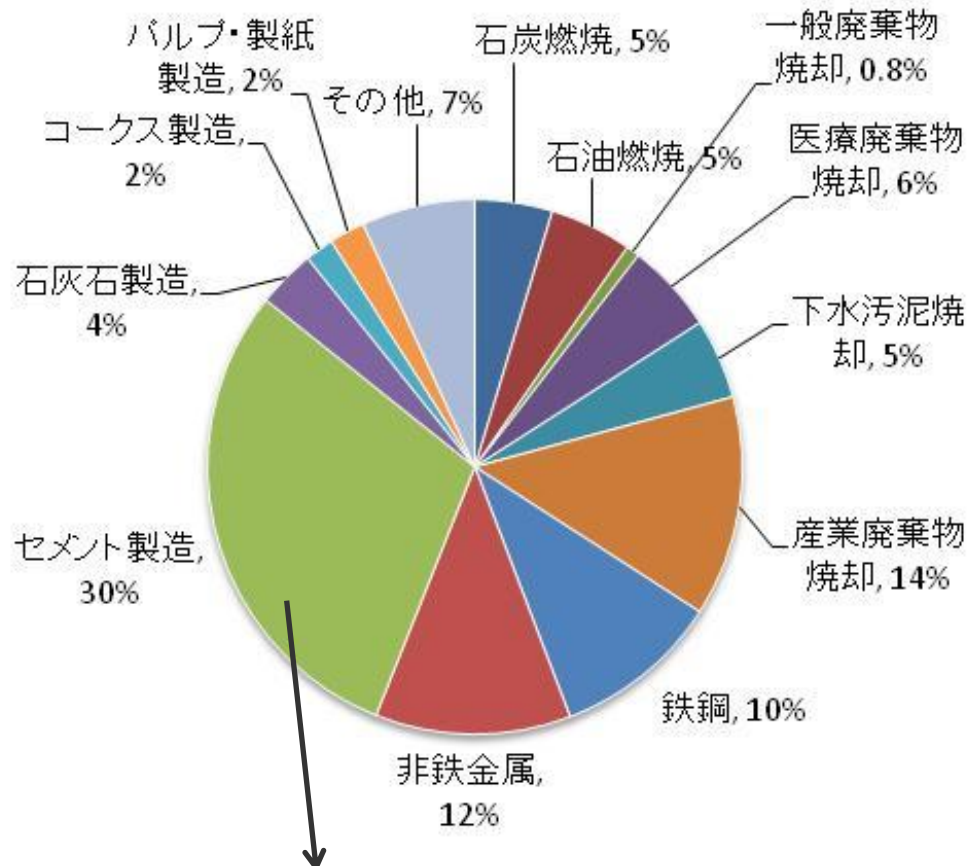
21-28トン

報告されていた142トン
よる100トンは少ない

排出量全体の推定値: 大きな変動はないと思われる

しかし下記排出源は大きな幅があり、精査が必要

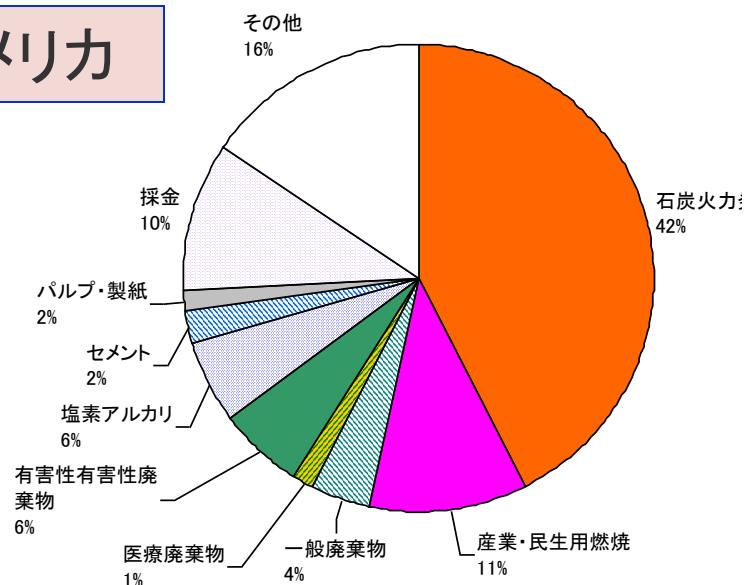
鉄鋼・製鉄、非鉄金属、セメント製造、産業廃棄物処理



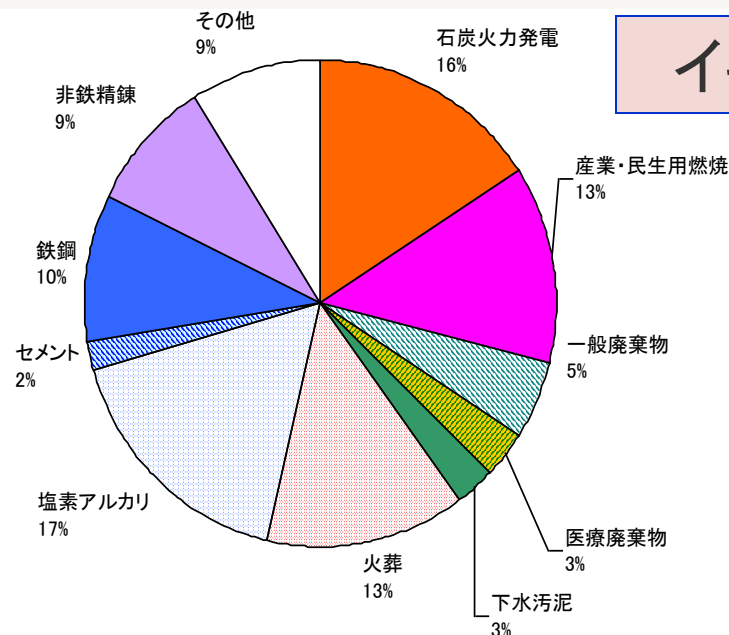
セメント製造には廃棄物由来のHgも含まれる

水銀の大気排出国別比較

アメリカ



イギリス



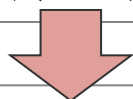
	日本	アメリカ			イギリス	中国
年度	2002	1995	2001	2020(目標)	2001	1999
排出量(t-Hg/年)	21-28	158	113	872	88	535.84
人口(百万人)	127	281			56	1242
gHg/人	0.17-0.22	0.56	0.40	0.31	0.16	0.43

まとめ

- 世界の年間水銀生産量は10,000トンから現在1300トンへ減少
- 現在の需要量は3800トン/年
- 工業国における使用削減は、クロロアルカリ工業が最優先
- 日本の水銀需要は10-15トン/年、回収水銀量は約90トン/年

- 世界の水銀排出量は約2000トン/年(2005年)
- 日本の水銀排出量は21-28トン/年(2002年)

- 水銀は使用していなくても、大気排出が問題となる。
- 資源循環は重要であるが、地球規模の長距離移動が懸念される水銀は循環できない物質と考えられる。
- 回収水銀は、他の地域での大気排出を避けねばならない。



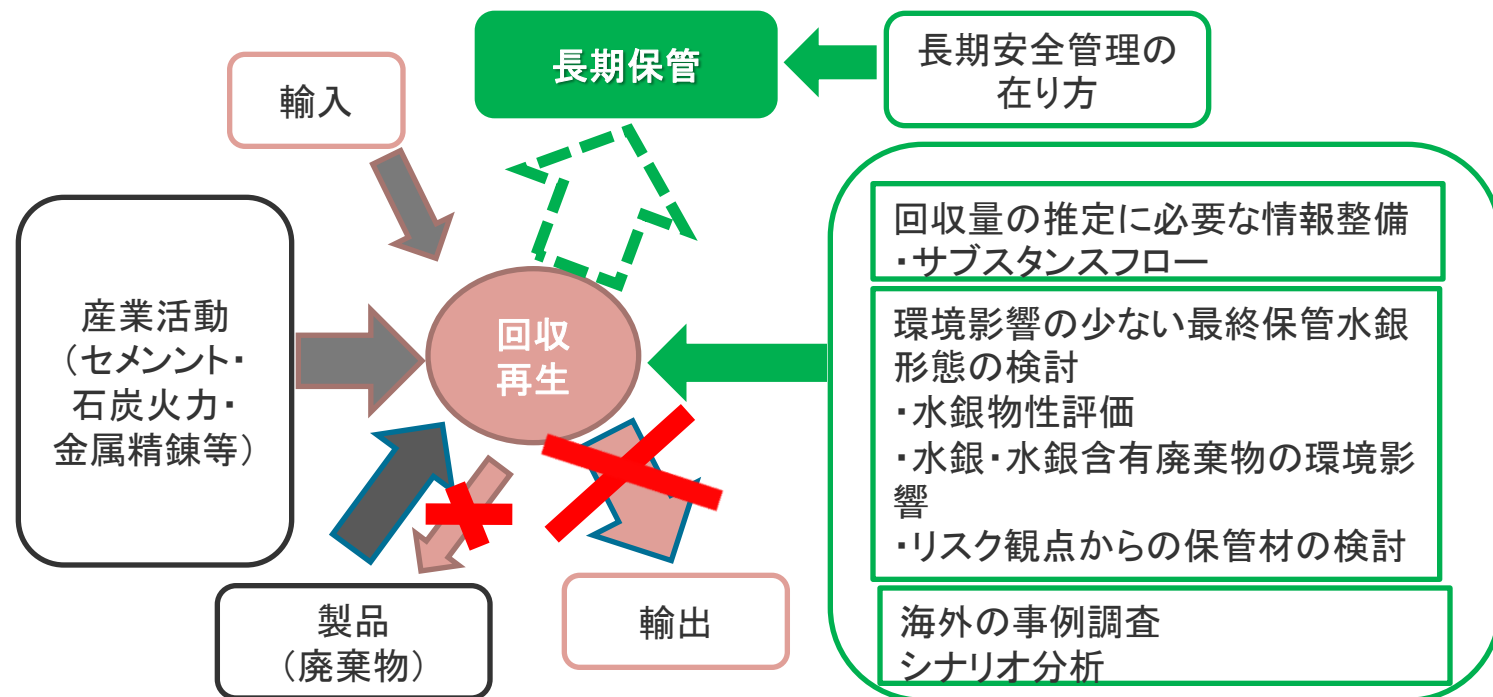
環境省循環科研費補助金による「循環型社会における回収水銀の長期安全管理に関する研究(代表 京都大学高岡昌輝準教授)が進められています。

循環型社会における回収水銀の 長期安全管理に関する研究

環境省循環型社会形成推進科学研究費(H20～H22)

代表研究者: 京都大学大学院工学研究科 准教授 高岡昌輝

水銀の長期安全管理方策への基礎情報整備

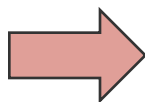


環境影響の少ない最終保管水銀 形態の探索と評価

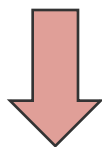


- 水銀の長期保管に適用可能な化学形態の探索と物性評価
- 環境排出量からみた回収水銀の最終保管形態の評価
- リスクの観点からの保管容器・保護材の材質評価

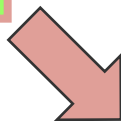
熱力学・物性情報に
基づく回収水銀の長
期保管形態候補の
探索



- 水銀化合物(単体、アマルガム、硫化物、酸化物など)作成過程の評価
- 保管容器との反応性評価
- 基本的物性(反応性、安定性)を評価



環境リスクベースで水銀の保
管容器(保護材)に求められる
性能(=許容拡散係数)を合
理的に評価



- 想定される環境曝露による水系汚染・大気汚染のポテンシャルを予測(溶出試験など)
- 環境中での水銀化合物変化を調査

以降 参考資料

アメリカの大気への水銀排出インベントリー

水銀の発生源	Emission (t/yr)		
	1995	2001	2020
面源	3.4		
蛍光灯の破碎	1.5	1.0	1.7
歯科用途	0.7	0.7	1.16
最終処分場	0.08		
点源	154.7		
燃烧系の排出源	137.7		
民生用電力	51.8	48.6	34.4
廃棄物燃烧	29.6	4.8	2.7
商業・工業用電力	28.4	11.2	11.2
医療廃棄物燃烧	16.0		
有害廃棄物燃烧	7.1	6.6	3.8
地域電力	3.6	1.1	1.1
下水汚泥燃烧	1.0	0.9	1.3
木質系ボイラー	0.2		
火葬	<0.1		
製造工程の排出源	15.6		
アルカリ・塩素	7.1	6.5	4.97
ポルトランドセメント	4.8		
パルプ・紙	1.9	1.7	1.5
石灰石	0.1	1	1.4
その他(地熱)	1.4	7.5	8.6
金鉱		11.5	2.4
計	158	111.3	87.2

Hg排出量: 158トン/年

人口: 284百万人

人口あたりHg排出
量: 0.56g/年/人

石炭燃烧施設規制
Cap & Trade
連続モニタリング

Clean Air
Mercury Rule

← 削減計画

水銀の排出量

6 廃棄物焼却(一般廃棄物)

一般廃棄物のHg濃度

	Hg [mg/kg-wet]	組成比 [wet-%]
可燃物		
紙	0.02	49.0
厨芥	0.017	30.7
繊維	0.493	3.7
草木	0.192	5.9
その他	0.076	2.1
小計	0.052	91.4
焼却不適物		
プラスチック	0.033	7.1
ゴム・皮革	0.002	0.4
小計	0.036	7.5
不燃物	0.00705	1.1
計	0.049	100

実測定の排出係数

燃料の濃度(報告値)×排出低減効率(報告値)

一般廃棄物のHg濃度

	水銀含有量 [mg/kg]
文献値より (a)	0.049
RDF 燃焼より (b)	0.0476-0.0784
一般廃棄物焼却(実炉)よ (c)	0.034

焼却量 [Mg/yr]	排出係数 [g-Hg/Mg]	排出低減効率 [%]	総括排出係数 [g-Hg/Mg]	排出ポテンシャル [Mg/yr]	排出量 [Mg/yr]
42,016,190	0.034-0.0784	92.5	0.00255-0.00588	1.43-3.29	0.107-0.247

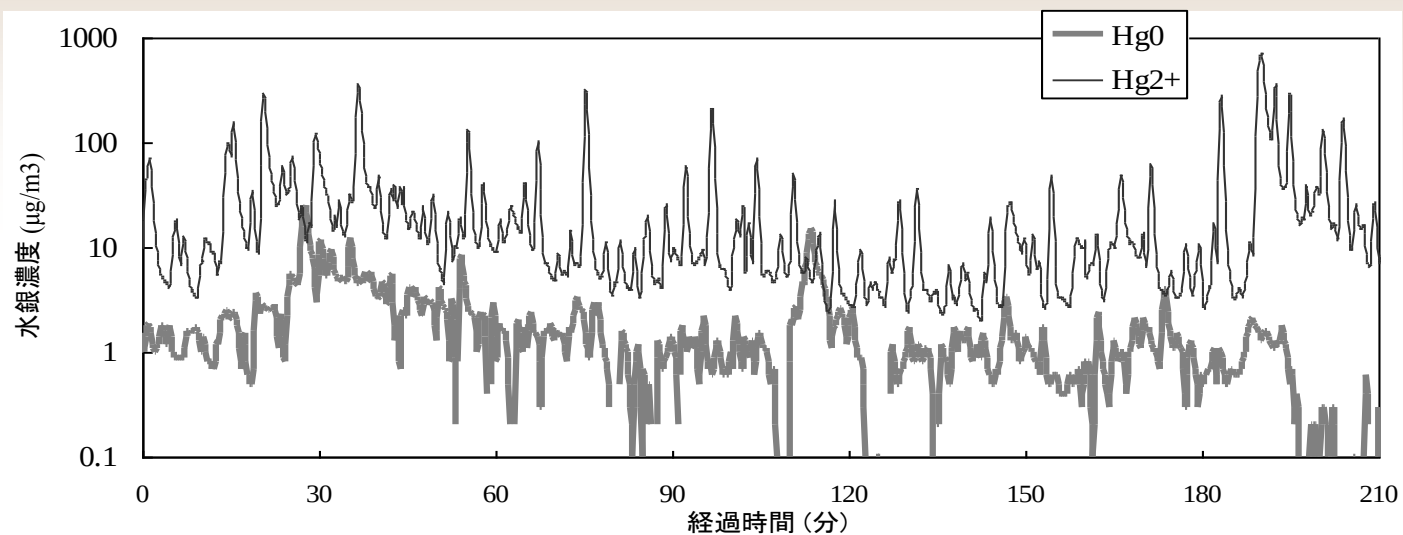


図2-15(a) バグフィルタ前での水銀濃度（一般廃棄物焼却：実炉）

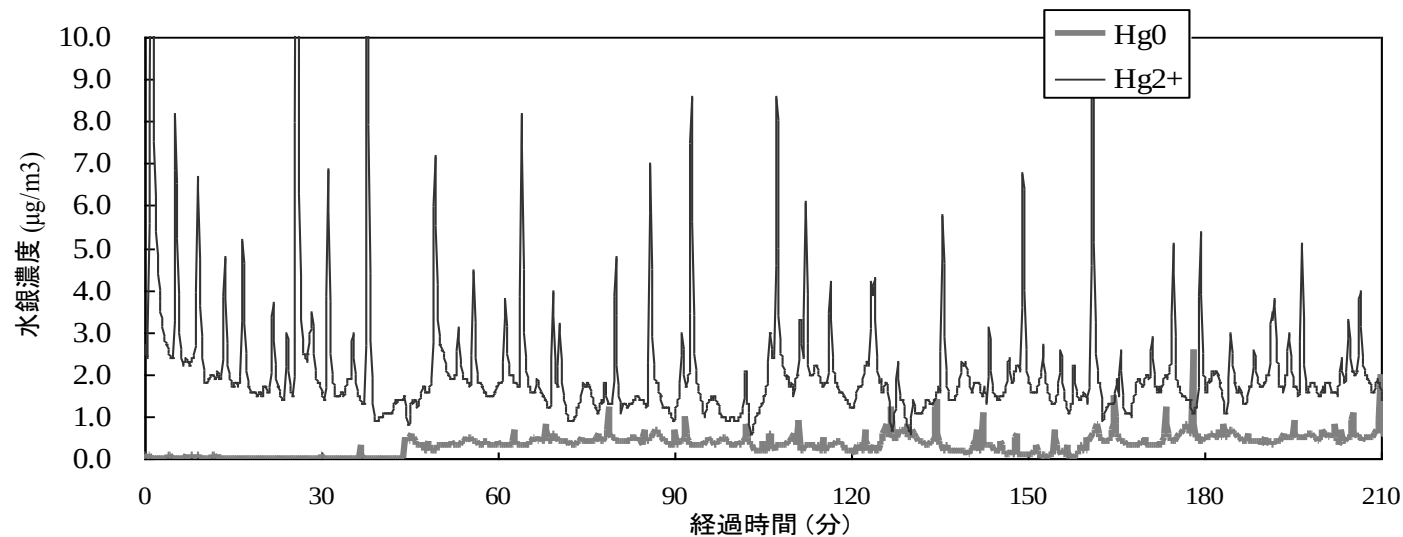
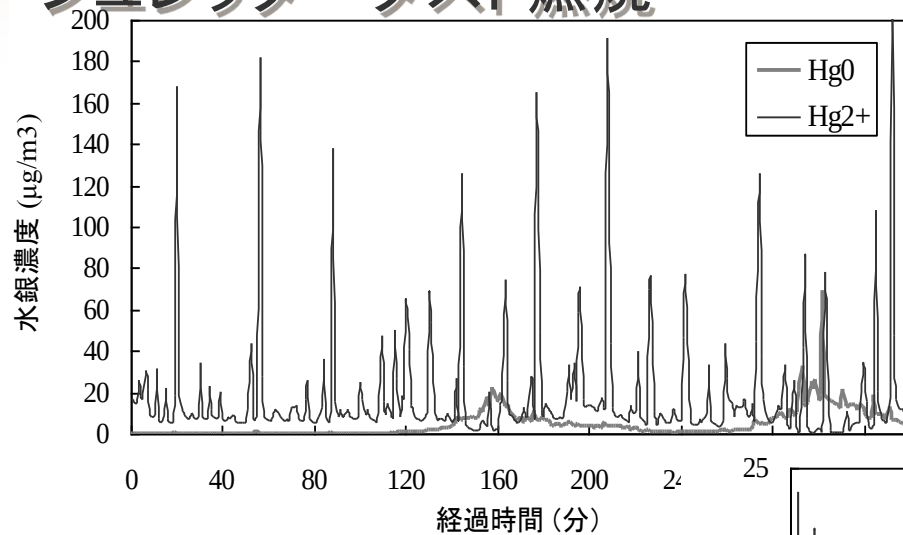


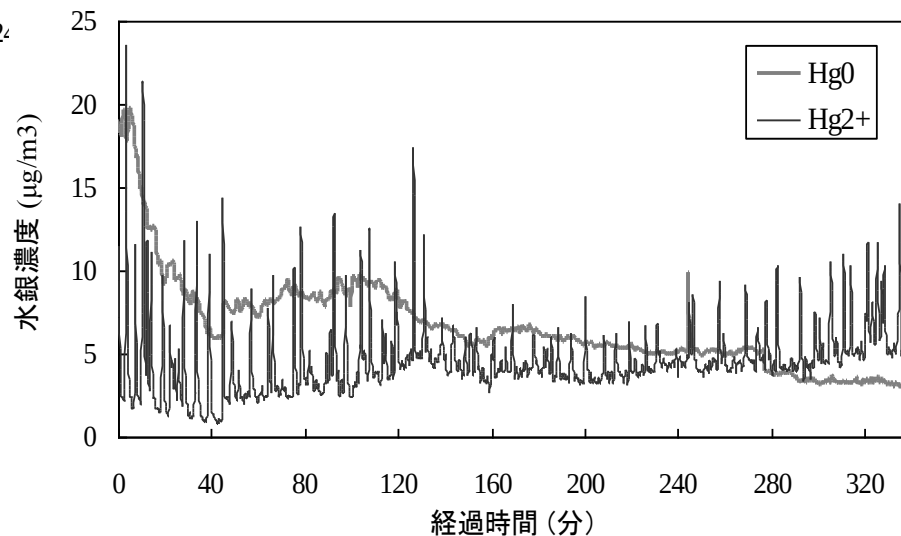
図2-15(b) 煙突での水銀濃度（一般廃棄物焼却：実炉）

シュレッダーダスト燃焼



バグフィル
ター入口

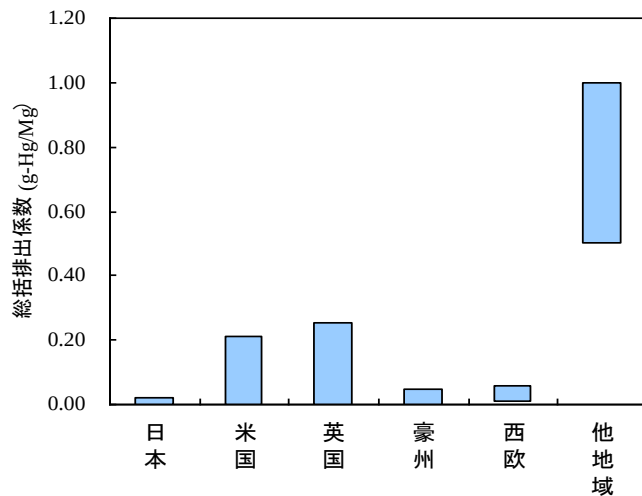
バグフィル
ター出口



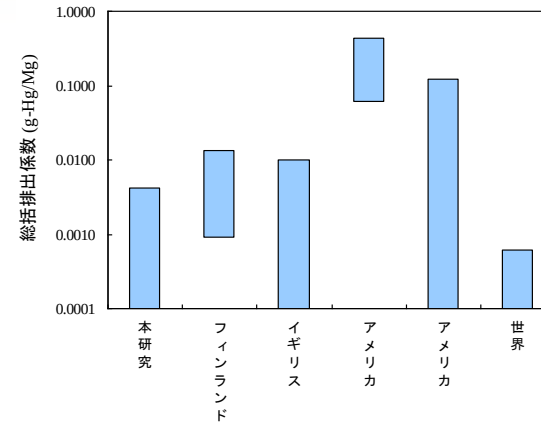
水銀の排出係数比較例

石炭燃焼

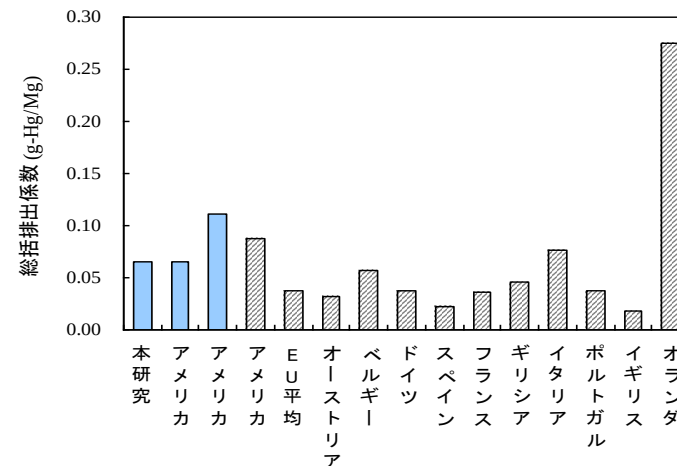
日本は排出係数が小さい
←低水銀の石炭使用
←排ガス処理効率が高い



石油燃焼

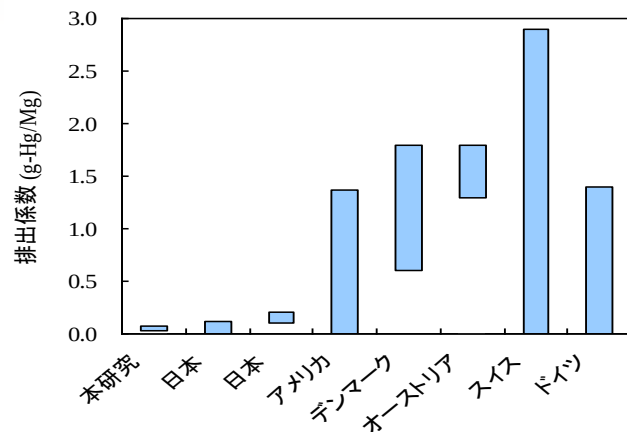


セメント製造

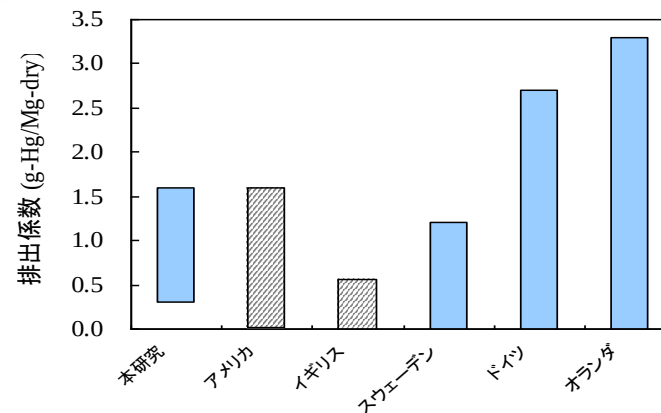


水銀の排出係数比較

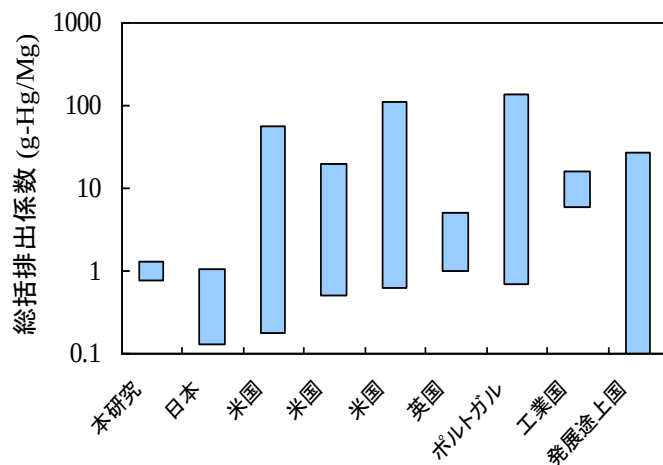
一般廃棄物焼却



下水汚泥焼却

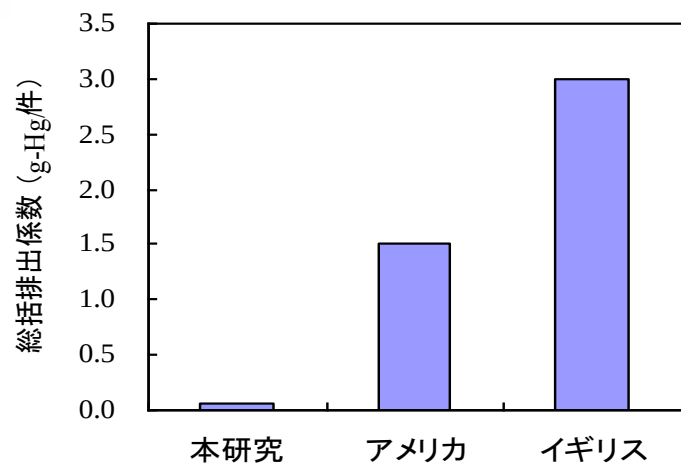


医療廃棄物焼却

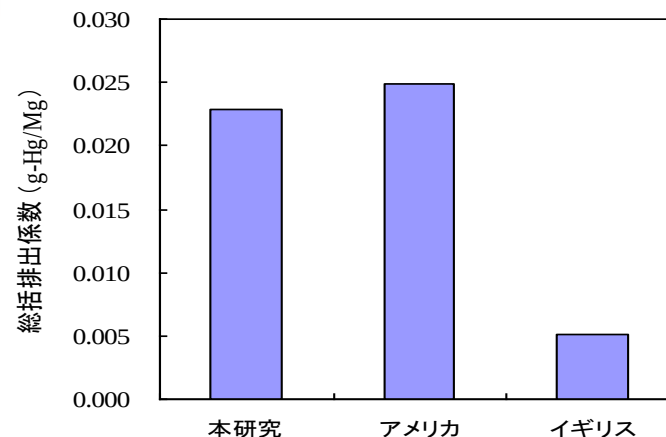


水銀の排出係数比較

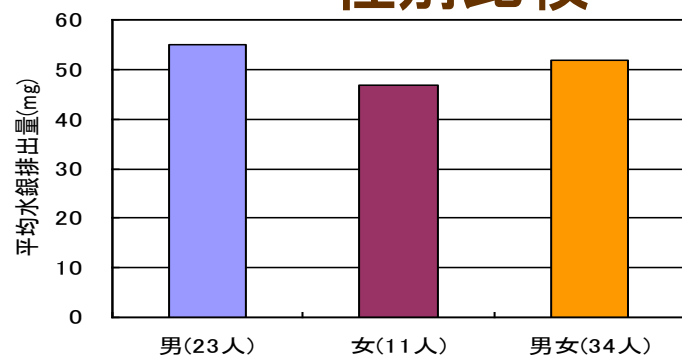
火葬(歯科用水銀アマルガムによる)



コークス製造



性別比較



有害物質管理の3C

- 基本的に、上から順に優先順位が高い。水銀についても同様

1. クリーン(Clean) クリーンな製品をつくる

- 代替物質の利用などによる製品中の有害物質の削減
- 生産工程の変更による生産工程からの有害物質発生の削減

Hgフリー化: アルカリ工業、農薬、触媒、電池、蛍光管
代替品の評価(蛍光管→LED 希土類を含む資源、回収の必要性、
有害性は?)

2. サイクル(Cycle) 必要不可欠な物質は循環

- 生産工程での適正な循環利用
- 回収した製品中有害物質の適正な循環利用

3. コントロール(Control) 循環できない物質は環境排出を低減させる

- 適正な無害化や安定化、保管や管理

燃焼・焼却過程におけるHgの放出制御(Hg不使用でも)
→新たなHg含有廃棄物 → 適正な管理

