

諸外国における水銀の大気排出に関する動向

株式会社 野村総合研究所

令和2年2月19日

- 背景・目的
- ≪第1章≫ 大気中への水銀排出状況（全体）
- ≪第2章≫ 鉄鋼製造施設から大気中への水銀排出・対策状況

背景·目的

情報収集の背景・目的

背景	<ul style="list-style-type: none">■ 我が国における水銀に関する水俣条約の担保措置として、2018年4月に大気汚染防止法が改正され、条約対象施設の水銀排出規制と共に、鉄鋼製造施設（「製鉄の用に供する焼結炉」及び「製鋼用電気炉」）における要排出抑制施設の自主的取組について規定された。
目的	<ul style="list-style-type: none">■ 本情報収集の目的は、諸外国における鉄鋼製造施設における水銀の排出抑制技術の動向について情報収集を行うことにより、国際的に鉄鋼生産量の多い国における水銀排出の傾向と抑制技術を理解することである。
結論	<p>≪ 大気中への水銀排出（全体） ≫</p> <ul style="list-style-type: none">■ 大気中への水銀排出状況は、地域別にみると「東アジア及び東南アジア」、排出源別にみると「人力小規模金採掘」、国別にみると「中国」からの水銀排出量がそれぞれ多い。■ なお、日本からの水銀排出量は世界全体の内、15t（0.7%程度）である。 <p>≪ 大気中への水銀排出（鉄鋼製造施設） ≫</p> <ul style="list-style-type: none">■ 鉄鋼製造施設からの水銀排出抑制に係る規制については、韓国、ドイツでは国による規制がある一方で、中国、インド、米国、ロシアでは国による規制を設けていない。■ 各国の取り組みの一つに、BAT（もしくは同義の技術）を定義し技術ガイドラインとして発行するというものがあるが、鉄鋼製造施設からの水銀排出抑制に特化した技術は確認できていない。

《第1章》大気中への水銀排出状況（全体）

《第1章》大気中への水銀排出状況（全体）

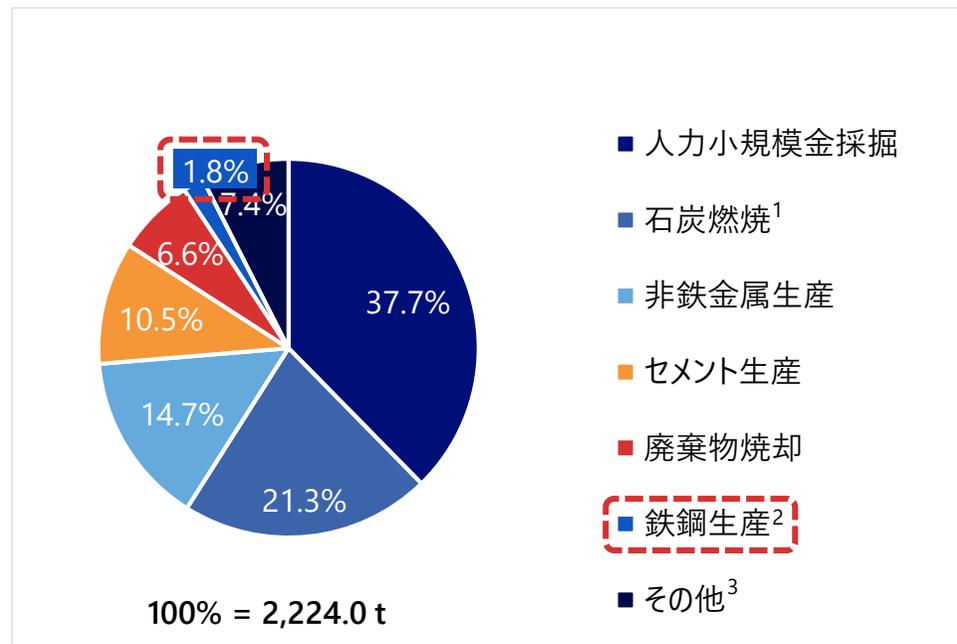
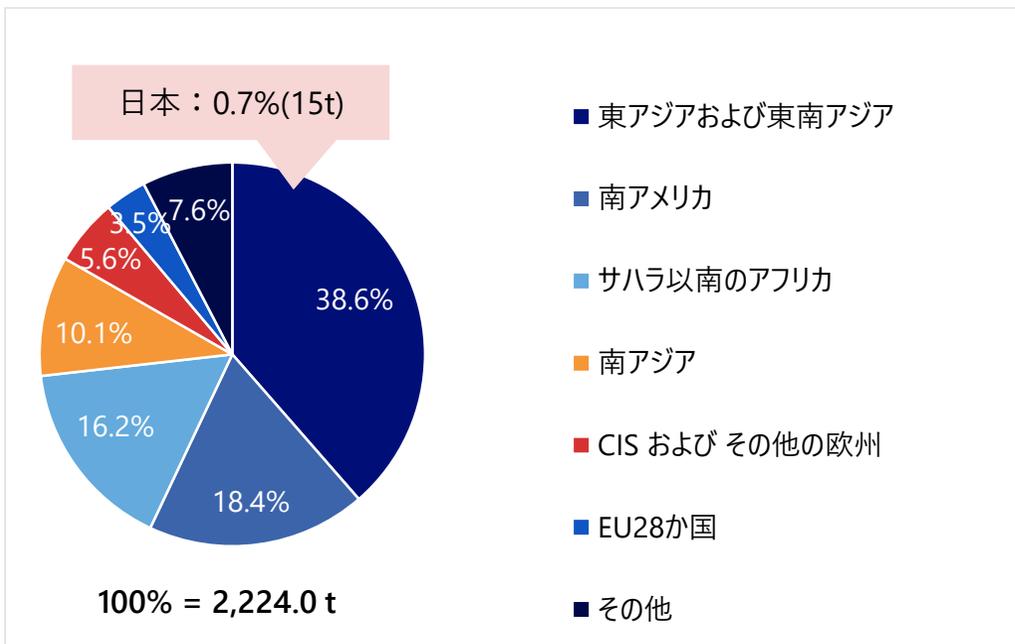
大気中への水銀排出量（地域別・排出源別）

- 本頁では、UNEPが発行した“Global Mercury Assessment 2018”において定義されている「排出源」分類を基に情報収集を行った。
 - ✓ なお、“Global Mercury Assessment 2018”における分類は水俣条約附属書Dにおける分類とは異なる。
- 地域別に見ると、「東アジア及び東南アジア」における水銀排出量が最も多い。
- また、排出源別に見ると、「人力小規模金採掘」による水銀排出量が最も多い。
 - ✓ なお、第2章の焦点である「鉄鋼生産」からの排出は、排出量全体の約1.8%にあたる。

図1) 大気中への水銀排出割合（%，2015，地域別）

図2) 大気中への水銀排出割合（%，2015，排出源別）

- 注釈) 1. 石炭燃焼からの水銀排出は産業用、家庭用、住宅用、輸送用、発電所用を含む。
2. 「鉄鋼生産」からの水銀排出は、銑鉄や粗鋼の生成過程で製銑の用に供する焼結炉・高炉・転炉や製鋼用電気炉において起きる水銀排出を指す。
3. その他には石油、ガスの定置燃焼（産業用、家庭用、住宅用、輸送用、発電所用）、塩化ビニルモノマー、バイオマス、廃棄物・火葬焼却、石油精製等を含む。



《第1章》大気中への水銀排出状況（全体）

大気中への水銀排出状況（排出源別×国別）

- 本頁では、UNEPが発行した“Global Mercury Assessment 2018”において定義されている「排出源」分類を基に情報収集を行った。
 - ✓ なお、“Global Mercury Assessment 2018”における分類は水俣条約附属書Dにおける分類とは異なる。
- 排出源別に主要国の排出割合を見ると、過半数の項目で中国が1位になっている。なお、中国において最も水銀を排出しているのは石炭燃焼である（182.2 t）
- 日本からの水銀排出は世界全体のうち、15t（0.7%程度）である。

表1) 水銀排出上位国の排出源別大気水銀排出量（単位：t）（2015年）

注釈) 1. 本頁で取り上げる国は、第2章で取り上げる国及びそれ以外の国の中で大気中への水銀排出量が特に多い国（3カ国）である。
 2. その他には石油、ガスの定置燃焼（産業用、家庭用、住宅用、輸送用、発電所用）、塩化ビニルモノマー、バイオマス、廃棄物・火葬焼却、石油精製等を含む。
 3. 「-」については測定値なし。

排出割合上位3カ国 ■ 1位 ■ 2位 ■ 3位

排出源	大気水銀排出量（各国 ¹ における排出源別の割合）										
	世界全体	中国	インド	インドネシア	ロシア	コロンビア	南アフリカ	米国	ドイツ	日本	韓国
人力小規模金採掘	838.0 (100.0%)	33.8 (4.0%)	4.5 (0.5%)	124.5 (14.9%)	5.2 (0.6%)	51.0 (6.1%)	1.7 (0.2%)	- ³	-	-	-
石炭燃焼	473.7 (100.0%)	182.2 (38.5%)	108.8 (23.0%)	10.3 (2.2%)	6.6 (1.4%)	0.5 (0.1%)	33.0 (7.0%)	21.6 (4.6%)	11.0 (2.3%)	1.6 (0.3%)	1.9 (0.4%)
非鉄金属生産	326.8 (100.0%)	137.6 (42.1%)	17.6 (5.4%)	7.1 (2.2%)	26.5 (8.1%)	2.3 (0.7%)	7.8 (2.4%)	0.7 (0.2%)	1.0 (0.3%)	1.6 (0.5%)	0.3 (0.1%)
セメント生産	233.1 (100.0%)	106.2 (45.5%)	26.2 (11.3%)	5.1 (2.2%)	2.3 (1.0%)	0.9 (0.4%)	0.9 (0.4%)	3.1 (1.3%)	0.6 (0.3%)	3.5 (1.5%)	1.3 (0.5%)
廃棄物焼却	147.0 (100.0%)	18.7 (12.7%)	28.8 (19.6%)	5.9 (4.0%)	9.9 (6.7%)	1.0 (0.7%)	2.2 (1.5%)	3.3 (2.2%)	0.8 (0.6%)	2.4 (1.6%)	0.7 (0.5%)
鉄鋼生産	39.9 (100.0%)	9.6 (24.0%)	5.5 (13.8%)	0.1 (0.3%)	5.5 (13.7%)	0.04 (0.1%)	0.3 (0.9%)	1.8 (4.5%)	1.2 (2.9%)	2.8 (7.1%)	1.0 (2.6%)
一次製鉄	29.8 (100.0%)	8.6 (28.7%)	4.0 (13.5%)	-	4.8 (16.3%)	0.01 (0.04%)	0.3 (0.9%)	0.5 (1.7%)	0.9 (2.9%)	2.2 (7.4%)	0.7 (2.3%)
二次製鉄	10.1 (100.0%)	1.0 (10.1%)	1.5 (14.9%)	0.1 (1.1%)	0.6 (6.3%)	0.02 (0.2%)	0.1 (0.7%)	1.3 (12.8%)	0.3 (3.0%)	0.6 (5.9%)	0.3 (3.4%)
その他 ²	165.6 (100.0%)	75.9 (45.8%)	14.4 (8.7%)	3.5 (2.1%)	4.9 (3.0%)	0.3 (0.2%)	0.6 (0.4%)	5.8 (3.5%)	1.6 (1.0%)	3.1 (1.9%)	1.8 (1.1%)
合計	2,224.0 (100.0%)	564.0 (25.4%)	205.8 (9.3%)	156.5 (7.0%)	60.9 (2.7%)	56.1 (2.5%)	46.4 (2.1%)	36.3 (1.6%)	16.3 (0.7%)	15.0 (0.7%)	6.9 (0.3%)

《第2章》鉄鋼製造施設から大気中への水銀排出・対策状況

対象国：中国、インド、米国、韓国、ロシア、ドイツ

《第2章》における対象国選定

- 各国の詳細状況（区分別排出量、法規制、BAT/BEPに係る取り組み等）については、水俣条約署名国のうち、国別の粗鋼生産量の合計で上位の中国・インド・米国・韓国・ロシア・ドイツを対象に情報収集を行った。

対象国の選定基準

注釈) 1. 粗鋼は高炉と転炉を経て生産される工程と製鋼用電気炉から生産される工程の両方から生産される

- 対象国は、以下2つの条件を満たす国とする。

- ✓ 水俣条約署名国であること
- ✓ 粗鋼生産量の上位国であること

水俣条約署名国かつ粗鋼生産量が多い国では業界として水銀排出量の低減に向けて、対策・措置が行われている可能性が高いため

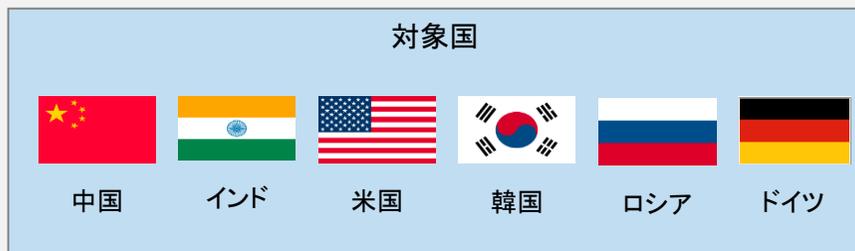


表2) 粗鋼¹生産量（2018年）上位10か国の水俣条約署名状況

順位	国名	粗鋼生産量 (千t)	水俣条約
			署名
1	中国	928,264	○
2	インド	109,272	○
3	日本	104,319	○
4	米国	86,607	○
5	韓国	72,464	○
6	ロシア	72,042	○
7	ドイツ	42,435	○
8	トルコ	37,312	○
9	ブラジル	35,407	○
10	イタリア	24,532	○

《第2章》鉄鋼製造施設から大気中への水銀排出・対策状況

水銀排出抑制に係る対策状況

- 対象国における鉄鋼製造施設（焼結炉及び電気炉）から大気中への水銀排出に係る対策状況は以下の通りである。
- 韓国とドイツでは、国による規制がある一方で、中国、インド、米国、ロシアでは国による規制を設けていない。（米国では焼結炉を対象とした国による規制を現在策定中）

表3) 国による水銀排出対策状況

（「-」については確認できなかった）

国	工程	規制		規制以外	出所
		義務		参考： 大気排出全般に関する ガイドライン・指針	
中国	焼結炉	-		・技術ガイドラインの発行 (中国版BAT文書)	"Air pollution control in the steel industry BAT and emission reduction potential analysis report(Environmental Engineering Evaluation Center of the Ministry of Environmental Protection, 2017年) (中国語)
	電気炉	-			
インド	焼結炉	-		-	-
	電気炉	-			
米国	焼結炉	-		・技術ガイドラインの発行 (米国版BAT文書)	"Electric Arc Furnace Steelmaking Facilities: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Area Sources"(USEPA, 2007年)、“Integrated Iron and Steel Manufacturing: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants"(USEPA, 2006年)、“National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Integrated Iron and Steel Manufacturing Facilities Residual Risk and Technology Review” (USEPA, 2019年)
	電気炉	-			
韓国	焼結炉	<ul style="list-style-type: none"> 排出基準値の設定 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 一般排出基準値：40μg/Sm3 未満 ✓ 大気環境保全法で規定される特定有害大気汚染物質を10t以上排出する施設に適用される基準値：20μg/Sm3 未満 		<ul style="list-style-type: none"> ・技術ガイドラインの発行 ・(韓国版BAT文書) 	『大気環境保全法施行規則』（2019年7月19日）、"Standards of Best Available Techniques (BAT) for Environmental Pollution Prevention and Integrated Management of Steel Manufacturing Industry"（国立環境研究所、2017年（韓国語）
	電気炉	-			
ロシア	焼結炉	-		・技術ガイドラインの発行 (ロシア版BAT文書)	"Technical Regulation and Metrology Information And Technical Handbook on the Best Available Technologies(BAT/BEP)" (Russian BAT Bureau,2017年) (ロシア語)
	電気炉	-			
ドイツ	焼結炉	<ul style="list-style-type: none"> 排出基準値の設定（新設） -排気ガス中の鉛排出量が1,000μg/m3 未満の場合 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 物質当たりの質量流量：250,000μg/時 未満 ✓ 物質当たりの質量濃度：50μg/m3 未満 	<ul style="list-style-type: none"> 排出基準値の設定（電気集塵機設置済みの既設） -排気ガス中の鉛排出量が2,000μg/m3 未満の場合 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 物質当たりの質量流量：250,000μg/時 未満 ✓ 物質当たりの質量濃度：50μg/m3 未満 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術ガイドラインの発行 (EU版BAT) 	"Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production "(European Commission Joint Research Centre Institute for prospective technological studies, 2013年)、“BAT in the Iron and Steel Industry" (German Federal Environment Agency, 2015年4月)、“Technical Instructions on Air Quality Control (TA Luft). (Joint Ministerial Gazette, 2002年)、“European Pollutant Release and Transfer Register" (European Environment Agency, 2019年12月に取得)
	電気炉	<ul style="list-style-type: none"> 排出基準値の設定（新設・既設） <ul style="list-style-type: none"> ✓ 物質当たりの質量流量：250,000μg/時 未満 ✓ 物質当たりの質量濃度：50μg/m3 未満 			

注釈) Sm3とm3の単位表記について、換算条件に関する情報を取得できないため、原書の通り記載。

《第2章》鉄鋼製造施設から大気中への水銀排出・対策状況

水銀排出抑制効果を有するBAT（もしくは同義の技術）文書の作成状況

- OECDはBAT（もしくは同義の技術）に関する、各国の取組状況に係る情報収集を実施し、とりまとめた結果を“Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution”として2018年に発表した。
- 同報告書によると、各国における鉄鋼製造施設のBAT（もしくは同義の技術）文書の作成状況は以下の通りである。

表4）BAT（もしくは同義の技術）文書の作成状況

国名	文書名	発行主体	発行年 (更新年)	対象業種	補足
中国	中国版BAT文書 GATPPC (Guidelines on Available Technologies of Pollution Prevention and Control) * OECD報告書によるとBAT文書に相当	環境保護省	2010年 (更新なし)	鉄鋼製造施設	■ 中国版BAT文書に法的拘束力はない。
インド	(鉄鋼製造施設から大気への水銀排出対策に関する記述は確認できなかった)				
米国	米国版BAT文書[電気炉] 製鋼用電気炉向けNESHAP (Electric Arc Furnace Steelmaking Facilities: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Area Sources) 米国BAT文書[高炉・転炉] 高炉・転炉向けNESHAP (Integrated Iron and Steel Manufacturing: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants) * OECD報告書によるとBAT文書に相当	環境保護庁	電気炉 2007年 (更新なし) 高炉・転炉 2003年 (2006年) ※2019年時点で アップデート検討中	鉄鋼製造施設 (電気炉・高炉・転炉)	■ 製鋼用電気炉向けNESHAPと高炉・転炉向け大気中への水銀排出に対するNESHAPに法的拘束力はない。
韓国	韓国版BAT文書 ("Standards of Best Available Techniques (BAT) for Environmental Pollution Prevention and Integrated Management of Steel Manufacturing Industry")	国立環境研究所 環境部	2007年 (更新なし)	鉄鋼製造施設	■ 韓国版BAT文書に法的拘束力はない。
ロシア	ロシア版BAT文書 ("Information Technical Directory for the Best Available Techniques for production of iron, steel and ferro-alloys(2017)")	BAT事務局 ¹	2010年 (2017年)	鉄鋼製造施設	■ ロシア版BAT文書自体に法的拘束力はない。 ■ BATを専門とする所轄機関としてBAT事務局があり、ロシア版BAT文書の策定を担当している。
ドイツ	EU版BAT文書 ("Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel ProductionIndustrial Emissions Directive")	欧州統合汚染防止管理局	2010年 (2013年)	鉄鋼製造施設	■ EU版BAT自体には法的拘束力はない。 ■ ドイツでは産業からの排出を防止・抑制するため、EU版BAT文書に基づいた政策に従っている。

- (出所)
- “Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution” (OECD, 2018年)
 - 中国：“Guidelines on Available Technologies of Pollution Prevention and Control (環境保護省、2010年)
 - 米国：Electric Arc Furnace Steelmaking Facilities: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Area Sources (環境保護庁、2007年)、“Integrated Iron and Steel Manufacturing: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants”(環境保護庁、2006年)
 - 韓国：“Standards of Best Available Techniques (BAT) for Environmental Pollution Prevention and Integrated Management of Steel Manufacturing Industry” (国立環境研究所・環境部、2007年)
 - ロシア：“Information Technical Directory for the Best Available Techniques for production of iron, steel and ferro-alloys(2017)” (BAT事務局、2017年)
 - ドイツ：“Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel ProductionIndustrial Emissions Directive” (欧州統合汚染防止管理局、2013年)

注釈) 1. BAT事務局は、2014年にロシア連邦技術規則・計量庁の庁令 (Order No.192) で設立された組織である。

欧州統合汚染防止管理局は、EU共同研究センター内に設置されている。

水銀排出抑制効果を有するBAT（もしくは同義の技術）と各国の定義状況

- 各国のBAT（もしくは同義の技術）が記載されている文書（前頁に記載）の中で、水銀排出抑制効果を有する技術は下記の通りである。
- 現状、対象6か国のBAT（もしくは同義の技術）は、鉄鋼製造施設から排出される大気汚染物質（水銀を含む）についての記載に留まる。
 - ✓ しかし、各国のBAT（もしくは同義の技術）に関するとりまとめ文書によると、鉄鋼製造施設から排出される大気汚染物質の抑制技術を活用した結果、重金属に吸着反応が発生し、副次的効果として大気中の水銀排出が抑制される場合がある。

表5) 水銀排出抑制効果を有するBAT（もしくは同義の技術）と各国の定義状況（「-」については確認できなかった）

	物理的機能	抑制技術	水銀排出抑制効果を有するBAT（もしくは同義の技術）として定義している国
焼結炉	ろ過	バグフィルター（ろ過集塵機）	中国、ロシア、韓国、ドイツ
	吸着	スクラバー（洗浄集塵機）	中国、ロシア、韓国、ドイツ
	遠心分離力	サイクロン（遠心集塵機）	ロシア
	荷電	電気集塵機	中国、ロシア、韓国、ドイツ
	吸着	活性炭（脱硫脱硝）	韓国、ドイツ
	吸着+ろ過	活性炭+バグフィルター（ろ過集塵機）	中国、韓国、米国、ドイツ
	荷電+ろ過	電気集塵機+バグフィルター（ろ過集塵機）	韓国、ドイツ
電気炉	ろ過	バグフィルター（ろ過集塵機）	中国、インド、ロシア、韓国、ドイツ
	吸着	スクラバー（洗浄集塵機）	中国、インド、ロシア、韓国、ドイツ
	遠心分離力	サイクロン（遠心集塵機）	ロシア
	荷電	電気集塵機	中国、ロシア、韓国、ドイツ
	吸着	活性炭（脱硫脱硝）	韓国、ドイツ
	吸着+ろ過	活性炭+バグフィルター（ろ過集塵機）	韓国、米国、ドイツ
	荷電+ろ過	電気集塵機+バグフィルター（ろ過集塵機）	（情報収集の対象国では定義されていない）

（出所）

- 中国：“Guidelines on Available Technologies of Pollution Prevention and Control（環境保護省、2010年）”
- インド：“Comprehensive Industry Document on Electric Arc & Induction Furnaces”（中央汚染管理局、2010年）
- 米国：“Electric Arc Furnace Steelmaking Facilities: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Area Sources（環境保護庁、2007年）”、“Integrated Iron and Steel Manufacturing: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants”（環境保護庁、2006年）
- 韓国：“Standards of Best Available Techniques (BAT) for Environmental Pollution Prevention and Integrated Management of Steel Manufacturing Industry”（国立環境研究所・環境部、2007年）
- ロシア：“Information Technical Directory for the Best Available Techniques for production of iron, steel and ferro-alloys(2017)”（BAT事務局、2017年）
- ドイツ：“Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel ProductionIndustrial Emissions Directive”（欧州統合汚染防止管理局、2013年）

《第2章》鉄鋼製造施設から大気中への水銀排出・対策状況

各種出所に記載されている鉄鋼製造施設からの水銀排出量

- 情報収集対象国において、公的な情報源（各国公表のインベントリーや公表資料等）から水銀排出量を取得できた国は、ロシア、ドイツ、日本である。
- 中国、インド、米国、韓国については、公的な情報源から排出量に係る情報は確認できず、UNEPで推計している。
- ロシアは原材料と原材料量をベースに水銀排出量を算出しているのに対して、日本は実測データを基に算出した排出係数と活動量から水銀排出量を算出している。

表6) UNEP及び各国政府が公表している算出ロジック（鉄鋼製造施設からの水銀排出量）

注釈) 1. 電気炉からの大気水銀排出量（推定）については電炉網1tあたりからの水銀排出量から算出している。
 2. 大気汚染防止法（2018年4月1日より施行）改正前の算定方法を記載している。

（「-」については確認できなかった）

国名	UNEP公表（2015年）			各国政府公表		
	算出対象	排出量	算出ロジック	算出対象	排出量（年度）	算出ロジック
中国	一次製鉄 + 二次製鉄	9.6 t		-	-	-
インド		5.5 t		-	-	-
米国		1.8 t		-	-	-
韓国		1.0 t		-	-	-
ロシア		5.5 t			高炉のみ ¹	1.8 t (2001年)
ドイツ	1.2 t		連続製造を含む7つの銑鉄および鉄鋼施設からの水銀排出量	0.5 t (2017年)	-	
日本	2.8 t		高炉 + 電炉	2.4 t (2016年)	(実測データを基に算出した排出係数) × (活動量) ²	

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

日本：環境省「水銀大気排出インベントリー（2016年度対象）」（2020年1月に取得）

ロシア：“Assessment of Mercury Releases from the Russian Federation” (Russian Federal Service for Environmental, Technological and Atomic Supervision Danish Environmental Protection Agency,2005年)

ドイツ：“European Pollutant Release and Transfer” (European Environment Agency (EEA), 2019年12月に取得)

本資料で頻出する用語

■ 下表は本資料で頻出する鉄鋼製造に係る用語である。

鉄鋼製造に係る用語

用語	意味
銑鉄	高炉から生産される鉄を指す。
粗鋼	溶解後の最初の固体状態の鋼を指す。
ペレット	微粉鉱石に水と粘結剤を加えて直径10～30mmの球状にし、焼き固めたものを指す。
焼結炉	粉状の鉄鉱石に粉コークス・副原料等を混合し、焼結鉱を生産する施設を指す。
高炉	鉄鉱石から銑鉄を生産する施設を指す。
転炉	炭素が多く含まれている銑鉄から、炭素等の不純物を取り除き、溶鋼を生産する施設を指す。
電気炉	鉄スクラップを電極から発したアークで溶解し、溶鋼を生産する施設を指す。
電炉鋼	電気炉を経て生産される粗鋼を指す。
一次製鉄	鉄鋼製造における焼結炉・高炉・転炉工程を指す。
二次製鉄	鉄鋼製造における電気炉工程を指す。

出所)

『みんなの鉄学』（日本鉄鋼連盟、2019年12月に参照）

“GLOSSARY The language of steel”(World Steel Association、2019年12月に参照)

『要排出抑制施設に係る 自主的取組の方向性について』（日本鉄鋼連盟、2016年）

“Technical Background Report to the Global Mercury Assessment 2018” (UNEP、2019年、3-3)

The text is framed by two decorative swooshes. The top swoosh is a gradient bar transitioning from blue on the left to red on the right. The bottom swoosh is a solid blue bar.

Share the Next Values!