

アルカリ浸出法による電炉ダストの亜鉛 リサイクル技術とそのビジネスの可能性 について

株式会社キノテック

代表取締役社長 母里修司



発表内容

1. 当社の概要
2. 当社技術の生立ち
3. 亜鉛市場について
4. 電炉ダストとは
5. 新キノテック法とは
6. 脱炭素
7. パイロット試験から量産プラントへ
8. 重要市場(JCM国)
9. まとめ



1. 当社の概要 (株) キノテック

- ・ 設立 : 2002年4月4日
- ・ 創業者 : 木野幸浩 (故人、松下技研OB、創業者理念 : 研究開発案件を社会実装に)
武内喜則 (松下技研OB、当社技術顧問)
- ・ 会社住所 : 東京都中央区日本橋2-1-21第二東洋ビル5F
税理士法人フィールズ内 (当社監査役河野氏が代表)
- ・ 資本金 : 84,577,903円
- ・ 株主構成 : 取締役・社員・関係者・リアルテックファンド・共英製鋼 (株)・トピー工業 (株)
- ・ 開発協力者 : A社、B社、C社、D社
- ・ 取締役 : 代表取締役社長 母里修司 丸紅OB
主任研究員 拝生憲治 三井金属鉱業OB
総務経理 大塚将夫 三菱UFJ銀行OB
- ・ 従業員 (顧問含む) : 15人 (内、派遣1人、男12人、女3人、非鉄精錬OB5人)
- ・ コンサルタント : 税理法人フィールズ (税務)、欧和特許事務所 (特許)、合同設備技術研究所 (装置の安全性)、E社 (脱炭素・経営戦略)
- ・ 共同研究先 : 東京大学 大学院工学系研究科 松浦宏行准教授



2. 当社技術の生立ち

<某大手化学会社との太陽電池用ポリシリコン製造の共同開発

(2008年1月～2011年6月・亜鉛還元法=デュボン法)

(塩化工程) Si 鉱石 (原料) + $\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SiCl}_4$

(還元工程) $\text{SiCl}_4 + \text{Zn} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{Si}$ (製品)

(電解工程) $\text{ZnCl}_2 \rightarrow \text{Zn} + \text{Cl}_2$



<東大・松浦先生の選択塩化技術と

当社の塩化亜鉛の熔融塩電解の組み合わせ技術、ケンブリッジ大学 Prof. Derek J Fray 特許番号 US Patent 4,800,069 (1989年)

選択塩化 (東大・松浦先生の博士論文)

Crude ZnO (電炉ダスト) + Cl_2

$\rightarrow \text{ZnCl}_2$ + 残渣 (酸化物)

熔融塩電解 (当社特許番号 第6053370 2016年特許成立)

$\text{ZnCl}_2 \rightarrow \text{Zn}$ (製品) + Cl_2

2014年 NEDO 省エネ部 補助金 1500万円

(選択塩化)

2015年 東京都 ものづくり補助金 1,000万円

(選択塩化)

2017年 NEDO イノベーション部 補助金7,000万円

(選択塩化)

2021年 NEDO 省エネ部 補助金 3000万円

(アルカリ浸出)

2023年 NEDO 省エネ部 補助金 約2億円/年x3年間 (合計6億円)

(アルカリ浸出)

2026年 NEDO フロンティア部 (旧 省エネ部) (アルカリ浸出)

2.2 当社技術の生立ち

選択塩化法

- ケンブリッジ大学 Prof.Derek J Fray 特許番号 US Patent 4,800,069)
- 工程：電炉ダスト → 粗塩化亜鉛 → 精製塩化亜鉛 → 亜鉛地金 (99.99%以上)
- 電炉ダストを塩化物($ZnCl_2$) と酸化物(残渣) に容易に分離
- コンパクト・省エネのプラント (電極:複極構造)



実験結果

- 電炉ダストは混合ガス (空気:塩素混合比率8:1、800度) で容易に高純度粗塩化亜鉛に転化できる。
- 塩素は腐食性が高いためプラント建設コストが高い？



3.1 亜鉛市場について

世界の亜鉛の市場規模

(単位：千トン)

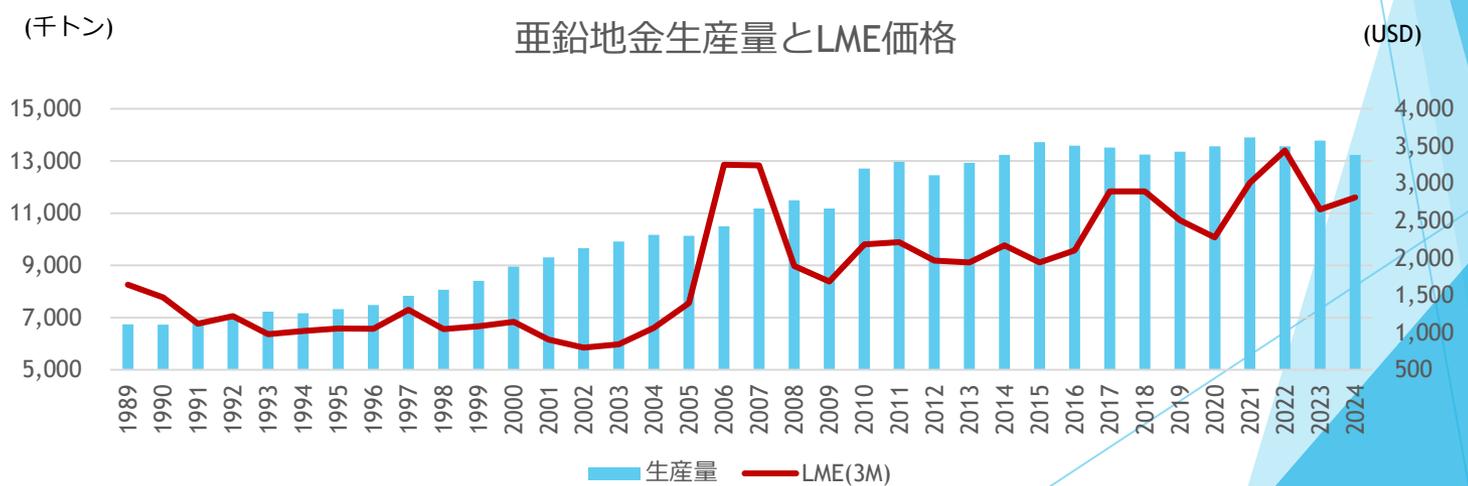
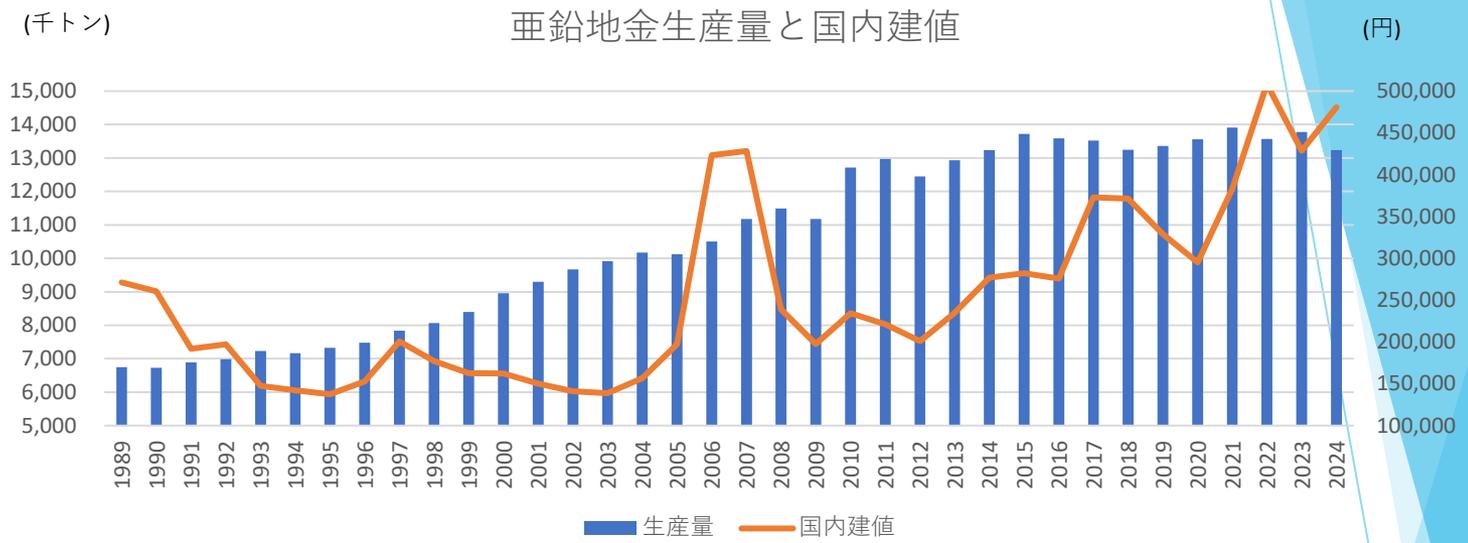
世界の亜鉛の市場規模	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
亜鉛精鉱生産量 (亜鉛量)	12,571	12,882	13,246	12,582	12,854	12,839	12,493	12,284
亜鉛地金生産量	13,511	13,239	13,356	13,856	13,908	13,569	13,779	13,237
亜鉛地金消費量	14,236	14,187	14,923	13,088	14,058	13,641	13,434	13,602

日本の亜鉛生産者

(単位：千トン)

日本の亜鉛生産量	亜鉛の製造法	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
東邦亜鉛 (群馬県)	湿式法	90	93	82	89	93	85	81	65
八戸共同製錬 (青森県)	乾式法 (ISP)	94	89	110	97	98	97	95	95
三井金属鉱業 (山口県)	湿式法	66	68	70	60	68	68	67	67
三井金属鉱業 (岐阜県)	湿式法	63	63	62	61	63	65	57	63
同和鉱業 (秋田県)	湿式法	210	208	205	190	193	202	183	201
合計		523	521	529	497	515	517	483	491

3.2 亜鉛市場について（生産量と価格）



3.3 亜鉛市場について (世界の亜鉛精錬会社)



Global Zinc Production Capability Ranking by Operation and by Company - 2024*

MINES - 2024					SMELTERS - 2024				
By Mine	kt Zn	(%)	By Company	kt Zn (%)	By Smelter	kt Zn (%)	By Company	kt Zn (%)	
1 Red Dog	556	4.5	Hindustan Zinc	856 7.0	Onsan	630 4.8	Glencore	1058 8.0	
2 Rampura-Agucha	548	4.5	Glencore	855 7.0	San Juan de Nieva	520 3.9	Korea Zinc Group	1035 7.8	
3 Penasquito	308	2.5	Teck Resources	616 5.0	Chehe (Nanfang)	500 3.8	Trafigura	865 6.5	
4 Mount Isa Pb/Zn	289	2.4	Zijin Mining Group	336 2.7	Chanderiya EL	480 3.6	Hindustan Zinc	832 6.3	
5 Antamina	268	2.2	Newmont	308 2.5	Cajamarquilla	327 2.5	Nexa Resources	588 4.4	
6 McArthur River	260	2.1	Nexa Resources	293 2.4	Kokkola	303 2.3	Hechi Nanfang	500 3.8	
7 San Cristobal	175	1.4	MMG Limited	220 1.8	Xin Zhuye	300 2.3	Boliden AB	455 3.4	
8 Dugald River	164	1.3	Lundin Mining Corporation	192 1.6	Jiyuan (Yuguang)	290 2.2	Shaanxi Nonferrous Metals	296 2.2	
9 Sindesar Khurd	147	1.2	Industrias Penoles	192 1.6	Trail	256 1.9	China Minmetals Corporatiorn	291 2.2	
10 Wuqia Wulagen	140	1.1	UGMK	182 1.5	Torreon	245 1.9	Yuguang Gold and Lead	290 2.2	
11 Zhairam	140	1.1	Minera Volcan	177 1.4	Hobart	240 1.8	Zijin Mining Group	281 2.1	
12 Vazante	140	1.1	San Cristobal Mining	175 1.4	Baiyin	231 1.7	Teck Resources	256 1.9	
13 Huize Qilinchang	120	1.0	Trafigura	168 1.4	Bayannaouer	225 1.7	Industrias Penoles	245 1.9	
14 Bisha	115	0.9	Boliden AB	164 1.3	Chelyabinsk	210 1.6	Yunnan Metallurgical Group	238 1.8	
15 Zawar	115	0.9	Zhongjin Lingnan Metals	160 1.3	Rajpura Dariba	210 1.6	Zhongjin Lingnan Metals	223 1.7	
16 Gamsberg	114	0.9	Chihong Zinc & Germanium	156 1.3	Sukpo	208 1.6	Mitsui Mining & Smelting	211 1.6	
17 Wenshan Dulong	112	0.9	Russian Copper Company	127 1.0	Iijima	201 1.5	Dowa Mining	194 1.5	
18 Changba (Baiyin)	110	0.9	Hualian Zinc and Indium	112 0.9	Budel	200 1.5	CITIC Guoan Group	176 1.3	
19 Neves Corvo	110	0.9	Western Mining Company	108 0.9	Townsville	197 1.5	Huludao Zinc	172 1.3	
20 Garpenberg	109	0.9	Yunnan Metallurgical Group	102 0.8	Balen	195 1.5	Gansu Provisional Asset	168 1.3	
21 Lanping	102	0.8	Sibanye-Stillwater	100 0.8	Valleyfield	185 1.4	Jinli Gold & Lead	140 1.1	
22 Century	100	0.8	BHP	90 0.7	Tres Marias	181 1.4	Chifeng Hongye Zn Smelting	137 1.0	
23 Fankou	89	0.7	CITIC Guoan Group	90 0.7	Mawu (Huize)	180 1.4	American Zinc Recycling	135 1.0	
24 Zhaotong	89	0.7	Vedanta Resources	88 0.7	Chifeng	175 1.3	Chihong Zinc & Germanium	131 1.0	
25 Cerro Lindo	87	0.7	Gansu Provisional Asset	86 0.7	Mian Xian (Bayi)	170 1.3	Western Mining Company	129 1.0	
26 Aguas Tenidas	85	0.7	Sandfire Resources	85 0.7	Ust Kamenogorsk	169 1.3	Russian Copper Company	126 1.0	
27 Kyzyl Tashtygscoe	84	0.7	Guangxi Nonferrous	85 0.7	Huludao EL	165 1.2	Hualian Zinc and Indium	125 0.9	
28 Carahuacra	83	0.7	Iran Zinc Dev	75 0.6	Shangluo	160 1.2	Chengtun Mining Group	120 0.9	
29 Zinkgruvan	82	0.7	Kazzinc JSC	70 0.6	Odda	152 1.1	Jiangxi Copper Corporation	115 0.9	
30 East Tennessee	81	0.7	Minera Frisco	66 0.5	Danxia (Fankou)	148 1.1	Tongguan Chizhou	105 0.8	
Global Total	12284	100	Global Total	12284 100	Global Total	13237 100	Global Total	13237 100	

Source Wood Mackenzie



3.4 亜鉛市場について

亜鉛精鉱(Zn：53%)の輸入（通関統計2024,1-2024,12）（単位：トン）

輸入国				三井金	DOWA	東邦亜鉛	合計
	下関	富山	八戸	小計	秋田	小名浜	
チリ			1,039	1,039			1,039
米国	11,560	22,259	32,512	66,331	40,871		107,202
メキシコ					146,989		146,989
ペルー	63,677		12,241	75,918	10,781	51,736	138,435
ボリビア		29,458		29,458	117,503		146,961
豪州	10,617	10,210	92,055	112,882	5,504	16,498	134,884
その他		35		35			35
合計	85,854	61,962	137,847	285,663	321,648	68,234	645,545

3.5 日本の亜鉛地金の輸入量 2024年度通関統計

▶ 亜鉛地金(Zn99.99%以上)の輸入 (通関統計2024,1-2024,12) (単位：トン)

輸入国	横浜	神戸	大阪	名古屋	門司	その他	合計
ペルー	1,204	2,405	546			80	4,235
インド	494	597	583	747			2,421
スペイン	1,494						1,494
豪州					390	50	440
韓国	300						300
中国		36		13			49
UAE	3						3
合計	3,495	3,039	1,129	760	390	130	8,943

3.6 日本の亜鉛地金輸出货量

2024年度通関統計

▶ 亜鉛地金(Zn99.99%以上)の輸出 (通関統計2024,1-2024,12) (単位：トン)

輸出国				三井金	DOWA	その他	合計
	横浜	名古屋	門司	小計	秋田		
インド	20,714	5,933	3,553	30,201	5,456	200	35,857
台湾	2,972	3,519	401	6,892	9,033		15,925
ベトナム	4,280	1,249	202	5,731	3,084		8,815
タイ	502	670		1,172	2,358	104	3,634
バングラデシュ	2,193			2,193	1,012		3,205
中国	1,309	1,621	100	3,030	25	21	3,075
ベルギー	148			148	1,628		1,776
インドネシア	800	282		1,082	379		1,461
香港	400	398		798	197		995
その他	559	890			1,776	2	3,375
合計	33,877	14,562	4,256	52,695	23,320	326	76,432

3.8 亜鉛市場について

亜鉛精錬会社(Custom Smelter)の収入

Custom Smelter 収入源

2025年のT/C \$80/DMT

(2025年4月21日付 日刊産業新聞)

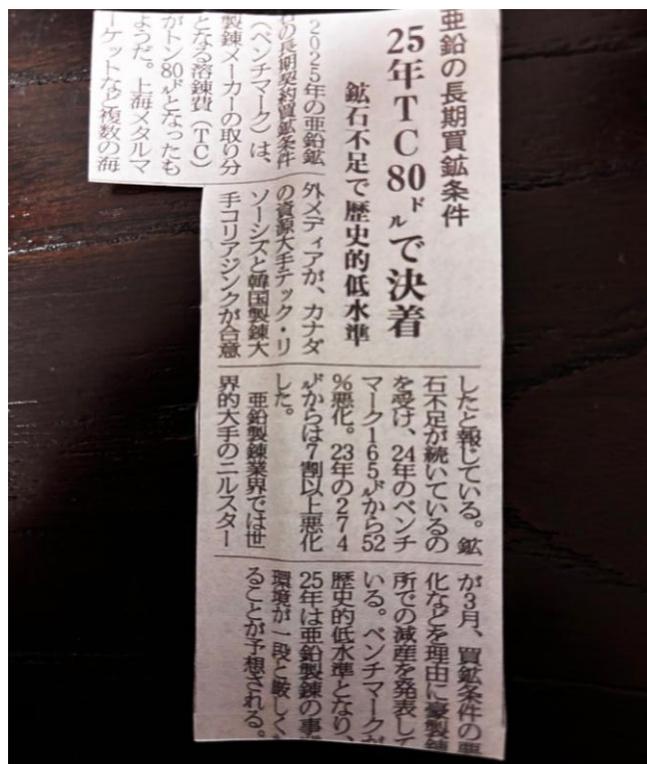
- ① T/C (加工費)
- ② 買鉛条件の収率 (85%)と実際の収率の差
- ③ 国内建値とLMEの差
- ④ In,Cd,Pb,Cu,Au,Ag など副産物の回収益(但し、Au:1g/DMT, Ag 30g/DMT以上は支払対象)

亜鉛精鉛の単価計算例

(受渡条件 : CIF FO)

$\$2500/ t \text{ (LME Zn Cash)} \times 53\%$
 $\text{(品位)} \times 85\% \text{ (収率)} - \$ 80$
 $\text{(加工費)} = \$1,046/DMT$

亜鉛販売価格の約70%



- 電炉ダストはバーゼル条約該当商品（越境移動は禁止）
- 電炉ダスト：鉄鋼電炉の集塵機から回収された特別管理産業廃棄物。
鉄20～30%、亜鉛15～40%を含む貴重な資源。
- 発生量：日本での発生量は48万トン/年、世界では900万トン/年。
 - * 2015年国際鉛亜鉛研究所報告書（by Mr. Larry Southwich P.E）
- 既存の処理法：主たる処理法であるウエルツ法（粗酸化亜鉛）
は大量のコークスを使用し、CO₂ 排出量は
約5tCO₂/Zn-t程度。
 - * 2022年日本メタル経済研究所報告書
- 近年の脱炭素の動きから電炉による鉄鋼生産の増加が予測され、
電炉ダスト発生量は今後も増加が見込まれる。

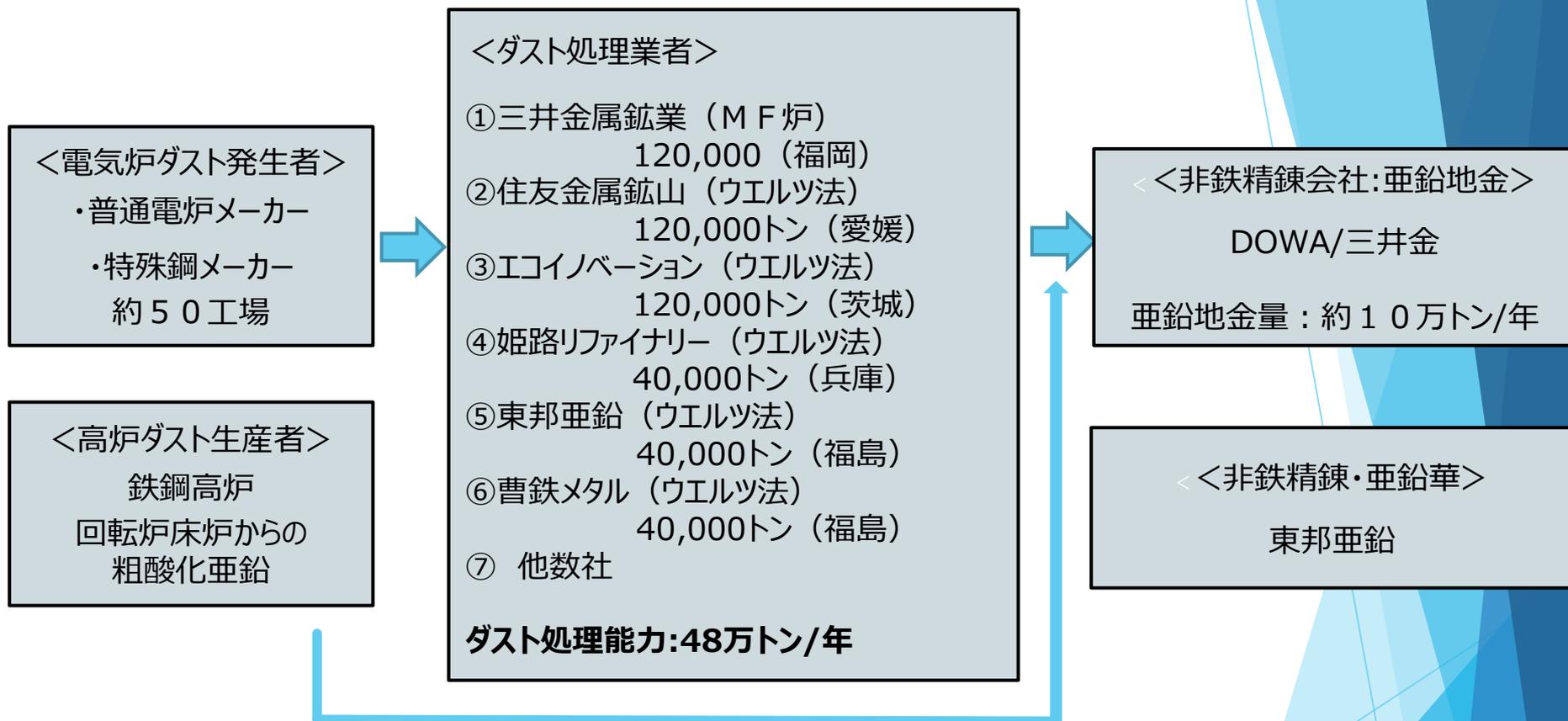
4.4 電炉ダストとは

電炉ダスト処理の従来技術

	操業開始 (年)	ダスト処理能力 (トン/年)	世界のプラント数	製品
ウエルツ法	1935	80,000-160,000	40	粗酸化亜鉛
プラズマ法	2005	50,000-150,000	2	粗酸化亜鉛
電気熔融還元法 (台湾)	2009	50,000-100,000	1	粗酸化亜鉛
M F 炉 (三井金)	1965	110,000	1	粗酸化亜鉛

- ・現在の回収技術(ウエルツ法 + 乾式・湿式製錬)が主流である。
- ・キルンでのカーボン還元 (1回目) により脱鉄され2次ダスト (粗酸化亜鉛) となる。
- ・2次ダストは2回目の還元 (乾式 or 湿式) により金属亜鉛となる。
- ・2回の還元を経るためエネルギーコストが概ね2倍となる。
- ・2026年排出量取引の開始、2028年化石燃料の輸入税導入。

4.5 電炉ダストとは（電炉ダストと粗酸化亜鉛の流れ）



電炉ダストの主な成分

	O	Mg	Al	Cl	Fe	Zn	Cd	Pb	Cu
ダスト(%)	27	1.4	0.7	5	27	15-40	0.15	1.6	0.3

4.6 電炉ダストとは

粗酸化亜鉛(Zn：50-65%)の輸入（通関統計2022,4-2023,3）

（単位：トン）

輸入国	三井金				小計	DOWA	その他	合計
	下関	富山	八戸	三池				
韓国		1,071	790		1,861	24,320	68	26,249
台湾	7,505		6,458	12,475	26,438	6,042	39	32,519
マレーシア		5,964			5,964	2,587		8,551
比国							82	82
インドネシア							40	40
トルコ		4,540						4,540
米国							611	
タイ	20	20	20			82		142
その他	20		20			180		220
合計	7,545	11,595	7,288	12,475	38,903	33,211	840	72,954

5.1新キノテック法 (これまでの取り組み)

既存法 2回還元

Wealz法+ISP Wealz+溶媒抽出法+EW
Wealz法+EW

Fe回収あり

ESRF法 RHF法

エネルギー:2倍
処理費:2倍



新たな試み 1回還元

乾式法 — 問題点あり 実用化できず

豊栄商会法

※旧キノテック法
選択塩化法
塩素ガス危険

湿式法 — 問題点あり 実用化できず

塩酸浸出法
硫酸浸出法
苛性ソーダ浸出法

エネルギー:小
処理費:低

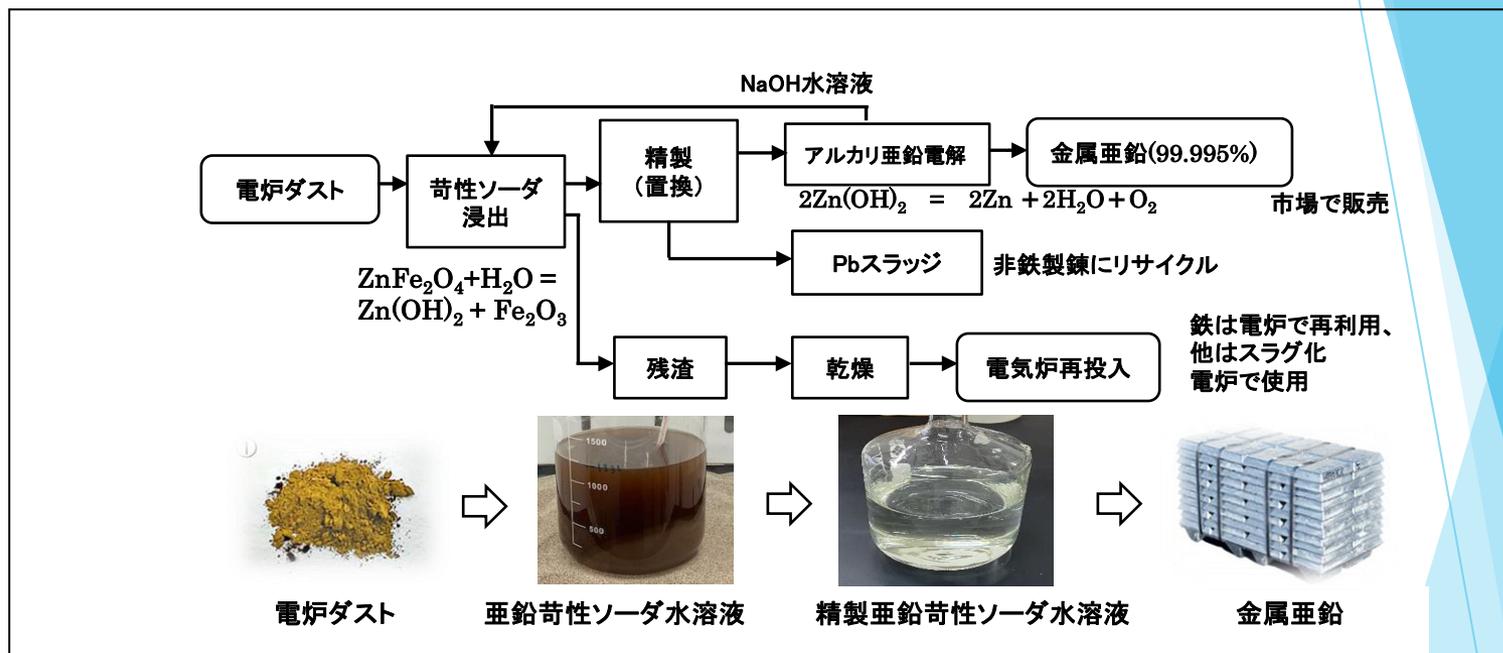
新キノテック法

苛性ソーダ浸出法

CEBEDEAU PROCESS



5.2 新キノテック法 (技術開発成果の製品イメージ)



アルカリ浸出法

- ① 苛性ソーダ浸出により、亜鉛 (Zn) と鉄 (Fe) を分離。
- ② 電解採取にて金属亜鉛 (粉) 製造。
- ③ 残渣(主にFe)は電炉に再投入しスラグ化、PbはPbスラッジとして販売。

(参考：2023年電気炉系スラグ発生量：2,699千トン/年、鉄鋼スラグ統計年報2023年度版)

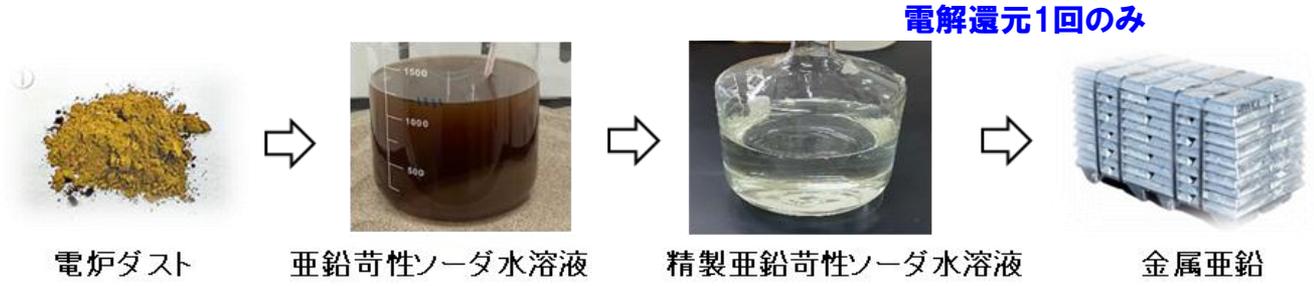
従来法

ウエルツキルン + 既存Zn製錬(CO₂排出量 8.5t-Zn1t)



CO₂: 6.35t/t(75%)削減

新キノテック法(CO₂排出量 2.15t-Zn1 t)



電気製錬クリーンプロセス



5.4 新キノテック法

CEBEDEAU PROCESS(当社と同じ水酸化ナトリム(NaOH)を使用)

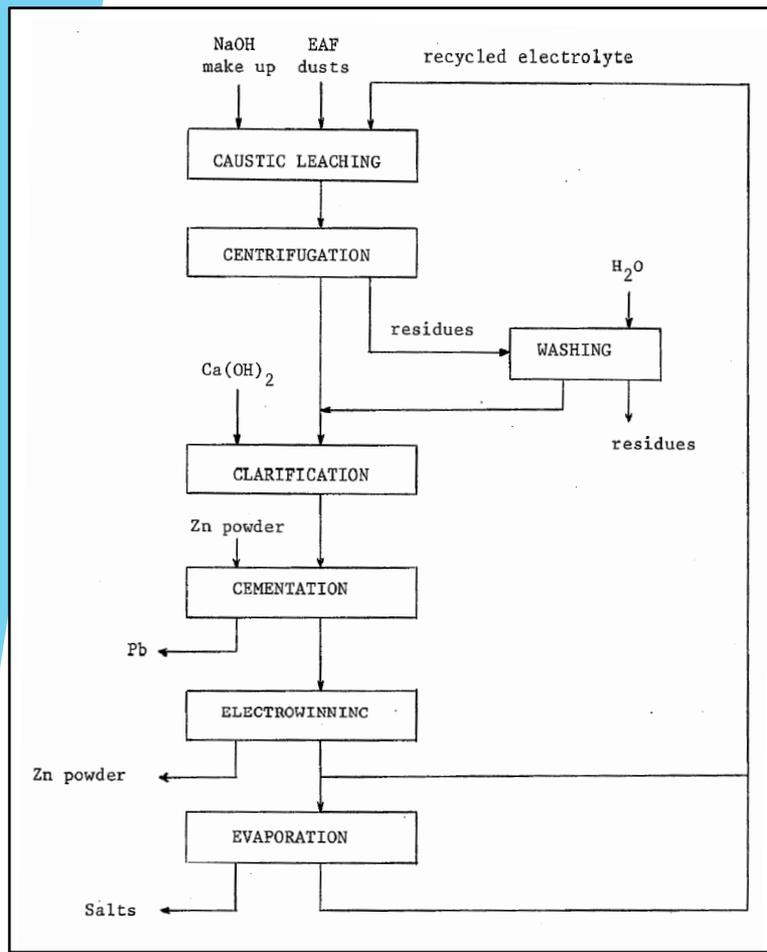


Fig. 2 : Simplified flow-sheet of the S.E.R.H. plant

CEBEDEAUプロセスは
1980年代にフランスで商業ベースに
開発されたがろ過問題で中断した。

本方式では $ZnFe_2O_4$ を溶解できていない。

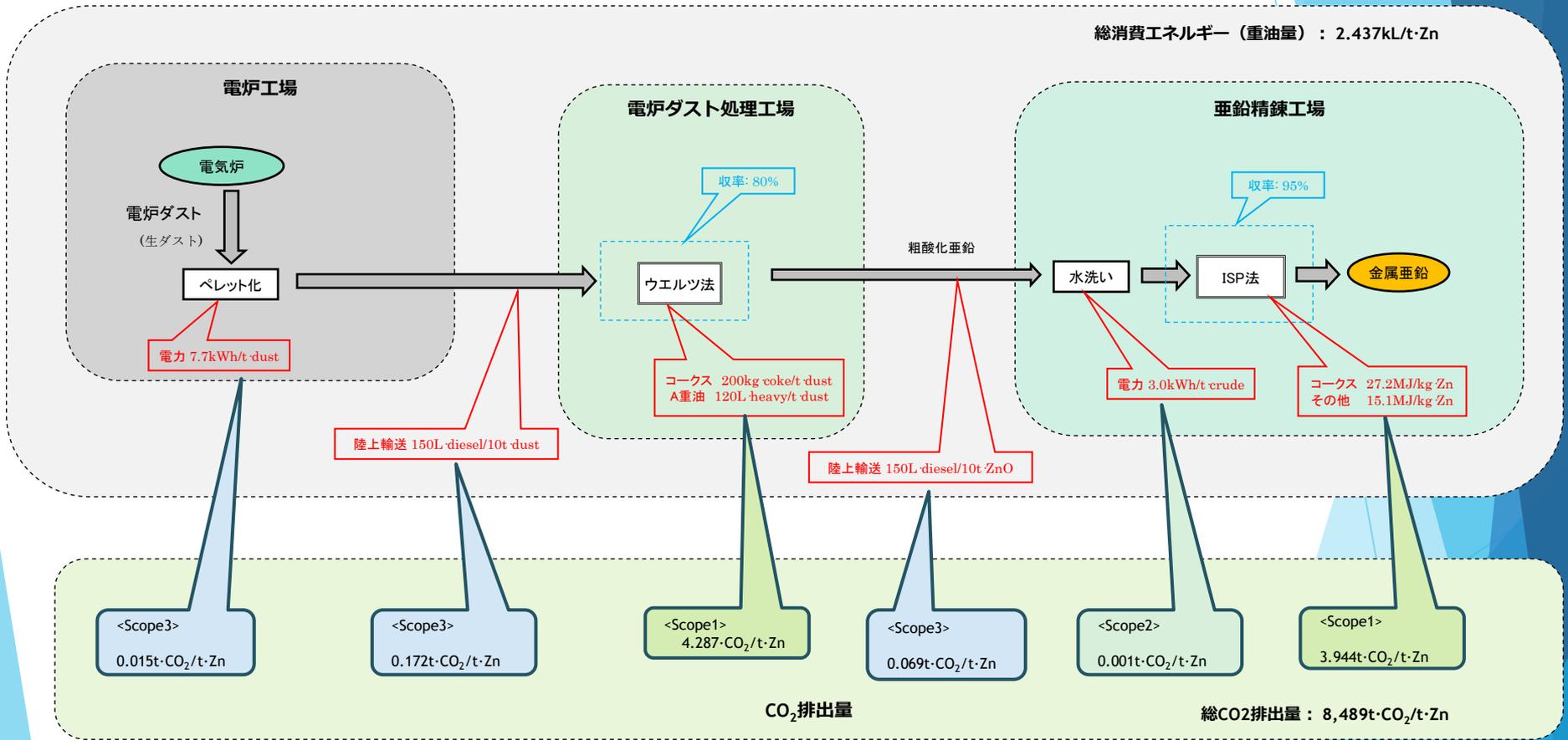
抽出された課題

- ①ろ過の改善
- ② $ZnFe_2O_4$ の溶解
- ③電気亜鉛99.995%の生産確立

Frenay, J., Hissel, J., and Ferlay, S., Recovery of Lead and Zinc From Electric Steelmaking Dusts By The Cebedeau Process, In *Proceedings of International Symposium on Recycling and Secondary Recovery of Metals*, ed. P. Taylor, H. Y. Sohn, and N. Jarrett, TMS, Fort Lauderdale, Florida, USA, December 1-4, 1985, pp. 195-201.

6.1 脱炭素

電炉ダストの従来法（ウェルツ+ISP）によるプロセスの消費エネルギーとCO₂発生量



6.3 脱炭素

CO₂削減効果

	従来技術	キノテック法	差
単位当たりCO ₂ 排出量 (t・CO ₂ /t・Zn)	8.489	2.150	6.338
2040年におけるCO ₂ 削減効果 (t・CO ₂) (2040年のZn生産量：136.8kt・Zn/年)	1,161.6	294.3	867.3

令和3年10月閣議決定

(単位：百万 t・CO₂)

	2013年度実績	2019年度実績 (2013年度比)	2030年度の 目標・目安 ²¹ (2013年度比)
温室効果ガス排出量・吸収量	1,408	1,166 ²² (▲17%)	760 (▲46% ²³)
エネルギー起源二酸化炭素	1,235	1,029 (▲17%)	677 (▲45%)
産業部門	463	384 (▲17%)	289 (▲38%)
業務その他部門	238	193 (▲19%)	116 (▲51%)
家庭部門	208	159 (▲23%)	70 (▲66%)
運輸部門	224	206 (▲8%)	146 (▲35%)
エネルギー転換部門 ²⁴	106	89.3 (▲16%)	56 (▲47%)

0.16%

0.50%



7.1パイロット試験から量産プラントへ 技術開発スケジュール

技術開発項目	2021年度				2022年度				2023年度				2024年度				2025年度			
	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q
【インキュベーション】 (1)高温高アルカリ処理装置の開発 (2)アルカリ亜鉛電解装置の開発 (3) PFD/基本プロセスの確定																				
(1)脱ハロ洗浄装置、浸出装置、ろ過装置、浄液装置の各パイロット試験装置の開発、鉄系残渣の還元挙動の研究																				
(2)セミパイロット電解槽と電着物自動払出システムの開発、パイロット試験電解装置と電着物自動払出システムの開発完了と発注																				
(3)パイロットプラントの各開発装置の製作、検証																				
(4)パイロットプラント試験による最適操業の技術開発 データ収集による設計・操業技術の開発																				
(5)量産試験プラントの経済性評価																				

試験期間
追加試験検討中

8. 1 重要市場 (電炉ダスト発生量予測)

(資料元 : World Steel Yearbook 2025)

(単位 : 千トン)

	2014年			2024年		
地域	電炉による 粗鋼生産量	ダスト量 (粗鋼生産 量の 1.7%)	亜鉛含有量 (ダスト中 のZn : 25%)	電炉による 粗鋼生産量	ダスト量 (粗鋼生産 量の 1.7%)	亜鉛含有量 (ダスト中 のZn : 25%)
EU (27国)	66,039	1,122	281	57,600	979	245
EU外欧州	26,715	454	114	29,400	499	125
CIS	27,452	466	117	29,400	499	125
北米	74,691	1,269	317	76,200	1,295	324
南米	15,233	258	65	13,600	231	58
アフリカ	10,327	175	43	24,400	415	103
中東	27,262	463	116	52,300	889	222
アジア	188,076	3,197	799	264,800	4,501	1,125
(内、中 国)	54,337	923	230	102,500	1,742	435
オセアニア	1,298	22	6	1,474	25	6
世界計	437,095	7,430	1,858	548,400	9,322	2,330

8. 2 重要市場 2024年亜鉛地金輸入量 (JCM国、HS Code : 790111/790112)

	台湾	タイ	ベトナム	インドネシア	インド
日本	19,077	27,871	13,671	1,464	34,170
豪州	50,180	15,295	73,535	29,181	7,601
カナダ	7,458	0	0	0	0
インド	30,356	32,345	13,647	20,021	4,837
韓国	34,581	14,258	98,219	23,139	67,635
ペルー	14,404	10,587	8,372	1,810	1,690
スペイン	4,015	7,969	7,361	10,748	16,614
その他	825	2,393	11,572	6,471	17,969
合計 (M/T)	160,896	110,718	226,377	92,834	150,516

9. まとめ (新キノテック法が成功した場合)

- ・電炉ダストから製造される粗酸化亜鉛は亜鉛精錬会社の貴重な原料ゆえ亜鉛精錬会社との協調が必要。
- ・新キノテック法の残渣は電気炉に投入するので結果として亜鉛は100%の回収となる。
- ・従来法に比べ亜鉛 1 トン当たり 6 トンのCO2削減が可能となる。
- ・従来法より低コストでLME Gradeの亜鉛地金が製造できる。結果として亜鉛生産規模3,000トンサイズで商業採算が合う。
- ・亜鉛精錬所を有さない東南アジア、中近東諸国（特にJCM国）へのビジネス展開。市場規模 1 兆円/年以上（単価:45万円/トン、世界ベース：230万トン）。2040年イメージ：販売拠点:シンガポール、工場数：10－20か所

※この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業の結果得られたものです。

