

# 鉄鋼電炉ダスト中の亜鉛をLME Grade の 亜鉛地金に、残渣を電気炉に再投入する 亜鉛リサイクル技術 (亜鉛市場からみたキノテック法)

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. 電炉ダストとは
4. 新キノテック法
5. 新キノテック法による金属亜鉛
6. 脱炭素
7. パイロット試験から量産プラントへ
8. 亜鉛市場について
9. まとめ
10. 新キノテック法の動画



# 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 : 某鉄鋼高炉会社・共英製鋼 (株)・トピー工業・丸紅プロテックス (株)
- 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) : 11人
- 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＝デュポン法)

(塩化工程)  $\text{Si}$  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

当社の塩化亜鉛の溶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) +  $\text{Cl}_2$

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

溶融塩電解 (当社特許番号 第6053370 2016年特許成立)

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

2014年 NEDO 省工ネ部 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 省工ネ部 補助金 3000万円  
(アルカリ浸出)

2023年 NEDO 省工ネ部 補助金 約2億円/年 x 3年間  
(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のでプラント建設コストが高い？



# 3.1 電炉ダストとは

- 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、炭酸ガス排出量は  
約5tCO<sub>2</sub>/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。

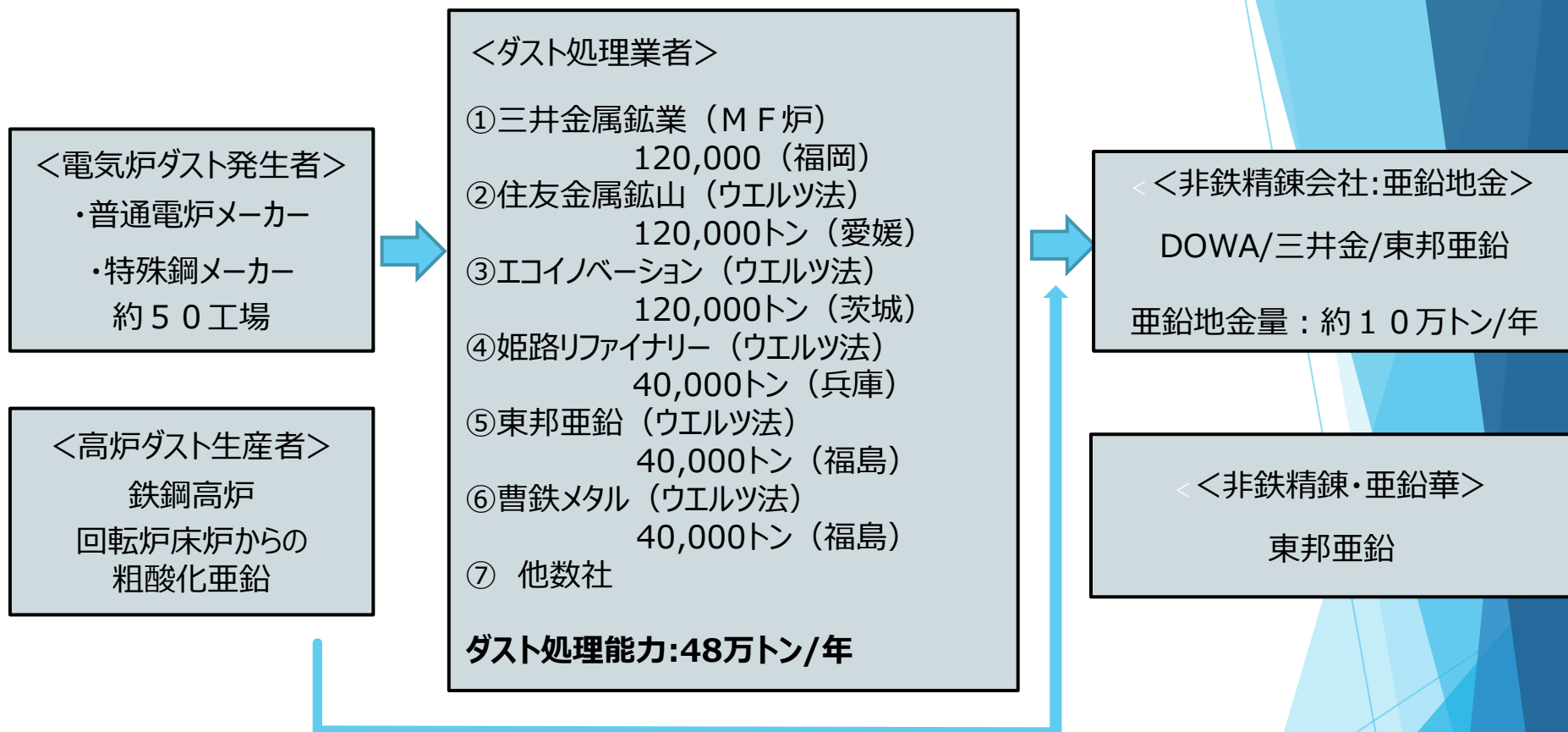
## 3.2. 電炉ダストとは

### 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。

## 3.2. 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



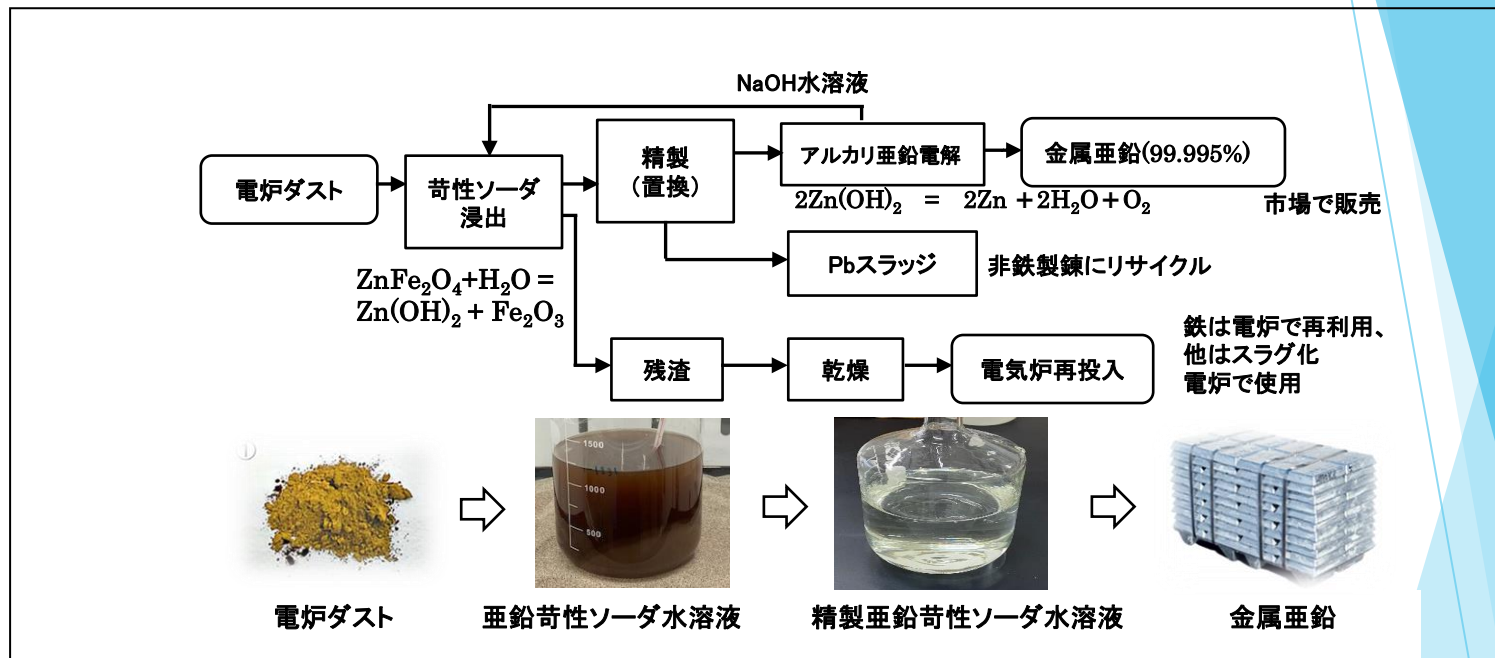
## 3.2 電炉ダストとは (電炉ダスト発生量予測)

(資料元 : World Steel Yearbook 2024)

(単位 : 千トン)

	2014年			2023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	56,582	961	240
EU外欧州	26,715	454	114	27,816	473	118
CIS	27,452	466	117	29,322	498	124
北米	74,691	1,269	317	76,258	1,296	324
南米	15,233	258	65	13,852	235	59
アフリカ	10,327	175	43	21,029	357	89
中東	27,262	463	116	52,047	884	221
<b>アジア</b>	<b>188,076</b>	<b>3,197</b>	<b>799</b>	<b>262,297</b>	<b>4,459</b>	<b>1,115</b>
(内、中 国)	54,337	923	230	100,890	1,715	428
オセアニア	1,298	22	6	1,474	25	6
世界計	<b>437,095</b>	<b>7,430</b>	<b>1,858</b>	<b>541,169</b>	<b>9,200</b>	<b>2,300</b>

## 4.2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。(完全リサイクル)

# 4.3 新キノテック法 (従来法との比較)

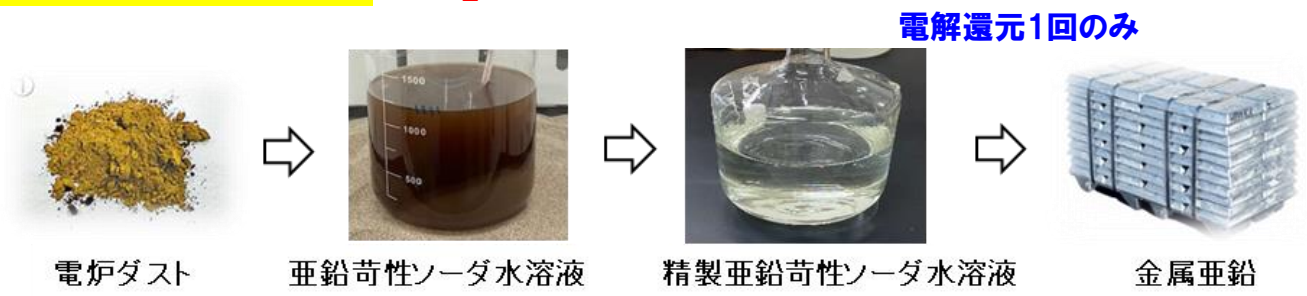
## 従来法

ウエルツキルン + 既存Zn製錬(CO<sub>2</sub>排出量 8.5t-Zn1t)



CO<sub>2</sub>: 6.35t/t(75%)削減

## 新キノテック法(CO<sub>2</sub>排出量 2.15t-Zn1 t)



## 電気製錬クリーンプロセス

# 4.4 新キノテック法

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

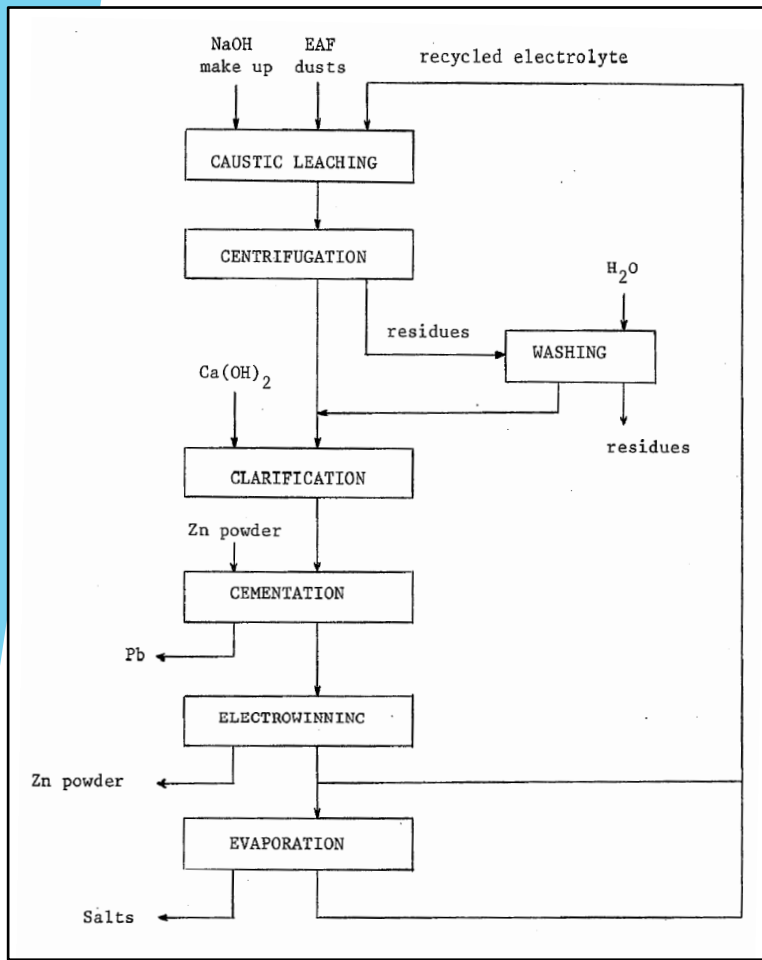


Fig. 2 : Simplified flow-sheet of the S.E.R.H. plant

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。

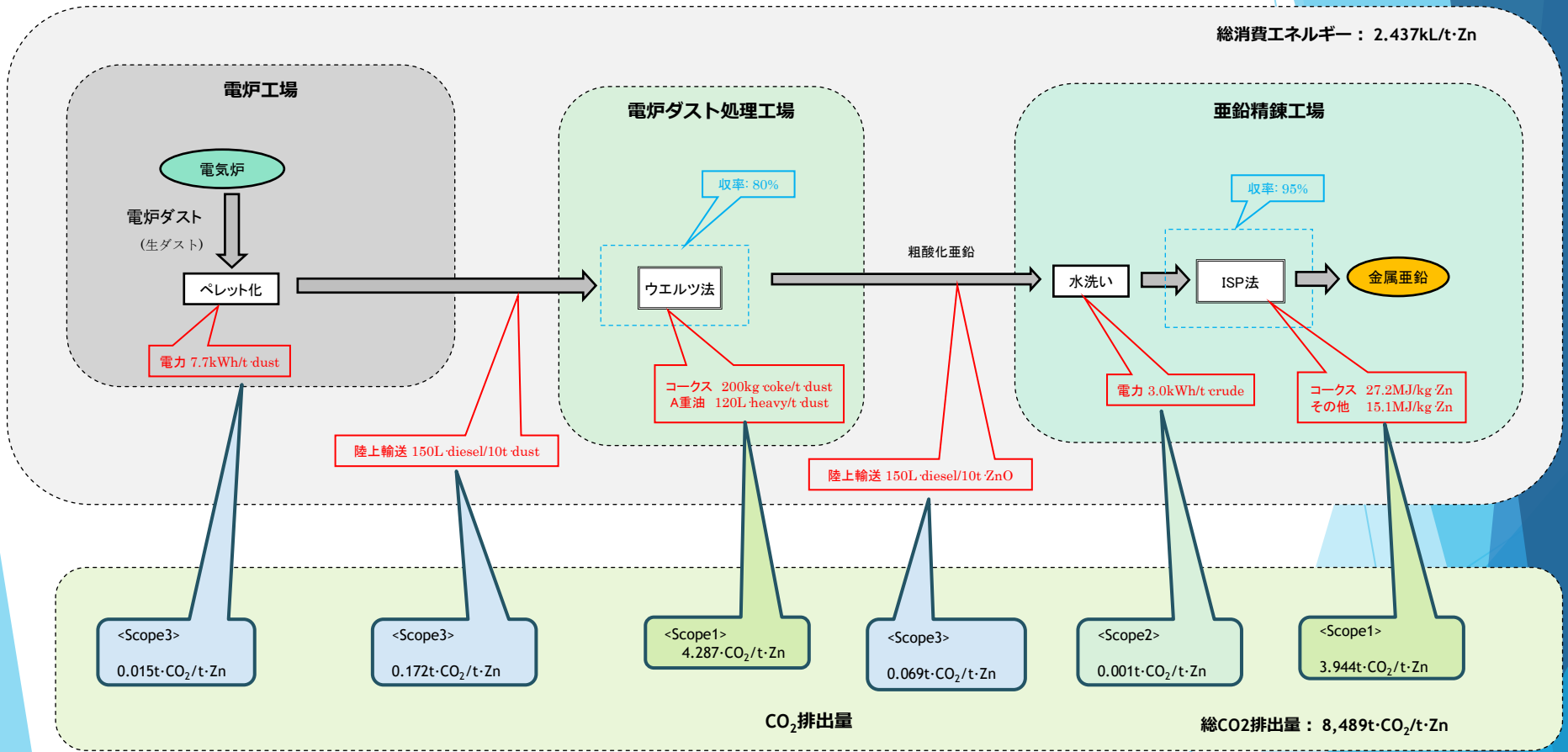
抽出された課題

- 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.

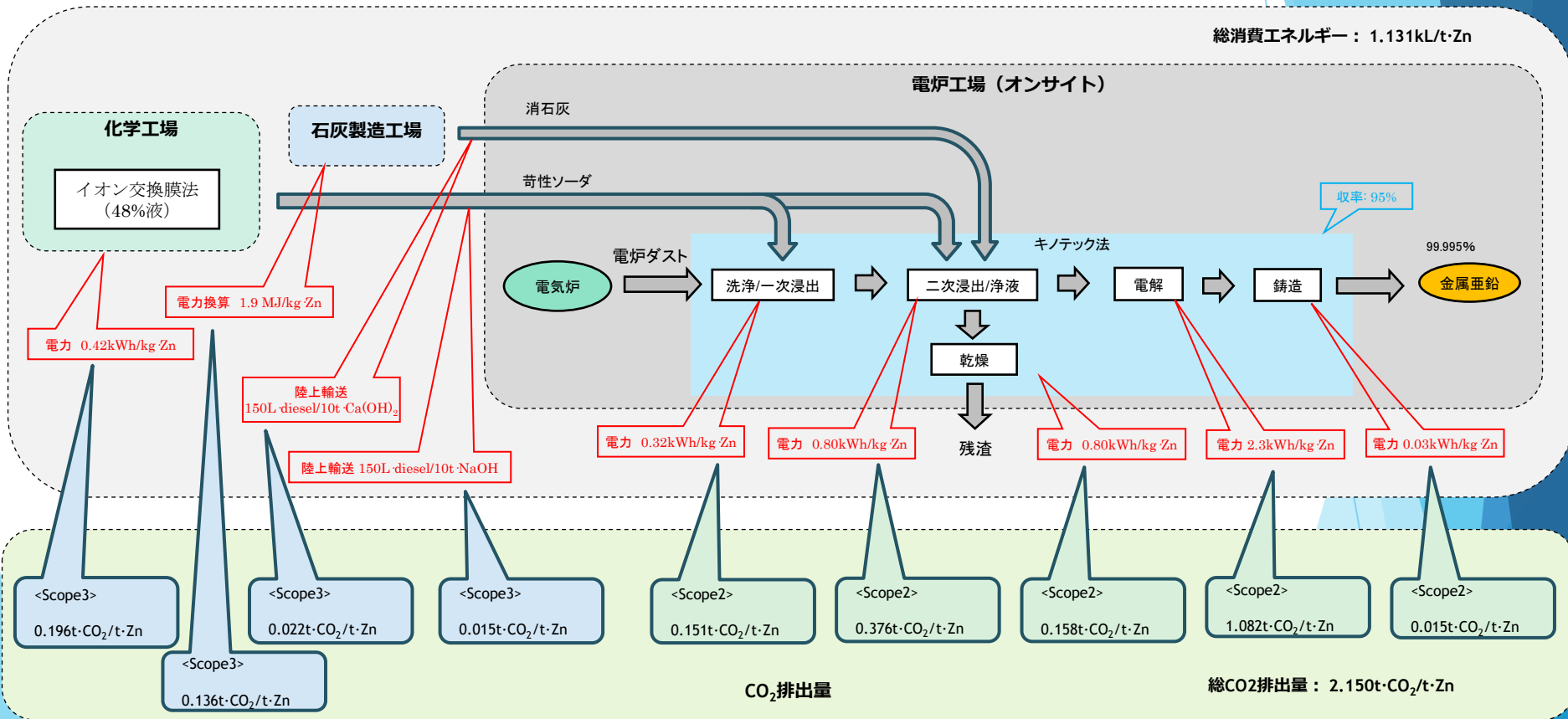
# 6.1 脱炭素

電炉ダストの従来法(ウエルツ+ISP)によるプロセスの消費エネルギーとCO<sub>2</sub>発生量



# 6.2 脱炭素

## キノテック法によるプロセスの消費エネルギーとCO<sub>2</sub>発生量



# 6.3 脱炭素

## CO<sub>2</sub>削減効果

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

令和3年10月閣議決定

(単位：百万 t-CO<sub>2</sub>)

	2013年度 実績	2019年度 実績 (2013年度比)	2030年度の 目標・目安 <sup>21</sup> (2013年度比)
温室効果ガス排出量・吸収量	1,408	1,166 <sup>22</sup> (▲17%)	760 (▲46% <sup>23</sup> )
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 <sup>24</sup>	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
<b>【インキュベーション】</b> (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)商業プラントの経済性評価																				





# 7.2パイロット試験から量産プラントへ

## 事業化の時期と方法

		2025年度				2026年度				2027年度				2028年度			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
事業性 評価	CAPEX、OPEXの算出			■													
	商業プラント事業性評価																
	建設候補地選定				■												
商業 プラント 建設	各種許認可取得					■	■										
	商業プラント詳細設計					■	■										
	商業プラント建設(発注・工事)							■	■	■	■	■	■				
商業 プラント 操業開始	試験操業(50%)													■	■	■	
	本操業開始(100%)																■

## 7.3パイロット試験から量産プラントへ

パイロット試験実施場所 : JFE条鋼株式会社 鹿島製造所内



# 7.5 パイロット試験から量産プラントへ

(特許リスト)

	特許リスト	2024年9月24日現在		
当社番号	特許の名称	出願(特許)番号 (出願日・登録日)	出願人	発明の概要
3	高電流効率で溶融塩を電解する装置及び方法	特許6053370 (登録 2016.12.9)	当社	煙突構造を設け亜鉛と塩素の再結合を防ぎ電解の生産性を高める技術
4 (A)	亜鉛製造法	特許5935098 (登録日 2016.5.20)	当社	電炉ダストを原料とする電気亜鉛製造法
	日本	US 9,920,398 B2 (登録日2018.3.20)		
	米国			
5 (C)	電炉ダストを原料とする亜鉛製造法	特許6099167 (登録日 2017.3.30)	当社	電炉ダストを原料とする電気亜鉛製造法
6 (D)	亜鉛地金の製造方法	特許6656709 (登録日2020.2.7)	当社	選択塩化を規定 湿式工程を規定
7 (E)	炭酸亜鉛の製造法	特許第7193136号 (登録日2022年12月12日)	当社	電炉ダスト、粗酸化亜鉛から炭酸亜鉛を製造する方法
8 (F)	亜鉛の回収方法	PCT/JP2020/46569 2022年12月26日特許登録日 特許第7201196号 US18/266,711 (国内移行: 2023年6月12日)	当社 日揮グローバル	電炉ダストからアルカリ性溶液を高温高压条件を用いた亜鉛の回収方法(独自塩素除去法含む) JPのみ先行以降で限定して特許済み
9 (G)	炭酸亜鉛の製造方法	特願2020-202011 (出願2020-12.4) 2024.9.17 特許成立	当社	電炉ダストからアルカリ性水溶液にて浸出する炭酸亜鉛の製造方法(アルカリ再生利用含む)
10 (H)	亜鉛の製造方法	PCT/JP2021/044314 (出願2020-12.4) 特願2022-566983 (出願2023.5.30) US18/039,888 (国内移行: 2023年6月1日) TH2301003328 (国内移行: 2023年6月1日)	当社	電炉ダストからアルカリ性水溶液にて浸出する亜鉛の回収方法(アルカリ再生利用含む)
11 (I)	亜鉛回収方法	特願2022-021364 (出願2022.2.15) PCT/JP2023/004931 出願日: 2023年2月14日 US18/836,436 (国内移行: 2024年8月7日) EP23756351.5 (国内移行: 2024年7月26日) CN (国内移行: 2024年8月5日)	当社/東京大学	電炉ダストからのアルカリ水溶液とアルカリ溶融の2法を用いた ジंकフェライトまで分解回収する亜鉛回収方法(現行法) JP指定維持のPCT
12 (J)	電解生成物採取方法及びシステム	特願2023-004974 (出願2023.1.17) PCT/JP2024/000977 出願日: 2024年1月16日	当社/東京大学	電炉ダストからのアルカリ水溶液電解のMgカソードを用いた粉状電着方法及び電着物移送回収方法
13 (K)	亜鉛回収方法及びジंकフェライト分解方法	特願2023-004975 (出願2023.1.17) PCT/JP2024/000978	当社/東京大学	電炉ダストのアルカリ溶融において浸出率を高く、かつ、容易に浸出できる条件

## 8.2 亜鉛市場について

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

（単位：ト

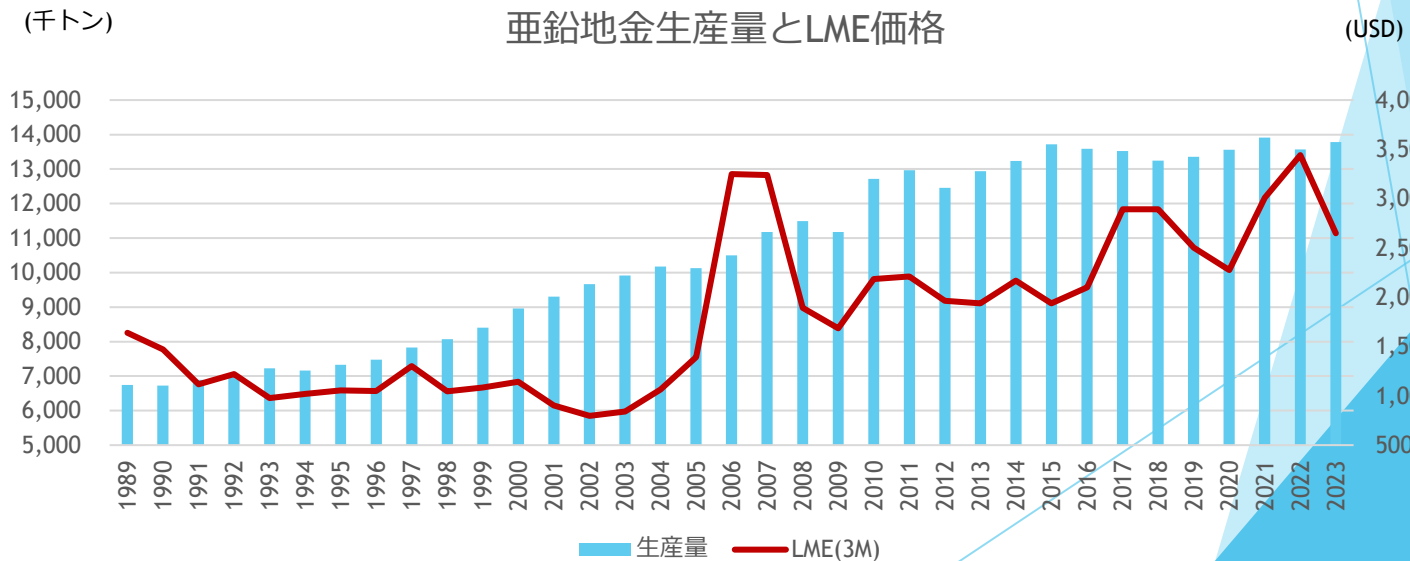
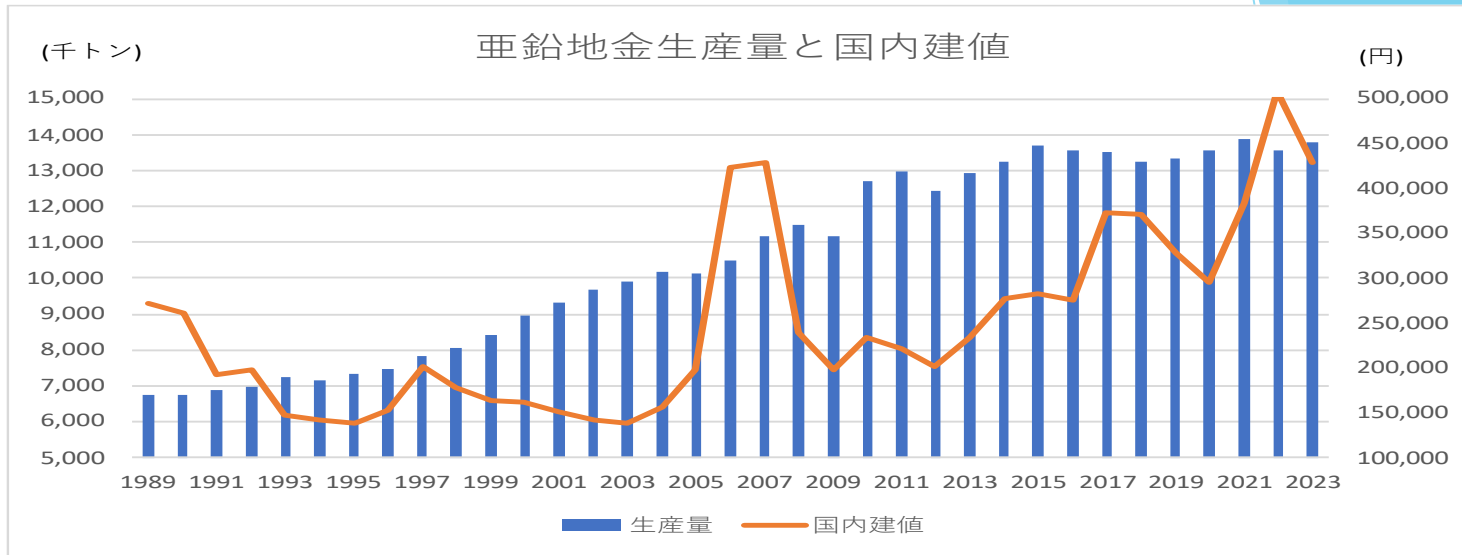
輸入国					小計	DOWA	その他	合計
	下関	富山	八戸	三池		秋田	大阪	
韓国		1,071	790		1,861	24,320	68	26,249
台湾	7,505		6,458	12,475	26,438	6,042	39	32,519
マレー シア		5,964			5,964	2,587		8,551
比国							82	82
インド ネシア							40	40
トルコ		4,540						4,540
米国							611	
タイ	20	20	20			82		142
その他	20		20			180		220
合計	7,545	11,595	7,288	12,475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

## 8.3 亜鉛市場について

亜鉛精鉱(Zn：53%)の輸入（通関統計2022,1-2022,12）（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	
ロシア	1,676			1,676			1,676
米国	7,570	19,746	30,217	57,533			
メキシコ					138,740		138,740
ペルー	49,270		545	49,815	5,507	98,018	153,340
ボリビア		29,862		29,862	196,299	10,784	236,945
エリトリア					12,056		12,056
豪州	26,419	15,611	114,510	156,540	16,247	23,172	195,959
その他		91					
合計	84,935	65,310	145,272	295,517	439,253	131,974	866,744

# 8.4亜鉛市場について (生産量と価格)



# 8.5亜鉛市場について

## (世界の亜鉛精錬会社)



Global Zinc Production Ranking by Operation and by Company - 2014\*

MINES					SMELTERS						
By Mine	kt Zn	(%)	By Company	kt Zn	(%)	By Smelter	kt Zn	(%)	By Company	kt Zn	(%)
1 Rampura-Agucha	635	4.8	Glencore	1319	10.0	Onsan	540	4.0	Nyrstar	1081	7.9
2 Red Dog	595	4.5	Hindustan Zinc	742	5.6	San Juan de Nieva	490	3.6	Korea Zinc Group	1070	7.9
3 Century	462	3.5	Teck	655	5.0	Zhuzhou	400	2.9	Glencore	1011	7.4
4 Mount Isa Pb/Zn	440	3.3	MMG Limited	591	4.5	Chanderiya EL	364	2.7	Hindustan Zinc	722	5.3
5 McArthur River	238	1.8	Boliden	300	2.3	Mian Xian (Bayi)	340	2.5	Votorantim	587	4.3
6 San Cristobal	195	1.5	Nyrstar	293	2.2	Cajamarquilla	325	2.4	Boliden	448	3.3
7 Lanping	180	1.4	Votorantim	291	2.2	Sukpo	325	2.4	Shaanxi Nonferrous Metals	422	3.1
8 Antamina	180	1.4	Minera Volcan	252	1.9	Kokkola	288	2.1	China Minmetals Corp	286	2.1
9 Penasquito	180	1.4	Industrias Penoles	219	1.7	Trail	278	2.0	Teck	278	2.0
10 Tara	166	1.3	China State Enterprise	212	1.6	Jiyuan (Yuguang)	277	2.0	Yuguang Gold and Lead Co	277	2.0
11 Cerro Lindo	162	1.2	Sumitomo	199	1.5	Hobart	260	1.9	Noranda Income Fund	258	1.9
12 Skorpion	159	1.2	Vedanta Resources	184	1.4	Budel	260	1.9	Huludao Zinc	256	1.9
13 Lisheen	132	1.0	Goldcorp	180	1.4	Valleyfield	258	1.9	Dongling Trade & Industry	247	1.8
14 Fankou	131	1.0	Zhongjin Lingnan Metals	171	1.3	Balen	250	1.8	Industrias Penoles	233	1.7
15 Vazante	130	1.0	Lundin Mining Corporation	140	1.1	Torreon	233	1.7	Yunnan Metallurgical Group	224	1.6
16 Kazakhmys East	117	0.9	Western Mining Company	134	1.0	Iijima	210	1.5	Mitsui Mining & Smelting	217	1.6
17 Huize Qilinchang	115	0.9	BHP Billiton	126	1.0	Chifeng	210	1.5	Hechi Nanfang	180	1.3
18 Zyryanovsk	110	0.8	Zijin Mining	124	0.9	Tow nsville	205	1.5	Dow a Mining	170	1.2
19 Uchal	109	0.8	Kazakhmys	122	0.9	Ust Kamenogorsk	190	1.4	Zhongjin Lingnan Metals	165	1.2
20 Chungar	103	0.8	Yunnan Metallurgical Group	118	0.9	Rajpura Dariba	186	1.4	Chifeng Jinfeng	164	1.2
21 Garpenberg	94	0.7	Chihong Zinc & Germanium	114	0.9	Bayannaer	185	1.4	Guangxi Nonferrous	159	1.2
22 Wenshan Dulong	85	0.6	Milpo	113	0.9	Tres Marias	180	1.3	Xiangyun Feilong	150	1.1
23 Velardeña	85	0.6	Trafigura	111	0.8	Chehe (Nanfang)	180	1.3	Vedanta Resources	145	1.1
24 Rosebery	82	0.6	Hongda Group	108	0.8	Qujing	180	1.3	Western Mining Company	125	0.9
25 Broken Hill	80	0.6	HudBay Minerals	94	0.7	Baoji Dongling	175	1.3	Toho Zinc	125	0.9
26 Angouran	80	0.6	Hualian Zinc and Indium Co	85	0.6	Chelyabinsk	165	1.2	UGMK	120	0.9
27 Zinkgruvan	78	0.6	Southern Copper (ex SPCC)	82	0.6	Odda	160	1.2	Hongda Group	116	0.9
28 Iscaycruz	76	0.6	UGMK	80	0.6	Auby	160	1.2	Luoping Zinc and Elec Co	115	0.8
29 Bracemac McLeod	75	0.6	Iran Zinc Dev Co	80	0.6	Shangluo	150	1.1	CITIC Guoan Group	110	0.8
30 Perkoa	75	0.6	Liuzhou China Tin Group	70	0.5	Nordenham	145	1.1	HudBay Minerals	100	0.7
<b>Global Total</b>	<b>13141</b>	<b>100</b>	<b>Global Total</b>	<b>13141</b>	<b>100</b>	<b>Global Total</b>	<b>13626</b>	<b>100</b>	<b>Global Total</b>	<b>13626</b>	<b>100</b>

\*Ow nership changes are accounted for on a pro-rata basis

Source Wood Mackenzie



## 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（従来法の残渣は一部埋立処分）
- ・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  
IRR 10%以上（前提条件：亜鉛生産量3,000トン/年、建設コスト30億円、単価457,800円 2024年9月国内建値）
- ・亜鉛精錬所を有さない東南アジア、中近東諸国（特にJCM国）への技術輸出が可能となる。回収亜鉛の市場規模1兆円（単価:45万円/トン、世界ベース：230万トン）

※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。