

HALADAの資源セミナー 260216版

アナウンス

- **4/6 CE・MVC研究会8周年記念シンポジウム**

CE指標の世界動向 環境省 吉田氏 国環研 田崎氏

- 3/26 ここまで来たLiB処理技術

エンビプロ 朴氏、 ブラックマスの行方 原田

- 4/24か14か22 自動車加工スクラップの成分活用高度リサイクル
前田製作所 丹羽氏、 東北大 松八重研

- 5/11 フィジカルAIとサーキュラーエコノミー
野村総研 樹氏、 早稲田大学 福重氏

- 5/18 動脈・静脈連携の最先端

トヨタ自動車 三村氏、 ファンファーレ 近藤氏

これからの日本を考えるための、いくつかの事実

—— 産業・資源・信頼から見た、日本の現在地 ——

日本は本当に衰退しているのか。

完成品輸出は減ったが、日本の産業は別の形で世界を支えている。

価格や量ではなく、「**止まらないこと**」「**壊れないこと**」を価値にする構造へ。

本稿は、すでに始まっているこの変化を、事実と構造から整理する試みである。

- ・なぜ日本の装置産業は、今も世界で不可欠なのか
- ・なぜ中小企業の価値は、統計に表れにくいのか
- ・なぜレアメタル戦略は「量」から「使い方」へ変わるのか
- ・なぜKPIでは、日本の強みが測れないのか

信頼が価値になる経済へ

日本の産業は、知らないうちに

「信頼駆動型産業」へと移行している。

壊れないこと

止まらないこと

使い続けられること

これらはコストではなく、競争力になっている。

生産と消費は、すでに同じ方向を向き始めている。

この視点は、以下の論考としても展開されています。

- ・信頼性駆動型ビジネス——壊れないことを売る経済
 - ・KPIからSPIへ——「社会に役立つ」を測る指標
 - ・サーキュラーエコノミー会計のすすめ
 - ・CEにおける新しいリサイクルとは
- いずれも、スローガンではなく「設計」として社会を考える文章です

読んでね

<https://circular-industries.net/>

「CE視点・論点」

※ 政策・企業・アカデミー・メディアの議論素材として自由に参照できます。

CEデータ

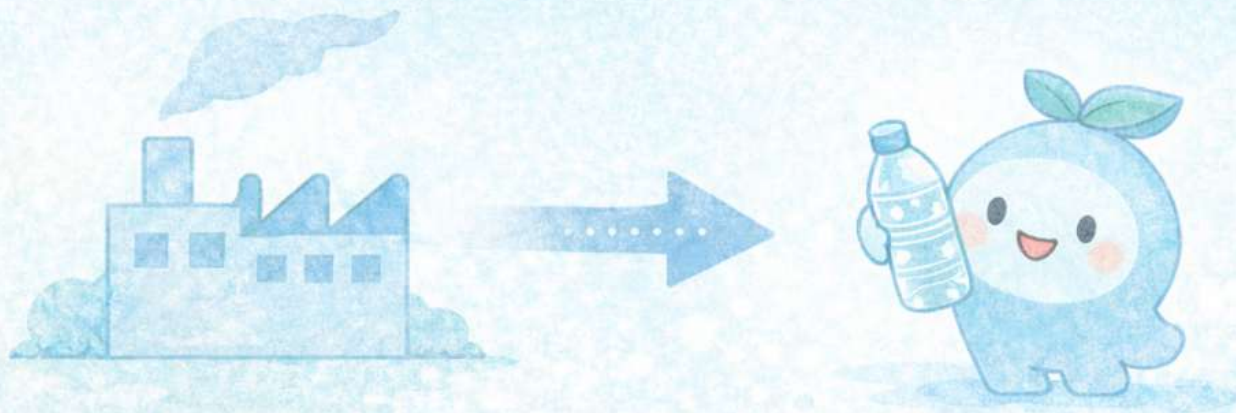
サーキュラーエコノミーについてのデータ集

READ MORE



「量」から「頼」へ

—メディアも政府も気づかない日本産禁の諷かな変化



https://note.com/

The screenshot shows the Note.com homepage. At the top, there is a browser address bar with the URL 'https://note.com'. Below the address bar is the Note logo and a search bar with the placeholder text 'キーワードやクリエイターで検索'. To the right of the search bar are icons for mail, notifications, and a user profile.

On the left side, there is a vertical navigation menu with the following items: 'すべて', 'フォロー中', '注目', '投稿企画', 'やってみた', '暮らし', 'ライフスタイル', '住まい・暮らし', 'レビュー', '健康・医療', and '子育て'.

The main content area is titled 'フォロー中' and displays a grid of featured articles. The first article is titled '「量」から「頼」へ' and is by HAL, posted 7 hours ago. The second article is titled '日本弁理士会とnoteで開催した、「#これ考えた人天才」投稿コンテストの審査結...' and is by note公式, posted 21 hours ago. The third article is titled '[CE論点]「量を追わない経済」は、すでに日本で始まっている 第1回.日本は本当...' and is by HAL, posted 1 day ago. The fourth article is titled '「量」から「頼」へ' and is by note, posted 1 day ago.

At the bottom of the page, there is a section titled '今日のアなたに'.

くらしのサーキュラー相談室

サーキュラーエコノミー&広域マルチバリュー研究会では、身近なサーキュラー社会の実践の助けに、Repair, Reuse, Recycle, Responsible disposalのためのAIロボットによる相談室を試しています。

写真や音声でも可能です。
お悩みのものの名前や写真と自治体名を入れるとアドバイスを答えてくれます



こちらから
修理相談、
リサイクル相談、
廃棄相談
に入れます



こわれちゃった
Oops Buddy



リサイクルバディ
Recycle Buddy



ゴミバディ
Gomi Buddy



Kowareta_Oops



RecycleBuddy



Gomi_Buddy

mail to: office@susdi.org



I₂A Concierge Suite — あなたの「やりたい」を実現へ導く3つのアシスタント
I₂A Concierge Suite は、あなたのアイデア・社会貢献・地域参加をサポートする3つの専門チャットコンシェルジュからなるアシスタントシリーズです。
Idea Concierge アイデアを形にするための制作方法・相談先・コストを整理し、実際に動けるレベルの情報を提供します。
SDGs Concierge 環境・教育・福祉など、SDGsに関わる活動を“参加しやすい形”に翻訳して提案します。
Community Concierge 地域活性化に参加したい人のために、団体・イベント・役割を見つけ、関わり方を案内します。
Concierge Suite は、「何から始めればいいのかわからない」を「これなら動ける」に変えるための実務アシスタントです。
地域の小さな工房から全国対応の大手企業まで、あなたの目的に合わせて最適なルートを提示します。



アイデアを実現するための実務アシスタント。制作方法、技術選択、小ロット試作、相談先、コスト、アクセス方法まで整理し、あなたの「やりたい」を最短ルートで形にします。



SDGsの取り組みを“参加しやすい形”に翻訳するアシスタント。環境・教育・福祉・循環型社会など、あなたの関心に合った活動を見つけ、参加方法・費用・アクセスまで案内します。



地域活性化に参加するための道案内アシスタント。地域の団体・イベント・自治体・大学・企業などを整理し、あなたの能力が活かせる場を見つけます。



構成

- 0. 問題のはじまり
- 1. なぜ今、レアメタルが「また」騒がれているのか
 - レアアース報道のいい加減さを分解する —
- 2. レアアース製品の生産中心は中国に移ったが
 - レアメタルは減っているのに、価値は増えている —
- 3. レアメタルの価値を上げる国日本
 - 輸入量ではなく、青邨輸出す価格でレアメタルを見る
- 4. 新しい位置づけ「工程支配型産業
- 5. 世界比較：なぜ中国・欧州と同じ戦略を取れないのか
- 6 「量」から「頼（Qualifiability）」へのレアメタル戦略
 - 量と質の次に来るもの —
- 7. 「循環」は資源対策から「産業政策」へ
- 6. 新・戦略レアメタル

問題意識の発端

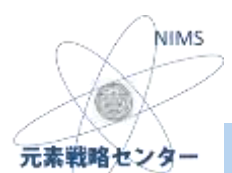
- レアアース狂騒曲の一方で、中国での生産に移行する日本企業
- LiBのCo, PVのSi, Inなど、増産国主導体制下の日本の取組みは
- それでも売れ続ける日本の装置産業
 - ⇒ これまで「量」でレアメタルを分析していたのではないか

The Elements with sustainability parameters

- $\frac{\text{(annual production)}}{\text{(crust exist ion)}}$ normalized by Fe as 100
- Resource-view weight: tons of TMR for 1kg of metal production
- Share % Of top country of production, country code
- Increase of production from 1999 to 2009, (%)

H 0.63 1.5 41C L 120	He 0.14 47T K 101											B 475 0.14 47T K 101	C	N	O	F	Ne									
Li 0.63 1.5 41C L 120	Be 0.05 2.5 86U S 42											Al 1 0.05 31C N 163	Si 0.06 0.03 65C N 169	P 483 35C N 114	S 904 126	Cl (7411) 130	Ar									
Na 0.4 56 100	Mg 0.01 0.07 82C N 215	Sc 2.	Ti 0.1 0.04 23A U 220	V 2 1.5 37C N 135	Cr 121 3 0.03 42ZA N 163	Mn 66 0.01 22C N 163	Fe 100 0.00 8 39C N	Co 15 0.61 40C G 219	Ni 116 0.26 19R U 125	Cu 185 1 0.36 34C L 131	Zn 959 0.04 28C N 131	Ga 0.1 7.3 157	Ge 1 32 71C N 241	As 235 0.03 47 129	Se 316 0.45 50JP 119	Br (1543) 38IL 86	Kr									
Rb 0.13	Sr 10 0.51 48E S 133	Y 2 2.7	Zr 70 0.55 41A U 151	Nb 33 0.64 92B R 335	Mo 140 6 0.75 25U S	Tc	Ru 36 79 79Z A 119	Rh 34 230 0 79Z A	Pd 206 810 41Z A 156	Ag 322 4 48 18P L	Cd 991 0.07 23C N 94	In 63 1.2 50C N 250	Sn 161 9 2.5 37C N	Sb 986 1 0.06 91C N	Te 95 10 44JP 88	I (570) 59C L 159	Xe									
Cs 0.01	Ba 184 0.51 147	(Ln) (An)	Hf 104 5 10 97C N (An)	Ta 12 6.8 48A U 245	W 765 0.2 81C N 185	Re 110 18 48C L 119	Os 0.3 540 79Z A	Ir 4 400 79Z A	Pt 375 530 79Z A	Au 12392 110 0 13C N 101	Hg 337 2 63C N 56	Tl 0.5 0.4	Pb 685 5 0.03 43C N 128	Bi 770 0.02 62C N 221	Po	At	Rn									
Fr	Ra											La 15 8.2 371	Ce 14 18 295*	Pr 9 7.9	Nd 11 12 90*	Pm	S m 11 16	Eu 2 33	Gd 8 17	Tb 3 55	Dy 5 16	Ho 2 30	Er 4 12	Tm 24 32	Yb 4 32	Lu 5 32
		Ac	Th	Pa	U 22																					

- Magnet, motor
- Batteries
- IC tips and parts
- Electric wiring
- lightning
- Optical function
- Information media
- Thermoelectric,
- Catalyst, electrode
- Structural material
- Display & its porishing
- Fire retardant
- Solar cell



<http://www.nims.go.jp/genso/>

Data form 米国鉱山局データ USGS minerals information
 工業レアメタル (Kogyo rare metal) Japanese journal
 「概説 資源端重量」 NIMS-EMC data on mat. & env. No.18
 Halada, Katagiri, Proc. of EcoBalance 2010 p609

希土類の主要な用途

酸化希土

研磨材(ブラウン管、カメラ、めがね、複写機等の光学ガラス、パソコンHDD用ガラスディスク、フォトマスク用ガラス、液晶ガラス等の研磨)

酸化セリウム

自動車排気ガス浄化用触媒、レンズ研磨仕上げ剤、ガラス色消剤

酸化ランタン

カメラレンズ材料、セラミックコンデンサー、水素吸蔵合金、高温発熱体、蛍光体

酸化サマリウム

サマリウム・コバルト磁石

酸化ネオジム

ネオジム磁石(MRIや携帯電話の振動モーター等向け)、セラミックコンデンサー、レーザーガラス、ガラス着色剤

酸化テルビウム

蛍光体、光磁気メモリー

酸化ガドリニウム

X線増感剤、原子炉制御材、光学ガラス

酸化ジスプロシウム

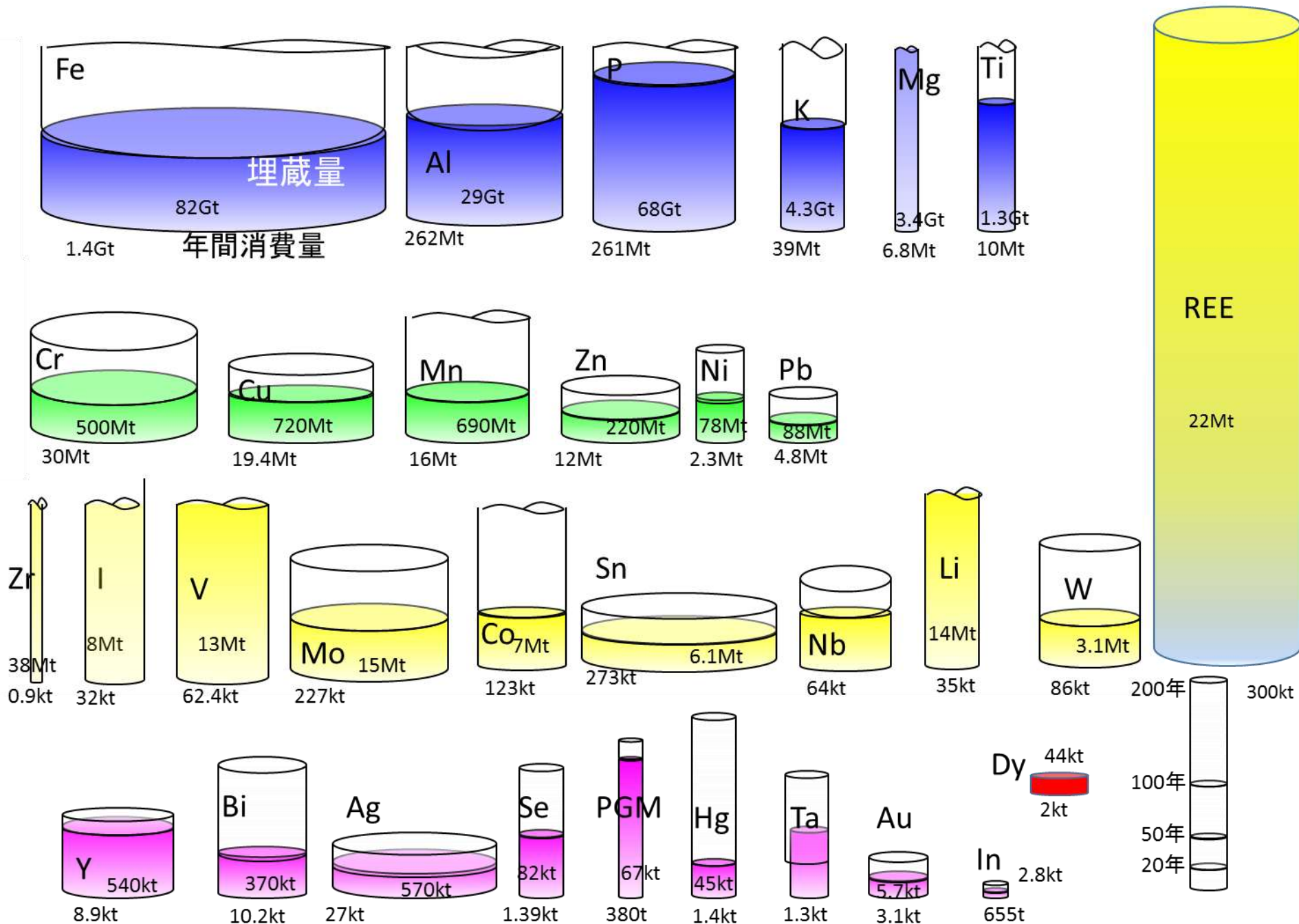
磁石添加剤、光磁気メモリー

酸化ユウロピウム

蛍光体(テレビブラウン管用や三波長蛍光灯等向け)

酸化イットリウム

蛍光体、センサー、半導体、耐熱合金、ミッシュメタル(混合希土メタル)ニッケル水素電池材料(この電池は携帯電話、ノートパソコン、電動工具、ハイブリットカー等に広く利用されている)、触媒



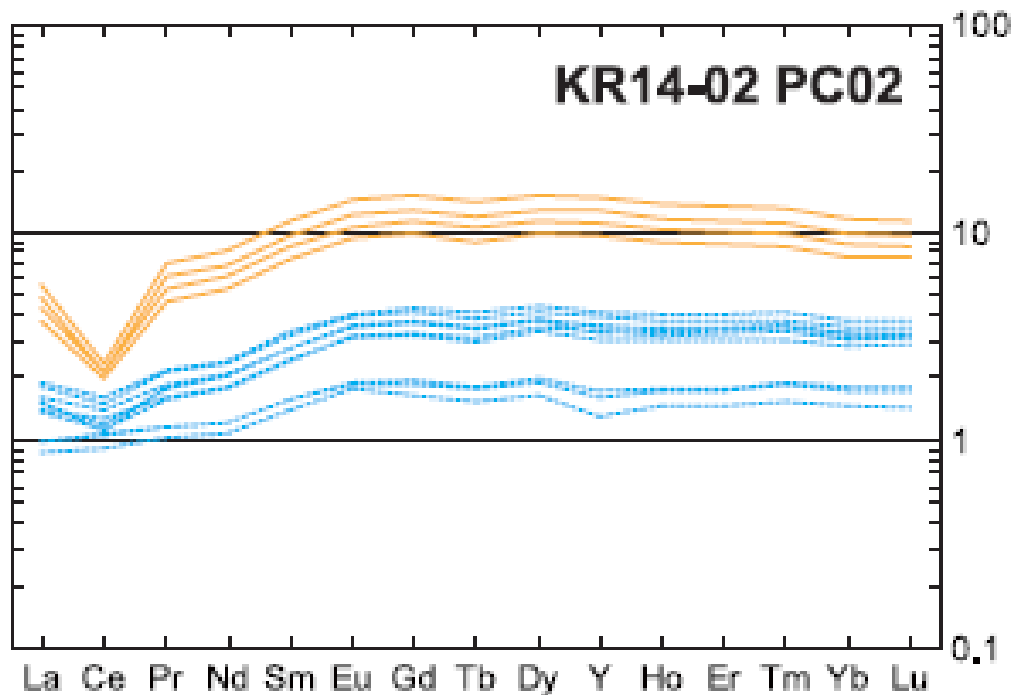
資源制約の4要素 + 1

- 量的要素 現有技術で掘りだせる絶対量に限界
Au, Cu, Zn
 - 地政学的要素 1-2カ国に資源が偏在
Pt, Nb, Dy Co (Mn) W
 - 製造技術的要素(エネルギー要素) 電力価格等に
依存
Ti, Al, Mg, Si
 - 環境要素 廃水、廃鉱石など環境コストの増大
希土類
- + 供給速度の問題
副産物の場合は特に大きい

希土類の中国依存の本質

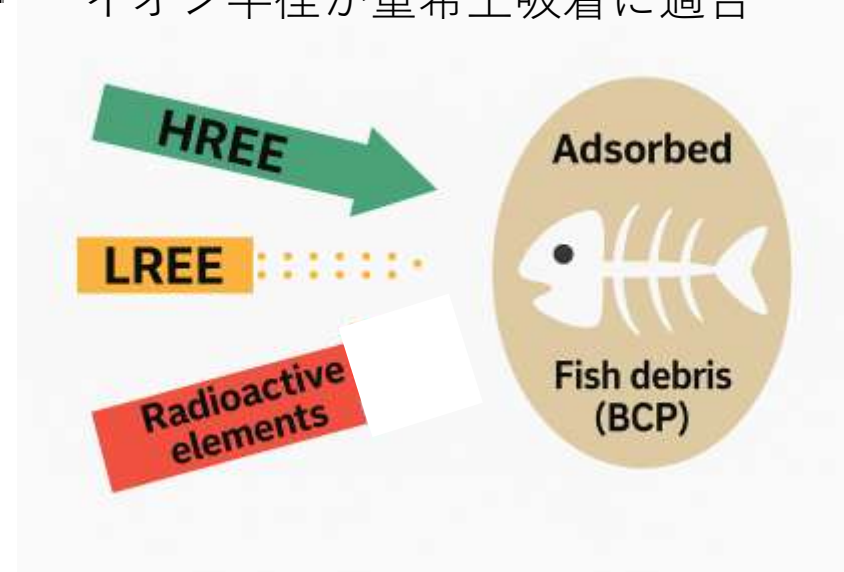
- 重希土(Dyなど)で中国のイオン吸着鉱でしか取れないものがある
- 廃土残渣には放射性物質が含まれる **(広い土地)**
- 化学的に類似成分の分離のため、極めて多段の溶媒抽出が必要 **(豊富で緩い水の管理)**
- 酸素親和力が高く、金属精錬に多大のエネルギー **(安価なエネルギー)**

魚類骨片由来の**BCP**は、一応 重希土優先、放射性元素フリー



Ce anomaly

Ce^{3+} (可溶) \rightarrow Ce^{4+} (不溶) に酸化
イオン半径が重希土吸着に適合



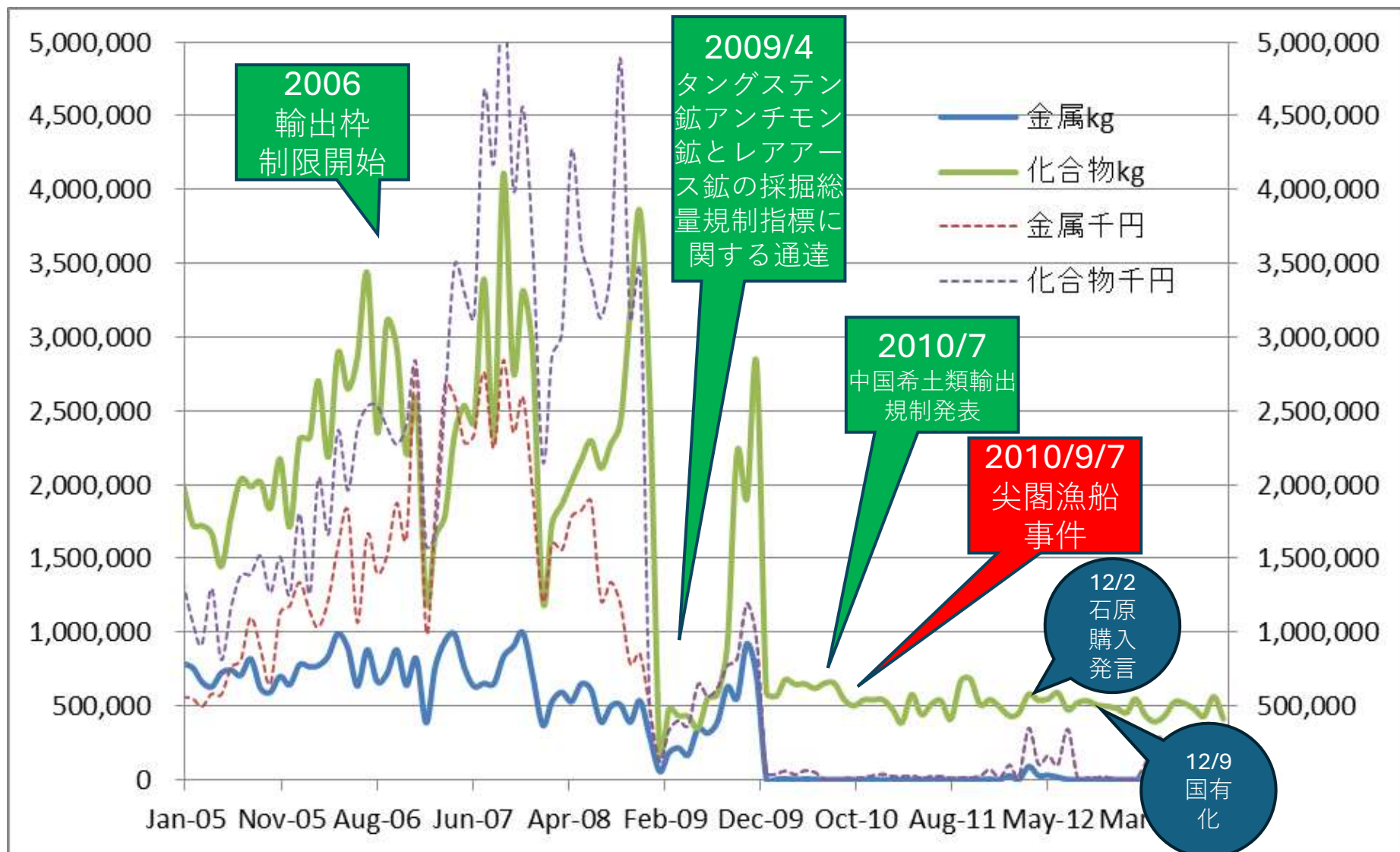
Th^{4+} 海水中で水酸化物として不溶化
 U^{6+} 海水に溶けたまま

分類	問題点	詳細
技術面	超深海（約6000m）からの揚泥技術が必要	揚泥管・水中ポンプ・船上処理設備など、高度な海洋工学が不可欠。富士山の1.5倍の深さから泥を吸い上げる技術が必要。
輸送面	遠洋域での採取→陸上精錬までの長距離輸送が必要	南鳥島は本土から約1900km離れており、船舶・港湾・精錬施設の整備が課題。
環境面	採取後の残土（99%以上）をどう処理するか	REE含有率は0.3%未満。1万トンのREEを得るには数百万トンの泥を処理し、残土の海洋投棄や陸上処分が問題に。
経済面	採算性が不透明：コスト高 vs 市場価格	揚泥・精錬・輸送・環境対策のコストが高く、商業化には価格競争力が必要。
法制度面	EEZ内での開発は可能だが、国際的なルール整備が必要	環境保護・海洋投棄・資源管理など、国際海洋法との整合性が求められる。

日本の希土類輸入

データが示す

希土類問題は「尖閣に端を発し」ていない



中国に移るレアアース製品生産

年代	日本国内生産	中国生産（日本企業の現地法人・JV）	その他海外	背景（技術・市場）
2000	80～90%	5～10%	0～5%	立上げ期。家電用途中心でコスト差が決定的
2010	50～60%	35～45%	5～10%	中国で粉末～焼結の量産が本格化、供給網が“現地完結”へ
2020	30～40%	55～65%	5～10%	HDD/小型モータの主戦場が中国に固定化
2025	25～35%	60～75%	5～10%	車載でも“量産は中国・ハイエンドは国内”の二層構造が完成

中国移転で「主に移った領域」と「国内に残りやすい領域」

観点	2000年ごろ（移転は限定的）	2025年（構造的に定着）
主に中国へ移った製品	家電モーター用、HDD/PC周辺向け、汎用焼結NdFeB、ボンド磁石量産	EV/HEV向けでも“量産グレード”の相当部分、家電・IT向けはほぼ中国中心
主に国内に残りやすい製品	研究開発、少量高性能品（まだ国内比率が高い）	高耐熱・高信頼（装置・ロボット・一部車載ハイエンド）、Dy/Tb低減の設計・評価・量産立上げの中核
工程の分岐点	「磁石を作る」工程自体は国内寄り	「粉末～焼結～加工」量産は中国寄り、 組織制御・ばらつき管理・保証設計 が国内寄り
一言で	国内主導のまま“試行”	供給は中国に依存しつつ、差別化は国内R&Dで支える

年	Nd（元素・化合物）輸入 単価	Nd磁石輸出 単価	単価倍率	構造の意味
2000年	約 3,000～ 4,000円/kg	約 8～10万円 /kg	約 25倍	材料加工型
2010年	約 10,000～ 15,000円/kg	約 18～25万 円/kg	約 15～18倍	高性能化開始
2015年	約 12,000～ 18,000円/kg	約 25～35万 円/kg	約 18～20倍	Dy削減・工 程設計
2020年	約 15,000～ 22,000円/kg	約 35～50万 円/kg	約 20～23倍	EV・FA用途 拡大
2025年（推 定）	約 18,000～ 25,000円/kg	約 50～70万 円/kg	約 25～30倍	工程信賴価値

ネオジム磁石の生産役割分担

用途	中国	欧州	米国	日本
EV（電気自動車）	◎ 圧倒的生産 （BYD・CATL・中国系磁石メーカー）	○ EV需要が大きい （消費市場として強い）	△ EV需要は増加、 磁石は輸入依存	○ 高性能磁石の 供給能力は高い
自動車（EV以外）	◎ 大量生産	○ 欧州自動車産業 で需要大	△ 生産は弱い	○ 高性能磁石で 強い
風力発電	◎ 世界最大の 風力設備生産 国（永久磁石 需要大）	○ 風力需要大	△ 風力需要はあるが 磁石生産は弱い	○ 技術は強いが 量は少ない
家電・電子機器	◎ 世界最大の 家電生産国 （磁石需要も 最大）	○ 消費市場として 大きい	○ 消費市場として 大きい	○ 高性能小型磁 石で強い
産業機械	◎ 大量生産	○ 機械産業が強い	○ 産業機械需要 大	○ 精密機械向け 磁石で強い
航空・防衛	△ 民生中心で 防衛用途は限定	○ 欧州防衛産業で 需要	◎ 防衛用途の需 要が大きい が輸入依存	○ 高信頼磁石で 強い

ネオジウム磁石の世界生産シェア(推定)

用途	中国シェア (世界生産)	日本シェア (世界生産)	その他(米・ 欧・韓など)
EV用モーター	90%	5%	5%
風力発電用	90%	5%	5%
家電・電子機 器用	85%	8%	7%
産業機械・ロ ボット用	80%	10%	10%
防衛・航空用 途	75%	10%	15%
一般モ一 ター・小型機 器用	85%	7%	8%

日本の輸出構造の変化

区分	輸出額構成比(%)			代表的品目例
	1980年代	2000年代	2020年代	
工程支配型・戦略装置	1-2	4-5	9-11	半導体製造装置、FPD装置、精密加工装置
工程支配型・主要部材	4-5	7-8	10-12	精密機構、光学部品、真空部材
工程支配型・材料	3-4	5-6	6-8	レジスト、高品位金属、磁石材料
工程制御・計測	2-3	3-4	5-6	検査装置、制御機器
工程支配型合計	10-14	19-23	33-40	
完成品	30-35	30-35	20-22	自動車、一般機械
素材・一次産品	25-30	15-18	15-18	鉄鋼、基礎化学
その他	5-8	5-8	3-5	

日本のレアメタル輸入構造

2025年輸入総額順 上位20元素（2000年との比較・依存国構造）

・輸入総額：億円／年 輸入総量：トン／年（元素換算・概算） 依存率：輸入額ベース

順位	元素	2025年輸入総額	2000年輸入総額	2025年輸入総量	最大依存国 (2025)	依存率	第2位国	第3位国
1	Ni	8,500	2,600	420,000	インドネシア	45%	フィリピン	ロシア
2	Cu	7,200	3,100	1,100,000	チリ	46%	ペルー	米国
3	Co	4,800	850	18,000	コンゴDRC	63%	フィンランド	豪州
4	Li	4,200	120	95,000	豪州	41%	チリ	中国
5	レアアース (REO)	3,600	420	30,000	中国	77%	マレーシア	ベトナム
6	Mn	2,900	640	720,000	南ア	44%	豪州	ガボン
7	Mo	2,400	780	33,000	チリ	39%	中国	米国
8	Cr	2,100	920	520,000	南ア	48%	カザフ	インド
9	W	1,900	380	8,500	中国	71%	ベトナム	ボリビア
10	Sn	1,750	610	22,000	インドネシア	53%	中国	ペルー
11	Ta	1,600	210	1,300	ルワンダ	52%	ブラジル	ナイジェリア
12	Ga	1,450	90	450	中国	69%	ドイツ	韓国
13	Ge	1,300	110	380	中国	58%	ベルギー	米国
14	Pt	1,200	520	45	南ア	71%	ロシア	ジンバブエ
15	Pd	1,050	430	70	ロシア	68%	南ア	米国
16	Mg	980	260	55,000	中国	61%	ロシア	カザフ
17	In	820	190	900	中国	56%	韓国	カナダ
18	Zr	760	300	42,000	豪州	48%	南ア	インド
19	Hf	620	85	120	フランス	73%	米国	中国
20	Re	480	60	35	チリ	82%	米国	ポーランド

※ 数値は 財務省貿易統計・UN Comtrade・業界資料を基にした2025年時点の実務的推計。

元素別：原料輸入額に対する製品輸出額倍率

順位	元素	2000年	現在	構造的な意味
1	Ta	~20	~120	コンデンサ・半導体工程の中核
2	W	~15	~90	超硬工具・精密加工
3	Pt	~10	~80	触媒・計測・化学装置
4	Pd	~12	~75	車載・電子部品
5	Rh	~8	~70	排ガス・精密触媒
6	Nd	~5	~60	高性能モータ・発電
7	Dy	~4	~55	耐熱磁石（量削減＋機能集中）
8	Ru	~6	~50	半導体・電極材料
9	Hf	~7	~45	半導体ゲート・耐熱
10	Re	~5	~40	航空機・耐熱合金
11	Mo	~4	~35	特殊鋼・触媒
12	Co	~3	~30	電池・耐熱材料
13	Ni	~3	~28	電池・高機能合金
14	Ga	~6	~25	半導体・光デバイス
15	Ge	~5	~22	光通信・赤外
16	Sn	~2	~20	電子実装
17	Cu	~1.5	~18	電装・機械
18	Ag	~2	~16	電子・化学
19	In	~15	~12	ITO（※低下）
20	Mn	~1	~10	高張力鋼

元素別：製品輸出単価

日本 vs 世界平均（2000年／現在）
（※現在の倍率が高い順）

順位	元素	2000年 日本/世界	現在 日本/世界	単価プレミアムの意味
1	Ta	~1.8	~4.5	高信頼部品・工程内必須
2	W	~1.7	~4.0	工具寿命・加工精度
3	Re	~1.6	~3.8	航空・耐熱工程
4	Hf	~1.5	~3.6	半導体工程整合
5	Ru	~1.6	~3.4	半導体・電極用途
6	Dy	~1.4	~3.2	高温信頼磁石
7	Nd	~1.3	~3.0	高性能モータ
8	Pt	~1.5	~2.9	触媒・計測用途
9	Rh	~1.4	~2.8	精密触媒
10	Pd	~1.4	~2.6	車載・電子
11	Mo	~1.3	~2.4	特殊鋼・触媒
12	Co	~1.2	~2.3	電池・耐熱
13	Ga	~1.5	~2.2	高機能半導体
14	Ge	~1.4	~2.1	光通信
15	Ni	~1.2	~2.0	高機能合金
16	Ag	~1.2	~1.9	電子用途
17	Sn	~1.1	~1.8	実装材料
18	Cu	~1.1	~1.7	高信頼電装
19	In	~2.5	~1.4	高純度モデルの後退
20	Mn	~1.0	~1.3	高張力鋼

世界生産に対する日本の輸入割合 × 含有製品輸出シェア

USGS Mineral Commodity Summaries、UN Comtrade、財務省貿易統計、Roskill / CRU / Metal Bulletin / 業界協会資料を突き合わせた研究・戦略議論用の推定値

順位	元素	日本輸入 / 世界生産 2025	日本輸入 / 世界生産 2000	含有製品：日本の世界輸出シェア 2025	含有製品：日本の世界輸出シェア 2000
1	Re	34%	18%	42% (航空・触媒)	36%
2	Hf	31%	22%	39% (半導体装置)	33%
3	Ta	28%	15%	41% (電子部品)	38%
4	Ru	26%	14%	44% (半導体・電極)	31%
5	W	24%	19%	36% (工具・装置)	34%
6	Pd	23%	17%	29% (自動車・触媒)	27%
7	Pt	22%	16%	33% (触媒・計測)	30%
8	Dy	21%	11%	46% (高信頼モータ)	28%
9	Co	20%	9%	34% (電池原材料等)	21%
10	Ga	19%	7%	37% (半導体)	24%
11	Ge	18%	8%	32% (光通信)	26%
12	In	17%	12%	21% (FPD関連)	41%
13	Nd	16%	13%	18% (磁石含有製品)	26%
14	Zr	15%	14%	27% (化学・原子力)	25%
15	Ni	14%	9%	22% (素材・電池)	19%
16	Cr	13%	11%	24% (特殊鋼)	23%
17	Mo	12%	10%	26% (装置・材料)	24%
18	Mn	11%	8%	19% (電池・鋼材)	17%
19	Sn	10%	9%	21% (電子実装)	20%
20	Li	9%	2%	28% (電池含有製品)	6%

日本がレアメタルを**必要とする**状態 から

世界が、日本にレアメタルを**製品化してもらわ
ないと困る**状態 へ

ここ4半世紀で変化が起きている。

日中の経済せめぎあいはこちら

- 外国為替及び外国貿易法に基づく輸出管理省令改正（半導体製造装置23品目）
- 2023年7月
- EUV・先端DUV露光装置など先端半導体・**製造装置**など先端工程向け装置輸出を包括的に許可制

- 稀土管理条例（Rare Earth Management Regulations）
- 2024年6月
- 採掘・精錬・輸出・**製品**使用を国家一元管理、**製品**の一部用途で政府承認・用途申告が必要

「日本の技術が“規制の効き目”を担保する」主要チョークポイント

チョークポイント	なぜ効くか（機能）	代表企業（文書記載例）	国際的位置づけ（含意）
EUVフォトレジスト	先端露光の歩留まり・解像の根幹	JSR、TOK、信越化学	「先端だけ」ではなく、供給停止が即“先端停止”に直結
EUVマスク系（マスクブランクス等）	EUVはマスク欠陥が致命傷、代替困難	HOYA（ほぼ全量供給、との要約）	露光装置（蘭）だけでは完結しない“日本の不可視支配”
12インチ高純度Siウェハ	全工程の基板。品質の微差が歩留まりに直結	信越化学、SUMCO	製造装置より“静かな支配”。置換に長年を要す
（参考）装置自体	成膜・エッチ・洗浄・計測などで強い	輸出構造中小企業 レアメタル	日本は“装置と材料の両面”に強みがある

従来分類	工程支配型での位置づけ	問題点
資本財	戦略装置／汎用機械	工程影響度の差が無視される
中間財	主要部材／材料	代替困難性が見えない
消費財	完成品	工程への影響が過小評価

主要国・地域の輸出構造比較（2020年代、％）

地域	工程支配型	完成品	産品・一次
日本	33-40	20-22	15-18
米国	25-30	25-30	12-15
中国	25-30	35-40	5-7
EU	25-30	30-35	8-10

米中欧日の比較

米国は、工程支配型の装置・計測分野で一定の強みを持つ一方、医薬品やIT製品といった**市場支配型の完成品**を同時に有している。すなわち、「工程」と「市場」の両輪で競争力を構築する構造である。

中国は、圧倒的な量産能力を背景に、完成品および中間財で輸出を拡大してきた。近年は資本財分野への進出も進むが、工程の最終安定性や長期信頼性という点では、なお外部技術への依存が残る。

EUは、産業機械や化学、医薬品といった分野で高付加価値を維持しつつ、規制や標準を通じて市場を形成する力を持つ。工程そのものよりも、**制度設計と市場設計**を通じた支配が特徴である。

これらと比較したとき、日本の特徴は以下に集約される。

- 市場規模や完成品ブランドではなく、**工程の要所を押さえている**
- 規制や標準ではなく、**現場の成立条件**を提供している
- 「止められる」力を持つが、「目立たない」

工程知 (Process Knowledge)

工程知とは、

工程が成立し続ける条件を、暗黙知と形式知の両方で把握し、調整し続ける知の集合である。

具体的には、

- 原料ばらつきへの対応方法
- 装置癖・環境変動の吸収
- 上流変更が下流に与える影響の見通し
- トラブル未満の兆候に対する判断基準

などを含む。

- 別の視点で見れば、工程の内外に潜む「想定外」に対応できる力とも言える。

工程知は、個人技能でも、設計仕様でもなく、**工程と運用の間に存在する知**であり、多くの場合、中小企業や現場に蓄積されてきた。

ものづくりに対する姿勢の違い

観点	日本	中国	欧州
入口の作り方	工程に馴染む 相手と 深く組む	大量に作り、 後で選別	規格を定め、 広く集める
選別の仕方	工程内で 調整 し続ける	売れない・合 わないものは 排除	規格外は 排除
価値が生まれる場所	工程が成立し 続ける 現場	生産量と 市場	規格適合と 性能 評価
産業の強み	任せ続けられること（ 頼 ）	スケール と速 度	集積力と 再現 性

•日本

→ 最初からは集めない。合う相手と深く組み、工程の中で育てる

•中国

→ まず大量に作る。売れなければ切り、売れるものを増やす(量の中から勝ち筋を市場で淘汰)

•欧州

→ 設計規格を先に置く。規格に合うものは集めるが、外れは使われない

•米国

→ 目的に対して最適な構成を組み替える。合わなければ設計・サプライヤを替える。変化の保証を外的ビジネス化。

輸出産業の信頼駆動型への転換

産業の性格による分類	2000年ごろ	2010年ごろ	2023年ごろ	産業的意味の変化
量産完成品型（家電・汎用機械・部材）	高（30-40%）	中（15-25%）	低（5-10%）	中国側の量産能力向上により、日本の優位は急速に低下
量産中間財型（汎用部材・標準材料）	中（25-35%）	中（20-30%）	低-中（10-20%）	価格競争領域。代替可能性が高い
工程立上げ装置・製造装置型	低（10-15%）	中（20-30%）	高（30-40%）	「最初に正しく動かす」価値が上昇
工程支配型装置（半導体・精密加工・材料製造）	低（5-10%）	中（15-20%）	高（25-35%）	装置停止リスクを避けるため日本製が選択される
保全・調整・条件出しを含む供給（暗黙的サービス）	ほぼ不可視	低	中（明確化）	装置単体ではなく「任せられる工程」として評価
合計に占める信頼駆動型領域	15-20%	35-45%	60%前後	日本輸出の性格が明確に転換

Rai (頼) ≡ Qualifiability

- 工程 P が、
 - 材料・装置・環境の変動 Δ を内包しつつ
 - 逐次的な調整・判断の履歴を保持し
 - 性能破綻ではなく工程成立を継続できる能力

•Qualifiability (頼)

= 「この工程を任せ続けてよいか」 を判断する性質

•Quality (品質)

= 「この時点で仕様を満たしているか」

•Reliability (信頼性)

= 「故障確率をどれくらいの低さまで保証できるか」

- 工程に存在する細かで多様な「想定外」を解決し、安定操業を持続させる能力

- **Qualifiability** is a coined term used to describe a property of a process that goes beyond quality or reliability.

It refers to the capability of a process to remain *continuously entrusted* under variable and partially unforeseen conditions, through accumulated experience, contextual judgment, and adaptive operation.

- 中: 想定内のモノを増やす、 欧: 想定外のものを排除。

Trusted Process Node (TPN)

町工場的機能

Trusted Process Node とは、
工程知と物質知が結合し、そのノードを失うと工程全体の成立が揺らぐ地点を指す。

- TPNは特定の企業・工場・工程である場合もあれば、特定材料と装置・運用の組み合わせである場合もある。

TPNの特徴は、

- 単体では価値が見えにくい
- 代替時に初めて重要性が顕在化する
- 分業の中で不可欠な役割を担う

点にある。

- その多くは、中小企業と呼ばれる企業体の連携のなかの「まち工場機能」として、蓄積活用されてきた

一般機械分野における中小企業・まち工場の工程的役割

分野	中小企業の主な関与	装置性能への影響
切削工具	超硬材設計・寿命調整	加工精度・稼働率
精密部品	高精度加工	振動・騒音
モーター部材	磁石・導体調整	効率・発熱
構造部材	熱処理・表面処理	寿命・安全性

半導体装置に見る中小企業・まち工場の不可欠性

- 真空部材の表面処理
- 高精度機構部品の加工
- 耐プラズマ消耗部品
- ガス・薬液供給系の最終調整

中小企業の取引先産業分布（複数回答、%）

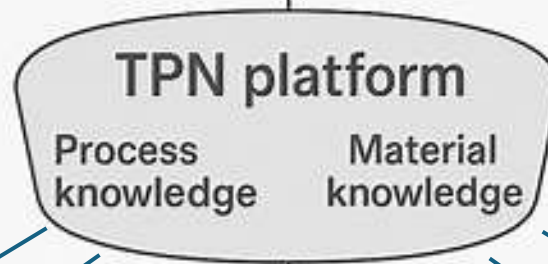
出典：中小企業白書、経済センサス等を基に筆者再整理

取引先産業	該当SME比率
自動車関連	48-52
一般機械・産業機械	45-50
電気・電子機器	38-42
半導体・FPD関連	18-22
建設機械・重機	15-18
航空・宇宙	6-8
医療・分析機器	10-12
エネルギー・環境装置	12-15

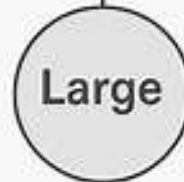
Sustained Reliable Operations



Trust-driven industry



SMEs



Small factories

物質知 (Material Knowledge)

物質知とは、
元素・材料が、工程条件や使用環境の中でどのように振る舞うかについての経験的・実践的理解である。

- 化学組成や純度といった静的情報だけでなく、
- 不純物がどこで効くか
- 粒度・形状が工程挙動にどう影響するか
- 同じ規格でも「使いやすさ」が異なる理由
といった、工程と結びついた知を含む。
- 物質知は、工程知と切り離しては機能せず、
両者がTPN上で結節したときに「**頼**」が生まれる。

Dy削減率 × 耐熱性能（HEV用モータ）

（出典：日立金属→Proterial技術資料、Honda HEV発表）

年	Dy含有率（wt%）	連続耐熱温度（°C）
2005	6-8%	150
2012	4-5%	160
2018	2-3%	170
2023	1-2%	180

W：量が増えないのに「使われ続ける」

W消費量 vs 再研磨回数（切削工具）

年	日本W消費量（千t）	平均再研磨回数
2000	5.8	2-3
2010	5.5	4-5
2020	5.2	7-8
2024	5.0	8-10

指標	2000年	現在
W原料輸入額（指数）	100	約110
W含有製品輸出額（指数）	100	約220

タンタル

指標	世界平均	日本
Ta含有製品 輸出単価（指数）	100	150～180

年	Ta原料価格変動幅	日本の電子部品供給停止
2000-2003	±60%	停止せず
2008-2009	±80%	停止せず
2018-2021	±50%	停止せず

「資源がない」 = 「弱い」 ではない

「輸入原料額」と「含有製品輸出額」の比

元素	現在の輸入額	現在の含有製品輸出額
Nd	数百億円	約2兆円
Dy	数百億円	約1.5兆円
Ta	数百億円	約1兆円
W	数千億円	約1.5兆円

2000年→現在の構造変化（概念整理）

観点	2000年頃	現在
レアメタル評価軸	量・確保	機能・工程
日本の位置	高純度供給国	工程組込国
輸入の意味	原料確保	工程維持
輸出の中身	部材中心	機能・信頼中心

「質」だけでは持たなかった例 インジウム

日本は「資源国ではないが、高純度供給のハブ」**だった**

年	日本：高純度IN供給シェア（6N級以上）	主な供給形態	構造的特徴
2000	30-35%	工程スクラップ再精製	日本が国際再精製ハブ
2005	40-50%（ピーク）	ITOスクラップの高純度再生	「資源なし・工程支配」モデル成立
2010	30-40%	国内+輸入スクラップ	韓国・中国が追随開始
2015	20-30%	需要国側内製化進行	ハブ機能が分散
2020	15-20%	中国・韓国で自国内循環	高純度“だけ”の限界顕在化
2025（推定）	<15%	日本は限定的高付加価値供給	補完的ポジションへ

代表的元素の価値軸比較（概念整理）

元素	主な価値	工程への組み込み	現在の位置づけ
インジウム	質	弱い	後退
ネオジム	量	中	中国主導
ジスプロシウム	頼	強い	日本が関与
タンタル	頼	強い	日本が関与
タングステン	頼	強い	日本が関与

Nd型とDy型

- Nd型元素の最大の特徴は、**量的制約が価値を直接規定する**点にある。
需要が拡大すれば価格が上がり、供給が増えれば価格が下がる。市場の評価軸は明確で、数量と価格が主役である。ネオジム（Nd）は、その典型例である。永久磁石用途の拡大により需要は急増したが、供給源は限られている。結果として、Ndは「どれだけ確保できるか」「どこから調達できるか」が戦略の中心となった
- **Dyの価値が「量」では説明できない**という点である。
ジスプロシウム（Dy）は、その代表例である。DyはNd磁石の性能向上に用いられるが、使用量はごく微量である。輸入量は小さく、年ごとの変動も限定的である。にもかかわらず、Dyを使用する高信頼磁石やモータの輸出額は、安定的に高い水準を維持している。

- **指標A：原料輸入量と含有製品輸出額の相関**
- 相関が高い → 量で価値が説明できる（Nd型）
- 相関が低い → 工程価値が独立している（Dy型）
- **指標B：国内回収量／輸入量比（回収依存度）**
- 低い → 一次資源依存（Nd型）
- 高い → 工程内・使用後回収が成立（Dy型）
- **指標C：用途における工程依存度**
- 汎用用途中心 → Nd型
- 高信頼・長寿命・装置一体用途 → Dy型

元素	2000年	現在	主な判定根拠（指標）
Fe	Nd型	Nd型	A高・汎用
Cu	Nd型	Nd型	A高・価格主導
Al	Nd型	Nd型	量・エネルギー依存
Ni	Nd型	中間	EV用途で工程依存増
Cr	Nd型	中間	特殊鋼用途でDy化進行
Mn	Nd型	Nd型	合金添加量依存
Si	Nd型	中間	半導体用はDy的
Nd	Nd型	Nd型	量制約・価格支配
Ce	Nd型	Nd型	量過剰・価格低
Dy	Dy型	Dy型	A低・工程中核
Tb	Dy型	Dy型	高信頼磁石用途
In	Nd寄り	Nd型	質止まり・代替可
Ga	中間	Dy寄り	半導体工程依存
Ge	中間	Dy寄り	光・半導体工程
Ta	Dy型	Dy型	工程一体管理
W	Dy型	Dy型	焼結・工具工程
Mo	中間	Dy寄り	高温工程用途
Ru	Dy型	Dy型	半導体装置中核
Pt族	中間	Dy寄り	触媒×工程依存
P	Nd型	Dy寄り	機能循環進行中

「循環」は「頼」の結果

日本の政策的関心の中心は、

- 海外依存度の高さ
- 特定国への集中
- 有事の供給途絶リスク

対策として重視されたのは、

- 資源外交
- オフテイク契約 ← 世界各国で実施、日本では実視されずスポット買い
- 国家備蓄
- 供給源の多角化

↓ 現実には

- **国内回収比率が高い元素ほど、日本の産業競争力が維持されている**
- **「頼を内包する工程が存在したから、結果として回った」**

白金族の日本における「輸入量 × 回収量 × 供給力」の関係
 単位：トン／年（Pt + Pd + Rh 合計）

年	日本のPGM 輸入量	日本国内回 収量	国内回収量 ÷ 輸入量	世界回収量に占 める日本比率	読み取れる構造
2000	60-65	20-25	0.3-0.4	約10%	輸入依存だが循環産業 が成立
2005	65-70	30-35	0.4-0.5	約12%	回収が輸入の半分規模 に接近
2010	70-75	40-45	0.55-0.65	約15%	「回収 = 第二の供給 源」化
2015	75-80	45-50	0.6前後	約15%	鉾山国を補完する立場
2020	70-75	50-55	0.7前後	15-18%	実質的な供給国
2025（推定）	65-70	55-60	0.8-0.9	18-20%	循環が一次供給に近づ く

日本における元素別「回収量／輸入量」ランキング（現在）

順位	元素	現在 輸入量	現在 回収量	回収 ÷ 輸入	コメント（性格）
1	Au	130	140	1.08	電子基板回収が輸入超過
2	Pt	60	70	1.15	触媒回収が支配的
3	Pd	50	55	1.10	自動車触媒回収
4	Rh	8	9	1.1	超高回収率
5	Pb	200	220	1.10	鉛電池完全循環
6	Ag	1.5	1.4	0.93	電子・写真
7	Sn	20	18	0.90	はんだ工程循環
8	W	10	9	0.90	超硬工具工程循環
9	Cu	1,200	1,100	0.92	電線・基板
10	In	300	250	0.83	ITO工程スクラップ
11	Co	18	14	0.78	電池・合金
12	Ni	200	160	0.80	ステンレス
13	Zn	500	420	0.84	メッキ鋼材
14	Mo	25	18	0.72	特殊鋼
15	Cr	550	400	0.73	ステンレス
16	Mn	450	300	0.67	鉄鋼副原料
17	Al	2,000	1,400	0.70	建材・缶
18	Ga	0.30	0.12	0.40	LED工程屑
19	Ge	0.08	0.04	0.50	光ファイバ
20	Mg	30	10	0.33	合金スクラップ

主要レアメタルにおける 日本の「国内回収量／輸入量」比率の推移（2000年→現在）

元素	主用途	2000年頃 回収/輸入比	現在 回収/輸入比	変化の方向	読み取れる構造
タングステン (W)	超硬工具・耐熱部材	約0.3～0.4	約0.6～0.8	大幅上昇	工程内循環が定着、スクラップが工程資源化
タンタル (Ta)	高信頼コンデンサ	約0.2	約0.4～0.6	上昇	工程スクラップ回収＋用途集約
白金族 (Pt, Pd)	触媒	約0.8	1.0超	高止まり	回収が主供給源へ転化
ルテニウム (Ru)	半導体・触媒	低	中	上昇	工程限定だがTPN化が進行
インジウム (In)	ITO	約0.4	約0.3	低下	工程移転により回収拠点喪失
ネオジム (Nd)	磁石	極低	極低	横ばい	量制約型、回収が競争力に直結せず
ジスプロシウム (Dy)	高信頼磁石	低（量）	低（量）	横ばい	量ではなく工程内“効かせ方”が価値源泉

「循環」は産業競争力政策

- 工程に組み込まれた元素ほど、結果として回収比率が上がっている
- 工程から切り離された元素ほど、回収比率は下がるか停滞している
- 工程がそれらの元素を手放せなくなった結果、回っている
- レアメタルとその循環を「資源政策」ではなく「産業競争力政策」として扱うことが求められている

新・産業戦略レアメタル

金属	量的用途（大量消費）	戦略的用途（代替困難）	主な供給国（世界シェアの傾向）
Ta（タンタル）	コンデンサ（スマホ等）	半導体配線、航空宇宙用超合金	コンゴ民主共和国（DRC） 、ルワンダ、ブラジル
Hf（ハフニウム）	原子炉制御材（中性子吸収）	半導体ゲート絶縁膜（High-k）	ジルコニウム精製国（中国、フランス、米国） ※HfはZr精製の副産物
Ru（ルテニウム）	電極材、化学触媒	半導体配線材料（先端ロジック）	南アフリカ 、ロシア（PGM産地）
W（タングステン）	切削工具、超合金	半導体配線、軍需（貫通体）	中国（圧倒的） 、ベトナム、ロシア
Co（コバルト）	リチウムイオン電池	超合金（航空エンジン）、半導体配線補強	DRC（70%超） 、インドネシア、中国（精製）
Ga（ガリウム）	GaAs, GaN デバイス	パワー半導体（GaN）、光通信、レーダー	中国（世界の80-90%）
Ge（ゲルマニウム）	光ファイバー、赤外線	高速半導体（Ge-on-Si）、宇宙	中国（世界の60%前後）

タンタル（Ta）：薄膜工程の“工程成立金属”

- スパッタターゲット（高純度・低欠陥）としてバリア層等に使われる。薄膜の欠陥・粒径・酸素管理が歩留まりに直結するため、「元素としてある」だけでは足りず、**高純度粉末→高密度ターゲット→安定スパッタ**までの工程支配が価値になる。**日本の現状（強み）**：ある企業は半導体用スパッタターゲットで**世界シェア約60%**、高純度Ta粉で約**50%**をもっており、日本側の“**工程財の強さ**”を象徴する。先述のインジウムと比較すると、Taの場合、日本の優位は、高純度Ta粉末そのものではなく、**半導体用スパッタターゲットとしての工程適合性**、成膜条件・寿命・欠陥率まで含めた**工程支配**にある。つまり、日本が提供しているのは、「高純度Ta」ではなく、「**このTaターゲットでなければ、この工程がこの歩留まりで成立しない**」という**状態価値**である。この点が、インジウムとの決定的な違いである。

ハフニウム (Hf) /ジルコニウム (Zr) : High-k / 金属酸化物レジストの系

- HfはHigh-kゲート絶縁膜など“先端微細化の核心材料”側で効く。Zrは金属酸化物系レジストなどで重要になり得る)。この種の金属は、半導体品質の**超高純度化・不純物管理のノウハウ**が必要で、代替が効きにくい価値を生み出す。**供給課題**としてHfは一般に**Zr生産の副産物**として得られるため、供給が「Hf需要」ではなく「Zr産業の稼働」に引きずられ、需給が硬い局面で不安定化しやすい面があり戦略的対応が求められる。

ルテニウム（Ru）：配線・電極・バリアでの“微細化耐性”

- 配線・電極・バリア用途でのRuは、薄膜形成・耐食・界面特性が微細化で効きやすい。さらにRuは貴金属であり、**スクラップ回収→高純度化→再投入**が成立しやすい側のレアメタルでもある。PGMは供給が南アフリカ・ロシア等に偏在しやすく、日本は一次資源では弱いですが、精製・回収の産業基盤を持している。一次供給の偏在（南ア・ロシア等）と、PGM相場変動が常にリスクになる。したがってRuは「確保すべき金属」であると同時に、「循環で守るべき金属」でもある。

タングステン (W) : 露光周辺の高耐久部材・真空・熱負荷に関わる素材

- 装置側では高融点・高剛性・耐プラズマ等の要求が強い箇所でW系材料の重要度が上がる。日本のW調達には中国依存が大きいことが課題として示されている。露光・先端工程ほど装置停止コストが大きいため、Wは“価格”より“止めない調達”が重要になり、調達先分散とリサイクル率向上が急所になる。

コバルト（Co）：日本の強みは「合金・結合相の制御」

- Coは電池材料の影に隠れがちだが、装置産業では**超硬・耐摩耗の靱性要素**として不可欠。コバルトは資源的には脆弱であるが、日本は長年にわたり、超硬工具、耐摩耗部材、精密機械部品で**Coを“靱性設計のために最小限使う”設計**を積み上げてきた。日本の技術優位は、Co量を増やして性能を出すのではなく**Coの分布・界面・結合相を制御して性能を出す**点にある。このため、Co使用量は少ない、しかしCoが欠けると性能が急激に落ちるという「影の必須金属」になっている。装置輸出の文脈では、**装置を構成する加工・保守能力の再現性**が下がることで、間接的に装置の価値に効いてくる。

ガリウム (Ga) ・ゲルマニウム (Ge) : 日本の優位は「装置側への組み込み」

- GaやGeは供給面では中国依存が大きく、日本の資源優位はない。それでも日本の技術が重要なのは、**これらを使う側（装置・計測・デバイス工程）を支配している**からである。日本の優位は、GaAs、Ge系材料を、どの装置条件で、どの欠陥密度まで許容し、どの検査で切り分けるかという**使いこなし側の知**にある。したがって、日本は、Ga・Geを「持っている国」ではないが**Ga・Geが使われる工程を“定義する国”**という立場にある。これは輸出において、**材料だけ規制しても工程は真似できない**という効果を生む。**技術優位の本質: Ga・Geを“定義通りに使わせる工程支配”**材料を握らなくても、工程を握れば優位は成立する。

日本の循環企業

金属	主な循環企業	根拠・補足
Ta (タンタル)	SANCT (サンクト) ◎、 メタルドゥ ○、住友金属 鉱山 (SMM) ○	SANCT が Ta 系スラッジの 焼成・精製を実施
Hf (ハフニウム)	SMM △、東邦チタニウム △	Hf は Zr 精製の副産物で、国内では限定的 (循環企業は少ない)
Ru (ルテニウム)	SANCT ◎、田中貴金属 ○、 SMM ○	SANCT が Ru 系スクラップ を扱うと明記
W (タングステン)	SANCT ◎、メタルドゥ ◎、 SMM ◎	SANCT が超硬スラッジの焼成・再資源化を実施
Co (コバルト)	SANCT ○、メタルドゥ ◎、 SMM ◎	メタルドゥ が Co スクラップを 主要取扱品と明記
Ga (ガリウム)	SANCT ◎、SMM ○	SANCT が Ga (半導体用) を扱うと 明記
Ge (ゲルマニウム)	SMM ○、三井金属 △	国内循環は限定的 (光ファイバー 端材など)

- レアメタルを必要とする国から、
レアメタルを使いこなせる国へ。
- 工程知と物質知が結節するノードを、
資源政策から産業競争力政策へ