

# 強靱な資源利用システムを 実現する手段としての循環経済

令和4(2022)年10月27日(木)  
持続可能社会部 清水孝太郎

# プロフィール

## 清水 孝太郎(しみず こうたろう)



### ■ 現職

- 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社  
(政策研究事業本部 環境・エネルギーユニット)  
持続可能社会部長・上席主任研究員
- 一般社団法人循環経済協会 理事

### ■ 略歴

- 北海道札幌市生まれ
- 2000年 早稲田大学教育学部理学科地球科学専修 卒業
- 2002年 早稲田大学大学院理工学研究科環境資源及材料理工学専攻 修了
- 2002年 UFJ総合研究所(現 三菱UFJリサーチ&コンサルティング)入社、現在に至る。

### ■ 保有資格

- 博物館学芸員、産環協LCAトレーニングコース修了、表千家講師

### ■ 専門分野

- 循環経済政策・ビジネス、鉱物資源戦略、経済安全保障政策
- 技術開発戦略・普及政策(環境保全技術、3R・廃棄物処理技術、採掘・選鉱・製錬技術、ナノテクノロジー、素形材産業技術)、低公害車普及政策
- 新興国における環境・廃棄物政策、マテリアルフロー分析・ライフサイクルアセスメント(LCA)など

### ■ 大学講師等兼職

- 早稲田大学環境総合研究センター招聘研究員(2019年4月～現在)
- Vice President, Rare Earth Industry Association(国際希土類工業協会)(2019年6月～現在)
- 公益財団法人北海道在京学生後援会評議員(2012年4月～現在)

### ■ メディア出演・講演等

- 「地域偏在など資源を巡る国際動向」参議院資源エネルギーに関する調査会(参考人招致)(2021/2/10)
- 週刊エコミスト「ガソリン車ゼロ時代 レアース世界で争奪戦が激化“脱”中国に動く日米欧」(2021/02/02)
- European Union DG-GROW(欧州連合成長総局)「Critical assessments and actions to reduce criticality in Japan」(2019/11/18) など

### ■ 研究会・委員会

- 「ISO/TC333(Lithium)」Expert(2022年～)
- 「ISO/TMB/SAG Critical minerals」Expert(2021年～)
- 「ISO/TC323(Circular Economy)」Expert(2020年～)
- 「ISO/TC298(Rare Earth)」Expert(2017年～)
- 「一般社団法人資源・素材学会 包括的資源利用システム部門委員会」幹事(2017年～) など

### ■ 主な著書・論文

- 「レアアースの需給動向と今後の展開可能性について」(CISTECジャーナル, 2019年9月号)
- 「日本の主要産業におけるレアメタル原料調達フロー」(石油天然ガス・金属鉱物資源機構/金属資源レポート, Vol.42, No.2, p37-63(2012年)) など

# 目次

---

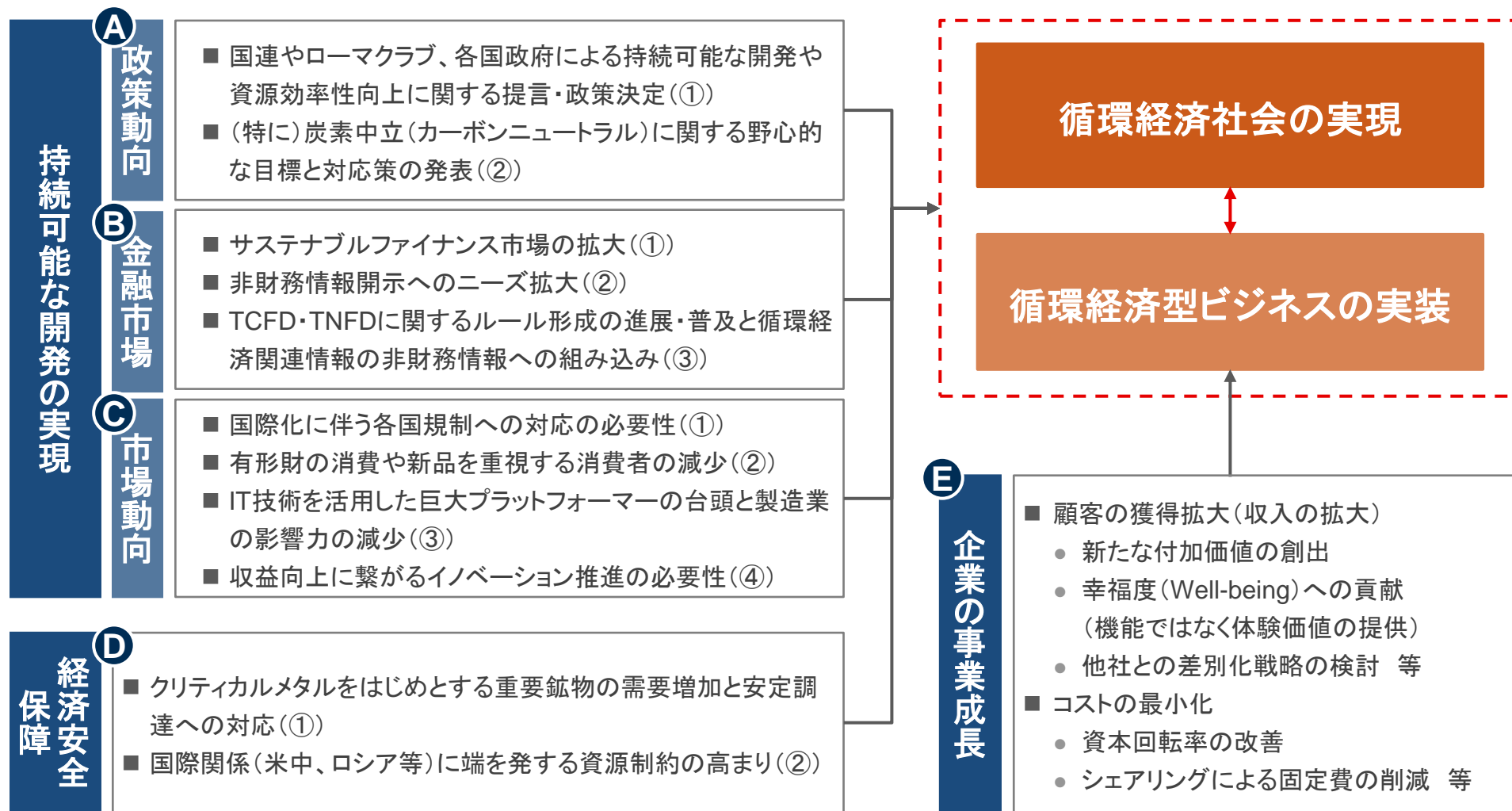
- I. 資源の利活用を取り巻く世界動静
- II. 経済安全保障の裏の顔としての持続可能性
- III. 資源利用・循環のあり方を決める国際ルール形成動向
- IV. 経済安全保障と持続可能性を両立する循環経済型ビジネスのあり方

---

# I. 資源の利活用を取り巻く世界動静

# 循環経済を取り巻く動向と背景

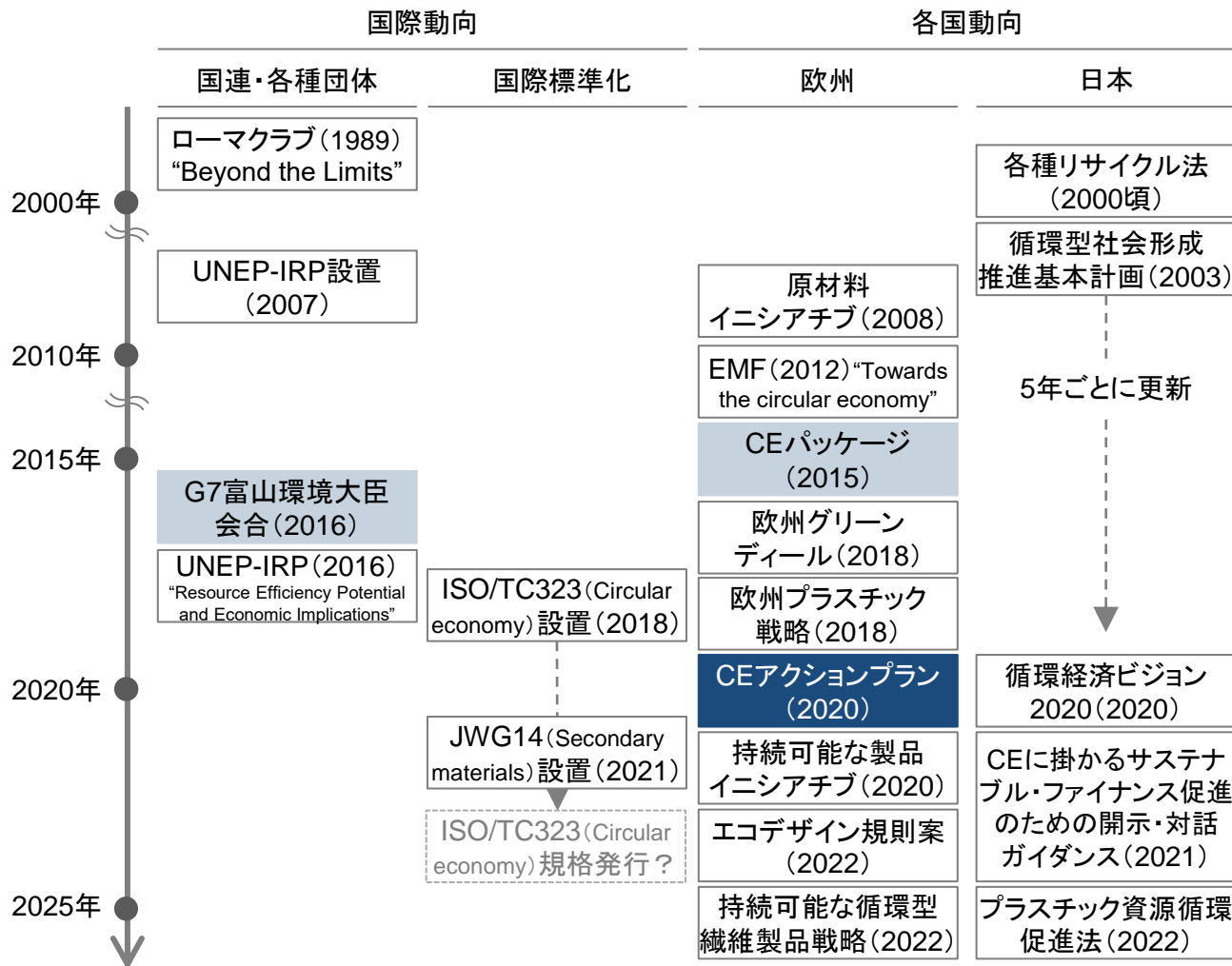
- 持続可能な開発の実現(経済・環境の両立)に向けた観点のみでなく、事業成長や経済安全保障の観点からも、循環経済の実現に向けた取り組みの必要性は高まっている。



# A 持続可能な開発の実現に向けた政策動向

国連やローマクラブ、各国政府による持続可能な開発や資源効率性向上に関する提言・政策決定①

- UNEP-IRPの設置後、欧州において循環経済に関する政策検討・発表が進む。G7富山環境大臣ののち、日本でも循環経済実現に向けた政策的な取組が急速に進んでいる。



1 CE (Circular Economy) パッケージ

- 環境・資源制約への対応と域内の産業競争力強化に向け、CEへの移行を掲揚
- 廃棄物法令の改正案を提示 (2030年を目標に一般廃棄物の75%を再使用 等)
- 欧州企業で6,000億€の節約、58万人の雇用創出効果があると推計

2 G7富山環境大臣会合

- 「富山物質循環フレームワーク」を採択し、G7各国による野心的な行動を設定
  - 資源効率性、3Rの主導的な国内政策
  - グローバルな資源効率性・3Rの促進
  - 着実かつ透明性のあるフォローアップ

3 CE (Circular Economy) アクションプラン

- CE実現に向けた施策内容の具体化
  - 持続可能な製品・サービスの標準化
  - 消費者権利・情報入手性の強化
  - 重点分野の策定 (電子機器/電池・車両/包装/プラスチック/繊維等)

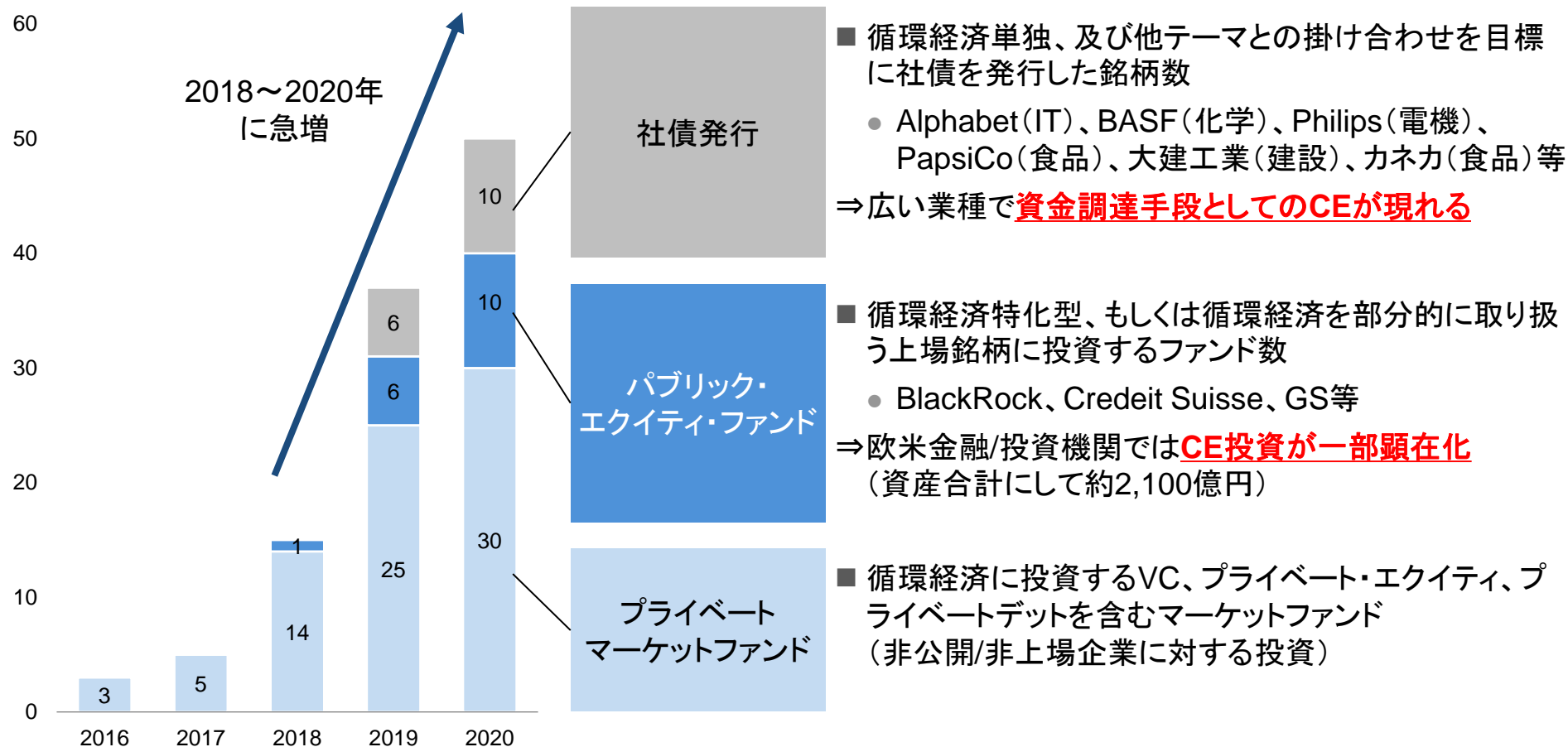


## B 持続可能な開発に関する金融市場の変化

サステナブルファイナンス市場の拡大①

- 循環経済に関連した資金調達・運用を行う2018年以降急増している。社債発行、パブリック・エクイティ・ファンド、プライベートマーケットファンドのいずれでも循環経済への注目が高まっている。

循環経済に関連した資金調達・運用をする機関数

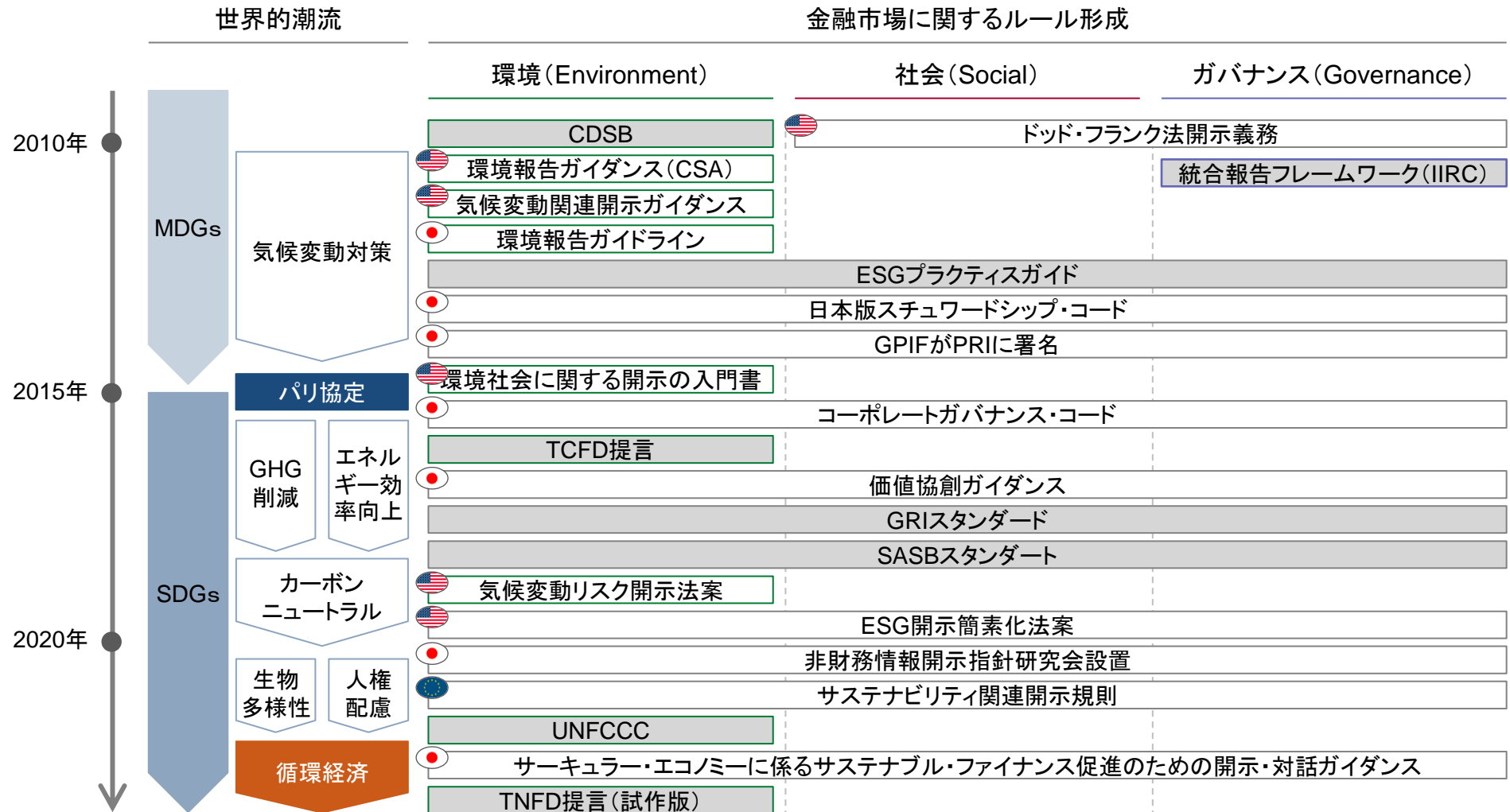


(出所) エレンマッカーサー財団「Financing the circular economy」をもとにMURC作成

## B 持続可能な開発に関する金融市場の変化

非財務情報開示へのニーズ拡大(②)

- 気候変動対策やGHG削減、生物多様性や安全保障といった、世界的潮流に対応して、金融市場における非財務情報開示に関するルール形成が進む。



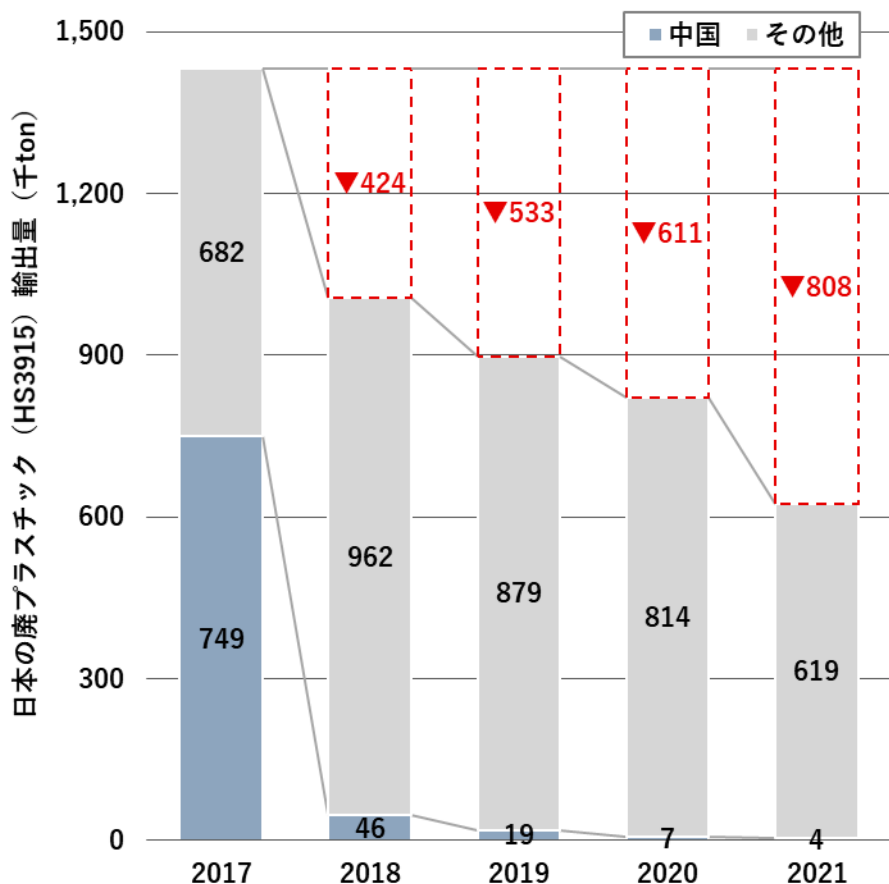


# C 事業成長に影響する市場・規制動向

国際化に伴う各国規制への対応の必要性(①)

- 中国による廃棄物等に対する輸入規制は、国内の資源循環に大きな影響をもたらした。
- 欧州ではバッテリー規制に関する検討が進んでおり、今後もこうした規制への対応が求められる。

中国の廃棄物等輸入規制による影響



(出所)財務省貿易統計(HS3915)をもとに循環経済協会の作成

欧州によるバッテリー規制案

項目	EU: バッテリー規則案 (EV用電池に関するもの)
設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電池の性能、耐久性に関する各パラメータ(定格容量と容量劣化率、電力と電力劣化率、内部抵抗とその増加率、充放電の効率とその劣化率、予想寿命)に関する要求事項設定</li> </ul>
回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 生産者(生産者組織)に使用済み電池の回収義務</li> <li>■ 最終消費者が新たな電池を購入しない場合も無償での引取義務</li> </ul>
再資源化・処分等	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 一定割合以上の再生原料(Co,Pb,Li,Ni)の使用義務                     <ul style="list-style-type: none"> <li>・2030年～: Co:12%、Pb:85%、Li:4%、Ni:4%</li> <li>・2035年～: Co:20%、Pb:85%、Li:10%、Ni:12%</li> </ul> </li> <li>■ 回収されたバッテリーは埋立又は焼却されてはならない</li> </ul>
情報伝達・開示	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 再生原料(Co,Pb,Li,Ni)の使用量(amount)の開示</li> <li>■ 電池の性能、耐久性に関する情報開示(定格容量と容量劣化率、電力と電力劣化率、内部抵抗とその増加率、充放電の効率とその劣化率、予想寿命)</li> <li>■ 電池に含まれる有害物質(Hg、Cd、Pb以外)、CRM等の情報を含むラベルの貼付義務</li> <li>■ CO<sub>2</sub>の総排出量、独立した第三者検証機関からの証明書等の情報を含むCFP(カーボンフットプリント)宣言書の発行義務</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ライフサイクル全体におけるCFP(カーボンフットプリント)の上限值の遵守</li> </ul>

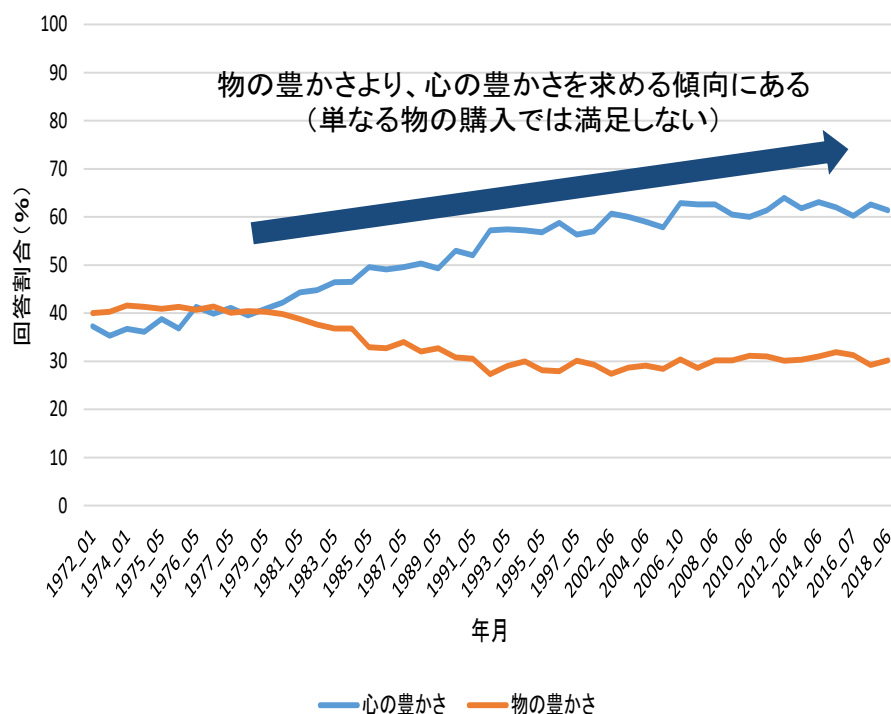
(出所) Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020をもとに循環経済協会の作成

# C 事業成長に影響する市場・規制動向

有形財の消費や新品を重視する消費者の減少(②)

- 新品の購入・消費を重視する消費者が相対的に減少し、リユース品等でも構わないとする人が増えつつある。また、モノに依存しない満足を追求する消費者が増えつつある(モノそのもの以外でも価値があるとするものにお金を払おうとする人々が増えている)。

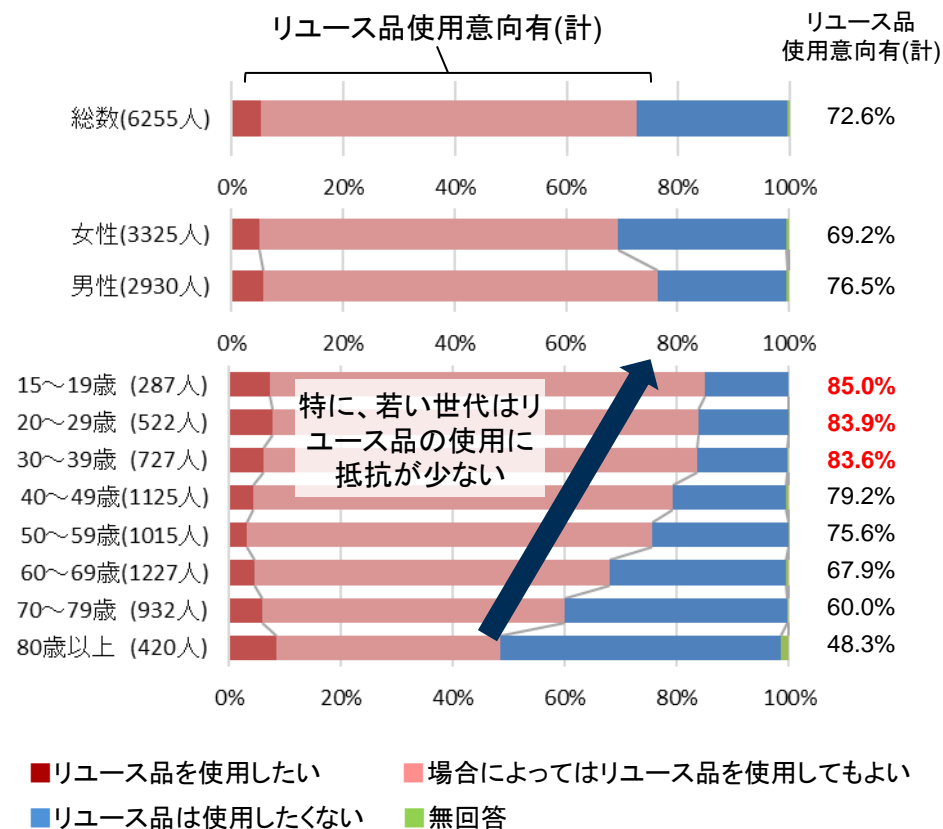
## 我が国国民の今後の生活における力点



(注)「どちらともいえない」、「わからない」回答を除く

(出所) 経済産業省、循環経済ビジョン研究会第五回資料

## リユース品(中古品)の使用意向

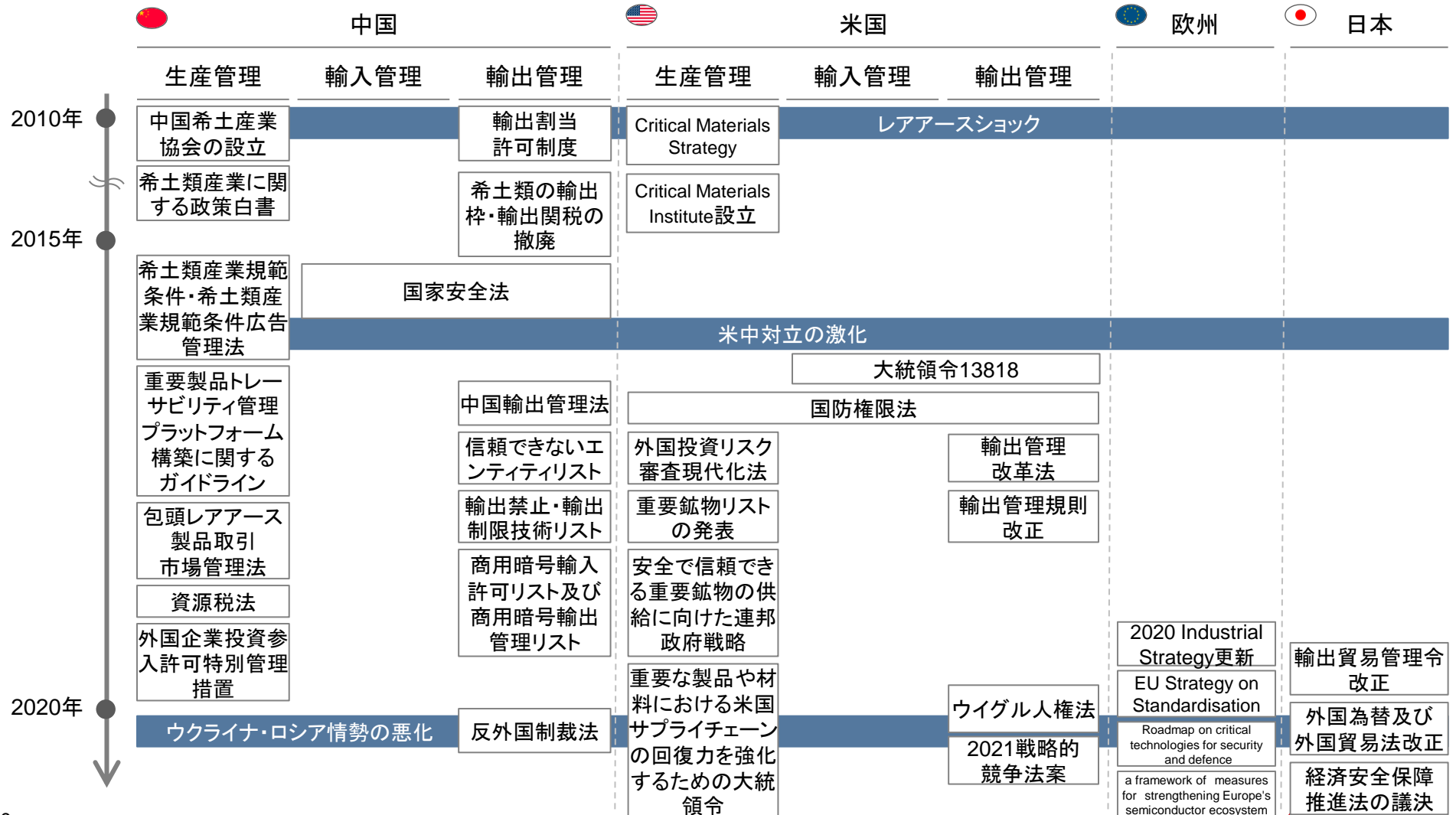


■ リユース品を使用したい ■ 場合によってはリユース品を使用してもよい  
 ■ リユース品は使用したくない ■ 無回答

# D 経済安全保障に関する動向

クリティカルメタルをはじめとする重要鉱物の需要増加と安定調達への対応(①)

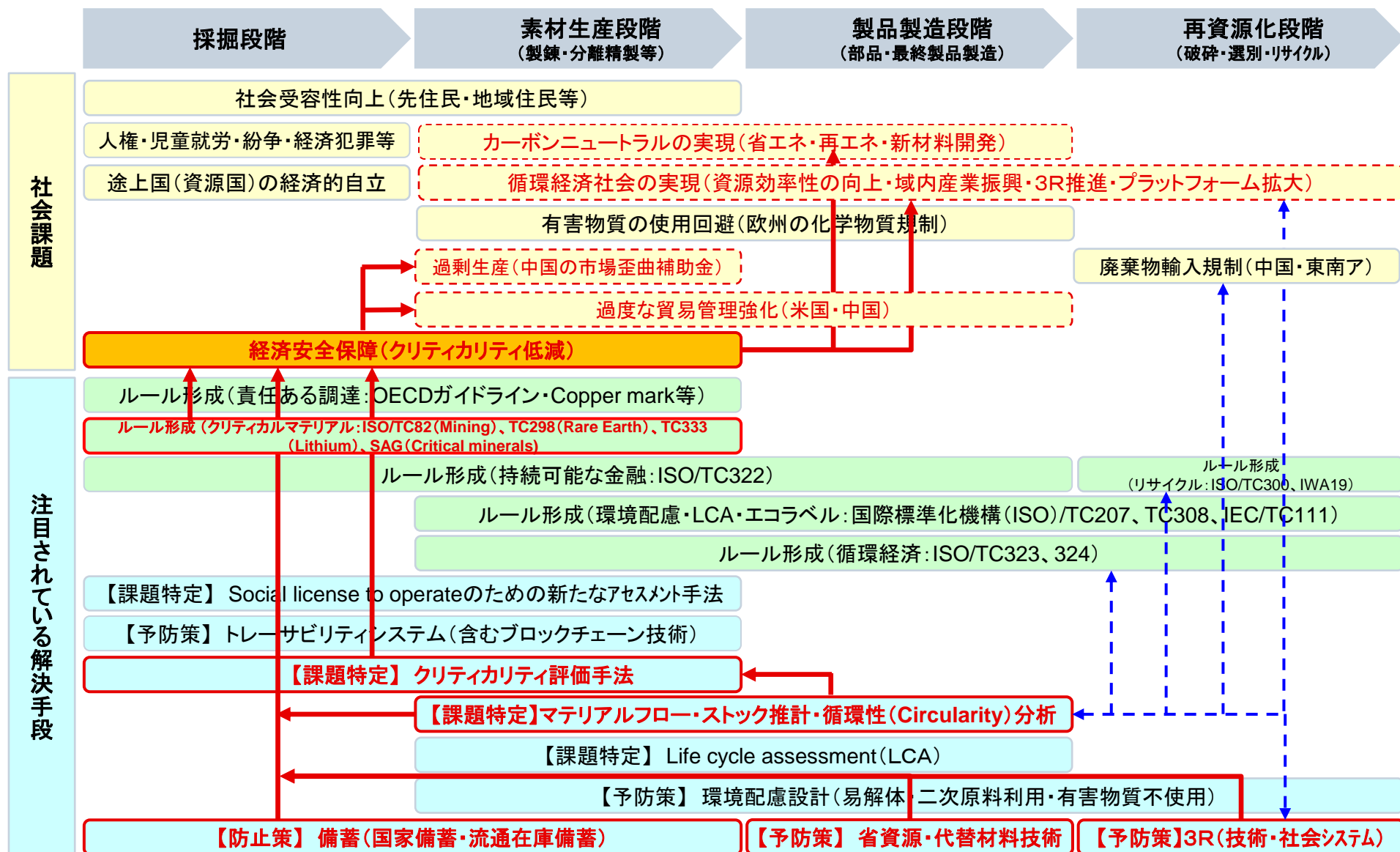
- 重要鉱物であるレアアースを筆頭として、生産・輸出管理等の取り組みが進み、我が国の資源調達にも影響を及ぼしている。国際情勢の悪化により、経済安全保障の動向は無視できなくなりつつある。



---

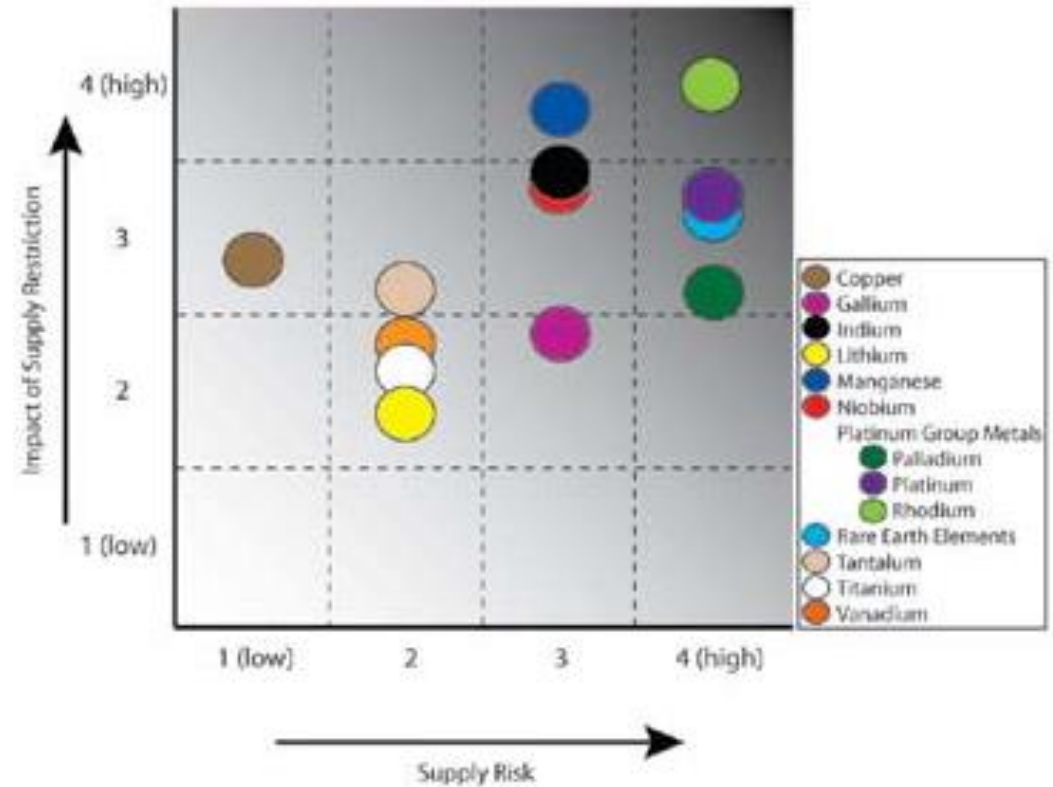
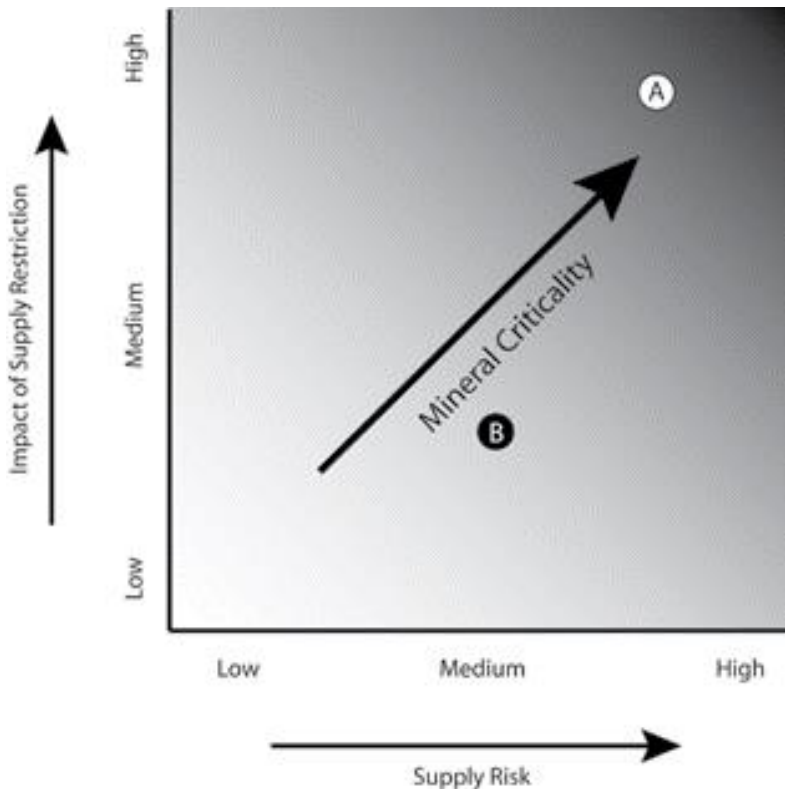
## II. 経済安全保障の裏の顔としての持続可能性

# 直面する社会課題とクリティカルマテリアル(重要鉱物)との関係性



# クリティカルマテリアル(重要鉱物)とは

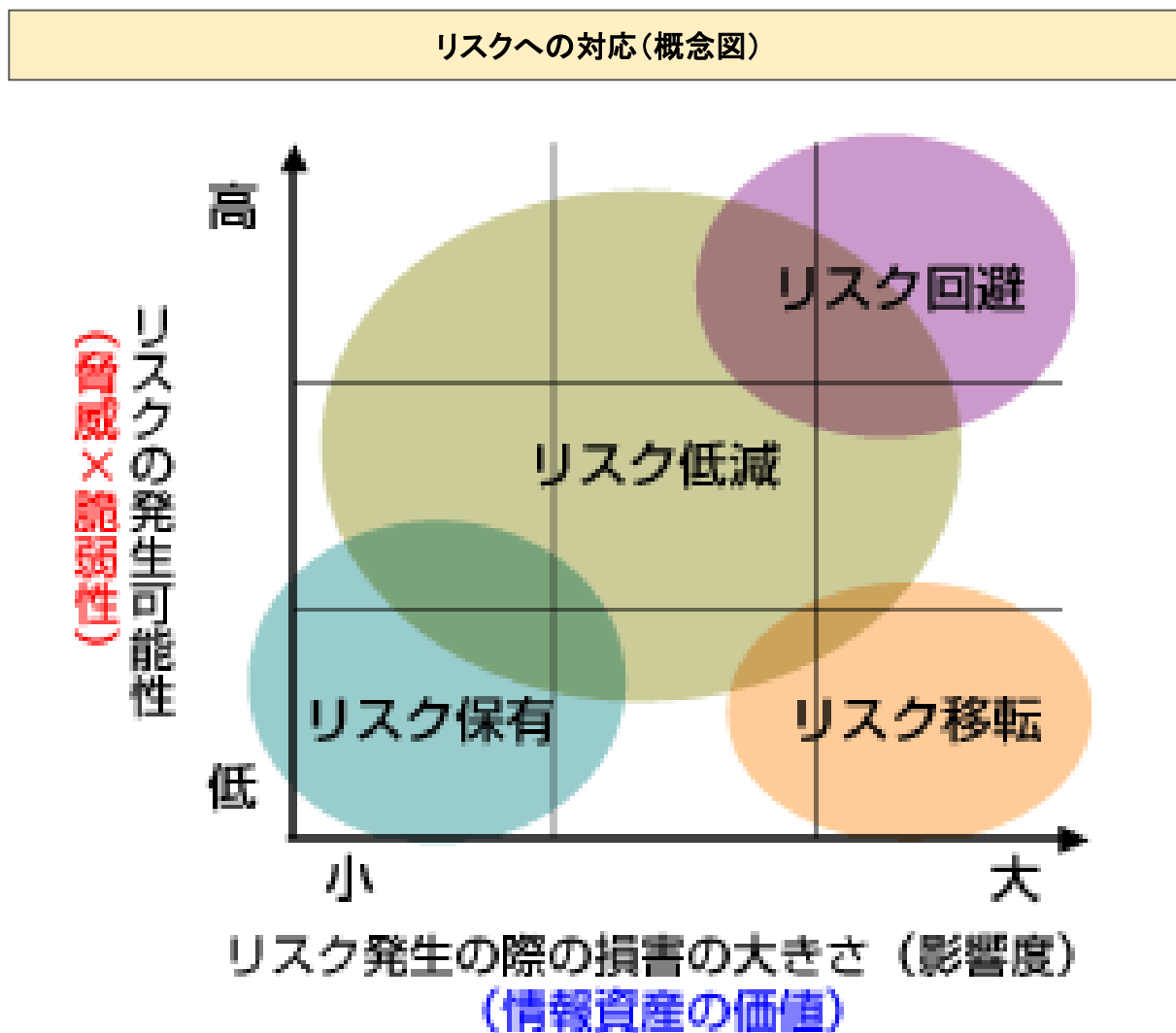
- 「クリティカルマテリアル(Critical Materials)」という表現が用いられるようになったのは、全米研究評議会(NRC)が2007年に発表した「Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy」というレポートがはじまりである。
- ここから、米国連邦政府(エネルギー省)や欧州委員会が、クリティカルマテリアルという用語を持ち始めるようになった。
- 2011年から日米欧三極クリティカルマテリアル会合が開始された。



(出所) U.S. National Research Council, 2007, Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy  
概要資料: [https://www.nap.edu/resource/12034/critical\\_minerals\\_final.pdf](https://www.nap.edu/resource/12034/critical_minerals_final.pdf)

## リスクマネジメントの考え方を導入しやすいクリティカルマテリアル(重要鉱物)

- 資源のクリティカリティ評価方法としては、①供給リスク(Supply Risk)、②供給制限の影響(Vulnerability / Impact of Supply Restriction)の2軸で捉える方法が主流である。
- この2軸は、一般的なリスクマネジメントでも用いられ、対応策と結び付けやすい。
- 供給リスクの定量的評価方法は、国別リスク指標等を活用することで、比較的容易に評価可能である。
- 一方、影響度の定量的評価手法は研究が進んでいるものの、網羅的なものはほとんどない。
- また、リスク回避や低減の結果、その国が受ける影響(需要減退、産業衰退等)は考慮されていない。



(出所) 情報処理推進機構 (<https://www.ipa.go.jp/security/manager/protect/pdca/risk.html>)



# レアメタルとクリティカルマテリアル(重要鉱物)の違い

- 「レアメタル」と「クリティカルマテリアル」は、似ているが、選び方や対象鉱種は異なる。

## レアメタル

## クリティカルマテリアル(重要鉱物)

### 定義

- 「地球上の存在量が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難な金属」のうち、工業需要が現に存在する(今後見込まれる)ため、安定供給の確保が政策的に重要であるもの(日本・審議会)

- 特に存在しない(全米研究協議会が2007年から使用し始めた)
- 一般的には、供給リスクの顕在化によって経済に大きな影響を及ぼす可能性がある資源

### 対象となる資源

- 鉄鋼業や電気電子機器産業で必要不可欠な希少資源(元素)
- 銅、アルミニウム等を含まない。

- 国によって採用するクリティカリティ評価手法が異なる。対象資源も異なる。
- いわゆるベースメタル等も含む。
- 日米欧の共通鉱種は、レアアース、PGM等

### その他特徴

- 定性的に選ばれている。
- 現在・将来需要、供給リスク等を念頭に置いている。
- 和製英語であったが、世界で市民権を得つつある。日本だけの基準である。

- 定量的に選ばれている。
- 経済的重要度、供給リスク、環境影響等を念頭に置いている。
- 日米欧の政府機関で導入されつつあり、国際標準化でも用いられる。



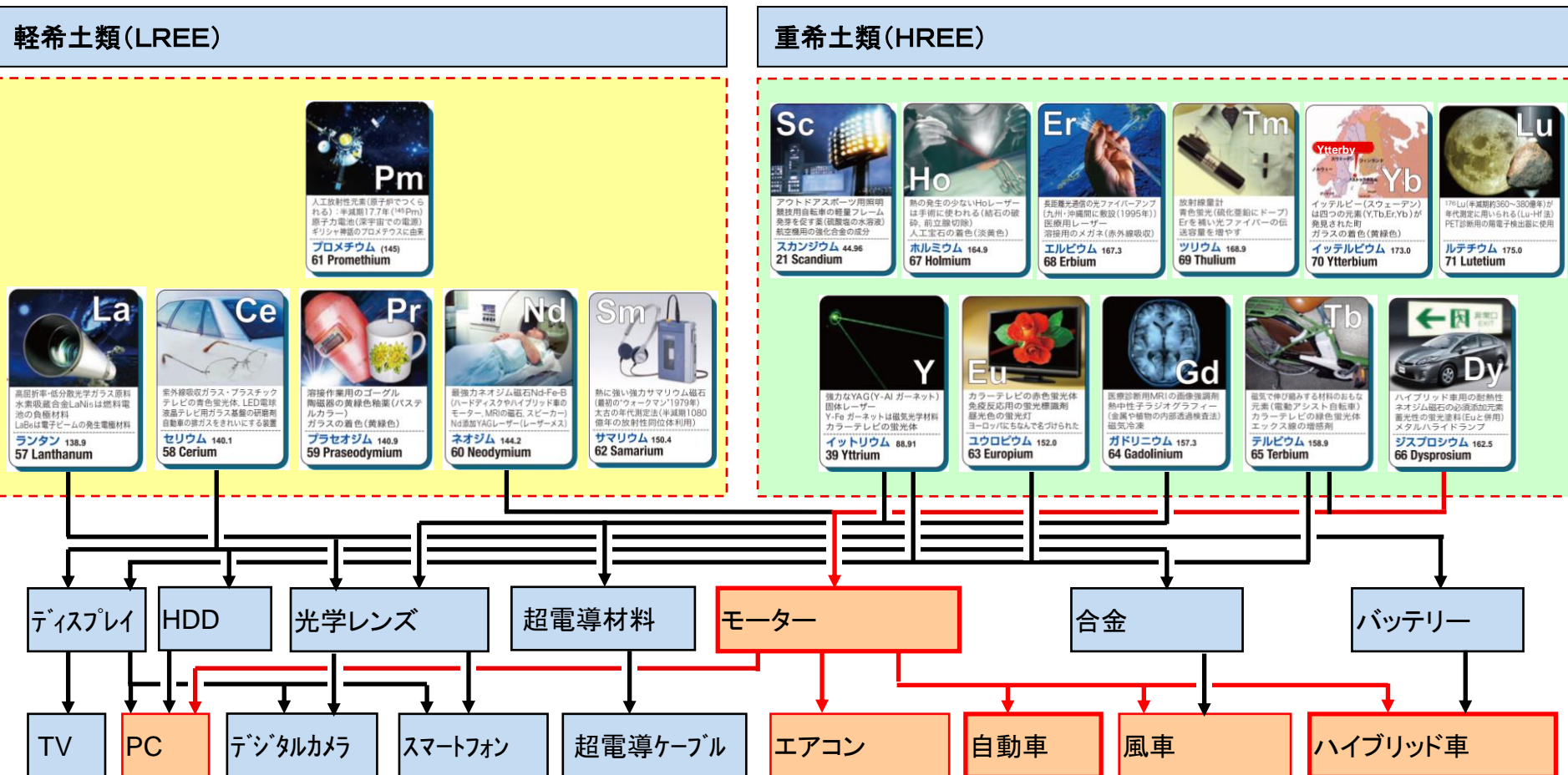
# 「産業のビタミン」—様々な用途で機能材として利用されている鉱物資源

- 自動車、電気電子機器といった様々な機械類でレアメタル(クリティカルマテリアル(重要鉱物))が使用される。消費量は小さくとも機能発現のためには不可欠な素材である。



# 「産業のビタミン」—様々な用途で機能材として利用されている鉱物資源

- 代表的なレアメタル(クリティカルマテリアル)である「レアアース(希土類)」は、自動車、電気電子機器を構成する重要な部品類製造に使用されている。世界におけるレアアースの消費量は年間10数万t(パナマックスタンカー2~3隻分)。我が国におけるレアアースの消費量は年間数万tに過ぎないが、そこから得られる機能は必要不可欠のものが多い。

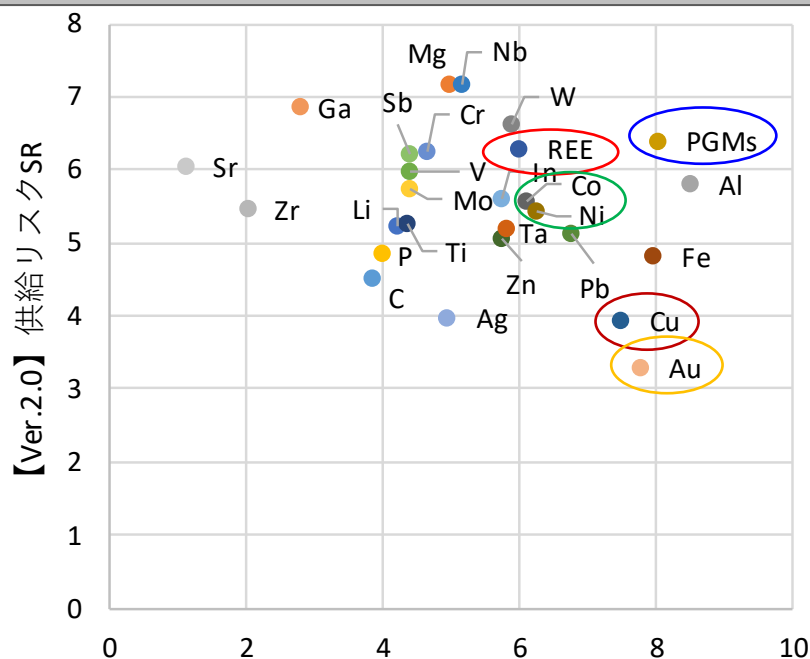


(出所) 筆者作成 なお画像は、文部科学省「科学技術週間「一家に1枚」シリーズ・元素周期表」から引用した。

# 鉱物資源のクリティカルリティ評価

- 我が国のクリティカルリティ評価では、鉱種別の市場規模や用途別シェア(重量ベース)を考慮した方式(有賀(2015))、また使用量の多寡にかかわらず用途別付加価値(国内総生産)のみを合計した方式(新評価方式)がある。
- 新評価方式では、主要産業で使われ、その用途の範囲が広い鉱種ほど、比較的高く(右側に位置)評価される傾向にあり、より実態に即した評価がなされている。

既往評価結果(有賀(2015))



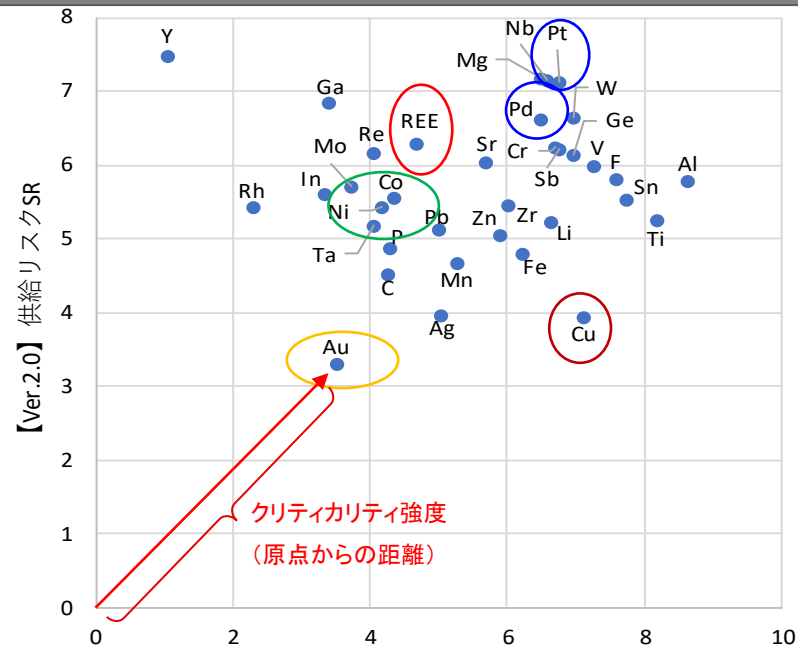
【有賀(2015)】 経済重要性EI

(注1) 供給リスク(SR)と経済重要性(EI)の両方そろっている鉱種のみを表示している。共に2017年時点データをもとに評価を行っている。

(注2) 図中のアルファベット表記は元素記号を示す。なお、REEはイットリウム以外の希土類、PGMsは白金族(特に白金、パラジウム、ロジウム)を示す。

(出所) 図表は、資源エネルギー庁「鉱物資源確保戦略策定に係る基礎調査 報告書(2020年3月)」(三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社作成)から引用し、図中の指示記号や文章は新たに作成した。

新評価結果



【本検討会方式3】 経済重要性EI (単位: 10兆円)

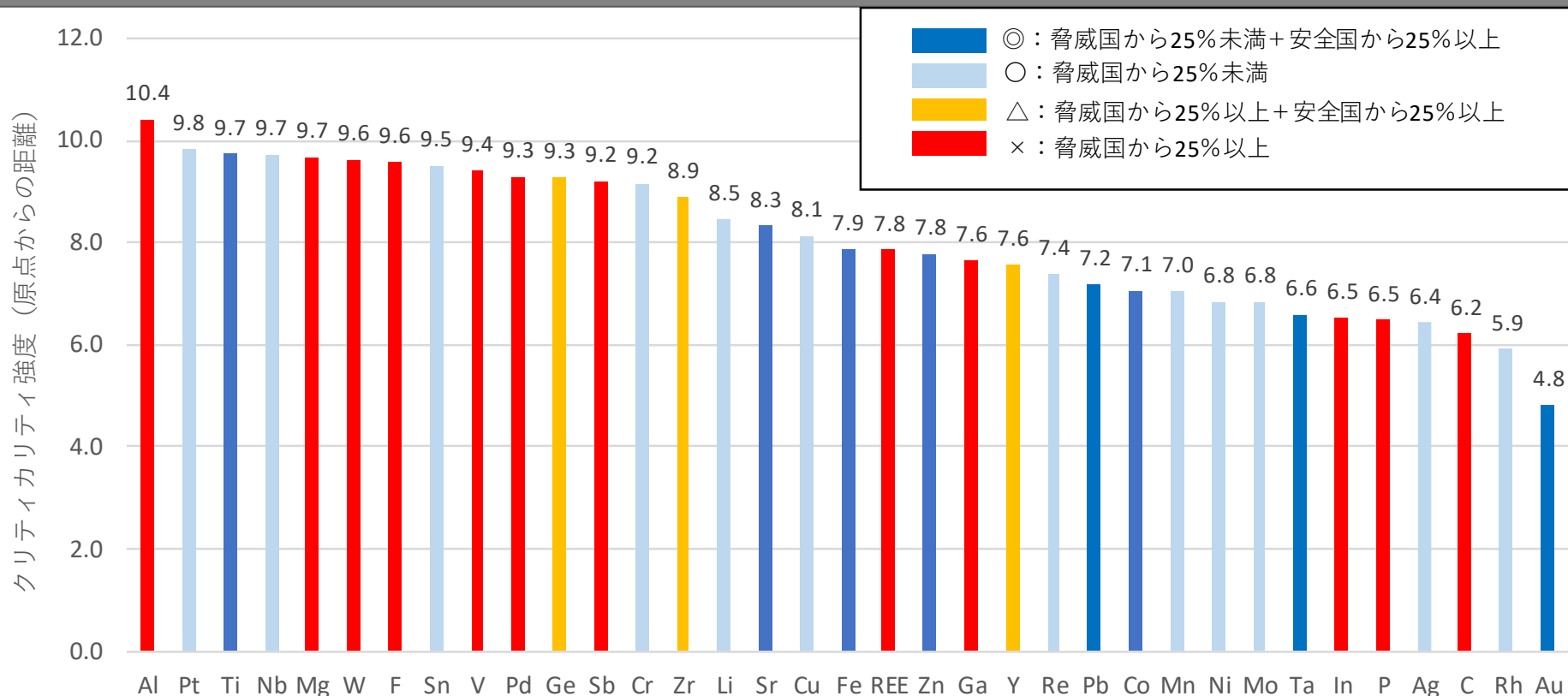
(注1) 供給リスク(SR)と経済重要性(EI)の両方そろっている鉱種のみを表示している。共に2017年時点データをもとに評価を行っている。

(注2) 図中のアルファベット表記は元素記号を示す。なお、REEはイットリウム以外の希土類を示す。

# 我が国における各鉱種クリティカリティ強度と脅威国への依存度

- クリティカリティ強度が高くても、白金(Pt)やニオブ(Nb)のように非脅威国への依存度が大きいものがある。
- アルミニウム(Al:露・中)、マグネシウム(Mg:中)、タングステン(W:中)、フッ素(蛍石・フッ酸)(F:中)、バナジウム(V:中)、パラジウム(Pd:露)、アンチモン(Sb:中)、レアアース(希土類)(REE:中)などは、脅威国への依存度が高く、かつ非脅威国への輸入切り替えも容易ではないため、調達上の大きなリスクを抱えていると言える。

各鉱種のクリティカリティ強度(特定国スクリーニングあり)

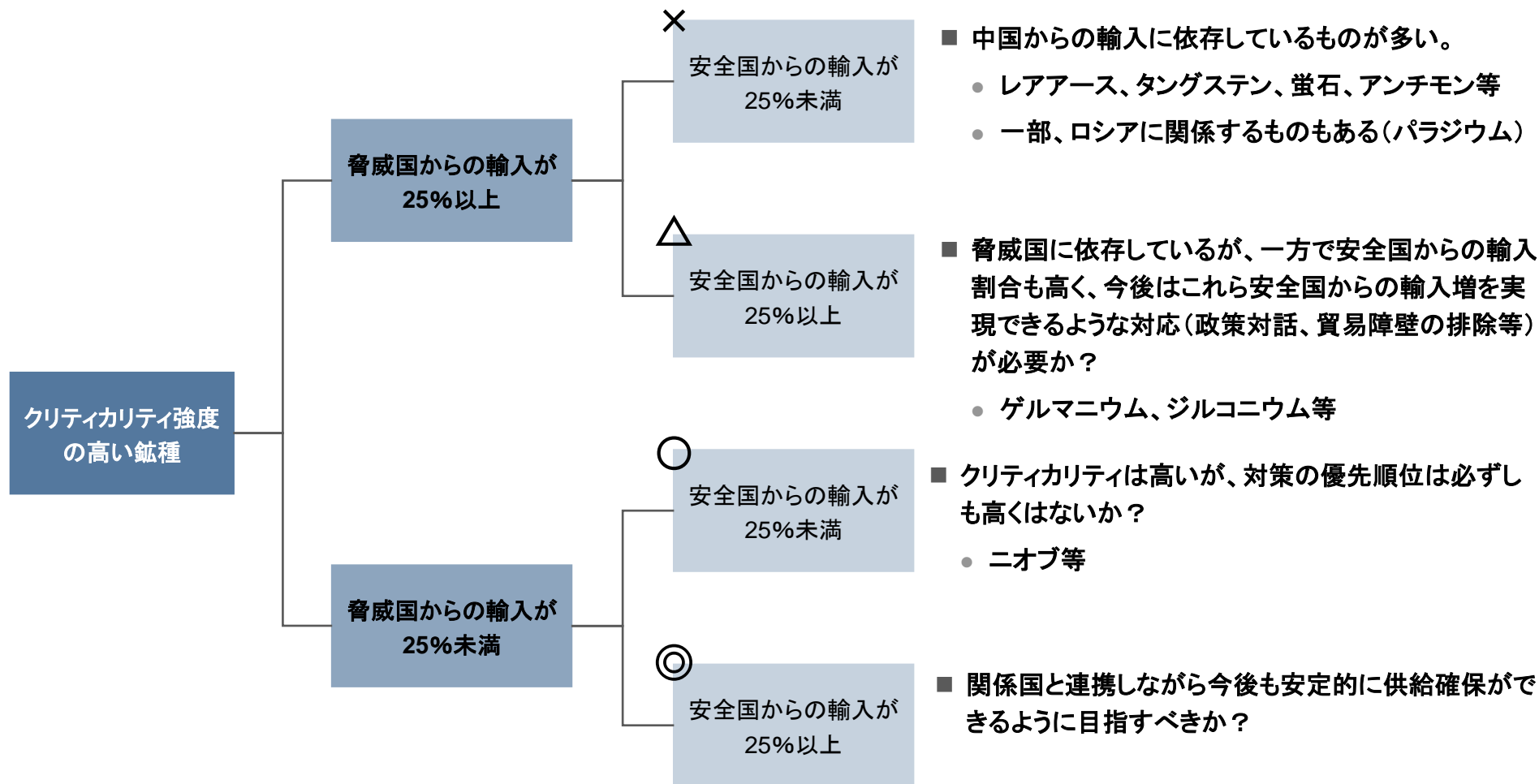


(注) 図中のアルファベット表記は元素記号を示す。なお、REEはイットリウム以外の希土類を示す。

(出所) 図表は、資源エネルギー庁「鉱物資源確保戦略策定に係る基礎調査 報告書(2020年3月)」(三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社作成)から引用し、文章は新たに作成した。

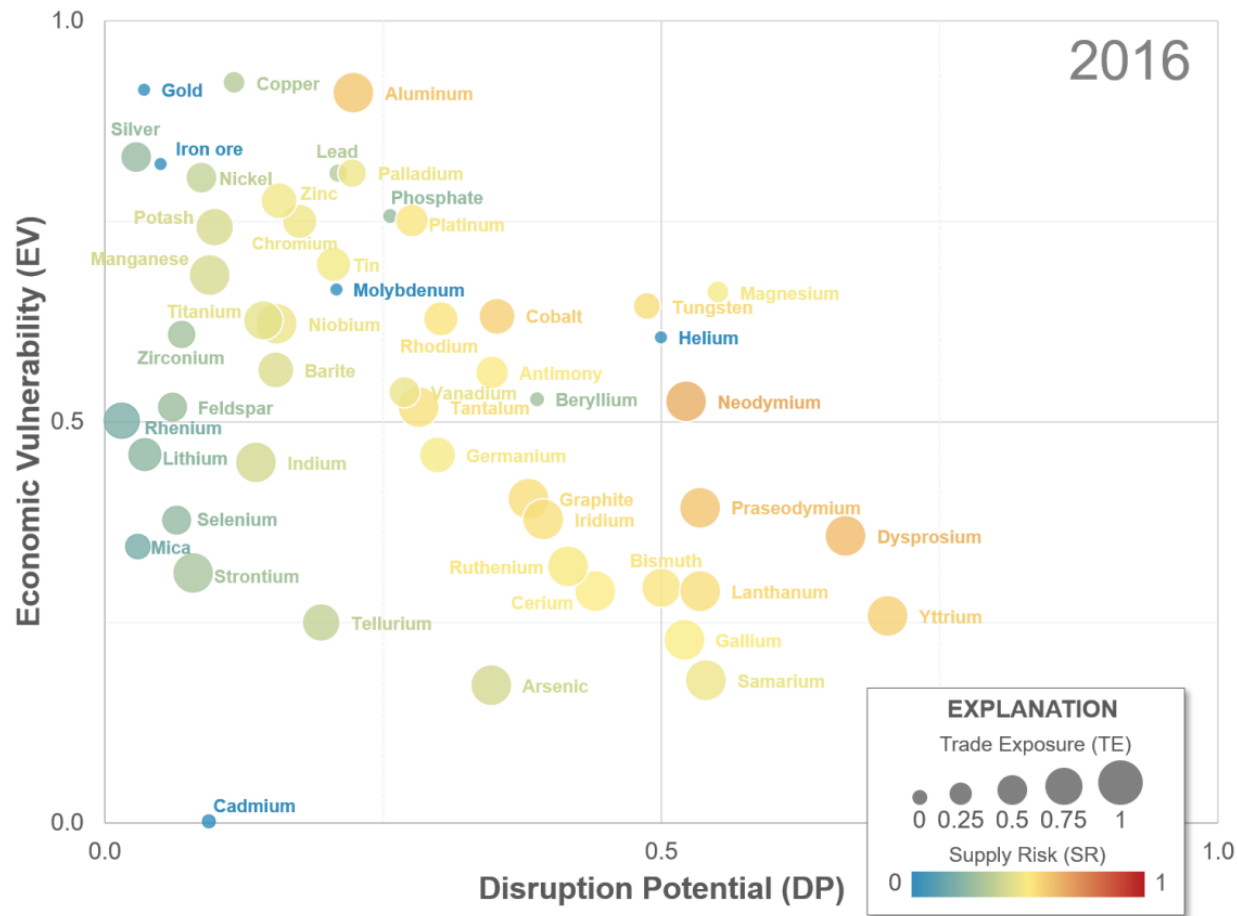
# 安全保障の観点からのスクリーニング

- クリティカリティ評価では評価のできなかったリスクのうち、脅威国への依存度をみるため、対象鉱種について、輸入量(金属、フェロアロイ(鉄合金)、化合物等の純分和)の相手国比をとり、安全国(キャッチオール規制対象外)や脅威国(平成30年度防衛白書で脅威と言及)への依存度を以下のように評価した。



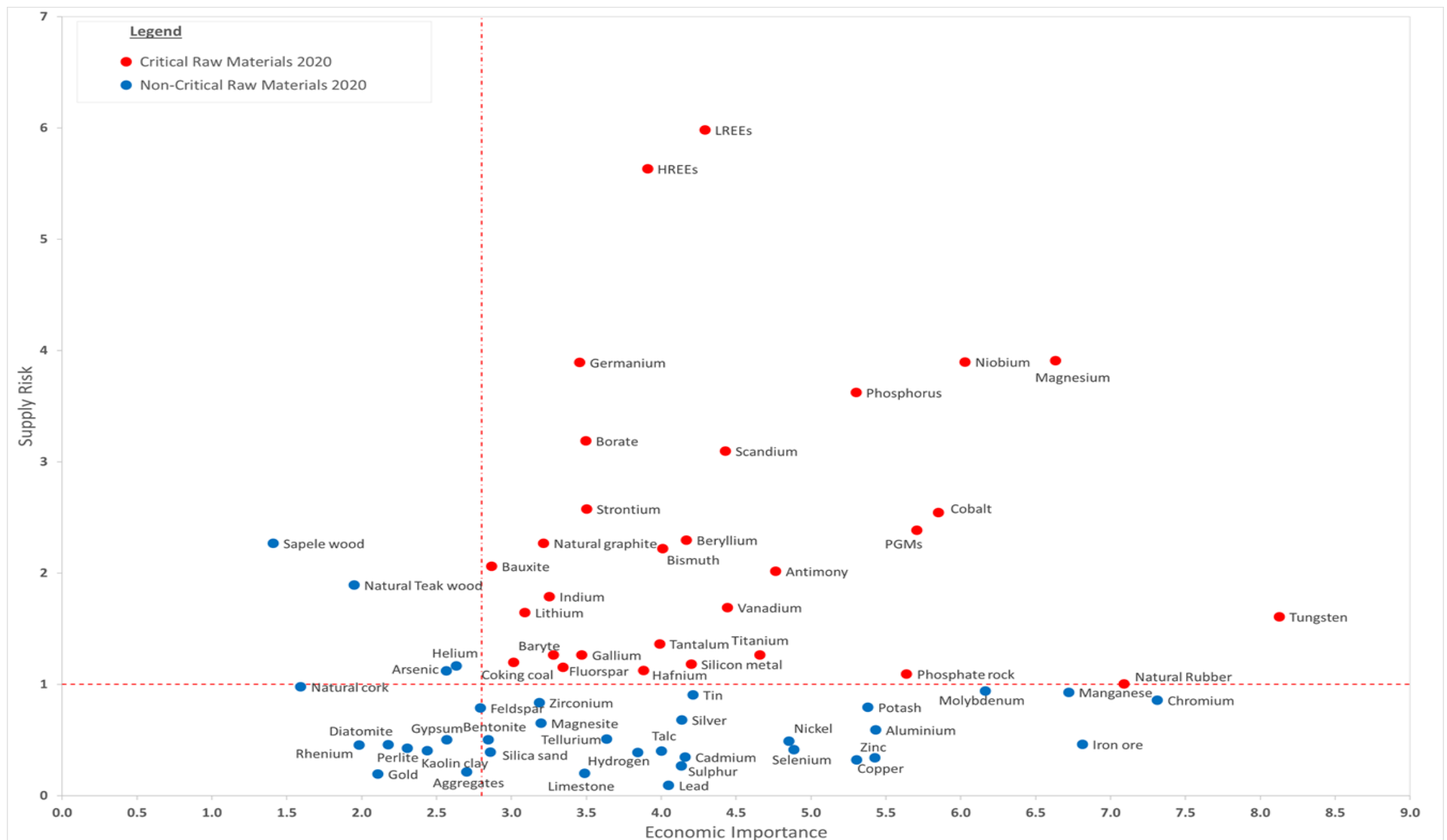


# 米国におけるクリティカルマテリアル



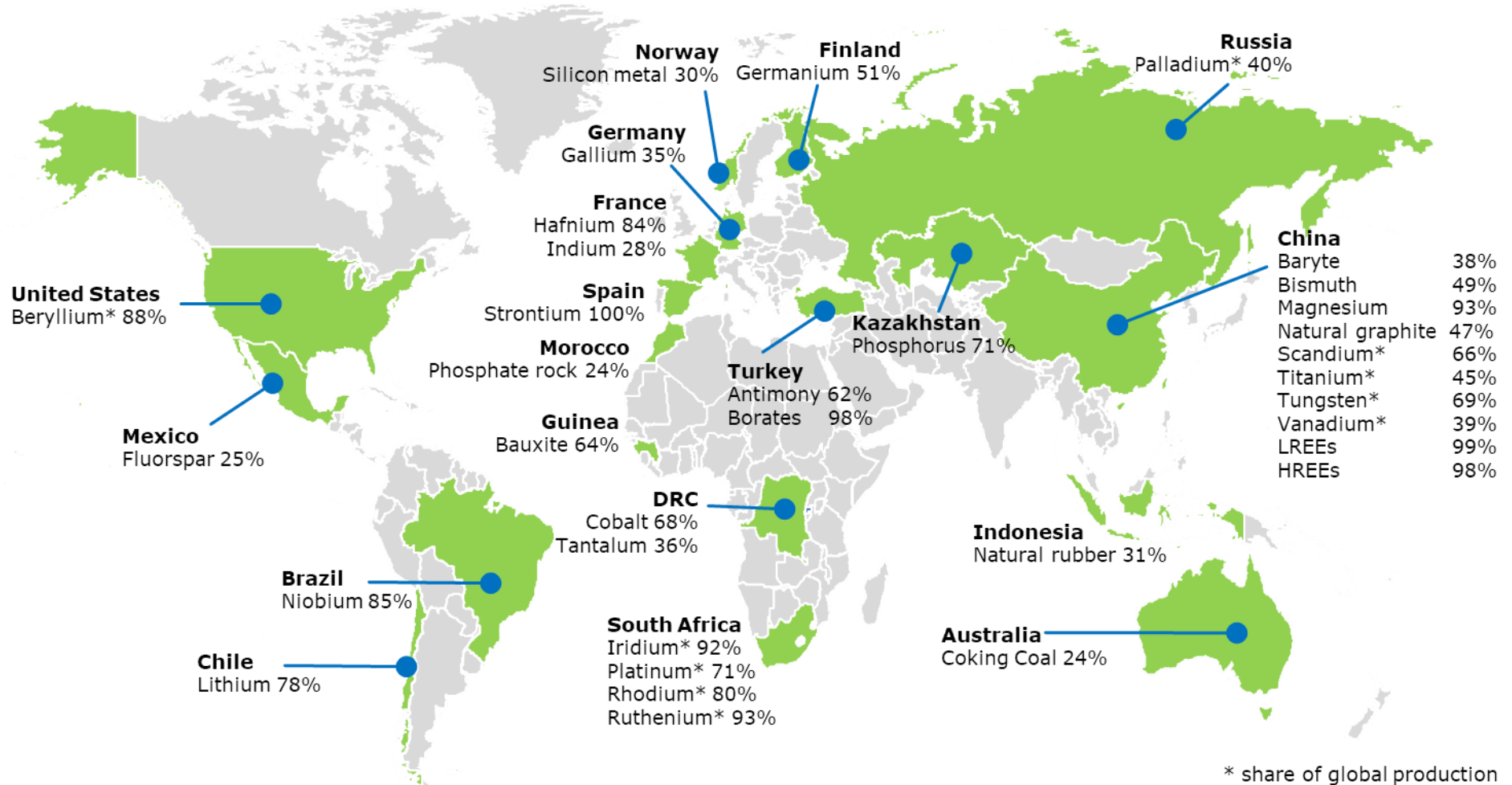
**Figure 8.** Assessment of mineral commodity supply risk. Disruption Potential (horizontal axis), Economic Vulnerability (vertical axis), Trade Exposure (point size), and overall Supply Risk (point shade) of the U.S. manufacturing sector for various mineral commodities in 2016. From Nassar and others (2020).

# 欧州におけるクリティカルマテリアル



(出所) 欧州委員会「Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability (2020) (<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849>)」

# 欧州におけるクリティカルマテリアル



(出所) 欧州委員会「Critical raw materials – forth lists of CRMs (2020) ([https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en))」



# 炭素中立(カーボンニュートラリティ)のために必要とされるクリティカルマテリアル

	CN想定用途						需給予測(+:過剰・増加 - :不足・減少)				持続可能性への対応
	風力発電	LIB	水素	燃料電池	EV	半導体	2030	リサイクル	2050	リサイクル	責任ある調達等に関連する対応の必要性
Cu	○				○		-	±	--	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ LME責任ある調達制度、Copper Mark認証制度</li> <li>■ RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準</li> </ul>
Ni		○	○		○		-	±	-	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ LME責任ある調達制度、EUバッテリー規則案(検討中)</li> <li>■ RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準</li> </ul>
Co		○			○		-	±	-	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ LME責任ある調達制度、EUバッテリー規則案(検討中)</li> <li>■ RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準</li> </ul>
Li		○			○		-	±	++	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ EUバッテリー規則案(検討中)</li> <li>■ RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準</li> </ul>
C(Gr)		○			○		+	±	++	±	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ EUバッテリー規則案(検討中)</li> <li>■ RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準</li> </ul>
Si						○	±	±	-	±	(特になし)
Nd	○				○		-	±	-	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ISO23664</li> <li>■ RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準</li> </ul>
Dy	○				○		-	±	++	++	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ISO23664</li> <li>■ RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準</li> </ul>
PGM (Pt・Pd・Rh)			○	○	○		+	±	+	±	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準(Pt・Pdのみ)</li> </ul>

(注)需給予測: +:供給過剰(リサイクルの場合:増加)、-:供給不足(リサイクルの場合:減少)、±:現状維持(リサイクルの場合:現状維持もしくはリサイクル僅少)

(出所) JOGMEC「令和3年度カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源需給調査調査概要(三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社作成)」

# クリティカルマテリアルを取り巻く主要国の動向

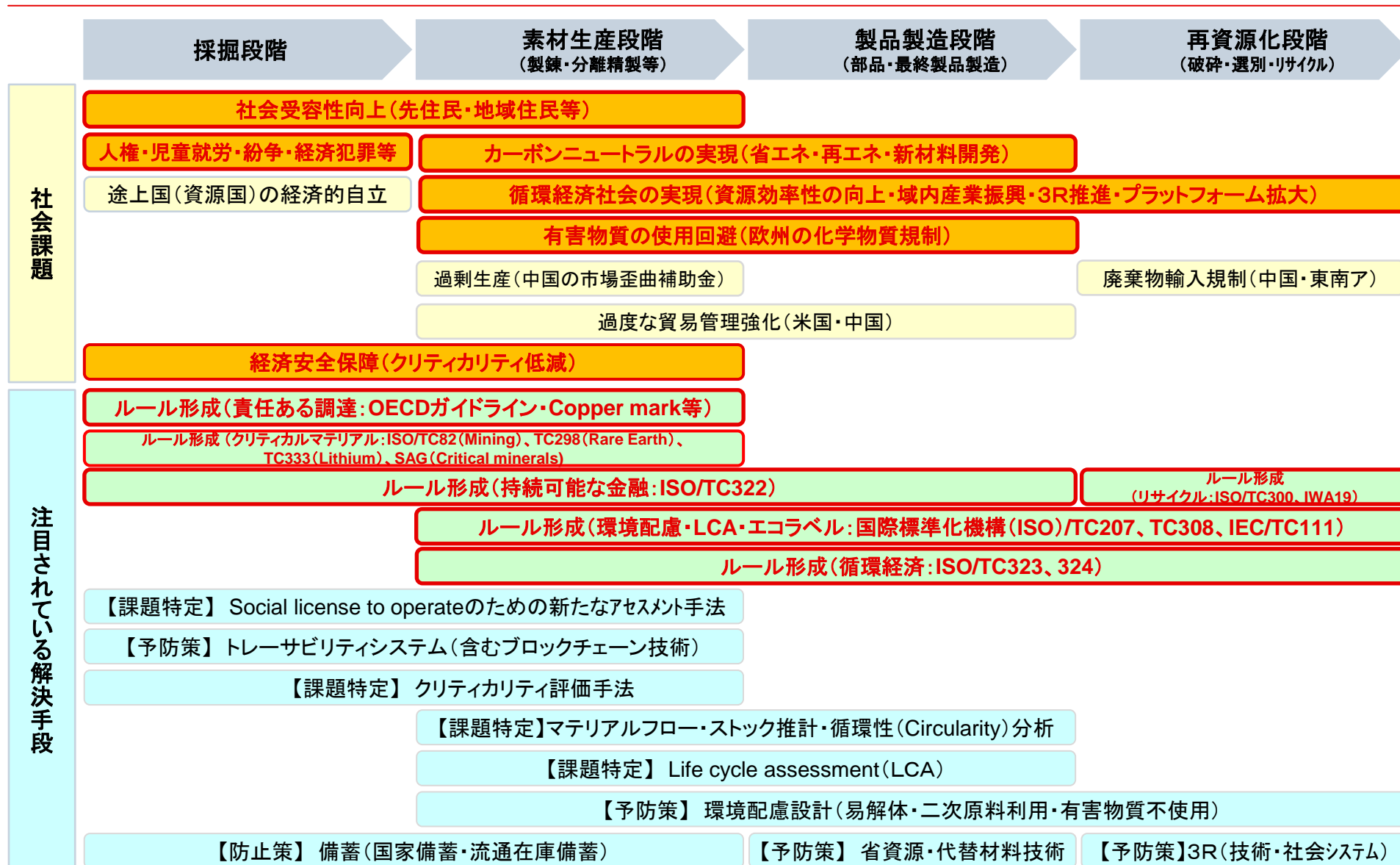
	中国	日本	欧州	米国	豪州	カナダ
カーボン・ニュートラル	<ul style="list-style-type: none"> <li>国家主席宣言</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050年カーボンニュートラル宣言</li> <li>グリーン成長戦略</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州グリーン・ディール (European Green Deal)</li> <li>希土類に関するLCAフレームワーク (REIA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アメリカン ジョブズプラン (American Jobs Plan)</li> <li>ISO/TC298 (希土類) (WG5 (持続可能性) 等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期排出削減計画 (2050年ネットゼロ宣言) (Australia's Long-Term Emissions Reduction Plan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>カナダ実質ゼロ排出説明責任法 (Climate accountability with first net-zero emissions law)</li> <li>ISO/TC207 (環境マネジメント)</li> </ul>
循環経済	<ul style="list-style-type: none"> <li>循環経済の発展に関する第14次5カ年計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>循環経済ビジョン2020</li> <li>サーキュラー・エコノミーに係るサステナブル・ファイナンス促進のための開示・対話ガイダンス</li> <li>ISO/TC324 (シェアリングエコノミー)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>循環経済行動計画 (Circular Economy Action Plan)</li> <li>欧州グリーン・ディール (European Green Deal)</li> <li>ISO/TC308 (加工・流通過程管理)</li> <li>ISO/TC323 (循環経済)</li> <li>IEC/TC111 (電気機器環境配慮)</li> <li>ISO/TC 207/SC 5/JWG 14 (二次材料)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国家リサイクル戦略 (National Recycling Strategy)</li> <li>ISO/TC298 (希土類) (WG5 (持続可能性) 等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>循環経済に関するロードマップ (National Circular Economy Roadmap)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>世界循環経済フォーラム2021 (World Circular Economy Forum 2021)を主催</li> </ul>
安全保障・貿易管理等	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国輸出管理法 (两用物質の輸出規制等)</li> <li>ISO/TC333 (リチウム)</li> <li>ISO/TC79/SC5 (マグネシウム)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>輸出貿易管理令等</li> <li>JOGMEC法改正 (機能拡張等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州原材料連合 (European Raw Materials Alliance)</li> <li>国際希土類工業協会 (REIA) への助成</li> <li>ISO/TC82 (鉱山)</li> <li>ISO/TC174 (宝石・貴金属)</li> <li>IEC/TC21 (二次電池)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国防権限法 (National Defence Authorization Act)</li> <li>バイ・アメリカン条項 (Buy American Provision) (政府調達制裁等)</li> <li>DOD/DOE連携による希土類産業への助成等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>ISO/SAG (重要鉱物)</b></li> <li>重要技術ブループリント (Blueprint for Critical Technologies)に関する行動計画</li> </ul>	
<p>米豪クリティカルマテリアル協力協定 (地質調査所)</p> <p>日米欧三極クリティカルマテリアル会合 (オーストラリア・カナダも議論に参加)</p>						
共通・その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO/TC298 (希土類)</li> </ul> <p>日中レアアース交流会議 (～2009年)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO/TC298 (希土類) (WG4 (試験及び分析))</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO/TC298 (希土類) (WG5 (持続可能性) 等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO/TC298 (希土類) (WG3 (トレーサビリティ、包装及び表示))</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO/TC298 (希土類) (WG3 (トレーサビリティ、包装及び表示))</li> </ul>

(注) DOD: 米国国防総省 DOE: 米国エネルギー省 ISO: 国際標準化機構 IEC: 国際電気標準機構 IWA: 国際ワークショップ協定 TC: 専門委員会 PC: プロジェクト委員会 SAG: 戦略的諮問グループ  
WG: 作業部会 REIA: 国際希土類工業協会

---

### III. 資源利用・循環のあり方を決める国際ルール形成動向

# 資源利用・循環のあり方を決める主な国際ルール



# ルールの種類

- 強制力のあるルール(ハードロー)として法令、自主的なルール(ソフトロー)として国際標準、ガイドライン等がある。

## ハードロー

## ソフトロー

### 制定者

#### ■ 国家等

- 憲法: 国民・議会
- 上位法令(法律): 議会
- 下位法令(命令): 行政府(省庁)

#### ■ 民間団体など

- 国際標準(規格) (ISO、IECなど)
- 指針・ガイドライン等(OECDなど)
- 国内標準・業界標準(規格) (JISなど)

### 強制力

#### ■ ある

- 当該国家権力に基づく強制力がある
- 遵守しない場合には罰則がある

#### ■ (原則として)ない

- 法令で引用されると間接的な強制力
- 取引相手がこれに従うことを要求する場合、ビジネス上従わざるを得ない

### 民間企業の関わり方

#### ■ 直接は関与できない

- 議員や政府職員に対するロビイング、陳情、(有識者やシンクタンク等を通じた)政策提言を行う

#### ■ 団体等への入会で形成に関与できる

- 国際標準は、国内審議団体(業界団体)に入会することで、委員資格を得ることができるようになる

# 企業における標準化戦略

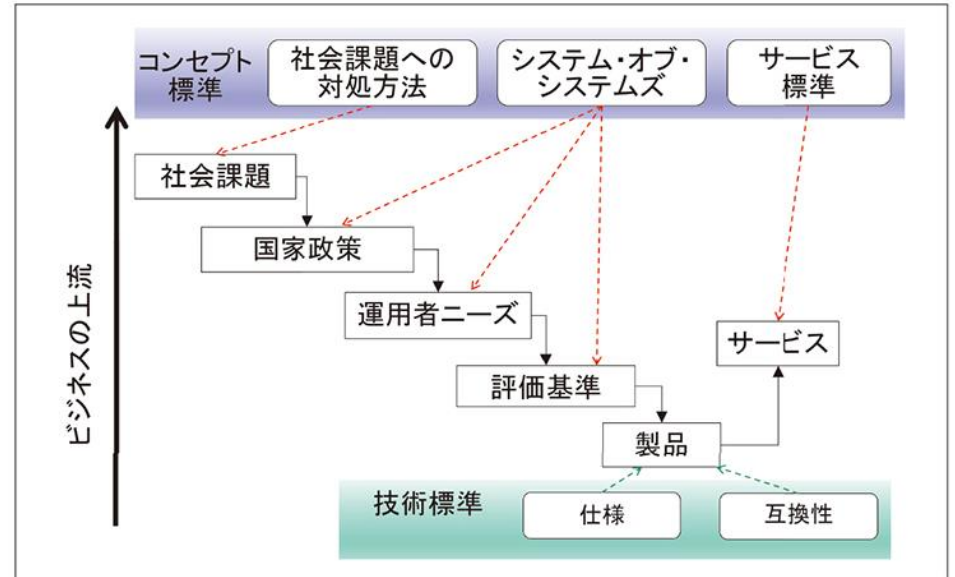
- 古典的な国際標準化は、公共の福祉につながるためのルール(規格)として作られてきたが、最近は特定国家、産業、企業の **市場競争を優位に進めるためのルールづくり** へと性質が変わりつつある。特に社会課題への対処方法等を規定しようとする抽象的概念の国際標準化が注目されている(例:循環経済)
- 国際貿易機構(WTO)協定のうち、「貿易の技術的障害に関する協定(TBT協定)」は、工業製品等の各国の規格及び規格への適合性評価手続き(規格・基準認証制度)が不必要な貿易障害とならないよう、国際規格を基礎とした国内規格策定の原則、規格作成の透明性の確保を要求している。
- 代表的な国際標準化には、国際標準化機構(ISO)と国際電気標準機構(IEC)がある。

## 戦略的標準化の主な類型

標準化の類型	概要・特徴	標準と特許の組み合わせ(典型例)	具体的事例
(A) 製品の仕様の標準化	<ul style="list-style-type: none"> <li>製品の仕様(フォーマット)を標準化</li> <li>製品普及による市場拡大を実現しつつ、標準必須特許によるライセンス収入増</li> </ul>	自社特許を含めて標準化 <b>標準</b> + <b>特許</b> パテントコントロール	① Blu-ray Disc (パナソニック・ソニー他)
(B) インターフェイス部分の仕様の標準化	<ul style="list-style-type: none"> <li>他社製品とのインターフェイス部分の仕様を標準化</li> <li>相互接続確保による市場拡大を実現しつつ、コア技術のクローズ化により価格低下抑制</li> </ul>	自社特許等の周辺を標準化 <b>標準</b> + <b>特許等</b> <b>標準</b>	② QRコード(デンソー) ③ デジタルカメラのファイルシステム(キヤノン)
(C) 性能基準・評価方法の標準化	<ul style="list-style-type: none"> <li>自社製品・技術でなければ実現できない水準やその評価方法を標準化</li> <li>自社製品の差別化による市場創出・獲得を実現</li> </ul>	自社特許等を含む製品の評価方法を標準化 <b>特許等</b> + <b>評価標準</b>	④ 水晶デバイス(日本水晶デバイス工業会) ⑤ 金属と樹脂の接合技術(大成プラス)

(出所) NEDO「標準化マネジメントガイドライン(平成31(2019)年1月30日) (<https://www.nedo.go.jp/content/100890502.pdf>)」

## ルール形成のターゲット領域としてのコンセプト標準



(出所) 市川芳明「ビジネスの基本ルールは自分で作れー第1回:ビジネスエコシステムとルール形成 (<https://www.isosms.info/page/96>)」

# 持続可能性に関する国際ルール形成ー ISO/TC207:環境マネジメント

- 事業者自らの排出だけでなく、事業活動に関係するあらゆる排出を合計した排出量を「サプライチェーン排出量」と言い、原材料調達・製造・物流・販売・廃棄など、一連の流れ全体から発生する温室効果ガス排出量を指す。
- 自社以外における排出量の算定も求められるようになってきている(サプライヤー、ユーザーの情報開示、協力が不可欠)。
- サプライチェーン排出量=Scope1排出量+Scope2排出量+Scope3排出量
  - Scope1:事業者自らによる温室効果ガスの直接排出(燃料の燃焼、工業プロセス)
  - Scope2:他社から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出
  - **Scope3: Scope1、Scope2以外の間接排出(事業者の活動に関連する他社の排出)**

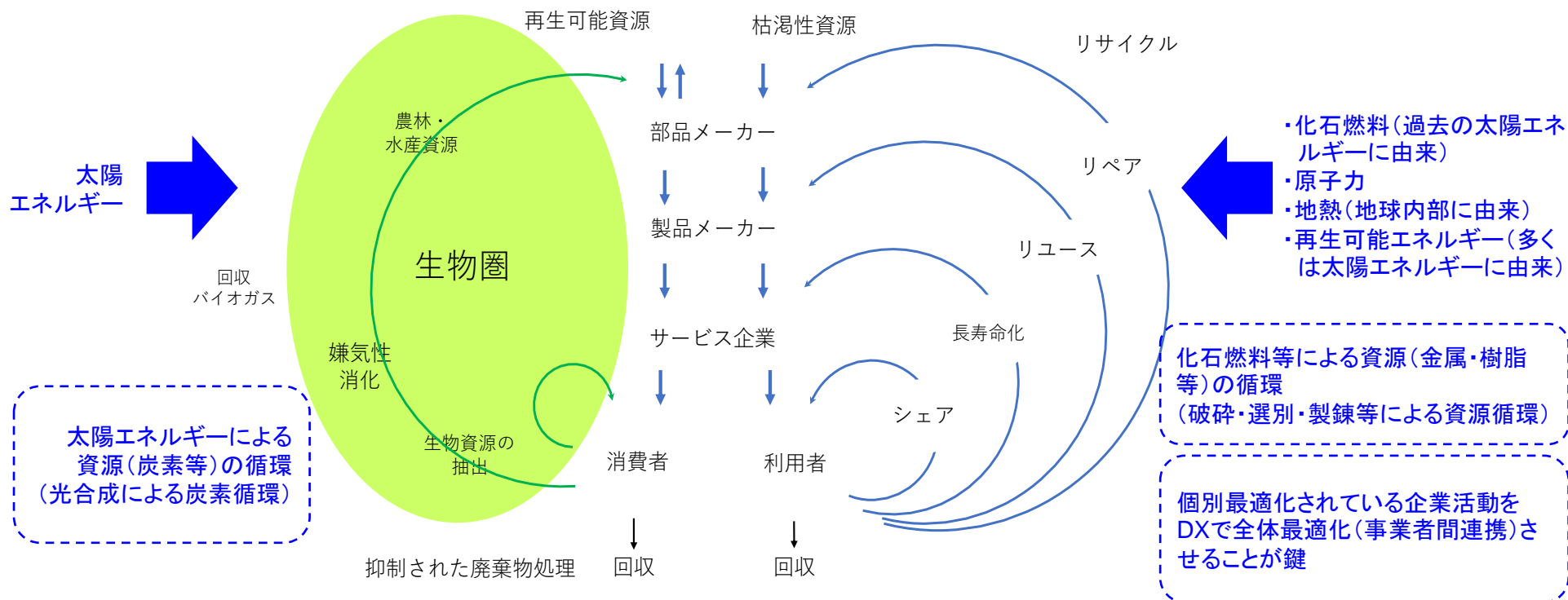


(出所)グリーン・バリューチェーンプラットフォーム(環境省・経済産業省)([https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply\\_chain/gvc/supply\\_chain.html](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/supply_chain.html))



# 持続可能性に関する国際ルール形成ー カーボンニュートリティと循環経済は表裏一体

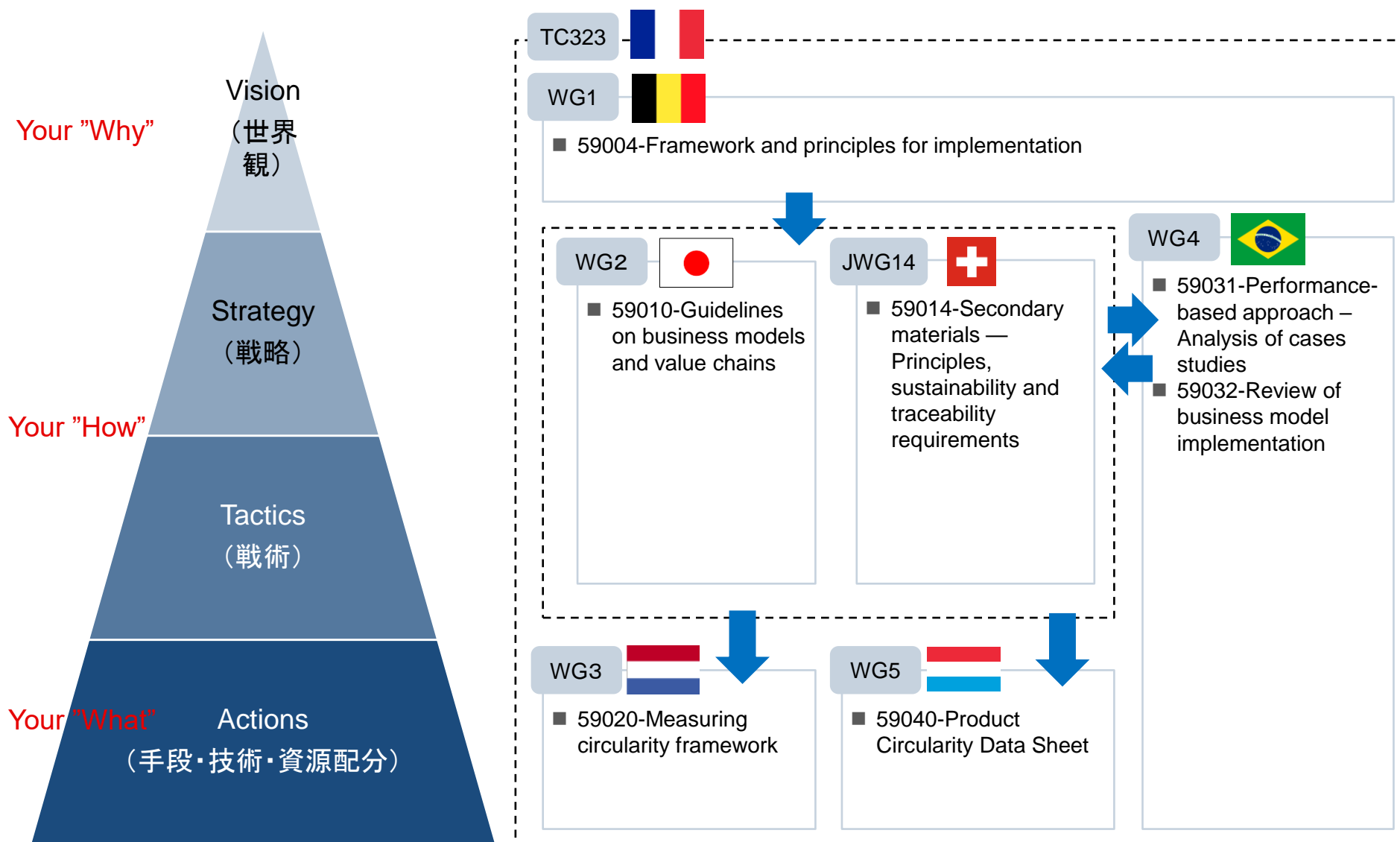
- 循環経済の本質は、カーボンニュートリティと重なり、資源・エネルギー利用の効率化である。この資源・エネルギー利用の効率化から新たな付加価値を生み出そうとするのが循環経済型ビジネスである。
- カーボンニュートリティに資する循環経済型ビジネスを目指すべきである(DXによる連動)。
- 循環経済型ビジネスモデルの具体化が各社の課題である。これらの具体化を支援し、そこで必要とされるツールの整備を行うことが今後求められる。



(出所) Ellen MacArthur 財団資料を参考に中村崇作成



# 持続可能性に関する国際ルール形成ー ISO/TC323:循環経済

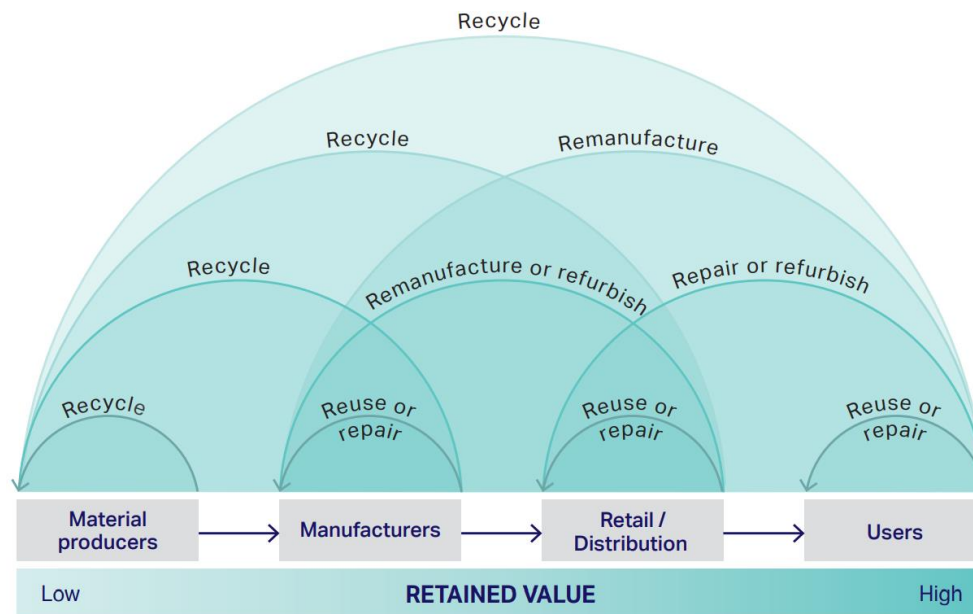


# 持続可能性に関する国際ルール形成ー WBCSD: 重要鉱物の循環性評価



## CIRCULAR TRANSITION INDICATORS V2.0

Metrics for business, by business



$$\% \text{ critical material} = \frac{\text{mass of inflow defined as critical}}{\text{total mass of linear inflow}} \times 100\%$$

## 資源利用に関するルール形成ー 主要制度と主な重要鉱物との関係性

- 鉱物の「責任ある調達」が求められる鉱種は、3TGだけに留まらず、CN関連鉱種にまで拡大しており、関連する鉱種を取り扱う日本の事業者はEUを中心とする様々な取り組みを注意深く追う必要がある。
- ハードローとして**規制の対象企業**に含まれる場合には、**鉱物原料のサプライチェーンDDの実施が要請**されるため、特に注意が必要。例えば法制化されていなくとも、**認証スキームや基準**が策定されるなどして**DDの実施が期待**されている。
- EUで審議中の**バッテリー規則案**では、Co、Li、Ni、C(Gr)を対象に、サプライチェーンDDの実施を事業者に求めており、EU市場に流通する産業用バッテリー及び電気自動車用バッテリー(2kWh以上)を取り扱う**日本企業は、DDの実施要求を満たす必要があると想定**。
- LMEでは、日本企業を含む登録ブランドに対して「責任ある調達」要件を満たすよう求めており、そうでなければLMEでの取引が難しくなる可能性があることから、実質的には強制力のある制度と考えられる。

	Sn	Ta	W	Au	Co	Li	Ni	C(Gr)	Cu	REE
米国ドッド・フランク法	●	●	●	●						
EU紛争鉱物規則	●	●	●	●						
EUバッテリー規則案					○	○	○	○		
LME責任ある調達制度	●				●		●		●	
Copper Mark認証制度									●	
ISO23664										●
RMI鉱物サプライチェーンのためのDD基準	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

(出所) JOGMEC「令和3年度カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源需給調査調査概要(三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社作成)」

● 制定済み

○ 議論中

## クリティカルマテリアルに関する包括的なルール形成ー ISO/SAGの設置

- クリティカルマテリアルに関するISO戦略的諮問グループが2021年7月に設立された(TMB決議26/2021)
- 豪州規格協会(SA)からの提案、及び提示された改訂された委任事項に留意し、重要な鉱物に関する新しいISO戦略諮問グループ(SAG)を設立した。クリティカルマテリアル等に関する各TCに潜在的な影響力を発揮することが見込まれている。2022年5月に報告書を取りまとめ、もう1年ほど審議が延長される予定である。
- 国内では鉱物資源課が中心となり、JOGMECに事務局を設置して対応を行っている(日本からは筆者がエキスパートとして出席)。

### ■ 任務

- 最初の抽出(原材料の採掘と生産)の時点から、重要な鉱物の分野での既存及び潜在的な標準化業務の分析及び前駆体物質までの処理ステップに取り組む；
- この点に関してTMBに推奨事項を出す。

### ■ 期待される成果：

- SAG業務の目的のための重要な鉱物の分類のための一連のパラメータ(重要な鉱物の定義は、国によって、国の目的、鉱物の使用法、及び資源の埋蔵量によって変わることを認識している)；
- 以下を特定する分析：
  - 既存のISO専門委員会によって開発している又は過去開発された重要な鉱物の分野に関連する規格及びその他文書。
  - 重要な鉱物の分野に関連する既存のISO専門委員会の現在の業務における相乗効果、及び重複が存在するISO委員会間で調整又は協力する機会の検討。
  - 既存のISO委員会では現在は取組まれていない標準化にとって重要な領域。
- 既存のISO委員会、新しい専門委員会、及び進行中の調整メカニズムの検討を含む、重要な鉱物の分野に関連する規格の開発に着手するための構造についての推奨事項。
- 短期的に着手され、当面の優先事項として進められるべき新業務の優先順位リスト。

## クリティカルマテリアルに関する包括的なルール形成ー ISO/SAGの設置

### ■ 参加者：

#### ● TMB枠

- 8 (米ANSI、仏AFNOR、英BSI、独DIN、露GOST R、中SAC、豪SA、加SCCのTMBメンバーが指名)

#### ● 非TMB枠

- 4 (TMBメンバーを出していないISO会員が指名。TMBへの関心表明)

#### ● SMB枠

- 2 (SMBメンバーが指名)

#### ● TC/SC枠 (議長国、TC国際幹事国、日本の参加地位と対応する国内審議団体)

- 1 x ISO/TC 298 レアアース の代表 (中国、中国、P-新金属協会)
- 1 x ISO/TC 79 軽金属及び同合金 の代表 (仏、仏、P-日本アルミニウム協会)
- 1 x ISO/TC 82 鉱山の代表 (独、独、O-資源・素材学会)
- 1 x ISO/TC 132 フェロアロイ の代表 (中、中、P-日本フェロアロイ協会)
- 1 x ISO/TC 25 鋳鉄及び鋳鉄 の代表 (英、英、P-日本鋳造協会)
- 1 x ISO/TC 79/SC 5 マグネシウム及びマグネシウム合金 の代表 (中、中、P-日本マグネシウム協会)
- 1 x ISO/TC 79/SC 11 チタンの代表 (日、日、P-日本チタン協会)
- 1 x ISO/TC 333 リチウムの代表 (中、中、電池サプライチェーン協議会)
- 1 x IEC/TC 21 蓄電池 の代表 (スイス、仏、P-電池工業会)
- 1 x ISO/TC 26 銅及び銅合金 の代表 (中、中、P-日本伸銅協会)
- 1 x ISO/TC 79/SC 12 アルミ鉱石 の代表 (中、中、P-日本アルミニウム協会)
- 1 x ISO/TC 207 環境管理 の代表 (加、加・コロンビア、P-日本規格協会・産業環境管理協会)
- 1 x ISO/TC 323 循環型経済 の代表 (仏、仏、P-日本規格協会・産業環境管理協会 (循環経済協会))



# トレーサビリティシステムー「情報宣言」における物質と情報の連動

- 素材レベルのトレーサビリティシステムを構築しようとする場合、情報と物質との連動は、以下のような方法で行う必要がある。個別確認方式が完全ではあるが、一方で管理コストが高くなるという問題がある。
- マスバランス法のような情報追跡方法が確立されれば、自社の天然資源の投入比率を下げていくため二次原料を更に利用する可能性が広がるという事業者の声もすでに存在しており、使用済み製品や素材の種別に応じてそれぞれ最適な「情物一致」の実証を行うことができれば、静脈分野のトレーサビリティにおける重要な進展となる。

情報(履歴)管理・追跡の方法 (Chain of custodyの方法)	イメージ図	概要	金属製錬・合金製造で導入される場合の事業者からみた課題
個別確認方式	 <p>INDENTITY PRESERVATION</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 供給源ごとに製品を生産(供給源ごとに物理的な分離が確保される)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 供給源ごとにロット管理をする必要があるため、供給源が多様な場合には<b>生産効率が低下、コストの増加</b>につながる可能性</li> </ul>
分離方式	 <p>SEGREGATION</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 同一原産品又は同一の特性を持つ原料(再生原料等)ごとに製品を生産</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 原産地や特性ごとにロット管理をする必要があるため、<b>生産効率が低下、コストの増加</b>につながる可能性</li> </ul>
マスバランス方式	 <p>MASS BALANCE</p> <p>IN PROCESS OUT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ある特性(原産地含む)を持つ原料の投入量(の比)に応じて、製品の一部にその特性を割り当てる方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 供給源や種別の<b>原料の調合比率に関する情報の伝達・開示</b>が求められる可能性(機密情報の漏洩)</li> </ul>

正確さ

経済性

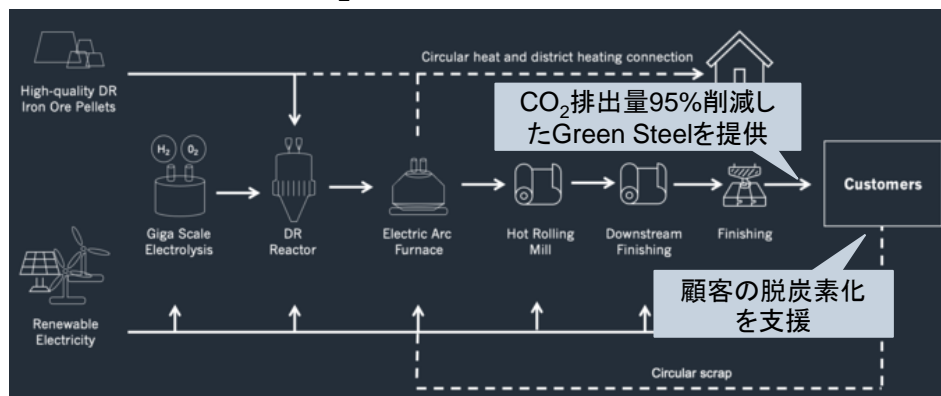
(出所) Ellen MacArthur Foundation, ENABLING A CIRCULAR ECONOMY FOR CHEMICALS WITH THE MASS BALANCE APPROACH

# トレーサビリティシステムー 情報連携による付加価値の創出

- 技術開発・実装や、他の事業者との連携により、これまでにはない付加価値を生み出すことによって、収益の向上につなげていく必要が高まっている。

## H2green steel (H2GS) 社によるGreen Steelの製造

- 鉄の還元工程でコークスの代わりに水素を使用し、CO<sub>2</sub>排出量を95%削減。水素は再生可能エネルギー等で製造
- スウェーデン北部に2024年までに工場を建設し、2030年までに年間500万トンの鉄鋼を製造することを標榜
- 技術開発により、CO<sub>2</sub>排出量の削減効果を価値として提供

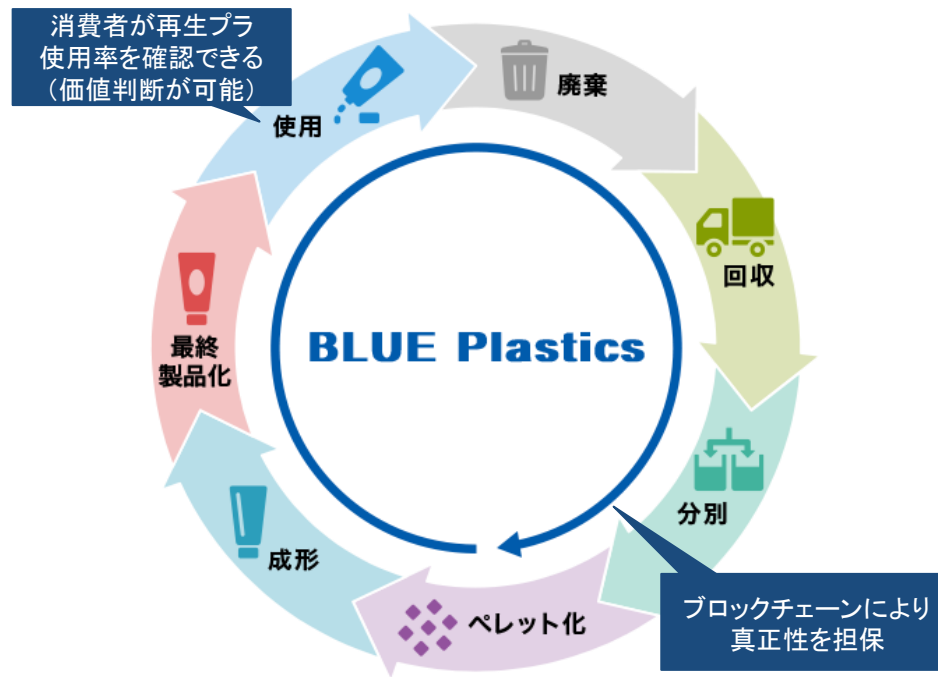


Mercedes-Benz AG	H2GSに出資。2025年より同社より調達予定
BMW Group	2025年以降、H2GS社より調達を行うことに合意
Schaeffler	2025年以降、H2GS社より年間10万トン調達予定

(出所) H2green steelウェブサイト (<https://www.h2greensteel.com/articles/on-course-for-large-scale-production-from-2025>) 及び各種資料をもとに循環経済協会加筆・作成

## 旭化成社によるBLUE Plasticsの取り組み

- 再生プラスチックの資源循環を可視化するプラットフォーム
- ブロックチェーンの技術を活用して、再生プラスチックであることを証明。消費者が手に取った製品がどのくらい再生資源由来であるか判別できるようにするという付加価値を提供し、消費者の行動変容を促しながら、リサイクルチェーンを構築



(出所) 旭化成ウェブサイト (<https://www.plastictraceability.com/>) をもとに循環経済協会加筆・作成

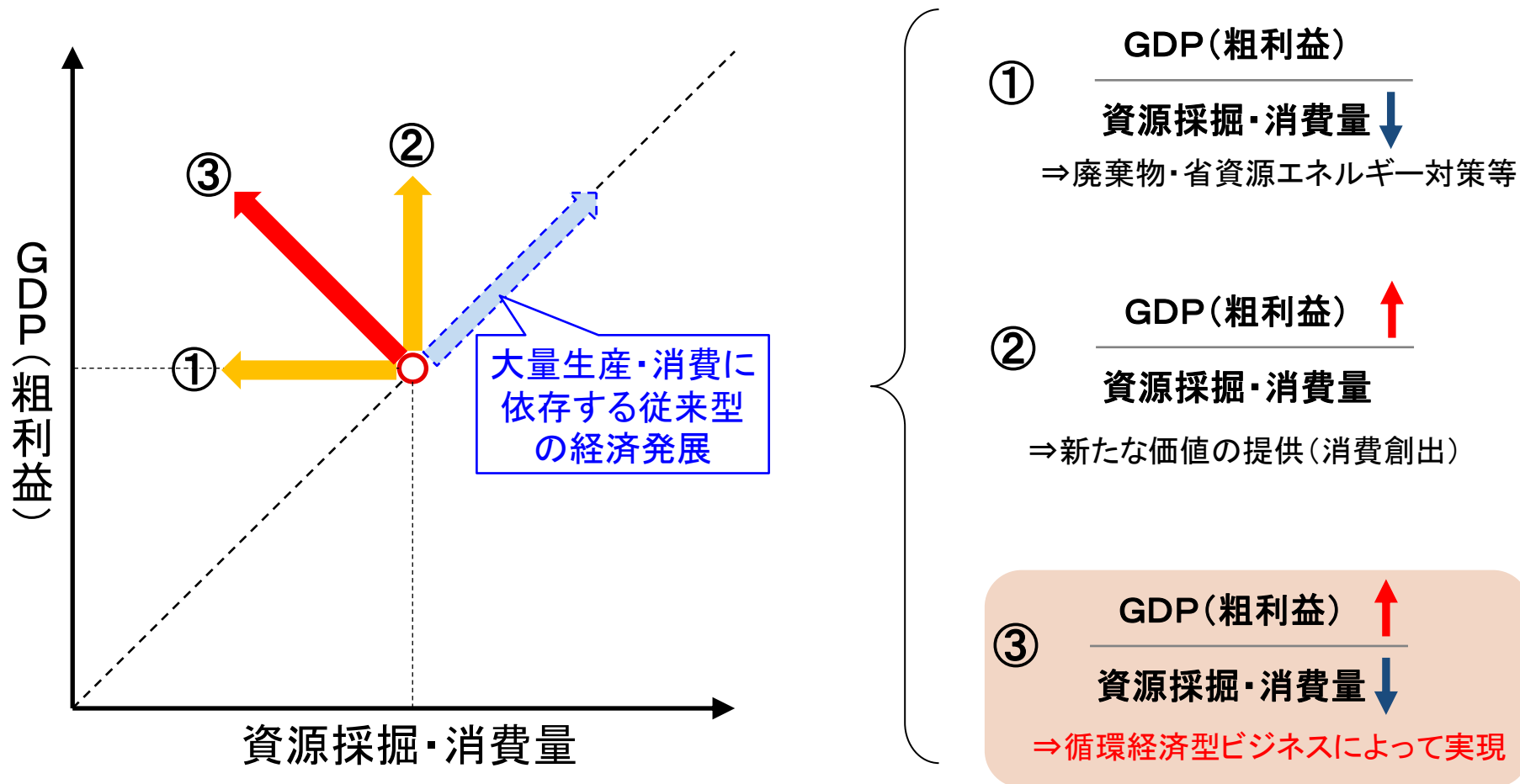
---

### III. 経済安全保障と持続可能性を両立する 循環経済型ビジネスのあり方



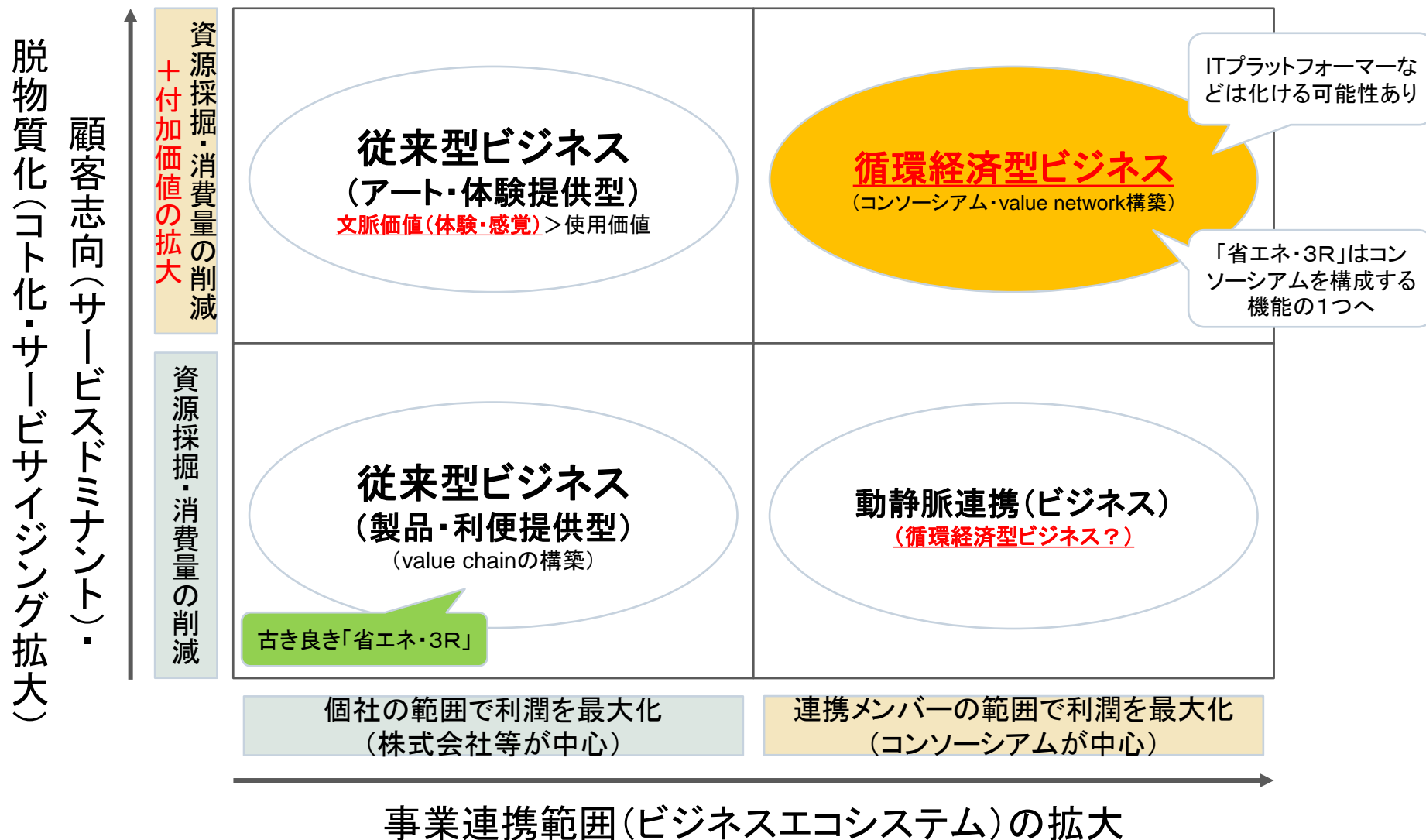
# 循環経済の実現に貢献する循環経済型ビジネスモデル

資源採掘・消費量の削減(①)と、資源消費に依存しない消費拡大(②)の両方を同時に進める(③)ことが求められる(3Rだけ進めても経済は縮小するかもしれない)



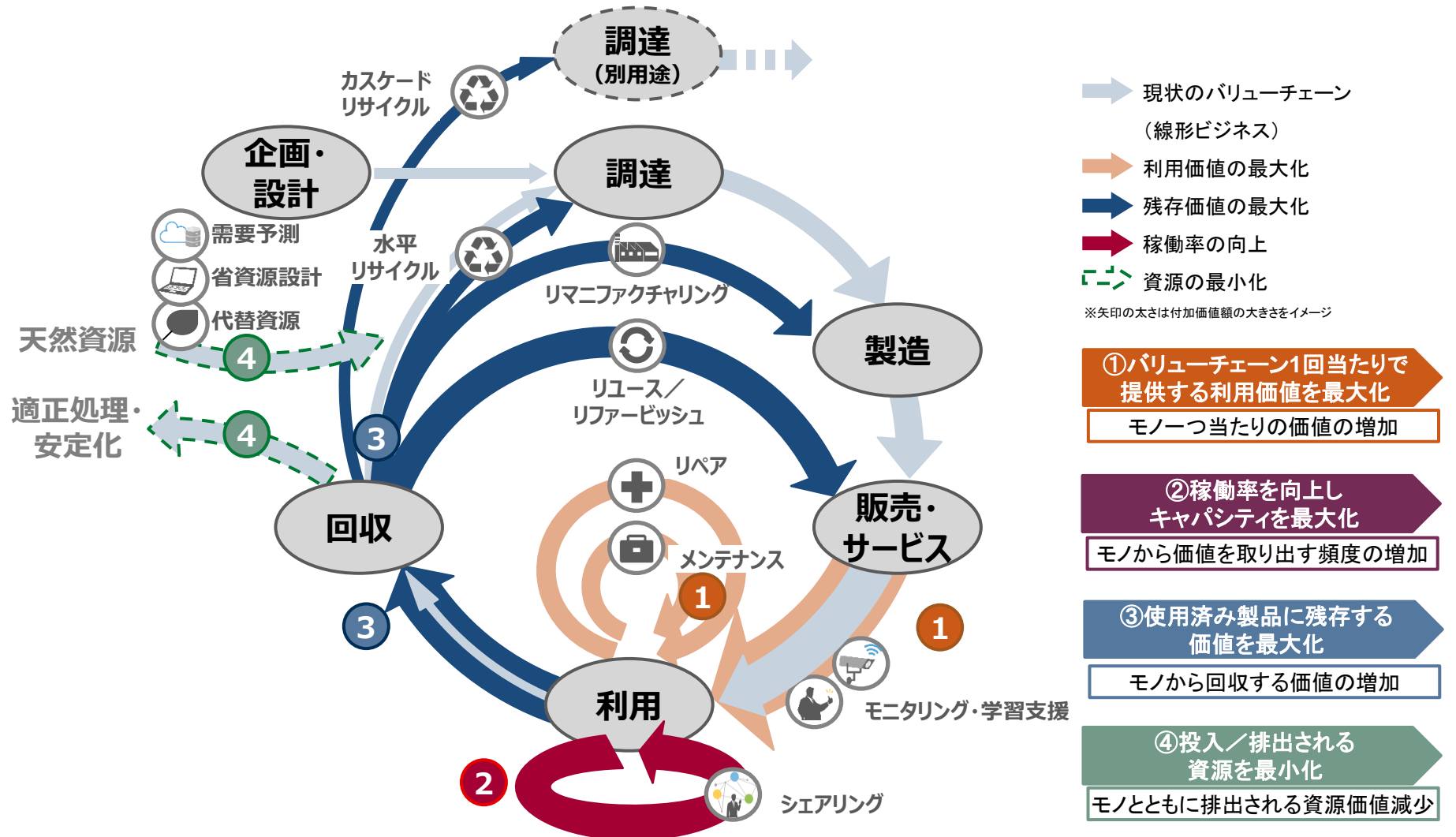
(出所) 筆者作成

# ライフサイクル管理のためには事業者間連携が必須



(出所) 筆者作成 (注) 3R: Reduce(廃棄物の発生抑制)、Reuse(繰り返し使う(再使用))、Recycle(リサイクル)の頭文字をとったもの

# 循環経済型ビジネスの全体像(ビジネスモデルの戦略要素)



(出所) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社作成

# 循環経済型ビジネスの実現に向けた課題検討(具体例)

- 素材別・製品別・立地環境別に多様な循環経済型ビジネスが成立しうる(次項以降に例示)。このように循環経済型ビジネスを具体化し、今後直面する課題と解決策の整理・検討を進める必要がある。

## 循環経済型ビジネスの事例

## 今後直面する可能性がある課題(一例)

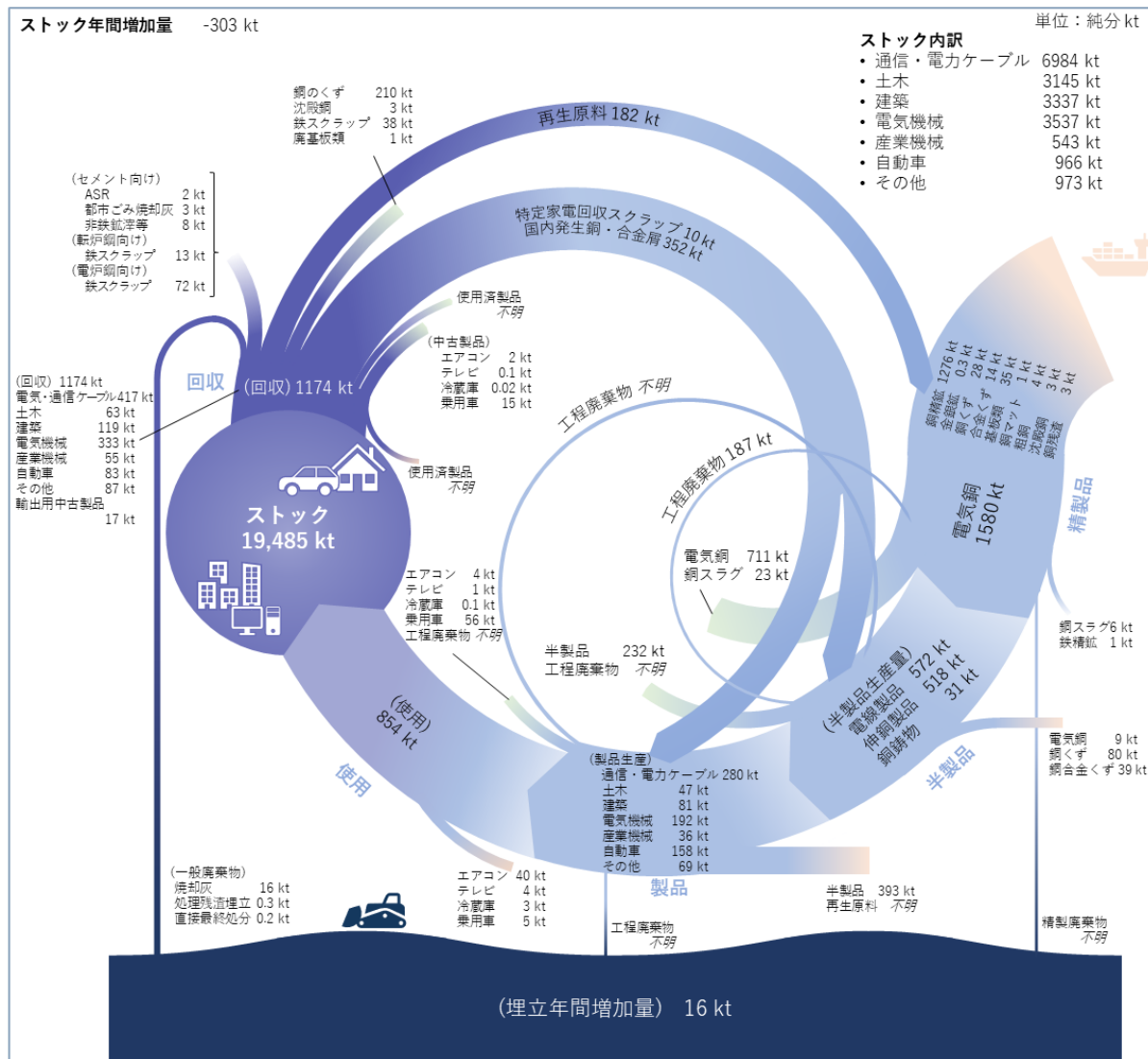
	対象	概要	CEアプローチ	全体共通	
素材別	樹脂	(イメージA) 樹脂のケミカル・マテリアル・(適正処理としての)サーマルリサイクルを念頭に置いた循環経済型ビジネス群	① ② ③ ④	<b>1</b> バリューチェーン1回当たりで提供する利用価値を最大化  <b>2</b> 稼働率を向上しキャパシティを最大化  <b>3</b> 使用済み製品に残存する価値を最大化  <b>4</b> 投入／排出される資源を最小化	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 利用から調達までのトレーサビリティシステムの構築 (静脈産業における品質管理向上・原産地証明を目的)</li> <li>■ 製造から回収までのモニタリングシステムの構築 (回収率や稼働率・利便性向上を目的)</li> </ul>
	銅	(イメージB) 銅の資源循環を念頭に置いた循環経済型ビジネス群	① ② ③ ④		
製品別	LIB	(イメージC) LIBの循環利用・適切な資源循環を念頭に置いた循環経済型ビジネス群	① ② ③ ④		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ サブスクリプションによる脱炭素・高循環性製品・サービスの提供</li> <li>■ 発生源別ロット管理システムの導入</li> <li>■ 高度破碎・選別技術の開発・導入</li> <li>■ (コンソーシアム等における)スクラップ品質規格導入</li> </ul>
立地環境別	地域の建築物	(イメージD) 地域内での建築物の利用価値向上・適切なストック管理を念頭に置いた循環経済型ビジネス群	① ② ③ ④		

# 資源流通の可視化(都市鉱山の探査事業としてのマテリアルフロー・ストック推計)

Cuのストック及びマテリアルフロー

## 推計結果からの考察

- 日本国内の銅のストック量は2015年時点で**純分で約1,949万t**であり、ストック量は**約23万t/年で減少**していると推計された。
- 使用済み製品に含まれる銅量が純分で約115.7万t/年であり、**一般廃棄物として埋め立てられている量は約1.6万t/年、そのほかに再利用されていない銅は約30.5万t/年**であると推計された。
- 「再利用されていない銅」には、本調査において推計できていないユーザ保有の使用済み製品(市中ストックの一部)及び産業廃棄物中の銅分(埋立地におけるストック)も含まれる。
- 精製や半製品の製造では埋め立てられる工程廃棄物は発生しないものとして推計しており、最終製品の製造における行程廃棄物も推計はできていない。なお、最終製品の製造における半製品の投入量と最終製品中の量の差(歩留まりによる差)は26.5万t/年と推計された。

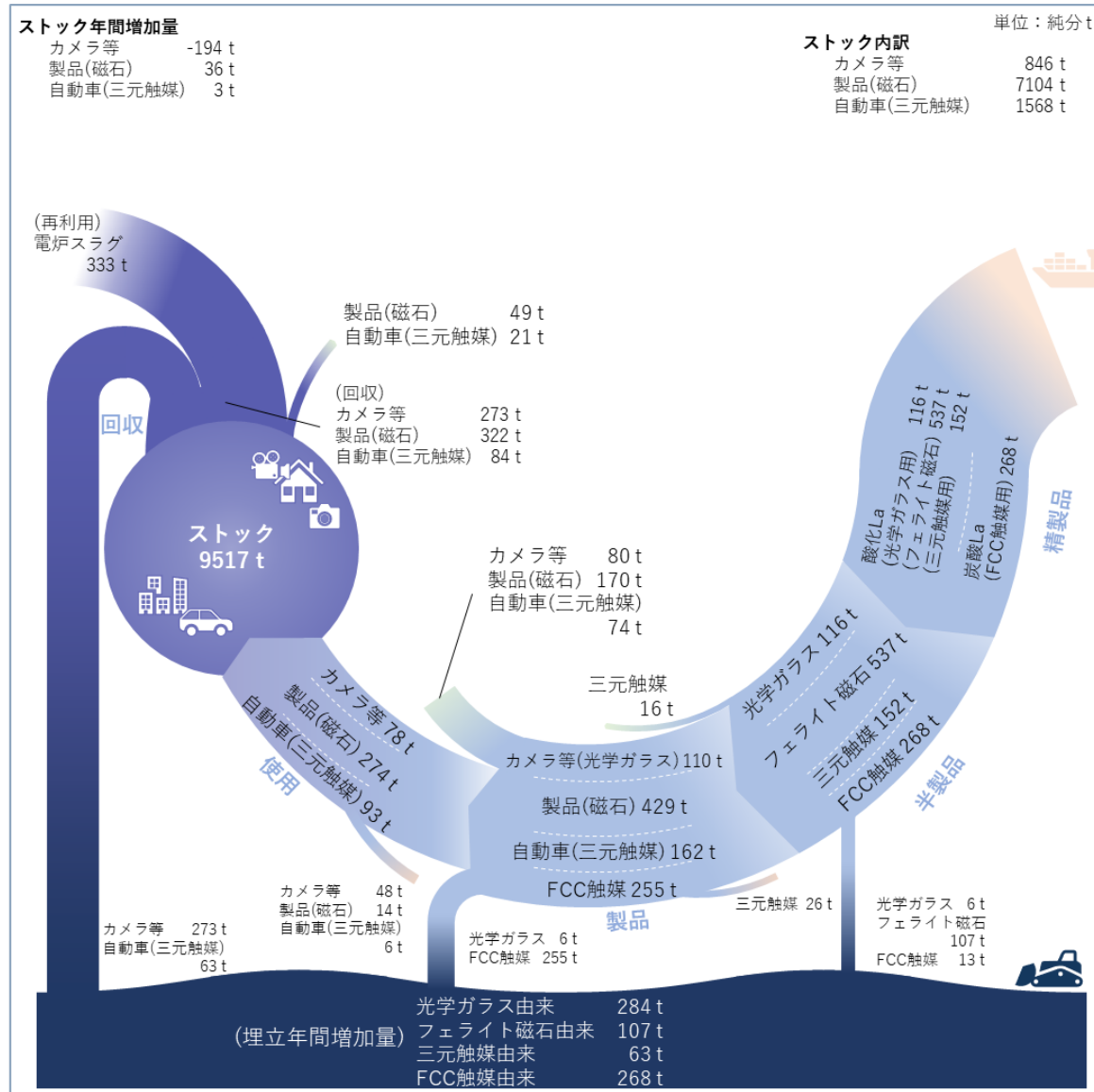


# 資源流通の可視化(都市鉱山の探査事業としてのマテリアルフロー・ストック推計)

REE(La)のストック及びマテリアルフロー(2020年)

## 推計結果からの考察

- Laは本推計対象製品に対して**純分換算で約1,073t/年投入**されている。しかし、リサイクルは行われておらず、**2020年は約722tが廃棄され、埋立にストックされると推計された。**
- 埋立にストックされるLa廃棄量は、用途別に**FCC触媒、光学ガラス、フェライト磁石(工程発生由来)、三元触媒の順に多い結果**となった。
- フェライト磁石は回収されているものの、鉄源として電炉に投入されていると考えられる。電炉に投入されたLaは、電炉スラグを経て、最終的に路盤材としてリサイクルされているとみられる。本推計では、**約333tのLaがその機能を発現させずに散逸**されていると推計された。
- 電炉に投入されているフェライト磁石をリサイクルすることができれば、現在の需要の約三分の一を賄うことも可能である。ただし、今後、**家電向けのフェライト磁石需要は年々減少傾向**にあるため、回収量も今後減少傾向になるとみられる。



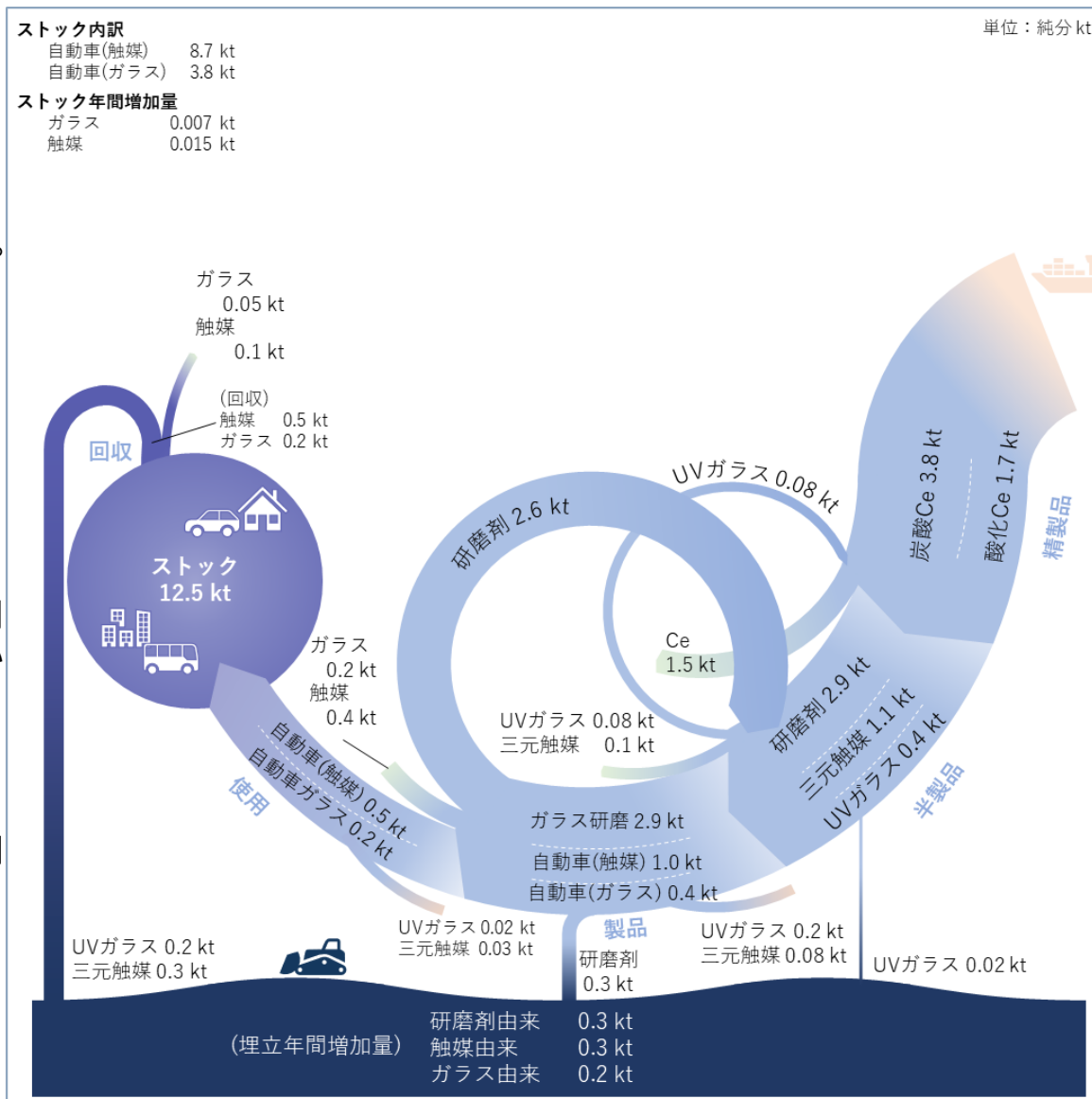


# 資源流通の可視化(都市鉱山の探査事業としてのマテリアルフロー・ストック推計)

REE(Ce)のストック及びマテリアルフロー(2020年)

## 推計結果からの考察

- 日本国内で**製品に投入されるCe量は純分換算で約4350t/年**に対し、**ストック量は約12,500t**、Ceとして有効にリサイクルされず**埋め立てに回る量は約800t/年**となっている。
- 埋立に回る量のうち、**使用済み製品由来の量が約480t/年**、**工程廃棄物由来が約310t/年**である。
- 研磨剤用途のCeは多くが再利用されているが、その他の用途でのリサイクルはあまり進んでいない。
- また、再利用が進んでいるものの、研磨剤用途に投入されるCe量は他用途に比べて多いため、工程廃棄物量に占める割合は大きい(工程廃棄物由来の埋め立て量約310tのうち約290tは研磨剤由来)。
- Ceは精製品(酸化Ce/炭酸Ce)として再利用することが技術的・経済的に難しいため、研磨剤のガラス製造時の回収率のさらなる向上や、自動車窓ガラスのリサイクルを進め、**マテリアルリサイクルを促進**していくことがリサイクル量増加につながると考えられる。





# 資源流通の可視化(都市鉱山の探査事業としてのマテリアルフロー・ストック推計)

REE(Nd)のストック及びマテリアルフロー(2020年)

## 推計結果からの考察

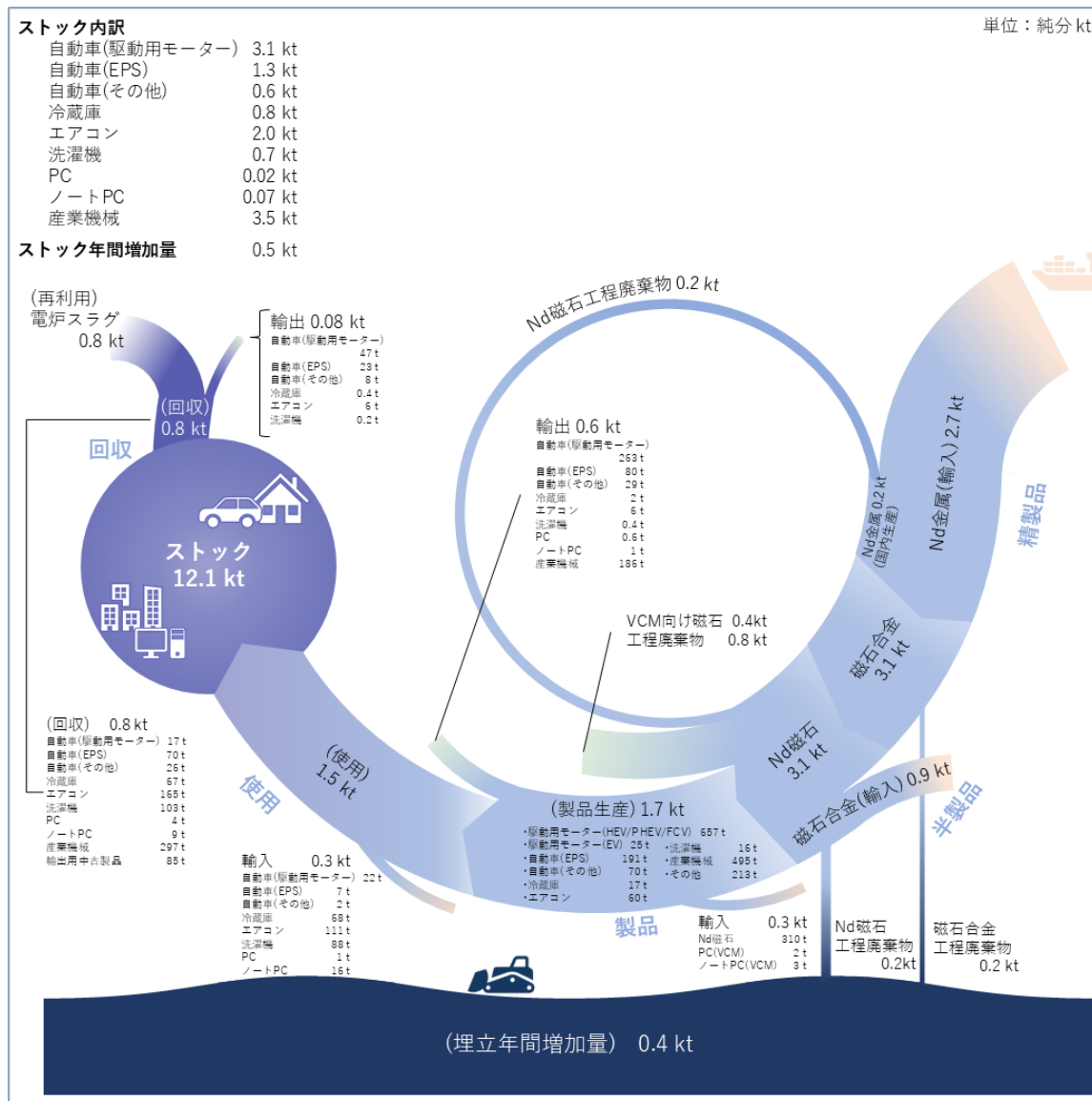
■ 日本国内で**製品に投入されるNd量は純分換算で約1,743t/年**(歩留りを含むNdFeB磁石需要としては2,982t/年)であるのに対して、**ストック量は約12,000t**に達する。

■ ストックは**正味量で約466t/年増加**しており、今後も次世代自動車や洋上風力の普及に伴い、増加していくと予測される。

■ 一方、**Ndとして有効にリサイクルされていない量は約757t/年**に達する。

■ Ndは使用済製品として回収されているものの、選別されないことから電炉スラグ等として排出・散逸されているとみられる。これをリサイクルできれば**国内で製品に投入されるNd需要の約43.5%(歩留り含む需要の約26.1%)を供給**できると考えられる。

■ 後述するように、現状排出されている散逸分の約半分は家電であるが、今後は自動車の増加も予測される。適切なNdFeB磁石のリサイクルが求められるが、現在**国内でのREE金属の生産はほぼ行われておらず、リサイクルのインフラ整備も並行して進める必要がある**。

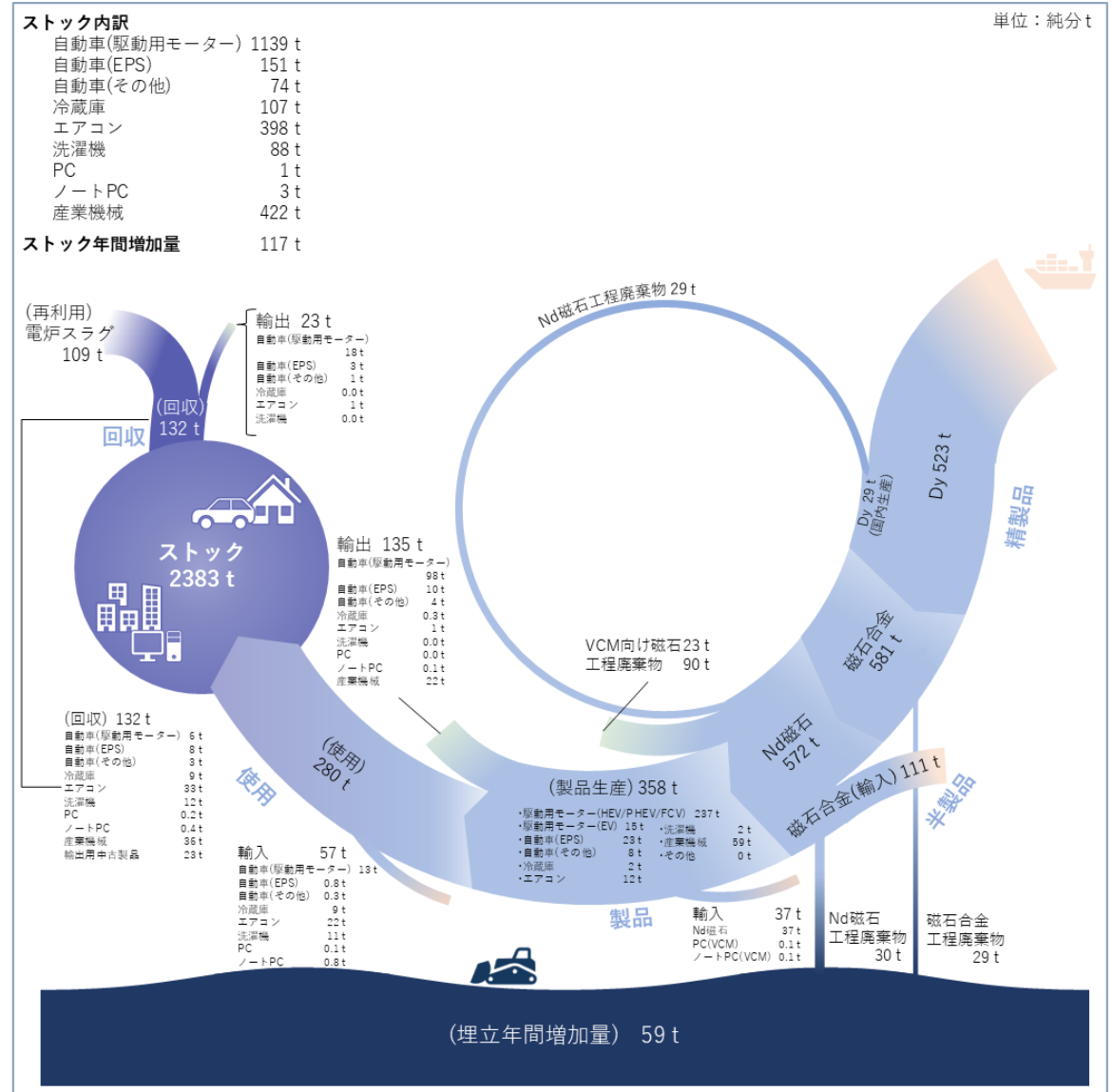


# 資源流通の可視化(都市鉱山の探査事業としてのマテリアルフロー・ストック推計)

REE(Dy)のストック及びマテリアルフロー(2020年)

## 推計結果からの考察

- 日本国内で**製品に投入されるDy量は純分換算で約358t/年**(歩留りを含むNdFeB磁石需要としては597t/年)と算出された。Dyの国内需要に関する統計はないが、既存の民間推計等とも概ね近い推計値である。
- これに対して、**ストック量は約2,383t**であり、**正味量で約117t/年増加**している。重希土を使わないNdFeB磁石の開発も進められているが、当面はNd同様に需要増加が予測され、ストック量も増加が見込まれる。
- 一方、**Dyとして有効にリサイクルされていない量は約109t/年**と算出された。製品として回収されても、Dyとしてリサイクルされないという課題はNdと同様である。
- Dyの場合には、Ndと比較して**次世代自動車向けの用途で原単位が大きい**ことから、今後は排出量がNd以上に増加することも見込まれる。
- 重希土の供給源は現状ではほぼ中国に限られており、特に供給リスクの高いDyに関しては、リサイクルの促進によって国内調達率を高める優先度が高いと考えられる。



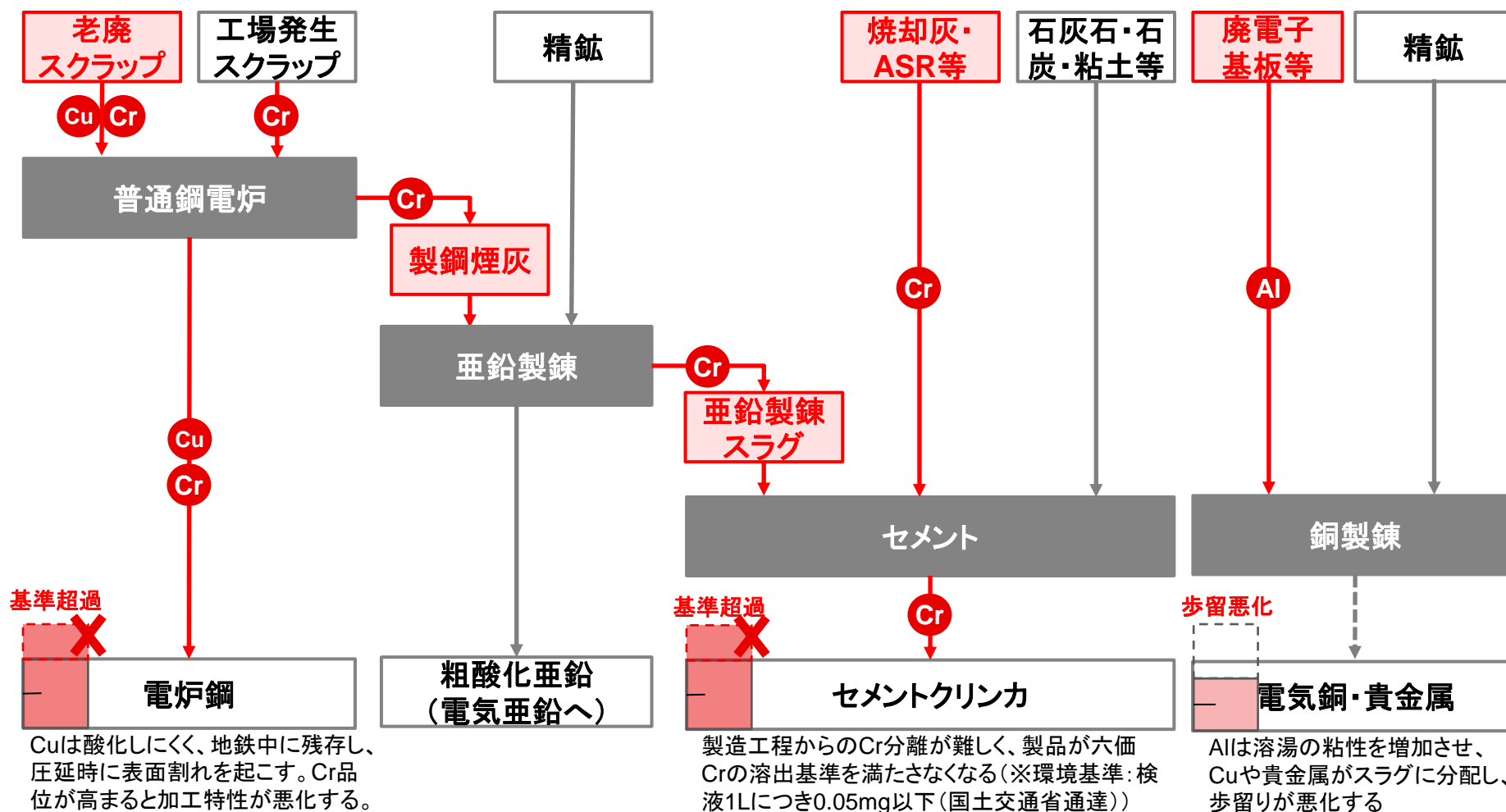
## 忌避物質管理のために必要とされる新たな技術（破碎・選別技術）

鉄や貴金属・銅等の非鉄金属の回収だけを念頭に置いた技術ではなく、各素材産業の忌避物質にも着目した破碎・選別技術の開発・実装が求められる。

プロセス	代表的な忌避物質	想定される二次原料への代表的な混入源	課題	課題解決に資する今後開発が必要となる要素技術	
解体	-	自動車・家電・小型家電等	部品別への効率的な分離	ロボットによる自動解体 電気パルスによる局所破壊 等	
破碎		自動車・家電・小型家電等	単体分離性の向上	電気パルス粉碎 マイクロウェーブ粉碎 高度破碎機 等	
選別	鉄鋼電炉	Cu	モーターコア 等	磁着物から銅を含む片刃粒子を物理選別する技術の確立 等	電磁式ファインダー LIBSソーター 等
		Cr	Cr系SUS	磁着物からCr系SUSを物理選別する技術の確立 等	電磁式ファインダー LIBSソーター 等
			Crメッキ製品	表面物性に着目した選別技術の開発 等	LIBSソーター 等
		Sn	Snメッキ製品 等	表面物性に着目した選別技術の開発 等	LIBSソーター 等
	非鉄製錬	ハロゲン (Cl、Br)	塩素系樹脂 (PVC等) 樹脂 (難燃剤) 等	樹脂同士の選別の高度化 等	高度ジグ選別 ラマン分光ソーター マイクロ波加熱検知ソーター等
		Al	雑線、基板 等	多段式の選別技術導入によるリサイクルの高度化	(既存要素技術の高度組み合わせ)
		Cr	SR 等	多段式の選別技術導入によるリサイクルの高度化	(既存要素技術の高度組み合わせ)
	セメント	ハロゲン (Cl、Br)	塩素系樹脂 (PVC等) 樹脂 (難燃剤) 等	樹脂同士の選別の高度化 等	高度ジグ選別 ラマン分光ソーター マイクロ波加熱検知ソーター等
		Cr	SR 等	多段式の選別技術導入によるリサイクルの高度化	(既存要素技術の高度組み合わせ)

# 局所最適化を続ける限り、現行の資源循環はいずれ破綻する

中間処理業者に投入されるスクラップの品質が低下している。再生資源中の忌避物質含有量が増加し、素材産業における再生資源の受入が困難になりつつある。



# クリティカルマテリアルから見る未来の市場ルール

