



EPI CONSULTING

# 金属材料の サプライチェーン強靱化に関する調査

エグゼクティブサマリー  
2024年9月



EPI CONSULTING

EPIコンサルティング合同会社

# 目次

---

はじめに	3
1. 政策・技術動向及び関連産業への影響	6
2. サプライチェーン	22
3. 提言	45

- 本報告書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)からEPIコンサルティング合同会社(EPI)が受託した委託業務「金属材料のサプライチェーン強靱化に関する調査業務」の最終報告書をもとに、EPIがその概要を取り纏めたエグゼクティブサマリーです。
- 本報告書は細心の注意を払い作成しておりますが、本報告書閲覧者の経営判断において本報告書を参照する場合は、その妥当性につき閲覧者にて検証頂きますようお願い申し上げます。

はじめに

---

はじめに

# Ga・Mgの生産国の多様化とグリーン化の推進に向けて 我が国の製錬技術の第三国への適用を見据えた研究開発とプロジェクト形成を推進すべきである

## 和文要約

### 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

- 欧州は欧州重要原材料法により、戦略的重要原材料として指定された17種の資源に対して一定の域内調達義務を課している。米国はインフラ投資・雇用法、インフレ抑制法により、バッテリー素材等のサプライチェーン構築補助が導入されている。
- 欧州は採掘廃棄物の再利用や塩水等の未利用資源の利用のための技術開発を行い、米国は産炭地からの資源回収と採掘に関する環境問題を解決する技術開発を行うなど、自国での資源生産・回収を促進し特定国への依存度の低減を図っている。

### 2. サプライチェーン

- 本事業では、供給途絶リスク、需要見通しの観点から、ガリウム (Ga) とマグネシウム (Mg) を調査対象鉱種に選定した。
- Gaの課題として、特定国のGa生産シェアが高いこと、縦型GaNの普及に伴いGaの一層の需要増加が見込まれ調達リスクが高まること、工程内リサイクルが徹底されていない工場も存在すること、市中回収がなされていないことが挙げられる。
- Mgの課題としては、Mg供給が特定国に偏っていること、自動車の軽量化に向けて本格的に採用を進めていくには耐熱性及び耐腐食性の高い合金開発が必要であること、日本での市中回収率は欧米に比べて低いことが挙げられる。

### 3. 提言

- Gaの調達多様化に向けては、海外のGaを回収していない製錬所に対し環境負荷の低い製錬技術を供与し、Ga生産国の多様化を行うとともに、LEDやレーザーダイオード等のGa基板メーカーの工程内リサイクルを促進し、電動車向けに縦型GaN半導体パワーデバイスが普及した際は、回収量が期待できる自動車からの市中リサイクルを推進すべきである。
- Mgにおいては、海外の海水淡水化プラントの濃縮海水を利用した低コストでグリーンなMg精製技術開発を行うとともに、自動車向けのギガキャストやMg合金の開発を支援し、長期的には市中リサイクルを推進すべきである。

はじめに

# 欧州・米国・中国の重要鉱種に係る政策/技術動向/関連産業への影響に基づき 特に重要な鉱種を抽出し それらサプライチェーン上のリスク分析から 調達安定化の施策を提言した

○ 調査フロー

## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 2. サプライチェーン

## 3. 提言

1-1

政策動向

- 欧州、米国、中国における金属材料サプライチェーン強靱化に係る政策を比較した

1-2

技術動向

- 政策動向を踏まえ重要な鉱種を5つに絞った
- 政策を踏まえた重要な技術について、欧州、米国、中国、において実施されている国家プロジェクトに採用された技術を比較した

1-3

関連産業への影響

- 欧州、米国、中国の掲げる政策、技術の実現により、我が国の関連産業へ与える影響を示した

2-1

サプライチェーン

- 1章の調査結果から調査対象を鉱種を2つに絞った
- マテリアルフローを基に、上流から下流までのリスク、需給、リサイクル等の状況を調査し、サプライチェーン上の課題を分析した

2-2

グリーン化

- 製錬時のLCAを算出し、グリーン化可能な技術を調査した
- グリーン化に係る技術動向を調査した

3-1

提言

- 我が国の金属材料サプライチェーン強靱化に向けて必要な提言を行った

# 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

---



## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

# 金属資源のサプライチェーン強靱化に向け 欧州では主にバッテリー材のリサイクル 米国では電動車等の国産化 中国は資源生産量の管理・高付加価値化・禁輸を実施している

- 欧米の重要鉱種は似通っているが、中国では2016年に公表された段階では、半導体材料のGa/Ge及び軽量化材料のTi/Mgが重要鉱物として指定されていない。

## ○ 欧米中の調査対象政策

	 欧州 (EU)	 米国	 中国																																																																																																																																																													
直近の 主な政策	欧州重要原材料法案(2023年3月法案提示) 新バッテリー規制(2022年8月施行)	インフラ投資・雇用法(2021年11月法案成立) インフレ抑制法(2022年8月法案成立)	全国鉱物資源計画(2021年4月に方針を発表(策定中)) 第14次5カ年計画素材産業発展計画(2021年12月公表) 希土類産業発展計画(地方自治体が発表) レアアース・レアメタル輸出規制																																																																																																																																																													
鉱種選定* (金属資源に 限定)	<table border="1"> <tr><th colspan="7">戦略的重要原材料(17種類)</th></tr> <tr><td>バッテリー</td><td>Li</td><td>Co</td><td>Mn</td><td>C</td><td>Ni</td><td></td></tr> <tr><td>半導体</td><td>Si</td><td>B</td><td>Ga</td><td>Ge</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>軽量化</td><td>Ti</td><td>Mg</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>合金</td><td>W</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>モーター・発電機</td><td colspan="4">HREE/LREE</td><td>Cu</td><td></td></tr> </table>	戦略的重要原材料(17種類)							バッテリー	Li	Co	Mn	C	Ni		半導体	Si	B	Ga	Ge			軽量化	Ti	Mg					合金	W						モーター・発電機	HREE/LREE				Cu		<table border="1"> <tr><th colspan="10">重要鉱物(24種類)</th></tr> <tr><td>バッテリー</td><td>Li</td><td>Co</td><td>Mn</td><td>C</td><td>Ni</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>半導体</td><td>Ga</td><td>Ge</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>軽量化</td><td>Ti</td><td>Mg</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>合金</td><td>Al</td><td>Cr</td><td>In</td><td>Nb</td><td>Ta</td><td>Sn</td><td>V</td><td>W</td><td></td></tr> <tr><td>モーター・発電機</td><td>Nd</td><td>Dy</td><td>Tb</td><td>Pr</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>触媒</td><td>Ir</td><td>Pt</td><td>Rd</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	重要鉱物(24種類)										バッテリー	Li	Co	Mn	C	Ni					半導体	Ga	Ge								軽量化	Ti	Mg								合金	Al	Cr	In	Nb	Ta	Sn	V	W		モーター・発電機	Nd	Dy	Tb	Pr						触媒	Ir	Pt	Rd							<table border="1"> <tr><th colspan="6">重要鉱物(15種類)</th></tr> <tr><td>バッテリー</td><td>Li</td><td>Co</td><td>C</td><td>Ni</td><td></td></tr> <tr><td>半導体</td><td>Au</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>合金</td><td>Al</td><td>Cr</td><td>Mo</td><td>Sn</td><td>Sb</td><td>Cu</td><td>Fe</td><td>W</td></tr> <tr><td>モーター・発電機</td><td>REE</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>触媒</td><td>Zr</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	重要鉱物(15種類)						バッテリー	Li	Co	C	Ni		半導体	Au					合金	Al	Cr	Mo	Sn	Sb	Cu	Fe	W	モーター・発電機	REE								触媒	Zr							
戦略的重要原材料(17種類)																																																																																																																																																																
バッテリー	Li	Co	Mn	C	Ni																																																																																																																																																											
半導体	Si	B	Ga	Ge																																																																																																																																																												
軽量化	Ti	Mg																																																																																																																																																														
合金	W																																																																																																																																																															
モーター・発電機	HREE/LREE				Cu																																																																																																																																																											
重要鉱物(24種類)																																																																																																																																																																
バッテリー	Li	Co	Mn	C	Ni																																																																																																																																																											
半導体	Ga	Ge																																																																																																																																																														
軽量化	Ti	Mg																																																																																																																																																														
合金	Al	Cr	In	Nb	Ta	Sn	V	W																																																																																																																																																								
モーター・発電機	Nd	Dy	Tb	Pr																																																																																																																																																												
触媒	Ir	Pt	Rd																																																																																																																																																													
重要鉱物(15種類)																																																																																																																																																																
バッテリー	Li	Co	C	Ni																																																																																																																																																												
半導体	Au																																																																																																																																																															
合金	Al	Cr	Mo	Sn	Sb	Cu	Fe	W																																																																																																																																																								
モーター・発電機	REE																																																																																																																																																															
触媒	Zr																																																																																																																																																															
狙い	重要鉱種の調達量確保	特定国への依存からの脱却	国家の資源生産量・価格コントロール、 高付加価値化、国内需要確保																																																																																																																																																													
実現目標・ 施策	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 2030年までに域内需要の10%の域内採掘、40%の域内加工、15%のリサイクルを目指す</li> <li>✓ 2030年までに特定国への依存度を65%以下にする</li> <li>✓ バッテリー材、永久磁石のリサイクル義務化</li> <li>✓ 許認可プロセスの短期化</li> <li>✓ ストレストテストの義務化</li> <li>✓ サステナビリティ認証スキーム構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 半導体、太陽光、風力、電動車、モーター、発電機の国内製造、リサイクルを奨励</li> <li>✓ 米国内で生産された電動車への税額控除、リサイクル施設への補助金適用</li> <li>✓ 米国内の採掘・加工・リサイクルに対する税額控除、低利融資</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 国家による鉱山採掘の認可及び資源生産量の管理、製錬所の建設計画の主導、製錬効率化を実施</li> <li>✓ ハイエンド製品の製造、新素材の研究開発により高付加価値を推進</li> <li>✓ 希土類分離抽出等の技術やGa/Ge製品の輸出制限による国内需要確保</li> </ul>																																																																																																																																																													

\*各国で選定された重要鉱種のうち、金属資源に絞った鉱種数を記載した。



## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

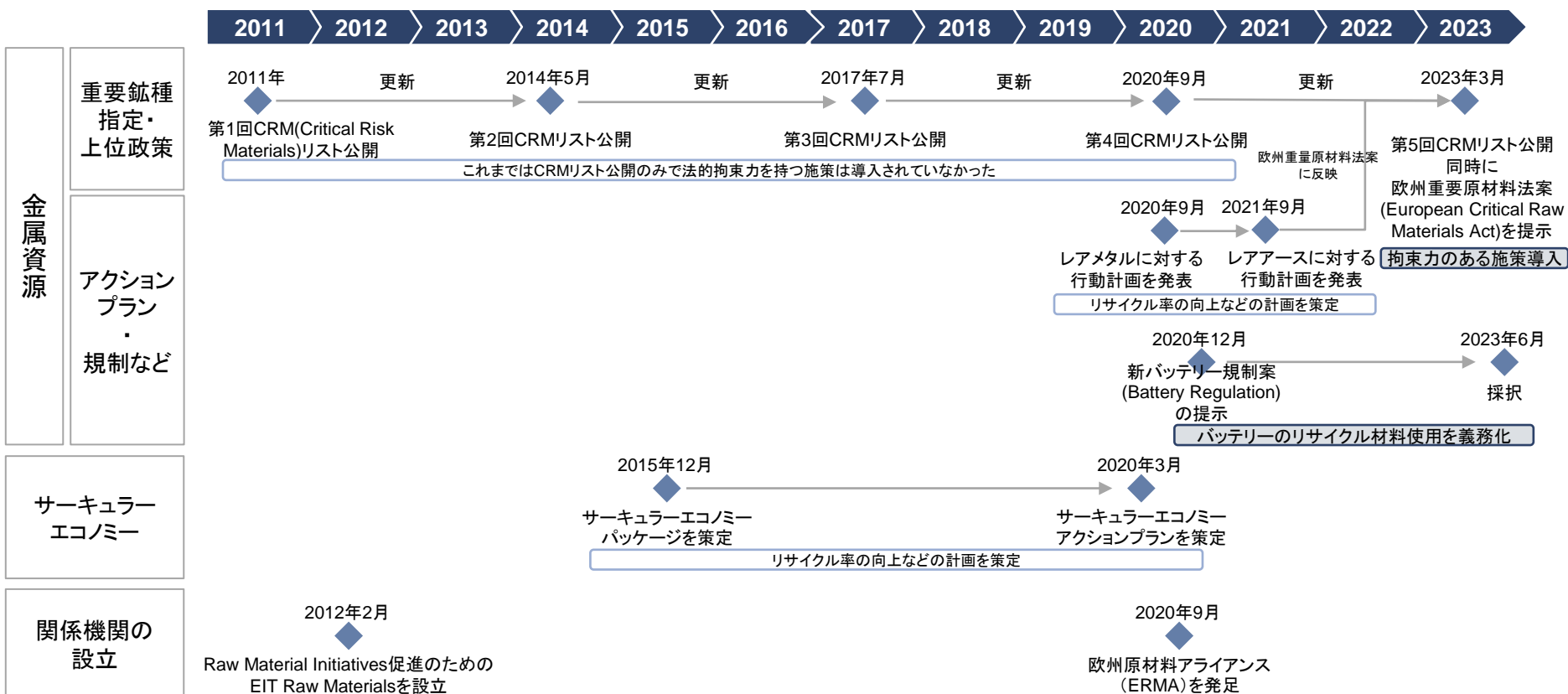
## 欧州ではレアメタル行動計画をきっかけに 新バッテリー規制が導入され 特定鉱種のリサイクル率達成義務が課せられることとなった

- 欧州では2011年以降、3年ごとに重要鉱種を指定していたが、リサイクル率の向上といった具体的な施策の導入は2020年のレアメタル行動計画の発表をきっかけに活発化されつつある。

## ○ 政策概要（欧州）



欧州



\*令和2年度鉱物資源開発の推進のための探査等事業鉱物資源基盤整備調査事業(鉱物資源確保戦略策定に係る基礎調査)、European Commissionウェブサイト等よりEPI作成。



## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

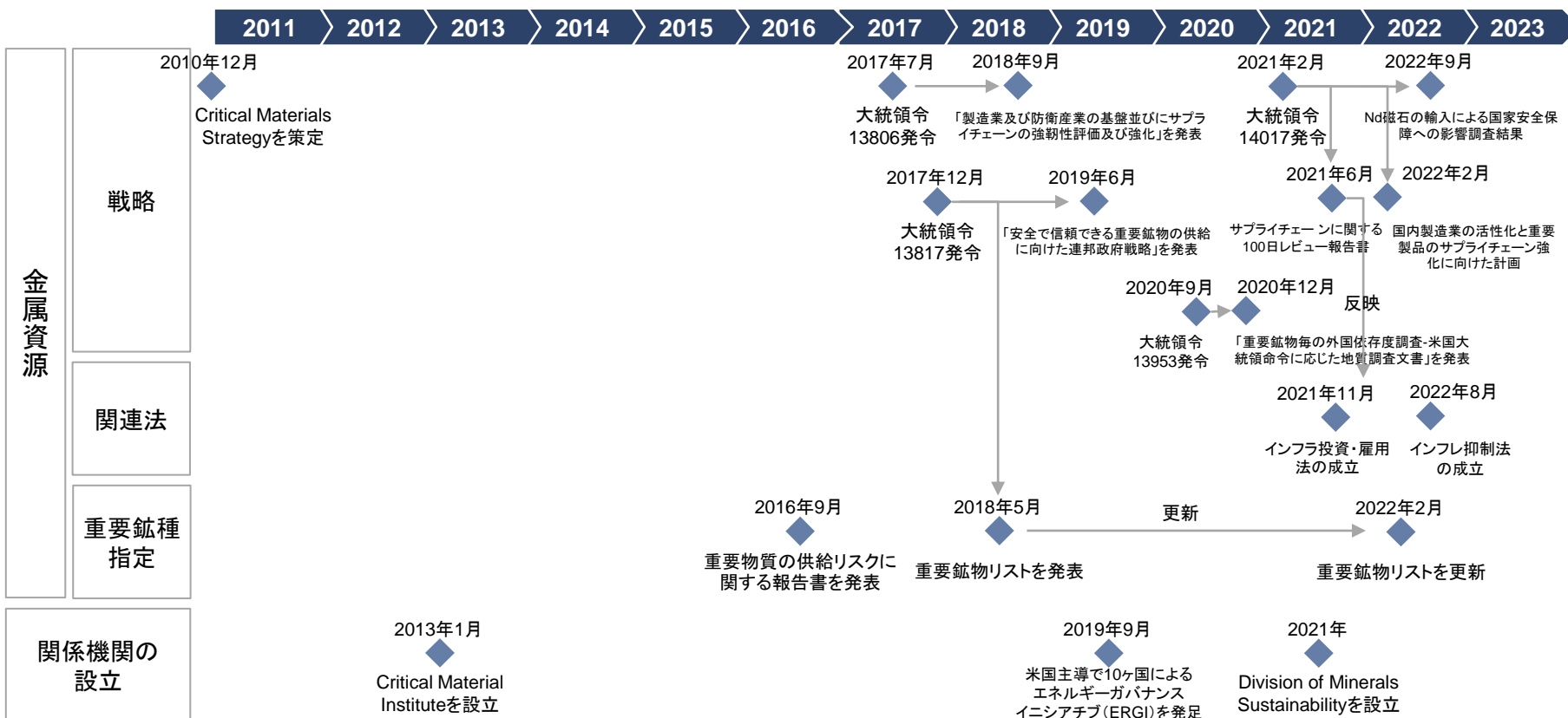
# 米国では2021年のサプライチェーン強化に向けた大統領令14017をきっかけに国防・クリーンエネルギー分野等でのサプライチェーン強靱化の戦略が立案されている

- サプライチェーンに関する100日レビュー報告書にて提言された内容が、インフラ投資・雇用法及びインフレ抑制法に反映され、重要鉱物に対する米国内でのサプライチェーン構築を支援している。

## ○ 政策概要（米国）



米国



\*令和2年度鉱物資源開発の推進のための探査等事業鉱物資源基盤整備調査事業(鉱物資源確保戦略策定に係る基礎調査)、JOGMEC、DoEウェブサイト等よりEPI作成。

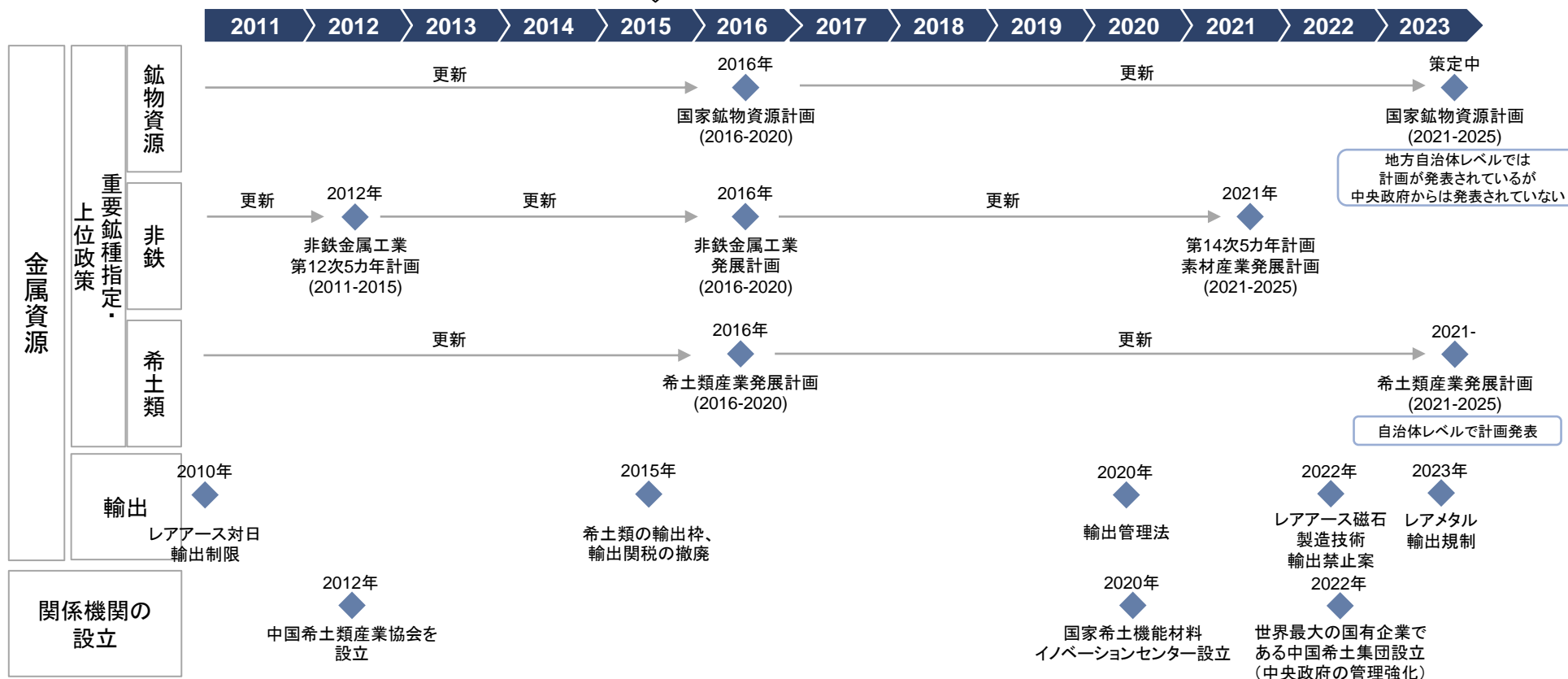
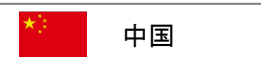
## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 中国では中国製造2025の計画が反映された鉱物資源・非鉄・希土類の政策を推進しているほか近年ではレアアース磁石及びレアメタルの輸出規制の導入が検討されている

- 中国では5年ごとに金属資源に係る政策が更新されているが、近年の国際情勢の緊迫化により、国家鉱物資源計画及び希土類産業発展計画について2021年以降の計画公表が遅れている。

## ○ 政策概要（中国）

中国製造2025の公表



\*JOGMEC、中国各省庁ウェブサイト等よりEPI作成。

# 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

---



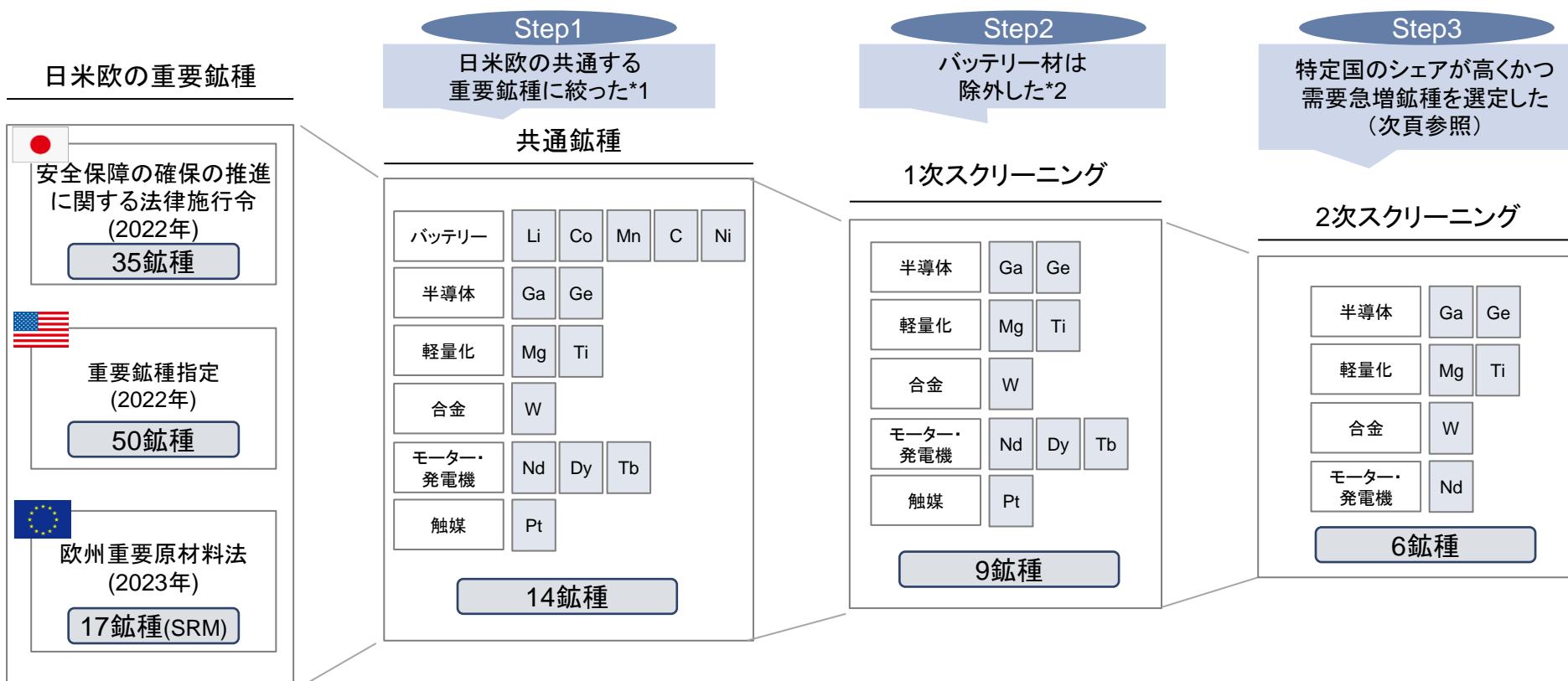
## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 政策動向調査で判明した各国の重要鉱種をもとに以下のプロセスで調査対象鉱種をGa/Ge/Mg/Ti/W/REEとした

- 資源大国の中国を除く日欧米の重要鉱種のうち共通鉱種を選定し、貴機構の別プロジェクトにて調査が実施されている蓄電池材料を除外したのち、需要が急増する鉱種を調査対象を選定した。

## ○ 調査対象の鉱種選定プロセス

欧米の重要鉱種の選定基準を採用



\*1 各国の重要鉱種のうち、金属材料に関連する鉱種に限定すると共通鉱種は14鉱種となる。なお、欧州は戦略的重要原材料(SRM)とした。

\*2 NEDOの他調査で本事業と類似調査が実施されているため、バッテリー材料は対象外とした。

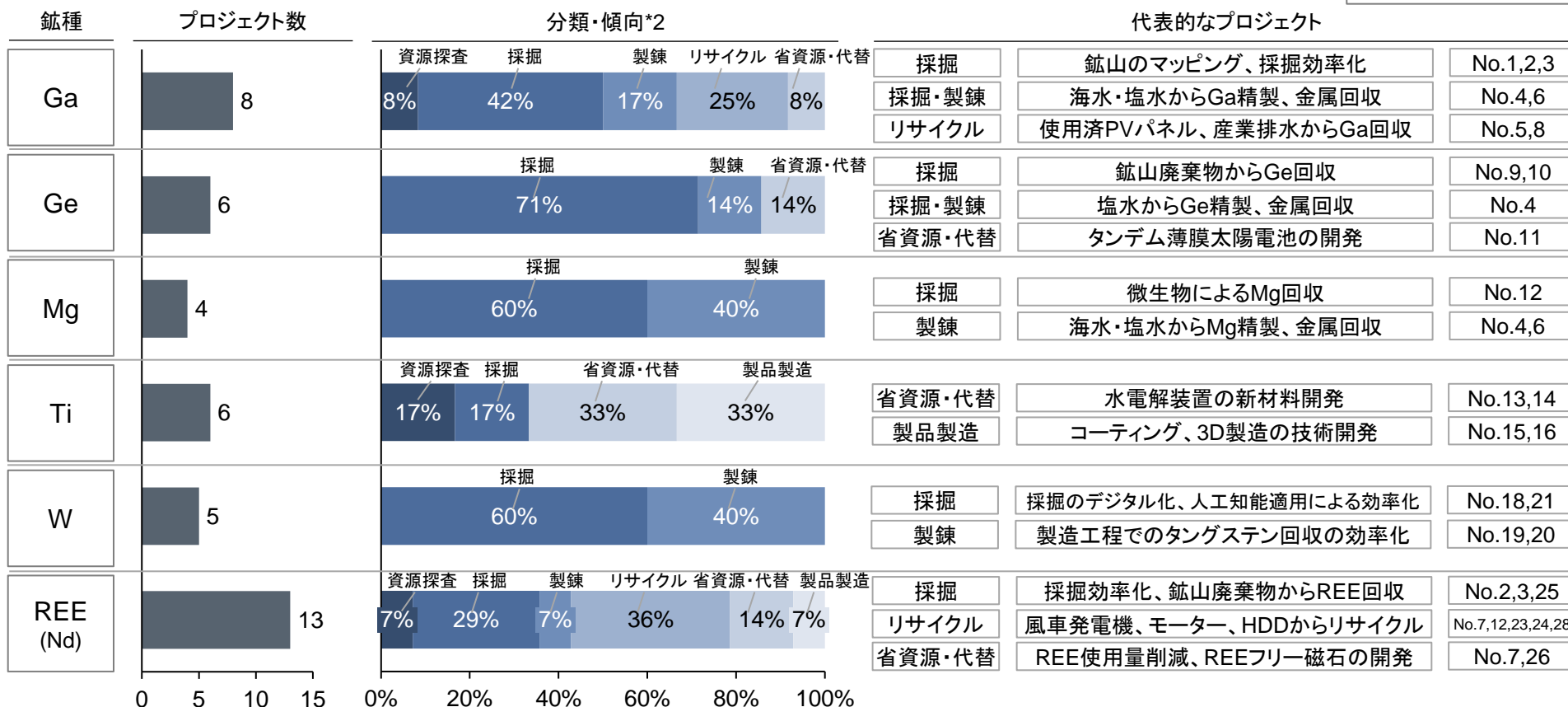
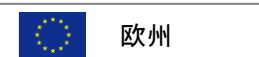
## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 欧州では Ga/Geは採掘 Mgは製錬 Tiは省資源化・代替材 Wは採掘・製錬 Ndはリサイクルに関する研究開発が多く実施されている

- 欧州は資源探査から製品製造までバランス良く研究開発が行われており、米国・中国と比べてリサイクル・省資源代替の割合が高い。

## ○ 技術動向分析結果\*1（欧州）

■ 資源探査 ■ 採掘 ■ 製錬 ■ リサイクル ■ 省資源化・代替材 ■ 製品製造



\*1 European Commissionの情報をもとにEPI作成。 \*2 基本は1プロジェクトにつき分類は1つだが、プロジェクトによっては2つ以上の分類にまたがるものもあり、その場合は重複してカウントした。また、製品開発に関する技術開発は除いた。

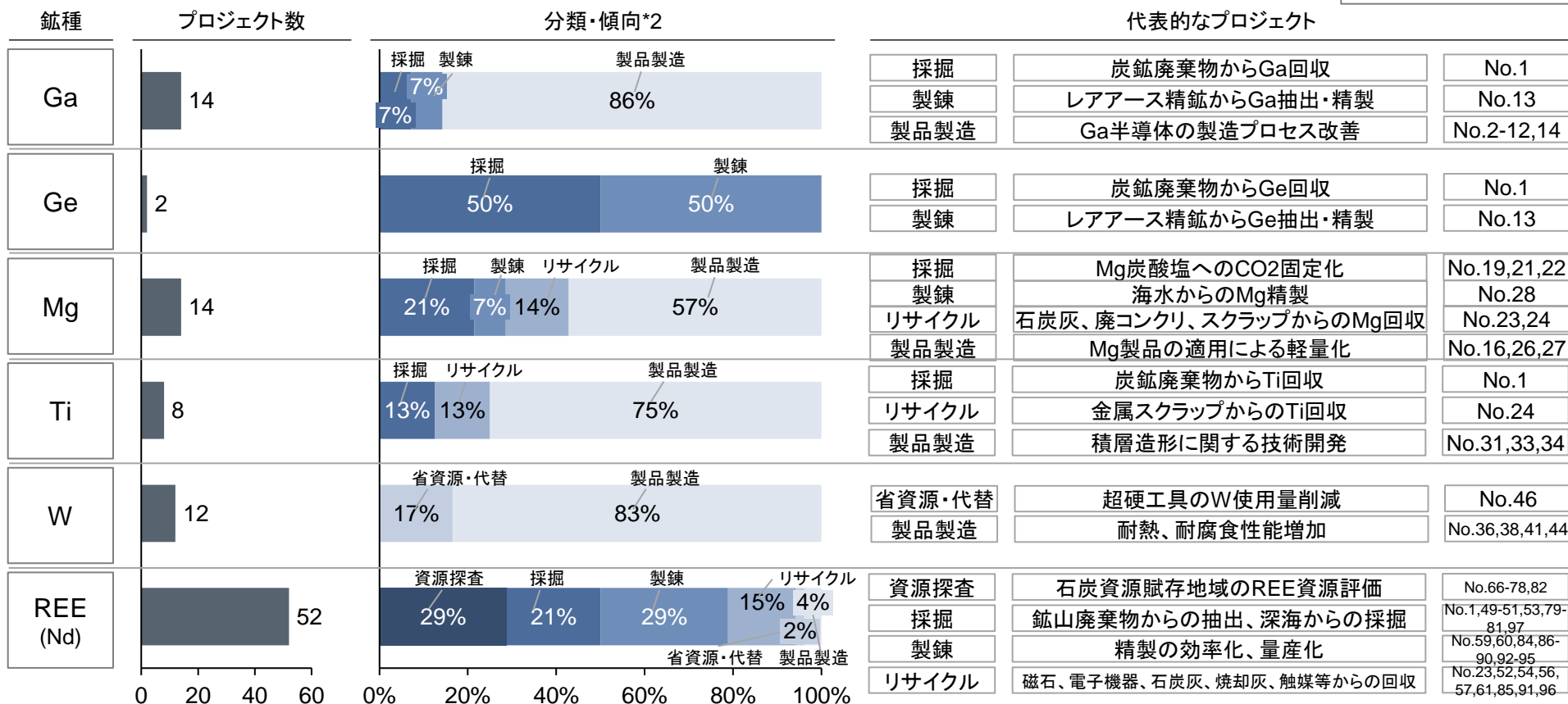
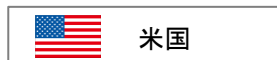
### 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

**米国では Ga/Mg/Ti/Wは製品製造に関する研究開発が多く Geの件数は少ない一方で Ndは資源探査・採掘・製錬・リサイクルに関する研究開発が多く実施されている**

■ 米国は欧州に比べレアアースの研究開発に力を入れており、なかでも米国内での資源探査・採掘・製錬の研究開発が多く実施されている。

#### ○ 技術動向分析結果\*1（米国）

■ 資源探査 ■ 採掘 ■ 製錬 ■ リサイクル ■ 省資源化・代替材 ■ 製品製造



\*1 USA spending.gov, NETL, ARPA-E, EEREの情報をもとにEPI作成。 \*2 基本は1プロジェクトにつき分類は1つだが、プロジェクトによっては2つ以上の分類にまたがるものもあり、その場合は重複してカウントした。また、製品開発に関する技術開発は除いた。

## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 中国では 6 鉱種全てにおいて製品製造に関する研究開発が多く REEは資源探査と製錬に関しても一定の研究開発が実施されている

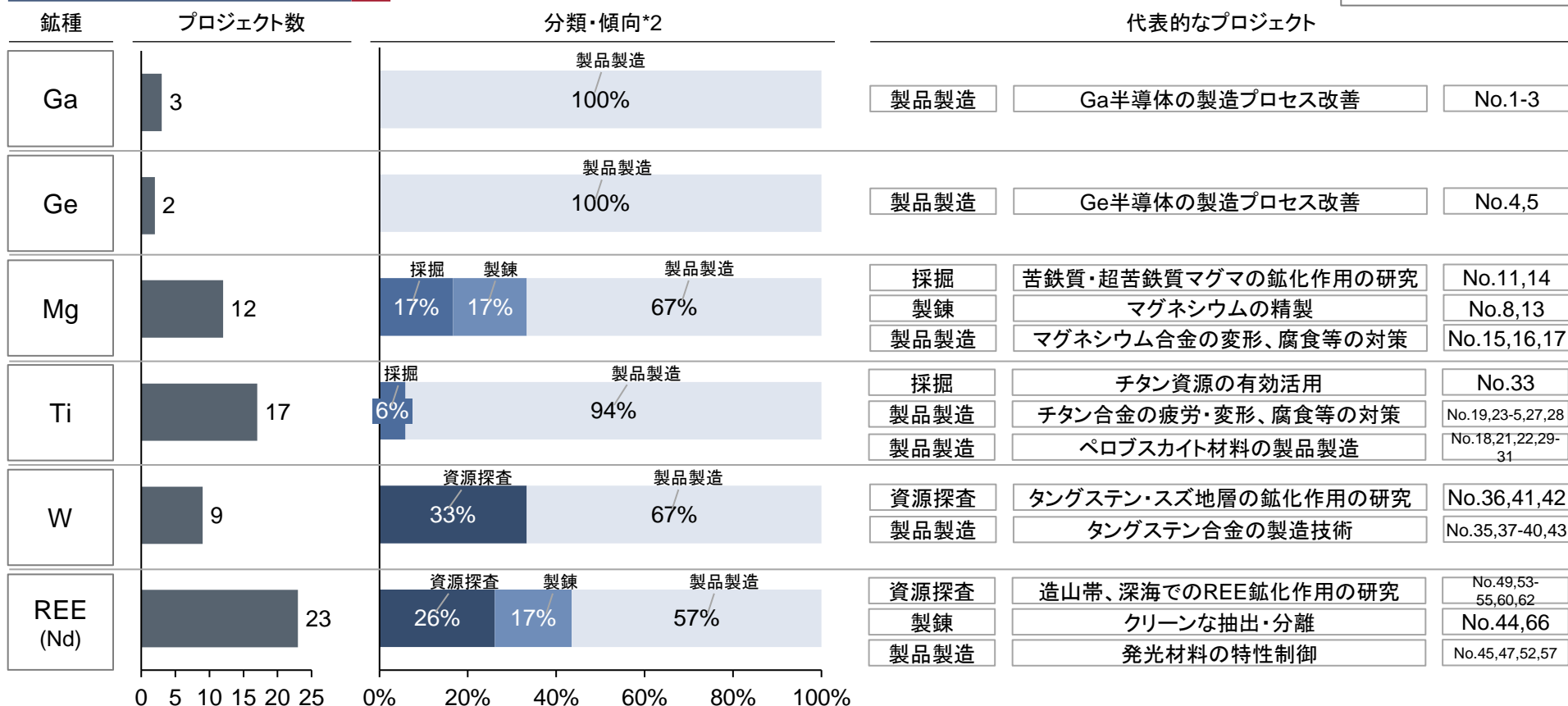
- 欧米に比べて省資源化・代替材、リサイクル関連の技術開発は見られないが、レアアースでは製錬工程をク  
リーン化する研究開発が行われている。

## ○ 技術動向分析結果\*1（中国）

■ 資源探査 ■ 採掘 ■ 製錬 ■ リサイクル ■ 省資源化・代替材 ■ 製品製造



中国



\*1 NSFCの情報をもとにEPI作成。 \*2 基本は1プロジェクトにつき分類は1つだが、プロジェクトによっては2つ以上の分類にまたがるものもあり、その場合は重複してカウントした。また、製品開発に関する技術開発は除いた。



# 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

---

1-1  
政策動向

1-2  
技術動向

1-3  
関連産業への影響

## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 中国はGa/Geの輸出規制を導入し 半導体の国産化を推進する一方で 欧米は自国内での生産・製錬・リサイクルを推進する意向である

- 欧米では自国内での生産強化のため廃棄物からの回収技術・製錬技術が求められており、欧州においてはサステナビリティ認証を導入し、製品のトレーサビリティの担保及びグリーン化を推進する意向である。

## ○ 関連産業への影響 (Ga/Ge)

Ga

Ge

		ポイント	採掘*	製錬	製品	市中リサイクル
欧州	政策	域内採掘・生産の強化	需要の10%以上を域内採掘(2030)	需要の40%以上を域内製錬(2030)	大企業へのサプライチェーン監査義務付け	需要の15%以上を域内リサイクル(2030)
	技術	域内採掘・生産の開発	探掘効率化(Ga)、鉱山廃棄物から回収(Ge) 海水・塩水からの精製(Ga,Ge)			サステナビリティ認証の導入
米国	政策	国内採掘・生産の強化	生産施設の投資額30%を税額控除	精製施設の投資額30%を税額控除		リサイクル施設の投資額30%を税額控除
	技術	国内採掘・生産の開発	炭鉱廃棄物からの回収(Ga,Ge)	レアアース精鉱からの抽出(Ga,Ge)	Ga半導体の製造プロセス改善	
中国	政策	中央政府による管理強化・輸出規制	国が生産施設のエリアを指定	製錬品の輸出規制(Ga,Ge)		
	技術	半導体製造プロセス改善	銅・鉛・亜鉛製錬の低炭素化		Ga/Ge半導体の製造プロセス改善	

産業への影響	既存鉱山の効率化・廃棄物からの回収強化	製錬工場の新設	半導体生産工場の増加	リサイクル施設の増加
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 欧米では鉱山廃棄物からGa/Geを回収するための投資が増加する見込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 米国ではレアアース生産地のGa/Ge精製工場が増加する見込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 中国では外資誘致により半導体工場が増加する見込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 欧米ではGa/Geのリサイクル施設が増加する見込み</li> </ul>
	グリーン化	トレーサビリティの担保	リサイクル比率の増加	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 欧州ではサステナビリティ認証の導入に伴いカーボンフットプリントの算出方法と表示が標準化される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ サステナビリティ認証の導入に伴いトレーサビリティが担保される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 域内調達義務を課すことでバーゲン品価格が上がり、コストの高いリサイクル品の活用が進む</li> </ul>	

\*Gaはアルミナ・亜鉛の副産物、Geは銅・鉛・亜鉛製錬の副産物から精製可能。

### 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 海水からのMg抽出の商用化には時間がかかると想定されるが 欧米中ともに航空機や乗用車向けの軽量化合金の生産量及び3D製造量が増加する見込みである

- Ga/Geと同様に欧米では自国内での生産強化のため廃棄物からの回収技術・製錬技術が求められており、欧州においてはサステナビリティ認証を導入し、リサイクル品を含む域内生産を促進する意向である。

### ○ 関連産業への影響 (Mg/Ti)

Mg Ti

ポイント		採掘	製錬	製品	市中リサイクル	
欧州	政策	域内採掘・生産の強化	需要の10%以上を域内採掘(2030)	需要の40%以上を域内製錬(2030)	大企業へのサプライチェーン監査義務付け	需要の15%以上を域内リサイクル(2030)
	技術	域内採掘・軽量化製品の開発	海水・塩水からの抽出(Mg)		航空機用合金のコーティング・3D製造(Ti)	
米国	政策	国内採掘・生産の強化	生産施設の投資額30%を税額控除	精製施設の投資額30%を税額控除		リサイクル施設の投資額30%を税額控除
	技術	域内採掘・軽量化製品の開発	炭鉱廃棄物からの回収(Ti)		電動車向け軽量化(Mg)、3D製造(Ti)	金属スクラップからの回収(Mg, Ti)
中国	政策	軽量化製品の開発推進		電解チタン製造の技術開発を推進	航空向け軽合金、超硬合金の開発を推進	
	技術	軽量化製品の開発			航空機や乗用車向けMg, Tiの軽量化金属の開発を推進	
					合金の疲労・変形・腐食の対策(Mg, Ti)	
					ペロブスカイト材料の製品製造(Ti)	

産業への影響	海水・塩水からの抽出・廃棄物からの回収	製錬工場の新設	軽量化合金の適用拡大	リサイクル施設の増加
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ TRLの低い技術であるが、欧米では研究開発が増加している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 欧米ではMg金属の精製工場が増加する見込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 欧米中ではMg, Ti軽合金の生産量及び3D製造が増加する見込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 欧米ではMg/Tiのリサイクル施設が増加する見込み</li> </ul>
	グリーン化	トレーサビリティの担保	リサイクル比率の増加	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 欧州ではサステナビリティ認証の導入に伴いカーボンフットプリントの算出方法と表示が標準化される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ サステナビリティ認証の導入に伴いトレーサビリティが担保される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 域内調達義務を課すことでバージョン品価格が上がり、コストの高いリサイクル品の活用が進む</li> </ul>	

# 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 欧州はタングステンの採掘・製錬の技術 米国は省資源化の技術開発を進めている一方 中国は超硬合金としての製品開発を推進しており 中国での生産量の拡大が見込まれる

■ タングステンにおいては欧米だけでなく中国もリサイクルのシステムを開発する意向であり、欧米中ともにリサイクル施設が増加するものと想定される。

### ○ 関連産業への影響 (W)

W

		ポイント	採掘	製錬	製品	市中リサイクル
欧州	政策	域内採掘・生産の強化	需要の10%以上を域内採掘(2030)	需要の40%以上を域内製錬(2030)	大企業へのサプライチェーン監査義務付け	需要の15%以上を域内リサイクル(2030)
	技術	域内採掘・回収技術の開発	サステナビリティ認証の導入			
米国	政策	国内採掘・生産の強化	生産施設の投資額30%を税額控除	精製施設の投資額30%を税額控除		リサイクル施設の投資額30%を税額控除
	技術	省資源・代替技術の開発	デジタル化、人工知能適用による効率化	製造工程でのタングステン回収の効率化	超硬工具のW使用量削減 耐熱、耐腐食性能増加	
中国	政策	超硬合金の開発推進			航空向け軽合金、超硬合金の開発を推進	リサイクルのシステムを開発
	技術	超硬合金の開発	タングステン・スズ地層の鉱化作用の研究		タングステン合金の製造技術	

産業への影響	採掘プロセスの効率化	製錬工場の新設	超硬合金の適用拡大	リサイクル施設の増加
	欧州では採掘へのデジタル化を推進している 欧州ではサステナビリティ認証の導入に伴いカーボンフットプリントの算出方法と表示が標準化される	欧州ではW金属の精製工場が増加する見込み	中国では超硬工具や合金としてのW生産量が増加する見込み	欧米中 欧米中ではリサイクル施設が増加する見込み

# 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 中国のREE (Nd) 輸出規制に対して 欧州は省資源化・代替材開発及びリサイクルに集中し 米国では上流から下流に至るまで内製化する動きが加速すると見られる

■ 欧州はNd磁石にリサイクル材を使用することを義務化し、米国では風力発電に使用されるNd磁石の国内製造に対して税額控除のインセンティブを設け磁石メーカーの誘致を進める意向である。

### ○ 関連産業への影響 (REE (Nd))

REE(Nd)

		ポイント	採掘	製錬	製品	市中リサイクル
欧州	政策	域内採掘・生産の強化	需要の10%以上を域内採掘(2030)	需要の40%以上を域内製錬(2030) サステナビリティ認証の導入	大企業へのサプライチェーン監査義務付け	需要の15%以上を域内リサイクル(2030) Nd磁石はリサイクル材の使用を義務化(2031年以降)
	技術	域内採掘・代替材・リサイクルの開発	採掘効率化、鉱山廃棄物から回収		REE使用量削減、REEフリー磁石の開発	風車、モーター、HDDからリサイクル
米国	政策	国内採掘・生産の強化	生産施設の投資額30%を税額控除 酸性抗廃水や石炭等からレアアース元素を採取・抽出する技術の開発を推進	精製施設の投資額30%を税額控除	風力発電部品の製造に対して生産コストの10%を税額控除 (AMPTC) 代替材、省資源化に係る支援	リサイクル施設の投資額30%を税額控除
	技術	域内採掘・製錬・リサイクルの開発	石炭資源賦存地域のREE資源評価 鉱山廃棄物からの抽出、深海からの採掘	精製の効率化、量産化		磁石、電子機器、石炭灰、焼却灰、触媒等からの回収
中国	政策	中央政府による管理強化・輸出規制	違法生産の取締強化 新規採掘権の認可を国営企業に制限	製錬のクリーン化 希土類の分離・抽出、希土金属製造技術の輸出禁止	高付加価値化の推進 ネオジム鉄ボロン磁石等の製造技術の輸出禁止(案)	
	技術	クリーン製錬の開発	造山帯、深海でのREE鉱化作用の研究	クリーンな抽出・分離技術の開発	発光材料の特性制御	

**産業への影響**

- 既存鉱山廃棄物からの回収強化
  - ✓ 欧米では既存鉱山廃棄物からREEを回収する投資が増加する見込み
- 製錬工場の新設
  - ✓ 米国ではREE精製工場が増加する見込み
- 省資源化・代替材の取り組み加速
  - ✓ 欧米ではNd磁石の省資源化や代替材の取り組みが加速する見込み
- リサイクル施設の増加
  - ✓ 欧米ではREEのリサイクル施設が増加する見込み
- グリーン化
  - ✓ 欧州ではサステナビリティ認証の導入に伴いカーボンフットプリントの算出方法と表示が標準化される
- トレーサビリティの担保
  - ✓ サステナビリティ認証の導入に伴いトレーサビリティが担保される
- リサイクル比率の増加
  - ✓ 域内調達義務を課すことでバージョン品価格が上がり、コストの高いリサイクル品の活用が進む

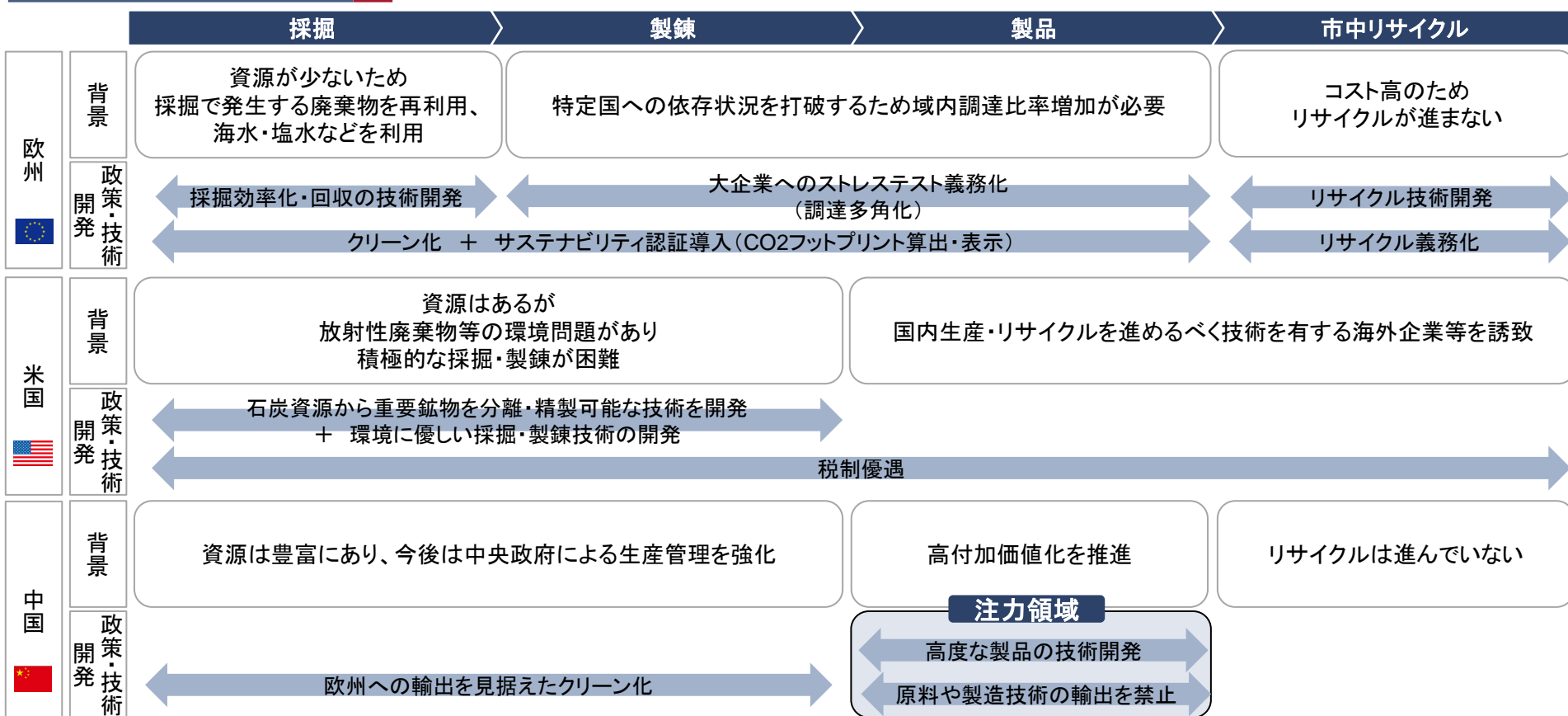
## 1. 政策・技術動向及び関連産業への影響

## 欧州は域内調達増加のためクリーン化及び義務化を 米国は国内資源利用の研究開発及び税制優遇による国内生産増加を 中国は製品の高付加価値化と製錬等のクリーン化を進めていく

- 欧州は資源が少ないため採掘廃棄物の再利用や塩水等の利用に加えてリサイクルを義務化し、米国は産炭地からの資源回収と環境問題の両面にアプローチすることで、特定国への依存度低減を図る。

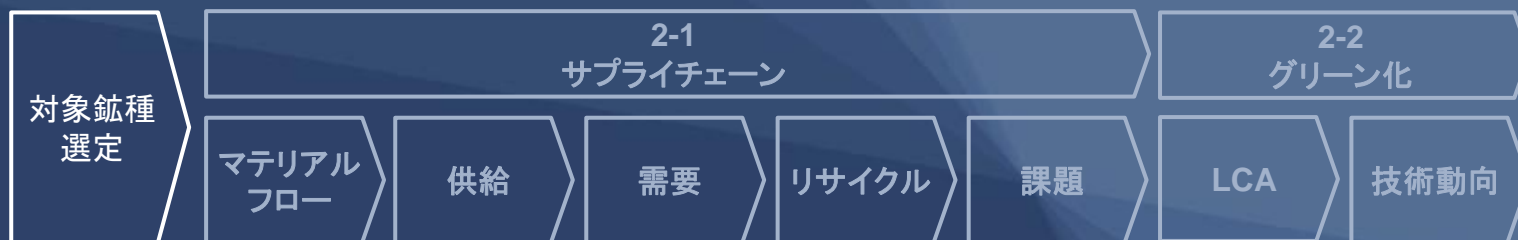
## ○ 関連産業への影響（サマリー）

サマリー



## 2. サプライチェーン

---



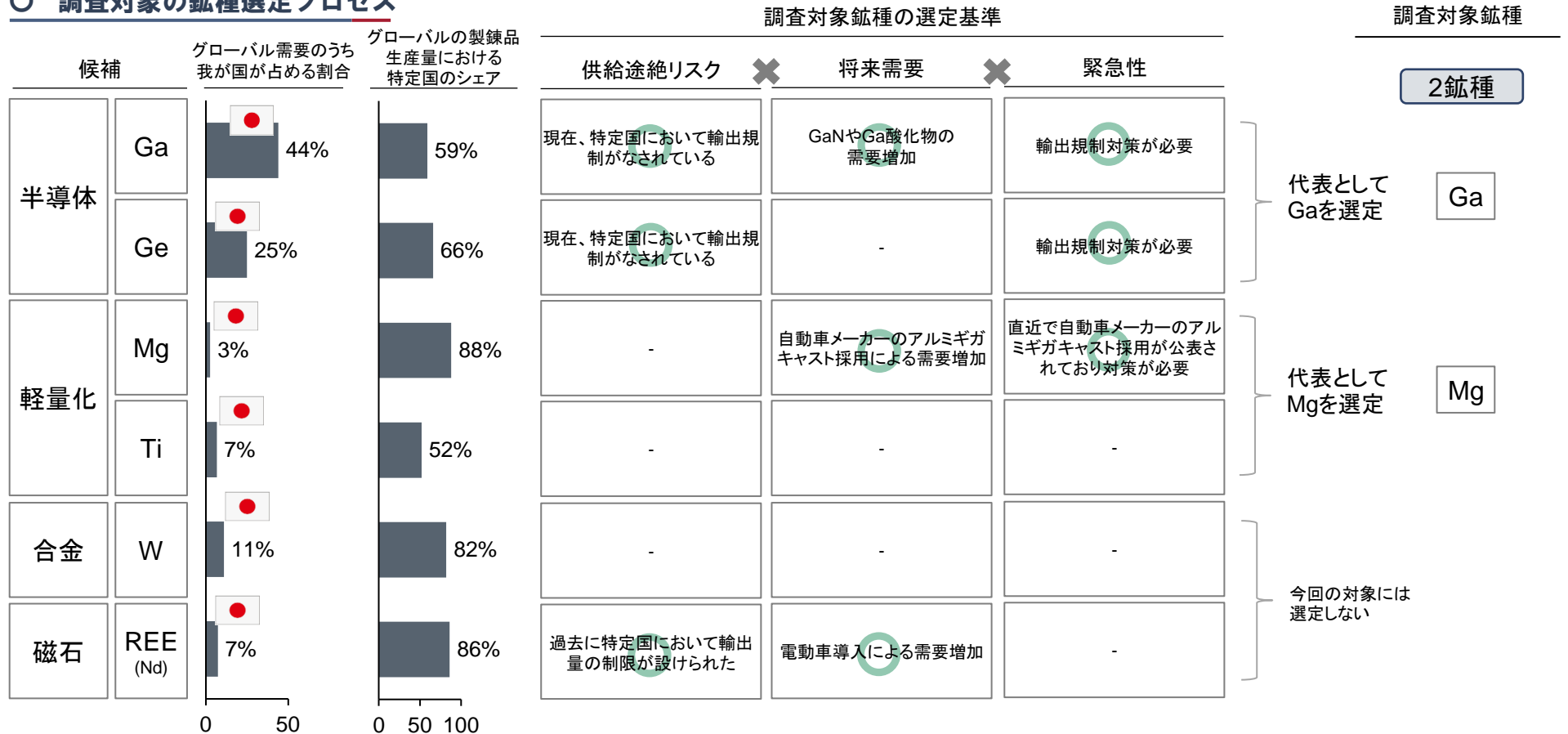


## 2. サプライチェーン

# 供給途絶リスク・将来需要の伸び・緊急性から サプライチェーン調査対象鉱種としてGa/Mgを選定した

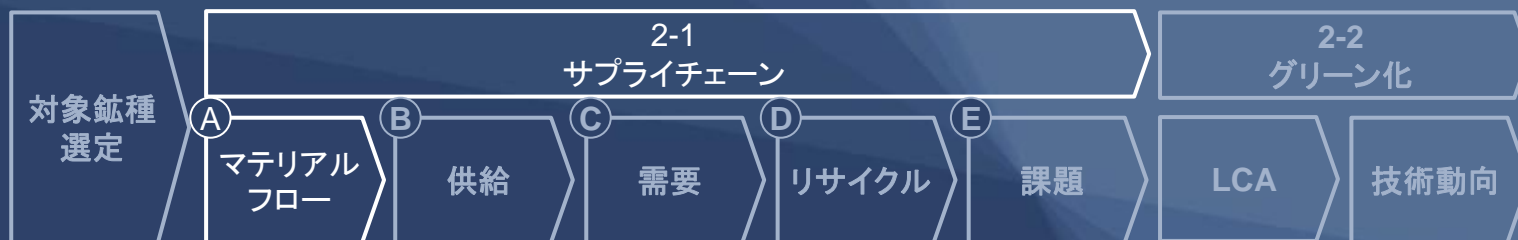
- 国内需要比率が約半分と高くパワー半導体で優位性のあるGa、我が国の基幹産業である自動車または電子材料に必要であり、かつ鉄道・船舶・航空にも使用される代替不可能なMgを選定した。

### ○ 調査対象の鉱種選定プロセス



\*JOGMEC等の情報をもとにEPI作成。

## 2. サプライチェーン

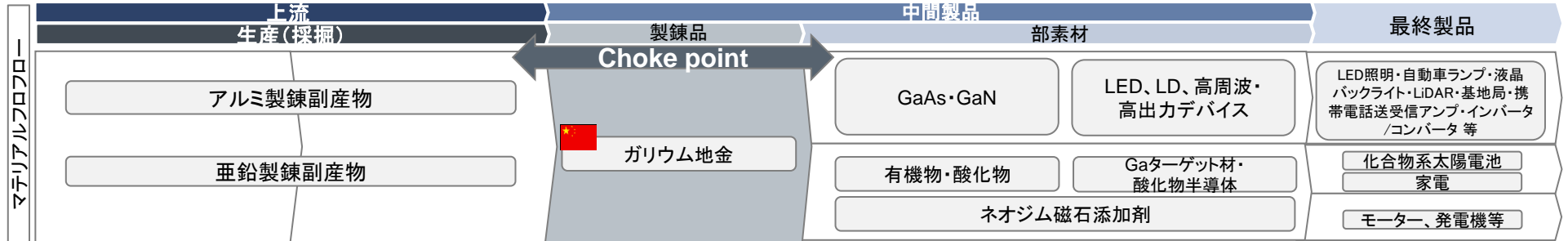


## 2. サプライチェーン

**Gaはアルミ製錬・亜鉛製錬の副産物であり 主に中国のアルミ製錬所からGaが生産されており 我が国のGa製錬品輸入先シェアは中国が6割を占める**

### ① マテリアルフロー (Ga)

Ga(ガリウム)



埋蔵量・生産量・輸入量におけるリスク国のシェア (埋蔵量・生産量・輸入量の上位5か国を対象にリスク国を特定)

将来需要の伸びが大きいほどリスク大

国内市中リサイクル比率が低いほどリスク大

70%

52%

99%

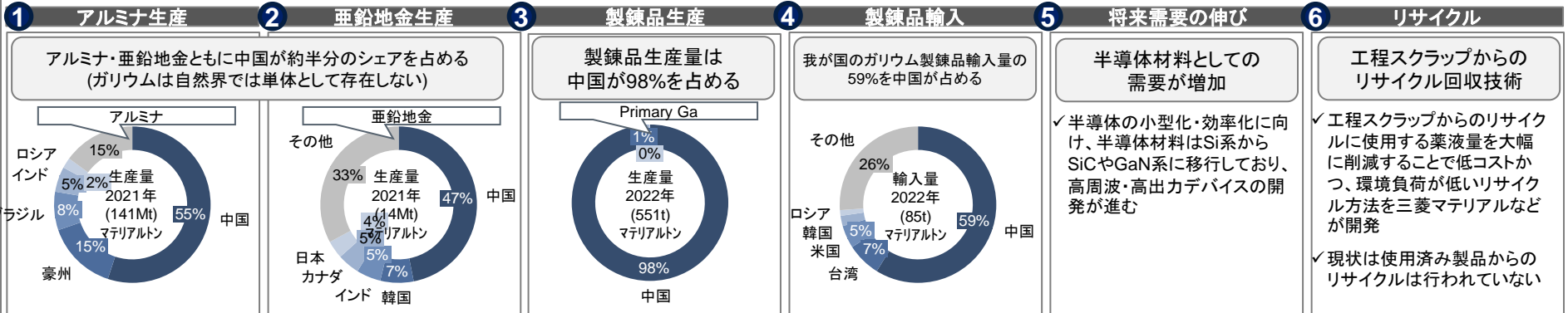
69%

高

低

(将来の需要に供給が追いつかない)

(2017年41%)



アルミナ副産物からGa生産

亜鉛副産物からGa生産

### ② 供給

### ③ 需要

### ④ リサイクル

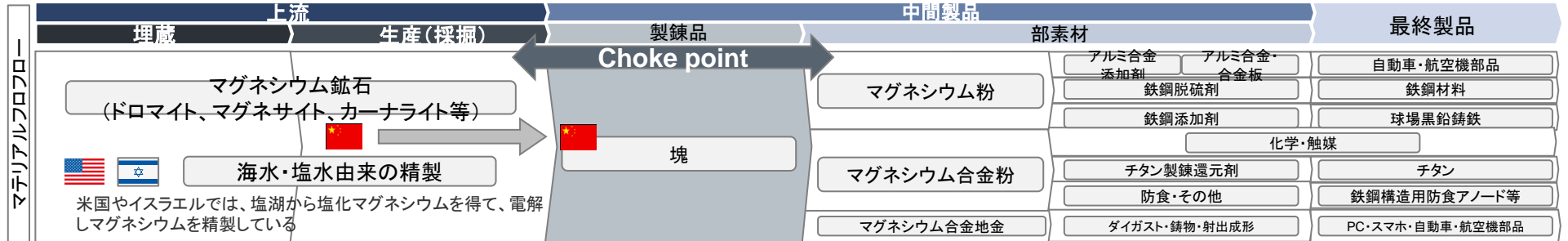
\*BGS、USGS、貿易統計、JOGMECなどの情報をもとにEPI作成。

## 2. サプライチェーン

# Mgは鉱石の生産や製錬は中国に集中しており 我が国のMg製錬品輸入先シェアは中国が9割を占める

### ① マテリアルフロー (Mg)

Mg(マグネシウム)



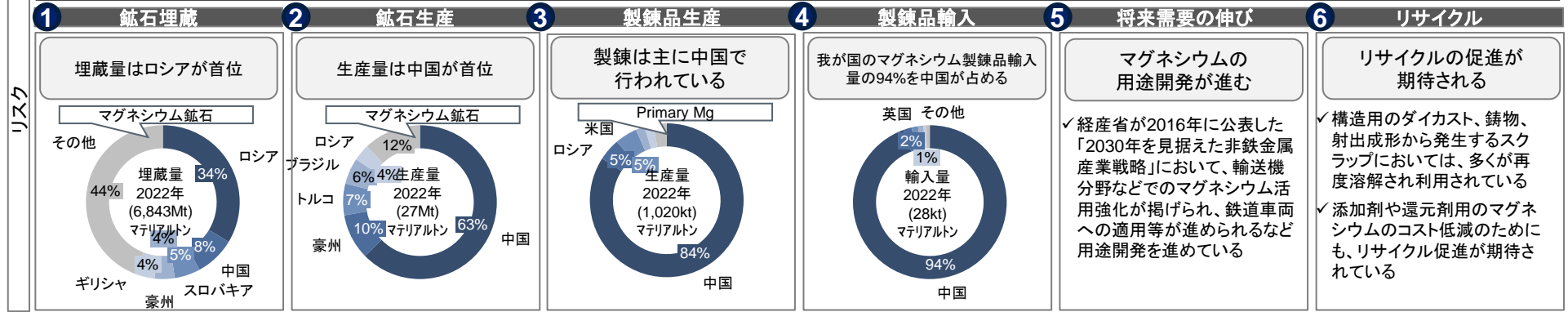
埋蔵量・生産量・輸入量におけるリスク国のシェア(埋蔵量・生産量・輸入量の上位5か国を対象にリスク国を特定)

将来需要の伸びが大きいほどリスク大

国内市中リサイクル比率が低いほどリスク大

高 (将来の需要に供給が追いつかない)

不明



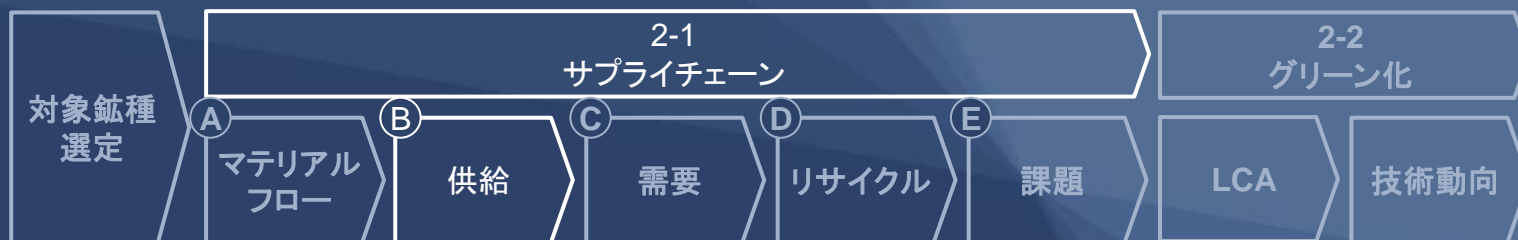
### ② 供給

### ③ 需要

### ④ リサイクル

\*USGS、貿易統計、JOGMECなどの情報をもとにEPI作成。

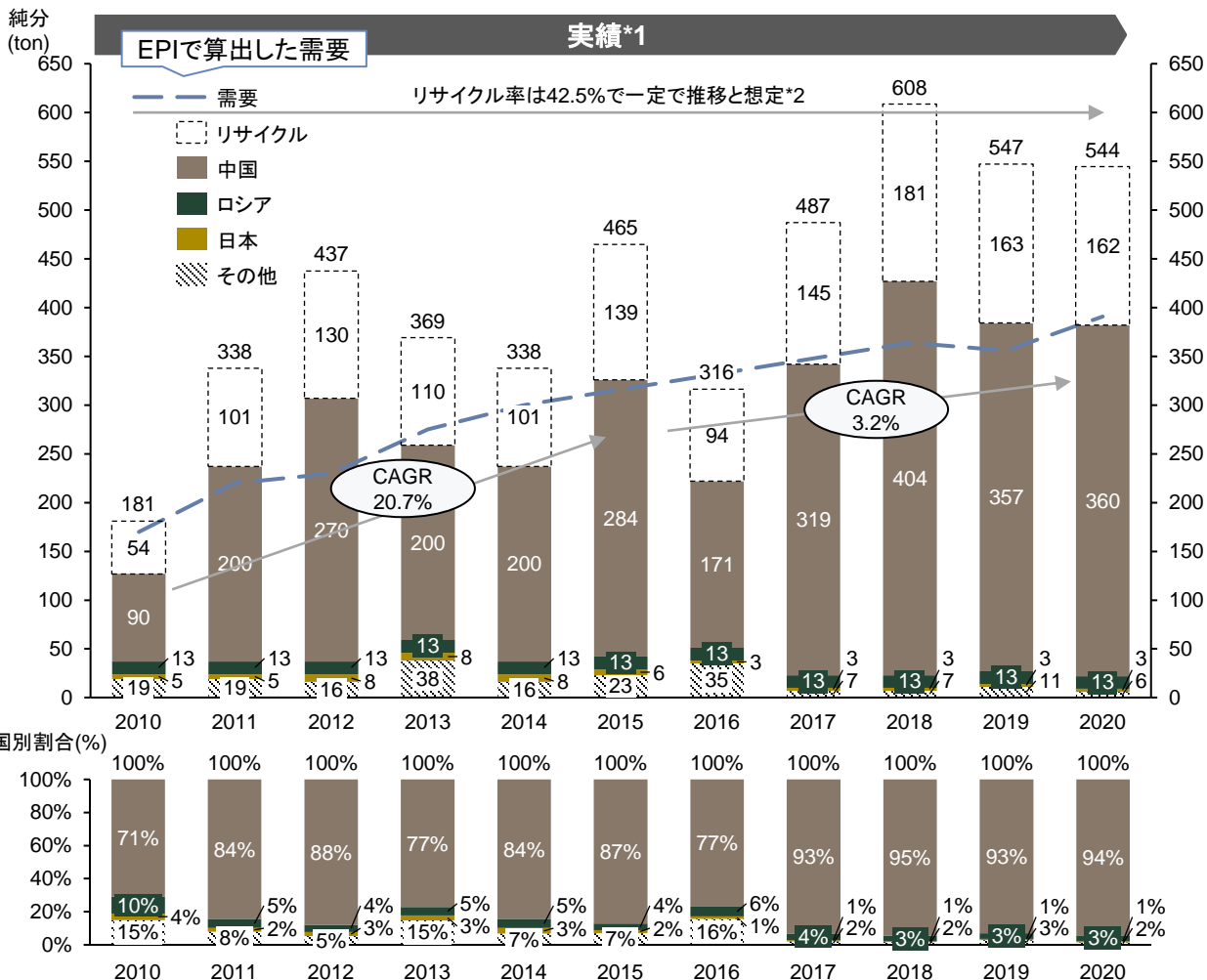
## 2. サプライチェーン



## 2. サプライチェーン

# ガリウムの製錬品の供給は アルミ製錬及び亜鉛製錬シェアが高く 低コストでガリウムを精製可能な中国が90%以上のシェアを占める

### ② 供給推移（ガリウム製錬品）



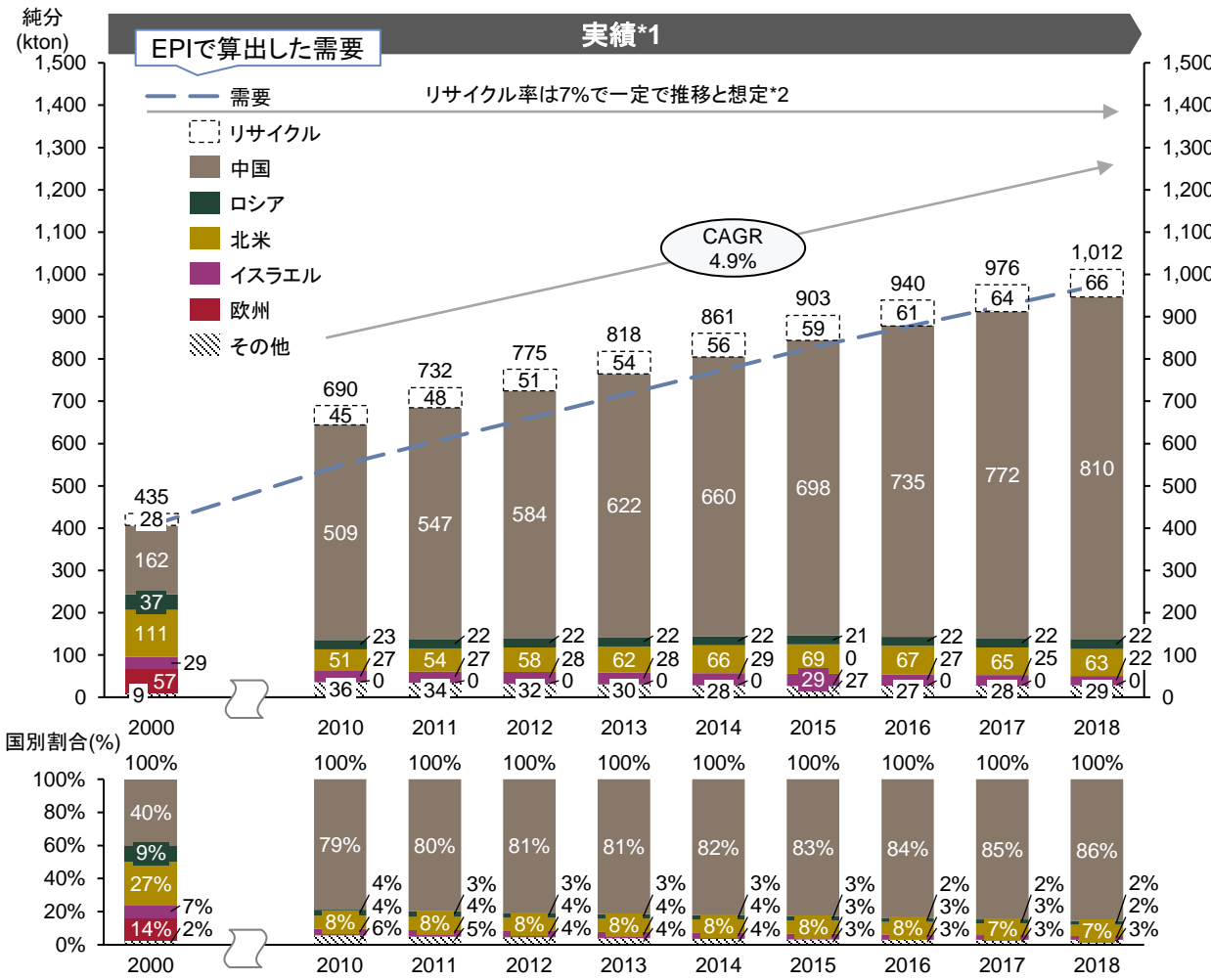
純分 (ton)	Ga		供給
セクター	2010	2020	差分 (2010-2020)
中国	90.0	360.0	270.0
ロシア	13.0	13.0	0.0
日本	5.0	3.0	-2.0
その他	19.0	6.0	-13.0
合計	127.0	382.0	255.0

\*1: British Geological Survey, Frontiers in Energy Researchを基にEPI推計。 \*2: USGSよりグローバルのリサイクル率を42.5%と設定した。

## 2. サプライチェーン

# マグネシウムの製錬品は 2000年は中国だけでなく 北米・欧州も一定の生産シェアを占めていたが 2010年以降は中国が8割近くシェアを占めている

### ② 供給推移 (マグネシウム製錬品)

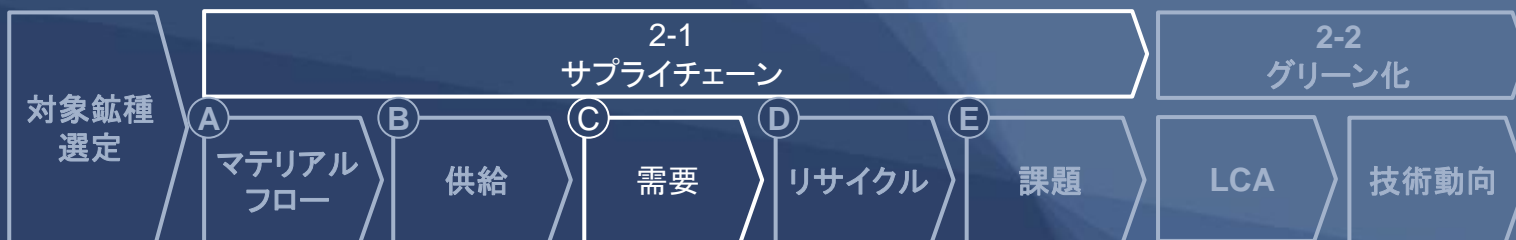


セクター	純分 (kton)			差分 (2000-2018)
	2000	2010	2018	
中国	162.5	508.7	809.7	647.2
ロシア	37.3	22.6	22.3	-15.0
北米	110.5	50.6	63.3	-47.3
イスラエル	29.3	26.6	22.3	-7.0
欧州	57.3	0	0	-57.3
その他	9.3	36.0	28.6	19.3
合計	406.2	644.6	946.2	540.0

\*1: CME Groupを基にEPI推計。 \*2: International Magnesium Associationよりグローバルのリサイクル率を7%と設定した。



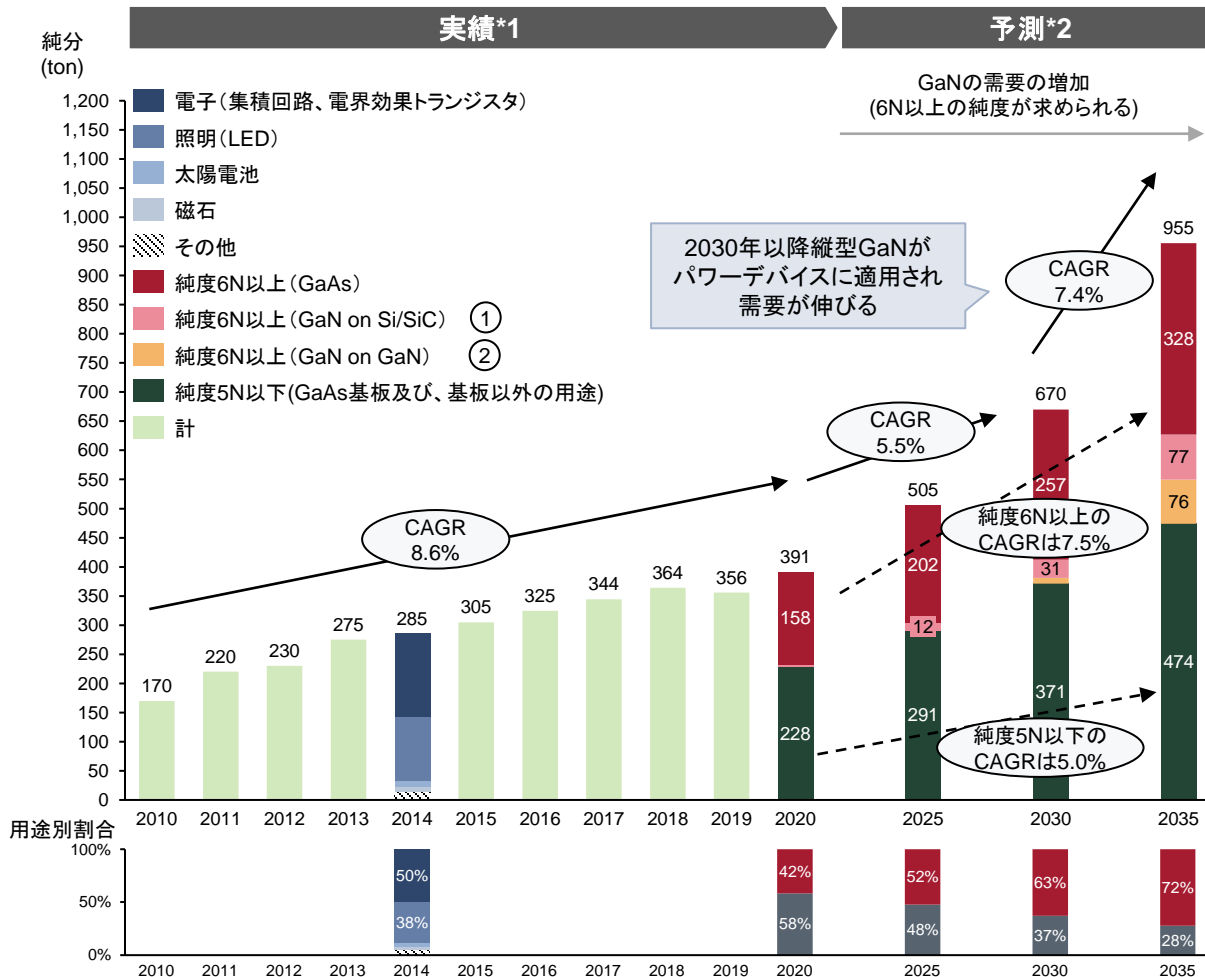
## 2. サプライチェーン



## 2. サプライチェーン

# ガリウムは2020年以降 民生品及び産業向け高周波デバイスに横型GaNが採用され 2030年以降はパワーデバイスに縦型GaNが採用されることで需要が大きく増加する

### ③ 需要予測（ガリウム）



セクター	純分 (ton)				差分 (2020-2035)
	2020	2025	2030	2035	
純度6N以上	163	214	298	481	318
① 民生品デバイス (電源アダプター、携帯等)	少	中	中	中	NA
① 産業向け高周波デバイス (データセンター、基地局等)	試作品	少	少	中	NA
② パワーデバイス (自動車、電力向け等)	ほぼ無し	試作品	少	大	NA
純度5N以下	228	291	371	474	246
<b>合計</b>	<b>391</b>	<b>626</b>	<b>1,049</b>	<b>1,836</b>	<b>1,445</b>

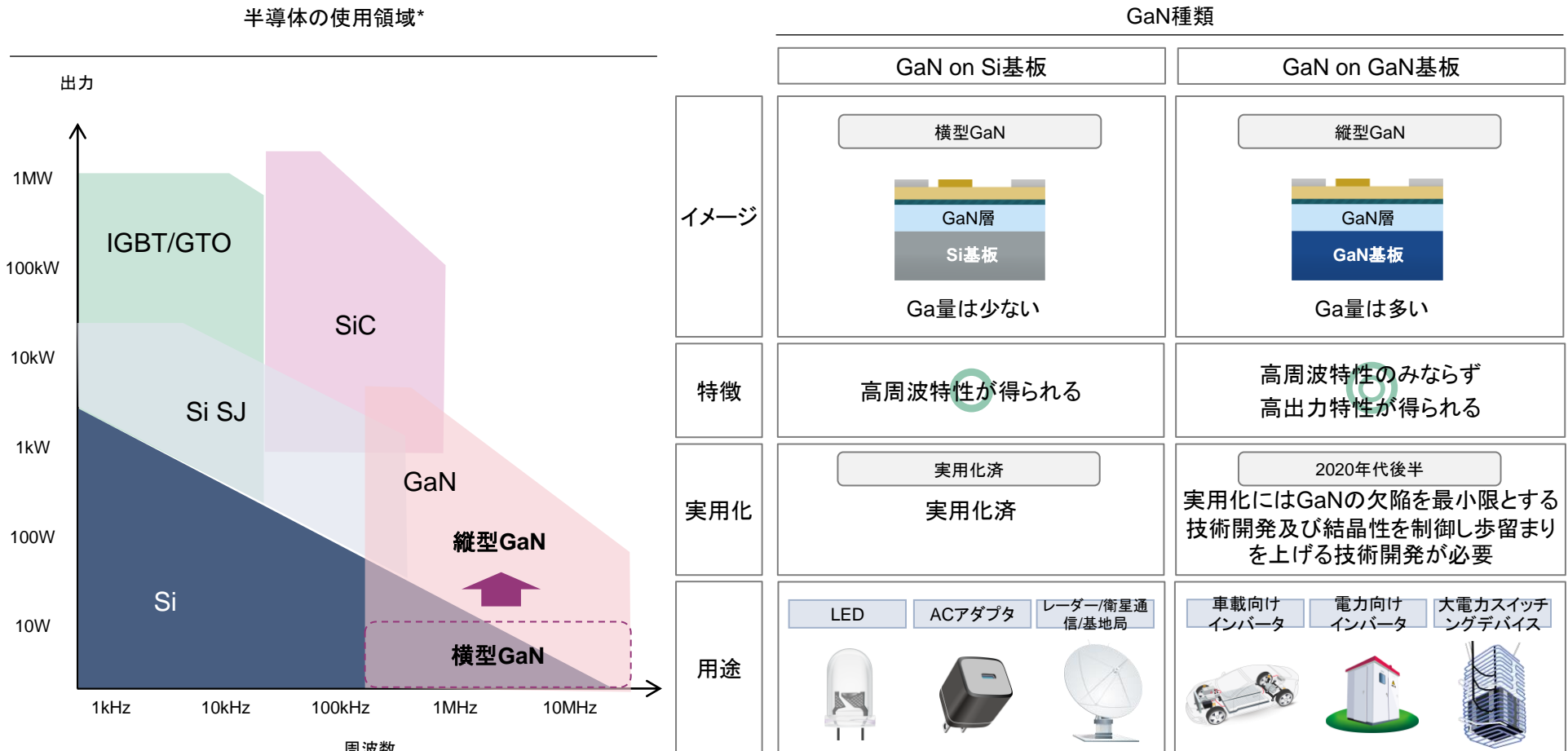
\*1: Information Center of Ministry of Land and Resources (ICMLR), USGS を基にEPI推計。 \*2: ヒアリング等を基にEPI推計。

## 2. サプライチェーン

**縦型GaN (GaN on GaN) は SiCより高耐圧であり電力ロスが少ないため 技術開発が進めば 2030年以降に電動車や電力用周波数変換装置への採用が進む可能性がある**

### ◎ パワーデバイスへのGa採用状況\*

Ga ✕ 半導体



\*: Texas Instruments等の情報を基にEPI作成



## 2. サプライチェーン

# Mgは軽量化効果が高く 高温にならず腐食の懸念が少ないパーツに使用され ギガキャストは組立・溶接工数の削減可能なボディパーツに採用されている

### ③自動車メーカーのMg採用状況

Mg



自動車

Mg合金の活用\*1

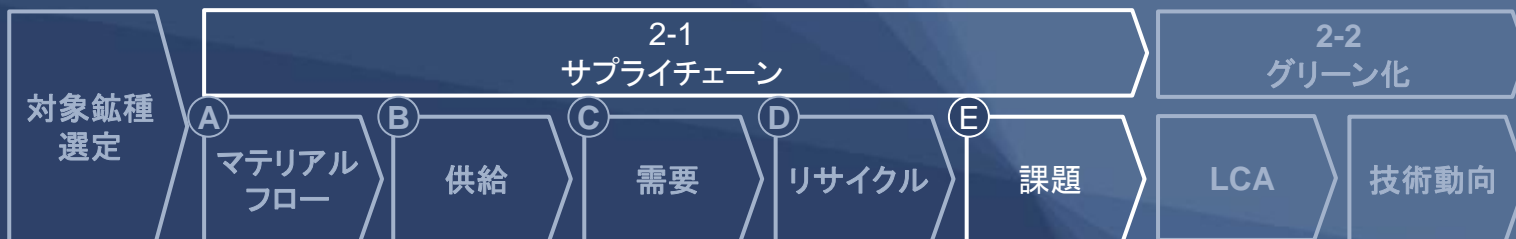


アルミを使用したギガキャスト(Mg添加)\*2



\*1: 軽金属学会マグネシウム基礎講座「マグネシウムの自動車への適用」を基にEPI作成。 \*2: 各種資料を基にEPI作成。

## 2. サプライチェーン

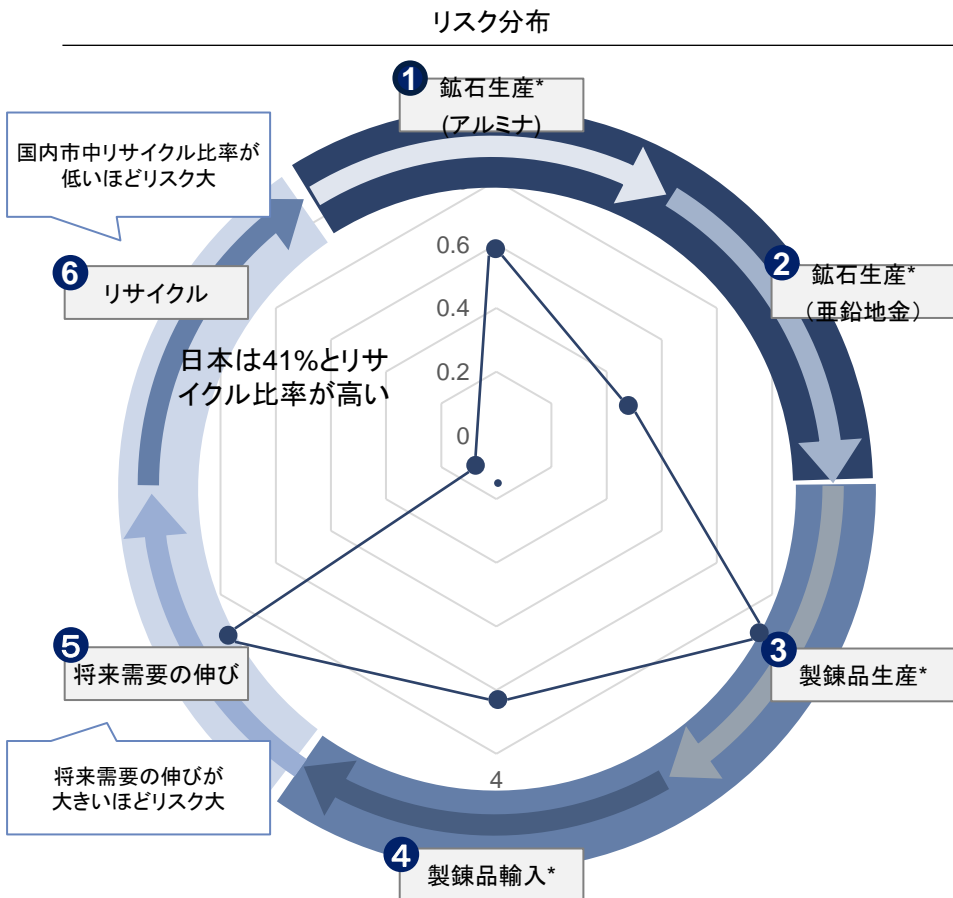


## 2. サプライチェーン

**Gaの課題としては 特定国以外でGa生産が進んでいないこと 縦型GaNの需要増に対して調達リスクが高まること 国内のリサイクルに留まっており 市中回収がなされていないことが挙げられる**



### ⑤ 課題 (Ga)



バリューチェーン		課題
上流	アルミナ生産	特定国以外で生産が進んでない ✓中国以外はGaを生産していない製錬所が多く、Ga供給ポテンシャルは大きい
	亜鉛地金生産	✓先進国では環境規制が厳しくGa生産が困難
中流	製錬品	縦型GaNの需要増に対して調達リスクが高まる ✓2030年以降、パワー半導体向けに6N以上のGaの需要が急増する
	部素材	✓6N以上のGaは地産地消が基本となり、Gaの調達不足が懸念される
下流	工程内リサイクル	国内のリサイクルに留まっている ✓優れたリサイクル技術を有しているが、海外への適用は進んでいない
	市中回収リサイクル	市中回収はなされていない ✓市中リサイクルは量がまとまっておらずかつ不純物が多く困難である

\*埋蔵量・生産量・輸入量におけるリスク国のシェア(埋蔵量・生産量・輸入量の上位5か国を対象にリスク国を特定。OECDカントリーリスクにおいてC評価以下をリスク国と定義した)

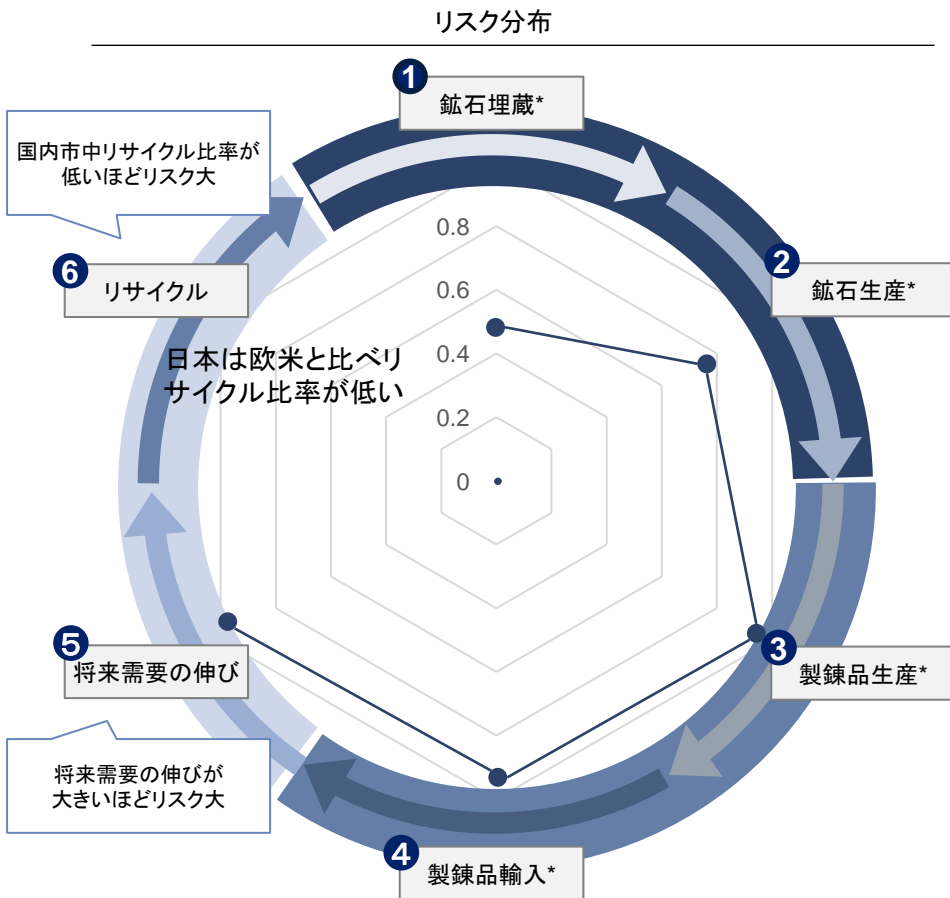


## 2. サプライチェーン

**Mgの課題としては Mg供給が特定国に偏っていること Mgの普及に向けては耐熱性及び耐腐食性の高い合金開発が必要であること 市中回収率が欧米に比べて低いことが挙げられる**

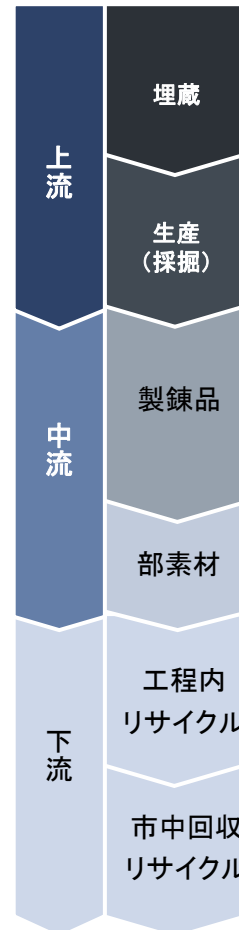


### ⑤ 課題 (Mg)



### バリューチェーン

### 課題

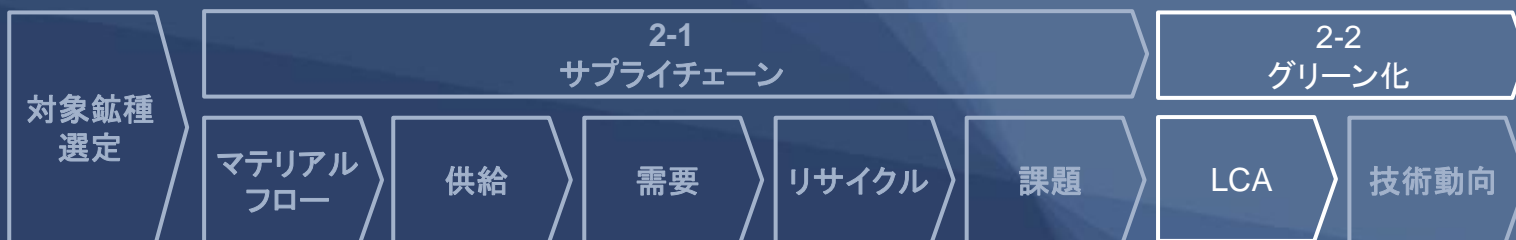


埋蔵	Mg供給が特定国に偏っている
生産 (採掘)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓中国を除けば、塩湖からMgを商業ベースで精製可能なのはUS MagnesiumとICLの2社しかない</li> <li>✓どちらもMgCl<sub>2</sub>濃度の高い塩湖からMgを精製するため経済性を確保できる</li> </ul>
製錬品	自動車向けMgの普及には耐熱性及び耐腐食性の高い合金開発が必要
部素材	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓日本のMgは欧米に比べて価格が高く、耐熱性、耐腐食性の点でアルミより劣る</li> <li>✓自動車のプレス機など大型設備の投資回収の目途が立たない</li> </ul>
工程内リサイクル	日本のMg市中回収率は欧米に比べて低い
市中回収リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓欧米には年数万トンオーダーでMgリサイクルを実施する業者が存在</li> <li>✓我が国では自動車からMg回収がなされていない</li> </ul>

\*埋蔵量・生産量・輸入量におけるリスク国のシェア(埋蔵量・生産量・輸入量の上位5か国を対象にリスク国を特定。OECDカントリーリスクにおいてC評価以下をリスク国と定義した)

## 2. サプライチェーン

---



## 2. サプライチェーン

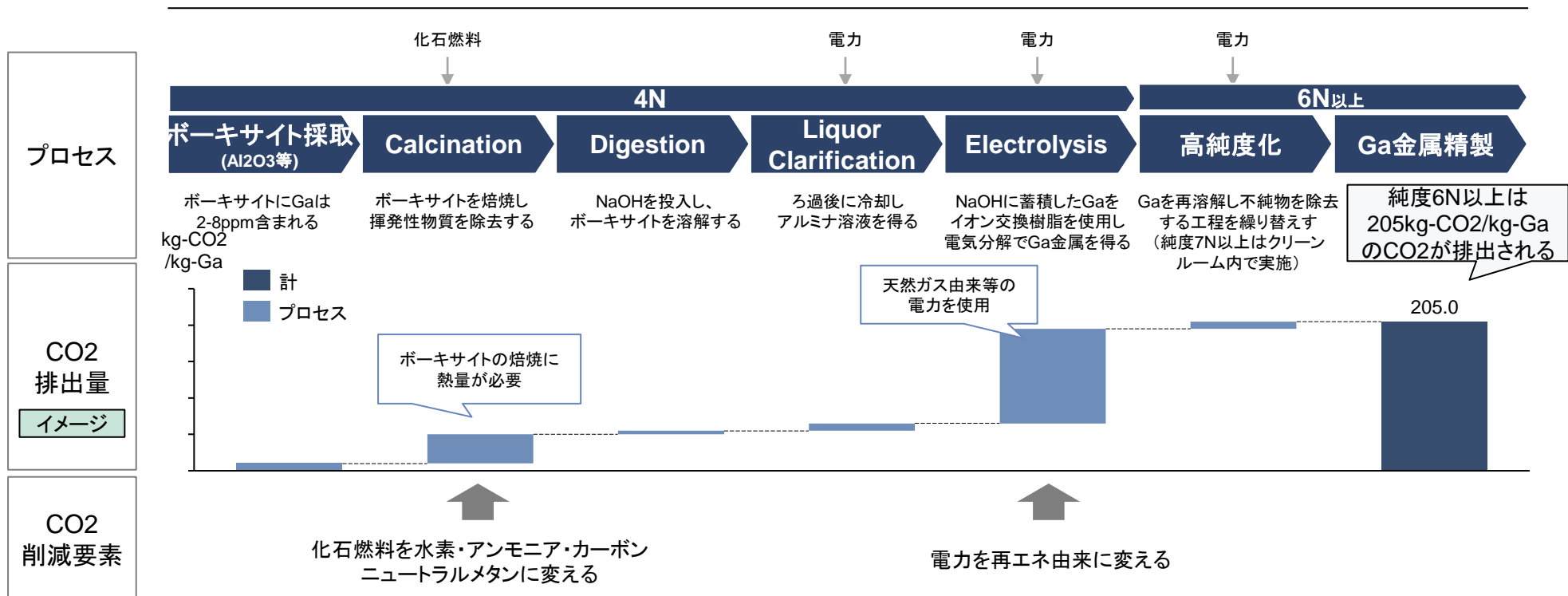
**アルミ精錬副産物から精製されるGaは 主にボーキサイトの焙焼及び電気分解を主要因として 純度6N以上のGa1kgあたりおよそ205kgのCO2が排出される**

○ LCA (Ga: アルミ製錬副産物からの精製)

ボーキサイトにGaが0.02-0.05%含まれる

Ga(ガリウム)

LCA評価(バイヤー法を想定し算出)\*



\*\*Energy and Exergy Analysis of the Primary Aluminum Production Processes”及び”Wasteless Processing of Red Mud by Hydrogarnet Technology”、ヒアリングを基にEPI作成。Ga金属精製時のCO<sub>2</sub>排出量は”Life Cycle Assessment of Metals”を使用。

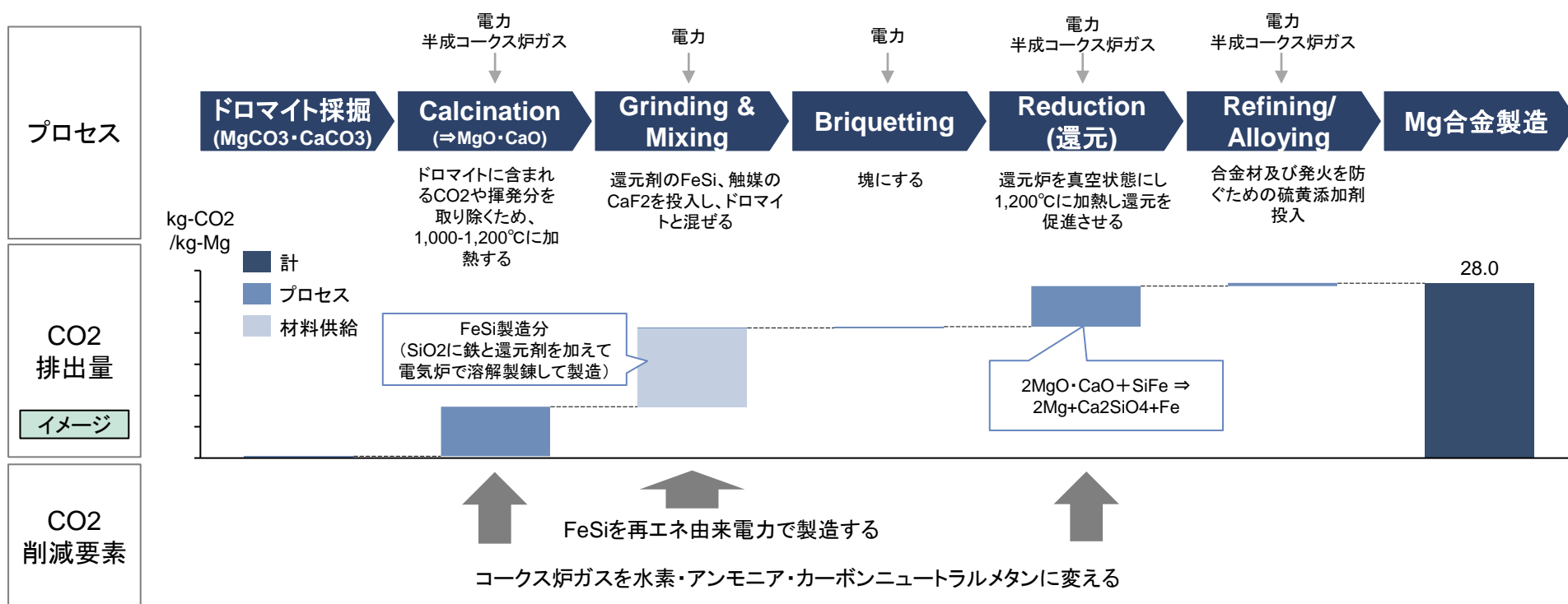
## 2. サプライチェーン

# 主なMgの精製手法であるピジョン法の場合 鉱石採掘からMg合金製造プロセスまでに Mg1kgあたり28kgのCO2が排出される

## ○ LCA (Mg : ピジョン法)

Mg(マグネシウム)

## LCA評価(ピジョン法を基に算出)\*



\*International Magnesium Associationの資料を基にEPI作成。現在主流である半成コークス炉ガス(Semi-coke oven gas)、石炭火力由来の電力を用いた場合のLCAを算出。コークス炉ガスや天然ガスを使用する場合もある。

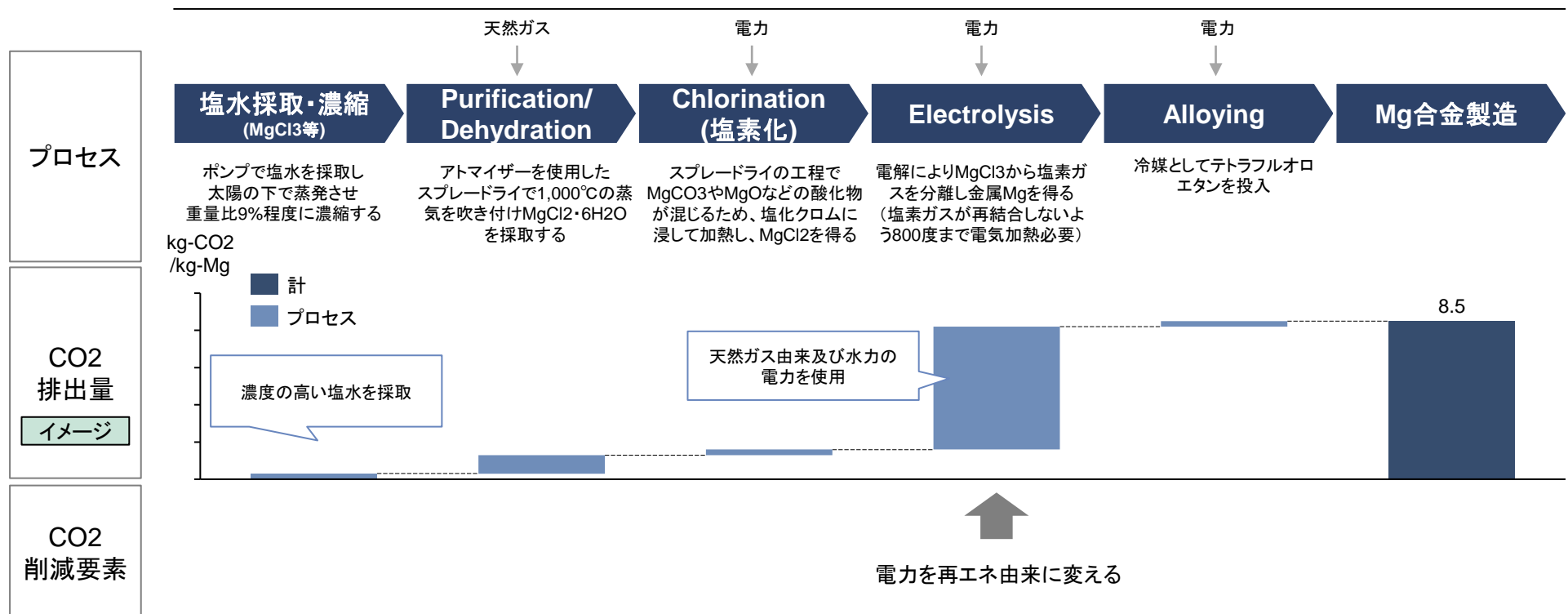
## 2. サプライチェーン

## もう一つのMgの精製手法である塩水電解法の場合 電解プロセスにおける電力消費を中心として Mg1kgあたり8.5kgのCO2が排出される

○ LCA (Mg : 電気分解)

Mg(マグネシウム)

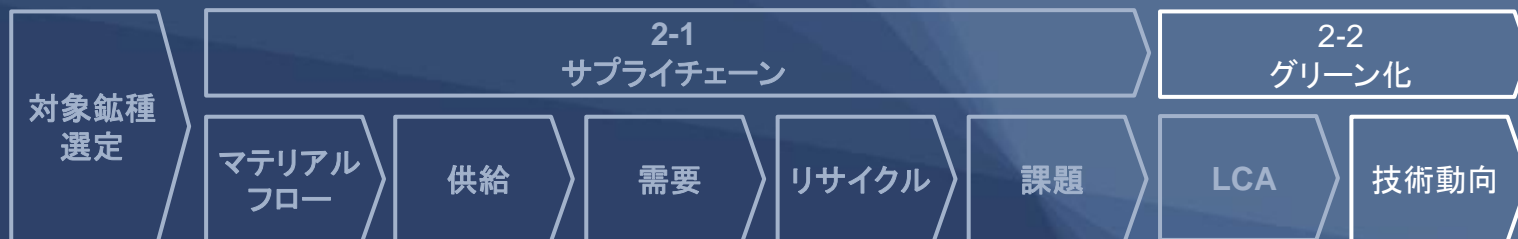
LCA評価(標準的な塩水電解プラントを基に算出)\*



\*International Magnesium Associationの資料、ヒアリングを基にEPI作成。

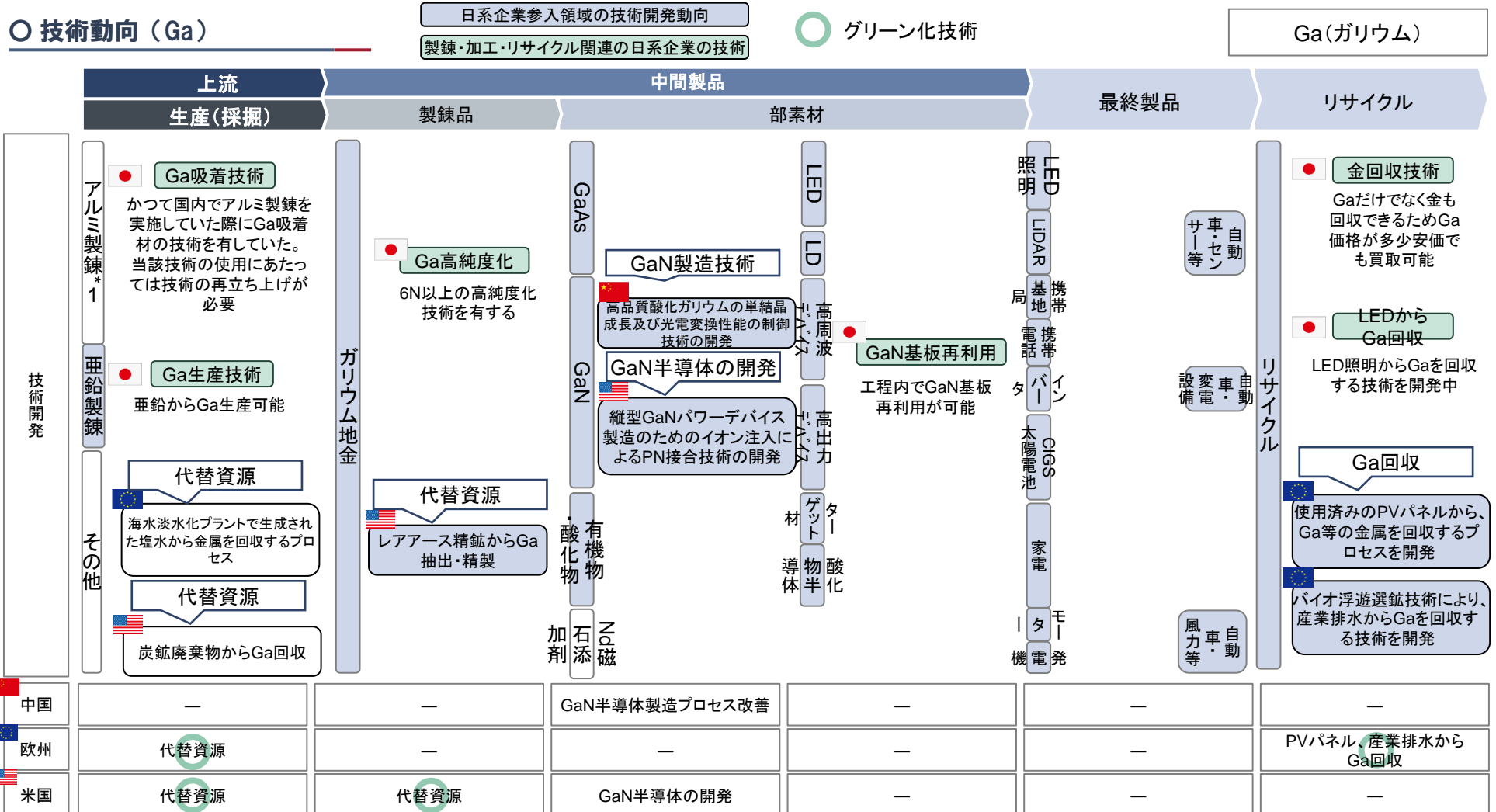
## 2. サプライチェーン

---



## 2. サプライチェーン

# Gaにおいては 中国ではGaN半導体の製造プロセス改善に係る技術開発を進めている一方 欧米では代替資源の開発及びGa回収に関する技術開発がなされている



\*欧米の国プロ、及び代表企業の研究開発プロジェクト、国内企業へのヒアリングをもとにEPI作成。 \*1:過去に我が国でアルミ製錬されていた時に培われた技術であり、現在は国内でアルミ製錬はされていない。



## 2. サプライチェーン

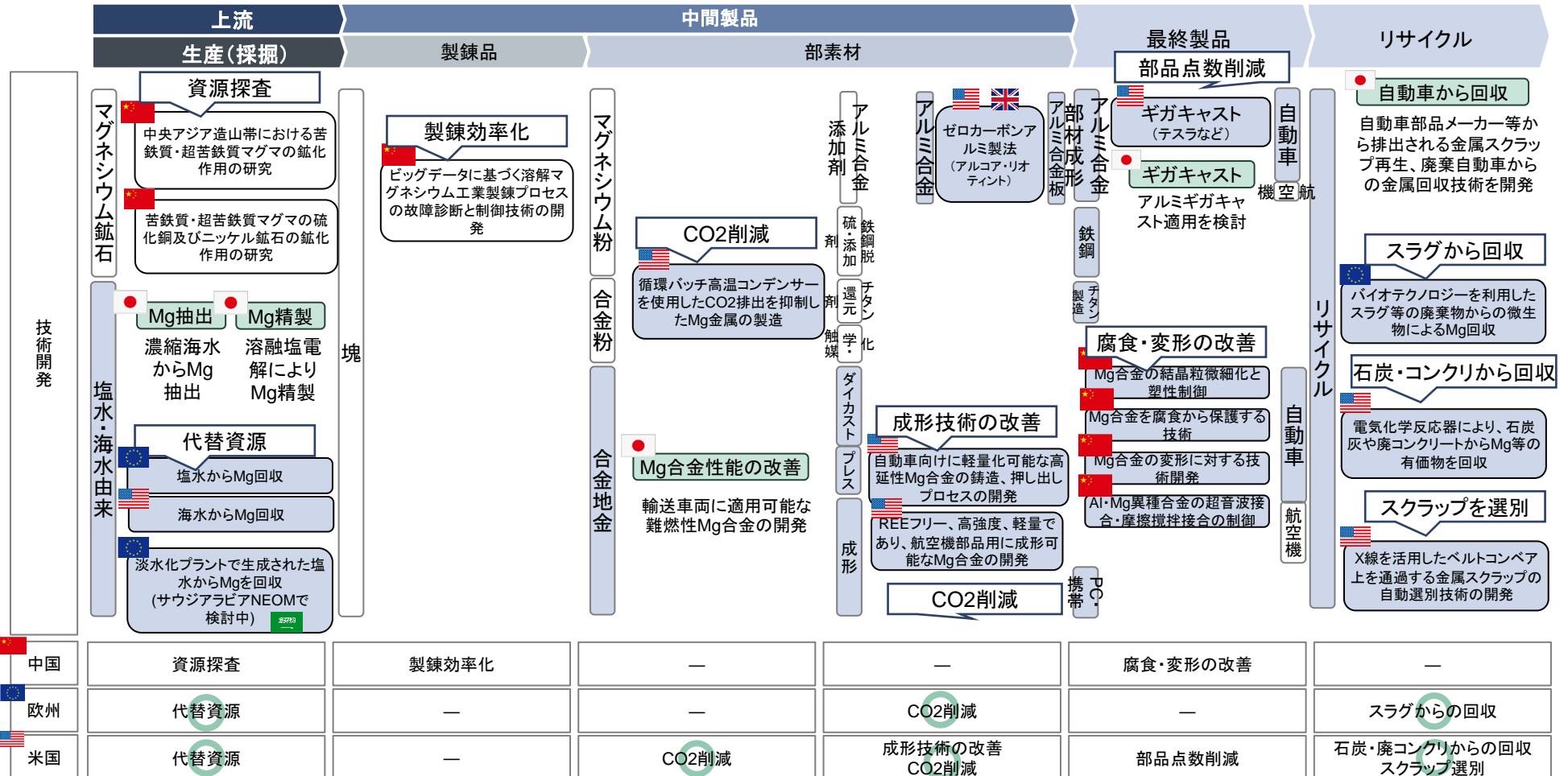
Mgにおいては 中国では資源探査・製錬効率化及び製品製造の開発を進めている一方 欧米では代替資源やCO2削減・リサイクル等のグリーン化に関する技術開発がなされている

### ○ 技術動向 (Mg)

日系企業参入領域の技術開発動向  
製錬・加工・リサイクル関連の日系企業の技術

○ グリーン化技術

Mg(マグネシウム)



\*欧米の国プロ、及び代表企業の研究開発プロジェクト、国内企業へのヒアリングをもとにEPI作成。

# 3. 提言

---

### 3. 提言

## Gaは 海外のアルミナ製錬所等でのGa生産及びGa基板メーカーの工程内リサイクル促進や 縦型GaN半導体の普及を見据えて Gaを市中回収可能なスキームを構築すべきである

#### ○ 提言 (Ga)

マテリアルフローとその課題

Ga(ガリウム)

	マテリアルフロー	課題	我が国の技術	提言
上流		<b>(A) 特定国以外の生産量が少ない</b> ✓ アルミナの生産量は中国以外が42%、亜鉛の生産量は中国以外が53%を占めるが、環境規制、コスト面から中国以外のGa生産量は少ない 	<b>Ga吸着・精製</b> ✓ 過去に有していたアルミナ製錬から生じるGaの吸着、亜鉛製錬からGa精製が可能	<b>特定国以外でのGa生産</b> ✓ 我が国の環境技術を供与し、海外でGa生産を行う
		<b>(B) 縦型GaNの需要増に対して調達リスクが高まる</b>  ✓ 2030年以降パワーデバイス向け縦型GaNの需要が伸びる ✓ GaNに必要な高純度Gaは船舶輸送には不向き ✓ 国内調達の基本となる	<b>GaN基板再利用</b> ✓ GaNデバイス製造工程において、廃棄されるGaN基板の再利用が可能	<b>基板再利用による国内供給量増加</b> ✓ 基板再利用より供給量増加を狙う
		<b>(C) 我が国の工程内リサイクル率は高い</b> <b>(C) 海外の工程内リサイクル率は低い</b> 	<b>ヒ素分離技術</b> ✓ GaAs基板からのヒ素(As)分離技術	<b>国内外の工程内リサイクルの促進</b> ✓ 短期的には国内外の工程内リサイクルを促進する
		<b>(D) 市中リサイクルはされていない</b> ✓ 量がまとまっておらずかつ不純物が多くリサイクルは困難 <b>(D) 縦型GaNであれば回収しやすい</b> ✓ 横型はGa含有量が少ないが縦型はGa含有量が多くリサイクルしやすい	<b>GaN基板回収</b> ✓ GaN基板からGa回収を検討	<b>市中回収スキームの確立</b> ✓ 長期的には縦型GaNを採用した自動車やLEDの市中回収スキームを確立する
中流				
下流				

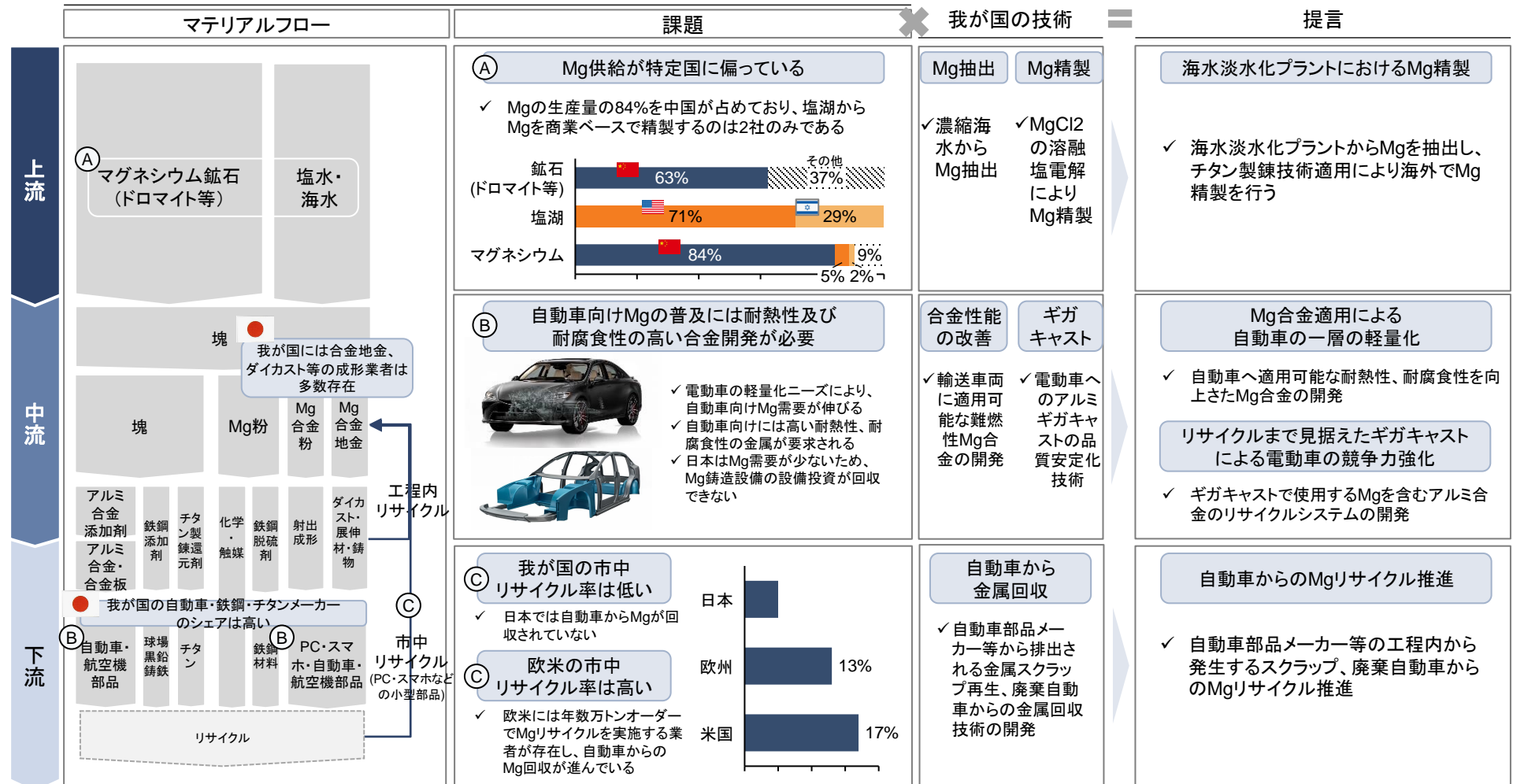
### 3. 提言

## Mgは 海水淡水化プラントの濃縮海水を利用した低コストなMg精製技術開発を行うとともに ギガキャストやMg合金の開発を支援し 市中リサイクルを促進すべきである

### ○ 提言 (Mg)

#### マテリアルフローとその課題

Mg(マグネシウム)





# EPI CONSULTING

EPIコンサルティング合同会社  
〒106-0032 東京都港区六本木 7-7-7  
[www.epi.inc](http://www.epi.inc)

