



日独エネルギーパートナーシップチーム

Energiepartnerschaft - Team

DEUTSCHLAND - JAPAN

## 概要調査

# エネルギー転換にとって 重要な原材料のための 循環経済型ソリューション

日独協力の可能性

二国間エネルギーパートナーシップの一環として

ドイツ連邦経済気候保護省を代表し作成



## 刊記

### 発行:

日独エネルギーパートナーシップチーム

### 実施機関:

adelphi consult GmbH (アデルフィコンサルト社)  
Alt-Moabit 91  
10559 Berlin  
T +49 (30) 8900068-0  
office@adelphi.de  
www.adelphi.de

### 著者:

Grüning, Carolin; Martin, Kristiina; Ruthner, Lena; Beier, Jana; Berner, Richard (adelphi)

### 写真:

©Urheber

### 引用の際は以下の出典を明記のこと:

Grüning, Carolin; Martin, Kristiina; Ruthner, Lena; Beier, Jana; Berner, Richard (2024) "Circular economy solutions for critical raw materials for the energy transition : Opportunities for German-Japanese cooperation".Berlin: adelphi.

### 協力者:

日独エネルギーパートナーシップチームの粟生木千佳 (公益財団法人地球環境戦略研究機関 (IGES))、長谷川平和 (在日ドイツ商工会議所)、Henri Dörr および Jana Narita (adelphi consult 社) (敬称略)。  
多大なるご協力を頂いた専門家の皆様に謹んで感謝の意を表したい。頂いた貴重なフィードバックおよび追加情報により今回の調査はいっそう充実し改善されたことに対して改めて深く感謝申し上げます。

### 発行版:

2024年7月

無断複写・転載を禁ずる。

本書のすべての使用は、アデルフィコンサルト社の承認を条件とする。

本書はダウンロード可能な PDF ファイルでのみ入手可能である。

### 発案者



### 実施機関:



エネルギー転換にとって重要な原材料のための  
循環経済型ソリューション  
日独協力の可能性

# 目次

<b>1 要旨</b> .....	<b>5</b>
<b>2 はじめに</b> .....	<b>6</b>
2.1 背景：エネルギー転換における重要原材料の役割 .....	6
2.2 目的と構成.....	7
<b>3 重要原材料とエネルギー転換</b> .....	<b>9</b>
3.1 ドイツ .....	9
3.2 日本.....	10
<b>4 エネルギー転換にとって重要な原材料のための循環経済型ソリューション</b> .....	<b>13</b>
4.1 ドイツ .....	14
4.2 日本.....	20
<b>5 既存の日独協力フォーラム</b> .....	<b>26</b>
<b>6 比較</b> .....	<b>27</b>
<b>7 結論および日独協力の今後の課題</b> .....	<b>29</b>
<b>略語一覧</b> .....	<b>32</b>
<b>図一覧</b> .....	<b>35</b>
<b>表一覧</b> .....	<b>36</b>
<b>8 参考文献</b> .....	<b>37</b>

# 1 要旨

気候・エネルギー政策協力における志を同じくする長年のパートナーとして、ドイツと日本の両国は、エネルギー転換にとって重要な原材料へのアクセスを確かなものとする循環型ソリューションの可能性を認識すると同時に、エネルギー転換技術のカーボンフットプリントの削減に取り組んできた。今回の調査では、日独それぞれの国が抱える状況、既存の政策アプローチ、およびこの取り組みを行う際のニーズと課題を分析する。そして、両国のアプローチの類似点と相違点、および日独エネルギーパートナーシップで、またこの二国間協力という枠組みを超えて、相互に学び合い協力し成長に向けた可能性について明らかにするものである。本調査は、エネルギー転換のための主要技術によって重要な特定の鉱物や原材料を確保するための政策手段に焦点を絞り、業界の専門家によるデスクリサーチと洞察を通じて得られたものである。調査結果に影響を与える地政学的・経済的状況は常に変化しているため、本報告書作成にあたり限界があったことも申し添えておきたい。

ドイツと日本は、それぞれの気候・エネルギー目標を達成するために、風力発電（陸上・洋上）、太陽光発電、電池、電解槽（水素製造用）などの主要なエネルギー転換技術の生産と設置を拡大する必要がある。両国は、2023年のCOP28合意内容の一環として、2030年までに世界の再生可能エネルギー発電容量を3倍にするための取り組みを行うと約束した。そのためには、前述した技術の生産にとって不可欠な重要原材料（critical raw materials）が大量に必要となってくる。両国はまた、2023年開催の「G7札幌気候・エネルギー・環境大臣会合」のコミュニケの一環として、エネルギー転換技術による環境と社会へのフットプリントを最小化し、一次資源利用への圧力を緩和し、これらの重要鉱物および原材料のグローバル・サプライチェーンに沿った供給と循環経済を強化することも約束した。これを実行していく中で日独両国が着目したのは、製品の設計段階で廃棄の発生を抑制する「リデュース・バイ・デザイン

（reduce by design）」、使用済みの製品・素材を別の用途に転用する「リパーパス（repurpose）」、壊れた製品を修理して利用する「リペア（repair）」、資源として再生利用する「リサイクル（recycle）」といった循環経済アプローチが、エネルギー転換のために重要な原材料の持続可能な供給に対して持つポテンシャルである。

両国のさまざまな政策戦略や枠組みには、資源効率と循環経済アプローチを強化する条項がすでにあり、その目的は原材料の採掘・生産にまつわる脆弱性と排出の問題を低減することにある。リサイクルや廃棄関連のインフラ状況については、両国ともおおむね良好であるが、重要原材料の回収や特定のエネルギー転換技術に的を絞った循環型ソリューションの開発をさらに進めていく余地はまだある。

日本は、資源効率および循環経済アプローチの推進に早くから政治的にコミットしており、当初はリサイクルに注力を注いできたが、後にその他の循環型ビジネスモデルにも着手するようになった。日本企業の多くは、優秀なリサイクル技術において世界有数のパイオニアである。とりわけ太陽光発電や電池の循環型設計（サーキュラーデザイン）といったアプローチの開発も現在進行中だ。

ドイツでも、政策課題としてリサイクルの推進に重点を置き、電池などの製品については、使用済み電池の引き取りといったアプローチによる拡大生産者責任制度が確立されている。製品等を繰り返し再使用する「リユース

（reuse）」や使用済み製品の機能を再生させる「リマニュファクチャリング（remanufacturing）」などの循環型設計や新たな循環型ビジネスモデルに対する当初のアプローチは、ドイツ企業によって試験的に運用されているだけでなく、初期のガイドラインの中でも政策として推進されてきた。近年採択された一連のEU指令によって、電池や太陽光発電などのリサイクル性、再利用性、耐久性を向上させるためのデジタル製品パスポートや統一設計規格といった革新的なアプローチが、将来、導入されることになるかもしれない。しかしながら、これと等しく重要なエネルギー転換技術である風力発電や電解槽については、日本とドイツでの取り組み例は今のところ少ない。

つまり、どちらの国においても、エネルギー転換に関連する重要原材料の循環性の向上を目指した法整備は始まったばかりなのである。こういった状況から、より包括的な行動が必要であることを認めざるを得ない。より明確なターゲットを定めた積極的なアプローチをとれば、廃棄処分となったエネルギー技術からの重要原材料は、将来、国内のリサイクルやリユースの対象として容易に利用できるようになるであろう。近年の法整備は、重要原材料の持続可能な供給を確保する上で不可欠であり、また、両国がよりクリーンなエネルギー供給へと移行し、より広く循環経済の原則を採用する上で、極めて重要である。

最初に両国の政策を分析し比較検討を行った結果、日本とドイツには、エネルギー転換に必要な重要原材料を確保するために循環経済戦略を強化できる絶好の機会があることが判明した。つまり、互いの実践から学ぶことで、両国には以下の実践が可能となる。

- **リサイクル**：エネルギー技術にリサイクル素材の使用を義務化し、複雑なデバイスのための高度なリサイクル技術に関する研究開発（R&D）を強化する。
- **リユース／リデュース**：原材料の使用を最小限に抑えるため、特に太陽光発電において、循環型設計と材料置換の基準を導入する。
- **循環型市場の推進**：持続可能な／循環型の調達や取引に関する政策を活用し、風力タービンや電解槽などの循環技術の市場を強化する。

日独エネルギーパートナーシップとより大きな国際的枠組みの中で協力を推し進めることで、このような取り組みを世界に広げ、重要原材料の供給をより安全で持続的に確保することができる。

## 2 はじめに

### 2.1 背景：エネルギー転換における重要原材料の役割

2015年、パリで開催された「国連気候変動会議(COP21)」において、「国連気候変動枠組条約 (UNFCC)」の全締約国は、世界の気温上昇を産業革命前と比較して2度未満に抑えるという共通の目標に合意した。この目標およびさらに意欲的な1.5°目標を達成するため、世界中のエネルギーシステムは再生可能技術へと移行している (IEA 2022b)。2023年にドバイで開催された COP28 は、すべての締約国が2030年までに世界の再生可能エネルギー容量を3倍にする努力を行うと約束し閉幕した (UNFCC 2023)。

その結果、再生可能電力、蓄電池、水素といった主要技術の生産・需要は世界的に増加傾向にある。本調査は、日本とドイツのエネルギー転換にとって鍵となる重要な技術に着目し、以下に続く項で**風力発電**、**太陽光発電 (PV)**、**蓄電池**、**電解槽**を中心に述べている。これらのシステムの生産には、いわゆる「重要 (critical)」で「戦略的

(strategic)」な原材料<sup>1)</sup>が多く必要である。国際エネルギー機関 (IEA) の予測によれば、クリーンエネルギー技術に必要な鉱物資源の総需要量は、現在のエネルギー政策計画では2040年までに2倍に、パリ協定の目標達成シナリオでは4倍になるとされる (IEA 2022b)。そのため、札幌で開催された2023年の「G7 気候・エネルギー・環境大臣会合」のコミュニケでは、ネット・ゼロ経済の実現に向けて「重要鉱物」及び原材料の供給を強化することが最も重要であると強調している (MOE 2023)。どの原材料がエネルギー転換にとって「重要」であるかの定義は定まっておらず、主観的かつ現地が抱える「経済的、地政学的、技術的要因」によって変わってくる (IRENA 2023)。国際再生可能エネルギー機関 (IRENA) は「クリティカルマテリアル (重要物質)」に関する35の異なるリストを精査し、その結果、エネルギー転換に必要な51種が少なくともリストの1つに記載されていることが判明した (IRENA 2023)。エネルギー転換のための「重要原材料 (CRMs)」に関する複数の定性分析に基づき、本調査では、前述の複数選定したエネルギー転換技術に特に関連があるものとして6種の原材料を代表として選んだ。つまり、**リチウム**、**レアアース**、**ニッケル**、**コバルト**、**プラチナ**、**銅**である (CISL and Wuppertal Institute 2023; Systemiq 2022; Simas et al. 2022)。

図1:本報告書記載のエネルギー転換技術による特定のCRMs (重要原材料) の使用

	リチウム	レアアース	ニッケル	コバルト	プラチナ	銅
風力タービン						
太陽光発電						
蓄電池						
電解槽						
その他の再生可能エネルギー						

出典：Simas らによる図 (2022年) に基づき、IEA2022b の追加データを用いて作成；Kowalski and Legendre 2023

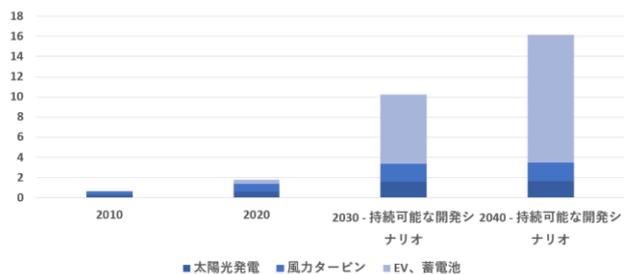
必要な鉱物の具体的な種類と量は、クリーンエネルギー技術の様々な種類によって、また特定の技術内においても、大きく異なる (IEA 2022b)。例えば、レアアースの鉱物資源重要度 (mineral intensity) は風力エネルギーで特に大きい。永久磁石を使用した風力発電市場は拡大しており、特に洋上設備については、今後数年、数十年でレアアースの需要が劇的に増加すると予想される (IEA 2022b)。太陽光発電では、モジュールの種類によって使用される材料の種類も量も異なるが、今のところ、結晶シリコン系が最も一般的な PV 技術である。IEA の推測では、現在進行中の技術革新が、長期的には PV モジュールの鉱物資源重要度の軽減に寄与し、特にシリコン需要を抑えることができるとしている。同時に、PV 代替技術が拡大することで、企業の銅需要が2040年までに3倍になるかもしれない (IEA 2022b)。銅は CRM リストに含まれないことが多いが、ほとんどすべてのグリーンエネルギー/低炭素技術にとって不可欠であり、エネルギー転換のボトルネックになりうる原材料の一つである (Simas et al. 2022; Kowalski and Legendre 2023)。電池需要については、再生可能エネルギー発電設備のための蓄電システムの需要増と、自動車の EV シフトによって牽引されている。PV と同様、特定の原材料の需要は電池技術によって大きく異なる。過去10年間はリチウムイオン電池が主流であり、リチウム、ニッケル、コバルトが重要な役割を果たしてきた (IEA 2022b)。水素の需要・利用の増加により、電解槽と燃料電池も大幅に拡大すると見込まれる。これらの技術が組み合わせることで、ニッケルやプラチナなどの CRMs の需要増につながる可能性はあるが、市場への影響は様々な種類の電解槽が普及するかどうかによるであろう (IEA 2022b)。さらに、鉄鋼やアルミニウムのような「バルクマテリアル」は、すでに何世紀にもわたり多くのエネルギー技術に使用されており、低炭素経済への移行に向けて、将来需要全体の約3分の1を占めるであろうことから、引き続き重要な役割を担うであろう (Simas et al. 2022; Kowalski and Legendre 2023)。

<sup>1)</sup>ここで述べたすべての技術には鉱物含有の岩石を加工して得られた金属や合金が必要となるが (IEA 2022b)、簡略化のためにこの報

告書では「重要原材料」(CRMs)という用語を用いて、供給とバリューチェーン全体に投入される原材料を表す。

将来必要となる原材料の総量を正確に算出することは未知の要素が多いため難しいが、パリ協定目標の達成シナリオでは、主要原材料の総需要量は今後 20 年以内に、銅とレアアースは 40%超、ニッケルとコバルトは 60~70%、リチウムは 90%程度まで増加すると IEA は試算している (IEA 2022b)。

図 2: 2010~2040 年シナリオによる特定のクリーンエネルギー技術の鉱物総需要量 (Mt)



出典: IEA 2022b に基づき作成

IRENA は、とくにリチウムなど、これら主要鉱物の一部には「需要と供給のミスマッチ」が起こるとすでに予測している (IRENA 2023)。しかしながら、将来における特定の CRMs 需要もまた、どの技術を選択するかによって大きく左右される。例えば蓄電池の化学的性質が異なれば、CRMs の使用量も増減する。異なる/新しい技術に移行することで、エネルギー転換に不可欠な 7 つの原材料 (リチウム、コバルト、ニッケル、マンガン、レアアース、プラチナ、銅) の需要を 2022 年から 2050 年の間に 30%削減できる、と (Simas et al.2022) は推測している。例えば、電気自動車 (EV) の車載用バッテリーをさまざまな化学物質に切り替えて定置用リチウムイオン電池から脱却することで、コバルト、ニッケル、マンガンについては、現在の技術や通常時と比較して予測累積需要の 40~50%削減できる可能性がある (Simas et al.)。

多くの CRMs の採掘と加工は、特定の場所に偏在する傾向が強い。例えば、豪州は世界最大のリチウム採掘国である。チリも世界有数の銅とリチウムの採掘国だ。中国 (黒鉛、レアアース)、コンゴ (コバルト)、インドネシア (ニッケル)、南アフリカ (プラチナ、イリジウム) も、CRMs の採掘で重要な役割を果たしている。加えて、中国は鉱物加工でも優位を占めており、現在、天然黒鉛とジスプロシウム (風力タービンに重要なレアアース) の世界全体の精製供給量の 100%を占めている。さらに、コバルトの精製供給量の 70%、リチウムとマンガンの供給量の 60%が中国で生産されている (IRENA 2023)。

このような現状は依存度を高め、サプライチェーンの混乱 (2) や不安定価格などのリスクを増大させる。地政学的緊張関係は、多くの国でエネルギー転換の進行を大きく妨げるかもしれない。そのため世界では近年、各国政府が、将来、確実に CRMs を獲得できるように、循環経済型 (CE)

ソリューションやアプローチの推進など様々な戦略を策定してきている (IRENA 2023)。

さらに、多くの CRMs の採掘と加工には、大量の温室効果ガス (GHG) 排出と社会・環境的被害のリスクが伴う。国際資源パネル (IRP) の推定によると、温室効果ガス排出量全体の 50%、そして世界の水ストレスと土地利用関連による生物多様性損失の 90%以上が、原材料の加工と採掘活動に起因している (IRP 2020)。現在、重要な CRM である銅の生産だけを見ても、人間活動に起因する世界全体の GHG 排出量の 0.2%を占めている。今後数十年内の需要増加を見込むと、この割合は 2050 年までに 2.7%まで上昇するとの試算もある (The Copper Mark 2024)。

しかしながら、クリーンエネルギーへの移行が目指しているのは、再生可能エネルギー技術の拡大に伴う原材料需要の増加を、GHG 排出やその他の環境・社会への悪影響から切り離すこと (デカップリング) である。そのため、責任ある持続可能な原材料調達、世界の気候変動目標を達成するための必須条件だ。第 4 章で詳細を述べているように、サーキュラー (circular/循環) という概念の普及は、新たな原材料需要やそれに伴う採掘・加工による GHG 排出量を削減するための重要な推進力となる (EEA 2024)。

## 2.2 目的と構成

本調査の目的は、日本とドイツにおけるクリーンエネルギー転換に向けて、CRMs を最も持続可能な形で確実に確保するための CE アプローチの導入に関する現在の課題とアプローチについて概説することである。類似点を明らかにし、協力体制を強化し、相互に学びあい成長できる可能性を特定し、提言を策定することを目指している。

本調査では、まずドイツと日本における気候・エネルギー政策目標の達成における様々な CRMs の果たす役割について概観し、将来、適切な CRMs へのアクセスを確保するために両政府が策定した戦略について概説する (第 3 章)。次に、主要なエネルギー転換技術のための CRMs を確保し、そのエネルギー転換技術の生産による GHG 排出量全体を削減するための CE アプローチの可能性を示すと同時に、このような状況で CE アプローチを推進または強化することを目的とした日本とドイツにおける既存の政策手段の概要を示す。第 4 章では、エネルギー転換技術における CRMs の CE 戦略をすでに適用し成功している日本とドイツの企業の優良事例を紹介する。第 5 章では、CRMs の供給確保に関する課題について、両国がすでに緊密に協力し取り組んでいるフォーラムの概要を示す。第 6 章では、比較検討を行い、両国におけるエネルギー転換に向けた CRMs を確保するための CE アプローチの推進と抑制について、共通の問題とアプローチを特定し、相違点と今後の課題について述べる。第 7 章では、これまでの章と結論を踏まえ、本テーマに関する日独間の協力強化に向けて、様々な課題について提言を行い締めくくる。

<sup>2</sup> 地政学的緊張関係による供給ボトルネックのリスク例として、中国政府による近年の輸出規制がある。2023 年 10 月、中国政府は「国家安全保障のため」として、特定の黒鉛製品に対し輸出許可の義務化を公表した。世界全体の黒鉛加工の 90%を中国が占めている

ため、このような現状は世界的な黒鉛不足につながる恐れもある。このような規制は中国企業の商慣行をめぐり多くの外国政府からの圧力が高まり、それに対する反応という側面もある (Liu and Patton 2023)。

本調査は、在日ドイツ商工会議所（AHK Japan）、公益財団法人地球環境戦略研究機関（IGES）、日独エネルギーパートナーシップチームの協力を得て、アデルフィコンサルト社が作成したものである。また、日独エネルギーパートナーシップの年次政策主要イベントである「第13回日独エネルギー・環境フォーラム（EEDF）」（2024年1月25日～26日、川崎市で開催）についても、特に今後の日独協力テーマに向けて、結論や提言などを本調査に取り入れ最終版に反映させた。

## 3 重要原材料とエネルギー転換

### 3.1 ドイツ

#### 3.1.1 ドイツのエネルギー政策の背景

ドイツは 2045 年までに気候中立を達成することを目標としている。温室効果ガス (GHG) の排出量を 1990 年比で、2030 年までに最低 65%、2040 年までに少なくとも 88% の削減を目指している (BMU 2021)。この目標達成のため、「ドイツの再生可能エネルギー法 (EEG)」は、2030 年までにドイツの総電力消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 80% とする目標値を設定している (BMWK 2022b)。そのため、風力発電と太陽光発電 (PV) の年間総発電量を大幅に増やす必要がある。ドイツ政府は、**洋上風力発電**の拡大目標値を、2030 年までに少なくとも 30 ギガワット (GW)、2035 年までに 40GW、そして 2045 年までに少なくとも 70GW と定めている (連邦政府 2024)。**陸上風力発電**については、2030 年までに 115GW を目標とし、2040 年以降、設備容量は 160GW まで増大させる予定である (連邦ネットワーク庁 2023)。**PV** システムは、2030 年までに総計 215GW まで (連邦政府 2024)、2040 年以降は 400GW を目指している (BMWK 2023b)。

ドイツの公的純発電電力量 (public net electricity generation) に占める**再生可能エネルギーの割合**は、2023 年で 59.7% (再生可能エネルギー消費の割合 57.1% に等しい) であった。そのうち風力エネルギー (陸上および洋上) の割合は約 32% で、最大の再生可能エネルギー源であり、それに次ぐ PV の割合は約 12.5% であった (Fraunhofer ISE 2024)<sup>3</sup>。

さらに、割合の高い変動性再生可能エネルギーの統合を進めるため、**電池**、水素、蓄熱などのエネルギー貯蔵システムは、将来のエネルギーシステムにとって重要な役割を果たすことになる。電力貯蔵の拡大をさらに推し進めるため、BMWK は 2023 年 12 月、電力貯蔵戦略を公表し、この分野での活動計画の概略を紹介している (BMWK 2023c)。また、連邦教育研究省 (BMBF) は 2018 年、「アンブレラ・コンセプト (umbrella concept)」を発表 (2023 年に改定)、その中で、ドイツとヨーロッパにとって、優れた技術力と強い競争力を持つ持続可能な電池のバリューチェーンを確立するため、その研究・開発に必要な連邦政府の資金対策について紹介している (BMBF 2023a)。このコンセプトは、今後数年内に電池需要を押し上げるとされる別の重要分野についても言及している。つまり、電気自動車 (EV) などによる道路輸送の脱炭素化である。ドイツは 2030 年までに 1,500 万台の EV 普及を目指している (連邦政府 2022)。

また、ドイツ政府は 2020 年に「国家水素戦略」を発表した (2023 年 7 月に改定)。この戦略は、ドイツの将来におけ

る水素の製造・輸送・利用の基盤を形成することを目的としており、2030 年までに**水素電解装置**の容量を少なくとも 10GW にするという目標を掲げている (BMBF 2023b)。

#### 3.1.2 ドイツのエネルギー転換技術における CRMs の役割

第 2 章でも述べたが、3.1.1 で述べた新エネルギー技術の拡大目標値達成に向けて、将来の CRMs の国内需要を正確に算出することは難しい。現在市場に流通している異なる原材料を必要とする異なる技術が多数存在していることも一因となっている。また、CRMs の中には、ドイツに輸入し、エネルギー技術に使用された後、再び輸出されるものもあるかもしれない。とはいえ、エネルギー転換のための CRMs 需要が将来どうなるのかについて、大体の予測を示す試算もいくつかあり、その中の一部を下記に記す。

ドイツ鉱物資源局 (DERA/German Mineral Resources Agency) の推測では、2030 年までに **PV** 設置容量を 215GW にするという目標を達成するには、残りの 161GW (2022 年の設置容量ベース) の容量拡大に多くの CRMs が必要になってくる。これには、**銅** (730 kt)、**シリコン** (600 kt)、**ガリウム** (12 t)、**ゲルマニウム** (25 t)、**テルリウム** (170 t)、**インジウム** (45 t) などが含まれるが、これらの原材料のほとんどは中国で採掘されている (DERA 2022a)。

**洋上・陸上を合わせた風力エネルギー**の容量を 2030 年までに 145GW に拡大するという目標に基づくと、既存の風力タービンのリパワリング (再発電) を行わない限り、約 82GW の追加が必要になると DERA は推測している。その際、潜在的に必要なようになるのは**レアアース** (5.5 kt) と**クロマイト** (40 kt) などの CRMs だ。現在、レアアースの生産では中国が優位を占めており、クロマイトは主に南アフリカで採掘されている (DERA 2022b)。

さらにドイツでは、モビリティ業界やシステムグリッド・ストレージとホームストレージの**バッテリー**の需要増加が CRMs 需要を押し上げている。環境研究機関であるエコ・インスティテュート (Öko-Institut) と経済調査会社のプログノス研究所 (Prognos) のシナリオに基づく試算によると、2018 年から 2030 年までのリチウムイオン電池の将来需要に対応するには、累積で少なくとも 7.4 万トンのコバルトと 5 万トンのリチウムが必要になってくる (Öko-Institut and Prognos 2019)。

水素製造に最も関連する 3 つの電解技術<sup>4</sup>の拡大に伴う年間需要は、ニッケルでは 16.8 万トン、プラチナでは 15~16 万トン、イリジウムでは 20~267 万トンになると、研究機関 Ffe (2022) は予測している。これは、2050 年までの 1.5°C 目標達成に向けて、2040 年以降に必要な世界の年間電解槽設

<sup>3</sup> (訳注) : Fraunhofer ISE (フラウンホーファー太陽エネルギーシステム研究所) は、ドイツのフライブルクに所在する太陽エネルギー研究機関である。

<sup>4</sup> アルカリ電解 (AEL/ alkaline electrolysis)、高分子交換膜電解 (PEMEL/ polymer exchange membrane electrolysis)、固体酸化物形電解 (SOEL/ solid oxide electrolysis)。

置容量を 400GW 超とする仮定に基づいた試算である (Ffe 2022; IRENA 2021)。

エネルギー転換技術にとって最も重要な CRMs のこのような需要に対応するため、ドイツおよび EU 全体は、現在、第三国からの輸入に頼らざるを得ない状況にある。一次資源の抽出、採掘、精製、加工を現場で行う能力はまだ極めて低く (Carrara et al.2023)、必要な原材料のすべてをドイツ国内や EU 域内で調達できないからである (CISL and Wuppertal Institute 2023; Die Bundesregierung 2023b)。EU が「重要」と指定している 27 種の原材料のうち 14 種についてはドイツも欧州も輸入に 100%依存しており、他の 3 種についてもいずれのケースでその依存度は 95%を超えている。さらにまた別の 7 種については、ドイツは 100%、EU 全体では 80%、海外輸入に依存している (Menkhoff and Zeevaert 2022; BGR 2022)。

このような輸入依存の状況は、エネルギー転換技術の拡大を実現させる上で、潜在的な脆弱性とリスク要因であるとの認識から、近年では、ドイツと欧州の CRMs へのアクセスを将来も確保するために一連の政策や戦略が策定されている。

### 3.1.3 原材料供給確保のための政策枠組み

ドイツでは、原材料の安定供給の責任は企業側にあるというのが慣例であった。政府による鉱山企業への投資も、国の備蓄体制の設立も、国による鉱山事業の開発も行われてこなかった。このような取り組み姿勢は、連邦政府が 2010 年に初めて立ち上げた最初の「**原材料戦略 (Raw Materials Strategy)**」にも反映されている。この戦略は、2008 年に欧州委員会 (EC) が公表した「**原材料イニシアティブ (Raw Materials Initiatives)**」を受けて策定されたもので、貿易や投資などの対策強化を重視し、原材料へのアクセス確保を目指すものだが、その一方でリサイクルや資源効率の可能性も強調している。完全な市場主導型アプローチに限界があると認識したドイツ政府は、2019 年、新たな「**原材料戦略**」を策定し (BMW 2019)、2020 年に採択した。その目的は、原材料の安全で持続可能な供給の確保にむけての企業支援である。このように、産業政策の一環として原材料に焦点を当てた政策は、ドイツ産業の競争力強化に寄与すると考えられる。この戦略はまた、例えば循環経済を奨励することで、ドイツの一次原材料に対する需要が減少し、その結果、気候政策にも貢献すると述べている。現在の原材料戦略には 17 の具体的な対策が紹介され、ドイツの原材料供給における 3 つの重点分野を挙げている。それは、(1) 原材料の国内採掘の強化、(2) 輸入の支援、(3) リサイクル活動の強化による原材料の回収、である (詳細は 4.1 を参照)。この戦略は、2010 年の最初の「**原材料戦略**」で成功を収めた対策の一部をさらに発展させたもので、アンタイドローン保証 (UFK 保証)、DERA の原材料モニタリング (詳細は 4.1.2 を参照)、原材料が豊富な特定の国にある商工会議所に原材料コンピテンス・センター (Raw Materials Competence Centers) の設立などがある。さらに、原材料加工や軽量構造事業の研究開発 (R&D) に対する資金援助など、新たな施策が数多く採用された。この中には、リサイクルによる二次鉱物原材料の利用を増大するための具体的な対策を、産官学の連携で検討する「**ダイアログ・フォーラム (Dialogue Forum)**」の設立も含まれている。金属と工業用鉱物については、特にリサイクル管理の改善が、企業による原材料の海外輸入依存度を減らし、かつ責

任ある原材料調達の要件を満たすための重要なアプローチであると述べている (BMW 2020)。

2020 年の「**原材料戦略 (2020 Raw Materials Strategy)**」では、EC が 2011 年に初めて公表した CRMs リスト (2014 年、2017 年、2020 年に方法論を変更した改定版を発行) について具体的に言及している。2023 年版の EC の CRM リストには 34 種が記載されており、これは最初の指定数の 2 倍以上である (EC n.d.a)。2020 年のドイツ原材料戦略では、将来の原材料供給に関する諸問題について、ドイツ政府と EC が緊密に協力することも定めている (BMW 2019)。

BMW は 2020 年の原材料戦略を補足し再検討するため、2022 年、「**持続可能で強靱な原材料供給への道**」と題する合意文書 (**Eckpunktepapier**) を作成した (BMW 2022a)。これは、(1) CE (循環経済)、資源効率、リサイクル、(2) 原材料サプライチェーンの多様化、(3) 公正で持続可能な市場枠組みの確保、の主な 3 つのアプローチで構成されている。

ドイツの原材料政策と欧州レベルでの決定事項は密接に係しているため、2024 年 4 月に「**規則 (EU) 2024/1252**」として発効した新しい「**重要原材料法 (CRMA)**」も、将来、中心的な役割を担うと考えられる (Chee and Blenkinsop 2023; 欧州評議会 2023; 欧州議会および欧州評議会 2024a)。CRMA は、34 種を指定対象とした CRMs リストを作成した。これには、グリーンエネルギーなど様々な技術にとって極めて重要かつサプライチェーン・リスクの対象となる可能性のある「**戦略的重要原材料**」16 種も含まれる。この規制の狙いは、国内の生産・リサイクル能力を拡大するという目標を掲げ、EU の戦略的原材料の自給率を高めることにある。EU はまた、CRM の供給国を多様化させたいと考えており (戦略的原材料の 1 種ごとについて、EU 域外のどの第三国も EU の総消費量の 65%を超えて供給してはならない)、EU 内で消費される CRMs の循環性と持続可能性の向上を目的とした対策の導入も目指している (欧州評議会 2023; 欧州議会および欧州評議会 2024a)。すべての EU 加盟国は、EU レベルで設定された共通基準を達成するための対策を盛り込んだ国内プログラムを、規則発効後 2 年以内 (すなわち 2026 年初頭まで) に採択し、実施することが義務付けられている。同規則の第 5 章第 1 節第 26 条には、循環性に関する国の対策についての具体的な要件も定められている。このため、CRMA の対策の実施について助言や調整を共同で行う運営組織である理事会が設置されることになっている (欧州評議会 2023; 欧州議会および欧州評議会 2024a)。

## 3.2 日本

### 3.2.1 日本のエネルギー政策の背景

2020 年 10 月、日本は 2050 年までにカーボンニュートラルを達成することを約束し、2030 年の温室効果ガス削減目標を 2013 年比で 46%に引き上げた (IRENA 2022)。こうした意欲を後押しする産業政策として策定された「**2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略**」(2021) は、環境保全と並行して経済成長を推進することを目的としている (METI 2021b)。この戦略では、洋上風力発電、太陽光発電、水素、燃料アンモニア、原子力などの 14 分野を特定している (METI 2023a)。

日本の「エネルギー基本計画」は、「エネルギー政策基本法」（2002年施行）に基づき、エネルギーの安定供給（energy security）、経済効率（economic efficiency）、環境配慮と持続可能性（environmental sustainability）の3つの基本方針（S+3E政策）を掲げている（METI 2021a）。2021年に制定された「第6次エネルギー基本計画」では、2030年までに再生可能エネルギーの割合を36～38%にするという目標を掲げ、そのうち太陽光発電は14～16%、風力発電は5%で、残りは水力発電（11%）、バイオマス発電（5%）、地熱発電（1%）となっている（IEA 2023; ANRE 2022）。これに向けて、2030年までに太陽光発電の設備容量を103.5～117.6GWに拡大するという目標値を設定した（ANRE 2021a）。風力発電容量については、洋上風力で10GW達成という固定目標値を掲げ、浮体式洋上風力発電施設の開発にも重点的に取り組む（ANRE 2021a）。2022年の再生可能エネルギーが日本の年間総電力需要に占める割合は22.7%で（ISEP 2023）、このうち、太陽光発電が9.9%、風力発電が1%であった（ISEP 2023）。

2050年目標のカーボンニュートラルの達成、自動車の電動化、そして再生可能エネルギーの供給バランスにとって、電池は極めて重要である（METI 2022a）。また、5Gやデータセンターなどの重要なインフラに不可欠なバックアップ電源でもあり、デジタル社会のレジリエンスを強化する（METI 2022a）。経済産業省の「蓄電池産業戦略」（2022）は、2030年までに24GWhの蓄電池を導入し、日本の電池生産能力を150GWhに引き上げることを目標としている（METI 2022c）。またこの戦略は、日本の電池製造能力を大幅に増大させ（JapanNRG<sup>5</sup> 2022）、2030年までに国内の蓄電池製造能力を150GWhにするという目標を掲げている（METI 2023d）。

2023年、日本は「水素基本戦略」を改定した（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 2023）。暖房、電力、合成燃料製品のカーボンリサイクルなどの炭素排出削減を目的としている（ANRE 2022）。この戦略は水素利用の拡大を目的とし、その目標値を2030年までに300万トン、2050年までに2,000万トンとし、2040年までの中間目標値をアンモニアも含む1,200万トンとしている（ANRE 2023）。また日本は、2030年までに水電解装置の容量を15GW増大して、国内外の使用を目的とした水素製造を増大し、水素・アンモニア発電によるエネルギー供給1%をめざす計画がある（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 2023）。

ドイツとは異なり、原子力エネルギーは日本のエネルギーミックスにおいて、依然、重要な位置を占めており、安全確認された原子炉の再稼働に伴い、2030年に向けての発電を20～22%にするという目標を掲げている（Matsudaira and Minatogawa 2024）。

「グリーン成長戦略」に則り、2050年までに日本の電力需要の50～60%を再生可能エネルギーで供給し、CCUS（二酸化炭素回収・利用・貯留）付きの原子力と火力で補うと

もに、10%を水素で供給するとの予測をIEA（2021）は示している（IEA and International Energy Agency 2021）。

日本は、新エネルギー技術、再生可能エネルギー、炭素削減を推進するため、2023年に閣議決定された「GX推進戦略」の下で資金調達の枠組みを確立した（Matsudaira and Minatogawa 2024）。この戦略では、官民投資と「GX経済移行債」の発行を通じて、今後10年で50兆円を超える投資を進める。

### 3.2.2 日本のエネルギー転換技術におけるCRMsの役割

ドイツの場合と同様、上で述べたエネルギー転換技術の拡大目標を実施するにあたり、日本国内のCRMs需要について、正確に試算するのは難しい。しかしながら、ここではいくつかの統計データを例として引用し、エネルギー転換のためのCRMsの安定供給を確保するという極めて困難な課題が、どの程度のものなのかを示す。

経済産業省は、風力発電の将来の拡大要件に対応するため、銅とネオジムの将来需要について分析を行った。その結果、洋上風力発電では1MWあたり、銅が約11.5トン、ネオジムが0.1トン必要になることがわかった（ANRE 2021b）。一方、陸上風力発電では1MWあたり、銅が約1.7トン、ネオジムが0.07トン必要になることがわかった（ANRE 2021b）。

同様に、日本の太陽光発電（PV）設置容量の拡大目標は、銅、シリコン、銀などの原材料の需要を大幅に押し上げ、代替技術はCRMs需要を大きく変える可能性がある（IEA and International Energy Agency 2021）。特定の原材料への依存を弱め、重要なPVセル素材の中国依存を減らすため、日本はヨウ素を使ったペロブスカイト太陽電池技術の開発努力を強化している。これは、ヨウ素の主要生産国である日本の地位を優位なものにし、特定の原材料の輸入依存を減らすことになる（METI n.d.）。日本の首相は、ペロブスカイト太陽電池について、2025年の実用化を目指す考えを表明した（The Japan News 2023）。

「蓄電池産業戦略」（2022年）で策定された蓄電池生産の拡大目標を達成するために必要となる原材料の年間需要について、一般社団法人電池サプライチェーン協議会（BASC）（2022）は、リチウムでは約10万トン、ニッケルでは約9万トン、コバルトでは約2万トン、黒鉛では約15万トン、そしてマンガンでは約2万トンを見込んでいる。

2023年の「水素基本計画」で示された、水素インフラの拡大目標達成のために必要な原材料の需要量については、定量的試算は得られていないが（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 2023）、電解槽に必要なレアアース、ニッケル、プラチナなどのCRMs需要が日本でも概ね増加することが予想される（IEA 2022b; DERA 2022c）。

日本は、CRMs輸入に大きく依存し、特に中国依存が大きい。中国の優位性はサプライチェーン全体にわたり、特に採掘、分離、精製、精錬の段階での優位性が顕著である（DeWit 2021）。2018年に日本が輸入したCRMsの割合を

<sup>5</sup>（訳注）：Japan NRGとは、日本のエネルギー・電気業界に関連するレポートの発信、イベントの開催を行うプラットフォームである。

国別にみると、中国が 58%で、次いでベトナムが 14%、フランスが 11%、マレーシアが 10%、残りの 8%はその他の諸国からであった (ANRE 2020)。これは、日本が CRMs の供給をわずかな国に大きく依存していることを示している

(DeWit 2021)。中国への輸入依存は、過去に両国の間に起きた地政学的な緊張関係の観点からみてリスクがあるため、日本は早急にサプライチェーンの多様化に取り組む必要がある (DeWit2021)。加えて、CRMs 市場が一握りの国に集中しており、一部は不安定な政情を抱えているため、供給リスクはさらに高まっている (ANRE 2020)。レアアースへのアクセス拡大は国内経済の脱炭素化にとって極めて重要であるため、日本は中国と競合する状況にある (DeWit 2021)。さらに、CRM 資源をめぐる競争は、先進国だけでなく新興国の間でも激化することが予想される (ANRE 2020)。このような状況から、日本が CRMs のサプライチェーンを多様化する必要があることは明白である。包括的な戦略を導入し、複雑な世界情勢の荒波をなんとか乗り切りながら、日本は強靱性と持続可能性の向上を目指している (DeWit 2021)、(ANRE 2020)。

日本の産業・経済成長にとって CRMs が極めて重要であることを踏まえ、日本は戦略的に供給源の多様化に焦点を当ててきた。この多様化は、単なる輸入にとどまらず、投資、加工、リサイクルへの取り組み、代替材料の開発にも及ぶ (詳細は 4.2 章を参照)、(ESCAP 2023)。

### 3.2.3 原材料供給確保のための政策枠組み

重要鉱物の安全供給における日本政府の戦略は、**特定重要物資の安定的な供給の確保に関する基本指針** (2022) で定義されているように、サプライチェーンにおける予測可能性と強靱性に重きを置き、官民セクターのステークホルダー間が協調して取り組むそのアプローチに特徴がある。この方針によると、政府は鉱物の種類ごとにその特性にあった目標を設定して国の対策を行う。この中には、供給源の多様化、生産技術の向上、替素材の開発の奨励などを目的とした補助金や助成金も含まれ、海外依存を減らすことを目指す。サプライチェーンの調査を定期的に行い、デジタル・トランスフォーメーション (DX) の進展に伴った新しい視点も組み入れながら、最新の供給・調達の実態にあった戦略策定を目指している。鉱物は、国の存続に対する必要性、海外の供給源への依存度、供給途絶リスクの影響度などを考慮して、重要鉱物として指定分類される。この分類は固定的なものではなく動的なものであり、世界や社会経済の情勢の変化に応じて調整が行われる。この戦略には、輸出制限や輸出国による優先供給といった外部措置による供給途絶のリスク評価も含まれ、国家と国民の安全に対する潜在的脅威を回避する目的がある (内閣府 2022)。

日本の「**国際資源戦略**」は、これらの必須鉱物の安定供給確保に向けたものである (METI 2020b)。この戦略は、世界における資源の偏在性、生産国の安定性、そして将来の需要と供給予測に焦点を当てて鉱種ごとのリスク評価を行うものだ。この戦略の重要な点は、34 種のレアメタルの備蓄システムを強化し供給途絶時の備蓄を確保することである (IEA 2022a)。

日本の「**重要鉱物に係る安定供給確保を図るための取組方針**」の目的は、レアアースのような重要鉱物の場合など、過度な輸入依存や特定の国による潜在的な独占といった問題を軽減することにある (METI 2023f)。そのため、この政策は、サプライチェーンの多様化と強化に焦点を当て、独

立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) を介して資源探査および開発の支援事業を行い、新規鉱山の発掘と精製施設の開発を支援するものである。サプライチェーンの脆弱性については、「**経済安全保障推進法**」(国家安全保障局内に新たに設置された経済班によって 2022 年に成立)でも言及されている (CISL and Wuppertal Institute2023)。この法律は、市場効率よりも経済安全保障を優先し、CRMs の主要供給国である中国に対する日本の依存度を減らすことを優先している。

「**電池サプライチェーン強化に向けて**」の戦略 (BASC 2022) では、電池製造用の鉱物の確保という具体的な課題を取り上げている。ここでは、重要なバッテリーメタルの確保と日本の電池製造能力の強化に焦点を当て、日本の電池サプライチェーンに関する課題と戦略について論じている (BASC 2022)。

さらに日本は、CRMs へのアクセスを確保するための二国間・多国間協力の強化に重点を置いている。米国と日本は最近、重要鉱物セクターに焦点を当てた「**日米重要鉱物サプライチェーン強化協定**」を締結し、重要原材料のサプライチェーンを強化し多様化することを主要目的としている (米国通商代表部 2023)。この新たな協定は、2019 年に締結した「日米貿易協定」に基づくもので、EV (電気自動車) バッテリー技術の進化と実装の支援に重点を置いている (米国通商代表部 2023)。この協定の重要項目として、重要鉱物に対する輸出関税の課税を相互に控え、これらの鉱物の貿易に影響を与える非市場的政策 (non-market-oriented policy) への対応策を国内で行うことを互いに了承する、などを盛り込んでいる (米国通商代表部 2023)。

## 4 エネルギー転換にとって重要な原材料のための循環経済型ソリューション

第3章で示したように、ドイツと日本が CRMs の供給確保のために策定した一連の戦略には、類似したアプローチも複数ある。その一つに、CRMs の国内生産（採掘と加工）の増強があるが、すべての CRMs はドイツと日本の国内に存在するわけではないので、これは必ずしも実行可能ではない。さらに、原材料の一次生産には、大量の GHG 排出を伴うなど、環境や社会への悪影響と無関係ではない（WWF 2023）。例えば、新たな鉱区の開発計画が持ち上がった地域で、地元住民の間で抗議活動が起こる可能性もあり、これは 2.1 で述べたような気候政策の達成目標と矛盾する。複数の戦略のうち、もう一つのアプローチは、供給途絶の回避を目的とした CRM サプライチェーンの多様化である。しかし、様々な供給国から大量の CRMs を輸入することは、一次採掘に伴う環境・社会の問題の解決を、消費国側が単に他国に委ねているだけである（CISL and Wuppertal Institute 2023）。環境悪化に加え、新規採掘場の開発は土地利用と収用をめぐる新たな問題も引き起こしかねない。IRENA（2023）によると、エネルギー転換にとって重要な鉱物の約 54%は、先住民の居住地域または隣接地域で発掘されている。これは、誰にとっても平等なエネルギーセクターの包括的で持続可能な転換というアプローチと矛盾する（CISL and Wuppertal Institute 2023）。同様に、CRMs の備蓄は供給リスクを軽減するための健全な解決策とは言えない。備蓄は市場制約を悪化させ、需要の高い原材料の世界価格を押し上げ、手頃な価格での CRMs 供給へのアクセスに不平等が生じ、エネルギー転換から貧しい国々を排除し、ひいては世界の気候緩和行動を妨げる可能性があるからだ（IRENA 2023）。

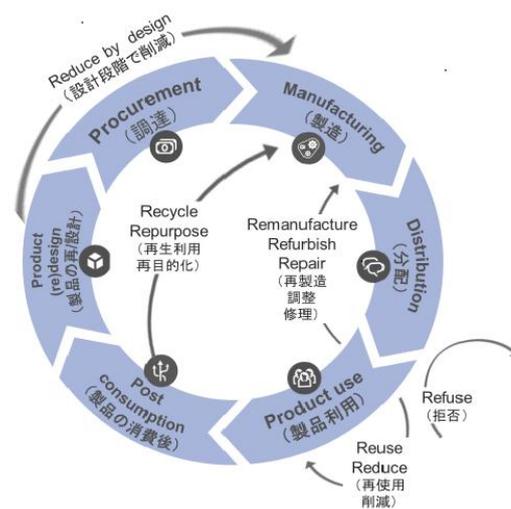
このようなことから、**CE アプローチの可能性**に注目している政府戦略もすでに存在する。2023 年に札幌で開催された「G7 気候・エネルギー・環境大臣会合」のコミュニケの中で、日本とドイツは、フランス、米国、英国、イタリア、カナダとともに、エネルギー転換技術の環境と社会へのフットプリントを最小化し、一次資源利用への圧力を緩和するため、重要な鉱物・原材料のグローバル・サプライチェーンにおける供給と循環性を強化すると約束した。コミュニケの中で、G7 閣僚は、重要な鉱物・原材料を含む製品を可能な限り長期に渡って経済に循環させ、厳格な環境・社会基準に従って、電子機器、尾鉱、その他の材料からの CRMs の回収とリサイクルを促進する取り組みを行うと約束した（MOE 2023）。

しかし、CRMs アクセスと関係するエネルギー転換において、CE は具体的にどんな役割を担うことができるのだろうか。

標準化した定義はないものの、一般的に CE アプローチは、原材料の消費・廃棄の回避または削減を目的としている（Ekens et al. 2019; CISL and Wuppertal Institute 2023）。図 3 が示しているように、これは、製品やサービスのライフサイクルすべてをカバーする様々な手法やアプローチによって達成可能だ。

様々な CE アプローチを体系化した様々なアプローチがあり（CISL and Wuppertal Institute 2023; Systemiq 2022; Günther et al. 2019; Fichter et al. 2023 を参照）、粒度と複雑性の点で異なる。よく使用される体系化の一つに「**9-R コンセプト（9-R concept）**」があり、国連環境計画（UNEP）の循環性プラットフォームでも使用されている（UNEP 2019）。この概念は、エネルギー転換の主要技術に様々な形で適用することが可能だ。

図 3：循環アプローチに適用される 9-R コンセプト



出典：2019 年の UNEP の情報に基づき作成。

指針となっているのは「**リデュース・バイ・デザイン（Reduce by Design）**」（サーキュラーデザインともいう）という概念で、風力タービン、ソーラーパネル、電池、電解槽などの製品（およびサービス）の設計段階で、修理・解体・再利用・リサイクル性を考慮し、耐製品寿命の延長と廃棄の回避を目的とする（Günther et al. 2019; UNEP 2019）。また、（品質を損なわない）リサイクルとより簡単な修理の実現のためには、異なる原材料の混合は可能な限り避けるべきである（CISL and Wuppertal Institute 2023）。一般的に、設計段階での決定は「**リデュース（Reduce）**」を促進する。例えば、製品の原材料の効率性を改善したり（アルミニウムなど排出原単位がより小さなバルク材をエネルギー技術に使用するなど）、原材料を環境負荷がより小さいものに替えれば、リデュースにつながる（CISL and Wuppertal Institute 2023; Systemiq 2022; Günther et al.）。これは、例えば有害・有毒物質や成分をできるだけ使用しない、または全く使用しないことを目的とする「**リフューズ（Refuse）**」とも合致する。PV モジュールに鉛の使用を減らす、または回避するといった取り組みもその例だ（Gebhardt et al. 2022）。「**リユース（Reuse）**」と「**リパーパス（Repurpose）**」は両者と

も、元々あった機能もしくは新たに加えられた機能を持った状態で、(損傷を修復する必要なく)製品寿命を延ばすことを目的としたアプローチである (UNEP 2019)。例えば、回収された電気自動車のバッテリーは再利用電池

(second-life storage batteries)として、風力発電の余剰エネルギーや家庭用蓄電池として再利用できる (EC 2023c)。製品(またはサービス)のサービスライフ期間中に損傷が起きた場合は、「リペア (Repair)」(例えば欠陥部品の交換)によって修理することができる。このための基本的な前提条件は、製品の設計にある程度のモジュール性が組み込まれていることで、これによって個々の部品やコンポーネントの修理や交換が可能になる。「リファビッシュ (Refurbish/改修)」と「リマニュファクチャリング (Remanufacturing/使用済み製品の再生)はどちらも、定義上すでに廃棄物となっている製品寿命の終わりに対処するものである。その目的は、個々の対策や標準工程によって、性能を回復または向上させ、製品が十分機能できるようにし、少なくとも開発当初の目的に再び適うようにすることである (UNEP 2019)。PV モジュールの修理や改修を行うことで、現在の世界の PV 廃棄の流れを 45~65%回避できると推定されているが、今のところ、このような循環型アプローチを適用できるような形式化・体系化されたプロセスは、多くの場でいまだ欠如している (Tsanakas et al. 2020)。最後に「リサイクル(Recycle)」は、廃棄物を回避するすべてのオペレーションを対象とし、廃棄物を材料に再加工するなど材料を循環サイクルに戻して資源循環の輪(マテリアル・ループ)を閉じることである (Systemiq 2022; UNEP 2019)。リサイクルの導入にあたっては回収インフラが必要となり、リサイクル自体は、手作業、機械作業、化学処理・廃棄金属加工プロセスなど様々な技術を用いて行うことができる (UNEP 2019)。リサイクルのプロセスや時に複雑な材料構成について極めて具体的な要件が必要となることからわかるのは、(風力タービンブレードなど)特定の重要なエネルギー転換技術(またはその一部の部品)のリサイクルには、今のところまだ大きな課題があるということだ。リサイクル能力が不十分なため、2030年までに EU だけでも約 5 億 7000 万トンの風力タービンブレードの廃棄物が発生すると予測されている (EC 2023b)。リサイクルは「都市鉱山 (urban mining)」もその対象とする。これは、天然鉱床ではなく人為的な鉱床(耐久消費財、インフラ、建物、埋立地等の廃棄材)から資源を回収することである (Günther et al. 2019)<sup>6</sup>。

上記のアプローチの多くは、様々な国の気候変動対策目標に二重の意味で貢献できる。つまり、CE アプローチは、持続可能なエネルギー技術の拡大に必要な CRMs へのアクセス確保の実現を可能にするだけではない。一次原材料を二次原材料に代替することで、GHG 排出量を削減することもできる。例えばリサイクルによって原材料を回収すれば、一次原材料を採掘し輸送するよりもエネルギー消費は大幅に少なく済む (EEA 2024) )。一次アルミニウムを二次

原料に換えると、エネルギー消費量の 95%を節約することができる (CISL and Wuppertal Institute 2023)。

循環型アプローチの目的はまた、製品や原料をできるだけ長く使えるようにして、新たな一次原材料の需要削減と、採掘や加工の際に排出される温室効果ガスの削減とを目的としている (EEA 2024)。Simas et al. (2022)によれば、循環型アプローチを適用することで、エネルギー転換に重要な 7 種の原材料(リチウム、コバルト、ニッケル、マンガン、レアアース、プラチナ、銅)の需要を、2022 年から 2030 年の間に 18%削減できる可能性がある。報告書ではまた、2022 年から 2055 年の間に鉱物需要全体の 20%がリサイクルによって供給できると予測している。さらに、2050 年までには、リサイクルに取り組むことでグリーン転換に必要なかなりの割合の鉱物を獲得できると見ている (Simas et al.)。このように、循環型アプローチの促進は、エネルギー転換技術のカーボンフットプリントを削減し、パリ協定の気候目標を達成するという、気候政策全体の目標に寄与するものである。

CRMs の中には、技術的にも経済的にも実現可能なリサイクルのポテンシャルを大いに秘めているものもあるが、世界全体のリサイクル率は様々な理由から全般的にまだ低く、増大する CRMs 需要に対する二次原材料での対応は十分ではない。その理由の一つとして、現在、多くの CRMs に対してコスト効率のよい選別・リサイクル技術がまだ開発されておらず、CRMs の大部分が長寿命のインフラ内で使用されたままになっていることがある (Gislev et al. 2018; IRENA 2023)。例えば、(現在ヨーロッパに設置されている)風力タービンの耐用年数について、Gislev et al. (2018)は 30 年と想定している。また、PV モジュールの初期耐用年数は最大 25 年と想定されている(後に性能 80%のセカンドライフ用途でさらに 10~15 年使用可能) (Fichter et al. 2023)。

前述した CE アプローチの導入にあたり、CE ソリューションを可能かつ実現できるものにするためには、適切な制度の枠組みと企業に対するインセンティブが必要となってくる。本章では、CE アプローチ (CRMs のための循環経済アプローチ)について、日本とドイツにおける現行の規制枠組みの解明を試み、第 5 章で、両者のアプローチの共通点と相違点を特定していきたい。

## 4.1 ドイツ

気候中立の目標とエネルギー転換の目標を達成するために、ドイツは今後、大量の CRMs が必要となってくるであろう。ドイツの一人当たりの原材料消費量は、すでに世界平均を大きく上回っている (UBA 2023b)。一般的にドイツでは、廃棄物の収集、分別、リサイクル、そして包括的な製品責任など、質の高い成熟した廃棄物管理システムと構造がすでに存在し、全般的に CE アプローチを導入するポテンシャルはあると言えよう (BMUV 2023e)。例えば、ド

<sup>6</sup>別の重要なアプローチとして、複数の調査で言及されている「リシンキング (Rethinking)」がある。これは、ビジネスモデルを捉えなおして再設計し、焦点を製品からサービスの提供へ(「所有」から「利用」へ)とシフトさせることである。このアプローチは、需要に対する供給方法をシステム的に変えることで新製品に対する需要を減らすことを意図している。例えばモビリティ分野の例として、車を個人で所有する代わりにカーシェアリング・サービスを利

用するなどがある (Systemiq 2022; Günther et al.)。このリシンキングは、今回の調査には含まれていない。エネルギー分野での適用可能性(今のところ)限定的であり、また今後数年は新規の発電所建設が避けられないと予想されるためである。しかし、CEに向けた包括的な変革の重要な一部であることは確かだ。

イツでは 2020 年、89.9 万トン以上の電気・電子機器がリサイクルされたが、これは 2019 年比で 11.2%増に相当する (DESTATIS 2022)。

しかし EUROSTAT (EU 統計局) によると、2022 年の原材料消費量全体に占める二次原材料の割合は約 13%に過ぎない (EU 域内ではドイツは 8 位、オランダの循環物質使用率は 27.5%と最も高い) (EUROSTAT 2022)。金属の回収と再利用については、ドイツではいわゆるバルク原材料 (鉄/鉄鋼、非鉄金属) と貴金属 (金、プラチナ) の割合が高い。例えば、ドイツの鉄鋼生産で使用される投入原材料全体のうち、鉄鋼のリサイクル率は約 90%で、鉄スクラップは約 43%を占めている (BMWK 2020; BGR 2022)。アルミニウムのリサイクル率は、用途によって異なるものの 90~95%で (BMWK 2020)、銅生産における二次原材料の割合は、2021 年では約 38%であった (BGR 2022 年)。しかし、特殊金属や一部の産業用金属の回収率は低い。これらの金属はリサイクル (再生処理材料) の回収、加工、リサイクル、使用などを経済的に組織化する上で、物流および技術面で大きな課題があるからである (BMWK 2020; Kreibe et al.)。BMWK によれば、レアアース、インジウム、ガリウム、ゲルマニウム、リチウムなどの特殊金属の回収は、合金の複雑性のため技術的な課題が残り、加工技術のさらなる進歩と新たな冶金加工製法の導入が必要である (BMWK 2020)。

EU 域内のリサイクル率は、CRMs のバナジウム、タングステン、コバルト需要の 35~44%で (2015/2017 年のデータに基づく)、アンチモン、マグネシウム、天然グラファイトなどその他の CRMs では 0~17%である (Gislev et al.)。しかし、これは将来の需要増に対し安定した供給を行うには十分ではない。

#### 4.1.1 重要鉱物の循環型アプローチに向けた政策枠組み

前述したように、一次原材料の使用増に伴う潜在的な需要のボトルネックや脆弱性、そして環境への悪影響は、ドイツでも欧州レベルでも知られるようになり、そのため、近年、CRM 需要に対応するため、循環型アプローチを強化する様々な政策目標や戦略、対応策を打ち出している。

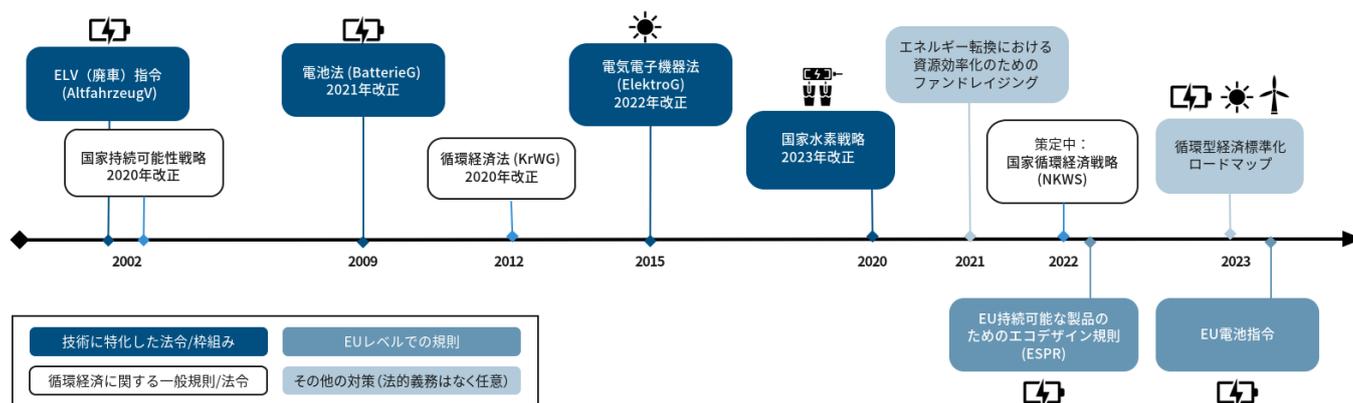
一連の戦略や法律において、ドイツ政府は CE アプローチを全面的に推進していくことを約束している。ドイツの現在の「**国家持続可能性戦略**」(最終改定は 2020 年 12 月、改定版は 2021 年 3 月に採択) には、CE アプローチ導入を通して原材料の需要と経済成長を切り離す (デカップリング) という明確な目標が示されている (ドイツ連邦政府 2021 年)。最新の連立合意内容に沿って、ドイツ連邦政府は 2022 年に「**国家循環経済戦略 (NKWS)**」にも着手した。この戦略は、「2020 年の欧州循環型経済行動計画 (CEAP)」<sup>7</sup>で述べられているように CE ビジョンに基づいたものである。この戦略は、ドイツにおいて循環型アプローチと資源効率の実施に向けて既存のすべての目標とアプローチの調整を意図しており、「原材料政策に関連するすべての戦略を支援する目標、基本原則、および戦略的対策の定義を政府が行う際の枠組み」を提供するものである

(BMUV 2023d)。2024 年 6 月、連邦環境省 (BMUV) は「**国家循環経済戦略 (NKWS)**」の草案を発表し、産業、社会、学術分野のステークホルダーに対し、2024 年 7 月上旬までに書面で意見書を提出するよう呼びかけた。特にこの草案では、2045 年までに国民一人当たりの一次原材料 (生物由来・非生物由来あわせて) の年間消費量を 8 トンに削減することなどを定めている。また、特にエネルギー転換技術のための CRMs については、循環の輪を閉じる必要性を強調している。これは、直接、資源・気候保全に資するためであると同時に、産業界にとってサプライチェーンの強靭性を高めるためである。こうした背景から、特に重要で戦略的な鉱物のための CE アプローチを強化するため、具体的な対策と手順を数多く列挙して紹介している。例として、EU レベルでのデジタル製品パスポート (DPP) の導入の支援 (本章の「電池」の項を参照)、適切な資金提供プログラムの拡大・発展、金属リサイクルの品質向上のための標準化プロセスの後押し、商業廃棄物からの戦略的金属の分離の義務化導入などをあげている。また、草案では、グローバルな環境問題の解決のために、将来に向けて、循環経済と資源効率の発展と促進をさらに推し進めていく上で、国際協力を強化することも定めている。また、日本との二国間協力についても、継続し強化していくと明言している (既存の協力形態については第 5 章を参照) (BMUV 2024)。

<sup>7</sup> 2020 年の CEAP は、欧州産業の原材料輸入依存度を低減し、CE 強化のための 35 の具体的な行動計画を定めている。これには、循環性のポテンシャルが極めて高い特定の製品群 (電池や自動車など) の CE 強化も含まれる (CISL and Wuppertal Institute 2023; EC

2020b)。行動計画である CEAP には、国レベルでの実施について拘束力はないが、ドイツを含むすべての EU 加盟国がその目標を実施することを奨励し、必要に応じて将来的に EC の執行権を行使する権利を保持している (EC 2020a)。

図 4: ドイツの政策枠組みの概要



出典：自作。

現在、ドイツでは CE アプローチ推進をするための枠組み条件を定めている主な法令は「循環経済法 (KrWG)」で、最初に施行されたのは 2012 年である。この法律は廃棄物の取り扱いに関する基本的な規定を定めており、廃棄物の回避、回収、処分を推進するものである。2020 年、KrWG は、「EU 廃棄物枠組み指令」(廃棄物枠組み指令 2008/98/EC、29018/951/EU により改正) の要件を履行するために改正された。この改正法は、特に廃棄物の回避とリサイクルの促進によって CE アプローチの強化を目的としており、CRMs についても同様である。KrWG は、EU の CRMs の定義に言及し、CRMs を含む製品の使用と取り扱いに一定の制約を導入している。つまり、CRMs を含む特定の製品については、製造業者、販売業者、または特定の第三者に返却する必要があることをラベル表示した製品のみを、市場に流通させてよいというものだ。さらに今回の改正では、製品責任に関する要件の対象が CRMs にも拡大された。この改正法では、CRMs は省資源化に努めて使用し、製品に含まれる CRMs が未回収のまま廃棄されることを回避するために、製品に含まれる CRMs をすべてを明確に表示しなければならない、と具体的に定めている。また、ドイツ連邦政府当局に対し、**持続可能な公共調達**に関する新たな要件を導入した。中でも、当局は「耐久性、修理のしやすさ、再利用性、リサイクル性を特徴とする」製品を優遇することを義務付けている。これは、特に、CRMs が含まれていることの多い電化製品を購入する際に関係する要件である (BMUV 2020)。つまり、KrWG で定められた公共調達に関する要件は、以前、「競争制限禁止法 (GWB)」の中で定められていた環境配慮に関する指導義務に替わるものである。ここでの指導義務とは、購入決定時や契約締結時に、環境配慮のアセスメント評価を行うことを義務付けたものを指す。この評価義務に代わって KrWG に導入されたのは、(持続可能な製品やサービスを優先しなければならないとする) 優先義務である。評価義務はこれまで、例えば自動車調達では公共調達条例 (Vergabeverordnung, VgV) を介するなどして、多くの強行規定によって履行されてきた (Vergabeblog.de 2021)。

CE 原則の導入にあたり、これらの包括的規制に加え、ドイツの将来の原材料供給確保に関する重要な戦略文書については 3.1.3 で紹介しているが、そのうち一部の文書には、CE アプローチの導入に関する具体的な義務事項が記載されている。ドイツ政府による 2020 年の「原材料戦略」と BMWK

による 2023 年の補足的な合意文書では、リサイクルの拡大と CE は、ドイツにおける将来の原材料供給において重要な柱であると述べている。CRMs の CE アプローチに関しては、2020 年の「原材料戦略」で、特に将来関係してくるレアアース、リチウム、インジウムなどの原材料について、加工・冶金技術の分野の研究開発を促進し、複雑なリサイクル・プロセスの最適化および経済効率の向上を目的とするなど、ドイツ政府の今後の方針を表している。また、製品および製品に含まれる原材料の使用を拡大するための新たなビジネスモデルと、それに関する研究プロジェクトも推進されるべきであるとしている。策定された目標は、リサイクル分野におけるイノベーションに重点を置く一方で、この戦略では、CE アプローチはこれを超えるものであり、さらなる循環型ソリューションの可能性についての対話を支援するべきであると強調している (BMWK 2020)。さらに対策を追加して連邦政府の原材料戦略を補完する目的で 2023 年に公表された合意文書では、引き続き「循環経済、資源効率、リサイクル」を 3 つの重要な柱のうちの 1 つとして焦点を当てている。例えば、リサイクル原材料やリサイクルレート (再利用可能な材料) の割当制度を通じてリードマーケット (lead market) を確立し、リサイクル原料をより効果的に使用できるように法的なハードル・規範・基準・承認・計画手続き方法などを改良し、最低限の法的要件や融資手段によって資源効率やリサイクルに関するイノベーションや研究開発を支援するべきであるとしている (BMWK 2022a)。これまで述べてきた規制や手段には、個々のエネルギー技術やそれらに含まれる CRMs に関する具体的な要件は含まれていないが、太陽光発電システム、風力タービン、電池/蓄電システム、電解槽に関する要件は、ドイツの政策ではすでにある程度存在している。

## 電池

本調査でとりあげたすべてのエネルギー転換技術のうち、CE アプローチの実行を積極的に進めるために、ドイツが最も多く採用している政策手段は電池に関するものである。

「EU 電池指令 (European Battery Directive 2006/66/EC)」を国内法に転換した「電池法 (Batteriegesetz, BatterieG)」は、2009 年に初めて施行され、2021 年に改正された

(BMUV 2021)。電池法は、国内での電池の市場流通、使用済み電池の回収、環境に配慮した電池の廃棄についての規制を定めている。すべての種類の電池を対象とし、充電

式電池（蓄電池）と非充電式電池の両方が含まれる。電池を商業目的で国内市場に流通させるすべての製造業者は、正式登録し、回収制度に参加し、一定の表示義務を果たさなければならない。すべての小売業者（オンライン小売業者も含む）は、販売した電池の使用済み後もすべて消費者から無料で回収し、廃棄となった携帯用電池をリサイクルまたは処分のために製造業者に引き渡さなければならない（IHK Köln n.d.）。2021年の法改正では、電池のリサイクルと電池に含まれる CRMs 回収を促進するための様々な変更が導入された。例えばこの改正法により、使用済み電池の最低限の年間回収率は、45%から50%に引き上げられた。さらに、電池製造業者に対して、携帯用電池の耐久性、再利用性、リサイクル性の向上が義務化されることになった（UBA 2020a）。

CRMs 回収の上で重要な別の製品群として EV バッテリーがあり、その廃棄は「**ELV（廃車）指令（Altfahrzeug-Verordnung/AltfahrzeugV）**」によって規制されている。一部の CRMs については、EU 全体の消費量の約半分が自動車セクターによるものだが、現在、EV 駆動モーターに含まれるレアアースや組込み電子機器に含まれるパラジウムのように、破碎後に回収されないものもある（BVSE 2023）。ELV 指令は、国内での環境に配慮した廃車に関する規則を定めたもので、2002年に発効した。自動車メーカーに対し、自社ブランドのすべての使用済み自動車を引き取り、包括的な返却オプションを設けることを義務付けている。さらに2015年以降、メーカー、輸入販売業者、販売業者、廃車業界、自動車保険会社が連携し、使用済み自動車の平均空車重量の少なくとも95%をリサイクルする義務がある、と定めている。この目標は、2019年を除く2021年まで、毎年達成されてきた（BMUV 2023a）。電気自動車を廃車する際、ELV 指令と電池指令（BatterieV）の両法が適用される。それに則り、車両電池は焼却や埋め立て処分をせず、取り外してリサイクルしなければならない（Sonderabfallwissen 2020）。

ドイツの電池産業の将来的な発展のためのもうひとつの重要な枠組み戦略として、**BMBF（ドイツ教育研究省）による電池研究のための「アンプレラ・コンセプト」**がある。これは、リサイクルと CE に関する研究分野を強化し、明確な目標を策定することを目的としており、2030年までに電池リサイクル関連の企業数を41社以上にすること、使用済み電池のセルレベルの材料の少なくとも90%の重量を電池セル生産にリサイクルすること、などを目標とする（BMBF 2023a）。さらに、BMUVは「**循環型経済標準化ロードマップ（Standardisation Roadmap Circular Economy）**」の作成を支援した。このロードマップは、産官学の各分野を代表する有識者および一般市民の協働で作成されたもので、2023年1月に公表された。これは、7分野（デジタル化、ビジネスモデルと管理、電子機器と ICT、電池、包装、プラスチック、繊維、消費と自治体）で CE アプローチを導入するために、どの規格や仕様を改良する必要があるか、新たにどのような規格を開発する必要があるか、についての提言を行うものである（BMUV 2023c）。

現行のドイツの規制に加え、最近採択された2つの EU 法では、電池のリサイクルと循環に関する新たな要件が導入されており、ドイツでは電池からの CRMs 確保に大きな影響を与えることになる。2023年8月に施行された新たな「**EU 電池指令**」は、「調達、製造、使用、リサイクルの問題にあらためて取り組み、一つの法律に明記した完全なライフ

サイクル・アプローチ」を採用した最初の欧州法であり（EC 2023d）、2020年の EU CEAP の目標に則ったものである。2025年以降、リサイクルの効率化、原材料の回収、リサイクル材の含有率などの目標が導入される。特に、コバルト、リチウム、ニッケルなどの CRMs については、（回収や、リサイクルの効率化とマテリアルリカバリーの目標値をさらに高く引き上げ）、高いリサイクル率を達成しなくてはならない。電池指令はまた、リサイクル材の最小含有率についても規定しており、コバルトは16%、鉛は85%、リチウムとニッケルはそれぞれ6%である。また、デジタル製品パスポート（DPP）も導入して、QRコードで電池の構成成分などの詳細情報を提供し、リサイクル管理の促進化を図っている。この法律は、現在、ドイツを含む EU 加盟国で適用されることになっている。そのため、EC（欧州委員会）は、より詳細な規定を含む第二の法案（実施法および委任法）を準備する予定である（EC 2023d）。同様に、2024年7月18日に「**Regulation (EU) 2024/1781 EU）2024/1781**」として施行され、旧エコデザイン指令に取って代わった、改正「**持続可能な製品のためのエコデザイン規則（ESPR）**」は、製品とその構成材料についてトレーサビリティを可能にする重要なツールとして、DPP の導入に言及している。DPP の目的は、製品のリサイクル性や、含有する CRMs がリサイクルできない製品を禁止対象とするなど、拘束力のある要件を導入するための法的基盤を構築することにある。さらに ESPR には、製品の修理性、耐久性、リサイクル性を向上させるため、製品設計や情報提供などに関する要件も含まれている（CISL ans Wuppertal Institute 2023; EC 2022）。ESPR は具体的な対策を決めるものではなく、むしろ実施段階での枠組みを策定するものである。特定の製品や製品群に対する要件は、第二フェーズで様々な委任法令によって定義される。この委任法令は、2024年から2027年の間に策定し採択される予定だ。これは、いわゆる「**エコデザイン・フォーラム**」において、加盟国および専門家やステークホルダーからなるグループとの緊密な協議のもとに起草されることになっている（Boewe and Rasche 2024; 欧州議会および欧州評議会 2024b）。



## 太陽光発電/ソーラーパネル

太陽光発電（PV）／ソーラーパネルについては、CRM 回収のための CE アプローチを促進する政策手段が、今のところ、電池の場合と比べて圧倒的に少ない。「**電気電子機器法（Elektro- und Elektronikgerätegesetz, ElektroG）**」は、2015年に初めて施行され、最後に改正されたのは2022年である。同法は、EU の「**電気電子機器廃棄物指令（WEEE 指令 2012/19/EU）**」をドイツの国内法に置き換えたものである（BMUV 2022）。この指令の目的は、（ソーラーモジュールも含む）電気電子機器メーカーが、使用済み電気製品の適切な回収と返却を確実にし、特に、再利用、再利用に向けた準備、またはリサイクルなどを通じて廃棄物を削減するなど、製品の廃棄に対する責任を生産者に義務付けることである。2022年の改正により、製造業者の義務は全面的に拡大され、電子電気機器のライフサイクル全体に及ぶようになった。ElektroG はまた、すべての電気電子機器メーカーに対し、自社の製品を国内市場に流通させる前に登録しなければならないと定めている。さらに、消費者は使用済みの家電製品を一般ごみと分別して廃棄する義務がある。家庭から出る使用済みの家電製品は、公共の廃棄物処理機関が運営する回収場所に無料で持ち込むことができ、その一部は専門処理のために製造業者によって回収される。また、電化製品を扱う一定の販売エリアを持つ小売

業者に対し、無料引き取り回収所の設置を義務付けている。適切に回収された廃家電はすべて、認定を受けた一次処理施設で検査され、家電全体または個々の部品が再利用またはリサイクルできるかどうかを判定しなければならない。さらに、最終処分時に一定のリサイクル割当量を達成しなければならない (UBA 2021)。2019 年以降、過去 3 年間に国内市場に流通した電気電子機器の少なくとも 65% (総重量で測定) は、引き取りシステムを介して回収されることになっている。しかし、2021 年の回収率は 38.6% で、明らかに目標値には届かなかった。ElektroG はまた、毎年回収される廃棄電化製品の 55~80% を、電化製品の種類によって、再利用またはリサイクルできるように処理しなければならないと定めている。この割当目標は、2021 年、6 品目の家電製品すべてにおいて達成された (UBA 2023a)。2021 年の改正法では、使用済み PV モジュールのリサイクルに特化した新しい規則も導入された。例えば、シリコン系モジュールとその他のモジュールは分別して処理すること、鉛、セレン、カドミウムなど、一定の限界値を超えてはならないこと、などの規定が定められている (energie-experten.org 2022)。



#### その他の技術：風力発電と水素・電解槽

調査チームの知る限り、風力タービンの CE アプローチの導入を推進するような全国ガイドラインや政策手段に相当するものは存在していない。ドイツでは風力タービンの解体から生じる廃棄物の処理については、KrWG で規制されている。しかし、解体プロセスそのものは、異なる連邦州ごとによって定められた様々な規制の対象となる (Otto et al.)。さらに、「ドイツ連邦排出防止法 (BImSchG)」では、事業者がタービンの解体とリサイクルに対して責任を持つことを義務付けている。そのため、各事業者は、多種多様なタービンと設置場所に特有の技術的要件を満たすために、個別の解体・リサイクル計画を策定しなければならない (UBA 2020b)。この多様性ゆえに、風力タービンの EOL (使用済み) 管理において、統一かつ一般的なアプローチの確立が困難になっている。2023 年に連邦環境庁 (UBA) が委託した、風力タービンの解体とリサイクルのための優良事例対策 (good practice measures) の開発に関する調査でも、効率的なリサイクルを実施できるような適切な製造業者の関連情報が、解体時において、ほとんど或いはまったくないのが通常であると記されている。その結果、風力タービンの CRMs のリサイクルに関する一般仕様書も存在しない (Otto et al. 2023)。

同様に、CE アプローチの導入を要求または推進するような電解槽スタックに関する具体的な要件も特定できなかった。しかし、ドイツ政府による改定版「国家水素戦略」では、水素製造のための CRMs の消費を大幅に削減するために、またはこれらの原材料を代替するために、エネルギー原材料の基礎研究を推進するという目標を掲げている (BMWK 2023a)。

#### 4.1.2 調整機関、多国間枠組みと国際協力での取り組み

ドイツでは、CRMs 供給に関する問題は主に BMWK (ドイツ連邦経済気候保護省) が担当し、ドイツ鉱物資源局 (DERA) は、こうした重要課題に対する同省の取り組みを支援するため、2010 年に、最初の原材料戦略の実施機関として設立された。DERA は、BMWK が所轄する技術・科学の上級行政機関である連邦地球科学・天然資源研究所

(BGR) に属する。DERA は、鉱物原材料および特定の間製品の価格推移や需給動向などのモニタリングを行っている。このような情報は、ドイツ企業が、潜在的な価格リスクや供給リスクおよび市場におけるクリティカルな動向を早期に特定し、適切な代替戦略を策定できるようにするためのものである。さらに、原材料加工および軽量建設の関連事業に対する R&D 資金の提供や、企業、学術機関や行政からの各代表者など産官学による新たな対話プロセスも生まれている (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung 2023)。さらに、ドイツ資源研究所 (GERRI) は、「ドイツ原材料戦略 (German Raw Materials Strategy)」の実施を支援している。GERRI は連邦地球科学・天然資源研究所 (BGR) の所轄下であり、ドイツ政府に助言を行う 8 つの研究機関で構成されている (BGR 2020)。

CE への変革は、ドイツの様々な関係者によって取り組まれている横断的な課題であり、連邦政府内の関係省庁が定期的にその取り組みの調整を行っている。このため、連邦首相府が担当する国家持続可能性戦略の一環として、CE をテーマに省庁横断的な変革チームが設置された。NKWS (国家循環経済戦略) は、様々な利害関係者を巻き込み参加型プロセスによって作成され、BMUV 主導の下、ドイツの傘下組織の代表者との対話フォーラムなども交え、様々な活動を行っている。(BMUV 2023b)。

2015 年、ドイツ連邦政府は、地域および世界の資源効率化を促進するために、政策決定機関、企業、研究機関のための国際フォーラムとして「G7 資源効率性アライアンス」を発足させた (G7 Alliance for Resource Efficiency n.d.)。2017 年にドイツのハンブルクで開催された G20 サミットでは、「G20 資源効率性対話 (G20 Resource Efficiency Dialogue)」が設立され、天然資源の持続可能な利用を推進し、設立以降、定期的に会合を開催している (IGES n.d.)。

さらに、連邦政府は EC の活動を支援し、EU レベルの様々な委員会や作業部会に参加している。中でも BMWK は「原材料供給グループ (Raw Materials Supply Group)」のメンバーであり、EU 加盟国、産業界、研究機関、市民社会の専門家が集まり、原材料の持続可能な供給についての助言を EC に対して行っている (BMW 2019)。様々な利害関係者を含む参加型の「原材料に関する欧州イノベーション・パートナーシップ (EIP/European Innovative Partnership)」の一環として、産業界代表、公的機関の職員、学者、NGO のメンバーも、欧州委員会、EU 加盟国、民間のステークホルダーに対し、原材料に関連する課題に取り組むための革新的な戦略について助言を行っている (EC n.d.b)。さらに、EIT RawMaterials は、EU の持続可能な原材料供給を支援するため、欧州イノベーション・技術機構 (EIT) 内に原材料部門のイノベーション・コミュニティとして、2015 年に設立された。EIT RawMaterials には、産業界、学術機関、研究機関、投資部門から 300 人を超える会員が参加し、欧州の CE への移行支援を目指している (EIT RawMaterials 2023a)。また、EU の CRMA (重要原材料法案) の一環として、2020 年に設立された「欧州原材料アライアンス (ERMA/European Raw Materials Alliance)」を主導している。このイニシアティブでは、バリューチェーンの企業関係者、加盟国、地域、労働組合、市民社会、研究・技術機関、投資家、NGO などが協力して、EU における CRMs の獲得にむけて、規定や政策面で

障害となっている問題を解決し、循環型アプローチ強化のための投資提供などの取組みを行っている（EIT RawMaterials 2023b）。

#### 4.1.3 エネルギー転換にとって重要な原材料のための循環経済型ソリューション：業界優良事例

すでに多くのドイツ企業が、第4章で述べたようなCE戦略の一部を適用し、エネルギー転換のためのCRMsを循環させることに成功している（Fichter et al.）。以下の情報ボックスでは、優良事例のいくつかを選定して紹介している。ここでは、可能な限り様々なエネルギー転換技術とCEアプローチを紹介するため選定したが、すべてを網羅できていない。

##### Refurbish & Repurpose：使用済み電気自動車用電池を定置用蓄電池ユニットに - Voltfang GmbH

使用済みリチウムイオンの電気自動車用電池（EVB）は、その後のセカンドライフで定置用蓄電池ユニットとして使用することが可能だ。これは、例えば、電力網オペレーター（electricity grid operators）への一次電力制御（primary power control）の供給や、民間、商業、産業セクターで、自家発電の最適化、負荷管理、ピーク負荷の抑制などに使用できる。電気自動車市場からの廃車（ELV）の供給はまだ限られているため（電気自動車の販売／生産が最近になってようやく増加したため）、これまでのところ、二次電池の大半は主に試験車両からのものか、自動車メーカーの技術要件を満たせず、新しい電池モジュール生産中に在庫処分となったB級品である。だが将来的には、e-モビリティの拡大に伴い、中古バッテリーの入手可能性は全体的に高まると予想される（Fichter et al.2023）。

2021年、アーヘンで設立されたスタートアップ企業**ヴォルトファンング社（Voltfang GmbH）**は、ドイツの企業やビジネスの顧客向けに定置用二次バッテリーを提供するトップ企業である。同社は、最低限80%の容量を持つ中古の電池モジュールを購入し、試験を行い、使用可能な寿命を決定する。その後、10年間の定額制期間、二次電池は修理・調整（リファービッシュ）を経て、再出荷され顧客の手元に戻される。この期間内に電池モジュールの性能が最低値を下回った場合、ヴォルトファンング社によって交換される。これまでヴォルトファンング社は、幅広い支店網を持つ企業に対し、主に定置用蓄電システムとして二次電池を提供してきた。しかし将来的には、分散型エネルギー発電と消費ユニットを統合した仮想発電所を設置するため、グリッド接続型蓄電システム（grid-connected battery storage systems）の分野にも進出したと考えている。ヴォルトファンング社は、2023年11月までに600の高性能電池モジュールをリファービッシュとリユースによって、早期のリサイクルを回避した（Fichter et al. 2023）。

##### Reuse：太陽光パネルの二次利用 - 2nd Life Solar GmbH & Co.KG

ドイツにおける太陽光パネルのリサイクルは、これまでかなり非公式な形で行われてきた。パネル製造業者との連携不在の独立した民間企業によって支配されてきたからだ。同様に、太陽光パネルのセカンドライフ市場もまだ小さい。これは、多くの消費者が再生品や中古の太陽

光パネルの性能を信頼できず、標準化された信頼性試験もなく、設計にも解体性を十分考慮されていないことが多いからだ。しかし、太陽光パネルを廃棄する流れは今後数年で大きくなり、2030年までだけでも、中古パネルの廃棄量は年間最大100万トンにも及ぶと予想されるため、この状況に応じてリサイクル・リユース関連インフラは拡大して行く必要がある（Fichter et al.2023）。

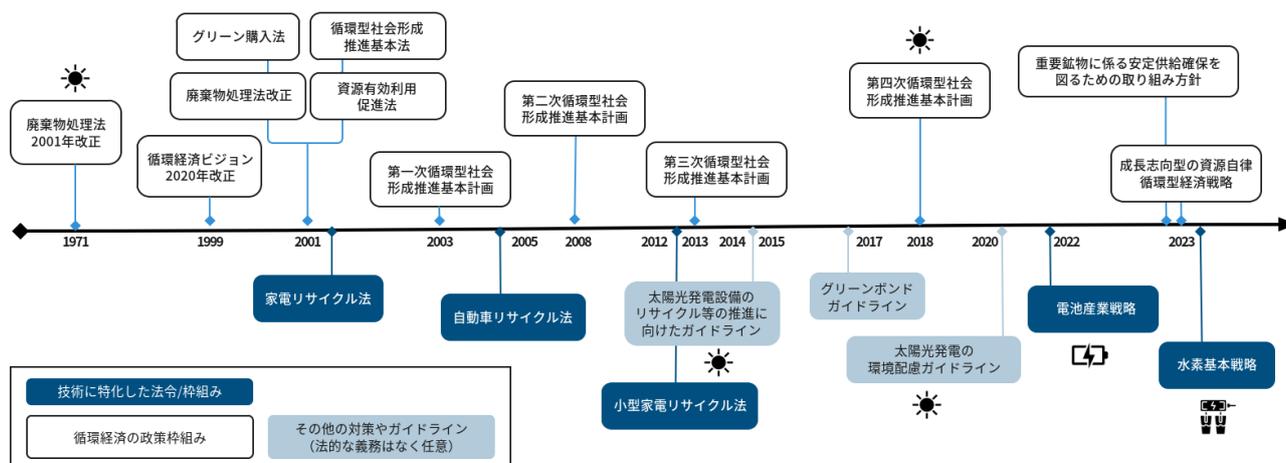
**2nd Life Solar GmbH & Co.KG**は、家族経営の廃棄物処理・環境サービスを提供するBuhck企業グループの子会社として2023年にハンブルクで設立され、太陽光パネルの再利用に集中的に取り組むドイツ初の廃棄物処理業者である。一般的に、大規模な太陽光発電所は、進化する技術に対応するため10～12年でパネル交換を行うが、おもにこのような発電所から2nd Life Solarは中古の太陽光パネルを購入している。もう一つの重要な調達先は、生産直後の品質検査で選別された欠陥のある太陽光パネルだ。通常、リサイクル品集積所からの使用済みパネルは、ガラスが割れていることもあり再生できないことが多い。2ndLifeでは、性能レベルに関して徹底的な品質チェックを行い、効率性が保たれていることが証明されたパネルを、卸売業者、パネル設置会社、NGOなどと協力し、通常は新品のパネルよりも30～50%安い価格で販売している。2023年11月までに2ndLifeが行った検査のパネル数は、ハンブルクの拠点だけでも年間12万枚であった。だがこのアプローチにも限界はある。プロセスの準備コストが高いため、性能レベルテストを行う価値があるのは、同一種で大量のパネルに限られ、一般家庭から数多く出た使用済みパネルの一枚一枚を検査するのは経済的コスト面からみても実用的ではない。2nd Lifeはまた、ドイツ電気電子情報技術連合会（VDE /the German Association for Electrical, Electronic & Information Technologies）と協力して、太陽光パネルのリサイクルとリユースの標準規格の開発に取り組み、セカンドライフ（二次）パネルの品質と持続可能性を確保するための標準化されたガイドラインの作成をめざしている（Fichter et al.）。

##### Recycle: 燃料電池と電解槽スタックからのプラチナ回収 - Robert Bosch GmbH

電解槽と燃料電池には、とくに白金族元素などが含まれており（DERA 2022c）、技術的にも経済的にもリサイクル性が非常に高い。例えば燃料電池スタックからは、95%とほぼすべてのプラチナを回収できる。貴金属に対する需要も高く、プラチナの世界需要は2040年までに2018年の生産レベルと比較して20%増加すると、Marschider-Weidemann (2021)は見ている。

1886年に設立されシュトゥットガルトに本社を置くドイツの会社**Robert Bosch GmbH**は、燃料電池スタックも含め、モビリティ・ソリューション、産業機器テクノロジー、消費財、エネルギー・建設関連テクノロジーなど幅広く製造業に携わっている。同社は2023年9月、水素燃料トラックのレンタル業を行っているモビリティ提供企業のハイレーン社（Hylane）と契約を結び、燃料電池スタックの耐用年数終了後の返却サービスを行う。このような契約モデルは、ボッシュ社に対して、モバイルアプリケーションのスタックの買い取りオプションを保証するもので、長期的には電解槽スタックの使用済み処

図 5:日本の政策枠組みの概要



出典：自作。

理にも適用できる可能性がある。ポッシュ社は、買い取り後、スタックを別の業者にリサイクルを委託する計画だ。回収されたプラチナは、ポッシュ社が新しいスタックの製造に使用する。また、将来の電解スタックと燃料電池の耐用年数と機能性を、作動中にデジタル・ツインによってモニタリングするための研究開発にも投資している (Robert Bosch GmbH 2023)。

## 4.2 日本

ドイツと同様、日本も将来、国の脱炭素化目標を達成するために大量の CRMs が必要となる。様々な CRMs へのアクセスを確保することは、早くから日本の優先事項であり、このことは複数の政策文書の中で強調されている。日本の金属リサイクル率はかなり高く、金属廃棄物の 98%をリサイクルしている (Benton and Hazell 2015)。

E スクラップのリサイクルに関して言えば<sup>8</sup>、日本は OECD 加盟国の中でもトップクラスであり、国内と輸入の両方の E スクラップをリサイクルしている。2020 年に日本でリサイクルされたスクラップ量は 34 万トンで、これは 2019 年比で約 8%減に相当する。また、日本の複数の企業は、銅やニッケルなど、さまざまな金属を回収する技術を構築してきている (Yoshida 1/25/2024)。

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) は、ニッケル、コバルト、銅を含む様々な鉱物のリサイクルに関するデータを提供し、リサイクルの量と率などで、発生した廃棄物のうちリサイクルに成功した割合を示している (JOGMEC 2024)。2020 年のこれらの鉱物のリサイクル率はそれぞれ約 1%、0.5%、42%であった (JOGMEC 2024)。

さらに、リチウム、ニッケル、銅などその他については、回収率を含め、三菱 UFJ 銀行 (MUFG) によるマテリアルフロー分析 (MFA) を通じて統計が入手できる (MFUG

2023)。2023 年の MUFG のデータによると、発生したプロセス廃棄物および使用済み製品に含まれるリチウムの総量は、838 トン (純量) と推定された。ニッケルについては、使用済み製品から回収された 7.3 万トンのうち、約半分 (3 万トン) が特殊鋼の生産に使用され、1 万トンが再生利用され、残りは様々な原料に使用されたと推定される。さらに、1.5 万トンが普通鋼の電気炉に混ぜて投入されたり、他の材料の生産に使用された。MFA によると、銅については、回収された 117.4 万トンのうち、18.2 万トンがリサイクルされて電気銅として利用され、残りは自動車、電気機械など、工業製品の製造の投入材として利用された (MFUG 2023)。

### 4.2.1 重要鉱物の循環経済アプローチに向けた政策枠組み

日本は、CRMs の需要を満たすために、CE アプローチ手法を導入することを目的とした一連の政策、戦略、施策を展開してきた。Benton and Hazell (2015)によれば、日本が CE を早期に導入した背景には、人口密度が高く埋立地が限られていること、国内の金属・鉱物資源に乏しいこと、協働を重視するビジネス文化があること、などがある。このことが、包括的で消費者に優しいアプローチを生み出し、このプロセスの中で消費者は積極的な役割を果たし、リサイクル事業のインフラは製造業者のコンソーシアムによって共同所有・運営され、材料や部品の回収から利益も得られている。さらに、日本は、異種原料の混合を避け、分解・リサイクルしやすい電子機器の開発に重点を置いており、このような取り組み姿勢は、日本の持続可能な CE に対する強い責任感の表れである (Benton and Hazell 2015)。

CE に関する最初の主要な戦略文書である「再生資源利用促進法」は、早くも 1991 年に発表された (内閣官房 2002)。これは、様々な製品のリサイクル (1R) を対象としており、自動車を含む複数の製品など、環境に配慮した設計についても取り上げている。1999 年、経済産業省は「循環型

<sup>8</sup> E スクラップ、E 廃棄物、または電子機器廃棄物には、銅、金、プラチナ、レアアースなど様々な金属が含まれる。

「**経済ビジョン**」を発表した（Tanaka 6/15/2023）。このビジョンは、3R（リデュース、リユース、リサイクル）推進への移行を示すもので、その目的として、廃棄物の発生抑制、リサイクル率の向上、環境関連ビジネスの拡大、そして製品に対する拡大生産者責任（EPR）制度の導入がある。このビジョンの策定により、廃棄物の発生は減り続け、またリサイクル法の後押しもあり、リサイクル率は大幅に改善した（METI 2020）。日本の CE アプローチの重要な側面として、リサイクルの取り組み、エネルギー転換技術の進歩、経済発展、創造的イノベーションなどがある（ユトレヒト大学 2023）。このビジョンは、2001 年の「**循環型社会形成推進基本法**」にも反映されており（Wuppertal Institute 2007）、より広範な環境・経済戦略に適合している（Arai et al. 2023）。そのコンセプトは、従来の線形経済（リニアエコノミー）モデルから、より持続可能性の高い循環経済（サーキュラーエコノミー）モデルへの移行を目指すものである。これは、**リデュース（削減）、リユース（再利用）、リサイクル（再資源化）**の3つの基本原則を効果的に実行し、**環境に配慮した廃棄物管理の実践を組み合わせる**ことによって達成されるものだ（MOE 2014a）。さらに、この戦略の目標は、炭素を含む物質の焼却と埋め立てを最小限に抑えることで、GHG 排出量を削減することであった。また、製造によるエネルギー消費の削減、バイオマス利用の拡大、および加工における再生可能エネルギーへの移行にも焦点が当てられていた。さらに 2001 年には、持続可能な物質循環経済（material-cycle economy）の構築を目指す「**資源有効利用促進法**」が制定され（MOE 2001）、1R アプローチから 3R アプローチへ一歩前進した。これは、事業者によるリサイクルの強化、製品の長寿命化と資源効率の促進、廃棄物からの部品の再利用によって達成されるものである。この政策は、設計から廃棄物管理まで、製品のライフサイクル全体に 3R を取り入れている。**2020 年改正の「循環経済ビジョン」**は、より統合的なアプローチを強調し、環境配慮を経済システムに融合させたものだ（METI 2020a）。これは、産業界が自発的に CE 手法を企業戦略や事業戦略に取り入れることを奨励し、循環型の製品や事業のグローバル市場への拡大を目指している（Nagasaki 2024）。さらに、このビジョンは、強靱な循環システムを再構築することの重要性を強調しており、中・長期的な視点で持続し成長していけるように設計されている（Nagasaki 2024）。2023 年 3 月、経済産業省は「**成長志向型の資源自律循環型経済戦略**」を策定し、技術と規則の革新を進め、自律した国内資源循環システムの確立を目指している（METI 2023c）。この戦略は、4R（Reduce, Reuse, Recycle, Renewable）政策の深化と国際協力の強化に取り組み、ビジネス面では、CE 投資支援や、デジタル化、標準化、ベンチャー企業立ち上げなどの支援を提供している。また、産官学の連携による CE パートナーシップにも力を入れている（METI 2023c）。2018 年に閣議決定された**環境省の「第四次循環型社会形成推進基本計画」**は、製品のライフサイクル全体での包括的な資源循環を実施することに焦点を当てている（MOE 2018）。政府は年次報告書を提出し、目標達成のために採択する政策を明確にし、5 年ごとにこの推進計画の見直しを行わなければならないなど、報告方法も確立している。この第四次基本計画に従ってリデュース、リユース、リサイクルに取り組んだ結果、2000 年から 2015 年の 5 年間で、資源の生産性は約 58% 上昇し、最終廃棄量は 74% 減少した（MOE 2018）。

包括的な戦略、ビジョン、政策に加えて、日本は、特定の製品グループの CE を対象とした政策を定めた。例えば、

2001 年に施行された「**家電リサイクル法**」は、製造業者と小売業者に対し家電製品のリサイクルを義務付け、その結果、原材料の回収率と再利用率が向上した。さらに、2005 年施行の「**自動車リサイクル法**」は、MFA（マテリアルフロー分析）、リサイクルの向上、原材料リサイクルの促進によって、自動車業界における循環性向上のための取り組みを推進している（Yoshida 1/25/2024）。

ドイツと同様、日本にもグリーン公共調達（GPP）に関する法律がある。「**グリーン購入法**」は **2001** 年に施行されたが、グリーン購入の実施は 1980 年代後半にまで遡る。2016 年現在、太陽光パネルは、この GPP 政策の枠内で指定調達品目のリストに記載されている（MOE 2016）。

長年、ハイテク技術で鉱物資源を中心に製品製造に関わってきた主要製造国である日本にとって、重要鉱物資源を管理する戦略的手法は必然であった（IEA 2021）。1980 年代以降、日本は重要鉱物の脆弱性の特定に積極的に取り組んできた結果、重要鉱物の指定、供給リスクの管理、海外事業への投資、高度なリサイクル技術、代替、資源の備蓄などに重点を置く戦略が生まれた（IEA 2021）。日本のリサイクルや代替技術における専門性は（ペロブスカイト太陽電池 SPV の例に見られるように）、国際的に認められている（Benton and Hazell 2015）。先進的リサイクル技術は重要度の高い優先事項であり、リサイクル可能な原材料の回収を国内外に拡大する取り組みも行われている。特に重要視している重要鉱物は、タングステン、コバルト、レアアースなどである（Benton and Hazell 2015）。例えば、「**重要鉱物に係る安定供給確保を図るための取組方針**」（**2023 年**）では、鉱物資源への依存度削減に向けて、リサイクル技術の高度化などを目標としている（METI 2023f）。

「**第 6 次エネルギー基本計画**」（**2021 年**）では、電池、半導体、モーターの製造に不可欠な銅やその他の CRMs など、鉱物資源の安定供給の確保が重要だと述べている（METI 2023f）。同計画は、このような資源について、資源の海外調達に伴うリスクを減らす必要性を認識し、使用済み製品に含まれる資源のリサイクルを促進することの重要性に焦点を当て、海外調達依存の軽減を目的としている。しかし、レアアース獲得に対し一律の目標を設定しておらず、特定の鉱種ごとの供給確保に焦点を当てている。

## 電池

「**電池産業戦略**」に加え、日本は「**電池サプライチェーン強化に向けて**」のロードマップ（BASC 2022）を策定し、安定的な CRM 調達の重要性について言及するとともに、電気自動車やその他の用途に不可欠な、電池用金属の需要増を支えるためのリサイクル技術への投資についても述べている。

乗用車は、2035 年までに新車販売での EV 化 100% を目指している（METI 2022c）。だが、EV のリサイクルに関する具体的な政策はまだ確立されていない。日本には「**使用済み自動車の再資源化等に関する法律**」（自動車リサイクル法）はあるが、使用済みの車載用リチウムイオン電池の廃棄に関する信頼できるシステムがないため、2015 年、その必要性が自動車リサイクルワーキンググループで指摘されている。これを受けて、日本自動車工業会（JAMA）はリサイクル・回収ネットワークの構築を承認し、これを進めるため、2018 年 10 月に自動車再資源化協力機構の監督の下に

回収システムを開始した。現在、これらのバッテリーは特別管理産業廃棄物として処理されている。しかし、車載用リチウムイオン電池を処理できる企業は日本に12社しかなく、既存のインフラでは、今後予想される電池廃棄ニーズの増加に対応しきれない可能性がある」と懸念されている（矢野経済研究所 2022）。

電池のリユース、リサイクル、リペアについては、現在、経済産業省の「蓄電池のサステナビリティに関する研究会」で検討されている（METI 2022b）。この研究会は、車載用蓄電池の持続可能性を高めるため、その政策の目標と戦略に積極的に取り組んでいる。議論の焦点は次世代型蓄電池に向けた開発目標であり、その概要はグリーンイノベーション基金事業により紹介されている。この取り組みに欠かせないのが、蓄電池リサイクル技術の開発だ。この技術が目指しているのはレアメタルの低コスト・高品質回収であり、レアメタル資源の持続可能な利用にとって不可欠だ。具体的な開発目標として、リチウムの回収率70%、ニッケルの回収率95%、コバルトの回収率95%をあげている（NEDO n.d.）。



## 太陽光発電/ソーラーパネル

ソーラーパネルを利用している他の諸国と同様に、日本でも、今後数十年に大量の産業廃棄物が出ると予想され、いずれソーラーパネルの最終的廃棄という問題に取り組まなければならない。太陽光発電（PV）パネルの廃棄量は2035年から2037年の間にピークを迎え、年間最大28万トンに達すると推定される（Bangert 2020）。

2015年、経済産業省と環境省は、「太陽光発電設備等のリユース・リサイクル・適正処分に関する報告書」を発表した。この報告書には、2015年から2023年までの一連の活動を含むロードマップが示されている。特にその中で、(1) 回収、適正処分、リサイクルの改善と確立、(2) 技術開発の支援、(3) 環境に配慮した設計の促進、(4) 太陽光発電設備の撤去、運搬、処理に関するガイドラインなどの活動が挙げられている（MOE 2014b）。このロードマップは、後の2016年に公表され2018年に改訂された「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン」の基礎をなしている。日本にはPVの廃棄管理に特化した法律はない（Kobayashi 2023）。使用済み（EOL）のPVモジュールについては、現在、「廃棄物処理法」の管理下にあり、この法律によって産業廃棄物または一般廃棄物に分類される。このギャップについて、上記のガイドラインは2018年、問題を呈している。第二版のガイドラインはPVシステムの適切な使用済み管理の促進を目的としている（Kobayashi 2023）。これは、環境に配慮した形でのPVモジュールの廃棄およびリサイクルの実践の確保に向けての一步前進であり、持続可能なエネルギーと廃棄物管理という大きな目標に合致したものである。2022年以降、日本の固定価格買取制度（FIT制度）では、PVが使用済みになった際の廃棄管理費用を事前に積み立てることを義務付けている。住宅用PVシステム（10kW未満）を除く、PVシステムおよび発電所の所有者がこの対象となる（IEA PVPS 2022）。また、PVについてはさらに、太陽光発電協会（JPEA）が2016年に「太陽電池モジュールの環境配慮設計アセスメントガイドライン」を、2020年には環境省が「太陽光発電の環境配慮ガイドライン」を発行している。



## その他の技術：風力発電と水素・電解槽

2023年、経済産業省と環境省は「再生可能エネルギー発電設備の廃棄・リサイクルのあり方に関する検討会」を足踏させた。この検討会は、この分野の問題に取り組むための重要な会を複数重ねてきており、1回目の検討会では、再生可能エネルギー発電設備の廃棄・リサイクルの全般的現状と課題に焦点を当てた。2回目では、太陽光エネルギーに話題が移り、JPEAはソーラーパネルの適切な廃棄とリサイクルについて議論し、ソーラーパネルのライフサイクル管理に関する具体的な内容について議論が及んだ。その後の検討会では風力エネルギーに焦点を当て、日本風力発電協会（JWPA）と日本小形風力発電協会（JSWTA）が中心となって、小型風力タービンを含む風力発電設備の廃棄とリサイクル戦略について議論した。2023年を通じて開催されたこの検討会では、再生可能エネルギー設備のEOL管理のための持続可能な実施方法を確立するため、協力して取り組みが行われてきた。このような協調的取り組み姿勢は、この分野の環境に配慮した持続可能性と資源効率には欠かせないものである。

「再生可能エネルギー発電設備の廃棄・リサイクルのあり方に関する検討会」の将来の計画は、太陽光発電と風力発電の戦略目標も検討の対象とすることだ（METI 2023e）。太陽光発電については、ソーラーパネルに含まれる成分の情報開示を規定項目に盛り込むなどして、「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法」（略して再エネ特措法）の改正を検討している。この目的は、PVに使用されている原材料情報の透明性と安全性を高めることである。また、とくに事業廃止後など、使用済みPVパネルの安全な搬入とリサイクルを奨励する制度的支援にも焦点を当てている。このような取り組みはリサイクルシステム義務化の導入につながり、ソーラーパネルの責任あるEOL管理を保証するものとなりえるだろう。

風力発電について、検討会の将来計画は2つある。第一に、今後導入が予想される大型風力タービンブレードに関して、最新のリサイクル技術開発の情報を常に入手することである。検討会は、最新技術に基づいて必要な対策を査定し実施する計画である。第二に、小型風力タービンについては、業界の現状や通常行っている廃棄方法などに留意しながら、廃棄問題を検討し適切な対策を講じることである。これは、大型・小型のどちらの風力発電設備についても、ライフサイクル全体を通じて確実に持続可能な管理を行うためのアプローチである。こうした今後の活動計画は、様々な再生可能エネルギー技術の持続可能な管理に取り組む検討会の積極的かつ包括的な戦略を反映したものである。

「水素基本戦略」（2023年）は、水電解装置や燃料電池の建設に欠かせないレアアースやレアメタルのリサイクルについて、その政策手段を確立する必要があることを認めている（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 2023）。さらに、レアメタルの消費を削減する革新的技術の開発についても言及している。

資金調達に関して、環境省は2017年にグリーンプロジェクトへの民間投資を動員するための「グリーンボンドガイドライン」を公表した。ガイドラインでは再生可能エネルギーとCEプロジェクトについて明確に言及している。このガ

イドラインは2020年に改訂され、それ以降、対象をグリーンローンにも広げている（MOE 2017）。

2021年、経済産業省と環境省は共同で「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」をまとめた。技術革新の最前線にいる企業と、資本を配分・管理する金融機関は、循環経済へのシフトを推進する上で極めて重要である。日本政府の指示に従い、本ガイダンスは、特にCE目標を推進する取り組みと情報開示とに焦点を当て、企業と投資家との有意義な対話を促進することを目的としている（MOE 2017）。

#### 4.2.2 調整機関、多国間枠組みと国際協力での取り組み

日本の環境省（MOE）主導で進められている循環型社会（SMCS/Sound Material-Cycle Society）への取り組みは、日本そして世界における喫緊の社会・環境問題を対象としている。この戦略は、全体的な視点に立った枠組みを用いて、持続可能性の基礎となる3つの柱（環境、経済、社会）を統合することで、包括的でバランスのとれた進歩を確実に遂げることを目指している（4.2.1を参照のこと）。環境省は、CEに関連する様々な社会的課題に取り組むため、国際協力の構築に重点を置いている。SMCS計画は、住民、地方自治体、NGO、民間セクターなどの参加も促し（Arai et al. 2023）、脱炭素型金属リサイクルシステムの早期社会実装化に向けた実証事業や（MOE 2020a）、脱炭素社会を支えるプラスチックその他の資源循環システムを構築する実証事業など（MOE 2020b）、複数の具体的なプロジェクトを推進している。

経済産業省（METI）は、CEソリューションを推進する第2の主要調整機関である。経済産業省は「循環経済ビジョン2020」を発表し、日本のCEへの移行の必要性を強調している。日本の「循環経済ビジョン2020」を策定する上で大きな影響を与えたのは、EUのCE政策である（Arai et al. 2023）。CEの導入は日本産業の競争力を高めると同時に、環境保全と経済成長の互恵的な関係を促進すると経済産業省は述べている（METI 2020a）。同省が提言している対策として、資源効率の向上、高度な循環型ビジネスモデルへの移行、企業の自主的なCEへの取り組みの奨励などがあり、すべて最小限の規制介入で実施されている（Arai et al. 2023）。「成長志向型の資源自律経済戦略」（4.2.1参照）の中で、民間セクターに対し、CE投資、デジタル化、標準化、およびスタートアップ支援の分野での政策支援を行うと明言している（METI 2023c）。

経済産業省によるCE（循環経済）の解釈は、環境省が導入したSMCS（循環型社会）概念とは異なるものである。経済産業省のCE戦略は、経済性を重視し様々な参加者やバリューチェーンも巻き込み（METI 2020a）、CEは「環境と成長の好循環」ととらえている（METI 2020a, p. 4）。この点で、環境と社会的側面を重視する環境省のSMCSの論じ方とは異なる（Arai et al. 2023）。しかし、環境省も経済産業省も、「循環」という同じ目的を目指しているおり、この二つの考え方は並行して推進していくべきであると述べている（Arai et al. 2023）。また、経済産業省は、2兆円規模の「グリーンイノベーション基金」を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）に造成した（METI 2023b）。NEDOは、持続可能な社会のための技術開発とイノベーションを促進する国の研究開発機関である。

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）は、重要な金属やエネルギー資源を確保するため、日本の戦略的アプローチにおける重要な調整機関として2004年に設立された（JOGMEC n.d.）。経済産業省が所管する独立行政法人であるJOGMECは、主に同省の政策の実施機関であり、また、日本の民間企業に対する支援も行っている。重要資源の探査や獲得に伴う様々なリスクの軽減化を図る企業支援において、JOGMECは重要な役割を担っている。その支援業務は多岐に渡るが、主に3つの取り組みがある。すなわち、(1)資金援助、(2)ジョイントベンチャー（JV）調査、(3)国際協力の推進、である。特に、アフリカや南米など、資源豊富な地域でのJV探査事業に力を入れており、重要な鉱物・エネルギー資源への日本のアクセス拡大に努めている。JOGMECの特筆すべき投資の一つに、豪州の鉱山会社ライナス・レアアース社（Lynas Rare Earths Ltd.）への2億豪ドル相当の出資がある（CISL and Wuppertal Institute 2023）。この投資事例が示すように、日本は、極めて重要な資源確保のために、国際協力と戦略的な資金援助を駆使し広い視野に立った戦略を展開している。

2021年2月、「循環経済及び資源効率性に関するグローバルアライアンス（GACERE/Global Alliance for Circular Economy and Resource Efficiency）」が発足した。このアライアンスには、日本、EU、その他、グローバルサウスやグローバルノースの国々が加盟している。その目的は、優れた政策実践を共有し、パートナーシップを支援し、天然資源のガバナンスに関するグローバルな対話を促進することである（Ito 2022）。

その他の多国間協力の枠組みとして、「アジア太平洋3R・循環経済推進フォーラム（Regional 3R & CE Forum in Asia and the Pacific）」（MOE o.J.）のように、日本の省庁が政府高官レベルで関与しているものもあれば、「アフリカン・クリーン・シティ・プラットフォーム（ACCP/African Clean Cities Platform）」のように、特定の地域に限定した情報共有のためのアプローチもある（UNEP 2022）。

「循環経済パートナーシップ（J4CE/Japan Partnership for Circular Economy）」は、経済産業省と一般社団法人日本経済団体連合会（経団連）によって創設され、日本の協働ビジネス手法や、持続可能性に向けた協働手法の事例を紹介している。2021年3月に発足したJ4CEは、官民の連携を強化し、様々なステークホルダー間の循環経済に対する理解を促進することを目指している。発足直後から100社以上もの企業が参加するJ4CEは、電池など世界的に関心の高い重要な分野においても、環型経済の取り組みを推し進めていく意欲を示している（J4CE 2021）。

#### 4.2.3 エネルギー転換にとって重要な原材料のための循環経済型ソリューション：業界優良事例

第4章で述べたように、CE戦略をビジネスモデルにうまく取り入れている日本企業は数多くある。その結果、CRMを可能な限り長く循環させることができている。以下の情報ボックスでは、優良事例をいくつか紹介している。様々なエネルギー転換技術を紹介する目的で事例を選定したが、すべてを網羅しているものではない。

**Reuse, Remanufacture & Recycle：壊れた太陽光発電（PV）パネルと不純物シリコンに新たな命を - (株) 永輝商事**

4.2.1 で述べたように、太陽エネルギーを利用する他の国々と同様に、日本も太陽光発電の廃棄物管理という問題に直面している。というのも、太陽エネルギー設備の急成長な成長に伴い、使用済みとなったソーラーパネルの量も増加しているからだ。廃棄されたパネルには再利用やリサイクル可能な貴重な原料も含まれているため、この問題は廃棄物管理や資源回収といった新たな挑戦課題である。しかし日本は、太陽光パネルのリサイクルやリバーパスという革新的なアプローチで、こうした課題に積極的に取り組んでいる。

**(株) 永輝商事**は東京に本社を置く日本の再生可能エネルギー企業で、従業員数は91名である。PVパネルのリユース、リペア、リサイクルを中心に事業を展開している。不良パネルや余剰在庫をメーカーから譲り受け、系統的に選別・解体し、その後、修理・修復を行う。再生されたパネルは、コンゴ、インドネシア、ミャンマー、ネパール、ウガンダなどで新たな用途で使われている (Bangert 2020)。さらに同社は、OA 機器やパソコンのリサイクルにも積極的に取り組んでおり、プリント基板や液晶パネルなどの有価物を選別し、国内外で再販している。リサイクル品は電子商取引サイトでも販売され、資源の再利用と有効活用につながっている。また、シリコン精製業者から利用できなくなったシリコンを買い取り、太陽光発電設備の原料としてリサイクルしている。半導体に欠かせない材料であるシリコンは、ほぼ100%という超高純度まで精製する必要がある。一方、太陽光発電設備の原料として求められる純度は、それよりも若干低くなるが、それでも99.99%をはるかに超える。そのため、この材料はまだ利用可能なのである (永輝商事 2023)。

### Recycle : 電子部品からの有価金属 - (株) アステック入江

電気電子機器廃棄物 (e-waste) の発生量は2030年までに7500万トンを超えると予想されており、その大部分はアジア諸国で発生している (Yoshida1/25/2024)。しかし、この廃棄物には様々な貴金属やレアアース金属が含まれており、他の技術の生産に利用することができる。日本には「小型家電リサイクル法」(2013年)や「家電リサイクル法」(2001年)などがあり (Nagasaki 2024)、e-waste のリサイクル推進関連の政策を立案し、この問題に対処している。日本は、e-waste リサイクル分野のトップランナーなのである (Yoshida 1/25/2024)。

**(株) アステック入江**は北九州市に位置し、740人以上の従業員が働く。同社は、鉄鋼メーカーの生産工程におけるサポートから、自動車や石油産業などで使用される鋼管そのものの製造まで、様々な製品とサービスを提供している。

これと並行して、同社はいわゆる都市鉱山リサイクルにも積極的に取り組んでいる。つまり、パソコンや携帯電話のプリント基板など、使用済みの電子機器から金属を取り出すリサイクル処理を行っているのだ。使用済みの電子機器には多くの電子部品が搭載されており、半田などで接合し固定されているため、取り除く必要がある

(Astec irie 2023)。さらに、電子部品の種類によって、忌避剤や貴金属などの有用物質の含有量が異なるため、取り外した電子部品をさらに選別する必要がある。

(株) アステック入江は、塩化鉄のリサイクルと過熱水蒸気を組み合わせて、これらの電子部品を抽出・選別する方法を開発し、金、銅、ニッケル、パラジウムなどの有価金属のリサイクルに貢献している。同社はまた、AI技術を応用して、手作業ではできないような小さな電子部品の選別も行っている。AIはまだ開発段階だが、90%の確率で部品を選別することができる (Takahashi et al. 2021)。

### Reuse & Recycle : リチウムイオン電池カソードに第二の人生を - (株) JERA および (株) 住友化学

カーボンニュートラルの実現に向けて電気自動車 (EV) の普及増が見込まれる中、天然資源に乏しい日本では、使用済み電池からレアメタルを効率的かつ環境に優しい方法で分離・回収し、電池材料として再利用することが最優先課題である (Jera Co., Inc. 2022)。

#### (株) JERA と (株) 住友化学

は、NEDO のグリーンイノベーション基金事業の助成を受け、EV用のリチウムイオン電池の一部を再利用する技術の開発プロジェクトを実施している (JERA Co., Inc. 2022)。既存のリサイクル技術では、GHG 排出を誘発するだけでなく、材料の酸化・分解を招き、レアメタルの効率的な回収を妨げてしまう。このプロジェクトは、電気自動車のリチウムイオン電池をリサイクルするグリーンプロセスを構築し、このような障害を克服している。このプロジェクト期間は2022年から2030年である (JERA Co., Inc.2022)。

また、JERA は早稲田大学および熊本大学と協力し電池材料の新しい分離・回収方法を開発中である (JERA Co., Inc.2022)。住友化学は京都大学と協力し、JERA が分離回収した正極材を金属に戻さずに再生する新技術を開発している (JERA Co., Inc. 2022)。

### Reuse, Refurbish, Recycle : 日本初のソーラーパネル再利用プラットフォーム - (株) 丸紅および (株) 浜田

日本の初期の太陽光発電設備が徐々に廃止され、使用済み資材が大量に出ると予想されることから、2040年以降、毎年80万トンのソーラーパネルが廃棄対象となると、リサイクル企業は試算している (浜田. 2022)。これまでのところ、日本におけるソーラーパネルの再利用に向けた取り組みは、その品質保証の難しさから停滞している (丸紅 2022)。

**丸紅株式会社**と**株式会社浜田**は、リクシア株式会社を設立し、太陽光発電パネルのリユースおよびリサイクル事業を開始した。これは使用済み太陽光パネルの買取販売サービスも対象となる (丸紅 2023)。このソリューションの要点は、使用済みパネルを売買するためのオンライン・プラットフォームであろう (Bourne 2023)。このプラットフォームには、パネルの仕様、使用履歴、性能データなどの情報が掲載され、リサイクルサービスの依頼にも対応している (Bourne 2023)。リクシアが目指し

---

ているのは、確立された性能試験方法に基づいてパネルの評価・購入サービスを提供することである。パネルは製品保証付きで販売することも可能だ(丸紅 2022)。

## 5 既存の日独協力フォーラム

ドイツと日本は、特にエネルギー転換のための原材料需要が高まっていることから、CRMsの持続可能な供給に関する課題について、二国間および多国間交流のための様々な対話の場をすでに設けている。CEがすでにひとつのソリューションとして議論されている例もある。

2023年3月、ドイツ連邦共和国と日本の両政府は、**第1回日独政府間協議の一環として共同声明**を発表した。その中でクリーンエネルギーと電池についても特記しており、CRMsの十分な供給を確保するために協力を強化していくことに合意した。この中ではまた、CEはCRMsへのアクセスを促進する戦略であることにも言及している。共同声明は、それぞれの国の資源担当機関（日本ではJOGMEC、ドイツではBGR）が、重要鉱物の供給確保に関する諸問題に関し、より緊密に協力し、知見や情報を交換することを定めている（連邦政府2023a）。

「日独エネルギーパートナーシップ」は、エネルギー転換に関する両国の協力を強化するため、2019年にドイツの連邦経済・保護省（BMWK）と日本の経済産業省（METI）の間で設立された。2023年11月に開催されたエネルギーパートナーシップの協力委員会（日独エネルギー転換協力委員会）では、今後の協力内容として、ペロブスカイト太陽電池など太陽光発電の代替技術に関するテーマと、サプライチェーンやCRMへの依存度をどのように減らすことができるかについての意見交換などがあげられた。さらに2024年1月には、エネルギーパートナーシップの主要公開イベントとして「第13回日独エネルギー・環境フォーラム（EEDF）」が開催され、「気候変動対策のための循環経済」をテーマに、エネルギー転換と循環経済との接点について議論する2つのセッションが設けられた。

ドイツ（2022年）と日本（2023年）は2年連続でG7議長国を務め、その任期中、両政府は経済安全保障分野での協力を強化する意向を再確認した（連邦政府2023a）。例えば、ドイツが議長国を務める2022年の「G7ドイツサミット」では、いわゆる「ベルリン・ロードマップ」が採択されたが、この中で、G7加盟国は、資源効率とCEを協力して強化することを約束し、2022年から2025年までの目標設定を行った。この目標として、エコデザイン（環境配慮設計）製品、循環型ビジネスモデル、グリーン公共調達（GPP）に関するテーマで加盟国間の協議の機会を増やすことなどが定められた（G7 2022）。2023年、日本が議長国を務める「G7広島サミット」では、民間セクターにおけるCEと資源効率を促進するための行動指針である「**循環経済及び資源効率原則（CEREP）**」が採択された（G7 2023）。

ドイツが議長国を務めた2015年のG7では、自主的なフォーラムとして「**資源効率性のためのG7アライアンス（ARE/G7 Alliance on Resource Efficiency）**」を発足させ、資源効率を毎回G7で協議するテーマとした。このG7アライアンスの枠組みで、日本、ドイツ、その他G7の政策担当者は協力して、資源効率とCEについての国際的な対話を促進し、この分野の専門家の参加も交えてこの問題に取り組んでいる。2023年に日本で開催された「G7札幌 気

候・エネルギー・環境大臣会合」では、CRMsの安全保障を目指す「5ポイントプラン」が発表され、その中でCRMsアクセスを確保する上でリサイクル（とくに使用済みのリチウム電池やネオジム磁石のリサイクル）は重要戦略であるとのG7諸国の認識が示された（G7 Ministers 2023）。このテーマについて、G7アライアンスは他の国際フォーラムとも協力しており、ドイツと日本も参加している（G7 Alliance on Resource Efficiency n.d.）。ドイツが議長国を務めた2017年ハンブルク開催のG20サミットで始まった「**G20資源効率性対話**」もその一つである。2019年には、日本が議長国を務めた「G20資源効率性対話」が東京で開催された。この一環として環境省の支援で、関連情報を共有するためのポータルサイトが開設され、IGESが運営管理を務めている。G20資源効率性対話はまた、天然資源の持続可能な利用を促進し、定例会を開催している（IGES n.d.）。

日本とドイツは、2007年からUNEPの「**国際資源パネル（IRP）**」の運営委員も務めている。IRPは、天然資源の利用に関する情報共有のための国際的な科学・政策プラットフォームである。その共通の目標は、資源効率化を実行することにより、過剰な資源消費から脱却するためのアプローチを開発することである。IRPの「**COVID-19パンデミック後の回復力のある社会の構築（Building Resilient Societies after the COVID-19 Pandemic）**」プログラムの一環で、一次原材料の消費を削減するための具体的な手段として、循環型アプローチの導入が議論されている（UNEP n.d.）。

ドイツと日本はともに、2022年、米国主導で始まった国際的な「**鉱物安全保障パートナーシップ（MSP）**」の加盟国である。MSPは、環境保全に努めながら、CRMsの強靱なサプライチェーンを構築することを目的としている。MSPの加盟国は、リサイクル技術の向上を含め、サプライチェーン全体にわたる国際的な取り組みへの資金提供を約束している（CISL and Wuppertal Institute 2023; 米国国務省 n.d.）。

また、日本は、原材料の安全保障とCEに関する諸問題について、EUと様々な枠組みにおいて緊密な協力関係にある。直近では、日・EU首脳協議において、ECとJOGMECとの間で、CRMのサプライチェーンに関する二国間協力の強化を目的とした**協力取決め**が締結された（2023年7月6日）（EC 2023a）。

## 6 比較

日本とドイツは両国とも、世界有数のエネルギー消費大国である（Enerdata 2023）。ドイツは 2045 年までに、日本は 2050 年までに、気候中立を達成するという明確な目標を掲げている。この目標は、陸上・洋上の風力および太陽光発電を含む再生可能エネルギー技術を大幅に拡大することによって達成できる。エネルギー転換において、ドイツは先頭を行き、特に風力発電と太陽光発電では意欲的な目標を掲げ、早くから自然エネルギーへの移行を開始した。対照的に日本は、2050 年までに再生可能エネルギー割合の大幅増を目指しながらも、原子力と CCS（二酸化炭素回収・貯留）つき発電をミックスした脱炭素化戦略でのぞんでいる。取り組みのペースや戦略は異なるものの、両国とも、気候変動対策目標を達成する上で CRMs は重要であると認識している。

クリーンエネルギーへの移行技術に必要な CRMs に関しては、日本もドイツも自国での鉱業能力がほとんどないため、第三国、特に中国からの輸入に大きく依存している。両政府は、安定供給と、CRM の一次採掘・加工に伴う GHG 排出量は、大きな問題であると認識している。こうした懸念は、ドイツの「原材料戦略」（2020 年）や日本の「重要鉱物に係る安定供給確保を図るための取組方針」（2023 年）など、将来の持続可能な CRMs へのアクセスを確保することを目的とした近年の戦略に反映されている。

ドイツでは、これはやや新しいアプローチといえよう。というのも、商品の安定供給は従来、企業側の責任と見なされ、国はほとんど関与してこなかったからである（例えば、鉱山企業に対して公的な参与も国家備蓄体制の確立もない）。これは、DERA のような中央調整機関が 2010 年になって初めて設立されたという事実からもうかがえる。

日本は、孤立した国土に加え、極めて重要な供給国との地政学的緊張関係に起因する供給の滞りという経験から、CRMs のアクセス安定化に向けて、政策の枠組みと財政支援を導入し、原材料政策では市場の効率性よりも一般的な供給の安全性を優先してきた。例えば、2020 年の「新国際資源戦略」では、国家備蓄の開発について定めている。また、日本の中央調整機関である JOGMEC は、2004 年から鉱山企業に対する財政支援を行い、海外の鉱山プロジェクトに直接参加する場合もある。

日本とドイツでは、CRMs のアクセス確保のためのアプローチは全般的には異なるものの、両国とも、輸入依存およびバージン CRMs の採掘と加工に伴う大量の GHG 排出量は、クリーンエネルギー移行に向けて、重大な問題であることを確認した。そのため、両国は、CE によって輸入依存を減らし、かつ GHG 排出を削減できるとの認識に基づいて、数々の戦略を策定してきた。このような政治的ビジョンの共通性は、様々な二国間および多国間の枠組みの中での日独間の緊密な協力関係にも表れている。2022 年（ドイツ）、2023 年（日本）と相次いで G7 の議長国を務める中、CE と CRMs の資源効率というテーマは、近年、多国間協議でのテーマとして取り上げられるようになった。

図 4 および図 5 が示すように、両国では、全体的な CE 概念を強化するような一連の政策や戦略、手段が導入されてきた。この中には、重要なエネルギー転換技術において CRMs への最も持続可能性の高いアクセスを確保するための CE 導入アプローチも既にいくつか含まれている。1991 年の「再生資源利用促進法」（1R）、1999 年の初めての「循環経済ビジョン」（3R）（2020 年に改正）、2001 年の「循環型社会形成推進基本法」や「資源有効利用促進法」を制定し、日本は早くから持続可能性の政策における指針として CE を確立してきた。したがって日本は、リデュース、リユース、リサイクルという「3R」を政策的に推進してきたパイオニアといえる。日本のリサイクル分野のインフラはかなり進んでおり、廃棄された金属全体の 98% がリサイクルされており、リサイクルと代替技術の分野での日本の高い専門性は世界に知られている。日本は、電子機器、自動車、その他の重要部品のリサイクルとリユースを目標とした、数々の政策と取り組みを行ってきた。2001 年に制定された「家電リサイクル法」は、主要家電製品のリサイクルを義務付けており、「自動車リサイクル法」（2005 年）では、日本の自動車産業が、自動車部品の原材料リサイクルの CE 促進を牽引していくことを目指している。廃棄物の問題と、クリーンエネルギー技術や貯蔵技術における廃棄物管理の問題は、経済産業省の複数の研究会で議論されている。例えば、廃棄処分となる太陽光発電が今後増加する問題はすでに認識されており、「太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン」を作成するなどして取り組んでいる。風力タービンについても同様の議論が進行中である。電池製造のための安定的な CRM 調達については「日本の蓄電池産業戦略」（2022 年）で言及されており、使用済み電池の処分については、経済産業省の「蓄電池のサステナビリティに関する研究会」で議論されている。

さらに、持続可能な CE プラクティスに向けた技術と革新に重点を置く日本の戦略姿勢は、2023 年 3 月に策定された「成長志向型の資源自律経済戦略」でも明らかだ。これは、自律した国内資源循環システムの確立と 4R 政策の深化を目標とする。この戦略は、CE 投資、デジタル化、スタートアップやベンチャーの支援を行うものであり、CE と CRM に対する日本のアプローチの特徴となっている。「グリーンボンドガイドライン」および「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」では、日本の CE・CRM の事業や活動支援における資金調達の役割などについての特徴が明記されており、持続可能な資源管理を推進していく上で重要な資金メカニズムを紹介している。

ドイツは全般的に良好な回収・リサイクルインフラを有しており、基本的に CE アプローチの導入も可能である。バルク金属分野でもすでに良好なリサイクル率を達成している。現在の特殊金属と一部の工業用金属の回収率は全般的に低い。エネルギー転換技術からの回収も含め、質の高い CRMs 回収に向けた革新的な取り組みを試験的に行っているドイツ企業もある（4.1.3 参照）。このような取り組みの枠組み条件は、様々な政策プログラムや資金調達の支援策によって定められている。例えば、CE アプローチに関するドイツで最初の包括的な法令は「循環経済法（KrWG）」

で2012年に可決した(2020年に改正)。エネルギー転換技術にとって特に重要なCRMsの回収とリサイクルに関する要件についても、様々な製品の種類別に定めた法令で定められており、その数も年々増えている。例えば、「電池法」(2009年施行、2021年改正)や、電気・電気機器の販売・回収、適正処分を定めた「廃電気・電子機器法」

(2015年、2022年改正)があり、使用済みの太陽光発電の処理に関する規定を定めている。包括的なCEアプローチ(エコデザインに関するものなど)に向けて、セクター別の規制の改定や策定に向けた一連の取組みが始まった。これは、欧州におけるグローバル・サプライチェーンの脆弱性に対して改めて注意を払わざるえなくなった、2022年初頭のロシアによるウクライナ侵攻以降、特に顕著である。

ドイツが策定した「循環型経済標準化ロードマップ」(2023年)と「国家循環型経済戦略(NKWS)」(2022年)、そしてEUが2020年に採択した「循環型経済行動計画(CEAP)」では、循環経済と資源効率を達成するための様々なアプローチや戦略をいかにスムーズに展開させていけるかについて、様々な提案をしている。これはまた、4.1.3.で紹介しているように、ドイツのパイロット事業など様々なCEビジネスモデル(例えば、セカンドライフ電池や太陽光パネルの試験や販売)の普及にも役立つと考えられる。

ドイツと日本における政策と産業界の優良事例を概観すると、従来の循環性の理解の仕方はリサイクルに限定されていたことが多く、以前の政策は回収率やリサイクル率など数値的な規定を定めるだけのものが多かった(Tedesco et al. 2023; CISL and Wuppertal Institute 2023)。第4章で紹介したような、より十分な機能を備えたCEモデルは、Remanufacture(再製造)、Rethink(再考)、Refurbish(調整・改修)などの総合的なアプローチを含むものであるが、従来の政策では十分に推奨されてこなかった(CISL and Wuppertal Institute 2023)。近年の政策ではこの点に留意し、CRMsやエネルギー転換技術に向けて、より広範なCEアプローチを実践するための新たな規定や支援スキームを導入している。このような傾向は、例えば、ドイツの「電池法」や「廃電気電子機器法」の条項の中で、電池や太陽光発電の製造業者に対し製品の耐久性や再利用性の向上を求めるなど、その条文にも表れている。これはまた、「循環経済法」や、公共調達の決定時における持続可能な製品の優先原則(国などの公的機関が率先して環境物品などの特定調達品目を推進する規定)の導入を目的とした、近年のEUレベルで提案・採択された一連の法律にも見られる。その中には、デジタル製品パスポート(DPP)の導入を定めた新たな「EU電池指令」や、製品の再利用性を高める製品設計に関する規定を導入している「持続可能な製品のためのエコデザイン規則(ESPR)」などがある。

日本でも、従来のCE政策はリサイクル(1R)に重点を置いてきたが、新たな政策、対策、取組みは、製品のライフサイクルの別の側面も重視している。例えば、2020年の「太陽光発電の環境配慮ガイドライン」では、循環型設計(サーキュラーデザイン)の重要性が示されている。さらに、太陽光パネルを製造する際、ペロブスカイト太陽光発電など、CRMsに替わる代替素材を使用する取組みも行われている。「水素基本戦略」(2023年)では、電解槽や燃料電池に欠かせない再生可能エネルギーやレアメタルのリサイクル政策の重要性を強調し、レアメタルの省資源化を提唱している。

さらにまた、電池の修理とリサイクルに関連する政策についても、目標値も含めて現在検討中である。ドイツと同様、日本でも、環境に配慮した公共調達政策である「グリーン購入法」(2001年)を通じて、公的機関での環境配慮製品の調達を推進している。

日本もドイツも、特に電池と太陽光発電について、CEソリューションを推進するための政策措置と対策を早くから導入してきた。その一方、両国にとって重要なエネルギー転換技術でもある風力エネルギーや水素/電解槽のためのアプローチは比較的まだ少ない。資源効率とCEのための研究開発の推進に対する全般的な取り組み意欲は、両国の国家水素戦略の中に見られるものの、長期的かつ標準化されたアプローチを定義するような包括的なロードマップは現在のところ存在しない。

全体的に、エネルギー転換技術のためのCRMsへのCEアプローチ強化を目指して設定した目標値においては、日独どちらも等しく意欲的である。このような取り組み姿勢によって、日本とドイツのステークホルダー間の情報交換や協力関係は強化され、クリーンエネルギー転換に向けて、CRM分野でのCEを強化する具体的なアプローチの開発はさらに推進していくことになるであろう。

## 7 結論および日独協力の今後の課題

志を同じくするパートナーとして、日本とドイツは、自国経済における CE アプローチの強化に対して基本的に意欲を持って取り組んできており、CRMs の持続可能な供給へのアクセスを確保する上で CE には大きな可能性があることも認めている。

両国とも、エネルギー転換に関連する CRMs も対象に含めた法律の導入を始めたばかりである。このような包括的な取り組みが必要であるとの認識により、循環型で包括的ソリューションが重要であることは明らかである。このような将来を見据えた取り組みは、エネルギー転換技術から得られる CRMs を低排出で国内のリサイクルやリユースに容易に利用できるようになる将来を保証するものである。

4.1.1 と 4.2.1 で述べたように、近年に見られる一連の法整備は、CRMs の持続可能な供給を確保する上で不可欠であり、両国がクリーンエネルギー供給へと移行し、CE 原則を幅広く導入するにあたり極めて重要なことである。しかしながら、使用済み (EOL) 段階でのエネルギー転換技術の廃棄、リユース、リサイクルに関する具体的な目標値に加え、技術に特化した法令もほとんどなく、このような状況は特に風力発電や電解槽では顕著である。EV 電池 (車載用バッテリー) と PV (太陽光発電) については、EOL 管理に関する要件がありリサイクルを強化しているが、リユースやリファビッシュといった他のアプローチは、現行の規制枠組みではさほど推奨されていない。

全体として、CE を強化することは複雑なかじ取りであることに留意すべきである。というのも、多くの様々な分野で必要となるのは、現行の規制を強化するか (例えば、使用済み太陽光発電パネルの輸出に関する規制を強化し、リサイクルが海外で行われないようにし、その結果、CRMs の流出を防ぐ)、または調整するか (例えば、電池などの EOL 処理に関して、ガイドラインの一部を調整し、再加工や再利用を可能にする) のどちらかであるからだ。さらに、これらの技術の多くは常に変化している。様々な CRMs の組成や用途は個々の技術によって大きく異なるため、それぞれの原材料の回収率に関するようなガイドラインなど非常に具体的なものは有効ではないかもしれない。とはいえ、政策立案者が CE アプローチの導入強化のために取り組める領域も複数ある。表 1 は、日独間で協力し相互に学び合い成長するための提案を示したものである。

特定のエネルギー転換技術の使用と生産および高いリサイクル技術において、世界のトップランナーである日本とドイツがこの分野で行う政策決定は、CRMs のリサイクル技術とエネルギー転換技術においても、世界市場と今後の技術に影響を与えることは可能だ。特に風力タービンと電解槽については、日本とドイツは、この分野での生産の世界シェアはトップクラスであるため、CRMs の保存と回収に向けた CE アプローチを世界に推進し設計していく原動力となりえる。こうした背景から、協議の場に参加する政治的意思決定者は、リサイクルの技術・インフラ・品質を強化するための革新的なアプローチについて、以下のような具体的な議論をすることが望まれる。

- ドイツと日本の市場シェアなど様々な状況を考慮の上、CE アプローチを導入することで最も影響力があると考えられる、具体的なエネルギー転換技術の特定を、協力して行う。
- 新 EU 電池指令で定めているように、特定の技術におけるリサイクル材の最低含有量の義務化の導入と、その実施に必要な支援対策について、協議を行う。
- ドイツの電池法や廃電気電子機器法で定めているように、使用済み製品の回収とリサイクル割当量、および引き取り制度を含む製品別の EPR (拡大生産者責任) の設計と効果的な実施について、協議を行う。
- 高技術のリサイクル、収集、選別、処理の研究開発を支援する公的融資などの投資戦略や金融メカニズムの効果的な設計について、協議を行う。

さらに、日本とドイツの政策立案者は、例えば政策として定められたリサイクル割当量を実際に達成できるように、実施戦略について議論すべきである。この戦略として、啓蒙活動、リサイクルの奨励、より簡単にリサイクルできるインフラ整備、確実に実施するモニタリングシステムなどが考えられる。互いの政策の成功や失敗の経験から学ぶことは、より効果的な政策的枠組み・介入の発展につながる。リサイクル活動を支援する立法や政策的枠組みにおける類似点と相違点、ならびにその効果について議論することは、互いに学び成長するための出発点となりえる。

リユースとリデュースの領域では、両国とも、循環型製品設計を含む当初の着想やアプローチの実施段階に入っている。例えば、統一設計規格について協議することは、早期に重要な洞察力を提供し、可能な限り国際規格化へとつながっていく。特に以下のようなテーマが、担当省庁間の協議テーマとしてあげられる。

- 製造業者が、自社の製品を耐久性 (durable)、再利用性 (usable)、リサイクル性 (recyclable) の点を考慮して設計・管理を行えるように、法的義務のある設計基準や標準規格の策定について協議や調整を行う。これを、例えば、日本の「太陽光発電の環境配慮ガイドライン」(環境省、2020 年)や、ドイツの「循環型経済標準化ロードマップ」で定められた当初の提言や、EU の「エコデザイン指令」の改正案に含まれる予定の太陽光発電システムに関する条項に基づいて行う。

両国は、環境に配慮した循環型製品の設計に関連する設計要件や当初の経験について、体系的に比較し意見交換を行うことも可能である。日本のガイドラインや基準、実施戦略などの詳細を理解することで、類似または補完的なガイドラインをドイツの状況に合わせて作成することも可能だ。同様に、日本もドイツの最初の設計配慮アプローチを洞察し学べることもある。設計規格やガイドラインを比較検討し意見交換を行うことで、どの分野で両国は協力して取り組んでいけるのかを特定できる。世界標準の規格化に向けて協働で取り組むことで、産業やビジネスを促進し、市場に流通する太陽光設備の互換性を保証し、環境に配慮した循環型設計の世界規模での導入がいつそう進むであろう。

エネルギー転換技術における CRMs の省資源化を図るため、リサイクルしやすい原材料に替えるなど、この代替素材についても議論の対象となる。日独交流の中で特に興味深いテーマとして、以下も考えられる。

- 代替素材研究から得た知識や教訓について意見交換を行う。日本は、CRMs に替わる「次世代型」のペロブスカイト太陽電池を利用した太陽光パネルの製造に関する特許出願において、長きにわたり世界をリードしてきたが (Kusashio and Fukui 2023)、NEDO のグリーンイノベーション基金事業などを通して、この分野での研究開発の資金・支援事業から得られた興味深い経験や結果についても共有できる。

エネルギー転換技術のための CRMs に特化した CE アプローチを促進する特定のアプローチに加えて、CE アプローチの導入全体を可能にするか強化できるような一般的な政策措置もある。ここでも、ドイツと日本の政策立案者は互いに学ぶことができる。

- 公共施設に設置する太陽光発電や蓄電システムを購入する場合など、持続可能な公共調達要件が持続可能で循環型製品の市場をどのように促進するかについて協議する。
- 循環型製品の需要を促進し、「循環主導市場 (circular lead markets)」(「環境主導市場/green lead markets」の議論に基づく) を確立するために、両国政府がどのように協力して取り組むことができるかについて協議する。特に電解槽や風力タービンなどのエネルギー転換技術について、日本とドイツが、「循環型風力タービンなどの定義の標準化について議論を主導し、このような技術の需要とビジネスを強化する政策手段の策定を行うのに絶好の機会である。

OECD によれば、2021 年、ドイツと日本における公共調達は GDP の約 18% に達し、OECD 平均の 12.7% を大きく上回った (OECD 2023)。したがって、持続可能な、あるいは環境に配慮した公共調達には、持続可能な調達を決定する際に先駆的な役割を果たし、新しい循環型ビジネスモデルを強化できる大きな可能性がある。さらに、日独間で協力や交流を進めていく可能性のある分野として、以下も考えられる。

- 新 EU 電池指令で予定され、EU の ESPR 案で言及されているデジタル製品パスポート (DPP) の導入などを通じて、循環性のための情報基盤とデータの互換性を向上させる政策措置について協議する。

すべてのステークホルダーに対して、製品のライフサイクルとサプライチェーンに沿って提供される製品情報を可視化し標準化することは、原料とエネルギーの効率やリサイクル性を高めるだけでなく、製品のサービス化

(PaaS/Product as a Service) 活動や修理・再製造による製品寿命の延長など、新たなビジネスチャンスを実現する。情報提供の改善は、消費者が持続可能性を配慮した消費行動を決定する際の後押しをし、法的義務の遵守を当局がより簡単に検証できるようになる。したがって、DPP の導入は日本のステークホルダーが検討すべき興味深いテーマとなりえる。さらに、DPP の認証要件については、例え

ば電池など、電池製造業者がコンプライアンスに則ったアプローチを開発できるように、国際規格や基準と互換性があるようにすべきである。ドイツと日本間で早期に協議することで、将来の互換性問題を回避することができる。

さらにドイツは、循環経済パートナーシップ (J4CE) に代表される日本の協働型ビジネスモデルから学ぶことができる。この取り組みは、官民連携の促進が、いかに多くのステークホルダーの間で循環経済に対する深い理解を普及させることができるかを示している。強力な産業基盤とエネルギー転換に対する強い意欲を持つドイツは、日本のアプローチから学び、産官学の連携協力を強化することができる。このような協働作業は、ドイツ独自の循環経済への取り組みを加速させ、CRMs の安全で持続可能な供給および企業との緊密な協力体制を保証するだろう。

CE と CRM のテーマに関する議論は、日独間の協力を促進するために考案された様々な枠組みを進めていくことができる。これは、行政の実務レベルでの政策協議から、日独で資金を出し合い二国間の研究チームが作成する政策分析による支援まで、様々な形態が考えられる。さらに、企業や市民団体の実務経験者もこのような二国間枠組みの交流に参加できることが望ましい。これは、日独エネルギーパートナーシップ内に設置された「エネルギー転換」と「水素」に関する 2 つのワーキンググループで、すでに実現し成功を収めている。また、サブワーキンググループは、「エネルギー転換のための CE アプローチ」や「エネルギー転換のための重要原材料の確保」、あるいはより広範なテーマである「エネルギー転換のための強靱で持続可能なサプライチェーン」などの問題に取り組んでいるが、ステークホルダーもこのようなテーマで意見交換に参加できるような、適切な枠組みが提供されることも望まれる。さらに、二国間合同の専門家集団、政策対話、ビジネス交流の場を設ければ、二国間の交流はさらに豊かになるであろう。研究交流などの持続可能性 (sustainability) と循環性 (circularity) をテーマにした研究者間の長年のパートナーシップも、重要な役割を担う。EU ホライゾン 2020 プロジェクト<sup>9</sup>に日本の研究者も参加しているが、これは CE や CRM の取り組みを進めていく上で、親密な協調関係を保ち知識や経験を共有できるという大きな可能性を示すよい例である (EU-Japan Center for Industrial Cooperation 2022)。日・EU 間のその他の政策対話の枠組みについても、今後も継続・拡大し、エネルギー転換に関連する CRMs のための CE 適用についても、議論の対象となる見通しである。2023 年 7 月に EC と JOGMEC の間で締結された「協力取決め」(EC 2023a) は、これに向けての最適な枠組みであり出発点である。

<sup>9</sup> (訳注) : EU 史上最大の研究・イノベーション資金助成事業で、2014 年から 2020 年の 7 年間で 800 億ユーロを拠出。

表 1:日独協力内容と相互に学べる領域

主な CE アプローチ	CEアプローチ強化のための提言／ツール	例／最初のアプローチ
リサイクル	<ul style="list-style-type: none"> <li>リサイクル材の最低含有量の義務化</li> <li>EOL 段階での回収・リサイクル割り当ての義務化</li> <li>引取要件を伴う拡大生産者責任 (EPR)</li> <li>質の高いリサイクル、回収、選別、処理を支援する R&amp;D および公的融資</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ EU 電池指令：リサイクル材の CRMs 最低含有量の義務化</li> <li>→ 日本のグリーンボンドガイドライン：R&amp;D 投資</li> </ul>
リユース／リデュース	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐久性があり、再利用可能で、リサイクル可能な製品を、製造者が設計・管理するための義務的な設計基準・規格の策定</li> <li>CRMs をリサイクルしやすい素材に代替</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ ドイツの循環型経済標準化ロードマップと EU エコデザイン規則 (ESPR) 案；日本の太陽光発電の環境配慮ガイドライン</li> <li>→ 日本：NEDO のグリーンイノベーション基金事業と次世代型太陽光発電 (ペロブスカイト) の R&amp;D</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>持続可能/グリーンな公共調達の可能性を、循環型で持続可能な製品を推進するために活用</li> <li>革新的なエネルギー転換技術に向けて「循環型主導市場」を確立</li> <li>循環のための情報基盤とデータの互換性の向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ ドイツの循環経済法と日本のグリーン購入法</li> <li>→ EU 電池指令：デジタル製品パスポート (EU ESPR 案にも記載)</li> </ul>

# 略語一覧

3Rs	reduce, reuse, recycle リデュース、リユース、リサイクル	COP	Conference of the Parties/ United Nations Climate Change Conference 国連機構変動枠組条約締約国会議
3R Act	Resource Effective Utilization Promotion Act 資源有効利用促進法	CRMs	Critical Raw Materials 重要原材料
ACCP	African Clean Cities Platform アフリカン・クリーン・シティーズ・プラットフォーム	CRMA	Critical Raw Materials Act 重要原材料法案
ARE	G7 Alliance on Resource Efficiency 資源効率性のための G7 アライアンス	DERA	German Mineral Resources Agency ドイツ鉱物資源局
BASC	Battery Association for Supply Chain 一般社団法人 電池サプライチェーン協議会	DPP	Digital Product Passport デジタル製品パスポート
BGR	German Federal Institute for Geoscience and Natural Resources ドイツ連邦地球科学天然資源研究所	EC	European Commission 欧州委員会
BImSchG	Federal Immission Control Act ドイツ連邦排出防止法	EEDF	Environment and Energy Dialogue Forum 日独エネルギー・環境フォーラム
BMBF	German Federal Ministry of Education and Research ドイツ連邦教育研究省	EEG	German Renewable Energy Sources Act ドイツ再生可能エネルギー法
BMUV	German Federal Environment Ministry ドイツ連邦環境省	EIP	European Innovation Partnership 欧州イノベーション・パートナーシップ
BMWK	German Federal Ministry for Economy and Climate Action ドイツ連邦経済気候保護省	EIT	European Institute of Innovation and Technology 欧州イノベーション・技術機構
CCUS	Carbon Capture, Utilization, and Storage 二酸化炭素回収・有効利用・貯留	ElektroG	Electrical and Electronic Equipment Act 廃電気・電子機器法
CE	Circular Economy サーキュラーエコノミー、循環経済	EOL	End of Life EOL、製品のライフサイクルの終了、サポートが終了した製品
CEAP	EU Circular Economy Action Plan EU 循環経済行動計画、循環型経済行動計画	ESPR	Ecodesign for Sustainable Products Regulation 持続可能な製品のためのエコデザイン規制
CEREP	Circular Economy and Resource Efficiency Principles 循環経済及び資源効率性原則	EVs	Electric Vehicles 電気自動車

GACERE	Global Alliance for Circular Economy and Resource Efficiency 循環経済及び資源効率性に関するグローバルアライアンス	JPEA	Japan Photovoltaic Energy Association 一般社団法人 太陽光発電協会
GERRI	German Resource Research Institute ドイツ資源研究所	JPY	Japanese Yen 日本円
GHG	Greenhouse gas 温室効果ガス	JWPA	Japan Wind Power Association 一般社団法人 日本風力発電協会
GPP	Green Public Procurement グリーン公共調達	JSWTA	Japan Small Wind Turbine Association 一般社団法人 日本小形風力発電協会
GW	Gigawatts ギガワット	KrWG	Circular Economy Act 循環経済法
GWh	Gigawatt-hour ギガワット時	kt	kiloton キロトン
GX	Green Transformation グリーントランスフォーメーション	METI	Japanese Ministry of Economy, Trade, and Industry 経済産業省
ICT	Information and communication technology 情報通信技術	MOE	Japanese Ministry of the Environment 環境省
IEA	International Energy Agency 国際エネルギー機関	MSP	Minerals Security Partnership 鉱物安全保障パートナーシップ
IGES	Institute for Global Environmental Strategies 公益財団法人 地球環境戦略研究機関	MUFG	Mitsubishi UFJ Ginkō bank 三菱UFJ銀行
IRENA	International Renewable Energy Agency 国際再生可能エネルギー機関	Mt	Megaton (メガトン)
IRP	International Resource Panel 国際資源パネル	MW	Megawatt (メガワット)
J4CE	Japan Partnership for Circular Economy 循環経済パートナーシップ	NKWS	National Circular Economy Strategy 国家循環経済戦略
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. 一般社団法人 日本自動車工業会	NEDO	Japanese New Energy and Industrial Technology Development Organization 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
JOGMEC	Japan Organization for Metals and Energy Security 独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構	PVs	Photovoltaics 太陽光発電、ソーラー発電、PV
		R&D	Research and Development 研究開発

REEs	Rare Earth Elements レアアース、希土類元素	UN	United Nations 国際連合
t	ton (metric) トン (メトリック)	UNEP	United Nations Environment Programme 国連環境計画
TWh	Terrawatt hour テラワット時	UNFCC	United Nations Framework Convention on Climate Change 国連気候変動枠組条約
UBA	Federal Environment Agency ドイツ連邦環境庁		

# 図一覧

図 1：本報告書記載のエネルギー転換技術による特定の CRMs（重要原材料）の使用 .....	6
図 2：2010～2040 年シナリオによる特定のクリーンエネルギー技術の鉱物総需要量（Mt） .....	7
図 3：循環アプローチに適用される 9-R コンセプト .....	13
図 4：ドイツの政策枠組みの概要 .....	16
図 5：日本の政策枠組みの概要 .....	20

# 表一覧

表 1：日独協力内容と相互に学べる領域.....	31
--------------------------	----

---

## 8 参考文献

---

ANRE (2020): Japan's new international resource strategy to secure rare metals. Agency for Natural Resources and Energy. Available online at [https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/special/article/detail\\_158.html](https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/special/article/detail_158.html), updated on 9/6/2022, checked on 2/22/2024.

ANRE (2021a): Outlook for energy demand and supply in 2030 (2030 年度におけるエネルギー需給の見通し). Agency for Natural Resources and Energy. Available online at [https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/20211022\\_03.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_03.pdf), checked on 2/22/2024.

ANRE (2021b): Mineral resources policy towards a carbon-neutral society in 2050. Agency for Natural Resources and Energy. Available online at [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen\\_nenryo/kogyo/pdf/007\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/kogyo/pdf/007_03_00.pdf).

ANRE (2022): Japan's Energy. 10 Questions for understanding the current energy situation. Agency for Natural Resources and Energy. Available online at [https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/brochures/pdf/japan\\_energy\\_2022.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/brochures/pdf/japan_energy_2022.pdf).

ANRE (2023): Overview of Basic Hydrogen Strategy. Agency for Natural Resources and Energy. Available online at [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_4.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_4.pdf), checked on 1/17/2024.

Arai, Risa; Calisto Friant, Martin; Vermeulen, Walter J. V. (2023): The Japanese Circular Economy and Sound Material-Cycle Society Policies: Discourse and Policy Analysis. In *Circ.Econ.Sust.* 3 (4), pp. 1–32. DOI: 10.1007/s43615-023-00298-7.

Astec irie (2023): Urban Mines Recycling. Available online at [https://www.astec-irie.co.jp/recycle/nonmetal\\_en](https://www.astec-irie.co.jp/recycle/nonmetal_en), checked on 12/20/2023.

Bangert, Helene (2020): JAPAN'S CIRCULARITY. A Panorama of Japanese Policy, Innovation, Technology and Industry Contributions Towards Achieving the Paris Agreement. Edited by EU-Japan Centre for Industrial Cooperation.

BASC (2022): Towards strengthening the battery supply chain. Battery Association for Supply Chain. Available online at [https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/joho/conference/battery\\_strategy/0005/03.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/0005/03.pdf), updated on 7/26/2022, checked on 1/17/2024.

Benton, Dustin; Hazell, Jonny (2015): The circular economy in Japan. Edited by The institution of environmental sciences. Available online at <https://www.the-ies.org/analysis/circular-economy-japan#6>, updated on 12/18/2023, checked on 1/17/2024.

BGR (2020): BGR koordiniert das Deutsche Forschungsnetzwerk Rohstoffe: Das Know-how von „GERRI“ unterstützt den Übergang in eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft. With assistance of Dr. Volker Steinbach. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover. Available online at [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/BGR/bgr-2020-02-13\\_forschungsnetzwerk-rohstoffe.html](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/BGR/bgr-2020-02-13_forschungsnetzwerk-rohstoffe.html), updated on 2/13/2020, checked on 11/3/2023.

BGR (2022): Deutschland – Rohstoffsituation 2021. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover. Available online at [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min\\_rohstoffe/Produkte/produkte\\_node.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/produkte_node.html), checked on 12/8/2023.

BMBF (2023a): BMBF-Dachkonzept Batterieforschung. Souveränität für eine nachhaltige Wertschöpfung von morgen. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bonn. Available online at [https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/bmbf-dachkonzept-batterieforschung-2023.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/bmbf-dachkonzept-batterieforschung-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=6), checked on 2/9/2024.

BMBF (2023b): Update der Nationalen Wasserstoffstrategie: Turbo für die H2-Wirtschaft. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Available online at [https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie\\_node.html](https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie_node.html), updated on 7/26/2023, checked on 1/6/2023.

BMU (2021): Lesefassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes 2021 mit markierten Änderungen zur Fassung von 2019. Edited by Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Available online at [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/ksg\\_aendg\\_2021\\_3\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/ksg_aendg_2021_3_bf.pdf), checked on 10/31/2023.

BMUV (2020): Kreislaufwirtschaftsgesetz. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. Lesefassung mit Änderungen des neuen Kreislaufwirtschaftsgesetzes. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Available online at <https://www.bmu.de/gesetz/kreislaufwirtschaftsgesetz>, updated on 9/13/2022, checked on 12/11/2023.

BMUV (2021): Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren. Batteriegesetz. Gesetze | BattG. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Available online at <https://www.bmu.de/gesetz/gesetz-ueber-das-inverkehrbringen-die-ruecknahme-und-die-umweltvertraegliche-entsorgung-von-batterien-und-akkumulatoren>, updated on 1/1/2021, checked on 12/11/2023.

BMUV (2022): Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. WEEE-Richtlinie. Richtlinien | RL 2012/19/EU. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Available online at <https://www.bmuv.de/GE778>, updated on 7/28/2022, checked on 12/15/2023.

BMUV (2023a): Altfahrzeug-Verordnung. Gesetzgebung in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Available online at <https://www.bmuv.de/themen/kreislaufwirtschaft/abfallarten-und-abfallstroeme/altfahrzeuge/gesetzgebung-in-deutschland-altfahrzeug-verordnung>, updated on 11/10/2023, checked on 12/11/2023.

BMUV (2023b): Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Available online at <https://www.bmuv.de/themen/kreislaufwirtschaft/kreislaufwirtschaftsstrategie>, updated on 4/18/2023, checked on 12/11/2023.

BMUV (2023c): Standardization Roadmap Circular Economy: New options for action for the green transformation. Joint press release of the BMUV, DIN, DKE and VDI. No. 006/23. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection. Available online at <https://www.bmuv.de/en/pressrelease/standardization-roadmap-circular-economy-new-options-for-action-for-the-green-transformation>, updated on 2/19/2023, checked on 12/11/2023.

BMUV (2023d): Fundamentals of the National Circular Economy Strategy (NKWS). The process of transforming to a circular economy. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection. Available online at <https://www.bmuv.de/en/download/fundamentals-of-the-national-circular-economy-strategy-nkws>, checked on 12/8/2023.

BMUV (2023e): The National Circular Economy Strategy. Fundamentals for the process of transforming to a circular economy. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Available online at <https://www.bmuv.de/en/download/fundamentals-of-the-national-circular-economy-strategy-nkws>, checked on 11/28/2023.

BMUV (2024): Entwurf einer Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Available online at <https://www.bmuv.de/download/entwurf-einer-nationalen-kreislaufwirtschaftsstrategie-nkws>, checked on 7/19/2024.

BMWi (2019): Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. Edited by Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Available online at [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=1), checked on 10/31/2023.

BMWK (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Mineralische Rohstoffe sind unverzichtbar für Deutschland – als Technologiestandort und als Exportnation. Available online at <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2020/03/kapitel-1-10-rohstoffstrategie-der-bundesregierung.html>, updated on 2/25/2020, checked on 10/31/2023.

BMWK (2022a): Eckpunktepapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Available online at [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-nachhaltige-und-resiliente-rohstoffversorgung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eckpunktepapier-nachhaltige-und-resiliente-rohstoffversorgung.pdf?__blob=publicationFile&v=1), checked on 10/24/2023.

BMWK (2022b): Fakten aus Eröffnungsbilanz Klimaschutz. Edited by Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Available online at [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/fakten-aus-eroeffnungsbilanz-marginal.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/fakten-aus-eroeffnungsbilanz-marginal.pdf?__blob=publicationFile&v=1).

BMWK (2023a): National Hydrogen Strategy Update. NHS 2023. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin.

BMWK (2023b): Photovoltaik-Strategie. Handlungsfelder und Maßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der Photovoltaik. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Berlin. Available online at [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/photovoltaik-strategie-2023.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/photovoltaik-strategie-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=8), checked on 2/9/2024.

BMWK (2023c): Stromspeicher-Strategie des BMWK vorgelegt. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Available online at <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/Energiespeicher/stromspeicher-strategie.html>, updated on 12/8/2023, checked on 1/6/2024.

Boewe, Marius; Rasche, David (2024): EU's Ecodesign for Sustainable Products Regulation - the essentials. Edited by Herbert Smith Freehills LLP. Lexology. Available online at <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=4debb5af-4e1c-4108-8fb8-ab2315110c4a>, updated on 6/21/2024, checked on 19.09.2024.

Bourne, Matthew (2023): Solar panel recycling industry is born in Japan. Edited by Clean Energy Revolution. Available online at <https://cleanenergyrevolution.co/2023/07/27/solar-panel-recycling-industry-is-born-in-japan/>, checked on 12/20/2023.

Bundesnetzagentur (2023): Changes to the laws affecting wind power. Electricity market topics. Available online at <https://www.smard.de/page/en/topic-article/5892/209964>, updated on 1/26/2023, checked on 2/9/2024.

BVSE (2023): Innovative Anforderungen könnten die Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen und kritischen Rohstoffen in Fahrzeugen fördern. bvse-Fachverband Schrott, E-Schrott und Kfz-Recycling. Available online at <https://www.bvse.de/schrott-elektronikgeraete-recycling/nachrichten-schrott-eschrott-kfz/9971-innovative-anforderungen-koennten-die-kreislaufwirtschaft-von-kunststoffen-und-kritischen-rohstoffen-in-fahrzeugen-foerdern.html>, updated on 7/21/2023, checked on 12/11/2023.

Cabinet Office Government of Japan (2022): Basic guidelines on ensuring a stable supply of specified critical commodities. Available online at [https://www.cao.go.jp/keizai\\_anzen\\_hosho/suishinhou/doc/kihonshishin1.pdf](https://www.cao.go.jp/keizai_anzen_hosho/suishinhou/doc/kihonshishin1.pdf), checked on 1/2/2024.

Cabinet Secretariat (2002): Act on the Promotion of Effective Utilization of Resources. English translation. Cabinet Secretariat Japan (CAS). Available online at [https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/hourei/data/peur\\_2.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/hourei/data/peur_2.pdf), checked on 2/22/2024.

Cabinet Secretariat (2023): Grand Design and Action Plan for a New Form of Capitalism 2023 Revised Version. Cabinet Secretariat Japan (CAS). Available online at [https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/atarashii\\_sihonsyugi/pdf/ap2023en.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/atarashii_sihonsyugi/pdf/ap2023en.pdf), checked on 2/22/2024.

Carrara, Samuel; Bobba, Silvia; Blagoeva, Darina; Alves Dias, Patricia; Cavalli, Alessandro; Georgitzikis, Konstantinos et al. (2023): Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU. A foresight study. Luxembourg: Publications Office of the European Union (31437). Available online at <https://op.europa.eu/o/oportal-service/download-handler?identifier=9e17a3c2-c48f-11ed-a05c-01aa75ed71a1&format=pdf&language=en&productionSystem=cellar&part=>.

Chee, Foo Yun; Blenkinsop, Philip (2023): EU agrees mineral supply targets to cut reliance on China. Available online at <https://www.reuters.com/sustainability/eu-set-okay-rules-secure-critical-raw-materials-eu-official-says-2023-11-13/>, updated on 11/13/2023, checked on 11/15/2023.

CISL; Wuppertal Institute (2023): Embracing circularity: A pathway for strengthening the Critical Raw Materials Act. University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership; Wuppertal Institute; CLG Europe. Cambridge, UK. Available online at [https://www.corporateleadersgroup.com/files/cisl\\_embracing\\_circularity\\_report\\_v5.pdf](https://www.corporateleadersgroup.com/files/cisl_embracing_circularity_report_v5.pdf).

Council of the EU (2023): Council and Parliament strike provisional deal to reinforce the supply of critical raw materials. With assistance of Ferran Tarradellas Espuny. European Council; Council of the EU. Available online at <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/11/13/council-and-parliament-strike-provisional-deal-to-reinforce-the-supply-of-critical-raw-materials/u/en/press/press-releases/2023/11/13/council-and-parliament-strike-provisional-deal-to-reinforce-the-supply-of-critical-raw-materials/>, updated on 11/13/2023, checked on 12/11/2023.

DERA (2022a): Chart des Monats, April 2022. Rohstoffe für Photovoltaikanlagen. Bundeskanzler bei BGR. Deutsche Rohstoffagentur. Available online at [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%202022\\_cdm\\_04\\_Energiewende\\_in\\_Deutschland.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%202022_cdm_04_Energiewende_in_Deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=2), checked on 10/31/2023.

DERA (2022b): Chart des Monats, März 2022. Rohstoffe für Windkraftanlagen. Deutsche Rohstoffagentur. Available online at [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%202022\\_cdm\\_03\\_Energiewende\\_in\\_Deutschland.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%202022_cdm_03_Energiewende_in_Deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=5), checked on 10/31/2023.

DERA (2022c): Mineralische Rohstoffe für die Wasserelektrolyse. Deutsche Rohstoffagentur. Berlin (DERA Themenheft). Available online at [https://www.bgr.bund.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-22.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bgr.bund.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-22.pdf?__blob=publicationFile&v=3), checked on 12/18/2023.

DESTATIS (2022): 11,2 % mehr recycelte Elektroaltgeräte im Jahr 2020. Recyclingquote gegenüber 2019 leicht gestiegen. Pressemitteilung Nr. 058 vom 11. Februar 2022. Statistisches Bundesamt. Available online at [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/02/PD22\\_058\\_321.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/02/PD22_058_321.html), updated on 2/11/2022, checked on 7/12/2024.

DeWit, Andrew (2021): Decarbonization and Critical Raw Materials: Some Issues for Japan. In *The Asia-Pacific Journal* 19 (2), pp. 1–13. Available online at <https://apjpf.org/2021/3/DeWit>, checked on 12/11/2023.

Die Bundesregierung (2022): Nachhaltige Mobilität: Nicht weniger fortbewegen, sondern anders. Available online at <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/nachhaltige-mobilitaet-2044132>, updated on 12/23/2022, checked on 3/5/2024.

Die Bundesregierung (2023a): Gemeinsame Erklärung. 1. Deutsch-Japanische Regierungskonsultationen. Tokyo. Available online at <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/deutsch-japanische-regierungskonsultationen-2171896>, updated on 3/18/2023, checked on 12/22/2023.

Die Bundesregierung (2023b): Neu denken bei der Rohstoffversorgung. Available online at <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/rohstoffversorgung-2166232>, checked on 11/3/2023.

EC (n.d.a): Fifth list 2023 of critical raw materials for the EU. European Commission. Available online at [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en), checked on 7/19/2024.

EC (n.d.b): The European innovation partnership (EIP) on raw materials. European Commission. Available online at [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/eip\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/eip_en), checked on 12/11/2023.

EC (2020a): A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. COM(2020) 98 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 3/11/2020. Available online at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>, checked on 12/15/2023.

EC (2020b): Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. Edited by European Commission. Brussels. Available online at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0562>, checked on 11/1/2023.

EC (2022): Ecodesign for Sustainable Products Regulation. European Commission. Available online at [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products-regulation\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products-regulation_en), checked on 11/15/2023.

EC (2023a): EU and Japan boost strategic cooperation on digital and on critical raw materials supply chains. European Commission. Brussels. Available online at [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_23\\_3831](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3831), updated on 7/13/2023, checked on 2/9/2024.

EC (2023b): More circular, less carbon: chemical recycling holds promise for wind-turbine blade waste. European Commission DG Environment News Alert Service, edited by the Science Communication Unit, The University of the West of England. European Commission. Bristol (Science for Environment Policy, 611). Available online at [https://environment.ec.europa.eu/news/more-circular-less-carbon-chemical-recycling-holds-promise-wind-turbine-blade-waste-2023-10-19\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/more-circular-less-carbon-chemical-recycling-holds-promise-wind-turbine-blade-waste-2023-10-19_en), updated on 10/19/2023, checked on 2/12/2024.

EC (2023c): Renewable energy storage from second-life batteries is viable but may benefit from subsidies. European Commission DG Environment News Alert Service, edited by the Science Communication Unit, The University of the West of England. European Commission. Bristol (Science for Environment Policy, 609). Available online at [https://environment.ec.europa.eu/news/renewable-energy-storage-second-life-batteries-viable-may-benefit-subsidies-2023-09-13\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/renewable-energy-storage-second-life-batteries-viable-may-benefit-subsidies-2023-09-13_en), updated on 9/13/2023, checked on 2/12/2024.

EC (2023d): Circular economy: New law on more sustainable, circular and safe batteries enters into force. European Commission. Available online at [https://environment.ec.europa.eu/news/new-law-more-sustainable-circular-and-safe-batteries-enters-force-2023-08-17\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/new-law-more-sustainable-circular-and-safe-batteries-enters-force-2023-08-17_en), checked on 11/15/2023.

EEA (2024): Capturing the climate change mitigation benefits of circular economy and waste sector policies and measures. Briefing. European Environment Agency. Available online at <https://www.eea.europa.eu/publications/capturing-the-climate-change-mitigation#:~:text=The%20circular%20economy%20is%20an,the%20challenge%20of%20quantifying%20impacts.>, updated on 2/22/2024, checked on 7/12/2024.

Eiki Shoji (2023): Semiconductor & Silicon. Available online at <https://www.eikishoji.co.jp/en/recycle/semiconductor.php>, checked on 12/20/2023.

EIT RawMaterials (2023a): About EIT RawMaterials. Available online at <https://eitrawmaterials.eu/about-us/>, checked on 12/11/2023.

EIT RawMaterials (2023b): European Raw Materials Alliance (ERMA). Available online at <https://erma.eu/workstreams/>, checked on 12/11/2023.

Ekins, Paul; Domenech, Teresa; Drummond, Paul; Bleischwitz, Raimung; Hughes, Nick; Lotti, Lorenzo (2019): The Circular Economy: What, Why, How and Where. Background paper for an OECD/EC Workshop on 5 July 2019 within the workshop series "Managing environmental and energy transitions for regions and cities". Paris. Available online at <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/Ekins-2019-Circular-Economy-What-Why-How-Where.pdf>, checked on 11/13/2023.

Enerdata (2023): World Energy & Climate Statistics. Yearbook 2023. Total energy consumption. Available online at <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>, checked on 12/21/2023.

energie-experten.org (2022): Entsorgung von Solarmodulen. Vorschriften, Rückgabe & Kosten. Available online at <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/solarmodule/entsorgung>, updated on 2/21/2022, checked on 12/18/2023.

ESCAP (2023): Implications of the Energy Transition on Sustainable Critical Minerals Development in Asia and the Pacific. Aligning Extractive Industries with the Sustainable Development Goals. Edited by United Nations. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Available online at <https://www.unescap.org/kp/2023/implications-energy-transition-sustainable-critical-minerals-development-aligning>, checked on 2/21/2024.

EU-Japan Centre for Industrial Cooperation (2022): The EU and Japan open Horizon Europe association talks. Available online at [https://www.eu-japan.eu/news/eu-and-japan-open-horizon-europe-association-talks#:~:text=Under%20the%20previous%20EU%20research,and%20renewable%20energy%20\(biofuels\).,](https://www.eu-japan.eu/news/eu-and-japan-open-horizon-europe-association-talks#:~:text=Under%20the%20previous%20EU%20research,and%20renewable%20energy%20(biofuels).,) checked on 2/22/2024.

European Parliament; Council of the EU (2024a): Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020 Text with EEA relevance. Edited by Official Journal of the European Union. Available online at <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>, updated on 4/11/2024, checked on 4/19/2024.

European Parliament; Council of the EU (2024b): Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC Text with EEA relevance. Edited by Official Journal of the European Union. Available online at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1781&qid=1719580391746>, updated on 6/28/2024, checked on 4/19/2024.

EUROSTAT (2022): Circular material use rate. Online data code: cei\_srm030. Available online at [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei\\_srm030/default/bar?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_srm030/default/bar?lang=en), updated on 11/14/2023, checked on 12/8/2023.

Ffe (2022): Beitragsreihe Wasserstoff Deep Dives. Rohstoffbedarf der Wasserstoffproduktion. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. Available online at <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/beitragsreihe-wasserstoff-deep-dives-rohstoffbedarf-der-wasserstoffproduktion/>, updated on 12/6/2022, checked on 2/9/2024.

Fichter, Klaus; Neumann, Thomas; Clausen, Jens; Widrat, Alexandra; Pantermöller, Alicia; Kelkar, Oliver; Appel, Simon Alexander (2023): Green Tech Made in Germany. Best Practice Geschäftsmodelle zur Erschließung grüner Wachstumsmärkte. Edited by MHP Gesellschaft für Management- und IT-Beratung mbH. Available online at <https://www.mhp.com/de/insights/was-wir-denken/greentech-made-in-germany-2023>, checked on 12/15/2023.

Fraunhofer ISE (2024): Public Net Electricity Generation 2023 in Germany: Renewables Cover the Majority of the Electricity Consumption for the First Time. Available online at <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2024/public-electricity-generation-2023-renewable-energies-cover-the-majority-of-german-electricity-consumption-for-the-first-time.html>, updated on 1/15/2024, checked on 2/22/2024.

G7 (2022): G7 Berlin Roadmap on Resource Efficiency and Circular Economy (2022–2025). G7 Germany 2022. Available online at [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Europa\\_\\_International/g7\\_berlin\\_roadmap\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Europa__International/g7_berlin_roadmap_bf.pdf), checked on 2/9/2024.

G7 (2023): Circular Economy and Resource Efficiency Principles (CEREP). Fostering Business Leadership, Action, and Partnerships. G7 Japan 2023. Available online at [https://www.env.go.jp/en/press/press\\_02234.html#:~:text=CEREP%20is%20a%20set%20of,efficiency%20in%20the%20private%20sector.,](https://www.env.go.jp/en/press/press_02234.html#:~:text=CEREP%20is%20a%20set%20of,efficiency%20in%20the%20private%20sector.,) checked on 2/9/2024.

G7 Alliance on Resource Efficiency (n.d.): About us. Available online at <https://www.g7are.com/about-us>, checked on 12/11/2023.

G7 Ministers (2023): Five-Point Plan for Critical Minerals Security. Annex to the Climate, Energy and Environment Ministers' Communiqué. Meeting on Climate, Energy and Environment. Available online at <https://www.meti.go.jp/information/g7hirosima/energy/pdf/Annex005.pdf>, checked on 12/19/2023.

Gebhardt, Paul; Hoffmann, Stephan; Wenzel, Timo; Friedrich, Lorenz; Herceg, Sina; Subasi, Silara Maria et al. (2022): Lead-free PV modules. Industrial realization and evaluation of environmental impact. Presented at the WCPEC-8, 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 26–30 September 2022, Milan, Italy. Edited by Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems ISE. Freiburg. Available online at [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/conference-paper/wcpec-8/Gebhardt\\_3DV328.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/conference-paper/wcpec-8/Gebhardt_3DV328.pdf), checked on 2/12/2024.

Gislev, Magnus; Grohol, Milan; Mathieux, Fabrice; Ardente, Fulvio; Bobba, Silvia; Nuss, Philip et al. (2018): Report on critical raw materials and the circular economy. Edited by Publications Office of the European Union. Luxembourg. Available online at <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d1be1b43-e18f-11e8-b690-01aa75ed71a1>, checked on 12/8/2023.

Günther, Jens; Lehmann, Harry; Lorenz, Ullrich; Purr, Katja (2019): A resource efficient pathway towards a greenhouse gas neutral Germany. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/a-resource-efficient-pathway-towards-a-greenhouse>, checked on 11/13/2023.

Hamada Co. Ltd. (2022): Solar panels in Japan. Available online at [https://www.jica.go.jp/Resource/activities/issues/env\\_manage/jcci/uurjcd000000fna0-att/presentation\\_05.pdf](https://www.jica.go.jp/Resource/activities/issues/env_manage/jcci/uurjcd000000fna0-att/presentation_05.pdf), checked on 12/20/2023.

IEA (2022a): International Resource Strategy - National stockpiling system. International Energy Agency. Available online at <https://www.iea.org/policies/16639-international-resource-strategy-national-stockpiling-system>, updated on 10/27/2022, checked on 10/24/2023.

IEA (2022b): The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency. Available online at <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>, checked on 10/30/2023.

IEA (2023): Sixth Strategic Energy Plan. 2050 Carbon neutral. Japan. International Energy Agency. Available online at <https://www.iea.org/policies/14391-sixth-strategic-energy-plan-2050-carbon-neutral>, updated on 10/31/2022, checked on 12/11/2023.

IEA; International Energy Agency (2021): The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. Available online at <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>, checked on 12/11/2023.

IEA PVPS (2022): Status of PV Module Recycling in Selected IEA PVPS Task12 Countries. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Available online at <https://iea-pvps.org/key-topics/status-of-pv-module-recycling-in-selected-iea-pvps-task12-countries/>, checked on 3/5/2024.

IGES (n.d.): About G20 Resource Efficiency Dialogue. Institute for Global Environmental Strategies. Available online at <https://g20re.org/about.html>, checked on 12/11/2023.

IHK Köln (n.d.): Das Batteriegesetz (BattG). Industrie- und Handelskammer zu Köln (IHK Köln). Available online at <https://www.ihk.de/koeln/hauptnavigation/umwelt-und-energie/umwelt/das-batteriegesetz-battg--5161000>, checked on 12/11/2023.

IRENA (2021): World Energy Transitions Outlook. 1,5°C Pathway. Edited by International Renewable Energy. Abu Dhabi. Available online at [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA\\_World\\_Energy\\_Transitions\\_Outlook\\_2021.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf), checked on 3/5/2024.

IRENA (2022): Socio-economic footprint of the energy transition: Japan. International Renewable Energy Agency. Available online at [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA\\_Socio-economic\\_footprint\\_Japan\\_2022.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA_Socio-economic_footprint_Japan_2022.pdf), checked on 12/11/2023.

IRENA (2023): Geopolitics of the Energy Transition. Critical Materials. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi. Available online at <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Geopolitics-of-the-Energy-Transition-Critical-Materials>, checked on 12/6/2023.

IRP (2020): Resource Efficiency and Climate Change. Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. With assistance of Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. A report of the International Resource Panel. Edited by United Nations Environment Programme. International Resource Panel. Nairobi, Kenya. Available online at <https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>, checked on 7/12/2024.

ISEP (2023): 2022 Share of Electricity from Renewable Energy Sources in Japan (Preliminary). Institute for Sustainable Energy Policies. Available online at <https://www.isep.or.jp/en/1436/>, checked on 12/11/2023.

Ito, Takaaki (2022): Circular Economy in Japan. Office for Promotion of Sound Material-Cycle Society, Ministry of the Environment of Japan. Available online at [https://www.jica.go.jp/Resource/activities/issues/env\\_manage/jcci/uurjcd000000fdje-att/presentation\\_11.pdf](https://www.jica.go.jp/Resource/activities/issues/env_manage/jcci/uurjcd000000fdje-att/presentation_11.pdf), checked on 12/20/2023.

J4CE (2021): Initiatives in the Circular Economy by Japanese Companies. Japan Partnership for Circular Economy. Available online at [https://j4ce.env.go.jp/top/J4CE\\_NoteworthyCases2021.pdf](https://j4ce.env.go.jp/top/J4CE_NoteworthyCases2021.pdf), checked on 2/23/2024.

Japan NRG (2022): Japan's Battery Future: METI Sets Goals for Developing Burgeoning Industry. Japan National Responsibility Group. Available online at <https://japan-nrg.com/deepdive/road-to-japans-battery-future-meti-sets-goals-for-developing-the-burgeoning-industry/>, checked on 1/2/2024.

JERA Co., Inc. (2022): JERA and Sumitomo Chemical Start a Demonstration Project to Develop a Low Environmental Impact Recycling Process for Electric Vehicle Lithium-ion Batteries. Available online at [https://www.jera.co.jp/en/news/information/20220419\\_885](https://www.jera.co.jp/en/news/information/20220419_885), updated on 4/19/2022, checked on 12/20/2023.

JOGMEC (n.d.): Overview. About Us. Japan Organization for Metals and Energy Security. Available online at <https://www.jogmec.go.jp/english/about/about001.html>, updated on 12/11/2023, checked on 12/11/2023.

JOGMEC (2024): 出版物・レポート一覧. Mineral Resources Information. Japan Organization for Metals and Energy Security. Available online at [https://mric.jogmec.go.jp/report/?category%5B0%5D=material\\_flow&doing\\_wp\\_cron=1708617236.8663880825042724609375](https://mric.jogmec.go.jp/report/?category%5B0%5D=material_flow&doing_wp_cron=1708617236.8663880825042724609375), updated on 2/22/2024, checked on 2/22/2024.

Kobayashi, Saki (2023): Photovoltaic (PV) Module Waste Regulations - Japan. Edited by EnerScale Knowledge. Available online at [https://enerscale.biz/jekyll/PV\\_Module\\_Waste\\_Regulations\\_Japan/](https://enerscale.biz/jekyll/PV_Module_Waste_Regulations_Japan/), checked on 12/19/2023.

Kowalski, Przemyslaw; Legendre, Clarisse (2023): Raw materials critical for the green transition. Production, international trade and export restrictions. Edited by OECD (OECD Trade Policy Papers). Available online at [https://www.oecd-ilibrary.org/trade/raw-materials-critical-for-the-green-transition\\_c6bb598b-en](https://www.oecd-ilibrary.org/trade/raw-materials-critical-for-the-green-transition_c6bb598b-en), checked on 12/15/2023.

Kreibe, Siegfried; Berkmüller, Ruth; Förster, Andreas; Peche, René; Reinelt, Birgit; Krupp, Michael et al. (2020): ILESA - Edel- und sondermetallhaltige Abfallströme intelligent lenken: Bündelung, Zwischenlagerung, Rückgewinnungsgrad. Abschlussbericht. Edited by Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (TEXTE, 178/2020). Available online at [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2020\\_10\\_19\\_texte\\_178\\_2020\\_ilesa.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2020_10_19_texte_178_2020_ilesa.pdf), checked on 12/8/2023.

Kusashio, Takuro; Fukui, Kento (2023): China nips at Japan's heels in patents for bendable solar panels. Edited by Nikkei Asia. Available online at <https://asia.nikkei.com/Business/Energy/China-nips-at-Japan-s-heels-in-patents-for-bendable-solar-panels>, updated on 11/29/2023, checked on 3/6/2024.

Liu, Siyi; Patton, Dominique (2023): China, world's top graphite producer, tightens exports of key battery material. Edited by Reuters. Available online at <https://www.reuters.com/world/china/china-require-export-permits-some-graphite-products-dec-1-2023-10-20/>, updated on 10/20/2023, checked on 12/15/2023.

Marscheider-Weidemann, Frank (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Auftragsstudie. Datenstand: Mai 2021. Deutsche Rohstoffagentur. Berlin (DERA Rohstoffinformationen). Available online at [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-50.pdf](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-50.pdf), checked on 12/18/2023.

Marubeni Corporation (2023): Launch of Reuse and Recycling Services for Used Solar Panels. Available online at <https://www.marubeni.com/en/news/2023/release/00076.html>, checked on 12/20/2023.

Marubeni Corporation; Sompo Japan Insurance Inc.; Sompo Risk Management Inc (2022): Memorandum of Understanding for Appropriate Reuse and Recycling of Used Solar Panels. Available online at <https://www.marubeni.com/en/news/2022/release/20221121E.pdf>, checked on 12/20/2023.

Matsudaira, Sadayuki; Minatogawa, Tomohei (2024): Energy Laws and Regulations 2024 | Japan. Global Legal Insights. Available online at <https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/energy-laws-and-regulations/japan>, checked on 1/17/2024.

Menkhoff, Lukas; Zeevaert, Marius (2022): Deutschland kann seine Versorgungssicherheit bei mineralischen Rohstoffimporten erhöhen. In *DIW Wochenbericht* (50), pp. 667–675. DOI: 10.18723/diw\_wb:2022-50-1.

METI (n.d.): Renewable Energy. Ministry of Economy, Trade and Industry.

METI (2020a): Circular Economy Vision 2020. May 2020. Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan.

METI (2020b): Japan's new international resource strategy to secure rare metals. Ministry of Economy, Trade and Industry. Available online at [https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/special/article/detail\\_158.html](https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/special/article/detail_158.html), updated on 9/6/2022, checked on 12/11/2023.

METI (2021a): Cabinet Decision on the Sixth Strategic Energy Plan. Ministry of Economy, Trade and Industry. Available online at [https://www.meti.go.jp/english/press/2021/1022\\_002.html](https://www.meti.go.jp/english/press/2021/1022_002.html), updated on 10/22/2021, checked on 1/17/2024.

METI (2021b): Overview of Japan's Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. Ministry of Economy, Trade and Industry. Available online at [https://www.meti.go.jp/english/press/2020/pdf/1225\\_001a.pdf](https://www.meti.go.jp/english/press/2020/pdf/1225_001a.pdf), checked on 3/7/2024.

METI (2022a): Battery Industry Strategy. Interim summary. Available online at [https://www.meti.go.jp/english/report/pdf/0520\\_001a.pdf](https://www.meti.go.jp/english/report/pdf/0520_001a.pdf), checked on 3/7/2024.

METI (2022b): First Meeting of the Study Group on Sustainability of Storage Batteries to be Held. Available online at [https://www.meti.go.jp/english/press/2022/0121\\_003.html](https://www.meti.go.jp/english/press/2022/0121_003.html), updated on 12/8/2023, checked on 2/23/2024.

METI (2022c): Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. Automobile, Storage batteries. Ministry of Economy, Trade and Industry. Available online at [https://www.meti.go.jp/english/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs2050/](https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/ggs2050/), updated on 10/17/2022, checked on 12/11/2023.

METI (2023a): Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. Ministry of Economy, Trade and Industry. Available online at [https://www.meti.go.jp/english/policy/energy\\_environment/global\\_warming/ggs2050/index.html](https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/ggs2050/index.html), updated on 12/4/2023, checked on 12/11/2023.

METI (2023b): Green Innovation Fund. Edited by Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. Available online at [https://www.meti.go.jp/english/policy/energy\\_environment/global\\_warming/gifund/index.html#:~:text=Outline,\(NEDO\)%20to%20its%20operation,](https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/gifund/index.html#:~:text=Outline,(NEDO)%20to%20its%20operation,) updated on 2/3/2023, checked on 12/20/2024.

METI (2023c): Growth-oriented resource-autonomous economic strategy. Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. Available online at [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/shigen\\_jiritsu/pdf/20230331\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/shigen_jiritsu/pdf/20230331_1.pdf), checked on 12/20/2023.

METI (2023d): Progress on the relevant measures of the Storage Battery Industry Strategy and the way forward in the immediate future. Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. Available online at <https://www.kansai.meti.go.jp/3jisedai/battery/231003/01.pdf>, checked on 1/2/2024.

METI (2023e): Renewable energy generation equipment Disposal and recycling. Ministry of Economy, Trade and Industry. Available online at [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/disposal\\_recycle/pdf/001\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/disposal_recycle/pdf/001_02_00.pdf), checked on 1/17/2024.

METI (2023f): Policy on initiatives to ensure stable supply of important minerals. Ministry of Economy, Trade and Industry. Available online at [https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic\\_security/metal/torikumihoshin.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic_security/metal/torikumihoshin.pdf), checked on 1/17/2024.

MFUG (2023): 令和4年度鉱物資源リサイクルフロー・ストック調査. Mitsubishi Tōkyō UFJ Ginkō. Available online at [https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2023/05/survey\\_mineral\\_recycling\\_flow\\_stock\\_r4.pdf](https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2023/05/survey_mineral_recycling_flow_stock_r4.pdf), checked on 2/22/2024.

Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues (2023): Basic Hydrogen Strategy. Available online at [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_5.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_5.pdf), checked on 1/17/2024.

Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan (2020): Circular Economy Vision 2020. Available online at [https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/junkai\\_keizai/pdf/20200522\\_03.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/junkai_keizai/pdf/20200522_03.pdf).

MOE (o.J.): Regional 3R Forum in Asia and the Pacific. Ministry of the Environment of Japan. Available online at <https://www.env.go.jp/recycle/3r/en/>, checked on 12/19/2023.

MOE (2001): Law for the Promotion of Effective Utilization of Resources. Ministry of the Environment. Available online at <https://www.env.go.jp/content/900452886.pdf>, checked on 1/17/2024.

MOE (2014a): History and Current State of Waste Management in Japan. Ministry of the Environment of Japan. Available online at <https://www.env.go.jp/content/900453392.pdf>, checked on 1/17/2024.

MOE (2014b): Reuse, recycling and proper disposal of photovoltaic equipment etc. Report on the Reuse, Recycling and Proper Disposal of Photovoltaic Equipment. Study Group on Reuse, Recycling and Proper Disposal of End-of-Life Renewable Energy Equipment. Ministry of the Environment. Available online at <https://www.env.go.jp/press/files/jp/27415.pdf>, checked on 1/17/2024.

MOE (2016): Introduction to Green Purchasing Legislation in Japan. Available online at <https://www.env.go.jp/content/000064788.pdf>, checked on 2/22/2024.

MOE (2017): Green Bond Guidelines. Ministry of the Environment of Japan. Available online at <https://www.env.go.jp/content/900453296.pdf>, checked on 12/19/2023.

MOE (2018): The 4th Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society. Ministry of the Environment of Japan. Available online at <https://www.env.go.jp/content/900535436.pdf>, checked on 12/19/2023.

MOE (2020a): Demonstration project for early social implementation of a decarbonised metal recycling system. Ministry of the Environment of Japan. Available online at <https://www.env.go.jp/content/900441877.pdf>, checked on 12/20/2023.

MOE (2020b): Demonstration project for the construction of a recycling system for plastics and other resources to support a decarbonised society. Ministry of the Environment of Japan. Available online at <https://www.env.go.jp/content/900470639.pdf>, checked on 12/20/2023.

MOE (2023): G7 Climate, Energy and Environment Ministers' Communiqué. Ministry of the Environment of Japan. Available online at [https://www.env.go.jp/en/earth/g7/2023\\_sapporo\\_emm/](https://www.env.go.jp/en/earth/g7/2023_sapporo_emm/), updated on 4/16/2023, checked on 7/12/2024.

Nagasaki, Daisuke (2024): Circular Economy in Japan.

NEDO (n.d.): Next-generation Storage Battery and Motor Development. NEDO Green Innovation Fund Projects. New Energy and Industrial Technology Development Organization. Available online at <https://green-innovation.nedo.go.jp/en/project/next-generation-storage-batteries-motors/summary/>, updated on 1/19/2024, checked on 2/23/2024.

OECD (2023): Government at a Glance 2023. Paris: OECD Publishing. Available online at [https://www.oecd-ilibrary.org/governance/government-at-a-glance-2023\\_3d5c5d31-en](https://www.oecd-ilibrary.org/governance/government-at-a-glance-2023_3d5c5d31-en), checked on 2/21/2024.

Öko-Institut; Prognos (2019): Rohstoffbedarf im Bereich der erneuerbaren Energien. Endbericht. Available online at <https://d-eiti.de/wp-content/uploads/2020/02/Rohstoffbedarf-im-Bereich-der-erneuerbaren-Energien.Langfassung.pdf>, checked on 2/9/2024.

Otto, Sven-Joachim; Meyer, Simon; Helmes, Sebastian; Schmelting, René; Rohde, Mareike; Rubner, Philipp et al. (2023): Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen zur Sicherung einer guten Praxis bei Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen. Edited by Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-eines-konzepts-massnahmen-zur-sicherung>, checked on 2/9/2024.

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2023): Neu denken bei der Rohstoffversorgung. Available online at <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/rohstoffversorgung-2166232>, updated on 2/17/2023, checked on 10/31/2023.

Robert Bosch GmbH (2023): Bosch closes the circle: almost all the platinum in fuel-cell stacks can be recovered. With assistance of Anna Schmatz. Available online at <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-closes-the-circle-almost-all-the-platinum-in-fuel-cell-stacks-can-be-recovered-258048.html>, updated on 9/14/2023, checked on 12/18/2023.

Simas, Moana; Aponte, Fabian; Wiebe, Kirsten (2022): The Future is Circular. Circular Economy and Critical Minerals for the Green Transition. 1<sup>st</sup> ed. Edited by SINTEF Industry. Available online at [https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/the\\_future\\_is\\_circular\\_\\_sintefmineralsfinalreport\\_nov\\_2022\\_\\_1\\_\\_1.pdf](https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/the_future_is_circular__sintefmineralsfinalreport_nov_2022__1__1.pdf), checked on 12/14/2023.

Sonderabfallwissen (2020): Entsorgung von E-Autos: Wer trägt die Verantwortung? Elektromobilität und Recht. Available online at <https://www.sonderabfall-wissen.de/wissen/entsorgung-von-e-autos-wer-traegt-die-verantwortung/>, updated on 8/1/2020, checked on 12/11/2023.

Systemiq (2022): Critical raw materials for the energy transition in the EU. How circular economy approaches can increase supply security for critical raw materials. Available online at [https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2022/11/Systemiq-2022.-Circular-Economy-CRM-Resilience-Summary-Presentation\\_final.pdf](https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2022/11/Systemiq-2022.-Circular-Economy-CRM-Resilience-Summary-Presentation_final.pdf), checked on 11/1/2023.

Takahashi, Hiroyuki; Inoue, Eiji; Inoue, Nobuyuki; Komori, Yuji; Konishi, Masakazu; Noda, Mizuki; Mizue, Taichi (2021): "Urban Mines" Recycling in Astec-irrie Co., Ltd. In *J. Japan Inst. Metals* 85 (8), pp. 279–284. DOI: 10.2320/jinstmet.JA202103.

Tanaka, Shogo (2023): Circular Economy in Japan. Circular Economy and Resource Efficiency (CEREP). - The Strategy of Resource-Autonomous Circular Economy for Growth -. The EU-Japan Centre for Industrial Cooperation ZOOM webinar. ZOOM, 6/15/2023. Available online at <https://www.eu-japan.eu/sites/default/files/imce/METI%202023.6.15.pdf>, checked on 2/22/2024.

Tedesco, Rita; Kostrowski, Andrea; Bodo, Edoardo (2023): How to reduce our dependency on critical raw materials by stimulating circularity. ECOS, DUH and RREUSE position on the Critical Raw Materials Regulation proposal. ECOS; DUH; RREUSE. Available online at [https://ecostandard.org/wp-content/uploads/2023/07/Position-Paper\\_Critical-Raw-Materials\\_Final.pdf](https://ecostandard.org/wp-content/uploads/2023/07/Position-Paper_Critical-Raw-Materials_Final.pdf), checked on 1/2/2024.

The Copper Mark (2024): Decarbonizing the Copper Sector. Discussion Topics and Considerations for a 1.5°C-aligned Trajectory and Target-setting Methodology. Available online at [https://coppermark.org/wp-content/uploads/2024/05/CopperMark\\_DecarbonizingTheCopperSector\\_2024.04.18.pdf](https://coppermark.org/wp-content/uploads/2024/05/CopperMark_DecarbonizingTheCopperSector_2024.04.18.pdf), checked on 7/12/2024.

The Federal Government (2024): Climate Action Programme 2030. The Federal Government Germany. Available online at <https://www.bundesregierung.de/breg-en/issues/climate-action>, checked on 1/2/2024.

The German Federal Government (2021): German Sustainable Development Strategy. Update 2021 - Summary Version. Available online at <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-318846>, checked on 12/8/2023.

The Japan News (2023): Kishida Aims for Commercially Viable Flexible Solar Cells by 2025. Available online at <https://japannews.yomiuri.co.jp/politics/politics-government/20231003-140791/>, updated on 10/4/2023, checked on 2/22/2024.

Tsanakas, John A.; van der Heide, Arvid; Radavičius, Tadas; Denafas, Julius; Lemaire, Elisabeth; Wang, Ke et al. (2020): Towards a circular supply chain for PV modules: Review of today's challenges in PV recycling, refurbishment and re-certification. In *Progress in Photovoltaics* 28 (6), pp. 454–464. DOI: 10.1002/pip.3193.

U.S. Department of State (n.d.): Minerals Security Partnership. Available online at <https://www.state.gov/minerals-security-partnership/#:~:text=MSP%20Launch%20%E2%80%93%20Canada,mining%20event%20in%20the%20world>, checked on 1/2/2024.

UBA (2020a): Das neue Batteriegesetz. Umweltbundesamt. Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/batterien/das-neue-batteriegesetz>, updated on 12/17/2020, checked on 12/11/2023.

UBA (2020b): Windenergieanlagen: Rückbau, Recycling, Repowering. Umweltbundesamt. Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/windenergieanlagen-rueckbau-recycling-repowering>, updated on 7/20/2020, checked on 7/12/2024.

UBA (2021): Elektro- und Elektronikgerätegesetz. Umweltbundesamt. Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/elektroaltgeraete/elektro-elektronikgeraetegesetz#sinn-und-zweck-des-elektrog>, updated on 12/17/2021, checked on 12/11/2023.

UBA (2023a): Elektro- und Elektronikaltgeräte. Umweltbundesamt. Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/elektro-elektronikaltgeraete#wo-steht-deutschland9>, updated on 9/19/2023, checked on 12/11/2023.

UBA (2023b): Indikator: Rohstoff-Fußabdruck. Umweltbundesamt. Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-rohstoffkonsum#die-wichtigsten-fakten>, updated on 10/20/2023, checked on 11/28/2023.

UNEP (n.d.): The International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Available online at <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/international-resource-panel>, checked on 1/2/2024.

UNEP (2019): Understanding circularity. UNEP circularity platform. United Nations Environment Programme. Available online at <https://buildingcircularity.org/>, checked on 12/18/2023.

UNEP (2022): African Clean Cities Platform. United Nations Environment Programme. Available online at <https://www.unep.org/ietc/news/blogpost/african-clean-cities-platform>, updated on 5/5/2022, checked on 12/19/2023.

UNFCCC (2023): COP28 Agreement Signals "Beginning of the End" of the Fossil Fuel Era. Edited by United Nations Framework Convention on Climate Change. Available online at <https://unfccc.int/news/cop28-agreement-signals-beginning-of-the-end-of-the-fossil-fuel-era>, updated on 12/13/2023, checked on 7/12/2024.

United States Trade Representative (2023): United States and Japan Sign Critical Minerals Agreement. Available online at <https://ustr.gov/about-us/policy-offices/press-office/press-releases/2023/march/united-states-and-japan-sign-critical-minerals-agreement>, updated on 12/11/2023, checked on 12/11/2023.

Utrecht University (2023): Unpacking the circular economy in Japan: what can be learned and improved on? Available online at <https://www.uu.nl/en/news/unpacking-the-circular-economy-in-japan-what-can-be-learned-and-improved-on>, checked on 12/19/2023.

Vergabeblog.de (2021): Nachhaltige öffentliche Beschaffung – neue Regelungen schaffen mehr Rechtssicherheit. Nr. 46173. With assistance of Anja Mager. Deutsches Vergabernetzwerk (DVNW). Available online at <https://www.vergabeblog.de/2021-02-04/nachhaltige-oeffentliche-beschaffung-neue-regelungen-schaffen-mehr-rechtssicherheit/>, updated on 04.02.2021, checked on 12/11/2023.

Wuppertal Institute (2007): Dematerialisierung und Ressourceneffizienz in Japan. Wuppertal. Available online at [https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/2700/file/2700\\_Dematerialisierung.pdf](https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/2700/file/2700_Dematerialisierung.pdf), checked on 1/17/2024.

WWF (2023): Circular Economy in Minerals for Green Transition. Business Brief. World Wide Fund For Nature (WWF) International. Available online at [https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/business\\_brief\\_for\\_circular\\_economy\\_in\\_minerals\\_for\\_green\\_transition\\_compressed.pdf](https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/business_brief_for_circular_economy_in_minerals_for_green_transition_compressed.pdf), checked on 12/18/2023.

Yano Research Institute Co., Ltd. (2022): Li-ion battery proper treatment facility demonstration (Li-ion 電池適正処理施設実証). Available online at [https://j-far.or.jp/wp-content/uploads/2022report\\_LiB.pdf](https://j-far.or.jp/wp-content/uploads/2022report_LiB.pdf), checked on 2/23/2024.

Yoshida, Satoshi (2024): Transition to a Circular Economy as a National Strategy. 13th German-Japanese Environment and Energy Dialogue Forum. Ministry of the Environment (MOE) Japan. Kawasaki, 1/25/2024. Available online at [https://gj-eedf.org/system/files/document/04.-moej\\_mr.-yoshida.pdf](https://gj-eedf.org/system/files/document/04.-moej_mr.-yoshida.pdf), checked on 3/15/2024.