

要 旨

1 作成の背景

「日本学術会議材料工学委員会・環境学委員会・総合工学委員会合同 SDGs のための資源・材料の循環使用検討分科会(第 25 期)」は、2023 年 9 月に、報告「資源循環とカーボンニュートラルの両立に向けた課題と日本が取り組むべきサーキュラーエコノミー(CE)対策」をまとめ、発出した。この報告は、当時の CE を取り巻く社会的背景、素材ごとの循環技術、社会システムとしての資源循環の課題をまとめ、非資源国であるわが国独自の資源自給施策のための指針、学術政策、さらに関係省庁、大学をはじめとする研究教育機関等における具体的施策や予算措置、大学などの総合知を基盤とした高等教育に活かされることを期待したものである。その後、ロシアによるウクライナ侵攻の長期化、米国トランプ大統領主導による関税政策の転換(トランプ関税)、中国によるレアアースの供給支配など、国際社会情勢や国際経済に極めて高い不確実性を与えるイベントが続き、資源循環が位置づけられる理想形としての循環経済が国際社会の中で揺らぎを呈している。一方、資源循環はモノの移動距離を最小限にして輸送コストを抑えた地域性の強いビジネスや社会活動になりやすく、異なる技術力や生活習慣・文化を持ちながらも、EU、アジアなどのモノが流通しやすい範囲での仕組みづくりの議論も進んでいる。これらを背景として、このたび「材料工学委員会・環境学委員会・総合工学委員会合同サーキュラーエコノミーのための資源・材料の循環利用検討分科会(第 26 期)」は、使用済み製品の物流を支える社会システム、モノの価値の標準化、再生技術の向上、再生を見込んだ製品デザインなど、循環経済の軌道から外れないために必要となる学術課題のうち重要なものを抽出してまとめた。

循環利用の対象となりやすい金属材料の分野においては、資源を素材とし材料から製品化するプロセスをあくまで理工学だけでは、非資源国の資源枯渇に由来する社会課題に対して、解を打ち出していくことは困難である。経済学、法学、社会学、環境学の視点から、それぞれの専門分野の研究者が周辺分野の研究者の見方を相互理解し、社会課題に向き合うことによって、新たな課題の発見、アプローチの仕方を見出す潮流を日本学術会議こそが生み出すべきである。したがって、本分科会は、材料工学委員会を主管としながら、総合工学委員会及び環境学委員会との合同で組織され、構成員は日本学術会議の第三部(理工系)及び第一部(人文社会系)の会員・連携会員から成り、本報告の執筆にはこれにとどまらず、非会員の中からも深く関係する専門家を加えてこれにあたった。

2 現状及び問題点

CE を実現するためには、個々の技術開発と実施主体である国や地域、産業界あるいは産業界の連携の仕組みづくりのいずれもが必要である。モノの流通に関わる産官学民の共通認識も重要であり、モノの循環が国境を越えるルートで顕在化する中、再生における質保証の問題も起きている。さらにこれらを担う専門家の人材育成の仕方については、多岐の学術分野にわたるため、高等教育機関では専門に担当する分野の特定に困難を極めている。金

属材料の代表である鉄鋼についていえば、日本の鉄鋼産業はカーボンニュートラル社会の実現に向けての基本方針に立脚し、水素還元製鉄という超革新的技術開発に直面している。これだけをとっても、明日の製鉄事業は、環境、経済、社会と密接につながりを持って、総合的視野から捉えられ、基盤的材料として大量製造から廃棄までのビジョンを描くことが求められている。限りある資源を循環利用していくための裏付けとなるさまざまな学術領域は今以上に相互に関わりあうようになる。特に、スクラップ鉄の再生に起こりうる不純物の濃縮は、鉄の再生段階で顕在化する科学技術的に大きな問題といえる。

3 報告の内容

CE が持続的なものとして社会に根付くためには、生態系を含む地球環境レベルから、人間社会の基盤を支える社会システムレベル、製造産業レベルまでのスケールの異なる場において、それぞれの課題認識が必要である。その上で、本報告では人文社会科学、理工学それぞれの専門的立場から学術課題を抽出した。

CE 実現に向けた仕組みづくりに関する課題としては以下のように要約される。

- 現代のモノの製造や流通、販売様式に合ったリサイクル費用の負担や質の保証、拡大生産者責任の一方で、消費者の修理権の認可、デジタルプロダクトパスポートや情報共有プラットフォームなどの質を保証する制度の整備が必要である。
- 自動車や電池など日本の産業を支えている製品を通したCEに向けて、金属とプラスチックなどの素材レベルへの解体を推進する分離技術及び分析技術を向上させるとともに、解体しやすいことを製品設計の思想に含めるべきである。
- CE の実践の場には、産官学民の異なる立場、人文社会学、経済学、理工学、生化学など異なる分野の専門家が集う。人材の育成は、大学の既存専攻のカリキュラムで行うよりも、上のような実践の場に若手を巻き込んで、課題解決型のケーススタディを積極的に活用して進めるのが効果的である。

さらに、ものづくり産業の主要素材となっている金属やプラスチックなどの材料別各論のCE実践のための課題は以下のようにまとめられる。

- 金属資源の循環のうち、鉄については脱炭素に向けての厳しいロードマップを前提としつつ、一方ではスクラップ鉄の再生が繰り返されるほど銅が濃縮し、再生鉄の品質を劣化させる問題が顕著な技術的課題である。鉄源となるスクラップ選別における不純物元素のフローの予測を十分な精度をもって可能とするためには機械学習の活用が期待される。
- アルミニウム資源については、日本国内で製錬を実施していないため、カスケードリサイクルによる再資源化を水平展開し、リサイクル率も高い水準で推移している。この中でスクラップの海外流出は経済安全保障上の問題として指摘される。スクラップの製錬による不純物除去（二次製錬）技術についてはまだ基礎研究段階にある。
- 非鉄資源については、銅鉱石の製錬プロセスとそれに派生するベースメタルや貴金属の精製プロセスが絡み合う既存技術に、二次資源が対象として加わるようになると、有

価金属に環境負荷元素をも含めた総合的多金属製錬が成り立つよう、プロセスの新たなカスタマイズが課題となる。

- 大量生産から大量廃棄への典型的線形フローをなしているプラスチック製品は環境や生態系への影響を顕在化させている。多種多様なプラスチックのうち、再生に向くものは、モノマー化しやすく、固相重合が可能なポリエチレンテレフタレート（PET）に限られ、そのほかは熱としてエネルギー回収にとどまることが多い。使用中には安定で、使用後には環境中で分解されやすい生分解性プラスチックの開発が追求されるべきである。