

一般社団法人資源・素材学会 資源社会システム部門委員会
一般社団法人循環経済協会
企画公演 ～重要鉱物の資源循環のあり方～
(抄録)

2022年5月、経済安全保障推進法が施行された。同法では、重要物資の中に永久磁石や重要鉱物を含めている。社会の脱炭素を進めるためだけでなく、我々の経済活動を支えるうえで重要鉱物の安定調達、環境に配慮した資源循環は重要である。そこで、カーボンニュートラルと循環経済（サーキュラーエコノミー）を念頭においた重要鉱物の利用や循環のあり方を議論した。

■日 時 令和5年9月12日（火）13:00～15:00

■場 所 愛媛大学・Webex（ハイブリッド形式）

■主催(共催) (一社) 資源・素材学会 資源社会システム部門委員会
(一社) 循環経済協会

■参加人数 約50名（オンライン参加者6名を含む）

■プログラム

13:00～13:05 開会挨拶

(部門委員会・副委員長) 秋田大学大学院国際資源学研究所
資源開発環境学専攻 教授 安達 毅 氏

13:05～13:25

講演1：鉱物資源開発の持続可能性の検討

—究極可採埋蔵量とTMRの観点から—

秋田大学大学院国際資源学研究所
資源開発環境学専攻 教授 安達 毅 氏

13:25～13:55

講演2：サーキュラー・エコノミーの評価とそのための情報共有

東京大学大学院工学系研究所
技術経営戦略学専攻 教授 村上 進亮 氏

13:45～14:05

講演3：鉱物資源の安定調達に向けた資源供給網のリスク解析

～機械学習によるリスク要因と位置情報の自動抽出～

東北大学 大学院環境科学研究科 環境政策学講座
客員教授（名誉教授） 駒井 武 氏

14:05～14:25

講演 4：リチウムイオン電池における重要鉱物のリサイクルについて

太平洋セメント株式会社 中央研究所

石田 泰之 氏

14:25～14:45

講演 5：重要鉱物に関する国際標準化動向

(一社) 循環経済協会理事 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社

環境・エネルギーユニット長 上席主任研究員 清水 孝太郎 氏

15:55～16:00 閉会挨拶

(部門委員会・委員長) 東京大学大学院工学系研究科

技術経営戦略学専攻 教授 村上 進亮 氏

1. 開会挨拶

秋田大学大学院国際資源学研究科 安達 毅 氏

- 本セッションは、資源社会システム部門委員会として初めての企画開催である。包括的資源利用システム部門委員会では鉱物採掘後の循環経済社会の実現等、資源経済部門委員会では鉱山開発や供給リスク等に関する調査・研究を取り上げてきた。新部門委員会では、上流から下流まで、包括的に資源利用のあり方を考えたい。
- 本日は、重要鉱物をキーワードに、鉱物資源の持続可能性やリサイクル技術、評価・標準化等の多様な観点から議題提供を受ける。重要鉱物の循環利用に向けた全貌とその目指す方向性を活発に議論してほしい。



2. 講演 1：鉱物資源開発の持続可能性の検討

—究極可採埋蔵量と TMR の観点から—

秋田大学大学院国際資源学研究科 安達 毅 氏

- 鉱物資源の使用量は年々増加しており、今後も採掘を続けた場合、資源枯渇につながる恐れがある。そこで、「究極可採埋蔵量 (URR：地球上で採取可能な鉱物資源の総量)」を考慮することが重要である。
- 昨今、鉱石品位の低下が顕著になっているほか、剥土比 (鉱石 1ton あたり、鉱山側に残る剥土・ずり等の廃棄物量) が増加している。これらは、鉱物資源の採掘に伴う廃棄物発生量を測る手段として用いられる関与物質総量 (TMR) の重要な要素である。
- 長期的な鉱物資源の物理的な希少性と環境負荷を定量的に把握するため、Au, Cu, Ni, Pb, Fe, Zn の 6 鉱種を対象に、URR と TMR を分析した。

- どの資源も今後 50 年は利用可能であるとの結果を得られたが、地域・国別で、資源の希少性は大きく異なることが明らかになった。多くの地域で累積生産量が増加すると鉱石品位が低下する傾向がみられたほか、Au, Cu, Pb, Zn, Ni を中心に、鉱石 1 トン当たり TMR は将来的に大きく増加することがわかった。
- 将来的に持続可能な鉱物資源開発を推進するためには、金属品位の低下に対応しながら、環境にも配慮した採掘技術の開発や、代替素材の利用が求められる。

3. 講演 2：サーキュラー・エコノミーの評価とそのための情報共有

東京大学大学院工学系研究科 村上 進亮 氏

- 循環経済は、社会的福祉 (Well-being) の向上や経済成長と、資源枯渇及び資源利用による環境負荷を切り離すための手法として提唱された。
- エレン・マッカーサー・財団は、ごみや汚染をなくすこと、可能な限り高い価値で製品・素材を循環させること、自然を再生することを循環経済の原則としている。こうした原則を物質の流れに整理したものがバタフライ図であるが、非再生可能資源の循環と、再生可能資源の循環の時間軸が大きく異なる点を認識すべきである。
- 循環経済では、採掘から廃棄されるまでの時間を考慮する必要がある。これを考慮した循環性 (Circularity) を測定するためには、情報が必要であり、情報がないことには循環性は 0 とされる。
- 使用期間を長くする取り組みとして、レンタルやシェアリングがある。ただ、こうした取り組みは、必ずしも脱炭素に貢献するとは限らず、場合によっては、却って温室効果ガス排出量が増加する可能性がある。
- 例えば、デジタルカメラのレンタルが普及した場合、輸送に伴う温室効果ガス排出量が増加すると試算された。日本全国に拡大推計すると、温室効果ガス排出量・資源消費量ともに増加するという結果になった。
- 冷蔵庫の購買・使用時の満足度に関する分析では、リユース単体では満足度は低下するが、サブスクリプションとリユースやリファービッシュを組み合わせると、満足度が向上する結果が得られた。購買動機はセグメントによっても異なり、年齢が高い層は新製品を好む傾向にあった。こうした情報はサービス型のビジネスを検討するうえで有用である。
- リサイクルを推進する観点では、採算性の向上は重要な課題であり、歩留の向上やコスト削減につながる情報が必要である。循環経済ではライ



フスタイル全体を通じた取り組みが必要とされるなかで、情報を共有していくことが重要となる。

4. 講演3：鉱物資源の安定調達に向けた資源供給網のリスク解析 ～機械学習によるリスク要因と位置情報の自動抽出～

東北大学大学院環境科学研究科 駒井 武 氏

- 鉱物資源の安定確保・供給は重要な社会課題になっている。こうした課題に対応するため、鉱物資源の安定調達における阻害要因である資源リスクに注目した研究を進めている。
- サプライチェーンを可視化したうえでリスク要因を抽出したうえで、機械学習を用いて、資源リスクの質・量を判定する手法とそのシステム最適化に取り組んでいる。
- 鉱業情報のオープンソース（minig.comを活用）で提供される、Au, Cu, レアアースといった鉱種の開発・調達等に関するテキスト情報をもとに、テキスト分析を実施している。資源リスクのカテゴリは、投資環境の影響要因であるESG（環境、社会、統治）の分類で、それぞれ細分化している。
- テキスト情報には、位置情報（鉱山、精錬所、加工施設）も含まれているため、こうした位置情報と、資源リスクに関するセンチメント分析の結果を統合した分析も可能である。
- ESGに関する資源リスクのカテゴリとセンチメントとの関係を、位置情報をもとに地図上に分布させると、特定の地域で、ESGのうち、どのリスクが高いのか判断できるようになる。サプライチェーン上のリスクの可視化に大きく貢献できるものだと考えている。



5. 講演4：リチウムイオン電池における重要鉱物のリサイクルについて

太平洋セメント株式会社 中央研究所 石田 泰之 氏

- カーボンニュートラル社会の実現に向けて、リチウムイオン電池の需要は増加が見込まれる。他方、原材料の偏在性が問題となっている。
- こうした問題に対応するため、日欧米それぞれが多様な取組を進めている。特に、欧州では、廃棄された電池から回収する原材料に関して、野心的な目標を設定している。米国でもインフラ投資雇



用法やインフレ削減法のもと、サプライチェーン構築を進めている。

- 電池のリサイクルに関する企業の取り組みは、歴史的に日本や韓国が先行してきた。当社では、2011年から松田産業株式会社と連携して、電池リサイクル技術の開発を開始した。松田産業が保有する金属回収技術と、当社が保有する高温処理技術を組み合わせたことが特徴である。
- 2017年に敦賀セメントの工場内に実証設備を設置した。リチウムイオン電池をモジュールのまま熱処理（焙焼）することで、電解液を安全に除去したうえで、排ガスをセメント焼成設備で無害化できる。こうして処理した電池から、解体・破碎・選別によって有用金属を回収している。
- 焙焼設備には、バスケットと呼ばれる容器が8つ入る。これらバスケットが軸の周りを回転しているため、連続的な投入・回収が可能である。また、電池の大きさや形状等によって、焙焼時間を長く取る必要がある場合には、滞留時間を長く設定できる。
- 焙焼温度はAlが溶融・酸化しない範囲であるため、破碎・選別工程で、Fe, Cu, Alを効率的に回収できる。ブラックマスは非鉄製錬会社に供給しており、残渣はセメント生産工程で利用することで、100%のリサイクルが可能である。今後は小型電池への応用も進めていく予定である。

6. 講演5：重要鉱物に関する国際標準化動向

三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 清水 孝太郎 氏

- 国際標準化機構（ISO）の技術管理評議委員会（TMB）に設置された戦略諮問グループ（Strategic Advisory Group (SAG) on Critical Minerals）は、豪州規格協会が提案した。幅広い鉱種が対象であることが特徴である。
- 重要鉱物の持続可能性に関する概念には、脱炭素や循環経済等の環境面に関するもののみでなく、生物多様性や人権配慮等が入っている。議論の結果、対象鉱種はCr、Co、C、Sbとなっており、このうちCrはウクライナ・ロシアの問題に端を発した欧州各国の問題意識が反映されたものであったとみている。
- 第2期報告書の前後で、フランスから重要鉱物の化学分析方法等に関する専門委員会（TC：Technical Committee）、ドイツから持続可能な原材料のトレーサビリティ等に関するプロジェクト委員会（PC：Project Committee）の設置提案があった。これらの活動で新たな規格が策定された場合、日本が輸入する原材料や生産する製品等はISOに合致しなくなる可能性もあり、十分に注視していく必要がある。



- 例えば、持続可能性に関する ISO ができると、こうした規格に合致しない原材料は取引が禁止されたり、また裏で廉価で取引されたりするようになる。また、化学分析方法が標準化されると、品質管理に関する企業努力が正当に評価されなくなる恐れがある。いずれの標準化も、製錬業が集積している我が国には大きな影響力を及ぼし得るものである。
- 重要鉱物に関する分野は、各国ともに国を挙げて対応をしている。例えば、フランスは省庁の縦割りが障壁になるとして、横断的な組織のもと対応を検討している。我が国でも、今後、業種・省庁横断的な体制の構築を進めていく必要がある。

7. 閉会挨拶

東京大学大学院工学系研究科 村上 進亮 氏

- 新しい部門委員会として初回開催であったにも関わらず、多くの関係者が参加してくれたことに感謝を申し上げる。
- 資源効率性を提唱した国連国際資源パネルでは、分野横断的な関係者が集まった議論を行っている。他方、我が国にはこうした議論を行う場が存在しない。資源・素材学会の使命の一つに、多様な関係者が対話・議論できる機会を提供することと考えている。
- こうした使命を果たしていくため、主に上流を主眼に置く資源社会部門委員会と、下流を得意とする包括的資源利用システム部門委員会で本部門委員会を立ち上げた。今後も幅広いテーマを議論できる場としていきたく、積極的な企画参加や協力を期待する。

(以上)