



資源・材料循環の新展開

SDGs のための資源・材料の 循環使用検討分科会

早稲田大学理工学術院
東京大学大学院工学系研究科
日本学術会議第三部会員
所 千晴

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

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

令和3年3月30日現在

	役職	氏名	所属・職名	備考
1	委員長	所 千晴	早稲田大学理工学術院教授	第三部会員
2		安達 毅	秋田大学大学院国際資源学研究科教授	連携会員
3		伊藤 公久	早稲田大学基幹理工学部応用数理学教授	連携会員
4		大和田 秀二	早稲田大学理工学術院教授 (創造理工学部環境資源工学科)	連携会員
5	幹事	岡部 徹	東京大学生産技術研究所教授	連携会員
6		岡村 好子	広島大学大学院統合生命科学系研究科教授	連携会員
7		齋藤 公児	日本製鉄株式会社フェロー (執行役員待遇)	連携会員
8	幹事	笹木 圭子	九州大学大学院工学研究院教授	連携会員
9		月橋 文孝		連携会員
10		中村 崇	東北大学名誉教授	連携会員
11		平尾 雅彦	東京大学大学院工学系研究科教授	連携会員
12		松八重 一代	東北大学大学院環境科学研究科教授	連携会員
13		森口 祐一	国立研究開発法人国立環境研究所理事	連携会員
14	副委員長	森田 一樹	東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻教授	連携会員
15		村上 進亮	東京大学大学院工学系研究科准教授	特任連携会員
16		中谷 隼	東京大学大学院工学系研究科講師	特任連携会員

日本学術会議 公開シンポジウム (参加無料) SDGs時代における 資源開発後の鉱山環境対策のあり方

日時: 平成30年7月30日 (月) 13:00~17:00
場所: 日本学術会議講堂 (東京メトロ千代田線「乃木坂」駅⑤出口徒歩1分)

プログラム

- 13:00 開会挨拶 中村 崇 (東京大学 特任教授・日本学術会議 第三部会員)
- 13:10 「企業責任はどこまで果たせば十分か～関係者間の合意形成が鍵～」
安井 至 (東京大学 名誉教授・持続性推進機構 理事)
- 14:10 「鉱山開発の重さ: 持続可能な資源利用と鉱山閉山後の適正処理」
村上 進亮 (東京大学 准教授・日本学術会議 特任連携会員)
- 14:40 (休憩)
- 14:50 「休廃止鉱山の持続的な環境管理に向けたグリーンレメディエーション」
保高 徹生 (産業技術総合研究所 主任研究員)
- 15:20 「グリーンマイニングにジオミメティクスは貢献できるか」
笹木 圭子 (九州大学 教授・日本学術会議 連携会員)
- 15:50 (休憩)
- 16:00 【総合討論】
司会: 所 千晴 (早稲田大学 教授・日本学術会議 第三部会員)
コメンテーター: 登坂 博行 (東京大学 名誉教授・地圏環境テクノロジー 社長)
富山 真吾 (北海道大学 特任教授)
小原 義之 (日本原子力研究開発機構 課長)
ならびに講演者
- 16:50 閉会挨拶 所 千晴 (早稲田大学 教授・日本学術会議 第三部会員)

主催
日本学術会議 材料工学委員会・総合工学委員会・環境学委員会
SDGsのための資源・材料の循環使用検討分科会

共催
一般社団法人資源・素材学会
東京大学生産技術研究所非鉄金属循環工学寄付研究部門

後援
日本鉱業協会、石油天然ガス・金属鉱物資源機構、
化学工学会、環境資源工学会、資源地質学会、
日本金属学会、日本鉄鋼協会、レアメタル研究会、
鉱業新聞社、産業新聞社、セメント新聞社、
鉄鋼新聞社、日本砕石新聞社

問合せ
一般社団法人資源・素材学会事務局
E-mail: info@mnmj.or.jp 電話: 03-3402-0541

お申し込みはこちらから
<http://www.mnmj.or.jp/events/4236.html>
申込締切: 7月25日 (水) 正午
事前参加登録へのご協力をお願いします

日本学術会議 公開シンポジウム (参加無料) SDGsのための資源・材料の循環使用に関する シンポジウム

日時: 2019年8月5日 (月) 13:00~17:00
場所: 日本学術会議講堂 (東京メトロ千代田線「乃木坂」駅⑤出口徒歩1分)

プログラム

- 司会 第三部会員 早稲田大学 所 千晴
- 13:00-13:10 学術会議からの挨拶 (学術会議副会長 渡辺 美代子)
- 13:10-13:30 資源循環とSDGs 第三部会員 東北大学名誉教授 中村 崇
13:30-13:50 マテリアルフローとLCAの役割 連携会員 東京大学 村上 進亮
13:50-14:10 鉄鋼の資源循環の現状と課題 連携会員 日本製鉄(株) 齊藤 公児
14:10-14:30 銅、亜鉛、鉛の資源循環の現状と課題 連携会員 秋田大学 安達 毅
- 14:30-14:40 休憩
- 司会 連携会員 九州大学 笹木 圭子
- 14:40-15:00 クリティカルメタルの資源循環の現状と課題
連携会員 東京大学 岡部 徹
15:00-15:20 プラスチックの資源循環の現状と課題 連携会員 東京大学 平尾 雅彦
15:20-15:40 素材循環技術の現状と課題 連携会員 早稲田大学 大和田秀二
15:40-16:00 循環経済とITプラットフォーム 東洋大学情報連携学部(INIAD) 廣瀬 弥生
- 16:00-17:00 パネルディスカッション
ファシリテーター 連携会員 東京大学 森口 祐一
パネラー 連携会員 東京大学 月橋 文孝
連携会員 早稲田大学 伊藤 公久
連携会員 日本製鉄(株) 河野 佳織
+ 講演者

主催
日本学術会議 材料工学委員会・総合工学委員会・環境学委員会
SDGsのための資源・材料の循環使用検討分科会

共催
一般社団法人資源・素材学会
東京大学生産技術研究所非鉄金属循環工学寄付研究部門

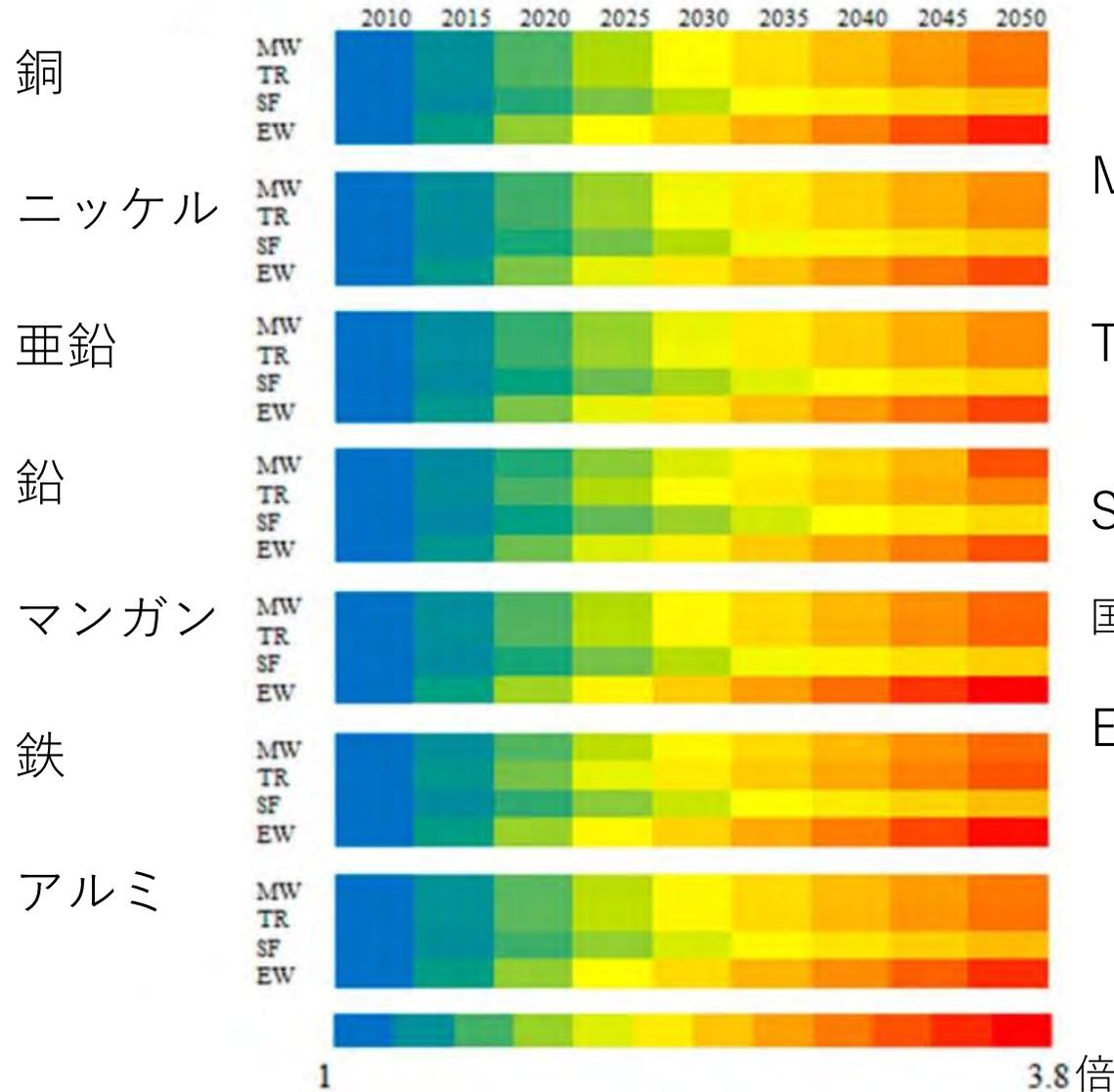
後援
日本鉱業協会、石油天然ガス・金属鉱物資源機構、
化学工学会、環境資源工学会、軽金属学会、
資源地質学会、日本LCA学会、日本金属学会、
日本鉱業協会、日本鉄鋼協会、レアメタル研究会、
産業新聞社、セメント新聞社、鉄鋼新聞社、
日本砕石新聞社

問合せ
一般社団法人資源・素材学会事務局
E-mail: info@mnmj.or.jp 電話: 03-3402-0541

お申し込みはこちらから
<https://www.mnmj.or.jp/events/6142.html>
申込締切: 7月24日 (水) 正午
事前参加登録へのご協力をお願いします

資源需要増加の傾向

2010年を基準(1)とした金属消費増加予測



MW :Market World シナリオ
(世界中が先進国と同様の成長を望む)

TR :Toward Resilience シナリオ
(各国政府が環境対策を重視する)

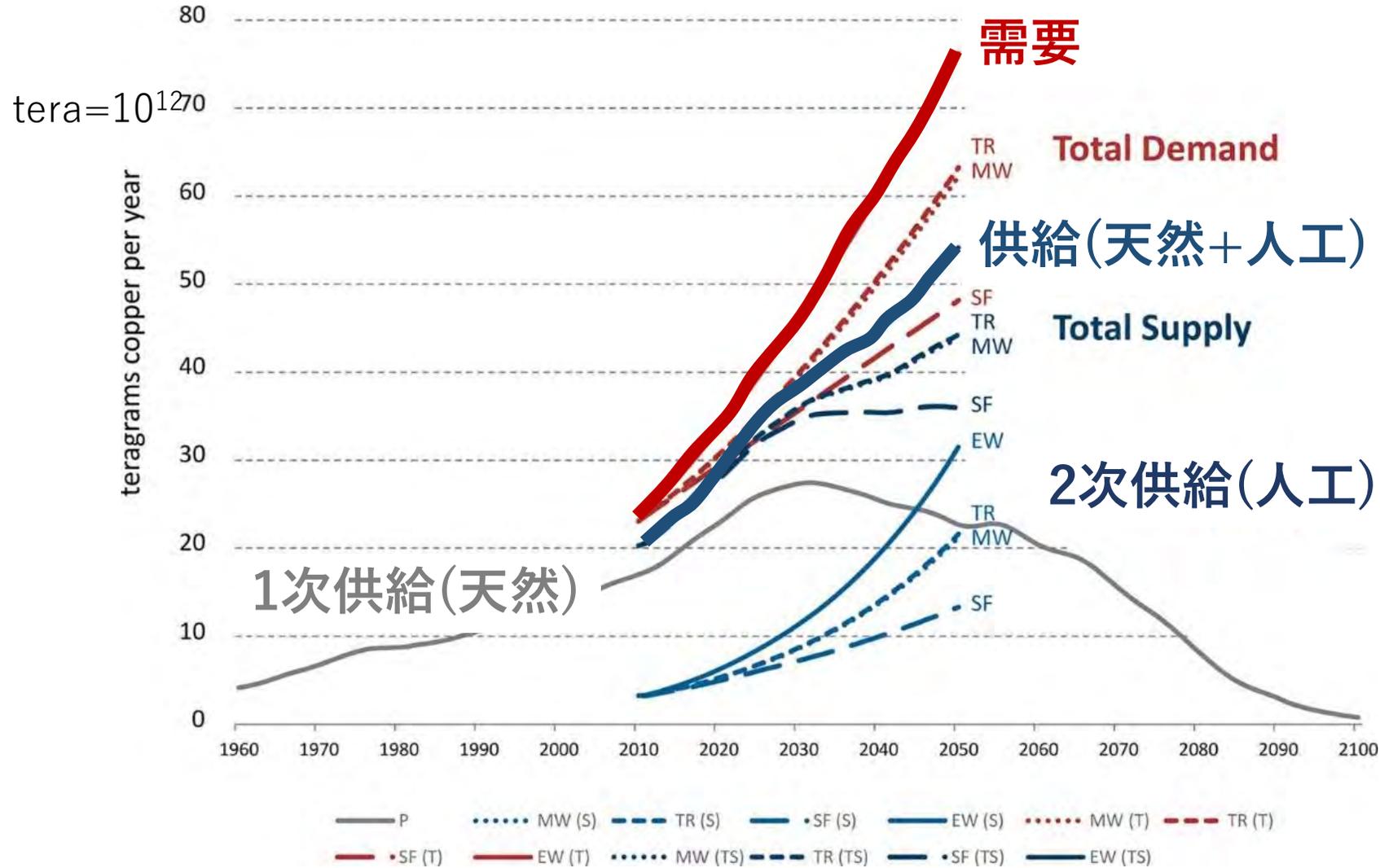
SF :Security Foremost シナリオ
(自国のセキュリティーを重視し
国際協調しない)

EW :Equitability World シナリオ
(国際協調が進む)

Ayman Elshkaki et al.,
Environmental Science & Technology, 2018 52
(5), 2491-2497

資源需要増加の傾向

銅の需要と供給の予測



カーボンニュートラルによる 資源需要増加の傾向



空飛ぶクルマ



多目的EV自動運転車



二次電池、蓄電池



電気自動車



航空機

高機能材

製品の小型軽量化・省エネ化・環境対策

特殊鋼

電子部品
(IC, 半導体, 接点等)

希土類磁石

リチウムイオン電池

超硬工具

排気ガス触媒

展伸材

ニッケル、
クロム、
タンゲステン、
ニオブ 等

タンタル、
ガリウム 等

レアアース
(ネオジウム、
プラセオジウム、
テルビウム) 等

リチウム、
コバルト、
ニッケル 等

タンゲステン、
バナジウム 等

白金族
(プラチナ、
パラジウム、
ロジウム) 等

チタン 等

2021年2月15日 経済産業省資源エネルギー庁資源・燃料部作成
第7回鉱業小委員会資料より

資源・材料循環使用への要請

リチウムイオン電池に対するEU法の改正案提出（2020年12月）

✓EU内のすべての電池を対象

EU市場内の産業用、自動車用、電気自動車用、ポータブルの全ての電池を対象とする。

✓回収率目標

産業用・自動車用・電気自動車用は完全回収

ポータブルは2025年には65%、2030年には70%回収率

✓コバルト、ニッケル、銅のリサイクル率目標

2025年までに90%、2030年までに95%

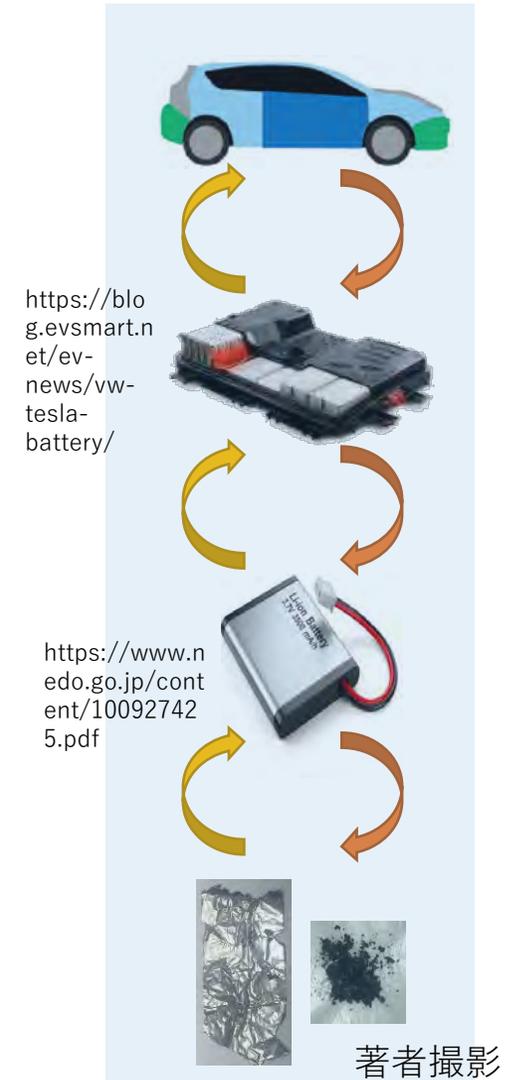
✓リチウムのリサイクル率目標

2025年までに35%、2030年までに70%

✓カーボンフットプリント*申告の義務化

カーボンフットプリント申告を済ませた充電可能なものののみEU市場に導入を可能とする。

*カーボンフットプリント：製品のライフサイクルを通じたCO2の排出量



システム・設計・エンジニアリング

人文社会技術（法・規制・制度、社会受容、経済性・社会性評価、行動科学）

循環型持続可能社会

21. 水循環（水資源・水防災）

- 流域治水 ・ 多目的ダム事前放流
- 雨量観測技術高精度化、短時間降雨予測
- フェーズドアレイ気象レーダー
- 河川水位・流量高精度化 ・ 気候変動影響
- 水循環モデル高度化 ・ 水文学解析ツール
- 蒸発散、雪、地下水データ不足の不確実性
- 同位体利用モニタリング ・ 超学際領域
- ローカルSDGs ・ well-being

28. 循環利用とライフサイクル評価

- ライフサイクルアセスメント（LCA）
- 物質ストック・フロー分析 ・ 循環経済
- 相互以前性分析（Nexus） ・ 新技術評価
- サプライチェーン全体デジタル情報管理化
- デザインforリサイクル（プラスチック臭素系難燃剤除去技術、太陽光パネルなどの社会普及製品リサイクル） ・ リユース判定技術
- 製品情報管理（含有物質、使用履歴）

29. 都市環境サステナビリティ（気候変動適応、感染症、健康）

- 脆弱性 ・ 社会的包摂性 ・ 予測不確実性
- 換気 ・ HEPAフィルター ・ UVGI
- 温暖化ダウンスケーリング ・ 心身健康
- 暑熱ストレス、熱関連超過死亡推定
- 都市デジタルツイン ・ 緑地の多面的効果
- 都市ヒートアイランド ・ 都市自然共生
- ライフスタイル再考 ・ 複合災害への対処

30. 農林水産業における気候変動適応・緩和

- 気象情報活用 ・ 農業気象データ高解像度化
- 農業・水文連携モデル ・ 人工林気候変動影響評価
- 森林、植生モニタリング技術
- 生物多様性・生態系を活用した農林業技術開発
- 病虫害予測高度化、植物-害虫-天敵系の解明
- 海洋生態系 ・ ブルーカーボン、ブルーエコノミー
- 生態系を活用した適応策、防災・減災

気候変動

19. 気候変動観測

- 長期衛星観測、ライダー活用 ・ 空白域観測
- 温室効果ガス・大気汚染物質同時観測 ・ 極域
- 短寿命気候強制因子 ・ 雲、エアロゾル、放射
- 衛星常時観測 ・ 航空機観測 ・ 必須気候変数
- 海洋統合観測（外洋、沿岸） ・ 生物学的変数
- 国連海洋科学の10年 ・ 国際アルゴ計画
- センサ信頼性向上、ドローン活用

20. 気候変動予測

- 温暖化評価国際連携 ・ 統合プラットフォーム
- パリ協定グローバルストックテイク
- 10年規模変動予測 ・ 地球インフォマティクス
- 統合評価モデル ・ 不確実性
- 観測データ連携 ・ データ同化 ・ 計算量増大
- 極端気象災害の温暖化影響寄与率分析

環境資源利用・ヒト健康・環境影響

22 水利用・水処理

- 下水疫学 ・ 次世代シーケンサ
- 逆浸透膜 ・ 再生水 ・ 分散型システム
- UV-LED ・ 新規吸着剤 ・ SDGs
- 途上国や過疎地での水利用
- 水道インフラ老朽化 AI活用管路更新
- 排水中リン回収 ・ 下水熱
- 浄水・下水処理エネルギー高効率化

23. 除去・浄化技術（大気、土壌・地下水）

- 自動車排気規制強化、自動車電動化
- 三元触媒貴金属代替 ・ 希薄燃焼
- 持続可能航空燃料 ・ 船舶排気国際条約
- 越境汚染、PM2.5 ・ NOx ・ Cs137
- 鉱山廃水浄化 ・ 自然浄化機能活用

24. 有機化学物質分析・毒性評価

- 多成分一斉分析 ・ 迅速高効率化
- マイクロプラスチック動態、解析
- 未知物質同定 ・ AI活用 ・ 現場分析
- 定量的構造活性相関 毒性発現機序
- バイオアッセイ ・ 動物試験の回避検討
- 実試料採取、実環境計測、複合影響
- 易分解性物質捕捉 ・ 有意のデータ抽出

25. 無機化学物質分析・動態把握

- 重元素／軽元素安定同位体比分析
- 蓄積動態予測 ・ 微量元素マッピング
- 大気と感染症との関連研究 ・ ヒ素
- 海洋観測データ活用、外遊魚水銀量
- 大気中アンモニア濃度増大の解析
- 植物起源揮発性有機化合物の増加解析

生物多様性・生態系

26. 生態系・生物多様性の観測・評価・予測

- 自然を基盤とした解決策 ・ 大規模野外研究
- 生物多様性損失による感染症発生リスク増大
- 国連生態系修復の10年
- 環境DNA組み合わせ ・ 衛星観測データ活用
- 外来種感染症、野生生物かく乱
- ドローン活用、画像解析ツール拡大

27. 社会-生態システムの評価・予測

- 生態系サービス定量評価・可視化（地図化）
- トレードオフ、シナジー分析
- 空間明示的モデル（森林伐採、炭素貯蔵量）
- 文化的サービス、自然資本の価値の経済学的評価
- 開発投資への環境影響評価指標
- グリーンインフラ等の自然資本活用施策

観測・計測技術

- 衛星・航空機観測（リモートセンシング）、船舶観測
- 観測網・モニタリング ・ センサ
- 定性分析・定量分析 ・ 網羅分析・一斉分析
- 形状・組成・状態・動態把握 ・ 同位体分析

予測・評価技術

- モデリング・シミュレーション
- データ同化・高精度化・精緻化
- 高解像度化・ダウンスケーリング
- モデル統合、モデル比較 ・ 影響評価・リスク評価

対策・マネジメント技術

- 緩和・適応
- 未然防止・浄化・修復
- 保全・管理
- 資源回収・リサイクル

環境情報基盤

- データ収集・共有・管理
- データ統合・解析・利活用
- ネットワーク・インタフェース
- 高速度処理

【人文社会科学】
【自然科学】

法学、経済学、社会学、政治学、国際関係、行政学、哲学、教育学、倫理・道徳 等
土木工学、建築学、統計学、材料工学、化学工学、生態学、農芸化学、保健・衛生、情報学、システム科学、防災学、物理学、化学、生物学、地球惑星科学、工学、農学、医学、数学 等

ナノテクノロジー・材料分野の研究開発俯瞰図（2021年）

めざす社会（Society5.0、包摂的/持続可能社会）

低環境負荷 安全性 信頼性 レジリエンス 省エネ・省資源プロセス リサイクル 資源保全 低コスト

安全低環境負荷の輸送と低消費電力・大容量の通信

水・大気・資源の循環を可能にするスマート材料

健康・医療・生産システムを支えるバイオ技術

人と共生するロボット

コンピュータ革新を支える IoT/AI/量子デバイス

省/創/蓄エネのための先端材料・デバイス

融合、コンバージェンス



ナノサイエンス ← (物質科学 ∪ 量子科学 ∪ 光科学 ∪ 生命科学 ∪ 情報科学 ∪ 数理科学)

資源・材料の循環使用の課題：解体・分離の効率化

現状の解体技術には、破碎・粉碎または手解体しか実用化されておらず、リユース/高度リサイクルに柔軟に対応できる高度分離技術が確立されていない。

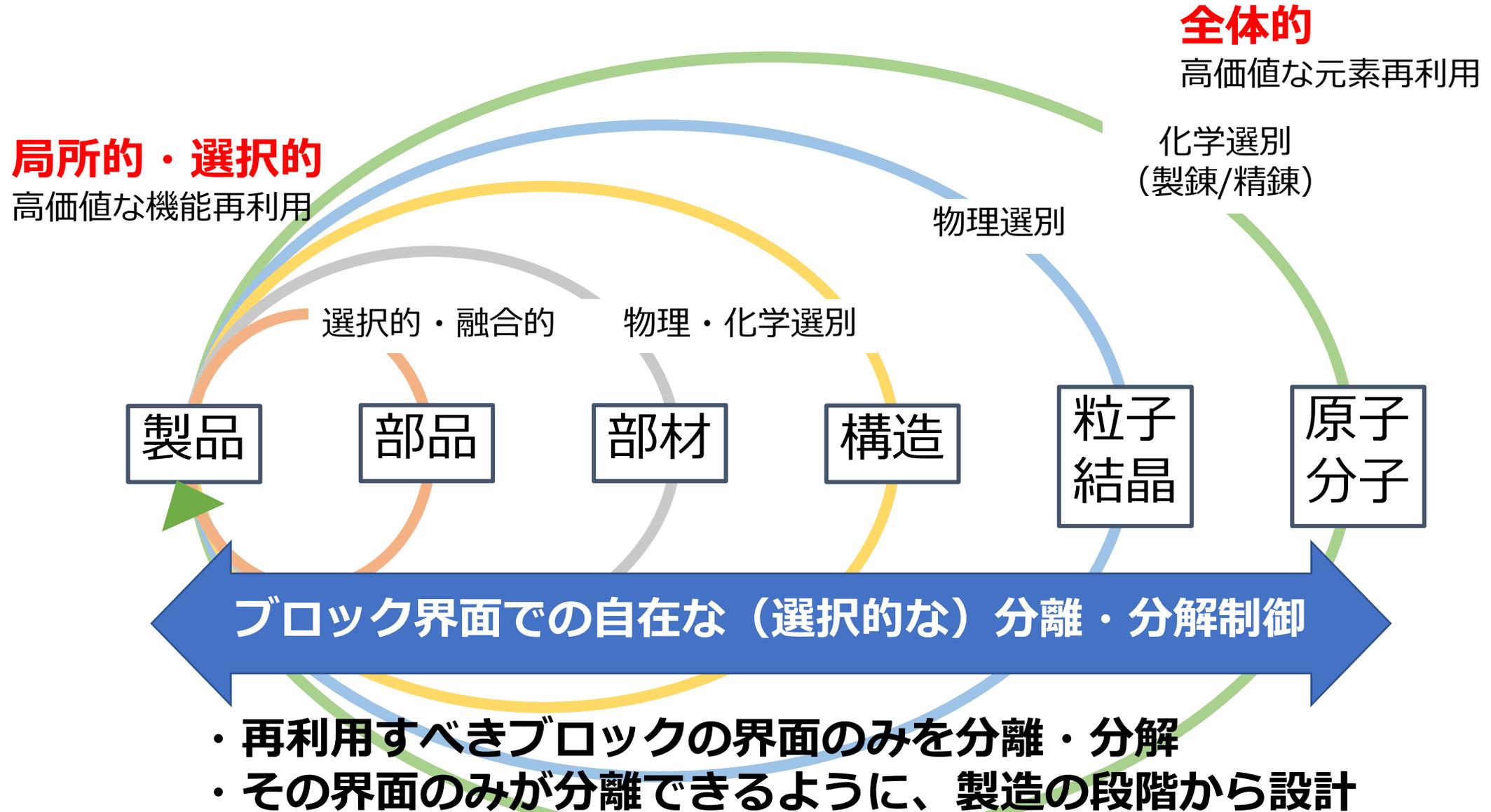


- **破碎・粉碎**：機械的弱部を利用した選択性の低い処理法。
- **人力解体**：リサイクル技術が労働集約的で、効率化されておらず、大量処理に対応できない。

製品から得たい部位を選択的に取り外すことを可能とする
革新的な解体・分離技術の確立が必要

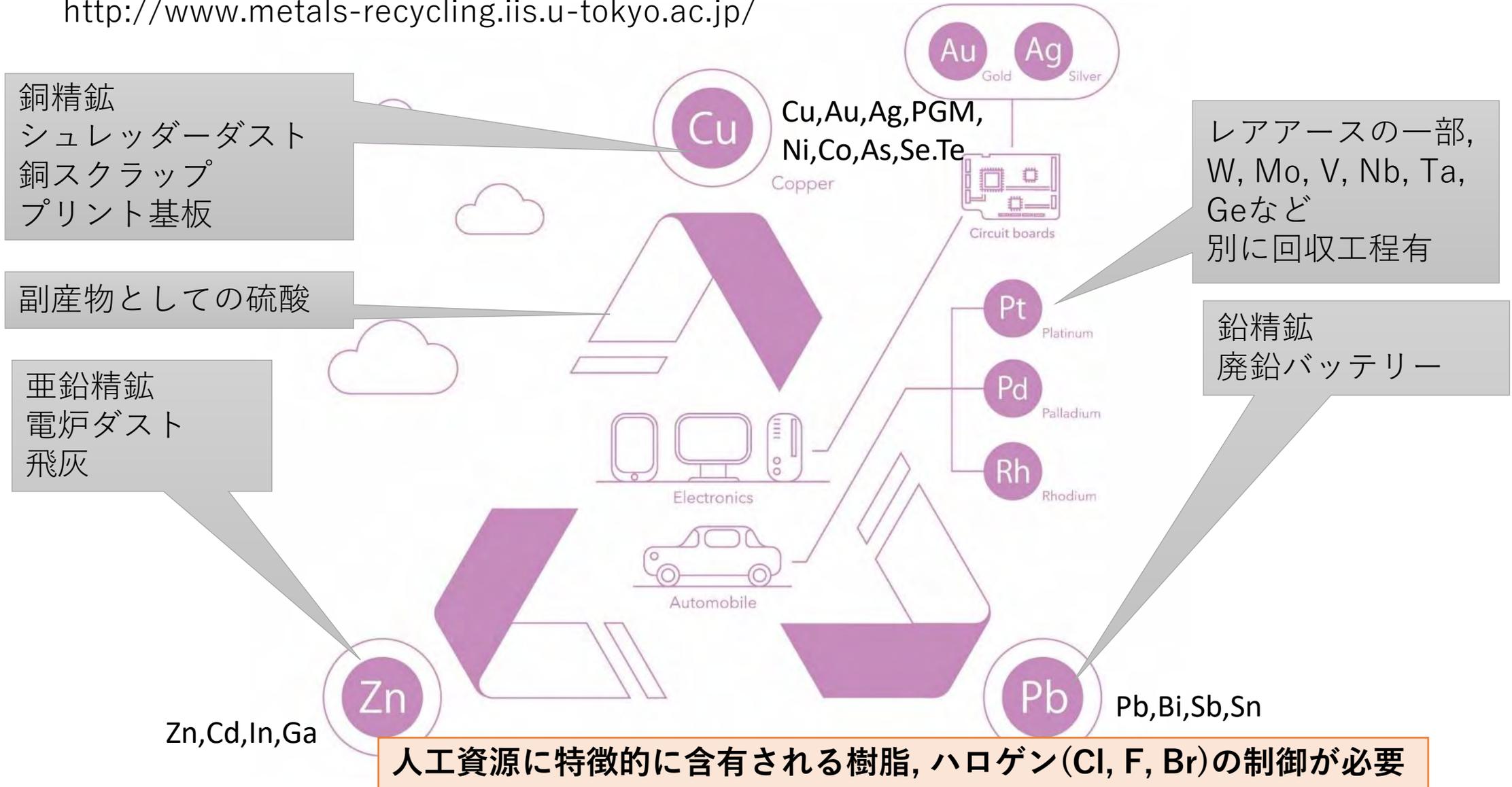


資源・材料の循環使用の課題：解体・分離の多様化



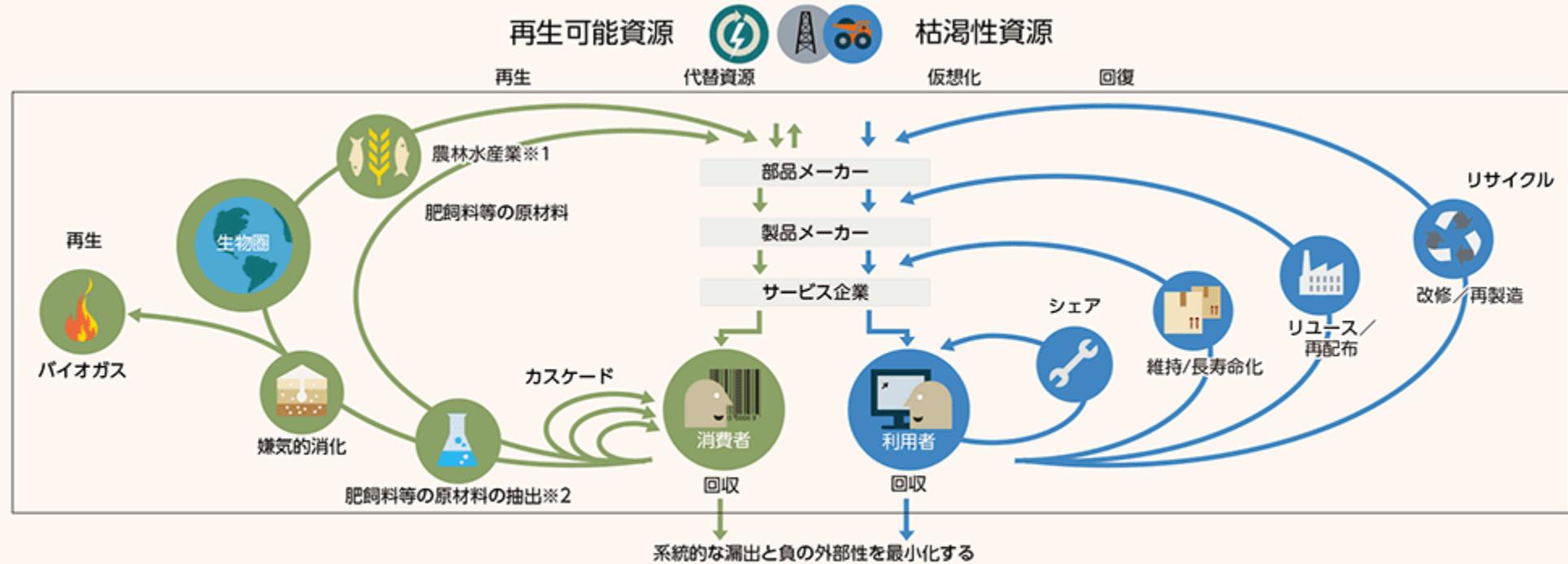
資源・材料の循環使用の課題：不純物制御

東京大学生産技術研究所非鉄金属資源循環工学寄付研究部門パンフレット
<http://www.metals-recycling.iis.u-tokyo.ac.jp/>



EUが提案するサーキュラーエコノミーのイメージ

図3-1-1 EUが提案する循環経済（CE）のイメージ



注： ※1 狩猟と漁撈（ろう）

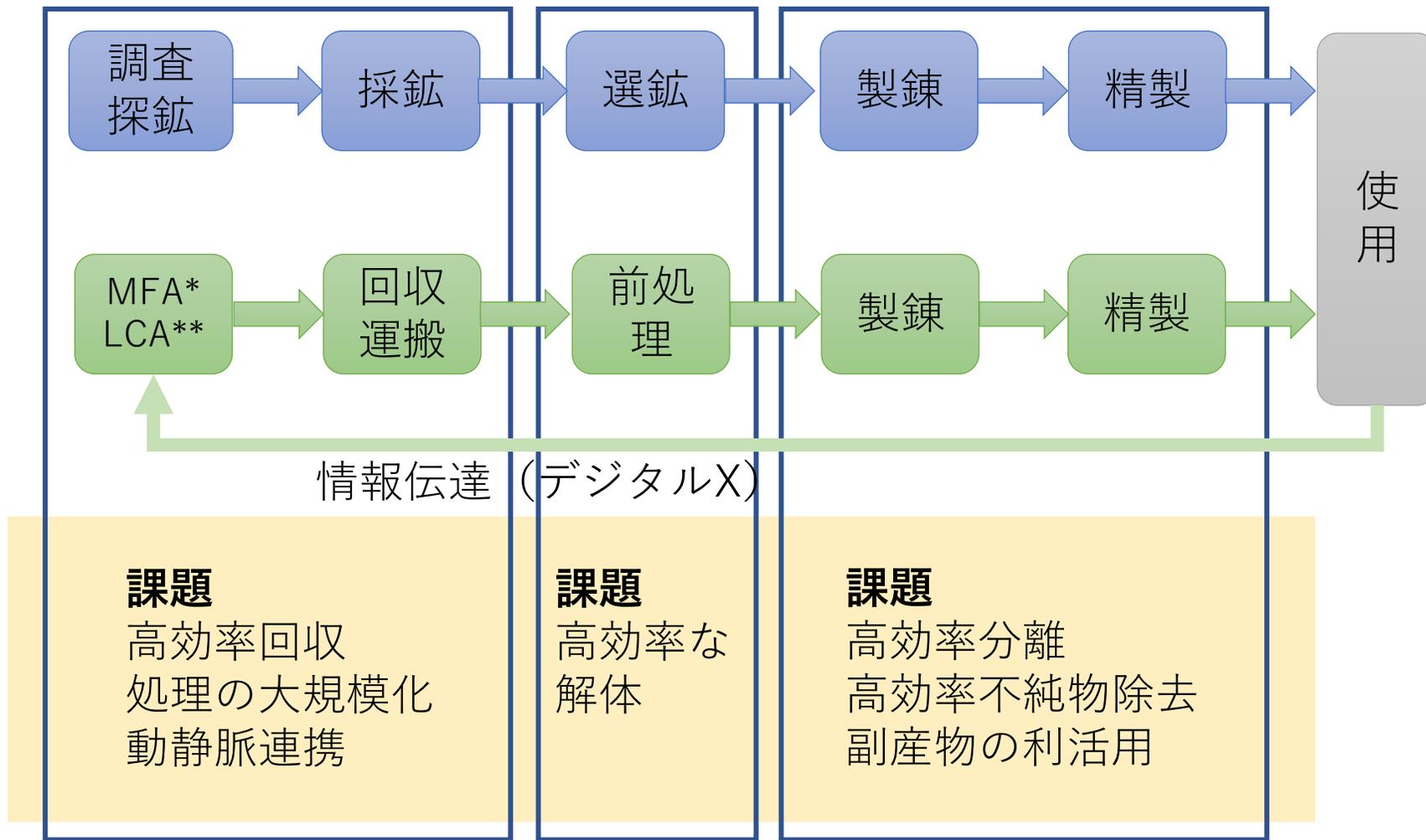
※2 収穫後と消費済の廃棄物の両方を投入として利用可能

資料：Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment [Drawing from Braungart & McDonough, Cradle to Cradle (C2C)] より環境省作成

主として有機・バイオ系
生物圏を含めた億年単位のサイクルを含む

主として無機・素材系
数年～10年のサイクル

サプライチェーン全体で環境負荷を評価することの重要性



*MFA : Material Flow Analysis マテリアルフロー解析

**LCA : Life Cycle Assessment ライフサイクル評価

連携と人材育成の重要性：EIT Raw Materials

EIT (European Institute of Innovation and Technology)



Funded by the
European Union

INNOVATION THEMES



EXPLORATION



MINING



PROCESSING



RECYCLING



SUBSTITUTION

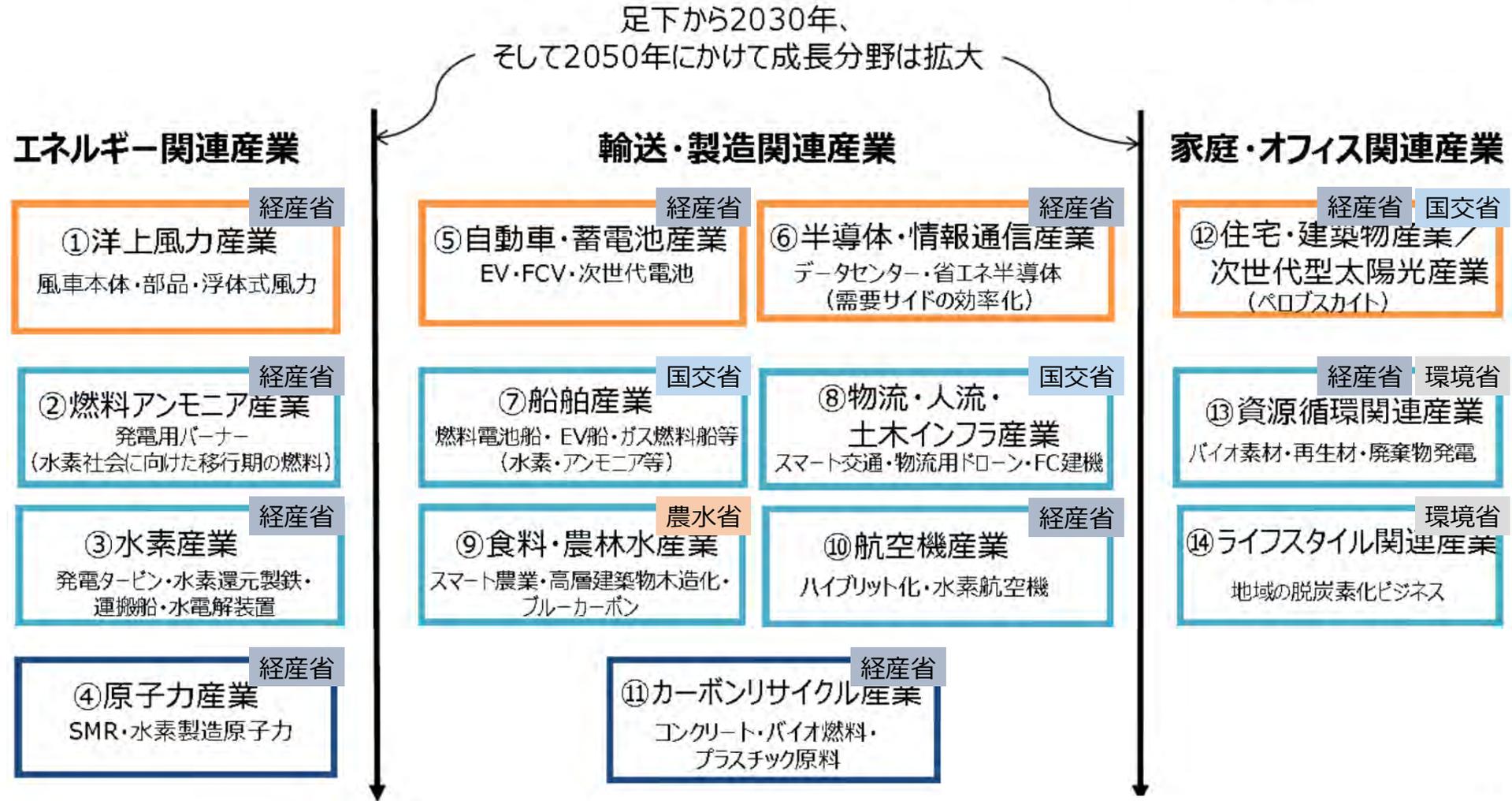


CIRCULAR ECONOMY

- ✓ 教育、研究から新技発、起業術開、事業化、地域・国際連携まで、385のプロジェクトを実施
- ✓ 120を超える企業、大学、研究機関がコアパートナーとして参画、プロジェクト参画機関は180を超える

<https://eitrawmaterials.eu/>

※来春のグリーン成長戦略の改定に向けて
 目標や対策の更なる深掘りを検討。
 (自動車・蓄電池産業など)



出展：内閣官房 成長戦略会議「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」／2020年12月
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai6/siryou1.pdf>

まとめ

- 資源・材料の循環利用は、SDGs、カーボンニュートラルと深く関係するが、必ずしも両立できる概念ではない。イノベーションにてカーボンニュートラルを実現しようとしている現在こそ、最初から資源・材料の循環利用の在り方も同様に考えておく必要がある。
- 社会からの資源・材料の循環利用に対する要請は高まっている。
- 多様な資源・材料の循環利用を実現するために、技術的には不純物制御を含めた分離技術開発に課題がある。また社会システム的にはサーキュラーエコノミー概念に見られる多様な循環ループ創成のためのサプライチェーン構築の仕組み作りに課題がある。
- 目的とする資源・材料を得るためのCO2発生や不純物の環境負荷は、個々の産業やプロセスを切り出すのではなく、サプライチェーン全体で評価されるべきである。
- そのために分野横断的な人材育成と、連携の仕組み作りが強く求められる。