

戦略策定に向けた主な視点について 資源



令和 2 年 1 1 月
内閣府

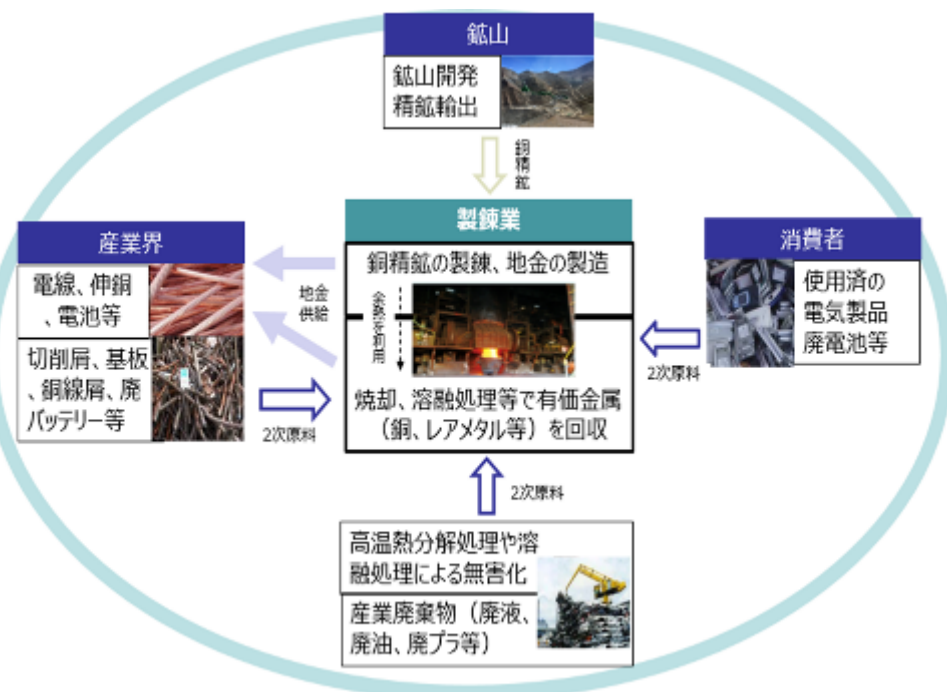
サーキュラーエコノミーの推進に向けて

～ レアメタル資源の視点からの考察 ～



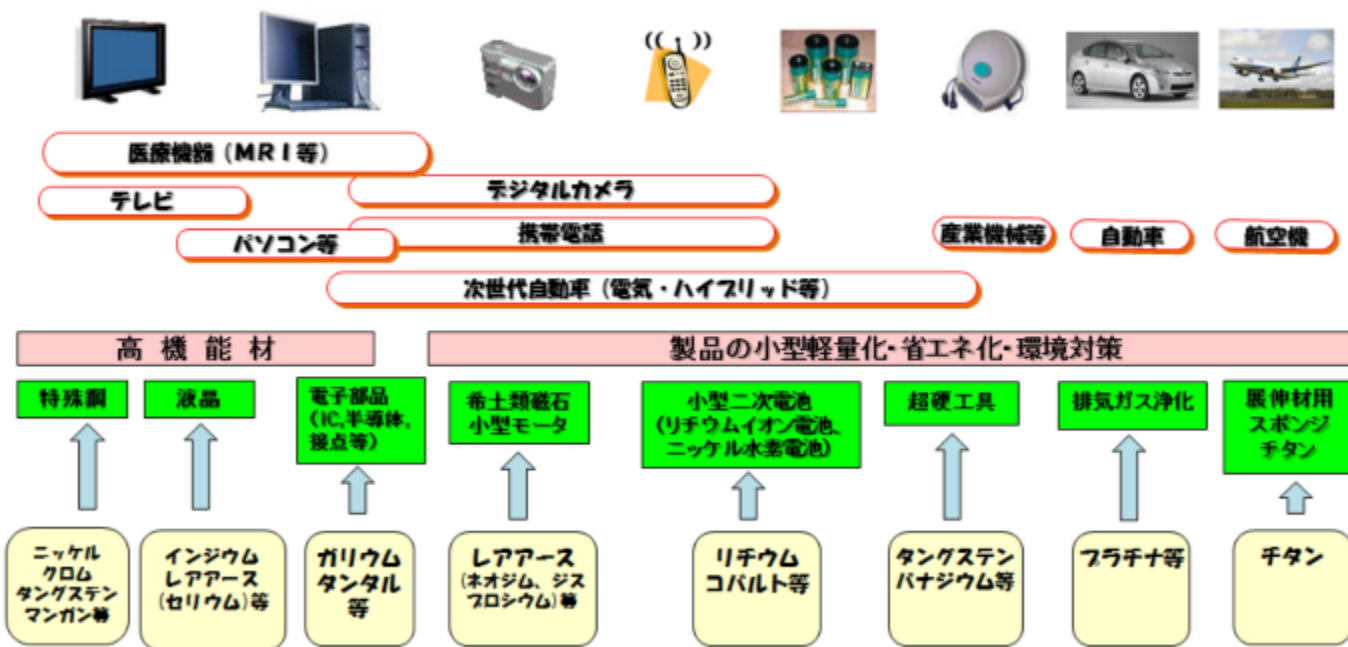
非鉄金属のサプライチェーン（銅製錬を中心に）

- ・ 製錬所をハブとし、資源開発（上流）からリサイクル（下流）までのサプライチェーンを形成。
- ・ 精銅およびリサイクル 2 次原料から地金を製造。銅製錬所の製錬工程で発生する余熱を利用し、銅、レアメタル、貴金属を含む多種多様な金属を回収。
- ・ レアメタルは、ベースメタル等の副産物として産出されるケースが多い。



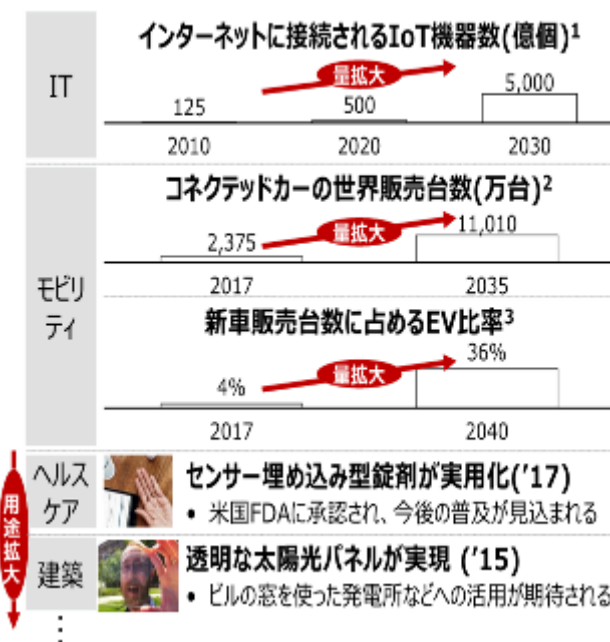
今後拡大するレアメタルの需要

- レアメタルを含む非鉄金属は先端素材に用いられ、IoT社会の進展に不可欠。
- 今後、5G環境整備の進展に伴い、通信分野で大幅な需要増加の見通し。
(6G時代に日本が主導権を握るためにもレアメタル確保は必須)
- このほかヘルスケア、Mobility分野等でも需要伸長が予測されている。



出典) レアメタル・レアアース等の代替材料・高純度化技術開発事後評価報告書
平成27年2月産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

産業別の先端素材利用製品ニーズの拡大(例)



¹ Cisco社Internet of Thingsレポート

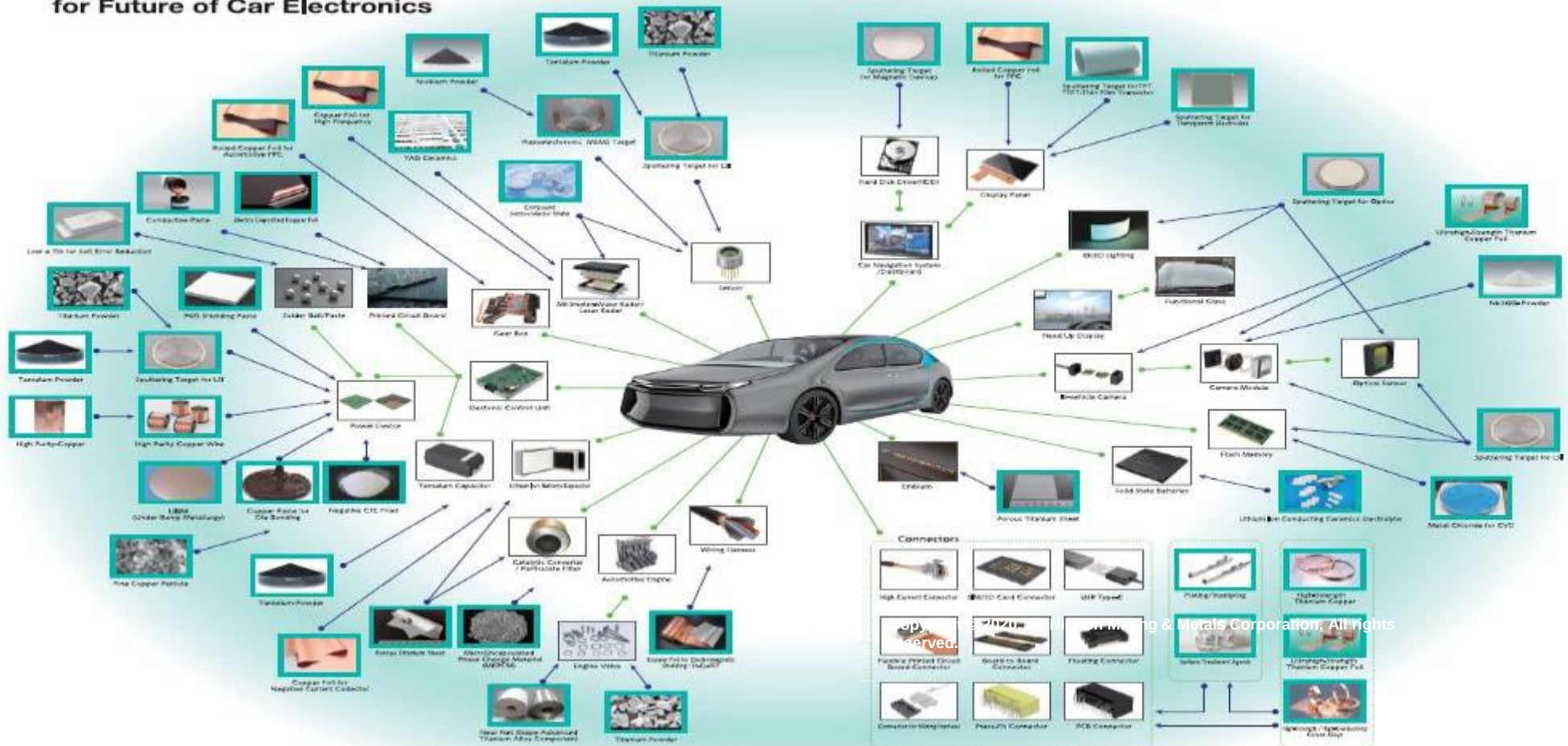
² 富士経済試算値

³ ICA, Annual Report2017

EVに用いられる部品と金属素材

- EVには、LiBにリチウム、コバルト、ニッケル等のレアメタルが使われるほか、銅、鉄、アルミ、貴金属等の数多くの金属が用いられる。
- 銅は、ガソリン車における使用量と比べて3～4倍の量が消費される。

JX Nippon Mining & Metals Group for Future of Car Electronics



レアメタル資源の安定確保

- 買鉱は産出国のカントリーリスクを特に大きく受ける。クリーンな鉱石の確保にも限界あり。
 - 鉱石産出地域の偏在性が高く、中国の産出国、消費国としての影響力は強大。
 - 鉱山開発において、児童労働、自然環境破壊等のコンプライアンス上の問題を抱える。
 - 一部レアメタルは、放射性物質等の有害物質を含み、輸送に際し危険物としての制約あり。
 - 輸送に関する適切な規制値の設定を期待。
 - 新規鉱山開発は開発費高騰、資源ナショナリズムの先鋭化により困難化。
 - 案件の奥地化、鉱石品位の低下。レアメタルは価格変動が大きく安定収益確保が困難。
- 買鉱、鉱山開発ともに不確定要素を抱えるため、リサイクルも併せて推進する必要あり。

鉱物	上位産出国・シェア(2019年)	上位三か国のシェア
タングステン	①中国 82% ②ベトナム 6% ③モンゴル 2%	90%
マグネシウム	①中国 82% ②露 7% ③カザフスタン 2%	91%
レアアース	①中国 63% ②米国12% ③ミャンマー 10%	82%
リチウム	①豪州 55% ②チリ 23% ③中国 10%	88%
タンタル	①コンゴ民 41% ②ルワンダ 21% ③豪州 14%	76%
ニオブ	①ブラジル 88% ②カナダ 10%	98%
コバルト	①コンゴ民 71% ②露 4% ③豪州 4%	79%
マンガン	①南ア 29% ②豪州 17% ③ガボン 13%	59%



ロジウム、再び最高値

中国など車生産回復で

ガソリン車から出る窒素酸化物（ NO_x ）を除くために使うロジウムの国際価格が過去最高値を更新し、歴史上主要な金属で最も高い価格をつけた。指標のロンドン価格は2日、1オンス1万4640ドルとなり、9月中旬に一時下がった後、中旬に一時持ち直り、中国などの高値を招いた。中国など主要市場で自動車生産が回復、ロジウムの供給が不足するとの観測が再び強まった。

ロジウム相場は今年、乱高下が続いている。3月上旬まで急騰が続いたが、新型コロナウイルスの感染拡大により、世界の自動車生産が一時停止したことで急落した。8月ごろからは再び上昇し、感染拡大前の高値を上回って上昇が続く。

ロジウムはプラチナ（白金）の副産物として採れる貴金属だが、生産量は年間25％程度と白金の約10分の1。供給の8割を南アフリカに依存する。「地中深くの危険性が高く生産性の低い鉱

非鉄金属資源のリサイクル

- 米、欧、アジアをはじめグローバルにリサイクル原料を集荷し、国内銅製錬所で金属を回収。
- 日本の金属回収技術は高く、集荷量、回収量、種類ともに世界最大級。

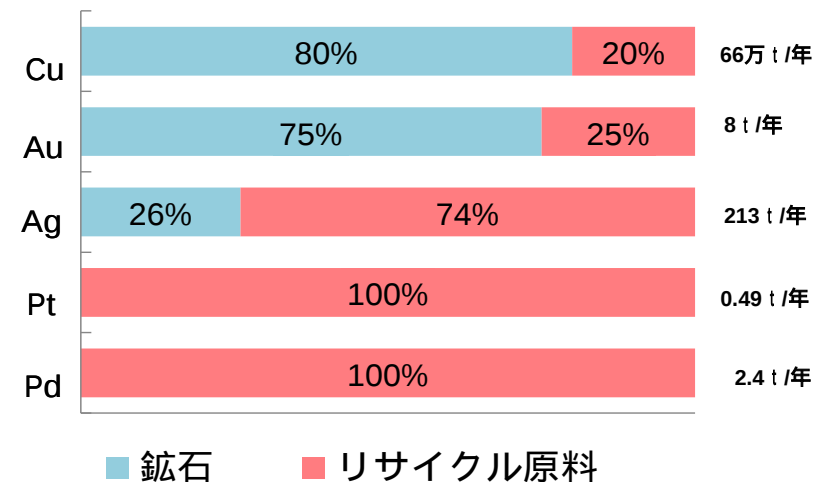
表内赤枠はJX金属で回収可能な金属

- 「都市鉱山」の金属蓄積量は、日本のみでも資源国埋蔵量に匹敵。
白金、パラジウム、銀など主にリサイクル原料から生産される金属も存在。

表：主要金属の消費量、埋蔵量および国内都市鉱山蓄積量 表内赤字はJX金属が生産している金属

金属、	世界消費量(t/年)	世界埋蔵量(t)	国内都市鉱山蓄積(t)	国内都市鉱山/埋蔵量比率(%)	消費量/国内都市鉱山比率(%)
Cu	23,331,000	480,000,000	38,000,000	7.92	61.4
Pb	11,122,000	57,000,000	5,600,000	9.82	198.6
Ni	2,027,000	64,000,000	1,700,000	2.66	119.2
Sn	381,000	6,100,000	660,000	10.82	57.7
Ag	27,000	270,000	60,000	22.22	45.0
Au	3,559	42,000	6,800	16.19	52.3
Ta	1,100	43,000	4,400	10.23	25.0
PGM	580	71,000	2,500	3.52	23.2
Mo	227,000	8,600,000	230,000	2.67	98.7
Li	21,100	4,100,000	150,000	3.66	14.1
In	655	11,000	1,700	15.45	38.5

2017年度実績（JX金属生産）



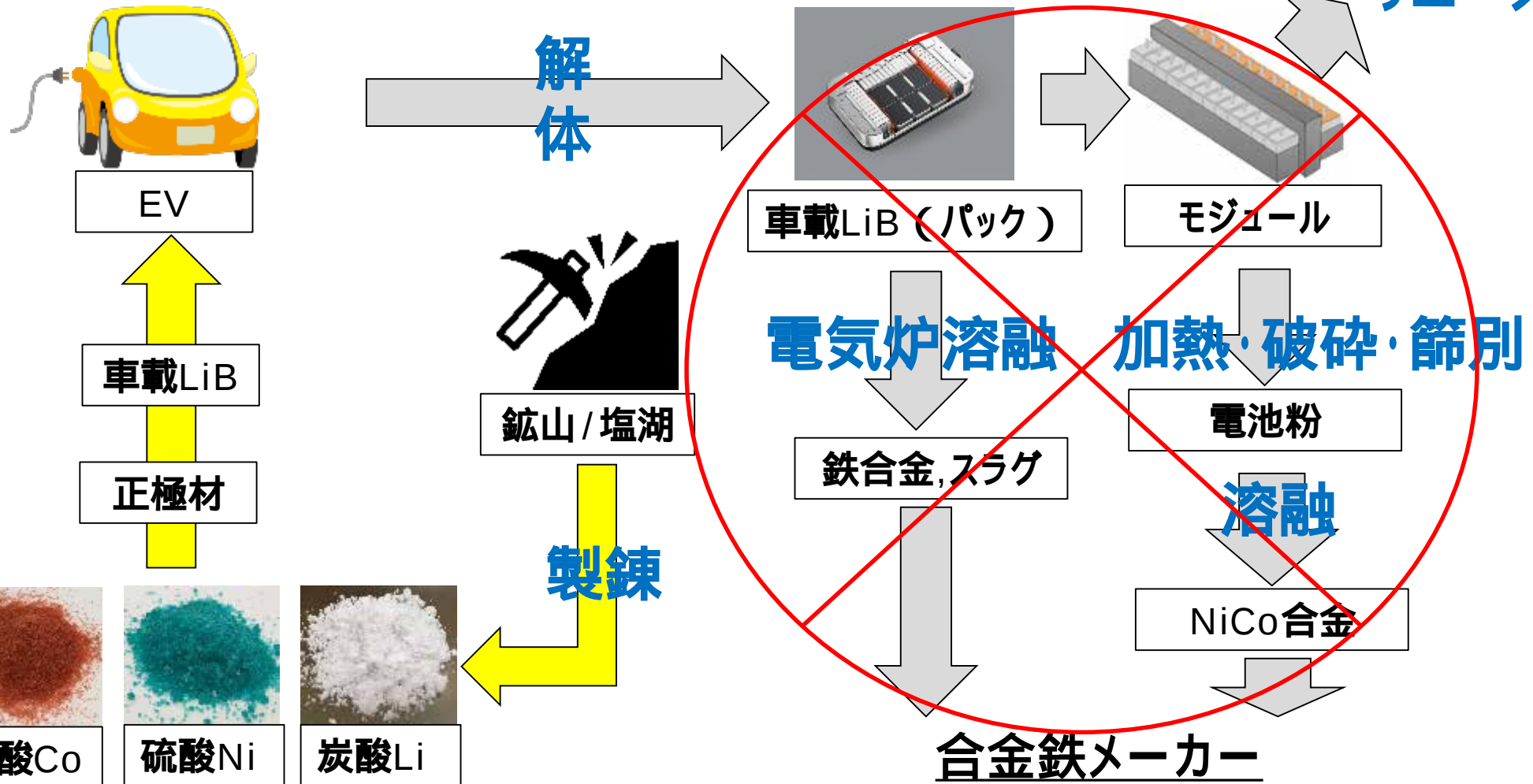
JX金属におけるリサイクルの取り組み (LiBリサイクル)

EVの普及に伴い、2030年以降、廃車載LiBが大量発生

n多くのリサイクラーはカスケード処理

Liは回収できない

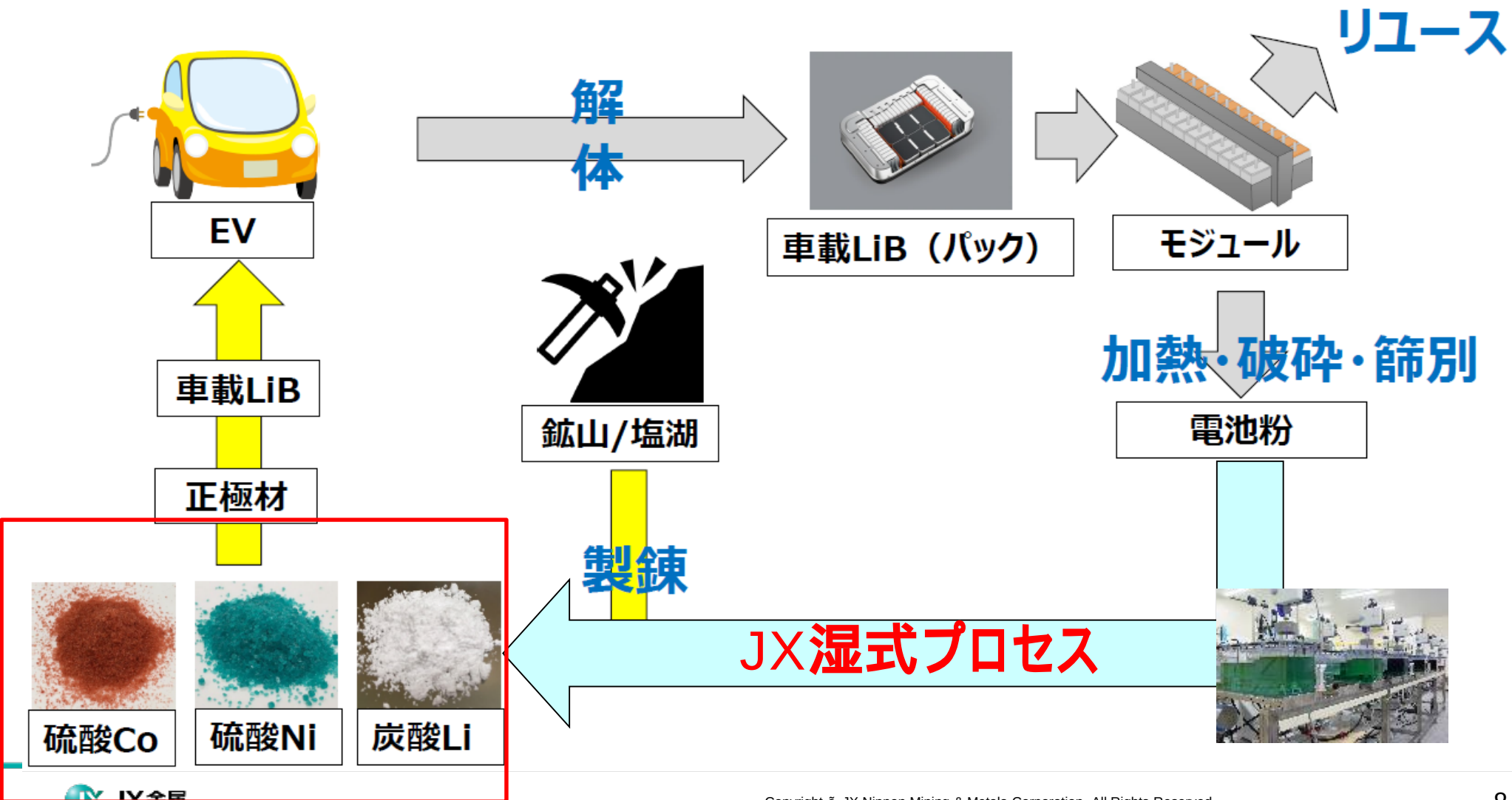
リユース



JX金属におけるリサイクルの取り組み (LiBリサイクル)

nJXの目指す“クローズドループ・リサイクリング”

リサイクル原料から高純度金属塩を回収、正極材原料として直接利用



LiBリサイクルの推進にあたっての課題

～ 持続可能な資源循環モデルを如何に構築するか ～

n 廃車載LiBの処理責任の所在、産廃処理費用の負担先

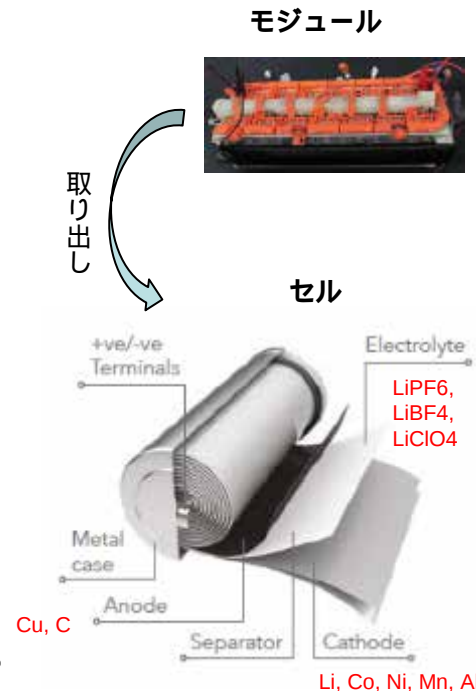
- 廃掃法広域認定制度が適用。ただし、電池粉以降の生産物は制度の対象外。
不法投棄,不適正処理・資源海外流出の回避のため、一貫した厳正な管理が必要。
- 産廃処理費は収運・解体・パック & モジュール処理までカバー。電池粉は有償取引。
金属価値 < リサイクルコスト（電池粉から金属回収）のため、事業性なし。

n 易解体・易リサイクルに配慮したLiB設計

- EVからのパック、モジュール、セルの取り出し、分離の簡易化。現状は、モジュールのサイズの不揃い等から、解体工程の機械化ができない。
- 安全なモジュールの取り扱い（残/復電圧による感電,火災の恐れあり）
輸送・保管に適したパック形状の導入、モジュールのサイズの統一、セルに含まれる有機溶媒の成分開示等。

n 製造プロセスの合理化

- 電池粉の湿式工程から正極材原料製造工程に至るプロセスの簡略化。



課題解決に向けて考えられる対応策

n 廃車載LiB所有権を完成自動車メーカーに帰属、産廃処理費用を受益者負担

- 製造者責任の原則による不適正処理の回避。
- 資源価格に依存しないビジネスモデル構築。
 - クローズドループ・リサイクリングにかかわる各プレイヤーへの公平な処理費配分

n 廃車載LiBの集荷量の確保

- 各プレイヤーが連携した廃車載LiB共同回収スキームの構築。
- リサイクル原料使用の義務化（使用率の数値目標化）。

n LiB規格の導入およびデータ共有

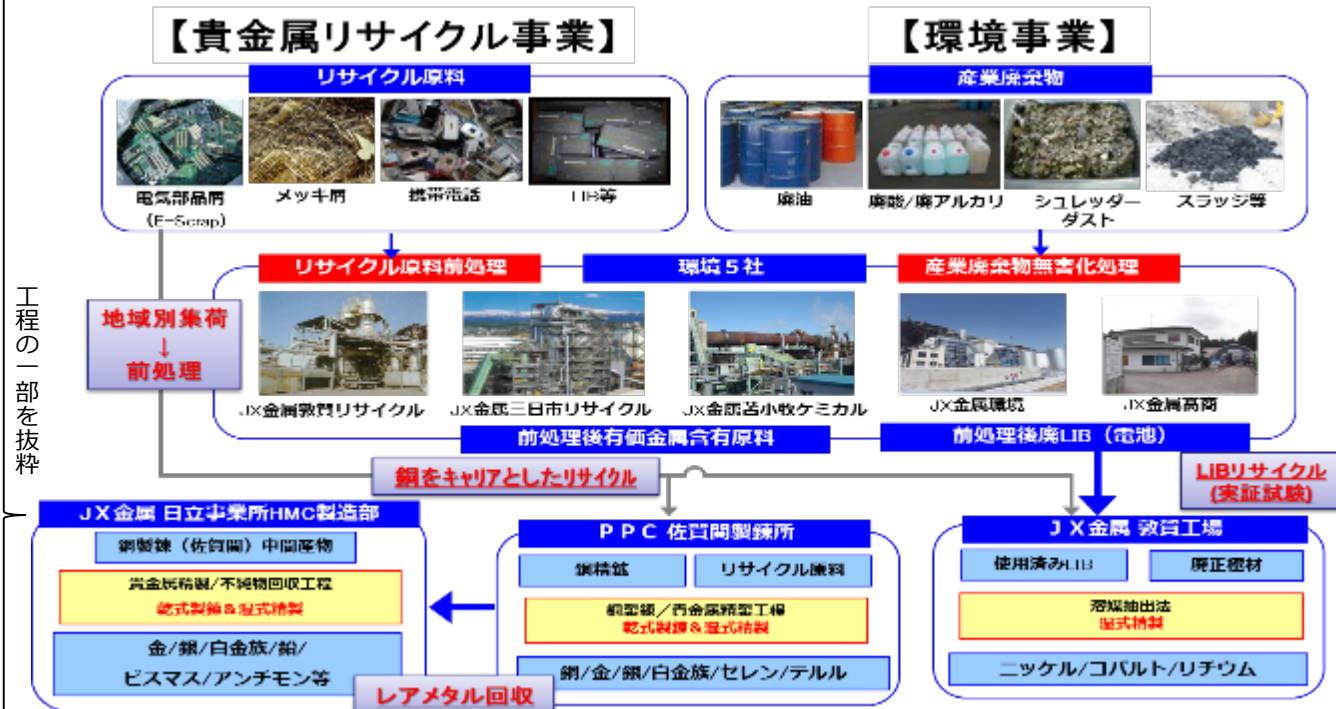
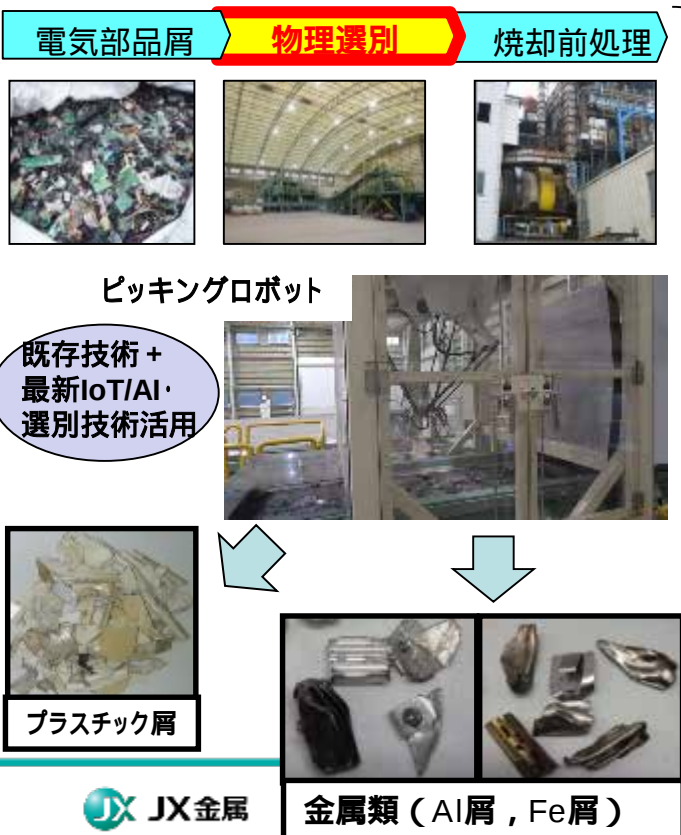
- リサイクルを念頭にした電池パック、モジュール、セルの規格化。
- 各プレイヤー間でのLiBに関するデータ共有（容量の劣化・残存性能等）。

n 各工程の連結

- 電池粉の湿式工程で発生する硫酸塩溶液を正極材原料製造工程で直接活用。

JX金属におけるリサイクルの取り組み（IoT、AIの活用）

- リサイクル原料から銅・レアメタル、貴金属などの様々な有価金属を回収するとともに、産業廃棄物の無害化も実施。
- 「ゼロエミッション」を事業の基本とし、グローバルな資源循環型社会の構築に貢献。
- IoT、AIを活用し、リサイクル原料の物理選別（日立事業所）を実施。
2021年からは原料分析（佐賀関大在地区）も実施予定。



n 持続可能なビジネスモデルの確立

- ・ 製造者責任の原則を前提とした各プレイヤーの公平な利益配分、コスト負担。

n リサイクル原料の集荷量の確保

- ・ リサイクル原料使用率の数値目標化、各プレイヤーの共同回収体制の構築など。

n LiB規格の導入およびデータ共有

- ・ リサイクルを念頭に電池パックなどの規格化、各プレイヤー間でのLiBデータ共有。

n 製造プロセスの合理化

- ・ LiBリサイクルにかかわる各工程の連結などによる製造プロセスの合理化。
- ・ IoT、AIの活用などによるリサイクルプロセスの効率向上。

n 人材育成

- ・ マテリアルに関する知見を有し、データサイエンスの手法を活用できる人材。
専門分野だけに捉われないグローバルな視点も必要。

欧州では改正電池指令、助成制度等で反映見込み

改正欧州電池指令では、バッテリーリサイクルへの関心の高まりを背景にLiBリサイクルに特化した目標等が設定される見通し。
そのほか次世代電池のサプライチェーン構築に向けたプラットフォームやイニシアティブ、助成制度を創設。

レアメタル・レアアース等について

2020年11月

経済産業省 製造産業局

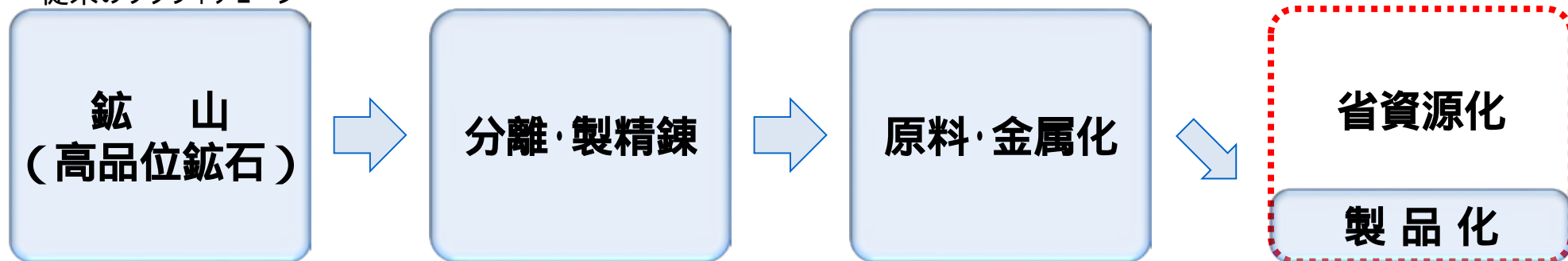
金属技術室

資源制約の克服に向けた取組

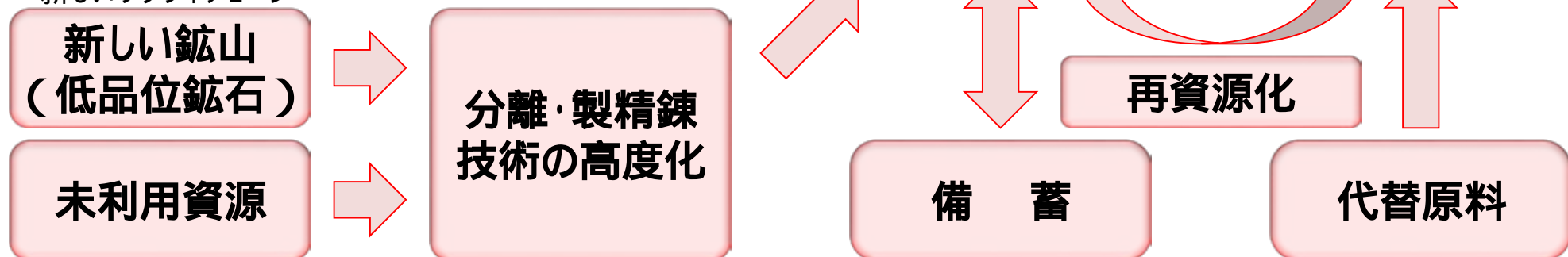
- Ⅰ レア金属・レアアース等の希少資源の安定確保は、我が国製造業の産業競争力確保のための大前提。特に我が国の競争力の基盤である高度部材・部品の製造業の存立に必要不可欠。
- Ⅱ 資源制約克服のため、新しい鉱山の開発や未利用資源の有効利用（分離・製精錬技術の高度化）、備蓄、再資源化、代替・省資源化に取り組んでいる。

サプライチェーン強靱化に向けた取組

< 従来のサプライチェーン >



< 新しいサプライチェーン >



今後の取組（低品位鉱石、未利用資源の有効利用）

- 含有量や不純物が多く利用が難しい低品位鉱石や未利用資源を利用するため、**分離・製精錬技術の高度化**を行う。
- 例えば、リンの濃度が高く利用に適さない低品位鉄鉱石や海水中に多く含まれているものの、濃度が低すぎて利用できていないマグネシウムを**有効利用する技術**を開発する。

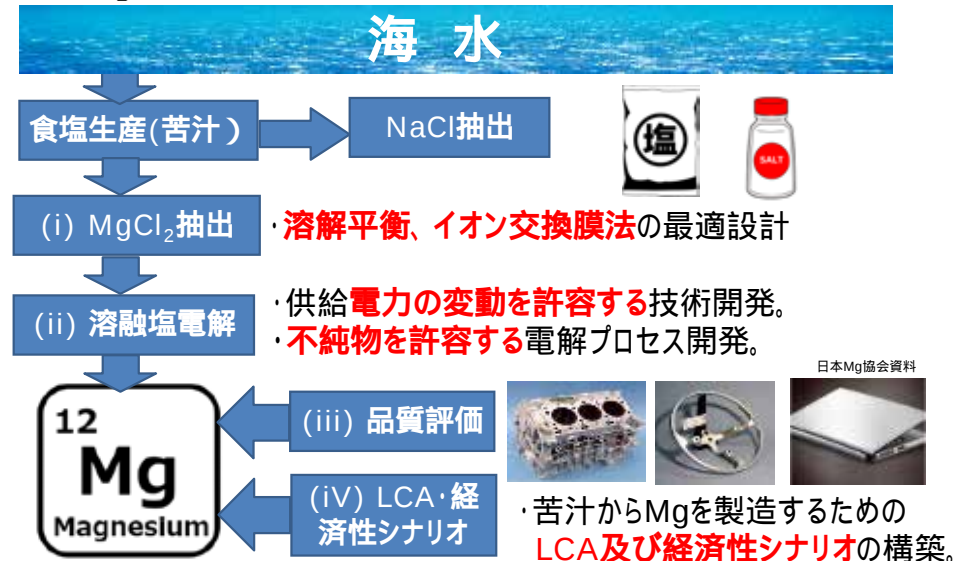
例1）低品位鉄鉱石の有効利用



- 今後、鉄鉱石中に含まれるリン濃度の急激な増加が見込まれている（低品位化）。
- 鉄鉱石のリン濃度が増加すると、高級鋼製造時の環境負荷が増大するため、鉄鉱石中のリン除去回収技術の開発が期待されている。

NEDO 先導研究プログラム / エネルギー・環境新技術先導研究プログラム

例2）海水からのマグネシウム抽出



- 軽量材料としての需要が見込まれるマグネシウムは、90%以上を中国からの輸入に依存している。
- マグネシウムは、海水中に薄く多量に含まれるため、製塩残渣を利用して、効率的にマグネシウム地金を生産することで、国産資源化することが期待されている。

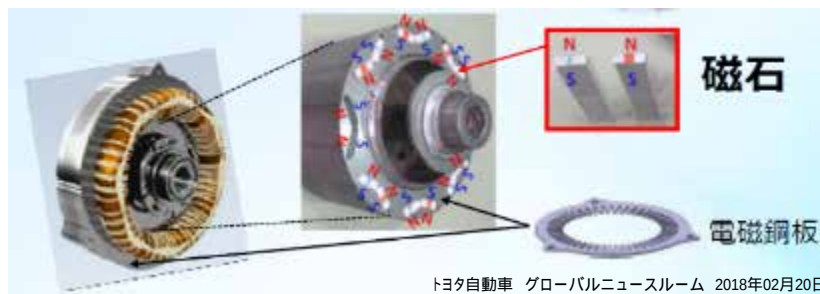
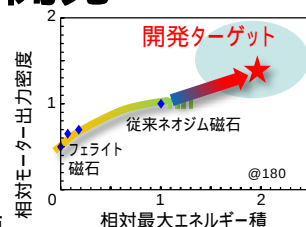
今後の取組（代替・省資源化）

- 資源制約の大きい希少元素や有害元素の使用を極力減らす、又は使用しないため、豊富で無害かつ環境負荷の低い元素により**機能を代替**することが必要。
- 例えば、供給途絶リスクが高いレアアースやレアメタルを**使わない製品や使用量を削減した部素材**の開発など。

例1) レアアース・フリー磁石開発



磁石を必要とするモーターを使用している機器類



トヨタ自動車 グローバルニュースルーム 2018年02月20日

- 現在最強といわれるネオジム焼結磁石は、熱に弱いため重希土類を添加する必要があるが、重希土類は、ほぼ全量を中国からの輸入に依存している。
- 重希土類を使用せず、ネオジム焼結磁石同等以上の性能を持つ磁石の開発が期待されている。

令和2年度補正 サプライチェーン強靱化に資する技術開発・実証

例2) レアメタル削減部素材開発



- 添加することで耐摩耗性を向上させるタングステンやコバルトは、特定国からの輸入に大きく依存している。
- 複数の元素を組み合わせた新合金開発により、タングステンやコバルトの添加量を減らした新しい合金材料の開発が期待されている。

今後の取組（再資源化）

- Ⅰ サプライチェーンの強靱化のためには、国内で排出される廃製品から希少元素を取り出し、**再資源化**することで、有効利用することが不可欠。
- Ⅰ 例えば、廃小型家電に含まれる希少元素を**効率良く選別する技術**や不純物が多いため用途が限定されているアルミニウム**再生材の高度利用**のための技術の開発など。

例1）レアメタル・レアアースの再資源化



- Ⅰ 廃小型家電には、多くの希少金属が含まれているが、小型家電は多種多様のため、多くの希少資源は回収しきれず、ダウングレード・リサイクルに回される。
- Ⅰ 情報技術の有効活用や動静脈連携により希少資源を効率的にリサイクルする技術の開発が期待されている。

資源循環システム高度化促進事業

例2）アルミニウムの再資源化



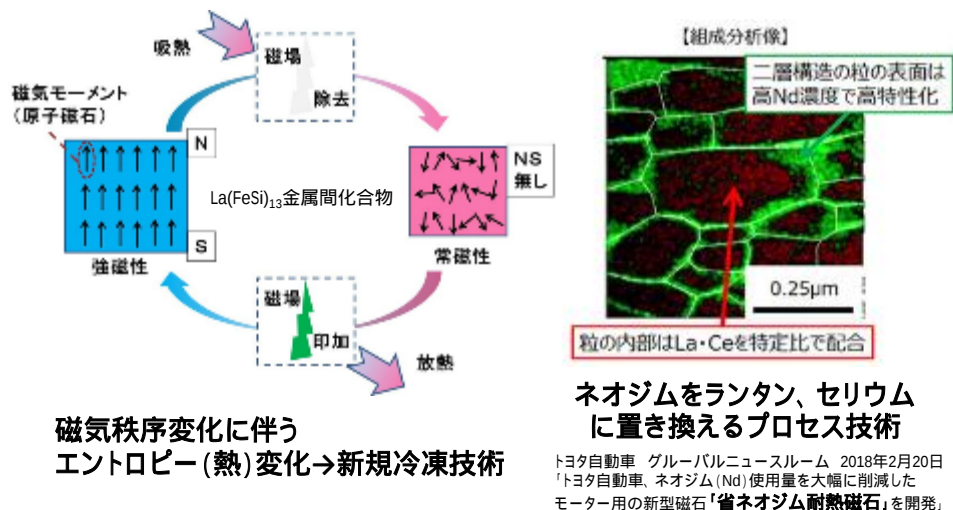
- Ⅰ アルミニウムは、軽量材料として需要拡大が見込まれているが、精錬時のCO₂排出が大きい。
- Ⅰ 再生材を高度利用する技術を開発することにより、自動車の車体等にも利用可能な素材（展伸材）に利用できるようになることが期待されている。

令和3年度新規要求 アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業

今後の取組（新機能・新素材）

- Ⅰ レアアースは、電子配列の特殊性から光学特性や磁性特性を有し、様々な製品に利用されているが、その機能の全てを生かし切れているわけではない。レアアースを始めとする様々な元素の秘められた力を引き出すことで新たな機能を生み出すことが必要。
- Ⅰ また、ナノ合金のような新しい素材を用いた製品開発を進めることも必要。

例1）ランタン・セリウムの新用途開発



- Ⅰ ランタンやセリウムは、ネオジム等の副産物であるため、レアアースではあるが、供給過多となっている。
- Ⅰ これまであまり使用されていないランタンやセリウムにも、様々な特性があるため、例えば、磁気冷凍や従来の機能を超える新しい触媒等に利用することが期待されている。

例2）ナノ合金の大量製造技術



- Ⅰ 希少・高価な白金族金属の機能を最大限に引き出し、新しい高機能触媒を産み出す。
- Ⅰ MIなどのデータ駆動型材料開発により、既存の合金の機能を大幅に凌駕する性質をもつ新素材が開発されると期待されている。

今後の取組（新プロセスの開発：有機ケイ素機能性化学品製造プロセス）

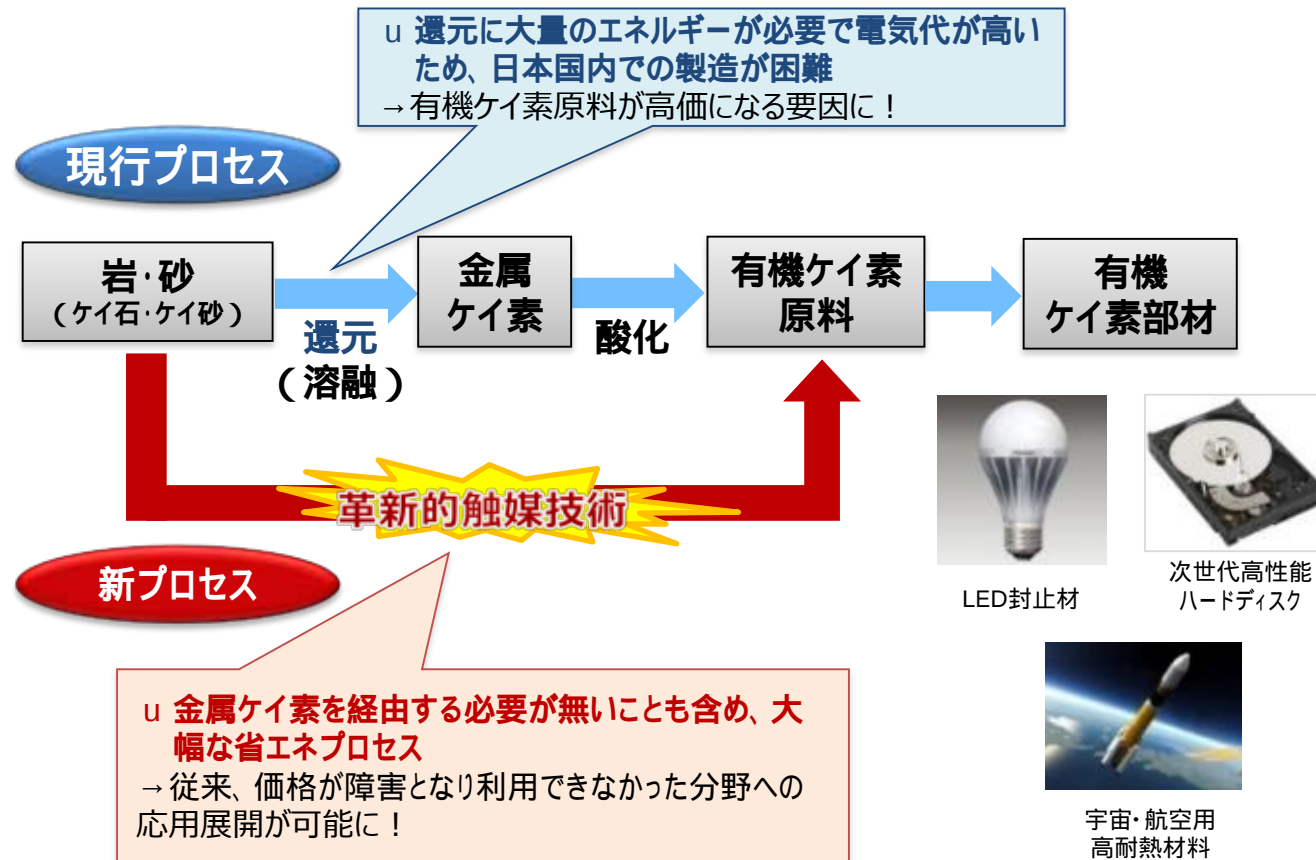
- 医療器具、電子部材、産業用機械等に幅広く利用されている有機ケイ素部材の原料である**金属ケイ素は、供給を100%外国に依存**しているため、有機ケイ素関連産業（国内市場規模約1,200億円）においてサプライチェーン上のリスクとなっている。
- 金属ケイ素を経由することなく、**直接二酸化ケイ素から有機ケイ素部材を製造する革新的製造プロセス**を開発し、サプライチェーンの強靱化を図る。

金属ケイ素国内市場（2017）



中国：92%
ノルウェー：3%
ブラジル：2%
オーストラリア：2%

（出典）JOGMEC鉱物資源マテリアルフロー2018を基に実施者作成



今後の取組（基礎基盤研究）

- 資源問題に対する基礎基盤研究としては、希少元素の代替にフォーカスした取組を実施。
- 希少元素の特異な機能をありふれた元素でおきかえる元素代替を目指し研究開発を実施。府省連携で進めている。

現状の取組

文部科学省（基礎研究に近い部分）

元素戦略プロジェクト＜研究拠点形成型＞

- 磁石材料、触媒・電池材料、電子材料、構造材料分野において、拠点を形成し、研究開発を推進

各拠点において、電子論、材料創成、解析評価グループが一体的に研究を推進することで、元素の機能の論理的解明から新材料の創製、特製評価までを実施



ガバニングボード



研究者同士の情報交換や、成果情報の優先的な伝達等、両者のプロジェクト間で緊密な連携

経済産業省（産業・企業に近い応用部分）

未来開拓研究プロジェクト

（高効率モーター、革新的新構造材料、先進・革新蓄電池材料評価基盤技術開発）

内閣府（基礎から応用部分）

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）

（構造材料分野における逆問題MI基盤を構築）

主な成果例）

磁石材料

- 希少元素（ネオジム、ディスプロシウム）フリーで優れた保持力を持つ磁石材料を開発



触媒・電池材料

- 従来のLi電池より高容量・高出入力が可能で、希少元素フリーなNa電池材料を開発
- 希少元素（白金）フリーな排ガス触媒を開発

電子材料

- 毒性元素（鉛）フリーで高効率なLED材料を開発
- 空気中の窒素からアンモニアを合成できる希少元素フリーの触媒を開発

構造材料

- 希少元素フリーなチタン、マグネシウム、銅合金において、高強度・高延性を実現する材料設計を開発



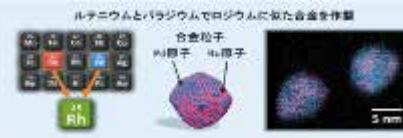
今後の研究の方向性

最先端のプロセス技術やデータ駆動型研究開発等の活用などにより、これまで材料・プロセス設計が難しく到達できなかった領域の物質群（材料の多元素化や複合化、準安定相等）へのアプローチが可能となっており、未開拓の領域を活用した材料創製が期待されている。

例）



← 材料の複合化により、従来の排ガス触媒と比べて希少元素の使用量を1/10に低減した触媒を開発。



← 材料の多元素化により、高価な希少元素の機能を、より安価な元素を組み合わせで再現した振材料を開発。

【参 考】 新国際資源戦略について

- Ⅰ 本年3月30日、経済産業省は「新国際資源戦略」を**発表**。同戦略は、資源・燃料政策を取り巻く環境が大きく変化する中で、日本政府の新たな対応の方向性を示すもの。
- Ⅰ 同戦略において、重要鉱物の必要性が強調されるとともに、日本向けの鉱物資源の安定供給に向け、5本柱の対策が示された。

鉱種ごとの戦略的な資源確保策の策定

- Ⅰ 資源の偏在性、カントリーリスク、需要の見通し等の観点から鉱種ごとのリスクを定量的に把握し、それぞれリスクに対応するための特性を踏まえた、戦略的な資源確保策を策定する。

供給源多角化の促進

- Ⅰ JOGMEC法の改正（リスクマネー支援機能強化）、債務保証案件の採択に係る審査の合理化

備蓄制度の見直し等によるセキュリティ強化

- Ⅰ 鉱種ごとのリスクに対応するための柔軟な備蓄目標日数の設定、備蓄放出時等における国の関与の強化

サプライチェーン強化に向けた国際協力の推進

- Ⅰ 重要鉱物に関する国際協力体制の構築、相手国側の協力ニーズに応じた技術協力等の取組、JOGMEC のボツワナ・地質リモートセンシングセンターが持つ知見や先進的な衛星画像解析技術等を活用した協力

産業基盤等の強化

- Ⅰ ヒ素等の不純物増加に対応した製錬等の技術開発、リサイクルの推進、人材育成