

## 「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業」基本計画

環境部

## 1. 事業の目的・目標・内容

## (1) 事業の目的

## ①政策的な重要性

我が国の成長戦略である「日本再興戦略 2016」において、資源価格の低迷下での資源安全保障の強化等を目指して、都市鉱山の利用を促進し、リサイクル業者や非鉄金属製錬業者等の成長を図るため、動脈産業と静脈産業(※)の連携(以下「動静脈連携」という)により金属資源を効率的にリサイクルする革新技術・システムを開発することとされている。

※動脈産業:天然資源を採取・加工して有用な材を生産・流通する諸産業

静脈産業:社会に排出された廃棄物の回収・選別から、素材・製品へのリサイクルを担う諸産業

## ②我が国の状況

現在、経済的にリサイクルが行われている金属種は鉄、アルミ、銅などの主要な元素群もしくは、金、銀、白金などの高価な元素群である。一時期価格が高騰し、リサイクル促進のための様々なプロジェクトが行われたレアメタル、特に希土類元素については、価格が下落した現在、国内で経済的なリサイクルビジネスを成立させることは困難な状況。そのため、リサイクルコストの安い中国などのアジアへ流出したり、選別コストが合わず、必要な選別がなされないまま既存の製錬工程へ投入され、スラグに酸化物として分配され、路盤材等に利用されている状況である。将来的に、国内金属リサイクルシステムの構築のためのキーとなるのは、金属リサイクルシステム全体のコスト低減化である。

## ③世界の取組状況

EU は従来の資源消費型の線形経済から、資源生産性効率を最大化する循環経済への転換を図り、循環経済(Circular Economy:CE)パッケージを打ち出している。EU は、EU 域外の資源産出国に供給依存する天然資源に替わり、EU 域内で完結する循環資源利用の社会を目指し、再生品の品質が市場を決定するリサイクル業者のための市場を作りたいと考えている。これはバージン資源使用製品に対して、リサイクル資源使用製品の競争力を強化するということを意味している。EU は 2015 年 12 月、「CE Package」更新版を発表し、5 つの特に注力が必要なマテリアルのひとつとして希少金属を選定した。翌 2016 年には、e-waste や電池など循環資源利用が望まれる製品のリサイクル基準を策定し、2017 年に希少資源に関するレポートや再資源化のベスト・プラクティスの取りまとめを計画するなど、積極的な姿勢を示している。

#### ④本事業のねらい

我が国の都市鉱山を有効に活用するため、資源価値の高い小型家電等の廃製品を対象に、現状リサイクルが行われている元素群(鉄、アルミ、銅、金、銀など)のみならずレアメタル等も含めた多様な金属について、低コストで高効率な再生金属資源の生産(金属のリサイクル)を可能とする革新的な技術を開発するとともに、バリューチェーンを形成する動静脈連携を強化する情報、制度、社会システムの構築を目指す。

### (2) 事業の目標

#### ①アウトプット目標(最終目標、中間目標)

本事業の目標を以下の通り設定する。

中間目標(平成 31 年度):

動静脈連携により、金属資源の循環活用が可能な都市鉱山構築に向け、天然資源からの金属生産コストと競合可能な基盤技術を開発する目途をたてる。具体的には、すべての研究開発項目を一貫して開発を実施し、以下を達成する。

##### 研究開発項目①廃製品自動選別技術開発

廃製品(破壊・変形を伴わない)を、処理速度 1 秒/製品・個以内に、非破壊で個体認識・資源価値判定し、資源価値別に選別するとともに、廃製品を構成する主なモジュールに解体・選別する自動選別システムにおいて、従来の人手による解体・選別プロセスの 10 倍以上の処理速度を実現するため、装置群システム・制御の要素技術を完成させる。

##### 研究開発項目②廃部品自動選別技術開発

廃製品を構成する主なモジュールから分散・複雑系廃部品を単体分離・選別する自動選別システムにおいて、各種選別産物の製錬原料化(製錬受入れ条件を満たす金属原料化)を実現するため、装置群システム・制御の要素技術を完成させる。

##### 研究開発項目③高効率製錬技術開発

イオン半径が近接する希土類元素を対象に、相互分離係数 3 を有する分離試薬を開発するとともに、ラボスケールで、2 種以上の希土類元素を(単体または鉄等との合金として)純度 80%以上で各々同時に直接回収する技術を確立する。

##### 研究開発項目④廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発

平成 32 年からの研究開発開始のため対象外。

最終目標(平成 34 年度):

動静脈連携により、金属資源の循環活用が可能な都市鉱山構築に向け、天然資源からの金属生産コストと競合可能な基盤技術を開発する。具体的には、すべての研究開発項目を一貫して開発を実施し、以下を達成する。

#### 研究開発項目①廃製品自動選別技術開発

廃製品(破壊・変形を伴うものを含む)を、処理速度 0.5 秒/製品・個以内に、非破壊で個体認識・資源価値判定し、資源価値別に選別するとともに、廃製品を構成する主なモジュールに解体・選別する自動選別システムにおいて、従来の人手による解体・選別プロセスの 10 倍以上の処理速度を実現するベンチスケールシステムを完成させる。

#### 研究開発項目②廃部品自動選別技術開発

廃製品を構成する主なモジュールから分散・複雑系廃部品を単体分離・選別する自動選別システムにおいて、廃部品を分離効率 80%以上で選別する性能を有し、各種選別産物の製錬原料化を実現するベンチスケールシステムを完成させる。

研究開発項目①及び②を連動させて一貫制御するベンチスケールシステムを完成させる。

#### 研究開発項目③高効率製錬技術開発

イオン半径が近接する希土類元素を対象に、相互分離係数 5 を有する分離試薬を開発する。

また、2 種以上の希土類元素を(単体または鉄等との合金として)純度 80%以上で各々同時に連続的に直接回収する技術を実現するとともに、プロセス適用時のコストを1/2以下(従来比)にする見通しを立てる。

#### 研究開発項目④廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発

戦略的鉱物資源 20 種のマテリアルフロー、製品群 30 種の製品フローを考慮した都市鉱山ポテンシャル評価・廃製品リサイクルコスト評価システムの構築と、それをを用いたリサイクル対象鉱種・製品を選定する。

### ②アウトカム目標

平成 37 年度までに、事業により開発された、自動・自律型リサイクルプラント(廃製品・廃部品の自動選別装置)及び少量多品種の金属資源の高効率製錬技術(分離試薬等)の実用化を目指す。これらのリサイクルプラント等の普及により、平成 47 年度までに、これまで国内で再資源化されていなかった年間約 1,000 億円相当の金属資源を新たに資源化し、我が国の資源安全保障に貢献する。

また、環境配慮設計や再生材品質規格の作成等、資源循環の仕組みの社会への普及に貢献する。

### ③アウトカム目標達成に向けての取組

本事業にて基盤的技術を確立させた後、実プラントを想定した実証事業を実施する予定。これにより開発したシステムの実用化を促進し、動静脈連携を図りながら、都市鉱山からの金属再資源化を推進する。

## (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙1の研究開発計画及び別紙

2の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。

本事業は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

研究開発項目①廃製品自動選別技術開発

研究開発項目②廃部品自動選別技術開発

研究開発項目③高効率製錬技術開発

研究開発項目④廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発

研究開発項目①廃製品自動選別技術開発

廃製品の種類を自動認識し、平均的金属組成等に基づいて、最適な選別・解体条件の自動選択等を可能とする廃製品の自動選別技術、自動筐体解体技術、モジュール選別技術を開発する。

研究開発項目②廃部品自動選別技術開発

各種金属が混在する、廃製品を構成する主なモジュールに対し、構成する細粒部品の単体分離技術を開発するとともに、単体分離産物の組成に対応して、選別方法・条件を自動的に選択・制御し、製錬原料として最適化を実現する、廃部品自動選別技術を開発する。

研究開発項目③高効率製錬技術開発

選別された廃部品を原料として、多様な金属の資源化を高効率化するため、基幹製錬技術を補完する希土類元素を対象とした高精度な分離試薬の開発、及び特定の希土類元素が濃縮した部品から目的金属を直接回収する基盤技術を開発する。

研究開発項目④廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発

国内マテリアルフロー・製品フロー分析、リサイクルすべき製品・マテリアルの動的な評価を実施し、また製品の含有マテリアル・資源配慮設計情報を管理する情報システムの構築を行う。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 事業の実施体制

プロジェクトマネージャー(以下「PM」という)にNEDO 環境部 伊東賢宏を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDOは公募により研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業、大学、公的機関等の研究機関等(以下「団体」という。)のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者(プロジェクトリーダー)を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

## (2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

### ① 研究開発の進捗把握・管理

PMは、プロジェクトリーダーや研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、技術的評価を受け、研究開発内容の前倒し等の検討、アウトカム目標の前倒し達成に向けた取組の検討、目標達成の見通しの把握等を実施する。

### ② 技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、必要に応じて本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

## (3) その他

本プロジェクトは非連続ナショナルプロジェクトとして取扱う。

## 3. 研究開発の実施期間

平成 29 年度から平成 34 年度までの 6 年間とする。

## 4. 事業の評価に関する事項

NEDOは技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を平成 31 年度、事後評価を平成 35 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

## 5. その他重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

②標準化施策等との連携

NEDO及び研究開発実施者は、得られた研究開発成果を活用して、評価手法の提案やデータの提供等の標準化を推進する活動を必要に応じて実施する。

③知的財産権の帰属、管理等取扱い

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

④知財マネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

(2)「プロジェクト基本計画」の見直し

PMは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3)根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 号ニ及び第 9 号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1)平成 29 年 2 月、制定。

## (別紙1) 研究開発計画

### 研究開発項目①廃製品自動選別技術開発

#### 1.研究開発の必要性

複雑組成の廃製品から金属資源を戦略的に回収するには、様々な製品形態と頻繁なモデル変動への対応が不可欠であり、リサイクルの中間処理における廃製品の解体・選別技術には高い汎用性が必要である。しかし現状は手作業に頼らざるを得ず、高コスト要因となっている。そのため、無人化による低コスト廃製品自動選別技術の開発が必要である。

#### 2.具体的研究内容

廃製品の特徴を複数の高解像センサの組み合わせ等により検知して、これと別途取得した製品情報とを照合・解析することにより、廃製品の種類の自動認識を可能とするとともに、廃製品の平均的金属組成等に基づいた資源価値判定と最適な解体・選別条件の自動選択を可能とする廃製品自動選別技術を開発する。

また、検知した廃製品の特徴に応じて、破壊機構解析により、モジュール(プリント基板、電池等)を破壊せずに筐体のみを優先破砕する自動解体技術を最適化し、廃製品の筐体解体機を開発する。

さらに、廃製品選別技術を、モジュール選別に応用する技術開発を実施する。

#### 3.達成目標

中間目標(平成 31 年度):

廃製品(破壊・変形を伴わない)を、処理速度 1 秒/製品・個以内に、非破壊で個体認識・資源価値判定し、資源価値別に選別するとともに、廃製品を構成する主なモジュールに解体・選別する自動選別システムにおいて、従来の人手による解体・選別プロセスの 10 倍以上の処理速度を実現するため、装置群システム・制御の要素技術を完成させる。

最終目標(平成 33 年度):

廃製品(破壊・変形を伴うものを含む)を、処理速度 0.5 秒/製品・個以内に、非破壊で個体認識・資源価値判定し、資源価値別に選別するとともに、廃製品を構成する主なモジュールに解体・選別する自動選別システムにおいて、従来の人手による解体・選別プロセスの 10 倍以上の処理速度を実現するベンチスケールシステムを完成させる。

### 研究開発項目②廃部品自動選別技術開発

#### 1.研究開発の必要性

リサイクル中間処理における分散・複雑系廃部品の選別システムや操業条件は、経験則に基づくために多様な製品の変動に対応できない。このため、高精度な選別ができないことから、

回収金属種が限定されており、多様な金属に対する製錬向け原料化技術は確立できていない。その解決のため、廃部品情報に基づく、選別システムや操業条件の自動制御が可能な、廃部品自動選別技術の開発が必要である。

## 2. 具体的研究内容

廃製品を構成する主なモジュールを構成する細粒部品の単体分離(破碎)技術を開発するとともに、単体分離産物の組成に対応して各種の選別方法・条件を自動的に制御し、製錬受入れ条件を満たす金属原料化が可能な、各種の選別機(磁選、比重選別などの集合選別機)を統合制御する選別システムを開発する。

破壊機構解析により、プリント基板から電子素子群を無傷で剥離(単体分離)し、電子素子の持つオリジナルの物性を保存したまま回収することが可能な、部品剥離機(単体分離機)を開発する。

また、選別装置内の選別粒子挙動や産物組成の理論的な解析を行い、この理論を踏まえ、部品物性情報から選別挙動を予測するシステム及び各種選別機への分配や選別条件を最適化する制御システムを開発する。また、新たに廃部品供給機構を構築して、選別装置群を一貫自動制御する選別装置システムを確立する。

## 3. 達成目標

中間目標(平成 31 年度):

廃製品を構成する主なモジュールから分散・複雑系廃部品を単体分離・選別する自動選別システムにおいて、各種選別産物の製錬原料化を実現するため、装置群システム・制御の要素技術を完成させる。

最終目標(平成 33 年度):

廃製品を構成する主なモジュールから分散・複雑系廃部品を単体分離・選別する自動選別システムにおいて、廃部品を分離効率 80%以上で選別する性能を有し、各種選別産物の製錬原料化を実現するベンチスケールシステムを完成させる。

研究開発項目①及び②を連動させて一貫制御するベンチスケールシステムを完成させる。

### 研究開発項目③高効率製錬技術開発

選別された廃部品を原料として、多様な金属の資源化を高効率化するため、基幹製錬技術を補完する希土類元素を対象とした高精度な分離試薬の開発、及び特定の希土類元素が濃縮した部品から目的金属を直接回収する技術を開発する。具体的には、以下の研究開発項目③-1 及び③-2 を実施する。



## 研究開発項目③-1 高精密金属イオンサイズ認識分離技術

### 1.研究開発の必要性

イオンサイズが極めて類似した金属イオンの相互分離は、その低い相互分離係数のため極めて困難である。そのため、これらの金属イオンの相互分離は、既存の技術では、多量の有機溶剤及び多段の装置(それらを設置可能な広大な敷地)を必要とし、実用化するにはコストの高いプロセスである。そのため、小規模・低コストの希土類元素相互分離プロセスの開発が必要である。

### 2.具体的研究内容

本研究開発では、高精密かつ高効率な金属イオン分離技術を確立し、小規模・低コストの希土類元素相互分離湿式プロセスを開発する。具体的には、錯体構造解析等を駆使した金属の分離メカニズム解明を行い、分離試薬設計法を確立することで、希土類元素に対し高い相互分離係数を有する分離試薬を開発する。また、実プロセスに導入した場合のコスト検証も行う。

### 3.達成目標

中間目標(平成 31 年度):

イオン半径が近接する希土類元素を対象に、相互分離係数 3 を有する分離試薬を開発する。

最終目標(平成 34 年度):

イオン半径が近接する希土類元素を対象に、相互分離係数 5 を有する分離試薬を開発する。

## 研究開発項目③-2 濃縮系少量材料の高効率製錬リサイクル技術

### 1.研究開発の必要性

近い将来、様々な製錬原料の流通が期待されるが、希土類磁石等の濃縮系製錬原料が回収されたとしても、量が少ないため従来技術で対応すると極めて非効率となる。製錬原料の中でも特定の元素が高濃度で含まれる濃縮系材料は、それに特化した高効率なプロセスが必要である。

### 2.具体的研究内容

濃縮系製錬原料を対象に、熔融塩法を用いた、単一又は少工程数にて、目的とする 2 種以上の希土類元素を、各々同時に連続的に直接回収できる高効率な製錬リサイクルプロセスを開発する。また、反応及び回収過程等の原理の解析を行うとともに、実プロセスに導入した場合のコスト検証も行う。

### 3.達成目標

中間目標(平成 31 年度):

ラボスケールで、2 種以上の希土類元素を(単体または鉄等との合金として)純度 80%以上で各々同時に直接回収する技術を確立する。

最終目標(平成 34 年度):

2 種以上の希土類元素を(単体または鉄等との合金として)純度 80%以上で各々同時に連続的に直接回収する技術を実現するとともに、プロセス適用時のコストを 1/2 以下(従来比)にする見通しを立てる。

#### 研究開発項目④廃製品リサイクルの動静脈情報連携システムの開発

##### 1.研究開発の必要性

現状、廃製品リサイクルは短期的・局所的な経済性判断に基づいて行われており、長期的・大局的な供給リスク脆弱性低減や都市鉱山ポテンシャル活用に対応しているとは言えない。またリサイクルのコスト低減には資源配慮製品設計とその情報流通が必須であるが、動静脈連携基盤は未整備である。

##### 2.具体的研究内容

本研究開発では、国内マテリアルフロー・製品フロー分析、リサイクルすべき製品・マテリアルの動的な評価を実施し、また製品の含有マテリアル・資源配慮設計情報を管理する情報システムの構築を行う。それにより廃製品リサイクルシステムの社会リスク対応性向上と経済性向上に寄与する。

##### 3.達成目標





中間目標(平成 31 年度):

平成 32 年からの研究開発開始のため対象外。

最終目標(平成 34 年度):

戦略的鉱物資源 20 種のマテリアルフロー、製品群 30 種の製品フローを考慮した都市鉱山ポテンシャル評価・廃製品リサイクルコスト評価システムの構築と、それを用いたリサイクル対象鉱種・製品を選定する。

(別紙2) 研究開発スケジュール

	H29 2017	H30 2018	H31 2019	H32 2020	H33 2021	H34 2022	H35 2023
研究開発項目① 廃製品 自動選別 技術開発							
研究開発項目② 廃部品 自動選別 技術開発							
研究開発項目③ 高効率製錬 技術開発							
研究開発項目④ 動静脈情報 連携システム							
評価時期			中間 評価				事後 評価