

リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業
技術評価結果報告書（終了時評価）

平成29年3月

産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業」は、製錬事業者が廃小型家電製品等からリサイクル優先鉱種（タンタル及びコバルト）を回収することで国内産業へのレアメタルの安定供給確保を図ることを目的とし、製錬前の処理としてタンタル及びコバルトを廃小型家電製品等から効率よく分離・濃集・精製し、原料としてのタンタル及びコバルトを回収するための技術の開発のため、平成24年度から平成27年度まで実施したものである。

今般、省外の有識者からなるリサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業終了時評価検討会（座長：藤田 豊久 東京大学大学院工学系研究科 教授）における検討の結果とりまとめられた、「リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業技術評価結果報告書」の原案について、産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（座長：小林 直人 早稲田大学研究戦略センター副所長・研究院副研究院長 教授）において、審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成29年3月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

委員名簿

座長	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター副所長・研究院副研究 院長 教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所政策・経済研究センター長
	齊藤 栄子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部主任研究員
	高橋 真木子	金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント 研究科教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	西尾 好司	株式会社富士通総研経済研究所上席主任研究員
	浜田 恵美子	元・名古屋工業大学大学院教授
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科教授

(敬称略、座長除き五十音順)

リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業

終了時評価検討会

委員名簿

座長	藤田 豊久	東京大学大学院工学系研究科 教授
	柴山 敦	秋田大学大学院国際資源学研究科 教授
	白鳥 寿一	イー・アンド・イー ソリューションズ 株式会社 代表取締役社長
	高島 由布子	株式会社三菱総合研究所 主任研究員
	山口 勉功	岩手大学工学部マテリアル工学科 教授

(敬称略、座長除き五十音順)

リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業

技術評価に係る省内関係者

【終了時評価時】

(平成28年度)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課長 辻本 圭助

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 竹上 嗣郎

【事前評価時】(事業初年度予算要求時)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課長 安永 裕幸

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 秦 茂則

リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業 終了時評価の審議経過

【終了時評価】

◆産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（平成29年3月23日）

- ・技術評価結果報告書（終了時評価）について

◆「リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業」評価検討会

第1回評価検討会（平成28年12月22日）

- ・事業の概要について
- ・評価の進め方について

第2回評価検討会（平成29年2月23日～平成29年2月27日）

- ・技術評価結果報告書（終了時評価）について
- ※書面審議にて実施

【事前評価】

◆産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成23年7月14日）

- ・技術評価書（事前評価）について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

委員名簿

リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業 終了時評価検討会 委員名簿

リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業 技術評価に係る省内関係者

リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業 終了時評価の審議経過

目次

	ページ
I. 研究開発課題（プロジェクト）概要	1
1. 事業アウトカム	2
2. 研究開発内容及び事業アウトプット	5
3. 当省（国）が実施することの必要性	6
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップ	7
5. 研究開発の実施・金地面と体制等	8
6. 費用対効果	10
II. 外部有識者（評価検討会等）の評価	
1. 事業アウトカムの妥当性	12
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	13
3. 当省（国）が実施することの必要性の妥当性	15
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップの妥当性	16
5. 研究開発の実施・金地面と体制等の妥当性	17
6. 費用対効果の妥当性	18
7. 総合評価	19
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	20
III. 評点法による評点結果	22
IV. 産業構造審議会評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等	23

**リサイクル優先レアメタルの回収技術開発事業
技術評価結果報告書（終了時評価）**

プロジェクト名	リサイクル優先レアメタルの回収技術開発																							
行政事業レビューとの関係	平成28年度行政事業レビューシート0021																							
上位施策名	<p>主要政策・施策：科学技術・イノベーション 関係する計画、通知等：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「レアメタル確保戦略」（平成21年7月28日、総合資源エネルギー調査会鉱業分科会） ・「資源確保戦略」（平成24年6月27日公表） ・「産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会使用済製品中の有用金属の再生利用に関するワーキンググループ合同会合 中間取りまとめ」（平成24年9月） ・「循環型社会形成推進基本計画」（平成25年5月31日閣議決定） ・「エネルギー基本計画」（平成26年4月11日閣議決定） 																							
担当課室	資源エネルギー庁資源・燃料部鉱物資源課																							
<p>プロジェクトの目的・概要</p> <p>経済産業省・環境省の合同会合にて選定された使用済小型家電製品等からのリサイクル優先5鉱種のうち、タンタル及びコバルトについて、製錬事業者等が市中の使用済小型家電製品等から当該鉱種を回収するための技術開発及び効率的経済的に再資源化するための実証事業を行い、持続的な循環型社会の形成を目指すとともに我が国のレアメタル資源確保に資することを目的とする。</p> <p>分離・回収した部位・部品から有価金属に戻す技術が未確立であるため、本事業による技術開発において、レアメタルを含む部品を細かく破碎することなく 分離・剥離・回収する技術や、回収後にレアメタル濃縮物を得るための酸化焙焼・乾留、物理選別等による元素濃集技術など、レアメタル原料として回収する経済性のあるリサイクル技術の開発を実施する。</p>																								
<p>予算額等（委託） （単位：百万円）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>開始年度</th> <th>終了年度</th> <th>中間評価時期</th> <th>終了時評価時期</th> <th>事業実施主体</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平成24年度</td> <td>平成27年度</td> <td>—</td> <td>平成28年度</td> <td>JOGMEC</td> </tr> <tr> <td>H25FY 執行額</td> <td>H26FY 執行額</td> <td>H27FY 執行額</td> <td>総執行額</td> <td>総予算額</td> </tr> <tr> <td>169 百万円</td> <td>132 百万円</td> <td>76 百万円</td> <td>474 百万円</td> <td>487 百万円</td> </tr> </tbody> </table>					開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体	平成24年度	平成27年度	—	平成28年度	JOGMEC	H25FY 執行額	H26FY 執行額	H27FY 執行額	総執行額	総予算額	169 百万円	132 百万円	76 百万円	474 百万円	487 百万円
開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体																				
平成24年度	平成27年度	—	平成28年度	JOGMEC																				
H25FY 執行額	H26FY 執行額	H27FY 執行額	総執行額	総予算額																				
169 百万円	132 百万円	76 百万円	474 百万円	487 百万円																				

I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
【アウトカム指標】 小型家電に使用されているタンタルコンデンサ及びリチウムイオン電池向け需要量に対するリサイクルによる供給量の向上。		
【アウトカム指標設定の根拠】 エネルギー基本計画において、「金属鉱物の安定供給確保のためには、供給源の多角化に加え、使用済製品から金属鉱物の回収を着実に進める」と記載されているため、リサイクルによる供給量の向上をアウトカムとして設定。		
指標目標値		
事業開始時（24年度）	計画：タンタル回収率：75% コバルト回収率：72%	実績：なし
終了時評価時（27年度）	計画：タンタル回収率：75% コバルト回収率：72%	実績：タンタル回収率：95.8% コバルト回収率：78%
事業目標達成時	小型家電に使用されているタンタルコンデンサ及びリチウムイオン電池向け需要量に対するリサイクルによる供給量の向上	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

I タンタル

従来、廃小型家電製品等をリサイクルする場合、ベースメタル及び貴金属回収が主であることから、前処理として手作業により外装部（筐体）と基板を分離・回収していることが多い。しかし、手作業による基板分離・回収はコスト高となることから、本事業ではPCサーバやルータを対象とし、自動化された機械による解砕により外装部、基板、その他の構成物に分離・回収する技術を開発することとした（テーマ①）。

また、これまで廃小型家電製品等からのレアメタル回収においては、基板を細かく破砕することにより元素濃集を図る手法が多く検討されてきたが、元素濃集率やコスト的な面から実用化へと繋がる技術の開発はほとんど無かった。このため、本事業では、タンタルを多く含むタンタルコンデンサを破砕せずに回収するために、破砕機による実装部品の剥離技術を検討するとともに、実装部品類を基板に固着させているハンダに熱を加えてハンダを溶解し、その後最適な応力を加えて実装部品を分離・回収する技術も検討し、最も効率的な実装部品の剥離技術を開発することとした（テーマ②）。

さらに、気流選別手法などの物理選別技術を用いて、剥離した実装部品からタンタルコンデンサのみを濃縮する技術を開発し（テーマ③）、濃縮したタンタルコンデンサから乾留還元等による加熱

や、タンタルコンデンサ表面の残留樹脂等の除去により、タンタルを回収する技術を開発することとした（テーマ④）。

これらの技術を組み合わせることでタンタル回収の全体プロセスを確立すると主に経済性の評価を行った（テーマ⑤）。

各テーマについて、以下のような成果が得られた。

【テーマ①・テーマ②】 廃小型家電製品等からの基板分離・回収技術の開発・基板からのタンタルコンデンサ剥離技術の開発

複数の破碎機について検討した結果、ハンマクラッシャーやシュレッダー等に比べて、CFS（クロスフローシュレッター）は破碎だけでなく、部品剥離も同時にできる点で優れていた。CFSを用いて、プラスチックルータを室温で一段目破碎をした後、200℃で加熱しながら二段目破碎をすることで、実績値としてタンタル回収率100%を達成した。また同様にPCサーバを原料として回収率96.5%を達成した。

【テーマ③】 タンタルコンデンサ濃縮技術の開発

CFSの二段目破碎後の産物を原料として、トロンメル、振動スクリーン、傾斜弱磁力磁選機、四管式気流選別機で選別することで、全行程の合計で、実績値として実証プラントで回収率96.8%を達成した。

トロンメルでは微粒物の除去、振動スクリーンではタンタルコンデンサ濃縮群のみ回収、傾斜磁力磁選機では強磁性素子、円筒形素子などの除去、四管式気流選別機では比重選別によるタンタルコンデンサ濃縮が可能である。

【テーマ④】 タンタルコンデンサからのタンタル回収技術の開発

焙焼炉を用いてタンタルコンデンサを酸化焙焼して得られた焼結体を表面洗浄、粉碎、二酸化マンガンの除去をすることで高純度五酸化ニタンタルを得ることができる技術を開発した。

実証試験で簡易焙焼炉を用いたとき、回収率99.0%、品位99%以上と目標値には届かなかったものの、総合回収率を考えると十分な実績値であると考えられる。

【テーマ⑤】 経済性評価の実施及び全体プロセスの確立

①から④までを組み合わせることで確立したプロセスにおいて、実績値としてプラルータからのタンタル総合回収率95.8%を達成した。

またPCサーバにおいては総合回収率92.5%、金属ルータにおいては総合回収率95.8%の結果を得た。

II コバルト回収

小型家電製品等から回収したリチウムイオン電池は、焼却、破碎、磁力選別、篩などを組み合わせたプロセスによりコバルトを濃縮することは可能ではあるが、国内ではコバルト純度やコスト的な問題からコバルト濃集物から金属コバルトは回収されず、コバルト濃集物は海外へ流出することが多い状況である。

しかし、廃正極材から湿式プロセスによるコバルト分離回収技術はある程度確立してきていることから、既存の廃正極材からコバルトを回収する湿式コバルト回収フローに適したコバルト濃集物をリチウム電池等から得る濃縮技術を確立することにより、国内におけるコバルト循環が達成されることが期待できる。

本事業では、廃小型家電製品等から回収される廃リチウムイオン電池を出発物質として、焙焼、破碎、篩分け、磁選等の物理選別により、後段の湿式コバルト回収フローにおいてコバルトを高率で回収できる成分構成を有するコバルト濃縮物を得る技術を開発することとした（テーマ①）。

また、従来の湿式コバルト回収フローに導入するコバルト濃縮物中の不純物（Al、Fe、Cu等）の影響によるコバルト回収への影響を調査し、湿式コバルト回収フローの改善を行うこととした（テーマ②）。

さらに、小型家電製品中にリチウムイオン電池が組込まれ一体化している廃小型家電製品から廃電池を回収することが、将来的に必要なと考えられることから、電池一体型小型家電製品等に多く利用されているラミネート型リチウムイオン電池の効率的な回収技術の開発も行うこととした（テーマ③）。

これらの技術を組み合わせてタンタル回収の全体プロセスを確立すると主に経済性の評価を行った（テーマ④）。

【テーマ①】物理選別によるコバルト濃縮技術の開発

物理選別による携帯電話用廃リチウムイオン電池（L I B）からのコバルト濃縮を行った。

廃L I Bを二段焙焼＋浮選＋湿式勾配磁選または単段焙焼＋浮選＋湿式テーブル選別により、回収率85%、コバルト－アルミニウム分離効率64%でコバルトを濃縮分離する技術を確立した。

【テーマ②】コバルト濃縮物からのコバルト回収技術の開発

コバルト濃縮物を硫酸浸出、脱Fe、脱Al、脱Ni吸着除去、コバルト電解採取により、回収率92%を達成した。

硫酸浸出液の酸化・中和による脱Fe、脱Al工程では、脱Alした後、FeとAlを中和沈殿させることで、コバルトロス低減できる。

【テーマ③】ラミネート型リチウムイオン電池からのコバルト回収技術の開発

①、②で検討したL I Bの処理を、ラミネート型のL I Bに適用しても問題ないことが分かった。

【テーマ④】経済性評価の実施及び全体プロセスの確立

物理選別工程と湿式処理工程の連携により、コバルト回収率78%を達成した。

このとき、物理選別工程では、二段焙焼＋浮選＋湿式勾配磁選または単段焙焼＋浮選＋湿式テーブル選別により、コバルト回収率85%である。また湿式処理工程では、硫酸浸出、浄液（Fe、Al、Ni除去）、電解採取することでコバルト回収率92%である。

(2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
<p>実施する研究テーマ数として9テーマをアウトプット指標として設定した。 研究テーマの設定に当たっては、使用済小型家電製品等からの具体的なレアメタル回収フローを検討したうえで、必要な個別技術開発要素を抽出した。</p> <p>I タンタル回収技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ①廃小型家電製品等からの基板分離・回収技術の開発 ②基板からのタンタルコンデンサ剥離技術の開発 ③タンタルコンデンサ濃縮技術の開発 ④タンタルコンデンサからのタンタル回収技術の開発 ⑤経済性評価の実施及び全体プロセスの確立 <p>II コバルト回収技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ①物理選別によるコバルト濃縮技術の開発 ②コバルト濃縮物からのコバルト回収技術の開発 ③ラミネート型リチウムイオン電池からのコバルト回収技術の開発 ④経済性評価の実施及び全体プロセスの確立 		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（24年度）	計画：9テーマ タンタル回収目標 ①90% ②93% ③90% ④99.5% ⑤75%（総合回収率） コバルト回収目標 ①80% ②90% ④72%（総合回収率）	実績：なし
終了時評価時（27年度）	計画：9テーマ タンタル回収目標 ①90% ②93% ③90% ④99.5% ⑤75%（総合回収率） コバルト回収目標 ①80% ②90% ③－（設定せず） ④72%（総合回収率）	実績：9テーマ タンタル回収実績 ①+②100% ③96.8% ④99.0% ⑤95.8%（総合回収率） コバルト回収実績 ①85% ②92% ③－ ④78%（総合回収率）

(3) 研究開発成果及び成果の公表状況

<共通指標実績>

特許等件数 (出願を含む)	論文発表件数	学会発表件数	学術講演数
8	5	56	59

※ 学会発表件数・学術講演件数には研究開発成果の一部の引用を含む。

<国民との科学・技術対話の実施などコミュニケーション活動>

JOGMECが実施している成果報告会において、事業実施状況を報告した。

- ・平成25年9月5日 平成25年度第4回金属資源関連成果発表会
- ・平成26年7月8日 平成26年度第4回金属資源関連成果発表会
- ・平成28年5月23日 平成28年度第1回JOGMEC金属資源セミナー

また、各研究機関による学会などでの研究内容の発表、各事業者による論文発表やシンポジウム等での本研究成果を含む学術講演などを行っている。

- ・平成28年9月27日 E-scrap シンポジウム2016（東京大学生産技術研究所）
- ・平成28年12月12日 サステナブル理工学研究センターシンポジウム（東北大学多元物質科学研究所）

3. 当省(国)が実施することの必要性

レアメタルは、自動車、IT製品をはじめとする高付加価値・高機能製品に必須の素材であり、その安定供給は、我が国製造業の国際競争力の維持・強化において極めて重要である。しかし、資源国の資源ナショナリズムの台頭や一部の国による輸出抑制等国家管理が強化される等、我が国のレアメタル等の鉱物資源の供給確保を巡る環境は激変しており、レアメタルの安定的な供給確保は我が国にとって急務の課題となっている。

そのような中、「使用済み小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会」（平成20年～22年）において、リサイクルの検討優先鉱種として14鉱種、うち小型家電からリサイクルすべき鉱種として5鉱種（タンタル、コバルト、タングステン、ネオジウム、ジスプロシウム）を選定したところ。特にタンタルやコバルトは、コンゴなどカントリーリスクの高い地域からの輸入が多く、資源の安定供給確保の観点から、小型家電からのレアメタル回収技術の確立が重要となっている。

また、使用済み家電の処理は、社会構造的な理由もあり処理場が自治体ベースに分割されているため、大規模な機材を導入することが出来ず、手解体での処理となっているのが現状であり、民間企業では技術開発が進まない状況にある。

そのため、大規模な回収・処理システムを確立するためにも、国が率先して汎用性の高い回収・処理技術を構築することが、効率的なリサイクル制度の確立のために必要であり、また、資源の安定供給の観点からも重要である。

なお、小型家電のリサイクルについては、「使用済み小型電子機器等の再資源化の促進に関する法律」が平成25年4月に施行となり、より一層のリサイクルが期待されているところ、その回収・処理

技術の確立の重要性は増しているところである。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

本事業においては、事業最終年度におけるタンタル・コバルト回収率をアウトカムとして設定し、平成24年度から平成27年度の4年にわたり、年度毎に前述した9つのテーマを検討した。最終年度の平成27年度において、タンタル及びコバルトの所要の各工程の回収率を検証したところ、総合回収率はタンタルが95.6%、コバルトが78%といずれも目標を上回る成果を上げ、新たなリサイクル手法の要素技術を確立することが出来た。

これらの成果は、

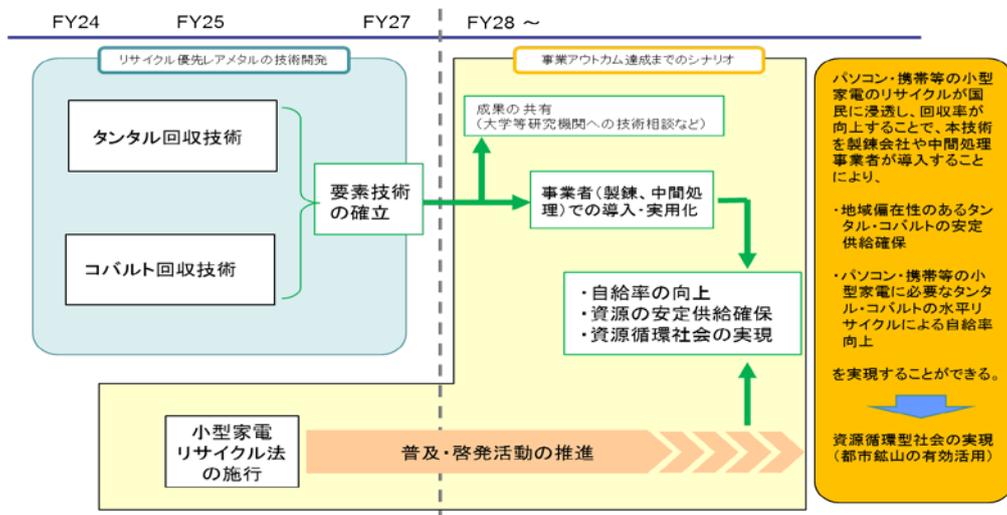
- ・ 中間処理業者における基板分離・回収技術、基板からの電子素子剥離技術、気流選別技術の導入（選別の自動化）
- ・ 中間処理業者により多量に集められたタンタルコンデンサからのタンタル回収
- ・ 既存のコバルト回収設備への個別技術の応用

などとして事業化が考えられる。

本事業において、タンタル回収に関しては実際に廃棄されたPCサーバやルータ、コバルト回収に関しても使用済みリチウムイオン電池をサンプルとして使用しており、事業化においては多量の使用済み小型電子機器を扱うといった違いはあるものの、技術的には十分に実証が済んでいるものと考えられる。また、本事業は大学等研究機関による研究が多く、これら研究機関が有するノウハウを技術相談等により関連業界に成果を共有できることが期待される。

さらに、平成25年4月に小型家電リサイクル法が施行されたことにより、これに基づく普及・啓蒙活動と合わせ、今後小型家電の回収量増加が見込まれるため、これを二次原料とする中間処理業者や製錬業者を中心に本技術開発の成果が活かされ、導入・実用化されていくものと考えられる。

このように、パソコン・携帯等の小型家電のリサイクルが国民に浸透し、回収率が向上することで、本技術を製錬会社や中間処理事業者が導入・実用化により、地域偏在性のあるタンタル・コバルトの安定供給確保、パソコン・携帯等の小型家電に必要なタンタル・コバルトの水平リサイクルによる自給率向上を実現することとなり、資源循環型社会の実現（都市鉱山の有効活用）の一助となるものである。



5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

1) 研究開発計画

研究開発計画の策定にあたっては、2. 研究開発内容及び事業アウトプット（1）研究開発内容で示したとおり、アウトカム達成のために全体の回収フローを個別技術に分けて、要素技術の開発を行うこととし、最終的に個別要素技術を組み合わせてプロセスの評価を行った。

2) 研究開発実施者の実施体制

本技術開発は、平成24年に経済産業省が公募を実施し、厳正かつ公平な審査を経て、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が採択され、経済産業省は同機構と委託契約を締結した。

JOGMECは以下に示すような類似事業の実施実績があり、研究開発実施者として適格であると判断された。

<事業実績1>

事業名：エネルギー使用合理化製錬リサイクルハイブリッドシステム開発

事業概要：非鉄金属製錬施設・技術を活用し、使用済み自動車の廃二次電池及びシュレッダーダストからの有価金属回収技術を確立するとともに、生成するスラグの品質を再利用可能な水準に高める技術を開発する。

実施年度：平成14～18年度

発注者：経済産業省資源エネルギー庁鉱物資源課

<事業実績2>

事業名：エネルギー使用合理化希少金属等高効率回収システム開発

事業概要：廃小型電子・電気機器からエネルギー負荷を抑えた効率的な破碎・物理選別によりレアメタル濃集物を得ると共に、レアメタル濃集物から化学的手法により効率的にレアメタルを回収する技術を開発する。また、廃超硬工具については、現状のタングステンリサイクルフローよりコストや環境負荷の低減が図れる効率的な化学的リサイクルフローを確立する。

実施年度：平成19～22年度

発注者：経済産業省資源エネルギー庁鉱物資源課

<事業実績3>

事業名：希土類金属等回収技術研究開発事業

事業概要：産業廃棄物として処分されている廃研磨材より不純物を効率的に除去し、低コストで研磨材を再生することによりレアアースをリサイクルする技術を開発する。また、再生蛍光体としてリサイクルされている廃蛍光体をあらゆる用途へのリサイクルが可能となる様、廃蛍光体から各レアアース元素を分離・抽出する技術を開発する。

実施年度：平成21年度～平成24年度

発注者：経済産業省資源エネルギー庁鉱物資源課

<事業実績 4 >

事業名：エネルギー使用合理化低品位鉱石・難処理鉱石に対応した革新的製錬プロセス技術開発

事業概要：近年、銅製錬や亜鉛製錬に供給される精鉱が、低品位化・微細化してきており、それらを使用することにより製錬所でトラブルが発生している。そのため銅製錬プロセス系内の煙灰から不純物（砒素）を分離し、安定なスコロダイトを生成する技術を開発すると共に、微細化した亜鉛精鉱を 100% 供用しても酸化焙焼が均質に進み安定操業が可能となる技術を開発する。

実施年度：平成 21 年度～平成 24 年度

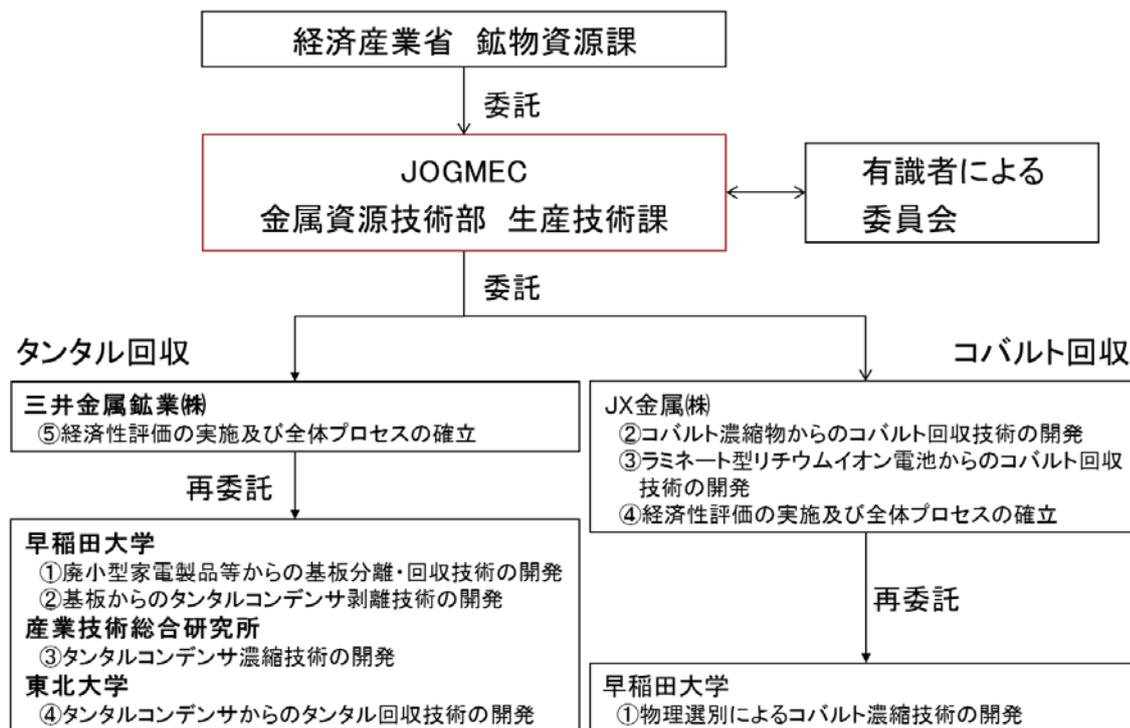
発注者：経済産業省資源エネルギー庁鉱物資源課

JOGMEC は、「廃小型家電製品からのタンタル回収技術開発」及び「廃小型家電製品からのコバルト回収技術開発」の 2 つのテーマについて公募を実施し、同機構内での厳正かつ公平な審査を経て、前者は三井金属鉱業株式会社が、後者は JX 金属株式会社が採択された。両社とも非鉄製錬所を所有し、非鉄金属のリサイクル回収を積極的に行っている企業である。

「廃小型家電製品からのタンタル回収技術開発」については、三井金属鉱業株式会社が、「廃小型家電製品等からの基板分離、回収技術開発・基板からの実装部品剥離技術開発」、「タンタルコンデンサ濃縮技術開発」及び「タンタルコンデンサからのタンタル回収技術開発」の 3 つの技術開発について、それぞれ早稲田大学、産業総合研究所、東北大学に再委託を行った。

「廃小型家電製品からのコバルト回収技術開発」については、JX 金属株式会社が、「物理選別によるコバルト濃縮技術開発」について早稲田大学に再委託を行った。

以上のように、非鉄金属リサイクル技術開発に実績を有する JOGMEC のもと、リサイクル事業を実施している企業とリサイクル研究に実績を有する研究機関が事業に参画し、産官学が連携した事業実施体制を構築した。



事業実施体制

3) 資金配分

本事業における平成24年度から27年度の資金の流れの推移を下表に示す。各技術開発課題の進捗は順調であったことから、資金配分は適当であったと考えられる。

	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	合計
タンタル回収技術					
三井金属鉱業	72	116	85	41	314
うち早稲田大学	13	13	13	14	53
うち産業技術総合研究所	8	9	14	14	45
うち東北大学	1	3	3	3	10
コバルト回収技術					
JX 金属	22	46	46	35	149
うち早稲田大学	3	8	9	6	26

(契約額、単位：百万円)

4) 知財の取り扱い

JOGMECから三井金属鉱業(株)とJX金属(株)に対する委託契約においてバイドール条項を盛り込み、技術開発の成果を、実際に非鉄金属リサイクル事業を行っている企業が活用できるようにした。

6. 費用対効果

I タンタル回収

小型家電の例として、パソコン及び移動電話(携帯電話・スマートフォン等)が挙げられるが、パソコンでは2.32g/台、移動電話で0.081g/台のタンタルが使用されているとの推定がある(※1)。

国内の2014年度のパソコンの出荷台数は919万台、移動電話の出荷台数は2192万台と見積もられており(※2)、上記のタンタル使用量から、国内出荷のパソコン及び移動電話に含まれるタンタル量はそれぞれ21トン及び2トンで、合計23トン/年のタンタルが使用されていると推定される。

一方、2014年度の使用済みパソコンの回収実績は59万台(出荷台数に対する割合は6%)(※3)、移動電話の回収実績は619万台(同28%)で(※4)、回収された使用済みパソコン中のタンタル量は1.4トン、移動電話で0.5トン、合計で1.9トンと推計される。

したがって、回収された使用済み小型家電を本技術開発によりタンタル回収した場合のタンタル回収量は1.9トン×95.8%(技術開発実績)=1.8トンとなり、パソコン・移動電話の国内需要量の8%程度に相当する。

また、小型家電リサイクル法の施行に伴い、使用済み小型家電の回収率が上がれば、更なるタンタ

ル回収が見込まれる

さらに、本技術開発で得られたフローはタンタルコンデンサだけでなく、他の電子素子の回収にも応用できるものであるとともに、廃電子基板を銅製錬に投入するに際して、銅製錬忌避元素の低減にも応用が可能である。したがって、本技術開発の成果は使用済小型家電からの金属回収に非常に効果的なものである

II コバルト回収

携帯電話のリチウムイオン電池の重量は40g/個、そのコバルト含有量は12.1%と仮定する(※1)。

国内携帯電話出荷台数と同数のリチウムイオン電池が出荷されているとすると、2014年度の携帯電話向けリチウムイオン電池用のコバルト需要量は2192万個×40g/個×12.1%=106トンと推計される。

一方、2014年度の携帯電話の電池回収実績は994万個(※4)のため、回収された携帯電話用リチウムイオン電池のコバルト量は994万個×40g/個×12.1%=48トンと推計される。

回収されたリチウムイオン電池を本技術開発により回収した場合のコバルト回収量は48トン×78%(技術開発実績)=37トンとなり、二次電池へのコバルト需要量の35%程度に相当する。

リチウムイオン電池は携帯電話等以外にもデジタルカメラなどにも使用されており、使用済小型家電の回収率が上がれば、更なるコバルト回収が見込まれる。

(※1) 平成23年度レアメタルリサイクル実態調査

(※2) (一社) 電子情報技術産業協会

(※3) (一社) パソコン3R推進協会

(※4) モバイル・リサイクル・ネットワーク

II. 外部有識者（評価検討会等）の評価

1. 事業アウトカムの妥当性

資源に乏しい我が国にとって、国内産業へのレアメタル資源の安定供給は不可欠である。そのためのリサイクル技術の確立・保持は、循環型社会形成のみならず国際競争力の観点からも重要であり、リサイクルによる供給量の向上と数値目標である回収率というアウトカム指標は妥当である。また、本事業は、リサイクルが容易でない小電製品中のタンタル、コバルトの回収に焦点を当てた重要なテーマであり、エネルギー基本計画に述べられた政策の方向性とも合致している。

一方、将来リチウムイオン電池は電気自動車等にも多量に使用されると考えられ、コバルトを含むこれらのリサイクル方式につながる検討も必要である。また、レアメタルの価格は国際的な市況の影響を受けやすいなど、前提条件が大きく変わる可能性があることを意識すべきであり、対象物の回収方法や処理コストなど社会実装の可能性といった論点があれば、より明確なアウトカムが描けたのではないかと考えられる。

【肯定的所見】

- ・（A委員）日本独自の物理選別と熱処理で小型家電用タンタル、コバルトの回収技術方式を提案しており、今後日本におけるタンタルとコバルトのリサイクルは進むものと思われる。
- ・（B委員）アウトカムの設定時の実収率などは非常に明確な技術開発目標であったと思う。また、技術がなければ回収できないという見地に立てば、技術を示せたことにより、日本経済や、国際競争力などに関して、大きなインパクトはあった。
- ・（C委員）資源に乏しい我が国にとってレアメタル資源確保に資する技術の確立・保持は、循環型社会形成のみならず国際競争力の観点からも重要であり本事業で目指すアウトカムは妥当といえる。なお、こうした資源リサイクル技術は、技術が確立すれば自動的に社会実装されるものではなく、資源国のカントリーリスクを含む資源価格等の外部環境、リサイクルシステムの整備状況等によって実用化タイミングが左右されるものと認識する。ニーズが生じたときに「すぐに使える状態で技術を保有している」ことが重要であり、目標値や達成時期の設定が困難である点に配慮が必要だろう。その意味では、本事業のアウトカム指標がリサイクルによる供給量の向上、と定性的な表現にとどまる点は仕方がないものとする。今後、事業アウトカムを発現するためには、上述の通り、より使い勝手のよい技術をいつでも使えるように維持し続けることが必要となる。こうした技術維持の努力が担保されることを前提として、以下評価を行う。
- ・（D委員）本事業は、リサイクルが容易でない小電製品中のタンタル、コバルトの回収に焦点を当てた重要なテーマである。エネルギー基本計画に述べられた政策の方向性とも合致している。資源に乏しい我が国が総力戦で挑むべき課題と言っても過言ではなく、将来の資源政策、資源確保に寄与する基幹的な取組として重要な事業だと評価する。目標としたアウトカムと整合した成果が得られた点も評価できる。
- ・（E委員）資源小国の我が国にとって、自動車やIT機器をはじめとした国内の基幹産業へのレアメタル資源の安定供給は不可欠であり、本事業のレアメタルの回収とリサイクル技術の開発は重要かつ優先されるべき課題である。また、本事業は、リサイクルによる供給量の向上と数値目標である回収率という明確な事業アウトカム指標を立てている。さらに資源国の資源ナショナリズムの考え方が台頭してきている現在において、本事業で開発された技術のアウトカムが

実現した場合、我が国の資源外交とその交渉に貢献でき、日本経済や国際競争力に与える効果を有することが期待される。これらのことから事業アウトカムは妥当と判断できる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) 近年は大容量のタンタルコンデンサも必要であるが、積層型コンデンサの利用も増加し事業の集約化が必要である。市場規模の予測として、将来リチウムイオン電池は電気自動車等にも多量に使用されると考えられコバルト使用量と各種金属混合物が変化するのでこれらのリサイクル方式につながる検討も必要である。CO₂削減の計算は難しいものがあり、将来を期待したい。
- ・(B委員) アウトカムを設定した時点から前提条件が大きく変わる可能性のあることを強く意識しなかったことが改善すべきかと思う。具体的には、この事業アウトカムは、対象物が集められることを前提に設定されているが、対象物が集まるような社会システムや経済状態があつて初めて、最大の効果を出せるという前提が崩れると評価が困難になる、などである。
- ・(D委員) アウトカム指標がやや漠然としすぎるきらいはあるが、事業として目指すべき方向性・出口は理解できる。このようなスキームでの研究開発事業はこれまで希有であったことから、推進したこと自体を高く評価する。ただし、成果（アウトプット）の波及効果、社会実装の可能性など、応用面まで踏み込むような論点があればより明確なアウトカムが描けるのではないかと考えられる。
- ・(E委員) レアアースショックで我が国が経験したように、レアメタルの価格は国際的な経済状況や材料開発の進展に左右され易く、本事業のアウトカムの達成時期は不明確になりやすい。アウトカムの達成時期を明確化するためにも、現行のレアメタル価格に基づいた処理量、処理コスト、回収率の推算や、処理量を定めた場合の使用済み製品の回収システムの構築なども提言していく必要がある。

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

対象鉱種は供給リスクの高い優先5鉱種のレアメタルのうち、当時リサイクル技術の確立が進んでいなかった2鉱種を対象としており、研究開発内容については妥当である。また、目指すべき技術開発の流れ、要素技術の特徴や新規性が明示されており、定量的な分かりやすいアウトプット指標が示されている。

一方で、多様なリサイクル原料に応じた汎用性や応用面など技術の広がりを考慮した考察や、副次的に回収される他の有価金属の価格も考慮したコスト評価なども必要である。また、実用化に向けた技術の波及効果を促すための社会的な情報発信、例えば学会発表や学術論文の発表、プレス発表など情報開示の手段が不明瞭である。

【肯定的所見】

- ・(A委員) 8件の特許が提出され特にタンタルの回収は技術的に優位である。
- ・(B委員) 対象は、国の委員会で決めた回収されるべきレアメタルのうちの2種であり、当時、明確な処理方法がなかったことを考えると、研究開発内容については妥当であったと考える。少

なくとも他国に対しては技術的な優位性は示せていると考える。アウトプットの目標も当時としては概ね妥当と考える。

- ・(C委員) 既に小型家電リサイクル工場等で明確になっている課題への対応であり、開発要素は明確であったと考える。回収率という非常に明確な事業アウトプット指標が設定されている目標値を上回る回収率を達成されている。なお、論文発表等については、技術の性質上必ずしもフルオープンにすることが得策とは考えにくいと、重要な評価指標とは認識しない。ただし、前述の通り、本事業で確立した技術を維持し続ける技術／ノウハウ伝承は関連機関内で進められるものと期待する。
- ・(D委員) 事業のアウトプットおよびその指標・目標が明確に掲げられており、目指すべき技術開発の流れ、要素技術の特徴や新規性が明示されている。目標達成のために行われた研究開発や試験内容が体系的に述べられ、定量的な表現を重視したわかりやすいアウトプットが示されている。
- ・(E委員) 本事業は安定供給へのリスクが高い鉱種であるが、リサイクル技術の確立が進んでいないタンタルとコバルトを対象としたリサイクル技術の開発であり、技術的優位性および市場規模とシェアのうえで経済優位性のある研究開発の内容である。事業アウトプットの目標値として設定された各テーマの回収率とその総合の回収率は達成されている。さらに論文発表や特許出願も実施されていると判断できる。

【問題あり・改善とする所見】

- ・(A委員) 国際標準の形成は難しく、さらにコバルトの回収率を上げることを期待する。論文発表数はまだ少なく、今後の増加を期待する。
- ・(B委員) 一方で、本テーマは、前項でも述べたように、開発のアウトカムは達成できても、アウトプットが十分に出せるかは、資源価格や製品への使用量、様々な社会制度が大きく影響する。このような状況をプロジェクト開始時にどのように考慮しておくかは、大きな課題であると思う。
- ・(C委員) こうしたリサイクル技術の使い勝手は、コスト次第であり、目標値としてコスト面に言及してもよかったのではないかと。(結果をどこまでオープンにするかは別として)
- ・(D委員) 個別の要素技術はわかりやすいが、多様なリサイクル原料に応じた汎用性や応用面など技術の広がりや考慮した成果・考察が弱い。条件を限定した研究開発、数値達成に留まっている感が否めず、波及効果を及ぼすような技術の積み重ね、実用化への筋道を描くことが必要である。開発された技術の社会的な情報発信、例えば学会発表や学術論文の発表、プレス発表など情報開示の手段が不明瞭であり(情報として不十分)、社会・国民一般が目にする機会があったのか疑問が残る。
- ・(E委員) 事業アウトプットの目標値として設定された総合の回収率は、現在の需要量に対するリサイクルによる供給量を設定して掲げた値であると判断できるが、テーマ毎の回収率の妥当性の説明が必要かもしれない。タンタルとコバルトのみの回収では経済性を得ることが出来なかったようだが、対象とした使用済み小型家電には他の有価金属も含まれており、他の有価金属の回収も考慮して本リサイクルの経済性を判断する必要もある。

3. 当省(国)が実施することの必要性

タンタル・コバルトの回収技術は、我が国の強みである電気・電子・通信機器等の産業に不可欠なものであり、その回収技術の確立は重要であるが、技術的課題も多く各種研究機関の協力が必要であり、現時点では必ずしも市場原理に基づくインセンティブが働かないことから、国が実施する意義は大きい。

一方で、個別の要素技術が確立できたとしても、その機能・役割を十分に発揮させるため、収集方法と処理場所の最適化や国民の認知度の向上など、経済状態等に左右されない社会システムの確立も実施すべきである。

【肯定的所見】

- ・(A委員) タンタル、コバルトの回収技術においては各種研究機関の協力が必要で国の長期に渡る補助が重要である。現状では市場原理に基づくことが難しく、将来価格の高騰や供給量減少の可能性があり国が実施する必要がある。
- ・(B委員) 本案件は、少なくとも明確に評価項目・評価基準の②、⑤に当てはまるもので、国が実施することの必要があったと考える。
- ・(C委員) 前述の通り、本事業によるアウトカムは長い目で見て我が国における循環型社会形成並びに国際競争力等にプラスになる内容であることに間違いなく、また、現時点では必ずしも市場原理に基づくインセンティブが働かない内容であることから国が実施することの必要性は明らかである。
- ・(D委員) 当該事業のように、我が国の資源政策と合致するような取組・事業は国(担当省)が率先して先導すべきであり、高度なリサイクル社会の実現に向けて、社会制度(システム)と相乗効果を発揮するような取組が期待される。
- ・(E委員) 本事業で対象としたタンタルとコバルトは、高付加価値や高機能を有する小型家電に不可欠な金属であり、我が国の強みである電気・電子・通信機器などの産業における製品製造と国際競争力の維持・強化を考えるうえで重要な課題である。しかしながら技術的課題と市場原理の観点から民間企業のみでは十分な研究開発が実施し難いため、国としてプロジェクトを実施する意義は大きい。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) タンタルコンデンサおよびリチウムイオン電池の収集方法と処理場所の最適化が必要であった。
- ・(B委員) 本開発は技術的なものであるが、これが国にとって必須であるのであれば、経済状態などにも左右されない社会システムなどの確立も並行して実施すべきと考える。
- ・(D委員) 個別の要素技術、制度ができたとしてもその機能、役割を十分に発揮させる具体的な方策が必要である。その動力源になるためにも、国(担当省)によるもう一歩踏み込んだ取組が期待される。個別の技術開発は、産業界や大学等の研究機関である程度進めることができる。ただし、国民の認知度を含めた社会的な活動を推進するためには国の役割(旗振り)が必要不可欠である。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

アウトカムの達成時期は、国際的な資源価格や経済状況、材料開発などの外部環境の影響を受けやすく明確化は困難であるが、開発した要素技術を中間処理事業者や製錬企業へ導入するための技材管理の取組や、小型家電リサイクル法の普及・啓蒙による回収制度の確立という観点では妥当である。

一方で、目標達成には小型家電の回収率の向上が不可欠であり、そのための制度構築が重要である。また、時系列として挙げるべき目標などが少し不明瞭であり、ロードマップとして求められる論点が希薄に感じられるため、現実的には難しい指標ではあるが、もう一步踏み込んだ説明が望まれる。

【肯定的所見】

- ・(A委員) タンタルおよびコバルトの回収率が計画され、良好に達成されている。
- ・(B委員) この開発が、E-Waste から効率よく対象物を取り出し、選別して原料レベルに精製するという範囲内であれば、この中でのロードマップは妥当であると思う。
- ・(C委員) 1. に示したとおり、資源価格等の外部環境によって技術に対するニーズが突発的に高まる可能性があり、ロードマップの想定が非常に困難であるほか、事業アウトカムの達成時期による目標値達成見込みにくいものと理解する。市況等の外部環境に応じていつでも日本の強みとしてこうした技術を使うことが出来るよう戦略的な知財管理等を行うことが必要。
- ・(D委員) レアメタル自給率の向上など関連するシナリオが描かれている点はわかりやすい。また、水平リサイクルの可能性、関連法との関係や循環型社会の実現に向けた提言まで言及されている点は評価できる。
- ・(E委員) 本事業のアウトカムの達成時期は、国際的な経済状況や材料開発の進展に左右され易く、明確化は困難である。しかしながら、本事業で開発された要素技術を中間処理事業者や製錬企業へ導入するための知財管理の取り扱いと仕組み、小型家電リサイクル法の普及と啓蒙活動の推進と小型家電の回収制度の検討などを考えて作成されたロードマップは妥当である。

【問題点・改善とする所見】

- ・(A委員) 処理法の国際標準化への取り組み対策、成果技術を利用したユーザーの広がりを期待する。
- ・(B委員) 技術開発の前提条件の問題は先に述べたが、このプロジェクトで得られた産物が、十分に二次原料として使えるかの評価は、化合物で取引される五酸化タンタルでは行ってみた方が良かったのではないかと（ニッケルはメタルなので明確に基準がある）
- ・(C委員) 実用化に向けた取組としては、市況等操作不能な外部要因もある一方で、小型家電等リサイクルシステムの整備も必要。対象製品が集まってこそそのリサイクル技術であり、技術開発と平行して制度構築（と確保）が求められる。（実施者に対して、というより国に対しての留意点）
- ・(D委員) 時系列として挙げるべき目標や社会実装への指針など、具体的な部分がやや不明瞭で、折角の技術開発がどのようにすれば有効利用できるのか、アウトカムで論じた目標はいつ頃達成できるのか（見込みがあるのか）など、ロードマップとして求められる論点がやや希薄に感じる。現実的には難しい指標ではあるが、もう一步踏み込んだ説明が望まれる。

- ・(E委員) 本事業で開発された要素技術を中間処理業者や製錬企業へ導入するためには、小型家電リサイクル法の国民への浸透による小型家電の回収率の向上が不可欠である。また中間処理業者は中小企業が多いため設備導入のための施策も必要となろう。

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

実施体制については、将来的に事業を担う可能性のある非鉄金属事業者が参加しており妥当である。また、知財や資金配分の取扱いなど、関係者間で適切に行われたと判断できる。

一方で、社会への情報発信や、アウトカム達成までの間の研究成果のブラッシュアップなどの継続性が十分には示されていない。

【肯定的所見】

- ・(A委員) 担当者は各種事例研究を行っており計画を含めた体制は妥当である。
- ・(B委員) 現状ではベストの体制であったと考える。知財に関して、この開発は逆に世間一般が広く利用することが理想的であるので、重要度は低いので、評点は低くしているが、問題ないと思う。
- ・(C委員) 研究開発の実施者、実施体制等については、JOGMEC を中心として将来的に事業を担う可能性のある非鉄金属事業者が参加しているほか、本技術分野で高い技術力を有する大学等が連携しており、申し分ないものと評価する。知財については非鉄金属リサイクル事業者での活用を可能にする扱いを明確にしている。
- ・(D委員) 研究の実施体制は我が国を代表する機関によって構成されているため、十分な機能・推進力が発揮されたと考えられる。学会等での発表、資金配分、知財の取り扱いも関係者間で適切に行われたと判断する。
- ・(E委員) リサイクルの課題となっている解体・分別の中間処理と製錬・精製技術の研究開発を計画しており、その実施者と実施体制は事業終了後のアウトカム達成を容易にする国内企業であり、学側を含めて的確であり、資金配分も適切と判断できる。また、本事業のマネジメントを行った JOGMEC は研究開発の方向と内容を熟知しており、最適なマネジメント体制で本事業は実施されている。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) 公募においては応募者数も示し、一者応札でないことも示したほうがよい。何に使用されたか資金配分内容も簡単に示したほうが分かりやすい。
- ・(C委員) 事業終了後、事業アウトカム達成までのロードマップが不透明なこともあり、この間の開発成果ブラッシュアップ・維持の体制についてはあまり明確とは評価できない。
- ・(D委員) 研究推進体制は問題ないが、社会への情報発信（一部の関係者の間で閉じられていないか）に加え、技術を中心に成果の取り扱いや事業アウトカムを達成するまでの活動、継続性が十分に示されていないように感じる。得られた成果（技術）をどう使うかが重要である。
- ・(E委員) 事業終了後における事業アウトカム達成を考慮すると、小型家電の解体・分別を行う中間処理業者および回収されたレアメタルを製品化する企業も加えた実施体制を今後検討する必要がある。

6. 費用対効果の妥当性

レアメタルの重要性や技術開発の内容などを考えた場合、これまでリサイクルされてこなかった背景を踏まえると、アウトプットに対する費用対効果は妥当である。現在の市場価格が維持され、社会的に回収が進む場合、広く利用されることでより妥当なものとなる。

一方、リサイクルの現状を考えると、もう一歩進んだ技術改善や回収コスト低減が望まれる。また、回収利益は市場価格にも依存するため、情勢が変わった場合に、この技術をどう活かすかということが重要である。さらに、市況による影響が大きいいため、現在の市況では必ずしも費用対効果が大きいとはいえないが、いずれ我が国の国際競争力確保上、投入資源以上の価値を発揮する可能性を秘めている。

【肯定的所見】

- ・(A委員) リサイクル目標が達成されている。
- ・(B委員) 技術開発をして、機器も製作するものであり、開発に関して、額的にも大きな違和感はない。仮に対象物の価格が維持され、社会が回収に向かうのであれば、広く利用されてより妥当なものになったと考える。
- ・(C委員) レアメタル市況に応じて技術ニーズが大きく変動するため、費用対効果を評価するのは困難。現在の市況を想定すると必ずしも大きな費用対評価があるとはいえないが、いずれ我が国国際競争力確保上投入資源以上の価値を発揮する可能性を秘めている。
- ・(D委員) 国内におけるタンタル、コバルトの回収やリサイクルの可能性が数字を挙げて示されており、本事業の位置付けがわかりやすく示されている。数字上はもっと高いレベルまで求めるべきだと思うが、今まで十分リサイクルされてこなかった背景を考えると十分に評価できる。
- ・(E委員) 本事業で対象としたレアメタルの重要性、技術開発の内容とアウトプットの目標値の達成度を考えた場合、本事業のアウトプットに対する費用対効果は妥当と判断できる。さらに本事業は、潜在している資源リスクや我が国の産業構造に基づいた日本経済や国際競争力に与える効果も大きく、事業アウトカムに対する費用対効果も妥当である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) 使用総額に対して、タンタルとコバルトの回収で得られる利益は少ないが、レアメタル価格にも依存し、将来の効果に期待する。
- ・(B委員) アウトプットに関しては想定道理ではないため、前述してきたが、情勢が変わった場合に、これを別の手段で活かすかどうかの議論は、費用の有効利用を考えても、別途あってもいいと思う。
- ・(D委員) 今までになかった統括的なレアメタル回収プロセスを構築した点を高く評価する。ただし、リサイクルの現状を考えるともう一歩進んだ技術改善や回収コストの低減が望まれる。また、技術の広がりを考えると、波及効果、社会実装の可能性を一段引き上げることが必要であり、それができれば費用対効果もより一層向上すると考えられる。

7. 総合評価

これまで回収されていなかったタンタルとコバルトに着目し、回収技術を確立することは、鉱物資源の安定供給確保の観点からも重要であり、事業開始当時の世界的なレアメタルショックに対して技術的な解決にトライし、具体的なプロセス提案まで至った点は高く評価できる。また、市況等の影響が大きい社会実装までのロードマップが不透明ではあるものの、こうした技術の確立による外部環境変化への対応力強化は有益である。

一方、事業開始当時に比べてレアメタルの価格は低下しており、対象物だけでは回収インセンティブがないため、小型家電に含まれる貴金属や銅などの他の有価金属の価値も踏まえたアウトカムを考える必要がある。また、リチウムイオン電池の成分や構造が多様化するなど、今後とも回収技術の革新は必要であり、一過性の研究開発事業に留めることなく、事業としての実現性、社会実装を視野に入れた継続的な取組や、高度なリサイクル体制の構築が必要である。

【肯定的所見】

- ・(A委員) 日本独自の物理選別と熱処理技術を開発し、小型家電用タンタルの回収は進むものと思われる。また、焙焼でフッ素など毒性のある元素を処理し、アルミや銅金属の回収も同時に行い、コバルト含有粉の回収によりリサイクルがある程度進むものと考えられる。
- ・(B委員) 当時のレアメタルショックは全世界にインパクトを与え、EUなどでは、ポリティカルな問題ととらえられ、別の意味で大きなプロジェクトが誘発され動いている。我が国の場合、ある意味冷静に技術的な解決にトライし、現実には外部に対する武器を得たことは高く評価できると思う（これがなければ、ショックに対して何もしなかったことになる）
- ・(C委員) レアメタルの安定的な供給確保は、我が国の資源循環のみならず国際競争力確保上も急務の課題となっており、この課題に対応する本事業は国として実施することの意義を十分に有する。開発成果は技術的には目標を上回るレベルであり、市況等に応じて社会実装までのロードマップは不透明ではあるものの、こうした技術の確立による外部環境変化への対応力強化は有益である。
- ・(D委員) 今まで具体的な研究が進められてこなかった小型家電製品からのタンタル、コバルトの回収技術に着目した課題であり、具体的なプロセス提案まで至った点は高く評価できる。また、目標として掲げたアウトカムも実現の可能性があり、アウトプットも実用性を持った具体的な成果が得られている。国(担当省)が推進した研究開発事業という位置付けも重要であり、今後の実用化が大いに期待される。
- ・(E委員) 小型家電に含まれるタンタルとコバルトは産業の欠かすことができない極めて重要な国内のレアメタル資源であり、本事業による小型家電を解体・分別する技術と不純物を分離し、目的金属を抽出する製錬・精製技術の開発のアウトプットとアウトカムは、金属資源確保と国内産業の国際競争力の維持を考えるうえで大きな成果である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) タンタルを含む装置筐体における最初の解体に工夫を要する。コバルトの回収はリチウムイオン電池から回収されているが、毎年、リチウムイオン電池の成分は変化するので、今後とも回収技術の革新が必要であり、さらに、レアメタルとしてリチウムの回収は焙焼では困難と考えられ、リチウム回収も今後の課題である。またラミネート型電池も増加すると考えられ、

この処理対策も必要である。最適回収方法の探索、中間処理業者の役割の検討も必要である。

- ・(B委員) 数年がたった現実では、レアメタル価格は低下し、特に民間の自主的な回収インセンティブは高くないため、開発技術が容易に使われない(技術が悪いわけではなく、対象物であるレアメタル自体が経済面でインセンティブが出てこない) 状態である。一方で、WEEE 制度が有り、ものは集まり、捨てるものはなくそうという思想が有り、(ある意味経済を無視しても)政策的に回収を促すことのできる EU 等のほうに将来使われてしまう技術かもしれないと懸念する。この点は何か別の考え方がいるのではないか。
- ・(D委員) 一過性の研究開発事業に留めることなく、アウトカム事業としての実現性、社会実装を視野に入れた継続的な取組が必要である。具体的な研究成果が得られただけに、この後どうするのが大事であり、具体的に考える必要がある。また、レアメタルのリサイクルは、社会システムとの両立・調和が必要不可欠であり、両軸の視点を持った高度なリサイクル体制の構築が望まれる。
- ・(E委員) タンタルとコバルトのみだけで経済性を有する技術にはなり難いと思われるので、小型家電に含まれる貴金属や銅などの有価金属を含めたアウトカムを考える必要がある。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

将来に向けては、リチウムイオン電池の成分変化や経年劣化などに対応した、現在の焙焼方式に変わる処理方法の検討が必要であるなど、潜在的な可能性を持った研究が埋没しないよう継続的な技術開発が必要である。また、技術の経済性を評価するうえでは、タンタルとコバルトのみを対象とする評価だけでなく、小型家電に含まれる他の有価金属の回収も行った場合も含めて経済性を評価することも考えるべきである。さらに、市況の変化といったプロジェクト内ではどうすることもできない問題が起こることについて、あらかじめ国や関係者により長期的なビジョンとして検討する、あるいは、事業途中で情勢が変わった際に柔軟にプロジェクトを修正するなどの点について、プロジェクトの開始前に十分に議論をしておくことが有効である。

【各委員の提言】

- ・(A委員) 本事業は成功したと考えられる。今後以下の課題があげられる。小型家電、中型家電も各種筐体があり、この解体方法は提案のシュレッダーのみでは困難で、各種破碎方式、センサー選別、手解体などが今後の課題である。経年変化があるリチウムイオン電池の成分に適した処理方式が必要であり、将来リチウムの回収に備えて、焙焼法に代わる処理方式も考える必要がある。コバルトの使用からニッケル、マンガンの使用による回収方法の検討も必要である。特に、小型家電から、大型の電気自動車や蓄電などにリチウムイオン電池の普及が多くなるのでこれらのリサイクル対策も必要である。近年のタンタルコンデンサから積層コンデンサの普及によりタンタルコンデンサの効果的回収方法を検討する必要がある。また、収集の最適化と中間処理の集中化が必要である。
- ・(B委員) 前述してきたように、当時の状況から考えて、本プロジェクトの開始は妥当であると考えられる。しかし、一方で、資源としての利用を考えると、「一定の品質」と「一定の量」が、その必須条件となることは間違いない。プロジェクトでは明らかに、ある程度の効率で「一定の品質」を得ることを行えたが、「一定の量」を得ることまでは至っていない。このテーマにお

いて、一定の量を得る部分は、非常に価格が上がって、経済原則で行おうとする者が増えるか、あるいは、国家に必要なものであるという考えの下で、適切な社会システムあるいは規制緩和を入れるかどうか、に依存している。前者は、明らかに受動的なものであるが、後者は、前述した EU の例にあるように、場合によっては能動的に実施できるものであると考える。

今回でも、プロジェクトの評価について、アウトプットを論じている訳であるが、上記のようなプロジェクト内ではどうすることもできない問題が起こることについて、国や関係者のより長期な姿勢・ビジョン、あるいは、途中で情勢が変わったときにフレキシブルにプロジェクトの内容を変える勇気みたいな部分を、プロジェクトの開始前に十分に議論しておくことが有効であるのではないかと思う。

特に、このような産業をささえる資源の問題、今後世界的にも重要である二次資源の問題に係わるテーマでは、より広く、かつ長期の考え方を関係各所に明確化していく努力は、今後発生するプロジェクトをより良い者にするためにも重要であると思う。

- ・(C委員) 前述の通り、本事業成果は技術として確立・保有していくことに意義があるものであり、本事業終了後も使い勝手のよい技術(コスト面含め)へのブラッシュアップと技術伝承を行うことが重要であると認識している。
- ・(D委員) 今回の技術開発は小電製品からのタンタル、コバルト(コバルトはリチウムイオン電池から)の回収に特化した研究事業であったが、設定したアウトカム、アウトプットをともに満たす成果が得られている。評価という観点では、成果の波及効果や社会実装の可能性まで見なければならぬが、本事業では将来のリサイクルに貢献する技術的な有意性が示されている点も特徴と言える。また、将来に渡って研究開発事業を積極的に進めていく姿勢も必要である。潜在的な可能性を持った研究が埋没しないよう継続的な技術開発が必要であり、レアメタルなどの資源自給率に加え、高度なリサイクル社会を実現するためにも多様な研究開発事業の創出に期待したい。
- ・(E委員) 開発された技術のアウトカムを達成するためには、小型家電を回収する制度の再検討と回収機器の海外への流出防止策をも検討する必要がある。開発された技術の経済性を評価するうえでは、タンタルとコバルトのみを対象とする今回の評価と共に、小型家電に含まれるタンタルとコバルト以外の有価金属の回収を行った場合も視野に入れて、小型家電のリサイクル技術の経済性を評価することも考えていただきたい。小型家電に使用されているレアメタルの種類やその量は、材料の開発に伴い市販される年代によって変化している。このような状況において、本事業で開発された技術が特定の小型家電にしか成立しないという事態に陥らないように、年代毎の材料の変化にも注視し、本技術の応用性を検証して行く必要もある。

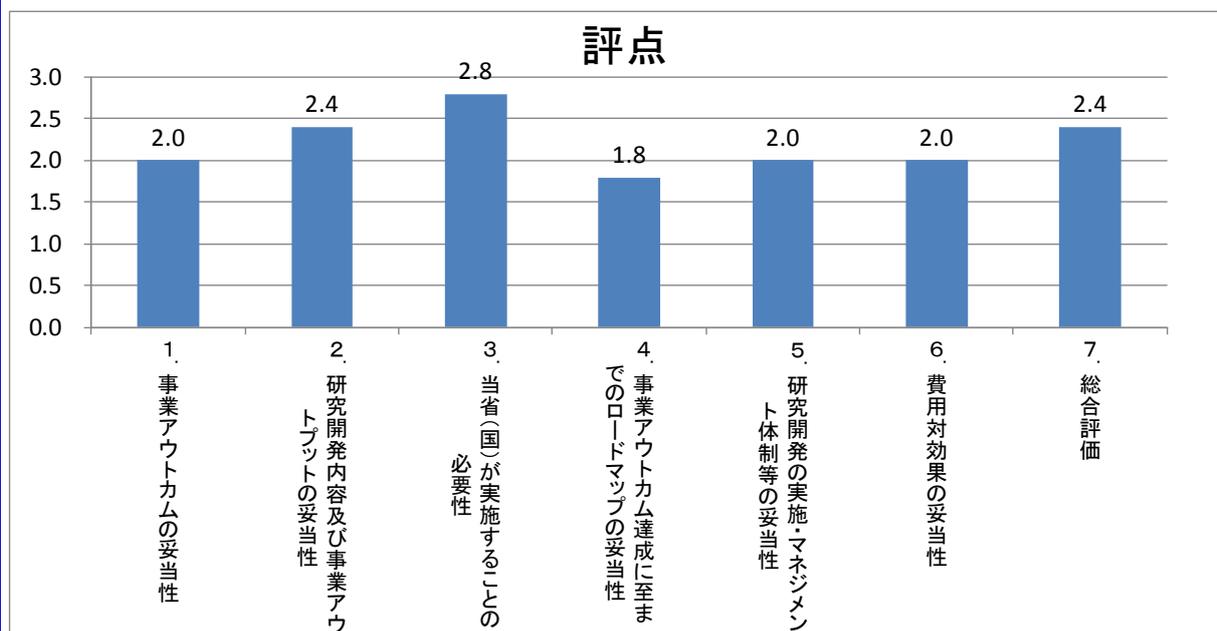
<上記提言に係る担当課室の対処方針>

本技術開発の成果については、学会発表や講演会等を通じて大学や産業界での認知度を広めていくことで、その成果技術が埋没することなく普及するよう努めてまいりたい。

また、本技術開発の成果も踏まえ、動脈から静脈までが一体となったリサイクルプロセスを実現するための技術開発を平成29年度から実施する予定であり、リサイクル全体での経済性の評価や、市況の変化等の外的要因への対応を踏まえた長期的なビジョンについて議論していく予定。

Ⅲ. 評点法による評価結果

	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.0	2	2	2	2	2
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.4	2	2	2	3	3
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.8	2	3	3	3	3
4. 事業アウトカム達成に至までのロードマップの妥当性	1.8	2	1	2	2	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.0	2	2	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.0	1	2	2	2	3
7. 総合評価	2.4	2	2	2	3	3



【評価項目の判定基準】

評価項目 1. ～ 6.

3点：極めて妥当

2点：妥当

1点：概ね妥当

0点：妥当でない

評価項目 7. 総合評価

3点：実施された事業は、優れていた。

2点：実施された事業は、良かった。

1点：実施された事業は、不十分なところがあった。

0点：実施された事業は、極めて不十分なところがあった。

IV. 評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

評価ワーキンググループの所見【終了時評価】

＜事業アウトカムの妥当性＞ ＜事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ＞

- ・ 国の予算により開発した貴重な成果である本技術の蓄積、継承を、今後どのように図るかを検討すること。また、その方向性に沿って、29年度以降のリサイクル技術開発事業を進めること。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【終了時評価】

- ・ 本技術開発の成果について、学会発表や講演会、シンポジウム等により大学や産業界での認知度を広める一方で、29年度以降において、本技術の成果も踏まえたより広範なりサイクル技術開発を実施することなどにより、本技術の蓄積・継承や知財の利活用を行っていく予定。

評価ワーキンググループの所見【事前評価】

（コメント①） 経済性、市場性に任せては、なかなか日の目を見ないテーマであると思われること、また、市場独占国に対する抑制力に繋がるという観点からも、国として実施する意義のある 研究開発である。

（コメント②） 技術開発後に肝心の機器を回収できず、事業が成立しないという事態に陥らないよう、回収機器を海外に流出させないようなりサイクルが成り立つ仕組み作りも、技術開発段階から 併せて検討しておくことが必要である。

（コメント③） 当該技術のようないわゆるハイテク技術ではないリサイクル技術の構築に当たっては、技術そのものだけではなく、コストとの見合いが成果の利用を左右する重要な要素と成りうる。 鉱物からの製錬プロセスだけではなく、海外での回収・利用コストと競争できる原価を目標 の1つに据えて取り組むことが必要である。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【事前評価】

（対処方針①②） 今年度から中環審等で小型家電等の回収制度の検討を行い、その中で回収機器の海外流出防止策についても議論を行う予定。

（対処方針③） 海外から輸入する価格と競争力を有する程度のタンタル、コバルト等の再資源化を実現することを成果目標としている。