

製錬副産物からのレアメタル回収技術開発
技術評価結果報告書（終了時評価）

平成30年2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28年12月21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29年5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「製錬副産物からのレアメタル回収技術開発事業」は、全量を輸入に依存しているアンチモンを製錬工程から回収する技術を開発することで供給リスクを低減することを目的とし、スラグや煙灰等の製錬副産物から効率的にアンチモンを分離・濃縮・精錬し回収するための技術の開発のため、平成25年度から平成28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製錬副産物からのレアメタル回収技術開発事業終了時評価検討会（座長：中村 崇 東京大学 特任教授）における検討の結果とりまとめられた、「製錬副産物からのレアメタル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30年2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
- 大島 まり 東京大学大学院情報学環教授
東京大学生産技術研究所教授
- 亀井 信一 株式会社三菱総合研究所研究理事
- 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 日本ガイシ株式会社 取締役
- 森 俊介 東京理科大学工学部経営工学科教授

(敬称略、座長除き五十音順)

製錬副産物からのレアメタル回収技術開発

終了時評価検討会

委員名簿

座長	中村 崇	東京大学特任教授
	高島 由布子	株式会社三菱総合研究所主席研究員
	深谷 忠廣	一般財団法人メタル経済研究所主任研究員
	邑瀬 邦明	京都大学大学院工学研究科材料工学専攻教授

(敬称略、座長除き五十音順)

製錬副産物からのレアメタル回収技術開発

技術評価に係る省内関係者

【終了時評価時】

(平成29年度)

資源エネルギー庁 資源・燃料部 鉱物資源課長 大東 道郎

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 岡本 繁樹

製錬副産物からのレアメタル回収技術開発 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30年2月28日）

- ・技術評価結果報告書（終了時評価）について

◆「製錬副産物からのレアメタル回収技術開発」評価検討会

第1回評価検討会（平成29年12月25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30年2月2日）

- ・技術評価結果報告書（終了時評価）について

【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24年6月8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

製錬副産物からのレアメタル回収技術開発 終了時評価検討会 委員名簿

製錬副産物からのレアメタル回収技術開発 技術評価に係る省内関係者

製錬副産物からのレアメタル回収技術開発 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	2
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	7
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	14
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	14
5. 研究開発の実施・金地面と体制等の妥当性	15
6. 費用対効果の妥当性	16
7. 総合評価	16
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	17
III. 評点法による評点結果	19
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	20

**製錬副産物からのレアメタル回収技術開発
技術評価結果報告書（終了時評価）**

プロジェクト名	製錬副産物からのレアメタル回収技術開発			
行政事業レビューとの関係	平成29年度行政事業レビューシート 0039			
上位施策名	<ul style="list-style-type: none"> ・「資源確保戦略」（平成24年6月27日公表） ・「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			
プロジェクトの目的・概要				
<p>非鉄製錬所における製錬副産物の中には多くのレアメタル元素が含まれており、当該元素としてアンチモン、セレン、テルル等が挙げられる。特に、アンチモンはほぼ全量を中国からの供給に依存している。他方、アンチモンは国内の銅・鉛製錬から発生するスラグや煙灰等の副産物に含有されるものの、その回収技術が未確立である。このため、プロジェクトの目的としては、製錬副産物からのアンチモン回収技術を開発し、その回収率（量）を向上させることによって、特定産出国からの供給依存（リスク）を低減するとともに、国内市場へのアンチモンの安定供給を図る。</p> <p>また、国内非鉄製錬所における製錬副産物から回収されるレアメタルは、回収対象のベースメタル（銅・鉛・亜鉛等）の生産量に左右される上に、多くのレアメタルは副産物として製錬工程内を循環するなど、十分に回収出来ていないのが現状である。とりわけ、アンチモンを大量に回収するためには既存技術では回収率が低く、未だ多くの基礎的課題も存在することから、プロジェクトの概要としては、実用化に向けたアンチモンの製錬副産物からの回収技術を確立し、その回収率向上を図る。</p> <p>以上の様に、本事業ではこれまで対象としていなかった製錬副産物からアンチモンを回収するプロセスの技術開発を行う。</p>				
予算額等（委託）				
（単位：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25年度	平成28年度	—	平成29年度	JOGMEC
H26FY 執行額	H27FY 執行額	H28FY 執行額	総執行額	総予算額
79 百万円	80 百万円	72 百万円	311 百万円	312 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】 非鉄製錬プロセスにおける製錬副産物からのアンチモン生産量を、現状から 30%増産する技術及びフローを確立する。		
【アウトカム指標設定の根拠】 非鉄製錬副産物中にはアンチモン、セレン等レアメタル元素が含まれ、特にほぼ全量中国からの供給（本邦需要量約 6,000 t /年の約 90%）に依存しているアンチモンは、国内の非鉄製錬所から発生するスラグや煙灰等の副産物に含有され、一部は回収されているものの、国内需要に対応するための回収技術は未だ確立していない。このため、非鉄製錬プロセスから発生する副産物から効率的にアンチモンを回収するための技術を確立し、アンチモンの中国からの輸入依存量を低減し、国内産業の資源安定供給の確保を図るため、非鉄製錬プロセスにおける製錬副産物からのアンチモン生産量を、現状から 30%増産する技術及びフローを確立することを指標として設定した。		
指標目標値		
事業開始時（25年度）	計画：アンチモン需要量に対する製錬副産物からのアンチモンの供給割合	実績：なし
終了時評価時（28年度）	計画：非鉄製錬プロセスにおける製錬副産物からのアンチモン生産量を、現状から 30%増産する技術及びフローの確立	実績：非鉄製錬プロセスにおける製錬副産物からのアンチモン生産量を、現状から 30%増産する技術及びフローを確立した。
事業目標達成時	非鉄製錬プロセスにおける製錬副産物からのアンチモン生産量を、現状から 30%増	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

（1）研究開発内容

アンチモンは、リサイクル原料である電子廃基板の難燃助剤として使用されていたり、銅・亜鉛・鉛精鉱などに自然に含まれており、国内の銅・亜鉛・鉛製錬所等における生産過程で発生するスラグや煙灰等の副産物にアンチモンは分配されることが多い。

製錬副産物からアンチモンを回収する現状の一般的方法としては、例えば湿式法（浸出・中和等）にて得られるアンチモン濃縮物を、乾式法（熔融還元等）にてアンチモンメタルとして得る方法がある。

しかし、現状の湿式法によるアンチモンの濃縮分離では回収出来るアンチモン形態が限定される（三価のアンチモンのみ）ので、汎用性のある湿式回収法技術の開発を行った。不純物については、副産物が少量であれば、既存乾式工程をもってヒ素とアンチモンの分離は可能であるが将来的に事

業化を目指したアンチモンの大量回収を想定すると、従来の乾式工程では技術レベルや経済性等の観点からこの課題を克服できない可能性が高いことから、湿式工程での分離技術の開発を行った。加えて、湿式工程では浸出が困難なアンチモンを含む副産物を対象として、乾式法による濃縮も検討した。

一方、プロセス面では既存の製錬プロセスからは様々な製錬副産物が産出されるため、それら処理に対応するプロセスを組合せて効率的なシステムを構築する必要がある。現状では、前述した課題以外にも、前処理プロセスが無い事が理由で、製錬副産物を原料として利用ができておらず、現状のアンチモン回収工程は汎用性が高いシステムとは言えない。既存技術や設備の最適な活用による全体プロセスの確立を行った。

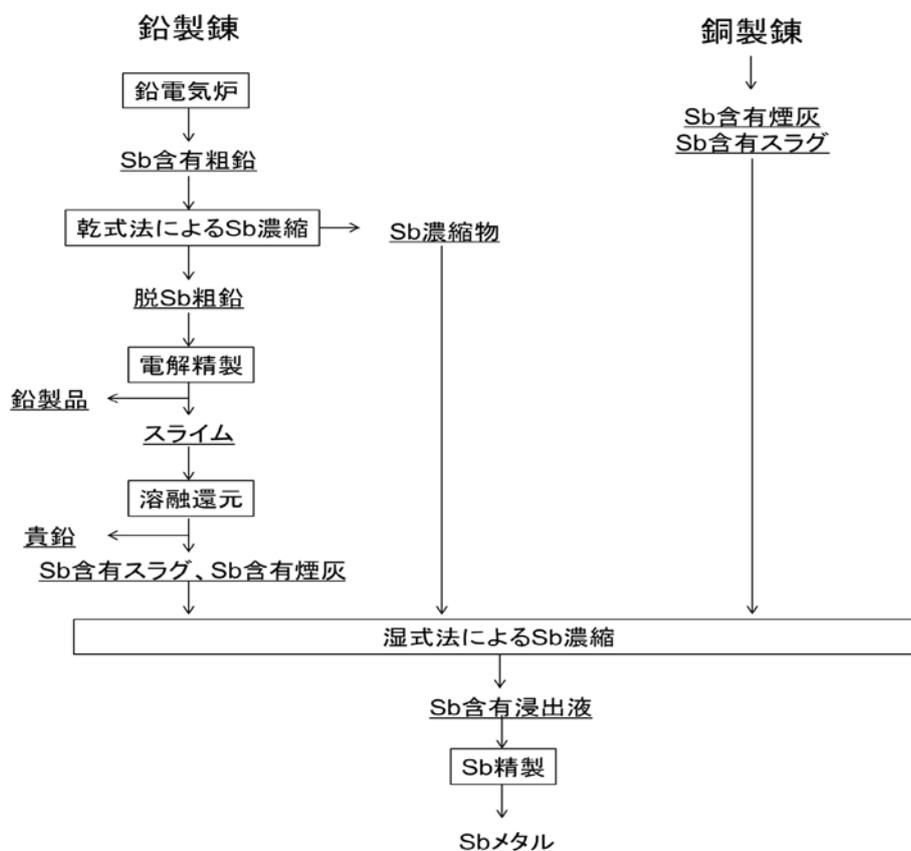


図1 技術開発の概要

(1) - 1 湿式法によるアンチモン濃縮技術開発

銅・鉛製錬から発生するスラグや煙灰等の副産物から、難溶性アンチモンの浸出を可能にする溶媒を選択し、浸出技術を開発した。また、浸出後の浄液等のアンチモン金属（以下、「Sbメタル」）回収プロセスの最適条件を検討した。

湿式法については、フッ素浴（以下、「F浴」）浸出、KOH浸出、酒石酸系浸出を検討した。

F浴浸出法では、浸出液を中和して、アンチモン酸化物を得たのち、還元・生成してアンチモン金属を得るプロセスを検討した。この手法では、合金用途の品質規格を満足するSbメタルの製造が可能であることを実証することができた。

しかし、F 浴浸出により回収した Sb メタルでは、合金用の規格は満足するが、アンチモンの需要の大半を占める Sb_2O_3 向けの規格に対応できないため、KOH を用いたプロセスにより Sb の高純度化を行った。KOH 浸出液は、Na 置換してアンチモン酸ソーダを沈殿させ、これを還元し、Sb メタルを得る。この方法により Sb_2O_3 用途の品質規格を満足する Sb メタルが得られた。

さらに、酒石酸系浸出においては、電解採取により電着 Sb を溶解→徐冷またはソーダ精製することにより、 Sb_2O_3 用途の品質規格を満足する Sb メタルの製造が可能であることを実証できた。

(1) - 2 乾式法によるアンチモン濃縮技術開発

鉛製錬において、電解精製前の粗鉛から乾式法により、アンチモン濃縮物を得るためのプロセスを検討した。粗鉛からアンチモンを抜き出し、濃縮する方法としてハリス法およびガス酸化精製法（柔鉛法）が公知技術として知られており、適用の可能性を調査した。

ハリス法の特徴をあげると、工程が多く設備が大きくなるが、高い品位のアンチモン濃縮物を得ることができる。またテルルの濃縮物を回収することも可能である。一方、ガス酸化精製法とは、酸素ガスを炊込み Pb-Sb-O スラグとしてアンチモンを分離する方法である。本方法はハリス法に比べて単純な設備で実施できるが、アンチモン品位はハリス法より低く、不純物は多くなる。ガス酸化精製法の技術開発結果としては、酸素流量の向上（酸素 2 点吹き、先端絞りランス）により、酸素効率 96%、脱 Sb 速度 0.13%-Sb/h を達成した。また Sb 濃縮物の品質向上（品位 29%→44%、 Sb^{3+} 比率 87%→97%）にも成功した。

以上のことも含めてハリス法とガス酸化精製法を比較すると、粗鉛からの乾式法によるアンチモン濃縮の技術としては、コスト、処理速度等の面からガス酸化精製法が優位であると判断し、実証試験を実施した上で、ガス酸化精製法を最適な手法として選定した。

(1) - 3 経済性評価の実施及び全体プロセスの確立

以上の湿式法によるアンチモン濃縮と乾式法によるアンチモン濃縮の検討を組み合わせ、モデルケースにより製錬副産物からのアンチモン回収の全体プロセスを検討するとともに経済性の評価を行った。

乾式法によるアンチモン濃縮についてはガス酸化精製法を選定した上で、次の 4 つのパターンの湿式法によるアンチモン濃縮の手法を組み合わせ、プロセスを確立した。

パターン①としては F 浴浸出、パターン②-1 としては F 浴浸出と酒石酸系浸出の組み合わせ、パターン②-2 としては酒石酸系浸出、パターン③としては KOH 法を用いた手法とした。

モデルケースでは、現状の Sb メタル生産量 480 t/年に対して、パターン①では Sb メタルを 624 t/年（回収率 87%）、パターン②-1、②-2、③では Sb メタルを 638 t/年（回収率 89%）を生産することができ、それぞれ 30%、33%増産可能である技術を確立した。

経済性評価においては、変動費の大半を薬剤費が占めるが、いずれのパターンでも売上高>売上原価となり、投資回収が可能である。また、いずれのパターンでも、現状の Sb 価格であれば収益が見込めるため、状況に応じてプロセスを選定することとなる。現時点での優先順位は、①>②-2>②-1=③とした。

表 1 経済性評価

Sb回収方法	パターン①		パターン②-1		パターン②-2		パターン③	
	F浴浸出		F浴浸出・酒石酸系浸出併用		酒石酸系浸出		KOH法	
	償却完了前	償却完了後	償却完了前	償却完了後	償却完了前	償却完了後	償却完了前	償却完了後
売上高	624		638		638		638	
Sb生産量(t/年)	624		638		638		638	
Sb価格(円/t)	857,000		857,000		857,000		857,000	
金額(千円/年)	535,000		547,000		547,000		547,000	
変動費(千円/年)	228,000	228,000	231,000	231,000	242,000	242,000	234,000	234,000
固定費(千円/年)	204,000	130,000	248,000	146,000	225,000	130,000	247,000	130,000
売上原価 合計(千円/年)	432,000	358,000	479,000	377,000	467,000	372,000	481,000	364,000
売上利益(千円/年)	103,000	177,000	68,000	170,000	80,000	175,000	66,000	183,000
初期薬剤費(千円)	0		-25,000		-39,000		-1,000	
投資金額(千円)	-543,000		-748,000		-697,000		-860,000	
CF(キャッシュフロー)(千円/年)	177,000		170,000		175,000		183,000	
回収期間(年)	3.1		4.5		4.2		4.7	

また、アンチモン以外のレアメタル元素としてセレン回収の検討を行った。セレン濃度が高く、処理が進んでいなかった銅製錬系統で発生する Se 含有 Sb 残渣から Se を分離・回収し、残った Sb 濃縮物については、Sb 原料とすることを目的として、プロセスを検討し、実用化した。

(1) - 4 アンチモン濃縮物又はアンチモン金属を得るための基礎研究・調査

アンチモン含有の半製品または濃縮物を元原料として、不純物の除去とアンチモン回収の新たな手法について基礎研究・調査を行った。

具体的には、アルカリ焙焼による製錬副産物からのレアメタル・ヒ素の分離回収に関する基礎研究とアンチモン濃縮物を得るための新規抽出剤・吸着材の開発及びその応用に関する基礎研究を行った。

アルカリ焙焼による製錬副産物からのレアメタル・ヒ素の分離回収に関する基礎研究は、製錬副産物からアンチモン及び錫等の有価な金属とヒ素を分離回収することを目的として行った。アルカリ焙焼を行った後、温水浸出によりヒ素を分離し、さらに高温塩酸浸出することでアンチモンと錫の回収が可能なプロセスを確立した。

また、アンチモン濃縮物を得るための新規抽出剤・吸着材の開発及びその応用に関する基礎研究は、有機相と水相において、Au、Sb/As、Se などの金属イオンを選択的に回収することを目的として行った。新規抽出剤としては、Sb 回収に優れた DDCMP を 2 ステップの合成により開発した。吸着材としては、海老や蟹の殻から得られるキトサンを原料として、キトサン誘導体 (CAC) を合成した。CAC により Sb^{3+} を高選択的に吸着することが可能である。

(2) 事業アウトプット

<p>事業アウトプット指標</p> <p>実施する研究テーマ数として 6 テーマをアウトプット指標として設定した。</p> <p>研究テーマの設定に当たっては、乾式法のより一層の効率化を行うとともに、湿式法と組み合わせることで目標であるアンチモン回収量 30% 向上を達成できるプロセスを構築、代替法によるアンチモン濃縮技術の開発を検討したうえで、必要な個別技術開発要素を抽出した。</p> <p>(1) 湿式法によるアンチモン濃縮技術開発</p> <p>① 難溶性アンチモン浸出技術開発 (湿式法でのレアメタル浸出・分離法についての調査・試験)</p>

②難溶性アンチモン浸出技術開発（レアメタルの溶解に関する基礎的な研究） （２）乾式法によるアンチモン濃縮技術開発 （３）経済性評価の実施及び全体プロセスの確立 （４）アンチモン濃縮物又はアンチモン金属を得るための基礎研究・調査 ①アルカリ焙焼による製錬副産物からのレアメタル・ヒ素の分離回収に関する基礎研究 ②アンチモン濃縮物を得るための新規抽出剤・吸着材の開発及びその応用に関する基礎研究		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（25年度）	計画：5テーマ	実績：5テーマ
終了時評価時（28年度）	計画：6テーマを実施し、非鉄製錬プロセスにおける製錬副産物からのアンチモン生産量を、現状から30%増産する技術及びフローを確立する。	実績：6テーマを実施し、非鉄製錬プロセスにおける製錬副産物からのアンチモン生産量を、現状から30%増産する技術及びフローを確立した。

<共通指標実績>

特許等件数 (出願を含む)	学会発表件数
2	7

<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などにおいて、技術開発の成果を報告した。

平成29年8月29日 平成29年度第4回 JOGMEC 金属資源セミナー

平成29年11月8日 JOGMEC/MMIJ 合同シンポジウム 「資源分離技術の新たな展開」

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29年11月10日 非鉄製錬におけるマイナーメタルに関するシンポジウム など

3. 当省(国)が実施することの必要性

非鉄製錬副産物中にはアンチモン、セレン等レアメタル元素が含まれ、特にほぼ全量中国からの供給（本邦需要量約6,000t/年の約90%）に依存しているアンチモンは、国内の非鉄製錬所から発生するスラグや煙灰等の副産物に含有され、一部は回収されているものの、国内需要に対応するための回収技術は未だ確立していない。

このため、非鉄製錬プロセスから発生する副産物から効率的にアンチモンを回収するための技術を確立することによって、アンチモンの中国からの輸入依存量を低減し、国内産業の資源安定供給の確保を図った。

アンチモンは、国内の非鉄製錬所から発生する製錬副産物に含まれている分を回収することで、日本国内でアンチモン地金を生産することができるため、中国からの供給依存を脱却できることが

見込めるため、当省が先導的に技術開発を実施し日本へのアンチモンの安定供給を図るためのアンチモン等の回収プロセスを確立する必要性がある。

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、非鉄製錬プロセスにおける製錬副産物からのアンチモン生産量の30%増加をアウトカムとして設定し、技術開発を行った。最終年度の平成28年度において、実施した要素技術を統合したアンチモン回収プロセスを構築し、効果を検証したところ、アンチモン回収量は目標の30%を上回る成果を上げ、新たなアンチモン回収手法の要素技術を確立することが出来た。

一方、日本国内には複数の銅・鉛製錬所が存在し、これらの原料となる銅や鉛・亜鉛精鉱には微量のアンチモンが含まれている。また、近年、廃電子基板がこれら製錬所にリサイクル原料として投入される量が増加しつつある。廃電子基板には難燃助剤としてアンチモンが使用されており、本技術開発の成果の適用により、精鉱やリサイクル原料由来のアンチモンの回収率の向上が見込まれる。これら製錬所に対して、技術開発で得られた要素技術などが導入されることが期待される。

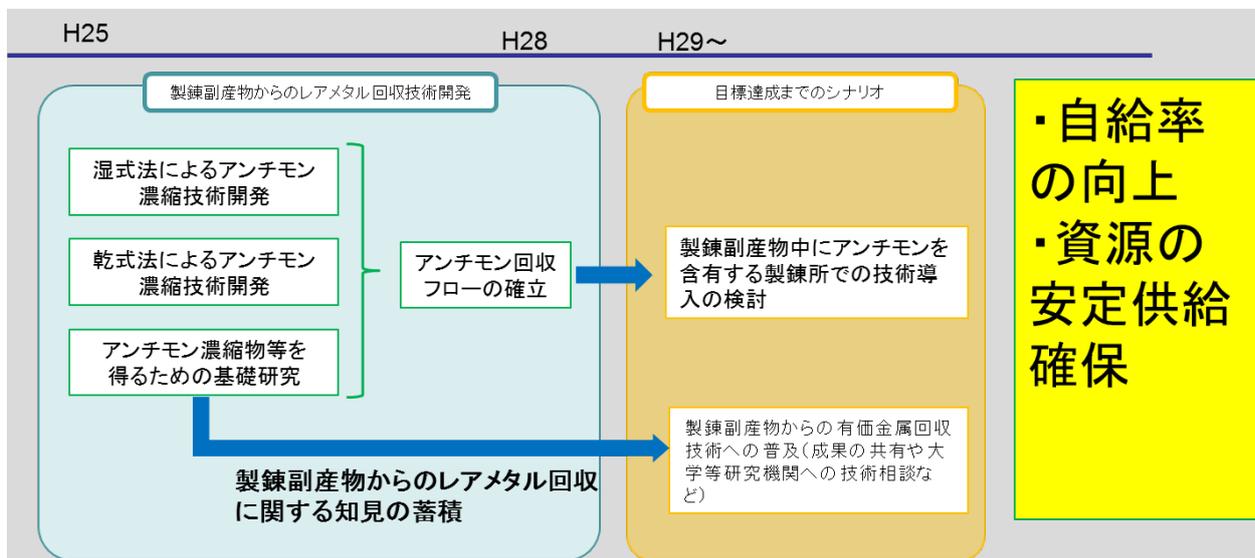


図2 ロードマップ

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乾式法、湿式法等に分けて、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ることで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25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2>

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3>

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

<事業実績4>

事業名：リサイクル優先レアメタル回収技術開発

事業概要：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して本事業を実施した。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ったため、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した。具体的には、廃小型家電等からのタンタル回収またはコバルト回収技術の開発を実施し、プロセスを確立した。

実施年度：平成24～27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、「製錬副産物からのレアメタル回収技術開発」で1件及び「代替法によるアンチモン濃縮技術の開発」で2件の、計3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DOWAメタルマイン株式会社が、後者は東北大学、宮崎大学が採択された。同社においては非鉄製錬所を所有し、レアメタルをはじめとした非鉄金属の回収を積極的に行っている企業である。また同大学においては本基礎研究に必要な設備を有し、さらにレアメタルをはじめとした非鉄金属の回収（東北大学はアルカリ焙焼法、宮崎大学は抽出剤、吸着材を用いた回収方法）に関する知見を有している。

「製錬副産物からのレアメタル回収技術開発」については、DOWAメタルマイン株式会社が、「難溶性アンチモン浸出技術開発（湿式法でのレアメタル浸出・分離法についての調査・試験）」、「難溶性アンチモン浸出技術開発（レアメタルの溶解に関する基礎的な研究）」の2つの技術開発について、それぞれ秋田県資源技術開発機構、東北大学に再委託を行った。

以上のように、レアメタルをはじめとした非鉄金属の回収に実績を有するJOGMECのもと、レアメタル回収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。

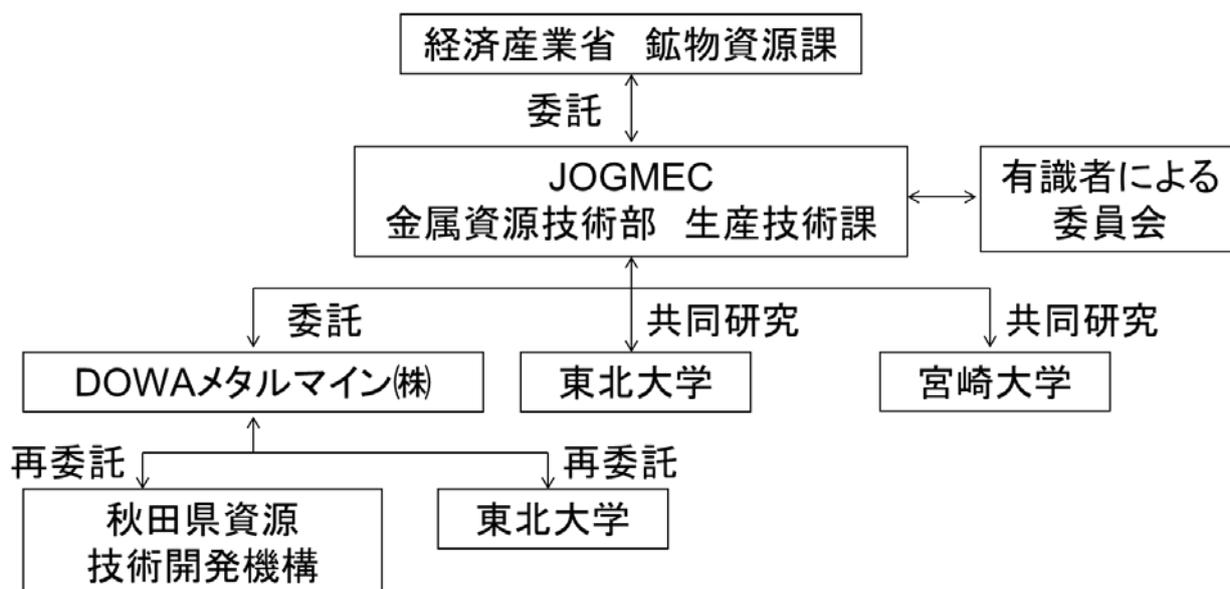


図3 事業実施体制

3) 資金配分

本事業における平成25年度から28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25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	合計
DOWAメタルマイン株式会社	70百万円	70百万円	71百万円	63百万円	274百万円
うち秋田県資源技術開発機構	3百万円	3百万円	3百万円	3百万円	12百万円
うち東北大学	2百万円	4百万円	5百万円	3百万円	14百万円
東北大学	4百万円	4百万円	4百万円	4百万円	16百万円
宮崎大学	4百万円	4百万円	4百万円	4百万円	16百万円

4) 知財の取り扱い

JOGMECからDOWAメタルマイン株式会社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、実際にレアメタル回収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

1) 製錬副産物中のアンチモンの由来

アンチモンは、銅・鉛・亜鉛精鉱中に含まれている（概ね0.05%以下）ほか、リサイクル原料、特に廃電子基板に難燃助剤として含まれている（0.01~2%程度）。

2) 事業開始時における製錬副産物からのアンチモン回収量

各テーマでの成果を組み合わせアンチモン回収フローを検討するため、モデルケースとなる製錬所を設定し、製錬副産物からのアンチモン回収を検討した。モデル製錬所では、廃電子基板などのリサイクル原料と、亜鉛採取後の亜鉛製錬残渣及び鉛原料を処理しており、それぞれにアンチモンが含まれており、銅や鉛といった主産物を採取後の副産物にアンチモンは分配される。

本事業開始時におけるモデル製錬所での製錬副産物からのアンチモン回収量は年間480tである。

3) 本技術による製錬副産物からのアンチモン回収量

表1の経済性評価にある回収フローにより、数値が異なるが、モデル製錬所において計算上、624t/年または638t/年のアンチモンを回収できる技術を確立した。なお、アンチモンの回収率はそれぞれ87%、89%である。

4) 国内における製錬副産物からのアンチモン回収量の試算

モデル製錬所では、廃電子基板由来の銅を年間 5,000 t 程度生産している。一方、その他国内銅製錬では 63,000 t 程度の廃電子基板由来の銅を生産しているため、同製錬所のシェアは 8 %である。

また、亜鉛生産に関しては、モデル製錬所の鉛製錬の原料となる亜鉛精鉱からの亜鉛生産量 190 千トン、一方、国内の亜鉛生産量は 528 千トンであり、シェアは 36 %である。

モデル製錬所においては、廃電子基板由来のアンチモンが 80 t /年程度、亜鉛精鉱由来のアンチモンが 360 t/年程度、新たに工程内に投入される。したがって、モデル製錬所のシェアから日本国内における廃電子基板及び亜鉛精鉱中に含まれるアンチモン量は以下の通りと推定される。

廃電子基板から、 $80 \text{ t Sb/y} \div 0.08 = 1,000 \text{ t/年}$

亜鉛精鉱から、 $360 \text{ t Sb/y} \div 0.36 = 1,000 \text{ t/年}$

合計 2,000 t/年

一方、本技術開発で確立した回収方法ではアンチモンの回収率は 87 %である。したがって、日本国内製錬所すべてに本技術を適用した場合、

$2,000 \text{ t/年} \times \text{回収率 } 87 \% = 1,740 \text{ t/年}$ 。

のアンチモンが製錬副産物から回収可能となる。

アンチモンが含まれる製錬副産物には、上記廃電子基板や亜鉛精鉱以外にも銅精鉱由来、鉛精鉱由来などもあるが、2015 年における我が国のアンチモン需要量は 6,776 t であるので、本技術の適用により、廃電子基板や亜鉛精鉱由来のものだけでも、我が国のアンチモン供給量の 26 %に相当するアンチモンを製錬副産物から回収可能となる。

また、表 1 に示したとおり、アンチモン価格を 857 千円/t として、

$1,740 \text{ t} \times 857 \text{ 千円/t} = 1,491 \text{ 百万円}$

の資源価値が見込まれる。

また、本事業においてプロセスの経済性評価を行った。経済性評価では、設備償却が完了するまでを 7 年間とし、償却完了前と償却完了後に分けて評価した。アンチモン価格は 2017 年 1 月末時点の価格 (7,450 \$/t) と為替レート (115 円/\$) を用いて算出し、売上高とした。もっとも優先順位が高いと判断されたパターン① (フッ素浴での浸出) では、535 百万円/年の売上高となる。

一方、売上原価はで 358 百万円で、その内訳は固定費が 130 百万円/年、変動費は 228 百万円/年である。変動費の大半を薬剤費 (浸出用フッ酸、中和用苛性ソーダおよび排水処理用ポリ鉄など) が占めている。

したがって、キャッシュフローは $535 \text{ 百万円/年} - 358 \text{ 百万円/年} = 177 \text{ 百万円/年}$ で、設備投資金額は 543 百万円であり、投資回収期間は、3.1 年となる。

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

アンチモンは工業製品に不可欠なレアメタルであるが特定の国からの輸入に依存しており、資源セキュリティの観点からも、安定供給をはかるための国内リサイクルの推進の意義は大きく、アンチモン回収率を目標値に設定した事業アウトカムの設定は妥当である。また、目標値（30%）は、現状の製錬副産物の排出量から考えて適切に設定されており、経済的・技術的にリアリティのある手法によって目標が達成されている点も重要である。

一方で、本事業は潜在的なリスクへの対応の側面が強く、実際の効果は問題が顕在化してみないことには推し量れない。前提としてアンチモンに関する価格変動などのリスク分析があってもよかったのではないかと。また、原料である廃電子基板から入ってくる臭素についても検討することが望ましい。

【肯定的所見】

- ・（A委員）資源セキュリティの観点から、アンチモン回収率を目標値に設定することは妥当であり、当初目標を十分に達成していることは評価できる。
全体を通じて、実用化を念頭に複数方式の中から経済的・技術的にリアリティのある手法を選定した上で、アウトカム目標を達成している点が重要。
- ・（B委員）アンチモンは、不定期であるが、急に価格が高騰する特殊な鉱物種であり、その安定供給をはかるための国内リサイクルの促進は意義が大きい。
- ・（C委員）需要量に対する不足分を副産物から補う点は明確です。
- ・（D委員）樹脂製品へ難燃助剤として添加される酸化アンチモンなど、アンチモンは工業製品の多くの場面で不可欠なレアメタルだが、その供給は特定の国からの輸入に依存している。一方、銅、鉛、亜鉛といった基幹的な非鉄金属の製錬において、スラグや煙灰にはアンチモンが分配されて排出されるが、そこからの汎用的なアンチモン回収技術は確立されておらず、未実施であった。本事業では、この技術確立を図り、アンチモンの国内生産を30%増加させようとするものであり、我が国におけるアンチモンの偏ったマテリアルフローを是正し、資源を安定確保するとの事業アウトカムは明確かつ妥当なものである。目標値（30%）は、現状の非鉄製錬副産物の排出量から考えて、適切に設定されていると判断される。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）本事業は、潜在的な資源セキュリティリスクへの対応の側面が強く、事業アウトカムが実現した場合の効果は課題が顕在化してみないことには推し量れない。現段階で、課題が顕在化するタイミングが読めない限り、事業目的は妥当であるものの重要性を評価しえないのが実情。前提として、Sbにかかる資源リスクにかかる分析があってもよかったのではないかと。
- ・（B委員）リサイクル促進における製錬プロセスへのアンチモンの混入は、廃電子基板等からのものが多いので、同時にプロセス中に入ってくる臭素についても検討して欲しかった。
- ・（C委員）一方で販売価格の優劣もあり、長期の価格変動もより考察されればよろしいかと思えます。

2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

経済性を勘案した湿式法によるフローだけでなく、これを補完する乾式技術も検討するなど、目標達成に必要な技術開発要素を明確化しており、研究開発内容は妥当である。また、関連論文の発表や特許の取得など、技術的優位性が確保できているものと推察される。

一方で、個別技術開発要素のアウトプット目標は定性的なものが多く、客観的な成果指標を設定すべきだった。また、大学等の基礎研究においては学術的に重要な成果が得られているものの、その成果が本事業のアウトカムに活かされるかが不明瞭である。

【肯定的所見】

- ・(A委員) 目的を達成するために明確に必要な技術開発要素を適切に設定し、いずれも明らかに目標値を達成している点は評価。
本事業を通じて特許2件を取得・出願しており、技術的優位性が確保できているものと推察されるほか、一部要素技術については実用化に至っているとこのことで経済的優位性を有する成果を得られたと考える。
- ・(B委員) 具体的なアウトプット指標としてアンチモンの30%増産という数値目標が示されており、評価の検証が十分にできるものである。それに対してクリアした技術を開発している。また、関連論文の発表や特許も提出しており、順調に研究開発が進んだと言える。
- ・(C委員) 国内非鉄製錬所(鉛製錬)での様々な手法及び製品(金属アンチモン、酸化アンチモン)がある中で、金属アンチモンを製造する製錬プロセスに的を絞ることで、開発を明確化しています。
- ・(D委員) 非鉄製錬副産物からのアンチモン回収を大規模に行う上で、経済的優位性を勘案して湿式法によるアンチモンの分離濃縮をメインとするフローを立案し、さらにはこれを補完する乾式濃縮技術も検討しており、妥当な研究開発内容となっている。既存の製錬工程をふまえ、これに組み込みやすいフローであることも評価できる。このフローを実現するため、基本的に難溶性であるアンチモン成分を鉛製錬スラグや銅製錬煙灰から浸出できる複数の手法を比較検討し、それぞれの手法についての長所と短所を明確にした上で技術を確立実証している。また、鉛製錬において粗鉛からアンチモン成分を乾式酸化分離する手法として、ガス酸化精製法の優位性を明らかにしている。

以上の研究開発に関連づけて、6つのテーマがアウトプット指標として設定されており、それぞれに対して個別の目標値が与えられているわけではないものの、総括的なアウトプットとしてアンチモンの国内生産を30%増やすとの妥当な目標が示され、達成されている。関連する成果には2件の特許が含まれ、事業化に向けて合理性のあるプロトタイプが示されている。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) 個別技術開発要素のアウトプット目標は定性的なものが多く、全体を通じた目標達成以外については〇×でしか判断できない。客観的な評価指標は設定できなかった。
- ・(D委員) アウトプット指標として設定されたテーマのうち、大学等における基礎研究においては、新しい抽出剤や吸着剤の開発など、学術的に重要な成果が得られているが、その成果が本事業のアウトカムに活かされるかどうかは不明瞭である。今後の展開が期待される。

3. 当省（国）が実施することの必要性

現状の我が国のアンチモン需要及び供給リスクを考えれば、資源セキュリティの観点からも回収プロセスの確立は必要であり、民間企業の市場原理に基づくインセンティブのみでは進展が期待できないため、国が支援すべき課題である。

一方で、必要性は明らかなものの、「今やらなければならない理由」の明確化や、電子スクラップの処理に関する環境面での課題についても述べていてもよかったのではないか。

【肯定的所見】

- ・（A委員）現状の我が国 Sb 需給を考えれば、資源セキュリティ上回収プロセスの確立が必要であることは明らか。
- ・（B委員）環境面の配慮ならびに国の資源戦略に則ったプロジェクトであり、まさに国が支援すべき課題である。
- ・（C委員）資源の有効利用の面で、大所から開発を行えた点が良いと思います。
- ・（D委員）本事業の課題は、レアメタルの1つであるアンチモンの供給リスクの緩和といった資源政策にかかわる事案であり、技術的難易度は高くはないものの、民間企業の市場原理に基づくインセンティブのみでは進展が期待できない。経済産業省がイニシアチブをとるにふさわしい事案である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A委員）必要性は明かだが、『今やらなければならない理由』がもう少し明確になればよりよかつたのではないか。
- ・（B委員）もう少し、電子スクラップの処理を行う際の環境面での課題を述べていてもよかつたのではないか。

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

特許の取得や成果の一部実用化がされており、開発成果が自立的に実装されていくことが期待される。また、本事業の成果を国内の製錬所が導入することで、アンチモン資源の自給率向上と安定確保が可能になるものと思われる。

一方で、資源リスクが顕在化した際に利用できるように知財取扱の方向性や開発成果の適切な維持・管理を行う体制を整えておく必要がある。また、ロードマップとしてももう少し具体性が必要であり、国としてもアウトカム達成に向けた整備を進める必要があるのではないか。

【肯定的所見】

- ・（A委員）すでに成果の一部は実用化されており、本開発が現行プロセスを十分勘案の上、技術的にも経済的にも実装を念頭に置いた内容で進められてきたことを評価。
後述の通り本業界の大手事業者が体制に入っていることから、Sb 回収についても特許を活用しつつ開発成果が自律的に実装されていくことを期待。
- ・（B委員）特許は取得しており、民間でしっかり対応して、実証されると予想される。特に廃電子基板の増処理がなされれば、ますます必要な技術となる。
- ・（C委員）複数の開発期間を考えますと、妥当な期間設定と思われます。

- ・(D委員)本事業の成果を国内にある複数の製錬所が導入することで、アンチモンの国内生産を30%増やすとのアウトカム達成が可能なことは明確である。それによってアンチモン資源の自給率向上と安定確保が可能になるものと思われる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員)一方、本事業はいつか資源リスクが顕在化した際に有益な打ち手を整備するものと考えられ、『その時』に向けて開発成果を適切に維持・管理し、いつでも使える体制を整えておく必要がある。資源セキュリティの意味では、個別事業者にすべてをゆだねるのではなく、国としてもアウトカム達成に向けた整備を進める必要があるのではないかと。
- ・(B委員)ロードマップとして具体性がもう少し必要であり、いつから実施するなどの報告があると望ましい。
- ・(D委員)国内の製錬所に対し、本事業の成果の導入を促して新しいプロセスを展開するための具体的スケジュールが、残念ながら示されていない。国内外における知財取扱の方向性を含め、今後の対応に工夫を要する。

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

直接的なマネージメントは石油天然ガス・金属鉱物資源機構が、本業界の代表的な事業者や専門的知見を有する学術機関と連携を取っていたため、スムーズな開発が可能となっており、体制面は適切である。また、成果の一部はすでに実用化しているなど、特許等の知的財産権の管理・活用体制についても妥当である。

一方で、将来的により多くの精錬事業者に成果活用を促すための工夫や、事業終了後におけるアウトカム達成までの道筋の具体化については、必ずしも十分とは言えない。

【肯定的所見】

- ・(A委員)本業界の代表的事業者や専門的知見を有する学術機関が参画しており、体制面は適切。すでに受託者にて一部成果の実用化がスタートしており、成果の活用体制が一部で構築されている。
- ・(B委員)直接的な研究マネージメントは石油天然ガス・鉱物資源機構(JOGMEC)が対応し、参加企業と大学との連携を取っていたので開発はスムーズに進んだと思われる。
- ・(C委員)知的財産権の運用に関して明確化されています。
- ・(D委員)事業アウトカム達成のため、全体の回収フローを複数の要素技術に区分けして研究開発を実施した。このような計画立案は、金属製錬にかかわる多くの研究実績をもつ石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が研究開発実施者となることで可能となっている。研究開発は、公募を経て、非鉄金属回収に積極的なDOWAメタルマイン株式会社、ならびに金属濃縮回収技術を得意とする大学に再委託され、各委託先による協働体制のもと進められた。特許化と学会等での発表も積極的に行っており、資金配分を含めた研究開発の実施・マネジメント体制はきわめて妥当である。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) 知財については受託者が活用できるようになるものの、将来的により多くの精錬事業者
に成果活用促すための工夫が必要。
- ・(D委員) 知財の取扱いに関し、レアメタル回収事業を行っている企業が活用できるようになっては
いるが、戦略およびルールを検討が十分になされ、事業終了後におけるアウトカム達成までの
筋道が具体的に策定されているとは必ずしもいえない。

6. 費用対効果の妥当性

モデルケースを設定して費用対効果の試算をしており、需要や為替変動などを考慮しても、相応の資源量の回収が確保できたため、実用化検討に耐えうる投資回収期間であり、費用対効果としては妥当である。また、我が国全体の廃電子機器リサイクルの促進に関して多大な貢献が期待される。一方で、将来的な効果については市況変動に大きく左右されるため、「極めて大きな効果か否か」は現段階では判断できない。また、循環型社会の構築に向けてのコスト評価が社会全体としてできていないのは、今後の課題であり、国としてどうするのかを考えるべきである。

【肯定的所見】

- ・(A委員) 比較的コンパクトな開発投資の中で、今後実用しえる技術開発成果を十分に出している。
費用対効果推計においても実用化検討に耐える投資回収期間等が期待されている。
- ・(B委員) この分野としては大きな予算であるが、資源確保全体から見ると妥当なコストパフォーマンスである。さらにここでは示されていないが、我が国全体の廃電子機器リサイクルの促進に関しては多大な貢献が期待される。
- ・(C委員) 相応の資源量の回収方法が確保できたと思います。
- ・(D委員) 国内における現状の製錬所の操業状態を踏まえ、モデルケースとなる製錬所（モデル製錬所）を設定して費用対効果を試算している。設定されている操業状態は妥当であり、それに基づいた事業アウトカムの試算はおおむね納得のいくものである。アンチモン需要や為替レートの変動、処理薬剤費の変動を見込んでも数年で投資回収可能なことが期待され、費用対効果は妥当と考えられる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) 将来的な効果については市況変動に大きく左右するため『極めて大きな効果か否か』は現段階では判断できない。
- ・(B委員) 循環型社会を構築することは世界的な目標とされているが、その実現に向けてのコスト評価が社会としてできていないのは今後の課題で、国としてどうするのかを考えるべきである。

7. 総合評価

事業アウトカムに対して適切な研究開発体制のもと、実用化を目標として技術的・経済的に適切な要素技術開発を行い、アウトカム達成可能な要素技術の確立に結び付けており、総合的に優れたプロジェクト研究であったといえる。また、この分野の技術開発は地味であるが、将来の循環型社

会構築に大きな貢献をするものである。

一方で、特許戦略を含めて国内の非鉄製錬事業者において適切なタイミングで本事業の成果が導入されるように、開発技術を維持していく工夫が必要である。また、循環型社会の構築に向けて、社会をどう変えていくかを強調すべき。

【肯定的所見】

- ・(A委員) プロジェクト全体を通じて実用化を目標として、技術的・経済的に適切な要素技術開発と最適プロセス設計を進めている。
- ・(B委員) この分野の技術開発は地味であるが、将来の循環型社会構築に大きな貢献をするので、継続して進めて欲しい。
- ・(C委員) 様々な方向から検討を行い、方法を確立されたと思います。
- ・(D委員) レアメタル資源の安定供給のため、アンチモンの国内生産を30%増加させようとの事業アウトカムに対し、適切な研究開発体制のもとで事業を推進し、アウトカムが達成可能な要素技術の確立に結びつけており、総合的にみて優れたプロジェクト研究であったといえる。事業アウトカムは国の資源戦略にもかかわるものであり、経済産業省が主体性をもって実施するにふさわしいテーマであった。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・(A委員) 終了した事業にかかる改善点ではないが、特許戦略を含め、開発技術が着実に使える状態で維持される工夫が必要ではないか。
- ・(B委員) 評価を目の前のコスト回収にだけ置かず、将来に向けて社会をどう変えていくかを強調すべき。
- ・(D委員) 資源エネルギー庁のバックアップのもと、国内に複数社ある非鉄製錬業者において、今後、本事業の成果が適切なタイミングで導入され、事業アウトカムが名実ともに達成されることを期待する。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

天然鉱物資源の乏しい我が国において、長期的な視野にたった金属資源確保は重要な課題であるが、それを民間のみに期待することは、技術開発や設備投資などの経済的理由から困難であり、国による積極的な関与は不可欠であり、刻々と変動する多様な金属資源形態とその需要に対応できる社会を保ち続けるため、今回のような技術開発を継続していただきたい。非鉄金属製錬分野は、これから世界が目指す循環型社会を経済合理性のもと進めていくことが重要であり、常に環境評価と実質的な資源セキュリティの両方の効果があることを忘れずに技術開発を進めるべきである。また、本事業は将来の資源リスクに備えたものであり、リスクが顕在化した際に向けて研究成果を適切に維持・管理しておく必要がある。さらに、今回はセレンの回収も行っているが、そのほかの元素についても検討を行うべきである。

【各委員の提言】

- ・(A委員) 本事業はいつか資源リスクが顕在化した際に有益な打ち手を整備するものと考えられ、『その時』に向けて開発成果を適切に維持・管理し、いつでも使える体制を整えておく必要が

ある。資源セキュリティの意味では、個別事業者にすべてをゆだねるのではなく、国としてもアウトカム達成に向けた整備を進める必要があるのではないかと。

- ・(B委員) 今回の目的は、あくまでの製錬プロセスでのアンチモン回収技術の向上であったが、その背景にはこの分野の産業が、これから世界が目指す、循環型社会を経済合理性をもって推し進めることが大目標である。そのことを忘れずに、常に環境評価と実質的な資源セキュリティの両方の効果があることを忘れずに進めて欲しい。両者はまったく別々のものではなく、社会の中でバランスとりながら進めて行く必要があるものである。
- ・(C委員) 今回はSeの回収もされたそうですが、他の元素も検討されては如何でしょうか。
- ・(D委員) 天然鉱物資源に乏しい我が国において、社会基盤を整え国民生活を支えて豊かにする様々な工業製品を製造するため、長期的視野にたった金属資源確保は重要な政策課題である。一方、国内で生じる副産物や廃棄物からの金属資源循環を促して海外依存を減らし、既存のマテリアルフローを是正するには新しい製錬技術の開発と設備投資が必要であるが、経済原則に則った民間の非鉄製錬各社の運営のみに期待してこれらを実現することは難しく、そこには国による積極的な関与が不可欠である。また、種々の副産資源や廃棄物の動向を俯瞰し、レアメタルを含む非鉄金属を効率よくバランスのとれた形で有効活用できる社会の構築を促すことも、国が政策としてすすめるべき行動である。非鉄金属製錬は、ともすれば古くから続く既に確立された技術とみられがちで、技術革新（イノベーション）のために税金を投入する必要性に理解が得られにくい面がある。経済産業省（資源エネルギー庁）においては、日本の優れた非鉄製錬技術を最大限に活用し、刻々と変動する多様な金属資源形態とその需給に対応できる社会を保ち続けるため、今回のようなプロジェクトを永続的に設定していただきたい。

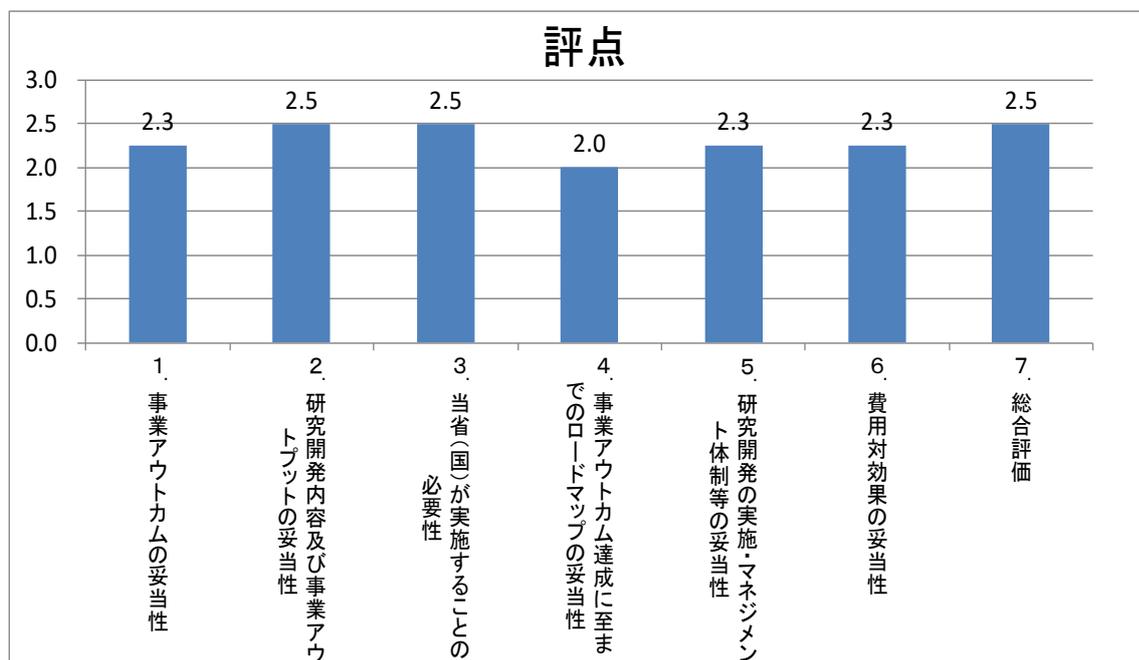
また、非鉄製錬技術の重要性とは裏腹に、国内においては大学（高等研究機関）における非鉄製錬学の教育研究者が著しく減少している。このことは、非鉄製錬業に対する人材輩出機能の低下を意味し、産業機能の低下リスクに直結する問題である。非鉄金属にかかわるプロジェクトを設定する際は、大学を枠組みに加えたプロジェクトとし、後進を育成し長期的視野での産業振興に資するものであってほしい。

<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、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、研究成果を適切に維持・管理するよう努めてまいりたい。また、本技術の成果も踏まえながら、引き続きリサイクル関連の技術開発を推進してまいりたい。その際、鉱物資源の供給安定性の議論なども踏まえながら、幅広い鉱種を対象とした議論を行い、経済性だけでなく環境面や資源セキュリティの観点からも事業を進めてまいりたい。

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
1. 事業アウトカムの妥当性	2.3	2	2	2	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.5	2	3	2	3
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.5	2	3	2	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	2.0	2	2	2	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.3	2	3	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.3	2	3	1	3
7. 総合評価	2.5	2	3	2	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】

・今回の反省を踏まえ、今後、新たなプロジェクトを開始する場合には、あらかじめ海外も含めて念入りに知財戦略を検討の上、全体的な戦略を策定すること。継続事業がある場合には、そのような視点から、見直すこと。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【終了時評価】

・新たに研究開発事業を行う際には、知的財産の取り扱いについて、海外展開も念頭に入れた知財戦略の検討を行う。また、現在実施している研究開発事業においても、知的財産の取り扱いについての検討を行う。

評価ワーキンググループの所見【事前評価】

（コメント①）金属製錬自体は昔からやっているものであり、多少の研究開発で飛躍するようなものではない。何が新しいアイデア、何が革新的な技術なのか明確にすべき。

（コメント②）不純物の除去と副産物の回収という内容でレアメタル、亜鉛、銅と三つのプロジェクトで予算を立てているが、それらは連動しているようにも思われるが、どうなのか。回収率をあげるとか、エネルギー効率をあげるとかの課題毎に整理した場合、もっと適切な予算配分があり得るのではないか。

（コメント③）これらの技術を転用すると、製錬技術・基盤がない国でも製錬が出来る等、応用ができてしまうのではないか。知財の流出には留意すべき。

（コメント④）製錬業界の持続的な発展に寄与する事業であり、支援のスキームとしては妥当だが、対象となる技術開発の内容が有効なものとなるよう関係業界と議論の上、有効な技術開発になり、支援になるよう進められることを期待。

所見を踏まえた改善点（対処方針）等【事前評価】

（対処方針①）製錬分野では、焙焼・溶解・電解といった個々のプロセスに係る製錬技術は確立されているが、製錬は、鉱石を構成する元素や元素の集合体のパターンにより、製錬する環境条件が異なるため、プロセス技術だけでなく、システムとしてプロセスの組み合わせそのものを研究の対象とする必要がある。具体的には、

a) 「製錬副産物からのレアメタル回収技術」については、ベースメタルの鉱石に含まれるアンチモンの回収を行う技術開発であるが、アンチモンはともに含まれる砒素と性質が類似しているため、従来の乾式製錬法では、歩留まりが悪く、湿式製錬法を採用することにより分離・回収が可能となりうるため、その手順や環境条件や最適化するための研究開発を実施する。

b) 「超電力使用削減低品位銅電解精製プロセス技術開発」では、リサイクル原料からの銅回収では銅鉱石に比べ銅品位が低く、電解製精法では不態化等の影響により電気銅回収が難し

いことから、現在、電力使用量の高い電解採取法により電気銅を回収している。このため、「不態化」を起こさないようにするために、不純物を除去する手順や環境条件を最適化する研究を実施することにより、リサイクル原料によるアノード銅品位が低い場合でも電解精製法による電気銅回収を可能とする。

等の新たな製錬プロセスを確立する。

（対処方針②）銅・亜鉛・レアメタルといった鉱種毎に特性・性質が異なるため、個別の製錬技術・プロセスも鉱種毎に異なる。このため、仮に異なる鉱種に共通の回収率・エネルギー効率向上といった目標を掲げたとしても、実際の研究開発は、鉱種毎の研究開発とならざるを得ず、今回の予算配分は妥当と考える。

（対処方針③）本研究開発事業は「委託」により実施を想定しているが、国が知的財産権を取得することになるため、委託者との委託契約等において開発成果の移転に当たっての制約を設けることや、開発成果に係る特許戦略等について検討を行う。

（対処方針④）レアメタルは価格の変動や需給の変動が大きいことから、レアメタル鉱山の開発は、短期的には進みにくい場合がある。このような場合、ベースメタルの鉱石に含まれるレアメタルを回収することにより、自給率の改善を図ることが選択肢の一つとなる。

「アンチモン」は、難燃助剤として使用されており、樹脂類に一般的に添加され、自動車、電気電子機器、家具類等に添加される重要な鉱物であるが、資源開発プロジェクトが非常に少ない状況にある。こうしたことから、銅鉱石中のアンチモンを回収することが必要である。技術開発の内容については、これまでも関係事業者と議論を積み重ねて決定しており、有効な技術開発となるものと考えられる。

製錬産業は、海外資源開発への投資を行い、引き取った鉱石を製錬する機能を持つほか、リサイクルによって、スクラップ原料を製錬する機能を持ち、我が国の資源の安定供給のための4つの柱（海外資源開発・リサイクル・使用削減・備蓄）のうち、2つを担い、資源政策上の究極目標である資源自給率の改善に直接影響を及ぼすことから、我が国の資源政策上極めて重要なプレイヤーである。

製錬産業は、高い電力量を要するエネルギー多消費型産業であり、将来、エネルギー源の変更から、電力料金の上昇が予想され、電解工程等での省電力化を進める必要があり、この分野での研究開発を遂行する必要がある。

技術開発の内容については、これまでも関係事業者と議論を積み重ねて決定しており、有効な技術開発となるものと考えられる。