

希土類金属等回収技術研究開発

事後評価報告書 (案)

平成26年3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

事後評価報告書概要

プロジェクト名	希土類金属等回収技術開発事業																																	
上位施策名																																		
事業担当課	資源エネルギー庁資源・燃料部鉱物資源課																																	
<u>プロジェクトの目的・概要</u> <u>A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発</u> 光学ガラス、液晶、ハードディスク、フォトマスク等のガラス精密研磨には、酸化セリウムを主成分としたレアアース研磨材が、年間約1万トン（事業を開始した平成21年度の数値）使用されている。レアアース研磨材の原料は、主に中国からレアアースの複合原料として輸入され、国内の研磨材メーカーにて、研磨材製品として加工されている。これらの研磨材は一定期間研磨に使用された後、全量廃棄処分されているのが現状である。本研究では廃研磨材に含まれる不純物を効率的に除去する技術を確立し、低コストで使用済み研磨材をリサイクルすることを目的とする。 <u>B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発</u> 蛍光灯、CRTなどに使用されるイットリウム、ユーロピウム、テルビウム等を主体としたレアアース蛍光体は、製品製造工程における工程スクラップや、使用済み製品から他の金属等を回収した後に、市場スクラップの形でほとんどが廃棄物として捨てられている。これらの廃蛍光体には、レアアース成分以外に様々な不純物が含まれているため、本研究ではこれらの不純物がレアアース元素の回収（分離・抽出）に影響を与えない程度まで低減させておく技術を確立し、各々のレアアース元素を回収して、蛍光体原料として再利用する技術を開発することを目的とする。																																		
予算額等（委託） （単位：千円） <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 20%;">開始年度</th><th style="width: 20%;">終了年度</th><th style="width: 20%;">中間評価時期</th><th style="width: 20%;">事後評価時期</th><th style="width: 20%;">事業実施主体</th></tr> <tr> <td>平成20年度 （補正予算）</td><td>平成24年度</td><td>—</td><td>平成25年度</td><td>独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構</td></tr> <tr> <td>H20FY 予算額</td><td>H21FY 予算額</td><td>H22FY 予算額</td><td>H23FY 予算額</td><td>H24FY 予算額</td></tr> <tr> <td>145,000</td><td>100,000</td><td>200,000</td><td>159,992</td><td>79,939</td></tr> <tr> <td colspan="3"></td><td>総予算額</td><td>総執行額</td></tr> <tr> <td colspan="3"></td><td>684,931</td><td>656,740</td></tr> </table>					開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体	平成20年度 （補正予算）	平成24年度	—	平成25年度	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構	H20FY 予算額	H21FY 予算額	H22FY 予算額	H23FY 予算額	H24FY 予算額	145,000	100,000	200,000	159,992	79,939				総予算額	総執行額				684,931	656,740
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体																														
平成20年度 （補正予算）	平成24年度	—	平成25年度	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構																														
H20FY 予算額	H21FY 予算額	H22FY 予算額	H23FY 予算額	H24FY 予算額																														
145,000	100,000	200,000	159,992	79,939																														
			総予算額	総執行額																														
			684,931	656,740																														

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

最終的な回収フローを構築した。最終フローに至るまでの過程には、種々の課題が存在した。中でも、中国のレアアース輸出規制に端を発したガラスメーカーの研磨材使用量削減は、廃研磨材の性状を変化させたため（不純物品位の上昇、油分等の増加）、リサイクルフローを見直すこととなった。それらに対応すべく、最終のリサイクルフローは、化学的处理＋物理的处理＋研磨材への再生のプロセスを組合せたプロセスとなった。このフローにより以下を達成した。

- 1) リサイクル研磨材品質である研磨キズ、レートは、製品研磨材と同等の目標に対し、同等以上であった。
- 2) レアアースの歩留70%以上の目標に対し、95%となった。
- 3) リサイクルコストを輸入原料以下とした目標に対し、事業開始当時のレアアース品位であれば、リサイクルコストは輸入原料と同等であったが、その後の環境変化（中国による輸出規制）により、国内ガラスメーカーが研磨材原単位を削減し、廃研磨材中の不純物量が著しく増加したため、回収に係る薬液やその他のコストが高くなり、事業終了時点では、輸入原料に対し2倍程度のリサイクルコストとなった。
- 4) 実証規模として、3トン／月以上の設備での製造が可能とする目標に対し、要素設備の仕様・能力を把握し、3トン／月の製造は維持可能とした。

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

工程スクラップ及び市場スクラップからの回収として、前処理＋溶媒抽出から成る回収フローを構築し、以下を達成した。

- 1) 工程スクラップの前処理でのレアアース回収率95%以上の目標に対し、Y・Eu：98%、Tb・Ce・La：96.9%を達成した。
- 2) 市場スクラップの前処理でのレアアース回収率82%以上の目標に対し、87.3%を達成した。
- 3) 1) 及び2) で得られるレアアースの品質99.9%以上の目標に対し、99.9%以上となることを確認した。

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

個別要素技術	目標・指標	成果	達成度
(1) 廃研磨材の前分散処理技術	研磨材成分の1mmメッシュ通過率：99%以上	ホモジナイザー処理後の1mmメッシュ通過率：99%以上	達成
(2) 不純物除去技術	不純物品位を下記のとおりとする。 ・Fe<0.20% ・Si<0.06% ・Al<0.06%	凝集剤除去後の不純物品位代表値 ・Fe<0.15% ・Si<0.02% ・Al<0.06%	達成

(3) 分散処理技術	3 μm フィルター通過率：90%以上	分散処理後の2 μm フィルター通過率：95%	達成
(4) 焼成技術	焼成後の研磨材の粉体物性を下記のとおりとする。 ・D50：1.0～1.3 μm ・SSA：3～4 m^2/g	代表値 ・D50：1.2 μm ・SSA：3.4 m^2/g	達成
(5) 研磨材特性	研磨キズ、研磨レート共に製品相当の特性とする。	リサイクル研磨材の品質：キズ、研磨レート共に製品相当	達成
(6) 品質管理	下記のリサイクル工程の合否を迅速に判断する。 ・不純物除去工程での不純物量 ・フィルター工程での粗粒頻度 ・焼成工程での粒径・比表面積・結晶構造	不純物の定量分析：XRF評価技術を確立 粗粒頻度の分析：精密粒度分布による評価技術を確立 結晶構造：粒度分布、比表面積計、XRDによる評価技術を確立	達成
(7) 評価技術	研磨キズの評価手法を目視以外で1つ以上確立する。	散乱光を検出するタイプの検査機の有効性を確認	達成

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

個別要素技術	目標・指標	成果	達成度
(1) 蛍光体製造工程内スクラップの前処理技術	・レアアースを回収するための溶解分離方法を開発する。 ・レアアース回収率95%	YOS（CRT用蛍光体）、LAP（ランプ用蛍光体）スクラップともに化学的処理（アルカリ溶融＋酸抽出）による不純物除去およびレアアースの溶解技術を確立した。回収率はY、Euが98%、Tb、Ce、Laは96.9%であった。	達成
(2) 蛍光体製造工程内スクラップのレアアース相互分離精製技術	レアアースの相互分離・分離回収レアアース品質 $\geq 99.9\%$	各レアアースの相互分離技術を確立した。回収レアアースは各成分とも $\geq 99.99\%$ の品質であることを確認した。	達成

(3) 市場蛍光体スクラップ（主に廃蛍光灯蛍光体）の前処理技術	①レアアースを回収するための溶解分離方法を確立する。 ・レアアース回収率 82% ②不純物の挙動調査および除去技術を確立する。	化学的処理（アルカリ溶融＋酸抽出）によるレアアースの溶解技術を確立した。レアアース回収率は 87.3% であった。 溶媒抽出分離に悪影響を及ぼす不純物（Al、Si、Fe 等）を確定し、その除去技術を確立した。また微量の Hg は活性炭による吸着除去方法を確立した。	達成 達成
(4) 市場蛍光体スクラップのレアアース相互分離精製技術	レアアースの相互分離・分離回収レアアース品質（Y、Eu、Tb） $\geq 99.99\%$	小規模連続抽出分離設備を用いてレアアース毎（Y、Eu、Tb、Ce、La）の分離精製を行い、各レアアースの相互分離技術を確立した。回収したレアアースは各成分とも $\geq 99.99\%$ の品質であることを確認した。	達成
(5) 市場蛍光体スクラップ処理の最適化	量産処理でのフローの最適化とプロセスの妥当性を検証する。	不純物除去プロセスの最適フロー（効率、コスト的）を決定し不純物除去処理液から溶媒抽出によるレアアース分離プロセスの妥当性を確認した。	達成
(6) 事業構想と採算性の検証	調達される市場スクラップの品質と処理コストを精査し採算性の検証及び事業構想を策定する。	本事業にて開発された回収プロセスによる採算性を検証し、事業化を見極めるには収集スクラップの量と品質さらにレアアースの相場および販路確保が重要であることを確認した。また、福岡県リサイクルプロジェクトに参加して、市場スクラップの収集を含めたリサイクル事業フローを策定し、事業化に向けた取組みを行った。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無
変更無し。

<共通指標>

要素技術	論文数	論文の被引用度数	特許等件数（出願を含む）	特許権の実施件数	ライセンス供与数	取得ライセンス料	国際標準への寄与
A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発	0	0	1 ※2件の出願を1件に統合して登録	0	0	0	0
計	0	0	1	0	0	0	0

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

レアアースの高騰に伴うレアアースリサイクルの推進や経済性のあるリサイクルプロセスの開発に関する政策的位置づけ、特に資源の安全保障の観点から妥当であると判断される。事業開始時の社会的状況から毎年1万トン排出されている廃研磨材からのレアアースの効率的な回収技術は、我が国のレアアース鉱物資源の安定確保にも寄与するという観点から極めて重要であるため、国を挙げて取り組むべき課題として妥当である。

なお、現状のレアアースの価格の下落により、事業としての採算性は確保できていないと判断される。更なる低コストのリサイクルプロセスの開発が必須、あるいは、他用途へのアップグレードリサイクルも考慮する必要も考えられる。

また、将来の世界のレアアース開発において、セリウムに代表される軽希土類の生産と需要の動向の検討が必要である。

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

レアアースの分離精製技術としては、従来から行われている溶媒抽出技術を使ったものであり、実用化の実績が高い技術であると判断される。事業開始時の社会的状況から廃蛍光体からのレアアースの効率的な回収技術は、我が国のレアアース鉱物資源の安定確保にも寄与するという観点から極めて重要であるため、国を挙げて取り組むべき課題として妥当である。また、現在、レアアースの価格が低下し、本方法は価格の面ですぐに実用化の可能性は少ないが、レアアース資源が不足する将来を見据えた事業として重要である。

なお、現状のレアアースの価格の下落により、事業としての採算性は低くなっているため、更なる技術革新により分離精製技術のコストダウンが図れないと、事業化は難しいものと判断され、社会システム設計等へ活かすことが望まれる。

2. 研究開発等の目標の妥当性

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

回収した研磨粉の鉄、ケイ素、アルミニウムの不純物除去、また、研磨キズ、研磨レート、レアアースの歩留、リサイクルコストおよび製造量規模についての目標設定および設定根拠等は事業化を踏まえた設定となっており、妥当である。

なお、研磨に適したリサイクルから製造したセリウム粉の研磨特性は、定性的で評価が難しい面がある。また、事業開始時のレアアースの価格をベースにて事業化のための研究開発を実施しているが、現状のレアアースの価格の下落を受けて、これに対応して事業化できるまでのコストダウンは達成できていない。

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

工程内スクラップのレアアース回収率、市場スクラップのレアアース回収率、溶媒抽出分離精製回収レアアース（イットリウム、ユウロピウム、テルビウム）の品質についての目標設定および設定根拠等は、事業化を踏まえた設定となっており、妥当である。

なお、事業開始時のレアアースの価格をベースにして事業化のための研究開発を実施しているが、現状のレアアースの価格の下落を受けて、これに対応しながら十分事業化できるレベルには達しておらず、リサイクルした粉をこれほどまでに高純度化する必要があるのか。また、カスケード利用も検討したほうがコストを下げることができる。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

化学的処理で凝集剤成分を、物理的処理でガラス由来の異物を除去することで、研磨キズは製品研磨材と同等を実現した。また、焙焼／分級処理を行うことで、研磨レートを回復できた。不純物除去工程の歩留は80%であるが、酸処理時に溶解したレアアース成分を回収するプロセス（歩留75%）を設置することで、全体の歩留が95%になった。したがって、技術的な目標は達成したと評価でき、回収した研磨粉の特性はほぼ妥当と考えられる。更に、特許出願2件がある。

なお、研磨材廃滓の著しい品位低下に伴い、薬剤費用の増大や設備投資額の増加によりリサイクルコストが当初総定額の数倍になった。したがって、コスト的には目標を達成しないと評価される。事業の途中で状況の変化に対応するため「レアアース回収プロセス」を追加しているが、レアアースの歩留目標（70%→90%）を大きく超えており、追加した「レアアース回収プロセス」なしでも歩留80%を達成しているので、このプロセスの追加によりリサイクルコストを増加させている可能性が高い。また、技術流出を避ける観点から、論文化等が難しかったことは理解できるが、少なくともこうした技術を開発したという事実のアピールは、資源戦略上重要であると考え、今後の広報に期待したい。

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

工程内スクラップのレアアース回収では、レアアース以外の不純物が少ないため、蛍光体の分解を目的とした前処理技術とミキサーセトラーによる溶媒抽出分離によりレアアースの99.99%の純度の個別分離を達成している。また、市場スクラップのレアアース回収では、特に、レアアース以外の不純物の除去を目的とした前処理を組み込んだ溶媒抽出分離法により99.99%の純度の個別分離を達成しているため、得られた成果は妥当であると判断できる。

なお、本工程は希土類含有混合蛍光粉を、すべて化学的浸出を用いて高純度希土類粉を回収する技術であり、コストが高価である。より安価な、物理的に3色蛍光粉をわけて、表面改質して、蛍光粉に再利用する物理的選別技術を組み合わせた研究も必要である。また、希土類含有セラミックスやガラスをアルカリ溶融するための最適条件の調査がさらに必要である。更に、技術流出を避ける観点から、論文化等が難しかったことは理解できるが、少なくともこうした技術を開発したという事実のア

ピールは、資源戦略上重要であると考える。今後の広報に期待したい。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

レアアース研磨材の市場状況として、代替材料の開発、研磨材使用量の削減の推進により現状のレアアースの価格の下落で事業化は困難な状況になっている。しかしながら、リサイクル技術の確保は資源の安全保障上重要な事項であると判断できる。事業環境の変化から困難な状況に陥っているが、無理に事業化のシナリオを描くのではなく、それを冷静に分析している点は評価されるべきである。

なお、事業化の目処が立っていない点は問題ではある。更なるプロセスコストの低減に取り組むこと、あるいは、スケールメリット（処理量の増加）により事業の採算性がとれる方策を考える必要がある。

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

廃蛍光体スクラップからのレアアースリサイクルはコスト面の理由から困難であると言われてきたが、本事業の成果により低コストでのスクラップ処理技術を開発し、本リサイクルの事業化が実現可能であることが示された。加えて、福岡県が進めた「レアアースリサイクル事業化共同プロジェクト」により事業化が可能な段階まで達成したものと判断できる。

なお、3色蛍光粉と磷酸系蛍光粉を一緒したものを分離すると分離プロセスが増えるため、回収の段階から3色蛍光粉含有物とそれ以外の蛍光物を分離して回収し処理するための収集の検討が必要である。また、より安価のため物理的に3色蛍光粉をわけて、表面改質し、蛍光粉に再利用する物理的選別技術を組み合わせた研究も必要である。更に、いかに廃蛍光材を収集するかについて、国、地方自治体とともに、流通モデルを構築する必要がある。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

研究開発計画や資金分配について、変更に対応する形で行われたと判断できる。加えて、本事業による技術開発を効率かつ効果的な運営を図るために、当該技術について技術的また社会的知見を有する外部専門家からなる「希土類金属等回収技術開発委員会」を設置し、事業計画、成果評価等について意見を聴取しつつ適切に推進したと判断できる。

なお、他の事業と比べて使用金額が大きいように思えるので、開発技術をベースとしてさらに効率的で低コストのリサイクルフロー技術の開発を行っていく必要がある。また、研磨の評価は研磨剤メーカーと共同で行ったほうがより成果が明確になったと思われる。

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

研究開発計画や資金分配について、変更に対応する形で行われたと判断できる。加えて、本事業による技術開発を効率かつ効果的な運営を図るために、当該技術について技術的また社会的知見を有する外部専門家からなる「希土類金属等回収技術開発委員会」を設置し、事業計画、成果評価等について意見を聴取しつつ適切に推進したと判断できる。

なお、物理的選別も検討するなど、希土類価格の変化に対応した技術開発も必要。市場蛍光体スクラップから不純物を除去する前処理工程において、さらに効率的で低コストのリサイクルフロー技術の開発を行っていく必要がある。また、海外での事業展開を含めて、スケールメリットによる採算性

確保について検討する必要がある。

6. 総合評価

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

現在、研磨剤が代替材料開発のためにセリウムからアルミナやジルコンに置き換わり、すぐに実用化の可能性は少ないが、レアアース資源が新規開発で十分供給される将来を見据えた事業として重要である。また、研究開発着手時に想定した研磨材廃滓品位に対しては、従来技術より低コストの研磨材再生技術をパイロットスケールで実証したことは評価できる。

なお、現状のレアアースの相場では、事業としての採算性を確保することは困難であるが、海外への展開等によりリサイクル量の増大によるスケールメリットまで踏み込んだ事業展開を図る必要があると考えられる。

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

概ね事業は妥当に遂行されたと判断できる。しかしながら、レアアースの価格の相場により大きく影響を受ける事業であったことは否めないが、採算性の確保できる技術を開発した意義は大きい。

なお、本工程は希土類含有混合蛍光粉を、すべて化学的浸出を用いて高純度希土類粉を回収する技術であり、コストが高価である。より安価な、物理的に3色蛍光粉をわけて、表面改質して、蛍光粉に再利用する物理的選別技術を組み合わせた研究も必要である。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

A. 使用済みレアアース研磨材廃滓からの研磨材再生技術の開発

・将来の世界のレアアース開発において、セリウムに代表される軽希土類の生産と需要の動向の検討が必要であるとともに、将来、レアアースの開発に伴い、軽希土類が余る可能性もあり、軽希土類の応用開発も必要と思われる。

・今後は、研磨剤製造メーカやガラス・メーカなどの関係企業と連携して、新たな役割分担に立脚したレアアース研磨剤リサイクルシステムを構築することが肝要である。

B. レアアースを含有する蛍光体スクラップからのレアアース回収技術の開発

・将来の世界の海陸を含むレアアースの開発において、高価な重希土類であるユウロピウム、テルビウムの生産と需要の動向について検討が必要である。

・LED製品の普及に伴い、ランプ蛍光体の需要が急激に減少しているという現状もある。今後は、レアアースの外部環境を見極め、研究開発方針を検討する必要がある。

<2テーマ共通>

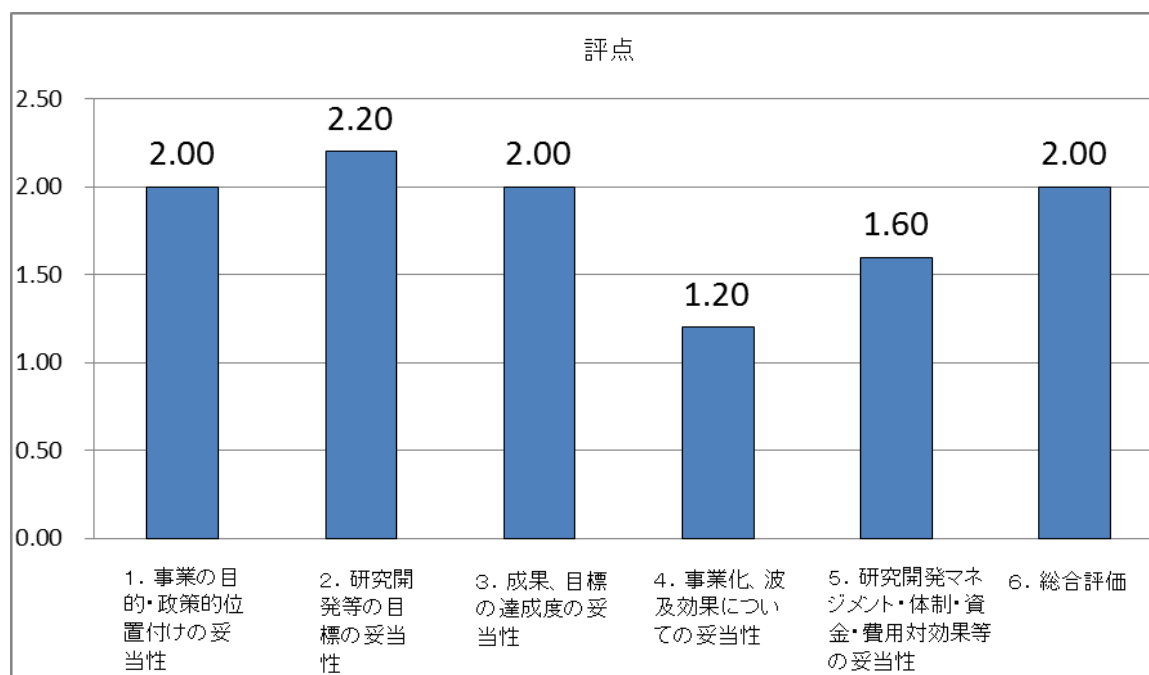
・レアアースは、高機能性素材として重要であるが、需給状況等の内外環境は、常に不安定な要素をはらんでいる。このような素材を対象とした研究開発においては、単線的な対応ではなく、時間軸を長く取った複線的な進め方がふさわしい。本事業の成果についても、単に現下の事業化の可能性を評価するだけでなく、より定量的に技術パッケージとして整理した上で、contingency planとして位置づけることが重要と思われる。

評点結果

評点法による評点結果

(希土類金属等回収技術研究開発 テーマ A)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.00	2	2	2	2	2
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.20	2	1	3	3	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.00	2	1	2	3	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.20	2	1	1	1	1
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	1.60	1	1	2	2	2
6. 総合評価	2.00	2	2	2	2	2



評点法による評点結果

(希土類金属等回収技術研究開発 テーマB)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.20	2	2	2	3	2
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.00	2	2	1	3	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.20	2	2	2	3	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.40	2	2	3	3	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.00	2	2	2	2	2
6. 総合評価	2.60	2	2	3	3	3

