第２７回評価ワーキンググループ
資料３（概要版）

有害化学物質代替技術開発
事後評価報告書
（案）

平成２７年１２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

事後評価報告書概要

プロジェクト名	有害化学物質代替技術開発
上位施策名	環境安心イノベーションプログラム
事業担当課	製造産業局化学物質管理課

プロジェクトの目的・概要

環境を経由した人の健康等への悪影響が懸念される化学物質のうち、有害な重金属を含有し上市禁止等の規制強化が今後見込まれ、かつ、代替物質の開発が特に困難な無機顔料について、代替物質を開発（製造プロセスの開発等を含む）し、当該顔料による環境リスクを低減する。具体的には色の三原色である黄、赤及び青について、人体に有害な元素及び環境負荷の大きい元素を含まない無機顔料及びその合成方法を開発する。

これによって、社会ニーズが高い顔料が急に上市できなくなるという企業経営上のリスクを低減するとともに、諸外国に先駆けて代替化を行うことにより我が国企業の国際競争力強化に資する。

予算額等（委託）　　（単位：千円）

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２２年度	平成２６年度	平成２４年度	平成２７年度	大阪大学
H24FY 予算額	H25FY 予算額	H26FY 予算額	総予算額	総執行額
28,659	27,740	22,000	154,115	153,823

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

個別要素技術	目標		成果	達成度
新規無機顔料の創成	黄色顔料	$L^*a^*b^*$表現系における b^*値が+90 以上 L^*C^*h 表現系における C^*値が 90 以上 着色力が黄鉛と同等以上	$Bi_{0.85}Ca_{0.08}Zn_{0.02}La_{0.05}VO_{3.95}$ において b^*値= +93.5、C^*値 = 93.8 着色力は黄鉛の 39%。	一部達成
	赤色顔料	$L^*a^*b^*$表現系における a^*値が+25 以上 L^*C^*h 表現系における C^*値が 55 以上 着色力がカドミウムレッドと同等以上	$(Bi_{0.92}Zr_{0.07}Al_{0.01})_4V_2O_{11.34}$ において a^*値 = +41.9、C^*値 = 53.9 着色力はカドミウムレッドの 33%。	一部達成
	青色顔料	$L^*a^*b^*$表現系における b^*値が－35 以下 L^*C^*h 表現系における C^*値が 40 以上 着色力がコバルトブルーと同等以上	$(Ca_{0.94}Eu_{0.06})_3Sc_2Si_3O_{12+\delta}$ において b^*値 = −36.3、 C^*値 = 45.7 着色力はコバルトブルーの 57%。	一部達成
生体安全性の評価	高蓄積性ではない 有害ではない 復帰突然変異原性試験等陰性		蓄積性、有害性は認められなかった。 復帰突然変異原性試験は陰性と判定された。	達成

実用性の検証	スケールアップ時の課題抽出と解決策の検討や、代替に伴って改良するプロセス、製品等の課題の抽出と解決策の検討	$Ce_{0.43}Zr_{0.37}Bi_{0.20}O_{1.90}$ 黄色顔料（b^*値= +68.9）、$Bi_{0.90}Ca_{0.08}Zn_{0.02}VO_{3.95}$ 黄色顔料（b*値= +91.6）、$Bi_{0.85}Ca_{0.08}Zn_{0.02}La_{0.05}VO_{3.950}$ 黄色顔料（b*値＝+93.5）、Y_2BaCuO_5 緑色顔料（a*値= −46.7）及び$(Y_{0.9}Lu_{0.1})_2BaCuO_5$ 緑色顔料（a*値= −48.6）のサンプル品を事業者に提供し、実用性について検討を行った。 スケールアップをして同じ特性が得られるようにすることが課題であったが、固相反応法において原料の検討、反応温度や原料粉末の撹拌条件を制御することにより解決した。 代替に伴って改良するプロセス、製品等の課題としては、原料の製造メーカーが異なることと、製造コストの増大があった。前者については、協力企業と従来より取引を行っているメーカーのもので問題ないことを確認した。製造コストについては、最適組成顔料に比べて色味はやや劣るが、比較的価格の高い希土類（La や Lu）を抜いた試料で事業化することにより解決した。 以上の結果を踏まえ、$Bi_{0.90}Ca_{0.08}Zn_{0.02}VO_{3.95}$ 黄色顔料、及び Y_2BaCuO_5 緑色顔料について、量産製法として適切な合成方法である液相合成に移行して、事業化を行うことになった。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

事業開始当初に設定していた生体安全性の評価３項目（濃縮性、有害性、遺伝毒性）については、費用対効果を鑑み、実験動物への反復投与試験と遺伝毒性試験である復帰突然変異試験について検討を行った。

最終目標については、中間評価において、開発した顔料の実用化に向けては、実際の使用現場を想定した色相や着色力等についても評価することが必要であると評価委員より提言があったことに加え、研究開発推進委員会において、実用化を考慮すると $L^*a^*b^*$ の数値のみの指標だけでなく、目で見た実際の鮮やかさや着色力も重要であるため、$L^*a^*b^*$ の値は今すでに達成されているものとし、新たに鮮やかさや着色力も指標とするよう意見があった。そこで、色の鮮やかさを表す L^*C^*h 表色系における C^* 値、及び着色力を目標の指標に加えるため、基本計画における最終目標の指標を変更した。

＜共通指標＞

要素技術	論文数	論文の被引用度数
新規無機顔料の創成	11	17
実用性の検証	2	0
計	13	17

評価概要

１．事業の目的・政策的位置付けの妥当性

経済産業省のイノベーションプログラムに位置づけられ、その中の化学物質総合評価管理の達成目標である、リスクの削減に資するプロセス・手法の開発に資するものである。また、未だに鉛やカドミウムなど有害性のある化学物質を使用し、優れた代替物質がない現状において、将来的な国際規制に先じて諸外国に先駆けて行う代替物質開発は、我が国の伝統工芸産業も含めた化学物質ユーザー産業の持続的発展に寄与するものであり、官学産連携で進めている点については科学技術基本計画における産業競争力強化の推進策にも合致するものである。

このことから、本事業は社会的意義の高い、公共性のある事業として政策的な意味は極めて大きい。

一方で、開発した無機顔料を世界に発信して、我が国産業の国際競争力強化に繋げていく施策が不可欠である。

２．研究開発等の目標の妥当性

黄、赤、青の３色の「色彩」の数値目標は、既存の顔料の数値を考慮して設定されており、達成度の指標、水準として適切である。

また、中間目標の達成後、実用性の観点から「着色力」の数値目標を追加して挑戦した点は高く評価できる。この目標を目指して実行された種々の成果は、学術的にも工業的にも評価できるものである。

一方で、有害な無機顔料は、有機顔料と比べて高い色彩値を有しているので、有害でも利用されてきたが、研究開発の目標としては、まずは、有機顔料の色彩値を超える程度の目標値としても良かったのではないか。

また、事業化のためにはコストが重要であり、原料材料であるレアメタルは価格変動が大きいことも考慮し、品質面でコストを抑える観点から長期安定性に関する何らかの数値目標は考えられなかったのかと思う。

３．成果、目標の達成度の妥当性

複合酸化物に関する科学的知見に立脚した理論とアプローチにより多くの試験を行い、最適な組成を探索し、表色系の数値目標をほぼ達成したことは工業的にも学術的にも価値が高いものと評価できる。特に黄色顔料は黄鉛に近い色度と彩度を得ており、緑色顔料においても、既存のクロムグリーン、コバルトグリーンより色度が高く、かつ彩度が優れた顔料が開発された。

また、その成果を複数の国際的学術論文として発表し、特許出願も行い、加えて国内の学会、業界団体への成果発信も積極的に行われており、事業化を検討するためのサンプルとしては十分である。

一方で、事業化の観点から重要なファクターである着色力が３色とも目標達成には至らなかったことを踏まえ、着色力に大きな影響を与える粉末の粒径について、今後の研究の方向性を示すある程度の成果がほしいところである。

また、予算の不足から濃縮性試験の項目が割愛された点が残念である。

更に、技術のノウハウや知財等の権利化の観点でもう少し議論があっても良かった。

４．事業化、波及効果の妥当性

中間評価以降、複数の企業や機関の協力を得つつ事業化への見通しを明確にしており、例えば有田焼で耐熱温度の低い上塗りに使用可能であるなど、具体的に用途を考慮して事業化の可能性を見いだしている点で高く評価できる。

また、より大きな市場における事業化に向けた課題として、コスト低減と着色力向上を掲げたうえで、固相反応から液相反応への転換によるコスト削減、粒度や粒子形状の適正な選択による着色力の改善について具体的な検討がなされており、事業化のポテンシャルが高まるものと考えられる。

更に、大量生産に入った段階で課題となる顔料組成の安定性については、分散剤を添加することによって、合成時に原料成分を均一に分散する反応環境を作れば解決できると考えられ、今後、原料成分のナノ化やコロイド化技術に関する研究の余地がある。

今後は当該技術のアドバンテージをアピールして、事業化に対する産業界のモチベーションを維持して欲しい。

一方で、事業化研究の推進のため、国が積極的に民間企業の参加を呼びかけても良いのではないか。

５．研究開発マネジメント・体制等の妥当性

研究計画から事業化検討に至る流れが効率よく行われ、実施体制・運営について適切かつ妥当である。

また、中間報告以降の事業化を目指した目標の見直しは適切であり、特に予算縮小の中で追加された目標についても適宜対応しつつ、長期毒性のスクリーニング評価を含め極めて広範囲な課題に対してバランス良く開発事業を推進してきた点は、プロジェクトリーダーの力量によるものと思われる。

一方で、代替された物質についての人体への濃縮性を試験すべきであったが、資金不足でそれができなかったのは本事業の重要性を鑑みて、非常に残念である。

また、企業との連携により、大きな市場であるプラスチックへの利用に係る積極的な評価体制があれ

ばなおよかった。

６．費用対効果の妥当性

限られた期間と予算の中で、最新の色材に係る知見を活用し、合成理論に基づいて的確な試料を合成し、性能評価のみならず安全性評価も行っており、工業的にも学術的にも優れた成果を上げている。本事業で開発した無機顔料は、ディスプレー用のカラーフィルターなど高付加価値な用途への利用が十分に期待でき、今後の更なる事業化研究の成否に依存するものの、無機顔料メーカーのみならずユーザーメーカーの国際競争力の強化に大いに貢献出来ると考えられる。

一方で、事業化にはコスト低減、着色力向上、安定量産化のための技術開発が必須であるため、国の主導でもう１ステップの川下ユーザーを入れて共同研究が必要と考える。

７．総合評価

有害化学物質を用いない新規代替無機顔料の開発は、持続可能な安全・安心な世界を次世代に引き渡す大切な使命であり、短期間で限られた資金の中で、学術的にも世界に発信できる質の高い成果が得られたことは、産学連携と国の財政的支援の優れた成功例と考えられる。

また、国際競争力の強化の観点からも本事業は極めて重要な位置づけにあり、我が国顔料メーカーが世界市場のトップランナーになり得る可能性があり、業界の活性化にもつながるものである。

一方、事業化の検討は既に行われているものの、まだいくつかの解決すべき課題としてコスト削減、着色力、大量生産プロセス等に対する課題が残っているが、今後の大学と企業の連携による事業化研究やその成果波及に対して、プロジェクトリーダーの力量には大いに期待する。

また、性能やコスト面だけでなく、国際的な事業展開を見据えて、特許を含めた知的基盤に係る戦略は不可欠である。

８．今後の研究開発の方向等に関する提言

本事業における今後の研究開発の方向については、事業化に不可欠な着色力の向上やレアアースの性能に着目した積極的な活用、今後の国の役割についての提言がなされた。

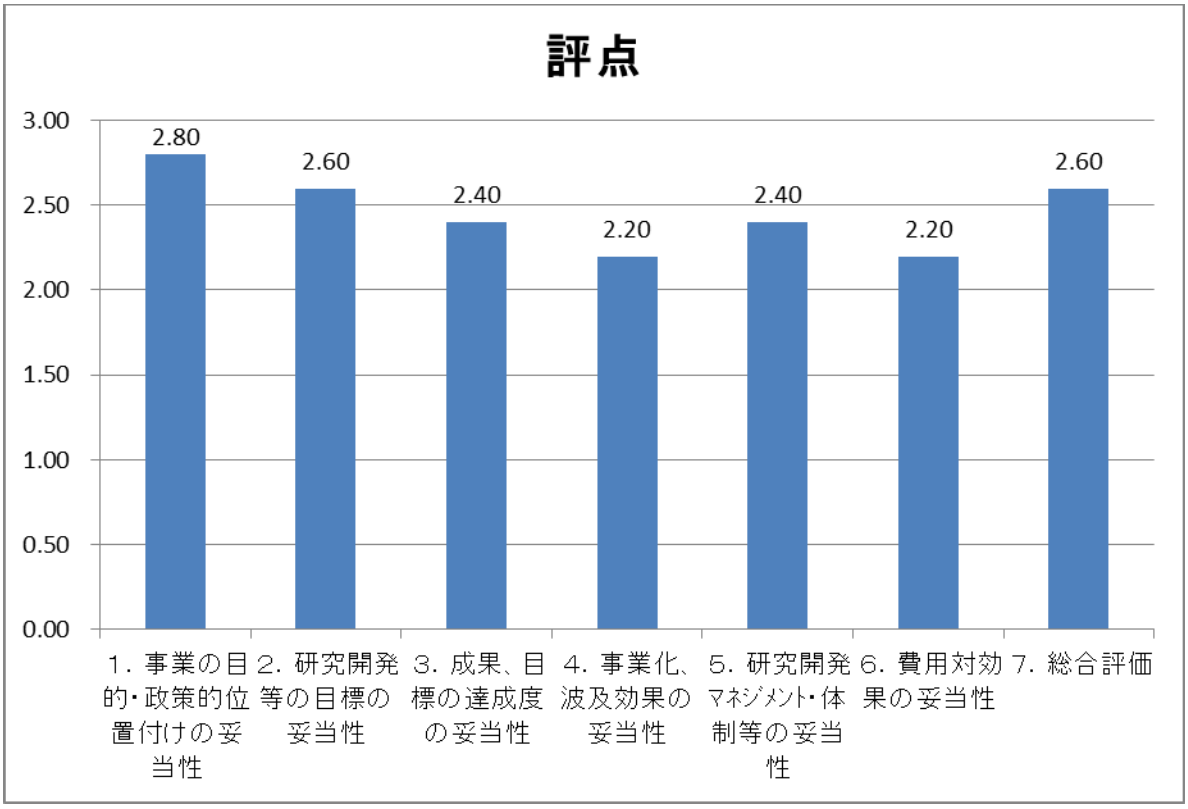
〇事業化に向けて残る重要な技術課題は、より微細な無機顔料を製造する技術と、塗料等製品中の分散性向上のための技術の開発と考える。これにより着色力が高まる可能性がある。既に検討に着手しているものの、是非関連業者も参入させて研究を加速し、我が国発の産業化と学術成果として確立されることを望む。

〇脱レアアース、省レアアースと言われるが、優れた特性をもつこれら元素群をあえて排除する考え方は今後の技術立国としての我が国にとって大きな障害になる。最近では需要が減ってきたため安価になったレアアースもあるため、必要なところに必要なものを使用して事業化を推進することにより、結果的にコストを低減することも模索してもらいたい。

〇今後の事業化が本当の意味での重要要点となるため、企業のモチベーションを維持できるよう国の役割を大いに期待する。

評点結果

評点法による評点結果

「有害化学物質代替技術開発」

	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	2.80	3	3	3	2	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.60	3	3	3	2	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.40	3	2	3	2	2
4. 事業化、波及効果の妥当性	2.20	3	2	2	2	2
5. 研究開発ﾏﾈｼﾞﾒﾝﾄ･体制等の妥当性	2.40	2	3	3	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.20	3	2	2	2	2
7. 総合評価	2.60	3	3	3	2	2