

第1回有害化学物質代替技術開発 プロジェクトの概要について

平成27年9月30日

経済産業省製造産業局化学物質管理課
国立大学法人大阪大学

目次

1. プロジェクトの概要・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2. 事業目的・政策的位置付け・・・・・・・・・・	6
3. 研究背景・目標・・・・・・・・・・・・・・・・・・	12
4. 成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	16
5. 成果詳細・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	18
6. 研究開発マネジメント・体制等・・・・・・・・	60
7. 事業化、波及効果・・・・・・・・・・・・・・・・	64
8. 費用対効果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	66

1. プロジェクトの概要

概 要	有害性が懸念される代替が困難な化学物質について、転換が円滑・迅速になされるよう代替物質の開発等を行う。
実施期間	平成22(2010)年度～平成26(2014)年度 (5年間)
予算総額	1. 54億円(5年間) (平成22年度:0.420億円 平成23年度:0.337億円 平成24年度:0.286億円 平成25年度:0.277億円 平成26年度:0.220億円) * 平成22年度は、NEDOからの委託事業として実施。
実 施 者	国立大学法人 大阪大学
プロジェクト リーダー	今中 信人 大阪大学大学院工学研究科(教授)

2-1. 事業の目的

(社会的背景)

◆ 2002年持続可能な開発に関する世界首脳会議で「WSSD目標」

－“化学物質の生産や使用が人の健康や環境にもたらす悪影響を2020年までに最小化することを目指すこと”が国際合意された。

－具体的な行動は、「水銀とその化合物に関するUNEPのグローバル・アセスメントなどの関係する研究をレビューすること等を通じて、人の健康と環境に害を及ぼす**重金属によるリスクの軽減を促進**すること。」など。

◆ 2006年第1回国際化学物質管理会議(ICCM)「SAICM(国際的な化学物質管理に関する戦略的アプローチ)」採択

－科学的なリスク評価に基づくリスク削減、予防的アプローチ、有害化学物質に関する情報の収集と提供、各国における化学物質管理体制の整備、途上国に対する技術協力の推進等の分野での戦略と行動計画を定めている。

◆ 2012年第3回ICCM

－塗料中**鉛**の廃絶を目指した取り組みを進めることが決定された。

2-1. 事業の目的

(各国の動き)

◆ 欧州

- －2003年に電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する指令（RoHS指令）が公布され、2006年から鉛、水銀、カドミウム及び六価クロムを含む電気電子機器は上市が禁止された。
- －自動車部品や材料についてもELV指令により、2003年から鉛、水銀、カドミウム及び六価クロムを含む部品等については上市が禁止された。
- －REACHでは、2011年にカドミニウム含有製品の規制が強化され、2012年には鉛含有製品の規制が導入された。

◆ 米国

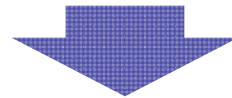
- －一部の州法に「容器包装の重金属規制」があるなど、重金属に関する規制が強化されつつある。

◆ 日本

- －1999年に化管法が制定され、有害な化学物質における事業者の自主管理を促すため、事業所が排出量等を把握して国に届け出る制度や製品中の有害物質をSDS（安全性データシート）に記載して相手に情報提供する制度が始まった。この有害物質には、鉛、水銀、カドミウム六価クロム等の重金属が含まれている。

2-1. 事業の目的

- ✓ 鉛、カドミウム等を含む有色無機顔料については、耐光性・耐熱性・彩色・視認性・コスト等の課題があるため、他の顔料で代替することができないものがあり、使用が継続されている。



- ◆規制強化が見込まれる重金属を含有する顔料について、代替物質を開発する。
- ◆当該物質により環境リスクを低減するだけでなく、厳格化する化学物質規制により必要不可欠な物質が使用できなくなる企業経営上のリスクを低減し、さらに、諸外国に先駆けて代替化を行うことにより、我が国産業界の国際競争力強化に資することを目的とする。

2-2. 政策的位置付け

●本事業に関連する経済産業省の計画・提言

◆イノベーションプログラム基本計画（平成22年4月）

環境安心イノベーションプログラム基本計画

《達成目標：IV. 化学物質総合評価管理》

2002年に開催されたWSSD（持続可能な開発に関する世界首脳会議）において「化学物質が、人の健康と環境にもたらす著しい悪影響を最小化する方法で使用、生産されることを2020年までに達成することを目指す」という国際合意がなされていること等を踏まえ、化学物質のリスクの総合的な評価を行いつつ、リスクを評価・管理するための技術体系を構築する。そのために、化学物質のリスクに係る国民の理解増進のための基盤、事業者が自らリスクを判断する手段及び国が規制等の施策を講ずる際の手段として、化学物質のライフサイクルにわたるリスクの総合的な評価管理を行うための手法を確立するとともに、**リスクの削減に資するプロセス、手法の開発**、さらには知的基盤を整備する。

◆技術戦略マップ2010（平成22年6月）

化学物質総合管理分野では、化学物質リスク削減技術開発の重要技術として、「有害な無機顔料の代替物質開発」が開発目標に位置づけられている。

2-2. 政策的位置付け

●本事業に関連する経済産業省の計画・提言(つづき)

◆ 第4期科学技術基本計画（平成23年8月19日閣議決定）

Ⅲ. 我が国が直面する重要課題への対応

1. 基本方針

国として取り組むべき重要課題を設定し、その達成に向けた施策を重点的に推進

2. 重要課題達成のための施策の推進

(2) 我が国の産業競争力の強化

我が国におけるものづくりを更に強化しつつ、新たな産業基盤の創出に向けて、多くの産業に共通する波及効果の高い基盤的な領域において、世界最高水準の研究開発を推進し、産業競争力の一層の強化を図っていく必要がある。このため、国として、大学や公的研究機関、産業界との連携、協力の下、研究開発等の関連施策を重点的に推進する。

2-3. 国の関与の必要性

●化学物質を取り巻く国内外の状況

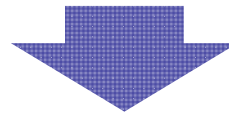
- ◆ 本事業は、平成22年度政府予算で(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が「有害化学物質代替等技術開発」を公募し、採択された事業。
- ✓ 平成21年5月、残留性有機汚染物質の廃絶を目指すストックホルム条約に産業界で多用されてきたペルフルオロ(オクタン-1-スルホン酸)等が追加された。
- ✓ 平成21年5月に公布された改正化審法に『「エッセンシャルユース」として認められた化学物質については、(中略)事業者に対し代替化及び低減化に向けた取組を促すこと。』との決議が付された。
- ✓ 必要不可欠な用途(エッセンシャルユース)であっても、
 - 1) 代替化には高度な研究開発力が必要であること
 - 2) 基礎研究から製品化までには多額の費用が必要であること
 - 3) 製造・輸入量が少ない場合が多く、研究開発投資に見合うものが見込めないことから、中小企業にとって代替化への対応は困難な状況にある。

2-3. 国の関与の必要性

●化学物質を取り巻く国内外の状況(つづき)

(テーマ: 人体・環境に優しい3原色無機顔料の開発)

- ✓ SAICMの新規課題として塗料中の鉛の廃絶が提案され、EUにおいてRoHSが発効するなど、世界的に重金属に関する規制が強化されつつある。
- ✓ 規制の内容によっては重金属を含む物質を使用することが困難となる。
- ✓ 重金属を含む有色無機顔料を使用する企業はほとんどが中小企業であり、代替化への対応は困難。

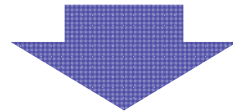


- ◆ 重金属を含む有色無機顔料の代替物質開発を推進していくために、大学等有する材料開発の基盤技術を活用し、重金属フリーの代替物質を主要メーカーと連携し産官学にて開発・代替を行う。

2-3. 国の関与の必要性

●化学物質管理と表裏一体の取組

- ✓ 化学物質の規制と、人や環境への有害性がより少ない化学物質の研究開発等のイノベーションの促進を表裏一体として捉えていくことは重要な政策課題の一つ。



- ◆ 化学物質規制を所管し、かつイノベーション促進の観点から当省が、有害化学物質の代替技術開発の安全性を確保しつつ基礎的研究を推進することは重要な施策。

2-2. 政策的位置付け 2-3. 国の関与の必要性

- ◆イノベーションプログラム（平成22年4月）
- ◆技術戦略マップ2010（平成22年6月）
- ◆第4期科学技術基本計画（平成23年8月）

- ◆世界的に重金属規制が強化されつつある状況にあり、中小企業の代替化・低減化の対応を促すために必要な技術開発である。
- ◆技術開発は化学物質規制と表裏一体であり、重要な政策課題のひとつ。

3. 研究背景・目標

3. 1. 研究背景

既存無機顔料の多くが有害元素を含む

有害元素を含む無機顔料の例

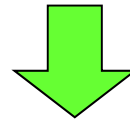
カドミウムレッド($\text{CdS} + \text{CdSe}$)

黄鉛(PbCrO_4)

ニッケルチタンイエロー
(Ni , Ti , Sb , O)

赤字 PRTR法
特定第一種指定元素

青字 PRTR法
第一種指定元素



人体、環境に対する悪影響が懸念

無害な代替顔料の開発が必要

3. 1. 研究背景

研究内容

色の三原色である、赤、青、黄それぞれに対して、人体や環境に対する負荷が極めて少ない原料および合成プロセスを用い、新しい環境調和型の無機顔料の開発を目指す。

具体的手段

- ① 人体や環境に毒性を有する金属ではない(無毒な)元素のみ(例えばナトリウム、カルシウム、アルミニウム、ケイ素、ジルコニウム、チタン、鉄、リン、ビスマス、タングステン、ニオブおよび希土類元素等)を選択。
- ② 顔料を構成する母体材料としては、鉱物や生体材料として存在することがすでに知られている、酸化物、リン酸塩、ケイ酸塩、タングステン酸塩など、化学的に安定な物質を選択。
- ③ これらの母体結晶に、アルカリ土類金属やアルミニウム、ジルコニウム、鉄、チタンなどを固溶させて発色を制御。

3. 2. 目標

エッセンシャルユースに限定して使用が許容されている化学物質、又は今後規制対象となる可能性がある化学物質3物質程度について、代替物質を開発し、実用性を検証する。

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
新規無機顔料の創成	黄色 : $L^*a^*b^*$ 表色系における 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	クロム、鉛等の有害化学物質を含まず、かつ既存顔料と比較して同等以上の性質
	赤色 : $L^*a^*b^*$ 表色系における 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	カドミウム等を含まず、かつ既存顔料と比較して同等以上の性質
	青色 : $L^*a^*b^*$ 表色系における 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	コバルト等を含まず、かつ既存顔料と比較して同等以上の性質

3. 2. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
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	スケールアップ、製品化の際に必須
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	開発顔料が経口的に人体に取込まれる可能性が考えられるため

4. 成果概要

本事業での最終目標をほぼ達成した。

要素技術	色	目標・指標	成果	達成度
新規無機顔料 の創成	黄色	b^* 値が+90以上 C^* 値が90以上 着色力が黄鉛と同等以上	$\text{Bi}_{0.85}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.05}\text{VO}_{3.95}$ 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	a^* 値が+25以上 C^* 値が55以上 着色力がカドミウムレッドと 同等以上	$(\text{Bi}_{0.92}\text{Zr}_{0.07}\text{Al}_{0.01})_4\text{V}_2\text{O}_{11.34}$ 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	b^* 値が-35以下 C^* 値が40以上 着色力がコバルトブルーと 同等以上	$(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$ 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

* 着色力の指標は、中間評価及びその後の推進委員会の指摘を受けて、事業の途中で追加した。

4. 成果概要

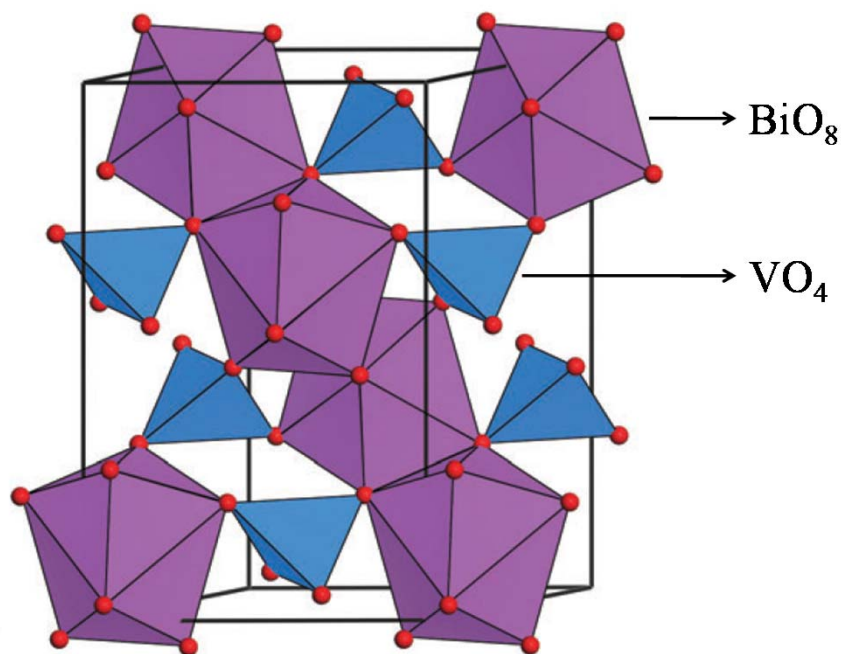
要素技術	目標・指標	成果	達成度
実用性の検証	スケールアップ時の課題抽出と解決策の検討や、代替に伴って改良するプロセス、製品等の課題の抽出と解決策の検討	黄色顔料と緑色顔料のサンプル品を顔料メーカーに提供し、実用性について検討を行った。 スケールアップをして同じ特性が得られるかを確認する必要があることが課題として生じたが、固相反応法においては原料の検討、反応温度や原料粉末の攪拌条件を制御することにより解決した。 代替に伴って改良するプロセス、製品等の課題としては、試薬の製造メーカーが異なることと、製造コストの増大があったが、試薬については問題ないことを確認し、製造コストについては、比較的価格の高い希土類を抜いた試料で実用化することにより解決した。 以上の結果を踏まえ、 $\text{Bi}_{0.90}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{VO}_{3.95}$ 黄色顔料 Y_2BaCuO_5 緑色顔料 について事業化を行うことになった。 工業化を視野にした量産製法として、合成条件の最適化が必要であるものの、液相合成が必要であることは確認できている(検討済み)ため、液相合成に移行する方針である。	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

5. 成果詳細

(1) 新規無機顔料の創成

① バナジン酸ビスマスをも体とする
新規の環境調和型黄色無機顔料

バナジジン酸ビスマス(BiVO_4)に着目



単斜晶 BiVO_4 の結晶構造

三つの結晶構造

単斜晶 (monoclinic scheelite)

正方晶 (tetragonal dreyerite)

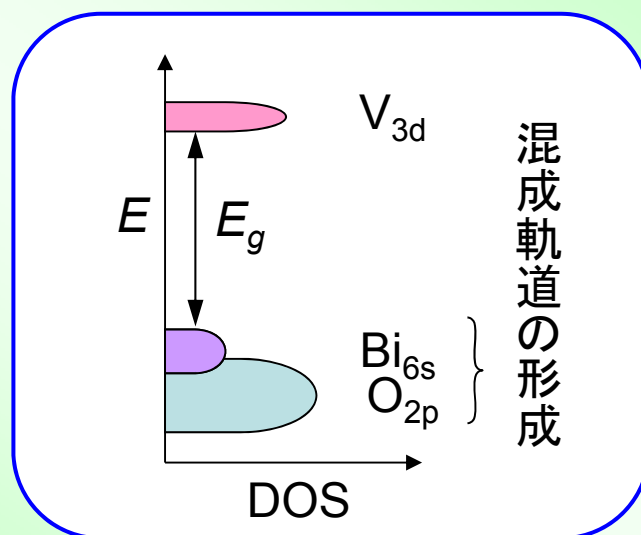
斜方晶 (orthorhombic pucherite)

単斜晶の BiVO_4 が、最も熱安定性に優れていることに加え、鮮やかな黄色を示す。



優環境型黄色顔料

Bi_{6s} 軌道と O_{2p} 軌道が混成軌道を形成¹⁾



BiVO_4 のバンド構造

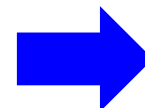
問題点

着色力に乏しい

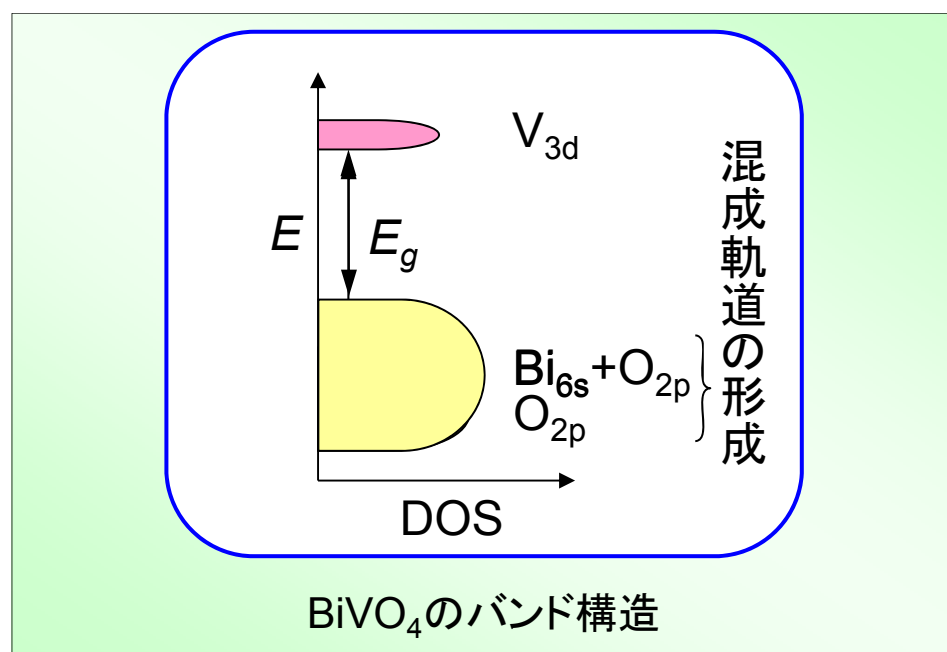
1) A. Kudo, K. Omori, H. Kato, *J. Am. Chem. Soc.*, **121**, 11459 (1999).

イオン半径 ²⁾

$$\text{Bi}^{3+} \text{ (0.117 nm}^2\text{)} > \text{Ca}^{2+} \text{ (0.112 nm}^2\text{)} > \text{Zn}^{2+} \text{ (0.09 nm}^2\text{)}$$



結晶格子が収縮し、
 Bi_{6s} 軌道と O_{2p} 軌道の
混成軌道効果が増大

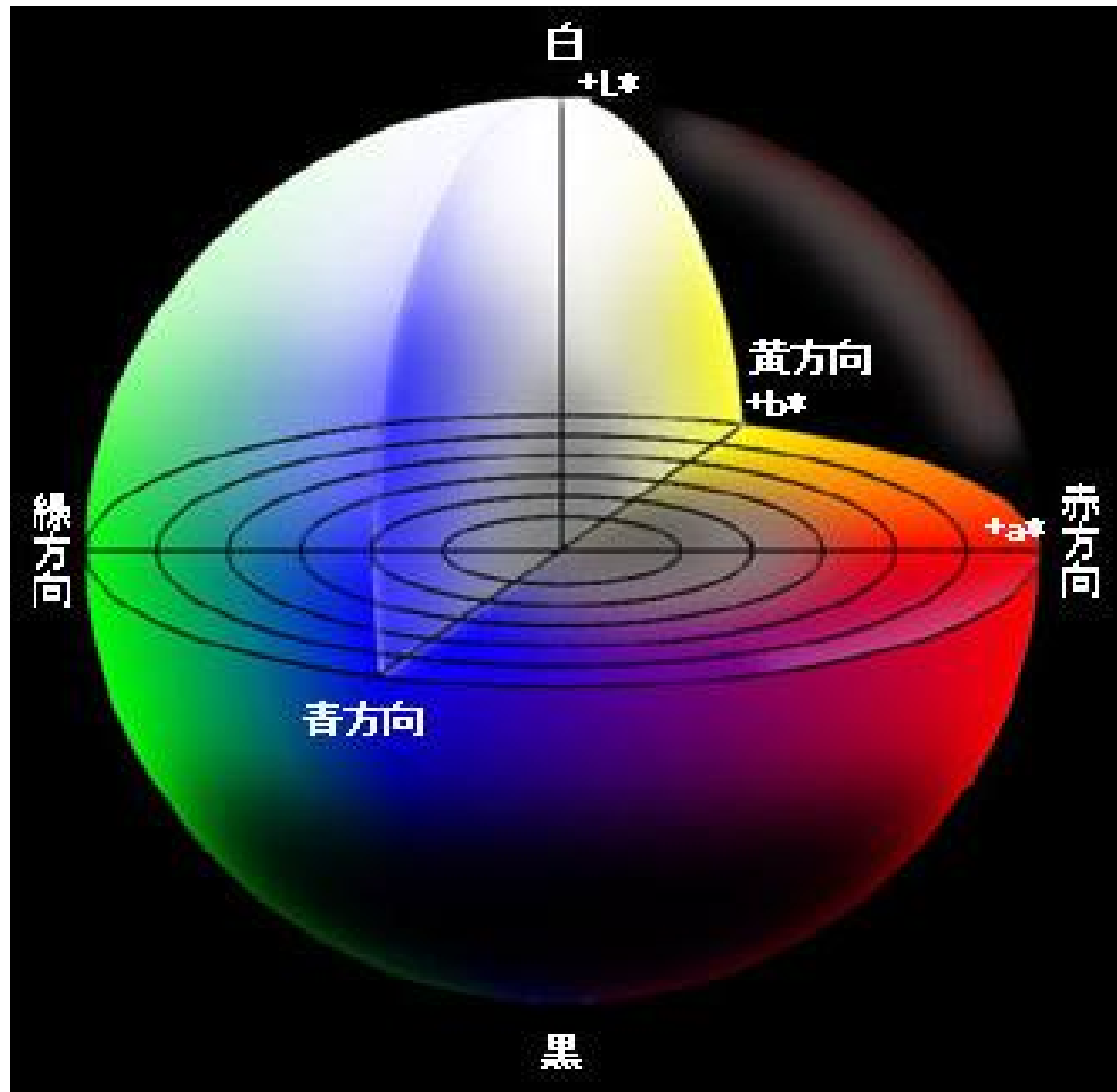


Ca^{2+} 、 Zn^{2+} の固溶により、バンドギャップの低減が期待

$\text{Bi}_{1-x-y}\text{Ca}_x\text{Zn}_y\text{VO}_{4-\delta}$ 複合酸化物の合成

$L^*a^*b^*$ 表色系による色座標

22



明度を L^* 、色相を示す色度を a^* 、 b^* で表す。

$+a^*$ は赤方向、 $-a^*$ は緑方向、そして $+b^*$ は黄方向、 $-b^*$ は青方向を表しており、絶対値が大きくなるほど色鮮やかになる。

彩度と色相角度をそれぞれ C^* 、 h で表す。

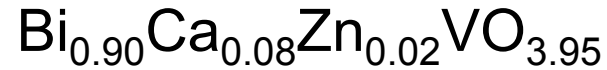
$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

C^* の値が大きいほど鮮やかさが増す。 h は色の純度を表す。

表 各試料のL*a*b*C*h表色系における色座標

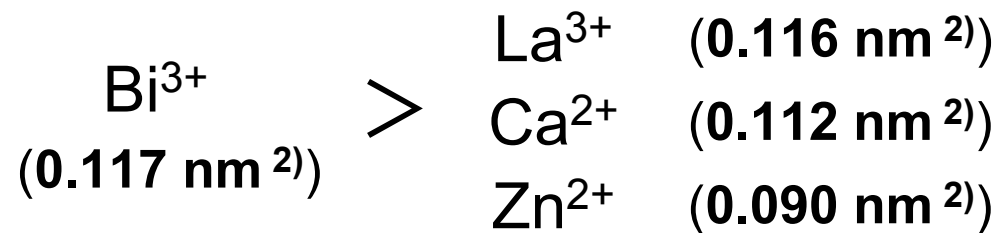
試料	L*	a*	b*	C*	h
Bi _{0.98} Zn _{0.02} VO _{3.990}	85.4	-2.34	+85.7	85.7	88.4
Bi _{0.93} Ca _{0.05} Zn _{0.02} VO _{3.965}	86.6	-3.34	+89.8	89.9	87.9
Bi _{0.91} Ca _{0.07} Zn _{0.02} VO _{3.955}	87.3	-5.07	+90.1	90.2	86.8
Bi _{0.90} Ca _{0.08} Zn _{0.02} VO _{3.950}	87.7	-4.36	+91.6	91.7	87.3
Bi _{0.88} Ca _{0.10} Zn _{0.02} VO _{3.940}	81.3	+1.83	+83.7	83.7	88.7
Bi _{0.92} Ca _{0.08} VO _{3.960}	87.1	-4.46	+88.7	88.8	87.1
Bi _{0.91} Ca _{0.08} Zn _{0.01} VO _{3.955}	85.8	-2.28	+90.6	90.6	88.6
Bi _{0.90} Ca _{0.08} Zn _{0.02} VO _{3.950}	87.7	-4.36	+91.6	91.7	87.3
Bi _{0.88} Ca _{0.09} Zn _{0.03} VO _{3.940}	89.0	-6.19	+91.4	91.6	86.1
Bi _{0.86} Ca _{0.09} Zn _{0.05} VO _{3.930}	88.8	-5.68	+90.0	90.2	86.4
黄鉛(PbCrO ₄ , 有害)	89.9	+1.12	+96.5	96.5	89.3
バナジン酸ビスマス 1	93.3	-15.7	+80.3	80.5	78.9
バナジン酸ビスマス 2	92.8	-16.6	+81.5	83.2	78.5



高い黄色度 ($b^* = +91.6$) を有する環境調和型の黄色無機顔料

さらなる黄色度の向上を目指し、 La^{3+} を固溶

Bi^{3+} よりも小さいイオン半径



$\text{Bi}_{0.90-z}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_z\text{VO}_{3.95}$ の合成

表 開発顔料および市販黄色無機顔料の色座標

試料	L^*	a^*	b^*	C^*	h
$\text{Bi}_{0.90}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{VO}_{3.950}$	87.7	-4.36	+91.6	91.7	87.3
$\text{Bi}_{0.89}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.01}\text{VO}_{3.950}$	89.2	-7.27	+92.4	92.7	85.5
$\text{Bi}_{0.85}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.05}\text{VO}_{3.950}$	89.0	-6.82	+93.5	93.8	85.8
$\text{Bi}_{0.83}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.07}\text{VO}_{3.950}$	90.1	-8.80	+91.0	91.4	84.5
$\text{Bi}_{0.80}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.10}\text{VO}_{3.950}$	92.0	-12.7	+89.2	90.1	81.9
黄鉛(PbCrO_4 , 有害)	89.9	+1.12	+96.5	96.5	89.3
バナジン酸ビスマス 2	92.8	-16.6	+81.5	83.2	78.5



$\text{Bi}_{0.86}\text{Ca}_{0.07}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.05}\text{VO}_{3.955}$



$\text{Bi}_{0.9}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{VO}_{3.96}$



市販バナジン酸ビスマス



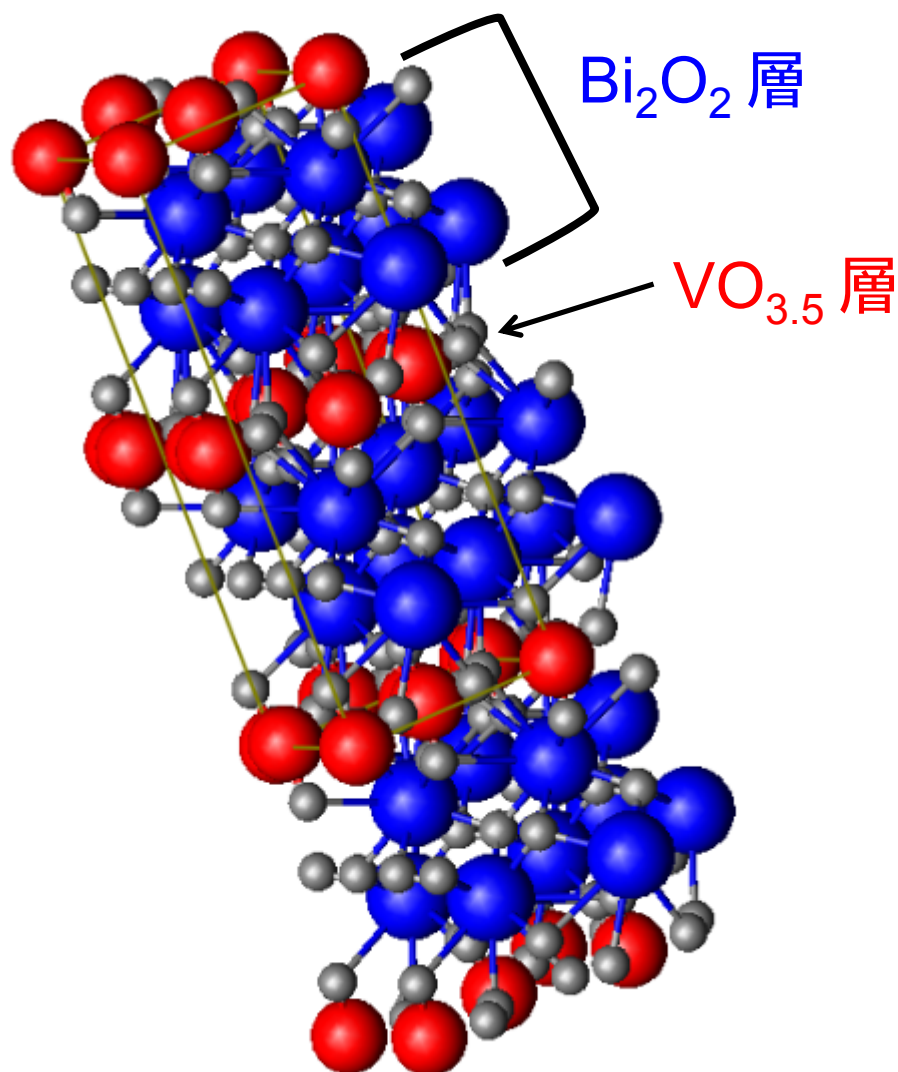
市販黄鉛

(有害)

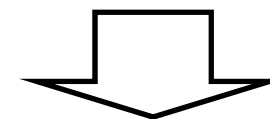
5. 成果詳細

②バナジン酸ビスマスをも体とする
新規の環境調和型赤色無機顔料

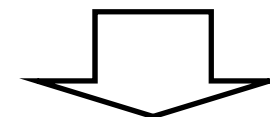
斜方晶 $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$ に着目



斜方晶の $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$ 中のBi-O平均結合距離(0.2300 nm)³⁾は、単斜晶の BiVO_4 中(0.2467 nm)⁴⁾よりも短くなっている



BiVO_4 よりもバンドギャップエネルギーが小さくなる



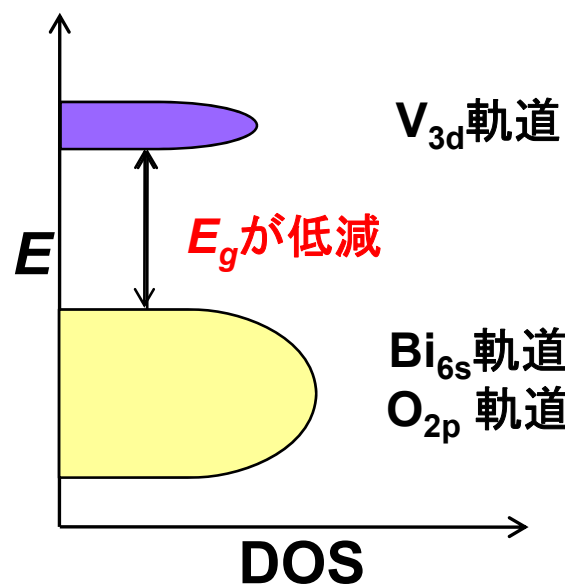
BiVO_4 (黄色)よりも赤くなる

3) I. Abrahams, F. Krok, *J. Mater. Chem.*, **12**, 3351 (2002).

4) S. Tokunaga, H. Kato, A. Kudo, *Chem. Mater.*, **13**, 4624 (2001).

$\alpha\text{-Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$ (斜方晶)

$\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$ の結晶格子内により小さいイオンを固溶させると、
Bi-O結合距離が短縮



Bi_{6s} 軌道
 O_{2p} 軌道

Bi_{6s} と O_{2p} 軌道の
混成効果が増大

バンドギャップ遷移により
青－緑黄色の光を吸収

赤色に着色

図 $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$ のバンド構造

赤色度の向上が期待

さらなる赤色度の向上を目指し、



Bi^{3+} イオンサイトに Zr^{4+} 、 Al^{3+} を固溶

結晶格子を収縮させ、
バンドギャップエネルギーを減少させた

イオン半径

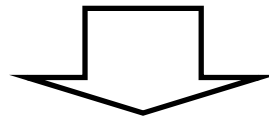
Bi^{3+}
(0.117 nm²)

>

Zr^{4+}
(0.072 nm²)

>

Al^{3+}
(0.0535 nm²)



Zr⁴⁺およびAl³⁺の効果(光学特性)

- Bi₄V₂O_{11.17} ($E_g = 2.20$ eV)
- (Bi_{0.92}Zr_{0.08})₄V₂O_{11.41} ($E_g = 2.18$ eV)
- (Bi_{0.97}Al_{0.03})₄V₂O_{11.14} ($E_g = 2.17$ eV)
- (Bi_{0.92}Zr_{0.07}Al_{0.01})₄V₂O_{11.34} ($E_g = 2.18$ eV)

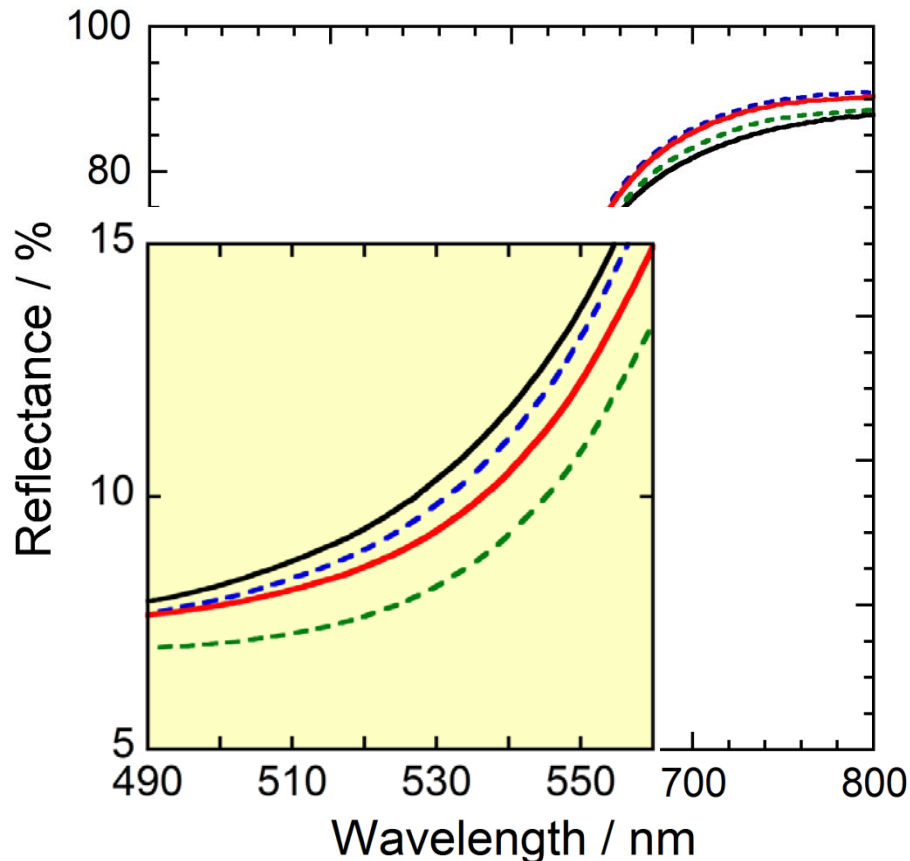


図 (Bi_{1-x-y}Zr_xAl_y)₄VO_{11+δ} の紫外可視
反射スペクトルおよび見かけの
バンドギャップエネルギー(E_g)

Zr⁴⁺の固溶

○ 赤色領域(605~780 nm)における
反射が最大

Al³⁺の固溶

○ 赤色の補色である
緑色(490~560 nm)に対する
吸収が最大

Zr⁴⁺とAl³⁺の同時固溶

○ 赤色領域(605~780 nm)における
反射の増大

○ 赤色の補色である
緑色(490~560 nm)に対する
吸収の増大

Zr⁴⁺およびAl³⁺の効果(色座標)

31

表 (Bi_{1-x-y}Zr_xAl_y)₄V₂O_{11+δ} (0 ≤ x ≤ 0.07; 0 ≤ y ≤ 0.07) 試料の色座標

試料	L*	a*	b*	C*	h
Bi ₄ V ₂ O _{11.17}	47.3	+37.1	+36.6	52.1	44.6
(Bi _{0.92} Zr _{0.08}) ₄ V ₂ O _{11.41}	49.6	+40.5	+41.1	57.7	45.4
(Bi _{0.97} Al _{0.03}) ₄ V ₂ O _{11.14}	47.7	+41.6	+38.0	56.3	42.4
(Bi _{0.92} Zr _{0.07} Al _{0.01}) ₄ V ₂ O _{11.34}	49.6	+41.9	+34.0	53.9	39.0
市販酸化鉄 (ベンガラ)	38.9	+28.9	+25.3	38.4	41.2
市販カドミウムレッド(CdS・CdSe, 有害)	51.9	+63.7	+55.8	84.7	41.2
市販バーミリオン(HgS, 有害)	52.0	+56.5	+40.5	69.5	35.6



5. 成果詳細

③ー1

カルシウムスカンジウムケイ酸塩を
母体とする新規の環境調和型青色顔料

$\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ に着目



- 無害な元素から構成
- ガーネット構造で安定

Eu^{2+} を添加

無害な希土類元素

青色を発色

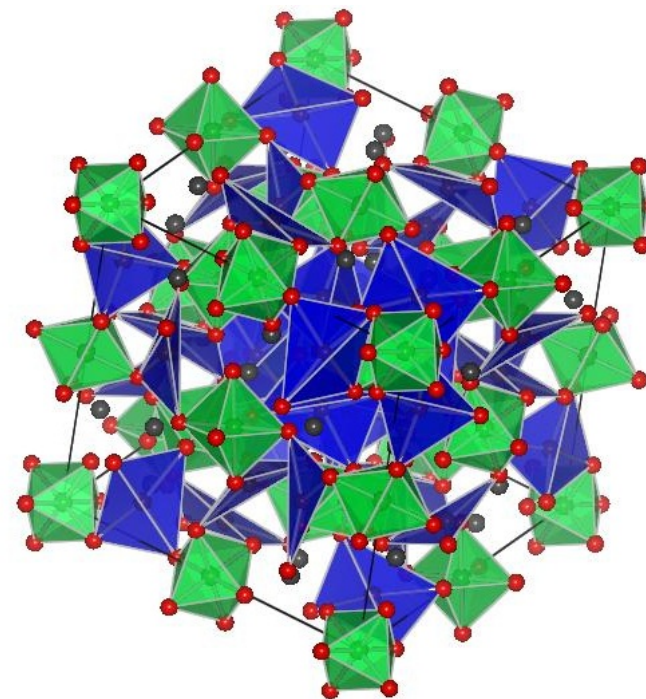
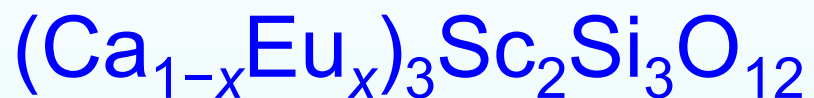


表 2% H_2 -98%Ar流通下、1350 °Cで4時間焼成して得た
 $(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$ の色座標

試料	L^*	a^*	b^*	C^*	h
$\text{Ca}_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	93.3	+1.61	+0.19	1.6	353
$(\text{Ca}_{0.99}\text{Eu}_{0.01})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$	78.7	+11.1	-14.0	17.9	308
$(\text{Ca}_{0.97}\text{Eu}_{0.03})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$	66.4	+16.9	-22.7	28.3	307
$(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$	36.8	+22.9	-30.1	37.8	307
$(\text{Ca}_{0.90}\text{Eu}_{0.10})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$	40.1	+19.1	-25.6	31.9	307

Eu^{2+} の添加により青色度が増大

焼成温度、焼成時間、洗浄方法の最適化

焼成温度、焼成時間、洗浄方法の最適化

35

表 $(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$ (1375°C, 6h, 酸洗浄)、市販の紺青、
及びコバルトブルーの色座標

試料	L^*	a^*	b^*	C^*	h
$(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$	31.2	+27.7	-36.3	45.7	307
紺青	9.31	+12.6	-15.6	20.1	309
コバルトブルー	34.6	+32.4	-64.2	71.9	307



$(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$



市販紺青



市販コバルトブルー

5. 成果詳細

③－2

希土類－バリウム－銅複合酸化物を
母体とする環境調和型の緑色無機顔料

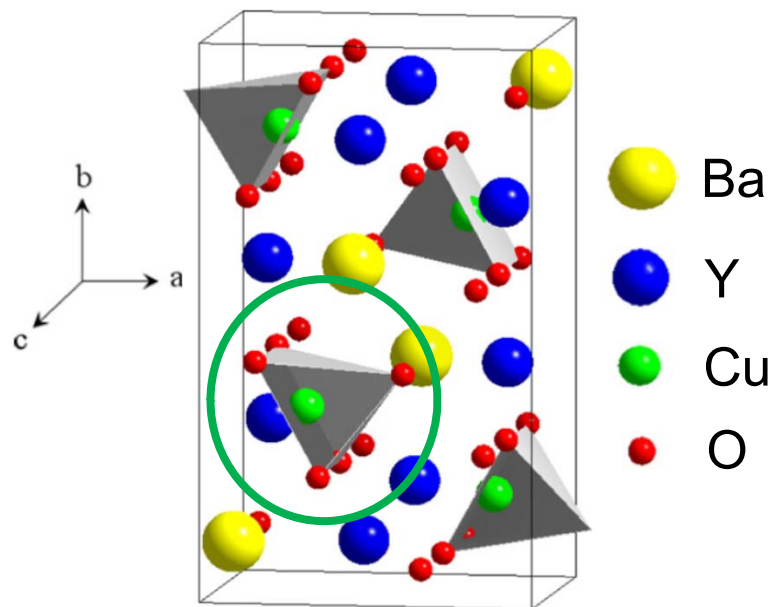


図 Y_2BaCuO_5 の結晶構造⁶⁾

・ BaO_{11} 多面体

・ Y_2O_{11} 多面体

・ピラミッド型 CuO_5

Cu^{2+} のスピン許容のd-d遷移で可視光の一部を吸収し、**緑色**に呈色

5) A. Salinas-Sanchez, J.L. Garcia-Muñoz, J. Rodriguez-Carvajal, R. Saez-Puche, J.L. Martinez, *J. Solid State Chem.*, **100**, 201 (1992).

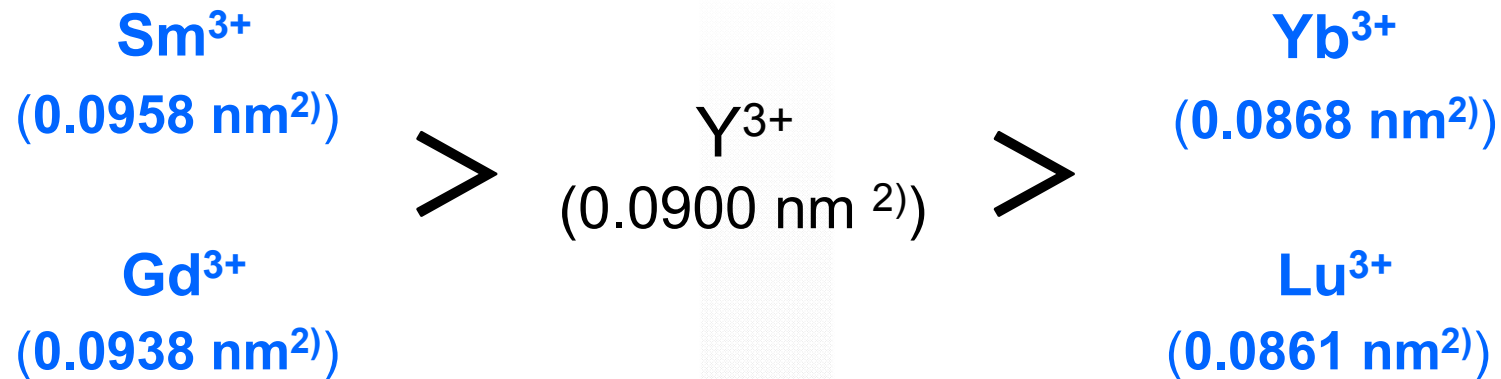
6) W. Knafo, C. Meingast, A. Inaba, T. Wolf, H. Löhneysen, *J. Phys. Cond. Matter*, **20**, 7 (2008).

緑色度の向上を目指し、

38

Y_2BaCuO_5 の Y^{3+} サイトを R^{3+} で部分置換

Y^{3+} とはイオン半径が異なるイオン



$(\text{Y}_{1-x}\text{R}_x)_2\text{BaCuO}_5$ の合成

表 Y_2BaCuO_5 及び $(\text{Y}_{0.9}\text{R}_{0.1})_2\text{BaCuO}_5$ の色座標

試料	L^*	a^*	b^*
Y_2BaCuO_5	54.5	-46.7	+23.8
$(\text{Y}_{0.9}\text{Sm}_{0.1})_2\text{BaCuO}_5$	51.3	-44.4	+25.0
$(\text{Y}_{0.9}\text{Gd}_{0.1})_2\text{BaCuO}_5$	54.8	-46.9	+25.5
$(\text{Y}_{0.9}\text{Yb}_{0.1})_2\text{BaCuO}_5$	51.3	-45.5	+22.9
$(\text{Y}_{0.9}\text{Lu}_{0.1})_2\text{BaCuO}_5$	53.4	-48.6	+24.9

Lu^{3+} を固溶させた試料において、緑色度 ($-a^*$) が最大

$(Y_{1-x}Lu_x)_2BaCuO_5$ の色座標

40

表 $(Y_{1-x}Lu_x)_2BaCuO_5$ の色座標

試料	L^*	a^*	b^*	C^*	h
Y_2BaCuO_5	54.5	-46.7	23.8	52.4	153
$(Y_{0.95}Lu_{0.05})_2BaCuO_5$	53.9	-47.2	24.6	53.2	152
$(Y_{0.9}Lu_{0.1})_2BaCuO_5$	53.4	-48.6	24.9	54.6	153
$(Y_{0.8}Lu_{0.2})_2BaCuO_5$	50.7	-46.9	23.5	52.5	153
$(Y_{0.7}Lu_{0.3})_2BaCuO_5$	50.6	-44.5	22.7	50.0	153
市販クロムグリーン(Cr_2O_3)	49.7	-18.2	18.5	26.0	135
市販コバルトグリーン($Zn_{0.97}Co_{0.03}O$)	62.5	-25.3	5.3	25.8	168



市販クロムグリーン
(Cr_2O_3 、有害)



$(Y_{0.9}Lu_{0.1})_2BaCuO_5$



市販コバルトグリーン
($ZnO \cdot CoO$ 、有害)

5. 成果詳細

(2) 実用性の検証

① 新規環境調和型黄色顔料の 有田焼への応用

研究協力者
佐賀県窯業技術センター
白石敦則研究員

有田焼にとって「色」は非常に重要な要素の1つである。

昨今の消費者の安全・安心志向に対応し、有田焼の上絵具の無鉛化が進められている。

無鉛上絵具は、改良を重ねられて現在では従来の有鉛上絵具と遜色のないものになりつつある。

しかしながら、いくつかの色については無鉛上絵で従来の有鉛上絵の伝統色を再現できていないものがある。

その中に「濃黄・中黄」と呼ばれる種類の黄色上絵具がある。



「有鉛中黄上絵」

鉛ガラス＋鉄（＋アンチモン）



「無鉛中黄上絵」

硼珪酸ガラス＋プラセオジム黄顔料

無鉛中黄上絵は、有鉛中黄上絵と比較して、色合いがレモンイエローで透明感が低い。

$\text{Ce}_{0.43}\text{Zr}_{0.37}\text{Bi}_{0.20}\text{O}_{1.9}$ 顔料を有田焼の
有鉛黄色上絵具の代替品にできないだろうか？



上絵発色試験結果

上段左; 濃黄(有鉛)、下段左 中黄(有鉛)
上段右; 阪大黄20%(無鉛)、下段右; 阪大黄3%(無鉛)



上絵発色試験結果

応用例; 阪大黄3%(無鉛)

表 上絵の色差測定結果

試料		L^*	a^*	b^*
濃黄 (盛)	有鉛	82.8	-3.00	+60.2
中黄 (盛)	有鉛	84.1	-6.20	+59.6
薄黄 (盛)	有鉛	88.2	-10.7	+42.2
$\text{Ce}_{0.44}\text{Zr}_{0.35}\text{Bi}_{0.21}\text{O}_{1.895}$ 3% 無鉛 Aー盛		84.7	-9.16	+57.6
$\text{Ce}_{0.44}\text{Zr}_{0.35}\text{Bi}_{0.21}\text{O}_{1.895}$ 3% 無鉛 Bー盛		84.1	-7.22	+61.7
プラセオジム黄 3% 無鉛 Aー盛		84.5	-14.6	+41.7
$\text{Ce}_{0.44}\text{Zr}_{0.35}\text{Bi}_{0.21}\text{O}_{1.895}$ 20% 無鉛 Aー描		86.2	-7.52	+52.1
$\text{Ce}_{0.44}\text{Zr}_{0.35}\text{Bi}_{0.21}\text{O}_{1.895}$ 20% 無鉛 Bー描		82.5	-0.41	+66.6



この盃に4%酢酸水溶液を注ぎ、25℃の室温で24時間放置した後、この溶液をICP発光分析装置の簡易定量法で、CeとBiの溶出量を測定した。

表 阪大黄顔料を用いた上絵の耐酸試験結果

試料	Bi 溶出量	Ce 溶出量
	(ppm)	(ppm)
$\text{Ce}_{0.44}\text{Zr}_{0.35}\text{Bi}_{0.21}\text{O}_{1.895}$ 3% 無鉛 A一盛	0.5	0.2
$\text{Ce}_{0.44}\text{Zr}_{0.35}\text{Bi}_{0.21}\text{O}_{1.895}$ 3% 無鉛 B一盛	0.3	0.1
$\text{Ce}_{0.44}\text{Zr}_{0.35}\text{Bi}_{0.21}\text{O}_{1.895}$ 20% 無鉛 A一描	0.7	0.1
$\text{Ce}_{0.44}\text{Zr}_{0.35}\text{Bi}_{0.21}\text{O}_{1.895}$ 20% 無鉛 B一描	1.6	0.2

溶出量はごくわずかであり、
本研究で開発した顔料は、酢酸に対して高い耐性を有する。

平成25年度色材協会賞（論文賞）選考報告

色材協会賞（論文賞）選考委員会委員長 柴田雅史

色材協会誌に平成24年度に掲載された論文を対象として、色材協会賞（論文賞）の選考を行った。論文の独創性、学術水準の高さならびに色材の科学・技術への貢献度の点で以下の2件が本年度の色材協会賞（論文賞）にふさわしいと認め、本賞を授与することを決定した。

「有田焼用の新規な鉛フリー-CeO₂-ZrO₂-Bi₂O₃黄色顔料」

受賞者 増井敏行 君¹⁾ 白石敦則 君²⁾ 古川慎也 君¹⁾
温都蘇 君¹⁾ 布谷直義 君¹⁾ 今中 信人 君¹⁾
(大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻¹⁾, 佐賀県窯業技術センター²⁾)



増井敏行 君



白石敦則 君



古川慎也 君



温都蘇 君



布谷直義 君



今中 信人 君

対象論文

有田焼用の新規な鉛フリー-CeO₂-ZrO₂-Bi₂O₃黄色顔料(研究論文)
J. Jpn. Soc. Colour Mater., 85 [1], 9-13 (2012).

受賞理由

筆者らのグループが開発した黄色顔料組成物を、有田焼へと応用するために組成の最適化を行い、最終的に有田焼へと実際に応用して有益性を実証している。基礎から応用まで一貫して検討がされており、学術的・産業的な価値が高く論文賞に値する。

1. 緒言

近年の佐賀県内陶磁器業界は、国内他産地製品との競争、諸

具の顔料の種類は近年は、
ための新規黄色顔料が求め
有田焼に用いられる黄色
る透明性が高くやや茶色
と呼ばれる彩度が高く、
類がある。このうち「濃
色上絵は従来、鉛・鉄
が、上絵具の無鉛化によ
た。しかしながら、プ
(レモンイエロー)をし
ても従来の「濃黄・中黄
になってしまう。そのた



人体・環境にやさしい新しい 黄色無機顔料

大阪大学
産業界との
あゆみ



開発した新顔料



上絵黄色試験
左は有鉛の濃黄(上)と中黄(下)、
右は無鉛の新顔料



開発顔料を使用した
有田焼のお皿

■環境調和型の黄色無機顔料

人体や環境に無害な元素である、セリウム(Ce)、ジルコニウム(Zr)、ビスマス(Bi)、及び酸素(O)からなる、新しい環境調和型の黄色無機顔料を開発した。合成法や組成を最適化することによって、既存の環境調和型黄色顔料の中で、最も高い黄色度を実現した。佐賀県窯業技術センターの協力を得て、この顔料が、有田焼の上絵具として用いられている有鉛の濃黄、中黄(鉛-鉄-アンチモン系)絵具の色合いを無鉛で再現できることを実証した。

■研究者(所属部署名(当時)):今中 信人(工学研究科)・増井敏行(工学研究科) ■企業など:佐賀県窯業技術センター

052

5. 成果詳細

②陶磁器メーカーによる評価

セラミックス用顔料としての評価

本プロジェクトにおいて開発した

$\text{Bi}_{0.85}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.05}\text{VO}_{3.950}$ 黄色顔料

$((\text{Bi}_{0.71}\text{Er}_{0.04}\text{Y}_{0.25})_{0.81}\text{Fe}_{0.19})_2\text{O}_3$ 赤色顔料

$(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12+\delta}$ 青色顔料

$(\text{Y}_{0.9}\text{Lu}_{0.1})_2\text{BaCuO}_5$ 緑色顔料

を陶磁器メーカーに提供し、セラミックス用顔料としての評価を受けた

下絵(素焼きの状態の素地に絵付け
するため1100°C焼成)

上絵(焼成後の素地に低い温度でもう
一度焼き付けるため800°C焼成)

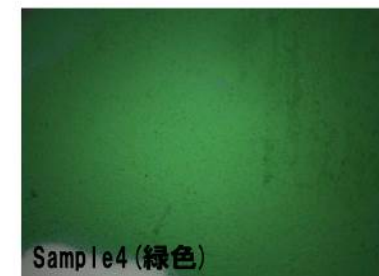
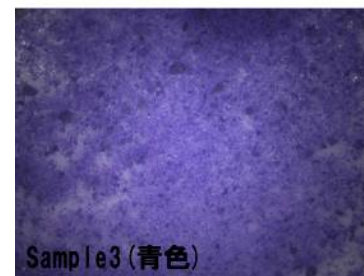
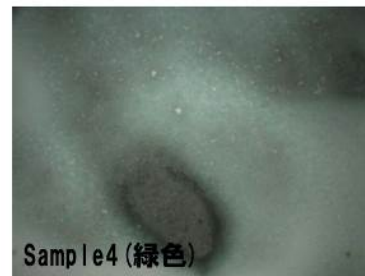
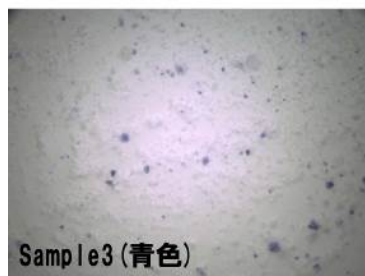
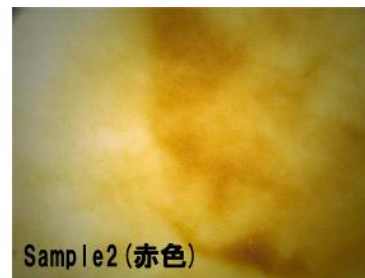
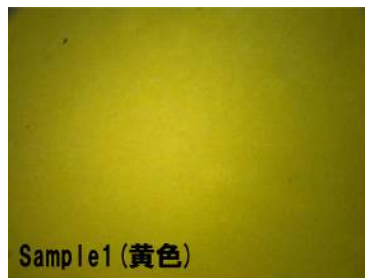


図 各顔料のセラミックス用顔料としての評価結果

緑、青、黄色については、釉薬上での800°C耐熱性がある

5. 成果詳細

③企業との連携強化

1. 既存化学物質であるか

既存物質の複合物であり、新規ではないのでクリア
(既存物質番号を確認済み)

2. 開発した合成法で量産可能か

- 固相反応法において、スケールアップ時に目的とする顔料とは粒径の異なる試料の生成や不純物の生成などが課題として生じたが、原料の検討、反応温度や原料粉末の攪拌条件を制御することにより、目的とする顔料を再現性よく製造できることがわかった。
- 製品単価を抑えつつさらにスケールアップするためには、安価な原料を用いることができ、大量に合成しやすい液相プロセスが有効である。しかしながら、液相合成に関しては、固相反応により合成した試料と同じ結果が得られておらず、合成方法の検討が必要である。

3. 原料試薬について

ビスマス試薬の製造メーカーが異なったが、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。

4. コスト

100kg単位で試算。2000～3000円/kgにおさめたい。

顔料	コスト（円/kg）	評価
黄色 $\text{Ce}_{0.43}\text{Zr}_{0.37}\text{Bi}_{0.20}\text{O}_{1.9}$	■	高コストで厳しい
黄色 $\text{Bi}_{0.85}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.05}\text{VO}_{3.95}$	■	最も期待 Laを抜いて価格を下げたい
赤色 $(\text{Bi}_{0.92}\text{Zr}_{0.08})_4\text{V}_2\text{O}_{11}$	■	液相法での合成を希望（現在固相法）
青色 $(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	---	Scが高コスト（ Sc_2O_3 : 1gで■円） 色的にもあまり興味が無いため試算せず
緑色 $(\text{Y}_{0.9}\text{Lu}_{0.1})_2\text{BaCuO}_5$	■	鮮やかな緑で魅力的だが高い
緑色 Y_2BaCuO_5	■	Lu含有試料よりわずかに緑色度が下がるもの の十分な性能 価格的にも魅力的

事業化に向けての検討(つづき)

53

5. ニーズへの対応が可能か

黄色系の需要高い(焼き物、化粧品など)

緑色については鮮やかで魅力的なので市場を調査



緑色顔料について、道路、歩道、駐車場等の安全、
交通誘導のカラー塗装用としての市場が期待できると
判断した



$\text{Bi}_{0.90}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{VO}_{3.95}$ と Y_2BaCuO_5 について事業化を
進める

6. 高級絵具用のサンプル提供

現在、黄色系・赤色系顔料にはカドミウム顔料を使用

EU諸国では、1～2年後から使用不可になる可能性あり

専門画家用絵具メーカーにサンプルを供与中

7. 事業化(工業化)へ向けての今後の課題

- ① 研究室で合成した試料と同レベルの特性を示す顔料を大量合成(スケールアップ、kg単位)し、そのまま大量生産(数百kgまたはトン単位)に拡張したい。
- ② 原料単価が安く、大量合成のしやすい液相反応を用いたい。

理想的には、上記①と②が両立できることであり、液相合成が必要であることは確認できている(検討済み)ため、**液相合成に移行する方針**である。

また、開発顔料の着色力不足を解消するために、**事業者と共同研究を推進**する予定である。

5. 成果詳細

④開発顔料の着色力の評価

表 開発顔料の色座標、彩度、色相角、着色力

試料	色	L^*	a^*	b^*	C^*	h	Kr
$\text{Bi}_{0.85}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{La}_{0.05}\text{VO}_{3.950}$	黄	89.0	-6.82	+93.5	93.8	85.8	39%
$(\text{Bi}_{0.92}\text{Zr}_{0.07}\text{Al}_{0.01})_4\text{V}_2\text{O}_{11.34}$	赤	49.6	+41.9	+34.0	53.9	39.0	33%
$(\text{Ca}_{0.94}\text{Eu}_{0.06})_3\text{Sc}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	青	31.2	+27.7	-36.3	45.7	307	57%
市販黄鉛	黄	89.9	+1.12	+96.5	96.5	89.3	—
市販カドミウムレッド	赤	51.9	+63.7	+55.8	84.7	41.2	—
市販コバルトブルー	青	34.6	+32.4	-64.2	71.9	297	—

- 市販顔料に比べ彩度 C^* はやや劣るものの、ほぼ同等の色相角 h
- 着色力については市販顔料よりも低い
プラスチックやコンクリート等を着色する際に、配合する顔料の添加量が多くなるというデメリットはあるものの、着色力の弱さを利用して思ったような色を出し易くする絵具等として使用する場合にはあまり影響がない。
- 着色力については、今後、事業化を行う企業と共同で顔料の粒子サイズや粒子形状を最適化することにより、向上できると考えている

5. 成果詳細

(3) 生体安全性の評価

マウスへの経口投与による毒性評価

研究協力者
清泉女子大学
篠原厚子教授

摂食試験

58



- 各顔料の復帰突然変異原性は陰性であった。
- 開発顔料を実験動物に経口摂取させ、肝臓、腎臓、および脾臓への分布と病理学的な変化を検討した。摂取量、摂取期間、摂取中止後の濃度低下を検討したところ、含有元素は低濃度ながらこれらの臓器に検出された。
- Biは肝臓、腎臓、V、Baは肝臓、腎臓、脾臓、精巣に検出されたが、蓄積性は低く、摂取を中止すると臓器濃度は低下した。腎臓および脾臓に病理学的な変化は認められなかった。

6. 研究開発マネジメント・体制等

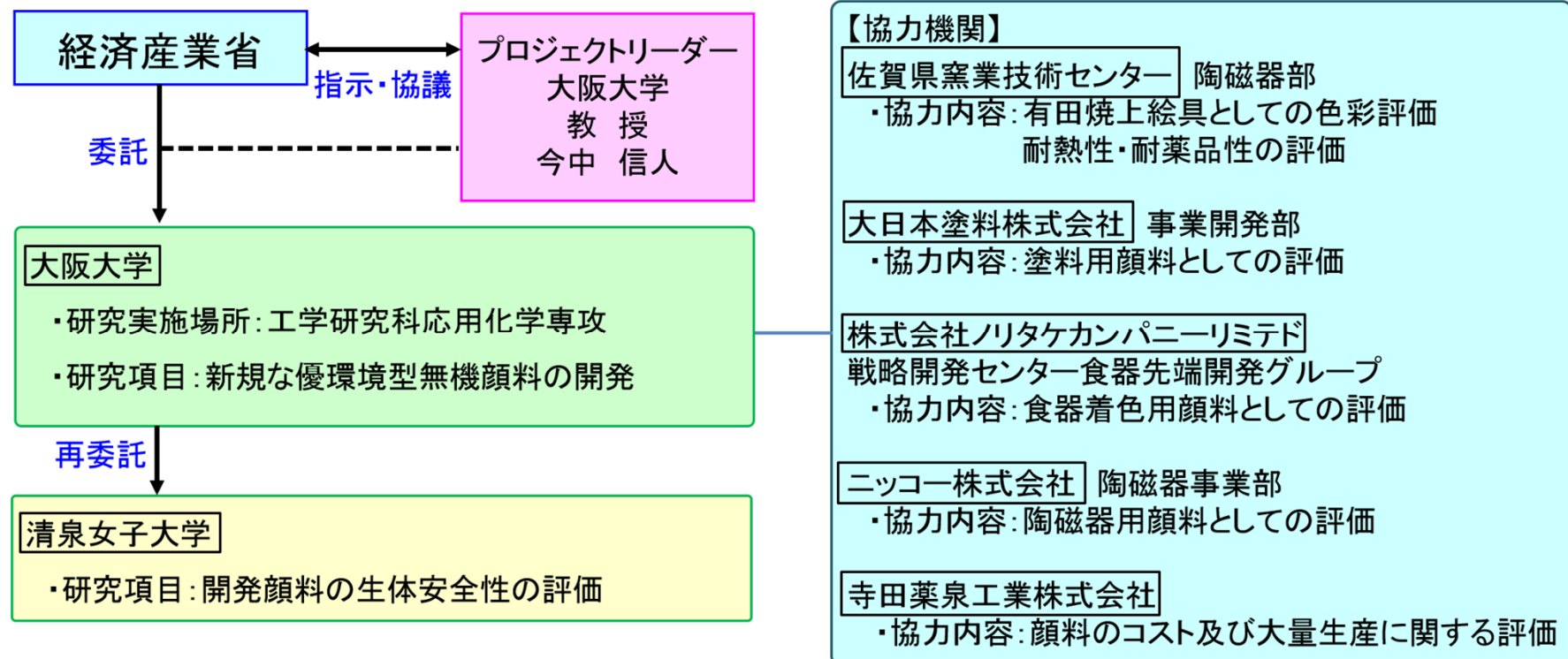
- 本事業は公募による選定審査手続きを経て、国立大学法人大阪大学がNEDOからの委託を受けて平成22年度から開始された。
- 政府の事業仕分けの結果、平成23年度からは経済産業省からの委託を受けて実施した。
- 実用性を評価しつつ開発を進めるため、研究開発推進委員会を設置し、外部有識者からの指導・助言等を受けた。

表 研究開発推進委員会

氏 名	所属・役職
伊藤 征司郎 (委員長)	近畿大学名誉教授・サクラクレパス顧問
宮脇 律郎	国立科学博物館地学研究部・部長
八尋 秀典	愛媛大学大学院理工学研究科物質生命工学専攻・教授
指宿 堯嗣	社団法人産業環境管理協会・常務理事
染宮 昭義	神鋼リサーチ株式会社先進技術情報センター・主席研究員

6. 研究開発マネジメント・体制等

- 研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー(大阪大学大学院工学研究科 今中 信人)を設置した。
- 平成23年度より、開発顔料の生体安全性の評価について、再委託先として清泉女子大学が参加した。
- 実用性を評価しつつ開発を進めるため、協力機関に試作品を提供し、生体安全性の評価、陶磁器、塗料、プラスチック及び食器着色用の無機顔料としての評価、及び開発した無機顔料のスケールアップについての検討を実施した。



6-1. 研究開発計画

表 研究開発計画

実施項目／年度	2 2	2 3	2 4	2 5	2 6
新規無機顔料の創成					
黄色顔料	合成・色彩の評価と最適化				
赤色顔料	合成・色彩の評価と最適化				
青色顔料	合成・色彩の評価と最適化				
実用性の検証					
黄色顔料	ユーザー評価・改良				
赤色顔料				ユーザー評価・改良	
青色顔料					評価
生体安全性の評価					
黄色顔料		経口投与			
赤色顔料			経口投与		
青色顔料					経口投与
予算（百万円）	4 2	3 3	2 8	2 7	2 2

6-2. 変化への対応

- 希土類(レアアース)の生産国は中国一国に隔たっていることを鑑み、希土類を使用しない顔料の開発にも着手し、高い黄色度を示す $\text{Bi}_{0.90}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{VO}_{3.950}$ や高い赤色度を示す $(\text{Bi}_{0.92}\text{Zr}_{0.07}\text{Al}_{0.01})_4\text{V}_2\text{O}_{11.34}$ を新たに開発した。
- 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。
- 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。

7. 事業化、波及効果

事業化の見通し

- 開発顔料の事業化に向け、顔料メーカーにおいて黄色顔料と緑色顔料の検討を行った結果、粒径のばらつきや不純物の生成等の課題が生じたが、原料の検討、反応温度や原料粉末の攪拌条件の制御により目的とする顔料を再現性よく製造できることがわかった。さらに、分散性、着色力、隠蔽力、製造コスト等に関する打合せを重ねた結果、 $\text{Bi}_{0.90}\text{Ca}_{0.08}\text{Zn}_{0.02}\text{VO}_{3.95}$ 黄色顔料、及び Y_2BaCuO_5 緑色顔料について事業化を行うことになった。着色力が弱いことについては、粒子サイズや粒子形状を最適化することにより向上できると考えている。
- 有田焼用の有鉛伝統黄色顔料については、佐賀県窯業技術センターの協力を得て検討し、上絵の専門家による評価の結果、伝統色の一つである「中黄」に近い色合いを再現できており、製造先さえ見つければすぐにでも開発顔料（ $\text{Ce}_{0.43}\text{Zr}_{0.37}\text{Bi}_{0.20}\text{O}_{1.90}$ 黄色顔料）で代替可能である。また、緑色顔料については、非常に鮮やかな色合いで従来の伝統的な有田上絵にはない透明感もあるため、新しい有田の色として期待されている。
- 赤色顔料に関しては、当初の目標数値を超えたものの、既存のベンガラが安価に合成できることから、価格が問題となっている。また、青色顔料に関しても、当初の数値目標を超えたが、価格面のデメリットを打ち消すほどの発色ではない。このため、絵の具用顔料としての利用を考えた場合、多少高価でも色味が良ければ使用されるという特殊な事情があるため、現在、絵の具メーカーにサンプルを提供し、実用化に向けて検討を行っているところである。

7. 事業化、波及効果

波及効果

- 我が国における当該物質の環境リスクを早急に削減させることが可能となるとともに、厳格化する化学物質の世界の環境規制により必要不可欠な物質が使用できなくなることによる経営上のリスクを低減させることができる。
- 人体や環境に対する安全性が高く、地球、生態系に対し負荷が小さい材料を提供できる。
- 当該顔料は耐熱性、耐光性、耐薬品（酸・アルカリ）性に優れるだけでなく、高い鮮明度、着色力から、スポーツ・レジャー分野における環境や施設・用具において、人間のこころを豊かにするには欠かせない材料（着色剤）を提供できる。
- 当該顔料は低温での液相合成が可能であり、天然資源の枯渇や二酸化炭素排出の抑制効果がある。
- 普及が拡大しているインクジェットプリンター用顔料として利用すれば、一般消費者と有害元素との接触機会を激減させることが可能である。
- 製造、使用さらに廃棄あるいはリサイクルのそれぞれの各段階で、これらの材料と製品が環境破壊の原因にならない、かつ、よりアクティブに環境調和とこころの豊かさをもたらす、エコマテリアルとして提供できる。

8. 費用対効果

環境対応型顔料の市場規模

- ①色の種類により異なるが、有彩色顔料では70%以上が黄色
- ②黄色無機顔料の市場規模：15,000～20,000トン/年
1キロあたり、おおよそUSD6.00であるので、金額としては
110-140億円（約1億1千万～1億4千万ドル）の市場規模となる。

現状の顔料は、アンチモンやクロムといった、環境に対して危惧される元素を含んでいるので、これらすべてが市場と考えられる。用途としては、黄色無機顔料の大半がプラスチックの練りこみ用である。

8. 費用対効果

③顔料の着色力次第、色（鮮やかさ）次第、価格次第では、下記のものも、すべて市場の対象と考えられる。

- トラフィック塗料を主体とした黄鉛顔料の代替が可能であれば、
27,000 トン/年 約55億円
- セラミック用途のカドミウム顔料の代替が可能であれば、
3,000 トン/年 約30億円
- アゾ系有機顔料の代替が可能であれば、
151,000 トン/年 約1700億円
- バナジン酸ビスマス顔料の代替が可能であれば、
3,000 トン/年 約180億円

（いずれも2014年現在の市場規模）