

2024年3月6日

プロジェクト名：Core Industry  
研究開発分野：次世代材料・分析評価

研究開発テーマ：C9

## ナノ中空粒子を用いた環境対応建材の研究開発

研究リーダー：（国）名古屋工業大学 工学研究科・教授 藤 正督

事業化リーダー：玄々化学工業（株）技術部 取締役・技術部長 大木 博成

参画機関名：（株）サンゲツ、（同）F-Plan

# 1. 研究テーマの概要（必要性、目的）

2



地球温暖化

パリ協定

カーボンニュートラル

カーボンプライシング

経済原理の変化

⇒今後は材料性能・値段では採用は決まらない！

⇒加速度的事業化には最終的な商流まで

視野に入れた研究開発が必要（一企業では無理）

⇒長持ちする環境対応材料が求められている。

しかも使用後の事も想定することが必要。

Ⅲ期プロジェクトで製品化済の中空粒子（豊田化工製：今回はプロジェクト外）と

Ⅲ期の成果である特願2021-014904「中空粒子、断熱塗料及び断熱塗膜」を利用して2つの環境対応建材を開発する。

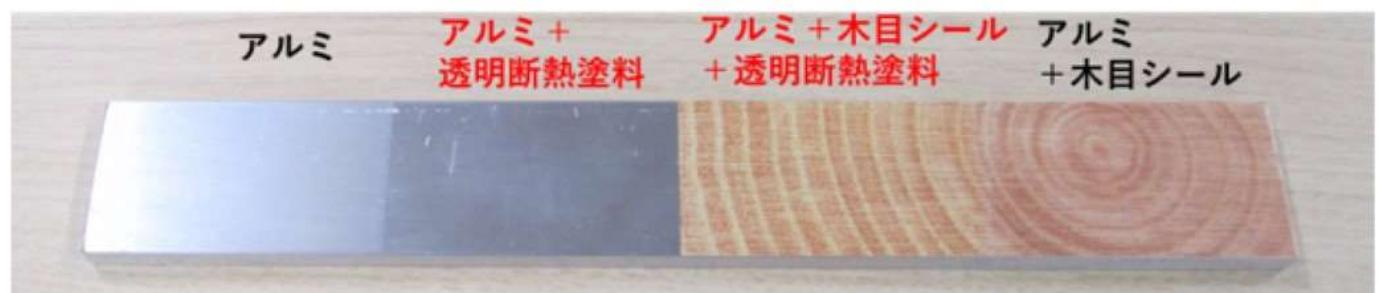
豊田化工株式会社  
Balloon SIL nano  
バルーンシル ノノ

一次粒子径、約100ナノメートルのナノ中空粒子「バルーンシル ノノ」。  
樹脂や塗料にナノ分散することによって、ナノレベルの表面改質や様々な機能性の向上に効果があります。

品番 Item Number NT400  
一次粒子径 Primary particle diameter 8.0~11.0 nm  
殻厚 Shell thickness 5~10 nm  
空隙率 Spec rate 85~70%  
比表面積 Comparative surface area 1.00~3.00 m²/g  
かさ密度 Bulk density 0.05~0.08 g/ml

上記は代表値であり、実際値ではありません。

当社では、バルーンシルナノについて様々な対応が可能です。



①断熱+耐擦傷性壁装材 ②断熱+耐擦傷性塗料（樹脂ガラス用）  
中空粒子を含有した塗料を調整し硬くて断熱性のある膜を作製する。

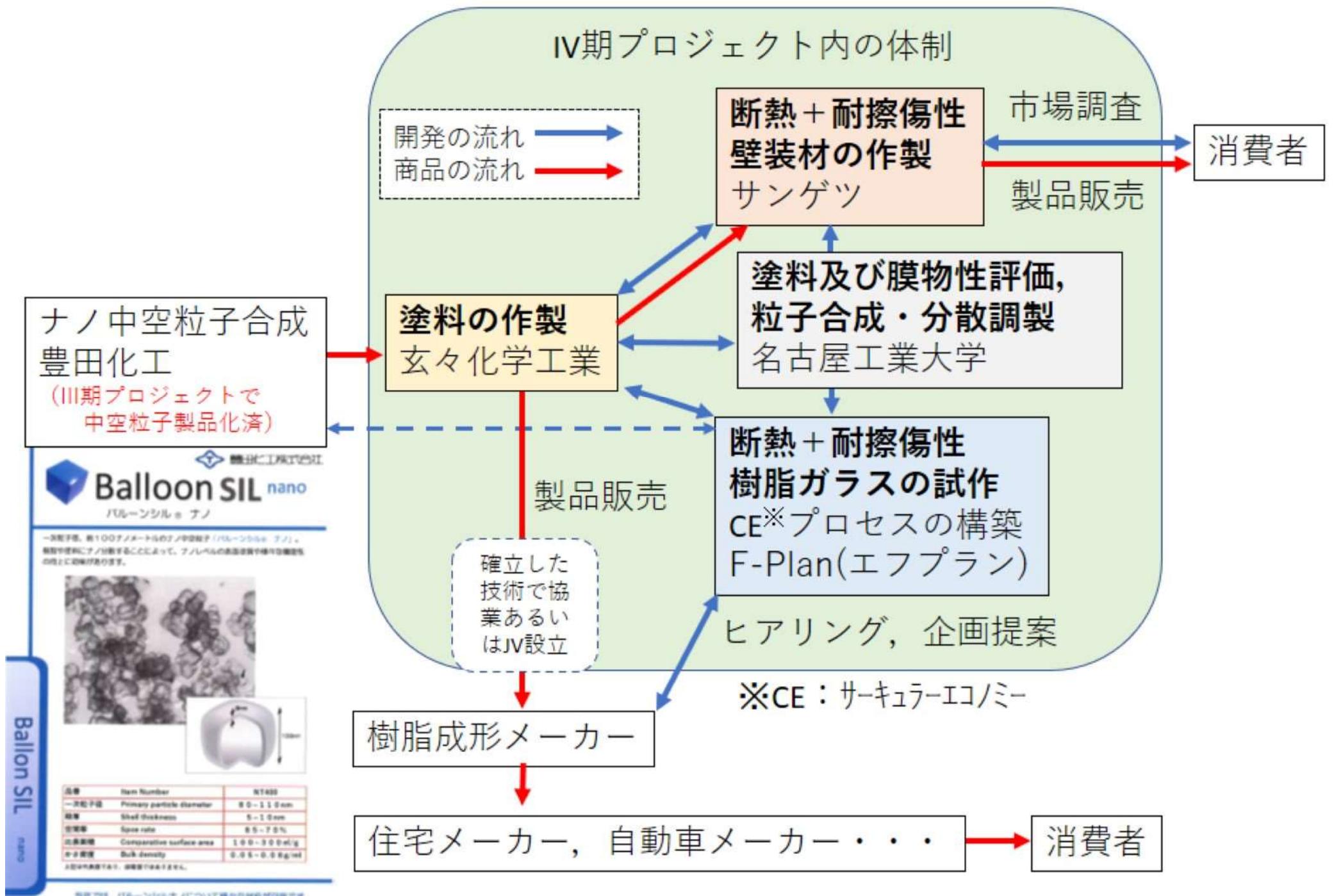
共通目標値：熱伝導率  $0.1\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  以下、鉛筆硬度 9H、耐摩耗性 摩耗輪 (CS-17, 1kg) 8000回転後無傷、粒子損傷無し。

個別の目標値：

①はHAZE50%

②はHAZE10%でサーキュラーエコノミー (CE) プロセスの完成（再塗装で再利用）ゴミを出さずCO<sub>2</sub>排出量も減。

# 1. 研究開発の概要（体制分担、実施概要）<sup>3</sup>



## 2. 年次ロードマップ

	採択～R5年9月時点（中間発表）		中間発表～令和7年3月終了時点	
	前期	後期	前期	後期
断熱 + 耐擦傷性 壁装材	壁装材用マイクロ凹凸形成塗料を用いたA5サンプルの作製。右記スペックをクリア。市場調査を実施し、ニーズに対する課題を抽出する。	200nm～500nm中空粒子含有 RA 100 μm HAZE 50% 熱伝導率 0.1W/(m·K)以下	壁装材用マイクロ凹凸形成塗料を用いた商品サンプルの作製。右記スペック（鉛筆硬度・耐摩耗性）をクリアする。量産プロセスの確定。	中間発表後期のスペックに加え 鉛筆硬度 9H (JIS56005-4(荷重750g)に準拠) 耐摩耗性：摩耗輪(CS-17, 1kg)による摩耗試験を実施。 8000回転後を目視で外観観察。粒子の破損無し。
断熱 + 耐擦傷性 塗料（樹脂ガラス用）	高密度・平滑膜樹脂ガラス用塗料を用いた5cm×5cmの試作サンプルの作製。右記スペックをクリア。樹脂成形メーカーへヒアリング実施し、課題の抽出。CE基本プロセスとデモビデオの完成。	100nm 中空粒子含有 RA 1 μm以下 HAZE 10% 熱伝導率 0.1W/(m·K)以下	高密度・平滑膜樹脂ガラス用塗料を用いた商品サンプルの作製。右記スペック（鉛筆硬度・耐摩耗性）をクリアする。ヒアリングで得た必要スペックのクリア。CEプロセスの完成。	中間発表後期のスペックに加え 鉛筆硬度 9H (JIS56005-4(荷重750g)に準拠) 耐摩耗性：摩耗輪(CS-17, 1kg)による摩耗試験を実施。 8000回転後を目視で外観観察。粒子の破損無し。

何れの開発も目標を達成し、  
3～6月計画前倒しとなっている。

# 3. 研究開発の実施状況（塗装）

## 1. ナノシリカ中空粒子分散壁装材用塗料の塗装結果

(a) 左は未塗装ガラス、右3枚は分散未調整で塗装（粒子径等の違い）

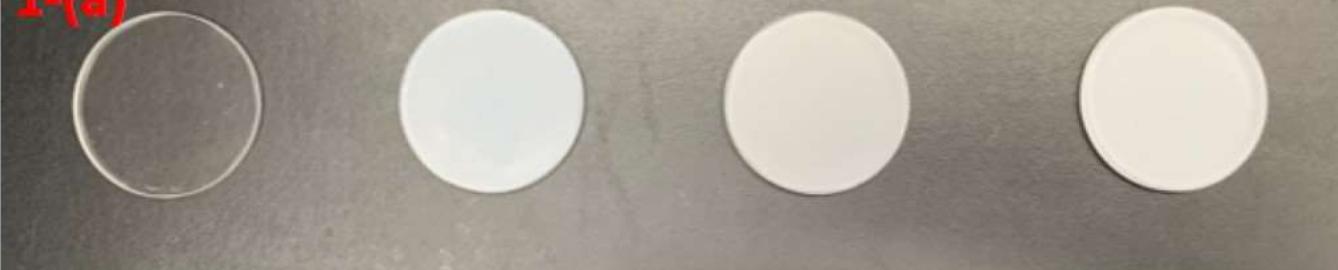
(b) 左は未塗装ガラス、右は分散工程を変更した結果。文字が読める程度なった。（RA 100 μm以下、HAZE 50%以下達成）

## 2. 樹脂ガラスへの塗装結果

全て塗装済み。分散工程を調整することで、右から左に透明度が下がる。最も透明度が高い左のサンプルでも文字のにじみがあった（RA 1 μm以下、HAZE10以下達成）。

現在はさらに改善がすすみで完全透明に。写真では分からないので当日現物確認下さい。)

1-(a)



1-(b)

**Introduction**

Since 1972, when the activity of  $\text{TiO}_2$  toward the electrochemical photolysis of water splitting was firstly found by Fujishima and Honda [1], the photoelectrochemical property of  $\text{TiO}_2$  has been deeply studied. As a semiconductor, when a photon with energy equal to or greater than the band-gap of  $\text{TiO}_2$  was absorbed by  $\text{TiO}_2$ , an electron in the valence band would conduct an interband transition to the conduction band, and a positive charged hole would accordingly generate in its valence band [2,3]. The formation of photogenerated charge carriers (electrons and holes) derives to the photocatalytic properties of  $\text{TiO}_2$ . That is, the photogenerated electrons and holes diffuse to the surface of  $\text{TiO}_2$  and react with the adsorbed molecular ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ , etc.) to generate some high activity species (hydroxyl radicals, superoxide radical anions, etc.), and then initiate the organic degradation reaction [4–6] or water splitting reaction [7,8].

The photocatalytic property of  $\text{TiO}_2$  is influenced by many factors, such as the crystalline structures [9,10], particle size [11], filling elements [12,13], and surface area [14]. Especially, because their size quantization effect and the large specific surface area,  $\text{TiO}_2$  nanoparticles owned their advantages and competitiveness during photocatalytic applications with respect to the bulk  $\text{TiO}_2$  [15]. Nevertheless, it was reported that this advantages of

$\text{TiO}_2$  nanoparticles would be weaken by the particle agglomeration. Lin et al. [16] measured the particle size distribution of  $\text{TiO}_2$  nanoparticle dispersed in the ethanol solution which was sonicated and compared this with their primary particle size determined by XRD measurements. The agglomeration did take place and the worse, the smaller the primary particles aggregated. Obviously, in the practical applications of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles, a considerable number of primary particles existing inside the secondary particles would be light inaccessible. Recently, it was found the hollow structure would likely to supply an effective solution for the technique bottlenecked in the applications of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles. It has been reported that the hollow structure could not only supply a high specific surface area but also enabled multiple diffractions and reflections of incident light [17]. Therefore,  $\text{TiO}_2$  hollow particles could supply much larger area for light adsorption than that of normal solid  $\text{TiO}_2$  particles

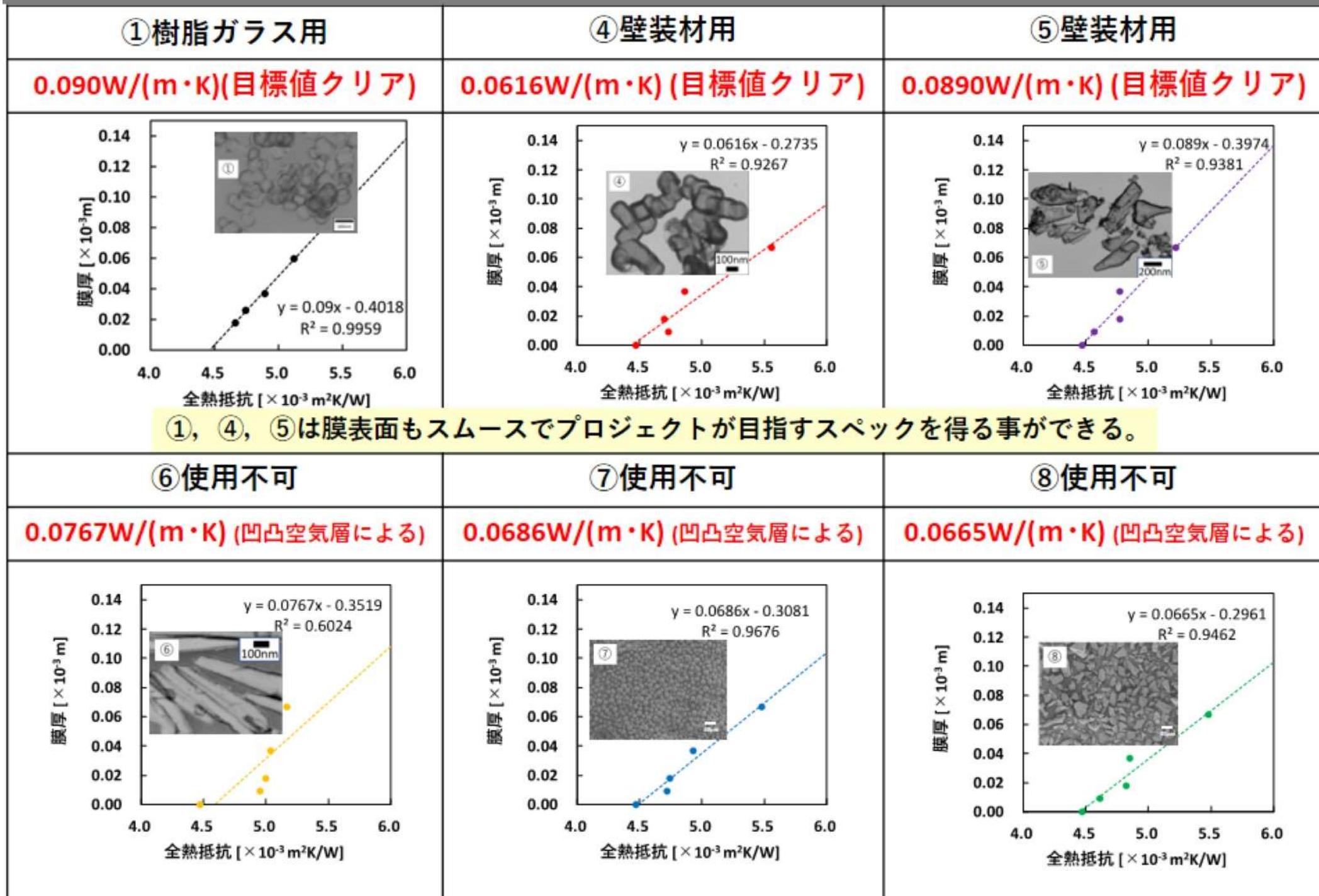
photolysis of water splitting was firstly found by Fujishima and Honda [2], the photoelectrochemical property of  $\text{TiO}_2$  has been deeply studied. As a semiconductor, when a photon with energy equal to or greater than the band-gap of  $\text{TiO}_2$  was absorbed by  $\text{TiO}_2$ , an electron in the valence band would conduct an interband transition to the conduction band, and a positive charged hole would accordingly generate in its valence band [2,3]. The formation of photogenerated charge carriers (electrons and holes) derives to the photocatalytic properties of  $\text{TiO}_2$ . That is, the photogenerated electrons and holes diffuse to the surface of  $\text{TiO}_2$  and react with the adsorbed molecular ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ , etc.) to generate some high activity species (hydroxyl radicals, superoxide radical anions, etc.), and then initiate the organic degradation reaction [4–6] or water splitting reaction [7,8].

The photocatalytic property of  $\text{TiO}_2$  is influenced by many factors, such as the crystalline structures [9,10], particle size [11], filling elements [12,13], and surface area [14]. Especially, because their size quantization effect and the large specific surface area,  $\text{TiO}_2$  nanoparticles owned their advantages and competitiveness during photocatalytic applications with respect to the bulk  $\text{TiO}_2$  [15]. Nevertheless, it was reported that this advantages of

sound and compared that with their primary particle size determined by XRD measurements. The results indicated that the agglomeration did take place readily even in a short time. Even worse, the smaller the primary particles, the faster they aggregated. Obviously, in the practical applications of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles, a considerable number of  $\text{TiO}_2$  primary particles existing inside the secondary particles would be light inaccessible. Recently, it was found the hollow structure would likely to supply an effective solution for the technique bottlenecked in the applications of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles. It has been reported that the hollow structure could not only supply a high specific surface area but also enabled multiple diffractions and reflections of incident light [17]. Therefore,  $\text{TiO}_2$  hollow particles could supply much larger area for light adsorption than that of normal solid  $\text{TiO}_2$  particle and minimize the proportion of light-inaccessible  $\text{TiO}_2$  particles. Kondo et al. [18] found that the catalytic activity of  $\text{TiO}_2$  hollow spheres toward gaseous isopropyl alcohol decomposition under UV irradiation was 1.8 times higher than that of the conventional commercial PCS  $\text{TiO}_2$  and the dye-sensitized solar cell (DSC) using an electrode of the  $\text{TiO}_2$  hollow spheres represented a 2.5 time higher per-weight efficiency toward that of the conventional DSC of  $\text{TiO}_2$ . However, such works were rarely reported and even less

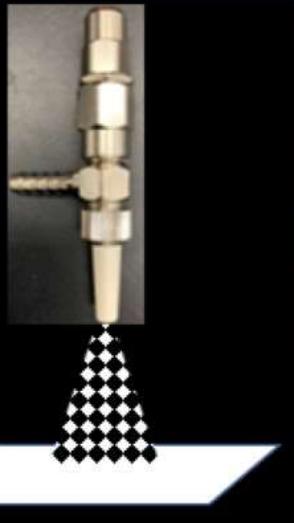
and hole  
bed molec  
(hydroxy

### 3. 研究開発の実施状況（熱伝導率）

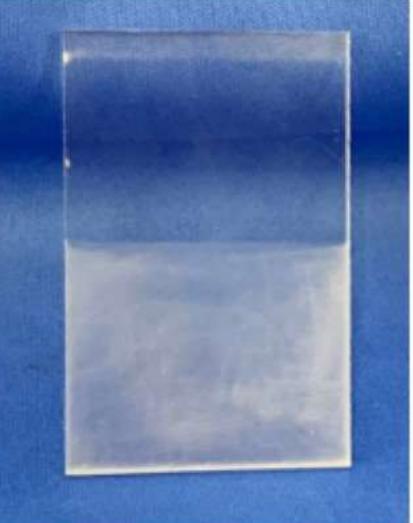


### 3. 研究開発の実施状況 (CEプロセス)

8



① ブラストによる剥離と再塗装の効果  
**上部：再塗装面（透明に）**  
下部：塗装面をブラスト処理した面  
縦60mm×横40mm × 厚み3mm



② レーザーによる  
塗装隔離処理実験  
処理量  $2\text{cm}^2/\text{min}$



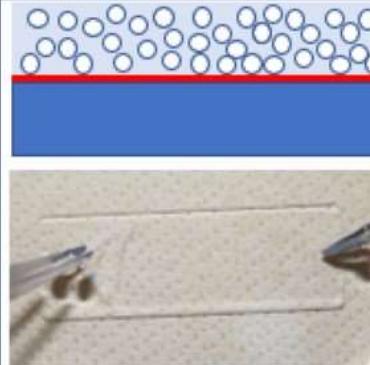
塗装後のPC



レーザースペック  
0.05mm高精度  
36m/min  
Class 2 Max5W



デモの為部分剥離



③ 化学剥離処理  
実験

基材と塗装間に $60^\circ\text{C}$ で  
加水分解、触媒、膨潤  
する仕組みを下塗り

①, ②, ③の方法について検討を行  
い使用可能で有ることを確認している。  
原単位の計算も行った。

A : ポリカーボネート樹脂の $\text{CO}_2$ 排出原  
単位 ( $2\text{t- CO}_2/\text{t}$ )

B : 剥離エネルギー $\text{CO}_2$ 排出原単位

①  $0.0817\text{t-CO}_2/\text{t}$ , ②  $0.123\text{t-CO}_2/\text{t}$

③ 算定中

※①②は装置の消費エネルギー③に関  
しては熱量と物質の消費エネルギーか  
ら試算。2022年の東電の排出原単位  
は $0.441(1\text{t- CO}_2/\text{wh})$ を用いた。

A-Bの $\text{CO}_2$ 排出量が低減できる。

これを実現する為に、塗装膜のみ剥  
離し、再塗装することで光学的性能を  
担保する必要がある。①②③で実現可  
能であることを示した。また、JIS R-  
3255から剥離条件を数値化することで、  
CEのプロセス設計準備を行った。



剥離強度の測定  
(JIS R-3255)

愛知県産業技術センター  
保有装置

# 4. 研究業績

項目と件数	内容
特許出願 1件	2023年3月20日出願（中空粒子合成）
研究論文・解説論文 審査中1件、採択済0件	タイトル: Synthesis and water adsorption properties of silica/polyacrylic acid multilayered hollow nanoparticles 雑誌名: Advanced Powder Technology, 出版社Elsevier
招待講演・依頼講演 1件	「国際粉体工業展東京2022」ベストシーズ講演会 2022年12月8日
学会発表 19件	日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム 2022年9月14日(2件) 無機マテリアル学会 第145回学術講演会 2022年11月11日 (2件) 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会 2022年12月3日 粉体工学会 秋季研究発表会 2022年12月6日 (3件) 粉体工学会 2023年度春季研究発表会 2023年5月15日 日本セラミックス協会 第36回秋季シンポジウム 2023年9月6日(2件) 粉体工学会 2023年度 中部談話会 2023年9月20日 International Conference on Powder and Powder Metallurgy 2023 2023年10月18日 粉体工学会 第60回 粉体の関する討論会 2023年11月8日 無機マテリアル学会 第147回学術講演会 2023年11月9日 (2件) 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会 2023年12月2日 日本セラミックス協会 第62回基礎科学討論会 2024年1月7日 (2件)
プレスリリース 0件	
情報発信 4件	メッセナゴヤ2022 2022年11月16日～18日 国際粉体工業展東京2022 2022年12月7日～9日 モノづくりEXPO2023 2023年10月5日～6日 メッセナゴヤ2023 2023年11月8日～10日
会議開催回数 90回	研究開発会議5回、ターゲット毎打ち合わせ85回

# 5. 事業化の見通し

10

	終了時点	令和8年3月時点 (1年後)	令和10年3月時点 (3年後)	令和12年3月 (5年後)
玄々化学工業 壁装材用・樹脂ガラス用塗料の製造販売	プロジェクト内で完成した壁装材用、樹脂ガラス用の塗料の完成。	壁装材用断熱塗料を販売。 樹脂ガラス用塗料のサンプル出荷。	引き続き壁装材用塗料を販売。 樹脂ガラス用塗料も販売。 横展開塗料のサンプル出荷。	引き続き壁装材用塗料を販売。 樹脂ガラス用塗料は東南アジア、中国での販促活動を行う。横展開製品用塗料販売。
サンゲツ 壁装材の製造販売	断熱+耐擦傷性壁装材の完成。	建材用耐擦傷性壁装材を委託生産・販売する。	壁装材の柄・色バリエーションを増やす。	広域賃貸供給公社やマンションディベロッパーの標準採用を目指す。
F-Plan 玄々化学工業との協業（JV化も視野）で樹脂ガラス塗料と技術の販売	断熱+耐擦傷性塗料を用いた樹脂ガラスの完成。CEプロセスの完成。技術移転先候補少なくとも1社確保。	玄々化学工業、場合によっては豊田化工も含めた形で協業するジョイントベンチャー等の設立により技術的な権利を担保する。PC系のCEビジネスを確立する。他樹脂等への横展開の試作と企画。	左記枠組で樹脂ガラス用塗料、横展開塗料のサンプル出荷（例えば透明断熱フィルム）を行う。PC系CEビジネスの技術普及を行う。	同様な枠組みで、横展開の製品化完成。樹脂ガラス用塗料及び横展開製品の販売。PC系CEビジネスの継続。新CEビジネスの展開。

# 5. 事業化の見通し

11



ZEHはエネルギー消費を抑える為窓が小さくなることも！



高い断熱性 + 省エネ設備の充実 + 効率的な創エネ設備



大空間・大開口のZEHを実現！

◎住宅用資材メーカー、自動車部品供給メーカーにヒアリングを実施した。

断熱性能、特に超断熱が発現するなら興味深い

透明かつ断熱ならば用途多数考えられる。

当面完全なCEは求めないが、社会的な要請は強いので成果に期待している。

現状のリサイクルにくらべてバージン原料とエネルギー量をどの程度減らせるのか？

コーティング後表面硬度が上がることと、剥離性のトレードオフの関係にどう折り合いをつけるのか知りたい。

◎サンゲツの調査結果

断熱 & 耐擦傷性魅力的だが、耐擦傷性のみでも製品価値ある。完成段階的ても良い。



ガラスからポリカへ  
建機、カート  
EVにも軽量断熱



# 6. 県産業への貢献度・人材育成等

12

## ◎県内企業への貢献

建材から県内企業が主要産業と直結する自動車、建機、農業さらには、植物工場まで横展開可能。もちろんこれらに関係する会社での利用や、これらが牽引する産業の発展が見込める。CEビジネスでアドバンテージ。リペアリング事業などの展開が考えられる。



ガラス温室やビニールハウスは冷暖房費が大変！



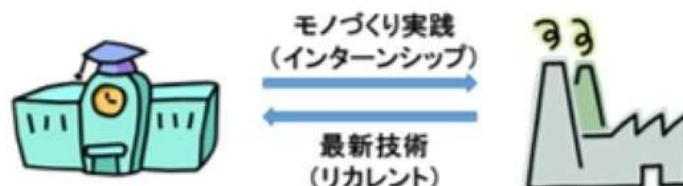
超断熱でコスト削減、より多くの品種への対応が可能になる。

ガラスから超断熱ポリカへ植物工場にも軽量断熱

## ◎人材育成

### 拠点におけるインターンシップ

ポスドク・大学院生（学部生）に対し、地域企業の研究者・技術者による“ものづくりの”指導（拠点におけるインターンシップ）を想定。一緒に研究開発をともにすることで企業の研究開発マインドを学ぶことを主とする。この体験により大学・大学院で得た知識をより実行力のあるものに教育する。これは大学生、大学院生の就業力アップや即戦力化を目指すものである。



研究・開発を題材にした実践的な人材教育

### 拠点におけるリカレント教育

企業研究者・技術者に研究設備を用いた講習（座学と実習）を実施する。分析設備、製造設備などは日進月歩であり、知識や技術の急速な陳腐化が生じる時代となっている。したがって、比較的若い世代でも、新たな知識や技術を身につける必要性がある。具体的には開発に用いる分析機器や製造設備を用いた実践型実習による社会人再教育（拠点におけるリカレント教育）を目指す。

また、本事業での成果普及のセミナーを実施し、本成果を普及させるのみならず、この研究に至った社会情勢等々を知る機会にしたい。