

# 「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」 (事後評価) (2014年度～2021年度 8年間)

## プロジェクトの概要

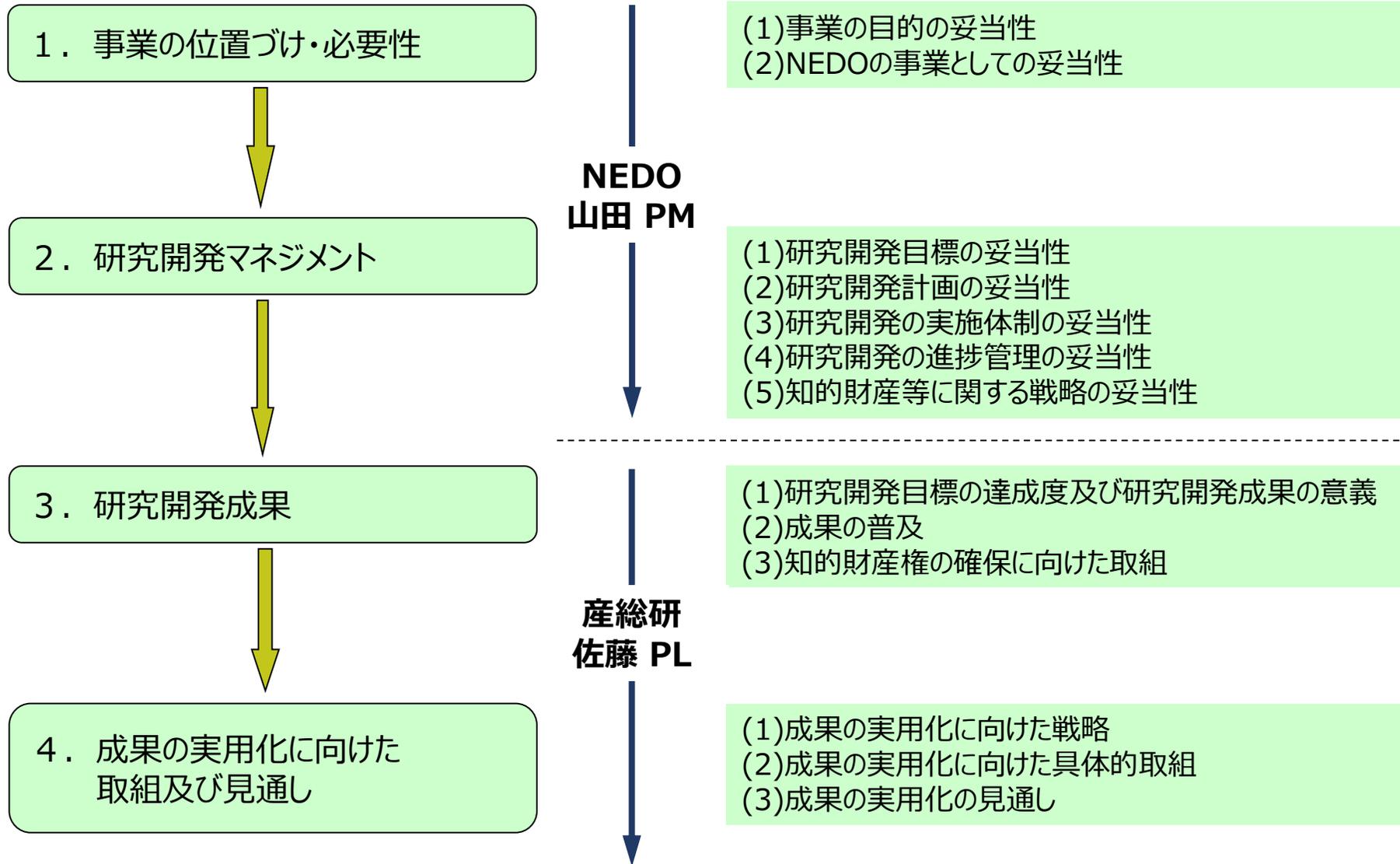
事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

**(公開)**

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)  
材料・ナノテクノロジー部

2022年 11月15日

# 発表内容

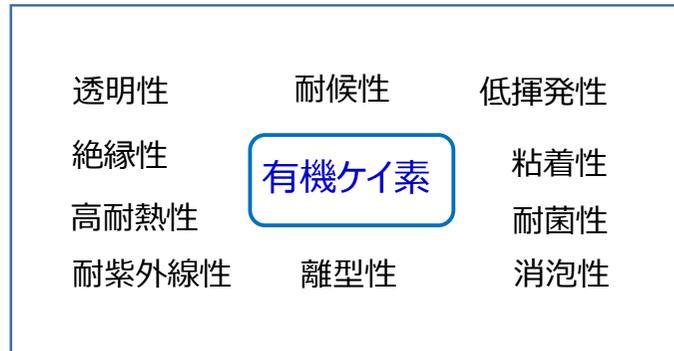


# 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

## ◆事業実施の背景と事業の目的

シリコン、シランカップリング剤、ポリシランなどの有機ケイ素部材は、広い分野で使用される高機能化学品

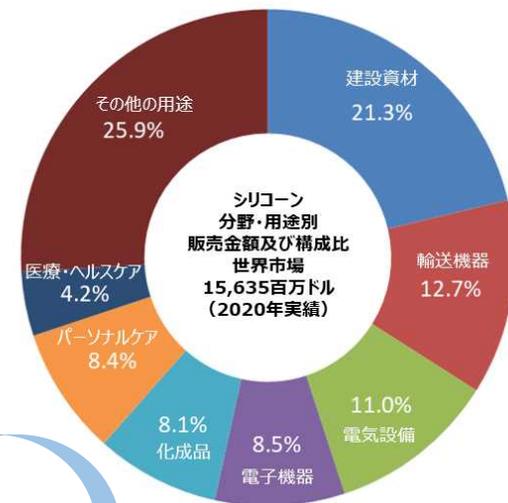
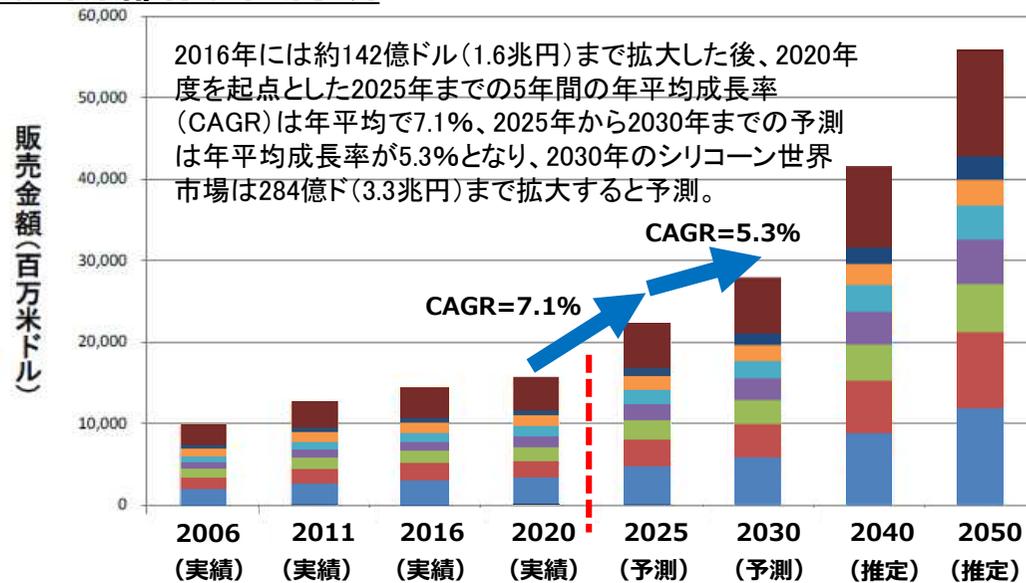
無機と有機の性能を併せ持つ



広い分野で使用される高機能化学品



### 有機ケイ素部材の市場予測



各分野・用途別の需要の伸びが緩やかに市場を拡大させていくと予想される。

出典：NEDO「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発／有機ケイ素に関する技術動向と市場の調査2017年、有機ケイ素の市場価格と国内外における将来ニーズの調査2021年」、Freedonia "Global Silicones Market, 4th Edition"およびOECDの各国・地域のGDP予測値から作成

## ◆ 事業実施の背景と事業の目的

有機ケイ素は無機と有機の性能を併せ持つ特徴的な物性を示すため、幅広い製品で使用され、将来用途も期待されている



### 原料・部材製造工程での課題

#### (1) コスト面

- SiO<sub>2</sub>から中間原料の金属Siを製造する工程で1800°C程度の還元用熱エネルギーを使用
- 希少金属である白金 (Pt) を触媒として使用  
価格例 : シリコン系(シリコンオイル原料 > ¥10,000/kg)、炭素系 (流動パラフィン ¥2,000/kg~)

#### (2) 性能面 :

- 有機ケイ素部材の配列構造がランダムであることによる発現性能への影響
- Pt触媒コンタミ (残留) による製品性能への影響



エネルギー、コスト等の問題を解決し、高機能な有機ケイ素部材を安定的かつ安価に提供するための革新的な製造プロセスの確立が求められている

## ◆ 事業実施の背景と事業の目的

高機能な有機ケイ素部材を安定的に供給することを目的に、砂の直接変換による金属ケイ素を経由しない有機ケイ素原料の製造方法と、有機ケイ素原料から白金触媒を使用しない高機能な有機ケイ素部材の製造方法を開発する。



### 研究開発項目①

金属ケイ素を経由せず、素原料の砂を直接有機ケイ素に変換することにより有機ケイ素部材を製造する方法を開発する

### 研究開発項目②

高機能を発現できる有機ケイ素部材を、白金触媒を使用しないで安価で得るための製造方法を開発する

## ◆政策的位置付け

- ・科学技術イノベーション総合戦略2014「エネルギー源・資源の多様化」において、「**革新的触媒技術**」の要素技術の1つとして位置づけられた事業。
- ・科学技術イノベーション総合戦略2015／2016／2017においても重点的に取り組むべき課題とされており、本事業は**産業競争力強化を目的とした国家戦略**の中に位置づけられている。
- ・エネルギー・環境イノベーション戦略(NESTI2050)において、**研究開発を集中的に強化すべき有望な革新技術分野**に、「革新的触媒生産プロセス」が位置づけられている。
- ・統合イノベーション戦略2019において、「第5章 特に取組を強化すべき主要分野(4)環境エネルギー」に **2030年以降の本格的な社会実装に向けて研究開発等を実施することが**位置づけられている。
- ・技術戦略マップ2010の「グリーン・サステイナブルケミストリー分野」において、技術項目である「**グリーン製造化学プロセス**」と「**製造工程廃棄物・副生物の大幅削減**」に、**本事業に関連する個別技術**が記載されている。

# 1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

## ◆ 技術戦略上の位置付け

出典：内閣府「科学技術イノベーション総合戦略2014」2014年6月24日  
 工程表 p.112





## ◆ 国内外の研究開発の動向と比較

### 研究開発項目① 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発

安定な $\text{SiO}_2$ を、金属ケイ素Si（シリコン）を経由しないで、触媒的化学反应によって有機ケイ素原料に変換しようとするものであり、化学の常識を超えた、極めて「挑戦的」なアプローチである。したがって、成功すれば化学の常識を覆すものであり、これまで、実用化を指向する類似の研究開発は行われていない。



世界に先駆けたChallengingな研究開発

### 研究開発項目② 有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発

学術的には触媒研究が精力的に行われている分野である。しかしながら、例えば、オレフィンのヒドロシリル化用Pt触媒は50年以上変わらずに使用されており、新たな触媒が工業化された例はない。



世界に先駆けて新たなプロセスの工業化を目指す研究開発

産学官連携による中長期的な研究開発が必須である。

◆他事業との関係

- ・本事業に関連する事業は実施されていない。
- ・本事業は、省エネ型化学品製造プロセス技術の開発事業の一環として実施している。

省エネ型化学品製造プロセス技術の開発事業

令和3年度予算額 22.8億円 (22.0億円)

製造産業局 素材産業課  
03-3501-1737

事業の内容

事業目的・概要

- 我が国が国際的に強みを有する触媒技術を活用することで、革新的な省エネ型の化学品製造プロセス技術を開発し、資源利用の高度化と製造プロセスのエネルギー消費量削減を目指します。
- 具体的には、以下の技術の開発に取り組みます。
  - ① 二酸化炭素と水を原料に太陽エネルギーでプラスチック原料等の基幹化学品を製造する省エネ型製造プロセス
  - ② 砂から有機ケイ素原料を直接合成し、同原料から次世代LED封止材等の高機能有機ケイ素部材を製造する省エネ型製造プロセス
  - ③ 機能性化学品の製造手法を従来のバッチ法からフロー法へ置き換え、廃棄物排出量を大幅削減する省エネ型製造プロセス
- 令和3年度は、①及び②においてはベンチスケール規模の実証試験、③においては反応器及び反応器に実装する触媒等の基盤技術開発を実施します。

成果目標

- 平成25年度から令和7年度までの13年間の事業であり、本事業を通じて、化学品製造に関するプロセスの省エネ化を図り、令和12年度において約1,658万t/年のCO<sub>2</sub>削減を目指します。

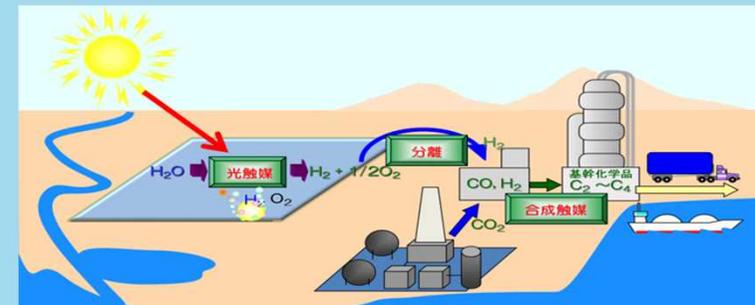
条件 (対象者、対象行為、補助率等)



事業イメージ

①人工光合成PJ (プロジェクト)

二酸化炭素と水を原料とし、太陽エネルギーを用いてプラスチック原料等の基幹化学品を製造



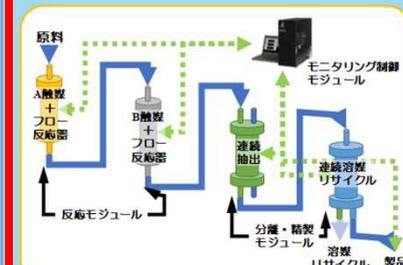
②有機ケイ素PJ

砂から有機ケイ素原料の直接合成、同原料から高機能有機ケイ素部材を製造



③連続精密生産プロセスPJ

バッチ法をフロー法へ置き換えることで機能性化学品を高効率で製造



## ◆NEDOが関与する意義

有機ケイ素の製造技術の開発は、

- 国家的課題の解決に貢献
  - ・有機ケイ素部材は、広い産業で使用できる可能性がある高機能部材  
→ 技術開発によるさらなる機能向上により**産業競争力強化**
  - ・製造プロセスの革新  
→ **省エネルギー化**
  - ➡ **社会的必要性が高い技術開発**
- 基礎から実用化へつなげる広範囲、かつ長期の技術開発
  - ➡ **開発リスクが大きいことにより産学官の総合力での取り組みが必要**
- 研究開発の難易度が高い
  - ➡ **産学官の知見についても結集が必要**



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果 (費用対効果)

費用の総額：30億円/10年

省エネルギー効果：44万kL/年（2030年、原油換算）  
=CO<sub>2</sub>排出削減量 101万t/年  
（化学産業の排出量の2%弱）

<その他効果>

・海外情勢による素原料の供給リスク低減

素原料から国内調達可能で、珪砂やバイオ由来燃焼灰が使用可能。(珪砂の日本埋蔵量2億t、もみ殻由来燃焼灰産出量39万t/年)  
<http://www.silicone.jp/contact/qa/qa001.shtml> (信越シリコンHP)

・有機ケイ素原料・部材の低コスト化による日本企業のシェア拡大

<有機ケイ素原料> 金属シリコン経由：¥1000/kg、プロジェクト成果による触媒経由：¥600円/kg (プロジェクト成果による試算)  
<機能性シリコン> 白金触媒：~¥20,000/kg、プロジェクト成果による触媒~¥16,000/kg (NEDO試算)

・有機ケイ素部材の使用段階における、CO<sub>2</sub>削減の波及効果

◆実施の効果 (費用対効果)

有機ケイ素部材の使用段階における、CO<sub>2</sub>削減の波及効果

「複層ガラス窓ユニット用シーラント」の用途では、他の材料を使用した場合に比較して、12,226千t-CO<sub>2</sub>の削減効果がある。

同様に各用途のCO<sub>2</sub>削減効果を考慮すると、有機ケイ素部材の使用により、現在  
**・全世界で約5,420万t/年**  
 のCO<sub>2</sub>削減に貢献している。

シリコン工業会  
 「シリコンのカーボンバランス シリコンの温室効果  
 ガス排出量とその利用による温室効果ガス削減効果」より引用  
<http://www.siaj.jp/ja/pdf/pamph/carbonbalance.pdf>

ケーススタディーを行った用途	市場(日米欧)	削減効果 /排出量比	正味GHG 削減効果
	トン/年		1000t-CO <sub>2</sub>
キッチン/浴室用シーラント	79,400	1.1	-54
複層ガラス窓ユニット用シーラント	56,700	27.7	-12,226
エキスパンションジョイント用シーラント	38,900	0.9	16
構造接着用シーラント	10,100	11.7	-925
石造物撥水材-コンクリート用	2,500	25.3	-378
石造物撥水材-レンガ用	10,100	13.2	-650
建築物断熱材用ポリウレタン添加物	9,300	2.7	-80
電気製品断熱材用ポリウレタン添加剤	4,700	17.0	-371
変圧器用オイル	8,700	1.6	-28
電気絶縁体	9,600	2.4	-128
太陽電池グレードシリコン用クロロシラン	360,100	7.5	-9,228
紙製造用消泡剤	10,200	27.1	-2,488
塗料添加剤	1,900	6.8	-5
ガラス繊維処理剤用シラン	1,900	27.1	-167
耐熱産業用コーティング剤	3,200	7.3	-112
コーティング用接着促進剤	1,900	170.1	-731
洗剤用消泡剤	7,800	12.7	-778
哺乳瓶用乳首	1,900	0.3	8
家庭用器具の耐熱コーティング剤	1,600	13.8	-142
加熱調理器具	1,900	1.2	-3
自動車エンジン廻り用エラストマー	33,800	86.3	-19,162
グリーンタイヤ	6,400	66.5	-2,325
ポリカーボネート用コーティング剤	1,800	2.9	-26
車両排気管用コーティング剤	500	9.2	-25
船底塗料	100	182.2	-126
自動車接着剤	5,900	28.4	-1,076
<b>ケーススタディーの合計</b>	<b>670,900</b>	<b>13.7</b>	<b>-51,208</b>
ケーススタディー対象外用途	114,000	8.7	-5,530
GHG削減効果が確認されない用途	357,000	0.0	2,500
<b>全市場/加重平均</b>	<b>1,141,900</b>	<b>8.9</b>	<b>-54,240</b>

◆事業の目標

研究開発項目①「砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発」

- ・1kgスケールでケイ砂の反応率50%、及び選択率50%を達成する。さらに、「金属ケイ素を経由しないQ単位構造中間原料製造法の開発」については、反応率70%及び選択率70%を達成する。
- ・触媒反応の実用化に向けて必要となるプロセス要素技術を特定し、その工業的实施可能性を1kgスケールで検証する。

研究開発項目②「有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発」

- ・1kgスケールで有機ケイ素原料の反応率80%、有機ケイ素部材の選択率80%を達成する。
- ・有機ケイ素部材中の残留触媒の低減を達成する。
- ・有機ケイ素部材の構造制御技術を確立する。

## 2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

### ◆ 研究開発目標と根拠

#### 研究開発項目① 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発

研究開発項目	研究開発目標 (最終目標)	根拠 (共通)
①-1 金属ケイ素を経由しないQ単位構造 中間原料製造法の開発	<p>・1kgスケールでケイ砂の反応率50%、及び選択率50%を達成する。さらに、「金属ケイ素を経由しないQ単位構造中間原料製造法の開発」については、反応率70%及び選択率70%を達成する。</p> <p>・触媒反応の実用化に向けて必要となるプロセス要素技術を特定し、その工業的实施可能性を1kgスケールで検証する。</p> <p>*****</p> <p>Q単位構造中間原料 Q単位構造（ケイ素原子の周りに4つの酸素原子が結合したもの）を持つ有機ケイ素原料を作る際の原料となる化合物。加水分解によりQ単位構造を作るテトラアルコキシシラン、およびテトラハロシランのこと。</p> <p>①-3 天然資源からのビルディングブロック形成 ①-4 一酸化ケイ素の利用 ①-5 大気圧プラズマの利用</p>	<p>1kgスケールは化学工学的な検証も一定程度可能であり、その後の実用化に向けたスケールアップに進むのに必要な最低限の反応スケールである。</p> <p>目標数値は実施内容の難易度を考慮して設定した。</p>
①-2 Q単位構造中間原料からの有機ケイ素原料製造技術の開発		
①-3 砂からQ単位構造を基本構造とするビルディングブロック型の有機ケイ素原料製造法の開発 (2018年度から中止)		
①-4 高活性ケイ素化学種を経由した有機ケイ素原料製造法の開発 (2016年度で終了)		
①-5 その他の反応 (2019年度から中止)		

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目②  
有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス  
技術開発

研究開発項目	研究開発目標 (最終目標)	根拠 (共通)
②-1 ケイ素－炭素結合形成技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1kgスケールで有機ケイ素原料の反応率80%、有機ケイ素部材の選択率80%を達成する。</li> <li>・有機ケイ素部材中の残留触媒の低減を達成する。</li> <li>・有機ケイ素部材の構造制御技術を確立する。</li> </ul>	<p>1kgスケールは化学工学的な検証も一定程度可能であり、その後の実用化に向けたスケールアップに進むのに必要な最低限の反応スケールである。</p> <p>目標数値は実施内容の難易度を考慮して設定した。</p> <p>有機ケイ素部材の残留触媒低減のための技術と、有機ケイ素部材の構造制御技術については、それぞれ個別に最終目標を設定した。</p>
②-2 ケイ素－酸素結合形成技術		
②-3 ケイ素－ケイ素結合形成技術		
②-4 触媒固定化基盤技術		

## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

### ◆ 研究開発のスケジュール

※2012-2013年度は経済産業省直執行事業（未来開拓研究PJ）  
2014年度からNEDO事業として実施

事業年度	METI		NEDO								2022～	
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
<b>①砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発</b> ①-1 金属ケイ素を経由しないQ単位構造中間原料製造法の開発 ①-2 Q単位構造中間原料からの有機ケイ素原料製造技術の開発 ①-3 砂からQ単位構造を基本構造とするビルディングブロック型の有機ケイ素原料製造法の開発 ①-4 高活性ケイ素化学種を経由した有機ケイ素原料製造法の開発 ①-5 その他の反応	反応経路と触媒の探索・選定					選定した反応系の最適反応条件検討			1 kgスケール検証		企業による 実用化 検討	
				候補の絞り込			ケイ砂処理法の選定			実用化可能性検証		
							①-3 砂からQ単位構造を基本構造とするビルディングブロック型の有機ケイ素原料製造法の開発					
				①-4 高活性ケイ素化学種を経由した有機ケイ素原料製造法の開発								
				①-5 その他の反応								
<b>②有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発</b> ②-1 ケイ素-炭素結合形成技術 ②-2 ケイ素-酸素結合形成技術 ②-3 ケイ素-ケイ素結合形成技術 ②-4 触媒固定化基盤技術	反応経路と触媒の候補選定					選定した反応系の最適反応条件検討			1 kgスケール検証		NEDO 特別 講座	
				候補の絞り込			固定化分子触媒の評価、高度化			構造制御技術開発		
				触媒固定化技術開発						残留触媒低減検証		
			▲ 中間評価		▲ 中間評価			▲ 中間評価			▲ 事後評価	
予算（億円）	2.00	2.00	2.10	6.20	3.31	2.15	1.82	2.00	3.75	4.50		

## 2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

### ◆プロジェクト費用

(単位：百万円)

研究開発項目	METI		NEDO								合計
	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	
① 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発	100	100	100	294	151	86	82	66	216	150	1,345
② 有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発	100	100	100	326	180	114	100	134	159	285	1,598
有機ケイ素技術動向調査事業	-	-	10	-	-	15	-	-	-	15	40
<b>合計</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>210</b>	<b>620</b>	<b>331</b>	<b>215</b>	<b>182</b>	<b>200</b>	<b>375</b>	<b>450</b>	<b>2,983</b>
合計の内：政府予算	200	200	200	200	184	200	182	150	240	229	1,985
合計の内：開発成果促進財源 加速費／部内流用費	-	-	10	420	147	15	-	50	135	221	998



## ◆ 研究開発の進捗管理

### ■ NEDO主催による「技術検討委員会（研究開発の進捗状況把握と実用化に向けたマネジメント）」の開催

- (1) 研究開発の進捗管理とプロジェクトの方向性、中間評価結果での指導／意見をプロジェクトマネジメントに反映
- (2) 個別の研究開発の内容に関する意見、コメントを実施者の研究開発に反映
- (3) 年2回の頻度で開催（MET直執行と中間評価開催の2016年度と2019年度は年1回）
- (4) 研究技術開発の進捗に応じて、必要な分野の有識者を追加（※）

委員名	氏名	所属	専門分野	就任
委員長	持田 邦夫	学習院大学 名誉教授	有機ケイ素化学	2012年
委員(委員長代理)	辻 康之	京都大学 名誉教授	有機金属化学	2013年
委員	室井 高城	NEDO技術戦略研究センター フェロー アイシーラボ 代表	工業触媒	2012年
委員	寺田 眞浩	東北大学 大学院理学研究科 教授	有機化学	2012年
委員	松川 公洋	京都工芸繊維大学 新素材イノベーションラボ 特任教授	有機ケイ素材料	2013年
委員	長瀬 公一	東レ株式会社 研究本部 嘱託	機能性材料	2018年
委員	府川 伊三郎	NEDO 技術戦略研究センターフェロー 株式会社旭リサーチセンター シニアリサーチチャー	工業化学	2020年

※研究技術開発の実用化検討に向けて産業分野の有識者を追加

- ・2018年度：長瀬公一委員(東レ)を追加
- ・2020年度：府川伊三郎委員(旭リサーチセンター)を追加

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 研究開発の進捗管理

#### ■ NEDO主催による「技術検討委員会」の開催

開催年度	開催日時		場所	議事次第の概要
2019年度	第12回	2019年12月19日	NEDO川崎本部	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発の進捗報告と確認（実施者報告）</li> <li><b>2019年度中間評価の指摘事項と最終2年間の研究開発計画への反映</b></li> </ul>
2020年度	第13回	2020年10月30日	NEDO川崎本部 (ハイブリッド開催)	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発の進捗報告と確認（実施者報告）</li> <li><b>プロジェクト成果の実用化検討に向けた取り組み</b></li> </ul>
	第14回	2021年 2月 9日	NEDO川崎本部 (ハイブリッド開催)	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発の進捗報告と確認（実施者報告）</li> <li><b>最終年度の実施計画の確認とプロジェクト成果の社会実装への取り組み</b></li> </ul>
2021年度	第15回	2021年 9月 7日	NEDO川崎本部 (ハイブリッド開催)	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発の進捗報告と確認（実施者報告）</li> <li><b>最終目標達成と実用化検討に向けた取り組み</b></li> </ul>
	第16回	2022年 3月 2日	NEDO川崎本部 (ハイブリッド開催)	<ul style="list-style-type: none"> <li>最終目標達成の報告と確認（実施者報告）</li> <li><b>有機ケイ素プロジェクト終了後の研究開発の取り組みと実用化検討</b></li> </ul>
	第17回	2022年3月24日	NEDO川崎本部 (ハイブリッド開催)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>研究開発項目②-3における実用化の取り組み</b></li> </ul>

**技術検討委員会の参加機関：** 経済産業省（素材産業課）、NEDO（技術研究戦略センター、材料・ナノテクノロジー部）  
 委託先－産業技術総合研究所、大阪市立大学、早稲田大学、群馬大学、関西大学  
 再委託先－大阪大学、北里大学  
 共同実施先－コルコート株式会社、昭和電工株式会社  
 研究員出向－信越化学工業株式会社

### ◆ 研究開発の進捗管理

#### **実施者**

- ・プロジェクトリーダー主催による「有機ケイ素プロジェクト全体会」の開催  
研究開発内容に関する実施者間の議論の場として開催（産総研、各大学、NEDOで開催）  
2019年実績 1回、2020年実績（COVID19影響で中止）、2021年実績 2回
- ・従事日誌／従事月報の提出  
従事日誌／従事月報の提出の提出(毎月)による進捗管理（NEDOは予算執行額との対比を実施）

#### **NEDO – 実施者**

- ・テマリーダ会議の開催  
プロジェクトリーダー／サブプロジェクトリーダー／研究開発項目①②テマリーダによる合同進捗確認会議  
2019年実績 11回、2020年実績 7回、2021年実績 4回
- ・プロジェクトリーダー／サブプロジェクトリーダーとの実用化や実施計画等を議論（1回／6か月）  
2019年実績 5回、2020年実績 3回、2021年実績 4回
- ・実施者の拠点を1回～2回／年の頻度で訪問して、新規導入装置、研究開発進捗、実用化方針を確認
- ・技術検討委員会を開催して、研究開発進捗のレビューと実用化方針について議論を実施

#### **NEDO**

- ・NEDO四半期報告会、部内会議（毎週）  
NEDO理事／部長への定期的な報告
- ・開発促進財源(加速費)を事業の進捗に応じて投入（2019年度、2020年度、2021年度）

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
<p><b>&lt;2014年度&gt;</b> 2012年度に経済産業省直執行として開始されたが、3年目となる2014年度からNEDOに移管された。</p>	<p>プロジェクトマネジメントを強化する目的で、2013年度まで産業技術総合研究所の再委託先であった4大学にNEDOから直接委託する体制とした。</p>
<p><b>&lt;2015年度&gt;</b> 産学官の綿密な連携による効果的・効率的なデータ収集を行い、学術レベルで得られた成果を実用化につなげる必要性があった。</p>	<p>有機ケイ素製造企業3社(昭和電気株式会社、コルコート株式会社、東レ・ダウコーニング株式会社)が共同実施先として参画する体制を構築した。 (東レ・ダウコーニング株式会社は国プロ参画方針の変更により2017年に脱退)</p>
<p><b>&lt;2017年度～2019年度&gt;</b> 実用化に向けたNEDOプロジェクトマネジメントとして、研究開発項目の選択集中が必要になった。</p>	<p>研究開発項目①-3：2018年度から中止。 ⇒実用化には、さらなるコストと時間がかかるため。 研究開発項目①-4：2016年度で終了。 ⇒実用化の見通しがないため。 研究開発項目①-5：2019年度から中止。 ⇒実用化には、さらなるコストと時間がかかるため。</p> <p>**研究開発リソースを研究開発項目①-2(課題解決の加速)と、研究開発項目②-2(新規な市場創出の可能性検証)に集中投資する方針に変更した。</p>
<p><b>&lt;2020年度～2021年度&gt;</b> NEDOマネジメントとして、実用化検討ステージの取り組みが必要になった。</p> <p><b>&lt;2019年度中間評価指摘&gt;</b> ケイ砂から高機能シリコン材料合成プロセスの一気通貫を実現して欲しい。サンプル提供を行い、ユーザーともにその用途を考えていく必要がある。</p>	<p>砂から有機ケイ素部材を一気通貫で製造するプロセスの検証と、企業による実用化検討を確実に開始できるようにするため、有機ケイ素サンプルの顧客提供を加速した。</p>
<p><b>&lt;2022年度～&gt;</b> プロジェクト終了後の実用化検討に向けた体制構築が必要になった。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機ケイ素プロジェクト成果普及のためNEDO特別講座を開始。</li> <li>・経済産業省国有資産（プロジェクト購入資産）の貸与。</li> </ul>

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 開発促進財源投入実績

件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果
有機ケイ素部材の連続精密合成検証	2019年度	50	有機ケイ素部材を連続的に大量合成できる装置導入(100g～1kgオーダー)	反応プロセスを1g～10gから1kgスケールにする場合の課題(反応容器の温度分布/生成物の収率/選択率に与える影響)の解明。
有機ケイ素部材のスケールアップ合成	2020年度	25	250g～1kgスケールの反応条件確立、残留触媒低減と構造制御技術の向上	反応容器の大型化による副生成物量の増加、品質安定性の低下(残留触媒起因)、物性ばらつき(構造のばらつき)が顕著になる課題を解決。
Q単位構造中間原料からの有機ケイ素原料製造技術の開発 <sup>(1)</sup>	2020年度	110	研究開発項目①-2における触媒設計の見直し、触媒のスクリーニングによる新触媒や新反応条件の発見	Pd/C触媒を用いた前処理・反応条件の最適化と、NaBH <sub>4</sub> を用いた500gまでのスケールアップの達成。
	2021年度	50		Q単位原料(トリメチルアルコキシシラン)での反応確認と、NaBH <sub>4</sub> を用いた1kgまでのスケールアップ合成の達成。
砂から有機ケイ素部材を製造する一気通貫プロセスの検証 <sup>(2)</sup>	2021年度	156	砂から高機能有機ケイ素部材(シリコン)を一気通貫で製造するプロセスの検証	砂から合成したQ単位構造中間原料を出発物質とする有機ケイ素部材(Q <sub>8</sub> H <sub>8</sub> )への一気通貫プロセスを検証。
有機ケイ素の市場価格と国内外における将来ニーズの調査 <sup>(3)</sup>	2021年度	15	市場で受け入れられる材料価格、実用化が有望な技術の社会ニーズを把握	20年後の日本/世界市場が求める有機ケイ素の市場予測と産業構造などに生じる変化を想定した社会ニーズを把握。

#### 2019年度中間評価指摘事項

- (1) Q単位中間原料からの有機ケイ素原料製造技術の開発については、本事業の中心的課題とも言えるので、ここに研究資源を集中させて、実用化が期待される有益な知見が得られるよう進めていただきたい。
- (2) 珪砂から高機能シリコン材料まで低エネルギー合成プロセスの一気通貫を実現して欲しい。
- (3) 企業サイドが適用分野や市場についてイメージしやすくするために、市場で受け入れられる材料価格を調査し、実行可能性調査(FS)を実施した上で、開発材料の紹介時に概算価格が提示できるような対応が望まれる。

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 中間評価結果への対応

2019年度中間評価（2019年8月2日）

での、改善すべき点・今後に対する提言(指摘) と対応

指摘	対応
<p><b>&lt;研究開発マネジメント&gt;</b></p> <p>目標達成・効率的実施のための連携やそのマネジメントが不明確に感じられた。 研究開発項目によっては実施者間のコミュニケーションの不足により、機会や研究資源の損失にも繋がるため、共同実施や再委託に係る部分のマネジメントの明確化が望まれる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>最終目標である1kgスケールでの工業的実施可能性の検証については、スケールアップ実験装置を共同利用して、委託先の各大学と産総研の連携強化と、実施者間のコミュニケーションの深耕することにより、目標達成を協力して進めた。</li> <li>技術検討委員会において研究開発の進捗確認を全員参加で行うとともに、有機ケイ素製造企業からの実用化指針の紹介、プロジェクト終了後の研究開発の取り組みと実用化検討など、実施者間のコミュニケーション機会を増加させた。</li> <li>共同実施や再委託先との研究遂行については、実用化検討に向けた課題とその対処方針をNEDO-委託先-再委託先(共同実施先) が共有することで、研究開発を効率的に進めるマネジメントを実施した。</li> </ul>
<p>実用化を見通した研究開発はもちろん必要であるが、魅力的かつ挑戦的な研究も継続して欲しい。 一方で、研究成果が出ないことを恐れて、触媒、反応剤、反応条件等の制限なく、何を使っても良いという考え方に陥りがちであるが、実用化を見通した技術的要求についても常に意識するべきである。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来まで困難とされた化合物の合成技術の確立を目的に、有機ケイ素化学の基盤技術を拡張するための挑戦的課題についての取り組みを行い、新しいシランカップリング剤の合成、シラノール(Q<sub>8</sub>H<sub>8</sub>)の大量製造プロセスの確立など、実用化に向けた研究開発を開始した。</li> <li>最終目標達成に向けた触媒プロセスの絞り込みと実用化検討を実施するとともに、実用化に必要な技術的要求を意識した研究開発を行い、開始剤不要で空気中でも取り扱い可能な鉄触媒の開発などに成功して目標を達成した。</li> </ul>
<p><b>&lt;研究開発成果&gt;</b></p> <p>アルコキシシランの水素化によるヒドロシラン合成とアルキルシラン合成は収率や選択性、触媒回転数に課題がある。 この2つの反応の改良には根本的なところからの触媒設計の見直しや、スクリーニングによる新触媒発見、新条件の発見などが必要になる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>触媒回転数や反応効率を向上するため、均一系と不均一系の両面から新触媒の発見、新反応条件の発見に向けたスクリーニングを触媒反応の実用化に必要なプロセス要素技術を特定しながら継続的に行い、ケイ砂の反応率50%、選択率50%以上を実現する反応ルートを見出した。</li> </ul>

## 2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

### ◆ 中間評価結果への対応

2019年度中間評価（2019年8月2日）  
での、改善すべき点・今後に対する提言(指摘) と対応

指摘	対応
<p>Q単位中間原料からの有機ケイ素原料製造技術の開発については、本事業の中心的課題とも言えるので、ここに研究資源を集中させて、実用化が期待される有益な知見が得られるよう進めていただきたい。</p>	<p>Q単位中間原料からの有機ケイ素原料製造技術について、新反応の開拓も含め、引き続き研究資源を集中させて、実用化に向けた研究を行った。                      &lt;開発促進財源投入&gt; 2020年度(110百万円)/2021年度(50百万円)</p>
<p><b>&lt;成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し&gt;</b></p> <p>実用化に向け具体化した技術であるテトラアルコキシシラン合成においては、モレキュラーシーブ使用プロセスの実用性や未反応シリカの回収方法等、ジシランの合成については、安全性等、プラント設計のためにプロセス技術検証の早期実施・明確化が必要である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・テトラアルコキシシラン合成については、プロセスの実用性の検証を進めて、未反応シリカと生成物の分離方法などの検討を開始した。これにより、砂や燃焼灰などの安価なケイ素源を用いて反応率・転化率・スケールの数値目標について、TPOSだけでなく、市場規模の大きなTEOS、TMOSでも達成した。</li> <li>・ジシラン合成技術については、プラント設計に必要な技術検証を行い、設計指針を明確化した。さらに実用化に向けた具体的で挑戦的な目標値として、ジシランの生産効率についての数値を追加した。これにより、モノシランからジシランを製造するプロセスにおいて実用化できる生産性を有する触媒を見いだすことができた。</li> </ul>
<p>企業サイドが適用分野や市場についてイメージしやすくするために、市場で受け入れられる材料価格を調査し、実行可能性調査（FS）を実施した上で、開発材料の紹介時に概算価格が提示できるような対応が望まれる。</p>	<p>新プロセスを用いた生成物やプロジェクトで創製したケイ素部材について、ユーザーニーズを捉えながら製造コストの概算値や量産化に必要な触媒性能の目標値などを提示するための調査・検討を実用化検討のフェーズ必要に応じて進めた。</p> <p>また、実用化段階における課題整理と製品ターゲットを明確して、プロジェクト成果の社会実装を確実にすることを目的に、「有機ケイ素の市場価格と国内外における将来ニーズの調査」を実施した。</p>

## 2. 研究開発マネジメント (5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性

### ◆ 知的財産権等に関する戦略

	非競争域	競争域			非競争域	競争域
公開	触媒寿命評価等	<ul style="list-style-type: none"> <li>新規触媒合成技術</li> <li>新規有機ケイ素化合物製造方法</li> </ul>	積極的に権利化	公開	学会・論文・講演会等発表	特許出願
非公開	—	有機ケイ素・触媒原料の選択			ノウハウとして匿秘	379件 (総数) 135件 2019年度-2022年度9月現在

### ▶ 戦略的出願



## ◆知的財産管理

### 有機ケイ素プロジェクトにおける知財マネジメント

- ・「NEDO知財マネジメント基本方針」で管理
- ・経済産業省で策定した方針に準拠（経済産業省 平成24・03・21産第5号）  
「未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針」
  
- ・「産業技術研究開発（有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発）  
知的財産権等取扱規程」を策定
- ・「知的財産権の取扱いに関する合意書」により、有機ケイ素プロジェクト実施  
者間で知財管理を実施



- ・研究開発結果に基づく知財に関する決定者はプロジェクトリーダー。
- ・知財権はプロジェクト参加者に帰属。
- ・プロジェクト参加者は、非参加者よりも有利な条件で知財権を使用可能。
- ・知財権実施等に対する障害の排除。
- ・参画機関(大学)への不実施補償はなし。

# 「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」 (事後評価) (2014年度～2021年度 8年間)

## プロジェクトの概要

研究開発成果、成果の実用化に向けた 取組及び見通し

**(公開)**

産業技術総合研究所・大阪市立大学・早稲田大学群馬大学・関西大学

(共同実施) 昭和電工株式会社・コルコート株式会社

(再委託) 大阪大学・北里大学

2022年 11月15日

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### ◆研究開発項目毎の目標と達成状況

	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 金属ケイ素を経由しないQ単位構造中間原料製造法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1kgスケールでケイ砂の反応率70%、有機ケイ素原料の選択率70%を達成する</li> <li>・触媒反応の実用化に向けて必要となるプロセス要素技術を特定し、その工業的実施可能性を1kgスケールで検証する</li> </ul>	砂や燃焼灰など安価なケイ素源を用いて反応率・選択率・スケールの数値目標について、TPOSだけでなく、市場規模の大きなTEOS、TMOSでも達成	○	-
①-2 Q単位構造中間原料からの有機ケイ素原料製造技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1kgスケールでケイ砂の反応率50%、有機ケイ素原料の選択率50%を達成する</li> <li>・触媒反応の実用化に向けて必要となるプロセス要素技術を特定し、その工業的実施可能性を1kgスケールで検証する</li> </ul>	水素化ホウ素化合物を用いたヒドロシラン合成は反応率・選択率・1kgスケールを達成。脱炭酸ルートのSi-O→Si-Cへの変換反応で、特定の基質やモデル化合物において反応率・選択率の目標を達成	○	-
①-3 砂からQ単位構造を基本とするビルディングブロック型有機ケイ素原料製造法の開発		2017年度までにケイ酸塩骨格を部分的に切り出すことに成功した	-	2018年度以降は本項目を中止し、②-2に研究資源を集中した
①-4 高活性ケイ素化学種を経由した有機ケイ素原料製造法の開発		2016年度末に有機ケイ素原料製造法としては不適であると見極めた	-	2017年度以降は本項目を終了し、①-2に研究資源を集中した
①-5 その他の反応		2016年度までに大気圧プラズマやフロー反応プロセスを用いたアルコキシシランの水素化反応の可能性を検証した	-	2019年度以降は本項目を中止し、①-2に研究資源を集中した

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 部分的達成、× 未達

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況				
	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②- 1	ケイ素-炭素結合形成技術	1) 金属ナノ粒子触媒において外部刺激応答性触媒の開発に成功 2) 開始剤不要で空気中でも取り扱可能な鉄触媒の開発、等に成功し、目標を達成した	○	-
②- 2	ケイ素-酸素結合形成技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1 kgスケールで有機ケイ素原料の反応率80%、有機ケイ素部材の選択率80%を達成する</li> <li>・ 有機ケイ素部材中の残留触媒の低減を達成する。</li> <li>・ 有機ケイ素部材の構造制御技術を確立する</li> </ul> 1) シラノールの大量製造プロセスを確立し、反応率・選択率・スケールの数値目標を達成。ユーザー企業へのサンプル提供を複数回行うなど、目標を上回る成果を達成 2) オリゴシロキサンの配列をワンポットで制御可能な合成法開発や反応性官能基を持つポリシロキサンの構造を精密に制御できる実用的な触媒反応開発等に成功し、有機ケイ素部材の構造制御技術を確立	◎ 最終目標を達成し、かつ砂からケイ素部材への一気通貫プロセス検証まで実施	-
②- 3	ケイ素-ケイ素結合形成技術	工業的な有用性の観点も含めて生産性の高い触媒を開発	○	-
②- 4	触媒固定化基盤技術	還元剤が不要で高活性なヒドロシル化用固定化触媒の開発に成功 反応後の触媒金属成分は検出下限以下	○	-

◎ 大幅達成、○達成、△部分的達成、×未達

### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### ◆研究開発項目毎の目標と達成状況

#### 実用化に向けた課題

	実用化に向けた課題
①- 1 金属ケイ素を経由しないQ単位構造中間原料製造法の開発	<ul style="list-style-type: none"><li>・さらなる反応のスケールアップ（大型ベンチ～パイロット）実証試験実施。その際の生産コスト・プロセスエネルギーの検証（コルコート社-産総研間の連携）</li><li>・工業生産に対して十分に安定的かつ安価に入手可能なSiO<sub>2</sub>源の選定</li></ul>
①- 2 Q単位構造中間原料からの有機ケイ素原料製造技術の開発	<ul style="list-style-type: none"><li>・プロジェクト期間中に開発したヒドロシラン合成やアルキルシラン合成に関する基盤技術のさらなる高効率化検討を継続。新しい触媒反応プロセスの探索を自主事業として継続</li></ul>

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

実用化に向けた課題

	実用化に向けた課題
②-1 ケイ素-炭素結合形成技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発した触媒のユーザー企業へのサンプル提供の継続と共同研究の推進</li> <li>・対象となる製品の課題をユーザー企業と協力して解決する実用化研究の推進</li> </ul>
②-2 ケイ素-酸素結合形成技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発したシラノール化合物や構造精密制御シロキサン化合物のユーザー企業へのサンプル提供の継続と共同研究の推進。</li> <li>対象となる製品の課題をユーザー企業と協力して解決する実用化研究の推進</li> <li>・2022年度に開始したNEDO特別講座を活用した人材育成・人的交流展開、成果普及・発展の周辺研究推進</li> </ul>
②-3 ケイ素-ケイ素結合形成技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ジシラン製造触媒のさらなる長寿命化などの改良と量産プロセスへの適用可能性検証</li> <li>・ジシランの市場動向を継続的にウォッチする</li> </ul>
②-4 触媒固定化基盤技術	<p>②-1の展開に合わせて、対象製品への固定化触媒の適用可能性をユーザー企業と連携して検証</p>

## ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

### 研究開発項目①：砂からのテトラアルコキシシラン製造技術

- 金属ケイ素を経由することなく、ケイ素産業の基幹原料の一つであるテトラアルコキシシランを砂から直接製造する技術の開発に成功し、製造プロセスの大幅な省エネルギー化を実現
- 我が国は金属ケイ素を全量輸入に依存しており、国内の豊富に存在する安価なケイ素源を有効活用した化学品製造は、産業競争力強化ならびに資源安全保障上も大きな意義

### 研究開発項目②ヒドロシリル化用触媒

- 非白金系で高効率な触媒の開発に成功し、触媒コスト低減。世界に先駆けて新たなプロセスの工業化への道を拓く成果

### 研究開発項目③：シラノール化合物の単離と部材への一気通貫プロセス

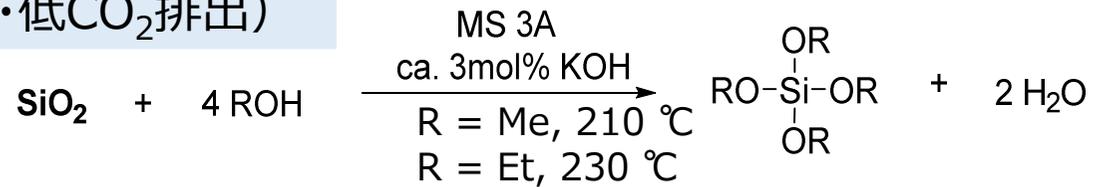
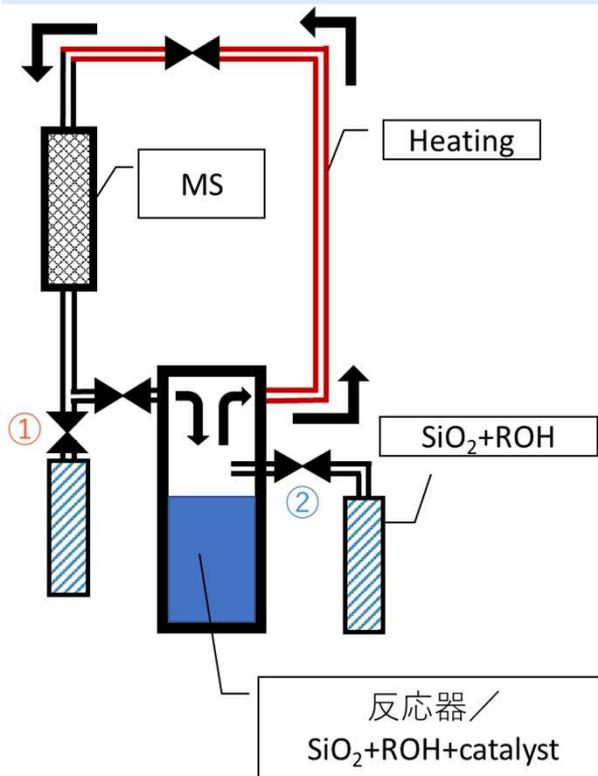
- これまでの常識を打ち破る「シラノール化合物単離」に成功。さらにシラノールを鍵化合物として砂からケイ素部材への一気通貫プロセスを実現

◆ 各個別テーマの成果と意義

研究開発項目①-1：金属ケイ素を経由しないQ単位構造中間原料製造法の開発

新規開発した安価な原料から低エネルギープロセスで製造可能なプロセスについて1kgでの工業的実施可能性の検証を達成し、従来技術に対するコスト優位性とCO<sub>2</sub>削減効果を定量的に評価し、明確化。事業終了後もコルコート社-産総研が連携して実用化研究を推進

テトラアルコキシシラン合成（低コスト・低CO<sub>2</sub>排出）



		全TROS生成量	SiO <sub>2</sub> 反応率	選択率 (目標70%)	TROS収率
TEOS (R=Et)	もみ殻燃焼灰	1.64 kg	78.0%	83.8%	65.4%
	珪質頁岩を粉碎した砂 (塩酸処理品)	1.49 kg	50.3%	88.3%	44.4%
		1.88 kg	74.1%	86.5%	64.1%
TMOS (R=Me)	もみ殻燃焼灰	1.24 kg	90.4%	92.1%	83.3%

**NEDOプロジェクトの最終目標達成**

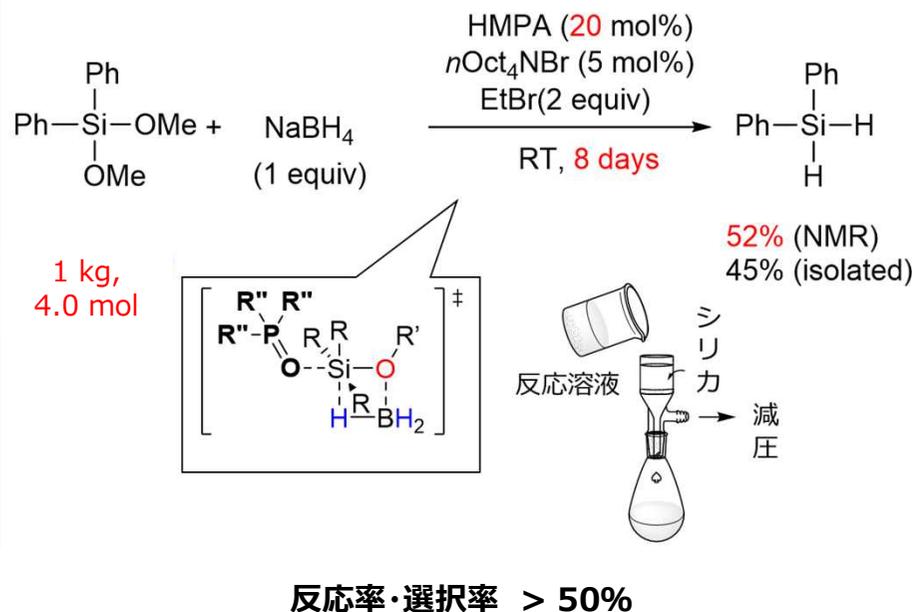
### 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### ◆ 各個別テーマの成果と意義

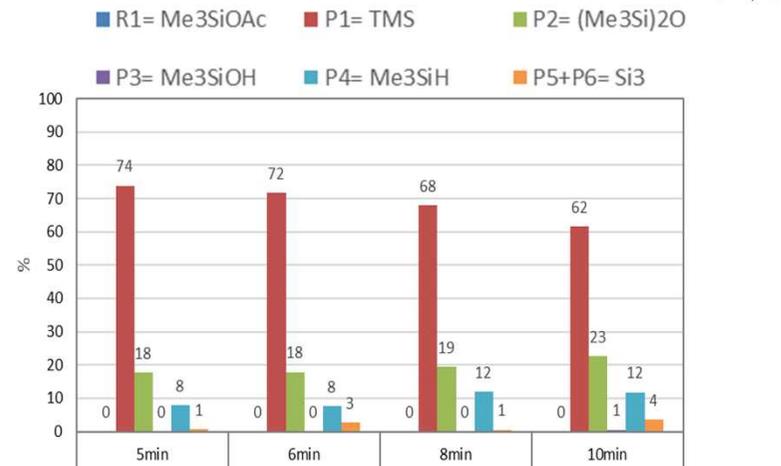
#### 研究開発項目①-2：Q単位構造中間原料からの有機ケイ素原料製造技術の開発

難易度の高い反応系だが、ヒドロシラン合成で最終目標を達成。アルキルシランも反応率・選択性で目標値に到達。将来の実用化プロセスを目指すために基盤となる知見を蓄積。

#### ヒドロシラン合成



#### アルキルシラン合成



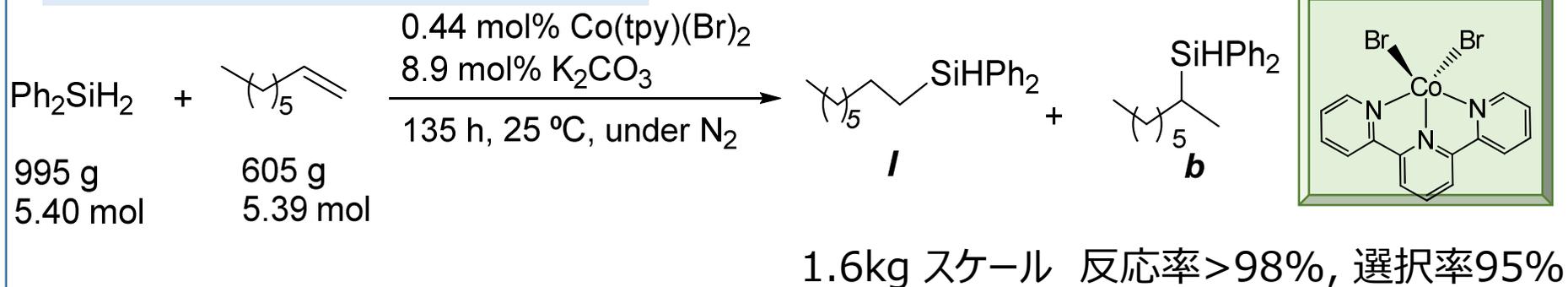
**反応率：100%**  
**選択率：62-74%(Me化体) / 74-82% (Me化体+H体)**

◆各個別テーマの成果と意義

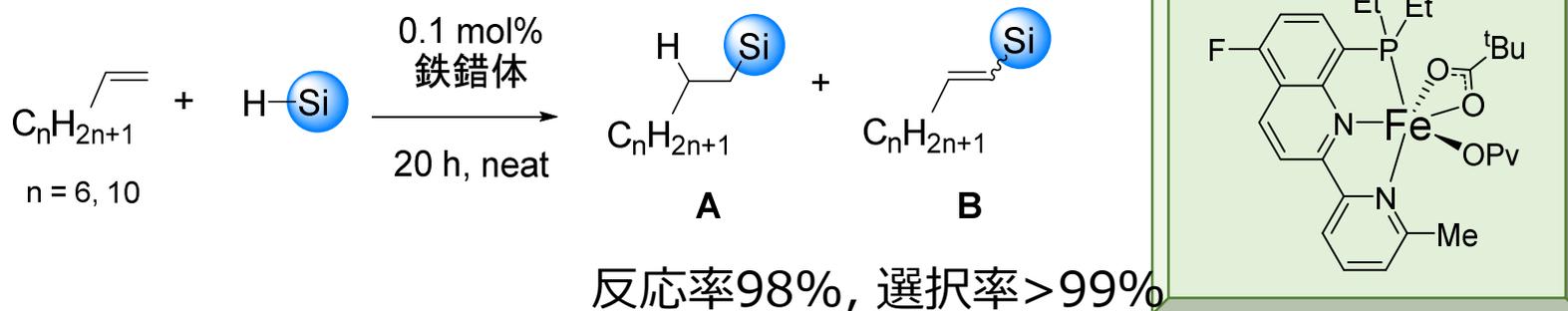
研究開発項目②-1：ケイ素-炭素結合形成技術

- ・非白金系のヒドロシリル化反応用触媒を複数種開発し、反応率・選択性・1kgスケールの最終目標を達成。ユーザー企業への共同研究による新材料開発や、サンプル提供実績あり。
- ・東京化成工業で試薬として製品化。

大阪市立大学成果：コバルト触媒



北里大学成果：鉄触媒

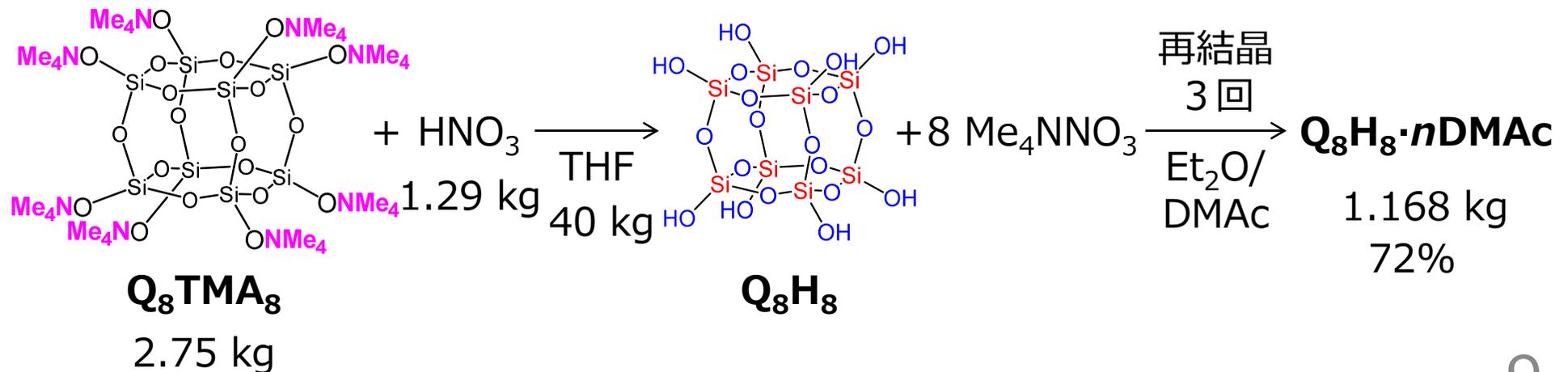


◆各個別テーマの成果と意義

研究開発項目②-2：ケイ素-酸素結合形成技術

- ・シラノール化合物において多彩なビルディングブロック製造技術やポリシロキサン構造精密制御技術を開発し、最終目標を達成。シラノール化合物ではユーザー企業へのサンプル提供を複数回実施。
- ・サンプル提供にあたっては委託合成を活用して、繰り返し安定的かつ大量供給に対応できる体制を構築。
- ・砂から一気通貫のケイ素部材化検証も実施。

シラノール化合物 $Q_8H_8$ の大量合成（サンプル供給体制構築）

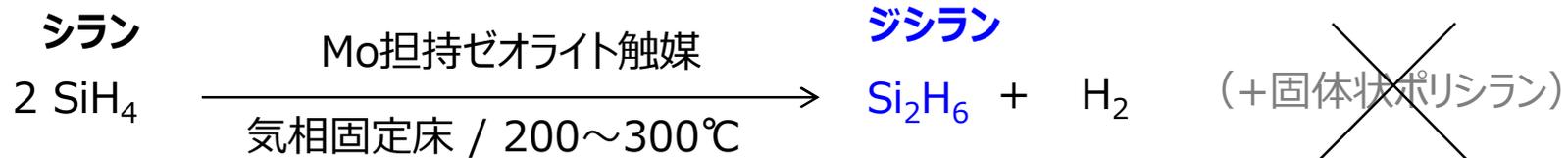


◆各個別テーマの成果と意義

研究開発項目②-3：ケイ素-ケイ素結合形成技術

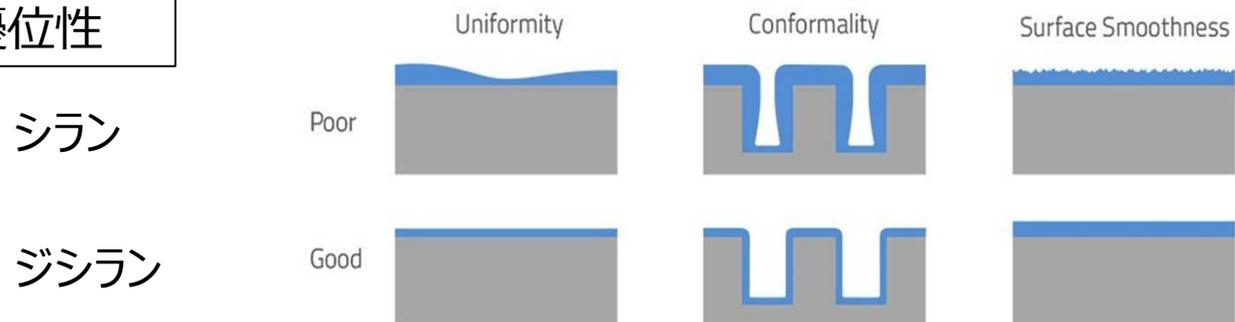
- ・実用化が有望視される生産性を有するジシラン製造触媒を開発。

ジシラン合成触媒開発（高い生産性／STYと長寿命化を実現）



Mo担持ZSM-5触媒により、ジシランを低温、高収率で合成

ジシランの優位性



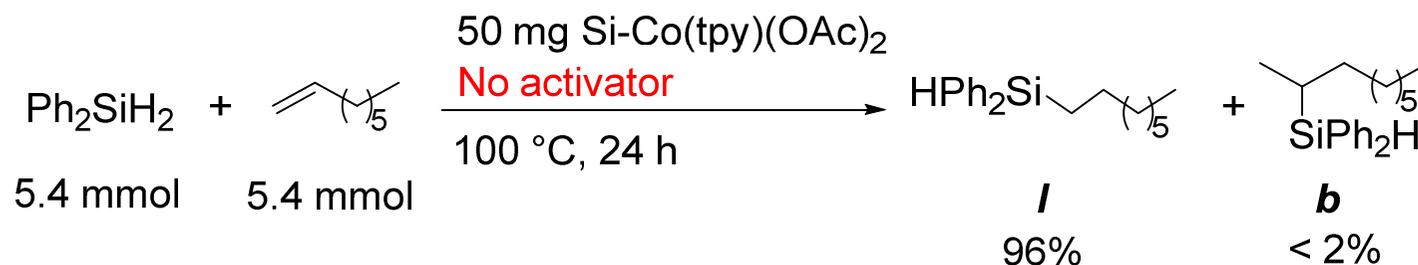
ジシランは成膜性に優れる

◆ 各個別テーマの成果と意義

研究開発項目②-4：触媒固定化基盤技術

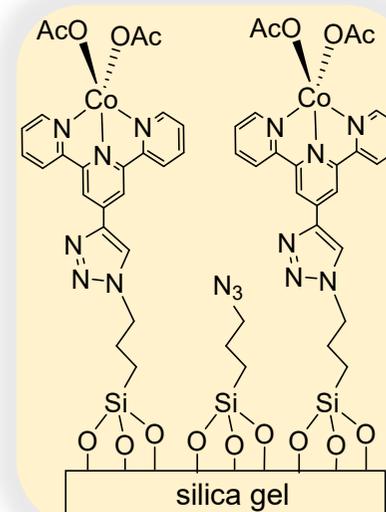
ヒドロシリル化用卑金属錯体触媒を担体上に固定化し、白金触媒と同等の活性と、独自の基質選択性発現を見出し、生成物中への残留触媒も低減に成功

ヒドロシリル化用固定化錯体触媒の開発



NaBHET<sub>3</sub>のような助触媒を用いずに触媒活性発現  
 反応後の溶液のCo量はICP発光分析の検出下限以下

Si-Co(tpy)(OAc)<sub>2</sub>をシリカゲルビーズに固定化した触媒



### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

#### ◆ 成果の普及

年度	2012*	2013*	2014	2015	2016
特許出願 (うちPCTおよび外国出願)	1 件	8 件 (1 件)	18 件 (1 件)	25 件 (8 件)	42 件 (19 件)
論文 (うち査読付き)	0 件	0 件	3 件 (3 件)	4 件 (4 件)	15 件 (13 件)
外部発表・講演	4 件	11 件	28 件	48 件	39 件
受賞実績	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

年度	2017	2018	2019	2020	2021	計
特許出願 (うちPCTおよび外国出願)	33 件 (12 件)	32 件 (11 件)	30 件 (8 件)	20 件 (4 件)	19 件 (5 件)	228 件 (69 件)
論文 (うち査読付き)	7 件 (7 件)	9 件 (9 件)	7 件 (7 件)	11 件 (11 件)	12 件 (8 件)	68 件 (62 件)
外部発表・講演	48 件	30 件	51 件	19 件	39 件	317 件
受賞実績	2 件	5 件	2 件	0 件	1 件	10 件

\* 2012年度、2013年度は経済産業省委託

※2022年9月現在

### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

#### ◆ 成果の普及

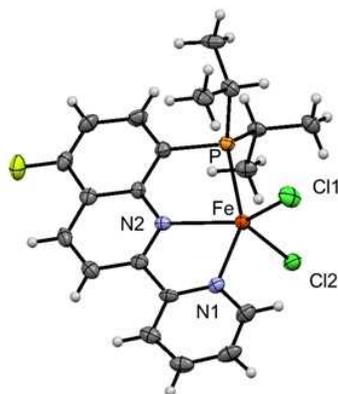
#### プレスリリース 一覧

	実施者	タイトル	発表年月日
1	産業技術総合研究所、NEDO	砂の主成分であるシリカからケイ素化学産業の基幹原料を効率的に合成 －有機ケイ素原料の省エネルギー・低コスト製造に新たな道－	2014/05/20
2	群馬大学、NEDO	ヤヌスキューブの簡便な合成法を開発し、結晶構造の解析に成功 －2つの顔を持つケイ素と酸素からなる立方体－	2016/05/27
3	産業技術総合研究所、NEDO	砂や灰などからケイ素化学の基幹原料を高効率に直接合成 －化学原料を安価で豊富な砂から製造する新たな可能性－	2016/10/25
4	産業技術総合研究所、NEDO	シロキサン結合のワンポット合成技術を開発 －高機能・高性能シリコン材料創出の鍵に－	2017/02/02
5	産業技術総合研究所、NEDO	200年にわたる謎に終止符、ガラスの基本単位の構造を決定 －オルトケイ酸を用いた高機能・高性能ケイ素材料の創出に期待－	2017/07/26
6	産業技術総合研究所、NEDO	分子量や末端構造が制御されたポリシロキサンの簡便な合成法を開発 －高分子の構造制御による高機能・高性能シリコン材料創出の鍵に－	2018/02/20
7	関西大学、NEDO	高性能な有機ケイ素材料製造のための酸化鉄ナノ粒子触媒を開発 －製造プロセスの大幅な省エネルギー化とコスト低減を実現－	2019/04/15
8	北里大学・大阪市立大学、NEDO	高性能な有機ケイ素材料の製造に適した鉄錯体触媒の開発に成功 －空气中で安定な鉄触媒として東京化成工業から発売－	2020/12/14
9	産業技術総合研究所、NEDO	有機ケイ素原料を効率的に合成できるロジウム錯体触媒を開発 －シランカップリング剤の供給コストを抑え、高機能複合材料の低価格化を推進－	2021/05/11
10	産業技術総合研究所	ベンゼン分子を平行に積層することに初めて成功 －水素結合性無機構造体 (HIF) を開発－	2021/12/10

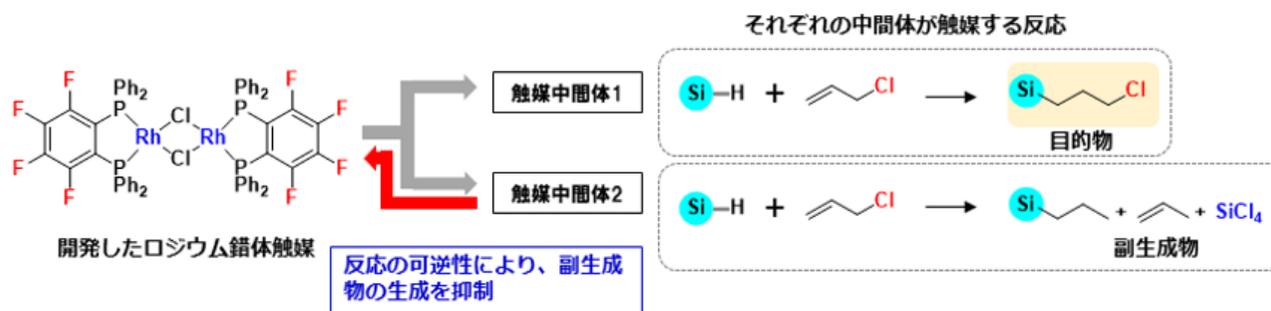
◆ 成果の普及

プレスリリース (2019年度中間評価以降-1)

8. 『高機能な有機ケイ素材料の製造に適した鉄錯体触媒の開発に成功 — 空气中で安定な鉄触媒として東京化成工業から発売—』(2020年12月14日, 北里大学、大阪市立大学)



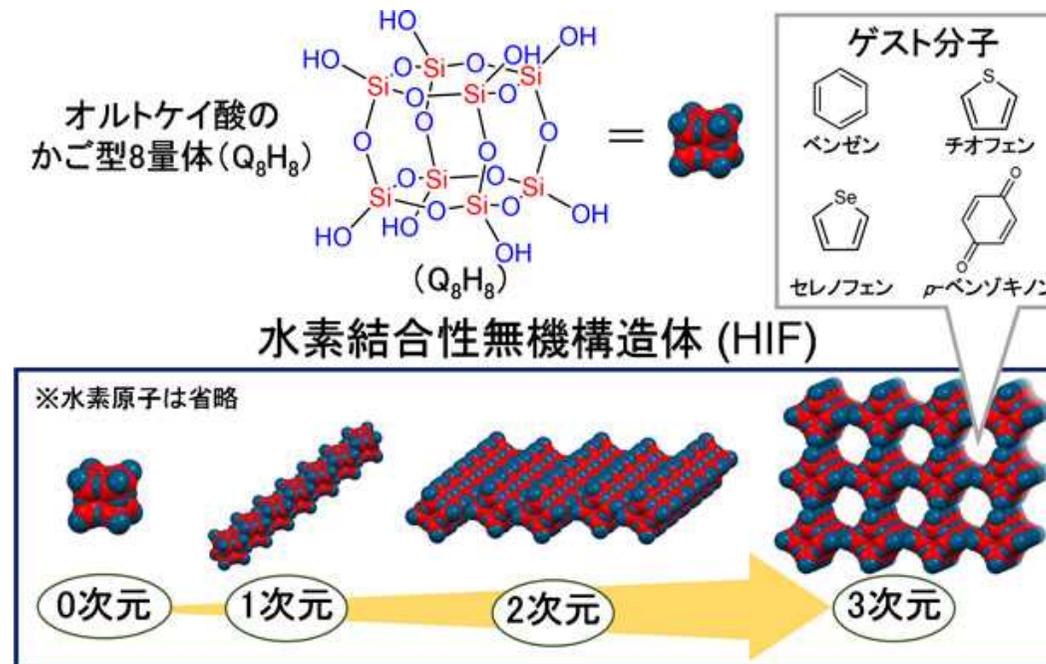
9. 『有機ケイ素原料を効率的に合成できるロジウム錯体触媒を開発 — シランカップリング剤の供給コストを抑え、高機能複合材料の低価格化を推進—』  
(2021年5月11日, 産業技術総合研究所)



◆成果の普及

プレスリリース (2019年度中間評価以降-2)

10. 『ベンゼン分子を平行に積層することに初めて成功 —水素結合性無機構造体 (HIF) を開発—』(2021年12月10日, 産業技術総合研究所、株式会社 リガク)



### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

#### ◆成果の普及

新聞報道 (2019年度中間評価以降の主なもの)

実施者	内容	掲載誌	日付
北里大学、大阪市立大学	有機ケイ素材料に適した鉄錯体触媒	化学工業日報	2020/12/18
北里大学、大阪市立大学	有機ケイ素材料 高機能化、安価提供へ	電波新聞	2020/12/25
北里大学、大阪市立大学	鉄錯体触媒を開発 高活性、白金代替に	日刊産業新聞	2020/12/20
産業技術総合研究所	有機ケイ素原料 効率合成 産総研など ロジウム錯体触媒 開発	日刊工業新聞	2021/05/12
産業技術総合研究所	産総研、「ロジウム錯体触媒」開発 高機能複合材料の低価格化に貢献	日刊自動車新聞	2021/05/17
産業技術総合研究所	ロジウム錯体触媒開発 有機ケイ素原料効率合成	化学工業日報	2021/06/02

プロジェクト期間中の新聞・雑誌等への掲載は合計72件

### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

## ◆ 成果の普及

### 成果報告会の開催

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発/有機ケイ素プロジェクト」中間成果報告会配布資料

2021年3月9日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) は、2020年12月16日に「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発/有機ケイ素プロジェクト」中間成果報告会を開催しました。

有機ケイ素プロジェクトの研究開発成果を一般に共有し、今後の実用化への移行を促進することを目的に、高機能有機ケイ素素材とその原料となる有機ケイ素原料の新規な製造技術を実現するための触媒技術と触媒プロセス技術の研究開発の中間成果を報告しましたので、当日の資料を掲載します。

**1. 開催概要**

日時：2020年12月16日（水） 10時30分～15時50分  
場所：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO川崎本部2101～2103会議室  
〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番 ミューザ川崎セントラルタワー（WEBオンラインでの開催を併設）

**2. 配布資料**

### 中間成果報告会（2020/12/16） NEDO川崎本部／オンライン ハイブリッド開催

NEDO  
有機ケイ素機能性化学品製造プロセス  
技術開発プロジェクト  
最終成果報告会

オンライン開催

2022. 2.25 金  
10:30～16:30

事前登録制 (参加無料)

Microsoft Teams Webinarにて開催いたします。  
公式ホームページ <https://www.silicon-pj.jp/> よりお申込みください。

主催  
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (AIST)  
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)  
実行事務局：ケイ素プロジェクト成果報告会事務局 E-mail: info@silicon-pj.jp

### 最終成果報告会（2022/2/25） オンライン開催

### 3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

#### 展示会への出展

日時：2022年1月26日（水）-28日（金）

場所：東京ビックサイト／有機ケイ素はオンライン説明を併設

#### **nano tech 2022**

**有機ケイ素プロジェクトの成果を説明（実用化検討に向けたサンプルPR）**



有機ケイ素紹介動画

- <展示内容>
- ・産総研（砂からテトラアルコキシシラン，精密構造制御シロキサンなど）
  - ・大阪市立大学（鉄錯体触媒の固定化技術）／北里大学（高い安定性を有する鉄錯体触媒）
  - ・早稲田大学（規則構造を有する高耐熱性ポリシロキサン）
  - ・群馬大学（ヤヌスキューブ，かご型／ラダー型シロキサン）
  - ・関西大学（反応温度制御と触媒回収の容易な鉄ナノ粒子触媒）

#### nano tech 2021

ヒドロシリル化反応に高い活性を有する触媒と、精密に構造制御されたシロキサン化合物をサンプル提供することをPR

#### nano tech 2020

周期的な骨格を有するポリシロキサンと構造制御されたオリゴシロキサンを中心に、実際に合成した化合物を化学式とともに展示

#### nano tech 2019

有機ケイ素プロジェクトでの反応経路をデスクトップ展示で全体的に説明

#### nano tech 2018

有機ケイ素プロジェクト概要説明（砂からの有機ケイ素原料）とプレスリリースしたヤヌスキューブを展示

#### 2021年度サステナブルマテリアル展

構造規制性の有機ケイ素部材を展示

#### NEDOフェスタin関西 2019

有機ケイ素機能性化学品製造プロセス、固体担持型ヒドロシリル化錯体触媒、革新的な酸化鉄ナノ粒子触媒を展示

#### エコプロ 2017

有機ケイ素プロジェクト概要説明とテトラアルコキシシラン原料となるシリカを展示

プロジェクト期間中に8件の展示会に出展

## ◆ 知的財産権の確保に向けた取組

### 戦略に沿った具体的取組

- (独)工業所有権情報・研修館INPIT (小川隆由PD,松崎齊PD) の『知財プロデューサー派遣事業』を2014～2017年度にかけて活用し、基本出願／戦略出願の方針を策定
- 産総研内の知財オフィサー同席のもと知財運営委員会 (通算153回) を開催し、研究成果の適切な知財化の推進と進捗管理を推進
- 触媒・化合物に関する知財権を戦略的に確保し、ユーザー企業へのサンプル提供はMTA (Material Transfer Agreement) を締結 (対象となる特許の実施契約)

	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度
特許出願 (うちPCTおよび外国出願)	1 件	8 件 (1 件)	18 件 (1 件)	25 件 (8 件)	42 件 (19 件)

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	計
特許出願 (うちPCTおよび外国出願)	33 件 (12 件)	32 件 (11 件)	30 件 (8 件)	20 件 (4 件)	19 件 (5 件)	228 件 (69 件)

※2022年9月現在

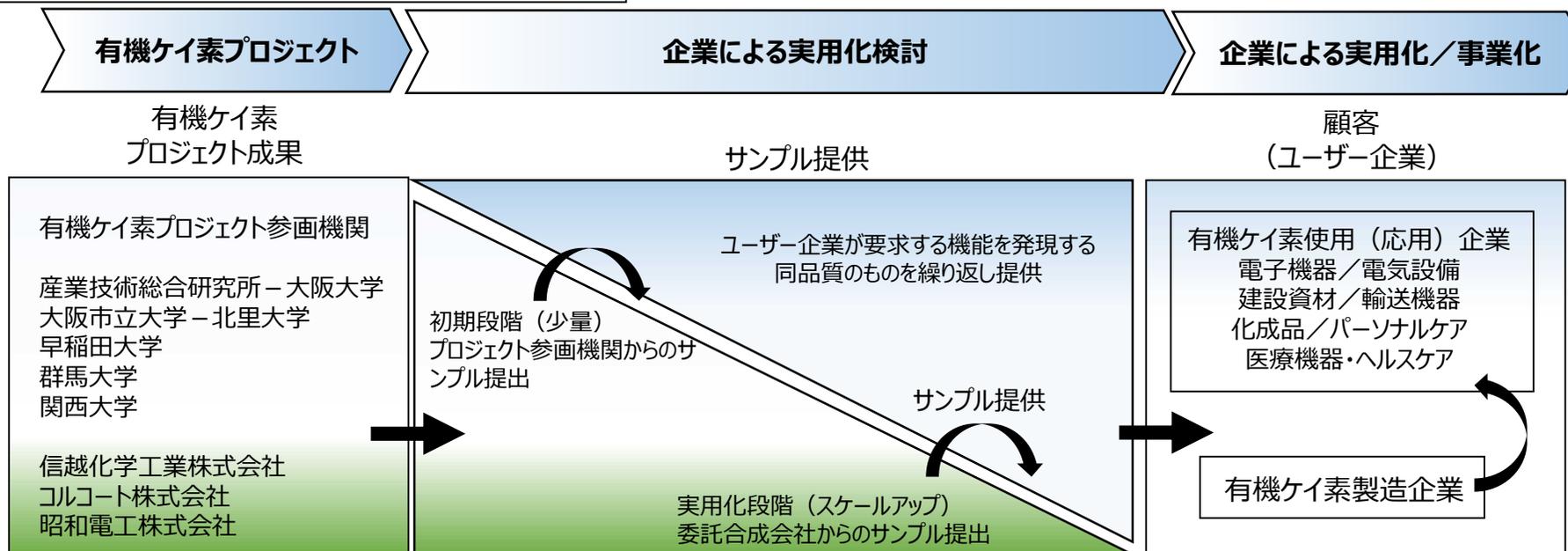
◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

- 当該研究開発で開発された技術によって製造されたサンプルの顧客への提供が開始されることをいう。

なお、ここでの「サンプルの顧客への提供」は、ユーザー企業が要求する機能を発現する同品質のものを繰り返し提供できるものとする。

#### 4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し

### ◆ 実用化に向けた戦略



#### 有機ケイ素プロジェクト実用化の定義

～当該研究開発で開発された技術によって製造された「サンプルの顧客への提供」が開始されること～

#### 有機ケイ素プロジェクト参画機関による継続研究 (自主)

産業技術総合研究所－大阪大学 (研究開発項目①-2) / 大阪市立大学－北里大学 (研究開発項目②-1)  
早稲田大学 (研究開発項目②-2) / 群馬大学 (研究開発項目②-2) / 関西大学 (研究開発項目②-1)

#### 有機ケイ素製造企業による実用化検討 (自主)

信越化学工業株式会社 (研究開発項目①②)  
/ コルコート株式会社 (研究開発項目①-1) / 昭和電工株式会社 (研究開発項目②-3)

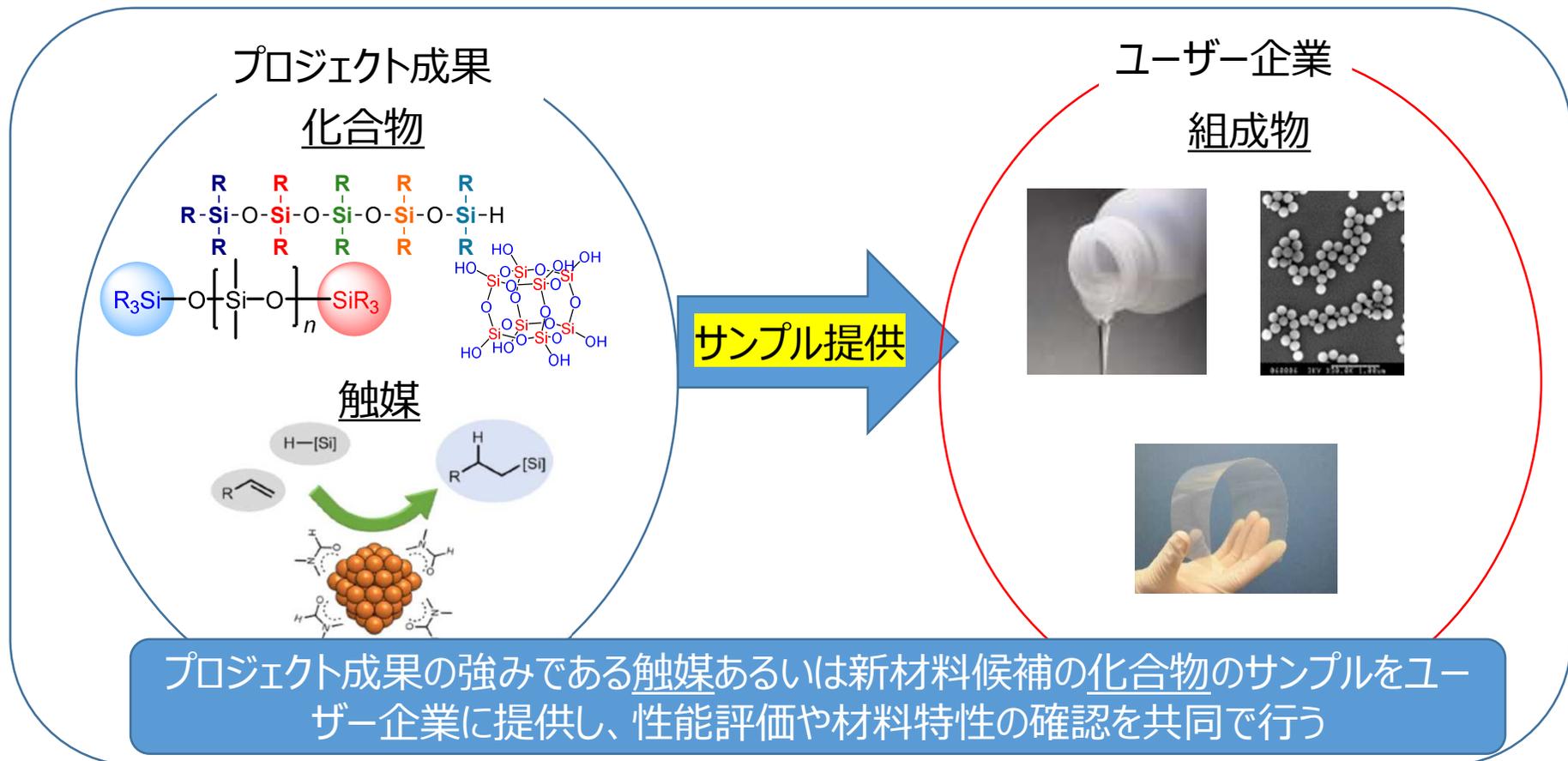
#### <経済産業省国有資産の継続使用>

産業技術総合研究所 / 大阪市立大学 / 早稲田大学 / 群馬大学

#### <NEDO特別講座での成果普及> (研究開発項目②-2)

産業技術総合研究所 / 早稲田大学 / 群馬大学

◆ 実用化に向けた戦略



**産総研・各大学**

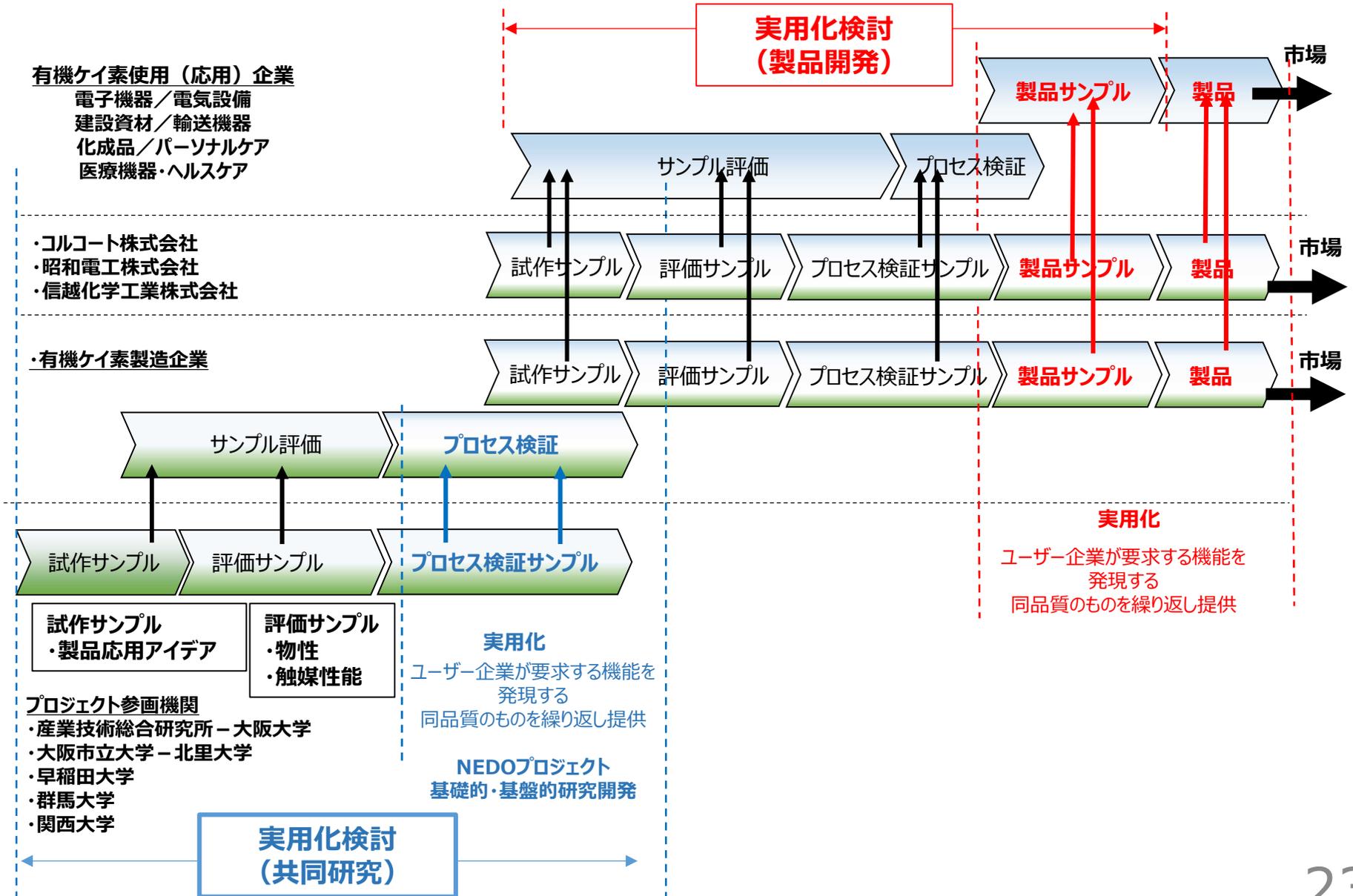
NEDO特別講座の拠点も活用しながら、MTAを通じた触媒や化合物サンプル提供・個別の共同研究を展開

**コルコート、昭和電工、信越化学工業**

大型ベンチからパイロットスケール検討で製造技術の高度化を進めながら、新製造プロセスによる製品サンプルへのユーザー企業への提供・評価を検討

#### 4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化に向けた戦略

### ◆ 実用化に向けた戦略



4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化に向けた具体的取組

◆ 実用化に向けた具体的取組

	2017-2019	2020-2021	2022	～	2025	～	2030	～	2035
有機ケイ素原料 (テトラアルコキシラン) (コルコート)	●	→	最終目標達成 実用化検討 大型ベンチ～パイロット /ケイ素源選定	→	コテ ンコ のキ シラ ア ラ ル 実 用 化	→	事業化検討	▲	大規模商業化
有機ケイ素原料 (アルキル・ヒドロシラン 類) (信越化学工業)	→	●	最終目標達成	→	基盤技術の深耕/反 応のさらなる高効率化 反応の高効率検討継続	→	のド アル シキ ラン 類 ヒ 実 用 化	→	事業化 検討
ケイ素-炭素 結合形成技術 (ヒドロシリル化等) (信越化学工業)	→	●	最終目標達成	→	実用化検討 ユーザー企業と連携 製品毎の課題解決	→	のル ヒド シラ ン 等 実 用 化	→	事業化検討
ケイ素-酸素 結合形成技術 (シラノール、非対称アル コキシラン等) (信越化学工業)	→	●	最終目標達成	→	実用化検討 ユーザー企業と連携 製品毎の課題解決	→	のキ シラ ン 等 実 用 化	→	事業化検討
ケイ素-ケイ素 結合形成技術 (ジシラン等) (昭和電工)	→	●	最終目標達成	→	実用化検討・ 市場動向の調査継続 触媒の長寿命化、製造実機へ の適用可能性検証	→	のジ シラ ン 等 実 用 化	→	事業化検討
									大規模 商業化 ジシランの市場動向により事業化 時期を昭和電工が判断

● : 基本技術確立 ▲ : 事業化

## 4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化に向けた具体的取組



### 決定 「NEDOプロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開／有機ケイ素先端材料開発技術者養成に係る特別講座」に係る実施体制の決定について

2022年8月3日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、「NEDOプロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開／有機ケイ素先端材料開発技術者養成に係る特別講座」に係る公募を実施し、ご提案いただいた1件の提案について外部有識者による厳正なる採択審査を経て、実施体制を決定しました。

なお、採択審査委員一覧は別紙1の通りです。

#### 1. 件名

NEDOプロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開／有機ケイ素先端材料開発技術者養成に係る特別講座

#### 2. 事業概要

NEDOでは、2014年度～2021年度にわたり、「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発（有機ケイ素プロジェクト）」において、高機能有機ケイ素素材及びその原料となる有機ケイ素原料の新規な製造技術を実現するための触媒技術及び触媒プロセス技術を開発してきた。

本特別講座は、NEDO有機ケイ素プロジェクト成果を活用し、今後、益々の需要が高まる有機ケイ素先端材料の社会実装を拡大・促進するための「場」（拠点）を構築し、有機ケイ素先端材料開発の技術を担う人材を育成する。また、この拠点を中心として多方面の人材の交流とサンプルワークや分析・評価の支援・アドバイスをを行う周辺研究等の取組を通じて、新しい分野・用途となり得る多種多様な専門領域においても、当該技術を担う人材が育つという「好循環」を形成することを目指す。具体的には以下の (i) ～ (iii) を一体的に実施する。

- (i) 人材育成講座の実施
- (ii) 人的交流等の展開
- (iii) 周辺研究等の実施

#### 3. 実施予定先

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
国立大学法人群馬大学  
学校法人早稲田大学

#### 4. 事業期間

2022年度～2023年度

#### 3. 実施予定先

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
国立大学法人群馬大学  
学校法人早稲田大学

#### 4. 事業期間

2022年度～2023年度

## NEDO特別講座を活用して、成果普及の取り組みを実施

### 1. 人材育成

コアプロジェクトの基幹技術または先端技術分野・技術経営について、コアプロジェクトのプロジェクトリーダーや、企業の専門家等を講師として行う講義、セミナー等の開催のほか、周辺研究を活用した人材育成プログラムを行います。

### 2. 人的交流等の展開

コアプロジェクトの基幹技術または先端技術分野・技術経営を中心に、研究者、技術者等のネットワークを構築するとともに、人的交流事業等を実施します。

### 3. 周辺研究の実施

コアプロジェクトの基幹技術または先端技術分野・技術経営に関連する基礎的研究や、その成果の普及や発展に資する派生的研究を行います。

#### 4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (2) 成果の実用化に向けた具体的取組

### 有機ケイ素先端材料開発技術者養成に係る特別講座

#### 1. 人材育成講座の実施

#### 2. 人的交流等の展開

#### 人材育成講座の実施

有機ケイ素材料に関する講義（基礎～応用講座、NEDOプロジェクト成果を中心に最新の技術動向等）、構造制御技術や物性評価等の実地研修（実習、分析、見学等）を通じて、有機ケイ素先端材料開発の中心を担う即戦力人材を育成する。

信越化学工業  
ダウ・東レ株式会社  
旭化成ワッカー  
モメンティブ  
JNC

有機ケイ素  
製造企業

産業技術総合研究所  
早稲田大学  
群馬大学

有機ケイ素ユーザー企業  
登録研究員所属機関の学生

人材育成講座の拠点と、企業、大学、関係機関等の人的交流を促進するため、シンポジウム、ワークショップ等を開催する。シンポジウム、ワークショップ等では、有機ケイ素材料製造企業から製品紹介などを行う機会も設ける。

#### 人的交流等の展開

※関連団体（学協会）

ケイ素化学協会、ゾルーゲル学会、セラミックス協会  
ゼオライト学会、無機高分子研究会等

一体的に実施  
・人材育成講座の実施  
・人的交流等の展開  
・周辺研究等の実施

#### 3. 周辺研究等の実施

#### ケイ素－酸素(Si-O)結合形成技術

産業技術総合研究所  
早稲田大学  
群馬大学

#### 有機ケイ素プロジェクト

- ・産業技術総合研究所(Si-C, Si-Si, Si-O結合技術)
- ・早稲田大学(Si-O技術)
- ・群馬大学(Si-O技術)
- ・大阪市立大学(Si-C技術)
- ・関西大学(Si-C技術)

#### 周辺研究等の実施

NEDO特別講座の拠点を活用して、サンプル提供や分析・評価手法の検討、及び有機ケイ素先端材料の周辺研究を行い、新しい産業分野、用途への活用と広がりを目指す。これら取組みを通じて、更なる本格的な検討を希望する企業に対しては、企業を支援できる機関とマッチング等を行い、個別の共同研究へと繋げる仕組みを構築する。

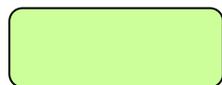
◆ 成果の実用化・事業化の見通し

- ① 有機ケイ素原料製造技術      ② Si-C結合形成技術      ② Si-O結合形成技術      ② Si-Si結合形成技術

テトラアルコキシシラン製造技術 $\text{Si(OR)}_4$	有機・ヒドロシラン類製造技術 $\text{Me}_2\text{Si(OMe)}_2$ $\text{H}_n\text{Si(OMe)}_{4-n}$	ヒドロシリル化触媒技術 Fe・Co触媒 アリル系用触媒	ビルディングブロック技術 ポリシロキサン構造制御技術	高次シラン製造技術 $\text{Si}_2\text{H}_6$
--------------------------------------	---	-----------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------



実用化に向けての検討が具体化した技術



実用化が有望な技術



実用化の可能性が出てきた技術



シリコーンレジン



シリコーンゴム



シーリング剤  
コーティング剤



はく離紙



シランカップリング剤



封止材



薄膜シリコン



半導体関連材料

### ◆波及効果-1

#### プロジェクト成果が基盤となった民間企業との共同研究への波及

本プロジェクトで生み出した技術について、成果の普及に努めた結果、プロジェクト実施者の技術シーズポテンシャルが認知され、民間企業が抱えるプロジェクト外の個別課題解決のための共同研究に発展している。

研究開発項目①関連：共同研究4件

研究開発項目②関連：共同研究6件

大阪市立大学／再委託先北里大学で開発した鉄触媒が東京化成工業で製品化され、2020年末から販売開始

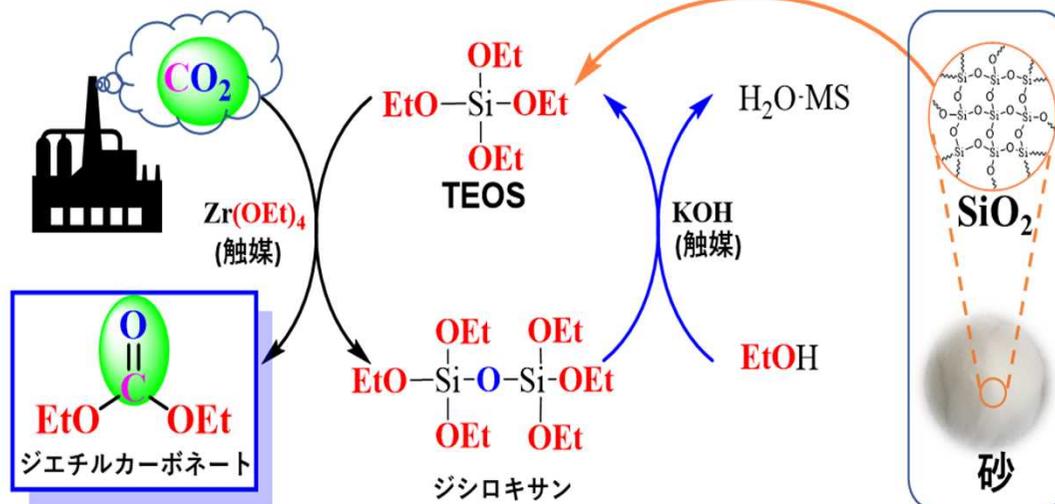
#### 産業人材育成

本プロジェクトは、企業から集中研に出向している研究者との日常的な共同研究を通して、産総研所属の研究員・博士研究員（のべ20名）・テクニカルスタッフ等の産業人材育成に大きく貢献している。大学院生をリサーチアシスタント（のべ3名）として参加させ、幅広い視野を持つ研究者としての育成に貢献している。

## 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

### ◆波及効果-2

CO<sub>2</sub>とTEOSを原料とするジエチルカーボネート合成



- CO<sub>2</sub>とケイ素化合物からポリカーボネートやポリウレタンの原料を合成する触媒技術を開発
- 水を副生しない反応プロセスで触媒が長寿命化
- CO<sub>2</sub>を炭素資源として再利用するカーボンリサイクル社会への貢献に期待

「砂からテトラアルコキシシランを合成する技術」と組み合わせることで、CO<sub>2</sub>と砂という実質的に無尽蔵ともいえる資源から有用化学品を製造する可能性を拓く

採択されたNEDOグリーンイノベーション基金事業の中で、東ソー／コロコート／産総研で連携し、有機ケイ素PJの成果も活用しながら実用化を目指す



CO<sub>2</sub>とケイ素化合物からポリカーボネートやポリウレタンの原料を合成  
 - 水が副生しない新しい反応で高効率な合成を実現 -

2020年11月27日  
 国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
 東ソー株式会社

#### ■ ポイント ■

- ・ CO<sub>2</sub>とケイ素化合物からポリカーボネートやポリウレタンの原料を合成する触媒技術を開発
- ・ 水を副生しない反応プロセスで触媒が長寿命化
- ・ CO<sub>2</sub>を炭素資源として再利用するカーボンリサイクル社会への貢献に期待

#### ■ 概要 ■

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 石村 和彦】(以下「産総研」という)触媒化学融合研究センター【研究センター長 佐藤 一彦】ヘテロ原子化学チーム 深谷 訓久 研究チーム長、Putro Wahyu 研究員、触媒固定化設計チーム 崔 準哲 研究チーム長らは、東ソー株式会社(以下「東ソー」という)と共同で、CO<sub>2</sub>とケイ素化合物を原料として、ポリカーボネートやポリウレタンの原料となる「ジエチルカーボネート」を効率的に合成する触媒技術を開発した。

今回、CO<sub>2</sub>とケイ素化合物(テトラエトキシシラン)を原料としてジエチルカーボネートを合成する新たな触媒反応を見いだした。この反応は水を副生しないため、触媒が長寿命化し、高い反応効率を実現できた。この技術が実用化されれば、CO<sub>2</sub>を炭素資源として再利用するカーボンリサイクル社会への貢献が期待できる。

本研究成果は、2020年11月24日(中央ヨーロッパ時間)に「Chemistry Europe」が発行する「ChemSusChem 誌」のオンライン連載版で公開された。



CO<sub>2</sub>とケイ素化合物からポリカーボネートやポリウレタンの原料を合成