

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス 技術開発」(中間評価)

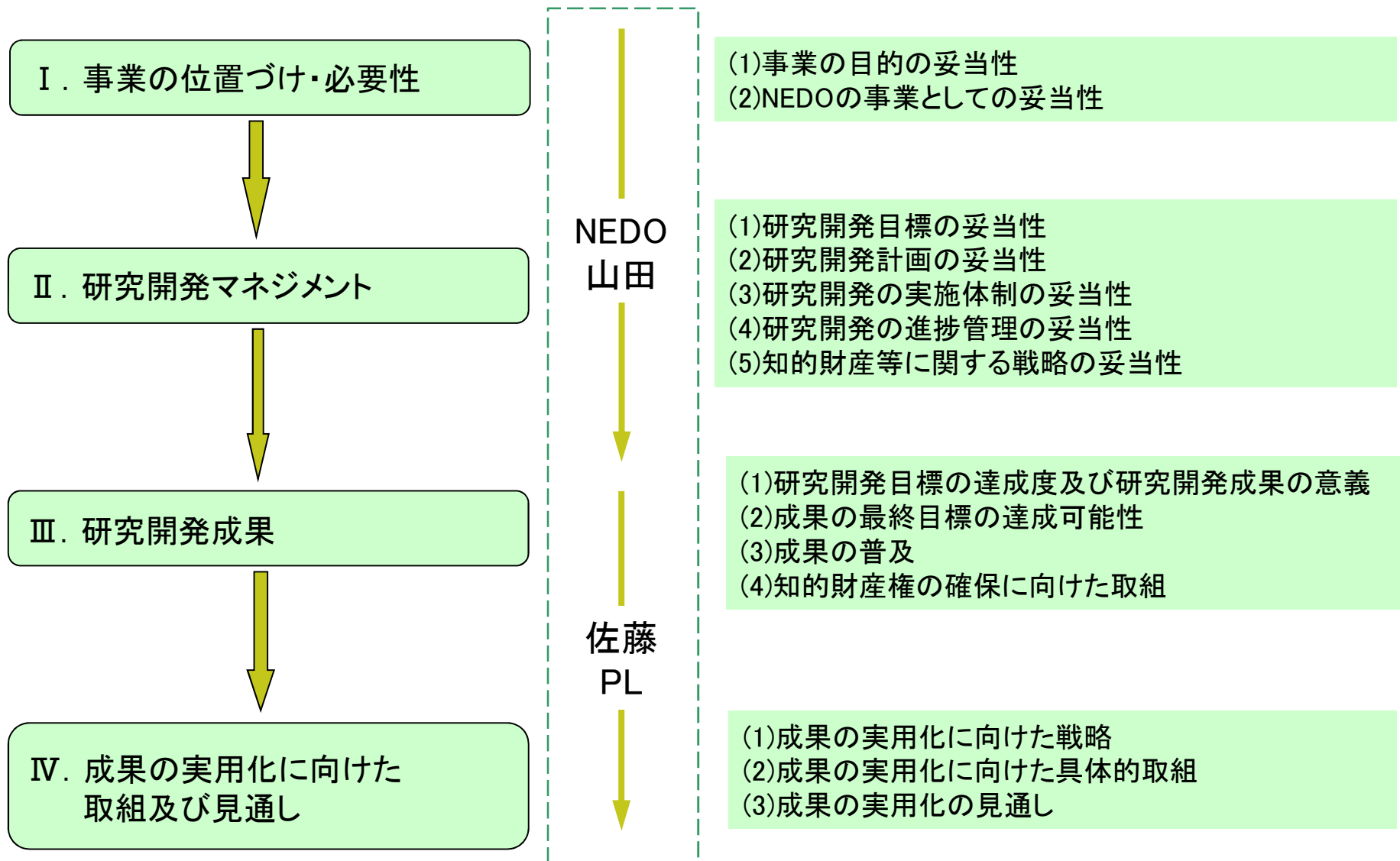
(2014年度～2021年度 8年間)

プロジェクトの概要 (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

2019年8月2日

発表内容

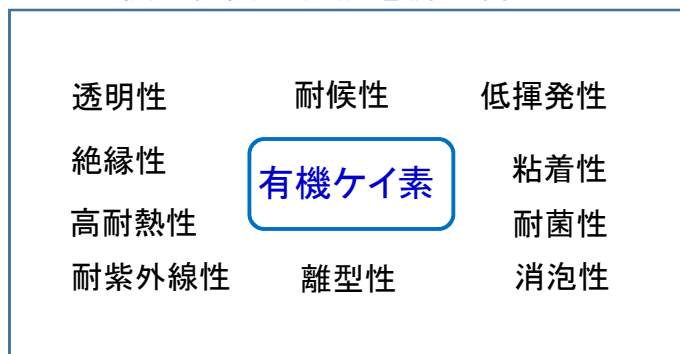


1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

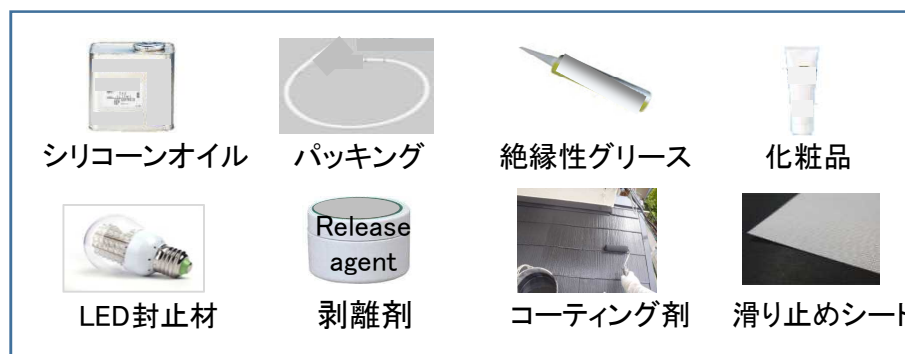
◆事業実施の背景と事業の目的

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

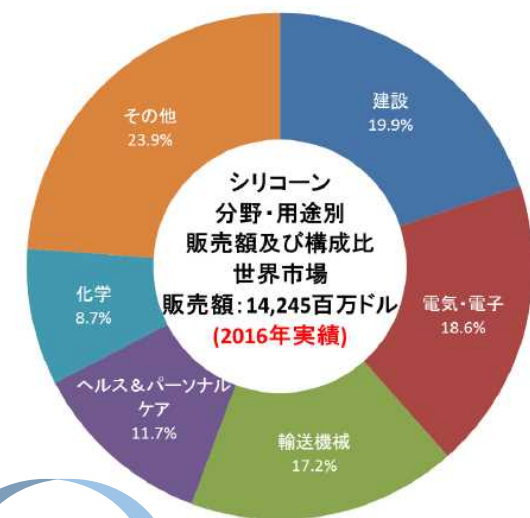
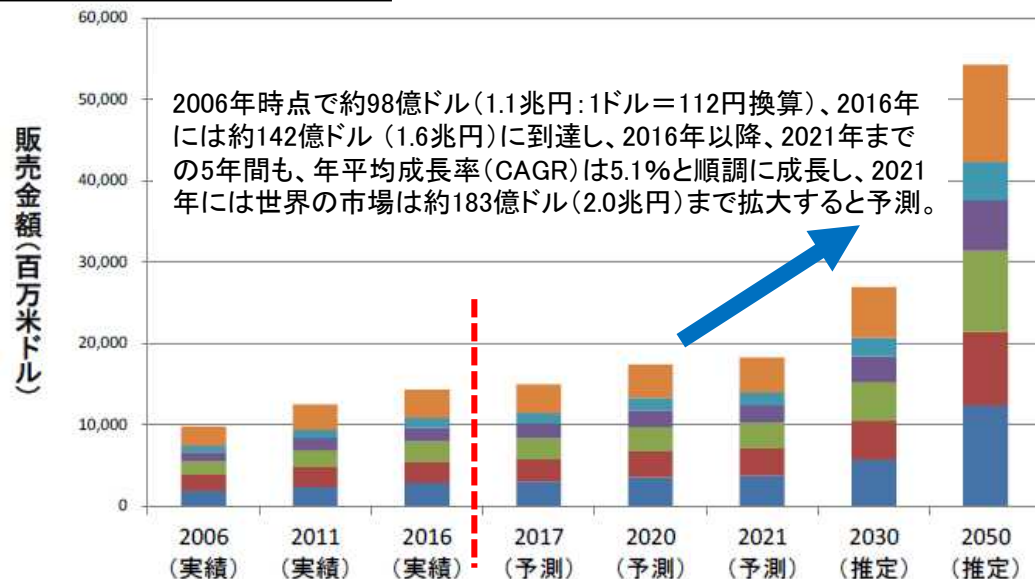
無機と有機の性能を併せ持つ



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」
 Freedonia "Global Silicones Market, 4th Edition"およびOECDの各国・地域のGDP予測値から作成

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

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

- ・SiO₂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~)

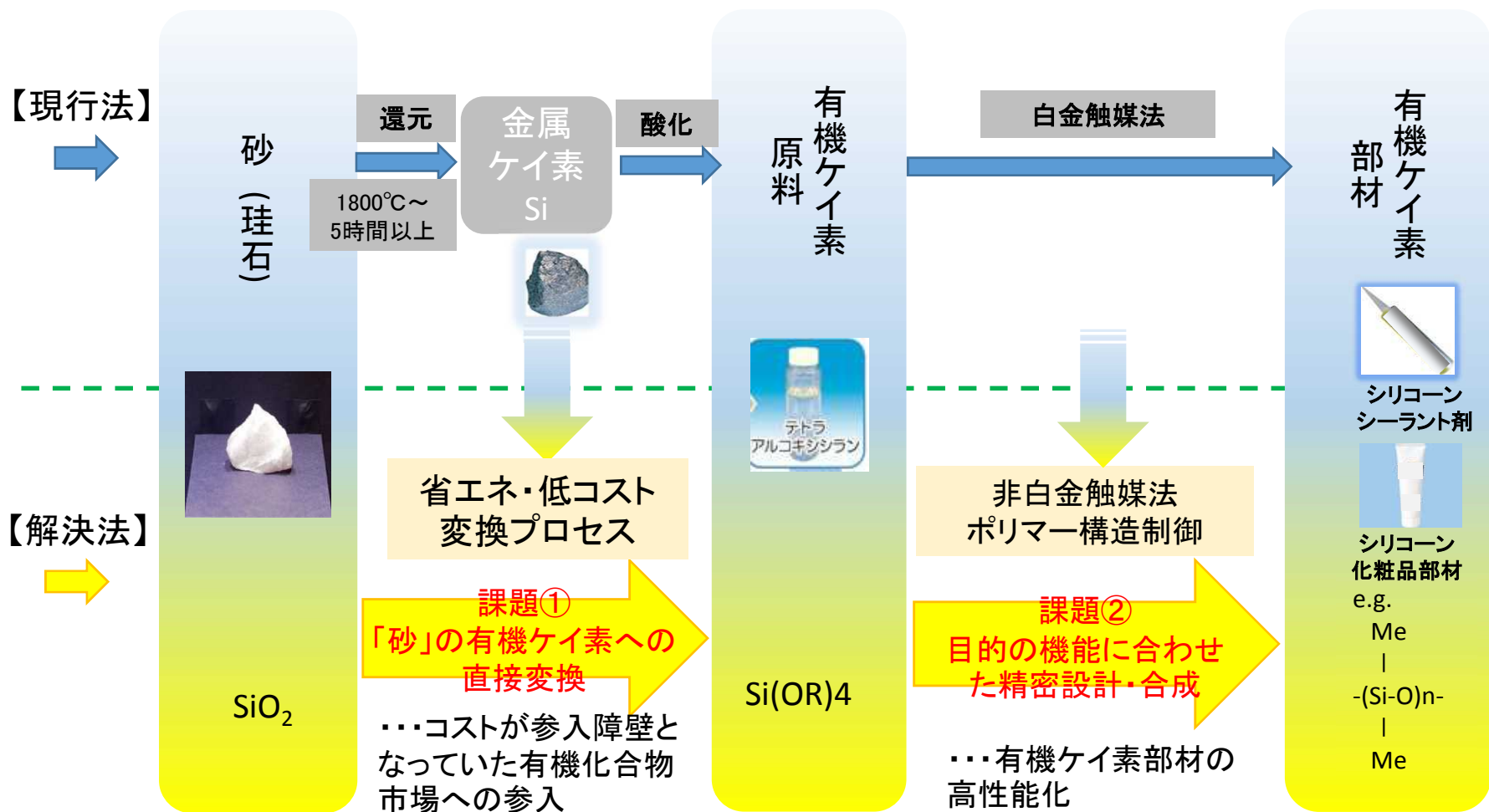
(2)性能面:

- ・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

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

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。



◆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。

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



1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 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

製造産業局 素材産業課
03-3501-1737

事業の内容

事業目的・概要

- 身の回りにある製品の原料等を製造する化学産業は我が国最大のエネルギー多消費産業であり、CO2排出量は鉄鋼業に次ぐ産業部門第2位（我が国の全排出量の約6%）です。
- 本事業では、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、世界に先駆けて革新的な省エネ型の化学品製造プロセス技術を開発し、資源利用の高度化を図るとともに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、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非可食性バイオマス原料からコスト競争力のあるエンジニアリングプラスチック等の最終化学品までの一気通貫の省エネ型製造プロセス、④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、に関する技術の開発に取り組めます。

成果目標

- 平成25年度から平成37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、平成42年度において約1,673万t/年のCO2削減を目指します。

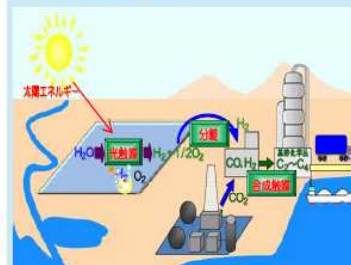
条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ

①人工光合成

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

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



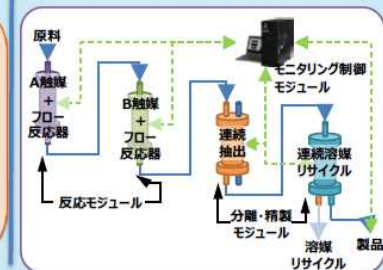
③非可食バイオマス

非可食性バイオマス原料から最終化学品を一気通貫で製造



④連続精密生産プロセス

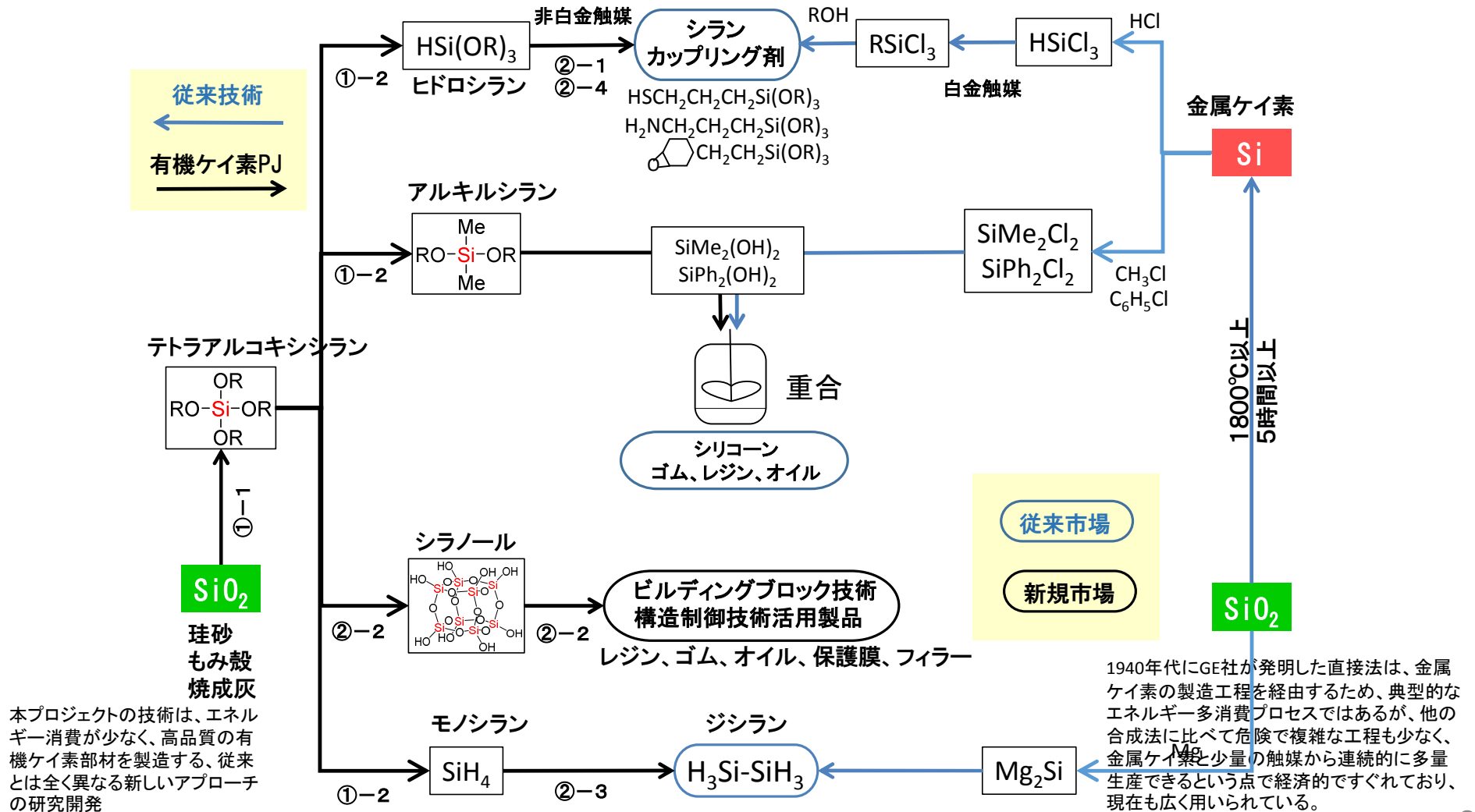
バッチ法（一段階ごとに反応と精製を繰り返す製造法）をフロー法（複数段階の反応を連続的に行う製造法）へ置き換えることで機能性化学品を高効率で製造



1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較

<従来技術と有機ケイ素プロジェクトでの研究開発技術の比較>



◆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 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。

◆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**

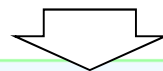
➡ **社会的必要性が高い技術開発**

● 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：26億円/10年(予定)

省エネルギー効果：44万kL/年(2030年、原油換算)
=CO₂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)
<https://www.silicone.jp/contact/qa/qa001.shtm>(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、CO₂削減の波及効果

1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

◆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、CO₂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-CO₂の削減効果がある。

同様に各用途のCO₂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CO₂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

ケーススタディーを行った用途	市場(日米欧) トン/年	削減効果 /排出量比	正味GHG 削減効果 1000t-CO ₂
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
ケーススタディーの合計	670,900	13.7	-51,208
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
全市場/加重平均	1,141,900	8.9	-54,240

◆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」

【中間目標(2014年度末)】

- ・複数の反応経路とそれぞれの反応における触媒の中心元素の種類や配位子構造等について複数の候補を選定する。

【中間目標(2016年度末)】

- ・ケイ砂を原料に用いる際の技術課題を抽出する。
- ・反応経路と触媒について有望な組合せを絞り込む。

【中間目標(2019年度末)】

- ・ケイ砂の反応率50%、有機ケイ素原料の選択率50%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。「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、2019年度前半までに反応率70%及び選択率70%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。
- ・原料に用いるケイ砂の処理方法等を選定する。

【最終目標(2021年度末)】

- ・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。「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。また、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。

<目標設定の根拠>

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。目標数値は実施内容の難易度を考慮して設定した。

◆ 事業の目標

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」

【中間目標(2014年度末)】

- ・複数の高機能有機ケイ素部材を想定した各種反応に用いられる触媒の活性中心元素や配位子構造等について複数の候補を選定する。

【中間目標(2016年度末)】

- ・反応経路と触媒について有望な組合せを絞り込む。

【中間目標(2019年度末)】

- ・有機ケイ素原料の反応率80%、有機ケイ素部材の選択率80%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。

【最終目標(2021年度末)】

- ・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。

<目標設定の根拠>

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。目標数値は実施内容の難易度を考慮して設定した。

そのほか、有機ケイ素部材中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。

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 (2019年度中間目標)	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	<ul style="list-style-type: none"> ・ケイ砂の反応率50%、有機ケイ素原料の選択率50%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。 (1)については、2019年度前半までに反応率70%及び選択率70%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。 ・原料に用いるケイ砂の処理方法等を選定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・難易度が高く、類似の研究がほとんどなく参考となる知見も限られているため、2014年度～2016年度の3年間は可能性のある反応と触媒を広く探索した後、順次確度の高いものに絞り込んでいくことにした。 ・絞り込んだ触媒候補に対して、2017年度～2019年度は、1kgスケールでの最終目標を達成するために必要な最適な反応条件の指標を得る方針にしている。 ・処理法や取扱いに関する技術開発が必要と考えられるため、ケイ砂の取扱いに関する中間目標を設定した。
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)		

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 (2019年度中間目標)	根拠(共通)
②-1 ケイ素-炭素結合形成技術	<ul style="list-style-type: none"> 有機ケイ素原料の反応率80%、有機ケイ素部材の選択率80%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実用化技術として使用可能な触媒及び触媒プロセスの開発は難易度が高いものと考え、2014年度～2016年度の3年間では触媒の基礎探索を広く実施して触媒の候補を集め、その後、順次絞り込みを行った。 ・絞り込んだ触媒候補に対して、2017年度～2019年度は、1kgスケールでの最終目標を達成するために必要な最適な反応条件の指標を得る方針にしている。
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

年度	2012 ※	2013 ※	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022 ~
①砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発	反応経路と触媒の候補選定・絞込み		ケイ砂原料使用の課題抽出			選定した反応系の最適反応条件検討		ケイ砂処理法の選定	実用化プロセス技術検証	1kgスケール検証	
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	反応経路と触媒の候補選定・絞込み		触媒固定化技術開発			選定した反応系の最適反応条件検討		固定化分子触媒の高度化、評価	残留触媒低減検証	構造制御技術開発	1kgスケール検証
予算(億円)	2	2	2.1	6.2	3.3	2.2	1.8	1.5	2.9	2	

企業による実用化検討

中間評価

中間評価

中間評価

事後評価

合計:26億円(10年間)

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

◆費用

(単位:百万円)

研究開発項目	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	合計
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	979
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	84	1104
合 計	200	200	210	620	331	215	182	150	2108

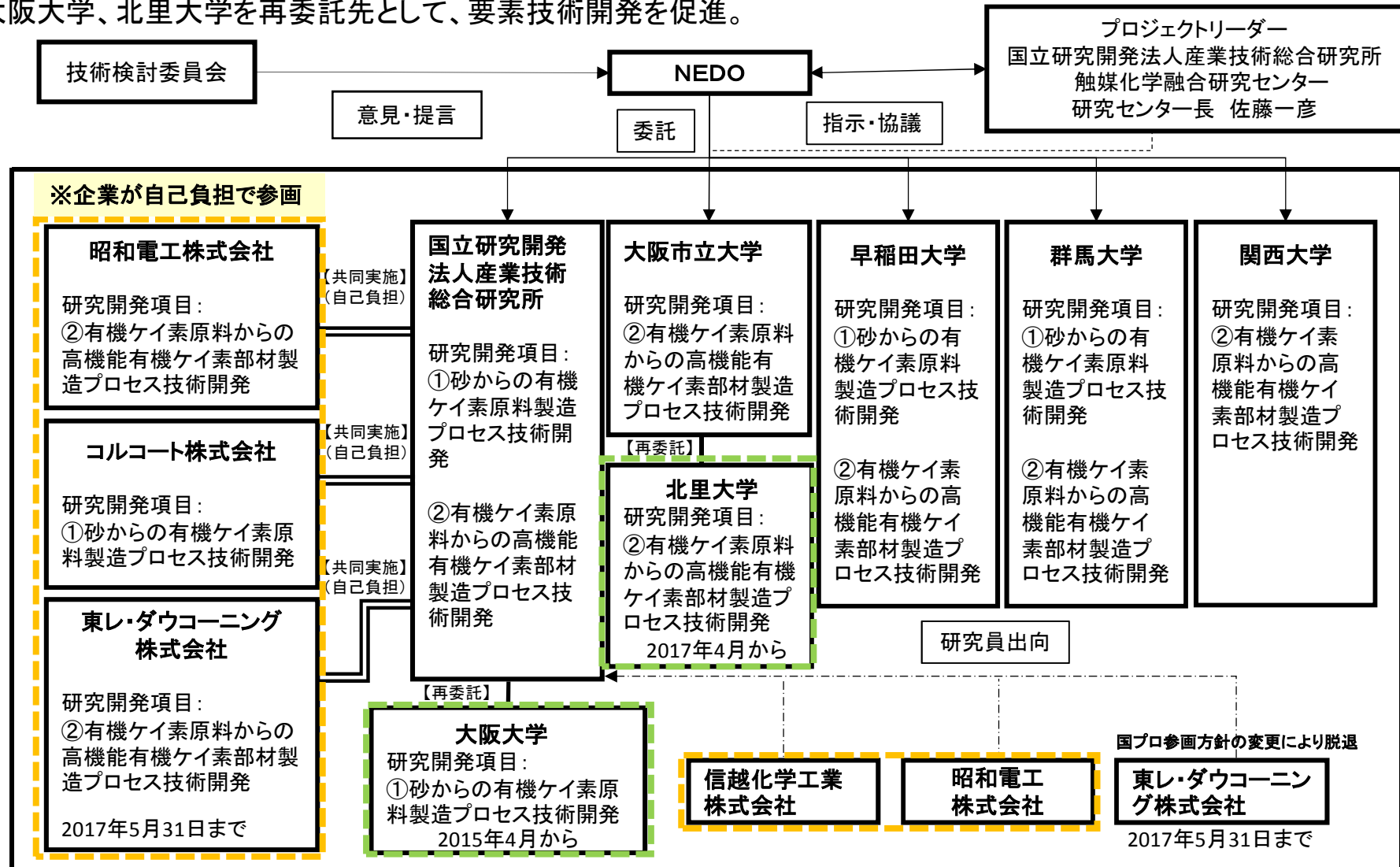
2. 研究開発マネジメント (3)研究開発の実施体制の妥当性

◆研究開発の実施体制

産総研を中心に、各大学を委託先として研究開発を実施。
 実用化の入り口を見越し、企業は集中研(産総研)への研究員出向に加え共同実施先としても参画。
 大阪大学、北里大学を再委託先として、要素技術開発を促進。

実用化の入り口を見越した
民間との連携

課題に対する技術検討強化



◆ 研究開発の進捗管理

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

■ NEDO主催による「技術検討委員会」の開催

- (1) 進捗把握とプロジェクトの方向性や中間評価結果への指導、意見
- (2) 個別の研究開発の内容に関する意見、コメント
- (3) 年2回の頻度で開催(2016年度と2019年度は年1回の開催)

区分	氏名	所属	役職	専門分野
委員長	持田 邦夫	学習院大学	教授	有機ケイ素化学
委員	辻 康之	京都大学	教授	有機金属化学
委員	寺田 眞浩	東北大学	教授	有機化学
委員	長瀬 公一	東レ株式会社	研究本部／嘱託	機能性材料
委員	松川 公洋	京都工芸繊維大学	特任教授	有機ケイ素材料
委員	室井 高城	アイシーラボ	代表	工業触媒

- 技術開発の進捗に応じて、必要となる分野の有識者について追加を検討する方針で開催
⇒ 2018年度に、長瀬公一委員(東レ)を追加。

◆研究開発の進捗管理

実用化に向けたマネジメント

- (1) 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(NEDOはオブザーバー参加)。
 - ・産総研、各大学、NEDOで開催。

- (2) プロジェクトリーダー、委託先、業界団体、業界関連会社へのヒアリング
 - ・達成状況や課題の把握を目的に、必要に応じて実施。

- (3) NEDOによる市場調査の実施 (2017年度)
 - ・「有機ケイ素に関する技術動向と市場の調査」(三菱ケミカルリサーチ)を実施。
 - ・得られた結果を、プロジェクトの技術開発マネジメントに活用。

- (4) 展示会出展によるビジネスマッチング
 - ・エコプロ展2017(2017年12月7日～9日)。
 - ・nano tech 2018(2018年2月14日～16日)、nano tech 2019(2019年1月30日～2月1日)。
 - ・2019年度も引き続き、プロジェクト成果の新たな出口探索のため実施予定。

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><2014年度以降> 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大学に直接委託する体制とした。</p>
<p><2015年度以降> 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(昭和電工株式会社、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><2017年度～2019年度> 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かったため。 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>

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	主な成果
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年度	15	有機ケイ素工業における将来の市場規模予測と現状の技術課題を把握して、プロジェクト運営にフィードバックさせるため、有機ケイ素原料、及び有機ケイ素部材の技術動向及び市場調査を行うとともに、ユーザーが必要とする高機能有機ケイ素部材の種類、性質、及びその開発の方向性を調査する。	<ul style="list-style-type: none"> ・現行プロセスの技術について、国内外製造拠点における製造条件、原料、生産量、販売単価を調査整理した。 ・国内外文献と特許出願から、反応の種類とその概要、用いられている触媒、製品用途を調査して、Siとの化学結合別、反応タイプ別、触媒種別の整理分析を行った。 ・有機ケイ素部材の種類、使用規模(数量、単価)を調査・整理して、将来の市場規模を予測した。 ・国内における有機ケイ素部材の製造事業者と配合事業者に対して、部材に関する技術ニーズと改善に関する意見聴取、NEDO有機ケイ素プロジェクトの成果に対する意見を聴取した。

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

下記は主な指摘事項に対する対応

指摘	対応
<p><研究開発項目①-1></p> <ul style="list-style-type: none"> 研究開発項目①-1の反応に対して1kgで50%の反応率で50%の選択性である必然性は全くない。 工業的实施性を高めるための取り組みを、化学工学的な専門家や企業の積極参画を得て、レベルをスピーディにアップさせるべき。早い時期に問題点を洗い出して、対策を具体化させておくことが肝要。 	<ul style="list-style-type: none"> 数値を、反応率70%、選択率70%に変更。 (実用化レベルの反応率と選択性を考慮した数値) 専門家によるコストを意識した化学工学プロセスシミュレーションの実施と、実用化を担当する民間の共同実施者の社内で、技術検証を検討開始した。 (2017年からの実施方針、実施計画書に記載)
<p><研究開発項目①-2></p> <ul style="list-style-type: none"> Si-C結合技術の開発(①-2)が停滞している。この点がブレークスルーできないとプロジェクトの成功はない。 Si-C結合形成で検討している化合物は、いずれもアルキル/アリルシラン化合物であるため、テトラアルコキシシランに応用できるかを早期に確認する必要がある。 アルコキシシランのヒドロシランへの変換反応は、要素技術開発の道筋が不明で、課題解決への注力が必須。 	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発リソースを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)に投入して、固体触媒と均一系触媒での、触媒種の候補選定と反応経路の候補選定に集中する。 テトラメトキシシラン等を出発原料として有機ケイ素原料を製造するため検討を開始した。 (2017年からの実施方針、実施計画書に記載) アルコキシシランのヒドロシランへの変換反応は、触媒配位子の改良に重点をおくことにした。 (2017年からの実施方針、実施計画書に記載)

◆ 中間評価結果への対応

下記は主な指摘事項に対する対応

指摘	対応
<p><研究開発項目②-1></p> <p>Fe触媒設計を進めて現行のPt触媒の1/10以下の価格で提供できる目処と、Fe触媒が材料系に残存した場合の影響を明確にして、触媒設計にフィードバックすること。</p>	<p>配位子を含めたFe触媒設計と、Fe触媒の残存影響について、民間企業との共同研究で検討を開始した。</p>
<p><実用化のための施策></p> <ul style="list-style-type: none"> ・「実用化」の意味するところをプロジェクトとして再度コンセンサスを取り、力を注いでいく必要がある。そのために、「何をどこまで本プロジェクトでやり、どこから企業と共同でやり、どこから企業にまかせるか」の見通しが必要。 ・研究開発項目②で見出された触媒反応と新規化合物など、短期で実用化の可能性の高いテーマは、研究加速予算などを活用して、前倒しでの実用化ができるように十分な支援体制をNEDO側で構築すべき。 ・産総研を含めたアカデミア側の実施者はシリコン工業を正確に把握し、本プロジェクトが如何にチャレンジングであるかをよく認識すべき。 	<ul style="list-style-type: none"> ・民間企業による実用化検討は、事業終了後の2022年度からとしているが、早期に実用化できるものは、民間企業の社内で検証できる体制の見直しを実施した。 ・有機ケイ素に関する技術動向と市場の調査をNEDO事業として実施。ユーザー企業にヒアリングを実施して、外部刺激に回答して活性が変化する触媒系の開発を②-1に追加した。さらに、事業成果に関心あるユーザーとビジネスマッチングを行い、サンプル提供につながる実用化支援を継続的に実施している。 ・プロジェクト成果の広報活動を含めて、エコプロ展、nanotech展などに出展することで、シリコン工業のエンドユーザーを含めたヒアリングと技術動向を把握している。

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

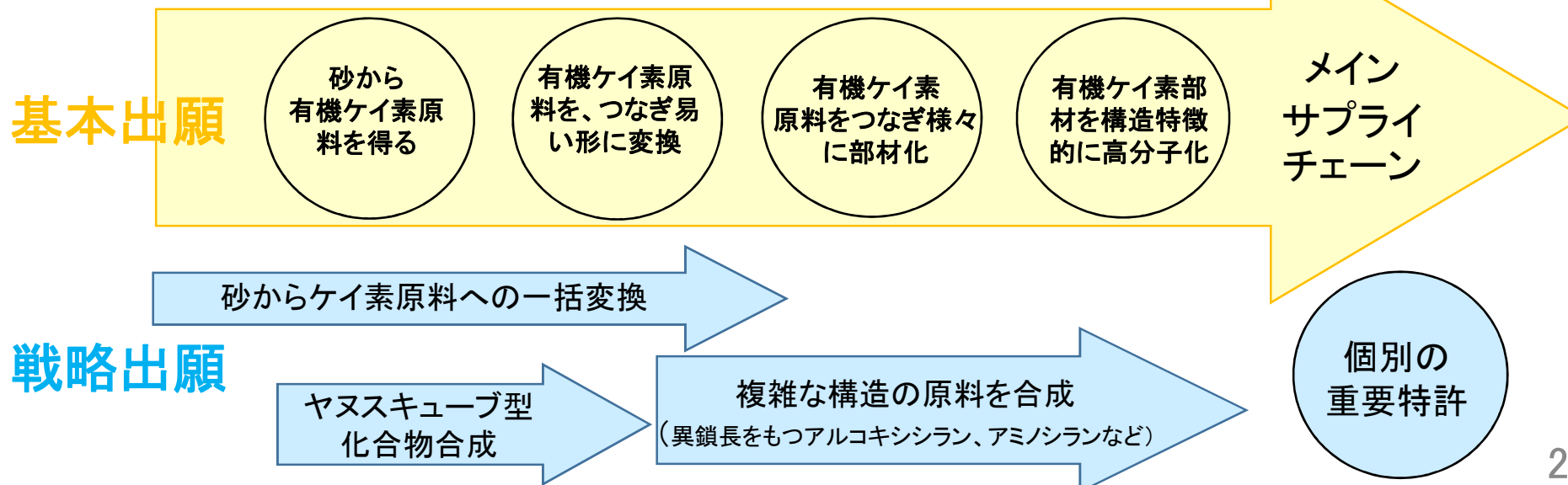
◆ 知的財産権等に関する戦略

有機ケイ素プロジェクト成果のオープン／クローズ戦略

	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"> 新規触媒合成技術 新規有機ケイ素化合物製造方法 	積極的に権利化	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	249件 (内2017年度-2019年度6月現在97件)	155件 (内2017年度-2019年度6月現在61件)

(未公開分含む) 公開

➤ 戦略的出願(製造プロセス、新規化合物、触媒)



◆ 知的財産管理

◆ 知財マネジメント方法（以下方針に準拠）

1. 経済産業省で策定した「未来開拓研究プロジェクトにおける知的財産権等の取扱いに関する基本的考え方」
2. NEDOにて策定した「知財マネジメント基本方針」

◇ 考え方：

- ・研究開発結果に基づく知財に関する決定機能は、PLに一元化。
- ・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。
- ・大学への不実施補償はなし。



これらに基づき実施者間で合意した「知的財産権等取扱規程」を策定。

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

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・群馬大学・早稲田大学・関西大学

(共同実施)昭和電工(株)・コルコート(株)

(再委託)大阪大学、北里大学

2019年 8月2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 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発	ケイ砂の反応率50%、有機ケイ素原料の選択率50%(①-1については反応率70%・選択率70%)を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。(出典:基本計画p.3)	<ul style="list-style-type: none"> ・砂からテトラアルコキシシランを製造する技術において、反応率70%・選択率70%を上回る触媒や反応条件の指標を得るとともに、現行製造法に対するコスト優位性やCO₂排出削減効果を明確化した。 ・均一系触媒を用いた反応において安価な水素源を用いたヒドロシラン合成法を見出した。固体触媒を用いた検討においてテトラアルコキシシランを原料とし、アルキルシランに変換できる触媒系を見出した。 	○	—

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 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	有機ケイ素原料の反応率80%、有機ケイ素部材の選択率80%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。(出典:基本計画p.3)	<ul style="list-style-type: none"> ・外部刺激に応答して活性が制御可能なヒドロシリル化触媒を見出した。 ・かご型骨格シラノール(Q₈H₈)の単離に成功した。また、オリゴおよび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の開発等に成功した。実用化を目指し、特許出願やMTA等を精力的に行い、目標を十分に達成した。 ・モノシランからのジシラン製造において実用化に耐えうる収率・選択性・寿命を有する触媒を見だし、目標を大きく上回る成果を達成した。 ・還元剤が無くても利用できるヒドロシリル化用固定化触媒を開発した。 	◎	—

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×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

◆ 個別研究開発項目の目標と達成状況

1) 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発

	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	ケイ砂の反応率70%、有機ケイ素原料の選択率70%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。	砂とアルコールの反応で、テトラアルコキシシランを高収率で得る実用的な反応経路を見いだすなど、目標を2019年度前半で達成した。	◎	—
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	ケイ砂の反応率50%、有機ケイ素原料の選択率50%を達成すると見込まれる反応経路と触媒を選定し、温度や反応媒体等の最適な反応条件について指標を得る。	均一系触媒においてさらなる検討を行う候補を絞り込み、目標をほぼ達成した。固体触媒では、モデル化合物で実証した系をQ単位構造中間原料に展開し、アルキル化に成功した。	○	—
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	今後の検討可能性について判断する	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	本手法の有効性を見極める	—	—	2017年度以降は本項目を中止し、①-2に研究資源を集中した。
①-5 その他の反応	今後の検討可能性について判断する	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、△達成見込み、×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

◆ 個別研究開発項目の目標と達成状況

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

	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・開始剤不要で空気中でも取り扱い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"> ・不安定なシラノールの大量製造プロセスに目途。 ・オリゴシロキサンをワンプットで制御可能な合成法。 ・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、目標を大きく上回る成果を達成した。 	◎	—
②-3	ケイ素-ケイ素結合形成技術	<ul style="list-style-type: none"> ・モノシランからのジシラン製造において実用化に耐えうる収率・選択性・寿命を有する触媒を見だし、目標を達成した。 	○	—
②-4	触媒固定化基盤技術	<ul style="list-style-type: none"> 還元剤が不要で高活性なヒドロシリル化用固定化触媒の開発に成功した 	○	—

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

●目標を大きく上回る成果が得られた課題

課題①: 砂からのテトラルコキシシラン製造技術

・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順調にスケールアップし、従来技術に対するコスト優位性とCO₂削減効果を明確化。

課題②: ケイ素一酸素結合形成技術

・多彩なビルディングブロック製造技術を確立
・ポリシロキサン構造精密制御技術を開発

課題③: ケイ素-ケイ素結合形成技術

・実用化が有望視される収率・選択性・寿命を有するジシラン製造触媒を開発

●その他の課題も概ね順調に進展。従来技術に比べ大幅な省エネルギー・低コストプロセスの達成および高性能有機ケイ素材料の開発により、将来的な市場の拡大につながるものと期待される。

◆ 成果の最終目標の達成可能性

	最終目標(2021年度末)	達成見通し
① 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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%(テトラアルコキシシランは反応率・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・テトラアルコキシシランに関しては、高収率・高選択的かつ従来法より低コストで製造可能な反応経路を絞り込み、段階的なスケールアップにも成功しており、十分目標達成が見込まれる ・有機シラン等の製造に関しては、候補反応を見いだしており、目標達成が可能と見込まれる。
② 有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素製造プロセス技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・温度による外部刺激に応答して活性を制御できる触媒や、開始剤不要で空気中でも取り扱い可能な高活性鉄触媒を見出しており、目標達成が可能と見込まれる。 ・各階層(シラノール単離、オリゴおよびポリシロキサン)の構造制御)ごとに実用プロセスの目処をつけており、今後具体的な部材候補へ適用することで、十分目標達成が見込まれる。 ・ジシランの製造に関して、実用化が有望視される収率・選択性・寿命を持つ触媒を見いだしており、十分目標達成が見込まれる。

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆ 成果の普及

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	計
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)	32件 (11件)	30件 (11件)	0件 (0件)	155件 (51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)	7件 (7件)	5件 (5件)	1件 (1件)	35件 (23件)
外部発表・講演	4件	11件	28件	48件	39件	18件	30件	4件	212件
受賞実績	0件	0件	0件	0件	0件	2件	2件	0件	4件

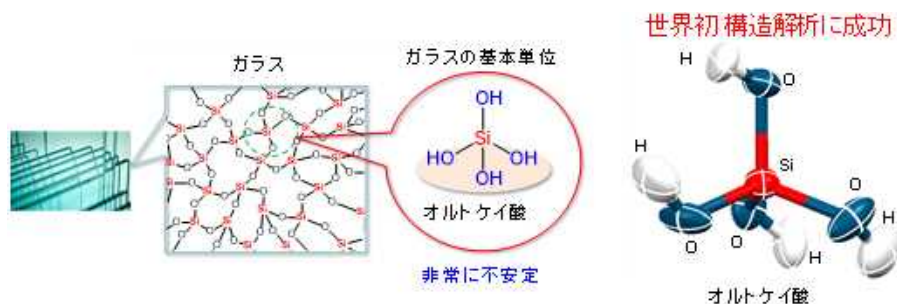
※2019年6月20日現在

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆ 成果の普及

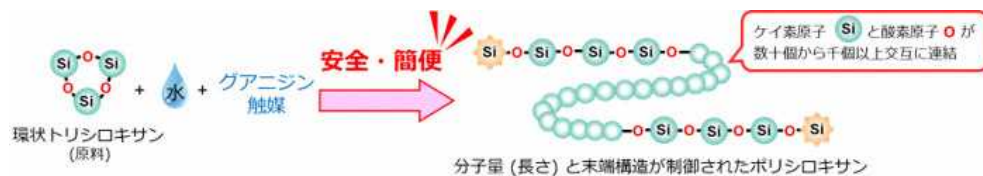
プレスリリース(前回中間評価2016年10月28日以降)

『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 -』



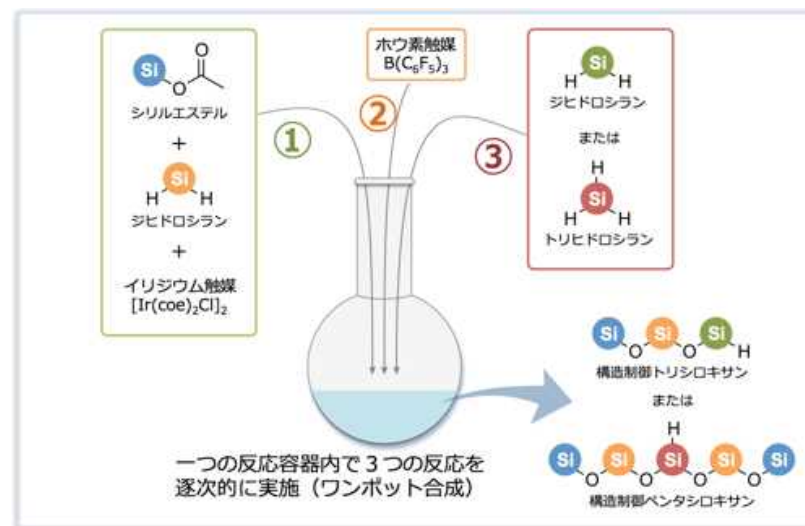
(2017年7月26日, 産業技術総合研究所)

『分子量や末端構造が制御されたポリシロキサン of 簡便な合成法を開発 - 高分子の構造制御による高機能・高性能シリコーン材料創出の鍵に -』



(2018年2月20日, 産業技術総合研究所)

『シロキサン結合のワンポット合成技術を開発 - 高機能・高性能シリコーン材料創出の鍵に -』



ケイ素原子上の置換基は任意に選択可能

例えば、 $\text{Si} = \text{SiMe}_3$ $\text{Si} = \text{SiEt}_2$ $\text{Si} = \text{SiPh}$ の場合、 $\text{Me}_3\text{Si}-\text{O}-\text{Si}(\text{Et}_2\text{Ph})-\text{O}-\text{Si}(\text{Et}_2)-\text{O}-\text{Si}(\text{Me}_3)$ が得られる

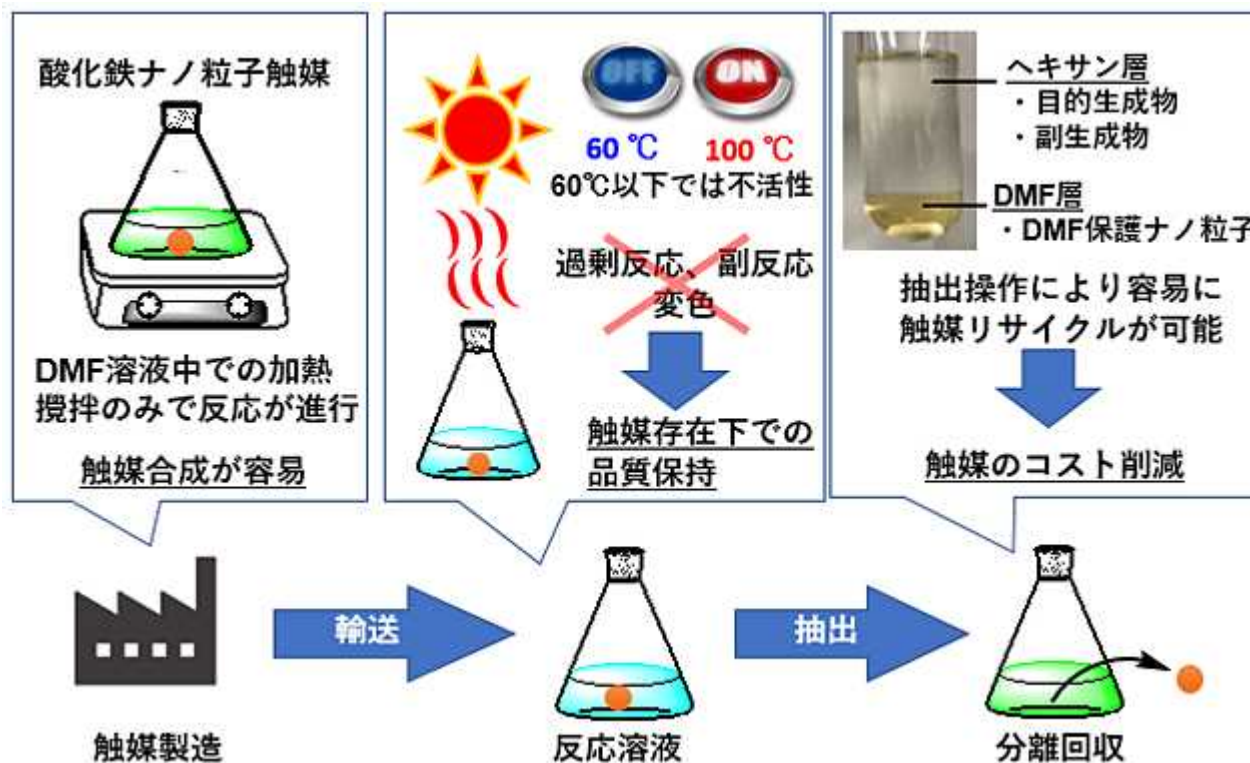
(2017年2月2日, 産業技術総合研究所)

➤ 前回中間評価以降産総研から3件のプレスリリース

◆ 成果の普及

プレスリリース(前回中間評価2016年10月28日以降)

『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年4月15日, 関西大学)

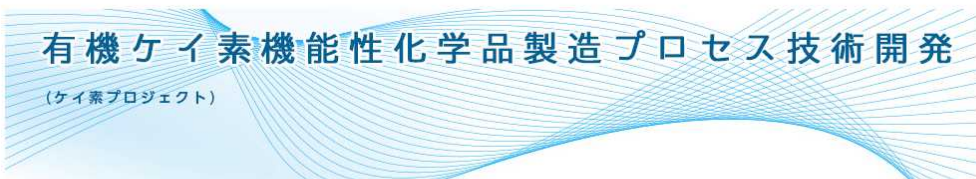
➤ 関西大学からプレスリリース(市場ニーズ調査に基づく追加課題の成果)

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆ 成果の普及

ホームページでの情報発信

ホーム | プロジェクトについて | 研究体制 | メンバー | 研究成果 | トピックス | リンク



プロジェクトの概要

本研究開発では、「砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発」および「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」という2つの研究課題に取り組むことにより、有機ケイ素材料の性能向上、新機能発現とともにコストダウンを達成し、エネルギー関連部材・電子機器用部材をはじめとする高性能・高機能部材開発を通して、有機ケイ素部材の市場拡大に繋がる基盤技術の開発を行います。

[プロジェクト概要へ](#)

トピックス

- 2019年04月15日 [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—](#)
- 2018年12月04日 [日経産業新聞に「砂から頑丈な高機能素材」が掲載されました。](#)
- 2018年10月27日 [松本和弘 主任研究員（産総研）がケイ素化学協会奨励員を受賞しました。](#)



お問い合わせ
技術相談

産総研テクノブリッジフェア で成果を企業にアピール



産総研一般公開にてプロジェクトの概要・成果紹介

【「砂から未来材料」をめざす!】 **D会場**

1の中には、たくさんのケイ素がふくまれています。砂がケイ素を原料にした新材料
生まれ変わる・・・そんな夢のある研究テーマを紹介します。

[触媒化学融合研究センター](#)

◆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た取組及び見通し

◆ 成果の実用化の見通し

① 有機ケイ素原料製造技術

テトラアルコ
キシラン製
造技術
 $\text{Si}(\text{OR})_4$

有機・ヒドロシラ
ン類製造技術
 $\text{Me}_2\text{Si}(\text{OMe})_2$
 $\text{H}_n\text{Si}(\text{OMe})_{4-n}$

② Si-C結合 形成技術

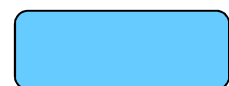
ヒドロシリル化
触媒技術
鉄触媒
アルル系用触媒

② Si-O結合 形成技術

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

② Si-Si結合 形成技術

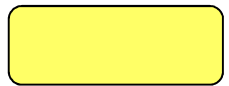
高次シラン
製造技術
 Si_2H_6



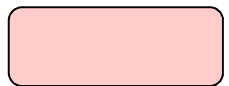
実用化に向けての検討が具体化した技術



実用化が有望な技術



実用化が期待される技術



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