

「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)

プロジェクトの概要 (分科会資料抜粋)

評価分科会開催日：2022年 11月15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)
材料・ナノテクノロジー部

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

現在の有機ケイ素工業製品フロー



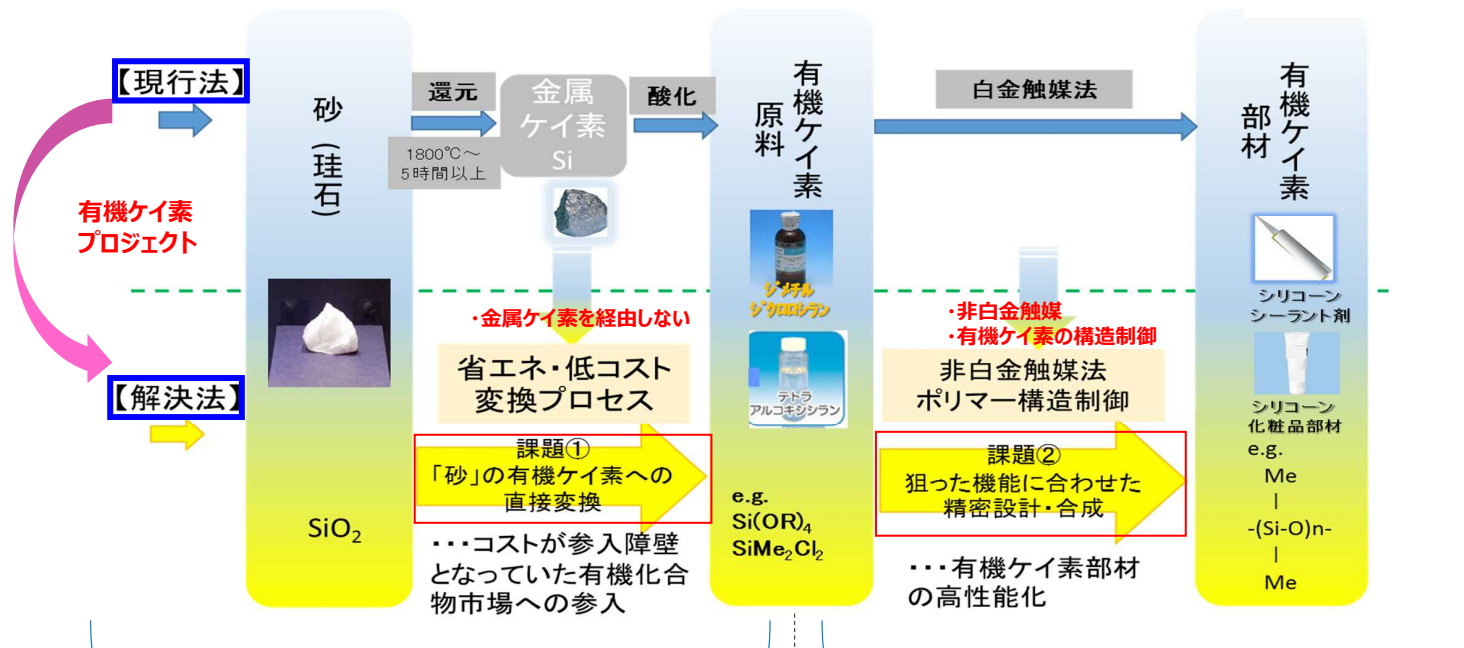
原料・部材製造工程での課題

- (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

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。

◆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



◆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CO₂削減を目指します。

条件 (対象者、対象行為、補助率等)

国 → 交付金 → (研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) → 委託 → 民間企業等

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

◆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 (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	
① 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発 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		候補の絞り込み			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	
	ケイ砂原料使用の課題抽出		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		ケイ砂処理法の選定		実用化可能性検証				
	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								
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 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		候補の絞り込み			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	
	触媒固定化技術開発		固定化分子触媒の評価、高度化		構造制御技術開発		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
合計	200	200	210	620	331	215	182	200	375	450	2,983
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

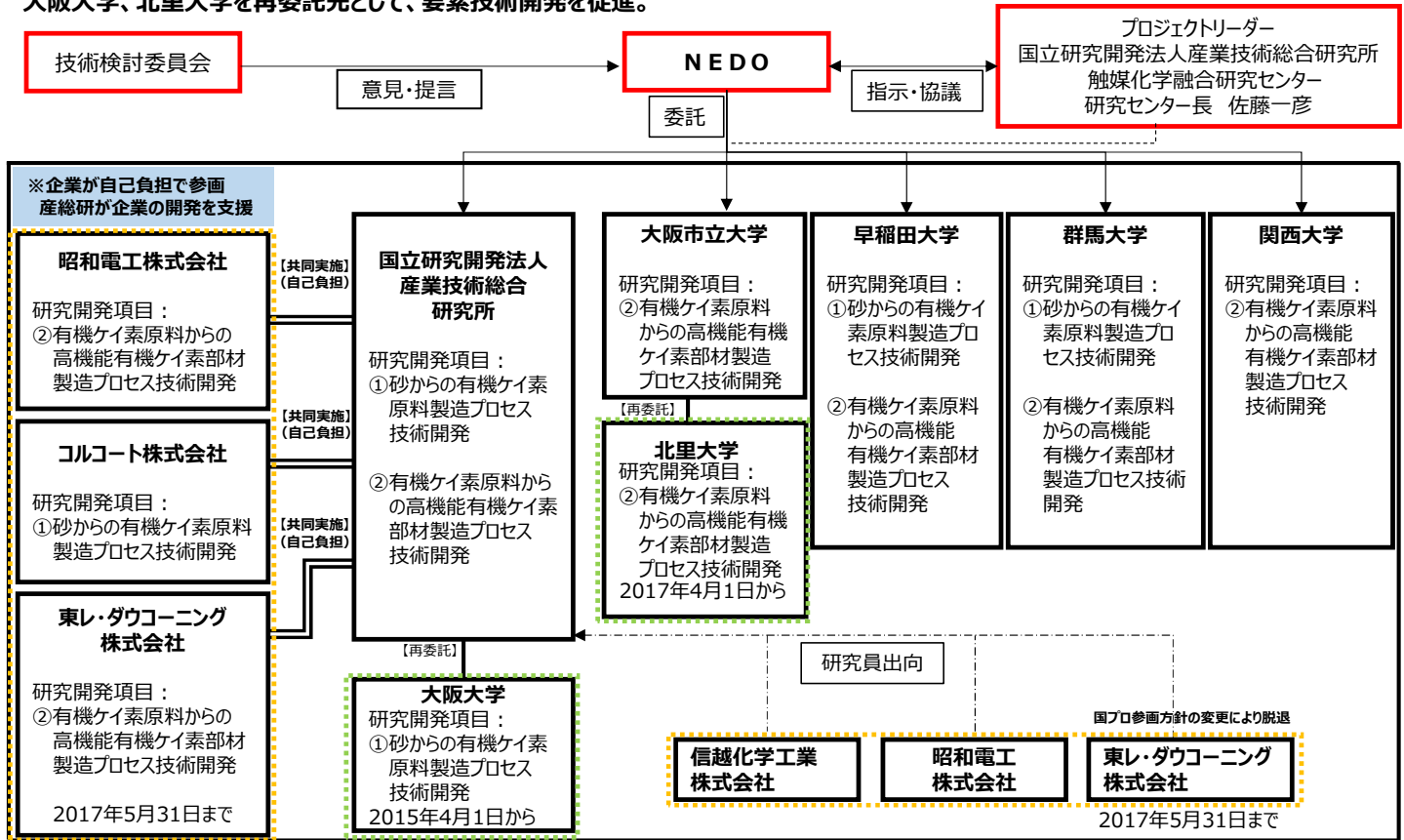
産総研を中心に、各大学を委託先として研究開発を実施（共通課題は連携実施）。

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（企業の開発支援）。

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



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"> 1 kg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 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 	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"> 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 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1 kgスケールで検証する 	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

◆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 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 ・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認する	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		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) オリゴシロキサンを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認	◎ 最終目標を達成し、かつ砂からケイ素部材への一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	モノシランからのジシラン製造において実用化に耐える生産性を有する触媒を見いだした	○	-
②-4 触媒固定化 基盤技術	触媒固定化の有効性見極める。有機ケイ素部材中の残留触媒の低減	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 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

◆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

概要

最終更新日 2022年11月15日

プログラム名	—		
プロジェクト名	有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発	プロジェクト番号	P14003
担当推進部/ PMまたは担当者	<p>担当推進部 2012年10月-2014年3月 経済産業省 製造産業局 化学課機能性化学品室 2014年4月-2018年3月 環境部 環境化学グループ 2018年4月-2022年3月 材料・ナノテクノロジー部</p> <p>経済産業省 担当者氏名 課長補佐(技術担当) 松田 正樹 2012年10月-2013年3月 課長補佐(技術担当) 五嶋 俊一 2013年4月-2014年3月 技術係長 山田 智也 2012年10月-2013年5月 技術企画・調査係長 岡野 泰久 2013年6月-2014年3月</p> <p>環境部 PMまたは担当者氏名 主任研究員 山野 慎司 2014年4月-2016年4月 主任研究員 吉澤 由香 2016年5月-2018年3月 主査 高木 雅敏 2014年4月-2016年3月 主査(PM) 佐藤 秀治 2016年4月-2018年3月</p> <p>材料・ナノテクノロジー部 PMまたは担当者氏名 主任研究員 吉澤 由香 2018年4月-2018年4月 主任研究員 山野 慎司 2018年5月-2020年3月 主任研究員 尾畑 英格 2020年4月-2022年3月 主査(PM) 山田 浩 2018年4月-2022年3月 主査 伊藤 真治 2018年5月-2020年4月 主査 久保 公弘 2020年4月-2022年3月</p>		
0. 事業の概要	<p>化学産業は我が国の主要産業であり、高い国際競争力を誇る製品を多数生み出しているが、一方では、化石資源を大量に消費するため、二酸化炭素排出量も多い。地球温暖化が懸念され、輸入に頼る石油の価格上昇や枯渇リスクに直面する中、化学品製造の革新的イノベーションの実現によりこうした課題を乗り越えていくことが急務となっている。</p> <p>シリコンやシランカップリング剤に代表される有機ケイ素部材は、化学品の中でも比較的高機能な部材であり、その優れた物性のため、一般の化学品よりも高価な材料(シリコンオイル原料で¥10,000/kg、流動パラフィンで¥2000/kg程度といわれている)であるにもかかわらず幅広い産業で用いられている。国内の有機ケイ素部材メーカーは、世界的にも一定の競争力を有しているが、国家戦略的な研究開発によってさらに競争力を高めることにより、有機ケイ素工業自体のみならず、それをを用いる幅広い下流産業にも良い影響を与え、日本の産業競争力強化に大きな貢献をすることが期待される。</p> <p>本事業では有機ケイ素部材の生産に用いられる有機ケイ素原料の製造、及び有機ケイ素原料からの有機ケイ素部材の製造について、現在の種々な問題を解決する、新たな技術を研究開発の対象としており、いずれも新たな触媒プロセス及びそれに用いる触媒を開発することにより達成しようとするものである。ここで研究開発した技術の実用化によって、有機ケイ素原料製法の省エネルギー化とそれによる低価格化を達成するとともに、有機ケイ素部材の製法改良による高機能化を達成し、これらにより有機ケイ素部材の新たな用途を開拓していくことによって、有機ケイ素工業の省エネルギー化と日本の産業競争力強化に貢献することを目的としている。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>本事業は、2014年6月24日に内閣府より発表された「科学技術イノベーション総合戦略2014」の第2章「産業競争力を強化し政策課題を解決するための分野横断技術について」の中で、「(5) 新たな機能を実現する材料の開発」のコア技術の1つである「革新的触媒技術」の要素技術として位置づけられた事業である。その後の「科学技術イノベーション総合戦略2015」(2015年6月19日閣議決定)、「科学技術イノベーション総合戦略2016」(2016年5月24日閣議決定)、及び「科学技術イノベーション総合戦略2017」(2017年6月2日閣議決定)においても、「革新的触媒技術」等の開発は、エネルギーバリューチェーンの最適化に向けて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付けられている。</p> <p>その後、2019年6月21日に閣議決定された「統合イノベーション戦略2019」では、「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。</p> <p>また、2016年4月19日に内閣府より発表された「エネルギー・環境イノベーション戦略(NESTI 2050)」の第4章「対象技術分野の特定」において、付加価値の高い化学品を生産するプロセスにおいて、新触媒を利用する「革新的触媒生産プロセス」は、「(2) 本戦略の対象とすべき革新技術分野、</p>		

	<p>[2]省エネルギー分野、①革新的生産プロセス」の要素技術の一つとして位置付けられている。</p> <p>さらに、2010年6月に経済産業省が策定した技術戦略マップの「グリーン・サステナブルケミストリー分野」にも本事業に関連する個別の技術は記載されている。</p> <p>このように、本事業は、国家的な課題解決に貢献するもので、日本の産業競争力強化と省エネルギー化を実現する社会的な必要性が高い研究開発であるが、触媒の基礎探索から、最終的な実用化につなげるまで、10年の長期間の研究開発を必要とするため、企業単独の取り組みでは事業が進展しない懸念がある。さらに、本事業は広範囲で難易度の高い技術の研究開発と実用化を対象にしているため、産学官の英知を結集する必要があるが、このような研究開発の要素が多いプロジェクトマネジメントの難易度は極めて高い。以上から、本事業は、プロジェクトマネジメント経験の豊富なNEDOが国家プロジェクトとして効率的に推進をすべきものである。</p>
<p>2. 研究開発マネジメントについて</p> <p>事業の目標</p>	<p>本事業は、2012年度からの「未来開拓研究プロジェクト」の一つとして経済産業省直執行事業で開始された後、2014年度からはNEDO事業として実施するものである。本事業の研究開発項目は二つに分けられ、それぞれ以下の内容を実施した。</p> <p>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」</p> <ul style="list-style-type: none"> 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(2016年度で終了) 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(2018年度から中止) ①-5 その他の反応(2019年度から中止) <p>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」</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p>本事業は、2014年度(事業開始から通算して3年目、2014年9月26日に実施)、2016年度(同5年目、2016年10月28日に実施)、2019年度(同8年目、2019年8月2日に実施)に中間評価を実施した。また、2022年度(事業終了の翌年度、2022年11月15日)に事後評価を実施した。それぞれの研究開発項目における中間目標及び最終目標を以下のとおり設定している。</p> <p>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」</p> <p>【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。</p> <p>【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。</p> <p>【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。但し、研究開発のうち①-1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。</p> <p>【最終目標(2021年度末)】 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。但し、研究開発のうち①-1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。</p> <p>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」</p> <p>【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。</p> <p>【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。</p> <p>【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。</p> <p>【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。</p>

事業の計画内容	主な実施事項	2012fy	2013fy	2014fy	2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy
	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											
事業費推移 (単位：百万円)	会計・勘定	2012fy	2013fy	2014fy	2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	合計
	一般会計	200	200									400
	特別会計（需給）			200	200	184	200	182	150	240	229	1,985
	開発成果促進財源			10	420	147	15		50	135	221	998
	総 NEDO 負担額	200	200	210	620	331	215	182	200	375	450	2,983
開発体制	経産省担当原課	製造産業局素材産業課										
	プロジェクトリーダー	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 触媒化学融合研究センター 研究センター長 佐藤 一彦										
	プロジェクトマネージャー	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 ・環境部 主査 佐藤 秀治 (2016年4月-2018年3月) ・材料・ナノテクノロジー部 主査 山田 浩 (2018年4月-2022年3月)										
	委託先	委託先 2012年10月-2022年3月 国立研究開発法人産業技術総合研究所 2014年4月-2022年3月 公立大学法人大阪 大阪市立大学 国立大学法人 群馬大学 学校法人 早稲田大学 学校法人 関西大学 再委託先 2012年10月-2014年3月 公立大学法人 大阪市立大学 国立大学法人 群馬大学 学校法人 早稲田大学 学校法人 関西大学 2015年6月-2022年3月 国立大学法人 大阪大学 2017年4月-2022年3月 学校法人 北里研究所(北里大学)										
情勢変化への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・2014年度に本事業を経済産業省直執行から NEDO に移管した。これに伴い、プロジェクトマネジメントを強化する目的で、開発体制の変更を行った。 ・産学官の綿密な連携のもとで効果的・効率的なデータ収集を行い、学術レベルの成果を実用化につなげていくため、2015年度から、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）を産業技術総合研究所の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2017年度に国プロ参画方針の変更で脱退） ・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を実施した。 ・実用化検討ステージの取組みとして、砂から有機ケイ素部材を一貫通貫で製造するプロセス検証と有機ケイ素サンプルの顧客提供を加速した。 ・プロジェクト終了後の実用化検討に必要な体制構築を行った。 											
中間評価結果への対応	指摘事項に対しては、基本計画、実施方針及び実施計画書に反映させることにより対応を行った。特に、産学官による研究開発成果の実用化検討とその体制構築に注力した。											

評価に関する事項	事前評価	・産業構造審議会産業技術分科会 評価小委員会 2011年7月(添付資料②-1) ・NEDO 環境部 2014年1月22日(添付資料②-4)	
	中間評価	・2014年度 中間評価実施(2014年9月26日) ・2016年度 中間評価実施(2016年10月28日) ・2019年度 中間評価実施(2019年8月2日)	
	事後評価	・2022年度 事後評価実施(2022年11月15日)	
3. 研究開発成果について	<p>本事業で研究開発を進めた研究開発項目①と研究開発項目②について、以下の成果を得た。</p> <p>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</p> <p>①-1 砂や燃焼灰などの安価なケイ素源から、TPOS*だけでなく市場規模の大きな TEOS*と TMOS*などの有機ケイ素原料に対しても、最終目標となる 1kg スケールでの反応率(70%)、選択率(70%)を達成するとともに、触媒反応の実用化に必要なプロセス要素技術を特定した。 *TPOS: Tetrapropoxysilane、TEOS: Tetraethoxysilane、TMOS: Tetramethoxysilane</p> <p>①-2 水素化ホウ素化合物を用いたヒドロシラン合成では、最終目標となる 1kg スケールでの反応率(50%)、選択率(50%)を達成するとともに、触媒反応の実用化に必要なプロセス要素技術を特定した。脱炭酸ルートの Si-O→Si-C は、特定基質やモデル化合物において、反応率(50%)、選択率(50%)の数値目標を達成した。</p> <p>①-3 2017年度にケイ酸塩骨格を部分的に切り出すことに成功した(2018年度以降は中止)。</p> <p>①-4 2016年度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(2016年度で終了)。</p> <p>①-5 2016年度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(2018年度以降は中止)。</p> <p>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</p> <p>②-1 金属ナノ粒子を用いた外部刺激応答性触媒、開始剤不要で空気中でも取り扱い可能な鉄錯体触媒*、官能基反応選択性を有するヒドロシリル化触媒の開発に成功した(*錯体触媒は試薬会社から製品販売を開始)。いずれも、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 1kg スケールで達成するとともに、残留触媒の低減効果を確認した。</p> <p>②-2 砂から製造した有機ケイ素原料を用いた 1kg スケールのシラノール大量合成を、反応率(80%)、選択率(80%)で達成するとともに、実用化に向けたユーザー企業へのサンプル提供を繰り返し実施した。また、オリゴシロキサン配列をワンポットできる合成技術、反応性官能基を有するポリシロキサンの精密合成技術、規則性構造を有するポリシロキサンの合成技術など、実用的な有機ケイ素部材の精密な構造制御技術を確立した。</p> <p>②-3 モノシランからジシランを製造するプロセスを実用化できる生産性能の触媒を大量製造することにより、1kg スケールでの反応率(80%)、選択率(80%)の達成を確認した。</p> <p>②-4 高活性で還元剤不要なヒドロシリル化固定化触媒の開発に成功するとともに、1kg スケールでの反応率(80%)、選択率(80%)の達成と反応後の残留触媒の低減(検出限界以下)を確認した。</p>		
	投稿論文	68 件(うち査読論文 62 件)	
	特 許	特許出願: 228 件(うち PCT 及び外国出願: 69 件)	
	その他の外部発表(プレス発表等)	外部発表/講演: 305 件 表彰: 10 件	
	4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	<p>本事業におけるは基礎的・基礎的研究開発のため、実用化は「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。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。」と定義されている。</p> <p>産業技術総合研究所と大学が主体となっている本事業は、プロジェクト研究開発成果の民間企業への普及が戦略となるため、成果を提供する顧客探索と、成果を顧客提供するため必要な体制構築を取り組みとして行った。顧客探索は、展示会などの広報活動でのビジネスマッチングを継続する。体制構築は、継続研究(自主)をプロジェクト参画機関が実施できる仕組みを導入した。研究開発項目②-2 は、高性能新規シリコン材料の市場創出を目的に「NEDO 特別講座」を開始している。</p> <p>信越化学工業株式会社、コルコート株式会社、昭和電工株式会社などの有機ケイ素製造企業は、プロジェクト期間から実用化検討を立案しているため、自社展開による実用化の確率は高い。</p>	
	5. 基本計画に関する事項	作成時期	2014年2月制定
変更履歴		2014年6月、プロジェクトリーダーの委嘱に伴う改訂。 2014年7月、「技術調査の実施」の追記に伴う改訂。 2015年2月、評価制度の見直しに伴う改訂。 2017年2月、アウトプット目標と期限の追記に伴う改訂。 2018年5月、NEDO 担当部署の変更及びプロジェクトマネージャー変更に伴う改訂。 2019年2月、(別紙2)研究開発スケジュールの変更に伴う改訂。	