

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」
中間評価報告書

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」
中間評価報告書

2019年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-5
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-19
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「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）分科会において評価報告書案を策定し、第60回研究評価委員会（2019年12月20日）に諮り、確定されたものである。

2019年12月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2019年8月2日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 第60回研究評価委員会（2019年12月20日）

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」

中間評価分科会委員名簿

(2019年8月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	とびた ひろみ 飛田 博実	東北大学大学院 理学研究科 化学専攻 教授
分科会長 代理	なかむら まさはる 中村 正治	京都大学 化学研究所 元素科学国際研究センター 教授
委員	すぎのめ みちのり 杉野目 道紀	京都大学大学院 工学研究科 合成・生物化学専攻 教授
	せきね ひとし 関根 均	D I C株式会社 R&D統括本部 生産技術開発センター センター長
	たなか のりお 田中 規生	日産化学株式会社 専務理事 物質科学研究所 所長
	とくなが まこと 徳永 信	九州大学大学院 理学研究院 化学部門 教授
	みうら かつきよ 三浦 勝清	埼玉大学大学院 理工学研究科 物質科学部門 教授

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

有機ケイ素材料は、今や多様な工業製品や日用品に広範に使われているのみならず、様々な有用な化合物を合成する化学反応の試薬や置換基としても重要な位置を占めており、化学の基礎から応用に至るまであらゆる分野に浸透している基幹的な物質である。その原料となるアルコキシシランを直接法よりも少ない消費エネルギーで安定的に供給できる方法を確認することは、国家レベルでも地球全体としても非常に重要な課題である。砂からケイ素のコンセプトと多種多様な化合物への変換ルートの開発ができていることは、高く評価する。特に、砂からのテトラアルコキシシランの合成、鉄触媒によるヒドロシリル化、ポリシロキサンを精密合成を代表例として、実用面および学術面でも興味深く、多くの研究成果が得られている。既に実用化の達成が可能と考えられる複数のテーマ、また、途中中止判断の複数のテーマがあることは、資源配分を含めたマネジメント・達成度進捗管理等、プロジェクト実施体制が非常に明確かつ力量あるものであり、全体として高く評価できる。

本プロジェクトで開発された新しいプロセスを用いて、現在、既に実用化されている製品、あるいは同等の性能を持つ製品を実際に製造できること、および、直接法を用いるよりも低コストで実現できる見込みがあることを早い段階で示していただきたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

各種資源が少ない我が国において、ケイ素は豊富に存在する資源であり、これを有効利用するための持続可能な技術を開発することは、科学技術立国である我が国の地位を確固たるものにし、産業競争力を維持・向上させるためには必要不可欠である。この観点から、本事業目的は極めて妥当であり、非常に意義深い。この目的達成のために、大学や国立研究所が持つ新しい概念や物質の創出能力と、企業が得意とする製品開発の技術とが緊密に協力することが不可欠であり、また、国の産業や生活に関わる公共性の高い課題であるため、NEDOが関与することは妥当である。このプロジェクトによって確立されることが期待される省エネルギープロセスが実際に稼働し、安価なケイ素原料が市場に出回れば、化学産業のみならず、電子材料、機械、電気機器など、多くの基盤的産業に大きな恩恵をもたらし、投じた研究開発費を大きく上回るものになると予想される。

2. 2 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトは、有機ケイ素部材の市場規模や将来予測を十分に検討したうえで進められており、実用化に向けた明確な達成目標を定めている。参画企業は、適切な技術力と事業化能力を有しており、加えて、新規企業との連携は、当該プロジェクトで開発された新規機能性有機ケイ素材料の社会実装に向けて効果を上げている。プロジェクトリーダーの強力なリーダーシップのもと、適切な研究開発目標が設定され、研究開発実施体制が構築されてお

り、実施者間の連携も十分に行われている。特許出願、論文、外部発表なども過去3年は高い数値を保っており、知的財産に関する戦略も適切であると判断できる。

一方で、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。

また、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。

2. 3 研究開発成果について

金属ケイ素を経由しない Q 単位中間原料製造法の開発、ケイ素-ケイ素結合形成技術に関しては、明らかに従来水準を越え、競合優位性あるレベルで中間目標を達成しており、今後、最終目標の達成が期待できるものとして高く評価する。また、ポリシロキサン精密合成については、学術的に極めて意義深く、今後の応用面での展開が大いに期待される。さらに、ケイ素-炭素結合形成技術において、温度スイッチ型触媒が見出されていることは、学術的な観点の価値が高さだけでなく、NEDO によるニーズ調査がこの開発の契機となったことで特筆に値する。これらの成果は、プレスリリースや学術誌を通じて適切にユーザーや一般社会に発信されており、また、知的財産は特許により十分に確保されている。

一方で、アルコキシシランの水素化によるヒドロシラン合成、それからアルキルシラン合成は収率や選択性、触媒回転数に課題を残している。この2つの反応の改良には根本的など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。

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. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

テトラアルコキシシランおよびジシランの合成については、実用化に向けた戦略が明確かつ妥当であり、具体的な取組が進んでいる。需要のある製品を合成するための技術開発であり、既存の技術よりも効率的であるため、実用化の見通しは明るい。ケイ素-酸素結合形成技術では、サンプル提供を積極的に進める等、用途開発に重点を置いた取組を進めている。

一方で、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、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。

今後、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。

研究評価委員会委員名簿

(2019年12月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長・教授 ／研究院 副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション 創発センター 研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授
	ごないかわひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さく まいちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 特任教授
	ひらお まきひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 ／国立研究開発法人産業技術総合研究所名誉リサーチャ
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第60回研究評価委員会（2019年12月20日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

有機ケイ素材料は、今や多様な工業製品や日用品に広範に使われているのみならず、様々な有用な化合物を合成する化学反応の試薬や置換基としても重要な位置を占めており、化学の基礎から応用に至るまであらゆる分野に浸透している基幹的な物質である。その原料となるアルコキシシランを直接法よりも少ない消費エネルギーで安定的に供給できる方法を確立することは、国家レベルでも地球全体としても非常に重要な課題である。砂からケイ素のコンセプトと多種多様な化合物への変換ルートの開発ができていることは、高く評価する。特に、砂からのテトラアルコキシシランの合成、鉄触媒によるヒドロシリル化、ポリシロキサンの精密合成を代表例として、実用面および学術面でも興味深く、多くの研究成果が得られている。既に実用化の達成が可能と考えられる複数のテーマ、また、途中中止判断の複数のテーマがあることは、資源配分を含めたマネジメント・達成度進捗管理等、プロジェクト実施体制が非常に明確かつ力量あるものであり、全体として高く評価できる。

本プロジェクトで開発された新しいプロセスを用いて、現在、既に実用化されている製品、あるいは同等の性能を持つ製品を実際に製造できること、および、直接法を用いるよりも低コストで実現できる見込みがあることを早い段階で示していただきたい。

〈肯定的意見〉

- 有機ケイ素材料は、今や多様な工業製品や日用品に広範に使われているのみならず、様々な有用な化合物を合成する化学反応の試薬や置換基としても重要な位置を占めており、化学の基礎から応用に至るまであらゆる分野に浸透している基幹的な物質である。その原料となるアルコキシシランを、直接法よりも少ない消費エネルギーで安定的に供給できる方法を確立することは、国家レベルでも地球全体としても非常に重要な課題である。本事業のこれまで数年間の成果により、シリカからテトラアルコキシシランを直接合成するプロセスを、直接法よりも低エネルギーの新プロセスとして実用化できる可能性がさらに高まったことは高く評価できる。製品化までのハードルとして、アルコキシ基の一部を低コストで水素や有機基に変換する方法の確立が課題として残されているが、その実現の萌芽も幾つか見出されてきており、本事業の継続によりこの課題が解決される可能性は十分にある。本事業の成果を生み出している基本姿勢と思われる、基礎研究と応用研究の両方を重視し、また実験と理論計算の両方のアプローチをバランスよく使う姿勢を今後も継続し、残りの期間で実用化のための障害をできるだけ取り除き、本プロジェクトを成功に導いてくれることを期待する。
- ケイ砂からテトラアルコキシシランの生産の目処がたった。ヒドロシランあるいはアルキルシランを原料として用いる興味深い合成反応の開発も着々と進んでいる。
- テトラアルコキシシラン類の合成の成功、化学工学的なコスト計算、アルコキシシランのヒドロシランへの変換のモデル系での成功など順調に進展している。現時点で世界最高性能を示す鉄系ヒドロシリル化触媒の開発、これまで実現困難であった官能基化（アシル系）モノマーの利用などを代表的な成果として、ヒドロシリル化反応の開

拓も進展している。テトラヒドロキシシランの世界初の単離・構造決定、精密ブロック重合による新規シリコン化合物の合成、かご形ケイ素化合物の合成など、新たな有機ケイ素材料合成の開発にも大きな進捗がある。また、これらの成果は、学術的にも新規かつ興味深い知見も多く含んでいる。特許出願も多数行われている。解決すべき化学的な課題の明確化、同定も進んでおり、実用化に向けての研究が着々と進められている。新たな機能性有機ケイ素材料の創出、開発にも予想を上回る結果が得られており、さらなる発展に期待が持たれる。NEDO 材料・ナノテクノロジー部推進担当者による課題マネジメント状況の把握、支援体制もこれまでのところ適切と判断する。

- 全体として、本期間においても様々な新たな進展、知見が得られており、実用化に向けた取り組みの観点からも、プロジェクトは順調に進捗していると判断される。
- 砂からケイ素のコンセプトと多種多様な化合物への変換ルートの開発ができていたことは高く評価する。また、実用化に向けても課題を抽出し、実際の製造に資する触媒開発ができていた点も評価に値する。
- 既に実用化の達成が可能と考えられる複数のテーマ、また途中中止判断の複数のテーマがあることは、資源配分を含めたマネジメント・達成度進捗管理など、プロジェクト実施体制が非常に明確かつ力量あるものであり、全体として高く評価できる。今後とも確実な進捗管理のもと、目標達成に向け進めて欲しい。
- 原料供給ルートを変えたり、産業構造を転換できたりする発明は、そう簡単にできるものではない。それを計画して実行し、目標を達成しつつあるのは大変素晴らしいと思う。それだけでも十分であるが、学術的側面でも良い成果がいくつかでてきており、どちらかに偏らずバランスもとれており全体として高く評価できる。
- 二酸化ケイ素からのテトラアルコキシシランの合成（項目①-1）、鉄触媒によるヒドロシリル化（項目②-1）、ポリシロキサンの精密合成（項目②-2）を代表例として、実用面および学術面でも興味深い、多くの研究成果が得られている。テトラアルコキシシランやジシランの合成技術については、既存の方法に比べて優位性が高く、合成物の用途も明確であることから、実用化される可能性は高い。一方で、基本的な技術開発はできているものの、実用化に向けた用途開発の課題が残されている研究開発項目もいくつかあり、今後の進展に期待したい。

〈改善すべき点〉

- 本プロジェクトで開発された新しいプロセスを用いて、現在既に実用化されている製品、あるいはそれと同等の性能を持つ製品を実際に製造できること、およびそれを直接法を用いるよりも低コストで実現できる見込みがあることを、早い段階で示していただきたい。この新しい技術が産業界に広く受け入れられるためには、何よりも実例を示すことが重要であると考えます。
- テトラアルコキシシランからジメチルあるいはジフェニルジアルコキシシランの合成に道筋を拓く必要がある。原料を砂から得るという研究項目①においては、複数の天然砂からアルコキシシランの合成を行うという成果を上げている。このアルコキシシ

ランのヒドロシランへの変換反応においてもモデル系で萌芽的な成果を得ているものの、産業的なインパクトを念頭に置いて目標とすべきメチルまたはアリアルコキシシラン類の合成については、要素技術開発の具体的な道筋が未だ不明である。同課題の解決への注力が必須である。現在、世界的にバルクで使われるこれらのシリコン部材の合成が、ケイ素化学工業の低エネルギー化、低炭素化への鍵技術となろう。これに関連して、バルク有機ケイ素材料の低エネルギー合成手法の確立と、未踏機能性有機ケイ素材料の創出の明確な区別が必要と感じる。

- 研究項目②で新たに見出された触媒反応および新規化合物など、短期での実用化の可能性の高いサブテーマについては、上記技術委員会での議論を踏まえた上で、研究推進加速予算などを活用して、前倒し実用化のための十分な支援体制を NEDO 側で構築すべきと考える。
- プロジェクトの成果でもある知的財産につき、パテントマップ作成により従来技術と比較した強みと弱みをしっかり認識した上で、攻めの戦略を立案することが必要である。また、戦略を立案する上で、開発材料の市場を知ることが重要であるため、調査会社等を活用した出口の明確化が必須と考える。
- プロジェクト残存期間を考慮すると、実用化への可能性が出てきた技術～実用化が期待される技術への資源配分・Go-Stop 含めたマネジメント方針の明確化が必要と考える。この辺りの指針（目標に対する達成度に対する判断など）を明確にして頂きたい。
- ヒドロシリル化から下流の部分は、ある意味どこでも研究することができ、実際にこのプロジェクトと直接関係ない場所でも多くの研究が行われている領域である。もちろん、興味深い成果もいくつかでてきており高く評価できるが、有機ケイ素化学全体の底上げという意味では、必ずしも NEDO のプロジェクトである必要がない部分もある。
- 有機ケイ素原料製造技術の開発（項目①-2）については、基本的な技術開発を行っている段階であり、現状では、期間内に目標が達成され、実用化される可能性は低いと考える。他の研究開発項目に比べて極めて挑戦的な取り組みであるため、このような状況は特に問題ない。しかし、実用化に近づけるためには、この課題に研究資源を重点的に投下して、研究開発目標のハードルを下げることなく、「アルコキシシランからのメチルシランの効率的合成」および「アルコキシシランと水素を用いるヒドロシランの効率的合成」を目指すべきである。

〈今後に対する提言〉

- 電気代や燃料の価格が急速に上がっていることを考えると、太陽光を利用した光反応や、再生可能エネルギーの利用を本プロジェクトで開発するプロセスに導入できないかも考慮に入れて、開発を進めていただきたい。
- 基幹シリコン部材の合成手法の開発によって珪砂から、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。革新的な有機ケイ素部材の

合成手法の開発にも成功しているので、是非とも社会的な課題の解決に資する新規な機能を持つシリコン化合物の創出も行って頂きたい。社会、工業情勢を見極めながらフレキシブルな実用化戦略を立てることも重要ではあるが、化石燃料の大量消費に依存する現行の炭素系ポリマー産業を刷新するようなシリコン産業革命を期待したい。

- 基幹シリコン部材の合成手法の開発によって珪砂から、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。革新的な有機ケイ素部材の合成手法の開発にも成功しているので、是非とも社会的な課題の解決に資する新規な機能を持つシリコン化合物の創出も行って頂きたい。社会、工業情勢を見極めながらフレキシブルな実用化戦略を立てることも重要ではあるが、化石燃料の大量消費に依存する現行の炭素系ポリマー産業を刷新するようなシリコン産業革命を期待したい。
- 産業界での破壊的技術にするためには研究のための研究にならないよう、出口を見据え、実生産に耐えうる合成ルートを提案することで、スピード感を持った開発、そして実用化を実現して欲しい。
- 本プロジェクトは『有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発』であるから、最終的にはプロジェクト終了時に目標達成され得るテーマへの優先資源配分をお願いし、総花的立ち上げ→絞り込まれた超高度プロセス技術確立として仕上げて頂きたい。
- 評価者個人としては、基礎研究部分になるが、もうひと山当てるという意味で、水素化によるヒドロシラン合成へのブレークスルーに一番期待しています。
- 研究開発項目①-2を除けば、本事業は概ね順調に進んでおり、実用化に向けた取り組みを加速するべきである。項目①-2の実用化は難しいと思われるが、これまでに多くの研究成果が得られている。本事業における重要課題の1つとして、残りの期間では重点的に研究を進め、将来の技術開発のために、より有用な知見を積み上げて欲しい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

各種資源が少ない我が国において、ケイ素は豊富に存在する資源であり、これを有効利用するための持続可能な技術を開発することは、科学技術立国である我が国の地位を確固たるものにし、産業競争力を維持・向上させるためには必要不可欠である。この観点から、本事業目的は極めて妥当であり、非常に意義深い。この目的達成のために、大学や国立研究所が持つ新しい概念や物質の創出能力と、企業が得意とする製品開発の技術とが緊密に協力することが不可欠であり、また、国の産業や生活に関わる公共性の高い課題であるため、NEDO が関与することは妥当である。このプロジェクトによって確立されることが期待される省エネルギープロセスが実際に稼働し、安価なケイ素原料が市場に出回れば、化学産業のみならず、電子材料、機械、電気機器など、多くの基盤的産業に大きな恩恵をもたらす、投じた研究開発費を大きく上回るものになると予想される。

〈肯定的意見〉

- ・ 私たちの身の回りには多くの電気製品、日用品、建材などに使われているケイ素材料の原料である金属ケイ素の供給の大部分を、外国からの輸入に依存している現状は、非常にリスクが大きい。また、ケイ素原料を有機ケイ素材料に変える最初の段階を、エネルギーのかかる直接法のみで依存しているのも、エネルギーが高騰し、また燃料を大部分外国からの輸入に頼っている現在では大きな不安要素である。本事業で目指す技術は、まさに金属ケイ素にも直接法にも依存せず、国内で調達可能な砂やもみ殻を原料として低エネルギーでケイ素材料を製造しようとするものであり、事業目的の妥当性は高い。この目的達成のためには、技術的に前例のないものなので、大学や国立研究所が持つ新しい概念や物質の創出の能力と、企業が得意とする製品開発の技術とが緊密に協力することが不可欠である。また、国の産業や生活に関わる公共性の高い課題なので、NEDO が関与することは妥当である。
- ・ 有機ケイ素材料は炭素材料に比較して高価であるが、性能の高さからその用途は大きく広がって来ている。本事業が首尾よく実用化に結びつき、ケイ素材料がより安価に製造できるようになれば、原料であるシリカは事実上無尽蔵なので、研究開発費に対する効果は非常に大きいと期待される。
- ・ ケイ砂からアルコキシシランを合成する要素技術開発の進捗は順調である。これは、省エネルギー型かつ低二酸化炭素放出型の新規プロセスの確立に繋がる課題であり、元素戦略的な観点からも、新産業創出に資する研究プロジェクトであると評価する。NEDO 事業として妥当である。多くの特許出願がなされており、対予算比でも十分な成果がこれまでに挙げられている。省エネ、省資源、環境保全 (CO₂削減) 効果について、各種データに基づいた定量的な解析によりプロジェクト目標の妥当性、方向性を明確にする努力がなされている。珪砂のみならず多様なケイ素原料からの有機ケイ素材料の合成ルートが示されている。
- ・ ケイ素は、地殻中における含有量が鉄よりも高く、資源量の点からこの先最も期待さ

れる元素であり、有機ケイ素化学品はより汎用的な利用への展開が高く期待されている。現在これを阻害しているのが現在の極めてエネルギー負荷の高い製造プロセスにあることを立脚点として立ち上げられた本プロジェクトは、日本が有機ケイ素化学品の製造、供給の面で国際的に有利なポジションを獲得するための極めて重要なものである。このプロジェクトは、省エネルギー製造プロセスの開発を目標として、国際的な競争に打ち勝つための技術開発を行うものであるため、わが国の政策とよく一致し、また環境問題の解決の観点から大きな国際貢献となるものである。

- このプロジェクトは最先端の機能性材料を生み出すこととともに、有機ケイ素部材の基盤的出発原料となるケイ素化合物群の省エネルギー製造プロセスの開発を大きな目的としており、基礎的、学術的な研究要素が多く含まれるため、これを民間主導の開発に頼ることは極めて困難であり、NEDOが関与することは極めて妥当と判断される。このプロジェクトによって確立されることが期待される省エネルギープロセスが実際に稼働し、安価なケイ素原料が市場に出回れば、化学産業のみならず、電子材料、機械、電気機器など、多くの基盤的産業に大きな恩恵をもたらす、それは投じた研究開発費を大きく上回るものになると予想される。
- 砂からケイ素という正にサステナブルに関わる技術開発であり、現在の社会要請にこたえるプロジェクトである点を評価する。NEDOが関与することで、資金面のみならず有識者を巻き込んだ開発を可能としており、スピード感を持った取り組みも評価に値する。
- ケイ素系材料は今後世界的に益々需要が増加、さらに機能付加のため複雑な構造のケイ素素材が求められている点から、機能性を有する有機ケイ素化学品製造プロセスの確立を目的とする事業は極めて妥当性が高いものである。また日本としてこの分野に競争力ある新しい製造法を確立することは従来技術との差別化含めて高い意義がある。特に金属ケイ素に源流を求めない本事業はコスト競争力含めて、世界に打ち勝つ技術を作る点から妥当性が高く、さらに様々な展開の可能性に期待する。NEDO事業として民間のみでは簡単に成し得ない各分野のネットワーク構築があるからこそ、成り立つものとしても事業の妥当性は高い。
- 現代社会を支えている材料のひとつである、ケイ素材料の原料や合成ルートを変え、物質生産、供給に変革をもたらす可能性があり、大変高く評価できる。特に、ケイ砂やもみ殻の利用など、最上流にあたる部分での技術革新に貢献していると言える。産業構造の転換や、日本の国際競争力強化などにも一役買う可能性がある。得られたテトラアルコキシシランから様々な素材や製品がつくられるため、日本の化学産業全体の発展に貢献できる可能性もあり NEDO の事業として適切である。
- 各種資源が少ない我が国においても、ケイ素は豊富に存在する資源であり、これを有効利用するための持続可能な技術を開発することは、科学技術立国である我が国の地位を確固たるものにし、産業競争力を維持・向上させるためには必要不可欠である。この観点から、本事業目的は極めて妥当であり、持続可能な社会を目指す科学技術開発において非常に意義深い。各研究開発項目には、新たな科学的知見に立脚した柔軟

な発想力や、既知の科学的事実に基づく高い創造力が必要とされる項目もあり、NEDO事業のような産学官による共同研究が適切である。本事業の達成により期待される効果は絶大であり、研究開発費に見合うものである。

〈改善すべき点〉

- 現時点では困難かも知れないが、省エネ、省資源、CO₂削減効果の試算と、プロジェクトの達成目標技術との関連、特に、20年後に日本および世界市場が求める有機ケイ素材料の量（金額ベースでなく重量ベース）と、それに対する本プロジェクト技術の貢献量がいささか不明瞭に感じられた。（1）Q単位の新規合成法の確立と社会実装は十分進捗している。（2）同Q単位からのジメチルあるいはジフェニルジアルコキシシラン合成技術の確立と社会実装は未だ道半ばである。（3）新規高性能有機ケイ素材料の創成と社会実装によって、20年後の有機ケイ素材料の存在感がどれくらい高められるか。それぞれを分離して議論すべきと考える。これにNEDOによるシンクタンク的な現状および将来解析を期待したい。
- 特記すべき要改善事項は特に見当たらないが、予防的観点から述べるとすれば、プロジェクトの後半において、実用に関するプロジェクト評価に目を向けすぎるあまり、技術開発の視野を狭めすぎることをないよう注意願いたい。日本の資源面や経済面の特殊事情にこだわりすぎて、日本でしか通用しない技術の開発とならないよう、国際的に通用する新技術開発を心がけていただきたい。
- エネルギー需要動向だけでなく、製品最後までLCAを新たな評価軸として示す必要がある。
- SiO₂からテトラアルコキシシランの製造は既に優れた技術となっているが、そこから直接川下へ展開する技術展開にまだ弱さを感じるため、ここを繋ぐ技術展開にNEDOとして、さらに関与を強め本事業を牽引して欲しい。
- ある意味当然ではあるが、全てのプロジェクト、全ての目標で満足できる結果が得られているわけではない。プロジェクトの仕上げに向けて、努力を続けて欲しい。
- 本事業の開発項目の1つとして「砂から金属ケイ素を経由せずに有機ケイ素化合物を合成すること（炭素-ケイ素結合を作ること）」があり、今回の中間評価でも、それに基づいた事業の妥当性や費用対効果の説明がなされている。極めて魅力的かつ挑戦的な開発項目であるため、事業開始当初であれば、そのような説明でも納得できる点は多いと思われる。しかし、現時点での進捗状況から考えると、多くの研究成果は得られているものの、既存の方法を刷新する技術開発は、残された期間ではかなり難しいと言える。理想的な達成状況を語るのも良いが、この点を考慮した、事業の妥当性や費用対効果の説明も必要である。

2. 2 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトは、有機ケイ素部材の市場規模や将来予測を十分に検討したうえで進められており、実用化に向けた明確な達成目標を定めている。参画企業は、適切な技術力と事業化能力を有しており、加えて、新規企業との連携は、当該プロジェクトで開発された新規機能性有機ケイ素材料の社会実装に向けて効果を上げている。プロジェクトリーダーの強力なリーダーシップのもと、適切な研究開発目標が設定され、研究開発実施体制が構築されており、実施者間の連携も十分に行われている。特許出願、論文、外部発表なども過去3年は高い数値を保っており、知的財産に関する戦略も適切であると判断できる。

一方で、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。

また、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。

〈肯定的意見〉

- ・ 課題や個別研究開発項目の分け方は概ね適切であり、また各項目の実施者の選定、実施体制も妥当である。根幹をなすシリカからテトラアルコキシシランを合成するプロセスの開発の達成度が高いこと、および中止すべき開発項目の判断が迅速に行われていることは、マネジメントが適切になされていることの証拠であると考えられる。産総研と大学や企業との間に、自由な意見交換や協力を奨励する雰囲気を感じられ、また困難で解決が難しい課題でも失敗を恐れずに積極的に挑戦することを推奨しているため、色々な方向から少しずつ成果が上がって来ているように見える。特許出願、論文、外部発表なども過去3年は高い数値を保っており、知的財産に関する戦略も適切であると判断できる。
- ・ 研究開発目標の妥当性：シリコンの生産拠点の国内化は、基幹化成品の国内自給率の確保の観点から、重要な国家目標であり、また、地球規模でのシリコン工業の低エネルギー化・二酸化炭素排出量低下など波及効果があげられる。これは現在の国際的な技術・市場動向等を踏まえた戦略的な目標として評価できる。項目1および2について、目標達成度を判断するための具体的かつ明確な開発目標が設定されていると考える。
- ・ 研究開発計画の妥当性：目標達成のために妥当なスケジュール計画がなされており、そのために必要な要素技術に対する研究がなされている。
- ・ 研究開発の実施体制の妥当性：現在プロジェクトに参画している企業は、適切な技術力と事業化能力を有する企業であると考えられる。加えて、新規の企業との連携も進められている点は、当該プロジェクトで開発された新規機能性有機ケイ素材料の社会実装に向けて効果を上げていると思われる。佐藤 PL の強力なリーダーシップのもと、大

きな目的に向かって、適切な研究開発目標が設定され、研究開発実施体制が構築されている。またこのために必要な実施者間の連携も十分に行われていると見受けられる。

- 研究開発の進捗管理の妥当性：現時点において、進捗状況の把握は適切であり、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向等に機敏に対応可能であると判断した。
- 知的財産等に関する戦略の妥当性：成果の実用化イメージは明確になりつつあり、成果の活用・実用化を担う企業が積極的に関与する体制が構築されていると感じられた。成果の実用化にむけた佐藤 PL の強い意志と適切なマネジメントに基づき適切に行われている。
- 夢のプロセスと誰もが認識していながら、これを実現しようとする組織的な取り組みが一切進められていない国際的な技術動向を捉えて発足した本プロジェクトは、有機ケイ素部材の市場規模や将来予測を十分に検討したうえで進められており、実用化に向けた明確な達成目標を定めている。また、研究の進捗状況を見定めながら、その目標を上方修正するなど、積極的な研究開発マネジメントが機能していると評価される。
- 研究開発計画は、有機ケイ素産業への原料供給を俯瞰した上で決定され、研究開発の進み具合と重要性、実用化の観点から常に見直され、プロジェクト期間に十分な成果を達成できるようよく配慮されている。
- 技術開発の展開を見定めながら、実用化に最も近い実施者（民間企業）を機動的に選定し、それぞれのセクションのリーダーが綿密な連携のもと、プロジェクトの推進にあたっている。
- 知的財産の確保の観点からも、すでに 150 件以上の特許出願が行われていることは高く評価される。それに加えて、査読付き論文も国際学術雑誌に 35 件発表されており、世界を牽引する科学的基盤の創出の側面からも特筆される。
- 天然資源からカーボンフットプリントの観点に立ち、非常に高い目標設定の研究開発を遂行している点は高く評価できる。MTA や共同研究に進んだ材料、テーマがあり、成果の実用化戦略に基づいた連携関係も構築でき、開発の加速を実践している。
- 研究開発各項目について、目標は従来の技術を越えるものであり、かつ数値化された目標であり達成度の判定も可能なため妥当と評価する。スケジュール・研究開発費配分も判り易い。全体のマネジメント・進捗管理も様々な取り組みがされており問題ないと考える。特に研究開発項目の①-3～5について、この期間に中止し、他の項目にその資源を集中したことは説明を聞く中で非常に正しい判断であり、今後も他の項目においても無理に引きずることなく、正しいマネジメントを期待したい。
- ケイ砂からのテトラアルコキシシラン合成や、ジシラン合成に関しては技術力及び事業化能力を有する適切な実施者と共同で進めており、順調に進んでいる。
- 特許の出願件数も多く、知的財産に関する戦略もしっかりしていると思われる。
- 研究開発の目標や計画については、適切に設定されている。研究開発項目①-2については、目標や計画が明確にされていないが、挑戦的な課題であり、見通しが効かないことについて問題はないと考える。研究開発項目①-3～5については、中止や終了となっているが、限られた研究資源を状況に合わせて柔軟に再配置している点は評

価できる。実施体制や進捗管理についても、産学官による協力体制が研究開発方針の見直しにうまく機能している。

〈改善すべき点〉

- 研究開発計画の妥当性および戦略的適切性には問題を感じないが、現在モデル系で開発に成功しているテトラアルコキシシランへの水素の導入の Q 単位での実験、さらに炭素置換基（特にメチル基、アリール基）の導入手法について集中的な研究資源投資が重要である。
- 知的財産権においては、オープンクローズド戦略を明確に定め、産業界に貢献する提供方法を実施すべきである。
- 評価会議のなかで、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掛かる部分のマネジメントの明確化をお願いしたい。
- 長期のプロジェクトであるが、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか、というと、そうでもないように見える。ただし、近視眼的になりすぎず、基礎からの地道な開発が必要なことは十分理解できる。
- 上記のように、研究開発項目①-②については、目標や計画を明確にするのは難しいと思われるが、そのような研究であっても目標やスケジュールの説明を行い、挑戦的な研究を継続することの意義を伝えて欲しい。
- また、本事業が始まってから、内外の技術動向や市場動向にどのような変化があり（開始当初と特に変わっていないのか？）、それらを研究開発の目標や計画の修正にどのように活かしたのかという点について説明が必要である。研究開発目標の設定にあたり、実用化を見通した技術的要求（触媒や反応剤、反応条件などの制限）を明確にするべきである。

〈今後に対する提言〉

- 配列制御したシロキサンを短時間で合成する技術の開発はすばらしい成果であると思う。この方法を、今回開発しているシリカから合成したテトラアルコキシシランを原料とするシロキサン合成に結び付けられれば、さらに発信力のある成果になるのではないか。
- Q 単位実生産試験に対する、研究資金増額にくわえて、この Q 単位への水素（あるいは炭素置換基）導入技術成熟のための資金増額が必要である。
- 残り期間で実用化が見込まれる研究項目だけに絞りすぎることなく、革新的な有機ケイ素原料の供給という観点から特に重要と思われる開発項目については、基礎的学術の観点から縮小することなく、むしろより重点的に進めるマネジメントに配慮されたい。実用に近い項目は実用に向けた重点的な取り組みを、基礎として重要な部分は必ずしも実用化に縛られすぎない取り組みを進める、バランスの良いマネジメントが重

要と思われる。Q 原料は有機ケイ素産業にとって極めて重要な原料であることは疑いないが、“有機”ケイ素と謳う以上はケイ素上にアルキル基、またはヒドリド（水素）を持った M や D に対応する有機ケイ素化合物の効率合成法の確立をめざす研究体制を維持、拡張していただきたい。

- 技術蓄積を“点”として捉えるのではなく、“面”として各技術課題が結び付き、関係性をもった開発であることを念頭に、再委託先や連携先と技術を確立して欲しい。
- 特に①-1 や②-3 の今後には大きく期待したいので、適切なマネジメントをお願いしたい。その他の研究開発項目に関して、特に実用化の可能性が出てきた技術と認識されている部分に関しては、今後の進捗管理マネジメントを適切に実施して頂きたい。やはり実用化への障壁が高いと判断される項目に関しては、研究資源の損失を避ける意味でも勇気ある判断を持って中止の判断をお願いしたい。
- 実用化に近いところでは、中国などに技術を盗まれたり権利を侵害されたりしないよう、対策を十分とってほしいと思う。
- 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。研究成果が出ないことを恐れて、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は常に意識するべきである。

2. 3 研究開発成果について

金属ケイ素を経由しない Q 単位中間原料製造法の開発、ケイ素-ケイ素結合形成技術に関しては、明らかに従来の水準を越え、競合優位性あるレベルで中間目標を達成しており、今後、最終目標の達成が期待できるものとして高く評価する。また、ポリシロキサンの精密合成については、学術的に極めて意義深く、今後の応用面での展開が大いに期待される。さらに、ケイ素-炭素結合形成技術において、温度スイッチ型触媒が見出されていることは、学術的な観点の価値が高さだけでなく、NEDO によるニーズ調査がこの開発の契機となったことで特筆に値する。これらの成果は、プレスリリースや学術誌を通じて適切にユーザーや一般社会に発信されており、また、知的財産は特許により十分に確保されている。

一方で、アルコキシシランの水素化によるヒドロシラン合成、それからアルキルシラン合成は収率や選択性、触媒回転数に課題を残している。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。

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。

〈肯定的意見〉

- ・ 前回の中間評価までに実用化の見通しが立っていたシリカから直接テトラアルコキシシランを合成する技術について、今回は目標の収率を達成し、スケールアップにも成功し、化学工学的な装置開発や最適化の段階に入ったことは、大きな成果として高く評価できる。その後の製品への誘導の段階については、萌芽的な成果も見られるので、是非ともそれらを組み合わせて、できるだけ早く製品化の実例を作ってもらいたい。一般向けの情報発信は適切に行われている。知的財産権の確保も、特許や論文を中心に確実に行われていると思われる。
- ・ 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義：現在までに得られた成果は概ね目標を達成しており、一部予想を超える成果を得ているため達成度は高いと判断した。砂からのテトラアルコキシシランの合成、さらには化学工学的な検証なども進み、コスト面でも省資源・環境保全の面からも優位性の高い新技術に繋がるものと期待される。アルキルシラン、アリールシランの合成法の確立が、バルク有機ケイ素材料生産の刷新の鍵であるが、その基本技術となりうるアルコキシシランからヒドロシランへの変換がモデル系で成功したことは評価される。新規高性能有機ケイ素材料の創出により、将来的な新たな有機ケイ素市場の創造、拡大につながると期待される。以上のように投入された予算に見合った成果が得られていると判断した。
- ・ 成果の最終目標の達成可能性：最終目標の達成に向けて概ね、課題とその解決の道筋が明確に示されている。達成可能性は高いと判断する。
- ・ 成果の普及：新たな学術発見が継続的になされており、特許出願が完了した成果から、

論文等の対外的な発表が順次為されている。ホームページや報道（新聞発表）を通して、一般に向けて広く情報発信がなされている。

- ・ 知的財産権等の取得及び標準化の取組：多くの知的財産権（特許）の取得が為されており、これらは事業戦略および実用化計画に沿って国内外に適切に行われている。
- ・ 項目①-1では中間目標を上回って、かなり効率の良い、革新的なQ原料合成プロセスが実現されつつあり、産業化の実現と既存プロセスの置き換えが進むことが期待される。
- ・ 項目①-2はすぐに実用化に進める状況にはないと思われるが、「砂からの“有機”ケイ素原料供給」という観点からは最も重要な項目とも思われる。学術的にも極めて高度な内容であることから、基礎的学術の観点から進めていただきたい。とくに水素ガスを水素源として利用するQ原料の水素化反応に重点的に取り組むべきと思われる。すでに確立した NaBH_4 を水素源とする合成法は実験室的には極めて有効な方法であると評価される。
- ・ 項目②-1については、産業界へのニーズ調査に基づき、一定温度までは全く活性がなく、ある温度以上で急速に反応を進行させる温度スイッチ型触媒が見出されている。学術的な観点からも極めて価値が高いと認められる。それ以上に、NEDOによるニーズ調査がこの開発の契機となったことは特筆に値する。
- ・ 項目②-2においては、 $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$ 触媒を用いた反復シロキサン結合形成技術が注目される。この技術は学術的にも極めて重要であり、既存のプロセスの置き換えには該当せず、新しい機能材料実現に繋げるべきと思われる。すでに行っているサンプル提供をより一層進めるとともに、プロジェクト側においても様々な物性評価を進めることで、従来にない新しい用途開拓を進めていただきたい。
- ・ プロジェクト全体を総括すると、項目①-1、②-1、②-3は特に産業化に向けた取り組み、②-2については用途開拓を主眼としたサンプル提供を集中的に進めるべきと思われる。また、項目①-2については粘り強くQ原料の水素ガスによる水素化反応に取り組んでいただきたい。
- ・ これらの成果は、プレスリリースや学術誌を通じて適切にユーザーや一般社会に発信されており、また知財は特許により十分に確保されている。
- ・ 材料提供や共同研究に進んだテーマもあり、おおむね目標を達成していると判断する。また、最終ゴールに向かい、課題を明確にしたうえでプロジェクトを推進している。
- ・ 項目①-1、②-3に関しては明らかに従来の水準を越え、競合優位性あるレベルで中間目標を達成しており、今後、最終目標を達成できるものとして高く評価したい。是非、実用化を期待したい。またこれらに関してはユーザーへの展開や普及活動も適切に行われており評価したい。
- ・ また実用化が有望な技術として、オリゴ・ポリシロキサン製造技術やダブルデッカーシロキサン合成など非常に新規性が高いものが生まれてきている。高度に構造制御されたシロキサン製造技術は例が少なく、本プロジェクトから生まれた技術でしかなし得ない素材・部材の分野が生まれてきていると感じ、技術レベルを高く評価したい。

是非、これら川下の技術を最先端材料分野への実用化へと繋げるよう強く期待したい。

- 成果は、中間目標を達成していると言える。特許出願、論文発表、学会発表を適切に行っている。
- 二酸化ケイ素からのテトラアルコキシシランの合成（項目①-1）、鉄触媒によるヒドロシリル化（項目②-1）、ポリシロキサンの精密合成（項目②-2）については、世界に誇れる優れた研究成果であると言える。特に、テトラアルコキシシランの合成については、実用化に向けての検討も行われており、既知の手法を刷新する手法となり得る。この点については、目標達成の見通しは明るい。また、ポリシロキサンの精密合成については学術的に極めて意義深く、今後の応用面での展開が大いに期待される。

〈改善すべき点〉

- ポリアルコキシシラン類、ポリシラノールの合成などについて顕著な成果が上がっているのに対して、これらの化合物からケイ素-炭素結合およびケイ素-水素結合を生成する触媒反応を開発し、基盤となる有機ケイ素原料を製造するプロセスに関しては、ブレークスルーをもたらす鍵反応の確立が必要である。この点に関して、その重要性からケイ素-水素結合生成反応を強力に推進するべきと感じる。
- 情報発信は課題である。最先端の技術から生まれたシーズであり、調査会社等を活用した開発材料の出口を明確にし、関係業界や企業へのアピールを積極的に行うべきである。
- SiO_2 から **Q** 単位有機ケイ素、さらにそれを中間体としてアルキルシラン、ヒドロシラン、さらにそれから川下へと展開する **PJ** であると認識している。であれば **Q** 単位有機ケイ素からの有用ケイ素原料への転換に現状出来る最大限の資源の投入をお願いしたい。そこが繋がることで本 **PJ** の本当の意義も広がると考える。そのために周辺技術分野動向を再調査頂き、新たな共同実施先や再委託先の加入など出来ないものだろうか？
- アルコキシシランの水素化によるヒドロシラン合成、それからアルキルシラン合成は収率や選択性、触媒回転数に課題を残している。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。
- 白金触媒に代わり得る鉄触媒を開発できたことは大きな成果であるが、既存の白金触媒との広範囲での性能比較（活性だけでなく、価格、適用範囲、除去しやすさ、再生しやすさ、生成物品質への影響、など）を行う必要がある。また、ヒドロシリル化については、あくまでも貴金属を利用しない触媒系の開発が望まれる。メトキシシランからメチルシランへの変換は挑戦的な課題であるが、あまり進展がないため、重点的な研究開発が必要である。メトキシシランからヒドロシランへの変換には、ヒドロボランを用いる置換反応が多く研究されているが、資源的に乏しいホウ素を利用する手法の開発は避けた方がよく、水素を利用する手法を重点的に検討するべきである。

〈今後に対する提言〉

- 直接法ではジクロロジメチルシランをはじめとする反応性の低い炭素-ケイ素結合と反応性の高い塩素-ケイ素結合の両方を持つ化合物が得られ、そのうち塩素-ケイ素結合だけをシロキサン結合や水素-ケイ素結合に変換した上で、様々なケイ素材料に誘導していることが多い。これに対し、本プロジェクトでシリカから合成されるテトラアルコキシシランの利点は、アルコキシ基は中程度の反応性を持っているため、置換基としても官能基（脱離基）としても利用可能なことである。そこで、例えば二種類のアルコキシ基をもつテトラアルコキシシランを合成したり、テトラアルコキシシランの一部のアルコキシ基のみを選択的にシロキサン結合に変えたりする方法を開発できれば、アルコキシ基を置換基として持つ新しいシリコン材料の工業化への道を開くことができるのではないか。テトラアルコキシシランの特性をもっと活かした技術開発にもっと注力してもよいように思う。
- 知的財産は技術を守る強力な武器である。知的財産については、実施可能を判断するうえでパテントクリアランスが必須であることから、技術シーズ毎に、パテントマップを作成し、各材料の特性に合わせた知的財産戦略立案に期待する。
- 項目①-1、②-3に関しては、とにかく実用化を達成し、世界に本技術を発信して欲しい。特に②-3の技術には非常に興味が高く、Si-Si結合の複数合成が制御可能で、気体～液状ヒドロシラン一連の合成・分離が可能となれば、将来は一つの市場形成まで可能ではないかと考えている。この辺り出口ニーズ調査も含めて実施して頂きたい。
- 先に述べたとおり、Q 単位有機ケイ素からヒドロシラン類、アルキルシラン類へ転換に期待したい。高難度であることは承知しているが、アカデミアレベルから実用化まで繋げて仕上げる力を有しているのが本 NEDO プロジェクトと理解している。新たな再委託先の導入も含めて、実用化という目標に早く近づいて欲しい。
- アルコキシシランの水素化は、一番やりたいところ、と述べられていた。難しそうな反応であるが、研究者個人のアイデア、実験からの観察、飽くなき挑戦がこうした壁を乗り越えるのに必要だと思う。それと同時に、計算化学や情報化学の活用はできないかとも思う。アルコキシシランの水素化そのものは、熱力学的に不利な反応と予想される。どのような共反応剤を添加して、どういった副生成物ができる反応を並行させると有利になるか理論的にも探索できないだろうか？
- 他の研究開発項目に比較すると、有機ケイ素原料製造技術の開発（項目①-2）については、いまだに「実用性の可能性が見えてきた段階」にあり、進展が遅れている。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、実用化とまでは行かなくても、実用化が期待される有益な知見が得られるようにするべきである。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

テトラアルコキシシランおよびジシランの合成については、実用化に向けた戦略が明確かつ妥当であり、具体的な取組が進んでいる。需要のある製品を合成するための技術開発であり、既存の技術よりも効率的であるため、実用化の見通しは明るい。ケイ素－酸素結合形成技術では、サンプル提供を積極的に進める等、用途開発に重点を置いた取組を進めている。

一方で、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、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。

今後、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。

〈肯定的意見〉

- ・ シリカからのテトラアルコキシシランの合成プロセスは、技術的には実用化が可能な段階に入っているように見える。
- ・ Q 単位実生産企業の新規参入によって、研究目標の具体性と現実性がより高まった。化合物サンプルの提供という実用化イメージ・目標に基づいた明確な課題設定、マイルストーン設定がなされていると判断した。
- ・ 項目①－1 ではすでに 1000mL スケールでの検討を進めており、実用化に向けた検討が順調に進んでいると高く評価される。
- ・ 項目②－1 については、産業界へのニーズ調査に基づき新触媒が開発されたことから、実用化に向けた NEDO ならではの戦略が機能していると高く評価される。
- ・ 項目②－3 では、適切な実施者を機動的に加えたことで、実用化に向けて順調に進んでいると判断される。
- ・ 項目②－2 は上記3項目とは実用化に向けた取り組みは異なったものとなると思われ、サンプル提供を積極的に進めるなど、用途開発の重点を置いた取り組みを進めている。
- ・ 触媒開発ではスケールアップも実現しており、実用化に向けた取り組みを着実に実施している。また、現場サイドを理解した、取り扱いやすさも念頭に開発している点は高く評価する。
- ・ ①－1、②－3 においては、実用化への戦略や課題の検討などは的確であると考えられる。既に出口は明確な分野であるので特に問題はない。
- ・ また実用化が有望なオリゴ・ポリシロキサンなど構造制御されたシロキサン類は非常に期待したい分野であるので、是非、ユーザーとの情報・サンプル提供のなかで、実用化に向けた明確なマイルストーンの検討を進めて頂きたい。
- ・ ケイ砂からのテトラアルコキシシラン合成や、ジシラン合成に関しては順調に推移しており、高く評価できる。

- ・ テトラアルコキシシランおよびジシランの合成（項目①－１および②－３）については、実用化に向けた戦略が明確かつ妥当であり、具体的な取り組みが進んでいる。需要のある製品を合成するための技術開発であり、既存の技術よりも効率的であるため、実用化の見通しは明るい。

〈改善すべき点〉

- ・ 実用化に向けて問題となるのは、その前の段階の原料となる砂やもみ殻の燃焼灰の調達や、このプロセスの後の製品への誘導技術の確立である。これらは近い将来解決することができ、実用化は可能であるという明るい見通しを示すためには、具体的な製品製造の実例を作ることが重要であると考えられる。
- ・ 上記実用化に向けた課題およびマイルストーンの実現に対して、具体的な問題解決法・技術（工業応用可能なテトラアルコキシシランの水素およびアルキル化反応）をモデル系を超えて示す必要が有る。
- ・ マイルドな条件での反応が可能となるスキームを作り上げるべきである。特に高圧力は装置導入にあたり法的規制があり避けたい。1MPaG 未満での反応条件を作り上げると実用化での障壁が低くなる。
- ・ 実用化に向け具体化した技術は既にプラントを描く段階であるため、①－１においては、MS 使用プロセスの実用性や未反応 SiO_2 の回収方法など、②－３については、安全性の検証など、プロセス技術としての検証を早期に実施・明確にして欲しい。
- ・ 実用化が有望な技術に関しては繰り返しになるが、社会の求めるニーズは何なのか？現状と出口をどう繋ぐのか？どうすればそれが達成できるのか？など調査・情報収集と出口への戦略的マネジメントを確実に実施して頂きたい。
- ・ 順調に推移しているとは思いますが、本当に実用化するには、もういくつかブレークスルーが必要と思われる。テトラアルコキシシラン合成に関しては、やや温度が高いところ、モレキュラーシーブの量が多いことが気になる。ジシラン合成に関しては触媒の劣化過程まで分かってきているようであるが、これを基に何か対策が立てられると良い。
- ・ ヒドロシリル化触媒技術（項目②－１）は開発が進み、実用化が期待される状況にはあるが、産業界での理解が得られていない状況である。既存の触媒に対する優位性をより明確にしたり、既存プロセスに適合した触媒改良を行ったりすることで、実用化の見通しを高める必要がある。ポリシロキサンの精密合成技術（項目②－２）は基本的には既に確立されているが、この技術によって得られる新材料にどのような用途があるかを見極めることが重要である。有機ケイ素原料製造技術（項目①－２）については、基本的な技術開発が継続中で、実用化に向けた取り組みを検討する段階にはないものと考えられる。

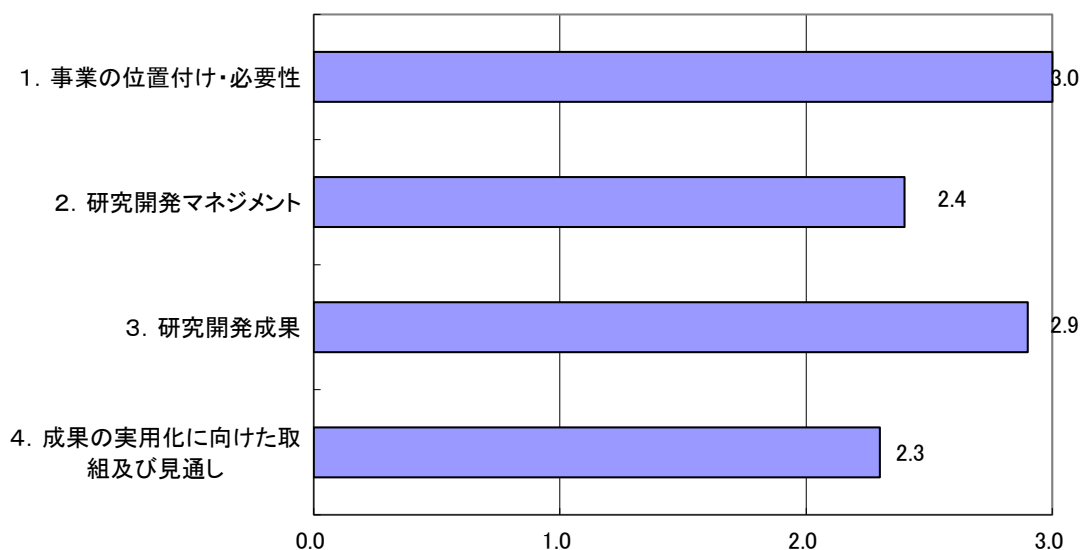
〈今後に対する提言〉

- ・ 項目①－１ではすでにプロセスに用いるシリカ含有材料として何を用いるかの検討も

進められており、粉殻もその候補としてあげられている。粉殻はある程度まとまった量の確保も可能で、実用化の一つの形として極めて重要である。しかしながら、「実用化」「産業化」という形にこだわりすぎるあまり、他のシリカ含有原料を用いるプロセスの検討を中断してしまわないようお願いしたい。国際的に通用する技術開発が重要なことを認識し、日本でしか通用しないプロセスでなく、世界に通用する技術開発としていただきたい。

- ・ 市場での受け入れられる材料価格を調査し、実行可能性（FS）を実施した上で、開発材料の紹介時に開示できるようにして欲しい。R&D フェーズでも概算価格が判ると企業サイドも適用分野や市場がイメージしやすくなる。
- ・ 実用化が近いまたは有望な技術と基盤技術構築とはマネジメントが異なるので、実用化に向けた明確なマネジメントのもとにスケジュール通りの達成をお願いしたい。
- ・ さらに進めて残り期間（2年）以内の実用化を目指してほしい。
- ・ ヒドロシリル化触媒技術やポリシロキサンの精密合成技術については、それを使いたいという会社が現れない限り、実用化には至らない。新技術の優位性を高めるとともに、開発された新触媒や新材料の情報開示やサンプル提供を積極的に行い、ユーザーとともにその用途を考えていく必要がある。産学官連携による事業であり、産業界の意見も聴きながら始めた技術開発にも関わらず、「高性能の触媒を開発したが、会社が利用してくれない。」との意見が出てくるのは残念である。本事業での産学官連携を積極的に利用し、用途開発に邁進して欲しい。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	A	A	A	B	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	A	A	A	A	B
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.3	A	B	B	A	B	B	B	B

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」

事業原簿【公開】

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

—目次—

・概要	Ａ-1
・用語集	用語集-1
1. 事業の位置付け・必要性について	
1.1 事業の背景・目的・位置づけ	
1.1.1 事業の背景	1.1-1
1.1.2 事業の目的	1.1-3
1.1.3 事業の位置づけ	1.1-4
1.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性	1.2-1
1.2.1 NEDO が関与することの意義	1.2-1
1.2.2 実施の効果（費用対効果）	1.2-1
2. 研究開発マネジメントについて	
2.1 事業の目標	2.1-1
2.2 事業の計画内容	2.2-1
2.2.1 研究開発の内容	2.2-1
2.2.2 研究開発の実施体制	2.2-4
2.2.3 研究開発の运营管理	2.2-7
2.2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	2.2-9
2.3 情勢変化への対応	2.3-1
2.4 中間評価への対応	2.4-1
2.5 評価に関する事項	2.5-1
3. 研究開発成果について	
3.1 事業全体の成果及び達成度	3.1-1
3.2 研究開発項目毎の達成度と成果の意義	3.1-1
3.2.1 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発	3.2-1
3.2.1.1 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	3.2-3
3.2.1.2 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	3.2-5
3.2.1.3 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	3.2-9
3.2.1.4 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	3.2-11
3.2.1.5 その他の反応	3.2-11
3.2.2 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	3.2-12
3.2.2.1 ケイ素-炭素結合形成技術	3.2-12
3.2.2.2 ケイ素-酸素結合形成技術	3.2-19
3.2.2.3 ケイ素-ケイ素結合形成技術	3.2-27
3.2.2.4 触媒固定化技術	3.2-29
3.3 知的財産権の取得と成果の普及	3.3-1
3.3.1 特許出願、論文、外部発表の状況	3.3-1
3.3.2 成果の普及	3.3-2
3.4 最終目標の達成可能性	3.4-1
4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて	
4.1 成果の実用化の見通し	4.1-1
4.2 実用化に向けた具体的取り組み	4.2-1
4.3 波及効果	4.3-1

(添付資料)

① プロジェクト実施計画・基本計画

1. 経済産業省「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発（革新的触媒）」実施計画 2012年5月
2. NEDO「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」基本計画
2014年2月制定、2014年6月改訂、2014年7月改訂、2015年2月改訂、2017年2月改訂、
2018年5月改訂、2019年2月改訂

② 事前評価及びパブリックコメント関連資料

1. 経済産業省「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発（触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発）」事前評価報告書 2011年7月
2. 「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発（革新的触媒）」実施計画（案）に対する意見募集の結果について 2012年5月
3. NEDO POST 2014年度新規/拡充研究開発プロジェクト（案）概要 2014年1月
4. NEDO 事前評価書 2014年1月
5. 「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について 2014年2月

③ 特許、論文、発表リスト

1. 特許
2. 論文
3. 発表
 - (a) 学会発表・講演
 - (b) 新聞・雑誌等への掲載
 - (c) その他

概要

最終更新日 2019年 8月 2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-現在 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</p> <p>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-現在 主査(PM) 山田 浩 2018年4月-現在 主査 伊藤 真治 2018年5月-現在</p>		
0. 事業の概要	<p>化学産業は我が国の一大産業であり、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>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、[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</p>		

	<p>ストーリー分野」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する。</p> <p><u>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」</u></p> <p>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> <p><u>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」</u></p> <p>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> <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日に実施済）、2016年度（同5年目、2016年10月28日に実施済）、2019年度（同8年目、2019年8月2日）に中間評価を実施する。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><u>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」</u></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、その工業的実施可能性を1kgスケールで検証する。</p> <p><u>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」</u></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	▼ 中間評価 ■ 調査項目の実施											
	▼ 中間評価 ■ 調査項目の実施											
	▼ 中間評価 ■ 調査項目の実施											
	▼ 事後評価											
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									
	特別会計（需給）			200	200	184	200	182	150			
	開発成果促進財源			10	420	147	15					
	総 NEDO 負担額	200	200	210	620	331	215	182	(150)	(290)	(200)	(2598)
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-現在)										
	委託先	委託先 2012年10月-現在 国立研究開発法人産業技術総合研究所 2014年4月-現在 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-現在 国立大学法人 大阪大学 2017年4月-現在 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。 											
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に向けた検討に注力できるようにした。											
評価に関する事項	事前評価	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・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） 										
	事後評価	<ul style="list-style-type: none"> ・2022年度 事後評価実施 										

3. 研究開発成果について	<p>本事業で研究開発を進める2つの研究開発項目について、現時点では以下の成果を得た。</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> <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。 <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"> ・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 締結等を精力的に行い、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。 ・還元剤がな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。 	
	投稿論文	35 件 (うち査読論文 23 件)
	特 許	特許出願：155 件 (うち PCT 及び外国出願：51 件)
	その他の外部発表 (プレス発表等)	外部発表／講演：212 件 表彰：4 件
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	<p>本事業では、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実用化としており、「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定義している。</p> <p>本プロジェクトでの最終目標は、研究開発項目①及び②とも、1kg スケールで所定の目標数値を達成すること等を設定しており、実用化は、プロジェクト終了後に数年間の検討を行った後、達成する予定としている。但し、一部の研究開発については、実用化が見えるレベルまで先行しているため、これらについては、民間企業（共同実施者）の社内でプロジェクトによる技術をオンサイトで検証して、実用化に向けた技術移転と技術確立を早期に完了する体制を構築している。</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	<p>2014 年 6 月、プロジェクトリーダーの委嘱に伴う改訂。</p> <p>2014 年 7 月、「技術調査の実施」の追記に伴う改訂。</p> <p>2015 年 2 月、評価制度の見直しに伴う改訂。</p> <p>2017 年 2 月、アウトプット目標と期限の追記に伴う改訂。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>

プロジェクト用語説明集（五十音順）

用語	英文表記	用語の説明
アミノシリル化	aminosilylation	ジエン、アルケン等の不飽和化合物にアミノ基とシリル基を同時に導入する素反応。
アリアル基	aryl group	芳香族炭化水素から誘導された官能基または置換基の総称。
アルコキシシラン	alkoxysilane	アルコキシ基(-OR, Rはアルキル基)を有するケイ素化合物。
一級シラン	primary silane	シラン SiH ₄ の 1 個の水素基が置換基により置換されたものを一級シランと称し、2 個、3 個置換されたものをそれぞれ二級シラン (secondary silane)、三級シラン (tertiary silane) と呼ぶ。
イミノビピリジン誘導体	iminobipyridine derivative	イミンとビピリジンが脱水素縮合した化合物の誘導体で、遷移金属に対して 3 座配位するので、有用な配位子となる。
オリゴマー	oligomer	比較的少数のモノマーが結合した重合体のこと。明確な重合度があるわけではない。分子量 1000 程度までのものを指す場合が多い。
オレフィン	olefin	炭化水素化合物のうち、C=C 二重結合を一つ持つ不飽和炭化水素。
加水分解	hydrolysis	反応物に水が反応し、分解生成物が得られる反応のこと。
カップリング反応	coupling reaction	2 つの化学物質を選択的に結合させて 1 つの化学物質を作る反応のこと。
官能基	functional group	置換基のうち、物質の特性や化学反応性に注目した場合に特定される置換基。
求核剤	nucleophilic agent	ケイ素、炭素等の原子上にメトキシ基、エトキシ基のように負電荷の化学種になりやすい置換基がある場合、その原子は電子を放出して正電荷を帯びやすくなるが、そのような正電荷性の原子と反応する電子供与性の試剤を指す。
Q 単位構造中間原料	Q unit structure intermediate material	ケイ素原子の周りに 4 つの酸素原子が結合したものを Q 単位構造と呼ぶ。Q 単位構造中間原料は Q 単位構造を持つ有機ケイ素原料を作る際の原料となる化合物であり、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を指す。

クロスカップリング反応	cross coupling reaction	2つの異なる化合物を選択的に結合させる反応。
クロロシラン	chlorosilane	ケイ素 - 塩素 (Si-Cl) 結合を有するケイ素化合物。
ケイ石	silica stone	ケイ酸質の鉱物や岩石を資源として扱う時の鉱石名。
硬化技術	hardening technique	柔軟な物質を硬化させる技術で、ポリマー鎖間を架橋分子でつなぐことにより硬化させることができる。ポリヒドロシラン鎖は多くの Si-H 結合を有するため、ポリヒドロシランとジエンの間でヒドロシリル化反応を起こさせて、ポリマー鎖間にアルキル架橋を構築し、硬化ポリシランを生成する手法は有用である。
固定化触媒	catalyst immobilized on solid state	均一系触媒を固定相に化学結合させた触媒で、触媒の除去や再利用が可能となる利点を有する。一方で、その構造が必ずしも明確でないため、触媒活性のチューニングが容易でないという難点もある。
自己縮合	self-condensation	求核部位と求電子部位の両方の反応部位を持つ分子が、それ自身、分子間で縮合反応をすること。
ジシラン	disilane	ジシランとは Si_2H_6 で示されるケイ素の水素化物である。シランと比較して反応性が圧倒的に大きく、熱分解して薄膜シリコンを与える場合に、より低温で熱分解することが可能である。従ってジシランはシランと比較して薄膜シリコンの低温・高速成膜性に優れた原料として期待されているが、シランよりも高価格でまだ普及は進んでいない。
ジメチルアセトアミド (DMAc、DMA)	dimethylacetamide	化学式 $\text{C}_4\text{H}_9\text{NO}$ で表される有機化合物である。N,N-ジメチルアセトアミドとも呼ばれ、DMAc や DMA と略されることがある。無色で水に可溶であり、吸湿性を持つ。
ジメチルホルムアミド (DMF)	dimethylformamide	分子式 $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}$ の構造を持ちアミン臭を有する無色透明の液体。水、エーテル、アルコール、ケトン、エステル等に可溶性有機溶剤である。加熱すると分解し、一酸化炭素を生ずる。
触媒毒	catalyst poison	触媒作用を阻害する物質。これにより触媒作用の低下や停止が起こる。

触媒被毒	catalyst poisoning	触媒物質に、その触媒作用を阻害する物質（触媒毒）が相互作用することにより、本来の触媒活性が失われることを表す。
水素化反応	hydrogenation reaction	化合物に対して水素を付加させる還元反応。ここでは脱離基を持ったケイ素化合物のケイ素－脱離基の結合を切断して、ケイ素－水素結合を形成する反応。
シラノール	silanol	ケイ素原子に水酸基が結合した化合物の総称。シロキサン（シリコーン）化合物の中間体。アルコールと異なり、同一原子に水酸基が2個、3個結合した化合物も安定に存在する。
シランカップリング剤	silane coupling agent	トリアルコキシシリル基に種々の炭素置換基が結合した化合物の総称。ハイブリッド材料や、表面修飾など広い用途で用いられている。
シリカ	silica	二酸化ケイ素あるいは二酸化ケイ素によって構成される物質の総称。
シリケート	silicate	ケイ素が4つの酸素と結合している骨格を持つ化合物の総称。
シリコーン	silicone	シロキサン結合（Si-O-Si）を主骨格に有する有機ケイ素高分子の総称。自然界には存在しない。優れた耐熱性、耐酸化性、電気絶縁性、撥水性、消泡性、生体適合性を持つことから様々な分野で使用されている。
シリコーンレジン	silicone resin	分岐度の高い三次元構造を有するシロキサン類の総称。高分子量化すると樹脂状になるためこのように呼ばれる。耐熱性、耐候性、電気絶縁性、撥水性など数々の特性を有する。
シリルトリフラート	silyl triflate	ケイ素上に1つ以上のトリフルオロメタンスルホナート(TfO・CF ₃ SO ₃)が置換した化合物。TfO 基の脱離性が高いため置換反応を起こしやすく、シリルハライドと似た性質を持つ化合物とみることができる。
シロキサン結合	siloxane bond	ケイ素 - 酸素 - ケイ素 (Si-O-Si) 結合。
遷移金属	transition metals	周期表で第3属から第11属の間に含まれる元素で、すべて金属である。
ゾル・ゲル法	sol-gel method	三官能、四官能のアルコキシシランやクロロシランを原料にして酸または塩基を触媒として用い、水を含む条件下で加水分解を行いながら、脱水縮合させ三次元的に成長する高分

		子量のシロキサン化合物を作る方法。一般に反応の過程で溶解可能なゾルの状態を經由して溶媒不溶なゲルの状態へと変化するためにこのように呼ばれる。
ターピリジン誘導体	terpyridine derivative	3つのピリジン誘導体が脱水縮合した化合物で、2-位同士で縮合したターピリジンは遷移金属に対して3座で配位するので、有用な配位子となる。
脱水剤	dehydrating agent	ここでは、反応系中に存在する水分子あるいは反応によって生じる水分子と反応して化学的に水を反応系から取り除く物質のことを言う。
脱水縮合	dehydration reaction	縮合する2個の分子からそれぞれ水素原子と水酸基(-OH)を失って水分子が離脱し、新たな化合物をつくる反応。
脱水素カップリング	dehydrogenative coupling	広義には、異なるあるいは同じ物質中のC-H基から水素が除去されてC-C結合を生成する反応である。本プロジェクトにおいては、異なるあるいは同じ物質中の2個のSi-H基からあるいは、Si-H基とC-H基から水素が除去されて、それぞれSi-SiあるいはSi-C結合を生成する反応を意味する。
透過型電子顕微鏡	transmission electron microscope	高電圧で加速された電子線を試料に照射して、試料を透過した電子の干渉像を観測する電子顕微鏡の一つ。
動的光散乱法	dynamic light scattering	液体中の粒子についてブラウン運動により拡散する速度(拡散係数)を計測することで粒子径を測定する方法を動的光散乱法と呼ぶ。
電子線回折	electron diffraction	電子線が光と同じように回折現象をしめすこと。また、この現象を利用して結晶構造を解析することができる。
反応選択性	reaction selectivity	反応によって、2種類以上の生成物が得られる場合があるにもかかわらず、一つの種類のみが優先的に得られる場合、反応選択性があるという。
ナノ粒子	nanoparticle	ナノメートル(10 ⁻⁹ m)サイズの大きさの粒子。通常1~100 nm。通常の大サイズの粒子に比べて特殊な性質を持つようになる。
Pd/C	palladium on carbon	活性炭を担体として、0 価のパラジウムを分

		散、担持させたもの。水素化反応の触媒に用いられる。
卑金属	base metal	貴金属に対する対義語であり、一般的にアルカリ金属、アルカリ土類金属、鉄、銅、亜鉛、鉛などの金属がこれに属する。
ヒドリド	hydride	水素の陰イオン。これが求核剤として求電子的な部位に攻撃して水素が付加する反応がヒドリド還元と呼ばれる。
ヒドロシラン	hydrosilane	ケイ素上に1つ以上Hが結合した化合物。オレフィンとのヒドロシリル化反応によりケイ素-炭素結合に変換できる。
ヒドロシリル化反応	hydrosilylation reaction	不飽和結合（アルケンやアルキンは炭素間不飽和結合をもつ化合物）部位にヒドロシランのSi-H結合が付加し、C-Si結合ならびにC-H結合が形成する反応。この反応は通常は触媒を必要とする。代表的な遷移金属触媒として白金錯体であるSpeier触媒やKarstedt's触媒が知られている。
ポリシロキサン	polysiloxane	シロキサンの単位が繰り返し結合して生成した高分子化合物。-(Si-O) _n -結合をもつ。
末端基	terminal group	鎖状分子の末端にある置換基。
モノアルコキシシラン	monoalkoxysilane	アルコキシ基を一個有するケイ素化合物のことで、ここでは、ケイ素原子上に複数のメトキシ基またはエトキシ基を有する化合物において、メトキシ基またはエトキシ基の一個だけを他のアルコキシ基で置換した構造のケイ素化合物を示す。
モノシラン	silane	SiH ₄ で示されるケイ素の水素化物であり、シランとも呼ばれる。熱分解してアモルファスシリコンを与える（化学気相成長法）ことから、太陽電池等の材料、特にシリコンウエハーの製造などに応用されている。
ヤヌスキューブ	Janus cube	立方体状のかご型オクタシルセスキオキサン（T ₈ ）の対面に4つずつ2種類の置換基を有する化合物。
有機基	organic group	アルキル基やアリアル基などの主骨格が炭素により形成されている置換基であり、単純なアルキル基やアリアル基以外に官能基を持つものも含んだ総称。

有機マグネシウム試薬	organomagnesium reagent	有機基がマグネシウムに結合した化合物の総称で、Grignard 試薬とも言われる。マグネシウム上の有機基は強い求核性を有するため、有機基導入試薬として広く用いられている。
Lewis 酸	Lewis acid	ルイス酸は、電子対を受容して化学結合を形成するあらゆる化学種（電子対受容体）であり、一方、電子対を与えるあらゆる化学種(電子対供与体)がルイス塩基である。

1. 事業の位置付け・必要性について

1.1 事業の背景・目的・位置づけ

1.1.1 事業の背景

日本の化学産業は、出荷額約 44 兆円、従業員数約 91 万人を擁する我が国の主要産業の一つであり、基幹化学品から機能性化学品まで様々な高い国際競争力を誇る製品を多数生み出し、他産業に広く貢献している。しかしながら、その製造工程では多量のエネルギーを消費しており、化学産業分野における二酸化炭素排出量は、日本の製造業分野の約 16% と大きな割合を占めている。このような背景において、化学品の製造工程の技術革新による省エネルギー化は、日本の CO₂ 排出量削減を進めていくための課題の一つとなっている（図 1.1.1-1）。また、この省エネルギー化を含め、化学産業分野における産業競争力の強化を、技術革新により達成することも、今後の日本の産業を維持していく上で重要な課題である。

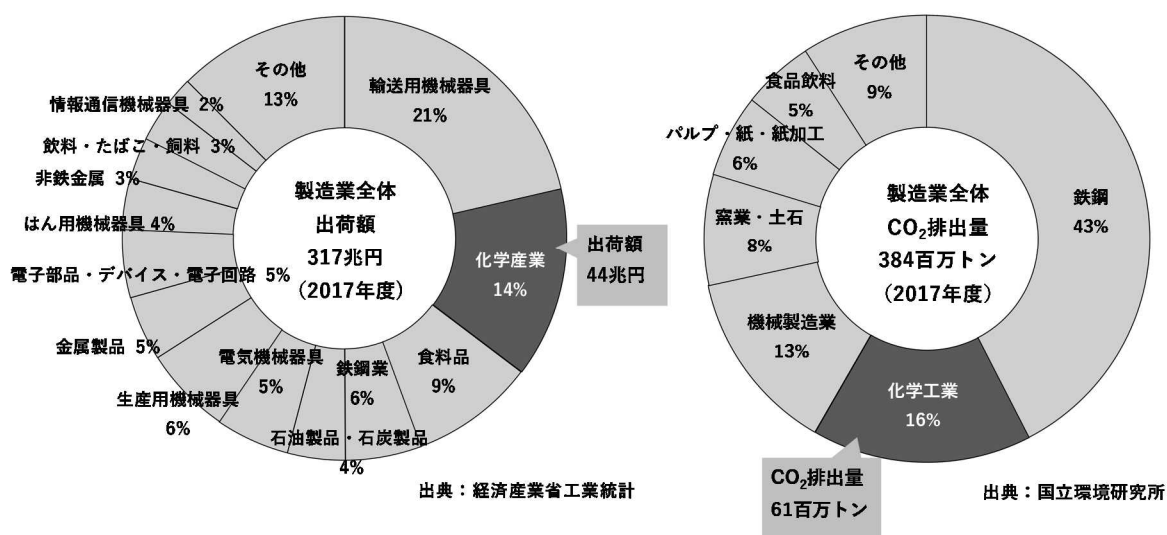


図 1.1.1-1 日本の製造業における出荷額と二酸化炭素排出量（2017 年度）

有機ケイ素産業は、化学産業の中でもシリコーン、シランカップリング剤、ポリシランなど高機能な有機ケイ素部材を幅広い工業分野に提供する産業であり、シリコーンオイルは真空ポンプの潤滑性や真空度維持、ゴムやグリースは真空用パッキングなどの機器構造部材として多く用いられている。また、無機と有機の性能を併せ持つ特徴的な物性（透明性、耐候性、絶縁性、消泡性、高耐熱性など）から、化粧品やシャンプーなどの日用品、コーティング剤、さらには太陽電池パネルやLEDの封止材料などにも使用されている。

このように、幅広い工業分野で使用されている有機ケイ素部材は、一般の炭素 (Carbon) を主な構成元素とする化学品と比較すると高価な部材（価格例：シリコーン系(シリコーンオイル原料 > ¥10,000/kg)、炭素系(流動パラフィン ¥2,000/kg)）であるが、その工業的利用価値から、世界市場規模は、2006 年時点で約 98 億ドル（1.1 兆円：1 ドル=112 円換算）、2016 年には約 142 億ドル（1.6 兆円）まで拡大して、2016 年以降、2021 年までの 5 年間も、年平均成長率（CAGR）は 5.1% と順調に成長し、2021 年の世界市場は約 183 億ドル（2.0 兆円）まで拡大すると予測されている（図 1.1.1-2）。

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



有機ケイ素部材の市場予測

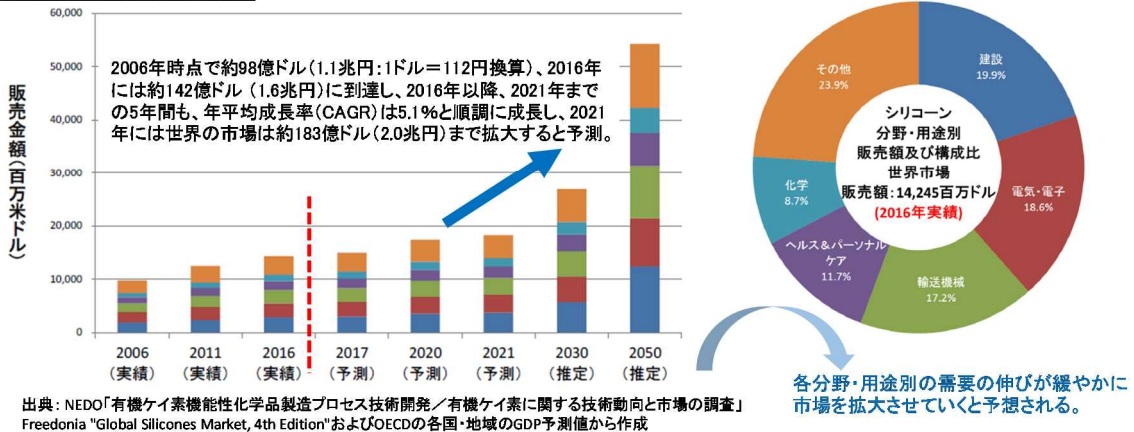


図 1.1.1-2 有機ケイ素産業の概要と市場予測

現在の有機ケイ素工業は、1940年代に発明された二酸化ケイ素を金属ケイ素に変換する直接法を主に利用している(図 1.1.1-3)。主原料の二酸化ケイ素は地球上に普遍的に存在し、国内での調達も可能な資源であるが、この工程では1800℃程度の多大な還元用エネルギーを必要とするため、経済性の観点から日本国内では事業として成立していない。また、シリコンの硬化や有機ケイ素化合物の製造に広く用いられているヒドロシリル化触媒は、古くから希少金属である白金(Pt)触媒が主に利用されているが、使用量が微量にも関わらず高価である、供給が不安定である、触媒回収が困難である、触媒残留(コンタミ)による有機ケイ素部材の製品性能が低下するなどの課題があり、これらの課題を解決する代替触媒が求められていた。

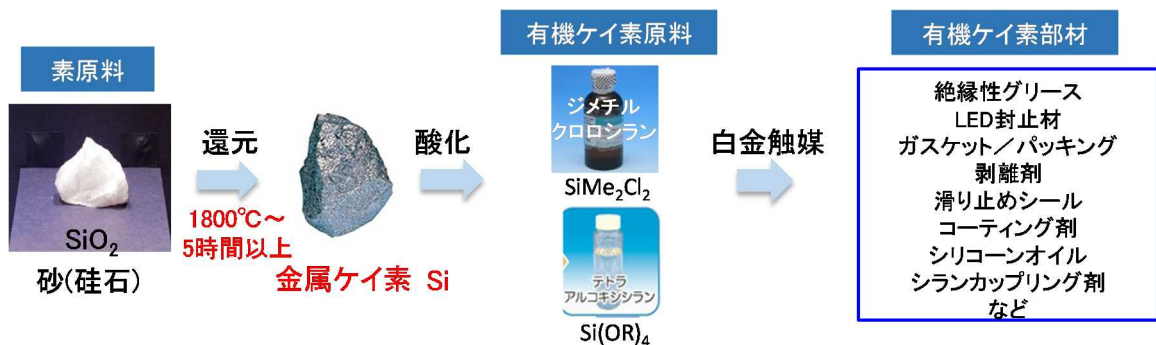


図 1.1.1-3 現在の有機ケイ素工業製品フロー(現行法)

さらに、有機ケイ素部材の主製品であるシリコーンは、透明性、耐候性、絶縁性、消泡性、高耐熱性などの特徴的な物性から幅広い工業分野で使用されているが、部材の分子構造がランダムであることに起因する発現性能の限界などの課題があり、目的とする機能を発現できる精密な部材合成が可能な製造プロセスも求められていた。

1.1.2 事業の目的

化学産業は日本国の主要産業の一つであり、高い国際競争力を誇る製品を多数生み出している一方で、化石資源を大量に消費して、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な技術によりこれら課題を解決することが急務となっている。

有機ケイ素部材は、化学品の中でも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、国家戦略的に競争力を高めることにより、有機ケイ素の製造企業のみならず、それを用いる幅広い下流産業にも影響を与え、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ている。

本事業は、有機ケイ素原料の製造と有機ケイ素原料から有機ケイ素部材の製造について、現在の課題を解決する新たな技術の創出を研究開発の対象としており、これを新たな触媒プロセスと、それに用いる触媒を開発することにより実現しようとするものである。また、ここで創出した技術の実用化により、有機ケイ素原料製法の省エネルギー化と有機ケイ素部材の製造プロセス改良による高機能化を達成して、有機ケイ素部材の新たな市場開拓と省エネルギー化、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。

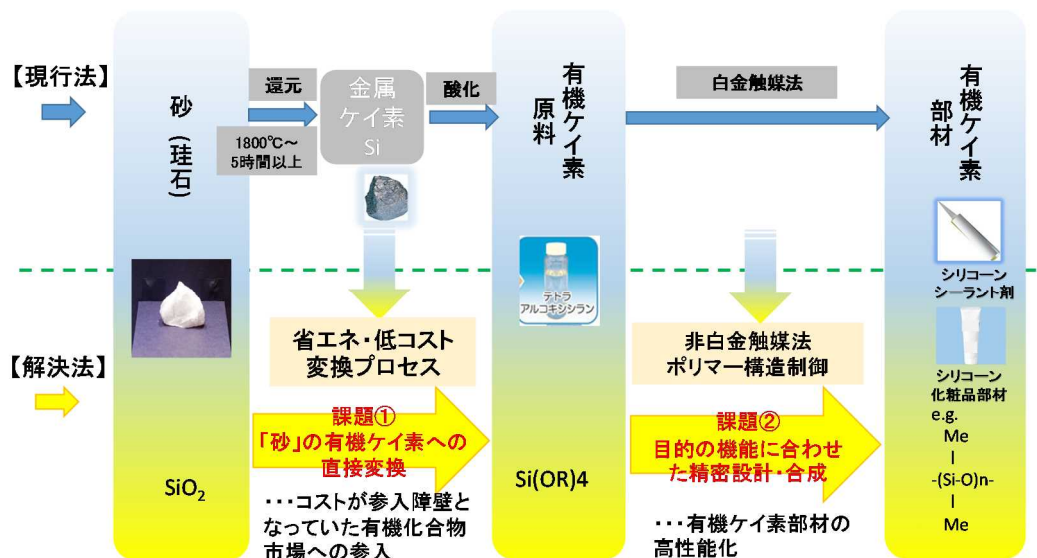


図 1.1.2-1 本事業の概要

具体的に本事業では、高機能な有機ケイ素部材を安定的に供給するため、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の研究開発と実用化を実施する（図 1.1.2-1）。

1.1.3 事業の位置づけ

1.1.3-1 経済産業政策上の位置づけ

本事業は、図 1.1.3-1 に示すように、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」のコア技術の一つである「革新的触媒技術」の要素技術の中で位置づけられた事業である。



図 1.1.3-1 経済産業政策上の位置づけ

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

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)、「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。

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製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、[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。

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・サステイナブルケミストリー分野」においても、技術項目「グリーン製造化学プロセス」の「精密制御高分子製造（高性能機能化学品の製造）」、「低環境負荷型縮合系高分子製造技術（新規触媒等によるプロセス）」、「有機分子触媒」、技術項目「製造工程廃棄物・副生物の大幅削減」の「従来型有機合成のシンプル化（合成ルートの転換、触媒反応化、溶媒転換、生成工程変換等を含む副原料削減）」など、本事業に関連する個別の技術が記載されている。

1.1.3-2 国内外の研究開発動向とその位置づけ

現在の有機ケイ素工業は、1940年代にGE社が発明した直接法を主に用いており、他の合成法に比較して危険で複雑な工程も少なく、金属ケイ素と少量の触媒から連続的に多量生産できるという点で経済的で優れているため現在も広く用いられている。しかしながら、この方法は、酸化ケイ素（ SiO_2 ）を炭素と混合して 1800°C で5時間以上加熱する金属ケイ素の製造工程を経由するため、多大な還元用エネルギー（電気エネルギー）を必要とする。日本は他国と比べてエネルギー価格が高いため、日本国内でこの工程を実施することは経済性の観点からは困難であり、現在では金属ケイ素を海外から輸入して使用している。

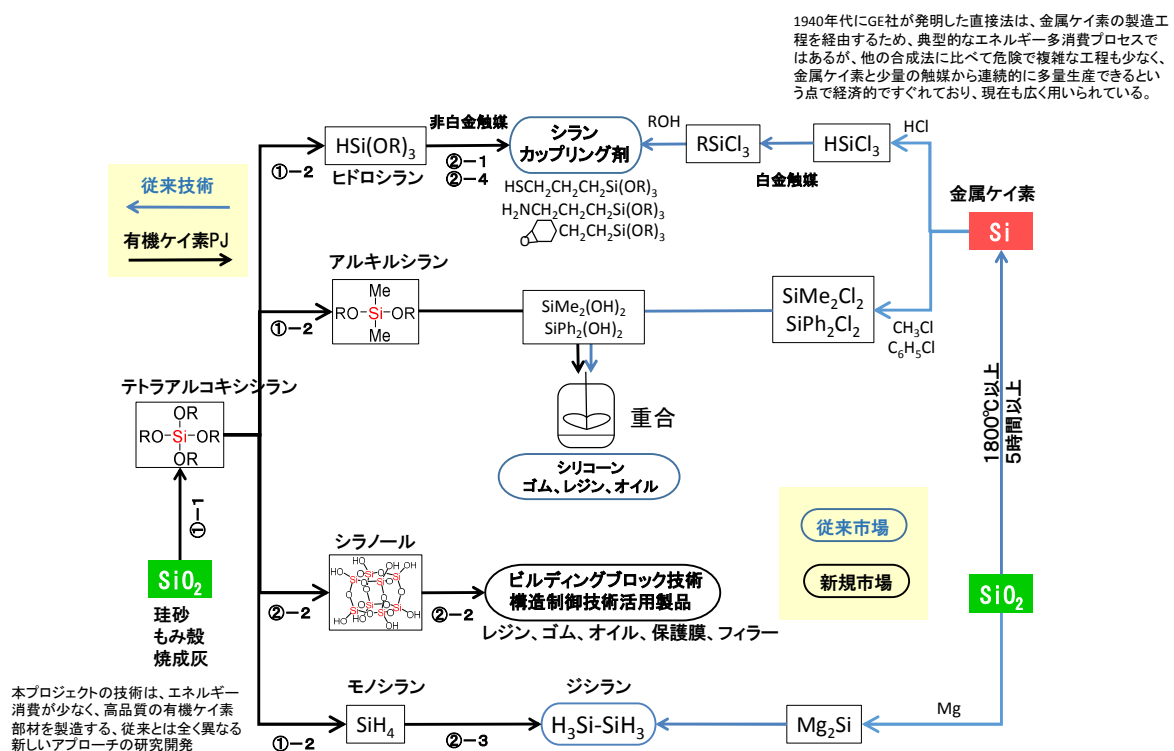


図 1.1.3-2 従来技術と有機ケイ素プロジェクトでの研究開発技術の比較

これに対して、 SiO_2 は世界的に偏在しないため、日本国内で良質なものが調達できることから、金属ケイ素を経由しない有機ケイ素製造プロセスが確立できれば、金属ケイ素の輸入に頼らない国内での有機ケイ素部材製造が可能となる。さらに、金属ケイ素の製造に必要なエネルギーが大幅削減されるため、金属ケイ素を経由しない有機ケイ素製造プロセスが確立できれば、従来法よりも経済性の高い省エネルギー型の製造プロセスが実現し、我が国の国際産業競争力は格段に高くなる（図 1.1.3-2）。

一方、シリコーンの硬化や有機ケイ素化合物の製造に広く用いられているオレフィン類のヒドロシリル化触媒は、塩化白金酸 (H_2PtCl_6) などの白金化合物が 50 年以上変わらず触媒として用いられている。Pt 系触媒は高活性であるため使用量は微量であるが、高価な希少金属であり供給が不安定であること、シリコーンの硬化工程では製品に残存するため回収が困難であることなどの課題があり、Pt 触媒の代替技術が求められていた。

また、有機ケイ素部材の代表であるシリコーン類の製造方法は、メチルクロロシラン類の加水分解であるが、この製造方法は、目的とする構造化合物以外の副生成物が混在するため、分子量分布や分子構造の制御を行うことが極めて困難な課題があった。分子量分布や分子構造などの制御されたシリコーン類が製造可能になれば、より高機能な物性が発現できるため、有機ケイ素部材の使用分野が大きく広がることが期待される。同時に、この方法では、塩素系の有機ケイ素原料が主に使用されており、塩素系物質の混入による製品の特性劣化だけでなく、有機ケイ素部材に残存する触媒が製品に及ぼす影響も問題となるため、有機ケイ素部材に対する不純物の混入防止技術も課題となっている。

さらに、メチルシラン系よりも耐熱性が高いフェニルシラン系の有機ケイ素部材やその原料製法において、Grignard 試薬などの有機金属化合物を用いる場合、製造工程で多量の無機塩が副生されて環境負荷と製造コストが高価になる要因となるため、特殊な有機金属化合物原料を用いない高機能な有機ケイ素部材の製造技術が必要となっていた。

本事業では、上記の課題を、新規の触媒及び触媒プロセスの研究開発によって解決するため、以下の研究開発項目を実施する。

- ・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」

研究開発項目①は、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 な研究開発である。

研究開発項目②は、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、オレフィンのヒドロシリル化用 Pt 触媒が 50 年以上変わらずに使用されているように、新たな触媒が工業化された例はなく、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である。

1.2 NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.2.1 NEDO が関与することの意義

有機ケイ素部材は、化学品の中でも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、国家戦略的に競争力を高めることにより、有機ケイ素の製造企業のみならず、それを用いる幅広い下流産業にも影響を与え、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ている。

本事業は、このような国家戦略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、化学的に安定な構造を示すケイ酸を有機ケイ素原料へ変換するなど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しながら進める必要がある。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く、プロジェクトマネジメント経験が少ない場合、その成功確率は大きく減少することが分かっている。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、プロジェクトリーダーと指示・協議を繰り返し行いながら、国家プロジェクトとして効率的に推進すべきものである。

1.2.2 実施の効果（費用対効果）

1.2.2-1 事業費

本事業の事業費の推移を表 1.2.2-1 に示す。事業期間 10 年間で、総額約 26 億円の規模の事業費を予定している。2014 年度と、2017 年度に計上されている加速予算 10 百万円、15 百万円は、NEDO 実施した有機ケイ素に関する技術動向と市場の調査に係る費用である。

表 1.2.2-1 事業費の推移

(単位：百万円)

	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2012～2019 年度総額	10年間の総 額(予定)
当初 予算	200	200	200	200	184	200	182	150	1516	(2006)
加速 予算	—	—	10	420	147	15	—		592	
繰越	—	—	—	—	—	—	—			
実績	200	200	210	620	331	215	182	(150)	(2108)	(2598)

*2012 年度～2013 年度：経済産業省の直執行

**カッコ表示は見込み額

1.2.2-2 実施の効果

有機ケイ素部材の市場は、2006年時点で約98億ドル（1.1兆円：1ドル＝112円換算）あるが、2016年には約142億ドル（1.6兆円）に到達した後、2016年以降、2021年までの5年間も、年平均成長率（CAGR）は5.1%と順調に成長して、2021年には世界の市場は約183億ドル（2.0兆円）まで拡大すると予測されている。また、販売数量（トン）での市場動向は、2006年に160万トン、2016年に221万トンと順調な増加傾向にある。その後の2016年以降、2021年までの5年間も、年平均成長率（CAGR）は3.1%と順調に成長して、2021年には世界の市場は、258万トンまで拡大すると予測されている。さらに、OECD（経済協力開発機構）から発表されている、全世界及び国・地域別のGDP予測値から有機ケイ素部材の2020年までのCAGR予想値を補正推算し、2050年までの市場動向を推定した結果、2030年には約268億ドル（3.0兆円）、2050年には約535億ドル（6.0兆円）の市場需要があると推定されている。

（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」Frederonia “Global Silicones Market, 4th Edition”およびOECDの各国・地域のGDP予測値から推定）

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

図 1.2.2-1 2030年(予測)における本事業の推定効果

図 1.2.2-1 に 2030 年に本事業によって得られる省エネルギー効果の推定値を示す。効果は、2030 年の市場規模と、本事業成果により拡大した市場を加味して試算を行った。本事業により有機ケイ素部材の製造プロセスの省エネルギー化が達成されると、2030 年には、原油換算で年間 44 万 kL の省エネルギー効果（年間約 101 万 t の CO₂ 排出削減効果）があると試算できる。但し、現段階では、有機ケイ素部材の製造プロセスが確立されていないことから多くの仮定を含んでいるため、省エネルギー効果の数値は、事業完了の時点で再精査する必要がある。

図 1.2.2-1 には、省エネルギー効果以外の効果も示した。素原料の SiO₂ は地球上に普遍的に存在しており、珪砂やバイオ由来燃焼灰も使用可能である(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)。したがって、金属ケイ素を経由しない有機ケイ素製造プロセスが確立できれば、金属ケイ素の輸入に頼らない国内での有機ケイ素部材製造が可能となり、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が可能になり、我が国の国際産業競争力は格段に高くなる。

さらに、有機ケイ素部材は、使用段階における CO₂ 削減効果が他部材と比較して大きいことが知られている。日米欧の有機ケイ素団体が、種々の有機ケイ素部材用途における CO₂ 削減効果が調査しており、有機ケイ素部材の使用段階において、生産及び廃棄の際に発生する CO₂ の約 9 倍の CO₂ 削減効果が平均値として示されている（表 1.2.2-2）。

たとえば、「複層ガラス窓ユニット用シーラント」には、日米欧で 56,700 トンの有機ケイ素部材の市場用途があり、この用途で有機ケイ素部材を使用すると、他材料を使用した場合と比較して 12,226 千トンの CO₂ 削減効果があるとされている。

同様に、調査対象用途における CO₂ 削減効果を合計すると、有機ケイ素部材は、日米欧での使用段階で年間約 54,240 万トンの CO₂ 排出削減に貢献していることになる。本事業の研究開発により開拓される市場用途でも同程度の CO₂ 削減への貢献があるとすれば、将来的な CO₂ 排出削減への貢献はさらに大きいものとなる。

表 1.2.2-2 有機ケイ素部材の使用用途別 CO₂ 削減効果

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

出典：シリコーン工業会「シリコーンのカーボンバランス」

<http://www.siaj.jp/ja/pdf/pamph/carbonbalance.pdf>

このように、本事業により、省エネルギー効果の高い有機ケイ素原料と高価な希少金属である Pt 触媒を用いない高機能部材の製造プロセスが確立できれば、有機ケイ素部材の新たな市場開拓と省エネルギー化、日本の産業競争力強化に大きく貢献することができる。

2. 研究開発マネジメントについて

2.1 事業の目標

本事業は、既存の有機ケイ素原料製造プロセスに代わる新たな革新的省エネプロセスと高機能な有機ケイ素部材の新規製造プロセス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するもので、有機ケイ素産業のエネルギー制約を克服するために不可欠な研究開発である。本技術の確立は、日本国の有機ケイ素産業の国際的な競争力強化につながる。

本事業は、2012年度から未来開拓研究プロジェクトの1つとして経済産業省直執行事業で開始され、2014年度からNEDO事業として実施している。本事業の研究開発項目は二つに分けられる。第一の実施内容は、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」であり、以下の内容を実施する。

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」

- 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

本事業における第二の実施内容は、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」であり、以下の内容を実施する。

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」

- 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

本事業では、2014年度（事業開始から通算して3年目、2014年9月26日に実施済）、2016年度（同5年目、2016年10月28日に実施済）、2019年度（同8年目、2019年8月2日に実施予定）に中間評価を実施する。各々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。

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。ただし、研究開発項目のうち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)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%、有機ケイ素原料の選択率50%を達成する。ただし、研究開発項目のうち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)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、その工業的実施可能性を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」

【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。

最終目標と中間目標の設定の考え方は以下の通りである。

最終目標として研究開発項目①は、1kgスケールでの目標数値(ケイ砂の反応率50%、有機ケイ素原料の選択率50%)の達成を設定している。これは、1kgスケールあれば、化学工学的な検証も一定程度まで可能であり、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ことによる。なお、目標数値は実施内容の難易度を考慮して設定した。

研究開発項目②についても、最終目標として1kgスケールでの目標数値(有機ケイ素原料の反応率80%、有機ケイ素部材の選択率80%)の達成を設定しているが、その理由は研究

開発項目①と同様で、目標数値についても実施内容の難易度を考慮して設定した。さらに、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も、それぞれ個別に最終目標を設定した。

中間目標に関しては、研究開発項目①で実施する研究開発内容は難易度が高いものが多く、類似の研究もほとんどなく参考となる知見も限られているため、可能性のある反応とそれに用いる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て、この方針により最終目標を達成するために必要なスケジュールを考慮して設定した。また、ケイ砂を原料として用いるには、その処理法や取扱いに関する開発も必要なため、ケイ砂の取扱いに関する研究開発についても、個別の中間目標を設定した。

研究開発項目②で実施する開発内容は触媒開発が精力的に行われているため学術的には参考になる知見は多いが、工業的に使用されている例は知られていない。このため、実用化技術として使用可能な触媒と触媒プロセスの開発は難易度が高いものと考え、最初に触媒の基礎探索を広く実施して触媒の候補を集めて、その後、順次絞り込みを行うことで、1 kgスケールでの最終目標を達成する最適な反応条件の指標を得る方針にしている。また、本研究開発項目で予定している触媒固定化技術の開発についても、個別の中間目標を設定した。

表 2.1-1 に、2019 年度中間目標とその設定根拠を示す。研究開発項目①、研究開発項目②とも、目標とする反応率と選択率を達成する反応経路と触媒の開発を継続しながら、1 kgスケールでの最終目標を達成するため、これらを達成するために必要な温度や反応条件等の最適な反応条件を得ることを目標にしている、

表 2.1-1 研究開発目標（2019 年度の中間目標）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)		

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。
②-2 ケイ素-酸素結合形成技術		<ul style="list-style-type: none"> 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。
②-3 ケイ素-ケイ素結合形成技術		
②-4 触媒固定化基盤技術		

2.2 事業の計画内容

2.2.1 研究開発の内容

2.2.1.1 研究開発スケジュール

本事業の研究開発スケジュールと予定している予算額を図 2.2.1-1 に示す。本事業は、2012 年度～2013 年度は経済産業省直執行事業（未来開拓研究 PJ）として実施された後、2014 年度から NEDO 事業として実施している。

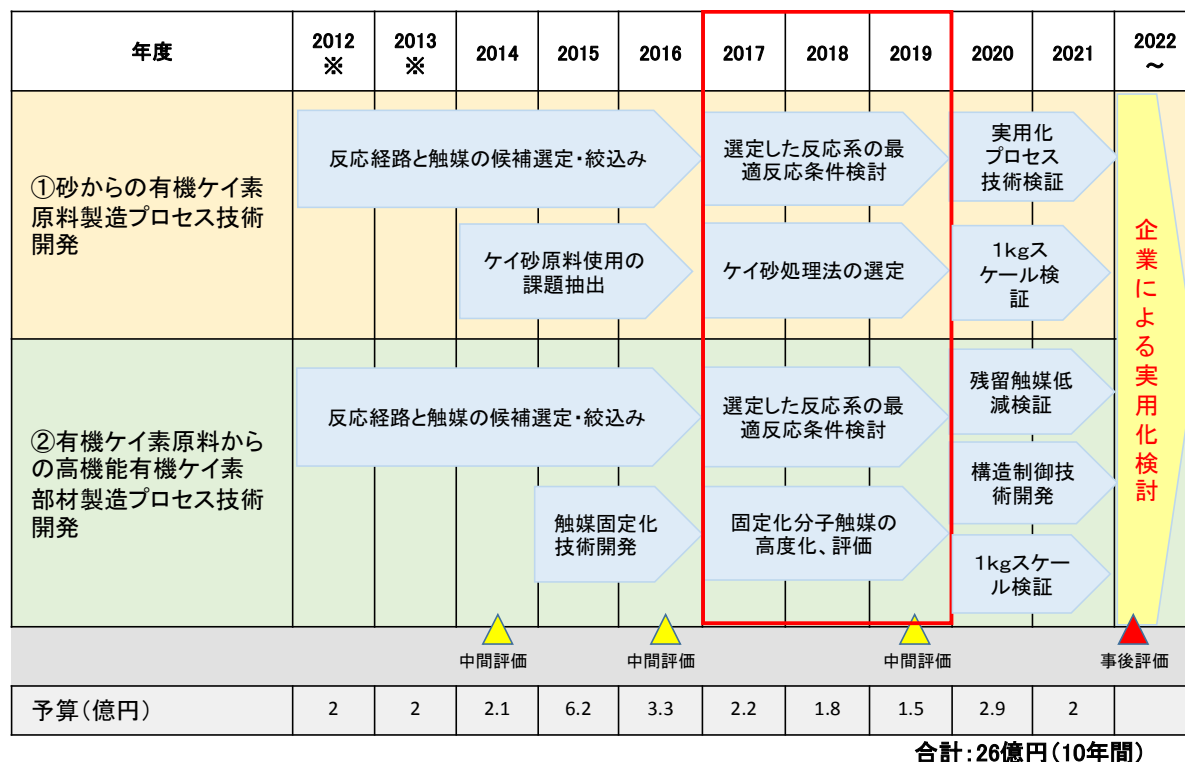


図 2.2.1-1 研究開発のスケジュールと予算額

研究開発項目①に関しては、2012 年度～2016 年度で、それぞれの反応経路と触媒を広く探索して有望な反応経路と触媒を絞り込んだ。その後、2017 年度～2019 年度で、絞り込んだ触媒候補に対して、1 kg スケールでの最終目標を達成するため必要な最適な反応条件の指標を得る検討を行った後、2020 年度～2021 年度に、最終的な 1kg スケールでの実用化可能性を検証する計画にしている。また並行して、2014 年度～2016 年度に、ケイ砂原料使用の課題を抽出した後、2017 年度～2019 年度にケイ砂処理方法選定を行い、2020 年度～2021 年度に実用化可能性を検証することになっている。

研究開発項目②では、研究開発項目①と同様、2012 年度～2016 年度で、それぞれの反応経路と触媒を広く探索して有望な反応経路と触媒を絞り込んだ。その後、2017 年度～2019 年度で、絞り込んだ触媒候補に対して、1 kg スケールでの最終目標を達成するため必要な最適な反応条件の指標を得る検討を行った後、2020 年度～2021 年度で、最終的な 1kg スケールでの実用化可能性を検証する計画にしている。さらに並行して、2015 年度～2019 年度に、触媒利用のための触媒固定化技術の開発を行い、2020 年度～2021 年度に、残留触媒の低減検証と有機ケイ素部材の構造制御技術を完成させる。

2.2.1.2 研究開発項目の内容

研究開発項目①と②の具体的な内容を以下に示す（図 2.2.1-2～図 2.2.1-3）。

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」

①革新的触媒技術(砂から有機ケイ素原料)

砂(シリコンの周りは全て酸素)から金属ケイ素にする(多量のエネルギーをかけて還元する(シリコンから酸素を取る))ことなく、Si-O結合を残したまま有機ケイ素原料を作ることができる触媒の開発が鍵。

(開発項目)

- ①-1、-2 Q単位構造中間原料を経由する有機ケイ素原料製造技術の開発
- ①-3 Q単位構造を基本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する有機ケイ素原料製造法の開発

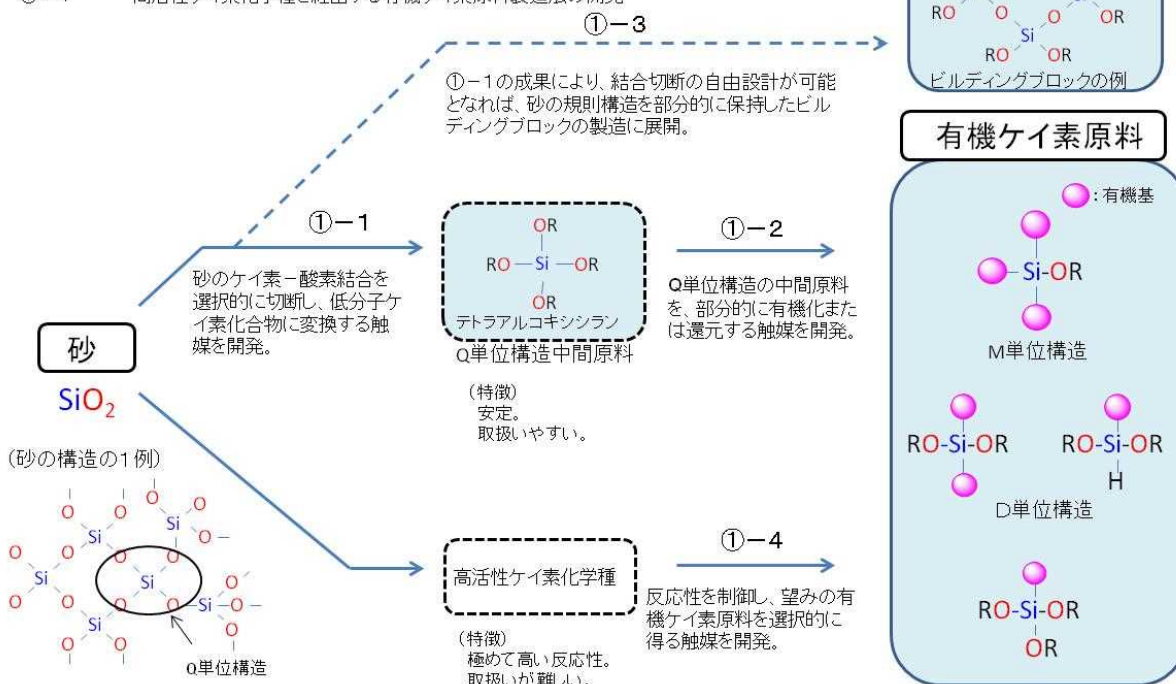


図 2.2.1-2 研究開発項目①の概要

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

砂からの有機ケイ素原料製造に関して、固体原料である「砂」のケイ素-酸素結合を開裂することにより低分子化して、液体または溶媒に可溶なQ単位構造中間原料（テトラアルコキシシランなど）に変換する反応経路に関する触媒技術の研究開発を行う。テトラアルコキシシラン合成は、アルコール、金属アルコキシド、炭酸ジアルキル等をケイ砂（シリカ）と反応させる方法等を検討する。

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

テトラアルコキシシラン等のQ単位構造中間原料からの有機ケイ素原料製造として、有機化剤を用いて有機基をケイ素上に導入する方法、酸素原子を還元剤で取り除く方法等に有用な触媒技術の開発を行う。

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

砂の規則構造を部分的に保持したQ単位構造を基本構造とするビルディングブロックを選択的に切り出すための触媒技術の開発を行う。（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

砂から高活性ケイ素化学種を経由して有機ケイ素原料を製造する方法の開発を行う。
(2018年度から中止)

①-5 その他の反応

金属ケイ素を経由しない有機ケイ素原料の効率的な製造技術の開発は極めて難易度が高いことから、①-1～①-4以外の方法についても検討する。
(2019年度から中止)

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」

②革新的触媒技術(有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材)

高機能有機ケイ素部材を構成する「ケイ素-炭素結合」、「ケイ素-酸素結合」、「ケイ素-ケイ素結合」を自在に形成することを可能にするための触媒を用いた反応の基盤技術を確立することが鍵。

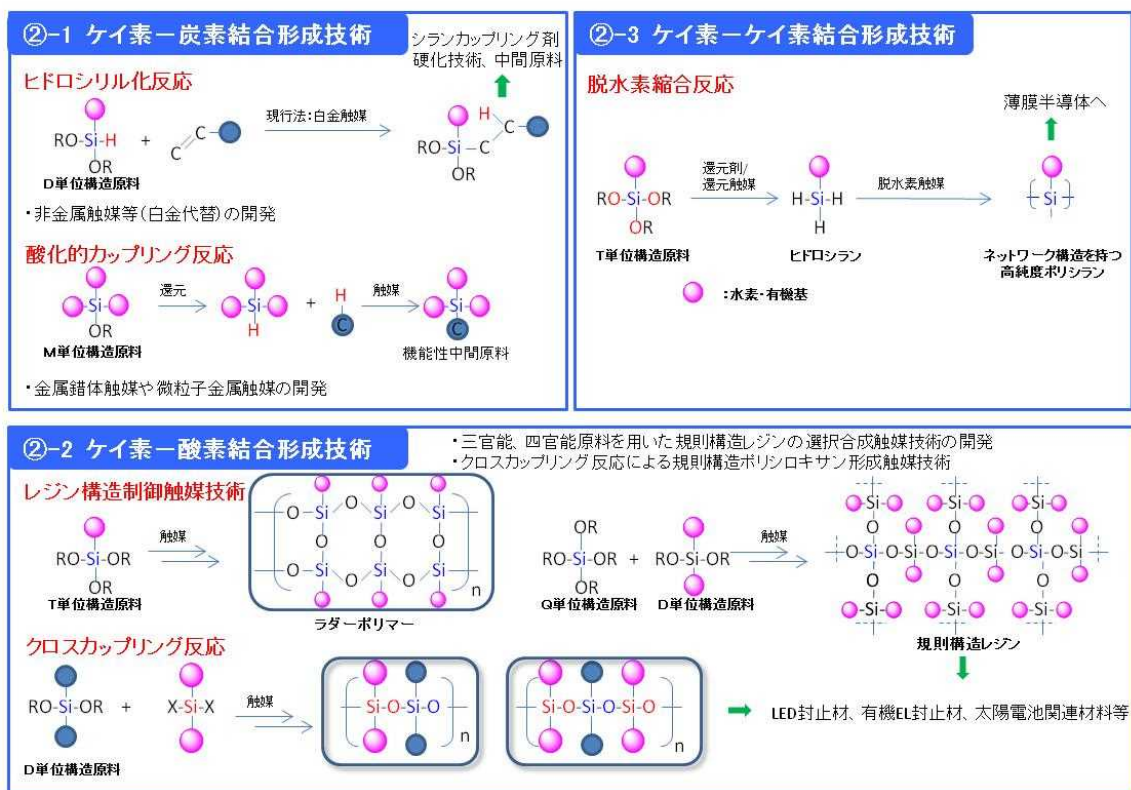


図 2.2.1-3 研究開発項目②の概要

②-1 ケイ素-炭素結合形成技術

ケイ素-炭素結合形成法として、白金触媒を用いるヒドロシリル化反応、有機マグネシウム原料を用いる方法などがあるが、前者は触媒コストが高い、白金触媒が製品中に残存して製品品質に悪影響を及ぼす、反応系により白金触媒が使用できないなどの課題がある。また後者では、原料コストが高い、副生マグネシウム塩が多量に発生するなどの課題もある。ここでは、これらの課題を解決するため、ヒドロシリル化反応用の非金属や卑金属触媒の開発、高価な有機マグネシウムなどの有機金属原料を使用しない高効率・高選択的な反応の開発を目指した、新規なケイ素-炭素結合形成技術の開発を行う。

②-2 ケイ素－酸素結合形成技術

ケイ素－酸素結合は、原料のクロロシラン類やアルコキシシラン類の加水分解反応で形成されるのが一般的であるが、ランダムに反応が起こり、結合形成の制御も容易でない課題がある。このため、反応制御しながらも特異的なシリコーン構造を構築するための技術として、ケイ素－酸素結合を選択的に形成できる触媒技術の開発や、シリコーンのクロスカップリング反応技術の開発を行う。また、これら技術を、はしご型ポリシロキサンやかご状シロキサンなど構造が制御されたシリコーンや、異なる単位構造が規則的に配列した規則性シリコーンなど、特徴的な物性が期待されるシリコーンの合成の検討に展開しながら、得られるシリコーンの構造解析手法も検討する。

②-3 ケイ素－ケイ素結合形成技術

ケイ素－ケイ素結合形成は、通常、クロロシランをナトリウム等の金属を用いて還元的にカップリングさせる方法に限定されているが、構造制御が困難であることと、塩素化合物やナトリウム塩の混入により、生成物を電子機器部材等に用いる場合は性能劣化の原因となる課題がある。このため、これらを用いない、ヒドロシランの脱水素縮合等によるケイ素－ケイ素結合形成法の開発とその製造法の開発を行う。

②-4 触媒固定化基盤技術

ケイ素－炭素結合形成や、ケイ素－酸素結合形成等の有機ケイ素部材合成反応に高活性・高選択性を示す触媒活性種（分子触媒、金属ナノ粒子など）をシリカなどの担体に固定化することにより、有機ケイ素部材製造プロセスにおける触媒の分離・リサイクルを容易にして、製品純度を高めるだけでなく、連続流通プロセスでの生産性向上を実現させるための基盤技術の開発を行う。具体的には、触媒機能を最大化するための担体の開発、担体への触媒活性種の固定化技術の開発、固定化触媒によるケイ素部材合成技術の開発とプロセス化に向けた実用化について検討する。

なお、②-4は、②-1～②-3で開発した触媒を固定化するための技術であることから、触媒開発が進んでから実施すべき内容であり、2015年度以降に検討を開始して、2016年度末に有効性を見極めることとする。

2.2.2 研究開発の実施体制

研究開発の実施体制は、本事業を2014年4月に経済産業省からNEDOに移管するとき、プロジェクトマネジメントを強化する目的で変更した。変更前（2012年度～2013年度、経産省直執行事業）の体制を図2.2.2-1、変更後（2014年度、NEDO事業）の体制を図2.2.2-2に示す。変更前の体制は、独立行政法人（現在は国立研究開発法人）産業技術総合研究所（産総研）を委託先として、大阪市立大学、群馬大学、早稲田大学、関西大学の4機関を産総研からの再委託先とする体制で実施した。有機ケイ素部材の製造企業3社（信越化学工業株式会社、東レ・ダウコーニング株式会社、昭和電工株式会社）は、産総研に設置された集中研への研究員出向の形で参画した。変更後の体制は、産総研の再委託先であった大阪市立大学、群馬大学、早稲田大学、関西大学をNEDO委託先として、委託先は産総研を含めて5機関とした。有機ケイ素部材の製造企業3社は集中研への研究員出向で参画を継続した。

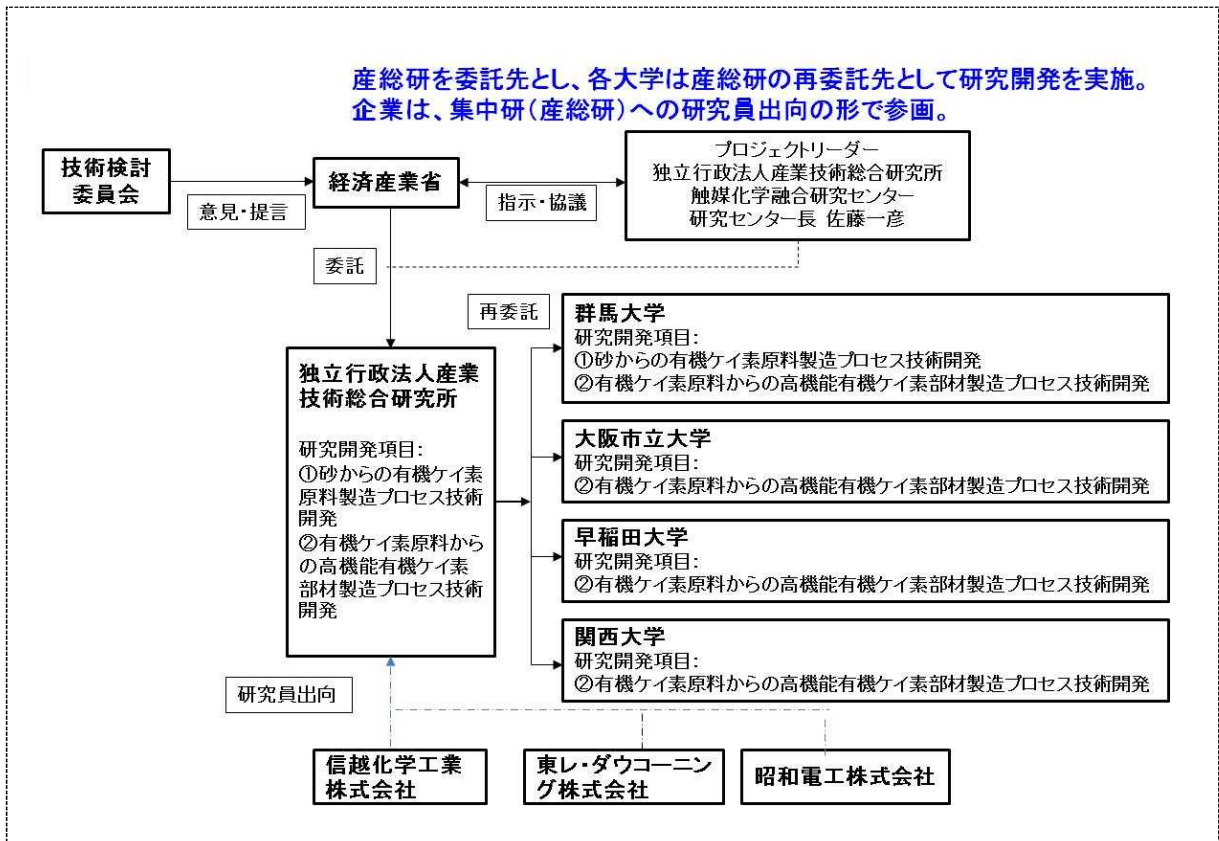


図 2.2.2-1 本事業における研究開発の実施体制 (2012 年度～2013 年度)

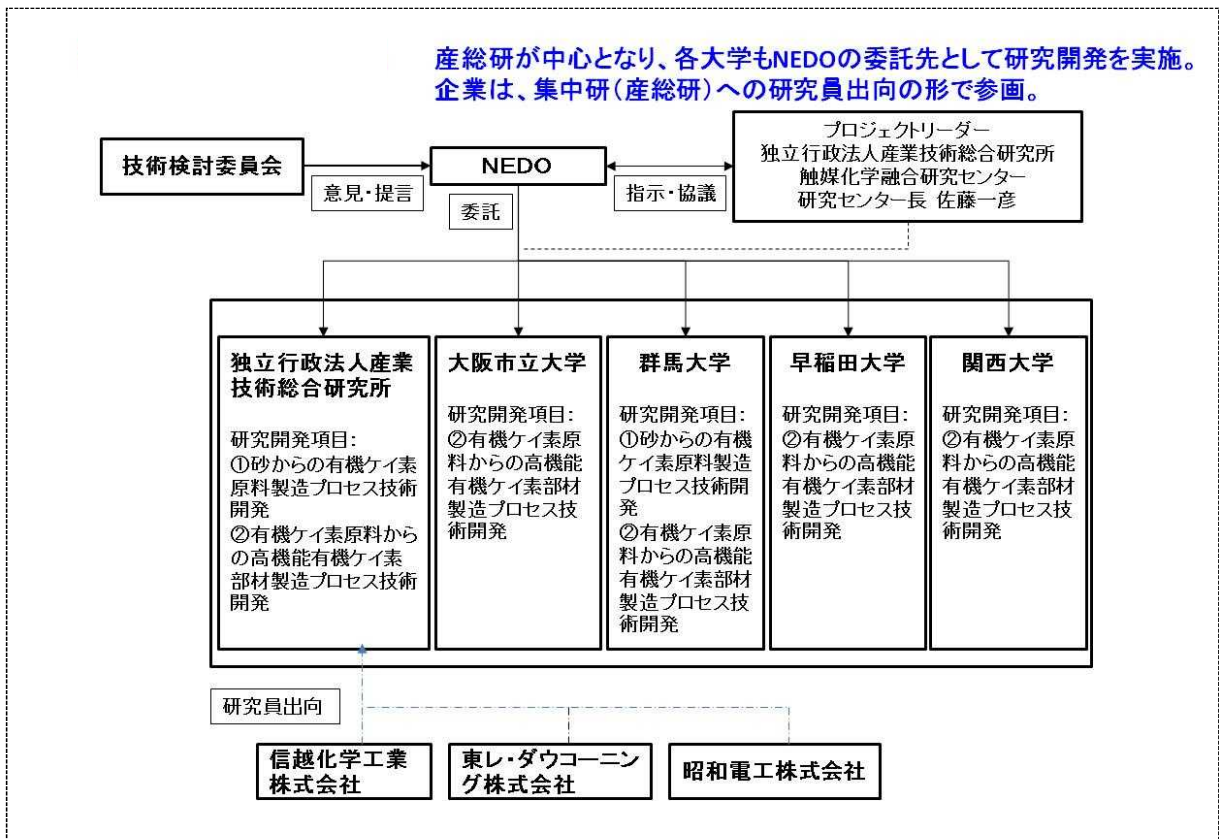


図 2.2.2-2 本事業における研究開発の実施体制 (2014 年度)

2015 年度からは、産学官の密接な情報交換の下で効果的・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ていくため（2014 年度の間評価での指摘）、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）を共同実施先として参画する体制を構築した。共同実施における人件費等は企業側負担である。企業側負担での参画（共同実施）は、実用化を担う企業にとって本事業が魅力あることを示唆している。なお、大阪大学を産総研の再委託（研究開発項目①-2のうちアルコキシシランの水素化反応を担当）として要素技術開発を促進している。

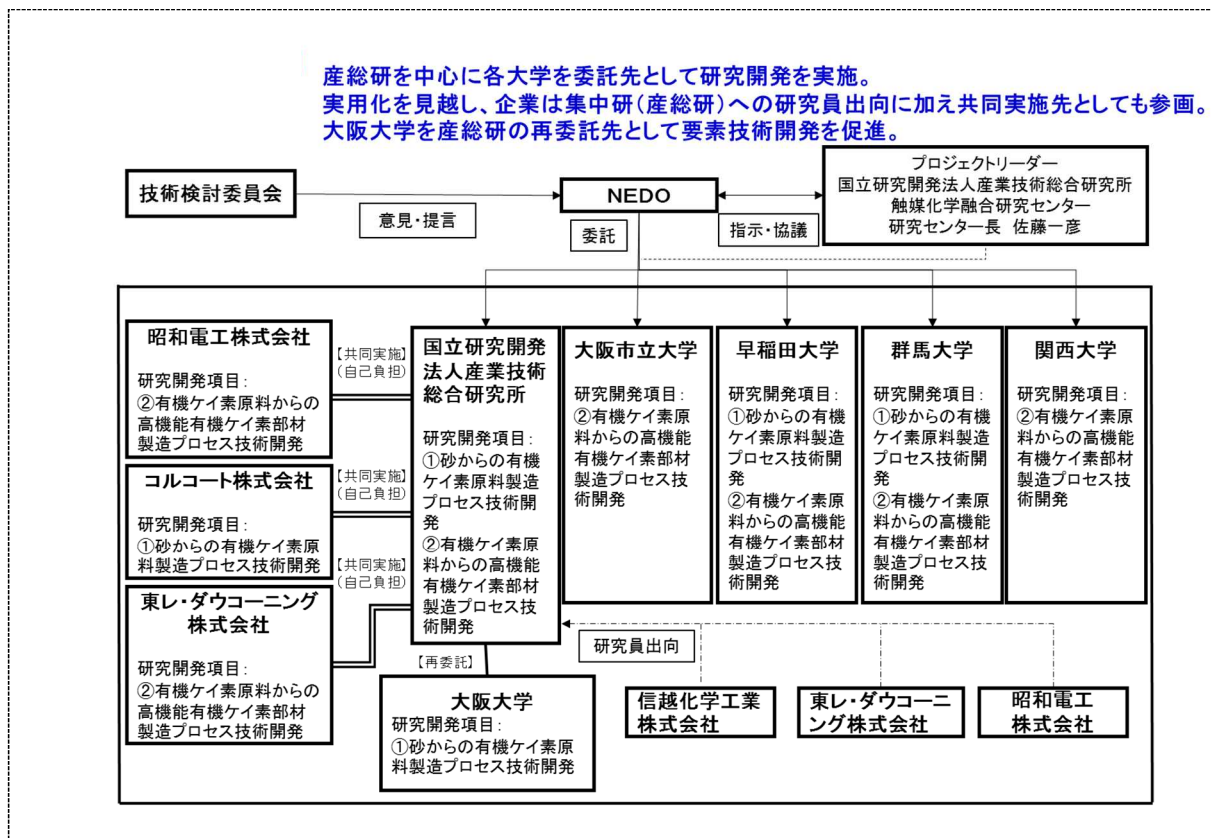


図 2.2.2-3 本事業における研究開発の実施体制（2015 年度～2016 年度）

2017 年度から、北里研究所（北里大学）を大阪市立大学の再委託（研究開発項目②-1のうち新規な鉄錯体触媒の開発）として要素技術開発を促進している。

なお、東レ・ダウコーニング株式会社の親会社であるダウコーニング株式会社は、ダウケミカル株式会社とコーニング株式会社の 50%ずつ出資する合弁会社であったが、2017 年 6 月に、ダウケミカル社の 100%子会社となり、プロジェクトへの参加が困難になり、東レ・ダウコーニング株式会社は本事業から脱退している。ただし、東レ・ダウコーニング株式会社が担当していた内容は、共同実施先の産業技術総合研究所が引き継いでいるため、事業遂行上に問題はない。

なお、経済産業省直執行、NEDO 事業のいずれの事業においても、産総研・触媒化学融合研究センターの佐藤一彦研究センター長にプロジェクトリーダー委嘱している。佐藤一彦

研究センター長は、アカデミア（大学）での触媒開発の経験と、産総研における企業との共同研究による開発技術の実用化の経験を有しており、本事業のような、触媒の基礎探索からプロセス開発や実用化までを見据えて進めていく必要のある技術開発を牽引するのに最適なプロジェクトリーダーである。

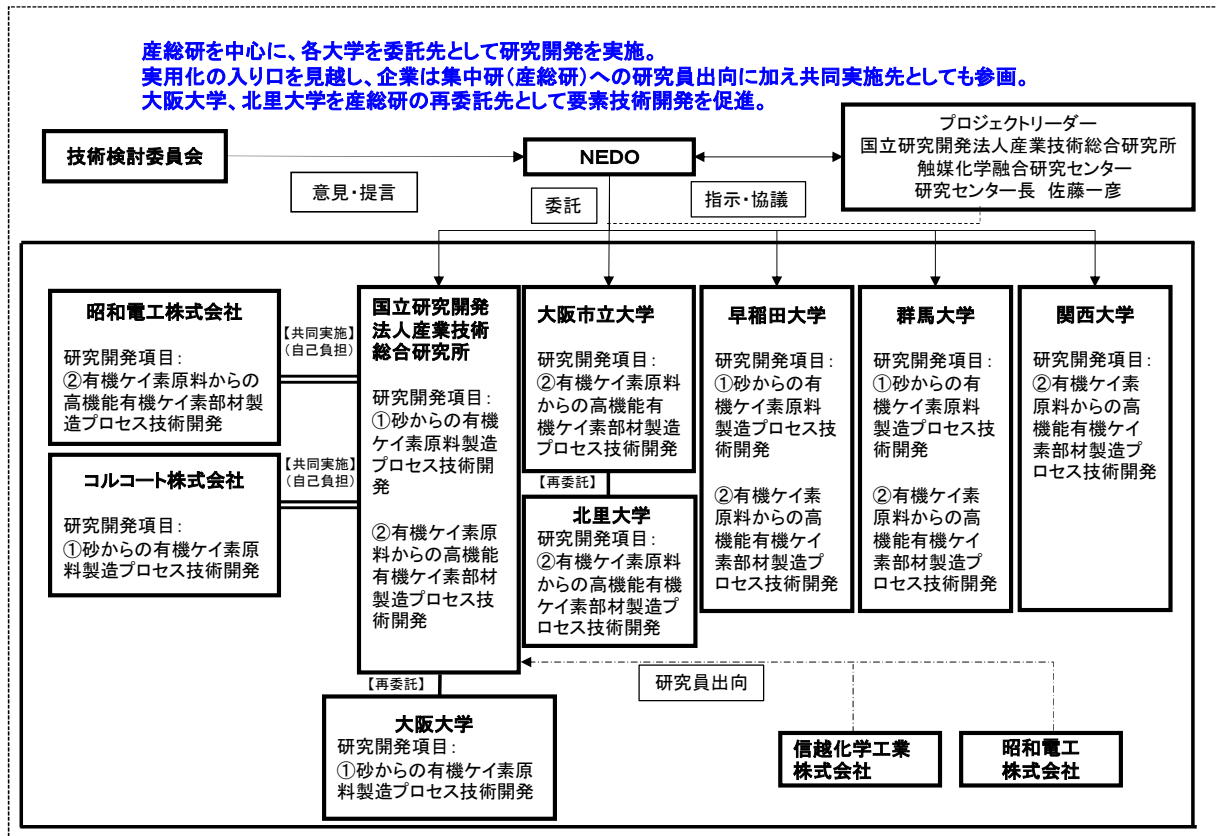


図 2.2.2-4 本事業における研究開発の実施体制（2017年度～2019年度）

2.2.3 研究開発の運営管理

NEDOでは、化学産業における国内外の技術動向を把握しながら、実用化に向けたプロジェクトマネジメントを経済産業省及びプロジェクトリーダー等と連携して行っている。

さらに、NEDOは、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として、外部有識者で構成される技術検討委員会を設置している。技術検討委員会では、研究開発の進捗把握、プロジェクトの方向性や中間評価結果への対応、個別の研究開発の内容に関する指導があり、技術検討委員会での意見コメントを参考に、本事業の推進を最適化する等の効果的な事業推進を図っている。

技術検討委員会は、本事業が経済産業省の直執行であった2012年度～2013年度にもNEDOが事務局となり開催（年一回）して、経済産業省との連携により外部有識者の意見を運営管理に反映した。2014年度のNEDO移管を機会に、進捗状況や外部情勢の変化を適切に運営管理に反映することを目的として、2015年度からの技術検討委員会の開催頻度は年2回（中間評価の予定されている年度は年1回の開催予定）とした。なお、2019年度は、

技術検討委員の意見を参考に、2019年度中間評価結果を翌年以降の実施方針に反映させる予定である（表 2.2.3-1）。

本事業における技術検討委員会の委員（外部有識者）を表 2.2.3-2 に示す。事業を開始した 2012 年度は、3 名の有識者（持田委員長、寺田委員、室井委員）に委員委嘱をしたが、2013 年度には 2 名の有識者（辻委員、松川委員）に追加委嘱を行い、5 名の委員会体制としている。さらに 2018 年度には 1 名の有識者（長瀬委員）に追加委嘱を行い、現在は 6 名の技術検討委員会体制としている。この技術検討委員は、今後の事業進捗に応じて、意見が必要となる分野の有識者についてさらに追加を検討する。

表 2.2.3-1 技術検討委員会の開催(予定)履歴

開催年度	開催日時		場所
2012 年度	第 1 回	2013 年 2 月 27 日	経済産業省
2013 年度	第 2 回	2014 年 1 月 27 日	経済産業省
2014 年度	第 3 回	2014 年 11 月 19 日	産業技術総合研究所
	第 4 回	2015 年 2 月 26 日	NEDO 川崎本部
2015 年度	第 5 回	2015 年 10 月 9 日	NEDO 川崎本部
	第 6 回	2016 年 2 月 4 日	NEDO 川崎本部
2016 年度	第 7 回	2017 年 1 月 6 日	NEDO 川崎本部
2017 年度	第 8 回	2017 年 11 月 16 日	NEDO 川崎本部
	第 9 回	2018 年 3 月 1 日	NEDO 川崎本部
2018 年度	第 10 回	2018 年 10 月 19 日	NEDO 川崎本部
	第 11 回	2019 年 2 月 15 日	NEDO 川崎本部
2019 年度	第 12 回	2019 年 12 月初旬～下旬	NEDO 川崎本部（予定）

表 2.2.3-2 技術検討委員会委員

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

NEDO は、事業開始から現在に至るまで、佐藤一彦プロジェクトリーダーが開催している有機ケイ素プロジェクト「全体会」に、定期的にオブザーバー参加をしている。事業者間の議論を通じた研究開発の進捗把握と、プロジェクトリーダー、委託先、業界団体、業界関連会社に対するヒアリングを必要に応じて行うことで、研究開発目標の達成度や課題把握を行い、事業の運営管理に反映している。

2.2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

2.2.4-1 実用化につなげる戦略

本事業は、基礎的・基盤的な研究開発であるが、実用化を進める上では民間企業の関与が必須であることから、民間企業の研究者を「産総研特定集中研究専門員」として産総研（集中研）に登録することで、初期段階から企業視点を入れた研究開発として進めている。企業の研究者が産総研の研究者と日常的に議論を深耕できるため、相互のシナジー効果も発揮されて実用化を指向した成果が効率的に創出されている。

また、実用化の可能性が高い研究開発項目については、産総研からの技術移転を早めるため、民間企業の共同実施者の社内でプロジェクトによる触媒技術をオンサイト検討する体制を構築をしている。

さらに NEDO では、有機ケイ素技術動向と市場調査を、業界誌、Web 検索などから定期的実施して、プロジェクトの実施方針に反映している。2017 年度には、開発促進財源予算を投入して「有機ケイ素に関する技術動向と市場の調査」を実施した。この調査でニーズを把握した外部刺激応答性の触媒については、2018 年度からの実施方針に追加することで実用化に向けた事業推進を行っている。

(**2014 年度にも「有機ケイ素製造プロセスの技術動向及び有機ケイ素部材の開発ニーズに関する検討」を調査実施している。)

同時に NEDO では、プロジェクト成果を展示会出展する広報活動により、実用化に向けたビジネスマッチングを実施している。具体的には、エコプロ展 2017（2017 年 12 月 7 日～9 日）、nanotech2018（2018 年 2 月 14 日～16 日）、nanotech2019（2019 年 1 月 30 日～2 月 1 日）に出展しており、有機ケイ素部材を使用するエンドユーザからのニーズを事業者と議論するとともに、実用化の可能性に応じて、その都度、プロジェクト成果を共同研究に展開するためのビジネスマッチングを実施している。なお、プロジェクト成果の展示会出展による広報活動は 2019 年度も継続して実施する予定である。

2.2.4-2 知財マネジメント

経済産業省と NEDO の委託事業では、日本の技術競争力の強化や世界的な市場の獲得を目指して、研究開発の成果である知財を創生する知財マネジメントを、各々の事業の特徴を考慮しながら実施している。

本事業は、2012 年度に未来開拓研究プロジェクトの一つとして、経済産業省の直執行で開始された。「未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針」（経済産業省 平成 24・03・21 産第 5 号）では、「未来開拓研究プロジェクトにおいては、参加者のシナジー効果の発揮等によるプロジェクトの目的（研究開発の成功と成果の事業化による国益の実現）

達成を確実にするため、知的財産について適切な管理を行う。」との記載があり、知的財産が原則として参加者に帰属することを前提に、プロジェクトの推進を阻害する要因を防止するため、プロジェクトごとの事情に応じた適切な措置を講ずることが必要とされている。経済産業省の直執行期間においては、この考え方に基づいて作成された「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」を策定の上、「知的財産権の取扱いに関する合意書」を関係者間で取り交わし、これらに従って知財の管理を行っている。

本事業が2014年度にNEDOに移管されてからは、経済産業省の定める「未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針」に加えて、NEDOの定める「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づいた知財マネジメントも実施している。具体的には、「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」の見直しを行い、合意書を実施者間で取り交わした上で、これに基づいた知財管理を2014年度から行っている。なお、この規程の概要は以下の通りである。

- ・ 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。
- ・ 知財権実施等に対する障害の排除。
- ・ 大学への不実施補償なし。

以上のように、本事業では、日本の技術競争力の強化や世界的な市場の獲得を目指した「知財マネジメント」体制が厳密に整備されており、その効率的な運用も図られている。

2.3 情勢変化への対応

(1) NEDO 移管時における採択審査

本事業は 2012 年度に未来開拓研究プロジェクトの一つとして、経済産業省の直執行で開始されたが、3 年目となる 2014 年度に経済産業省から移管されて NEDO 事業となった。実用化を目指すプロジェクトマネジメントを強化する目的で変更した NEDO 移管時の体制変更の妥当性は、表 2.3-1 に記載の外部有識者による「採択審査委員会」に諮問した。

表 2.3-1 NEDO 移管時における採択審査委員会委員

区分	氏名	所属	役職
委員長	御園生 誠	東京大学	名誉教授
委員	染宮 昭義	神鋼リサーチ株式会社	主席研究員
委員	府川 伊三郎	(元)福井工業大学	教授

(2) 研究開発体制の変更

本事業を効果的・効率的に推進するには、産学官の綿密な連携によるデータ収集を行い、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り、2014 年度中間評価でも同様の事項が指摘がされた。このため、民間企業の研究者が産総研に出向することだけでなく、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）が産総研の共同実施先として参画する体制構築をした。これは、産総研からの技術移転を早めるだけでなく、実用化検証が民間企業の社内でオンサイト検討できるため、実用化の可能性を高確度で判断できる。

(3) 研究開発項目の選択集中

事業成果の実用化に向けたプロジェクトマネジメントとして、研究開発項目の選択を 2016 年度から実施している。具体的には、研究開発を進めた結果、実用化が難しいと判断した研究開発項目①-4 を 2016 年度で終了としている。また、プロジェクト成果を実用化に移行するまでには、さらなる研究開発リソース（研究開発期間と研究費）が必要と判断された①-3 を 2018 年度から中止にしている。さらに、研究開発を確実に遂行する必要がある研究開発項目①-2 と②-2 にリソースを集中するため、研究開発項目①-5 は 2019 年度から中止にしている。

2.4 中間評価への対応

(1)2014 年度中間評価

「総合評価」＜肯定的意見＞では、「本テーマは高付加価値材料である有機ケイ素原料の素原料を国内産原料に転換しようとする意欲的なもので、産業の国際競争力強化、雇用確保に貢献する産業戦略上重要なテーマである。有機ケイ素原料の原料供給を、現在海外の技術で海外の企業により生産されている金属ケイ素に頼らず、国内の企業により実施可能な反応・技術を新たに開発することにより実現しようとするプロジェクトであり、これを遂行する意義は極めて大きい。学術的にも産業的にもインパクトがあり、世界に先駆けたチャレンジングなテーマ設定であり大変素晴らしい。これまで多くの研究成果を挙げていることに感激すると共に、ほぼ当初の目標を達成されていると感じた。今後、より大きな成果を挙げられることを多いに期待している。」などを頂いている。

なお、「総合評価」＜問題点・改善すべき点＞での指摘事項には、下記の対応をした。

1. 研究項目①においては、エネルギー消費、経済性がポイントであり、従来プロセスと比較してどの程度改善されうるか、具体的プロセスを想定しそれに依拠した現実性のある定量的評価を実施すべきである。現在の評価法は早急に改善すべき。研究項目②は機能がポイント。これについても具体的な機能を早い時期に想定することを期待したい。
(対応) 研究項目①は、民間共同実施者と共に研究開発を進めることで、現行比較での経済優位性を考えたプロセスを開発して現実的な評価を開始した。研究項目②は、民間から共同実施者を募集して、川下で有機ケイ素部材を展開する想定を開始した。
2. 当初構想では素原料・中間原料・製品がシリーズになっており、中間原料が定まらないと、製品化へのルートも定まらない。中間原料を数種類の中核的物質に絞り込んで、当初構想の実験室レベルでの一貫通貫の実証を優先的に実施する必要がある。
(対応) 実験室レベルで実証可能なサンプル量が得られてから実施する(2017年度以降)。
3. 商業化を見据えたより明確な目標設定とそれを実現するための開発すべき要素技術の明確化が必要ではないか。研究テーマ全体の資源配分の再検討が必要ではないか。「やるべきこと」ではなく「やれること」に偏っている傾向も見える。
(対応) 早期の商業化を実現するため、民間企業との共同研究実施体制を構築して、市場要求のある具体的な化合物製造のための要素技術を開発した。
4. 有機ケイ素原料を砂から得るという研究項目①においては、アルコキシシランの合成という大きな成果を上げているものの、産業的なインパクトを念頭に置いて目標とすべきアルキルアルコキシシラン類またはアリールアルコキシシラン類の合成については、要素技術開発の具体的な道筋が未定である。人的、および研究資源を投入してこの課題の解決に注力すべきと思われる。
(対応) ナノ金属触媒を使用することで達成した。
5. 砂から汎用有機ケイ素原料の製造プロセスに関する開発研究のプロジェクト全体における比重が相当大きいと推定される。しかし実際には、ここへの研究資本の投下が少ないように思われる。

(対応) NEDO 加速資金の投入を行い、複数の製造プロセス候補を抽出した。

6. 研究開発を担当するメンバーが有機金属化学関係に片寄っており、問題の捉え方が有機化学的な視点に偏る恐れがある。今後、無機化学やプロセス工学等の研究者の参加を積極的に受け入れる必要がある。

(対応) 無機化学の研究開発の中心となる研究者を2名増強するとともに、共同実施先として事業を持つ民間企業との連携研究を開始した。

7. 技術委員会のメンバーに、企業からの参画者を増やすべきと感じる。年に1度一年間の成果に基づいて、その後の取り組み方と開発技術の応用展開について、しっかりとした議論を行うことが望まれる。特に研究項目②で新たに見出された触媒反応および新規化合物など、短期での実用化の可能性の高いサブテーマについては、上記技術委員会での議論を踏まえた上で、研究推進加速予算などを活用して、十分な支援体制を構築すべきと考える。

(対応) NEDO 加速資金を利用して、民間企業の複数社と短期実用化の可能性が高いサブテーマの研究開発を集中的に実施した。成果は共同で特許出願されている。

(2) 2016年度中間評価

「総合評価」<肯定的意見>では、「酸化ケイ素を出発物質として一貫通貫でシリコン等を製造する新しい体系と応用を生み出す研究指向は、限られた日本の資源エネルギー環境にあっては望ましい取り組みであり、新産業を生み出す可能性を秘めている点、大変有意義である。エネルギーや環境問題を考えれば取り組みは至極当然の方向であるので、これまで成立してこなかった方が不思議なくらいである。研究計画やマネジメントは、ケイ素化学の広さ、また開拓領域の広さゆえに、比較的広範囲にわたっているが、それぞれにおいて斬新なアイデアと企業ニーズを取り入れ設定させており、中間評価時点においては有効なものになっている。すでに、酸化ケイ素からテトラアルコキシシランの合成に成功し、実用性と工業的实施性を検証しつつあり、最重要項目の第一段階はクリアできている。また、ケイ素化合物合成のため様々な基本要素技術も斬新な形で構築されつつあり、今後の成果が期待される。」などを頂いている。

なお、「総合評価」<問題点・改善すべき点>での指摘事項には、下記の対応をした。

1. 第一段階の反応に対し1kgで50%の反応率で50%の選択性である必然性は全くない。むしろ、選択性を高める方策の検討と実施、またより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実施するなど、レベルをスピーディにアップさせるべきであろう。スケールを上げたときに発生する様々な問題点がプロセス自体の実現可能性を極度に低下させることは多々あるので、かなり早い時期に問題点を洗い出し、対策を具体化させておくことが肝要である。

(対応) 研究開発項目①-1について、「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。」ことを基本計画と実施方針に明記した。さらに、実用化とコス

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、民間の共同実施者の社内で、プロジェクトによる技術検証をオンサイトで検討開始した。

2. Si-C 結合形成のモデル化合物が何れもアルキル/アリアル置換シラン化合物であり、テトラアルコキシシランに応用展開出来るかを早期に確認する必要がある。テトラアルコキシシランを原料とするジアルキル置換体の社会実装可能性を覗わせる成果は得られていない。当初構想実現の為のキーであるテトラアルコキシシランのジアルキル化技術開発への研究開発資源配分が相対的に低かった。この結果、実験室的な一貫通貫のシナリオ実証に至らなかったと理解する。

(対応) アルコキシシラン化合物を用いた検討によって得られた知見を基に、Q 単位構造中間原料 (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の触媒種と反応条件の検討を開始した(2017 年実施方針、実施計画書に記載)。また、ジアルキルジアルコキシシランを得る複数の合成経路を検討してきたが、実用化の見込みが低い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)については 2016 年度末で検討を終了した。

3. Si-C 結合技術の開発が停滞している。この点がブレークスルーできないと本プロジェクトの成功はあり得ない。配位子を含めた 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をつかんで欲しい。また Fe 触媒が材料系中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して欲しい。産総研含め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かをよく認識すべき。またシリコン工業からの実施者も、現状の実態を丁寧に説明すべき。Rochow 法は 50 年以上使われ続け高度にリファインされ、プロダクトミックス等のバランス含め高度に最適化・効率化されている。

(対応) 研究開発項目の選択集中により、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)に移行した。また、配位子を含めた Fe 触媒設計は民間企業との共同研究で実用化の可能性を検討開始した。さらに、NEDO による「有機ケイ素に関する技術動向と市場の調査」、企業との共同研究におけるニーズ説明、プロジェクト成果の広報活動を含めた展示会 (エコプロ展、nanotech 展など) 出展から、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継続的に把握している。なお、プロジェクト参画企業は、プロジェクト関連会議、産総研への研究員出向、共同研究を通して、アカデミア側に市場ニーズを継続的に説明もしている。

4. 評価委員から意見が出たように、「実用化」の意味するところをプロジェクトとして今一度コンセンサスを取り、今後は、それに向けて力を注いでいく必要がある。そのためには、何をどこまで本プロジェクト内でやり、どこからを企業と共同でやり、どこからを企業にまかせるかの見通しを立てる必要がある。

(対応) 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、民間企業でオンサイト検証できる見直しを実施した。

5. 「ケイ素-炭素結合」を直接形成させるプロセスだけでなく、ケイ素-炭素結合をはじめ様々な結合に容易に変換できる「ケイ素-水素結合」の形成にもっと重点を置き、そ

れを起点として直接法からは得られないケイ素材料を合成する経路を開発するのも一つの方向であると考えている。また、企業からの要望を聴き、それを取り入れて行くだけでなく、直接法にはない本プロセスの優れた特徴の発見に力を注ぎ、その特徴を活用したり企業側へ発信したりして行くこともまた重要であると考えている。

(対応) 研究開発項目①-2において、2019年度末に「テトラアルコキシシランの水素化反応に有望な触媒種を選定して最適な反応条件についての指標を得る」ことを実施方針に明記した。さらに、企業との共同研究を継続的に実施すると共に、展示会などでの成果PRを積極的に開始している。

6. テトラアルコキシシランからジメチルあるいはジフェニルジアルコキシシランの合成に道筋を拓く必要がある。原料を砂から得るという研究項目①においては、複数の天然砂からアルコキシシランの合成を行うという成果を上げている。このアルコキシシランのヒドロシランへの変換反応においてもモデル系で萌芽的な成果を得ているものの、産業的なインパクトを念頭に置いて目標とすべきメチルまたはアリアルアルコキシシラン類の合成については、要素技術開発の具体的な道筋が未だ不明である。同課題の解決への注力が必須である。現在、世界的にバルクで使われるこれらのシリコーン部材の合成が、ケイ素化学工業の低エネルギー化、低炭素化への鍵技術となろう。これに関連して、バルク有機ケイ素材料の低エネルギー合成手法の確立と、未踏機能性有機ケイ素材料の創出の明確な区別が必要と感じる。研究項目②で新たに見出された触媒反応および新規化合物など、短期での実用化の可能性の高いサブテーマについては、上記技術委員会での議論を踏まえた上で、研究推進加速予算などを活用して、前倒しで実用化のための十分な支援体制をNEDO側で構築すべきと考える。

(対応) 2019年度末に「Q単位構造中間原料(テトラメトキシシラン等)を出発原料とした場合の反応条件を精査して、有望な触媒種と反応経路の候補を選定する」ことを目標に、技術検討委員の知見を得ながら研究開発を推進しており、アルコキシシランのヒドロシランへの変換反応は、遷移金属ヒドリド錯体触媒を用いる方法の検討において、触媒配位子の更なる改良に重点をおくことにした(実施方針、実施計画に記載済)。さらに、バルク有機ケイ素材料の低エネルギー合成手法の確立は、小型ベンチプラントによる検討を予定しており、未踏機能性有機ケイ素材料の創出は、企業との共同研究により推進をしている。なお、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。ケイ素企業にヒアリングも実施して、外部刺激に応答して活性が変化する触媒系の開発を②-1に追加している。同時に、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実施している。

2.5 評価に関する事項

本事業は、2012年度から経済産業省の直執行事業とする前に、経済産業省での事前評価とパブリックコメントを実施した。さらに2014年度のNEDOに移管時には、NEDO環境部で事前評価とパブリックコメント（NEDO POST）を実施して、NEDO事業としての判断をした。経済産業省とNEDOにおける、事前評価書及びパブリックコメントを「事前評価及びパブリックコメント関連資料（添付資料②-1～②-5）」として別添する。

またNEDOは、技術的及び政策的な観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価と事後評価を実施する。経済産業省の直執行事業の開始年度（2012年度）から通算して3年目（2014年度（2014年9月9日に実施済））、5年目（2016年度（2016年10月28日実施済））、8年目（2019年度（2019年8月2日実施予定））に中間評価を実施して、事業終了年度（2021年度）の次年度に事後評価を実施する。

表 2.2.3-2 評価種類と実施（予定）時期の履歴

評価の種類	評価の実施時期	評価手法	評価事務局	評価項目・基準	評価委員
事前評価 （経済産業省）	2011年7月22日	外部評価	経済産業省	標準的評価項目・ 基準	添付資料 ②-1
事前評価 NEDO	2014年1月22日	外部評価	環境部	標準的評価項目・ 基準	添付資料 ②-4
中間評価 （2014年度）	2014年9月9日	外部評価	評価部	標準的評価項目・ 基準	表 2.3-3
中間評価 （2016年度）	2016年10月28日	外部評価	評価部	標準的評価項目・ 基準	表 2.3-4
中間評価 （2019年度）	2019年8月2日 （予定）	外部評価	評価部	標準的評価項目・ 基準	—
事後評価 （2022年度）	2022年度	外部評価	評価部	標準的評価項目・ 基準	—

表 2.2.3-3 中間評価（2014年度）評価委員

区分	氏名	所属	役職
分科会長	御園生 誠	東京大学	名誉教授
分科会長代理	染宮 昭義	(元)神鋼リサーチ株式会社	主席研究員
委員	河内 敦	法政大学	教授
委員	飛田 博実	東北大学	教授
委員	中村 正治	京都大学	教授
委員	昇 忠仁	三井化学株式会社	主席部員
委員	村上 正浩	京都大学	教授

表 2.2.3-4 中間評価（2016 年度）評価委員

区分	氏名	所属	役職
分科会長	上田 渉	神奈川大学	教授
分科会長代理	染宮 昭義	(元)神鋼リサーチ株式会社	主席研究員
委員	岩原 孝尚	株式会社力ネカ	高度専門研究者
委員	河内 敦	法政大学	教授
委員	飛田 博実	東北大学	教授
委員	中村 正治	京都大学	教授

3. 研究開発成果について

3.1 事業全体の成果

事業全体としては、表 3.1-1 に示すように、複数の課題で目標を上回る成果が得られるなど順調に進展している。①砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発に関しては、シリカとアルコールからのテトラアルコキシシラン製造において、実用化に向けて有望な無機脱水剤を用いる高収率・高選択的な新規製造法を見出すとともに、もみ殻燃焼灰など入手容易な種々の天然原料が利用可能であることや従来法に比べコスト優位性があることを示すことができる等、中間目標を 2019 年度前半に達成する成果を得た。また、最も困難な課題であるテトラアルコキシシランからのアルキルシランやヒドロシラン製造に関しても、テトラアルコキシシランのアルキル化が進行する触媒や安価な水素源を利用したヒドロシラン合成経路を見出すことができた。

一方、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に関しては、ケイ素-炭素結合形成技術において、反応開始剤が不要でハンドリング性が大幅に向上した鉄錯体触媒の開発に成功した。また温度による外部刺激に応答して活性を制御することができる金属微粒子触媒の開発に成功した。さらにアリル系基質やヘテロ原子含有基質のヒドロシリル化に有効な高性能触媒の開発に成功した。ケイ素-酸素結合形成技術においては、 Si(OH)_4 とそのオリゴマーの合成と粉体化に世界で初めて成功するとともに、オリゴシロキサンの高選択合成法の開発や、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。ケイ素-ケイ素結合形成技術においては、半導体原料として重要なジシランを脱水素カップリングにより製造する触媒技術において、実用に耐えうる収率・選択性・寿命を有する触媒の開発に成功し、目標を大きく上回る成果を得た。これらの成果は、従来技術に比べ大幅な省エネルギー・低コストプロセスとなるとともに、従来法では製造ができない新規有機ケイ素材料の開発に繋がる技術であり、ケイ素化学産業に留まらず、将来的に様々な産業分野において活用される素材を提供し、市場の拡大につながるものと大きく期待される。

表 3.1-1 事業全体の成果

目 標	研究開発成果	達成度	課題と解決方針 ※未達の場合のみ
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)	・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 CO ₂ 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。	達成	

<p>②有機ケイ素原料からの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)</p>	<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。 ・高機能材料への応用が期待されるかご型骨格シラノールQ_3H_8の合成と単離に成功した。オリゴシロキサンの高選択合成法の開発や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、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を達成すると見込まれる収率・選択性・寿命を有する触媒を見出し、目標を達成した。 ・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。 	<p>大幅達成</p>	
---	--	-------------	--

3.2 研究開発項目毎の成果

3.2.1 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発

シリコーンの原料である有機ケイ素原料は、1940年代に General Electric 社の研究員であった Rochow 博士により開発された直接法と呼ばれる方法により現在でも生産されている。この方法は、単体ケイ素（金属ケイ素）に塩化メチル等を銅触媒存在下で反応させる方法である。ここで用いられる単体ケイ素は、高純度なケイ石を電気アーク炉で、炭素を還元剤として溶融還元して製造される（図 3.2.1-1）。

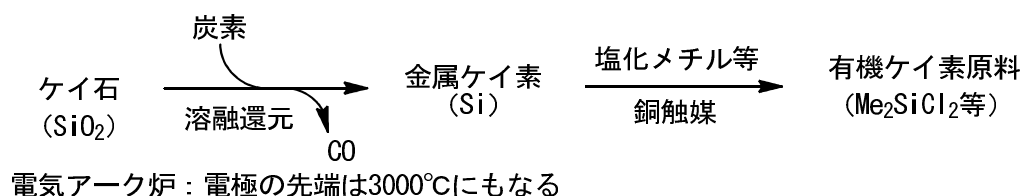


図 3.2.1-1 現行の有機ケイ素原料製造法

一方、シリコーンは主に図 3.2.1-2 に示す M、D、T、Q と呼ばれる 4 つの基本単位構造の組み合わせからなる高分子化合物である。上記の直接法で製造されるクロロシラン類を加水分解すると、下記の基本単位構造が形成されることになる。Q 単位構造を持つテトラアルコキシシラン (Si(OR)₄) は、シリコーンレジン等の重要な原料であるが、やはり金属ケイ素を経由して製造されるのが一般的である。原料であるケイ石の組成式は SiO₂ で示されるが、実際には無限の構造を持つ高分子物質であり、一つのケイ素原子は 4 つの酸素原子と結合を形成している (Q 単位と同じ)。ケイ素-酸素結合は大変強い結合 (結合エネルギー：約 450kJ/mol) であり、その結合を切断するには多くのエネルギーを要する。下記のシリコーンの基本構造を見れば明らかなように、いずれもケイ素-酸素結合を有している。したがって、シリコーンの原料 (基本単位) を製造する際、SiO₂ から一旦すべての酸素を取り除くのではなく、選択的に必要な分だけ有機基に置換する触媒技術を開発することができれば、大きな省エネルギー効果が見込まれる。

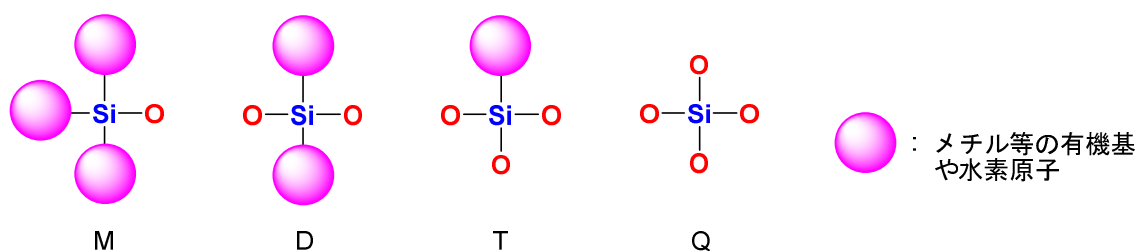


図 3.2.1-2 シリコーンの骨格を形成する単位構造

このような試みとして、Si(OCH₃)₄ を原料とする反応が General Electric 社より報告されている (Organometallics **2004**, 23, 6202; US Patent 6258971 (2001) など)。この反応では、CH₃Si(OCH₃)₃ などの生成が確認されているが、触媒反応ではなく水素化ナトリウムを過剰量用いる必要があり実用的ではない。このように、直接法を開発した General Electric 社においても、直接法を代替する方法の重要性が認識されており、シリコーンに関連する企業に

においてはその開発が試みられているものと推察されるが、これまで成功例は全く報告されていない。直接法の代替技術の開発は重要な課題である一方、極めて難しい課題である。

このような課題を解決するため、本開発項目では、下記に詳細を示す①-1、①-2、①-3、①-5の各課題に取り組んだ。なお①-4は2016年度までで検討を終了している。表3.2.1-1には、これら開発項目の成果をまとめて示した。

表 3.2.1-1 研究開発項目①の成果

	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。

3.2.1.1 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

図 3.2.1.1-1 に研究開発項目①-1 の 2017～2019 年度計画を示した。

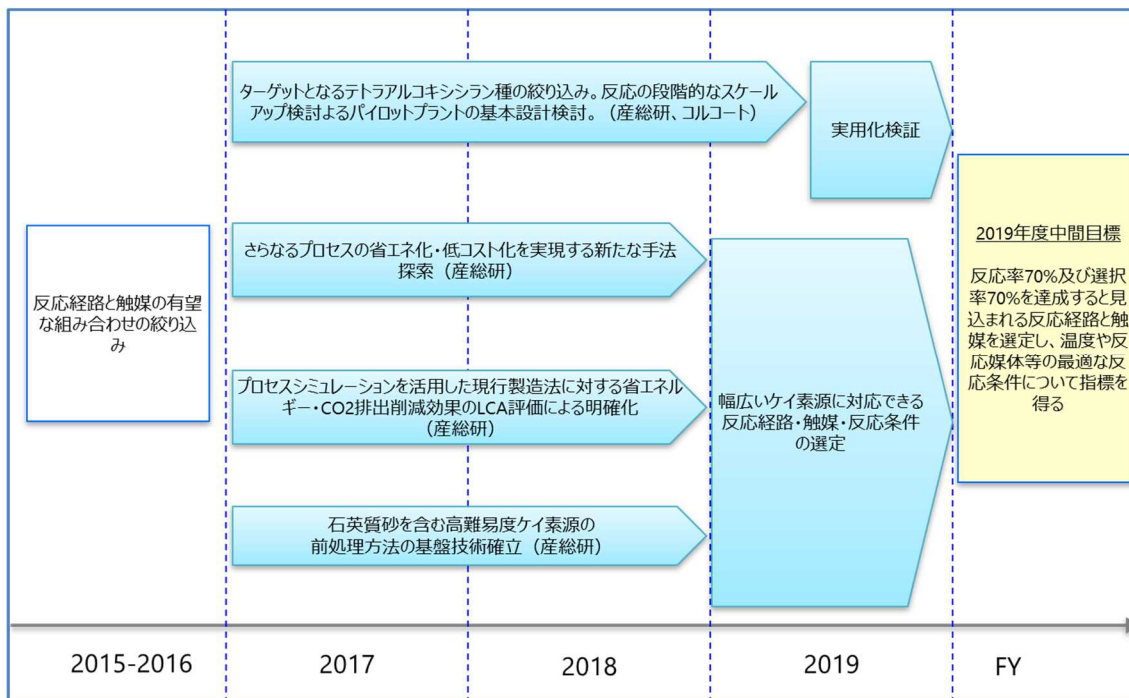


図 3.2.1.1-1 研究開発項目①-1 の 2017～2019 年度計画

3.2.1.1.1 SiO₂からのテトラアルコキシシランの直接合成

産業技術総合研究所（産総研）では、砂の主成分であるシリカ（SiO₂）のケイ素－酸素結合を開裂させることによる、低分子有機ケイ素原料の合成検討を行った（図 3.2.1.1-2）。具体的には、ケイ素化学産業の基幹原料の一つであり、シリコンなどさまざまな有機ケイ素材料の原料としても重要なテトラアルコキシシランを、金属ケイ素を経由することなく、シリカとアルコールとの反応により一段階で効率的に合成するための触媒及び反応条件の検討を行った。



図 3.2.1.1-2 各種ケイ素源でのテトラアルコキシシラン合成

安価で豊富に存在するケイ素源を原料として、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。また反応の段階的なスケールアップを行い、小スケールでの基礎研究フェーズと同等以上の目的物の収率を得られる反応条件を見出すとともに、最終目標（1kg での工業実施可能性の検証）に必要な反応装置について指針を得た。

今回開発した技術では、シリカとアルコールという安価でありふれた原料から金属ケイ素を経由せず、テトラアルコキシシランを高効率で合成できるため、有機ケイ素原料の省エネルギー・低コスト製造に繋がり、今後の有機ケイ素材料の利用拡大が期待される。2017～2019 年度における本研究開発項目の成果のまとめを図 3.2.1.1-3 に示す。

①-1:成果のサマリー

- ラボレベルの検討において反応率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、最終目標(1 Kgスケール)実現を視野に、段階的なスケールアップに成功
- スケールアップ検討の結果をプロセスシミュレーションに反映し、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
- 実用化の初期ターゲット化合物を選定し、実施企業(コルコート社)において、脱水剤の寿命評価や安価なSiO₂源の探索を実施

図 3.2.1.1-3 SiO₂からのテトラアルコキシシランの直接合成成果の概要

今後、市場動向や参加企業の意向も考慮しながら、パイロットプラント建設に向けた課題を明らかにするとともに、更なる省エネルギー化を図るため、プロセスの改良を行う。

3.2.1.2 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

本開発項目では、砂からの直接製造が可能と考えられる Q 単位構造中間原料であるテトラアルコキシシラン等のケイ素-酸素の結合を切断し、ケイ素原子上にアルキル基、アリール基、水素原子等を持つ化合物を製造するための触媒技術を開発することを目的とした均一系触媒による安価な水素源を用いた水素化反応の検討を継続するとともに、固体触媒によるテトラアルコキシシラン等の変換を検討した。さらに、テトラアルコキシシラン等から容易に合成が可能なアシロキシシランの脱炭酸反応による有機シランの製造法についても検討を行った。図 3.2.1.2-1 には、これら 3 つの研究開発項目の 2017~2019 年度計画を示した。



図 3.2.1.2-1 研究開発項目①-2 の 2017~2019 年度計画

3.2.1.2.1 遷移金属錯体触媒を用いたアルコキシシラン等の変換反応開発

産総研では、ケイ砂等の SiO₂ 原料から直接製造が可能であると期待されるテトラアルコキシシランなどの Q 単位構造中間原料やそこから誘導可能な四塩化ケイ素を、水素ガスを水素源として温和な条件で水素化することによりヒドロシランを製造する触媒反応を開発することを目的に検討を行った。ヒドロシランは、ヒドロシリル化反応をはじめとする様々な反応に利用されており、有機ケイ素産業において重要な原料の一つである。ヒドロシランは、現在、金属ケイ素を経由するエネルギー多消費プロセス又は高価な金属水素化物を一当量以上必要とするプロセスにより製造されている。

本研究では、Ir ヒドリド錯体を触媒として用いることにより、水素ガスによるクロロシラン類の水素化が可能であることを明らかにした。さらに本反応では、従来法では多段階の製造工程を要したクロロヒドロシランの選択的合成が可能となった。Q 単位構造中間原料のモデル化合物において水素を利用した触媒的水素化では、反応条件検討による反応効率の改善は、現時点で達成できていない。今後、触媒構造が検討課題であると認識している。ニッケル触媒を用いて、ハロシランとオレフィン類を原料に、ビニルシラン類の効率合成法を開発した。今後は、さらなる触媒の効率化を目指した検討を行う予定である。

3.2.1.2.2 安価な還元剤を用いたアルコキシシラン等の変換反応開発

産総研では、アルコキシシランの触媒的なヒドロシランへの変換反応において、取り扱い容易で温和な還元剤としてボランを用いた検討を行った。ボランを還元剤とする検討は2016年度までの取り組みにおいて、希土類金属錯体を触媒とする反応を見出している。一方で、本反応では副生するアルコキシボランが触媒を被毒するため、目的とするヒドロシランの収率が中程度にとどまるという問題点を有する。しかし、今回ルイス塩基を触媒とすることで、ボランを還元剤とするアルコキシシランの効率的な水素化反応を達成した。さらに、 NaBH_4 はアルキルハライドと反応してボランを生成することに着目し、これを組み合わせることで、形式的に安価な NaBH_4 を還元剤とするアルコキシシランからのヒドロシラン合成を達成した。

3.2.1.2.3 アシロキシシランからの脱炭酸を経由するカルボシラン合成

産総研では、 Si-O 結合を Si-C 結合に変換する新たな反応経路として、アシロキシシランの脱炭酸反応による Si-C 結合生成反応について検討を行った。アシロキシシランからの脱炭酸により、 Si-O 結合を Si-C 結合に変換する反応プロセスに関して理論的検討を進めた結果、アシロキシ基がハロゲン原子等の電子吸引性の原子や置換基を有する場合、脱炭酸反応が起きやすい傾向があることがわかった。また、その結果等に基づいた実験的検討では、2016年度までの検討で見出した塩基触媒よりも、さらに高活性な触媒系を見出すことができ、それらの高活性触媒を用いることにより、従来の触媒系では反応が困難であったアシロキシシランでも、脱炭酸反応を進行させて、対応するカルボシラン類を生成させることが可能になった。

これらの理論的および実験的検討により、脱炭酸過程を経由した Si-O 結合の Si-C 結合への変換プロセスについて、実用化の可能性を高めることができた。Q単位構造中間原料からの有機ケイ素原料製造に関する有望な一つの経路を提示できたことから、中間評価の目標は達成できたと考える。今後は、さらに反応条件の改良等を通じて、実用的な反応系への展開や応用を進めていく予定である。

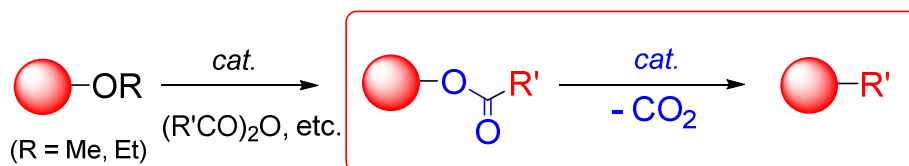


図 3.2.1.2-2 脱炭酸を経由する Si-O 結合の Si-C 結合への変換

3.2.1.2.4 固体触媒を用いた有機ケイ素原料合成反応

産総研では、テトラメトキシシラン (TMOS) のアルキル化反応に対して有効な触媒の探索を行った。Naを様々な金属酸化物上に担持した触媒 (図 3.2.1.2-3) を用いて検討した結果、 CeO_2 担体を用いるとTMOSのメチル化によるトリメトキシメチルシラン ($\text{MeSi}(\text{OMe})_3$) の生成反応が効果的に進行することを見出した。さらなる $\text{MeSi}(\text{OMe})_3$ 生成活性の向上を目指し、金

属状態の Na を増やすことを目的として、Na/CeO₂ への水素解離能を有する金属種の添加の影響について調べた結果、Pd を添加した場合、活性が顕著に向上することがわかった。Pd の添加効果を確認するために、担持 Na に対する電子状態を調べた結果、Na/CeO₂ に比べて Pd/Na/CeO₂ では金属 Na の割合が高いことが示された。したがって、Pd は金属 Na 活性点の形成を促進する役割を果たしていることが明らかとなった。Pd/Na/CeO₂ 上で得られた MeSi(OMe)₃ 生成速度は、これまでに唯一、本反応が進行することが報告されている NaH との反応における生成速度の約半分であった。しかし、活性点である Na 原子当たりの生成速度に換算すると、NaH との反応よりも 5 倍大きく、Pd/Na/CeO₂ では、担体上に分散された金属 Na 活性サイトを安定に保持できていることが明らかとなった。さらに、水との反応性が著しく高く、空気中では取り扱いが困難な NaH に比べて、Pd/Na/CeO₂ の取り扱いは容易である点からも優位性がある。

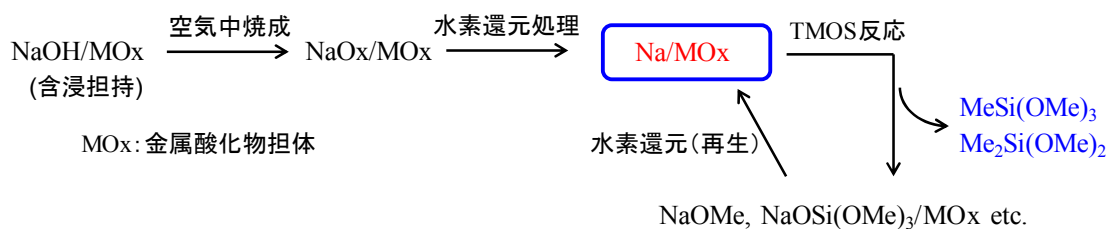


図 3.2.1.2-3 Na 担持触媒の作製と触媒反応の概略図

CeO₂ 上に Na と Pd を担持した触媒上で本反応が効果的に進行することを見出したことは顕著な成果である。Pd/Na/CeO₂ 上で得られた反応活性は、2019 年度末の中間目標である「有機ケイ素原料の反応率 50%、有機ケイ素部材の選択率 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」に対して、反応率は 45~70%を得ており、目標をほぼクリアしている。一方、選択率に関しては、今のところ目標には至っていないが、本研究で開発した触媒は、NaH を用いた場合の MeSi(OMe)₃ 生成速度の約半分の速度を得るところまで到達している。さらに、Na 原子当たりの活性に換算した場合には、NaH との反応よりも約 5 倍も高く、NaH と比較して、Pd/Na/CeO₂ では、担体上に分散された金属 Na 活性サイトを安定に保持できる点において優位性がある。

3.2.1.2.5 アルコキシシランの分子変換

産総研の再委託先である大阪大学では、ハフニウムトリフラートを用いてアルコキシシランをシリルトリフラートへと容易に変換可能であることを見出した。また、上述の反応系に対し、ヒドリド源としてアミンボランを加えると、速やかに水素化が進行することを明らかにした。すなわち、ハフニウムトリフラートを用いて反応中でアルコキシシランを変換することで、ワンポットでヒドロシランを生成することに成功した。

Q 単位構造原料であるアルコキシシランからの有機ケイ素原料合成に関して、前周期遷移金属触媒を用いてアルコキシシランを一旦シリルトリフラートやシリルハライドへと変換することで、ヒドロシランの触媒的合成が容易になることを見出した。現時点では、ヒドリド源としてアミンボラン化合物を用いているものの、本事業で開発した水素化触媒と合わせることで、アルコキシシランの水素化の効率化を図れるものと期待される。また、アルコキシシランと金属ヒドリドの直接的な反応に展開すべく、低原子価の前周期遷移金属種やシリカ表面に担持した前周期遷移金属や希土類金属錯体の反応性を検討しており、Q 単位構造中間原料の水素ガスを用いた水素化達成の手立てを探る。

3.2.1.3 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

3.2.1.3.1 環状またはかご型構造を有するビルディングブロックの直接合成

群馬大学では、シロキサン環状構造を含むとされている鉱物ウラストナイト (wollastonite) を用いて、温和な条件でケイ素モノマーへ変換する方法を試みた。

原料としてケイ素と酸素を4つずつ含むシクロテトラシロキサン構造を含むと言われているウラストナイト (wollastonite) を用いた。

群馬大学では環状シラノールのカリウム塩及びナトリウム塩を市販原料から高収率で合成する方法を見出しており、それらが構造規制シロキサンのよい前駆体となっていることを踏まえ、生成物をシラノールのカリウム塩として取り出すことを考え、ウラストナイトを塩化カリウム、水と混合し、マイクロウェーブ反応装置で180℃、20時間反応させた(図3.2.1.3-1)。得られた固体のスペクトルを解析したが、回収された塩化カリウムに加え新たな赤外(IR)吸収を持つ化合物の存在が確認できた。2017年度に分離操作、ならびに条件検討を行ったが、ケイ素を含む単分子またはオリゴマーは確認できず、原料とは異なるものの無機塩骨格がまだ残っており、有機溶媒に溶解しない生成物であることを確認した。

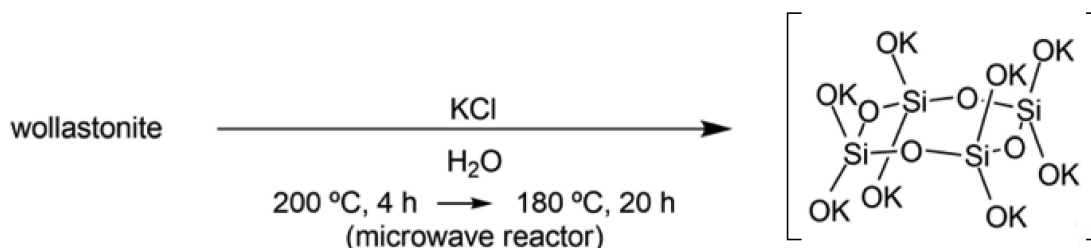


図 3.2.1.3-1 ウラストナイト (wollastonite) を用いた反応

ウラストナイトについては、文献で一例だけだが直接変換が報告されており(図3.2.1.3-2)、高い温度を必要としているため、マイクロウェーブ反応装置、ボールミル混合装置などの装置を活用し、できるだけ低温で反応を進行させる検討を行ったが、いずれの場合も効率よく開裂反応を起こすことはできなかった。

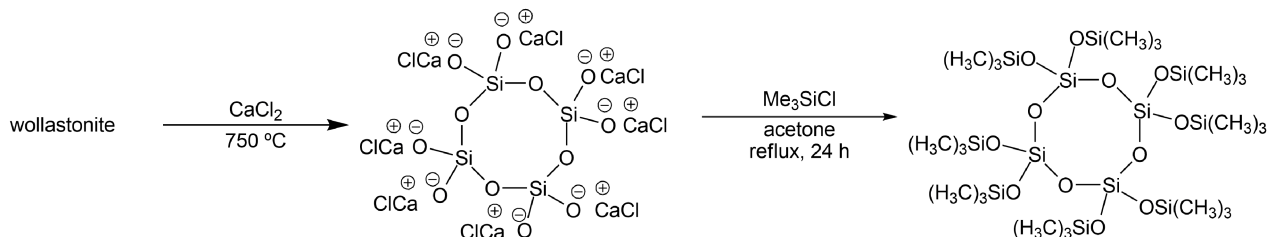


図 3.2.1.3-2 ウラストナイトを用いた反応の報告例

実験室で試みることができる条件下では目的とする反応を起こすことができなかった。2018年度以降本テーマは中止となっているが、低温で効率よくケイ素酸素結合を開裂できる触媒が見出されたときは、本鉱物に適用し目的の反応が起こるかの確認を行う予定である。

3.2.1.3.2 ケイ酸塩を原料としたビルディングブロック型有機ケイ素原料製造法の開発

早稲田大学では、かご型の Q₈ 骨格を有するケイ酸塩を原料に、有用な合成原料であるアルコキシシロキサンオリゴマーへ転換することを目的とし、かご型ケイ酸塩のアルコキシ化の条件を検討した。かご型ケイ酸塩を硫酸処理後、塩析により有機溶媒に抽出し、アルコール存在下で加熱することで、低収率ながらかご型アルコキシシロキサンの合成に成功した。また、副生成物としてかご型構造の一部が開裂したシロキサンオリゴマーも存在が示唆されたが、この副生成物はゲル浸透クロマトグラフィーにより除去可能であることが見出された。

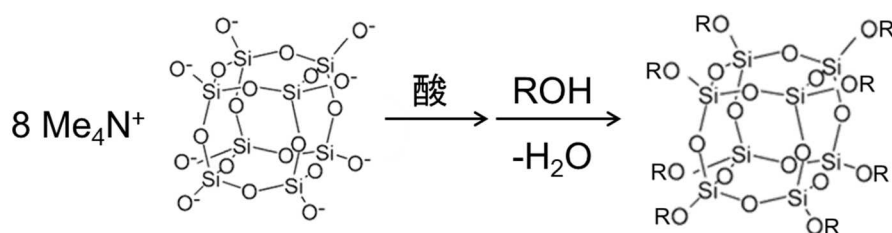


図 3.2.1.3-3 かご型ケイ酸塩のアルコキシ化

かご状ケイ酸塩の骨格を維持したまま、すべての頂点をアルコキシ化することによりかご状オリゴシロキサンを得ることに成功した。一部では結合の開裂によるかご状構造の崩壊が観測されたが、ゲル浸透クロマトグラフィーにより目的物の単離が可能であることも示された。ただしその収率は最大でも 64%程度と十分ではなく、収率改善のために反応条件のより詳細な検討ならびにシロキサン結合の開裂を抑制するための触媒の選択が必要となる。当初の目的は達成したが、収率、反応条件等の検討が残り、他項目に集中する必要もあり、当該項目はこの成果をもって中止とした。

3.2.1.4 高活性ケイ素化学種を經由した有機ケイ素原料製造法の開発

本項目は、研究開発項目①－2に集中するため、2017年度以降中止した。

3.2.1.5 その他の反応

3.2.1.5.1 フロー反応装置を利用した有機ケイ素原料製造の可能性検討

産総研では、安定な Q 単位構造中間原料からの有機ケイ素化合物合成反応において、フロー反応装置の利用に着目し、2017年度から2018年度にかけて検討を重ねた。しかしながら、本反応装置の有用性は認められなかったため、本項目は2019年度以降中止することとした。

3.2.2 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

シリコンは、主としてケイ素-炭素結合およびケイ素-酸素結合から形成されており、この2種類の結合形成を自在に制御できるようになれば、様々な高機能有機ケイ素部材の製造が可能となる。しかし、これらの結合を形成する触媒技術は極めて限定されているのが現状である。また、オリゴシランやポリシランは、特異な電子・光物性を持つケイ素系材料として、又は薄膜シリコン半導体の低温形成・塗布形成用材料として注目を集めている。オリゴシランやポリシランはケイ素-ケイ素結合を主体とする材料であり、これらを高効率・高純度・高選択的に製造するためには、ケイ素-ケイ素結合の高度な形成技術が重要となる。本研究では、以上のように高機能有機ケイ素部材製造に欠かせない、3つの基本的な含ケイ素結合であるケイ素-炭素（研究開発項目②-1）、ケイ素-酸素（研究開発項目②-2）およびケイ素-ケイ素（研究開発項目②-3）結合形成のための触媒技術開発を行う。また、開発された触媒の除去・再利用等を容易にするための触媒固定化技術（研究開発項目②-4）の開発も行う。表3.2.2-1には、これら研究開発項目の成果について一覧としてまとめて示した。

表 3.2.2-1 研究開発項目②の成果

	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	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	・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		・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配列をフンポ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	工業的な有用性の観点も含めて有効な触媒を絞り込む	・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	触媒固定化の有効性を、工業的な有用性の観点も含めて見極める	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

3.2.2.1 ケイ素-炭素結合形成技術

ケイ素上に有機基を導入するためのケイ素-炭素結合形成反応は、有機ケイ素材料製造のための基幹反応の一つである。初めて有機ケイ素化合物が合成された際に用いられたのが、有機金属化合物とクロロシランとの反応であり、この反応は有機マグネシウム試薬の開発とともに広く用いられるようになった。直接法が開発されてからは、主原料は直接法で製造されるものの、様々な有機基の導入に利用出来ることから、この方法は現在に至るまで工業レベルでも利用されている。一方、1940年代にヒドロシランとオレフィンまたはアルキン類との反応であるヒドロシリル化反応が見出され、有機ケイ素部材製造において最も重要なケ

イ素－炭素結合形成反応の一つとなっている（図 3.2.2.1-1）。このように、重要なケイ素－炭素結合形成反応はいずれも 60 年以上前に開発された反応であり、現在重要となっている省エネルギー・省資源の観点や、より高性能な部材開発といった観点に立つと多くの問題点を抱えている。

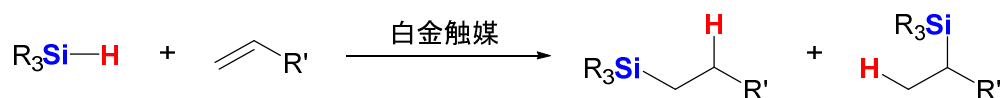


図 3.2.2.1-1 ヒドロシリル化反応

有機マグネシウム試薬を用いる反応は、様々な有機基の導入に幅広く対応できる有用な反応であるが、有機マグネシウム試薬は有機ハロゲン化物と当量以上の金属マグネシウムから調製され、反応後多量のマグネシウム塩が発生する、また、エーテル系溶媒中で行う必要があるなど、高コストな製造法である。また、有機マグネシウム試薬は反応性が高いために、共存不可能な官能基があることや副反応の問題なども知られている。

ヒドロシランの不飽和炭素－炭素結合への付加反応であるヒドロシリル化反応は、有機ケイ素部材製造およびその硬化技術（硬化は、シリコーンを封止材、ゴム、接着剤などとして利用するために必要な重要技術である）として最も重要なケイ素－炭素結合形成反応であり、遷移金属錯体が触媒として利用されてきた。1950年代に白金触媒がこの反応に極めて有効であることが示されて以来、工業的には白金触媒が専ら用いられている。白金触媒は極めて高い触媒活性を示すが、ヒドロシリル化反応がシリコーンの硬化反応として多用されるため、多くの場合最終製品に白金が残留し回収することができない。最近のデータでは、世界の白金産出量200トンのうち約3%がヒドロシリル化反応に利用され、その大部分が回収できていない（A. J. Holwell, *Platinum Metal Review*, 2008, 52, 243.）。

また、白金の使用は、コストや資源の問題以外にも、硫黄化合物、リン化合物、窒素化合物などの共存により触媒被毒を受けやすいことや着色の原因となること、電子材料用途などでは残留白金が製品性能低下につながる場合があることなどの問題点も抱えている。図 3.2.2.1-1 に示すように、ヒドロシリル化反応では、ケイ素と水素が付加する位置の異なる2種類の物質が生成する可能性があり、その選択性の制御も課題となっている。さらに、アシル系化合物など一部の工業的に重要な化合物では、白金触媒では副反応が多く実用的でないことも知られている。以上のように白金を代替するヒドロシリル化触媒の開発は喫緊の課題となっている。

これらの問題点を克服し、さらに高効率・高選択的な反応開発を目指し、本開発項目では、ヒドロシリル化反応用の白金を代替する非金属又は卑金属触媒の開発、配位性官能基を有するなど白金触媒では対応が難しい工業的に重要な基質に対するヒドロシリル化触媒の開発及びヒドロシリル化や有機マグネシウム試薬を用いる方法以外の新規ケイ素－炭素結合生成反応技術について検討を行っている。図 3.2.2.1-2 に、2017～2019 年度計画を示した。

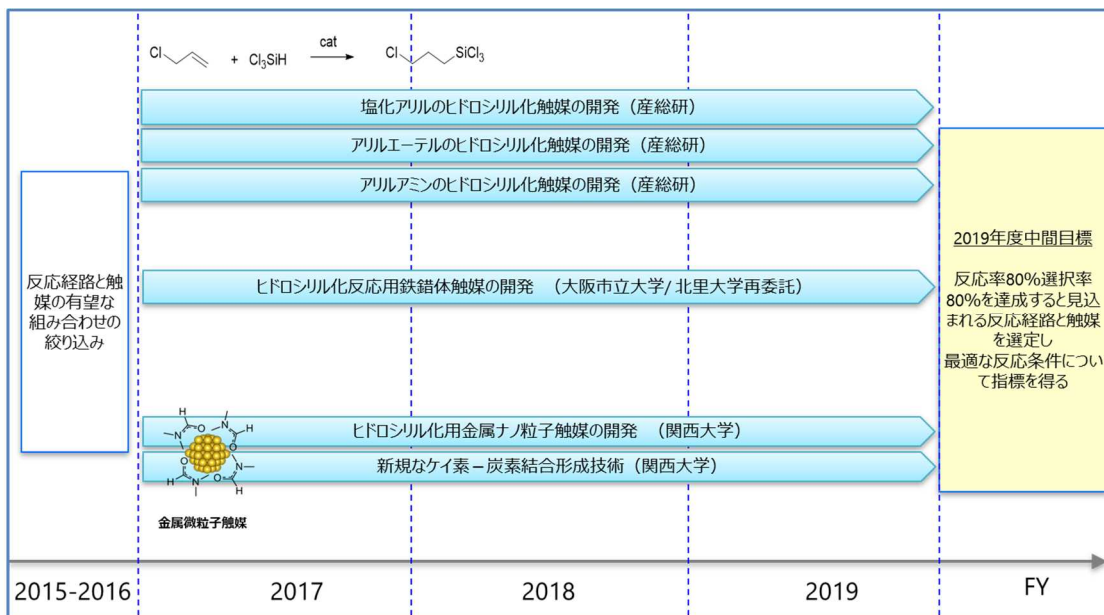


図 3.2.2.1-2 ケイ素-炭素結合形成技術に関する 2017～2019 年度計画

3.2.2.1.1 ヒドロシリル化反応用触媒の開発

3.2.2.1.1.1 塩化アリのルのヒドロシリル化触媒の開発

産総研では、白金触媒の適用が困難とされる塩化アリのルのトリクロロシランによるヒドロシリル化に取り組んだ。種々のシランカップリング剤の原料であり、さらに工業的に有用とされる、トリクロロ（クロプロピル）シランの効率合成を達成するべく、塩化アリルとトリクロロシランとの反応に取り組むこととした。2016年度までの、ニッケルおよびチタンなど、卑金属を用いた取り組みでは、アルコキシ基やシロキシ基、ビニル基等の反応性置換基を有するヒドロシランや、白金触媒の適用が難しい配位性置換基を有するオレフィンやアリル化合物など、工業的に重要性の高い基質に関しては十分な触媒活性・選択性を示す触媒の開発には至っていない。一方で、これらの基質については、必ずしも卑金属にこだわるのが重要ではなく、工業的に適用可能な触媒を開発することが第一の課題となる。以上の観点から、本項では卑金属にこだわらず有望な触媒を見出すことを目的に広く探索した。

その結果、塩化アリのルのヒドロシリル化に極めて高い触媒活性を示すロジウム触媒を見出すことに成功した。また、この触媒系を用いた反応では、遷移金属触媒を用いた塩化アリのルの反応で一般的に見られる、プロペンの副生がほとんど進行しないことを明らかにした。

3.2.2.1.1.2 アリルエーテルのヒドロシリル化触媒の開発

産総研では、白金触媒では困難であるポリエチレングリコールモノアリルエーテルの選択的ヒドロシリル化に取り組んだ。高い生体適合性と低い毒性のため、ポリエチレングリコール（PEG）由来の機能性ポリマーは多くの生体関連物質、表面修飾、マイクロコンタクトプリンティング、高分子電解質の重要な原料として広く用いられている。その中で白金触媒を用いたヒドロシリル化反応は、様々な官能性ポリエチレングリコールを合成するための重要な反応の一つである。しかし、これまでの白金触媒、特に Karstedt's 触媒を用いた反応ではオレフィンの異性化や、水素化、脱水素シリル化などの副反応が進行することが知られている。

そこで、本研究では白金触媒に代わる触媒を用いたポリエチレングリコールモノアリルエーテルの高選択的ヒドロシリル化反応を開発することを目的とした。その結果、ポリエチレングリコールモノアリルエーテルに極めて高い触媒活性および選択性を示すルテニウム触媒を見出すことに成功した。

3.2.2.1.1.3 アリルアミンのヒドロシリル化触媒の開発

産総研では、シランカップリング剤の簡便供給を指向して、反応性官能基を含んだアリル化合物の中でも、効果的な触媒が現状ではほとんど見出されていないアリルアミンのヒドロシリル化に取り組んだ。その結果、アリルアミンのヒドロシリル化に極めて高い触媒活性を示すロジウム触媒を見出すことに成功した。

配位性の窒素原子および活性プロトンを含み、困難な基質とされるアリルアミンとトリアルコキシシランのヒドロシリル化反応を汎用性のロジウム触媒である Wilkinson 錯体を用いることで達成した。今後は、さらなる基質適用範囲の拡大および安価な遷移金属触媒を用いたヒドロシリル化反応の実現に取り組む。

3.2.2.1.1.4 ヒドロシリル化反応用鉄錯体触媒の開発

大阪市立大学と再委託先である北里大学では、安価で安定した供給が可能であり、また極めて毒性の低い鉄を中心金属とする錯体触媒の開発を目指して研究を行っている。2016年度までの研究において、イミノピリジン誘導体を配位子とする鉄錯体が、一級から三級シランのいずれに対しても高い触媒活性を示すことを見出してきた。2017、2018年度は触媒の性能として重要である活性に加えて選択性の検討を行った。オレフィンのヒドロシリル化反応に触媒活性を示す卑金属錯体触媒の開発を行い、イミノピリジン誘導体を配位子とする鉄錯体及びコバルト錯体が、オレフィンならびにケトン化合物のいずれに対しても高いヒドロシリル化触媒活性を示すことを見出した。さらにこの両基質に対して、非常に高い基質選択的ヒドロシリル化反応を行う系を見出し、選択性のスイッチングも容易に行えることを明らかにした。また、P-N-N型ピンサー配位子を有する鉄錯体がオレフィンのヒドロシリル化反応に対して極めて高い触媒活性を示すことを見出し、さらにP-N-N型ピンサー配位子とカルボキシレート配位子を有する鉄錯体は空気中で取り扱いが可能であり、しかも従来反応開始剤として使用してきた NaBHET_3 等の還元剤を使用することなく触媒活性を発現できることを見出した。これにより触媒のハンドリング性が向上し、実用化に大きく前進した。

今後は、この触媒反応の更なる条件検討および適応範囲を調べ、特にケイ素上に活性置換基を有するヒドロシランの反応に対して、高活性ならびに高選択性を有する錯体触媒の探索を行い、この技術の実用化に向けて改良を行っていく。

3.2.2.1.1.5 ヒドロシリル化用金属ナノ粒子触媒の開発

関西大学では、これまでに、アセチルアセトナート鉄あるいは酢酸鉄から調製されるジメチルホルムアミド (DMF) 保護鉄ナノ粒子 (Fe-NPs) の合成に成功し、得られた DMF 保護鉄ナノ粒子が一級シランを用いたアルケンのヒドロシリル化反応において高活性な触媒として機能することを見出した (図 3.2.2.1-3 左図)。また合成した鉄ナノ粒子の動的光散乱法と透

過型電子顕微鏡での観察により粒子径を確認したところ、どちらも 5-6nm の粒子が多く生成しており、電子線回折によって酸化鉄($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)の構造を有する微粒子であることを確認した。

また、得られた DMF 保護鉄ナノ粒子のヒドロシリル化反応前後における構造、粒子サイズならびに電子状態に関する詳細な解析および比較を機器分析によって行った。

さらに DMF 保護法で合成した酸化鉄ナノ粒子と白金ナノ粒子を混合した触媒を用いることにより、三級シランを用いたアルケンのヒドロシリル化を達成した。本反応は酸化鉄ナノ粒子あるいは白金ナノ粒子単独では反応が進行しないことから、鉄および白金ナノ粒子を混合して反応することによりはじめて触媒活性を示すという特徴を有する。本触媒系で達成したトリアルコキシシラン等の三級シランを用いたヒドロシリル化はシランカップリング剤の合成において有用な合成反応である。

本研究では、鉄ナノ粒子を用いた一級シランのヒドロシリル化ならびに鉄-白金混合ナノ粒子を用いた三級シランのヒドロシリル化反応のそれぞれの反応において、触媒の再利用(リサイクル)を行い、DMF-ヘキサンを用いた簡便な抽出操作のみによって触媒を効率よく回収することに成功し、少なくとも 5 回までの触媒リサイクルにおいて高い活性を維持し、高収率でヒドロシリル化生成物が得られることを明らかにした(図 3.2.2.1-4)。また、鉄-白金混合ナノ粒子触媒系においては、60°Cでは全く反応せず、その溶液を 100°Cに加温することにより、定量的に反応が進行することを見出した。本反応では 60°C以下ではヒドロシラン、アルケンともに原料回収し触媒は失活していないことから、本触媒系は温度刺激応答型触媒として機能することを明らかにした(図 3.2.2.1-4)。

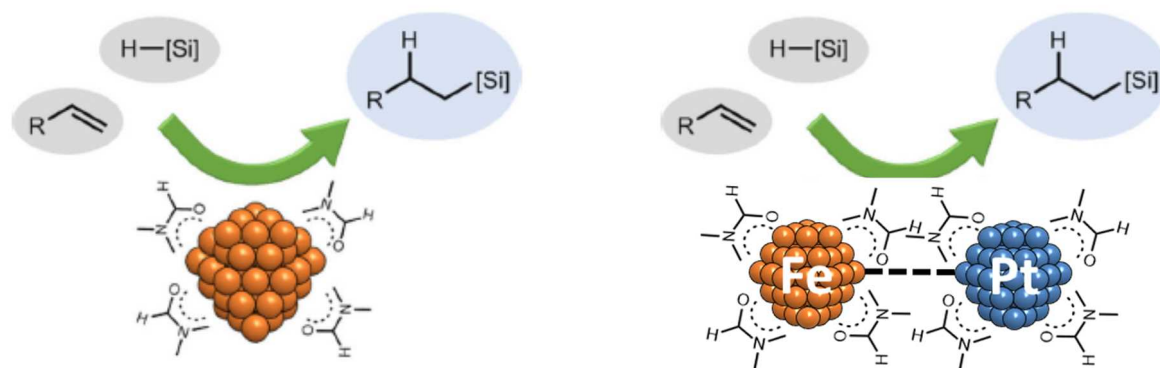


図 3.2.2.1-3 ヒドロシリル化反应用酸化鉄微粒子(左)および酸化鉄-白金混合微粒子触媒(右)

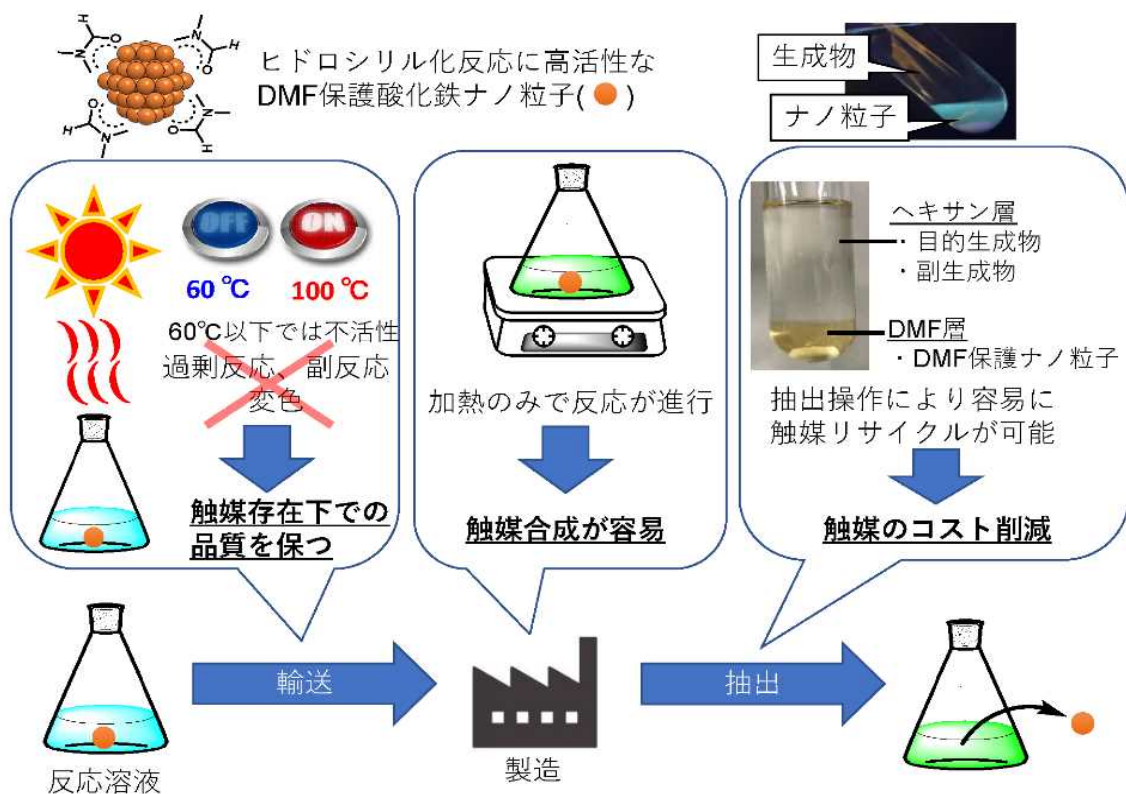


図 3.2.2.1-4 DMF 保護ナノ粒子触媒による高品質なケイ素剤の合成および提供

今後は、さらなる高活性触媒プロセスの構築のための反応スクリーニングを進めるとともに、触媒機能発現に関してさらなる知見を得、触媒粒子の回収ならびにさらなる改良を加える。また、コバルトなどの汎用金属においてもナノ粒子化によってヒドロシリル化触媒として用いるなど、本手法の実用化プロセスへの適用を目指し、スケールアップ可能な反応条件の探索を行う予定である。さらなる反応条件最適化、基質拡張並びに反応機構考察に関する検討を引き続き行う。

3.2.2.1.2 新規なケイ素-炭素結合形成技術

3.2.2.1.2.1 ヒドロシランやジシランなどをケイ素源として用いたクロスカップリングおよび酸化的カップリングによる新規ケイ素-炭素結合形成反応の開発

関西大学では、新規なケイ素-炭素結合形成技術として、ヒドロシランやジシランなどをケイ素源として用いたクロスカップリングおよび酸化的カップリングによる新規ケイ素-炭素結合形成反応の開発に取り組んだ。シンプルな原料からの触媒プロセスによる高機能有機ケイ素化合物合成としての、DMF 保護ナノパラジウム粒子を用いた、アリアルハロゲン化物とジシランまたはヒドロシランを用いたクロスカップリングによるアリアルシラン合成反応において、溶媒抽出のみの簡便な手法でパラジウムナノ粒子触媒の回収再利用に成功し、5 回までのリサイクルにおいて触媒活性を維持したまま反応が進行することを見出した。さらに、1,3-ジエンにアミノ基とシリル基を酸化的カップリングにより効率的に導入する合成法については、反応収率の向上を目的としさらなる反応スクリーニングを行った。その結果、ジエンと第 2 級アミンとジシランの酸化的カップリング反応において、2,3-ジメチル-1,3-ブタジエン、アミン、ヘキサメチルジシランをパラジウム錯体触媒存在下、分子状酸素を酸化剤として反応させることによって、ジエンのアミノシリル化生成物の単離収率が 80% 以上（最高収率 87%）と飛躍的に向上した。本反応は酸素雰囲気のもとでのみ目的生成物が高収率で得られ、Ar 雰囲気のもとでは生成物は全く得られなかった。この結果からも本反応は反応過程で分子状酸素が関与していることが示唆される。

今後は、本反応におけるさらなる触媒活性を目指すとともに、現状ではハロゲン化物を用いたクロスカップリングにのみ本手法の適用が限定されているので、アリアルアルコールとジシランとの反応における本パラジウムナノ粒子触媒を用いたアリアルシランの合成など、本パラジウムナノ微粒子を用いたクロスカップリングにハロゲンフリーの反応基質を用いた新たな反応開発を行う予定である。

さらに、パラジウム錯体と銅塩を用い、酸素雰囲気のもと、1,3-ジエンとアミン、ジシランを反応させることで、アミノ基を有するアリアルシランが簡便に得られることを見出した。本反応は、酸化的カップリングによって、同一分子内にアミノ基とシリル基をワンステップかつ温和な反応条件で導入するケイ素-炭素結合形成を伴う有機ケイ素化合物の効率的な触媒合成プロセスである。本反応においては、反応条件の選定が触媒活性に大きく影響を与えることがわかった。今後は、本プロセスの実用化に向けた基質の拡張と本反応の反応機構の解明などを行う予定である。さらなる反応スクリーニング、触媒として用いる金属微粒子又は金属錯体触媒の最適化、基質拡張並びに反応機構考察に関する検討を引き続き行う。

3.2.2.2 ケイ素－酸素結合形成技術

現在実用化されているほとんどの有機ケイ素部材はシリコンであり、その骨格を形成しているのがケイ素－酸素結合である。したがって、ケイ素－酸素結合形成技術は高機能有機ケイ素部材製造において極めて重要である。ケイ素－酸素結合は、原料であるクロロシラン類やアルコキシシラン類の加水分解反応で形成されるのが一般的であり、その際中間体として生成するシラノールは触媒がなくとも（又は副生する塩酸により）容易に自己縮合してケイ素－酸素結合を形成するため、結合生成の制御が容易ではない。これまでも触媒は利用されているものの、一般に用いられてきた触媒は比較的単純な酸や塩基、金属塩であり、種々の構造の混合物を生成してしまう反応がほとんどである。そのため、高度な構造制御を可能とするケイ素－酸素結合形成触媒技術の開発が望まれている。本プロジェクトではケイ素－酸素結合形成触媒技術を達成すべく、「シラノールの単離」、「ビルディングブロックの合成とそのための反応開発」、「ポリシロキサンの精密重合反応の開発」の3段階に階層化し、研究開発を行っている（図3.2.2.2-1）。本項目では、これら3つの階層に関する各課題について検討する。また、これらの課題を通してシリコンの構造解析技術についても検討する。図3.2.2.2-2に2017～2019年度計画を示した。

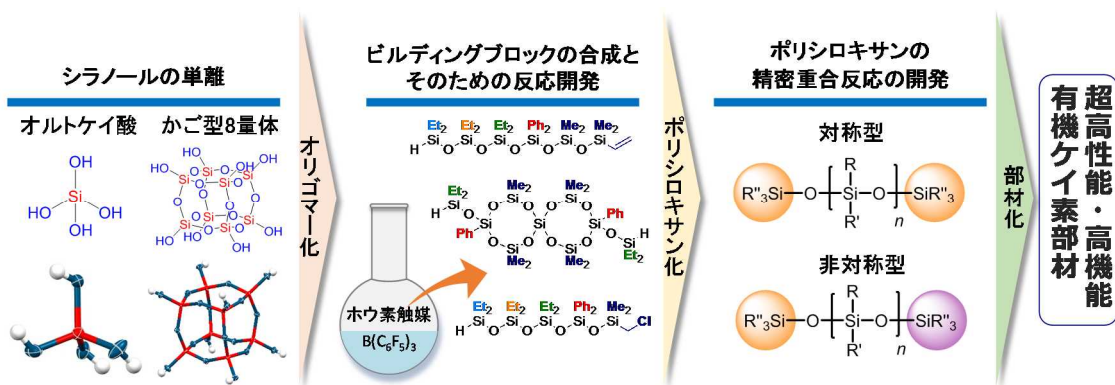


図 3.2.2.2-1 超高性能・高機能有機ケイ素部材の技術開発の階層図



図 3.2.2.2-2 ケイ素－酸素結合形成技術に関する 2017～2019 年度計画

3.2.2.2.1 ケイ素－酸素結合を選択的に形成できる触媒技術

3.2.2.2.1.1 酸を用いたシリケートのプロトン化反応開発

産総研では、酸を用いたシリケートのプロトン化反応開発に取り組んだ。構造制御されたレジン構造、ポリシロキサン、オリゴシロキサンを選択的に形成するためには、シラノールの脱水縮合反応やクロスカップリング反応を制御する手法の開発が極めて重要である。そのためには、シラノールを安定に合成し、その性質および縮合過程を解明することが必須と考えられる。しかし、シラノールは脱水縮合しやすい化合物であり、通常用いられるクロロシランやアルコキシシランの加水分解法では、工業的に重要なシラノールを単離することができない。これまでに産総研では、Pd/C 触媒存在下ベンジルオキシ基を有するケイ素化合物の水素化分解反応により、無水条件において有機ケイ素部材の大部分を占めるシロキサン（シリコーン）の基本単位であるシラノールを合成する新規触媒技術を開発している。

また、本反応をさらに改良し、種々Q 単位シラノールの合成および単離を検討し、 $\text{Si}(\text{OH})_4$ の二量体 ($(\text{HO})_3\text{SiOSi}(\text{OH})_3$)、環状三量体 ($[\text{Si}(\text{OH})_2\text{O}]_3$)、環状四量体 ($[\text{Si}(\text{OH})_2\text{O}]_4$) を安定に合成し、粉体として単離することに成功している。この結果をもとに、より実用性の高い合成法の開発を目指し、メルドラム酸を用いたシリケートのプロトン化により、 $\text{Si}(\text{OH})_4$ のかご型八量体 ($[\text{Si}_{0.5}(\text{OH})]_8$, Q_8H_8) を溶液中において合成することに成功している (図 3.2.2.2-3)。

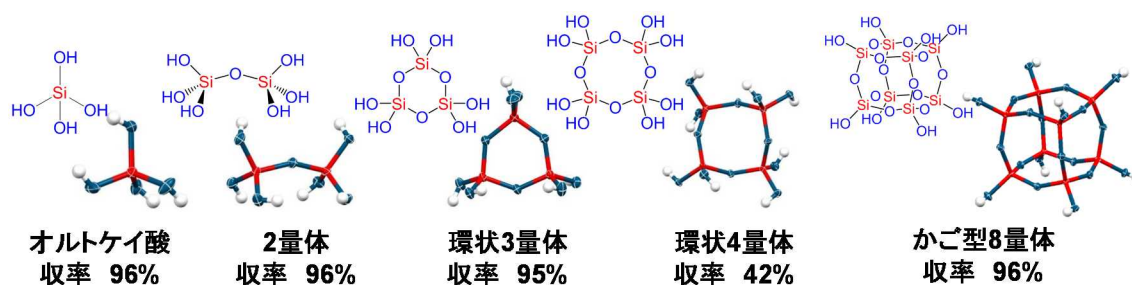


図 3.2.2.2-3 オルトケイ酸とそのオリゴマー

分取 GPC を用い、分取・再結晶化することにより、DMAc を含む Q_8H_8 結晶として単離することに成功した。また、X 線結晶構造解析により世界で初めて分子構造を明らかにすることに成功した。さらに、合成および単離条件を最適化することにより、2019 年度の KPI である 10 g スケールにおける反応率 80% 及び選択率 80% を達成した。また、単離することに成功した Q_8H_8 は水を含まない強みを生かし、等量のクロロシランを作用させることで、対応するかご型化合物 ($[Si_8O_{12}][SiMe_2H]_8$) を効率よく合成することに成功した。

3.2.2.1.2 有機塩基触媒を用いたポリシロキサンの新規精密合成法の開発

産総研では、有機塩基触媒を用いたポリシロキサンの新規精密合成法の開発に取り組んだ。超高性能・高機能な有機ケイ素部材を製造するには、有機ケイ素部材の物性の大部分を決定づけるシロキサン骨格の精密な構造制御法の開発が不可欠である。1866-72 年にかけての C. Friedel, J. M. Crafts, そして A. Ladenburg によるシロキサン化合物の発見、続く 1908 年以降長年にわたる F. S. Kipping によるシロキサン化合物の精力的な研究から現在に至るまで、有機ケイ素部材の大部分が加水分解によるゾル-ゲル法により合成されているが、ゾル-ゲル法によりポリシロキサンの構造を精密に制御することは困難である。また、酸や塩基（主に水酸化カリウム）を触媒とした環状シロキサン化合物の開環重合反応によってもポリシロキサンが得られるが、分子量分散 (D) が 2 ないしそれ以上となり、生成するポリシロキサンの分子構造の制御が困難である。一方、制御したポリシロキサンの合成法として、アルキルリチウム試薬やシロキシリチウム試薬等を開始剤とした、環状トリシロキサンのアニオン開環重合による低分散ポリシロキサンの合成が報告されている。しかし、可燃性の高いアルキルリチウム試薬を用いることや、不純物として環状オリゴマーが副生することなど、検討の余地が大きい。

そこで、産総研では、工業プロセスとして簡便に使用可能なポリシロキサンの精密な構造制御法の開発を行った（図 3.2.2.2-4）。3.2.2.2.1.1 項で述べたように、本事業では種々のシラノールを安定に合成し単離することに成功しているため、特にシラノールを開始剤とした低分散ポリシロキサンの合成法の開発に取り組んだ。その結果、有機塩基触媒存在下、シラノールを開始剤とする環状トリシロキサンの開環重合を開発することに成功した。有機塩基触媒を用いる本反応は非常に簡便でありながら、得られるポリシロキサンの分子量分散は小さく ($D \leq 1.1$ 程度)、平均重合度を精密に制御したポリシロキサンの合成が可能である。また、様々な官能基を有する開始剤（シラノール）や停止剤（クロロシラン等）を用いることで、従来法では合成が極めて困難な末端に様々な官能基を導入したポリシロキ

サンを容易に合成可能である。この末端が官能化されたポリシロキサンをさらに構造修飾することで、従来法では合成が困難である複雑なブロックコポリマーや多分岐ポリシロキサン、大環状ポリシロキサンなどの精密合成へ展開可能である。また、この新規重合法は (1) シラノールの合成、単離精製、保存がリチウム化合物よりも容易である、(2) 様々な官能基を持つシラノールや多価シラノールの合成が可能であり、シラノールの分子設計に基づいて合成対象のポリシロキサンの構造を予め設計できる、といった利点も持つ。精密に構造制御された種々のポリシロキサンを合成し、シロキサン骨格の構造と物性の相関を明らかにすることが今後の課題である。現在開発中である種々のシラノールを本反応の開始剤とすることで、構造制御された高性能シリコン部材開発が可能になるものと考えている。

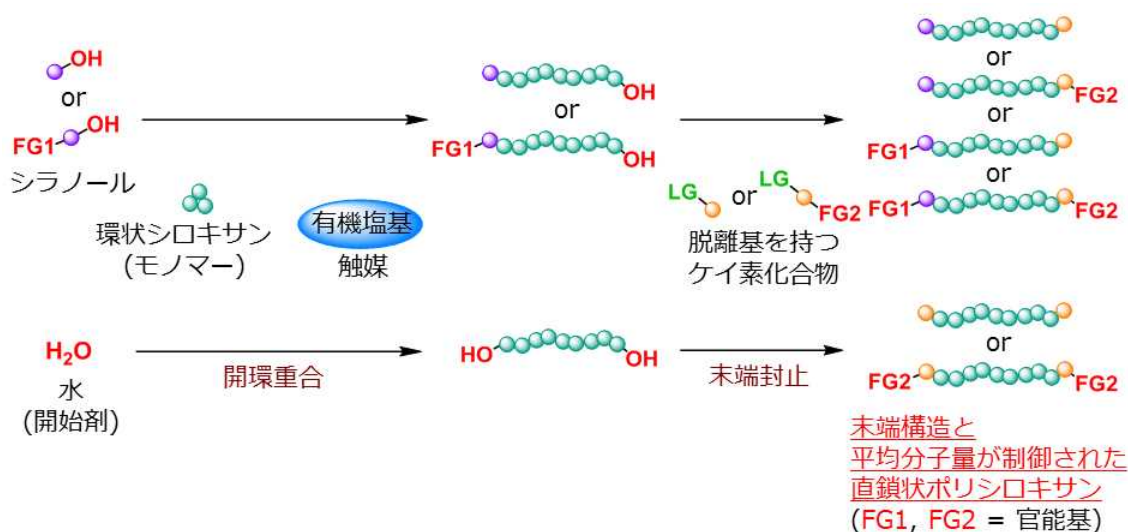


図 3.2.2.2-4 研究の概要

3.2.2.2.1.3 反復シロキサン結合形成による構造制御オリゴシロキサンのワンポット合成技術

産総研では、配列構造が精密に制御されたオリゴシロキサンを選択的に合成する手法として、 $B(C_6F_5)_3$ 触媒によるアルコキシシランとジヒドロシランとの脱炭化水素的クロスカップリング反応と同じく $B(C_6F_5)_3$ 触媒によるカルボニル化合物のヒドロシリル化反応を、一つの反応容器内で交互に繰り返し行うことで、逐次的にシロキサン結合形成を行うワンポット合成技術を開発している。2017～2019年度は、本技術の適用範囲拡大に向けての検討を行い、分子量は同一で配列構造のみが異なる配列異性体を選択的に作り分けることができるほか、スピロシロキサン構造も選択的に合成できることを見出した。また、官能基許容性についても調査を行い、オレフィンやクロロアルキル基が共存可能であることを見出し、これにより二官能性の構造制御オリゴシロキサンの合成も可能となった。さらに、本技術を用いて合成される構造制御オリゴシロキサンを原料に用いてトリヒドロシランとの共重合を行うことにより、原料の構造が保持され、なおかつ規則的に Si-H 基を有する定序性ポリシロキサンを合成することにも成功した。

3.2.2.2.1.4 アルコキシシラン等の選択的製造技術

産総研では、アルコキシシラン等の選択的製造技術について取り組んだ。アルコキシシラン類は、有機ケイ素材料の中間原料として極めて重要な化合物である。市販品として入手できるものは、同一のアルコキシ基を持つものに限られるが、物性や反応性が異なる異種のアルコキシ基を同一ケイ素原子上に導入した化合物は、構造や物性を制御した有機ケイ素材料製造のための新しい原料としての応用が期待される。産総研では、そのような化合物を選択的に合成する手法の開発を目的に検討を行ってきた。2016年度までに、さまざまな触媒をスクリーニングした結果、入手容易なメトキシまたはエトキシシラン類をアルコールと反応させることにより、原料中の複数のメトキシ基またはエトキシ基の一部だけを他のアルコキシ基に選択的に変換させることができる触媒反応系を見出した。本反応は、精製操作も簡便で、目的のアルコキシシラン類を良好な収率かつ高純度で単離できた。また、生成物の基本的物性・反応性について検討を始め、工業的応用を図るための反応のスケールアップについても基礎的検討を行った。

2017～2019年度は、メトキシ基またはエトキシ基と他のアルコキシ基を有するアルコキシシラン（以下、非対称アルコキシシラン）に関して、水に対する反応性をさらに詳細に検討して、構造と反応性の相関関係について整理した。また、アルコール以外の求核剤に関しては、カルボン酸無水物との反応でアシロキシシラン類が良好な収率で得られる触媒反応系を見出しているが、2017～2019年度は、合成できるアシロキシシランの拡張を行うとともに、非対称アルコキシシランと無水酢酸の反応で得られるアセトキシ化アルコキシシランを用いた表面処理剤への応用についても検討を行った。

これらのことより、本研究項目における中間目標は十分達成できたと考える。今後は、得られたアルコキシシラン類、アシロキシシラン類等の反応性や応用の検討をさらに継続することによって、それらを利用する有機ケイ素系機能性化学品・材料の開発を進めていく予定である。

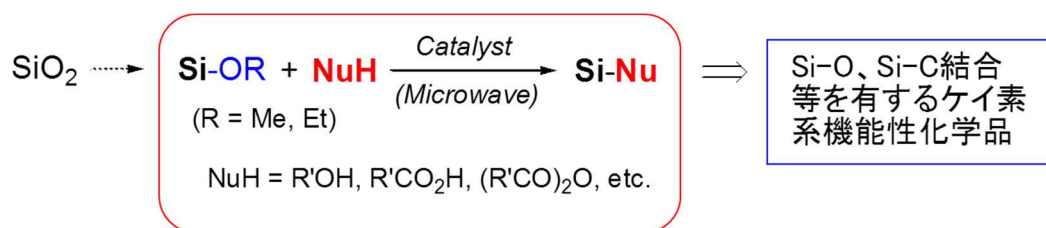


図 3.2.2.2-5 メトキシシランまたはエトキシシラン類と求核剤の反応

3.2.2.2.1.5 構造制御されたオリゴシロキサン形成のための触媒技術開発

群馬大学では、前回の中間評価までに三塩化インジウムを用いたヒドロシランとシラノールとの新規脱水素縮合反応の開拓と応用、新規高機能材料の原料として有望なヤヌスキューブ合成を報告した。2017年度以降は、ヤヌスキューブが高機能材料として企業から高い注目を集めたことを踏まえ、新規骨格を有する化合物の合成、さらに実用化に向け工業生産に適した合成法の開拓の2点に重点を置いて研究を進め、大量生産に適した手法で、高い機能が期待できる多種の骨格を有する化合物の合成に成功した。本研究開発項目においては、材料として有用な、高度に構造が規制されたオリゴシロキサン形成のための新反応を開拓することを目標としているが、本研究では新しいヤヌスキューブ、さらに新しい骨格を有するシロキサン、反応性置換基を有するシロキサンを、応用を見据えた効率的な合成法で得ることができた。既に企業で材料に向けて高分子合成も行われており、目標は十分に達成できていると考えている。現在の課題は、より安価で安全な原料を用いた合成法への変換と、材料の価格低減のための合成経路の最適化である。今後複数の企業との共同研究を通じ、多彩な方向性をもった応用を展開する。

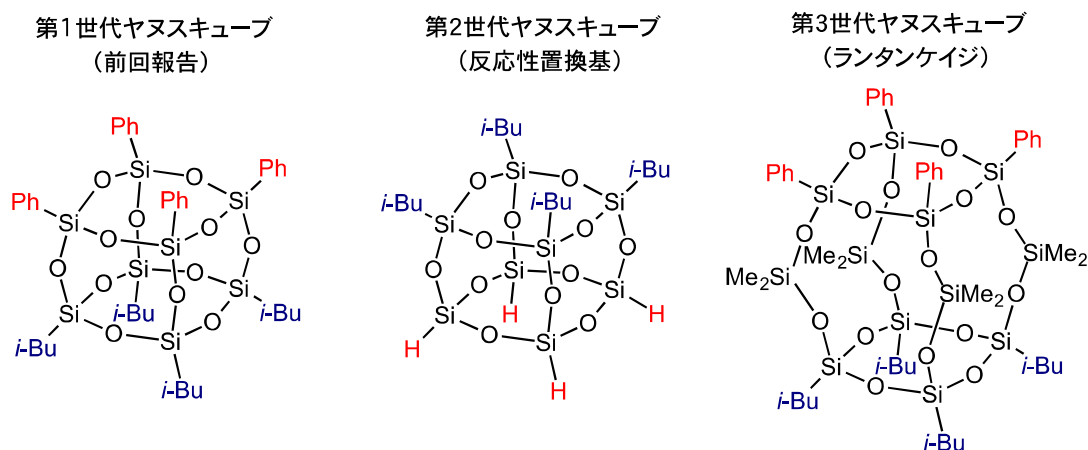


図 3.2.2.2-6 新規骨格ヤヌスキューブの合成

3.2.2.2.2 シリコン版クロスカップリング反応

3.2.2.2.2.1 銅触媒を用いたシラノールとトリアルコキシシランの脱水素カップリングによるトリアルコキシシリル基含有シロキサン化合物の高選択的合成

産総研では、銅ヒドリド錯体触媒存在下、シラノールとトリアルコキシシランとの脱水素カップリング反応が進行し、選択的にトリアルコキシシリル基を有するシロキサン化合物を合成することに成功した。トリアルコキシシリル基含有シロキサン化合物はシランカップリング剤などのケイ素材料において重要な反応性官能基であるトリアルコキシシリル基を有することから、様々な変換が可能な有用なビルディングブロックである。本反応系はヒドロシランとして、ジアルコキシヒドロシラン、モノアルコキシシラン、トリシロキシヒドロシランやジヒドロシランに適用可能であり、対応するカップリング生成物を選択的に得ることができる。さらに、本反応の反応中間体の単離に成功し、反応中間体が銅シロキシ錯体であることを明らかにした。

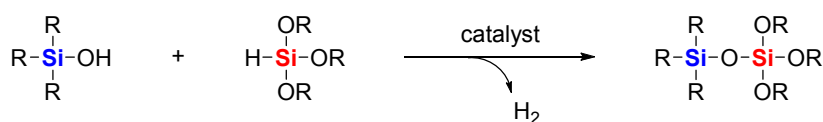


図 3.2.2.2-7 脱水素カップリング反応によるトリアルコキシシリル基含有シロキサン化合物の合成法開発

3.2.2.2.2.2 アシロキシシラン類とシラノールを用いたクロスカップリング反応によるオリゴシロキサン/ポリシロキサン合成技術

産総研では、2016年度までの検討において、固体酸触媒を用いたモノアセトキシシランとシラノール（シランモノオール、シランジオール）の選択的クロスカップリング反応、無触媒条件下でのジ-、トリ-またはテトラアセトキシシランとシラノール（シランモノオール、シランジオール）の選択的カップリング反応等を見出している。とくに、テトラアセトキシシランを用いた場合は、シランジオールとの反応が段階的に進行し、反応性のアセトキシ基を有し、ビルディングブロックとして有用な鎖状3量体、環状4量体、および2環式5量体を得ることができた。

そこで、2017～2019年度の検討では、基質の拡張や反応条件の改良等の検討を行った結果、(1)ジアセトキシシランとシラノールの反応が触媒存在下で効率的に進行すること、(2)テトラアセトキシシランと各種シランジオールの段階的反応により、さまざまな環状4量体や2環式5量体が得られること、(3)アセトキシ基を有する2環式5量体化合物をビルディングブロックとしてポリマー合成を行うと、熱安定性にすぐれた新規な構造規則的ポリシロキサンが得られることなどがわかった。

これらの結果より、構造制御されたオリゴシロキサンやポリシロキサンの合成に関わる反応系や触媒系において、最適な反応条件に関する指標を得るという中間目標は、十分達成されたと考えている。今後、生成物の物性、反応性等の検討を通じて、アセトキシシランを用いる反応の効果的な利用法やケイ素系高機能性材料の開発を進めていく予定である。

3.2.2.2.2.3 Lewis 酸触媒を用いたシリコン版クロスカップリング反応

早稲田大学では、2017～2019 年度の検討において、側鎖有機基の配列が制御された規則構造ポリシロキサンを合成した。原料として側鎖有機基の配列に対称性を有する二種類のオリゴシロキサンを用いることにより、規則構造ポリシロキサンの合成が可能であることを明らかにしている（図 3.2.2.2-9）。

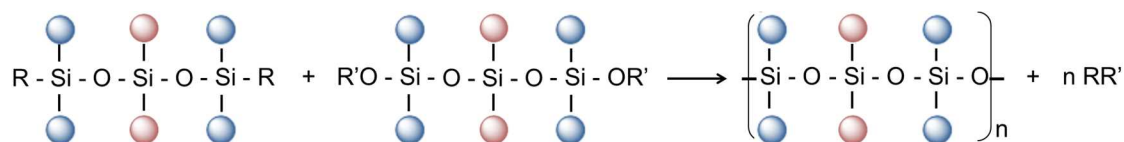


図 3.2.2.2-9 側鎖有機基の配列に対称性を有する二種類のオリゴシロキサンを用いた規則構造ポリシロキサンの合成

2017 年度以降の研究においては、原料の構造や重合反応に用いる触媒、種々の反応条件（温度、濃度等）を検討し、原料とするオリゴシロキサンが持つ側鎖有機基の種類・配列、あるいは T 環境 Si を含む種々の規則構造ポリシロキサンの合成に成功した。

事業当初の目標である規則構造ポリシロキサンの合成について、構造に関する汎用性を実証した。具体的には側鎖有機基の種類や、繰り返し構造単位に含まれるケイ素の数およびその配列、T 単位構造の有無が異なっても、対称性オリゴシロキサンの構造を反映した規則構造ポリシロキサンが生成することが判明した。またこれらの規則構造ポリシロキサンの合成において、 $B(C_6F_5)_3$ 触媒を用いた Piers-Rubinsztajn 反応による重縮合が妥当な選択肢であることを明らかにした。さらによりスケールの大きい合成においても本手法が有効であることが示された。

周期性の高い規則構造ポリシロキサンは、ポリシロキサンの構造と物性の相関を明らかにする上で重要であり、応用面のみならず学術的にも意義深い。実際に、本手法で得た規則的に架橋されたポリシロキサンはランダム架橋レジンとの耐熱性の比較により、材料としての優位性を示すことも確認された。

本成果の課題と今後の予定としては、スケールアップ時の反応条件について検討がなされていないため、触媒や原料の濃度等について検討を進める予定である。また、反応温度や反応時間、原料濃度などに応じて得られる規則構造ポリシロキサンの平均分子量が変化することが予想されるため、今後は反応条件と生成物の平均分子量の関係についても調査を行う。2018 年度の検討において、配列異性体の関係にある ABBBA 型ポリシロキサン、BABAB 型ポリシロキサンを合成した。これらの分子量分布が揃えられれば、配列が物性に与える影響を今後詳しく調査できる。本検討では T 単位構造を含む構造制御ポリシロキサンも合成した。2019 年度以降は、これを Q 単位構造に拡張し、ネットワーク構造を有する規則構造ポリシロキサンの合成について今後検討を行う予定である。

3.2.2.3 ケイ素－ケイ素結合形成技術

図 3.2.3-1 にケイ素－ケイ素結合形成技術に関する 2017～2019 年度計画を示した。

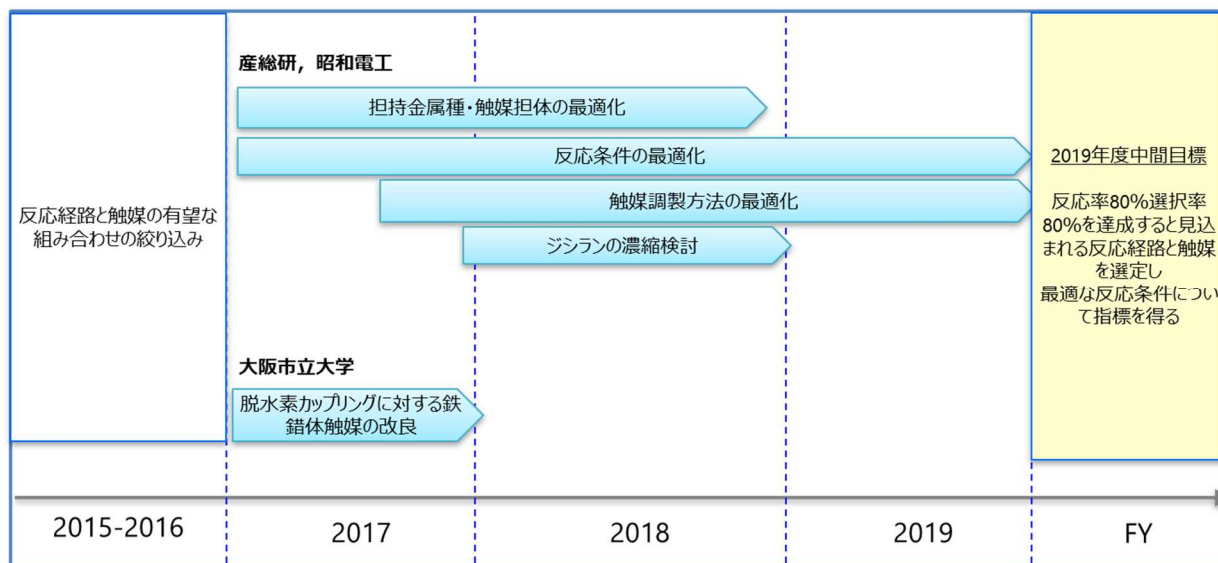


図 3.2.3-1 ケイ素－ケイ素結合形成技術に関する 2017～2019 年度計画

3.2.2.3.1 脱水素縮合反応によるジシランの製造

産総研と昭和電工株式会社は共同で脱水素縮合反応によるジシランの製造に取り組んだ。ケイ素－ケイ素結合を有する化合物のひとつであるジシランは、現在主流の半導体原料であるモノシランに比べ、薄膜シリコンの低温・高速成膜性に優れた材料である。しかし、モノシランと比べて非常に高価であり、世の中ではまだ広く使われていない。本開発項目では、ジシランをより安価に製造するために、原料であるモノシランから触媒を用いることにより、現行の製造法である無触媒－高温熱二量化法よりも低温かつ高収率でジシランを得ることを目指し検討を行った。

モノシランの脱水素カップリング反応を、固定床固体触媒により連続気相反応で検討したところ、遷移金属を担持したゼオライトを用いると、反応温度 300℃以下、高収率でジシランが得られることがわかった（無触媒法は反応温度 400℃以上）。さらに、遷移金属成分として特定の前周期遷移金属担持ゼオライト触媒を用いるとジシラン収率が高く、触媒寿命が長くなることを見出した。特に Mo 担持 ZSM-5 触媒では、200℃で反応を開始し、収率低下のたびに 10℃ずつ昇温を行うことでジシラン収率 8%以上、3065 時間維持した。

さらに、触媒改良および反応条件の最適化により、最大ジシラン収率は 20%に達した。また、ジシラン以外にも次世代半導体原料として有望なトリシランも 7%以上生成した。

実用化に向けた触媒の大量調製方法の最適化検討については昭和電工株式会社で実施し、合計で 60kg の触媒を安定製造できる技術を確立した。

以上の結果から、「実用化を達成すると見込まれる最適な触媒を選定し、最適な反応条件についての指標を得る」という中間目標を上回る成果を達成したと言える。今後は、実用化に向け、特に触媒の高寿命化、収率の向上を目指すとともに、実生産に即した反応条件検討を進める予定である。

3.2.2.3.2 鉄錯体触媒による脱水素縮合反応

大阪市立大学では、鉄錯体触媒による脱水素縮合反応によるケイ素-ケイ素結合形成反応開発に取り組んだ。3.2.2.1.1.4項に記載したように、オレフィンのヒドロシリル化反応に対して、イミノピリジン誘導体を配位子とする鉄錯体が良い触媒活性を示すことを見出した。そこでこの鉄錯体が、ケイ素-ケイ素結合生成に有力な反応であるヒドロシランの脱水素縮合反応に対して、どのような触媒活性を示すかを調べた。その結果、この鉄錯体が脱水素カップリング反応に対しても触媒活性を示すことが分った。イミノピリジン配位子上に種々の置換基をもつ鉄錯体の触媒能の検討を行い、置換基によって触媒能が大きく変化する現象は見られないことが分かった。

一方、本事業における他の研究テーマに人材と予算を投入することが急務となったため、本研究テーマを2018年度以降は中止とした。

3.2.2.4 触媒固定化技術

図 3.2.2.4-1 に研究開発項目②-4 の 2017～2019 年度計画を示した。

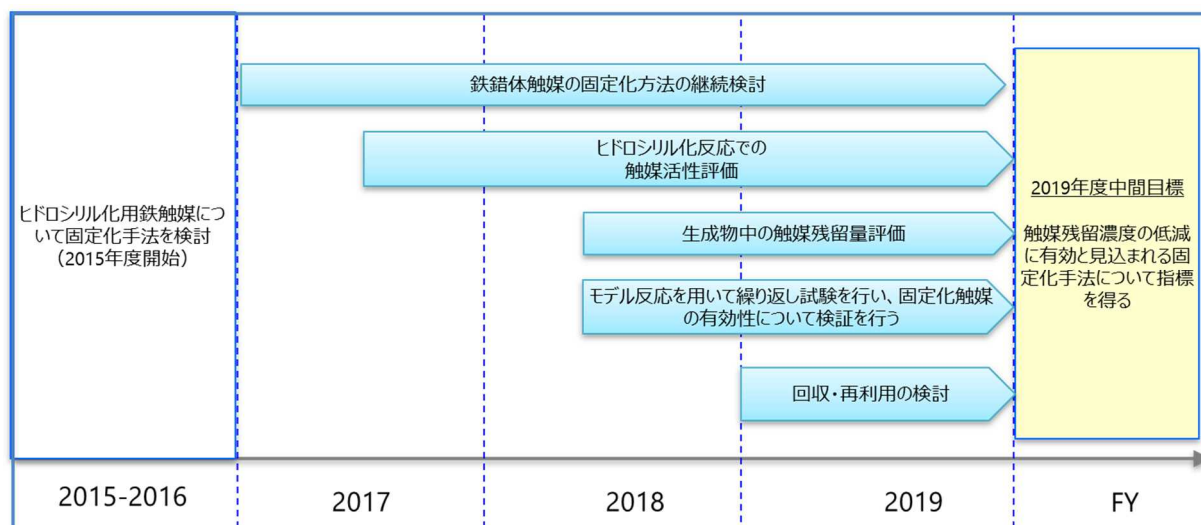


図 3.2.2.4-1 研究開発項目②-4 の 2017～2019 年度計画

大阪市立大学では、ヒドロシリル化用触媒について触媒固定化技術に取り組んだ。オレフィンのヒドロシリル化反応において、本事業ではこれまでにターピリジン誘導体、イミノピピリジン誘導体、および P-N-N 型ピンスー誘導体を配位子とする鉄錯体を合成し、その触媒能の検討を行い、いずれの場合も特徴的な高い触媒活性を示すことを見出してきた。そこで触媒の回収等を有効に行う方法として、この均一系触媒を不均一系とすることを試みた。2016 年度までの検討において、イミノピピリジンのイミノ窒素ならびにイミノピピリジンの中央ピリジンのパラ位にアンカー部分を導入した 2 種の錯体を合成し、それらをシリカゲルと結合させた不均一系触媒の合成を行い、触媒活性能の検討を行った。しかし、高い触媒活性は得られなかった。2017 年度、2018 年度は、ターピリジンを配位子とする鉄およびコバルト錯体をシリカゲルに担持する方法を確立し、そのヒドロシリル化触媒能の検討を行った。その結果、コバルト錯体を担持した場合に触媒活性を示し、反応後にろ過により固体触媒を分離して、繰り返し触媒として使用することも明らかにした。さらに、出発コバルト錯体にアセテート塩あるいは臭化物塩を用いて錯体触媒を合成し、それを反応に用いると、通常では必要となる反応開始剤である還元剤を用いることなくヒドロシリル化反応が進行することを見出した。これにより錯体担持触媒を用いた反応を空気下で行うことが可能となり、実用化に大きく近づいたといえる。

今後は、今回開発したコバルト担持型固体触媒の基質適応範囲の検討を行うとともに、どれくらいの量の錯体が担体に担持されているのか、どのような構造で担持されているのか、担持触媒はどの程度の再利用に耐えられるのか、また触媒活性が低下した場合に再活性化が可能かどうかなどについて検討を行っていく。加えて、シリカゲルビーズへの担持の他に、ガラス容器の表面への担持、さらにフローリアクターへの展開も行っていく。また、他の配位子を担持した場合、および他の遷移金属を導入した場合の触媒活性についても検討を行っていく予定である。

3.3. 知的財産権の取得と成果の普及

3.3.1 特許出願、論文、外部発表の状況

表 3.1-1 に、本事業の特許、論文、外部発表等の件数を示す。

表 3.1-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

年度	特許出願			論文		外部発表		
	国内	外国	PCT* 出願	査読付 き	その 他	学会発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	その他
2012 年度	1	0	0	0	0	4	0	
2013 年度	7	0	1	0	0	11	0	
2014 年度	17	0	1	3	0	28	12	
2015 年度	17	3	5	4	0	48	0	
2016 年度	23	10	9	13	2	39	29	
2017 年度	21	4	7	7	0	48	16	1
2018 年度	18	6	5	7	0	30	2	
2019 年度	0	0	0	1	0	4	1	
2020 年度								
2021 年度								

(※Patent Cooperation Treaty：特許協力条約)

2019 年 6 月 20 日現在

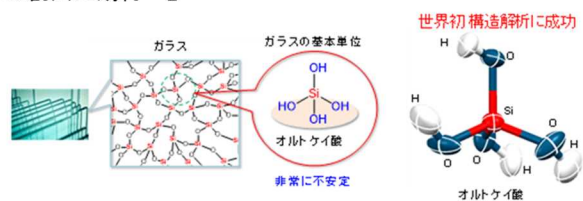
3.3.2 成果の普及

成果の普及に向けた主な活動としては、以下が挙げられる。

1) プレス発表・新聞報道

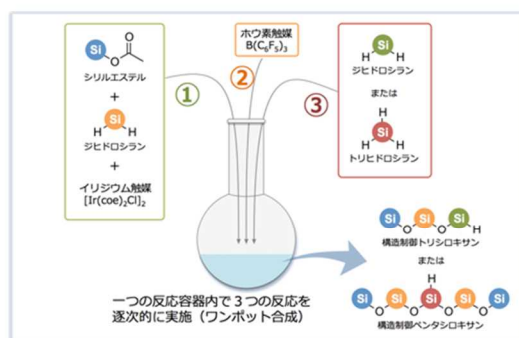
前回の中間評価（2016年10月28日）以降、研究開発項目②-2の成果について、2017年2月2日、2017年7月26日、2018年2月20日に、産総研・NEDOで同時にプレス発表を行った。また研究開発項目②-1の成果について、2019年4月15日に、関西大学・NEDOで同時にプレス発表を行った。

『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)

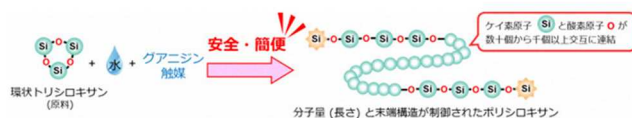
『シロキサン結合のワンポット合成技術を開発—高機能・高性能シリコン材料創出の鍵に—』



ケイ素原子上の置換基は任意に選択可能
例えば、Si = SiMe₃ Si = SiEt₂ Si = SiPh の場合、Me₃Si-O-Si-O-Si-O-Si-O-SiMe₃ が得られる

(2017年2月2日, 産業技術総合研究所)

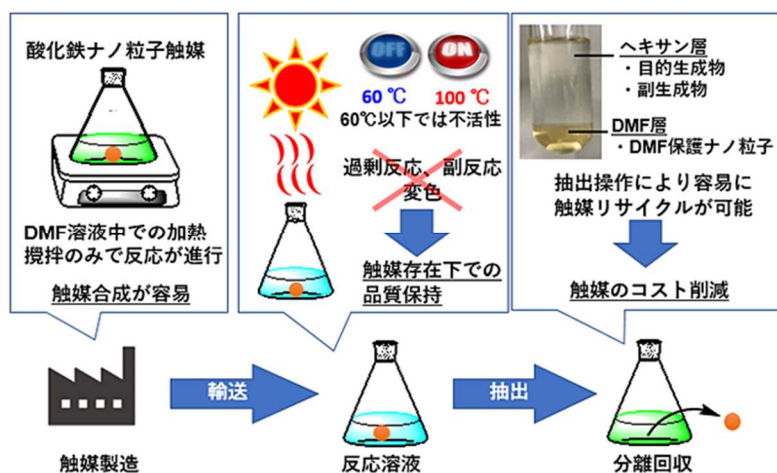
『分子量や末端構造が制御されたポリシロキサンの簡便な合成法を開発—高分子の構造制御による高機能・高性能シリコン材料創出の鍵に—』



(2018年2月20日, 産業技術総合研究所)

図 3.3.2-1 産総研成果のプレス発表

『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)

図 3.3.2-2 関西大学成果のプレス発表

また、本事業の成果や取り組みについて、2018年2月21日付け日刊工業新聞、2018年12月4日付け日経産業新聞、2019年4月16日付け日刊産業新聞、2019年4月16日付け化学工業日報等で紹介された。

2) ホームページでの情報発信

産業技術総合研究所触媒化学融合研究センターのホームページの中にケイ素事業のホームページを作成し（<http://silicon.pj.aist.go.jp/>）、ケイ素事業の概要や成果について紹介している。

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

有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発 (ケイ素プロジェクト)

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
—製造プロセスの大規模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「砂から讀丈な高機能素材」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賞を受賞しました。](#)

産総研
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
AIST
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
お問い合わせ
技術相談

図 3.3.2-3 ケイ素事業ホームページ

3) 産総研テクノブリッジフェアで成果を企業にアピール

産総研における研究成果を企業にアピールする産総研テクノブリッジフェアにて、本事業の成果を紹介している。これをきっかけとして、企業からの問い合わせが寄せられており、今後本事業成果の実用化に繋がるケースも出てくるものと期待される。



図 3.3.2-4 産総研テクノブリッジフェアでの出展例

4) 産総研一般公開にてプロジェクトの概要・成果紹介

毎年 7 月に行っている産総研一般公開にて、本事業の概要や成果について、一般市民にわかりやすく紹介している。



図 3.3.2-5 産総研一般公開での出展例

3.4 最終目標の達成可能性

表 3.4-1 に各開発項目について最終目標の達成の可能性をまとめた。

- ① 「砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発」のうちテトラアルコキシシラン製造に関しては、シリカから高収率・高選択的に製造可能な方法を見出すとともに、従来法に比べ低コストで製造可能な反応経路を絞り込めており、段階的なスケールアップに成功している。テトラアルコキシシラン製造・販売を主力事業とするコルコート社においても実用化の最初のターゲット化合物（テトラプロポキシシラン）を選定し、実用化研究が進んでいることから、このまま実用化に向けて研究を推進していけば最終目標の達成が十分見込まれる。一方、メチルシランやヒドロシランの製造においても、有望な反応経路を絞り込んでおり、今後触媒や反応条件の検討を進めていく。
- 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」に関しては、1) ケイ素－炭素結合形成技術において、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、2) ケイ素－酸素結合形成技術において、構造制御されたオリゴシロキサンやポリシロキサンの製造に利用できるシラノールや反応性官能基を有するオリゴシロキサン、かご型シロキサン等のビルディングブロックの選択的合成、ポリシロキサンの精密構造制御技術等の実用的なプロセスの開発、3) ケイ素－ケイ素結合形成技術においては、モノシランから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・寿命を持つ触媒の開発に成功しており、今後引き続き検討を進めることにより十分最終目標の達成が可能であると考えている。

表 3.4-1 最終目標達成の可能性

	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。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本事業における「実用化」の考え方は以下のとおりである。

- 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。

図 4. -1 本事業における「実用化」の考え方

4.1 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

これまでの研究開発の状況をもとに、主だったものについて実用化が期待される技術の例を図 4.1-1 に示した。

テトラメトキシシランやテトラエトキシシラン等のテトラアルコキシシラン類は、シリコーンレジンの原料として重要であるとともに、高純度合成シリカや電子デバイス用の保護膜、絶縁膜の原料としても有用であり、幅広い産業分野で使用されている重要なケイ素化合物である。またテトラプロポキシシランは主としてシリコーンゴムの架橋剤の硬化速度調整のために用いられている。現在、これらテトラアルコキシシラン類は、工業的には天然のケイ石を出発原料に、大量の電気エネルギーを用いて製造される金属ケイ素を経由して製造されている。これは典型的なエネルギー多消費プロセスであり、テトラアルコキシシラン類のコスト高の一因ともなっている。2017～2019 年度の検討により、研究項目では、モレキュラーシーブ法によるテトラアルコキシ製造プロセスについて、スケールアップした実験結果を基に化学プロセスシミュレーションを行った。その結果、原料のケイ素源について、もみ殻燃焼灰など国内の入手容易な各種天然ケイ素源へ適用可能であることを明らかにするとともに、本プロセスが、金属ケイ素の製造に比べ大幅に低い温度で実施可能であり、使用エネルギーを大きく低減して、二酸化炭素排出量を現行製造法より半減させられるポテンシャルを有することを明示した。今後、スケールアップ等実用化に向けた検討を進めることにより、最終年度までに当初の目標どおり 1kg で所定の技術レベルを確立することは十分可能であるが、TPOS においては、実施企業であるコルコート社で実用化のための検討が先行して進んでおり、この最終目標は前倒しで達成できる可能性もある。その後スケールアップ等の検討を数年間実施し、実用化を達成する。

メチルシラン類は、シリコーン産業の根幹をなす原料であるが、現行法を置き換える手法の開発は最難関の課題である。現在、メチルシラン類の製造は金属ケイ素と塩化メチルとの反応により行われており、金属ケイ素を経由することから典型的なエネルギー多消費プロセスとなっている。本事業では、現行法に比べ大幅な省エネルギープロセスの開発を目指している。固体触媒を用いた検討では、前回の中間評価（2016 年度）ではモデル化合物を原料とする反応開発に留まっていたが、今回は実際のターゲットであるテトラアルコキシシランを

原料に、メチルシランに変換可能であることを示した。また均一系触媒を用いた検討では、安価な水素源を用いてアルコキシシラン類からヒドロシラン類を製造する反応経路について有望なものを絞り込むことができた。今後、触媒や反応条件を検討することにより、最終年度までには所定の基盤技術レベルを確立することを目指している。

ケイ素－炭素結合形成反応のうち、工業的に最も重要な反応の一つがヒドロシランのオレフィンへの付加反応であるヒドロシリル化反応である。ヒドロシリル化反応では、工業的には主に白金化合物が触媒として用いられている。ヒドロシリル化反応は、シランカップリング剤など、種々の有機ケイ素部材の製造に用いられるとともに、シリコンを最終的な利用形態へと変換する硬化反応にも多用されており、多くの場合最終製品に触媒として用いた白金が残留し回収することができない。白金の生産は南アフリカやロシアに限定されており、現在年間 200t ほど生産されているが、そのうち約 3% がヒドロシリル化反応に利用され、その大部分が回収されずに失われている。また、硫黄、リン、窒素といった配位性原子は白金触媒の触媒毒として作用するため、これらの原子を含む基質のヒドロシリル化反応では、白金触媒は有効に働かない。さらに、工業的に重要なオレフィン類であるアリル化合物を基質とした場合には、白金触媒では副反応が優先することがしばしば問題となる。したがって、ヒドロシリル化反応において解決すべき主要な課題としては、(1) 白金を代替する安価で供給不安のない触媒の開発、(2) 白金触媒が苦手とする基質に有効な触媒の開発、の 2 点が挙げられる。(1) に関しては、反応開始剤が不要でハンドリング性が大幅に向上した鉄錯体触媒の開発に成功した。また、温度による外部刺激に応答して活性を制御することができる金属微粒子触媒の開発に成功した。(2) に関しては、アリル系基質やヘテロ原子含有基質のヒドロシリル化に有効な高性能触媒の開発に成功した。(1) に関しては、引き続き工業的に重要な 3 級シランにおける触媒活性向上を図るとともに、反応条件最適化、スケールアップ検討、企業連携等を順次行うことにより最終目標を達成する。(2) に関しては、さらなる基質反応条件最適化、スケールアップ検討等を順次行うことにより最終目標を達成する。その後、スケールアップ検討を数年間行うことにより、実用化を達成する。

ケイ素－酸素結合はシリコンの骨格をなす結合であり、その効率的・選択的・形成技術は、高機能有機ケイ素部材の製造において極めて重要である。これまでに、従来技術では困難であった (1) 様々なシラノール系ビルディングブロックの単離やシロキサン系ビルディングブロックの製造法開発、(2) 構造制御された機能性ポリシロキサン製造のための基盤技術開発、(3) 非対称アルコキシシランやアシロキシシランの効率的製造法開発、等に成功している。これらの技術により、新規シランカップリング剤や高度に構造制御されたオリゴ・ポリシロキサンの製造が可能になると期待されるとともに、一部の物質に関しては表面処理剤として有効であるとの知見も得ている。今後、具体的ターゲット材料設定、スケールアップ検討等を順次行うことにより最終年度までに 1kg スケールで所定の数値目標を達成する。その後、スケールアップ等の実用化に向けた検討を数年間行うことにより、実用化を達成する。また本技術で生み出した新規化合物群は Material Transfer Agreement (MTA) の契約に基づいて、様々な産業分野の企業への研究試料の提供が進んでおり、実用化とケイ素化合物の利用拡大につながると期待される。

ケイ素－ケイ素結合形成技術においてターゲットとしているジシラン類は、現在、薄膜半導体原料の主流となっているモノシランに比べ、薄膜シリコンの低温・高速成膜性に優れた

材料として期待されている原料である。しかし、ジシランはモノシランに比べ非常に高価であり、世の中ではまだ広く使われていないのが現状である。本事業では、安価な原料であるモノシランを用いた脱水素カップリングによるジシランの製造技術の開発を行っている。触媒改良および反応条件の最適化により、最大ジシラン収率は20%に達した。また、ジシラン以外にも次世代半導体原料として有望なトリシランも7%以上生成した。実用化に向けた触媒の大量調製方法の最適化検討については昭和電工株式会社で実施し、合計で60kgの触媒を安定製造できる技術を確認した。今後最終年度までにユーザー企業と連携して必要な触媒機能の改良に取り組むことで実用化を図る。

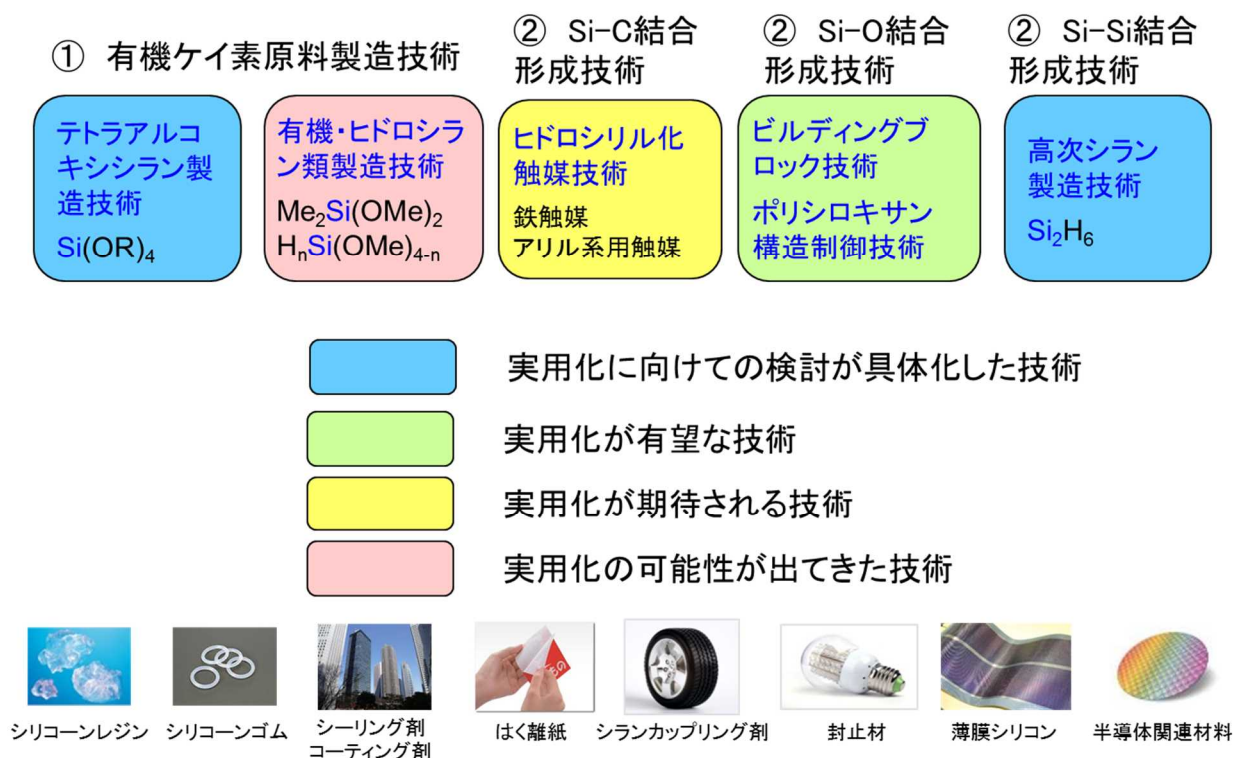


図 4.1-1 実用化が期待される技術

4.2. 実用化に向けた具体的取り組み

本事業で開発を進めている有機ケイ素原料の新規製造技術や有機ケイ素部材製造法の開発は多岐に渡っている。研究は概ね順調に進展しており、実用化が期待できる有望な技術も多数見出されている。一部の研究開発課題に関しては、実用化を見据えて企業と共同開発を進めている状況にあり、このような技術に関しては、企業側の事業化への強い要望があり、早期の技術移転を希望するなどの状況があれば、事業の終了を待たずに本事業から離れ、別の枠組みで実用化に向け、本事業技術に、さらに独自の開発技術を加重することなどで、研究を進めることも視野に入れている。また、ケイ素-酸素結合形成技術等では、多くの基盤技術の開発が進んでおり、今後実用化を見据えた具体的なターゲットを設定し、基盤技術の展開を図っていく。他の研究開発課題においては、事業終了時まで最終目標を達成できるよう、事業で設定したスケジュールに従い、技術開発を進めていくこととしている(図 4.2-1)。

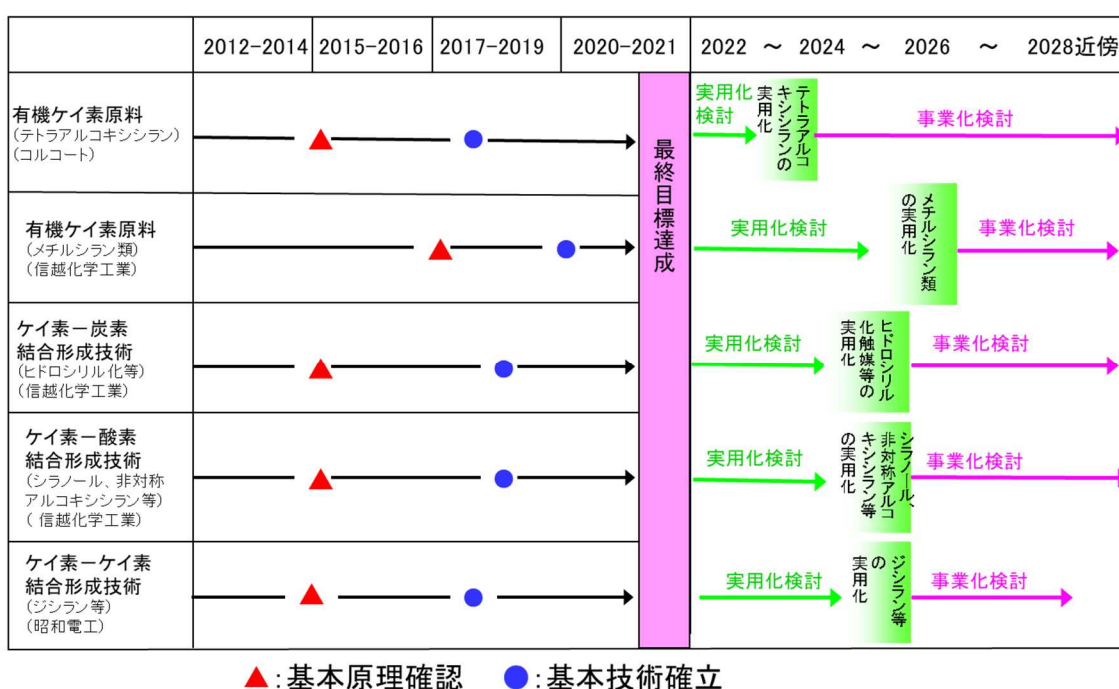


図 4.2-1 実用化に向けた取り組み

4.3 波及効果

・学術の推進・他分野への波及

本事業の研究開発において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資金提供型の共同研究に発展している（研究開発項目①関連で共同研究4件、研究開発項目②関連で共同研究6件）。

これは本事業で生み出した成果が端緒となり、民間企業がリスクをとって資金提供をして課題解決したいテーマを大学や公的研究機関に持ち込み、新しいイノベーションに取り組む仕組みが生まれつつあり、ケイ素化学産業だけでなく、半導体産業や自動車部材産業など幅広い分野の産業競争力強化に波及する可能性を持つ。

プロジェクト成果が基盤となった民間企業との資金提供型共同研究への波及

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資金提供型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

図 4.3-1 波及効果

・人材育成

本事業は、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・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。

また、2016年度からは、リサーチアシスタント（RA）制度により、大学院博士後期課程の学生をRAとして本事業に参加させるなど、大学等での純粋基礎研究の課題に加え、本事業で目的基礎研究の課題に取り組むことにより、幅広い視野を持った研究者の育成に繋がるものと考えている。

「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発（革新的触媒）」
実施計画

平成24年5月30日
産業技術環境局
製造産業局

1. 未来開拓研究プロジェクトの目標及びその研究開発の内容

(1) 研究開発の概要

化学産業は我が国の一大産業であり、高い国際競争力を誇る製品を多数生み出している。一方で、同産業は化石資源を大量に消費し、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。

太陽エネルギーにより水から水素を製造する光触媒のエネルギー変換効率を30倍以上に飛躍的に向上させることにより、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基幹化学品の製造が可能となる。これにより、2030年頃にはオレフィンの原料であるナフサを17%程度削減できると推測される。また、ケイ素に適用可能な新たな触媒を開発することにより、有機ケイ素部材の高性能化等が可能となり、これら高機能有機ケイ素部材を活用した次世代LED、有機EL、太陽電池等の高付加価値で省エネに大きく寄与する製品の市場拡大や新市場の創造に大きく貢献する。

本プロジェクトでは、無尽蔵な太陽エネルギーを利用して水等の分解により得られる水素等（以下「ソーラー水素等」という。）を高効率で製造する「革新的光触媒」や「分離膜」等を研究開発し、また水素と二酸化炭素等からプラスチック原料等基幹化学品を製造する「合成触媒」及び「反応プロセス」等の研究開発を行うことにより、将来にわたる基幹化学品の持続的な確保を実現する。また、金属ケイ素を経ない砂（ケイ砂）からの有機ケイ素原料や、同原料からの高機能有機ケイ素部材を製造する「触媒」等の研究開発を行うことにより、有機ケイ素部材の高性能化や製造プロセスの省エネ化（低コスト化）による高機能有機ケイ素部材（次世代LED封止材、有機EL封止材、太陽電池用部材等）を活用した製品の市場拡大等を実現する。

(2) 各研究開発テーマの内容

①二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発

(i) ソーラー水素等製造プロセス技術開発（革新的光触媒）

「水」又は「水と二酸化炭素」を原料に太陽エネルギーによりソーラー水素等を製造することを目的に、光触媒や助触媒、水素分離膜、及びこれらのモジュール化技術等の研究開発を行う。

具体的には、光触媒のバンド準位の制御による吸収波長の長波長化や欠陥の少ない触媒の合成、光触媒と助触媒の界面の設計等の研究開発を行い、スラリー型、電極型及びそれらのハイブリッド型のモジュールを想定し、大表面積と物質拡散性を両立するモジュールの設計等を行う。この際、大規模な展開を考慮して希少金属を使用しない元素戦略的な触媒設計を目指す。また、水素分離膜については、より小さい開孔径を有する薄膜の生成機構の解明やそれを踏まえた薄膜合成法等の研究開発や水素を安全に分離可能なモジュールの設計等を行う。

これにより、後述(ii)の二酸化炭素資源化プロセスに必要な不可欠なソーラー水素等を低コストで安全に製造するプロセス基盤を確立する。

(ii) 二酸化炭素資源化プロセス技術開発（プラスチック原料等基幹化学品への変換触媒）

(i)で得られるソーラー水素等を原料として、プラスチック原料等基幹化学品を高選択的に製造することを目的に、合成触媒及び反応プロセスの研究開発、小型パイロットでの実証試験等を行う。

具体的には、触媒の組成探索による炭素数2～4のオレフィン選択性の高い合成触媒の研究開発やプロセスのコストシミュレーションによる反応プロセスの最適化の検討及び小型パイロットでの連続運転による触媒寿命の長期化等の検証等を行う。

これにより、(i)の研究開発と組み合わせることで、石油資源に依存しない二酸化炭素と水を原料とした太陽エネルギーによるプラスチック原料等の基幹化学品を製造するプロセス基盤を確立する。

②有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発

(i) 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発

砂から金属ケイ素を経由せずに有機ケイ素原料を製造することを目的に、触媒等の研究開発を行う。

具体的には、ケイ砂を効率的に反応させるための処理方法の検討や不純物の影響の解析等、触媒の中心元素の種類や配位子構造の検討等を行う。更に、温度や反応媒体等の反応条件についても検討し、触媒反応のプロセス化に向けた要素技術の検証等を行う。これらを複数の反応経路を想定して実施する。

これにより、有機ケイ素原料を金属ケイ素を経ずに製造する触媒反応プロセス基盤を確立する。

(ii) 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

有機ケイ素原料から高機能有機ケイ素部材を製造することを目的に、現行の白金触媒を代替する非金属系等の触媒や有機ケイ素部材の高度な構造制御を可能とする触媒等の研究開発を行う。

具体的には、複数の高機能有機ケイ素部材を想定し、触媒の活性中心元素や配位子構造の検討等を行い、更に触媒反応のシミュレーションを実施する等、触媒の高活性化や反応の高効率化を検討する。また、有機ケイ素部材中の残留触媒を低減するため、触媒の固定化等を行う他、得られる有機ケイ素部材の構造解析等を行う。

これにより高機能有機ケイ素部材の性能向上や製造プロセスの省エネ化（低コスト化）を可能とするプロセス基盤を確立する。

(3) 各研究開発テーマの目標

①二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発

(i) ソーラー水素等製造プロセス技術開発（革新的光触媒）

【中間目標（26年度末）】

光触媒等の変換効率（太陽エネルギーが水素等の生成に寄与する率）1%を達成する。

光触媒等の変換効率を最大限引き出すモジュール化に向けた技術課題の抽出を行う。

水素と窒素系で高い透過係数を持つ複数の分離膜を開発し、水素・酸素分離膜候補を抽出する。

【中間目標（28年度末）】

光触媒等の変換効率3%を達成する。

光触媒等のモジュール化の個別要素技術を確立する。

水素・酸素系での分離膜性能を確認し、分離膜を確定する。また、安全に分

離できるモジュールの仕様を明確にする。

【中間目標（31年度末）】

光触媒等の変換効率7%を達成する。

小型バッチ式で変換効率を最大限引き出すモジュールを設計する。

モジュールベースで水素を安全に分離する技術を確立する。

【最終目標（33年度末）】

光触媒等の変換効率10%（現在の30倍）を達成する。

小型フロー式で変換効率を最大限引き出し、長期耐久性も兼ね備えたモジュールを設計する。

水素を安全に分離可能な長期耐久性も兼ね備えたモジュールを設計する。

(ii) 二酸化炭素資源化プロセス技術開発（プラスチック原料等基幹化学品への変換触媒）

【中間目標（26年度末）】

投入された水素又は二酸化炭素由来の炭素のオレフィンへの導入率として70%（ラボレベル）を達成する。

プロセスのコストシミュレーションによる反応プロセスの最適化を行い、小型パイロットの仕様を確定する。

【最終目標（28年度末）】

投入された水素又は二酸化炭素由来の炭素のオレフィンへの導入率として80%（ラボレベル）を達成する。

小型パイロット規模でのプロセスを確立する。

②有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発

(i) 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（26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（28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（31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。

原料に用いるケイ砂の処理方法等を選定する。

【最終目標（33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。

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。

(ii) 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（26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（28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（31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（33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。

2. 未来開拓研究プロジェクトの成果を事業化するための取組その他未来開拓研究プロジェクトの内容に関する事項

(1) 推進体制の構築

1. (2)に掲げる各研究開発テーマに関する研究開発及び事業化の段階において優れた技術、知見を有し、相互補完的な関係にある企業、大学、公的研究機関等から構成される事業推進体制（以下「推進体制」という。）を構築する。推進体制を構成する企業等の選定に当たっては公募を実施し、採択決定後、参加企業等がそれぞれどのような役割を担うのか、他の参加企業等とどのように連携するのか分かるよう、体制図を定めることを求める。

(2) 推進体制の効果的な運用

①知的財産権の取扱い

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「産業技術力強化法（平成12年4月19日法律第44号）」第19条及び同法施行令第11条の規定等に基づき、同法令を遵守することを条件に原則として、委託先に帰属させることとする。

また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発及び事業化を効果的に推進するために、知的財産管理規程等を定めることを求める。

②大学における人材の流動化等に係る取組

大学の研究者の企業等への出向を容易にするための取組や守秘義務を課した形での大学院生やポスドク等のプロジェクトの参加などの本プロジェクトを活用した実践的人材の育成への取組を促すこととする。また、大学側も、これらの取組を促進する方策について検討するものとする。

(3) 関連独立行政法人の協力

①新エネルギー・産業技術総合開発機構の協力

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）では本プロジェクトに関連する光触媒や化学プロセス関連の各種技術開発を実施してきており、当該分野での実施主体、事業内容に係る知見、ノウハウ等を有することから、経済産業省は、必要に応じて、NEDOに対して協力を求めるものとする。協力を求める場合、具体的には、事業者公募時の採択審査における審査委員の選定、実施計画に沿った具体的な研究計画等の策定、推進体制の構築、進捗状況の把握・分析等を行うに際し、支援を求めるものとする。

②産業技術総合研究所の協力

独立行政法人産業技術総合研究所では、光触媒による水分解、二酸化炭素の化学変換、ケイ素系高分子材料等に関する研究開発を実施してきており、本プロジェクトに関する技術的知見等を有することから協力を求めるものとする。また、技術的な難易度が高く、本プロジェクトでは対象としていない、二酸化炭素及びケイ素等から機能性化学品を製造する技術について、将来のプロジェクト化に向けた触媒・プロセス技術に関する基盤研究を行うこととしているが、その成果について定期的に意見交換を行い、本プロジェクトの研究開発又は事業化の方向性を検討する等連携を行うものとする。

③工業所有権情報・研修館の協力

本プロジェクトにおける知的財産に関する戦略策定や管理方法の検討に当たって、必要に応じて、独立行政法人工業所有権情報・研修館に知財プロデューサーの派遣を求めることとする。

(4) 他省庁の施策との連携体制の構築

経済産業省は、必要に応じて、文部科学省の「元素戦略プロジェクト」や独立行政法人科学技術振興機構の「先端的低炭素化技術開発」など基礎研究及び基盤的研究開発の実施体制と緊密に連携するため、各プロジェクトの統括者、主要参加企業、大学等の責任者、所管省庁等の課室長等から構成される連携体制を構築する。当該連携体制では、プロジェクト間の、事業計画の調整、成果の共有や取扱いの調整、設備の共用や研究人材交流の促進等について協議を行うものとする。

(5) その他事業化促進の取組

研究開発段階から新技術の安全性・性能に係る評価基準の策定、当該基準に基づく認証の活用、知的基盤の質的向上を検討する等、研究開発から事業化まで一貫した推進体制を構築する。

また、事業戦略と一体となった国際標準化を進めるとともに、諸外国に先んじて国際標準を獲得するため、業界団体等の内部でのコンセンサス形成を必須としない「トップスタンダード制度」を活用する等、国際標準提案に係る戦略的かつ迅速な国際標準獲得等のための体制を整備する。

3. その他実施計画に関する事項

(1) 担当課

本実施計画の作成責任課は、製造産業局化学課及び産業技術環境局研究開発課である。

(2) 実施計画の改定

①随時の見直し

経済産業省は、関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を取り込むこととし、必要に応じて、実施計画に掲げられた研究開発プロジェクトの目標や研究開発の内容を変更するものとする。

②中間評価を踏まえた見直し

経済産業省は、外部有識者による評価を原則として平成26年度、28年度、31年度に実施することとし、内外の研究開発動向の変化、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化その他の情勢の変化を踏まえ、本プロジェクトの必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等について見直しを行い、必要に応じて、実施計画又は基本方針の別添を改定するものとする。

(3) 実施計画の改定履歴

平成24年5月、制定。

P 1 4 0 0 3

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」基本計画

材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

① 政策的な重要性

化学産業は我が国の一大産業であり、高い国際競争力を誇る製品を多数生み出している。一方で、同産業は化石資源を大量に消費し、二酸化炭素（CO₂）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。

本プロジェクトは、エネルギー多消費の既存の有機ケイ素原料の製造プロセスに代わる新たな革新的省エネプロセスと高機能な有機ケイ素部材の製造プロセス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するものであり、有機ケイ素工業のエネルギー制約を克服するためには不可欠な技術開発である。さらには、本技術の確立は、我が国の有機ケイ素工業の国際的競争力の強化につながるものである。

本プロジェクトは、我が国が抱える環境・エネルギー制約等の構造的課題を克服するために、国内トップレベルの実施主体による産学連携研究体制で進める長期プロジェクトである未来開拓型研究として実施しているものであり、また、内閣府総合科学技術会議が策定した、「科学技術イノベーション総合戦略（平成29年6月2日、閣議決定）」において、エネルギーシステム全体を横断して各分野の機能を維持・向上し、大幅な省エネルギーへ貢献する重要な技術として位置付けられている。

② 我が国の状況

有機ケイ素工業は化学産業の中でもシリコン等の高機能な部材を提供するものであり、炭素系材料と比べて高価ではあるものの、電子材料分野や塗料分野等、幅広い産業で使用されている。しかし、現在の有機ケイ素工業は、主原料のSiO₂をSi金属に変換する工程を含むプロセスに依存しており、この工程で多大なエネルギーを必要とする。このことが、シリコン等の有機ケイ素部材が高価となっている要因の一つである。このため、Si金属を経由しない有機ケイ素製造プロセスの確立が求められている。

また、有機ケイ素工業においてシリコンの硬化や有機ケイ素化合物の製造に広く用いられるヒドロシリル化触媒は、古くから利用されているPt触媒であり、使用量が微量ではあるものの、高価である、供給不安がある、部材中に残存する使用法の場合は回収が困難である、残存による製品性能が低下する、等の問題があり、これを代替する触媒の開発が求められている。加えて、有機ケイ素工業の主製品であるシリコンは、安定性、耐侯・耐熱性、透明性といった特性から、有機ポリマー部材に比べて高価であるにもかかわらず広い産業分野で使用されているが、より性能を向上させることが求められており、これには構造制御や

コンタミの防止が重要な課題である。さらに、特定の構造を有する有機ケイ素部材は、その製造工程で大量の無機物が排出され、環境面・コスト面で問題があるため、このような問題の無い製造プロセスが求められている。

以上のように、有機ケイ素工業がエネルギー面、コスト面等の問題を解決し、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製造プロセスの確立が求められている。

③ 世界の取組状況

有機ケイ素部材の世界市場は2013年調査で推定1.3兆円であり、年率6%の成長が見込まれている。日本企業のシェアは出荷額ベースで約20%を占める。世界でも屈指の生産規模を有する信越化学工業、高付加価値用途であるSi系LED封止材でトップシェアを有する東レ・ダウコーニングなど、この分野の日本企業は高い技術力を有している。本プロジェクトで解決を目指す技術課題は世界的にも解決が求められており、有機ケイ素部材の製造にかかる触媒については、企業や大学等で主に基礎的レベルでの個別の技術開発が進められている。一方、SiO₂から金属ケイ素を経由しない有機ケイ素の製造プロセスについては、世界的に見ても例がない状況である。

④ 本事業のねらい

本プロジェクトでは、有機ケイ素製造に係る新たな触媒技術及び触媒プロセス技術を開発することにより、前述した課題を解決することを目的とする。これにより、有機ケイ素原料製造プロセスを確立し、大幅な省エネルギー化を実現させる。また、有機ケイ素部材の製造コストの低減と性能の向上を図り、その市場を拡大させるとともに、我が国の産業競争力を強化させる。

(2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

本事業の終了時及び中間時点におけるアウトプット目標は以下のとおりとする。

【最終目標】

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%、有機ケイ素原料の反応率50%、及び選択率50%を達成する。ただし、別紙1に記載されている研究開発内容のうち(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)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。

【中間目標】

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

【平成26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。

【平成28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。

【平成31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。ただし、別紙1に記載されている研究開発内容のうち(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)については、平成31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。

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

【平成26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。

【平成28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。

【平成31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。

② アウトカム目標

新規有機ケイ素原料製造プロセスの実用化により、2030年には従来プロセスによる製造と比較して44万kL/年の使用エネルギーを削減するとともに、101万t/年のCO₂排出量削減が期待される。また、高機能有機ケイ素部材製造プロセスの実用化により、高機能有機ケイ素部材の提供が可能となり、LEDや太陽電池等、さまざまな製品の性能向上で省エネルギー化に貢献する。もって、有機ケイ素部材の提供価格の低下や性能の向上等によって適用分野を広げ、2030年には、有機ケイ素部材の日本の出荷額を1兆円規模に拡大することを目指し、産業競争力強化を達成する。

③ アウトカム目標達成に向けての取組

本プロジェクトで開発した成果を基に、プロジェクト終了後に参画企業が実用化に向けた

検討を行い、事業化する見込みである。NEDOは、実用化が早期に達成されるよう、本プロジェクトの成果目標が着実に達成されるべく進捗管理を行うとともに、必要に応じて、各企業が主体的に実施する実用化に向けた技術開発への支援を行う。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

【委託事業】

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

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する研究開発であり、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャーにNEDO材料・ナノテクノロジー部の山田 浩主査を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理を担当させ、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。本研究開発は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクト「革新的触媒」において実施されるものであり、平成24年度に経済産業省が、企業、大学等の研究機関（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって研究開発実施者を選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して開始したものである。平成26年度からNEDOが本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえて研究開発を実施する。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として、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の佐藤一彦研究センター長を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理に当たっては、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる項目を実施する。

①研究開発の進捗把握・管理

NEDOは、主としてプロジェクトリーダーを通して研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

②技術調査の実施

NEDOは、本技術開発に関する調査を実施し、その調査結果を適宜研究開発に反映させる。これにより、研究開発がより有効なものになるように、本事業の運営管理を行うこととする。

3. 研究開発の実施期間

平成26年度から平成33年度までの8年間とする。

なお、本プロジェクトは、平成24年度から平成25年度までは経済産業省により実施したが、平成26年度からNEDOが実施する。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を経済産業省での事業開始から通算して3年目（平成26年度）、5年目（平成28年度）、8年目（平成31年度）、事後評価を終了年度の次年度（平成34年度）とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に導入・普及するように努めるものとする。また、NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及・導入を促進する。

②標準化施策等との連携

本研究開発で得られた成果については、標準化等との連携を図るため、標準案の提案等を必要に応じて実施する。

③知的財産権の帰属

本研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ニ及び第二号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

平成26年2月、制定。

平成26年6月、プロジェクトリーダーの委嘱に伴う改訂。

平成26年7月、「技術調査の実施」の追記に伴う改訂。

平成27年2月、評価制度の見直しに伴う改訂。

平成29年2月、アウトプット目標と期限の追記に伴う改訂。

平成30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。

平成31年2月、(別紙2) 研究開発スケジュールの変更に伴う改訂。

(別紙1) 研究開発計画

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」

1. 研究開発の必要性

有機ケイ素原料の製造プロセスの省エネ化を実現するためには、砂から金属ケイ素を経由せずに製造する基盤技術が必要となる。砂はケイ素原子の全てが酸素と結合しており、これら全てのケイ素-酸素を開裂するのではなく、必要な分だけを選択的に開裂させて有機基に置換した有機ケイ素原料を合成する反応経路を確立する。すなわち、反応経路として、砂から、テトラアルコキシシラン等のQ単位構造中間原料を経由し、そのケイ素-酸素結合の一部をケイ素-炭素結合等に変換することによる、有機ケイ素原料製造法の開発や、高機能有機ケイ素部材の原料として期待されてい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、高活性ケイ素化学種を経る有機ケイ素原料製造法の開発等に取り組む。

2. 研究開発の具体的内容

(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

砂からの有機ケイ素原料製造に当たり、固体原料である砂のケイ素-酸素結合を開裂することにより低分子化して、液体又は溶媒に可溶なQ単位構造中間原料（テトラアルコキシシランなど）に変換するルートに関する触媒技術の開発を行う。テトラアルコキシシランの合成に関しては、アルコール、金属アルコキシド、炭酸ジアルキル等をケイ砂（シリカ）と反応させる方法等を検討する。

(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

テトラアルコキシシラン等のQ単位構造中間原料からの有機ケイ素原料合成法として、有機化剤を用いて有機基をケイ素上に導入する方法、酸素原子を還元剤で取り除く方法等に有用な触媒技術の開発を行う。

(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

砂の規則構造を部分的に保持したQ単位構造を基本構造とするビルディングブロックを選択的に切り出すための触媒技術の開発を行う。

(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

砂から高活性ケイ素化学種を経由して有機ケイ素原料を製造する方法の開発を行う。

(5) その他の反応

金属ケイ素を経ずに有機ケイ素原料を効率的に製造する技術の開発は極めて難度が高いため、(1)～(4)以外の方法についても検討し、必要に応じて開発に着手する。

3. 達成目標

【中間目標(平成26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(平成28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(平成31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。さらに、2. (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)については、平成31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(平成33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。さらに、2. (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。

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」

1. 研究開発の必要性

有機ケイ素工業においてシリコーンの硬化や有機ケイ素化合物の製造に広く用いられるヒドロシリル化触媒は、古くから利用されている白金触媒であり、使用量が微量ではあるものの、高価である、供給不安がある、用途によっては回収が困難である、残存による製品性能が低下する、等の問題があり、これを代替する触媒の開発が求められている。また、有機ケイ素工業の主製品であるシリコーンは、安定性、耐候・耐熱性、透明性といった特性から、有機ポリマー部材に比べて高価であるにもかかわらず広い産業分野で使用されているが、更に性能を向上させることが求められており、これにはコンタミの防止や構造制御が重要である。さらに、特定の構造を有する有機ケイ素部材は、その製造工程で大量の無機物が排出され、環境面・コスト面で問題があるため、このような問題の無い製造プロセスが求められている。

これらの技術課題を解決するため、有機ケイ素部材の代表であるシリコーンの主要構造である「ケイ素－炭素結合」及び「ケイ素－酸素結合」、特異な電子・光物性を持つ有機ケイ素部材であるポリシランの主要構造である「ケイ素－ケイ素結合」の3つの基本的な含ケイ素結合形成のための触媒技術開発に取り組む。

2. 研究開発の具体的内容

(1) ケイ素－炭素結合形成技術

ケイ素－炭素結合形成法として、白金触媒を用いるヒドロシリル化反応や、有機マグネシウム原料を用いる方法が主として用いられているが、前者では触媒コストが高い、白金触媒が製品中に残存して製品品質に悪影響を及ぼすなどの課題が、後者では、原料のコストが高い、副生マグネシウム塩が多量に発生するなどの課題がある。これらの課題を克服し、更に高効率・高選択的な反応の開発を目指し、ヒドロシリル化反応の非金属や卑金属触媒等の開発、及び高価な有機マグネシウムなどの有機金属原料を用いず副生塩が発生しない新規なケイ素－炭素結合形成技術の開発を行う。

(2) ケイ素－酸素結合形成技術

ケイ素－酸素結合は、原料であるクロロシラン類やアルコキシシラン類の加水分解反応で形成されるのが一般的であるが、ランダムに反応が起こり、結合形成の制御が容易ではない。そこで、反応を制御しつつ、特異的なシリコーン構造を構築するための技術として、ケイ素－酸素結合を選択的に形成できる触媒技術の開発や、シリコーン版のクロスカップリング反応技術の開発を行う。また、これらの技術を、はしご型ポリシロキサンやかご状シロキサンなど構造が制御されたシリコーンや、異なる単位構造が規則的に配列した規則性シリコーンなど、特徴的な物性が期待されるシリコーンの合成の検討に展開する。なお、得られるシリコーンの構造解析手法も検討する。

(3) ケイ素-ケイ素結合形成技術

ケイ素-ケイ素結合形成に通常用いられる方法は、クロロシランをナトリウム等の金属を用いて還元的にカップリングさせる方法に限定されている。この方法では、構造制御は困難であり、また、塩素化合物やナトリウム塩などが生成物に混入してしまい、電子部材等に用いる場合は性能劣化の原因となる。そこで、ヒドロシランの脱水素縮合等によるケイ素-ケイ素結合形成法の開発とヒドロシラン等の原料の安価な製造法の開発を行う。

(4) 触媒固定化基盤技術

ケイ素-炭素結合形成やケイ素-酸素結合形成等の有機ケイ素部材合成反応に高活性・高選択性を示す触媒活性種（分子触媒、金属ナノ粒子など）をシリカなどの担体に固定化することにより、有機ケイ素部材製造プロセスにおける触媒の分離・リサイクルを容易にし、製品純度を高めるだけでなく、連続流通プロセスでの生産性向上を実現させるための基盤技術の開発を行う。具体的には、触媒機能を最大化させるための担体の開発、担体への触媒活性種の固定化技術の開発、固定化触媒によるケイ素部材合成技術の開発及びプロセス化に向けた実用化研究について検討する。

3. 達成目標

【中間目標(平成26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(平成28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。

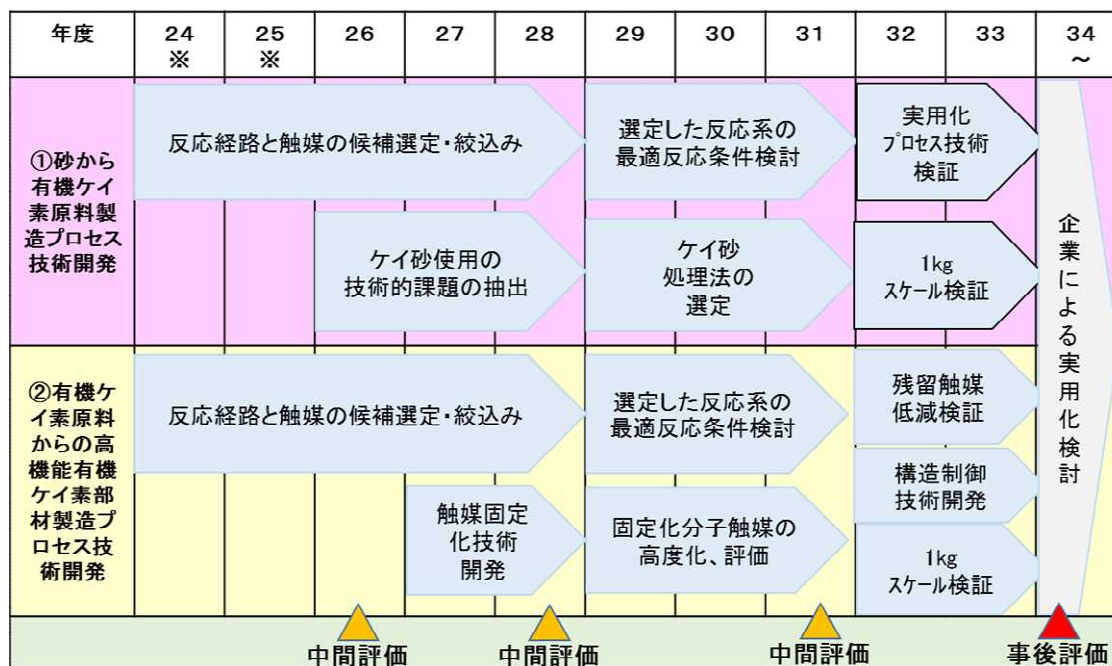
【中間目標(平成31年度末)】

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(平成33年度末)】

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立する。

(別紙2) 研究開発スケジュール



※平成24年度から25年度は経済産業省直執行事業。

平成26年度からNEDO事業として実施。

「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス
基盤技術開発（触媒を利用した化学品基幹原料
等の革新的プロセス技術開発）」
事前評価報告書

平成23年7月
産業構造審議会産業技術分科会
評 価 小 委 員 会

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成20年10月31日、内閣総理大臣決定)等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」(平成21年3月31日改正)を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

今回の評価は、グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発(触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)の事前評価であり、評価に際しては、当該研究開発事業の新たな創設に当たっての妥当性について、省外の有識者から意見を収集した。

今般、当該研究開発事業に係る検討結果が事前評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会(小委員長:平澤 冷 東京大学名誉教授)に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成23年7月

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会
委員名簿

委員長	平澤 冷	東京大学 名誉教授
	池村 淑道	長浜バイオ大学 バイオサイエンス研究科研究科長 バイオサイエンス学部学部長 コンピュータバイオサイエンス学科 教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環 教授 東京大学生産技術研究所 教授
	太田 健一郎	横浜国立大学 特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター 教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学 教授
	中小路 久美代	株式会社SRA先端技術研究所 所長
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科 教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部 主席研究員

(委員敬称略、五十音順)

事務局:経済産業省産業技術環境局技術評価室

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発
(触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)
の事前評価に当たり意見をいただいた外部有識者

大久保 達也 国立大学法人 東京大学 大学院工学系研究科
化学システム工学専攻 教授

佐藤 一彦 独立行政法人 産業総合研究所 総括企画主幹

御園生 誠 国立大学法人 東京大学 名誉教授

(敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省製造産業局化学課

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発
(触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)
の評価に係る省内関係者

【事前評価時】

製造産業局 化学課機能性化学品室長 山崎 知巳(事業担当室長)

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 秦 茂則

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発
(触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)
事前評価

審 議 経 過

- 新規研究開発事業の創設の妥当性に対する意見の収集(平成23年5月)

- 産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会(平成23年7月22日)
 - ・事前評価報告書(案)について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会 委員名簿

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発(触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)の事前評価に当たり意見をいただいた外部有識者

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発(触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)の評価に係る省内関係者

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発(触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)事前評価 審議経過

ページ

第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要

1. 技術に関する施策の概要 1
2. 新規研究開発事業の創設における妥当性等について 1
3. 新規研究開発事業を位置付けた技術施策体系図等 3

第2章 評価コメント 4

第3章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針 6

参考資料 グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発(触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)の概要(PR資料)

第1章 技術に関する施策及び新規研究開発事業の概要

1. 技術に関する施策の概要

化学産業は、技術面から環境・エネルギー及び安全・安心の問題解決に貢献できるキーテクノロジーを有する産業であり、2009年12月に閣議決定された「新成長戦略（基本方針）」において掲げられた「グリーン・イノベーション（環境・エネルギー分野革新）」及び「ライフ・イノベーション（医療・介護分野革新）」を推進していくことが期待される。

このような背景から、化学分野の研究開発を進める上で、

- I. 原料のグリーン化
- II. 製造工程のグリーン化
- III. グリーン・イノベーションに資する先端ケミカル部材・材料の提供
- IV. 排水、廃棄物等の処理工程のグリーン化
- V. 素材・部材としての化学分野の共通評価基盤の整備

の5つの視点から研究開発を行う。

2. 新規研究開発事業の創設における妥当性等について

化学分野を含むナノテク・部材分野においては、①ナノテクノロジー及び革新的部材技術の確立、②エネルギー消費効率の改善、③安心安全な国民生活の実現、の3つの視点からの施策が必要とされており、このうち①及び②について、「環境に貢献するエネルギー制約の克服」、「環境に貢献する環境制約の克服」及び「環境に貢献する資源制約の克服」が目標として挙げられている（別添「新規要求事業の位置付け」を参照。）。

現状では、化学産業は石油製品の18.9%を原料として使用しているとともに、全産業の約13%、日本全体の約5%のCO₂を排出している。このため、製造段階でのエネルギー利用効率化、製造プロセスでのCO₂削減、バイオマスや気体原料の利用など非石油由来資源への転換といった課題を克服する必要がある。さらに、触媒技術の抜本的高度化により、レアメタルの代替や、水質等の汚染物質の発生抑制の効果も大いに期待されている。

本事業は、具体的には、以下のテーマを実施する予定としている。

- ① 石油化学品の革新的製造プロセス基盤の開発及びこれを更に発展させた太陽光と水と空気から化学品基幹原料を製造する技術開発
- ② 新・機能性化学品の革新的製造プロセス基盤の開発
(スーパー反応場、高機能有機ケイ素反応触媒)
- ③ 微生物触媒を活用した革新的発電プロセス技術の開発

これらのテーマは、エネルギーや資源制約からの脱却、地球温暖化の主要因と考えられるCO₂の排出抑制に貢献するために、触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術を開発するものであり、1.のうち「I.原料のグリーン化」、「II.製造工程のグリーン化」、「IV.排水、廃棄物等の処理工程のグリーン化」に該当する。また、別添の体系図における目標との関係が明確で、その目標を達成するために必要不可欠であり、適切にマッチングしていると言える。

(1) 事業の目的及び実施によるアウトプット、アウトカムについて（研究開発の定量的目標、社会的課題への解決や国際競争力強化への対応等）

本事業においては、それぞれのサブテーマごとに、それぞれ以下のような目的をターゲットとして取り組む予定である。

- ① 基幹化学品の製造では、最先端の光触媒技術の開発により、原料の脱石油化（原料は空気中のCO₂と水）を実現する（2030年）。
- ② 機能性化学品の製造では、多段階生産工程をワンパス化し、反応温度の低温下等のプロセスイノベーションを実現し、また、白金触媒を代替する新規触媒開発による製造コストの抜本的な改善と製品性能の高性能化を実現する（2020年）。
- ③ 微生物触媒を活用した発電では、汚泥を原料（えさ）とする微生物触媒により革新的発電プロセスを確立し、下水・排水処理施設の使用電力の削減、自立系システムを確立する（2030年）。

これにより、化学産業の中長期的な競争力強化、更には化学技術を活用した抜本的省エネルギー・省電力化が実現する。

さらに、化学産業の大規模かつ省エネプロセスでの基礎化学品等の製造が可能となるのみならず、フィルム、繊維、ゴム、医薬品、香料等、様々な製品への波及効果も極めて大きい。

(2) 事業の必要性について（出口を見据え成果を社会へ普及させる戦略（研究開発のみならず、実証や性能評価・標準化等を含む実用化に向けた取組等））

本事業は、単に研究成果を挙げることにとどまらず、それぞれ次のような実用化に向けた具体的な取組を想定した上で、プロジェクトをスタートさせる予定である。

- ① 基幹化学品の製造では、プロジェクト期間中の 2016 年度までに中規模パイロットプラントにおける実証を行い、更にその時点での経済環境に応じて、国内外の各社のエチレンプラントに適用してビジネス展開を図る。その間開発された分離膜の製造方法等については、実プラントへ適用される部分で膜モジュールの標準化を行うことで、本技術の普及を図る。
- ② 機能性化学品の製造では、ユーザー企業を巻き込んで、知的財産権と標準化の棲み分けをしつつ、実用化に向けた取組を推進する。
- ③ 微生物触媒を活用した発電では、電極触媒、電極構造、リアクター構成などの各要素技術を確立・パッケージ化して、国内の下水処理場、工場の排水処理工程を始めとするビジネス展開を図る。

(3) 次年度に予算要求する緊急性について

革新的触媒技術は、省エネルギー・省電力の大きな可能性を秘めた未開拓化学技術であり、本年3月に発生した東日本大震災により、電力需給の逼迫が産業空洞化を左右する中においては、その徹底活用に知を集結し着手することにより、化学産業の国内残留、中長期的な競争力強化、抜本的省エネルギー・省電力化を通じた災害対応力の強化に早急に着手する必要がある。

また、2010年の鈴木・根岸両教授のクロスカップリング触媒技術に関するノーベル化

学賞のダブル受賞により、アカデミア、産業界ともに改めて触媒技術に注目が集まっている。このタイミングで革新的触媒技術に着目した非連続型の大規模ナショナルプロジェクトを開始することは、本分野の人材育成、ひいては20年後、30年後にも引き続き国際的に強みを持つ化学技術の基盤を引き続き維持する意味でも極めて重要である。

海外に目を向けてみても、近年、BASF（独）がCO/H₂からオレフィン製造技術の検討を開始し、欧米では太陽光からのエネルギー変換技術開発の大型プロジェクトが幾つもスタートしており、日本リードの本技術分野で急速な追い上げが見られる。また、微生物触媒関連分野については、米国（DOE）は2000年以降、約50億円を投じて研究開発を進めている。

日本は、触媒分野での基本的な技術的強みを有しているが、我が国技術、企業の国際的優位性を確保するため、政府としても早急に取り組む必要がある。

（4）国が実施する必要性について（非連続型研究、民間とのデマケの整理等）

本技術開発は技術面・投資面で民間単独で取り組むにはハードルが高く、基盤技術の確立については国の一定の関与が必要である。さらに、化学品原料を石油資源から非石油由来資源に転換することは、温暖化対策という観点から政策的にも重要な課題であり、基礎化学品、機能性化学品の製造等の基幹産業におけるプロセスの簡素化・省エネルギー等に資する基盤技術の開発は、その技術的波及効果が大きい点からも、国家プロジェクトとして実施する事業として適切であると判断される。

なお、本事業が対象とする技術はリスクが極めて高く、国が支援する必要があるが、個別の製品化への応用については企業単独の取組とすることにより、民間とのデマケを整理している。

（5）省内又は他省庁の事業との重複について

現時点では省内又は他省庁との事業の重複はなく、当面は化学産業特有の技術ということで化学課が研究開発課と連携して研究に取り組んでいく予定である。

特定の応用分野が見えてくるにつれて、当該応用分野の省内担当課や、他省庁との強力な連携体制を取る予定。

3. 新規研究開発事業を位置付けた技術施策体系図等（上記1. 技術に関する施策の体系的整理図）

（別添「新規要求事業の位置付け」を参照。）

第2章 評価コメント

事業の目的・政策的位置付け（新規研究開発事業の創設）の妥当性等に対するコメント

化学関連分野では触媒や微生物など、大きなポテンシャルを有する新しい技術の創出が不可欠である。基礎化学品製造技術、機能性化学品製造技術は重要な柱であり、触媒開発の難易度は高いが、革新的触媒技術によって両者のプロセス革新を同時に国主導で進める本事業は化学産業全体に大きく貢献する。

ソーラー水素は日本が基礎研究で先行しており、これが実現した場合のインパクトは非常に大きく、我が国の優位性を確保するためにも、緊急に予算化し、長期ビジョンを持って取り組むことが極めて重要である。また、微生物発電技術は自立的に下水処理を進めるポテンシャルを有した技術であり、ともに緊急なプロジェクト化が望まれる。

ケイ素系部材開発は、炭素-ケイ素、ケイ素-酸素結合等を精密に構築する触媒技術開発が鍵であり、難易度は高いが、画期的な新機能性材料の開発に繋がる可能性が高い。

なお、全体計画の成否はソーラー水素次第であり、太陽光発電と水電解を組み合わせた水素製造システムとの競合に勝つことが必要。そのための技術課題と実現可能性をより明確にする必要がある。また、微生物発電は、目標に到達するための具体的技術課題とその解決法を明確にすべきである。

○肯定的意見

- ・震災後の今日、長期ビジョンをもった戦略的な取組が、ますます重要になっている。化学関連分野では触媒や微生物など、大きなポテンシャルを有する新しい技術の創出が不可欠である。
- ・GSCは化学産業及びそれを基盤とする様々な産業が持続的に発展するための鍵である。
- ・基礎化学品製造技術、機能性化学品製造技術は重要な柱であり、革新的触媒技術によって両者のプロセス革新を同時に国主導で進める本事業は化学産業全体に大きく貢献する。
- ・ソーラー水素を二次エネルギー源として捉えた取組は増えているものの、化学品原料に用いる検討例は依然として限られており、国として取り組むことは極めて重要である。光触媒関連、ソーラー水素触媒は日本発の、我が国がこれまでに世界をリードしてきた分野であるが、ここ数年で米国や欧州が大きなプロジェクトを次々に発足させている。我が国の優位性を確保するためにも、緊急に予算化し、長期ビジョンを持って取り組むことが極めて重要である。
- ・太陽光／水／空気からの基礎化学品製造技術開発はインパクトが大きく、タイムリーな提案である。触媒開発の難易度は高いが、事業実施により基幹原料のプロセス革新が期待される。
- ・ソーラー水素は日本が基礎研究で先行しており、成績も顕著に改善している。これが実現した場合のインパクトは非常に大きい。技術的課題がある程度具体的になっており、実現可能性が期待される。したがって、長期的・持続的研究課題としてふさわしいと言える。後段のCO₂利用の化学品製造は、要素技術（膜技術、触媒）がかなり進んでいるようなので、実現可能性は十分にある。これについては、ソーラー水素とは別にしても、

十分な意義が見いだせる。

- ・製造プロセスを抜本的に削減することは大きな省エネ・低炭素化につながり、また微生物発電は自立的に下水処理を進めるポテンシャルを有した技術であり、ともに緊急なプロジェクト化が望まれる。
- ・ケイ素系部材開発は、炭素—ケイ素、ケイ素—酸素結合等を精密に構築する触媒技術開発が鍵であり、難易度は高いが、画期的な新機能性材料の開発に繋がる可能性が高い。
- ・スーパー反応場技術による省エネ効果は理解できる。
- ・微生物発電は微生物触媒技術が鍵となる。高難易度ではあるが技術課題も明確である。

○問題点・改善すべき点

- ・Neo Sunshine Project に関しては、触媒技術を中心に据えることは当然であるが、更には反応と分離を組み合わせた技術の開発なども組み込むことで、より大きな展開が期待される。
- ・太陽光／水／空気からの基礎化学品製造技術開発について、出口の一つとして $\text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{オレフィン}$ による機能性化学品製造等も入れたらどうか。
- ・全体計画の成否はソーラー水素次第であり、太陽光発電と水電解を組み合わせた水素製造システムとの競合に勝つことが必要。そのための技術課題と実現可能性をより明確にする必要がある。
- ・スーパー反応場プロジェクトに関しては、高分子反応場の化学的耐久性に関する視点、微生物発電に関しては、下水処理における速度論（出力）に関する視点を加える必要があるのではないか。
- ・高分子担持金属触媒及び類似の触媒には長い研究の歴史があり、これらと比較して、“スーパー反応場”触媒の「オリジナリティー」と「高機能性」を明確に示す必要がある（触媒構造、物性、触媒性能を具体的データで比較。）。解決すべき技術要素をはっきりさせてほしい。
- ・次世代封止材に関する企業ニーズは多いので、ケイ素系部材開発の中でも中心的な位置づけにしてはどうか。
- ・省エネ高機能ケイ素系部材は技術的課題と出口（用途）の具体的説明が不十分に思える。内容を整理して、技術課題と応用の強調点を明確にすることが必要。
- ・微生物発電技術の現状が不明（定量的に示すべき。）。下水処理に応用可能か否かも不明である。まず、現状の性能データと下水処理に必要な性能との比較を定量的に行うべきである。目標値までの距離が相当ありそうだが、どの程度か分からない（性能を何ケタ上げる必要があるのか、基質依存性は大丈夫か、どの程度の規模の装置になるのか、など）。その次に、目標に到達するための具体的技術課題とその解決法を明確にすべき。

第3章 評価小委員会のコメント及びコメントに対する対処方針

本研究開発事業に対する評価小委員会のコメント及びコメントに対する推進課の対象方針は、以下のとおり。

(コメント①)

水素製造触媒による基幹化学品製造技術については、太陽光発電と水分解を組み合わせた既存のシステムに対する優位性を十分検討した上で、技術課題を明確にして取り組むことが必要である。

(コメント②)

微生物触媒による発電技術についても、メタン発酵－熔融炭酸塩型燃料電池による発電等、既存の技術に対する優位性を十分検討した上で、当該構想の実用化に当たっての技術課題を明確にして取り組むことが必要である。

(コメント③)

一般的に、触媒探索のような研究開発は、既にある競争的な技術やプロセスに対抗できる有効な要素技術が未だ不明な段階においては、多額の資金を集中的につぎ込むのではなく、分散的・試行的に取り組んだ上で、有望な物質を絞り込んでいく手法が有効であることから、その実施方法についても十分検討することが望まれる。

(対処方針①)

一般的に、現状の太陽光発電の発電コストは高く、かつ、水素を太陽光発電と水電気分解で作る場合、光触媒により直接水素を製造するよりもプロセスが複雑になる。光触媒を用いた可視光による水の直接分解において、5パーセント超の光エネルギー変換効率が達成できれば、現行プロセス(ナフサクラッカーからオレフィン製造)と比較して経済的に十分な競争力が見込まれるのみならず、省エネ性、CO₂削減効果においても優位性があることから技術開発を行う意義は十分あると考えられる。指摘も踏まえ、技術課題を明確にしつつ、最大限の効果を得られるように事業に取り組む。

(対処方針②)

メタン発酵－熔融炭酸塩型燃料電池による発電は、廃棄物から直接電力取り出しが可能な微生物発電システムと比較してプロセスが複雑になってしまう。また、生ごみ及び都市ガスのエネルギーを補足しなければ、エネルギー収支が取れない。他方、微生物触媒による発電は新しい科学的発見を基礎とした革新的プロセスであり、非常にシンプルであり、現状の下水処理場の反応槽に電極を設置するだけでよいため、運転コストの面でも有利と考えられる。技術開発によりシステム効率が向上すれば、自立型の下水処理システムの構築が可能となり、研究開発を行う意義は十分にあると考えられ、指摘も踏まえ、技術課題を明確にしつつ、最大限の効果を得られるように事業に取り組む。

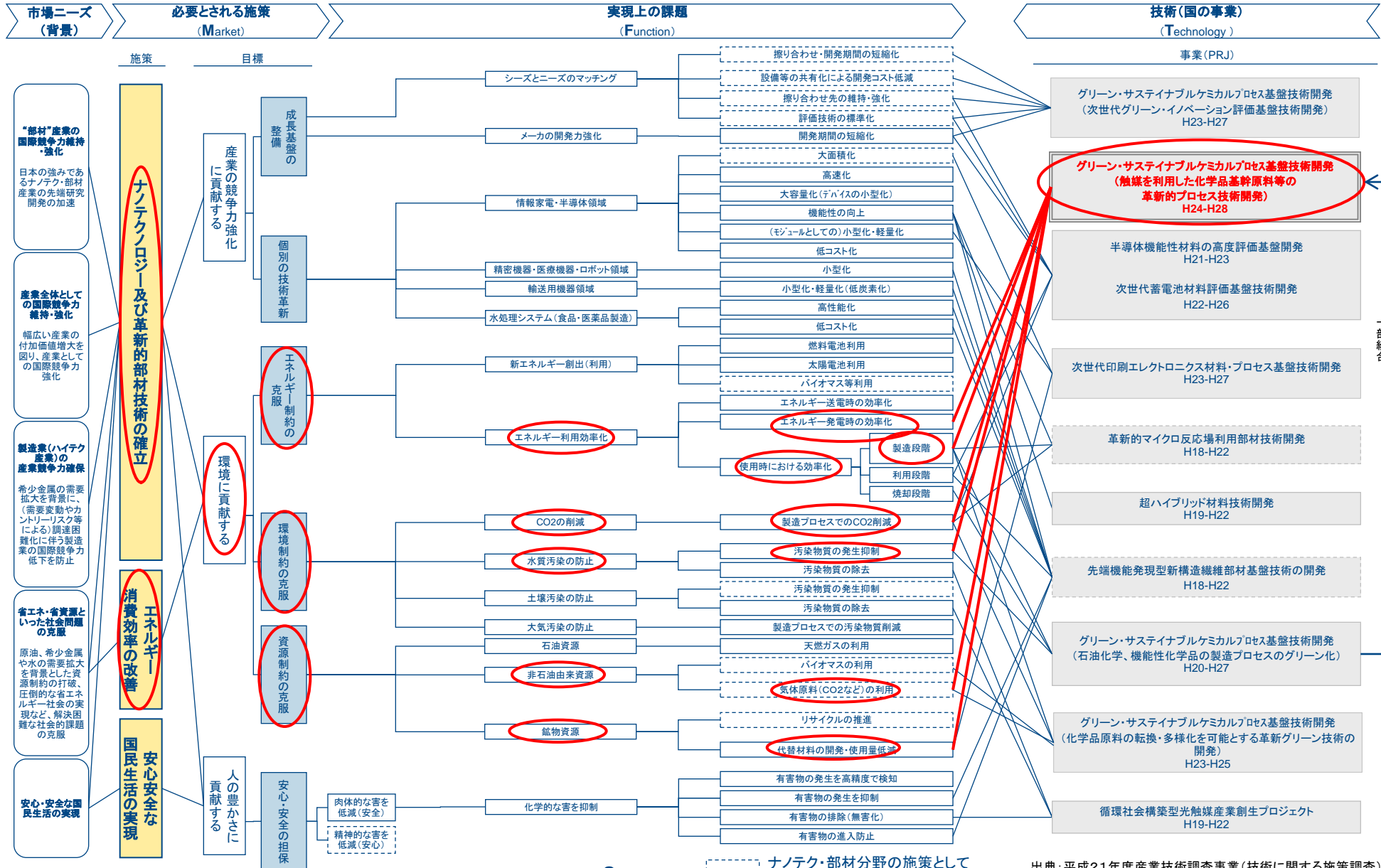
(対処方針③)

既存技術の延長線上にない、夢のある非連続型の技術革新によって日本再生を果たすべく、国が研究開発で新たな道を切り開く分野を絞り込み、研究開発投資を重点化すべきである。指摘も踏まえ、産学官の関係者が入る強者連合等を活用し、最大限の効果を得られるよう事業に取り組む。

新規要求事業の位置付け

トップダウン

ボトムアップ



ナノテク・部材分野

一部統合

ナノテク・部材分野の施策として着手されていない課題

出典：平成21年度産業技術調査事業（技術に関する施策調査）、委託先：アーサー・D・リトル（ジャパン）株式会社

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発 (触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発)

事業の内容

事業の概要・目的

○グリーン・サステイナブルケミストリー(GSC)は、化学品原料、石油化学、機能性化学、材料評価までの川上～川下までを通じ、人と環境への負荷を低減する概念であり、いわばグリーン・イノベーションを化学技術で実現していくものです。

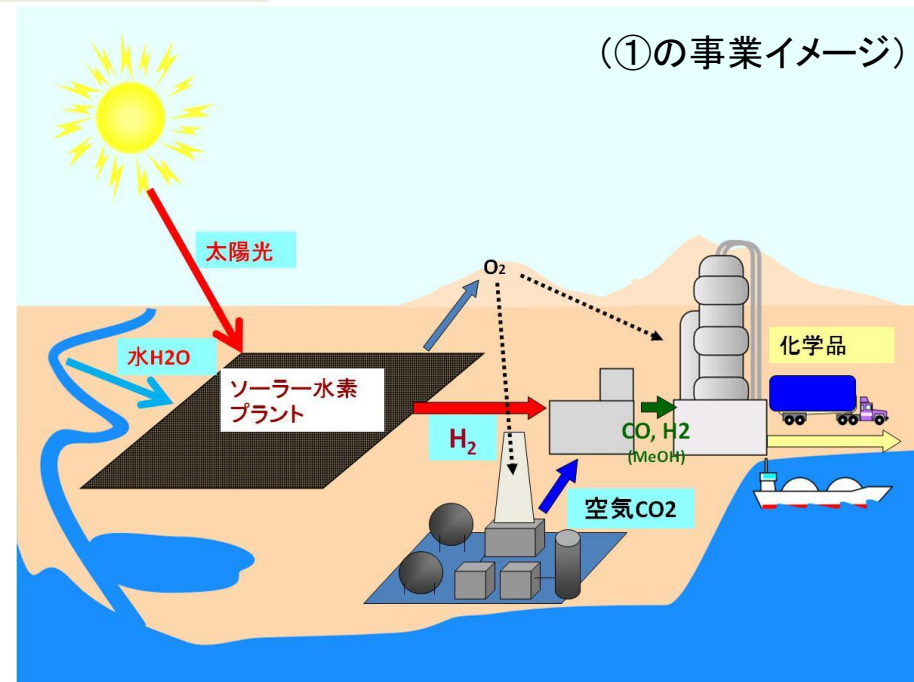
○特に24年度からは、触媒、微生物機能など省エネルギー、省電力の大きな可能性を秘めた未開拓化学技術の徹底活用に着手することにより、化学分野等の抜本的省エネルギー・省電力化を通じた震災対応力の強化を図ることとし、「触媒を利用した化学品基幹原料等の革新的プロセス技術開発」に取り組みます。

条件(対象者、対象行為、補助率等)



事業イメージ

(①の事業イメージ)



○具体的には、以下のテーマを実施。

- ①石油化学品の革新的製造プロセス基盤の開発及びこれを更に発展させた太陽光と水と空気から化学品基幹原料を製造する技術開発
- ②新・機能性化学品の革新的製造プロセス基盤の開発
- ③微生物触媒を活用した革新的発電プロセス技術の開発

「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発（革新的触媒）」
実施計画（案）に対する意見募集の結果について

平成24年5月30日
経済産業省
製造産業局化学課

平成24年4月27日付けで、「グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発（革新的触媒）」実施計画（案）に対する意見の募集を行った結果、以下のとおり御意見をいただきました。御意見の概要及び御意見に対する考え方を取りまとめましたので公表いたします。

御協力をいただきありがとうございました。

1. 意見公募の実施期間等

- (1) 募集期間：平成24年4月27日（金）～5月10日（木）
- (2) 実施方法：電子政府の総合窓口（e-Gov）及び
経済産業省ホームページにおける掲載
- (3) 意見提出方法：郵送、FAX、電子メール、e-Govホームページ

2. 御意見の到達件数

3件（1名）

3. 御意見の概要及び御意見に対する考え方

別紙のとおりです。

4. 本件に関するお問い合わせ先

経済産業省 製造産業局 化学課
電話：03-3501-1737

(別紙)

御意見の内容及び御意見に対する考え方

番号	御意見の内容	御意見に対する考え方
1	目標値は、理解できるがそれに要する投資額を合わせて示していただきたい。少なくとも投じられる税金の上限を明らかにしていただきたい。上限のない事業を国の事業とすることには賛同致しかねます。	平成24年度から平成33年度の10年間で、事業規模は170億円程度を想定しております。ただし、中間評価等の結果を勘案し、事業規模・内容は必要に応じて見直すこととしております。限られた予算を活用し、本研究開発を効果的かつ効率的に推進してまいります。
2	現在の太陽電池で生産された電力による電気分解で得られた水素と比較してどの程度高い目標であるのかなど、現在実現可能な技術との優劣を示していただきたい。	現状では、太陽光発電による電気分解では発電コストが高くプロセスが複雑であり、光触媒により直接水素を製造することで効率化が期待されます。光触媒を用いた可視光による水の直接分解において10%の変換効率が達成できれば、現行プロセス(ナフサクラッカーからオレフィンを製造)と比較して経済的に十分な競争力が見込まれるのみならず、省エネ性、CO ₂ 削減効果においても優位性があると考えており、本研究開発においては、更なる将来を見据えた検討を進めてまいります。
3	目標値が達成できなかった場合、他の技術に対して優位性を失った場合の中止の判断基準を示していただきたい。	本研究開発は外部有識者による定期的な評価を行うこととしており、目標と成果に相当程度の乖離が認められるなど、評価結果を踏まえ、実施計画、研究開発の内容、事業化の戦略等について適切な見直しを行ってまいります。



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

研究開発の目的

化学産業は我が国の一大産業であり、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、同産業は化石資源を大量に消費しており、その削減が求められている。また、省エネ等の観点から、最終製品の機能向上を達成するため、化学産業が提供する部材の更なる高機能化が求められている。このため、化学産業においては、革新的イノベーションの実現により、こうした要求を実現していくことが急務となっている。

本プロジェクトは、エネルギー多消費の有機ケイ素原料の製造プロセスに代わる新たな革新的省エネプロセスと高機能な有機ケイ素部材の製造プロセス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するものであり、有機ケイ素工業のエネルギー制約を克服するためには不可欠な技術開発である。さらには、本技術の確立は、我が国の有機ケイ素工業の国際的競争力の強化につながるものである。

研究開発の内容

(1) 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発

砂から、テトラアルコキシシラン等の中間原料を経由し、そのケイ素－酸素結合の一部をケイ素－炭素結合に変換することによる、有機ケイ素原料製造法の開発や、高活性ケイ素化学種を経る有機ケイ素原料製造法の開発等に取り組む。

<ポイント>

- ・安定なSiO₂を反応させる製造プロセス及びそれに用いる触媒の開発
- ・高活性ケイ素化学種の取扱い技術の開発

(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

有機ケイ素部材の代表であるシリコーンの主要構造である「ケイ素－炭素結合」及び「ケイ素－酸素結合」、特異な電子・光物性を持つ有機ケイ素部材であるポリシランの主要構造である「ケイ素－ケイ素結合」の3つの基本的な含ケイ素結合形成のための触媒技術開発等に取り組む。

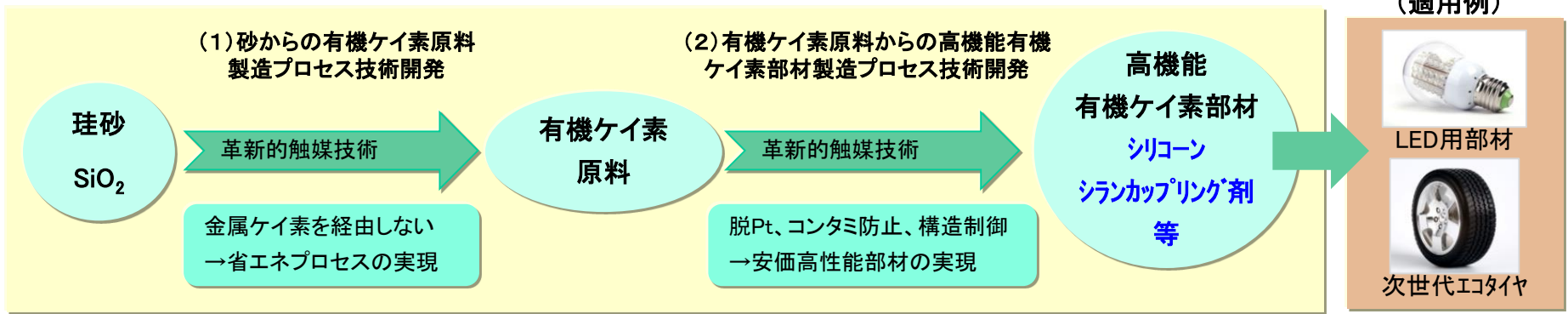
<ポイント>

- ・白金触媒を代替する卑金属触媒の開発
- ・構造制御された有機ケイ素部材の製造プロセス及びそれに用いる触媒の開発
- ・大量の無機塩が副生しない有機ケイ素部材製造プロセス及びそれに用いる触媒の開発
- ・有機ケイ素部材製品中の残存触媒を低減する技術の開発

プロジェクトの規模

- ・事業費総額 16億円(予定)
- ・NEDO予算総額 16億円(予定)
- ・実施期間 平成26～33年度(8年間)

成果適用のイメージ



事前評価書

		作成日	平成 26 年 1 月 22 日
1. 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		
2. 推進部署名	環境部		
3. プロジェクト概要（予定）			
<p>(1) 概要</p> <p>1) 背景</p> <p>化学産業は我が国の一大産業であり、高い国際競争力を誇る製品を多数生み出している。一方で、同産業は化石資源を大量に消費し、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>有機ケイ素工業は、化学産業の中でもシリコン等の高機能な部材を幅広い産業に提供する工業である。現在の有機ケイ素工業では、有機ケイ素原料を製造するに当たり、二酸化ケイ素(SiO₂)を金属ケイ素(Si)に変換する工程に頼らざるを得ず、この工程では、多大なエネルギーを必要とする状況である。Siを経由しない有機ケイ素原料製造プロセス技術が確立できれば、経済性の高い省エネルギーの製造プロセスが実現し、我が国の産業競争力は格段に高まる。</p> <p>一方、高機能な有機ケイ素部材の製造において広く用いられているヒドロシリル化触媒は、白金(Pt)触媒であり、これを代替する触媒の開発が求められている。また、有機ケイ素工業の主製品であるシリコンは広い産業分野で使用されているが、より性能を向上させることが求められており、これにはコンタミの防止技術や構造制御技術が必要である。更には、特定の構造を有する有機ケイ素部材は、その製造工程から大量の無機物が排出されるため、このような物質を排出しない環境に優しい製造プロセスの開発が求められている。</p> <p>2) 目的</p> <p>本プロジェクトでは、有機ケイ素工業における上記課題を解決するために、高機能な有機ケイ素を製造する触媒技術・触媒プロセス技術を確立し、もって有機ケイ素工業における省エネ化を促進させるとともに、有機ケイ素工業の国際的産業競争力を強化させることを目的とする。</p>			

3) 実施内容

有機ケイ素機能性化学品製造プロセスに係る技術開発として、以下の研究内容に取り組む。

(i) 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発

反応経路として、砂から、テトラアルコキシシラン等の中間原料を経由し、そのケイ素－酸素結合の一部をケイ素－炭素結合に変換することによる、有機ケイ素原料製造法の開発や、高機能有機ケイ素部材の原料として期待されてい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及び高活性ケイ素化学種を経る有機ケイ素原料製造法の開発等に取り組む。

(ii) 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

有機ケイ素部材の代表であるシリコーンの主要構造である「ケイ素－炭素結合」及び「ケイ素－酸素結合」、特異な電子・光物性を持つ有機ケイ素部材であるポリシランの主要構造である「ケイ素－ケイ素結合」の3つの基本的な含ケイ素結合形成のための触媒技術・触媒プロセス技術開発に取り組む。

(2) 規模 総事業費 (需給) 16 億円／8 年 (委託) を想定

平成 24、25 年度 (経済産業省 (METI) 直執行) 予算：各 2 億円 (一般)

平成 26 年度予算：2 億円 (需給)

(3) 期間 平成 26 年度～33 年度 (8 年間)

[平成 24、25 年度は METI 直執行。]

[平成 26～33 年度の 8 年間を NEDO 執行予定。]

4. 評価内容

(1) プロジェクトの位置付け・必要性について

1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

本プロジェクトの研究開発は、民間企業はシーズとなる技術を有しておらず、学術レベルでの基礎技術を元に民間企業が実用化技術とする必要があり、現段階において民間に任せて開発を進めるのは困難である。

本プロジェクトは、国内トップレベルの実施主体による産学連携研究体制で進める長期プロジェクトである未来開拓型研究として平成24年度から経産省直執行プロジェクトとして実施されているものである。また、内閣府総合科学技術会議が策定した、「科学技術イノベーション総合戦略 (平成25年6月6日)」において、クリーンで経済的なエネルギーシステムの実現のために重点的に取り組むべき技術開発として位置づけられている。さらに「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 第3期中期計画」において、「化石

資源からの脱却や低炭素社会の実現のためのキーテクノロジーであり、我が国が世界トップレベルの技術を有する触媒技術を活用し、国際的優位性を確保しながら、資源問題・環境問題を同時に解決することを目指して新規なGSCプロセスの技術開発を実施する。」と明記しており、本プロジェクトはこの計画に基づき、NEDOが実施することが適当である。

2) 目的の妥当性

この分野の日本企業は高い技術力を有しているが、生産プロセスにかかる問題（SiO₂からのSiの生産において多大なエネルギーが必要でその製造コストが高い点、硬化触媒として白金触媒を使用しており、高価であると共に今後の供給に不安がある点、Si-C結合やSi-H結合を形成するプロセスで原料由来の多量の無機塩が副生し、原料が高価であると共に環境負荷が高い点）や、製品の品質にかかる問題（製造工程で使用する触媒成分や塩素が製品中に残存することにより製品の劣化が起こる点、有機ケイ素製品の構造制御が不十分のため、耐熱性等の物性が不十分である点）を抱えており、解決が望まれている。

(i) のSiを経由しない有機ケイ素原料の触媒技術が開発されれば、従来法と比べてコスト競争力の高い技術となるため、十分に開発する意義がある。また、(ii) の触媒技術が開発されれば、有機ケイ素製品の高性能化、製品の安価・安定供給、用途の拡大等に資するため、その産業上の意義は大きく、有機ケイ素工業の省エネ化、産業競争力の強化に繋がるものである。

(1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本プロジェクトは、国内トップクラスの実施主体により実施される長期プロジェクト(未来開拓型研究)として平成24年度から経産省直執行プロジェクトとして実施されており、また、内閣府総合科学技術会議が策定した「科学技術イノベーション総合戦略」にもクリーンで経済的なエネルギーシステムの実現のために重点的に取り組むべき技術開発として位置づけられている重要な研究開発である。有機ケイ素工業の産業競争力低下のリスクを避けるためにも必要性が高い。また研究開発の難度が高いため民間に任せるのは困難な基盤技術開発を実施するものであり、NEDOプロジェクトとして実施すべき基盤的技術開発である。

(2) プロジェクトの運営マネジメントについて

1) 成果目標の妥当性

本プロジェクトの成果目標は以下の通りである。

- (i) 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発
 - ・1 kg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。
 - （ii）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
 - ・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立する。
- 以上の通り具体的な成果目標を設定している。

2) 実施計画の想定と妥当性

上記最終目標を達成するために中間年度に達成することが求められる中間目標を3、5、8年目に設定している。

（i）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（26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（28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（31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。

原料に用いるケイ砂の処理方法等を選定する。

（ii）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（26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（28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（31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。

また各目標を達成するために適切な年度予算を設定する。既存技術の改良では対応できない新たな技術開発項目を計画に盛り込み、また、目標を達成

<p>するために、国内で蓄積された基礎技術を取り込み、プロセス開発までを視野に入れた計画としている。</p>
<p>3) 評価実施の想定と妥当性</p> <p>外部有識者による評価として、プロジェクト期間の 3、5、8 年目に中間評価を、また終了後に事後評価を、NEDO にて作成している標準的評価項目・評価基準（基礎的基盤的研究開発）に則して行う予定である。</p>
<p>4) 実施体制の想定と妥当性</p> <p>本プロジェクトで実施する研究開発の基礎となる個別の要素技術を保有する大学・研究機関と、技術の実用化において事業主体となる有機ケイ素工業に関わる国内企業が参画し、相互の連携により技術開発を実施する、オールジャパンの技術開発体制を想定している。なお、触媒開発や有機ケイ素化学の分野において豊富な経験を有する研究者に、プロジェクトリーダーを委嘱する予定である。</p>
<p>5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性</p> <p>プロジェクト終了後に参画企業が成果を持ち帰り、実用化に向けた技術開発を実施することを想定しているが、研究開発項目の進捗によっては、プロジェクトの終了を待たずに実用化に着手させることを想定している。</p>
<p>6) 知財戦略の想定と妥当性</p> <p>委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「産業技術力強化法（平成 12 年 4 月 19 日法律第 44 号）」第 19 条及び同法施行令第 11 条の規定等に基づき、同法令を遵守することを条件に原則として、委託先に帰属させることを想定している。</p>
<p>7) 標準化戦略の想定と妥当性</p> <p>必要に応じて、国際標準提案に係る戦略的かつ迅速な国際標準獲得等のための体制を整備することを想定している。</p>
<p>(2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価</p> <p>成果目標とそれに至る道筋を定めた中間目標を設定しており、また新たに開発することが必要な技術開発項目を設定している。また、評価は、プロジェクト開始後 3、5、8 年度目と終了後に、標準的評価項目・評価基準に即して外部評価を実施する予定であり、マネジメントは妥当である。</p>
<p>(3) 成果の実用化・事業化の見通しについて</p>
<p>1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性</p> <p>計画の策定に当たっては、事業化の観点で必要な技術開発を開発項目として設定し、各々の技術開発成果は具体的なアウトプットを想定しているため、技術開発が目標通り達成されれば事業化につながることを期待される。課題は明確であり、課題解決の方針もある。</p>

2) 成果の波及効果

技術的には、世界的にも強い日本の触媒分野の更なる技術レベル向上に貢献する。

本開発で得られる技術で製造するシリコン等の有機ケイ素部材は、LEDや太陽電池等の電子工業分野の他、塗料、ゴム（エコタイヤ）など幅広い産業に用いられており、その技術レベルが向上することにより、更に多くの産業分野への波及効果が期待できる。

(3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

アウトプットは明確であり、事業化の可能性は高い。技術開発の課題は明確であり、その解決方針もある。プロジェクトの技術開発により、錯体触媒を中心とした触媒技術のレベル向上に資するとともに、人材育成も期待される。また、本プロジェクトで開発する技術が事業化されると、シリコン等の有機ケイ素部材のユーザー全般に影響を与えることになり、その波及効果は多くの産業分野に及ぶことが期待される。

様式3

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年2月12日
NEDO
環境部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間
平成26年1月30日～平成26年2月12日
2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>
計0件

以上

添付資料

1. 特許

2012年度

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	(独) 産業 技術総合研 究所	特願 2013-045262	国内	2013/03/ 07 2014/02/ 03	出願 国優 みな し取 下	アルコキシシラン 類の製造方法	山下浩, 羽鳥 真紀子

2013年度

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	産業技術総 合研究所	特願 2013-097091 特開2014- 218449 登録 6015949	国内	2013/05/ 02 2014/11/ 20 2016/10/ 07	出願 公開 登録	シロキサン製造法	五十嵐正安、島 田茂、佐藤一彦
2	関西大学、 産業技術総 合研究所	特願 2013-212124 特開 2015-074634	国内	2013/10/ 09 2015/04/ 20 2017/07/ 19	出願 公開 拒絶 受入	アリアルシラン類 の製造方法及びア リアルシラン類合 成用触媒組成物	大洞康嗣, 小川 真司, 豊田圭, 五十嵐正安, 島 田茂, 佐藤一彦
3	関西大学、 産業技術総 合研究所	特願 2014-001428 特開 2015-129103 登録 6355078	国内	2014/01/ 08 2015/07/ 16 2018/06/ 22	出願 公開 登録	有機シラン化合物 の製造方法及び有 機シラン化合物合 成用触媒組成物	大洞康嗣, 川崎 英也, 中道星也 , 矢野敬規, 五 十嵐正安, 島田 茂, 佐藤一彦
4	産業技術総 合研究所	特願 2014-018925	国内	2014/02/ 03 2015/05/ 04	出願 国優 見な	シラノールの製造 法	五十嵐正安, 島 田茂, 佐藤一彦 , 松本朋浩

					し取 下		
5	産業技術総合研究所	特願 2014-024178 特開 2015-151345 登録 6269940	国内	2014/02/ 12 2015/08/ 24 2018/01/ 12	出願 公開 登録	ニッケル錯体化合物、触媒組成物、及び有機ケイ素化合物の製造方法	中島裕美子、田中真司、卜部泰子、島田茂、佐藤一彦
6	大阪市立大学、産業技術総合研究所	特願 2014-030412 特開 2015-155387 登録 6308547	国内	2014/02/ 20 2015/08/ 27 2018/03/ 23	出願 公開 登録	有機ケイ素化合物の製造方法	中沢浩、五十嵐正安、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦
7	産業技術総合研究所	PCT/JP2014/055584 W02014/136822	PCT	2014/03/ 05 2014/09/ 12 2015/09/ 02	出願 公開 移行	アルコキシシラン類の製造方法	山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代
8	産業技術総合研究所、信越化学	特願 2014-061427 特開 2015-182980 登録 6447988	国内	2014/03/ 25 2015/10/ 22 2018/12/ 14	出願 公開 登録	環状シロキサン化合物を含む組成物、環状シロキサン化合物の製造方法、及びシロキサン重合体の製造方法	八木橋不二夫、五十嵐正安、松本朋浩、津島大輔、佐藤一彦、島田茂、田部井栄一

2014年度

番号	出願人	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	発明名称	発明者
1	群馬大学、産業技術総合研究所	特願 2014-076446 特開 2015-196672 登録 6292552	国内	2014/04/ 02 2015/11/ 09 2018/02/ 23	出願 公開 登録	シロキサン化合物の合成方法	海野雅史、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦
2	産業技術総合研究所	特願 2014-097628	国内	2014/05/ 09	出願	テトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀

				2015/08/ 10	国優 見なし取 下		越俊雄、佐藤一 彦、安田弘之
3	産業技術総 合研究所	特願 2014-097748	国内	2014/05/ 09 2015/08/ 10	出願 国優 見なし取 下	テトラアルコキシ シランの製造方法	深谷訓久、崔星 集、崔準哲、堀 越俊雄、佐藤一 彦、安田弘之
4	産業技術総 合研究所	特願 2014-119539 特開 2015-231965	国内	2014/06/ 10 2015/12/ 24 2018/09/ 27	出願 公開 拒絶 受入	有機ケイ素化合物 の製造方法及び触 媒組成物	VENU SRINIVAS、 島田茂、佐藤一 彦、中島裕美子
5	産業技術総 合研究所	特願 2014-121387	国内	2014/06/ 12 2015/09/ 12	出願 国優 見なし取 下	有機ケイ素化合物 の製造方法及び触 媒組成物	佐藤一彦、島田 茂、田中真司、 中島裕美子
6	産業技術総 合研究所	特願 2014-126314 特開 2016-003326 登録 6288711	国内	2014/06/ 19 2016/01/ 12 2018/02/ 16	出願 公開 登録	ポリシラン化合物 の製造方法	島田茂、HUANG Jiadi、佐藤一 彦
7	産業技術総 合研究所	特願 2014-127715 特開 2016-008176 登録 6311983	国内	2014/06/ 20 2016/01/ 18 2018/03/ 30	出願 公開 登録	シロキサン化合物 の製造方法	中島裕美子、島 田茂、佐藤一 彦
8	産業技術総 合研究所	特願 2014-140459 特開 2016-017010 登録	国内	2014/07/ 08 2016/02/ 01 2017/12/	出願 公開 登録	モノハロシランの 製造方法	石原吉満、津島 大輔、松本朋浩 、五十嵐正安、 島田茂、佐藤一 彦

		6249487		01			
9	産業技術総合研究所	特願 2014-143066 特開 2016-017071 登録 6332682	国内	2014/07/ 11 2016/02/ 01 2018/05/ 11	出願 公開 登録	ヒドロシラン化合物の製造方法	島田 茂、津島大輔、佐藤一彦、五十嵐正安
10	産業技術総合研究所	特願 2014-157663 特開 2016-034912 登録 6320229	国内	2014/08/ 01 2016/03/ 17 2018/04/ 13	出願 公開 登録	アルキルシラン化合物（又はアリー ルシラン化合物） の製造方法	橋本享昌、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦
11	(独) 産業技術総合研究所	特願 2014-159468	国内	2014/08/ 05 2015/07/ 21	出願 国優見なし取下	有機無機層状ペロブスカイト型化合物及び有機無機層状ペロブスカイト型化合物の製造方法	片岡祥、遠藤明
12	(独) 産業技術総合研究所、昭和電工(株)	特願 2014-167788	国内	2014/08/ 20 2015/08/ 12	出願 国優見なし取下	オリゴシランの製造方法	石原吉満、濱田秀昭、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安、内田博
13	(独) 産業技術総合研究所	特願 2014-179029	国内	2014/09/ 03 2015/09/ 02	出願 国優見なし取下	アルコキシシラン類、オリゴシロキサン類の製造方法	山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代、島田茂、佐藤一彦
14	(独) 産業技術総合研究所	特願 2014-192789 特開 2016-060738 登録 6265431	国内	2014/09/ 22 2016/04/ 25 2018/01/ 05	出願 公開 登録	アルコキシハロシラン化合物の製造方法	黒田一幸、下嶋敦、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦
15	(独) 産業技術総合研	特願 2014-249742	国内	2014/12/ 10	出願	有機ケイ素化合物の製造方法及び触	中島裕美子、田中真司、

	研究所	特開 2016-014005 登録 6333710		2016/01/ 28 2018/05/ 11	公開 登録	媒組成物	VENU SRINIVAS 、佐藤一彦、島 田茂
16	学校法人関 西大学・ (独)産業 技術総合研 究所	特願 2015-018255 特開 2016-141644 登録 1459126	国内	2015/02/ 02 2016/08/ 08 2019/01/ 11	出願 公開 登録	有機シラン化合物 の製造方法及び有 機シラン化合物合 成用触媒組成物	大洞康嗣・佐藤 一彦・島田茂
17	(独)産業 技術総合研 究所	PCT/JP2015/0 52996 W02015/11566 4	PCT	2015/02/ 03 2015/08/ 03 2016/08/ 03	出願 公開 移行	シラノール化合物 、組成物、及びシ ラノール化合物の 製造方法	五十嵐正安、島 田茂、佐藤一彦 、松本朋浩
18	(独)産業 技術総合研 究所	特願 2015-046808	国内	2015/03/ 10 2016/03/ 09	出願 国優 見なし取 下	アシロキシシラン 類の製造方法およ びそれにより得ら れるアシロキシシ ラン類	山下浩、羽鳥真 紀子、吉永充代 、島田茂、佐藤 一彦

2015年度

番号	出願人	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	発明名称	発明者
1	(国研)産 業技術総合 研究所	PCT/JP2015/0 63015 W02015/17066 5	PCT	2015/04/ 30 2015/11/ 12 2016/11/ 10	出願 公開 移行	テトラアルコキシ シランの製造方法	深谷訓久、崔星 集、崔準哲、堀 越俊雄、佐藤一 彦、安田弘之
2	(国研)産 業技術総合 研究所	PCT/JP2015/0 63017 W02015/17066 6	PCT	2015/04/ 30 2015/11/ 12 2016/11/ 10	出願 公開 移行	テトラアルコキシ シランの製造方法	深谷訓久、崔星 集、崔準哲、堀 越俊雄、佐藤一 彦、安田弘之

3	公立大学法人 大阪府立大学、(国研)産業技術総合研究所	特願 2015-125522	国内	2015/06/23 2015/06/23	出願 国優見なし 取下	鉄錯体化合物とそれを用いた有機ケイ素化合物の製造方法	中沢浩、佐藤一彦、島田茂
4	(国研)産業技術総合研究所	特願 2015-151174	国内	2015/07/30 2016/08/01	出願 国優見なし 取下	シラノール化合物の製造方法	五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦
5	(国研)産業技術総合研究所	特願 2015-151191	国内	2015/07/30 2016/08/01	出願 国優見なし 取下	シロキサン化合物及びシロキサン化合物の製造方法	五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦
6	(国研)産業技術総合研究所	PCT/JP2015/080709 W02016/021402	PCT	2015/07/21 2016/02/11 2014/02/02	出願 公開 移行	有機無機層状ペロブスカイト型化合物及び有機無機層状ペロブスカイト型化合物の製造方法	片岡祥、遠藤明
7	(国研)産業技術総合研究所、昭和電工株式会社	PCT/JP2015/072854 W02016/027743	PCT	2015/08/12 2016/02/25 2016/12/08 2017/02/02	出願 公開 譲渡 移行	オリゴシランの製造方法	石原吉満、濱田秀昭、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安、内田博
8	(国研)産業技術総合研究所、昭和電工株式会社	TW104126999 201609537 I549909	国外 (台湾)	2015/08/19 2016/03/16 2016/09/21 2016/11/	出願 公開 査定 譲渡	オリゴシランの製造方法	石原吉満、濱田秀昭、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安、内田博

				30			
	(国研) 産業技術総合研究所	W02014/13682 2				アルコキシシラン類の製造方法	山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代
9		特願 2015-504354 特許登録 6099283	国内	2015/09/ 02 2017/03/ 03	移行 登録		
10		US2016/00022 71 04/772741 特許登録 9657039	国外 (ア メリ カ)	2015/09/ 03 2016/01/ 07 2017/05/ 23	移行 公開 登録		
11		DE11/2014/00 1149.5	国外 (ド イ ツ)	2015/09/ 07 2015/11/ 19	移行 公開		
12	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2015-172618 特開 2016-053021	国内	2015/09/ 03 2016/04/ 14	出願 公開	アルコキシシラン類、オリゴシロキサン類およびその製造方法	山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代、島田茂、佐藤一彦
13	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2015-185965	国内	2015/09/ 18 2016/09/ 14	出願 国優 見なし 取下	対称性を有するオリゴシラキサンの重縮合による周期ポリシロキサンの製造方法	黒田一幸、下嶋敦、島田茂、佐藤一彦
14	公立大学法人大阪市立大学、(国研) 産業技術総合研究所	特願 2015-198815	国内	2015/10/ 06 2017/02/ 07	出願 国優 見なし 取下	鉄錯体化合物とそれを用いた有機ケイ素化合物の製造方法	中沢浩、佐藤一彦、島田茂
15	国立大学法人群馬大学、(国研) 産業技術総合研究所	特願 2015-204578 特開 2017-075128	国内	2015/10/ 16 2017/04/ 20 2018/04/ 17	出願 公開 取下	異なる置換基を対面に4つずつ有するかご型シルセスキオキサン	海野雅史、江川泰暢、島田茂、佐藤一彦

16	(国研) 産業技術総合研究所、コルコート(株)	特願 2015-215395 特開 2017-088498	国内	2015/11/02 2017/05/25	出願 公開	テトラメトキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、佐藤一彦、安田弘之、片岡祥、遠藤明、長谷川稔、熊井浩
17	学校法人関西大学、(国研) 産業技術総合研究所	特願 2015-216536 特開 2017-088507	国内	2015/11/04 2017/05/25	出願 公開	アミノ基とシリル基の両方を有する含窒素含ケイ素化合物の製造方法	大洞康嗣、佐藤一彦、島田茂
18	学校法人関西大学、(国研) 産業技術総合研究所	特願 2015-223892 特開 2017-088576	国内	2015/11/16 2017/05/25	出願 公開	アリルシラン化合物の製造方法	大洞康嗣、佐藤一彦、島田茂
19	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2016-026090	国内	2016/02/15 2017/02/08	出願 見なし 取下	シロキササン及びその製造方法	佐藤靖、島田茂、佐藤一彦
20	(国研) 産業技術総合研究所、昭和電工株式会社	特願 2016-026827	国内	2016/02/16 2016/10/25 2016/11/21	出願 譲渡 国優 見なし 取下	オリゴシランの製造方法	石原吉満、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安、内田博
21	国立大学法人群馬大学、(国研) 産業技術総合研究所	特願 2016-030294 特開 2017-145229	国内	2016/02/19 2017/08/24	出願 公開	ルイス酸を用いた環状シロキササンの製造方法	海野雅史、江川泰暢、佐藤一彦、島田茂
22	国立大学法人群馬大学、(国研) 産業技術総	特願 2016-030330 特開 2017-145231	国内	2016/02/19 2017/08/24	出願 公開	長鎖炭化水素基とヒドロシリル基を有する環状シロキササン及びその製造	海野雅史、江川泰暢、佐藤一彦、島田茂

	合研究所					方法	
23	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2016-045337	国内	2016/03/09 2017/03/09	出願 国優見なし取下	シリルアセタール、オリゴシロキサン、及びそれらの製造方法	松本和弘、島田茂、佐藤一彦
24	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2016-045393	国内	2016/03/09 2017/03/09	出願 国優見なし取下	イリジウム触媒等を用いたアシル化合物のヒドロシリル化によるシリル化合物の製造方法	中島裕美子、佐藤一彦、島田茂、松本和弘
25	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2016/057466 W0/2016/143835	PCT	2016/03/09 2016/09/15 2017/09/09	出願 公開 移行	アシロキシシラン類の製造方法およびそれにより得られるアシロキシシラン類	山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代、韓立彪、島田茂、佐藤一彦

2016年度

番号	出願人	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	発明名称	発明者
1	昭和電工株式会社、(国研) 産業技術総合研究所	特願 2016-116396	国内	2016/06/10 2016/10/26 2017/06/061	出願 譲渡 見なし取下	オリゴシランの製造方法	埜村清志、内田博、石原吉満、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦
2	公立大学法人大阪市立大学、(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2016/068329 W0/2016/208554	PCT	2016/06/21 2016/12/29 2017/08/24	出願 公開 移行	鉄錯体化合物とそれを用いた有機ケイ素化合物の製造方法	中沢浩、早坂和将、佐藤一彦、島田茂
3	(国研) 産	PCT/JP2016/0	PCT	2016/08/	出願	シラノール化合物	五十嵐正安、島

	業技術総合 研究所	72474 WO/2017/0185 43		01 2017/02/ 02 2017/12/ 28	公開 移行	の製造方法	田茂、佐藤一彦 、松本朋浩、山 本美恵
4	(国研)産 業技術総合 研究所	PCT/JP2016/0 72478 WO/2017/0185 44	PCT	2016/08/ 01 2017/01/ 30 2017/12/ 28	出願 公開 移行	シロキサン化合物 及びシロキサン化 合物の製造方法	五十嵐正安、島 田茂、佐藤一彦 、松本朋浩
	(国研)産 業技術総合 研究所	WO/2015/1156 64				シラノール化合物 、組成物、及びシラ ノール化合物の製 造方法	五十嵐正安、島 田茂、佐藤一彦 、松本朋浩
5		特願 2015-560077 特開 2015-115664	国内	2016/08/ 02 2015/08/ 06	移行 公開		
6		US15/116003 US2017- 0183363A1	国外 (ア メリ カ)	2016/08/ 02 2017/06/ 29	移行 公開		
7		EPO 157426622.2 EP3103805	国外 (ヨ ーロ ッ パ)	2016/08/ 10 2016/12/ 14	移行 公開		
8		CN 201580006907 CN 106029677	国外 (中 国)	2016/9/1 8 2016/10/ 12	移行 公開		
9		KR10-2016- 7023558 KR 20160114148 KR 10-1873138	国外 (韓 国)	2016/08/ 18 2016/10/ 04 2018/06/ 25	移行 公開 査定		
10	(国研)産 業技術総合 研究所	特願 2016-179618	国内	2016/09/ 14 2017/08/ 見	出願 見	ポリシロキサン構 造含有化合物の製 造方法および高分	瀧瀬啓太、五十 嵐正安、島田茂 、佐藤一彦

				30	し取 下	子組成物	
11	(国研) 産 業技術総合 研究所	PCT/JP2016/0 77135 WO/2017/0476 52	PCT	2016/09/ 14 2017/03/ 23 2018/01/ 30	出願 公開 移行	対称性を有するオリゴシランの重縮合による周期ポリシロキサンの製造方法	黒田一幸、下嶋敦、島田茂、佐藤一彦
12	(国研) 産 業技術総合 研究所	PCT/JP2016/0 80661	PCT	2016/10/ 17 2018/04/ 17	出願 取下	異なる置換基を対面に4つずつ有するかご型シルセスキオキサン	海野雅史、江川泰暢、島田茂、佐藤一彦
13	(国研) 産 業技術総合 研究所	特願 2016-517891 特許登録 6238384	国内	2016/11/ 08 2017/11/ 10	移行 登録	テトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、佐藤一彦、安田弘之
	(国研) 産 業技術総合 研究所	WO2015/17066 6				テトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、佐藤一彦、安田弘之
14		特願 2016-517892 特許登録 6238385	国内	2016/11/ 08 2017/10/ 05	移行 登録		
15		US15/309900 US 2017/0157701 A1 US 10000514	国外 (ア メリ カ)	2015/11/ 12 2017/09/ 21 2018/06/ 19	移行 公開 登録		
16		EPO 15789345.4 EP 3141553	国外 (ヨ ーロ ッ パ)	2015/11/ 12 2017/03/ 15	移行 公開		
17		CN 201580024399 .X	国外 (中 国)	2015/11/ 12	移行		
18	昭和電工株 式会社	特願 2016-225853	国内	2016/11/ 21	出願	オリゴシランの製造方法	石原吉満、島田茂、佐藤一彦、

				2017/02/ 14	見 な し 取 下		五十嵐正安、内 田博
19	国立大学法 人 群 馬 大 学、(国研) 産業技術総 合研究所	特願 2016-232998 特開 2018-090502	国内	2016/11/ 30 2018/06/ 14	出願 公開	反応性置換基を有 するシルセスキオ キサンの製造方法	海野雅史、江川 泰暢、島田茂、 佐藤一彦
20	(国研) 産 業技術総合 研究所	特願 2016-235362	国内	2016/12/ 02 2017/11/ 30	出願 見 な し 取 下	イオウ含有有機ケ イ素化合物の製造 方法	中島裕美子、 VENU SRINIVAS、 佐藤一彦、島田 茂
21	公立大学法 人 大 阪 市 立 大学、(国 研) 産業技 術総合研究 所	特願 2016-241493 特開 2018-095731	国内	2016/12/ 13 2018/06/ 21	出願 公開	鉄錯体触媒を用い たヒドロシランの 脱水素縮合反応に よるポリシランの 製造方法	中沢浩、早坂和 将、西村俊也、 島田茂、佐藤一 彦
22	学校法人関 西大学、(国 研) 産業技 術総合研究 所	特願 2016-243387 特開 2018-095613	国内	2016/12/ 15 2018/06/ 21	出願 公開	ヒドロシランを利 用した含窒素含ケ イ素有機化合物の 製造方法	大洞康嗣、佐藤 一彦、島田茂
23	(国研) 産 業技術総合 研究所	特願 2016-246389 特開 2018-100231	国内	2016/12/ 20 2018/06/ 28	出願 公開	ボラン還元を用い たヒドロシランの 製造方法	大森悠、松本和 弘、中島裕美子 、佐藤一彦、島 田茂
24	学校法人関 西大学、(国 研) 産業技 術総合研究 所	特願 2017-004391	国内	2017/01/ 13 2017/12/ 22	出願 見 な し 取 下	金属元素含有ナノ 粒子を用いたヒド ロシリル化による 有機ケイ素化合物 の製造方法	大洞康嗣、林賢 今、中島裕美子 、島田茂、佐藤 一彦
25	(国研) 産 業技術総合 研究所	特願 2017-010665 特開 2018-118920	国内	2017/01/ 24 2018/08/ 02	出願 公開	環状アルキル基を 有する有機ケイ素 化合物の製造方法	林 和史、松本 和弘、中島裕美 子、島田茂、佐 藤一彦
26	公立大学法 人 大 阪 市 立	特願 2017-011219	国内	2017/01/ 25	出願	鉄錯体触媒を用い たカルボニル化合	中沢浩、早坂和 将、西村峻也、

	大学、（国研）産業技術総合研究所	特開 2018-118925		2018/08/ 02	公開	物のヒドロシリル化反応によるアルコキシシランの製造方法	島田茂、佐藤一彦
27	（国研）産業技術総合研究所	特願 2017-013123 特開 2018-118941	国内	2017/01/ 27 2018/08/ 02	出願 公開	ヒドロシランの製造方法	青柳圭哉、松本和弘、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦
28	（国研）産業技術総合研究所	特願 2017-014696 特開 2018-123073	国内	2017/01/ 30 2018/09/ 09	出願 公開	ヒドロシランの製造方法	別部輝生、中島裕美子、松本和弘、佐藤一彦、島田茂
29	（国研）産業技術総合研究所	特願 2016-540142 特許登録 6270183	国内	2017/02/ 02 2018/01/ 12	移行 登録	有機無機層状ペロブスカイト型化合物及び有機無機層状ペロブスカイト型化合物の製造方法	片岡祥、遠藤明
30	（国研）産業技術総合研究所	PCT/JP2017/0 04637 W02017/14179 6	PCT	2017/02/ 08 2017/08/ 24	出願 公開	シロキサン及びその製造方法	佐藤靖、島田茂、佐藤一彦
	昭和電工株式会社	PCT/JP2015/0 72854 W0/2016/0277 43				オリゴシランの製造方法	石原吉満、濱田秀昭、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安、内田博
31		特願 2016-544187 再表 2016-027743	国内	2017/02/ 20 2016/02/ 11	移行 再表		
32		US 15504856 US2017027517 1	国外 （ア メリ カ）	2017/02/ 20 2017/09/ 28	移行 公開		
33		KR 2017- 7004162 KR 2017-0035953	国外 （韓 国）	2017/02/ 20 2017/03/ 31	移行 公開		
34		CN	国外	2017/04/ 20	移行		

		201580043836 CN 106573786	(中国)	19	公開		
35	昭和電工株式会社	PCT/JP2017/005240 WO/2017/141889	PCT	2017/02/14 2017/08/24	出願 公開	オリゴシランの製造方法	埜村清志、内田博、石原吉満、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安
36	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-027895 特開 2018-131424	国内	2017/02/17 2018/08/23	出願 公開	白金触媒を用いたヒドロシリル化反応による有機ケイ素化合物の製造方法	片岡祥、蕪木和孝、遠藤明、五十嵐正安、八木橋不二夫、佐藤一彦
37	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-028274 特開 2018-131428	国内	2017/02/17 2018/08/23	出願 公開	ポリルシリルエーテルの製造方法	吉村彩、山下浩、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦
38	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-039676 特開 2018-145119	国内	2017/03/02 2018/09/20	出願 公開	アルケニルシランの製造方法	HUANG Jiadi、松本和弘、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦
39	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-039778	国内	2017/03/02 2018/01/25	出願 見なし 取下	配列制御オリゴシロキサン、それらの製造方法及びオリゴシロキサン合成機	松本和弘、島田茂、佐藤一彦
40	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2017/008820 WO/2017/154846	PCT	2017/03/06 2017/09/14 2018/09/14	出願 公開 移行	イリジウム触媒等を用いたアシル化合物のヒドロシリル化によるシリル化合物の製造方法	中島裕美子、佐藤一彦、島田茂、松本和弘
41	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2017/008836 WO/2017/14848	PCT	2017/03/06 2017/09/14	出願 公開	シリルアセタール、オリゴシロキサン、及びそれらの製造方法	松本和弘、島田茂、佐藤一彦
42	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-063739 特開 2018-165261	国内	2017/03/28 2018/10/25	出願 公開	ポリシロキサンの製造方法	吉村彩、山下浩、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦

2017年度

番号	出願人	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	発明名称	発明者
1	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2017-083845	国内	2017/04/ 20 2018/03/ 05	出願 見なし取 下	シラノール化合物 及びシラノール化 合物の製造方法	五十嵐正安、佐 藤一彦、島田茂 、八木橋不二夫
2	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2017-085683	国内	2017/04/ 24 2018/04/ 24	出願 見なし取 下	シロキサン化合物 の製造方法および 新規なシロキサン 化合物	山下浩、篠原由 寛、羽鳥真紀子 、松本朋浩、吉 永充代、五十嵐 正安、島田茂、 佐藤一彦
3	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2017-103709	国内	2017/05/ 25 2018/05/ 25	出願 見なし取 下	アルコキシシリル 基とヒドロシリル 基を有するオルガ ノシロキサン及び その製造方法	佐藤靖、五十嵐 正安、佐藤一彦 、島田茂
4	(国研) 産業 技術総合研究 所、昭和電工 株式会社	特願 2017-109113 特開 2018-202304	国内	2017/06/ 01 2018/12/ 27	出願 公開	ゼオライト触媒の 製造方法	埜村清志、内田 博、石原吉満、 中島裕美子、島 田茂、佐藤一彦
5	昭和電工株式 会社	PCT/JP2017/0 21030 WO/2017/2131 55	PCT	2017/06/ 06 2017/12/ 14	出願 公開	オリゴシランの製 造方法	埜村清志、内田 博、石原吉満、 中島裕美子、島 田茂、佐藤一 彦
6	昭和電工株式 会社	TW106119291 I636956	国外 (台 湾)	2017/06/ 09 2018/10/ 01	出願 査定	オリゴシランの製 造方法	埜村清志、内田 博、石原吉満、 中島裕美子、島 田茂、佐藤一 彦
7	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2017-126275 特開 2019-006743	国内	2017/06/ 28 2019/01/ 17	出願 公開	クロロシランを原 料に用いたアルキ ニルシランの製造 方法	別部輝生、松本 和弘、佐藤一彦 、中島裕美子
8	公立大学法人	特願	国内	2017/08/	移行	鉄錯体化合物とそ	中沢浩、早坂和

	大阪市立大学、(国研)産業技術総合研究所	2017-524904 再表 2016-208554		24 2016/12/ 29	再公表	れを用いた有機ケイ素化合物の製造方法	将、佐藤一彦、島田茂
9	(国研)産業技術総合研究所	PCT/JP2017/031204 W0/2018/051792	PCT	2017/08/30 2018/03/22 2019/03/14	出願 公開 移行	ポリシロキサン構造含有化合物の製造方法および高分子組成物	瀧瀬啓太、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦
10	(国研)産業技術総合研究所	特願 2017-177629	国内	2017/09/15 2018/09/15	出願 見なし 取下	銅触媒を用いたアルコキシ基を有するオルガノシロキサン及びオルガノシロキサンの製造方法	佐藤靖、五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂
	(国研)産業技術総合研究所	PCT/JP2016/057466 W0/2016/143835				アシロキシシラン類の製造方法およびそれにより得られるアシロキシシラン類	山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代、韓立彪、島田茂、佐藤一彦
11		特願 2017-505386 再表 2016-143835	国内	2017/09/06 2016/09/15	移行 再公表		
12		US 15/556808	国外 (アメリカ)	2017/09/08	移行		
13	(国研)産業技術総合研究所	特願 2017-200517	国内	2017/10/16	出願	錯体化合物及びシロキサンの製造方法	中島裕美子、松本和弘、竹下智博、佐藤一彦
	昭和電工株式会社	PCT/JP2017/005240 W0/2017/141889				オリゴシランの製造方法	埜村清志、内田博、石原吉満、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安
14		特願 2017-534754	国内	2017/06/27	移行		
15		KR2017-7030425	国外 (韓)	2017/10/23	移行		

		KR2017-0125105	国)	2017/11/13	公開		
16		CN2017800014 52.3 CN107531491	国外 (中国)	2017/11/06 2018/01/02	移行 公開		
17	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-212890	国内	2017/11/02	出願	アリル化合物のヒドロシリル化による有機ケイ素化合物の製造方法	王志安、松本和弘、中島裕美子、佐藤一彦、島田茂
18	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-214716	国内	2017/11/07	出願	ハロシランの製造方法	真島和志、劔隼人、Pramanik Suman、佐藤一彦、松本和弘
19	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2017/042446	PCT	2017/11/27	出願	反応性置換基を有するシルセスキオキサン	海野雅史、江川泰暢、島田茂、佐藤一彦
20	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2017/043100 WO/2018/101416	PCT	2017/11/30 2018/06/07	出願 公開	イオウ含有有機ケイ素化合物の製造方法	中島裕美子、VENU SRINIVAS、佐藤一彦、島田茂
21	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-231365	国内	2017/12/01	出願	ヒドロシランの製造方法	青柳圭哉、大森悠、松本和弘、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦
22	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-232345	国内	2017/12/04	出願	シロキサンの製造方法	松本和弘、中島裕美子、佐藤一彦
23	学校法人関西大学、(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2017/046103	PCT	2017/12/22	出願	金属元素含有ナノ粒子を用いたヒドロシリル化による有機ケイ素化合物の製造方法	大洞康嗣、林賢今、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦
24	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2017-249517	国内	2017/12/26 2018/12/26	出願 見なし 取下	助触媒によるテトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、片岡祥、Nguyen Thi Hong Thuy、佐藤一彦

25	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2017-252112	国内	2017/12/ 27 2018/12/ 27	出願 見なし取 下	酸化カルシウムを 用いたテトラアル コキシシランの製 造方法	深谷訓久、崔星 集、崔準哲、堀 越俊雄、片岡祥 、ゲェンテュイ 、佐藤一彦
26	(国研) 産業 技術総合研究 所、コルコー ト株式会社	特願 2017-252118	国内	2017/12/ 27 2018/12/ 27	出願 見なし取 下	テトラアルコキシ シランの製造方法	深谷訓久、崔星 集、崔準哲、堀 越俊雄、片岡祥 、Nguyen Thi Hong Thuy、佐藤 一彦、熊井浩、 長谷川稔
27	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2017-531422 再表 2017-018543	国内	2017/12/ 28 2017/02/ 02	移行 再公表	シラノール化合物 の製造方法	五十嵐正安、島 田茂、佐藤一彦 、松本朋浩、山 本美恵
28	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2017-531423 再表 2017-018544	国内	2017/12/ 28 2017/02/ 02	移行 再公表	シロキサン化合物 及びシロキサン化 合物の製造方法	五十嵐正安、島 田茂、佐藤一彦 、松本朋浩
29	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2018-010706	国内	2018/01/ 25 2018/03/ 01	出願 見なし取 下	配列制御オリゴシ ロキサン、それら の製造方法及びオ リゴシロキサン合 成機	松本和弘、佐藤 一彦、島田茂
30	(国研) 産業 技術総合研究 所	特願 2017-539946	国内	2018/01/ 30	移行	対称性を有するオ リゴシロキサンの 重縮合による周期 ポリシロキサンの 製造方法	黒田一幸、下嶋 敦、島田茂、佐 藤一彦
31	(国研) 産業 技術総合研究 所	PCT/JP2018/0 07759	PCT	2018/03/ 01	出願	配列制御オリゴシ ロキサン、それら の製造方法及びオ リゴシロキサン合 成機	松本和弘、佐藤 一彦、島田茂
32	(国研) 産業 技術総合研究 所	PCT/JP2018/0 08434	PCT	2018/03/ 05	出願	シラノール化合物 及びシラノール化 合物の製造方法	五十嵐正安、佐 藤一彦、島田茂 、八木橋不二夫

2018年度

番号	出願人	出願番号	国内 国外 PCT	出願日	状態	発明名称	発明者
1	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-083487	国内	2018/04/ 24	出願	シロキサン化合物の製造方法、新規なシロキサン化合物、およびそれらの用途	山下浩、篠原由寛、羽鳥真紀子、松本朋浩、吉永充代、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦、野澤竹志、瀧瀬啓太
2	昭和電工株式会社、(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-084751	国内	2018/04/ 26	出願	オリゴシラン製造用再生触媒の製造方法	埜村清志、内田博、石原吉満、中島裕美子、佐藤一彦
3	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-087595	国内	2018/04/ 27	出願	環状シロキサン化合物の製造方法、環状シロキサン化合物、組成物、および耐熱性材料	山下浩、篠原由寛、羽鳥真紀子、吉永充代、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦
4	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2018/020197	PCT	2018/05/ 25	出願	オルガノシロキサン及びその製造方法	佐藤靖、五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂
5	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-109134 特開 2018-135397	国内	2018/06/ 07 2018/08/ 30	出願 公開	シラノール化合物の製造方法	五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦、松本朋浩
6	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-117218	国内	2018/06/ 20	出願	アルコキシ基とアシロキシ基を有するシラン類の製造方法、新規なシラン類、およびそれらの用途	山下浩、吉永充代、羽鳥真紀子、五十嵐正安、佐藤一彦
7	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-123090	国内	2018/06/ 28	出願	環状シロキサン化合物の製造方法、及び環状シロキサン化合物	佐藤靖、瀧瀬啓太、五十嵐正安、佐藤一彦

8	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-126291	国内	2018/07/ 02	出願	ハロシラン類化合物を原料とするアリアルシラン化合物の製造方法	別部輝生、中島裕美子、佐藤一彦
	昭和電工株式会社	PCT/JP2017/021030 WO/2017/213155	PCT	2017/06/ 06 2017/12/ 14	出願 公開	オリゴシランの製造方法	埜村清志、内田博、石原吉満、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦
9		特願 2018-521742	国内	2018/08/ 07	移行		
10		CN 201780034377.0	国外 (中国)	2018/12/ 03	移行		
11		KR2018-7034956	国外 (韓国)	2018/12/ 03	移行		
12		US 15/308323	国外 (アメリカ)	2018/12/ 07	移行		
13	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-500065 再表 2017-141796	国内	2018/07/ 04 2017/08/ 24	移行 再公表	シロキササン及びその製造方法	佐藤靖、島田茂、佐藤一彦
14	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2019-504480	国内	2018/07/ 04	移行	シリルアセタール、オリゴシロキササン、及びそれらの製造方法	松本和弘、島田茂、佐藤一彦
15	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-504478	国内	2018/07/ 04	移行	イリジウム触媒等を用いたアリアル化合物のヒドロシリル化によるシリル化合物の製造方法	中島裕美子、佐藤一彦、島田茂、松本和弘
16	昭和電工株式会社	US 15/998663	国外 (アメリカ)	2018/08/ 16	移行	オリゴシランの製造方法	埜村清志、内田博、石原吉満、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安
17	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2018/034239	PCT	2018/09/ 15	出願	オルガノシロキササン及びオルガノシ	佐藤靖、五十嵐正安、佐藤一彦

	研究所					ロキサンの製造方法	、島田茂
18	(公立大学法人) 大阪市立大学、(学校法人) 北里研究所、(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-183834	国内	2018/09/ 28	出願	有機ケイ素化合物の製造方法	中沢浩、神谷昌宏、中島裕美子、佐藤一彦
19	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-200047	国内	2018/10/ 24	出願	結晶、結晶の製造方法、及びシラノール化合物を自己組織化させる方法	五十嵐正安、松本朋浩、野澤竹志、八木橋不二夫、佐藤一彦
20	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2018/0 47272	PCT	2018/12/ 21	出願	助溶媒によるテトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、片岡祥、Nguyen Thi Hong Thuy、佐藤一彦
21	(国研) 産業技術総合研究所	PCT/JP2018/0 47501	PCT	2018/12/ 25	出願	酸化カルシウムを用いたテトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、片岡祥、ゲンテュイ、佐藤一彦
22	(国研) 産業技術総合研究所	TW107147378	国外 (台湾)	2018/12/ 27	出願	酸化カルシウムを用いたテトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、片岡祥、ゲンテュイ、佐藤一彦
23	(国研) 産業技術総合研究所、コルコート株式会社	特願 2018-240859	国内	2018/12/ 25	出願	テトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、片岡祥、Nguyen Thi Hong Thuy、佐藤一彦、熊井浩、長谷川稔
24	(国研) 産	PCT/JP2018/0	PCT	2018/12/	出願	テトラアルコキシ	深谷訓久、崔星

	業技術総合研究所、コルコート株式会社	47645		25		シランの製造方法	集、崔準哲、堀越俊雄、片岡祥、Nguyen Thi Hong Thuy、佐藤一彦、熊井浩、長谷川稔
25	(国研) 産業技術総合研究所、コルコート株式会社	TW107147379	国外 (台湾)	2018/12/27	出願	テトラアルコキシシランの製造方法	深谷訓久、崔星集、崔準哲、堀越俊雄、片岡祥、Nguyen Thi Hong Thuy、佐藤一彦、熊井浩、長谷川稔
26	(国研) 産業技術総合研究所、昭和電工株式会社	特願 2018-244962	国内	2018/12/27	出願	オリゴシラン製造用触媒の製造方法	内田博、石原吉満、中島裕美子、佐藤一彦
27	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2019-009700	国内	2019/01/23	出願	二座ホスフィン配位子を有するロジウム錯体及びその製造方法、並びに二座ホスフィン配位子を有するロジウム錯体を用いるハロゲン化アルルのヒドロシリル化	猪股航也、永縄友規、佐藤一彦、中島裕美子
28	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2019-020790	国内	2019/02/07	出願	スピロシロキサン化合物、主鎖中にスピロシロキサン構造を有する定序性ポリシロキサン及びそれらの製造方法	松本和弘、河津貴大、佐藤一彦
29	(国研) 産業技術総合研究所	特願 2018-539618	移行	2019/02/08	移行	ポリシロキサン構造含有化合物の製造方法及び高分子組成物	瀧瀬啓太、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦

2. 論文

2014年度

番号	発表者	所属	論文タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	五十嵐正安、松本朋浩、佐藤一彦、安藤亘、島田茂	(独)産業技術総合研究所	Nonhydrolytic Synthesis of Silanols by the Hydrogenolysis of Benzyloxysilanes	CHEMISTRY LETTERS, 2014, 43 (4), 429.	有	2014/4
2	五十嵐正安、久保恵子、松本朋浩、佐藤一彦、安藤亘、島田茂	(独)産業技術総合研究所	Pd/C-Catalyzed Cross-coupling Reaction of Benzyloxysilanes with Halosilanes for Selective Synthesis of Unsymmetrical Siloxanes	RSC Advances, 2014, 4, 19099.	有	2014/4
3	八木橋不二夫、五十嵐正安、中島裕美子、安藤亘、佐藤一彦、湯本嘉恭、松井智波、島田茂	(独)産業技術総合研究所、信越化学工業(株)	Acid-Catalyzed Condensation Reaction of Phenylsilanetriol: Unexpected Formation of <i>cis,trans</i> -1,3,5-Trihydroxy-1,3,5-triphenylcyclotrisiloxane as the Main Product and Its Isolation	Organometallics, 2014, 33 (22), 6278.	有	2014/11

2015年度

番号	発表者	所属	論文タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	片岡祥、Subhabrata Banerjee、川合章子、上村佳大、崔準哲、小平哲也、佐藤一彦、遠藤明	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Layered Hybrid Perovskites with Micropores Created by Alkylammonium Functional Silsesquioxane Interlayers	J. Am. Chem. Soc., 137 (12), 4158-4163 (2015).	有	2015/04/01

2	Venu Srinivas、中島裕美子、安藤亘、佐藤一彦、島田茂	(独) 産業技術総合研究所	(Salicylaldiminato)Ni(II)-catalysts for Hydrosilylation of Olefins	Catal. Sci. Technol., 2015, 5 , 2081-2084.	有	2015/04
3	中井俊志、松井正樹、清水洋佑、足立有莉奈、大洞康嗣	学校法人 関西大学	Palladium-Catalyzed Oxidative Silylation of Simple Olefins to give Allylsilanes Using Hexamethyldisilane and Molecular Oxygen as the Sole Oxidant	Journal of Organic Chemistry, 80 , 7317-7320 (2015).	有	2015/06/18
4	Kazumasa Hayasaka, Kouji Kamata, Hiroshi Nakazawa	公立学校法人 大阪市立大学	Highly Efficient Olefin Hydrosilylation Catalyzed by Iron Complexes with Iminobipyridine Ligand	Bull. Chem. Soc. Jpn. 2016, 89 , 394-404.	有	2016/03/15 (Web: 2015/12/07)

2016年度

番号	発表者	所属	論文タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Venu Srinivas、中島裕美子、安藤亘、佐藤一彦、島田茂	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	Bis(acetylacetonato)Ni(II)/NaBHET ₃ -catalyzed Hydrosilylation of 1,3-Dienes, Alkenes and Alkynes	J. Organometal. Chem., 2016 , 809, 57-62.	有	2016/05/01
2	Jomon Mathew、中島裕美子、崔隆基、卜部泰子、安藤亘、佐藤一彦、島田茂	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	Olefin Hydrosilylation Catalyzed by a Cationic Nickel(II) Allyl Complex	Chem. Commun., 2016, 52 , 6723-6726	有	2016/05/18 (Web: 2016/04/12)
3	八木橋不二	国立研究	Unexpected Selectivity	Eur. J. Inorg.	有	2016/5/2

	夫、五十嵐正安、中島裕美子、佐藤一彦、湯本嘉、松井智波、島田茂	開発法人 産業技術 総合研究 所	in the Cyclotetrasiloxane Formation by the Hydrolytic Condensation Reaction of Trichloro(phenyl)silane	Chem. 2016, 2882-2886.		7
4	Yasunobu Egawa, Shinji Murakami, Nobuhiro Takeda, Masafumi Unno	国立大学 法人群馬 大学	Synthesis of Hydrosilyl-substituted Cyclic Siloxane: New Building Block for Materials	Chemistry Letters, 2016, 45(7), 738-739	有	2016/07/01
5	深谷訓久・崔星集・堀越俊雄・熊井浩・長谷川稔・安田弘之・佐藤一彦・崔準哲	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	Synthesis of Tetramethoxysilane from Silica and Methanol using Carbon Dioxide and an Organic Dehydrating Reagent	Chemistry Letters, 2016, 45(7), 828-830	有	2016/07/01
6	Oguri. N.; Egawa. Y.; Takeda. N.; Unno. M.	国立大学 法人群馬 大学	Janus-Cube Octasilsesquioxane: Facile Synthesis and Structure Elucidation	Angew. Chem., Int. Ed. Engl., 2016, 55(32), 9336-9339.	有	2016/08/01
7	橋本享昌、Yuko Kawato、中島裕美子、大木靖弘、巽和行、安藤亘、佐藤一彦、島田茂	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	Synthesis of Dimethylmanganese(II) Complexes Bearing <i>N</i> -Heterocyclic Carbenes and Nucleophilic Substitution Reaction of Tetraalkoxysilanes by Diorganomanganese(II) Complexes	J. Organometal. Chem., 2016, 820, 14-19.	有	2016/10/01
8	中島裕美	国立研究	Development of Nickel	Chemical	有	2016/10/

	子、佐藤一彦、島田茂	開発法人 産業技術 総合研究 所	Hydrosilylation Catalysts	Record, 2016 , 16(5), 2379- 2387		01 (Web: 2016/08/ 08)
9	Subhabrata Banerjee、 片岡祥、高 橋利和、川 村佳大、鈴 木邦夫、佐 藤一彦、遠 藤明	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	Controlled Formation of Ordered Coordination Polymeric Networks using Silsesquioxane Building Blocks	Dalton Transactions, 2016 ,45(43), 17082-17086	有	2016/11/ 21 (Web: 2016/08/ 22)
10	Yuma Koma ta, Masas hi Yoshik awa, Yasu hiro Tamu ra, Hiroa ki Wada, Atsushi S himojima, 黒田一幸	学校法人 早稲田大 学	Selective Formation of Alkoxychlorosilanes and Four Different Substituted Organotrialkoxysilane by Intermolecular Exchange Reaction	Chem. Asian J. 2016 , 11, 3225-3233	有	2016/11/ 22 (Web: 2016/09/ 23)
11	深谷訓久、 崔準哲	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	ケイ素化学品原料製造の 現状と展望	工業材料 65 (1), 45-48 (2017)	無	2017/01/ 01
12	深谷訓久、 崔準哲	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	砂や灰などからの有機ケ イ素原料の効率的な合成 法の開発	月刊機能材料 37 (2), 52-56 (2017)	無	2017/02/ 15
13	佐藤靖、五 十嵐正安、 佐藤一彦、 島田茂	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	Highly Selective Synthesis of Hydrosiloxanes by Au- Catalyzed Dehydrogenative Cross- Coupling Reaction of Silanols with	ACS Catal., 2017 , 7, 1836-1840	有	2017/03/ 03 (Web: 2017/01/ 27)

			Hydrosilanes			
14	松本和弘、Kappam Vettill Sajana、佐藤靖、佐藤一彦、島田茂	国立研究開発法人産業技術総合研究所	By-Product-Free Siloxane-Bond Formation and Programmed One-Pot Oligosiloxane Synthesis	Angew. Chem. Int. Ed., 2017 , 56 , 3168-3171	有	2017/03/06 (Web: 2017/02/02)
15	深谷訓久、崔星集、堀越俊雄、熊井浩、長谷川稔、安田弘之、佐藤一彦、崔準哲	国立研究開発法人産業技術総合研究所、コルコート株式会社	Direct Synthesis of Tetraalkoxysilane from Silica and Alcohol	New Journal of Chemistry, 2017 , 6 (41), 2224-2226	有	2017/03/13

2017年度

番号	発表者	所属	論文タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	五十嵐正安、松本朋浩、八木橋不二夫、山下浩、大原高志、花島隆康、中尾朗子、茂吉武人、佐藤一彦、島田茂	国立研究開発法人産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構、総合科学研究機構	Non-aqueous selective synthesis of orthosilicic acid and its oligomers	NATURE COMMUNICATIONS, 2017 , 8 , 140.	有	2017/07 (Web: 2017/07/26)
2	Jomon Mathew, 江口勝哉、中島裕美子、佐藤一彦、島田茂、崔隆基	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Tris(pentafluorophenyl)borane-Catalyzed Reaction of Siloxanes: A Combined Experimental and Computational Study	European Journal of Organic Chemistry, 2017 , 33 , 4922-4927.	有	2017/09/05
2	Nguyen	国立研究開	Feasibility study of new	Computer	有	(Web:

	Thuy, 片岡祥、深谷訓久、佐藤一彦、崔準哲、遠藤明	発法人産業技術総合研究所	synthesis route of tetraethoxysilane from rice hull ash	Aided Chemical Engineering, 2017, 40 , 703-708		2017/11/09)
4	Venu Srinivas, 中島裕美子、佐藤一彦、島田茂	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Iridium-Catalyzed Hydrosilylation of Sulfur-Containing Olefins	Organic Letters, 2018, 20 , (1), 12-15.	有	2017/12/08
5	片岡祥、蕪木和孝、Hiroyuki Mochizuki, 上村佳大、佐藤一彦、遠藤明	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Hybrid Lead Halide Layered Perovskites with Silsesquioxane Interlayers	Journal of Nonoscience and Nanotechnology, 2018, 18 , (1), 95-99.	有	2018/01/01
6	Nguyen Thuy, 深谷訓久、佐藤一彦、崔準哲、片岡祥	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Technoeconomic and environmental assessment for design and optimization of tetraethyl orthosilicate synthesis process	Industrial & Engineering Chemistry Research, 2018, 57 (6), 2192-2199	有	(Web: 2018/01/19)
7	瀧瀬啓太、五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Organocatalytic Controlled/Living Ring-Opening Polymerization of Cyclotrisiloxanes Initiated by Water with Strong Organic Base Catalysts	Chemical Science, 2018, 9 (11), 2879-2891	有	2018/03/21 (Web: 2018/02/19)

2018年度

番号	発表者	所属	論文タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	松本和弘、Jiadi Huang、永縄友規、	国立研究開発法人産業技術総合研究	Direct Silyl-Heck Reaction of Chlorosilanes	Org. Lett., 2018, 20 (8), 2481-2484	有	2018/04/04 (Web: 2018/04

	Haiqing Guo、別部輝生、佐藤一彦、島田茂、中島裕美子	所				/04)
2	松本和弘、大場雄貴、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦	国立研究開発法人産業技術総合研究所	One-Pot Sequence-Controlled Synthesis of Oligosiloxanes	Angew. Chem. Int. Ed., 2018, 57 (17), 4637-4641	有	2018/04/16 (Web: 2018/03/05)
3	R.Azuma, S.Nakamichi, J.Kimura, H. Yano, H.Kawasaki, T.Suzuki, R. Kondo, Y. Kanda, K.Shimizu, K.Kato, Y. Obora	関西大学	Solution Synthesis of N,N-Dimethylformamide-stabilized Iron Oxide Nanoparticles as an Efficient and Recyclable Catalyst for Alkene Hydrosilylation	ChemCatChem, 2018, 10 (11), 2378-2382	有	2018/06/07 (Web: 2018/03/30)
4	Valeria Butera、深谷訓久、崔準哲、佐藤一彦、崔隆基	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Alkoxysilane production from silica and dimethylcarbonate catalyzed by alkali bases: A quantum chemical investigation of the reaction mechanism	Inorganica Chimica Acta, 2018, 482 , 70-76	有	2018/10/01 (Web: 2018/05/28)
5	野澤竹志、松本朋浩、八木橋不二夫、別部輝生、佐藤一彦、五十嵐正安	国立研究開発法人産業技術総合研究所	[Si ₈ O ₁₂][OH] ₈ : Isolation, Structure, and Reactivity of a Cubic Octamer of Orthosilicic Acid	Chemistry Letters, 2018, 47 (12), 1530-1533	有	2018/12/05 (Web: 2018/10/31)
6	Katsuaki	大阪市立	Hydrosilylation of Diene	Bulletin of the	有	2019/01/

	Kobayashi, Sayaka Teratani, Yosuke Izumori, Kazumas a Hayasaka , and Hiroshi Nakazaw a	大学	Derivatives Catalyzed by Fe-Iminobipyridine Complexes Aiming at Syntheses of Organosilane Compounds Containing a Terminal Olefin Portion	Chemical Society of Japan, 2019, 92 , 105–114		15 (Web: 2018/12/ 28)
7	松本和弘、 島田茂、佐 藤一彦	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	Sequence-Controlled Catalytic One-Pot Synthesis of Siloxane Oligomers	Chem. Eur. J. 2019, 25 , 920–928	有	2019/01/ 23 (Web: 2018/11/ 12)

2019年度

番号	発表者	所属	論文タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	永田達己、 井上健、林 賢今、石元 慎也、中道 星也、岡秀 雄、近藤亮 太、鈴木健 之、大洞康 嗣	学校法人関 西大学	Dimethylformamide-Stabilised Palladium Nanoclusters Catalysed Coupling Reactions of Aryl Halides with Hydrosilanes/Disilanes	RSC Advances, 2019, 9 , 17425-17431	有	2019/06 /03

3. 発表

(a) 学会発表・講演

2012年度

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	○五十嵐正安、安藤亘、佐藤一彦、島田茂	(独)産業技術総合研究所	水を用いないシラノール合成法開発とシロキサンのクロスカップリング反応開発	平成 24 年度 産総研 環境・エネルギーシンポジウムシリーズ 「21 世紀の化学反応とプロセス - 未来を切り拓く革新触媒 -」	2013/02/19
2	○山下浩、羽鳥真紀子、小橋比呂子、荒沢弘子	(独)産業技術総合研究所	有機ケイ素化合物の誘電特性評価とマイクロ波照射反応	日本化学会第 93 春季年会	2013/03/22
3	○五十嵐正安、安藤亘、佐藤一彦、島田茂	(独)産業技術総合研究所	新規シラノール合成法を基にしたシロキサン化合物のクロスカップリング反応開発	日本化学会第 93 春季年会	2013/03/23
4	○佐藤靖、大洞康嗣	学校法人関西大学	低原子価ニオブ化合物を用いたアルキンとニトリルの分子間環化付加反応による触媒的三置換体ピリジン誘導体の合成	日本化学会第 93 春季年会	2013/03/24

2013年度

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	○五十嵐正安、安藤亘、佐藤一彦、島田茂	(独)産業技術総合研究所	Nonhydrolytic Synthesis of Silanols and Development of a Siloxane Cross-coupling Type Reaction	14th European Symposium on Organic Reactivity (ESOR 2013)	2013/09/02
2	○五十嵐正安、佐藤一彦、安藤亘、島田茂	(独)産業技術総合研究所	クロスカップリング型シロキサン結合形成反応開発	第 17 回ケイ素化学協会シンポジウム	2013/10/25

3	○海野雅史、 寺下なづ菜、 中島諒、武田 亘弘	国立大学法 人群馬大学	ルイス酸を用いた新規シロキ サン合成反応	第40回有機典型 元素化学討論会	2013/12/0 5
4	○五十嵐正安	(独)産業技 術総合研究 所	有機ケイ素機能性化学品製造 プロセス技術開発	創造機能化学第 116委員会	2014/01/2 0
5	○五十嵐正 安、安藤亘、佐 藤一彦、島田 茂	(独)産業技 術総合研究 所	水を用いないシラノール合成 法開発とクロスカップリング 型シロキサン結合形成反応開 発	H25 年度産総研 環境・エネルギー シンポジウムシ リーズ	2014/02/1 4
6	○山本陽加、 中沢浩	公立大学法 人大阪市立 大学	ジイミン誘導体を配位子とす る鉄錯体によるアルケンのヒ ドロシリル化反応	日本化学会第 94 春季年会(2014)	2014/03/2 7
7	○中道星也、 矢野敬規、川 崎英也、大洞 康嗣	学校法人関 西大学	DMF保護鉄ナノ微粒子触媒を用 いたヒソロシリル化反応	日本化学会第 94 春季年会(2014)	2014/03/2 8
8	○中島裕美 子、卜部泰子、 島田茂、佐藤 一彦	(独)産業技 術総合研究 所	ニッケルアレーン錯体を触媒 とするオレフィンのヒドロシ リル化	日本化学会第 94 春季年会(2014)	2014/03/2 8
9	○中島裕美子	(独)産業技 術総合研究 所	Precise Design of 3d Metal Complexes: Attempt to Develop Non-precious Metal Catalyst	日本化学会第 94 春季年会(2014)	2014/03/2 8
10	○山下浩、羽 鳥真紀子、吉 永充代	(独)産業 技術総合研 究所	マイクロ波/固体酸触媒を用 いたメトキシまたはエトキシ シラン類とアルコールの反応 によるアルコキシシラン類の 合成	日本化学会第 94 春季年会(2014)	2014/03/2 9
11	○松井正樹、 中井俊志、清 水洋佑、大洞 康嗣	学校法人関 西大学	パラジウム触媒を用いた単純 アルケンとジシランとの反応 によるアリルシランの合成	日本化学会第 94 春季年会(2014)	2014/03/3 0

2014年度

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表 年月日
----	-----	----	------	-----	-----------

1	○深谷訓久、 崔 星集、崔 準哲、堀越俊 雄、安田弘之	(独)産業技 術総合研究 所	シリカを原料とするテトラア ルコキシシランの触媒的直接 合成	第3回 JACI/GSC シンポジウム	2014/05/2 3
2	○山下 浩、 羽鳥真紀子、 吉永充代、島 田茂、佐藤一 彦	(独)産業技 術総合研究 所	マイクロ波/固体酸触媒を用 いたメトキシまたはエトキシ シラン類とアルコールの反応	第3回 JACI/GSC シンポジウム	2014/05/2 3
3	○中島裕美 子、卜部泰子、 安藤 亘、佐 藤一彦、島田 茂	(独)産業技 術総合研究 所	ニッケルヒドロシリル化触媒 の開発	第3回 JACI/GSC シンポジウム	2014/05/2 3
4	○中島裕美子	(独)産業技 術総合研究 所	Development of Well- defined Nickel Hydrosilylation Catalysts	ICOMC2014 presymposium	2014/07/1 1
5	○HUANG Jiadi、佐藤 一彦、島田 茂	(独)産業技 術総合研究 所	Dehydrocoupling Reaction of Primary Silanes Catalyzed by Rh and Ir Complexes Bearing Pincer Type Ligands	第26回有機金属 化学国際会議	2014/07/1 5
6	○中島裕美 子、Venu Srinivas、田 中真司、卜部 泰子、佐藤一 彦、島田 茂	(独)産業技 術総合研究 所	Olefin Hydrosilylation Catalyzed by a Well- defined Nickel(II) Complex	第26回有機金属 化学国際会議	2014/07/1 5
7	○中道星也、 矢野敬規、川 崎英也、大洞 康嗣	学校法人関 西大学	DMF-protected Iron Nanoparticles Catalyzed Hydrosilylation of Olefins	ICOMC 2014 Post-Symposium	2014/07/1 9
8	○八木橋不二 夫、五十嵐正 安、中島裕美 子、安藤 亘、 佐藤一彦、湯 本義之、松井 千波、島田	(独)産業技 術総合研究 所、信越化学 株式会社	Synthesis, Isolation, Characterization, and Properties of Phenylsilanetriol Cyclic Trimers	第17回ケイ素化 学国際会議	2014/08/0 3

	茂				
9	○五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂、安藤亘	(独)産業技術総合研究所	Pd/C-Catalyzed Cross-coupling Reaction of Benzyloxysilanes with Halosilanes for Selective Synthesis of Unsymmetrical Siloxanes	第17回ケイ素化学国際会議	2014/08/03
10	○津島大輔、五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂	(独)産業技術総合研究所	Ir-Catalyzed Hydrogenation Reaction of Silyl Triflates and Silyl Halides with H ₂	第17回ケイ素化学国際会議	2014/08/04
11	HUANG Jiadi、佐藤一彦、○島田茂	(独)産業技術総合研究所	Dehydrocoupling Reaction of Primary Silanes Catalyzed by Rh and Ir Complexes Bearing Pincer Type Ligands	第17回ケイ素化学国際会議	2014/08/04
12	Jomon Mathew, 中島裕美子, 江口勝哉、島田茂、佐藤一彦、崔隆基	(独)産業技術総合研究所	Theoretical Study of Tris(pentafluorophenyl)borane - Catalyzed Reactions: Hydrosilylation of Imine and Reactions of Siloxanes	第17回ケイ素化学国際会議	2014/08/04
13	○中島裕美子、卜部泰子、佐藤一彦、島田茂	(独)産業技術総合研究所	Hydrosilylation of Olefins Catalyzed by a Cationic Nickel Arene Complex	第17回ケイ素化学国際会議	2014/08/05
14	○島田茂、HUANG Jiadi、佐藤一彦	(独)産業技術総合研究所	Polysilane Synthesis by Dehydrocoupling Reaction of Primary Silanes Catalyzed by Rh and Ir Complexes Bearing Pincer Type Ligands	ICNM 2014, International Conference on Nanostructure d Materials for Health, Energy and Environment	2014/09/02
15	○古俣佑馬、田村泰弘、下嶋敦、黒田一幸	学校法人早稲田大学	官能基交換反応によるアルコキシクロロシラン類の選択的合成	第4回 CSJ 化学フェスタ	2014/10/14
16	○八木橋不二	(独)産業技	有機ケイ素機能性化学品製造	第4回 CSJ 化学	2014/10/1

	夫	術総合研究所	プロジェクトと信越化学の取り組みーシロキサン構造制御合成のための基礎検討	フェスタ	4
17	○黄佳娣、佐藤一彦、島田茂	(独)産業技術総合研究所	ピンサー型シリル配位子を持つRh及びIr錯体触媒によるヒドロシランの脱水素カップリング反応	第18回ケイ素化学協会シンポジウム	2014/10/17
18	○古俣佑馬、田村泰弘、下嶋 敦、黒田一幸	学校法人早稲田大学	官能基交換反応によるアルコキシクロシラン類の選択的合成	第18回ケイ素化学協会シンポジウム	2014/10/17
19	○崔星集、深谷訓久、崔準哲、堀越俊雄、佐藤一彦、安田弘之	(独)産業技術総合研究所	シリカとメタノールからのテトラメトキシシランの合成	第18回ケイ素化学協会シンポジウム	2014/10/17
20	○津島大輔、五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂	(独)産業技術総合研究所	Ir触媒を用いたシリルトリフラートとシリルハライドの水素化反応	第18回ケイ素化学協会シンポジウム	2014/10/17
21	○八木橋不二夫、五十嵐正安、中島裕美子、安藤亘、佐藤一彦、湯本嘉恭、松井智波、島田茂	(独)産業技術総合研究所、信越化学(株)	フェニルシラントリオールから生成する1,3,5-trihydroxy-1,3,5-triphenylcyclotrisiloxaneの単離、構造と反応性	第18回ケイ素化学協会シンポジウム	2014/10/17
22	大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護金属微粒子を用いた有機返還反応	第355回触媒化学研究センターコロキウム	2015/01/30
23	○八木橋不二夫、五十嵐正安、中島裕美子、安藤亘、佐藤一彦、湯本嘉恭、松井智波、島田茂	(独)産業技術総合研究所、信越化学(株)	Chemistry of Phenylsilsesquioxane Oligomers – Formation and Chemical Properties of Phenyl Substituted Cyclotrisiloxanes and Cyclotetrasiloxanes	The 4 th International Symposium on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials	2015/03/09
24	○山下浩、羽鳥真紀子、吉	(独)産業技術総合研究所	固体酸触媒／マイクロ波を用いたメトキシまたはエトキシ	日本化学会第95春季年会	2015/03/26

	永充代、島田茂、佐藤一彦	所	シラン類とカルボン酸無水物の反応におけるアシロキシシラン類の合成		
25	○中道星也、矢野敬規、川崎英也、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護鉄ナノ粒子触媒の合成とアルケンのヒドロシリル化反応	日本化学会第 95 春季年会	2015/03/27
26	○石元慎也、岡秀雄、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護Pdナノ粒子触媒による炭素-ケイ素結合生成反応	日本化学会第 95 春季年会	2015/03/28
27	○ SRINIVAS, Venu、中島裕美子、佐藤一彦、島田茂、安藤亘	(独)産業技術総合研究所	Regio Selective Hydrosilylation of Dienes Using Bis(acetylacetonato)nickel(I) as a Catalyst Precursor	日本化学会第 95 春季年会	2015/03/29
28	○崔隆基、Mathew Jomon、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦	(独)産業技術総合研究所	カチオン性ニッケルアリル錯体を触媒とするオレフィンのヒドロシリル化反応の機構に関する理論的研究	日本化学会第 95 春季年会	2015/03/29

2015年度

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	○Venu SRINIVAS、中島裕美子、佐藤一彦、安藤亘、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Development of Efficient Ni(II) Catalyst Systems for Olefin Hydrosilylation Reaction	7th International Conference on Green and Sustainable Chemistry, 4th JACI/GSC Symposium	2015/07/07
2	○山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代、島田茂、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	Synthesis of Alkoxysilanes by Reactions of Methoxy- or Ethoxysilanes with Alcohols Using Solid Acid Catalysts and/or Microwave Irradiation	7th International Conference on Green and Sustainable Chemistry, 4th JACI/GSC	2015/07/08

				Symposium	
3	大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護シングルナノサイズ金属微粒子触媒を用いた有機変換反応	第48回有機金属若手の会夏の学校	2015/07/15
4	○中道星也、木村淳吾、矢野敬規、川崎英也、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護シングルナノサイズ鉄ナノ粒子のヒドロシリル化反応への応用	第62回有機金属化学討論会	2015/09/07
5	○早坂和将、鎌田幸司、中沢 浩	公立学校法人大阪市立大学	イミノビピリジン鉄錯体による触媒的オレフィンのヒドロシリル化反応	第62回有機金属化学討論会	2016/09/07
6	○吉川昌、古俣佑馬、和田宏明、下嶋敦、黒田一幸	学校法人早稲田大学	Synthesis of Alkoxysilanes with Four Different Functional Groups by Exchange Reaction	International Sol-Gel 2015	2015/09/08
7	島田茂	(国研)産業技術総合研究所	A Challenge in Silicone Chemistry: Progress in Alkoxysilane Syntheses and Details of the Condensation Reaction of Phenylsilanetriol	Second International Seminar on Nanoporous and Nanostructured Materials for Energy, Environment and Health	2015/09/14
8	○中道星也、木村淳吾、矢野敬規、川崎英也、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護シングルナノサイズ鉄微粒子触媒を用いたヒドロシリル化反応における前駆体の効果	第116回触媒討論会	2015/09/16
9	○早坂和将、鎌田幸司、中沢 浩	公立学校法人大阪市立大学	Catalytic Hydrosilylation of Olefin with Hydrosilane Using an Iminobipyridine Iron Complex	錯体化学会第65回討論会	2016/09/23
10	○近藤壮一、吉川昌、下嶋敦、和田宏明、黒田一幸	学校法人早稲田大学	トリシロキサンの重縮合による周期性ポリシロキサンの精密合成	第5回CSJ化学フェスタ2015	2015/10/15

11	大洞康嗣	学校法人関西大学	新規発光材料「DMF保護シングルナノ金属微粒子」の液相合成と触媒反応への展開	第5回CSJ化学フェスタ2015	2015/10/13
12	○石元慎也、岡秀雄、中道星也、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護パラジウムナノ粒子を用いたハロゲン化アリアルとシランのカップリング反応	第5回CSJ化学フェスタ2015	2015/10/13
13	五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	砂の資源化に挑戦～有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発～	第5回CSJ化学フェスタ2015	2015/10/14
14	中島裕美子、ベヌー スリニバス、佐藤一彦、○島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Olefin Hydrosilylation Reaction Catalyzed by Ni(II) Complexes	The 5th Asian Silicon Symposium	2015/10/19
15	○崔星集、深谷訓久、安田弘之、堀越俊雄、佐藤一彦、崔準哲	(国研)産業技術総合研究所	Direct Synthesis of Tetramethoxysilane from Silica	The 5th Asian Silicon Symposium	2015/10/19
16	○小栗直己、江川泰暢、武田亘弘、海野雅史	国立大学法人群馬大学	Synthesis and Structure of “Janus Cube”: Cage Octasilsesquioxane with Two Different Substituents	The 5th Asian Silicon Symposium	2015/10/19
17	○崔隆基、Jomon Mathew、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	Mechanistic Analysis on Olefin Hydrosilylation Catalyzed by a Cationic Nickel Allyl Complex	The 5th Asian Silicon Symposium	2015/10/20
18	○スリニバスベヌ、中島裕美子、佐藤一彦、安藤亘、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	ニッケル(II)触媒を用いたオレフィンのヒドロシリル化の開発	第19回ケイ素化学協会シンポジウム	2015/10/23
19	○八木橋不二夫、五十嵐正安、中島裕美子、安藤亘、佐藤一彦、湯	(国研)産業技術総合研究所	フェニル置換シルセスキオキサン環状オリゴマーの化学	第19回ケイ素化学協会シンポジウム	2015/10/23

	本嘉恭、松井智波、島田茂				
20	○近藤壮一、吉川昌、下嶋敦、和田宏明、黒田一幸	学校法人早稲田大学	Piers-Rubinsztajn反応を用いたトリシロキサンからの周期ポリシロキサンの精密合成	第34回 無機高分子研究討論会	2015/11/05
21	○中道星也、木村淳吾、矢野敬規、川崎英也、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF-protected iron nanosized catalyst for hydrosilylation of alkenes	The 13th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-13)	2015/11/09
22	深谷訓久	(国研)産業技術総合研究所	シリカを原料とするテトラアルコキシシランの直接合成	第23回 Clayteam セミナー	2015/11/11
23	○近藤壮一、吉川昌、下嶋敦、和田宏明、黒田一幸	学校法人早稲田大学	2種の側鎖有機基を有するオリゴシロキサンからの周期ポリシロキサンの合成	日本ゾルゲル学会第13回討論会	2015/11/19
24	○戸谷有希、早坂和将、鎌田幸司、中沢浩	公立学校法人大阪市立大学	イミノビピリジン鉄触媒によるオレフィンのヒドロシリル化反応—配位子上の置換基が及ぼす影響—	第42回有機典型元素化学討論会	2015/12/03
25	○林久美子、寺下なづ菜、中島諒、武田亘弘、海野雅史	国立大学法人群馬大学	New siloxane coupling reaction with Lewis acid catalyst	Pacificchem 2015	2015/12/17
26	○八木橋不二夫、五十嵐正安、中島裕美子、安藤亘、佐藤一彦、湯本嘉恭、松井智波、島田茂	(国研)産業技術総合研究所、信越化学工業(株)	フェニル置換シルセスキオキサン環状オリゴマーの化学	平成27年度産総研材料・化学シンポジウム	2016/02/05
27	○中島裕美子、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研	Open a New Field of Catalytic Chemistry	Tunisia-Japan Symposium on	2016/02/23

		研究所		Science, Society and Technology (TJASST 2015)	
28	○片岡祥、 遠藤明	(国研)産業 技術総合研 究所	層間に有機ケイ素材料を持つ ハイブリッド型ペロブスカイ トの作製	化学工学会 第 81 年会	2016/03/1 4
29	○石元慎也、 林賢今、中道 星也、岡秀 雄、大洞康嗣	学校法人関 西大学	シングルサイズPdナノ粒子を 触媒とするハロゲン化アリー ルとシランのクロスカップリ ング反応	日本化学会 第 96 春季年会 (2016)	2016/03/2 4
30	○川久保篤 志、林賢今、 大洞康嗣	学校法人関 西大学	パラジウム錯体触媒を用いた 1,3-ジエンのアミノシリル化 反応	日本化学会 第 96 春季年会 (2016)	2016/03/2 4
31	○大西海斗、 林賢今、大洞 康嗣	学校法人関 西大学	Pd微粒子触媒によるジシラン を用いたアリル位シリル化反 応	日本化学会 第 96 春季年会 (2016)	2016/03/2 4
32	○中島裕美 子、松本和弘、 ト部泰子、島 田茂、佐藤一 彦	(国研)産業 技術総合研 究所	イリジウム触媒を用いたアリ ル化合物のヒドロシリル化	日本化学会 第 96 春季年会 (2016)	2016/03/2 4
33	○崔星集、深 谷訓久、安田 弘之、堀越俊 雄、佐藤一 彦、崔準哲	(国研)産業 技術総合研 究所	シリカとアルコールからのテ トラアルコキシシランの直接 合成	日本化学会 第 96 春季年会 (2016)	2016/03/2 4
34	○江口勝哉、 中島裕美子、 青柳圭哉、古 川晴彦、杉江 敦司、安藤亘、 佐藤一彦、島 田茂	(国研)産業 技術総合研 究所、(株) 東レ・ダウコ ーニング	メタロセン型チタン(Ⅲ)錯体 のオレフィンヒドロシリル化 触媒能に関する検討	日本化学会 第 96 春季年会 (2016)	2016/03/2 4
35	○山下浩、羽 鳥真紀子、吉 永充代、吉村 彩、韓立彪、 島田茂、佐藤 一彦	(国研)産業 技術総合研 究所	固体酸触媒／マイクロ波を用 いたアルコールの求核置換反 応による非対称型アルコキシ シラン類の選択的合成	日本化学会 第 96 春季年会 (2016)	2016/03/2 4

36	○吉村彩、山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代、韓立彪、島田茂、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	メトキシ基またはエトキシ基と他のアルコキシ基を有する非対称型アルコキシシラン類の物性および反応性	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/24
37	○片岡祥、遠藤明	(国研)産業技術総合研究所	層間に有機ケイ素材料を持つハイブリッド型ペロブスカイトの作製	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/24
38	○八木橋不二夫、五十嵐正安、中島裕美子、安藤亘、佐藤一彦、湯本嘉恭、松井智波、島田茂	(国研)産業技術総合研究所、信越化学工業(株)	フェニル置換シルセスキオキサン環状オリゴマーの化学	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/24
39	○松本和弘、Kappam、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	原理的に副生成物を生じないシロキサン結合形成法の開発	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/24
40	○佐藤靖、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	金触媒を用いたシラノールとヒドロシランとの反応による非対称シロキサン化合物の合成	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/24
41	○小栗直己、江川泰暢、武田亘弘、海野雅史	国立大学法人群馬大学	Synthesis and Structure of Janus Octasilsesquioxane	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/24
42	五十嵐 正安	(国研)産業技術総合研究所	シラノールの新規合成法開発	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/25
43	○江口勝哉、中島裕美子、青柳圭哉、古川晴彦、杉江敦司、安藤亘、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所、(株)東レ・ダウコーニング	メタロセン型チタン(Ⅲ)錯体のオレフィンヒドロシリル化触媒能に関する検討	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/25
44	○中島裕美子、松本和弘、	(国研)産業技術総合研	イリジウム触媒を用いたアリル化合物のヒドロシリル化	日本化学会 第96春季年会	2016/03/25

	ト部泰子、島田茂、佐藤一彦	研究所		(2016)	
45	○松本和弘、Kappam、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	原理的に副生成物を生じないシロキサン結合形成法の開発	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/25
46	○佐藤靖、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	金触媒を用いたシラノールとヒドロシランとの反応による非対称シロキサン化合物の合成	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/26
47	○江川泰暢、林久美子、武田亘弘、海野雅史	国立大学法人群馬大学	安価なルイス酸触媒を用いたシロキサン結合形成反応	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/26
48	○小栗直己、江川泰暢、武田亘弘、海野雅史	国立大学法人群馬大学	Synthesis and Structure of Janus Octasilsesquioxane	日本化学会 第96春季年会(2016)	2016/03/27

2016年度

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護シングルナノサイズ金属微粒子触媒を用いた有機合成反応	触媒学会 フェインケミカルズ合成触媒セミナー	2016/05/21
2	○崔星集、深谷訓久、安田弘之、堀越俊雄、遠藤明、片岡祥、佐藤一彦、崔準哲	(国研)産業技術総合研究所	シリカとアルコールを原料とするテトラアルコキシシランの直接合成	第5回 JACI/GSC シンポジウム	2016/06/03
3	○山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代、吉村彩、五十嵐正安、韓立彪、島田茂、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	固体酸触媒/マイクロ波を用いた非対称型アルコキシシラン類の選択的合成	第5回 JACI/GSC シンポジウム	2016/06/03

4	○吉村彩、山下浩、羽鳥真紀子、吉永充代、五十嵐正安、韓立彪、島田茂、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	非対称型アルコキシシラン類の物性および反応性	第5回 JACI/GSC シンポジウム	2016/06/03
5	○木村淳吾、中道星也、矢野敬規、川崎英也、大洞康嗣	関西大学	鉄ナノパーティクルを用いたO-アリアル化反応	第5回 JACI/GSC シンポジウム	2016/06/03
6	○N. Oguri, Y. Egawa, Y. Kawakami, N. Takeda, and M. Unno	群馬大学	Fluorosiloxanes: Unusual Properties and Application	47th Silicon symposium	2016/06/21
7	○M. Unno, Y. Egawa, H. Endo, N. Oguri, N. Kumazawa, S. Murakami, C. Kuramochi, and N. Takeda	群馬大学	Several New Methods for Well-defined Silicone Materials	PERCH-CIC congress IX	2016/06/28
8	○崔星集、深谷訓久、堀越俊雄、熊井浩、長谷川稔、安田弘之、佐藤一彦、崔準哲	(国研)産業技術総合研究所、コルコート(株)	Synthesis of Tetraalkoxysilane from Silica and Alcohol	20th International Symposium on Homogeneous Catalysis (ISHCXX)	2016/07/12
9	○佐藤靖、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Highly Selective Synthesis of Siloxanes Containing Si-H Bonds by Au-catalyzed Reaction of Silanols with Hydrosilanes	ICOMC2016	2016/7/19
10	○M. Unno, N. Oguri, Y.		Fluorosiloxanes: Versatile Precursors of Well-Defined	The 2nd International	2016/09/08

	Egawa, and N , Takeda		Materials	Conference of NanoMaterials	
11	島田茂	(国研)産業 技術総合研 究所	シリコン化学への挑戦	学習院大学理学 部化学科講演会	2016/09/1 4
12	○佐藤靖、佐 藤一彦、島田 茂	(国研)産業 技術総合研 究所	Highly Selective Synthesis of Hydrosiloxanes by Au- catalyzed Dehydrogenative Cross Coupling of Silanols with Hydrosilanes	第 63 回有機金属 化学討論会	2016/09/1 5
13	○中島裕美子 、マシュー ジ ョモン、崔 隆 基、卜部 泰子 、安藤 亘、佐 藤 一彦、島田 茂	(国研)産業 技術総合研 究所	カチオン性ニッケル(II)アリ ル錯体を触媒とするオレフィ ンの ヒドロシリル化反応に関 する理論的研究	第 63 回有機金属 化学討論会	2016/9/15
14	○松本和弘、K appam Veetil l Sajna、佐藤 一彦、島田茂	(国研)産業 技術総合研 究所	シリルエステルのヒドロシリ ル化と転位のワンポット反応 によるシロキサン結合形成法 の開発	第 63 回有機金属 化学討論会	2016/09/1 6
15	○佐藤靖、佐 藤一彦、島田 茂	(国研)産業 技術総合研 究所	金触媒を用いたシラノールと ヒドロシランとの反応による 高選択的なヒドロシロキサン 化合物の合成	第 20 回ケイ素化 学協会シンポジ ウム	2016/10/7
16	○松本和弘、K appam Veetil l Sajna、佐藤 一彦、島田茂	(国研)産業 技術総合研 究所	シリルエステルのヒドロシリ ル化と転位を組み合わせた副 生成物を生じないシロキサン 結合形成法の開発	第 20 回ケイ素化 学協会シンポジ ウム	2016/10/7
17	○Butera Val eria、深谷訓 久、崔準哲、佐 藤一彦、崔隆 基	(国研)産業 技術総合研 究所	Computational Mechanistic Study on the Conversion of Silicon Dioxide to Tetramethylalkoxysilane (TMOS)	第 20 回ケイ素化 学協会シンポジ ウム	2016/10/7
18	○片岡祥、Sub habrata Bane rjee、遠藤明	(国研)産業 技術総合研 究所	カゴ状有機ケイ素を使った複 合材料の開発	無機高分子研究 討論会	2016/11/1 7
19	Butera Valer ia、深谷訓久、	(国研)産業 技術総合研	Theoretical study on production of monomeric Si	Silicon- Containing	2016/12/1 3

	崔準哲、佐藤一彦、○崔隆基	研究所	compounds for silicone polymers from silica	Polymers and Composites	
20	深谷 訓久	(国研)産業技術総合研究所	砂・灰などを原料とするケイ素化学基幹原料の直接合成	産総研中部センターワークショップ第2回「次世代航空機・宇宙産業に資するセラミックス基材料」	2017/01/10
21	深谷 訓久	(国研)産業技術総合研究所	砂を原料とするケイ素化学基幹原料の直接合成	SAT テクノロジー・ショーケース 2017	2017/01/31
22	○Nguyen Thu y, 片岡祥、深谷訓久、佐藤一彦、崔準哲、遠藤明	(国研)産業技術総合研究所	Hybrid Lead Halide Layered Perovskites with Organosilicate Interlayers	化学工学会第 82 年会	2017/03/06
23	○五十嵐正安、松本朋浩、八木橋不二夫、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Synthesis of Orthosilicic acid and its oligomers	5th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials	2017/03/06
24	○八木橋不二夫、五十嵐正安、中島裕美子、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Chemistry of silsesquioxane oligomers – The role of cyclic oligomers in the condensation process for the formation of silsesquioxane polymers	5th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials	2017/03/06
25	○片岡祥、遠藤明	(国研)産業技術総合研究所	Hybrid Metal Halide-Silsesquioxane Perovskites	5th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials	2017/03/08
26	大西海斗, 林賢今, 大洞康嗣	関西大学	DMF保護パラジウム微粒子触媒によるアリルクロリドとジシランを用いたアリル位シリル化反応	日本化学会 第 97 春季年会 (2017)	2017/03/16

27	川久保篤志, 林賢今, 大洞 康嗣	関西大学	パラジウム触媒によるアミン 及びジシランを用いた1,3-ジ エンへのアミノ基とシリル 基の選択的導入反応	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 6
28	○山下 浩・羽 鳥 真紀子・吉 永 充代・五十 嵐 正安・島田 茂・佐藤 一 彦	(国研)産業 技術総合研 究所	アルコキシシランのアセトキ シシランへの効率的変換とガ ラス系材料の表面修飾への応 用	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 6
29	○深谷圭祐・ 深谷訓久・崔 星集・堀越俊 雄・佐藤一彦・ 崔 準哲	(国研)産業 技術総合研 究所	テトラアルコキシシランの直 接合成における有機脱水剤の 研究	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 6
30	○深谷圭祐・ 深谷訓久・崔 星集・堀越俊 雄・佐藤一彦・ 崔 準哲	(国研)産業 技術総合研 究所	テトラアルコキシシランの直 接合成における有機脱水剤の 研究 (ATPポスター)	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 7
31	○青柳圭哉、 松本和弘、中 島裕美子、島 田茂、佐藤一 彦	(国研)産業 技術総合研 究所	メタロセン型イットリウム触 媒を用いたアルコキシシラン の還元反応	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 7
32	○松本和弘・ 佐藤一彦・島 田茂	(国研)産業 技術総合研 究所	配列制御オリゴシロキサン の迅速合成	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 7
33	○大森 悠・松 本和弘・中島 裕美子・佐藤 一彦・島田 茂	(国研)産業 技術総合研 究所	ルイス塩基触媒を用いたアル コキシシランのボラン還元	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 7
34	○SRINIVAS V enu、中島裕美 子、島田茂、佐 藤一彦	(国研)産業 技術総合研 究所	イリジウム触媒を用いた硫黄 官能基を有するオレフィン類 のヒドロシリル化反応	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 8
35	○別部輝生、 松本和弘、中 島裕美子、佐	(国研)産業 技術総合研 究所	ハロシラン類の水素化分解反 応によるヒドロシランの製造 技術	日本化学会 第 97春季年会 (2017)	2017/03/1 8

	藤一彦、島田茂				
36	○石原吉満・濱田秀昭・中島裕美子・佐藤一彦・島田茂・内田博・埜村清志	(国研)産業技術総合研究所・昭和電工(株)	遷移金属担持MFI型ゼオライトを触媒とするシランの脱水素二量化反応	日本化学会 第97春季年会(2017)	2017/03/18
37	○HUANG, Jia di・松本和弘・中島裕美子・佐藤一彦・島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Silyl-Heck Reaction of Chlorosilanes by Nickel/Lewis Acid Catalysis	日本化学会 第97春季年会(2017)	2017/03/18
38	○林和史、松本和弘、中島裕美子、島田茂、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	環状オレフィンのヒドロシリル化による環状アルキル基を有するシラン化合物の製造法	日本化学会 第97春季年会(2017)	2017/03/19
39	○泉森陽介、戸谷有希、早坂和将、中沢浩	大阪市立大学	イミノビピリジン鉄錯体触媒によるカルボニル化合物のヒドロシリル化反応	日本化学会 第97春季年会(2017)	2017/03/16-19

2017年度

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF-stabilized Single-nano-sized Metal Nanoclusters as Catalyst for Cross-coupling Reactions	253rd ACS National Meeting, 2017 Priestley Medalist Symposium in honor of Tobin J. Marks	2017/04/05
2	○瀧瀬啓太, 五十嵐正安, 佐藤一彦, 島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Controlled ring-opening polymerization of cyclotrisiloxanes initiated by water and catalyzed by organic strong bases	第61回高分子学会年次大会	2017/05/31
3	大洞康嗣	学校法人関	DMF-stabilized Single-	International	2017/06/1

		西大学	nano-sized Metal Nanoparticles as Catalyst for Organic Reactions	Symposium on Pure & Applied Chemistry 2017 (ISPAC 2017)	0
4	五十嵐正安、松本朋浩、八木橋不二夫、佐藤一彦、○島田 茂	(国研)産業技術総合研究所	Synthesis, isolation, and transformation of orthosilicic acid and its oligomers	3rd International Conference NANOAPP 2017	2017/06/16
5	○山下 浩、羽鳥真紀子、吉永充代、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	固体酸触媒を用いるアセトキシシラン類の効率的生成反応と表面修飾への応用	第6回 JACI/GSC シンポジウム	2017/07/04
6	○深谷圭祐、深谷訓久、崔星集、堀越俊雄、佐藤一彦、崔 準哲	(国研)産業技術総合研究所	シリカを原料とするテトラアルコキシシランの直接合成	第6回 JACI/GSC シンポジウム	2017/07/04
7	M. Unno, K. Asami, Y. Nagai, Y. Egawa, N. Takeda	群馬大学	Synthesis and Reactions of Janus Prisms	48th Silicon Symposium	2017/07/08
8	○別部輝生、松本和弘、佐藤一彦、中島裕美子	(国研)産業技術総合研究所	クロシランと末端アルキンを原料としたアルキニルシランの製造法	有機合成化学協会 関東支部若手セミナー	2017/07/08
9	佐藤靖、五十嵐正安、佐藤一彦、○島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Selective Synthesis of Functionalized Siloxanes	The 18th International Symposium on Silicon Chemistry	2017/08/07
10	○瀧瀬啓太、五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Organocatalytic Controlled/Living Ring-Opening Polymerization of Cyclotrisiloxanes Using Water as an Initiator and Strong Organic Bases as	18th International Symposium on Silicon Chemistry in Conjunction	2017/08/08

			Catalysts	with 6th Asian Silicon Symposium	
11	M. Unno, Y. Egawa, T. Uchida, K. Asami, S. Tanaka, Y. Nagai, C. Kobuna, N. Takeda,	群馬大学	Synthesis and Structures of Various Janus Cubes and Prisms	18th International Symposium on Silicon Chemistry	2017/08/08
12	○五十嵐正安、松本朋浩、八木橋不二夫、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Synthesis and isolation of orthosilicic acid and its oligomers	The 18th International Symposium on Silicon Chemistry	2017/08/08
13	○松本和弘、Kappam Veetill Sajna、佐藤靖、佐藤和弘、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Catalytic One-Pot Synthesis of Oligosiloxanes	The 18th International Symposium on Silicon Chemistry (ISOS-18)	2017/08/10
14	○八木橋不二夫、五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Structural Study on Cyclic Silsesquioxane Oligomers for the Elucidation of Polymer Forming Ploycondensation Process	European Symposium on Organic Reactivity 2017 (ESOR)	2017/09/04
15	○五十嵐正安、松本朋浩、八木橋不二夫、山下浩、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	オルトケイ酸とそのオリゴマーの合成、構造および反応性	第64回有機金属化学討論会	2017/09/07
16	M. Unno, N. Oguri, Y. Egawa, S. Murakami, C. Kuramochi, H. Endo, N. Takeda	群馬大学	Functionalized Cyclic Siloxanes: Versatile Precursors to Well-defined Hybrid Materials	19th International Sol-Gel Conference	2017/09/07

17	○松本和弘、 佐藤一彦、島 田茂	(国研)産業 技術総合研 究所	Sequence Control in Iterative Siloxane-Bond Formation	第 64 回有機金 属化学討論会	2017/09/0 8
18	深谷訓久	(国研)産業 技術総合研 究所	シリカを基軸とするケイ素機 能性化学品の省エネルギー製 造プロセス開発	第 53 回 GIC セミ ナー	2017/09/1 5
19	○瀧瀬啓太, 五十嵐正安, 佐藤一彦, 島 田茂	(国研)産業 技術総合研 究所	有機強塩基を触媒として用い た開環重合によるポリシロキ サンの精密合成	第 66 回高分子 討論会	2017/09/2 1
20	○Nguyen Thu y, 片岡祥、深 谷訓久、佐藤 一彦、崔準哲、 遠藤明	(国研)産業 技術総合研 究所	Feasibility study of new synthesis route of tetraethoxysilane from rice hull ash	27th European Symposium on Computer Aided Process Engineering	2017/10/0 1
21	五十嵐正安	(国研)産業 技術総合研 究所	オルトケイ酸の合成と構造	創造機能化学第 116委員会	2017/10/1 0
22	○森岡春香、 近藤壮一、吉 川昌、下嶋 敦、和田宏 明、黒田一幸	学校法人早 稲田大学	側鎖ビニル基の配列が制御さ れたポリオルガノシロキサ ンの精密合成	第 7 回 CSJ 化 学フェスタ	2017/10/1 7
23	大西海斗、及 川慧、鈴木 健之、大洞康 嗣	学校法人関 西大学	DMF保護パラジウムナノクラ スターを用いたアシルシラン合 成ならびにインドール合成	第 7 回 CSJ 化 学フェスタ	2017/10/1 8
24	五十嵐正安	(国研)産業 技術総合研 究所	シラノール及びシロキサン化 合物の新規合成法開発	相模中研材料セ ミナー	2017/10/1 9
25	○五十嵐正安 、松本朋浩、八 木橋不二夫、 佐藤一彦、島 田茂	(国研)産業 技術総合研 究所	オルトケイ酸とそのオリゴマ ーの合成および構造	第 21 回ケイ素化 学協会シンポジ ウム	2017/10/2 7
26	○松本和弘、 中島裕美子、 島田茂、佐藤 一彦	(国研)産 業技術総合 研究所	オリゴシロキサンのワンポ ット配列制御合成法	第 21 回ケイ素 化学協会シンポ ジウム	2017/10/2 7

27	○竹下智博、 松本和弘、佐藤一彦、中島裕美子	(国研)産業技術総合研究所	PNNP配位子を有するFe錯体の合成、性質および脱水素シロキサン形成反応	第21回ケイ素化学協会シンポジウム	2017/10/27
28	○瀧瀬啓太、 五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	水を開始剤、有機強塩基を触媒として用いた開環重合によるポリシロキサンの精密合成	高分子学会関東支部第32回茨城地区「若手の会」交流会	2017/10/30
29	Valeria Butera、深谷訓久、 崔準哲、佐藤一彦、○崔隆基	(国研)産業技術総合研究所	Theoretical study on production of monomeric Si compounds for silicone polymers from silica	American Chemical Society Asia-Pacific International Chapters Conference	2017/11/06
30	○森岡春香、 近藤壮一、吉川昌、 下嶋敦、和田宏明、 黒田一幸	学校法人早稲田大学	ポリシロキサンの側鎖ビニル基の配列制御に向けたオリゴシロキサンの重縮合	第36回無機高分子研究討論会	2017/11/09
31	○八木橋不二夫、 五十嵐正安、佐藤一彦、 島田茂	(国研)産業技術総合研究所	フェニルシルセスキオキサンのポリマー生成解析のための環状オリゴマーの構造研究	第36回無機高分子研究討論会	2017/11/09
32	○五十嵐正安、 松本朋浩、八木橋不二夫、 佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	オルトケイ酸とそのオリゴマーの合成と構造	第36回無機高分子研究討論会	2017/11/09
33	島田茂	(国研)産業技術総合研究所	オリゴ・ポリシロキサン精密合成への挑戦	第36回無機高分子研究討論会	2017/11/09
34	○泉森陽介、 小林克彰、中沢浩	大阪市立大学	ケトンのヒドロシリル化反応に高い触媒回転頻度を示す鉄錯体触媒系への塩基添加効果	第44回有機典型元素化学討論会	2017/12/07-09
35	深谷訓久	(国研)産業技術総合研究所	砂や灰を原料とするケイ素基幹化学品の製造プロセス開発	高分子学会 高分子同友会勉強会	2018/01/17
36	○佐藤靖、五	(国研)産業	官能基を持つシロキサン化合	平成29年度産	2018/02/0

	十嵐正安	技術総合研究所	物の位置選択的合成	総研シンポジウム	2
37	○佐藤靖、五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	官能基を持つシロキサン化合物の位置選択的合成	平成 29 年度 産総研中国センターシンポジウム	2018/02/2 1
38	○五十嵐正安、松本朋浩、八木橋不二夫、佐藤一彦、島田 茂	(国研)産業技術総合研究所	ガラスの基本単位であるオルトケイ酸の単結晶構造解析	量子ビームサイエンスフェスタ	2018/03/0 3
39	○片岡祥、蕪木和孝、遠藤明	(国研)産業技術総合研究所	カゴ状シルセスキオキサンをビルディングブロックとした複合体の作製	化学工学会第 83 年会	2018/03/1 5
40	○竹下智博、佐藤一彦、中島裕美子	(国研)産業技術総合研究所	四座PNNP配位子を有する鉄錯体を触媒とするヒドロシランとシラノールの脱水素カップリング反応によるヒドロシロキサンを選択的合成	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 0
41	○別部輝生、松本和弘、佐藤一彦、中島裕美子	(国研)産業技術総合研究所	Ni/Cu触媒によるクロロシラン類の選択的ものアルキニル化反応	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 0
42	○山下 浩、羽鳥真紀子、吉永充代、佐藤一彦、五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	アルコキシシランの変換によるアシロキシシランの効率的合成と表面修飾への応用	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 1
43	○篠原由寛、山下 浩、羽鳥真紀子、吉充代、島田 茂、佐藤一彦、五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	アセトキシシランとシラノールの選択的カップリングによるシロキサン結合生成反応	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 1
44	○田中辰弥、東龍誠、林賢今、鈴木健之、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護鉄-白金混合ナノ粒子触媒による三級シランを用いたオレフィンのヒドロシリル化反応	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 2
45	○五十嵐正安、松本朋浩、八	(国研)産業技術総合研	シランテトラオールとそのオリゴマーの合成、構造および反	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 2

	木橋不二夫、 佐藤一彦、島 田 茂	研究所	応性		
46	○野澤竹志、 松本朋浩、八 木橋不二夫、 別部輝生、佐 藤一彦、五十 嵐正安、	(国研)産業 技術総合研 究所	シランテトラオールのかご型 8量体の合成、構造および反応 性	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 2
47	○佐藤靖、山 本美恵、佐藤 一彦、五十嵐 正安	(国研)産業 技術総合研 究所	銅触媒を用いたアルコキシヒ ドロシランとシラノールのカ ップリングによるアルコキシ シリル置換シロキサン類の合 成	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 2
48	○青柳圭哉、 松本和弘、佐 藤一彦、中島 裕美子	(国研)産業 技術総合研 究所	水素化ホウ素ナトリウムを用 いたアルコキシシランの還元 反応	日本化学会第 98 春季年会	2018/03/2 2

2018年度

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表 年月日
1	○片岡祥、Sub habrata Bane rjee、上村佳 大	(国研)産業 技術総合研 究所	シルセスキオキサンを使っ た複合材料の評価	第63回固体NMR・ 材料フォーラム	2018/05/3 1
2	○野澤竹志、 松本朋浩、八 木橋不二夫、 別部輝生、佐 藤一彦、五十 嵐正安	(国研)産業 技術総合研 究所	オルトケイ酸のかご型8量 体の合成と構造解析	第63回固体NMR・ 材料フォーラム	2018/05/3 1
3	五十嵐正安、 松本朋浩、八 木橋不二夫、 佐藤一彦、○ 島田 茂	(国研)産業 技術総合研 究所	Preparation of SiO ₂ precursors soluble in organic solvents	10th International Symposium on Organic Molecular Electronics	2018/06/0 2

4	○Nguyen Thu y、深谷訓久、崔準哲、片岡祥	(国研)産業技術総合研究所	Conceptual Process Design and Evaluation for Selection of Adsorbents in Water Separation: A Case Study on Ethyl Orthosilicate Synthesis	6th International Congress on Green Process Engineering (フランス、トゥールーズ)	2018/06/02
5	○山下 浩、羽鳥真紀子、吉永充代、佐藤一彦、五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	アルコキシシラン類のアセトキシシラン類への効率的変換と表面修飾への応用	第7回 JACI/GSC シンポジウム	2018/06/15
6	松本和弘、佐藤靖、瀧瀬啓太、五十嵐正安、佐藤一彦、○島田 茂	(国研)産業技術総合研究所	Controlled Synthesis of Oligo- and Polysiloxanes	10th US-Japan Organic-Inorganic Hybrid Materials Workshop	2018/06/18
7	○瀧瀬啓太、五十嵐正安、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Organocatalytic Controlled/Living Ring-Opening Polymerization of Cyclotrisiloxanes Initiated by Water with Strong Organic Base Catalysts	World Polymer Congress MACRO 2018 (オーストラリア、ケアンズ)	2018/07/01-05
8	○五十嵐 正安、松本朋浩、野澤竹志、八木橋不二夫、佐藤一彦、島田茂	(国研)産業技術総合研究所	Syntheses, structures, and reactivity of orthosilicic acid and its oligomers	28th International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC-2018) (イタリア、フィレンツェ)	2018/07/15-20
9	○八木橋不二夫、五十嵐正安、佐藤一彦、島田 茂	(国研)産業技術総合研究所	Production of Phenyl Substituted Cyclic Silsesquioxane Oligomers and their Stereochemistry	28th International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC-2018)	2018/07/15-20

				(イタリア、フイレンツェ)	
10	○片岡 祥、 遠藤 明	(国研)産業 技術総合研 究所	Long-Range Ordered Structures with Silsequioxane Building Blocks	28th International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC-2018) (イタリア、フ イレンツェ)	2018/07/1 9
11	五十嵐 正安	(国研)産業 技術総合研 究所	ガラスの基本単位であるオルトケイ酸 (Si(OH) ₄) とそのオリゴマーの合成と構造解析	平成 30 年度 第 1 回 ガラス科 学技術研究会	2018/07/2 6
12	松本和弘、佐 藤靖、五十嵐 正安、佐藤一 彦、○島田 茂	(国研)産業 技術総合研 究所	オリゴシロキサンの精密合 成	第 67 回高分子討 論会	2018/09/1 2
13	○瀧瀬 啓太、 佐藤 一彦、五 十嵐正安	(国研)産業 技術総合研 究所	有機強塩基を触媒として用 いた開環重合による側鎖官 能性ポリシロキサンの精密 合成	第 67 回高分子討 論会	2018/09/1 2-14
14	○田口大輔、 小林克彰、中 沢浩、森内敏 之	大阪市立大 学	コバルト錯体触媒によるオ レフィン及びケトンへのヒ ドロシリル化反応の選択性	第 65 回有機金属 化学討論会	2019/09/1 9-21
15	○田口大輔、 小林克彰、森 内敏之、中沢 浩	大阪市立大 学	コバルト触媒を用いたヒド ロシリル化反応系への塩基 添加効果と官能基選択性の 制御	第 8 回 CSJ 化学 フェスタ 2018	2018/10/2 3-25
16	○瀧瀬 啓太、 五十嵐 正安、 島田 茂、佐藤 一彦	(国研)産業 技術総合研 究所	分子量と末端構造が制御さ れた直鎖状ポリシロキサ ンの有機強塩基触媒を用いた 精密合成	第 22 回ケイ素化 学協会シンポジ ウム	2018/10/2 6
17	○田中辰弥、 東龍成、林賢 今、近藤亮太、 鈴木健之、大 洞康嗣	関西大学	DMF保護鉄-白金混合ナノ粒 子触媒によるシランカップ リング剤の合成	第 22 回ケイ素化 学協会シンポジ ウム	2018/10/2 6

18	○塚本雄也、川久保篤志、大洞康嗣	関西大学	1,3-ジエンの酸化的アミノ化反応を経由した含窒素含ケイ素化合物合成	第22回ケイ素化学協会シンポジウム	2018/10/26
19	○鳥居一幸、川久保篤志、林賢今、大洞康嗣	関西大学	分子状酸素を用いた1,3-ジエンへのアミノ基とシリル基の簡便な導入法	第22回ケイ素化学協会シンポジウム	2018/10/26
20	○瀧瀬啓太、五十嵐正安、島田茂、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	有機強塩基触媒を用いた開環重合による分子量・末端構造制御ポリシロキサンの精密合成	第11回有機触媒シンポジウム	2018/12/03-04
21	大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF-stabilized metal nanoparticles as catalyst precursors for organic synthesis	International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2018 (C&FC 2018)	2018/12/11-13
22	○Tatsuya Tanaka, Ryusei Azuma, Xianjin Lin, Ryota Kondo, Takeyuki Suzuki, Yasushi Obora	学校法人関西大学	DMF-protected Fe-Pt bimetallic nanoparticles catalyst for olefin hydrosilylation	International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2018 (C&FC 2018)	2018/12/11-13
23	○山下 浩、羽鳥真紀子、佐藤一彦、五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	固体酸触媒を用いたアセトキシシランとシラノールの選択的カップリング反応	日本化学会 第99春季年会	2019/03/16
24	○篠原 由寛、山下 浩、島田茂、佐藤一彦、五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	アセトキシシランとシラノールの選択的カップリングによる直鎖状および環状オリゴシロキサンの効率的合成	日本化学会 第99春季年会	2019/03/16
25	○猪股航也、佐藤一彦、中島裕美子	(国研)産業技術総合研究所	2座ホスフィン配位子を有するロジウム錯体を触媒とする塩化アルルの高効率ヒドロシリル化反応	日本化学会 第99春季年会	2019/03/16, 17
26	○荒川凌汰、	学校法人関	DMF保護パラジウムナノ	日本化学会 第	2019/03/1

	大洞康嗣	西大学	粒子触媒によるアリルアルコールとジシランを用いたアリルシラン類の合成	99 春季年会	7
27	○黒田雄志、鈴木健之、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護コバルトナノ粒子触媒によるヒドロシランを用いたオレフィン類のヒドロシリル化反応	日本化学会 第99 春季年会	2019/03/18
28	○鳥居一幸、川久保篤志、林賢今、大洞康嗣	学校法人関西大学	ラジウム錯体触媒を用いた1,3-ジエンへのアミノ基とシリル基の酸化的カップリングによる導入反応	日本化学会 第99 春季年会	2019/03/17
29	○田中辰弥、東龍誠、林賢今、近藤亮太、鈴木健之、大洞康嗣	学校法人関西大学	DMF保護コバルトナノ粒子触媒によるヒドロシランを用いたオレフィン類のヒドロシリル化反応	日本化学会 第99 春季年会	2019/03/18
30	○河津貴大、松本和弘、崔準哲、佐藤一彦	(国研)産業技術総合研究所	Precise Synthesis of Macrocylic Polysiloxanes with Si-H Groups	日本化学会 第99 春季年会	2019/03/19

2019年度

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	○瀧瀬啓太、佐藤一彦、五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	有機強塩基触媒を用いた開環重合による側鎖官能性ポリシロキサンの精密合成 (Precision Synthesis of Side-Chain-Functionalized Polysiloxanes by Ring-Opening Polymerization Catalyzed by Strong Organic Bases)	第 68 回高分子学会年次大会	2019/05/29-31
2	○瀧瀬 啓太、佐藤 一彦、五十嵐 正安	(国研)産業技術総合研究所	Precision Synthesis of Polysiloxanes with Ring-Opening Polymerization of Cyclotrisiloxanes Using Strong Organic Bases as Catalysts	12th International Workshop on Silicon-Based Polymers (ISPO 19)	2019/07/21-25

3	○ 瀧瀬啓太, 小林敏明, 佐藤一彦, 五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	Organocatalytic Controlled/Living Ring-Opening Polymerization of Cyclotrisiloxanes Catalyzed by Strong Organic Bases	13th International Symposium on Ionic Polymerization (IP'19)	2019/09/08-13
4	○ 瀧瀬啓太, 小林敏明, 佐藤一彦, 五十嵐正安	(国研)産業技術総合研究所	有機強塩基を触媒として用いた開環重合による非対称型直鎖状ポリシロキサンの精密合成	第68回高分子討論会	2019/09/25-27

(b) 新聞・雑誌等への掲載

2014年度

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月日
1	(独)産業技術総合研究所	シリカから有機ケイ素原料を効率的に合成	J-Net21 (WEB)	2014/5/20
2	(独)産業技術総合研究所	産総研, シリカからケイ素化学産業の基幹原料を一段階で合成することに成功	OPTRONICS (WEB)	2014/5/21
3	(独)産業技術総合研究所	産総研, 砂から有機ケイ素を製造する新技術を開発	環境ビジネスオンライン (WEB)	2014/5/21
4	(独)産業技術総合研究所	NEDO 有機ケイ素材料の原料の効率的製造技術を開発	ゴムタイムス	2014/5/22
5	(独)産業技術総合研究所	産総研, シリカから有機ケイ素原料テトラアルコキシシランを効率的に合成	マイナビニュース (WEB)	2014/5/22
6	(独)産業技術総合研究所	砂からケイ素産業基幹原料を直接合成	サイエンスポータル (WEB)	2014/5/22
7	(独)産業技術総合研究所	テトラアルコキシシラン 1段階で高効率合成	化学工業日報	2014/5/22
8	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	有機ケイ素原料 シリカから直接合成	日刊産業新聞	2014/5/22
9	(独)産業技術総合研究所	産総研, 有機ケイ素原料をシリカから一段階で安く合成する手法開発	日刊工業新聞 (WEB)	2014/5/23
10	(独)産業技術総合研究所	産総研 有機ケイ素原料安く合成	日刊工業新聞	2014/5/23

11	(独)産業技術総合研究所	砂の成分シリカから1段階で有機ケイ素原料合成—金属ケイ素の製造を経由せず省エネ・低コストで	つくばサイエンスニュース (WEB)	2014/6/4
12	(独)産業技術総合研究所	産総研、有機ケイ素原料をシリカから一段階で安く合成	工業材料 2014年8月号 Vol.62 No.8	2014/7/14

2016年度

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月日
1	群馬大学、産業技術総合研究所	新物質「ヤヌスキューブ」群馬大大学院が新合成法	日本経済新聞	2016/05/28
2	群馬大学、産業技術総合研究所	新物質「ヤヌスキューブ」群馬大が新合成法	日本経済新聞 電子版(Web)	2016/05/28
3	群馬大学、産業技術総合研究所	エコタイヤの性能向上に期待 群大院が「ヤヌスキューブ」合成法開発	産経新聞	2016/05/28
4	群馬大学、産業技術総合研究所	エコタイヤの性能向上に期待 群大院が「ヤヌスキューブ」合成法開発	産経新聞電子版 (Web)	2016/05/28
5	群馬大学、産業技術総合研究所	ヤヌスキューブ簡便合成法 産総研群馬大 有機ケイ素部材に有用	化学工業日報	2016/05/30
6	群馬大学、産業技術総合研究所	ヤヌスキューブの簡易合成法を発見 エコタイヤ性能向上期待	上毛新聞	2016/05/30
7	群馬大学、産業技術総合研究所	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	J-Net21 (WEB)	2016/05/31
8	群馬大学、産業技術総合研究所	ヤヌスキューブ効率的に合成 群馬大と産総研	日刊工業新聞	2016/06/02
9	群馬大学、産業技術総合研究所	ヤヌスキューブ簡便な合成法開発 詳細な分子構造も解明	桐生タイムス	2016/06/02
10	群馬大学、産業技術総合研究所	「究極のエコタイヤ」へ新手法 ヤヌスキューブ材料の化合物合成効率化	読売新聞	2016/06/03
11	群馬大学、産業技術総合研究所	ヤヌスの立方体	有機化学美術館・分館	2016/06/06
12	群馬大学、産業技術総合研究所	カゴ型シルセスキオキサン「ヤヌスキューブ」合成と構造決定	Chem-Station スポットライトサ	2016/06/10

			一チ	
13	群馬大学、産業技術総合研究所	ヤヌスキューブ合成	科学新聞	2016/06/17
14	産業技術総合研究所	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	J-Net21(Web)	2016/10/25
15	産業技術総合研究所	産総研とコルコート、NEDOプロジェクトで有機ケイ素原材料の直接合成プロセスを開発	日経電子版(Web)	2016/10/25
16	産業技術総合研究所	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	chem-index (Web)	2016/10/25
17	産業技術総合研究所	ケイ素化学の基幹原料合成に新技術—短時間・高効率で省エネ・低コスト化	つくばサイエンスニュース(Web)	2016/10/25
18	産業技術総合研究所	産総研など、天然母材や産業副産物などの有機ケイ素原材料の直接合成プロセスを開発	環境展望台 (Web)	2016/10/25
19	産業技術総合研究所	砂や灰からケイ素原料—産総研など、高収率な合成技術を開発	日刊工業新聞	2016/10/26
20	産業技術総合研究所	産総研、砂や灰からケイ素化学の基幹原料を直接合成する技術を開発	マイナビニュース (WEB)	2016/10/26
21	産業技術総合研究所	産総研ら、ケイ素化学の基幹原料を安価・簡単に合成	OPTRONICS ONLINE (Web)	2016/10/26
22	産業技術総合研究所	安価で豊富なケイ素を使いこなしたい！ - 砂や灰から直接化学原料を作る新たな可能性	Academist Journal (Web)	2016/12/01
23	産業技術総合研究所	ケイ素系原料の新製法で電力消費削減	フジサンケイ ビジネスアイ	2016/12/26
24	産業技術総合研究所	ケイ素系原料の新製法で電力消費削減 産官研究チームが開発 出荷 1 兆円目指す	産経ニュース (Web)	2017/01/03
25	産業技術総合研究所	NEDOなど、シロキサン結合のワンポット合成技術を開発	日経電子版(Web)	2017/02/02
26	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	J-Net21(Web)	2017/02/02
27	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—高機能で高性能なシリコン材料創出の鍵に	fabcross for エンジニア (Web)	2017/02/03
28	産業技術総合研究所	産総研、シロキサン化合物を精密	日刊工業新聞	2017/02/1

		合成	(Web)	0
29	産業技術総合研究所	次世代のシリコン材料創出に 新技术を開発—主骨格のシロキ サン結合を一つの反応容器内で 一気に形成	つくばサイエン スニュース(Web)	2017/02/1 1

2017年度

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表 年月日
1	産業技術総合研究所	ガラス・シリコンの基本単位 オルトケイ酸の構造解明 高機 能材料の開発期待	化学工業日報	2017/07/2 7
2	産業技術総合研究所	NEDOと産総研など、ガラスやシリ コンの基本構造を解明	日本経済新聞 (Web)	2017/07/2 7
3	産業技術総合研究所	世界で初めて、ガラスやシリコー ンの基本構造を解明	日本の研究.com (Web)	2017/07/2 7
4	産業技術総合研究所	世界で初めて、ガラスやシリコー ンの基本構造を解明	J-Net21 (Web)	2017/07/2 7
5	産業技術総合研究所	ガラスの基本単位の分子構造解 明	つくばサイエン スニュース (Web)	2017/07/2 7
6	産業技術総合研究所	NEDOら、世界で初めてガラスやシ リコンの基本構造を解明	OPTRONICS online (Web)	2017/07/2 7
7	産業技術総合研究所	200年謎だったガラスとシリコー ンの基本構造を世界初解明、高機 能化に道筋	MONOist (モノイ スト) (Web)	2017/07/2 8
8	産業技術総合研究所	およそ200年にわたる謎が解明 - 産総研、ガラスの基本構造「オル トケイ酸」の構造解析に成功	マイナビニュー ス (Web)	2017/07/2 8
9	産業技術総合研究所	19世紀以来の謎「ガラスの基本構 造」が解明される	財経新聞 (Web)	2017/07/2 8
10	産業技術総合研究所	NEDOと産総研など、ガラスやシ リコンの基本構造を解明	fabcross for エ ンジニア (Web)	2017/07/2 8
11	産業技術総合研究所	ガラス・シリコン 基本構造を解 明 NEDOなど5者	日刊産業新聞	2017/07/3 1
12	産業技術総合研究所 深谷訓久	シリカを原料とするケイ素化学 基幹原料の効率的合成法に関す る研究	JIR ニュース 2017年11月号 14-17 ページ	
13	産業技術総合研究所	200年謎だったガラスとシリコー	自動車技術	2017/12/0

	五十嵐正安、佐藤一彦	ンの基本構造を世界初解明、高機能ケイ素部材開発に道筋		1
14	産業技術総合研究所 五十嵐正安、佐藤一彦	ガラスの基本単位であるオルトケイ酸の結晶構造解析	季報「四季」	2017/12/25
15	産業技術総合研究所 五十嵐正安、佐藤一彦	ガラスの基本単位であるオルトケイ酸の構造を世界初解明	NEW GLASS	3月号(第123号)
16	産業技術総合研究所 富田康弘、深谷訓久、片岡祥、Nguyen Thuy、崔準哲	都市ごみの熔融スラグを原料とする機能性材料の製造技術開発	グリーンエネルギー	2017/12/12
17	産業技術総合研究所 五十嵐正安、深谷訓久、中島裕美子、佐藤靖、別部輝生、浅川真澄、佐藤一彦	ケイ素で拓く未来社会へ	nano tech 2018	2018/2/14

2018年度

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月日
1	産業技術総合研究所 松本和弘、瀧瀬啓太	シリコンをきちんと作る	化学と教育, 2018, 66(9), 440	2018/09/01
2	産業技術総合研究所	砂から頑丈な高機能材料 石油代替の可能性	日経産業新聞	2018/12/04

2019年度

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月日
1	関西大学、新エネルギー・産業技術総合開発機構	酸化鉄ナノ粒子触媒開発 有機ケイ素材製造向け	日経産業新聞	2019/04/16

(c) その他

【受賞】

1) Poster Prize at 18th International Symposium on Silicon Chemistry in Conjunction with 6th Asian Silicon Symposium, 瀧瀬 啓太、五十嵐 正安、佐藤 一彦、島田 茂、2017年8月

2) Poster Prize at 18th International Symposium on Silicon Chemistry in Conjunction with 6th Asian Silicon Symposium, 五十嵐 正安、松本 朋浩、八木橋 不二夫、佐藤 一彦、島

田 茂、2017年8月

3) ケイ素化学協会奨励賞、松本和弘、2018年10月27日

4) 有機合成化学協会研究企画賞（日産化学工業 研究企画賞）、永縄友規、2019年2月14日

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「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)

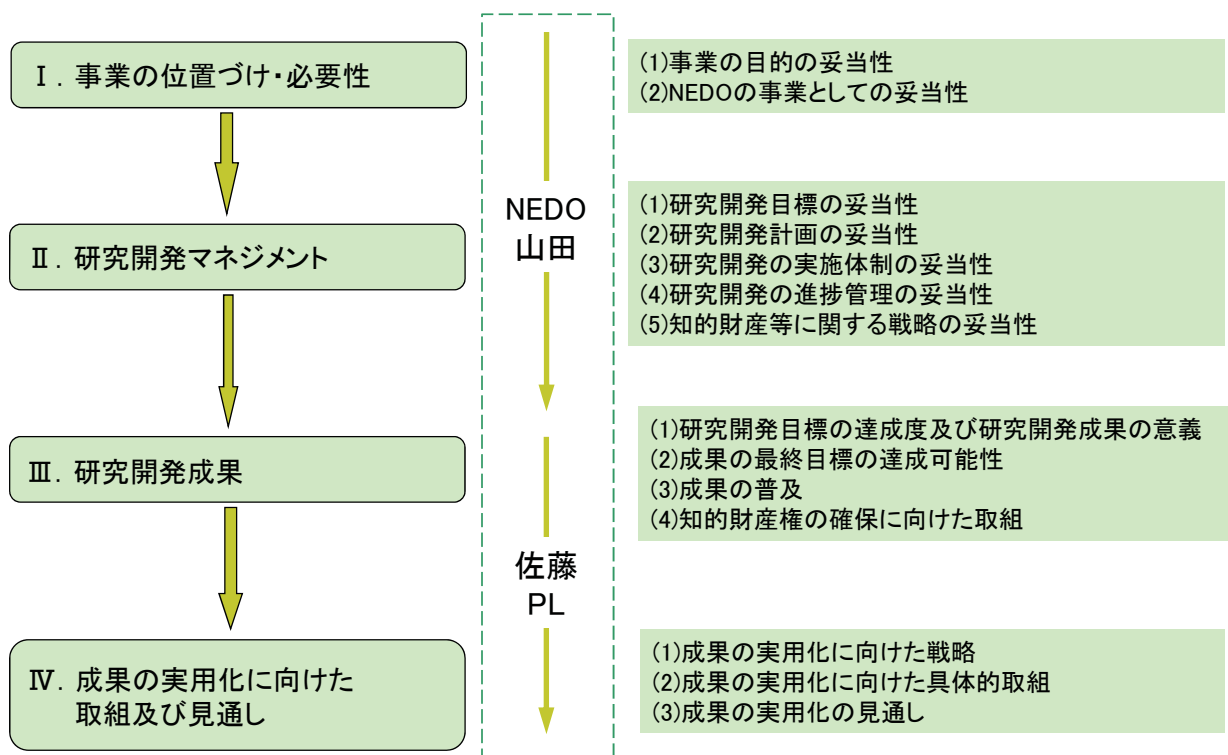
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

材料・ナノテクノロジー部

2019年8月2日

0

発表内容



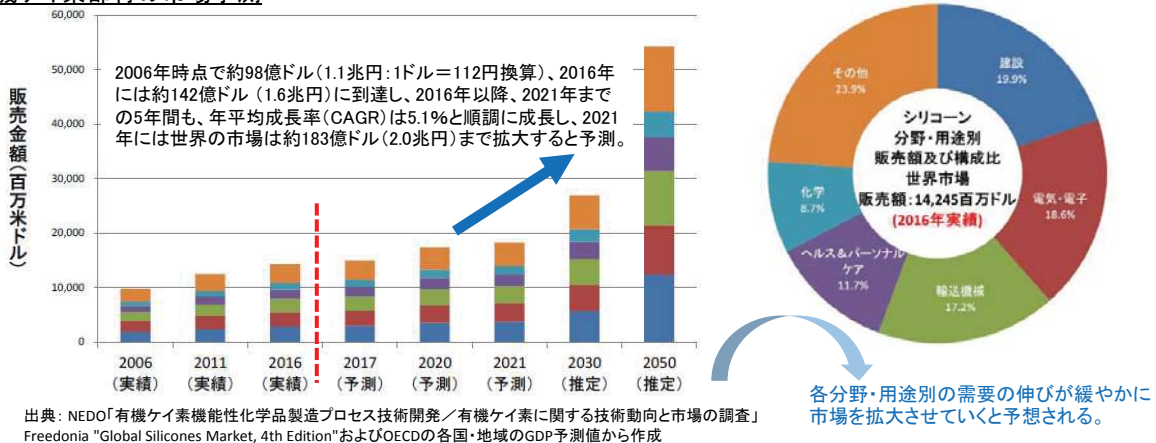
1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

シリコーン、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



有機ケイ素部材の市場予測



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

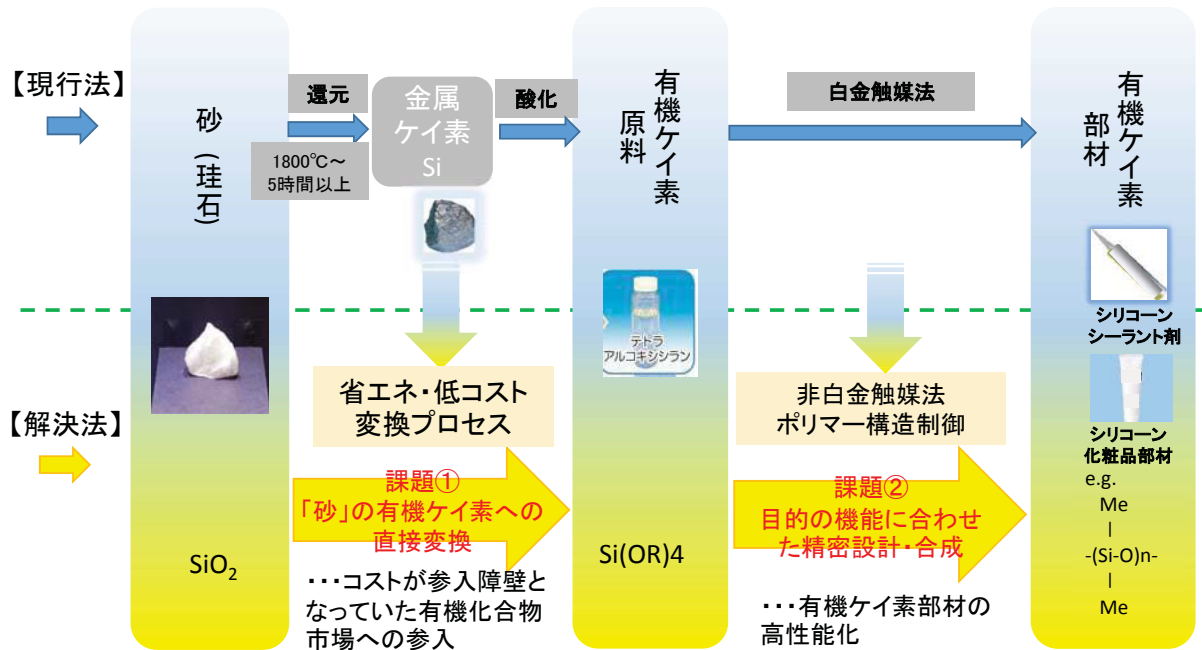
- ・SiO₂から中間原料の金属Siを製造する工程で1800°C程度の還元用熱エネルギーを使用
- ・希少金属である白金(Pt)を触媒として使用
 価格例:シリコーン系(シリコーンオイル原料>¥10,000/kg)、炭素系(流動パラフィン ¥2,000/kg~)

(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

◆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みます。

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）

国 交付金 → (特)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

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

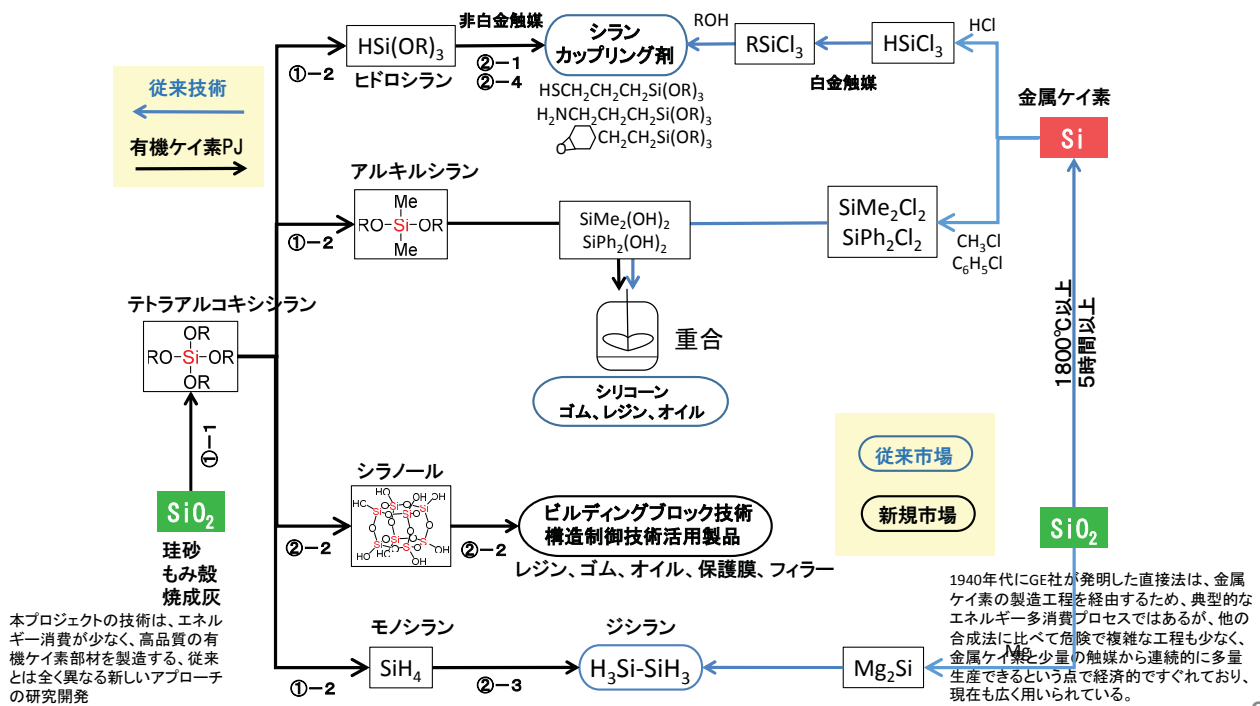
非可食性バイオマス原料から最終化学品を一気通貫で製造

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

◆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SiO₂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

10

◆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

11

◆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。

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

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

◆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、その工業的実施可能性を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。

◆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	・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。	・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・絞り込み		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			実用化プロセス技術検証		
						ケイ砂処理法の選定			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・絞り込み				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			残留触媒低減検証		
						固定化分子触媒の高度化、評価			構造制御技術開発	1kgスケール検証	
			▲	▲		▲					▲
			中間評価	中間評価		中間評価					事後評価
予算(億円)	2	2	2.1	6.2	3.3	2.2	1.8	1.5	2.9	2	

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

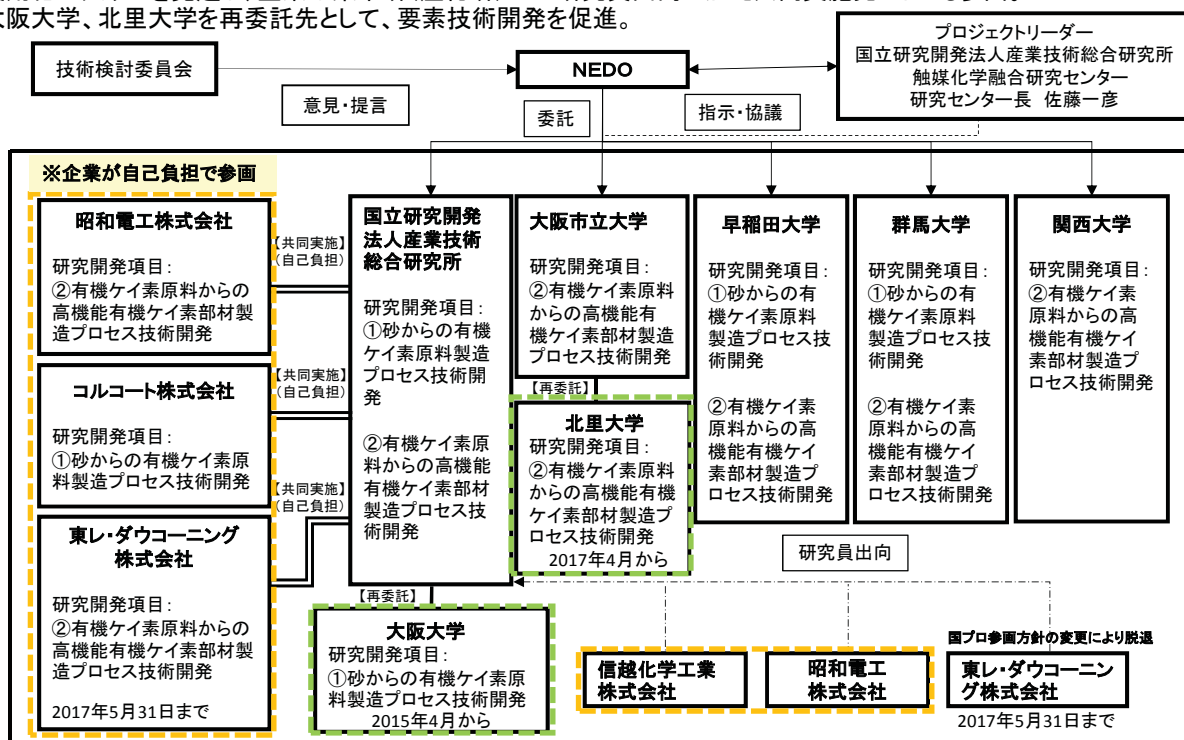
◆研究開発の実施体制

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。 **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
<p>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</p>	2017年度	15	<p>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。</p>	<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。 工業的実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適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要。 	<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)

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見処と、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。

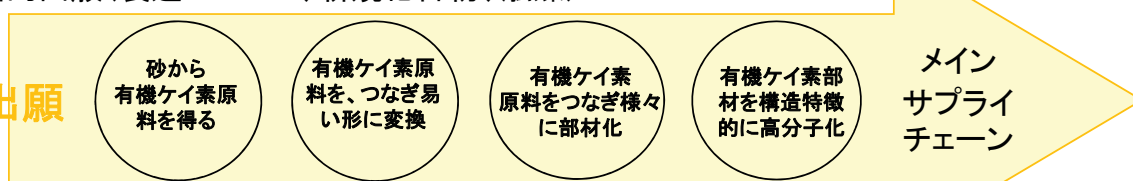
◆知的財産権等に関する戦略

有機ケイ素プロジェクト成果のオープン/クローズ戦略

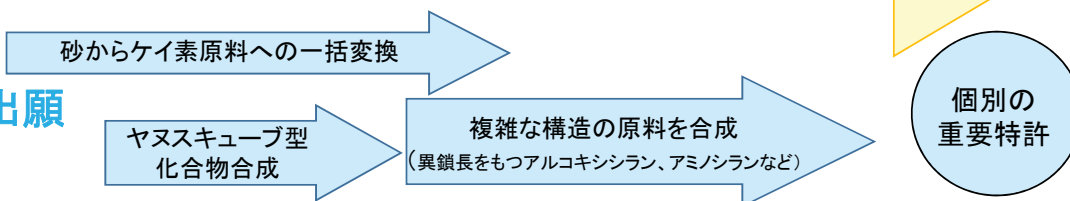
	非競争域	競争域		非競争域	競争域
公開	触媒寿命評価等	・新規触媒合成技術 ・新規有機ケイ素化合物 製造方法	積極的に 権利化	学会・論文・ 講演会等発表	特許出願
非公開	—	有機ケイ素・触媒原料の 選択		(未公開分含む) 公開	249件 (内2017年度-2019 年度6月現在97件)

➤ 戦略的出願(製造プロセス、新規化合物、触媒)

基本出願



戦略出願



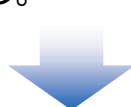
◆知的財産管理

◆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

0

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)	・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CO ₂ 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。	○	—

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

1

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

2

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出すなど、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

◆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	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	・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		・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ポ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	工業的な有用性の観点も含めて有効な触媒を絞り込む	・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	触媒固定化の有効性を、工業的な有用性の観点も含めて見極める	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

4

◆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-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
・ポリシロキサンの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。

5

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

◆ 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。

6

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

7

◆ 成果の普及

ホームページでの情報発信



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



10

◆ 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。

◆ 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
アリル系用触媒

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

参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会
「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)分科会
議事録

日 時 : 2019年8月2日(金) 10:30~16:50

場 所 : WTC コンファレンスセンター Room A (世界貿易センタービル3階)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長 飛田 博実 東北大学 大学院理学研究科 化学専攻 教授
分科会長代理 中村 正治 京都大学 化学研究所 元素科学国際研究センター 教授
委員 杉野目道紀 京都大学 大学院工学研究科 合成・生物化学専攻 教授
委員 関根 均 DIC株式会社 R&D 統括本部 生産技術センター センター長
委員 田中 規生 日産化学株式会社 専務理事 物質科学研究所 所長
委員 徳永 信 九州大学 大学院学研究院 化学部門 教授
委員 三浦 勝清 埼玉大学 大学院理工学研究科 物質科学部門 教授

<推進部署>

吉木 政行 NEDO 材料・ナノテクノロジー部 部長
山野 慎司 NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主任研究員
山田 浩(PM) NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
伊藤 真治 NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
田島 康平 NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主任

<実施者>

佐藤 一彦(PL) 産業技術総合研究所 触媒化学融合研究センター センター長
深谷 訓久(SPL) 産業技術総合研究所 触媒化学融合研究センター ヘテロ原子化学チーム 研究チーム長
中沢 浩 大阪市立大学 大学院理学研究科 教授
海野 雅史 群馬大学 大学院工学研究科 教授
黒田 一幸 早稲田大学 理工学術院 教授
大洞 康嗣 関西大学 化学生命工学部 教授
真島 和志 大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
神谷 昌宏 北里大学 理学部 助教
石原 吉満 産業技術総合研究所 触媒化学融合研究センター ヘテロ原子化学チーム
特定集中研究専門員

<評価事務局>

梅田 到 NEDO 評価部 部長
塩入 さやか NEDO 評価部 主査
福永 稔 NEDO 評価部 主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 研究開発成果
 - 6.1.1 プロジェクト全体の研究開発成果
 - 6.1.2 研究開発項目①－1砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発 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関する研究開発成果
 - 6.1.3 研究開発項目②－3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 ケイ素－ケイ素結合形成技術に関する研究開発成果
 - 6.2 実用化に向けての見通し及び取組
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)。
3. 分科会の公開について
 - 評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6「プロジェクトの詳細説明」および議題7「全体を通しての質疑」を非公開とした。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5の要点をまとめたパワーポイント資料に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われた。

5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し

実施者より資料5に基づき説明が行われた。

5.3 質疑応答

5.1及び5.2の説明内容に対し以下の質疑応答が行われた。

【飛田分科会長】 ありがとうございます。技術の詳細につきましては議題6で扱いますので、ここでは主に事業の位置付け、必要性、マネジメントについて議論します。ただいまの説明に対しまして、ご意見、ご質問等、お願いします。

【関根委員】 特許は成果としてマネジメントされていると思いますが、PCTなどの、外国出願について、どういう国にどういうものを出していくのか、という方針を教えてください。

【佐藤 PL】 プロジェクトに入っている企業が、「この辺の国が大事」ということがあるので、そこは押さえていくことにしています。それと、産総研の中に知財の委員会があって、無制限に出すわけではなく、どの辺の国にどういう根拠でどのように出せばいいか、ということも含めて、我々の一存でこの国に出したいという話ではなく、企業が、ここに出さなければいけないというのを考慮して、産総研の中の審査を経て決めています。

【杉野目委員】 砂からケイ素の材料を作るというのは、従来技術ではどうして一旦金属ケイ素にするのか、ということをご昔からずっと感じていたので、非常にインパクトがありました。今回、このように特許や新しい技術開発がなされて、工業化できるような状況になったときに、日本がどのぐらい儲かるのか、世界全体のケイ素産業のあり方はどのように変わっていくのか。例えば値段が大幅に下がってみんなが使いやすくなるのか。ほかの国で実施している金属ケイ素からのプロセスは無くなって、全部これに置き換わるのか。見通しはどのようであり、どのぐらいのインパクトがあるのか。その概略を、今調査されていると思うので教えてください。

【佐藤 PL】 それは数値的には多分あると思うのですが、それ以外に、ケイ素の原料は90%が中国から輸入ということもあって、マイナス要因から言うと、もし仲が悪くなって止められたら終わりというのが一つあります。

それから、従来技術では、純粋な99.99%くらいのSiO₂からカーボンを使ってアーク放電でやらなければいけない。日本国内では電気代が高いので産業がなくなった。これに対して、今回の方法ですと、品質の低いSiO₂あるいはもみ殻の燃焼灰とか、いろいろなところのケイ素原料を使えるということがあります。非公開セッションでも少し言いますが、ある商社が例えばそういったもみ殻を我々に供給するルートをつなぎたいという話もあります。

もう一つ言うと、今までケイ素というのは特殊な工業だったので、入っている企業が限られています。原料供給企業だと信越化学とか東レとか旭化成ワッカーなどですが、例えばいろいろなケイ素原料からケイ素材料ができるようになると、今までやっていなかった化学メーカーでも、ケイ素業界に入ってくられるということもあります。だからいろいろな広がりがあるのではないかと。もちろん、値段も安くなる。

ただ、現状のケイ素のプロセスがどこまで置き換わるか。そこは電気代とかCO₂排出とか、その辺との兼ね合いで決まってくるということもあります。

【杉野目委員】 日本全体の産業にとってメリットがあるのは間違いない話で、非常にこれは高く評価され

るべきだと思います。また、例えば中国のプロセスがどうなってくるのかということも非常に興味があって、それもあとで議論させていただきたい。

【徳永委員】 関連した質問ですが、純度が低いケイ素材料からいけるということで、珪藻土とかシリカ・アルミナ系とかからでもいけるのでしょうか。

【佐藤 PL】 これは深谷さんが詳しいのですが、いけますよね。収率は低いですが。

【深谷 SPL】 使うケイ素源によって反応がいきやすいもの、いきにくいものというのはあるのですが、基本的には様々なものを使うことができます。

【田中委員】 費用対効果に関して、(研究開発費) 26 億円を 10 年間でかけて、省エネにすると原油換算で 44 万キロリットル削減ということですが、これはこの技術で生み出されたものが、波及効果というか従来作られたものを置き換える割合で言うと、イメージとして、どれぐらい置き換わったことでこの量になって、それは 26 億円をかけたことで余りあるくらいに大きな効果なのか、その辺のイメージがつかみきれないので、教えていただきたい。

【山田 PM】 正確には前段、後段があって、これは後段の精密合成のところではなく、前段を算出するところの数値になります。直接変換のところ。従来の冶金プロセス、金属ケイ素を経由していくところに関して、この直接変換でできる省エネ量と差分を取った値を省エネの削減効果として出しています。それが CO₂ の排出削減量で、原油換算係数が入っているのですが、そこでの値です。

【田中委員】 要するに金属ケイ素経由でやっていたプロセスをゼロにして、こちらに全て置き換わった場合に、という数値ですね。

【山田 PM】 2030 年度で何%というのがあるのですが、確か半分ぐらいでした。全部が一気に置き換わるわけではないので、年次で順次変わっていくというところで、50%だったと思います。

【田中委員】 半分置き換わるとこれくらいの効果だと。

【深谷 SPL】 そうです。既存のプラントがいきなり全部壊れるわけではないのでそのまま作り続けますが、市場が伸びて、その市場が伸びた分をこの新しい技術が取っていったらという考え方で、概ね、先ほど山田 PM が説明されたシェアを考えたということです。

【関根委員】 環境に対しては、CO₂ の排出量で包括した形になっていると思います。一方、少し見方が変わるかもしれないのですが、ライフサイクルアセスメントとか、3R と言われる Recycle、Reduce、Reuse といった観点で見ると、バイオデグラダブル (生分解性) になるかどうかは別なのですが、もう少しトータルで見た時の製品のサイクルを考えて評価をしたほうが良いのではないかと。そういった取り組みはされていますか。

【山田 PM】 ライフサイクルアセスメントについては考慮しています。3R に関しては、いただいた意見を参考にしていきたいと考えます。

【三浦委員】 このプロジェクトが始まって 7 年間ぐらい経つということですが、その 7 年間にいろいろ技術開発が進んでいると思います。他の研究で得られた技術開発情報は、こちらのほうで集めて、それをこのプロジェクトに生かすというようなことはやっているのでしょうか。

【山田 PM】 NEDO の調査事業の中で、いわゆる研究開発の成果に関しては論文、学会発表のほうからデータを集めて、それを全員に紹介しています。特許に関しては、出ているターゲットとなる課題に関して、どういう特許の方針で特許請求をしているかといったところを、事業の中でフィードバックをかけているというのが現状です。

【三浦委員】 すみません、言い方が悪かったかもしれません。このプロジェクト以外でもいろいろなところでこういった研究開発をしているかと思います。その動向を探りながら研究目標を修正することはしているのでしょうか。

【山田 PM】 研究開発目標に関しては、出している (反応率と選択率が) 50%、50%、①-1 に関しては

70%、70%を目標にしている。②に関しては 80%、80%を目標にしている。世の中にある技術動向に関して、直接的に数値が対応するものではないと理解しているので、研究開発目標に関しては変えていない。実施する内容に関しては、動向を把握しながら考慮していくという内容になっています。

【深谷 SPL】 研究開発目標については、概ね山田 PM の説明の通りです。研究の課題について言いますと、特に先ほど PL が最後のほうで紹介した、関西大学の犬洞先生が開発された「温度によって触媒活性が変わる触媒を見つけた」は、実は、研究開発動向というより、こういうニーズが非常に強いという産業界からの声が、NEDO の調査の結果で分かり、それを課題として追加して取り組んで成果が出たという事例です。

【三浦委員】 7年間の間にいろいろな研究開発がなされていると思いますが、その情報は逐次、把握しながらやっているということでしょうか。

【山田 PM】 そうです。2017 年度に一度やっている。その前が 2014 年度で調査事業を 2 度やって、フィードバックをかけながら進めています。

【佐藤 PL】 学会的なもの、論文的なものは、当然、我々にリアルタイムで入ってくるので、研究者の誰が何をやっているかはだいたい分かります。一番分かりにくいのは特許とかその辺、あるいは NEDO にやってもらったのはヒアリングです。企業に実際に行き、本当のことを言ってくださいというのでやってもらって、そういう情報は非常に役に立って、それに基づいて、ヒドロシリル化でもこの辺が難しいとか、ニーズがあるなということは随時、取り入れています。あとは技術検討委員会の先生方のアドバイスもいただきながら進めています。

【徳永委員】 砂とかイネ科の植物から材料を取ってくる。バイオマス変換のところで時々問題になることとして、ボールミル等でバイオマス原料を粉砕する。そこにエネルギーがかかり過ぎて、コストにすごく響いてくるということをよく聞くのですが、そういった点は特に問題はないのでしょうか。

【深谷 SPL】 バイオ由来のイネ科の植物のところについてですが、もみ殻について言いますと、もみ殻そのものではなくて、もみ殻燃焼灰は焼いたそのままのフォームで、特に温度のコントロールとか焼き方には多少ノウハウが要るのですが、ボールミルによる粉砕とかは必要ありません。むしろ、もみ殻を焼く時にエネルギーが出ます。発熱反応で熱が出ますので、それを例えば発電に使うというようなことを NEDO の事業でやっていますので、費用で言いますと追加的な粉砕などは、もみ殻燃焼灰については必要ないということが分かっています。

【徳永委員】 砂のほうでも特にエネルギーは必要ないのでしょうか。

【深谷 SPL】 砂はどういう砂を使うかによって、おっしゃるとおり、ボールミル粉砕などが必要な事例もあります。

【中村分科会長代理】 ボリューム感と言いますか、CO₂ 換算とか市場換算はどれぐらいという話がよく出てくるのですが、実際、どれぐらいのシリコン材料を、どれぐらいの量の砂から作って世の中に供給していくのか。例えば日本でどれぐらいの砂が利用可能であるとか。朝日小学生新聞を見たら砂不足が記事になっていたりして、実際、そういうのを疑問に思っています。世界でシリコンが何万トン作られていて、その原料が、水晶か何か分からないですけど、それがどれぐらいで、どれぐらい置き換わるという量の感覚です。それが前から疑問で知りたい。情報がありましたら教えていただきたい。

【深谷 SPL】 砂不足は確かに一部では課題になっています。それはどちらかと言うと、高品位のスマホ向けなどの高強度のガラスが必要で、それには純度のいい珪砂が必要だということで、確かにその資源自体は奪い合いになっています。一方でこのプロジェクトに必要な珪砂は、そんなに高品位でなくても、そのあとの工程でテトラアルコキシシランの蒸留をしたりしてピュアにできるので、高品位のものではなくても大丈夫だと思っています。

全体のボリューム感は、国内市場を賄うのであれば、産業の中で出てくる産業副産物で、合成石英を

作るときに、合成石英にならなかった SiO₂ 源とかが使えることも分かっています。もみ殻は日本だと秋しか出てこないで、アジアから運んでくるとか、いろいろあると思いますが、全体の国内市場を賄う上では、多分国内にあるケイ素源で十分です。

本プロジェクトの中でも、青森県の夏泊半島にある岩を掘ったら、それが結構いけるというのが分かってきて、北海道の稚内地方にも珪藻土らしいのですが、相当な資源がある。コストが見合うかは分からないですが、資源量としては使えるものが相当あります。グローバルになるとちょっと分からないところがあるのですが、それでもアジアとかの二毛作でもみが出ているところは、どんどん燃やして化学プラントの燃料にしているところもあります。資源としては無尽蔵に近いぐらいケイ素は地球にありますので、不足することはないと考えています。

【中村分科会長代理】 聞き逃したのかかもしれませんが、何トンぐらい作るのですか。

【深谷 SPL】 金属ケイ素が、半導体用とか、このプロジェクトではスコープではないのも含めて、700 万トンだったか、70 万トンだったか、すみません、桁が 1 個ずれているのですが、そのぐらいです。SiO₂ は Si が酸素の次に多いぐらいですので、資源としてはたっぷりあるということです。

【中村分科会長代理】 製品が 700 万トンですか。

【深谷 SPL】 金属ケイ素の生産量です。

【中村分科会長代理】 製品としてシリコンがどれぐらいかというのを知りたい。自然科学的には、量、マスのほうが大事と思うので、根元的に押さえておいたほうがよいと思います。

【深谷 SPL】 公開版の資料の 12 ページのところは重量ベースで、市場製品が最終製品に近いような書き方になっていますけれども、トン/年という整理の調査になっています。

【山田 PM】 2016 年度の実績ですが、中国で 76 万 8000 トン、北米が 43 万 4000 トン、ヨーロッパが 41 万 2000 トンになっています。

【中村分科会長代理】 世界でだいたい二百数十万、さっきの数字からすると、日本がだいたい 20 万トンぐらいということですね。

【山田 PM】 そうです。

【田中委員】 研究開発項目で、①-3~①-5 は中止という説明をいただいたが、それは、技術的にも壁が高すぎたからやめたとか、やめたことはむしろ正しい判断だったとか、要するに、力が及ばなかったのか、やってもしょうがないからやめてよかったということなのか、もう少し詳しく説明してください。

【山田 PM】 ①-4 は、やってみて実用化への道筋が難しかったということです。やっても無駄というのは表現が悪いですが、これ以上進める必要性がないということです。①-3 は、結果は得られたが、それを実用化にもっていくには人、もの、金を含めた更なるリソースが必要で、このプロジェクトの期間では終了しないという理由で、一旦、中止しています。①-5 も、研究開発リソースの関係があります。どちらかと言うと新しい技術の探索という部分が入っているのですが、そこに関してもリソースを含めて、今の金額を含めたもので進めていくには難しいという理由で中止です。終了と中止という言葉を使い分けています。

【飛田分科会長】 項目①-1 に関して、反応率と選択率は 50% である必然性はなくて、70% に変更するというのですが、これは技術の改良とか最適化で、達成できる見通しがついたということでしょうか。

【深谷 SPL】 前回の中間評価で、(反応率と選択率が) 50%、50% だと、今はもっと引き上げてみかけるのではないかというコメントをいただきました。開発を始める前は 50%、50% でも本当にそこに到達できるのだろうかという思いでしたが、前回の 5 年目までの成果を評価委員の先生方が評価し、もっと高いところを目指したらよいのではないかというコメントをいただいたので引き上げて、プロセスや反応条件等の最適化や工夫によって、実際にそれが到達できているという現状です。

【飛田分科会長】 どうもありがとうございました。それでは、本議題に関する質疑を終了いたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【飛田分科会長】 議題8「まとめ・講評」に移ります。三浦委員から始めて、最後に私という順番で講評します。それでは三浦委員からお願いします。

【三浦委員】 今回、いろいろな成果を聞かさせていただき、特にテトラアルコキシシランの合成法やポリシロキサン¹の精密合成に関して、非常に感銘を受けました。あと鉄触媒もこんなよいものが開発されているのだと、感銘を受けた次第です。

少しだけ批判的なことを言わせていただければ、やはり、砂から有機ケイ素化合物を作るということで、有機ケイ素というのは炭素とケイ素の結合ができてこそ有機ケイ素化合物だと思いますので、メチル基とケイ素の結合を効率的に作るような研究を、もっと集中的にやっていただきたいと思いました。

【徳永委員】 大変興味深く拝聴しました。私も評価される側を何度もやったことがあり、結構、厳しい評価をたくさんもらうことが多いです。自分でも研究をやっているのが、10個ぐらいプロジェクトがあって、3つぐらいは結構うまくいって、3つぐらいは中ぐらいにうまくいって、3つか4つは全然うまくいかない。だいたい、そんなふうになると思います。そういった中で、実用化に向けて非常に有望な技術から、結果を見ると、これは本当にこの先うまくいくのかなというテーマまで、いくつかありました。多くの場合、なかなかうまくいきそうにないものでも、がんばってやっていると、何年かしたらものすごいブレイクスルーでうまくいくということを、私も横目でいくつか見てきましたので、そういったことを期待したいと思います。

【田中委員】 評価委員として参加し、私自身、ケイ素の専門家ではないのですが、非常に勉強になりました。全体像としては、従来の金属ケイ素から始まるケイ素の化合物の流れを、砂からという、置き換えのような全体像を描かれている中で、確かにテトラアルコキシシランを作るところとか、シランからジシランを作るところは、本当に従来に取って代わるぐらいのインパクトを頂きました。ただ、砂からテトラアルコキシシランを作った先の、いろいろなところに置き換えていく道筋というのが、アカデミックレベルで言うと非常に興味深い反応があると思うのですが、まだそこをつなぐという意味ではちょっと弱いという感想を素直に持ちました。

それ以外にも、このプロジェクトから見いだされた反応でない作り上げられない素材とか部材という芽が、結構ある気がしました。今までに取って代わるのではなくて、全く新しい分野や機能を作り出せる可能性も非常に強く感じることができました。

先ほどのテトラアルコキシシランから川下のところをもう少し力を入れていただきたいのと、新しい機能、素材、部材というところの期待感が高いという2点が、今日の感想です。

【関根委員】 このプロジェクトをお聞きし、成果という意味で形に残るものは、知財ではないかと考えています。企業として、実際、一緒に研究をしていく、もしくはこれから開発をしていこうという中で、こうしたしっかりした知財に守られた研究があると、非常に安心感があります。多いか少ないか

というところではありますが、このプロジェクト内でも155件も出ているというところは、非常に心強いと思いますし、非常に大きな成果だと感じています。一方で、安全、簡便にものができる。しかも機能性のシロキサンができるということも、いろいろなアプローチからやられていました。お願いしたいのが、実際にケイ素がどのように循環していくのか、それを砂から作るのであれば、最後にまたしっかり戻してあげる。そういったサーキュラー・エコミーのようなところも意識した検討を、今後続けていただきたい。

【杉野目委員】 この中間評価のご準備は、大変だったのではないのでしょうか。我々が良いことを言って研究の足しになったらよいのですが。今日はありがとうございます。

前回の中間評価からも順調にいろいろなことが見つかり、いろいろな新しいプロセスなども確立されつつあって、全体として順調に進んでいるという印象を受けました。研究開発項目①-1では、かなり効率の良い主原料の合成プロセスが実現しつつあると感じられまして、是非とも産業化の実現という部分、もっと言えば既存のプロセスを置き換えてどんどん変わっていくことが進んでいったらいいと感じました。それに関してですが、日本の国内では多分、もみ殻を使ったりするのが非常に効果的だと思いますが、せっかくの技術がガラパゴス的にならないように、世界的な視点からは、砂を使うほうも大事にしてやっていただきたいと思いました。

私は、オリゴシロキサンのほうを非常に興味深く聞きました。新しい技術として非常に期待できると思います。既にサンプル提供等をやっているようなので、是非、重点的に用途開拓を、うまく調査のほうと一緒に進めていただきたい。

三浦先生から、アルキル基を入れなければいけないのではないかという話もありました。それも一つですし、僕は水素化に期待しています。水素さえ入れればあとは何とでもなると思うので、水素を入れる反応を触媒反応で、難しいのはよく分かった上で、水素を使うというところは是非いただきたい。残りの期間でもう一段階、進めていただきたいと思います。

【中村分科会長代理】 今日はどうもありがとうございます。僕が評価をやるのは3回目ぐらいでしょうか。毎回、有機ケイ素だとか、水素が入るかどうかという話をしていたのですが、今日聞いていて、入れなくてもよいのではないかと感じてしまったりしたのは、それぐらいテトラアルコキシシランというものが作れるようになってきて、杉野目先生も言っていました、できたらそこから全く新しい材料を作るようなことをやる。

今、世界で1億トンぐらい作っているポリオレフィン、200万トンのシリコン材料がどれだけ塗り替えられるか、置き換えていけるか。更にシリコンにベースしたケイ素循環がうまくできて、これは人間の生活とか環境とかも全部含めて、2050年にどれぐらいCO₂が減ったとか、どれぐらいのマーケットができるかではなくて、もっと本当に工業のあるべき姿というような議論を引き起こすようなすごい材料を見つけてくれたら嬉しいなと思いましたし、多分、佐藤PLならやるのではないかと感じました。

【飛田分科会長】 前回も、モレキュラーシーブを使った方法の発表があって、すごいなと思ったのですが、今回のお話で、それがかなり実現性を増して、本当によくやられていると思いました。先ほども言いましたが、直接法と少し違うものができてくるわけですけども、アルキル化とかメチル化とか、もし非常に安く低エネルギーで実現できたら、完全に直接法を代替できると思います。ただ、それをしなくても、前の先生方がおっしゃったように、別の独自のケミストリーを発展させればいいのかという気もします。

あと、学術的なことも、前回もそうでしたけれども、オルトケイ酸であるとか、ヒドロシランからジシランのあたりとか、触媒反応とか、その点もおそろかにせずにやっていらっやっやっ、それも大変素晴らしいと思います。そういう学術的視点というのが結構、プロジェクトを成功させることにい

い影響を与えていると思います。私は基礎をやっているの、その辺もこれからも最後まで続けてい
たきたいと思いました。

【福永主査】 ご講評ありがとうございました。推進部長およびPLのほうから、一言あればいただきた
いと思います。

【佐藤 PL】 今日は審査委員の皆さん、ありがとうございました。毎回、我々は分かったつもりでやっ
ていますが、こういう場でいただいた意見は非常に参考になって、それにしたがって我々は計画を変え
るなど、真摯に対応いたします。

水素化とかヒドロシリル化は、一応、ボランとかを使えばいけるのでルートは通るのですが、それ
で通れば、評点としてはそちらのほうが〇かもしれないのですが、本音を言うと、水素でスパツとい
ったらいいなという夢を描いているのです。どうしてもマイナスなところが目立ってしまうかもしれ
ませんが、それは引き続き、必ずやるというふうに決めながらやっていこうと思っています。

飛田先生がおっしゃったように、基礎、学術をおろそかにして実用だけやっていると、結局、ぐら
ついて枯れてしまうのです。広がっていかない。だから、アカデミアレベルの高い人たちともちや
んとディスカッションしながら、企業の本音を聞きながら、やっていくというマネジメントをしてい
ると思っています。これからも引き続き、よろしく願いいたします。

【吉木部長】 今日は1日、いろいろ力強いコメントをいただきまして、ありがとうございます。このプロ
ジェクトはあと2年半ということで、実用化の芽も見えてきた部分もありますけれども、まだまだ足
りない部分もあると思います。我々としてもこの成果をもっと多くの人に知ってもらって、サプラ
イチェーンを考えながら、是非とも実用化に向かって進んでいきたいと思っています。皆様方から今後も
コメントをいただければと思いますので、よろしく願いいたします。

【飛田分科会長】 それでは以上で議題8を終了いたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

- 資料1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料4-1 NEDOにおける研究評価について
- 資料4-2 評価項目・評価基準
- 資料4-3 評点法の実施について
- 資料4-4 評価コメント及び評点票
- 資料4-5 評価報告書の構成について
- 資料5 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料6 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
- 資料7-1 事業原簿（公開）
- 資料7-2 事業原簿（非公開）
- 資料8 今後の予定

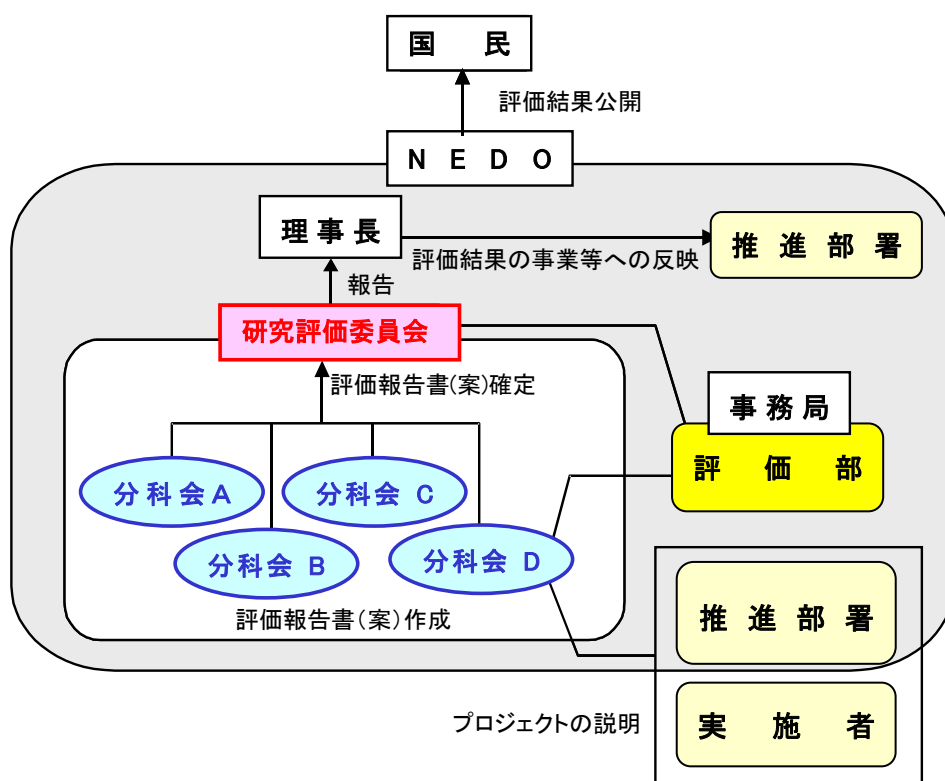
以上

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

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)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」に係る 評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化の戦略に基づき、実用化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

「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。

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。

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っている

か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。

- ・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「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）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【1】 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> <p>【2】 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> <p>【3】 アルコキシシランの水素化によるヒドロシラン合成、それからアルキルシラン合成は収率や選択性、触媒回転数に課題を残している。この2つの反応の改良には根本的など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</p>	<p>【1】 最終目標である 1 k g 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を深耕することにより、目標達成を協力して進める。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行う。</p> <p>【2】 最終目標の達成および実用化に向けて、触媒・反応剤のコストや反応条件の工業的な実現可能性などの視点を踏まえ、候補となる有望なプロセスを絞り込む。また従来合成が困難とされた化合物の合成技術の確立等、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も引き続き取り組む。</p> <p>【3】 アルコキシシランの水素化およびアルキル化については、触媒回転数のさらなる向上に向け、「新触媒の発見」、「新反応条件の発見」のためのスクリーニングを継続して行う。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>必要になる。</p> <p>【4】 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>【5】 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、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> <p>【6】 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>【4】 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て、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う。</p> <p>【5】 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深化し、未反応シリカと生成物との分離方法等の検討を開始する。 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って設計指針を明確化する。さらにより実用化に向けた具体的かつ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する。</p> <p>【6】 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に応じて進める。</p>

本研究評価委員会報告は、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）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 梅田 到

担当 福永 稔

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162