

「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)

(平成26-33年度 8年間)

プロジェクトの概要

NEDO

環境部

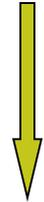
平成28年10月28日

発表内容

I. 事業の位置づけ・必要性



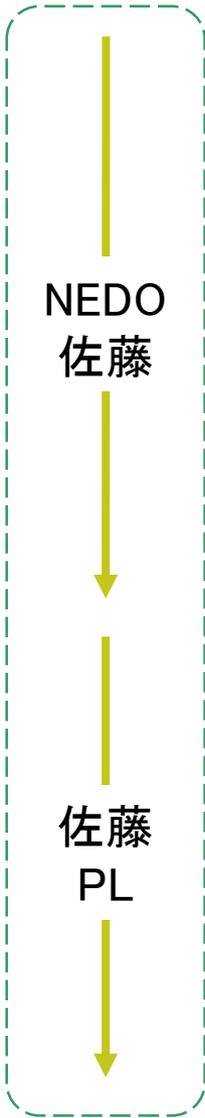
II. 研究開発マネジメント



III. 研究開発成果



IV. 成果の実用化に向けた
取り組み及び見通し



- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

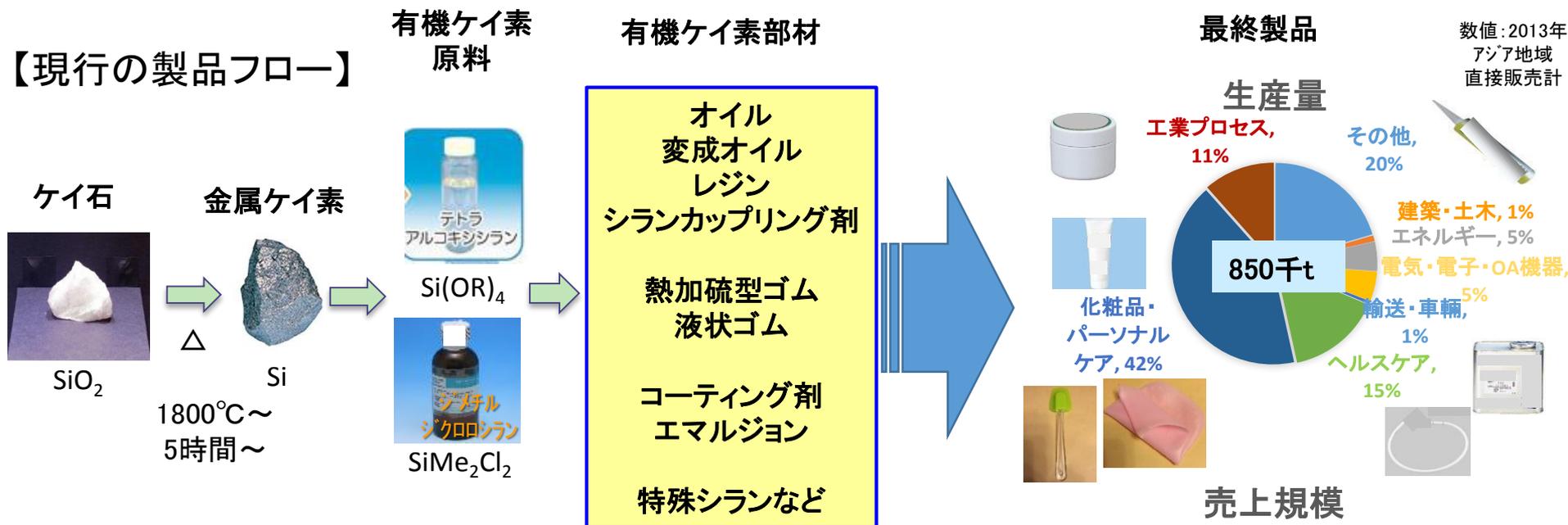
- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取り組み

- (1)成果の実用化に向けた戦略
- (2)成果の実用化に向けた具体的取り組み
- (3)成果の実用化の見通し

◆ 事業実施の背景と事業の目的

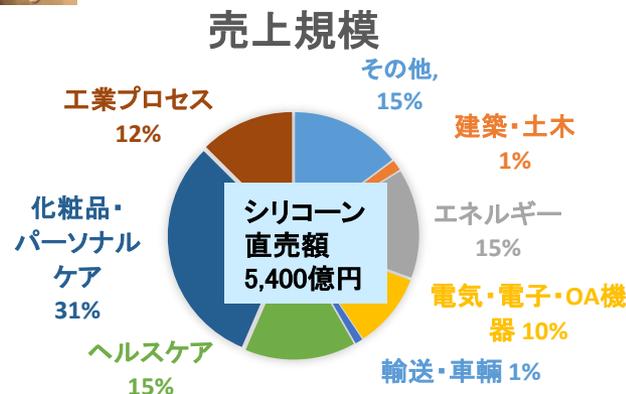
シリコンに代表される有機ケイ素化学品は、広い分野で使用される高機能化学品である。

【現行の製品フロー】



シリコン関連製品全体

世界総売上高(2013年): 1.3兆円 (2,122,000t) 雇用創造力: 3,000人;
 アジア最終製品までの付加価値額: 5,400億円 (850,000t);
 国内市場規模(2014年): 2,700億円 (120,000t) (内、輸出400億円);
 シリコン関連の国内従業員数: 約3,700人(2016年)
 国内最終製品までの付加価値額: 5,400億円



◆事業実施の背景と事業の目的

■ 有機ケイ素は特徴的な物性を示すため、これまでも幅広い製品で使用され、将来用途も期待されている

●有機ケイ素部材の特徴的な物性:

- 耐環境特性 : 耐候性・耐老化性、耐熱・耐寒性、耐紫外線／赤外線性、など
- 化学特性 : 低揮発性、電気絶縁性、高引張強度、消泡特性、耐菌性、など

■ 原料・部材製造工程での課題

●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

●性能面:

- 有機ケイ素原料がランダムである事による発現性能やコストへの影響
- コンタミによる製品性能への影響

- ①大きな熱エネルギーを必要とする金属ケイ素を経由せず、素原料の砂を直接有機ケイ素に変換することにより、有機ケイ素部材を製造する方法を開発する
- ②高機能を発現できる有機ケイ素部材を安価で得るため、高度な製造方法を開発する

◆事業実施の背景と事業の目的

課題の解決

- ・有機ケイ素原料製造工程の革新
- ・有機ケイ素部材の新規製法の開発



省エネ・
CO₂排出削減



技術レベルの向上

- ・有機ケイ素原料・部材製造の低コスト化達成
- ・より高機能な有機ケイ素部材の獲得



材料の幅広い分野
への適用



新規市場の獲得

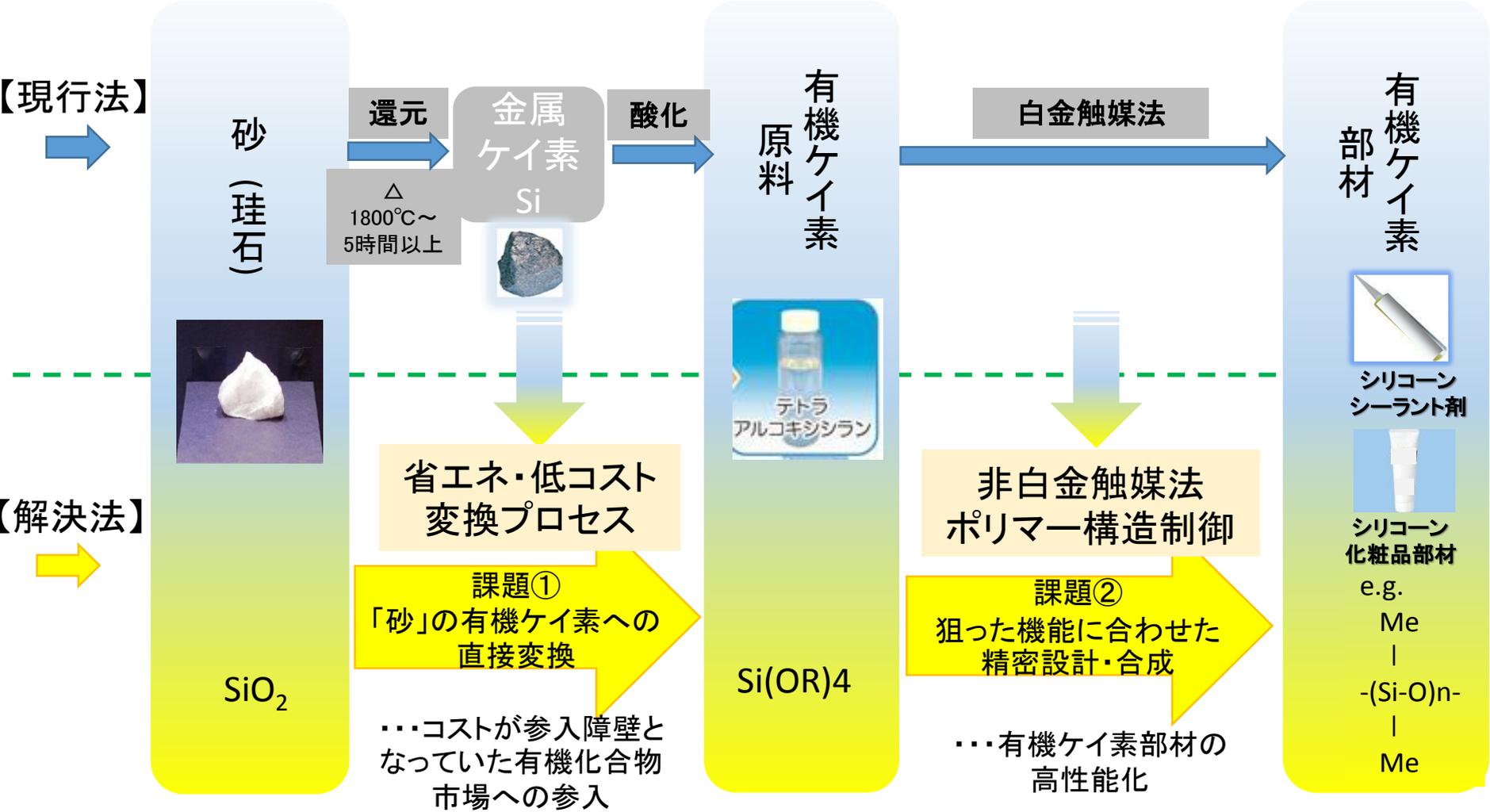
既存市場の置き換えに加え、
低価格化、高機能化による新規用途の開拓



産業競争力強化

◆事業実施の背景と事業の目的

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の開発、および有機ケイ素原料から有機ケイ素部材の製造方法の開発により、高機能有機ケイ素部材を安定的に供給することを目的とする。



◆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および2016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。

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

新たな機能を実現する次世代材料の創製

分野横断 (5)

貢献する政策課題と
産業競争力強化策
中間目標(2020年~)
<成果目標(2030年)>



H26アクションプランでの連携
革新的触媒技術の開発

【エネルギーへの貢献】
<希少元素の代替やリサイクル等に関する技術の普及による資源制約からの解放(2030年)>

【エネルギー、次世代インフラへの貢献】
<シェールガスから効率的にエネルギーや化学製品を生産する革新的触媒の普及(2030年)>

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

◆ 国内外の研究開発の動向と比較

研究開発項目① 砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発

我々が知る限り、国内外ともに、実用化を指向した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 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

学術レベルでは国内外で多くの研究がなされているが、我々が知る限り、実用化されたものはない。



世界に先駆けて新たなプロセスの工業化を目指す。

いずれも難易度が高く、民間のみで取り組むことは難しい

◆技術戦略上の位置付け

エネルギー

環境

グリーンサステナブルケミストリー
グリーン製造化学プロセス

製造工程廃棄物・
副生物の大幅削減

課題②
精密制御
高分子製造

課題②
低環境負荷型
縮合系高分子
製造技術
(新規触媒
プロセス)

課題②
有機分子
触媒などによ
るプロセス)

課題①
従来型
無機合成の
シンプル化

課題①: 砂から有機ケイ素原料の製造
課題②: 多様な有機ケイ素部材の製造

◆NEDOが関与する意義

有機ケイ素の製造技術の開発は、

○ 国家的課題の解決に貢献

- ・有機ケイ素部材は、広い産業で使用できる可能性がある高機能部材
→ 技術開発によるさらなる機能向上により**産業競争力強化**
- ・製造プロセスの革新 → **省エネルギー化**

→ **社会的必要性が高い技術開発**

● 基礎から実用化へつなげる広範囲、かつ長期の技術開発

→ **開発リスクが大きいことにより産学官の総合力での取り組みが必要**

● 研究開発の難易度が高い

→ **産学官の知見についても結集が必要**



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果（費用対効果）

費用の総額：26億円/10年(予定)

省エネルギー効果：43.5万kL/年(2030年、原油換算)
=CO₂排出削減量 114万t/年
(現在の化学産業の排出量の2%弱)

※予想されている市場拡大(6.2%/年)により、2030年の市場規模は2012年の約3倍(約4兆円)となる。

※これに加え、本技術開発の成果による市場拡大を見込み、本事業の想定省エネ効果により算出した。

◆実施の効果（費用対効果）

有機ケイ素部材は、その使用段階において、CO₂削減の大きな波及効果がある。

たとえば、「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べ、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
- ・日本の市場規模では約570万t/年のCO₂削減に貢献している。

シリコーン工業会
「シリコーンのカーボンバランス シリコーンの温室効果ガス排出量とその利用による温室効果ガス削減効果」より引用

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

◆事業の目標

研究開発項目	PJの最終目標
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%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。
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	<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。

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目 (個別テーマ)	研究開発目標 (平成28年度の間目標)		根拠	
	共通目標	個別目標	共通部分	個別部分
①砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発	反応経路と触媒について有望な組合せを絞り込む。	ケイ砂を原料に用いる際の技術課題を抽出する。	平成29年度より、本年度までに絞り込んだ反応経路と、その触媒候補につき、最適条件を探る検討開始するため。	実践的な工業プロセス確立を想定し、原料をより実用的なケイ砂を中心として、これを処理する方法を選定するため。
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		触媒技術の開発を行う。		実践的な工業プロセス確立を想定した触媒を工業的水準で評価するため。

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

※平成24-25年度は経済産業省直執行事業(未来開拓研究PJ)
平成26年度からNEDO事業として実施

年度	24 ※	25 ※	26	27	28	29	30	31	32	33	34 ~	
①砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発	反応経路と触媒の探索・選定			候補の絞り込み 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			ケイ砂処理法の選定	実用化可能性検証			企業による実用化検討
	反応経路と触媒の候補選定				選定した反応系の最適反応条件検討				実用化可能性検証			
	候補の絞り込み				分子触媒の評価、高度化				構造制御技術開発			
	触媒技術開発				残留触媒低減検証							
			中間評価	中間評価	中間評価			事後評価				
予算(億円)	2	2	2.1	6.2	3.3	2	2	2	2	2		

合計:26億円(10年間)

◆プロジェクト費用

◆費用

(単位: 百万円)

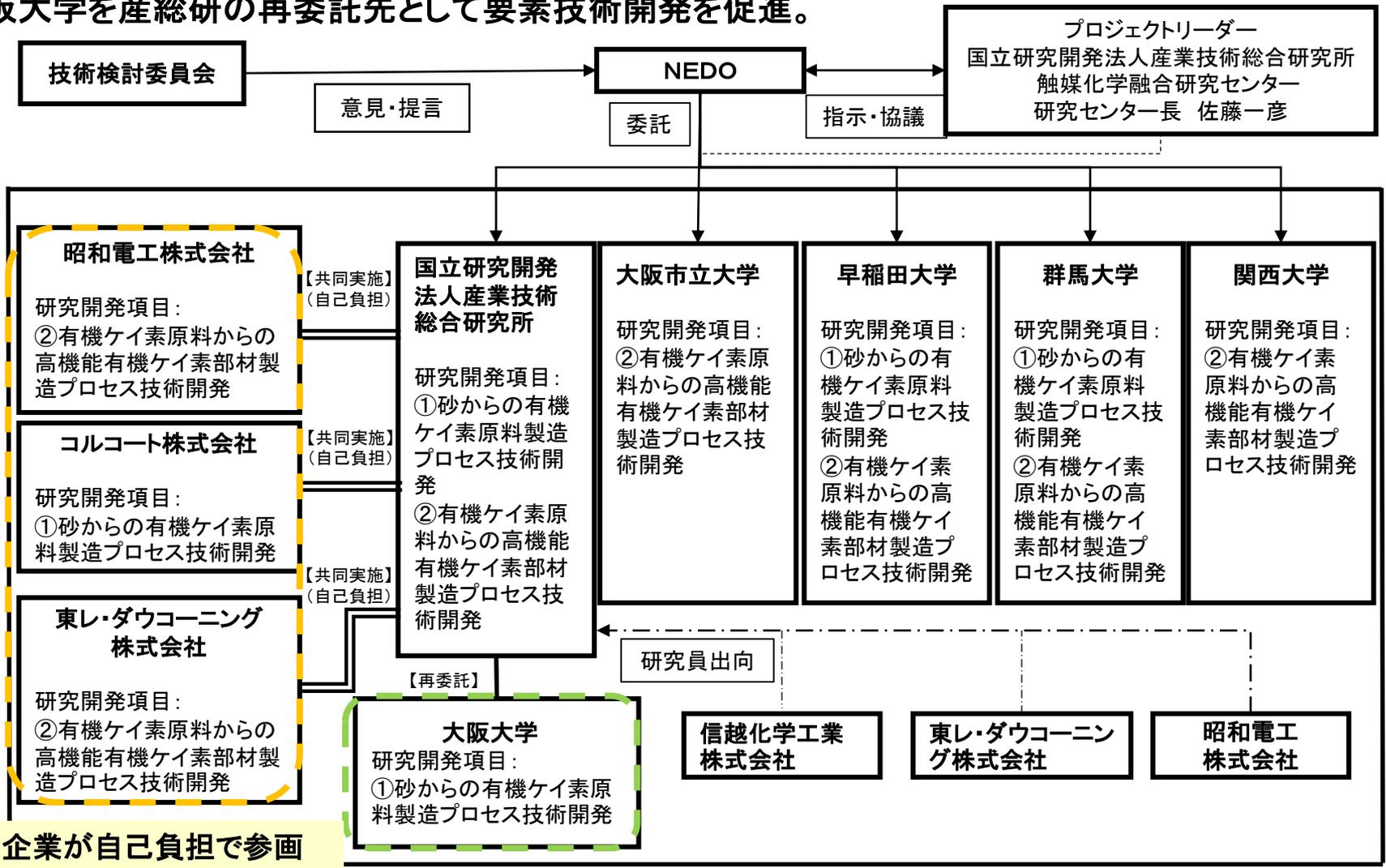
研究開発項目	平成24 年度	平成25 年度	平成26 年度	平成27 年度	平成28 年度 (予算)	合計
①砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発	100	100	100	294	151	745
②有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発	100	100	100	326	180	806
合 計	200	200	200	620	331	1551

(+ 調査費10)

◆ 研究開発の実施体制

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

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。
 大阪大学を産総研の再委託先として要素技術開発を促進。



※企業が自己負担で参画

◆ 研究開発の進捗管理

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

- ・METI直執行(H24～25年度): 年1回開催により外部有識者の意見を運営管理に反映。
- ・NEDO事業(H26～H27年度): 年2回、H28年度は年1回開催を予定。

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	寺田 眞浩	東北大学	教授	有機化学
委員	室井 高城	アイシーラボ	代表	工業触媒
委員	辻 康之	京都大学	教授	有機金属化学
委員	松川 公洋	大阪市立工業研究所	研究主幹	有機ケイ素材料

- ・反映内容 (1) 全体認識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

◎ 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。

◆ 研究開発の進捗管理

実用化の入り口に向けたマネジメント

■ PL主催による「有機ケイ素PJ全体会(年4回)」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)。

- ・産総研および各大学で開催した。

◎28年度も引き続き実施。NEDOも開発進捗の把握を目的に参加を継続する。

■ PL、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。

■ NEDOによる市場調査の実施 (平成28年度中を予定)

- ・有機ケイ素製造法及び有機ケイ素部材の市井ニーズに係る調査を実施予定。

- ・得られた結果は、本PJの技術開発マネジメントに活用する。

◎各種展示会でのユーザーヒアリングやWeb情報なども利用する。

◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢変化等への対応

情勢	対応
<p>(平成26年まで) 本PJは、平成24年度に経済産業省直執行として開始されたが、3年目となる平成26年度からNEDOに移管された。</p>	<p>技術開発マネジメントを強化する目的で、平成25年度まで産総研の再委託先であった大学4者に直接委託する体制とした。</p>
<p>(平成27年以降) 平成26年度の間評価において、産学官の綿密な情報交換のもとで効果的・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必要性についての指摘があった。</p>	<p>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。</p>

◆ 主な加速予算投入実績

件名	年度	金額 [百万円]	目的	主な成果
<p>触媒、化合物の合成数増加、工業化プロセスを見越したサンプル評価数増加</p>	<p>平成26～28年度</p>	<p>577</p>	<p>有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発において、適用可能な触媒の開発、及び触媒開発による砂からの有機ケイ素原料や高機能有機ケイ素部材を製造する革新的技術を確立する。また、有機ケイ素部材の高性能化や製造プロセスの省エネ化、低コスト化を達成し、更なる市場拡大を実現するために以下を加速・拡充させる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・将来目標の1kgスケールアップ、更にその先の工業化を見据えたプロセスを評価する指標の探索 ・触媒コスト低減や新規有用有機ケイ素化合物の合成 	<p>本財源は、以下の促進事項に使用した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・将来のスケールアップ検討の一部を実施しプロセス評価の確度を高めた。 ・触媒開発とそれを用いた新規有機ケイ素化合物の対象を広げることで、工業化に有利な技術獲得と、それら候補の絞り込みを促進できた。 ・シラノール原料を実用性の高いシロキサン類に変換するための触媒候補について拡充した。

◆ 主な加速予算投入実績(詳細: 主な投資項目)

課題	個別 件名	年度	金額 [百万円]	目的	主な成果見込み
①	スケールアップ合成反応装置	平成27年度	20	スケールアップ検討強化 プロセス評価の拡充	6年目以降予定しているスケールアップ検討を一部実施することで、プロセス評価の確度を高める。それによって、H28年度末までに、反応経路と触媒の組み合わせの絞り込みを、高い精度で実現する。
	プロセスシミュレーションソフト	平成27-28年 (2年)	14		
	ポスドク増員 2名	平成27-28年 (2年)	15	合成系とプロセス系の検討強化	実験点数2.5倍増
	派遣研究員 増員1名	平成27-28年 (2年)	9	合成系とプロセス系の検討強化	

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

◆ 主な加速予算投入実績(詳細: 主な投資項目)

課題	個別 件名	年度	金額 [百万円]	目的	主な成果
②	流通反応装置	平成27年度	5	Si-O結合からSi-H・Si-C結合形成触媒の開発加速。固体触媒を活用した高温反応条件化でのSi-H、Si-C結合形成反应用触媒の探索対象を拡充。錯体触媒についても検討対象を拡充。	予定よりも触媒開発の対象を広げ工業化により有利な製造技術を獲得。
	比表面積測定装置	平成27年度	8	固体触媒等の比表面積を測定。増員に伴い必要	
	阪大への再委託(触媒、人件費+装置・消耗品、旅費等)	平成27-28年 (2年)	16	大阪大のナノ粒子触媒開発。	基礎データを取得することで技術の理解を深め、最適な微粒子触媒への絞り込みに寄与。
	NMR	平成27年度	105	微粒子触媒の開発及び解析の強化、並びにビルディングブロックとなる種々シラノール類の合成・単離及び大量製造法開発の強化。	予定より多種のシラノール類の合成・単離法開発による基盤技術の拡充及びシラノールを反応原料として利用できる状態の早期確立により、実用性の高いシロキサン製法の開発検討の充実に寄与。
	ラマン分光器	平成27年度	20	測定結果の高精度化	
	GC-MS	平成27年度	12	増員に伴う増強	
	ポスドク増員 3名	平成27-28年 (2年)	33	シラノール合成と活用の方、ジシランの合成と取り扱い	構造制御されたオリゴ・ポリシロキサン製法開発検討の充実に寄与。特に、シラノールを反応原料とする部分とジシランの合成の充実に寄与。
	派遣研究員増員 3名	平成27-28年 (2年)	25	シラノールの活用部分、ジシランの合成と取り扱い	

◆ 中間評価結果への対応

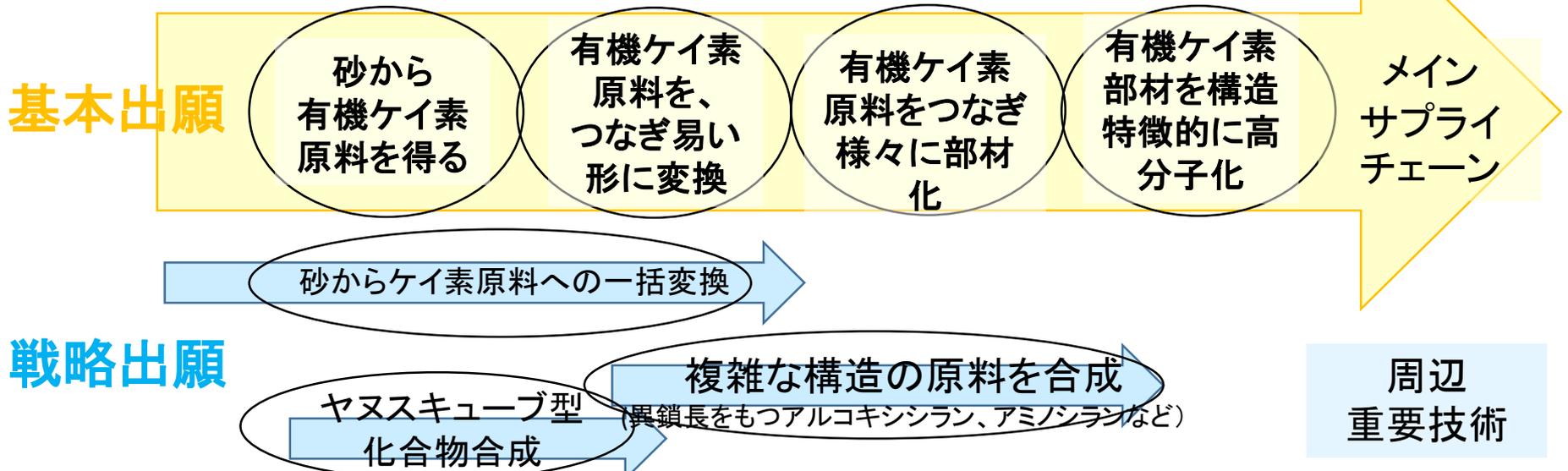
指摘		対応
1	研究項目①(砂から有機ケイ素原料を製造)において、エネルギー消費、経済性が従来プロセスに比較してどの程度改善されるかの評価を実施。研究項目②(多様な機能性有機ケイ素部材の製造)について具体的機能を早い時期に想定すること。	研究項目① 民間共同実施者と共に研究開発を進めることで、現行比較での経済優位性を考えたプロセスを開発した。 研究項目② 民間より共同実施者を募集することで、川下での有機ケイ素部材展開の明確化を行った。
2	中間原料を絞り込み、実験室レベルでの一気通貫の実証を実施すること。	(H29年度以降、各工程でのサンプル量が得られてから実施することを計画)
3	商業化を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	早期の商業化を企図するため、民間複数社と共同研究実施体制性を構築し、市場で求められている具体的な化合物を製造するために必要な要素技術について開発した(指摘6,7とも対応)
4	アルコキシシラン、アリアルシラン類の合成について、要素技術開発の具体的な道筋を示すこと。	両化合物の合成について、ナノ金属触媒を使用することで達成した。
5	プロジェクト全体において開発比重が大きい砂から汎用有機ケイ素原料を製造するプロセスに関し、研究資本の投入を図ること。	同プロセスに関して加速資金を投入し、原料評価手法の明確化などを行うことで、複数の製造プロセス候補を見出した。
6	研究開発メンバーが有機金属化学に偏っているため、問題のとらえ方が有機化学的視点に偏る恐れがある。無機化学やプロセス工学の研究者の参加を受け入れること。	無機化学の研究開発の中心となる研究者を2名増強。また、共同実施先として同分野で事業を持つ民間1社との綿密な連携研究を開始した。
7	技術委員会メンバーに企業からの参画者を増やすべき。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、研究推進加速予算を活用し、支援体制を構築すべき。	研究加速予算を利用し、民間の複数社と短期間で成果が見込めるサブテーマについて、その技術を集中的に開発した。成果は共同出願されている。

◆ 知的財産権等に関する戦略

➤ 有機ケイ素PJにおける技術のオープン／クローズ領域

	非競争域	競争域		非競争域	競争域
公開	触媒寿命評価等	<ul style="list-style-type: none"> 新規触媒合成技術 新規有機ケイ素化合物製造方法 	積極的に権利化	学会・論文・講演会等発表	特許出願
非公開	—	有機ケイ素・触媒原料の選択		(未公開分含む)	109件 (内H27-H28.8 現在63件)

➤ 戦略的出願(製造プロセス、新規化合物、触媒)



◆知的財産管理

◆知財マネジメント方法（以下方針に準拠）

1. 経済産業省にて整理した「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PLの所属団体とプロジェクト参加者に帰属。
- ・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。
- ・大学へは不実施補償なし。

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。