

ナノテク・部材イノベーションプログラム
グリーン・サステナブルケミカルプロセス基盤技術開発
資源生産性を向上できる革新的プロセス及び化学品の開発

「副生ガス高効率分離・精製プロセス

基盤技術開発」(中間評価)

(2009年度～2013年度 5年間)

プロジェクトの概要(公開)

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
環境部

2011年 6月 9日

1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

公開

背景1

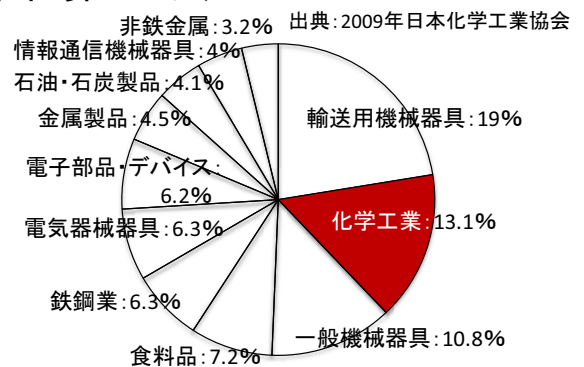
我が国の化学産業の特長(出荷額・世界シェア)

我が国の製造業の中で出荷額、付加価値額は共に第2位

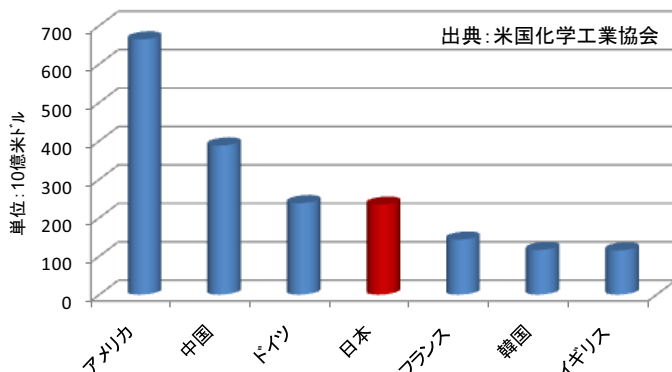
- **出荷額**は約40兆円で製造業全体の約13%
輸送機器製造業に次ぐ**第2位**
- **付加価値額**は約17兆円で製造業全体の約16% **製造業第2位**
- 1人当たり、付加価値額でも第2位

世界の中で、日本の化学工業の出荷額は世界第4位
高度部材では、圧倒的な世界シェアを確保

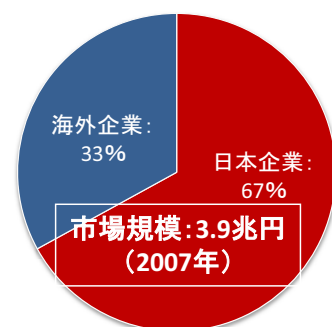
- 日本の化学工業の出荷額は、2,340億ドルであり、アメリカ、中国、ドイツに次いで**世界第4位**(2007年)
- 半導体用材料、液晶用材料等の高度部材産業において、日本企業は**世界シェアの65~100%**を占める
- 例えば、半導体用封止材は、世界市場1,145億円でシェア100%
液晶用カラーフィルターは世界市場4,270億円でシェア100%



製造業全体出荷額: 337兆円(2007年)



世界の化学工業出荷額比較(2007年)



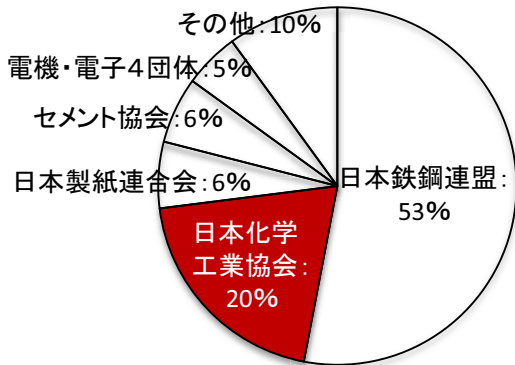
半導体製造用日系企業シェア
出典: 2008半導体材料データブック

背景2 化学産業の課題【エネルギー消費、産業廃棄物】

化学産業は、エネルギー多消費であり、かつ廃棄物大量排出型産業である。

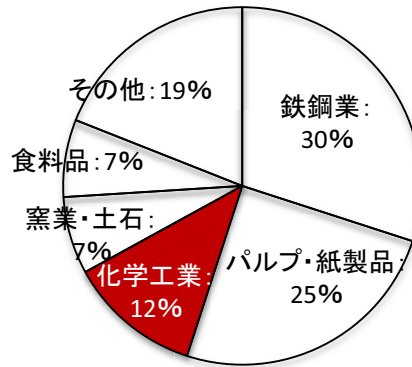
- 化学産業のCO₂排出量は、年間0.7億トンで、製造業全体の約20% → 鉄鋼産業に次ぎ2番目に多い
- 化学産業の産業廃棄物排出量は年間0.17億トンで製造業全体の約12% → 鉄鋼産業、パルプ・紙産業に続き、製造業で3番目

産業部門全体の排出量: 363百万t-CO₂



業種別二酸化炭素排出量
(2006年度実績)
出典: 産構審

製造業全体: 1.41億トン



産業廃棄物の業種別排出量
(2005年度実績)
出典: 環境省調べ

背景3 化学業界に関する環境負荷低減の動向
化学産業

従来: 高効率、低コスト
優先

資源・エネルギーの多消費、多量な産業廃棄物排出

1995年

レスポンシブル・ケア
環境負荷低減
「持続可能な社会の
構築を目指す」

- 米国 : グリーンケミストリー
- 欧州 : サステイナブルケミストリー
- 日本 : グリーン・サステイナブル・ケミストリ(GSC)
(2000年GSCN設立: 普及活動)
- ・人と環境の健康、安全
- ・省資源、省エネルギー

2009年

NEDO 【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】

資源、エネルギー、環境の制約問題を克服し、高機能な化学品の持続的製造を可能とする基盤技術の確立を目指す

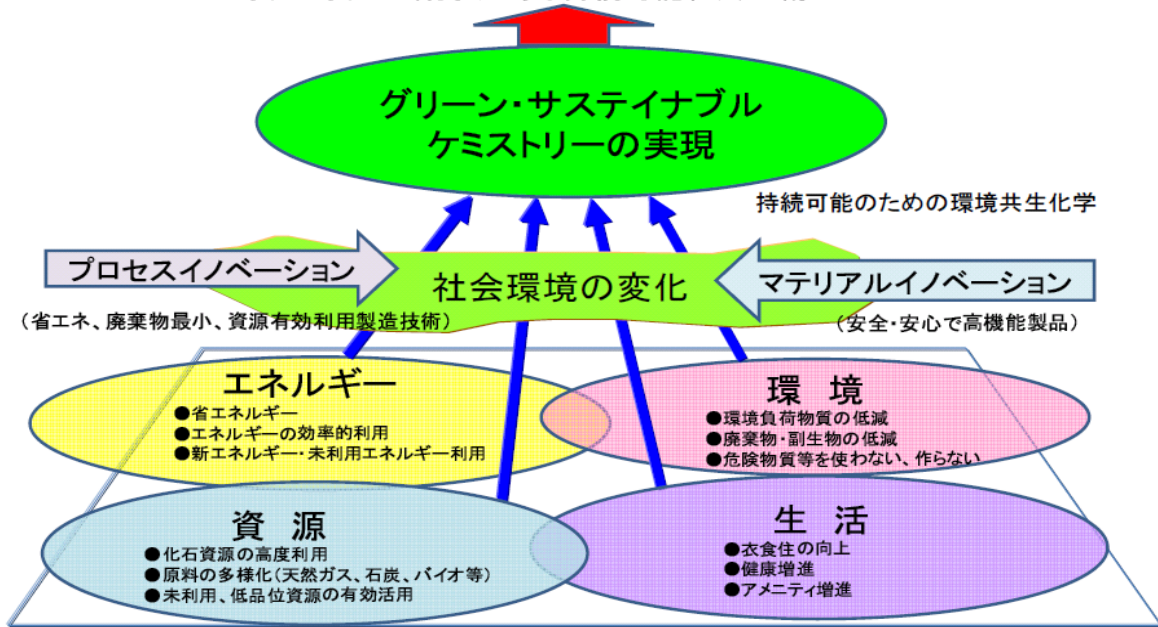
また、本プロジェクトは、総合科学技術会議において示された「グリーン・イノベーション」事業の一つである「グリーン・ケミストリ」として位置づけられており、革新的技術開発の推進に向けた取り組みを開始

位置付け1

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス(GSC)とは

GSC概念図

GSCはエネルギー、資源制約を克服して、環境との共生を図ると同時に、生活の質的向上を図ることで、安全・安心で競争力のある持続型社会を構築するために必要な化学技術の体系である
安全・安心で競争力ある持続可能社会の創生



位置付け2

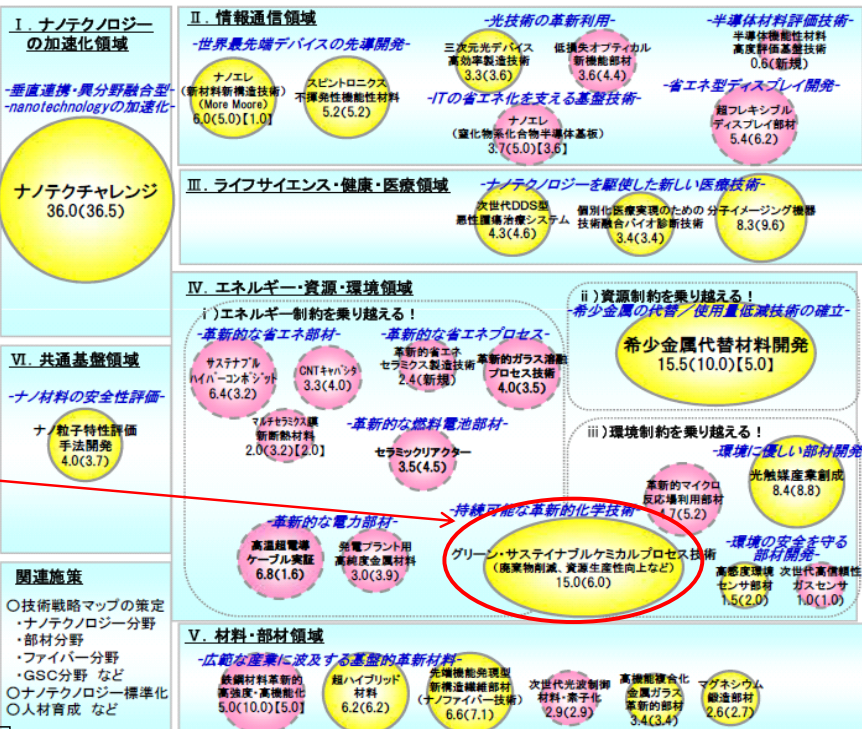
経済産業政策(イノベーションプログラム)におけるGSC

2. ナノテク・部材イノベーションプログラム

【平成21年度予算額：188億円】

※各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)【20年度補正予算】

○あらゆる分野に対して高度化・不連続な革新をもたらすナノテクノロジー・革新的部材技術を確立する。
○我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服を可能とする。



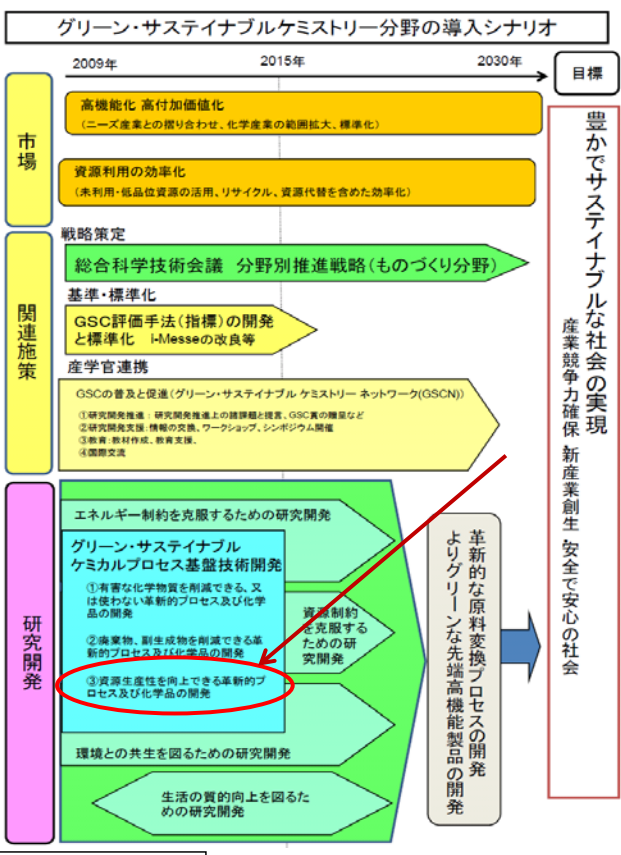
IPGの目標

- ナノテクによる非連続技術革新-
世界に先駆けてナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。
- 世界最強部材産業による価値創出-
我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに、部材産業の付加価値の増大を図る。
- 広範な産業分野での付加価値増大-
ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。
- エネルギー制約・資源制約などの課題解決-
希少金属などの資源制約の打破、圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

位置付け3

GSCの導入シナリオとロードマップ



グリーン・サステイナブルケミストリー(GSC)ロードマップ概要

課題領域	2010年 2020年 2030年 2050年			
	短期課題	中期課題	長期課題	
エネルギー	グリーン製造化学プロセス			
	熱エネルギー高効率変換利用技術			
	再生可能エネルギー			
	高効率水素製造			
資源	低品位資源利用技術			
	次世代蓄電材料技術			
	稀少金属の有効利用と代替材料技術			
	非枯渇性資源の化学品・材料化			
	易リサイクル加工用材料・プロセス			
	CO2分離・回収・利用技術			
環境	ハザード管理されたハロゲン製品			
	製造工程廃棄物・副生物の大幅削減			
	環境負荷が小さい製品			
	環境負荷が小さい加工プロセス			
生活	革新的燃焼による大気環境の保全			
	日用品の快適性向上と低消費化			
	食の安全と量の確保			
共通	快適な省資源型ロングライフ住宅			
	輸送システム(低環境負荷・高利便性交通輸送システム)			
				水(良質な水資源確保システム)

1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

位置付け4

NEDOで実施中のGSCプロジェクト

廃棄物削減

- 化学プロセスの30%をしめる酸化反応のクリーン化を行い、産業廃棄物を削減する **革新的酸化プロセス**

- 有害な有機溶媒を用いずに、化学反応を水中で行うことを可能にする **革新的アクア・固定化触媒技術**

有害物質削減

CO₂削減

- 低品位化する化石原料に対応、かつ収率を高効率化する **ナフサ接触分解炉技術**
- 石油化学工業の約40%のエネルギーを消費する分離プロセスの消費エネルギーの約50%削減する **革新的膜分離技術**
- 化学工場や製鉄所より大量に排出されるCO₂等の **高濃度回収技術**

- 化石原料に依存している化学品原料の転換・多様化を可能とする **革新グリーン技術の開発**

原料多様化

位置付け5

資源生産性を向上できる革新的プロセス及び化学品の開発(CO₂削減)

化学合成、生成物分離、副生ガス分離等に対して大幅な消費エネルギーを削減できるクリーンプロセスを開発するために必要な膜材料、分離材料、吸着剤、選択加熱法による革新的な技術を開発する。

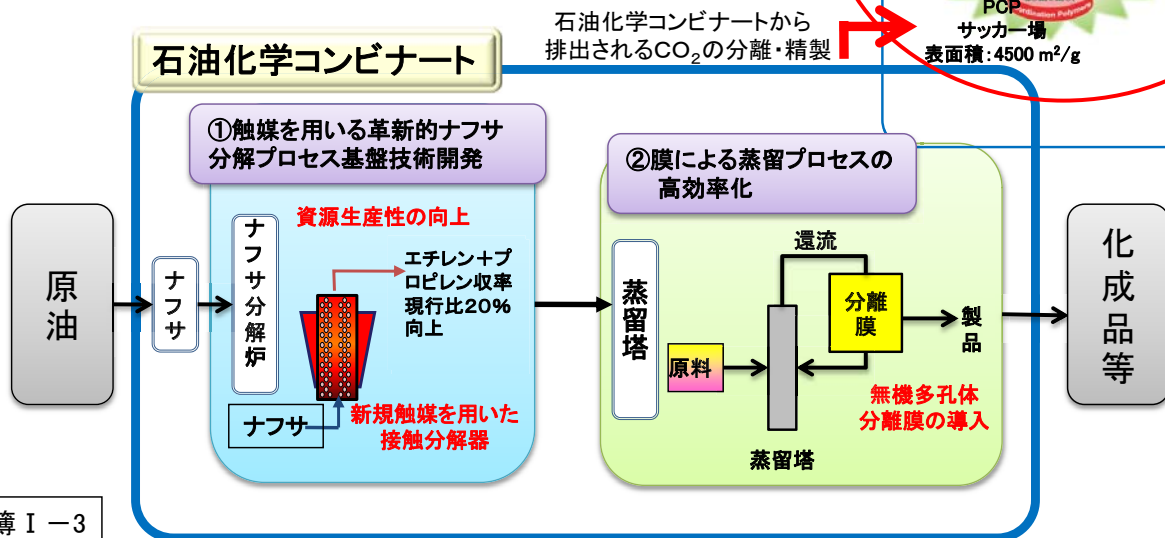
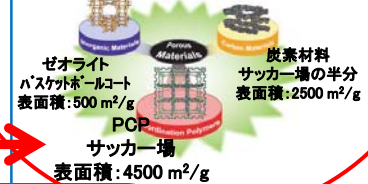
特に、化学産業においてエネルギー消費、CO₂排出量が多大な、石油化学プラントの省エネ化、CO₂削減を目指した技術開発を行う。

具体的には、

- ①低品位化する化石原料に対応、かつ収率を高効率化する
接触分解炉技術
- ②石油化学工業の約40%のエネルギーを消費する分離プロセス
の消費エネルギーの約50%削減する革新的膜分離技術
- ③化学工場や製鉄所より大量に排出されるCO₂の高濃度回収技術

③副生ガス高効率分離・精製プロセス基盤技術開発

多孔性金属錯体(PCP)を活用



事業の妥当性

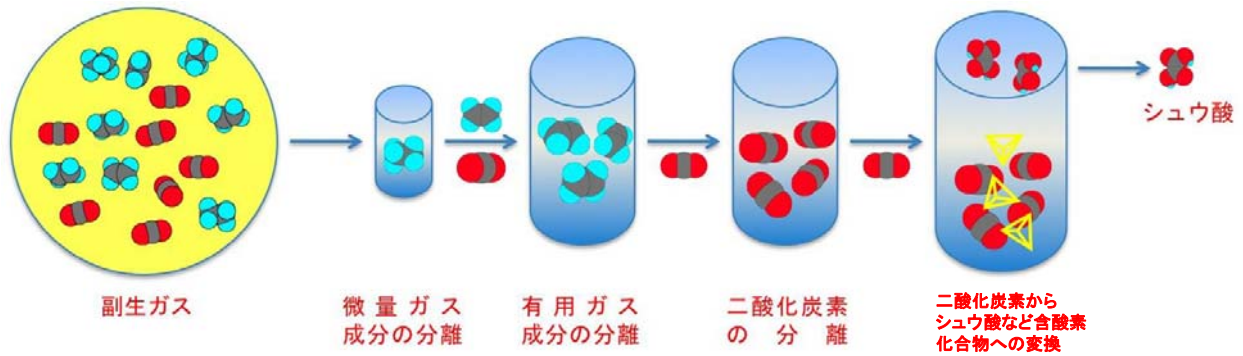
CO₂の削減は、重要且つ喫緊の課題であり、CO₂の利用含めた対策はこれまでも種々検討されているが、決定的な方策は見出せていない。

本事業は、革新的な材料である多孔性金属錯体(PCP/MOF)を用いて、以下の開発を行う。

- ①CO₂等副生ガスの高効率な分離・回収技術
- ②副生ガス中CO₂のグリーンな反応プロセス技術

事業の目的

- ①副生ガスの分離・精製材料の開発
- ②副生ガスによるグリーンプロセス技術の開発

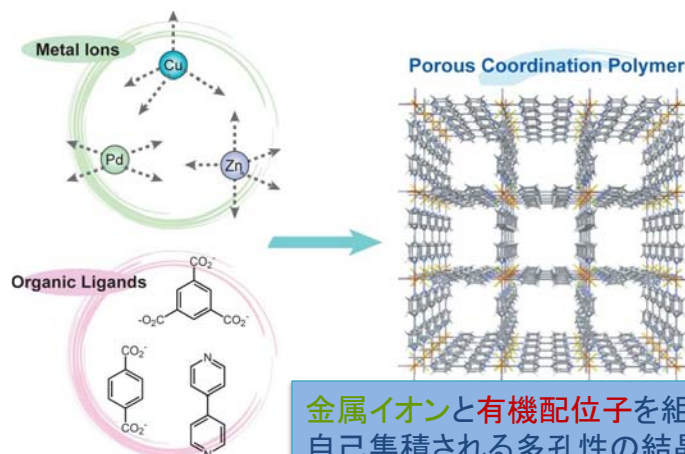


事業の内容

- ①マイルドな条件で効率良く吸着・脱離できる革新的な分離材料
(多孔性金属錯体:PCP/MOF)の開発
- ②高濃度に濃縮された副生ガスから有用な化学品をグリーン
に生産する基盤技術の開発

PCPとは？

Porous Coordination Polymer
 (多孔性配位高分子)
 又は
Metal Organic Framework
 (多孔性金属錯体)



金属イオンと有機配位子を組み合わせ
 て自己集積される多孔性の結晶性の固体

意義

NEDOが関与する意義

革新的な材料として期待されているPCPは、アカデミック分野においては世界を先導しているが、産業への応用についてはコンソーシアムによる検討が開始された欧米の先行を許している。

我が国の化学産業の基盤強化のため、以下の理由からNEDOが産学官連携体制で推進すべき事業と考えられる。

- 大学のみでは実用化への結び付けが困難
- 実用化例がなく単独企業では投資リスクが大きい

効果

実施の効果 (費用対効果)

○費用の総額 9億円(3年間)

○効果

①分離・精製材料の開発

- ・既存のプロセスと比較し、分離に要するエネルギーを大幅に低減

②グリーンプロセス技術の開発

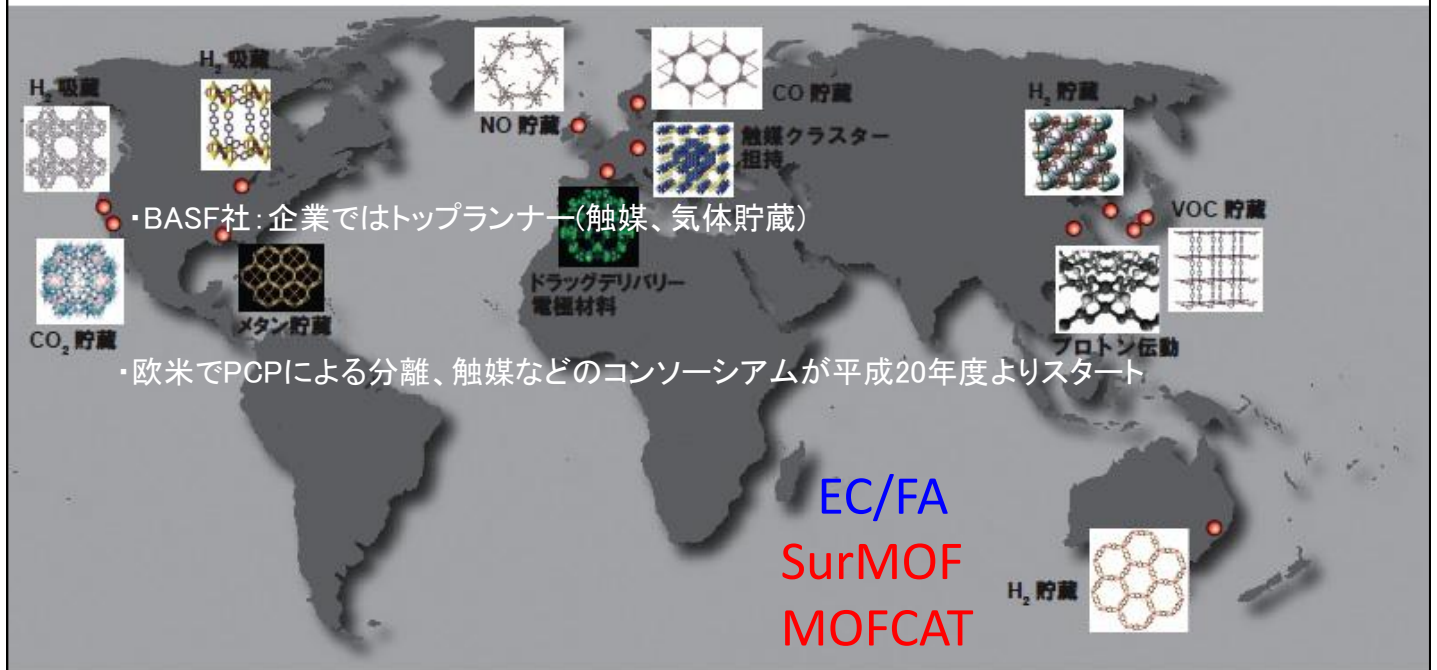
- ・二酸化炭素を原料とした化学品製造の新たな基盤技術

③波及効果

- ・低品位ガスの資源化
- ・PCP複合触媒による高効率反応プロセス

海外動向1

PCPを取り巻く世界の潮流



海外動向2

海外におけるコンソーシアムの一例

DeSANNS (**D**esign **S**ynthesis and **A**pplication of **N**ovel **N**anoporous **S**orbents)
 2006年～2008年 348万ユーロ(約3.8億円) 英・仏他各国の大学、国研等多数参加

後継プロジェクト

MACADEMIA (**M**etal-organic frameworks **A**s **C**atalysts and **A**dsorbents:
Discovery and **E**ngineering of **M**aterials for **I**ndustrial **A**pplications)
 2009年～2013年 1156万ユーロ(約13億円)
 大学、国研等に加えBASF(独)、TOTAL(仏)等の企業も参加

MACADEMIAの課題・目的

気相分離	プロペン/プロパン分離、酸性ガス分離、水素精製等
液相分離	キシレン分離、炭化水素からの窒素、硫黄化合物の回収等
触媒反応	エポキシサイドの重合触媒、水素自動酸化触媒等

目的の妥当性1

CO₂の分離・濃縮技術

既存技術	概要	長所	短所	適用例
アミン法	混合ガス中のCO ₂ をアミン溶液で吸収。吸収液を加熱してCO ₂ を分離・回収	・回収率が高く、比較的濃度のCO ₂ の回収可能 ・大型化が比較的容易	・吸収液の再生に多量の熱エネルギーが必要 ・吸収液が高価 ・SO _x , NO _x 等による吸収液の劣化	石油精製プラント
熱炭酸カリ法	混合ガス中のCO ₂ を炭酸カリウム溶液で吸収。吸収液を加熱してCO ₂ を分離・回収	・アミン法に比べCO ₂ の回収エネルギーが小さい	・吸収液の反応性が低い ・加圧下での運転が必要	アンモニア合成プラント
PSA法	吸着剤で混合ガス中のCO ₂ を選択的に吸着。吸着後に減圧しCO ₂ を放出させ回収	・吸収法よりランニングコストが安い ・比較的装置が簡単	・CO ₂ 回収率が低い ・SO _x , NO _x 等の前処理が必要 ・CO ₂ 回収のための所要動力が大きい	コークス炉ガス

革新的吸着材料の開発により改善へ

目的の妥当性2

回収CO₂によるグリーンプロセス技術

CO₂を化学品の原料として利用することも種々検討されているが、CO₂は極めて反応性の低い物質であり、反応に要するエネルギー等も考慮すると、**トータルでCO₂が削減できる実用的なプロセスは未だ確立されていない。**

本事業では、CO₂からシュウ酸等の合成をモデル反応として検討することにより、**CO₂を原料とした新規プロセスの試設計を行う。**

事業の目標 (2011年度 中間目標)

化学プロセス等から発生する副生ガスをマイルドな条件で効率良く吸着、脱離することで、高純度、低コスト、低エネルギーで精製できる革新的な材料を開発し、濃縮された副生ガスを原料として有用な化学品をグリーンに生産できるプロセスの開発を目指す。

①副生ガスの分離・精製材料の開発

・副生ガスの分子サイズに合わせた多孔性金属錯体等の分子設計を行い、副生ガスとしてのCO₂等を高濃度(95%以上)に濃縮でき、かつ高選択に分離する材料を開発する。

②副生ガスによるグリーンプロセス技術の開発

・95%以上に濃縮された副生ガスを原料として、目的生成物の選択率が60%以上となる化学プロセスに関する試設計を行う。

プロジェクトとしての目標・根拠 (基本計画)

研究開発項目	研究開発目標	根拠 ^{*)}
①副生ガスの分離・精製材料の開発	分離後のCO ₂ 濃度 (2013年度末目標) 95%以上 99.9%以上)	化学品原料として用いる際の純度を考慮
	CO ₂ 吸着エネルギー (2013年度末目標) 40kJ/mol以下 30kJ/mol以下)	実用的な材料として、既存材料を凌駕する世界最高のレベル
	CO ₂ 分離度 (2013年度末目標) 150以上 300以上)	実用的な材料として、世界最高のレベル
②副生ガスによるグリーンプロセス技術の開発	選択率(電流効率) (2013年度末目標) 60%以上 80%以上)	世界最高レベルの効率

*)基本的に中間目標は最終目標(2013年度末目標)に対するマイルストーンであり、最終目標の根拠を記す

個別開発項目及び目標 (各企業の実用化を考慮)

	項目	目標
①副生ガスの分離・精製材料の開発	1) CO ₂ ガスの分離・精製材料の開発	CO ₂ 濃度≥95%、分離度≥150、吸着エネルギー≤40kJ/mol
	2) メタン精製用多孔性金属錯体の開発	高分離度の達成 脱離の低エネルギー化
	3) CO ₂ /エチレン分離用多孔性金属錯体の開発	基本骨格の探索(候補PCP抽出) スケールアップ合成
	4) 多孔性金属錯体による微量ガス分離材の開発	活性炭同等以上の候補PCP抽出 スケールアップ合成
②副生ガスによるグリーンプロセス技術開発	1,2) 触媒基盤技術の開発	選択率(電流効率)≥60%
	3) 液相法による多孔性金属錯体複合触媒の開発	PCP複合触媒の調製 試設計プロセスの要件検討
	4) 気相法による多孔性金属錯体複合触媒の開発	PCP複合触媒の調製 試設計プロセスの要件検討

開発スケジュール及び予算

▲: 基本原理確認 ●: 基本技術確立

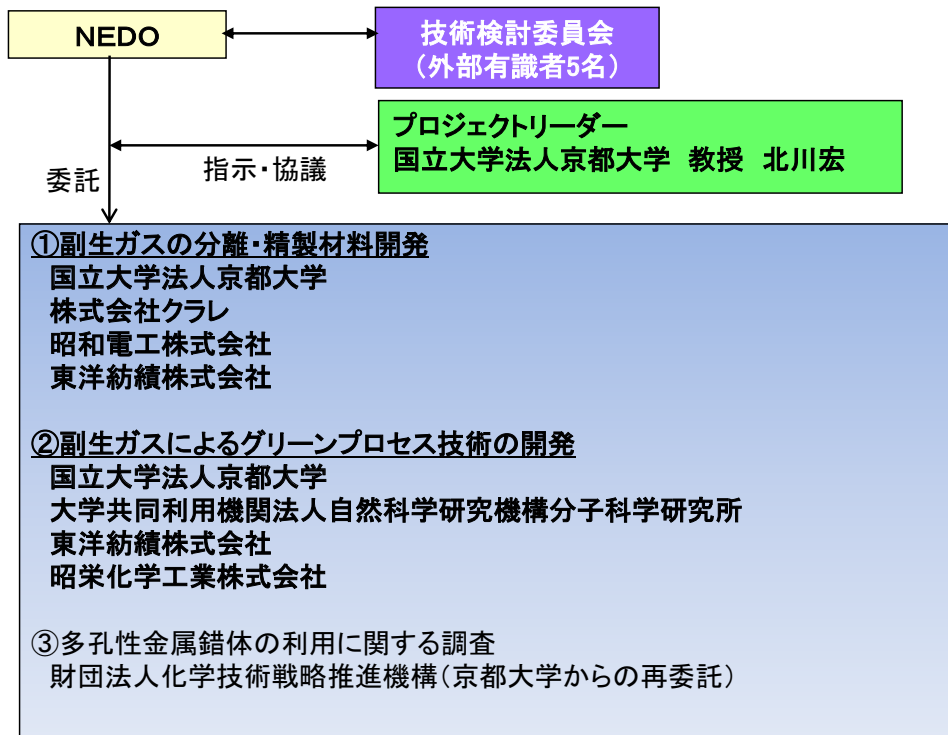
	H21年度	H22年度	H23年度	中間目標	H24～H25年度	最終目標
①副生ガスの分離・精製材料の開発				CO ₂ ≥95% 分離度≥150 吸着エネルギー≤40kJ/mol		CO ₂ ≥99.9% 分離度≥300 吸着エネルギー≤30kJ/mol
②副生ガスによるグリーンプロセス技術の開発				選択率(電流効率)≥60%		選択率(電流効率)≥80%

予算

年度	H21年度	H22年度	H23年度	合計
予算額(百万円)	241	476	159	876

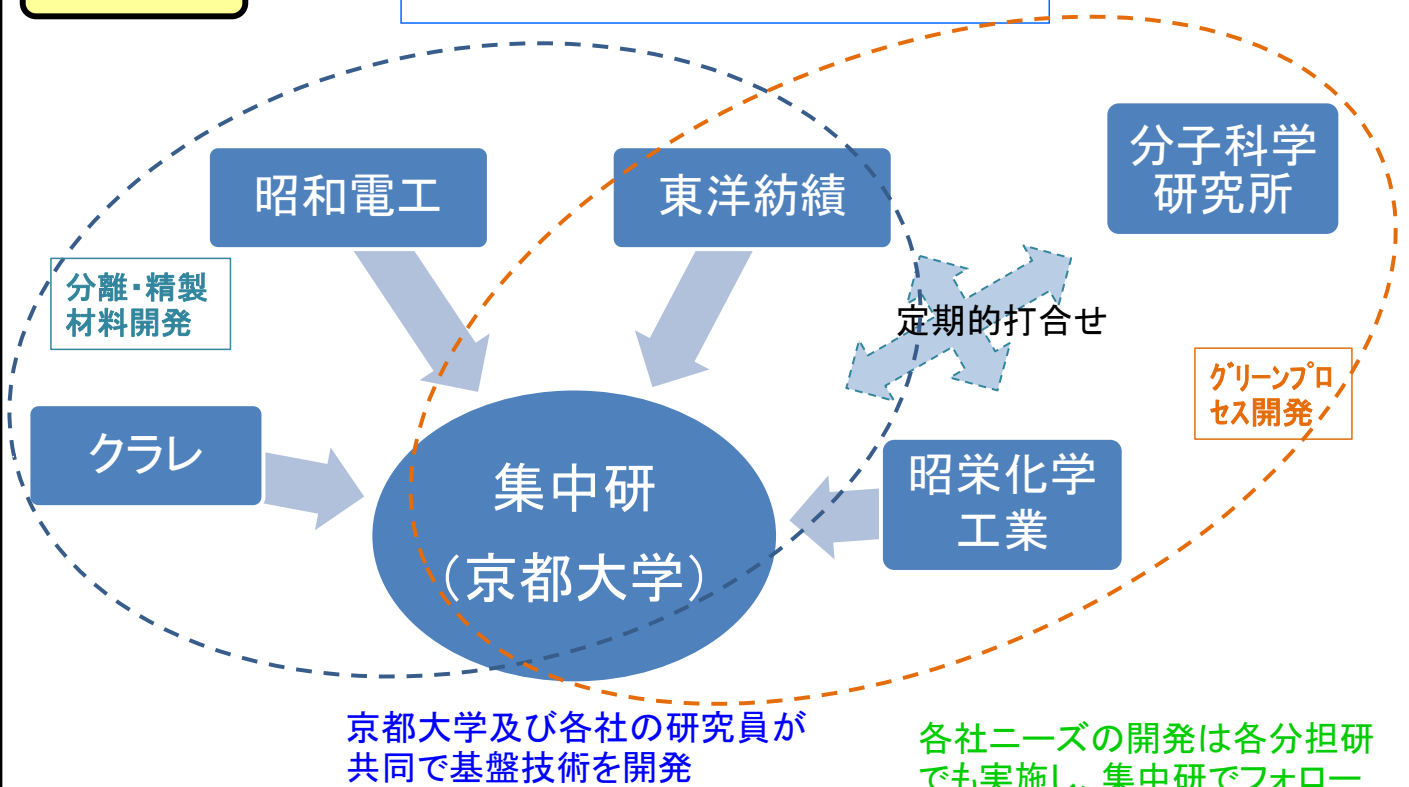
体制1

研究開発の実施体制(H22年度)



体制2

集中研方式による基盤技術開発



マネジメント

本開発におけるNEDOのマネジメント

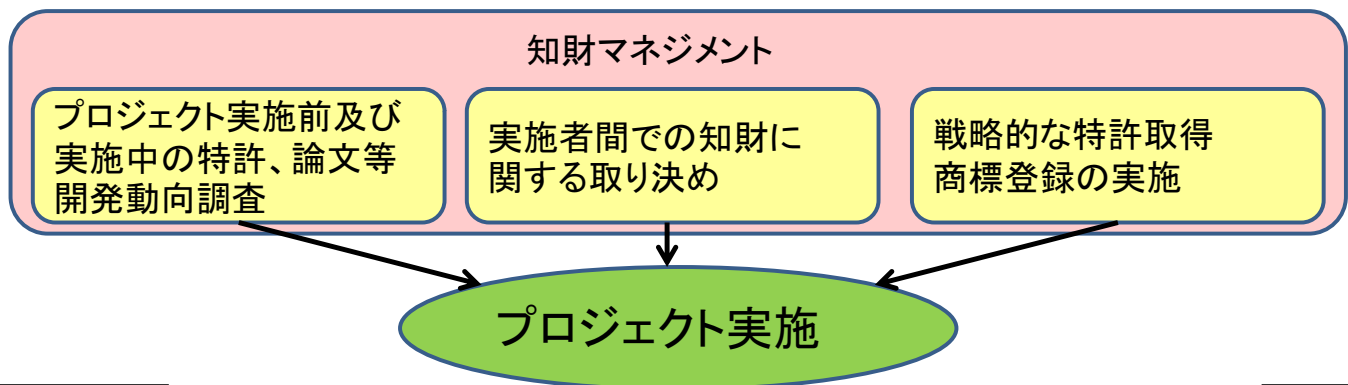
○実施者と外部有識者との連携の強化

- ・技術検討会等にて外部有識者から効果的な指導、助言を受けられるよう、実施者との連絡を密に行いプロジェクトの課題の明確化と共有化を図った
- ・技術検討会での指導、助言をプロジェクトに反映すべく、フォローの充実を図った

○効率的な資金投入による開発加速

- ・基盤技術開発として当初計画以上の成果を得たため、実用化の前倒しを目指して加速資金の投入を行った

実施者による知財等のマネジメント



委員会等

○NEDO主催「技術検討委員会(年2回)」を開催

外部有識者(下記)の意見を運営管理に反映

委員名	所属等
戸嶋 直樹(委員長)	山口東京理科大学 教授
指宿 堯嗣	産業環境管理協会 常務理事
北島 昌夫	早稲田大学 客員教授
染宮 昭義	神鋼リサーチ 主席研究員
室井 高城	アイシーラボ 代表

運営管理への主な反映内容

- ・基盤技術開発の成果を受け、実用化検討としてPCPの成形方法及び成形体での評価を強化
- ・今後予想される分担研での課題対応への強化を図り、プロジェクトリーダーを補佐して実用化の支援を図るアドバイザーを設置

○プロジェクト側主催 技術推進委員会(年3回程度)、進捗報告会(月1回程度)

NEDOからも極力出席し、進捗管理を図った

加速

加速財源投入実績

時期	金額 (百万円)	目的及び概要	主な成果
平成22年 2月	61	開発サイクル高効率化のため、集中研に反応装置及び評価装置を導入	世界で初めて気相法による多孔性金属錯体の合成に成功
平成22年 6月	69	実用化時の課題検討着手のため、成形装置、評価装置等を導入	成形体による実用性評価に前倒しで着手
平成22年 11月	255	早期実用化のため、中量合成装置及び実ガス想定の評価装置等を導入	実ガス想定の評価装置立ち上げ中

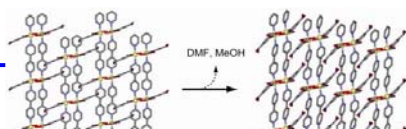
①-1 CO₂ガスの分離・精製材料の開発



CO₂分離における目標値の達成、およびより実際のニーズに近いガス分離向けPCPの検討開発を実施

(I) ガス分離向けPCP(ガス平衡系)の基礎探索

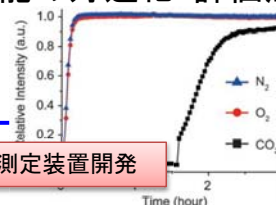
1. CO₂高分離能を有するPCP基礎構造の探索
2. 常温・常圧でCO₂を回収できるPCPの合成



柔軟性PCPによる高いCO₂分離能の発現

(II) ガス流通系の分離評価

3. CO₂分離向けPSA法に向けたガス吸着圧力の精密制御
4. 流通系CO₂/N₂混合ガスからのCO₂分離能の好適化・評価法の確立



破過曲線測定装置開発

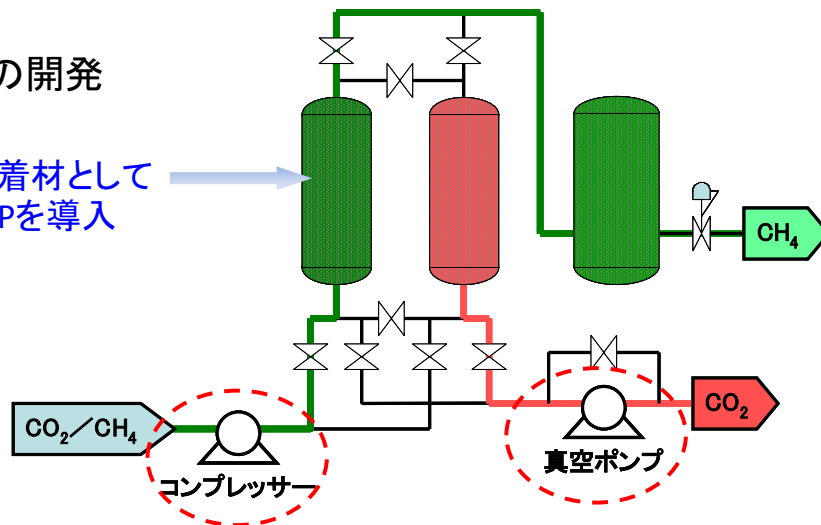
①-2 メタン精製用PCPの開発

kuraray



次世代分離吸着材の開発

吸着材として
PCPを導入



PSAで用いる吸着材を既存材料からPCPに置換え、省エネルギーを図る

消費電力の削減

- ・常圧での再生 → 真空ポンプ不要
- ・高いCO₂分離度 → コンプレッサー小型化
- ・圧カスイング幅狭化 → ブロワへの変更

①-3 CO₂/エチレン分離用PCPの開発

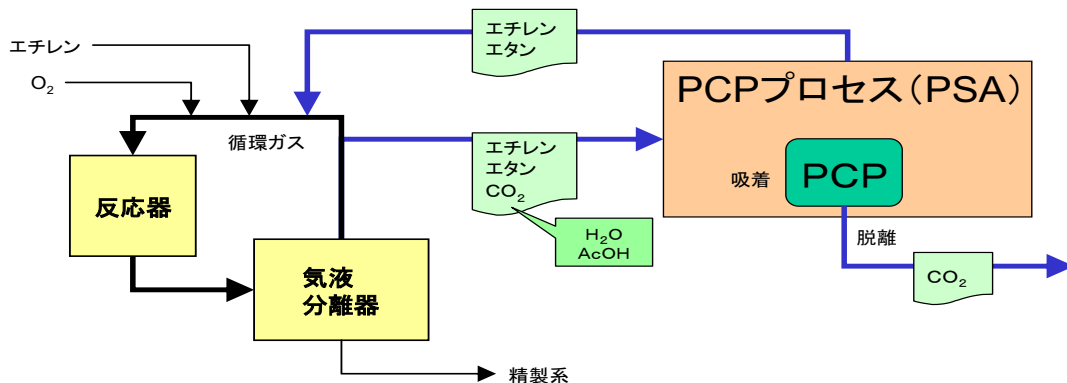
SHOWA DENKO



酸化反応プロセスのCO₂除去プロセスの省エネルギー化

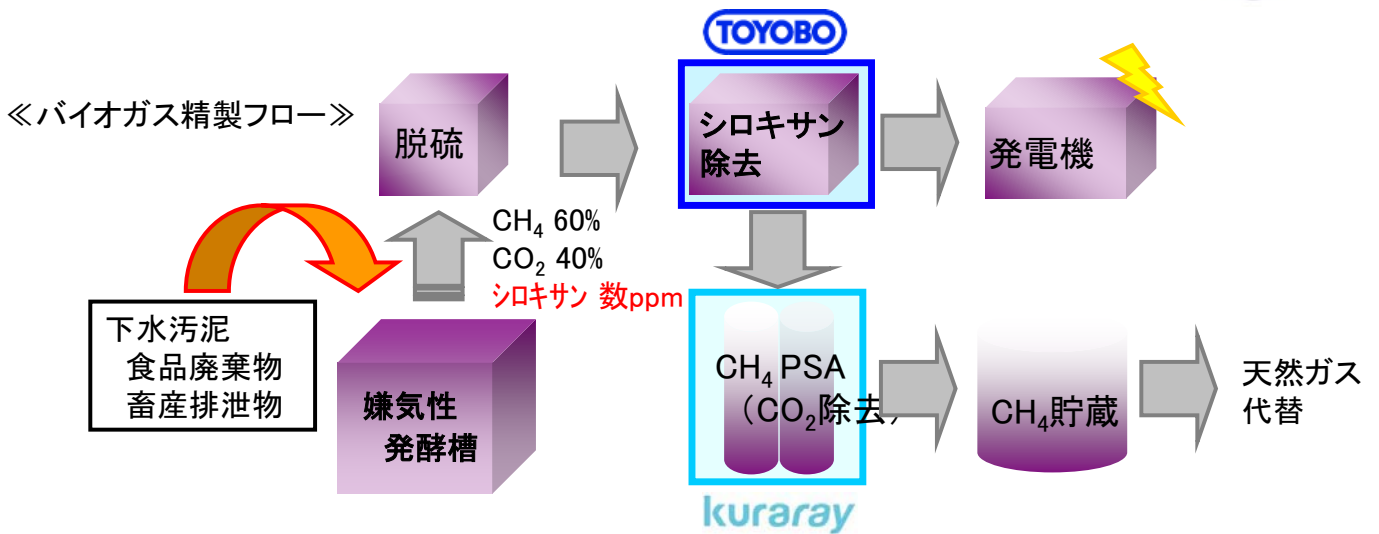
CO₂の選択的吸着分離

循環ガスからCO₂を吸着回収して、CO₂を分離する



熱炭酸カリ法からPCPを吸着材としたPSA法プロセスに代替し、
省エネルギー化を図る

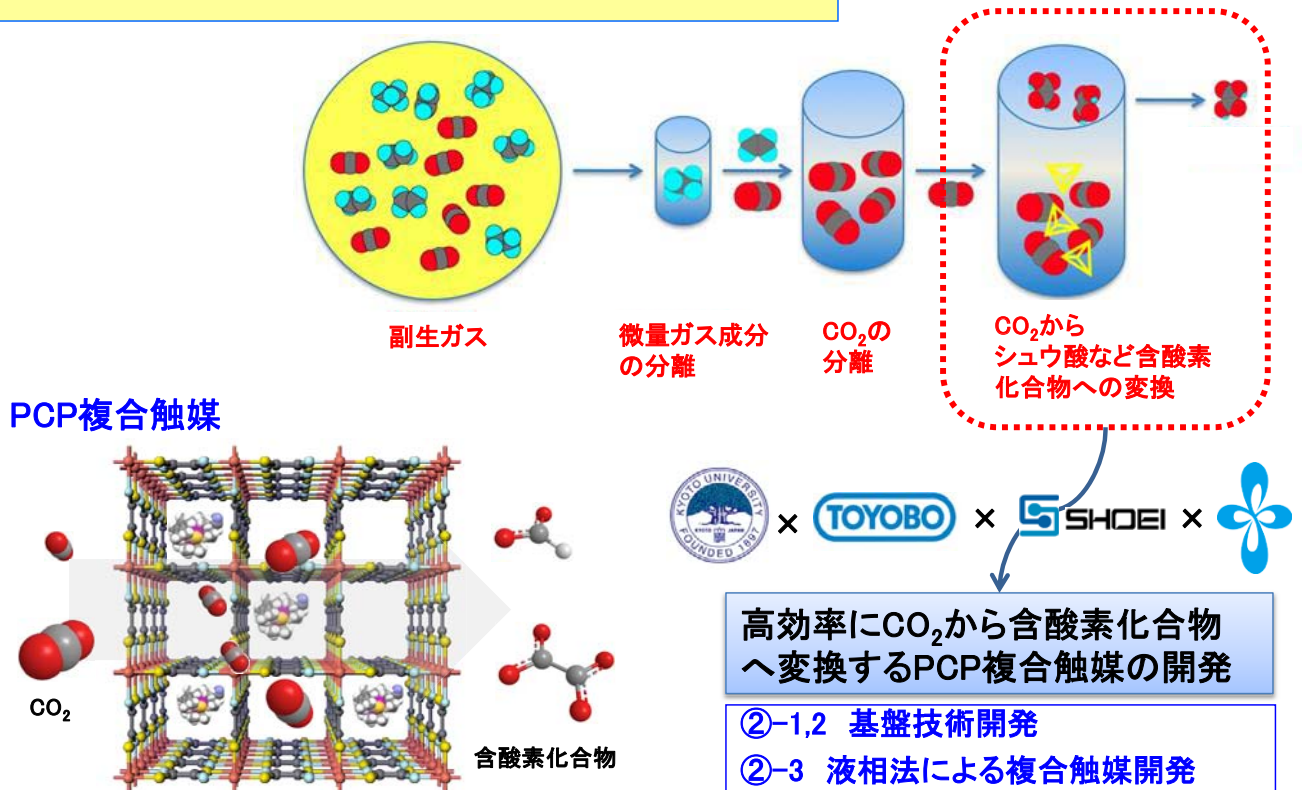
①-4 PCPIによる微量ガス分離材の開発



シロキサンD4除去の狙い 発電機、ボイラ等の発電効率低下を抑制

微量ガス吸着分離技術を活用し、シロキサン除去の実用化を狙う
他の微量ガス除去用途への展開も

② 副生ガスによるグリーンプロセス開発



高効率にCO₂から含酸素化合物へ変換するPCP複合触媒の開発

- ②-1.2 基盤技術開発
- ②-3 液相法による複合触媒開発
- ②-4 気相法による複合触媒開発

プロジェクト全体の目標の達成状況

開発テーマ	目 標	達成状況	達成度
① 副生ガスの分離・精製材料の開発	副生ガスの分子サイズに合わせた多孔性金属錯体等の分子設計を行い、副生ガスとしてのCO ₂ 等を高濃度(95%以上)に濃縮でき、かつ高選択に分離する材料(吸着エネルギーが40kJ/mol以下、分離度が150以上である材料)を開発する	新規開発したPCPIにて以下の性能を達成 ・CO ₂ 濃度 98% ・吸着エネルギー 35kJ/mol ・分離度 200	◎
② 副生ガスによるグリーンプロセス技術の開発	95%以上に濃縮された副生ガスを原料として、目的生成物の選択率が60%以上となる化学プロセスに関する試設計を行う	PCPとの複合化により、CO ₂ からの選択率(電流効率) 60%以上 を達成	○

達成度(◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達)

個別開発項目の目標達成状況

①副生ガスの分離・精製材料開発

個別開発項目	目 標	達成状況	達成度
CO ₂ ガスの分離・精製材料の開発	・以下の性能を有するPCPの開発 (CO ₂ 濃度 \geq 95%、 吸着エネルギー \leq 40 kJ/mol 分離度 \geq 150)	・目標を上回るPCPを開発 (CO ₂ 濃度 98% 、 吸着エネルギー 35kJ/mol 分離度 200)	◎
メタン精製用PCPの開発	・高分離度の達成 ・脱離の低エネルギー化	・分離度、脱離エネルギーの目標値を達成 ・スケールアップ合成、形態付与、評価装置検討に前倒して着手	◎
CO ₂ /エチレン分離用PCPの開発	・基本骨格の探索 (候補PCP抽出) ・スケールアップ合成実施	・目標性能を有するPCPIに目処 ・目標以上のスケールでの合成を実施し、形態付与も前倒して着手	○
PCPIによる微量ガス分離材の開発	・活性炭同等以上の候補PCP抽出 ・スケールアップ合成実施	・目標性能を満たすPCPを抽出 ・スケールアップ合成の装置導入し、形態付与にも前倒して着手	○

達成度(◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達)

個別開発項目の目標達成状況

②副生ガスによるグリーンプロセスの開発

個別開発項目	目標	達成状況	達成度
触媒基盤技術開発	・PCP複合触媒によりCO ₂ からシュウ酸等含酸素化合物の合成において電流効率60%以上の達成	・電気化学的安定性の高いPCPを抽出 ・PCPと触媒の複合化手法に目処 ・電流効率60%以上でギ酸生成に成功	○
液相法によるPCP複合触媒の開発	・PCP複合触媒の調製 ・試設計プロセスの要件検討	・液相法によるPCPと触媒の複合化に成功し、触媒単体より大幅に性能を改善 ・試設計プロセスに関わる要件を抽出	○
気相法によるPCP複合触媒の開発	・PCP複合触媒の調製 ・試設計プロセスの要件検討	・気相法によるPCPの合成に世界初で成功し、量産化技術の基盤に ・同法によりPCP複合触媒調製も実施し評価中	○

達成度(◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達)

研究開発全体としての成果

- ・柔軟構造的PCPの適用、理論計算の裏付けによる配位子の選定、固溶化手法の開発、触媒との複合化等、PCPの基盤技術として世界最高水準の開発成果を得ており、我が国の競争力強化への寄与が期待される
- ・シーズとニーズが融合し開発が促進された、オープンイノベーションのモデル

個別開発項目毎の成果

①副生ガスの分離・精製材料の開発

- ・CO₂等の濃縮及び個別ニーズに対応した分離・精製用PCPを開発
- ・分離性能に目処が立ったため、実用化を睨んだ性能評価、成形方法等について当初計画より前倒しで着手

②副生ガスによるグリーンプロセス技術の開発

- ・世界初の気相法によるPCP合成に成功し、大量合成が視野に
- ・触媒とPCPの複合化により活性が大幅に向上し、新たな高効率プロセス開発への適用が期待される

知財状況1

年度	H21	H22	H23	計
出願特許	5	11*)	2	18件
論文投稿	2	3	4	9件
研究発表・講演		3		3件
新聞・雑誌等への掲載		5		5件

*)PCT出願1件
含む

※ 平成21年度に商標登録を実施し、活用を図っている
(コーティフレックス、COORDIFLEX)

※ 平成23年5月末現在

知財状況2 論文等

論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	S. Horike(1), S. Kitagawa(1), <i>et al.</i>	(1)京都大学	Enhanced Selectivity of CO ₂ from a Ternary Gas Mixture in an Interdigitated Porous Framework	<i>Chem. Commun.</i> , 2010, 46 , 4258-4260	有	2010年
2	S. Horike(1), Y. Inubushi(2), S. Kitagawa(1), <i>et al.</i>	(1)京都大学 (2)櫛クラレ	Solid Solutions of Soft Porous Coordination Polymers for the Fine-Tuning of Gas Adsorption Properties	<i>Angew. Chem. Int. Ed.</i> , 2010, 49 , 4820-4824	有	2010年
3	堀毛悟史(1), 犬伏康貴(2), 北川 進(1)	(1)京都大学 (2)櫛クラレ	多孔性錯体を利用したCO ₂ の選択的分離	未来材料、7月号、2010 p.23-28	無	2010年
4	Y. Inubushi(1), S. Horike(2), S. Kitagawa(2), <i>et al.</i>	(1)櫛クラレ (2)京都大学	Modification of flexible part in Cu ²⁺ interdigitated framework for CH ₄ /CO ₂ separation	<i>Chem. Commun.</i> , 2010, 46 , 9229-9231	有	2010年
5	H. Kitagawa (1), <i>et al.</i>	(1)京都大学	Surface Nano-Architecture of A Metal-Organic Framework	<i>Nature Mat.</i> , 2010, 9 , 565-571	有	2010年
6	H. Kitagawa (1), <i>et al.</i>	(1)京都大学	Highly-crystalline Nanofilm by Layering Porphyrin MOF Sheets	<i>J. Am. Chem. Soc.</i> , 2011, 133 , 5640-5643	有	2011年
7	S. Horike (1), S. Kitagawa (1), <i>et al.</i>	(1)京都大学	Relationship between Channel and Sorption Properties in Coordination Polymers with Interdigitated Structures	<i>Chem. Eur. J.</i> , 2011, 17 , 5138-5144.	有	2011年
8	樋口 雅一(1) 北川 進(1)	(1)京都大学	金属錯体が魅せる空間科学 (夢を実現にする新しい空間材料~多孔性配位高分子)	化学と工業、 64 , 2011 p.397-399	無	2011年
9	S. Horike(1), S. Kitagawa(1), <i>et al.</i>	(1)京都大学	Differences of crystal structure and dynamics between soft porous nanocrystal and bulk crystal	<i>Chem. Commun.</i> , 2011, accepted	有	—

知財状況3 研究発表、新聞等への掲載

研究発表リスト

番号	発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者	所属
1	2010/09/07	MOF2010 (国際学会/ポスター)	Gas Separation Properties of Interdigitated Porous Frameworks	○犬伏康貴(1) 堀毛悟史(2) 北川 進 (2)	(1) 関クラレ (2) 京都大学
2	2010/09/15	第59回高分子討論会 (国内学会/口頭/招待発表)	多孔性配向ナノ結晶薄膜開発 ~表面構造解析に成功~	○堀毛悟史(1) 犬伏康貴(2) 北川 進(1)	(1) 京都大学 (2) 関クラレ
3	2010/09/28	第60回錯体化学討論会・第60回記念錯体化学OSAKA国際会議 (国際学会/口頭/一般発表)	Preparation of Solid Solutions of Porous Coordination Layer for Efficient Gas Separation	○堀毛悟史(1) 犬伏康貴 (2) 北川 進(1)	(1) 京都大学 (2) 関クラレ

新聞等掲載リスト

番号	発表年月日	掲載媒体	タイトル
1	2010/05/31	日本経済新聞	CO ₂ 吸収膜開発 ~5年後実用化へ アルコールなど合成~
2	2010/06/11	科学新聞	多孔性配向ナノ結晶薄膜開発 ~表面構造解析に成功~
3	2010/07/05	日本経済新聞 (電子版)	2人の「京大・北川教授」が相次ぎ開発 ~CO ₂ 吸収材に注目~
4	2010/08/02	THE NIKKEI WEEKLY	Seeing double: Promising advances in materials for CO ₂ absorption
5	2010/11/04	日経産業新聞	CO ₂ 吸収 低コストで 新素材開発、室温で

知財状況4 商標登録



最終目標と見通し

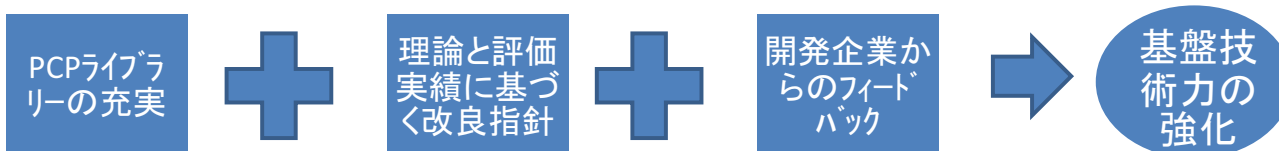
開発テーマ	最終目標(平成25年度末)	達成見通し
① 副生ガスの分離・精製材料の開発	・副生ガスとしてのCO ₂ 等を高濃度(99.9%以上)に濃縮でき、かつ高選択分離する材料を開発する。現在実用されているゼオライト、活性炭等の分離材料に比べて低い操作エネルギーで高選択的に副生ガスを吸着、脱離できる新規材料を開発する。 (副生ガスの吸着エネルギー 30kJ/mol以下、分離度 300以上)	・数値目標に関しては、これまでの知見及び理論的サポートによるファインチューニングで達成可能 ・個別の開発項目についても、開発指針が明確になりつつあり、達成可能な見込み
② 副生ガスによるグリーンプロセス技術の開発	・99.9%以上に濃縮された副生ガスを原料として、目的生成物の選択率が80%以上となる化学プロセスに関する試設計を行う。	・複合触媒の調製法の最適化等により達成可能な見込み

本事業の実用化とは

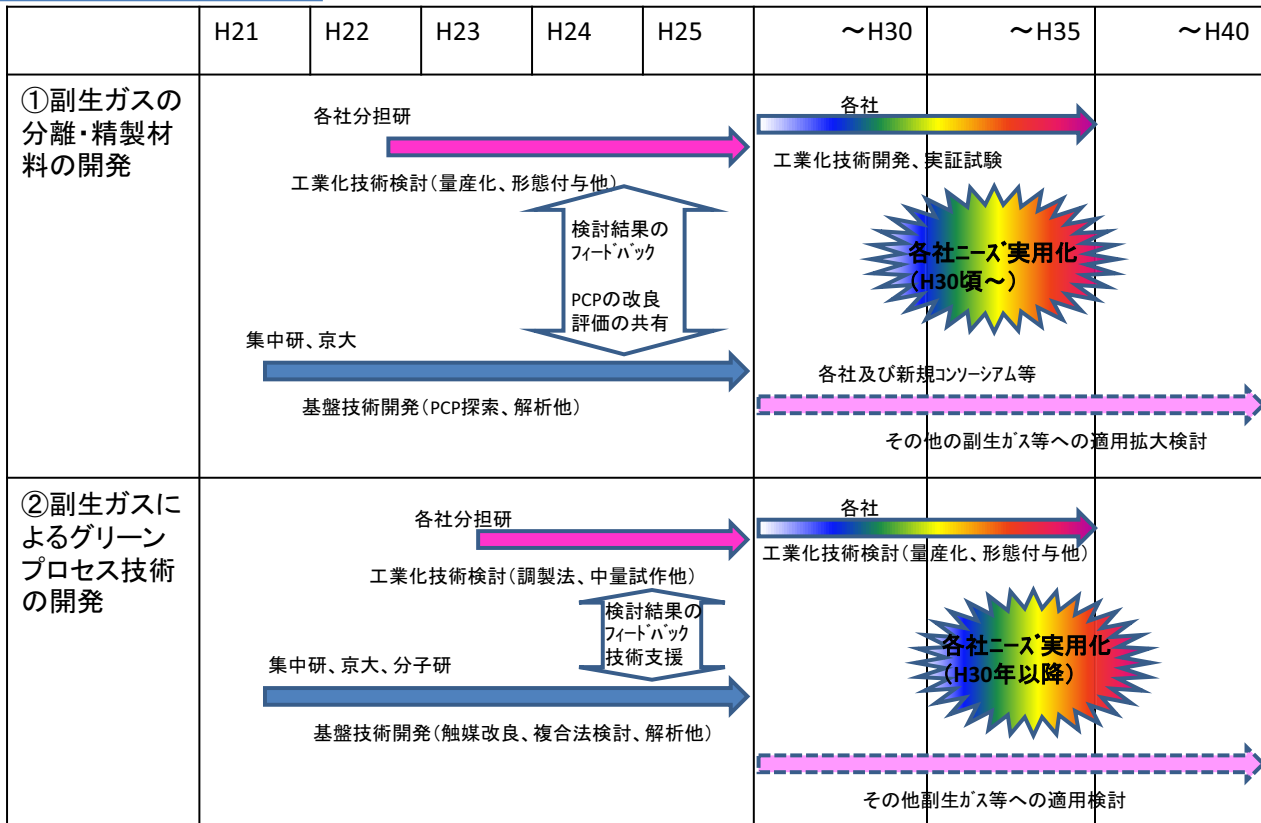
① 各企業のニーズ実現としての実用化



② 革新的な分離材料、及びグリーンプロセス技術の開発によるグリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術の強化



実用化スケジュール



波及効果

