

## ナノテク・部材イノベーションプログラム

グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発

## 「規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発」

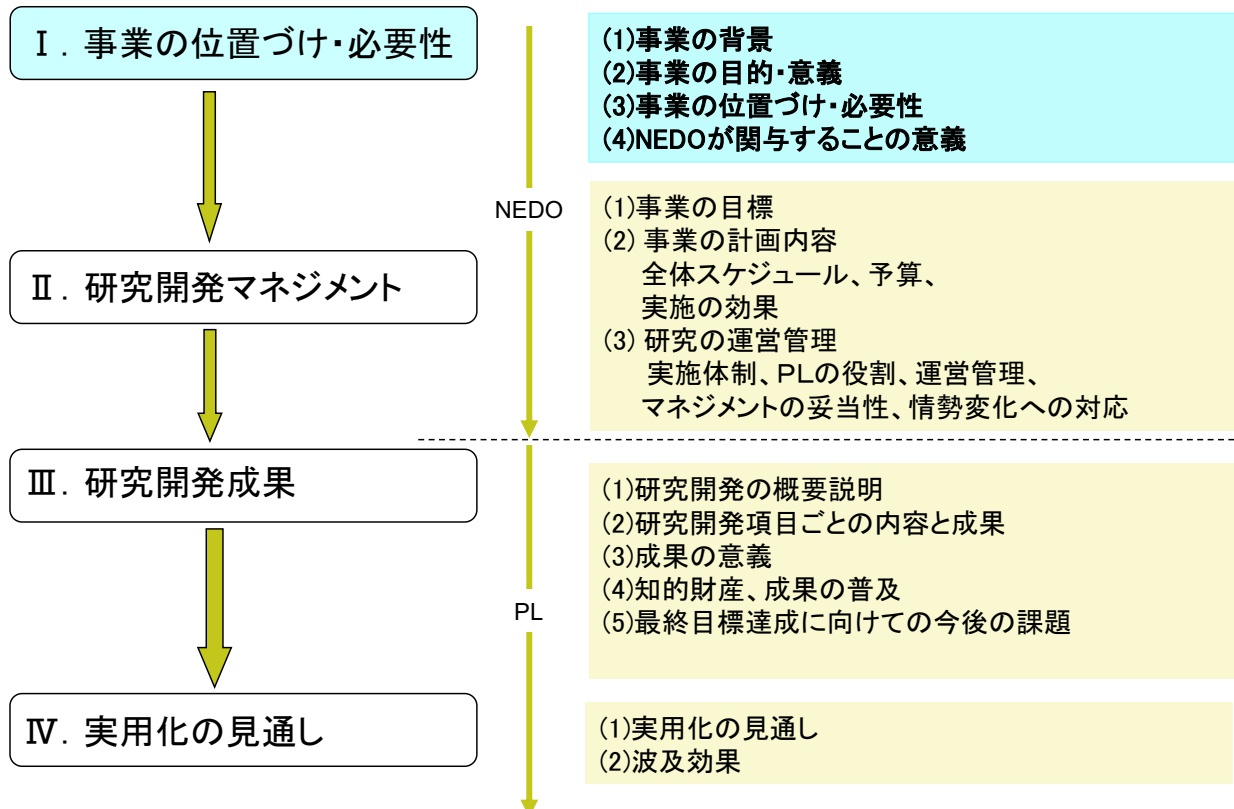
「プロジェクトの概要説明資料」

平成23年6月29日

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構  
電子・材料・ナノテクノロジー部

規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発  
中間評価分科会  
資料6-1

## 概要説明 報告の流れ



事業の背景

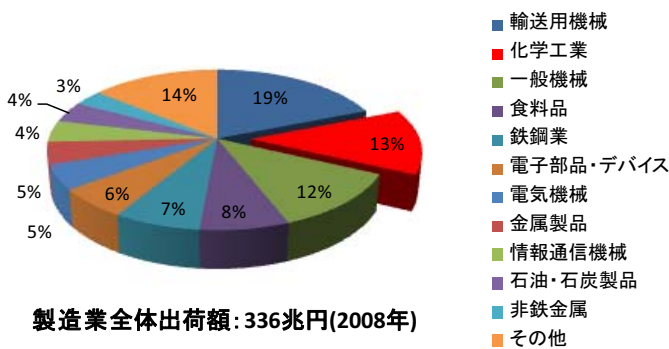
# 我が国の化学産業の特長(出荷額・エネルギー消費量)

## 日本の製造業を支える化学工業には **省エネルギー化が必須**

- ・出荷額は**製造業の13%**で約**44兆円**の巨大市場(世界3位の規模)
- ・一方で**エネルギー消費も大きく**効率化が必須

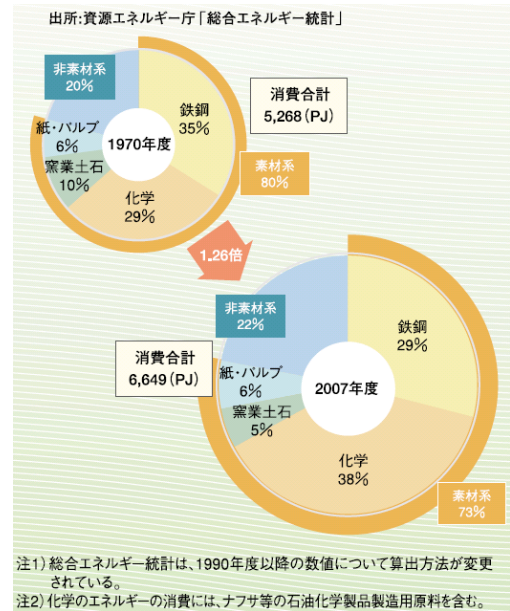
### 製造業の業種別出荷額割合

出典: グラフでみる日本の化学工業2010



事業原簿 I-1, I-2

### 製造業業種別エネルギー消費量の推移

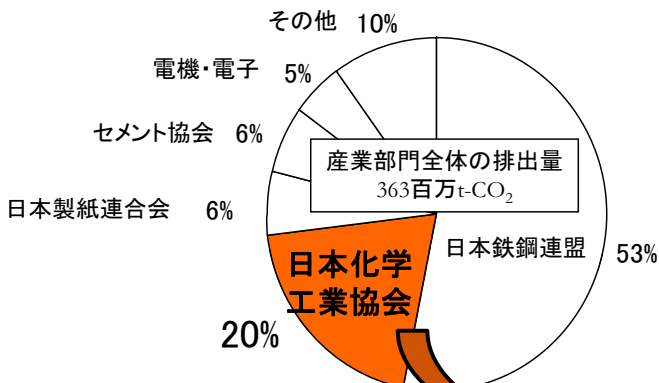


事業の背景

# 化学産業の環境・資源・エネルギー制約上の位置付け

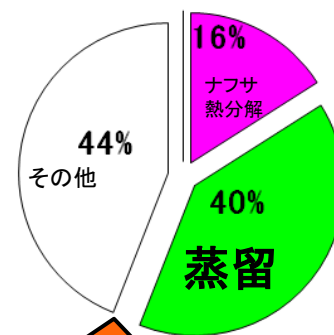
## 化学産業の中でも **蒸留工程のエネルギー消費低減**が社会的課題

### 業種別二酸化炭素排出量



出典: 産業構造審議会環境部会 地球環境小委員会・中央環境審議会地球環境部会 第24回合同会合資料抜粋

### 化学産業におけるCO<sub>2</sub>排出量内訳



具体的には...

出典: METI 化学課調べ

化学産業のうち、蒸留工程で40%のエネルギーを消費している

## 事業の背景

## 出口を同じくする競合技術との比較優位性

方式	長所(○)と短所(×)	優劣	備考
蒸留	<ul style="list-style-type: none"> <li>○実績が多い。</li> <li>○連続処理</li> <li>×大量にエネルギーを消費する</li> <li>×共沸点を有する物質同士は分離が不可能</li> <li>×熱に弱い物質は分離が困難</li> </ul>	×	完成された技術だが、エネルギー消費が大
吸着	<ul style="list-style-type: none"> <li>○低含水まで脱水可能</li> <li>○蒸留より省エネルギー</li> <li>×バッチ処理</li> <li>×吸着材が脱水量に比例して増大</li> </ul>	△	バッチ処理の為、連続プロセスに導入するには複数ユニットが必要
膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>○連続処理</li> <li>○最も省エネルギー</li> <li>○膜の透過性能が高ければ装置がコンパクト</li> <li>×膜コストが高い</li> </ul>	○	連続プロセスへの組み込みが可能で省エネルギー効果大

事業原簿 I -4

## 事業の目的・意義

## 本事業の狙いと目的

日本が世界を先導する無機分離膜技術をベースに、革新的な分離・精製プロセス実現する新部材を開発して、大幅なエネルギー消費量低減と国内産業の競争力向上に貢献する。

## 開発目標

## 1) IPA脱水用

耐水性膜と膜分離プロセス開発

JXエネルギー川崎工場IPA製造装置を用いた実環境試験の実施(右図)

石油化学工場における実使用条件での世界初の無機脱水膜の性能評価

## 2) 酢酸脱水用

耐酸性膜エレメント開発  
(H22に実施計画に追加)

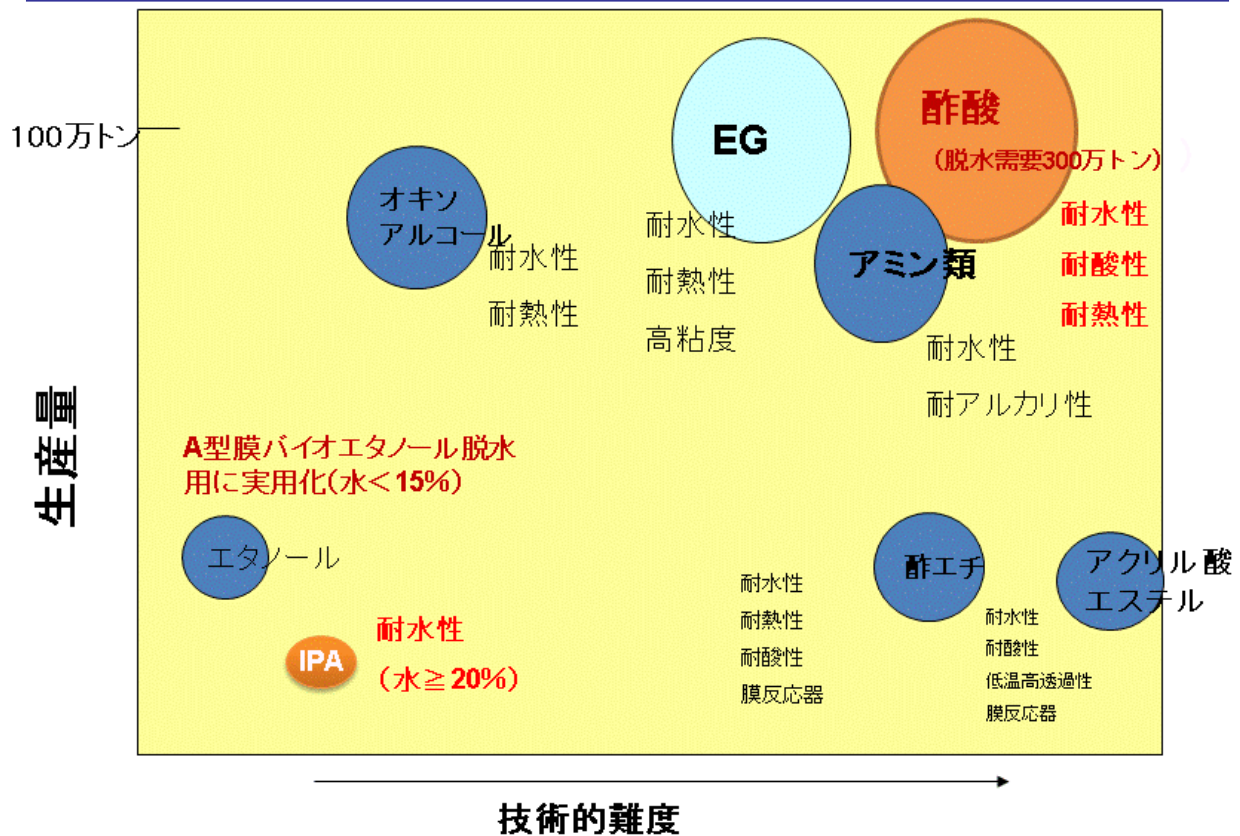


JXエネルギー川崎工場 IPA製造装置

## 事業の目的・意義

公開

## 開発対象技術の特徴

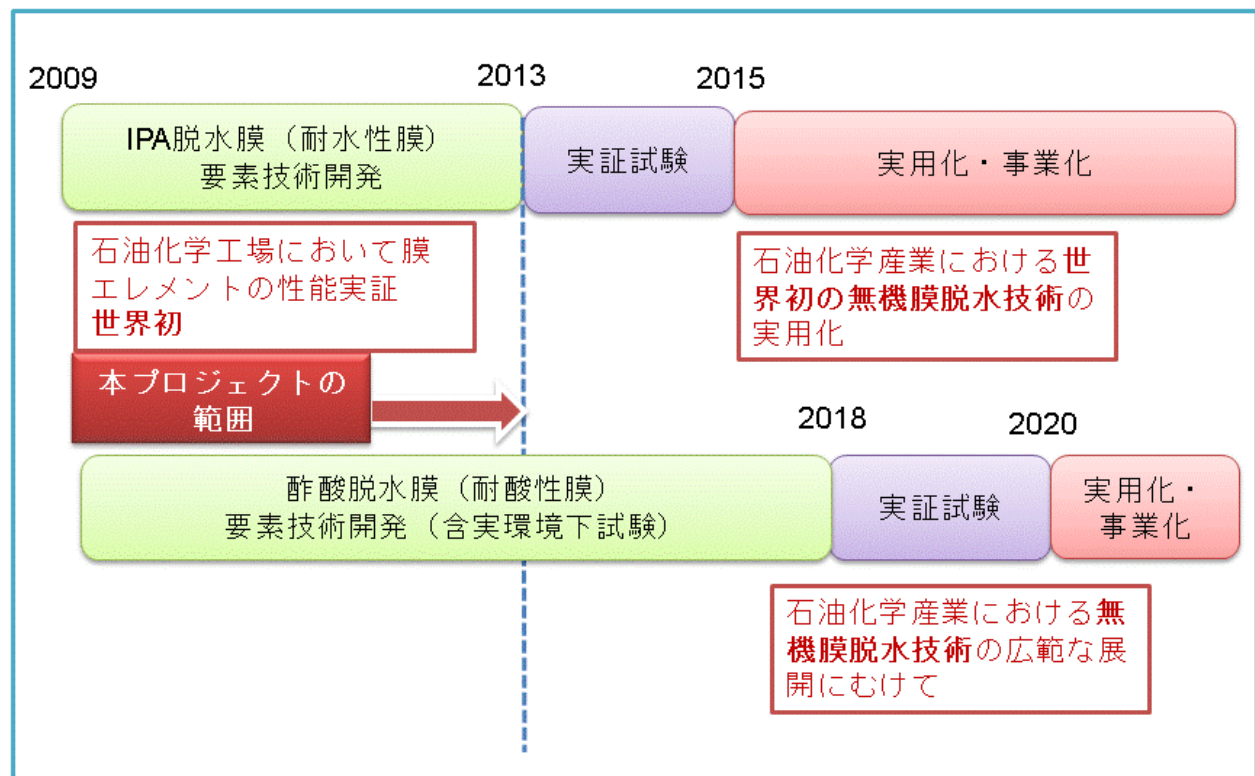


事業原簿 I-6

## 事業の目的・意義

公開

## 実用化までのロードマップ



事業原簿 II-11



事業の位置づけ・必要性①

# ナノテク・部材イノベーションプログラム

## 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。



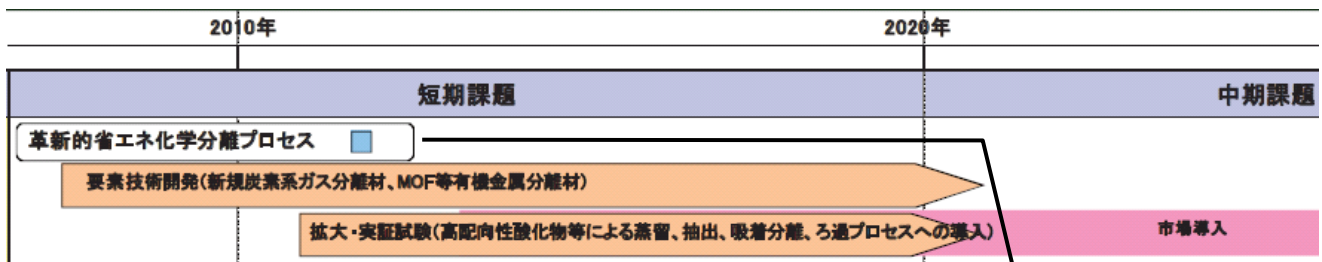
**IPGの目標**

- 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。

事業の位置付け・必要性②

# 技術戦略ロードマップ

技術戦略マップ2010



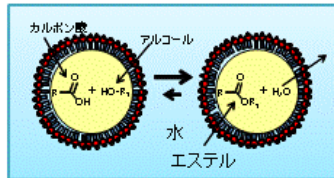
技術戦略マップ2010では、GSC分離膜は「革新的省エネ化学分離プロセス」として位置付けられ、短期的課題として要素技術の開発や実証試験を行い、**2020年頃に市場導入を計画している**

事業の位置づけ・必要性③

## 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プロジェクト

## ①有害物質削減

- 有害な有機溶媒を用いず、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

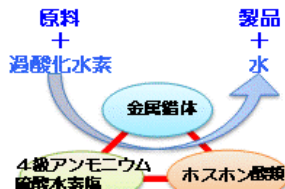


## 今回の対象PJ

③CO<sub>2</sub>削減

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ナフサ接触分解炉技術
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CO<sub>2</sub>等の高濃度回収技術

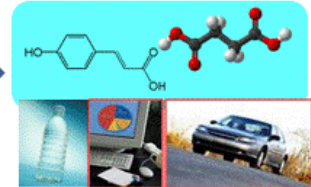
- 化学プロセスの30%をしめる酸化反応のクリーン化を行い、産業廃棄物を削減する  
革新的酸化プロセス



## ②廃棄物削減

- 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

空気  
天然ガス  
(低品位ガス)  
植物由来原料



## ④原料多様化

事業原簿 I-3

## NEDOが関与することの意義

## 規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発

- ・セラミックス構造体・無機膜・モジュール・ユーザー等、川上・川下メーカーの垂直連携が必要
- ・研究開発の難易度が高く、長期間、投資規模大→開発リスク大

## &lt;我が国の化学産業&gt;

BRICs勢のキャッチアップ進行による低コスト競争

CO<sub>2</sub>排出抑制のグリーンプロセスは必須

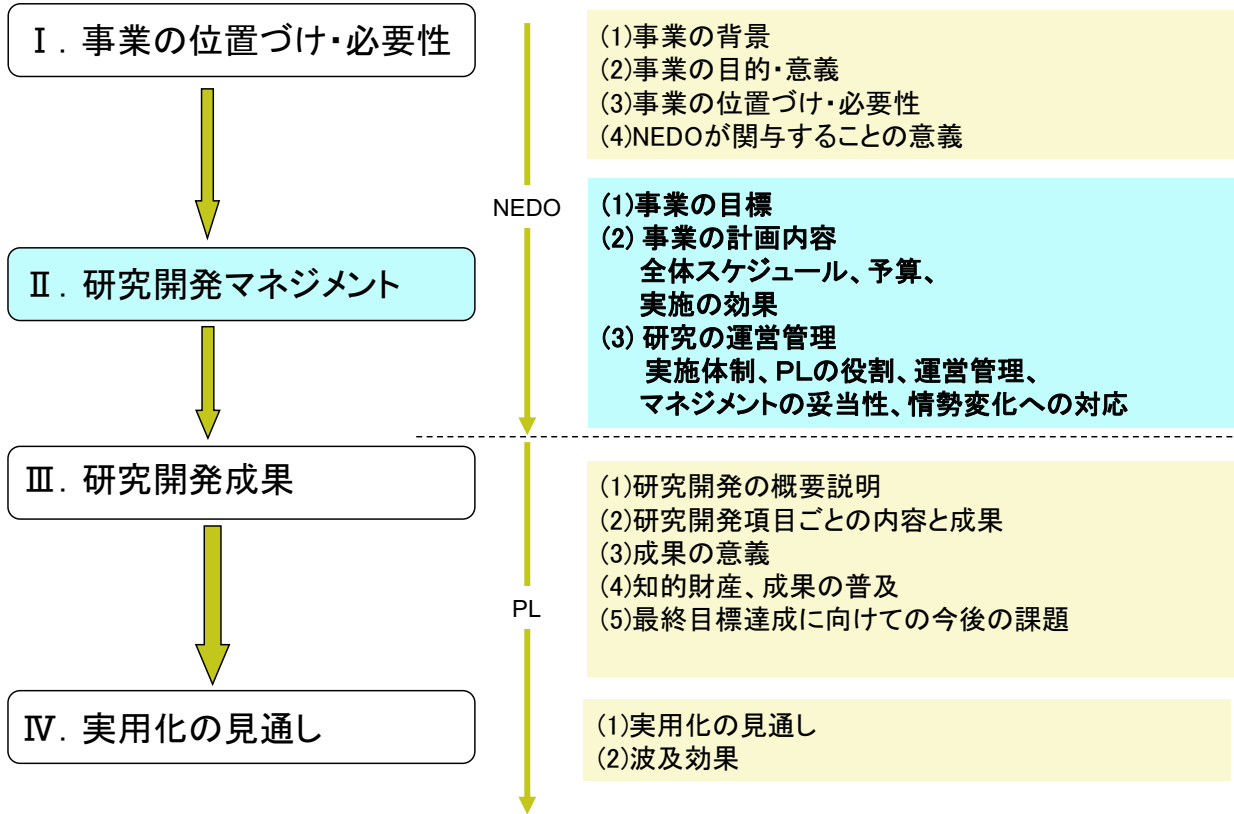
課題: 既存の化学産業のコスト競争力を増すとともに、  
無機膜産業の新規創生を狙う。

NEDOによる国家的、集中的実施が必要

事業原簿 I-3

規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発

概要説明 報告の流れ



事業の目標

膜による蒸留プロセスの高効率化

	主な分離対象	耐性			コスト	コメント
		熱	化学	圧力		
多孔体無機膜	脱水 炭化水素 水素、酸素、CO <sub>2</sub>	○	○	○	△	機械的強度が強い 資源の埋蔵量が多い 被毒性に優れている
有機膜	脱水 水素、酸素、CO <sub>2</sub>	×	△	×	○	成形加工が容易 CO <sub>2</sub> 分離で可塑化 炭化水素分離で劣化
金属膜	水素	△	△	○	×	その他

蒸留操作による分離・精製プロセスは化学・石油関連産業分野の消費エネルギーの約40%を占める。

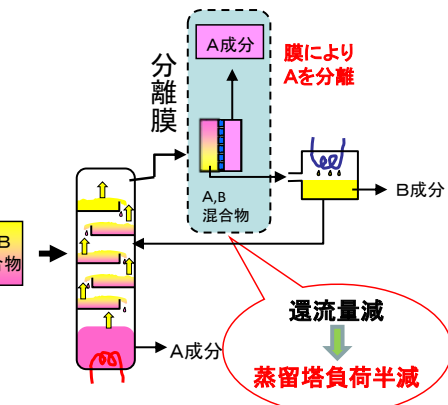
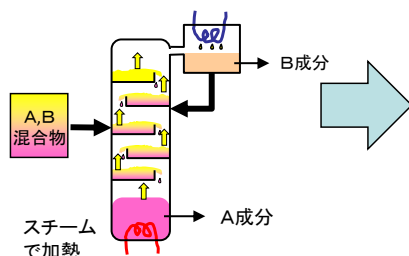
○石油化学製品の脱水用分離膜としては**多孔体無機膜が有望**である。

○しかし、①緻密な大面積(大量 処理)膜を製造できない、②低い分離性能(膜透過制度が遅い、目的成分の純度が不十分)などの課題がある

新技術 (分離膜導入)

■ 既設蒸留塔のレトロフィットによる省エネ技術

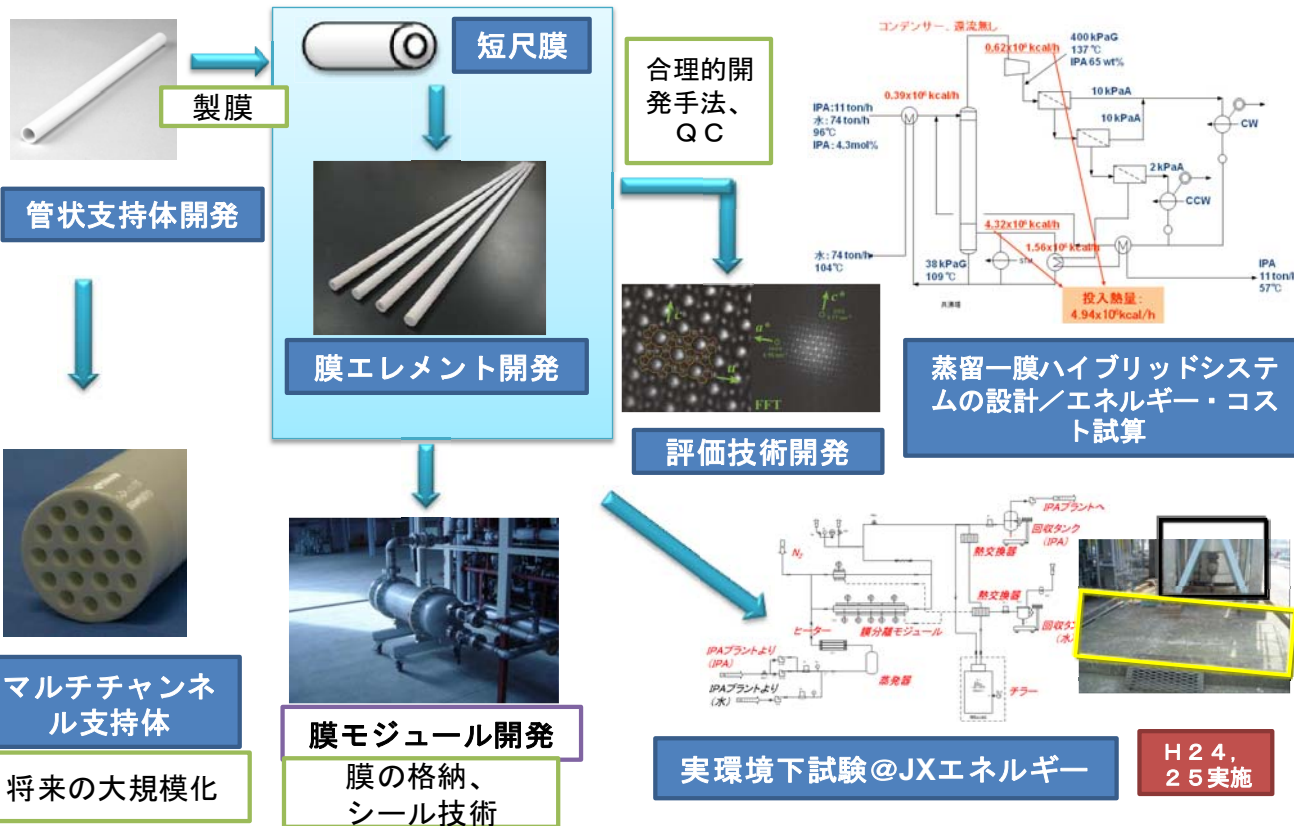
現状 (蒸留分離)





事業の目標

研究開発項目



事業の目標

実施体制

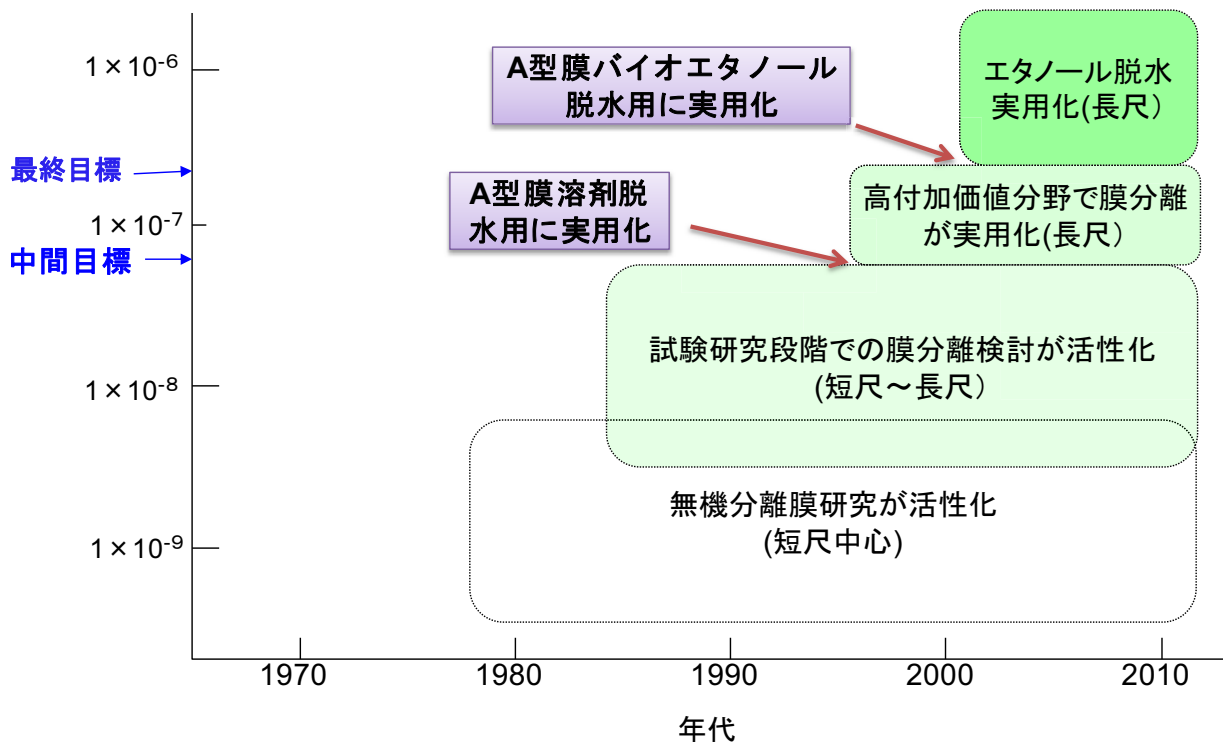




事業の目標

目標設定の背景

A型脱水膜が実用化された際の性能を目標値とした



事業原簿Ⅱ-4

事業の目標

達成目標(研究開発項目1)

	実施者	中間目標	最終目標
③-2-1 分離膜製造基盤技術および分離膜評価技術の開発	早稲田大学、日立造船、三菱化学、JFCC、山口大学、宇都宮大学、大阪大学、芝浦工業大学	○IPA用 ・水透過度=8 × 10 <sup>-8</sup> mol/(m <sup>2</sup> sPa) ・分離係数=100以上 ・工業的に製造できる技術を開発 ○酢酸用 ・水透過度=8 × 10 <sup>-8</sup> mol/(m <sup>2</sup> sPa) ・分離係数=100以上 ・工業的に製造できる技術を開発 ・膜組織と分離特性の関係及び膜組織と合成条件の関係を明らかにする。 ・開発材の支援を可能とする評価法を確立する。 ・分離特性を支配する構造欠陥を評価するための評価法を確立する。	○IPA用 ・水透過度=2 × 10 <sup>-7</sup> mol/(m <sup>2</sup> sPa) ・分離係数=200以上 ・工業的に製造できる技術を開発 ○酢酸用 ・水透過度=2 × 10 <sup>-7</sup> mol/(m <sup>2</sup> sPa) ・分離係数=200以上 ・工業的に製造できる技術を開発 ・評価技術を高度化し、より微細な構造解析を可能とする技術を確立する。 ・実環境評価によって試作材に関する技術課題を抽出し、それらを解決するための指針を示す。

## 達成目標(研究開発項目2)

	実施者	中間目標	最終目標
③-2-2 分離膜用セラミックス多孔質基材の開発	ノリタケカンパニー、 名古屋工業大学	<p>○セラミックス多孔質基材の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水熱法等のケミカルプロセスによる分離膜製膜技術及びイソプロピルアルコール及び酢酸の脱水プロセス条件下で大幅な強度劣化の生じない多孔質材料を開発する。</li> <li>・目標分離性能を実現する分離膜を担持可能な細孔径、蒸気透過性、表面平滑性、耐化学特性を有する基材を開発する。</li> </ul> <p>○多チャンネル型セラミックス多孔質基材の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内管表面構造を制御する製造技術を開発する。</li> <li>・多チャンネル型基材 長さ1m(管状外径30mm)当たり0.2 m<sup>2</sup>の膜面積を実現する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・○セラミックス多孔質基材の開発</li> <li>イソプロピルアルコール及び酢酸の脱水分離膜として長期使用した際に、大幅な強度劣化が生じない多孔質材料を開発する。</li> <li>○多チャンネル型セラミックス多孔質基材の開発</li> <li>・種結晶が均一に付着しやすい内管表面構造を有する多チャンネル型基材の製造技術を開発する。</li> <li>・多チャンネル型基材 長さ1m(管状外径30mm)当たり0.3m<sup>2</sup>の膜面積を実現する。</li> </ul>

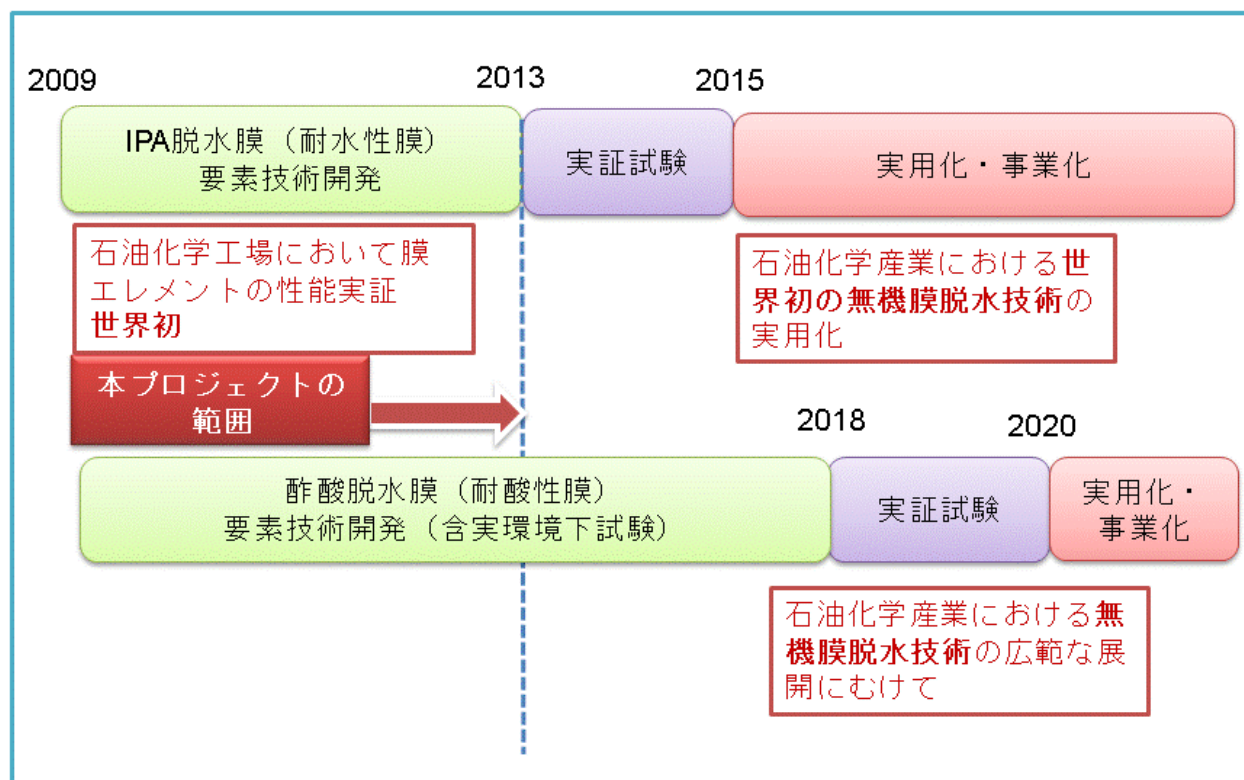
## 達成目標(研究開発項目3)

	実施者	中間目標	最終目標
③-2-3 モジュール化技術の開発	早稲田大学、日立造船、 三菱化学、千代田化工、 ノリタケカンパニー	<p>○管状基材を用いたモジュール化技術</p> <p>マルチエレメントモジュールを想定し、モジュール化した際に、研究開発項目③-2-1、③-2-2で開発する分離膜性能(透過度、分離係数)を最大限に引き出すためのマルチエレメント格納容器の設計をし、その構造実現に必要な要素技術を見極める。</p> <p>○チャンネル型基材を用いたモジュール化技術</p> <p>使用条件に耐えるシール材料を選定する。</p> <p>○膜分離解析モデル・シミュレーターの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・分離膜の簡易的な1次元モデル・シミュレーターを開発する。</li> <li>・膜モジュールシミュレーター開発のベースとなる3次元解析用モデルを開発する。</li> </ul>	<p>○管状基材を用いたモジュール化技術</p> <p>検討項目③-2-1で開発する分離膜特性(透過度、分離係数)の60%以上を有するモジュール製造のための基盤技術を確立する。</p> <p>○チャンネル型基材を用いたモジュール化技術</p> <p>管状型分離膜と同等のシール性能を確認する。</p> <p>○膜分離解析モデル・シミュレーターの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・膜モジュールの設計手法を開発し、設計ツールを開発する。</li> <li>・管状型膜モジュールシミュレーター及び多チャンネル型膜モジュールシミュレーターを開発する。</li> </ul>

## 達成目標(研究開発項目4)

	実施者	中間目標	最終目標
③-2-4 試作材の実環境評価技術の開発	早稲田大学、千代田化工、 JXエネルギー	<p>○実環境評価検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>開発する分離膜モジュールの性能を十分に引き出せるサイズを確定し、配置場所、流体の流路方向、気体状態を維持するための効率的な保温、液体発生時の対策等を考慮し、モジュールの製造とリンクさせた実環境試験フローを設計する。</li> </ul> <p>○プロセスシミュレーターの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>既存の蒸留システムに分離膜モジュールを組み合わせたHybridなプロセスシステムを対象としたプロセスシミュレーターを開発する。</li> </ul>	<p>○実環境評価検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>200時間連続運転によるモジュールの耐用性能評価を可能とするシステムを開発し、実用化のための技術課題を抽出する。</li> <li>プロセスシミュレーションにより、膜分離システムを組み込んだ分離プロセスを提案する。</li> </ul> <p>○プロセスシミュレーターの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>既存の蒸留システムとのエネルギー効率、コストの比較を容易に行えるようなシステムを開発する。</li> <li>プロセスシミュレーターを用いて、イソプロピルアルコール系を対象として最適な高効率・低コスト分離プロセスを設計する。</li> </ul>

## 実用化までのロードマップ



事業の計画内容

## 実施の効果

## &lt;開発費用&gt;

5年間で約11.2億円(平成21年度～平成25年度:予定)

## &lt;効果&gt;

## [省エネ効果]

2030年度時点 約**55万kL** 原油換算:国内[CO<sub>2</sub>排出抑制効果]2030年度時点 約**146万t-CO<sub>2</sub>**

全蒸留プロセスの13%が置き換えられるとの仮定

## [市場創出効果] 膜産業の創出

2030年度時点 約**2,000億円** ※膜からプラントまでを含める

事業の計画内容

## 全体スケジュールと予算

単位 百万円

研究開発項目	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度	合計
①分離膜製造基盤技術および分離膜評価技術の開発(委託)						
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">膜の合成および構造評価設備(早稲田大学)を導入し、共同研究実施場所において研究を開始 IPA脱水用膜の製造装置・透過試験(短尺・長尺)を購入し、工業化検討開始 微細構造解析用試料作成の検討と設備導入</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">膜のラオレベルでの透過性能評価とともに、実使用条件下試験を想定したモジュールの開発と、そのための設備導入</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">膜の透過性能の定量化に基づくモジュール設計・試作、それにもな く試験設備導入(一部設備改造) 中間目標値達成に向けた膜製造技術の開発</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">実使用条件下での試験設備設計・導入 最終目標値を目指した透過分離性能の改良</div> </div>					
本予算/加速	122/105	117/156	102/0	84/0	133/0	558/261
②分離膜用セラミックス多孔質基材の開発(委託)						
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">基材の物性評価をネンゲンセイ評価装置を導入して開始</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">基材の高温機械特性、耐化学特性を評価、設備導入</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">管型基材製造技術の最適化の開発・製作</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">実環境下試験用基材の開発・製作、多チャンネル型基材の開発</div> </div>					
本予算	37	13	7	8	23	88
③モジュール化技術の開発(委託)						
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">設計手法の開発、シール技術の開発</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%;">多チャンネル型基材の設計・シール技術開発</div> </div>					
本予算	62	33	42	53	78	268
④試作材の実環境評価技術の開発(委託)						
	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px; width: 80%; margin: auto;">工業プラント改造、実使用条件下での試験設備導入・試験実施</div>					
本予算	10	8	25	126	32	201
合計	231/105	171/156	176	271	266	1,115/261



## 研究開発スケジュール①

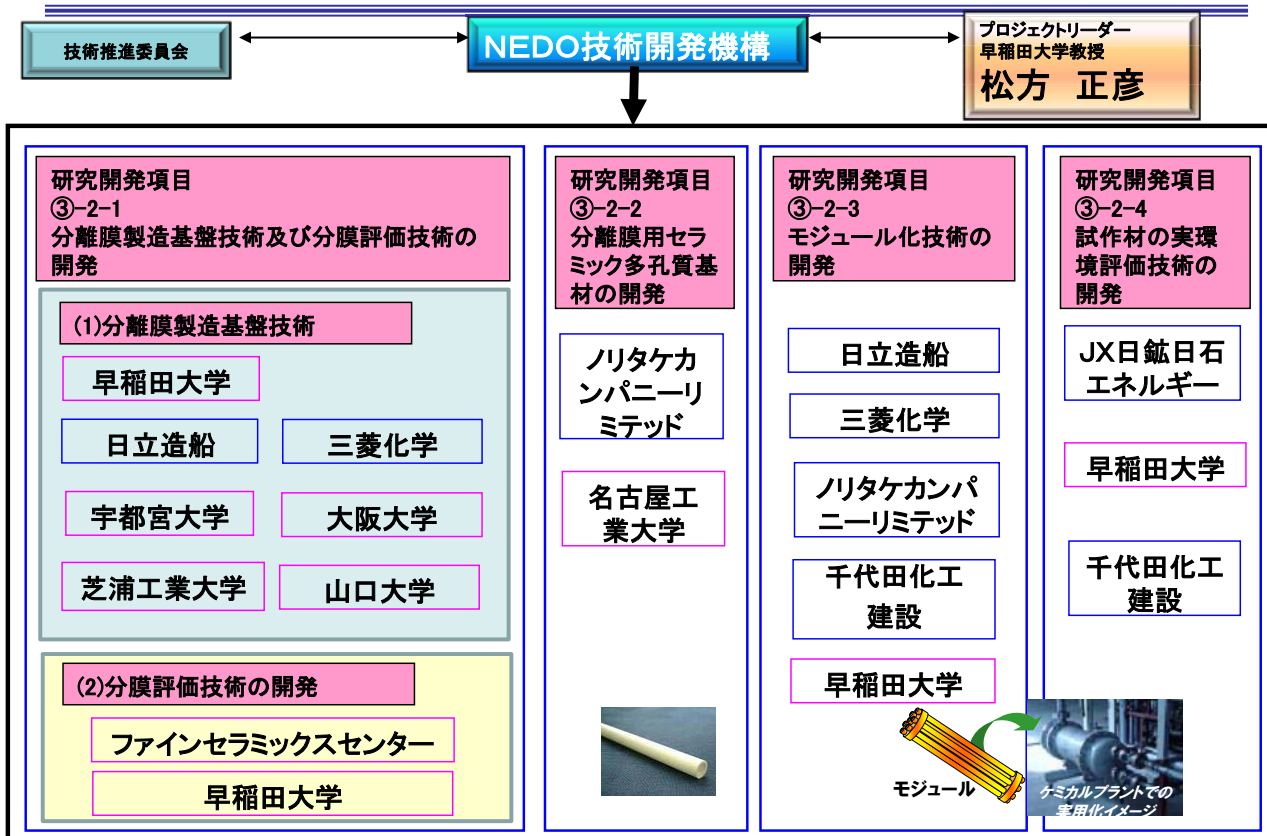
		H21	H22	H23	H24	H25
委託	③-2-1. 分離膜製造基盤技術および分離膜評価技術の開発	短尺膜による基礎研究	長尺膜への適用検討	製造の効率化・高性能化の検討		
				長尺膜の工業的製法検討		
		TEM用サンプル製法検討		構造解析技術高度化検討		
	③-2-2. 分離膜用セラミックス多孔質基材の開発	支持体細孔構造制御法検討		膜製造に最適な支持体開発		
			マルチチャンネル支持体の開発			

## 研究開発スケジュール②

		H21	H22	H23	H24	H25
委託	③-2-3. モジュール化技術の開発			モジュール構造の検討	モジュールの性能評価	
				シール技術の検討		
				多チャンネル型支持体製膜方法の検討		
	③-2-4. 試作材の実環境評価技術の開発	試験設備受け入れ検討		設備設計	実環境下試験	
		IPA脱水プロセスの検討				
				酢酸脱水プロセスの検討		

研究の運営管理

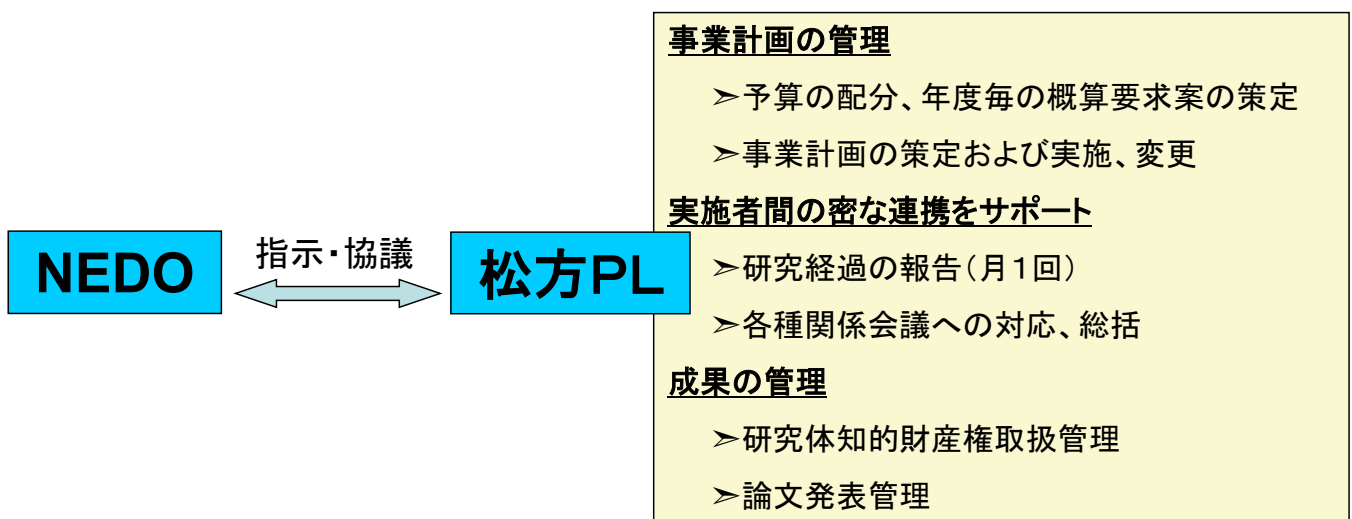
## 実施体制



事業原簿Ⅱ-8

研究の運営管理

## PLの役割



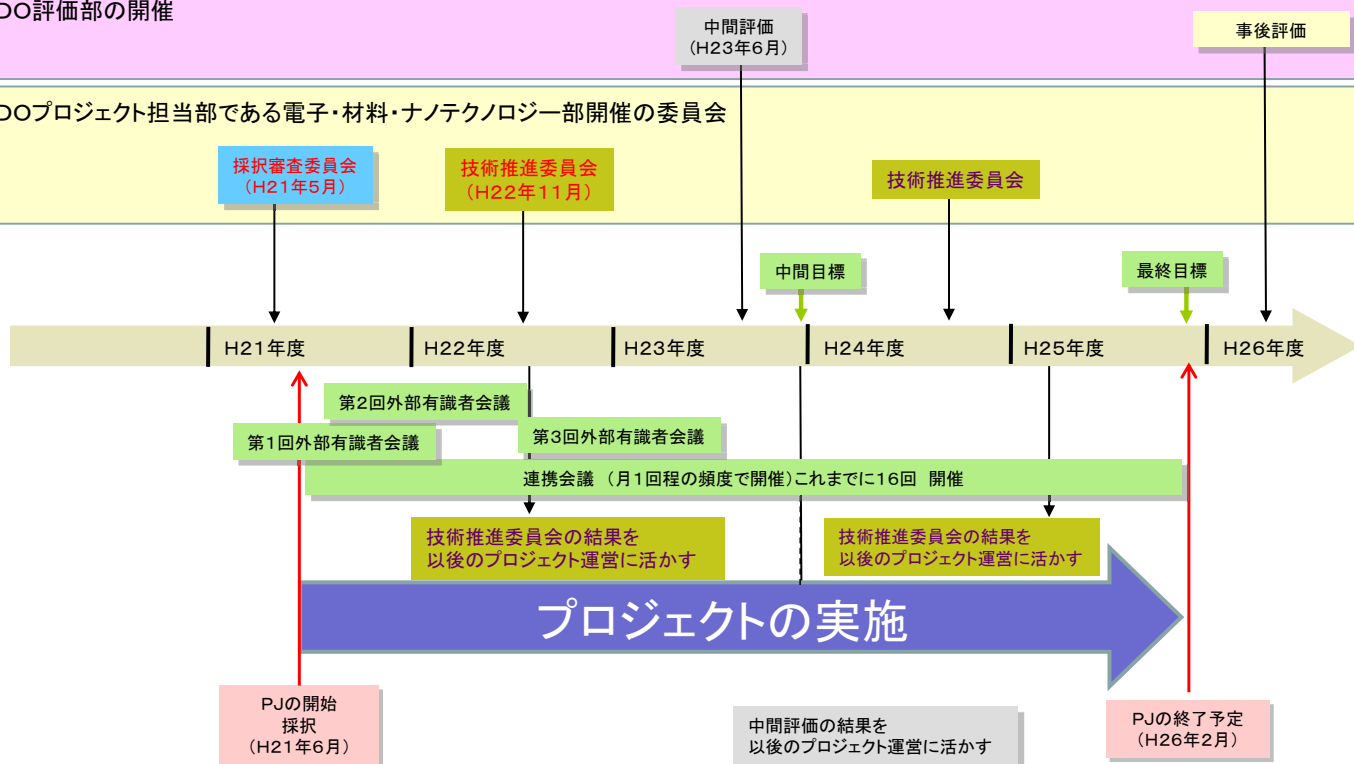
実施者が多く、実用化に近い事もあり、要素技術間の意思の疎通が重要  
PLが積極的に実施者をコンタクトを取り、コミュニケーションの潤滑剤となっている。

事業原簿Ⅱ-9

## 委員会等と運営管理

NEDO評価部の開催

NEDOプロジェクト担当部である電子・材料・ナノテクノロジー部開催の委員会



事業原簿 II-10

## 技術推進委員会

H22.11.4 技術推進委員会

委員長	中尾 真一	工学院大学 工学部 環境エネルギー化学科 教授
委員	五十嵐 哲	工学院大学 工学部 応用化学科 教授
委員	戸井田康宏	JXホールディングス株式会社 企画2部 技術戦略グループ 担当マネージャー
委員	原谷 賢治	独立行政法人産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 招聘研究員

■技術推進委員会の位置付け  
・外部有識者の意見を聴取し、NEDOとしての意思決定を行う際の参考とする。

◎評価コメント (○評価できる点、●問題点・解決すべき点、☆その他のコメント)

○大幅な省エネルギー化のために、蒸留と膜分離を組み合わせた本プロジェクトは、時宜を得たものである。	
○PLが良く機能していることも評価すべきである。	
○本プロジェクトは、分離膜の製造技術長尺化とモジュール化技術等、NEDOの事業として産学が共同して研究開発を行なう意義がある。	
○エンジニアによるプロセス設計が行われており、また、ユーザーとなる企業も参画しており実用化へ向けて説得力がある。	
●最終局面で問題が発生しないように、予め、実用化を想定して、品質面等を含めて考えられる問題点を洗い出し、対応案を検討しておく必要性を感じた。	想定される問題点につき、実験で確認を行っている。また、実環境下試験においても検証する。
●コストについては、設備投資の総額が3年間で回収できるレベルになっているのかどうか、設備の価格とランニングコストをより精度良く評価する必要がある。	JXエネルギーが実プラントのデータを提供し、千代田化工によって省エネルギー量・コスト両面から精度高いプロセスシミュレーションを実施している。また、実環境下試験で得られるデータにより、シミュレーション結果を実際のプラントに適用する場合の精度を上げる。
☆実用化を目指すのみならず、分離膜の製造および物性測定技術などについての基礎的知見を集積して、学理として普遍化することが望まれる。	各大学の研究において実施中。

事業原簿 II-10

マネジメントの妥当性、情勢変化への対応

## 成果の実用化に向けたマネジメント

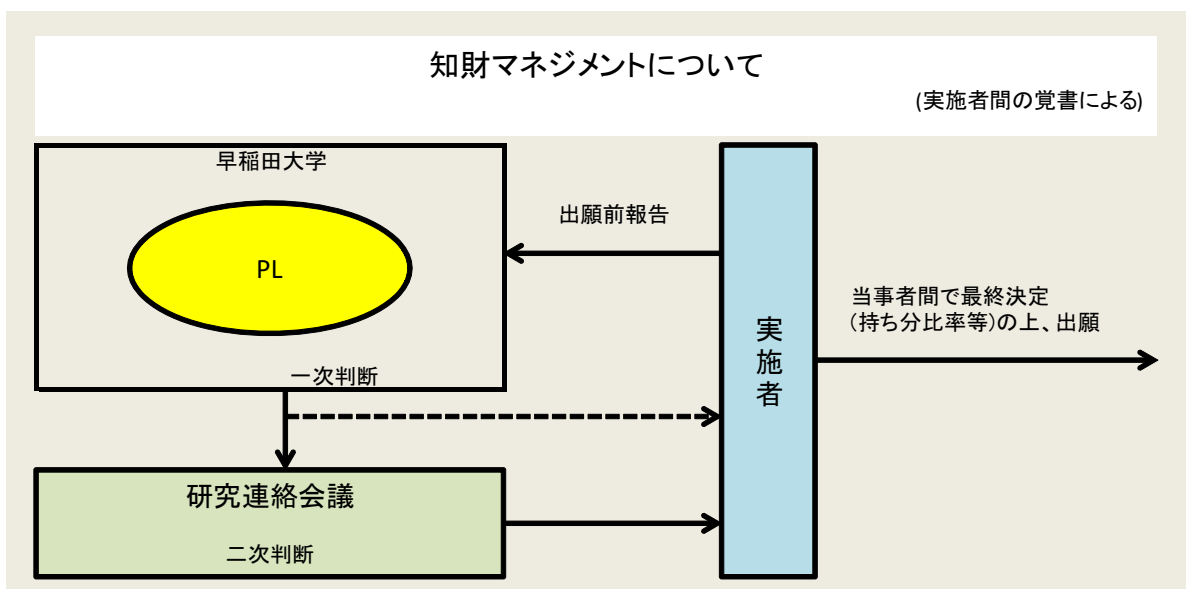
○計画段階において、石油化学の出口であるIPAと量的インパクトのある酢酸をターゲットに選定

○実用化を達成する為に川上～川下連携の開発体制を構築

○石油化学プラントでの実環境下試験を織り込み、実用化を加速

マネジメントの妥当性、情勢変化への対応

## 知財マネジメントについて



### ○知財ポリシー

- ・製膜のスケールアップ方法に関しては公開が好ましくない→**ノウハウのブラックボックス化**
  - ・膜の基本的な調製法、プロセス等に関しては知財化で対応
- 出願数: 既出5件、出願準備中1件



マネジメントの妥当性、情勢変化への対応

## 酢酸脱水に係る目標値の変更(上方変更)

市場規模が大きい**酢酸脱水膜**の短尺膜検討において、中間目標を超える水透過度と分離係数の膜が得られ(H21年度後期)、さらに、分離係数について最終目標値を格段に超える膜が得られた(H22年度前期)。

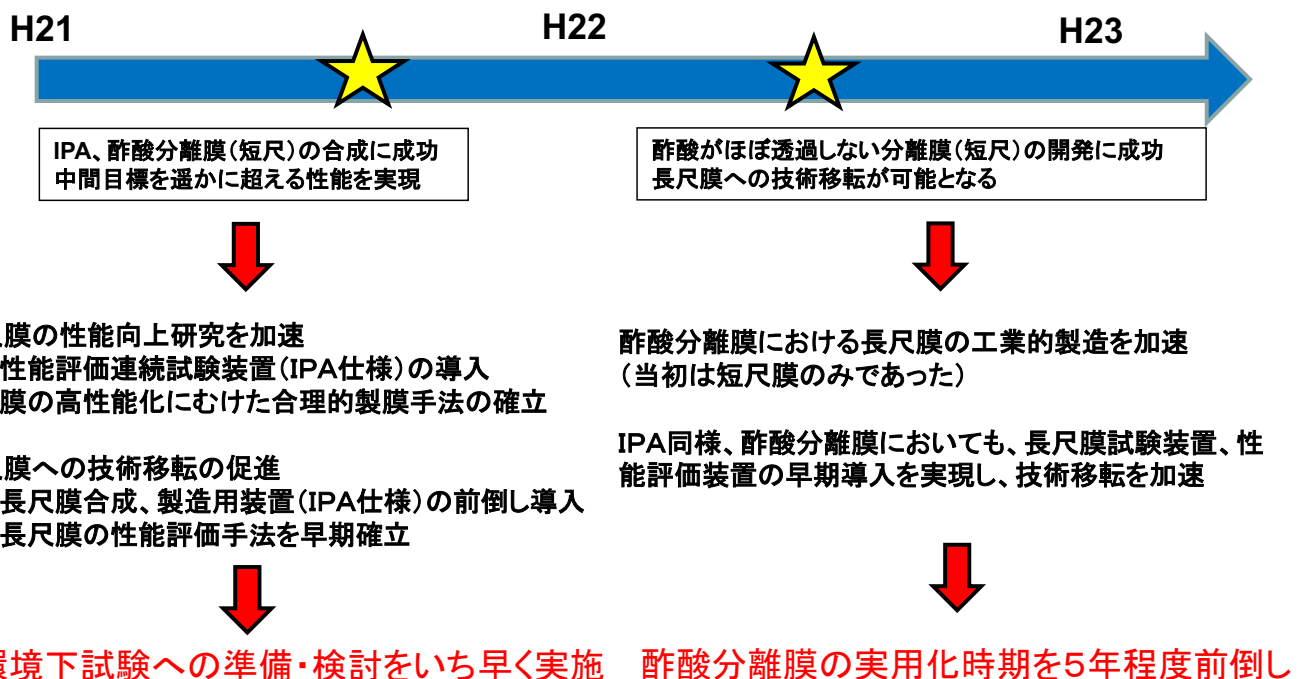
対象	項目	中間(H23年度)	最終(H25年度)
IPA脱水	水透過度	$8 \times 10^{-8} \text{mol/m}^2\text{sPa}$ 以上	$2 \times 10^{-7} \text{mol/m}^2\text{sPa}$ 以上
	分離係数	100以上	200以上
	膜開発	分離膜を工業的に製造できる技術を開発 (長尺膜の開発)	分離膜を工業的に製造できる技術を開発 (長尺膜の開発)
酢酸脱水	水透過度	$8 \times 10^{-8} \text{mol/m}^2\text{sPa}$ 以上	$2 \times 10^{-7} \text{mol/m}^2\text{sPa}$ 以上
	分離係数	50以上	100以上
	膜開発	製膜できる技術の確立 (短尺膜の開発)	製膜できる技術の確立 (短尺膜の開発)
酢酸脱水 (変更後)	水透過度	$8 \times 10^{-8} \text{mol/m}^2\text{sPa}$ 以上	$2 \times 10^{-7} \text{mol/m}^2\text{sPa}$ 以上
	分離係数	100以上	200以上
	膜開発	分離膜を工業的に製造できる技術を開発 (長尺膜の開発)	分離膜を工業的に製造できる技術を開発 (長尺膜の開発)

事業原簿Ⅱ-13

マネジメントの妥当性、情勢変化への対応

## 加速財源の投入

③-2-1-(1)-1 管型膜エレメントの開発(早稲田集中研)において、平成21年度、22年度の2度にわたり研究開発加速資金を投入。**実用化へ向けた更なる性能向上、長尺膜への早期技術移転を後押し**



事業原簿Ⅱ 13