

「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／
資源生産性を向上できる革新的プロセス及び化学品の開発／
規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発」

中間評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	19
評点結果	25

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会
「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／
資源生産性を向上できる革新的プロセス及び化学品の開発／
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)

分科会委員名簿

(平成23年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	あさえだ まさし 浅枝 正司	広島大学 名誉教授
分科会長 代理	くさかべ かつき 草壁 克己	崇城大学 工学部ナノサイエンス学科 教授
委員	あきた かずゆき 秋田 和之	ダイセル化学工業株式会社 生産技術室 プロセス革新センター 主席部員
	おおくぼ たつや 大久保 達也	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
	くろだ やすしげ 黒田 泰重	岡山大学 大学院自然科学研究科(理学系) 教授
	ふなつ きみと 船津 公人	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
	まつひろ いたる 松広 格	出光興産株式会社 生産技術センター センター長

敬称略、五十音順

概要

最終更新日 平成 23 年 6 月 14 日

プログラム（又は 施策）名	ナノテク・部材イノベーションプログラム		
プロジェクト名	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	プロジェクト番号	P09010
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 谷嶋哲也（平成23年4月～平成23年6月） 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 廣石治郎（平成21年6月～平成23年3月）		
0. 事業の概要	<p>化学・石油関連産業分野においては、蒸留技術をはじめ高度なプロセス制御による消費エネルギー低減化の努力がなされ、技術開発はほぼ飽和状態にある。さらなる省エネルギーを図るためには革新的技術が必要となるが、化学工業プロセスに於いて最もエネルギー消費の大きい蒸留プロセスを膜分離で置き換えることによって、大幅なエネルギーの節約が可能である。新規膜技術の開発とその導入による省エネ化は、化学産業の指導原理であるグリーン・サステイナブル・ケミストリーの一分野として重要である。</p> <p>現行の蒸留プロセスを膜分離プロセスに置き換えるため規則性ナノ多孔質構造を有するセラミック材料を対象に、以下に示す分離膜材料合成・部材化技術、分離膜の部材集積化と実条件下での性能評価手法の基盤技術開発を行う。</p> <p>①分離膜製造基盤技術の開発 ②分離膜用セラミック多孔質基材の開発 ③モジュール化技術の開発 ④分離膜評価技術および試作材の実証的評価技術の開発</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>事業自体の必要性</p> <p>地球温暖化問題、資源枯渇問題が深刻化しつつある中、我が国の全産業の基幹となる化学品等を持続的(サステイナブル)に生産・供給していくためには、これまでの大量消費・廃棄型生産プロセスから脱却する新たなプロセスによる供給体制構築が急がれており、資源・エネルギー・環境の制約を克服する新しい技術開発が、喫緊の課題となっている。</p> <p>産業分野の約30%超のエネルギーを消費している化学・石油関連産業では、そのうち約40%のエネルギーが、分離精製を目的とする蒸留プロセスで消費されている。そのために両産業分野では長年に渡って効率改善に努力し、その技術は高度に洗練され、改善効果は頭打ちになっている。こうした背景にあって、更なる大規模な省エネルギー化を達成するためにはアプローチ手法の革新的転換が必要であり、それを可能にするための現在考え得る唯一の技術が膜分離技術である。</p> <p>膜分離技術開発には、高度な科学技術の知見を集約する必要がある。現状では、ニーズ・シーズが、業種の異なる企業・大学・その他研究機関に分散しており、実用化を押し進めるためには、分離膜開発のコア技術（膜分離工学、無機材料科学、特性・物性評価解析科学）を有する機関が、各々の役割を果たしつつ、互いに連携する体制を構築することが不可欠である。また、海外でも産学官連携プロジェクトや大企業先導による膜分離技術の開発が進められている。</p> <p>日本が省エネルギー技術分野で貢献し、経済活動を活性化するためには、今こそ国家プロジェクトを立ち上げ、集中的に研究開発を行うことが必要である。我が国の当該分野でのこれまでの技術開発の優位性を活かしつつ、研究開発をより一層加速し、我が国産業の優位性を確保し続けることが急務である。</p> <p>位置づけ</p> <p>本事業は、技術戦略マップ2008のグリーン・サステイナブル・ケミストリー分野「プロセスイノベーション、エネルギー制約からの脱却、省エネルギープロセス、分離プロセス」に位置付けられる。他に同分野に位置付けられる研究開発事業と共に、「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」の一貫として実施する。また、部材分野の「環境負荷低減部材、フィルター、高性能・超耐熱性ナノフィルター、アクティブ多孔体（表面制御による機能付与）・分離膜」にも位置付けられる。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			

<p>事業の目標</p>	<p>-2-1 分離膜製造基盤技術及び分離膜評価技術の開発</p> <p>(1) 分離膜製造基盤技術</p> <p>イソプロピルアルコール脱水用：</p> <p>中間目標（平成 23 年度末）</p> <p>現行の市販無機膜の水の透過度が $1 \sim 8 \times 10^{-9} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$ であるのに対し、同透過度が $8 \times 10^{-8} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$、分離係数 100 以上の分離膜を工業的に製造できる技術を開発する。</p> <p>最終目標（平成 25 年度末）</p> <p>水透過度が $2 \times 10^{-7} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$、分離係数 200 以上の分離膜を工業的に製造できる技術を開発する。</p> <p>また併せて、研究開発項目③-2-2 で開発される多チャンネル型管内壁の内部表面上に規則性ナノ多孔体薄膜を製膜することにより分離膜を製造する技術を開発する。</p> <p>酢酸脱水用：</p> <p>中間目標（平成 23 年度末）</p> <p>水透過度 $8 \times 10^{-8} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$、水と酢酸の分離係数が 100 以上であり、耐酸性を有する分離膜を工業的に製造できる技術を開発する。</p> <p>最終目標（平成 25 年度末）</p> <p>水透過度 $2 \times 10^{-7} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$、水と酢酸の分離係数が 200 以上であり、耐酸性を有する分離膜を工業的に製造できる技術を開発する。</p> <p>(2) 分離膜評価技術</p> <p>中間目標（平成 23 年度末）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>最終目標（平成 25 年度末）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>-2-2 分離膜用セラミックス多孔質基材の開発</p> <p>(1) セラミックス多孔質基材の開発</p> <p>中間目標（平成 23 年度末）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。 <p>最終目標（平成 25 年度末）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 <p>(2) 多チャンネル型セラミックス多孔質基材の開発</p> <p>中間目標（平成 23 年度末）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内管表面構造を制御する製造技術を開発する。 ・多チャンネル型基材 長さ 1m（管状 外径 30mm）当たり 0.2m^2 の膜面積を実現する。 <p>最終目標（平成 25 年度末）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・多チャンネル型基材 長さ 1m（管状 外径 30mm）当たり 0.3m^2 の膜面積を実現する。 <p>-2-3 モジュール化技術の開発</p> <p>(1) 管状基材を用いたモジュール化技術</p> <p>中間目標（平成 23 年度末）</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>最終目標（平成 25 年度末）</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>(2) 多チャンネル型基材を用いたモジュール化技術</p> <p>中間目標（平成 23 年度末）</p> <p>使用条件に耐えるシール材料を選定する。</p> <p>最終目標（平成 25 年度末）</p> <p>管状型分離膜と同等のシール性能を確認する。</p> <p>(3) 膜分離解析モデル・シミュレーターの開発</p> <p>中間目標（平成 23 年度末）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。
--------------	---

- ・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。
- 最終目標（平成25年度末）
- ・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。
 - ・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。

-2-4 試作材の実環境評価技術の開発

(1) 実環境評価検討

中間目標（平成23年度末）

- ・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。

最終目標（平成25年度末）

- ・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。
- ・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。

(2) プロセスシミュレーターの開発

中間目標（平成23年度末）

- ・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。

最終目標（平成25年度末）

- ・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。
- ・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。

事業の目標

事業の計画内容	主な実施事項	H 2 1	H 2 2	H 2 3	H 2 4	H 2 5	総額
	分離膜製造基盤技術の開発	122	117	102	84	133	558
	分離膜用セラミックス多孔質基材の開発	37	13	7	8	23	88
	モジュール化技術の開発	62	33	42	53	78	268
	試作材の実環境評価技術の開発	10	8	25	126	32	201
	その他						
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H 2 1	H 2 2	H 2 3	H 2 4	H 2 5	総額
	一般会計	231	171	0	0	0	402
	特別会計 (一般・電源・需給の別)	0	0	176	271	266	713
	加速予算 (成果普及費を含む)	105	156	0	0	0	261
	総予算額	336	327	176	271	266	1,376
	(委託)	336	327	176	271	266	1,376
	(助成) ：助成率 1/2	0	0	0	0	0	0
	(共同研究) ：負担率	0	0	0	0	0	0
開発体制	経産省担当原課	産業製造局化学課					
	プロジェクトリーダー	早稲田大学 理工学術院 教授 松方 正彦					
	委託先 (*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	委託先学校法人早稲田大学、日立造船株式会社、三菱化学株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、JX 日鉱日石エネルギー株式会社、財団法人ファインセラミックスセンター、千代田化工建設株式会社、宇都宮大学、大阪大学、山口大学、名古屋工業大学、芝浦工業大学					
情勢変化への対応	進捗状況をふまえ、当該技術分野における実用化の前倒しが期待されるテーマに関して、研究加速財源の配分を行った。また、酢酸用脱水膜の製造については目標値の上方修正を行った。						
評価に関する事項	事前評価	H 2 1 年度 実施 担当 電子・材料・ナノテクノロジー部					
	中間評価	H 2 3 年度 実施 担当 電子・材料・ナノテクノロジー部					
	事後評価	H 2 6 年度 事後評価実施予定					

◎優れた結果が得られた
 ○順調に進捗しており、23年度中に中間目標達成見込み
 23年度開始であるが、23年度中に中間目標は達成見込み

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-1(1)-1					
管型膜エレメントの開発 (早稲田大学)	短尺膜による膜の基盤的研究開発	IPA 脱水用 : 150℃以下で 水透過度 8×10^{-8} mol/(m ² ·s·Pa)、分離係数 100 以上 酢酸脱水用 : 250℃以下で 水透過度 8×10^{-8} mol/(m ² ·s·Pa)、分離係数 100 以上	IPA 脱水用 : 水透過度 2×10^{-7} mol/(m ² ·s·Pa)、分離係数 450 (100℃、IPA/水=80/20) 酢酸脱水用 : 水透過度 2.5×10^{-7} mol/(m ² ·s·Pa)、分離係数 > 25000 (150℃、酢酸 / 水 =10 kPa/10 kPa)		・膜調製法の改良 ・透過分離性能の向上

Ⅲ. 研究開発成果について

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-1(1)-1					
III. 研究開発成果について	管型膜エレメントの開発 (日立造船)	実機サイズの膜エレメント製造技術を高度化し、一体型膜エレメント(1mレベル)を開発する。 IPA/水分離系 透過速度： 2×10^{-7} mol/(m ² ・s・Pa)、 分離係数：200 ② 酢酸/水分離系 透過速度： 2×10^{-7} mol/(m ² ・s・Pa) 分離係数：200	大型膜エレメントを工業的に製造するための基盤技術を開発する。 IPA/水分離系 透過速度： 8×10^{-8} mol/(m ² ・s・Pa)、 分離係数：100 ② 酢酸/水分離系 透過速度： 8×10^{-8} mol/(m ² ・s・Pa)、 分離係数：100	分離系に対応したゼオライト種を選定し、膜分離性能を評価。 高含水 IPA では FAU(Y 型)で最終目標を達成。原料条件(重量比) IPA・酢酸/水=80/20 (VP mode 130) IPA/水分離系 ・FAU(Y 型)長尺:1mレベル 透過速度： 5.4×10^{-7} mol/(m ² ・s・Pa) 分離係数:2000以上 ・MFI(ZSM-5)長尺:1mレベル 透過速度 9.0×10^{-7} mol/(m ² ・s・Pa) 分離係数:114 ② 酢酸/水分離系 ・MOR 長尺:1mレベル 透過速度: 1.3×10^{-7} mol/(m ² ・s・Pa) 分離係数:703	・MFI(ZSM-5)、MORの性能改良 安定した膜性能を得るための工業的製造条件把握

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-1(1)-1					
管型膜エレメントの開発 (三菱化学)	長さ1m以上の長尺膜の工業的製造のための基盤技術の開発	IPA脱水用： 水透過度 $8 \times 10^{-8} \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 、分離係数 100 以上の分離膜を工業的に製造できる技術を開発する。 酢酸脱水用： 水透過度 $8 \times 10^{-8} \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 、分離係数 100 以上の分離膜を工業的に製造できる技術を開発する。	IPA脱水用:0.8m長膜 水透過度 $2 \times 10^{-7} \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 、分離係数 500 (75°C、IPA/水=90/10) 酢酸脱水用： 0.8m長膜、水透過度 $2.5 \times 10^{-7} \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 、分離係数 118 (75°C、酢酸/水=50/50)		<ul style="list-style-type: none"> ・1m長の試作 ・製造安定性の確認 ・更なる性能向上のための製膜条件検討
-2-1(1)-2					
多チャンネル型膜部材の開発 (三菱化学)	新規支持体への製膜検討及び分離特性を支配する因子の解明	新規支持体への製膜検討に着手し、構造欠陥を評価する評価法を確立する。	(平成 23 年度に実施)		<ul style="list-style-type: none"> ・新規支持体膜用製膜検討 ・新規支持体膜の評価

Ⅲ. 研究開発成果について

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-1(2)					
Ⅲ. 研究開発成果について 分離膜評価技術の開発 (ファインセラミックスセンター)	透過電子顕微鏡 (TEM) 法の高度化	TEM法を用いて、サブナノオーダー分解能での微構造解析を可能とする	加速電圧 100kV～300kV の範囲で分解能 0.2 nm 以上の高分解能 TEM 観察を可能にした		<ul style="list-style-type: none"> ・多チャンネル型試料の解析を可能とする試料作成法の開発を行う ・結晶粒界における細孔チャンネルの連続性に関する評価解析法を確立する
		試料形状によらず品質の高い TEM 観察用薄片試料の作製手法を開発する	管状試料の TEM 観察を可能にした		
		ゼオライト結晶粒界等に関する知見を得る	MFI ゼオライトの粒界構造の観察に成功した		
		ナノメートルサイズの空間分解能でゼオライト膜の化学組成分析を可能にする	アルミナ多孔体基板の細孔内に形成されたゼオライト相の組成像を測定した		
		ゼオライト膜内における結晶粒界の空間分布を観察する手法を開発する	モデル材を用いた電子線トモグラフィ観察条件をほぼ確立。		

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-1(2)					
分離膜評価技術の開発 (ファインセラミックスセンター)	計算科学的手法を用いた解析	原子オーダーでの微細構造解析法を可能とする	FAU 双晶界面を対象として原子オーダーでの解析を実証した		<ul style="list-style-type: none"> ・MD 法を用いたゼオライト結晶内での分子拡散シミュレーション法を高度化する ・プロセス支援に必要な知見を得るために評価技術の改良・開発を行う
		ガス分子の透過性のシミュレーションを実施する	ND 計算に必要な初期状態をモンテカルロ法で求める手法を確立し、MOR の細孔内での拡散係数を算出した		
	プロセス開発支援		現時点までに開発された手法を用いて、6 機関からの依頼に対応中である		
-2-1(2)					
分離膜評価技術の開発 (早稲田大学)	膜構造の評価技術	ゼオライト膜の粒界評価	装置の導入完了		<ul style="list-style-type: none"> ・各種ゼオライト膜を用いた粒界評価

Ⅲ. 研究開発成果について

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-2(1)					
セラミックス多孔質基材の開発 (リタケカンパニー)	原料種の適正化	<ul style="list-style-type: none"> ・製膜、脱水プロセス条件下で大幅な強度劣化の無い基材開発。 ・細孔径、透過特性、表面平滑性、耐化学特性を有する基材開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3タイプの製膜試験用基材提供。焼成温度のみの制御で細孔径制御可能。 		<ul style="list-style-type: none"> ・製膜試験、評価結果を受けた基材特性のカスタムメイド。 ・基材ゼータ電位が製膜プロセスに与える影響解明。 ・酢酸脱水膜用多孔質基材の長尺化。 ・カスタムメイドされた基材の基礎特性把握と多孔質構造との相関性解明。
	混練・焼成等プロセスの改良				
	表面化学特性評価の実施	<ul style="list-style-type: none"> ・多孔質基板のゼータ電位測定方法確立。 			
(名工大)	基材長尺化のための作製条件探索	<ul style="list-style-type: none"> ・酢酸脱水膜用基材長尺化。 	<ul style="list-style-type: none"> ・製膜試験用支持体の長尺化成形条件適正化完了。 		
(名工大)	分離膜性能と基材特性の相関性解明	<ul style="list-style-type: none"> ・熱・機械的特性および耐化学特性評価基礎技術の構築 	<ul style="list-style-type: none"> 各種多孔質基材の熱機械的特性評価および耐化学特性評価を完了 		
-2-2(2)					
多チャンネル型セラミックス多孔質基材の開発 (リタケカンパニー)	複雑形状作製プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> ・長さ1m当たり0.2m²の膜面積を有する基材開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・多チャンネル成形用坯土条件把握。 		<ul style="list-style-type: none"> ・多チャンネル型長尺化および内管表面構造制御条件確立。 ・多チャンネル型基材熱・機械・化学的評価手法確立
	内管表面構造制御方法検討		<ul style="list-style-type: none"> ・単管レベルの表面層製膜方法検討中 		
(名工大)	多チャンネル基材特性評価方法検討	<ul style="list-style-type: none"> ・熱機械化学的耐久性評価手法構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・多チャンネル型基材の圧壊強度の測定手法を開発 		

Ⅲ. 研究開発成果について

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-3(1)					
管状基材を用いたモジュール化技術 (早稲田大学)	管状膜の簡易シミュレータ開発	単一管状膜の1次元シミュレータを開発	シミュレータ完成		・多チャンネル型膜モジュールシミュレータを開発
	多チャンネル型膜モジュールのシミュレータ開発	多チャンネル型膜モジュールシミュレータを開発	(23年度実施)		
-2-3(1)					
管状基材を用いたモジュール化技術 (日立造船)	マルチエレメント格納容器設計	膜分離解析モデル完成	ガス流れ解析用熱移動モデル完成		・バッフル型モジュールによる実環境試験と解析結果の照合 ・目標モジュール効率(60%)を到達させる構造アイデアの創出/実証
		脱水性能阻害要因の分析	二重管型とバッフル型の解析にて各々の有効性評価		
	シール技術確立	1000時間以上耐久性確保	グランドパッキンシール性良好メタルパッキン構造検討中		・耐久試験実施 ・SUSパッキン構造の再検討/検証

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅲ. 研究開発成果について

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-3(1)					
管状基材を用いたモジュール化技術 (三菱化学)	シール技術検討、開発	操作温度100-150程度、高含水、酸性(pH=2)有機溶剤等の条件下において、1000時間以上の耐久性を満足するシール技術の開発	150℃、IPA90%中では、4000時間の耐久性確認 150℃まで、酢酸濃度95wt%中で、選定したシール材料に問題無い事を確認		<ul style="list-style-type: none"> ・シール材料の長期耐久性試験の実施 ・形状要素と膜利用効率の関係についてテスト用モジュールでデータを採取し、シミュレーションにより解析
	マルチエレメント格納容器設計	膜の利用効率を規定している要素技術を解明する	バッフル型のテスト用モジュール内の流動解析モデルを作成し、バッフル構造とモジュール効率の関係を整理		

研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-3(3)					
膜分離解析モデル・シミュレーター開発 (千代田化工)	膜モジュールシミュレーター開発	管状型膜モジュールシミュレーターを開発	<ul style="list-style-type: none"> ・モジュール内流動状態のモデル化 ・流動解析への膜分離モデルの組み込みを実施 		<ul style="list-style-type: none"> ・モジュールテストデータによる合わせ込み

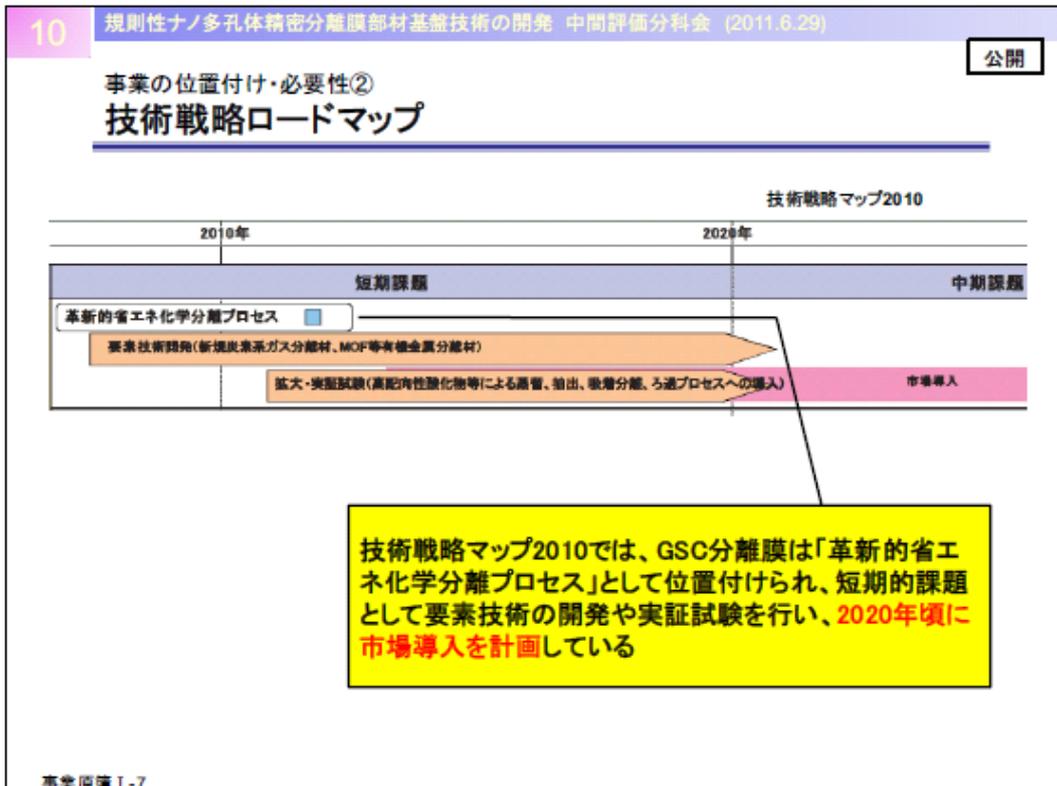
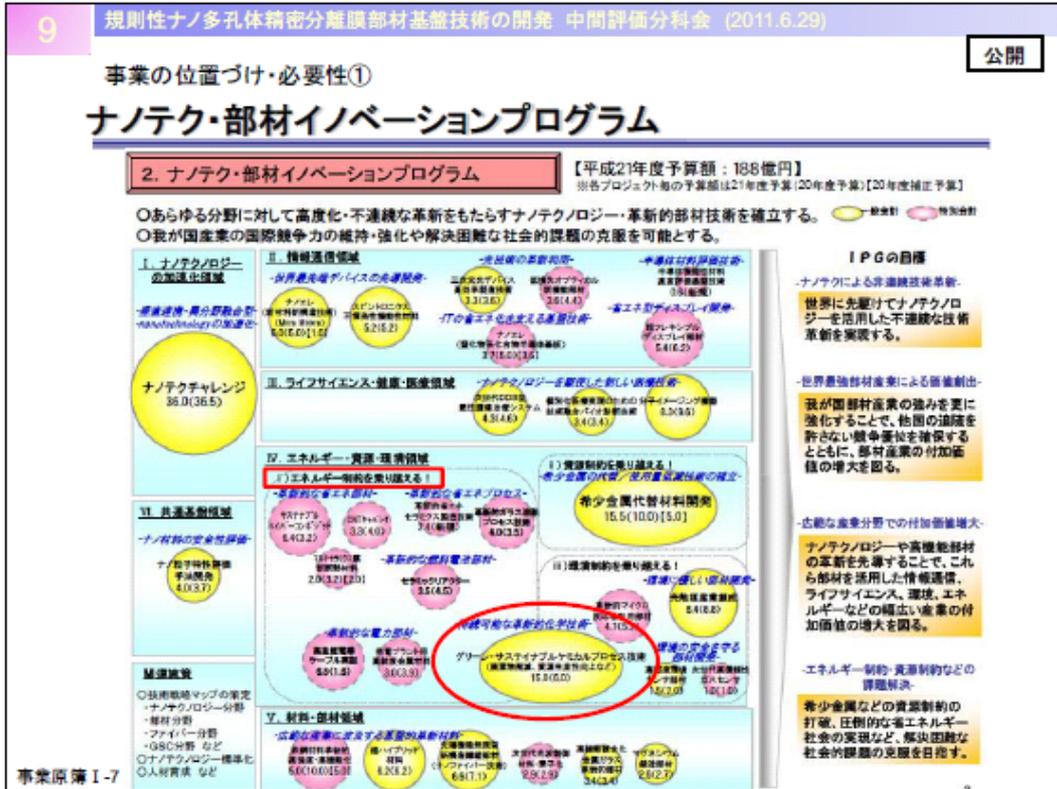
研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-4(1)					
実環境評価検討 (早稲田大学) (JX エネルギー)	実環境評価装置の設置場所、法対応、日程の検討	実環境評価装置の設置場所の確保、法対応、日程の確定	実環境評価装置の設置場所を確保完了。法対応を確認完了。試験開始を2012年10月に決定。		・実環境評価試験の運転データ閲覧システムの構築方法
	プラント枝出し箇所の検討	プラントの枝出し箇所の確定	プラントの枝だし箇所を決定。		
	実環境評価装置の設計	インターロックシステムを含めた実証装置フロー、サイズの確定	フローの大枠を策定。詳細フローを検討中。		
-2-4(1)					
実環境評価検討 (千代田化工)	対象となる IPA の蒸留分離装置のシミュレーションモデル作成・現状運転のトレース		-2-4(2)の結果を活用して第一次検討を実施		・分離試験で想定するプロセスモデルの構築
	分離試験で想定する蒸留塔+膜分離モジュールのプロセスシミュレーション準備		-2-4(2)の実施を通して予備検討を実施		
-2-4(2)					
研究項目	目標項目	中間目標	現時点での達成度	達成度	今後の課題
-2-4(2)					
プロセスシミュレーターの開発 (千代田化工)	酢酸と IPA を対象とした蒸留+膜分離モジュールを組み合わせたプロセスシミュレーターの開発		開発完了		・酢酸の脱水システム検討 ・最適プロセスの面からの膜分離への要求性能の検討
	酢酸と IPA の蒸留分離システムとのエネルギー効率、コスト比較システムの開発		想定データを用いてエネルギー効率等の比較検討を実施し、開発システムの基本を作成		

Ⅲ. 研究開発成果について

	論文・予稿集	25報
	特許	6件
	その他の外部発表 (プレス発表等)	「新聞発表、雑誌等」4件、「講演・学会発表」75件
IV. 実用化見通しについて	<p>出口として、耐水性や耐酸性が要求される蒸留プロセスで2030年に約2,000億円の市場が見込まれる。本プロジェクトで開発した部材・プロセスについては既設の蒸留プロセスにレトロフィットが可能であり、参画企業が5年を目標に実用化を進めていく。</p>	
基本計画に関する事項	作成時期	平平成21年3月 NEDO制定
	変更履歴	(1)平成21年12月、「明日の安心と成長のための緊急経済対策(平成21年度補正予算(第2号))」に係る研究開発項目④追加による改訂

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料 6-1 より抜粋)

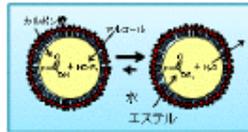


事業の位置づけ・必要性③

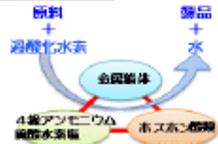
グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発プロジェクト

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



- 化学プロセスの30%をしめる酸化反応のグリーン化を行い、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

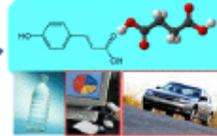
今回の対象PJ

③CO₂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

空気
天然ガス
(低品位ガス)
植物由来原料



④原料多様化

「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／
 資源生産性を向上できる革新的プロセス及び化学品の開発／
 規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発」

全体の研究開発実施体制



「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／
資源生産性を向上できる革新的プロセス及び化学品の開発／
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)

評価概要 (案)

1. 総論

1) 総合評価

無機分離膜による物質の分離・精製における省エネルギーの可能性は以前から期待されてきたが、現実にはバイオエタノールの脱水プロセス以外はほとんど実用化されていない。本プロジェクトが取り上げたゼオライト脱水膜には、水透過を容易にするため親水性を増すと耐水性、耐酸性に問題が起こるといった課題があったが、この課題の克服に目処をつけたことは、大いなる技術的前進であり、わが国独自の先行技術となりうるものである。このようなゼオライトを利用した無機分離膜が開発・実用化されれば、化学産業の省エネルギー対策に大きく貢献できる先進技術として高く評価される。本プロジェクトの推進は、PLのリーダーシップのもとに、良く統率が取れた運営がなされており、所定の中間目標を達する成果を得ている。

一方、実環境評価検討は不可欠であり、装置の付設が可能で特に問題が無いことは確認されているものの、計画通りの実施が可能かどうかの早めの確認が必要であろう。また、さらなる性能の改善、研究開発の加速のためには分離のメカニズムを詳細に検討する必要がある。

2) 今後に対する提言

膜の形成条件と試料の表面状態、分離のメカニズムなど基礎的な視点から研究を行うことは極めて重要であり、これらの点を取り入れた研究展開が望まれる。また、その基本的性能評価においては、標準試験法(分離気体組成、温度、圧力など)を規定することが望ましい。脱水膜の用途を拡大するためには、耐水性や耐酸性の問題だけでなく、脱水負荷自体も大きくなるケースが多く、また、低濃度酢酸水溶液からの酢酸回収では抽出と蒸留の組み合わせが用いられるなど、プロセスのバリエーションも多くなることに留意する必要がある。プロジェクト終了段階では、可能な限りの実用化イメージと性能目標を描き、そのレベルに達するまでの課題の整理と、分離メカニズム解析や基礎研究の成果等も生かした実用化開発(性能向上、量産化、コストダウン)の方向性を明示していただきたい。

一方、実環境評価検討については、設置設備の適用法規を確認し、計画通り

に実施可能かどうか確認しておくべきである。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

バイオエタノール分離濃縮膜としてのゼオライト膜が実用化されて十年以上になるが、一般の化学産業で応用され、大幅な省エネ効果が達成された事例を未だ見ないようである。NEDOのような公的機関のバックアップによる実用化例が示されることになれば、内外の関係部門に非常に強いインパクトを与え、この技術の実用化・応用が急速に発展する。安定性・安全性などに関する解決すべき幾つかの問題点も残されているが、この技術が完成すれば大幅な省エネが達成できることは明らかであり、世界初の省エネルギー技術として国内外への大きな貢献が期待できる。今日我が国がおかれた状況下で、本プロジェクトの位置づけ・必要性は明確であり、公共性も高く、十分な費用対効果が期待されるものと考えらる。

2) 研究開発マネジメントについて

研究開発目標が短期の IPA（イソプロピルアルコール）脱水膜と、長期の酢酸脱水膜に設定されており、それぞれの開発目標は明確であり評価できる。研究開発実施の事業体制も妥当と考えられる。特に、プロジェクトリーダーの統括の下に実施者間の連携が十分に行われる体制となっている。また、成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示されており、妥当である。プロジェクトの研究開発内容は、メカニズムの追及から実用化に向けての検討まで必要な要素が取り入れられており、バランスが取れている。企業サイドとのコミュニケーションもよく機能していると判断できる。

しかしながら、具体的な開発目標値は設定されているが、実用化を想定した工業的な多孔性セラミック分離膜の性能としては更に大幅な向上が必要である。また、膜の耐水性は根本的に重要なファクターであるので、適用条件（温度、水組成範囲）についても言及する必要がある。実用化の指標である透過性能の有為な目標値を、実用化時のプロセスを明示した上で、プロジェクト終了時までに呈示し、それに至るまでの開発課題と取り組みの方向性を明らかにしてほしい。

3) 研究開発成果について

全般的に目標をクリアしており順調に成果が上がっている。最終目標の達成も十分可能と判断される。膜分離性能は目標値を大幅に超えるものも見出されており、世界的に見ても高水準にある。研究成果の公表については十分に行わ

れている。本プロジェクトの成果は膜分離技術を化学品製造に利用する大きなブレイクスルーになるものであり世界的に新しい市場を開拓する可能性を有している。

一方、知的財産権等の取得数が少ないが、今後の申請件数に期待したい。論文発表については、国際的な一流誌への投稿にもつとめ、プロジェクトの名声をあげてほしい。大学の研究者が関与している組織でもあるので、基礎研究面での実績も期待する。中間評価の段階で実用化に向けての道筋が明確になり、研究成果がでてきたので、今後、本技術の普及に向けての一層の情報発信が望まれる。

4) 実用化の見通しについて

セラミック分離膜の特徴である耐熱性、耐酸性を有する高選択・透過性の実用的分離膜が開発されつつあり、その実用化イメージ・出口イメージが明確に示されている。最終評価までに実用化に必要な研究課題を確実に克服できれば、実用化の可能性が高い。膜分離技術の実用化は大きな省エネ効果を生むため、大きな波及効果が期待される。また、共同研究場所を設け、基盤技術の開発を並行して実施していることにより、当該技術を支える人材育成がなされており、日本の技術競争力の維持向上に寄与すると考えられる。

しかしながら、膜の高温水（水蒸気）に対する耐性は本プロジェクトの成否を左右するファクターであるが、ラボスケールでの膜の安定性に関する確定的データが少ない。比較的長時間での分離試験、あるいは繰り返し分離テストなどにより高温水（水蒸気）に対する安定条件、範囲を早急に検討する必要がある。本技術の普及という点では、膜の量産化やコストダウン、プロセスの信頼性、プロセス設計パッケージなど、ユーザーが安心して導入できる環境整備が必要になる。膜分離技術は日本が当初より世界的に優位性を示してきた分野であるが、中国をはじめとする各国の追い上げが急速に進んでいる。メンバー各位が、今まで以上に世界的な動向の把握に努めてほしい。

個別テーマに関する評価

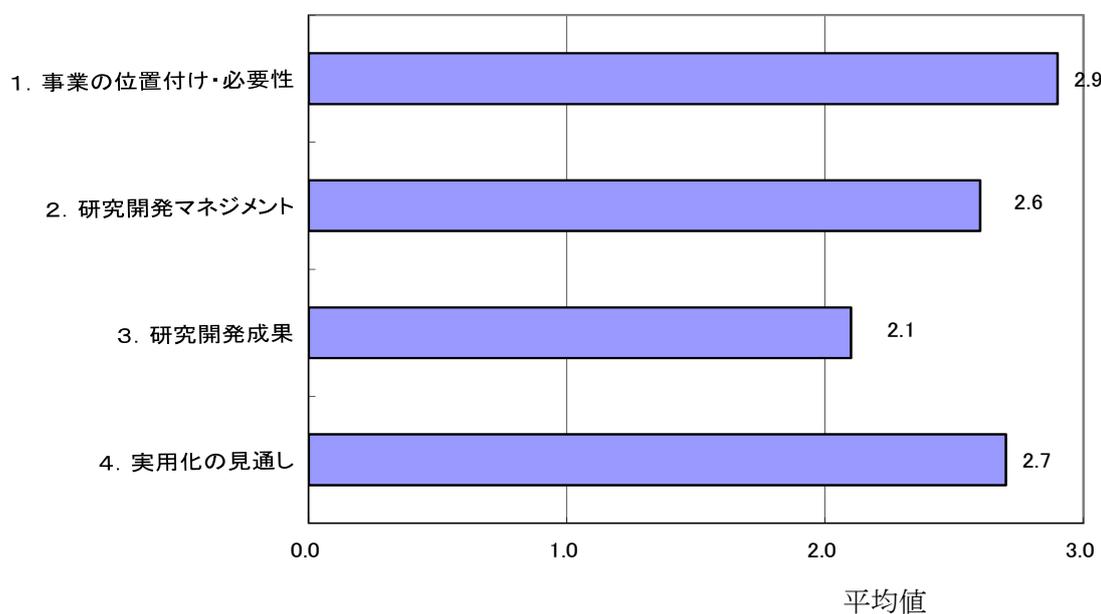
*注：「実用化の見通し」については、すべての個別テーマが連動して実用化を目指すものであるため、個別テーマでの評価は行わず、プロジェクト全体での評価とした。

	成果に関する評価	今後に対する提言
分離膜製造基盤技術及び分離膜評価技術の開発	<p>各種のゼオライト分離膜が検討されており、その分離性能が目標値を大幅に超えているものもある。高温水（水蒸気）耐性が確認できれば工業化が十分期待できる。膜製造に関する基礎的なノウハウは十分検討され、蓄積されている。特に、試料の評価技術としては極めて高いレベルにある。管型エレメントの開発では中間目標以上の膜性能を持つ膜の開発に成功しており、高く評価できる。TEM を用いた分離膜の評価技術では高度な技法の開発に成功しており評価できる。</p> <p>しかしながら、基盤技術開発としての目標は達成したものの、実用化に際しては開発されているゼオライト膜の透過性が比較的小さい。酢酸脱水の一部のプロセスのように、脱水負荷が大きい場合に膜による脱水プロセスが経済的に成立するためには、現状目標より大きな水透過速度が必要になると考えられる。</p>	<p>本格的な実用化プロジェクトに向けて、新たな目標とそれにいたる課題を克服するための開発の方向性を示していただきたい。膜の構造と関連した水透過機構の解明が望まれる。</p>

<p>分離膜用セラミックス多孔質基材の開発</p>	<p>多孔質基材のゼータ電位測定など、新規性の高い成果を出しており、多孔質基材側の表面特性評価技術の確立により製膜技術が向上できた点で高く評価できる。多チャンネル型多孔性セラミック基材の基材断面構造と透過係数の増大化を期待した細孔径の増大化は妥当な方向である。多チャンネル型の基材開発は、セラミック分離膜のコンパクト化に貢献できる技術と認められる。</p>	<p>多チャンネル基材開発については、内孔表面特性制御、内孔成膜法などの課題とともに確実な成果を出して欲しい。また、モジュール化技術の開発においては、実施企業独自の基材も並行して使用されているが、本テーマで開発されている基材に優位性があるのか否かが不明確である。</p>
<p>モジュール化技術の開発</p>	<p>欠陥の少ない長尺無機膜の製造技術が工業化に近いレベルで確立しており、モジュール化のためのキー技術であるシール方法も確立に近いレベルである。流体解析技術など、シミュレーションを駆使したモジュール特性の検討が行われており、モジュール設計の標準化に繋がる成果が期待される。モジュール化技術の開発においてはシール材・構造、モジュール内における混合物流動時の熱・物質移動の検討による分離効率等が詳細に検討されており、実用化に向けて構造、性能評価に役立つ。</p> <p>一方、モジュール内で混合蒸気の濃縮に伴って凝縮が起こる場合があるため、膜による分離濃縮現象の詳細を検討し、これを加味する必要がある。</p>	<p>シミュレーションに関しては、類似のテーマに複数の実施者が並行して取り組んでいるが、基礎的な部分は協業の方式を取る方が相乗効果による開発のスピードアップが期待できるのではないか。</p>

<p>試作材の実環境 評価技術の開発</p>	<p>塔頂蒸気圧縮など、膜分離以外の省エネ手法も考慮されたプロセス検討がなされている。企業側とのコンタクトもよくとれており、順調に実験的実環境評価のための準備が整えられつつあり、実機に膜分離を導入したときの効果の検討がなされている。プロセスシミュレータによる評価も省エネルギー目標を達成できることを示しており、今後の成果を期待したい。</p>	<p>実環境評価検討については、設置設備の適用法規は消防法他と考えられるが、種々の判断は所轄消防の担当者によるということを確認し、検討を進めて行く上での手順について、プロジェクトの現状の予定通りに実施可能かの確認を実施しておくべきである。限られた検討期間において複数の膜を評価することから、短期間の試験でも膜寿命の評価ができる明確な尺度が必要である。また、経済性試験結果は魅力的な結果が出ているが、エネルギーコストが高めで、膜透過性能も現状より大きい事が前提となっていることに留意する必要がある。</p>
----------------------------	---	--

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	B	A	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	A	B	A	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	B	B	A	A	B	A	A	
3. 研究開発成果について	2.1	B	C	B	B	A	A	B	
4. 実用化の見通しについて	2.7	A	A	B	A	B	A	A	

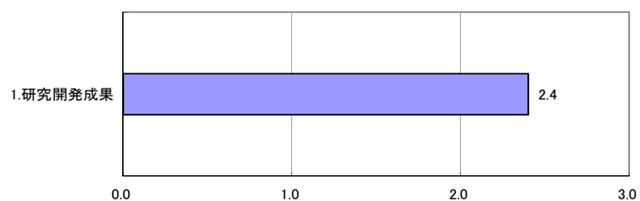
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈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. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

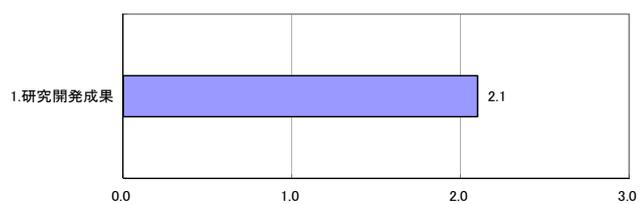
評点結果〔個別テーマ〕

分離膜製造基盤技術及び分離膜評価技術の開発



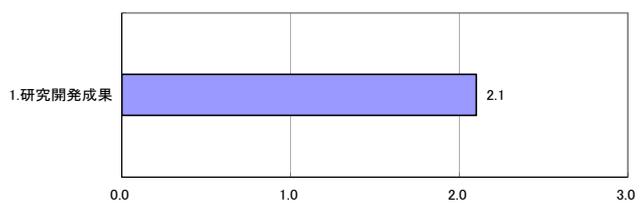
平均値

分離膜用セラミックス多孔質基材の開発



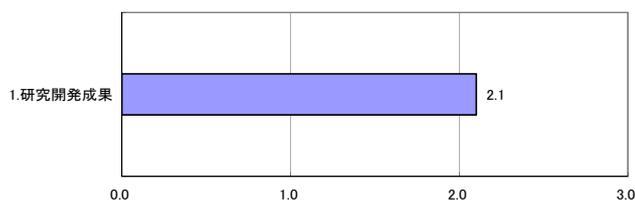
平均値

モジュール化技術の開発



平均値

試作材の実環境評価技術の開発



平均値

個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)						
分離膜製造基盤技術及び分離膜評価技術の開発								
1. 研究開発成果について	2.4	B	B	B	B	A	A	A
分離膜用セラミックス多孔質基材の開発								
1. 研究開発成果について	2.1	C	B	B	B	B	A	A
モジュール化技術の開発								
1. 研究開発成果について	2.1	C	B	A	B	B	A	B
試作材の実環境評価技術の開発								
1. 研究開発成果について	2.1	B	B	A	C	B	A	B

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・非常によい →A
- ・よい →B
- ・概ね適切 →C
- ・適切とはいえない →D

*注:「実用化の見通し」については、すべての個別テーマが連動して実用化を目指すものであるため、個別テーマでの評価は行わず、プロジェクト全体での評価とした。