



技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight

Vol. **14**

## 化学品製造プロセス分野の 技術戦略策定に向けて

2016年12月

<b>1</b> 章	化学品製造プロセス分野の概要	2
1-1	化学産業における製造プロセス	2
1-2	化学品製造プロセスにおける温室効果ガス削減の重要性	3
1-3	我が国の化学産業におけるCO <sub>2</sub> 排出量	4
<b>2</b> 章	化学品製造プロセス分野の置かれた状況	5
2-1	化学品製造用膜分離の市場規模とプレイヤー	5
2-2	分離膜の開発動向	7
2-3	国内外の研究開発政策の状況	11
2-4	学術水準、論文・特許件数等	13
<b>3</b> 章	化学品製造プロセス分野の技術課題	17
3-1	技術体系	17
3-2	技術課題	18
<b>4</b> 章	おわりに	18

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

## 1章 化学品製造プロセス分野の概要

日本の化学産業は、基礎化学品から高機能化学品まで、世界でもトップレベルの品質、機能を有した製品を製造し、国内外の様々な分野に供給している。

経済産業省「工業統計調査2014年確報」によれば、日本の化学産業（広義の化学工業：工業統計の分類で、化学工業、プラスチック製品製造業、ゴム製品製造業の合計）は、製造業全体の出荷額305兆円のうち、43兆円（14%）を占め、輸送用機械器具製造業（60兆円）に次ぐ。また製造業全体の付加価値額<sup>\*1</sup> 92兆円のうち、化学産業は15兆円（16%）をもたらし、輸送用機械器具製造業（17兆円）に次ぐ。

一方、グローバルに見ると、日本の化学工業の2014年の出荷額は、中国、アメリカに次いで世界第3位のポジションにある<sup>\*2</sup>。

分離」の代表例の蒸留法である。分離対象物質の沸点差を利用して分離するプロセスで、成熟した技術であるが、加熱・冷却等のためにエネルギーを与え続けるエネルギー多消費プロセスである。深冷法、吸収法、吸着法も、「平衡分離」に区分されるが、分離に利用する相や分離対象物質の物性差が異なる。深冷法はガスの冷却や圧縮が必要であり、これもエネルギー多消費プロセスである。また、吸収法や吸着法は、後工程に更なる分離プロセスが必要であり、やはりエネルギーを多く必要とする。

一方、「速度差分離」とは、移動速度の差を利用するもので、膜分離法がその代表例である。分離対象物質の物性差（分子サイズ、膜表面との親和性、膜材料への溶解拡散性等）によって生じる基質選択性、膜内の移動速度の差によって分離を実現する。膜の両側に圧力差や濃度差等があれば、分離プロセスとして駆動させることが可能であり、膜分離法は、技術の成熟度や利用実績では他の方法より劣るものの、より省エネ型の分離プロセスとなるポテンシャルを有する。

### 1-1 化学産業における製造プロセス

化学産業の製造プロセスは、前処理、反応、分離、精製に区分される。このうち分離プロセスは、製品の品質確保、省エネルギー化、及びコスト削減が特に求められており、様々な方法が開発され、利用されている（表1）。

分離プロセスは、分離原理によって「平衡分離」と「速度差分離」に大別される。「平衡分離」は、気相・液相・固相のうちの2つの相の界面における平衡関係を利用するもので、エネルギーを投入して新しい界面を形成することによって分離を実現する。

分離プロセスの中で最も普及している方法は、「平衡

<sup>\*1</sup> 付加価値額＝製造品出荷額等＋（製造品年末在庫額－製造品年初在庫額）＋（半製品及び仕掛品年末価額－半製品及び仕掛品年初価額）－（消費税を除く内国消費税額＋推計消費税額）－原材料使用額等－減価償却額：30名以上の法人のケース  
出所：経済産業省ホームページ

<sup>\*2</sup> 出所：American Chemistry Council (ACC)，“Guide to Business of Chemistry 2015”

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

表1 分離プロセスの特徴

	蒸留法	深冷法	吸収法	吸着法	膜分離法
分離原理	平衡分離				速度差分離
分離に利用する分離対象物質の物性差	沸点	沸点	溶媒との親和性	吸着材との親和性	分子サイズ 膜表面との親和性 膜材料への溶解拡散性
技術の成熟度	高	高	高	中	開発中
利用実績	多	多	多	中	少

出所:各種公表資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)

## 1 化学品製造プロセスにおける -2 温室効果ガス削減の重要性

COP21(2015年、フランス・パリ)において、パリ協定が採択され、世界共通の長期目標として気温上昇を産業革命前から2℃未満に抑えることを目標とし、1.5℃に抑えるため努力することが定められた。

パリ協定の採択を受けて、我が国では総合科学技術・イノベーション会議において「エネルギー・環境イノベーション戦略」が策定され、温室効果ガスの抜本的削減を実現する革新技術の研究開発を強化していくことになった。その取組の1つとして、加熱・冷却を繰り返してエネルギーを大量消費する蒸留プロセスから脱却し、膜分離プロセスや触媒技術等の先端技術を駆使して大幅な省エネルギー及びCO<sub>2</sub>排出削減と経済性向上を目指す「革新的生産プロセス」の開発が含まれている。

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## 1 我が国の化学産業における -3 CO<sub>2</sub> 排出量

国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2014年度確報値）」によれば、2014年度におけるエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量11億8,930万トンのうち約3分の1は産業由来であり（図1左）、このうち96%は製造業が占めている（図1中）。化学産業は7,360万トンのCO<sub>2</sub>を排出しており、これは製造業全体の18%を占め、鉄鋼業に次ぐ排出量である（図1右）。

また、化学産業におけるCO<sub>2</sub>排出量の40%が蒸留分離によるものと言われている。<sup>※3</sup>

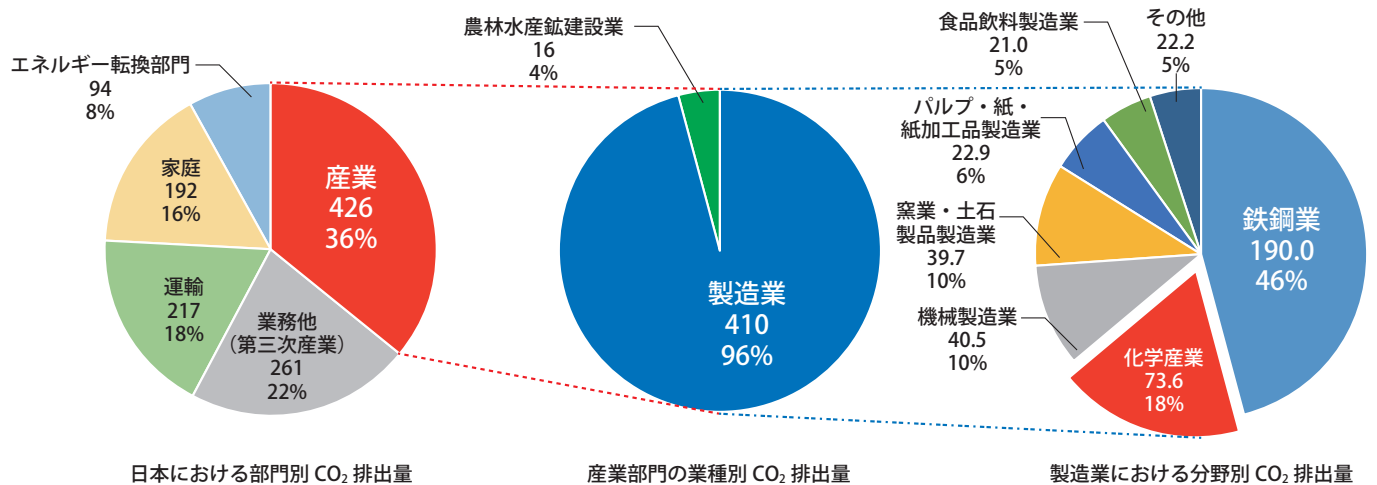


図1 日本におけるエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量（2014年度、電気・熱配分後、単位:百万トン）

出所: 国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2014年度確報値）」を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2016）

※3 出所: Douglas C.White, "Optimize Energy Use in Distillation", AIChE, March 2012

## 2章

### 化学品製造プロセス分野の置かれた状況

#### 2-1

#### 化学品製造用膜分離の市場規模とプレーヤー

本節では、エチレン及びプロピレンの生産量の伸びを予測した上で、今後、世界的に増強されるプラントに膜分離技術が使われると想定して、膜分離ユニット及びプラントの市場規模を推定する。また、膜市場におけるプレーヤーについて述べる。

##### (1) 市場規模

今後、インドなどの新興国の人口増加や経済発展により、各種材料・素材の需要が大きく伸びることが想定される。それに伴ってエチレン及びプロピレンの生産量も増加すると見込まれている(図2)。

エチレンの生産量は、2035年には2億243万トン／年に達する見込みであり、2025～2035年の間に年平均約138万トンの生産設備の増強が予想されている。米国

ではシェールガス関連技術の進展に伴い、エタンクラッカーの建設ラッシュとなっており、2018年までに約1,100万トンのエタンクラッカーの新設が計画されている。

一方、プロピレンの生産量は、2035年には1億4,541万トン／年に達すると推定され、2025～2035年の間に年平均約133万トンの生産設備の増強が想定されている。以上のように、2025～2035年の10年程度の間、エチレンとプロピレンを合わせて世界規模で年平均約270万トンの生産能力増が見込まれている。

こうした生産能力増の需要に応えるために新設される基礎化学品の製造プラントの市場規模は7,600億円／年<sup>※4</sup>が見込まれる。これらの新設製造プラントに膜分離が適用されたと仮定すると、膜分離ユニット分は320億円／年と試算される(メーカーヒアリング情報に基づく試算)。

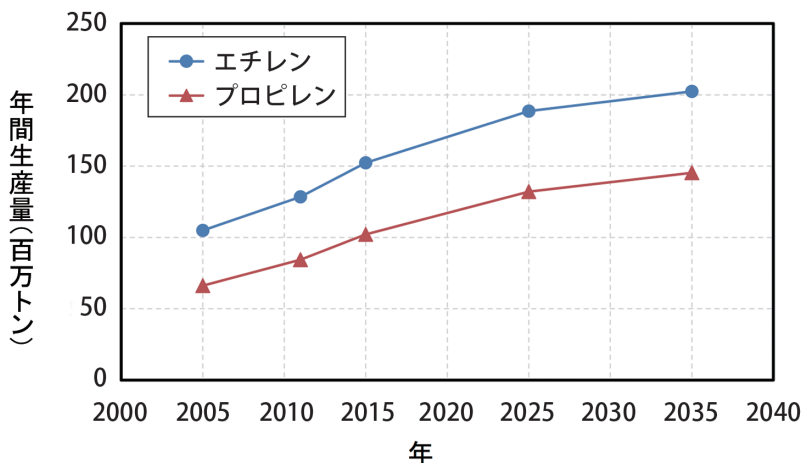


図2 基礎化学品の生産量の推移と今後の予想  
出所: 化学品製造における炭素源の転換・多様化に関する調査 (NEDO,2014) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2016)

※4 北米立地の年産50万トン規模のエチレン装置投資額約14億ドル(信越化学, 2015)に基づき概算  
270万トン / 50万トン × 14億ドル × 100円 / ドル ≒ 7,600億円

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## (2) プレーヤー

### ① 膜メーカー

エチレンやプロピレンの製造過程においては、副生成物との分離が必須であり、蒸留に代わる有効な分離プロセスの1つとして無機膜（ゼオライト、シリカ、炭素等）による分離が挙げられる。無機分離膜製品に関する主な国内外メーカーの一覧を表2に示す。高分子膜については、デュ

ポンやダウなどの世界的な化学メーカーによって様々な製品が販売されているが、無機膜に関しては、日本企業が多数参入している。

現在、国内における無機膜の市場規模は数億円程度、トップシェアは三井造船マシナリー（70～80%：2010～2016年）であり、バイオエタノールの脱水向けゼオライト膜が主流となっている。

表2 無機分離膜メーカー

膜の種類	製造メーカー
ゼオライト膜	三井造船マシナリー(日)、日立造船(日)、三菱化学(日)、日本ガイシ(日)、日本特殊陶業(日)、明電舎(日)、SEPINO(日)、Inocermic GmbH(独)、Hyflux(シンガポール)、南京工業大学(中国)
シリカ膜	ノリタケ(日)、日本ガイシ(日)、eSep(日)、PERVATECH(蘭)
炭素膜	日本ガイシ(日)、NOK(日)

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2016）

### ② プラント・エンジニアリングメーカー

我が国には、複数のプラント・エンジニアリングメーカーがあり、世界中から石油化学製品プラントの建設を受注している。図3に世界市場におけるエチレンプラントのシェア

を示す。東洋エンジニアリングと日揮で計18%の受注シェアを有し、膜分離技術を実用化できるポテンシャルを有している。

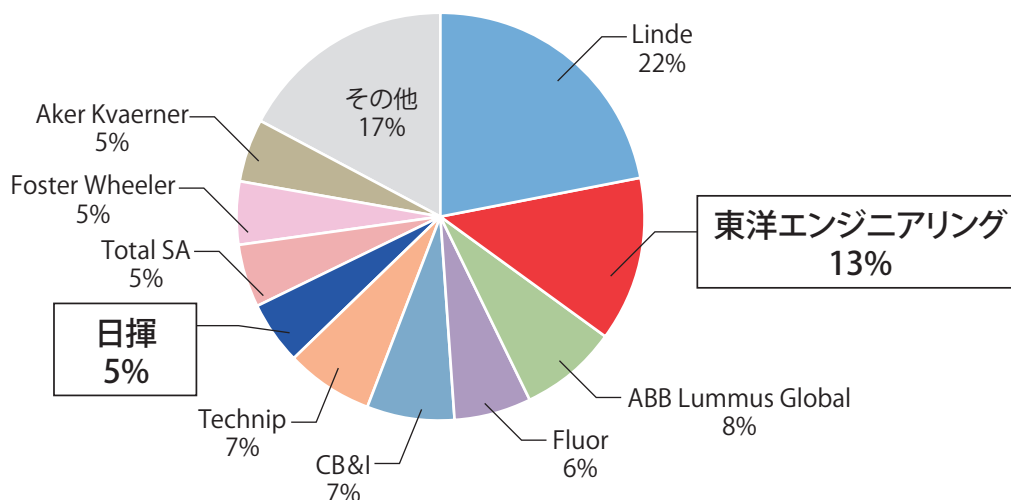


図3 世界市場におけるエチレンプラントの受注シェア (生産能力ベース)

出所：プラント・エンジニアリング輸出多角化支援調査（日本機械輸出組合，2011）を基にNEDO 技術戦略研究センター作成



## 2-2 分離膜の開発動向

分離膜は、その材料から高分子膜と無機膜に分類される。

### (1) 高分子膜の開発動向

高分子膜は成形、細孔の制御が容易であるなどの長所があり、海水淡水化等で商業化されているが、耐薬品性、耐熱性、耐圧性が低いため、適用条件が限られている。

### (2) 無機膜の開発動向

無機膜は、金属酸化物や炭素を主たる構成素材とする膜であり、支持体、シール材等の技術進歩もあって、ゼオライト、シリカ等の高性能な膜が合成できるようになってきた。さらに、大量生産技術も進展し、脱水用等一部用途で実用化の段階になっている。

無機膜は高分子膜同様、分子サイズによって物質を分ける「篩（ふるい）」としての機能を有している。加えて、分離対象分子の膜内の移動速度（透過速度）は、膜表面との親和性等にも依存する。無機膜は、構成素材の性質により、表3に示すような使用条件の制約があるが、高分子膜に比べて適用範囲が広がるポテンシャルを有している。

表3 無機膜の使用条件制約

	ゼオライト	シリカ	炭素
使用上限温度	～600℃	～500℃	～250℃
水熱条件下	比較的安定	加水分解を受ける	比較的安定
酸素の共存下	比較的安定	水が存在しなければ比較的安定	酸化劣化しやすい

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成（2016）

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

以下、ゼオライト膜、シリカ膜、炭素膜について、特徴と開発動向を述べる。

## ①ゼオライト膜

無機膜の代表であるゼオライトの結晶は、規則的な3次元構造を有しており、結晶構造によって0.3～0.8 nm (1nm = 10億分の1m) の固有径を持つ細孔を有する(図4)。さらにゼオライトの種類及び組成を選択し、イオン交換等で修飾することによって膜の分離特性を変えることができるので、様々な分離系への適用が可能である。また、常温～600℃程度の幅広い温度域で使用可能であり、水蒸気共存下でも耐久性があるため、様々な物質の分離に適用できる。

ゼオライトを分離膜として実用化するためには、より規則的かつ緻密な膜を形成させて分離の選択性を向上させるとともに、膜を薄膜化して透過速度を向上させる必要がある。また、ゼオライト膜を分離膜として活用するためには、ゼオライトを支持するための多孔質体が必要であり、0.1～10 μmの細孔を持つα-アルミナやステンレスを主とする焼結金属や、γ-アルミナ、ジルコニア、陽極酸化アルミナ、多孔質ガラスなどが用いられる。

国内では、山口大学、早稲田大学、産総研、三井造船、三菱化学、日立造船、日本ガイシなどが、ゼオライト膜の研究開発を行っている。

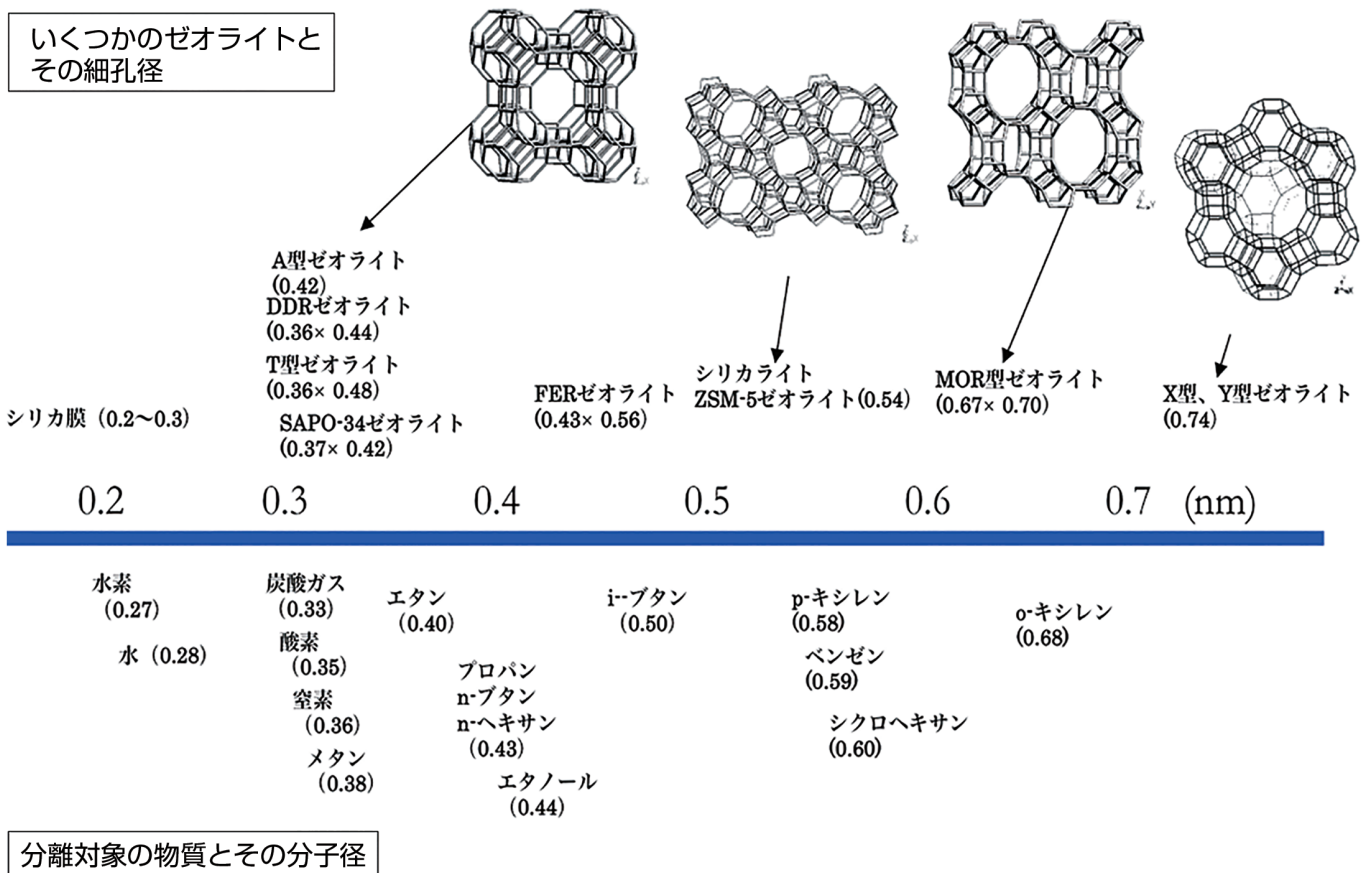


図4 ゼオライトの細孔径と分子径の関係

出所: 早稲田大学松方正彦教授提供 (2016)



# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## ② シリカ膜

シリカ膜に関しては、ゾルゲル法で作られたアモルファス構造を有する膜のCO<sub>2</sub>分離への適用が検討されてきた。近年、CVD (Chemical Vapor Deposition: 化学蒸着) 法などの開発により、規則的なネットワーク細孔構造を有する膜が開発され、酸素、水素、メタン等の分離への適用が検討されている。また、プロパン (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) / プロピレン (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)、エタン (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) / エチレン (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) のような分子篩効果による分離に関しては、工学院大学、芝浦工業大学、広島大学、東京大学、産総研、日本ガイシ、ノリタケなどが研究開発を行っている (図5)。

## ③ 炭素膜

炭素膜は、他の無機膜材料と異なり、支持体が不要な中空糸膜に成形可能である点がメリットである。また、連続的に製造することが可能となり、膜自体の低コスト化やそれに伴う用途の拡大が期待されている。さらに250℃以下の水存在下で水素の分離に利用できることから、水存在下での使用が難しいシリカ膜の補完が可能である。

メタン (CH<sub>4</sub>) とイソブテン (i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) の分離のように表面拡散で分離する炭素膜に関しては Air Products 社やスペインの国立研が、分子篩効果による炭素膜については産総研、NOK、山口大が研究開発を行っている (図5)。

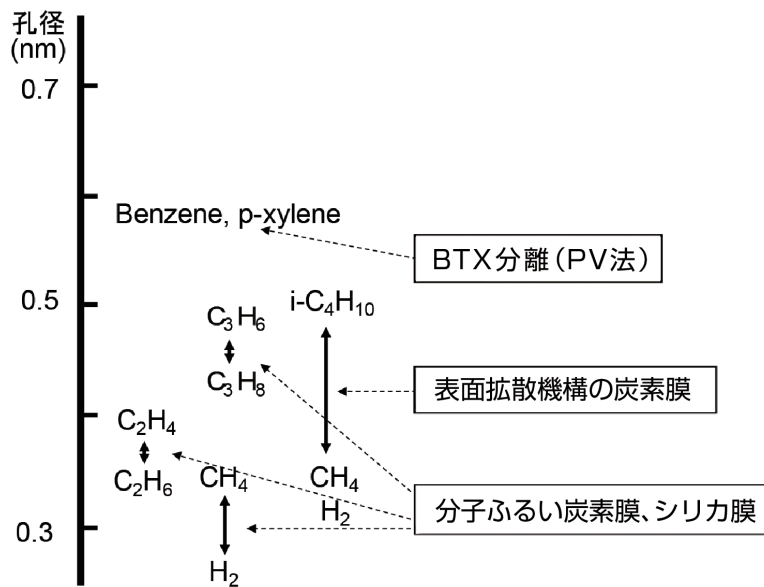


図5 シリカ膜、炭素膜によるガス分離  
出所: 産業技術総合研究所原谷賢治氏提供 (2015)

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## (3) 分離膜の実用化状況

化学品製造プロセスに適用される膜分離プロセスは、水素回収や脱水プロセスへの実用化が先行しており、リフォーマーで生成するガス等から水素を回収するプロセスにおいて、1980年代から宇部興産開発のポリイミド膜等の高分子膜が実用化されている。

無機膜については、ゼオライト膜を用いたエタノールやイソプロピルアルコール (IPA) 等の脱水プロセスが1998年頃から実用化されている。図6に、世界のゼオライト分離膜プロセスの実用例を示す。バイオエタノール製造で

は、蒸留によって共沸組成まで濃縮されたバイオエタノール (エタノール: 水=93:7) の膜分離による脱水を、650 kPa (=0.65MPa ≒ 6.5気圧)、133℃といった高分子膜では適用困難な条件で行っている。また2016年7月、三菱化学と日立造船は、新規市場参入及び拡販を目的としてゼオライト膜事業での業務提携を発表している。

このように、無機膜は化学品製造プロセスの一部で実用化され、プロセスの省エネルギー化に貢献している。

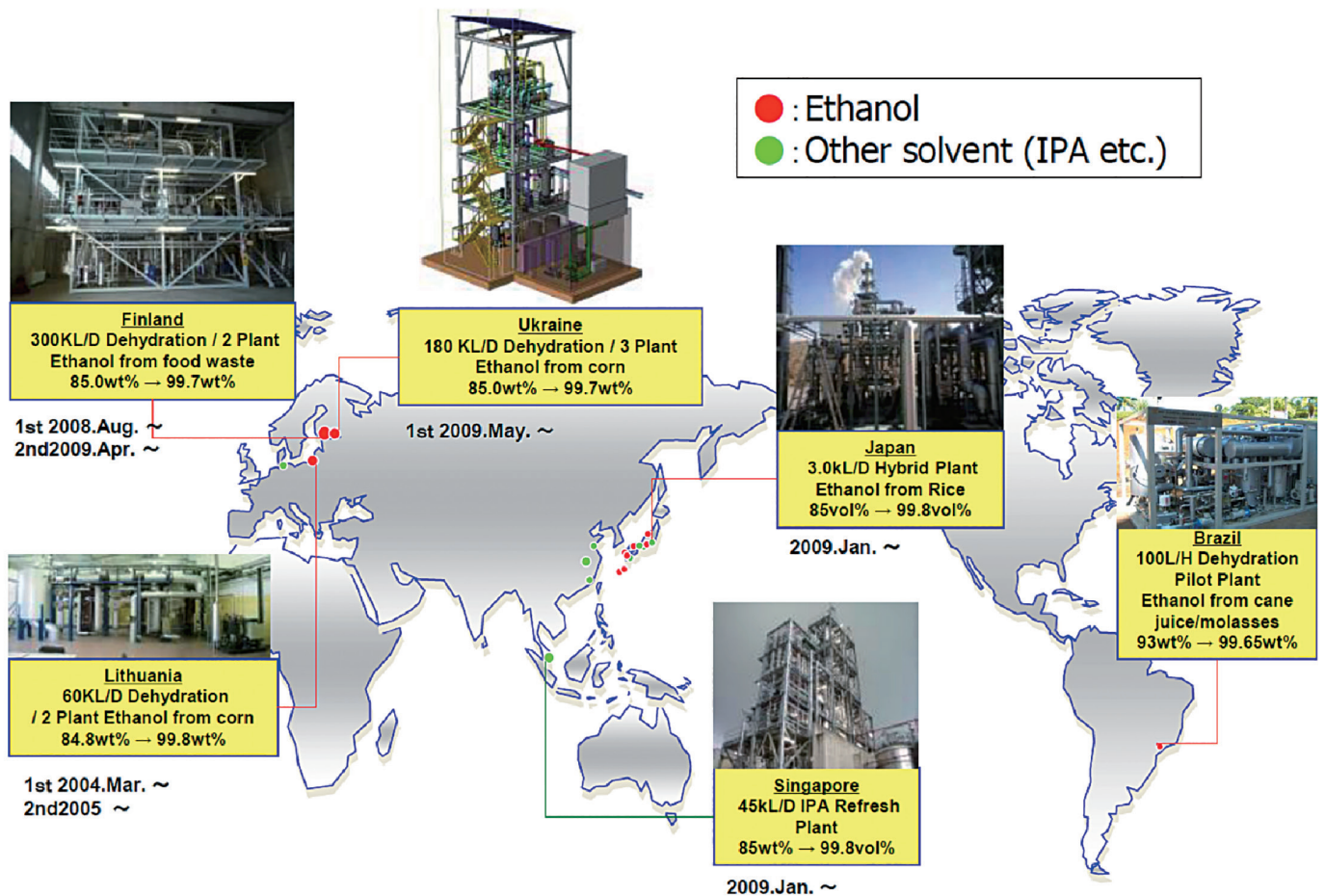


図6 世界におけるゼオライト膜の実用例

出所: 山口大学喜多英敏教授提供 (2015)

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## 2-3 国内外の研究開発政策の状況

本節では、化学品製造プロセスに適用する膜分離技術に関する国内外の研究開発政策について述べる。その概要を表4に示す。

表4 国内外の膜分離技術に関する研究開発政策の概要

国・地域	機関	プロジェクト	概要
アメリカ	DOE-EERE	DOE-EERE ITP (2006~2011)	エネルギー多消費型産業を対象に企業の技術開発コストを支援(20~50%)する一環として、膜分離技術を開発。
	DOE-EERE	DOE-EERE AMO (2011~)	ITPを受け継ぐ。2015年で2億ドルの予算、2016年は約4億ドルの予算要求。
ヨーロッパ	EC(欧州委員会)	FP6 (2002~2006)	「ナノ・材料・生産」の優先研究領域に2億8600万ユーロ/年の予算。EU内における分離膜共同研究プロジェクト"NanoMemPro"を開始。
	EC(欧州委員会)	FP7 (2007~2013)	「ナノ科学・ナノテク、材料、新しい生産技術」領域に5億ユーロ/年の予算。その一環として触媒分離膜反応プロジェクト実施。
	EC(欧州委員会)	Horizon2020 (2014~2020)	実質的なFP8プロジェクトで、7年間の全領域の総額予算は770億ユーロ。
中国	南京工業大学	—	中国の無機膜研究重点拠点の一つ。
日本	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/規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発 (2009~2013)	IPA脱水用膜製造基盤技術、分離膜評価技術の開発、約13億円の予算。
	JST	超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製/精密分子ふるい機能の高度設計に基づく無機系高機能分離材料の創製(2013~)	無機結晶性マイクロ多孔性材料を用いた新規な膜分離技術の研究開発。
	METI, NEDO	二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発 (2012~2013 METI, 2014~ NEDO)	ソーラー水素とCO <sub>2</sub> を原料として基幹化学品を製造する技術の開発。2016年度予算 13.9億円。
	NEDO	エネルギー・環境新技術先導プログラム/革新的分離技術の導入による省エネ型基幹化学品製造プロセスの研究開発(2015~)	エチレン、プロピレン等の基礎化学品分離精製・回収技術の基盤となる分離材料開発を実施。

出所: NEDO 技術戦略研究センター作成 (2016)

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## (1) 米国

DOE-EERE (Department of Energy - The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy: 米国エネルギー省再生可能エネルギー局) は、産業界向けの省エネルギー及び再生エネルギー関連技術の資金支援や関連するプロジェクトの管理・監督を行っている。2006～2011年にはCO<sub>2</sub>排出を削減するため、ITP (Industrial Technologies Program: 産業技術プログラム) を立ち上げ、多消費型産業に対し20%から最大50%までの技術開発コスト支援を行った。

ITPでは無機分離膜による製油所ガス等の処理、ガス中水分除去、オレフィンとパラフィン分離等に向けた技術開発を進め、2007～2017年の約10年間でエネルギー消費を25%削減することを目標としている。ITPはAMO (Advanced Manufacturing Office: 先進製造技術局) に受け継がれ、2015年で2億ドルの予算が配分され、2016年も約4億ドルの予算要求を行っている。

## (2) 欧州

EUでは欧州研究開発フレームワーク計画として、2002～2006年にFP6 (The Sixth Framework Program) が立ち上がり、FP7 (2007～2013年)、Horizon2020 (2014～2020年) へと継続されている。FP6においては新規の生産技術として膜分離技術や膜反応器についての研究が行われ、FP7ではC<sub>1</sub>～C<sub>4</sub>化合物又はCO<sub>2</sub>を利用した触媒分離膜反応によるCARENA (Catalytic membrane Reactors based on New Materials for C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> valorization) プロジェクトが実施された。

## (3) 中国

中国は、南京工業大学等を無機膜研究の重点拠点として指定し、国として無機膜による化学品分離の実用化に注力している。

## (4) 国内

我が国では主にJSTやNEDOの国家プロジェクトとして研究開発が推進されている。

JSTのCREST「超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製／精密分子ふるい機能の高度設計に基づく無機系高機能分離材料の創製」(2013年度～)では、化学産業の分離プロセスの省エネルギー化を目指し、分子レベルの精密分離を可能とする無機結晶性マイクロ多孔性材料を用いた新規な膜分離技術の研究開発を行っている。

NEDOでは「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／規則性ナノ多孔体精密分離膜部材基盤技術の開発」(2009～2013年度)を実施し、5年間で約13億円の予算を投じて、イソプロピルアルコールや酢酸の脱水をターゲットに分離膜製造基盤技術や分離膜評価技術の開発等を行った。また、「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発」(2012～2013年度 経済産業省、2014年度～ NEDO)では、光触媒反応で発生する水素／酸素の分離やメタノール合成の反応分離に膜分離を適用するための技術開発を実施している。さらに、「エネルギー・環境新技術先導プログラム／革新的分離技術の導入による省エネ型基幹化学品製造プロセスの研究開発」(2015年度～)では、基礎化学品製造に適用できる、高い透過性と選択性を兼ね備えた無機分離膜及び膜分離プロセスについて先導研究を実施中である。

## 2-4 学術水準、論文・特許件数等

無機膜の中から、基礎化学品の精製・分離に使用可能と考えられるゼオライト膜、シリカ膜、炭素膜に関して、世界の特許出願数、論文発表数を調査した(図7)。

ゼオライト膜とシリカ膜に関する論文の発表数、特許出願数は、いずれも年を追うごとに増えてきており、世界的に研究が活発化していると考えられる。

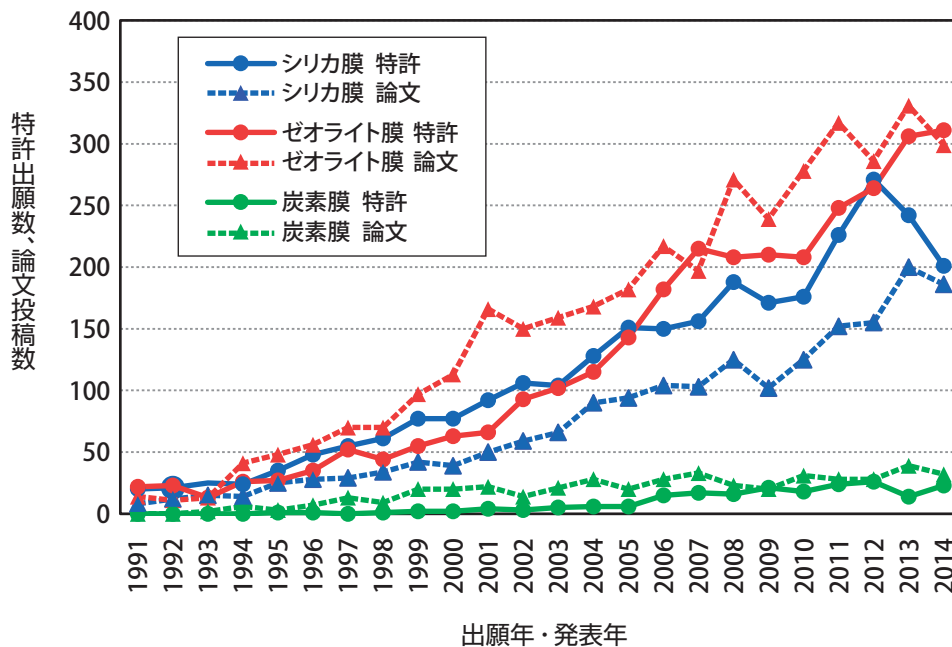


図7 ゼオライト膜、シリカ膜、炭素膜に関する特許出願数及び論文投稿数の推移

出所: Thomson Innovation™, Web of Science™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)



# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## (1) ゼオライト膜

ゼオライト膜について、最近10年間の国別の特許出願数を表5、出願人別特許出願数を表6、論文発表数を表7に示す。2009年までは日本の特許出願が世界の半数近くを占めていたが、2010年以降は、中国が上回るようになった。最近5年では、中国・米国が、論文、特許ともに数を

伸ばしている中、日本は、論文発表が横ばい、特許出願は減少傾向である。特許については、日本全体では出願件数が減少しているが、無機分離膜の事業を展開しようとしている企業（日本ガイシ、日立造船、三菱化学）は出願件数を伸ばしている。

表5 ゼオライト膜に関する特許の国別出願数

順位	2005年～2009年			順位	2010年～2014年		
	国	件数	割合		国	件数	割合
1	日本	338	40%	1	中国	460	37%
2	アメリカ	218	26%	2	日本	260	21%
3	中国	152	18%	3	アメリカ	251	20%
4	韓国	70	8%	4	韓国	110	9%
5	ドイツ	61	7%	5	ドイツ	64	5%

出所: Thomson Innovation™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)

表6 ゼオライト膜に関する特許の出願人別出願数

順位	2005年～2009年		順位	2010年～2014年		
	出願人	件数		出願人	件数	
1	日本ガイシ	30	1	中国科学院(中)	78	
2	産総研	28	2	三菱化学	40	
3	サムスン(韓)	20	3	日本ガイシ	35	
4	GE(米)	19	4	日立造船	26	
5	三菱化学 旭化成	16	4	サムスン(韓)		
6			6	GE(米)	17	
7	富士フイルム	15	7	上海华蓬防爆科技有限公司(中)	15	
7	BASF(独)		14	8	産総研	14
10	UOP(米)			8	LG(韓)	
10	日立造船 パナソニック			韓国化学研究所(韓)		
			—	—	—	

出所: Thomson Innovation™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)

表7 ゼオライト膜に関する論文の国別発表数

順位	2005年～2009年			順位	2010年～2014年		
	国	件数	割合		国	件数	割合
1	アメリカ	269	24%	1	中国	400	26%
2	中国	214	19%	2	アメリカ	278	18%
3	日本	122	11%	3	イラン	128	8%
4	フランス	74	7%	4	日本	120	8%
5	ドイツ	67	6%	5	ドイツ	77	5%

出所: Web of Science™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)



# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## (2) シリカ膜

シリカ膜について、最近10年間の国別の特許出願数を表8、出願人別特許出願数を表9、論文発表数を表10に示す。2009年までは日本の特許出願が世界の40%を占

めていたが、2010年以降は、日本の特許出願数が減少傾向にあり、中国及びアメリカが上回るようになった。論文発表数上位3カ国は、2010年以降、いずれも論文発表数を伸ばしているが、その順位は変わらない。

表8 シリカ膜に関する特許の国別出願数

順位	2005年～2009年			順位	2010年～2014年		
	国	件数	割合		国	件数	割合
1	日本	243	40%	1	中国	447	50%
2	アメリカ	198	32%	2	アメリカ	185	21%
3	中国	146	24%	3	日本	152	17%
4	ドイツ	43	7%	4	韓国	77	9%
5	韓国	35	6%	5	ドイツ	39	4%

出所: Thomson Innovation™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2016)

表9 シリカ膜に関する特許の出願人別出願数

順位	2005年～2009年		順位	2010年～2014年	
	出願人	件数		出願人	件数
1	GE(米)	15	1	中国科学院(中)	36
2	日本ガイシ	14	2	日本ガイシ	15
3	中国科学院(中)	12	3	東華大学(中)	11
4	エクソンモービル(米)	11	4	GE(米)	9
5	産総研	10		ポール(米)	
6	ミリポア(米)	6	江南大学(中)	7	東レ
	キアゲン(独)		7		南京大学(中)
8	富士フイルム	5	天津大学(中)		10
	ノリタケ		6	韓国化学研究所(韓)	

出所: Thomson Innovation™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2016)

表10 シリカ膜に関する論文の国別発表数

順位	2005年～2009年			順位	2010年～2014年		
	国	件数	割合		国	件数	割合
1	中国	106	20%	1	中国	240	29%
2	アメリカ	86	16%	2	アメリカ	111	14%
3	日本	77	15%	3	日本	101	12%
4	韓国	34	6%	4	イラン	65	8%
5	ドイツ	33	6%	5	オーストラリア	58	7%

出所: Web of Science™での検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2016)

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## (3) 炭素膜

炭素膜について、最近10年間の国別の特許出願数を表11、出願人別特許出願数を表12、論文発表数を表13に示す。炭素膜は比較的新しい技術であり、1990年代半ばより論文が、2000年代半ばより特許が出願されている。しかし、ゼオライト膜やシリカ膜に比べると、特許出願数及

び論文発表数の絶対数は近年でもまだ少ない。なお、最近5年間では、中国が特許及び論文の数を伸ばしている。一方、日本は、論文数は減少しているが、特許出願件数を伸ばしており、世界トップ(全体の約半数)の特許を出願して優位な位置にいる。

表11 炭素膜に関する特許の国別出願数

順位	2005年～2009年			順位	2010年～2014年		
	国	件数	割合		国	件数	割合
1	日本	31	48%	1	日本	49	47%
2	アメリカ	12	18%	2	中国	28	27%
3	中国	11	17%	3	アメリカ	13	12%
4	韓国	8	12%	4	韓国	8	8%
5	イギリス	2	3%	5	ドイツ	2	2%

出所: Thomson Innovation™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)

表12 炭素膜に関する特許の出願人別出願数

順位	2005年～2009年		順位	2010年～2014年	
	出願人	件数		出願人	件数
1	日本ガイシ	13	1	日本ガイシ	11
2	産総研	6	2	東洋紡	8
3	大連理工大学(中)	3	3	NOK	7
	天津工業大学(中)		4	京セラ	5
5	大陽日酸	2	6	大連理工大学(中)	4
	三井化学		7	BASF(独)	4
	RIST(韓)		3	瀋陽理工大学(中)	3
COWAY(韓)	9	Geogia Tech Research(米)			
9	東洋紡	1	9	日立造船	2
	東レ		三井化学		

出所: Thomson Innovation™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)

表13 炭素膜に関する論文の国別発表数

順位	2005年～2009年			順位	2010年～2014年		
	国	件数	割合		国	件数	割合
1	中国	35	28%	1	中国	44	28%
2	日本	22	18%	2	アメリカ	28	18%
3	シンガポール	15	12%	3	台湾	13	8%
4	韓国	13	10%	4	日本	12	8%
5	アメリカ	13	10%	5	シンガポール	11	7%

出所: Web of Science™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2016)

# 化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

## 3章 化学品製造プロセス分野の技術課題

### 3-1 技術体系

膜分離技術について、基盤技術と機能・製造技術の高度化の観点からまとめた技術体系を図8に示す。

膜分離における重要な性能指標は、透過性、選択性とその性能の安定性である。

透過性とは、単位分圧差で単位時間あたりに単位面積の膜を通過する量であり、分離対象物の膜の透過性が高ければ、膜面積当たりの分離処理能力が高くなり、装置をコンパクト化できる。また、分離対象物に与える圧力を下げられるので、より大きな省エネが可能となる。

選択性とは、分離対象とする複数成分の透過量の比であり、高いほど（分離対象とする成分間の透過性の差が大きいほど）効率の高い分離を実現できる。

したがって、高い透過性と選択性を両立させ、それを長期間安定的に発揮させることが分離工程の低コスト化のために必要である。

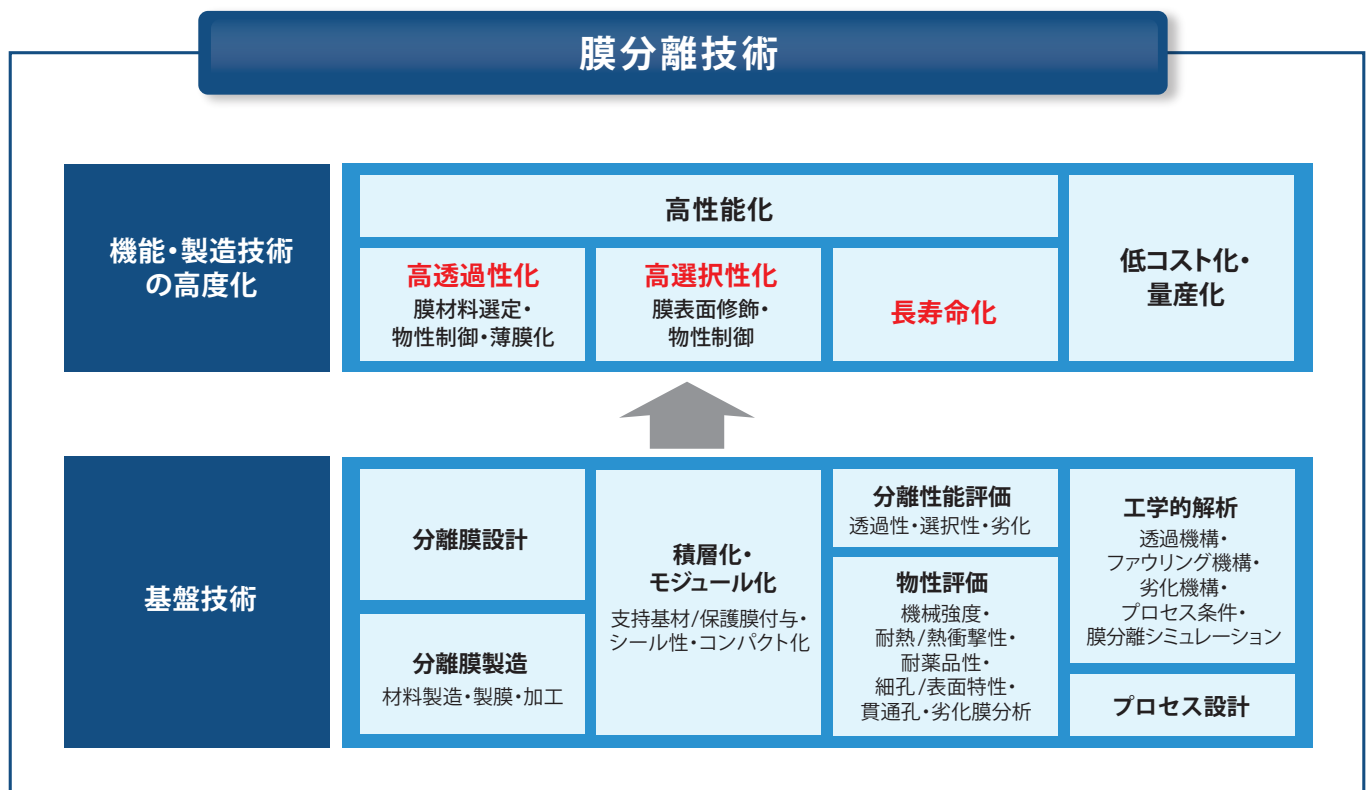


図8 膜分離技術の体系

出所: NEDO 技術戦略研究センター作成 (2016)

## 3 -2 技術課題

膜分離技術を実用化し、普及させていくための主な課題は、図8に基盤技術として示した分離膜設計、分離膜製造、作成した膜の分離性能評価、物性評価、工学的解析、積層化・モジュール化、プロセス設計をそれぞれ高度化していくことである。

また、膜界面における分子の挙動、膜内への分子の吸着・拡散挙動及びゼオライト結晶の生成・成長機構などは十分解明できていないため、膜分離や分離膜製造過程のメカニズム等、実用技術を支えるべき原理・原則の理解を進めるとともに、それらを評価する技術の確立も重要である。

一方、近年、実用的な無機膜が開発され、膜に触媒の機能を付与したメンブレンリアクターも研究されるようになってきた。可逆的な化学反応では、正反応と逆反応の両方が同時に起きるため、温度や圧力に依存した平衡状態となる。メンブレンリアクターでは、生成物を選択的に反応系から除去して反応の平衡を生成物側にシフトさせ、転化率の向上や低温・低圧な条件で反応を進めることが可能になる。一例として、図9に膜分離と触媒を組み合わせたメタノール合成用の反応分離の概念図を示す。

なお、メンブレンリアクターの実用化には、高い透過速度、高活性な触媒付与のために、膜や触媒に精密な構造制御が必要である。

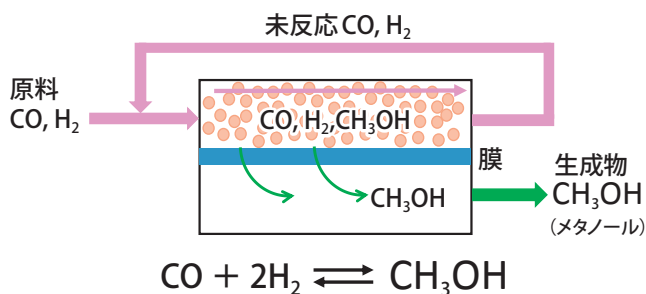


図9 膜分離と触媒を組み合わせた反応分離によるメタノール合成

出所：NEDO技術戦略研究センター作成（2016）

## 4章 おわりに

温室効果ガスの削減を実現するために、化学産業で排出されるCO<sub>2</sub>の多くを占める蒸留プロセスの改善が求められている。この改善策の1つとして、我が国が先行してきた膜分離技術、特に、無機膜技術を活用した膜分離プロセスの実用化に向けた技術開発が重要である。

ゼオライト膜をはじめとする無機膜は、その特性から様々な分子の分離が可能であり、各国で活発な研究が行われている。特許や論文の動向から分かるように、我が国には多くの無機膜製膜技術を有した大学や企業があり、その技術力を活用した取組、例えば無機膜を利用した省エネ型オレフィン製造技術の開発などが期待される。

また、無機膜技術を触媒技術と融合させた反応分離（メンブレンリアクター）技術は、最もスマートな反応分離技術の1つであり、多量の原材料消費、エネルギー消費といった化学品製造プロセスにおける問題点を抜本的に解決できるポテンシャルをもつ。しかし、メンブレンリアクターについては世界的に未だ商用段階になく、実現に向けては、更なる技術開発が必要である。

技術戦略研究センターレポート

# TSC Foresight Vol.14

化学品製造プロセス分野の技術戦略策定に向けて

2016年12月5日発行

TSC Foresight Vol.14 化学品製造プロセス分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
技術戦略研究センター (TSC)

■センター長 川合 知二

■ 環境・化学ユニット

・ユニット長 石田 勝昭

・研究員 山下 勝

高島 正

定兼 修

森 智和

加藤 知彦

・フェロー 指宿 堯嗣 産業環境管理協会 技術顧問

島田 広道 産業技術総合研究所 理事

室井 高城 アイシーラボ 代表

安井 至 製品評価技術基盤機構 名誉顧問

● 本書に関する問い合わせ先  
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

● 本書は以下URLよりダウンロードできます。  
<http://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。  
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。  
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。