

(公財)地球環境産業技術研究機構

The research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE)

RITEの研究開発分野 R&D field at RITE

地球環境産業技術研究機構（RITE）は、地球環境問題に対する革新的な環境技術の開発などを国際的に推進する中核的研究機関として、1990年に設立されました。国内外の産学官との連携の下で、地球温暖化対策における中心課題であるCO₂の削減に取り組んでいます。

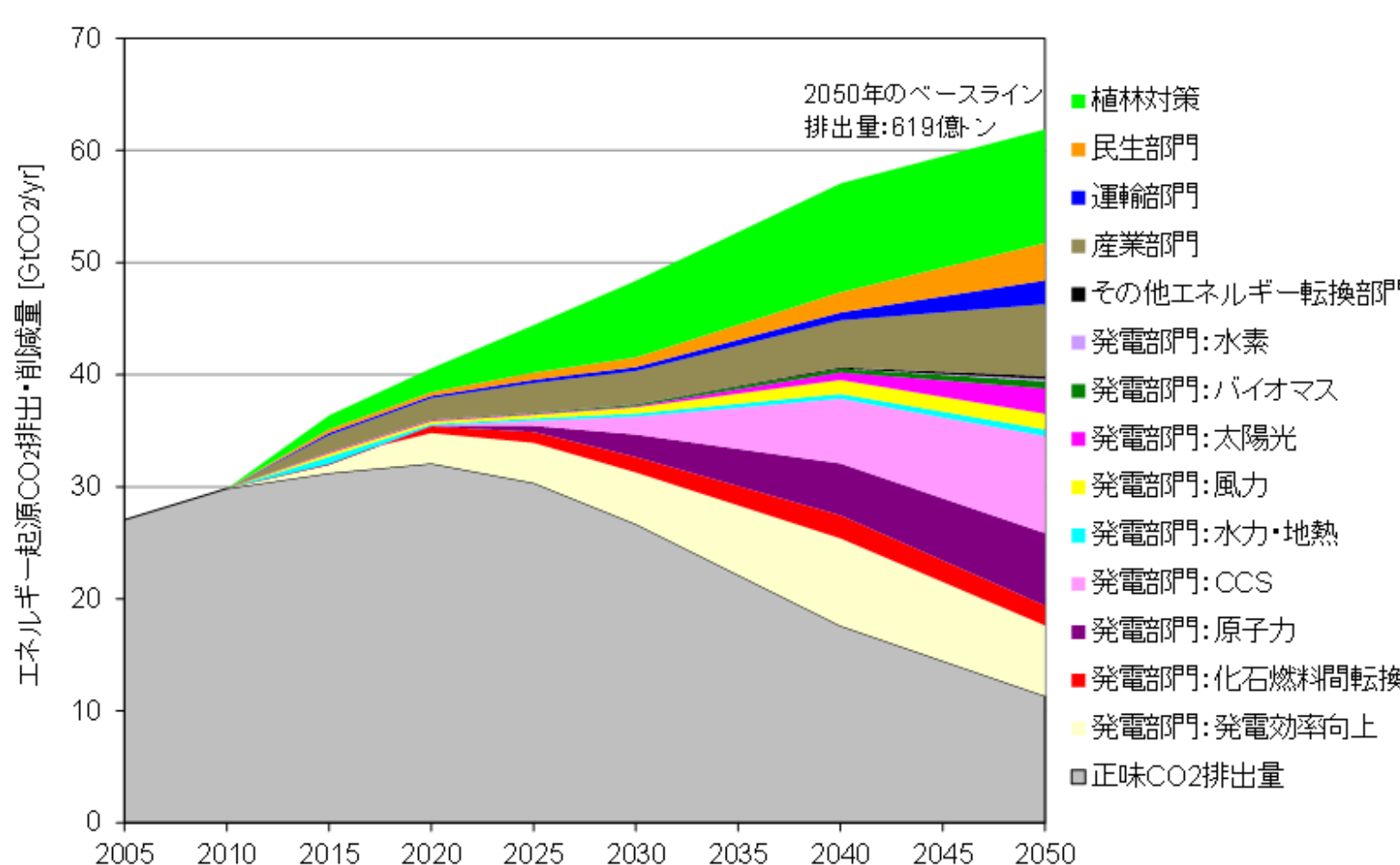
RITE was established in 1990 as a center of excellence to work internationally toward developing innovative environmental technologies. We are addressing research and development of new technologies for reducing greenhouse gas emissions in collaboration with industry, government and academic institutions around the world.

研究グループ／センターの活動内容 Outline of research

① システム研究グループ Systems Analysis Group

温暖化対策の開発と世界の経済的な発展を両立させるため、シミュレーションモデルの構築と、超長期から近未来までの地球温暖化対応戦略の提示を行っています。

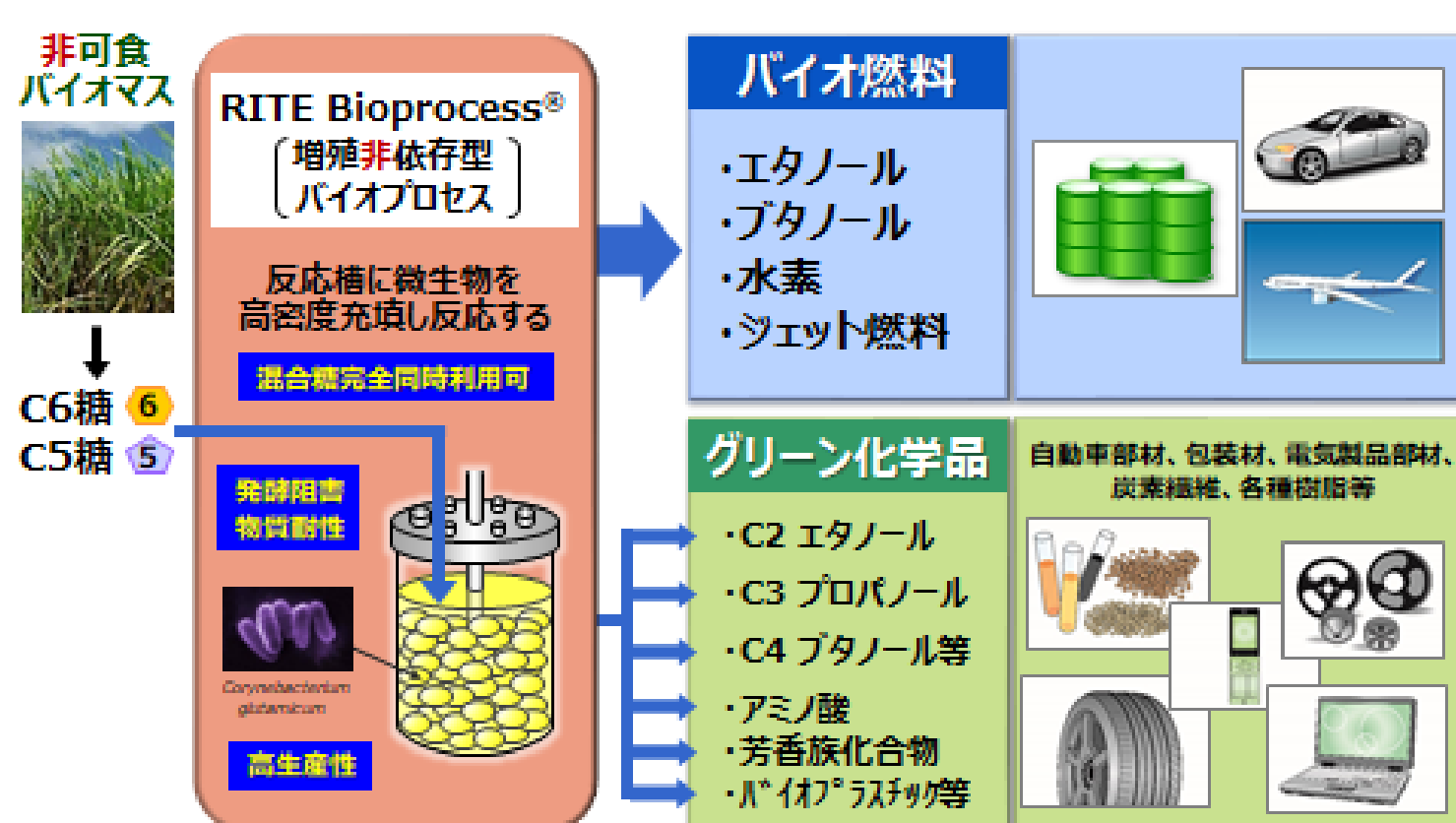
The Systems Analysis Group conducts systematic research regarding policies and measures to mitigate global warming and examinations on the whole system and on scenario development. Also, we make a comprehensive evaluation including synergies and trade-offs between global warming mitigation and sustainable development, and examines more effective measures.



② バイオ研究グループ Molecular Microbiology and Biotechnology Group

再生可能資源であるバイオマス等を原料として、微生物の力を用いてバイオ燃料やグリーン化学品等を効率的に生産する技術「バイオリファイナリー技術」の開発に取り組んでいます。

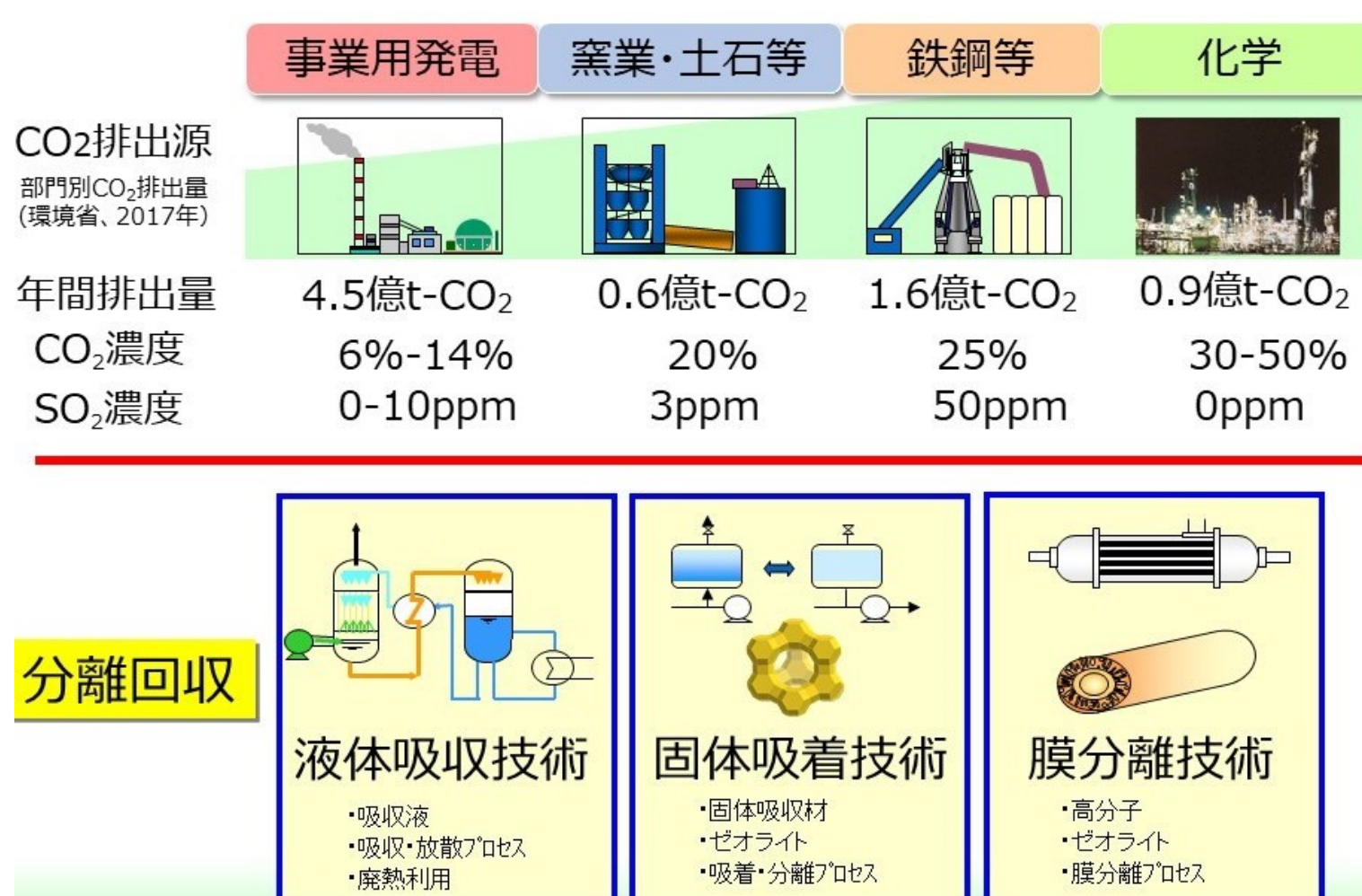
We are developing biorefinery technology that efficiently produces biofuels and green chemicals from renewable biomass resources using microorganisms.



③ 化学研究グループ Chemical Research Group

CO₂の大規模排出源である火力発電所や製鉄所の排ガスから、吸収液や高分子膜などを用いて安価にCO₂を分離・回収する技術の開発に取り組んでいます。

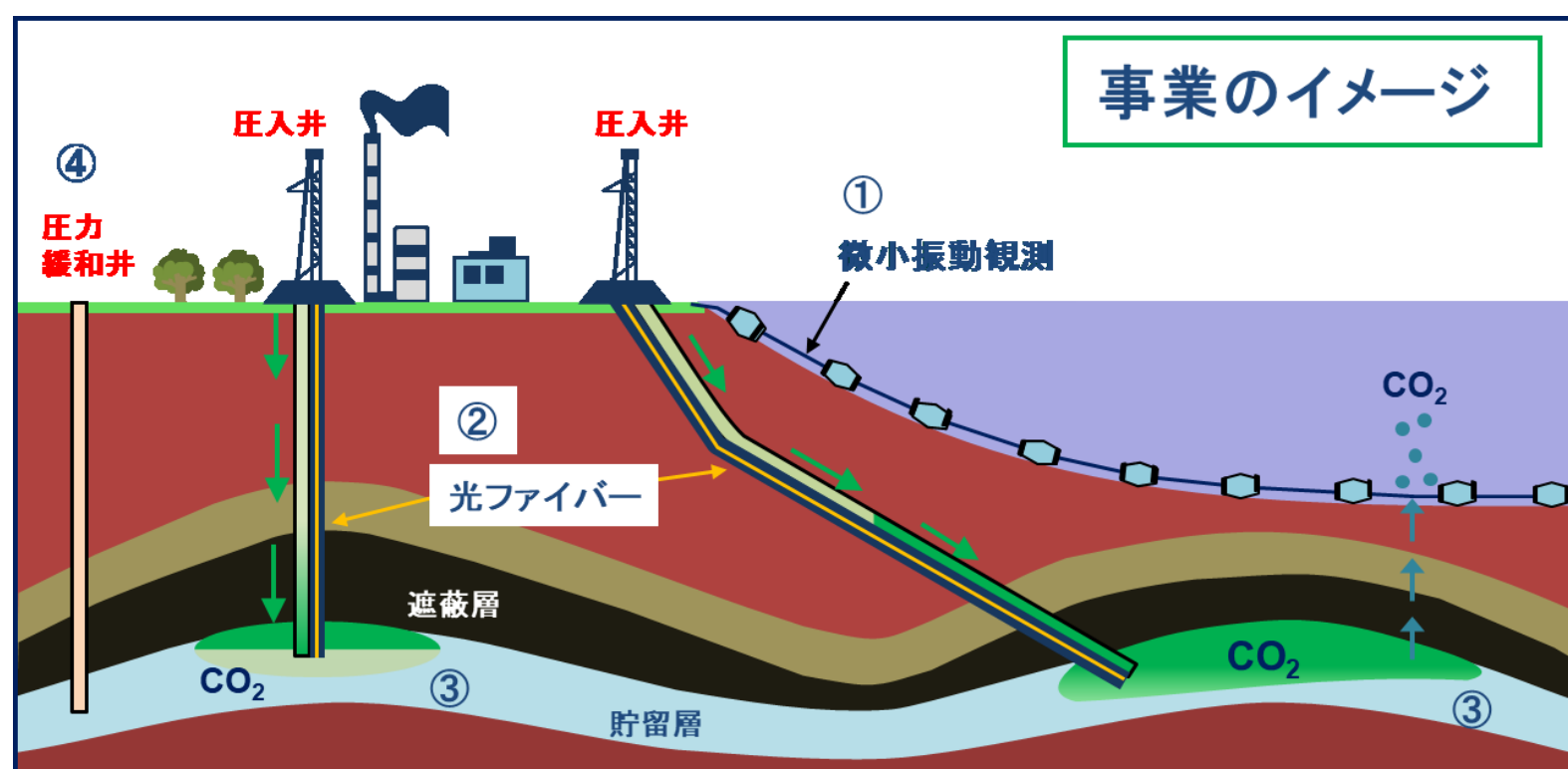
The first mission of Chemical Research Group is to develop advanced technologies to reduce the cost of carbon dioxide (CO₂) capture that accounts for 60 % of the total cost of CCS. To achieve this, we have been actively working on the development of absorbents (chemical solvents), solid sorbents and membranes.



④ CO₂貯留研究グループ CO₂ Storage Research Group

排出源から分離・回収されたCO₂を、地中の地下深部塩水層(帯水層)に長期にわたって安全に安定して貯留する技術の開発に取り組んでいます。

Toward the deployment of CCS technology, the CO₂ Storage Research Group conducts research on safe and stable CO₂ geological storage in deep saline aquifers for a long term and works closely with international organizations.



- ① 自然地震や微小振動観測結果を基に、ATLSによる圧入安全管理
- ② 光ファイバーを利用した地層安定性や廃坑井の健全性監視
- ③ 圧入中のCO₂挙動モニタリングを基に、圧入後の長期挙動予測
- ④ CO₂圧入井や圧力緩和井の最適配置及び貯留率向上
- ⑤ CO₂貯留安全管理プロトコル(IRP)の構築

⑤ 無機膜研究センター Inorganic Membranes Research Center

低コスト水素製造技術、CO₂有効利用技術等に適用可能な無機分離膜およびメンブレンリアクターの研究開発を進めるとともに、メーカーやユーザー企業と連携して、無機分離膜の産業化に向けた多様な取り組みを進めています。

We are developing inorganic membranes and membrane reactors for dehydrogenating processes, CO₂ separation processes from CO₂ and CH₄ mixtures, carbon capture and utilization, and so on. In addition to research and development, we are also making various efforts to promote the industrialization of inorganic membranes with the cooperation of manufacturing and user companies.

無機膜研究センター

The Inorganic Membrane Research Center（ IMeRC ）

研究の背景 Background

無機膜研究センターは、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の研究開発を推進するとともに、その実用化・産業化に向けた多様な取り組みを行う組織として2016年4月に設立され、水素エネルギーキャリアの実用化、CO₂／CH₄分離、蒸留代替技術などの研究開発および実用化・産業化に取り組んでいます。

The Inorganic Membrane Research Center was established in April 2016 as an organization that promotes the research and development of innovative environmental and energy technologies using inorganic membranes, and carries out various initiatives for practical application and industrialization. We are working on research and development, commercialization and industrialization of energy carriers, CO₂ / CH₄ separation, and alternative distillation technologies.

無機膜研究センターの活動内容 Outline of research

① 研究開発

Research and Development

- 無機膜研究センターが保有する **3つの無機膜（対向拡散CVDを用いたシリカ膜、細孔内充填型Pd膜、ゼオライト膜）** および **メンブレンリアクター（膜反応器）** を **コア技術** として、以下の2つの分野で先進的な研究開発に取り組んでいます。

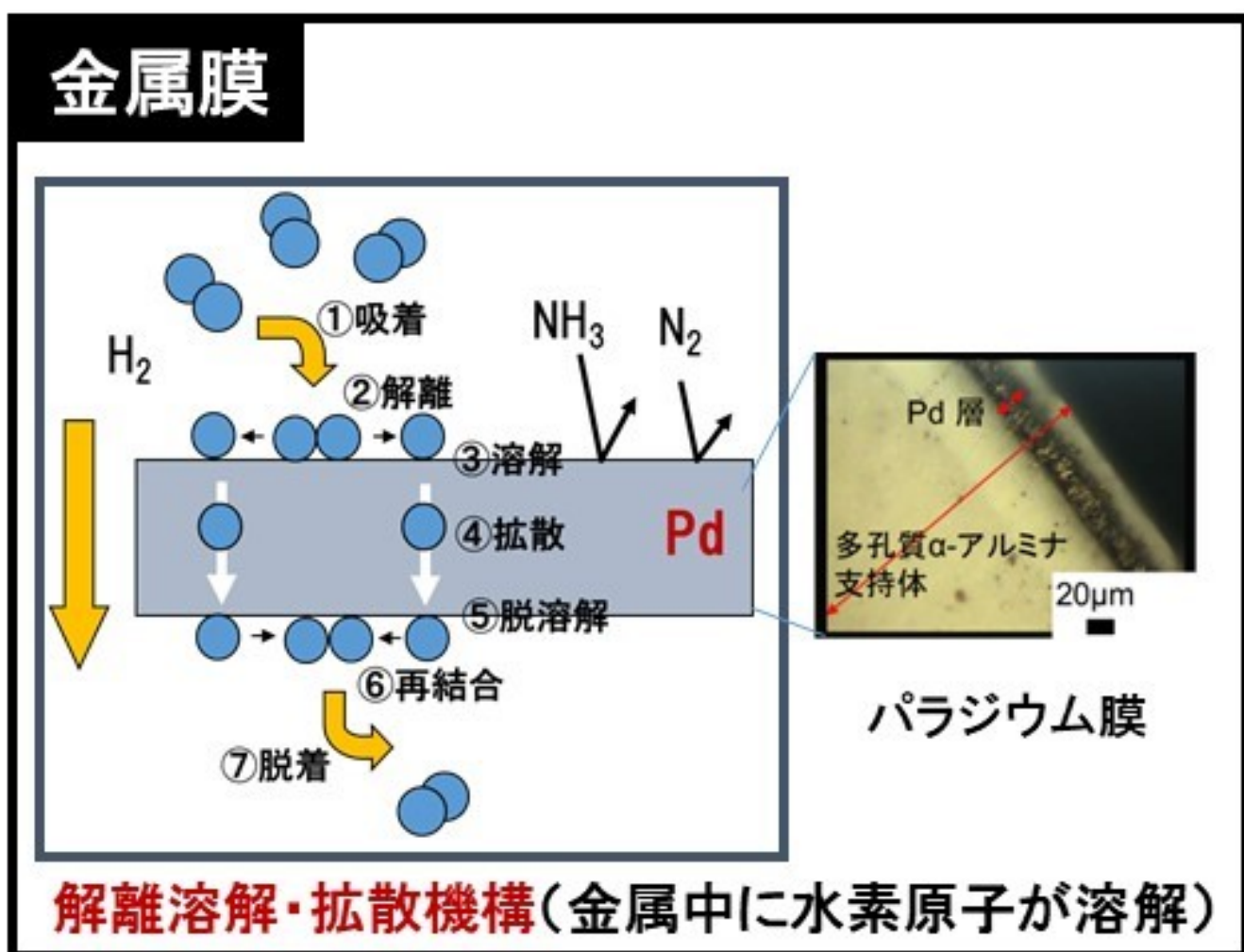
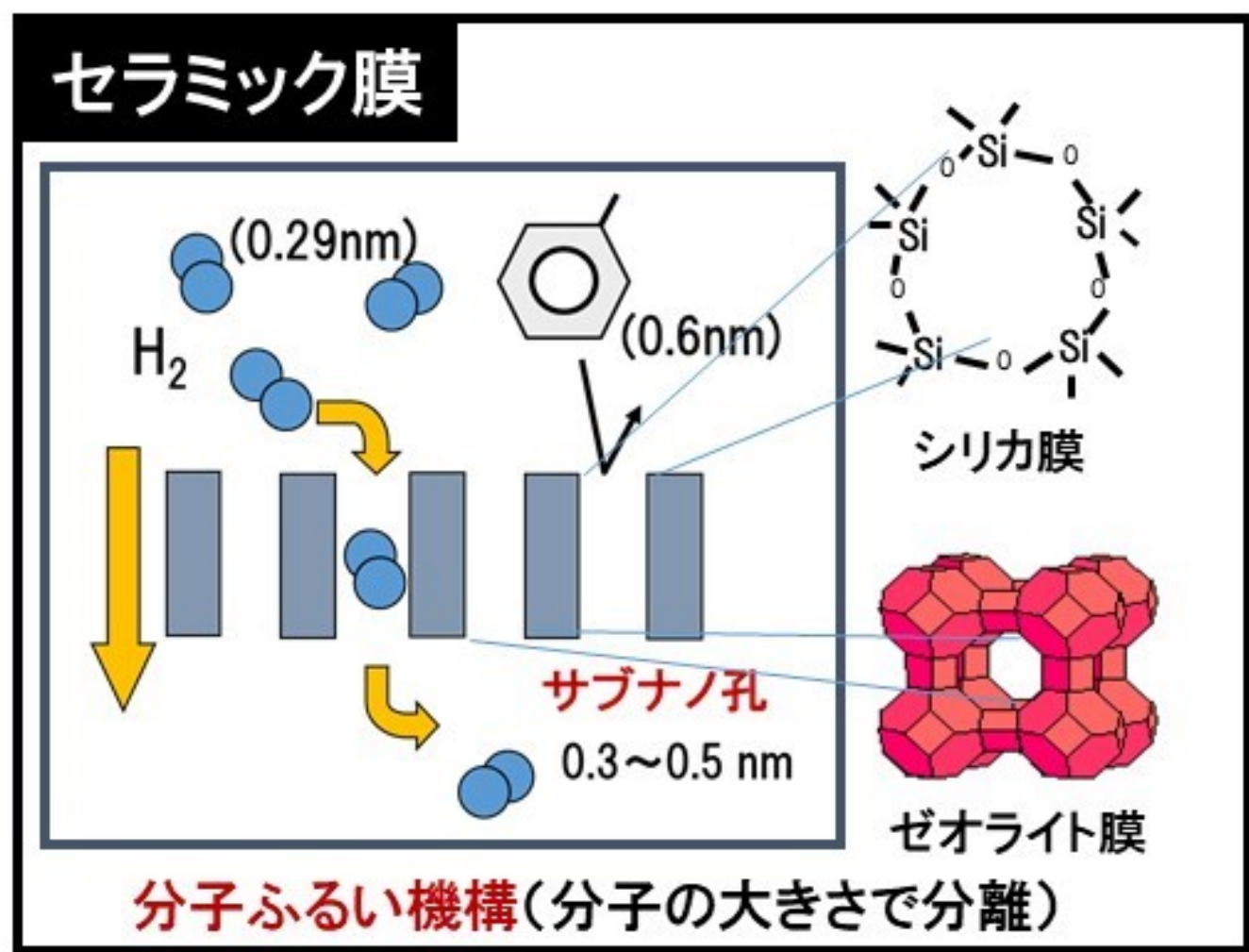
- ① 水素分離・精製：MCHなど有機ハイドライドの脱水素、メタンの直接分解による水素製造
② CO₂の有効利用（CCU）：CO₂のメタノール合成や液体炭化水素燃料の製造

In the following three fields, the Inorganic Membrane Research Center has three inorganic membranes (silica membranes using counter-diffusion CVD, Pd membranes filled in pores, and zeolite membranes) and membrane reactor is core technologies. It is working on advanced research and development.

- ① Hydrogen separation and purification; Dehydrogenation of organic hydride such as MCH, Hydrogen production by pyrolysis of methane, etc.
② CCU（Carbon Capture and Utilization）：Synthesis of methanol and liquid hydrocarbon fuel from CO₂, etc.

- ・対向拡散CVD法によるシリカ膜
・水熱合成法によるゼオライト膜

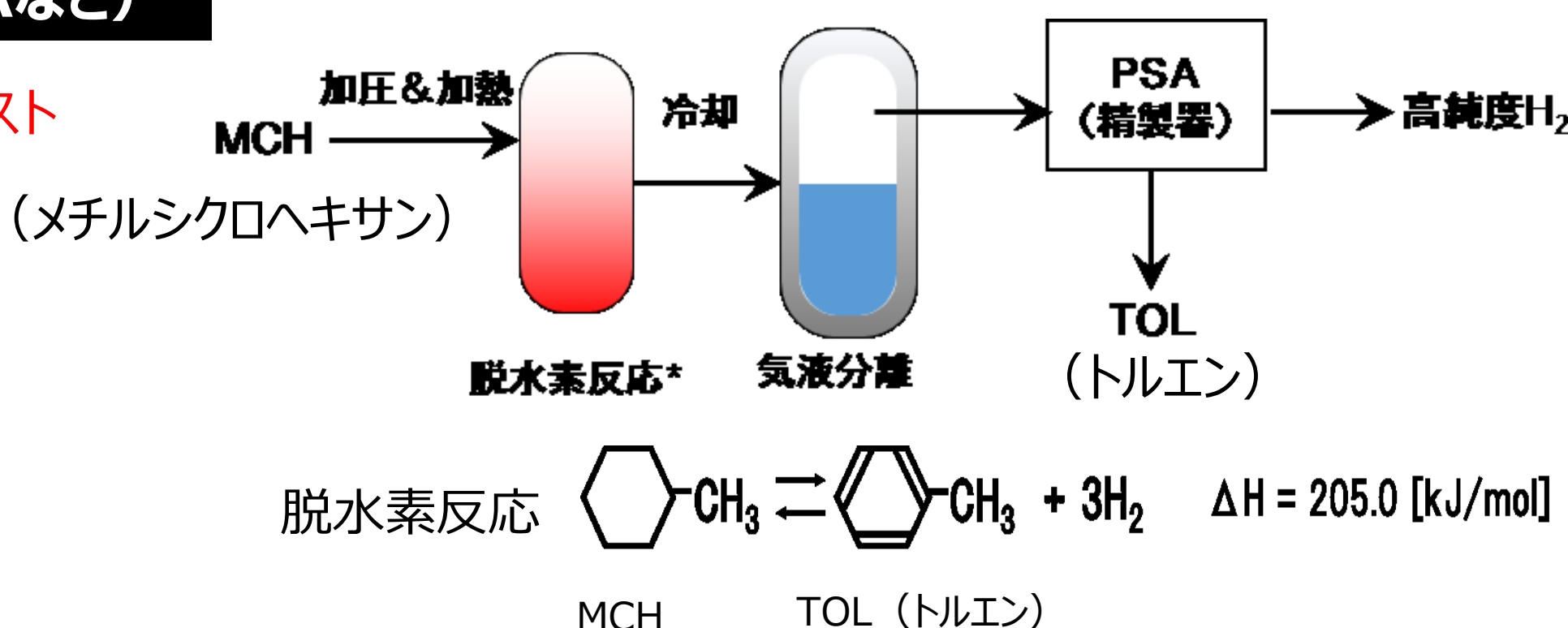
- ・無電解メッキ法による細孔内充填型パラジウム膜（RITE独自法）



メンブレンリアクター（膜反応器）の適用事例：MCHから高純度水素を製造する場合

従来法（脱水素反応+PSAなど）

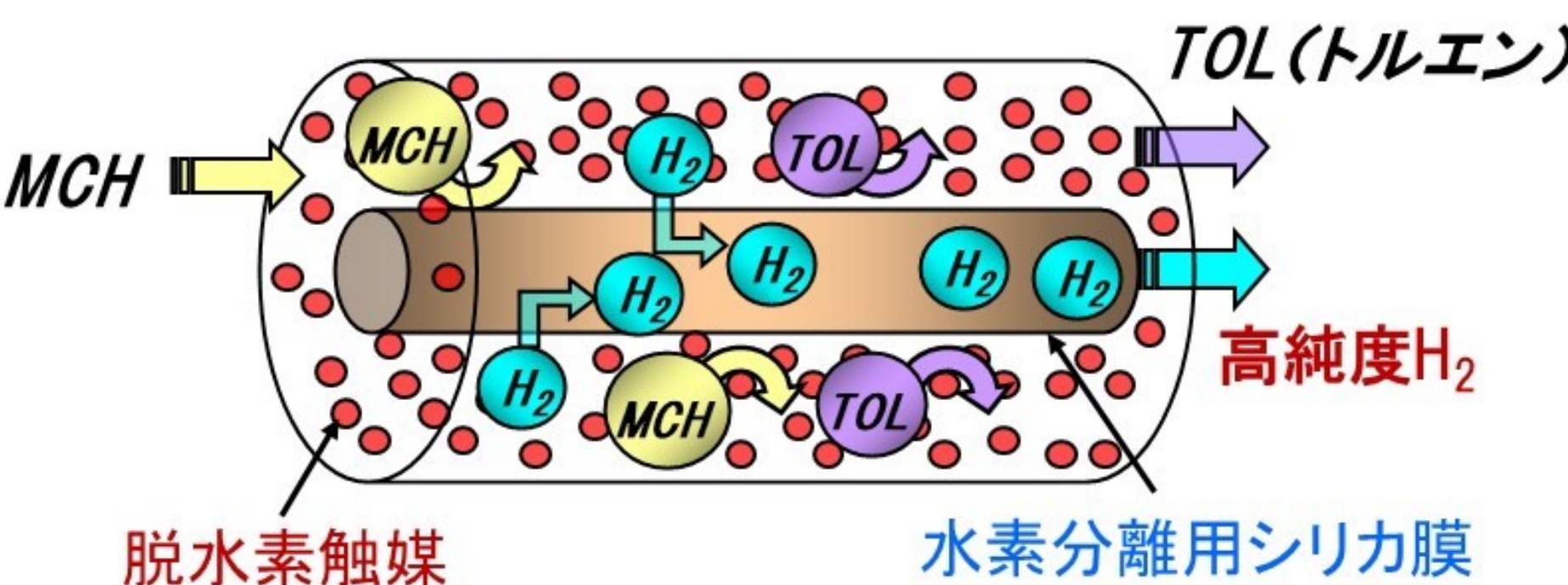
課題： 大容積、低効率、高コスト



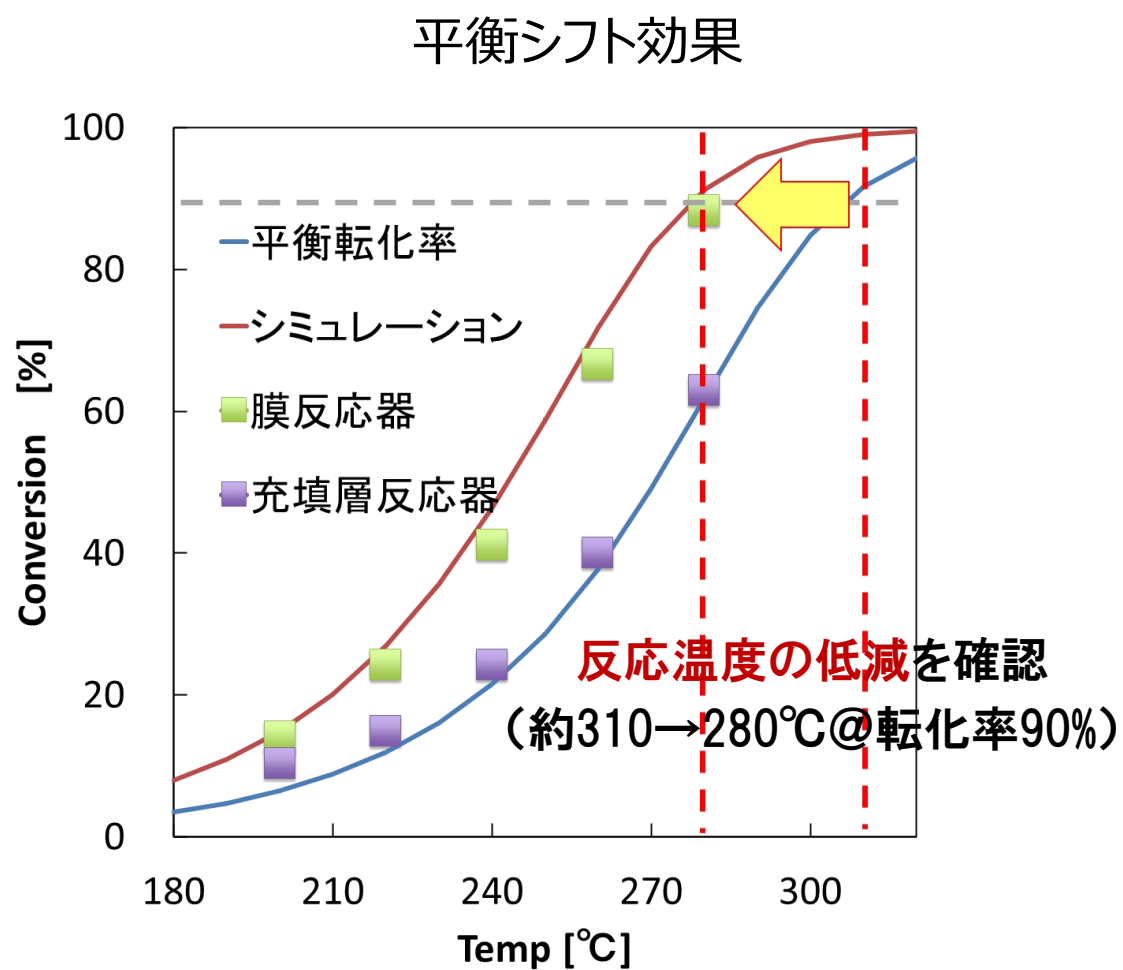
装置のコンパクト化、反応温度低温化

省エネ化、低コスト化へ

メンブレンリアクター（膜反応器）



「脱水素反応+水素精製」を1つの装置で同時実現

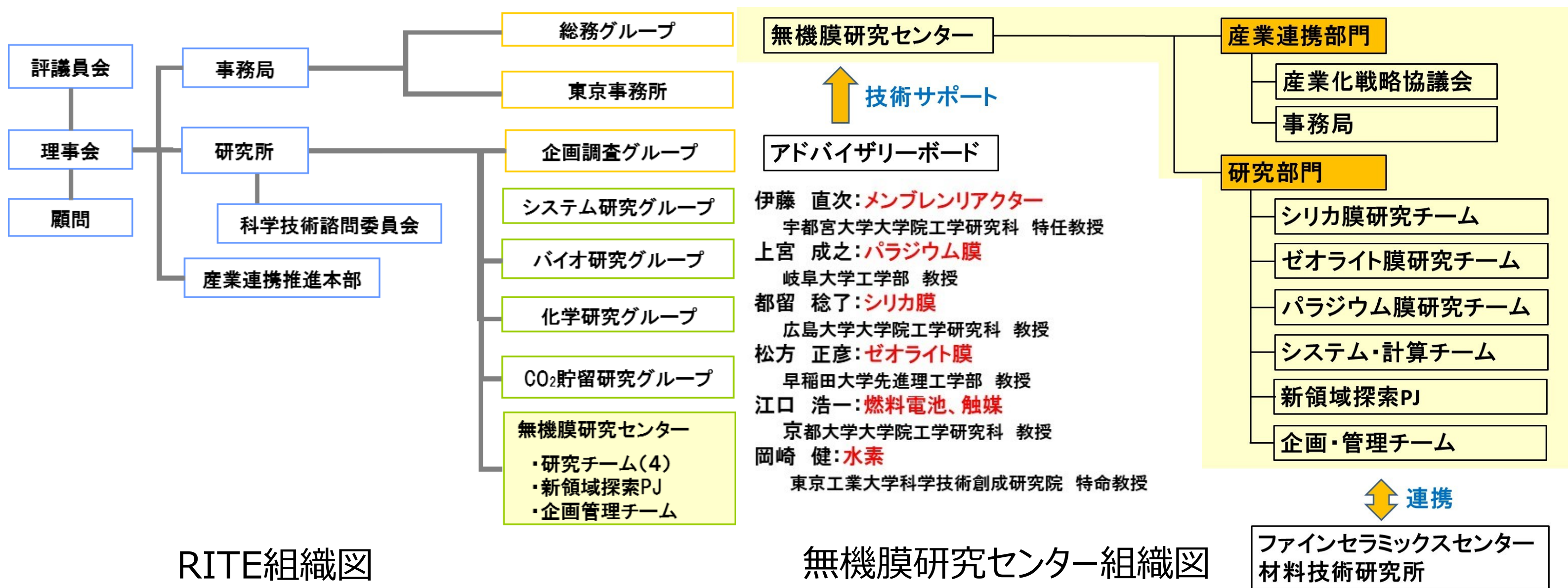


無機膜研究センターの体制

Organization of The Inorganic Membrane Research Center

- 無機膜研究センターは **産業連携部門と研究部門** から構成されています。
➤ 膜、水素などの専門家が、**アドバイザリーボード** として **技術的サポート** を行います。

- ・The Inorganic Membrane Research Center is composed of the Industrial Collaboration Division and the Research Division.
・Experts such as membranes and hydrogen provide technical support as advisory boards.



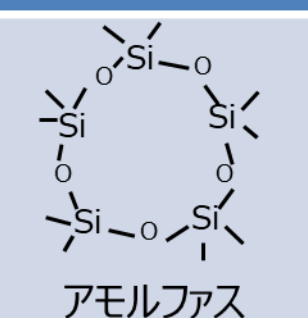
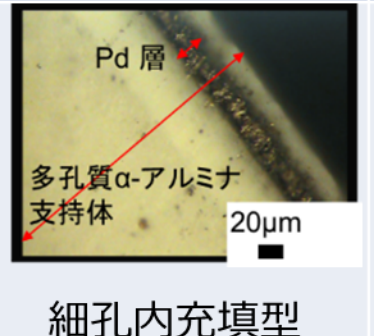
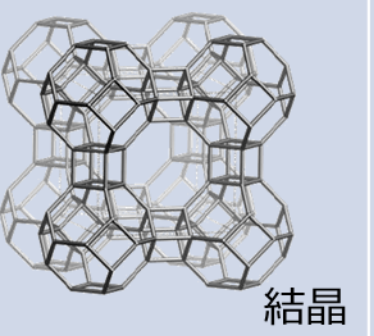
RITE組織図

無機膜研究センター組織図

RITE無機膜研究センターにおける 無機膜の開発

Development of inorganic membranes in RITE Inorganic Membranes Research Center

概要 Outline

膜	構造	主な用途	製法	特長
シリカ	 アモルファス	◆MCH脱水素 ◆低コスト水素製造 ◆CCU技術	対向拡散CVD法 CVD; Chemical vapor deposition（化学蒸着）	◆膜構造設計の自由度 ◆高い水素透過性能
パラジウム	 細孔内充填型	◆低コスト水素製造 ◆CCU技術	RITE独自の 無電解めっき法	◆理論的には水素以外は透過しない ◆耐久性向上とコスト低減の可能性 （従来技術の課題を解消）
ゼオライト	 結晶	◆CO ₂ 分離 ◆CCU技術	水熱合成法	◆結晶構造に由来する均一な細孔 ◆特異的な吸着性能

無機膜研究センターでは、それぞれに特徴を有する無機系分離膜の開発を行っています。それらは、主に**水素分離・製造技術、CO₂分離・有効利用技術への展開**を想定しています。

In Inorganic Membranes Research Center, we have been developed silica, palladium and zeolite membranes having unique character. They are mainly expected to be applied to hydrogen separation/production technology and CO₂ separation/utilization technology.

無機系分離膜の開発 Research and development of inorganic membranes

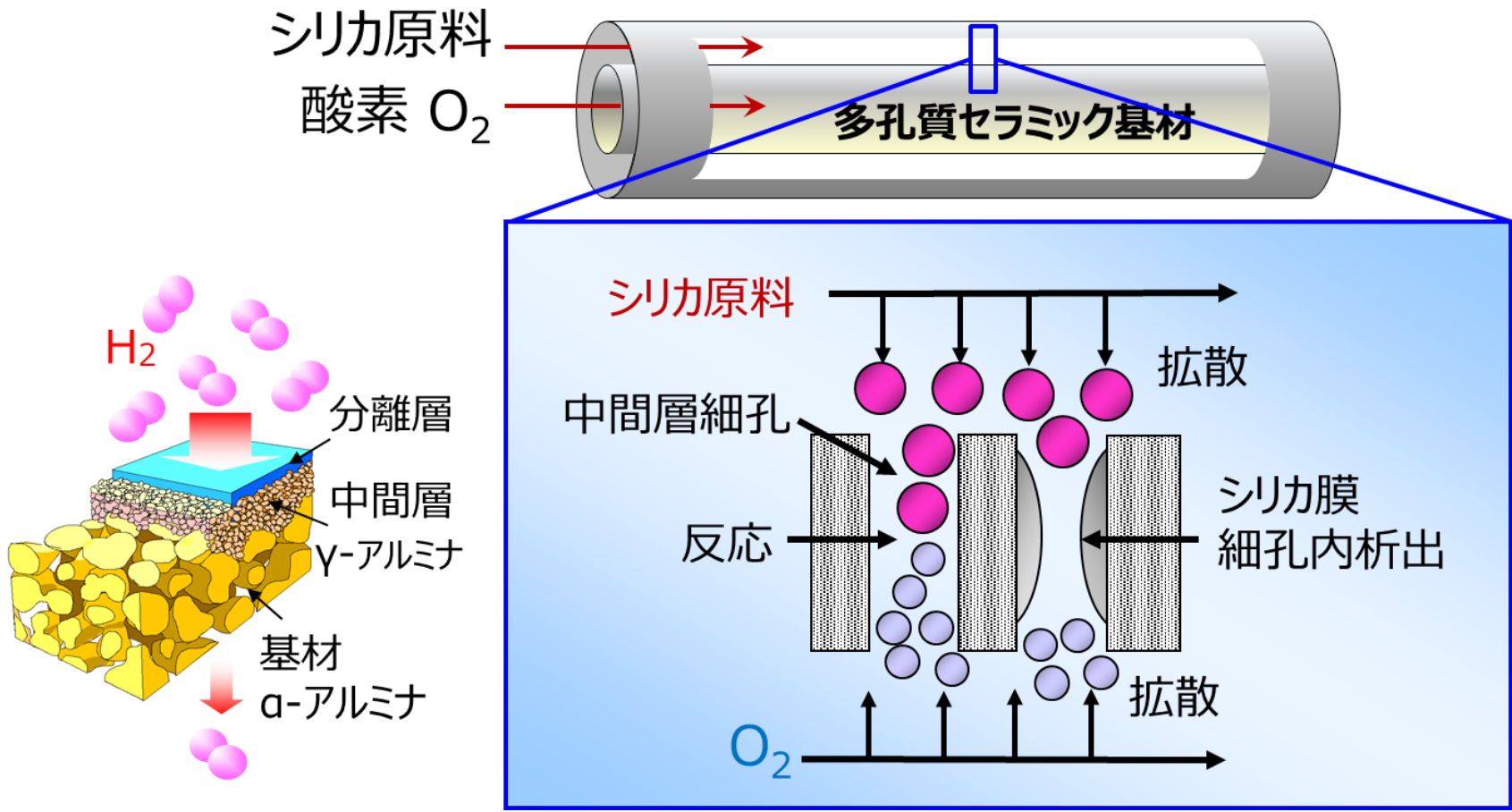
①対向拡散CVD法によるシリカ膜の開発

Development of amorphous silica membranes prepared by counter-diffusion CVD method

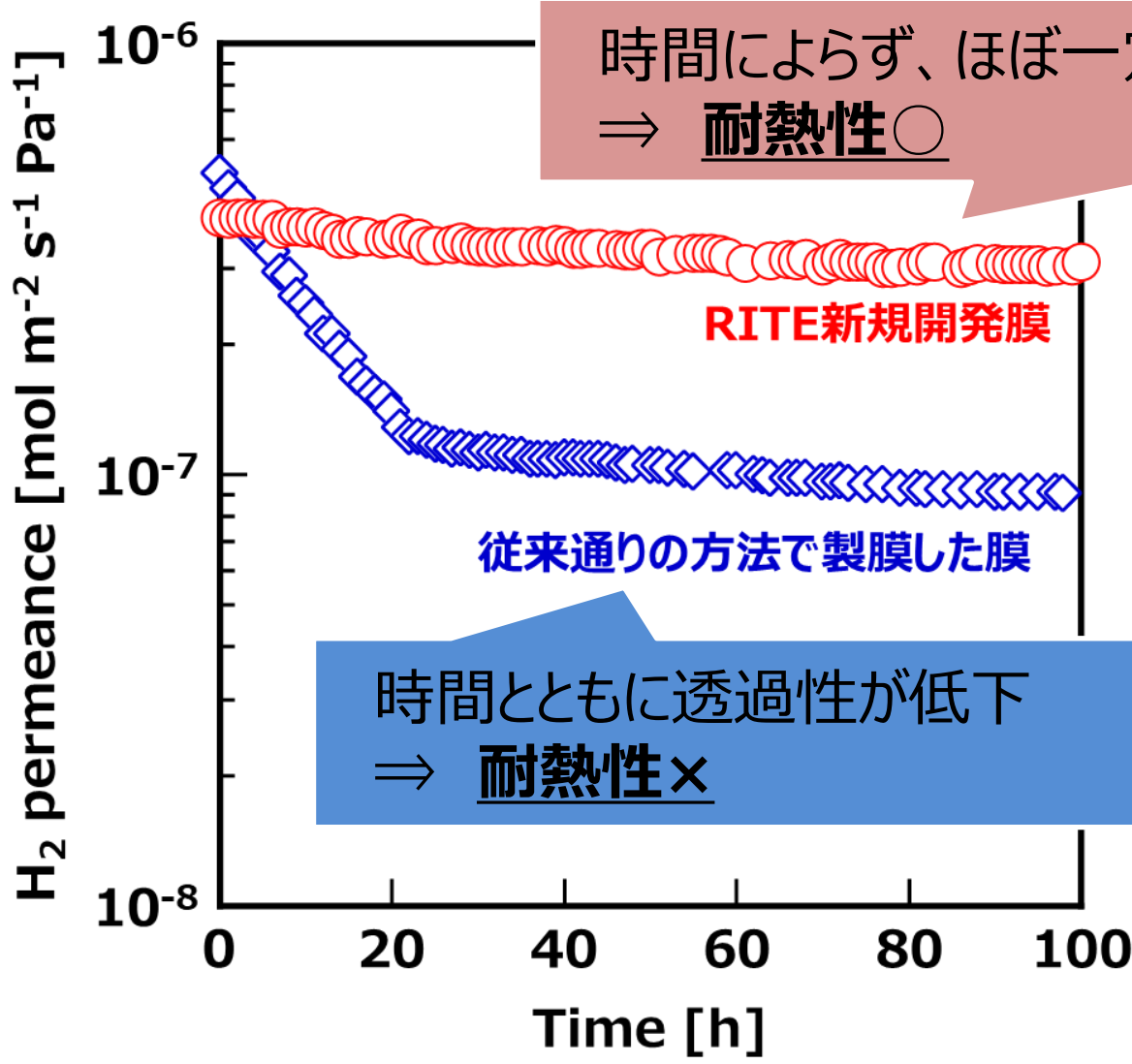
＜対向拡散CVD法とは・・・＞

高い性能を有する膜を再現良く作製可能

（酸素とシリカ源が反応し、基材細孔内でシリカが析出 ⇒ 反応は自動的に停止）



＜600℃での耐熱性＞



シリカ膜は対向拡散CVD（化学蒸着）法により製膜を行っています。この方法は、**高性能の分離膜を再現良く製膜**することができます。また、新たに**開発したシリカ膜は高い耐熱性**を有しています。

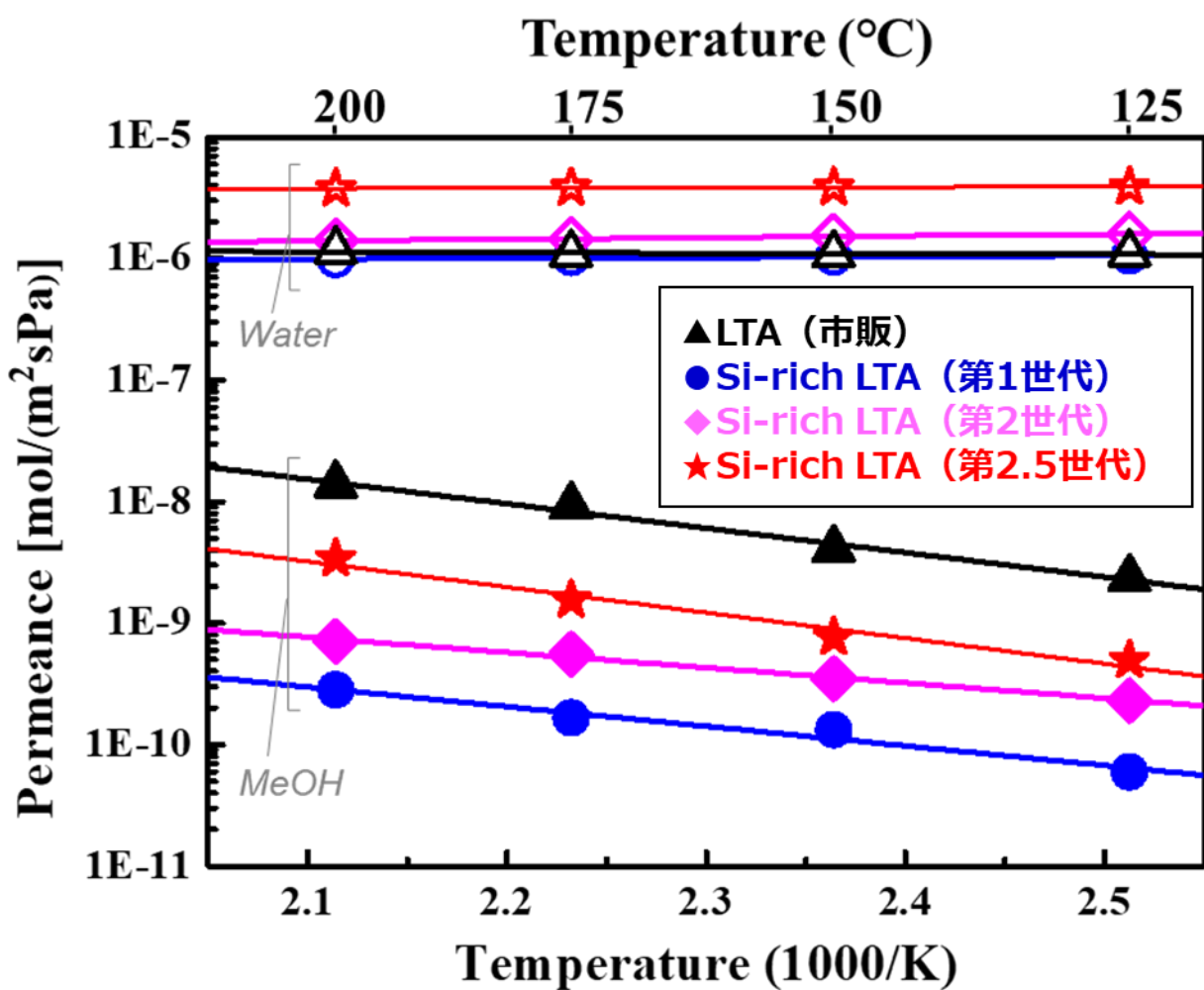
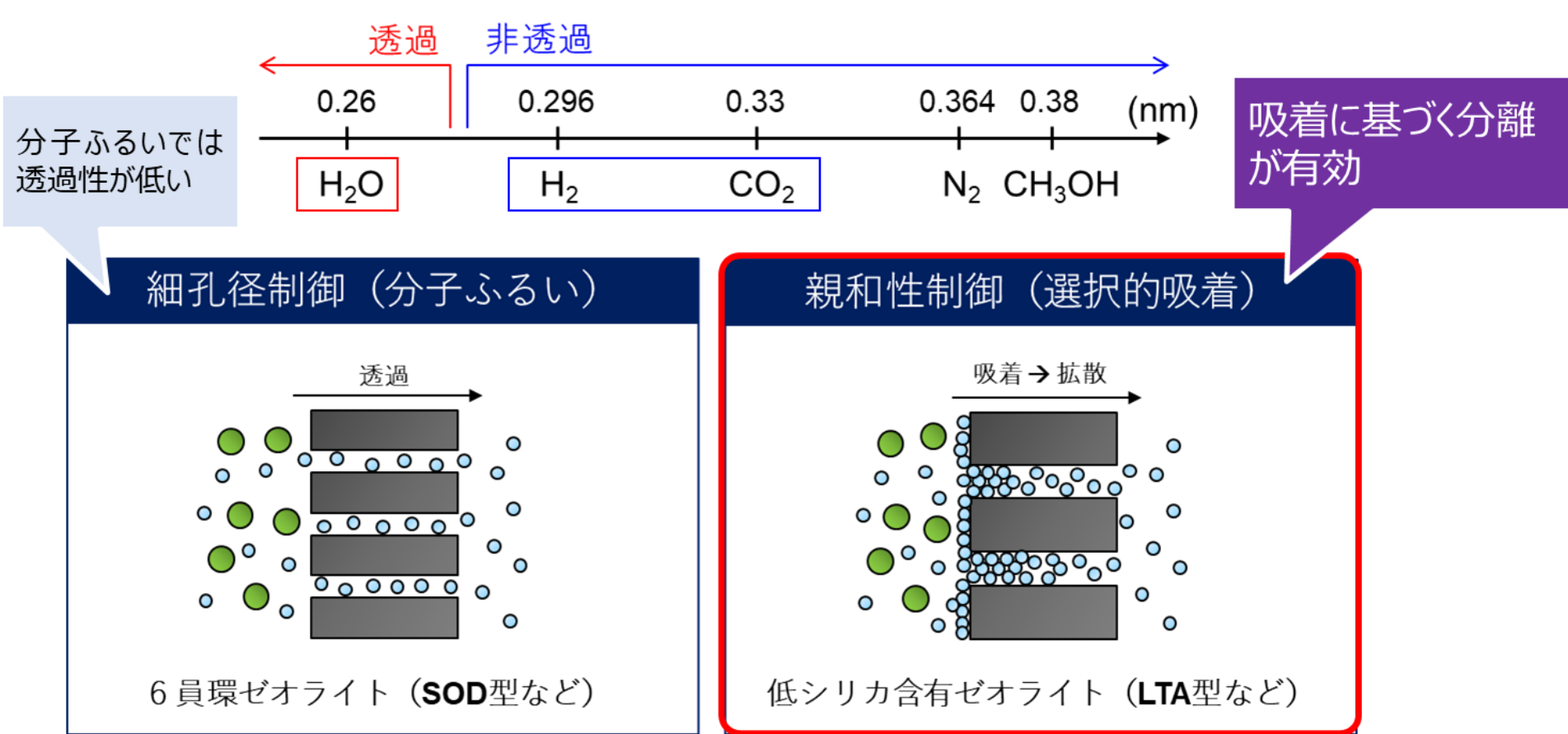
We employ counter-diffusion CVD (Chemical Vapor Deposition) method for silica membranes preparation. This method can be formed high-performance silica membrane with good reproduction. In addition, the newly developed silica membrane showed high heat resistance.

②ゼオライト膜の開発

Development of zeolite membranes prepared by seed-assisted hydrothermal synthesis

＜ゼオライト膜の開発コンセプト＞

＜開発したSi-rich LTA膜の透過分離性能＞

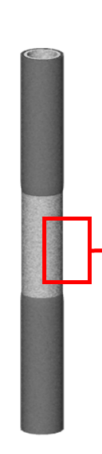
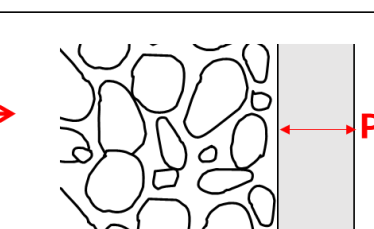
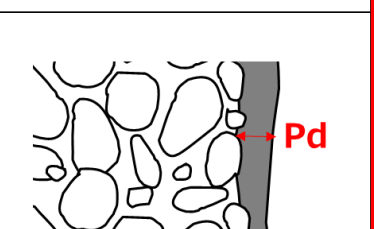
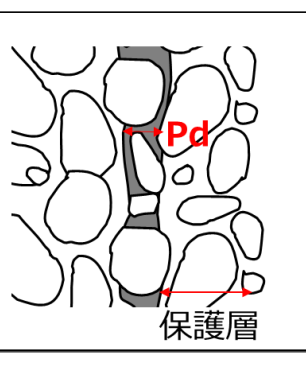


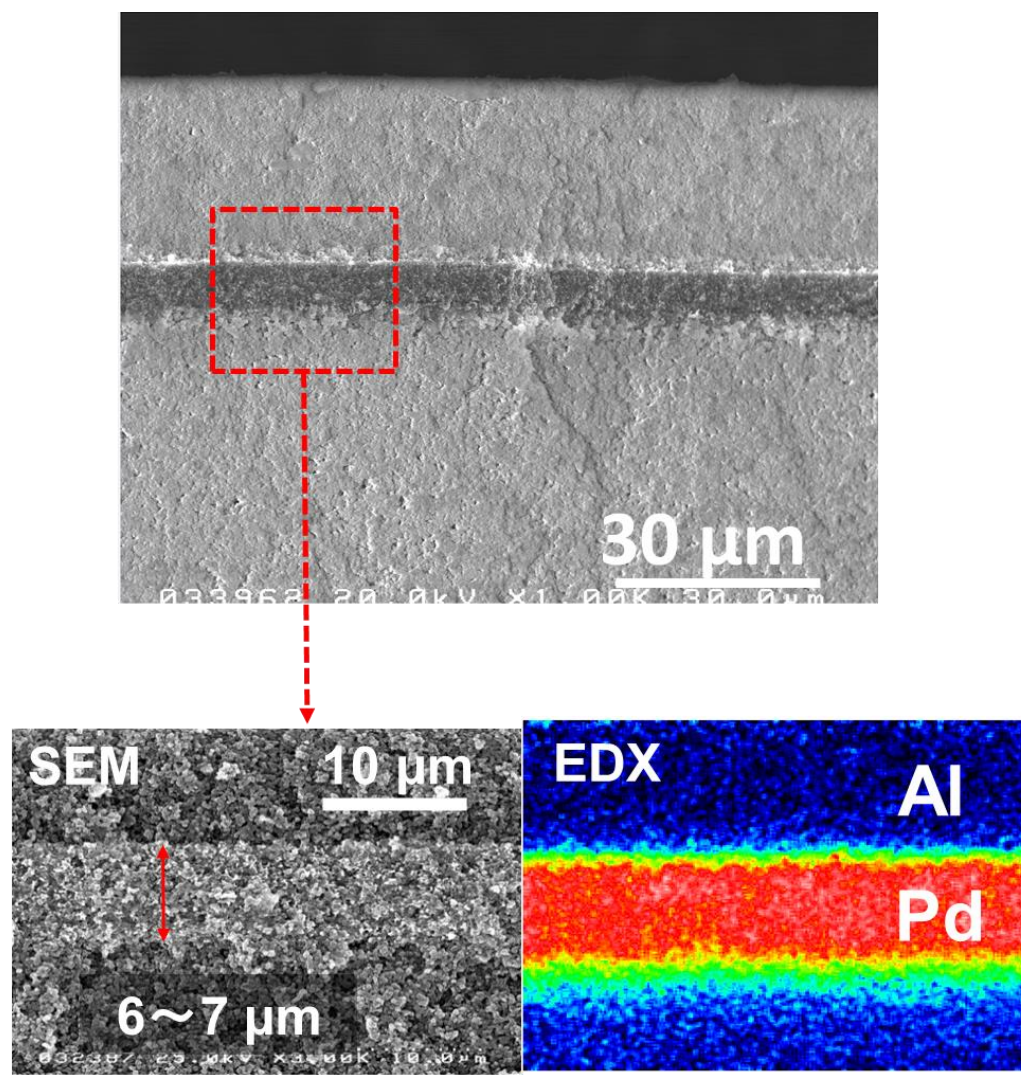
脱水用途を目的として、ゼオライト膜の開発を行っています。一般的なLTA型ゼオライトと比較し、Si/Al比の高い**Si-rich LTA型ゼオライト膜の開発に成功**しました。この膜は、比較的**高い透過分離性能と水熱安定性**を有しています。

Zeolite membranes has been developed for dehydration application. We have succeeded in synthesis a Si-rich LTA-type zeolite membrane, which has high Si/Al ratio than LTA-type zeolite. This membrane has relatively high water permselective performance and hydrothermal durability.

③細孔内充填型パラジウム膜の開発

Development of pore-fill type palladium membranes prepared by electroless plating

	遊離型 (圧延膜)	通常型薄膜 (無電解めっき、電解めっき、 スパッタ、CVD)	細孔内充填型 (RITE独自技術)
			
コスト	×	○	◎
耐水素脆性	○(厚膜)	×	○
耐熱性	○	×	○
飛翔物耐性	○	×	◎
合金耐性	×	×	○
その他	・実用化試験段階 ・高水素選択性 ・多元系合金膜作製容易	・高水素透過性能	・Pd使用量低減可能 ・細孔内に緻密な膜形成が可能



無電解めっき法による細孔内充填型パラジウム膜の開発を行っています。**パラジウム使用量の低減**および**耐久性の向上**が期待できます。

We develop the pore-fill type palladium membranes by electroless plating method. The membrane can be expected to reduce the amount of palladium used and improve durability.

炭素循環のためのCO₂変換技術開発

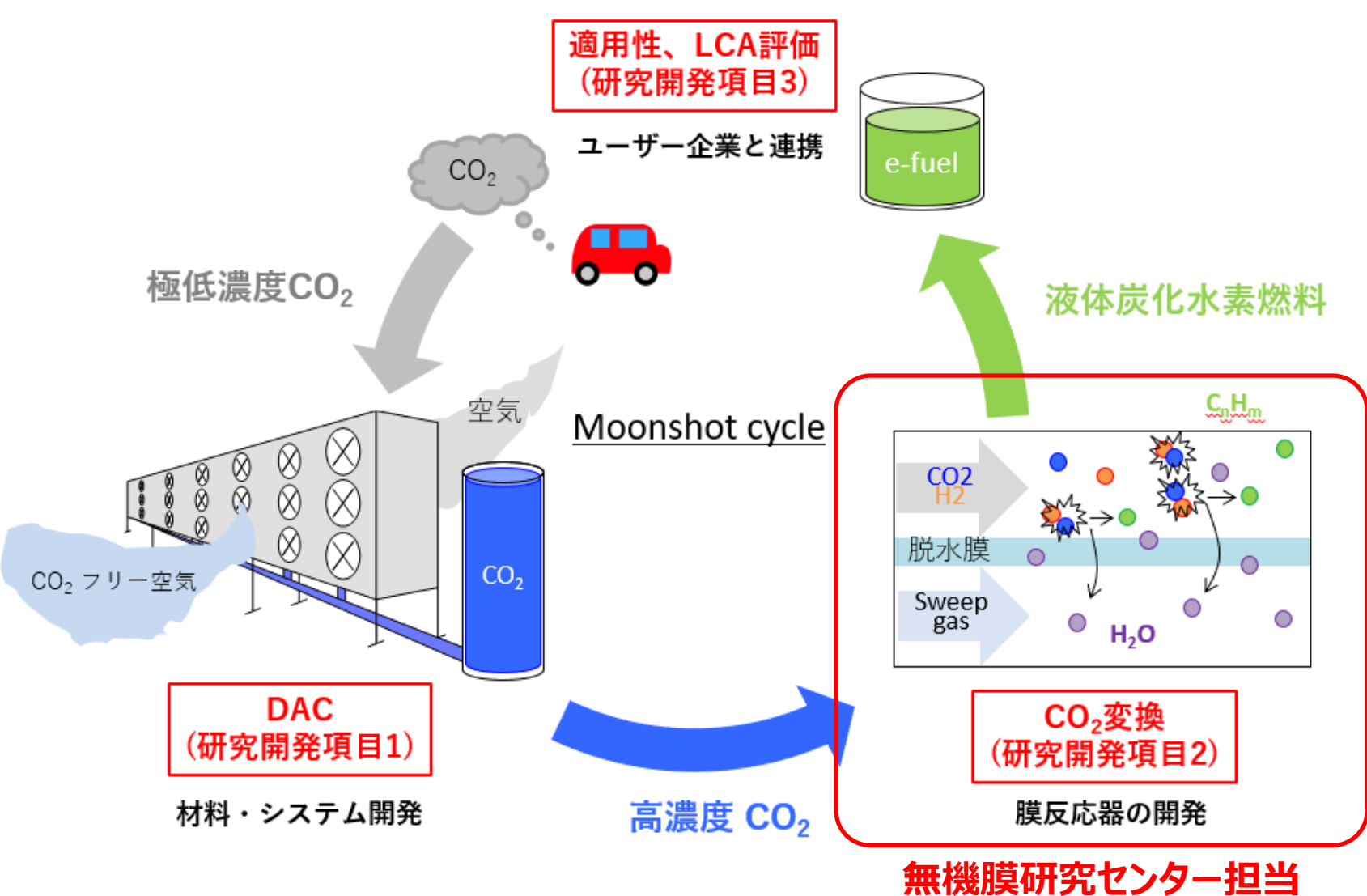
Development of CO₂ utilization technology for carbon recycle

研究の背景 Background

CO₂有効利用技術はEUをはじめとする世界各国でCO₂削減に効果的であると盛んに研究開発・実証検討が行われている技術です。一方で、CO₂の水素化による有効利用技術は反応により水が生成し、その水が**触媒の活性劣化、反応速度の低下**の原因となります。無機膜研究センターでは、それらの課題を解決すべく、**膜反応器による高効率かつ省エネルギー型のCO₂有効利用技術の開発を推進**しています。

Recently, CO₂ utilization technologies have been actively researched and developed in countries around the world, including the EU, as being effective in reducing CO₂ emissions. On the other hand, in the hydrogenation of CO₂, water is generated by the reaction, which decreases the reaction rate. In order to solve this problem, highly efficient, energy-saving CO₂ utilization technology has been developed at the Inorganic Membranes Research Center using a membrane reactor.

研究の概要 Outline of research



金沢大学とRITEが協力し、大気中からのCO₂分離回収技術と有用物質への変換技術としてFT合成による液体炭化水素燃料合成技術を開発します。**無機膜研究センターは、膜反応器を用いたCO₂変換技術開発を担当します。**

Kanazawa University and RITE will develop DAC (Direct Air Capture) and CO₂ utilization technologies. The Inorganic Membranes Research Center is in charge of developing e-fuel using a membrane reactor.

膜反応器のFT合成への適用

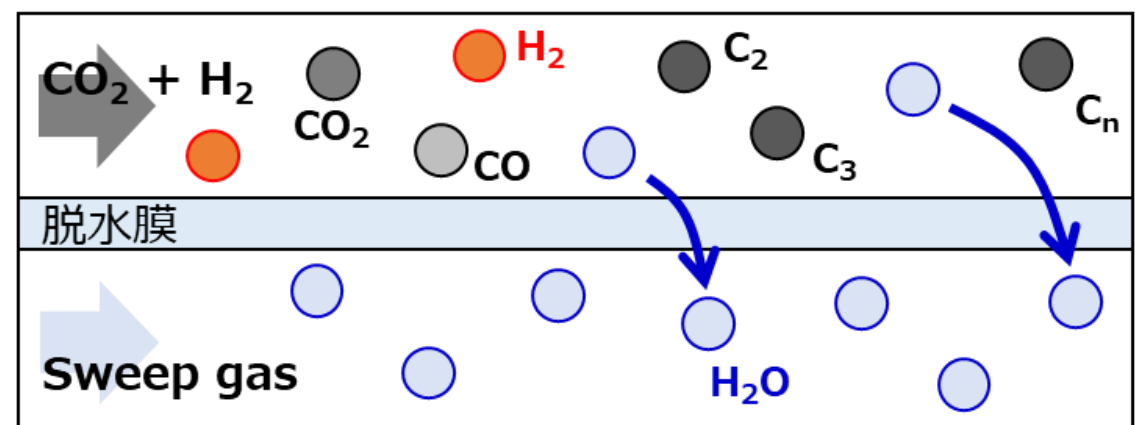
Application of membrane reactor to FT (Fischer-Tropsch) synthesis

一般的にFT合成では合成ガス（CO + H₂）を原料として炭化水素を生成する反応ですが、反応により**生成する水が触媒劣化、反応速度低下の原因**となります。また生成物分布は連鎖成長確率（ASF則：Anderson-Schulz-Flory則）で決まり、**反応制御が困難**です。

The water produced from the reaction caused catalyst deactivation and a reaction rate reduction in FT synthesis. Another problem was that reaction control was difficult because the product followed the ASF (Anderson-Schultz-Flory) distribution.

<Extractor型膜反応器>

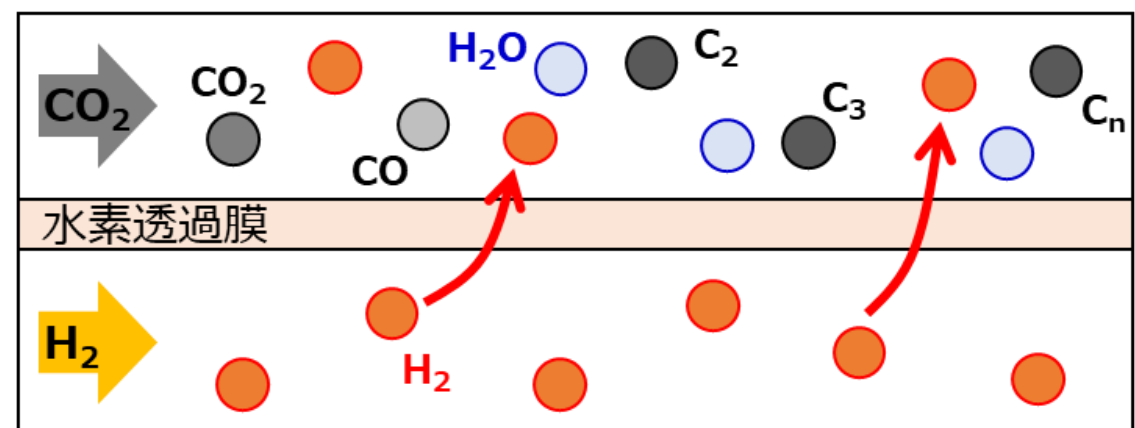
脱水膜（規則性多孔体）＋触媒



反応系外にH₂Oを引き抜くことによるCO₂のダイレクト変換

<Distributor型膜反応器>

水素透過膜（シリカ、Pd）＋触媒



膜を介して反応場にH₂を供給することによるAnti-ASF則の実現

CO₂を原料としたFT合成による液体炭化水素燃料製造の**高効率かつ省エネルギー化を目的として膜反応器を用いたCO₂変換技術の開発**について、以下の3項目を柱として進めています。

- ① FT合成に適用可能な**脱水膜、水素透過膜**
- ② FT合成用**膜反応器**
- ③ **最適プロセス構造**の検討

We are proceeding with the development of CO₂ utilization technology using a membrane reactor for the purpose of high efficiency and energy saving in the production of e-fuel by FT synthesis using CO₂ as a raw material. Research and development items are as follows.

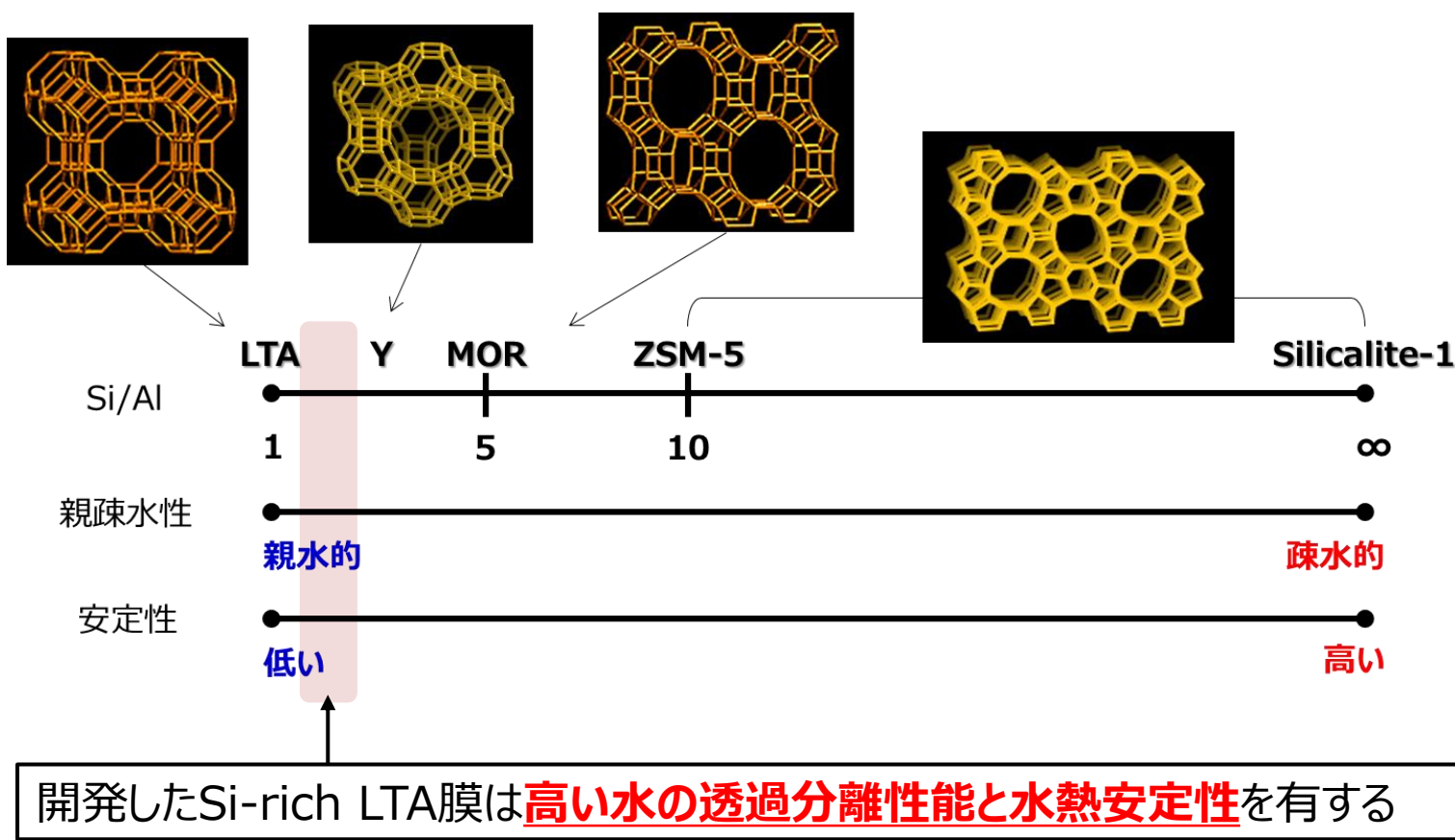
- ① Development of a membrane applicable to FT synthesis
- ② Development of a membrane reactor for FT synthesis
- ③ Search for the optimal process structure

FT合成への適用を目指した無機系分離膜の開発

Development of inorganic membranes for FT synthesis using a membrane reactor

<脱水膜>

高い透過分離性能と水熱安定性を併せ持つ脱水膜を開発する



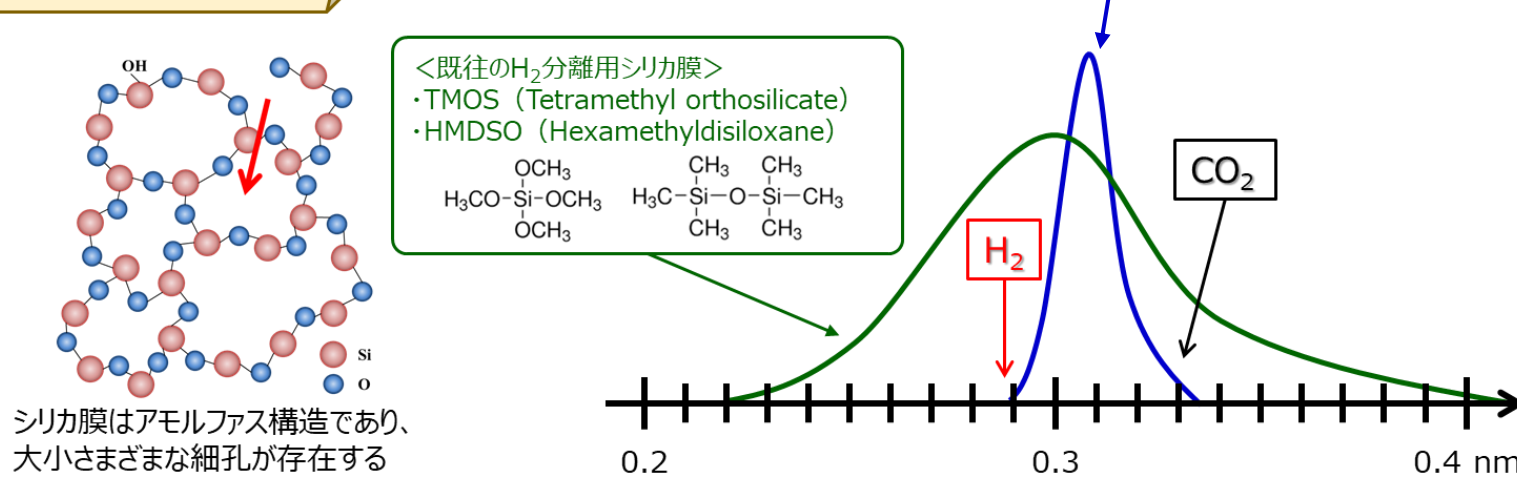
FT合成に適用可能な**分離膜、膜反応器の開発を推進**していくとともに、**“分離膜のScience”**を解き明かします。

We will make the best use of the knowledge we acquired, and strongly promote the development of inorganic membranes and membrane reactors applicable to FT synthesis. We then intend to unravel the “Science of inorganic membranes” that we have left unattended.

<水素透過膜>

<動的分子径>
H₂ : 0.289 nm
CO₂ : 0.330 nm
CO : 0.376 nm
CH₄ : 0.380 nm

精密に骨格構造を制御した新規シリカ膜を開発する



低温域で水素脆化を抑制するパラジウム膜を開発する

RITE		
遊離型(圧延膜)	通常型薄膜 (無電解めっき、電解めっき、スパッタ、CVD 等)	細孔内充填型 (目的とする膜構造)
高コスト	低耐久性*	保護層

*熱膨張係数差、水素脆化、触媒との合金化、機械的ダメージ

本事業は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクト「ムーンショット型研究開発事業／地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現／大気中からの高効率CO₂分離回収・炭素循環技術の開発」の委託事業です。

This study was financial supported from New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

産業化戦略協議会

Industrialization Strategy Council

—メーカーとユーザー企業のビジョンの共有化、共同研究の企画・立案を図る—
-Sharing visions of manufacturers and user companies and planning/proposing joint research-

産業化戦略協議会について Industrialization Strategy Council

産業化戦略協議会は、無機分離膜・支持体メーカー、ユーザー企業等の企業会員が連携し、メーカーとユーザー企業のビジョンの共有化及び共同研究の企画・立案等を推進し、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の早期の実用化・産業化を目指します。

Council members of inorganic separation membrane / support manufacturers, user companies, etc. work together to share the vision of manufacturers and user companies, promote planning and proposing of joint research. We are aiming for early commercialization and industrialization of innovative environmental and energy technologies using inorganic membranes.

会員企業：18社(2021年2月現在)

会長：大阪ガス 久徳顧問

分離膜・支持体メーカー

京セラ、住友化学、日立造船、ニッカトー、三菱ケミカル

ユーザー企業

旭化成、岩谷産業、大阪ガス、川崎重工業、神戸製鋼所、JFEスチール、石油資源開発、大陽日酸、千代田化工建設、東京ガス、日揮、日本ゼオン、丸善石油化学

産業化戦略協議会の主な活動内容 Outline of Activities

①無機膜の産業化に向けた研究会活動と研究会の検討結果に基づく国費事業等の企画・立ち上げ

Implementation of research group activities for industrialization of inorganic membranes and planning and launching of government-sponsored projects based on the results of the research group

産業化連携協議会では、無機膜を用いた革新的環境・エネルギー技術の実用化・産業化に向けたニーズ・シーズマッチングやロードマップ策定を行う「研究会」を設置しています。現在、「CO₂分離研究会」と「共通基盤（信頼性評価等）研究会」の2つが活動しています。各研究会およびその下部組織として具体的作業を進める作業部会を通じて調査検討を更に深め実用化をにらんだ国費事業提案準備を進めています。

The Industrialization Cooperation Council has set up a “Research Group” to develop needs, seeds matching, and roadmaps for the practical application and industrialization of innovative environmental and energy technologies using inorganic membranes. We have the following two Research Groups now.

a) CO₂ Separation Research Group, b) Common Basic technical field (Reliability Evaluation Method) Research Group

We conducted deeply surveys and studies through activities in both the Research Group meeting and its subsidiary research, and they are preparing for projects aiming at practical application funded by government expense.

テーマ	概要	会長	参加会員
CO ₂ 分離	無機膜を用いたCO ₂ 分離回収有効利用技術、天然ガス田のCO ₂ /CH ₄ 分離技術等の早期の実用化を図る	日立造船 白木常務取締役	6社
共通基盤	無機膜の実用化に必要な共通基盤（信頼性評価方法の考案、標準化等を含む）の早期の整備を図る	日揮ホールディングス 保田顧問	5社

②研究部門への研究員派遣の受け入れ、研修会の実施、技術相談

Acceptance of researchers to The Inorganic Membrane Research Center (IMeRC) and conducting workshops and technical consultation

産業化連携協議会では、毎年秋に会員向けの研修会を開催しています。研修会は、講義を受けた後、実際に分離膜に関する実験を体験して頂きます。今回は、岐阜大学の上宮教授の研究室で行いました。パラジウム（Pd）膜および膜反応器の概要説明、Pd膜分離技術講義、Pd製膜法の実験、作成した膜の水素透過分離性能評価の方法等の研修を行いました。

Industrialization Strategy Council has the workshop in fall every year. After the lecture, participants have the experience to conduct the experiment on membrane. It was held at the office of Professor Uemiya of Gifu University in 2019. Lectures including outline of Pd membrane and membrane reactor, Pd membrane separation technologies, and experiment of membrane formation methods and guidance on performance and evaluation methods for prepared membranes were provided in the workshop.



研修会の実施状況

	開催場所と指導教官	取り上げた分離膜の種類
第1回	山口大学工学部 喜多教授	ゼオライト膜、炭素膜、高分子膜
第2回	RITE 中尾センター長 (工学院大学 工学部教授)	シリカ膜
第3回	岐阜大学 上宮教授	パラジウム膜

③会員限定セミナーの開催 Hosting exclusive technical seminars

会員向けセミナーを定期的に開催しています。アドバイザーボード、会員企業、膜関連企業などから最新の研究開発動向やニーズ、シーズの紹介、膜の実用化開発事例の紹介など、活発な質疑・応答、討論が行われています。無機膜の実用化・産業化に関連した有用な知識を得られる上に、会員企業間や第一線の研究者との交流の場としても有意義な場であると高い評価を得ております。



セミナー風景

Exclusive technology seminars for council members are held annually, in which the latest R&D trends, needs, and seeds are introduced by IMeRC advisory board members, member companies, and the IMeRC with active discussions among participants. The participants are pleased to take part in the seminars, not only because they can acquire knowledge of inorganic membranes, which is useful for promoting the practical use and industrialization of the membranes, but also because they have the opportunity to interact with other frontline researchers from member companies and organizations.

④無機膜に関する海外／国内研究機関への調査活動

Investigation activities for overseas / domestic research institutes on inorganic membranes



海外調査活動（南京工業大学）

中国の南京工業大学（Dingjiaqiaoキャンパス）を協議会メンバーで訪問し、中国の分離膜の専門家と「1st China-Japan Symposium on Inorganic Membranes」開催しました。また、シンポジウム後、Membrane Industry Parkを訪問しました。

Some of the member of Industrialization Strategy Council visited The Nanjing Tech University (Dingjiaqiao campus) in China and we had the joint symposium with specialists of membrane in China on the 1st China-Japan Symposium on Inorganic Membranes, and also visited The Membrane Industry Park.

⑤会員向けニーズ・シーズ情報の提供

Offering exclusive services (“Needs and Seeds Technology Information”) to council members

協議会会員向けセミナーの講演内容に関連する特許・文献調査を行い、その要約に無機膜研究センターとしてのコメントを付したニーズ・シーズ情報も、定期的に会員に提供しています。加えて、無機膜関連の国際会議で注目された講演についても、その要旨およびRITEの解説を提供するなど会員企業の無機膜の実用化・産業化に向けた活動をサポートしています。

We also conduct patent and literature surveys related to the seminar lecture content, and periodically provide council members with Needs and Seeds Technology Information, which has special comments from the IMeRC in the abstract. In addition, We support the various activities of council members toward promoting the practical use and industrialization of inorganic membranes by providing a summary of the remarkable lectures with explanation by RITE on the which is one of the most popular international conferences related to inorganic membranes.