

電場印加・膜分離併用による アンモニア分解水素製造の高効率化

岐阜大学 工学部 化学・生命工学科
教授 上宮 成之

2026年7月16日

従来技術とその問題点

アンモニア (NH_3) から水素を製造する従来技術
(固定床触媒反応器による熱分解) の主な問題点

高温が必要

- ・アンモニア分解反応 ($2\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3\text{H}_2$) は吸熱反応 ($\Delta H^\circ +92 \text{ kJ/mol}$) で、 $500 \sim 700 \text{ }^\circ\text{C}$ 程度の高温を必要とする
- ・低温域 $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下では、アンモニア分解速度が著しく低下する。

高純度水素を得るための精製工程が必要

- ・燃料電池用途では窒素や未反応アンモニアを極めて低濃度にするために除去操作が必要である。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来は約500 °C程度は必要だったアンモニア分解反応を、電場印加と膜分離の併用により350 °Cまで低温化できた(300 °C以下の低温まで分離膜を変更して検討中)。
- 電場印加と水素膜分離の相乗効果により、350 °Cでアンモニア転化率を5.8%(従来法 固定床反応器)から97.5%(新技術 電場膜反応器)まで向上できた。
- 水素のみを透過する膜を膜反応器に用いることで、高純度水素を直接回収でき、分離・精製工程を省略可能なプロセスの構築が可能である。

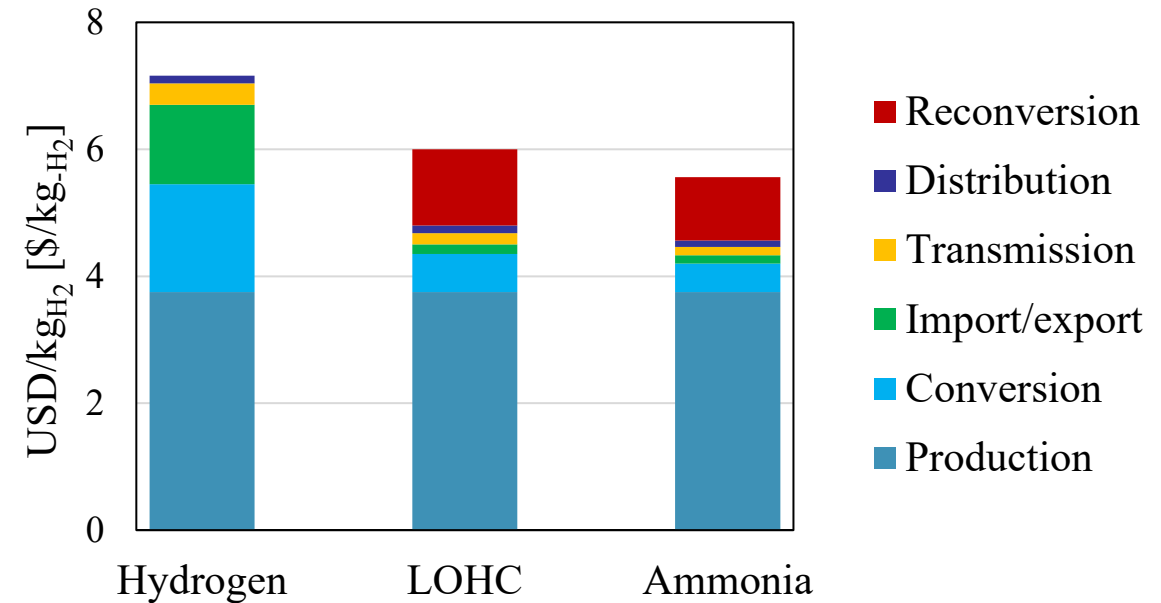
水素キャリアとしてのアンモニア

	NH ₃	H ₂
Boiling point [°C]	-33.4	-253
Bulk density [g-H ₂ /L]	121	70.8

アンモニアの物性

- ・沸点が高く、液化しやすい。
- ・体積密度が高く、輸送・貯蔵効率が良い。

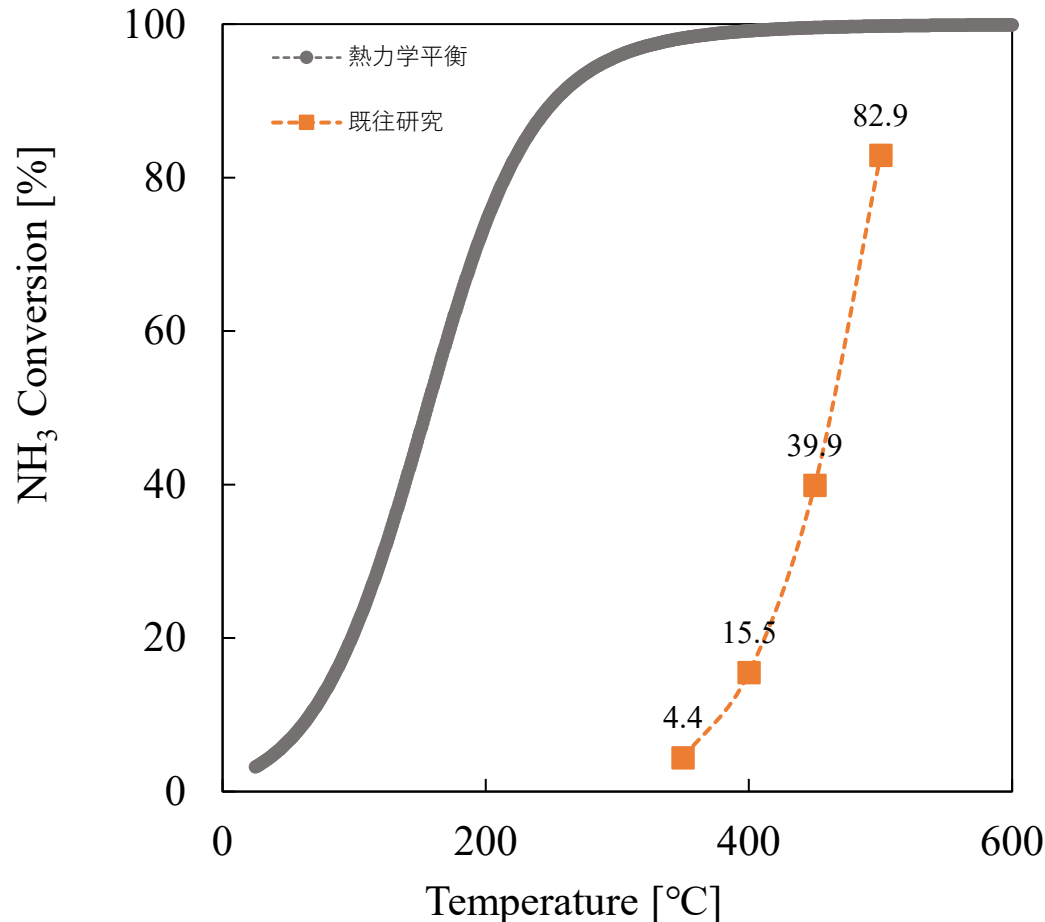
The future of Hydrogen
by the IEA (2019.06)



IEAレポート

- ・オーストラリアから日本に水素を輸送
アンモニアが最もコストがかからないと試算された。

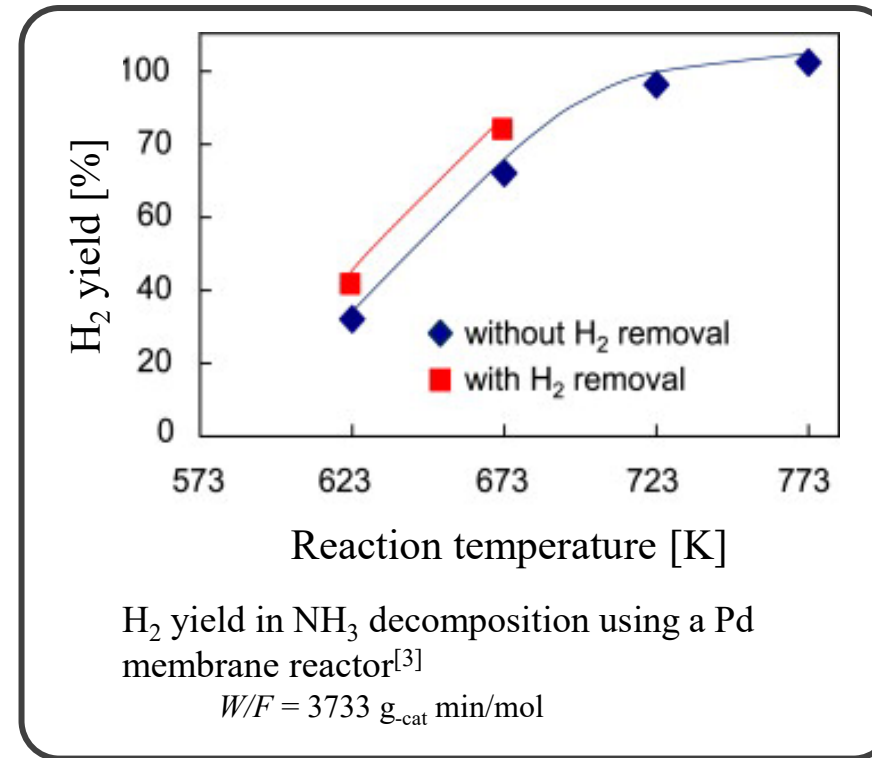
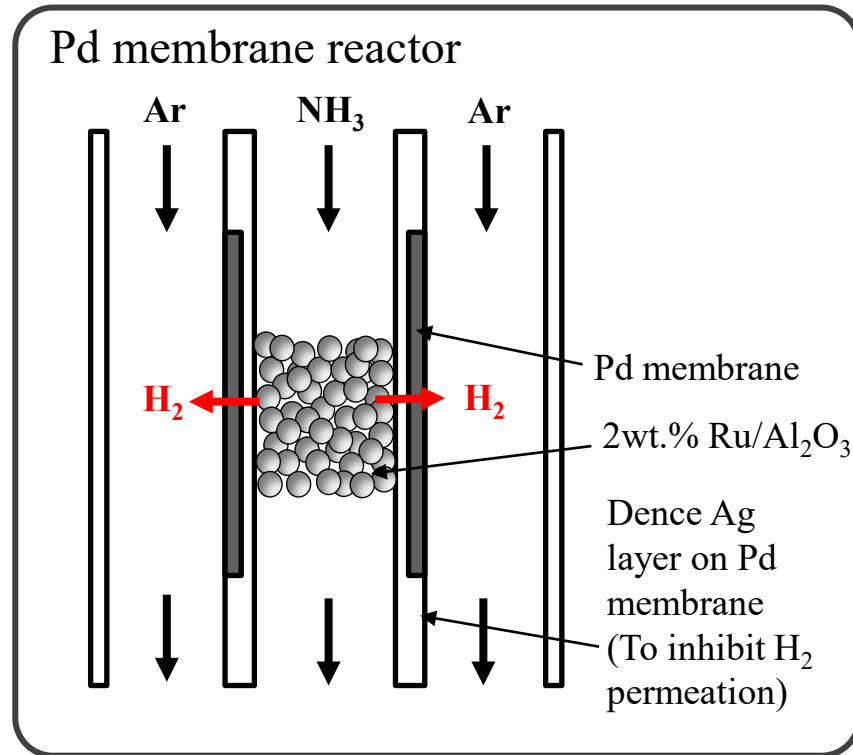
従来技術(固定床反応器)での アンモニア分解



- 既往研究(Ru系触媒での固定床反応器)では500 °C以上の反応温度を必要とする(Ni系触媒ではさらに高い反応温度を必要)。
- 350 °Cでは反応速度が低くなるために、アンモニア転化率は4.4%と低くなる。
- 反応後の生成ガスには、水素のほかにも窒素や未反応のアンモニアを含有するため、反応器後に分離・精製(PSAなど)を必要とする。

プロセス強化①: 膜反応器

M. Miyamoto, S. Uemiya *et al*, *Intern. J. Hydrogen Energy*, **39**, 10154-10160 (2014)



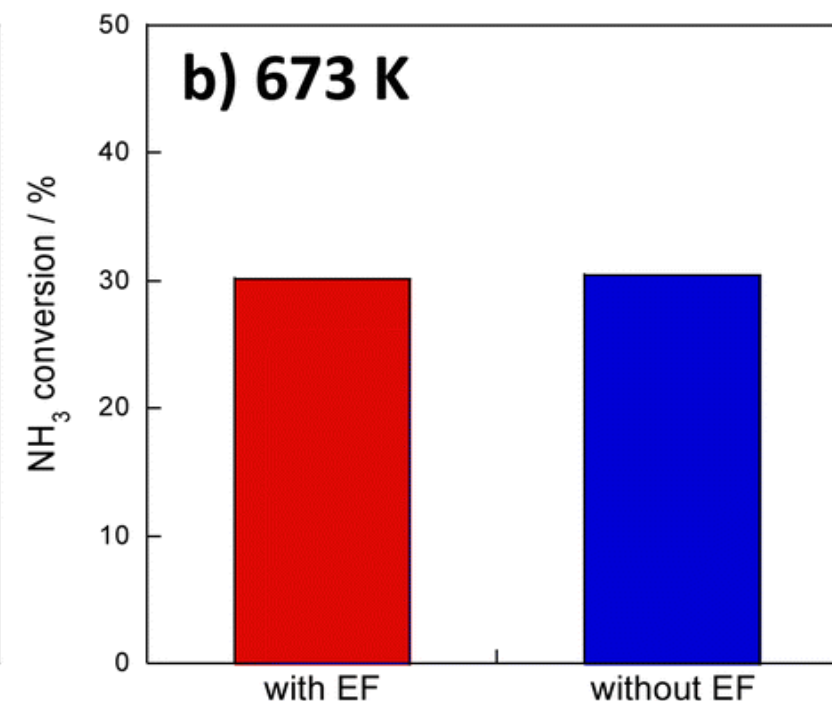
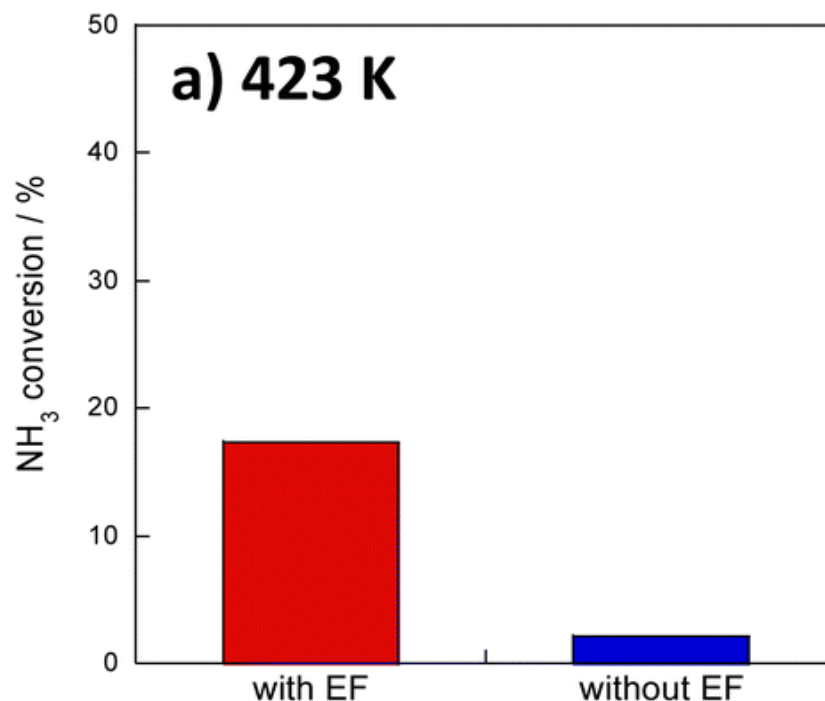
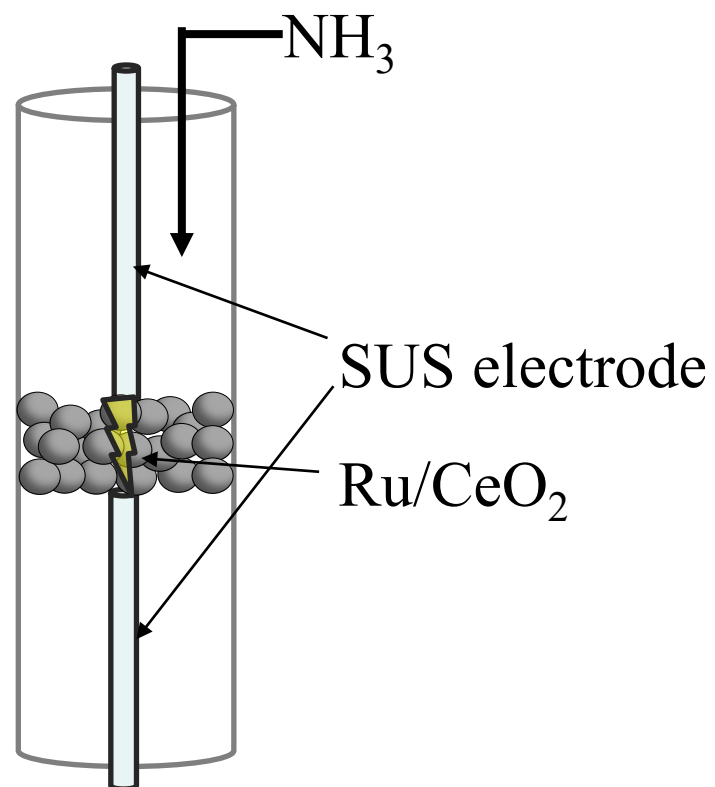
膜反応器: 反応器の隔壁が分離膜となっており、反応と分離の相乗効果が期待できる

- 反応場から生成物である水素を除去することで反応速度が向上したため、水素収率が若干向上した。
- 触媒は従来技術と同じであるため、低温での触媒活性に課題が残されている。

プロセス強化②: 電場印加

Y. Ofuchi and Y. Sekine, *et al.*, *Chem. Sci.*, **15**, 15125-15133 (2024)

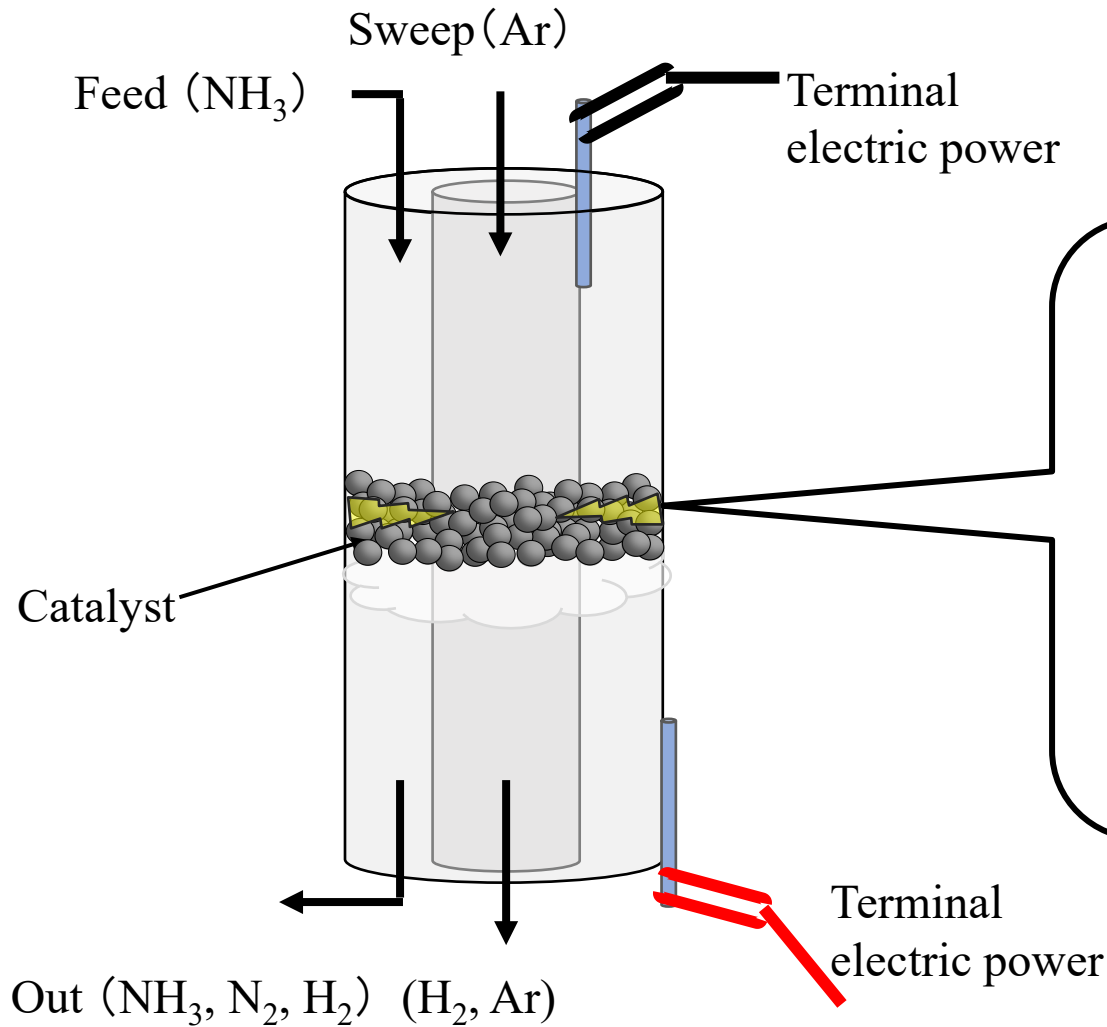
Electric field catalytic reactor



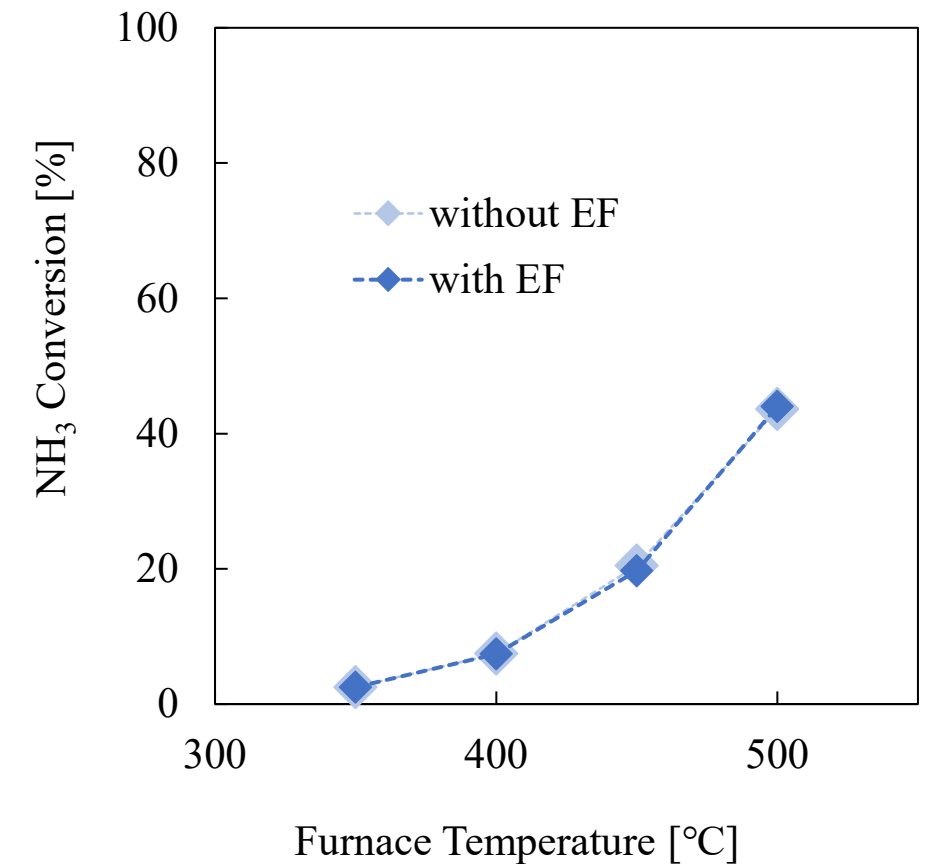
8.2 mol% Ru/CeO₂ 100 mg,
Feed, 100% NH₃ 50 SCCM; Pressure 0.1 MPa;
EF, 0 or 6.0 mA

電流で誘起される非熱的触媒反応により、低温において反応速度が向上した。

電場膜反応器試作：SUS管と分離膜を電極

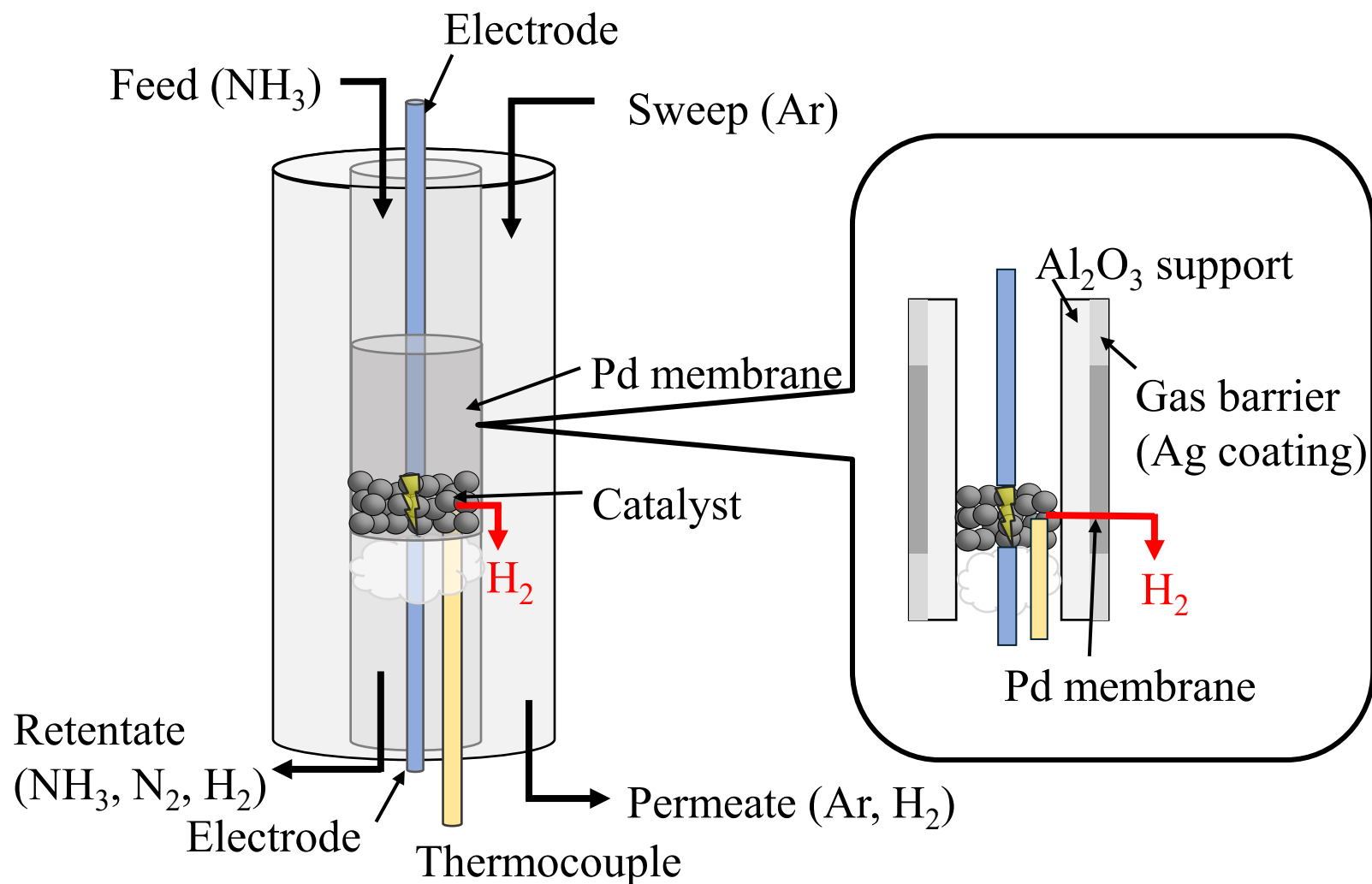


NH_3 conversion over $\text{Ru}(1.0)/\text{Ce}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$

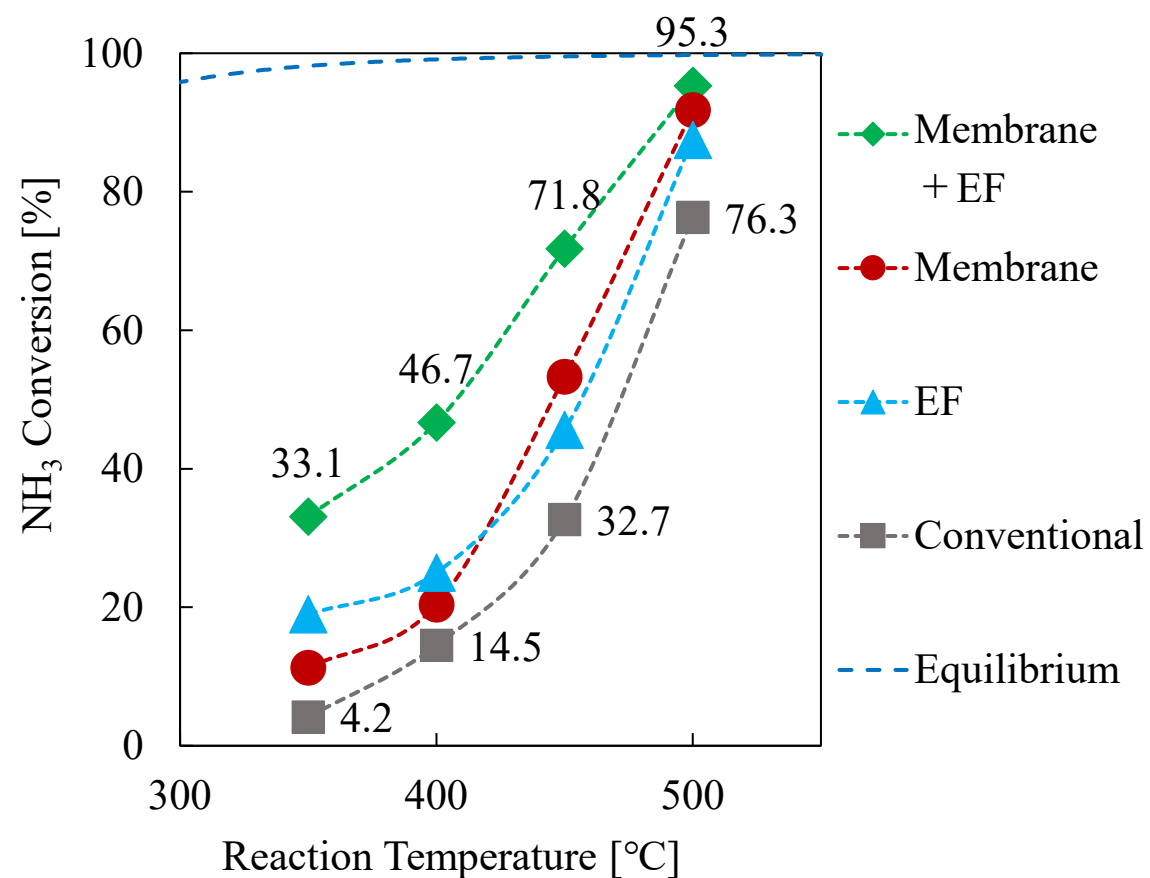


反応器の外管(SUS)と金属製分離を電極とした電場膜反応器では、反応促進効果がまったく見られなかった

電場膜反応器改良：触媒層上下に電極



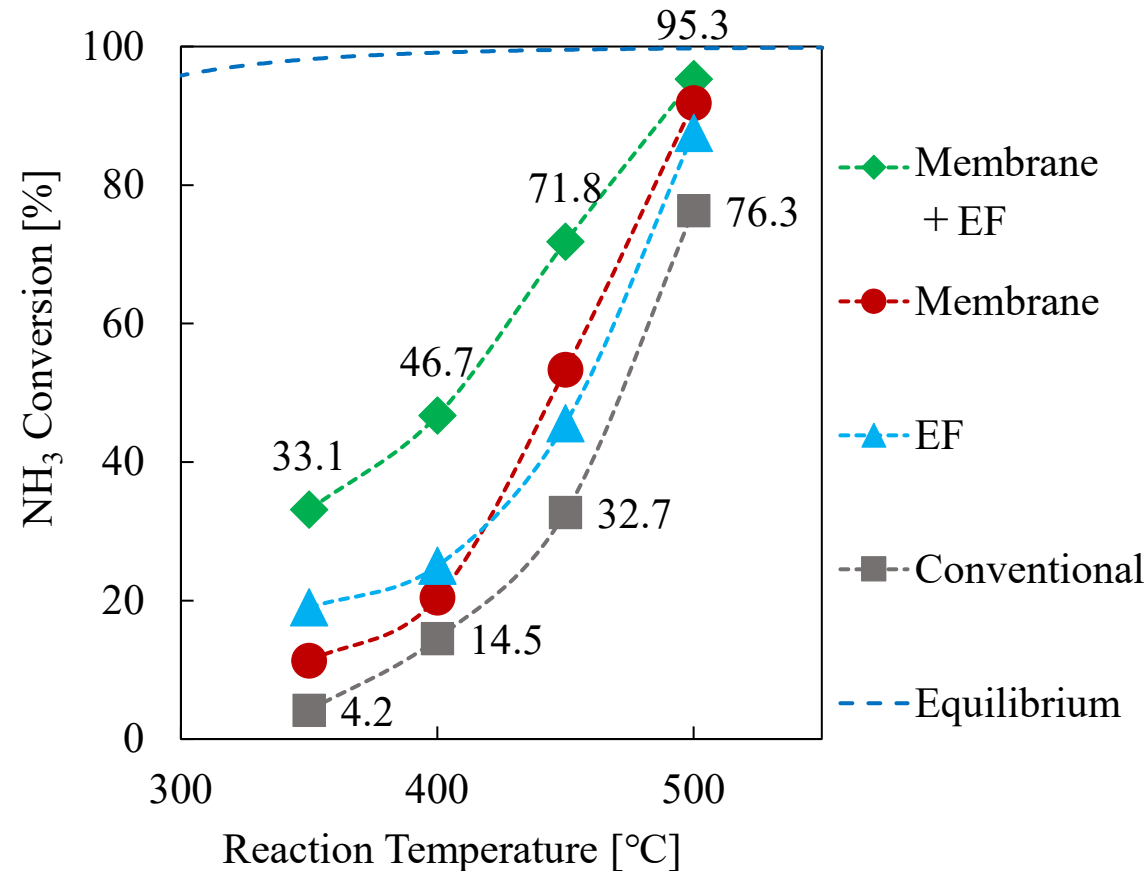
Effect of catalyst used: 1, Ru(1.0)/CeO₂



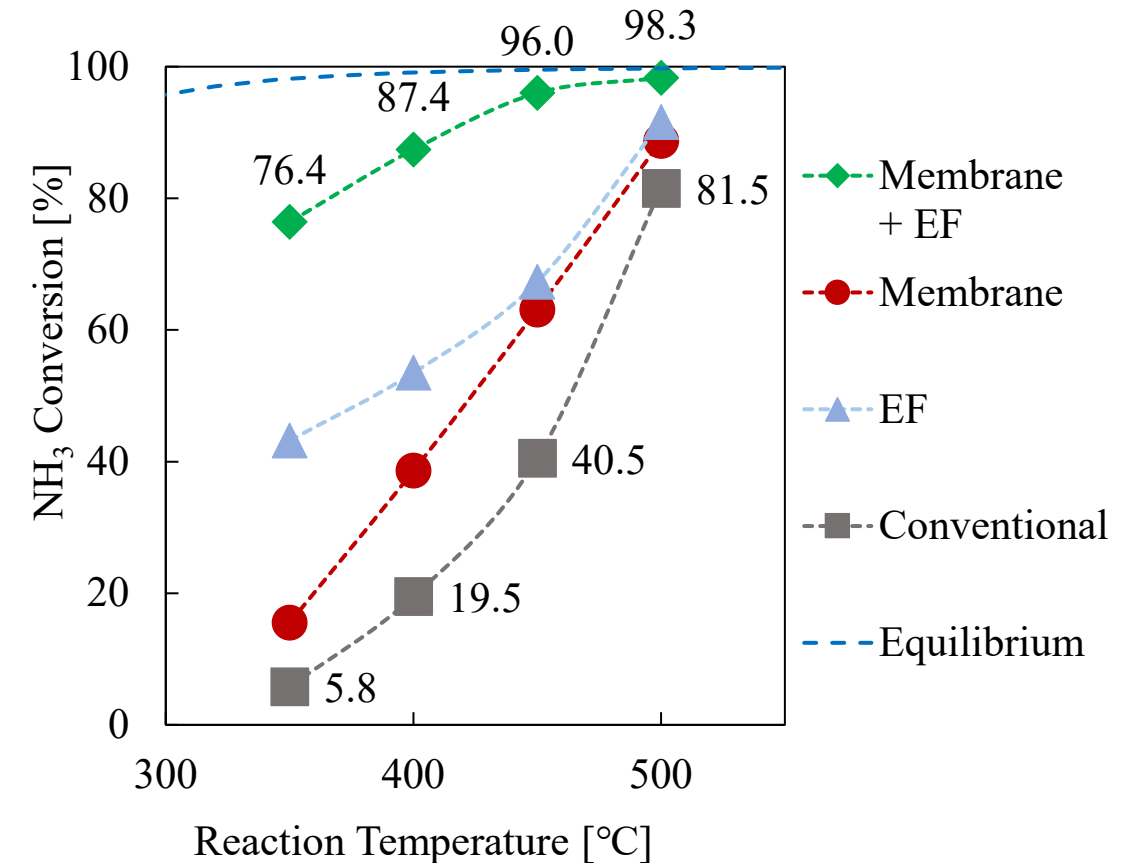
触媒層上下にSUS電極を設置した電場膜反応器では、反応促進効果が見られた

電場膜反応器改良①: 触媒の効果

Effect of catalyst used: 1, Ru(1.0)/CeO₂

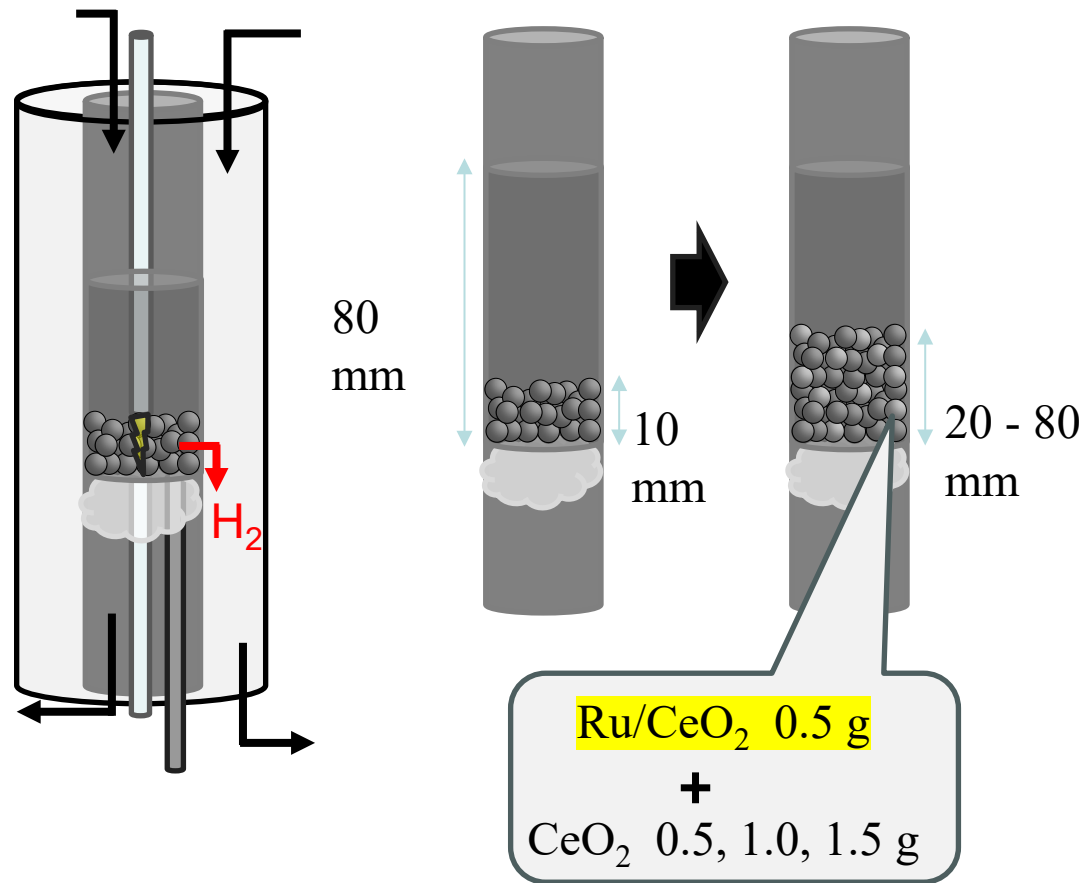


Effect of catalyst used: 2, Ru(1.0)/Ce_{0.5}Zr_{0.5}O₂



触媒担体としてCe_{0.5}Zr_{0.5}O₂を用いたとき、大きな反応促進効果が見られた

電場膜反応器改良②：膜面積の効果



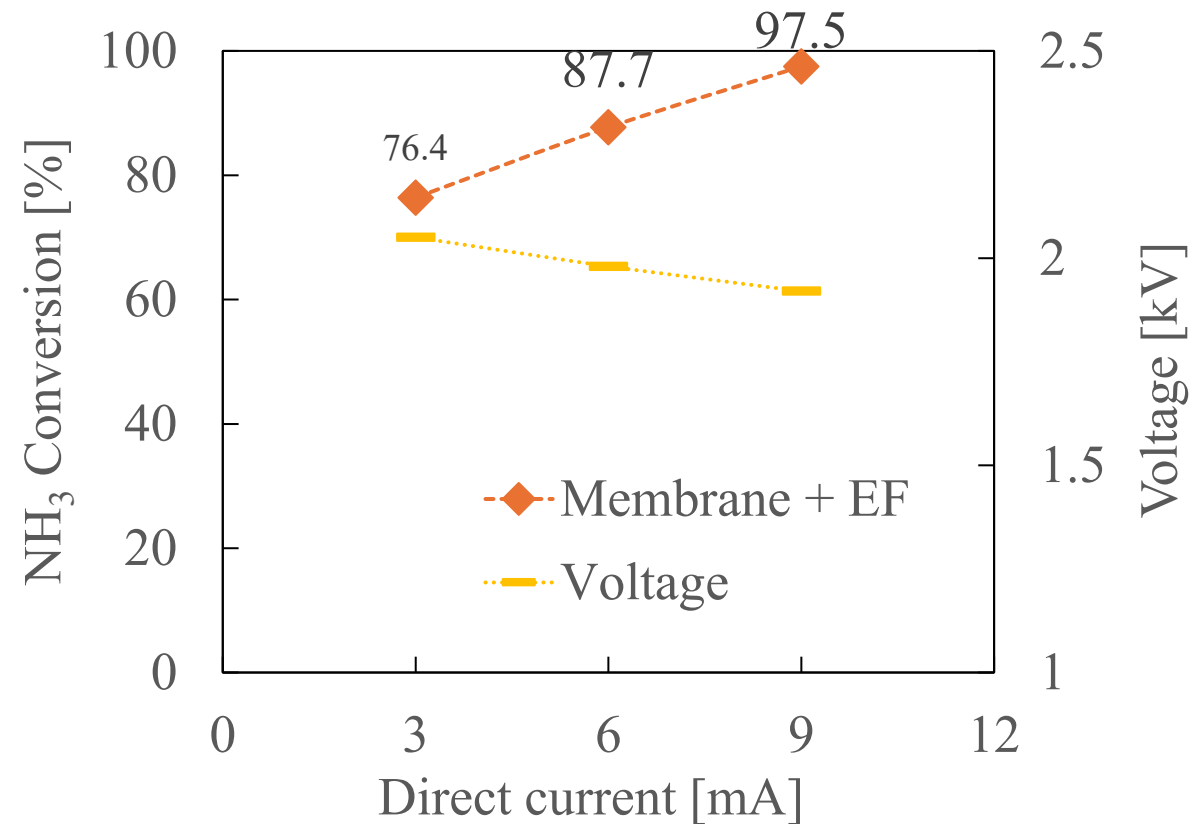
Catalyst layer	Reaction temp. [°C]	350 °C		400 °C		450 °C	
	Electric Filed	without	with	without	with	without	with
× 1 (only catalyst)	NH ₃ Conversion [%]	11.3	33.1	20.4	46.7	53.3	71.8
	H ₂ recovery ratio [%]	7.6	11.2	9.3	17.4	25.6	32.9
× 2 (+support 0.5 g)	NH ₃ Conversion [%]	15.3	39.5	33.9	54.7	80.7	85.5
	H ₂ recovery ratio [%]	8.2	16.2	15.7	22.4	38.6	42.6
× 3 (+support 1.0 g)	NH ₃ Conversion [%]	18.9	45.5	55.2	73.9	80.7	85.9
	H ₂ recovery ratio [%]	10.7	25.4	37.6	45.9	42.6	42.6
× 4 (+support 1.5 g)	NH ₃ Conversion [%]	18.8	56.5	58.9	75.5	84.3	88.5
	H ₂ recovery ratio [%]	10.9	26.2	35.3	38.4	39.5	45.3

担体で触媒を希釈して有効な水素膜分離面積を増やしたとき、アンモニア反応率が増加し、水素回収率も向上した

電場膜反応器改良③: 電流の効果

Effect of catalyst used: 2, Ru(1.0)/Ce_{0.5}Zr_{0.5}O₂

Reaction temperature: 350 °C



触媒層に印加する電流を3 mAから9 mAまで上げるとアンモニア転化率は向上し、アンモニアのほとんどが水素に転化した

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来は約500 °C程度は必要だったアンモニア分解反応を、電場印加と膜分離の併用により350 °Cまで低温化(300 °C以下の低温まで分離膜を変更して検討中)
- 電場印加と水素膜分離の相乗効果により、350 °Cでアンモニア転化率を5.8%(従来法 固定床反応器)から97.5%(新技術 電場膜反応器)まで向上
- 水素のみを透過する膜を膜反応器に用いることで、高純度水素を直接回収でき、分離・精製工程を省略

想定される用途

- ・ 水素ステーション: アンモニアを輸送・貯蔵媒体として利用し、その場で高純度水素を製造
- ・ 分散型水素製造: 工場・発電所・離島などでのオンサイト水素供給設備として導入
- ・ アンモニアの燃焼と燃料電池・蓄電池を活用した災害時向け非常用発電システム

実用化に向けた課題

- ・ 現在、基礎研究を実施し、電場膜反応器によるプロセス強化が有効であることをラボレベルで実証している。一方で社会実装に向けては、安全性を確保した実験装置の設計・製作、および研究資金の確保の点が未解決の課題である。
- ・ 今後は、反応の低温化を実現するために実験データを取得するとともに、電場膜反応器の最適な反応条件を明らかにするための情報収集と実験的検証を継続して実施する。
- ・ 実用化に向けて、反応モデルの高精度化を進め、実証機の設計に適用可能な解析制度を確立する必要がある。これよりスケールアップの信頼性を向上させるとともに、パイロットスケールの実証実験および社会実装への展開を目指す。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・電場膜反応器の概念設計が完了	
現在	・アンモニア分解のさらなる低温化を検討 ・電場膜反応器用触媒の開発(金属担持量、担体) ・電場膜反応器の他反応への応用	共同研究先の確保
1年後	・アンモニア分解の300℃以下低温化の実証 ・メタンドライリフォーミングへの応用 ・分離膜高性能化のための資材提供(分離膜支持体基材)	JSTのA-STEP事業へ応募し研究資金獲得
2年後	・電場膜反応器のラボスケール試作機的设计 (電極の設計、実用型触媒設計、加圧時のガスシール法の検討など) ・長時間耐久試験設備(共同研究先にて)	
3年後	・電場膜反応器のラボスケール試作機の運転・データ収集 ・課題解決(分離膜モジュール化、触媒量産化、システム設計) ・安全性評価および関連法規・認証への対応	大型プロジェクトへの参画
5年後	・電場膜反応のスケールアップ検討 水素ステーションや工場内オンサイト利用	

企業への期待

- 未解決の分離膜の経済性向上については、大量生産技術、傾斜気孔構造を有する多孔質支持体の開発、さらには3Dプリンティングを活用した高性能支持体の製造などの革新的な技術を有する企業との共同研究により克服できると考えている。
- 低コストな分離膜基材の製造技術、触媒の設計・量産化技術ならびに膜反応器システムの設計・製造技術を有する企業との共同研究を推進したい。
- 分散型水素供給設備や災害時対応水素供給設備の普及・事業化を目指す企業との連携を進めることで、本技術の社会実装を加速できると考えている。

企業への貢献、PRポイント

- ・ 本技術はコンパクトな装置で高純度水素を供給できることが特長であり、分離膜の量産化・標準化が実現すれば、製造コストの低減と普及拡大が期待され、企業の事業展開に大きく貢献できると考えている。
- ・ 本技術の導入に必要な追加実験を実施することで、性能、耐久性および経済性に関する科学的な裏付けを取得し、実用化に向けた技術の信頼性を高めることが可能である。
- ・ 本格導入に向けては、材料開発、膜反応器の基本設計、運転条件の最適化、ならびにスケールアップに関する技術指導・技術支援を行うことが可能である。

本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称 : 水素製造装置及び水素製造方法
- ・ 出願番号 : 特願2025-027603
- ・ 出願人 : 国立大学法人東海国立大学機構
- ・ 発明者 : 上宮 成之、宮本 学

産学連携の経歴

膜反応器関連

- 1992年-2011年 東京ガスと共同研究実施
- 2001年-2002年 日本鋼管(現 JFEスチール)と共同研究実施
- 2001年-2002年 日産自動車と共同研究実施
- 2006年-2008年 岩谷産業と共同研究実施
- 2025年- 非鉄金属メーカーと共同研究実施
(本開発とは異なる膜反応器の開発テーマ)

お問い合わせ先

東海国立大学機構 岐阜大学
学術研究・産学官連携推進本部
産学官連携推進部門

TEL: 058-293-2025

FAX: 058-293-2032

e-mail: sangaku@t.gifu-u.ac.jp