

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「カーボンニュートラルの実現に向けた資源・エネルギーの持続可
能な利用に関する研究」

研究課題名「再生可能エネルギー水素を用いた新しいアンモニア合成システ
ムの研究開発」

採択年度：令和 3 年（2021 年）度/研究期間：5 年/

相手国名：南アフリカ共和国

令和 6（2024）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2022 年 11 月 1 日から 2027 年 10 月 31 日まで

JST 側研究期間^{*2}

2021 年 6 月 1 日から 2027 年 3 月 31 日まで
(正式契約移行日 2022 年 7 月 1 日)

*1 R/D に基づいた協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者：秋鹿 研一

沼津工業高等専門学校・客員教授

I. 国際共同研究の内容 (公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2021年度 (10ヶ月)	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年 (7ヶ月)
研究題目 1 再エネ水素製 研究活動 1-1 南ア再エネ検討、水電解技術協力 研究活動 1-2 再エネ駆動水電解システム開発		再エネ調査、複合モデル提案 供与機材調査～機材設置					
				耐久性水電解システムの課題抽出と改善 耐久性電解システムの構築		統合試験	
研究題目 2 実用アンモニア合成触媒開発 研究活動 2-1 耐久性アンモニア合成触媒開発 研究活動 2-2 実用条件下アンモニア合成触媒挙動解析			高耐久性触媒の候補探索/提案 耐久性と反応速度データの蓄積	合成装置と制御因子検討		制御条件設定	
研究題目 3 実用アンモニア吸収分離材開発 研究活動 3-1 アンモニア吸収剤の開発 研究活動 3-2 計算科学による吸収分離剤設計			吸収剤の候補探索/提案 耐久性と吸収剤特性のデータ蓄積	吸収装置と制御因子検討 材料探索と特性予測の手法検討 吸収剤選定へ反映		制御条件設定	

研究題目・活動	2021年度 (10ヶ月)	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年 (7ヶ月)
研究題目 4 システム統合、評価 研究活動 4-1 合成プロセス設計、統合プロセス評価		反応塔予備設計 (反応装置の基本構成提案)					
研究活動 4-2 吸収プロセス設計、統合プロセス評価		吸収塔予備設計 (吸脱着装置の基本構成提案)					
研究活動 4-3 研究全体の総括及び統合プロセス検討		総括及びプロセス統合方策提示、			プロセス統合 Plant 設計(詳細設計) Plant 発注	Bench Plant 運転	

*JST との契約は 2026 年度までであり、JST 目標および達成時期に変更はないが、JICA との国際共同研究期間終了時まで記載している。

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)
特になし。

2. 計画の実施状況と目標の達成状況 (公開)

(1) プロジェクト全体

2022 年 7 月 1 日に JST との正式契約に移行し、日本側の研究活動を行なっている。JICA との契約は 2022 年 11 月 1 日に締結し、契約締結から 5 年間(2027 年 10 月 31 日まで)を 3 期に分けて共同研究活動を行う計画であったが、2024 年 7 月に JICA 側との協議により、第 2 期と第 3 期を統合し第 2 期とすることで合意した。これにより、ベンチプラントの設計→部材調達→組立→試運転→輸送(輸出)→南ア設置(稼働)を同一期で行うことで一連の活動の自由度が向上し、最新技術や改善策が導入しやすくなる。ベンチプラントは 2027 年 3 月までに、南アで正常稼働させる計画である。

2024 年 4 月に、日本側研究者 7 名が南アフリカに渡航し、国際ワークショップ(「International Workshop on Green Ammonia and Hydrogen」)に参加し発表(日本側:6 件、南ア側 2 件)を行なった。このワークショップは UNDP の支援を受け、南ア側の主催で開催され、SASOL 等の南ア企業のほか、TOYOTA South Africa Motors、TOSHIBA Africa 等の日系在南ア企業の参加もあり、有益な議論の場となった。

2024 年 9 月に NWU 研究者 3 名が来日し、東京大学で約 1 ヶ月間の研修を行なった。この研修では、実験室レベルでの触媒開発と特性評価に関する研究を行い、SATREPS プロジェクトのグリーン水素製造に向けた国際共同研究の基盤を構築した。

2024 年 9 月から熊本大学の研究者を南アに派遣し、NWU/HySA で約 3 ヶ月間の共同研究を行なった。HySA NWU で、計算化学に関連する共同研究を行い、南アの触媒学会でのポスター発表を行なった。また、共著論文も執筆中である。

2024 年 9 月に PI と日本側研究者 1 名が南アを訪問し、第 3 回 Joint Coordination Committee(オンラインで日本からも参加)を開催した。共同研究の進捗状況を報告し、計画通りに進展していることを確認した。また、NWU の研究施設を視察し、2024 年 3 月に到着した供与機材群が計画通りに、正常かつ有

効に稼働していることも確認した。

ベンチプラントの設計は、エヌ・イーケムキャット(株)の協力も得て計画通りに進捗し、仕様書を作成して2025年3月に発注した。ベンチプラントの一次設置(日本国内)は、2026年1月頃を見込んでおり、触媒材料と吸収剤材料を装填した試運転により、ベンチプラント稼働のプロトコルの1次確立と必要に応じたモディファイを行った後、南アフリカに移設する。2027年3月までに、南アフリカでの正常稼働を目指す。

(2) 各研究題目

(2-1) 研究題目1 : 「再エネ水素製造」

研究グループ NW大 (リーダー : Dmitri Bessarabov)

研究グループ 東京大 (リーダー : 高鍋和宏)

研究グループ 沼津高専 (リーダー : 秋鹿研一)

① 研究題目1の当初計画(全体計画)に対する実施状況(カウンターパートへの技術移転状況含む)

南アの再エネ電力供給事情の調査は、2024年4月に全体概要が報告された。

NWUに供与する機材群(JICA契約の第1期分)は全て設置済みで、検取引渡しを完了した。

NWUでは、25種以上のCCMs(触媒層付き電解質膜)を作製し、NWU/HySAが確立したプロトコルでCCMsの耐久性評価を継続中で、2025年12月まで実施する。RDE(回転ディスク電極)装置で、PEM(個体高分子電解質膜)に使用する水電解触媒の性能と耐久性の評価も継続中で、2025年11月まで実施する。耐久試験と並行して、水電解アノード触媒の性能ベンチマーキングを行なっている。触媒の活性表面積の評価は、電気化学的手法(Cyclic voltammetry)と電気化学インピーダンス分光法(EIS)により、触媒の活性表面積の解明を進めている。

東京大学では、商用PEM水電解のセルを購入し、その劣化耐性について検討を加えた。特に再エネ由来の変動電源由来のオンオフサイクルに注目し、カソード白金、アノードイリジウムについて、昨年の 1 A cm^{-2} 程度の電流密度の10倍となる 10 A cm^{-2} レベルでのオンオフを200時間にわたり繰り返した。X線光電子分光や走査型電子顕微鏡を用いた観測で、変化があらわれる部分を抽出することに成功した。これらの結果をNW大と共有し、MEAの解析を進めた。特に本年度はNW大から3名の修士課程学生を2024年9月の約4週間受け入れた。彼らが研究しているそれぞれ要素に合わせて、我々の有するラマン分光装置、赤外分光装置を使っての解析や、透過型電子顕微鏡で観察を行い、状態の特定を遂行した。これらの結果は、共著の論文として執筆中である。

以上のように、全体計画に対して予定通り進捗している。

② 研究題目1の当該年度の目標の達成状況と成果

南アの再エネ電力供給事情の調査から、電力コストと二酸化炭素排出量の概算を行った結果がレポートされた。この結果は、プロセスデータと併せてアンモニア価格、CFP値などの公表の基礎とする。

NWUへの供与機材群(JICA第1期計画分)は、全て正常稼働しており、PEM型水電解システムの課題抽出と試験サンプル作製に有効活用されており、NWUでの研究活動に大きく貢献している。

【令和6年/2024度実施報告書】【250531】

ガス拡散電極（GDE）セルは、GDE 電極に適した形で最適化することで、高精度で評価できる様になり、触媒層の性能の最適化を可能にした。

高電圧を得るための 5 段セルスタックの組み立てに問題はなく、試験運転も成功した。すべてのセルでほぼ同一の性能が確認され、構成部品の製造再現性が高いことが示された。CCM（Catalyst-Coated Membrane）の調製法は、HySA 内で開発・製造したイリジウム（Ir）触媒で検証できた。今後は大型スタックのアノード用電極触媒として使用していく計画である。

東京大学では、これらの MEA においてオンオフサイクルによる劣化機構について検討を重ねた。電流密度を大きく上げ、 10 A cm^{-2} レベルでのオンオフを 200 時間にわたり繰り返した。これにより、耐久性を維持するための境界条件を見出してきており、耐久性水電解システムの構築に貢献している。特に大きく変化するところがアノードに依存することを見出し、安定な操作方法、劣化原因の追究に成功している。さらには、大電流密度で追加の抵抗となる泡について検討を重ね、Qiu et al., J. Power Sources, 611 (2024) 234765; Tsuburaya et al., ACS Sustain. Chem. Eng. 12 (2024) 16308-16319. に結果を報告した。

これらの結果から、耐久性水電解システムの基本構成を得る事ができた。

以上のように、2024 年度の目標は達成できた。

③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

蓄熱技術等による再エネ電力供給の平準化をバックアップ策として、電力供給モデルに取込める様に、当初計画より期間を延長し、2026 年度初まで検討を行うこととした。ベンチプラントの稼働前に電力供給モデル構築が達成できるため、全体計画へのインパクトは無い。

④研究題目 1 の研究のねらい（参考）

再エネ電力変動に強い触媒コート電極、分離膜などの開発により、高効率な PEM(高分子膜型水電解)型装置を開発する。

⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

南アフリカの再エネ電力事情を調査し、再エネ電力変動モデル、予想電力価格、carbon foot-print 値を検討する。触媒コート電極、分離膜などを新規開発し、それらのキャラクターゼーション、電極反応、物質移動などの動力学解析や挙動モデルの提案などを実施し PEM(高分子膜型水電解)型装置に実装する。

(2-2)研究題目 2 : 「実用アンモニア合成触媒開発」

研究グループ 名古屋大（リーダー：永岡勝俊）

研究グループ 沼津高専（リーダー：稲津晃司）

研究グループ NW 大（パートナー：Dmitri Bessarabov）

①研究題目 2 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

高耐久性触媒を選定するため、Ru 系触媒を改良しながら、高圧下での耐久性を継続的に検討した。

【令和 6 年／2024 年度実施報告書】【250531】

名古屋大学では、Ru/Ba_{0.1}-La_{0.45}-Ce_{0.45}-O_x触媒が高い活性と耐久性を示すことを明らかにした。この触媒について、還元後に生成したコア(Ru)-シェル(担体)型構造が反応後まで維持されていること、触媒の XRD パターンも反応後まで維持されていることが分かった。以上の結果から、候補触媒としては、Ru/Ba_{0.1}-La_{0.45}-Ce_{0.45}-O_x触媒を選定した。

沼津高専では、非ランタニド希土類元素を含む混合酸化物担体とする担持ルテニウム触媒を調製し、その高圧活性と安定性を検討した。イットリア-セリア混合酸化物担持触媒が、一般的な高純度ガス流通下、550 °C 還元で高い活性を示すことが見出された。この触媒の速度論的検討で水素毒が軽減されている一方でアンモニア毒が既往のルテニウム触媒よりも強いことが明らかとなった。さらに、ジルコニア混合担体を用いた場合と同様の活性の安定性と機械強度で良好であることが確認された。以上の様に、全体計画に対して予定通り進捗している

②研究題目 2 の当該年度の目標の達成状況と成果

名古屋大学では、昨年度に引き続き、Ru/Ba-La-Ce-O 系触媒について、耐久試験に対する組成の影響について検討し、Ru/Ba_{0.1}-La_{0.45}-Ce_{0.45}-O_x触媒が最も高い活性と耐久性を示すことを明らかにした。この触媒について、STEM-EDX 観察を行ったところ、還元処理後に Ru ナノ粒子の周囲が Ba-La-Ce-O に覆われたコア-シェル構造が観察された。さらに、この構造は耐久性試験後に維持されていることが明らかとなった。一方、Ru/Ba_{0.1}-Ce_{0.9}-O_xではコア-シェル型構造は見られなかった。従って、このコア-シェル型構造が触媒の耐久性向上に寄与することが示唆された。以上の結果から、候補触媒としては、Ru/Ba_{0.1}-La_{0.45}-Ce_{0.45}-O_x触媒を選定した。

沼津高専では、非ランタニド希土類元素を含む混合酸化物担体とする担持ルテニウム触媒を調製し、その高圧活性と安定性を検討した。イットリア-セリア混合酸化物担持触媒が最も高く、この触媒について、イットリアとセリアの混合比の活性への影響を検討した。錯体重合法で調製した担体ではイットリア/セリア比が 2/3 のときに最も活性が高くなった。還元された触媒への CO 吸着量に基づく TOF は、イットリア担持触媒で最も高く、次いでイットリア/セリア比 2/3 の混合金属酸化物担持触媒が高かった他は、セリアの混合比率が高くなるほど低くなった。このことから、イットリア/セリア比 2/3 の混合金属酸化物担持触媒ではイットリア-セリアの境界上に担持されたルテニウム粒子がサイトあたりの活性と分散性が最適となっていることが示唆された。これらの触媒は、G1 グレードガスの流通下、500 °C までの熱履歴を経ても、400 °C での活性は経時的に低下しなかった。

以上の様に、Ru/Ba_{0.1}-La_{0.45}-Ce_{0.45}-O_x触媒および Ru/2Y₂O₃·3CeO₂触媒の 2 種類を候補触媒とした。これらの触媒は、エヌ・イーケムキャット(株)で工業触媒化の検討を行う予定である。

以上の様に、2024 年度の目標は達成できた。

③研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特記事項なし

④研究題目 2 の研究のねらい(参考)

調整法が簡便で、機械強度が高く、高耐久性と高活性を備えたアンモニア合成触媒を開発する。この技術を移転することで、南アでも触媒の提案や改良を可能にする。

⑤研究題目2の研究実施方法（参考）

ルテニウムを主体とし多種金属も視野に入れて、触媒の検討を行う。候補に選定された触媒は温度、圧力、流量依存性などの反応挙動解析を行い、最適な触媒を選定する。これらの活動の中で、南アからの派遣研究員や留学生の技術習得を行い、南アへの技術移転を推進する。

(2-2)研究題目3：「実用アンモニア吸収分離材開発」

研究グループ 千葉大（リーダー：劉 醇一）

研究グループ 熊本大（リーダー：杉本 学）

研究グループ NW 大（パートナー：Dmitri Bessarabov）

①研究題目3の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

千葉大では、アンモニア合成塔出口ガスが 200℃程度の高温であることを考慮し、合成したアンモニアを高温のまま未反応の原料ガス（水素と窒素）と分離するプロセスを想定し、アンモニア吸収剤として $\text{CaCl}_2\text{-CaBr}_2$ 複合ハロゲン化物、そして、新たなアンモニア吸収剤であるトリフルオロスルフォニルアミド(TFSA)塩などを含むフルオロ錯体塩について、室温から 200℃まで種々の温度におけるアンモニア吸蔵/放出挙動（アンモニア圧 5 気圧～1 気圧）を調査し、観測された吸蔵/放出特性やコスト面から、アンモニア吸収剤の絞り込みを進めた。

熊本大では、複合ハロゲン化物に研究対象を変更し、検討を行った。アンモニア吸蔵量を最大化する複合ハロゲン化物の組成最適化を達成するため、2024 年度においては、実験計画法、ベイズ最適化手法と機械学習ポテンシャルを用いた分子動力学計算を組み合わせる手法を新規に開発した。5 種類の金属イオンと 3 種類のハロゲンを含むことを許す材料組成最適化計算によって、有望な物質を幾つか提案するに至った。また、本研究に従事している研究員（技術補佐として雇用した博士後期課程2年の学生）を North West 大学に3ヶ月間派遣し、用いている計算技術を North West 大学の関連研究者に開示するとともに、North West 大学の SATREPS 研究課題である水電解触媒に関連した研究を現地にて行った。

以上の様に、全体計画に対して予定通り進捗している。

②研究題目3の当該年度の目標の達成状況と成果

千葉大では、 $\text{CaCl}_2\text{-CaBr}_2$ 複合ハロゲン化物の 200℃でのアンモニア吸蔵/放出挙動について検討を行った。様々な組成の $\text{CaCl}_2\text{-CaBr}_2$ 複合ハロゲン化物粒子を含浸法により作製し、アンモニア吸収挙動に対する固溶体効果を評価した。固溶体は CaCl_2 単塩よりも低いエネルギーで、かつ高い速度でアンモニアを吸収した。 $\text{CaCl}_x\text{Br}_{2-x}$ における $x = 1.67$ で、最高の吸蔵容量が得られた。アンモニアの吸蔵/放出を 5 サイクル繰り返した後も、 $\text{CaCl}_2\text{-CaBr}_2$ 粒子の吸蔵容量の低下や相分離などの劣化は観測されず、200℃におけるこの材料の安定性が確認された。

さらに、ビストリフルオロメチルスルフォニルアミド(TFSA)塩 ($\text{Na}[\text{TFSA}]$ や $\text{K}[\text{TFSA}]$ 、 $\text{Mg}[\text{TFSA}]_2$ 、 $\text{Ca}[\text{TFSA}]_2$) について、種々の温度でアンモニア吸蔵/放出挙動を調査したところ、 $\text{Na}[\text{TFSA}]$ では 200℃、 $\text{K}[\text{TFSA}]$ では 27℃で高いアンモニア放出特性が観測された。 NH_3 吸収挙動は TFSA 塩のカチオン種によ

って異なっていた。また、アンモニア吸収後の塩から $\text{NH}_4[\text{TFSA}]$ とアミド化合物が検出され、昨年度にビスフルオロスルフォニルアミド (FSA) 塩 ($\text{Li}[\text{FSA}]$ や $\text{Na}[\text{FSA}]$ など) で見られたものと同様のアンモニア吸収過程が観測された。一方で、アンモニアを大量に吸収した TFSA 塩は液化することがわかった。この液化した試料ではアンモニアの放出が非常に遅く、液化する材料および液体へのアンモニア吸蔵は上記の分離プロセスには適していないことがわかった。引き続き、新たなアンモニア吸収剤の探求を進め、上記の分離プロセスに適した吸収剤の絞り込みを行っていく予定である。なお、これらの結果は国際会議 CUUTE-2 にて発表し、ACS Omega 誌および Sustainable Energy & Fuels 誌に掲載されている。

熊本大では、2024 年度においては安価で高耐久性のある候補吸収剤を絞り込み、計算化学の手法から実験グループへの材料提案を試みることを目標にしていた。これについては、機械学習力場を用いた分子動力学シミュレーションと実験計画法、バイズ最適化アルゴリズムを用いて、高いアンモニア吸蔵特性を有する複合金属ハライドの組成最適化を行った。有望と思われる材料を実験グループに提案するとともに、その成果を国際学会 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) で発表した。現在論文執筆を一通り終え、投稿を目指して最終調整を行っている段階である。この組成最適化手法は、North West 大学が行っている水電解触媒探索研究に応用した。この研究成果は、North West 大学との共同研究として、34th Catalysis Society of South Africa (CATSA) にてポスター発表で報告した。この内容については国際共同研究として現在 2 報の論文としてまとめる計画であり、うち一方は投稿論文を推敲中である。

5 種類の吸収剤候補が得られたが、その中の TFSA 塩系での液化を改善することが課題であり、今後の研究で改善見通しの有無を判断し、さらに候補を絞り込んでいく。

以上の様に、2024 年度の概ね目標は達成できた。

③研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特記事項なし

④研究題目 3 の研究のねらい (参考)

合成触媒反応器の 2 倍程度の容積の吸収反応器を使い、合成反応に近い温度領域でアンモニアの吸収分離が可能な吸収剤を開発する。この技術を移転することで、南アでも吸収剤の提案や改良を可能にする。

⑤研究題目 3 の研究実施方法 (参考)

アンモニア吸収分離が可能なハロゲン化合物と、それらの混合物を主体で、吸収剤の検討を行う。アンモニア吸収-脱離の速度や繰返し耐久性などの実験的な評価解析と、計算化学を活用したアンモニア分子の配位結合状態の解析も行い、静的特性や動的特性の支配因子の研究も進め、最適な吸収剤を選定する。これらの活動の中で、南アからの派遣研究員や留学生の技術習得を行い、南アへの技術移転を推進する。

(2-2)研究題目 4 : 「システム統合、評価」

研究グループ 沼津高専（リーダー：秋鹿研一）
研究グループ 東工大（リーダー：松本秀行）
研究グループ 宇都宮大（リーダー：古澤 毅）
研究グループ NW 大（パートナー：Dmitri Bessarabov）

①研究題目 4 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

2024 年 6 月に産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所(AIST FREA)を視察し、ベンチプラントの設計・製作に関する意見交換を行った。AIST FREA に設置されているアンモニア合成実験装置は計画しているベンチプラントと共通点があり、参考になった。エヌ・イーケムキャット(株)の協力をもらい、ベンチプラントの仕様策定を行なった。

宇都宮大学では、金属塩化物担持材料を用いた NH₃ 吸収-脱離サイクル試験において、(1) NH₃ 供給圧の上昇に伴って NH₃ 吸収量が増加する点、(2) NH₃ 吸収温度の上昇に伴って NH₃ 吸収量が減少する点、(3) NH₃ 高压吸収時にガス切替のみで吸収温度と同温度にて脱離する NH₃ を観測できる点などを見出し、最終的に NH₃ 高压吸収 (NH₃ 供給圧 7.5 気圧, 150°C) -脱離 (NH₃ 分圧ゼロ, 150°C) サイクル試験を実施した結果、6 サイクルに亘って安定な挙動を示し、6~8 mmol/g-材料の NH₃ を可逆的に吸脱できることを見出した。しかしながら、吸収時間と脱離時間に大幅な隔たりがあり、この点を改善するため、脱離時にポンプを用いた真空引きを加えた結果、NH₃ 吸収時間 13 分、脱離時間 5 分で 4 サイクルに亘って十分 PSA サイクルを回せることを示した（この際の可逆的に吸脱可能な NH₃ 量は 6 mmol/g-材料）。但し、材料中に含有する Cl の飛散が危惧され、現在解決に向けて鋭意検討中である。

東京科学大学では、金属塩化物担持材料を用いた NH₃ 吸収-脱離プロセス設計のためのシミュレーションモデルを調査し、MgCl₂, MnCl₂, CaCl₂などを対象にしたプロセスモデルを相平衡モデルと速度論モデルの 2 種類に分類・整理することで、上記の宇都宮大学で NH₃ 吸収-脱離サイクル試験データの解析において速度論モデルの適用方法の検討を実施した。「M(NH₃)₂Cl₂⇌M(NH₃)Cl₂+NH₃」（※M：金属種）と「M(NH₃)Cl₂⇌MCl₂+NH₃」の 2 つの素反応過程に基づく micro kinetic model の適用性を検討した結果、0 次元の NH₃ 脱離プロセスシミュレーションについては、不可逆反応の仮定に基づく場合に計算予測精度の向上が見られた。しかしながら、脱離操作開始後 2,000 秒以降に見られる NH₃ 溶出曲線の 2 番目のピークについて、試験データとシミュレーションデータとの間の不一致が顕著に見られ、現在、適用モデルの形式の変更ならびにモデル中パラメータの推算方法の改善に向けて鋭意検討中である。

以上の様に、全体計画に対して予定通り進捗している。

②研究題目 4 の当該年度の目標の達成状況と成果

南アに設置するベンチプラントは、エヌ・イーケムキャット(株)の協力により、ベンチプラントの系統図を決定した。ベンチプラントの重要部品、ポンプ仕様、インライン分析装置の仕様等の検討を経て仕様書を決定し、発注先を絞り込み、計画通り 2025 年 3 月に発注した。

NH₃ 高压吸収 (NH₃ 供給圧 7.5 気圧, 150°C) -脱離 (NH₃ 分圧ゼロ, 150°C) サイクル試験において、NH₃ 脱離時に常圧大気解放ではなく、真空ポンプを用いた真空引きによって、脱離時間を 40 分強から

【令和 6 年 / 2024 年度実施報告書】【250531】

5分へと大幅に減少させることに成功し、吸収時間 13分、脱離時間 5分で十分 PSA サイクルが可能であり、約 20 分間の 1 サイクルで 6 mmol/g-材料の NH₃ を回収可能であることを示した。

また、NH₃ 高圧吸収 (NH₃ 供給圧 6.5 気圧, 150°C) -脱離 (NH₃ 分圧ゼロ, 150°C) サイクル試験において、試験開始前と 6 サイクル試験後の金属塩化物担持材料の性状変化を SEM で観察したところ微細構造の顕著な変化は見られなかった。一方、BET 表面積を測定したところ、サイクル試験前の測定表面積 75m²/g の材料については、試験後に 10.4%の表面積の減少が見られた。また、調製方法を変更することで、表面積は前述の材料に比べて約 22%低下するものの、試験前後の表面積の減少率がわずか 0.6%と抑制できることが分かった。

以上の結果に基づき、NH₃ 吸収塔に充填する NH₃ 吸収材量を 400 g とした場合、24 時間で回収可能な NH₃ 量は 172.8 mol/day (約 3 kg/day) と試算され、想定したスケールオーダーに十分対応することが分かった。但し、材料中に含有する Cl の飛散が危惧されるため、現在解決に向けて鋭意検討中である。

以上の様に、2024 年度の目標は達成できた。

③研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特記事項なし

④研究題目 4 の研究のねらい (参考)

グリーンアンモニアの製造ベンチプラントを南ア NWU に設置し、安全で最適な運転プロトコルで、南ア側単独でもデータを継続的に蓄積できるようにする。得られるデータを蓄積しデータベース化を行い、パイロットプラントや生産プラントの設計に活用する。

⑤研究題目 4 の研究実施方法 (参考)

研究題目 2~3 の研究成果を基に、アンモニア合成反応塔と吸収分離塔を設計/作製し、研究題目 1 の研究成果の PEM (高分子膜型水電解) 型装置と接続して、統合制御可能なベンチプラントを作製する。ベンチプラントの連続/断続運転のデータを取得し、安全で最適な運転プロトコルを提案するとともに、データベース化する。これらの活動を、南ア側メンバーと協業で進めることで、ベンチプラントやグリーンアンモニア製造に対する理解を深める。

II. 今後のプロジェクトの進め方、およびプロジェクト/上位目標達成の見通し (公開)

(1) 今後のプロジェクトの進め方

プロジェクト目標(ベンチプラントの設置・稼働)に向け、南ア側研究者の来日と日本側研究者の訪南アを継続的に行い、ベンチプラントの管理運営と研究を行う研究者の育成を進める。

再エネ電力供給モデルの構築に関しては、新たに蓄熱技術等の電力平準化の仕組みも取り入れて、研究を進める。

2025 年 4 月に「グリーン水素、アンモニアに関する国際シンポジウム」を主催し、本プロジェクトの成果を外部へ発信するとともに、関連する企業や研究機関の研究者に参加していただき、今後の展開や社会実装の課題等に関する議論と情報交換を行う予定である。また、関連する学会や国際会議に

も積極的に参加し、日本や南アの企業との情報交換・情報共有を行い、ベンチプラントの設置・稼働に向けて、強く連携できる様に進める。

現時点では、クリティカルな問題や遅れはないため、2026年1月に国内仮設置予定のベンチプラントに実装する、アンモニア合成触媒とアンモニア吸収剤を選定し、試運転を行い課題抽出とその改善を2026年8月頃まで行なった後、南アに輸送する。2027年3月末までに、南アでベンチプラントを稼働させる計画で、上位目標の社会実装に向けたスケールアップに必要なデータの取得を行う。

(2) 上位目標達成の見通し

南ア及び日本での研究活動は計画に準じて進捗しており、南アでベンチプラントの管理運営と研究開発を進める研究者を育成し、日本側研究機関と連携が図れる様に進めることで、プロジェクト/上位目標は達成できると考えている。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など (公開)

特記事項なし。

Ⅳ. 社会実装に向けた取り組み (研究成果の社会還元) (公開)

特記事項なし。

Ⅴ. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

2025年1月6日の静岡新聞に、「沼津の産学が連携～次世代エネ安定供給～」の見出しで、本プロジェクトの活動が紹介された。

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数 0 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 0 件
 公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2021	Anna Kanegae, Yusuke Takata, Ippei Takashima, Shohei Uchinomiya, Ryosuke Kawagoe, Kazuteru Usui, Akira Yamashita, Jirarut Wongkongkatap, Manabu Sugimoto , Akio Ojida, A multicolor and ratiometric fluorescent sensing platform for metal ions based on arene-metal-ion contact, Communications Chemistry 104, 2021	10.1038/s42004-021-00541-y	国際誌	発表済	
2022	Takeshi Furusawa , Keita Sugiyama, Hiroki Kuribara, Masahide Sato, Noboru Suzuki, Takafumi Sato, Naotsugu Itoh: Effect of alkali metal addition to a Ru/CeO2 catalyst prepared by NaBH4 reduction on the catalytic performance for H2 production via NH3 decomposition, J. Chem. Eng. Jpn., Vol.54, No.3, pp. 77-86, 2021.3.20, Society for Chemical Engineers, Japan	10.1252/jcej.20we130	国際誌	発表済	
2022	Takeshi Nishimoto, Tatsuya Shinagawa, Takahiro Naito, Kazuki Harada, Masaaki Yoshida, Kazuhiro Takanabe . High Current Density Oxygen Evolution in Carbonate Buffered Solution Achieved by Active Site Densification and Electrolyte Engineering. ChemSusChem. Vol. 16 (2023)	10.1002/cssc.202201808	国際誌	発表済	
2022	William J. Movick, Fuminao Kishimoto , Kazuhiro Takanabe . Dynamic surface-coverage alteration based on microkinetic analysis for enhanced ammonia synthesis over ruthenium catalysts at low temperatures. Chemical Engineering Journal. 2023. 452. 139525-139525;	10.1016/j.cej.2022.139525	国際誌	発表済	
2022	Hiroki Komiya, Tatsuya Shinagawa, Kazuhiro Takanabe , Electrolyte engineering for oxygen evolution reaction over non-noble metal electrodes achieving high current density in the presence of chloride ion ChemSusChem vol. 15 (2022)	10.1002/cssc.202201088	国際誌	発表済	
2022	Takahiro Naito, Tatsuya Shinagawa, Takeshi Nishimoto, Kazuhiro Takanabe , Gas crossover regulation by porosity-controlled glass sheet achieves pure hydrogen production by buffered water electrolysis at neutral pH ChemSusChem vol. 15 (2022)	10.1002/cssc.202102294	国際誌	発表済	
2022	Y. Goto, M. Kikugawa, K. Kobayashi, T. Nanba, H. Matsumoto , K. Yamazaki, M. Matsumoto, H. Imagawa, Enhanced ammonia synthesis activity of Ru-supported cerium-lanthanum oxide induced by Ti substitution forming mesopores, Chem. Commun., 58, 3210-3213 (2022)	10.1039/D1CC07014B	国際誌	発表済	
2022	H. Matsumoto , M. Kikugawa, A. B. Hamzah, M. Ishikawa, Y. Goto, S. Ookawara, Y. Manaka, M. Nishi, T. Nanba, Simulation Analysis of Gas Feed Method for Development of Ru-Based Catalyst for Ammonia Production, Computer-Aided Chemical Engineering, 49, 907-912 (2022)	10.1016/B978-0-323-85159-6.50151-2	国際誌	発表済	
2022	M. Kikugawa, Y. Goto, K. Kobayashi, T. Nanba, H. Matsumoto , H. Imagawa, "Efficient ammonia synthesis over Ru/CeO2-PrOx catalysts with controlled Ru dispersion by Ru-Pr interaction", J. Catal., vol. 413, 934-942 (2022)	10.1016/j.jcat.2022.08004	国際誌	発表済	
2022	C. Chaudhari*, K. Sato, S. Miyahara, T. Yamamoto, T. Toriyama, S. Matsumura, K. Kusuda, H. Kitagawa, K. Nagaoka* , The effect of Ru precursor and support on the hydrogenation of aromatic aldehydes/ketones to alcohols, ChemCatChem, (2022)	10.1002/cssc.202200241	国際誌	発表済	
2022	S. Miyahara, K. Sato, K. Tsujimaru, Y. Wada, Y. Ogura, T. Toriyama, T. Yamamoto, S. Matsumura, K. Inazu , K. Nagaoka* , Co nanoparticle catalysts encapsulated by BaO-La2O3 nano-fractions for efficient ammonia synthesis under mild reaction conditions, ACS Omega, 7 (2022) 24452-24460.	10.1021/acsomega.2c01973	国際誌	発表済	
2022	Artem S. Pushkarev (Kurchatov Institute), Irina Pushkareva (Kurchatov Institute), Dmitri G. Bessarabov , Supported Ir-Based Oxygen Evolution Catalysts for Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolysis: A Minireview, June 2022, Energy & Fuels 36 (13) 6613-6625	10.1021/acs.energyfuels.2c00951	国際誌	発表済	

2023	Irene Franzetti, Artem Pushkarev , Ai-Lin Chan, Tom Smolinka, Parasitic Effects in Impedance Spectrum of PEM Water Electrolysis Cells: Case Study of High Frequency Inductive Effects // Energy Technology, 2023, 11, 2300375,	10.1002/en te.2023003 75	国際誌	発表済	
2023	K. Era, Katsutoshi Sato*, S. Miyahara, T. Naito, K. De Silva, S. Akrami, H. Yamada, T. Toriyama, T. Yamamoto, Y. Murakami, K. Aika, K. Inazu, K. Nagaoka* , Catalytic Behavior of K-doped Fe/MgO Catalysts for Ammonia Synthesis Under Mild Reaction Conditions, ChemSusChem.	10.1002/cs sc.2023009 42	国際誌	発表済	
2023	Manabu Tokushige and Junichi Ryu* , Adsorption and Desorption Behaviors of Ammonia on Zeolites at 473 K by the Pressure–Swing Method, ACS Omega 2023, 8, 32536–32543	10.1021/ac somega.3c 02882	国際誌	発表済	
2023	Manabu Tokushige , Ryota Fujisawa and Junichi Ryu , Absorption and desorption behaviours of ammonia on bis(fluorosulfonyl)amide salts investigated using the pressure–swing method, Sustainable Energy Fuels, 2024, 8, 397	10.1039/D 3SE01350 B	国際誌	発表済	
2023	Takeshi Furusawa , Yoshito Inagawa, Ryo Yamashita, Kazuhiro Aruga, Development of a Ba–Ni/SiO Catalyst for the Simultaneous Decomposition of Ammonia and Naphthalene/Benzene Formed as Byproducts in the Steam Gasification of Woody Biomass, Journal of Chemical Engineering of Japan 56(1) 2213739 2023/5/18	10.1080/00 219592.202 3.2213739	国際誌	発表済	
2023	Fuminao Kishimoto, Tatsushi Yoshioka, Ryo Ishibashi, Hiroki Yamada, Koki Muraoka, Hiroki Taniguchi, Toru Wakihara, Kazuhiro Takanabe , Direct microwave energy input on a single cation for outstanding selective catalysis, Science Advances 9, eadi1744, 2023/8/18	10.1126/sc iadv.adi174 4	国際誌	発表済	
2023	Tomohiro Higashi, Hiroshi Nishiyama, Yuriy Pihosh, Kaisei Wakishima, Yudai Kawase, Yutaka Sasaki, Akira Nagaoka, Kenji Yoshino, Kazuhiro Takanabe , Kazunari Domen, Physicochemical Insights into Semiconductor Properties of Semitransparent Tantalum Nitride Photoanode for Solar Water Splitting, Physical Chemistry Chemical Physics, Issue 30, 2023/7	10.1039/D 3CP02563 B	国際誌	発表済	
2023	Zihan Ma, Xiaofei Lu, Sunghyun Park, Tatsuya Shinagawa, Masashi Okubo, Kazuhiro Takanabe , Atsuo Yamada, High-rate Decoupled Water Electrolysis System Integrated with α -MoO as a Redox Mediator with Fast Anhydrous Proton Kinetics, Advanced Functional Materials 33(25), 2214466, 2023/6/19	10.21203/r s.3.rs- 1655734/v 1	国際誌	発表済	
2023	Anthony Basuni Hamzah, Hideyuki Matsumoto , Shinichi Ookawara, Masashi Kikugawa, Yoshihiro Goto, Akinori Sato, Yuichi Manaka, Tetsuya Nanba, Simulation Analysis for Design of H ₂ /N ₂ Ratio of Feed Gas to Ammonia Synthesis Process Using Ru/CeLaTiO _x Catalyst, Industrial & Engineering Chemistry Research, 62, 12559–12570, 2023/8	10.1021/ac s.iecr.3c00 384	国際誌	発表済	
2023	Hiroki Komiya, Keisuke Obata, Tetsuo Honma, Kazuhiro Takanabe , Dynamic stabilization of nickel-based oxygen evolution electrocatalysts in the presence of chloride ions by phosphate additive, Journal of Materials Chemistry A 2024, 12, 3513	10.1039/D 3TA05566 C	国際誌	発表済	
2024	Huihang Qiu, Keisuke Obata, Kensei Tsuburaya, Takeshi Nishimoto, Keisuke Nagato, Kazuhiro Takanabe , Impact of gas bubble slug on high-frequency resistance and cell voltage in water electrolysis device, Journal of Power Sources, 611, 234765, 2024.	10.1016/jj powsour.20 24.234765	国際誌	発表済	
2024	Takuya Suguro, Fuminao Kishimoto, Sota Kuramoto, William J. Movick, Kazuhiro Takanabe , Inverse kinetic isotope effect of ammonia decomposition over Ru/CeO ₂ using deuterated ammonia, Chemical Communications, 60, 7713–7716, 2024.	10.1039/D 4CC02372 B	国際誌	発表済	
2024	Kensei Tsuburaya, Keisuke Obata, Keisuke Nagato, Kazuhiro Takanabe , Porous substrate optimization for efficient water electrolysis: uncovering electrocatalysts, electrolyte, and bubble dynamics effects, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 12, 16308–16319, 2024.	10.1016/jj powsour.20 24.234765	国際誌	発表済	
2024	Manabu Tokushige , Ryota Fujisawa, Junichi Ryu , Pressure–swing absorption and desorption behaviours of ammonia in bis(trifluoromethylsulfonyl)amide salts, Sustainable Energy and Fuels, 8, 5449–5457 (2024)	https://doi.org/10.1039/D4SE00820K	国際誌	発表済	
2024	Manabu Tokushige , Ryota Fujisawa, Noriyuki Watanabe, Ken-ichi Aika , Junichi Ryu , Pressure Swing Absorption and Desorption of Ammonia in Calcium Halide Solid Mixtures, ACS Omega, 10, 3709–3717 (2025)	https://doi.org/10.1021/acsomega.4c08919	国際誌	発表済	

うち国内誌	0 件
うち国際誌	27 件
公開すべきでない論文	0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2022	Aika K (2022) Brief review of the Japanese Energy Carrier Program and an energy science view of fuel ammonia, in "CO2 free ammonia as an energy carrier - Japan's insights, Aika K, Kobayashi H eds., Springer."		Book	発表済	
2022	Aika K (2022) Importance of separation unit in green ammonia synthesis systems, in "CO2 free ammonia as an energy carrier - Japan's insights, Aika K, Kobayashi H eds., Springer."		Book	発表済	
2022	Aika K (2022) Environmental concerns about fuel ammonia, in "CO2 free ammonia as an energy carrier - Japan's insights, Aika K, Kobayashi H eds., Springer."		Book	発表済	
2023	秋鹿研一 "[日本と南アの共同研究開発]グリーンアンモニア製造: 地理学的特性と技術のベストマッチによるCO2排出ゼロへ向けて" 日揮webジャーナル; 20240220, https://www.sustainability-hub.jp		webジャーナル	発表済	

著作物数 4 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的,対象,参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2023	国際学会	Ken-ichi Aika, Koji Inazu, Takeshi Furusawa, Junichi Ryu, Kazuhiro Takanabe, Shinichi Matsumote, Katsutoshi Nagaoka, Manabu Sugimoto, and Dmitri Bessarabov, "Green Ammonia Production at South Africa: New Technologies through Cooperation between NWU and Japanese Universities", Poster presentation, 4th International Conference on Electrolysis (27 August - 01 September 2023, Sun City, South Africa) 4th International Conference on Electrolysis (27 August - 01 September 2023, Sun City, South Africa)	ポスター発表
2024	国際学会	Y. Tateishi, L. Botha, M. Sugimoto, and D. Bessarabov, Evaluation of H ₂ /O ₂ Recombination Catalytic Activity using MD Simulation based on Neural Network Potential, 34th Catalysis Society of South Africa (CATSA), November 4, 2024.	ポスター発表

招待講演 0 件
口頭発表 0 件
ポスター発表 2 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2022	国際学会	秋鹿研一, Green Hydrogen Summit, RSA, 11月,	口頭発表
2022	国際学会	H. Matsumoto, M. Kikugawa, A. B. Hamzah, M. Ishikawa, Y. Goto, S. Ookawara, Y. Manaka, M. Nishi, T. Nanba, "Simulation analysis of gas feed method for development of Ru-based catalyst for ammonia production", The 14th International symposium on Process Systems Engineering (PSE2021+). Kyoto, 19-23 June 2022	口頭発表
2022	国際学会	Y. Goto, M. Kikugawa, K. Kobayashi, Y. Manaka, T. Nanba, H. Matsumoto, M. Ishikawa, M. Matsumoto, M. Aoki, H. Imagawa, "Barium titanium oxyhydride: Synthesis and application as an ammonia synthesis catalyst", 12th International Conference on Environmental Catalysis (ICEC2022). Osaka, July 30-August 2, 2022	口頭発表
2022	国内学会	松本秀行、菊川将嗣、後藤能宏、石川茉莉江、眞中雄一、難波哲哉、水素キャリアとしてのアンモニア合成プロセスの研究開発, 第130回触媒討論会.	口頭発表
2022	国内学会	菊川将嗣、後藤能宏、山崎清、青木正和、眞中雄一、難波哲哉、佐藤彰倫、松本秀行、大川原真一、アンモニア合成用Ru/CeLaO _x 触媒へのSi添加効果, 第53回化学工学会.	口頭発表
2022	国内学会	後藤能宏、菊川将嗣、山崎清、青木正和、馬場直樹、眞中雄一、難波哲哉、佐藤彰倫、松本秀行、大川原真一、原料ガスを分割供給することにより生産能を高めたNH ₃ 合成装置の開発, 第53回化学工学会.	口頭発表
2022	国内学会	熱海良輔、松本秀行、羽田泰幸、ダイナミックシミュレーションと気象データを活用したグリーンアンモニア製造プロセスの設計, 第53回化学工学会.	口頭発表
2022	国内学会	山崎清、後藤能宏、菊川将嗣、佐藤彰倫、眞中雄一、松本秀行、Ru/CeO ₂ 触媒のメソ細孔構造がNH ₃ 合成活性に与える影響, 第42回水素エネルギー協会大会(HESS大会).	口頭発表
2022	国際学会	永岡勝俊, 新規アンモニア合成触媒, 燃料電池会議, 東京 船堀, 令和4年5月	口頭発表

2022	国内学会	永岡勝俊, アンモニア合成触媒_基礎, 歴史, 新展開、徳島化学工学懇話会第37回(令和4年度)通常総会・記念講演会, 徳島大学, 令和4年6月10日	口頭発表
2022	国際学会	Katsutoshi Nagaoka, Desigh of Core-Shell Structured Metal Catalysts for Carbon-Free Ammonia Fuel Synthesis under Mild Reaction Conditions, 2022 Taipei International Conference on Catalysis, online, 2022.7.21	口頭発表
2022	国際学会	Katsutoshi Nagaoka, Core-shell structured oxide supported Co catalysts for ammonia synthesis under mild conditions, TOCAT, Fukuoka, 2022.7.24	口頭発表
2022	国際学会	Katsutoshi Nagaoka, Synthesis of carbon-free ammonia fuel under mild reaction conditions, 12th International Conference on Environmental Catalysis, Osaka, 2022.8.2	口頭発表
2022	国内学会	永岡勝俊, エネルギーキャリア”アンモニア”から水素を取り出す触媒技術, CSJ化学フェスタ, 東京, 2022.10.19.	口頭発表
2022	国内学会	永岡勝俊, 水素の製造・利用触媒の研究開発 -アンモニアの合成・分解触媒の研究開発-, ENEOS水素基金設立15周年記念式典, 東京, 令和4年11月29日	口頭発表
2022	国内学会	永岡勝俊, クリーン燃料としてのアンモニア合成用触媒の開発, 第16回工業触媒研究会フォーラム, オンライン, 令和5年1月31日	口頭発表
2022	国内学会	永岡勝俊, クリーンエネルギーとしてのアンモニアを合成するための触媒開発, 日本セラミックス協会2023年年会, 横浜, 令和5年3月7日	口頭発表
2022	国内学会	永岡勝俊, エネルギーキャリアとしてのアンモニアを合成・分解するための触媒開発, 先進工学系科学研究科設立記念シンポジウム「カーボンニュートラルの早期実現に資するアンモニア利用技術」, 広島, 令和5年3月20日	口頭発表
2022	国際学会	Kazuhiro Takanabe Neutral pH Water Electrolyzer: Can It Become a Disruptive Technology for Green Hydrogen Production? 241st ECS meeting	招待講演
2022	国際学会	Takeshi Nishimoto, Tatsuya Shinagawa, Kazuhiro Takanabe Maximizing the Intrinsic Performance of Oxygen Evolution Electrocatalyst by Electrolyte Engineering at Near-Neutral pH TOCAT9,	口頭発表
2022	国内学会	Kazuhiro Takanabe 水素を安価に大量に:水電解触媒反応の基礎と応用 第12回 CSJ化学フェスタ2022	口頭発表
2022	国内学会	Hiroki Komiya, Kazuhiro Takanabe Electrolyte engineering for highly efficient and selective oxygen evolution reaction in seawater electrolysis 2022 電気化学秋季大会	口頭発表
2023	国際学会	Artem. S. Pushkarev, Irina V. Pushkareva, Stephanus P. du Preez, D.G. Bessarabov. Electrochemical impedance spectroscopy study of an anion exchange membrane water electrolyzer // Book of Abstracts of 4th International Conference on Electrolysis (27 August – 01 September 2023, Sun City, South Africa), p. 132	口頭発表
2023	国際学会	M.V. Kozlova, S.I. Butrim, M.A. Solovyev, D.A. Simkin, I.V. Pushkareva, A.S. Pushkarev. The study of supported iridium-based electrocatalysts for PEM water electrolyzers // Book of Abstracts of 4th International Conference on Electrolysis (27 August – 01 September 2023, Sun City, South Africa), p. 173	口頭発表

2023	国際学会	Maksim A. Solovyev, Irina V. Pushkareva , Sergey I. Butrim, Margarita V. Kozlova, Dmitri A. Simkin, Artem S. Pushkarev , Sergey A. Grigoriev. Performance and durability of anode gas diffusion electrodes in PEM water electrolyzer // Book of Abstracts of 4th International Conference on Electrolysis (27 August – 01 September 2023, Sun City, South Africa), p. 182.	口頭発表
2023	国際学会	K. Aika and K. Inazu , "Green Ammonia Production at South Africa: New Technologies through Cooperation between NWU and Japanese Universities" at 4th International Conference on Electrolysis 27th August – 1st September, Sun City, South Africa 2023	口頭発表
2023	国際学会	K. Aika , "New Ammonia Synthesis Process; Science, Engineering and Society View" at Romphyschem-17 conference, Day 1, Monday, September 25, 2023, Bucharest, Romania	招待講演
2023	国内学会	菊川将嗣, 後藤能宏, 山崎清, 青木正和, 馬場直樹, 佐藤彰倫, 真中雄一, 難波哲哉, 松本秀行 , 大川原真一, 高圧合成システムによるアンモニア製造 (1kg/day)の実証, 石油学会第65回年会(第71回研究発表会), 2023.5	口頭発表
2023	国内学会	山崎清, 後藤能宏, 菊川将嗣, 佐藤彰倫, 真中雄一, 難波哲哉, 松本秀行 , 大川原真一, メソ細孔構造制御によるRu/CeO2系触媒のアンモニア合成活性向上, 第132回触媒討論会, 2023.9.14	口頭発表
2023	国際学会	M. Kikugawa, Y. Goto, K. Yamazaki, Y. Manaka, T. Nanba, H. Matsumoto , S. Ookawara, A. Sato, M. Aoki, N. Baba, Development of Si-doped Ru/CeLaOx catalyst for the demonstration of ammonia synthesis, 15th European Congress on Catalysis, August 28, 2023, Prague, Czech Republic	ポスター発表
2023	国際学会	Y. Goto, M. Kikugawa, K. Yamazaki, Y. Manaka, T. Nanba, H. Matsumoto , S. Ookawara, A. Sato, M. Aoki, N. Baba, Effect of H/N ratio control in a multi-bed ammonia synthesis reactor using a Ru-based catalyst, 15th European Congress on Catalysis, August 29, 2023, Prague, Czech Republic	ポスター発表
2023	国内学会	徳重学, 藤沢亮太, 劉醇一, ゼオライトを用いた高温アンモニア吸蔵材料の開発, 化学工学会 第89年会, 2024.3.19	ポスター発表
2024	国内学会	永岡勝俊 , カーボンフリー燃料としてのアンモニアを合成・分解するための触媒開発, 第43回無機高分子シンポジウム, 2024.7.5	招待講演
2024	国際学会	Katsutoshi Nagaoka ¹ , Katsutoshi Sato , Shin-ichiro Miyahara, Koji Inazu , . Comparison of kinetics over supported Fe, Co, and Ru catalysts for ammonia synthesis under mild reaction conditions, 18th ICC, 2025.7.14-19.	ポスター発表
2024	国内学会	天羽 明, 稲津晃司 , 混合希土類酸化物を担体とするアンモニア合成用ルテニウム触媒, 第14回CSJ化学フェスタ2024, 2024.10.23	ポスター発表
2024	国内学会	天羽 明, 大村 蓮, 稲津晃司 , 希土類酸化物担持金属触媒のアンモニア合成活性への担体の効果, 第134回触媒討論会, 2024.9.19	口頭発表
2024	国際学会	Ryota Fujisawa, Manabu Tokushige, Junichi Ryu , Absorption and Desorption Behaviors of Ammonia on Calcium Chloride based Ammonia Absorbent, CUUTE-2 (P-03)	ポスター発表
2024	国際学会	Manabu Tokushige, Ryota Fujisawa, Junichi Ryu , Absorption and Desorption Behaviors of Ammonia on Fluorocomplex Salts by the Pressure-Swing Method, CUUTE-2 (C1-2-01)	口頭発表
2024	国際学会	Manabu Sugimoto , In Silico Composition Optimization of Ammonia Absorption Materials, International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC) Mongolia, August 29, 2024.	招待講演
2024	国内学会	堤竹柚月, 亀田遼平, 日景英理佳, 古澤毅 : 金属塩化物担持SiO2材料を用いたNH3の選択吸収-脱離サイクルに関する検討, 化学工学会第55回秋季大会, 北海道大学, 講演番号F301, 2024年9月13日.	口頭発表
2024	国内学会	松本秀行 : グリーンアンモニア製造システムの効率化を目指した触媒反応プロセスの設計・制御, F207, 化学工学会宇都宮大会2024(2024年11月8日)	招待講演

招待講演

5件

口頭発表	30	件
ポスター発表	6	件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1	2024-186199	2024/10/22	アンモニア吸蔵材	国立大学法人千葉大学							劉醇一, 徳重学		
No.2													
No.3													

国内特許出願数 1 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2024	2025/3/27	日本化学会学術賞	熱・電極・光触媒の統合学理で拓くグリーン触媒プロセスの開発	高鍋和広	日本化学会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

1 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2023	2024/1/1	沼津朝日	脱炭素化にアンモニア活用、クリーンエネルギーへ研究と実証、研究者の秋鹿研一氏に聴く	1, 2面	2.主要部分が当課題研究の成果である	沼津からの世界的研究成果として、静岡県東部地区へ元旦号トップ全面で発信

1 件

成果目標シート (230531)

研究課題名	再生可能エネルギー水素を用いた新しいアンモニア合成システムの研究開発
研究代表者名 (所属機関)	秋鹿 研一 (国立高等専門学校機構、沼津工業高等専門学校、客員教授)
研究期間	R3採択(令和3年6月1日～令和9年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	南アフリカ共和国／H2 Infrastructure (HySA Infrastructure), North-West University, Faculty of Engineering
関連するSDGs	目標 7. すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する。目標 12. 持続可能な生産消費形態を確保する。目標 13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる

成果の波及効果

日本政府、社会、産業貢献	<ul style="list-style-type: none"> 地球規模の気候変動枠組みへの活用 日本企業による事業化 (IoTと遠隔サービス)
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 計算化学による材料開発 再エネ仕様アンモニア合成分離統合システム
知財の獲得、国際標準化の推進、等	<ul style="list-style-type: none"> 新水電解材料、新アンモニア合成触媒および反応器、新アンモニア吸収材料および分離システム
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成 (国際会議での発言力、ワークショップ主催、レビュー付雑誌への論文掲載など)
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> グリーンアンモニア研究者ネットワーク構築、業界へユニット標準装置提案、IoTによるデータ集積、解析提案と専門家ネットワーク構築
成果物 (提言書、論文、プログラム、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 異種再エネ間統合による電力安定供給、変動電力による水電解システム、高性能、安定アンモニア合成触媒、高性能、安定アンモニア分離剤

Final target

世界のCO₂排出量を0.4%削減する(化石資源由来のNH₃合成が世界のCO₂の1.5%を排出しているが、10年で1/4がグリーンアンモニア装置となる想定。)

ベンチプラント完成後、各種運転試験を続け、60t/dクラス設計に必要なデータを収集、企業によるIoTサービス可能なプラントへのスケールアップにつなげる。

プロジェクト目標

1/120000~1/20000 サイズのベンチプラントシステム: 0.5~3k/d unit (最大3.1L-NH₃/min; 合成触媒量 最大0.7kg, 吸収剤量 最大1.6kg程度)を試作し、南アNW大へ設置、試運転。

