

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 5（2023）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 再エネ水素製造 研究活動 1-1 南ア再エネ検討、 水電解技術協力		再エネ調査、複合モデル提案	再エネ調査、複合モデル提案				
研究活動 1-2 再エネ駆動水電 解システム開発	供与機材調査	耐久電解システムの提案	耐久電解システムの構築	統合試験			
		供与機材調査～機材設置	耐久電解システムの課題抽出と改善	耐久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		耐久性原理提案	試作品実現	反応塔充填			
研究活動 2-1 耐久性アンモニ ア合成触媒開発		高耐久性触媒の候補探索/提案	制御条件設定				
研究活動 2-2 実用条件下アン モニア合成触媒挙動解析		合成速度データ蓄積	実条件でのデータ獲得	操作への反映			
		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				
研究題目 3 実用アンモニア吸 収分離材開発		候補吸収剤特性解析	試作品実現と解析	吸収塔充填			
研究活動 3-1 アンモニア吸収 剤の開発		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	制御条件設定		
研究活動 3-2 計算科学による 吸収分離剤設計		動的特性検討	材料の提案	操作への反映			
		材料探索と特性予測の手法検討	吸収剤選定へ反映				

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 運転	Plant

*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)

*研究題目 1-1 は、新しい技術(蓄熱発電等)が順次出てきているため、それらの最新技術を本研究に取り込めるように、期間を延長した。研究課題 2 と 3 は材料探索と反応速度論的な検討や制御因子の検討を並行で進め、最新情報を材料選定に反映できるように見直した。

*研究題目 4-1、4-2 は、予備設計として基本構成を提案することを追記し、その後のプロセス統合/Plant 設計(詳細設計)/Plant 発注と繋がることを追記した。

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スタートさせた。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スタートさせた。2023 年 4 月に JICA 業務調整員が NWU/HySA に着任し、本プロジェクトの遂行を現地でサポートしている。

2023 年 8 月に日本側研究者 2 名が南アフリカに渡航し、国際会議(International Conference on Electrolysis 2023)での参加発表(日本側:1 件、南ア側:3 件)を行った。さらに、NWU の研究スタッフや学生に、日本への留学や短期研修に来てほしいことを伝えた。

2023 年 9 月に NWU 研究者 2 名が来日し、熊本大学で計算化学関連の研修を行った。本プロジェクトの共同研究機関の東京大学、東京工業大学へは、南ア側 PI の Prof. Dmitri Bessarabov と共に訪問し、研究室の視察と研究内容に関する意見交換を行った。

23 年 9 月 25、26 日、秋鹿 PI (JST 補完予算を利用) と永岡研究員 (別予算) がルーマニアを訪問した。ルーマニア化学物理研究所創立 60 周年記念国際会議にてグリーンアンモニア研究開発状況の発表: タイトル “New Ammonia Synthesis Process; Science, Engineering and Society View” を開会式直後の招待講演として秋鹿 PI が披露し、グリーンアンモニア製造の科学、工学、社会実施、について展開した。エネルギー化学と物理化学の接点として、好評を得た。これがきっかけとなって、ルーマニアアカデミーは「再エネ電力の貯蔵、利用としてのグリーンアンモニア開発研究、日本との連携」プログラム

【令和 5 年／2023 度実施報告書】【240531】

を EU へ提案した。現在、審査中であるが、ブカレスト東 400km ダニューブデルタ地帯に巨大（数千の風車）なウィンドファームでのエネルギー平準化、最適利用を念頭に置いたものと想定される。

2023 年 11 月に第 2 回 Joint Coordination Committee(オンラインで日本からも参加)を開催し、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。人材交流では、長期の日本留学(博士課程 3 年)は、NWU の学位取得が難しいため、短期研修(Max. 3 ヶ月)をメインに進めることで合意した。

研究者 2 名が、南アフリカの SASOL を訪問し、プラント視察とアンモニア合成分離に関する議論を行った。SASOL はアンモニア合成分離プラントを有しており、本プロジェクトで作製を計画しているベンチプラントとの関連性が高い。ベンチプラントは日本で作製して輸出する計画であったが、現地企業で作製可能であれば費用対効果が高く、稼働後の保守も容易となるため、現地調達も視野に入れて検討を進める事にした。

南アフリカに駐在する JETRO と伊藤忠商事と打ち合わせを行い、本プロジェクトの概要を共有すると共に、現地でのグリーンアンモニア/グリーン水素関連の情報交換を行い、協業の可能性を議論した。

触媒開発企業のエヌ・イー・ケムキャットと協業し、アンモニア合成触媒の工業化を加速するため、企業技術者を研究題目 2 のメンバーに加えた。

プロジェクト目標のベンチプラントの設置・稼働に向けて、(2)に記載の様に各研究課題は計画通りに進展している。

(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担当として、Mr. Pieter van Niekerk をアサインした。ソーラー発電、風力発電、バイオマス発電による南アの電力供給事情の現状調査結果が報告された。季節変動や昼夜変動の要因となる太陽光と風力をシミュレーションするソフトウェアも入手済みで、再エネの変動要因を考慮した再エネ電力供給モデルを構築していく。また、再エネ電力の平準化技術として、蓄熱技術の有効性が見えてきているため、電力の平準化策も含めて、ベンチプラントで使用する電力供給モデル構築を行う。

NWU に供与する機材の調達は、ほぼ計画通り進捗している。現地調達機材は計画通り 3 機種設置済みで、本邦調達機材(第 1 期分)も NWU に到着済みで、機材メーカーによる設置調整後、4 月中には是機種(5 機種)の検取引渡し完了の見込みである。

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 の耐久性評価を開始した。この評価は 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を開始した。この評価は 2025 年 11 月まで実施する。ハーフセルを使い、CL(触媒層)を最適化する評価を開始した。

東京大学では、水電解のシステムの構築を進め、寿命評価についてデータ取得を開始し、継続して研究を遂行している。本年度はミックラボ社製水電解単セルを用い PEM (CCMs) の耐久性試験を開始

した。加速劣化試験のプロトコル作成と、その劣化要因解明を中心に順調に研究を進行させている。当初 1 A cm^{-2} 程度の電流密度で試験を実施し CCM は非常に安定であり 1000 時間を超えても大きな劣化は観測されていない。今後は Pt や Ir の担持量とその粒子径や形状との比較を行い、加速劣化試験のプロトコルを確立しながら、南アでの大型 MEA にフィードバックを行い、水電解実装に向けて貢献する。

以上の様に、全体計画に対してほぼ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とモデル構築に関しては、担当研究者をアサインし、現状調査結果を得た。現状調査結果とシミュレーションに用いるツールも入手し、再エネ電力供給モデル構築の準備を整えた。

2023 年度に導入予定の供与機材は全て NWU に到着済みだが、本邦調達機材でメーカーエンジニア（ドイツから派遣される）の調整が必要な機材（1 機種）がある。このため、検収終了が 2024 年 4 月中旬見込みで、約 0.5 ヶ月遅れとなっているが、今後の活動でリカバー可能である。

NWU では、PEM（個体高分子電解質膜）型水電解装置でキーとなる触媒、PEM、CCMs 等の性能と耐久性評価は計画通り開始され、PEM 型水電解システムの課題抽出を継続中である。

東京大学では、購入可能な PEM 水電解 MEA をまず導入し、通常な操作では劣化することが困難な製品であることを確認したのち、より強力なストレステストの確立を行うことに注力している。その結果、劣化させる条件を見出してきており、そのときに起こる機械的・化学的劣化原因を解明することを継続していく。また電解質を大きく変えて使用できる材質を増やす水電解にも着手し、非極 pH の水電解の開発を進めている。論文の成果として Komiya et al., J. Mater. Chem. A 12 (2024) 3513-3522. がある。

以上の様に、機材検収で若干の遅れはあるが、2023 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も、電力供給モデルに取り込むため、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 系触媒をモディファイしながら、高圧下での耐久性評価を継続的にを行っている。

Ru の出発塩をカルボニルから塩化物に変更する手法を検討している。また、触媒の耐久性を向上させるため、検討中の候補触媒に第三の元素を添加することも検討している。

名古屋大学では、Ru/Ba-La-Ce 系触媒の組成の影響について検討した。その結果、Ru/Ba-La-Ce-O 触媒が最も高い活性を示すことが分かった。一方、超高純度反応ガスを用いた 350℃、1MPa、SV=72000 mL/ g⁻¹ h⁻¹ の耐久試験では、Ru/Ba-La-Ce-O 触媒と Ru/Ba-Ce-O 触媒が比較的良好な結果を示した。

沼津高専では、La-Ce 系以外の希土類元素酸化物を担体とする担持ルテニウム触媒を調製し、その高圧活性を、安定性と温和な活性化での活性を中心に検討した。イットリウム担持触媒は、一般的な高純度ガス流通下、400 °C 還元で高い活性を示したが、経時的な活性低下が観測された一方、担体にジルコニアを混合することで活性の安定性と触媒の機械強度が増した。

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、Ru/Ba-La-Ce-O 触媒について、実用化を意識した条件での耐久試験を実施した。350℃、1 MPa、SV=8000 mL/ g⁻¹ h⁻¹ で G1 グレードの反応ガスを用いた場合には 50h の間、安定した活性が見られた。しかしながら、工業ガスグレードの反応ガスを用いた場合には、経時的な活性低下が見られた。不純物として存在する H₂O や O₂ が影響したと考えられる。そこで、この触媒について、前処理方法を変更し活性測定を行ったところ、活性低下が抑制されるという傾向が見られた。また、Ru 触媒の優位性を明らかにするために、Fe 触媒について検討を行った結果が、ChemSusChem 誌に掲載された。

沼津高専では、La-Ce 系以外の希土類元素酸化物を含む種々の担体を用いた担持ルテニウム触媒の中ではイットリウム-ジルコニア混合酸化物担持ルテニウム触媒が最も高く、この触媒について、ルテニウム前駆体の差異による活性の違いを検討した。有機溶媒を使用する必要があるカルボニル錯体やアセチルアセトナト錯体、水溶液で取り扱うことができるニトロシル硝酸ルテニウムのいずれを用いた場合も同等の活性が得られた。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。一方、サマリウム担持触媒は熱的安定性が十分でなく、500 °C としたのちには経時的な活性低下が観測された。また、担体にジルコニアを混合することで活性の安定性と機械強度を増すことが明らかとなった。

以上の様に、2023 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

【令和 5 年／2023 年度実施報告書】【240531】

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。

(2-3)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ゼオライトと $\text{CaCl}_2\text{-LiCl}$ などの複合ハロゲン化物、そして、新たなアンモニア吸収剤であるビスフルオロスルフォニルアミド(FSA)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、当初アンモニア吸蔵材料の候補として MOF（金属有機構造体）を選定し、計算シミュレーションと機械学習手法を用いてその組成の最適化を目指したが、アンモニア吸蔵に伴う構造相転移を再現できなかった。このため、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、2023 年度においては、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。

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、ゼオライトの 200℃でのアンモニア吸蔵/放出（アンモニア圧 5 気圧～1 気圧）に対する耐久性を調査するために、10 サイクルの吸蔵/放出試験を行い、ゼオライトが 200℃での吸蔵/放出に対して安定であることを確認した。

次に、 $\text{CaCl}_2\text{-LiCl}$ などの複合ハロゲン化物について、200℃でアンモニアを吸蔵/放出できる化合物を絞り込み、また複合化により CaCl_2 単塩と比べて吸蔵容量および吸蔵速度が向上することを確認

した。

さらに、ビスフルオロスルフォニルアミド(FSA)塩($\text{Li}[\text{FSA}]$ や $\text{Na}[\text{FSA}]$, $\text{K}[\text{FSA}]$, $\text{Ca}[\text{FSA}]_2$)について、種々の温度で吸蔵／放出挙動を調査したところ、いくつかのFSA塩では室温でもアンモニアの吸蔵によって固体粉末であったFSA塩が液化する現象が観察された。実験終了後に固化した試料からは、 $\text{NH}_4[\text{FSA}]$ とアミド化合物やイミド化合物が検出され、これまで知られていたアンモニア吸収過程とは異なる新たな吸収過程が観測された。一方で、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、これらの結果は化学工学会第89年会にてポスター発表し、ACS Omega 誌および Sustainable Energy & Fuels 誌に掲載されている。

熊本大では、2023年度までの主な目標は「材料探索と特性予測の手法検討」であった。この目標を達成するため、最新の計算技術である機械学習力場の計算ソフトウェアを導入し、それを活用した分子動力学計算とグランドカノニカルモンテカルロ計算を行える様に手法の導入、整備を行った。また、これらの計算シミュレーションと物質最適化のための機械学習手法の一つであるベイズ最適化を行うプログラムを新規に開発し、これを用いて複合ハロゲン化物の材料組成の最適化を実現できるようになったことから、主な目標を達成できた。この成果は2024年4月30日にNW大で開催されたワークショップ” Workshop on Green Ammonia and Hydrogen”にて発表した。

以上の様に、2023年度の目標は達成できた。

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。この技術に移転することで、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。

(2-4)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）

Ru 系触媒を用いたアンモニア合成反応速度式のパラメータ推定プログラムを開発した。アンモニア合成反応器の非定常状態シミュレーションの効率を向上させるための反応器モデルを検討した。

宇都宮大では、NH₃ 合成塔出口ガスを冷却（350℃→50℃）した際に回収する熱を NH₃ 合成原料ガス（N₂, H₂）の予備加熱に利用し、NH₃ 選択吸収塔で NH₃ を吸収した材料を再生する脱離塔（200～250℃）の出口ガス（NH₃+N₂）を、加圧・室温冷却して液体アンモニアと気体 N₂ へ分離すると同時に、熱回収し脱離塔の熱源とし、かつ分離 N₂ を脱離塔へ供給する不活性ガスとして再利用するプロセスを想定して、既報のハロゲン化物（MgCl₂, CaCl₂, MnCl₂）を SiO₂ 上に担持した材料を用いて、常圧下での NH₃ 選択吸収（50℃）-NH₃ 脱離（250～300℃）のサイクル試験を実施した。

東工大では、Ru 系触媒の適用において報告されている、NH₃ 合成原料ガス中の H₂/N₂ 比が量論比 3 より低い条件下で NH₃ 合成速度が最大を示す場合について、冷却分離による NH₃ 回収操作を含む NH₃ 合成プロセスシステム全体の効率に反応操作条件が及ぼす影響を整理し、触媒層の分割構造や原料ガスの分割供給操作などが適用された反応装置まわりのエネルギーの需給バランスをプロセスシミュレーションによって検討した。また、吸着（吸蔵）による生成 NH₃ の分離回収プロセスの導入ケースを対象に、吸着温度、脱離温度と吸着剤の性能の組合せがプロセスシステム全体のエネルギー消費量と充填吸着剤量に及ぼす影響について、冷却分離による NH₃ 回収プロセスの導入ケースと比較することで、吸着操作または吸収操作による NH₃ の選択的分離プロセスと冷却による液体 NH₃ 回収プロセスの構成案を整理した。

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 4 の当該年度の目標の達成状況と成果

宇都宮大では、MgCl₂/SiO₂, CaCl₂/SiO₂, MnCl₂/SiO₂ を用いた常圧下での NH₃ 選択吸収（50℃）- NH₃ 脱離（250～300℃）のサイクル試験を実施した結果、MgCl₂/SiO₂ および CaCl₂/SiO₂ 材料では既報と同様に、NH₃ 選択吸収は可能であるがサイクル利用過程で材料構造の一部が壊れ、NH₃ 吸脱量が減少することが分かった。これらの材料に関しては、高圧下で NH₃ 選択吸収を実施して NH₃ 吸収量を増大させ（MgCl₂/SiO₂ ; 6 配位, CaCl₂/SiO₂ ; 8 配位）、脱離過程においては全ての NH₃ を脱離させず、2 配位分の NH₃ を残存させて構造崩壊を抑制し、長期間に亘って NH₃ 選択吸収-脱離サイクル利用が可能であることを示していく。MnCl₂/SiO₂ 材料では吸着した NH₃ は 50℃の低温にてガスの切り替えで脱離する一方、吸収した NH₃ は 300℃でも脱離せず、主に NH₃ 吸着-脱離サイクルが生じることが分かった。本材料に関しても高圧での NH₃ 吸収・吸着過程で NH₃ 吸着量の増大が達成できれば有望な材料となり得るので継続検討していく。2024 年度中には、NH₃ 合成塔出口 NH₃ 分圧（0.2 ～0.5 MPa 程度）での NH₃ 選択吸収（50℃）-常圧下（NH₃ 分圧ゼロ）での NH₃ 脱離（200～250℃）サイクル試験に対して耐久性を有する材料を見出し、前記プロセスの可能性を模索する。

東工大では、Ru 系触媒（Ru/CeLaTiO_x, Ru/CePrO_x など）が充填された触媒層の二段構造と、原料ガスより分割された低温 H₂ ガスを二段目触媒層より供給する操作が適用されたプロセスシステムについて、プロセスシミュレーションと最適解探索によって、Process Efficiency が 62.8%、SEC（specific

energy consumption)が 8.32 GJ/ton-NH₃ と、既往の文献で報告されている Ru 系触媒を用いたプロセスに比べて優位性が見出された。(A. Hamzah et al., Ind. Chem. Eng. Res, 62, 12559-12570 (2023)) さらに、上述のプロセスシステムでは、生成 NH₃ の回収分離においては、冷却分離(Flash Separator)を適用しており、そのエネルギー消費量(SEC)はプロセスシステム全体の最大 68%近く占めることが推算された。

また、プロセスシステム内の熱交換ネットワークの合成(最適化)によって、システム全体のさらなる省エネ化がはかれると考え、一段目に Fe 系触媒を充填し、二段目に Ru 系触媒を充填したプロセスシステムを対象に、ピンチ解析結果に基づく NH₃ 合成プロセスへのユーティリティシステムの統合手法を検討した。原料ガス中 H₂/N₂ 比の影響を検討した結果、H₂/N₂ 比が高い方が省エネ性が高く、かつ設備負担も軽減されるという知見が得られた。一方、0℃を下回る温度域の冷却需要が反応器まわりの加熱需要の数倍であることがわかった。上述の二段の触媒層の両方に Ru 系触媒を用いた場合について、Flash Separator を NH₃ 吸収プロセスや NH₃ 吸着プロセスに置き換えることで、プロセスシステム内の未反応ガスのリサイクルループの消費エネルギーを 4.0 GJ/ton-NH₃ よりさらに削減できる可能性も見いだせている。ただし、ゼオライト 13X を用いた NH₃ 吸着・脱離プロセスの導入効果について、脱離温度が 150℃の場合には冷却分離(Flash Separator)より省エネ効果の優位性が見いだせないという概算結果が得られており、今後、他の研究グループと研究開発材のプロセス情報を共有し、吸着温度、脱離温度と吸着剤の性能の組合せがプロセスシステム全体のエネルギー消費量と充填吸着剤量に及ぼす影響を継続検討していく。2024 年度中には、電気・熱のエネルギーの回収・利用の最適化へのシステムズアプローチに基づきながら、吸着操作または吸収操作による NH₃ の選択的分離プロセスと冷却による液体 NH₃ 回収プロセスの構成案を、プロセスシミュレーションによって検討していく。

以上の様に、2023 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。NWU の供与する試験研究機材は 2024 年度初には全て稼働する予定なので、これらの機材を活用して、再エネ水素製造のキーとなる CCMs や触媒の研究に活用して成果に繋げる。

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。

現地企業の SASOL がアンモニア合成分離プラントを所有しており、本プロジェクトのベンチプラントと共通点が多い。このため、保守メンテナンスやコスト面で有利と考えられる、南ア現地企業からの調達も 2024 年度の検討に加える。

南アで開催される国際会議への参加、国際ワークショップの開催を通して、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、2024 年度から 2025 年度前半で種々のデータを取得解析し、ベンチプラントに実装するキーアイテム（CCMs、アンモニア合成触媒、アンモニア吸収剤）を選定する。2025 年度中にベンチプラントの稼働条件範囲を設定する。2026 年度は、ベンチプラントを稼働させ、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）

- ・PI がグリーンアンモニア（再エネ水素を用いたアンモニア）の研究教育活動に関するインタビューを受け、2024 年 1 月 1 日の沼津朝日新聞の一面で紹介された。

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.2022.08.004	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/ente.202300375	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/cssc.202300942	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/acsomega.3c02882	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/D3SE01350B	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	10.1080/00219592.2023.2213739	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/sciadv.adi1744	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/D3CP02563B	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/rs.3.rs-1655734/v1	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/CeLaTiOx Catalyst, Industrial & Engineering Chemistry Research, 62, 12559-12570, 2023/8	10.1021/acs.iecr.3c00384	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/D3TA05566C	国際誌	発表済	

論文数	22 件
うち国内誌	0 件
うち国際誌	22 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 Matsumoto, 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

招待講演 0 件
口頭発表 0 件
ポスター発表 1 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/CeLaOx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NH3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/CeO2触媒のメソ細孔構造がNH3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

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													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 1 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

0 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

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2021	5月27日	Kick off meeting	WEB(日本)	15	非公開	研究計画説明(PI)、暫定期間スケジュール(JST)
2021	6月8日	Workshop	WEB(日本)	15	非公開	研究内容質疑(PI)、暫定期間スケジュール(JST)
2021	6月11日	Research meeting	WEB(日本)	4	非公開	吸収分離剤研究方法質疑
2021	6月23日	Green ammonia research center	WEB(日本)	8	公開	沼津高専内に制定
2021	7月15日	Workshop	WEB(日本)	15	非公開	研究内容説明(PI)、暫定期間スケジュール(JICA)
2021	10-Aug	Research meeting	WEB(日本)	8	非公開	研究内容討議、機材購入計画討議
2021	8月17日	2 countries workshop	WEB(日本-RSA)	12+(4)	非公開	両国研究内容紹介、課題協議
2021	9月1日	Green ammonia education center	沼津中央高校(日本)	1	公開	沼津中央高校内に制定
2021	9/17-2/21	PIによる沼津中央高校特別授業	沼津中央高校(日本)	40	公開	9/17(学問)、10/25(技術)、11/22(地球温暖化)、2/14(水素アンモニア)、2/21(世界平和)
2021	10月12日	Ghaleeb Jeppie, Minister Councillor, SA embassy Tokyo	WEB(日本)	1+(1)	非公開	Zoom meeting にてSatreps説明、協力表明
2021	12月1日	Science forum SA: SA Hydrogen economy	WEB(RSA)	1+(2)	公開	両国PIおよびSasol講演
2021	12月9日	Workshop	沼津高専(日本)	11	非公開	JICA(5)、JST(2)沼津高専訪問、協議
2021	2月7日	2 countries workshop	WEB(日本-RSA)	7+(4)	非公開	JICA、JST、沼津高専、RSA(NWU、DSC)協議
2021	2月9日	2 countries workshop	WEB(日本-RSA)	7+(4)	非公開	JICA、JST、沼津高専、RSA(NWU、DSC)協議
2021	2月14日	2 countries workshop	WEB(日本-RSA)	7+(4)	非公開	JICA、JST、沼津高専、NWU環境問題協議
2021	3月28日	Minister Councillor, SA embassy Tokyo	沼津高専(日本)	6+(3)	非公開	沼津高専訪問、校長へ協力表明
2022	4月6日	Sit visit and workshop	HySA NWU (RSA)	3+(10)	非公開	NWUのインフラ等確認、PDM、PO等の協議
2022	4月8日	Meeting with DSI	Pretoria (RSA)	2+(2)	非公開	MOU締結に向けたスケジュール等の協議
2022	5月12日	Meeting with JOGMEC	WEB(日本)	6	非公開	Satrepsおよび南ア情勢の説明
2022	5月25日	Meeting with DSI	WEB(日本-RSA)	5+(5)	非公開	MOUの内容に関する協議
2022	6月6日	Meeting with JICA and JST	WEB(日本)	8	非公開	MOU締結スケジュール等の協議
2022	6月15日	Meeting with JICA and JST	WEB(日本)	9	非公開	CRA締結スケジュール等の協議
2022	6月28日	Workshop	WEB(日本)	5	非公開	MOU、CRAの進捗状況共有
2022	7月7日	Workshop	WEB(日本)	5	非公開	MOU、CRAの進捗状況共有
2022	9月8日	Meeting with JICA	WEB(日本)	4	非公開	SATREP事業予算の協議
2022	9月22日	Meeting	富山大学(日本)	3	非公開	SATREPS前例のヒアリング
2022	10月6日	Sit visit and workshop	沼津高専(日本)	10+(7)	非公開	DSI高官の視察及び触媒技術関連の情報共有
2022	10月21日	Workshop	WEB(日本)	8	非公開	各Labの研究内容と国際協業の進め方協議
2022	10/24-1/30	PIによる沼津中央高校特別授業	沼津中央高校(日本)	40	公開	10/24(生きる力)、11/14(技術)、12/5(地球温暖化)、12/12(水素アンモニア)、1/30(世界平和)
2022	11月7日	Workshop	Pilanesburg park(RSA)	4+(5)	非公開	研究推進の課題対応協議、日本の研究参加大学紹介
2022	11月8日	Workshop	NWU(RSA)	2+(5)	非公開	共同研究実施計画の協議
2022	12月19日	吸収剤関連研究会	千葉大(日本)	4	非公開	吸収剤研究に関する情報共有と議論
2022	2月15日	Meeting with JICA	WEB(日本)	7	非公開	研究推進の課題対応協議
2023	5月9日	進捗状況確認全体会議	WEB(日本)	10	非公開	研究課題の進捗状況確認と協議
2023	9月28日	IJ塗布装置操作講習	富士フィルムGS(日本)	3+(2)	非公開	IJ塗布装置(供与機材)の操作講習
2023	9月28日	Workshop	千葉大(日本)	4+(2)	非公開	吸収剤研究に関する情報共有
2023	9月29日	Workshop	東京大(日本)	3+(4)	非公開	水電解研究に関する情報共有
2023	9月29日	Workshop	東工大(日本)	5+(4)	非公開	合成プロセス研究に関する情報共有
2023	11月13日	Workshop	NWU(RSA)	3+(5)	非公開	再エネ調査に関する情報共有と議論
2023	11月14日	Workshop	NWU(RSA)	3+(5)	非公開	水電解研究に関する情報共有と議論
2023	1月18日	合成触媒工業化検討会	WEB(日本)	7	非公開	合成触媒工業化に関する情報共有と議論
2023	1月23日	吸収剤関連研究会	千葉大(日本)	15	非公開	吸収剤研究に関する情報共有と議論
2023	1月24日	合成プロセス関連研究会	東工大(日本)	15	非公開	合成プロセス研究に関する情報共有と議論
2023	1月29日	触媒関連研究会	名大(日本)	18	非公開	触媒研究に関する情報共有と議論
2023	2月16日	吸収プロセス関連研究会	宇都宮大(日本)	5	非公開	吸収プロセス研究に関する情報共有と議論
2023	2月20日	再エネ水素製造関連研究会	東大(日本)	25	非公開	再エネ水素製造研究に関する情報共有と議論
2023	2月26日	計算化学関連研究会	熊本大(日本)	10	非公開	計算化学による吸収剤研究に関する情報共有と議論

14 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2022	2022/11/9	プロジェクト全体像の共有 プロジェクトの進め方協議	15+(8)	プロジェクト計画、目標のレビューと協議 各研究テーマの情報のレビューと協議
2023	2023/11/14	プロジェクト全体像の共有 プロジェクトの進め方協議	22+(7)	プロジェクト計画、目標のレビューと協議 各研究テーマの情報のレビューと協議

2 件

成果目標シート(240531)

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	・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	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	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人材の育成	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	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)	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。

ベンチプラント設置と試運転、性能チェック

ベンチプラント稼働の基本プロトコル提示

反応塔も考慮した吸収塔設計

吸収塔との関連も考慮した反応器設計

適正装置選定、発注、変動モデルによる水素発生試験

PEM型電解装置の耐久性電極試作

変動対応電極とシステム提案

PEM型電解装置への変動付加試験

電子移動動的解析と現地再エネ変動調査、課題提案

反応塔、吸収塔、温度、圧力、流速制御系提案と発注

0.4L(程度)触媒用反応器発注

0.8L(程度)吸収塔発注

1-5 MPaでの反応速度解析、反応速度式提案、耐久試験、停止開始試験、触媒塔内温度分布

吸収kinetics、熱制御提案
吸収剤2種選定

吸収剤経時変化測定

触媒候補2種選定

NH₃圧0-0.1 MPa、100-300度吸収データ解析
吸収剤5種程度選定

研究課題4

研究題目1

研究題目2

研究題目3

100%
80%
60%
40%
20%
0%