

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 4（2022）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
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				
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	耐久性電解システムの提案	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		耐久性原理提案	試作品実現	反応塔充填		
研究活動 3-1 アンモニア吸収 剤の開発		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 3-2 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	プロセス統合、 Plant 設計、発注	Bench Plant 運転	Bench Plant 運転
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				
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				
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				

(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)

新型コロナウイルス蔓延のため MOU 及び CRA の締結が遅れ、JST との契約による正式活動は 7 月から、

【令和 4 年 / 2022 年度実施報告書】【230531】

JICA との契約による正式活動は 11 月からとなった。プロジェクトの正式開始の遅れと、MOU で合意した PDM/PO の内容や JCC での議論を踏まえ、日程の後倒しと期間の短縮を行うとともに、下記の理由でスケジュールの記載を変更した。

研究題目 2：実用化可能なアンモニア合成触媒とその制御因子を提案/実装することを最優先とした。

このため、研究題目 2-1 では、「耐久性原理提案」と「試作品の実現」のラインは、「高耐久性触媒の候補探索/提案」に統合した。研究題目 2-2 では、「合成速度データの蓄積」を「耐久性と反応速度データの蓄積」に変更し、実用化するために重要な耐久性データも獲得することを明示した。「実条件でのデータ獲得」の目的は、合成装置での制御因子を獲得する事なので、「合成装置と制御因子検討」に変更した。「反応塔充填」と「操作への反映」の目的は、Bench Plant の制御条件を設定する事なので、「制御条件設定」に統合した。

研究題目 3：実用化可能なアンモニア吸収(分離)剤とその制御因子を提案/実装することを最優先とした。

このため、研究題目 3-1 では、「候補吸収剤特性解析」と「試作品実現」のラインは、「吸収剤の候補探索/提案」に統合した。また、「試作品の解析」のラインは、内容をより具体化し、「耐久性と吸収剤特性のデータ蓄積」と「吸収装置と制御因子検討」のラインを追加した。研究題目 3-2 では、「動的特性検討」内容を具体化し、「材料探索と特性予測の手法検討」に変更した。「材料の提案」は研究題目 3-1 と整合させるため、「吸収剤選定へ反映」に変更した。「吸収塔充填」と「操作への反映」の目的は、Bench Plant の制御条件を設定する事なので、「制御条件設定」に統合した。

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 4 月に詳細計画策定調査団が南アを訪問し、現地の研究施設を視察するとともに、CRA(Collaborative Research Agreement)と MOU(Memorandum of understanding)の締結に向け、共同研究の実施計画や研究交流について議論を行い、大筋を合意した。さらに、Web Meeting 等で共同研究の具体的な内容を議論し、CRA 及び MOU を 2022 年 6 月 30 日付けで締結した。

CRA と MOU 締結後、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。JICA の業務調整員は既に採用済みで、2023 年 4 月頃に現地に入り、業務を開始する予定である。

プロジェクトの開始に合わせ、2022 年 11 月に研究者 2 名が南アを訪問し、研究に関する Workshop と第 1 回 Joint Coordination Committee(オンラインで日本からも参加)を開催し、共同研究や人材交流の具体的な進め方等の議論を行なった。

NWU に本プロジェクト用の研究用実験室が設置され、実験用の供与機材を受け入れる準備が整った。

(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 の当初の計画（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）

ノースウエスト大学 (NWU) へ供与する機材の仕様を、カタログ情報やメーカー聞取り情報をベースに具体化させ、購入手続きを進めている。業務調整員の赴任前だが、現地調達予定の高額機材 (3 機種) は南ア JICA 事務所の協力により、2 機種 (分散装置、粘度計) は 3 月に設置された。残りの 1 機種 (成膜装置) も発注済みで、6 月に設置予定であり、計画通りに供与できる見通しである。本邦調達機材も入札手続きに入っており、計画通りに南ア側に供与できる見通しである。

また、NWU 側の資金による水電解セル作製の機材購入 (塗布装置、レーザー加工機) も進んでいる。

南アの再エネ電力事情の調査をベースとした電力変動モデル作成や種々の予測値の算出を実施できる候補研究者を調査中で、次年度に本プロジェクトへの参画を要請する予定である。当初は、この調査等を 2022 年度中にコンサルタント会社に外注する計画だったが、JCC の議論からプロジェクト内で検討した方が良いとの判断で、開始が約半年遅れる見込みである。この調査等の結果を利用し始めるタイミング (耐久性電解システムを構築する活動で現実的な負荷条件を設定するタイミング) には間に合うように活動する。

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

水電解システムの高効率化/高耐久性化に向けて、NWU で必要な最先進機材を選定し、MOU で合意できた。合意に伴い、これら機材の詳細仕様を決め、本邦調達は競争入札で応札まで至っている。南ア現地調達も、特殊機材は特命随意契約で発注 (一部設置済) まで至っている。これらの機材を設置するための実験室は、NWU 敷地内に確保され、受け入れ態勢も整っている。

日本側の研究では、水電解の電極触媒および電解質に関して高効率化を目指し研究を進めた。特に酸素生成に関して大電流密度を達成するために電解質工学によるイオン拡散の最大化、導電基盤の高表面積化、活性点の密度の向上を達成した (High Current Density Oxygen Evolution in Carbonate Buffered Solution Achieved by Active Site Densification and Electrolyte Engineering, ChemSusChem. Vol.16 issue 1(2023)) 。

以上の成果から、電極反応等の動力学解析が進捗し、2022 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

当初計画では、南アの再エネ電力事情の調査をベースとした電力変動モデル作成や種々の予測値の算出は、アウトソーシングで行うこととしていたが、JCC の議論の結果、これらを検討できる研究者を南ア側のプロジェクトチームに迎え入れ、実施することに変更した。

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 footprint 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

【令和 4 年 / 2022 年度実施報告書】【230531】

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の当初の計画(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)

ルテニウムを主体とする触媒の担体材料組成が、反応速度(触媒活性)及び耐久性に及ぼす効果と、その調製方法の検討を進めている。この検討の中で、安価で耐久性が高い触媒を設計するための重要な制御因子をいくつか獲得できており、さらに深い検討を進めていく。

また、耐久性や反応速度向上のメカニズムの検討と、反応条件(温度、圧力、流量等)の検討も進め、候補触媒の選定に繋げていく。

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

非ランタニド希土類酸化物担持ルテニウム触媒の調製法と活性について検討した。その結果、 Y_2O_3 を ZrO_2 と等物質量で混合した酸化物を担体とした触媒は活性および安定性が良好であることが明らかとなった。

$Ru/Ba_{0.1}La_{0.45}Ce_{0.45}O_{1.68}$ の組成について検討した。その結果、Ce 量が多くなると $BaCeO_3$ が形成され、Ce ナノ粒子を覆う Ba リッチ酸化物の形成が抑制されることが明らかとなった。また、Ba 量は $Ba/(La+Ce)=10mol\%$ が最適であることが分かった。

PI らが、NWU を訪問した時に、本テーマを担当する研究室の紹介を行い、研究留学生(2023年度予定)の募集を試みた。

上記の成果により、候補触媒を絞り込むための知見獲得が進展し、2022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

該当なし。

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）

アンモニアを吸脱着する材料の吸脱着挙動と耐久性の検討を、実験によるアプローチとシミュレーション（計算化学）によるアプローチを並行で進めている。実験的アプローチでは、吸収剤の候補となる材料の組成や構造と吸脱着挙動との関係把握を行っており、いくつかの制御因子が獲得できており、さらに深い検討を進める。また、吸脱着挙動を詳細に解析できる機器は、次年度に導入できる見通しにあり、より詳細な検討が可能になる。

シミュレーション的アプローチでは、アンモニア吸収剤挙動の計算シミュレーション手法と材料スクリーニング手法の検討を進めている。予備的な計算シミュレーションでは、吸脱着挙動のシミュレーション結果が得られてきている。

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 3 の当該年度の目標の達成状況と成果

200℃で市販のゼオライトのアンモニア吸脱着挙動（アンモニア圧 5 気圧～1 気圧）を調査した結果、ゼオライトの細孔径が大きいほどアンモニア吸着量が多くなり、カウンターカチオンとして Na イオンが適していること、吸脱着を 5 サイクル繰返しても結晶構造が安定していることを明らかにした。

計算技術を用いてアンモニア吸着分離剤の探索するための文献調査、計算シミュレーション手法と機械学習手法の導入、およびアルカリ土類金属ハロゲン化物と金属有機構造体（MOF）を吸着剤とする予備的な計算シミュレーション結果が得られている。

PI らが、NWU を訪問した時に、本テーマを担当する研究室の紹介を行い、研究留学生（2023 年度予定）の募集を試みた。

上記の成果により、吸収剤を絞り込むための知見獲得が進展し、2022 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

該当なし。

- 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」

【令和 4 年／2022 年度実施報告書】【230531】

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）

4 月及び 11 月に PI らが NWU を訪問し、ベンチプラントの規模に関する議論と設置場所の確保状況を確認し、概要を合意した。

エネルギー効率、装置構造、合成反応速度式、吸脱着反応速度式、反応システムシミュレーション等の検討で、反応装置と吸脱着装置の基本構成設計を進めている。この検討の中で、装置基本構成上で重要なエネルギー効率等に関わる要因が把握され始めている。また、NH₃ 合成・吸収分離を一体プロセスとしたプロセス統合の概念検討も進めていく。

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

二段型反応器への原料ガスの分割供給手法を適用した（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）。アンモニア合成システムについて、反応器まわりの熱交換ネットワークの解析を実施した。その結果、補給ガスの H₂/N₂ 比の最適化付近において、システム全体で高い省エネルギー性を示すことを明らかにした（Simulation Analysis of Gas Feed Method for Development of Ru-Based Catalyst for Ammonia Production, *Computer Aided Chemical Engineering*, **49**, 907）。

NH₃ 合成・吸収分離一体化プロセスで用いる NH₃ 選択吸収材料の性能評価を可能とする装置の設計を実施した。既存装置を用いた NH₃ 選択吸収試験では NH₃ 分圧が低く、吸収量・脱離量とも小さく、十分な NH₃ 配位数を達成しない。そこで、高 NH₃ 分圧においても実験が可能となるよう吸収試験用装置を新たに設計し、既報材料を用いて検証を行った。

PI らが、NWU を訪問した時に、本テーマを担当する研究室の紹介を行い、研究留学生（2023 年度予定）の募集を試みた。

上記の成果により、合成反応プロセスと吸脱着反応プロセスに関する知見獲得が進展し、2022 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

該当なし。

- 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

海外との渡航制限の緩和が進んでいるので、南ア研究者の来日と日本の研究者の訪南アを積極的に推進し、アンモニア合成分離技術研究者の育成を進める。現地の研究インフラの向上に関しては、NWUに設置された本プロジェクト用の研究用実験室へ供与機材を順次設置し、早期稼働を図り、研究成果に繋げていく。

第2期のベンチプラントの設置、第3期の安定稼働に向け、南アで開催される国際会議への参加や現地企業とのワークショップ開催等を通して、本プロジェクトの技術に関連する現地企業(SASOL等)や日本企業(伊藤忠等)とのコネクションを構築し、強く連携できるように進める。

(2) プロジェクト/上位目標の達成見通し

プロジェクトの開始が遅れたため、2022年度の活動期間は短いですが、カウンターパートのNWUでは、本プロジェクトを推進するためのインフラ整備は計画通りに進捗している。また、日本国内での研究活動も実施計画に準じて進捗しており、プロジェクト/上位目標は達成できる見通しである。

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)

(1) プロジェクト全体

NWUでアンモニアの合成触媒や吸収剤の研究に関わる人材が不足している。このため、共同研究を推進するためには、アンモニア関連技術を担当する研究者や学生(大学院生)の増強が必要である。本プロジェクトの意義や目標等を、NWUの研究者や学生(大学院生)にアピールするとともに、企業等の人材への出資(奨学金等)が可能か検討していく。

カウンターパート代表のProf. Dmitri Bessarabovは、DSI等からの信頼が厚く非常に多忙なため、メール等では時差の影響もありタイムリーなコミュニケーションが取り難い状況にある。このため、補佐役となる南ア側人材確保の要請を行うとともに、両国の研究機関間のスムーズなコミュニケーションが行える様に、4月頃にNWUに赴任する日本側業務調整員とともに方策を考えていく。

(2) 研究題目1:「再エネ水素製造」

特になし。

(3) 研究題目2:「実用アンモニア合成触媒開発」

特になし。

(4) 研究題目3:「実用アンモニア吸収分離材開発」

特になし。

(5) 研究題目 4 : 「システム統合、評価」

特になし。

IV. 社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

特になし

(2) 社会実装に向けた取り組み

特になし

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

2022年8月に開催された TICAD8(第8回アフリカ開発会議)サイドイベントの広報映像(ビデオクリップ)で、PIが本プロジェクトの紹介を行い、アフリカでの認知度を高めた。

2022年10月6日に南アフリカ DSI の高官が、触媒開発会社(NE-Chem Cat)と沼津高専に来訪され、本プロジェクトへの期待の言葉をいただいた。また、沼津高専への来訪は、静岡新聞と静岡テレビの取材が入り、ニュースとして発信された。

2022年11月29日から開催された RSA Green Hydrogen Summit にPIが参加し、日本セッションで本プロジェクトの概要を紹介し、複数の参加者から質問を受けた。また、PIがRSA大統領と会話した際、大統領が本プロジェクトを認知されていることが確認できた。

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 Wongkongkatep, 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	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	

論文数 11 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 11 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	

著作物数 3 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

招待講演 0 件
口頭発表 0 件
ポスター発表 0 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, Design 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, 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, 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

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 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

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

0 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	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

32 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

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。

