

未来社会創造事業 探索加速型
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域
年次報告書(探索研究)

令和元年度 研究開発年次報告書

平成29年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：関根 泰]

[早稲田大学先進理工学研究科・教授]

[研究開発課題名：電場中での低温オンデマンド省エネルギーアンモニア合成]

実施期間：平成31年4月1日～令和2年3月31日

§1. 研究開発実施体制

(1)「早大関根」グループ(早稲田大学先進理工学研究科)

① 研究開発代表者:関根 泰 (早稲田大学先進理工学研究科、教授)

② 研究項目

- ・電場アンモニア合成のための Ru 系触媒の高性能化と消費電力の低減
- ・電場アンモニア合成のための非貴金属系触媒の開発
- ・電場加圧反応器の開発
- ・電場反応メカニズムの解明

(2)「日本触媒小野」グループ(日本触媒)

① 主たる共同研究者:小野 博信 (日本触媒研究センター グループリーダー)

② 研究項目

- ・電場加圧反応器の開発
- ・加圧小型反応器(SUS 製反応器)の製作・立ち上げ
- ・アンモニア製造のプロセス設計と構成要素ごとの電力原単位見積もり

(3)「日揮グローバル甲斐」グループ(日揮グローバル)

① 主たる共同研究者:甲斐元崇 (日揮グローバル株式会社 オイル&ガスプロジェクトカンパニー マネージャー)

② 研究項目

- ・アンモニア製造のプロセス設計における構成要素ごとの電力原単位見積もり

§2. 研究開発実施の概要

電場印加反応による低温アンモニア合成においては、表面プロトニクスによって H^+ が窒素に衝突し、 N_2H^+ という中間体を介して N_2 の三重結合を解離する新しいメカニズムにて反応が進行することを早大が見出してきた。この際に、**Ru**のみならず、非貴金属担持触媒を用いても電場印加反応場においてはアンモニア合成活性を示す。そこで早大では本年度、表面プロトニクスによる反応への影響についてより詳細に解析し、非アレニウス型の反応が起こる理由を解き明かしプレスリリースを行った。併せて、鉄系触媒の高性能化、**Ru**系触媒における担体の機能向上のための実験・理論研究なども行い、多くの成果をあげ、これら成果で雑誌の表紙を3つ飾ることとなった。日本触媒グループでは、前年度に作製したSUS製加圧小型反応器の改良を検討した。また、次年度以降の高圧電場反応に向けて、電極部品の耐圧向上を検討した。設計圧27 MPaの部品を用いた場合でも、従来部品と同等の試験結果となり、反応圧力7 MPaの加圧ベンチ反応器に本部品が使用可能であることを見出した。また、新たに開発した複合酸化物に**Ru**を担持した触媒を使用

して、低電流下で評価した場合、287°Cでアンモニア生成電力原単位は 9.7 kWh/kg となり、本年度の開発目標値 10 kWh/kg を達成した。日揮グローバルグループでは、アンモニア合成プロセスの検討を進めた。変動再エネから安定したアンモニア生産を達成するために、水素生産量の変動は、上流設備を過剰に保有することや、アンモニアプラントの運転負荷を変動させることにより吸収し平準化する必要がある。そこで、アンモニアプラントが現実的に追従可能な負荷変動速度や制約を、ダイナミックシミュレーションを行った。

Kota Murakami, Yuta Tanaka, Ryuya Sakai, Yudai Hisai, Sasuga Hayashi, Yuta Mizutani, Takuma Higo, Shuhei Ogo, Jeong Gil Seo, Hideaki Tsuneki, Yasushi Sekine*,

Key factor for the anti-Arrhenius low-temperature heterogeneous catalysis induced by H⁺ migration: H⁺ coverage over support,

Chemical Communications, 56, 3365-3368, 2020. **(Cover Picture)**

[doi: 10.1039/d0cc00482k](https://doi.org/10.1039/d0cc00482k)

Ryuya Sakai, Kota Murakami, Yuta Mizutani, Yuta Tanaka, Sasuga Hayashi, Atsushi Ishikawa, Takuma Higo, Shuhei Ogo, Hideaki Tsuneki, Hiromi Nakai, Yasushi Sekine*,

Agglomeration Suppression of Fe-Supported Catalyst and its Utilization for Low-Temperature Ammonia Synthesis in an Electric Field,

ACS Omega, 5(12), 6846-6851, 2020. **(Cover Picture)**

[doi: 10.1021/acsomega.0c00170](https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00170)

Yudai Hisai, Kota Murakami, Yukiko Kamite, Quanbao Ma, Einar Vøllestad, Ryo Manabe, Taku Matsuda, Shuhei Ogo, Truls Norby, Yasushi Sekine*,

First observation of surface protonics on SrZrO₃ perovskite under H₂ atmosphere

Chemical Communications, 56, 2699-2702, 2020. **(Cover Picture)**

[doi: 10.1039/c9cc08757e](https://doi.org/10.1039/c9cc08757e)