

令和 6 年 4 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19041

研究課題名（和文）再生可能エネルギーである可視光を利用した画期的な次世代型窒素固定反応の開発

研究課題名（英文）Development of an innovative next-generation nitrogen-fixing reaction using visible light as renewable energy source

研究代表者

西林 仁昭（Nishibayashi, Yoshiaki）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：40282579

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究代表者らは、常温常圧の極めて温和な反応条件下で、窒素ガスから水をプロトン源に用いて触媒的にアンモニアを高効率に合成する反応開発にごく最近に成功した（Nature, 2019）。本反応は、還元剤として利用する二ヨウ化サマリウムが有する化学エネルギーを利用してアンモニアを合成するものである。本反応系を実用化するためには、外部由来のエネルギーを利用して、この外部エネルギーを物質エネルギーであるアンモニアへと変換するアンモニア合成反応を達成する必要がある。本研究課題では、可視光を外部由来のエネルギーとして利用した窒素分子からの触媒的アンモニア合成反応の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究代表者らが別途に開発に成功してきた光誘起電子移動反応を鍵とする有機分子の変換反応を開発する過程で得た知見を適用することで、これまでに達成されなかった可視光由来のエネルギーを利用した窒素ガスからの触媒的アンモニア合成反応の開発に成功した。これは窒素錯体の合成と反応性に関する錯体化学を基盤とした無機化学分野と有機合成を基盤とした有機化学分野でのマリアージュにより生み出されるこれまで試みられることが無かった新しい展開である。達成した本研究成果は、工業的なアンモニア合成法であるハーバー・ボッシュ法に代わる次世代型窒素固定法の開発に繋がる次のブレークスルーであると確信している。

研究成果の概要（英文）：We recently succeeded in developing a highly efficient method for the catalytic synthesis of ammonia from nitrogen gas under very mild reaction conditions such as room temperature and pressure, using water as a proton source (Nature, 2019). In this reaction, ammonia is synthesized using the chemical energy possessed by samarium diiodide, which is used as a reducing agent. In order to make this reaction system practical, it is necessary to achieve an ammonia synthesis reaction that uses externally derived energy and converts this external energy into the material energy, ammonia. In this research project, we have successfully developed the catalytic ammonia synthesis from nitrogen gas using visible light as externally derived energy.

研究分野：有機金属化学、錯体化学、有機化学

キーワード：アンモニア 可視光 窒素分子 モリブデン イリジウム ジヒドロアクリジン

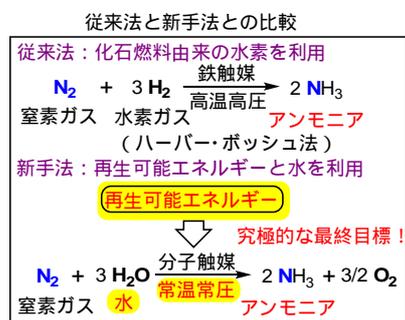
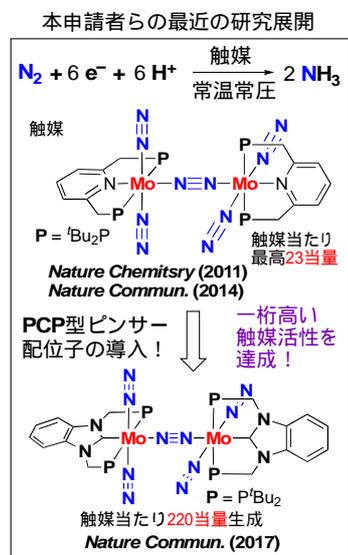
1. 研究開始当初の背景

窒素は人類が生命活動を維持するのに、また、近代文明生活を営むのに必要不可欠な元素の一つである。大気中に豊富に存在する窒素ガスと化石燃料を原料として環境負荷が高い二酸化炭素を排出しながら合成する水素ガスを原料として利用した工業的アンモニア合成法であるハーバー・ボッシュ法によりアンモニアを合成し、このアンモニアを窒素肥料として吸収した植物や植物を食した動物を食べることにより体内に取り入れて、アミノ酸、DNA、タンパク質など生命活動を維持するのに必要な含窒素有機化合物へと変換している。一方、工業的に合成されたアンモニアを窒素源の原料として利用することで、人類は衣服や薬品などの原料である含窒素有機化合物を製造している。

上述した様に、工業的なアンモニア合成法であるハーバー・ボッシュ法は、高温高压の厳しい反応条件が必要であると共に、全人類が地球上で消費しているエネルギーの数%が必要なエネルギー多消費型プロセスである。ハーバー・ボッシュ法開発から100年が経過おり、昨今のエネルギーおよび環境問題の解決に繋がる次世代型アンモニア合成法の開発は21世紀の科学者が達成すべき最重要検討課題の一つであると言っても決して過言ではない。

2005年に本研究代表者が東京大学大学院工学系研究科の主導する若手育成プログラムに採用され、准教授(当時助教授)ではあるが、独立した研究室で工学系の将来を担う研究を展開する機会を与えられたのを契機として、遷移金属窒素錯体を分子触媒として利用した触媒的アンモニア合成反応の開発に挑戦した。数年間の試行錯誤の結果、新しく分子設計したPNP型ピンサー配位子を持つ窒素架橋二核モリブデン錯体が、常温常圧の温和な反応条件下での窒素ガスからのアンモニア合成反応において有効な触媒として働くことを見いだした(Nishibayashi, *Nature Chem.*, 2011)。詳細な反応機構の解明に成功する(Nishibayashi, *Nature Commun.*, 2014)と共に、PNP型ピンサー配位子の代わりにN-ヘテロサイクリックカルベン骨格を含むPCP型ピンサー配位子を持つ窒素架橋二核錯体がより有効な触媒として働くことを見いだしている(Nishibayashi, *Nature Commun.*, 2017)。ごく最近になり一連の触媒的窒素固定反応の開発に関する研究の集大成として、窒素ガスから水をプロトン源に用いて触媒的にアンモニアを高効率に合成する手法の開発に成功した(Nishibayashi, *Nature*, 2019)。

上述した様に、本研究代表者らは常温常圧の極めて温和な反応条件下での窒素ガスからの触媒的アンモニア合成反応の開発に成功している。一連の開発に成功した触媒的窒素固定反応をさらに発展させて、実用化を達成するために必要な基盤技術であり、これまでに成功例が報告されていない再生可能エネルギーを利用した次世代型窒素固定法の開発を着想した。



2. 研究の目的

本研究代表者は、これまでの過去約 15 年間に渡り取り組んできた一連の触媒的窒素固定反応の開発に関する研究の集大成として、モリブデン分子錯体を利用することで、常温常圧の極めて温和な反応条件下で、窒素ガスから水をプロトン源に用いて触媒的にアンモニアを高効率に合成する方法の開発にごく最近に成功した (Nishibayashi, *Nature*, 2019)。この触媒反応は二ヨウ化サマリウムを還元剤として利用する必要があるが、分子触媒を利用することで窒素ガスと水とから触媒的なアンモニア合成に成功した世界初めての成功例であると共に、これまでに報告されている分子触媒を利用したアンモニア合成反応で最も高活性で効率の良い反応系 (その触媒活性は窒素固定酵素ニトロゲナーゼに匹敵する) である。開発に成功した本反応を実用化するには、還元剤である SmI_2 の代わりに反応系外からの外部由来のエネルギーを利用して、この外部由来のエネルギーを物質エネルギーであるアンモニアへと変換するアンモニア合成反応を開発する必要がある。この目標を達成するために、これまでに成功例がない再生可能エネルギーを利用した次世代型窒素固定法の開発に取り組む。

最近の研究成果：窒素ガスと水からの触媒的アンモニア合成



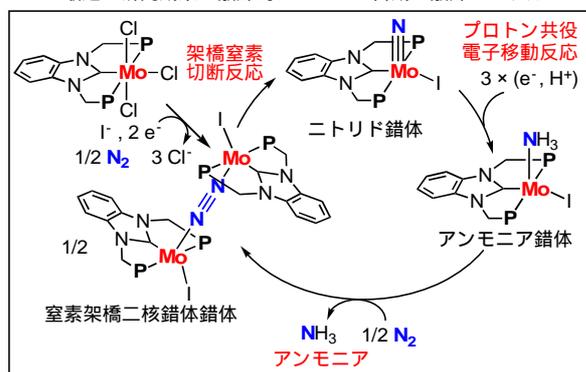
今回提案する研究課題：外部エネルギーを利用した触媒反応



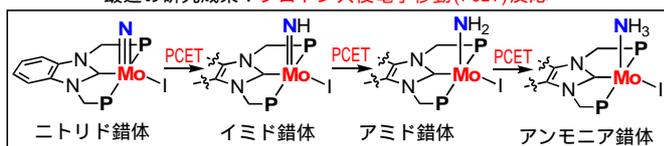
3. 研究の方法

前項で述べた研究目的を達成するために、ごく最近に開発に成功した触媒的アンモニア合成反応 (Nishibayashi et al, *Nature*, 2019) で得た知見を踏まえる。触媒的アンモニア合成反応を達成した鍵は、その特異な新しい反応機構である。本触媒サイクルでは、窒素分子架橋二核モリブデン錯体上での架橋窒素分子の切断反応を経て、対応するニトリド錯体が生成する。ニトリド錯体に対して SmI_2 と水とから系中で生成した $\text{SmI}_2\text{-H}_2\text{O}$ 錯体からプロトン共役電子移動 (Proton-Coupled-Electron-Transfer: PCET) 反応によりニトリド錯体上の窒素上で3つの窒素-水素結合が生成したアンモニア錯体が生成する。最終的に窒素ガスとの配位子交換反応によりアンモニアが解離する。この窒素架橋分子の切断反応を経由して生成するニトリド錯体とそれに対するプロトン共役電子移動反応によるアンモニア錯体の生成が鍵となっている。この新しい触媒反応系で、 $\text{SmI}_2\text{-H}_2\text{O}$ 錯体の代わりに、可視光を利用する光誘起電子触媒の存在下で、犠牲還元剤かつプロトン源である化合物からのプロトン共役電子移動反応を鍵中間体であるニトリド錯体上のニトリド配位子上へ窒素-水素結合生成反応 (ニトリド錯体 イミド錯体 アミド錯体 アンモニア錯体) を連続的に行うことができれば、目的となる可視光由来のエネルギーを利用した触媒的アンモニア合成反応が達成可能となる。

最近の研究成果：触媒的アンモニア合成の触媒サイクル



最近の研究成果：プロトン共役電子移動(PCET)反応



4. 研究成果

これまでエネルギー蓄積型の光触媒的アンモニア合成反応の開発を行ってきた。その課程でモリブデン触媒錯体 (Mo cat.)、イリジウム光増感錯体 (Ir photocat.)、ジヒドロアクリジン (acrH₂, 水素原子供与体) を用いた際に、室温・常圧の温和な反応条件下、可視光照射により窒素からアンモニアが光触媒的に生成することを見出した (Figure 1a)。本反応系ではイリジウム錯体による光増感サイクルとモリブデン錯体によるアンモニア生成サイクルの二つを合わせた反応機構が想定されている (Figure 1b)。まず、光励起されたイリジウム錯体がジヒドロアクリジンにより還元され、イリジウム錯体の一電子還元種とジヒドロアクリジンのラジカルカチオン種が生じる。一方、モリブデン錯体の触媒サイクルでは、はじめにモリブデン錯体の二電子還元、窒素分子の配位による二核化、N≡N 結合の開裂を経て触媒活性種であるモリブデンニトリド錯体 ([Mo]≡N) が生成する。このニトリド錯体のニトリド部位に対し、イリジウム錯体の一電子還元種を電子源ジヒドロアクリジンのラジカルカチオン種をプロトン源としたプロトン共役電子移動(PCET)反応を起こし、アンモニア分子が生成する。この PCET 反応は、光触媒反応全体の律速段階となっている可能性が高く、反応系の触媒活性を考える上で重要な反応過程である。本反応系は、エネルギー蓄積型の反応 ($\Delta G = +5.1$ kcal/mol) であり光エネルギーを化学エネルギーへと変換できる点で画期的なものである。

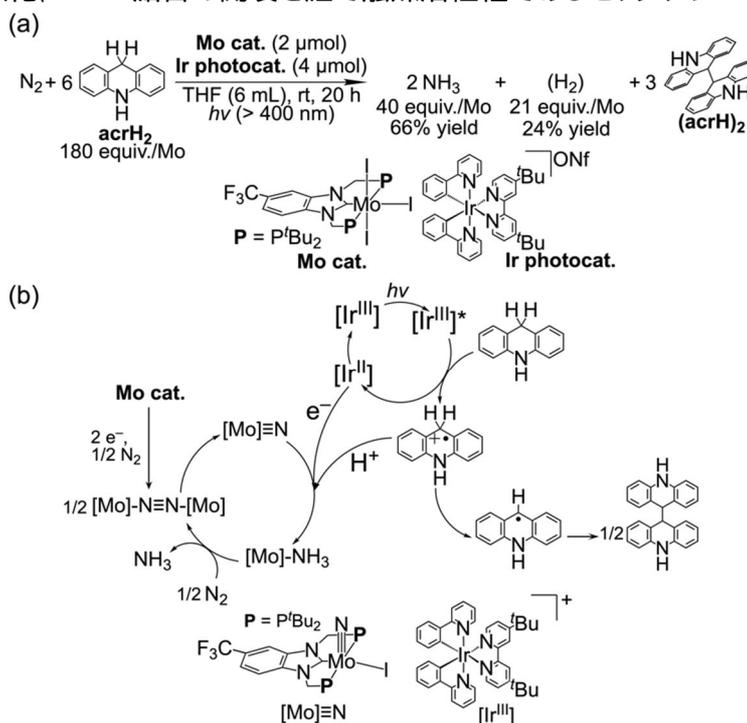


Figure 1. (a) モリブデン触媒を用いた光触媒的アンモニア合成反応と (b) 想定されている反応機構

該当論文 : Catalytic Nitrogen Fixation Using Visible Light Energy, Y. Ashida, Y. Onozuka, K. Arashiba, A. Konomi, H. Tanaka, S. Kuriyama, Y. Yamazaki, K. Yoshizawa, and Y. Nishibayashi, *Nature Communications*, **13**, 7263 (2022). [Top 25 Chemistry and Materials Sciences Articles of 2022]

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Ashida Yuya, Mizushima Takuro, Arashiba Kazuya, Egi Akihito, Tanaka Hiromasa, Yoshizawa Kazunari, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 2
2. 論文標題 Catalytic production of ammonia from dinitrogen employing molybdenum complexes bearing N-heterocyclic carbene-based PCP-type pincer ligands	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Synthesis	6. 最初と最後の頁 635 ~ 644
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s44160-023-00292-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mitsumoto Taichi, Ashida Yuya, Arashiba Kazuya, Kuriyama Shogo, Egi Akihito, Tanaka Hiromasa, Yoshizawa Kazunari, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 62
2. 論文標題 Catalytic Activity of Molybdenum Complexes Bearing PNP Type Pincer Ligand toward Ammonia Formation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202306631	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Toda Hiroki, Kuroki Kaito, Kanega Ryoichi, Yano Tasuku, Yoshikawa Takeshi, Kuriyama Shogo, Himeda Yuichiro, Sakata Ken, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 96
2. 論文標題 Catalytic Ammonia Oxidation Using Ammonia Solution under Electrochemical Conditions: Investigation on Axial Ligand of Ruthenium Catalysts	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 980 ~ 988
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20230136	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Eizawa Aya, Arashiba Kazuya, Tanaka Hiromasa, Konomi Asuka, Yoshizawa Kazunari, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 52
2. 論文標題 Design, synthesis and reactivity of dimolybdenum complex bearing quaterphenylene-bridged pyridine-based PNP-type pincer ligand	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 14012 ~ 14016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3DT02887A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suginome Shun, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 15
2. 論文標題 Direct Synthesis of Organonitrogen Compounds from Dinitrogen Using Transition Metal Complexes: Leap from Stoichiometric Reactions to Catalytic Reactions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.202300850	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto Akira, Liu Xueshi, Arashiba Kazuya, Konomi Asuka, Tanaka Hiromasa, Yoshizawa Kazunari, Nishibayashi Yoshiaki, Yoshida Hisao	4. 巻 62
2. 論文標題 Coordination Structure of Samarium Diiodide in a Tetrahydrofuran-Water Mixture	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 5348 ~ 5356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.2c03752	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Toda Hiroki, Kanega Ryoichi, Yano Tasuku, Yoshikawa Takeshi, Kuriyama Shogo, Himeda Yuichiro, Sakata Ken, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 53
2. 論文標題 Electrochemical ammonia oxidation catalyzed by ruthenium complexes: investigation of substituent effect of axial pyridine ligands	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/chemle/upae040	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kuriyama Shogo, Wei Shenglan, Kato Takeru, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 27
2. 論文標題 Synthesis and Reactivity of Manganese Complexes Bearing Anionic PNP- and PCP-Type Pincer Ligands toward Nitrogen Fixation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 2373 ~ 2373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27072373	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Yulin, Tanabe Yoshiaki, Kuriyama Shogo, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 28
2. 論文標題 Photoredox and Nickel Catalyzed Hydroalkylation of Alkynes with 4 Alkyl 1,4 dihydropyridines: Ligand Controlled Regioselectivity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202200727	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohki Yasuhiro, Munakata Kenichiro, Matsuoka Yuto, Hara Ryota, Kachi Mami, Uchida Keisuke, Tada Mizuki, Cramer Roger E., Sameera W. M. C., Takayama Tsutomu, Sakai Yoichi, Kuriyama Shogo, Nishibayashi Yoshiaki, Tanifuji Kazuki	4. 巻 607
2. 論文標題 Nitrogen reduction by the Fe sites of synthetic [Mo3S4Fe] cubes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 86 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-022-04848-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sakata Ken, Uehara Yuuri, Kohara Shiona, Yoshikawa Takeshi, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Effect of Propargylic Substituents on Enantioselectivity and Reactivity in Ruthenium-Catalyzed Propargylic Substitution Reactions: A DFT Study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 36634 ~ 36642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.2c04645	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Itabashi Takayuki, Arashiba Kazuya, Egi Akihito, Tanaka Hiromasa, Sugiyama Keita, Suginome Shun, Kuriyama Shogo, Yoshizawa Kazunari, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Direct synthesis of cyanate anion from dinitrogen catalysed by molybdenum complexes bearing pincer-type ligand	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-33809-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ashida Yuya, Onozuka Yuto, Arashiba Kazuya, Konomi Asuka, Tanaka Hiromasa, Kuriyama Shogo, Yamazaki Yasuomi, Yoshizawa Kazunari, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Catalytic nitrogen fixation using visible light energy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-34984-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Meng Fanqiang, Kuriyama Shogo, Egi Akihito, Tanaka Hiromasa, Yoshizawa Kazunari, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Preparation and Reactivity of Rhenium-Nitride Complexes Bearing PNP-Type Pincer Ligands toward Nitrogen Fixation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.2c00312	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Yulin, Tanabe Yoshiaki, Kuriyama Shogo, Sakata Ken, Nishibayashi Yoshiaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Interplay of diruthenium catalyst in controlling enantioselective propargylic substitution reactions with visible light-generated alkyl radicals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-36453-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計60件(うち招待講演 23件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 室田来実、杉野目駿、西林仁昭
2. 発表標題 ピンサー配位子を有するモリブデン錯体を用いた 固相における触媒的窒素固定反応の開発
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 亀田義勝、杉野目駿、西林仁昭
2. 発表標題 モリブデン錯体のMOFへの担持による再利用可能なアンモニア合成触媒の開発
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuye Zhang, Shogo Kuriyama, Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 Synthesis and Reactivity of Iron-Aryloxide Complexes toward Proton-Coupled Electron Transfer Reactions in Nitrogen Fixation
3. 学会等名 第73回錯体化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshikatsu Kameda, Shun Suginome, and Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 Reusable Nitrogen Fixation Catalyst Based on MOF-Supported Molybdenum Complex
3. 学会等名 第69回有機金属化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taichi Mitsumoto, Yasuomi Yamazaki, Shogo Kuriyama, and Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 Catalytic Reduction of Dinitrogen into Ammonia Mediated by Molybdenum and Samarium Complexes
3. 学会等名 第69回有機金属化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keita Sugiyama, Shun Suginome, and Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 Direct and Catalytic Synthesis of Organonitrogen Compounds from Dinitrogen Mediated by Molybdenum Complexes
3. 学会等名 第69回有機金属化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kaito Nakaya, Yasuomi Yamazaki, Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 プロトン共役電子移動を促進するピリジン部位を導入したピンサー型モリブデン錯体の設計合成と触媒的アンモニア生成反応
3. 学会等名 第13回 CSJ化学フェスタ 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taichi Mitsumoto, Kazuya Arashiba, Shogo Kuriyama, and Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 Remarkable Catalytic Activity of Molybdenum Complexes Bearing 4-[3,5-Bis(trifluoromethyl)phenyl]pyridine-Based PNP-Type Pincer Ligand toward Ammonia Formation
3. 学会等名 AOC-GSC8 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 エネルギー資源の問題を解決する「窒素(循環)社会」の実現に向けて - 次世代型アンモニア合成法の開発 -
3. 学会等名 令和5年度時代を刷新する会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 慶応大学（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 兵庫県立大学（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 京都大学（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 希土類学会 第41回講演会（東京大学）（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 産総研FIoTコンソーシアム-IJ分科会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 Molybdenum-Catalyzed Reduction of Molecular Dinitrogen into Ammonia under Mild Reaction Conditions
3. 学会等名 The 9th Asian Conference on Coordination Chemistry (Bangkok) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 Molybdenum-Catalyzed Reduction of Molecular Dinitrogen into Ammonia under Mild Reaction Conditions
3. 学会等名 第13回日中クラスター・会議 (13th China-Japan Joint Symposium on Metal Cluster Compounds) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yoshikatsu Kameda, Shun Suginome, and Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 MOF-Supported Molybdenum Complexes as Reusable Ammonia Synthesis Catalyst
3. 学会等名 CEMSupra 2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 宮崎 朋幸
2. 発表標題 窒素-炭素結合形成に向けたモリブデンニトリド錯体と不飽和結合を有する化合物との反応
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大河内 敦史
2. 発表標題 モリブデン錯体を用いたヒドロボランによる窒素分子の触媒的ホウ素化
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鳶田拓真、稲垣堯、栗山翔吾、西林仁昭
2. 発表標題 N-ヘテロ環状カルベン含有多座配位子を持つルテニウム錯体を触媒とした電気化学的なアンモニア酸化反応
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 遠藤佳輝、山崎康臣、西林仁昭
2. 発表標題 水をプロトン源とした光触媒的アンモニア合成
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 亀田義勝、杉野目駿、西林仁昭
2. 発表標題 モリブデンオキソ錯体の窒素固定反応における特異な反応性
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 杉山敬太、杉野目駿、西林仁昭
2. 発表標題 新規モリブデンニトリド錯体を用いた窒素分子からイソシアネートへの触媒的変換反応
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 久保 貴裕、山崎 康臣、西林 仁昭
2. 発表標題 可視光エネルギーを用いた触媒的窒素固定反応
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 光本泰知、西林仁昭
2. 発表標題 シクロペンタジエニルフェノキシ配位子を有する新規サマリウム錯体の合成と窒素固定に対する反応性
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大塚滉喜、荒芝 和也、西林 仁昭
2. 発表標題 プロトン共役電子移動を指向したピリジン部位を有するコバルトセン誘導体の合成と反応性
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 栗山翔吾、坂田健、西林仁昭
2. 発表標題 アニオン性PCP型ピンサー配位子を有する鉄錯体を触媒としたエーテル類のC(sp ³)-H 結合ホウ素化反応
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 西林仁昭、小野塚悠斗、荒芝和也、芦田裕也、栗山 翔吾
2. 発表標題 可視光エネルギーを利用した触媒的窒素固定法の開発
3. 学会等名 第 68 回 有機金属化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷藤一樹、宗像 健一郎、松岡 優音、原 亮太、内田圭亮、唯美津木、Roger E. Cramer、W. M. C. Sameera、高山努、酒井陽一、栗山翔吾、西林仁昭、大木靖弘
2. 発表標題 キューバン型[Mo ₃ S ₄ Fe]クラスターのFeサイトを用いた触媒的窒素シリル化反応
3. 学会等名 第 68 回 有機金属化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗山翔吾、菅 雄翔、西林 仁昭
2. 発表標題 PCP型ピンサー配位子を有する鉄錯体を触媒とするメトキシ基上でのC(sp ³)-Hホウ素化反応
3. 学会等名 第 68 回 有機金属化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhao Aiwei、戸田 広樹、栗山 翔吾、西林仁昭
2. 発表標題 コバルト錯体を用いた電気化学的条件下における触媒的なアンモニア酸化反応の開発
3. 学会等名 第 68 回 有機金属化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張煜林、田辺 資明、栗山翔吾、西林 仁昭
2. 発表標題 光レドックス触媒とルテニウム触媒を用いた4-アルキル-1,4-ジヒドロピリジンによるプロパルギルアルコールの不斉プロパルギル位アルキル化反応
3. 学会等名 第 68 回 有機金属化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 令和4年度太陽光・総括寄付講座（GS-I）研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 エネルギー資源の問題を解決する「窒素（循環）社会」の実現に向けて - 次世代型アンモニア合成法の開発 -
3. 学会等名 令和4年度戦略研究会（自民党）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 大阪大学大学院基礎工学部（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 第 39 回無機・分析化学コロキウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 金沢大学（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 東京大学サステイナブル未来社会創造プラットフォーム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 Molybdenum-Catalyzed Reduction of Molecular Dinitrogen into Ammonia under Mild Reaction Conditions
3. 学会等名 29th International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC-2022)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 2050年カーボンニュートラルに向けた化学産業界の取組み（日本化学会関東支部講演会）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 慶応大学（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 第2回有機合成化学講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 名古屋大学（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 エネルギー資源の問題を解決する「窒素社会」の実現に向けて
3. 学会等名 東京大学大学院工学系研究科総合研究機構（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 公益信託ENEOS水素基金設立15周年記念講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西林仁昭
2. 発表標題 ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法への挑戦
3. 学会等名 上田記念講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 亀田義勝、杉野目駿、西林仁昭
2. 発表標題 モリブデン錯体のMOFへの担持による再利用可能な窒素固定触媒の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹熊宏輝、栗山翔吾、西林仁昭
2. 発表標題 カルベン骨格PCP型ピンサー配位子を有するレニウム窒素錯体の合成と窒素固定に対する反応性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高島遼、黒木海仁、栗山翔吾、西林仁昭
2. 発表標題 電気化学的なアンモニア酸化反応に対する高効率なルテニウム触媒の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中谷海人、山崎康臣、西林仁昭
2. 発表標題 プロトン共役電子移動を促進するピリジン誘導体部位を導入したピンサー型モリブデン錯体による触媒的アンモニア生成反応
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小笠原優、山崎 康臣、西林 仁昭
2. 発表標題 光触媒的水の完全分解反応を志向した新規二層溶液光反応系の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉山敬太、杉野目 駿、西林 仁昭
2. 発表標題 モリブデンニトリド錯体を用いた窒素分子からイソシアネートへと直接的に変換する触媒反応の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 室田 来実、杉野目 駿、西林 仁昭
2. 発表標題 モリブデン錯体を用いた固相における触媒的窒素固定反応の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 久保貴裕、山崎康臣、西林仁昭
2. 発表標題 可視光を用いた光触媒的窒素還元反応の高効率化
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuye Zhang, Shogo Kuriyama, Yoshiaki Nishibayashi
2. 発表標題 Reactivity of Iron Sandwich Complexes with Oxocyclohexadienyl Ligands toward Proton-Coupled Electron Transfer Reactions
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zuyi XUE、山崎康臣、西林仁昭
2. 発表標題 Re錯体を用いたCO ₂ 還元光触媒反応の反応機構検証
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 光本泰知、山崎康臣、西林仁昭
2. 発表標題 モリブデンおよびサマリウム錯体を触媒とするアンモニア合成反応の開発
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石飛 佑真、西林 仁昭
2. 発表標題 アンモニア生成活性向上を志向したPCP型ピンサー配位子を有する新規モリブデン錯体の合成とその性能評価
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鶴田 裕介、江木 晃人、田中 宏昌、西林 仁昭、吉澤 一成
2. 発表標題 窒素固定におけるメタロセンを用いたプロトン共役電子移動反応の理論的研究
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会2023
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻 西林研究室
<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/nishiba/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------