

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05433

研究課題名（和文）蒸気発電装置用の新規防食剤の膜形成機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the Film Formation Mechanism of a Novel Corrosion Inhibitor for Steam Power Generation Equipment

研究代表者

吉田 健（YOSHIDA, Ken）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・講師

研究者番号：80549171

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高温高圧水中でのオレイルプロパンジアミン(OLDA)の銅表面への吸着・皮膜形成機構とモデルアミンの化学反応を、NMRや表面分析などの多角的アプローチにより解明した。OLDAは150℃の高温水中で銅表面に選択的に吸着し、アミノ基を介した銅錯体形成により、内部に銅イオンを多量に含む多層の撥水性保護皮膜を形成することを見出した。さらに、エチルアミンやオクチルアミンのモデル化合物の反応解析から、高温水中ではアミンの加水分解と生成物の異性化が徐々に進行するが、FFAが適用される高pHでは分解が抑制されることを明らかにした。本研究により、FFAの防食メカニズムの分子論的理解が大きく進展した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、火力発電プラントの水-蒸気サイクル配管の腐食防食技術の高度化に貢献する。新規防食剤として注目される皮膜形成アミン(FFA)について、その作用機構を分子レベルで解明し、防食効果の発現メカニズムと最適な使用条件の指針を与えた点に大きな学術的意義がある。従来の実機試験に偏重した研究とは一線を画す、物理化学に立脚した多角的アプローチにより、FFAによる防食機構の全容解明とメカニズムに基づく分子設計指針の構築を実現した。本研究の成果は、FFAの実用化を通じて、従来のヒドラジンに代わる安全性と環境調和性の高い防食技術の確立に直結することから、産業界に対しても高い社会的インパクトを有する。

研究成果の概要（英文）：In this study, the film formation mechanisms of oleylpropanediamine (OLDA) on copper surfaces in high-temperature and high-pressure water and the reaction of its model substances were elucidated using a multifaceted approach, including NMR and surface analysis. It was found that OLDA selectively adsorbs on copper surfaces in high-temperature water at 150℃, forming a multilayered, hydrophobic protective film containing a large amount of copper ions through the formation of copper complexes via amino groups. Furthermore, reaction analysis of model compounds, such as ethylamine and octylamine, revealed that while hydrolysis of amines and isomerization of products gradually proceed in high-temperature water, degradation is suppressed under the high pH conditions where FFA is applied. This research has greatly advanced the molecular-level understanding of the corrosion protection mechanism of FFA.

研究分野：溶液物理化学

キーワード：皮膜形成物質 水-蒸気サイクル 核磁気共鳴 赤外分光 亜臨界水 超臨界水

1. 研究開始当初の背景

火力発電プラントの水-蒸気サイクルにおいて、ボイラーや復水器などの金属配管の腐食は、プラントの安定運転と長寿命化・維持管理コスト削減のための重要課題である。従来から、ヒドラジンやアンモニアを水処理薬剤として用い、前者は脱酸素、後者は水相の pH を中性より高く保つことで腐食を抑制する方法が用いられてきた。しかし、ヒドラジンは発癌性が問題であり、他の水処理法への移行が求められている。また、アンモニアの使用は、銅合金の腐食を促進する懸念もある。

こうした背景から、近年、炭素数が 20 程度の長鎖アルキルアミン類が新しいタイプの防食剤として注目を集めている。これらは皮膜形成アミン (Film Forming Amine; FFA) と呼ばれ、金属表面に疎水性の保護皮膜を形成することで腐食抑制効果を発現すると考えられている。FFA は、銅合金に対する腐食促進作用も低いことが知られる。研究開始当初には、世界各国の発電プラントで、FFA の実用化に向けた取り組みが活発化しつつあった。

しかし、FFA の作用機構については未解明な部分が多く、基礎研究のさらなる蓄積が求められる状況にあった。特に、発電プラントの過酷な環境を模した高温高压水中での FFA の化学反応や、金属表面への吸着・皮膜形成プロセスに関する知見は非常に限られていた。水熱環境での FFA の安定性を評価した研究例も少なかった。さらに、水溶液への添加濃度や、プラント内の滞留時間など、FFA の最適使用条件に関する指針も確立されていなかった。

加えて、FFA の防食メカニズムに関しても、不明な点が多く残されていた。従来、FFA は金属表面に単分子層の吸着膜を形成することで、疎水基を水相側に向けることで撥水性を発揮し、水と金属の接触を遮断する保護膜として機能すると考えられてきた。しかし、実際の使用環境では、単分子層を大きく超える厚い皮膜の形成が示唆される例もあり、皮膜の構造と防食効果の関係は必ずしも明確ではなかった。皮膜の形成過程や経時変化を、分子レベルの視点から捉えた研究は乏しかった。

2. 研究の目的

本研究では、FFA の代表的な物質の一つであるオレイルプロパンジアミン (OLDA) を対象に、高温高压の水熱条件下における化学反応と、銅表面での吸着・皮膜形成過程の機構解明を目的とした。高温高压水中での有機物の動的な反応プロセスを原子・分子レベルで理解することにより、FFA がどのような化学変化を経て防食効果を発現するのかを明らかにすることを目指した。

具体的には、以下の 4 点を明らかにすることを目的とした。(1) 銅表面に吸着した OLDA 皮膜の化学組成と微細構造の解析、(2) 皮膜の疎水性や撥水性と微細構造の相関の理解、(3) OLDA の防食メカニズムのモデル化、(4) OLDA の高温水中での反応生成物の同定と反応機構の解明。これらの新しい知見を統合することで、FFA による防食機構の全容解明とメカニズムに基づく分子レベルの適用設計指針の構築を目指した。

本研究の特色は、溶液 NMR と表面分析を駆使した多角的アプローチにある。NMR による溶液種の定量分析と、XPS・IR・AFM による皮膜ならびに金属表面の精密解析を組み合わせることで、水溶液-有機物皮膜-金属界面の動的現象の理解を目指す点に、本研究の独自性がある。従来の実機試験に偏重した研究とは一線を画す、学理探究型の基礎研究として位置づけられる。

また、本研究では FFA の水熱反応の生成物についてより詳細に調べるため、 ^{13}C と ^{15}N で同位体標識したエチルアンモニウムイオン (EtAH^+) およびエチルアミン (EtA) の水熱反応の NMR 解析も行った。エチルアミン (EtA) は、最も単純なアルキルアミンであり、オクタデシルアミンなどの FFA のモデル化合物と位置付けられる。さらには、より長いアルキル鎖を持つ点が FFA に近いモデルと位置付けられるオクチルアミン (OctA) の解析も行った。NMR による原子レベルの詳細な水熱反応解析から、FFA の分解経路の全容解明を目指した。具体的には、以下の 3 点を目的とした。(1) EtA/EtAH^+ の超臨界水反応の生成物の同定と反応経路の解明、(2) $\text{OctA}/\text{OctAH}^+$ 反応の未知生成物の同定、(3) アルキルアミンの超臨界水反応の一般的理解の深化。 EtA/EtAH^+ ならびに $\text{OctA}/\text{OctAH}^+$ を対象とすることで、多岐にわたる FFA の反応を整理し、腐食抑制の観点から重要な反応経路を抽出することを狙いとした。

FFA とそのモデル化合物の双方に対して、溶液 NMR を軸とした精密な反応解析を適用する点が、本研究の特徴である。水-蒸気サイクル環境下でのアミンと、その加水分解から生成するアルコールの化学反応の実態を、分子レベルで明らかにすることを目標とした。FFA の作用機構解明に向けた、基礎化学的なアプローチとして意義を持つ。

3. 研究の方法

高温高压水中での OLDA の化学反応と銅表面への吸着挙動を追跡するため、様々な分析手法を駆使した。高温水中での OLDA の吸着反応は、重水溶液からの OLDA の減少量を定量 NMR

測定により追跡した。所定濃度の OLDA 重水溶液をガラス管に封入し、電気炉内で 150 °C で最長 48 時間の水熱処理を行った。処理時間後は試料管を取り出し、室温まで急冷した後、¹H NMR スペクトルを測定した。外部標準物質を濃度基準として用い、OLDA および生成物の濃度を定量した。

銅表面に形成された OLDA 皮膜の分析には、X 線光電子分光法 (XPS)、顕微反射吸収赤外分光法 (RA-IR)、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いた。所定濃度の OLDA 水溶液に浸漬した銅板を 150 °C で水熱処理した後、表面に形成した皮膜の化学組成を XPS により分析した。また、RA-IR を用いて、皮膜の厚みの分布を 2 次元的にマッピングした。さらに、皮膜の膜厚と表面形状を AFM により評価した。銅表面の撥水性は、対水接触角測定により評価した。

さらに、本研究では FFA の水熱反応の生成物についてより詳細に調べるため、¹³C および ¹⁵N 同位体で標識したエチルアミン (EtA) およびオクチルアミン (OctA) の水熱反応の NMR 解析も行った。EtA、EtA のプロトン化体 (EtAH⁺)、OctA、OctA のプロトン化体 (OctAH⁺) の反応を 300~400 °C の亜臨界~超臨界温度で系統的に調べることで、FFA の分解経路の解明を目指した。EtA と EtAH⁺、OctA と OctAH⁺ の反応性の比較により、溶液の pH の効果も調べた。EtA あるいは OctA を 1.0 mol kg⁻¹ の濃度に調製した。溶液をアルゴン置換した石英管に封入し、所定の温度の電気炉に投入して反応させた。反応管を炉から取り出した後、液相と気相の ¹H、¹³C、¹⁵N NMR スペクトルを測定し、生成物の同定と定量を行った。

4. 研究成果

まず、OLDA の銅板への皮膜形成解析について述べる。NMR 分析の結果、OLDA は 150 °C の高温水中で銅板表面に選択的に吸着し皮膜を形成することが分かった。銅表面に形成された OLDA 皮膜は、XPS および RA-IR 分析から、アミノ基を介して金属表面に吸着した多層構造であることが分かった。皮膜の厚さは平均 0.5 μm 程度で、内部に多量の銅イオンを含有していた。ICP-AES 分析の結果、皮膜中の銅原子と OLDA 分子のモル比は約 1:6 であった。OLDA 皮膜をクロロホルムに溶解したところ、¹H NMR スペクトルでアミノ基近傍のメチレンプロトン由来のシグナルが大幅に広幅化したことから、皮膜中で OLDA のアミノ基が銅イオンと錯体を形成していることが示唆された。このような銅錯体の形成が、高分子鎖状のネットワーク構造を介して OLDA の多層積層を促進していると考えられる。

RA-IR マッピング測定から、金属に直接吸着した第一層で OLDA が規則的に配向している一方、表面から離れるにつれ疎水基が無秩序な配向に変化する様子が観察された (図 1)。また、AFM 観察から、皮膜表面にはマイクロメートルスケールの特徴的な凹凸構造が存在することが判明した。この多層構造と表面形状が、OLDA 皮膜の撥水性と耐食性に寄与していることが示唆された。接触角測定の結果、OLDA の添加濃度が高いほど撥水性が向上し、処理時間が長いほど皮膜全体の均一性が向上することが分かった。

次に、モデルアミンの水熱反応解析について述べる。¹³C-¹⁵N 二重標識 EtAH⁺ の 300 °C における水熱反応を NMR で詳細に解析した結果、EtAH⁺ の加水分解によるエタノール (EtOH) とアンモニアの生成に加え、EtAH⁺ の不均化によるジエチルアンモニウムイオン (diEtAH⁺) の生成が確認された。EtOH からはさらに脱水反応によりエチレン (C₂H₄) が生成した。300 °C、6 時間の反応で EtAH⁺、EtOH、diEtAH⁺ の間に平衡が成立し、さらに長時間の反応ではトリエチルアンモニウムイオン (triEtAH⁺) の生成も観測された。平衡組成は EtAH⁺ > diEtAH⁺ ≈ EtOH > triEtAH⁺ の順であった。

中性の EtA に比べ、EtAH⁺ ではすべての反応が 1~2 桁速く進行した。擬一次反応速度定数は、350 °C において EtAH⁺ が $(4.8 \pm 0.4) \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、EtA が $(1.0 \pm 0.2) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ と求められた。これは EtA の加水分解が EtAH⁺ を経由して進行するという反応機構を支持する。

OctAH⁺ の 400 °C における水熱反応では、1-オクテン (1-C₈H₁₆) 異性体の生成が主反応であった。10 分の反応で OctA⁺ の 99% が消失し、オクテン異性体への選択率は 90% に達した。オクテンの各異性体へ生成量の比は、気相中の熱力学的平衡組成とほぼ一致した。一方、中性の OctA では反応が極めて遅く、400 °C、16 時間の反応後も 71% が未反応であった。主生成物は 1-オクタノール (1-OctOH) と 1-C₈H₁₆ であり、他のオクテン異性体はわずかであった。アンモニウムイオンに比べ中性アミンでは、加水分解と脱水反応、オレフィンの異性化が大幅に抑制されることが示された。

以上の結果から、OLDA に代表される FFA の高温水中での反応挙動と皮膜形成機構の全容が明らかとなった。FFA は適切な pH 管理の下では安定性に優れ、金属表面に多層の撥水皮膜を形

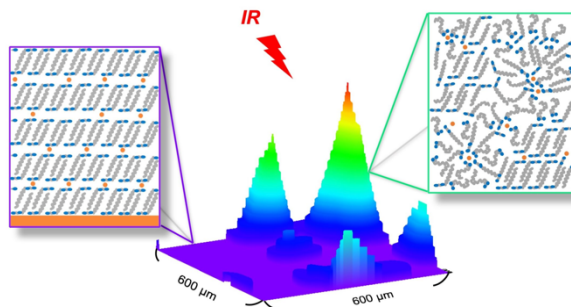


図 1. RA-IR 測定から明らかにされた OLDA 皮膜および皮膜中の OLDA 分子の構造

成することで優れた防食効果を発現する。皮膜内部や表面ではアミンの分解や生成物の異性化が徐々に進行するが、疎水性の高い分解生成物によって皮膜の撥水性は維持されることが示唆される。アミノ基の加水分解で生成するアンモニアによる中和作用も腐食抑制に寄与すると考えられる。今後は、水溶液中の反応と皮膜の構造形成を関連づけながら、FFAの防食メカニズムの体系的理解を進めることが課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Yoshioka Haruka, Yoshida Ken, Noguchi Naoki, Ueki Tomoyuki, Murai Kei-ichiro, Watanabe Kazuya, Nakahara Masaru | 4. 巻 126 |
| 2. 論文標題 Microscopic Structure and Binding Mechanism of the Corrosion-Protective Film of Oleylpropanediamine on Copper in Hot Water | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 6436 ~ 6447 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c00526 | 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 Horikawa Toshihide, Okamoto Miku, Kuroki-Matsumoto Ayaka, Yoshida Ken | 4. 巻 196 |
| 2. 論文標題 Significant role of counterion for lead() ion adsorption on carbon pore surface | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Carbon | 6. 最初と最後の頁 575 ~ 588 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2022.05.031 | 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 Yoshida Ken, Doi Ayato, Yoshioka Haruka, Hirano Tomohiro, Nakahara Masaru | 4. 巻 127 |
| 2. 論文標題 Nuclear Magnetic Resonance Analysis of Hydrothermal Reactions of Ethyl- and Octylamine in Sub- and Supercritical Water | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A | 6. 最初と最後の頁 3848 ~ 3861 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.3c01213 | 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 吉田 健 | 4. 巻 73 |
| 2. 論文標題 皮膜形成アミンによる蒸気配管保護皮膜の構造と形成機構 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 火力原子力発電 | 6. 最初と最後の頁 32 ~ 39 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| 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 Horikawa Toshihide, Yuasa Ryuto, Yoshida Ken, Do D.D. | 4. 巻 183 |
| 2. 論文標題 Temperature dependence of water cluster on functionalized graphite | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Carbon | 6. 最初と最後の頁 380 ~ 389 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2021.07.024 | 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 該当する |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Yoshida Ken, Yoshioka Haruka | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Solvation shell dynamics of supercritical water-cyclohexane mixtures in relation to the translational and rotational dynamics as studied by molecular dynamics simulation | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 AIP Advances | 6. 最初と最後の頁 075219 ~ 075219 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0057093 | 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 Yoshida Ken, Yoshioka Haruka, Ushigusa Natsuko, Nakahara Masaru | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 14N NMR Evidence for Initial Production of NH3 Accompanied by Alcohol from the Hydrolysis of Ethylamine and Butylamine in Supercritical Water | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry Letters | 6. 最初と最後の頁 316 ~ 319 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200783 | 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 Yoshida Ken, Suhara Shinnosuke, Noguchi Naoki | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Effect of Cage Occupancies on Molecular Vibrations of Methane in Structure H Clathrate Hydrate: Ab Initio Molecular Dynamics Simulation | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B | 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.jpcc.4c01790 | 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24件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ken Yoshida |
| 2. 発表標題 Formation Mechanism and Microscopic Structure of Corrosion Protective Coating for Steam Piping by Film-Forming Amine |
| 3. 学会等名 International Association for the Properties of Water and Steam Annual Meeting 2022 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ken Yoshida |
| 2. 発表標題 Adsorption and Film-Formation of Corrosion-Protective Aliphatic Amines on Metal Surface in Hot Water |
| 3. 学会等名 1st International Solvothermal and Hydrothermal Association Seminar (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ken Yoshida |
| 2. 発表標題 Structure, Formation Mechanism, and Reaction of Film-Forming Amines for Anticorrosion Protection for Steam Piping |
| 3. 学会等名 The 9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉田 健, 吉岡 春香, 野口 直樹, 植木 智之, 村井 啓一郎, 渡邊 一也, 中原 勝 |
| 2. 発表標題 皮膜形成アミンによる蒸気配管腐食防止膜の形成機構と微視的構造 |
| 3. 学会等名 第44回溶液化学シンポジウム |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉田 健 |
| 2. 発表標題 皮膚形成アミンに関する研究動向調査および課題検討 |
| 3. 学会等名 日本水・蒸気性質協会 2022年度第2回全体会議 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉田 健 |
| 2. 発表標題 亜臨界・超臨界水溶液中で水と疎水性有機分子の織りなす微視的不均一構造・ダイナミクス・機能 |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ken Yoshida |
| 2. 発表標題 Stability and reactivity of film-forming amines in supercritical water: 14N NMR study on model alkylamines |
| 3. 学会等名 2021 IAPWS PCAS Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 右手 浩一, 秋元 隆史, 石田 明子, 井本 朗暢, 漆原 紅, 大磯 佑介, 桑原 知彦, 古賀 慎一郎, 芝谷 治美, 原 優月, 平野 朋広, 高松 京祐, 牧野 麗子, 松川 隆幸, 松下 宏幸, 吉田 健 |
| 2. 発表標題 標準ポリマー混合サンプルの DOSY 共通測定 |
| 3. 学会等名 第26回高分子分析討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉田 健, 吉岡 春香 |
| 2. 発表標題 超臨界条件下の水 有機溶媒混合系の並進拡散と回転に対する溶媒和殻の構造と寿命の影響 |
| 3. 学会等名 第43回 溶液化学シンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉岡 春香, 吉田 健 |
| 2. 発表標題 アルキルアミンの超臨界水分解反応の初期過程の ¹⁴ N NMR解析 |
| 3. 学会等名 溶液化学研究会 若手の会 第1回冬季発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉田 健 |
| 2. 発表標題 超臨界水溶液中の拡散および溶媒和の構造とダイナミクスの解析 |
| 3. 学会等名 2020年 日本化学会中国四国支部大会 島根大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ken Yoshida |
| 2. 発表標題 Reaction pathways and mechanisms of alkylamines in supercritical water as studied by NMR spectroscopy |
| 3. 学会等名 2023 IAPWS Annual Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masaru Nakahara and Ken Yoshida |
| 2. 発表標題 Comparison of experimental and calculated ionization constants for subcritical/supercritical water |
| 3. 学会等名 2023 IAPWS Annual Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ken Yoshida, Ayato Doi, Haruka Yoshioka, Tomohiro Hirano and Masaru Nakahara |
| 2. 発表標題 Hydrothermal Reactions of Alkylamines in Sub- and Supercritical Water Studied by NMR Spectroscopy |
| 3. 学会等名 8th International Solvothermal and Hydrothermal Association Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ken Yoshida, Rika Shibahara, Tsugita Reo, Tomoyuki Ueki, Naoki Noguchi, Hitoshi Mizuguchi, Cheng-Yu Chi and Yian Tai |
| 2. 発表標題 Analysis of Film Formation Process of Aliphatic Amine Corrosion Inhibitor on Copper Surface from Low Concentration Aqueous Solution |
| 3. 学会等名 The 10th International Forum on Advanced Technologies 2024 (IFAT 2024) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉田 健 |
| 2. 発表標題 エチルアミンおよびオクチルアミンの水熱反応のNMR解析 |
| 3. 学会等名 日本水・蒸気性質協会 2023年度第2回全体会議 (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉田 健, 中原 勝 |
| 2. 発表標題 亜臨界/超臨界水の電離定数の実験値と計算値の比較 |
| 3. 学会等名 日本水・蒸気性質協会 2023年度第2回全体会議 (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉田 健 |
| 2. 発表標題 溶液および界面の水と疎水性有機分子の微視的不均一構造・反応・機能 |
| 3. 学会等名 第45回溶液化学シンポジウム・プレシンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 次田 怜央, 木下 郁望, 柴原 梨花, 植木 智之, 野口 直樹, 吉田 健 |
| 2. 発表標題 脂肪族アミン系防食剤による金属保護皮膜の構造と形成に対する温度効果 |
| 3. 学会等名 第45回溶液化学シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 須原 慎之助, 吉田 健, 野口 直樹 |
| 2. 発表標題 H型ハイドレートのLLケージに包摂されたメタンのC-H伸縮振動の第一原理分子動力学解析 |
| 3. 学会等名 第45回溶液化学シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 土井 彪斗, 吉田 健, 吉岡 春香, 平野 朋広, 中原 勝 |
| 2. 発表標題 亜臨界・超臨界水中のエチルアミンおよびオクチルアミンの水熱反応のNMR解析 |
| 3. 学会等名 第45回溶液化学シンポジウム |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 次田 怜央, 木下 郁望, 柴原 梨花, 植木 智之, 野口 直樹, 吉田 健 |
| 2. 発表標題 皮膜形成アミンの銅への吸着および腐食防止に対する温度効果 |
| 3. 学会等名 水・蒸気性質シンポジウム2023 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 須原 慎之助, 吉田 健, 野口 直樹 |
| 2. 発表標題 H型メタンハイドレートのLLケージ内のメタンの振動スペクトルの第一原理MD解析 |
| 3. 学会等名 水・蒸気性質シンポジウム2023 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 土井 彪斗, 吉田 健, 吉岡 春香, 平野 朋広, 中原 勝 |
| 2. 発表標題 アルキルアミンの水熱反応: 皮膜形成アミン適用のための生成物と経路のNMR解析 |
| 3. 学会等名 水・蒸気性質シンポジウム2023 |
| 4. 発表年 2023年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| 徳島大学 / 教育研究者総覧 --- 吉田 健 http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/189117/profile-ja.html 徳島大学 / 教育研究者総覧 --- 野口 直樹 http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/323733/profile-ja.html 徳島大学 / 教育研究者総覧 --- 村井 啓一郎 http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/21021/profile-ja.html 徳島大学 / 教育研究者総覧 --- 平野 朋広 http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/10681/profile-ja.html |
|--|

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 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 野口 直樹 (NOGUCHI Naoki) (50621760) | 徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・助教 (16101) | |
| 研究分担者 | 村井 啓一郎 (MURAI Kei-ichiro) (60335784) | 徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・准教授 (16101) | |
| 研究分担者 | 平野 朋広 (HIRANO Tomohiro) (80314839) | 徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・准教授 (16101) | |

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 |
|---------|---------|