

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K05187

研究課題名(和文)形状、粒径、物性に多様性を持った貴金属ライクな純銅ナノ粒子の触媒への応用

研究課題名(英文)Catalytic application of precious metal-like pure copper nanoparticles controlled with shape, diameter, and physical property

研究代表者

田中 秀樹(Tanaka, Hideki)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：40312251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：光還元法によって合成された、形状、粒径、物性に多様性を持つ銅ナノ粒子に対して、(1)電子移動によって誘起される反応、(2)分解反応、(3)熱電材料への応用展開、(4)酸化触媒反応への応用展開のそれぞれの観点から研究を行った。(1)については、純銅ナノ粒子ならではの表面プラズモン共鳴が電子移動過程への増強効果を発現していること、(2)については、カルボキシル基を含んだ有機酸であれば完全分解できる環境に優しいナノ触媒であること、(3)については、パーコレーション効果による飛躍的な熱電物性の改良が可能であること、(4)については1 nm化による高効率触媒化が可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義については、銅ナノ粒子の表面プラズモン共鳴の増強効果に関する基礎的知見、ナノ粒子の分解反応機構に関する基礎的知見、セレン化銅など半導体ナノワイヤの新しい合成手段に関する技術的知見、多孔質ゼオライトを鋳型として用いたナノサイズ金属ナノ粒子の合成に関する技術的知見が得られたことが挙げられる。一方、社会的意義に関しては、社会問題になりがちなナノ触媒の利用後の始末を単に付けられるだけでなく原材料としてリサイクル利用できる道筋を付けたこと、ユビキタス発電材料への応用に道筋をつけたこと、高効率触媒の開発に道筋を付けたことが挙げられる。

研究成果の概要(英文)：We investigated precious metal-like pure copper nanoparticles synthesized with shape, diameter, and physical property by photo-reduction on (1) electron transfer reaction, (2) decomposition reaction, (3) development of thermoelectric material, and (4) development of aerobic oxidation catalytic reaction. We revealed that (1) the surface plasmon resonance of pure copper nanoparticles enhance the efficiency of electron transfer process, (2) our copper nanoparticles can be environmental-friendly decomposed by organic acids containing carboxyl groups, (3) thermoelectric property of organic thermoelectric material can be drastically improved by introduction of copper selenide nanowires due to the percolation effect, and (4) copper nanoparticles supported in pores of zeolite show high catalytic activity.

研究分野：ナノ物理化学

キーワード：純銅ナノ粒子 多様性 電子移動反応 エネルギー移動 分解反応 熱電材料 酸化反応触媒

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、金や白金などの貴金属ナノ粒子触媒の研究が盛んに行われている。しかし貴金属の素材としての希少性やコストの高さから、国際的な資源争奪競争に晒されやすく、より安定に供給される他の金属による代替が望まれている。そこで注目されるのが、金と同じ11族元素である銅である。金より豊富に存在しかつ低コストであるのは言うまでもないが、金よりも本質的に反応性が高く、触媒源として優れたものになる可能性を秘めているからである。しかし、銅をナノ粒子触媒に用いるにあたっては、まさにその反応性の高さがアダとなる側面があった。すなわち銅ナノ粒子を還元合成するには、金等に用いるよりも還元力の高い過激な試薬を必要とすること、また困難な合成の末に得たとしても極めて酸化されやすく、安定な純銅状態を保持しにくいという致命的な欠点があった [1]。

こうした問題点について、著者らは独自に発展させた光還元法によって、過激な試薬を必要としない環境下で様々な粒径、形態、特性を持つ純銅ナノ粒子の合成を成し遂げてきた [2-6]。この手法によって得たナノ粒子は、いずれについても前述した通り通常維持が困難と言われていた純銅性を長期にわたって保持できることが確認できておりこうした先行性を活かした触媒等への応用展開が待ち望まれる状況にあった。

2. 研究の目的

(1) 現代化学において、化学反応は電子の動きによって理解される。そのことから、まずは銅ナノ粒子の電子移動反応について検討し、反応機構や制御の仕組みなどを明らかにすることを目的とする。

(2) 銅ナノ触媒は、触媒反応の使用にあたっては、純銅性を保つ堅牢さが求められるが、一方で、使用後には環境への配慮から、容易に分解できることが求められる。そのための分解反応の反応機構を明らかにすることを次の目的とする。

(3) 銅ナノ粒子の電子特性は、物性面へも多大な影響を与えることになる。物性の発現材料として、近年ユビキタス発電源として有望視されている有機物熱電材料を取り上げ、その性能を向上させること、およびその機構を解明することをさらなる目的とする。

(4) 反応触媒の高効率化には、微小化、突き詰めれば1 nm 粒子化が求められる。実際にそのようなナノ粒子を合成すること、またその触媒反応性を検証し、既存の研究と比較して優れているかどうかを検証することを最終的な目的とする。

3. 研究の方法

(1) 銅ナノ粒子からの電子移動反応のモデル系として、具体的には電子受容体としてよく用いられるアクリジンオレンジを用い、銅ナノ粒子からアクリジンオレンジへの電子移動を、蛍光スペクトル測定によって直接観察する。またこうした電子移動反応の結果を参考にして、同じく電子受容体として振る舞う色素であるメチルピオロゲンを分解すべき有害な分子と見立てた分解反応の追跡を行う。ここでは色素であるメチルピオロゲンの色変化を追跡することによって、反応補足を行う。

(2) 銅ナノ粒子の酢酸による分解反応を検証する。2価カルボン酸であるシュウ酸、4価カルボン酸であるエチレンジアミン四酢酸との比較も行う。また分解反応の反応速度から反応機構についても検討を行う。

(3) 有機物熱電材料の性能向上のためには、電気伝導性の高い無機ナノ材料を埋め込む手法が有力とされているが、こうした電気伝導性を最適化するためにはナノワイヤ構造であることが望まれる。そこで、電気伝導性だけでなく熱電性能にも優れるセレン化銅ナノワイヤの合成を行う。具体的には、あらかじめ合成したセレンナノワイヤに対して、光還元法による銅の付加反応を行うことによって、セレン化銅ナノワイヤの合成を行う。得られたナノワイヤの構造を、電子顕微鏡観察およびX線による結晶構造解析を併用することによって、その結晶相の解析を含めて明らかにする。こうして得られたナノワイヤを、有機物熱電材料としてよく用いられているPEDOT:PSS中に埋め込み、スピンコート法で薄膜化することでデバイス化し、その電気伝導度および熱電物性指数であるゼーベック係数の測定を行い、総合的な性能評価を行う。

(4) 1 nm 径の多孔質で構成されているゼオライト中に光還元反応によって銅ナノ粒子を合成し、その触媒反応の検証を行う。実際のナノ触媒の構造については、高分解能電子顕微鏡およびエネルギー分散型X線分光法による分析を行う。また具体的な触媒反応としては、ベンジルアルコールの酸化反応を取り上げる。実際の反応率と反応選択性を検証し、既存の研究データとの比較に

より、その有用性の検証も行う。

4. 研究成果

(1) 引用文献 の手法に従って合成した銅ナノ粒子分散液に蛍光分子であるアクリジンオレンジを混合したところ、蛍光スペクトルの時定数解析から、銅ナノ粒子表面が関与した電子移動反応が起きていることがわかった。通常、アクリジンオレンジからの蛍光発光効率は極めて低く高感度観察を要することが知られているが、本方法では通常感度で十分検出可能なほど増強された蛍光発光が観測された。このことはサポナイトナノシート上に吸着したアクリジンオレンジからのフェルスター共鳴エネルギー移動によるものであると考えられる。また電子顕微鏡観察から得られる銅ナノ粒子の分布は 20 nm 以下の近接域に多く分布しており、アクリジンオレンジからのエネルギー移動によって蛍光を示し、それが近くの銅ナノ粒子の表面プラズモン共鳴によって増強されたと考えられる。すなわち、アクリジンオレンジがあたかも光アンテナのごとく機能し、近接する銅ナノ粒子の表面プラズモン共鳴による増強効果によって高効率蛍光観測につながったと考えられる。これらの成果は論文発表を行った。

(2) 引用文献 の手法に従って合成した銅ナノ粒子に、大気暴露下において観察を行ったところ、酢酸を添加した条件下において完全な分解反応が進行することがわかった。これは大気由来の溶存酸素によって銅ナノ粒子が一旦は安定な酸化銅シェルに保護された構造をとり、この安定な酸化銅層が酢酸の作用によって更に酸化されることで、水溶性がありかつ銅ナノ粒子の原材料でもある銅イオンに分解されることがわかった。こうした分解反応はより多価のカルボン酸であるシュウ酸やエチレンジアミン四酢酸でもほぼ同等に観測された。すなわちカルボン酸の価数に関係なく分解できることがわかった。これらの成果は論文発表を行った。

(3) 引用文献 の手法をあらかじめ合成したセレンナノワイヤに適用したところ、ほぼすべてのセレンがセレン化銅に変換されたことが X 線による結晶構造解析から判明した。またナノワイヤの径、長さについてもほぼ保持されたまま銅化できたことがわかった。こうして得たナノワイヤを PEDOT:PSS と交互にスピコートすることによって混合薄膜を作製した。ナノワイヤを低含有量含む領域においてはほとんど物性面への変化は見られなかったが、40 wt%を超えたあたりから急激な電気伝導率の増加が観測された。数値シミュレーションと比較した結果、これは混合薄膜中におけるナノワイヤのパーコレーション効果によるものであることがわかった。ゼーベック係数については、ナノワイヤの混合によって微減する効果がみられたことから、結果的には総合的な熱電性能指数は 50 wt%近傍において最大性能を発揮することがわかった。これらの成果は論文発表を行った。

(4) あらかじめゼオライト中に酢酸銅を担持させた後、酢酸をさらに加えた溶液中にて、引用文献 をアレンジした手法を用いてゼオライト中に内包された銅ナノ粒子を得た。このとき 1 wt% 以下の酢酸銅の仕込み量においては、ほぼすべてがゼオライト中に内包された銅ナノ粒子のみが合成される一方、2 wt%を超える仕込み量においてはあきらかにゼオライト孔からはみ出した粗大なナノ粒子の生成が確認された。こうして合成された銅ナノ粒子のベンジルアルコールに対する大気下における酸化触媒反応を行ったところ、0.5 wt%で仕込んだ触媒において 17 h^{-1} という極めて大きい触媒回転数を観測した。この回転数は、これまで研究されてきたものと比べても著しく大きいものであり、ゼオライト中に合成された 1 nm 銅ナノ粒子の触媒能の高さを示すものとなった。またこの触媒反応は大気下でこそ本領を発揮すること、ベンジルアルコールに電子供与性の置換基をもつ反応基質に対しても同様の高い反応性を示すこと、電子吸引性の置換基を有するものに対しては全く反応しないこと、直鎖アルコールに対してもほとんど反応しないこと、などの知見から、基質分子におけるベンゼン環のゼオライト表面との相互作用が反応機構に強く関与していることも示唆された。これらの成果は論文発表を行った。

<引用文献>

D. Talukdar, G. Das, S. Thakur, N. Karak, A. J. Thakur, "Copper nanoparticle decorated organically modified montmorillonite (OMMT): An efficient catalyst for the N-arylation of indoles and similar heterocycles", *Catal. Commun.*, Vol.59, 2015, 238-243.

M. Miyagawa M. Maeda, R. Tokuda, A. Shibusawa, T. Aoki, K. Okumura, H. Tanaka, "Precious metal-like oxide-free copper nanoparticles: high oxidation resistance and geometric structure", *RSC Advances*, Vol. 6, 2016, 104560-104565.

M. Miyagawa A. Shibusawa, K. Maeda, A. Tashiro, T. Sugai, H. Tanaka, "Diameter-controlled Cu nanoparticles on saponite and preparation of film by using spontaneous phase separation", *RSC Advances*, Vol. 7, 2017, 41896-41902.

M. Miyagawa M. Usui, Y. Imura, S. Kuwahara, T. Sugai, H. Tanaka, "Aqueous synthesis

of protectant-free copper nanocubes by a disproportionation reaction of Cu₂O on synthetic saponite”, Chem. Commun., Vol. 54, 2018, 8454-8457.

M. Miyagawa M. Yonemura, H. Tanaka, “Lustrous copper nanoparticle film: photodeposition with high quantum yield and electric conductivity”, Chem. Phys. Lett., Vol. 665, 2016, 95-99.

H. Tanaka, T. Aoki, M. Yonemura, M. Miyagawa, K. Okumura, “Oxidation-resistive copper nanoparticles: photoreduction synthesis and their oxidation state measurements by XAFS and HRTEM”, J. Phys., Vol. 712, 2016, 012120/1-4.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sakane Shunya, Miwa Shunichiro, Miura Tatsuki, Munakata Kazuki, Ishibe Takafumi, Nakamura Yoshiaki, Tanaka Hideki	4. 巻 7
2. 論文標題 Thermoelectric Properties of PEDOT:PSS Containing Connected Copper Selenide Nanowires Synthesized by the Photoreduction Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 32101 ~ 32107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.2c03335	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 Masaya Miyagawa, Kengo Nishio, Akane Shibusawa, Hitomi Kotake, and Hideki Tanaka	4. 巻 51
2. 論文標題 Plasmonic Photoluminescence of Cu Nanoparticle Realized by Molecular Optical Antenna Designed on Nanosheets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 500-503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.220037	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 Masaya Miyagawa, Yoko Ikeyama, Hitomi Kotake, Toshiki Maeda, Hideki Tanaka	4. 巻 753
2. 論文標題 Environmental-friendly degradation of clay-hybridized Cu nanoparticles by carboxylic acids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 137615/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cplett.2020.137615	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 Kengo Nishio, Masaya Miyagawa, Hideki Tanaka	4. 巻 23
2. 論文標題 Photoluminescent Cu nanoparticles induced by energy transfer on saponite nanosheet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Clay Science	6. 最初と最後の頁 67-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11362/jcssjclayscience.23.4_67	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 Sakane Shunya, Akimoto Kai, Konishi Kishin, Takaoka Kenta, Iwatsuki Harunobu, Akutsu Mayu, Sugai Toshiki, Tanaka Hideki	4. 巻 9
2. 論文標題 Catalytic Activity of Nonaggregating Cu Nanoparticles Supported in Pores of Zeolite for Aerobic Oxidation of Benzyl Alcohol	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 970 ~ 976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.3c07156	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 Sakane Shunya, Anji Toshiki, Yamagishi Itsuki, Kohara Issei, Tanaka Hideki	4. 巻 52
2. 論文標題 Plasmonic Heating of Copper Nanoparticles with Thermoresponsive Polymers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 582 ~ 585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.230174	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51件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 岩月 晴頌 , 高岡 健太 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 銅ナノ粒子の触媒活性におけるゼオライト細孔を用いた分子形状選択制
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 三浦 達樹 , 宗像 一紀 , 森川 雄介 , 坂根 駿也 , 奥村 和 , 田中 秀樹
2. 発表標題 光還元法による $-Cu_2Se$ ナノワイヤの合成メカニズム
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 東山 拓杜 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 PEDOT:PSSと酸化チタンの複合薄膜化による熱電物性向上
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 齋藤 光希 , 清水 隆司 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 グラフェン/銅ナノ粒子の化学構造及び熱電物性評価
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 宗像 一紀 , 三浦 達樹 , 森川 雄介 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 Cu _{2+x} Se ナノワイヤの合成および熱電物性評価
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 Shunya Sakane , Shunichiro Miwa , Tatsuki Miura , Kazuki Munakata , Takafumi Ishibe , Yoshiaki Nakamura , Hideki Tanaka
2. 発表標題 Thermoelectric Power Factor Enhancement of PEDOT:PSS by Formation of Cu ₂ Se Nanowire Network Structures
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Saito , Takashi Shimizu , Shunya Sakane , Hideki Tanaka
2. 発表標題 Synthesis of Graphene/Cu Nanoparticles by Photoreduction Method for Enhancing Thermoelectric Power Factor
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuki Miura , Kazuki Munakata , Shunichiro Miwa , Shunya Sakane , Hideki Tanaka
2. 発表標題 Synthesis of single phase a-Cu ₂ Se nanowires by photoreduction method for thermoelectric applications
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Sakane , S. Miwa , T. Miura , K. Munakata , T. Ishibe , Y. Nakamura , H. Tanaka
2. 発表標題 Thermoelectric properties of Cu ₂ Se nanowires/PEDOT:PSS composite thin films
3. 学会等名 ICOT2022 (International Conference on Organic and Hybrid Thermoelectrics) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂根 駿也 , 安治 敏輝 , 山岸 樹 , 小原 一世 , 田中 秀樹
2. 発表標題 銅ナノ粒子のプラズモン加熱を利用した熱応答性の発現
3. 学会等名 第16回分子科学討論会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩月 晴頌 , 井口 洸 , 高岡 健太 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 ゼオライト細孔内銅ナノ粒子のアルコール酸化反応に対する触媒活性評価
3. 学会等名 第16回分子科学討論会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦 達樹 , 宗像 一紀 , 三輪 俊一朗 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 光還元法による $-Cu_2Se$ ナノワイヤの合成と電子状態
3. 学会等名 第16回分子科学討論会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水 隆司 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 PEDOT:PSS/グラフェン積層薄膜の作製およびその熱電特性評価
3. 学会等名 第19回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤 光希 , 清水 隆司 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 光還元法によるグラフェン/銅ナノ粒子の合成と熱電物性評価
3. 学会等名 第19回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂根 駿也 , 三輪 俊一朗 , 石部 貴史 , 中村 芳明 , 田中 秀樹
2. 発表標題 PEDOT:PSS に導入したCu ₂ Seナノワイヤの熱電出力因子に与える影響
3. 学会等名 第19回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水 隆司、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 スピンコート法により作製したPEDOT:PSS/Graphene積層薄膜の熱電特性評価
3. 学会等名 第18回 日本熱電学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三輪 俊一朗、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 光還元法によるCu ₂ Seナノワイヤの合成とPEDOT:PSSとの複合薄膜化
3. 学会等名 第18回 日本熱電学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鮎川 瞭仁、東山 拓社、森本 啓幹、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 光還元法によるCu NP/TiO ₂ の合成と熱電応用に向けた導電性高分子PEDOT:PSSとの複合薄膜化
3. 学会等名 第11回化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小竹 ひとみ、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 Cuナノ粒子を光触媒とした還元型分解反応
3. 学会等名 第11回化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hitomi Kotake, Masaya Miyagawa, Hideki Tanaka
2. 発表標題 Novel strategy for highly-catalytic Cu nanoparticles realized in cotton-candy-like nanosheets assembly
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂根 駿也、安治 敏輝、田中 秀樹
2. 発表標題 銅ナノ粒子/pNIPAM複合体における局在表面プラズモン共鳴を利用した熱応答性の発現
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 雅博、渡辺 由真、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 Cuナノ粒子/酸化チタン複合体の合成とベンジルアルコールの酸化反応への触媒作用
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高岡 健太、岩月 晴頌、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 銅ナノ粒子-ゼオライト複合体を利用したガルバニック置換反応による合金ナノ粒子の合成
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鮎川 瞭仁、東山 拓杜、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 光触媒作用によるCuナノ構造の合成および熱電材料への展開
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三輪 俊一朗、三浦 達樹、宗像 一紀、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 セレン化銅ナノワイヤ導入によるPEDOT:PSSの高熱電性能化
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水 隆司、齋藤 光希、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 PEDOT:PSS/グラフェン積層薄膜における熱電特性向上
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安治 敏輝、秋元 開、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 光還元法による熱応答性ポリマーを保護剤とした銅ナノ粒子の合成
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂根 駿也、秋元 開、小西 紀進、田中 秀樹
2. 発表標題 ゼオライトの細孔内に形成した銅ナノ粒子の触媒活性に与える影響
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小竹 ひとみ、宮川 雅矢、田中 秀樹
2. 発表標題 ナノシートを担体としたCuナノ粒子の光触媒活性と複合体の集合構造の関係
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本 若葉、秋元 開、坂根 駿也、田中 秀樹
2. 発表標題 銅ナノ粒子 - ゼオライト複合体を触媒とするベンジルアルコールの空気酸化
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小竹 ひとみ、宮川 雅矢、田中 秀樹
2. 発表標題 ナノシートに担持した銅ナノ粒子の反応場による活性の違い
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 MIYAGAWA, Masaya; KOTAKE, Hitomi; NISHIO, Kengo; HIGASHI, Kohei; TANAKA, Hidek
2. 発表標題 Significance in hierarchy of Cu nanoparticles on nanosheet for functionalization
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮川 雅矢, 西尾 謙吾, 西山 誉志貴, 田中 秀樹
2. 発表標題 分散した銅ナノ粒子のプラズモン発光：ナノ構造体とエネルギー移動系の重要性
3. 学会等名 第13回分子科学討論会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西尾謙吾・宮川雅矢・田中秀樹
2. 発表標題 固体反応場を模倣したナノシート集合体中における銅ナノ粒子のプラズモン発光
3. 学会等名 低次元系光機能材料研究会第9回サマーセミナー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西尾 謙吾, 宮川 雅矢, 田中 秀樹
2. 発表標題 固体を模倣した光反応場としてのナノシート集合体内における銅ナノ粒子発光
3. 学会等名 第63回粘土科学討論会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廖偉力, 斎藤 光希, 坂根 駿也, 田中 秀樹
2. 発表標題 熱電変換応用に向けたグラフェン/銅ナノ粒子複合材料のアニール効果
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 内田 京杜, 渡邊 勇真, 坂根 駿也, 田中 秀樹
2. 発表標題 PEDOT:PSS/グラフェン積層薄膜における熱電特性向上の熱電特性におけるグラフェン積層量依存性
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 春日井陽菜, 三輪俊一郎, 坂根駿也, 田中秀樹
2. 発表標題 Ag ₂ Seナノワイヤ/BBL:PEI複合膜の熱電特性およびその含有量依存性
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 森川 雄介 , 宗像 一紀 , 姜 仁秀 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 -Cu ₂ Se ナノワイヤにおけるアニールによる熱電特性向上
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 三村 ちはる , 鈴木 雅博 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 銅ナノ粒子-酸化チタン複合体を触媒としたアルコール酸化反応における置換基効果
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 山岸 樹 , 岡部 拓馬 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹
2. 発表標題 光還元法を用いた銅ナノ粒子/PNIPAM複合材料の合成と熱応答性の評価
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 Itsuki Yamagishi , Takuma Okabe , Shunya Sakane , Hideki Tanaka
2. 発表標題 Synthesis of copper nanoparticles/thermo-responsive polymers and their photo-induced thermal response
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keito Uchida , Takashi Shimizu , Koki Saito , Shunya Sakane , Hideki Tanaka
2. 発表標題 Thermoelectric performance enhancement of PEDOT:PSS/Graphene multilayer thin films with intermolecular interactions
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Haruna Kasugai , Shunichiro Miwa , Shunya Sakane , Hideki Tanaka
2. 発表標題 Fabrication of n-type composite thin films of inorganic nanowires/conductive polymers and their thermoelectric properties
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shunya Sakane , Kazuki Munakata , Yusuke Morikawa , Haruhiko Uono , Hideki Tanaka
2. 発表標題 Vacancy control in Cu ₂ Se nanowires and their thermoelectric properties
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hideki Tanaka , Jun Hirokawa
2. 発表標題 Protectant-free degradative Cu nanoparticles and their catalytic application
3. 学会等名 EAC2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鮎川 瞭仁 , 東山 拓杜 , 坂本 拓巳 , 坂根 駿也 , 田中 秀樹 , 鶴殿 治彦
2. 発表標題 TiO ₂ ナノ粒子表面電子ドーピングが及ぼすPEDOT:PSSの熱電特性への影響
3. 学会等名 第20回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂根 駿也 , 三浦 達樹 , 鮎川 瞭仁 , 鶴殿 治彦 , 田中 秀樹
2. 発表標題 欠陥制御したCu ₂ Seナノワイヤ; グラフェン複合薄膜の熱電物性評価
3. 学会等名 第20回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂根 駿也 , 宗像一紀 , 森川雄介 , 鶴殿治彦 , 田中秀樹
2. 発表標題 Cu ₂ Seナノワイヤの熱電物性におけるキャリア輸送特性のCu空孔依存性
3. 学会等名 第20回日本熱電学会学術講演会 (TSJ2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山岸樹 , 坂根駿也 , 田中秀樹
2. 発表標題 銅ナノ粒子/熱応答性ポリマーの合成と光誘起熱応答
3. 学会等名 ナノ学会第21回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂根駿也, 三浦達樹, 宗像一紀, 森川雄介, 三輪俊一郎, 奥村和, 田中秀樹
2. 発表標題 光還元法によるセレン化銅ナノワイヤの創製と熱電応用への展開
3. 学会等名 ナノ学会第21回大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 米澤 徹、中村 貴宏、安田 啓司、田中 秀樹ほか計38名	4. 発行年 2022年
2. 出版社 サイエンス&テクノロジー	5. 総ページ数 533
3. 書名 金属ナノ粒子の合成・設計・制御と応用技術	

1. 著者名 佐藤正秀、田中秀樹ほか計66名	4. 発行年 2021年
2. 出版社 株式会社技術情報協会	5. 総ページ数 558
3. 書名 金属ナノ粒子、微粒子の 合成、調製と最新応用技術	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------