

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05641

研究課題名(和文)電気化学反応を利用した希土類化合物の動的励起状態制御

研究課題名(英文)Electrochemical control of excitation states of luminescent lanthanide compounds

研究代表者

中村 一希 (Nakamura, Kazuki)

千葉大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：00554320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：希土類発光体は優れた発光性を有するものの、有機分子や遷移金属錯体のような外部刺激によるダイナミックな発光制御は困難であった。本研究では、電気化学反応活性な物質と希土類化合物を種々複合化させ、電気化学反応によって誘起される物質間の電子移動、励起エネルギー移動などの光物理過程を用いることで、これまで困難であった希土類イオン励起状態の可逆的な形成や制御を目指した。その結果、赤色発光を示すEu錯体の発光強度や発光波長の電気化学的な制御を可能とするエレクトロフルオロクロミックデバイスや、Eu錯体からの交流電気化学発光の発現など、励起状態の制御を電気化学的に行えることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、希土類錯体の発光性を制御する電気化学デバイスを見出した。具体的には、赤色発光を示すEu錯体の発光強度や発光波長の電気化学的制御や、Eu錯体からの交流電気化学発光を可能とする電気化学デバイスを創製した。本研究で得られた知見により、希土類化合物の励起状態の生成および発光性を電気化学的的刺激で動的に制御可能となり、光機能材料として重要な希土類発光体設計や刺激応答性材料化学に寄与するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Although luminescent lanthanide materials have excellent luminescence properties, it has been difficult to control their luminescence properties by external stimuli like organic molecules and transition metal complexes. In this study, we aimed to control excited states of the lanthanide ions by electrochemical reaction and following photophysical processes such as electron transfer and excitation energy transfer.

As a result, we found that electrochemical control of the excited states of Eu complexes, such as electrochemical control of the emission intensity and wavelength of Eu complexes and AC electrochemiluminescence from Eu complexes, can be achieved.

研究分野：光機能性材料・デバイス

キーワード：発光性希土類錯体 エレクトロクロミズム エレクトロフルオロクロミズム 電気化学発光 励起エネルギー移動

1. 研究開始当初の背景

希土類錯体やナノ結晶などに代表される希土類化合物は、f-f 遷移に由来する高い発光色純度や長い励起寿命などの優れた発光特性を有し、発光材料、非線形光学素子、イムノアッセイなどのラベリング剤、センシング材料及びセキュリティ材料など幅広い分野で基礎・応用研究が進んでいる。この優れた発光性を有する希土類錯体の発光特性を外部刺激によりフレキシブルに制御できるようになれば、バイオ・化学センシングや発光素子への応用の幅を飛躍的に広げる新規機能性材料となりうる。

しかしながら、希土類発光体は有機分子や遷移金属錯体のように外部刺激によるダイナミックな発光制御が困難であった。その主な理由としては、外部からの影響を受けにくい内殻のf軌道内の電子遷移であることや、希土類化合物の電気化学反応性の低さなどが挙げられている。研究開始当初の外部刺激による希土類錯体発光性の制御に関しては、フォトクロミック配位子を有するEu³⁺錯体において、光照射によるEu³⁺錯体の対称性の変化に由来する発光形状の変化が報告されていたが、発光性のON-OFFという観点では十分とは言えなかった。それに対して申請者らは、エレクトロクロミック反応を用いた希土類錯体の発光性制御によって、3000:1という大きなコントラストの発光強度変化を実現した。これらの研究では、既に生成された励起状態からの発光強度を電気化学的に制御することは可能だが、励起状態からの発光波長変化や、励起状態自体の電気化学的生成など、よりダイナミックな発光性制御は実現できていなかった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、希土類錯体や希土類無機ナノ結晶などの発光性希土類化合物における励起状態の動的な制御を電気化学的に実現することを目的とした。具体的には、電気化学反応活性な物質と希土類化合物を種々複合化させ、電気化学反応によって誘起される物質間の電子移動、励起エネルギー移動、ダウンコンバージョン、アップコンバージョンなどの光物理過程を用いることで、これまで困難であった希土類イオン励起状態形成や、励起状態の電子状態変化による発光性制御を目指した。

3. 研究の方法

希土類錯体の電気化学的な発光性制御へ向けて、本研究では以下の3つの観点からのアプローチを行った。

(1) 複数の発光種間のエネルギー移動による発光色制御

これまでに申請者は、発光性化合物からエレクトロクロミック (EC) 材料への励起エネルギー移動の制御によって、その発光強度を制御できることを明らかとしている。この発光強度のON-OFF比は、発光材料の発光帯とEC材料の吸収帯の重なりや、発光材料の発光寿命に依存している。そこで、発光波長や励起寿命が異なる希土類錯体と有機蛍光分子をEC分子と組み合わせ、各発光材料とEC分子間のエネルギー移動効率の違いを利用することで、電気化学的に発光色を制御できる電気化学デバイスの構築を目指した。

(2) 電気化学的なEuイオンの価数変化による発光色制御

希土類イオンの一種であるEuイオンは、3価および2価の両状態が他の希土類イオンに比べて比較的安定であり、価数により異なる発光性を有する。Eu³⁺は内殻のf-f遷移由来のシャープで寿命が長い赤色発光を示すのに対し、Eu²⁺はd-f遷移によるブロードな青色発光を示す。しかし、安定なEu³⁺に比べて、青色発光を示すEu²⁺は一般的に錯体状態では不安定であり、Eu錯体の3価と2価の電気化学的な発光コントロールに関する研究はほとんど行われてこなかった。そこで、発光性に優れたβ-ジケトン型Eu錯体を用いて、Eu²⁺が安定に存在することが知られるポリエーテル溶媒中における、Eu³⁺/Eu²⁺の可逆的制御と発光スイッチングを目指した。

(3) Eu³⁺錯体の電気化学的な励起状態生成に基づく電気化学発光 (ECL)

電気化学発光 (ECL) は電気化学的な酸化還元反応に伴う発光現象である。Eu³⁺錯体を用いたECL研究では、電気化学的な共反応剤と配位子間の電子移動に基づく発光が報告されているが、反応機構的に不可逆な電気化学反応となり、発光デバイスへの応用には適していなかった。共反応剤を用いないEu³⁺錯体による対消滅型ECLは、発光強度が弱いためECL機構の解析は困難であった。本研究では、Eu³⁺錯体の対消滅型ECLの発光強度の向上のため、錯体の電気化学的特性やECLの反応機構を議論した。

4. 研究成果

(1) 複数の発光種間のエネルギー移動による発光色制御

Eu³⁺錯体をベースとした電気化学的発光色制御デバイスの作製を下記のとおり行った。炭酸プロピレンに支持電解質，EC分子であるピオロゲン誘導体，発光材料として青色発光を示す9,10-ジフェニルアントラセン(DPA)，赤色発光材料としてEu(hfa)₃(TPPO)₂を溶解させた。この溶液を平滑ITO電極とITO粒子修飾電極間に挟み込み，二極型電気化学素子を構築した。この素子に対してピオロゲン誘導体の着色電圧(-1.2 V/10秒)印加前後発光特性を評価した(図1)。

その結果，素子に対してピオロゲン誘導体の着色電圧の未印加時は波長430 nm付近のDPA由来の青色発光帯と波長615 nmをピークとするEu(III)錯体由来の赤色発光を示し，素子全体として良好なマゼンタ発光となった。一方，素子にピオロゲンの着色電圧(-1.2 V)を印加すると，DPA由来の青色発光はほとんど変化せず，Eu(III)錯体の赤色発光は大きく減少し，素子全体の発光色が青色に変化した。このエレクトロフルオクロミズムは，発光材料からピオロゲン着色体へのエネルギー移動効率が，励起寿命が長いリン光性Eu錯体と，短い蛍光性DPAによって大きく異なるために引き起こされた。

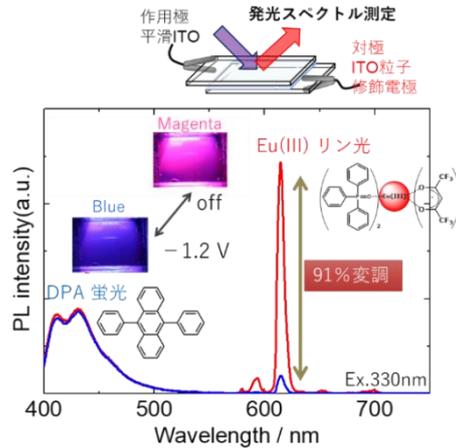


図1 Eu³⁺錯体と青色発光分子を用いた電気化学的発光色制御

(2) 電気化学的なEuイオンの価数変化による発光色制御

Euイオンの3+/2+の価数変化による発光色制御を以下のように試みた。ポリエチレングリコール(PEO400)に，発光材料としてβ-ジケトン型Eu錯体(Eu(hfa)₃(H₂O)₂)と支持電解質を溶解させた溶液を用いた電気化学素子を作製し，Eu錯体の電気化学反応挙動およびその際の発光特性の変化を測定した。その結果，PEG中でβ-ジケトン型のEu錯体が酸化還元反応によってEu³⁺/Eu²⁺の価数変化を示すことが明らかとなった。このような可逆な酸化還元挙動は一般的な電気化学計測溶媒では観測されず，PEGのポリオール構造によってEu²⁺の状態が安定化されたためと考えられる。作製した電気化学素子に対し，Euイオンの還元電位の印加に伴う発光特性変化を測定した(図2)。還元電位を印加することで，430 nm付近にブロードな青色発光帯が出現・増加した。また，615 nm付近のEu³⁺の赤色発光も反応に伴いわずかに減少した。430 nmの青色発光は，電気化学的に生成したEu²⁺のd-f遷移によるものと考えられ，発光特性に優れたβ-ジケトン型Eu錯体において初めてEu³⁺/Eu²⁺の電気化学的な発光色制御に成功した。

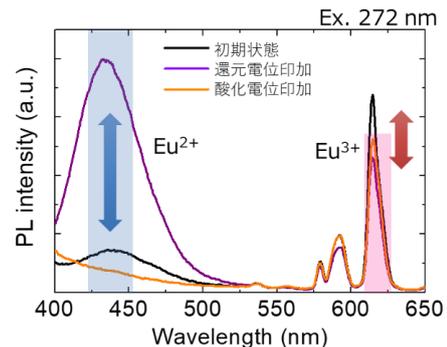


図2 Eu錯体の電気化学的価数変化によるエレクトロフルオクロミズム

(3) Eu³⁺錯体の電気化学的な励起状態生成に基づく電気化学発光

発光材料として優れた性質を示すEu³⁺錯体の，共反応剤レスの電気化学発光実現へ向け，β-ジケトン型のEu³⁺錯体を含む2電極型の電気化学素子を作製した。作製した素子の電気化学特性を検討し，これまで我々が取り組んできた交流電圧駆動による電気化学発光の向上手法を活かしたECL発現を試みた。その結果，図3に示すように，明瞭なEu³⁺錯体からの赤色ECLを観測した。このような明瞭なEu³⁺錯体からの対消滅型ECLの観測はこれまで行われていなかったことから，希土類ECL素子の特性改良が進むことで，新規機能発光デバイスへの展開が期待される。

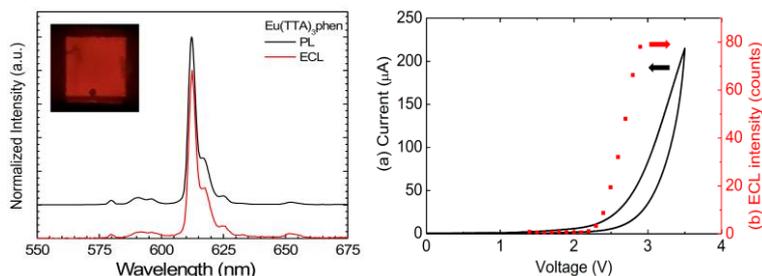


図3 Eu³⁺錯体からの共反応剤レスECLスペクトルと印加電圧依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Li Ziyang, Minami Haruki, Nakamura Kazuki, Kobayashi Norihisa	4. 巻 22
2. 論文標題 Anion Dependent Outstanding Luminescence Enhancement of Eu(D facam) ₃ Upon Coexistence With the Tetramethylammonium Cation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 2511 ~ 2516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.202100609	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 Nakamura Kazuki, Kanazawa Kenji, Kobayashi Norihisa	4. 巻 50
2. 論文標題 Electrochemical photoluminescence modulation of functional materials and their electrochemical devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 100486 ~ 100486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochemrev.2022.100486	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 Nakamura Kazuki, Yanagawa Namiko, Kobayashi Norihisa	4. 巻 30
2. 論文標題 Electrochemical control of luminescence color using luminescent leuco dye derivatives	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Society for Information Display	6. 最初と最後の頁 15 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jsid.1077	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 Minami Haruki, Itamoto Natsumi, Watanabe Wataru, Li Ziyang, Nakamura Kazuki, Kobayashi Norihisa	4. 巻 10
2. 論文標題 Chiroptical property enhancement of chiral Eu(III) complex upon association with DNA-CTMA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-75808-w	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 Minami Haruki, Miyazato Mayu, Li Ziyang, Nakamura Kazuki, Kobayashi Norihisa	4. 巻 56
2. 論文標題 Alkyl ammonium ion-induced drastic emission enhancement of Eu(D-facam) ₃ in 1-butanol	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 13532 ~ 13535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC04856A	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 Ozawa Ryuki, Minami Haruki, Nakamura Kazuki, Kobayashi Norihisa	4. 巻 9
2. 論文標題 Upconverted blue electrochemiluminescence of 9,10-diphenylanthracene with ultrafast response on photo-electro functional DNA/Ru(bpy) ₃ ²⁺ hybrid electrode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 2252 ~ 2257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TC05651K	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 南 晴貴、高橋 亮太、中村 一希、小林 範久	4. 巻 59
2. 論文標題 DNAとRu(II)錯体の組織化による特異的光学特性発現およびその電気化学素子応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本画像学会誌	6. 最初と最後の頁 330 ~ 340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.59.330	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 Nakamura Kazuki, Yanagawa Namiko, Kobayashi Norihisa	4. 巻 15
2. 論文標題 Magenta-Blue Electrofluorochromic Device Incorporating Eu(III) Complex, Anthracene Derivative, and Viologen Molecule	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 5202 ~ 5202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15155202	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 Li Ziying, Nakamura Kazuki, Kobayashi Norihisa	4. 巻 11
2. 論文標題 Thermally stable and strongly emitted CPL in Eu(D-facam) ₃ hybrid solids with an alkylammonium salt	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 118 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2TC04670A	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 Ziying LI, Kazuki NAKAMURA, Norihisa KOBAYASHI	4. 巻 61
2. 論文標題 Alcoholic Solvent Effect on the Anion-Dependent Luminescence of Eu (III) Complex in the Presence of Tetramethylammonium Cation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Imaging Society of Japan	6. 最初と最後の頁 194 ~ 199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.61.194	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 Ryuki OZAWA, Kazuki NAKAMURA, Takashi TACHIKAWA, Norihisa KOBAYASHI	4. 巻 61
2. 論文標題 Device Lifetime Improvement and Efficiency of Upconverted Blue Electrochemiluminescence From 9,10-Diphenylanthracene With DNA/Ru(bpy) ₃ ²⁺ Hybrid Film	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Imaging Society of Japan	6. 最初と最後の頁 562 ~ 569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.61.562	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 -

〔学会発表〕 計41件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 K. Nakamura, N. Yanagawa, N. Kobayashi
2. 発表標題 Electrofluorochromism based on inter-molecular excited energy transfer between photo-functional molecules
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子廉, 南晴貴, 中村一希, 小林範久
2. 発表標題 疎水化DNA/キラルEu(III)錯体複合体へのアルキルアンモニウム添加が発光特性に与える影響
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤 竜輝, 中村 一希, 小林 範久
2. 発表標題 DNA中のRu(bpy) ₃ ²⁺ の酸化還元反応をトリガーとしたアセン化合物のアップコンバージョン発光
3. 学会等名 第32回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子廉, 中村一希, 小林範久
2. 発表標題 アンモニウム塩添加が疎水化DNA/キラルEu(III)錯体複合体中でのエネルギー移動効率に与える影響
3. 学会等名 第32回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 LI Ziying, 中村 一希, 小林 範久
2. 発表標題 Dramatic anion dependence of luminescence properties of chiral Eu(III) complex in the presence of tetraalkylammonium cation
3. 学会等名 第32回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子廉, 中村一希, 小林範久
2. 発表標題 アルキルアンモニウム添加による疎水化DNA/キラルEu(III)錯体複合体の赤色発光増強と光学キラリティ変化
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 遼平, 小林 範久, 中村 一希
2. 発表標題 ロイコ色素/顕色剤のサーモクロミズムによるシリ カナノ粒子コロイドアモルファス構造色の非干渉性散乱制御
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田 歩未, 小林 範久, 中村 一希
2. 発表標題 構造色を示すポリスチレンコロイド結晶への蛍光色素の複合化とその光物理特性
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古川 慶太, 中村 一希, 小林 範久
2. 発表標題 静電吸着法を用いて作製した金ナノ粒子修飾電極におけるルテニウム錯体の電気化学発光
3. 学会等名 第11回 CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 数田 龍人, 南 泰圭, 大木 洋史, 吉田 歩未, 中村 一希, 小林 範久
2. 発表標題 ポリエーテル溶媒中でのユーロピウムイオンの酸化還元挙動と発光特性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林遼平, 中村一希, 小林範久
2. 発表標題 ロイコ色素のサーモクロミズムによるシリカナノ粒子構造色 の非干渉性散乱制御
3. 学会等名 第127回日本画像学会研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田歩未, 中村一希, 小林範久
2. 発表標題 構造色を示すポリスチレンコロイド結晶と 蛍光色素の複合化による新規光機能材料
3. 学会等名 第127回日本画像学会研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryuki Ozawa, Kazuki Nakamura, Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 Ultrafast Blue Electrochemiluminescence Based on Photon-Upconversion Using DNA/Ru(II) Complex Film
3. 学会等名 International Conference on Advanced Imaging 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayumi Yoshida, Ryohei Kobayashi, Yuki Yonetoku, Kazuki Nakamura, Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 Photophysical Properties of Luminescent Leuco Dye Introduced into Mesoporous Silica
3. 学会等名 International Conference on Advanced Imaging 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口桃奈, 吉田歩未, 大木洋史, 小林範久, 中村一希
2. 発表標題 フルオレセインの電気化学的酸化還元による発光色制御
3. 学会等名 日本化学会 第102春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲谷洋輝, 小澤竜輝, 中村一希, 小林範久
2. 発表標題 光電機能DNA/Ru(bpy) ₃ ²⁺ 修飾電極を用いた超高速応答電気化学発光素子の電解液組成による素子特性向上
3. 学会等名 日本化学会 第102春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 人見奈々, 李子瑩, 金子廉, 大曲仁美, 中村一希, 長谷川美貴, 小林範久
2. 発表標題 DNAとらせん配位子を有する水溶性Eu(III)錯体の複合化およびその光物理特性
3. 学会等名 日本化学会 第102春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大木洋史, 小林直人, 中村一希, 小林範久
2. 発表標題 有機エレクトロクロミック分子によるポリスチレンナノ粒子修飾電極上の構造色制御
3. 学会等名 電気化学会 第89回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川畑琢郎, 小林遼平, 小林範久, 中村一希
2. 発表標題 発行性ロイコ色素の熱刺激による可逆的な構造変化を用いた着色・発光制御
3. 学会等名 日本化学会 第102春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村一希, 柳川菜美子, 小林範久,
2. 発表標題 光機能性物質間のエネルギー移動制御に基づくエレクトロフルオロクロミズム
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李子瑩, 南晴貴, 中村一希, 小林範久
2. 発表標題 Interaction Between Eu() Complex and Alkylammonium Salt Leading to the Effective Emission Enhancement
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南晴貴 中村一希 小林範久
2. 発表標題 アルキルアンモニウム塩の添加によるキラルEu(III)錯体の特異的発光性向上
3. 学会等名 複合系の光機能研究会 オンラインライジングスター研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南晴貴 宮里麻佑 中村一希 小林範久
2. 発表標題 Dramatic enhancements of both emission intensity and circular polarization of europium(III) complex in alcohol solution in the presence of alkylammonium ions
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南晴貴 宮里麻佑 中村一希 小林範久
2. 発表標題 アルキルアンモニウム塩とキラル Eu(III)錯体の相互作用による赤色発光増強およびその光学キラリティー
3. 学会等名 第36回希土類討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米徳勇輝, 小林範久, 中村一希,
2. 発表標題 Responsibility of coloration and luminescent properties of leuco dye introduced into mesoporous silica by external stimuli-response
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuki Nakamura, Namiko Yanagawa, Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 Luminescence Color Control Based on Electrochromic Reaction Using Luminescent Leuco Dye Derivatives
3. 学会等名 The 27th International Display Workshops (IDW'20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ziyang Li, Haruki Minami, Mayu Miyazato, Kazuki Nakamura, Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 Investigation of luminescence performance of Eu(D-facam) ₃ in the presence of tetramethyl ammonium salt
3. 学会等名 International Conference on Advanced Imaging 2020(ICA I 2020) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haruki Minami Ryuki Ozawa Kazuki Nakamura Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 Electrochemically-triggered upconverted luminescence through triplet-triplet energy transfer and subsequent triplet-triplet annihilation upconversion reaction
3. 学会等名 Cooperative phenomena in framework materials: Faraday Discussion (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林直人、小林範久、中村一希
2. 発表標題 Control of excited energy transfer between luminescent Eu(III) complex and viologen derivative in layered nanostructure
3. 学会等名 2020年web光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大木 洋史、 小林直人、 小林範久、 中村一希
2. 発表標題 構造色を示すナノ粒子修飾電極上のエレクトロクロミック反応
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taegue Nam, Kazuki Nakamura, Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 AC-driven Electrochemiluminescence from Eu(III) Complex and its Mechanism
3. 学会等名 第129回日本画像学会研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小澤 竜輝, 中村 一希, 立川 貴士, 小林 範久
2. 発表標題 Ru(bpy) ₃ 2+を担持したDNA組織化膜を用いたアセン化合物の電気化学アップコンバージョン発光
3. 学会等名 第129回日本画像学会研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 廉, 小林 範久, 中村 一希
2. 発表標題 アルキルアンモニウムを含む疎水化 DNA へ複合化したキラル Eu(III)錯体の構造とキラル光物性
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taegue Nam, Kazuki Nakamura, Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 Annihilation-type Electrochemiluminescence in Eu(III) -diketonate complex by applying AC voltage
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ziying Li, Kazuki Nakamura, Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 Chiroptical Enhancement of Eu(III) Complex by Hybridization with Tetramethylammonium Acetate
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryuki Ozawa, Kazuki Nakamura, Takashi Tachikawa, Norihisa Kobayashi
2. 発表標題 Spectroscopic Analysis for Mechanism of Electrochemically Triggered Upconverted Luminescence in DNA/Ru(bpy) ₃ ²⁺ Hybrid Film and Their Device Application
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藪田 龍人, 中村 一希, 小林 範久
2. 発表標題 電気化学的酸化還元反応を用いた -ジケトン型ユウロピウム錯体の発光色制御
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口 桃奈, 小林範久, 中村一希
2. 発表標題 フルオレセイン色素の酸化還元反応によるエレクトロフルオロクロミズム
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 多賀谷 一毅, 人見 奈々, 李 子瑩, 中村 一希, 小林 範久
2. 発表標題 疎水化DNA/キラルEu(III)錯体複合体へのアルキル アンモニウム塩添加による発光特性向上
3. 学会等名 日本化学会第103回春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村一希
2. 発表標題 光・電気化学機能分子によるエレクトロフルオロクロミックデバイス
3. 学会等名 日本化学会第103回春季年会 特別特別企画（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村一希
2. 発表標題 アルキルアンモニウム塩との複合化によるユーロピウム錯体の赤色円偏光発光の飛躍的増強
3. 学会等名 新技術発表会（千葉大学）（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 発光材料およびその用途	発明者 小林範久, Li Ziying, 中村一希	権利者 千葉大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/026109	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------