

令和 6 年 5 月 18 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05207

研究課題名(和文)キラル分子の有機結晶における超長寿命リン光の学理解明と材料化学への展開

研究課題名(英文) Understanding of ultralong-lifetime phosphorescence in organic crystals of chiral molecules and development in material chemistry

研究代表者

唐津 孝 (Karatsu, Takashi)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：70214575

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)：有機結晶相を含む固相で観測される秒のオーダーの超長寿命かつ低エネルギーな位置に観測された新たなリン光現象について、その学理の解明と有用分子群の探索による材料化学を行った。この発光を発現する化合物の分類や単結晶X線構造解析による分子・結晶構造との相関、単結晶、蒸着膜を含めた固相作製方法との相関などの検討により学理を検討した。このリン光を示す分子構造の一般性について有機合成的手法を帰納法的に検討し、会合初期から強く働く水素結合は分子の配向に寄与し、比較的弱い相互作用は励起電子の非同局在化に影響し、発光効率に寄与す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

近年、有機エレクトロニクスは飛躍的な進歩を遂げている。特に有機エレクトロルミネッセンス、有機トランジスタや有機太陽電池では工業的にも展開され産業界にも大きな変革をもたらしており、日本企業の国際競争力にも直結する重要な課題である。中でも有機物の固体状態、結晶状態の性質はある程度理解が進んでいると考えられていたが、本研究課題では室温超長寿命りん光など新規な現象が発現することが解明されており、物質資源、エネルギー問題などに資すると考えられる。本研究の成果は発光材料に新たな視点を与えるのみならず有機結晶・固体材料の未解明な学理や用途を切り開く一助となった。

研究成果の概要(英文)： Regarding the new phosphorescence phenomenon observed in solid phases of organic crystal, which appears extremely long lifetimes on the order of seconds and at low energy positions, we are conducting material chemistry by elucidating the principles and searching for useful molecular groups. By examining the classification of compounds that emit phosphorescence, the correlation with molecular and crystal structures based on single crystal X-ray structural analysis, the correlation with solid phase fabrication methods including single crystals and vapor-deposited films. We inductively investigated the generality of the molecular structure that exhibits phosphorescence using organic synthesis methods. We found that hydrogen bonds that act strongly from the initial stage of association contribute to the orientation of molecules, and that weak interactions are delocalized by excited electrons. It was clarified that it affects the luminescence efficiency.

研究分野：光化学

キーワード：超長寿命りん光 有機結晶 固体発光 キラル結晶 ラセミ結晶 分子間相互作用 - 相互作用 水素結合

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

有機結晶相を含む固相で観測される秒のオーダーの超長寿命かつ低エネルギーな位置に観測される新たなリン光現象について、その学理の解明と有用分子群の探索による材料化学へ展開する。この特異なリン光現象はポリマーや極低温ガラスなどのマトリックス中に分散された状態から観測される従来のリン光現象と比べ特異である。この発光を観測できる化合物とできない化合物の分類や単結晶 X 線構造解析による分子・結晶構造との相関、単結晶、蒸着膜を含めた固相作製方法との相関、グラインディングなど外部刺激の影響の検討により学理を解明する。このリン光を示す分子構造の一般性について有機合成的手法を帰納法的に用いて解明し、発光効率、寿命、発光色を制御して材料科学に展開する。これまでアキラルな分子が結晶中で擬似キラル構造を取り、そのラセミ対が三重項エネルギーを閉じ込める効果を確認しており、発光機構について詳細に検討する。

有機化合物の発光過程には蛍光とリン光がある。光吸収により一重項状態 ( $S_1$ ) へ励起された分子は蛍光を発するか、三重項状態 ( $T_1$ ) へ項間交差し、リン光を発する。リン光過程はスピン禁制遷移であるため、発光寿命はマイクロ秒から数秒に及ぶこともある。有機分子の長寿命なリン光発光過程は振動緩和などの分子運動に起因する失活のため室温下で観測されることはまれである。分子運動が規制される極低温や固相では分子運動が規制され高い効率でリン光を発する例が知られており、分子集合により活性化するため Aggregation-Induced Emission (AIE) と呼ばれている。有機 EL ではホールと電子の再結合により生成する励起子が三重項であることからリン光への関心が高い。我々は企業との共同研究で光により硬化するフォトポリマーの増感剤を研究する過程で超長寿命リン光を見出した。この時点では他の報告例はわずかであり我々は未知であったが、その後数例の類似の研究を検索し見出した。それは室温下でリン光を発する分子として強いスピン-軌道相互作用を示すカルボニル化合物で、代表は benzophenone 誘導体である。しかしながら、室温下では上述したように熱失活などの非発光性の遷移が優位に働くため、リン光を得るには極低温化などの特別な環境を必要とすると考えられてきた。2010 年、Tang らによって benzophenone およびその誘導体が室温下、結晶状態においてリン光を示すことを CIP (Crystallization-induced phosphorescence) として報告した (J. Phys. Chem. C, 2010, 114, 6090)。Tang らが benzophenone のような単純な構造をもった有機化合物が室温でリン光を示すことを明らかにしたことで、この分野の研究は活発化したといえる。さらに純粋な有機化合物からなるリン光材料は、重金属を含んだリン光材料に比べ、安価で、扱いやすく、環境負荷が小さいと期待できるため、純粋な有機化合物の室温下におけるリン光は急速に発展しており、我々も研究費を得て強力に進めたい。(2) 関連する国内外の研究動向と本研究の位置づけ分野の現象論を中心とした論文報告は増加している。Kim らはプロモ基とアルデヒド基を有する化合物を合成し、固相においてリン光を示すことを報告している (Nature Chem., 2011, 3, 205)。プロモ基を導入することで、リン光の量子収率が飛躍的に増加することを見出し、リン光を高効率化するための結晶デザインを提案している。Huang らは Carbazole と triazine が連結した化合物で観測された超長寿命リン光の発光モデルとして H-会合体モデルを提唱している (Nature Mater., 2015, 14, 685)。これまでの関連成果に関しては、Hirata らの Adv. Opt. Mater. (2017, 5, 1700116) に詳しい。我々の研究目的は第一に学理の解明である。また上述した材料科学的な展開も期待しているが、まだほとんどの研究者が注目していない分子の Chirality、結晶構造の Chirality の役割を特に重視している。化合物の分子構造により超長寿命リン光の発光メカニズムには複数存在していることは明らかであるが、分子や結晶の Chirality が関わるこれまでにない新しい機構を提案できる可能性がある。

### 2. 研究の目的

世界の他の研究室が行うことができない手間のかかる包括的かつ緻密な研究であるといえる。1978 年に第一報が Nature に報告され、有機結晶の特異な発光現象が報告されたが、その後 2010 年までは関連報告はなされなかった。2015 年の Nature Chem. まで明確な発光原理の提案はなされなかった。しかしながら、提案されたモデルは一部の研究対象とされた分子には当てはまっていたものの、我々がその後得た類似分子の単結晶 X 線構造解析から明確に否定できる。つまり基礎的な学理の理解が不十分な状況にある。この研究の展開により単に新しいタイプの発光デバイスの開発につながるだけでなく、有機 EL や太陽電池材料の分子設計など、実用面にもフィードバックできる大変貴重かつ重要な成果となるであろう。以上、学理と応用が有機的に連携することで大変有用な成果が期待できる特徴的な研究である。有機エレクトロニクスは OLED-TV の工業的展開により産業界にも大きな変革をもたらしており、日本企業の国際的競争力にも直結する重要な課題である。

### 3. 研究の方法

提案したモデルに沿った分子設計・合成を行った。シンプルな分子構造骨格の中から優れた骨格構造に焦点を絞り、それらの物質群に対して多様な置換基の導入により振動を加えた。

1:長発光寿命、低エネルギー発光波長を有する有機結晶りん光発光の原理を解明した。特に $\pi$ - $\pi$ 相互作用を示す平面分子である triphenylene など、異なる分子間相互作用を示す phenylethanol 誘導体を中心に、単結晶 X 線構造解析から予想される分子構造、結晶パッキング構造をもとに、分子間に働く相互作用について分子軌道法を用いて見積もり、発光の原理を明らかにした。特に計算科学においては、これまで分子間相互作用の評価が可能な DFT (M062X functional 法)を用いた。物質群への適応状況を詳細に検討した後、モデルの普遍性についても検討した。

2:本発光の分子構造との相関を普遍化する。発光原理から予想されベストな分子構造の設計を行い、分子間相互作用の最適化し、結晶構造に反映させ、発光色の制御、発光効率の最大化を図る。特に chiral 分子が racemic 結晶について集中的に研究した。これまで研究した diphenylethanol 誘導体は achiral な分子で、結晶中で chiral な conformer として固定される。そこで不斉炭素原子を持つ chiral なアルコールを用いて行った。これまでに藤内、宮田らは(2012年)anthracene、池田らは(2015年)brane 誘導体の結晶中、1重項励起状態においてマルチマー発光を観測したことを報告しており関連性がある。密なラセミ結晶 (Wallach 則)自体に議論があるので結晶構造と物性を慎重に検討した。

方法スキーム

[1.分子デザインと合成]→[2.発光分光測定]→[3.X線単結晶構造解析と分子間相互作用]→[4.結晶構造と計算科学]→[5.優れたパフォーマンスを示す分子群の一般性の解明と評価]→[6.デバイス中での挙動の確認]

このサイクルを繰り返す、サイクル数が増すことにより細部にわたる分子デザインや詳細な機構の解析を行った。

## 4. 研究成果

### 4-1. 有機結晶が示す超長寿命りん光におけるキラリティの効果

発光には蛍光とりん光が存在し、一般的な有機化合物では三重項励起状態 ( $T_1$ ) から一重項である基底状態 ( $S_0$ ) に遷移する際に起こる発光をりん光と呼ぶ。りん光は禁制遷移により生じ、寿命が長いことからバイオイメージングプローブ材料などへの応用が期待される。しかし、一般的に長寿命のりん光は酸素による消光や分子の熱運動による無輻射失活が優先して起こるため、りん光を室温大気下で観測することは困難である。近年、試料を結晶化することにより室温りん光を観測できる例が報告されており、その中には 77 K のガラスマトリックス状態では観測されない特異的な長寿命りん光 (pRTP) を示す化合物が報告されている。pRTP は限られた有機結晶でのみ発現することや発光波長がマトリックス中よりも低エネルギー側であることから、発光メカニズムには結晶状態における無輻射失活の抑制だけでなく、結晶中の分子間水素結合や芳香環同士の $\pi$ - $\pi$ 相互作用といった分子間相互作用も要因の一つであると考えられる。

それぞれのエナンチオマーは同一の電子的特性を持つが、ラセミ体は結晶中では単一のエナンチオマーの結晶とは異なるパッキングを持つため、pRTP の発現に対する分子間相互作用の影響について調査することは重要であると考えた。そこで本研究では、pRTP を示した 3 種類の不斉中心を持つ芳香族化合物 (Fig. 1) について発光特性の調査と結晶構造の解析を行い、有機結晶が示す pRTP におけるキラリティの効果を解明した。

結晶構造から 2 分子を切り取り、それらの組み合わせと相互作用の強さに着目した。相互作用の強さは距離に依存すると考え、ラセミ体と単一のエナンチオマーの結晶中の 2 分子間の距離を比較した。距離だけに注目すると差異は見られるが、pRTP の発光特性との相関は見られなかった。

### 4-2. キラルなアミノインダノール結晶が示す室温長寿命りん光

当研究室では pRTP を示す化合物では光学異性体とラセミ体において発光特性が異なることを報告している。本研究では pRTP を示すキラルなアミノインダノールにおいて発光特性を比較

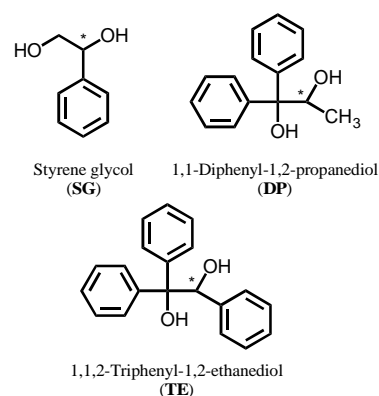


Figure 1. 化合物の構造

検討し、単結晶 X 線構造解析、計算化学から考察を行うことでメカニズム解明を目指した。

Fig. 2 に示した *RS*-AI、*SR*-AI、*RR*-AI、*SS*-AI およびそのラセミ体である *rac(RS, SR)*-AI、*rac(RR, SS)*-AI において、結晶を作成し、結晶状態における発光スペクトルの測定、評価を行った。また、

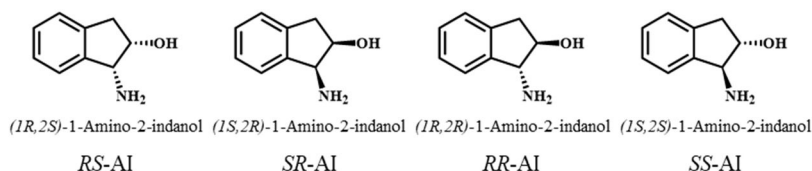


Figure 2. Structures of chiral aminoindanol isomers.

単結晶を作成出来た *RS*-AI、*SR*-AI、*rac(RS, SR)*-AI、*RR*-AI、*rac(RR, SS)*-AI において単結晶 X 線構造解析を行い、さらに結晶構造をもとに TD-DFT 計算を行った。

発光特性調査により、*RS*-AI、*SR*-AI、*RR*-AI、*SS*-AI およびそのラセミ体である *rac(RS, SR)*-AI、*rac(RR, SS)*-AI において pRTP の発現を確認した (Table 1)。時間分解発光スペクトルより、他の AI の結晶と比較して *rac(RS, SR)*-AI のみが比較的短波長である 450 nm 付近に極大を持つりん光を発現することを確認した。

発光波長に差異を及ぼしている分子間相互作用についてより詳細に調査するために、TD-DFT 計算によって結晶中の二分子におけるエネルギーギャップの算出を行った。以下に *RS*-AI、*rac(RS, SR)*-AI における単分子と二分子におけるエネルギーギャップの差 ( $\Delta E_g$ ) が最大・最少を示す二分子の配向と、最低励起一重項からの遷移確率が最大となる遷移における分子軌道から、芳香環同士における電子の Through-space conjugation が  $\Delta E_g$  の減少に寄与しており、その結果としてりん光の発光波長に影響を及ぼしていると考えられる。

#### 4-3. モノアシル化ジオールが示す室温長寿命りん光

モノアシル化ジオールの誘導体について調査した。これらの化合物群は、類似の分子構造を持つにもかかわらず、置換基によって大きく異なる結晶構造を有することが報告されており、pRTP の発現に寄与する結晶構造を明確に観測できることが示唆される。

Fig. 3 に示した 3 つのモノアシル化ジオールの誘導体は既報に加え、本研究においても単結晶 X 線構造解析を行うとそれぞれが異なる結晶構造を有することが確認できた。そこで、それぞれの誘導体の発光スペクトル、りん光寿命を測定し、発光特性と分子構造、結晶構造の相関関係を調査した。

結晶状態のモノアシル化ジオールの誘導体はいずれも 1*S*、2*R* 体と 1*R*、2*S* 体のラセミ結晶として得られた。単結晶 X 線構造解析では 3 つのモノアシル化ジオールの結晶がいずれも異なる結晶構造を有することが観測された。そこで、りん光の発光特性と分子構造の比較のため、まず全ての化合物の結晶中での単分子構造に着目した。すると HMBr と HPBr においては、ラセミ結晶を形成する 1*S*、2*R* 体と 1*R*、2*S* 体はいずれもアニシル基同士がゴーシュ配座をとっており、異性体同士は鏡合わせの関係で固定化されていることが観測された (Fig. 3 上)。一方で HMBc においては、ラセミ結晶中で 1*S*、2*R* 体はアニシル基同士がゴーシュ配座をとる一方で 1*R*、2*S* 体

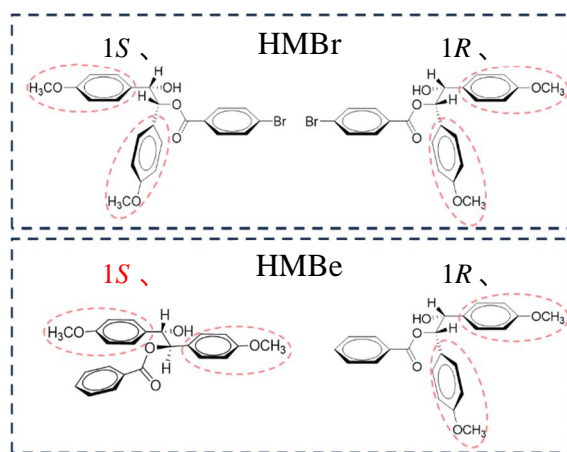


Figure 3. Conformational relationships of HMBr and HMBc isomers in their crystals.

はアンチ配座をとり、異性体同士が異なるコンホメーションを取って固定化されていることが観測された(Fig. 3 下)。アンチ配座をとる 1*R*、2*S* 体は HOMO-LUMO の重なりが乏しく基底状態から励起一重項状態への遷移が禁制遷移であることが観測され、pRTP の発現が起こりえない構造であることが示された。

#### 4-4. トリアジン骨格を有する有機化合物が示す室温長寿命りん光

会合体が平面性の高いトリアジン骨格を有する化合物群において pRTP の発現を確認し、置換基の変化によりそれぞれ異なる発光特性を有することを確認した。これら化合物群において、単結晶 X 線構造解析 (XRD) TD-DFT 計算を用いて発光特性の差異の要因となる要素を調査することで、pRTP の詳細な発現メカニズムの解明を目指した。

種々の水素結合性置換基を有するトリアジン(Fig. 4)を合成し、各化合物の固体状態における時間分解発光スペクトル測定、りん光量子収率測定及びりん光寿命測定、ガラスマトリックス状態における定常状態スペクトル測定を行った。

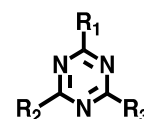


Figure 4. トリアジン

#### 4-5. 3-フルオロ安息香酸を用いた共結晶における室温長寿命りん光

pRTP を示す分子の一つである 3-フルオロ安息香酸 (以下 3FBA) は単純な構造ながら目視で 4 秒ほどの残光を示し、さらにいくつかの分子と共結晶を形成する。共結晶は一般的に単一分子結晶と異なる化学的特性を示すことが知られている。本研究は長寿命りん光のメカニズム解明を目的に 3FBA を用いた共結晶

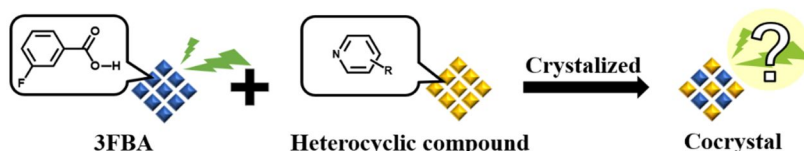
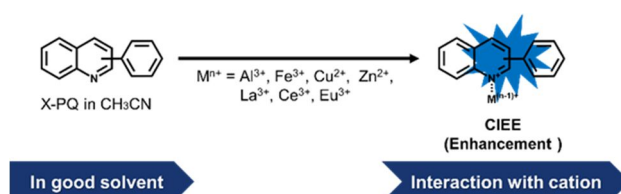


Figure 5. 3FBA とヘテロ環化合物による共結晶作製

晶を作製し、どのような構造が 3FBA のりん光に寄与しているのかを解明するため調査を行った。共結晶材料には 3FBA との共結晶を形成するヘテロ環化合物を用い、単一分子結晶と共結晶について、定常状態及び時間分解発光スペクトル測定、量子収率及び発光寿命、77K における発光測定の調査を行い、加えて単結晶 X 線構造解析、赤外吸収スペクトル測定、及び DFT 計算を行い、発光挙動と分子間相互作用の関係性を調査・考察した。

#### 4-6. カチオン添加による phenylquinoline 類の青色発光増強

現在、青色発光材料は課題として発光量子収率と色純度が低いことが挙げられ、開発が注力されている。今回、良溶媒である CH<sub>3</sub>CN 中で Phenylquinoline (PQ) に金属カチオン(M<sup>n+</sup>: Fe<sup>3+</sup>、La<sup>3+</sup>、Ce<sup>3+</sup>、Eu<sup>3+</sup>等)を添加すると、高発光量子収率で高色純度を示す青色蛍光が見られた (Cation Induced Emission Enhancement: CIEE, Scheme 1)。PQ の基本骨格である Quinoline (Q) 環に対して、Ph 基の置換位置が異なる 7 つの PQ の構造異性体について発光特性の調査をしたところ、それぞれ異なる発光スペクトルや発光量子収率が見られ、青 - 青緑色の発光を示した。これらの発光は PQ とカチオンの錯形成に起因し、Q 環に対する Ph 基の置換位置が分子内の電荷分布に影響を与えることが要因として考えられる。Ph 基の置換位置や金属カチオンの種類に着目し、発光機構を解明した。



Scheme 1. Blue emission enhancement process of PQ.



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jun Asano, Kaname Ishigaki, Kyoshiro Tanno, Kazuki Nakamura, Norihisa Kobayashi, Daisuke Aoki, Tatsuo Taniguchi, and Takashi Karatsu	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhancement of the blue luminescence of phenylquinoline derivatives by cation addition.	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology, A: Chemistry	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） 10.1016/j.jphotochem.2024.115465	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20件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 唐津孝（千葉大院工）
2. 発表標題 りん光とりん光に関わる光化学
3. 学会等名 第33回配位化合物の光化学討論会（高知、オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野悫、石垣要、青木大輔、谷口竜王、唐津孝（千葉大院工）
2. 発表標題 カチオン添加によるphenylquinoline類の青色発光増強
3. 学会等名 2022年光化学討論会（京都）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎田結夢、佐々木雄大、青木大輔、谷口竜王、唐津孝（千葉大院工）
2. 発表標題 3-フルオロ安息香酸を用いた共結晶における室温長寿命りん光
3. 学会等名 2022年光化学討論会（京都）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丹野亨志郎、青木大輔、谷口竜王、坂本昌巳、唐津孝 (千葉大院工)
2. 発表標題 モノアシル化ヒドロベンゾイン結晶構造が示す室温長寿命りん光
3. 学会等名 2022年光化学討論会 (京都)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田啓夢、青木大輔、谷口竜王、唐津孝 (千葉大院工)
2. 発表標題 キラルなアミノインダノールが示す室温長寿命りん光
3. 学会等名 2022年光化学討論会 (京都)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本真也、青木大輔、谷口竜王、唐津孝 (千葉大院工)
2. 発表標題 スチレングリコール誘導体が示す室温長寿命りん光
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会 (野田)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丹野亨志郎、青木大輔、谷口竜王、坂本昌巳、唐津孝 (千葉大院工)
2. 発表標題 モノアシル化ヒドロベンゾイン結晶が示す室温長寿命りん光
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会 (野田)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Miharu Ito, Hirofumi Takamatsu, Tatsuo Taniguchi, Hiroaki Okamoto, Takashi Karatsu
2. 発表標題 Effect of acrylic and epoxy hybrid crosslinker on the mechanical strength of photocurable resin for 3D printing
3. 学会等名 The 38th International Conference of Photopolymer Science and Technology (ICPST-38) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kotaro Kobayashi, Hirofumi Takamatsu, Tatsuo Taniguchi, Hiroaki Okamoto, Takashi Karatsu
2. 発表標題 Control of radical polymerization and cationic photopolymerization in photocurable resin for 3D printers
3. 学会等名 The 38th International Conference of Photopolymer Science and Technology (ICPST-38) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石垣要、山田大、谷口竜王、唐津孝
2. 発表標題 フェニルエタンジオール類の有機結晶が示す超長寿命りん光におけるキラリティーの効果
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 カチオン添加によるphenylquinoline類の青色発光増強
2. 発表標題 浅野悞、石垣要、谷口竜王、唐津孝
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 山田豊和、横田健太、中澤芳洋、荒本夏帆、根本諒平、ピーター クリュージャー、唐津孝
2. 発表標題 ダイポール相互作用によるIr( )錯体一次元ナノワイヤー成長
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林浩太郎、谷口竜王、唐津孝、岡本博明
2. 発表標題 3Dプリンター用光硬化性樹脂におけるラジカル重合とカチオン重合の制御
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 Toyo Kazu Yamada, Kenta Yokota, Yoshihiro Nakazawa, Kaho Aramoto, Ryohei Nemoto, Peter Kruger, and Takashi Karatsu
2. 発表標題 Growth of Molecular Nanowires made of Ir( )-Complex Dipole Chains
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS9) ~Toward Sustainable Development~ (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kotaro Kobayashi, Daisuke Aoki, Tatsuo Taniguchi, Takashi Karatsu, Nobuaki Takane, Hiroaki Okamoto, Koichi Fujii, Yuki Yamauchi
2. 発表標題 Development of Photo-curable Resin for 3D Printing Using Acrylic Monomers with Bisphenol Skeleton
3. 学会等名 The 40th International Conference of Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kyoshiro Tanno, Daisuke Aoki, Tatsuo Taniguchi, Masami Sakamoto, Takashi Karatsu
2. 発表標題 Persistent Room-Temperature Phosphorescence from Crystals of Monoacylated-Hydrobenzoin Derivatives.
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉本真也、青木大輔、谷口竜王、唐津孝
2. 発表標題 トリアジン骨格を有する有機化合物が示す室温長寿命りん光
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鎌田啓夢、青木大輔、谷口竜王、唐津孝
2. 発表標題 キラルなアミノインダノール結晶が示す室温長寿命りん光
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丹野亨志郎、青木大輔、谷口竜王、坂本昌巳、唐津孝
2. 発表標題 コングロメレートを形成する結晶が室温長寿命りん光に与える影響
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 杉本 真也、青木 大輔、谷口 竜王、唐津 孝
2. 発表標題 トリアジン骨格を有する有機化合物が示す室温長寿命りん光
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

千葉大学工学部共生応用化学コースエネルギー変換材料研究室（第8研究室） <a href="https://chem.tf.chiba-u.jp/gacb08/index.html">https://chem.tf.chiba-u.jp/gacb08/index.html</a> 千葉大学工学部共生応用化学コース高分子化学研究室（第8研究室） <a href="https://chem.tf.chiba-u.jp/gacb08/index.html">https://chem.tf.chiba-u.jp/gacb08/index.html</a>
--

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