

機関番号：12501  
 研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20550056  
 研究課題名 (和文) 光学異性化と幾何異性化からイリジウムトリスキレート錯体の光化学を解明する研究  
 研究課題名 (英文) Understanding of photochemistry of iridium triscyclometalated complexes by their optical and geometrical isomerizations  
 研究代表者  
 唐津 孝 (KARATSU TAKASHI)  
 千葉大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：70214575

研究成果の概要 (和文)：200字

有機エレクトロルミネッセンスなどで重要な発光材料であるイリジウム(III)トリスシクロメタレート錯体はその発光機構が従来の有機物異なっており、発光効率を飛躍的に増大できることから重要である。錯体には1対の幾何異性体と、それぞれには1対の光学異性体が存在する。これらの異性体間で片道の光幾何異性化することを明らかにした。この異性化の機構を実験科学的にまた計算科学を活用して明らかにすることができた。

研究成果の概要 (英文)：

Iridium (III) triscyclometalated complexes have attracted much attention as the material for the organic light emitting diode (OLED) because of their high performance of electroluminescence. The complex has a pair of geometrical isomer and optical isomer. To elucidate photochemical geometrical one-way isomerization, experimental and theoretical approaches were applied and successfully we have understood the mechanism.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,900,000	1,170,000	5,070,000

研究分野：光化学

科研費の分科・細目：基礎化学，無機化学4603

キーワード：機能材料，錯体化学，発光材料，光化学

#### 1. 研究開始当初の背景

イリジウム錯体は近年、有機エレクトロルミネッセンス素子の発光材料として有望であることから、基礎、応用両面から高い関心がもたれている。ELは発光層内における電子と正孔の再結合により生成する励起子からの発光である。励起子は電子と正孔スピンの組み合わせから一重項励起状態、三重項励起状態がそれぞれ1対3の割合で生成すること

が知られている。りん光材料では三重項励起状態は一重項励起状態よりもエネルギーが低いことから、当初生成する75%に加え、25%の一重項励起状態を項間交差させて三重項励起状態に導くことが可能である。つまり、理想的りん光材料では100%のりん光発光量子効率をもたせることが可能で、実際そのような素子が報告されている。りん光型発光材料として tris(2-phenylpyridine)iridium

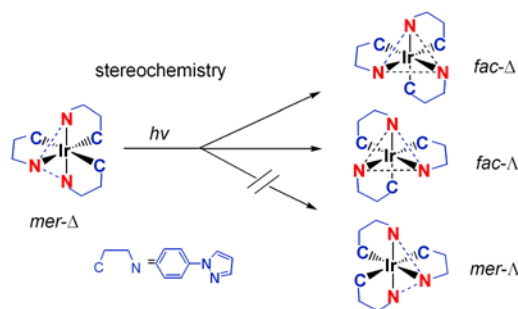
(III) (Ir(ppy)<sub>3</sub>)を代表とするイリジウム錯体は大きな期待が持たれている。フェニルピリジン配位子を有するイリジウム錯体は、d<sub>6</sub>配置で、電荷が中性となる興味深い錯体である。申請者らはこれまでイリジウム錯体の配位子による赤色から青色にいたる可視領域をカバーする発光色の調整を中心に研究してきた(科研費H17-19)。その研究の中で、イリジウム錯体の光幾何異性化に関する非常に興味深い反応を見出すに至った。

## 2. 研究の目的

本申請ではイリジウム錯体の光異性化の機構についての学理を解明することを目的とした。Ir(ppy)<sub>3</sub>などのトリスキレート錯体にはキレート型配位子の配位の仕方の対称性により *facial* (*fac*) 体と *meridional* (*mer*) 体の幾何異性体が存在する。*fac*体錯体は発光効率が高く、また合成法も確立されていたことから主な研究の対象となってきた。一方、異性体である*mer*体の光化学的特性はわずかに研究されているに留まっていたが、近年、*mer*体の選択的な合成方法、および*mer*体から対応する*fac*体への片道異性化が報告されている(A. Tamayo, et al. *J. Am. Chem. Soc.*, 2003、T. Karatsu, et al., *Chem. Lett.*, 2003)。

申請者らは、青色発光材料の中で、*fac*体、*mer*体とも、室温、固体では強く発光するが、溶液中では非常に小さな発光効率を示すなど興味深い光物理・化学挙動を示す1-phenylpyrazole (ppz)を配位子として有する錯体(Ir(ppz)<sub>3</sub>)、を中心に *mer-fac* 幾何異性体、およびそれぞれに存在する  $\Delta$  体と  $\Lambda$  体の光学異性体を分離し、その光異性化挙動を詳細に検討し、イリジウム錯体の励起状態の性質を総合的に理解することをめざした。*mer- $\Delta$* 体異性体からの光幾何異性化に付随して誘起される光学異性化では、*fac- $\Delta$* とその光学異性体 *fac- $\Lambda$* がやや過剰に(*fac- $\Delta$* が約18%ee)生成してくる。これは典型的な熱異性化反応と反対の光学異性体が過剰に生成したことになる。別途単離した *fac- $\Delta$* 、 $\Lambda$ は幾何異性化しないが、ラセミ化の量子収率は*mer*体の幾何異性化の少なくとも20分の1以下であった事から、*mer*体の幾何異性化で誘起される光学異性化は、幾何異性化に付随して起きた事がわかる。さらにこの幾何異性化の時、*mer- $\Delta$* 異性体から *mer- $\Lambda$* 異性体への光学異性化が起きないことがわかり、非常に注目される。これまで提案されている熱異性化や光異性化の機構では、結合(配位子)の組み換えについて生成する四角錐や三方両錐型中間体からの幾何学的かつ確率的な扱いが主になされてきたが、これまでの機構では説明ができないことは明らかである。これまで、光化学が研究されてきたキレート錯

体はルテニウムなどを中心金属とした錯体で、配位子もピリジンやアセチルアセトナト型ものがほとんどであり、今回の申請しているような反応機構はあまり問題にならなかった。しかし、やや対称性の低いフェニルピリジン型の配位子を有するイリジウム錯体では、異性化経路がやや複雑になるが示唆に富んだ反応系であり、詳細な検討から新たな知見を得ることを目的とした。



イリジウム錯体は有機 EL など応用面の研究に比べ基礎的な性質の理解が不十分な状況にある。光化学について解明することは、これまで錯体光異性化の選択性について提案されている Adamson 則や Vanquickenborne-Ceulemans 理論(VC 理論)を新たに発展・展開した理論を構築できる可能性を秘めている。

## 3. 研究の方法

2座配位子を有するトリスキレート型イリジウム(III)錯体の *mer-fac* 幾何異性化を中心とする光化学を解明するために、錯体の合成、単結晶 X 線構造解析等による構造解析、反応生成物の同定、反応効率の測定、量子力学計算による反応準位の特定、反応経路の推定を行った。そこでは、光学異性体を分割して用いることにより詳細かつ精密な反応機構を解明した。

## 4. 研究成果

Ir(ppz)<sub>3</sub> トリスキレート錯体にて得られた実験的データ(①~⑫)

- ① *mer* 体は幾何異性化し、光学異性化しないことを明らかにした。
- ② 幾何異性化に伴って *fac* 体の光学異性体が起こり、完全なラセミ化でなく18%eeとなった。配位子、反応条件によっては100%eeを達成できた。
- ③ *fac* 体は *mer* 体へ幾何異性化しない。
- ④ *fac* 体の光学異性化は *mer* 体からの幾何異性化の < 1/20 の効率である事を明らかにした。
- ⑤ 非発光性の原因はラセミ化のためではないことを解明した。
- ⑥ 単純な熱異性化の機構はあてはまらないをもとに、妥当な反応機構・経路を提案した。

- ⑦ 幾何異性体・光学異性体の分離方法を確立した。
- ⑧ 光反応と熱反応の反応性生物の同定・定量および反応効率の測定した。
- ⑨ X線単結晶構造解析による種々の錯体の *mer*, *fac* 体分子構造の詳細な理解を行った。
- ⑩ 配位子場理論と Gaussian DFT 法などを用いた理論的考察による反応機構・経路の提案した。
- ⑪ 反応に関与する励起状態の特定と、なぜ *fac* 体は *mer* 体に異性化しないのか解明した。
- ⑫ 異なる配位子を有する錯体の検討による反応の普遍性を解明した。特に赤色錯体では異性化が起こらない事を明らかにした。また、青色錯体では異性化が起こる場合と起こらない配位子があり、その要因を解明した。

この光幾何異性化の効率を比較検討すると *mer* 体の axial 位の配位子の種類に依存していることがわかった。イリジウム錯体は  $d_6$  電子が  $t_{2g}$  軌道にあり低スピン型の電子配置をしており、正八面体型の安定な構造をとっていると考えられるが、光励起により、 $e_g$  軌道に電子が入り、軸上に伸びたひずんだ構造をとると考えられる。その後配位子の置換反応が起きるが、光反応では熱反応と異なり、配位子の脱離や、脱離した錯体の捕捉実験で中間体が捕まらないことから、完全な配位子の脱離・再配位による置換とは異なる経路で異性化が起こっていると考えられる。このことは幾何異性化のなかで起こる光学異性化の挙動からも裏づけられた。

近年注目されている実用化に最も近い青色発光材料の一つであるカルベン錯体は *mer* 体の構造を有していることが知られており、この錯体の挙動についても明らかにした。これまで事前の実験でこの錯体は光幾何異性化せず、耐久性、発光効率も高いことからこれまでの *mer*-ヘテロ錯体とは異なる特性を有していると予想されることから大変興味深い。*mer* 体の選択的合成法についても検討した。これまでの錯体合成方法は、塩素架橋 2 核錯体を経由する方法 (Nonoyama, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 1974) である。*mer* 体は熱力学的に不安定な幾何異性体なので、低温で速度論支配の生成物として得る場合には収率が低い難点があった。近年別法が報告されたが (Leipold, et al, 特許 US20060135772), 合成原料の点で難点がある。さらに、異なる配位子を 2 核錯体に反応させる経路で heteroleptic 錯体を合成す場合には、*mer* 体の 2 個の axial 位の配位子は同一で、ヘテロ配位子はその間に位置することが必然であった。今回の研究において配位子の幾何学的な配置が異性化を含めた励起状態の性質に重要であることから、合成方法についても新たな方法を考案した。3 塩化イリジウムをトリシアセチルアセトナト錯体に変換し、配位能が高く置換しにくい

配位子をまず 1 つ配位させ、次いで第 2, 第 3 の配位子を順次交換した。

本研究に当たっては、連携研究者及び研究協力者 (企業の研究者、大学院生等) の役割によるところが大きい。研究代表者を中心に 4 名の大学院学生で行った。すでに工業的に生産されている錯体、あるいはその準備態勢にある錯体については、三菱化学科学技術研究センターの研究者から試料の合成に関する情報提供を受けた。

以上、3 年間の研究の研究期間を総括して、2 座配位型のイリジウム錯体の光化学について、合成法、構造解析、光反応性、反応に関わる励起状態エネルギー準位、反応の機構を総括し、基礎的学理を確立する事が出来た。イリジウム錯体の基礎的な学理の解明は、特にイリジウム錯体の励起状態の関与する光安定性などにつながる成果であることから、耐久性のある有機 EL 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があげられたと確信している。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 19 件)

- ① Koji Takahashi, Yoshinobu Nishimura, Tatsuo Arai, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Takashi Karatsu, Photophysics and photochemistry of positionally isomeric 1,2-dianthryltetramethyldisilanes: Investigation of anthryl-anthryl and anthryl-SiSi interactions *J.Photochem. Photobiol. A:Chem.*, 査読あり (2011), 218(2-3), 204-212.
- ② Kazunori Takano, Haruko Watanabe-Takano, Shiro Suetsugu, Souichi Kurita, Sumiko Kimura, Takashi Karatsu, Tadaomi Takenawa, Takeshi Endo, Nebulin and N-WASP cooperate to cause IGF-1-induced sarcomeric actin filament formation *Science*, 査読あり (2010), 330(6010), 1536-1540.
- ③ Koji Takahashi, Yuuki Takanashi, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, and Takashi Karatsu, Fluorescence Patterning by Using Photochemical Cycloaddition of Di-9,9'-anthracene Conjugates Linked by permethylsilyl Chains *J.Photopolymer Sci. Tech.*, 査読あり (2010), 23(6), 789-794.
- ④ Tsuyoshi Tazawa, Shiki Yagai, Yoshihiro Kikkawa, Takashi Karatsu, Akihide

- Kitamura, Ayyappanpillai Ajayaghosh, A complementary Guest Induced Morphology Transition in a Two-Component Multiple H-Bonding Self-Assembly  
*Chem. Comm.* 査読あり (2010), 46(7), 1076-1078.
- ⑤ Kazuyoshi Tsuchiya, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Takashi Karatsu, Kyoko Endo, Junji Mizukami, Seiji Akiyama, Masayoshi Yabe,  
Synthesis and Photophysical Properties of Substituted Tris(Phenylbenzimidazolinato) Ir(III) Carbene Complexes as a Blue Phosphorescent Material  
*Eur. J. Inorg. Chem.*, 査読あり 2010, 926-933.
- ⑥ Hiroharu Tanikawa, Kazuhiro Ishii, Shun Kubota, Takashi Sasanuma, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Takashi Karatsu, Effect of Nitro-Substitution on the Photochemistry of 3-Peiperidino-1,2-Benzisothiazole Derivatives: A Mechanistic Investigation  
*Heterocycles*, 査読あり 81(3), (2010) 659-674, 2009.
- ⑦ Shiki Yagai, Shun Kubota, Hikaru Saito, Kanako Unoike, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Ayyappanpillai Ajayaghosh, Masatoshi Kanesato, Yoshihiro Kikkawa, Reversible Transformation between Rings and Coils in a Dynamic Hydrogen-Bonded Self-Assembly  
*J. Am. Chem. Soc.*, 査読あり (2009), 131(15), 5408-5410.
- ⑧ Yoshihiro Kikkawa, Shun Kubota, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Masatoshi Kanesato, Shiki Yagai, Two-Dimensional Organization of Mono- and Bisurea Supramolecular Polymers Studied by Scanning Tunneling Microscopy  
*J. Nanosci. Nanotech.*, 査読あり 10, 803-808 (2009).
- ⑨ Kazuyoshi Tsuchiya, Etsuko Ito, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Takashi Karatsu, Chirality in the Photochemical mer fac Geometrical Isomerization of Tris(1-phenylpyrazolato,  $N, C^2$ )iridium(III)  
*Eur. J. Inorg. Chem.*, 査読あり 2009, 2104-2109.
- ⑩ Shiki Yagai, Saori Hamamura, Hao Wang, Vladimir Stepanenko, Tomohiro Seki, Kanako Unoike, Yoshihiro Kikkawa, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Frank Wuerthner, Unconventional Hydrogen-Bond-Directed Hierarchical co-Assembly between Perylene Bisimide and Azobenzene-functionalized Melamine  
*Org. Biomol. Chem.* 査読あり (2009), 7(19), 3926-3929.
- ⑪ Shiki Yagai, Tetsuro Kinoshita, Yoshihiro Kikkawa, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Yoshihito Honsho, Shu Seki, Interconvertible Oligothiophene Nanorods and Nanotapes with High Charge-Carrier Mobilities  
*Chem.-A European J.* 査読あり (2009), 15(37), 9320-9324,
- ⑫ T. Seki, S. Yagai, T. Karatsu, A. Kitamura, Formation of Supramolecular Polymers and Discrete Dimers of Perylene Bisimide Dyes Based on Melamine-Cyanurates Hydrogen-Bonding Interactions.  
*J. Org. Chem.*, 査読あり 73 (2008) 3328-3335.
- ⑬ H. Tanikawa, K. Ishii, S. Kubota, S. Yagai, A. Kitamura, T. Karatsu, Photochemistry of 5-Nitro-1,2-benzisothiazole Derivatives: Effects of Substituents, Solvents and Excitation Wavelength.  
*Tetrahedron Lett.*, 査読あり 49 (2008) 3444-3448.
- ⑭ Shiki Yagai, Tomohiro Seki, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Frank Wuerthner, Transformation from H- to J-aggregated Perylene Bisimide Dyes by Complexation with Cyanurates  
*Angew. Chem., Int. Ed.* 査読あり (2008), 47(18), 3367-3371.
- ⑮ Shiki Yagai, Shun Kubota, Tomoyuki Iwashima, Keiki Kishikawa, Takashi Nakanishi, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Supramolecular Polymerization and Polymorphs of Oligo(p-phenylene vinylene)-Functionalized Bis- and Monoureas  
*Chem.-A European J.* 査読あり (2008), 14(17), 5246-5257.
- ⑯ Shiki Yagai, Sankarapillai Mahesh, Yoshihiro Kikkawa, Kanako Unoike, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Ayyappanpillai Ajayaghosh, Toroidal Nanoobjects from Rosette Assemblies of Melamine-linked Oligo(p-phenylene-ethynylene)s and Cyanurates  
*Angew. Chem., Int. Ed.* 査読あり (2008), 47(25), 4691-4694.
- ⑰ Seki Tomohiro, Shiki Yagai, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Miniaturization of Nanofibers Composed of Melamine-Appended Perylene Bisimides and Cyanurates  
*Chem. Lett.* 査読あり (2008), 37(7), 764-765.

- ⑱ Shiki Yagai, Shun Kubota, Kanako Unoike, Takashi Karatsu, Akihide Kitamura, Cyanurate-Guided Self-Assembly of a Melamine-Capped Oligo(p-phenylenevinylene)  
*Chem. Comm.* 査読あり (2008), (37), 4466-4468.
- ⑲ Takashi Karatsu, Photochemistry and photophysics of organomonosilane and oligosilanes: Updating their studies on conformation and intramolecular interactions  
*J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.* 査読あり (2008) 9, 111-137.
- [学会発表] (計 73 件)
- ① Takashi Karatsu, Masahiro Kobayashi, Naotaka Tawada, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Photophysics and Photochemistry of Triscyclometalated Iridium (III) Complexes: Dendritic and Supramolecular Approaches  
International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2010 (Kyoto, Japan) 2010, July. 4-July. 9, Abstract p. 121 (5D-11) .
- ② Takashi Karatsu, Masahiro Kobayashi, Naotaka Tawada, Yuki Kobayashi, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Iridium (III) Triscyclometalated Complexes For OLED: Dendritic and Supramolecular Approaches  
XXIII IUPAC Symposium on Photochemistry (Ferrara, Italy) 2010, July. 11-July. 16, Abstract p. 61 (SO28) .
- ③ Takashi Karatsu, Kazuyoshi Tsuchiya, Tomoko Sugizaki, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Photochemical Mer-Fac Isomerization of Blue to Red Phosphorescent Triscyclometalated Ir(III) Complexes,  
International Symposium on the Photochemistry and Photophysics of Coordination Compounds, July 4-9, 2009 (Sapporo) Abstract p. 51. (IL 5: Invited Lecture).
- ④ Kazuyoshi Tsuchiya, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Takashi Karatsu, Kyoko Endo, Masayoshi Yabe, Synthesis and Photophysical Property of Substituted Tris(phenylbenzimidazolinato) Ir(III) Carbene Complexes as a Blue Phosphorescent Material,  
International Symposium on the Photochemistry and Photophysics of Coordination Compounds, July 4-9, 2009 (Sapporo) Abstract p. 236. (P131).
- ⑤ Takashi Karatsu, Tomoko Sugizaki, Kazuyoshi Tsuchiya, Shiki Yagai, and Akihide Kitamura Photochemistry of Red Phosphorescent Triscyclometalated Ir(III) Complexes in Solution,  
2009 Korea-Japan Symposium on Frontier Photosciences, Chungnam, Korea, 2009.10.30-11.3, Abstract p. 51 (IL-26, Invited Lecture).
- ⑥ Koji Takahashi, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, and Takashi Karatsu, Photophysical and Photochemical Properties of Dianthryldisilanes,  
2009 Korea-Japan Symposium on Frontier Photosciences, Chungnam, Korea, 2009.10.30-11.3, Abstract p. 137 (P-22).
- ⑦ Lin Xu, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, and Takashi Karatsu, High-Triplet Energy Copolymer Hosts Grafted with Red, Green, and Blue Ir(III) Complexes,  
2009 Korea-Japan Symposium on Frontier Photosciences, Chungnam, Korea, 2009.10.30.-11.3, Abstract p. 136 (P-21).
- ⑧ Takashi Karatsu, Photophysics and Photochemistry of Blue, Green, and Red Phosphorescent Ir(III) Complexes for OLED  
The 32nd Fall Meeting of Korean Society for Imaging Science and Technology, Pukyong National University, Pusan, Korea, 2009.11.27, Abstract p. 15. (Invited Lecture).
- ⑨ Takashi Karatsu, Photophysics and Photochemistry of Blue, Green, and Red Phosphorescent Triscyclometalated Ir(III) Complexes,  
2009 Asian Symposium on Organic Materials for Electronics and Photonics (ASOMEF 2009), The 7<sup>th</sup> International OLED and PLED Materials Workshop in Taipei, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, 2009.12.13-15, Abstract p. 21 (Invited Lecture).
- ⑩ Takashi Karatsu, Photophysics and Photochemistry of Fluorescent Materials; Understanding and Controlling of Intra- and Inter-Molecular Interactions,  
Post-Symposium of 2009 Asian Symposium on Organic Materials for Electronics and Photonics (ASOMEF 2009), National Tsing Hua University, Shinghu, Taiwan, 2009.12.16, Abstract p. 6 (Invited Lecture).
- ⑪ Takashi Karatsu, Kazuyoshi Tsuchiya, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Chirality in the Photochemical ~~meridional~~ Geometrical Isomerization of Triscyclometalated Iridium (III) Complex,

XXII IUPAC Symposium on Photochemistry 2008 (Goeteborg, Sweden) 2008, July. 28-Aug. 1, Abstract p. 79 (SO49).

- ⑫ Takashi Karatsu, Kazuyoshi Tsuchiya, Hiroki Iwaki, Shiki Yagai, and Akihide Kitamura, Chirality in the Photochemical *mer*→*fac* Geometrical Isomerization of Iridium (III) triscyclometalated complexes, 2008 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience (Jeju, Korea) 2008, Sep. 25-28, Abstract p. 56 (IL 25: Invited Lecture).
- ⑬ Shigeru Takahara, Naoma Ban, Hidehiko Ando, Tomoe Miyazawa, Hitoshi Saito, Nobukazu Miyagawa, Takashi Karatsu Self-aggregation Behavior of Photochromic Compounds: Alkyl substituted Aromatic Compounds to Form Endoperoxides, 2008 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience (Jeju, Korea) 2008, Sep. 25-28, Abstract p. 97 (IL 61).
- ⑭ Kazuyoshi Tsuchiya, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Takashi Karatsu, Kyoko Endo, Masayoshi Yabe Photophysical Properties of Blue Phosphorescent Tris(4-substituted phenylbenzimidazolinato) Ir(III) Carbene Complexes, 2008 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience (Jeju, Korea) 2008, Sep. 25-28, Abstract p. 112 (YL 07).
- ⑮ Hiroharu Tanikawa, Kazuhiro Ishii, Shun Kubota, Shiki Yagai, Akihide Kitamura, Takashi Karatsu, Photochemistry of Nitro-1,2-benzisothiazole Derivatives, 2008 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience (Jeju, Korea) 2008, Sep. 25-28, Abstract p. 122 (PO 06).
- ⑯ 唐津孝, リン光発光材料イリジウムトリスシクロメタレート錯体の光化学  
筑波大学学際物質科学研究センター (TIMS, 白川センター) 第9回機能性分子シンポジウム, 平成22年1月8日, 筑波大学 (招待講演) .

#### その他国内学会 57 件

[図書] (計1件)

唐津 孝, オーム社「有機半導体デバイス」, 日本学術振興会第142委員会C部会編に, イリジウム錯体の光異性化反応 (1章4節を分担執筆)

[その他]

ホームページ等

<http://chem.tf.chiba-u.jp/gacb08/Resource/resource.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

唐津 孝 (KARATSU TAKASHI)  
千葉大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号 : 7 0 2 1 4 5 7 5

##### (2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号 :