

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24659019

研究課題名(和文) 光線の力学療法剤の新規蛍光色素は太陽電池デバイスとなるか？

研究課題名(英文) Can new fluorescence dyes for photodynamic therapy be a solar-cell device?

研究代表者

榎本 秀一 (ENOMOTO, Shuichi)

岡山大学・医歯(薬)学総合研究科・教授

研究者番号：10271553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)を光増感性材料へ応用することを目的とし、新たなABPX誘導体の合成とそれらの物性解析を行った。色素分子間の相互作用を抑制することで、光電流変換効率の向上させるため、アルキル鎖を系統的に導入したABPX誘導体を合成した。その結果、 ϕ はアルキル側鎖をエチル基からオクチル基まで伸長させることで約2倍以上に向上し、アルキル側鎖の立体障害により色素間の分子間相互作用が減少したことに起因すると推定された。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have synthesized new ABPX derivatives, which have long alkyl chains to prevent the dye-dye intermolecular interaction, and investigated the photophysical properties of them to apply for a photosensitizer of the dye-sensitized solar cell. As the alkyl chains were longer, the absorption and fluorescence emission spectra were slightly red shifted. The ϕ of ABPX05 with tetra-octyl chains (cis-form: $\phi = 0.28$, trans-form: $\phi = 0.28$) was twice as high as ABPX01 with tetraethyl (cis-form: $\phi = 0.16$, trans-form: $\phi = 0.15$) in all solvent such as chloroform, acetone methanol and acetonitrile. The longer alkyl chains in ABPX, the larger ϕ observed. From these results, we estimated the improvement of ϕ of ABPX derivatives, which have long alkyl chains, were derived from the prevention of dye-dye intermolecular interaction.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：薬学・物理系薬学

キーワード：イメージング 炎症 分子プローブ

1. 研究開始当初の背景

近年、化石エネルギー資源の枯渇や福島第一原子力発電所事故より、代替エネルギーの創出は極めて必要かつ緊急性を要する社会的課題である。循環型エネルギーの太陽光発電には光电変換効率が高いシリコン系太陽電池が実用化されているが、高純度シリコンの価格高騰化や製造手順の煩雑性などの問題を有するのに対し、色素増感型太陽電池は、製造が簡便かつ低コストなため、次世代の太陽電池として注目されている。色素増感太陽電池は、2枚の透明電極板(色素を吸着させた光电極層(二酸化チタン)と白金層が塗布)と電解質溶液から構成されており、光増感剤としての色素は、太陽光を吸収して励起状態に遷移することで、電子を光电極層へ渡した後、白金層へ排出されることで発電が行われる。このように太陽光を電気エネルギーへ変換する重要な役割を担う光増感剤には種々の色素化合物が用いられるが、光电極層へ化学吸着した色素化合物は、吸着量が高濃度になるに従い、分子間で凝集・会合が起こる現象により、光电極層への効率的な電子移動を妨げるために、光电変換効率が顕著に低下することが、色素増感型太陽電池の実用化へのハードルとなっている。

2. 研究の目的

本研究では、凝集状態で蛍光の発光性が增大する性質を持つ、アミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)の誘導化研究を進展させ、色素増感型太陽電池の光増感性材料へ応用することを目的とした基礎研究を行なう。具体的には、色素分子から金属電極上への効率的な電子送達や金属電極上への吸着力の向上を達成するために、ABPXの発色団であるキサテン環部位への、アルキル鎖の伸張や構造の剛直性を高めた誘導化を行なうことで、量子収率の向上並びに色素分子間相互作用を考慮した新規誘導体を合成し、その光物性評価を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) ABPXの合成

m-アニシジンを出発原料とし、各種アルキルヨードを、炭酸カリウム存在下、アセトニトリル中で反応を行い、アニリン誘導体(2a-e)を得た。無水フタル酸と塩化アルミニウムをジクロロメタン中に溶解し、氷浴中で攪拌しながら、2a-eを滴下し、0°Cで窒素気流下中、6時間攪拌した。塩酸水溶液で反応液を酸性とし、ジクロロメタン中で抽出し、硫酸マグネシウムで乾燥後留去し、ベンゾフェノン誘導体3a-eを得た。

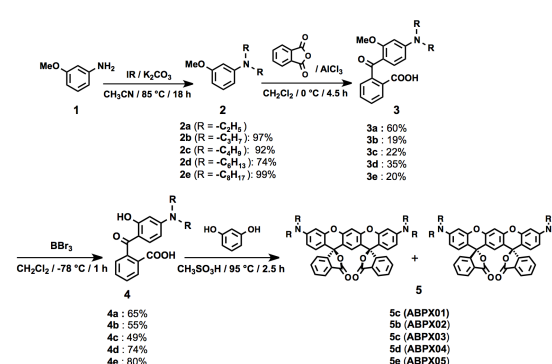
続いて3a-eをジクロロメタン中に溶解し、-78°Cで三臭素化ホウ素を滴下した後、5時間攪拌した。-25°Cに戻し、5%水酸化ナトリウ

ム水溶液で反応液を塩基性とし、ジクロロメタンで抽出した。氷浴中で水層に塩酸をゆくりと滴下すると、沈殿物4a-eが生じた。

4a-eとレソルシノールをメタンスルホン酸中に溶解し、開放系で攪拌しながら4時間110°Cに加熱した。氷冷下で水を加え、水酸化ナトリウムを用いてpHを9に調整し、減圧で固体を除去した。母液をジクロロメタンで抽出し、有機層を硫酸マグネシウムで乾燥後、減圧下溶媒留去した。残渣をシリカゲル順層クロマトグラフィーにより分離精製を行い、画分より桃色固体 *trans* 体並びに *cis* 体の ABPX をそれぞれ得た(Scheme 1)。

(2) 物性評価

吸収スペクトルの測定は日本分光株式会社製品のV-570を用い、蛍光スペクトルの測定は株式会社日立ハイテクノロジーズの蛍光光度計F-4000を用い、セルは1cmの石英セルを用いた。量子収率は、標準物質をローダミンBとし、エタノール中での $\phi_f=0.73$ を基準として相対法にて測定した。サンプルは2.5%トリフルオロ酢酸を含む各種有機溶媒へ溶解し、希釈して1 $\mu\text{mol/L}$ としたものを用いた。解析の際、ABPXはキサテン環部位に対しベンゼンカルボン酸部位の向きが異なった *cis* 体と *trans* 体の立体異性体を形成するため、*cis* 体と *trans* 体に分けてそれぞれ解析を行った。



Scheme 1. Synthetic route of ABPX dyes with alkyl chains.

4. 研究成果

(1) 吸収スペクトルと蛍光スペクトル

最初に、スピロラクトン型の *cis*-ABPX の各種溶媒中での光物性を検討したところ、どちらも10 μM 以上の濃度において蛍光強度が増大し、溶媒の極性の増加に伴い蛍光波長が長波長シフトした。次に、2.5%のトリフルオロ酢酸(TFA)を含有したクロロホルム溶液中のジカチオン型の光物性を検討した結果、長鎖アルキル鎖により蛍光波長がわずかに長波長側にシフトすることが確認された。また、600 nm 及び 550 nm 付近に振電バンド由来のピークを持つ吸収スペクトルを示

した。この振電バンドのうち、600 nm 付近のピークは 0-0 遷移、550 nm 付近のピークは 0-1 遷移に由来するものと帰属した。また、吸収スペクトルと蛍光スペクトルの波形がほぼ対称であることから、この二峰性の吸収帯はジカチオン体に由来するものであることが分かった。*trans* 体でも同様の傾向が見られ、異性体間で大きな違いが見られなかった (Figure 1)。

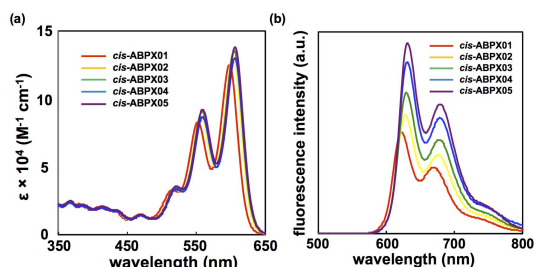


Figure 1. (a) Absorption and (b) fluorescence emission spectra of *cis*-ABPX dyes in chloroform containing 2.5% TFA. $I_{\text{ex}} = 365 \text{ nm}$.

(2) アルキル側鎖が光物性に及ぼす影響

cis-並びに *trans*-ABPX の 2.5% TFA 含有クロロホルム溶液中での光物性解析を行い、比較を行った。その結果、0-0 遷移帯におけるモル吸収係数 (ϵ_{0-0}) は、アルキル側鎖の違いで、ほとんど違いがみられなかった (Table 1)。

Table 1. Optical properties of ABPX01-05 in chloroform containing 2.5% TFA.

Dye	$\lambda_{\text{abs0-0}}$ [nm]	ϵ_{0-0} [$\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$]	Brightness $\epsilon \times \phi_f$
<i>trans</i> -ABPX01	600	92979	13946
<i>cis</i> -ABPX01	598	122054	19529
<i>trans</i> -ABPX02	606	122195	20773
<i>cis</i> -ABPX02	603	133154	23967
<i>trans</i> -ABPX03	607	116512	22137
<i>cis</i> -ABPX03	605	135783	28514
<i>trans</i> -ABPX04	608	118324	29581
<i>cis</i> -ABPX04	606	131215	36740
<i>trans</i> -ABPX05	608	119836	33494
<i>cis</i> -ABPX05	606	139130	38956

一方、量子収率 (ϕ_f) は、ABPX01 (*cis* 体: $\phi_f = 0.16$, *trans* 体: $\phi_f = 0.15$)、ABPX02 (*cis* 体: $\phi_f = 0.18$, *trans* 体: $\phi_f = 0.17$)、ABPX03 (*cis* 体: $\phi_f = 0.21$, *trans* 体: $\phi_f = 0.19$)、ABPX04 (*cis* 体: $\phi_f = 0.28$, *trans* 体: $\phi_f = 0.25$)、ABPX05 (*cis* 体: $\phi_f = 0.28$, *trans* 体: $\phi_f = 0.28$) で、 ϕ_f はアルキル側鎖をエチル基からオクチル基まで伸長させることで、約 2 倍以上に向上し、アルキル側鎖の立体障害により色素間の分子間相互作用が減少したことに起因することが推定された。また、異性体間で光物性の違いは見られなかった (Table 2)。

Table 2. Optical properties of ABPX01-05 in chloroform containing 2.5% TFA.

Dye	λ_{fluo0} [nm]	ϕ_f^{-1}
<i>trans</i> -ABPX01	618	0.07
<i>cis</i> -ABPX01	619	0.07
<i>trans</i> -ABPX02	623	0.08
<i>cis</i> -ABPX02	624	0.08
<i>trans</i> -ABPX03	625	0.08
<i>cis</i> -ABPX03	624	0.08
<i>trans</i> -ABPX04	626	0.11
<i>cis</i> -ABPX04	626	0.11
<i>trans</i> -ABPX05	626	0.13
<i>cis</i> -ABPX05	627	0.13

(3) 溶媒の極性が光物性に及ぼす影響

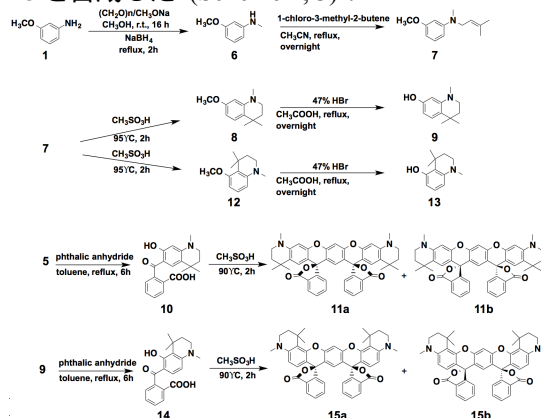
2.5% TFA 含有のクロロホルム、メタノール、アセトン、アセトニトリル中における量子収率 (ϕ_f) を測定し、比較した。その結果、溶媒の極性が高くなるに従い、 ϕ_f は低下する傾向にあった。しかしながら、アルキル側鎖の伸張に伴い、いずれの化合物においても、 ϕ_f は上昇する傾向にあった。これらは異性体間で光物性の違いは見られなかった。これらの結果より、アルキル側鎖の伸張に伴う色素分子間相互作用の減少が、量子収率の向上に寄与していることが推定され、ABPX の発色団であるキサンテン環の分子間距離を考慮した分子設計は、光増感性材料へ応用する上で非常に有用であることが示唆された (Table 3)。

Table 3. Quantum yield (ϕ_f) of ABPX01-05 in various solvents containing 2.5% TFA.

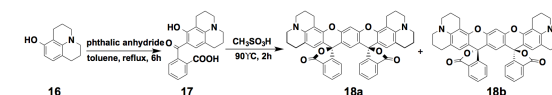
	R	CHCl_3	MeOH	Acetone	MeCN
<i>trans</i> -ABPX01		0.15	0.07	0.07	0.06
<i>cis</i> -ABPX01	C_2H_5	0.16	0.08	0.07	0.06
<i>trans</i> -ABPX02		0.17	0.07	0.08	0.06
<i>cis</i> -ABPX02	C_3H_7	0.18	0.07	0.08	0.06
<i>trans</i> -ABPX03		0.19	0.08	0.08	0.07
<i>cis</i> -ABPX03	C_4H_9	0.21	0.08	0.08	0.07
<i>trans</i> -ABPX04		0.25	0.13	0.11	0.10
<i>cis</i> -ABPX04	C_6H_{13}	0.28	0.13	0.11	0.10
<i>trans</i> -ABPX05		0.28	0.14	0.13	0.12
<i>cis</i> -ABPX05	C_8H_{17}	0.28	0.14	0.13	0.11

(4) 発色団の構造的な剛直性が光物性に及ぼす影響

ABPX01 のキサンテン環窒素部位の構造的な剛直性を高めることが光物性に与える影響を検証する目的で、窒素部位を環状化した新規誘導体の ABPX101 **11**、102 **15** および 103 **18** を合成した (Scheme 2, 3)。



Scheme 2. Synthetic route of ABPX101 and 102.



Scheme 3. Synthetic route of ABPX103.

次に各誘導体の光物性を 2.5% の TFA を混合したクロロホルム中で評価したところ、いずれの誘導体も ABPX01 に比べ、 ϕ_f が飛躍的に増大した。続いて各誘導体の蛍光寿命 (τ_f) を測定し、放射速度定数 (k_f) 並びに無放射失活

速度定数(k_{nr})をそれぞれ算出した結果,新規誘導体の k_{nr} は大幅に減少したことから, ABPX01 のアルキル鎖構造の分子内運動による無放射失活の増加が発光効率の低下に影響していることが分かった (Table 4) . 特に ABPX101 では,位置異性体の ABPX102 と比べ高い ϕ_f を示したことから,キサテン環のジメチル部位とカルボン酸部位の立体障害で,ベンゼンカルボン酸部位の分子内運動が抑制され,構造的な剛直性が更に高まった結果, ϕ_f が増大することが示唆された. 上記の結果より, ABPX のキサテン環の窒素周辺部位の環状化により,蛍光団の構造的な剛直性の増加させることは, ABPX の量子収率の向上において有効な分子設計の手段であることが分かった.

Table 4. Optical properties of ABPX101-103 dyes in chloroform containing 2.5% TFA.

Dye	$\lambda_{\text{abs0-0}}$ [nm]	$\lambda_{\text{fl0-0}}$ [nm]	$\lambda_{\text{abs0-1}}$ [nm]	$\lambda_{\text{fl0-1}}$ [nm]	ϵ_{0-0} [M ⁻¹ cm ⁻¹]	ϕ_f^{11}
cis-ABPX101	590	612	545	658	130300	0.70
trans-ABPX101	592	617	548	664	131200	0.69
cis-ABPX102	617	640	567	693	108200	0.50
trans-ABPX102	617	644	568	699	113100	0.49
cis-ABPX103	611	635	562	683	117000	0.55
trans-ABPX103	612	637	563	688	109400	0.54
cis-ABPX01	598	622	553	671	128650	0.17
trans-ABPX01	601	625	554	675	98900	0.16

5. 主な発表論文等

{ 雑誌論文 } (計 9 件)

- “Design and Syntheses of Highly Emissive Aminobenzopyrano-xanthene Dyes in the Visible and Far-Red Regions” S. Kamino, M. Murakami, M. Tanioka, Y. Shirasaki, K. Watanabe, J. Horigome, Y. Ooyama, S. Enomoto, *Org. Lett.*, 16, 258-261 (2014), doi: 10.1021/ol403262x. 査読有.
- “Spectrophotometric Determination of Hydrogen Peroxide with Osmium(VIII) and *m*-Carboxyphenylfluorone” M. Hoshino, S. Kamino, M. Doi, S. Takada, S. Mitani, R. Yanagihara, M. Asano, T. Yamaguchi, Y. Fujita, *Spectrochim. Acta. A.*, 117, 814-816 (2014), doi: org/10.1016/j.saa. 査読有.
- “Basicity of N-terminal amine in ATCUN peptide regulates stability constant of albumin-like Cu²⁺ complex” T. Miyamoto, S. Kamino, A. Odani, M. Hiromura, S. Enomoto, *Chem. Lett.*, 42, 1099-1101 (2013), doi: 10.1246/cl.130405. 査読有.
- “A Red-Emissive aminobenzopyrano-xanthene Dye: Elucidation of Fluorescence Emission Mechanism in Solution and Aggregate State” S. Kamino, A. Muranaka, M. Murakami, A. Tatsumi, N. Nagaoka, Y. Shirasaki, K. Watanabe, K. Yoshida, J. Horigome, S. Komeda, M. Uchiyama, S. Enomoto, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 15,

2131-2140 (2013), doi:

10.1039/c2cp43503a. 査読有.

- “New Aminobenzopyranoxanthene-Based Colorimetric Sensor for Cu²⁺ with Dual-Color Signal Detection System” Y. Shirasaki, S. Kamino, M. Tanioka, K. Watanabe, Y. Takeuchi, S. Komeda, S. Enomoto, *Chem. Asian J.*, 8, 2609-2613 (2013), doi: 10.1002/asia.201300515. 査読有.
- “Basicity of N-terminal Amine in ATCUN Peptide Regulates Stability Constant of Albumin-like Cu²⁺ Complex” T. Miyamoto, S. Kamino, A. Odani, M. Hiromura, S. Enomoto, *Chem. Lett.*, 42, 1099-1101 (2013), doi:10.1246/cl.130405. 査読有.
- “Development of new zinc dithiosemicarbazone complex for use as oral antidiabetic agent” S. Kadowaki, M. Munekane, Y. Kitamura, M. Hiromura, S. Kamino, Y. Yoshikawa, H. Saji, S. Enomoto, *Biol. Trace Elem. Res.*, 154, 111-119 (2013), doi: 10.1007/s12011-013-9704-x. 査読有.
- “Essential Role of the Zinc Transporter ZIP9/SLC39A9 in Regulating the Activations of Akt and Erk in B-Cell Receptor Signaling Pathway in DT40 Cells” M. Taniguchi, A. Fukunaka, M. Hagihara, K. Watanabe, S. Kamino, T. Kambe, S. Enomoto, M. Hiromura, *PLoSOne*, 8, e58022 (2013), doi:10.1371/journal.pone.0058022. 査読有.
- “Photometric Determination of Cu²⁺ Ion Using Octabromo-tetrakis(4-methylpyridyl)porphyrine” M. Mifune, A. Iwado, S. Kamino, S. Enomoto, *Yakugaku Zasshi*, 132, 953-958 (2012), doi:10.1248/yakushi.132.953. 査読有.

{ 学会発表 } (計 31 件)

- 遠坂綾子,「アミノベンゾピラノキサテン系色素の分子構造変化に基づく光物性とその光スイッチング機構の解明に関する基礎研究」日本薬学会 134 年会,2014 年 3 月 29 日(熊本)
- 谷岡卓,「スピロラクトン環型アミノベンゾピラノキサテン系色素の結晶構造と固体発光物性」日本化学会第 94 春学年会,2014 年 3 月 30 日(愛知)
- 谷岡卓,「固体発光性 π 電子系色素の単結晶構造解析と光物性評価に関する研究」分析化学会岡山地区講演会,2014 年 3 月 6 日(岡山)
- 神野伸一郎,「新規な π 共役色素材料の合

- 成と光機能創発」テラヘルツ光と生命科学融合による革新的イノベーションワークショップ,2013年12月6日(岡山)
5. 白崎良尚,「New aminobenzopyranoxanthene-based colorimetric sensor for Cu²⁺ with dual-color signal detection system」X ISTERH 2013,2013年11月20日(東京)
 6. 神野伸一郎,「高発光効率を有するアミノベンゾピラノキサテン系(ABPX)色素の合成と蛍光イメージングへの応用」2013年光化学討論会,2013年9月13日(愛媛)
 7. 白崎良尚,「二価銅選択的に錯形成能を有するアミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)誘導体の合成と計測用化学センサーへの応用」2013年光化学討論会,2013年9月13日(愛媛)
 8. 谷岡卓,「長鎖アルキル基を有するアミノベンゾピラノキサテン系色素の合成と蛍光特性の評価」2013年光化学討論会,2013年9月13日(愛媛)
 9. 白崎良尚,「アミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)を母核構造とした二価銅選択的的化学センサーの開発」分析化学会第62年会,2013年9月10日(大阪)
 10. 神野伸一郎,「高発光効率を有するアミノベンゾピラノキサテン系(ABPX)色素の合成と光物性の評価」分析化学会第62年会,2013年9月10日(大阪)
 11. 白崎良尚,「二価銅選択的に錯形成能を有するアミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)誘導体の合成と化学センサーへの応用」第23回金属の関与する生体関連反応シンポジウム(SRM 2013),2013年6月22日(東京)
 12. 神野伸一郎,「A red emissive aminobenzopyrano-xanthene dye (ABPX): elucidation of fluorescence emission mechanism in solution and aggregate states」ISACS10,2013年6月19日(京都)
 13. 谷岡卓,「Syntheses of aminobenzopyranoxanthene dyes with long-alkyl chains and their fluorescence emission properties in solution and solid states.」ISACS10,2013年6月18日(京都)
 14. 白崎良尚,「New aminobenzopyranoxanthene-based colorimetric sensor for Cu²⁺ with dual-color signal detection system.」ISACS10,2013年6月18日(京都)
 15. 谷岡卓,「長鎖アルキル基を有するアミノベンゾピラノキサテン系色素の合成と蛍光特性の評価」第13回分子分光研究会,2013年5月18日(岡山)
 16. 神野伸一郎,「 π 電子系拡張型構造を有するアミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)の合成と蛍光特性」第13回分子分光研究会,2013年5月18日(岡山)
 17. 白崎良尚,「二価銅選択的に錯形成能を有するアミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)誘導体の合成と化学センサーへの応用」日本化学会,2013年3月22日(京都)
 18. 谷岡卓,「長鎖アルキル基を有するアミノベンゾピラノキサテン系色素の合成と固体蛍光性の評価」日本化学会,2013年3月23日(京都)
 19. 白崎良尚,「アミノベンゾピラノキサテン系(ABPX)色素を発色団とした金属イオン用化学センサーの開発」日本分析化学会中国四国支部・岡山地区分析技術懇談会,2013年3月6日(岡山)
 20. 神野伸一郎,「イノベーション創出を目指した次世代型蛍光色素分子の開発」「先端医学研究のトレンド 2013」,2013年2月15日(岡山)
 21. 白崎良尚,「Cu²⁺と選択的錯形成能を有するアミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)誘導体の合成と化学センサーへの応用」錯体化学会第62回討論会,2012年9月21日(富山)
 22. 神野伸一郎,「 π 電子系拡張型構造を有する新規アミノベンゾピラノキサテン系(ABPX)蛍光色素の合成と光化学的性質」2012年光化学討論会,2012年9月12-14日(東京)
 23. 神野伸一郎,「イノベーション創出を目指した次世代型蛍光色素分子の開発」第2回医療系融合・発展に向けてのブレインストーミング in 直島,2012年9月8-9日(香川)
 24. 神野伸一郎,「有機系蛍光色素材料の新展開」第1回メタロミクスサマースクール,2012年9月4-6日(長野)
 25. 村上美穂,「アザ環状構造を有するアミノベンゾピラノキサテン系蛍光色素(ABPX)誘導体の合成と蛍光特性」第1回メタロミクスサマースクール,2012年9月4-6日(長野)
 26. 白崎良尚,「アミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)を骨核とした新規Cu²⁺プローブの開発」第1回メタロミクスサマースクール,2012年9月4-6日(長野)
 27. 谷岡卓,「ABPXを用いた新しい蛍光有機-無機ハイブリッドナノ結晶の作成」第1回メタロミクスサマースクール,2012年9月4-6日(長野)
 28. 白崎良尚,「アミノベンゾピラノキサテン系新規蛍光色素(ABPX)の創成と金属イオン計測用化学センサーへ応用」第10回次世代を担う若手のためのフィジカル・ファーマフォーラム,2012年8月7日(京都)
 29. 白崎良尚,「アミノベンゾピラノキサテン系色素(ABPX)を母核としたCu²⁺選択的的化学プローブの開発」第72回分

- 析化学討論会, 2012年5月19日(鹿児島)
30. 村上美穂, 「アザ環式構造を有するアミノベンゾピラノキサントニン系蛍光色素(A B P X)の誘導体の合成と蛍光特性」第72回分析化学討論会, 2012年5月19日(鹿児島)
 31. 神野伸一郎, 「 π 電子系拡張型構造を有する新規アミノベンゾピラノキサントニン系(A B P X)蛍光色素の創製と光化学的性質」第72回分析化学討論会, 2012年5月19日(鹿児島)

〔図書〕(計 1 件)

1. 神野伸一郎, 榎本秀一, 月刊機能材料, 「新たな π 共役拡張型色素化合物アミノベンゾピラノキサントニン系蛍光色素「ABPX」の開発」, 2012, 59-64.

〔その他〕

ホームページ等

様々な色を持つ有機蛍光色素「ABPX」の発光メカニズムが明らかに

http://www.riken.jp/pr/press/2013/20130214_1/

Royal Society of Chemistry 誌の Hot Article に選出

<http://www.pharm.okayama-u.ac.jp/news/2013/01/-royal-society-of-chemistry-physical-chemistry-chemical-physicshot-article.html>

Angewandte Spotlights に選出

<http://www.pharm.okayama-u.ac.jp/news/2013/11/-m2abpxangewandte-chemiespotlight-pdf.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榎本 秀一 (ENOMOTO Shuichi)

岡山大学・大学院医歯薬学総合研究科・教授
研究者番号：10271553

(2) 研究分担者

神野 伸一郎 (KAMINO Shinichiro)

独立行政法人 理化学研究所・研究員
研究者番号：20537237