

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 4 月 14 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05886

研究課題名(和文) DNAを利用した光増感鋳型重合

研究課題名(英文) Template photopolymerization using DNA

研究代表者

中村 光伸 (Nakamura, Mitsunobu)

兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50285342

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：光重合性を有するジフェニルブタジインにDNA塩基受容体である環状ポリアミン亜鉛錯体を修飾したモノマーを合成した。チミンのみからなるオリゴDNAとの会合を評価したところ、チミンと受容体が1:1の化学量論で結合した集積体を形成することが示唆された。複数のブタジイン誘導体が2本のDNA鎖に挟まれたサンドイッチ型の集積体であると考えられる。このブタジイン集積体に光照射を行うと、光反応によるブタジインの吸収帯の減衰と長波長側に新たな吸収帯の出現が確認され、さらにクロマトグラフィーより生成物のピークと質量分析によりこの生成物が重合体であると同定されたことから、鋳型光重合が起こることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工DNAを分子集積体の単なる鋳型材料だけでなく、分子量と立体規則性が制御された高分子の合成反応場へと展開できる。つまり、人工DNAの分子認識能を利用して、希薄溶液中の反応性分子を局所的に集積して反応を加速させる特殊反応場(触媒)としての機能を開拓できる点に学術的意義がある。さらに人工DNAの高分子合成の鋳型材料としての新しい機能が発見でき、ナノテクノロジーの魅力ある素材としての知識の蓄積に貢献できる。将来、すべてのDNA塩基に対して受容体を使った鋳型重合が実現できれば、塩基配列をプログラムした人工DNAを鋳型にすることにより、配列制御型の高分子合成への展開も期待できる。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate template photopolymerization using DNA, 1,4-diphenyl-1,3-butadiyne derivative having macrocyclic polyamine zinc (II) complexes, which act as a receptor for the thymine base in DNA, was prepared. UV-vis titration study of the butadiyne derivative with oligo-dT DNAs as a titrant showed that the butadiyne derivative could be assembled in the presence of oligo-dT DNA to form stacked butadiyne arrays. Upon photoirradiation of the butadiyne arrays, the absorption bands derived from butadiyne decreased with the increasing of the absorption band derived from photoproduct. The photoproduct was identified as a polymerized butadiyne derivative by using MALDI-TOF-MS spectroscopy. On the other hand, the photoirradiation of the butadiyne derivative in the absence of oligo-dT DNA yielded no photoproduct. Therefore, the butadiyne derivative can photopolymerize in the butadiyne arrays, the assembling with oligo-dT DNAs plays a critical function in the photopolymerization.

研究分野：光化学

キーワード：鋳型重合 DNA 分子集積体

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

合成高分子は一般に異なる分子量の分子の混合物であり、幅広い分子量分布を有する。しかしながら合成高分子の特定の物性や機能を調べたり使ったりしたい場合、単一の分子量であることが望まれる。そのためにリビング重合⁽¹⁾に代表される様々な重合法が今日まで開発されている。なかでも、モノマーを鋳型材料によりあらかじめ集積させてトポ化学的に反応させる鋳型重合⁽²⁾には、希薄溶液中での重合と立体規則性の制御が可能という利点がある。しかしながら、従来の鋳型重合では分子量の制御された鋳型材料の合成が容易ではない。

これまで、鋳型重合では鋳型材料にブロック共重合体⁽³⁾などの合成高分子⁽⁴⁾をはじめ、ペプチド⁽⁵⁾、多糖類⁽⁶⁾などの天然高分子材料やシリカゲル⁽⁷⁾などの固体材料も用いられ、優れた成果が報告されている。また、天然の DNA や疑似 DNA を用いた系でも先駆的な研究がされており、鋳型 DNA に相補的な DNA 塩基を修飾したモノマーを水素結合で塩基対形成させる手法⁽⁸⁾や、カチオン性モノマーを DNA 主鎖のリン酸アニオンと静電相互作用させる手法⁽⁹⁾でモノマーを集積させ、重合開始剤共存下での重合が検討されている。このように先駆的な研究が報告されているものの、モノマー自身の反応性や鋳型 DNA との親和性に起因する重合度の問題、あるいは生成物の立体規則性が評価されていないなど、改善すべき点や不明な点が残されている。

DNA は細胞分裂における遺伝子複製過程にみられるように、自然界で鋳型重合を行う代表的な物質である。近年、DNA 合成技術は著しく進歩し、固相合成法やポリメラーゼ連鎖反応法により鎖長（分子量）が制御された DNA を容易に合成できるようになっている。このような人工 DNA を鋳型にすれば、DNA 鎖長に対応した数の分子を DNA 特有のらせん構造に沿って立体規則的に集積することができる。申請者は、DNA 塩基のチミンに選択的に結合する受容体である環状ポリアミン亜鉛錯体⁽¹⁰⁾を連結した色素分子に、チミンのみからなる人工 DNA を添加することで、色素分子同士が π -相互作用を伴って、らせん状に積み重なった分子集積体の構築に成功した⁽¹¹⁾。さらに、集積体中で DNA 塩基と受容体が 1:1 の化学量論で結合し、DNA 鎖長に対応した大きさの集積体を構築できることを明らかにした。

2. 研究の目的

そこで、申請者がこれまでに開発した手法を利用して、人工 DNA を鋳型に用いて構築した重合性モノマーの集積体で光鋳型重合を達成し、生成物の分子量と立体規則性の制御を実現する。本研究では鋳型 DNA に単一分子量の精製された人工 DNA を、受容体には天然の DNA 塩基対形成に比べ高い親和性で DNA 塩基に結合する人工受容体を使用する。人工 DNA を使って高い親和性を持つ受容体を修飾したモノマーを溶液中で集積すれば、集積度が均一な集積体を形成できるため、分光学的手法により集積体の化学量論や立体規則性も明らかにできる。さらに、DNA の塩基同士は π -スタッキング相互作用できる距離にあり、モノマー同士も相互作用可能な非常に近い距離で集積できる。従って、このような構造が明白な集積体中でモノマーを重合させれば、分子量が規制され、集積体の立体規則性を保持した生成物が期待できる。また、本研究では重合の駆動力に光エネルギーを利用する。従来の重合開始剤を用いた系では重合開始温度まで加熱する必要があり、加熱により集積体構造の攪乱が起こり、分子量や立体規則性の制御は容易ではない。一方、光エネルギーを利用すれば、低温で重合できるため、集積体構造の攪乱を抑制できるという利点がある。さらに、光増感剤を DNA に修飾せずに混合した場合の拡散衝突による反応に比べ、光増感剤を鋳型 DNA に修飾することにより光増感剤をモノマー集積体近傍の任意の位置に配置できるため、重合開始位置の制御、高い量子効率の重合反応が可能である。

3. 研究の方法

(1) 受容体修飾モノマーの合成

重合性のモノマーとしてビニル誘導体、1,3-ブタジイン誘導体に、DNA 塩基受容体を化学修飾する。DNA 塩基受容体にはこれまでの研究で用いたチミンの受容体である、環状ポリアミン亜鉛錯体を用いる。

(2) 会合定数の解析

受容体修飾モノマーがチミンのみからなる DNA と自己組織化が可能であるかを判断するために、受容体部位と DNA 塩基（チミン）との会合定数を評価する。会合定数は 1H-NMR、紫外・可視（UV-vis）吸収法によりモノマーの溶液にチミジン溶液を滴下して求める。環状ポリアミン亜鉛錯体単体とチミジンとの会合定数は 10^4 程度であることが報告されている。本実験の会合定数が 10^4 オーダー以下の場合は溶液の pH や塩濃度を変えるなど、 10^4 になるよう自己組織化条件の最適化を行う。

(3) モノマー集積体の構築と化学量論、分子量の解析

別途ホスホリルアミダイト法により合成・精製した DNA とモノマーを先の研究（2）で最適化した条件で混合することによりモノマー集積体の構築を行う。さらに UV-vis 滴定の結果を Jurczak らの手法により解析することによりモノマー集積体の化学量論を決定し、DNA 塩基と受容体が 1:1 で結合していることを見極める。また、ゲル電気泳動法、ゲルろ過クロマトグラフィーによりモノマー集積体の均一性を評価し、質量分析法によりモノマー集積体の分子量を決定する。

(4) 立体規則性の解明

集積体中のモノマー間の立体規則性を明らかにする。そのために UV-vis 吸収の淡色効果およ

び波長シフト、円二色性にモノマー間の励起子相互作用による誘起 CD の有無を調べる。一方で分子軌道計算により実測の UV-vis 吸収、円二色性に一致するモノマー間の立体規則性を明らかにし、分子動力学計算によりモノマー集積体全体の最適化構造を求める。

(5) 光照射生成物の物性評価

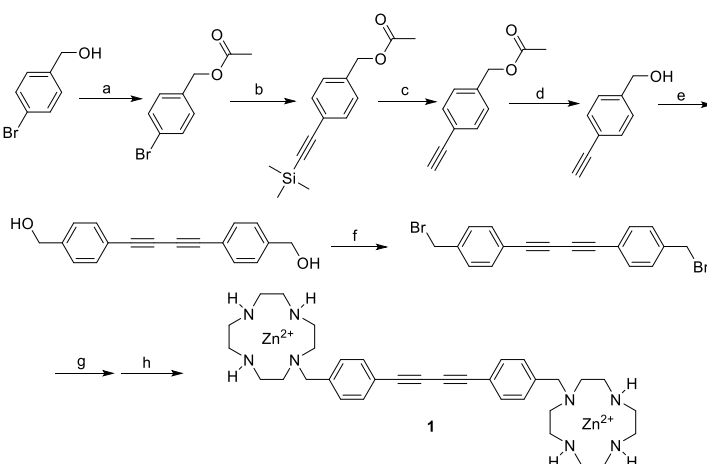
光ラジカル発生剤共存下あるいは直接モノマー集積体へ光照射しモノマーの重合反応を行う。光ラジカル発生剤にはアセトフェノンやベンゾフェノン誘導体を用いる。銻型 DNA から生成物の切り離しと精製を行ったのち NMR、質量分析、UV-vis 吸収、円二色性等により分子量、立体規則性を一本鎖および二本鎖で構築した系それぞれで評価する。それぞれの系で分子量、立体規則性を制御するための反応温度、照射光波長などの条件を解明し、制御方法を確立する。制御できる条件で重合反応の量子効率、モノマーの転化率、生成物の収率を明らかにする。一方で、銻型 DNA を用いず集積化されていない状態で同様の反応を行い、生成物の分子量、立体規則性が制御されていないことを明らかにする。

4. 研究成果

環状ポリアミン亜鉛錯体を有する 1,3-ブタジイン誘導体(**1**)は Scheme 1 に従って合成した。

1 の吸収スペクトルには 290~350 nm にジフェニル-1,3-ブタジイン(DPB)特有の吸収帯が観察され、チミンのみから構成されるオリゴ核酸 dT_n ($n=2, 3, 4, 5$) による滴定を行ったところ、 dT_5 では吸収スペクトルは Figure 1 のようになり、DPB の吸収帯は dT_5 の添加により淡色効果と長波長シフトが観察された。他の dT_n でも同様のスペクトル変化が観察され、その吸光度および波長の変化量は dT_n の鎖長に依存した (Figure 2)。また、すべての dT_n においてその濃度が環状ポリアミン亜鉛錯体部位の濃度との当量点以上で吸光度は殆ど変化せず一定であることから (Figure 2a)、**1** の環状ポリアミン亜鉛錯体部位とチミン塩基が 1:1 の化学量論で結合していることが明らかになった。従って、**1** は dT_n により集積され、集積される数は dT_n の鎖長により制御できることが示唆された。

1 の dT_n による集積体(**1-dT_n**)にキセノンランプを用いて 300 nm 以上の光を照射したところ、照射時間と共に DPB の吸収は減衰し、350 nm 以上の吸収領域に新たな吸収帯が観察された (Figure 3)。また照射した **1-dT_n** 溶液の高速液体クロマトグラフィー (HPLC) では **1-dT_n** のピークの減少に伴い、光反応生成物である



Scheme 1. Synthesis of **1**. Reagents: (a) acetic anhydride, *N,N*-dimethyl-4-aminopyridine in THF; (b) $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$, PPh_3 , CuI , trimethylsilylacetylene in Et_3N ; (c) TBAF in THF; (d) NaOH in $\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{MeOH}$; (e) $\text{PdCl}_2(\text{PPh}_3)_2$, CuI in $\text{Et}_3\text{N}/\text{THF}$; (f) PBr_3 , pyridine in CH_2Cl_2 ; (g) 1,4,7,10-tetraazacyclododecane, Et_3N in CHCl_3 ; (h) $\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in EtOH .

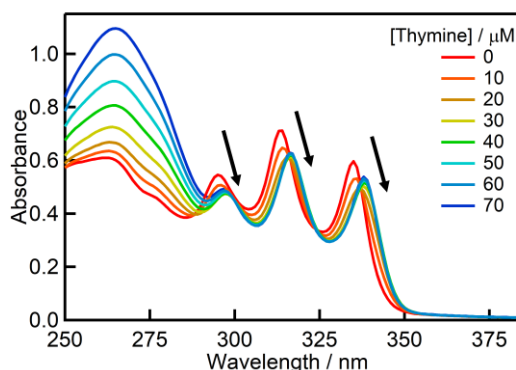


Figure 1. UV-vis titration spectra of **1** ($50 \mu\text{M}$) with dT_5 as a titrant in H_2O containing 15% DMSO.

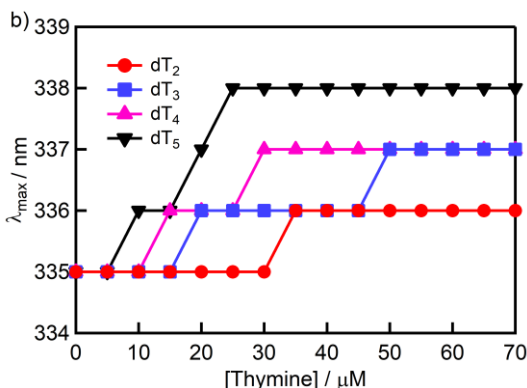
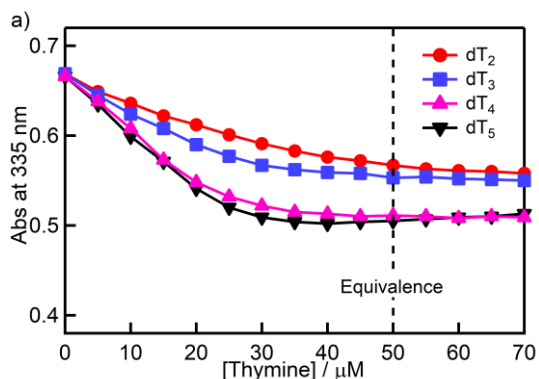


Figure 2. Changes of (a) absorbance at 335 nm and (b) wavelength of **1** on UV-vis titrations with dT_n ($n=2, 3, 4, 5$) as a titrant.

新たなピークが現れた。生成物の単離にはまだ成功していないが、光照射後のサンプルのレーザー脱離イオン化質量分析では**1**の重合体に相当するフラグメントが観察された。一方、**1**のみの溶液に光照射を行った場合には**1-dT_n**で観察された350 nm以上の吸収領域の吸収帯は観察されず、HPLCにおいても生成物のピークは現れなかった。

以上の結果から、dT_nを鋳型にして**1**が集積化されることにより**1**のDPB部位が光重合を起こすことが明らかになり、人工DNAが分子集積体の単なる鋳型材料だけでなく、分子量が制御された高分子の合成反応場となり得ることが示唆された。

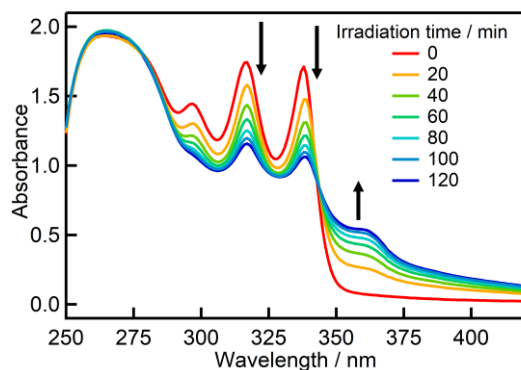


Figure 3. UV-vis spectral change of **1-dT_s** (150 μ M) in H₂O containing 15 % DMSO upon photo-irradiation (> 300 nm).

<引用文献>

- 1) Szwarc, M. *et al. J. Am. Chem. Soc.* **1956**, 78, 2656.
- 2) Akashi, M. *et al. Nature* **2004**, 429, 52; Shinkai, S. *et al. Chem. Soc. Rev.* **2007**, 36, 415.
- 3) Campos, L. M. *et al. J. Am. Chem. Soc.* **2014**, 136, 13381.
- 4) Osuji, C. O. *et al. ACS Nano* **2013**, 7, 5514.
- 5) Schultz, P. G. *et al. Science* **1989**, 244, 182.
- 6) Shinkai, S. *et al. Org. Biomol. Chem.* **2011**, 9, 146.
- 7) Lu, Y. *et al. Nature* **2001**, 410, 913.
- 8) Takemoto, K. *et al. J. Polym. Sci. A Polym. Chem.* **1986**, 24, 3249.
- 9) Shinkai, S. *et al. Chem. Lett.* **2004**, 33, 436.
- 10) Shionoya, M. *et al. J. Am. Chem. Soc.* **1993**, 115, 6730.
- 11) Nakamura, M. *et al. Chem. Eur. J.* **2012**, 18, 196; Nakamura, M. *et al. Chem. Eur. J.* **2015**, 21, 11788.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 Nakamura Mitsunobu, Takada Tadao, Yamana Kazushige	4. 巻 20
2. 論文標題 Controlling Pyrene Association in DNA Duplexes by B- to Z-DNA Transitions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemBioChem	6. 最初と最後の頁 2949-2954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cbic.201900350	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 Takada Tadao, Syunori Kazue, Nakamura Mitsunobu, Yamana Kazushige	4. 巻 144
2. 論文標題 Photocurrent enhancement by a local electric field on DNA-modified electrodes covered with gold nanoparticles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analyst	6. 最初と最後の頁 6193-6196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9AN01352K	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 Mitsunobu, Ota Fuyuki, Takada Tadao, Akagi Kazuo, Yamana Kazushige	4. 巻 30
2. 論文標題 Circularly polarized luminescence of helically assembled pyrene stacks on RNA and DNA duplexes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chirality	6. 最初と最後の頁 602-608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chir.22838	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 Mitsunobu, Matsui Yuki, Takada Tadao, Yamana Kazushige	4. 巻 4
2. 論文標題 Chromophore Arrays Constructed in the Major Groove of DNA Duplexes Using a Post-Synthetic Strategy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 1525-1529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/slct.201803464	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 Hasegawa Yusuke, Takada Tadao, Nakamura Mitsunobu, Yamana Kazushige	4. 巻 27
2. 論文標題 Ferrocene conjugated oligonucleotide for electrochemical detection of DNA base mismatch	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 3555-3557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.05.049	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 Takada Tadao, Iwaki Toshihiro, Nakamura Mitsunobu, Yamana Kazushige	4. 巻 23
2. 論文標題 Photoresponsive Electrodes Modified with DNA Duplexes Possessing a Porphyrin Dimer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 18258-18263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201704281	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 Takada Tadao, Umakoshi Yu, Nakamura Mitsunobu, Yamana Kazushige	4. 巻 2
2. 論文標題 A Luminescent Perylenediimide as a Binding Ligand for Pyrimidine/Pyrimidine Mismatches Within a DNA Duplex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ChemistrySelect	6. 最初と最後の頁 6047-6051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/slct.201701310	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 Mitsunobu, Jomura Ayumi, Takada Tadao, Yamana Kazushige	4. 巻 2
2. 論文標題 Photocurrent Enhancement in DNA-Scaffolded Chromophore-Aggregate-Functionalized Systems Containing Multiple Types of Chromophores	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemPhotoChem	6. 最初と最後の頁 89-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cptc.201700152	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24件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Nakamura Mitsunobu, Takada Tadao, Yamana Kazushige
2. 発表標題 Construction and Photoelectric Property of DNA Templated Chromophore Arrays
3. 学会等名 International Conference on Photocatalysis and Photoenergy 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井悠貴、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 DNAに構築したテトラフェニルエテン集積体の凝集誘起発光
3. 学会等名 第65回 高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鶴野功大、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 DNA上のピレン会合体の制御とその蛍光挙動
3. 学会等名 第65回 高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井悠貴、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 二重鎖DNAに構築したテトラフェニルエテン会合体の凝集誘起発光
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田忠雄、西田航磨、中野葵、中村光伸、山名一成
2. 発表標題 チアゾールオレンジ集積体を有する蛍光核酸プローブの開発
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takada Tadao, Nishida Koma, Nakano Aoi, Nakamura Mitsunobu, Yamana Kazushige
2. 発表標題 Helically arranged chromophore clusters on DNA as a fluorogenic biosensor for nucleic acid detection
3. 学会等名 The 46th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鶴野功大、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 DNAの構造転移を利用したピレンの会合制御
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本明大、壺井啓太、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 DNAを鋳型に用いたジフェニルプタジイン誘導体の集積と光重合
3. 学会等名 第64回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中瀨希汐、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 DNAに構築したピレン集積体の構造制御と蛍光挙動
3. 学会等名 第64回高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松井悠貴、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 ピレン修飾i-motif DNAの蛍光挙動
3. 学会等名 第64回高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 二重鎖DNAに構築されたピレン集積体の蛍光に及ぼす金属イオン効果
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nishimura Hiroki, Takada Tadao, Yamashita Tomoya, Nakamura Mitsunobu, Yamana Kazushige
2. 発表標題 Signal-on electrochemical sensors utilizing pillar electrodes modified with nucleic acid redox probes
3. 学会等名 The 45th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nishida Koma, Takada Tadao, Nakano Aoi, Nakamura Mitsunobu, Yamana Kazushige
2. 発表標題 Fluorescent nucleic acids modified with stacked cyanine dyes
3. 学会等名 The 45th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本明大、洪怜奈、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 ジフェニルブタジイン誘導体のDNAによる集積化
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中濱希汐、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 B-Z転移におけるピレン修飾DNAの蛍光特性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井悠貴、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 DNA上に構築したテトラフェニルエテン集積体
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村弘基、高田忠雄、山下智也、中村光伸、山名一成
2. 発表標題 "Signal-On"型電気化学核酸検出プローブの開発
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田航磨、高田忠雄、本多由理佳、中村光伸、山名一成
2. 発表標題 シアニン集積体を有する核酸の発光特性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura Mitsunobu, Suzuki Junpei, Takada Tadao, Yamana Kazushige
2. 発表標題 Pyrene-aggregates on double stranded RNA emitting circularly polarized luminescence
3. 学会等名 The 13th Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takada Tadao, Nakano Aoi, Ishino Shunya, Honda Yurika, Nakamura Mitsunobu, Yamana Kazushige
2. 発表標題 Artificial Nucleic Acid Probes Possessing Stacked Fluorescent Chromophores
3. 学会等名 The 44th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 DNA上のピレン集積体の構造変換と蛍光挙動
3. 学会等名 2017年光化学討論会講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 除村あゆみ、中村光伸、高田忠雄、山名一成
2. 発表標題 Photocurrent systems using DNA-scaffolded chromophore-aggregates
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西田航磨、高田忠雄、本多由理佳、中村光伸、山名一成
2. 発表標題 シアニン色素を構造内部に有する発光性核酸プローブの開発
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村弘基、高田忠雄、山下智也、中村光伸、山名一成
2. 発表標題 "Signal-On"型電気化学核酸プローブを利用した標的核酸検出センサーの開発
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Mitsunobu Nakamura, Tadao Takada, Kazushige Yamana (Ed; Tgraju Govindaraju)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Pan Stanford Publishing	5. 総ページ数 426
3. 書名 "Templated Arrays of Multichromophores and Oligonucleotides Supported by Metal Interactions and Their Functional Relevance" in Templated DNA Nanotechnology - Functional DNA Nanoarchitectonics	

〔産業財産権〕

〔その他〕

兵庫県立大学工学研究科 生体関連化学グループ http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/msc/msc1/index.html

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
連携研究者	山名 一成 (Yamana Kazushige) (70192408)	兵庫県立大学・工学研究科・教授 (24506)	
連携研究者	高田 忠雄 (Takada Tadao) (60511699)	兵庫県立大学・工学研究科・准教授 (24506)	