

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：20106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06033

研究課題名(和文) DNA色素複合体を基盤とする光能動素子の創製

研究課題名(英文) Development of optical active devices based on DNA-dye-complexes

研究代表者

川辺 豊 (Kawabe, Yutaka)

公立千歳科学技術大学・理工学部・教授

研究者番号：90305954

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は再生可能な生物資源を電子・光デバイスに応用し、高度化・省資源化を図る試みの一環である。中でもDNAはその複雑な構造から、さまざまな機能を搭載する上で好都合であることから、我々はDNA中に発光性色素を導入した際の発光の増強効果を利用した色素レーザーの研究を行ってきた。本研究においては、新たに光反応性色素を付加し、小型かつ波長可変なレーザー光源を試作した。特にレーザーの長寿命化や、面発光などの高度な機能化が期待され、将来的には医療、環境計測等への応用が可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

持続可能な未来を築くには、再生可能な資源を高度に活用する必要がある。材料面からのアプローチとしては鉱物由来の物質を、軽量安価な生体由来のものに置き換えることは有意義である。現在、有機材料によるディスプレイ・光源が普及しつつあるが、生体材料の持つ機能性を活用することも重要である。われわれはこのような観点からDNA材料を基本とする軽量簡便なレーザー素子の開発を目指し、本研究において実験室レベルにおいて一定の成功を得た。

研究成果の概要(英文)：Utilization of organic and biological materials is important for sustainable future civilization. Our project is an approach to replace inorganic materials used in electronic and photonic devices with organic resources of biological origin which is intrinsically renewable. Among biomaterials, DNA with doubly helical structure is suitable to incorporate functional dyes which play important roles in functional devices. Along the concept, we have studied laser devices based on DNA, and in this project developed compact and wavelength tunable dye lasers by introducing light emitting molecules and photoactive molecules into DNA based polymer films. The products were fabricated with a relatively simple manner, showing high performance and good durability which is the most important properties achieved in this project. The developed laser sources will be useful for application in clinical medicine, environmental research and so on.

研究分野：応用物理学

キーワード：DNA 色素レーザー 光異性化反応 動的回折格子 ホログラフィー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

医療分野、環境計測分野等では簡便かつ小型の波長可変光源が求められている。導電性高分子などを用いた試みはあるものの、十分かつ迅速な波長可変性や実用に耐えうる長時間耐性など様々な課題があった。一方 DNA をはじめとする生体由来材料は、その本質的な多機能性を利用して材料中に複数の機能を集約することで簡便な光デバイスの実現が期待されていた。ここに至るまでにわれわれは DNA 複合体薄膜を用いた固体薄膜色素レーザーを実現しその高性能化の検討中であったが、一層の性能向上を目指すに当たって、アゾ色素による動的ホログラフィーと融合することにより、高速かつ簡便な波長可変光源が実現できると考えた。

2. 研究の目的

本研究が目指したのは、簡便かつ小型の波長可変光源の実現である。低閾値化、迅速な波長可変、および長寿命化を目標として設定した。閾値は有機半導体において光励起下で実現されている $10\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 程度を目指した。また 1 秒間に 10nm 程度の波長変調の達成が望ましいが、実験装置由来の制約もあることから、原理的に可能な材料構成の実現を図ることとした。また長寿命化もターゲットの一つであるが、これについては現在実現されている 3 時間以上を維持することを第一に考えた。将来的な課題として 2 次元格子による面発光化、さらには発光パターンの安定な動的制御の可能性を探索することが本研究の目的であった。

3. 研究の方法

本研究では DNA 複合体を利用したレーザー素子の設計・製作と、高性能化のための材料探索及び新規合成を行った。具体的には、DNA 複合体中に既知および新規の発光材料とフォトクロミック色素を共ドーブし、その組み合わせを検討するとともに、素子作製やレーザー発振のためのコンパクトな光学系の構築を行った。検討した材料は、既知のアゾポリマーと DNA 複合体の混合物に加え、DNA と効率よく結合させるために新たに合成した新規カチオン性アゾ色素である。これらの単層膜に発光性色素を導入し、光増幅特性を確認した。良好な増幅特性が得られた試料についてはレーザー発振を検討した。実装においては、安定かつ迅速な波長掃引を可能とするため、実験室レベルではあるがコンパクトな構成を採用し発振の確認を行った。今後は面発光の実現や円偏光発振などの新機能を発現するための設計と試作・評価を計画している。

4. 研究成果

(1) 典型的なアゾ化合物の光異性化過程の再検討

高分子中のアゾ化合物は、吸収領域波長の直線偏光を照射することにより、光異性化反応と再配向を繰り返し、全体として偏光に垂直な方向に配向する。一般に光異性化反応と再配向は可逆であるが、恒常的な変化が誘起されることもある。これらの時間発展は複屈折もしくは二色性の変化から計測出来る。われわれは、本研究課題の目標である高機能なレーザー光源を実現するに当たり、DNA 複合体にアゾ色素を分散した DFB 構造を作製することを主たる手法として採用した。DNA 複合体中のアゾ色素と比較を行うために、既知の単純な系における動的挙動を再検討した。用いた試料は典型的なドナー・アクセプタータイプのアゾベンゼン誘導体 Disperse Red 1(DR1)をドーブした PMMA である。濃度の異なる試料について、532nm の cw 光を照射し、誘起される複屈折及び吸収 (消衰係数) の変化の時間依存性を測定した。

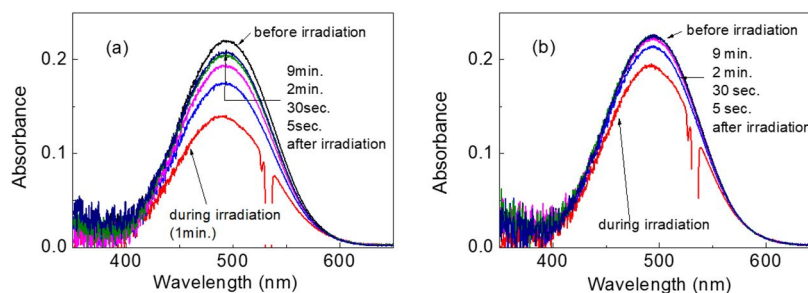


図 1. DR1(2wt%)/PMMA 薄膜の偏光吸収スペクトル。532nm 直線偏光の励起光照射中、照射後における変化を示す。(a) 励起偏光に平行、(b) 垂直の成分。

典型的な結果を図 1 に示す。これは DR1 を 2wt% 含む PMMA 薄膜に $100\text{mW}/\text{cm}^2$ の 532nm cw レーザー光を 1 分間照射した際の、吸収スペクトルの変化である。照射後の回復過程において、励起光に平行な偏光成分 (a) における吸収の減少と回復は当然として、(b) 垂直配置においても吸収減少のみが観測され、一般的に予測されるような分子回転による直交方向の吸収増大は観測されなかった。

そこで、より長時間にわたる単一波長での測定を行った。この過程を、異性化反応による角度

ホールバーニング(AHB)と分子配向(MRO)にのみ起因すると仮定し、2つのメカニズムの偏光依存性の違いを考慮して両成分の分離を行った。1分間周期の周期的な照射を繰り返した場合の結果を図2に示す。

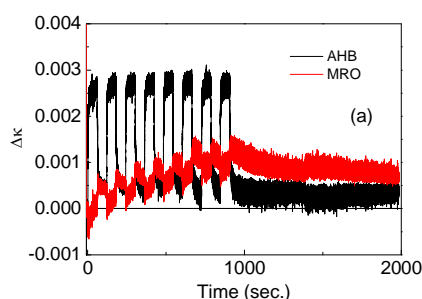


図2. DR1(2wt%)/PMMA 薄膜の励起光(532nm)照射中、照射後における、角度ホールバーニングと分子回転効果による消衰係数の変化。

これから、光異性化は1秒程度の時定数で繰り返す一方、分子回転の効果はより蓄積的であり数10分～数時間程度の寿命を有することが分かった。詳細は略すが色素の濃度が大きくなるとともに蓄積成分の寄与が大きくなることも示された。すなわち、アゾ色素の配向に関しては高分子と色素間だけでなく、分子間の相互作用も大きく影響していることになる。

(2) DNA 複合体中におけるアゾ色素の光異性化過程

これまで光増幅/レーザー材料の母体として用いてきた DNA-cetyltrimethylammonium(CTMA)中に上記DR1をドープして(1)と同様の検討を行った。その典型的な光誘起複屈折の結果を図3左に示す。これはPMMAの場合とDNA-CTMAの比較であるが、励起光の照射強度は前者が30mW/cm²で、後者はその約10倍の360mW/cm²である。

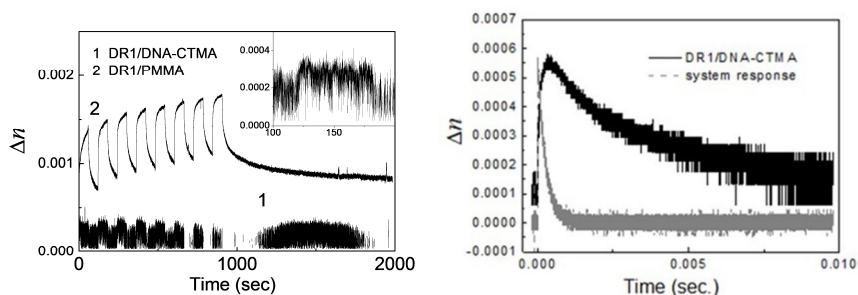


図3. (左) DR1/DNA-CTMA と DR1/PMMA の光誘起複屈折の時間変化。ただし、励起光強度は DR1/DNA-CTMA が 10 倍程度大きい。(右) DR1/DNA-CTMA のパルス光励起下における光誘起複屈折の応答。グレイの線は機器の応答を示す。

同じDR1が、DNA-CTMA中ではごく弱い複屈折しか示していないことがわかる。そこで、パルスレーザーを用いて、その過渡過程を検証した(図3右)。これによりDNA-CTMA中のDR1の誘起複屈折はPMMA中に比べて極めて小さい代わりに応答速度がけた違いに速いことが示された。PMMA以外の高分子材料に対するこれまでの検討では、このような違いはない。つまりDNA-CTMAのみがこのような異常な振る舞いを示す。理由は明確ではないが、DR1がDNAのらせん構造中に拘束されることで、光異性化反応が大きく抑制されるとも考えられる。しかし、一方でDR1とDNAの間にはそれほど強い相互作用はないという見解もあり、CTMAのアルキル鎖による効果とも考えられる。DFBへの応用については高速であるメリットと、応答が小さいデメリットの両面がありトレードオフの克服が今後の課題である。

(3) 高分子ブレンドによるアゾ色素のDNA複合体中への導入

本研究ではDR1をDNA-CTMA中に導入する上で、単純ドープ以外の方法を検討しそれぞれの場合における応答を測定した。検討した試料は以下の5種である。

1. DR1/DNA-CTMA
2. DR1/PMMA
3. DR1/(PMMA+DNA-CTMA) : PMMA と DNA-CTMA のブレンド中に DR1 を混合したもの。DNA-CTMA8 に対し、PMMA2 の比。
4. pDR1/DNA-CTMA : アゾ高分子 pDR1 (PMMA 側鎖に DR1) と DNA-CTMA のブレンド。比率

は 1:9。

5. pDR1/PMMA

以上の試料における光誘起複屈折の結果の一部（試料 3, 4, 5）を図 4 に示す。

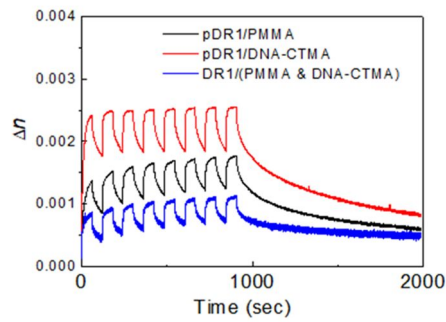


図 4. PMMA, pDR1, DNA-CTMA 含む高分子ブレンド中における DR1 分子による光誘起複屈折

試料 3, 4 はいずれも PMMA を含むが、主たる組成は DNA-CTMA である。試料 3 中の DR1 の相当部分が DNA-CTMA 中にも存在していると考えられるが、それなりの応答を示している。また pDR1/DNA-CTMA は最も大きい複屈折を示す。pDR1 が高分子であること自体が影響していることはもちろんであるが、PMMA と混合した場合よりも大きな値を示していることは興味深い。色素をドープするに当たっては 4 の構成が有利なため、素子化についてはこの試料をベースとした検討を行った。

(4) 色素ドープと光増幅効果の発現

アゾ高分子 pDR1 と DNA-CTMA を比率 1:9 でブレンドした試料のスピンコート薄膜はエタノールとクロロホルムの混合溶媒から作製した。発光性色素としては Hemi1、ローダミン 6G、ローダミン 640 の 3 種を用いた。いずれも水溶性である。これらの色素水溶液中に pDR1/DNA-CTMA 薄膜を約 1 日浸漬することで、色素を DNA 複合体中に導入した。

この試料に対し、図 5 左に示すように矩形に成型したパルスレーザー光を照射し側面から射出する発光のスペクトルを観測したところ Rh640 の場合にのみ増幅光が観測された。図 5 右はいくつかの励起強度における発光スペクトルを示すが、 $8\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上では 620nm 近辺に狭帯域な発光すなわち Amplified Spontaneous Emission (ASE) の発現が確認された。

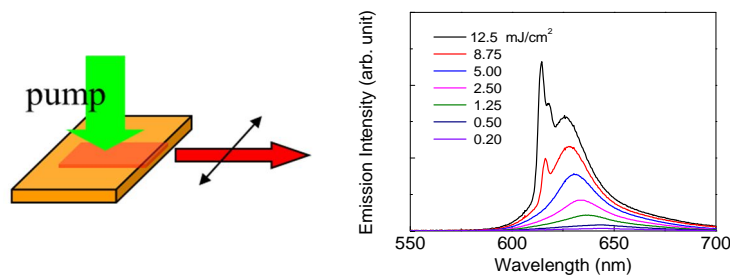


図 5. ASE 観測配置の概略図と、pDR1/DNA-CTMA にドープした Rh640 からの発光スペクトルの励起光強度依存。

同様の効果は低分子アゾ色素を利用した場合にも観測されており、いずれもアゾ色素の存在自体が光増幅を妨げてはいないことを示す。確かにアゾ色素の吸収の影響で閾値が高くなってはいるが、両色素の吸収スペクトルと発光スペクトルの重なりを考慮に入れることで、効率の向上が図れることを示している。

(5) レーザー発振と波長チューニング

本研究ではレーザー発振とその波長変調を簡便迅速に行うため 2 光束干渉露光による DFB 格子形成をフィードバック機構として採用した。本仕様の難点は、格子周期が 2 ビームの交差角で決定されるため、ビーム径が有限である以上、ビーム交差位置が角度によって移動し、波長調整に試料の移動が伴うことである。今回は光学系をできる限り縮小することで、ノブ 1 か所のみ調整で交差角を変動させた。その結果、位置の再調整を経ることなく、十分な領域で波長チューニングが可能となった。光学系の概略を図 6 左に示す。

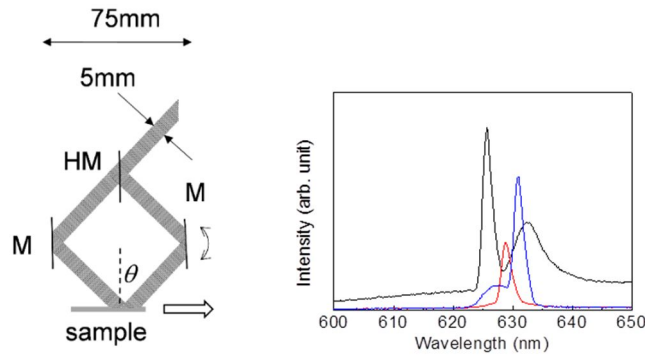


図 6. (左) Rh640/pDR1/DNA-CTMA に関して作製した光学系の概略図、および (右) 同試料によるいくつかの波長におけるレーザー発振スペクトル

波長変化を実現した結果を図 6 右に示す。励起エネルギーは $4.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ であり、観測される線幅は用いた分光器の分解能によって制限されている。発光スペクトルは 600-700nm 間に広いバンドを有しているが、現在のところレーザーとしての発振波長は 625-632nm に限られているが、この領域は ASE の発光帯と重なる最も利得の大きい範囲である。ここを外れた波長域で観測されない理由は、損失が大きいためであると考えられるので、今後アゾ色素濃度もしくは種類を変えることで実現させる計画である。生成された格子の起源については今後の検証が必要である。

(6) アゾカルバゾール色素の DNA 複合体への導入

以上の検討では、アゾ高分子を用いることで発光性色素による誘導放出とアゾ色素の光異性化反応を両立させてきた。しかしながら、基本的に相溶性のない高分子同士の混合であるため、膜質の悪化が問題となる。そこで別のアプローチとして DNA とアゾ色素を直接結合させることを試みた。ここで用いたのはアゾ色素の一種アゾカルバゾールで、これまでにフォトリフラクティブ材料として検討されてきたものである。Azo-CTMA と CTMA を DNA に結合するに当たり、全脂質の 2 または 10mol% を Azo-CTMA とし、厚さ $5\mu\text{m}$ の薄膜を作製した。

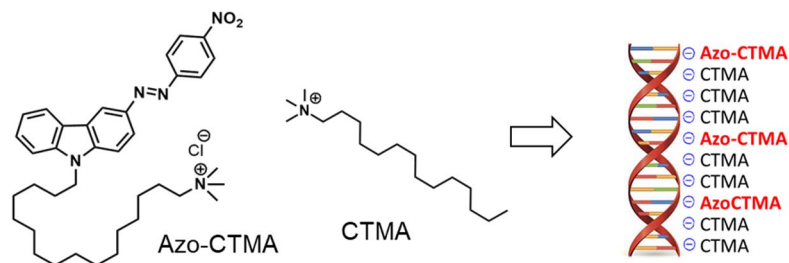


図 7. 新たに合成されたアゾカルバゾール誘導体と、その DNA-CTMA への導入の模式図

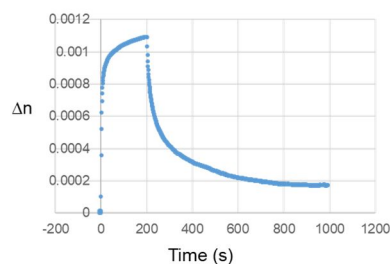


図 8. 新たに合成されたアゾカルバゾール誘導体と結合した DNA-CTMA 薄膜に送る光誘起複屈折の時間挙動

その概略図を図 7 に示す。このアゾカルバゾールは単純に DNA-CTMA にドープしても DR1 の場合と同様弱い応答しか観測されないが、本試料では図 8 に示すように、DR1 を基本とした材料と同様の光誘起複屈折が得られた。値自体はやや小さいが、これは吸収端の位置が DR1 よりやや短波長にあるためであると考えられる。一方で、長寿命成分が大きく、より安定な回折格子の形成が期待される。本材料に対し、同様の色素ドープを行い、レーザー発振を実現することは今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9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 4件）

1. 著者名 Yutaka Kawabe	4. 巻 10738
2. 論文標題 Incorporation of photo-controllable molecules in tunable DNA dye laser system	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 107380H
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2320947	査読の有無 無
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 Yutaka Kawabe, Kento Okoshi	4. 巻 10801
2. 論文標題 Light amplification and photo-isomerization characteristics of laser dyes and azo molecules incorporated into DNA-complex systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 1080106
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2325290	査読の有無 無
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 Yutaka Kawabe	4. 巻 1
2. 論文標題 Photo-induced birefringence and photo-induced transparency observed in azo chromophores embedded in DNA complex composites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of CIF19	6. 最初と最後の頁 31-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Yutaka Kawabe, Junichi Yoshida	4. 巻 50
2. 論文標題 Progress in DNA Photonics and Electronics; Tribute to Naoya Ogata	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Optics and Quantum Optics	6. 最初と最後の頁 123-136
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Kawabe Yutaka, Okoshi Kento	4. 巻 8巻
2. 論文標題 Discrimination of photo-induced isomerization and molecular reorientation processes in azobenzene derivative doped in a polymer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 332-341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.8.000332	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 Yuki Suzuki, Yutaka Kawabe	4. 巻 7巻
2. 論文標題 Fluorescence enhancement of hemicyanines bound to DNA or DNA-complex and their application to dye laser	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 2062-2068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.7.002062	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 Kawabe Yutaka, Suzuki Yuki	4. 巻 10355巻
2. 論文標題 Thin film DNA-complex-based dye lasers fabricated by immersion and conventional processes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 ページ番号なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2273099	査読の有無 無
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 Yutaka Kawabe, Yuki Suzuki, Takuya Tanaka, Kento Okoshi	4. 巻 10440巻
2. 論文標題 Induced circular dichroism and laser action of hemicyanine dyes coupled to DNA and DNA-complex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 ページ番号なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2277394	査読の有無 無
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 Yutaka Kawabe, Reo Otsubo	4. 巻 1
2. 論文標題 Influence of matrix polymer molecular weight on photo-induced transmission of azobenzene derivative doped in a polymer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of CIF18	6. 最初と最後の頁 ページ番号なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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17件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Yutaka Kawabe
2. 発表標題 Application of DNA-complex to active photonic devices (invited),
3. 学会等名 11th International Conference on Nanophotonics, ICNP2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe
2. 発表標題 Incorporation of photo-controllable molecules in tunable DNA dye laser system (Invited Paper)
3. 学会等名 SPIE Optics and Photonics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe, Kento Okoshi
2. 発表標題 Light amplification and photo-isomerization characteristics of laser dyes and azo molecules incorporated into DNA-complex systems (Invited Paper)
3. 学会等名 SPIE Security + Defence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe
2. 発表標題 Photo-induced birefringence and photo-induced transparency observed in azo chromophores embedded in DNA complex composites
3. 学会等名 19th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大沼正幸、加藤樹、大越研人、川辺豊
2. 発表標題 DNA/CTMA/アゾカルバゾール複合体における光異性化反応
3. 学会等名 第53回(2018年度)高分子学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe, Yuki Suzuki
2. 発表標題 Thin film DNA-complex-based dye lasers fabricated by immersion process
3. 学会等名 SPIE Optics and Photonics 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe, Yuki Suzuki, Kento Okoshi
2. 発表標題 Optical characteristics and light amplification in hemicyanine doped DNA-complex thin films
3. 学会等名 SPIE Security + Defence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe, Reo Otsubo
2. 発表標題 Influence of dye concentration and polymer molecular weight on photo-induced effects of azobenzene derivative doped in a polymer
3. 学会等名 18th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe, Kento Okoshi
2. 発表標題 Spectroscopic studies of hemicyanine dyes coupled to DNA and DNA-complex
3. 学会等名 18th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe, Kento Okoshi
2. 発表標題 Discrimination between photoisomerization and molecular reorientation processes in azo dye-doped polymer
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川辺豊、大越研人
2. 発表標題 高分子にドーピングしたアゾベンゼン誘導体の光誘起二色性のメカニズム
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe
2. 発表標題 Photo-induced processes of azo molecules doped in neat and blended DNA-lipid complex
3. 学会等名 Sixth International Workshop on Advanced, Nano- and Biomaterials and Their Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaka Kawabe, Kento Okoshi
2. 発表標題 Thin film dye lasers composed of DNA-complex and functional dyes
3. 学会等名 15th International Conference on Frontiers of Polymers and Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuru Yasuda, Hisaya Oda, Yutaka Kawabe
2. 発表標題 Optical properties of excited-state donor-acceptor complex formed in polymer films
3. 学会等名 20th Chitose International Forum on Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaya Miyazaki, Riku Fujihisa, Kento Okoshi, Yutaka Kawabe
2. 発表標題 Photoisomerization of azo-carbazole derivatives in DNA/CTMA complex
3. 学会等名 20th Chitose International Forum on Science & Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮崎真弥、藤久陸、大越研人、川辺豊
2. 発表標題 DNA/CTMA/シアニン色素/アゾカルバゾール複合体における光異性化反応
3. 学会等名 第54回(2019年度)高分子学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮崎真弥、藤久陸、大越研人
2. 発表標題 DNA/CTMA/アゾカルバゾール複合体に おける光異性化反応
3. 学会等名 高分子学会北海道支部2019年度サマーユニバーシティ & 若手会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Sites of open access journals are listed below.</p> <p>Proceedings of CIF18 https://www.chitose.ac.jp/info/cif18/ProcCIF18contents.htm</p> <p>Proceedings of CIF19 https://www.chitose.ac.jp/info/cif19/ProcCIF19contents.htm</p>
--

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
研究分担者	大越 研人 (Okoshi Kento) (60500139)	公立千歳科学技術大学・理工学部・教授 (20106)	