

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20550129

研究課題名(和文) RNA上に構築された色素ナノ組織体による光電変換システム

研究課題名(英文) Photoelectrochemical systems of multichromophoric nanoarrays constructed on RNA

研究代表者

中村 光伸 (NAKAMURA MITSUNOBU)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50285342

研究成果の概要(和文)：核酸を鋳型に用いて色素分子が積層したナノ組織体を電子デバイス材料として応用することを目指し、それらを固定化した電極の作成とその光電変換特性について検討した。その結果、ディフェクトのない色素ナノ組織体の担持量が良好な固定化電極の作成に成功し、固定化する色素分子によっては積層させる分子の数に対応して光電応答が増加することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)： π -Stacked chromophore arrays are of interest as charge transport materials. We have designed multichromophoric arrays using nucleic acids and investigated their photoelectrochemical properties. The multichromophoric arrays immobilized electrodes exhibited efficient photocurrent depending on the number of arranged chromophores.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：光化学、核酸化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：光物性

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究の背景

天然の光合成では、蛋白質複合体中の色素が規則的に配列した色素集合体で光吸収、エネルギー移動、多段階電子移動というプロセスを経て長寿命電荷分離状態を作り出し、光エネルギーを電気エネルギーに効率よく変換している。近年、分子エレクトロニクス材料開発の観点から複数の色素を連結させた分子を使って光合成のエネルギー変換プロセスを模倣した光電変換システムが提案されている。このような光電変換システムの開発において、色素のナノ空間への配列制御は変換効率を向上させる上で重要な課題とな

っており、種々の高分子材料を鋳型にした色素分子の配列制御も検討されている。

生体分子である核酸(DNAやRNA)も塩基対が一次的に相互作用して積み重なった二重らせん構造を有していることから、ナノ空間に色素を配列させる鋳型として最適な高分子材料である。さらに核酸には色素の数や位置などを核酸の塩基配列にプログラムさせて厳密に制御できるという他の高分子材料にはない利点を持っている。申請者はこれまで色素分子であるピレンを核酸の糖部に導入したピレン修飾核酸を合成し、蛍光挙動や熱力学的安定性などの基本的な性質について詳細な検討を行ってきた。その結

果、ピレン修飾DNA二重らせんではピレンが塩基対間にインターカレートするのに対し、ピレン修飾RNA二重らせんではピレンが二重らせんの外側に張り出した構造を有することを明らかにした。さらに、RNAに複数のピレンを導入することにより、ピレンが二重らせんに沿って一定の距離で規則的に会合して強いピレンエキシマー蛍光を示すナノ組織体の合成に成功している。

(2) 研究の特色

近年、核酸のナノテクノロジー素材としての利用が注目され、化学的手法を活用してさまざまなコンセプトを導入することによりDNAナノワイヤー、DNAコンピューターなどの核酸デバイスの開発が行われるなど、卓越した機能を付与することにより魅力ある研究分野が芽生える可能性を秘めている。本研究では色素分子をナノ空間に配列させるための鋳型高分子材料としてRNA核酸を利用し、長距離、多段階の電子移動を達成するところに特徴がある。また現時点では開拓的な研究分野である核酸を半導体デバイスの一部として扱う研究分野において、核酸と異物質との界面の構造および機能制御に関する知識の蓄積に貢献できる。

(3) 研究の位置づけ

色素分子が π スタックして集積した色素アレイはユニークな光電子機能を示すことから有機半導体デバイスへの応用が期待されており、合成高分子だけでなく核酸を利用して集積させる研究が盛んに行われている。例えば、芳香族分子を核酸に共有結合させた修飾核酸を利用する系は、国内では浅沼らのグループがアゾベンゼンを並べたDNAコンジュゲートを合成し(*J. Am. Chem. Soc.* **2003**, *125*, 2217)、転写の光制御に成功している(*Nat. Protoc.* **2007**, *2*, 203)。また遠藤・真嶋らのグループがポルフィリン会合体(*J. Org. Chem.*, **2008**, *73*, 1106)を、井上らはピレンおよびペリレンの会合体(*Chem. Eur. J.*, **2007**, *13*, 8124)を報告している。国外ではStulzらがポルフィリン(*Angew. Chem.-Int. Ed.*, **2009**, *48*, 1974)、Wagenknechtらがペリレンジイミド(*Chem. Eur. J.*, **2008**, *14*, 6640)のヘリカルアレイを報告している。一方、レセプター修飾芳香族分子を核酸との自己組織化により配列させる非共有結合系では、国外でMeijerらがナフタレン(*Angew. Chem.-Int. Ed.*, **2009**, *48*, 8103)、国内では清水らのグループがフェニレンビニレン(*J. Am. Chem. Soc.*, **2006**, *128*, 13298)、居城らのグループがアゾベンゼン(*Langmuir*, **2008**, *24*, 2618)の集積に成功している。このように核酸を鋳型とする芳香族アレイの構築に関して多くの優れた成果が報告されているものの、本研究課題のように光電変換などの“機能”に関する研究分野は未開拓であり、今後はこの研究分野での競争が

活発になると予想される。

2. 研究の目的

本研究では、申請者がこれまで合成に成功したRNAを鋳型した色素ナノ組織体の光電特性を評価し、その特性を利用してRNA上での色素間の多段階電子移動による長寿命電荷分離状態を達成させることにより高効率の光電変換システムを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 色素ナノ組織体RNAの単分子膜を金電極上に作製し、その光電特性を評価する。さらに電極上への固定化条件の最適化、表面を平滑化した電極、マスキング処理等により変換効率の向上を図る。

(2) 色素ナノ組織体の両端にドナーおよびアクセプター色素を新たに導入し、ドナー \rightarrow 色素組織体 \rightarrow アクセプターへの多段階電子移動を経る長寿命電化分離状態の達成を目指す。ドナーおよびアクセプター色素は分子動力学計算、分子軌道計算より最適な色素を選択する。

(3) 先に合成したドナー、アクセプターを有する色素ナノ組織体RNAを固定化した電極の光電変換特性を評価することにより色素ナノ組織体がドナー・アクセプター間の電子移動の良好なメディエーターとなり得ることを証明する。最終的にRNA核酸を利用した高効率の光電変換システムを構築する。

4. 研究成果

(1) 複数の色素分子(ピレン)を導入したRNA核酸の自己組織化により、RNAらせん状にピレン分子同士が π 電子のスタッキング構造を有するピレンアレイの構築を試み、その結果、下記の成果を得た。

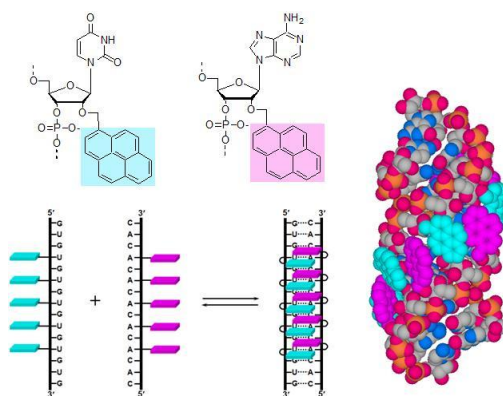


図1 共有結合を利用して核酸上に構築したジッパー型ピレンアレイ

① RNA自己組織化によるピレンアレイの構造制御：相補的な塩基配列を有する2つのマルチピレン修飾RNAをらせん形成させ

ることにより、核酸のらせん軸に沿ってジッパー型のピレンアレイを構築することに成功した。さらにこのジッパー型ピレンアレイは温度により可逆的に構造を制御できることを明らかにした。(図1)

②ピレンアレイの構造解析：吸収スペクトル、円二色性スペクトル測定よりピレン分子が二重らせんの外側に位置し、らせんに沿って一次元的に π -スタッキングを介して会合していることを明らかにした。

③ピレンアレイ蛍光挙動：RNA核酸上に構築されたピレンアレイは強いピレンエキシマー蛍光を示すことを見出した。ピレンエキシマー蛍光強度は導入するピレンの数に比例して増大すること、また発光波長がシフトすることを明らかにした。

④ピレンアレイ蛍光消光過程：ピレンアレイから発せられるエキシマー蛍光はメチルビオロゲンにより電子移動消光され、その消光速度定数はピレンのモノマー蛍光よりも大きく、さらにピレンの増加に伴って消光速度定数も増加した。この結果は励起エネルギーがピレンアレイ上で非局在化していることを意味しており、高効率の光電変換システムへの応用が期待できることを証明した。

(2) 複数の色素分子(ピレン)を導入したRNA核酸の電子移動消光とそれらの固定化電極を作成し光電変換機能に検討を行った。その結果、下記の成果を得た。

①自己組織化ピレンアレイの光電子移動消光過程：マルチピレン修飾RNAと相補的な塩基配列を持つRNAとのらせん形成により形成したピレンアレイから出るエキシマー蛍光の電子移動消光をメチルビオロゲンにより検討した結果、ピレンの数に応じてStern-Volmer定数は増加した、この事実は励起エネルギーがピレンアレイ上で非局在化しており、ピレンの増加に伴うアレイの拡張により非局在化が顕著になることを意味している。

②ピレンアレイ固定化電極の作成：金表面にピレンナノ組織体RNAの自己組織化膜を作成するに当たり、光電変換過程でのピレンナノ組織体間での自己消光や電子ホッピングを避けるため、ピレンナノ組織体RNAが比較的低密度に担持された均質な膜の作成を目指した。作成した固定化電極について、ピレンナノ組織体RNAの担持量、膜中のディフェクトの有無について評価した結果、比較的良好な単分子膜が形成できることが明らかになった。

③ピレンアレイ固定化電極の光電特性：光照射用セルにピレンナノ組織体RNAを固定化した金電極を装着し、固定化金電極を作用極とする三電極法により電子キャリアを含む水溶液中で膜中のピレンの選択的光励起により発生する電流を測定したところ、光電

流が発生することを確認した。しかしながら、変換効率は小さくピレンの数に応じた光電応答は確認できなかった。そのため変換効率の向上に向け、諸条件の最適化を行う。

(3) 電子ドナーとしてピレン、電子アクセプターとしてニトロベンゼンを核酸上に配列させたヘテロ接合ドナー・アクセプターアレイ、およびナフタレンジイミド(NDI)を核酸を鋳型にして配列させたNDIアレイを構築し、その光機能について検討した結果、下記の成果を得た。

①ピレンを電子ドナー、ニトロベンゼンを電子アクセプターとしてこれらをRNA上に配列させたバイアレイの構築に成功した。構造解析の結果、ピレンは二重らせんの副溝に配列し、ニトロベンゼンは主溝に配列していることがわかった。さらにピレンの選択的光励起によりピレンからニトロベンゼンへの電子移動が起こることを確認し、RNA上で電荷分離状態が生成していることを明らかにした。

②NDI誘導体を構成単位として核酸を鋳型にしたNDIアレイの構築に成功した。このNDIアレイを金表面に固定化した修飾電極を作製し、固定化金電極を作用極とする三電極法により電子キャリアを含む水溶液中で膜中のNDIの選択的光励起により発生する電流を測定したところ、光電流が発生することを確認しNDIアレイが良好な電荷移動媒体となり得ることを明らかにした。さらに鋳型核酸の長さ対応した光電応答が得られることを見出した。

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13件)

- ① Eriko Hayashi, Tadao Takada, Mitsunobu Nakamura and Kazushige Yamana, Electronic Aptamer-based Biosensor for Multiprotein Analyses on a Single Platform, *Chem. Lett.*, **2010**, 39, 454-455. (査読有)
- ② Minoru Fukuda, Mitsunobu Nakamura, Tadao Takada, and Kazushige Yamana, Syntheses and fluorescence of RNA conjugates having pyrene-modified adenosine and nitrobenzene-modified uridine base pairs, *Tetrahedron Lett.*, **2010**, 51, 1732-1735. (査読有)
- ③ Tadao Takada, Chie Tanaka, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, Fluorescence analysis of excess electron transfer through DNA, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **2010**, 20, 994-996. (査読有)
- ④ Yosuke Tanimizu, Tadao Takada, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige

- Yamana, Synthesis and characterization of deoxyuridine triphosphates labeled with pyrene, *Nucleic Acids Research Symposium Series*, **2009**, *53*, 131-132. (査読有)
- ⑤ Minoru Fukuda, Mitsunobu Nakamura, Tadao Takada, and Kazushige Yamana, Duplex formation of multiple pyrene-modified RNAs, *Nucleic Acids Research Symposium Series*, **2009**, *53*, 133-134. (査読有)
- ⑥ Yusuke Hasegawa, Mitsunobu Nakamura, Tadao Takada, and Kazushige Yamana, Synthesis and hybridization of oligonucleotides attached to a redox reporter via ethenyl linker at 5-position of pyrimidine base, *Nucleic Acids Research Symposium Series*, **2009**, *53*, 145-146. (査読有)
- ⑦ Yuta Kawano, Tadao Takada, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, DNA ligation using photoremovable protecting groups, *Nucleic Acids Research Symposium Series*, **2009**, *53*, 173-174. (査読有)
- ⑧ Kenji Maie, Kazuyuki Miyagi, Tadao Takada, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, RNA-Mediated Electron Transfer: Double Exponential Distance Dependence, *J. Am. Chem. Soc.*, **2009**, *131*, 13188-13189. (査読有)
- ⑨ Kenji Maie, Mitsunobu Nakamura, Tadao Takada, and Kazushige Yamana, Fluorescence quenching properties of multiple pyrene-modified RNAs, *Bioorg. Med. Chem.*, **2009**, *17*, 4996-5000. (査読有)
- ⑩ Mariko Watanabe, Satoshi Kumamoto, Mitsunobu Nakamura and Kazushige Yamana, Electronic detection of DNA mutation based on strand exchange reaction, *Bioorg. Med. Chem.*, **2009**, *17*, 1494-1497. (査読有)
- ⑪ Mitsunobu Nakamura, Yohei Murakami, and Kazushige Yamana, Zipper-like assembly of multi-pyrenes covalently attached to RNA sequences via duplex formation, *Nucleic Acids Research Symposium Series*, **2008**, *52*, 707-708. (査読有)
- ⑫ Kenji Maie, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, Efficient quenching of the excimer fluorescence derived from pyrene arrays on RNA duplexes, *Nucleic Acids Research Symposium Series*, **2008**, *52*, 705-706. (査読有)
- ⑬ Mitsunobu Nakamura, Yohei Murakami, Kazuhiro Sasa, Haruhisa Hayashi, and Kazushige Yamana, Pyrene-Zipper Array Assembled via RNA Duplex Formation, *J. Am. Chem. Soc.*, **2008**, *130*, 6904-6905. (査

読有)

[学会発表] (計42件)

- ① 高田忠雄、大塚友美子、中村光伸、山名一成、DNA内部の疎水空間を利用した分子配列、日本化学会第91春季年会、(横浜、3/26-29、2011)
- ② 長谷川祐介、高田忠雄、中村光伸、山名一成、ポルフィリン-フェロセン-DNAコンジュゲートの合成と性質、日本化学会第91春季年会、(横浜、3/26-29、2011)
- ③ 佐伯友佑、高田忠雄、中村光伸、山名一成、RNA上でのピレンからニトロベンゼンへの電荷移動、日本化学会第91春季年会、(横浜、3/26-29、2011)
- ④ 大塚友美子、高田忠雄、中村光伸、山名一成、結合空間を有するDNAを用いた電荷移動錯体の形成、日本化学会第91春季年会、(横浜、3/26-29、2011)
- ⑤ 中村光伸、核酸をテンプレートにした芳香族分子集合体中の電荷およびエネルギー伝達機構の解明、シンポジウム「2011最先端ビーム機能化学」(吹田、1/29-30、2011) 招待講演
- ⑥ 高田忠雄、DNA上における機能分子の集積と配列、シンポジウム「2011最先端ビーム機能化学」(吹田、1/29-30、2011) 招待講演
- ⑦ Kazushige Yamana, Aptamer-based electrochemical biosensor, *The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (2010 Pacificchem)* (Honolulu, USA, Dec. 15-20, 2010)
- ⑧ Mitsunobu Nakamura, Construction of Pyrene Arrays on RNA, *The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (2010 Pacificchem)* (Honolulu, USA, Dec. 15-20, 2010) 招待講演
- ⑨ Tadao Takada, Yumiko Otsuka, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, Formation of a charge-transfer complex in DNA duplex, *The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (2010 Pacificchem)* (Honolulu, USA, Dec. 15-20, 2010)
- ⑩ Yusuke Saeki, Mitsunobu Nakamura, Tadao Takada, and Kazushige Yamana, Interstrand charge migration from excited pyrene to nitrobenzene on RNA duplex, *The 37th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry 2010* (Yokohama, Nov. 10-12, 2010)
- ⑪ Tadao Takada, Yumiko Otsuka, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, Formation of a charge-transfer complex in a cavity created inside of DNA, *The 37th*

- International Symposium on Nucleic Acids Chemistry 2010* (Yokohama, Nov. 10-12, 2010)
- ⑫ Mitsunobu Nakamura, Construction of Multichromophoric Arrays Using Nucleic Acids, *The 7th Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience 2010* (Daegu, Korea, Oct. 23-26, 2010) 招待講演
- ⑬ 佐伯友佑、中村光伸、高田忠雄、山名一成、ピレンとニトロベンゼンを導入した二本鎖RNAの蛍光挙動、2010年光化学討論会（千葉、9/8-10、2010）
- ⑭ Yumiko Otsuka, Yusuke Hasegawa, Tadao Takada, Mitsunobu Nakamura and Kazushige Yamana, Electron Transfer Through RNA Duplex, *International Roundtable on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids* (Lyon, France, Aug. 29th – Sep. 3rd, 2010)
- ⑮ 谷水陽介、高田忠雄、中村光伸、山名一成、ポリメラーゼ反応を利用した蛍光核酸の作製、第56回高分子研究発表会（神戸、7/16、2010）
- ⑯ 福田稔、中村光伸、高田忠雄、山名一成、AU塩基対にピレンおよびニトロベンゼンを有する二重らせんRNA、第56回高分子研究発表会（神戸、7/16、2010）
- ⑰ 土地貴明、高田忠雄、中村光伸、山名一成、酵素反応を利用したレドックス活性金ナノ粒子の作製、第56回高分子研究発表会（神戸、7/16、2010）
- ⑱ 長谷川裕介、高田忠雄、中村光伸、山名一成、フェロセン修飾DNA固定化電極による電気化学測定、第56回高分子研究発表会（神戸、7/16、2010）
- ⑲ 岡上 司、中村光伸、高田忠雄、山名一成、DNAを利用した色素分子集合体、第56回高分子研究発表会（神戸、7/16、2010）
- ⑳ 佐伯友佑、中村光伸、高田忠雄、山名一成、二重らせんRNA中のRNA鎖間光電子移動、第56回高分子研究発表会（神戸、7/16、2010）
- ㉑ 河野裕太、高田忠雄、中村光伸、山名一成、ポリメラーゼ反応を利用した光レドックス活性分子のDNAへの導入、日本化学会第90春季年会（東大阪、3/26-29、2010）
- ㉒ 大塚友美子、高田忠雄、中村光伸、山名一成、ピレン修飾核酸における過剰電子移動、日本化学会第90春季年会（東大阪、3/26-29、2010）
- ㉓ 福田稔、中村光伸、高田忠雄、山名一成、ピレンおよびニトロベンゼン修飾RNAの合成と蛍光、日本化学会第90春季年会（東大阪、3/26-29、2010）
- ㉔ 長谷川裕介、高田忠雄、中村光伸、山名一成、金電極に固定したフェロセン修飾DNAの電気化学測定、日本化学会第90春季年会（東大阪、3/26-29、2010）
- ㉕ 中村光伸、RNA核酸上に集積された芳香族分子の秩序化とその機能、大阪大学産業科学研究所第2回量子ビーム科学研究施設研究会（吹田、10/16、2009）招待講演
- ㉖ Yuta Kawano, Tadao Takada, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, DNA ligation using photoremovable protecting groups, *The 6th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry* (Takayama, Sep. 27-Oct. 1, 2009)
- ㉗ Yusuke Hasegawa, Mitsunobu Nakamura, Tadao Takada, and Kazushige Yamana, Synthesis and hybridization of oligonucleotides attached to a redox reporter via ethenyl linker at 5-position of pyrimidine base, *The 6th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry* (Takayama, Sep. 27-Oct. 1, 2009)
- ㉘ Minoru Fukuda, Mitsunobu Nakamura, Tadao Takada, and Kazushige Yamana, Duplex formation of multiple pyrene-modified RNAs, *The 6th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry* (Takayama, Sep. 27-Oct. 1, 2009)
- ㉙ Yosuke Tanimizu, Tadao Takada, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, Synthesis and characterization of deoxyuridine triphosphates labeled with pyrene, *The 6th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry* (Takayama, Sep. 27-Oct. 1, 2009)
- ㉚ 福田稔、中村光伸、高田忠雄、山名一成、ピレン修飾RNAのハイブリダイゼーションによるエキシマー形成、光化学討論会（桐生、9/16-18、2009）
- ㉛ 高田忠雄、渡辺小百合、中村光伸、山名一成、ポリメラーゼ伸長反応を利用したDNA光電変換システムの構築、第24回生体機能関連化学シンポジウム（福岡、9/13-15、2009）
- ㉜ 福田稔、真家賢治、中村光伸、高田忠雄、山名一成、RNA二本鎖上に構築されたピレン会合体、日本化学会第89春季年会（船橋、3/27-30、2009）
- ㉝ 谷水陽介、高田忠雄、中村光伸、山名一成、ピレン修飾三リン酸誘導体の合成と評価、日本化学会第89春季年会（船橋、3/27-30、2009）
- ㉞ 河野裕太、高田忠雄、中村光伸、山名一成、光脱離性保護基を利用したDNA連結反応、日本化学会第89春季年会（船橋、3/27-30、2009）
- ㉟ 長谷川裕介、高田忠雄、中村光伸、山名一成、フェロセン共役核酸塩基の合成と

- 性質、日本化学会第89春季年会(船橋、3/27-30、2009)
- ③⑥ 真家賢治、中村光伸、高田忠雄、山名一成、電子ドナー、アクセプター修飾RNAの合成と性質、日本化学会第89春季年会(船橋、3/27-30、2009)
- ③⑦ 渡辺小百合、高田忠雄、中村光伸、山名一成、ポリメラーゼ伸長反応によるDNAの光機能化、日本化学会第89春季年会(船橋、3/27-30、2009)
- ③⑧ 林英理子、高田忠雄、中村光伸、山名一成、レドックス修飾DNAアダプター固定化チップによる生体分子の電気化学検出、日本化学会第89春季年会(船橋、3/27-30、2009)
- ③⑨ 真家賢治、高田忠雄、中村光伸、山名一成、RNAに固定化したドナー・アクセプター間の光誘起電子移動、第3回バイオ関連化学合同シンポジウム(横浜、9/18-20、2008)
- ④⑩ Kenji Maie, Mitsunobu Nakamura, and Kazushige Yamana, Efficient quenching of the excimer fluorescence derived from pyrene arrays on RNA duplexes, *Joint Symposium of the 18th International Roundtable on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids and the 35th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry* (Kyoto, Sep. 8-12, 2008)
- ④⑪ Mitsunobu Nakamura, Yohei Murakami, and Kazushige Yamana, Zipper-like assembly of multi-pyrenes covalently attached to RNA sequences via duplex formation, *Joint Symposium of the 18th International Roundtable on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids and the 35th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry* (Kyoto, Sep. 8-12, 2008)
- ④⑫ 中村光伸、村上陽平、山名一成、RNA二重らせん形成により構築されるピレンアレイの蛍光特性、光化学討論会(堺、9/11-13、2008)

[その他]

ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/msc/msc1/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 光伸 (NAKAMURA MITSUNOBU)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50285342

(2) 連携研究者

山名 一成 (YAMANA KAZUSHIGE)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70192408

高田 忠雄 (TAKADA TADAO)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：60511699