

様式 C-19

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月21日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21350119

研究課題名（和文）：テーラーメイド生体高分子を活用した環境調和型不斉光反応ナノバイオリアクターの創製

研究課題名（英文）：Studies on Noble Methodology of Supramolecular Photochirogenesis with Biopolymers as a Chiral Reaction Media

研究代表者

和田 健彦（WADA Takehiko）

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：20220957

研究成果の概要：環境負荷の少ない光を反応の駆動力とし、自然共生型新規不斉合成法として注目されている光不斉合成法に対し、タンパク質など生体高分子を不斉反応場として活用する超分子不斉光反応という新規合成方法論を提案し、その有用性を実証した。また、超分子不斉光化学の機構解明のため、その過程で構築した生体高分子を反応場とする基底状態相互作用解析法、そして基底状態ならびに励起状態双方における相互作用制御に基づく高効率超分子不斉光反応の実現は、一般性を有し、今後適用反応例の拡大、基質特異性の向上により不斉光化学反応の有効な方法論としての展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：Increasing attention has recently been directed toward the new methodology of asymmetric photochemistry using various supramolecules. In this paper, we will present the novel strategy and recent results of supramolecular asymmetric photochirogenesis (SMAP) with tailor-made biomolecules. The biopolymers, especially proteins, possessing chiral binding pockets for guest, are of particular interest as potential chiral reaction cavities and/or fields for SMAP, although such an approach has not extensively been investigated. Serum albumins are the most abundant and well-characterized water-soluble plasma proteins, which transport hydrophobic compounds. We have employed Bovine and Human Serum Albumin (BSA and HSA) as a chiral supramolecular host and 2-anthracenecarboxylate (AC) as a substrate. The photocyclodimerization of AC was performed in aqueous buffer solutions in the presence of HSA to give the [4+4] cyclodimers with high enantioselectivities of up to 90% ee. Recently catalytic antibody is one of the most powerful and vital tools for thermal reactions. The catalytic antibody possessing chiral binding pockets for AC cyclodimers, are of particular interest as potential chiral hosts for SMAP, although such an approach has not extensively been investigated. In this study, we have demonstrated first supramolecular photochirogenesis using catalytic antibody as tailor-made chiral reaction fields.

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	15,000,000	4,500,000	19,500,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・高分子化学

キーワード：生体高分子, ヒト血清アルブミン, 光反応, 超分子不斉光化学反応, 不斉反応場, 不斉合成

1. 研究開始当初の背景

現在、医学や薬学はもちろん化学・生化学・農学そして化成品工業など多くの分野で光学活性物質の必要性が高まっており、不斉合成は現在最も注目されている分野の一つである。現在不斉金属触媒を活用した熱的不斉合成が精力的に研究されているが、光を用いる光不斉反応は新しい不斉合成法として注目されている。光不斉合成は電子的励起状態を経由するため、熱的合成では困難な生理活性天然物などの多く見られる多環芳香族・高歪み化合物やユニークな構造を有する化合物を1段階で合成できるため、熱的不斉合成法と相補的な力量ある不斉合成法として期待されている。さらにクリーンな光を反応の駆動力とする不斉光化学反応は、環境負荷の大きいキラル修飾重金属触媒などを多用する熱的不斉合成法とは異なり、自然共生型プロセスとしても今後ますますその重要性を増していくと予想されている。しかし、従来報告されている光学収率は10%程度と低いものであり、現実的な不斉合成法とは成り得ていなかった。我々は、均一溶液系で触媒量の光学活性増感剤の存在下、光異性化反応や極性付加反応などのエナンチオ区別反応を行うことにより飛躍的な光学収率の向上が可能になることを見出した。しかし、光励起された光学活性増感剤とプロキラルな基質との間で形成される励起錯体（エキシプレックス）の寿命は短く、相互作用も弱く構造も強くは固定化されていないため、高い光学収率を一般的に達成し得る方法論とは成り得ていない。さらに不斉増感反応を適用できる基質は限られており、一般的な不斉合成法とは成り得ず、より基質適用性の広い方法論の開発が切望されてきた。

一方、生体においては、鍵と鍵穴に例えられるように酵素の基質取込み・反応部位など高度に規制された“反応場”において化学反応は進行し、高効率な不斉合成が達成されている。この“反応場”は、多くの場合均一水溶液系とは大きく異なる疎水性マイクロ相分離ドメイン・規制反応空間に取り込まれ進行する。微視的極性の低下した疎水ドメインにおいては、水中では弱い水素結合や双極子相互作用などが効果的に作用する。さらに、分子が必然的に接近して存在する空間的に規制された反応場においては、短い相互作用距離に基づくCH- π 、van der Waals等、均一溶液中では弱い相互作用が有効かつ協同的に機能することが高効率反応系実現の大きな駆動力となっている。すなわち、弱い相互作用系でも高分子を活用し、反応空間・分子配置最適化や反応空間微視的極性制御などを実現する反応場を構築出来れば、効率的で有効な不斉光化学反応機能発現が期待できる。しかし従来報告されている酵素やたんぱく質、そして規制反応場を用いる高効率反応系実

現は、ほとんど基底状態相互作用を活用した熱的合成への適用に限られ、励起状態相互作用まで積極的に制御・活用する研究例はほとんど見当たらない。

2. 研究の目的

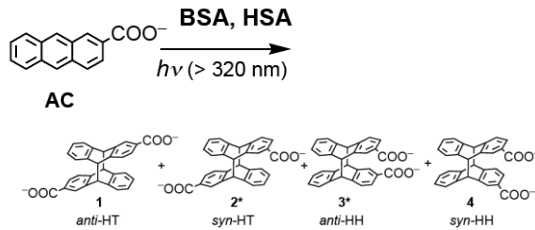
このような背景を踏まえ、本研究では高分子、中でも生体高分子が構築する高次構造、規制反応空間、特にキラル反応場の機能化に注目し、生体高分子とプロキラルな光反応基質が形成するナノ組織体を活用し、生体高分子の有する規制空間キラル反応場において、基底状態のみならず励起状態における弱い相互作用の効果的かつ有効な機能発現により不斉光化学反応の鍵中間体であるエキシプレックスの安定化を図り、その結果高い光学収率を達成する新しい方法論を提案し、実証したいと考えた。すなわち、本「生体高分子系ナノ組織体の超分子不斉光化学材料への展開」研究を通じ、生体高分子を用いた超分子不斉光化学反応という新しい概念の提案を行うと共に、その有効性を実証し、生体機能高分子を用いた不斉光化学反応を新しい方法論としての確立を目指した。

酵素、ポリペプチド・多糖などは「不斉反応場」としての展開が期待され、熱的合成を中心に過去に比較的高い光学収率も報告されている。しかし、酵素、タンパク質を用いた熱的不斉合成においては、反応が進行する高温において生体高分子高次構造の変性や安定性の低下が観測され、生体高分子の高次構造が安定な低温においては反応が進行しないという本質的な相反する重大かつ本質的問題が存在し、有効な不斉合成法とは成り得ていない。一方、本反応で用いる光不斉反応は、電子的励起状態を経由して反応が進行するため、生体高分子の高次構造・不斉反応場が安定に存在する低温においても反応は十分に進行し、構造安定性/感受性に対する温度効果の大きい生体高分子を用いる反応系には最適の系であり、光反応を用いる点も本研究の特色である。また光による生体高分子の分解・変性などに関しては、キラル反応場として適用する生体高分子の光吸収がなく、光反応基質のみが吸収する波長の光を選択照射する事により、ホストにダメージを与えることなく不斉光化学反応が進行し、生体高分子キラル反応場は繰り返し再利用可能な、触媒的機能高分子としての展開も期待できる。さらに生体高分子は生分解性で不斉修飾金属触媒などと比較して格段に環境負荷が少なく、クリーンなエネルギーソースである光を駆動力とすることと相まって、まさに21世紀環境調和型反応システムの構築が期待される。

3. 研究の方法

本研究では、本方法論の実証実験として単純ペプチドであり疎水的な基質を取り込むことが知られているウシならびにヒト血清ア

ルブミンを不斉反応場とする、2-アントラセンカルボン酸のエナンチオ区別環化二量化反応(下図)について種々の条件下、超分子不斉光反応を詳細に検討すると共に、基底状態相互作用ならびに励起状態相互作用を様々な手法を用い、詳細な解析に取り組んだ。



図：2-アントラセンカルボン酸のエナンチオ区別環化二量化反応

4. 研究成果

ウシ血清アルブミン (BSA) を不斉反応場とする超分子不斉光反応

ウシ血清アルブミン(BSA)は、583 残基のアミノ酸からなる分子量約 66,000 の水溶性輸送タンパクであり、血液中で脂肪酸や芳香族カルボン酸類などの難水溶性成分を包接することが知られている。この結合部位はキラリな環境にあるため不斉反応場としての利用が可能であると考えられるが、光反応に応用した例はほとんど報告されていない。

一方、均一溶媒中のアントラセン誘導体の [4+4] 光環化二量化反応はよく研究されており、1 位または 2 位に置換基を有する誘導体には 4 種類の位置異性体が生成し、そのうち **2**、**3** はキラリ化合物となる (上式)。このような二分子系の光反応において超分子不斉光反応を行った例は少なく、非常に興味もたれる。第 1 章では、BSA を不斉反応場とする 2-アントラセンカルボン酸 (AC) のエナンチオ区別 [4+4] 光環化二量化反応について検討した。

BSA と AC の基底状態錯形成挙動を確認するために、紫外可視吸収スペクトル、円二色スペクトル、蛍光スペクトル、蛍光寿命測定など各種分光法により詳細に検討した結果、BSA には AC に対する独立した結合サイトが 4 つ存在し、第 1 サイトには $K_1 = 5.3 \times 10^7 \text{ M}^{-1}$ で 1 分子の AC が、第 2、第 3、第 4 サイトにはそれぞれ 3 分子 ($K_2 = 1.3 \times 10^5 \text{ M}^{-1}$)、2 分子 ($K_3 = 1.4 \times 10^4 \text{ M}^{-1}$)、3 分子 ($K_4 = 3 \times 10^3 \text{ M}^{-1}$) の AC が結合することを明らかにした。各サイトに結合した AC 周辺的环境を明らかにするために、AC 濃度を一定にし、BSA 濃度を変化させた蛍光スペクトルを測定した。BSA 非存在下、水中の AC は、強度の大きなブロードなスペクトルを示すのに対し、BSA 添加量の増大に伴い、蛍光強度の減少とともに振動構造を有する蛍光スペクトルが観測された。この現象は、AC が BSA に結合することにより、BSA を構成するトリプトファン (Trp) やチロシン (Tyr) などの芳香族アミノ酸残基による AC の消光に基づくと考えら

れる。また、ほとんどすべての AC が第 1 サイトに結合している AC/BSA = 0.09~1.0 では、スペクトル形状がペンタン溶液中のものとはほぼ一致したことから、BSA の第 1 サイトは、極めて疎水性の高いサイトであることが明らかとなった。

各サイトに結合した AC の励起状態と結合環境に関する知見を得るために、種々の AC/BSA 比において BSA 結合 AC からの蛍光のニトロメタンによる消光実験を行った。蛍光強度の減少から Stern-Volmer プロットを作成した。また、同サンプルを用いて蛍光寿命測定を行ない、式 1 より Stern-Volmer 定数 (K_{sv}) を算出した。

$$\frac{I_0}{I} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{1 + K_{svi} [Q]_0}} \quad (1)$$

ここで、 F_i は多成分 (i) の蛍光強度比、 $[Q]$ はニトロメタン濃度を示す。 K_{sv} ならびに蛍光寿命から、各サイトの消光速度定数 (k_q) を算出することにより、各サイトに結合した AC のニトロメタンに対する消光特性を定量的に検討できる。

AC 濃度を 0.03 mM とし、所定濃度の BSA を加え AC/BSA 比溶液を調整後、ニトロメタン添加による蛍光スペクトル変化を測定した。BSA 非存在下、AC の消光実験の結果、Stern-Volmer プロットは良好な直線を示し、傾きより $K_{sv,AC} = 91.6 \text{ M}^{-1}$ と求められた。この値と水中の AC の蛍光寿命 (15.7 ns) から、 $k_{q,AC} = 5.8 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と算出された。水中における拡散律速定数 (k_{diff}) は $7.4 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であり、 k_q が拡散律速を越えていることから、AC とニトロメタンは基底状態において弱い錯体 ($K_{eq} = 4.1 \text{ M}^{-1}$) を形成していることが明らかとなった。

このような基底状態相互作用に対する知見を基に、BSA を不斉反応場とする AC のエナンチオ区別光環化二量化反応について種々の AC/BSA 比の水溶液中での光照射により、詳細に検討した。BSA 存在下での光照射実験では、BSA 濃度の増加に伴い head-to-head 生成物 (3+4) がより優先的に生成し、AC 分子同士が互いに双極子モーメントを打ち消す head-to-tail 生成物 (1+2) が優先生成物である BSA 非存在下とは大きく生成物分布が異なり、生成物比 ($[H-H]/[H-T]$) は水中と比べて逆転したことから、BSA が有効な光反応場として機能することが明らかとなった。また、第 1 サイトは反応に関与しないこと、第 2~4 サイトは各々異なる位置異性体比、エナンチオ区別性を示すことを明らかとし、最高 58% のエナンチオマー過剰率 (ee) が得られることを見出した。さらにニトロメタン添加系での光照射実験も検討し、第 3、第 4 サイトに存在する AC を消光することにより、ee の向上が観測され、第 2 ならびに第 3 サイトが高いエナンチオ区別性を発現するサイトであることが明らかとし、BSA が超分子不斉光化学反応における有効な不斉光反応場として機

能することを初めて明らかとした。

また、求めた錯形成定数から、各光照射条件下における結合 AC のサイト分布と、光消光剤存在下での光反応によるサイト選択的な反応結果を検討することで、複数の結合サイトが反応に関与する BSA 存在下での詳細な反応機構を解明することに成功した。

光反応ならびに分光学的検討結果より、AC は BSA と疎水ならびに静電相互作用を駆動力として結合し、第 2 サイトは疎水性が高く、強く空間規制されており、高いエナンチオ選択性を示すこと、第 3 サイト以降ではエナンチオ選択性は高くないものの、第 2 サイトと同じエナンチオマーを与えるサイトであることを明らかとした。

つぎにヒト血清アルブミン (HSA) をキラル反応場とする、AC のエナンチオ区別環化二量化反応について検討した。HSA はアミノ酸配列のみならず、X 線構造によりその構造が明らかとされており、また薬物を中心に多くの基質の結合部位、錯形成挙動についても報告されており、これらの情報に基づき AC の結合部位や光反応機構の詳細な解明が期待できる。

HSA と AC の基底状態錯形成挙動について、BSA 同様に各種分光学的手法を駆使することにより詳細に検討した結果、5 つの独立したサイトが存在し、AC は第 1 から第 4 サイトには各々 1, 1, 3, 5 分子結合し、第 5 サイトには多数の AC 分子が弱く結合していることが明らかとなった。また、第 1~3 サイトにはカルボン酸としておもに疎水相互作用ならびに水素結合により結合するのに対し、第 4, 第 5 サイトではカルボキシレートとして静電相互作用により結合することが示唆された。さらに HAS に対する結合サイト、結合定数が報告されている *p*-ヨード素安息香酸ならびにワルファリンを拮抗阻害剤する AC の結合挙動解析から、AC の結合する第 1 ならびに第 2 サイトを特定することに成功し、第 2 サイトに結合した AC 分子の励起状態は、近傍に存在するトリプトファンにより、ほぼ静的に消光されることが明らかとなった。

これらの基底状態における結合挙動結果に基づき、HAS を不斉反応場とする超分子不斉反応を検討した。その結果、第 1 ならびに第 2 は二量化反応には関与せず、環化二量化反応は第 3 サイト以降で進行することが明らかとなった。室温における反応だけでなく、いくつかの温度における光反応を詳細に検討した結果、これまで報告されている 2 分子系不斉光反応の最高値である 90 %ee が得られ、HSA が極めて有効な不斉光反応場として機能することを明らかとした。

以上、本研究では、血清アルブミンを不斉反応場とする、超分子不斉光合成反応について詳細に検討し、最高 90% と二分子系光不斉反応としては最高のエナンチオ選択性を実現すると共に、タンパク質など生体高分子が極めて有効な不斉光反応場として機能することを明らかにした。また、温度や溶媒、阻害剤などの外部因子により、光生成物比なら

びに光学収率の制御が可能であることを明らかとすると共に、分光学的手法を駆使することにより複数の結合サイトを有するタンパク質中における複雑な光反応の反応機構を、ある程度解明することに成功した。

本研究により構築した手法は一般性を有し、今後生体高分子を不斉反応場とする高効率な超分子不斉光化学反応系構築に展開できると期待する。

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 30 件)

1. Maeda, Ryo; *Wada, Takehiko; Mori, Tadashi; Kanomata, Nobuhiro; Inoue, Yoshihisa, Planar-to-Planar Chirality Transfer in the Excited State. Enantiodifferentiating Photoisomerization of Cyclooctenes Sensitized by Planar-Chiral Paracyclophane, *J. Am. Chem. Soc.*, **133**, 10379-10381 (2011). (査読有)
2. Maeda, Ryo; *Wada, Takehiko; Mori, Tadashi; Iwamoto, Masakazu; Inoue, Yoshihisa, Role of entropy in supramolecular photochirogenesis: enantiodifferentiating photoisomerization of cyclooctenes in chiral sensitizer-immobilized MCM-41 cavities, *Photochem. Photobio. Sci.* **10**, 1390-1392 (2011). (査読有)
3. Wada, Takehiko; Sakamoto, Seiji; Murakami, Makoto; Araki, Yasuyuki; Inoue, Yoshihisa, Novel strategy of supramolecular asymmetric photochirogenesis with tailor-made biopolymers as chiral reaction fields, *J. Photopolym. Sci. Tech.*, **24**, 595-596 (2011). (査読有)
4. 和田健彦, 生体高分子表面をキラルソフトインターフェース反応場として活用した超分子不斉光化学系の創製 - 環境調和型不斉合成法の開発を目指して - *表面科学*, **32**, 627-633 (2011). (査読有)
5. 和田健彦, 生体高分子をキラル反応場として活用した超分子不斉光化学系の創製 - 環境調和型不斉合成法の開発を目指して -, *高分子*, **60**, 757-761 (2011). (査読有)
6. Wada, T.; Sawa, N.; Sato, H.; Kikkawa, M.; Onodera, K.; Sakamoto, S.; Inoue, Y., "Active control by external factors of DNA recognition behavior of α -peptide ribonucleic acids containing basic amino acid residues," *Chem. Lett.*, **39**, 112-113 (2010). (*Editor's Choice*) (査読有)
7. Tsutsumi, Ken; Yanagisawa, Yuuki; Furutani, Akinori; Morimoto, Tsumoru; Kakiuchi, Kiyomi; Wada, Takehiko; Mori, Tadashi; Inoue, Yoshihisa. Diastereodifferentiating the [2+2] Photocycloaddition of Ethylene to Arylmethyl Cyclohexenonecarboxylates: Stacking-Driven Enhancement of the Product Diastereoselectivity That Is Correlated with the Reactant Ellipticity, *Chemistry-A European Journal*, **16**, 7448-7455

- (2010). (査読有)
8. Bando, Kazuki; Zako, Tamotsu; Sakono, Masafumi; Maeda, Mizuo; Wada, Takehiko; Nishijima, Masaki; Fukuhara, Gaku; Yang, Cheng; Mori, Tadashi; Pace, Tamara C. S.; Bohne, Cornelia; Inoue, Yoshihisa. Bio-supramolecular photochirogenesis with molecular chaperone: enantiodifferentiating photocyclodimerization of 2-anthracenecarboxylate mediated by prefoldin, *Photochemical & Photobiological Sciences*, **9**, 655-660 (2010). (査読有)
 9. Song, Shi-Hui; Shirasaka, Kazumi; Hirokawa, Yasuhito; Asanuma, Hiroyuki; Wada, Takehiko; Sumaoka, Jun; Komiyama, Makoto. Molecular imprinting of cyclodextrin to physiologically active oligopeptides in water, *Supramolecular Chemistry*, **22**, 149-155 (2010). (査読有)
 10. Nikawa, Hideo; Araki, Yasuyuki; Slanina, Zdenek; Tsuchiya, Takahiro; Akasaka, Takeshi; Wada, Takehiko; Ito, Osamu; Dinse, Klaus-Peter; Ata, Masafumi; Kato, Tatsuhisa; Nagase, Shigeru. The effect of atomic nitrogen on the C60 cage, *Chemical Communications*, **46**, 631-633 (2010). (査読有)
 11. Sawa, Nobuya; Wada, Takehiko; Inoue, Yoshihisa. Synthesis and DNA-recognition behavior of a novel peptide ribonucleic acid with a serine backbone (oxa-PRNA), *Tetrahedron*, **66**, 344-349 (2010). (査読有)
 12. Ke, Chenfeng; Yang, Cheng; Mori, Tadashi; Wada, Takehiko; Liu, Yu; Inoue, Yoshihisa, Catalytic Enantiodifferentiating Photocyclodimerization of 2-Anthracenecarboxylic Acid Mediated by a Non-Sensitizing Chiral Metallosupramolecular Host, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **48**, 6675-6677 (2009). (査読有)
 13. Kawanami, Yuko; Pace, Tamara C. S.; Mizoguchi, Jun-ichi; Yanagi, Toshiharu; Nishijima, Masaki; Mori, Tadashi; Wada, Takehiko; Bohne, Cornelia; Inoue, Yoshihisa, Supramolecular complexation and enantiodifferentiating photocyclodimerization of 2-anthracenecarboxylic acid with 4-aminoprolinol derivatives as chiral hydrogen-bonding templates, *J. Org. Chem.*, **74**, 7908-7921 (2009). (査読有)
 14. Pace, Tamara C. S.; Nishijima, Masaki; Wada, Takehiko; Inoue, Yoshihisa; Bohne, Cornelia, Photophysical Studies on the Supramolecular Photochirogenesis for the Photocyclodimerization of 2-Anthracenecarboxylate within Human Serum Albumin, *J. Phys. Chem. B*, **113**, 10445-10453 (2009). (査読有)
 15. Umeyama, Tomokazu; Takamatsu, Takeshi; Tezuka, Noriyasu; Matano, Yoshihiro; Araki, Yasuyuki; Wada, Takehiko; Yoshikawa, Osamu; Sagawa, Takashi; Yoshikawa, Susumu; Imahori, Hiroshi, Synthesis and Photophysical and Photovoltaic Properties of Porphyrin-Furan and -Thiophene Alternating Copolymers, *J. Phys. Chem. C*, **113**, 10798-10806 (2009). (査読有)
 16. Shi-Hui Song; Kazumi Shirasaka; Yasuhito Hirokawa; Hiroyuki Asanuma; Takehiko Wada; Jun Sumaoka; Makoto Komiyama, Molecular imprinting of cyclodextrin to physiologically active oligopeptides in water, *Supramolecular Chemistry*, **21**, 1029-1047 (2009). (査読有)
 17. Harada, Takashi; Hasegawa, Yasuchika; Nakano, Yoko; Fujiki, Michiya; Naito, Masanobu; Wada, Takehiko; Inoue, Yoshihisa; Kawai, Tsuyoshi, Circularly polarized luminescence from chiral Eu(III) Complex with high emission quantum yield, *J. Alloy. Compd.*, **488**, 599-602 (2009). (査読有)
 18. Nishijima, Masaki; Wada, Takehiko; Nagamori, Koushi; Inoue, Yoshihisa, High-sensitivity HPLC quantification of nonfluorescent but photolabile analyte through photoreversion in fluorescence detector, *Chem. Lett.*, **38**, 726-727 (2009). (査読有)
 19. Ito, Shinya; Araki, Yasuyuki; Tanaka, Atsunari; Igarashi, Jotaro; Wada, Takehiko; Shimizu, Toru, Role of Phe113 at the distal side of the heme domain of an oxygen-sensor (*Ec* DOS) in the characterization of the heme environment, *J. Inorg. Biochem.*, **103**, 989-996 (2009). (査読有)
- [学会発表] (計 31 件)
1. 宮地亜有実・菅原唯・坂本清志・中木戸誠・宇井美穂子・荒木保幸・西嶋政樹・津本浩平・金原数・井上佳久・和田健彦, “人工坑体で超分子不斉光反応を制御する,” フロンティア生命化学研究会シンポジウム, 和歌山, 12月2日 (2011).
 2. 和田健彦・菅原唯・宮地亜有実・湊咲絵・坂本清志・中木戸誠・宇井美穂子・荒木保幸・西嶋政樹・津本浩平・金原数・井上佳久, “ファージディスプレイ法を活用した新規超分子不斉光反応系の構築,” 第60回高分子討論会, 岡山, 9月28日 (2011).
 3. 宮地亜有実・菅原唯・湊咲絵・坂本清志・中木戸誠・宇井美穂子・荒木保幸・津本浩平・金原数・井上佳久・和田健彦, “ファージディスプレイ法を活用した新規超分子不斉光反応系の構築-2,” 2011年光化学討論会, 宮崎, 9月8日 (2011).
 4. T. WADA, “Novel Strategy of Supramolecular Asymmetric Photochirogenesis with Tailor-made Biopolymers as Chiral Reaction Fields”, The Conference of Photopolymer Science and Technology (CPST) 2011, June, 24, Chiba, Japan (2011).
 5. 宮地亜有実・菅原唯・坂本清志・中木戸誠・宇井美穂子・荒木保幸・西嶋政樹・津本浩平・金原数・井上佳久・和田健彦, “人工坑体で超分子不斉光反応を制御する,” フロンティア生命化学研究会シンポジウム, 和歌山, 12月2日 (2011).

- 田健彦, “ファージディスプレイ法を活用した新規超分子不斉光反応系の構築-2,” 日本化学会第91春季年会, 横浜市, 3月27日(2011).
6. 和田健彦, “生体高分子を足場とするソフトインターフェースを活用した超分子不斉光反応系の創製”, 第5回ソフトインターフェースの分子科学シンポジウム, 東京, 1月27日 (2011).
 7. 菅原 唯・宮地亜有実・宇井美穂子・坂本清志・荒木保幸・西嶋政樹・津本浩平・金原 数・井上佳久・和田健彦, “ファージディスプレイ法を活用し 2-アントラセンカルボン酸の超分子不斉光環化二量化反応を制御する”, フロンティア生命化学研究会シンポジウム, 仙台, 1月7日 (2011).
 8. T. Wada, “SUPRAMOLECULAR PHOTO-CHIROGENESIS WITH BIOPOLYMERS,” *The 2nd International Forum on Photoenergy Future (IFPF)*, Honolulu, Hawaii, USA, December 21 (2010); as an Invited Lecture.
 9. Takehiko WADA, "Novel strategy of supramolecular asymmetric photochirogenesis with tailor-made biomolecular interfaces as chiral reaction fields," *Supramolecular Photochemistry, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010)*, Honolulu, USA, December 17 (2010); as an Invited Lecture.
 10. Takehiko WADA, "New Paradigm of Biomolecular soft-interfaces as Chiral Reaction Fields for Supramolecular Asymmetric Photochirogenesis," *Chemistry and Functional Properties of Soft Interfaces, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM 2010)*, Honolulu, USA, December 16 (2010); as an Invited Lecture.
 11. 和田健彦・菅原 唯・西嶋政樹・荒木保幸・坂本清志・BOHNE Cornelia・井上佳久, 生体高分子を足場とするソフトインターフェースを活用した超分子不斉光反応系の創製, 第59回高分子討論会, 札幌, 9月16日 (2010).
 12. 西嶋政樹・藤川麻由・和田健彦・井上佳久, イヌ血清アルブミンを用いる 2-アントラセンカルボン酸の高収率・高エナンチオ選択的不斉光環化二量化反応, 光化学討論会 2010, 千葉, 9月8日 (2010).
 13. T. WADA, “Photophysical and Photochemical Investigation of Chiral Supramolecular Systems by Time-resolved Circular Dichroism Spectra,” *The 22nd International Symposium on Chirality (ISCD 2010) & Ciraloty 2010*, Sapporo, Japan, July 12 (2010); as an Invited Lecture.
 14. 西嶋政樹・後藤雅人・森 直・和田健彦・井上佳久, 2-アントラセンカルボン酸の各種ほ乳類血清アルブミンへの結合挙動ならびに超分子不斉光二量化反応, 日本化学会第90春季年会, 大阪, 3月26日 (2010).
 15. 播戸一樹・座古 保・和田健彦・西嶋政樹・福原 学・楊 成・森 直・井上佳久, 分子シャペロンタンパク質プレフォルディンおよびその各サブユニット複合体を生体系不斉光反応場として用いる 2-アントラセンカルボン酸の超分子不斉光二量化反応, 日本化学会第90春季年会, 大阪, 3月26日(2010).
 16. 和田健彦, 西嶋政樹, 坂本清志, 荒木保幸, 井上佳久, タンパク質表面を不斉反応場とする超分子光化学反応, 第19回日本 MRS 学術シンポジウム, 横浜, 12月8日(2009).
 17. 和田健彦, “生体高分子をキラル反応場とする超分子不斉光化学-環境調和型不斉合成法創製を目指して”, 化学系学協会東北大会, 福島, 9月21日 (2009).
 18. 播戸一樹・座古保・前田瑞夫・和田健彦・西嶋政樹・井上佳久, 分子シャペロンタンパク質を不斉光反応場とする 2-アントラセンカルボン酸の生体超分子不斉光二量化反応, 光化学討論会 2009, 群馬, 9月16日 (2009).
 19. 西嶋政樹・後藤雅人・和田健彦・井上佳久, 各種ほ乳類血清アルブミンを不斉反応場とする 2-アントラセンカルボン酸の超分子不斉光環化二量化反応, 光化学討論会 2009, 群馬, 9月16日 (2009).
- [図書] (計 4件)
1. 和田健彦, 4. 生物に学ぶ機能制御法 - 細胞内環境応答性人工核酸の創製-, *次世代バイオミメティクス研究の最前線*, s 下村政嗣他 25 名著, 下村政嗣編著, CMC 出版, 345-351 (2011).
 2. 和田健彦, 「酵素活用ハンドブック」小宮山 真監修, 第5章 バイオ超分子第4編 酵素を創るII —化学的改変と人工酵素 第5章 人工酵素 2 人工ホストを用いた不斉合成, 小宮山 真真他 50 名著, NTS 出版 (2010).
 3. 和田健彦, 超分子サイエンス&テクノロジー」国武豊喜監修, 第4章 バイオ超分子第2節 核酸の超分子化学 5. 刺激応答型人工核酸 (P930-939), 国武豊喜他 78 名著, NTS 出版(2009).
- [産業財産権]
○出願状況 (計 0件)
○取得状況 (計 0件)
- [その他]
6. 研究組織
(1) 研究代表者
和田 健彦 (WADA Takehiko)
東北大学・多元物質科学研究所・教授
研究者番号: 20220957