

機関番号：32690

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2010

課題番号：20200029

研究課題名（和文）光駆動型バイオナノマシンの開発

研究課題名（英文）Development of photo-driven bionano-machines

研究代表者

丸田 晋策 (MARUTA SHINSAKU)

創価大学・工学部・教授

研究者番号：40231732

研究成果の概要（和文）：フォトクロミック分子であるアゾベンゼン誘導体とスピロピラン誘導体を生体分子機械であるミオシン、キネシン、カルモジュリン、G-タンパク質 Ras の機能部位に導入して紫外線-可視光線を交互照射することにより、これらの生体分子機械の動きを制御することに成功した。またフォトクロミック分子からできた非加水分解型 ATP アナログを合成して、紫外線-可視光線照射で生体分子モーターの ATP 結合状態と ADP あるいは非結合状態を可逆的に形成できる可能性がしめされた。

研究成果の概要（英文）：Photochromic molecules of azobenzene and spiropyran derivatives incorporated were incorporated into the functional sites of the bionanomachines, myosin, kinesin, calmodulin, G-protein Ras. The function of the bionanomachines modified with photochromic molecules were successfully controlled by Ultra-violet (UV) and visible (VIS) light. Reversibly. Moreover, we synthesized ATP analogue composed of photochromic molecule and revealed the analogue can induce ATP state, ADP state or no nucleotide state reversibly by UV-VIS light irradiation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2009 年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2010 年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
年度			
年度			
総計	23,500,000	7,050,000	30,550,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学

キーワード：ナノマシン、生体分子機械

## 1. 研究開始当初の背景

フォトクロミック分子は光の作用で可逆的に大きく構造変化を起こす分子で、表示材料、調光材料、光記憶材料、光スイッチとして利用されている光応答性ナノデバイスである。アゾベンゼン誘導体はフォトクロミック分子の代表的な化合物であり、右図のように紫外線-可視光線の照射で cis-trans の異性化に伴う構造変化を極めて速い応答で起こす

ことが知られている。

生体内には極めて巧妙な仕組みをもち、高いエネルギー変換効率で作動する ATP 駆動型の生体機能分子や細胞情報伝達を担う制御系の生体機能分子が存在している。遺伝子工学的な手法による研究やエネルギー変換あるいは情報伝達の中間体の結晶構造の解析から、生体機能分子のいくつかにおいてカム-シャフトの様な機械的な仕組みでエネルギー

一や情報が伝達されることが示唆され、生体分子機械という新しい概念が発生した。これらの生体分子機械の機械的な仕組みに人工的な制御機構や駆動力を導入することができれば、ナノマシンとして利用できることが期待される。

ATP 駆動型のモータータンパク質であるミオシンやキネシンはその構造と機能が良く研究されており、フォトクロミック分子を導入する上で最も適した生体分子機械であると思われる。ミオシンは ATP 結合と加水分解により発生する小さな構造変化をカム-シャフト機構のような機械的なメカニズムでレバーアームの大きなスウィングに変換していることが示されている。よって ATP 以外のエネルギーを使って同様の構造変化をエネルギー変換部位に起こすことができれば、レバーアームの大きな動きを誘導して、モーターとして駆動できると考えられる。申請者は今までに行った科研費・基盤研究 C (H14~H17) “フォトクロミック分子を利用した光駆動型モーター蛋白の開発”の研究において、光によって Crosslink span が大きく変化する二価架橋性のフォトクロミック分子 4,4'-azobenzene-dimaleimide (ABDM) をエネルギー変換部位の一つである活性シンチン領域に存在する SH1 と SH2 を架橋して、SH1-SH2 の距離を光異性化によって変化させることにより、レバーアームのスウィングが誘導されることを明らかにした。また、ミオシンと極めて良く保存されたモータードメインの構造をもつキネシンのエネルギー変換部位にアゾベンゼン誘導体を導入することにより、紫外線-可視光線照射でキネシンの ATP 加水分解の活性を可逆的に制御することにも成功している。これらのことはフォトクロミック分子を利用して生体分子機械を光駆動できる可能性が強く示唆している。特にキネシンの変異体は大腸菌を用いた発現系により、容易に調製することが可能であり、比較的安定な性質であることから、フォトクロミック分子を導入するのに適している。さらにキネシンは生体内において物質輸送の生理的役割を本来担っており、光駆動型の分子シャトルへの応用が期待できる。

G-タンパク質の一つである ras は GTP 加水分解中間状態で、標識酵素を活性化することで細胞情報伝達を行い、細胞の周期を調節する極めて重要な生理的役割を持っている。また突然変異により GTPase サイクルが進行しない ras では細胞増殖が著しく促進され癌を誘導することが示されており、医学的にも注目されている制御系生体分子機械である。ras の機能部位にフォトクロミック分子を導入して光スイッチ機構を付加することができれば、細胞情報伝達機構の解明や分子レベルでの癌の研究に貢献できると強く期待される。

カルモジュリンはカルシウムの結合により活性化され標的酵素に結合して触媒機構を活性化することにより細胞情報伝達を行う生理的に重要な制御系生体分子機械である。その構造と機構は分子レベルで良く調べられており、また極めて安定な構造を持っていることからフォトクロミック分子を用いた光制御の研究に最も適した生体分子機械であると考えられる。光制御型カルモジュリンが可能になれば、生体内に存在する多くの標的酵素を制御できる事になり開発する意義は極めて高いと言える。

## 2. 研究の目的

本研究計画では、フォトクロミック分子であるアゾベンゼン誘導体を生体分子モーターのエネルギー変換部位に導入して紫外線-可視光線を交互照射することにより、これらの生体分子機械を駆動させることを試みる。またアゾベンゼン誘導体以外に、紫外線-可視光線照射で大きく性質が異なる開環イオン化-閉環非イオン化状態を形成するスピロピラン誘導体を用いた駆動実験も行う。また制御系の生体分子機械であるカルモジュリンと G-タンパク質の一つである Ras の機能部位に同様にフォトクロミック分子を導入、紫外線-可視光線照射による光スイッチ機構を付加することにより標的酵素の光制御を試みる。さらにフォトクロミック分子を生体分子機械の機能部位に化学修飾で直接導入する方法に加え、図 2 に示した様なフォトクロミック分子からできた非加水分解型 ATP アナログを合成して、紫外線照射-可視光線照射により生体分子モーターの ATP 結合状態と ADP あるいは非結合状態を連続して可逆的に形成させることにより生体分子機械を駆動させる実験を行う。

## 3. 研究の方法

まず初めに、フォトクロミック分子に光異性化を誘導する紫外線-可視光線照射システムの構築を行う。次に生体分子機械、キネシン、カルモジュリン、低分子量 G-タンパク質 ras の機能部位に特異的にフォトクロミックを導入するために、目的の部位のみに反応性のシステイン残基をもつ変異体を調製する。この変異体にフォトクロミック分子を導入して光異性化で誘導される構造変化の解析を行う。また生体分子モーターの光駆動エネルギーの入力デバイスとしてフォトクロミック ATP アナログの合成を行い、分子モーターとの相互作用を解析する。そして紫外線-可視光線交互照射による光駆動・光制御実験を行う。そして最終的に光駆動型分子モーターと光スイッチ機構をもつ制御系生体分子機械を利用して、光駆動・光制御型の物質輸送分子シャトル(光駆動型キネシン・光制御型

カルモジュリン融合分子モーターと M13-光誘導透過機構をもつリボソームから成る)の分子設計と製作を試みる。

#### 4. 研究成果

##### 1. 機能部位にシステインをもつキネシン変異体の調製

目的の部位に特異的にシステインを持つ変異体の発現ベクターに組み込んだ cDNA を調製した。そして大腸菌を用いて目的の変異体を発現させた。そして精製したキネシン変異体の微小管依存性 ATPase 活性を測定して、生理的活性を保持していることを確認した。

##### 2. フォトクロミック分子のキネシン変異体への導入と ATPase 活性の光制御

調製したキネシン変異体の目的の部位にフォトクロミック分子であるアゾベンゼン誘導体 PAM を導入した。そして紫外線-可視光線を照射して光可逆的な微小管活性化 ATPase を測定した。PAM で修飾した変異体 A21C, R25C, G26C そして S66C は紫外線-可視光線で誘導される cis-trans 異性化に伴い可逆的に ATPase 活性が変化することが示された。

##### 3. 機能部位にシステインをもつ制御系生体分子機械、カルモジュリン変異体の調製

カルモジュリンの機能部位にフォトクロミック分子を導入するために目的の部位にシステインをもつカルモジュリン変異体 (A57, N60C, D64C, M124C, M127C, A128C, M144C) を調製した。そして調製したカルモジュリン変異体が生理的な機能を保持していることを標的ペプチドである M13 を用いて確認した。

##### 4. フォトクロミック分子のカルモジュリン変異体への導入と機能の光可逆的制御

カルモジュリン変異体にアゾベンゼン誘導体である PAM を導入した。そして PAM-カルモジュリンに紫外線-可視光線を照射して M13 ペプチドとの相互作用を調べた。変異体 N60C, D64C では、紫外線照射-可視光線照射で可逆的に M13 への結合が制御された。適当なカルシウム濃度条件下において、紫外線照射で M13 に結合して可視光線照射で解離した。これに対して M124C では可視光線照射で結合して紫外線照射で解離することが示された。

##### 5. 紫外線-可視光線交互照射光源制御装置の製作

アーク光源を利用した可視光線-紫外線交互照射装置を製作した。そして短時間に異なる複数の波長を連続的に切り替えるチェンジャーを制御するソフトウェアをプログラミングすることも行った。

##### 6. 二価架橋性フォトクロミック分子で架橋したキネシンダイマーの調製と光照射による構造変化の解析

ダイマーを形成しない長さのロッドをもつキネシンの C 末端にシステインを特異的にもつキネシンを調製した。またフォトクロミック分子を導入するための基礎実験として、キネシン-カルモジュリンとキネシン-M13 の 2 種類の融合蛋白の調製を行い、カルシウム依存的ダイマーの形成を確認した。

##### 7. 機能部位にシステインをもつカルモジュリン変異体の調製とフォトクロミック分子の導入

カルモジュリンの機能部位にフォトクロミック分子を導入するために目的の部位にシステインをもつカルモジュリン変異体を確立した方法に従って調製した。そして、確立した方法に従ってフォトクロミック分子を目的の部位に導入した。

##### 8. フォトクロミック分子を導入したカルモジュリンの光照射で誘導される構造変化の解析

フォトクロミック分子を導入したカルモジュリン (CaM) の変異体の光照射で誘導される可逆的構造変化を、蛍光法エネルギー移動法、X 線溶液散乱、急速凍結ディープエッチレプリカ電子顕微鏡観察方法により解析を行った。

##### 9. キネシン-カルモジュリン融合蛋白の調製とフォトクロミック分子の導入

キネシンに光可逆的に輸送物質を搭載する機構を付加することを目的としてキネシンの C 末側にカルモジュリン変異体を連結させた融合蛋白を調製した。そしてフォトクロミック分子を導入して光り可逆的にターゲットペプチド M1 への結合を光制御することに成功した。

##### 10. フォトクロミック化合物を利用した ATP アナログの合成と生体分子モーターとの相互作用

アゾベンゼン誘導体を用いた数種類の ATP アナログ PABITP の合成に成功した。生体分子モーターであるミオシンとキネシンとの相互作用を ATPase 活性測定、ミオシン-アクチンあるいはキネシン-微小管の解離実験、エネルギー変換中間体の形成から解析した。この ATP アナログは本来の ATP と同様に生理的な機能を保持していることが示された。

##### 11. フォトクロミック ATP アナログで誘導される分子モーターの構造変化の解析

紫外線と可視光線照射により異なる異性体のフォトクロミック ATP アナログで誘導される構造変化を、X 線溶液散乱により解析を行った。紫外線-可視光線照射により形成される ATP アナログの二つの異性体はエネルギー変換中間体において、異なる状態を示すことが明らかになった。

## 12. 生体分子モーターの光制御および光駆動実験

キネシン-微小管のin vitro motility assay法を用いてフォトクロミックATPアナログの光異性化により、滑り速度が変化するか実験を行った。紫外線-可視光線照射で可逆的に微小管の滑り速度が変化することが示された。

## 13. 制御系生体分子機械へのフォトクロミック化合物の導入と光制御

低分子量G-protein(Ras)の変異体にフォトクロミック化合物であるアゾベンゼン誘導体を導入して、紫外線-可視光線照射により可逆的にこれらの制御系生体分子機械の機能を制御するための基礎実験を行った。Ras 変異体を調製してフォトクロミック分子を導入する実験系を確立することができた。

### 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 4 件)

(1) “Crystallographic analysis reveals a unique conformation of the ADP-bound novel rice kinesin K16” Tanaka, K., Umeki, N., Mitsui, T., Fujimoto, Z., & Maruta, S. (2010) *Biochem Biophys Res Commun.* 401, 251-256.

(2) “Synthesis of a novel fluorescent non-nucleotide ATP analogue and its interaction with myosin ATPase” Tanaka, K., Kimura, T., & Maruta, S. (2011) *Journal of Biochemistry.* 149, 395-403.

(3) “Photocontrol of calmodulin interaction with target peptides using azobenzene derivative” Shishido, H., Yamada, M.D., Kondo, K., & Maruta, S. (2009) *Journal of Biochemistry.* 146, 581-590.

(4) “Kinesin-Calmodulin fusion protein as a molecular shuttle” Shishido, H., Nakazato, K., Katayama, E., Chaen, S., & Maruta, S. (2010) *Journal of Biochemistry* 147, 213-223.

[学会発表] (計 48 件)

(1) Keiko Tanaka, Taro Kimura, Shinsaku Maruta “Interaction of novel fluorescent non-nucleotide ATP analogue with myosin S1” 第 83 回日本生化学会合同大会、2010 年 12 月 7 日、神戸

(2) Takeshi Itaba, Kiyoshi Nakazato, Hideki Shishido, Shinsaku Maruta “Calcium dependent dimerization of kinesin chimera proteins fused with calmodulin and M13 peptide” 第 83 回日本生化学会合同大会、2010 年 12 月 9 日、神戸

(3) Keiko Tanaka, Taro Kimura, Shinsaku Maruta “Interaction of novel fluorescent non-nucleotide ATP analogue with ATP-driven molecular motors” 第 48 回日本

生物物理学会年会、2010 年 9 月 20 日、仙台

(4) Hideki Shishido, Shinsaku Maruta “Photocontrol of myosin V ATPase using calmodulin modified with azobenzene derivative” 第 48 回日本生物物理学会年会、2010 年 9 月 20 日、仙台

(5) Kiyoshi Nakazato, Hideki Shishido, Takeshi Itaba, Kazunori Kondo, Shinsaku Maruta “Ca<sup>2+</sup> dependent dimerization of kinesin-CaM and kinesin-M13 fusion proteins” 第 48 回日本生物物理学会年会、2010 年 9 月 20 日、仙台

(6) Satoshi Yasuda, Masafumi D. Yamada, Shinsaku Maruta, Toshiaki Arata “Conformational change of  $\alpha 1$  helix of kinesin” 第 48 回日本生物物理学会年会、2010 年 9 月 21 日、仙台

(7) Kumiko Ishikawa, Keiko Tanaka, Shinsaku Maruta “Control of kinesin ATPase activity by modification of functional loop L5” 第 48 回日本生物物理学会年会、2010 年 9 月 21 日、仙台

(8) Koichiro Ishiyama, Takeshi Itaba, Hideki Shishido, Shinsaku Maruta “Photo-regulation of kinesin ATPase using microtubules modified with photochromic molecules” 第 48 回日本生物物理学会年会、2010 年 9 月 21 日、仙台

(9) Hisashi Kobayashi, Hideki Shishido, Shinsaku Maruta “Photocontrol of the small G-protein Ras using photochromic molecule” 第 48 回日本生物物理学会年会、2010 年 9 月 21 日、仙台

(10) Takeshi Itaba, Hideki Shishido, Yasunobu Sugimoto, Katsuzo Wakabayashi, Shinsaku Maruta “Interaction of photochromic ATP analogue with skeletal and smooth muscle myosin” 第 48 回日本生物物理学会年会、2010 年 9 月 21 日、仙台

(11) Kazuya Aritomi, Taro Kimura, Takeshi Itaba, Shinsaku Maruta “Synthesis of photochromic ATP analogue and its interaction with kinesin” 第 48 回日本生物物理学会年会、2010 年 9 月 21 日、仙台

(12) 宍戸英樹、小林寿、丸田晋策 “光制御型生体分子機械の開発” 生体運動研究合同班会議、2011 年 1 月 7 日、大阪

(13) Ishikawa, K., Tanaka, K., Maruta, S. “Function control of kinesin using functional loop L5 of kinesin modified with photochromic molecule” 第 55 回米国生物物理学会 2011 年 3 月 6 日 Baltimore, MD USA.

(14) Nakazato, K., Shishido, H., Itaba, T., Kondo, K., Maruta, S. “Ca<sup>2+</sup> dependent dimerization of kinesin-CaM and Kinesin-M13 fusion proteins” 第 55 回米国生物物理学会 2011 年 3 月 6 日 Baltimore, MD USA.

(15) Ishiyama, K., Itaba, T., Shishido, H.,

Maruta, S.

“Photo-regulation of kinesin ATPase using microtubules modified with photochromic molecule” 第55回米国生物物理学会 2011年3月8日 Baltimore, MD USA.

(16) Aritomi, K., Kimura, T., Itaba, T., Maruta, S.

“Synthesis of photochromic ATP analogue and its interaction with motor protein” 第55回米国生物物理学会 2011年3月8日 Baltimore, MD USA.

(17) Kobayashi, H., Maruta, S.

“Photocontrol of the small G protein Ras using photochromic molecule” 第55回米国生物物理学会 2011年3月8日 Baltimore, MD USA.

(18) Itaba, T., Shishido, H., Sugimoto, Y., Wakabayashi, K., Maruta, S.

“Conformational change of myosin head induced by photo-isomerization of photochromic ATP analogue” 第55回米国生物物理学会 2011年3月8日 Baltimore, MD USA.

(19) Shishido, H., Ikebe, M., Maruta, S.

“Photocontrol of myosin V ATPase activity using calmodulin modified with photochromic compound” 第55回米国生物物理学会 2011年3月8日 Baltimore, MD USA.

(20) Hideki Shishido, Kiyoshi Nakazato, Eisaku Katayama, Shigeru Chaen, Shinsaku Maruta

“Application of Kinesin Calmodulin Fusion Protein as An Molecular Shuttle” 第82回日本生化学会合同大会、2009年10月24日、神戸

(21) Kazuya Aritomi, Masafumi Yamada, Shinsaku Maruta

“Photo-regulation of kinesin using photo-responsive caged compound” 第82回日本生化学会合同大会、2009年10月24日、神戸

(22) Hideki Shishido, Kiyoshi Nakazato, Eisaku Katayama, Shigeru Chaen, Shinsaku Maruta

“Kinesin Calmodulin Fusion Protein as a Molecular Shuttle” 第47回日本生物物理学会年会、2009年10月30日、徳島

(23) Takeshi Itaba, Masafumi Yamada, Shinsaku Maruta

“Photo-regulation of kinesin function using azobenzene derivative” 第47回日本生物物理学会年会、2009年10月31日、徳島

(24) Kumiko Ishikawa, Keiko Tanaka, Shinsaku Maruta

“The functional role of the unique loop L5 of kinesin” 第47回日本生物物理学会年会、2009年10月31日、徳島

(25) Taro Kimura, Masafumi D, Yamada, Shinsaku Maruta

“Synthesis of novel fluorescent ATP analogue and interaction with nucleotide dependent motor proteins” 第47回日本生物物理学会年会、2009年10月31日、徳島

(26) Keiko Tanaka, Yasunobu Sugimoto, Masafumi D. Yamada, Katsuzo Wakabayashi, Shinsaku Maruta

“Analysis of conformational change of

kinesin neck-linker using using small angle X-ray solution scattering”

第47回日本生物物理学会年会、2009年10月31日、徳島

(27) 宍戸英樹、中里清史、片山栄作、茶園茂、丸田晋策

“キネシン-カルモジュリン融合蛋白質を用いた分子シャトルの開発” 生体運動研究合同班会議、2010年1月10日、東京

(28) Shishido, H., Nakazato, K., Katayama, E., Chaen, S., Maruta, S.

“Kinesin-Calmodulin Fusion Protein as a Molecular Shuttle” 第49回米国細胞生物学会年会 2009年12月7日 San Diego, CA USA.

(29) Kobayashi, H., Kimura, T., Yamada, M. D., Maruta, S.

“Synthesis of Novel Fluorescent GTP Analogue and Its Interaction with Small G-Protein Ras” 第49回米国細胞生物学会年会 2009年12月7日 San Diego, CA USA.

(30) Ishikawa, K., Tanaka, K., Maruta, S. “ANALYSIS OF THE ROLE OF UNIQUE LOOP L5 IN RICE KINESIN K16 MOTOR DOMAIN” 第54回米国生物物理学会 2010年2月21日 San Francisco, CA USA.

(31) Tanaka, K., Sugimoto, Y., Wakabayashi, K., Maruta, S.

“ANALYSIS OF CONFORMATIONAL CHANGE OF CONVENTIONAL KINESIN CHIMERIC PROTEIN FUSED WITH GFP USING SMALL ANGLE X-RAY SOLUTION SCATTERING” 第54回米国生物物理学会 2010年2月21日 San Francisco, CA USA.

(32) Aritomi, K., Kimura, T., Maruta, S.

“SYNTHESIS OF PHOTOCROMIC ATP ANALOGUE AND ITS INTERACTION WITH MOTOR PROTEINS” 第54回米国生物物理学会 2010年2月21日 San Francisco, CA USA.

(33) Kimura, T., Yamada, M. D., Ito, M., Maruta, S.

“SYNTHESIS OF NOVEL FLUORESCENT ATP ANALOGUE AND ITS INTERACTION WITH NUCLEOTIDE DEPENDENT MOTOR PROTEINS” 第54回米国生物物理学会 2010年2月21日 San Francisco, CA USA.

(34) Itaba, T., Shishido, H., Nakazato, K., Katayama, E., Chaen, S., Maruta, S.

“KINESIN-CALMODULIN FUSION PROTEIN AS A MOLECULAR SHUTTLE AND MARKER FOR PLUS END OF MICROTUBULE” 第54回米国生物物理学会 2010年2月22日 San Francisco, CA USA.

(35) Keiko TANAKA, Toshiaki MITSUI, Zui FUJIMOTO, Shinsaku MARUTA

Analysis of crystal structure of the motor domain of rice kinesin K16 and comparison with the structures of other related kinesin. 第46回日本生物物理学会、2008年12月、福岡、同学会要旨集 p.S102

(36) Eiichi KOBAYASHI, Masafumi YAMADA, Masato ITO, Shinsaku MARUTA

Photo-control of ATPase activity of the kinesin motor domains intermolecularly

cross-linked by bifunctional photochromic compound. 第46回日本生物物理学会、2008年12月、福岡、同学会要旨集 p.S102

(37) Hideki SHISHIDO, Kiyoshi NAKAZATO, Mitsuo IKEBE, Shinsaku MARUTA

Photo-control of calmodulin target protein using photochromic compound. 第46回日本生物物理学会、2008年12月、福岡、同学会要旨集 p.S150

(38) Kazuya ARITOMI, Masafumi D. YAMADA, Shinsaku MARUTA

Photo-regulation of kinesin using photo-responsive caged compound. 第46回日本生物物理学会、2008年12月、福岡、同学会要旨集 p.S151

(39) Takeshi ITABA, Masafumi D. YAMADA, Shinsaku MARUTA

Photo-regulation of kinesin ATPase activity using photochromic molecule. 第46回日本生物物理学会、2008年12月、福岡、同学会要旨集 p.S152

(40) 穴戸英樹、山田正文、丸田晋策  
光制御型カルモジュリンの生体分子モーターへの応用、生体運動研究合同班会議、2009年1月、東京

(41) Hideki SHISHIDO, Masafumi D. YAMADA, Kazunori KONDO, Shinsaku MARUTA

Photocontrol of calmodulin function using photochromic compound. 2<sup>nd</sup> International symposium on Bio-nanosystems, 2008.11, Tokyo, Abstract : p.34

(42) Masafumi D. YAMADA, E-sin CHIA, Hidekatsu MAEDA, Shinsaku MARUTA  
Photoregulation of kinesin activity using an caged compounds. 2<sup>nd</sup> International symposium on Bio-nanosystems, 2008.11, Tokyo, Abstract : p.68

(43) Eiichi KOBAYASHI, Masafumi YAMADA, Masato ITO, Shinsaku MARUTA

Photo-control of ATPase activity of the kinesin motor domains intermolecularly cross-linked by bifunctional photochromic compound. 2<sup>nd</sup> International symposium on Bio-nanosystems, 2008.11, Tokyo, Abstract : p.69

(44) Taro KIMURA, Masafumi YAMADA, Masato ITO, Shinsaku MARUTA

Synthesis of novel fluorescent ATP analogue and interaction with nucleotide dependent motor protein. Biophysical Society 53<sup>rd</sup> Annual Meeting, 2009. Feb., Boston USA, Biophysical Journal Abstracts Issue : p.133a

(45) Yuki TAKANO, Kazuya ARITOMI, Masafumi D. YAMADA, Shinsaku MARUTA

Photo-activation of ATPase activity of Caged-kinesin. Biophysical Society 53<sup>rd</sup> Annual Meeting, 2009. Feb., Boston USA, Biophysical Journal Abstracts Issue : p.134a

(46) Takeshi ITABA, Masafumi D. YAMADA, Shinsaku MARUTA

Photo-regulation of kinesin ATPase

activity using photochromic molecule. Biophysical Society 53<sup>rd</sup> Annual Meeting, 2009. Feb., Boston USA, Biophysical Journal Abstracts Issue : p.134a

(47) Eiichi KOBAYASHI, Masafumi YAMADA, Masato ITO, Shinsaku MARUTA

Photo-control of ATPase activity of the kinesin motor domain intermolecularly cross-linked by bifunctional photochromic compound. Biophysical Society 53<sup>rd</sup> Annual Meeting, 2009. Feb., Boston USA, Biophysical Journal Abstracts Issue : p.134a

(48) Hideki SHISHIDO, Nobuhisa UMEKI, Osamu SATO, Mitsuo IKEBE, Shinsaku MARUTA

Photo-control of myosin Va using photoresponsive calmodulin. Biophysical Society 53<sup>rd</sup> Annual Meeting, 2009. Feb., Boston USA, Biophysical Journal Abstracts Issue : p.138a

〔その他〕

ホームページ

<http://www.t.soka.ac.jp/maruta-lab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸田晋策 (MARUTA SHINSAKU)

研究者番号 : 40231732