

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K19218

研究課題名（和文）新規なプラズモン増強回折格子法による時間分解バイオセンサー開発

研究課題名（英文）Novel time-resolved biosensor based on plasmon enhanced grating method

研究代表者

寺嶋 正秀（Terazima, Masahide）

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：00188674

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、タンパク質分子間の相互作用機構を解明するための新しいバイオセンサーを開発することを目的とし、銀ナノ半球構造を回折格子状に並べた基板を作製した。この基板からは、適度な強度の回折光が得られ、それを光検出器でモニターできることが分かった。次にこの基板を、光を吸収する分子の溶液を入れたセルに密着し、溶液をパルスレーザー光で励起したあと、回折光の強度が時間とともに変化することが見られ、ヘテロダイン過渡回折格子信号を観測することに成功した。また、銀ナノ半球構造体をポリマーで保護した基板の作成を行い、溶液交換のできるバイオセンサーとしての性能を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

分子間相互作用は、生命科学には不可欠な因子であり、その検出のため、これまでも多くのバイオセンサーが開発されてきたが、反応機構研究に対しては遅いダイナミクスしか測定できないという大きな欠点があった。本研究で開発したプラズモン共鳴と過渡回折格子法の原理を融合した、新しいバイオセンサーは、従来の手法以上の超高感度バイオセンサーとして、これまでより高い時間分解能が得られ、速度論的な議論が可能になる。これを用いれば、バイオセンサーの世界を一新するだけでなく、バイオインフォマティクスの分野も大きく変えるであろう。また、医学・薬学・化学・工学などに渡る非常に広い分野で使われるようになる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：Aiming to develop a new biosensor to elucidate the intermolecular interaction mechanism between proteins, a substrate with silver nanohemispheres arranged in a diffraction grating pattern was produced. From this substrate, it was found that moderately strong diffracted light was obtained upon light illumination, and the diffracted light could be monitored by a photodetector. This substrate was then placed in close contact with a cell containing a solution of light-absorbing molecules, and the solution was photoexcited with pulsed laser light. A heterodyne grating signal was successfully detection. In addition, the substrate in which the silver nanohemispherical structure was protected with a polymer, and it was confirmed its performance as a biosensor capable of solution exchange.

研究分野：生体分子科学

キーワード：タンパク質 反応 時間分解 回折格子

1. 研究開始当初の背景

生体分子関連の研究は、生物物理はもちろん薬学・化学・工学などに渡る非常に広い分野である。こうした分野で一番必要とされているデータは、分子間相互作用に関するものであろう。ある生体分子が別のどの分子と相互作用するかという情報が、多くの研究者が興味を持ち必要とされているデータであり、それを検出するためのバイオセンサーがいかに重要であるかが分かる。これまでも免疫沈澱やゲルろ過法など様々な手法が開発され用いられているが、おそらく最も高感度で汎用的に用いられている手法の一つは表面プラズモン共鳴 (SPR) を利用したバイオセンサーであろう。この手法は金属表面からの反射光が、表面プラズモンの吸収によってある角度のときだけ減少する効果を利用したものであり、その角度が金属表面への分子吸着でわずかに変わることを利用している。この方法もしばしばリアルタイム測定と呼ばれることもあるが、それは数分以上かかるタンパク質同士の拡散律速反応を観測する場合であり、分子論的に本質的な会合速度を測定するほどの時間応答は困難である。こうした制限は、信号伝達系などで、短時間しか存在しない不安定中間体がタンパク質 - タンパク質相互作用を変化させるのを検出したいような場合には、大きな問題となる。また、生化学的な要望として、タンパク質分離と同時に相互作用を数秒で検出する必要があるが、従来の検出法では、そうした要求には答えられない。更にこうした相互作用を解析するためには、速度論的な解析がきわめて重要である。平衡状態に達した状態だけでは、どのように結合解離をするのかなどその分子論的機構を知ることはできない。実際の細胞内の物質相互作用は、試験管の中の平衡状態でみるのとは異なり、時間的にも空間的にも一時的な相互作用である場合がほとんどである。そのような非平衡の物質相互作用を考える場合には、速度論的な考察が相互作用の生物学的な意味を理解するうえで必須となる場合が多く、現状のバイオセンサーでは十分ではなかった。

2. 研究の目的

本研究では、タンパク質分子間の相互作用機構を解明するための新しいバイオセンサーを開発することを目的とする。

生命科学における重要性のため、これまで、いかにして分子間相互作用を検出するかが中心課題であり続けており、多くのバイオセンサーが開発されてきた。しかし、ほとんどの手法は高感度性のメリットがある一方で、反応機構研究に対しては遅いダイナミクスしか測定できないという低時間分解能の大きな欠点がある。これに対し研究代表者は、過渡回折格子 (TG) 法を用いた拡散係数の時間発展を測定する手法を開発し、これによってタンパク質間相互作用を時間分解検出できることも示し、バイオセンサーとしての高いポテンシャルを報告した。ところがこの手法では光に応答するタンパク質関係しか検出できないという制限があった。

そこで本研究では、プラズモン共鳴と TG 法の原理を融合した、新しいバイオセンサーを開発する。この手法では、従来以上の高感度バイオセンサーになる可能性があり、その高感度性を利用すればこれまでよりはるかに高時間分解能が得られ、速度論的な議論が可能になる。またこれを用いて、反応に伴うタンパク質相互作用の機構解明を目指す。

3. 研究の方法

強いプラズモン共鳴が可能になる銀基板上の銀ナノ半球構造と、回折格子法を組み合わせることで、高感度バイオセンサーを開発する。この銀ナノ半球構造では、プラズモン共鳴が狭い波長帯で強く起こるため、タンパク質吸着による屈折率変化が敏感にその共鳴スペクトルに反映される。さらに、高感度性を追求するため、銀ナノ半球構造を回折格子状に並べ、それによって回折される光強度を検出するという方法を用いる。この回折光強度は、銀ナノ半球近傍の屈折率に敏感に依存するため、近傍に別の分子が存在したり、構造変化によって屈折率が変われば、回折光強度が変化するはずである。この変化を光検出器でモニターし、デジタルオシロスコープで記録することで、超高感度・時間分解バイオセンサーとして使うことができる。この手法では SPR 法のようにプラズモン共鳴で光反射が弱くなる角度を検出するのではなく、直接的に回折光強度をモニターするため、装置系が劇的に単純になり、さらに感度が飛躍的に向上すると考えられる。

まず、銀ナノ半球構造を回折格子状に並べた基板を作製する。このためには、最初に金属薄膜で電子線描画か光リソグラフィでマイクロメートルスケールの格子構造を作製して、その後熱処理を行うことで、ナノ半球構造体がグレーティング状に並んだ構造を作る。この基板にターゲット物質 (リガンド) を吸着させ、プラズモン波長に共鳴させたプローブ光を照射し、出てくる回折光を光電子増倍管などの光検出器で検出する。金属基板を用いた時には光は透過しないため、プローブ光反射条件での回折光を用いる。また、半球を乗せる金属基板の厚みを 10 ~ 20nm の薄膜にすると、半球と薄膜上下の面の 3 つのモードが結合して光との強い相互作用を示すことがわかってきているので、これを用いることで透過光条件にすることも可能である。次に、この表面に調べたいタンパク質 (アナライト) を流す。もしこのタンパク質がリガンドと相互作用を起こし、会合体を作ると半球近傍の屈折率が変化し、回折光強度が変化するはずである。さら

に、格子状に並んだナノ半球構造のために、アナライトを流す前から回折光が存在するため、この変化はちょうど TG 信号のヘテロダイン効果と等価な理由によって大きく増大すると考えられる。このために超高感度信号が得られ、この信号をデジタルオシロスコープなどで観測すれば、アナライトを流し始めた時間からの時間変化を測定できる。この際の時間分解能は、溶液が元の溶液から置き換わる時間で決まり、これまでのストップドフローの実験経験からサブミリ秒で達成できる。この時間分解能があれば、タンパク質がリガンドと相互作用する過程を実時間で追跡することが可能となる。

また、この基板に光反応を起こすタンパク質を吸着させておき、光で反応を開始させると、溶液交換の時間分解能に限らない、さらに高時間分解能で構造変化や分子間相互作用が追跡できると考えられる。

4. 研究成果

まず銀ナノ半球構造を回折格子状に並べた基板を作製した。この基盤に連続発振のレーザーを照射したところ、適度な強度の回折光が得られ、それを光検出器でモニター出来ることが分かった。次にこの基盤を、光を吸収する分子の溶液を入れたセルに密着し、ヘテロダイン過渡回折格子信号を観測するステップに移った。光励起に伴って発熱が起こり、屈折率変化が起こるはずであり、この熱によって温度上昇が起こった溶液の、いわゆる熱グレーティング信号の検出を試みた。実際に、溶液をパルスレーザー光で励起したあと、回折光の強度が時間とともに変化することが見られ、ヘテロダイン過渡回折格子信号を観測することに成功した。また、この基盤をタンパク質を溶かした溶液の中に入れ、回折光を観測しつつ溶液交換を行い、タンパク質構造の溶液依存性や、他の分子との相互作用検出を試みた。

しかし、この信号は予想されたよりも微弱な信号であった。この原因を探るために、種々の配置や励起光強度を用いて測定を繰り返したところ、回折光の強度が時間とともに減少することが明らかとなった。また、溶液交換によっても強度減少が見られた。これの原因をさらに追及したところ、銀ナノ半球構造体が光照射や溶液交換の過程で劣化していることが判明した。これを改善するために、銀ナノ半球構造体をポリマーで保護することを検討し、その基盤の作成を行った。

その結果、ポリマーで保護することで、通常では見られない大きな波長選択性が得られ、特定の波長域の光のみを選択的に回折できた。すなわち、銀ナノ半球構造を保護するだけでなく、性能が向上する基盤となることがわかった。これを用いて溶液中での過渡回折格子信号を検出したところ、再現性のある信号が得られ、バイオセンサーとしての性能を確認できた。また、これまで通常の過渡回折格子法で溶液中でのタンパク質会合を回折光変化として検出できるかどうかを試み、我々が開発してきた eBLUF と呼ばれるタンパク質の会合を、微小体積で検出することができた。

このシステムを実際のタンパク質反応に適用するため、通常の過渡回折格子法を用いてタンパク質反応の分子機構を明らかにする研究も同時に行い、以下のような成果を得た。

BlrP1 はバクテリアの細胞内シグナリング物質である c-di-GMP を青色光依存的に加水分解する酵素として働くタンパク質である。このタンパク質は N 末端側に光受容を担う BLUF ドメインをもち、C 末端側に位置する EAL ドメインの酵素活性をアロステリックに制御する。その重要性のため、信号伝達メカニズムに興味を集めている。このタンパク質の光センサー部位である BLUF ドメインは、16kDa 程度のタンパク質で、発色団として FAD を持つ。光励起後、数 ns の時間スケールで起こる FAD 周りの水素結合変化が、吸収スペクトルのレッドシフトを起こすことが報告されているが、続いて起こるタンパク質部分の構造変化や EAL ドメインを活性化するメカニズムは不明である。この反応機構を調べるため、全長 BlrP1 を光励起して得られた TG 信号を観測したところ、この拡散信号には立ち上がりと減衰からなる信号が見られ、顕著な拡散係数変化（構造変化）が起こっていることがわかった。発色団周りの局所的な動きが EAL ドメインの構造変化を引き起こしたと解釈される。またタンパク質濃度を変えて測定した結果、BlrP1 はモノマー・ダイマー間の平衡にあり、ダイマーのみが拡散係数変化を起こすことが分かった。

次にダイマーの反応に対する励起光強度依存性を調べたところ、励起分子数で信号強度を規格化しても、励起光強度が強いほど拡散信号の強度が増大することが見出された。詳細な解析の結果、発色団周りの反応の量子収率は励起光強度によらず一定であるのに対して、拡散係数変化の収率は励起光強度を上げると上昇することがわかった。このことから、ダイマーの内 1 つのモノマーが励起されても分子全体の構造変化は起こらず、両方のモノマーユニットが励起されて初めて大きな構造変化を起こすことを示すことができた。その結果、このタンパク質は単なる光センサーという役割だけではなく、光強度も感知する新しい役割を持つことを見出した。

また、多くの研究者が興味を持っている光センサータンパク質 PYP の反応を調べ、その反応機構を明らかにした。PYP は、細菌の負の走光性に関わる光センサー蛋白質であり、発色団として *p*-クマル酸を持つ。光励起による *p*-クマル酸のトランス-シス異性化が反応の起点となり、光反応サイクルが進行する。近年、*Rhodobacter capsulatus* において PYP の下流分子が同定され、PBP と名付けられた。分子間のシグナル伝達機構を明らかにするために、過渡回折格子法を用いて PYP と PBP の相互作用ダイナミクスを調べた。興味深いことにこの PYP は紫外域と可視域に二つの吸収バンドを持ち、その割合は pH に依存する。そこで、二つの吸収バンド励起で反応が異なるかを調べるため、光反応ダイナミクスの励起波長依存性について検討した。その結果、紫

外光励起によって複合体の形成が促進される一方で、可視光励起では複合体の崩壊反応が誘起される可能性を見いだした。

青色光センサー-BLUF タンパク質は、N 末端側に発色団フラビンを結合する BLUF ドメイン、C 末端には走光性や光合成系タンパク質の発現といった生理機能を制御するドメインを持つ。青色光励起でフラビンとタンパク質部分の水素結合環境が変化することで、可視域の吸収スペクトルがレッドシフトする特徴をもつ。このスペクトル変化は従来ナノ秒以内に完了すると考えられてきた。しかし、AppA, OaPAC, B1rP1, PapB, SyPixD などの多種多様な BLUF タンパク質を網羅的に調べた結果、BLUF ドメインに保存されたミリ秒の時間領域に遅い反応があることを発見した。また、C 末端を除去・交換した変異体の結果から、この反応が機能発現に重要な C 末端のタンパク質構造変化と関連することを明らかにした。さらに部位特異的変異体の結果から、C 末端近傍の Trp 残基がフラビンと C 末端の構造変化を媒介する重要な役割があることが分かった。これらは、タンパク質機能を発揮する機構を理解するうえで基本となる光センサー部位の反応機構として重要な知見である。

また、光反応駆動だけでなく、溶液交換によって反応を引き起こす系にも適用できるように、micro-stopped-flow system を作成し、2 液混合で反応を開始するシステムを構築した。これを用いて病気に関連する シネクレインというタンパク質の構造変化を明らかにすることに成功した。

これらの反応を、開発した新規バイオセンサーを用いて、誰でも簡便に高感度検出できるように改良することを計画している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 S. Takaramoto, Y. Nakasone, K. Sadakane, S. Maruta, M. Terazima	4. 巻 11
2. 論文標題 Time-resolved detection of SDS-induced conformational changes in γ -synuclein by a micro-stopped-flow system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 1086-1097
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D0RA09614H	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 K. Shibata, Y. Nakasone, M. Terazima	4. 巻 595
2. 論文標題 Enzymatic activity of the blue light-regulated phosphodiesterase BlrP1 from <i>Klebsiella pneumoniae</i> shows a nonlinear dependence on light intensity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 FEBS Lett.	6. 最初と最後の頁 1473-1479
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/1873-3468.14073	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 M. Ikoma, Y. Nakasone, M. Terazima	4. 巻 221
2. 論文標題 Photoreaction of photoactivated adenylate cyclase from cyanobacterium <i>Microcoleus chthonoplastes</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Photochem. P hotobiol. B	6. 最初と最後の頁 112252(1-10)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jphotobiol.2021.112252	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 U. Umezaki, M. Hatakenaka, K. Onodera, H. Mizutani, S. Kim, Y. Nakasone, M. Terazima, Y. Kimura	4. 巻 4554
2. 論文標題 Effect of hydrated ionic liquid on photocycle and dynamics of photoactive yellow protein	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/molecules261	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 S. Kim, Y. Nakasone, A. Takakado, Y. Yamazaki, H. Kamikubo, M. Terazima	4. 巻 21
2. 論文標題 A unique photochromic UV-A sensor protein Rc-PYP interacting with PYP-binding protein	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 17813-17825
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP02731J	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 M. Terazima	4. 巻 54
2. 論文標題 Spectrally silent protein reaction dynamics revealed by time-resolved thermodynamics and diffusion techniques	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acc. Chem. Res.	6. 最初と最後の頁 2238-2248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.1c00113	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 Y. Nakasone, M. Terazima	4. 巻 12
2. 論文標題 A time-resolved diffusion technique for detection of the conformational changes and molecular assembly/disassembly processes of biomolecules	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Front. Genet.	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fgene.2021.691010	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 M. Terazima	4. 巻 13
2. 論文標題 Time-resolved detection of association/dissociation reactions and conformation changes in photosensor proteins for application in optogenetics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biophys. Rev.	6. 最初と最後の頁 1053-1059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12551-021-00868-9	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 K. Shibata, Y. Nakasone, M. Terazima	4. 巻 126
2. 論文標題 Selective Photoinduced Dimerization and Slow Recovery of a BLUF Domain of EB1	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. B	6. 最初と最後の頁 1024-1033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c10100	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 S. Tokonami, M. Onose, Y. Nakasone, M. Terazima	4. 巻 144
2. 論文標題 Slow conformational changes of blue light sensor BLUF proteins in milliseconds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 4080-4090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c13121	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 K. Shibata, Y. Nakasone, M. Terazima	4. 巻 361
2. 論文標題 Salt effect on the selective photoinduced dimerization of a BLUF domain of EB1	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Mol. Liq.	6. 最初と最後の頁 119606 (1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molliq.2022.119606	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 T. Iwashita, M. Nagao, A. Yoshimori, M. Terazima, R. Akiyama	4. 巻 807
2. 論文標題 Usefulness of higher-order system-size correction for macromolecule diffusion coefficients: A molecular dynamics study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chem. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 140096 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2022.140096	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 M. Terazima	4. 巻 131
2. 論文標題 Revealing protein reactions using transient grating method: Photo-induced heating, volume change, and diffusion change	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 140902 (1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0087049	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 Y. Nakasone, M. Terazima	4. 巻 21
2. 論文標題 Time-resolved diffusion reveals photoreactions of BLUF proteins with similar functional domains	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Photochem. Photobiol. Sci.	6. 最初と最後の頁 493-507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s43630-022-00214-2	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 M. Terazima	4. 巻 5
2. 論文標題 Applications of time-resolved thermodynamics for studies on protein reactions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J	6. 最初と最後の頁 186-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/j5010014	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 M. Terazima	4. 巻 13
2. 論文標題 Time-resolved detection of association/dissociation reactions and conformation changes in photosensor proteins for application in optogenetics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BioPhys. Rev.	6. 最初と最後の頁 1053-1059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12551-021-00868-9	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 S. Endo, K. Shimano, T. Matsuyama, K. Wada, K. Okamoto	4. 巻 12
2. 論文標題 Deep-ultraviolet localized surface plasmon resonance using Ga nanoparticles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 2444-2452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.456061	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 岡本晃一, 垣内晴也, 亀井勇希, 松山哲也, 和田健司, 船戸充, 川上養一	4. 巻 51
2. 論文標題 プラズモニクスに基づくIII-V 族窒化物半導体の高效率緑色発光	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 97-102
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 S. Kaito, T. Matsuyama, K. Wada, M. Funato, Y. Kawakami, K. Okamoto	4. 巻 122
2. 論文標題 Enhancement of the bandgap emission from GaN epilayer by surface plasmon resonance in the quadrupole oscillation mode using Ag nanoparticles protected by an oxide thin film	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 151110 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0143725	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19件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 中山貴史, ムッシーニ・アンドレア, 中曽根祐介, 寺嶋正秀
2. 発表標題 光センサータンパク質VVDの光反応ダイナミクス
3. 学会等名 分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹川玄之介, 中曽根祐介, 神谷由紀子, 浅沼浩之, 寺嶋正秀
2. 発表標題 光応答性DNAとT7 RNAポリメラーゼの分子間相互作用ダイナミクス
3. 学会等名 分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田耕生, 中曽根祐介, 寺嶋正秀
2. 発表標題 青色光センサータンパク質eBLUFの選択的ダイマー化反応
3. 学会等名 分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahide Terazima
2. 発表標題 Time-resolved detection of association/dissociation reaction and conformation changes of photosensor proteins towards applications in Optogenetics
3. 学会等名 20th IUPAB Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahide Terazima
2. 発表標題 Time-resolved detection of water-protein interaction changes by translational diffusion method in protein reactions
3. 学会等名 PacifiChem (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahide Terazima
2. 発表標題 Excited triplet state dynamics and conformation changes of protein reactions
3. 学会等名 PacifiChem (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中曽根祐介、柴田耕生、古川亜矢子、西村善文、寺嶋正秀
2. 発表標題 青色光センサー-eBLUFの光ダイマー化機構と溶液構造解析
3. 学会等名 分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahide Terazima
2. 発表標題 Time-resolved Diffusion Method reveals Spectrally Hidden Protein Reactions
3. 学会等名 溶液化学シンポジウム (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shunrou Tokonami, Yusuke Nakasone, Masahide Terazima
2. 発表標題 Stabilization of decamer structure by the C-terminal region of the blue light sensor protein SyPixD
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Nakasone, Yusuke Masuda, Shunrou Tokonami, Masahide Terazima
2. 発表標題 Light-dependent reversible molecular assembly of a blue light sensor protein TePixD
3. 学会等名 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahide Terazima
2. 発表標題 Time-resolved detection of photoinduced heating and volume changes during protein reactions
3. 学会等名 21st International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahide Terazima
2. 発表標題 A photo-activation tool of a small photo-response protein
3. 学会等名 Gordon Research Conference on Optics and Photonics in Medicine and Biology Conference, (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahide Terazima, Kosei Shibata, Yusuke Nakasone
2. 発表標題 Salt effect on diffusion signal reveals selective photoinduced dimerization site of a BLUF domain of EB1
3. 学会等名 EMLG/JMLG 2022 conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masahide Terazima, Kosei Shibata, Yusuke Nakasone
2. 発表標題 Nonlinear Light Intensity Dependence of a Photosensor Protein Detected by Time-Resolved Diffusion Method
3. 学会等名 Frontiers in Optics and Laser Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中曽根祐介、寺嶋正秀
2. 発表標題 光センサー-BLUFタンパク質の信号伝達機構
3. 学会等名 日本化学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平田瑞樹、中曽根祐介、金穂香、寺嶋正秀
2. 発表標題 光センサータンパク質PYPと下流分子PBPの相互作用ダイナミクスとその多様性
3. 学会等名 日本化学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡嘉敷直志、大畑貴聖、床次俊郎、中曽根祐介、寺嶋正秀
2. 発表標題 オレンジカロテノイドタンパク質の光二量化機構
3. 学会等名 日本化学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoya Kubota, Yuya Nakatsuka, Soshi Endo, Tetsuya Matsuyama, Kenji Wada, Koichi Okamoto
2. 発表標題 Wavelength Selective Diffraction Grating Using Silver Nano Hemispherical Structure
3. 学会等名 International Conference on Nano-photonics and Nano-optoelectronics 2022(ICNN2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保田 隼也, 中塚 祐哉, 時盛 将吾, 松山 哲也, 和田 健司, 岡本 晃一
2. 発表標題 金属ナノ構造を用いたグレーティング構造の光学特性測定
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2022(OPJ2022)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	岡本 晃一 (Okamoto Koichi) (50467453)	大阪公立大学・大学院工学研究科・教授 (24405)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------