

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05434

研究課題名(和文)チオ置換核酸塩基の励起状態と2光子励起ケモセラピーへの展開

研究課題名(英文) Excited state characteristics of thionated nucleobases and application to nonresonant two-photon absorption for chemotherapy and photodynamic therapy

研究代表者

鈴木 正 (Suzuki, Tadashi)

青山学院大学・理工学部・教授

研究者番号：30251606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：チオカルボニル基を有するチオ核酸塩基誘導体は、がん細胞にアポトーシスを誘導する光線力学療法の新規薬剤として期待されている。本研究では、新たなチオ核酸塩基誘導体を合成し、その励起状態の特徴を明らかにした。また、チオ核酸塩基の酸化体が一連の反応の鍵となる化学種であることがわかった。さらに、近赤外OPOレーザーと光検出光音響法を組み合わせた新たな分光装置を組み上げ、チオ核酸塩基誘導体の非共鳴二光子吸収スペクトルについて調べた。組織浸透性に優れた長波長の光を用いた非共鳴二光子励起によるチオ核酸塩基の光ケモセラピーおよび光線力学療法への可能性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

チオ核酸塩基は生体親和性が高く、通常核酸塩基が吸収しないNVA領域に吸収帯をもつことから、新たな光線力学療法の光増感剤として期待されている。しかし、その機構はまだ十分理解されていない。最近の研究結果からチオ核酸塩基の酸化体が通常核酸塩基を消失させることが示唆された。この機構を解明することによって、さらなる進展が期待できる。一方、光線力学療法の増感剤を二光子吸収によって励起することが検討されている。しかし、核酸塩基の非共鳴二光子吸収についてはこれまで報告がほとんどない。チオ核酸塩基を生体の窓といわれる近赤外領域の光で励起できれば、新たな光増感剤として大変興味深い。

研究成果の概要(英文)：Thionucleobase derivatives, having a thiocarbonyl group, are expected to be novel agents for photodynamic therapy to induce apoptosis in cancer cells. However, their mechanism is still unclear. In this study, we synthesized new thionucleobase derivatives and characterized their excited states. The oxidized form of the thionucleobases was found to be the key chemical species in a series of reactions. In addition, a new apparatus of the optical-probing photoacoustic spectroscopy combining a near-infrared OPO laser was developed to study the non-resonant two-photon absorption spectra of the thionucleobases. The potential of non-resonant two-photon excitation of thionucleobases with longer-wavelength light, which is excellent tissue penetration, for photochemotherapy and photodynamic therapy was demonstrated.

研究分野：分子科学

キーワード：チオ核酸塩基 励起状態 二光子吸収 光線力学療法 光化学療法 光音響分光法 一重項酸素 エネルギー移動

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

通常核酸塩基のカルボニル酸素を硫黄原子に置き換えたチオ核酸塩基は、その構造が通常核酸塩基と変わらないため生体親和性が高い。また、通常核酸塩基が吸収しない UVA 領域に吸収帯をもつことから、選択的に光励起できる。近年、チオ核酸塩基を取り込んだ細胞に弱い UVA 光を照射することによりアポトーシスを誘起できることが報告され、光線力学療法への応用が期待されている。これまでチオおよびアザ置換核酸塩基の励起状態およびその緩和過程について報告してきた。アザ置換核酸塩基においては、励起一重項状態が $n\pi^*$ 、 $\pi\pi^*$ 状態かによって、大きく項間交差量子収率が異なることが分かった。4-チオチミジンは、光励起後数 10 ps で励起三重項状態となり、項間交差量子収率はほぼ 1 であった。この励起三重項状態のチオ核酸塩基が増感剤として溶存酸素にエネルギー移動を起こし、酸素分子の励起状態である一重項酸素 $^1O_2^*$ ($^1\Delta_g$) を生成する。ガン細胞のような低酸素濃度条件下においても、6,8-ジチオグアノシンはチオ核酸塩基の中でも最も高い一重項酸素生成能をもつことを明らかにした。光線力学療法の機構の一つとして、生成した一重項酸素がトリガーとなり最終的にがん細胞のアポトーシスを誘導すると考えられているが、チオ核酸塩基の場合、チオ核酸塩基が一重項酸素によって酸化されて酸化体となり、通常核酸塩基を消失させることが示唆された。一方、光線力学療法の増感剤を二光子吸収によって励起することが検討されている。しかし、核酸塩基の非共鳴二光子吸収についてはこれまで報告がほとんどない。チオ核酸塩基を生体の窓といわれる近赤外領域の光で励起できれば、新たな光増感剤として大変興味深い。

2. 研究の目的

本研究では、二光子吸収断面積の高いチオ核酸塩基を創製するために、 π 共役系を拡張したチオ核酸塩基を設計・合成し、その励起状態および緩和過程について調べる。また、抗がん作用を有する 5-フルオロウラシルをチオ化した 5-フルオロ-4-チオウラシルについても同様に調べる。また、チオ核酸塩基酸化体の励起状態の知見を得ること、チオ核酸塩基酸化体による通常核酸塩基の消失反応機構の解明を目指す。さらに、二光子吸収断面積の高い核酸塩基を探索するため、近赤外 OPO レーザーを高感度光音響分光装置に組み込んだ二光子吸収スペクトル測定装置を立ち上げ、非共鳴二光子吸収スペクトルを測定する。

3. 研究の方法

- (1) 吸収・発光スペクトル測定、過渡吸収スペクトル測定、時間分解熱レンズ法を用いて、励起状態の特性および緩和過程を調べた。また、近赤外発光法を用いて、一重項酸素の生成量子収率、および寿命を測定した。
- (2) 近赤外 OPO レーザーを光検出光音響分光装置に組み込み、近赤外領域で測定可能な新たな二光子吸収スペクトル分光装置を組み上げた。
- (3) フェニルエチニル基やピレニルエチニル基を導入したチオウリジンを合成した。5-フルオロウラシルをチオ化し、5-フルオロ-4-チオウラシルを合成した。また、酸化剤を用いてチオグアノシンを酸化し、チオグアノシン酸化体を合成した。
- (4) 量子化学計算を用いて、分子構造、電子状態、一光子および二光子吸収スペクトルのシミュレーションを行った。

4. 研究成果

- (1) 光検出光音響法を応用した二光子吸収スペクトル装置を組み上げ、典型的な二光子吸収材料の基本骨格であるジアリールポリインの非共鳴二光子吸収スペクトルの測定を行った（文献、）。共役系の長さや、置換基の電子吸引・供与性、フェニル基の置換位置依存性を検討した。その結果、 π 共役系を拡張したチオ核酸塩基、特にフェニルエチニル基やそのフッ素置換体をウリジンに導入することにし、合成を行った。
- (2) 5-フェニルエチニル-4-チオウリジン（文献）や 5-ピレニルエチニル-4-チオウリジンの励起状態および緩和過程について調べた。吸収スペクトルを測定したところ、従来のチオ核酸塩基と比べて、 π 共役系を拡張したチオ核酸塩基の吸収帯は長波長側に現れた。また、どちらも高い一重項酸素生成量子収率をもつことが分かった。また、二光子吸収スペクトルのシミュレーションから、近赤外領域に二光子吸収帯をもつことが予想された。
- (3) 抗がん作用を有する 5-フルオロウラシルをチオ化した 5-フルオロ-4-チオウラシルの励起状態について調べた（文献）。5-フルオロウラシルと同様に細胞毒性があることから抗がん作用を有すると考えられる。また、光毒性についても検討を行った。
- (4) 6-チオグアノシンおよび 6,8-ジチオグアノシンの光照射によって、通常核酸塩基が消失する現象が見られた。他の一重項酸素を生成する増感剤では、このような顕著な反応は見られなかった。これは、光照射によって生成した一重項酸素による反応でそれぞれの酸化体が生成し、この酸化体による反応であると予想された。そこで、6-チオグアノシンおよび 6,8-ジチオグアノシンの酸化体を合成し、通常核酸塩基との光反応性について検討を行った。どちらの酸化体も光反応

により通常核酸塩基が消失する現象が見られた。このことから、一重項酸素が直接通常核酸塩基を消失させているわけではないことが明らかとなった。

チオ核酸塩基酸化体の励起状態についての知見も得られた。

(5) 光検出光音響法を応用した二光子吸収スペクトル装置を用いて、6,8-ジチオグアノシンの二光子吸収スペクトルの測定に成功した(文献)。核酸塩基の二光子スペクトルとしては初めての報告である。また、近赤外 OPO レーザーを組み入れた装置を新規に立ち上げ、ローダミン B の二光子吸収スペクトルを測定し、報告されているスペクトルと比較・検討した。新規に開発した装置で得られたスペクトルは S/N 比も高く、振電構造も見られたことから、広いスペクトル範囲を分解能高く測定できることがわかった。

<引用文献>

石井 哲郎, 磯崎 輔, 柏原 航, 鈴木 正, 光検出光音響分光法による機能性分子骨格ジアリールポリインの高感度二光子吸収測定, *分光研究*, **2020**, *69*, 95-104.

Tetsuro Ishii, Tasuku Isozaki, Sho Kinoshita, Ryo Takeuchi, Wataru Kashihara, Tadashi Suzuki, A Substituent Effect on Two-Photon Absorption of Diphenylacetylene Derivatives with an Electron-Donating/Withdrawing Group, *J. Phys. Chem. A*, **2021**, *125*, 1688–1695.

Shota Watanabe, Ayumi Tahara, Tasuku Isozaki, Sho Kinoshita, Ryo Takeuchi, Wataru Kashihara, Tadashi Suzuki, Effects of Two Electron-Donating and/or -Withdrawing Substituents on Two-Photon Absorption for Diphenylacetylene Derivatives, *J. Phys. Chem. A*, **2023**, *127*, 6204–6212.

Daiki Nonoshita, Wataru Kashihara, Kazuhito Tanabe, Tasuku Isozaki, Yao-Zhong Xu, Tadashi Suzuki, Excited States of Thio-2'-deoxyuridine Bearing an Extended π -Conjugated System: 3',5'-Di-O-acetyl-5-phenylethynyl-4-thio-2'-deoxyuridine, *J. Phys. Chem. A*, **2021**, *125*, 597–606.

Rin Sato, Yoshino Yamada, Wataru Kashihara, Tatsuya Nishihara, Kazuhito Tanabe, Yao-Zhong Xu, Tadashi Suzuki, Excited State Properties of 5-Fluoro-4-thiouridine Derivative, *Photochem. Photobiol.*, in the 50th Special Issue on Nucleic Acid Photophysics, **2024**, *100*, 434-442.

Saki Ando, Tasuku Isozaki, Yao-Zhong Xu, Tadashi Suzuki, Simultaneous Two-photon Absorption of the Thioguanosine Analogue 2',3',5'-Tri-O-acetyl-6,8-dithioguanosine with Its Potential Application to Photodynamic Therapy, *J. Phys. Chem. A*, **2020**, *124*, 7024–7030.

Ayumi Tahara, Shota Watanabe, Tetsuro Ishii, Wataru Kashihara, Tasuku Isozaki, Tadashi Suzuki, Heat action spectrum of Rhodamine B through two-photon absorption in near-infrared region studied by optical-probing photoacoustic spectroscopy, *Chem. Phys. Lett.*, **2024**, *839*, 141136.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 石井哲郎, 磯崎輔, 柏原航, 鈴木正	4. 巻 69
2. 論文標題 光検出光音響分光法による機能性分子骨格ジアリールポリインの高感度二光子吸収測定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 分光研究	6. 最初と最後の頁 95 ~ 104
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 Watanabe Shota, Tahara Ayumi, Isozaki Tasuku, Kinoshita Sho, Takeuchi Ryo, Kashihara Wataru, Suzuki Tadashi	4. 巻 127
2. 論文標題 Effects of Two Electron-Donating and/or -Withdrawing Substituents on Two-Photon Absorption for Diphenylacetylene Derivatives	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 6204 ~ 6212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.3c02865	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 Sato Rin, Yamada Yoshino, Kashihara Wataru, Nishihara Tatsuya, Tanabe Kazuhito, Xu Yao Zhong, Suzuki Tadashi	4. 巻 100
2. 論文標題 Excited state properties of 5 fluoro 4 thiouridine derivative†	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Photochemistry and Photobiology	6. 最初と最後の頁 434 ~ 442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/PHP.13918	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 該当する
1. 著者名 Tahara Ayumi, Watanabe Shota, Ishii Tetsuro, Kashihara Wataru, Isozaki Tasuku, Suzuki Tadashi	4. 巻 839
2. 論文標題 Heat action spectrum of Rhodamine B through two-photon absorption in near-infrared region studied by optical-probing photoacoustic spectroscopy	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 141136 ~ 141136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cplett.2024.141136	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 Ando Saki, Isozaki Tasuku, Xu Yao-Zhong, Suzuki Tadashi	4. 巻 124
2. 論文標題 Simultaneous Two-Photon Absorption of the Thioguanosine Analogue 2',3',5'-Tri-O-acetyl-6,8-dithioguanosine with Its Potential Application to Photodynamic Therapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 7024 ~ 7030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.0c03747	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 該当する

1. 著者名 Nonoshita Daiki, Kashihara Wataru, Tanabe Kazuhito, Isozaki Tasuku, Xu Yao?Zhong, Suzuki Tadashi	4. 巻 125
2. 論文標題 Excited States of Thio-2'-deoxyuridine Bearing an Extended π -Conjugated System: 3',5'-Di-O-acetyl-5-phenylethynyl-4-thio-2'-deoxyuridine	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 597 ~ 606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.0c09343	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 該当する

1. 著者名 Ishii Tetsuro, Isozaki Tasuku, Kinoshita Sho, Takeuchi Ryo, Kashihara Wataru, Suzuki Tadashi	4. 巻 125
2. 論文標題 A Substituent Effect on Two-Photon Absorption of Diphenylacetylene Derivatives with an Electron-Donating/Withdrawing Group	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 1688 ~ 1695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.0c10545	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30件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Rin Sato, Wataru Kashihara, Tatsuya Nishihara, Kazuhito Tanabe, Tadashi Suzuki
2. 発表標題 Effects of the Fluorine Substitution on the Excited State of Phenylethynyl-thiouridine
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 輪、柏原 航、西原 達哉、田邊 一仁、鈴木 正
2. 発表標題 フッ化フェニルエチニル基を導入したチオウリジン誘導体の光化学特性
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 有谷和久、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 チオ核酸塩基と通常核酸塩基の光反応
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 翔太、尾崎 渚、磯崎 輔、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 二つの電子供与・吸引基を有するジフェニルアセチレン誘導体の二光子吸収特性
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中野 壘、柏原航、鈴木 正
2. 発表標題 チエニルエチニル基を導入したウリジン誘導体の新規合成と光化学特性
3. 学会等名 第45回日本光医学・光生物学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 有谷 和久、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 2-チオチミンの酸化体と通常核酸塩基の光化学反応
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 翔太、磯崎 輔、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 光検出光音響分光法による2置換ジフェニルアセチレン誘導体の二光子吸収断面積の定量
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中野 壘、佐藤 輪、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 チエンルエチニル基を導入したウリジン誘導体の光化学特性
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 尾崎 渚、渡邊 翔太、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 光音響光検出分光法による非対称型二置換ジフェニルアセチレンの二光子吸収特性の評価
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊 翔太, 田原 歩実, 柏原 航, 鈴木 正
2. 発表標題 光検出光音響分光法によるローダミン B の近赤外二光子吸収
3. 学会等名 第 17 回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木原 星南, 柏原 航, 鈴木 正
2. 発表標題 6-チオグアノシンの一重項酸素との反応性
3. 学会等名 第 17 回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 輪, 柏原 航, 西原 達哉, 田邊 一仁, 鈴木 正
2. 発表標題 ハロゲン化フェニルエチニル基を導入したチオウリジンの励起状態と光増感反応
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木 正
2. 発表標題 物理化学的手法による核酸塩基誘導体の励起状態と薬剤分子の光反応初期過程解明へのアプローチ
3. 学会等名 第44回日本光医学・光生物学会（東京）（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊 翔太、尾崎 渚、磯崎 輔、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 ジフェニルアセチレン誘導体の二光子吸収スペクトルにおける置換基の効果
3. 学会等名 第16回分子科学討論会（横浜）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田原 歩実、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 光検出光音響分光法による近赤外領域におけるローダミン B の非共鳴二光子吸収スペクトルと濃度依存性
3. 学会等名 第16回分子科学討論会（横浜）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊 翔太、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 ジフェニルアセチレン誘導体の二光子吸収特性における二つの置換基の効果
3. 学会等名 2022年光化学討論会（京都）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 輪、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 フッ化フェニルエチニル基を導入したチオウリジンの励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 2022年光化学討論会（京都）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡 泰樹、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 ピレニルエチニル基を有したチオピリミジン誘導体の励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 2022年光化学討論会（京都）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡 泰樹、野々下 大輝、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 ピレニルエチニル基を導入したチオピリミジン誘導体の新規合成とその光化学特性
3. 学会等名 第43回日本光医学・光生物学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayumi Tahara, Wataru Kashihara, Tadashi Suzuki
2. 発表標題 Nonresonant Two-Photon Absorption of Rhodamine B in Near-Infrared Studied by Optical-Probing Photoacoustic Spectroscopy
3. 学会等名 The 30th International Conference on Photochemistry (ICP2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡泰樹、柏原航、鈴木正
2. 発表標題 ピレニルエチニル基を有したチオウリジン誘導体の新規合成とその励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 2021年 光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田圭乃、柏原航、鈴木正
2. 発表標題 5 - フルオロ - 4 - チオウリジンの励起状態及び光増感反応
3. 学会等名 2021年 光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田原歩実、柏原航、鈴木正
2. 発表標題 光検出光音響分光法を用いた近赤外領域におけるローダミンBの非共鳴二光子吸収スペクトルの測定
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木正、柏原航、磯崎輔
2. 発表標題 ナノ秒レーザーを用いた高感度二光子吸収スペクトル測定法の開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 輪、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 フッ素化フェニルエチニル基を導入したチオウリジン誘導体の新規合成および電子状態
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡 泰樹、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 ビレニルエチニル基を導入したチオピリミジン誘導体の励起状態
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田原 歩実、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 光検出光音響分光法によるローダミンBの二光子吸収スペクトル
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊 翔太、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 ジフェニルアセチレン誘導体の二光子吸収における二つの置換基導入の効果
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田 圭乃、野々下 大輝、柏原 航、鈴木 正
2. 発表標題 5 - フルオロ - 4 - チオウリジンの励起状態
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野々下 大輝・柏原 航・田邊 一仁・鈴木 正
2. 発表標題 二光子吸収特性をもつチオ置換核酸塩基の励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 光化学討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

鈴木研究室ホームページ http://www.chem.aoyama.ac.jp/Chem/ChemHP/phys4/ 鈴木研究室学会発表リスト http://www.chem.aoyama.ac.jp/Chem/ChemHP/phys4/presentation_list.html 鈴木研究室論文リスト http://www.chem.aoyama.ac.jp/Chem/ChemHP/phys4/article.html
--

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	柏原 航 (Kashihara Wataru) (30836557)	青山学院大学・理工学部・助教 (32601)	
研究分担者	磯崎 輔 (Isozaki Tasuku) (00520397)	桜美林大学・リベラルアーツ学群・准教授 (32605)	

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			
英国	The Open University			