

令和元年6月17日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26450160

研究課題名(和文)近赤外光の時間分解計測で行う新しい抗酸化活性評価法の構築

研究課題名(英文) A new efficient method for antioxidant activity evaluation based on the time-resolved optical measurement in near-infrared region

研究代表者

小原 敬士 (OHARA, Keishi)

愛媛大学・理工学研究科(理学系)・教授

研究者番号：10284390

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：近赤外光の時間分解計測を基盤として、食品・飲料・工業製品など広範囲なターゲットに適用できる高精度かつ高速の抗酸化活性評価手法の開発を実施した。ファイバースポット計測とマルチチャンネル光子計数法の導入により、内径1 mmのキャピラリー中の微量の試料での短時間(30 - 60秒)の計測により一重項酸素消去速度定数を精確に決定する技術を確立した。また、活性酸素との反応により発光体に変換する活性酸素検出プローブ分子の開発に取り組み、2種の化合物を得ることができたが、それぞれ合成収率や活性酸素との反応性に難点があった。実用性を得るためには発光の長波化を含めさらなる検討が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近赤外光の時間分解計測技術は、飲料・食品や天然物試料でしばしば生じる着色や懸濁などの妨害・擾乱を回避し、活性種の経時変化を直接とらえることによる定量的な物性評価が可能である。開発した計測技術により、野菜、果実、食品、牛乳、飲料、生体抽出物、インク・塗料、泳動ゲル・キャピラリーに展開した希少成分などの一重項酸素消去能をわずかなサンプルで短時間に同一の基準で評価して結果を提示できる。また、本課題で開発に取り組んだ活性酸素検出プローブの改良で実用性が得られれば、フリーラジカル消去能評価も可能な高効率の標準評価法の一つとして学界・産業界での大きなニーズが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Based on time-resolved emission (or absorption) measuring technique in near-infrared region, we have developed a highly-efficient method for evaluating antioxidant activities that can be applied to a wide range of targets such as food, beverages, and industrial products. By introducing the fiber-spot detection technique and a multichannel photon-counting method, we established a technology to determine the singlet-oxygen quenching rate constants accurately in short accumulation time (30 - 60 sec) with a small amount of sample in a capillary having 1 mm inner-diameter. In addition, we tried to develop some molecular probes detecting reactive-oxygen species (ROS). The probes having no fluorescence can be converted to near-infrared luminescent molecules by antioxidant reactions with ROS. We were able to obtain two types of probes, but each has drawbacks in the synthesis yield and reactivity with ROS. Further studies are needed to achieve the practical application.

研究分野：反応物理化学

キーワード：食品機能 抗酸化 一重項酸素 近赤外光 時間分解計測 微量試料 スポット キャピラリー

1. 研究開始当初の背景

近年の検出機器の高性能化により、近赤外領域(800 - 1700 nm)の発光や光吸収の計測技術は急速に進展し、様々な分野への応用が可能となった。種々の産業のサンプリング・オンラインで実施される評価において、試料の紫外・可視部での強い光吸収や白濁による散乱が妨害となるケースは多く、比較的透明度の高い近赤外領域での光計測評価技術は利用価値が高い。

本課題の研究代表者は、単一光子計数型高感度近赤外発光寿命測定装置による一重項酸素($^1\text{O}_2$)発光(1274 nm)の時間分解計測に基づく $^1\text{O}_2$ 動態の研究を平成16年より開始し、平成16-17、19-20年度基盤研究(C)課題では光学的透明性が低い油滴・微細粒子分散系の天然抗酸化剤による活性酸素種消去過程について、ns ~ ms領域の時間分解吸収/発光計測による研究を実施した。研究成果の例として、油滴形成による $^1\text{O}_2$ 寿命の増大という動的過程や、薬剤のミセル溶解に伴う $^1\text{O}_2$ 寿命の特異な変化の観測に成功した。また、近赤外域に吸収・発光を持つ新カテゴリーの有機色素の物性評価やイリジウム錯体複層化LB膜の開発に協力し、機能性素材の近赤外域の光物性研究を進めてきた。

活性酸素・フリーラジカル($\text{LOO}\cdot$, $\text{LO}\cdot$, $\text{HO}\cdot$, $^1\text{O}_2$, $\text{O}_2\cdot^-$)は生体組織に傷害を与え、機能障害や疾病を引き起こすとされ、細胞や微小器官を構成する脂質膜中や体液中に含有される抗酸化物質が、活性酸素種による傷害を抑制し、生体維持に寄与している。このような天然の機能成分が含有される食品・飲料が消費者の興味の対象となり、食品機能性を科学的根拠に基づき定量的に表示することが広く望まれている。そのため、医薬学・農学・食品化学などの分野では、基準となる信頼性の高い活性酸素消去パラメーターと迅速で再現性・汎用性の高い抗酸化活性評価法の大きなニーズがある¹⁾。申請者は、平成23年度科学技術振興機構研究成果最適展開支援プログラムの支援により、「飲料・食品のための簡便・短時間で計測可能な抗酸化力評価法の開発」を実施し、 $^1\text{O}_2$ 発光寿命計測を基盤として飲料の $^1\text{O}_2$ 消去活性を複雑な前処理無しで決定できる方法を開発した(図1)。その手法の基盤となる技術的特徴は、 $^1\text{O}_2$ 発生にmW以下の低エネルギーパルス光を用いると同時に高感度・高精度の単一光子計数法を発光時間変化計測に適用したことにより、高エネルギーパルスレーザーを使う従来法に比べ、取扱が格段に容易で試料の適用範囲が広い。さらに、平成22-25年度基盤研究(C)課題において、希少な天然物試料の評価を微量試料で行うことを目標に、反射ファイバースコープによる近赤外発光寿命スポット計測法を開発し、0.4 mmのスポットで100 μL の液状試料やゲル・固形試料の計測を可能にした。しかし、単一光子計数法では1測定に10分以上を要するため、ルーチン測定の障害となるだけでなく、微量試料ではやはり評価対象物質や増感剤の計測中のダメージが避けられず、評価の信頼性と精度が低下する。この近赤外発光計測による $^1\text{O}_2$ 消去活性評価法を広く利用できる評価法とするためには、測定時間を大幅に短縮して試料ダメージを低減する必要がある。

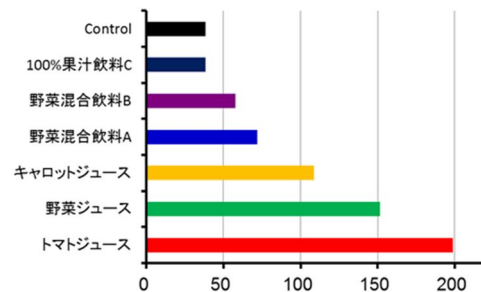


図1 市販ジュース試料の $^1\text{O}_2$ 減衰速度 $k_d / 10^3 \text{ s}^{-1}$

近赤外光による計測技術は、飲料・食品や天然物試料でしばしば生じる着色や懸濁などの妨害・擾乱を回避した物性評価への道を開く。例えば、野菜や果実など食品粉末物・抽出物、牛乳や野菜ジュース等の飲料や生体抽出物・血液などの液状試料、インク・塗料など工業製品などの評価に、同一の基準で広く適用可能な評価法を学界・産業界に提示できる。また、活性種の経時変化を直接とらえる時間分解計測法は、不均一系や複数の過程を含む場合に特に有用である^{2,3)}。すでに、近赤外発光寿命計測に基づく $^1\text{O}_2$ 消去速度定数は、最も信頼できる抗酸化パラメーターの一つとして認められているが、さらに加えて、フリーラジカル消去の水素原子移動モデルや電子移動モデルに基づくモデル抗酸化反応系を構築し、その計測に近赤外領域の吸収・発光を利用する抗酸化評価技術が確立できれば、これまで困難であった着色・懸濁試料の評価が可能になる上、新しい標準評価法の一つとして学界・産業界での大きなニーズが期待できる。申請者が協力研究で取り扱ってきたような近赤外域に吸収・発光を示す既知の分子群の中から、励起状態で反応活性を持つ適切なモデル抗酸化系を構築することで、それは実現可能である。

- 1) L.K. MacDonald-Wicks, et al. *J. Sci. Food Agric.* **2006**, *86*, 2046-2056, and references cited therein.
- 2) A. Boullier, et al. *Biochem.* **2007**, *46*, 5226-5237, and references cited therein.
- 3) S. Oelckers, et al. *J. Photochem. Photobiol. B* **1999**, *53*, 121-127, and references cited therein.

2. 研究の目的

本研究課題では、近赤外領域に吸収・発光を示す分子の励起状態や中間体ラジカル種を用いた

時間分解計測を基盤とすることで紫外・可視部の光吸収や白濁による散乱の影響を回避し食品・飲料や工業製品など広範囲なターゲットに適用できる汎用性の高い新しい抗酸化活性評価法を構築し、同時に短時間・高精度の計測技術を導入することで微量試料計測へ応用することを目的とする。この技術開発により、稀少な天然物質の $^1\text{O}_2$ 消去速度定数やフリーラジカル消去活性を微量試料で短時間に効率よく計測できようになり、極微量試料や泳動ゲル・TLC上に展開した単離困難な微量生体成分の構造活性相関の検討が可能となる。

3. 研究の方法

(1) マルチチャンネルゲートド光子計数法の導入による近赤外発光寿命計測の高効率化

短時間（5 - 60 秒）で高感度に近赤外発光寿命を計測できるマルチチャンネルゲートド光子計数法を導入する。従来の単一光子計数測定では、励起光 1 パルスに対し最大 1 光子を検出する条件で、長時間の積算（15 kHz で 10 分以上）をする。一方、マルチチャンネルゲートド光子計数では、マルチチャンネルスケアラ / アベレージャが 1 パルスの光励起後に様々な遅延時間で離散的に放出される複数の光子を 1024 - 4084 個の時間軸上ゲート（時間幅 5 ns - 100 μs で可変）で並列に捉え、繰り返し積算で各ゲートの検出光子数を同時計数することにより短時間（10 Hz ~ 1 kHz で 5 - 60 秒）で発光の時間変化曲線を得る（図 2）。この方法は、放射線シンチレーションカウンティングや燐光寿命計測などで多くの実績があり、単一光子計数法に比して時間分解能が劣るものの、 μs 領域以降の微弱光の時間変化を高感度・高効率に計測できるため、本研究目標に最適である。組み立てた発光寿命測定装置で速度定数が既知の標準抗酸化剤（ビタミン E・コーヒー酸類（ダメージ小）、カロテノイド（ダメージ大））の計測を行い、条件の最適化と手法の評価を行う。光源・光電子増倍管・ファイバースコープ検出系等は開発済みのものを流用、光学部品も汎用品を採用し可能な限り低コストで実現する。

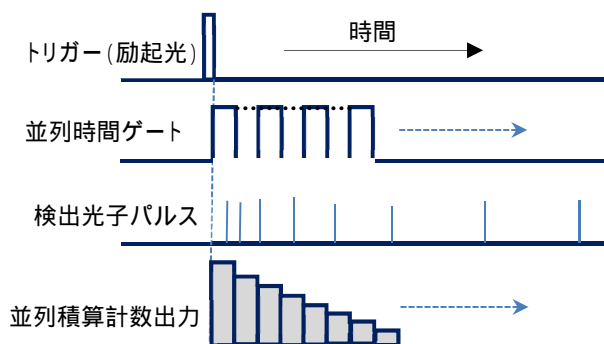


図 2a マルチチャンネルスケアラによるゲートドフォトンカウンティングのイメージ

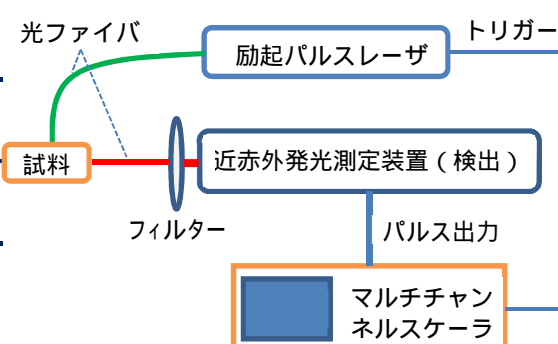


図 2b マルチチャンネルゲートドフォトンカウンティング近赤外発光寿命測定装置の構成

(2) 極微量試料計測を目指したマイクロフロー-スポット計測法の構築

微量試料の評価をダメージの影響なく行うため、マイクロフロー-スポット計測法（図 3）を構築する。マイクロ流路は、医学・薬学・生化学などの分野で微量試料のリアクター・泳動・光計測などに応用されており、様々なパターンのプレートが比較的安価に入手できる。検出スポット容量を 10 μL 程度に設計し低速フローすることで、計測中の試料ダメージを回避し正確な評価ができると考えられる。0.1 - 0.4 mm のファイバーでプレート上下透過方向の発光・吸収計測の他、懸濁試料や着色試料向けに反射計測もできる。2 液混合流路を使用すれば、試料溶液と $^1\text{O}_2$ 増感剤溶液を独立に保持し、測定直前にマイクロ流路上で混合することで、計測前の試料ダメージを最小にできる。検出系には、現有のマルチチャンネル分光光度計・近赤外発光寿命測定装置・過渡吸収測定装置を流用する。

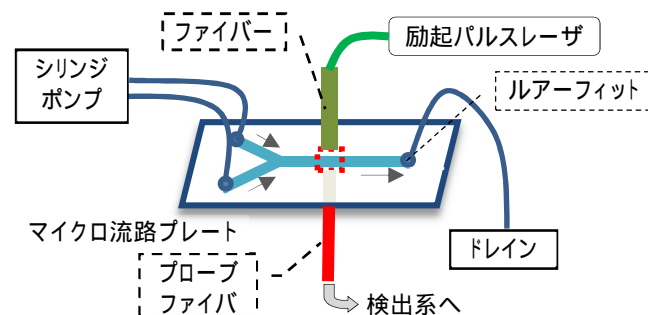


図 3 微量試料のマイクロフロー- $^1\text{O}_2$ 発光寿命スポット計測

(3) 活性酸素をリアルタイムに検出する近赤外発光プローブの開発

近赤外に吸収・発光を持ち抗酸化評価のプローブとなる化合物を探索し、 $^1\text{O}_2$ 消去、フリーラジカル消去、電子移動に対応する新しい評価系の構築を試みる。具体的には、500 nm より長波の吸収・発光を持つ高発光性の有機化合物をベースに、活性酸素との反応で発光が ON-OFF する

る分子プローブを設計・合成する。特に、食品・飲料や生物ベースの評価を可能とするために、水溶性のプローブ開発を試みる。プローブ特性のカギとなる発光 ON-OFF 機構は、励起状態において分子内電子移動型消光を生じさせる置換基を導入することで無蛍光の分子とし、活性酸素が置換基を攻撃することで、分子内消光ルートが失われ発光体となる機構を応用する。

4. 研究成果

(1) マルチチャンネルゲートド光子計数法の導入による近赤外発光寿命計測の高効率化

既存の近赤外発光寿命測定装置（浜松ホトニクス C7990-01）にマルチチャンネルスケラ/アベレージャ（Stanford Research SR430, 本課題研究経費で購入）を接続、データ集積ソフトウェアは VB.NET を用いて自作し、マルチチャンネルゲートド光子計数計測を可能とした。 $^1\text{O}_2$ 消去速度 k_Q が既知の標準抗酸化剤（Tocopherol モデル, Zingerone など）・標準溶媒（エタノール）において、 $^1\text{O}_2$ 発光（1274 nm）の減衰を計測する条件の最適化とデータ評価を実施した。その結果、従来の単一光子計数計測では、15 kHz, 10-20 分の積算計測時間を要したのに対し、マルチチャンネル光子計数法では、1.2 kHz, 30-60 秒の積算時間で十分なクオリティの時間減衰曲線を得ることができた。総合的に、励起光パルス周波数が 1/10, 積算時間が 1/10 以下となり、サンプルの光ダメージを大幅に軽減することができた。また、光励起周波数を 1 kHz 程度にできたことで、 $^1\text{O}_2$ 寿命が長い有機溶媒（アセトニトリル, クロロホルムなど）の計測時間窓を 100 μs オーダー以上に広くとることで、精度良い結果を得られるようになった。さらに、これまで $^1\text{O}_2$ 発光検出が難しかった水溶液試料でも比較的短時間で計測できるようになった。以上のように、短時間で幅広い計測条件に適用できる実用的な近赤外発光計測法を確立できた。

(2) 極微量試料計測を目指したマイクロフロー-スポット計測法の構築

マルチチャンネル光子計数が可能となった近赤外発光寿命測定装置にファイバースポット検出機構をセットし、マイクロフロー-スポット計測による $^1\text{O}_2$ 発光の減衰曲線からの $^1\text{O}_2$ 消去速度定数の評価を試みた。図 3 のマイクロ流路（流路幅 0.1 mm）にファイバースポット検出機構をセットし、光増感剤（ローズベンガル, RB）溶液をシリンジポンプ（本課題研究経費で購入）で注入してレーザー照射して $^1\text{O}_2$ 発生させ、 $^1\text{O}_2$ 発光の減衰曲線の測定を行った。計測条件の最適化を試みたが、十分な成果が得られなかった。ファイバーの光スポット径に対し流路幅が小さく、検出領域の溶液量も少ないことで、検出される発光が少ないと考えられる。

そこで、内径 1 mm のキャピラリーに試料溶液を注入してファイバー計測を試みた（図 4）。キャピラリー内の試料溶液をシリンジポンプで押し出して移動させ観測スポットの液をリフレッシュする方法で、20 μL の試料で十分なクオリティのデータが安定して得られ、モデル抗酸化剤の一重項酸素消去速度定数を精確に決定することができた。キャピラリーならば、油滴測定で起こる形状の変化や溶媒の蒸散の影響がなく安定した測定が可能である。

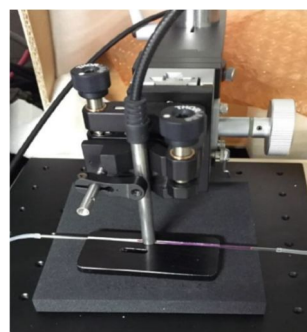
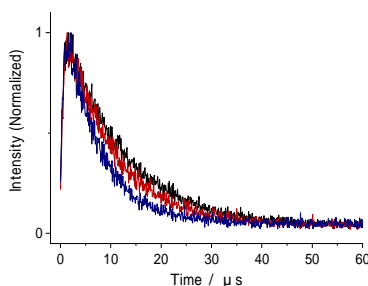


図 4 マルチ光子計数計測による $^1\text{O}_2$ 発光減衰曲線 (1274 nm, 左) とキャピラリー・ファイバースポット検出による微量計測 (右)

マルチチャンネル光子計数とスポット計測の組み合わせで RB をドーブしたアガロースヒドロゲル中の $^1\text{O}_2$ 発光の減衰, 抗酸化剤の $^1\text{O}_2$ 消去速度定数について検討した。 $^1\text{O}_2$ 発光が微弱で $^1\text{O}_2$ 消去速度定数を決定することは困難であったが、これはヒドロゲル製作過程の加熱により溶存酸素量が低下することが原因で、ゲル製作後に酸素をパージして 1 日置くことによって $^1\text{O}_2$ 発光強度がある程度回復する。マルチチャンネル光子計数による積算時間の短縮化で、試料ダメージの影響は防ぐことができた。

(3) 活性酸素をリアルタイムに検出する近赤外発光プローブの開発

500 nm に sharp な吸収 ($\epsilon \sim 10^5 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$) を持ち強い蛍光を示す BODIPY (図 5a) を分子コアブロックとし、電子移動型消光が確認されているマレイミド (MI) をメソ位 (図 5b) または橋頭位 (図 5c) に直接接続することで無蛍光性となる分子を設計した。MI は二重結合部で ROS を効率よく補足することが分かっており、設計した分子が MI 置換基で ROS を補足して構造変化すると消光が解消され、蛍光性分子に変換されるはずである。単純な合成ルート (省略) にもかかわらずかなり難航し、結果としてメソ置換体 5b は得られず、図 5c の化合物を少量 (11

mg) 単離することに成功した。5c は、吸収極大 514 nm, 無蛍光であった。過酸化水素等の化学酸化で、524 nm の蛍光を発することから、設計通りの分子性能が実現されている。

さらに、一重項酸素を特異的に検出できるプローブ(図6)の合成を試みた。BODIPY にアントラセン(AN)置換基が付加すると分子内電子移動により蛍光が消失する。AN は $^1\text{O}_2$ をエンド付加体として補足することができるので、BODIPY-3 は $^1\text{O}_2$ 存在下では蛍光が回復すると予測できる。

合成着手後に、(スルホ置換基のない非水溶性の)同様の分子が報告されたが、本研究のターゲットである食品・飲料の抗酸化評価に適した水溶性を付加することで新規性を目指した。試行錯誤の結果、スルホ置換基導入前の前駆体の合成ルートを確認し、生成物 100 mg を得ることができた。この前駆体プローブは、コアブロックの BODIPY に対して、蛍光量子収量がエタノール中で 1/10 以下となり、分子内電子移動による蛍光消光機構を持つ活性酸素プローブとしての設計性能を有していた。一方で、溶媒極性により蛍光量子収量が大きく変化することから、プローブとして使用可能な溶媒が限定されることもわかった。一方、 $^1\text{O}_2$ 添加試験においては、必要とする反応効率を得られず、アントラセン置換基周辺の立体障害の制御が分子設計に必要であることが示唆された。この前駆体にスルホン酸ナトリウム置換基を付加することで高い水溶性を有するプローブ化合物の合成を試み、最終生成物を得ることができた。この水溶性プローブは、精製が困難ではあるが、予備検討の結果、前駆体が有機溶媒中で示す光物性挙動と同様の性質を水溶液中で示し、水系溶媒でプローブとして機能すると考えられる。以上のように、一定の成果が得られたものの、本課題の目標に到達するには、置換位置の制御，吸収・発光の長波化などの検討をさらに進める必要がある。

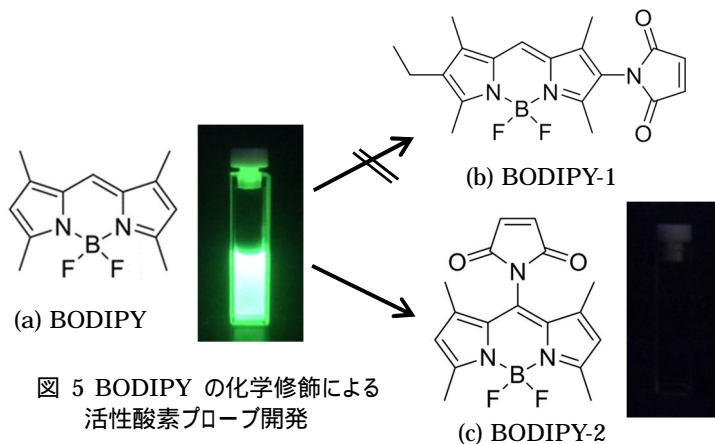


図 5 BODIPY の化学修飾による活性酸素プローブ開発

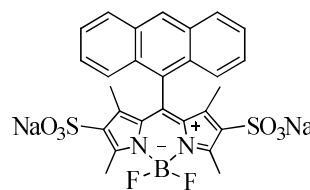


図 6 BODIPY-3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件，うち査読付論文8件)

- [1] K. Oki, M. Takase, S. Mori, A. Shiotari, Y. Sugimoto, K. Ohara, T. Okujima, and H. Uno, "Synthesis, Structures, and Properties of Core-Expanded Azacoronene Analogue: A Twisted π -System with Two N-Doped Heptagons", *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 140(33), 10430-10434 (2018). (査読有)
DOI:10.1021/jacs.8b06079
- [2] 小原敬士, 「近赤外発光スポット検出によるゲル中での一重項酸素消去活性計測」, *Colloid & Interface Communication*, Vol. 42, 28-30 (2017). (査読無)
- [3] S. Nagaoka, Y. Bandoh, U. Nagashima, K. Ohara, "Correlation among Singlet-Oxygen Quenching, Free-Radical Scavenging, and Excited-State Intramolecular-Proton-Transfer Activities in Hydroxyflavones, Anthocyanidins, and 1-Hydroxyanthraquinones", *The Journal of Physical Chemistry A*, Vol. 121(42), 8069-8079 (2017). (査読有)
DOI: 10.1021/acs.jpca.7b07869
- [4] R. Yamamoto, T. Yamamoto, K. Ohara, T. Naito, "Dye-Sensitized Molecular Charge Transfer Complexes: Magnetic and Conduction Properties in the Photoexcited States of Ni(dmit)(2) Salts Containing Photosensitive Dyes", *Magnetochemistry*, Vol. 3(2), 20; (16 pages) (2017). (査読有)
DOI:10.3390/magnetochemistry3020020
- [5] H. Noma, K. Ohara, T. Naito, "Direct Control of Spin Distribution and Anisotropy in Cu-Dithiolene Complex Anions by Light", *Inorganics*, Vol. 4(2), 7; (21pages) (2016). (査読有)
DOI: 10.3390/inorganics4020007
- [6] T. Okujima, C. Ando, S. Agrawal, H. Matsumoto, S. Mori, K. Ohara, I. Hisaki, T. Nakae, M. Takase, H. Uno, and N. Kobayashi, "Template Synthesis of Decaphyrin without Meso-Bridges: Cyclo[10]pyrrole", *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 138(24), 7540-7543 (2016). (査読有)
DOI: 10.1021/jacs.6b04941

- [7] 長岡伸一, 小原敬士, 「アロエ含有物による UV ケアの研究 - 紫外線防御と一重項酸素消去作用」, フレグランスジャーナル, Vol. 43 (6), 67-72 (2015). (査読有)
- [8] S. Nagaoka, H. Endo, K. Ohara, and U. Nagashima, “Correlation Between Excited-State Intramolecular Proton-Transfer and Singlet-Oxygen Quenching Activities in 1-(Acylamino)anthraquinones”, The Journal of Physical Chemistry B, Vol. 119, 2525-2532 (2015). (査読有)
DOI: 10.1021/jp508355k
- [9] T. Okujima, Y. Shida, K. Ohara, Y. Tomimori, M. Nishioka, S. Mori, T. Nakae, H. Uno, “Synthesis of NIR-emitting O-chelated BODIPYs Fused with Benzene and Acenaphthylene”, J. Porphyrins Phthalocyanines, Vol. 18, 752-761 (2014). (査読有)
DOI: 10.1142/S1088424614500503

[学会発表](計 14 件, うち招待講演 2 件, 国際学会 2 件)

増田有作, 奥島鉄雄, 小原敬士, 「活性酸素を検出する新規蛍光プローブの合成」, 2018 年日本化学会中国四国支部大会, 2018 年 11 月 17 - 18 日 (松山)

金井良介, 山本貴, 小原敬士, 内藤俊雄, 「光照射による(DMe-DCNQI)₂Cu の電荷移動制御」, 2016 年日本化学会中国四国支部大会, 2016 年 11 月 5 - 6 日 (高松)

小原敬士, 古信裕, 尾下愛美, 長岡伸一, 「シコニン・ヒドロキシナフトキノンの一重項酸素消去活性と励起状態分子内水素移動」, 2016 年日本化学会中国四国支部大会, 2016 年 11 月 5 - 6 日 (高松)

長岡伸一, 高橋京香, 中村明日香, 小原敬士, 向井和男, 「ビタミン E の一重項酸素消去速度に及ぼす金属塩の効果」, 第 27 回ビタミン E 研究会, 2016 年 1 月 8 日 (高松)

小原敬士, 北平有望, 長岡伸一, 「近赤外発光スポット検出によるゲル中成分の一重項酸素消去活性計測」, 2015 年日本化学会中国四国支部大会, 2015 年 11 月 14-15 日 (岡山)

野間博貴, 小原敬士, 山本貴, 内藤俊雄, 「光照射下の銅(II)ジチオレン錯体塩の磁性・伝導性」, 2015 年日本化学会中国四国支部大会, 2015 年 11 月 14 - 15 日 (岡山)

S. Nagaoka, and K. Ohara, “Nodal-plane model in photochemistry”. 27th International Conference on Photochemistry (June 28 – July 3, 2015, Jeju Island, Korea). (招待講演)

長山直樹, 小原敬士, 山本貴, 内藤俊雄, 「高い光伝導を示す NMQ[Ni(dmit)₂]の伝導機構に関する研究」, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 26 - 29 日 (船橋)

野間博貴, 小原敬士, 山本貴, 内藤俊雄, 「光照射によって不対電子の局在性が変わる銅(II)ジチオレン錯体塩の電気・磁気挙動」, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 26 - 29 日 (船橋)

長山直樹, 小原敬士, 山本貴, 内藤俊雄, 「Ni-dmit 錯体の高い光伝導の光応答機構」, 第 8 回分子科学討論会 2014, 2014 年 9 月 21 - 24 日 (東広島)

野間博貴, 小原敬士, 山本貴, 内藤俊雄, 「銅(II)ジチオレン錯体が持つ不対電子の電気・磁気挙動」, 第 8 回分子科学討論会 2014, 2014 年 9 月 21 - 24 日 (東広島)

小原敬士, 平岡奈保子, 長岡伸一, 「シクロデキストリンで水溶化した香辛料成分カプサイシンの一重項酸素消去活性」, 第 67 回日本酸化ストレス学会学術集会, 2014 年 9 月 4 - 5 日 (京都)

小原敬士, 「近赤外発光寿命計測を基盤とする食品・飲料の抗酸化力評価法の開発と応用」, 第 67 回日本酸化ストレス学会学術集会, 2014 年 9 月 4 - 5 日 (京都)

S. Nagaoka, H. Endo, and K. Ohara, “Correlation between excited-state intramolecular proton-transfer and singlet-oxygen quenching activity in intramolecularly hydrogen-bonded anthraquinone derivatives”. 248th American Chemical Society National Meeting & Exposition (August 10-14, 2014, San Francisco). (招待講演)

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、研究者個人に帰属されます。