

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H01184

研究課題名（和文）光化学量子磁気コンパスの3次元可視化

研究課題名（英文）3 dimensional imaging of photochemical quantum magnetic compasses.

研究代表者

前田 公憲 (Maeda, Kiminori)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：70229300

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,300,000円

研究成果の概要（和文）：渡り鳥等のコンパスのもととなるタンパク質中での小さな磁場領域における磁場効果の多角的かつ多角的な計測が可能で、新しい時間分解測定法を開発し、それを用いた計測から低磁場効果の根源となるスピンドYNAMICSに関する新しい知見を得た。同時に磁気コンパスの可能性を持つタンパク質系の合成に成功し、その磁場効果測定にチャレンジした。さらにパルス磁場を用いた測定から、低磁場効果の原因と思われる、スピン系のコヒーレントなダイナミクスにアクセスする方法論を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は現在動物行動学から量子物理学までの広い領域において、最も注目されている動物の磁気感受の問題に量子物理化学的な立場から迫る研究であり、現在立ち上がりつつある高領域の科学である量子生物学、量子生命科学の根幹となる研究の一つである。鳥のコンパスの完全な解明には至らないが、これらのコンセプトが生体分子において存在していることを明らかにした。本研究は、きわめて素朴な疑問として、生物学に存在する。生物がどのように量子力学的なコンセプトを利用しているかという問題に直接的に迫るものである。特に、スピンドYNAMICSのコヒーレントな側面について明らかにしつつあり、大きな学術的な意義が存在する。

研究成果の概要（英文）：We have developed a new time-resolved measurement method that enables multidimensional and multi-faceted measurement of magnetic field effects in a small magnetic field region in proteins, which are the basis of compasses for migratory birds, and obtained new insights into spin dynamics, the source of low magnetic field effects, from measurements using the method. At the same time, we succeeded in synthesizing a protein system that has the potential to be a magnetic compass, and challenged the measurement of its magnetic field effects. Furthermore, we have developed a methodology to access the coherent dynamics of spin systems, which is thought to be the cause of low magnetic field effects, from measurements using pulsed magnetic fields.

研究分野：量子生物物理化学

キーワード：量子 スピン ラジカル対 磁場効果 渡り鳥 磁気感受 磁場 化学反応

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在多数の動物の磁気感受のメカニズムとして、ラジカル対(電子ホール対)の過渡的スピン間相関のダイナミクスとそれともなうスピン選択的の化学反応が言われている。さらに、ラジカル対の初期条件やスピン相関の選択性が、2つの電子スピンのエンタングルメントを指していることから、物理学的な立場からの、これらの現象のより詳細な観測や制御、そして量子力学的な理解が求められており、「量子バイオロジ」の対象の1つとしての議論が進んでいる。

これまで、研究代表者・前田らが研究対象としてきたラジカル対の化学反応の例と一般的なスキームを Figure 1 に示す。ラジカル対は主に光励起状態より生成する。その際、励起状態のスピン状態は初期過程で生成するラジカル対の初期状態として保存される。つまり、一重項励起状態からは Singlet ラジカル対がその初期条件として生成する。ラジカル対を構成する2つの電子スピンは、2つの電子スピンそれぞれの環境の異なり(小さな磁場中では、主に核スピンとの超微細結合の違い)によってコヒーレントな運動として時間発展する。その結果 Singlet ラジカル対は Triplet 性を持ち始める。このスピン系の運動が地磁気レベルの磁場により変化し、しかもそれが磁場の向きによる異方性を示すことから、ラジカル対系がコンパスとしての性質をもちうる。このような光化学分子システムの、磁気感受は動物の磁気応答のみならず、極めて高度な量子力学的な原理(例えばスピン系のコヒーレンスやエンタングルメント)に基づく、磁気応答デバイスの生成や量子情報処理や演算の基本となるものである。

生物の磁気コンパス効果について Ritz らはクリプトクロム(Figure 1)を候補分子と位置づけ、この反応が視覚にパターンとして観測されるというモデルを提案している。この提案は画期的であるが、生体分子においてもモデル分子においても、この提案が現実に起こっていることを直接示した例は無い。しかし、研究代表者・前田らは Figure 1 に示すような、クリプトクロム分子とそのモデルとして用いられる人工光3元系において、地磁気レベルの磁場効果、数ミリテスラにおける磁場効果の異方性を観測し、いわゆる原理の検証に成功している

(K. Maeda et al. *Proc. Nat. Acad. of Sci. USA* **109** (13), 4774-4779 (2012), K. Maeda et al. *Nature*, **453**,387(2008))。しかし異方性の3次元可視化という立場からスピンシステムを最適化して、化学コンパスの存在に完全に迫った例は存在しない。そのため、低い磁場を感じる条件の議論と、異方的な応答を示すコンパスとしての機能に対する最適化の議論とが混在しており、評価基準の混迷や机上の空論の先行など、議論の複雑化を招いている。

### 2. 研究の目的

本研究は、これまで提案され多数の実験からその可能性が示されてきた、ラジカル対系による3次元的なコンパスの存在を、完全に明らかにするため、以下の3つにチャレンジする。

1)人工分子系における地磁気レベルの磁場における、磁場効果の3次元異方性の存在の明確化。

2)クリプトクロムを最終ターゲットとした、生体分子系における磁場効果の異方性の初観測。地磁気レベルでの観測による、完全な動物磁気コンパスの存在の実証。

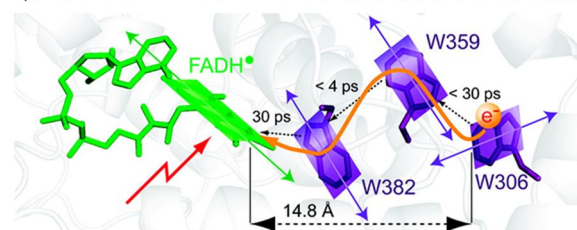
3)3次元的な磁気応答の異方性測定により、これまでいくつも報告された理論的なモデルの検証。特に電子核スピンシステムにおける、コヒーレントなスピンダイナミクスとスピンエンタングルメントの時間発展についての時間分解観測。

これらのチャレンジは、これまでの研究代表者・前田の研究の延長上にあり、集大成ともなりうるチャレンジであるが、このような物理化学的な立場からの研究は他に例を見ない。これまで、研究代表者・前田らと所属していたオックスフォードのグループがおこなってきているが、オックスフォードのグループは異なった方向性である顕微鏡型の測定や、より高速での分光法を用いた異なる生体分子系の観測にシフトしており、サンプルをいたわり高感度3次元測定にこだわる、研究代表者のコンセプトとは大きく異なる。

### 3. 研究の方法

このような目的のために、生体分子やそのモデルにおける3次元的な磁気応答の可視化が、この問題の解決に向けて極めて重要であるが、

A)クリプトクロムのクロモファにおけるラジカル対の形成



B) Carotenoid-Porphyrin-Fullerene (CPF)三元系

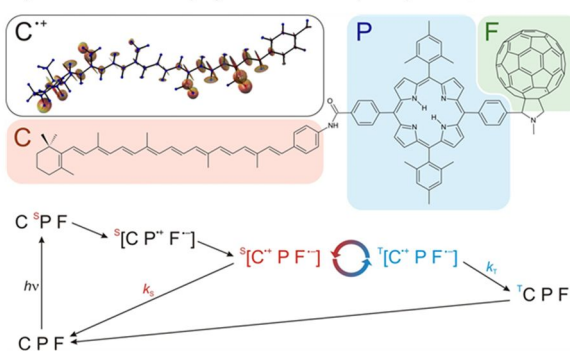


Figure 1: A) 動物の磁気感受の候補であるクリプトクロムのクロモファ部分。フラビン補酵素の励起により、近くのトリプトファン3つの連続的な電子移動(ホール移動)により空間的に離れたラジカル対生成する。B) 動物の磁気感受のモデル人工分子、CPF三元系とその反応スキーム。

そのために以下のような実験条件の向上克服が必要である。

- a) 測定感度の向上, 励起光の強度の制限があるため, 極めて小さな光に対しての時間分解測定.
- b) 測定の安定性.
- c) 磁場に対する異方性の高感度観測.
- d) 分子システムの配向

これらの問題を我々は次の様に解決する.

- a) 生体分子やモデルシステムを測定する場合, 従来の過渡吸収法は励起光やプローブ光が強すぎる事がこれまでのクリプトクロム測定から考えられている. なぜなら, 光励起により生成する Signaling State はミリ秒以上の寿命を持つため, 強い光や高い繰り返しの励起光照射が, 連続的な光反応プロセスを引き起こし, 目的の反応プロセスを見失う可能性が高い. その為, 一般的な高繰り返しレーザを用いたパンププローブ分光法は, 間違った結論を導きやすく, 全く適していない. 本研究の目的に合致した, サンプルをいたわる新しいタイプの時間分解分光法を自ら開発していく必要がある. 研究代表者・前田らはすでに, このような目的に合致した, 新しいタイプの時間分解分光法いくつも開発して, クリプトクロム類などを用いて評価してきた. それらにより 1) の問題は, 経験的には克服している. その中でも, キャビティリングダウン, キャビティ増強分光法は, 生体分子や薄膜系に適用することにより, これまで測定する事が困難であった分子系での  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  オーダーの過渡吸収を 1-10 回の測定で正確に観測する事が出来る. (K. Maeda et al. JACS 133(44), 17807(2011).)
- b) 励起光の強度のフラツキを徹底的に排除する事は, 異方性や磁場強度依存性を測定する上で実は最も重要な要素である. ショットごとの安定性が無ければ, 極低磁場での小さな吸光度変化やその異方性を正確に測定する事は出来ない. 近年, 挑戦的萌芽研究 15K13547 において, 研究代表者・前田は従来の励起のフラッシュランプ型パルス YAG レーザより約 10 倍の安定性を持つ, ダイオードパンプ型 YAG レーザを購入し, これらにより磁場効果測定 of 揺らぎが理論通り従来の 1/10 程度となる事を明らかにした. この事は理論的に, 測定時間, 励起光強度, 光照射量, すべてを約 1/100 と出来ることを意味しており, a) と組み合わせることにより大きな飛躍が可能である.
- c) 測定時の磁場の印加を, 強度, 向きにおいて完全に 3 次元的にコンピュータコントロールする必要がある. 本研究において, 高精度かつ高速のカレントパルサーを導入することにより, 磁場方向に対する応答を観測する.
- d) ラジカル対系の 3 次元的な異方性の測定は, これまで研究代表者・前田らによる研究例しか存在しないが, そこでは人工分子系を用いて, 液晶を用いるか光の偏光を用いて分子配向を選択的に測定してきた. 本研究ではこれらの流れを飛躍的に進める必要があり, 膜の中に分子系を埋め込むことにより, 3 次元測定を可能にする. この測定は上で述べたキャビティ分光法による高感度測定との組み合わせが必要不可欠であり, これまで研究代表者・前田が経験した方法論をすべて組み合わせることではしか実現しえない.

これらの分光測定法とサンプル系の改良により, これまで測定が困難であった分子系の磁気感受応答の 3 次元観測が可能となるが, この測定対象は膜に埋め込まれた生体分子系など, 吸光度変化が小さく, サンプル劣化の激しい系や, 人工分子系や有機太陽電池などの電子ホール系の磁気応答測定においても有効であり, 新しい革新的な分子磁気感受測定法への展開にもつながっている.

#### 4. 研究成果

1) 研究の方法で述べた実験条件の向上克服の a), b) を達成するために, 新たな過渡吸収分光法である, SuperCRDS 法を開発することに成功した, この方法は, 研究代表者・前田の頭の中にはあったアイデアであったが, 本研究の方法の a) で提案されたパンププローブ型 CRDS 法の次のステップのものである. これは本科研費応募の際には考えられていなかったもので, 研究の方法においては記述が無いが, 偶然開発に成功した. その概要は, Figure2 に示す. 従来のパルスレーザによるキャビティリングダウンと異なり, パルストレインの連続的なレーザをほぼ 4MHz (250 ns 間隔) で照射し, その結果現れるキャビティリングダウン信号を連続して測定することにより, サブマイクロ秒の時間分解能でミリ秒オーダーまでの過渡吸収信号を, 一発の励起光により得ることが出来る. 若干のデータの積算が必要ではあるが, きわめて少ない励起により, 過渡吸収信号を高感度かつ, 高分解能で得ることが出来るために, 生体分子等の磁場効果測定に極めて適している. この成果は特許として出願済みである. これらを進めて, 膜中のラジカル対を観測するためのエバネッセント光を用いた測定法の構築を進めている.

さらに, Super CRDS 法が開発されたために, OPO レーザをフラビン類の励起に利用する事が可能となり, クリプトクロム類の磁場効果を極力非破壊的に測定する事が可能となった. これまで, フラビン類の過渡吸収測定において, 355 nm の強い YAG レーザの三倍波が用いられてきたが, これらがサンプルの劣化を招くことは知られている. この手法により弱い 450 nm での励起が可能となり, クリプトクロムでの測定が現実のものとなった.

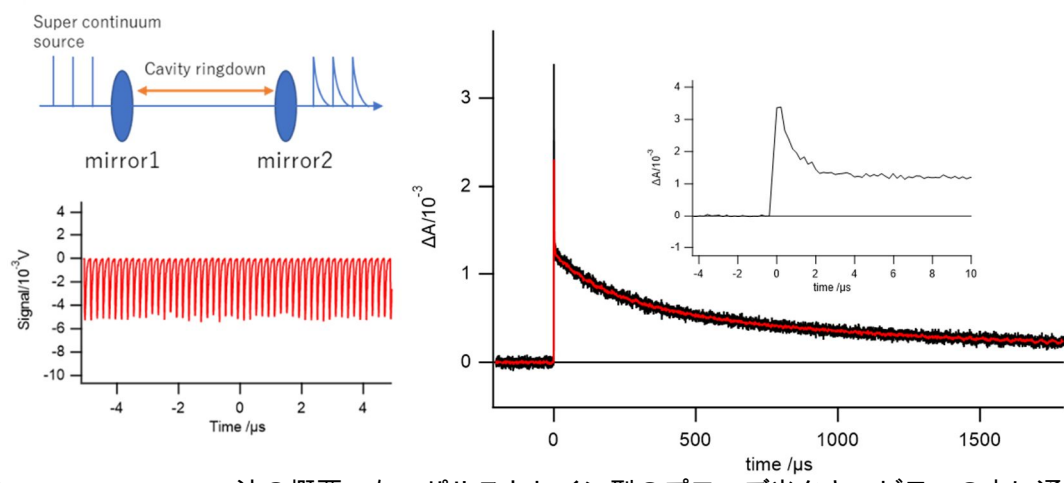


Figure 2: Super CRDS 法の概要 左：パルスレイン型のプローブ光をキャビティの中に通すことによりサンプルとの相互作用を増幅させる．得られた過渡吸収信号の例， $10^{-4}$  のオーダーの過渡吸収信号が数十発の励起光により簡単に得られる．また，プローブ光の揺らぎの影響を受けないために，信号が安定に測定可能である．

2) クリプトクロム以外のタンパク質系においても磁場効果測定に成功した．牛血清アルブミンとアントラキノン誘導体をバインドさせ，光励起により精製したラジカル対において，特徴的なダイナミクスの存在を明らかにした．同時に本プロジェクトにより得られた超高精度な磁場効果測定装置により，きわめて小さいがクリアな低磁場効果の存在を確認した．これはタンパク質中で初めて観測された，クリアな低磁場効果である．さらに，本ラジカル対系はタンパク質中のバインディングポケット中の得意なダイナミクスを反映しており，きわめて重要な成果である．本研究成果は分子動力学計算結果と合わせて報告する．(Dynamics of radical pairs in the binding pocket of Bovine Serum Al-bumin probed by static and pulsed magnetic field effects. Nana Iwata<sup>‡</sup>, Lewis M Antill<sup>‡</sup>, Sota Fukumoto, Hiroki Nagashima, Kiminori Maeda in preparation)

3) 高感度の磁場効果測定法と並行して，パルス磁場を用いたラジカル対の解析法を発展させた．パルス磁場もしくは磁場スイッチングを用いたラジカル対の解析は，ラジカル対の寿命を求める方法として，きわめて有効であり，それらについても報告した．(Kiminori Maeda, Yusuke Naito Mol. Phys. DOI:10.1080/00268976. 2019. 1580779)

さらに低磁場効果と呼ばれる磁場効果の解析法の，新たな次元として，磁場スイッチング法による低磁場効果の解析法を新たに開発した．低磁場を感受するメカニズムの考察についても，本研究質のユニークな手法であるナノ秒パルススイッチング法等を用いることにより，新しい観点からの解明が進んでいる．ラジカル対のスピンダイナミクスはコヒーレントなものデコヒーレンスした状態でのインコヒーレントなものとの存在が予想されるが，一見同様の低磁場効果を示す系においても，異なる機構が混在していることが考えられる．我々のナノ秒パルススイッチング法を低磁場領域において活用することにより，これまで識別が困難であったいくつかの機構を識別できそうである．本結果は理論計算と組み合わせ近々発表する．

4) スーパーキャビティ分光装置を用いて，鳩のクリプトクロム 4 の高感度過渡吸収測定を行った． $10^{-3}$  オーダの過渡吸収を 1 ~ 2 発のレーザー励起により測定可能であることが分かった．しかし，それでも反応したサンプルの再酸化プロセスに，予想以上の時間を要する事が明らかとなり，磁場効果の測定においてはいくつかのプレリミナリなデータは得られたが，それらの完全な検証には至らなかった．

磁場効果測定のための条件の確立のために，過渡吸収測定の下における酸化剤，還元剤添加によ

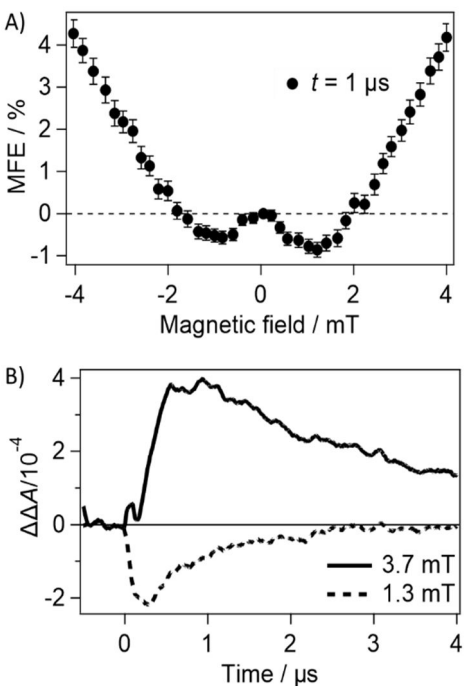


Figure 3:A). 低磁場領域 -4 mT ~ 4 mT で観測された MARY スペクトル。 B). 異なる磁場における MFE の時間プロファイル。



る光サイクルへの影響を調べた。過渡吸収測定において、還元剤による完全還元体へ返還のプロセスはミリ秒の時間スケールで速やかに起こることを確認した。その後、一方で酸化剤の影響については、サンプル調製の手違い等があり、明確な結果を得るに至らなかった。しかし国外のグループでの測定結果等から考えて、再酸化が起きていることが予想される。

5) 残念ながら、最終年においてチャレンジする予定であった、磁場効果の異方性へのチャレンジはサンプルの配向や、サンプルの回転を抑える手法等の問題の完全な克服にいたらず、成し遂げることが出来なかったが、そのための様々な準備はできたと考えている。エバネッセント光による CRDS や、偏光を用いた CRDS、低温下で分子回転を抑える方法についての考察などが着々と進んでおり、本研究終了後に続けていくことが可能である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 前田公憲、立野明宏	4. 巻 61
2. 論文標題 渡り鳥の光化学コンパス—生物と量子力学と制御	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 25-30
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 Harada Nanshi, Matsuo Taisuke, Yago Tomoaki, Maeda Kiminori, Wakasa Masanobu	4. 巻 773
2. 論文標題 Low magnetic field effects on a photoinduced electron transfer reaction in an ionic liquid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 138569 ~ 138569
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cplett.2021.138569	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 前田公憲	4. 巻 49
2. 論文標題 量子スピンドYNAMICSと動物の磁気感受	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 光学	6. 最初と最後の頁 324 ~ 330
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 無
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 Masuzawa Kenta, Sato Masaya, Sugawara Michihiko, Maeda Kiminori	4. 巻 152
2. 論文標題 Quantum control of radical pair reactions by local optimization theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 014301 ~ 014301
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5131557	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 Ikeya Noboru, Nasibulov Egor A., Ivanov Konstantin L., Maeda Kiminori, Woodward Jonathan R.	4. 巻 117
2. 論文標題 Single-molecule spectroscopy of radical pairs, a theoretical treatment and experimental considerations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Physics	6. 最初と最後の頁 2604-2617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00268976.2018.1559954	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 Miura Tomoaki, Maeda Kiminori, Oka Yoshimi, Ikoma Tadaaki	4. 巻 122
2. 論文標題 Gigantic Magnetic Field Effect on the Long-Lived Intermolecular Charge-Separated State Created at the Nonionic Bilayer Membrane	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 12173 ~ 12183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b08389	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 Maeda Kiminori, Naito Yusuke	4. 巻 117
2. 論文標題 Dynamics of flavin containing radical pairs in SDS micellar media probed by static and pulse magnetic field effect and pulse ADMR	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Physics	6. 最初と最後の頁 2709-2718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00268976.2019.1580779	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50件 (うち招待講演 23件 / うち国際学会 30件)

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Reaction Dynamics Stimulated by Static and Oscillating Magnetic Fields
3. 学会等名 MolMag-2021, Joint conference of IX International conference "HIGH-SPIN MOLECULES AND MOLECULAR MAGNETS", XIV Russian-Japanese workshop "OPEN SHELL COMPOUNDS AND MOLECULAR SPIN DEVICES" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizuki Kohmura, Kiminori Maeda, Lewis M Antill
2. 発表標題 Development of high-sensitivity fluorescence-based microspectroscopy for exploring magnetic field effects in biological systems
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Harutaka Sano, Hiroki Nagashima, Akihiro Tateno, Lewis M Antill, Kiminori Maeda
2. 発表標題 Development of an ultra-compact cell for RYDMR
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryohei Yamaga, Kiminori Maeda
2. 発表標題 Transient Absorption Measurement by Cavity Ringdown Method and Observation of Magnetic Field Effect
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sota Fukumoto, Nana Iwata, Lewis Antill, Kiminori Maeda
2. 発表標題 Temperature dependence of radical pair dynamics in the binding pocket of bovine serum albumin
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Akihiro Tateno, Kenta Masuzawa, Hiroki Nagashima, Michihiko Sugawara, Kiminori Maeda
2. 発表標題 Coherent Control of Radical Pair Dynamics in Low and High Field Regime
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuhei Arai, Hiroki Nagashima, Lewis M Antill, Kiminori Maeda
2. 発表標題 Analysis of the three-dimensional structure formed by BSA with a ligand
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ren Sakaguchi, Kiminori Maeda, Tomoaki Yago, Masanobu Wakasa
2. 発表標題 Low field effects on the yield of benzophenone anion radical generated by photoinduced reaction in an ionic liquid
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lewis M Antill, Mizuki Kohmura, Kiminori Maeda
2. 発表標題 Investigating protein-ligand complexes with magnetic field effect-based fluorescence fluctuation spectroscopy
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kiminori Maeda, Kenta Masuzawa, Akihiro Tateno, Hiroki Nagashima, Michihiko Sugawara
2. 発表標題 Anisotropic Radical Pair Reaction stimulated by AWG-based Electron Spin Resonance
3. 学会等名 ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST2021合同国際会議 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Magnetoreception and magnetic resonance techniques on radical pair reactions
3. 学会等名 Intercontinental Magnetic Resonance Conference on Methods and Applications ICONS3 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 アンデルルス、香村泉希、深井歩実、前田公憲
2. 発表標題 Exploring magnetic field effects in biomolecules with high-sensitivity fluorescence spectroscopy
3. 学会等名 第3回量子生命科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松尾太亮、岩田菜々、長嶋宏樹、矢後友暁、前田公憲
2. 発表標題 ラジカル対の低磁場効果測定とメカニズム
3. 学会等名 第3回量子生命科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香村泉希, 前田公憲, アンテルルイス
2. 発表標題 磁場効果に対するフローレイトの影響の研究
3. 学会等名 第3回量子生命科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Pulse and AWG-based RF magnetic field effects on chemical reaction kinetics
3. 学会等名 Modern Development of Magnetic Resonance 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Masuzawa, A. Tateno, H. Nagashima, M. Sugawara, K. Maeda
2. 発表標題 Quantum control of radical pair reactions by arbitrary wave generator
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田公憲
2. 発表標題 ラジカル対機構による生体分子システムの磁気感受
3. 学会等名 日本生化学会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田公憲
2. 発表標題 ラジカル対を観測するためのスピン操作と時間分解計測
3. 学会等名 第24回 “光” 機到来! Qコロキウム (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Masuzawa, A. Tateno, H. Nagashima, M. Sugawara, K. Maeda.
2. 発表標題 Anisotropic reaction control of radical pairs based on the local optimization theory
3. 学会等名 VI International School for Young Scientists 2020 “Magnetic Resonance and Magnetic Phenomena in Chemical and Biological Physics” (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taichi Sato, Akihiro Sakashita, Lewis M. Antill, Kiminori Maeda
2. 発表標題 Measurement of the quenching kinetics of FAD by biomolecules studied by magnetic field switching experiments
3. 学会等名 VI International School for Young Scientists 2020 “Magnetic Resonance and Magnetic Phenomena in Chemical and Biological Physics” (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Electron spin polarization and magnetic field effect caused by radical pair formation
3. 学会等名 VI International School for Young Scientists 2020 “Magnetic Resonance and Magnetic Phenomena in Chemical and Biological Physics” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩田 菜々, アンテル ルイス, 前田 公憲
2. 発表標題 磁場効果から見たタンパク質バインディングポケット中でのラジカル対挙動
3. 学会等名 生物物理学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 アンテル ルイス, 坂田 一郎, 畠山 晋, 前田 公憲
2. 発表標題 クリプトクロムタンパク質の光誘起構造変化ダイナミクス
3. 学会等名 生物物理学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増澤健太, 立野明宏, 長嶋宏樹, 菅原道彦, 前田公憲
2. 発表標題 AWGを用いたラジカル対の反応異方性制御
3. 学会等名 第59回電子スピンサイエンス学会 (SEST2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤太一, Lewis M. Antill, 前田公憲
2. 発表標題 磁場スイッチ法によるFADにおける三重項・ピラジカル疑似平衡状態のクエンチング反応測定
3. 学会等名 第59回電子スピンサイエンス学会 (SEST2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立野明宏, 増澤健太, 菅原道彦, 前田公憲
2. 発表標題 ラジカル対のコヒーレントコントロール
3. 学会等名 第59回電子スピンサイエンス学会 (SEST2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山家遼平, 前田公憲
2. 発表標題 キャビティリングダウン法による過渡吸収測定と磁場効果の観測
3. 学会等名 第59回電子スピンサイエンス学会 (SEST2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 立野明宏, 増澤健太, 菅原道彦, 前田公憲
2. 発表標題 ラジカル対のコヒーレントコントロール
3. 学会等名 CSJフェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Masuzawa, A. Taten, H. Nagashima, M. Sugawara, K. Maeda
2. 発表標題 Quantum Control of Radical Pair Reaction by AWG-based Electron Spin Resonance
3. 学会等名 3rd The International Forum on Quantum Metrology & Sensing (IFQMS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増澤 健太, 立野 明宏, 長嶋 宏樹, 前田 公憲
2. 発表標題 磁気感受に対するラジオ波の効果と電子スピン共鳴
3. 学会等名 第2回量子生命科学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Antill Lewis M.、竹見 祥大、坂田 一郎、畠山 晋、前田 公憲
2. 発表標題 Understanding the photoinduced structural dynamics of cryptochrome proteins
3. 学会等名 第2回量子生命科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Radical pair dynamics in binding pockets of proteins and the origin of the low field magnetoreceptions.
3. 学会等名 Big Quantum Biology Meeting, 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nana Iwata, Lewis M. Antill and Kiminori Maeda
2. 発表標題 Magnetosensitive radical pair dynamics in protein.
3. 学会等名 RIKEN CEMS Topical Meeting Online
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 前田公憲
2. 発表標題 タンパク質系の光磁気感受
3. 学会等名 量子生命科学会 第1回大会 (量子生命科学研究会 第3回学術集会) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Reaction control by optimized radio-frequency magnetic field
3. 学会等名 The 6th Awaji International Workshop on "Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Chemically induced hyperpolarization of electron spins
3. 学会等名 16th International Symposium on Spin and Magnetic Field Effects in Chemistry and Related Phenomena (Spin Chemistry Meeting 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Probing and controlling transient radical pairs by static and AWG based RF fields in low field regime
3. 学会等名 16th International Symposium on Spin and Magnetic Field Effects in Chemistry and Related Phenomena (Spin Chemistry Meeting 2019) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増澤 健太, 佐藤将也, 菅原道彦, 前田公憲
2. 発表標題 任意波形発生装置を用いるラジカル対の化学反応制御
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Quantum-mechanical effects on the reaction dynamics of radical pairs in biomolecular systems
3. 学会等名 化学系学協会東北大会/Joint Meeting of the Tohoku Area Chemistry Societies (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾 太亮, 前田公憲
2. 発表標題 磁場スイッチング実験による低磁場効果の解析
3. 学会等名 第58回電子スピンスイエンズ学会年会 (SEST2019), 第58回NMR討論会との連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩田 菜々, 前田公憲
2. 発表標題 バインディングポケット内部で生成するラジカル対のダイナミクス
3. 学会等名 第58回電子スピンスイエンズ学会年会 (SEST2019), 第58回NMR討論会との連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Radical Pairs in Proteins
3. 学会等名 第58回電子スピンスイェンス学会年会 (SEST2019), 第58回NMR討論会との連合大会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Radical pairs confined in the binding pockets of BSA proteins
3. 学会等名 the 13th Japanese-Russian Workshop on "Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Magnetic Field Switching technique exploring the LFE
3. 学会等名 5th Kanto Spin Chemistry Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taichi Sato
2. 発表標題 Quenching mechanism of FAD by biomolecules studied by magnetic field switching technique
3. 学会等名 5th Kanto Spin Chemistry Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiminori Maeda, Yusuke Naito, Masaya Sato, Nana Iwata, Taisuke Matsuo.
2. 発表標題 Probing and controlling transient radical pairs by time resolved pulse magnetic field and magnetic resonance effects on reaction yield.
3. 学会等名 International-Conference on Coordination Chemistry (ICCC2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiminori Maeda, Nana Iwata, Masaya Sato
2. 発表標題 The pulse magnetic field and radio-wave effect on the radical pair dynamics in biologically related systems
3. 学会等名 III International Conference "Spin physics, spin chemistry and spin technology" (SPCT-2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Probing and controlling transient radical pairs by pulse magnetic field and RF field in low field regime
3. 学会等名 Third Joint Conference of APES and IES Symposium 2018. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内藤祐輔、佐藤将也、増澤健太、菅原道彦、○前田公憲
2. 発表標題 時間分解反応収量検出EPR法の進歩，実験と理論
3. 学会等名 第57回電子スピンサイエンス学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiminori Maeda
2. 発表標題 Reaction control of radical pairs by optimized radiowave field”
3. 学会等名 The 6th OCU International WS on Quantum Chemistry/Quantum Chemical Calculations on Quantum Computers: Quantum Algorithms (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 過渡吸収測定装置、および、測定方法	発明者 前田公憲	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2022-007803	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------