

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03012

研究課題名(和文) NMRパラダイムESR分光手法を用いた量子制御

研究課題名(英文) Quantum Control based on NMR Paradigm ESR Methodology

研究代表者

佐藤 和信 (Sato, Kazunobu)

大阪市立大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：90264796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,200,000円

研究成果の概要(和文)：分子スピン系を用いる量子情報処理・量子コンピュータの開発を目的として、マイクロ波パルス技術によるスピン量子ビット制御とモデル分子の探索を行った。任意波形信号発生器を導入することにより、任意波形マイクロ波によるパルスESR分光技術を確立し、選択的な断熱スピン反転や量子状態制御が可能であることを示した。また、マイクロ波パルス強度と同程度のスピン間相互作用をもつ有機ビラジカル/トリラジカルに任意波形パルス技術を適用し、スピン量子状態の評価を通じて分子スピン量子ビットモデルとして有効であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ESR分光学に新しいマイクロ波パルス技術を導入したもので、ESRの信号応答を自由に制御可能であることを明確に示した。これは、核スピンに対して用いられるNMRパルス技術を高周波マイクロ波に展開し、電子スピン状態の高周波制御を実現したものである。パルス技術のESR応用は、分子スピン系の基本的な量子状態制御技術の実装であり、量子コンピュータにおける量子演算の実現に役立つ基幹技術として役立つことが期待される。パルス技術の新規ビラジカルやトリラジカル等の分子スピン系への応用により、分子スピン量子ビットを活用する量子情報処理の可能性が広がり、情報社会の発展に寄与する所は大きい。

研究成果の概要(英文)：Quantum spin technology based on arbitrary waveform microwave pulses has been developed, having been applied to molecular spin systems, in which multi-electron spins are weakly coupled, in order to control the spin states. As models for the coupled spin systems, g-engineered biradical that consist of trityl and nitroxide moieties have been developed. The magnetic properties were characterized by multifrequency CW-ESR spectroscopy and quantum chemical calculations. The g-engineered biradicals have also been tested as a prototype for Arbitrary Wave Generator (AWG)-based spin manipulation techniques for use in molecular spin quantum computers, demonstrating efficient signal enhancement of specific weakened hyperfine signals as the quantum spin manipulation technique. We have considered the extension of the molecular spin systems to asymmetric triradical systems, having characterized those electronic and molecular structures.

研究分野：物理化学

キーワード：パルス磁気共鳴 量子制御 電子状態 NMRパラダイムESR 任意波形パルス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

量子コンピュータの開発や量子情報通信を含む量子情報科学は、理論的側面から今日のコンピュータを凌ぐ情報処理能力に次世代の基盤技術として注目を集めている。量子コンピュータ (QC と略す) の概念・基礎理論は確立してきたが、実験的な側面から理論を検証し、実在系で量子コンピュータを実現するための研究が盛んになってきた。量子コンピュータに関する量子物理学の研究は、光子を利用するレーザー物理のほか、半導体研究の流れをくむ量子ドット・超伝導量子ビットなど、物理学者を中心に展開されてきている。一方、分子の最適化に基づく多様な電子状態の設計が可能である分子スピン系は、分子磁性研究の発展的研究対象として物質科学者・化学者の視点を含むものであり、外部電磁場などにより人為的に制御可能なスピン系の構築とその量子状態制御の実現に大きな利点をもつものである。スピンの性質を利用する QC の開発研究では、核磁気共鳴(NMR)による核スピン量子状態制御と量子演算の研究が国内外で行われてきた。一方で、分子内の電子スピンを利用する研究では、ドイツのグループと我々のグループが先行してきたが、英国のグループも金属イオンを含む分子スピン系に着目して分子スピン系の量子状態研究を始めつつある。特に、近年、剛直なホイール型の金属錯体が非常に長い緩和時間を持つことを示し、量子情報を担う量子ビットとして金属錯体の有用性を示している。分子磁性体を量子ビットとしてとらえ、QCへ応用するという方向性が出始めてきたが、その多くは長いスピンコヒーレンス時間をもつ分子スピン系の探索で、スピン操作・制御に取り組む研究は限られており技術革新の必要性が増している。そのような中で、我々は現実に制御可能な弱相互作用分子スピン系に着目し、分子スピン制御要素技術の確立を目指している。電子、或いは核スピンを活用できる分子スピン構造を設計し、新しい量子機能性分子を構成することによる量子情報処理技術の研究は、スピン量子コンピュータの実用モデル開発に向け国際的な競争が激しく、画期的なブレークスルーが期待されている。

分子スピン系を QC に適用するためには、これまで分子磁性研究で看過されてきた、弱交換相互作用系の電子状態研究、及び多スピン間相互作用を直接扱える、新たな分光学的方法論と手法の開発 (量子スピン状態の制御技術) が不可欠となってきている。近年英国を中心に分子内の電子スピンの着目して物質科学者・化学者を含めたプロジェクトが立ち上がり、主要な欧州圏内での国際的な共同研究体制を整えつつある。アメリカやカナダにおいても、量子コンピュータ開発に加え、特に量子情報科学の量子化学への応用を喫緊の課題として重要視しており、世界的な研究の流れはモデルから実在分子の人為的量子制御に変化し、分子科学における分子探索・開発と周辺制御技術の競争が激化しつつある。

2. 研究の目的

本研究では、新しい量子スピン状態の制御技術として任意波形信号発生器 (AWG) を用いたパルス ESR 技術を確立し、量子状態制御やパルス多重共鳴分光への新しい応用を目指して本制御技術を弱く交換相互作用する分子スピン系に適用することを目的とする。この AWG ベースのマイクロ波 ESR 技術を、2 量子ビットモデル (2 電子スピン系) から多量子ビットモデルである 3 つ以上の電子スピンの弱く相互作用する分子多スピン系に展開し、新しい任意波形パルス電子多重共鳴分光手法の確立と応用を目指す。弱交換相互作用多量子スピン系における電子スピンダイナミクスの実験的観測、スピン量子状態の解明を進め、各々の電子スピン間相互作用の選択的評価や最適化任意波形マイクロ波パルスによる量子状態制御を実現する。また、量子コンピュータを用いる量子化学計算は、古典的なコンピュータで行う電子状態理論計算と全く異なるアプローチであるため、新しい量子アルゴリズムの開拓が必須となっており、複雑な分子多スピン系の評価に適用できる手法の開発を進める。

3. 研究の方法

本研究では、コヒーレントな任意波形マイクロ波パルスを用いた電子多重共鳴技術の適用により、分子スピン系の電子 - 核スピン状態や多電子スピン状態の物性評価を行いながら、量子状態制御を実現し、電子-核スピン系・多電子スピン系の電子状態を解明する。

- (1) 任意波形マイクロ波パルス制御を導入して、分子スピン系電子状態の精密解析のほか量子状態コントロールによる電子波動関数の理解を通して NMR パラダイム ESR 分光技術の基盤を構築する。パルス電子多重共鳴技術を用いた分子スピン系の実験と任意波形マイクロ波分光技術の開発を行い、分子スピン系の量子状態制御を実現する。量子状態の制御の高精度化を目的として運動方程式に基づいたスピンダイナミクスの数値的解析と任意波形マイクロ波パルスの波形最適化を実践する。
- (2) 分子多スピン系の電子状態は、量子化学計算による計算結果とパルス磁気共鳴測定により実験結果を比較することにより考察する。特に、磁気パラメータの量子化学計算は発展途上であり、高精度の実験結果と信頼性の高い計算との比較は、電子状態解明や電子状態理論の検証に有効な相乗効果をもたらすことが期待できる。

4. 研究成果

- (1) 任意波形パルスを用いた断熱的スピン反転と選択的スピン反転

理想的な量子状態操作を実現するためには、高い精度で分子スピン系の量子演算を実行することが求められる。断熱的な量子演算過程では、量子ゲートアプローチに基づく量子情報処理に

おける高精度制御に比べて量子状態操作が容易になることが知られており、分子スピ系における電子・核スピンの断熱的量子演算は、量子ゲート操作による量子演算に代わる高精度演算として利用可能である。近年のマイクロ波技術の発展により、様々な任意波形パルスを用いた量子状態制御の実験が可能になってきたため、任意波形パルス制御法の一つとして、時間とともに周波数が変化するチャープパルスを容易に取り扱うことができるようになった。チャープパルスは共鳴周波数を通過するように周波数掃引することで、断熱的にスピン反転が行えることが知られている。

本研究課題では、断熱的な状態操作を実現するために、断熱性を一定に保つ CAP(Constant Adiabatic Pulse)チャープパルスを用いて、断熱的かつ選択的なスピン反転実験を行った。パルス ESR 測定は、Bruker 社製 ESP380E 分光器を改良し、任意波形信号発生器 (AWG) で生成された任意波形信号を X バンド(9.5 GHz)帯に周波数変換することで任意波形パルス ESR の実験を行った。CAP チャープパルスは、マイクロ波強度一定で、中心周波数に対してマイクロ波強度の 3 倍に相当する周波数範囲で周波数を掃引するように設計した。試料には、標準サンプルであるコール (Coal) を用いた。様々なパルス強度と周波数掃引速度をもつ CAP チャープパルスを生成してスピン磁化の反転実験を行い、スピン磁化の反転挙動を観測した。Coal 試料に対して、マイクロ波パルス強度($\omega_1 = 20$ MHz)で様々なパルス幅の CAP チャープパルスを用いて観測したスピン磁化の反転過程を図 1 に示す。CAP チャープパルス照射によりスピン磁化が時間とともに反転していることを示している。反転に要する時間は、マイクロ波周波数の掃引速度に依存する。これらのスピン磁化の挙動は、回転座標系のハミルトニアンを用いた運動方程式に基づくシミュレーションにより再現することができた。また、スピン磁化方向と有効磁場方向に関する解析より、パルス幅が $4/\omega_1$ 以上になると高い断熱性でスピンを反転させられることが明らかとなった。

CAP チャープパルスを用いた選択的なスピン反転は、CAP チャープパルスの中心周波数をタ

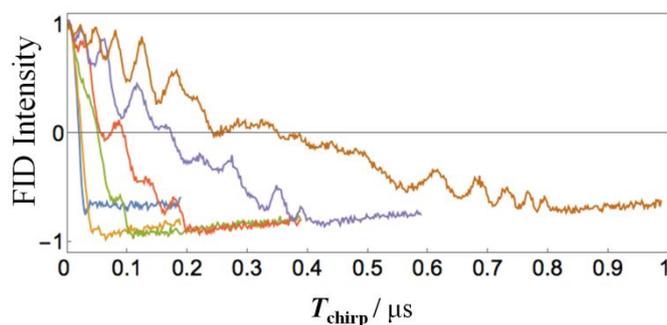


図 1 チャープパルスによる Coal のスピン磁化反転挙動

ーゲット信号の共鳴周波数にセットすることで達成されるので、CAP チャープパルスの中心周波数を変化させることにより任意のスピンを断熱的かつ選択的に反転させることができる。選択的なスピン反転の実験には、安定な有機ラジカルである TENPONE を用いた。分離した ESR 信号を選択的に操作するため、窒素同位体を含む試料 (^{15}N -TENPONE) を準備して、 ^{14}N 核と ^{15}N 核でそれぞれ標識されたラジカル試料の混在系に CAP チャープパルスを適用した。選択的なスピン反転のための CAP チャープパルスにより ESR 信号の反転制御に成功し、任意波形マイクロ波パルスを用いた選択的な ESR 遷移の反転制御が可能であることを実証した。

以上の結果は、CAP チャープパルスによる量子状態の変換が高い精度で実現していることを示すものであり、パルス波形制御により ESR 信号応答を自由に制御可能であることが明らかとなった。様々な周波数掃引速度をもつチャープマイクロ波パルスをデザインし、ESR 遷移における電子スピンの断熱的な状態変化を観測することにより、断熱性を一定に保ちながら電子スピン共鳴条件を通過するチャープパルスがスピン量子ビットの断熱操作に有効であることを実験的に示した。これらは、断熱的な状態変換操作が状態変換の高精度化につながることを期待される。

(2) 異なる g 値をもつトリチルとニトロキシドがアリル基で連結された有機ピラジカルの電子状態と任意波形マイクロ波パルスによる電子スピン量子ビットの量子状態制御

分子中に一つの不対電子スピンをもつ安定なラジカルは、生体系におけるスピンプローブや分子磁性化合物の構成ユニットとして用いられ、これまで生体内反応や新しい分子物性の理解に重要な役割を担ってきた。近年は、それらに加えて固体 NMR において電子スピンを媒介した動的核スピン分極 (DNP) を用いた NMR 信号増幅効果や、量子コンピュータの構成要素である量子ビットへの応用が盛んになってきた。分子合成の観点から複数のラジカル部位を含むマルチスピン系 (ピラジカル、トリラジカル、テトララジカルなど) の開発が進む一方で、電子スピン DNP 効果の解明や、複数電子スピンの量子状態の制御を目的とする新たなマイクロ波技術開発も探索されるようになってきている。

本研究では、安定なラジカルとして異なる g 値 (磁氣的性質) をもつトリチルラジカルとニトロキシドラジカルに着目し、ラジカル間に働く量子力学的な力 (交換相互作用という) が制御用外部電磁波の強度と同程度の約 10 MHz になるように分子設計した。ラジカル間にアリル基で連結させたピラジカル 2 種を合成し、電子スピン共鳴 (ESR) スペクトルよりピラジカルがいずれも約 6MHz、3.5MHz と理論的に予測された値と近い交換相互作用をもつことを明らかにした (図 2 を参照)。これまで類似の化合物でよく似たスペクトルが観測され、異なる 2 つのピラジカルの重ね合わせで説明されていたが、今回のピラジカルに対して異なるマイクロ波を用いる多周波 ESR 分光法を適用することにより、ESR 信号の分裂が交換相互作用に由来するものであることを実験的に明らかにした。

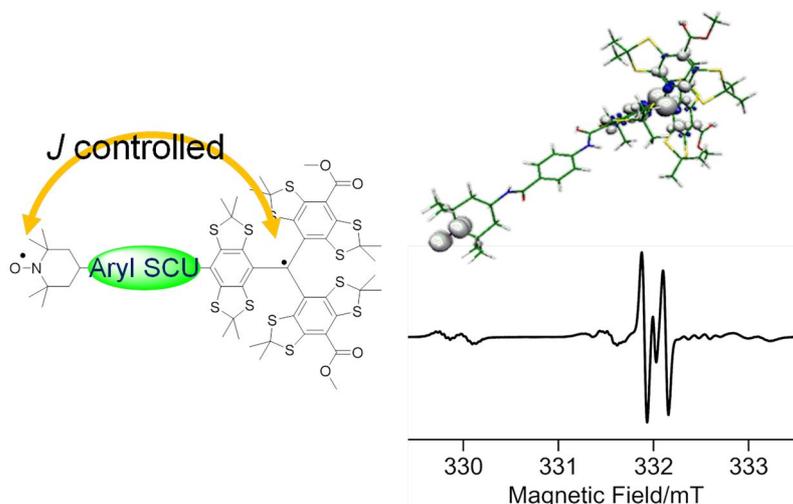


図 2 ニトロキシドラジカルとトリチルラジカルがアリル基で連結されたピラジカルの構造と ESR スペクトル。

また、量子ビットとして分子中の不対電子スピンを利用する、量子スピンコンピュータの動作技術開発の一環として、任意波形パルスマイクロ波技術を適用した量子状態制御の実験を行った。パルス ESR 法を用いたフーリエ変換 ESR スペクトルは、トリチルラジカル由来の信号が強く、ニトロキシドラジカル由来の信号は非常に弱いものであった。このスペクトル波形を改善するために、任意波形信号発生器 (AWG) で作成した任意波形マイクロ波パルスを液相中のピラジカルに照射することにより、ピラジカル系の量子スピン状態を操作し、弱い信号を相対的に強くすることを目標とした。ニトロキシドラジカルの信号が強くなるようなパルス波形を計算により最適化し、ESR スペクトルを観測したところ、ニトロキシドラジカルの信号が相対的に増強されたスペクトルを得ることに成功した。これは、AWG を用いた新しい分光法を通じて、計算により最適化された任意波形マイクロ波パルスにより効果的に特定の量子状態が操作できることを示す成果である。

本研究で設計した新奇ピラジカルは、電子スピン量子ビットに関して液相中で初歩的な量子状態制御を実現できるモデル分子として有益である。 g 値の異なるピラジカルに対して、さまざまな量子状態制御を実現する任意波形パルスを用いることにより、高度な量子状態操作を必要とする量子コンピュータの量子演算技術につながることを期待される。 g 値違いを分子設計に組み込む考え方 (g -エンジニアリングという) は、化学反応の磁場効果や生体系のセンシングを分子レベルで解明するモデルを与えるものとして、最近注目を集めているだけでなく、従来のマイクロ波分光技術では不可能とされてきた、高度なパルス波形の制御と量子状態制御が可能な分子スピン系の構築にも有用なものである。

(3) 3 スピン量子ビット系の構築を目指した弱交換相互作用系ニトロキシドトリラジカルの cw/パルス ESR による研究

2 電子スピン量子ビットは、非対称有機ピラジカル系において一つ一つの不対電子スピンをマイクロ波パルス技術を用いることにより制御できることが示されている。量子情報処理を実用的なレベルに高めるためには、制御を制御すべき量子ビットの数を増やすことが不可欠である。分子スピン系を用いた量子情報処理を拡大するために、電子 3 スピン量子ビット系への拡張を目的として、弱く交換相互作用する有機トリラジカル系の電子状態・分子構造の解明を進めた。

図 3 に 10~20 MHz 程度の交換相互作用を期待して合成した有機トリニトロキシドラジカルの構造 (左図) を示す。両端のニトロキシドラジカルとして、PROXYL、TEMPO、PYRROL 型の安定ニトロキシドラジカルを導入し、電子構造と電子スピン間相互作用を考察した。溶液中において 3 つのラジカルを分光学的に区別することはできなかったが、一分子内に 3 つの不対電子が存在することを確認した。これらの有機トリラジカルの希釈試料を低温で凍結することに

より、無秩序配向 ESR スペクトルを観測した。また、電子スピン間の距離情報を得るために観測したパルス電子-電子二重共鳴 (PELDOR) スペクトルの解析から、3つのラジカル間距離と分子構造を明らかにした。トリラジカルは、図3の右図に示すように3つのラジカルが三角形を形成し、非等価なラジカル配向をした構造をとっている。

無秩序配向試料の測定では、様々な配向分子がスペクトルに寄与するため、統計的な重ね合わせの解析が必要となるが、単結晶試料を用いることができればラジカル量子ビットを選択して、個別に制御できる道が開ける。個別制御に向けては、本研究で開発してきた任意波形マイクロ波パルス技術が有効であり、分子多スピン量子ビット系への拡張につながると期待される。

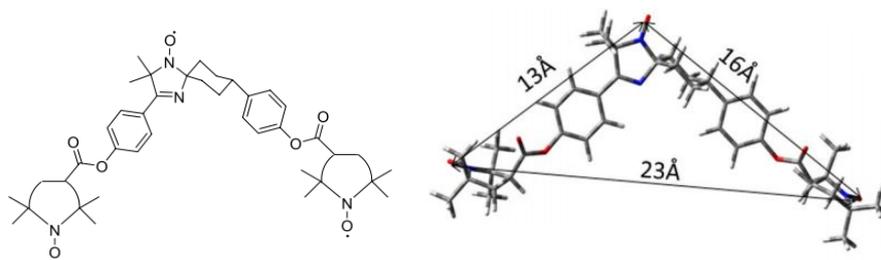


図3 弱交換相互作用系有機トリニトロキシドラジカルと分子構造

(4) S^2 演算子のもとでの波動関数の時間発展量子シミュレーションとスピン量子数 S を決定する量子アルゴリズム

現在、量子コンピュータを用いて原子・分子のエネルギーをより高速に求めるための手法や分子の安定構造を探索する手法、分子の吸光・発光波長を計算する手法など、様々な理論手法の開発研究が世界各地で活発に行われている。単分子メモリデバイスなどへの応用が期待されている単分子磁石や酵素タンパク質の酵素活性を担う金属クラスターなどは、その機能や分子物性が非常に注目されている分子系であるが、エネルギーが最も低い電子状態の近くに数多くの電子状態が存在しており、どの電子状態が量子化学計算で求めたかを明らかにすることが重要である。量子コンピュータを用いてこれらの分子のエネルギー計算を実行したとき、求めようとしている電子状態が量子計算で得られたかどうかを検証する手段がなければ、量子コンピュータを使った機能分子設計など、実際の化学研究へと応用することが困難である。また、開殻分子ではエネルギーが最も低い状態である基底状態のエネルギー的近傍にスピン量子数の異なる電子状態が数多く存在しているため、基底状態のスピン量子数を決定することが非常に重要な課題である。量子コンピュータを使うことで基底状態のエネルギーを超高速に求めることができるが、量子コンピュータ上で任意の波動関数のスピン量子数を決定することができる量子アルゴリズムはこれまで報告されていなかった。

量子コンピュータを用いた量子化学計算では、分子の電子状態を支配するハミルトニアンのもとで波動関数がどのように時間発展するかを量子コンピュータ上でシミュレートし、ハミルトニアンの固有値であるエネルギーを量子位相推定の手法で獲得する。本研究では、この量子位相推定アルゴリズムに着目し、ハミルトニアンの代わりに分子のスピン状態を特徴づける S^2 演算子のもとで波動関数がどのように時間発展するかを量子コンピュータ上でシミュレートし、スピン量子数 S を決定する新規手法を開発した。一般化スピン座標マッピング法を用い、 S^2 演算子のもとでの波動関数の時間発展を計算する量子論理回路(量子サーキット)を構築することにより、従来用いられてきたマッピング法に比べて量子ゲートの数を10分の1程度に削減できることを明らかにした。また、量子論理回路の数値シミュレーションから、非常に高い精度で波動関数の時間発展が計算でき、任意の波動関数のスピン量子数を決定できることを示した。

本研究は、分子内に複数の不対電子を持つ分子スピン系について量子コンピュータを用いた量子化学計算を実行したとき、得られた電子状態がどのような電子スピン構造を持っているかを明らかにする手法を初めて示したものである。本研究で用いた S^2 演算子のもとでの波動関数の時間発展量子シミュレーションは、スピン量子数 S を決定することができるだけでなく、量子コンピュータによる開殻分子の量子化学計算の高速化や新規量子アルゴリズム構築へと応用できる可能性を示すもので、今後の量子アルゴリズムの開発へ寄与できると期待される。これらは、新規機能材料開発や化学反応機構解明など、量子コンピュータを実際の化学研究に応用するための道筋を示す重要な成果として位置づけられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Sugisaki Kenji, Yamamoto Satoru, Nakazawa Shigeaki, Toyota Kazuo, Sato Kazunobu, Shiomi Daisuke, Takui Takeji	4. 巻 1
2. 論文標題 Open shell electronic state calculations on quantum computers: A quantum circuit for the preparation of configuration state functions based on Serber construction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters: X	6. 最初と最後の頁 100002 ~ 100002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpletx.2018.100002	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 Sugisaki Kenji, Nakazawa Shigeaki, Toyota Kazuo, Sato Kazunobu, Shiomi Daisuke, Takui Takeji	4. 巻 5
2. 論文標題 Quantum Chemistry on Quantum Computers: A Method for Preparation of Multiconfigurational Wave Functions on Quantum Computers without Performing Post-Hartree-Fock Calculations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Central Science	6. 最初と最後の頁 167 ~ 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscentsci.8b00788	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 Kenji Sugisaki, Kazuo Toyota, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi and Takeji Takui	4. 巻 19
2. 論文標題 Behaviour of DFT-based approaches to the spin-orbit term of zero-field splitting tensors: a case study of metal complexes, $MIII(acac)_3$ ($M = V, Cr, Mn, Fe$ and Mo)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 pp.30128-30138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7cp05533a	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 Bogdan A. Rodin, Alexey S. Kiryutin, Alexandra V. Yurkovskaya, Konstantin L. Ivanov, Satoru Yamamoto, Kazunobu Sato, Takeji Takui	4. 巻 291
2. 論文標題 Using optimal control methods with constraints to generate singlet states in NMR	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Magn. Reson.	6. 最初と最後の頁 pp.14-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmr.2018.03.005	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 Sugisaki Kenji, Nakazawa Shigeaki, Toyota Kazuo, Sato Kazunobu, Shiomi Daisuke, Takui Takeji	4. 巻 21
2. 論文標題 Quantum chemistry on quantum computers: quantum simulations of the time evolution of wave functions under the S2 operator and determination of the spin quantum number S	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 15356 ~ 15361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CP02546D	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 Zaytseva Elena, Timofeev Ivan, Krumkacheva Olesya, Parkhomenko Dmitriy, Mazhukin Dmitrii, Sato Kazunobu, Matsuoka Hideto, Takui Takeji, Bagryanskaya Elena	4. 巻 50
2. 論文標題 EPR and DEER Characterization of New Mixed Weakly Coupled Nitroxide Triradicals for Molecular Three-Spin Qubits	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Magnetic Resonance	6. 最初と最後の頁 967 ~ 976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00723-019-01125-9	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 該当する

1. 著者名 Sato Kazunobu, Hirao Rei, Timofeev Ivan, Krumkacheva Olesya, Zaytseva Elena, Rogozhnikova Olga, Tormyshev Victor M., Trukhin Dmitry, Bagryanskaya Elena, Gutmann Torsten, Klimavicius Vytautas, Buntkowsky Gerd, Sugisaki Kenji, Nakazawa Shigeaki, Matsuoka Hideto, Toyota Kazuo, Shiomi Daisuke, Takui Takeji	4. 巻 123
2. 論文標題 Trityl-Aryl-Nitroxide-Based Genuinely g-Engineered Biradicals, As Studied by Dynamic Nuclear Polarization, Multifrequency ESR/ENDOR, Arbitrary Wave Generator Pulse Microwave Waveform Spectroscopy, and Quantum Chemical Calculations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 7507 ~ 7517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.9b07169	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 Zaytseva Elena, Shiomi Daisuke, Ten Yury, Gatilov Yuri V., Lomanovich Alyona, Stass Dmitri, Bogomyakov Artem, Yu Aixia, Sugisaki Kenji, Sato Kazunobu, Takui Takeji, Bagryanskaya Elena, Mazhukin Dmitrii	4. 巻 124
2. 論文標題 Magnetic Properties of π -Conjugated Hybrid Phenoxy/Nitroxide Radicals with Extended π -Spin Delocalization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 2416 ~ 2426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.9b11856	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

[学会発表] 計60件(うち招待講演 15件/うち国際学会 38件)

1. 発表者名 Kazunobu Sato, Satoru Yamamoto, Taiki Shibata, Rei Hirao, Keigo Tanimoto, Kenji Sugisaki, Shigeaki Nakazawa, Elham Hosseini, Koji Maruyama, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Yasushi Morita, and Takeji Takui
2. 発表標題 Molecular Spin Quantum Computing by Arbitrary Microwave Excitation Technology for Optimal Quantum Control
3. 学会等名 The 16th International Conference on Molecule-based Magnets - ICMM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Nakazawa, K. Hirai, K. Sugisaki, T. Kitagawa, I. Miyahara, K. Sato, T. Takui
2. 発表標題 The molecular and electronic structure of a room-temperature stable carbene in its triplet ground state as studied by single-crystal ESR spectroscopy and quantum chemical calculations
3. 学会等名 The 16th International Conference on Molecule-based Magnets - ICMM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunobu Sato, Satoru Yamamoto, Taiki Shibata, Rei Hirao, Keigo Tanimoto, Kenji Sugisaki, Shigeaki Nakazawa, Elham Hosseini, Koji Maruyama, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Yasushi Morita, and T. Takui
2. 発表標題 Molecular Spin Technology based on Arbitrary Microwave Excitations for Quantum Control
3. 学会等名 The 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 Kenji Sugisaki, Keita Horie, Kazuo Toyota, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi, and Takeji Takui
2. 発表標題 Electronic Structures of Ferrocenium Ions with 1,3-Diazetidene Bridge: A Theoretical Study
3. 学会等名 The III International Conference "Spin physics, spin chemistry and spin technology" (SPCT-2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Shigeaki Nakazawa, Katsuyuki Hirai, Kenji Sugisaki, Ikuko Miyahara, Toshikazu Kitagawa, Kazunobu Sato, Takeji Takui
2 . 発表標題 A room-temperature stable triplet carbene as a unit of a high-spin quantum computer as studied by single-crystal ESR spectroscopy and quantum chemical calculations
3 . 学会等名 The III International Conference “ Spin physics spin chemistry and spin technology ” (SPCT-2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Rei Hirao, Satoru Yamamoto, Kazunobu Sato, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Takeji Takui
2 . 発表標題 Electron Spin Manipulation Utilizing a Chirp Pulse for Molecular Spin Quantum Computing
3 . 学会等名 The III International Conference “ Spin physics, spin chemistry and spin technology ” (SPCT-2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Sugisaki, S. Nakazawa, K. Toyota, K. Sato, D. Shiomi, and T. Takui
2 . 発表標題 Quantum chemical calculations of open shell molecules on quantum computers: efficient preparation methods of initial guess wave functions
3 . 学会等名 XII Russian-Japanese workshop “ OPEN SHELL COMPOUNDS AND MOLECULAR SPIN DEVICES ” (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Sato, S. Yamamoto, T. Shibata, R. Hirao, K. Tanimoto, K. Sugisaki, S. Nakazawa, E. Hosseini, K. Maruyama, K. Toyota, D. Shiomi, K. Ivanov, Y. Morita, and T. Takui
2 . 発表標題 Molecular Spin Manipulations by Arbitrary Microwave Excitation Technology for Optimal Quantum
3 . 学会等名 XII Russian-Japanese workshop “ OPEN SHELL COMPOUNDS AND MOLECULAR SPIN DEVICES ” (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Rei Hirao, Satoru Yamamoto, Kazunobu Sato, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Takeji Takui
2. 発表標題 Selective Spin Inversion by Utilizing Chirp Pulses for Molecular Spin Quantum Computation
3. 学会等名 XII Russian-Japanese workshop “ OPEN SHELL COMPOUNDS AND MOLECULAR SPIN DEVICES ” (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Sugisaki, Satoru Yamamoto, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi, and Takeji Takui
2. 発表標題 Quantum Chemical Calculations of Open Shell Molecules on Quantum Computers: Efficient Construction Methods of the Open Shell Wave Functions
3. 学会等名 The Third Joint Conference of the Asia-Pacific EPR/ESR Society and The International EPR (ESR) Society (IES) Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunobu Sato, Satoru Yamamoto, Taiki Shibata, Rei Hirao, Keigo Tanimoto, Kenji Sugisaki, Shigeaki Nakazawa, Elham Hosseini, Koji Maruyama, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Yasushi Morita, and Takeji Takui
2. 発表標題 Spin Manipulation by Arbitrary Microwave Excitation for Molecular Quantum Control
3. 学会等名 The Third Joint Conference of the Asia-Pacific EPR/ESR Society and The International EPR (ESR) Society (IES) Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉崎 研司, 中澤 重顕, 豊田 和男, 佐藤 和信, 塩見 大輔, 工位 武治
2. 発表標題 量子コンピュータによる開殻分子の Full-CI 計算に向けて : 多配置波動関数の効率的生成法
3. 学会等名 第21回理論化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉崎研司、中澤重顕、豊田和男、佐藤和信、塩見大輔、工位武治
2. 発表標題 量子コンピュータによる開殻分子の量子化学計算に向けて：複数の配置から成る波動関数の効率的生成法
3. 学会等名 第57回電子スピンサイエンス学会年会（SEST2018）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤重顕、平井克幸、杉崎研司、宮原郁子、松岡秀人、北川敏一、佐藤和信、工位武治
2. 発表標題 量子ビットとしての安定三重項カルベンの分子構造とゼロ磁場分裂定数のE??及び量子化学計算による研究
3. 学会等名 第57回電子スピンサイエンス学会年会（SEST2018）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平生怜、山本悟、佐藤和信、中澤重顕、豊田和男、塩見大輔、Konstantin Ivanov、工位武治
2. 発表標題 任意波形パルスを用いた断熱的スピン反転と選択的スピン反転
3. 学会等名 第57回電子スピンサイエンス学会年会（SEST2018）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 滉大・松岡 秀人・杉崎 研司・Bagryanskaya Irina・Gurskaya Larisa・Tretyakov Evgeny・工位 武治・佐藤 和信
2. 発表標題 フェロセン置換型1.3-ジアゼチジン-2.4-ジイミンで架橋されたニトロキシドピラジカルの多周波ESRスペクトルと電子構造
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 和信・平生 怜・山本 悟・IVANOV Konstantin・工位 武治
2. 発表標題 意波形マイクロ波を用いたパルスESR技術による分子スピン制御
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉崎 研司・中澤 重顕・豊田 和男・佐藤 和信・塩見 大輔・工位 武治
2. 発表標題 量子コンピュータによる開殻分子の量子化学計算：スピン座標マッピングの拡張
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeaki Nakazawa, Shun Sawada, Moeko Kawamori, Kenji Sugisaki, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Kazunobu Sato, Kosuke Omukai, Takanori Furui, Masato Kuratsu, Shuichi Suzuki, Masatoshi Kozaki, Keiji Okada and Takeji Takui
2. 発表標題 Single-Crystal ESR Spectral Analysis and Double Quantum Transitions of Highly Compact Nitroxide-based Diradicals in the Triplet Ground State for Quantum Spin Memory Devices for Quantum Computers
3. 学会等名 The 50th Annual International Meeting of the Electron Spin Resonance Group of the Royal Society of Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Elham Hosseini Lapasar, Taiki Shibata, Satoru Yamamoto, Koji Maruyama, Shigeaki Nakazawa, Kazunobu Sato and Takeji Takui
2. 発表標題 Molecular optimization for optimal control of quantum gates on nuclear spin qubits via microwave pulses applied to an electron spin qubits in molecular spin systems
3. 学会等名 The 5th Awaji International Workshop on "Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications" (AWEST2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	Kenji Sugisaki, Satoru Yamamoto, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi and Takeji Takui
2. 発表標題	Quantum chemical calculations of open shell molecules on quantum computers: Implementation of quantum circuits for preparing spin symmetry-adapted wave functions
3. 学会等名	The 5th Awaji International Workshop on “Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications” (AWEST2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Kazunobu Sato, Satoru Yamamoto, Rei Hirao, Keigo Tanimoto, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, and Takeji Takui
2. 発表標題	Molecular Spin Manipulation Technology based on Microwave Pulse with Arbitrary Waveform for Molecular Spin Quantum Computers
3. 学会等名	The 5th Awaji International Workshop on “Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications” (AWEST2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Rei Hirao, Satoru Yamamoto, Kazunobu Sato, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Takeji Takui
2. 発表標題	Adiabatic Spin Inversion Utilizing MW Chirp-Pulses for Molecular Spin Quantum Computing
3. 学会等名	The 5th Awaji International Workshop on “Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications” (AWEST2017) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Kazunobu Sato, Satoru Yamamoto, Rei Hirao, Keigo Tanimoto, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, and Takeji Takui
2. 発表標題	Selective Excitation of ESR Transitions by Microwave Pulses with Arbitrary Waveform for Optimal Quantum Control
3. 学会等名	The 5th Awaji International Workshop on “Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications” (AWEST2017) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1 . 発表者名 S. Nakazawa, S. Sawada, M. Kawamori, K. Sugisaki, K. Toyota, D. Shiomi, K. Sato, K. Omukai, T. Furui, M. Kuratsu, S. Suzuki, M. Kozaki, K. Okada and T. Takui
2 . 発表標題 Implementation of Ensemble Quantum Spin Memory Devices for Quantum Computers: Highly Compact Nitroxide-based Triplet Diradicals and Stable Molecular High Spins
3 . 学会等名 The 5th Awaji International Workshop on "Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications" (AWEST2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Takeshi Yamane, Kenji Sugisaki, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi, Kazuo Toyota, Takeji Takui
2 . 発表標題 Useful Analytical Expressions for the Relationships between the Effective g- and True g-Tensors of High Spin Metallocplexes with Sizable ZFS: Exact Analytical and Genuine Zeeman Perturbation Treatments
3 . 学会等名 The 5th Awaji International Workshop on "Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications" (AWEST2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kazunobu Sato, Satoru Yamamoto, Rei Hirao, Keigo Tanimoto, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Takeji Takui
2 . 発表標題 MOLECULAR SPIN TECHNOLOGY AND QUANTUM CONTROL FOR MOLECULAR SPIN QUANTUM COMPUTERS: MICROWAVE IRRADIATION AND SPIN DYNAMICS ON PULSED ESR
3 . 学会等名 2nd Scientific School & Conference for young scientists "DESIGN OF MAGNETOACTIVE COMPOUNDS" (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Sugisaki, S. Yamamoto, S. Nakazawa, K. Toyota, K. Sato, D. Shiomi and T. Takui
2 . 発表標題 DEVELOPMENT OF QUANTUM ALGORITHMS FOR CONSTRUCTING THE WAVE FUNCTIONS OF OPEN SHELL MOLECULES
3 . 学会等名 2nd Scientific School & Conference for young scientists "DESIGN OF MAGNETOACTIVE COMPOUNDS" (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Nakazawa, S. Sawada, M. Kawamori, K. Sugisaki, K. Toyota, D. Shiomi, K. Sato, K. Omukai, T. Furui, M. Kuratsu, S. Suzuki, M. Kozaki, K. Okada, and T. Takui
2. 発表標題 Quantum Spin Memory Devices for Quantum Computers: Highly Compact Nitroxide-Based Diradicals in the Triplet Ground State
3. 学会等名 2nd Scientific School & Conference for young scientists "DESIGN OF MAGNETOACTIVE COMPOUNDS" (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Sugisaki, S. Yamamoto, S. Nakazawa, K. Toyota, D. Shiomi, K. Sato, Y. Morita, and T. Takui
2. 発表標題 Emerging Aspects of Nitroxides and High Spin Hydrocarbon/Open-Shell Graphene Fragments Chemistry: Toward Quantum Computers and Beyond
3. 学会等名 2nd Scientific School & Conference for young scientists "DESIGN OF MAGNETOACTIVE COMPOUNDS" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rei Hirao, Satoru Yamamoto, Kazunobu Sato, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Takeji Takui
2. 発表標題 ADIABATIC QUANTUM SPIN MANIPULATION BASED ON ARBITRARY WAVEFORM PULSES FOR MOLECULAR SPIN QUANTUM COMPUTATION
3. 学会等名 2nd Scientific School & Conference for young scientists "DESIGN OF MAGNETOACTIVE COMPOUNDS" (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Sato, S. Yamamoto, R. Hirao, K. Tanimoto, E. Hosseini, S. Nakazawa, K. Toyota, D. Shiomi, K. Ivanov, T. Takui
2. 発表標題 Molecular Spin Technology Based on Microwave Pulse with Arbitrary Waveform towards Spin Quantum Computing
3. 学会等名 The International Conference "Modern Development of Magnetic Resonance 2017" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Konstantin L. Ivanov, Satoru Yamamoto, Rei Hirao, Kazunobu Sato, Takeji Takui
2. 発表標題 Adiabatic inversion of EPR lines by chirped pulses
3. 学会等名 the 11th Japanese-Russian Workshop on Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rei Hirao, Satoru Yamamoto, Kazunobu Sato, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, Takeji Takui
2. 発表標題 Adiabatic Quantum Spin Manipulation Based on Arbitrary Waveform Pulses for Molecular Spin Quantum Computing
3. 学会等名 the 11th Japanese-Russian Workshop on Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazunobu Sato, Satoru Yamamoto, Rei Hirao, Keigo Tanimoto, Elham Hosseini, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Konstantin Ivanov, and Takeji Takui
2. 発表標題 Molecular Spin Technology with Arbitrary Waveform Pulses towards Molecular Spin Quantum Computing
3. 学会等名 the 11th Japanese-Russian Workshop on Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Shibata, E. Hosseini, S. Nakazawa, S. Yamamoto, K. Sugisaki, K. Maruyama, K. Toyota, D. Shiomi, K. Sato, T. Takui
2. 発表標題 Emerging molecular electron spin technology for quantum computing: Quantum control as indirect implementation of hyperfine-qubit quantum gates
3. 学会等名 the 11th Japanese-Russian Workshop on Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉崎 研司、山本 悟、中澤 重顕、豊田 和男、佐藤 和信、塩見 大輔、工位 武治
2. 発表標題 量子コンピュータによる開殻分子のFull-CI 計算に向けて：量子レジスター上での配置状態関数の効率的生成法
3. 学会等名 第20回理論化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平生 怜、山本悟、佐藤和信、中澤重顕、豊田和男、塩見大輔、Konstantin Ivanov、工位武治
2. 発表標題 チャープパルスを用いた分子スピンの断熱的スピン操作
3. 学会等名 第56回電子スピンサイエンス学会年会 (SEST2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉崎研司、山本悟、中澤重顕、豊田和男、佐藤和信、塩見大輔、工位武治
2. 発表標題 量子コンピュータによる開殻分子の量子化学計算に向けて：新たな配置状態関数生成法
3. 学会等名 第56回電子スピンサイエンス学会年会 (SEST2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazunobu Sato
2. 発表標題 Molecular Spin Technology based on Arbitrary Microwave Excitations for Quantum Control
3. 学会等名 The 5th International WS on Quantum Chemistry/Quantum Chemical Calculations on Quantum Computers: Quantum Algorithms 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Sugisaki, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi, Takeji Takui
2. 発表標題 Quantum chemical calculations on quantum computers: Determination of the spin quantum number S of arbitrary wave functions on quantum computers
3. 学会等名 The 6th Awaji International Workshop on “Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications” (6th AWEST 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazunobu Sato, Rei Hirao, Satoru Yamamoto, Shigeaki Nakazawa, Kenji Sugisaki, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, and Takeji Takui
2. 発表標題 Spin Manipulation Technology by Pulsed ESR with Arbitrary Waveform Microwave Pulses for Molecular Quantum Control
3. 学会等名 The 6th Awaji International Workshop on “Electron Spin Science & Technology: Biological and Materials Science Oriented Applications” (6th AWEST 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Sugisaki, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi, Takeji Takui
2. 発表標題 Quantum simulations with the electron spin operators and applications to the determination of spin quantum numbers of wave functions
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 Kazunobu Sato, Rei Hirao, Satoru Yamamoto, Kenji Sugisaki, Hideto Matsuoka, Kazuo Toyota, Daisuke Shiomi, Takeji Takui
2. 発表標題 Spin manipulation technology by pulsed ESR with arbitrary waveform microwave pulses for molecular spin optimal control
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 杉崎研司, 中澤重顕, 豊田和男, 佐藤和信, 塩見大輔, 工位武治
2. 発表標題 量子コンピュータ上での波動関数のスピン量子数決定法
3. 学会等名 第22回理論化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 和信, 平生 令, 杉崎研司, 豊田和男, 塩見大輔, 工位武治
2. 発表標題 任意波形マイクロ波パルスを用いた弱交換相互作用 2 電子スピン系のスピン制御
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 杉崎研司, 中澤重顕, 豊田和男, 佐藤和信, 塩見大輔, 工位武治
2. 発表標題 量子コンピュータによる量子化学計算: スピン演算子による波動関数の時間発展量子シミュレーション
3. 学会等名 第58回電子スピンサイエンス学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Sugisaki, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi and Takeji Takui
2. 発表標題 Kenji Sugisaki, Shigeaki Nakazawa, Kazuo Toyota, Kazunobu Sato, Daisuke Shiomi and Takeji Takui
3. 学会等名 23rd Annual Conference on Quantum Information Processing (QIP2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 和信・平生 怜・杉崎 研司・松岡 秀人・豊田 和男・塩見 大輔・Zaytseva Elena・Tormyshev Victor M.・Bagryanskaya Elena・工位 武治
2. 発表標題 任意波形パルスESR法を用いた弱交換相互作用ピラジカルの電子状態と量子状態制御
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Molecular Physical Chemistry and Spin Science http://www.qcqiis.sci.osaka-cu.ac.jp/ms/ Research Highlight http://www.qcqiis.sci.osaka-cu.ac.jp/ms/category/research-highlight/

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	杉崎 研司 (Sugisaki Kenji) (70514529)	大阪市立大学・大学院理学研究科・特任講師 (24402)	
研究分担者	中澤 重顕 (Nakazawa Shigeaki) (70342821)	大阪市立大学・大学院理学研究科・特任准教授 (24402)	2017年4月～2019年3月
連携研究者	豊田 和男 (Toyota Kazuo) (60347482)	大阪市立大学・大学院理学研究科・講師 (24402)	