

## 1B07

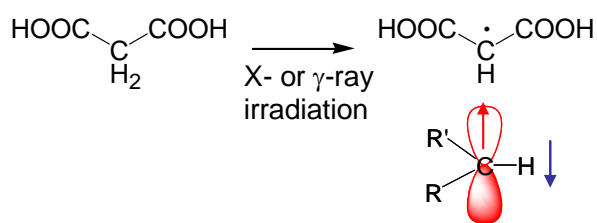
### パルスENDORを用いた分子スピンバス量子コンピュータモデル分子の量子状態変換

(<sup>1</sup>阪市大院理、<sup>2</sup>阪大院基礎工、<sup>3</sup>阪大院理、<sup>4</sup>分子研、<sup>5</sup>JST-CREST)

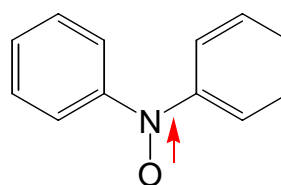
○佐藤和信<sup>1,5</sup>、Robabeh RAHIMI<sup>2</sup>、新納隆<sup>1</sup>、西田辰介<sup>1</sup>、上田顕<sup>3</sup>、鈴木修一<sup>3</sup>、森田靖<sup>3,5</sup>、古川貢<sup>4</sup>、豊田和男<sup>1,5</sup>、塩見大輔<sup>1,5</sup>、中村敏和<sup>4</sup>、北川勝浩<sup>2,5</sup>、中筋一弘<sup>3</sup>、工位 武治<sup>1,5</sup>

【序論】量子コンピュータは、FeynmanやDeutschによる量子状態のユニタリー変換を用いた量子計算モデルの提案以降、理論物理学や量子情報科学の分野で重要な地位を占めるようになった。1992年にShorによって大きな整数の素因数分解を多項式時間で解けるアルゴリズムが開発され、またDeutschとJozsaがどんな古典的なコンピュータよりも量子コンピュータの方が高速に解ける問題を示して以来、量子計算や量子情報通信を含む量子情報科学の理論的研究が急速に発展し、量子コンピュータの概念・基礎理論・アルゴリズムが確立しつつある。実験的にも量子コンピュータを実現するためのさまざまな量子状態の活用が提案されてきている。既に量子状態を利用するいくつかの量子アルゴリズムも開発され、等方性系試料の核磁気共鳴法等によって量子アルゴリズムの有効性が示されているが、量子エンタングルド状態の達成(entanglement)や初期状態の高度な混合問題の解明など実験的な側面から基礎理論を検証することが重要な課題の一つとなっている。最近、Mehringのグループは量子計算や量子情報通信において重要な役割を担う量子エンタングルド状態を電子-核スピン系で形成し、その検出に成功している[1]。我々は、パルス電子核磁気共鳴法を電子-核スピン混在系に適用し、これまで量子エンタングルド状態の生成と実験的検出法を確立してきた。本研究では、生成した量子エンタングルド状態に対して電子スピン及び核スピン操作を行うことにより、量子エンタングルド状態の相互変換を行い、電子-核スピン混在系の量子情報制御について検討した。

【実験】最も簡単な電子-核スピン混在システムとして、マロン酸単結晶中に X 線照射により生成するマロニルラジカル **1**、及びベンゾフェノン単結晶中に希釈したジフェニルニトロキシド **2** を用いた。分子 **1** では、CH 結合の解裂により生成する不対電子スピンと  $\alpha$  位のプロトンの核スピンを量子ビットとして活用することにより、パルス ENDOR による量子状態の制御を行った。また、分子 **2** では電子スピン、窒素核、及びフェニル基に属するプロトン核の1つを量子ビットとして活用した。パルス ENDOR の実験は、30K 以下の低温で行った。量子計算過程は、①量子ビットの初期化(擬純粋状態の生成)、②量子演算処理(量子エンタングルド状態の生成と制御)、③量子状態の観測の大きく3つの



Malonyl radical, **1**



DPNO, **2**

過程に分けることができる。これら3過程を含む量子計算回路をマイクロ波パルスとラジオ波パルスを用いたパルス系列で構築し、量子状態制御を実行した。

【結果と考察】図1に、パルス ENDOR法により生成したマロニルラジカルの量子エンタングルド状態に対して、時間比例位相増加 (TPPI) 法を用いて観測したマイクロ波パルスとラジオ波パルスのパルス位相干渉スペクトルを示す。 $\nu_{MF}$  と  $\nu_{RF}$  の和と差に相当する周波数成分が観測されることから、量子エンタングルド状態を実験的に検出、同定できることを示している。生成した量子エンタングルド状態に対して、選択的なマイクロ波パルスを照射した場合のHahnエコー検出によるパルス幅依存性を図2に示す。エコー強度のパルス幅依存性は、 $\cos\theta$  と  $\cos(\theta/2)$  の線形結合の形で表され、スピン-1/2のスピノールに由来する $4\pi$ 周期性があることを示している。これは、電子-核スピン混在系における量子エンタングルド状態の生成

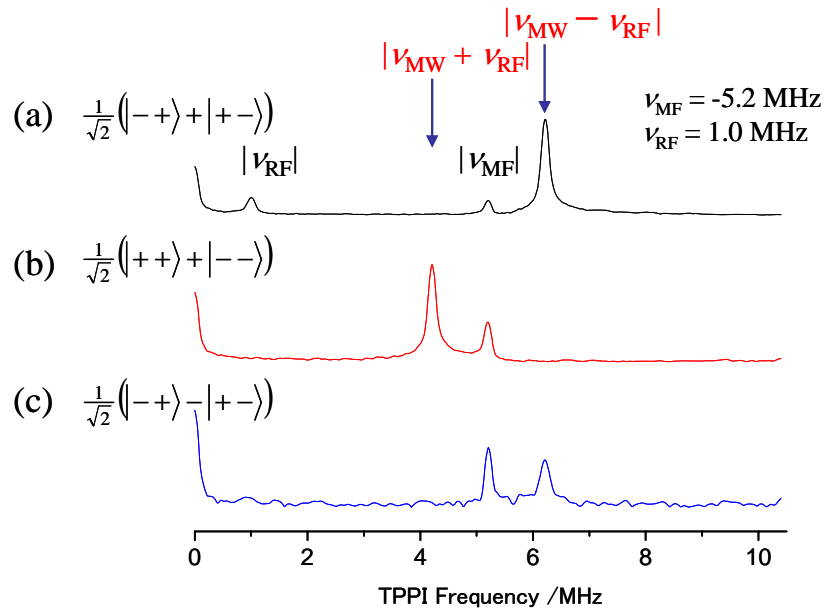


図1 パルス ENDOR で TPPI 検出により観測されたマロニルラジカルのパルス位相干渉スペクトル

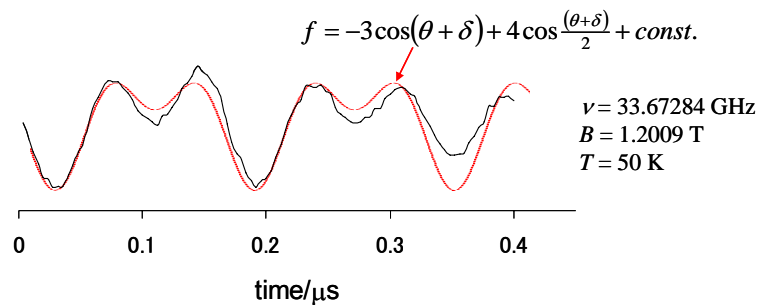


図2 量子エンタングルド状態に対する選択的なマイクロ波パルスのパルス幅依存性

を証明するとともに、マイクロ波パルスによって電子スピンの量子位相が変換される過程を明確に表している。また、選択的なマイクロ波  $\pi$  パルスを照射するときには、 $(|-+ \rangle + |+ - \rangle) / \sqrt{2} \leftrightarrow (|-+ \rangle - |+ - \rangle) / \sqrt{2}$  のような1つのエンタングルド状態から他のエンタングルド状態への量子状態の相互変換過程を実験的に検出していることに相当し、パルス ENDOR の技術を応用することにより電子及び核スピンがもつ量子情報を操作、制御できることを示している。ジフェニルニトロキッド分子を対象にした量子情報操作の実験も、併せて報告する。

【文献】

- 1) M. Mehring, J. Mende, and W. Scherer, *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 153001(2003); M. Mehring, W. Scherer, and A. Weidinger, *Phys. Rev. Lett.*, **93**, 206603(2004).
- 2) R. Rahimi, K. Sato, K. Furukawa, K. Toyota, D. Shiomi, T. Nakamura, M. Kitagawa, and T. Takui, *Int. J. Quantum Inf.*, **3**, pp.197-204(2005).