

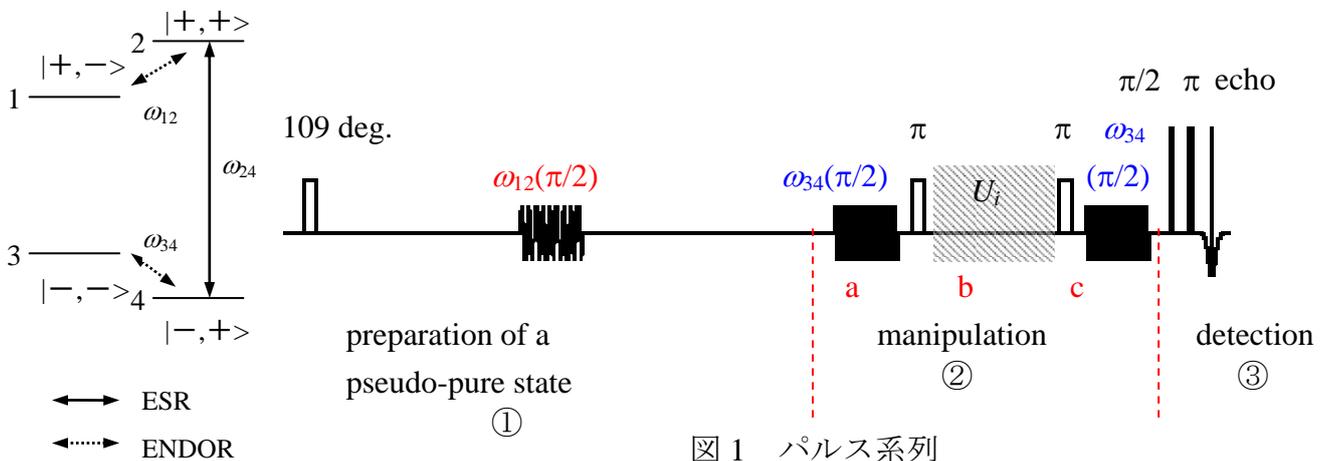
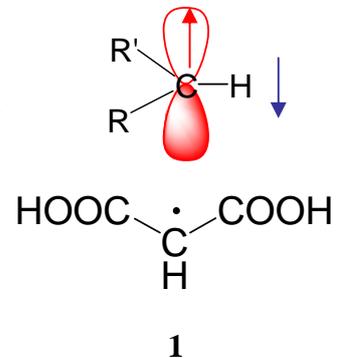
# 4C18

## パルス ENDOR による電子-核スピン状態の量子制御と分子スピン量子コンピューティング (阪大院理<sup>1</sup>・阪大院基礎工<sup>2</sup>・阪大院理<sup>3</sup>・分子研<sup>4</sup>)

○佐藤和信<sup>1</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</sup>、古川貢<sup>4</sup>、豊田和男<sup>1</sup>、塩見大輔<sup>1</sup>、中村敏和<sup>4</sup>、北川勝浩<sup>2</sup>、中筋一弘<sup>3</sup>、工位武治<sup>1</sup>

【序】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たり、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は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。<sup>1,2</sup> 本研究では、パルス電子核磁気共鳴の立場から電子スピンと核スピンの混在系を用いて、量子エンタングルド状態の実験的な検出方法や最適実験条件などを検討した。特に、電子-核スピン混在系における量子高密度符号化 (Super Dense Coding: SDC) などの初等量子アルゴリズムの実行を通して、量子情報を担う最小単位である量子ビット (qubit) として電子及び核スピン状態の活用について検討した。

【実験】最も単純な電子-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** を用いた。CH 結合の解裂により生成する不對電子ス



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。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、②量子演算処理、③量子状態の観測の大きく3つに分けることができる。これら3つの過程を含む量子回路をパルス ENDOR で実現する方法として図1に示すパルス系列を用いた。図中の矩形表示したパルスはマイクロ波パルス、波形表示したパルスはラジオ波パルスを示す。構成する RF パルスは全て  $\pi/2$  パルスである。①の過程で形成した擬純粋状態(pseudo-pure state) に対してラジオ波パルスとマイクロ波パルスを用いることにより量子エンタングルド状態を形成した後、核スピンのみを制御することにより量子高密度符号化(SDC)の実験的検証を行った。

【結果と考察】 X 線照射により生成する **1** の電子スピン緩和時間は、マロン酸単結晶中において  $T_1 = 8.2$  ms、 $T_2 = 1.7$   $\mu$ s であった。電子スピンの分極移動を利用する量子情報制御には十分に長い緩和時間をもっていると思われる。初期状態には、 $\theta = \cos^{-1}(1/3)$  に相当する  $109^\circ$  のマイクロ波パルスとラジオ波  $\pi/2$  パルスを用いることにより  $|-,\rightarrow\rangle$  状態のみが他の状態に比べて多く占有する擬純粋状態を用いた。

量子高密度符号化による量子エンタングルド状態間の相互変換過程を実験的に検証するために、過程②におけるユニタリー変換  $U_i$  として  $\omega_{34}$  の周波数をもつラジオ波パルスを照射した。図2に Hahn エコー検出によるラジオ波のパルス幅依存性を示す。

エコー強度のパルス幅依存性には、 $1/2$  核スピンのスピノールに由来する  $4\pi$  周期性が観測され、エンタングルド状態の量子情報変換が行えることがわかった。現在、量子高密度符号化の実証と最適な電子-核スピン複合拡張系の探索を行い、多量子ビットの情報制御を試みている。当日は、SDC における量子情報変換の詳細と、分子量子コンピューティングへの分子スピンの応用・電子-核スピン拡張系への展開について考察する。

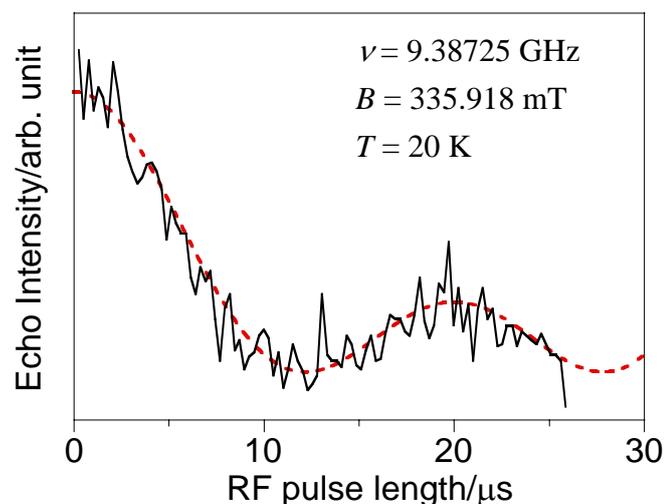


図2 Hahn エコー強度のパルス幅依存性

#### 【文献】

- 1) M. Mehring, J. Mende, and W. Scherer, "Entanglement between an Electron and a Nuclear Spin  $1/2$ ", *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 153001(2003).
- 2) M. Mehring, W. Scherer, and A. Weidinger, "Pseudoentanglement of Spin States in the Multilevel  $^{15}\text{N}@C_{60}$  System", *Phys. Rev. Lett.*, **93**, 206603(2004).