

# 1A07 分子スピン量子コンピュータの要素技術としての Coherent Dual ELDOR によるマイクロ波位相制御と応用

(阪市大院理<sup>1</sup>・近大理工<sup>2</sup>・阪大院理<sup>3</sup>・阪大院基礎工<sup>4</sup>・Bruker BioSpin<sup>5</sup>・JST-CREST<sup>6</sup>)

○佐藤和信<sup>1,6</sup>、中澤重顕<sup>1,6</sup>、Robabeh RAHIMI<sup>2</sup>、吉野共広<sup>1</sup>、西田辰介<sup>1</sup>、  
伊瀬智章<sup>6</sup>、森展之<sup>1,6</sup>、森田靖<sup>3,6</sup>、豊田和男<sup>1,6</sup>、塩見大輔<sup>1,6</sup>、中筋一弘<sup>3</sup>、  
北川勝浩<sup>4,6</sup>、原英之<sup>5</sup>、P. Carl<sup>5</sup>、P. Höfer<sup>5</sup>、工位武治<sup>1,6</sup>

【序論】量子コンピュータは、量子状態のユニタリー変換を有効に活用し、現在のコンピュータの処理能力を凌駕する量子計算モデルとして、量子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り、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てきた。量子コンピュータの概念や基礎理論、さまざまな量子アルゴリズムが確立するとともに、実験的に量子コンピュータを実現するための様々な量子状態・物理系の活用が提案されてきている。我々は、分子設計により多様なスピン物性を持たせることが可能な開核系分子を活用し、電子スピンの介在する分子スピン量子コンピュータを提案し、これまでパルス電子-核二重共鳴(ENDOR)法を用いて電子-核スピン系におけるスピン量子状態の制御を行い、その実現の可能性を示してきた[1,2]。今回、複数の電子スピンの構成されるスピン量子状態を用いた量子演算を目的とし、パルス電子-電子二重共鳴(ELDOR)法によるスピン量子状態の制御を行うために、異なるマイクロ波周波数をもつパルスの相対位相制御技術の確立を目指して装置開発を行った。異なる周波数をもつマイクロ波パルスの位相を同期することによるコヒーレント多重パルス ELDOR(Coherent Dual ELDOR)の実験を可能にし、マイクロ波パルスの時間比例位相増加 (TPPI) 法[3]による電子スピンの量子位相制御に初めて成功した。

【実験】Coherent Dual ELDOR の観測は、Bruker 社とともに開発した Elexsys580 パルス ESR 分光器で Q バンド帯(34GHz)のマイクロ波を使用して行った。第 1 マイクロ波パルスと第 2 マイクロ波パルスの相対位相を同期することにより、Coherent Dual ELDOR の信号を検出した。測定試料には、Coal 粉末及び弱い交換相互作用が期待されるニトロキシドピラジカル **1** の希釈単結晶を用いた。希釈単結晶は、分子 **1** をゲスト、**1** の還元体をホストとして温度降下法により育成した。

【結果と考察】図 1 に室温で観測した Coal 粉末の Hahn エコー検出の磁場掃引 ESR スペクトルを示す。黒い矢印は、第 1 マイクロ波パルスの周波数  $\nu_1$  における共鳴磁場を示している。赤い矢印は、異なる周波数  $\nu_2$  をもつマイクロ波パルスの共鳴磁

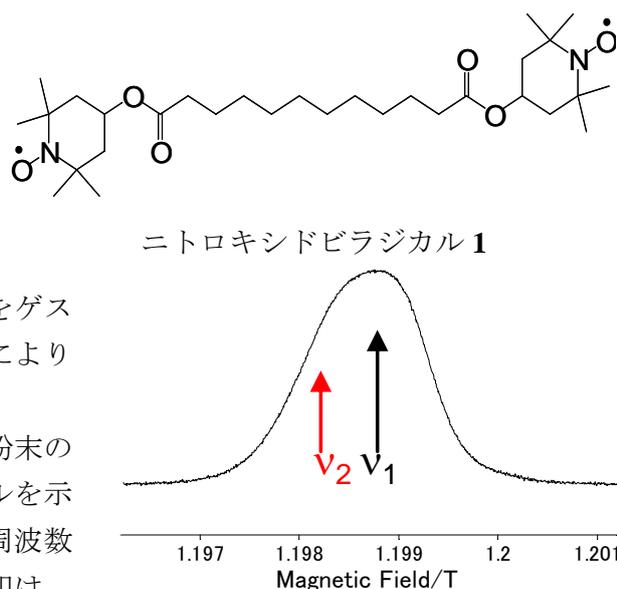


図 1 Coal 粉末のエコー検出磁場掃引 ESR スペクトル

場を示す。 $\nu_1$ 、 $\nu_2$ の2つのマイクロ波パルスを用いて図2に示すスピンエコーを通常の ELDOR 分光器で観測するとき、2つのマイクロ波パルスの相対位相がランダムであるために、シングルショットの測定では信号を検出できるが、積算しても信号が平均化して零になるだけである。また、シングルショットの観測結果についても再現性は保障されないため、意味を持たない。一方、2つのマイクロ波パルスの相対位相を固定することにより初めて2つの異なる周波数をもつマイクロ波パルスによるスピンエコーを観測することが可能である。 $\nu_1 = \nu_2$ のときは、パルス間隔  $t$  の関数として通常のエコー強度の減衰曲線が得られる。 $\Delta\nu (= \nu_2 - \nu_1) = 10$  MHz の条件下で観測されたエコー強度の減衰曲線を図3に示す。エコー信号は、10 MHz の周期で振動しながら、指数関数的に減衰している。これは、 $2\pi\Delta\nu t$  に相当する  $\pi/2$  パルスと  $\pi$  パルスの位相差  $\phi$  に応じて Hahn エコーの回転によるものであり、TPPI によるマイクロ波パルスの位相制御が実現できていることを示している。このとき、Hahn エコー強度は、次式に従って振動する。

$$I \propto \cos 2\phi = \cos 4\pi\Delta\nu t = \cos[4\pi(\nu_2 - \nu_1)t] \quad (1)$$

図3に示したスペクトルは  $\Delta\nu$  を固定した状態で、 $t$  の関数としてエコー強度をプロットしたものである。逆に、 $t$  を固定した状態で  $\nu_2$  を掃引することによっても、パルス位相の制御は可能である。ビラジカル **1** を用いて、Coherent Dual マイクロ波パルスにより観測した周波数掃引スペクトルを図4に示す。スペクトルより、図3と同様に(1)式に従い、 $\Delta\nu$  の関数として TPPI により位相を制御できていることが明らかとなった。発表当日は、スペクトルの詳細な解析と併せて、Coherent Dual ELDOR 分光法の応用について考察する。

【参考文献】

- [1] R. Rahimi, K. Sato, T. Takui et al., *Int. J. Quantum Inf.*, **3**, 197 (2005).
- [2] K. Sato, R. Rahimi, T. Takui et al., *Physica E*, in press (2007).
- [3] P. Höfer, *Appl. Magn. Reson.*, **11**, 375 (1996).

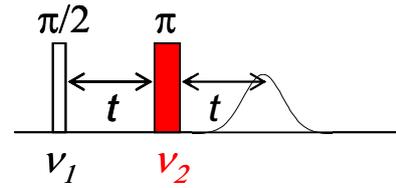


図2 Hahn エコーパルス系列

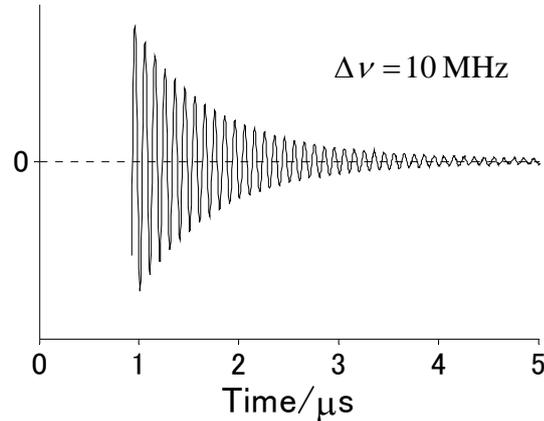


図3 TPPI によるマイクロ波パルスの位相回転スペクトル。横軸はパルス間隔  $t$  を示す

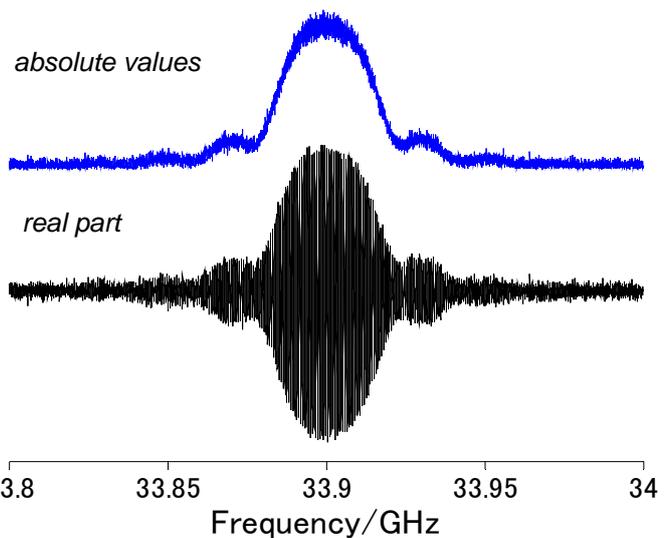


図4 Coherent Dual ELDOR を用いた周波数掃引スペクトル