The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Studies on Entanglement in Nuclear and Electron Spin Systems for Quantum Computing
Author(s)	Robabeh, Rahimi Darabad
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46746
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【97】

氏　　名	Robabeh Rahimi Darabad（ロバベ ラヒミ ダラバド）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学　位　記　番　号	第　２０４４４　号
学位授与年月日	平成 18 年３月 24 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学　位　論　文　名	Studies on Entanglement in Nuclear and Electron Spin Systems for Quantum Computing **（量子計算のための核スピン－電子スピン系におけるエンタングルメントの研究）**
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　北川　勝浩 （副査） 教　授　占部　伸二　　教　授　井元　信之 大阪市立大学大学院教授　工位　武治

論　文　内　容　の　要　旨

核磁気共鳴（Nuclear Magnetic Resonance：NMR）を用いた量子情報処理や量子計算において量子もつれあい状態（エンタングルメント）が果たす役割を探求するために、NMR を用いた量子高密度符号化（SuperDense Coding：SDC）実験に関する考察を行った。申請者は、NMR のような膨大な数の核スピンが並列に作動するアンサンブル量子情報処理において、情報の転送における１分子あたりの寄与を統計的に考察し、古典的情報転送を凌駕するためには核スピンの初期偏極がある閾値を超えている必要があることを見出し、またその閾値が密度行列の数学的表現が直積の形に分離不可能な条件と一致することを示した。また申請者は、Entanglement witness の概念を拡張して、実際の NMR 実験において簡便に実行できるエンタングルメントの検出法を提案した。

さらに、上記の研究により得られた理論的洞察の結果を受けて申請者は、既存技術でエンタングルメント生成に必要な磁場や温度を達成することがよりたやすい電子スピン－核スピン系に着目し、電子スピン－核スピン二重共鳴（Electron Nuclear DOuble Resonance：ENDOR）を用いた量子情報処理の実現をめざして以下の要素技術の研究開発を行った。

(1) エンタングルメント生成のための ENDOR パルスシーケンスの考案と実験的デモンストレーション

(2) 分子スピンバス系に適した材料分子の探求

(3) TPPI 法（経過時間に比例してマイクロ波の位相を増加させる手法）を用いることによる、電子スピン－核スピン系の量子状態を読み出す手法の開発

論文審査の結果の要旨

量子計算が古典計算を凌駕するには量子もつれ（entanglement）の存在が必須と考えられているが、室温での核磁気共鳴（NMR）実験には量子もつれが存在しないことが数学的に証明されており、NMR 量子計算実験の解釈が論争

となっていた。

申請者は、量子もつれを必要とする最も単純な量子情報処理として超高密度符号化（Superdense Coding：SDC）の NMR 実験を理論的に考察することによって、以下のことを示した。1）従来の実験で観測された信号は多数の分子からの寄与に拠るもので、量子もつれに拠るものではない。2）1分子内で真の SDC を達成するには、核スピンの初期偏極がある閾値を超えている必要があり、その閾値は混合状態が量子もつれを持つ条件と一致する。

さらに、申請者は、この性質を量子もつれの検出に利用することを着想し、従来の Entanglement Witness の概念を複数の可観測量に拡張して、実際の NMR 実験においてより簡便に検出可能な方法を考案した。

また、申請者は、量子もつれを達成するために、NMR よりも高い偏極が得られる電子スピン－核スピン系に着目し、電子スピン－核スピン二重共鳴（ENDOR）による量子情報処理を目指して、分子材料の評価、量子演算および量子状態観測の実験、電子スピンの高偏極を二重に活用する初期化法の考案を行なった。まだこの系で真の量子もつれの実現には至っていないが、申請者の実験は世界的にもそれに最も近いところに位置している。

以上のことから、本論文は、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。