

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
平成 28 年度採択研究代表者

H28 年度 実績報告書

北川 勝浩

大阪大学大学院基礎工学研究科
教授

室温超核偏極と量子符号化による超高感度生体 MRI/NMR

§ 1. 研究実施体制

(1) 北川グループ

- ① 研究代表者: 北川勝浩 (大阪大学基礎工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・室温超偏極と量子符号化による *in vitro* NMR と MRI の超高感度化

(2) 吉岡グループ

- ① 主たる共同研究者: 吉岡芳親 (大阪大学免疫学フロンティア研究センター、特任教授)
- ② 研究項目
 - ・トリプレット DNP を用いた超高感度生体 MRI とその免疫学・生命科学への応用

(3) 森田グループ

- ① 主たる共同研究者: 森田 靖 (愛知工業大学 工学部応用化学科、教授)
- ② 研究項目
 - ・トリプレット DNP による超高感度 MRI/NMR のための位置選択的に同位体で修飾された分子の設計と化学合成

§ 2. 研究実施の概要

本研究は、3つの量子技術を駆使して、核磁気共鳴(NMR)と核磁気共鳴画像法(MRI)の感度を飛躍的に向上することによって、従来不可能であった生体内の微量分子の代謝やダイナミクスを可視化できる革新的技術を創出することを目標としている。

第1の量子技術は光励起三重項状態を用いた動的核偏極(トリプレットDNP)であり、本年度はこの技術の研究に注力した。光励起した分子(例えばペンタセン)が三重項状態に遷移する際、量子的な過程で磁場や温度に依存せずに電子スピンの高偏極状態が作られ、これを利用して核スピン偏極率を向上し高感度化させる(図1)。

これまでトリプレットDNPで高感度化された物質は水に不要なものばかりであったが、今回初めて水溶性の安息香酸の高感度化に成功した。室温、0.4 Tの磁場中でのトリプレットDNP下における安息香酸粉末中の水素核スピン偏極率向上の様子を図2に示す。光吸収特性やESR特性を測定し、様々なトリプレットDNP条件で実験を行った。そして、0.04 mol%ペンタセンをドーブした安息香酸粉末で約0.4%の高偏極化を達成した。

最終到達偏極率は、DNPで偏極率が向上するレートと、核スピン格子緩和で偏極率が減少するレートの競合により決まる。さらなる高偏極化を目指し、核スピン格子緩和の原因となっているカルボキシル基だけを位置選択的に重水素置換した安息香酸に、0.04mol%全重水素化ペンタセンをドーブした試料で0.8%の水素核スピン偏極率を達成した。

粉末試料ではゼロ磁場分裂相互作用の異方性によってブロードなESRスペクトルとなり、トリプレットDNPに参加させることができる電子スピンの数が非常に少ない。単結晶試料を用いて、様々な配向でトリプレットDNPを行い、偏極率2.4%を達成した。これはMRIに用いられる3 T、室温下の熱平衡偏極率の2500倍である。

第2、第3の量子技術である量子鈍感符号化、量子敏感符号化について基本的な部分の理論研究を行った。また、符号化に用いるセンサー分子候補の合成を一部行った。

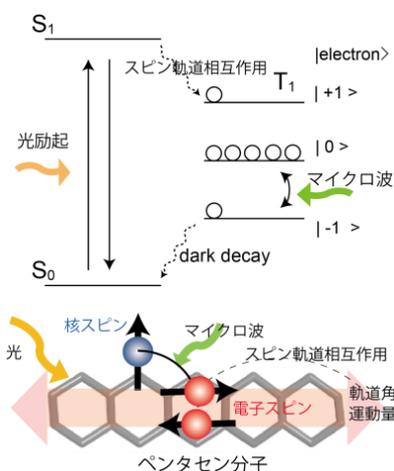


図1：トリプレットDNP

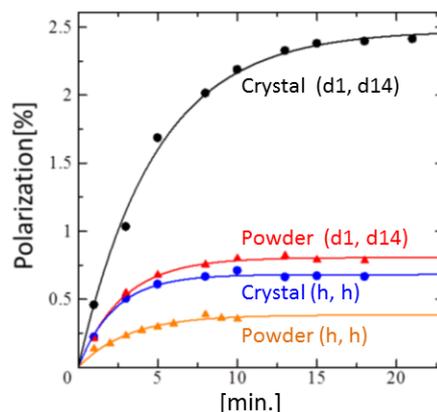


図2：安息香酸試料中水素核スピン偏極率向上の様子。