

「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

H29 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、光励起した分子(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(偏っている割合)を向上し高感度化させる。液体 NMR や MRI の代謝イメージングへ応用するには、DNP で用いる固体試料を高偏極化後に溶解する必要がある。これを実現するための実験装置を開発し液体 NMR 信号の取得に成功した。9° パルスで1秒ごとの NMR 信号を観測した結果、固体状態から液体状態へ溶解しても偏極率が保持されることがわかった。本成果が J. Phys. Chem. A 122, 4294, 2018 に掲載された。室温溶解法及びそのための装置に関して特許出願した。

トリプレット DNP で高偏極化が可能な新規なセンサ分子の探索を行った。またそれらの分子にドープしたペンタセンの三重項状態の電子スピン共鳴を測定した。新規なセンサ分子についても安息香酸と同等な核スピン偏極が得られた。化学合成によって、これらの新規なセンサ分子の位置選択的な同位体置換を行った。

第2の量子技術は、高偏極化した核スピンの状態を、緩和が起こりにくい状態にする量子鈍感符号化である。分子構造を与えることで、縦緩和時間を計算できる理論を構築した。また予備実験ではあるが、量子符号化による核スピン緩和抑制を実験により再現した。

第3の量子技術である高感度な検出を行うための量子敏感符号化の研究では、偏極率が100%より小さい場合についても厳密な理論解析を行い真の量子利得がある条件を明らかにした。また、デコヒーレンスが存在する状況下での理論解析も行なった。

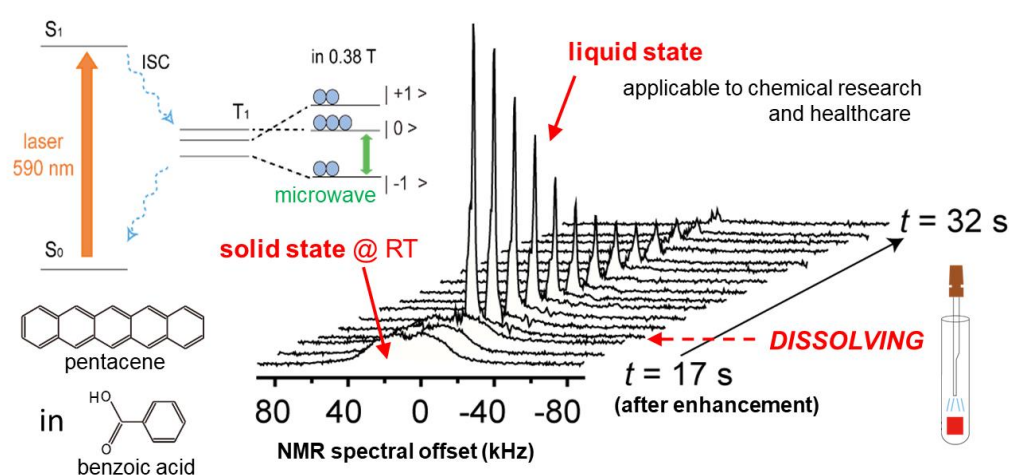


図1: トリプレット DNP によって高感度化された安息香酸の ^1H -NMR