

蛍光ナノダイヤモンドを用いた量子生体センサー

鹿野 豊[†] (筑波大学システム情報系, チャップマン大学量子科学研究所 yshikano@cs.tsukuba.ac.jp)

藤原正澄 (岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域 masazumi@okayama-u.ac.jp)

計算・通信・暗号といった現代の情報社会の礎として情報理論がある。一方、情報社会を担うハードウェアは物理法則に従うデバイスによって構成されているため、物理法則によって制限された情報理論が必要である。

中でも、量子力学の法則によって制限された情報理論は量子情報科学と呼ばれ、量子エレクトロニクス技術と融合しながら40~50年かけて発展してきた。

デジタル社会の情報処理の最小単位を「ビット」と呼ぶが、同様に量子情報処理の最小単位を「量子ビット」と呼ぶ。一般に、量子ビットは外界環境に対して脆弱であり容易にその状態を変化させてしまう。この性質は量子ビットの品質向上にとって負の側面であるが、見方を変えれば、環境因子を精密に測定できる能力を保持していることを意味している。そのため、このような物理系の応用は**量子センサー**と呼ばれる。

量子センサーは単一原子レベルでの量子状態操作が可能であることから、従来のセンサーより高感度でかつ高い空間分解能であると期待されている。これらの情報技術や計測技術をまとめて、量子情報技術または量子技術と呼ぶようになった。そして近年、量子計算機の実装を中心に量子情報技術の研究開発が盛んに続けられている。

量子情報技術の中でも、室温動作が可能な物理系として注目されている**ダイヤモンド中の窒素・格子欠陥(NV中心)にある電子スピン**は、**光検出磁気共鳴法**を用いることで、量子状態を可視光で読みだすことができる。また、その量子状態はマイクロ波を印加することで容易に制御できる。ダイヤモンドNV中心の基底状態は電子3重項状態であり、超微細構造を持つ。この超

微細構造が磁場、圧力、温度に対して変化するため、ダイヤモンドNV中心は室温で動作する量子センサーとして開発が進められ、理想的な環境において従来技術のセンサーより感度が向上しているということが示されてきた。一方で、生体試料などの実際に調べたい環境において、ダイヤモンド量子生体センサーがどのような性能を示し、これまでに得ることができなかった知見をもたらすことができるかは分かっていなかった。

そこで、人工的に作製された蛍光ナノダイヤモンドを量子センサーとして生体試料に微小ガラス管を用いて投入し、生体試料内部の温度を局所的に計測した。具体的には、「生物学研究の未来」として称されることもある**線虫**(*C. elegans*)というモデル生物を生体試料として、薬剤投下時の発熱現象を計測した。まだ、薬剤投下時の発熱は分子科学的なメカニズムが解明されていない生理現象ではあるが、局所的な量子生体センサーを用いることで発熱現象自体が線虫内で起こることの証拠を得た。

量子生体センサーの研究開発は、純粋なる物理学の基礎研究として捉えるのが非常に難しくなる一方で、他分野への応用を推進していく上で、他分野の未知なる現象を解明するために使われなければならない段階にある。そして、誰かが近い将来『量子情報技術の常識』という教科書を執筆した時、

量子情報技術分野の存在価値の大半が、その分野が他分野に対して果たす役割の大きさに依存することを忘れてはならない。

と書き記されているであろう。

用語解説

量子センサー：

量子情報処理の最小単位である量子ビットの外界環境脆弱性を積極的に利活用したセンサーの総称。量子もつれを利用することで原理的に感度が向上することが示される物理系であるが、最近では、アンサンブルで扱う物理系ではなく、原子レベルで数えられる量子物理系で構成されているものを指すことも多い。

ダイヤモンド中の窒素・格子欠陥中の電子スピン：

ダイヤモンドの結晶中、本来は炭素があるべきところに窒素で置換され、隣接する位置に空孔がある複合欠陥のこと。窒素・格子欠陥に電子1個を捕獲して負に帯電した時に $S=1$ の電子スピンを持つ。

光検出磁気共鳴法：

電子スピン共鳴や核磁気共鳴のシグナルを物質に光を照射した際の発光量により捉えることができる二重共鳴技術の1つ。共焦点顕微鏡と組み合わせることで、空間分解能が高い測定ができることが利点である。

線虫：

本来は、線形動物門に属する動物の総称であるが、「モデル生物」の線虫となると、中でも特殊なカエノラブディティス・エレガンス(*Caenorhabditis elegans*, *C. elegans*)を指していることが多い。実験室中での取り扱いの簡便さやデータベースや生物リソースが他のモデル生物に比べて整備されていることが知られている。

[†] 編集委員が著者に含まれておりますが、このような場合、会誌編集委員会では別の委員を担当編集委員に選び、記事の公正さを保つという内規に従っております。