

令和5年2月7日

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
理事長 平野 俊夫 殿

量子生命科学研究開発評価委員会
委員長 濱地 格

研究開発課題の事後評価について（答申）

令和4年7月4日付け文書にて当委員会に諮問のあった下記の研究開発課題の事後評価について、その評価結果を別紙のとおり答申します。

記

- ・研究開発課題「量子生命科学研究」に関する事後評価

以上

研究開発課題「量子生命科学研究」における事後評価に関する答申

1. はじめに

量子生命科学研究開発評価委員会（以下、「本委員会」という。）は、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下、「量研」という。）からの諮問に基づき、量子生命科学研究所（以下、「量生研」という。）が作成した研究開発実施状況および運営に関する説明資料並びに量子生命科学研究所長による口頭説明および同職との質疑応答による事後評価を実施した。その結果をここに取りまとめる。

2. 事後評価の概要

○ 評価の方法

8名からなる「量子生命科学研究開発評価委員会」を設置し、オンライン形式による評価を実施した。各委員は総評および次の各観点からの評価意見を述べ、委員長が各委員の意見を基に評価結果を取りまとめ、総合所見を記載した。

- ① 量子生命科学研究に関する基礎的研究開発及び経済・社会的インパクトの高い革新に至る可能性のある先進的な研究開発を実施し、優れた成果を生み出しているか。
- ② 研究開発成果を最大化するための研究開発マネジメントは適切に図られているか。
- ③ 国際協力や産学官の連携による研究開発の推進ができているか。
- ④ 産学官の共創を誘発する場を形成しているか。

○ 量子生命研究開発評価委員の構成

	青木 茂樹	順天堂大学大学院医学研究科	主任教授
	飯田 琢也	大阪公立大学 LAC-SYS 研究所	所長
	岡部 弘基	東京大学大学院薬学系研究科	助教
	酒井 一夫	東京医療保健大学看護学研究科	客員教授
	田中 成典	神戸大学大学院システム情報研究課	教授
委員長	濱地 格	京都大学大学院工学研究科	教授
	原田 慶恵	大阪大学蛋白質研究所	教授
	村田 武士	千葉大学大学院理学研究院	教授

○ 評価の対象：研究開発課題「量子生命科学研究開発」

○ 評価の期間：平成 28 年度から令和 4 年度（中長期計画期間）

3. 評価結果

本委員会は、所定の評価方法に基づき、量研における「量子生命科学研究開発」に関する事後評価を行い、その結果を以下の通り取りまとめた。

【総評】

量研内に平成31年4月に量子生命科学領域を立ち上げ、令和3年4月からは量子生命・医学部門量子生命科学研究所として新しくスタートした。研究組織立ち上げ後4年の間に、外部も含め19の研究チーム約100名の研究者からなる組織が整えられ、量子生命科学に関する基礎的かつ先進的な研究開発を実施し、優れた研究成果を挙げるなど、画期的な研究分野の開拓、創設が達成されたものと評価する。令和3年2月に量子技術イノベーション拠点の一つとして量子生命拠点に指定されたことに伴い、量子生命科学研究拠点センターを設置、令和4年6月には千葉地区に量子生命棟が竣工、研究施設の集約が進められ、量子計測・イメージング装置を共用するテストベッドを構築し、日本の量子技術イノベーション戦略を生命科学分野において産学官の連携で強力に牽引したことで、「量子生命科学」の普及に大きく貢献している。基礎研究の成果に加えて、光・量子飛躍フラッグシッププログラム Q-LEAP 量子計測／センシング（量子生命）（以下、「Q-LEAP」という。）への採択や、内閣府官民研究開発投資拡大プログラム PRISM「量子技術領域」（以下、「PRISM」という。）を活用した企業との共同研究により、産学官連携に関しても興味深い成果が得られ始めており、特に計測システムを自動化し社会実装する道筋も整備されつつあり、量子生命科学研究の飛躍的発展の土台が完成しつつあることは高く評価できる。

量子生命科学に貢献する優れた基礎研究により、学術的にインパクトの高い多くの成果が創出されたことは高く評価できる。特に5ナノメートルサイズのナノダイヤモンドを用いた量子センサの作製および高機能化や、それらセンサによる精密な生命現象計測に関する業績は素晴らしい。これらの成果を生体で確認・応用することを視野に入れており、オルガノイドや認知症モデル系に応用した先駆的検討は画期的であり、今後の発展が大いに期待される。また、従来から量研の強みである中性子を活用した精密構造解析においても、量子生命現象との相関を期待させるような成果が着実に得られている。量研内において、量子機能創製センター、放医研、量医研、関西研および次世代放射光センターとの連携体制を構築しただけでなく、国際連携を含めた外部機関との連携により量子生命科学分野でのネットワークを構築することで、全体として当初計画の想定を越えた、優れた研究成果が得られたと判断できる。以上のように、最先端技術となる要素が揃いつつあり、研究開発マネジメントも万全である一方で、新規性の高い計測研究を促進し、生物学・医学分野において重要な成果へ結実させるためには、引き続きトップダウンを含む内外の連携強化や拠点強化が重要であろう。また、今後の展開を考えた時、個体レベルの現象と量子レベルの現象との間に埋めるべきギャップが存在するので、より一層の高度化・精緻化を期待したい。

大学など研究教育機関との共同研究や外部連携において、博士後期課程の大学院生の支援やサマーセミナーなどのアウトリーチ活動など、若手人材育成に関して量子生命拠点としての社会貢献を精力的に進めており、広報・アウトリーチ活動の点に関しても高く評価できる。加えて、国内外大学・企業・学会等からなる医学・創薬ユーザーコンソーシアム、企業コンソーシアムとの連携による医学・創薬応用分野、産業ニーズの開拓を実施した。

以上より、当初計画は全て実施され、第1期中長期目標は達成されている。さらに当初は予想し得なかった世界最先端の量子技術も数多く開発されている。その成果を最大化するためのマネジメントや国際協力体制、産学官共同研究体制も適切に推進されている。

【各観点について】

- ① 量子生命科学に関する基礎的研究開発及び経済・社会的インパクトの高い革新に至る可能性のある先進的な研究開発を実施し、優れた成果を生み出しているか。

「量子から個体まで」のキーワードのもとに、画期的な学問領域の創成に主導的な役割を果たすとともに、量子生命科学の研究拠点として、量子生命科学ロードマップを実現すべく「ナノ量子センサによる生命科学の革新」、「量子技術を用いた超高感度MRI/NMRの実現」、「量子論的生命現象の解明・模倣／量子から個体に至る放射線生物応答の解明」の3つを主要テーマとし、量子生命科学に関する基礎的研究開発を中心に研究を推進し、世界的にもインパクトの高い量子生命科学に関する成果を挙げた。

ナノ量子センサに関する基礎的研究は当初の想定以上に進んでおり、高機能化技術の開発（小型化、高感度化）や計測モードの開発（温度、pH、三次元回転）は申し分なく、ナノ量子センサが最先端技術となる要素はすでに十分に示され、今後、社会的インパクトのある研究に繋がる成果も多く、今後の発展が期待できる。具体的には、5ナノメートルの量子センサの実現、ナノサイズのpHセンサの実現、細胞内の分子1個の回転運動の三次元検出、パルス光の制御による蛍光ナノダイヤモンドの検出効率の大幅向上（100倍）および選択的イメージングの実現などの基礎的技術の開発に加え、開発した量子センサを医療等に应用することを見据え、オルガノイドや認知症モデル系への適用を進めており、温度等の変動機構やその意義といった生物学的検証は極めて重要な研究に繋がることを予想される。今後はそれぞれの技術要素を一つのセンサに落とし込み、実際に細胞や臓器内にて世界最先端の計測へと実装することを期待する。また、生命現象の解明研究にナノ量子センサを応用するためには、細胞内分布の正確な記述と局在の制御が必須であることから、計画通りの研究の発展が必要である。

量子技術を用いた超高感度MRI/NMR研究については、精密分子設計による超高感度MRI分子プローブの開発を実現した。

量子論的生命現象の解明・模倣／量子から個体に至る放射線生物応答の解明研究では、中性子構造解析によるタンパク質の運動や構造の研究、量子化学計算に立脚したシミュレーション研究で成果を挙げた。具体的には、光合成の電子伝達を担う高電位鉄硫黄タンパク質の中性子結晶構造解析、中性子非弾性散乱法を用いた高毒性アミロイド凝集の

分子メカニズムの解明、更には、AFM を用いた DNA 放射線損傷の直接観察の成功など、特筆すべき世界に誇る多くの優れた成果を生み出した。

研究成果については、適宜プレスリリースも実施し、量子生命科学研究成果の普及に大きく貢献したと言える。研究開始の令和元年から年ごとに論文数は増加しており、Top10%の論文数報を含む 50 報を超える論文を毎年報告していることに加え、Science Advances、ACS Nano、PNAS など高 IF 論文誌に掲載され学術的に著しい成果が得られていることは高く評価できる。また、特許の出願、登録数も着実に増えている。

以上から、量子生命科学に関する基礎的研究開発および、先進的な研究開発を実施し、優れた成果を生み出していると評価する。

② 研究開発成果を最大化するための研究開発マネジメントは適切に図られているか。

フラットかつオープンな組織運営により種々の領域にまたがる合計 19 の研究チームが機能的に組織されていることに加え、クロスアポイントメント制度を活用し、研究開発の成果最大化を目指すマネジメントの枠組みを確立した。外部連携ラボを多数形成しての研究遂行や、国際連携を含めた外部機関との連携研究を積極的に推進していることは高く評価できる。また、Q-LEAP や PRISM を活用した量子生命科学分野での産学官のネットワーク構築、オープンイノベーションのための研究棟の建設、量子生命科学推進に資する基盤施設の整備と集約並びに施設共用など、特筆すべき成果が挙げられており、成果創出に向けての強力な体制構築とマネジメントがなされていると判断される。例えば、今後、量子技術を「真の」生物学・医学研究において真価を発揮させるためには、試行錯誤に加え設計改良に関する膨大な労力が必要となることが予想されるが、それに耐え得る体制であると評価する。一方で、量子生命科学研究の深化促進には、所内の交流や内部連携を更に促進する取り組みとして、トップダウン型の強力な異分野融合研究なども大切であろう。今後、これらの連携からハイインパクトな成果が創出され、新分野創成や新産業創生につながることを期待する。また、最先端基盤施設などのオープンイノベーションのための施設共用に関してもユーザビリティを向上すると同時にテクニカルスタッフも拡充し、共用化が促進されることを期待する。

プレスリリースやメディア取材などを通して、得られた成果を世界に広く発信するとともに、一般研究者に向けた 4 件の解説書等の企画・出版を行うことで、量子生命科学の普及および啓発を行った。

このように、研究開発成果を最大化するための研究開発マネジメントは十分に図られていると高く評価する。

③ 国際協力や産学官の連携による研究開発の推進ができているか。

コロナ禍もあり、実際のオンサイトでの交流は制限を受けたと思われるが、オンラインも活用して、国内外の量子生命科学分野の研究者との連携環境を構築し、今後を期待できるネットワーク形成に成功した点は高く評価される。第 3 回 QST 国際シンポジウ

ムにおいて「量子生命科学」をテーマとして企画・運営し、国内外の量子生命科学分野の研究者との連携環境の構築を通じて、国内外の多数の大学と拠点形成に向けて連携を深めたことは非常に効果的である。また、全量子技術イノベーション拠点が共催する国際会議 Quantum Innovation を令和3年から毎年開催し、量子センシングトラックのチェアを担当したことに加え、Q-LEAP 量子計測・センシングとして第4回および第5回国際フォーラムを共同プログラムとして開催し、国際連携の推進と国際動向調査を実施するなど、国際連携を推進した。

令和3年2月、国内8拠点（令和4年度より10拠点）の量子技術イノベーション拠点の一つとして量子生命拠点に指定されたことに伴い、量子生命科学研究拠点センターを設置し、生命科学分野において量子技術イノベーション戦略を産学官の連携により推進する体制が整備され、今後の連携拡大がさらに期待される。企業にとって魅力的なシーズを示し連携を図る仕組みが構築されつつあり、具体的に、光学メーカー、分析装置メーカー、電子部品メーカーなどとの連携体制が構築できている点は高く評価できる。

以上、国際シンポジウム等での情報交換、産業界との意見交換を行うことで、国際協力や産学官の連携による研究開発を推進しており、今後、企業からの共同研究費の増加も期待できることから、国際協力／産学官連携による研究開発が加速するものと評価する。

④ 産学官の共創を誘発する場を形成しているか。

生体ナノ量子センサ計測系および中性子回折装置に関し、PRISMにて研究開発を加速し、QST内外の多数の研究者が利用開始しており、優れた量子技術・研究開発の成果を社会実装する試みは極めて重要であり、今後の発展が強く期待されるとともに、産学官の共創誘発の場の形成に貢献している点は高く評価できる。また、超偏極技術の応用や社会実装の開拓のため、DNP (Dynamic Nuclear Polarization) 研究会を開催し、約30社の企業と日本画像医療システム工業会から150名超の参加があり、共同研究や社会実装に向けた試みが実施されており、大いに期待したい。加えて、感染研学友会シンポジウムや一般社団法人バイオインダストリー協会、日本製薬工業協会、量子技術による新産業創出協議会 Q-STAR と連携したセミナーを開催し、産業界との意見交換を通じた産学官連携を推進する取組みは高く評価する。

国内外の大学や研究機関との官学の連携は良好に進んでおり、クロスアポイントメント・兼務・客員など人材による連携、連携ラボ／連携講座／人材育成教育コースの設置など、共同研究や教育での連携を行っている。特に、東北大学大学院医学系研究科には令和4年度から量子生命・分子イメージング連携講座が設置され、量生研より連携教授1名、連携准教授4名が参画、千葉大学融合理工学府先進理化学専攻には令和5年度から量子生命科学コースが設置され、量生研より客員教授9名、客員准教授3名が参画する。また、「量子ネイティブ」の育成に向けた取組みなど、量子生命科学に関する研究領域の発展に資する根本的な取組みは素晴らしい。

以上のように、国内外のアカデミアや企業との連携体制の構築において主導的な役割を果たし、産学官の共創を誘発する場の形成は十分に達成されていると評価できる。

4. 総合所見

第1期中長期目標において、「量子生命科学研究」として当初計画された事案は、全て順調に実施され、第1期中長期目標は達成されていると判断する。基礎研究においては、世界最先端レベルのナノ量子センサの開発からその医療応用を見据えた研究展開など、当初は予想し得なかった世界レベルの量子技術も数多く開発されており、極めて高く評価する。その一方で、新規性の高い計測研究をさらに推進し、これを活用した生物学・医学分野における重要な成果へ結実させるためには、引き続きトップダウンを含めた融合、連携や拠点強化が重要であろう。中長期の研究を展望する際には、個体レベルの現象と量子レベルの現象との間に埋めるべきギャップが多く存在し、そこに真に新しい研究開発の種が見つかることも大いにありうるので、より一層の高度化・精緻化を期待したい。また、Q-LEAP や PRISM の採択とその活用による産学官連携の強化など、当初は予想し得なかったマネジメントを含めた取り組みも特筆に値する。とりわけ、コロナ禍において種々の活動に大きな制限があったにも関わらず、現在及び将来にかけて得られる成果を最大化するためのマネジメントや国際協力体制、産学官共同研究体制もその枠組みの構築から拡大へと適切に推進されており、これも高く評価できる。

以上