

ERATO「竹内バイオ融合」プロジェクト 追跡評価報告書

1. 研究成果の発展状況や活用状況

研究総括であった竹内は、本プロジェクト終了後も JST の CREST、START、未来社会創造事業に研究代表者として採択され、AMED と NEDO から競争的研究資金を獲得している。科研費に関しても 2 件の基盤研究(S)の大型資金を得て、本プロジェクトで挙げた研究成果を継続的に発展させている。展開した研究分野も、移植医療、創薬、環境センサ、ロボット、食料(人工食肉生産)など多岐に亘り、得られた研究成果の幅広い応用を目指している。

プロジェクト期間中に投稿された論文は 167 報(このうち Top10%以内は 16 報)であるのに対して、プロジェクト終了後に投稿された発展論文はすでに 113 報(このうち Top10%以内は 12 報)に達している。特許出願に関しては、プロジェクト期間中では出願件数は国内が 13 件、海外が 4 件であったが、プロジェクト終了後は国内が 20 件、海外が 9 件と大きく増加している。本プロジェクトの研究成果の社会実装に向けて、確実に準備が進んでいることが示唆される。

2. 研究成果から生み出された科学的・技術的および社会的・経済的な波及効果

(1) 研究成果の科学的・技術的観点からの貢献

竹内らが開発したビルディングブロック作製技術と集積化三次元組織に関する技術は、細胞を機能的な組織へ組み立てるための基盤技術となり、iPS 細胞を適切な細胞に分化させ、各分化細胞を用いて線状、面状の組織を作製し、それらを適切に配置させて集積化三次元組織を構築することができる。したがって、生体外で機能的な臓器を形成すること、さらにその臓器自体を移植することの可能性が拡がり、困難とされてきた疾患治療への応用が期待される。

また、脂質二重膜形成に関する基本技術に関しては、この技術を応用することで脂質二重膜を安定的、かつ高い再現性で作製することや、複数の膜タンパク質を同時に評価することが可能となるので、医薬品候補となる膜タンパク質を高い効率でスクリーニングできるようになる。

食料危機の到来が懸念されている中、動物性タンパク質の安定的な摂取のために、動物から採取した筋肉の細胞を培養して作った肉(培養肉)の持続的な製造技術を確認し、豊かな食生活を守ることが期待されている。浮遊大量培養技術、三次元筋組織構築技術、ならびに食品評価技術を展開することで、ウシ筋芽細胞を用いた培養ステーキ肉の生産技術の確立を目指し、ウシ筋細胞の大量培養技術および cm サイズの培養ステーキ肉の構築技術を確認

し、社会に受容される培養ステーキ肉の実現を達成目標として、研究が進められている。

本プロジェクトで展開された研究開発は、研究終了後も従来の工学、生物学といった学問領域を超越し、医学、薬学、ロボティクスなども巻き込んだ複合領域に及んでいる。投稿論文は多数引用され、世界的に広い分野の研究者に影響を与えており、「バイオハイブリッド（バイオ融合）」という新たな最先端研究領域が形成された。しかしながら、当初目指した移植可能な「三次元組織」の構築という意味では未だ道半ばである。三次元培養を行った細胞塊の移植操作性の向上という点では、ファイバ技術は明らかな優位性を持っているが、生体内の三次元組織の複雑で精緻な機能を再現するには、生物学的な理解も技術的な方法論もさらなる進展が求められる。

科学技術の進歩への貢献や研究成果に関する評価を示す指標の一つとして、受賞が挙げられる。プロジェクト終了後に竹内は、中谷賞奨励賞(2017年)、市村学術賞貢献賞(2017年)、永瀬賞最優秀賞(2017年)、中辻賞(2019年)、UNESCO Netexplo Award Winner(2019年)を受賞した。

(2) 研究成果の社会的・経済的観点からの貢献

竹内らが挙げた研究成果に関しては、すでに他の研究機関や民間企業との共同研究を通じて社会実装に向けた取り組みが進んでいる。例えば、AMED のプロジェクトに参画し、細胞ファイバの技術を基にした iPS 細胞の本格的な再生医療分野への展開を図っている。細胞ファイバによる単純な組織の移植の実用化は近いのではないかと期待されている。

また、創薬分野における薬効や副作用の評価法として、ヒト iPS 由来心筋三次元組織やヒトの胎盤を模した三次元組織構築の研究を進めており、薬剤製薬企業と共同で薬剤開発のためのツールとして確立することを目指している。

NEDO の事業支援を受けて、他の公的研究機関と民間企業との共同研究により、ヒトの汗の匂いに反応する蚊の膜タンパク質(嗅覚受容体)を人工的に作った細胞膜に組み込んだ匂いセンサの開発に成功している。視界不良のため、画像探査等が不可能な災害現場などで不明者を探すセンサとして応用することが期待される。

さらに、民間企業との共同研究により牛肉由来の筋細胞を用いて、サイコロステーキ状のウシ筋組織を作製することに世界で初めて成功した。社会の反応を確かめながら慎重に研究を進め、2025年の概念実証を一つの目標としている。

線形状のビルディングブロックを作製する技術を基盤として、竹内は、2015年に大学発ベンチャー企業セルフファイバ社を起業した。主として細胞治療用途の細胞量産技術開発に取り組んでいる。さらに NEDO から事業支援を受け、医療グレードの細胞を大量に培養する技術開発を加速させている。

また、竹内が機械工学の出身でありながら、組織工学の分野で顕著な成果を挙げ、当該分野における我が国の第一人者の一人となっていることは、従来から、細胞培養を研究手段と

して利用してきた、細胞生物学、生化学、生理学、薬学、基礎医学、あるいは、生物工学、組織工学、医工学、医用材料分野に加えて、機械工学・ロボティクス、情報系の研究者も含めた分野横断的な細胞工学コミュニティの形成に大きな役割を果たしていると言える。

以上により、本研究プロジェクトは研究成果の発展や活用が認められ、科学的・技術的および社会的・経済的な波及効果が十分に生み出されている。

以上