

## ミライの食「培養肉」の万博展示とその後



万博からの  
メッセージ

松崎 典弥\*

Future Food “Cultured Meat” at the World EXPO Exhibition and Beyond

Key Words: World EXPO, Cultured meat, 3D printing, Tissue engineering

### はじめに

世界の人口は2019年の約77億人から2050年には約97億人へと増加し、2100年には約109億人(2019年比42%増)へと急激に増加する見通しである [1]。また、国際連合食糧農業機関による報告書によると、2050年の食糧需要量は2012年比50%増加すると推計されており、その要因は世界人口の増加および新興国を中心とした所得の増加に伴う食肉需要の増加、食肉需要に伴う飼料用穀物の増加があげられる。従って、今後タンパク質を十分に供給できなくなると予想されており(プロテインクライシス)、2050年頃から顕在化すると予測されている。

そこで、近年注目されているのが、植物由来肉や培養肉、昆虫食などの代替タンパク質である。植物由来の代替肉は既に市販されており、一定の市場を獲得しつつある。植物由来代替肉に用いられる大豆や緑豆は、タンパク質を豊富に含むが脂質が少ないためヘルシーではあるが、食肉の代替として用いるためには脂肪分を添加する必要がある。そのため、現在、シンガポールで販売されている「培養肉」は、緑豆成分に動物細胞を混入して作られている。単にタンパク源として摂取するだけではなく、「肉」としての味わいや満足感を重視する場合、動物細胞で作製する培養肉が適切と考えられる。

培養肉は、牛などの動物から採取した細胞を培養し、成形することで作製された肉を指す。現在、私

たちが食べている食肉は動物の骨格筋や脂肪から形成されたものであるため、培養肉を作製するためには、同様の組織の再構築が必要である。

ステーキ肉の組織標本を観察すると、直径約50 $\mu\text{m}$ の筋線維が集合して500 - 1,000 $\mu\text{m}$ の筋線維束を形成し、周囲には脂肪と血管組織が存在する。したがって、培養肉を作製するためには、筋線維、脂肪繊維、血管線維を再構築して束ねる方法が考えられる。

筆者らは、最近、骨格筋や脂肪、血管の線維組織を3Dバイオプリント技術により作製し、それらを実際のステーキ肉の組織学的解析に基づいて組み合わせることで構造化された培養肉を作製した。また、大阪・関西万博の大阪ヘルスケアパビリオンにて培養肉と培養肉を自動で作製可能なミートメーカーを展示する機会を得た。大阪ヘルスケアパビリオンはREBORN“[人]は生まれ変わる”をテーマに、「いのち輝く未来社会」に新たな一步を踏み出すことを提案している。培養肉研究で我々が目指すSDGs、未来社会への貢献と合致するため、大阪府・大阪パビリオンと協力して「2050年の未来のキッチン」をイメージした展示物の作製に取り組んだ。以下、我々の霜降り培養肉の作製方法の概要と大阪ヘルスケアパビリオンへの展示について紹介する(図1)。

### 3Dバイオプリントによる細胞繊維の作製

ウシと畜肉から回収したサテライト細胞(bSC)と脂肪由来幹細胞(bADSC)を用いてバイオプリントによる各種細胞のファイバー組織の作製に取り組んだ。一般的な3Dプリントでは、基板の上に細胞を支持体となるゲルインクと一緒にプリントするため、培養過程で重力を受けるためプリント構造の維持が困難である。十分な構造安定性を得るためには架橋密度を高くする必要があるが、化学架橋の場合、毒



\* Michiya MATSUSAKI

1976年6月生まれ  
鹿児島大学大学院 理工学研究科 物質生産  
工学専攻博士後期課程(2003年)  
現在、大阪大学大学院 工学研究科 応用化学  
専攻 教授 博士(工学)  
TEL : 06-6879-7356  
FAX : 06-6879-7359  
E-mail: m-matsus@chem.eng.osaka-u.ac.jp

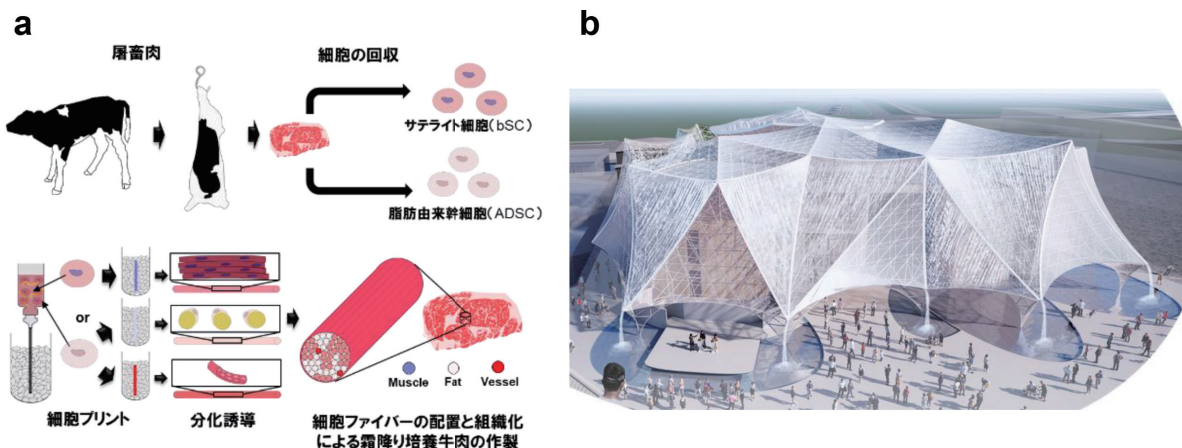


図1. (a) 本研究の概要と (b) 大阪ヘルスケアパビリオンの外観イメージ。大阪ヘルスケアパビリオンより許可を得て転載。

性が懸念される。そこで、最近注目されているのが、チキソトロピー性を有するサポートバス内部での3D造形である。チキソトロピー性を有するゲル状粒子のバス内にシリンジでプリントすることで、シリンジが動いた時の剪断応力により粒子が動き液体としてふるまうが、剪断応力から解放されると粒子が止まり、固体としての性質に戻るため、プリントされた細胞やゲルインクが留まることで造形することが可能となる [2]。本研究では、サポートバスプリントで一般的に用いられるゼラチン粒子をバス材料として用いた。筋線維の収縮を防ぎ、安定な筋線維を作製する手法として腱—筋—腱の三重構造 (TIP法) を考案することで、筋や脂肪、血管繊維を作製できた [3]。作製した直径500 $\mu$ mの42本の筋線維と28本の脂肪線維、2本の血管線維、合計72本を束ねることで約5mm × 5mm × 1.5cmの霜降り構造を有する培養牛肉を初めて作製した。

### コンソーシアムの設立

本技術の発展と社会実装を目的として、大阪大学大学院工学研究科と株式会社島津製作所、伊藤ハム米久ホールディングス株式会社、TOPPANホールディングス株式会社、株式会社シグマックスを「運営パートナー」とした「培養肉未来創造コンソーシアム」を2023年3月に設立した (2024年5月ZACROS株式会社参画)。大阪大学吹田キャンパス内の「培養肉社会実装共同研究講座」(伊藤ハム米久ホールディングス株式会社・TOPPANホールディングス株式会社の出資により設立)、「バイオものづくり社会実装共同研究講座」(ZARCOS株式会社の出資により設

立)、「大阪大学・島津分析イノベーション協働研究所」などを拠点し、産学の枠を超えた協業を進めている。本コンソーシアムは、「運営パートナー」の他、特定の技術領域について共同研究を行う「R&Dパートナー」、培養肉関連の技術・製品の普及に向けた情報発信を担う「連携パートナー」から構成され、これまでに18社が参画 (2025年3月時点) している。しかし、霜降り培養牛肉のプロセスは多様であり、全ての工程をカバーするためには更なる技術開発が必要であるため、多様な領域からの参画が期待される。興味のある企業・アカデミアの方はぜひご連絡いただきたい。

### 大阪・関西万博への展示

我々の培養肉作製に関する研究活動を世界に発信する場として2025年日本国際博覧会 (大阪・関西万博) の「大阪ヘルスケアパビリオン Nest for Reborn」に協賛する機会が得られたので、3Dバイオプリント技術で製造した「霜降り培養肉」の実物や、2050年の実用化を目指した「培養肉自動製造装置: Meat Maker」を展示する機会を頂いた (図2)。培養肉は今後発生する社会問題を解決できる可能性があるとして期待されており、新しい形の食品として提供・販売され始めている。

また、我々は、培養肉は食品の在り方を変える可能性があると考え、「お肉は家庭で作る」をコンセプトとし、栄養素や脂肪 (霜降り) の割合を自分の体調や好みで調節して自分で作製する未来像を万博で紹介している。畜産を家庭で行うことは困難であるが、培養肉であれば細胞と培地を入手するだけで Meat

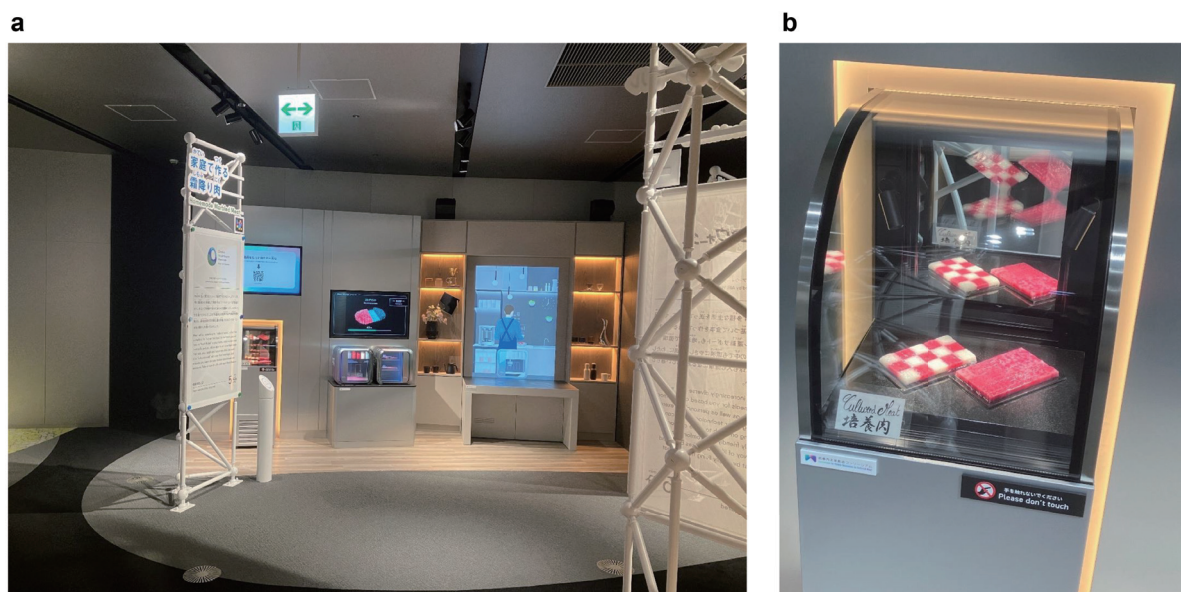


図2. (a) 大阪ヘルスケアパビリオン内の展示および (b) 展示している霜降り培養肉の様子。1枚の培養肉の大きさは 15 cm × 9 cm × 2 cm。

Makerを使うことで培養肉を自分で作製することが可能になる。ホームベーカリーを用いて家庭でパンを作るように、Meat Makerを用いて家庭でお肉を作るわけである。細胞と培養液をスーパーマーケットで購入できる世の中になれば現実味がでてくる。今は考えにくいかもしれないが、25年後の未来では当たり前になっているかもしれない。1970年の大阪万博では携帯電話の原型としてワイヤレステレホンが紹介されたが、50年後の現在では当たり前となっている。万博とは、ミライのテクノロジーを紹介する場でもある。万博での活動を通じて、環境負荷を低減し世界規模のタンパク質不足を解決する「未来の食」の一つとして、培養肉への理解促進につなげたいと考えている。

### まとめ

本稿では、屠畜牛肉から回収したbSCとADSCの3Dバスプリント法による細胞線維の作製と三次元配置制御による霜降り培養牛肉の再現、培養肉自動作製装置Meat Maker、大阪・関西万博への展示の取り組みについて紹介した。本研究により、従来技術では困難であった脂肪の霜降り構造をテーラーメイドで再現することが初めて可能となった。自動作製装置を実用化できれば、細胞と培地さえあれば世界中どこでも培養肉を作製できるようになるため、SDGsへの貢献が期待される。

また、培養肉研究において次に重要となるのが、作製した培養肉の成分分析である。消費者が安心して食するためには、食品衛生法や各種法律に基づく培養肉の安全性の検査はもちろん必須であるが、それ以外にも実際の食肉に成分や性質がどれくらい近い科学的に証明することが安心感につながると考えられる。和牛においては、オレイン酸量が風味に、ラクトン類が香りに重要であることが知られている。その他、アミノ酸分析など、科学的なデータをきちんと開示することで、安全安心な食糧として消費者に受け入れられやすくなると期待される。

万博に展示させて頂き、世界中から多くの反響を頂いた。培養肉の実物を見るまではマイナスイメージが先行していたが、自分の目で見て、香りを嗅ぐなどの体感をすることで安心感へと繋がり、食べてみたいという積極的な意見が変わった、というご意見をたくさん頂いた。そこで我々は、万博での展示を万博で終わらせるのではなく、全国の方々、特に若い世代の方にもっと見て体感して頂くことが社会受容性の向上に繋がると考え、全国の科学館への展開を行うプロジェクトを立ち上げた。2025年12月より大阪科学技術館での特別展示を開始した [4]。2026年2月中旬からは東京での展示を予定している。全国を巡回するための輸送費に対する寄付を受けるクラウドファンディングも行っている [5]。我々の培養肉に対する研究開発と社会受容性の向上に対す

る取り組みは、万博で終わることなく次のステージに向かって加速して進行中である。

#### 参考文献

- [1] The United Nations, World Population Prospects 2019.
- [2] A. Lee, et al., 3D bioprinting of collagen to rebuild components of the human heart, *Science* 365, 482-487 (2019).
- [3] Dong-hee Kang *et al.* Engineered whole cut meat-like tissue by the assembly of cell fibers using tendon-gel integrated bioprinting. *Nat. Commun.* 12, 5059 (2021).
- [4] 大阪科学技術館特別展示HP  
<https://www.ostec.or.jp/pop/news/1316/>
- [5] クラウドファンディング HP  
<https://readyfor.jp/projects/cultured-meat>

