

内部まで生きたまま！分厚い培養肉の構築に成功 ——栄養物質の内部灌流による培養肉の作製方法を開発——

発表のポイント

- ◆厚みのある培養肉の内部まで均一に栄養を供給できる仕組みを開発しました。半透性の中空糸を通じて栄養や酸素を細胞に届けることで、組織内部の壊死の抑制にも成功しました。
- ◆筋繊維の方向を揃えることで噛みごたえの指標が向上し、さらに内部灌流によって風味が改善されることが示唆されました。
- ◆ロボットによる自動化技術を活用し大型培養肉の安定生産の可能性を示しました。産業応用への可能性の広がりが期待できます。



中空糸を抜き取った培養チキン（スケールバー：2 cm）

概要

東京大学大学院情報理工学系研究科の竹内昌治教授と、聶銘昊（ニエ ミンハオ）講師、島亜衣特任助教、山本幹久大学院生（研究当時）の研究グループは、栄養物質の内部灌流（注1）による培養肉の作製方法を開発しました。

本研究で開発した方法は細胞に栄養を届ける「中空糸（注2）」を活用しており、培養肉の新しい作製方法です（図1）。中空糸の内部に栄養や酸素を流すことで培養肉組織全体に栄養を均一に供給でき、特に厚みのある培養肉の内部にも栄養が十分に行き渡ること、また、組織内部

の壊死（注3）を抑えることができることを確認しました。さらに、ロボットを活用した技術を導入し、厚みのある培養肉を効率的に生産する仕組みを提案しました。

発表内容

従来の培養肉は、培養液に浸した状態で培養され、組織の外部からの栄養拡散に依存していました。しかし、組織が厚く（数 mm 以上）なるにつれて、中心部の細胞に十分な栄養や酸素が届かなくなり、壊死が発生するという課題がありました。中心部の壊死は、筋線維（注4）の形成不全を引き起こし、食感のばらつきや風味成分の低下につながる可能性があり、実用化にむけた障壁となっていました。

この課題を解決するため、本研究グループは、高精度の3Dプリンターを用いて、中空糸を均等に並べた独自の培養装置（バイオリクター（注5））を開発しました。本装置では、外部からの拡散に頼ることなく、組織の内部まで安定した栄養供給が可能となる仕組みを目指しました。検討の結果、中空糸の中で培養液が灌流し、半透性（注6）の壁を通じて栄養や酸素が徐々に周りの細胞へ供給される様子が確認できました。

この技術により、厚みのある培養肉の内部でも栄養供給が維持され、組織断面の染色画像（図2）からは壊死の抑制が確認できました。また、食感解析の結果、筋線維の方向を揃えることで噛みごたえの指標が向上し、筋組織の両端を固定して筋線維の配向を整えることで、より肉らしい食感が得られることが示されました。さらに、遊離アミノ酸（注7）成分解析により、内部灌流による栄養供給の改善が風味の向上に寄与していることが示唆されました。

最後に、ロボット自動化技術を用い中空糸を効率的に配置することで、さらに大型のバイオリクター（図3）の組立と培養肉の灌流培養を行い、約 11 g の培養チキンの作製に成功しました（図4）。

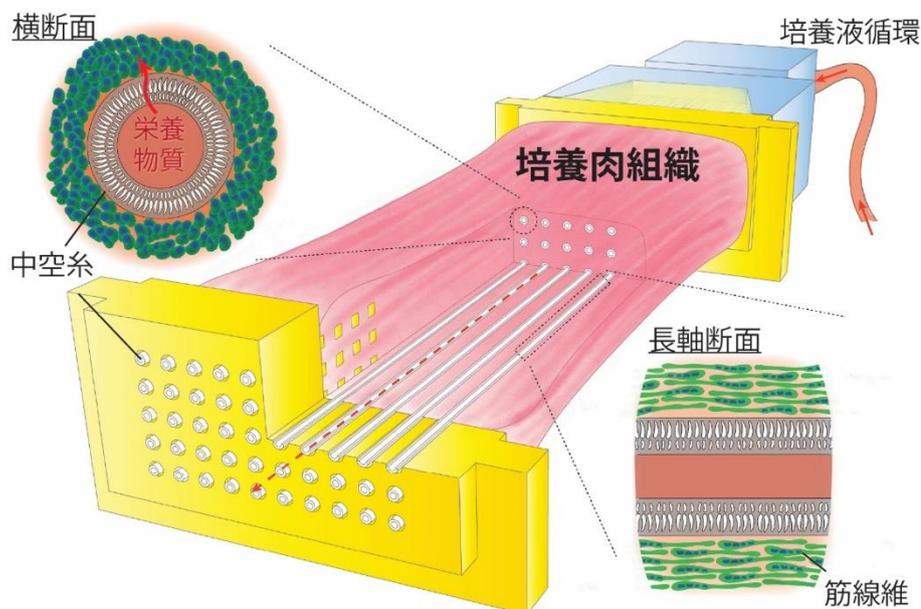


図1 内部灌流による培養肉作製方法

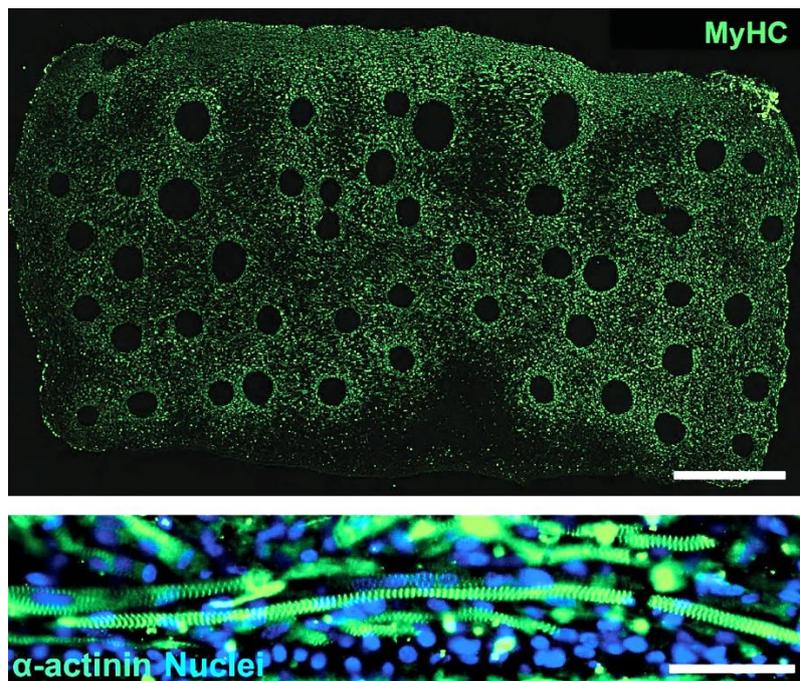


図2 培養肉組織断面の染色画像 (スケールバー：上 1 mm、下 50 μ m)

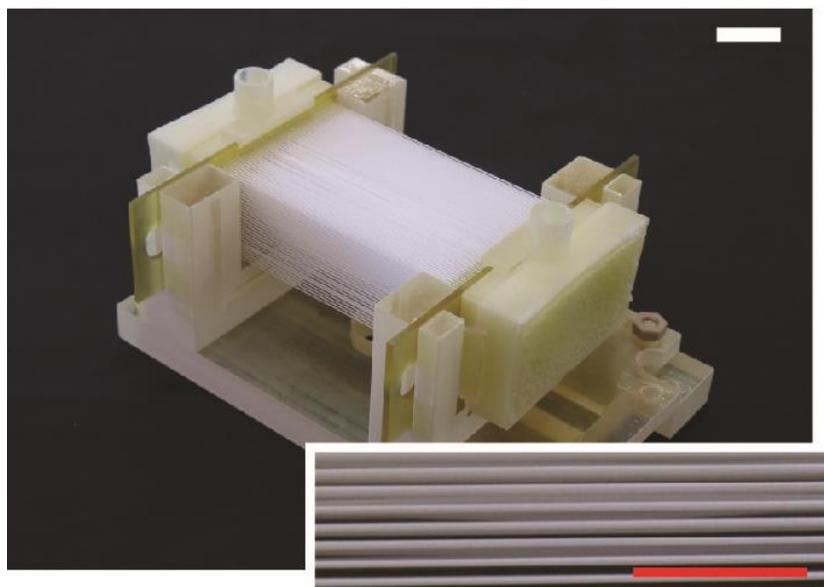


図3 ロボットを利用して組立てたバイオリアクター (サイズ: 7.00 cm \times 4.05cm \times 2.25cm) (スケールバー：上 2 cm、下 1 cm)



図4 内部灌流によって作製した培養肉（スケールバー：3 cm）

本研究の成果は、高品質な培養肉を生産する技術の発展に貢献すると考えられます。また、バイオリクターを用いた大型組織の構築技術は、細胞農業（注 8）の分野にとどまらず、人工臓器の作製やバイオハイブリッドロボットへの応用も可能であり、さらに創薬や再生医療といった分野における新たな展開も期待されます。

発表者・研究者等情報

東京大学大学院情報理工学系研究科

竹内 昌治 教授

聶 銘昊（ニエ ミンハオ） 講師

島 亜衣 特任助教

山本 幹久 研究当時：修士課程

論文情報

雑誌名：Trends in Biotechnology

題名：Scalable tissue biofabrication via perfusable hollow fiber arrays for cultured meat applications

著者名：Minghao Nie, Ai Shima, Mikihisa Yamamoto, Shoji Takeuchi* *責任著者

DOI：10.1016/j.tibtech.2025.02.022

研究助成

本研究は科学技術振興機構「未来社会創造事業、3次元組織工学による次世代食肉生産技術の創出（課題番号：JPMJMI20C1）」の支援により実施されました。

用語解説

- (注1) **灌流 (かんりゅう)** : 培養液を流しながら細胞に安定して栄養や酸素を供給する方法。
- (注2) **中空糸 (ちゅうくうし)** : 内部が空洞の細い線維状の構造。半透性の膜を持ち、内部の培養液から外側の細胞へ栄養や酸素を供給する。
- (注3) **壊死 (えし)** : 細胞や組織が栄養や酸素不足で死んでしまう現象。培養肉の厚みが増すと内部で起こりやすい。
- (注4) **筋線維 (きんせんい)** : 筋肉を構成する細長い細胞。方向が揃うと、噛みごたえや食感が向上する。
- (注5) **バイオリクター** : 細胞や組織を育てる装置。温度や栄養供給を管理し、生体環境を再現する。
- (注6) **半透性 (はんとうせい)** : 特定の分子のみ通す性質。中空糸の膜がこれを持ち、栄養や酸素を細胞へ届ける。
- (注7) **遊離アミノ酸** : タンパク質に結合していないアミノ酸。肉の風味に関わる成分で、培養肉の味の評価に重要。
- (注8) **細胞農業** : 細胞培養技術を用いて食品を生産する方法。培養肉や培養乳製品などが含まれ、環境負荷の低減や持続可能な食料生産を目的とする。