

藻類と動物細胞を用いたサーキュラーセルカルチャーによるバイオエコノミカルな培養食料生産システム

プロジェクトマネージャー（PM）：清水 達也
学校法人東京女子医科大学先端生命医科学研究所
所長 教授

研究期間：2020年度～2024年度

キーワード：ムリ・ムダのない食料生産、アップサイクル、資源循環

研究背景と達成目標

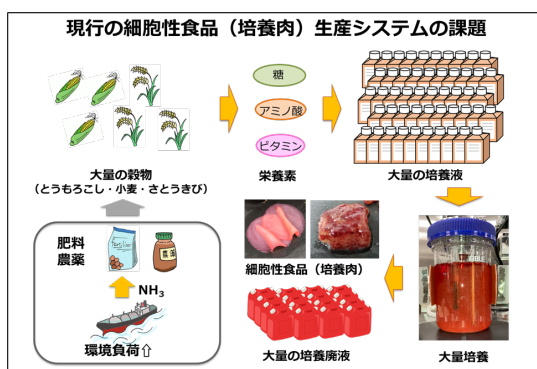
プロジェクトの背景と必要性

現在の食料生産システムは世界的な人口増加、温室効果ガスの蓄積、気候変動の観点からその持続性が危ぶまれています。さらに、昨今の様々な感染症拡大、世界情勢の悪化が食料安全保障上大きな課題となっています。特に穀物栽培と家禽・家畜飼育による食肉生産は大きな環境負荷の誘因となっています。そこで本提案では動植物の最小構成要素である細胞を増幅し、その細胞を用いて可食部組織のみを食料として生産する、環境に配慮した無駄のない持続的な“培養食料”生産システムを開発することを目的としています。

技術開発目標

本プロジェクトでは、様々な生物の可食部のみを作製する技術確立し、穀物栽培や動物飼育に依存しないムリ・ムダのない革新的な食料供給産業の創製を目的とします。

- ① 循環型の細胞培養（サーキュラーセルカルチャー：CCC）システムの実証
(i) 窒素源に頼らない藻類培養、(ii) 藻類分解による動物細胞への栄養素供給、(iii) 食材となる動物細胞の培養増幅、(iv) 藻類を用いた動物細胞の培養廃液のアップサイクル
- ② 効率的なCCCシステム構築のための各部分の最適化
(i) 新規藻類の作出（遺伝子改変や育種など）、(ii) CCCシステムのデータ解析による諸条件の最適化、(iii) CCCシステム大型化のためのプロセス検討
- ③ CCCの産業応用化
(i) 美味しく健康的な食材を目指した立体組織化、(ii) 事業化、(iii) 製造工程の環境負荷評価



主な研究成果

- ① (i) 藻類培養、(ii) 藻類分解、(iii) 藻類栄養液と動物細胞の増殖をもたらす細胞の上清を用いた動物細胞培養、(iv) 動物細胞の培養廃液を用いた藻類培養（サーキュラーセルカルチャー）が実施可能であることを実証しました。
- ② (i) 選定した藻類種（遺伝子導入可能な窒素固定藻類および乳酸を栄養源として利用できる藻類）を用いたサーキュラーセルカルチャーの実施および諸条件を最適化しました。
(ii) 各プロセスのモニタリング項目の選定とモニタリング技術の開発を開始しました。
(iii) 一連のプロセスのスケールアップ、食材となる筋由来細胞の大量培養を行いました。
- ③ (i) 培養した細胞の立体組織化技術確立し培養鶏肉を作成、(ii) 開発技術の事業化を推進、(iii) ライフサイクルアセスメントによる製造工程の環境負荷評価を実施しました。

連絡先：

<https://circularcellculture.jp/about/>



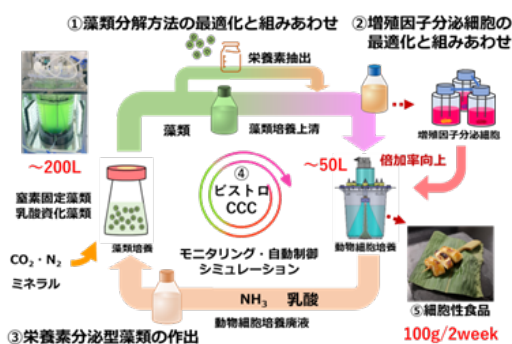
今後の研究の展開方向

動物の最小構成要素である細胞を増幅し、その細胞の機能をフルに用いて可食部組織のみを構築するムリ・ムダのない健康的な資源循環型の“培養食料”生産システムの構築を目指します。そして2050年までに地球規模でのムリ・ムダのない完全資源循環型の食料供給産業を創出し、安定した食料供給の拡大と地球環境保全の両立の実現を目指します。

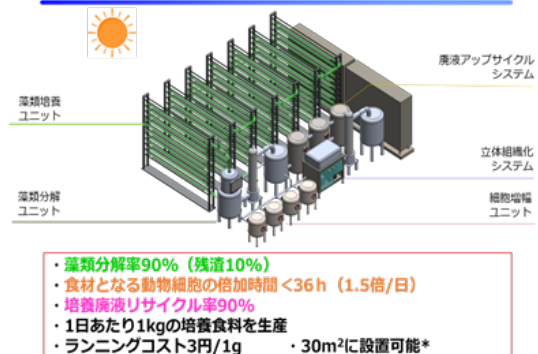
■実現までの工程

- 2027年まで：各プロセスを連結させ、レストランなどに設置する小規模な生産システム「ビストロCCCシステム」（100g/2週の生産能力）のプロトタイプの開発
- 2030年まで：増幅した動物細胞を立体組織化し、食材となる各動物の可食部のみを作製可能な培養食料生産システムのプロトタイプ（1kg/日の生産能力）の完成
- 2030年以降：省スペースで気候の影響の少ない本システムを基盤とした食料生産工場を実現し、食料不足に苦しむ地域へ導入し、グローバルに展開

CCCの向上とビストロCCCの開発(2026年度KPI)



循環型培養食料生産システムのプロトタイプ(2030)



ありたい姿

CCCシステムは食材の対象として動物細胞のみならず、微生物にも応用展開可能です。精密発酵など、より広範囲な食料生産のプラットフォームとして貢献します。一方で小規模培養食料生産システムは地産地消を可能とし大災害時の備えにもなります。

将来は宇宙空間での食料生産システムとしての利用を目指します。排泄物リサイクル技術など他の循環型システムと融合し、より高度な閉鎖系での食料自給システムの開発にも貢献します。

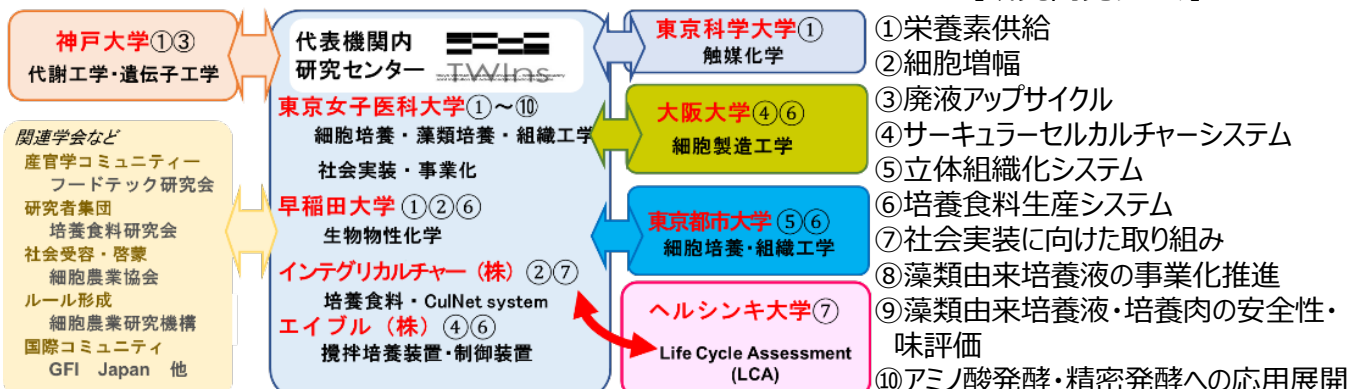
プロジェクト内の研究開発テーマ構成

清水達也PM

代表機関：東京女子医科大学先端生命医学研究所

【研究開発体制】

【研究開発テーマ】



<研究担当機関>

- (1)東京女子医科大学/ (2)神戸大学/ (3)東京工業大学(現東京科学大学)/ (4)早稲田大学/ (5)大阪大学/ (6)インテグリカルチャー株式会社/ (7)エイブル株式会社/ (8)東京都市大学/ (9)ヘルシンキ大学

Bio-economical food production system using circular cell culture of algae and animal cells

Project Manager (PM): Tatsuya Shimizu
 Director, Professor, Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Tokyo Women's Medical University
 Project Year: FY2020~FY2024

Keywords : efficient and waste-free food production, upcycling, resource circulation

Background and Goals

Project Background and Necessity

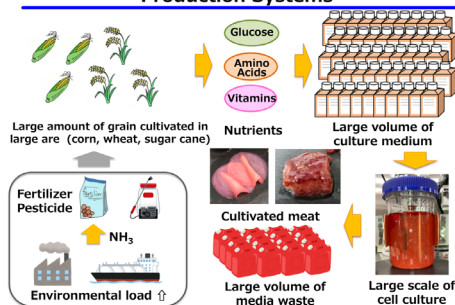
Current food production systems are facing mounting sustainability challenges due to global population growth, the accumulation of greenhouse gases, and climate change. Moreover, the recent spread of various infections and increasing geopolitical instability have further exacerbated concerns over food security. Conventional methods of grain cultivation and animal farming for meat production are a cause of environmental stress. To address these issues, this project aims to develop an environmentally friendly, waste-free and sustainable "cultured food" production system—an innovative approach by amplifying cells, the fundamental units of plants and animals, and using them to produce only the edible tissues.

Technology Development Goals

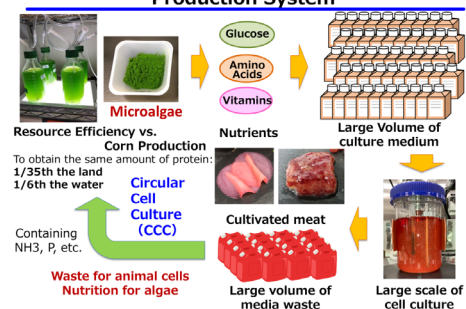
This project aims to develop technologies for producing only the edible tissues of diverse organisms, thereby fostering a novel food supply industry not relying on grain cultivation or livestock farming.

- (1) Demonstration of a Circular Cell Culture (CCC) system
 - (i) Microalgae cultivation without external nitrogen sources
 - (ii) Nutrient extraction from microalgae for animal cell growth
 - (iii) Scalable culture of animal cells
 - (iv) Upcycling of animal cell culture waste medium for the next microalgae cultivation
- (2) Optimization of the CCC system components
 - (i) Development of novel microalgae strains (via genetic modification or breeding)
 - (ii) Data-driven optimization of culture conditions
 - (iii) Process design for the CCC system scale-up
- (3) Industrial application of CCC
 - (i) 3D tissue structuring for delicious and nutritious foods
 - (ii) Commercialization strategies
 - (iii) Environmental impact assessment of production processes

Future Challenges for Present Cultivated Meat Production Systems



Proposed Innovative Circular Cultivated Meat Production System



Key Research Achievements

- (1) We demonstrated the feasibility of the CCC system consisting of: (i) microalgae cultivation, (ii) microalgae degradation, (iii) animal cell culture using microalgae culture waste medium and supernatant for animal cell growth, and (iv) microalgae cultivation using waste medium from animal cell culture.
- (2) We implemented CCC using selected microalgal strains, including (i) nitrogen-fixing microalgae amenable to genetic modification and microalgae capable of utilizing lactic acid, and optimized the system's conditions. We also (ii) initiated the development of monitoring parameters and technologies, and (iii) scaled up the overall processes, achieving mass culture of muscle-derived cells for food production.
- (3) We (i) established 3D tissue engineering techniques and produced cultivated chicken meat, (ii) promoted commercialization of the developed technologies, and (iii) conducted a life cycle assessment to evaluate the environmental impact of the production process.

Contact:

<https://circularcellculture.jp/en/>



Future Directions

We aim to establish a waste-free, resource recycling “cultured food” production system by amplifying animal cells—their smallest functional units—and using their full potential to construct only edible tissues. By 2050, our goal is to create a fully circular, resource-efficient global food industry that ensures both stable food supply and environmental sustainability.

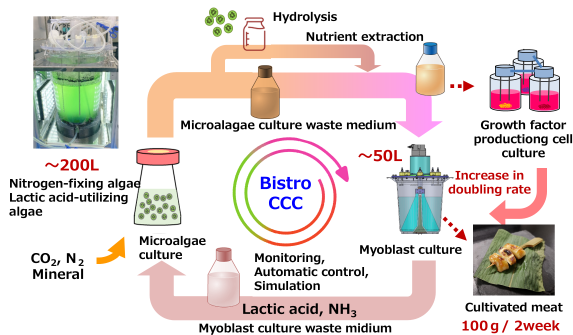
■ Implementation Timeline

By 2027: Develop a prototype of the small-scale “Bistro CCC System” (production capacity: 100g per 2 weeks) integrating all processes, designed for installation in restaurants.

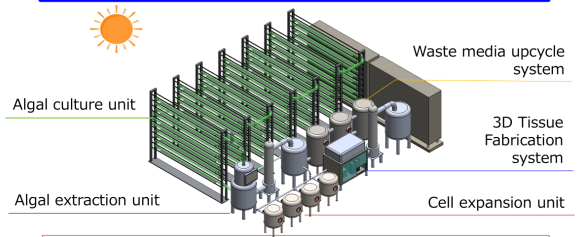
By 2030: Complete a prototype of a cultivated food production system capable of generating only the edible parts of various animals in 3D tissue form (production capacity: 1kg per day).

Beyond 2030: Establish compact, climate-resilient food production facilities based on this system, deploy them in regions facing food insecurity, and expand them globally.

Improvement of CCC and Development of Bistro CCC (KPI for FY2026)



Circular Cell Culture (CCC) System in 2030



- Algae decomposition rate: 90% (10% residue)
- Doubling time for chicken, pig, and cattle muscle cells: < 36 hours (1.5x increase/day)
- Culture medium recycling rate: 90%
- Production: 1 kg of cultivated beef, pork, and chicken per day
- Running cost: 3 JPY/g • Installable in 30 m²*

* 1500L algal serpentine photobioreactor 375L animal cell stirred suspension bioreactor
Assumed daily 1.5x amplification (increase) for both algae and animal cells.

What We Aspire To

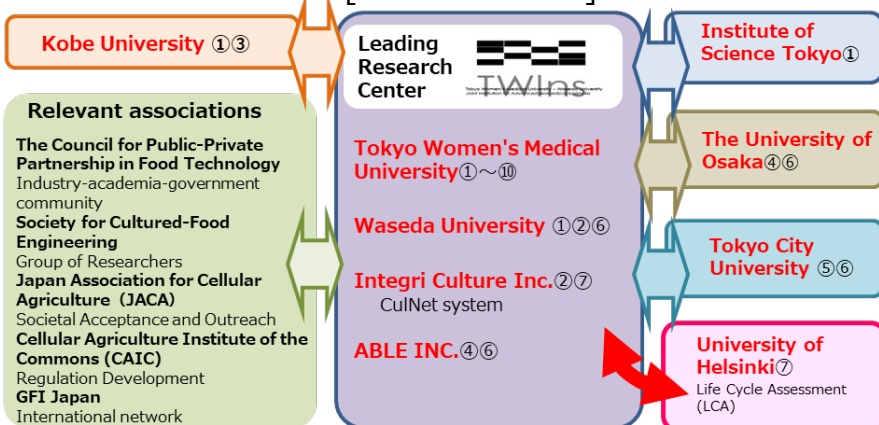
The CCC system can be extended beyond animal cells to include microorganisms, contributing as a versatile platform for precision fermentation and broader food production. Small-scale cultivated food systems also enable local production and serve as a resilient food source in times of disaster. Looking ahead, we aim to apply this technology to space-based food production by integrating it with other circular systems such as waste recycling, advancing the development of closed-loop, self-sufficient food systems.

Research Themes and Structure

Tatsuya Shimizu PM

Representative organization: Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Tokyo Women's Medical University

[R&D Structure]



[R&D Themes]

- (1) Nutrient supply
- (2) Cell amplification
- (3) Waste medium upcycling
- (4) Circular Cell Culture (CCC) system
- (5) 3D tissue engineering system
- (6) Cultivated food production system
- (7) Social implementation strategies
- (8) Commercialization of microalgae-derived culture media
- (9) Safety and taste evaluation of microalgae-based media and cultured meat
- (10) Applications in amino acid and precision fermentation

<Research Institutes>

- (1) Tokyo Women's Medical University / (2) Kobe University / (3) Tokyo Institute of Technology (now Institute of Science Tokyo) / (4) Waseda University / (5) The University of Osaka / (6) IntegriCulture Inc. / (7) ABLE INC. / (8) Tokyo City University / (9) University of Helsinki