

藻類と動物細胞を用いたサーキュラーセルカルチャー (CCC)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（東京女子医科大学先端生命医科学研究所 所長 教授）

研究背景とありたい姿

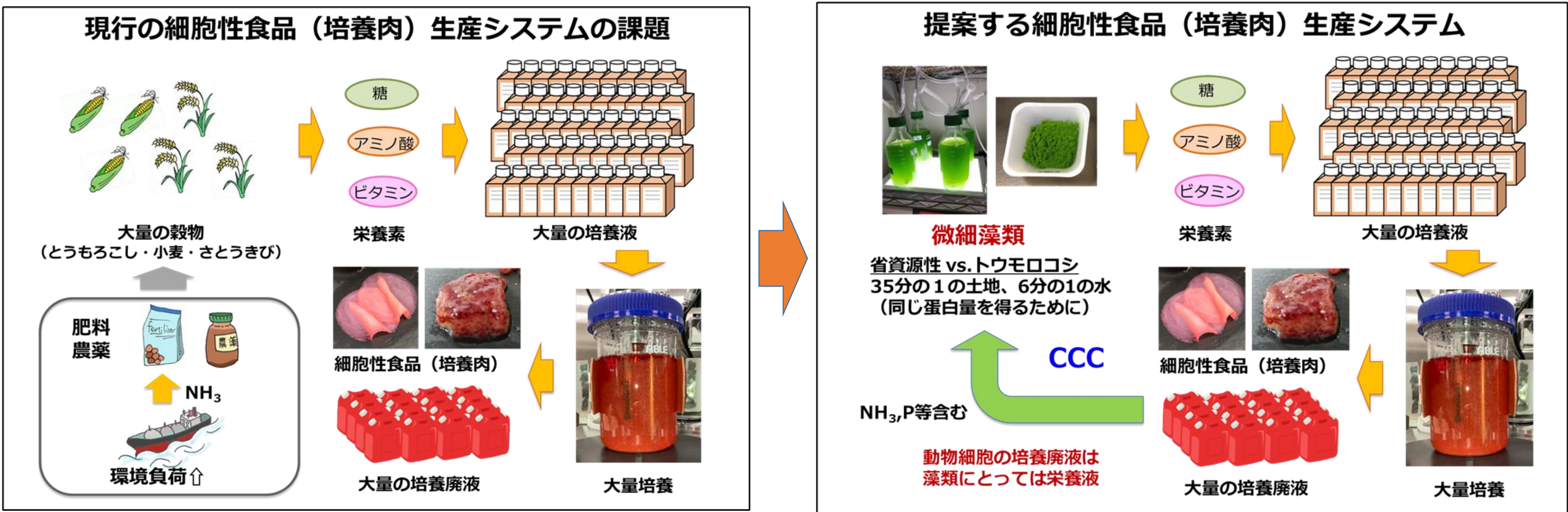
【背景】

細胞農業のひとつである、動物細胞の大量増幅を基にする培養食料の生産が本格化し始めようとする中で、種々の課題が現実のものとなってきました。

- ① 穀物依存な培養液と畜産の資源競合や、培養液に必須な動物由来成分の限界
- ② そまそもの穀物生産に関わる化石燃料利用による環境負荷
- ③ 培養食料の製造過程で生じる大量の廃液

【ありたい姿】

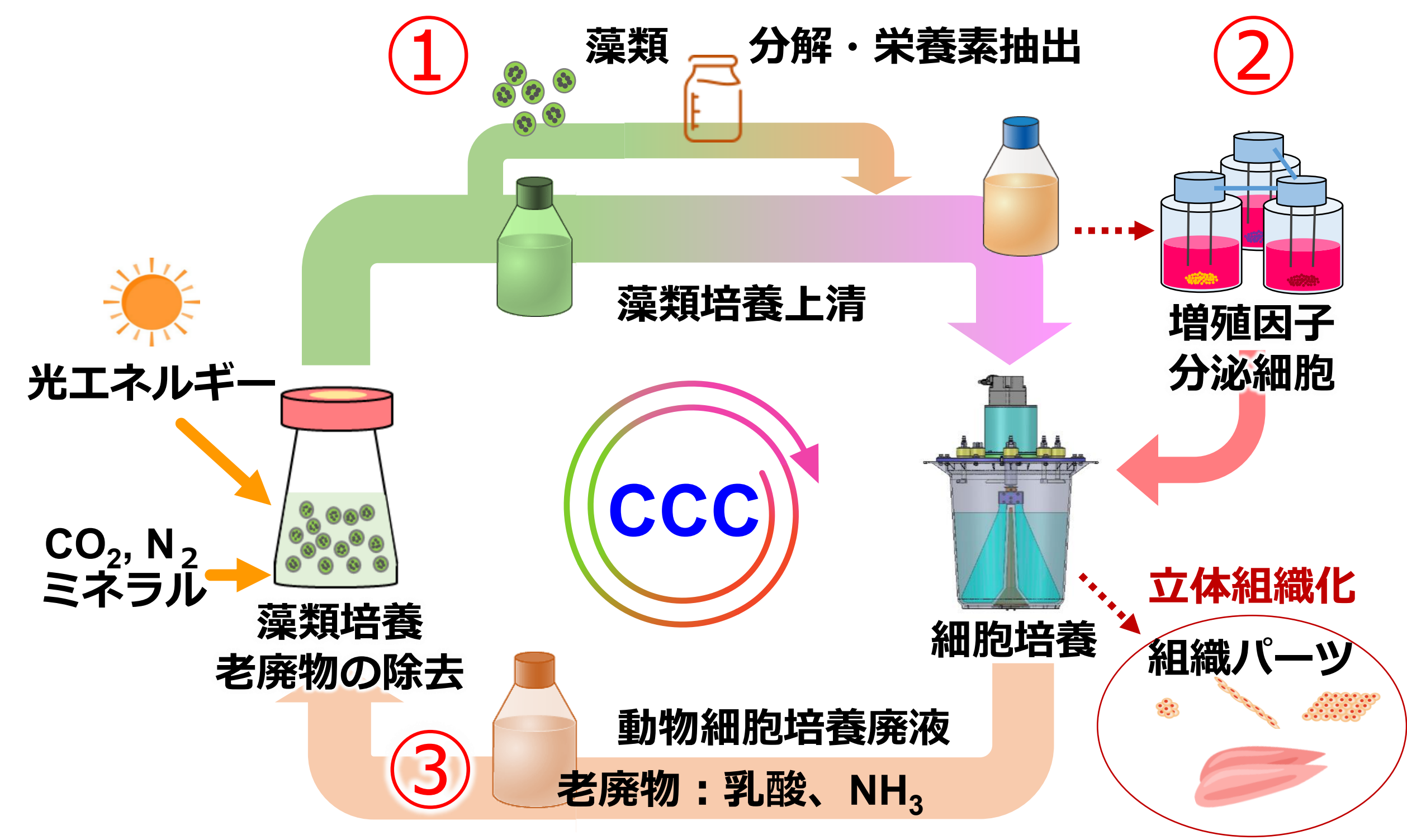
自然界が持つ「物質循環」を導入し、新たな循環型食料生産プラットフォームを立ち上げることで、細胞農業を超えて豊かな食の未来を守り・拓げます。



培養食料生産の課題と解決策

主な研究成果、進捗状況

- ① 植物プランクトン（微細藻類）からの栄養供給
栄養素抽出法を最適化し、特定の栄養成分を分泌する微細藻類を作出しました。

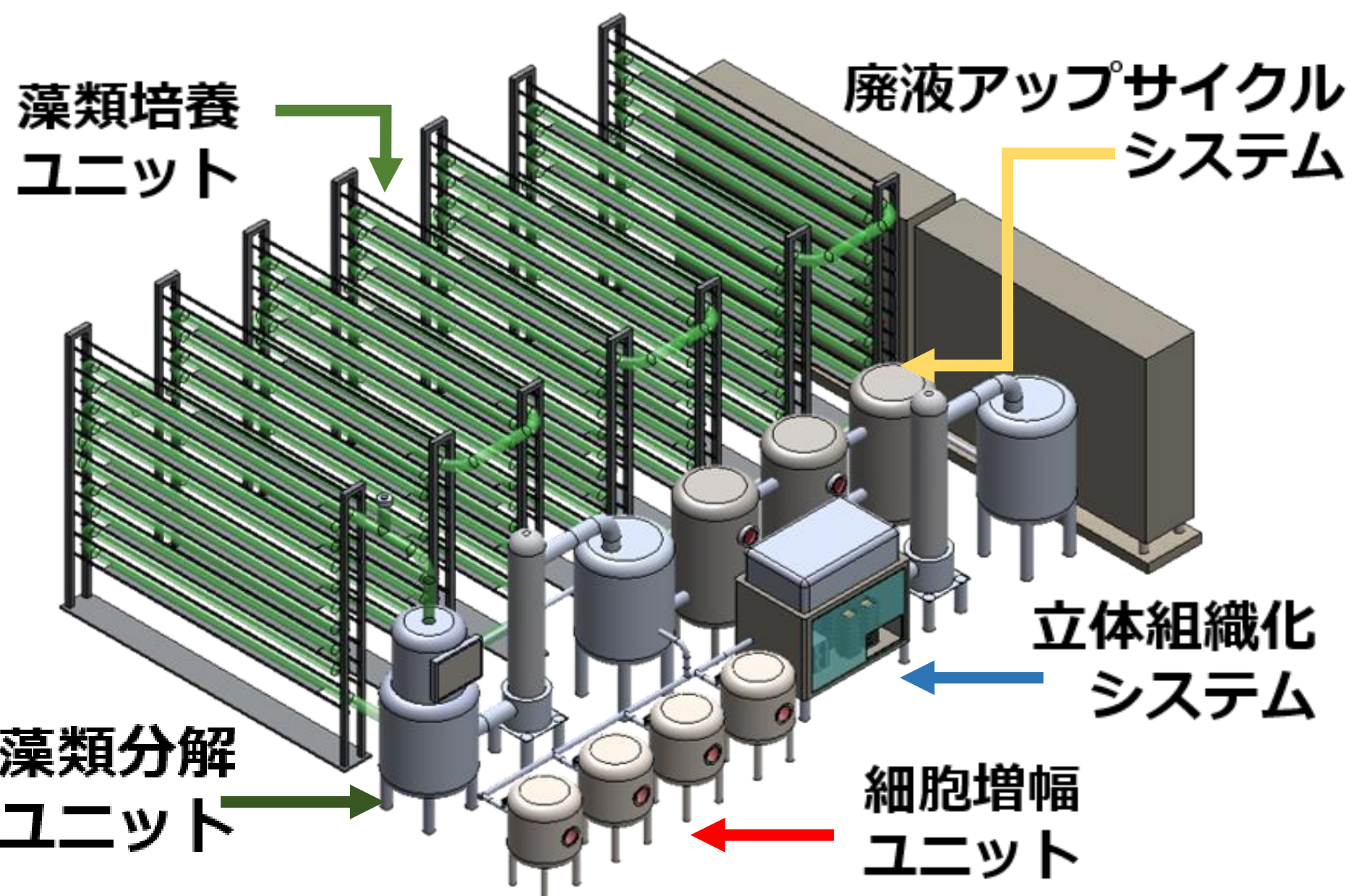


サーキュラーセルカルチャー（CCC）

- ② 体循環の模倣によるアニマルフリーな細胞増幅技術
増殖因子を長期間分泌する組合わせを選定し、標的細胞の増殖を確認しました。
- ③ 微細藻類による廃液のアップサイクル
老廃物を栄養源にできるだけでなく有用物質を分泌する微細藻類を作出し、動物細胞の培養廃液が循環利用できるようになりました。

社会実装の状況と今後の方向性

- ① 成果の社会実装に向け、Circular Cell Culture株式会社を立ち上げ、企業と連携を開始しました。
- ② 藻類を栄養源として動物細胞を培養し、その培養液を再利用するCCCシステムにより既存の穀物を飼料とした家畜飼育による食料生産システムに比べて大幅に環境負荷が少ない1kg/日の培養食料生産が可能な循環型培養食料生産システムを完成させます。



循環型培養食料生産システム(2030)

プロジェクト 特設webページ

Circular Cell Culture 株式会社webページ



実施体制

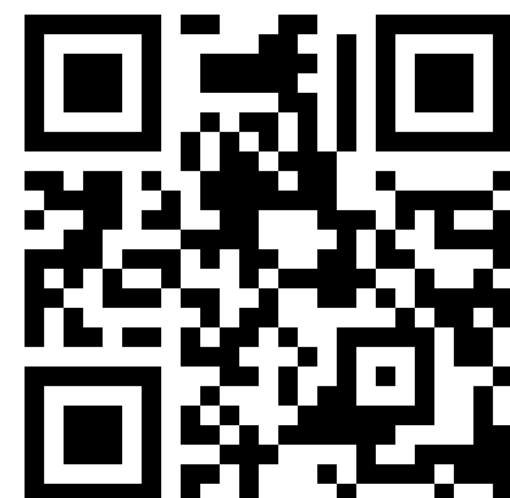
- ・東京女子医科大学
- ・早稲田大学
- ・インテグリカルチャー（株）

・エイブル（株）

- ・CCC（株）
- ・神戸大学
- ・東京科学大学

・大阪大学

- ・東京都市大学
- ・ヘルシンキ大学



【清水プロ】（主要成果1）藻類を活用した培養廃液アップサイクル・循環型細胞培養システムの構築

清水達也（東京女子医科大学）、蓮沼誠久（神戸大学）、原亨和（東京科学大）、朝日透（早稲田大学）、川島一公（インテグリカルチャー株式会社）、大友春輝（Circular Cell Culture株式会社）

研究目的

藻類を活用した循環型細胞培養システム（CCC）により、穀物・アニマルフリーな次世代食料生産システムの確立を目指します。

具体的成果、進捗状況

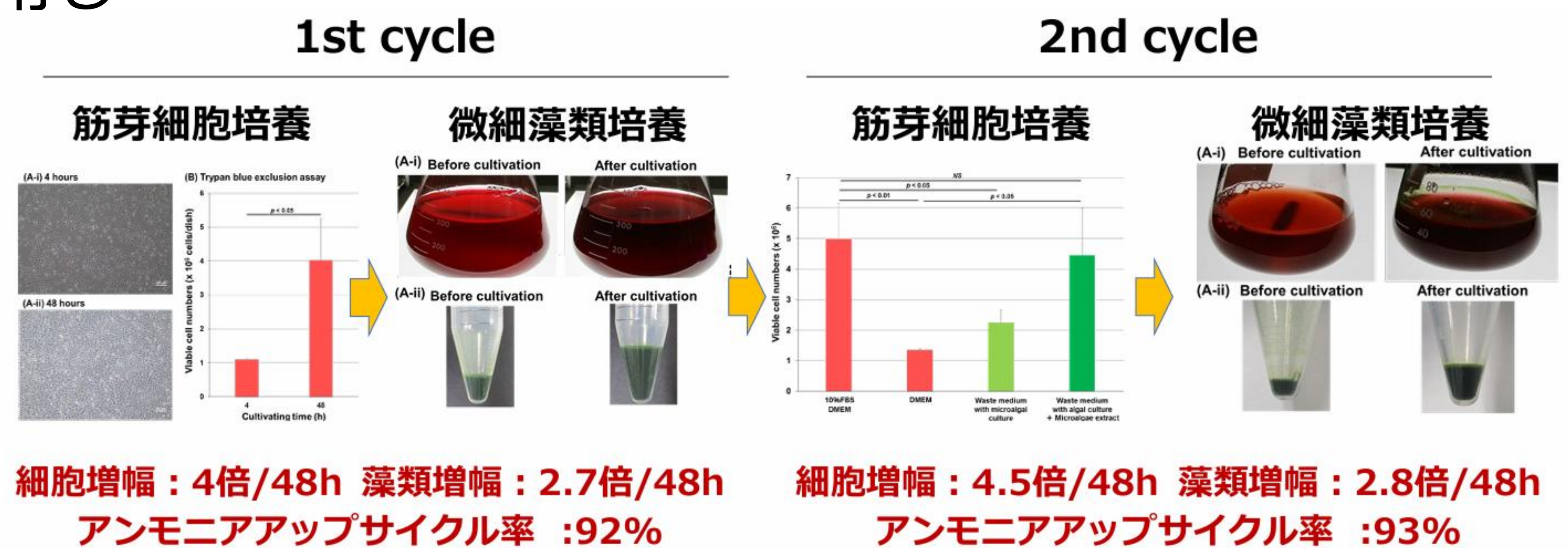
研究項目1：循環型細胞培養システムの実証

①増殖因子産生細胞の上清を活用し筋細胞の増殖を促進

②動物細胞培養廃液を栄養として藻類を増殖

③清浄化培養廃液に藻類栄養素を添加し循環培養による

筋細胞の2ndサイクル増殖に成功

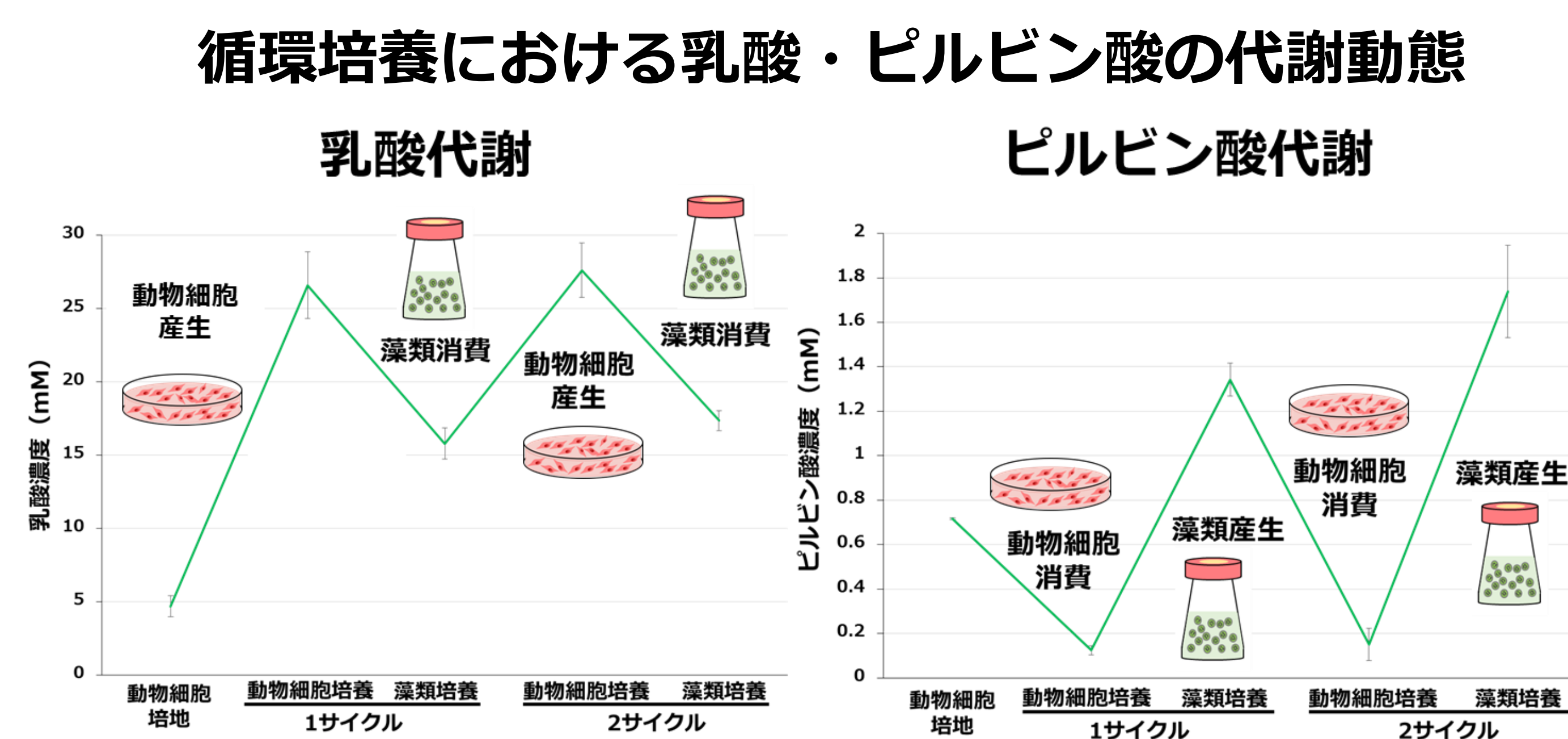


研究項目2：組換え藻類による「乳酸」のアップサイクル

①ボトルネックとなっていた老廃物「乳酸」をアップサイクルするため、遺伝子組換え「乳酸資化藻類」を作出

②藻類が**乳酸を消費**し、動物細胞の栄養素「**ピルビン酸**」へ変換

③CCCシステムへの導入により栄養素再添加なく筋細胞の増殖に成功



研究項目3：グルコース分泌藻類の開発とCCCシステムの効率化

主要エネルギー源「グルコース」の自給化に向けた循環システムの構築を推進

①糖を直接分泌する組換え藻類を作出
その培養上清で細胞培養に成功

②「乳酸資化×グルコース分泌」藻類により老廃物を栄養素へ**アップサイクル**

今後の取組み

①主要栄養源「アミノ酸」の自給化に向けたアミノ酸分泌藻類を作出し、完全穀物フリーを実現

②三次元培養による大量生産に向けたスケールアップ

【清水プロ】（主要成果2）小規模レストラン向け循環培養（ビストロCCC）システムの構築

和田昌憲（エイブル株式会社）、紀ノ岡正博（大阪大学）

研究背景

細胞性食品の生産において、原材料の調達から食品原料の製造までを一貫して行うシステムを構築しています。小規模レストランのバックヤードで製造可能なほどのコンパクトなシステムは、余剰となった原材料を再利用する仕組みを備えており、コンセプトと生産性の実証機を「ビストロCCC」と呼んでいます。

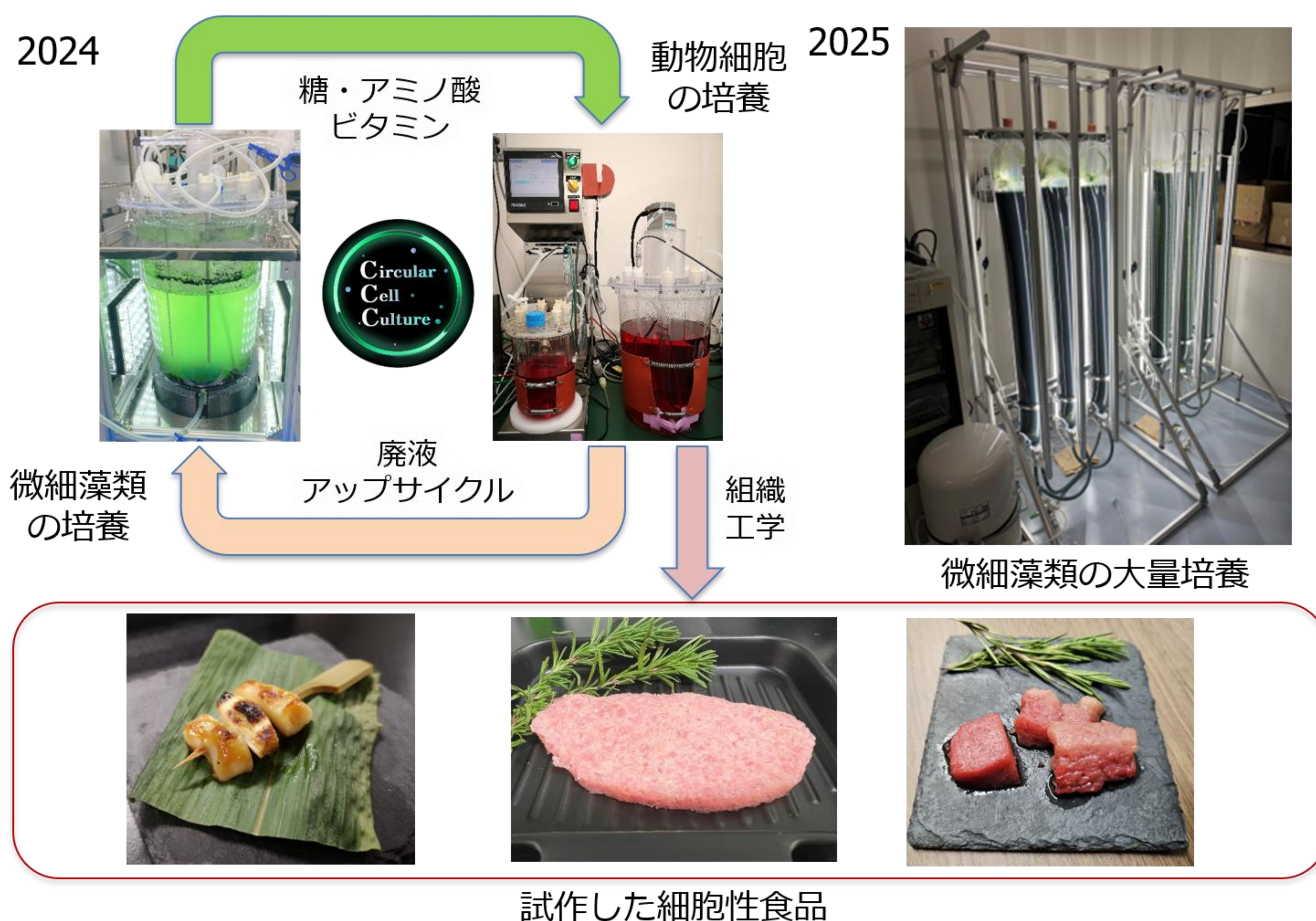
具体的成果、進捗状況

微細藻類からの栄養源の回収

窒素固定藻類を培養し、菌体から酸加水分解によってニワトリ細胞培養の基本栄養源となるアミノ酸と糖類を製造する手法を開発。

藻類由来培地からニワトリ細胞を製造

藻類菌体から得られた基本栄養源をもとにビタミン等の微量栄養源を補填した培地を開発、高密度培養によってニワトリ細胞の製造を実証。



今後の取組み

- ① ニワトリ細胞培養における栄養源充足率の向上
- ② ニワトリ細胞培養の高密度化と生産性の向上、生産量1kg／日を実現
- ③ ビストロCCCにおける培地アップサイクルの実現

【清水プロ】（主要成果3）増幅した動物細胞の立体組織化による培養食料生産

坂口勝久（東京都市大学）、清水達也（東京女子医科大学）

研究背景

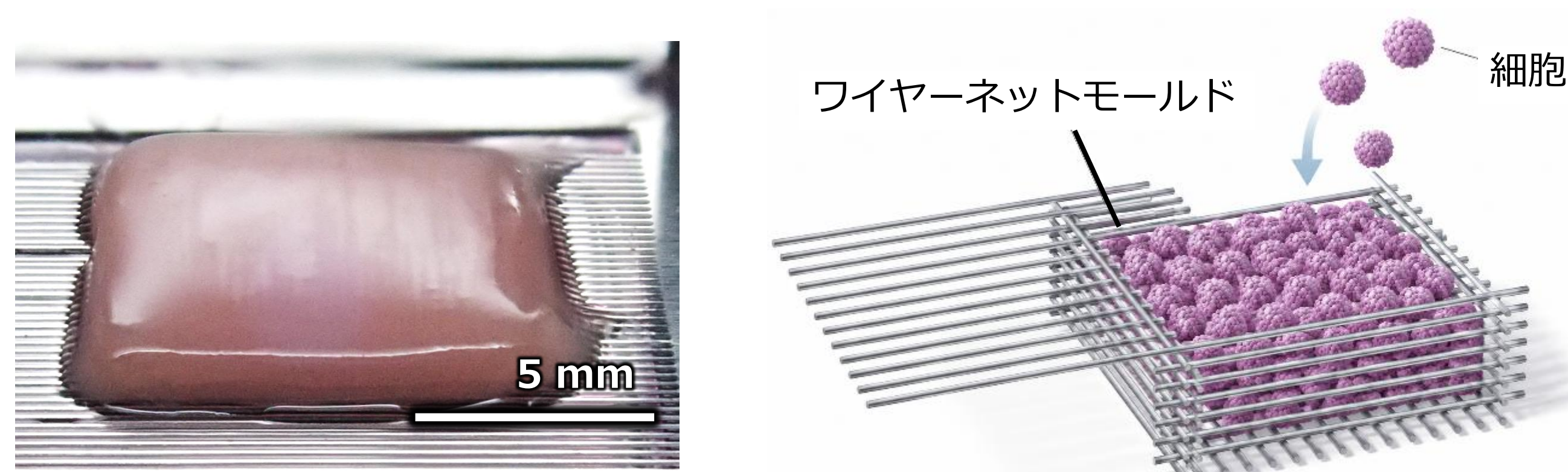
持続可能な食料生産の実現に向け、動物細胞を大量に増幅し、実際の食肉に近い構造や食感を持つ培養食料へと立体組織化する技術が求められています。本研究項目では、再生医療で培われた組織工学技術（**スフェロイド・ファイバー・シート**）を応用し、増幅細胞から美味しさ（**食感・味・香り**）を担保した高品質な培養食料を効率的に生産する技術基盤の確立を目指しています。

具体的成果、進捗状況

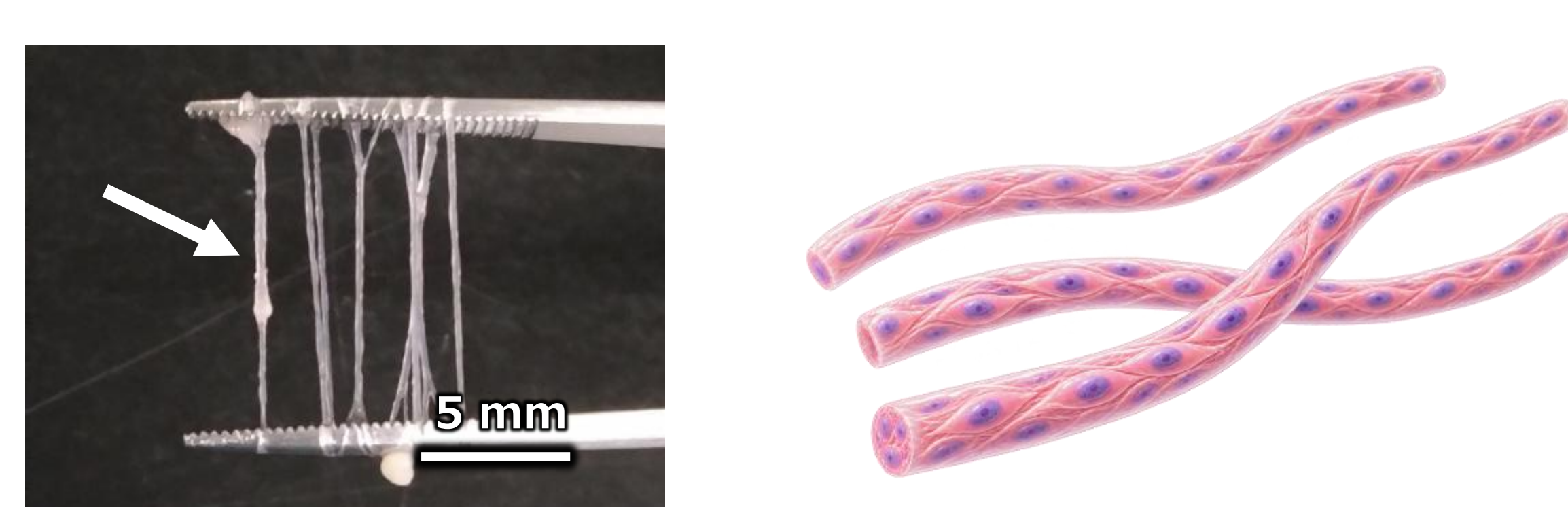
研究項目1：組織工学技術を応用した細胞性トリ肉の構築

主要成果2で大量増幅されたニワトリ細胞（UMNSAH/DF-1）を用いて、組織構築するためのパーツであるスフェロイド・ファイバー・シートを作成。

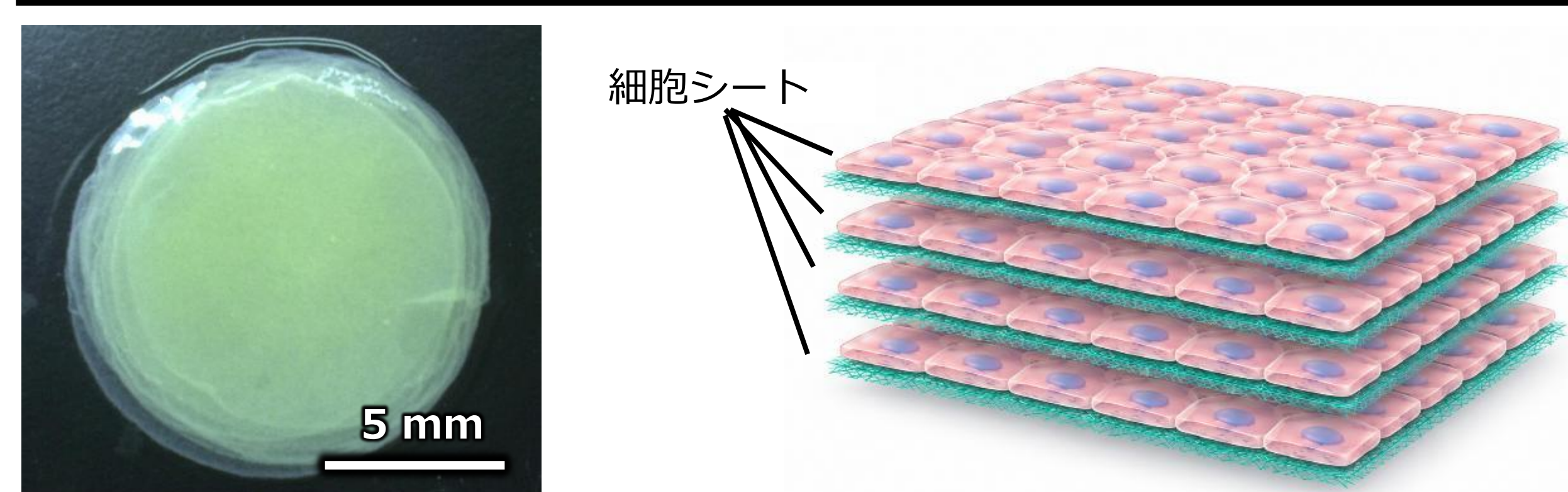
①スフェロイド充填法



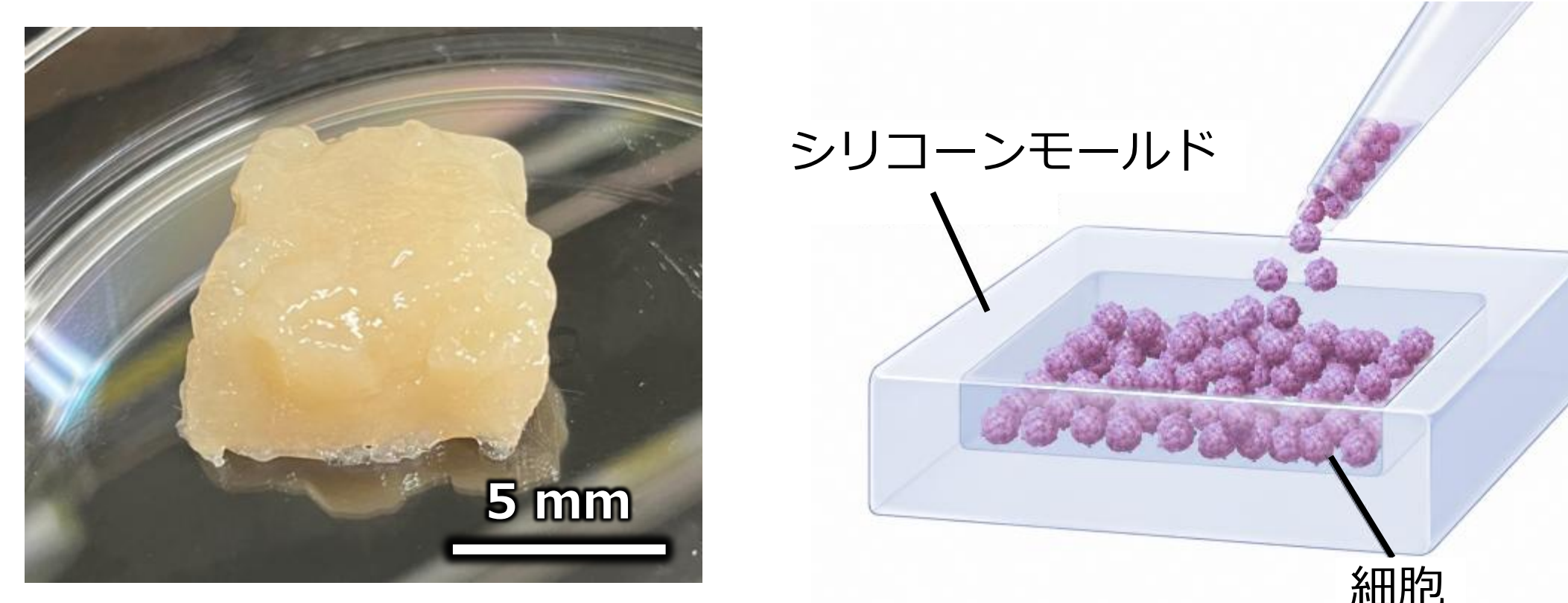
②ファイバー法



③シート積層法

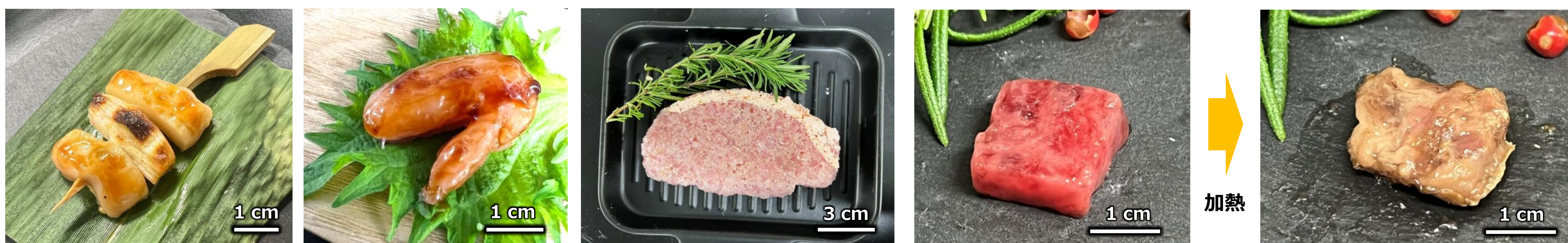


④酵素凝固法



研究項目2：酵素凝固法による様々な細胞性食肉の構築

食品添加物トランスグルタミナーゼを用いて細胞を凝固させて細胞性食肉を作成。シリコンモールドを用いることで**食肉に近い外観**を大量生産可能。



細胞性焼き鳥 細胞性手羽先 細胞性ロース

ミオグロビン含有細胞性食肉
調理することが可能

今後の取組み

- ① テクスチャーアナライザーによる物性評価を通じた、実際の食肉に近い**食感**の実現
- ② 味覚センサーによる味質評価を通じた、実際の食肉に近い**味**の実現
- ③ HS-GC-MS/MSによる香気成分分析を通じた、実際の食肉に近い**香り**の実現