

研究内容：藻類由来基礎培地・アニマルフリー培地

- 項目1：藻類培養と藻類分解による栄養素供給技術の開発
- 項目2：外部からの添加因子に頼らない細胞増幅技術の開発
- 項目3：藻類培養による動物細胞培養廃液のアップサイクル技術の確立

主たる実施者： 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）

キーワード： 藻類栄養素利用、アニマルフリー培地、廃棄物再利用

研究背景と達成目標

研究開発テーマの背景と必要性

世界人口増の中で、現行の食料生産システムの持続性は以下の理由から危ぶまれています。

- ・耕作地面積の拡大には、森林の伐採が必要のため非現実的
- ・家畜増産による環境負荷の拡大の懸念

近年、世界で培養食料生産が注目されていますが発展途上にあり、課題が見えてきました。

- ・食料となる細胞を増幅する培養液が穀物依存
- ・穀物を、食料・家畜飼料・バイオ燃料が取り合うことによる、穀物価格上昇の恐れ
- ・細胞の増幅に高価で環境負荷の大きい家畜由来の血清を使用
- ・大量に発生する培養廃液の処理

そこで私たちは、穀物由来栄養素や家畜血清の使用をやめ、培養廃液を利用する循環型細胞培養（サーキュラーセルカルチャー：CCC）システムの確立を目指しました。

技術開発目標

- ① 脱穀物：（微細）藻類（植物プランクトン）の増幅と、その分解による栄養素抽出
 - ② 脱家畜血清：血液循環に倣った、複数種類の細胞間の相互作用による培養法の最適化
 - ③ 脱培養廃液：藻類による、培養廃液を培養液へとアップサイクルする技術の確立
- これらを統合して、CCCシステムの確立を目指します。

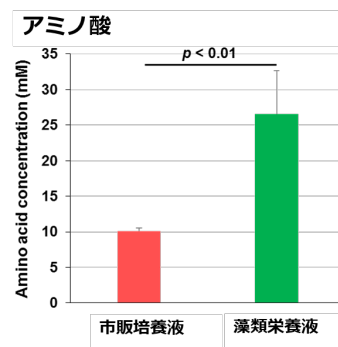
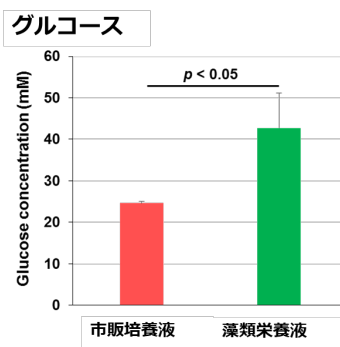
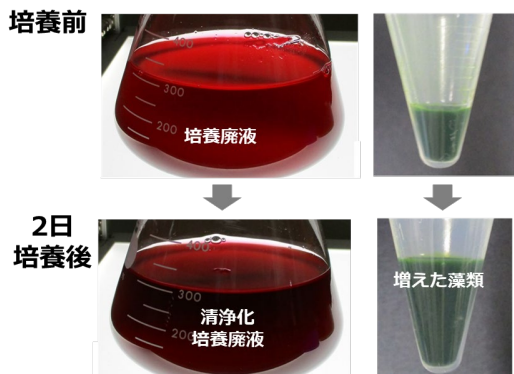


主な研究成果

- ① 超音波処理、塩酸などの基本的な液体酸および低環境負荷の固体酸による加水分解を行うことで、藻類から動物細胞の培養に必要なグルコースやアミノ酸などの栄養素を抽出できることを示しました。その他にも様々な手法を組み合わせると、従来法では抽出効率が低かったアミノ酸の抽出効率を高められることが分かりました。これらの抽出法を組み合わせることにより 90%以上の高い藻類分解率を達成しました。
- ② 増殖因子分泌細胞を利用することで、家畜血清を用いることなく動物細胞が増殖することを実証しました。
- ③ 動物細胞の培養廃液で藻類を培養可能であり、老廃物を8～9割以上の効率で除去できることを確認しました。このアップサイクルした再生培養液で動物細胞が増殖することも実証し、穀物フリーの培養食料また廃棄物の低減の可能性を示すことが出来ました。

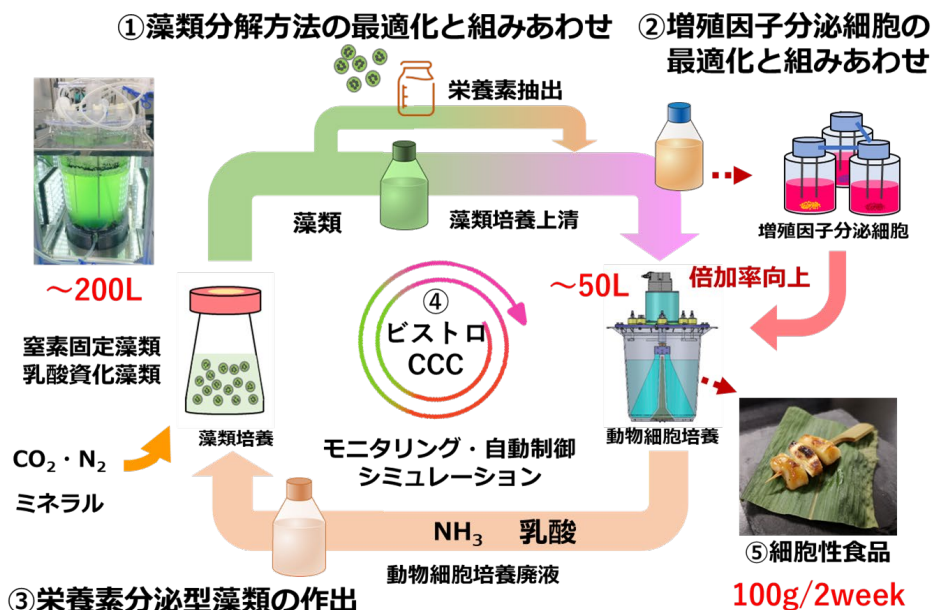
培養廃液で藻類の増殖・廃培地の清浄化を確認

藻類から高濃度の栄養素の獲得に成功 (市販の培地よりも高濃度)



今後の研究の展開方向

これまでの研究で、動物細胞に栄養を与える藻類の分解液の濃度を上げると細胞の増殖阻害作用が生じることがあるため、栄養素の供給に制限がかかること、また一部のアミノ酸に不足が生じることが明らかになったことから、これからの研究では増殖阻害作用物質の低減方法の確立と不足する栄養素の供給量を増やす方法の確立が技術的課題となります。これらの課題に対しては複数の藻類の分解方法の組み合わせ、分解液の分画（必要な栄養素と不要な因子を分けること）、さらに栄養素を分泌してくれる藻類の利用で課題解決を図ります。また、藻類由来培養液に適した食材となる動物細胞の探索や藻類由来物質に馴らした細胞の作製も試みます。それにより2週間で100gの培養食料の生産を目指します。



分担機関 (太字は主たる実施者の機関)

(1)東京女子医科大学/ (2)神戸大学/ (3)東京科学大学/ (4)早稲田大学/ (5)インテグリカルチャー株式会社/

研究内容：藻類作出と廃液アップサイクル

項目1：藻類培養と藻類分解による栄養素供給技術の開発

項目3：培養廃液のアップサイクル技術の確立

主たる実施者： 蓮沼誠久（神戸大学 先端バイオ工学研究センター センター長・教授）

キーワード：藻類、老廃物処理、栄養素供給

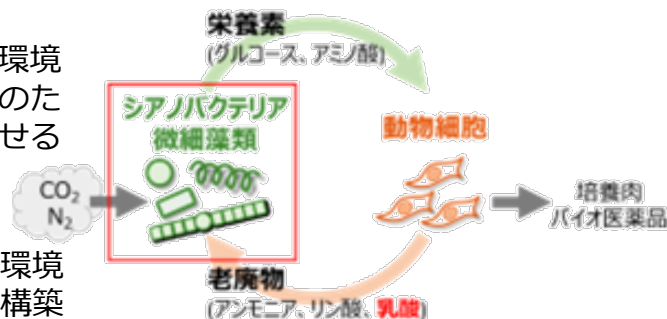
研究背景と達成目標

研究開発テーマの背景と必要性

動物細胞の培養では培養液の価格が高く、環境負荷が大きいことや廃液処理が課題です。そのため、微細藻類に老廃物処理と栄養素を供給させる循環型培養が期待されています。

技術開発目標

微細藻類と動物細胞の循環型培養による、環境負荷が少なくムダのない食料生産システムを構築します。そのために培養廃液の処理や動物細胞へ栄養素供給ができる藻類を作出します。

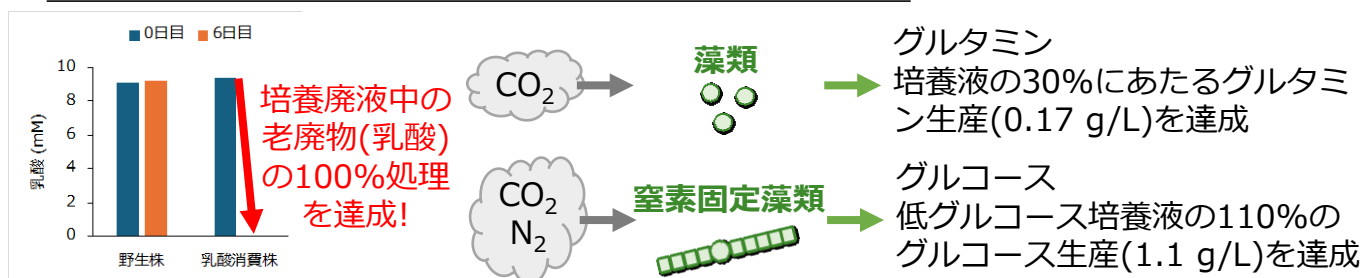


主な研究成果

- ① 動物細胞培養後の老廃物である乳酸を消費可能な藻類を作出しました。（論文発表済）
- ② 培養液の主要なアミノ酸であるグルタミンを分泌する藻類を作出しました。（論文準備中）
- ③ 動物細胞の主要なエネルギー源であるグルコースを分泌する藻類を作出しました。（特許出願中）

【具体的成果】

培養廃液を処理可能な藻類や栄養素を生産可能な藻類の作出



今後の研究の展開方向

老廃物である乳酸を消費する能力とグルコース・グルタミンなどの重要な栄養素の生産能を兼ね備えた藻類の作出を行います。また、新たな課題が見つかった場合には、それを解決可能な藻類を新たに作出します。

分担機関（太字は主たる実施者の機関）

(1)東京女子医科大学/ (2)**神戸大学**/

研究内容：サーキュラーセルカルチャー(CCC)システムの開発

項目4: 項目1～3のプロセスを連結した循環型の細胞培養システムの開発

主たる実施者： 清水達也（東京女子医科大学 所長 教授）、和田昌憲（エイブル株式会社）

キーワード： 大量培養、浮遊攪拌、栄養素抽出

研究背景と達成目標

研究開発テーマの背景と必要性

CCCシステムの中核となる藻類培養、藻類菌体からの栄養源抽出、抽出液から作出した培地での鶏由来細胞培養の各工程をつなぐ技術開発を行います。培養鶏肉を誰でも簡単に製造できるシステムの構築を目指します。

技術開発目標

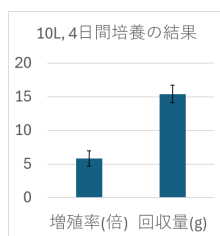
藻類を大量培養し、菌体から熱酸処理によって糖やアミノ酸等の栄養源を抽出します。これを基本培地として鶏由来細胞を大量に培養し、培養鶏肉を製造します。培養排液を積極的に利用する循環型システムを構築します。

主な研究成果

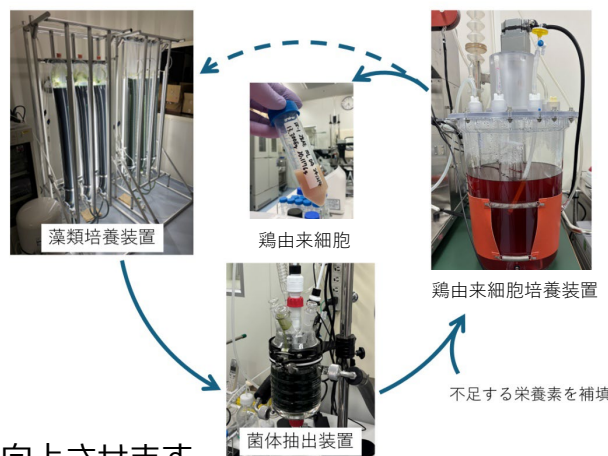
- ① 藻類と鶏由来細胞を大量培養する方法を確立しました。
- ② 藻類の菌体から栄養源を抽出する方法および培養液を作る方法を確立しました。
- ③ 藻類抽出液培地で鶏由来が培養液リッターあたり1.5g程度まで増殖しました。

【具体的成果】

CCCシステムのプロトタイプ（右図）を開発



藻類培養には動力を用いない攪拌方法を採用、酸加水分解により菌体から栄養素を抽出しました。抽出液をベースに不足する栄養素を補填した培地を作成、鶏由来細胞を浮遊攪拌培養して液量10Lあたり約15gの鶏細胞を得ました。



今後の研究の展開方向

循環培養における栄養素および排液の利用効率を向上させます。鶏由来細胞の培養液への栄養素供給源をシステムに組み込み、CCCシステムを完成します。工程の各要素を拡大し、培養鶏肉の生産能力を増強します。

分担機関（太字は主たる実施者の機関）

(1)東京女子医科大学/ (4)早稲田大学/ (5)インテグリカルチャー株式会社/ (5)大阪大学/
(7)エイブル株式会社/

研究内容：増幅した動物細胞の立体組織化

項目5：増幅した動物細胞の立体組織化による培養食料生産及び評価技術の確立

主たる実施者： 清水達也（東京女子医科大学 所長 教授）、坂口勝久（東京都市大学 准教授）

キーワード： 培養食料、組織工学、食感

研究背景と達成目標

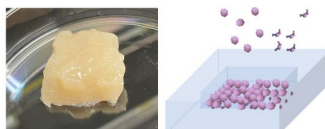
研究開発テーマの背景と必要性

環境負荷が低く、循環型素材である藻類由来の培養液を基に、動物細胞を培養することで培養食料を生産する技術を開発します。項目5では、多様な組織工学技術を用いて培養鶏肉を作成し、食感を含めた美味しさの実現を目指します。

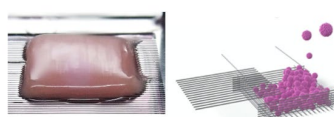
技術開発目標

大量に増殖させた培養鶏由来細胞を、組織工学技術を用いて立体的な組織へと構築します。具体的には、酵素凝固法、スフェロイド（細胞凝集塊）充填法、細胞ファイバー法、細胞シート積層法を用いて作製した培養鶏肉について、食感の評価を行います。

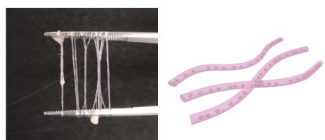
酵素凝固法



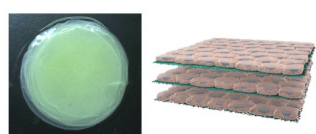
スフェロイド充填法



細胞ファイバー法



細胞シート積層法



主な研究成果

- ① 組織工学技術を使って培養鶏肉を作成
- ② 培養鶏肉の食感の測定
- ③ 大型培養鶏肉(70 g, 540億個細胞)を作成



培養焼き鳥



培養手羽先



培養チキンロール

【具体的成果】

培養食料の開発

鶏由来細胞をシリコン型に酵素トランスグルタミナーゼを混ぜて注入し、硬化させて培養食料を作成しました。培養焼き鳥、培養手羽先、培養チキンロール（70g）を作成しました。

今後の研究の展開方向

現行の培養食料の食感評価では、弾力性や付着性は実食用と同等の食感を示していますが、酵素凝固法で構築した培養鶏肉の硬さは半分以下を示しています。そこで、今後の展開として、食感が実食用と同等の硬さ、弾力性、付着性を示す培養鶏肉の構築を目指します。

分担機関（太字は主たる実施者の機関）

(1)東京女子医科大学/ (4)早稲田大学/ **(8)東京都市大学/**



JISC社
テクスチャー試験機

研究内容：社会実装・事業化

- 項目 7: システムのライフサイクルアセスメント・社会受容性の向上・法規制整備・事業化
- 項目 8: 藻類由来培養液の事業化の推進
- 項目 9: 藻類由来培養液ならびに生産した培養食料の安全性の確認・味評価の実施
- 項目10: 藻類由来培養液を用いた有用物質生産細菌の培養

主たる実施者： 清水達也（東京女子医科大学 所長 教授）

キーワード： 国際連携、スタートアップ設立、事業価値向上

研究背景と達成目標

研究開発テーマの背景と必要性

CCCシステムの開発に合わせて、培養食料（細胞性食品/細胞培養食品）の社会受容性向上・ルール形成・標準化は不可分一体の取り組みです。また、2030年度の実用化に向けて、CCCシステムの成果として藻類関連要素技術の知財化・事業化にも着手する必要があります。

技術開発目標

- ① 社会実装に向けた取り組み：ライフサイクルアセスメント（環境負荷を定量的に評価する手法：LCA）の実施・社会受容性の向上
- ② 藻類由来培養液の事業化推進:知財戦略・ビジネスプラン構築、スタートアップ設立
- ③ 藻類由来培養液・培養肉の安全性・味評価：藻類由来培養液ならびにそれを用いて作製した培養食料の安全性を確認、確保
- ④ アミノ酸発酵・精密発酵への応用展開：藻類由来培養液を用いた有用物質生産細菌（アミノ酸発酵・精密発酵）の培養

主な研究成果

- ① 培養食料に関する国際細胞農業カンファレンスの開催（2024.10）やヘルシンキ大学との共同研究においてサーキュラーセルカルチャーに特化したLCAに着手するなど国際的なネットワークを推進し、海外研究者との交流や共同研究に向けた議論を深めました。
- ② 藻類由来培養液の培養食料以外への応用展開、藻類培養によるアップサイクル技術の培養食料生産廃液以外への応用展開も視野に入れた検討を行い、CCCシステム各プロセスに関する特許3件を取得（日本）、2024年度にも3件の特許申請を行いました。
- ③ 研究成果を活用した藻類由来培養液の事業化を目指すスタートアップを2025年3月に設立しました。



今後の研究の展開方向

藻類由来培養液の利用にフォーカスしたLCAの明示や細胞性食品に関する学会設立など、社会実装への取り組みを加速し、藻類由来培養液、藻類による廃液アップサイクル技術の事業化の推進等にも取り組みます。

分担機関（太字は主たる実施者の機関）

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