



第3回JST OPERAシンポジウム

令和6年2月14日（水）

平成30年度採択領域

「低CO₂と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファイナーの創出」

国立大学法人 東京大学 大学院
新領域創成科学研究科 特任教授

領域統括：三谷 啓志

研究成果展開事業 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム 共創プラットフォーム育成型 FS提案書 (2018.0730)



東京大学
中央大学
産業技術総合研究所
筑波大学
お茶の水女子大学
国立環境研究所

株式会社ユーグレナ
株式会社デンソー
理研食品株式会社
株式会社ADEKA
株式会社アルガルバイオ
パナソニック株式会社



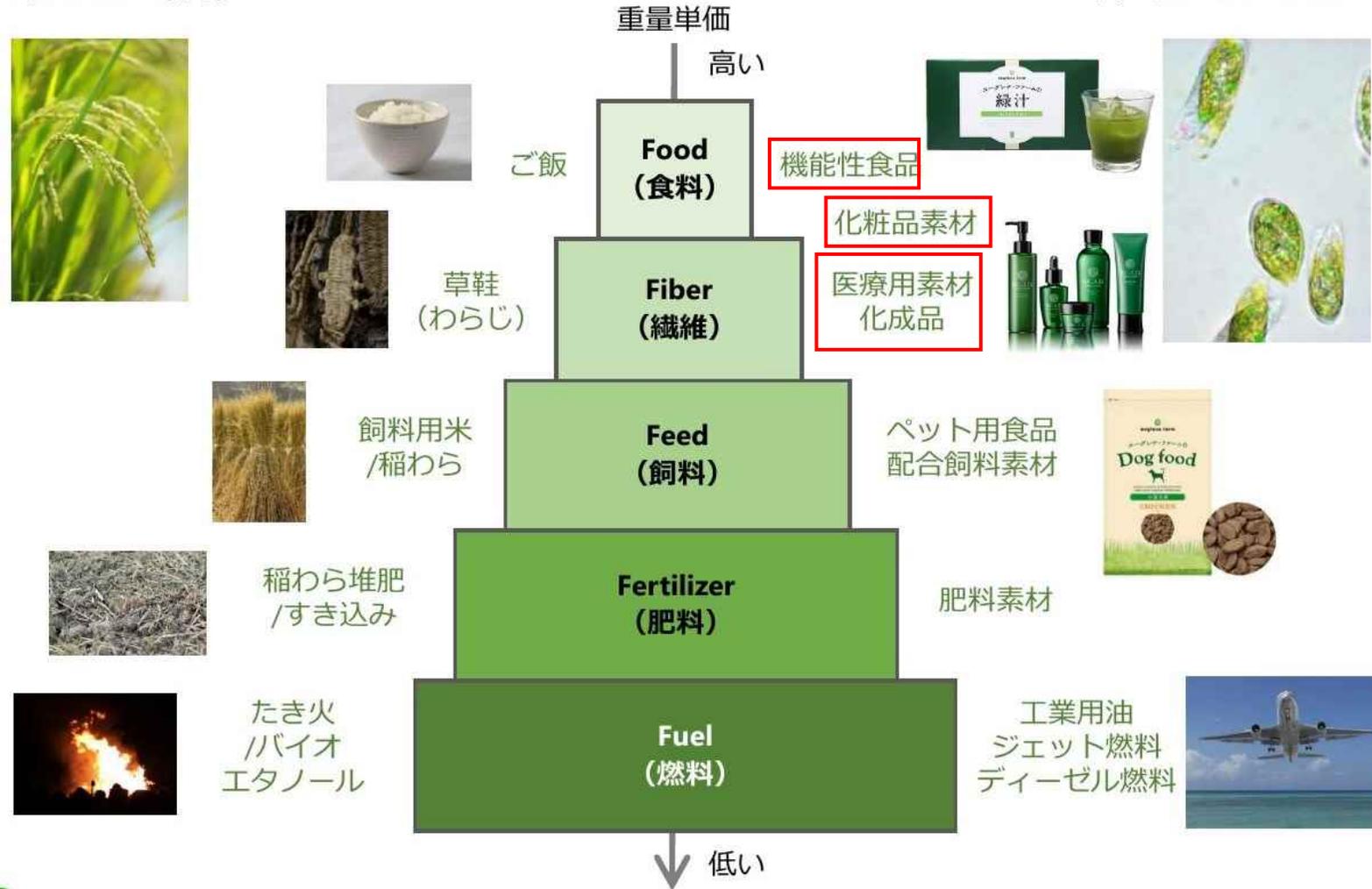
研究領域名：低CO₂と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファイナーの創出

提案概要：CO₂削減効果の大きい微細藻バイオマスを原料としたバイオ燃料の実用化に期待がかかっているが、高い製造コストが障壁となっている。一方、微細藻類には酸化防止剤、天然染料、多価不飽和脂肪酸などの有用物質が含まれており、化粧品、栄養補助食品、飼料等として既に利用されている。このことから、3,000株のライブラリーから選抜した微細藻類を原料とした有用物質生産とバイオ燃料生産を実現し、それらを統合したバイオリファイナー・プロセスを創出することにより、バイオ燃料の製造コスト削減し、バイオ燃料の早期実用化を図る。

バイオマスリファイナー 藻類を原料にする多様な5F製品

米の5F (例)

ミドリムシの5F



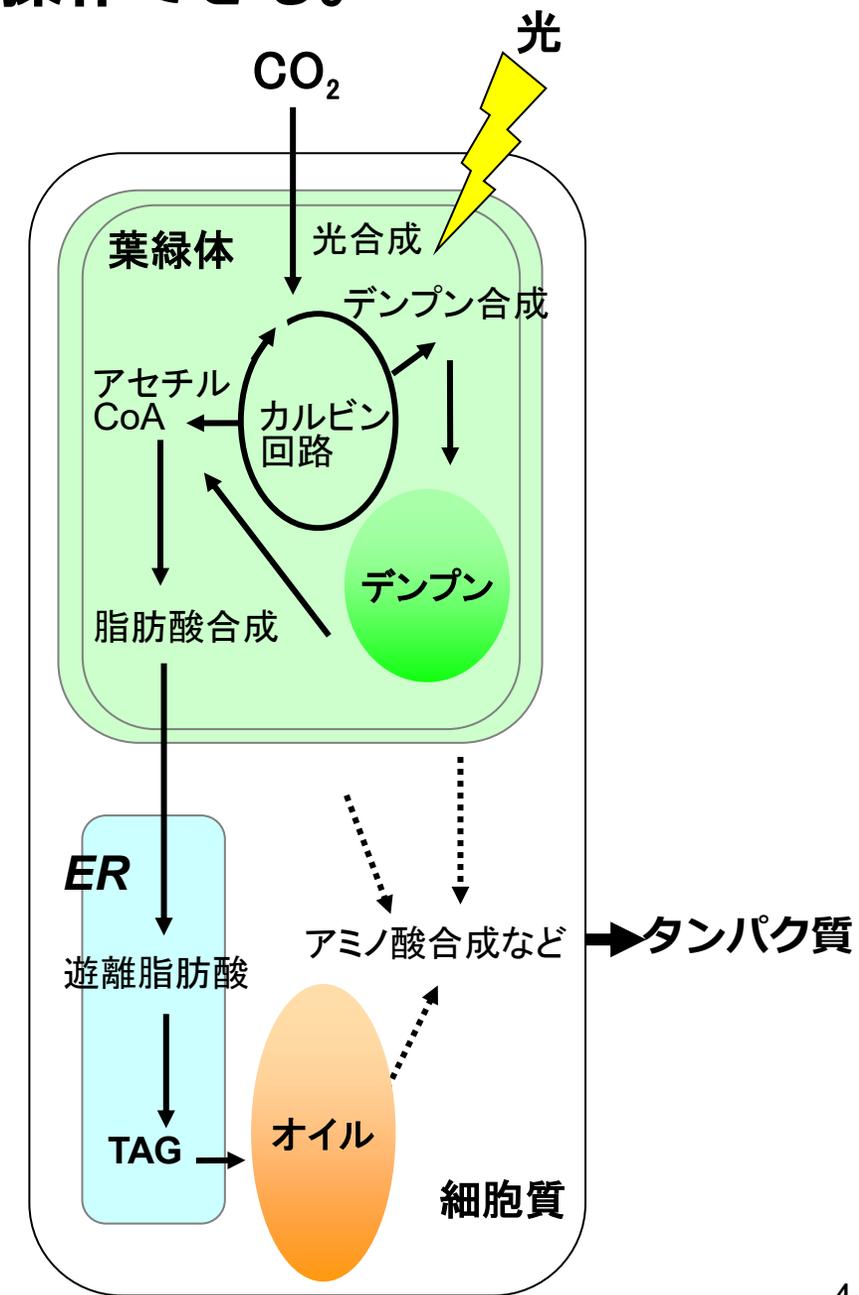
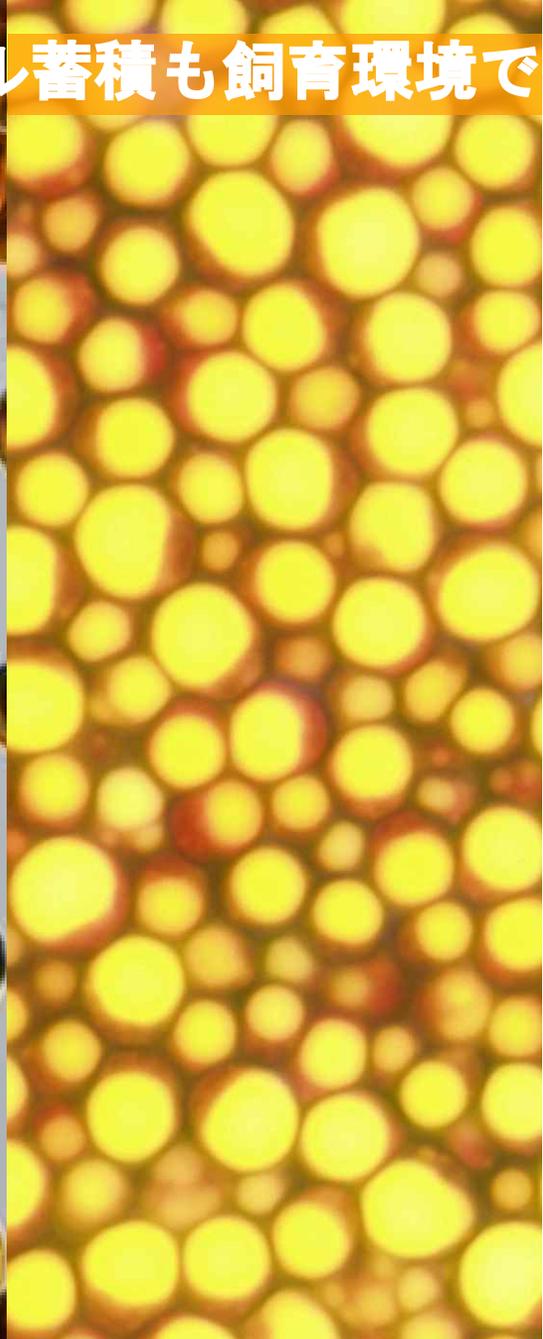
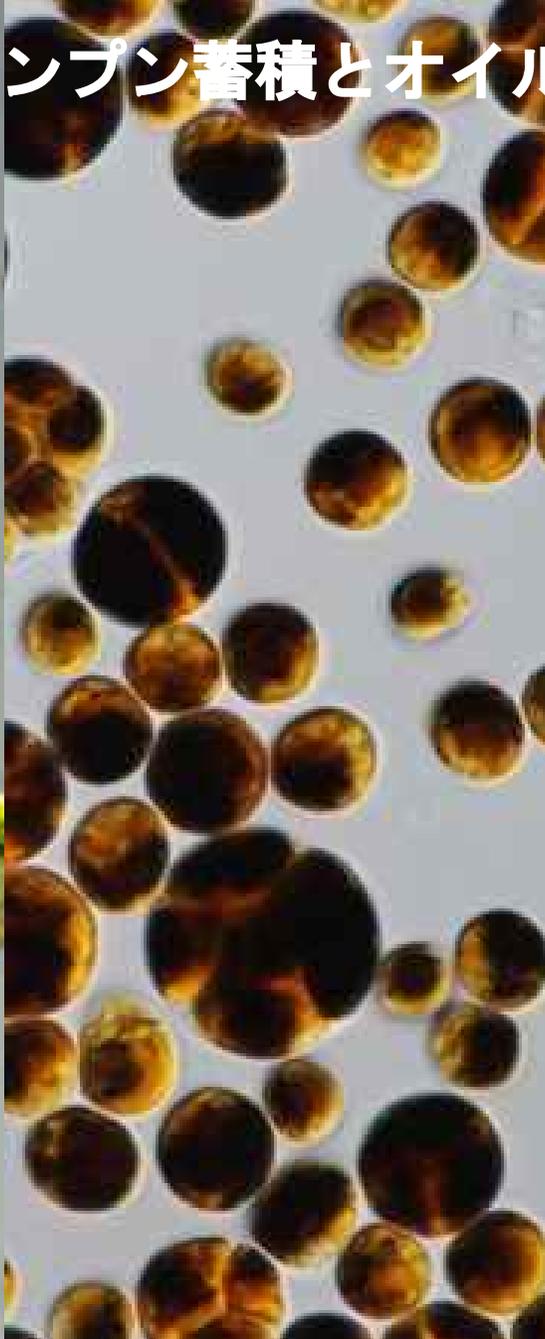
微細藻類の利点

- 微細藻類は、面積あたりの収穫量が、種子植物より桁違いに多い
- 微細藻類は使う水の量が種子植物よりも少なくすむ



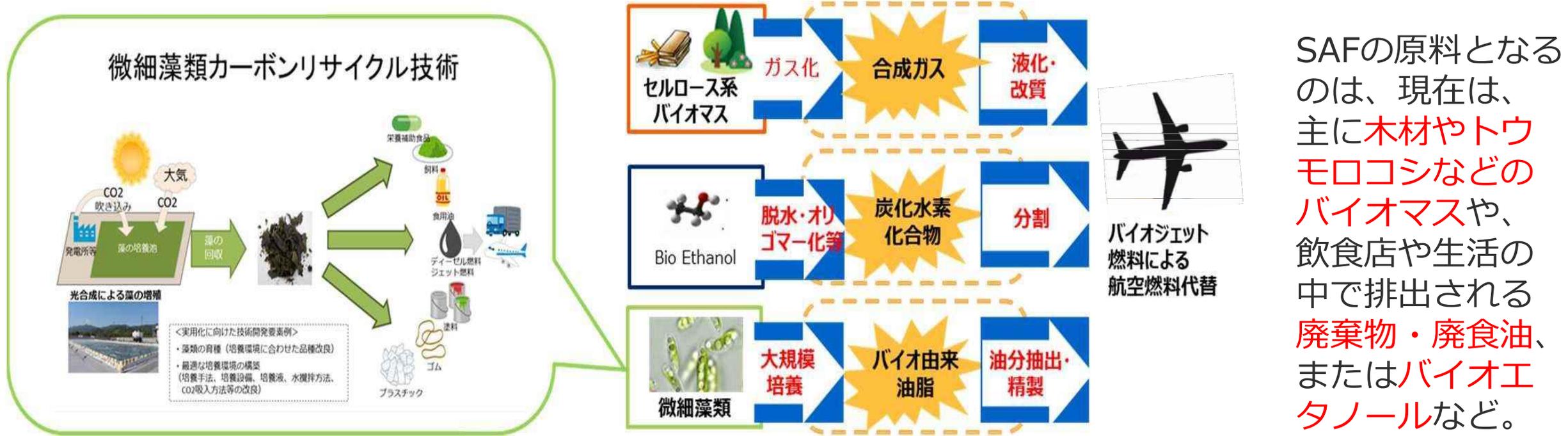
Copyright (C) 2019 euglena Co., Ltd. All Rights Reserved.

クロレラのデンプン蓄積とオイル蓄積も飼育環境で操作できる。



Parachlorella kessleri

化石燃料から藻類由来のSAF (Sustainable aviation fuel) 「持続可能な航空燃料」への転換



利点

航空機運航分野におけるCO₂削減に関する検討会 第3回 NEDO 資料より

- 1) バイオマスの高い生産性
- 2) 油脂以外のさまざまな副産物が生産可能 (株と培養条件で産物を制御)
- 3) 油脂から出発するので従来の石油精製施設を転用が可能
- 4) 環境浄化にも貢献

欠点

- 1) 培養をするには広大な面積が必要 生物多様性の脅威?
- 2) 屋外施設での安定した通年生産が困難
- 3) 必要な燃料規模の油脂の製造コストが不明 バイオマスを起点とするリフアイナリーへ

藻類の油脂からのジェット燃料が左記の理由から期待される。

【OPERAと機能性バイオ共創コンソーシアム】



2016年

TIA「TIA連携プログラム探索推進事業 かけはし」で前身となる「機能性バイオ研究支援フォーラム」が創設され、微細藻類リファイナリーに関する公開の研究会やセミナーなどによって大型連携研究開発プロジェクトの議論を開始。

2018年

アカデミア・企業のコアメンバーによる「育成型OPERA」採択を機にこのフォーラムを「機能性バイオ共創コンソーシアム」と改組し、現在は、活動6年目で1,783名（学286、産1,165、官309、他23）の登録があり、広範囲な産学交流の場を提供している。

2020年

本格フェーズ移行に伴い、コンソーシアム内にOPERA参画者の「機能性バイオ協議会」を設置し、プロジェクトとコンソーシアムの運営体制を整備。



大学・国研×民間企業

解き放とう藻類の秘められた力を！

パリ協定の「2030年度GHG排出量を2013年度比46%削減」は待ったなしです。機能性バイオ共創コンソーシアムは、JST/OPERAの課題「低CO₂と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファイナーの創出」を目指します。3,000株のライブラリーから選抜した微細藻類による、有用物質生産とバイオ燃料生産を統合しCO₂削減に貢献します。

Co-creation Consortium for Functional Bio-Research

News & Topics

3/27
2024

3月27日（水）に第14回「機能性バイオ」ミニシンポが開催されます！

微細藻類は地球を救えるかー低CO₂と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファイナーの創出ー

* 詳細が決まりましたら [『Event』](#) ページにて、お知らせいたします。

機能性バイオ共創コンソーシアム 会長：三谷 啓志（東京大学）

【目的】 社会における機能性バイオの理解を深め、社会で共有される機能性バイオに関わる課題を解決する。

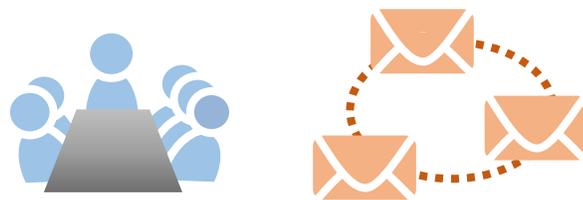
機能性バイオ協議会

会長 領域統括 三谷 啓志

14大学 4国研 24社

各機関からの代表者による定期協議会の開催

- * 研究進捗の管理
- * 研究資金の調整
- * シナリオのブラッシュアップ



などを審議

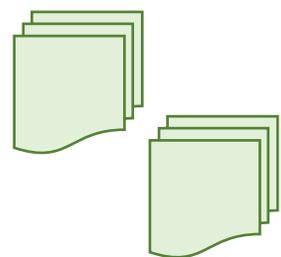
各部門リーダーを中心とした専門的な活動

研究戦略部門
富永 健一

人材育成部門
三谷 啓志

知財戦略部門
大矢 禎一

渉外対策部門
河野 重行



機能性バイオ共創コンソーシアム推進室

* ホームページの掲載と宣伝



本格フェーズ
への渉外活動
の場として

- * 普及のための講演会やシンポジウムの開催
- * 課題解決型のプロジェクトの立ち上げ
- * 資料の一層の充実とその整理 など

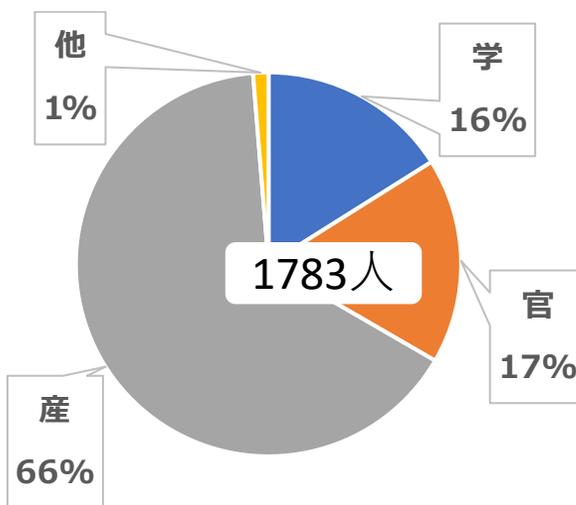


【第1～13回「機能性バイオ」ミニシンポ】

微細藻類に関わる産学のキーテクノロジー研究者を演者として
 毎回約100名が参加 産官学の情報交換を推進
 第13回（ハイブリッド開催）では330名の参加があり、
 これまでの**延べ参加数は2,000名を超える。**

機能性バイオ共創コンソーシアムの登録数は
 1,783人（学286、産1,165、官309、他23）

機関連携の推進に貢献



ミニシンポ
 機能性バイオ：微細藻類と未活用生物資源

日時：2023年7月31日（月）13:00～17:10
 会場：東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト・多目的ホール（事前登録制）
 主催：JST/OPERA機能性バイオ共創コンソーシアム
 共催：産総研・生物資源と触媒技術に基づく食・薬・材創生コンソーシアム（食創コンソ）
 協力：東京大学大学院 新領域創成科学研究科

第2回ミニシンポ
 機能性バイオ：微細藻類と未活用生物資源
 一つくば・柏の協創を目指してー

第10回「機能性バイオ」ミニシンポ
 低CO₂と低環境負荷を目指すOPERAから
7つのクリスマスレクチャー

第11回「機能性バイオ」ミニシンポ
 機能性と燃料オイル：
 OPERAのミッションと新規参入

第12回「機能性バイオ」ミニシンポ
 脱炭素時代の到来とOPERA

第13回「機能性バイオ」ミニシンポ
バイオものづくりと日本の展望
 日時：2023年7月31日（月）13:00～17:10
 会場：東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライト・多目的ホール（事前登録制）
 開催形式：現地開催及びオンラインのハイブリッド開催
 参加費：無料
 主催：JST/OPERA機能性バイオ共創コンソーシアム
 共催：産総研・生物資源と触媒技術に基づく食・薬・材創生コンソーシアム（食創コンソ）
 協力：東京大学大学院 新領域創成科学研究科

【基調】
 【はじめに】（13:00～13:10）
 ご挨拶
 徳永朋祥（東京大学・院新領域・研究科長） [10min]

【基調講演】（13:10～13:45）
 バイオものづくりが導く低炭素社会
 近藤昭彦（神戸大学・副学長/ 大学院 科学技術イノベーション研究科） [35min]

【講演】（13:45～14:35）
 東大新領域・LiSDaCで展開するゲノム研究の大きな流れ
 ー 腸内マイクロバイオームにおける可動性因子の役割 ー
 木口悠也・鈴木 稯（東京大学・院新領域・メディカル情報生命） [25min]

年間1万トンの微細藻類バイオマスは日本のどこにある？
 河野重行（東京大学・院新領域・機能性バイオ協議会） [25min]

・コーヒータイトム [25min]

【招待講演】（15:00～15:50）
 陸上養殖事業化のための研究開発
 ー 海藻は勝手に生きてこない ー
 佐藤陽一（理研食品科・原料事業部長） [25min]

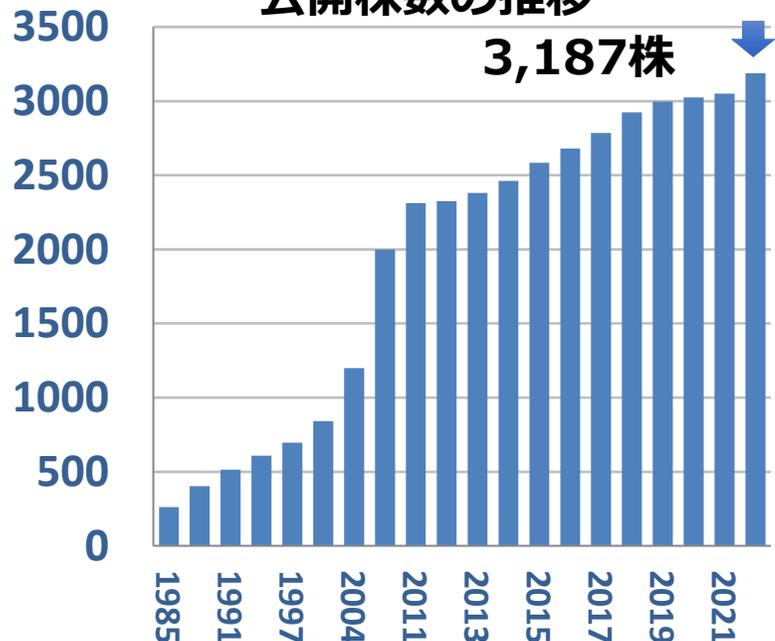
【特別】
 日本におけるバイオ燃料事業の現在地と普及への課題
 尾立維博（株式会社グレンナ・執行役員兼カンパニー長） [25min]

・ブレイク [10min]

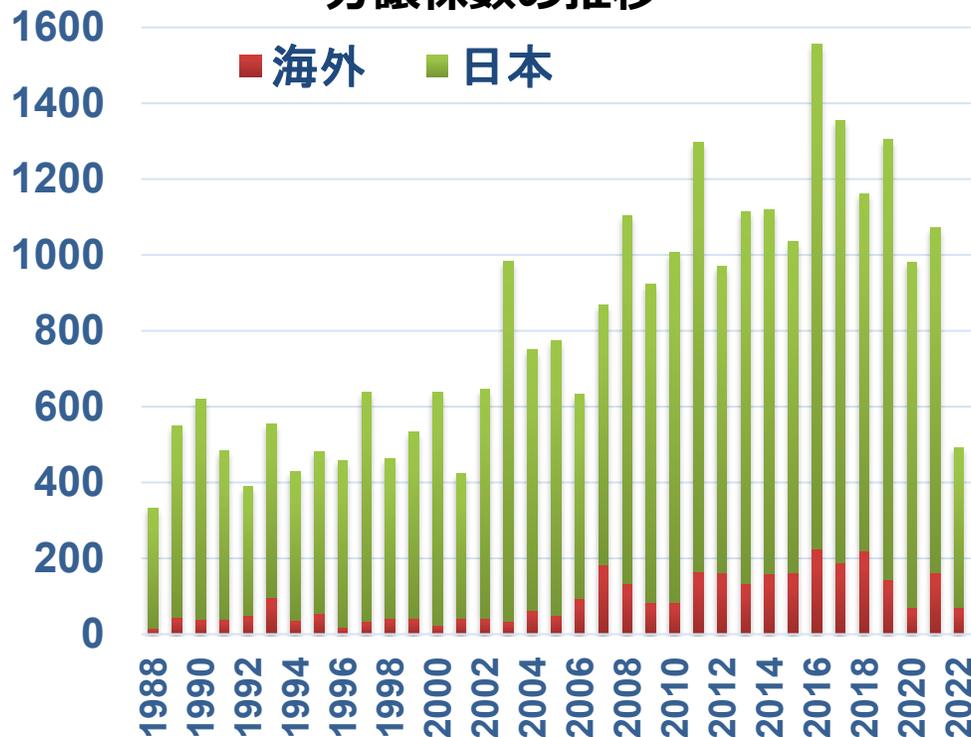
【NIESコレクションの公開株数・提供株数】

HPで950種3,187株を公開 + 他に非公開株を500株保有 = **合計3,687株**

公開株数の推移

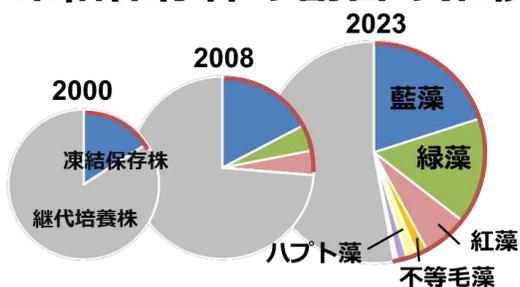


分譲株数の推移

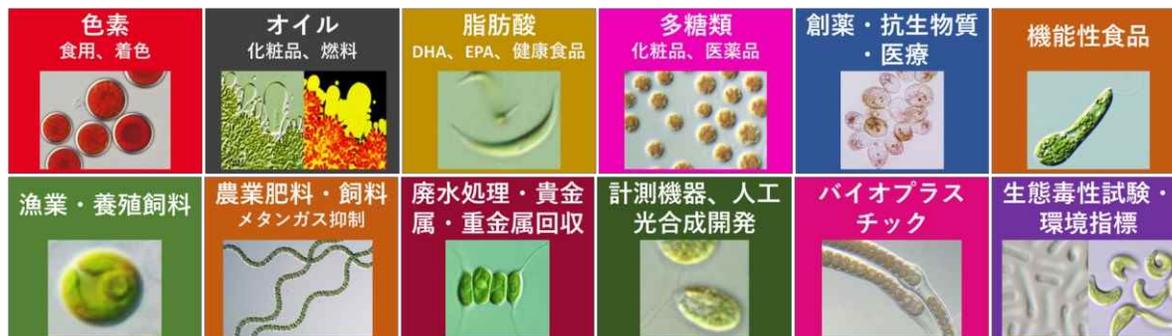


国立環境研究所微生物系統保存施設と東京大学河野研究室が保有する微細藻類株の分譲をコンソーシアム内で効率よく行えるようにルールを整備し、培養データの提供などを可能にした。

凍結保存株の割合の推移



- ✓ 多様な分類群を凍結保存
- ✓ 割合も49%に拡大



OPERA「低CO₂と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファインリーの創出」に参画する18研究機関（2023年度）



【参画する民間企業】

株式会社ユーグレナ、株式会社デンソー、理研食品株式会社、株式会社アルガルバイオ、株式会社ゲノム創薬研究所、三菱商事ライフサイエンス株式会社、株式会社太洋サービス、富士通クオリティ・ラボ・環境センター株式会社、株式会社竹中工務店、ENEOS株式会社、株式会社ドクターズチョイス、バイオックス化学工業株式会社、コスモエンジニアリング株式会社、東京電力ホールディングス株式会社、パナック株式会社、三菱ケミカル株式会社、スバル株式会社、株式会社パレオ・ラボ、あすかアニマルヘルス株式会社、大和薬品株式会社、理研ビタミン株式会社、株式会社ユーグリード、日本甜菜製糖株式会社、ホクレン農業協同組合連合会

【共創コンソーシアム（機能性バイオ協議会）体制図】

2023.6.20現在

機能性バイオ共創コンソーシアム 会長：三谷 啓志（東京大学）

機能性バイオ協議会

機能性バイオ協議会 領域統括 三谷 啓志

研究戦略部門
富永 健一

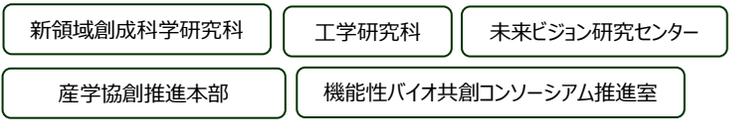
知財戦略部門
大矢 禎一

人材育成部門
三谷 啓志

渉外対策部門
河野 重行

【幹事機関】東京大学

事務局：機能性バイオ共創コンソーシアム推進室



【大学・国研】



2023年度 **14**大学 **4**国研 **24**社
18大学 **4**国研 **30**社
 全参画機関数
 【民間企業】

ユーグレナ	デンソー
理研食品	アルガルバイオ
ゲノム創薬研究所	三菱商事 ライフサイエンス
太洋サービス	富士通クオリティ・ラボ・環境 センター
竹中工務店	ENEOS
ドクターズチョイス	バイオックス化学工業
コスモエンジニアリング	東京電力ホールディングス
パナック	三菱ケミカル
スバル	パレオ・ラボ
あすかアニマルヘルス	大和薬品
理研ビタミン	ユーグリード
日本甜菜製糖	ホクレン

産学共創プラットフォーム推進委員会

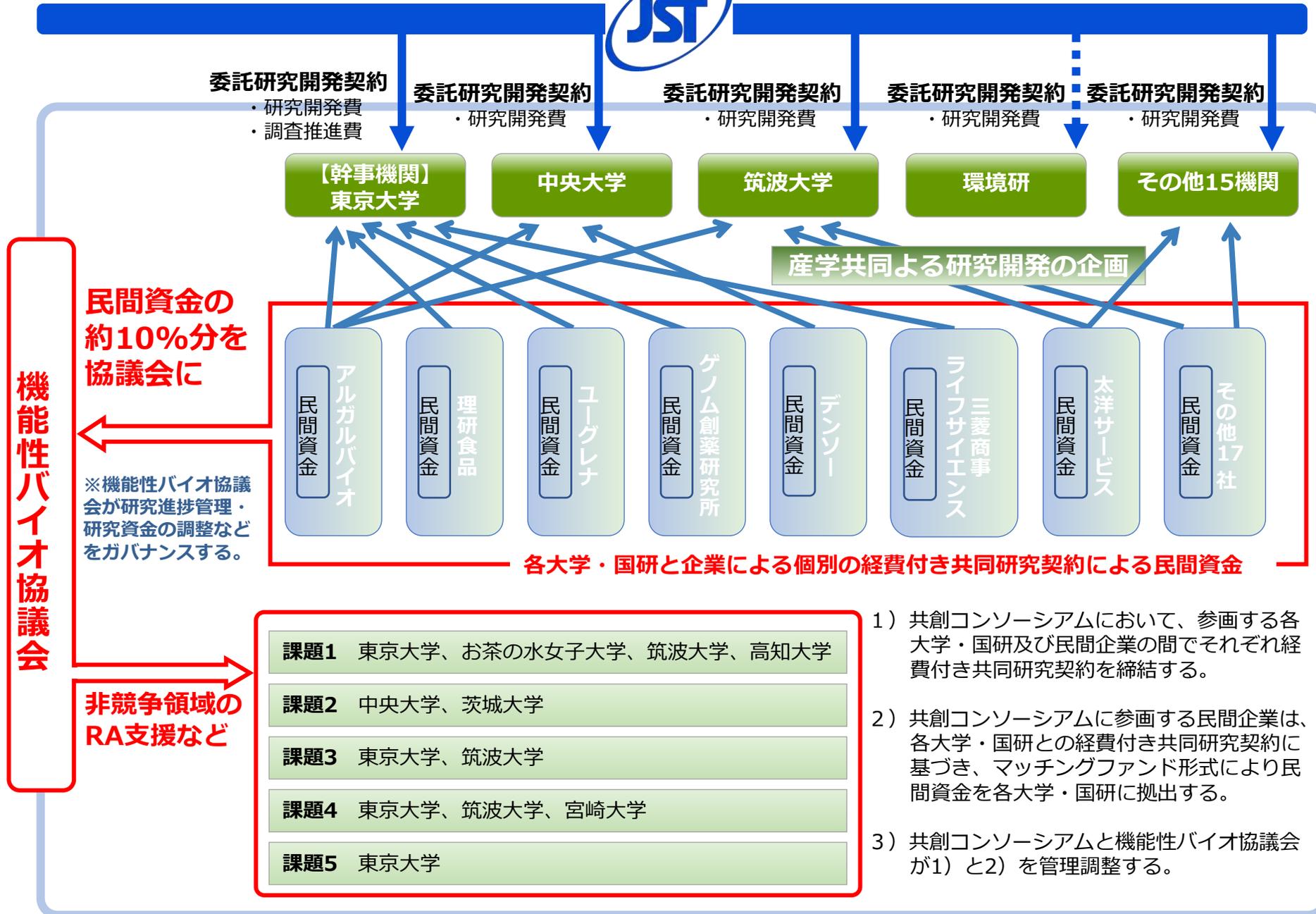
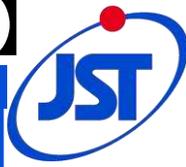
JST
イノベーション拠点推進部 OPERAグループ

東京大学
産学共創推進本部
産学イノベーション推進部

新領域創成科学研究科
学術経営戦略支援室

研究交流チーム

【自立的マネジメント】



分野も規模も達成スケジュールも異なる産学共同研究の集合体の連携を醸成することが課題。

協議会会議での調整を経て、各大学・国研の民間資金の約10%に相当する分を研究開発費から徴収し、機能性バイオ協議会でそれを基金化して使うこととした。

- 1) 共創コンソーシアムにおいて、参画する各大学・国研及び民間企業の間でそれぞれ経費付き共同研究契約を締結する。
- 2) 共創コンソーシアムに参画する民間企業は、各大学・国研との経費付き共同研究契約に基づき、マッチングファンド形式により民間資金を各大学・国研に拠出する。
- 3) 共創コンソーシアムと機能性バイオ協議会が1)と2)を管理調整する。

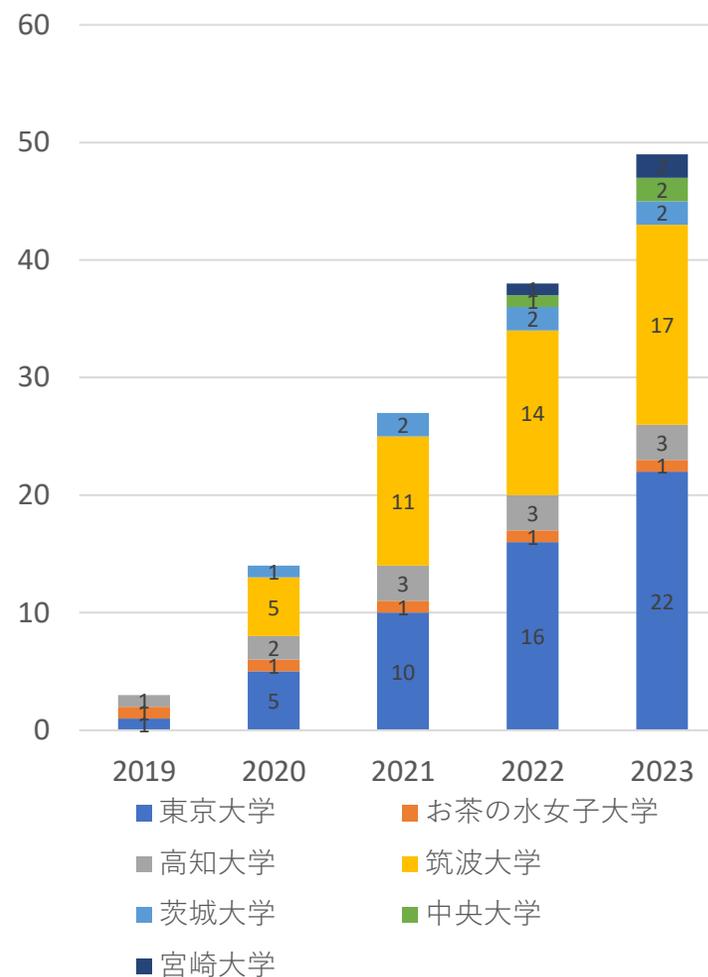
- 課題1 東京大学、お茶の水女子大学、筑波大学、高知大学
- 課題2 中央大学、茨城大学
- 課題3 東京大学、筑波大学
- 課題4 東京大学、筑波大学、宮崎大学
- 課題5 東京大学

【OPERA-RA】

49名 7大学

参画機関	2019	2020	2021	2022	2023	計
東京大学	1	4	5	6	6	22
お茶の水女子大学	1					1
高知大学	1	1	1			3
筑波大学		5	6	3	3	17
茨城大学		1	1			2
中央大学				1	1	2
宮崎大学				1	1	2
計	3	11	13	11	11	49

RA延べ人数



プロジェクト開始後に卓越大学院制度など各大学で博士課程後期学生の支援事業が充実する過渡期となった。

コロナ禍での柔軟な運営を実施

OPERA本格フェーズ課題 「低CO₂と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファインリーの創出」

重イオンビーム育種
ゲノム編集育種
大規模スクリーニング
低環境負荷培養に適した株の選定
単細胞から大型藻類への陸上養殖技術
高タンパク質・ビタミン含量株の選抜
細胞融合を介したゲノム移植技術

課題 1

3000株
スクリー
ニング

育種

培養

回収

抽出

油脂
残渣

燃料化
飼料他

CO₂リサイクルのシナリオ
ライフサイクルアセスメント (LCA) 比較
¹⁴Cリバーストラベリング

課題 5

藻類残渣の樹脂利用
BTX類を製造する触媒反応
ジェット燃料留分炭化水素
製造と収率向上

課題 3

CO₂
回収

活性
汚泥

課題 2

課題 3

機能性

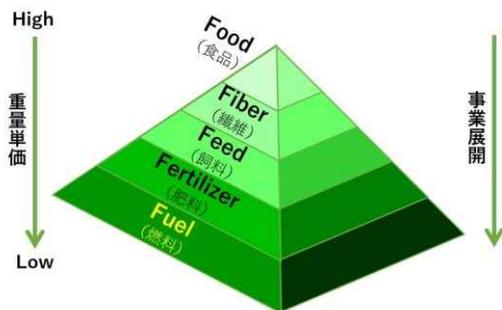
課題 4

曝気レスCO₂供給培
養装置
大型バイオリアク
ター培養
大型藻類閉鎖型リア
クターの実証
半屋内大規模培養の
実証
高密度タンク培養と
藻体回収・油脂抽出

脂質のメチルエステル化の効率化
亜臨界水を利用した残渣処理
アルケノンバイオ燃料
油脂脱酸素反応の効率化
機能性ナノファイバー化成品素材

成分機能の解析法の開発
睡眠やストレスに対する機能性試験
免疫機能の増強
腸管内シグナルや炎症性マーカーへの作用
ウイルス感染に対する有効性
家畜の繁殖・免疫賦活
水産物用飼料開発

バイオマスの“5F”



・微細藻類は、太陽光
のもと、独立栄養
条件で、
CO₂ 3.3トンと水2.5
トンから
油脂1トンと残渣1.5
トンをつくり出せる。

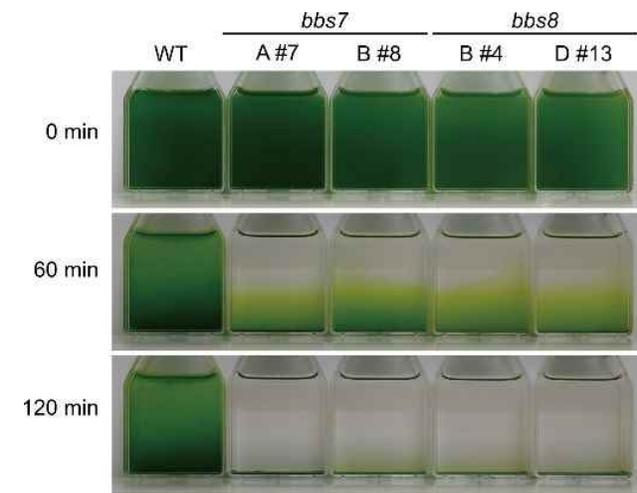
株選抜、育種から燃料、肥料、飼料、機
能性物質生産工程に至る各段階でのイノ
ベーション関係者が、それぞれ定量的な
目標のもとに戦略的に研究開発を推進す
る。



微細藻類バイオリファインリーから見た領域の成果

課題1 「微細藻類3,000株スクリーニングと変異導入による高生産株の探索」 (バイオ燃料生産に適した藻類株を育種)

- 重イオンビーム育種・ゲノム編集育種
- 低環境負荷培養に適した株の選定
- 高タンパク質・ビタミン含量株の選抜
- 単細胞から大型藻類への陸上養殖技術
- 細胞融合を介したゲノム移植技術



ゲノム編集により自然沈降するユーグレナ (1-3 理研・持田 / (株) ユーグレナ)



ゲノム編集により油脂を蓄積すると浮遊する4 KO株 (1-4 中央大・原山 / (株) アルガルバイオ)



図1.細菌との共培養で藻類細胞に誘導される現象
細菌との共培養での多細胞化現象 (1-8 高知大・平岡 / 理研食品 (株))



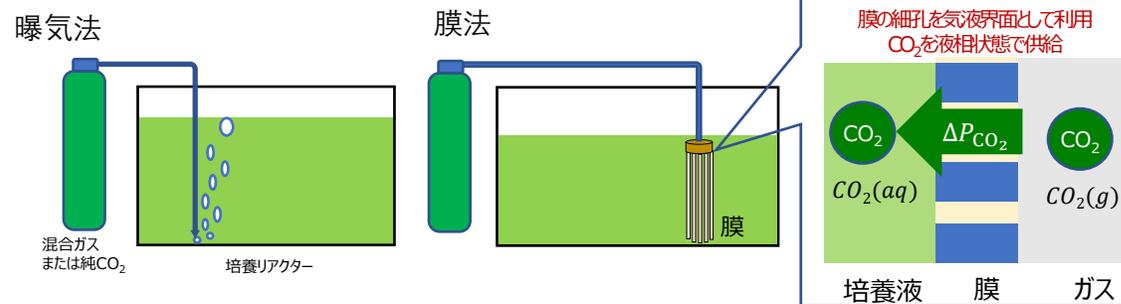
1Lマリンスコ 10L 4連ファーマンター 200Lファーマンター 500g × 約6倍 (湿重量)

クロレラ従属栄養培養 (1-16 東大・河野 / 日本甜菜製糖 (株))

微細藻類バイオリファイナリーから見た領域の成果

課題2 「閉鎖系バイオリアクターによる微細藻類の培養と回収」 (バイオ燃料生産に適した培養法を開発)

- 曝気レスCO₂供給培養装置
- 大型バイオリアクター培養
- 大型藻類閉鎖型リアクターの事業化
- 半屋内大規模培養の実証
- 高密度タンク培養と藻体回収・油脂抽出



曝気レス技術CO₂供給システム概要 (2-1 中央大・山村/三菱ケミカル(株)・パナソニック(株))



アルガル社 バイオチューブ式バイオリアクター



理研ビタミン(株) 高密度タンク培養器



理研食品(株)の陸前高田ベース

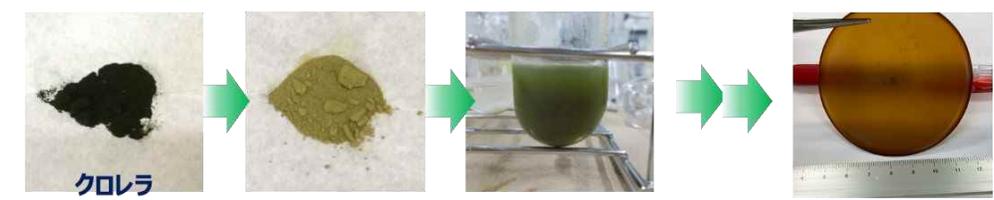
藻類陸上養殖装置により、スジアオノリ年間3.1トンの商業生産に成功。 17

微細藻類バイオリファインリーから見た本領域の成果

課題3 「触媒化学による微細藻類バイオマスからの燃料と機能性化学品合成」

(油脂の抽出精製と残渣の有効利用を開発)

- 脂質のメチルエステル化の効率化
- 油脂脱酸素反応の効率化
- BTX類を製造する触媒反応
- メタン発酵バイオマス発電所での藻類培養法の開発 メタン発酵消化液の栄養源（窒素、リン）を利用
- アルケノンバイオ燃料化
- 亜臨界水を利用した成分抽出
- 藻類残渣のバイオプラスチック化・機能性ナノファイバー化成品素材

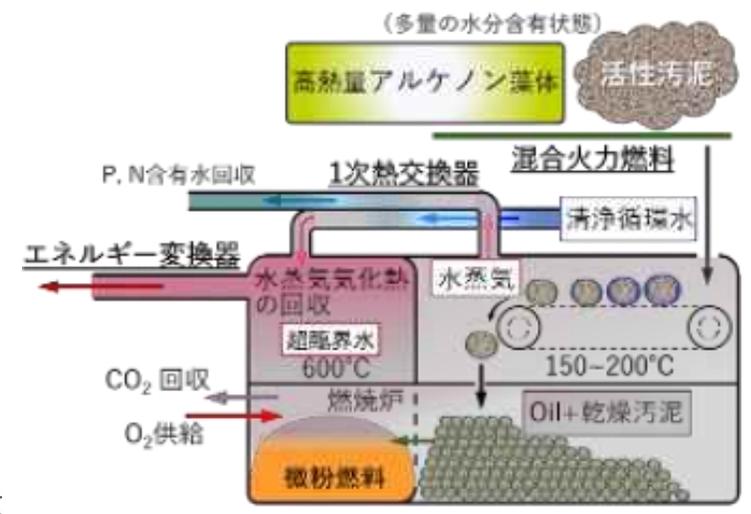


クロレラ藻体よりオイルを抽出した残渣をそのまま原料として使い、樹脂化する技術（3-1 産総研・富永／アルガルバイオ（株））



高温高圧処理クロレラ成分の膜分離前後の概観（3-1東大・大島、秋月（株）竹中工務店）

- ✓ 照射条件:L/D=12h/12
- ✓ 通気条件:0.2~0.5L/min



バイオマス火力燃料利用の概要（3-5,6 産総研・岩田 筑波大・鈴木／（株）太陽サービス 富士通クオリティラボ（株） パナック（株））

課題4 「機能性試験と新規成分抽出法の確立と機能性素材の開発と応用」 (バイオリファインリーを構成する機能性商品の開発)

- 形態プロファイリング法を用いた成分機能の解析
- 睡眠やストレスに対する機能性試験
- 微細藻類優良株の抗炎症性機能・真皮増強作用
- 免疫機能の増強
ウイルス感染に対する有効性
家畜の繁殖・免疫賦活
- 反芻家畜用飼料・水産物用飼料開発
- 親水性・親油性機能性成分の乳化・カプセル化による素材化

機能性を生み出すクロレラファクトリー

セルフメディケーション時代の到来

●藻類バイオ3000株の機能性試験とセルフメディケーション時代の新市場開拓

1984年 食品の機能性研究スタート
1991年 特定保健用食品
2001年 栄養機能食品
2015年 機能性表示食品制度

重イオンビーム
NISHINA
OPERA

超オイル細胞
オイル含量75%以上
リノレン酸 10-52%
植物性ω3を10~52%含有

・株の探索と創成
・オイル細胞の誘導

↓

脂溶性
ビタミン
カロテノイド
ポリフェノール
C₁₂-C₄₇長鎖不飽和脂肪酸
ω9エルカ酸、ネルボン酸

機能性
抗鬱
抗酸化
抗認知症
美白・美肌
アンチメタボ
アンチアレルギー
アンチエイジング

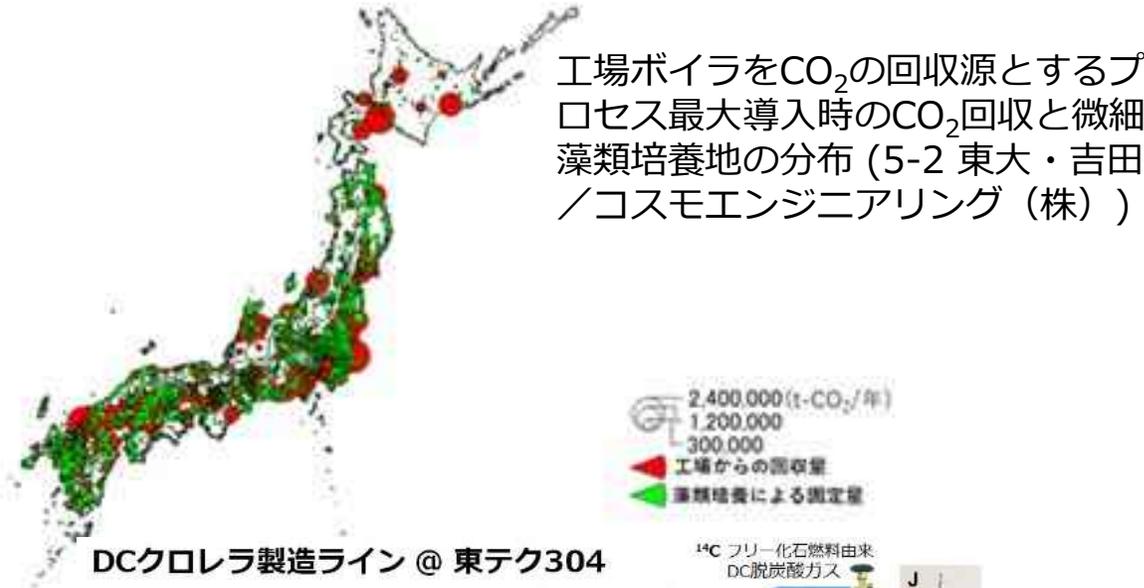
<https://www.u-tokyo.ac.jp/content/400136290.jpg>



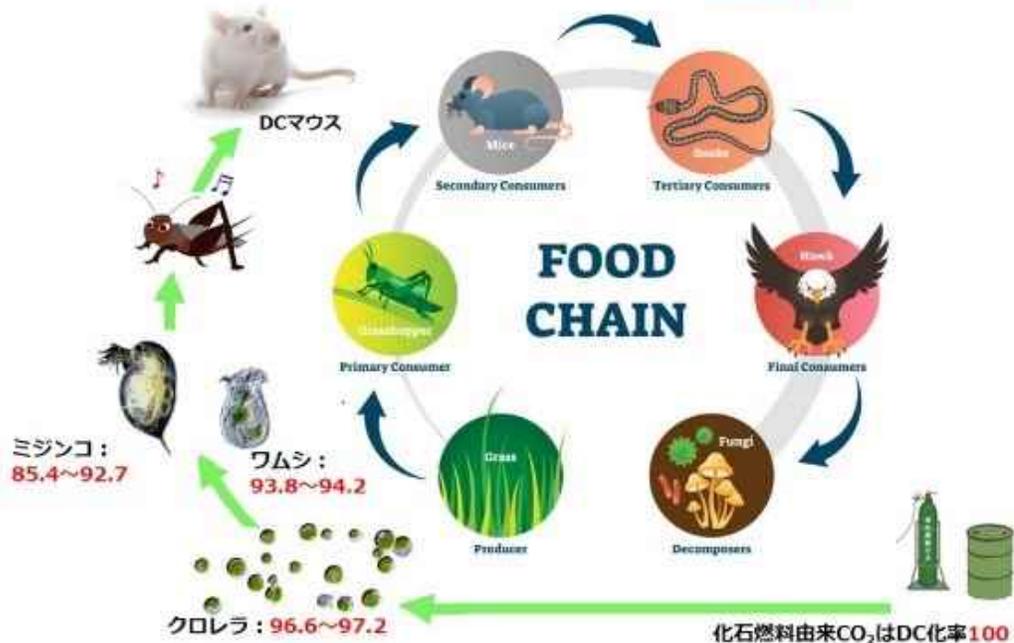
ユーグレナ機能性表示食品 ユーグレナ (株)

課題5 「バイオエコノミーと市場調査：機能性バイオによる低炭素社会の実現」（LCAからみたバイオ燃料生産のシナリオ作り）

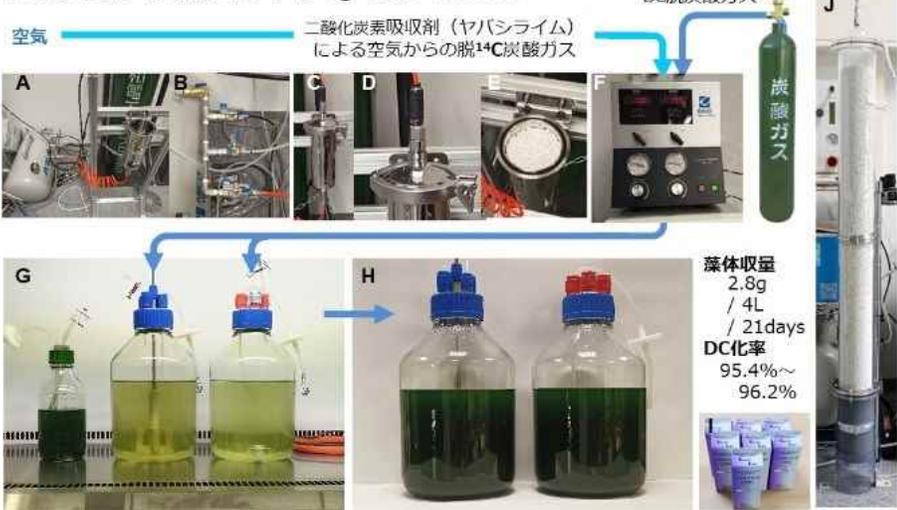
- ライフサイクルアセスメント (LCA) 比較
- ^{14}C リバーストラベリングによるバイオベース測定の有効性評価



食物連鎖を利用した ^{14}C リバーストラベリング (DC化率) の伝播



DCクロレラ製造ライン @ 東テク304



DC化した空気とDCクロレラの製造ライン (5-4 東大・河野 / (株) パレオ・ラボ)

推進委員会からの助言を機に重点化課題の推進に着手 光合成独立栄養と糖源 を利用した従属栄養の組み合わせでバイオマス大規模生産を加速

ユーグレナ・クロレラ油脂
などから
ジェット
燃料留分
炭化水素
を液化

重点課題1
微細藻類の水熱可溶化条件の検討
東京大学（秋月）、(株)竹中工務店（川尻）
■ **水熱可溶化・三相分離条件を決める。**

重点課題2
微細藻類由来油脂のバイオ燃料製造
信州大学（嶋田）、(株)ユーグレナ（鈴木・阿閉）
■ **固定床流通式反応器を用いた反応試験を実施し、バイオジェット燃料留分（炭素数10-15、沸点約150 - 280℃）の分析と液化を実施する。**

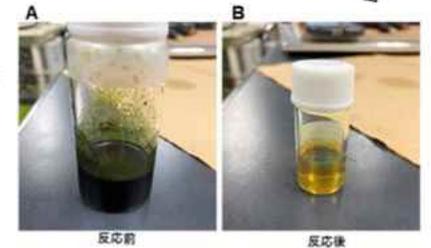
油脂生産性に優れた約3000株から選抜したクロレラ2152株は、油脂をためると遠心分離で上層に浮く



重点課題4
実験用藻の製造と供給体制
東京大学（河野）
■ **少なくとも50g/L程度の高密度培養を可能にする。水熱可溶化条件検討に1~100g、バイオジェット燃料を液化に200g~1kg程度を調達する。**

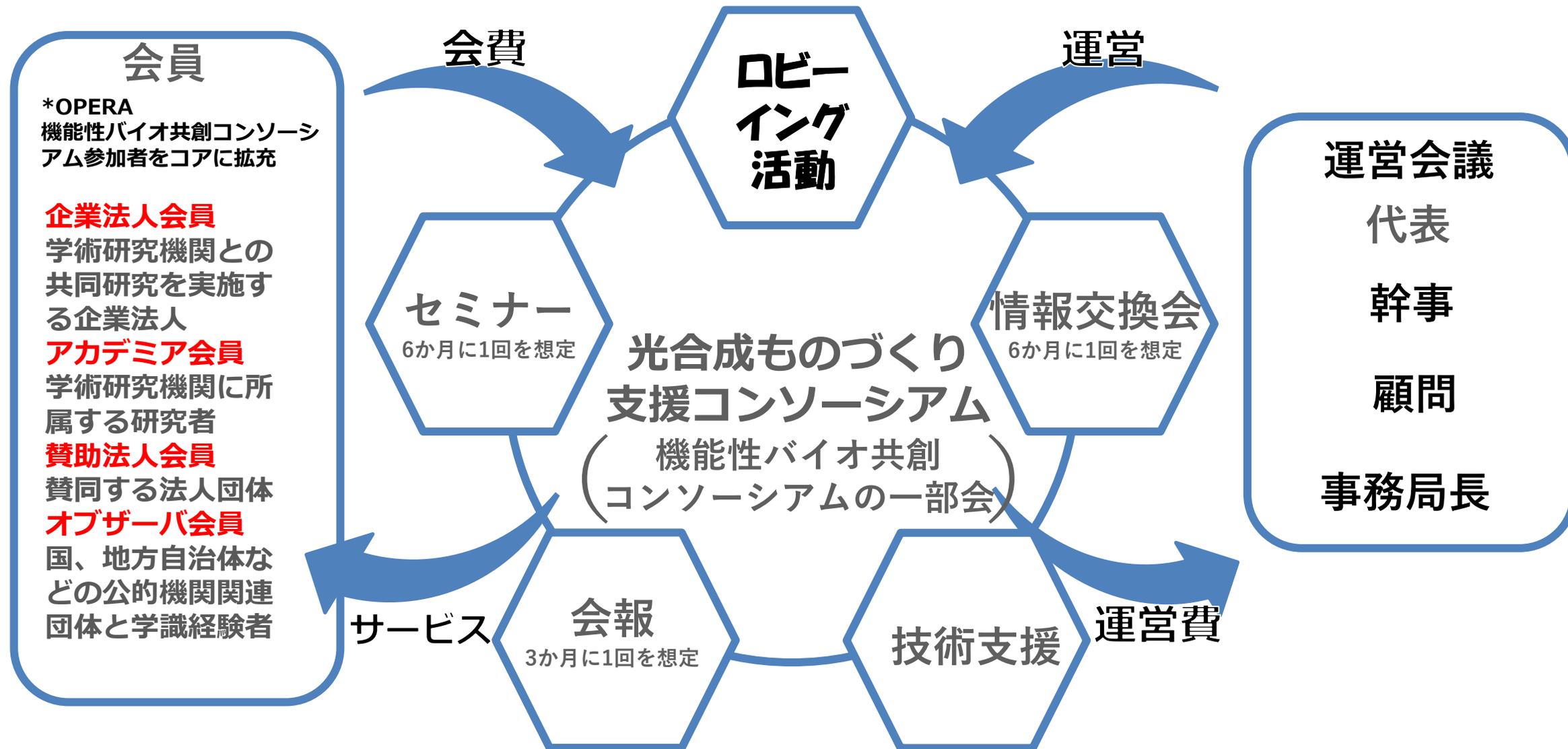
重点課題3
水層と残渣画分の有効利用
宮崎大学（林）、東京大学（大島、秋月）、(株)竹中工務店（川尻）
■ **水層の膜分離と残渣の亜臨界水熱液化で糖や有機酸の有効利用を可能にし、微細藻類の培養コストの低減を図る。微細藻類の従属培養とメタン発酵では培地に利用できる成分範囲が異なることを戦略的に利用する。**

バイオジェット燃料製造
(留分の分析と液化)



光合成藻類の抽出残渣 = デンプン・タンパク質・細胞壁成分の利用

OPERA後継事業として「光合成ものづくり」をキーワードにアカデミアとの共同研究を実施する企業への支援事業を継続する部会を新設





東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

UTokyo
FSI
Symposium



第14回「機能性バイオ」ミニシンポ

微細藻類は地球を救えるか

低CO₂と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファインリーの創出

2024年3月27日（水）13：00～17：10 東京大学・安田講堂

【はじめに】13：00～13：10

ご挨拶

徳永朋祥（東京大学教授・新領域創成科学研究科長）

【基調講演】13：10～13：40

僕はミドリムシで世界を救うことに決めました。

出雲 充（株ユーグレナ社長）

【招待講演】13：45～14：35

地球の表層環境の変遷：過去、現在、未来

田近英一（東京大学教授）

カーボンニュートラルに向かう世界と「変化」

高村ゆかり（東京大学教授）

【特別講演】15：00～17：00

バイオエコノミーな社会の実現に向けて：国際動向と日本の課題

松尾真紀子（東京大学特任准教授）

油脂生産性に優れた緑藻の選抜と選抜株の育種

原山重明（中央大学機構教授）

海藻類を陸で育てる技術開発と食糧・環境・エネルギー分野への貢献

佐藤陽一（理研食品株）

OPERAの狙い：とことんバイオリファインリー

河野重行（東京大学名誉教授）

【おわりに】17：00～17：10

ポストOPERA：光合成ものづくりへの期待

三谷啓志（東京大学特任教授・JST/OPERA研究統括）



OPERA



▲イベントページ▲





OPERA