

仙台防災未来フォーラム2024

文科省・復興庁プロジェクト(2012年度～)

筑波大学×仙台市×東北大学×東北・みやぎ生協×ヤンマー×パナック
－6者協定 仙台市内南蒲生浄化センターを中心に実証試験－

(環境に配慮した)

エネルギー自律型まちづくりに関する取り組みについて

- 藻類バイオマスプロジェクト共同研究における
来るべき未来の取組について -



東北大学大学院工学研究科
ト部真聖・大田昌樹

<https://researchmap.jp/masakiota?lang=ja> (個人)

<https://www.emds.page/> (研究室)

研究の背景



NET

Next-generation Energies
for Tohoku Recovery

Research and development on ocean and algae biofuel-based next-generation
energy and mobility-adaptable control systems for Tohoku's recovery

東北復興次世代エネルギー 研究開発プロジェクト



課題1 波力・潮力等の海洋再生可能エネルギー



課題2 微細藻類のエネルギー利用



課題3 移動体の視点を加えたエネルギー管理システム

震災後

文部科学省（復興庁）

2012～2016年度
5カ年計画

ボトルネックである藻類の培養・
生産に関する基礎研究を実施

今後22世紀(次世代)に向けての視点

藻類

化石燃料の可採年数

石油(約50年) 石炭(約110年)

※日本の1次エネルギー自給率
6% (2012)

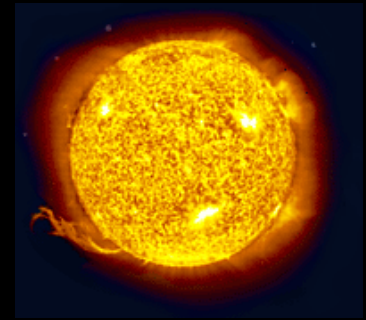
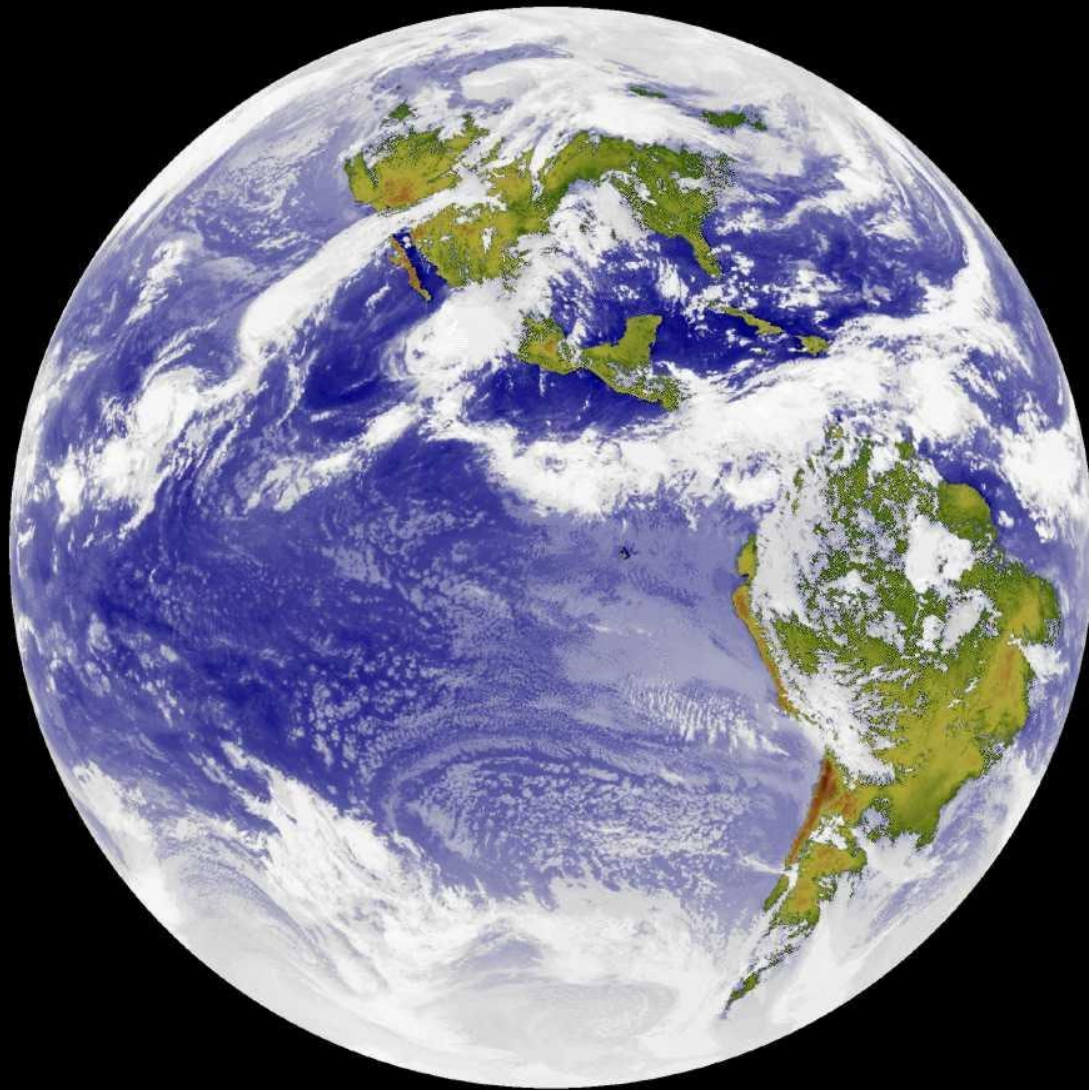
地球温暖化の進行

今世紀末 数°C増加予想

食糧問題

※日本の食糧自給率
39% (2015)

1次エネルギー: エネルギーのうち加工する前の自然界に存在するもの。内訳は石炭、原油、天然ガス、太陽光・地熱などの再生可能エネルギー、原子力、水力。IEA(国際エネルギー機関)は原子力も一次エネルギー自給率に含めている。



- ☑ 唯一のエネルギー源
太陽光の利用
- ☑ 水資源の利活用
- ☑ 炭素同化/循環
- バイオマスは理想的
- ☞ 使いこなせるか!?
- ✓ 持続工学の追究
- ✓ 無駄のない利活用
(ゼロエミッション)

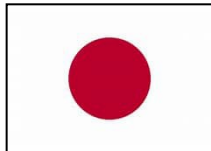
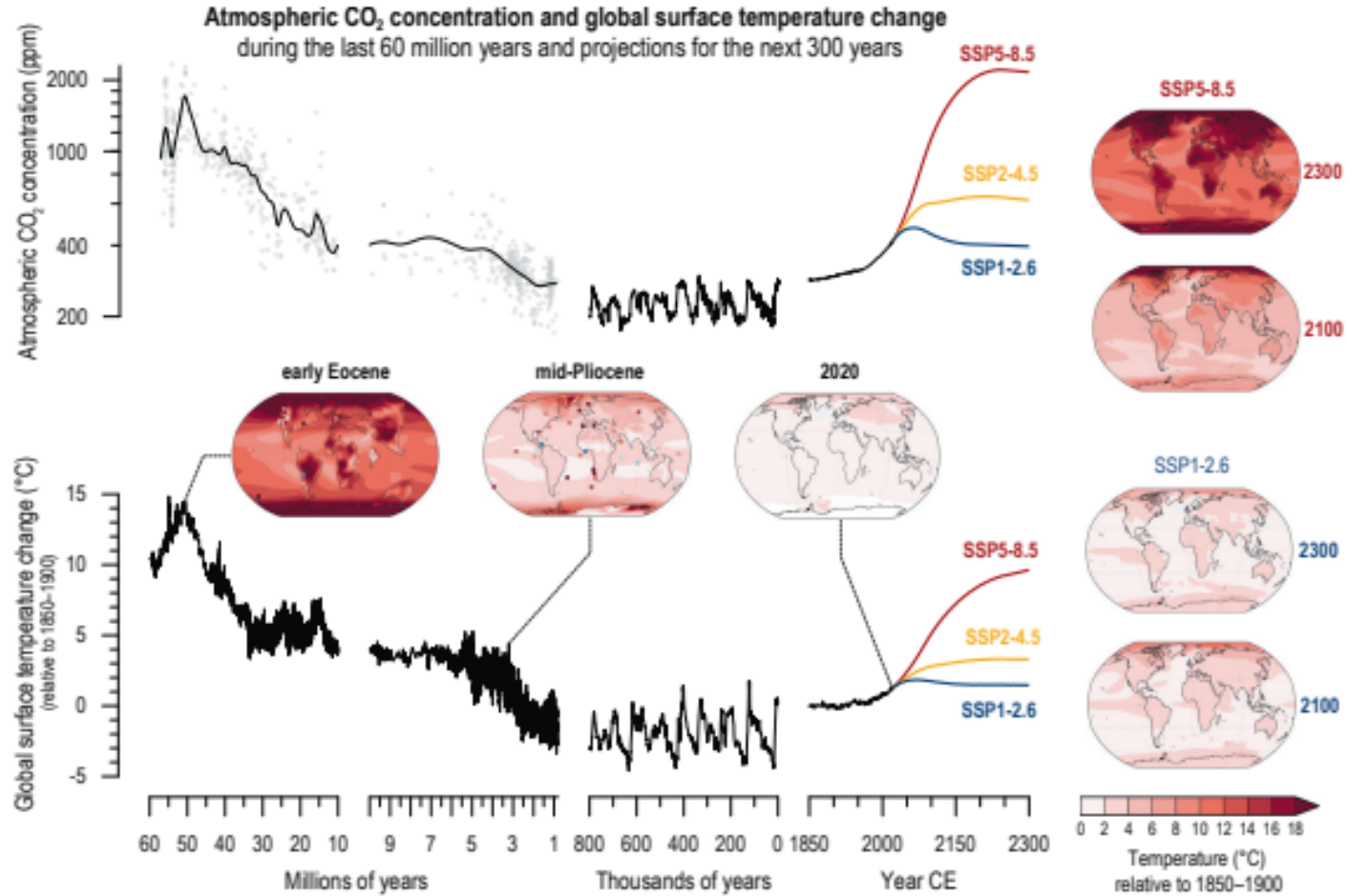
熱力学的に閉鎖系の地球

☞ 系と外界の間に熱の移動はあるが物質の移動はない

【導入】 - 地球人は地球温暖化の危機を乗り越えられるか?! -

Technical Summary

IPCC Sixth Assessment Report



- 日本の貢献は？ 大学人として何ができるか -

二酸化炭素(CO₂)ってどんな物質??

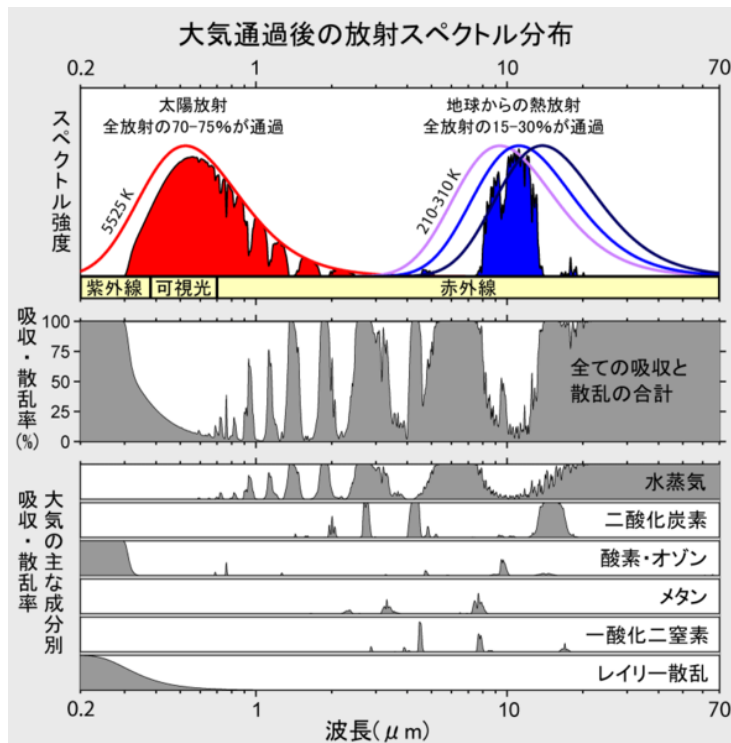
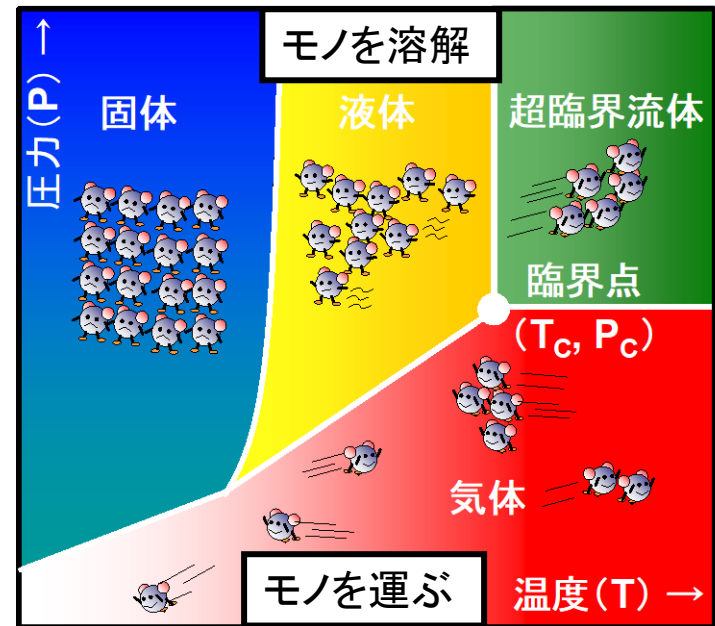
■ 化学式: O=C=O

■ 分子量: Mw=44 g/mol

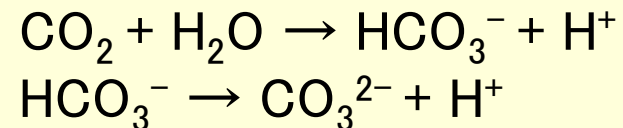
■ 常温常圧で気体

■ 臨界点: 👉最も使い易い超臨界流体

$T_c=31^\circ\text{C}$, $P_c=7.3\text{ MPa}$



■ 基本的に無極性, 水中で解離



■ 光合成の原料(炭素源)

■ 赤外領域に吸収帯

↑ 地球からの熱放射

二酸化炭素 (CO₂) と水に関する研究

現在

有効活用

◎生物固定
(△循環利用)

東北大学
渡邊賢 教授

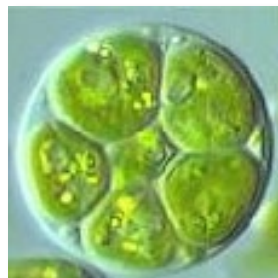
物理固定

超臨界・
亜臨界流体
(2006~)



超臨界・亜臨界溶媒

藻類
(2004~)



緑藻

CO₂挿入反応

ハイドレート
(2001~)



CO₂ハイドレート

専門 化学工学

21世紀

地球温暖化防止京都会議(COP3)における京都議定書の採択
<平成9年12月>

藻類に関する研究 - 出会い -

米本年邦教授, 彼谷邦光教授(本学) ※博士課程の講義

旧マリンバイオテクノロジー研究所
(藏野憲秀博士)

渡邊信教授, 鈴木石根教授(筑波大学)
猪股宏教授, 青木秀之教授(本学)

仙台市役所
民間企業 数社

東北復興PJ(文科省)

官民若手(NEDO)

Hokkaido

富山

生まれ

仙台

26年目

Kioto

大宮

6年

Tokio

Osaka

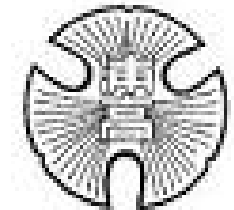
小諸・佐久

10年、2年

Clemens Posten 教授

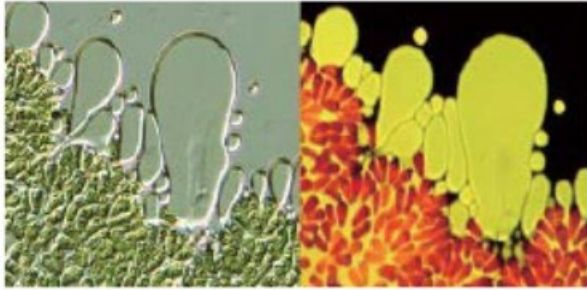


8ヶ月



NETにおける具体的な研究成果（2012～2016年度）

主に2種類の藻類を用いた基礎研究



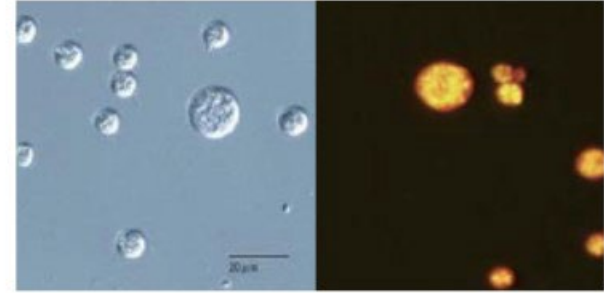
ボトリオコッカスから産出されるオイル（黄色）

[特徴] 細胞外にオイルを分泌
光独立栄養培養

[成果]

◎ 仙台市下水にて屋外培養に成功

◎ 湿式抽出法の構築に成功



オーランチオキトリウムから産出されるオイル（黄色）

[特徴] 細胞内にオイルを蓄積
従属栄養培養

[成果]

◎ 海水株を淡水化することに成功

◎ 湿式機械的破碎装置の開発に成功

ベンチスケール設備での実証実験

課題

LCA解析によるシステム・プロセス評価

- ①藻類培養 : 増殖速度とコンタミネーション耐性が相反
- ②有機物回収 : 藻類からオイルを取り出す後処理のエネルギー収支
- ③燃料特性 : 発電機メーカーなどと連携したシステム構築

➡ **ブレイクスルーが必要**

ブレークスルーするための研究課題



& 発電機メーカー等

LCA解析

高速大量生産技術の開発

分子生物学
系統進化学
培養工学

有機物回収技術の開発
(湿式抽出法の開発)

化学工学
農芸化学

燃料特性の評価
化学工学

従来法

1. 培養



2. 乾燥



3. 抽出



4. 蒸留・精製



5. 反応・改質



6. 製品

本研究

1. 培養

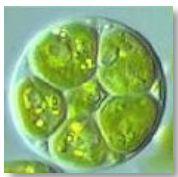


2. 抽出



3. 製品

プロセスを6段階→3段階に簡略化する要素技術の開発が必要



藻類の特徴

✓ 高いCO₂固定速度/細胞増殖速度

◎ 資源作物として十分なポテンシャル

>> 10~20 ton/(ha・year)

✓ 乾燥のみでミクロン粉末を獲得

◎ 粉碎・微粉末化エネルギーの投入 不要

△ 前処理として濾過・乾燥が必要なケースも

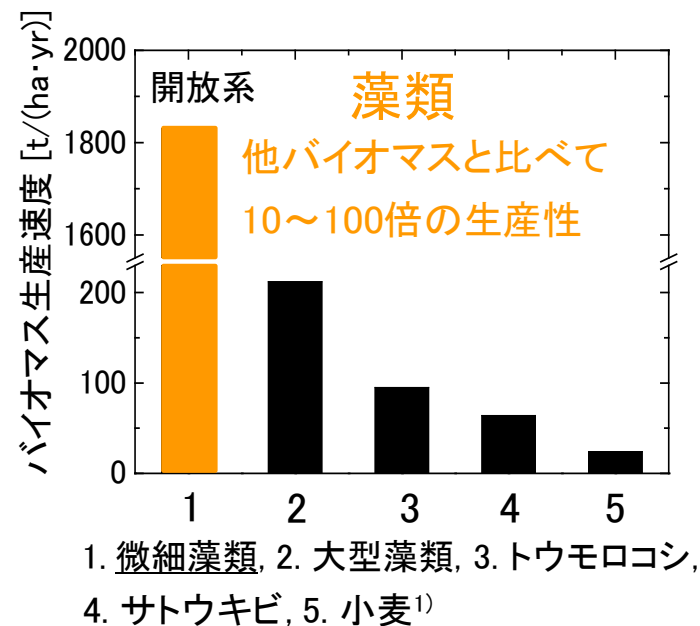
✓ 品質管理/トレーサビリティ

◎ 閉鎖系培養システムの導入可(回収が容易)

◎ 環境汚染物質・有害重金属・他微生物のコンタミの影響小

☞ 魚油中PCB(ポリ塩化ビフェニル)・ダイオキシンの超臨界抽出²⁾

△ 生産コスト/大規模生産



1) 社団法人日本エネルギー学会編, バイオマスハンドブック (2002).,

2) A. Kawashima et al., J. Agric. Food Chem., 54, 10294-10299 (2006).,

研究背景 微細藻類由来オイル利用への期待と課題

<温室効果ガスの排出量の推移予測>

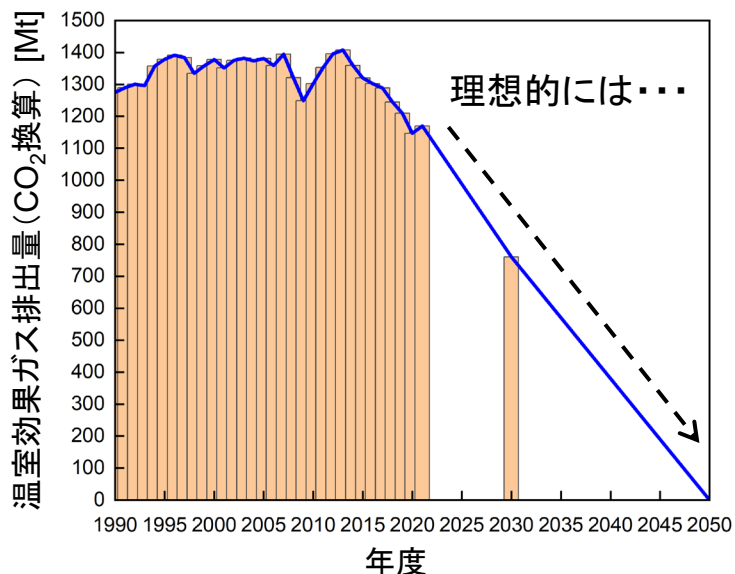


Fig. 日本の温室効果ガス排出量の推移(1990年～2050年)^[1]

2050年までのカーボンニュートラル実現

→温室効果ガスであるCO₂を原料としたものづくり

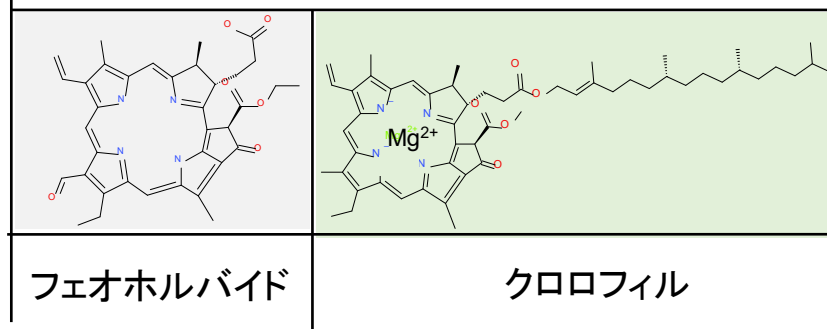
微細藻類: 光合成によりCO₂からオイルを産生

産生されるオイル

→燃料, 健康食品, 化粧品, 化学製品など

幅広い用途

<オイルとクロロフィルとの分離>



高光強度, 酸や塩基, 酸素の存在下



クロロフィルが**フェオホルバイド**に変換



光増感作用により皮膚炎^[1]や溶血^[2]を引き起こす

窒素系酸化物の環境への悪影響

脱窒プロセスが必要

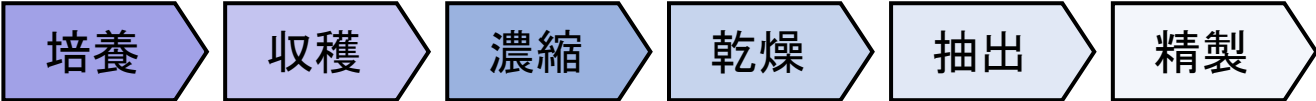
[1] 国立研究開発法人国立環境研究所 日本の温室ガス排出量データ (1990～2021年度) (確報値) [2] S, Kimura et al., *J Nutr Sci Vi-taminol*, **27**, 521-527 (1981)

[3] R. L. Mendes, *Food Chem*, **53**, 99-103 (1995)

研究背景 高圧CO₂を利用した抽出法の利用のメリット

<藻類の細胞内蓄積型代謝物の生産プロセス>

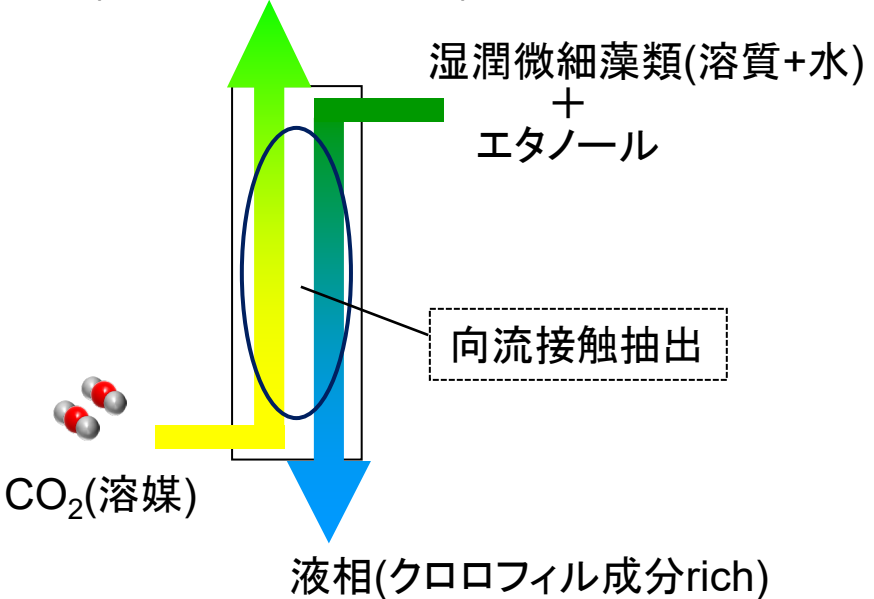
できるだけ省エネ型で環境に配慮したい



抽出の際にクロロホルムなどの有機溶媒を使用 → 大量の廃液, 夾雑物の同伴抽出

<CO₂-エタノール-水 3成分溶媒系>

気相(藻類オイル成分rich)



CO₂を主とする高圧混合溶媒

温度・圧力・溶媒組成の操作により
溶解力を連続的に変化可能

目的成分の抽出分離
有機溶媒の使用量を削減

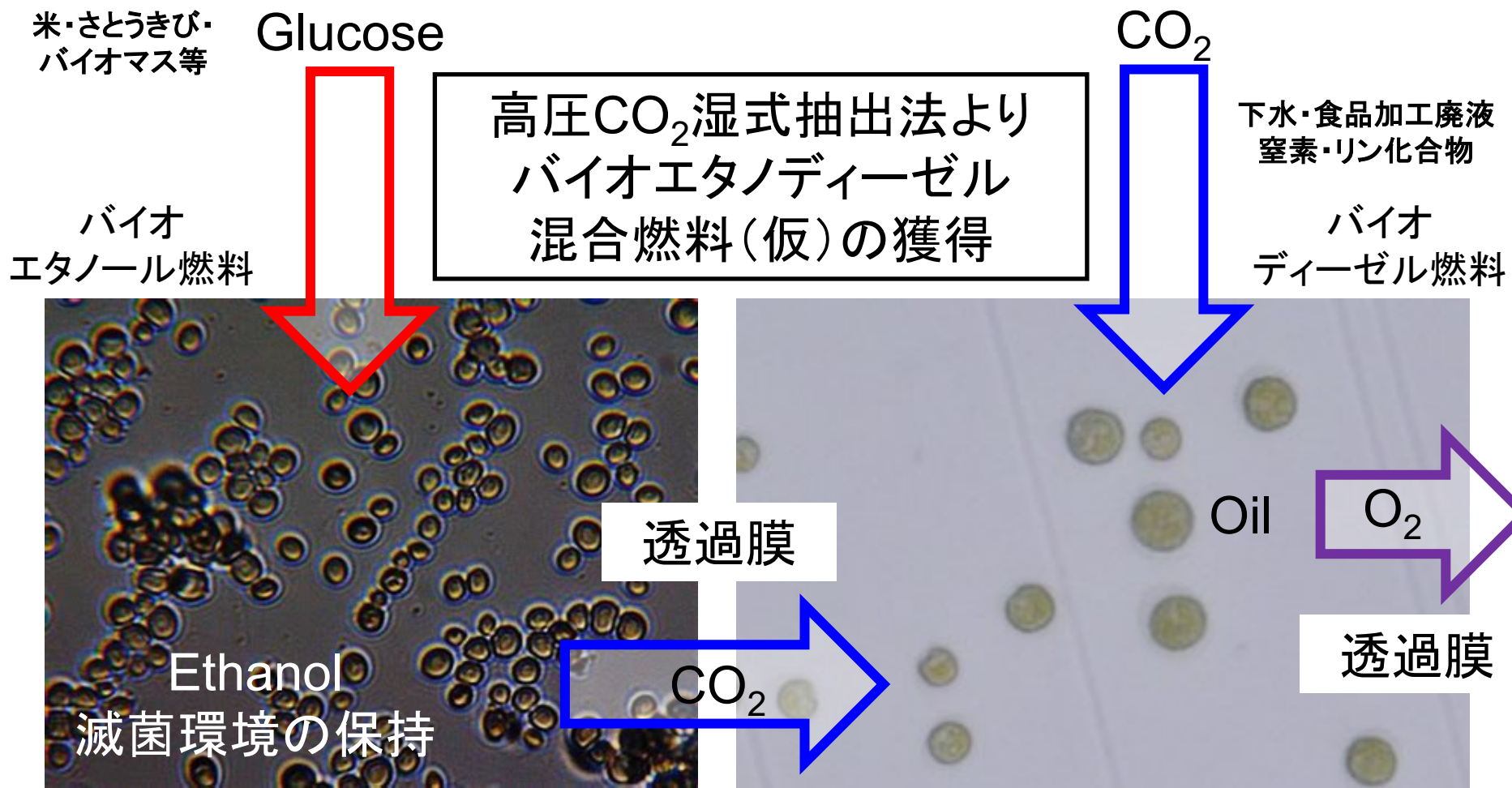
当研究室での取り組み

向流接触型の連続精留プロセス^{[1][2]}

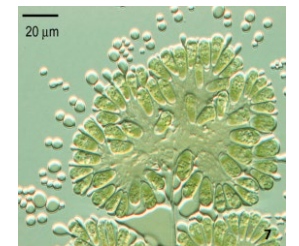
Fig. 湿潤藻類を対象とした向流接触型の連続精留プロセス^{[1][2]}

[1] Y. Hoshino et al., *J. Supercrit. Fluids.*, **136**, 37-43 (2018) [2] Y. Hoshino et al., *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **47**, 17-22 (2021)

② 今考えていること(光独立・従属栄養連動式培養システム)



酵母 (左) と *Chlorococcum littorale* (右) の
嫌気発酵・嫌気培養
(あるいは 共生培養)



オーランチオキトリウム

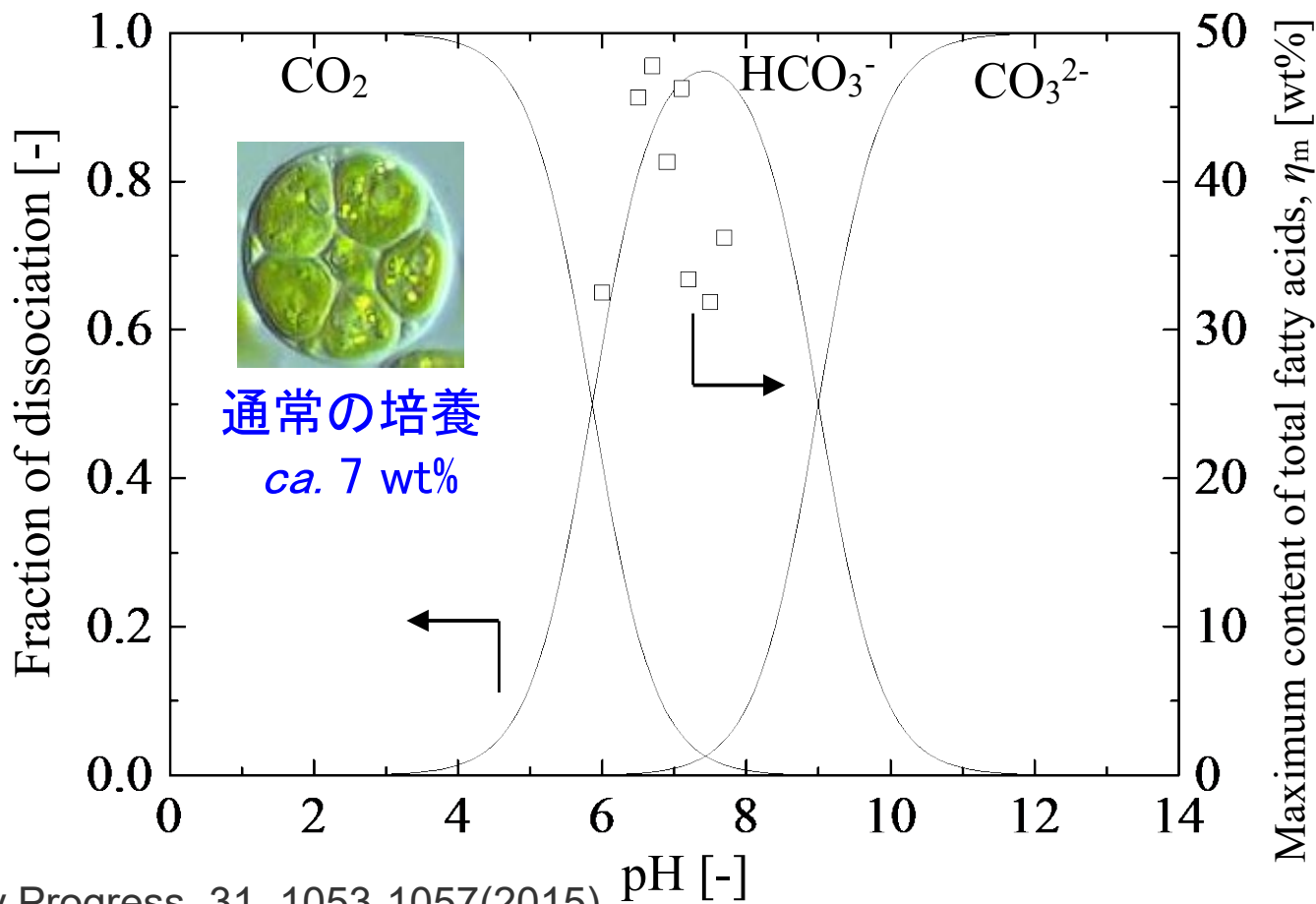
ボトリオコッカス

☑ これまでの研究成果

**(O₂-free)
CO₂-N₂混合ガス
通気培養実験**

表 油糧植物の生産性

油糧植物・種子・果実	油分 [wt%]
アブラナ種子(なたね油)	35
ヒマワリ種子(ヒマワリ油)	35
緑藻 <i>C. littorale</i> [本研究]	50
アブラヤシ種子(パーム油)	20
大豆(大豆油)	17



③今考えていること(今後の応用が期待される分野)

例えば, 以下のような藻類加工製品への応用と新事業分野創出を想定

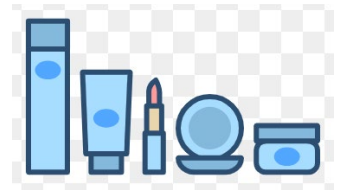
1. バイオエタノールの濃縮

✓ 発酵液からのアルコールの濃縮

🗨️ 蒸留とは異なる **低温方式・低可燃性・低毒性**



2. 化粧品用素材・エキスの開発



3. 食品添加物用素材・エキスの開発

4. 医薬品製造における抽出分離技術への応用

5. 化成品用素材・エキスへの応用

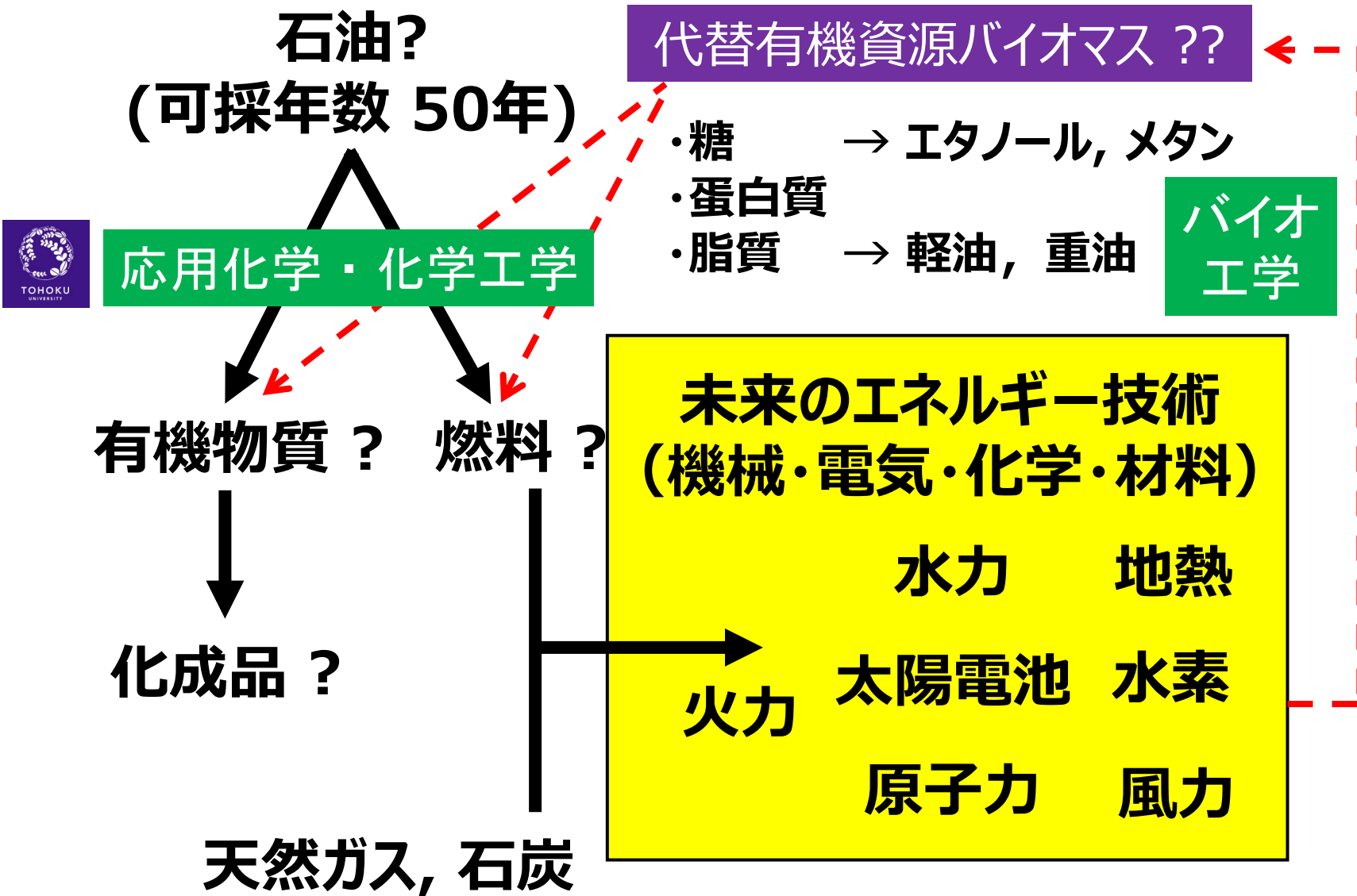
etc



🗨️ 例)キサントフィル(含酸素カロテノイド)の分離
ポリメトキシフラボンの分離
ポリフェノールの濃縮 など

22世紀の化学産業を予想する

予想される未来の化学技術



☑ まとめ

地球温暖化抑止に向けた藻類産業の可能性

太陽光利用を促進 / CO₂の循環利用

※ソーラーパネルを含む

#1 亜臨界分離法による

藻類抗酸化オイル・高タンパク素材双方の生産の可能性を示唆

→ 環境・エネルギー面でのさらなる配慮が必要

#2 藻類産業に向けてのこれからの課題を整理

→ 亜臨界湿式培養システムの完成 / 実用化を目指す

さらなる環境への配慮と省エネ化を推進

→ 新しい培養法(培養システム)を立案

※(仮)バイオエタノディーゼル混合燃料の提案