

藻類バイオマスエネルギー 技術の展望

筑波大学生命環境科学研究科
渡邊 信

バイオマスエネルギー

セルロース系資源からのエタノール生産

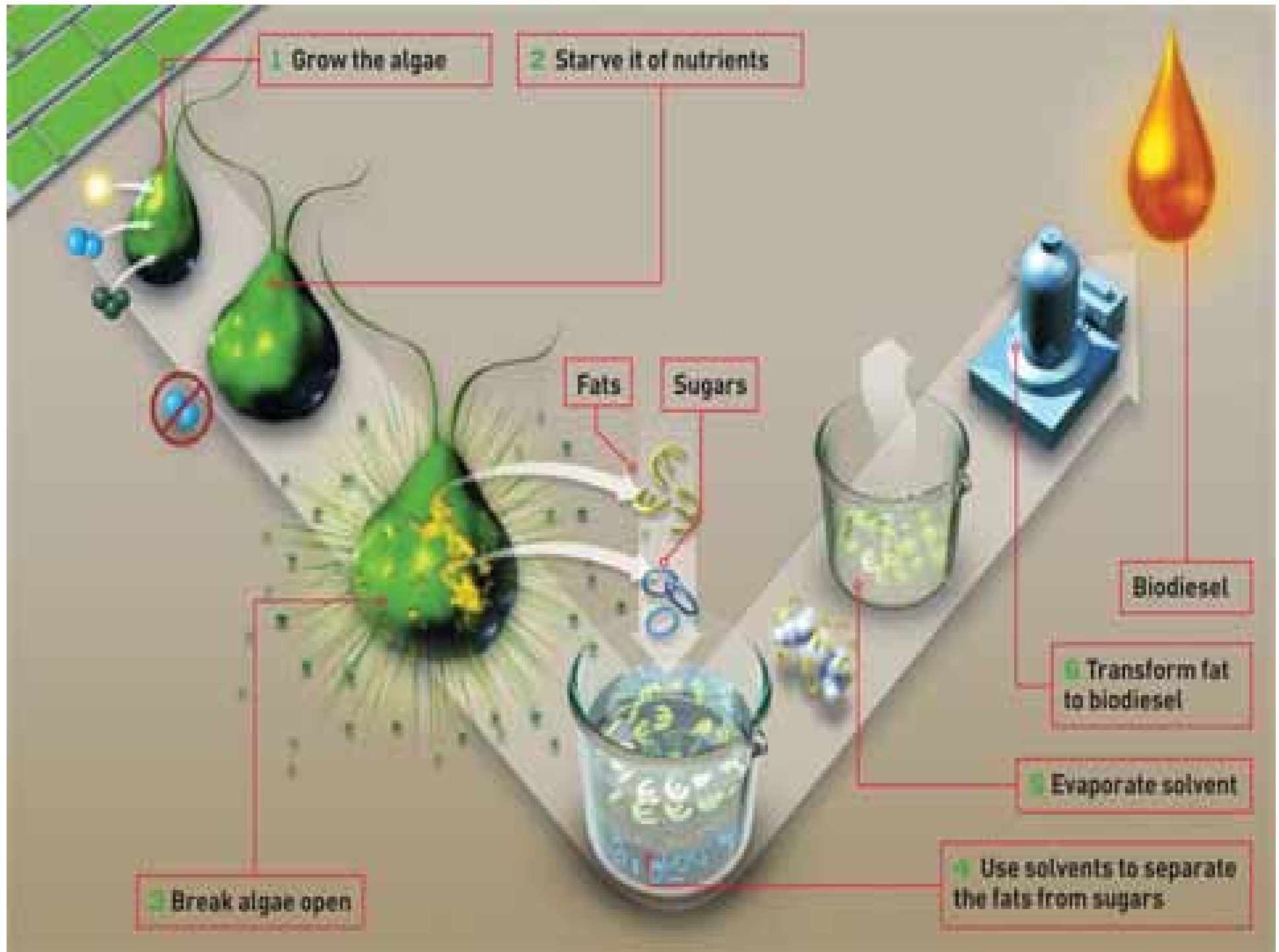
木質系、製紙系、農業残渣

バイオディーゼル燃料生産

菜種、アブラヤシ、廃食油、藻類

石油:1-2億年前の海に生育していた生物の死骸

中東地域:1-2億年前は浅海で、微細藻類が大繁殖

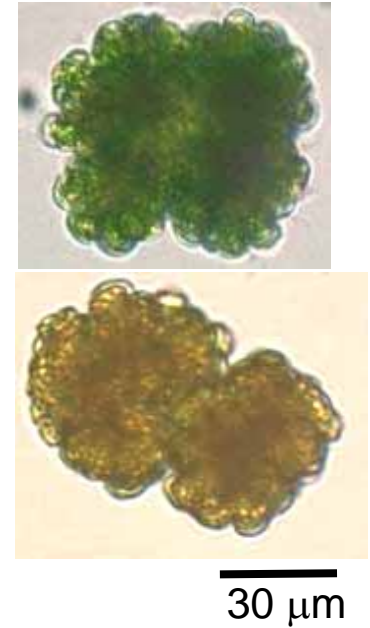


Tons of Oil /ha / Year

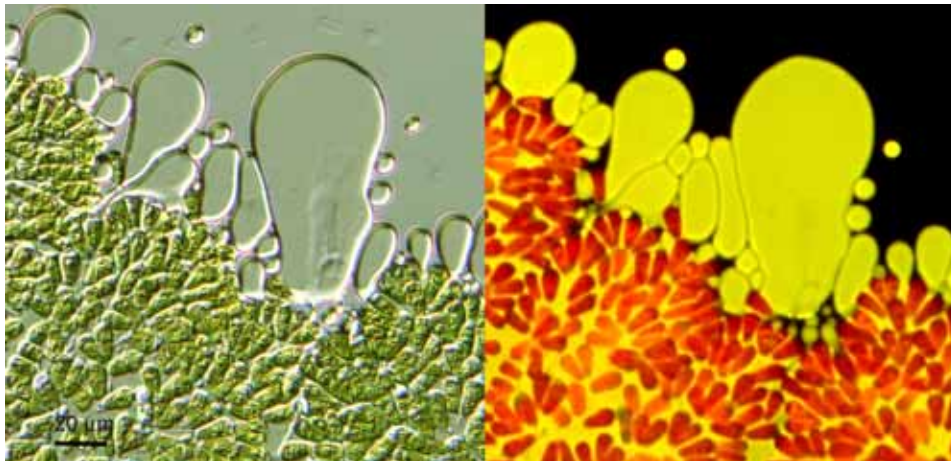
Corn トーモロコシ	0.2
Soybeans 大豆	0.5
Safflower ベニバナ	0.8
Sunflower ヒマワリ	1.0
Rapeseed アブラナ	1.2
Oil Palm アブラヤシ	6.0
Micro Algae 微細藻類	47-140

Botryococcusとは

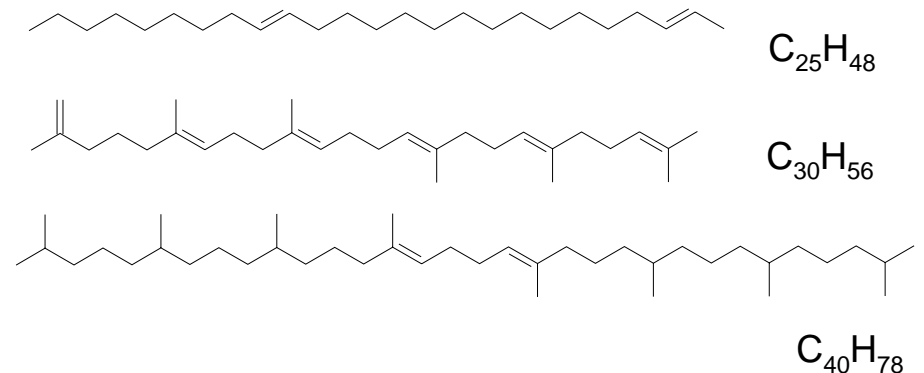
- ・淡水に生息する藻類
- ・緑～赤色で30-500 μm のコロニーを形成
- ・二酸化炭素を固定し、炭化水素を生産
- ・炭化水素は石油の代替となり得る
- ・細胞内及び、コロニー内部に炭化水素を蓄積 (乾燥重量の20-75%)



Botryococcusの顕微鏡写真



Botryococcusの生産する炭化水素の例 (重油の一種)



オイルシェール中の*Botryococcus*の化石

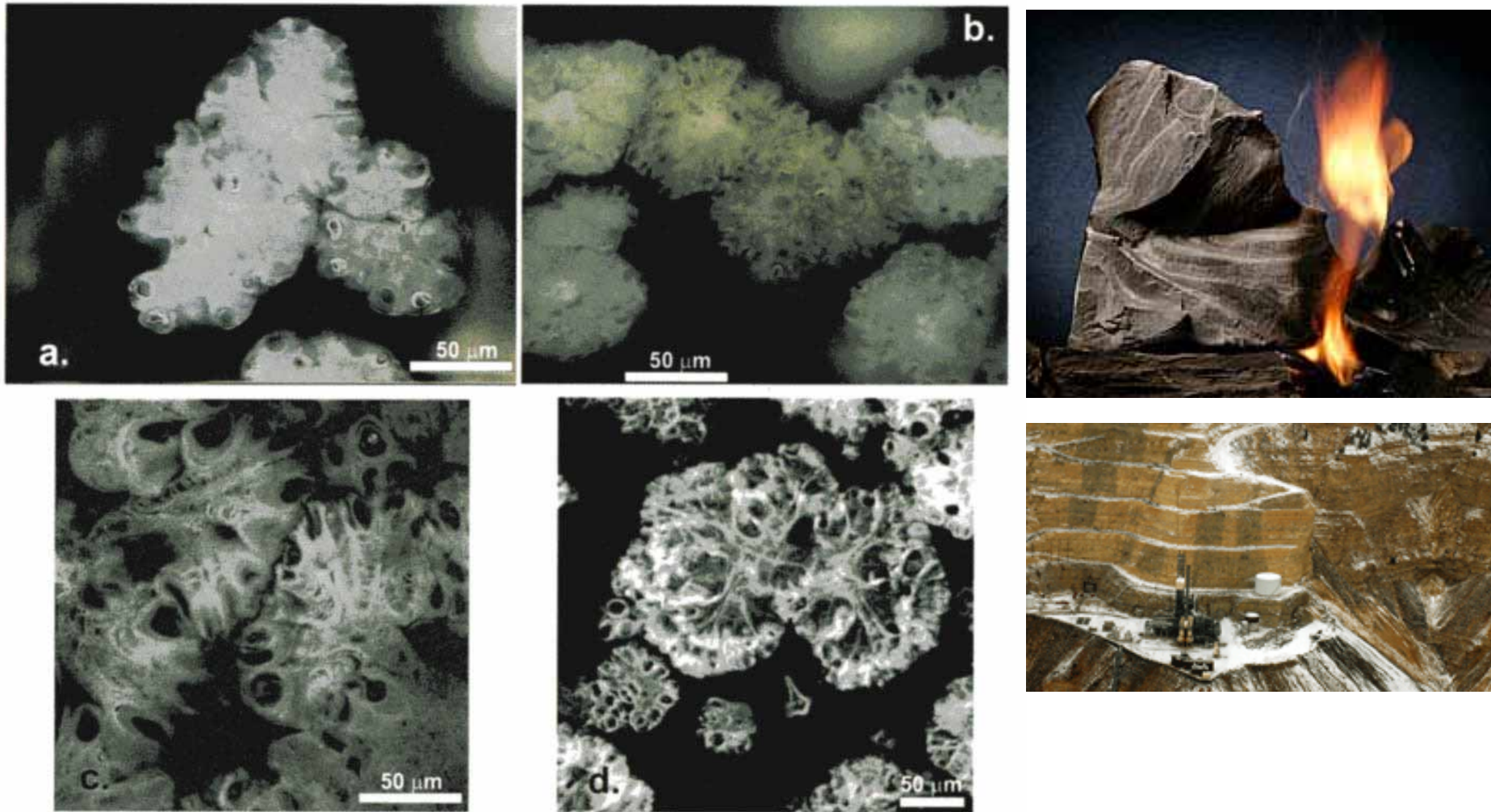
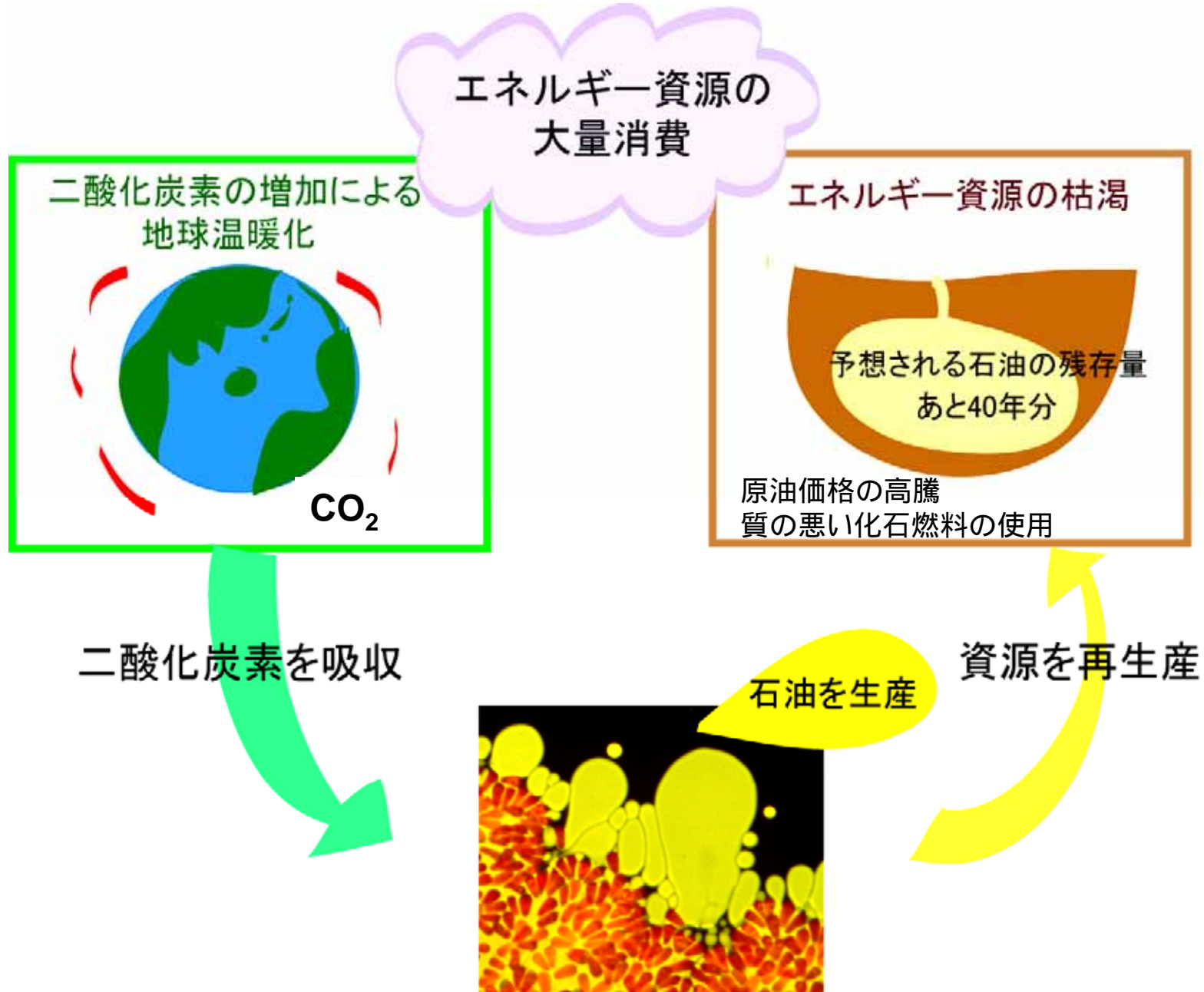


Fig. 1. Images of *Botryococcus* alginite in Boltysk oil shale obtained using incident fluorescent light microscopy (a,b) and LSM (c,d). See explanation of image capturing in Methodology: (a) and (b) colony of *Botryococcus*; (c) colonies of *Botryococcus* alginite compiled from LSM serial sections; (d) colony of *Botryococcus* alginite showing microstructure within the stalk.

Confocal laser scanning fluorescence microscopy of *Botryococcus* alginite from boghead oil shale, Boltysk, Ukraine: selective preservation of various micro-algal components (Stasiuk 1999)
Pleocene (鮮新世), 約500万年前

Botryococcusの可能性



エネルギー資源の
大量消費

二酸化炭素の増加による
地球温暖化



二酸化炭素を吸収

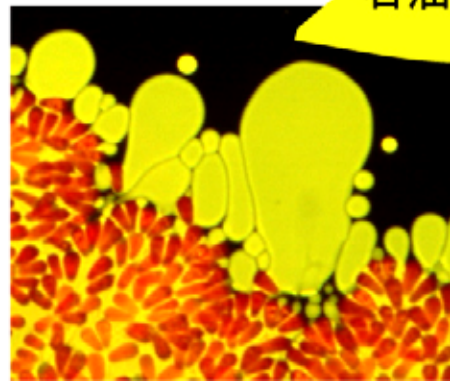
エネルギー資源の枯渇



原油価格の高騰
質の悪い化石燃料の使用

資源を再生産

石油を生産



開発のポイント

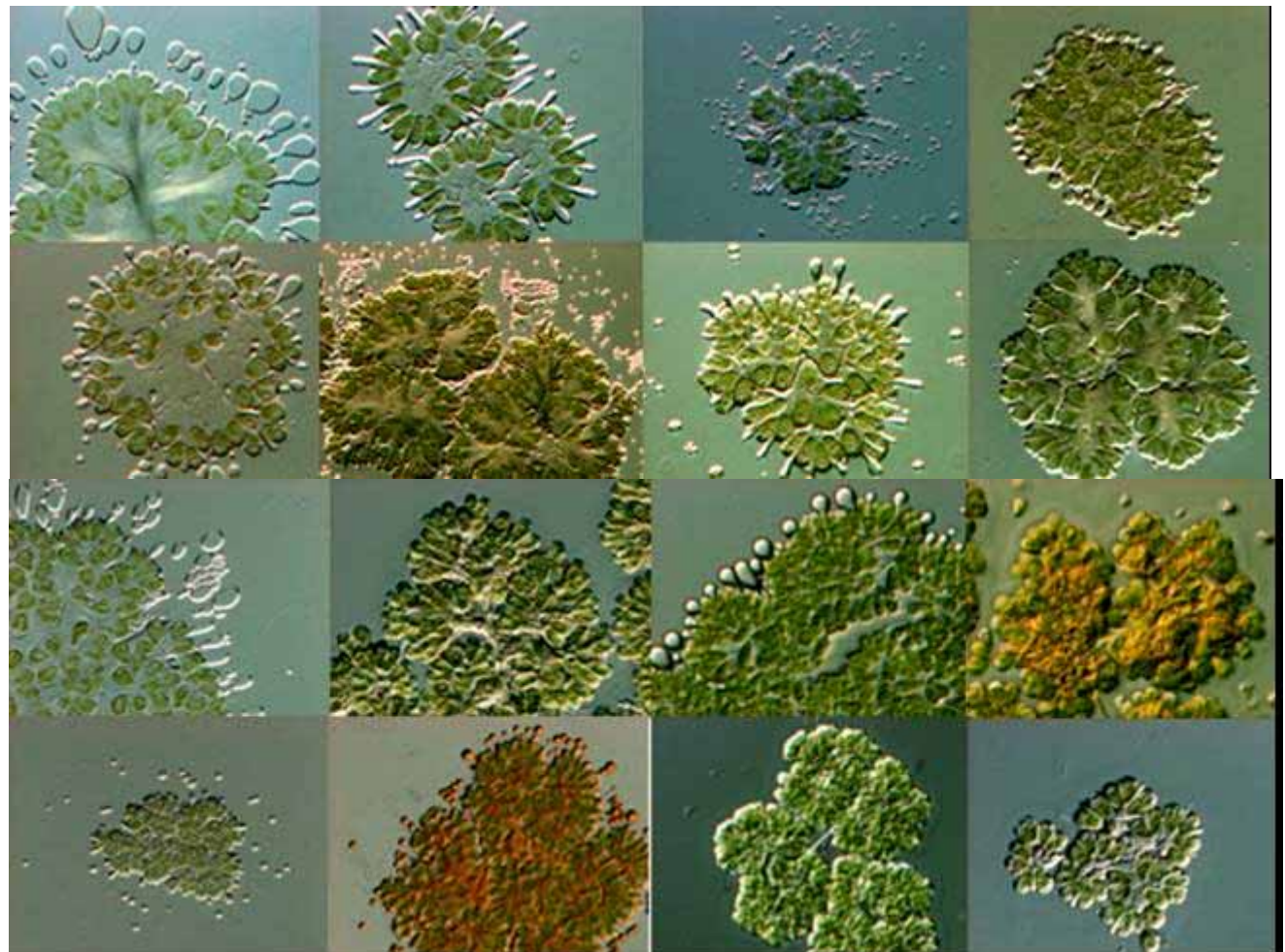
- ・ 増殖及び炭化水素産生にすぐれた培養株の確保
- ・ 高アルカリ領域で増殖する培養株(CO₂の溶存)
- ・ 光制約を解除できる培養株
- ・ LCA評価: 試験管培養から大規模野外プール培養(19ha x 30cmを想定)そして収穫までいたる過程のLCA評価

実験に使用した *Botryococcus* 株

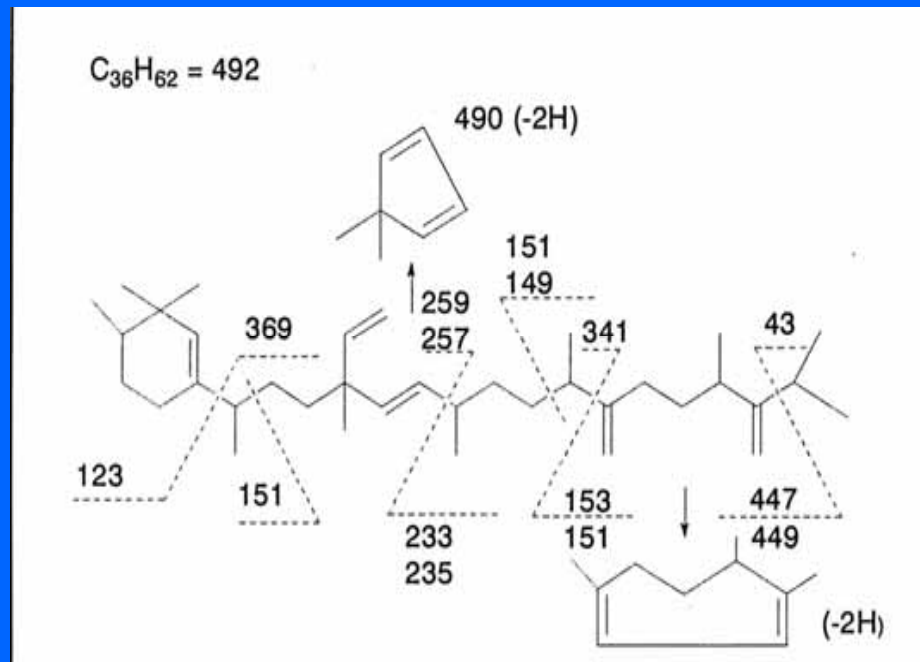
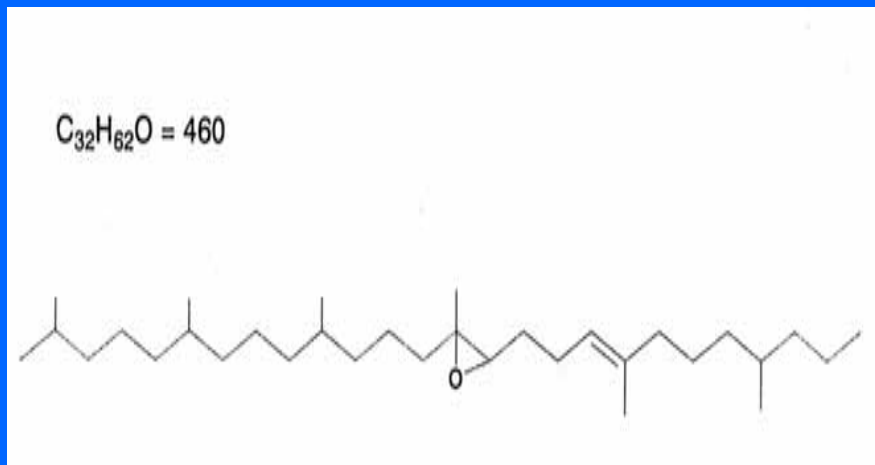
日本各地、諸外国で *Botryococcus* を採取、現在144株の無菌株を確立

採集日 採集場所 株No.

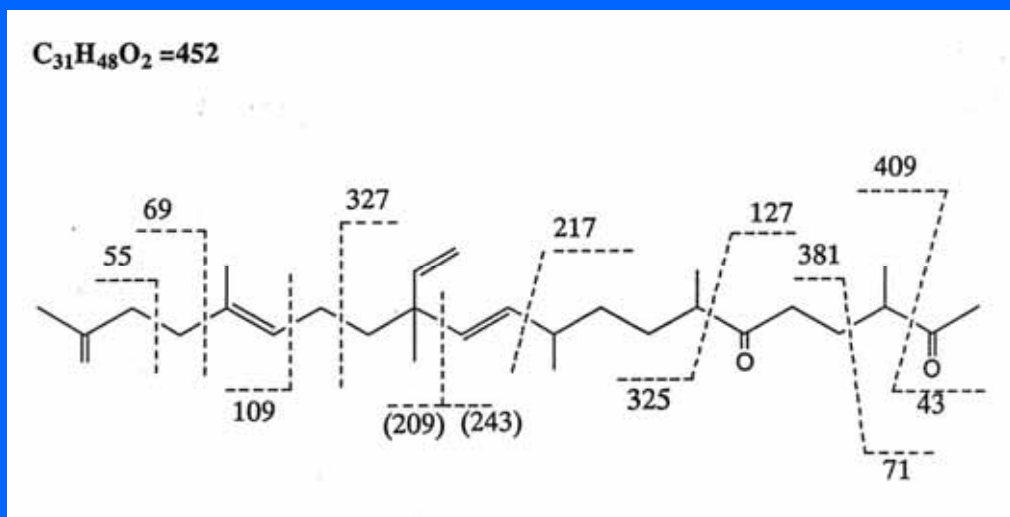
2004.3.24	沖縄本島	辺野喜ダム	BOT11
2004.4.10	東京	東大三四郎池	BOT12
2004.4.21-	石垣島	底原ダム	BOT14
	石垣島	底原ダム	BOT15
	石垣島	真栄理ダム	BOT16
	石垣島	真栄理ダム	BOT16-2
	石垣島	名蔵ダム	BOT17
	石垣島	名蔵ダム	BOT18
	石垣島	羽地ダム	BOT20
	石垣島	福地ダム	BOT21
	石垣島	漢那ダム	BOT22
	石垣島	漢那ダム	BOT23
2004.4	福島	れんげ池	BOT24
2004.6.1	千葉	軍荼利ダム	BOT25
2004.6.2	千葉	館山 池	BOT27
	千葉	館山 池	BOT28
	千葉	佐久間ダム	BOT29
2004.6.11	広島	光林寺池	BOT30-1
	広島	光林寺池	BOT30-2
2004.6.15-	香川	八ツ池の上	BOT32
	香川	青池	BOT33
	香川	日原	BOT34
	香川	倉掛山近くの池	BOT36
	香川	倉掛山近くの池	BOT36-2
	香川	倉掛山近くの池	BOT37
	香川	逆様池	BOT38
	香川	奈良谷	BOT40
	香川	羽間駅横 大池	BOT45
	香川	日原2	BOT47
2004.7.7-8	大分	志高湖	BOT51
	大分	神楽女湖	BOT52
	大分	御池	BOT54
	大分	大坪池	BOT55
2004.7.26	群馬	古沼	BOT60
	群馬	大峰沼	BOT61
	群馬	見晴荘の沼A	BOT62



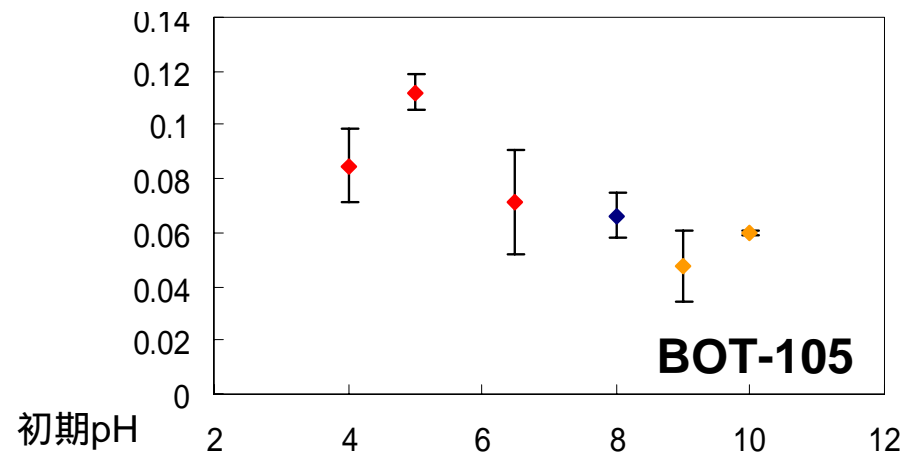
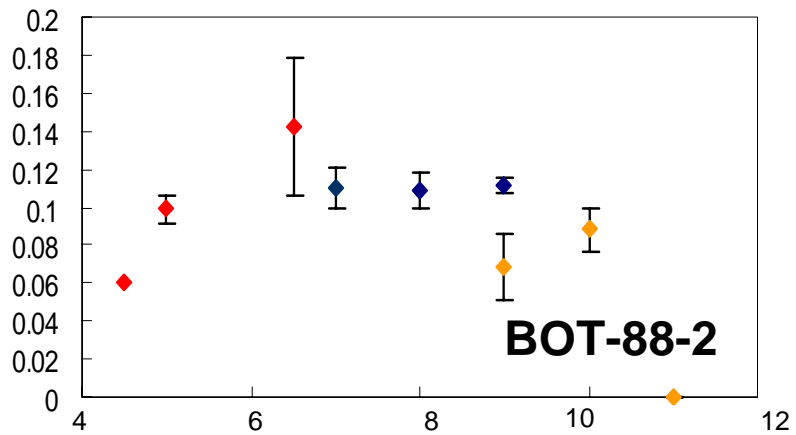
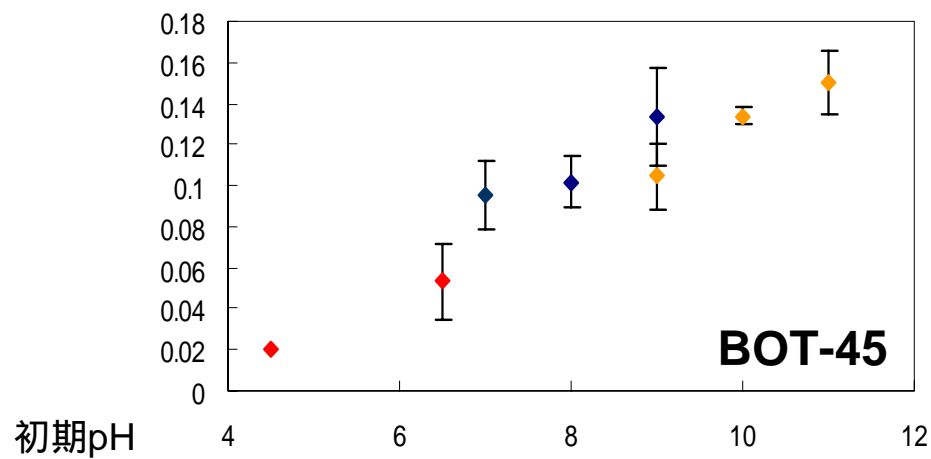
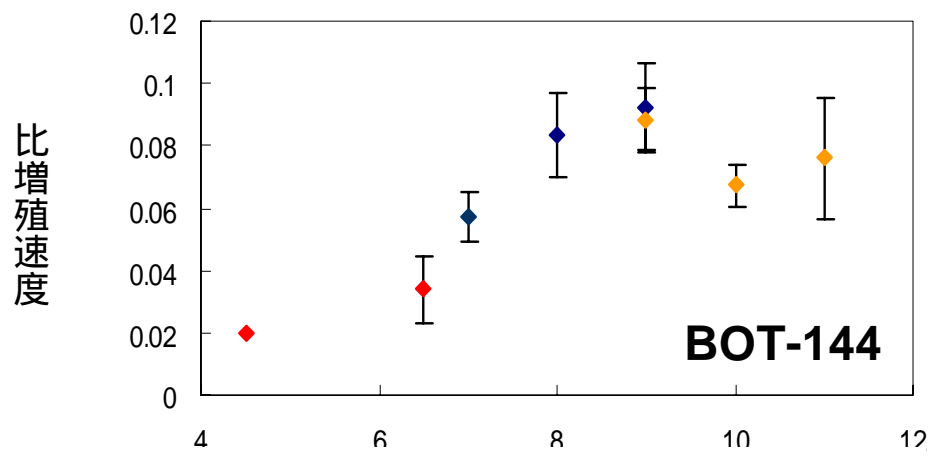
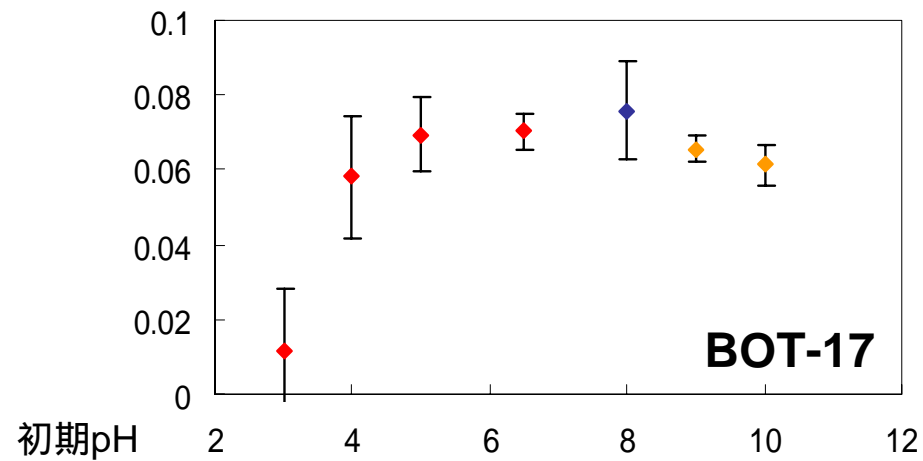
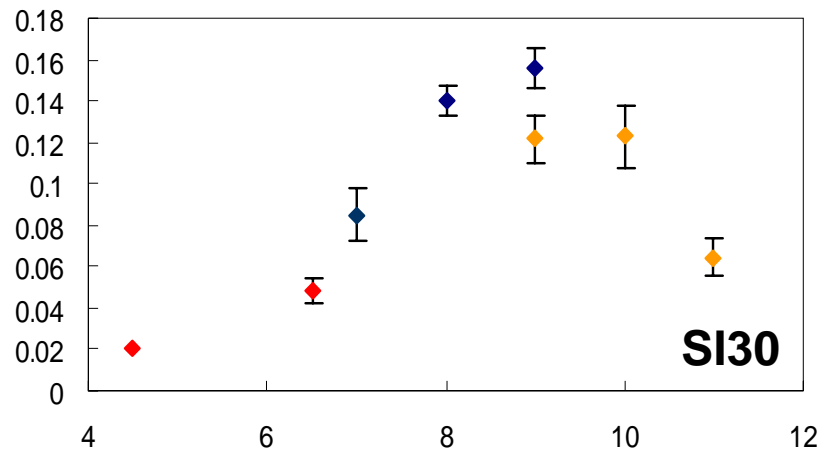
Epoxides (エポキシド) : 18株



Ketons (ケトン) : 10株



シクロヘキサン (Cyclohexenes) : 27株

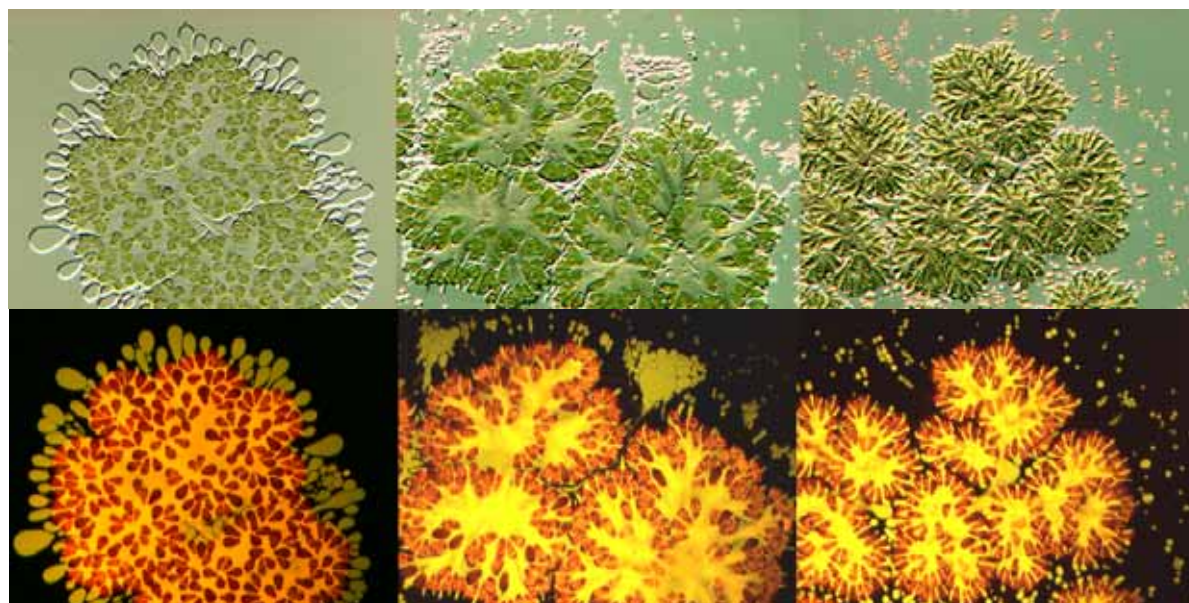


株の選抜

BOT-88-2

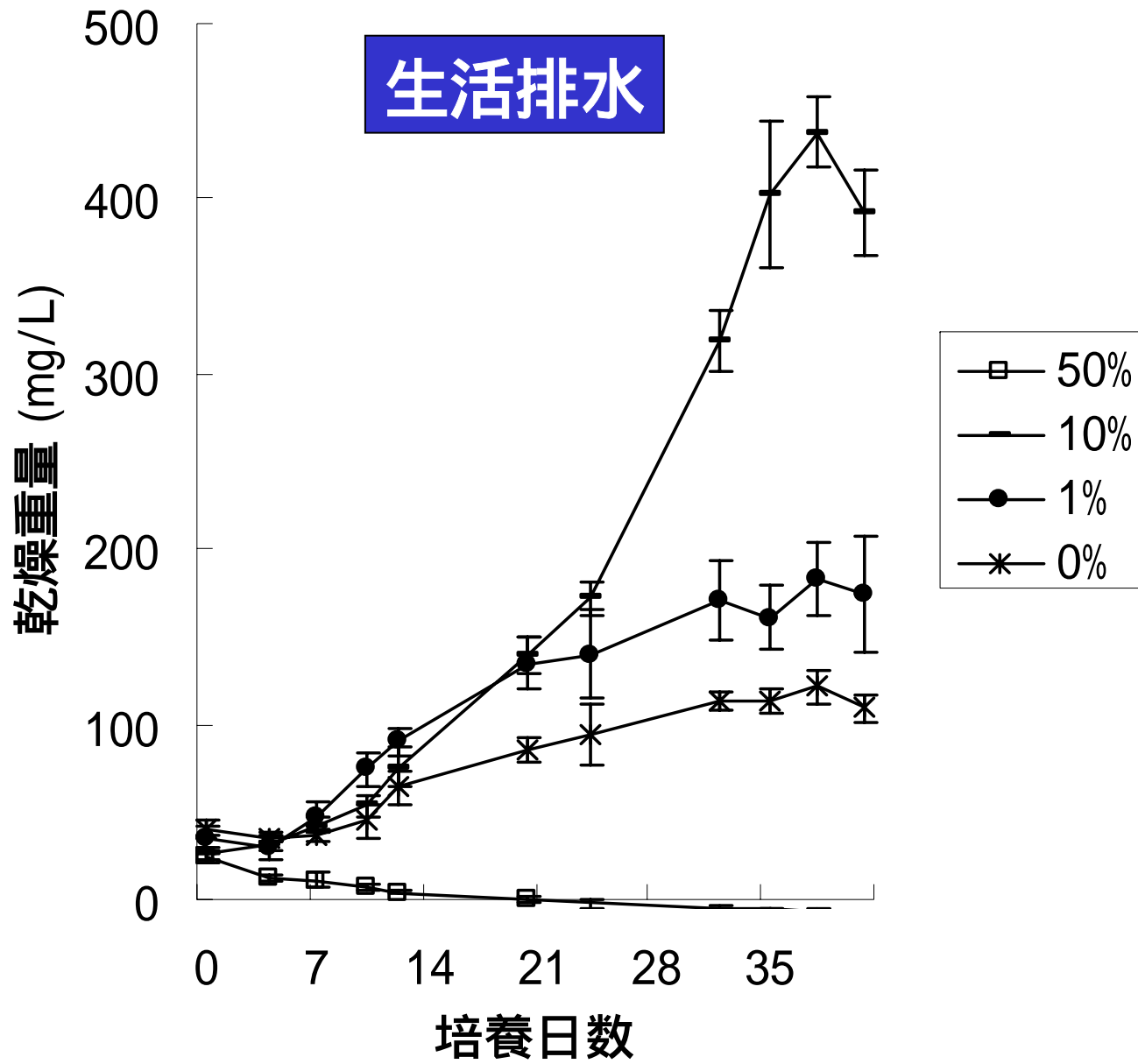
BOT-124

BOT-144



	炭化水素量 % (oil weight/algae dry weight)	比増殖速度 (μ /d)
17	40.8	0.078
45	21.1	0.187
71	42.3	0.066
88-2	45.3	0.158
124	25.1	0.33
144	45.7	0.2
SI30	15.9	0.15

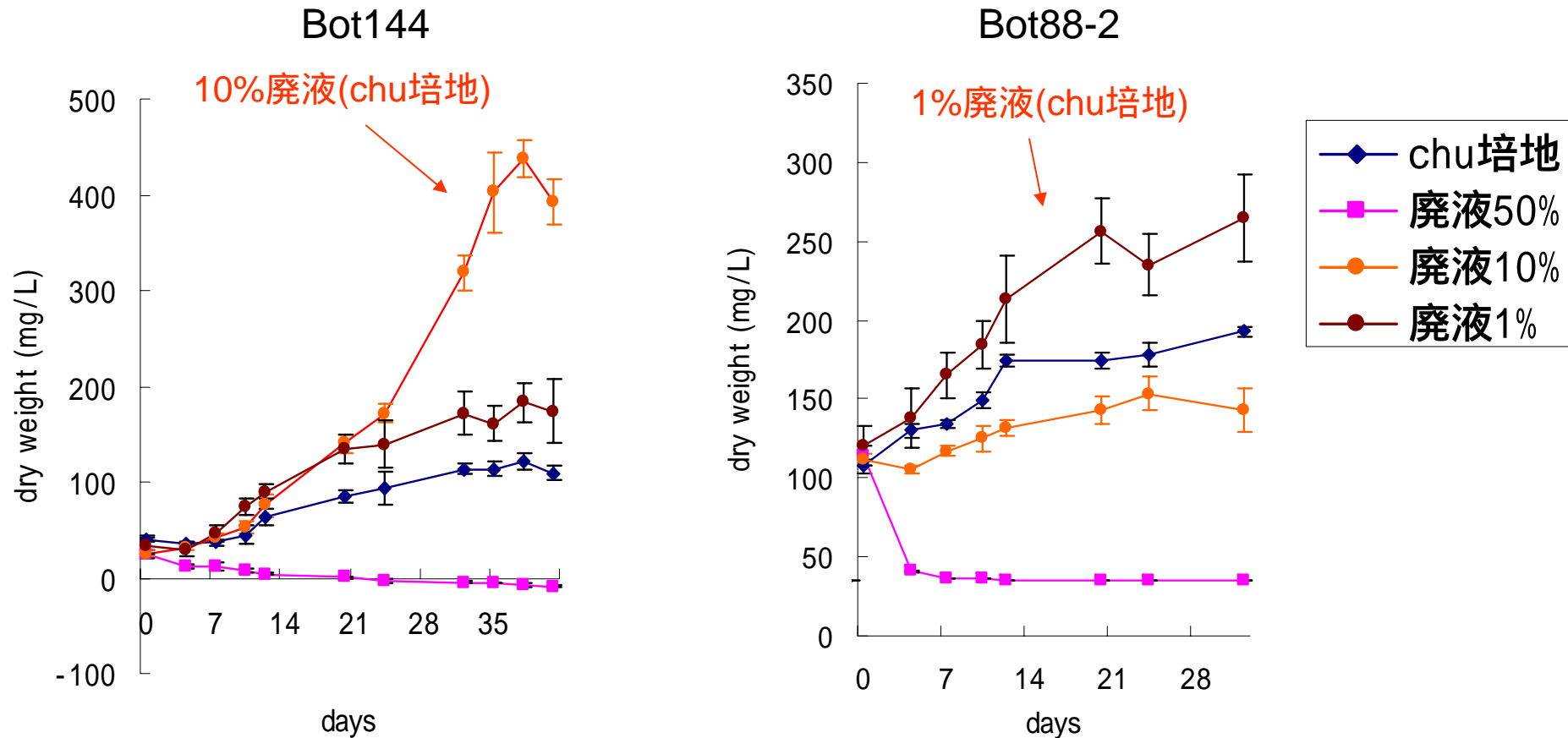
増殖速度、及び炭化水素含有量の結果から、屋外培養に適した株として、BOT-88-2、144が候補として挙げられる。



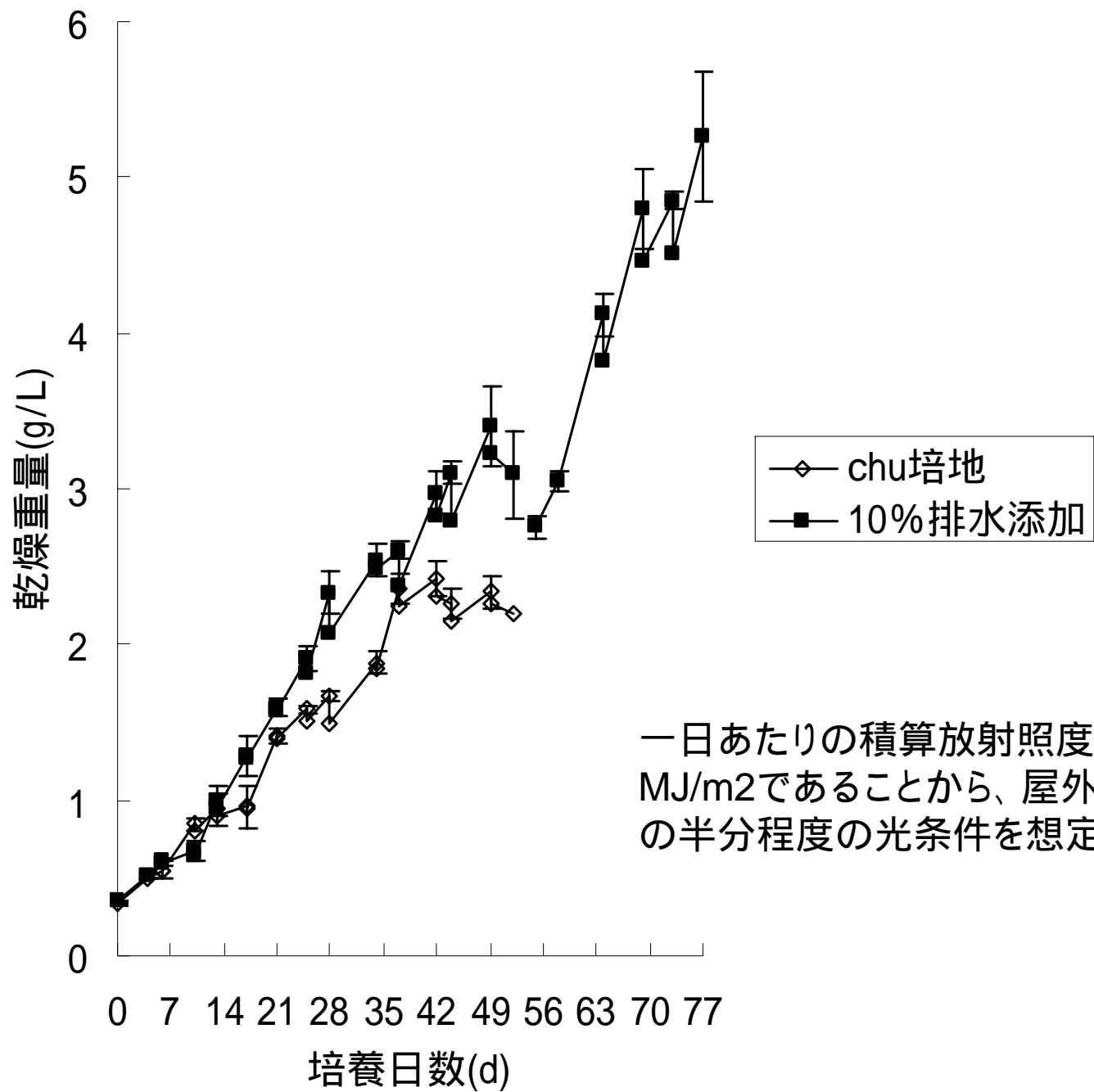
工場廃液

株: Bot 144,88-2

培養: 排水をろ過滅菌しchu培地で1、10、50%希釈



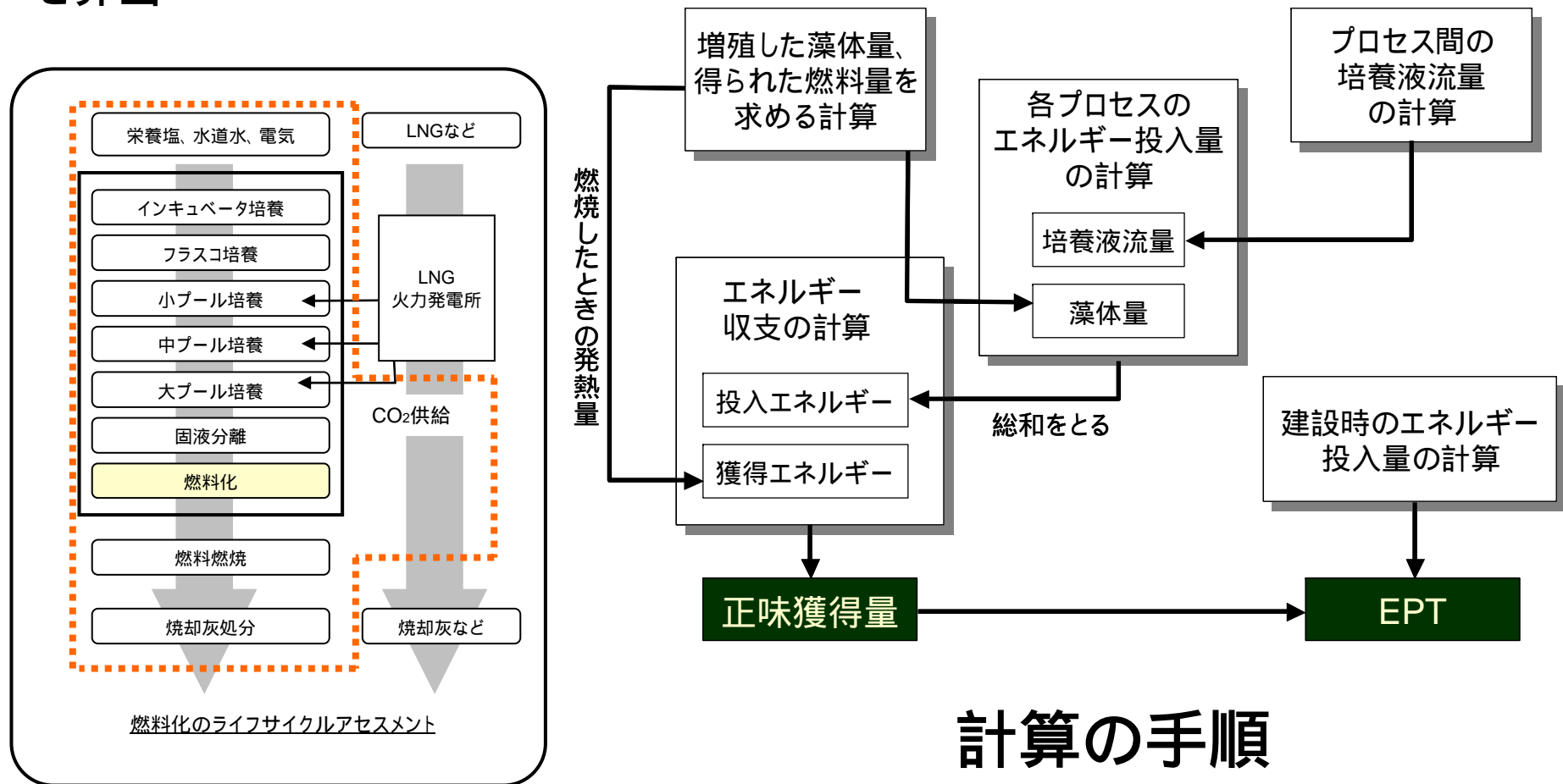
Bot144は10%廃液は1.6倍、Bot88-2は1%廃液の添加によって1.4倍比増殖速度が促進された



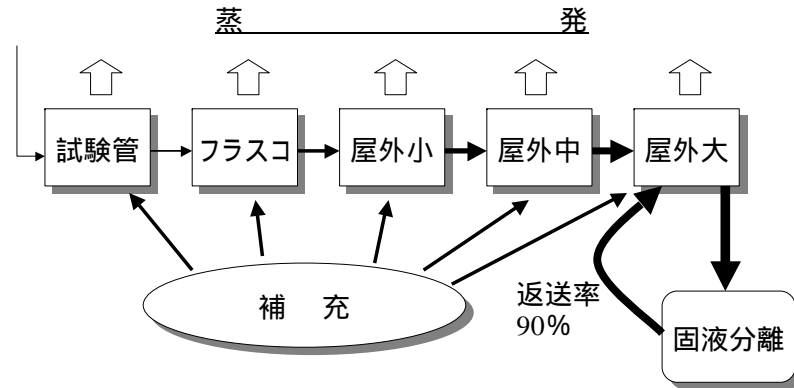
一日あたりの積算放射照度は6~7 MJ/m²であることから、屋外平均値の半分程度の光条件を想定

Botryococcusを利用した大規模エネルギー生産システムのモデル化と評価

屋外大規模培養でのエネルギー生産システム全体をモデル化することで、エネルギー収支、二酸化炭素収支、コスト、エネルギーペイバックタイム、安定供給量を算出



培養槽間培養液移動量



- ・藻体濃度は1.5 g/Lを下回らない
- ・藻体濃度は10.0 g/Lを越えない
- ・初期藻体濃度はすべての槽で1.5 g/Lとする。
- ・固液分離工程への移動する藻体濃度を**3.5 g/L**とする。(効率的な固液分離に必要な濃縮濃度)
- ・移動量は流量比**0.07** (Q/V)
- ・システムの稼働率は365日とする。
- ・培養液の水は水道水を用いる。

主な原単位、データ

液化燃料収率: 0.64

藻体中の炭素比: 0.63

液化燃料発熱量: 46MJ/kg-oil

屋外でのCO₂固定速度:

0.6kgCO₂/m³/day

原油: 60 \$/バレル

原油: 44.5 ¥/kg

年間エネルギー収支のシミュレーション結果(19ha当り)

	獲得量	投入量	収支
エネルギー[MJ/yr]	10.3×10^7	3.48×10^7	$+ 6.82 \times 10^7$
CO ₂ [kgCO ₂ /yr]	7.45×10^6	2.49×10^6	$+ 4.96 \times 10^6$
コスト[百万円/yr]	100.1	373.6 (タイ73.0) (インドネシア60.0)	- 273.5

エネルギーペイバックタイム(EPT)

	EPT (年)
<i>Botryococcus</i> 液化燃料	0.19
風力発電	0.2 ~ 2.0
住宅用太陽光発電	2.0 ~

期待されるCO₂削減効果

<ul style="list-style-type: none"> 革新技术によるCO₂削減目標値 744万 t CO₂ / 年 30万haある不作地と耕作放棄地のすべてに本システムを稼働 約7800万t-CO₂ / 年
--

バイオディーゼル燃料

- ボトリオコックス
約118t / ha・年 (耕作放棄地約30万ha:3540万t / 3億t)
1haあたりの産出額525万円 (1haあたりの農業産出額は125万円)、約155円 / L、
- ナタネ (31.6万haで約31万tのBDF)
約1t / ha・年 500円 / L
(国産バイオマス燃料:経産省より)
- パーム(アブラヤシ)油
約35t / ha・年 714円 / L
(パーム油LCAより:NEDO事業)
- 廃食用油
約50万t / 年 (住宅地面積100 ~ 200万ha:0.25-0.5t / ha)
72 ~ 87円 / L (回収費用は含まれず)

Tons of Oil /ha / Year

Corn トーモロコシ	0.2
Soybeans 大豆	0.5
Safflower ベニバナ	0.8
Sunflower ヒマワリ	1.0
Rapeseed アブラナ	1.2
Oil Palm アブラヤシ	6.0
Micro Algae 微細藻類	47-140

グリーンフューエル社



ジェットエンジンにバイオ燃料(大豆～藻類)
Boeing, Virgin Atlantic, GE Aviation(エンジンメーカー)



実用化までのロードマップ

2007 2008 2009 - 2010 2011 - 2013 2014以降

室内実験

バイオリアクター生産システム基本設計

屋外実験ミニプラント

バイオリアクター生産システムミニプラント

屋外実験プラント

バイオリアクター生産システムプラント

実用化

デモンストレーション実規模プラント

最適化検討



屋外プラント実験(ミニ~大規模:5年)



- ・有機廃水濃度、CO₂濃度等培養法
- ・流速、循環、混合法
- ・パイプ経、単位長さ、材質
- ・動力システム
- ・炭化水素効率的抽出法
- ・LCA評価

基本設計から屋外での最適増殖・生産をもたらす実証システム設計とLCA評価

実用性をもたらす大規模システムへの展開

高度な発展をもたらす基盤技術開発



藻体増殖・炭化水素・リポ多糖生産の制御技術開発、自然界での大量発生機構解明
炭化水素・リポ多糖の有用性に関する研究開発