

エントリー番号 EA014

糸状藻類（アオミドロ/サヤミドロ）を用いたバイオ燃料及び 土壌改良材の実用化に向けた基礎研究

7 エネルギーをみんなに
そしてクリーンに



11 住み続けられる
まちづくりを



13 気候変動に
具体的な対策を



14 海の豊かさ
を守ろう



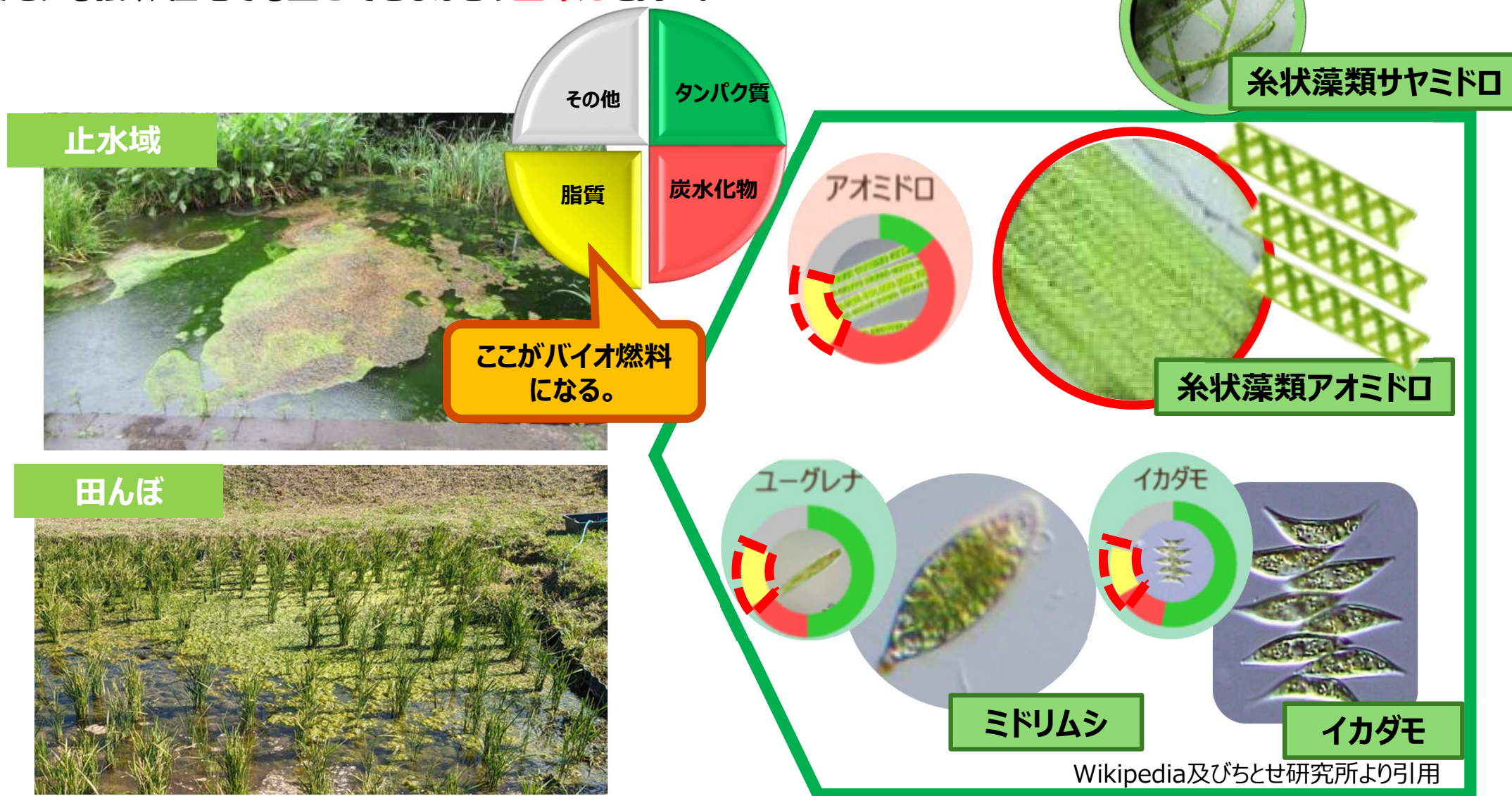
15 陸の豊かさ
を守ろう



横浜市立南高等学校 3年 西田優美奈

【はじめに】 ～微細藻類（糸状藻類：アオミドロ・サヤミドロ）とは？

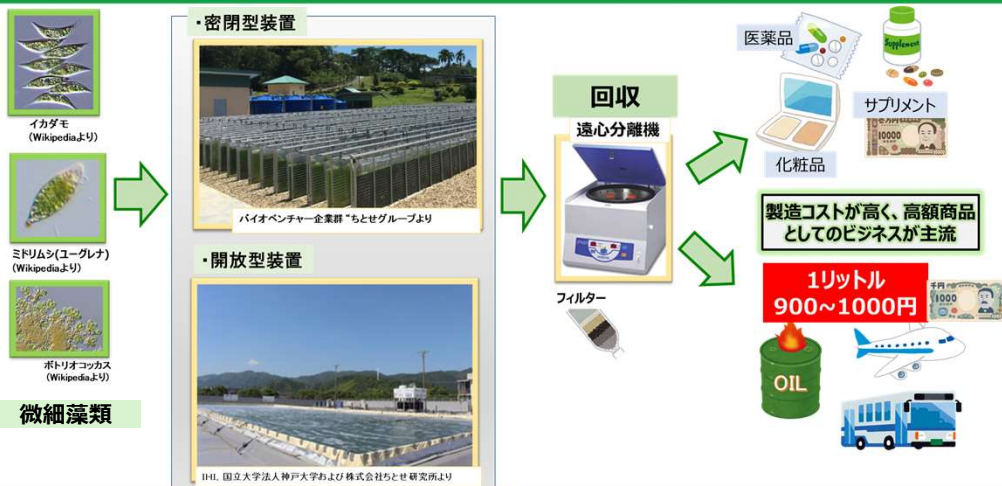
- ・微細藻類の仲間であり、調査の結果【培養に必要な栄養素や抽出したオイルは同じような性質を持つ】ことが分かった。
- ・糸状で大きな群体となるため目視でき、手や網で簡単に回収できる。
- ・オイルの含有率は自身の計測結果で**1.8～4.1%**。海外の論文では22%
- ・水面が穏やかで魚が少ない貯水池、田んぼで大量に発生し除草対象となる藻類である。
- ・寒さにも強く、極地でも生息できるほどの**生命力**を持つ。



【現在】微細藻類の大量培養方法と商品

- ・イカダモやミドリムシは、単一生物のみを密閉型容器で培養することで医薬品などの高額な商品となる。
- ・開放型培養では製造コストが下がるものの、他の生物の混入があるため用途が限られてくる。また培養速度も非常に遅くなる。
- ・糸状藻類は、開放型で雑に大量培養ができるため、高額商品にはなれないがバイオ燃料と土壌改良材として使える可能性がある

【背景・課題】藻類のバイオマス燃料の高価な製造コスト



【本研究】微細藻類の大量培養方法と商品

【目的・解決】糸状藻類を用いて燃料の製造コストを抑える

・糸状藻類：田んぼや貯水池で自然に大量発生することがある生命力の強い大型の藻類



図表8 閉鎖型と開放型の培養設備比較

	閉鎖型	開放型
汚染	透明なプラスチックパイプを使ったPhoto Bioreactor (PBR)	Open Pond with Raceway
光合成効率	・大気からの汚染は問題ないが、一度水質汚染が発生すると影響大。 ・高い。ただし PBR 内部の汚れにより光合成効率低下の可能性がある。 ・PBR内に光源を追加して生産性向上も可能。	・雑菌混入等による目的藻類以外の繁殖などが起こり得るが、スピリリナなど一部の藻類で既に実用化。 ・自然光が受光する時間帯のみ稼働。また、水温の影響もあり年間稼働日数は200日程度。
初期投資、運転コスト	・初期投資、運転コストとも高い。	・初期投資、運転コストとも低い。
生産性	・水平管での培養では生産効率は低いが、垂直型では効率改善は可能。	・深さ方向は通常30cm程度。 ・一般的にはPBRでの生産性の10分の1以下に低下する。
今後の展開	・実証研究での培養方法として今後発展か。 ・袋状 PBR (第3世代) により、コスト低減が図られていく。	・製造コストの低減のためには、開放型での培養が必須条件で、PBRの生産性に近づける技術開発が進行中。

出所：三井物産戦略研究所作成 (写真提供/上左：筆者、上右：Earthrise Nutritionals LLC)



目的：藻類のバイオマス燃料の製造コストを抑えて実用化を目指す
→簡便に安く大量培養しなければならない

【培養】微細藻類(糸状藻類)培養に有効な栄養素（窒素肥料から鉄素材へのシフト）

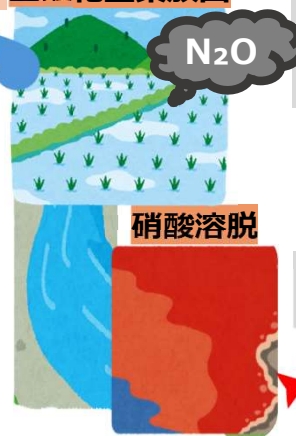
2021年では**窒素肥料**を中心に培養実験を行ったが、「微生物は縁の下の力持ち」というオンライン講座で窒素肥料による**地球環境への負荷が非常に大きい**ことが分かった。また鉄を代替として使う試みが紹介されていたので藻類でも検証を行った。

窒素肥料の問題点



使用時

亜酸化窒素放出



N₂OはCO₂の300倍もの温室効果

日本はCO₂換算で**540万t/年**排出



窒素の使用量削減

窒素肥料



0.8Lで1,820円
※amazonより

純二価鉄



1Lで60,747円
※amazonより

高

自作

500mLの水道水に、クエン酸5gを溶かしてスチールウール2個を30分以上浸す



製造コスト：200円

栄養素は製造コストの増減に直結するため安くなくてはならない。

鉄には光合成を促進する効果があると言われている

【培養】二価鉄(100倍希釈)を従来の栄養素に追加したものと、二価鉄単体での効果を検証

2021年は窒素肥料を中心に培養を行ったが、環境に悪影響があることが判明（オンライン講座） → **二価鉄**が肥料に向いているということから藻類にも有効か検証。

窒素肥料 VS 二価鉄



- ①イカダモ・ミドリムシ → 酵素・炭・GABA・**窒素肥料**
- ②イカダモ・ミドリムシ → 酵素・炭・GABA・**窒素肥料**・**二価鉄**
- ③イカダモ・ミドリムシ → **二価鉄**
- ④イカダモ → 酵素・炭・GABA・**窒素肥料**
- ⑤イカダモ → 酵素・炭・GABA・**窒素肥料**・**二価鉄**
- ⑥イカダモ → **二価鉄**

※窒素肥料：ハイポネックス

※イカダモ：NIES-120

※ミドリムシ：NIES-49

結果：顕微鏡画像



結果：二価鉄のみで1週間培養
希釈率50% 20% 10% 5% 2% 1%



14日目



二価鉄 Win

窒素肥料 Lose

二価鉄 Win

窒素肥料 Lose

- ・二価鉄を使用することで他の栄養との相乗効果で培養速度が増加し、窒素肥料の使用量削減につながる
- ・希釈して使用することでコストも削減可能

二価鉄は20～100倍希釈でもイカダモには、ほぼ同じ効果
→一番薄い1%を採用

1 年で 8 5 倍に増加 二価鉄、鉄素材を栄養素として年間を通して培養する

糸状藻類は、コンタミネーションに強く、開放型でも培養できる



結果2

窒素肥料を投入すると別の緑藻類が発生し、培養できなかった

結果 1

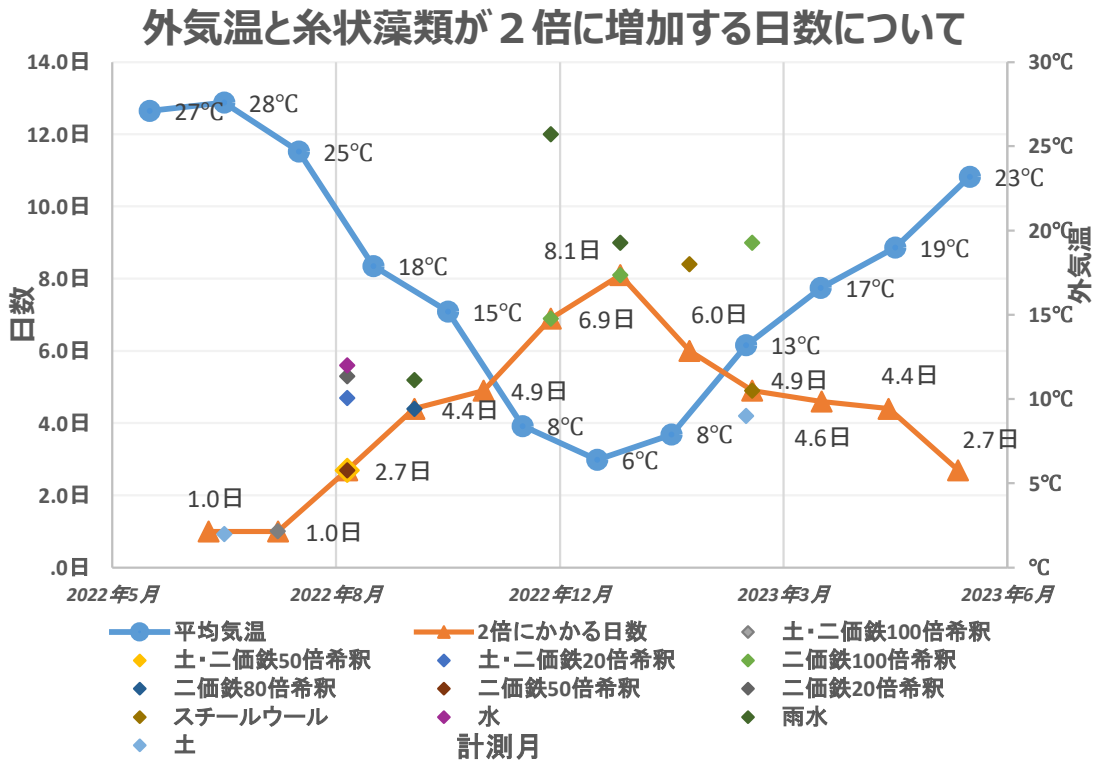
4L の水	2022/8/16	2022/8/20	2022/8/21	2022/9/2
生息地の土をそのまま使用した場合	1 メモリ投入	気泡を放出	5 メモリ回収	5 メモリ回収
生息地の土に二価鉄 40mL(100 倍希釈)を加えた場合	1 メモリ投入	気泡を放出	10 メモリ回収	18 メモリ回収

家で培養速度を検証しながら、貯水池と大量培養の状態も確認

結果

	2022/8/16	2022/9/14	2022/12/4	2023/2/13	2023/3/19	2023/5/27	2023/7/9
	大雨で流出	飽和状態	飽和状態	エビによる捕食	飽和状態	飽和状態	飽和状態
貯水池							
		2022/9/9	2022/12/7	2023/2/14	2023/3/28	2023/5/21	2023/7/7
		実験開始	増加中	凍っている	飽和状態	肥料で採取	飽和状態
プール	二価鉄 酸素 炭 ギャバ						

・家のプールでは凍るような時期でも糸状藻類が増加しているが、貯水池は非常に少なくなっている。
→ 貯水池には小型の魚やエビが少量生息していることで、冬は増加速度より捕食される速度が速いのではないかとされる。
・二価鉄は土と同時に用いることで相乗効果を発揮する可能性がある。
・二価鉄を投入した場合、糸状藻類の単一培養の成功確率が高まる可能性がある。窒素肥料を使用した場合と比べ水面の緑藻類の発生が抑えられた。



【環境】攪拌や共生する生物の影響

【疑問】 アオミドロは風当たりが良く、水面が波立っている池では見当たらない

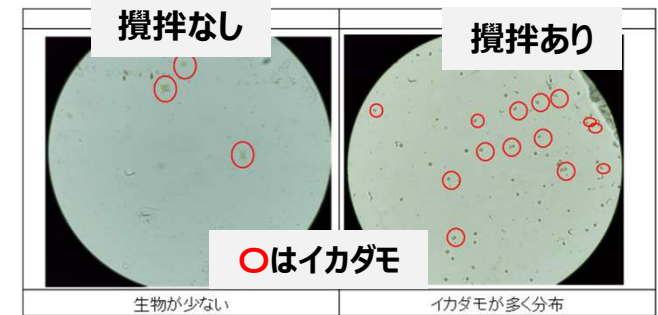
【検証】 攪拌の有無や、混在する生物によって生息状態に差が出てくると思われる。



水中ポンプ

アオミドロとイカダモを開放容器に投入し、エアーポンプで攪拌し観察する

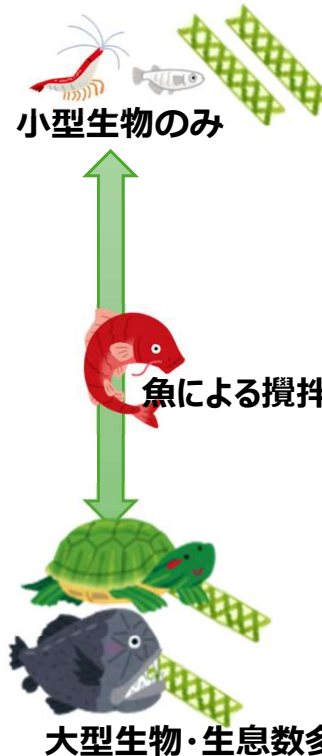
	開始		1日目		5日目 横		5日目 上
写真	攪拌	静止	静止	攪拌	静止	攪拌	攪拌
静止	底に溜まる		上部に溜まり、空気の泡を出し始める		徐々に下に伸びてきた		藻の量は増えている
攪拌	—		全体の色が濃くなる		全体の色は濃いが増藻は微増		藻の量は増えていないが、全体的に緑色が濃くなっている



【結果】

- ・攪拌有り → イカダモに有利な環境
- ・攪拌無し → 糸状藻類に有利な環境

池の名称・色	全体の写真	生物の生息状況	水中の生物確認
水の谷 全体的に緑色			
アオミドロ ◎ イカダモ △	全体的にアオミドロが目視できる	メダカやエビが少数生息	アオミドロと少量のイカダモ
能見台緑地 浅瀬は茶色、他は全体的に緑色			
アオミドロ △ イカダモ ◎	目視できる藻類は無いが全体的に緑色	魚・亀が少数生息	ちぎれたアオミドロとイカダモなど微生物
稱名寺 全体的に茶色			
アオミドロ × イカダモ ×	目視できる藻類は無し	魚・亀が多数生息	ほぼ微生物はいない



【考察】

・糸状藻類を捕食する大型の生物が居なければ、冬でも培養ができる。

・休耕田を利用した培養であれば、生物の混入があっても、一旦水を抜くことで元の状態に戻すことが可能。

・攪拌が無くても培養に影響が全くないため、田んぼや休耕田での大量培養が向いていると考えられる。

【バイオ燃料】オイル含有率・性質、燃焼効果について

イカダモ、ミドリムシなどはオイル含有率が最大40%にもなる。

同じ微細藻類で共生しているアオミドロにもオイルが含まれている可能性があると考え調査を開始。

2021 水蒸気蒸留法：創意工夫

1.乾燥 	2.装置の用意 	3.材料のセット 	4.蓋をする 
完全に乾燥できなかったが、96 g 用意	圧力鍋、シリコンチューブ、精製水、他	アオミドロを蒸すためのザルにセット	蒸気がチューブから出るようにセット。
5.チューブを冷却 	6.ガラス瓶のセット 	7.圧力鍋に点火 	8.不純物の除去 
蒸気を冷やす	冷やされた蒸気を溜める	加熱する	1 回目は廃棄

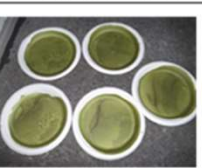
油分を確認



専門家の指導を受ける



2022 溶剤抽出法：藻類の専門家の先生からの指導を受ける

① 網で回収 	回収した糸状藻類 	乾燥させる 	②エタノールに浸す 	1 8 時間経過 
エタノールをコーヒーフィルターで濾過し、計量 A と計量 B に進む				
計量 A: 湯煎開始 	蒸発後・計量 		計量 B: 紙皿で蒸発 	蒸発後・計量 

【含有率】

1.8~4.1%

【性質】

- ・水に溶けない
- ・粘度が非常に高い
- ・食器用洗剤で綺麗に洗い落とせる

国	アオミドロ オイル含有量
インド	18.4%
インドネシア	5.2%
サウジアラビア	18.0%
ナイジェリア	22.0%

燃焼実験：ガーゼにしみ込ませて燃焼実験を行う。

湯煎で残ったオイル 	ガーゼを用意 	ガーゼにしみ込ませる 
① ガーゼに点火 	26 秒経過 (ガーゼのみ消火) 	1 分 20 秒経過 

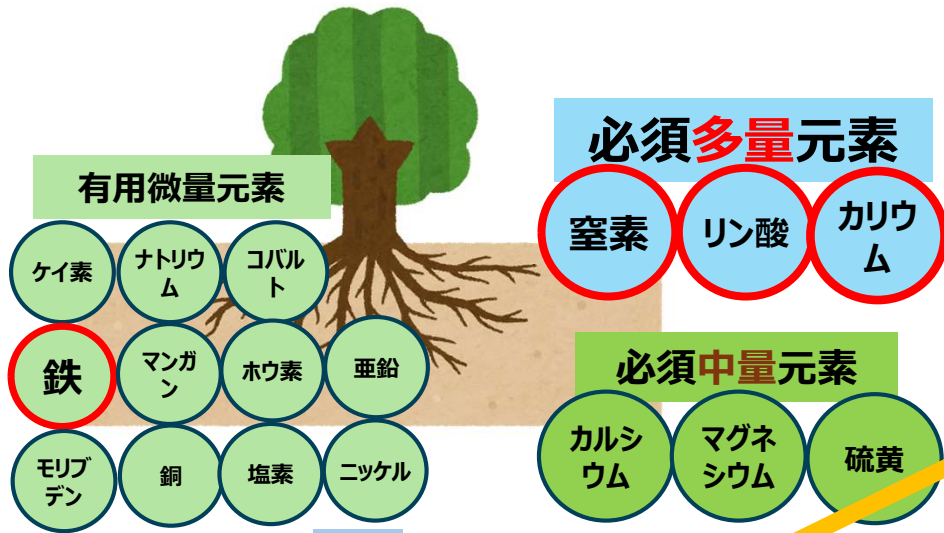
【結果】

力強く長く燃焼できた

【考察】

- ・精油(1 ℓ コスト100円)せずに、単純な燃焼機関に用いることが可能と考えられる。
- ・粘度が非常に高く回収が難しい。将来の大量処理の際、圧搾だけでは回収が難しいので対策が必要。

植物に必要な様々な栄養素



糸状藻類は3大栄養素の含有量が非常に高く、植物の培養に十分な含有量がある

方法



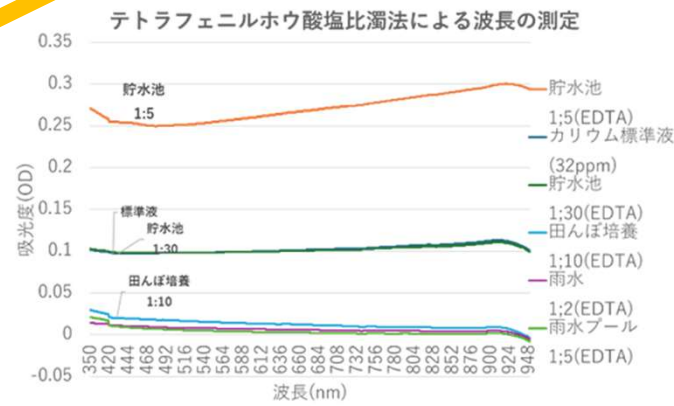
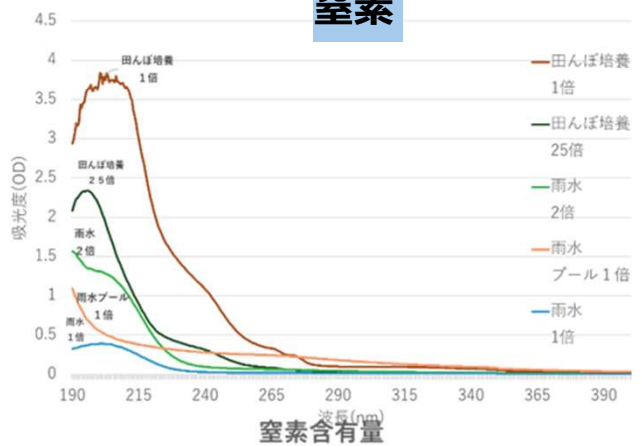
使用装置：可視-紫外分光光度計UV-1900i
【窒素】：紫外吸収法 ランベルト・ベールの法則：
 $A(\text{吸光度}) = \epsilon(\text{モル吸光係数}) \times b(\text{光路長}) \times c(\text{濃度})$ に基づいて定量を行った(波長190~400nm)。
写真：島津製作所HPより
【カリウム】：テトラフェニルホウ酸塩比濁法
【リン】成分分析は難しいためパックテストを実施

島津製作所HPより

カリウム

糸状藻類は雨が降ると増加が加速する。→雨水の成分分析で窒素が含まれていることが判明した。

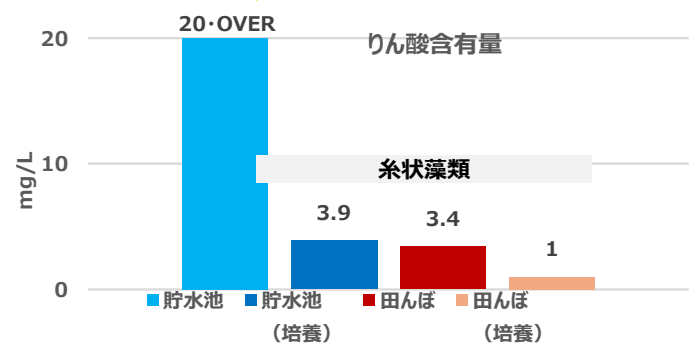
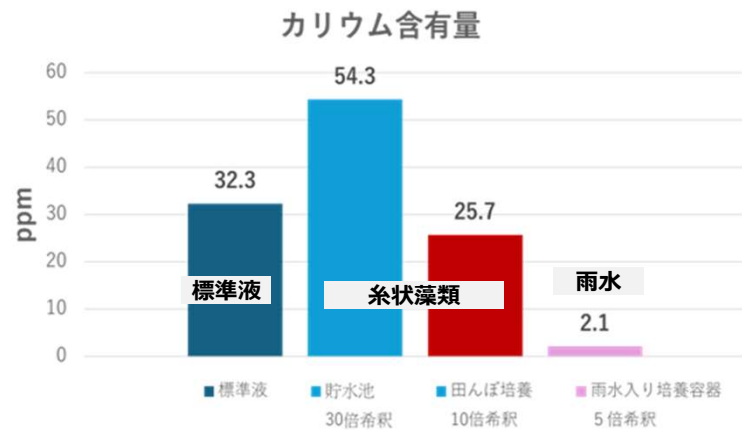
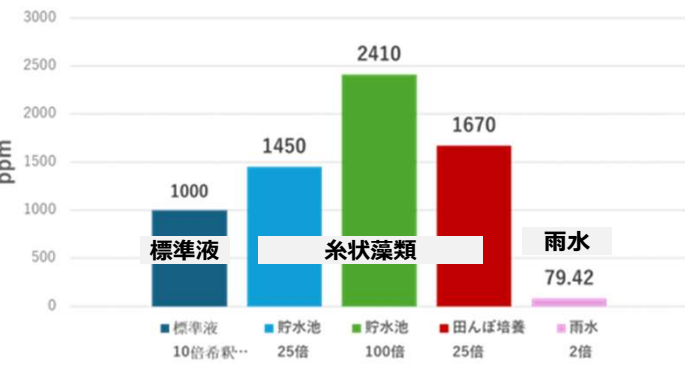
窒素



リン酸



PO₄(C)
OVER
mg/L



【土壌改良材】 花・野菜に対する実際の効果について

貯水池・乾燥(黒い)	培養・乾燥	土と混ぜて乾燥	① 土と混ぜて乾燥
		➡	

培養した糸状藻類は、そのまま乾燥させても効果が見られない。
→ **乾燥時に土と混ぜることで固く砕けるようになり土に馴染む**

バーキュミライトを用いて、赤○は貯水池の糸状藻類を最初のみ、緑○は窒素肥料を2週間おきに投入

6/11(開始1週間後)	7/7	8/14	9/30
ほぼ差がない	窒素肥料・活力剤で大きく濃い緑になっている。糸状藻類追加	糸状藻類の鉢が一番葉が大きく濃い緑 裏：糸状藻類1個・窒素肥料2個	糸状藻類のみ2個の大きな実ができた
			
6/8(開始1週間後)	6/11	6/25	
			栄養素が無い鉢と、糸状藻類が入った鉢では、大きな差がついた
8/11(葉を落とす)	8/24	8/27	
			窒素肥料を2週間おきに投入した緑○と、糸状藻類では大きな差がついた。

貯水池の糸状藻類は効果が著しく効果が高く効果も長期間続く

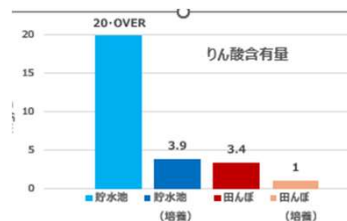
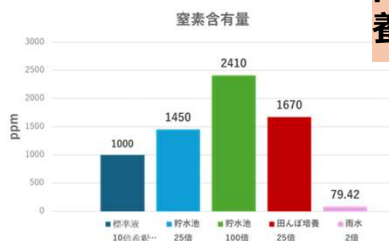
貯水池の糸状藻類は効果が著しく効果が高い



妹の小学校で栽培している
稲に対して、8月に投入
収穫量2~3倍に

土のみ・貯水池の糸状藻類・培養した糸状藻類（青○）での効果

栄養成分は、貯水池のものが非常に高いが、培養したものもかなりの栄養を含んでいた

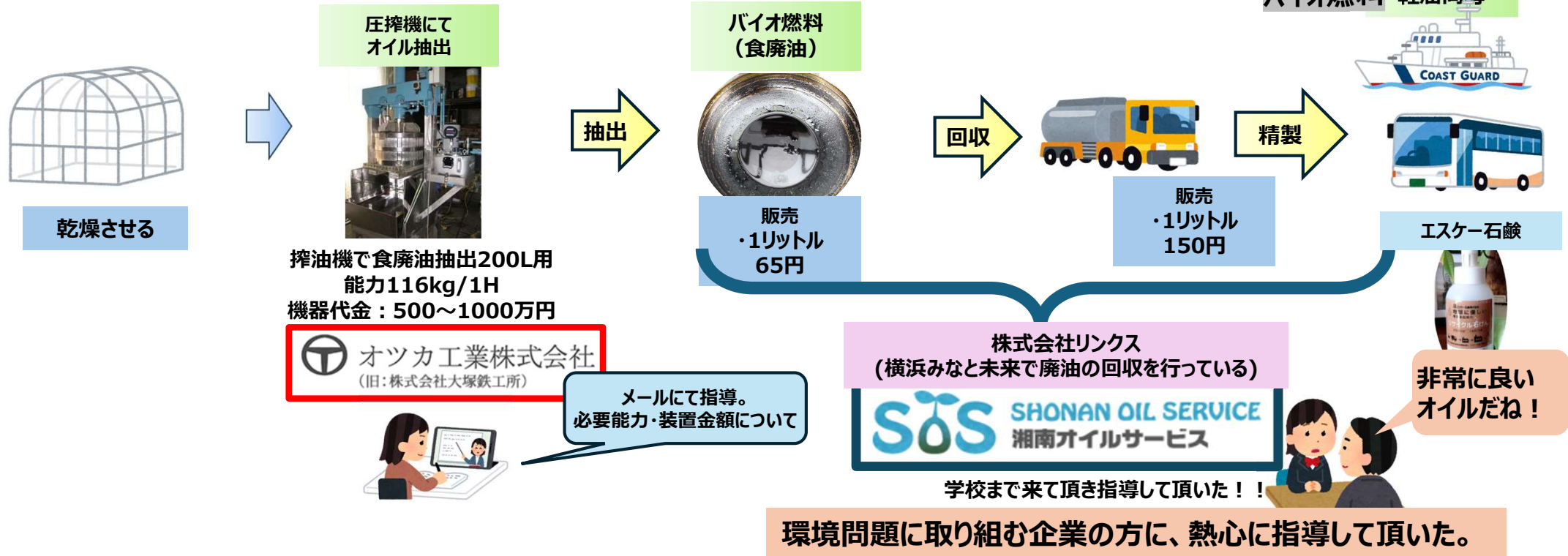


成分分析の数値通りの著しい効果を確認することができた。

8/12 バジル	9/1 バジル	9/8 バジル
		
土のみ	回収前 結果 ↓	回収前 結果 ↓
	6 cm 1 枚 5 cm 2 枚 4 cm 7 枚	6 cm 1 枚 5 cm 8 枚 4 cm 8 枚
培養 糸状藻類	6 cm 10 枚 5 cm 10 枚 4 cm 11 枚	6 cm 3 枚 5 cm 7 枚 4 cm 11 枚
貯水池 糸状藻類	7 cm 7 枚 6 cm 13 枚 5 cm 12 枚 4 cm 8 枚	7 cm 3 枚 6 cm 7 枚 5 cm 26 枚

【ビジネス】 食廃油と土壌改良材の販売プラン

2023年度 第11回「創造力、無限大∞ 高校生ビジネスプラン・グランプリ」審査員特別賞より



土壌改良材を園芸店、ホームセンターで実際に販売

GREEN FARM



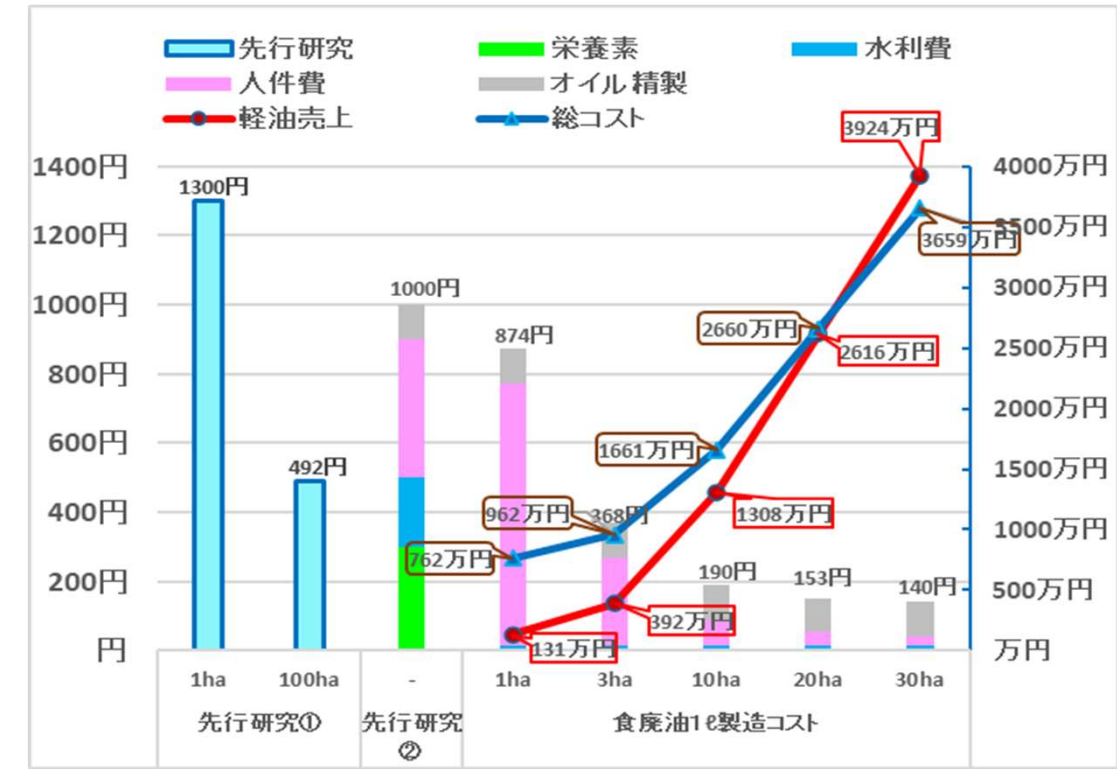
NEW トンカチ



2店舗でそれぞれ
20袋以上を有人・
無人で販売→2時
間以内に完売
100g=100円

自然由来の土壌改良材を求める人が多く、ビジネスとして成功する可能性は高いと思われる。

これまでの研究結果から、化石燃料やその他のバイオ燃料と比較する。
比較のため、糸状藻類のオイルを軽油に精製した状態で比較。（精製には 1 ℓ 100円のコスト要）

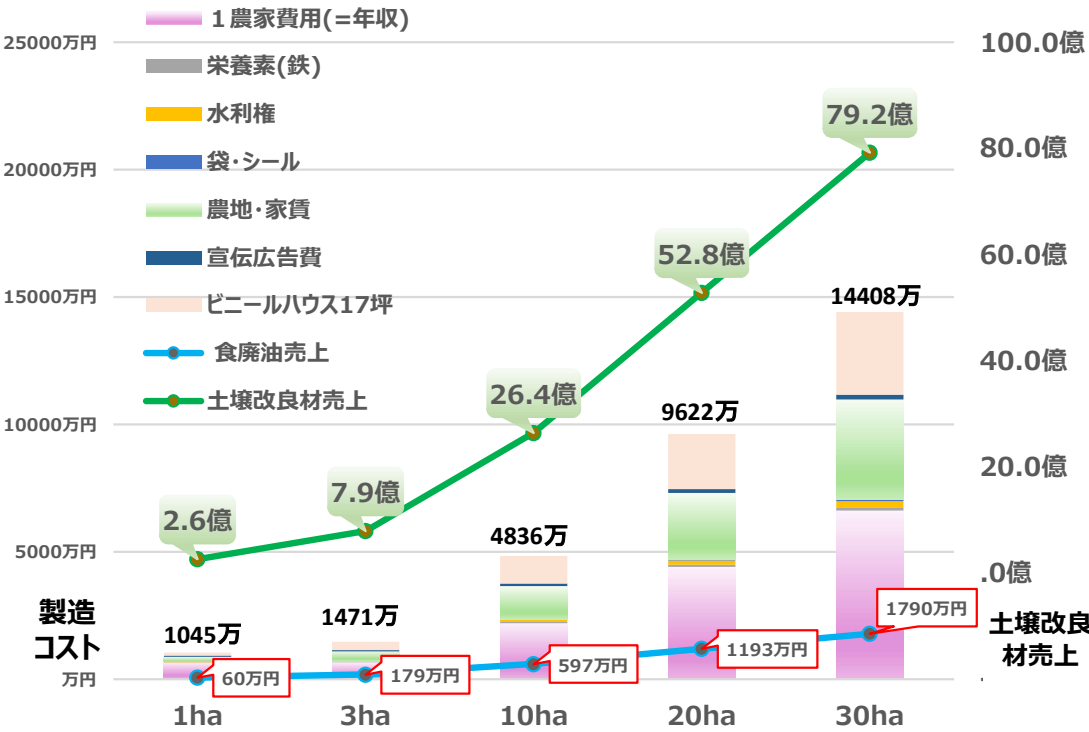


- ・研究当初の目的は、バイオ燃料としての製造コストを下げることを目的としており、バイオ燃料を軽油へ精製した場合の製造コストは左記の通りである。
- ・1 農家での管理面積が1haの場合は874円/ ℓ 。市場価格の軽油価格同等とするには20haの管理が必要で153円/ ℓ 。
- ・つまり、大量培養ができたとしても、バイオ燃料だけではビジネスとして成り立つのは難しいと判断できる。
- ・大量精製ができれば、精製コストが40.5円/ ℓ 程度まで下がるレポートがあるが、安定した大量培養環境を整えることが先である。

名称	販売金額 円/ ℓ (糸状藻類は製造コスト)	発熱量 (Kcal/ ℓ)	オイル 含有率	培養速度 2倍/日数	年間での培 養可能日数	精油コスト (円)	使用用途
ガソリン	160 円/ ℓ	7,957	-	-	-	温度差による 蒸留法	乗用車
軽油	150 円/ ℓ	9,088	化石燃料と混合しな ければ車は動かない	-	-		トラック・乗用車
A 重油	100 円/ ℓ	9,293		-	-		ボイラー、小型船
トウモロコシ	114 円/ ℓ	5595 エタノー ル	34%	-	1 回のみ	そのまま利用 0	食料・エタノール
ポトリオコッカス	800 円/ ℓ	9600 重油	7~ 74%	7~10	240 日		ハンドクリーム
イカダモ	?	9000 サラダ油	10~ 40%	2~3	200 日		医薬品、化粧品、サプリメント
ユーグレナ	900 円/ ℓ	9,100	25%	?	?	100	医薬品、化粧品、サプリメント、肥料
糸状藻類	1ha 874 円/ ℓ 20ha 153 円/ ℓ	9,000 サラダ油	1.8~ 22%	1~8	300 日以上	100	燃料・土壌改良材・飼料

自身の研究結果より

残渣を土壌改良材として販売することで、1haの管理でもバイオ燃料の製造コスト問題を解決



管理面積	1ha	3ha	10ha	20ha	30ha
総コスト	1045万	1471万	4836万	9622万	14408万
1 農家費用(=年収)	662万円	662万円	2207万円	4413万円	6620万円
栄養素(鉄)	4万円	13万円	42万円	85万円	127万円
水利権	8万円	24万円	80万円	160万円	240万円
袋・シール	3万円	9万円	30万円	60万円	90万円
農地・家賃	210万円	390万円	1300万円	2600万円	3900万円
宣伝広告費	50万円	50万円	100万円	150万円	200万円
ビニールハウス17坪	108万円	323万円	1077万円	2154万円	3231万円
食廃油売上	60万円	179万円	597万円	1193万円	1790万円
土壌改良材売上	2.6億	7.9億	26.4億	52.8億	79.2億

- ①糸状藻類は土壌改良材として、堆肥と混ぜることなく販売可能
- ②高栄養の糸状藻類100%で1kg1500円で販売可能
(市販の土壌改良材は1K g 150~15000円)
- ③残渣の販売で1haで2.6億円の売り上げ見込み
- ④窒素肥料使用削減→石油使用量削減に貢献

乾燥糸状藻類/mi/回		年間の倍率		乾燥糸状藻類/mi/年	m → ha	乾燥糸状藻類/ha/年
216g	×	85倍	=	18.4kg	10000m ³	183.6 t
乾燥糸状藻類/ha/年		オイル(廃油)含有量		オイル(廃油)回収/ha/年	比重0.82	食廃油/ha/年
183.6t	×	4.1%	=	7.5 t	9.2Kℓ	9.2Kℓ
				乾燥糸状藻類/ha/年	オイル(廃油)回収/ha/年	オイル抽出後の乾燥糸状藻類
				183.6 t	- 7.5 t	= 176.1t

食廃油単価 1L	65円	×	廃油/ha/年	9.2K ℓ	=	売り上げ/年/ha	60万円	3haへ	食廃油売り上げ/年/3ha	179万円
肥料 1 kg	1500円	×	オイル抽出後の乾燥糸状藻類	176.1t	=	売り上げ/年/ha	2.64億円	⇒	肥料売り上げ/年/3ha	7.9億円

日本での可能性

日本耕作放棄地	282000ha	×	食廃油/ha/年	9.18K ℓ	=	軽油	2588760k ℓ	軽油	2589K ℓ	÷	日本2023年軽油消費量見込み	33860K ℓ	=	日本バイオ燃料の割合	7.6%
日本耕作放棄地	282000ha	×	オイル抽出後の乾燥糸状藻類	176.1t	=	土壌改良材	49652417t	土壌改良材	49652417t	÷	世界の化学肥料需要量(2020年)	105870000t	=	世界化学肥料に対する割合	46.9%

窒素肥料: BSI 生物科学研究所より
軽油: 石油製品需要想定研究会