

令和5年3月

B-DASHプロジェクト自主研究報告(最終)

[H27採択]

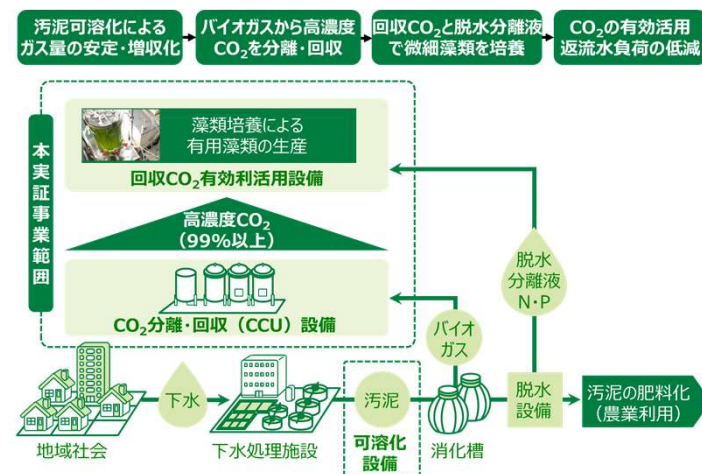
バイオガス中のCO₂分離・回収と 微細藻類培養への利用技術

1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
4. ガイドラインについて
5. 普及展開
6. まとめ

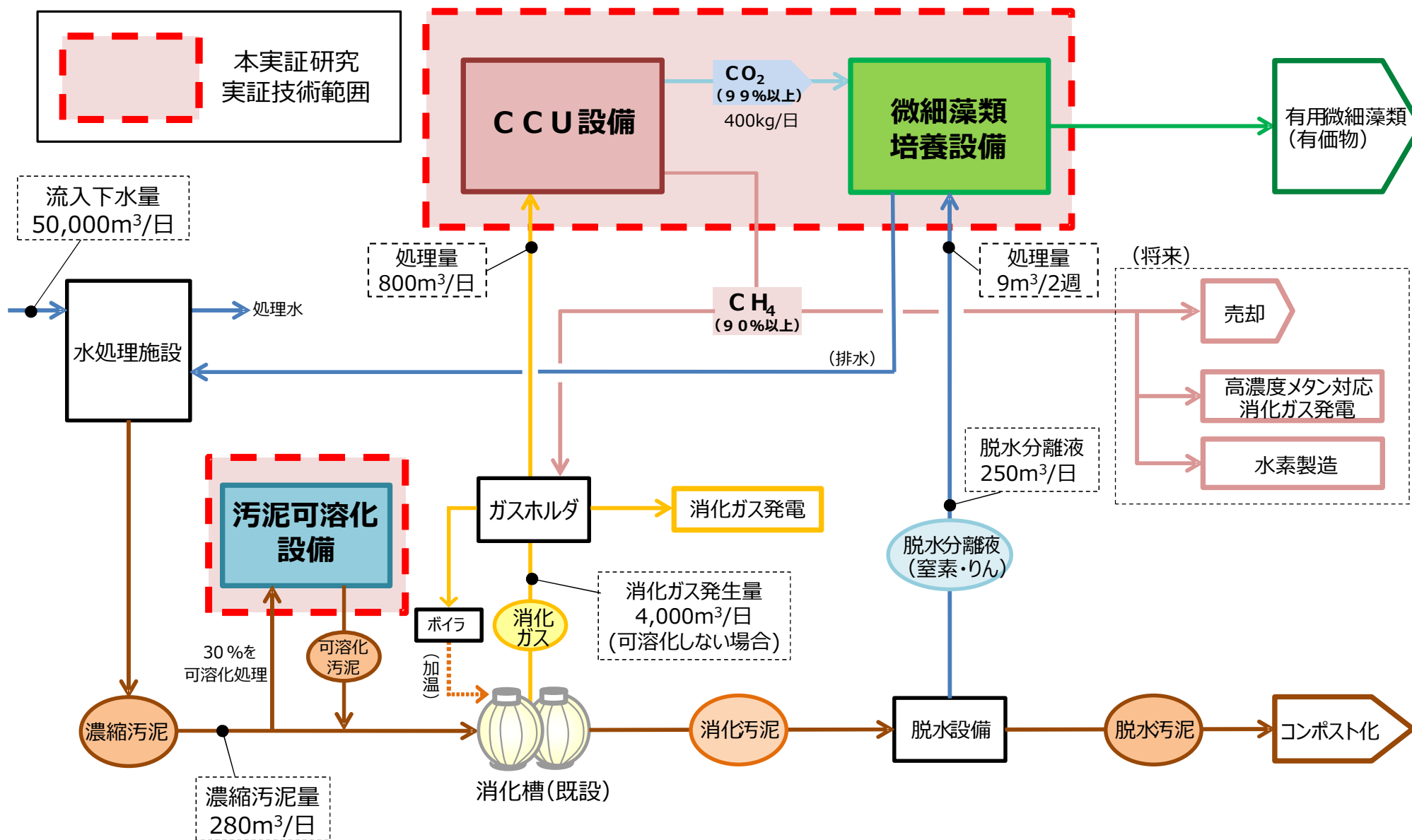
1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
4. ガイドラインについて
5. 普及展開
6. まとめ

1. 研究概要

◇技術名称	バイオガス中のCO ₂ 分離・回収と微細藻類培養への利用技術
◇実施期間	委託研究:平成27年8月～平成29年3月 自主研究:平成29年4月～令和5年3月 ガイドライン発刊:平成29年12月
◇実施者	(株)東芝・(株)ユーグレナ・日環特殊(株)・(株)日水コン・日本下水道事業団・佐賀市共同研究体
◇実証フィールド	佐賀県佐賀市 佐賀市下水浄化センター 全体計画汚水量65,895m ³ /日(全体計画処理人口164,300人) ※令和2年度佐賀市公共下水道事業計画より
◇実証施設規模	濃縮汚泥280m ³ /日
◇実証技術	<p>本技術は主に次の技術により構成されている。</p> <p>①下水バイオガスからのCH₄とCO₂を効率的に分離・回収する技術 ⇒PSA法(加圧と減圧を交互に繰り返すことでCH₄とCO₂を連続的に分離・回収する技術)によるCO₂分離・回収装置</p> <p>②回収したCO₂と脱水分離液(窒素、リン)を用いて微細藻類(ユーグレナ)を効率的に培養する技術</p> <p>③汚泥を微細化し、バイオガスの発生量を安定・増加させる技術</p>



1. 研究概要



概略フロー

1. 研究概要(委託研究成果まとめ)

技術名	評価項目	評価指標	結果
CO ₂ 分離・回収技術	CH ₄ の分離効果	製品CH ₄ ガス濃度及び回収率	CH ₄ 濃度91.8% 回収率92.7%
	CO ₂ の分離効果	製品CO ₂ ガス濃度及び回収率	CO ₂ 濃度99.5% 回収率76.5%
	分離・回収性能の安定性	連続運転時の上記項目	試験期間の安定稼働を確認
微細藻類培養技術	脱水分離液の有効性	藻類の生産速度、生産量 T-N、T-Pの削減率 培地コスト削減	生産量:0.542g/L/7日 T-N:13.1%程度 T-P:96.9%程度 95%削減
	CCU分離・回収CO ₂ の有効性	藻類の生産速度、生産量 CO ₂ の活用効率	市販CO ₂ に対して同等の生産量であることを確認
	プロダクトの品質評価	乾燥藻体中の重金属、 生菌数	脱水分離液を希釈して用いることで、 乾燥微細藻体中の重金属濃度を さらに低減
汚泥可溶化技術	ガス発生量の増収効果	消化ガス増加率	過去5年の平均値と比較して 10%増加
	汚泥減量効果	VS分解率	過去5年の平均値と同等
	消化汚泥性状	脱水性、脱水分離液性状	脱水汚泥含水率は 可溶化処理していない時と 同等
設備全体	コスト面での導入容易性	経費回収年	【一括導入シナリオ】 微細藻類売却単価と経費回収年の 相関式を策定 【CCU部分導入シナリオ】 12.6年

1. 研究概要(稼働状況)

概要

いずれの設備も自主研究期間を通じて、日常点検および定期点検を実施しながら、ガイドラインに基づき運転管理を行ってきた。

設備の現況



CCU設備



藻類培養設備



汚泥可溶化設備

1. 研究概要
- 2. 自主研究**
3. 実証施設の性能評価
4. ガイドラインについて
5. 今後の予定
6. まとめ

2. 自主研究

年度	平成29	平成30	平成31 ／令和1	令和2	令和3	令和4
【CO₂分離・回収技術】						
CO ₂ 分離性能の安定性評価	→				→	
CO ₂ 回収率の向上性の評価		→				→
分離回収したCO ₂ の微細藻類培養以外の活用検討			→			
【微細藻類培養技術】						
脱水分離液に関する処理と展開可能性検討	→					
下水資源の多種藻類への展開検討		→				
下水資源を用いて培養を行った藻類において商業利用可能な素材の検討			→			
上記素材の商業化および事業化の可能性の検討					→	
【汚泥可溶化技術】						
可溶化による消化ガス発生量変化の検証	→					
可溶化率(汚泥破碎率)の検証	→					
まとめ						→

2. 自主研究

概要

【CO₂分離・回収技術】

消化ガス中のCO₂を分離回収するシステムにおいて、実証設備を運転してデータを採取し、分離性能の安定性、回収率の向上性を評価した。

【平成29年度】B-DASH実証期間中の運転(2週間)より長期間(1ヵ月超)の連続運転を行い、分離性能はB-DASH実証期間中と変わらず、目標値を達成した。

平成30年度および令和4年度は、昼夜連続運転にてCCU設備の性能確認を行うとともに、吸着工程後のPSA吸着塔へのCO₂パージ流量をパラメータとした試験を実施し、CO₂回収率の向上性の評価を行った。結果は以下のとおりであった。

【平成30年度】運転期間中のCO₂濃度は99.4~99.6%(平均99.5%)、CH₄濃度は91.0~91.7%(平均91.3%)で安定的に運転しており、設備が正常に稼動していることを確認した。

【令和4年度】CO₂パージ量を絞ることにより、CO₂回収率が向上した。CO₂パージ流量の最適化によりCO₂回収率の向上が見込める可能性が示唆された。

項目		目標値・設計値	実証		自主研究				
			H27	H28	H29	H30		R4	
条件	CO ₂ パージ流量(Nm ³ /h)	4.5	4.5	5.0~5.5	5.0	5.8	4.6	2.4	● CO ₂ 回収率目標値
	消化ガスCH ₄ 濃度(%)	60	60.5	59.9	59.9	60.2	59.9	58.7	● 製品CH ₄ ガス濃度、CH ₄ 回収率目標値
結果	濃度、回収率 (%)								● 製品CH ₄ ガス濃度
									▲ CH ₄ 回収率
								● 製品CO ₂ ガス濃度	
								▲ CO ₂ 回収率	

2. 自主研究

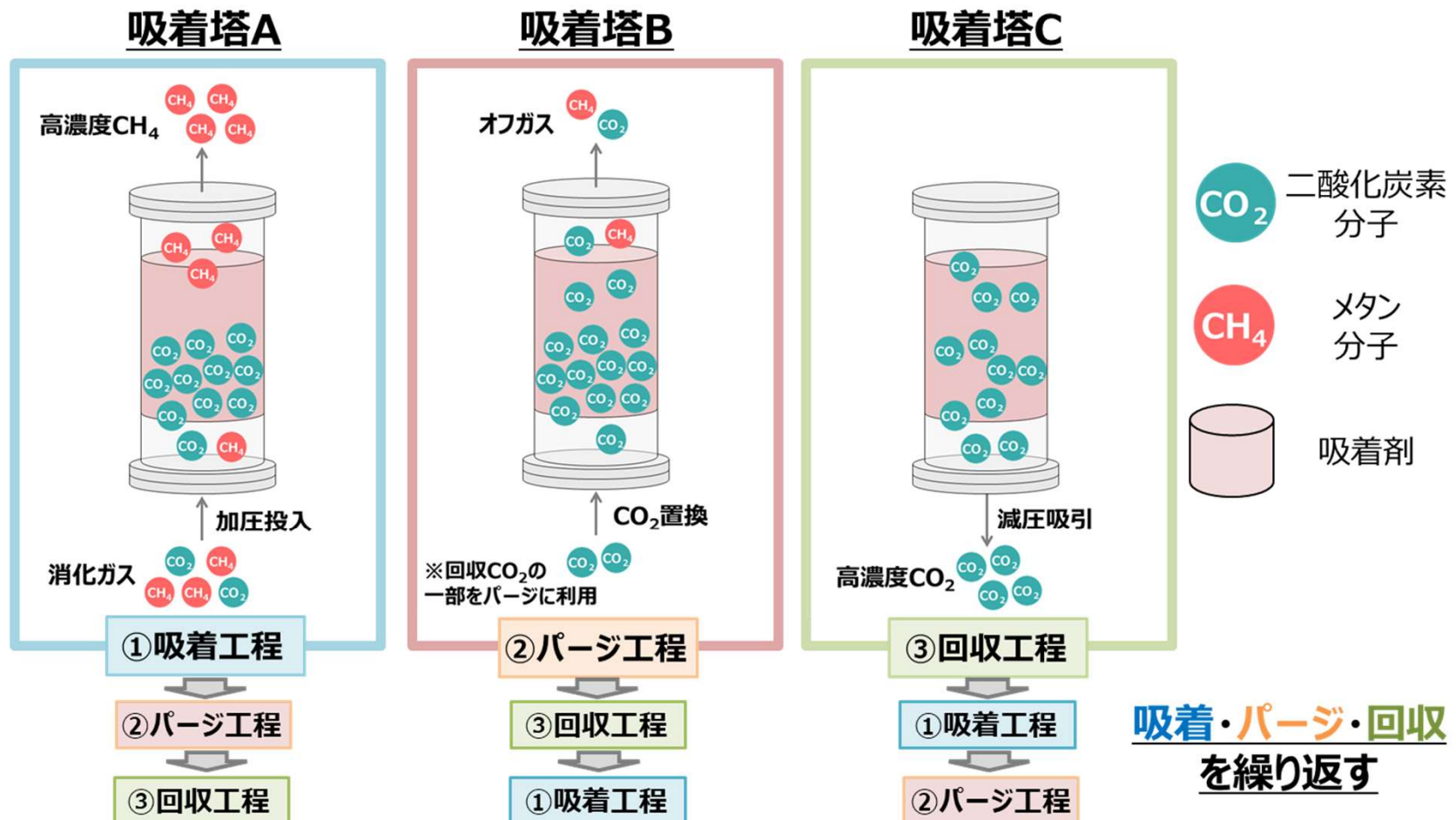
概要

【CO₂分離・回収技術】

消化ガス中のCO₂を分離回収するシステムにおいて、実証設備を運転してデータを採取し、分離性能の安定性、回収率の向上性を評価した。

<補足資料> CO₂分離・回収技術 工程の説明

PSAユニット内に3本の吸着塔を備え、連続的に分離回収を行うことが可能



2. 自主研究

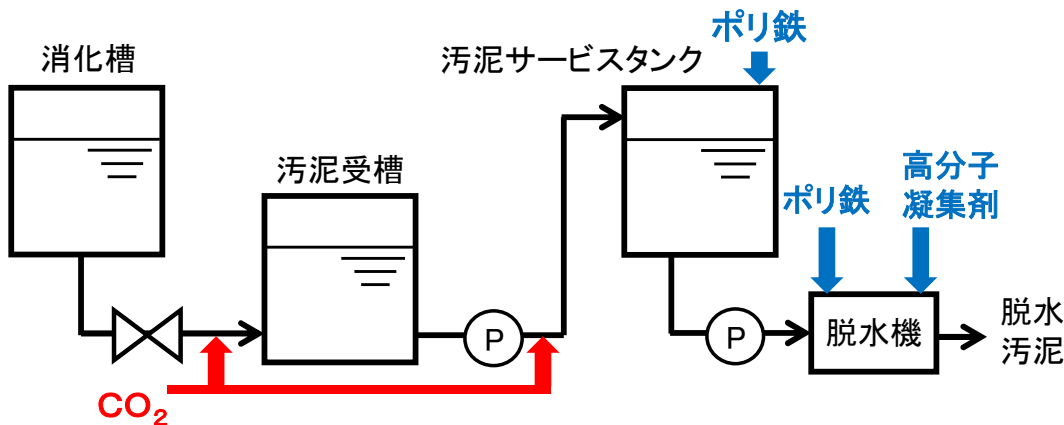
概要

【CO₂分離・回収技術】

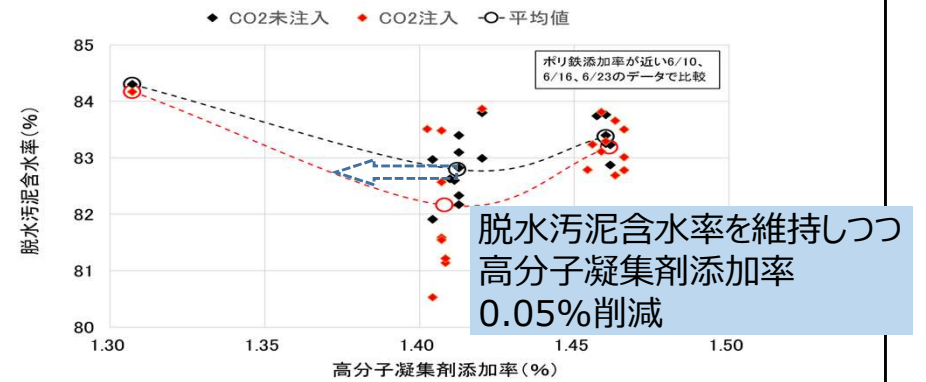
消化ガス中のCO₂を分離回収するシステムにおいて、分離回収したCO₂の微細藻類培養以外の活用検討を行った。

平成31／令和元年度、および令和2年度は、分離回収したCO₂の活用検討として、CO₂を消化汚泥に注入して改質させ、脱水汚泥量低減などの効果を評価した。CO₂を佐賀市下水浄化センターの消化汚泥配管にインライン注入したところ、脱水汚泥含水率が最大0.7%程度低減したことを確認した。また、高分子凝集剤および無機凝集剤(ポリ鉄)の添加率を下げつつCO₂の消化汚泥注入を試みたところ、高分子凝集剤は0.05%程度、無機凝集剤(ポリ鉄)は100ppm程度削減できる可能性が示唆された。

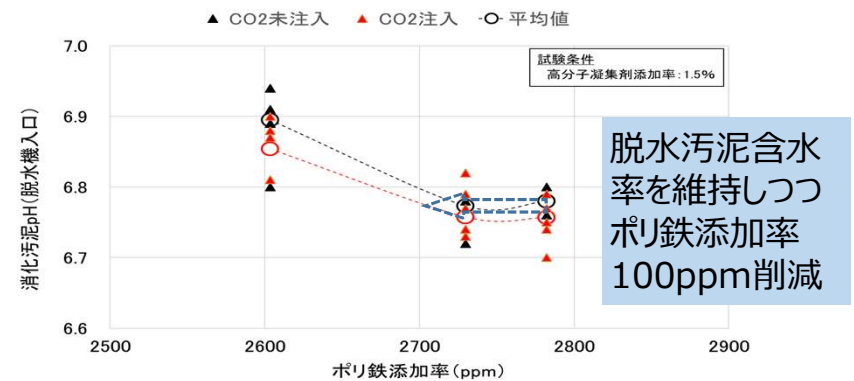
概略フロー



CO₂注入による高分子凝集剤添加率、脱水汚泥含水率の変化



CO₂注入によるポリ鉄添加率、脱水汚泥含水率の変化



2. 自主研究

概要

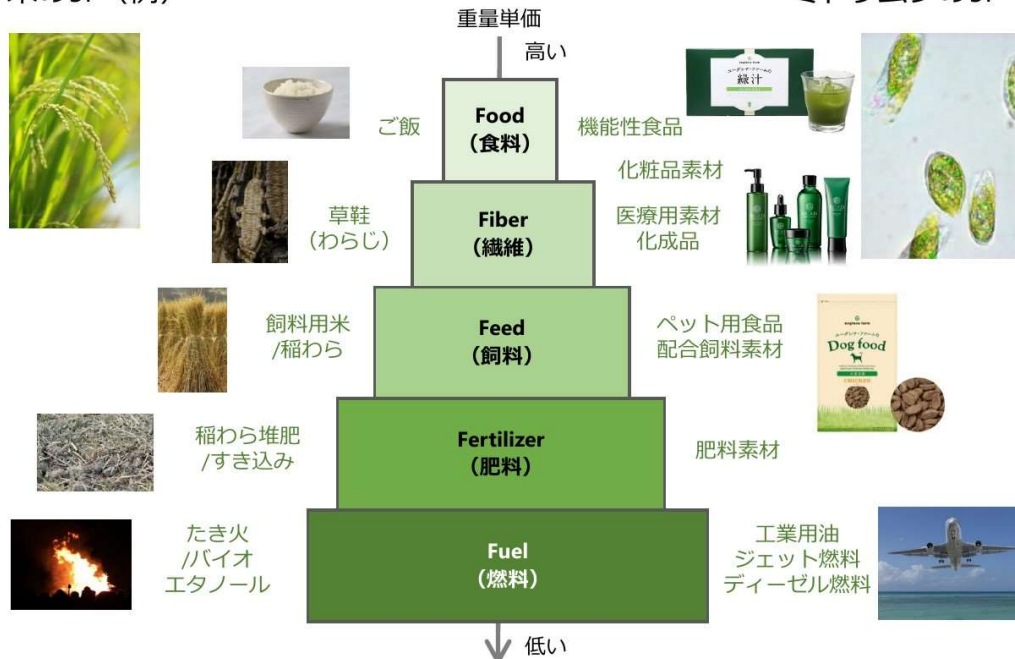
【微細藻類培養技術】

自主研究では全編を通して非可食原料藻類の利用可能性の検討を行っている。当社の研究戦略として5Fというバイオマス利用の考え方が存在し、現状下水資源を用いて栽培した藻類の利用用途として、食品・化粧品といったものにおける使用が困難であることから、繊維(バイオマスプラスチック)、肥糧、飼料を中心に研究を行ってきた。

自主研究期間内においては、B-DASH設備を使用し下水資源を藻類の培養に使用する際の課題と解決方法を検証したうえで、下水資源由来藻類からの繊維(バイオマスプラスチック)、肥糧、飼料の製造検討を行った。

基本戦略 - バイオマスの5F

米の5F (例)



ミドリムシの5F



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

7

2. 自主研究

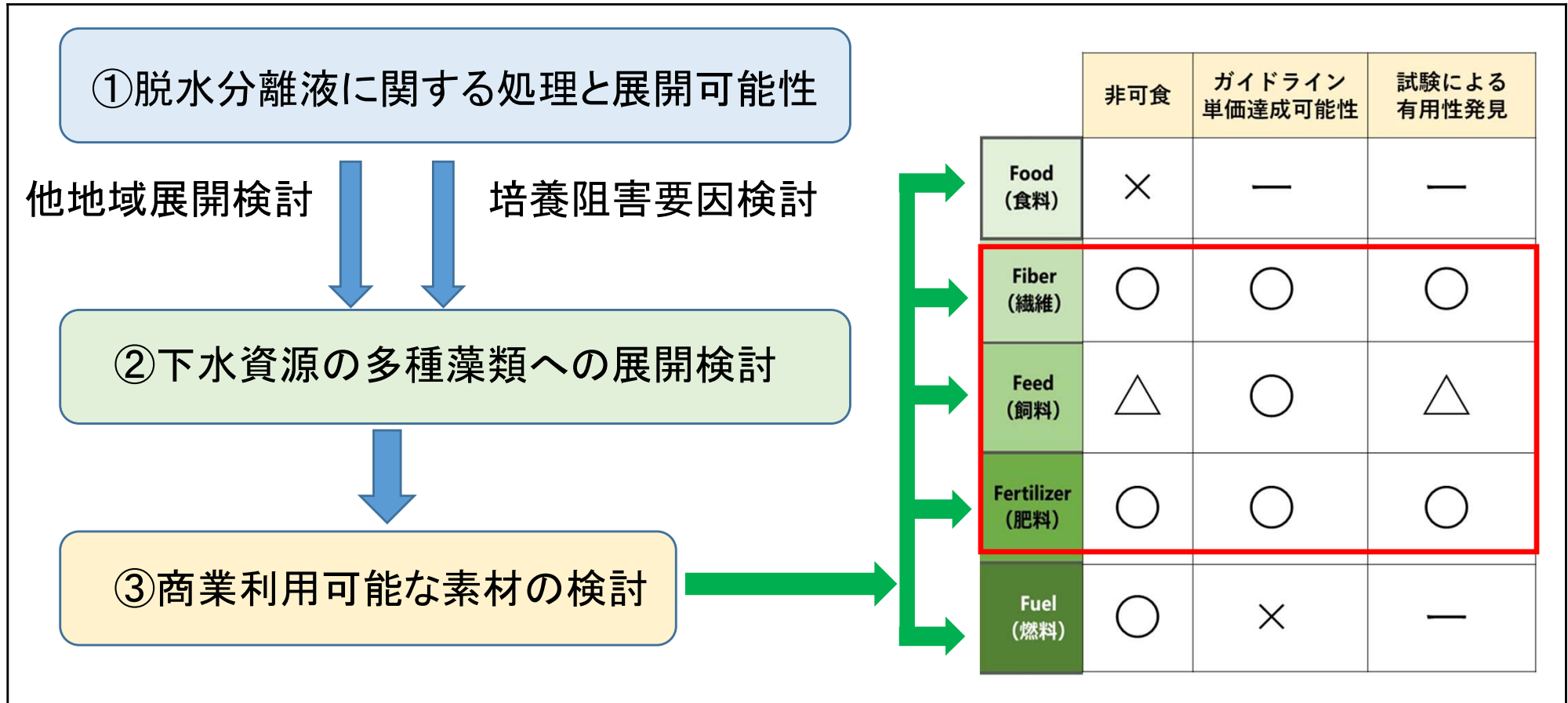
概要

【微細藻類培養技術】

大きく分けて3つのファクターにて行った。

①では脱水分離液による培養阻害要因の検討と、他地域への技術展開を考えて他地域の脱水分離液の利用可能性を検討した。②では①の脱水分離液処理を基準として多種の藻類へ脱水分離液の利用可能性を検証した。最後に③では②にて培養が可能であることが分かった藻類に対して商業利用の検討を行った。

研究戦略として5Fというバイオマス利用の考え方に対して、非可食藻類が利用できるか、ガイドラインの値を達成できるかを計算し、繊維・飼料・肥糧の分野に絞り藻類利用の検討を行った。



2. 自主研究

概要

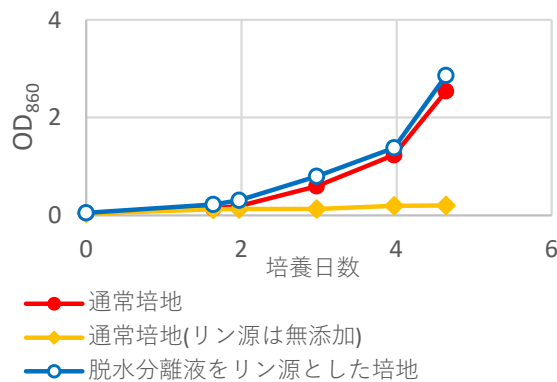
【微細藻類培養技術】①脱水分離液に関する処理と展開可能性

自主研究初年度においては脱水分離液利用の展開普及を検証するために他所の脱水分離液を用いたユーグレナ培養試験を行った。

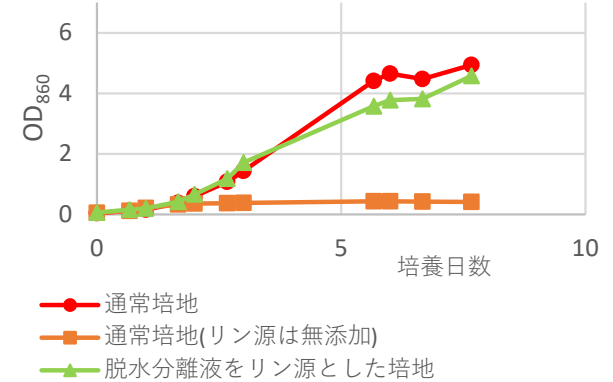
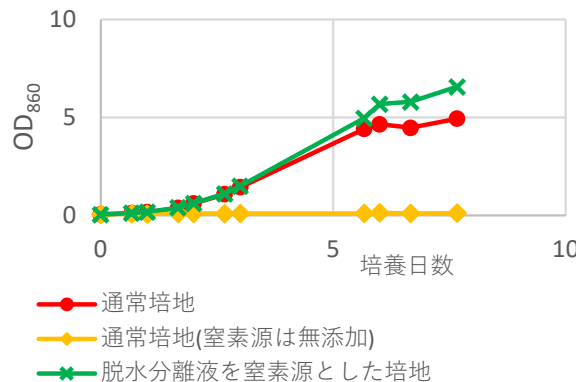
結果として、地域によって含まれる窒素・リンの濃度が大きく違い、横浜市の脱水分離液は窒素が少なくリン源としてのみ使用可能、唐津市の脱水分離液は窒素源・リン源ともに利用可能であった。成分に大きくばらつきはあるが、いずれもユーグレナ培養においては他地域の脱水分離液が利用可能であることから、展開の可能性が大きく上がった。

しかしながら、他種の藻類の培養にて脱水分離液を用いる場合、培養阻害が確認されており藻類の培養普及において障壁となる。そのため、各種藻類の培養に際して、脱水分離液内の藻類生育阻害要因、その無害化、および取り除き方の検証を行った。その結果、pHを4以下の酸性側に下げた状態で通気等の脱気操作を行うことで、脱水分離液による生育阻害を抑制し、培養が可能となることがわかった。

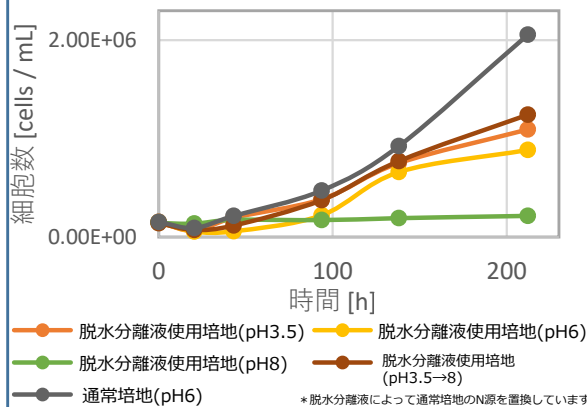
【横浜市脱水分離液を用いた培養】



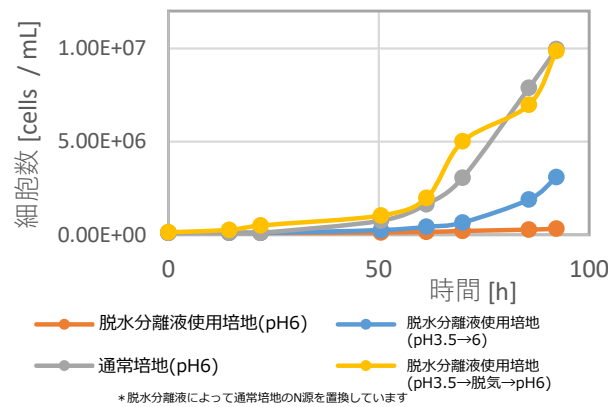
【唐津市脱水分離液を用いた培養】



【脱水分離液のpHと藻類の生育】



【脱水分離液の脱気処理と藻類の生育】



他地域の脱水分離液であっても藻類の栄養素として利用可能。

pHを4以下の酸性側に下げた状態で通気等の脱気操作を行うことで、藻類生育阻害が抑制され培養に使用可能となる。

2. 自主研究

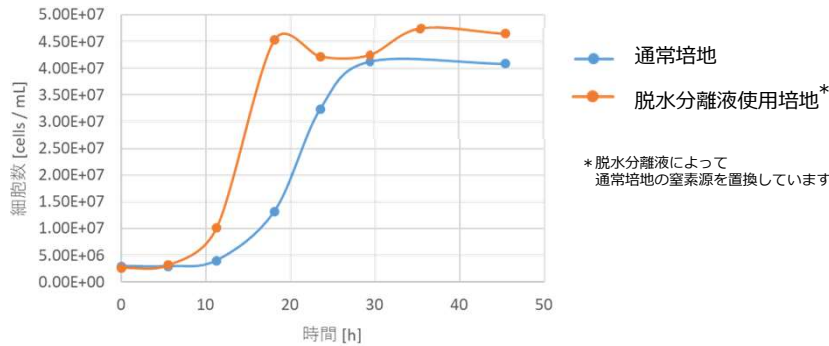
概要

【微細藻類培養技術】②下水資源の多種藻類への展開

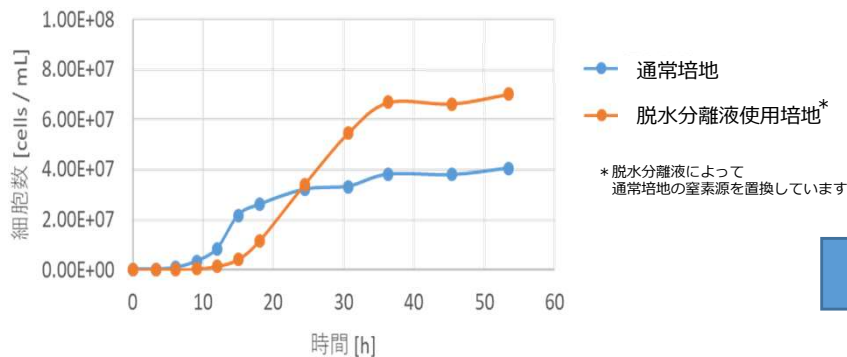
脱水分離液を用いた藻類培養の展開範囲拡大を狙い、ユーグレナ以外の多種藻類や通常とは違う条件での高パラミロン含有ユーグレナの培養において脱水分離液の使用検討を行った。前年までの培養阻害成分除去方法を用いて調整した脱水分離液にて機能性を持つ藻類であるクロレラ、オーランチオキトリウム2種の藻類培養を行った。結果として、どちらの培養においても脱水分離液の利用が可能であった。また、オーランチオキトリウムについては脱水分離液に含まれる微量成分によってか、より優位に脱水分離液が働いた。

高パラミロン含有ユーグレナの培養ではより培地コストの低減を狙い、下水由来資源である脱水分離液、およびMAPの2つを用いて培養を行った。結果として、脱水分離液を用いての培養は通常の培地と遜色ない増殖を示したが、MAPを併用すると増殖が減少する傾向がみられた。これはMAPに含まれるリンの形態が藻類の培養に適した形になっていないことなどが考えられる。

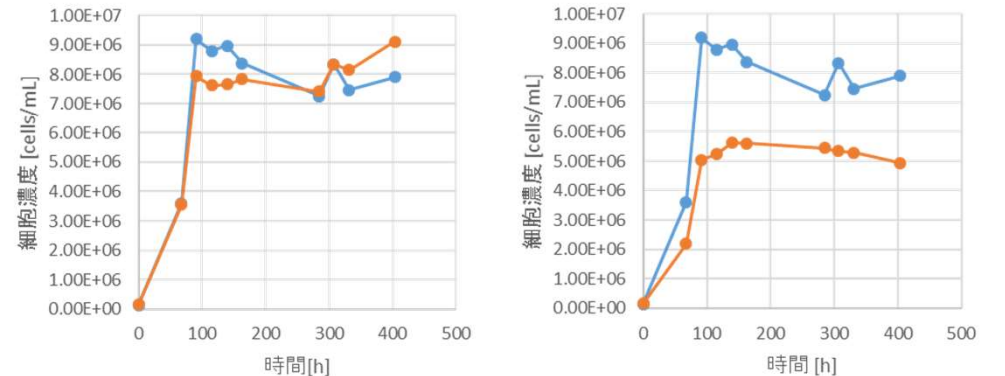
クロレラ



オーランチオキトリウム



高パラミロン含有ユーグレナにおける下水資源の利用



脱水分離液を用いた培養ではどの検討藻類においても通常培地と同等かそれ以上の増殖を示した
MAPをリン成分として用いた場合は、最大細胞濃度が低くなる傾向がみられた。

2. 自主研究

概要

【微細藻類培養技術】③商業利用可能な素材の検討

令和における自主研究期間では、非可食原料藻類の市場における展開の可能性を探ることを目的として、繊維(バイオマスプラスチック)、肥糧、飼料への藻類のポテンシャルを検証した。

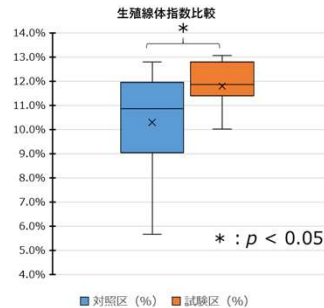
佐賀市下水浄化センターにて供給いただいたメタン発酵後汚泥の脱水分離液を用いて複数の藻類を培養し、実際に複数藻類における繊維(バイオマスプラスチック)、肥糧、飼料の製造を行った。肥料分野においては市場調査の面も鑑みて藻類粉末を用いた培養土を製造、製品化し、試験販売を行った。
また、実際に藻類の施肥効果を検証するため、実験圃場での試験を行った。

飼料効果試験

株式会社WDB環境バイオ研究所にてアコヤガイへのユーグレナ給餌試験を実施



ユーグレナ粉末を餌としたアコヤガイで得られた真珠



実験圃場による肥料の効果試験



ネット通販や佐賀市内の道の駅にて試験販売を実施



下水資源を用いたバイオマスプラスチックの製造試験



2. 自主研究

概要

【汚泥可溶化技術】

平成29～令和3年度は消化ガス発生量についての自主研究を行った。

可溶化の有無による消化ガス発生量比較について、可溶化を行わなかった過去同月より13～15%増加した。

可溶化の有無による消化ガス発生量比較

	実証前				
	H22	H23	H24	H25	H26
汚泥可溶化の有無	無				
消化槽汚泥投入VS量[t/日]	9.88	10.36	10.65	10.59	10.86
消化ガス発生量[Nm ³ /日]	5,219	5,348	5,574	5,985	5,985
消化槽投入VS当たりのガス量 [Nm ³ /t-VS]	528	516	523	565	551
	平均: 537				

	実証		自主研究				
	H27	H28	H29	H30	H31/R1	R2	R3
汚泥可溶化の有無	有						
消化槽汚泥投入VS量[t/日]	10.27	10.77	11.21	10.66	11.23	10.03	10.93
消化ガス発生量[Nm ³ /日]	6,321	6,641	6,728	6,565	6,486	6,364	6,473
消化槽投入VS当たりのガス量 [Nm ³ /t-VS]	615	617	600	616	578	634	592
	平均: 616 (可溶化無し比: 15%増)			平均: 604 (可溶化無し比: 13%増)			

2. 自主研究

概要

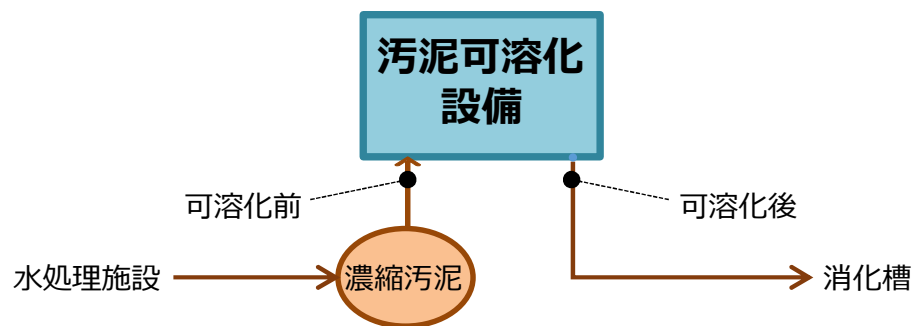
【汚泥可溶化技術】

平成29～令和3年度において、可溶化前後の濃縮汚泥中VS濃度分析により可溶化率(汚泥破碎率)を測定したところ、いずれの年度についても20%を超える結果となった。

可溶化率(汚泥破碎率)の測定結果

年度	日付	VS濃度(mg/L)		可溶化率 (%)
		可溶化前	可溶化後	
H29	3月2日	40,830	32,700	20
	3月8日	45,200	36,100	20
	3月9日	42,500	34,000	20
	平均	42,843	34,267	20
H30	2月6日	47,000	30,000	36
	2月9日	45,000	29,500	34
	2月12日	42,000	27,000	36
	2月14日	45,500	30,500	33
	平均	44,875	29,250	35

年度	日付	VS濃度(mg/L)		可溶化率 (%)
		可溶化前	可溶化後	
H31/R1	1月28日	47,000	38,000	19
	1月30日	48,000	38,000	21
	2月1日	43,000	30,000	30
	2月3日	45,000	31,000	31
	2月5日	48,000	31,000	35
	平均	46,200	33,600	27
R2	11月28日	41,000	32,000	22
	11月30日	42,000	33,000	21
	12月3日	41,000	33,000	20
	平均	41,333	32,667	21
R3	10月12日	54,000	37,000	31
	10月14日	48,000	35,000	27
	10月18日	47,000	33,000	30
	平均	49,667	35,000	30



2. 自主研究

概要

【成果まとめ】

平成29～令和4年度における自主研究の主な成果は以下のとおり。

技術名	評価項目	評価指標	結果(委託研究)	結果(自主研究)
CO ₂ 分離・回収技術			<条件:CO ₂ パーージ流量4.5Nm ³ /h>	<条件:CO ₂ パーージ流量2.4Nm ³ /h>
	CH ₄ の分離効果	製品CH ₄ ガス濃度及び回収率	CH ₄ 濃度91.8%、回収率92.7%	CH ₄ 濃度92.4%、回収率97.3%
	CO ₂ の分離効果	製品CO ₂ ガス濃度及び回収率	CO ₂ 濃度99.5%、回収率76.5%	CO ₂ 濃度98.9%、回収率85.8%
	分離・回収性能の安定性	連続運転時の上記項目	試験期間の安定稼働を確認	試験期間の安定稼働を確認
微細藻類培養技術	脱水分離液の有効性	藻類の生産速度、生産量 T-N、T-Pの削減率 培地コスト削減	生産量:0.542g/L/7日 (タンク型・LED投光器使用) T-N:13.1%程度 T-P:96.9%程度 95%削減	生産量:0.527g/L/7日 (レースウェイ型・自然光にて試験) T-N:11.3%程度 T-P:85.7%程度 (添加脱離液中) 95%削減
	CCU分離・回収CO ₂ の有効性	藻類の生産速度、生産量 CO ₂ の活用効率	市販CO ₂ に対して同等の生産量であることを確認	市販CO ₂ に対して同等の生産量であることを確認
	プロダクトの品質評価	乾燥藻体中の重金属、生菌数	脱水分離液を希釈して用いることで、乾燥微細藻体中の重金属濃度をさらに低減	培養pHのコントロールによってコンタミリスク・生菌数を低減
汚泥可溶化技術	ガス発生量の増収効果	消化ガス増加率	過去5年の平均値と比較して15%増加	過去5年の平均値と比較して13%増加
	汚泥減量効果	可溶化率(汚泥破碎率)	—	いずれの年度においても20%超
設備全体	コスト面での導入容易性	経費回収年	【一括導入シナリオ】微細藻類売却単価と経費回収年の相関式を策定 【CCU部分導入シナリオ】12.6年	培養土の販売など自主研究期間の活動によって、微細藻類売却単価の具体化に資するデータの取得を行った

1. 研究概要
2. 自主研究
- 3. 実証施設の性能比較**
4. ガイドラインについて
5. 普及展開
6. まとめ

3. 実証施設の性能比較

概要

自主研究の結果について、ガイドラインにおける適用条件、評価結果、その他項目に対して大きく相違するものはない。

ガイドライン	今回
<p>【CO₂分離・回収技術】 供給バイオガス量：800 N m³/d CO₂回収量：440 kg/d</p>	<p>(R4年度実績) 供給バイオガス量：790 N m³/d CO₂回収量：551 kg/d (CO₂回収率の向上性の評価期間中の値)</p>
<p>【微細藻類培養技術】 ジャーファーマンター 温度：設定値(29℃)と差異のないこと pH：設定値(pH3.5)と差異のないこと 攪拌翼回転数：設定値(200 rpm)と差異のないこと CO₂通気流量：0.07 L/min スラッジ排出型連続遠心分離機 回転数：設定値(4,300 rpm)と差異のないこと 送液流量：設定値(10 L/min)と差異のないこと スプレードライヤー スラリー送液流量：設定値(12 mL/min)と差異のないこと 入口温度：設定値(160～180℃)と差異のないこと 出口温度：設定値(90℃)と差異のないこと</p>	<p>(R4年度実績) ジャーファーマンター 温度：設定値29.0℃に対し29.2℃ pH：設定値3.50に対し3.43 攪拌翼回転数：設定値200rpmに対し200rpm CO₂通気流量：0.07 L/min スラッジ排出型連続遠心分離機 回転数：設定値4,300rpmに対し4,300rpm 送液流量：設定値10.0 L/minに対し10.0 L/min スプレードライヤー スラリー送液流量：設定値12 mL/minに対し12 mL/min 入口温度：設定値175℃に対し175℃ 出口温度：設定値90℃に対し89℃</p>
<p>【汚泥可溶化技術】 供給汚泥量：4 m³/h</p>	<p>(H30～R3年度実績) 3.8～4.0 m³/h</p>

1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
- 4. ガイドラインについて**
5. 普及展開
6. まとめ

4. ガイドラインについて

概要

自主研究の結果から、設備の稼働状況は安定しているため、ガイドラインで定めた運転条件と性能を満たすことは可能である。

よって、ガイドラインの内容に対する変更点はないものとする。

ガイドライン	追加等内容
	<div data-bbox="1375 842 1682 954" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">変更なし</div>

4. ガイドラインについて(新旧対照表)

概要

自主研究の結果から、設備の稼働状況は安定しているため、ガイドラインで定めた運転条件と性能を満たすことは可能である。

よって、ガイドラインの内容に対する変更点はないものとする。

旧	新	備考
	<div data-bbox="1335 930 1641 1042" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">変更なし</div>	

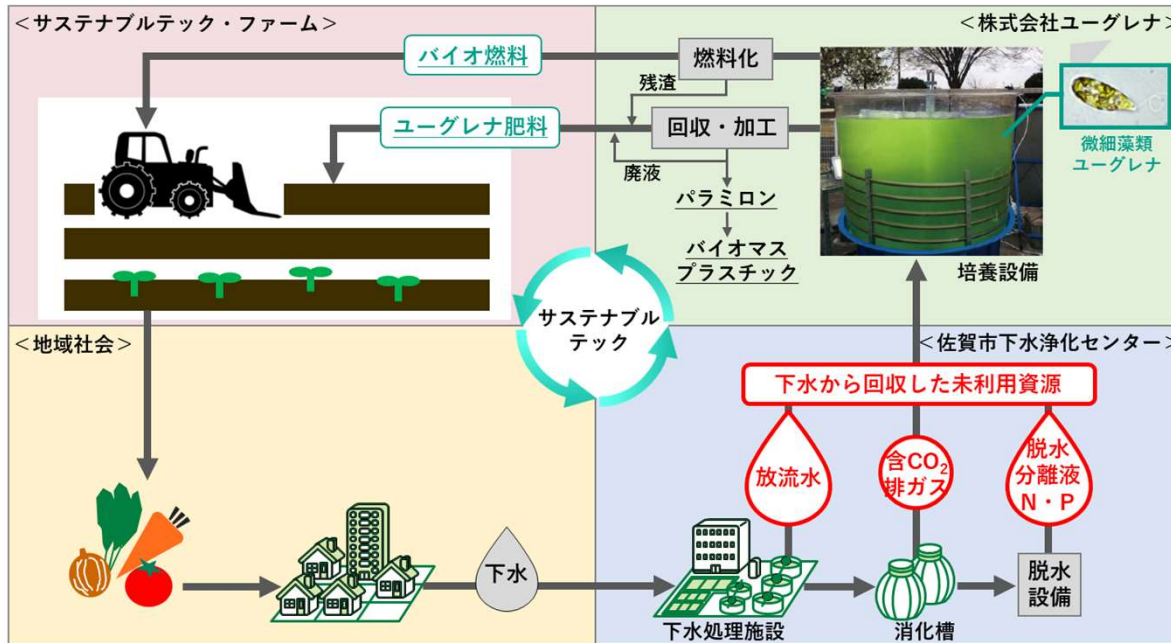
1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
4. ガイドラインについて
- 5. 普及展開**
6. まとめ

5. 普及展開

これまでの施設導入実績はなし。

自主研究期間終了後は、企業各社にてさらなる研究開発や導入テスト向けに活用することを計画している。

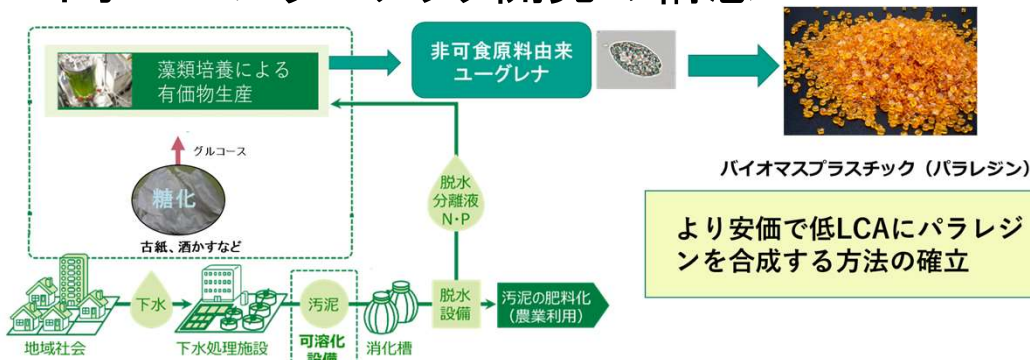
農業資材開発の構想



汚泥可溶化テストプラント



バイオマスプラスチック開発の構想



1. 研究概要
2. 自主研究
3. 実証施設の性能比較
4. ガイドラインについて
5. 普及展開
6. まとめ

6. まとめ

- 平成29年度から令和4年度まで実施した自主研究では、実証設備を運転して稼働状況や性能を確認・評価するとともに、本システムを導入した場合の収益の向上・多様化を目指した技術検討を進めてきた。
- 設備の稼働状況は安定しているため、ガイドラインで定めた運転条件と性能を満たすことは可能であると考えられる。
- また、CO₂の微細藻類培養以外の活用や藻類培養の高付加価値化・低コスト化などについて一定の進展が得られた。
- 令和5年度以降は、B-DASH施設は企業各社にて活用することを計画している。特に微細藻類設備については、佐賀市の協力のもと、株式会社ユーグレナが農業資材分野とバイオマスプラスチック分野に焦点を当てた研究開発の発展を計画している。