

国際科学技術共同研究推進事業  
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「低炭素社会の実現に向けた高度エネルギーシステムに関する研究」

研究課題名「水処理システムと湿式抽出法による藻類の高効率燃料化の融合と実用化」

採択年度：平成27年（2015年）度/研究期間：5年/

相手国名：南アフリカ共和国

令和元（2019）年度実施報告書

国際共同研究期間<sup>\*1</sup>

平成28年3月30日から令和3年3月29日まで

JST側研究期間<sup>\*2</sup>

平成27年6月1日から令和3年3月31日まで（正式契約移行日平成28年4月1日）

\*1 R/Dに基づいた協力期間（JICAナレッジサイト等参照）

\*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた年度末

研究代表者：神田 英輝

名古屋大学・助教

## I. 国際共同研究の内容（公開）

大気中の二酸化炭素の固定方法の切り札としてバイオ燃料が期待されている。また、近い将来の化石資源の枯渇も懸念されており、生活に必要な様々な有機化合物を持続的に生産するにも、石油代替品としての意味合いから植物からの油脂の生産が重要となっている。しかし、例えばトウモロコシの場合には、世界の石油需要を満たすのに必要な面積は、世界の耕作面積の 14.3 倍、ヤトロファで 1.3 倍となり、これらでバイオ燃料の原料にもなる油脂生産を賄うのは極めて困難である。今後世界の人口の増大に伴う食物生産需要の高まりに応じて、さらに消費される水や農地が増えることも考慮すると、高等植物でバイオ燃料を生産するのは現実的ではない。このため、光合成能力に優れた微細藻類からのバイオ燃料生産が期待されている。微細藻類は、他の高等植物に比べ、数十倍から数百倍以上の油脂の生産速度を有する。世界の耕作面積の 1.8~4.2% で微細藻類を培養すれば、世界の石油需要を満たすことができるとの試算もある。

(<http://www.abes.tsukuba.ac.jp/clabes/watanabe-lab/02project/> 数値は筑波大学渡邊信研究室ホームページより) このように、持続可能なバイオエネルギー生産を実現するには、微細藻類からのエネルギー生産が避けられない状況にある。

微細藻類は栄養素が欠乏した状態ではバイオ燃料等の原料となる脂質を体内に作り、かつ、成長段階では窒素やリン等の貴重な栄養源も吸収するので、これら栄養源を含む下水等を処理することに適している。しかし、微細藻類は高含水であり乾燥処理が必要である。この乾燥処理の存在により、微細藻類が光合成によって獲得する総熱量（油脂だけでなく残渣も含む）に対して、2 倍（理想値）~7 倍以上（実測値）のエネルギーが、微細藻類からのバイオ燃料生産において投入される問題がある。この問題は未だ世界的に全く解決されていない。

南アフリカ共和国政府は 2019 年 10 月 18 日、2030 年までのエネルギー政策を定めた電力統合資源計画（IRP）を発表した。2030 年時点での 77,834MW の発電のうち、エネルギー別の電源比率は、石炭 43.0%、再生可能エネルギー 39.6%、天然ガス/ディーゼル 8.1%、揚水 6.4%、原子力 2.4%、その他 0.5%となっている。現在主流の石炭火力発電所は現在建造中のメデュピ、クシレ発電所を最後に打ち切り、再生可能エネルギーへシフトする。しかし再生可能エネルギーの内訳は、水力 5.8%、太陽光 10.5%、風力 22.5%、太陽熱 0.8%となっており、食料生産と競合するバイオマスは含まれていない。このため、ダーバン工科大学では、食料生産と競合しないバイオマスとして、下水処理水を利用して微細藻類を育てる技術の開発を進めていたが、微細藻類から効率的に油脂を抽出可能な技術がないという課題に直面していた。

そこで、本国際共同研究では、微細藻類の高度な育成技術を有している南アフリカ共和国と、乾燥処理が不要な油脂抽出技術を保有している日本が、共同で上記の技術的課題を解決するとともに、抽出後の残渣を有効利用したアフリカに適した緑化支援肥料（アグリマツ）の開発、事業化を成功させるためのビジネスモデルや人材育成手法の構築に対してもサポートを行う。これらの国際共同研究を南アフリカのダーバン工科大学（DUT）、農業研究機構（ARC）、ダーバン（eThekweni）自治政府と協力して推進する。

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2015年度 (10ヶ月)	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度 (12ヶ月)
1. 研究題目1 微細藻類の大量培養手法の構築 研究活動1-1 研究活動1-2 研究活動1-3 研究活動1-4 研究活動1-5 研究活動1-6		フラスコレベル培養 下水由来培養液での培養 集団組成の調査	分離・培養	基本特性の調査 屋外レースウェイ培養		
2. 研究題目2 微細藻類からの油脂抽出メカニズムの解明 研究活動2-1 研究活動2-2 研究活動2-3		抽出特性の解明	抽出残渣の作成		装置作成の支援研究	
研究題目3 藻類残渣の活用方法の検討 研究活動3-1 研究活動3-2 研究活動3-3 研究活動3-4 研究活動3-5 研究活動3-6	藻類残渣の化学分析 関連情報の調査	アグリマットの防蝕防止効果の検討	アグリマット製造装置の作成と現地における検証	試作アグリマットによるフィールドテスト	アグリマットに関するビジネスモデル構築	
研究題目4 実証試験装置の開発および実証試験 研究活動4-1 研究活動4-2 研究活動4-3 研究活動4-4 研究活動4-5 研究活動4-6	藻類の凝集条件の解明と回収装置の設計	回収装置の選定と現地への設置	回収装置を用いた現地試験	油脂抽出装置の設計	油脂抽出装置の作成と現地への輸送	抽出装置を用いた現地試験
研究題目5 事業化・継続的運営に必要な人材の創出のための諸調査と提言 研究活動5-1 研究活動5-2 研究活動5-3 研究活動5-4 研究活動5-5	南アフリカの環境政策に関する実態調査	ハンドブック（Ⅰ）の作成と実地研修	ハンドブック（Ⅱ）の作成とビジネスモデルの設計	ビジネスモデルのreviewと自治政府提案の策定	事業化・継続的運営に必要な人材の創出	

3-5) 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の影響により、研究活動 1-3・4-3・4-6 で実施中のアグリマットの原料となる微細藻類の培養と残渣の製造が中断しており、そのためにフィールドテストに遅れが生じている。

## (2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

南アフリカ共和国ダーバン工科大学が保有する培養池は、培養液が 300ton の規模であり、これに見合う藻類回収装置規模として少なく見積もっても 5ton/h の培養液の回収能力が求められる。これより遅いと回収に時間がかかり、培養時間を制御できなくなるので、微細藻類の含有油脂量を最適できない問題が生じる。当初導入を計画していた磁気凝集方式による藻類回収装置が、この規模では当初の想定を超えて高額になったことから、予算の範囲内で調達可能で、国内の大型培養施設において商業ベースで既に導入実績があり、比較的省エネルギー性に優れる藻類回収装置をインストールした。

液化 DME を用いる藻類抽出装置については、開発体制・予算・スケジュールの側面から、当初計画していた参画企業による開発では無く、名古屋大学が自ら開発・設計して、別企業に作成と現地への設置を発注する調達方式へと変更し、予算・スケジュールを大幅に圧縮した。

産業人材育成に関する研究内容について、2019 年 9～10 月に南アフリカ共和国 DSI (Department of Science and Innovation) から、日本側が望む進め方では協力できないとの意向が示され、南アフリカ共和国側研究者と協議した結果、産業人材育成については、南アフリカ共和国内で微細藻類の回収装置・油脂抽出装置・アグリマットの生産装置を持続的に活用できるようにするための技術訓練に注力して、産業人材育成の内容をより実践的にすることとし、2019 年 10 月末の JCC にて正式な合意に至った。

2020 年から世界的に流行した新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の影響により、同年 3 月から日本から南アフリカ共和国への新規渡航を無期限で中止するとともに、現地に残って研究活動を行っていた日本人メンバーも 3 月に日本へと退避する事態となった。そのうえ、3 月に JICA の現地調整員が、4 月に JICA の南アフリカ共和国事務所のスタッフも所長などの数名を除いて全員が日本へと退避した。

3 月 24 日に南アフリカ共和国大統領がロックダウンの指示を出し、6 月現在も南アフリカ共和国側メンバーの一部が自宅待機状態となっている。南アフリカ共和国では一般家庭における通信インフラが脆弱であり、一部のメンバーはテレワークできないことから、感染リスクを承知の上で大学にて職務を続けているような状態である。

南アフリカ共和国では 6 月 23 日時点で感染者は 10 万人を超えており、感染者が 2 週間で倍増するペースで増加している。これに加えて貧困層の正確な感染状況は不明な点が多い。また、感染が急拡大しているにも拘わらず、逆に 6 月 1 日からは経済的な理由でロックダウンが緩和され続けており、当面の封じ込めは期待できない状況である。

また、微細藻類の培養や油脂の抽出を実施している Kingsburgh 下水処理場にはコロナウイルスに汚染された糞尿が下水とともに流入している可能性があり、下水処理水で培養した微細藻類も汚染される危険性がある。現在 DUT は防護服を着用して Kingsburgh 下水処理場に立ち入りしている状況であり、南アフリカ共和国への出入国が解禁された後も、研究活動を再開できるかは不透明である。このため、微細藻類の培養、微細藻類油脂抽出装置で残渣を製造する作業、南アフリカ共和国側への技術トレーニングが中断している。

プロジェクトを完遂するためには、プロジェクト期間の延長、その間の研究スタッフの雇用維持、それらのための予算処置を、日本側・南アフリカ共和国側の政府双方に期待する。

## 2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト（公開）

### (1) プロジェクト全体

#### ・成果目標の達成状況とインパクト等

南アフリカ共和国 Kingsburgh 水処理場において、下水処理水を用いたイカダモやクロレラなど緑藻を中心に屋外培養を行い、培養液 300ton の培養能力で安定的な培養を達成した。

微細藻類回収装置と微細藻類油脂抽出装置が、南アフリカ共和国 Kingsburgh 水処理場にて運転を開始した。その結果、微細藻類をバガスと混合して抽出槽に充填することによって、油脂を液化 DME から抽出する事に成功した。また、温水で液化 DME を蒸発させた後に、冷却水で凝縮させて溶媒として再利用することに成功した。この抽出技術の成功により、抽出工程での CO<sub>2</sub> 排出量が微細藻類による CO<sub>2</sub> 吸収量を下回る見通しを得た。

微細藻類から油脂を抽出した残渣を草木質バイオマスと混合し高圧プレスすることで作成する板状肥料アグリマットについては、既存の水蒸気共存下で高圧プレスする「高温高圧圧縮成形加工」に比べ、安く簡単にアグリマットを製造できる 2 つの手法を開発した。アグリマットに混合する草木質バイオマスとして様々な材料を試した結果、南アフリカ共和国のダーバンにて未利用で大量に存在するバガスを選定した。またバインダーとして現地でも安価に入手できる MgO 粉末（所謂にがり）、藻類残渣の組み合わせが最も効率よく、環境フレンドリーな材料であることが分かった。南アフリカ共和国 ARC に様々な材料に対応したアグリマット作成装置を設置し、今後の現地での更なる研究・量産が期待できるようになった。

また、本プロジェクトにおけるビジネスモデル構築に当たり、南アフリカ共和国のバイオ燃料生産と市場に関する現状分析を行うことで、本プロジェクトにおける藻類バイオ燃料生産と普及におけるベネフィットとリスクを明らかにした。

#### ・プロジェクト全体のねらい（これまでの技術と異なる点について）

これまで微細藻類からのバイオ燃料生産では、①屋外での大量培養技術における大量の窒素肥料の消費、②多量の二酸化炭素排出を伴う乾燥が必要なバイオ燃料転換手法、が大きな問題となっていたものの、これらを克服できずにいた。とりわけ②の乾燥が必要なバイオ燃料転換手法の問題は大きく、例えば微細藻類が光合成によって獲得する総熱量（残渣部分も含む）に比べて、7 倍以上のエネルギーが微細藻類の乾燥において投入される問題がある。しかしこの問題は未だ世界的に全く解決されていない。本プロジェクトでは、①の問題を南アフリカ共和国ダーバン工科大学が中心となって下水二次処理水を培養液として活用することで解決し、②の問題を日本の名古屋大学が中心となって液化 DME を溶媒とする油脂抽出技術を活用することで解決する。

また、微細藻類が獲得した総熱量に占める残渣の割合が多く、培養の過程で微細藻類が吸収した窒素を有効活用するために、残渣は現地のバガスなどの植物と混合して、高温水蒸気とともにプレスして板状にすることで、南アフリカ共和国の降雨でも流出しない板状の肥料へと加工して農作試験を行う。

#### ・地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性（これまでと異なる点について）

て)

高等植物を用いると世界の耕作面積を大幅に上回る土地面積が必要となり、現実的な解決策にはなり得ない。従って世界の耕作面積程度の現実的な面積で油脂を生産するには、微細藻類を用いなければならない。しかし、微細藻類の乾燥や、微細藻類への窒素肥料の添加によって、微細藻類が光合成で獲得した油脂の熱量を遙かに上回るエネルギーが投入される。このエネルギー消費の際に二酸化炭素が排出される。最大の問題は微細藻類の乾燥工程であるが、世界的には試験管レベルの基礎実験ですら、乾燥を施さずに油脂を抽出したうえで、少ない二酸化炭素排出量で済む手法で油脂抽出できる手法は、代表者の JST さきがけ研究の成果以外には殆ど例が無い。

乾燥工程の問題の本質は、微細藻類からの油脂抽出において用いる溶媒が、水と混合しなかったり、水と混合しても水と沸点が近かったり、水との共沸点があるなどの理由で、分離が蒸留工程になる点である。乾燥や水と溶媒との分離において他の燃料を消費することによって二酸化炭素が排出される。本プロジェクトでは、代表者がこれまで JST さきがけ研究で試験管レベルの基礎実験において世界で初めて編み出した、水と混合し低沸点な有機溶媒であるジメチルエーテル (DME) を用いた抽出手法を活用する。世界最大級の液化 DME 抽出装置を開発するとともに、二酸化炭素を排出しない太陽熱温水を模擬した 60~70°C の温水で DME を蒸発させることで、二酸化炭素排出量が油脂の保有熱量を下回るような新たな抽出手法の妥当性を実証することが、本プロジェクトの最も重要かつ科学技術・学術上の独創的・新規な点である。

また、微細藻類は窒素の含有量が 5~10%程度と高等植物より数十~百倍も高く、そのためにアンモニア合成を起点とする窒素肥料の消費とその合成における二酸化炭素排出も問題となる。この問題の解決のためには、南アフリカ共和国の下水二次処理水を活用した微細藻類の屋外大量培養により、培養液に投入する窒素肥料の消費量の著しい低減を目指す。

- ・研究運営体制、日本人人材の育成(若手、グローバル化対応)、人的支援の構築(留学生、研修、若手の育成)等

2019 年度は、藻類回収装置と藻類油脂抽出装置の設置・現地での運転指導に関連して、名古屋大学大学院工学研究科の教員、研究者、大学院生、装置を作成した企業の技術者が 2019 年 4 月、5 月、6 月、8 月、9 月、10 月、11 月、12 月、2020 年 2 月に渡航した。これらの合計は延べ大凡 400 人日である。これにより若手研究者と大学院生の大型装置の運転スキルと、通常の英会話とは異なる技術英語のコミュニケーション能力が著しく向上し、最終的にはダーバン工科大学の若手研究者・大学院生と技術内容についてのコミュニケーションに支障がないレベルに到達できた。また日本側の技術指導の結果、ダーバン工科大学の大凡 12 名の若手研究者・大学院生が運転技能を習得し、その内 3 名の若手研究者は、平常運転時には日本側からの指導がなくても問題無いレベルに到達できた。

また、2019 年 10 月には、南アフリカ共和国チームの主要メンバー 5 名が来日して、岐阜県と沖縄県の微細藻類製造企業 (マイクロアルジェ社) の微細藻類培養工場と本社を見学し、食品事業として日本で成立した事例や事業規模について情報収集を行った。2020 年 2 月には南アフリカ共和国農業研究機構から若手研究者が約 2 週間、東京農工大学において、アグリマット製造装置の運転技能に関する訓練を受けている。

## (2) 研究題目 1 : 「微細藻類の大量培養手法の構築」

研究グループ A (リーダー: 南アフリカ共和国ダーバン工科大学 Faizal Bux)

① 研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

昨年度、現地の下水二次処理水を用いた微細藻類の 300ton 培養池での大規模培養に成功してきた。これにより環境大気中の二酸化炭素を緩和し、下水処理水からアンモニアイオン、硝酸塩、リン酸塩などの栄養素を吸収して微細藻類を培養できる目処が立った（図 1）。

今年度は、昨年に引き続き、南アフリカ共和国ダーバン工科大学が、eThekweni 自治政府が管理する下水処理場の敷地内に培養液が 300ton のレースウェイポンドを設置し、塩素で下水処理水を滅菌処理した「後塩素処理水（PCW）」を用いて土着藻類（クロレラやイカダモ）の培養のスケールアップに成功した。

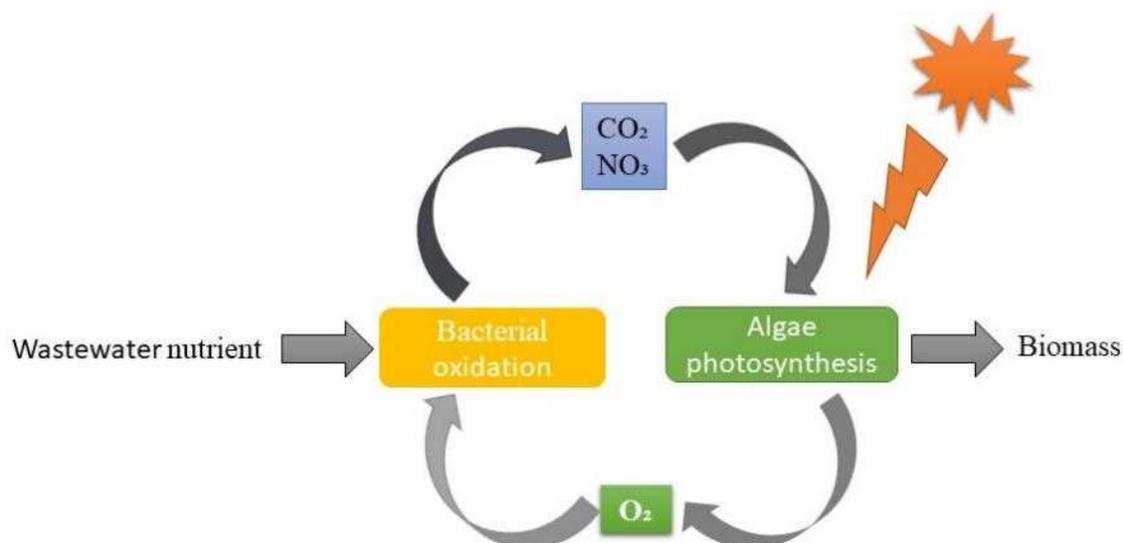


Fig. 1. 下水処理水中での微細藻類の栽培とバイオマス生産

② 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

研究題目 1 については、南アフリカ共和国側が元々保有する技術を活用するものであり、本項目は該当しないが、これらの結果の分析には、日本から南アフリカ共和国ダーバン工科大学に供与された、微細藻類回収装置（最大回収能力 7ton/h）、クロロフィル量測定装置、卓上 Soxhlet 抽出器、分光光度計、マイクロ波細胞破壊装置が利用されている。これらによって、微細藻類の増殖速度や油脂含有量を定量可能になった。

③ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

今後周辺のアフリカ諸国へと本技術を展開するにあたって、様々な下水由来の感染症（赤痢菌など）に対応するため、新たに下水処理水を塩素処理した「後塩素処理水」を用いて、300ton レースウェイ培養池を用いた微細藻類の培養実験を行った。これにより、周辺のアフリカ諸国への今後の展開や、現在は衛生面から活用できないカロテノイドなどの副産物を利用へと一歩前進できる。

また、下水に含まれる COVID-19 ウイルスも塩素処理で不活性化できると思われ、将来的に重要な研究成果となる可能性もある。

④ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

微細藻類の培養に不可欠である窒素肥料の投入量を大幅に削減することで、窒素肥料の源である

アンモニア合成におけるエネルギー消費とそれに伴う二酸化炭素排出量の削減を狙う。

⑤ 研究題目 1 の研究実施方法 (参考)

緑藻の微細藻類イカダモやクロレラを、南アフリカ共和国のダーバンの南にある Kingsburgh 下水処理場に設置した成熟池から単離した。ストリークプレート法を用いた継代培養により微細藻類のスクリーニングを実施した。種培養は、微細藻類を 100 mL フラスコの標準 BG11 培地から、20 L までスケールアップすることで行われた。この間の培養は室温 (22±2°C) で、16 : 8 時間の明期 : 120  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の明度での暗期のサイクルで維持した。

300 000 L (300ton) 培養液のレースウェイポンドでの栽培のためには、総微細藻類量の 10%に近い細胞量を準備することが不可欠であり、これは培養の際に混入する別の微生物を排除するため、これら微生物に対して増殖過程で一定の優位を保つために必要である。いわゆる「種培養」は、Kingsburgh 下水処理場に併設された 3000 L の円形の小型池でイカダモやクロレラを栽培することにより開発され、これにより屋外での純化とスケールアップが可能になった。

培養条件は、水温 20~25°C、自然光条件 (200~1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) で、110 L  $\text{min}^{-1}$  の流速の水中ポンプによって混合と曝気を行った。この培養には 3000L の池を合計 7 つ用いて実施された。実験室から大規模な微細藻類の培養への過程を図 2、3、4、および 5 に示す。微細藻類の培養は、まず標準的な成長培地で屋外条件に順応させた後に、次に下水処理水中で増殖させることで行われた。

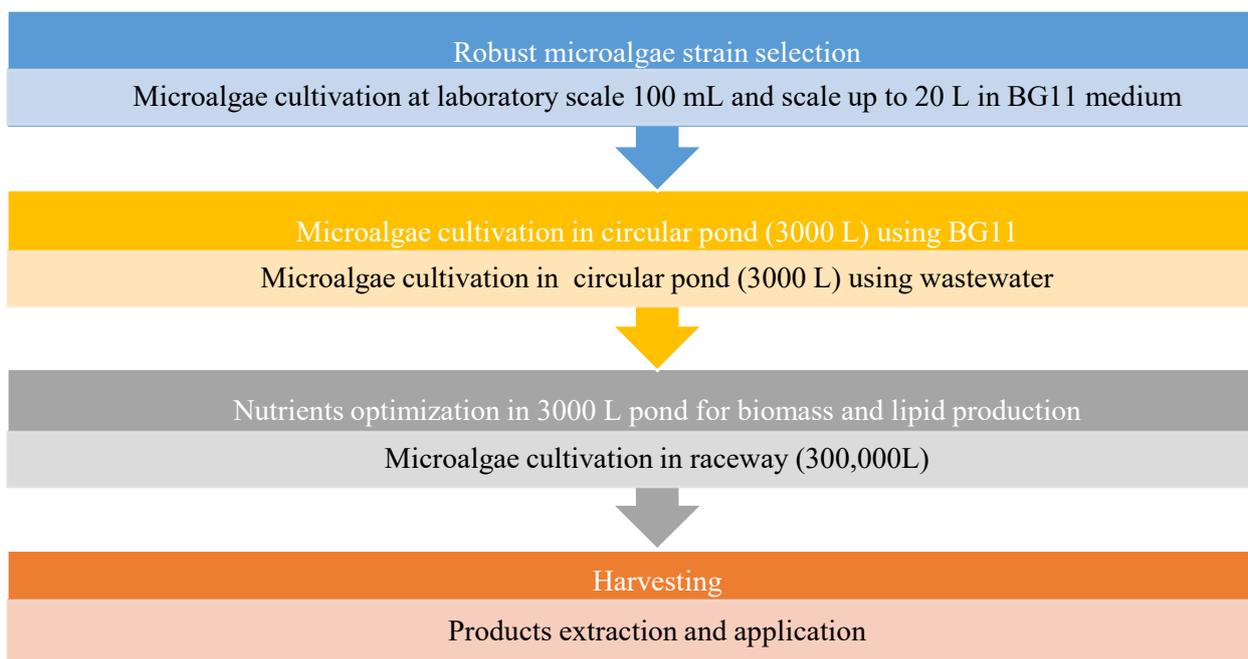


Fig. 2 キングスバークで行われた培養の流れ



Fig. 3 3000L池における種栽培の様子

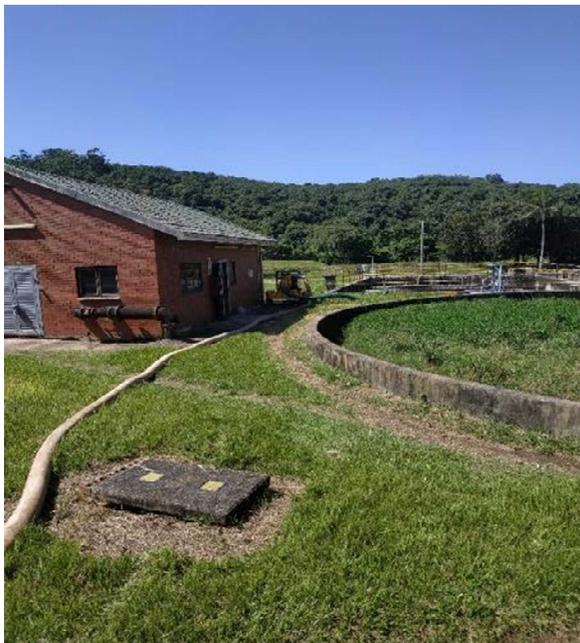


Fig. 4 微細藻類の培養のために後塩素処理された下水処理水



Fig.5 レースウェイ池（300,000L）での微細藻類の培養の様子

3000L 培養池で培養された微細藻類は、後塩素処理水（PCW）を使用する 300ton レースウェイ培養池に移された。微細藻類と脂質の収量を改善するために、昨年までの研究成果を元に  $\text{NaNO}_3$  を  $250\text{mg/L}$  をレースウェイの培養液に追加して窒素含有量を調整した。元の PCW、PCW に  $\text{NaNO}_3$  を添加した培養液、人工培養液である改良 BG11 の結果を比較した。

微細藻類個体群動態、光合成性能、気象条件、温度、光強度などの生物学的および非生物的要因の双方を計測した。培養液から微細藻類を遠心分離機（BDN034、巴工業社）で採取し、ペースト状の濃厚な藻類の泥漿を得た。水分は 91%程度であり、生化学分析のために乾燥させた後に粉碎した。

レースウェイ外とレースウェイ内の光強度の変化と気象条件は表 1 のとおりであり、周囲からのコンタミネーションによる汚染を防ぐためにカバーとして使用されたポリカーボネートシートによって、レースウェイ軌道内の光の強度は常に外部よりも弱く外気温度も低い。

続いて表 2 に、培養液ならびに微細藻類の物理化学特性を示す。弱アルカリの  $\text{HCO}_3^{-1}$  が微細藻類を炭素源として利用する  $\text{CO}_2$  に由来して形成され、培養中は pH が上昇した。光合成中に微細藻類は  $\text{O}_2$  を培地に放出し、溶解  $\text{O}_2(\text{DO})$  レベルを過飽和のレベルまで増加させたことが分かる。

Table 1 キングスバークにおける培養時の気象条件

Day	Light intensity outside raceway ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Light Intensity inside raceway ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Weather
0	1231.3	652.3	Sunny
2	1092.2	523.5	Sunny
4	1032.2	493.2	Sunny
14	745.6	398.2	Partly Cloudy
16	990.1	422.1	Sunny
18	294.5	194.3	Partly Cloudy
21	1026.1	480.0	Sunny
23	603.3	485.2	Sunny
25	778.9	697.0	Sunny
28	944.1	742.6	Sunny
30	1148.1	827.1	Sunny
32	945.2	753.5	Sunny

Table 2 キングスバークにおける培養液の物理化学的条件

Day	培養液温度 Culture temp (°C)			培養液深さ Culture depth (cm)			pH (-)			溶存酸素 DO (mg/L)			電気伝導率 Cond ( $\mu\text{S/cm}$ )		
	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11
0	20.5	16.2	19.1	23.5	28.7	29.3	7.7	7.4	7.4	8.8	8.10	8.8	1,187	1,232	3,006
2	20.6	17.4	17.5	25.8	28.7	27.7	10.9	8.8	8.9	12.1	9.80	14.2	3,225	1,222	3,368
4	21.1	16.5	17.2	26.3	28.0	28.0	10.3	8.6	8.8	11.1	12.70	13.8	2,967	1,272	3,422
14	20.7	18.2	18.5	24.9	27.0	24.0	9.9	8.9	9.8	11.5	12.10	11.7	2,895	1,285	3,553
16	20.8	16.3	16.9	23.0	27.5	25.3	10.3	8.9	9.8	14.0	12.50	13.7	2,971	1,302	3,549
18	21.3	17.8	18.0	22.4	25.0	25.5	10.3	8.8	9.2	12.1	11.90	11.8	2,988	1,318	3,628
21	20.2	16.8	17.0	22.9	26.3	25.3	10.4	8.9	9.4	14.3	13.10	13.4	2,983	1,314	3,554
23	20.6	16.0	16.9	22.1	25.8	25.0	10.5	8.9	9.5	14.4	13.20	13.6	2,403	1,325	3,645
25	20.5	15.3	15.9	21.8	25.3	24.3	9.6	8.6	8.9	11.6	13.40	15.1	3,015	1,376	3,802
28	19.3	13.6	14.1	20.5	23.0	23.0	9.5	9.4	9.4	11.9	17.50	18.7	3,038	1,409	3,973
30	22.0	17.6	18.1	19.5	22.8	22.7	9.7	9.0	9.5	9.7	12.40	16.1	3,578	1,432	4,042
32	20.8	17.8	17.2	18.0	22.5	22.2	9.8	9.0	9.2	9.8	12.50	16.3	3,682	1,423	4,091

RW : PCW で培養、P1 : NaNO<sub>3</sub> 添加後の PCW、BG11 : 人工培養液

表 3 に、様々な培養液における微細藻類の生長特性を示す。光学濃度(OD)は、クロロフィル a の吸収波長における吸光度を対数で表示したもので、微細藻類の培養液中の密度に対応する数値である。例えば、透過率 100%で OD は 0、透過率 1%で OD は 2、透過率 0.01%で OD は 4 となる。それぞれの培養液で OD は増加傾向であり、これは微細藻類の乾燥重量 DCW の増大傾向を支持するものである。また、微細藻類が受けたストレスを、パルス振幅変調クロロフィル蛍光測定 (PAM) で把握した。すべての培養液において Fv/Fm が 0.5 を超えており、これは塩素処理によって微細藻類が過度のストレスを受けていないことを意味する。

Table 3 後塩素処理水 (PCW)、栄養添加後の処理水、人工培地での微細藻類の成長特性

Days	光学濃度 OD@ 680 nm			Fv/Fm 比 (PAM 法)			微細藻類の乾燥重量 DCW (g/L)		
	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11
0	0.39	0.98	0.96	0.63	0.68	0.68	0.43	0.42	0.51
2	0.40	1.13	1.16	0.50	0.67	0.69	0.48	0.45	0.60
4	0.41	1.35	1.56	0.51	0.68	0.51	0.68	0.86	0.82
14	0.65	3.17	3.02	0.64	0.68	0.69	0.29	0.98	0.58
16	0.78	2.48	2.16	0.65	0.70	0.67	0.52	0.74	0.85
18	1.24	1.92	1.92	0.64	0.69	0.68	0.64	0.57	0.85
21	1.60	1.98	0.30	0.68	0.67	0.68	0.70	0.89	0.80
23	1.15	1.95	1.79	0.57	0.67	0.69	0.75	0.90	1.05
25	1.43	3.05	3.24	0.54	0.66	0.69	0.77	0.78	0.94
28	1.26	3.40	3.20	0.51	0.67	0.68	0.64	0.88	1.03
30	1.11	2.84	2.53	0.55	0.66	0.68	0.73	1.07	1.46
32	1.06	4.15	2.53	0.57	0.66	0.68	0.64	1.07	1.46

OP: Optical density, PAM: Pulse amplitude module

RW : PCW で培養、P1 : NaNO<sub>3</sub> 添加後の PCW、BG11 : 人工培養液

表 4 に微細藻類の培養液中の濃度推移を示す。元の PCW では微細藻類は十分に増殖せず、PCW に NaNO<sub>3</sub> を添加すると濃度が非常に増大した (表 4 の背景が灰色の箇所)。特にクロレラでは元々培養に最適化されている人工培養液を大幅に上回っており、本手法の優位性が改めて示された。

Table 4. 培養液中の微細藻類の濃度推移

Day	クロレラ <i>Chlorella</i> sp. (cell/ml)(×10 <sup>6</sup> )			イカダモ <i>Scenedesmus obliquus</i> (cell/ml)(×10 <sup>6</sup> )			<i>Scenedesmus dimorphus</i> (cell/ml)(×10 <sup>6</sup> )			<i>Keratococcus</i> sp. (cell/ml)(×10 <sup>6</sup> )			ラン藻 <i>Cyanobacteria</i> (cell/ml)(×10 <sup>6</sup> )		
	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11	RW	P1	BG11
0	9.67	9.80	1.58	1.11	3.25	6.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.15	0.07
2	6.78	10.3	2.24	0.62	4.32	7.74	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.13	0.11
4	3.31	12.3	1.13	0.81	2.70	6.68	0.11	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.10	0.06	0.03
14	1.93	17.8	0.61	2.61	6.30	9.16	0.00	0.03	0.00	0.09	0.00	0.00	0.22	0.11	0.06
16	2.48	20.3	1.58	2.68	9.65	11.8	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.21	0.65	0.13
18	5.06	21.5	2.25	5.23	10.6	12.7	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.27	0.71	0.25
21	6.00	11.8	1.95	6.13	11.6	8.70	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.20	0.29	0.14
23	2.98	19.2	3.01	6.39	12.0	14.0	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.18	0.30	0.07
25	4.23	18.2	6.33	4.48	17.4	19.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.15	0.15
28	4.11	23.0	5.88	2.35	21.0	22.4	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.23	0.28	0.23
30	4.45	24.7	6.90	2.65	23.5	23.2	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.13	0.28	0.15
32	4.83	26.3	8.58	1.89	24.8	24.7	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.11	0.33	0.25

RW : PCW で培養、P1 : NaNO<sub>3</sub> 添加後の PCW、BG11 : 人工培養液

培養された微細藻類は遠心分離で回収され、クロロホルム-メタノール混合液による抽出法で油脂含有量を把握した。脂質の含有量は、PCW での培養は 20.4%、PCW に  $\text{NaNO}_3$  を添加した培養液は 22.1%、人工培養液は 20.2%であり、後塩素処理を導入した場合でも、昨年度までの結果と同様に  $\text{NaNO}_3$  の添加により微細藻類の濃度・油脂含有量ともに培養を最大化できた。ただし、昨年度までの結果では、後塩素処理を施していない場合には、油脂含有量が 29.6%であり、後塩素処理は微細藻類の油脂含有量を低減することが分かる。

(3) 研究題目 2：「微細藻類からの油脂抽出メカニズムの解明」

研究グループ C（リーダー：名古屋大学 神田英輝）

研究題目 4：「実証試験装置の開発および実証試験」

研究グループ E（リーダー：名古屋大学 神田英輝）

南アフリカ共和国に微細藻類回収装置と微細藻類油脂抽出装置がインストールされた後、研究題目 2（抽出実験）・4（大型装置開発）は、「大型装置を用いた抽出実験」に移行したことから、本報告書では一体として報告する。

① 研究題目 2・4 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

微細藻類回収装置を 2019 年 5 月に、微細藻類油脂抽出装置を 2019 年 6 月に現地にインストールして運転を開始した。微細藻類の回収では遠心分離方式でも、最適条件において投入エネルギーを油脂の保有熱量の範囲内におさえられることが判明した。油脂抽出においてはバガスと微細藻類を適切な割合で混合することによって、世界最大規模の抽出装置で高含水の微細藻類を乾燥させることなく油脂を抽出することに「世界で初めて」成功するとともに、抽出工程での二酸化炭素排出量を油脂が固定した二酸化炭素の範囲内に収めることにも成功した。

② 研究題目 2・4 のカウンターパートへの技術移転の状況

日本から若手研究者・大学院生・装置製作企業の若手技術者を中心に延べ 300 人日を南アフリカ共和国に派遣し、装置の運転を通じた南アフリカ共和国側への技能訓練を行った。回収装置については 2019 年 5 月に技能訓練が終了した。油脂抽出装置については 2019 年 6 月、8 月、9 月に現地で実施し、12 名の南アフリカ共和国の若手研究者・大学院生が運転技能を習得した。そのうちの 3 名が指導的な役割を担うことで、彼らを中心に南アフリカ共和国側でもある程度装置を運転できるが、まだ操作ミスやミスをした状態からの回復作業については日本側研究者



図 2-1 現地での技能訓練の様子（左）微細藻類回収装置、（右）微細藻類油脂抽出装置

のサポートが必要なレベルに留まっている。このため、最終年度も日本側研究者が南アフリカ共

和国側に技能訓練を実施する計画である。

③ 研究題目 2・4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

DME が溶存した水は無毒だと知られているが、過去の文献を調査したところ、明確なエビデンスが示された論文が無かったので、微生物を用いた毒性試験により明確なエビデンスを得た。

抽出された油脂は最終的にメチルエステル化されるが、既存の NaOH を触媒とする手法では副生物の石鹼が廃水に混入したり廃水がアルカリになる問題が知られている。このため、焼石膏を固体触媒として用いた超臨界メタノールによる反応手法を検討して、従来の無触媒の超臨界メタノールよりも 100℃ほど低い反応温度でメチルエステル化が進むことを見いだした。

珪藻と円石藻についても試験管レベルの実験を実施し、液化 DME による油脂抽出に成功した。これにより周辺諸国への展開の際、微細藻類の種類の違いは問題にならないと確認できた。

④ 研究題目 2・4 の研究のねらい（参考）

世界で最大規模の微細藻類油脂抽出装置を中心に、現地試験において、液化 DME によって微細藻類を乾燥させることなく油脂を抽出できることを立証するとともに、二酸化炭素の排出を伴うエネルギー消費量を明らかにする。微細藻類回収装置についても消費エネルギーを把握する。

⑤ 研究題目 2・4 の研究実施方法（参考）

**微細藻類の回収**

DUT が保有する 300ton レースウェイ培養池からの微細藻類の回収について成果を示す。まず、国内企業の導入実績がある遠心分離装置（図 2-2、BDN034 巴工業）を 2019 年 5 月に現地に



図 2-2 微細藻類回収装置の外観

インストールし、1500G～2100G、処理速度 3～7ton/h で微細藻類を回収した。この際の消費動

力を計測したところ、培養液 1ton あたりで 0.561~0.903kWh/ton となった。ここで Kingsburgh 水処理場で培養された微細藻類の濃度は、日によって変動があるものの 1000~1600ppm の範囲内、油脂の含有量も 18~30%の範囲内である。つまり、油脂は培養液 1ton あたりで 0.18~0.48kg/ton である。また、微細藻類の回収率は最大 70%程度であった。含水率は 86~91%程度であり、処理速度よりも遠心力の強さによる影響を強く受けた。これを元に消費動力を油脂重量基準に変換すると 1.67~7.17kWh (=6.01~25.8MJ) /kg となる。ここで受電端効率を日本と同等の 37%と仮定すると、一次エネルギー換算で 16.2~69.8MJ/kg となる。

現地で培養した油脂から液化 DME で抽出した油脂の高位発熱量を計測したところ 30.18MJ/kg であった。この高位発熱量を遠心分離装置の一次換算の消費エネルギーと比較すると、遠心分離装置の運転条件の調整が大切なことが分かる。つまり、**培養条件と回収条件の双方が最適な条件で遠心分離によって油脂の保有熱量の 47%が失われ、最適化されない場合には油脂の保有熱量を超えるエネルギーが消費されることになる。**ここで、遠心分離による回収では消費エネルギーは処理する培養液の濃度にさほど依存せず、処理する量のみ依存することが知られている。仮に 10 倍 (=1.0~1.6%) に濃縮することができれば消費エネルギーは 1/10 となる。つまり**磁気凝集分離ではなく遠心分離による回収でも、凝集剤で培養液を濃縮すれば十分に消費エネルギーを低減できる可能性がある。**

### 微細藻類からの油脂抽出

2019 年 6 月に微細藻類油脂抽出装置を設置した (図 2-3)。同装置は、抽出槽がカラム流通式の液化 DME 抽出装置としては世界最大である。また、過年度の試験管レベルの装置 (抽出カラム中の充填容積 5mL) と比較すると、6000 倍のスケールアップである。一般的に、装置のスケール

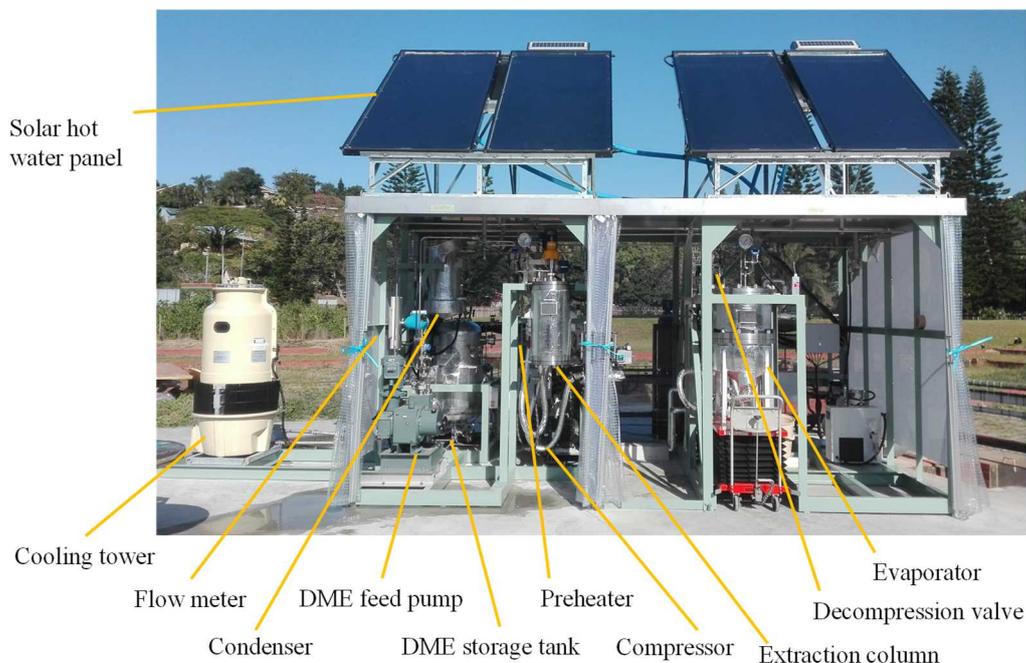


図 2-3 液化 DME を用いる微細藻類油脂抽出装置の外観

アップ開発は容量比で 100 倍程度とされているので、それを越えた挑戦的な取り組みである。

同装置の構成を図 2-4 に示す。DME 貯槽から送液ポンプで送り出された液化 DME は、抽出カラムに充填された微細藻類から水と油脂を抽出する。液化 DME は太陽熱温水で加熱されて蒸発し、蒸発で生じた DME 蒸気は冷水で凝縮されて、再び DME 貯槽へと戻って再利用される。DME 蒸気が通過する箇所には、圧縮機（減圧機）を設置しており、運転終了時に稼働させることで抽出カラムや蒸発器に残留する DME 蒸気を吸引して、圧縮した後に DME 貯槽へと押し込む役割を担う。

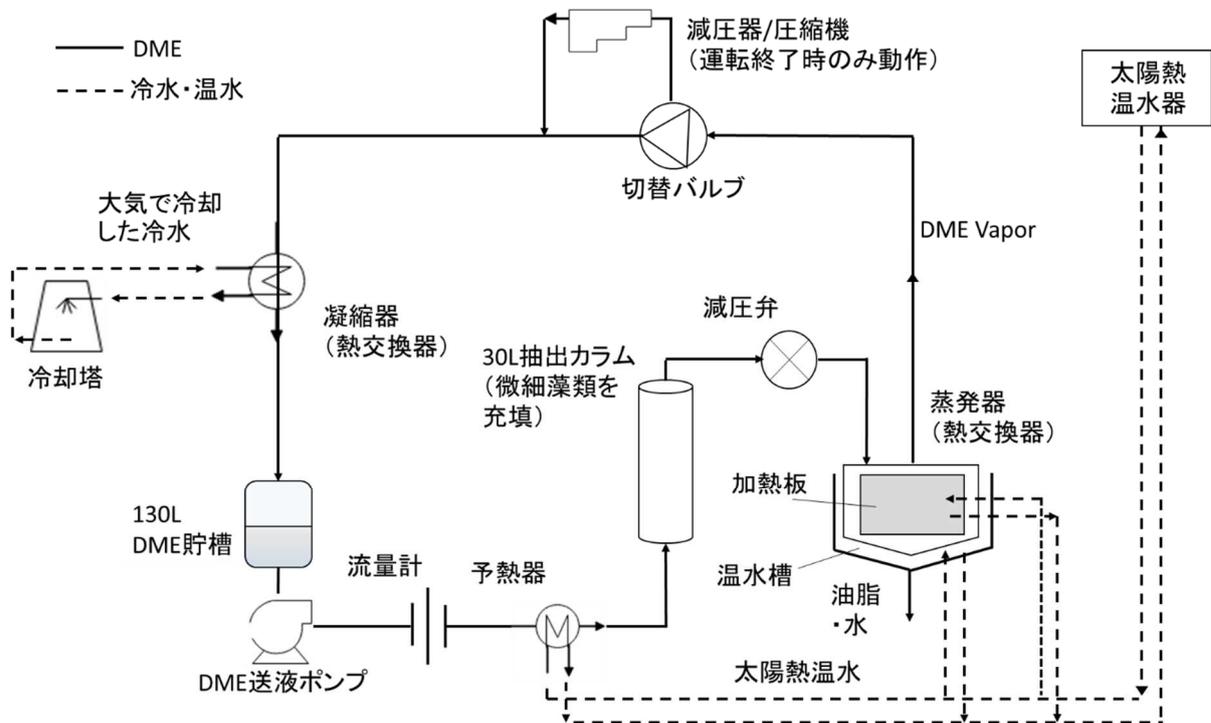


図 2-4 液化 DME を用いる微細藻類油脂抽出装置の構成図

まず、予備実験として太陽熱温水器の動作確認を行ったところ、南半球の冬至頃（6 月 14～18 日）にも拘わらず、晴天時には正午頃に水を 72～73℃に加熱できることを確認した。この予備検討の後、雨天や夜間の試験に安定的に対応するため、模擬的に電気ヒータで加熱した 60℃の温水を用いた。

まず、「安定運転状態」での装置内の温度・圧力条件の一例を示す。安定運転状態とは、DME 貯槽内の液面レベルが安定し、DME 貯槽から送液で出て行く DME 量と、DME 貯槽へと戻ってくる DME 蒸気量が同じになり、熱的にも一定となった状態である。抽出カラムの温度・圧力は 30℃・0.71MPa であり、DME の飽和蒸気圧 (0.68MPa) よりも高いことから DME が液化状態であると確認できた。蒸発器の温度・圧力は 31℃・0.66MPa であり、飽和温度 29℃より高い。このことから蒸発器の内部では DME が完全に蒸発しており、蒸発した DME 蒸気が更に加熱されたことを示す。抽出カラムの圧力よりも凝縮器内部の圧力が低いのは、蒸発した DME 蒸気が凝縮器に流れて 27℃・0.64MPa (飽和温度は 28℃) で凝縮したことに起因する。凝縮器入口の冷水の温度は 22℃、

出口温度は 27℃であり、周辺の大気温度（17～20℃）よりも高い。また、冷水の出口温度は DME の凝縮温度と同じ 27℃であった。

DME 蒸気が飽和温度以上に加熱されたことや、冷水の温度が DME の凝縮温度と同じであることから、過年度の名古屋大学による伝熱計算が妥当であり、十分な伝熱面積を確保できたことを確認できた。

DUT が抽出試験に用いた微細藻類の水分は 91.1%であり高粘度の泥状であった(図 2-5 上)。メタノール・クロロホルム混合液抽出で測定された油脂の総含有量は 18.3%である。

微細藻類のみを 30L 抽出カラムに充填した場合には、抽出カラムが閉塞して液化 DME が流れなかった。日本での昨年度までの試験管レベルでの予備検討で、カラム長さ 5cm で 0.3MPa の差圧が生じたことから、抽出カラム長さ 60cm の本装置の場合には差圧は 3.6MPa と予測される。つまり、昨年度までの基礎実験での治験と矛盾は無い。

日本での試験管レベルでの予備検討の結果、微細藻類にウッドチップを混合すれば、圧力損失が著しく低減できることが判明した。このため、ARC と東京農工大学がアグリマットの原料として利用するバガスを、Kingsburgh 近郊の農場にてバガスを調達して混合することとした。バガスはウッドチップと同様に液化 DME で抽出されないセルロースが主成分であり、糖を圧搾によって取り出した後は多孔構造を有すると期待できる。つまり、バガスの内部は液化 DME に不活性な多孔質の流路として利用できる。なお、バガスの水分は 46.6%であった。

微細藻類とバガスを湿潤重量で 5:1、3:1、5:2、2:1、1:1 の混合比で抽出カラムに充填して、液化 DME の流通の状況を確認した。



図 2-5 (上) 用いた微細藻類、(中) 微細藻類とバガスの混合物 (混合比 5:2)、(下) 抽出残渣

抽出試験後の抽出カラム内のサンプルの状態を記す。混合比 5:1 の場合には、試験後の色は抽出前と変化が無く湿った状態であった。これは微細藻類が偏在した箇所の圧力損失が大きく、バガスの箇所だけを液化 DME が流れたため、液化 DME と微細藻類が接触しなかったためである。混合比 3:1 の場合には、一部の微細藻類から水と油脂が除去されたが、一部が抽出前と変化がなかった。混合比 5:2~1:1 の場合には、明るい黄緑色へと変化した乾燥状態であることも目視でも判別でき、微細藻類からほぼ完全に水と油脂が抽出されたことが明らかであった。

成功した混合比のうち最も微細藻類の割合が多かった混合比 5:2 について結果を示す。試験に供した混合物の外観を図 2-5 中に示す。抽出カラムに充填された微細藻類とバガスの混合物の重量は 16.66kg である。油脂抽出を確実に成功させるため、液化 DME を 125L/h で 6 時間という十分な時間供給した。抽出残渣は黄緑色に変化してほぼ完全に乾燥していた (図 2-5 下)。抽出残渣の微細藻類の残留油脂量は 0.8% (メタノール・クロロホルム混合液抽出法) であり、水分は 11.6%であった。これは元々微細藻類に含まれていた油脂と水のそれぞれ 96%と 99%が液化 DME によって抽出除去されたことを意味している。

蒸発器の内部を観察したところ、油脂が水の上に被膜を作る形で分離していた (図 2-6 上)。この油脂と水は、蒸発器の底部から取り出すことができた (図 2-6 下)。蒸発器の内部には油脂がこびり付いた様子はなく、メンテナンス性の点でも問題は見られなかった。

微細藻類と油脂の構成元素割合と高位発熱量を表 2-1 に示す。元素割合は燃焼後の気体をガスクロマトグラフィーで分析する CHNO コーダーで、高位発熱量は断熱容器内での燃焼による発熱挙動から決定した。

一般に、構成元素のうち C/N 比が 30 より高いと熱化学変換プロセスに適合しており、C/N 比がこれより低いと生物学的変換プロセスに適していると見なされる。元の微細藻類の C/N 比は 7.7 であり、燃焼に適さないことが分かる。一方で抽出油脂の C/N 比は 84.9 であることから、抽出油脂はメチルエステル化反応による改質と燃焼によりエネルギーとして活用する熱化学変換プロセスに適合していることが分かる。



図 2-6 (上) 蒸発器の底部に溜まった油脂、  
(下) 取り出された油脂 (エタノール希釈)

このように、この規模の大型試験で高含水の微細藻類を乾燥することなく油脂を抽出することに世界で初めて成功したこと自体が、基礎研究面で非常に大きな成果である。

油脂の高位発熱量は、回収装置でも言及したとおり 30.18MJ/kg であり、これは過去に代表者が JST さきがけ研究などで把握したユーグレナやボツリオコッカスなどの特殊な単一種から得た油脂の高位発熱量 (40.8~42.6MJ/kg) よりも低く、様々な土着のラン藻や緑藻が混合した日本のアオコ (緑藻やラン藻の混合物) の油脂の高位発熱量 (33.8MJ/kg) に近い。Kingsburgh で培養した微細藻類も土着の緑藻の混合物であることから、日本のアオコに近いことは合理的な結果である。

表 2-1 微細藻類と油脂の構成元素割合と高位発熱量

	Microalgae	Lipid
Elemental analysis (wt.% dry ash-free)		
C (±0.3)	41.0	62.0
H (±0.1)	6.4	10.5
N (±0.4)	5.3	0.7
O (±0.6) <sup>a</sup>	47.4	26.8
Higher heating value (MJ kg <sup>-1</sup> )	17.65	30.18

続いて、同装置における消費エネルギーの計算について説明する。前述の実験で用いた微細藻類の油脂含有量は 18.3%であったが、ここでの試算では過去の検討で最大であった 29.6%でも同様に抽出可能と仮定して計算する。まず、1 回の実験で抽出可能な油脂の重量は  $16.66\text{kg} \times (5/7) \times 91.1\% \times 30\% \times 96\%$  であるので、0.301kg である。この油脂の保有熱量は 9.08MJ である。

消費エネルギーとして最も考慮しなければならないのは、装置からの DME の漏れである。漏れる箇所は 2 ヶ所であり、1 つめは抽出カラムの開閉時に放出される DME 蒸気である。本装置では、抽出試験終了後に DME 蒸気を回収するために減圧操作を実施した。抽出試験終了後、抽出槽の内部圧力を 0.04MPa (絶対圧) に減圧できた。2 つ目は蒸発器で油脂とともに残留する水に溶存する DME ガスの量である。抽出試験終了後、蒸発器の内部圧力を 0.01MPa (絶対圧) に減圧できた。

回収できなかった残留 DME ガスによるエネルギー損失、その DME の合成効率、DME 回収のための動力、抽出試験中の DME 送液ポンプの動力、受電端効率 (0.369) を考慮して、抽出工程で「二酸化炭素の排出に繋がる」のエネルギー消費の総量を計算したところ、油脂の高位発熱量の 34.4%となり、油脂の高位発熱量の範囲内での油脂を抽出する事に成功した。このうち、DME の損失に由来するのは 14.8%、DME の回収動力に由来するのは 6.0%、DME 送液動力に由来するのは 13.6%である。このうち DME 送液動力に関しては、将来的なスケールアップの際に、擬似移動床の抽出カラムを採用することで、抽出に必要な DME 量を半分に低減できると考えられる。このため、スケールアップ時には油脂の高位発熱量の 27%程度になると見込まれる。

なお、DME の蒸発に投入された温水由来の熱量は油脂の高位発熱量の 34.6 倍である。これを含めたエネルギー収支はマイナスであるが、温水製造に太陽熱を利用することで二酸化炭素の排出を抑制可能である。

また同装置では確実性を重視して市販の太陽熱温水器を利用したので、温水の循環ポンプの動力を要したものの、原理的には太陽熱温水で DME を間接的に加熱するのではなく、直接太陽光で DME を加熱した方が良い。この場合、温水の循環ポンプの動力は不要となり、液化 DME の送液

ポンプのみを考慮すれば良いことから、上記の試算では温水のポンプ動力は不要との考え方に沿っている。

### DME 溶存水の毒性評価

DME ガスの毒性は極めて低く、欧州では残留基準を設けた上で食品加工にも使われている。また DME ガスが溶存した水も毒性は非常に低いと広く認識されているが、過去の学術論文を調査したところ、DME ガスが溶存した水の毒性について明確なエビデンスが示された論文が無かった。このため、微生物を用いたバイオアッセイ法により DME 溶存水の毒性を評価した。

一般的なバイオアッセイ法に基づいて、土壌・ほこり・空気中などに広く存在し、哺乳類の皮膚の常在菌でもある *Micrococcus luteus* を塗布した培地を作成した。その一部を円状にくりぬき、DME ガスが飽和溶解した水を滴下した。DME ガスと水との混合温度は 20℃、40℃、60℃というように、Kingsburgh に設置した微細藻類油脂抽出装置で想定される、DME が蒸発する最低温度から最高温度の範囲内で設定した。その結果、図 2-6 に示すように、DME 溶存水を滴下した箇所で *Micrococcus luteus* は死滅しなかった。つまり DME 溶存水は無毒か毒性が極めて低いことを意味する。

Higher DME solubility in water

Lower DME solubility in water



図 2-6 バイオアッセイ法による DME 溶存水の毒性評価試験の結果

## 廃水汚染を伴わない油脂のメチルエステル化手法

微細藻類から得られた油脂は、通常大量の NaOH を触媒としてメタノールとエステル化されて、バイオ燃料と変換される。この工程自体はエネルギー消費量が少なく、実用化に向けて致命的な課題ではないが、大量に投入される NaOH に由来して石鹼が副産物として廃水に混入したり、pH 調整が必要になる問題がある。

既往の研究でも、350°C程度の超臨界メタノールを用いれば、NaOH を用いずにメチルエステル化が進むことが知られていたが、反応温度が非常に高い問題があった。固体触媒を用いれば廃水を汚染せずに済むことから、この固体触媒を探索し、安価に入手可能な焼石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) を用いれば、250°Cでもエステル化反応が進むことを見いだした。

予備実験段階であるので未だ抽出油脂を用いた試験ではないが、油脂を含むクロレラ（日本製）そのものを、石膏粉末とメタノールとともに耐圧容器に封入し、250°Cの超臨界メタノールと5分、10分、15分、30分反応させた。その結果、図2-7に示すように15分反応後では残渣も含めてほぼ完全にメタノールに全成分が溶解した。この溶解液をGC/MSで分析したところ、C16~C20の脂肪酸メチルエステルが検出され、その検出ピークは石膏が無い場合と比べて300倍に達した。

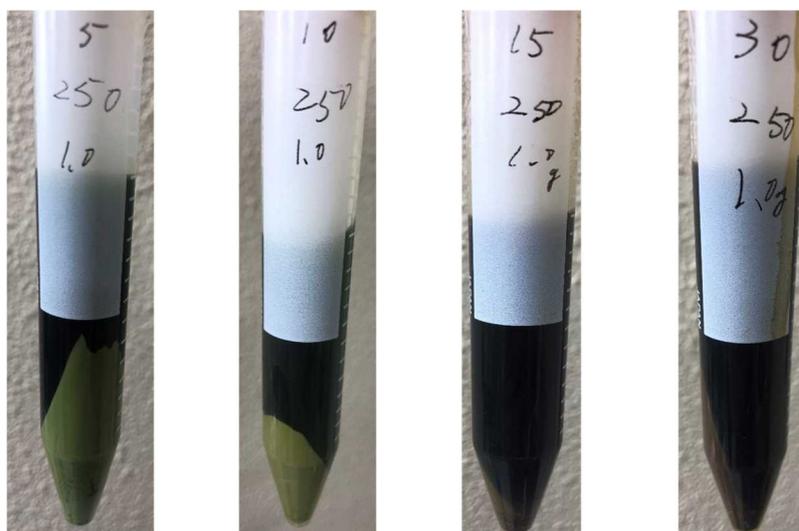


図 2-7 クロレラを焼石膏共存下で 250°Cのメタノールと反応させた様子  
左から右に向けて、反応時間 5 分、10 分、15 分、30 分の順

## 珪藻と円石藻への液化DME抽出法の適用について

今後、本技術が他国に展開された場合、気候や土着の微細藻類の種類が異なることは容易に想像できる。これまで液化 DME 抽出技術ではアオコ、緑藻、ユーグレナ（みどりむし）について、試験管レベルの実験で適用可能であることを見いだしてきたが、珪藻と円石藻については未解明であった。

珪藻は二酸化ケイ素の被殻で、円石藻は炭酸カルシウムの被殻で覆われており、これまで確認済みの微細藻類とは細胞壁の組成が全く異なる。このため、珪藻であるキートセロス、円石藻であるプレウロクリシスに対して液化 DME 抽出試験を実施した。

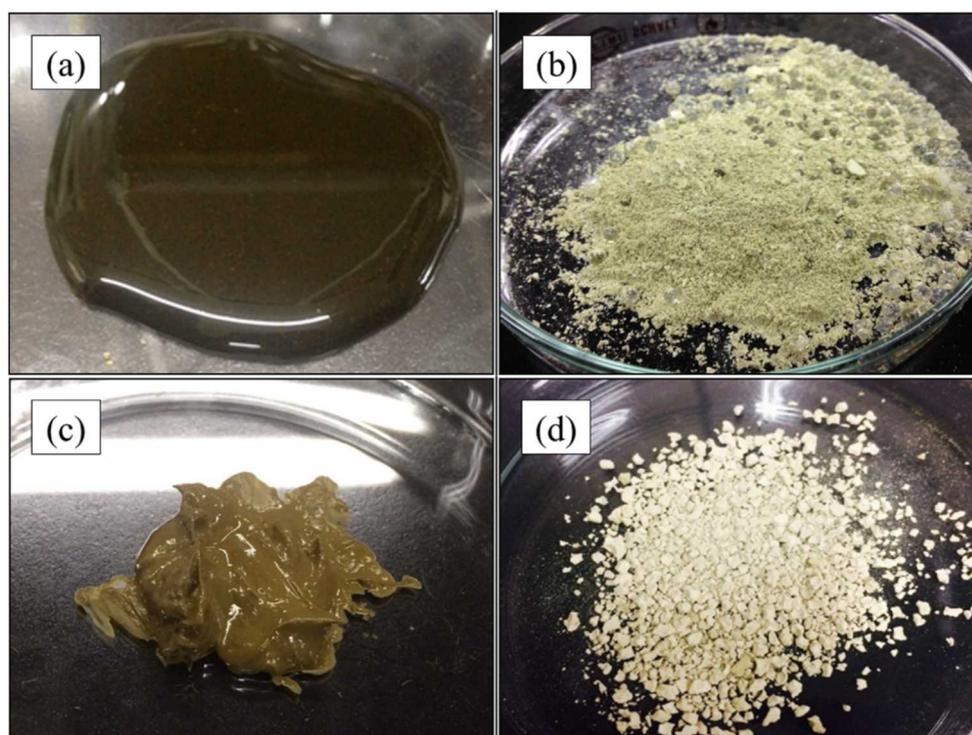


図 2-8 (a)キートセロス、(b) キートセロス残渣、(c)プレウロクリシス、(d) プレウロクリシス残渣

まず図 2-8 に示すように、残渣は乾燥して色素を含む様々な有機物が除去されており、液化 DME によって微細藻類から油脂と水が抽出されたことが目視からも明らかであった。

キートセロス、プレウロクリシスから液化 DME で抽出できた油脂は、微細藻類の乾燥重量の 22.0%と 11.6%であった。これに対して、油脂の全量測定手法として広く認知されているメタノール・クロロホルム混合液による抽出では 21.5%と 9.0%であった。つまり、従来の油脂の全量測定方法でも抽出できていなかった残存油脂が存在し、液化 DME はその残存油脂も抽出できることが判明した。

このように、珪藻と円石藻についても液化 DME 抽出法は適用可能であることが判明したことにより、主要な全ての種類の微細藻類に本手法が適用できる見通しを得た。つまり、今後の周辺諸国への展開において、微細藻類の種類の違いは大きな問題ではないことが判明した。

### (3) 研究題目 3 : 「藻類残渣の活用方法の検討」

研究グループ D (リーダー: 東京農工大 オンウォナ アジマン スィアウ)

#### ① 研究題目 3 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

医薬品や耕作地肥料としても使用され、海水を原料とする酸化マグネシウム(MgO) を接着剤として用いた圧縮方式のアグリマットへ油抽出後の藻類残渣を添加し、模擬降雨試験および浸漬試験を行い土壤に肥料成分を供給できることを確認した。藻類残渣を添加したアグリマットについての研究成果は様式 04 の非公開資料で報告する。

また、昨年度はアグリマットへのパーライト添加による保水力の増加が示されたため、土壤に敷設する際に重要となる表面親水性と浸透漏出性について模擬降雨試験による評価を行った。フィールドでの降雨試験においてはアグリマットの設置による土壤流亡物の減少という目的において有効性が確認された。

2019 年 4 月には南アフリカ共和国に常温圧縮方式のアグリマット製造装置が輸送され、現地での試作が開始された。さらに、現地で製造したアグリマットについて日本で分析・評価の支援を行った。

さらに、2017 年度に南アフリカ共和国の現地 ARC に提供した国内市販の舗装用アグリマット (揖斐郡森林組合製) が現地トウモロコシ畑およびホウレンソウ畑に敷設され、表土流出、雑草防止等の機能について評価が行われている。当該アグリマットは効果の持続性の評価のため、敷設されたまま栽培が続けられている。

#### (i) 小型模擬降雨装置によるパーライト添加マットの評価

バガス製アグリマットは木片製アグリマットに比べ、製作の簡易性や価格の低さに優れているが、吸水性で劣ることが既往の研究で報告されている。多孔質で吸水性の高い材料であるパーライトは土壤の品質向上に用いられ、バガス製アグリマットにこれを添加することで、吸水性を向上させられることを



図 3-1-1 携帯式小型模擬降雨装置



図 3-1-2 シーリング後のサンプル

昨年の研究で示したが、実際の利用に際しては、砂地や圧密化された泥質の土地等、土壌の性質に合わせた水分保持特性の調整が必用となる。よって本項では、本研究チームが新たに設計および製作した携帯式小型模擬降雨装置（図 3-1-1）を用い、パーライトのバガス製アグリマットへの添加量が表面親水性と水の浸透漏出性にどのように影響するかを評価するために行った実験について報告する。実験にはバガス重量に対し 0%, 10%, 20%, 30%のパーライト添加率のマットをそれぞれ用い、マット保持容器の内壁で水が伝わり落ちるのを防ぐため、図 3-1-2 のように外周をシリコンボンドでシーリングした。実験は 70 mm/h の降雨強度で 60 分間行い、10 分毎に表面流出水および浸透漏水の受け皿を交換し、体積を記録した。

表 3-1-1 に流出が始まってから表面流出・浸透漏水が確認されるまでの時間を、図 3-1-3、図 3-1-4 に時間あたりの表面流出水量、浸透漏出水量をそれぞれ示した。表 3-1-1 と図 3-1-3 より、各サンプルで表面流出開始時間および水量にばらつきはあるものの有意な差はなく、従ってアグリマットへのパーライト添加率は親水性にほぼ影響しないことが示された。これに対し、漏水開始はパーライトの添加により大幅に遅延しており、パーライトの浸潤・保水は降雨開始後すぐに始まったことが示唆された。また、図 3-1-4 からは、パーライト添加率が高いほど浸透漏出水量は少なく、保水性能の高さに加え、短時間の降雨では浸透特性が異なることがわかる。これらの結果より、粒が粗く雨水が地中深部に流れ出やすい砂地には高パーライト添加率のアグリマットが適するが、アグリマットが表面流出を防ぎ段階的に漏水することが求められる圧密化された土壌ではパーライト添加率を調整する必要があると考えられた。

表 3-1-1 各ボードにおける降雨開始からの水の表面流出・漏水開始時刻

パーライト添加率	表面流出開始時間(s)	漏水開始時刻(s)
0%	72	482
10%	78	1026
20%	73	672
30%	68	1301
40%	75	1169

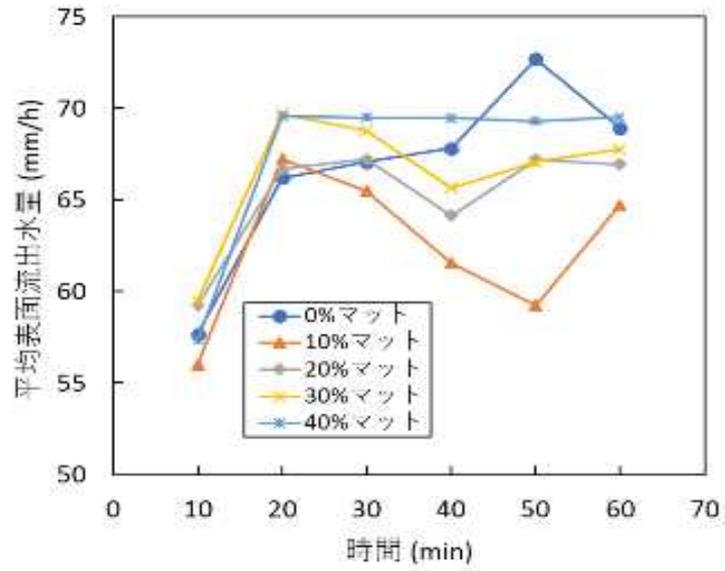


図 3-1-3 各サンプルにおける時間あたりの表面流出水量

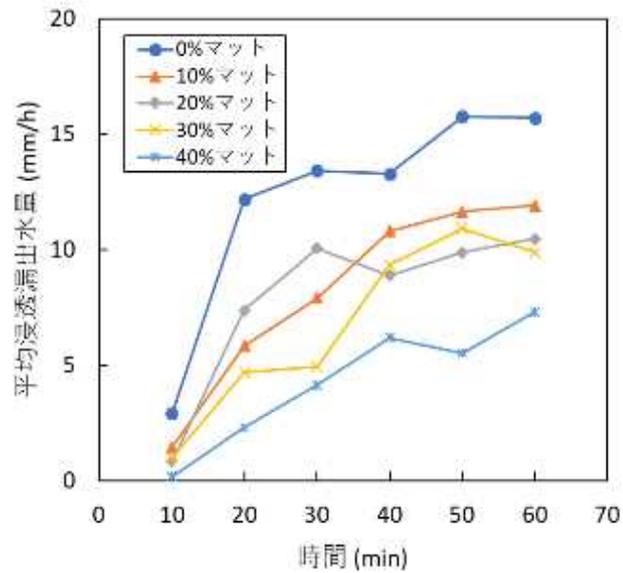


図 3-1-4 各サンプルにおける 10 分間あたりの平均浸透漏出

## (ii) アグリマットによる土壌流亡物制御のフィールドテスト

アグリマットを利用する目的の一つとして、土壌表面の雨水の流れを遅くし、土壌成分が流出するのを防ぐことが挙げられる。この効果について評価するため、模擬降雨装置（図 3-2-1）を用いたフィールドテストを東京農工大学小金井キャンパスで行った。図 3-2-2 に示したように、テスト区画に 100 cm×30 cm の枠を設置し、アグリマットによる土壌被覆率 50%、25%、0% の 3 条件について、降雨強度 70 mm/h で 60 分間の継続した降雨実験を行った。テスト区画には 5% の勾配をつけ、図 3-2-3、図 3-2-4 に示したように、10 分おきに容器を替えながら水および土壌流亡物を回収した。

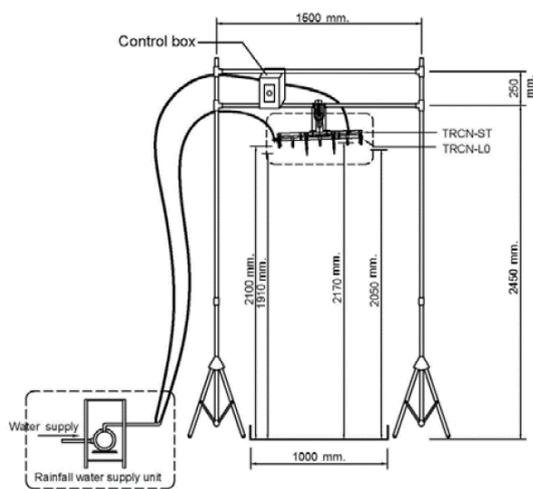


図 3-2-1 降雨装置の概要



被覆なし

アグリマット 25%

アグリマット 50%

図 3-2-2 比較実験条件



図 3-2-3 降雨実験の様子



図 3-2-4 流出物回収の様子

表 3-2-1 に降雨開始から最初に回収部に水の流出が始まるまでの時間を、また、流出した水量およびろ過・乾燥して集めた土壌流出物の累積重量と流出が始まってからの時間の関係を図 3-2-5、図 3-2-6 にそれぞれ示した。

表 3-2-1 降雨開始時刻からの水の流出開始時間

マットの土壌被覆率	流出開始時間(s)
0%	170
25%	820
50%	1585

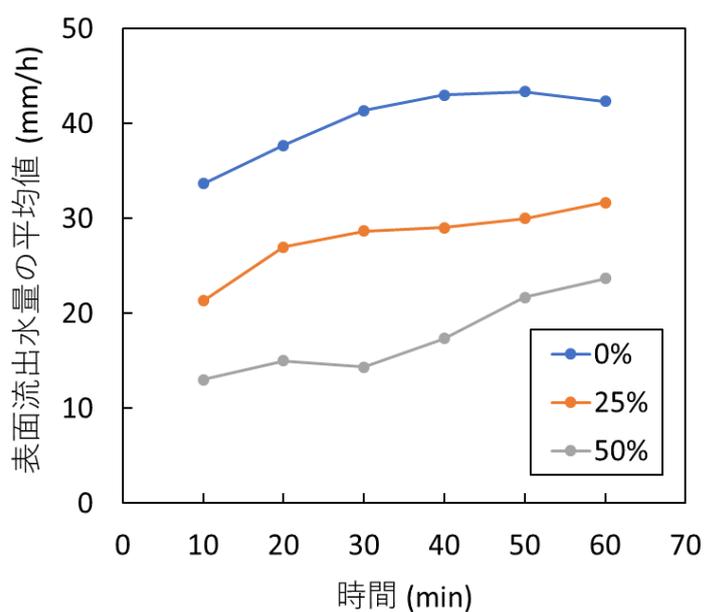


図 3-2-5 表面流出水量と時間の関

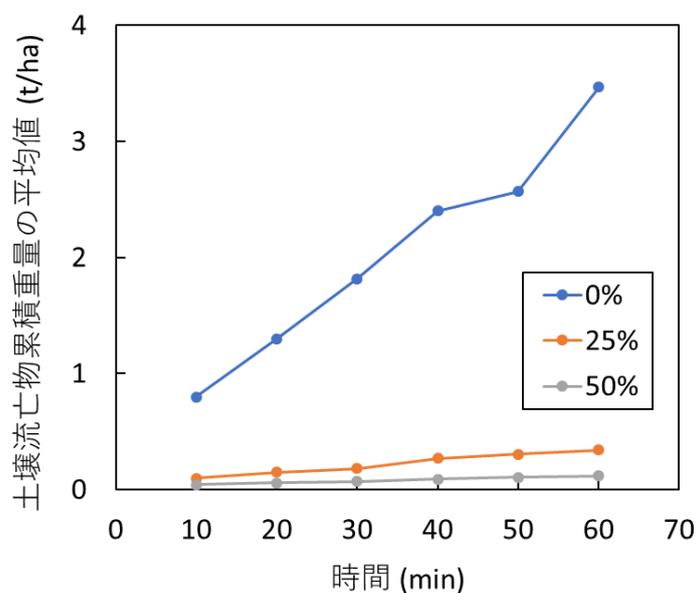


図 3-2-6 土壌流亡物の累積重量と時間の関係

表 3-2-1 より、マットによる土壌被覆率が高いほど流出する水の増加は遅く、全体として保水力が上がっていることが分かる。さらに、図 3-2-5 より、マットを使用することで土壌流亡の発生を大幅に抑制できることが示された。図 3-2-6 においても、マットの利用により表面流出水量を抑制できることが示された。

### (iii) 南アフリカ共和国におけるアグリマットを用いたトウモロコシ・ホウレンソウの栽培試験と収穫量による評価

本項では、南アフリカ共和国のプレトリア市において2017年から2019年冬までに行った栽培試験の結果について報告する。酸化マグネシウムを硬化剤に用いたアグリマットの収穫量への影響を調べるため、図3-3-1、3-3-2のようにアグリマット100%、アグリマット50%、干し草6 t/ha、干し草3 t/ha、被覆なしの5つの土壌被覆条件で、同じマット・干し草を継続して使い、トウモロコシとほうれん草を交互に2回ずつ、計4回栽培および収穫を行った。



図3-3-1 南アフリカ共和国におけるフィールドテストの様子



アグリマット100%

干し草6t/ha

被覆なし

図3-3-2 アグリマット・干し草による土壌の被覆

図3-3-3~3-3-6に、1~4回目の収穫量をそれぞれ示した。どの季節・作物においても、土壌表面をアグリマットまたは干し草で被覆することにより、被覆なしの条件と比較して  $P<0.05$  の有意な差が得られた。

アグリマットは藻類残渣を導入せずとも干し草と同等またはそれ以上の保湿・雑草防止性能を示し、設置が容易で風などに飛ばされにくいアグリマットの優位性が示された。今後は、アグリマットに藻類残渣やその他の肥料成分を添加することで、保肥性が保たれ、作物の栽培に有利な環境となるかどうかをテストする。

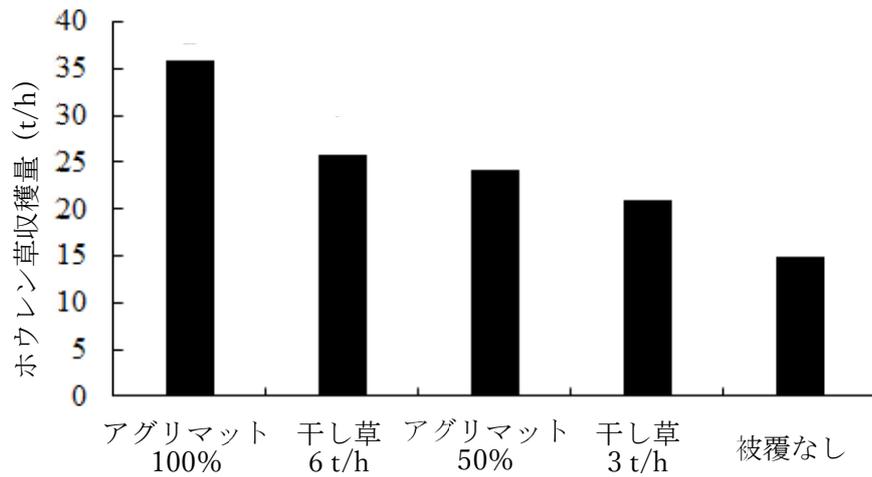


図 3-3-3 1年目(2018年冬)の土壌被覆条件とハウレン草収穫量

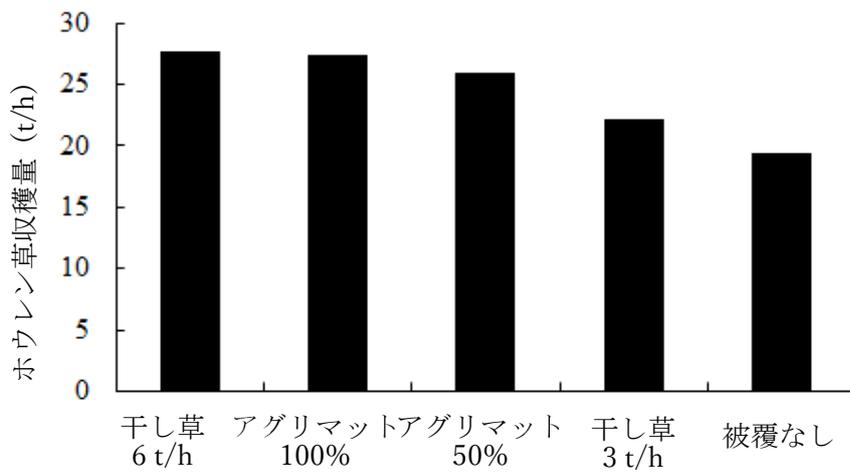


図 3-3-4 2年目(2019年冬)の土壌被覆条件とハウレン草収穫量

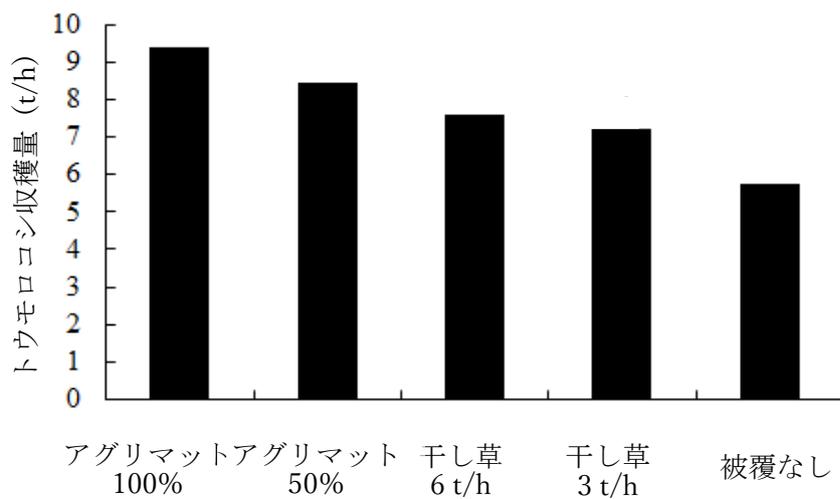


図 3-3-5 1年目(2017~18年夏)の土壌被覆条件とトウモロコシ収穫量

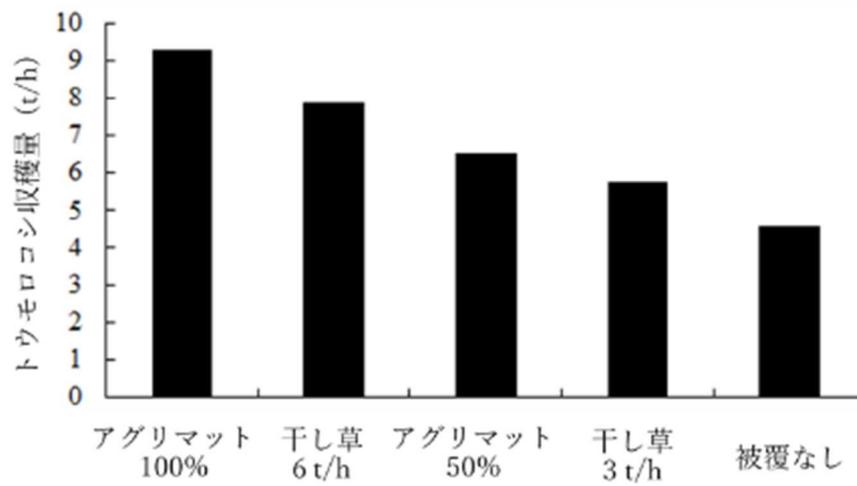


図 3-3-6 1年目(2018~19年夏)の土壌被覆条件とトウモロコシ収穫量



図 3-3-7 1年目に収穫されたホウレンソウ（これは現地の人が驚く大きさである）

(6) 研究題目5：「事業化・継続的運営に必要な人材の創出のための諸調査と提言」

研究グループF（リーダー：愛知淑徳大学 渡邊聡）

1. 本プロジェクトにおけるビジネスモデルの基本的なコンセプトに関する検討

2019年度の研究では、これまで本プロジェクトで検討してきた南アフリカにおける藻類バイオ燃料とアグリマットを用いた有機農業に市場経済動向を踏まえ、本プロジェクトで考えられるビジネスモデルの基本的な枠組みの検討を行った（図1参照）。図1での基本的な枠組みの中では、日本・南アフリカ双方の研究メンバーの技術による収益化可能な部分を明示的に示すことを目的としており、その内訳として、(1)下水処理施設での微細藻類の培養、(2)DMEを用いた微細藻類由来のバイオ燃料のエネルギー効率的な生産、(3)微細藻類残渣を用いたアグリマットによる農業生産、(4)CO2排出削減と化石燃料消費の節約、以上4点から成る。

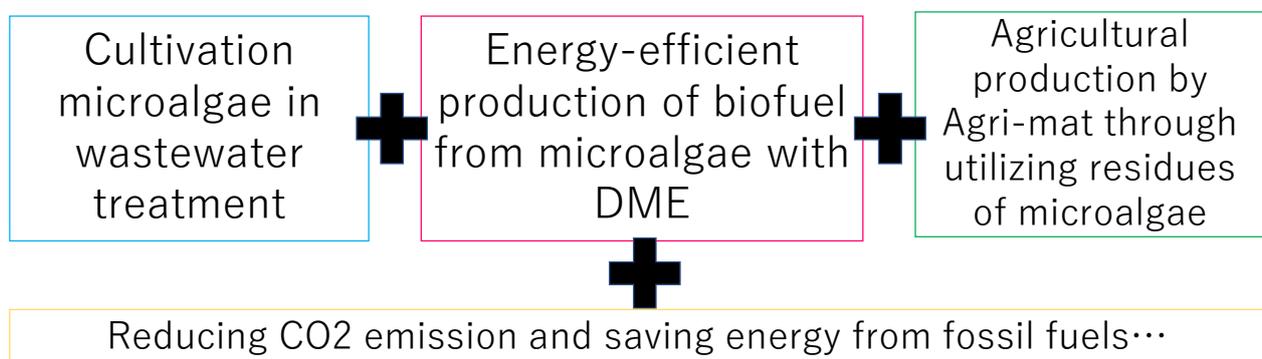


図1 本プロジェクトでのビジネスモデルの基本的な枠組み

（出典）研究メンバー間での議論に基づき作成。

このビジネスモデルの中での収益化できる部分について、どのような形で収入を得て、一方で基本的な枠組みのなかで投入に必要な費用はどのようなものがあるかを検討した。図2が本プロジェクトにおける収入-費用構造の概要を示したものである。収入源として、(1)微細藻類由来のバイオ燃料、(2)バイオ燃料以外の微細藻類由来の製品、(3)微細藻類の残渣を含めたアグリマット、(4)微細藻類の残渣用いた窒素肥料、(5)一連の取り組みによるCO2排出削減と化石燃料の節約による利益、以上5点となる。一方、費用構造として機械設備等の投入に係る初期費用とプロジェクト運営に係る運転費用に大別される。初期費用として、(1)微細藻類培養のための周回型開放池、(2)培養微細藻類の収穫装置、(3)DMEによるバイオ燃料の抽出装置、(4)アグリマットのプレス機械の4項目からなる、また、運転費用として(1)培養・収穫・抽出・プレスにかかるエネルギー費用、(2)培養のための窒素、抽出のためのDME、マット製作のためのボンド供給、(3)作業のための労働コスト、(4)設備の保守管理費用の4項目である。

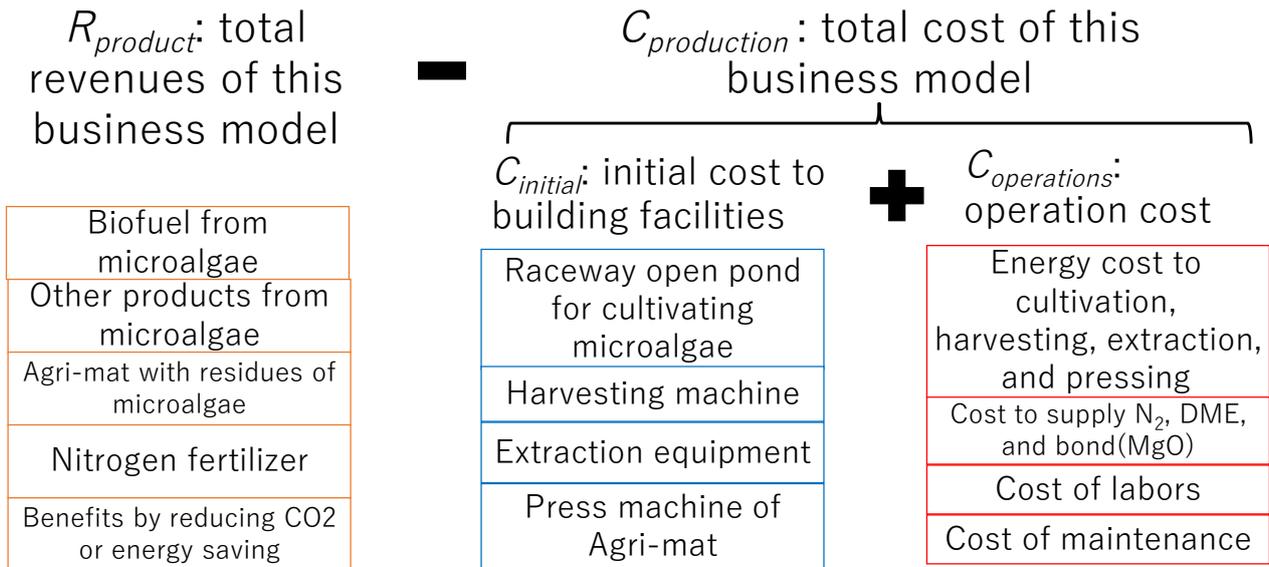


図2 本プロジェクトのビジネスモデルにおける収入-費用構造の概要

(出典) 研究メンバー間での議論に基づき作成。

そのうえで、南アフリカ側研究メンバーと共同で、これまでの研究結果を基にスケールアップに伴う諸費用ならびに起こりうるリスクの抽出を行い、ビジネスモデル構築のためのシミュレーションに着手した。スケールアップについては、微細藻類培養プールの規模実に応じて、実験室レベルの 100mL から 1L、3KL、300kL までを想定している。そのうえで、微細藻類の収穫、DME によるバイオ燃料抽出、残渣のアグリマット利用と他の用途（肥料ならびに飼料への利用）の各段階に分けて考えられる費用と収入を算出していく。特に、スケールアップにしたがって、それぞれの規模に応じた最適化を行うための追加的な設備投資を考慮したうえで、どの程度の期間でのコストを考慮するか検討した。また、スケールアップをしていく過程のどの規模でどの程度の収益が得られるのかを試算していく。さらには、想定しうる不確実性とリスクに関してリストアップをし、ビジネスモデルの持続可能性について検討する。

## 2. ビジネスモデルのコンセプトと最適な事業体の検討

これまでの研究成果からビジネスモデルを構築していくにあたってのシミュレーションを行う一方で、ビジネスモデルのキーコンセプトを検討した。研究者間で議論の中で、培養・収穫・バイオ燃料の抽出・アグリマット製造・農業生産の一連の事業に関して、物質循環と資金循環を実現するようなサーキュラーエコノミーを検討することとなった。特に、サーキュラーエコノミーに関して、いかに事業規模の再適性を担保するのが重要であることが確認され、具体的なサーキュラーエコノミー型のビジネスモデルの実現可能性について検討を行っている。

また、本プロジェクトにおけるビジネスモデルを実行するための事業体組織の在り方について議論し、PPP (Public-Private-Partnership, 公民連携) の枠組みについて検討することとなった。特に、南アフリカ共和国の政策・制度を基にした PPP の在り方について関連研究を収集しながら検討を進めている。

## II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

2000年9月にニューヨークで開催された国連ミレニアム・サミットで採択された国連のミレニアムゴールで示されたように、地球規模の課題を解決するために、日本はその優れた技術で貢献することを目指している。その地球規模の課題とは、開発と貧困問題や、地球温暖化対策等である。地球温暖化対策においては、2015年COP21では、京都議定書に続く、2020年以降の新しい温暖化対策の枠組みが、議論され、パリ協定が採択された。世界196カ国の国・地域がすべて、温室効果ガス削減を約束するのは初めてである。貧困問題に関しては、対象の南アフリカ共和国では所得格差を表すジニ係数が大きく貧困問題が大きい。さらに、近年の経済発展により都市部のエネルギー不足と水不足が深刻になっている。

日本の技術で、従来コストセンターだった下水処理場でのバイオ燃料の生産、二酸化炭素の固定化、緑化支援肥料の生産によるプロフィットセンター化を行いことで、バイオ燃料の生産を起こすことをめざす国際共同研究である。これを通して日本がアフリカなどの途上国の複数の課題解決に大きく貢献できる。

バイオ燃料生産において、最大の問題はエネルギー収支である。バイオ燃料として獲得できるエネルギーよりも生産で消費するエネルギーが多く、それが既存エネルギーだった場合、消費する既存エネルギーのコストがバイオ燃料のコストに転嫁されることになる。現状では、消費エネルギーが化石燃料由来で、この消費エネルギー量が微細藻類の保有熱量（残渣も含む）の7倍であるので、必然的に微細藻類由来の燃料は、既存エネルギーの7倍以上の価格となる。これがバイオ燃料のコストが高い根源的な原因であるので、消費エネルギーを考慮せずに闇雲にコスト削減だけを追い求めても、コストの根源的問題は解決できない。また、微細藻類はカロテノイドの様な高付加価値の副産物を合成する場合があります、これを油脂と共に抽出した後に分離できれば、カロテノイド生産で事業収益をあげながら、バイオ燃料を生産できる可能性もある。

また、当初は今ほど重視していなかった、微細藻類からの油脂抽出残渣を活用したアグリマットに対して、南アフリカ共和国 eThekweni 自治政府や ARC の期待が予想以上に高い。現在、今後は、アグリマット精算時の加熱の有無およびアグリマットの密度が肥料成分にどのように影響し、溶出率をどのようにコントロールできるかを評価する。現地において、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に終息の目処が立ったら、十分な量の藻類残渣が入手できるので、フィールドテストにより本プロジェクトの目標達成は可能であると考えられる。

下水処理水を用いた微細藻類の培養であるが、2019年度に DUT が塩素処理殺菌水による培養を検討した。これは元々下水に赤痢などの様々な感染症の原因物質が混入するようなアフリカ周辺諸国への展開を念頭にしたものであったが、2020年に入ってからの COVID-19 の世界的流行に伴い、COVID-19 ウイルス対策技術の意味合いでも重要性を増している。成果は当初、南アフリカ共和国の経産省を通して現地の産業界にアピールしたり、日本国内の様々な展示会への出展を模索していたが、COVID-19 対策での展示会の中止などもあり、国内外の産業界へのアピール戦略の練り直しが必要となっている。エネルギー消費に関する最低限のデータは既に取得済みであり、現在抽出された油脂の性状分析を進めている。これらが明らかになり次第、早期の論文発表とこれに合わせた各種のプレスリリースを活用し、マスコミ報道で国内外にアピールしたい。

### Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

#### (1) プロジェクト全体

・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。

2020/3/5 に南アフリカ共和国内で COVID-19 の最初の感染者が確認された後、2020/6/14 現在で感染者は7万人を突破し、現在はおおよそ12日間で感染者が2倍へと指数関数的に増加している。さらにタウンシップと呼ばれる貧困層の居住エリアでは、正確な感染状況が分からない状況にある。このため3月以降の日本側メンバーの新たな渡航を中止するとともに、2020/3/13 に最後の日本側メンバーが南アフリカ共和国から日本に帰国してからは、それ以降の新規渡航や現地での活動を無期限で中断している。

また、現地 JICA も幹部スタッフ数名を除いて、SATREPS 現地調整員を含めたスタッフ全員が日本へと退避している。また、ロックダウンに伴って警備が手薄になった学校などからの略奪と証拠隠滅のための放火が数百件起きており、学校と同様に公共施設である Kingsburgh 水処理場も略奪行為のターゲットになる恐れがある。ここ数年間、南アフリカ共和国の殺人事件は増大しており現地警察相が「戦場に近い状態」と発言するほど危険な状況が続いている。このため、現地での安全な移動や活動のためには JICA スタッフのサポートが必要な状態である（朝日新聞 Web 2018/9/12 記事 <https://www.asahi.com/articles/ASL9D1R6TL9DUHBI001.html>）。しかし、COVID-19 によって JICA スタッフが日本に退避したことで現地でのサポートが受けられない点も、安全面でも現地作業が困難な要因になっている。

各種報道によれば、厳格な目標を掲げたロックダウンが5月末まで行われたものの、貧困層の居住エリアではロックダウンが守られておらず、さらに経済活動の停滞によって、2020/6/1 にロックダウンが緩和された状況にある。感染が加速する段階にも拘わらず、経済的な理由でロックダウンが緩和されたことで、今後の感染拡大が確実な状況である。南アフリカ共和国では、現在も国外線・国内線ともに飛行機の離発着が停止し、車についても州を跨いでの移動は勿論のこと、州の内部の異なる地域間も移動が禁止されている。またロックダウンの内容が緩和された後も、活動が許可された業種に再開が許可されている状況である。このため、ダーバン工科大学のメンバーも一部を除いて自宅待機が続いている。さらに試験場である Kingsburgh 水処理場にはコロナウイ



図 Kingsburgh 水処理場内で防護服を着用しての作業

ルスで汚染された危険性がある下水が大量に流入しており、更にこの流入口が地面から 1m の高さで大気開放されている。大気開放された位置から数十～100m ほど離れた微細藻類の培養プールや油脂抽出装置の付近でも下水の臭気が漂っていたことから、臭気と共にコロナウイルスに曝される可能性がある。このためダーバン工科大学のメンバーも Kingsburgh 水処理場で作業をする際には防護服を着用している（前頁の写真）。

このような南アフリカ共和国での今後のコロナウイルスの感染拡大や、Kingsburgh 水処理場の感染リスクが不明な点、現地 JICA スタッフの日本への退避といった状況を考えると、少なくとも 2020 年度は外務省による南アフリカ共和国への渡航自粛が解除されるとは考えにくく、仮に渡航できたとしても Kingsburgh 水処理場内に立ち入ることは相当のリスクを伴うことになる。

- ・各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に行った工夫。

2019 年 12 月に、微細藻類油脂抽出装置の維持管理や南アフリカ共和国側への技能訓練を実施可能な邦人を南アフリカ共和国内で探し出し、既に同装置の保守管理や運転を日本側メンバーと共に行う事で、当該邦人はこれらのノウハウを習得している。これは元々現地での円滑な保守管理体制を作ること念頭にしていたが、その後 COVID-19 の世界的流行が生じて南アフリカ共和国への日本からの渡航が困難になった。日本から南アフリカ共和国への渡航が解禁される前であっても、南アフリカ共和国の国内移動や Kingsburgh 水処理場内での作業が可能となった場合には、この邦人と活用して現地での保守管理作業を効率的に再開できる状況にある。

- ・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国（研究機関・研究者）が取り組む必要のある事項。

COVID-19 の完全な根絶は困難だと考えられるので、今後は COVID-19 との共存を前提としなければならない。本プロジェクトでは微細藻類を下水の二次処理水で培養していることから、下水に含まれる COVID-19 のウイルスが最大の懸念材料となる。

また、下水処理水を培養に用いることによって、微細藻類から生産可能なカロテノイドなどを併産物として利用するのに制限が生じている。カロテノイドの併産は、バイオ燃料のコスト低減に極めて有効であるので、食品以外のカロテノイドの利用先の開拓や、安価な滅菌方法の開発が望まれる。これに関連して、研究題目 1 にあるように、ダーバン工科大学の新たな取り組みとして下水処理水の塩素処理を開始しており、COVID-19 ウイルスにも効果があるのか解明が望まれる。

- ・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

大型装置を海外に設置する場合、輸送中の装置の保護（破損防止）、現地企業による工事の品質、現地での上水の不純物や電気周波数・電圧の安定性といったユーティリティーの品質などが、日本より著しく劣るケースがある。または事前に把握した内容と異なるケースもある。

例えば、本プロジェクトでは、装置の設置場所の電圧について eThekwini 政府の担当者から 415V と連絡を受け、日本側も幾度も確認を繰り返した。しかし、現地で実測すると 360～380V 程度で刻々と変動しており、装置が許容する誤差内に収まらなかった。これは、eThekwini も、現地国営電力会社も、供給電圧を間違っていて理解していたのが原因であり、日本では絶対にありえな

いトラブルである。このため、Kingsburgh 水処理場の電気担当者に施設内の電圧を 400V に昇圧するよう依頼したところ幸運なことに即日で工事を実施でき、装置の設置スケジュールの遅れを回避できた。また、SATREPS 開始後に急激に南アフリカ共和国の経済が悪化したことも関連して、同国は発電用の燃料を十分に産出・輸入できておらず、地元国営電力会社は経営危機に陥っており、このために昨年は 1 日に 2～4 時間も計画停電が実施されたり、前述の電圧降下が生じるなど問題が多発している。

また、装置搬入においても、現地業者により無断で異なるサイズのトレーラーが手配され、作業がずれ込む事態も起こった。作業の遅れから休日も作業を行うことになり、そのための人や物の手配も生じた。日々の工事についても、事前に確認した工程表を現地業者が守らず、予め設定していた予備日を活用した。これらはある程度織り込み済みだったので致命的な問題は生じなかったが、事前に冗長性を確保しておく必要性を改めて実感した。

また、海外での装置の屋外設置は予測困難な装置故障が生じる。今回の Kingsburgh 水処理場の周囲は住宅で囲われており、都市の近郊にあるものの比較的緑が多いエリアである。また記録的な豪雨がここ数年頻発しており、装置の圧縮機や駆動モーター内に昆虫が侵入したことによる故障や、雨天時に雨が装置内に流入するなどのトラブルが生じ、過去に日本国内で同様の装置の屋外運転の経験があるが、その際の経験からは想像が及ばなかった。これを大学での基礎研究者が予測するのはハードルが高いと言わざるを得ない。

更に装置の交換部品を日本から取り寄せたところ、南アフリカ共和国側の受け取り業者のミスで通関で 1 ヶ月も止められる事態が生じた。日本製の装置の場合には現地での修理に時間を要することから、決定的に重要な箇所については、装置の故障が避けられないことを前提に、予算の範囲内で可能な限り装置の冗長性を確保しておくのが良い。

#### IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

##### (1) 成果展開事例

アグリマット製造装置は南アフリカ共和国に4月下旬に現地に到着し、5月上旬に東京農工大学アジマン・スィアウ准教授の指導のもとでARCの建屋内に設置・試運転を行い、技術移転を終了した。現地でのアグリマットの試作が開始され、現地地産の素材（バガス、干し草）および現地で微細藻類から油脂を抽出した藻類残渣を用いた、MgOを結合剤としたアグリマットの作製に成功している。2020年2月には南アフリカ共和国のARCの研究者Sibongiseni Mgozeliが来日し、東京農工大学にて模擬降雨試験および測定・評価の技能訓練を受けた。



図 南アフリカ共和国で作成されたアグリマット

##### (2) 社会実装に向けた取り組み

また、2019年8月に横浜で開かれたTICADサイドイベントでブースを出典し、アフリカ諸国の政府関係者に対し、説明、照会対応等を行った。

研究課題4で製作した液化DMEを用いる微細藻類油脂抽出装置に関しては、日本の大手重工メーカーが関心を示しており、2020年2月よりSATREPS終了後の展開について協議を進めている。

研究課題5で作成する環境ビジネスモデルに関するハンドブックにより南アフリカ共和国に適したビジネスモデルの提案を行う計画である。これまでに南アフリカ共和国側メンバーと改訂し、現在は改訂を進めているハンドブックについて、今後も改訂を進めて、最終的にはダーバン自治政府（eThekweni自治政府）に供与して社会実装に向けて活用する。

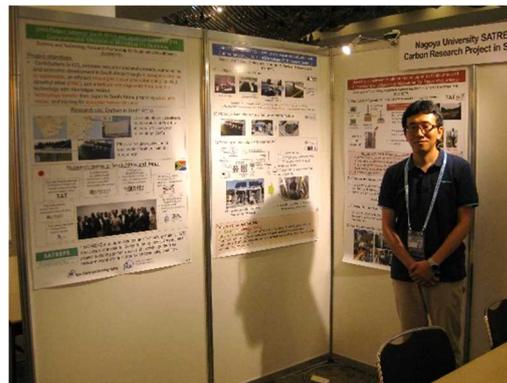
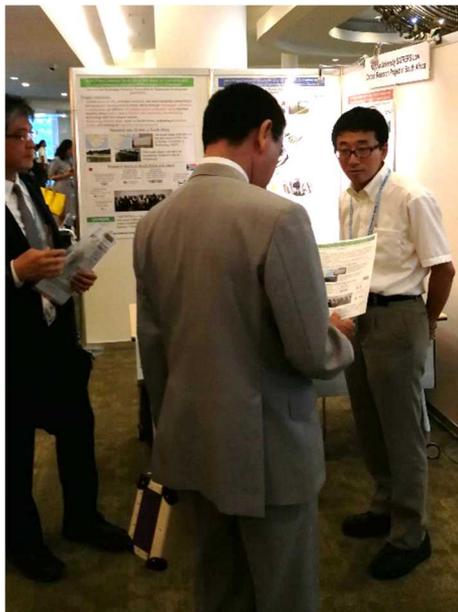


図 2019年に横浜で行われたTICADサイドイベントでのブースを出典

## V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

科学技術上の成果として、液化 DME を用いた抽出法を用いれば、油脂の保有熱量の範囲内の消費エネルギー（二酸化炭素を排出する従来エネルギーに限定）で、油脂を抽出できる見込みことが実証できた。また、藻類回収においても同様であり凝集剤を導入すれば更に低減できる可能性が示された。つまり、太陽熱温水のエネルギーを分離のエネルギーに変換する際に、僅かな二酸化炭素排出量で済むことから、実質的に微細藻類が大気中の二酸化炭素を吸収する形でバイオ燃料の生産が世界で初めて可能になる。

油脂の抽出工程での膨大な二酸化炭素排出は、微細藻類が抱える最大の問題であり、この方法が世界の標準技術となれば世界のバイオ燃料生産を一変させ、この分野での日本のプレゼンスは劇的に向上する。先述の通り、エネルギー収支の問題はコストの問題に直結しており、従来エネルギーの消費を劇的に低減できたことから、環境ビジネスモデルの側面でも大きな前進となる。

多方面からの本プロジェクトへの期待を通じて、日本のプレゼンスの向上に寄与するため、本プロジェクトに取り組んでいきたいと考えている。

## VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

## VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

## VIII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数 0 件  
 うち国内誌 0 件  
 うち国際誌 0 件  
 公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2017	Guldhe, A., Kumari, S., Ramanna, L., Ramsundar, P., Singh, P., Rawat, I. and Bux, F., Prospects recent advancements and challenges different wastewater streams for microalgal cultivation. Journal of Environmental Management, 203, 299–315 (2017)	10.1016/j.envman.2017.08.012	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌への掲載
2018	S. Machmudah, Wahyudiono, H. Kanda, M. Goto, Supercritical Fluids Extraction of Valuable Compounds from Algae, Engineering Journal, 22(5) 13–30, (2018)	10.4186/ej.2018.22.5.13	国際誌	発表済	
2018	Ansari, F. A., Gupta, S. K., Nasr, M., Rawat, I. & Bux, F. Evaluation of various cell drying and disruption techniques for sustainable metabolic extractions from microalgae grown in wastewater: A multivariate approach. Journal of Cleaner Production, 182, 634–643.(2018)	10.1016/j.jclepro.2018.02.098	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌への掲載
2018	Gupta, S. K., Kumar, N. M., Guldhe, A., Ansari, F. A., Rawat, I., Nasr, M. & Bux, F. Wastewater to biofuels: Comprehensive evaluation of various flocculants on biochemical composition and yield of microalgae, Ecological Engineering 117, 62–68. (2018).	10.1016/j.ecoleng.2018.04.005	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌への掲載
2019	H. Kanda, R. Hoshino, K. Murakami, Wahyudiono, Q. Zheng, M. Goto, Lipid extraction from microalgae covered with biomineralized cell walls using liquefied dimethyl ether, Fuel 262, 116590 (p8) (2020).	0.1016/j.fuel.2019.116590	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌への掲載
2019	Charoen JIRARATCHWARO, Yutaka SUZUKI, Norihide SAHO, Siaw ONWONA-AGYEMAN, Hirozumi WATANABE, "Development of Mini Portable Pressure Head Type Rainfall Simulator for Investigating Runoff, Infiltration and Sediment Discharge", The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering, 2019.08.872, pp.297–302	<a href="https://doi.org/10.11408/jsire.871297">https://doi.org/10.11408/jsire.871297</a>	国内誌	発表済	
2019	Sota Oshima, Siaw Onwona-Agyeman, Norihide Saho, Kwame Sarpong Appiah, Yoshiharu Fujii, "Development and Evaluation of Mulching Boards Fabricated from Bagasse", The Materials Research Society of Japan, 2020.02.451, pp.9–13	<a href="https://doi.org/10.14723/tmrsi.45.9">https://doi.org/10.14723/tmrsi.45.9</a>	国内誌	発表済	

論文数 7 件  
 うち国内誌 2 件  
 うち国際誌 5 件

公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2017	M.Nishimura,S.Watanabe,H.Kanda,M.Yoshida,S.O.Agyeman, S.Yamada"Handbook 1 of SATREPS Project(Original Ver.)", 44pages, pages, 2017年2月			発表済	
2017	M.Nishimura,S.Watanabe,H.Kanda,M.Yoshida,S.O.Agyeman, S.Yamada, I.Rawat, A.D.Nciizah, T.C.Kasie, "Handbook 1 of SATREPS Project(Revised Ver.)", 64pages, 2017年9月			発表済	

著作物数 2 件  
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2016	神田英輝, 藻類由来バイオ燃料と有用物質、分担執筆12章 低沸点溶媒による高含水微細藻類からの油脂抽出技術、2016年11月、シーエムシー出版		書籍	発表済	
2016	Book chapter*: Rawat, I., Gupta, SK., Shriwastav, A., Singh, P., Kumari, S and Bux, F. Microalgae applications in wastewater treatment in: Algal Biotechnology: Products and Processes. Editors Faizal Bux and Yusuf Chisti, Springer London. ISBN:978-3-319-12333. Pages 249-268 (2016)		書籍	発表済	
2016	神田英輝, 後藤元信 液化ジメチルエーテルによる微細藻類からの油脂抽出、分離技術、42(2) 43-48, 2017年3月		総説	発表済	
2018	神田英輝, 微細藻類の燃料化の課題と液化ジメチルエーテルによる油脂抽出、環境管理 54(11) 43-48, 2018		総説	発表済	
2018	S.Watanabe "Biofuel Production and Diffusion toward Sustainability:Case of South Africa" 「愛知淑徳大学論集-ビジネス学部・ビジネス研究科篇-」第15号、p.61-71		総説	発表済	
2018	神田英輝, 後藤元信 "化学工学の進歩52物質循環とマテリアル開発, 4.3 超臨界流体・亜臨界流体を用いた有機マテリアルの抽出分離 ISBN: 978-4-86487-968-2, 2018		書籍	発表済	
2019	神田英輝「微細藻類からの油脂抽出技術」Bio industry, 56(8), 64-77, 2019		総説	発表済	
2019	Charoen Jiratchwaro, Investigation of runoff and sediment transport using rainfall simulator and erosion control by using mulching boards under Asian monsoon condition, 東京農工大学, 2019.12		学位論文(博士)	発表済	
2020	神田英輝 "バイオリファイナリーと分離技術, 7章 微細藻類 微細藻類からの油脂抽出技術、日本液体清澄化技術工業会、ISBN 978-3-11-058139-3, 印刷中		書籍	in press	

著作物数 9 件  
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
2016	南アフリカ共和国カウンターパートナーの環境ビジネスモデルに関する研修(1回×5人)	SATREPS Handbook 1	

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2018	国際学会	Qingxin Zheng (Nagoya Univ.), Wahyudiono, Motonobu.Goto, Ismail Rawat (DUT), Faizal Bux (DUT), Hideki Kanda Lipid Extraction From Wet Microalgae By Liquefied Dimethyl Ether The 7th Asia-Oceania Conference on Green and Sustainable Chemistry (AOC7-GSC), Singapore 2018/11/19-21	口頭発表
2018	国際学会	Qingxin Zheng, Wahyudiono, Motonobu.Goto, Ismail Rawat, Faizal Bux, Hideki Kanda Lipit extraction from wet microalgae by liquefied dimethyl ether in pilot scale The 18th Asian Pacific confederation of chemical engineering congress, Sapporo, Japan, 2019/9	口頭発表
2019	国内学会	神田 英輝、櫻木優治、Wahyudiono、鄭慶新、後藤 元信、Ismail Rawat, Faizal Bux 下水処理水で屋外培養した微細藻類の回収と油脂抽出 分離技術会年會2019、名古屋工業大学、2019/5	口頭発表
2019	国内学会	神田英輝・Ansari Faiz Ahmad・櫻木優治・鄭慶新・Wahyudiono・Rawat Ismail・後藤元信・Bux Faizal、試作プラントを用いた湿潤微細藻類からの油脂の液化ジメチルエーテル抽出、 化学工学会第85年會、2020/3/16	口頭発表

招待講演 0 件  
口頭発表 4 件  
ポスター発表 0 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2016	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、星野倫太郎、村上和弥、小川真輝、勝部翼、岸野光弘、Wahyudiono、後藤元信、微細藻類種による油脂の液化DME抽出挙動の差異と不溶物に対する晶析への応用、分離技術会、日本大学、2016/5/27	口頭発表
2016	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、液化DMEなどの高圧流体を用いた抽出・晶析手法、化学工学会マイクロ化学プロセス分科会討論交流会、三重マリンセンター海の学舎、2016/7/2	招待講演
2016	国際学会	Hideki Kanda (Nagoya University), Energy-saving extraction of lipids from wet microalgae by low-boiling solvent, 11th International Marine Biotechnology Conference, Hyatt Regency Hotel, Baltimore, USA, 2016/8/30	招待講演
2016	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、液化ジメチルエーテルによる微細藻類からの油脂抽出、分離技術会東海地区見学講演会、竹本油脂株式会社、2016/10/11	招待講演
2016	国際学会	Kazuya Murakami (Nagoya University), Rintaro Hoshino, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto, Lipid extraction from wet diatom by liquefied dimethyl ether, 1st International Conference on Bioresource Technology for Bioenergy, Bioproducts & Environmental Sustainability, 23-26 Oct. 2016 Sitges, nr Barcelona, Spain	ポスター発表
2016	国際学会	Rintaro Hoshino, Wahyudiono (Nagoya University), Hideki Kanda, Motonobu Goto, Lipid extraction from wet microalgae as biofuel resources by liquefied dimethyl ether, The third International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering (ISFACHE) 2016, 2016/11/2-3, Surabaya, Indonesia	口頭発表
2016	国内学会	西村真(東海学園大学)「R&Dにおける技術開発とビジネスモデルについて」科学技術交流財団主催「MOT研修」(2016年11月18日、名古屋商工会議所ビル)	口頭発表
2016	国内学会	Satoshi Watanabe(Suzuka University)“Possibilities of Environmental Technology Transfer toward Newly Industrializing Countries on the International Climate Policy Scheme: Case Study of Clean Development Mechanism to South Africa”国際開発学会第27回全国大会(2016年11月26-27日、広島大学)	口頭発表
2016	国際学会	山田肖子「変化する産業需要に見合う技能形成の課題:アフリカにおける課題と展望」TICAD VIフォローアップ国際シンポジウム『アフリカの持続可能な開発に向けた産業人材育成』国際開発機構・名古屋大学主催、科学技術振興機構後援、東京、2017/2/23	招待講演
2016	国際学会	Shoko Yamada (Nagoya University), 基調講演 DUT及びSAQAが主催するワークショップ「Transitions between education and training institutions and the workplace: the efficacy of training for employment」ダーバン、2016/12/14	招待講演
2016	国内学会	後藤元信(名古屋大学)、液化DMEを用いる抽出手法の最新動向、DMEシンポジウム2017、機械振興会館、2017/3/13	招待講演
2016	国際学会	SiawOnwona-Agyeman (TUAT), Richard AnsongOmari, Naomi Horiuchi, And Yoshiko Kawabata, Evaluating the Mulching Effectiveness of Wood Chips in Field Grown Blueberry, The 11th Asia Pacific Conference on Sustainable Energy & Environmental Technologies, Bihar, India, 2017/3/7	口頭発表
2017	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、液化ジメチルエーテルを用いる抽出・晶析手法、日本材料学会第66期学術講演会、名城大学、2017/5/27	招待講演
2017	国内学会	西村真(東海学園大学)、渡邊聡(鈴鹿大学)、環境改善のためのビジネスモデル、日本機械学会第27回環境工学総合シンポジウム、2017/7/11	招待講演

2017	国際学会	Shoko Yamada "Nagoya University and Research on Skills Development in South Africa: SDGs, decent work, and equity" The Third South Africa-Japan University Forum, Tokyo, Japan 2017/7/16.	招待講演
2017	国際学会	Naomasa Yamamoto (Nagoya University), Kazuya Murakami, Masaki Honda, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto Classification of lipid extracted from green microalgae <i>Desmodesmus subspicatus</i> by liquefied dimethyl ether The Second Seminar on JSPS Core-to-Core Program (B. Asia-Africa Science Platforms) "Establishment of Research Hub for Compact Mobility Model in the ASEAN Region" Chulalongkorn University, Thailand, 2017/8/2-3	ポスター発表
2017	国際学会	Siaw Onwona-Agyeman (TUAT), Richard Ansong Omari, Norihide Saho, Akira Mochizuki Eco-mulch production and their beneficial roles in sustainable agriculture The 15th International Conference on Advanced Materials, Kyoto, Japan 2017/8/28- 2017/9/1	口頭発表
2017	国内学会	山本 直将(名古屋大学)・村上 和弥・本田 真己・Wahyudiono・神田 英輝・後藤 元信 液化ジメチルエーテルを用いた微細藻類 <i>Desmodesmus subspicatus</i> からの油脂抽出及び脂質クラス分析、化学工学会 第49回秋季大会、名古屋大学、2017/9/22	口頭発表
2017	国際学会	Naomasa Yamamoto (Nagoya University), Kazuya Murakami, Masaki Honda, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto Classification of lipid extracted from microalgae <i>Nannochloropsis oceanica</i> by liquefied dimethyl ether, The 11th International Conference on Separation Science and Technology、韓国・釜山 海雲台(ヘウンデ)グランドホテル、2017/11/9-11	ポスター発表
2017	国際学会	Kazuya Murakami, Wahyudiono(Nagoya University), Hideki Kanda, Motonobu Goto Direct Extraction and Fractionation of Lipid from <i>Nannochloropsis oceanica</i> by Liquefied Dimethyl Ether The 24th Regional Symposium on Chemical Engineering, Semarang, Indonesia, 2017/11/15-16	口頭発表
2017	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、低沸点弱極性溶媒による微細藻類からの油脂抽出とスキャホールド作成への応用、JST-CREST「藻類バイオエネルギー」領域公開シンポジウム、新宿NSスカイカンファレンス、2017/11/30	招待講演
2017	国際学会	Hideki Kanda (Nagoya University), Wahyudiono, Motonobu Goto, Lipid Extraction from Wet Microalgae by Liquefied Dimethyl Ether, Supergreen 2017, the 10th International Conference on Supercritical Fluids, Nagoya University, Nagoya, 2017/12/1-3	招待講演
2017	国際学会	Naomasa Yamamoto (Nagoya University), Kazuya Murakami, Masaki Honda, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto Lipid extracted from green microalgae <i>Desmodesmus subspicatus</i> by liquefied dimethyl ether and its classification Supergreen 2017, the 10th International Conference on Supercritical Fluids, Nagoya University, Nagoya, 2017/12/1-3	ポスター発表
2017	国内学会	神田 英輝・山本 直将・村上 和弥・星野 倫太郎・Wahyudiono・後藤 元信 液化ジメチルエーテルによる高含水微細藻類からの油脂抽出装置の開発 化学工学会第83年会、関西大学、2018/3/14	口頭発表
2017	国内学会	岸基生・佐保典英・近江正陽・Onwona-Agyeman Siaw 藻類を添加したファイバーボードを用いた農業用マルチング材の開発 第68回日本木材学会大会、京都府立大学、2018/3/14-16	ポスター発表
2017	国内学会	若松建吾・宮川典子・佐保典英・近江正陽・Onwona-Agyeman Siaw パーティクルボードを用いた農業用マルチング材の開発 第68回日本木材学会大会、京都府立大学、2018/3/14-16	ポスター発表
2018	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、乾燥や細胞破壊が不要な微細藻類からの油脂抽出技術、分離技術会、日本大学、2018/5/26	招待講演
2018	国際学会	Motonobu Goto (Nagoya Univ.), N. Yamamoto, Q. Zheng, M. Honda, Wahyudiono, H. Kanda Development of biofuel production process from wet microalgae by liquefied dimethylether The 14th edition of the International Conference on Renewable Resources & Biorefineries, Ghent, Belgium 2018/5/30-6/1	口頭発表
2018	国際学会	Hideki Kanda(Nagoya Univ.), Qingxin Zheng, Wahyudiono and Motonobu.Goto Energy-saving lipid extraction from et microalgae by liquefied dimethyl ether Grand renewable exery 2018 international conference and exhibition, Pasifico Yokohama, Japan 2018/6/17-22	口頭発表
2018	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、亜臨界流体のバイオ燃料の抽出やナノ複合粒子のプラズマ合成への利用、化学工学会超臨界流体部会サマースクール、金沢、2018/7/31-8/1	招待講演
2018	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、亜臨界流体中の抽出分離とプラズマ反応、化学工学会東海支部 未来の化学工学を考える会、愛知県知多郡、2018/9/3-9/4	招待講演
2018	国内学会	神田 英輝(名古屋大学)、液化ジメチルエーテル抽出法による微細藻類の燃料化におけるエネルギー収支の改善、化学工学会第50回秋季大会、鹿児島、2018/9/18-20	招待講演
2018	国際学会	Naomasa Yamamoto (Nagoya University), Qingxin Zheng, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto Lipid profile in liquified dimethyl ether extraction from microalgae <i>Chlorella vulgaris</i> The 7th Asia-Oceania Conference on Green and Sustainable Chemistry (AOC7-GSC), Singapore 2018/11/19-21	ポスター発表

2018	国際学会	Wahyudiono (Nagoya Univ.), Qingxin Zheng, Hideki Kanda, Motonobu.Goto Lipid Recovery from Wet Desmodium sp for Biofuel Production by Liquefied Dimethyl ether Indonesia Malaysia Research Consortium Seminar 2018, Surabaya, Indonesia 2018/11/21-22	口頭発表
2018	国際学会	Jiraratchwaro Charoen, Siaw Onwona-Agyeman, Suzuki Yutaka, Watanabe Hirozumi. Overflow and Permeability characteristics of Mulching Boards by using rainfall simulator. The 2nd International Conference on Environment, Livelihood and Service (ICELS 2018), Bangkok, Thailand 2018/11/19-2018/11/22	口頭発表
2018	国際学会	Siaw Onwona-Agyeman(TUAT), Richard Ansong Omari, Norihide Saho, Jiraratchwaro Charoen, Benjamin Edward Sabi. Evaluation of Compressed Biodegradable Mulching Boards in Sustainable Agriculture. The 2nd International Conference on Environment, Livelihood and Service (ICELS 2018), Bangkok, Thailand 2018/11/19-2018/11/22	口頭発表
2018	国際学会	Siaw Onwona-Agyeman, Richard Ansong Omari, Norihide Saho, Norihide Saho, Jiraratchwaro Charoen, and Sota Oshima. Development and Evaliation of Mulching Boards Fabricated from Bagasse 28th Annual Meeting of MRS-J, Kitakyushu International Coference Center, 2018/12/10-14	口頭発表
2018	国際学会	Sota Oshima, Onwona-Agyeman Siaw, Norihide Saho Development and Evaliation of Mulching Boards Fabricated from Bagasse 28th Annual Meeting of MRS-J, Kitakyushu International Coference Center, 2018/12/10-14	ポスター発表
2018	国内学会	神田英輝(名古屋大学)、乾燥工程が不要な微細藻類からの油脂抽出手法について、JCOAL技術者セ ミナー、東京、2019/3/12	招待講演
2018	国内学会	櫻木 優治・(名古屋大学)・山本 直将・鄭 慶新・Wahyudiono・神田 英輝・後藤 元信、液化ジメチル エーテルを用いる微細藻類からの油脂抽出プロセスの収支計算、化学工学会第84年会、芝浦工業大 学、2019/3/13	ポスター発表
2018	国内学会	岸基生・佐保典英・Onwona - Agyeman Siaw・近江正陽 藻類を添加したファイバーボードの農業用マルチング材としての評価 第69回日本木材学会大会、函館アリーナ、2019/3/14-16	ポスター発表
2018	国内学会	若松建吾・佐保典英・Onwona - Agyeman Siaw・近江正陽 マルチング材用パーティクルボードの性能評価 第69回日本木材学会大会、函館アリーナ、2019/3/14-16	ポスター発表
2019	国内学会	櫻木優治、山本直将、Wahyudiono、鄭慶新、神田 英輝、後藤 元信 液化ジメチルエーテルを用いた微細藻類からの油脂抽出プロセスの設計 分離技術会年年会2019、名古屋工業大学、2019/5	ポスター発表
2019	国内学会	櫻木優治、Wahyudiono、鄭慶新、神田 英輝、後藤 元信 液化ジメチルエーテルを用いた微細藻類からの油脂抽出プロセスの設計 第8回 JACI/GSCシンポジウム、東京国際フォーラム、B-33、2019/6	口頭発表
2019	国内学会	Masaya, Sakuragi, Naomasu Yamamoto, Qingxin Zheng, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto, Design of lipids extraction prpcess from microalgae by using liquefied DME 化学工学会東海支部、2019/11/7	ポスター発表
2019	国際学会	Nirmal Renuka, Faiz Ahmad Ansari, Ismail Rawat, Abhishek Guldhe and Faizal Bux. Microalgae cultivation using wastewater at demonstrate scale for various commercial applications. Oral presentation at 4th South Africa Japan University - (SANJU) Forum, Pretoria, South Africa. 23-24 May 2019.	口頭発表
2019	国内学会	Mgolozeli S, Nciizah A.D. Agrimat mulching - an innovative and sustainable approach for improved Conservation Agriculture adoption. Oral presentation at the 2019 World Soil Day Commemorations, ARC-SCW, Pretoria, South Africa. 4th December 2019	口頭発表
2019	国内学会	Mgolozeli S, Nciizah A.D. 2019. Agrimat mulching - an innovative and sustainable approach for improved Conservation Agriculture adoption. Oral presentation at the National Conservation Agriculture Task Force Meeting, Misty Hills Hotel, Muldersdrift, Johannesburg, South Africa. 12 - 13 December 2019.	口頭発表
2019	国際学会	Mgolozeli S, Nciizah A.D. (ARC-SCW), Agrimat mulching - an innovative and sustainable approach for improved Conservation Agriculture adoption, 2019 World Soil Day Commemorations, ARC-SCW, Pretoria, South Africa, 4th December 2019	口頭発表
2019	国際学会	Mgolozeli S, Nciizah A.D. (ARC-SCW), Agrimat mulching - an innovative and sustainable approach for improved Conservation Agriculture adoption, the National Conservation Agriculture Task Force Meeting, Misty Hills Hotel, Muldersdrift, Johannesburg, South Africa, 12 - 13 December 2019.	口頭発表

招待講演	16	件
口頭発表	21	件
ポスター発表	13	件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」な	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2017	2017/11/11	Best poster award	Classification of lipid extracted from microalgae Nannochloropsis oceanica by liquefied dimethyl ether	(Nagoya University) Naomasa Yamamoto, Kazuya Murakami, Masaki Honda, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto	分離技術国際会議	1.当課題研究の成果である	
2019	2017/11/8	優秀ポスター賞	Design of lipids extraction prpcess from microalgae by using liquefied DME	(Nagoya University) Masaya, Sakuragi, Naomasa Yamamoto, Qingxin Zheng, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto	化学工学会 東海支部	1.当課題研究の成果である	

2 件

② マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2019	2019/5/8	中部経済新聞	SDGsビジネスでの商機と課題 微細藻類燃料と持続可能性	朝刊8面	1.当課題研究の成果である	

2019	2019/8/27	中日新聞	藻類からバイオ燃料 CO2量抑え抽出に成功 名大、愛知淑徳大など南アで実験	朝刊27面	1.当課題研究の成果である	
2019	2019/10/10	宮古毎日新聞	微細藻類の培養視察 南アフリカの教授ら	朝刊9面	1.当課題研究の成果である	
2019	2019/10/11	中日新聞	南アフリカの研究者 微細藻類燃料製造を視察	朝刊13面	1.当課題研究の成果である	
2019	2019/10/11	岐阜新聞	藻類から燃料抽出 南ア研究者と意見	朝刊8面	1.当課題研究の成果である	
2019	2019/10/28	中部経済新聞	SDGsビジネスで多様性と柔軟性を引き出せ	朝刊8面	1.当課題研究の成果である	
2019	2019/11/28	読売新聞	微細藻類からバイオ燃料 名大など研究チーム	朝刊26面(地域)愛知2	1.当課題研究の成果である	0

7 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2015	2015/7/23	日本南ア合同グループリーダー会議	eThekwini municipality (南アフリカ共和国)	6人(2人)		MOU、POの締結に向けた調整会議
2015	2015/7/24	日本南ア合同グループリーダー会議	ダーバン工科大学(南アフリカ共和国)	20人(16人)		MOU、POの締結に向けた調整会議
2015	2015/9/3-4	日本南ア合同グループリーダー会議	ダーバン工科大学(南アフリカ共和国)	32人(23人)		MOU、POの締結に向けた調整会議
2015	2015/9/4-5	日本南ア合同グループリーダー会議	eThekwini Water Service (南アフリカ共和国)	15人(6人)		MOU、POの締結に向けた調整会議
2015	2015/11/16	相手国側研究者を招聘して開催した会議	名古屋大学	15人(8人)		MOU、POの締結に向けた調整会議
2016	2016/4/11	日本側全体会議	名古屋大学	6人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2016/5/9	日本側全体会議	名古屋大学	7人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2016/5/31	愛知県立安城南高校の総合学習授業	名古屋大学	32人	公開	アウトリーチ活動 対象・高校3年生31名、引率教員1名
2016	2016/6/20	日本側全体会議	名古屋大学	8人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2016/6/21	昴学園高校のキャリア形成授業	鈴鹿大学	82人	公開	アウトリーチ活動 対象・高校1年生78名、引率教員4名
2016	2016/7/28	日本側全体会議	名古屋大学	6人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2016/8/17	日本側全体会議	名古屋大学	5人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)

2016	2016/9/2	日本南ア合同グループリーダー会議	ARC(南アフリカ共和国)	15人(6人)		調整会議
2016	2016/9/6	日本南ア合同グループリーダー会議	eThekwini municipality(南アフリカ共和国)	15人(6人)		調整会議
2016	2016/9/6	日本南ア合同グループリーダー会議	ダーバン工科大学(南アフリカ共和国)	21人(12人)		調整会議
2016	2016/9/12	日本側全体会議	名古屋大学	7人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2016/10/18	日本側全体会議	名古屋大学	11人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2016/10/19	あいちサイエンスフェスティバル2016サイエンストーク	名古屋市内	23人	公開	アウトリーチ活動 対象・一般市民(高校生以上)
2016	2016/11/22	日本側全体会議	名古屋大学	11人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2016/12/13	日本側全体会議	名古屋大学	6人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2017/1/17	日本側全体会議	名古屋大学	7人		調整会議(日立の社内調整の状況確認)
2016	2017/2/20-21	相手国側研究者を招聘して開催した会議	名古屋大学	10人(5人)		次回JCC開催に向けた調整会議・南アフリカ共和国駐日大使館 Mabuzza Eudy公使がオブザーバーとして参加し謝辞を頂いた。
2016	2017/2/23	TICADVI Follow Up・International Symposium “Industrial Skills Development for the Sustainable Growth in Africa”	JICA国際会議場	約220人(5人)	公開	戸田隆夫JICA上級審議役、堤敦司JST SATREPS研究主幹(東京大学教授)に開会挨拶を頂いた。登壇者(招聘者): 富田洋行 JICA産業開発・公共政策部 課長、レンマ・テシヨメ エチオピア連邦民主共和国教育省副大臣、ジュリー・レディー 南アフリカ共和国・技能認定機構Deputy CEO、白戸圭一 三井物産戦略研究所 中東アフリカ室主席研究員
2016	2017/3/17	日本側全体会議	名古屋大学	7人		調整会議(日立による装置開発ができない問題について)

2017	2017/4/4	日本側全体会議	名古屋大学	6人		調整会議(日立による装置開発ができない問題について)
2017	2017/4/5	JICAとの会議	JICA中部	6人		調整会議(日立による装置開発ができない問題について)
2017	2017/5/1	日本側全体会議	名古屋大学	4人		法人・日立製作所を交えた装置開発・調達に関する会議
2017	2017/5/31	日本側全体会議	JST	6人		法人・日立製作所を交えた装置開発・調達に関する会議
2017	2017/10/5	科学技術省との会議	科学技術省(南 アフリカ共和国)	9人(6人)		JCCに向けた調整会議
2017	2017/10/5	日本南ア合同グループリーダー会議	ARC(南アフリカ 共和国)	9人(6人)		JCCに向けた調整会議
2017	2017/10/6	日本南ア合同グループリーダー会議	ダーバン工科大学(南アフリカ共 和国)	9人(6人)		JCCに向けた調整会議
2017	2017/10/17	日本側グループリーダー会議	東京農工大学	3人		アグリマット製作プレス機に関する会議
2017	2017/11/9	日本南ア合同グループリーダー会議	科学技術省(南 アフリカ共和国)	20人(15人)		JCCに向けた調整会議
2017	2017/12/14	日本側グループリーダー会議	名古屋大学	3人		産業人材育成に関する会議
2017	2018/3/21	名古屋大学オープンレクチャー	名古屋大学	約50人	公開	名古屋大学機関における一般公開によるアウトリーチ活動
2018	2018/5/8	日本南ア合同グループリーダー会議	名古屋大学東 京オフィス	10人(5人)		日本が開発・調達中の藻類油脂抽出装置、藻類回収装置、アグリマット製造プレス機の開発・インストールのスケジュールについて会議
2018	2018/10/3	科学技術省との会議	科学技術省(南 アフリカ共和国)	10人(7人)		JCCに向けた調整会議
2018	2018/10/4	日本南ア合同グループリーダー会議	ARC(南アフリカ 共和国)	10人(7人)		JCCに向けた調整会議
2018	2018/10/5	日本南ア合同グループリーダー会議	ダーバン工科大学(南アフリカ共 和国)	8人(5人)		JCCに向けた調整会議
2018	2018/10/25	福島県立福島高校の総合学習授業	名古屋大学	5人	公開	アウトリーチ活動 対象・高校2年生5名

2018	2018/10/30	日本南ア合同グループリーダー会議	科学技術省(南アフリカ共和国)	15人(10人)		JCCに向けた調整会議
2018	2019/3/21	名古屋大学オープンレクチャー	名古屋大学	約40人	公開	名古屋大学における一般公開によるアウトリーチ活動
2019	2019/4/1	日本側グループリーダー会議	東京農工大学	5人		装置インストール後の現地活動に関する調整会議
2019	2019/10/1	名古屋大学 農学国際教育センター第18回オープンフォーラム アフリカにおける持続可能な開発への科学技術による貢献 ～名古屋大学の挑戦～	名古屋大学	約200人	公開	名古屋大学における一般公開によるアウトリーチ活動
2019	2019/10/7	日本南ア合同グループリーダー会議	名古屋大学東京オフィス	9人(5人)		産業人材育成(山田先生担当)の現地活動に関する調整会議
2019	2019/10/11	日本南ア合同グループリーダー会議	名古屋大学東京オフィス	8人(5人)		産業人材育成(山田先生担当)と環境ビジネスモデル(渡辺先生担当)の現地活動に関する調整会議

46 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2017	2017/11/10	日立製作所による装置開発と調達ができない問題への対応について	約20名	ダーバン工科大学(南アフリカ共和国)、油脂抽出装置と藻類回収装置を、当初予定していた企業以外から調達する新たな方針について協議した。南アフリカ共和国Department of Science and Technologyから、特定企業の都合より、プロジェクトの成功を優先した判断だとコメントを頂き、方針変更を合意した。

2018	2018/10/31	装置の輸入関税に関する手続き上の問題について	約20名	Department of Science and Technology(南アフリカ共和国)、日本における藻類油脂抽出装置と藻類回収装置の開発が順調で、2019年2~4月に順次南アフリカ現地にインストール可能であると日本側から報告した。南アフリカ側からは300tonオープンポンドでの微細藻類の培養が順調だが、税務当局との情報交換が円滑に行かず、日本から供与される装置の通関時に付加価値税の立替払い(当初予定外)が生じる可能性がある旨と、南アフリカJICAが南アフリカ側を支援して問題解決に当たっている旨の報告があった。
2019	2019/10/30	装置の設置と運転に成功したことの確認、アグリマット試験の遅れへの対応、環境ビジネスモデル構築と産業人材育成についての今後の活動方針について	約20名	ダーバン工科大学(南アフリカ共和国)、藻類油脂抽出装置・藻類回収装置・アグリマット製造プレス機を南アフリカに設置して、その試運転に成功した結果を報告した。産業人材育成は藻類油脂抽出装置の運転技能訓練に集中するべきとの方針で合意した。その後、日本大使館と南アDepartment of Science and Innovation関係者が藻類油脂抽出装置・藻類回収装置を視察した。

3件

# 成果目標シート

研究課題名	水処理システムと湿式抽出法による藻類の高効率燃料化の融合と実用化
研究代表者名 (所属機関)	神田 英輝 (名古屋大学大学院工学研究科 助教)
研究期間	H27採択(平成27年6月1日～令和3年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	南アフリカ共和国／ダーバン工科大学(DUT)、エティクニ自治政府、農業研究機構(ARC)、技術革新機構(TIA)

## 付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二酸化炭素の大幅な固定化</li> <li>・世界初の藻類由来バイオ燃料の高効率抽出法の開発</li> <li>・藻類残渣によるアフリカの農業の発展</li> <li>・成果活用による日本の産業の国際競争力の向上</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微細藻類からのバイオ燃料抽出技術の開発</li> <li>・微細藻類残渣を用いた保水・栄養維持可能なアグリマツ生産技術の開発</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・太陽エネルギーを利用した微細藻類からのバイオ燃料生産技術</li> <li>・微細藻類、下水汚泥、木質チップを用いた農業マツ生産技術</li> </ul>
世界で活躍できる日本人人材の育成	・南アフリカでの共同研究活動を通じた日本人若手研究者の国際研究活動能力の育成
技術及び人的ネットワークの構築	・日本と南アフリカの若手研究者や技術者の人材交流を中心とした技術及び人材ネットワークの構築。
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際会議での発表</li> <li>・国際的なレビュー付雑誌への共著論文の掲載</li> <li>・ビジネスモデルや技術に関するハンドブック</li> </ul>

## 上位目標

微細藻類からバイオ燃料と副産物を生産し、二酸化炭素の固定化に貢献する。

南アフリカの研究機関と自治政府の協力のもと、バイオ燃料と副産物の実用化検討を実施し、現地企業と共に事業化を推進する。

## プロジェクト目標

微細藻類からのバイオ燃料生産と副産物の高効率生産プロセスと社会実装にむけた事業化へのロードマップを提供

