

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年度（2015年度）/研究期間：6年/

相手国名：南アフリカ共和国

令和2（2020）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2016年 3月30日から2022年 3月31日まで

JST側研究期間^{*2}

2015年 6月 1日から2022年 3月31日まで

(正式契約移行日2016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	2021年度 (12ヶ月)
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 → ← 屋外レースウェイ培養 → ← 集団組成の調査 →	← 分離・培養 → ← 基本特性の調査 →				
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 油脂抽出装置の設計	← 回収装置の選定と現地への設置 → ← 油脂抽出装置の作成と現地への輸送 →	← 回収装置を用いた現地試験 → ← 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 政府提案の策定 → ← 産業人材育成 →					

COVID-19により南アフリカ共和国への渡航が事実上禁止されたことにより、装置のリモート指示による操作により対応することとし、終了を1年延期することに伴って2021年度が追加されている。

(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 2021 年 5 月 12 日時点で感染者は 160 万人を超えている。これに加えて南アフリカ型の変異株が発生しているにも拘わらず、2020 年 10 月には経済的な理由でロックダウンが緩和されており、当面の封じ込めが期待できない状況である。こうした状況を鑑みて、JICA、JST の方針で終了を 1 年間延長することとなった。

なお、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 COVID-19 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危険があり、当初ダーバン工科大学 (DUT) は防護服を着用して Kingsburgh 下水処理場に立ち入りしていた。しかし、2020 年 10 月時点で当該下水処理場に勤務する職員や警備員の間にはクラスターが発生したという情報がなかったため、DUT の防護服も簡易なものに変更するとともに、南アフリカ共和国在住の邦人の協力も仰いで、日本からのリモート指示に基づいて微細藻類油脂抽出装置で残渣を製造する作業を再開するとともに、農業研究機構 (ARC) に対するリモートでの技術移転に向けた作業を進めている。

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 CO₂ 排出量が微細藻類による CO₂ 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）

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

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 年度は日本から南アフリカ共和国に延べ大凡 400 人日を投入して、藻類回収装置と藻類油脂抽出装置の設置・現地での運転指導を実施した。しかしながら、2020 年から世界的に流行した 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 月に日本へと退避した。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ており、現在現地調整員は不在の状況である。

このため、名古屋大学が担当する藻類回収装置と藻類油脂抽出装置に関する DUT への運転指導では、南アフリカ共和国在留の邦人に協力を仰ぎ、名古屋大学からのリモート指示に基づいて実施する対応を執っている。また東京農工大学が担当するアグリマットの ARC への作成指導については、東京農工大学にも ARC と同型の装置を設置する作業を進めており、この同型装置を用いてリモートの動画指示による指導を 2021 年度前半に開始する計画である。

(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 F. Bux)

研究グループ B (2017/4 の変更にて欠番)

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

これまで、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 Kingsburgh 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、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を行い、環境大気中の二酸化炭素排出を緩和し、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)。緑藻 *Scenedesmus sp.*, *Chlorella sp.* を培養することに安定的に成功し、 NaNO_3 を下水二次処理水に 250ppm で添加することにより、培養液中の微細藻類の濃度 0.16%、油脂含有量 29.6% を達成した。これらは非常に高い濃度・油脂含有量であり、本研究題目についてはプロジェクトの目的を達成した。加えて一昨年度は、塩素で下水処理水を滅菌処理した「後塩素処理水 (PCW)」を用いて先述の土着藻類のスケールアップ培養にも成功した。



Fig. 1-1. Kingsburgh 下水処理場に設置したレースウェイ型 300ton ポンド

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。

【令和 2 年度実施報告書】【210531】

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

昨年度は COVID-19 感染症予防対策のために南アフリカ共和国内の世界的にも厳しいロックダウンが実施され、さらに下水に COVID-19 ウイルスもしくはその断片が混入している可能性が高いことから、当初は防護服を着用しての作業となり作業効率が極めて悪化した。加えて電力不足も深刻化して 2~4 時間/日の停電も断続的に発生した。これにより培養液の攪拌が止まってしまい、微細藻類への二酸化炭素や酸素や光の供給にムラが生じたことから、ポンドクラッシュ（短時間に生じる微細藻類の全滅）の危機もあったが、直ぐに復旧することによりポンドクラッシュを免れ、安定的なサンプル提供を継続できた。今後本技術を現地で実用化するには、停電などの外乱によりポンドクラッシュが生じる条件の理解などが重要であり、そのデータ収集に努めた。

④ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

下水二次処理水を活用することにより、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。また研究題目 3 と 4 で必要となる微細藻類サンプルの供給を担う。

⑤ 研究題目 1 の研究実施方法（参考）

図 1-2 に 2021 年 7 月~8 月上旬の 40 日間、図 1-3 に 2021 年 8 月下旬~9 月の 40 日間、図 1-4 に 2021 年 9 月~10 月上旬の 40 日間、図 1-5 に 2021 年 10 月下旬~12 月の 40 日間における、レースウェイ型 300ton ポンドにおける微細藻類の種類を示す。栄養塩は過年度の研究結果を活かし、最適化された培養条件である 250mg/L の NaNO_3 を PCW に添加して培養している。なお南アフリカ共和国は南半球にあるので、7 月から 12 月は冬→春→夏へと移行している点に注意し

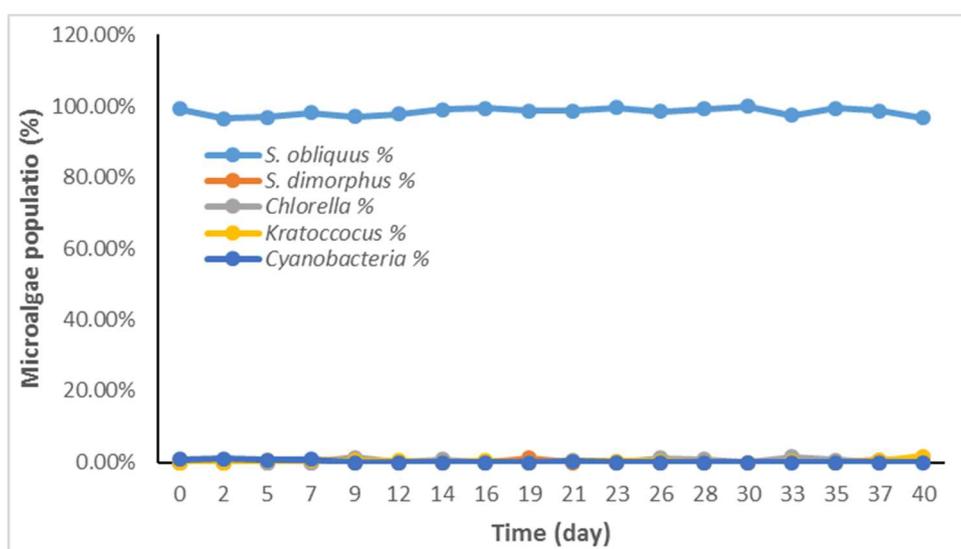


図 1-2 レースウェイ型 300ton ポンドにおける微細藻類の種類
2020 年 7 月~8 月上旬

ていただきたい。冬期はイカダモが殆ど全てを占めており、春になると入れ代わりにクロレラが増大している。この間、油脂含有量は乾燥重量基準で17~26%の間で変動している。

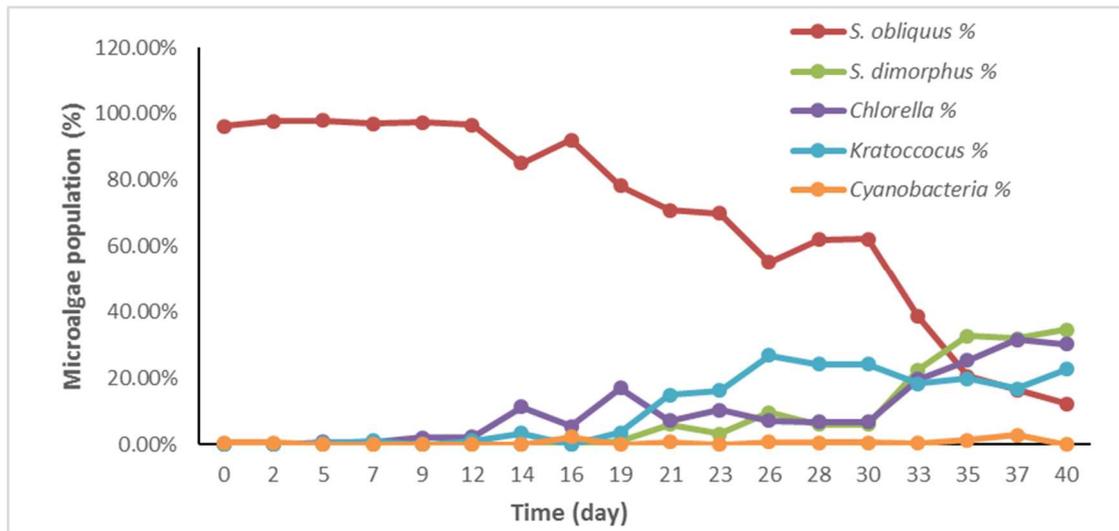


図 1-3 レースウェイ型 300ton ポンドにおける微細藻類の種類
2020 年 8 月下旬～9 月

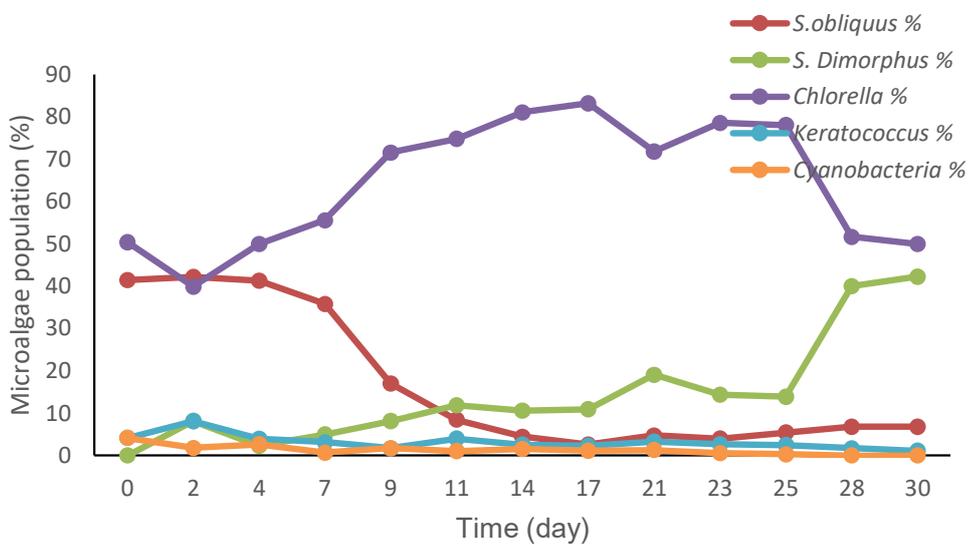


図 1-4 レースウェイ型 300ton ポンドにおける微細藻類の種類
2020 年 9 月～10 月上旬

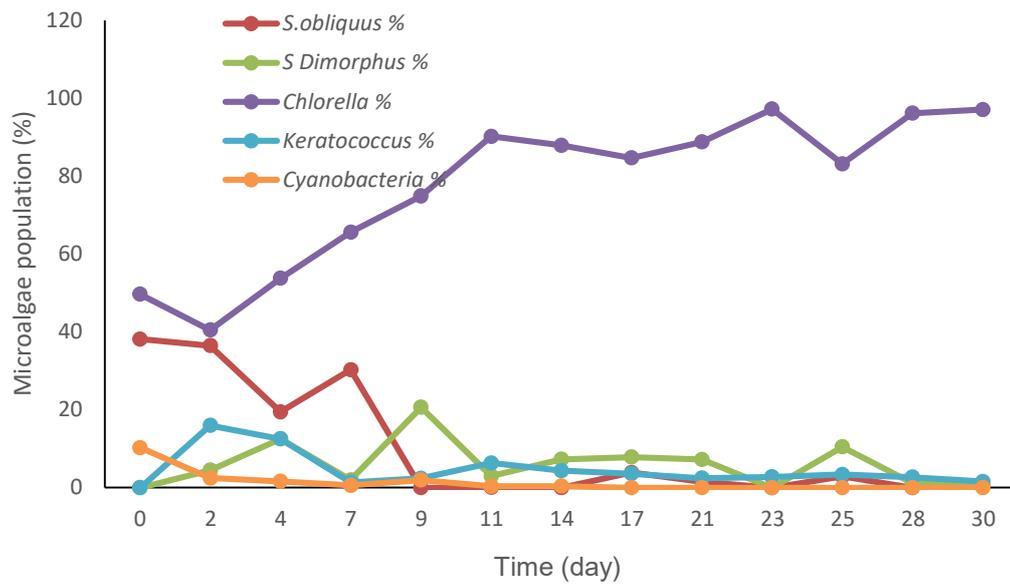


図 1-5 レースウェイ型 300ton ポンドにおける微細藻類の種類
2020 年 10 月下旬～12 月

(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)

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

当初計画では研究題目 2 では、研究題目 4 で南アフリカ共和国で実施する「実証試験装置の開発および実証実験」において、南アフリカに設置した油脂抽出装置の運転方法や装置構造の変更に対する指針を提供する考えであったが、COVID-19 パンデミックによる南アフリカ共和国内の世界的にも厳しいロックダウンのため、2020/3~9 月の間は研究題目 4 の現地試験を実施できなかった。このため、本研究の液化 DME 抽出による油脂抽出現象をより理解するためには、実験に依らない計算化学的な手法により、溶質と固体との相互作用に着目した物理化学的な理解が必要であると考えた。そこで溶質と固体との相互作用が、例えば溶質の相状態や亜臨界流体への溶解度を変化させる重要な因子であることを分子動力学シミュレーションで明らかにするとともに、その変化を熱力学方程式で記述することを試みた。

② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

研究題目 2 の結果は、研究題目 4 で開発した微細藻類油脂抽出装置の運転条件や、今後の更なる実用化開発において反映される。

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

COVID-19 感染症予防対策のために、先述の南アフリカ共和国での強力なロックダウンに加えて、日本側の大学も断続的に立ち入りが制限されたり、実験室内での作業人数を従来 of 半分以下にしなければならないなど、研究の進め方そのものについても非常に大きな制約が課せられた。さらにプロジェクトの終了が急遽 1 年間延期され、ほぼ 1 年分の予算で 2 年間の活動を余儀なくされるという自体も生じ、研究費やプロジェクト従事者の人件費についても大幅に見直す必要に迫られた。

以上の点を総合的に鑑みて、更に論理的に少額の予算で本研究の液化 DME 抽出技術をさらに理解するためには、実験に依らない計算化学的な手法により、溶質と固体との相互作用に着目した物理化学的な側面からのアプローチに着手せざるを得ないと考えた。

④ 研究題目 2 の研究のねらい (参考)

これまで、様々な微細藻類に対して液化 DME 抽出法を適用できることを卓上レベルの試験装置で明らかにし、また南アフリカ共和国に設置した大型装置でもその妥当性が示された。しかしながら、未だ液化 DME を含む亜臨界流体における抽出メカニズムに関する知見は心許ない。例を挙げると既往の物理化学モデル (Chrastil model) では、溶媒である亜臨界流体や超臨界流体と溶質の相互作用ばかりに注目し、溶質とそれを含む固体との相互作用が殆ど考慮しない。そこで溶質と固体との相互作用が、溶質の相状態や亜臨界流体への溶解度を変化させる重要な因子であることを分子動力学シミュレーションで明らかにするとともに、その変化を熱力学方程式で記

述することを試みた。

⑤ 研究題目2の研究実施方法（参考）

植物の細胞壁にはメソ孔が存在しており（Nopens, M. et al., *Sci. Rep.* **2020**, *10*, 9543）、液化DME抽出においても細胞内の油脂がメソ孔を通過して細胞外に抽出されていると考えるのが自然である。今後液化DME抽出法に対して論理的な指針を与えるためには、その抽出平衡（すなわち溶媒と溶質の平衡関係）を正しく理解することが重要である。しかし実在の実験では溶質と固体との相互作用を先験的に予測することが困難であるから、これが調節パラメータとして寄与するために物理化学モデル（例えば熱力学方程式）で記述することも困難となる。この困難を解決する術として、先験的に相互作用強度を与える事ができる分子動力学シミュレーション(MD Sim.)が考えられるが、MD Sim.の場合にはシミュレーション設定に限界があり、現実を完全に再現できるものではないので、定量的な比較が困難であるという問題が生じる。この新たな問題を解決する術として、MD Sim.と熱力学方程式との比較がある（Miyahara, M. et al., *Langmuir* **2000**, *16*, 4293）。熱力学モデルは理想状態（例えば、理想気体、希薄溶液など）であれば、簡便な方程式が物質の種類が異なっても成立する。これはMD Sim.における仮想物質についても当てはまることから、熱力学方程式の妥当性がMD Sim.において示されれば、それは現実系に対しても適用できる可能性が高い。

ここでは最も簡便な分子間相互作用の設定であるLennard-Jones相互作用を、細孔壁、溶質、溶媒に対して設定し、細孔壁を酸素、溶質と溶媒をアルゴンとした上で、溶質-溶媒間の相互作用を本来の0.8倍、細孔壁-溶媒間の相互作用を本来の0.5倍とした。これにより、細孔壁に強く束縛される溶質と、溶質を部分混合する溶媒を表現し、溶媒に抽出される溶質の溶解度を計算した。細孔径は細孔壁による溶質の束縛が強くなるメソ孔下限域の1.87~3.23nmであり、その形状は細孔壁を構成する原子による凹凸が表現された円筒状である。これらのシミュレーションプログラムは全て名古屋大学において作成したものである。以下で示す結果は溶媒と溶質の2成分を扱っているがプログラム開発の途中段階で、溶質だけを扱う単成分系でのシミュレーションを実施して、その動作確認を行っている。具体的には溶質がメソ孔内で気体・液体・固体のどの相状態になるのかの確認である。

最終的に製作した溶媒と溶質の2成分系を扱えるシミュレーションセルを以下に示す。このシミュレーションセルには、溶質が多量に存在する細孔の内部と、溶媒が多量に存在する細胞の外部が含まれており、シミュレーションが経過するに伴ってこれらの二相が平衡状態に到達する。以下にMD Sim.のセルと結果の例を示す。図2-2の左図は溶媒中の溶質濃度が低い状態であり、メソ孔内部に溶媒が流入して溶媒が抽出されている。これに対して中央図では溶媒中の溶質濃度が上昇しており、メソ孔内の溶質が増加している。右図ではさらに溶媒中の溶質濃度が上昇しており、メソ孔内は溶質で満たされている。こうしたメソ孔内での溶質量と、溶媒中の溶質濃度の関係を調べていくと、ある溶質濃度において急激にメソ孔内での溶質量が増加するはずである。また、その溶質濃度は、通常の溶媒中の溶質の飽和溶解度よりも著しく低下するはずである。

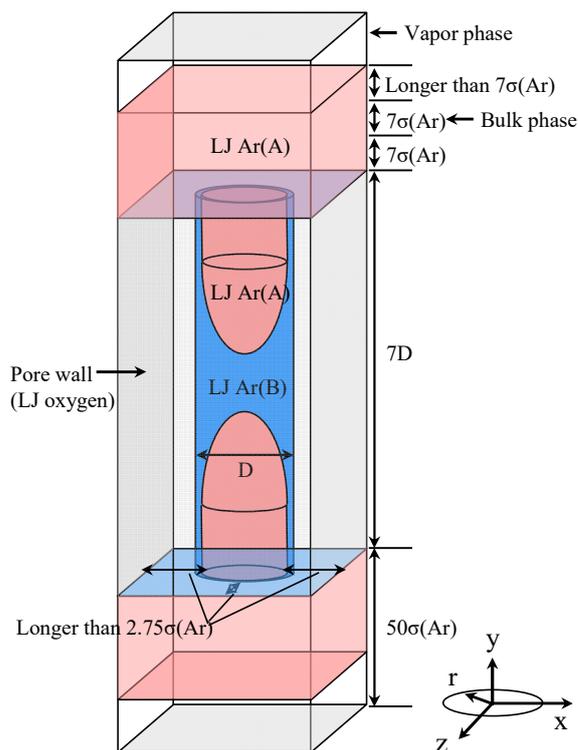


図 2-1 MD Sim.セル
(灰) 細孔壁 (青) 溶質 (赤) 溶媒

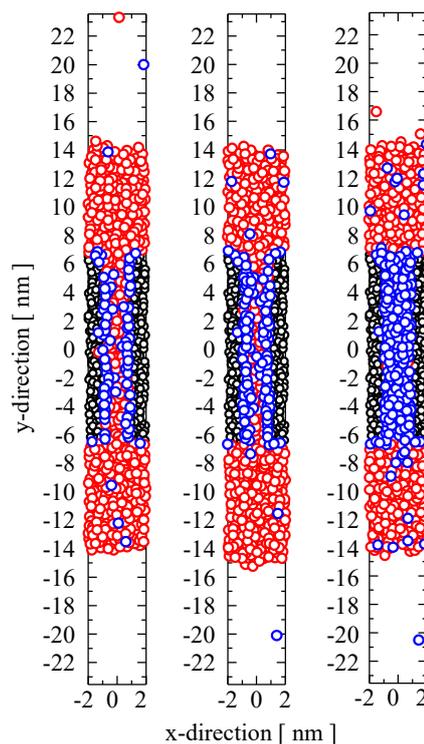


図 2-2 MD Sim.結果の例
(黒) 細孔壁 (青) 溶質 (赤) 溶媒
 $D=1.87\text{nm}$ 、 $|z|<0.34\text{nm}$

図 2-2 で示したシミュレーション結果について、メソ孔内での溶媒と溶質の数密度 (Lennard-Jones 流体系での無次元量に換算) と、溶媒中の溶質濃度の関係を示したのが図 2-3 となる。図 2-3 に示すように、溶媒中の溶質濃度は低い条件では、メソ孔内は溶媒が多数を占め溶質は抽出されている。逆に溶媒中の溶質濃度が高い条件では、メソ孔は溶質が多数を占めており抽出されていない。メソ孔の内部において、溶媒と溶質の大小関係が入れ替わる濃度が、溶媒によってメソ孔に束縛された溶質が抽出された濃度となる。つまり、細孔壁と溶質との相互作用による束縛によって、溶媒中の溶質の飽和溶解度 C は通常の飽和溶解度 C_s の 30%程度にまで低下することが示唆されている。この値はメソ孔のサイズや溶質と細孔壁との相互作用強度にも依存するので、実在系での定量的な議論には用いることはできないが、定性的なメカニズムとしては過去の研究題目 4「実証試験装置の開発および実証実験」において、カラム抽出ではなくバッチ攪拌抽出を採用した場合に液化 DME によって油脂が抽出されなかったのは、このシミュレーションで観察された飽和溶解度の低下が一つの要因であると考えられる。

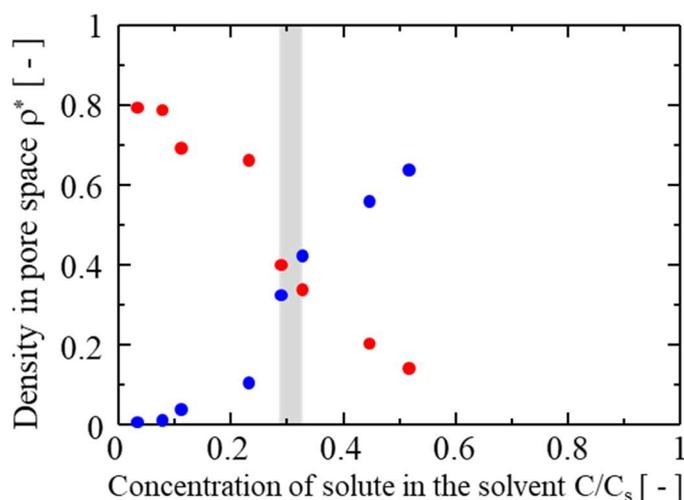


図 2-3 メソ孔内での溶媒と溶質の数密度と、溶媒中の溶質濃度の関係 (青) 溶質 (赤) 溶媒

メソ孔内部で溶質量が増加する、溶媒中の溶質濃度を熱力学方程式で関連付けると、以下の(2-1)式と(2-2)式の連立方程式が得られる。導出の過程は少々複雑であり紙面数の都合上省略するが、要点だけを述べると、図 2-4 の左図のように細孔が存在していない場合の溶媒と溶質は、溶媒中の溶質濃度が C_s となる場合に平衡状態となっており、これが一般に認識される飽和溶解度である。その際の化学ポテンシャルは二相で等しいはずである。これがメソ孔が存在することにより、溶質と溶媒の界面が図 2-4 右図のように湾曲すると Laplace 効果によって界面に過剰エネルギーが発生する。また溶質であった場所が細孔壁に置換されることにより溶質が受ける相互作用ポテンシャルが $\Delta\Psi$ だけ低下して、溶質を束縛するように働く。その際、溶質がメソ孔に強く束縛されることによって、溶媒中の溶質の濃度は低下する。また、こうした変化の後の溶媒と溶質の化学ポテンシャルも等しいはずである。従って、図 2-4 の左図と右図の間で、溶媒相の化学ポテン

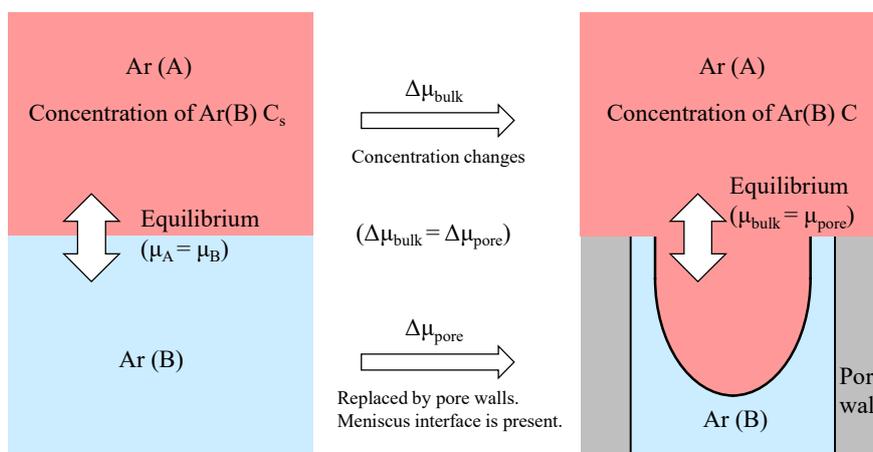


図 2-4 熱力学方程式の導出の基本概念図

(灰) 細孔壁 (青) 溶質 (赤) 溶媒

シャルの変化と、メソ孔内での溶質の化学ポテンシャルの変化を計算すると、その変化量は等しいはずであり、これを数式化したものが(2-1)式と(2-2)式である。

$$1 = \int_0^{r_0} dr \left[\frac{1}{\gamma v} \left\{ \Delta\psi(r, R) - kT \ln \left(\frac{C}{C_S} \right) \right\} - \frac{1}{\rho_2(r)} \right] \quad (2-1)$$

$$kT \ln \frac{C}{C_S} = \Delta\psi(r_0, R) - v \frac{\gamma}{r_0} \quad (2-2)$$

なお、(2-1)式は図 2-5 の $-r_0 < r < r_0$ で成立する微分方程式を r 方向に積分することで得られ、(2-2)式は $|r| = r_0$ で成立する。ここで図 2-5 に示すように r はメソ孔の半径方向座標、 r_0 は溶質が細孔壁に表面吸着する厚み、 ρ_1 、 ρ_2 はメソ孔内での溶質の凝縮相の表面曲率半径である。 R は細孔半径であり図 2-1 に示す細孔直径 D の半分の値である。 k はボルツマン定数、 T は温度、 v は溶質の分子容、 γ は溶媒と溶質間の界面張力である。これらを測定できれば、 D と T から溶質が湾曲界面を形成してメソ孔内に存在するような溶媒中の溶質濃度 C を、(2-1)式と(2-2)式の連立解として計算できる。

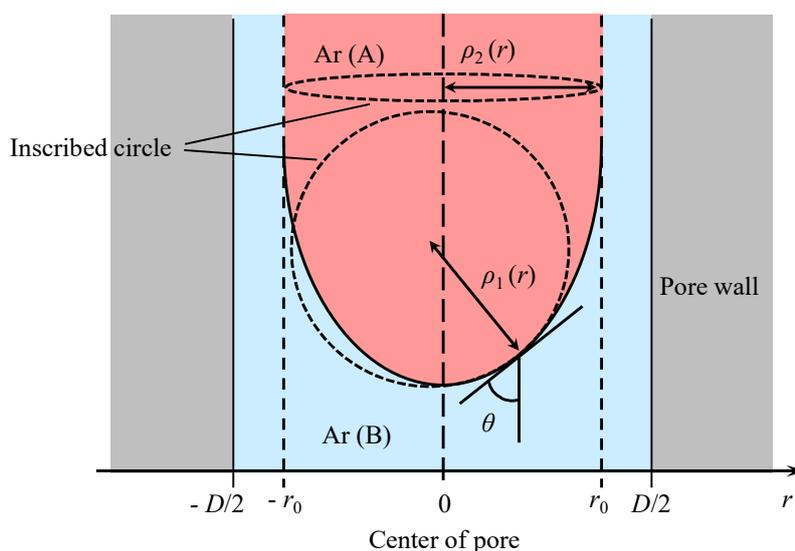


図 2-5 熱力学方程式の導出におけるメソ孔内の模式図
(灰) 細孔壁 (青) 溶質 (赤) 溶媒

(2-1)式と(2-2)式の連立解を解いたものを図 2-6 黒線に示す。これに図 2-3 で明らかにした結果をプロットすると定量的に一致したことから、熱力学モデルの妥当性が示された。ただし偶然の一致ではないことを証明するには、異なるメソ孔サイズや溶媒種での結果も検討する必要がある、そのシミュレーション計算を継続している。

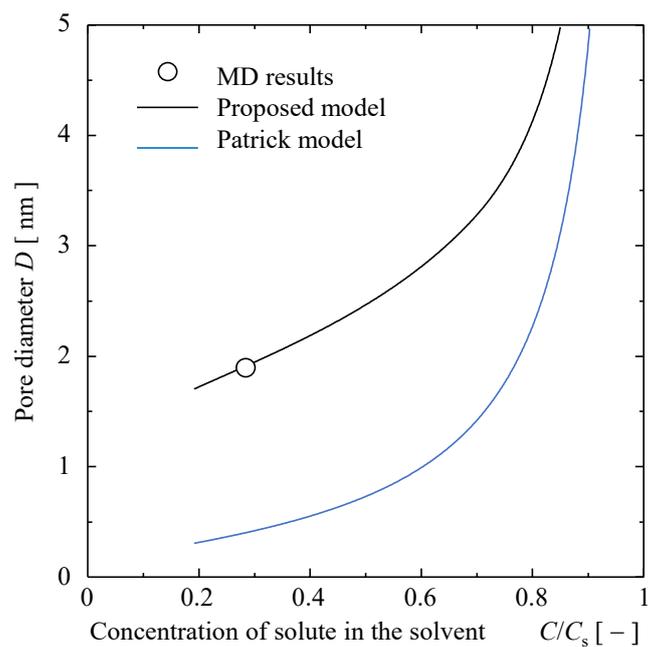


図 2-6 熱力学方程式と MD Sim. の比較 (黒線) 熱力学方程式 (青) 既往の方程式の一例

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 アジマン）

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

アグリマットチームは2種類の装置（ホットプレスと酸化マグネシウム（MgO）を接着剤としたコールドプレス）を開発・設計し、2018年に南アフリカのカウンターパートに装置の提供を行った。現在、ホットプレス機のみが稼働しており、さまざまな種類のアグリマットの製造の製造に用いられている。しかし、コールドプレスによる製造機は、加熱を要さず低コストで運用できるメリットを有するものの、アグリマットの製作に時間を要するため現在使用されていない。カウンターパートからは、現行のコールドプレス機を改良することでアグリマットの製造コストを下げたいという要望があった。また、ホットプレスのアグリマットはプレス温度が155°C、プレス時間が10分であることから、加熱によるアグリマットの肥料有効成分の低下が懸念されている。

また、これまでの本グループの研究では藻類残渣を導入した場合のアグリマットの特性評価はほとんど行っていなかった。藻類残渣をアグリマットに導入した場合、藻類残渣自体に含まれているリン酸などが土壌中に放出され、肥料として働くことが考えられる。これにより、土壌より流失したリン酸を回収し作物の栽培に還元することができる。また、藻類残渣自体が保水性を有することから、藻類残渣をアグリマットに導入することで、アグリマットの保水性を向上できる可能性がある。

昨年度の研究の主な目的は、コールドプレス製造の時間短縮によるアグリマット製造コストの削減およびコールドプレスによって製造したアグリマットの物理的特性の解明である。この研究目的を達成するために以下の研究項目を実施した。

- (i) クエン酸（SH Lee, *et al.*, *Polymers*, 2020）やその他の硬化剤（L Wang, *et al.*, *Construct Build Mater.*, 2018 など）をアグリマットの製造に適用することで、コールドプレスボードの生産効率を向上させる手法を検討した。
 - (ii) バガスの粒子サイズとアグリマット製造手法が小型試験片に与える影響を分析した。
 - (iii) 降雨シミュレーションによる藻類残渣アグリマットの化学成分の溶出特性や物理的特性を分析した。
 - (iv) 温室条件下での試験作物に対する藻類残渣含有アグリマットの効果を検証した。
 - (v) KDHP 硬化剤を用いたコールドプレスアグリマットの水中でのイオン溶出特性を分析した。
- 以下、それぞれの項目について具体的な内容と検討の結果を記載する。

(i) 高効率のアグリマットのコールドプレス製造を実現するため硬化剤の検討

手法1：クエン酸（CA）アグリマット

本研究チームではバガス（サトウキビ搾汁後の残渣）を原料としたアグリマットの製造にMgOを結合剤として用いた手法をこれまでに提案した。検討の結果、最も経済的かつ構造的に適した混合比率は20%であると結論付けた。一方、製造コストの削減と効率の向上のためMgOの割合を減らし、その代わりにMgOの結合力を促すためにクエン酸（CA）水溶液を加えた。クエン酸の濃度とプレス条件を変更することで、製造条件の最適化を試みた。

コールドプレスによるCAアグリマットの作製は成功したが、試験片を水中に導入すると、いずれの条件においてもアグリマットが分解する結果となり、水中で構造的な安定を保てないこと

【令和2年度実施報告書】【210531】

が分かった。このため、CA アグリマットは実用に適していないと結論付けた。

手法2：KDHP アグリマット

リン酸二水素カリウム KH_2PO_4 (KDHP: Potassium Dihydrogen Phosphate) 水溶液はセメントの硬化剤として広く用いられており、近年では建築資材をターゲットとしたパーティクルボードの製造にも使用されている (L. Wang, *et al.*, Construct Build Mater., 2018 など)。また、KDHP に含まれるリン酸は、農業においては肥料としても使用されている。しかし、本手法で作製したアグリマットを農業に適用した事例はこれまで報告されていない。そこで、本研究では KDHP をアグリマットの硬化剤として使用することを試みた。KDHP を用いることで MgO を中和し、酸塩基反応により K-ストルバイトと呼ばれるリン酸マグネシウムカリウム六水和物 ($\text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) を得る。本手法では K-ストルバイトをボードの結合剤として用いた。 KH_2PO_4 飽和水溶液は、水 100g に対し KH_2PO_4 を 22g 溶解して調製した。 KH_2PO_4 飽和水溶液と MgO を混合することで、K-ストルバイトが生成する。これまでの MgO のみを用いたアグリマットでは自然硬化を行うため、最終硬化に 1 週間程度の時間を要していたが、KDHP を用いて作製したサンプルは、硬化時間を約 25 分と大幅に短縮することができ、実用化に有効な手法と期待される。

(ii) バガスの粒子サイズとアグリマット製造手法が小型試験片に与える影響の分析。

アグリマットの実用化にあたり、耐久性や保水性能の評価は必要不可欠である。そこで、ホットプレス並びにコールドプレス製造時の藻類残渣の含有量が構造的安定性や吸水率にどのような特性があるかを小型の試験片 (5 cm × 5 cm × 1.5 cm) で検証した。項目 1 で挙げた方法はいずれもコールドプレスを用いたものであるが、比較のため、ホットプレスを用いた MgO アグリマットを作製した。MgO アグリマットは昨年度までに報告したものと同様であるが、この試験で用いる試験片は昨年度までの MgO マットとは異なり、ホットプレスで製造した。ホットプレスを用いた MgO アグリマットの製造方法を以下に示す。

乾燥バガスに MgO の粉末と水を加え、10 分間混合した。混合物を型に移し、型の温度を徐々にまで上げながら一定圧力で保持した。本研究では乾燥バガス 10 g に対し、2 g の MgO 粉末と 5 g の水を加えた。混合時間は 10 分、保持温度は 155 °C、保持圧力は 2 kg/cm² とした。ボードの特性に及ぼすバガス繊維の影響を明らかにするため、HP ボードのみバガスの粒子サイズを変更した。目開き 2 mm と 1 mm のふるいにかけて、3 種類の異なる粗さのバガスを用意した。サンプルには区別のため、次のような記号を付した。

- ・粗粒 (R) : 目開き 2 mm のふるいを通過しなかったバガス。
- ・中粒 (M) : 目開き 2 mm のふるいを通過したが、1 mm のふるいを通過しなかったバガス。
- ・細粒 (S) : 目開き 1 mm のふるいを通過したバガス。

藻類含有量の異なる KDHP アグリマットを 3 種類用意した。また、粒子のサイズおよび藻類残渣含有量の異なる HP アグリマットを 9 種類用意した。各試験片の製造条件を表 1 にまとめる。これら 12 種類の試験片を水中に 24 時間放置したのちに水中から引き上げた。浸漬前後の試験片厚さおよび重量を計測し厚さ膨潤率と吸水率を計測した。なお、厚さ膨潤率は試験前の厚さを基準とした厚さの変化、吸水率は試験前の重量を基準とした重量の変化である。図 1 に試験の様子を示す。表 2 に試験結果を示す。KDHP アグリマットでは藻類残渣の割合が高くなると吸水率が高くなった。それに対し、HP アグリマットでは藻類残渣を加えることで厚さ膨潤率が増加するこ

とが分かったが吸水率では傾向が確認できなかった。また、HP アグリマットでは粒子サイズが大きいほど厚さ膨潤率が大きくなる傾向が見られた。KDHP アグリマットは HP アグリマットを比較して、厚さ膨潤率は低かったにもかかわらず、同等程度の吸水率を保っていた。したがって、KDHP アグリマットはコールドプレスで作成しているため、製造時のエネルギー消費が少ないにもかかわらず、高い寸法安定性と吸水性を有している。

表 1 試験片の製造条件

試験片番号	製造方法	粒子サイズ	藻類残渣含有率 (wt%)
KDHP0	コールドプレス	中粒、粗粒混合	0
KDHP10	コールドプレス	中粒、粗粒混合	10
KDHP20	コールドプレス	中粒、粗粒混合	20
S0	ホットプレス	細粒 (S)	0
S10	ホットプレス	細粒 (S)	10
S20	ホットプレス	細粒 (S)	20
M0	ホットプレス	中粒 (M)	0
M10	ホットプレス	中粒 (M)	10
M20	ホットプレス	中粒 (M)	20
R0	ホットプレス	粗粒 (R)	0
R10	ホットプレス	粗粒 (R)	10
R20	ホットプレス	粗粒 (R)	20



図 1 実験の様子

表2 アグリマットの厚さ膨潤率と吸水率

試験片番号	厚さ膨潤率 (%)	吸水率 (%)
KDHP0	5.0	194.9
KDHP10	2.5	210.2
KDHP20	2.8	266.0
S0	8.6	152.3
S10	9.8	138.0
S20	12.8	194.8
M0	10.6	242.6
M10	14.1	176.0
M20	17.8	217.3
R0	13.1	250.1
R10	16.1	199.5
R20	55.3	200.6

次に、アグリマットの吸水保持性を確認するため、24時間の浸水の後、試験片を25℃、湿度60%および35℃、湿度40%で強制乾燥した。強制乾燥中の試験片重量を計測することで、乾燥過程における含水率(吸水率と同様の定義)を計測した。高圧水蒸気によるバイオマスボード(オンウォナアジマン スィアウ、木材工業、2012)とMgOアグリマット(藻類残渣含有率0%、20%)およびKDHPアグリマット(藻類残渣含有率0%、20%)の5種類の試験片を用意した。図2は強制乾燥後5時間までの試験片の含水率を示す。図2より藻類残渣を20%加えることでKDHPアグリマット(KDHP20)およびMgOアグリマット(MgO20)が25℃、湿度60%および35℃、湿度40%どちらにおいても比較的高い含水率を維持した。藻類残渣を含まないアグリマットではMgOアグリマット(MgO0)がKDHPアグリマット(KDHP0)に対して高い含水率を維持していたが、藻類残渣を20%含むアグリマットでは、KDHPアグリマット(KDHP20)はMgOアグリマット(MgO20)と同程度の含水率となった。このことから、藻類残渣を含むKDHPアグリマットが保水性に関して十分優れているといえる。

また、藻類残渣含有率20%の試験片の24時間後の溶出カリウムイオン(K⁺)量を解析すると、図3に示すように、KDHP20のみが非常に高い溶出量を示した。これは硬化剤であるKDHPから溶出したためと考えられる。

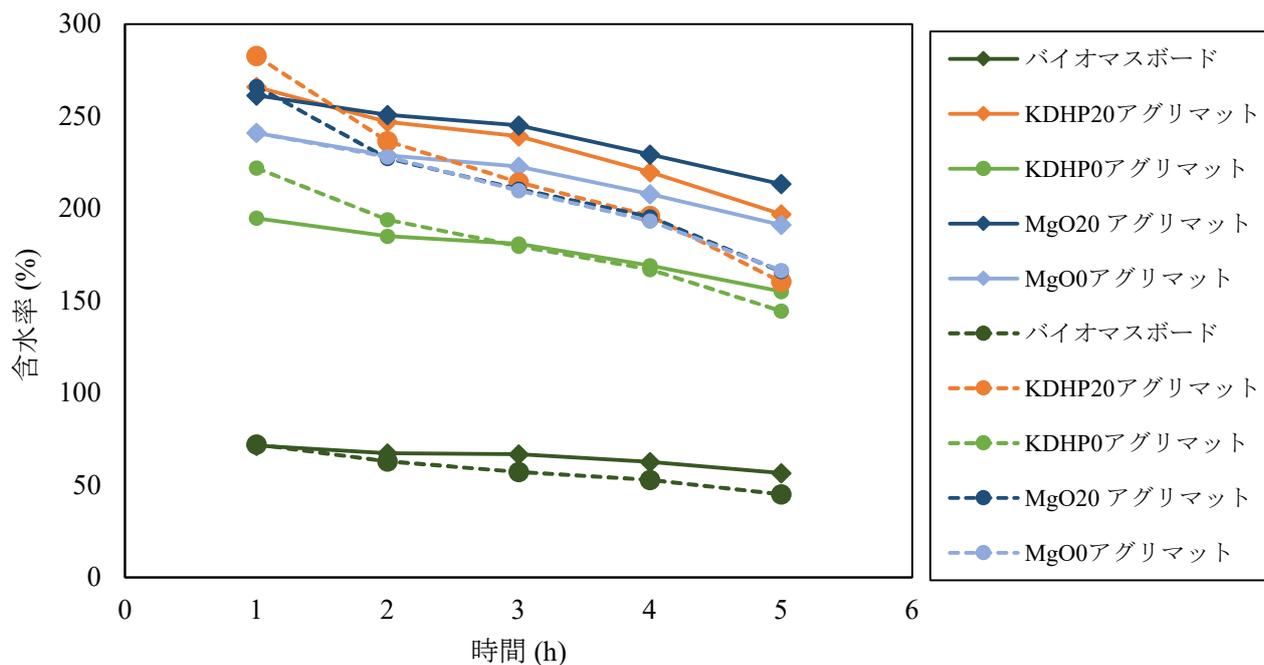


図2 各材料および藻類残渣量における含水率の時間変化（保水性 (%) 実線：25°C、湿度 60% 破線：35°C、湿度 40%)

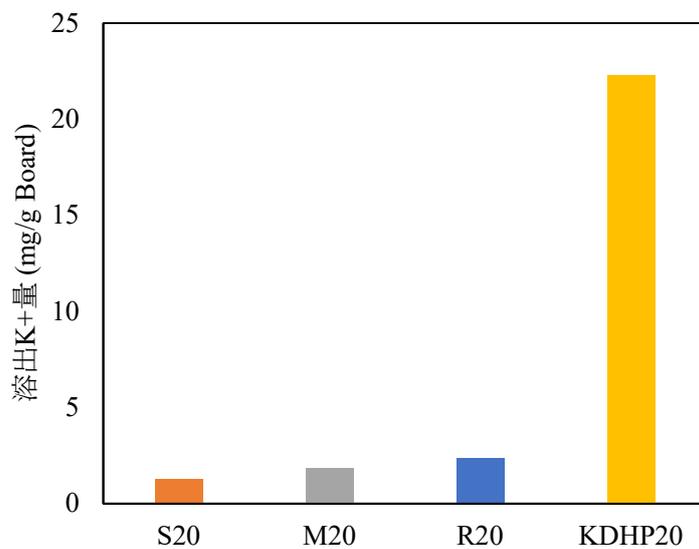


図3 藻類残渣含有率が 20%の時の各試験片における 24 時間後の溶出 K⁺量。

(iii) 降雨シミュレーションによる藻類残渣アグリマットの化学成分の溶出特性や物理的特性の分析

前項の結果より、KDHP ボードは寸法安定性と吸水性に優れるが、 K^+ が溶出する可能性が示唆された。そこで、KDHP アグリマットの栄養分の溶出特性に焦点を当てて降雨シミュレーションを実施した。降雨シミュレーションでは $25\text{ cm} \times 25\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ の試験片を用いた。また実験装置で用いたライシメーターは 5%の傾斜上に設置した。降雨シミュレーションでは 3 日間に分けて 70 mm/h の降雨を 3 回与え、それぞれ 10 分おき 60 分間にわたり浸透水を採集した。なお、降雨シミュレーションの 1 日の間隔を空けて実施した。浸透水中のカリウムイオン (K^+)、硝酸イオン (NO_3^-)、可給態リン酸、水素イオン濃度 (pH) を計測した。

実験結果を図 4 から図 7 に示す。実験結果よりどの条件でも KDHP の溶出 K^+ 量は高い水準にあるといえる。これは前項で行った小型の試験片と同様の結果となっており、KDHP アグリマットは実用環境でも多くの K^+ を溶出する可能性が示唆された。また、藻類含有量が多いほど溶出 K^+ 量が多い傾向があることがわかった。これは、藻類残渣に含まれている K^+ が溶出したためであると考えられる。一方、2 回目以降の降雨では溶出 K^+ 量は藻類含有率に関わらず大きく減少している。このことから、実用場面では KDHP アグリマットを長時間水にさらすことで過剰な K^+ の溶出を軽減できると考える。

溶出 NO_3^- 量に関しても藻類含有率が高いほど溶出量が多くなる傾向が確認された。また 3 回目の降雨までで溶出量は多少減少したが、3 回目では大きな変化は確認されなかった。

可給態リン酸は KDHP20 が最も高く、藻類残渣含有量が高いほど可給態リン酸が多くなった。これは KDHP にリンが含まれているだけでなく、藻類残渣にもリンが多く含まれていることが考えられる。多くの土壌でリンが限られており、アグリマットがリンの供給につながる可能性が期待できる。

pH 値は藻類含有率に関わらず全ての条件で増加しており、塩基性化していることがわかる。これは酸性土壌化を防ぐ効果が期待できる。

また今回の降雨シミュレーションではいずれの条件においても降雨によって表面を流出した水は無く、全て水が KDHP アグリマットを浸透した。昨年度以前の研究で開発したアグリマットでは一部の雨水が表面を流出したため、本研究の KDHP アグリマットが比較的高い吸水性能を有すると考えられ、実用場面において、表面流出を抑え、多くの水を土壌中にゆっくり浸透させること期待される。

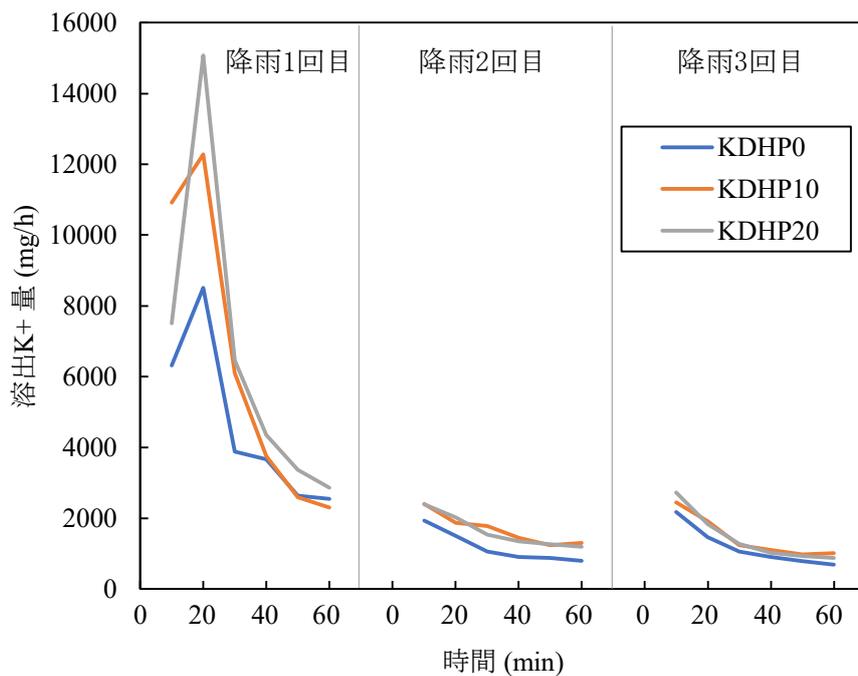


図4 各アグリマットにおける溶出 K⁺量の変化

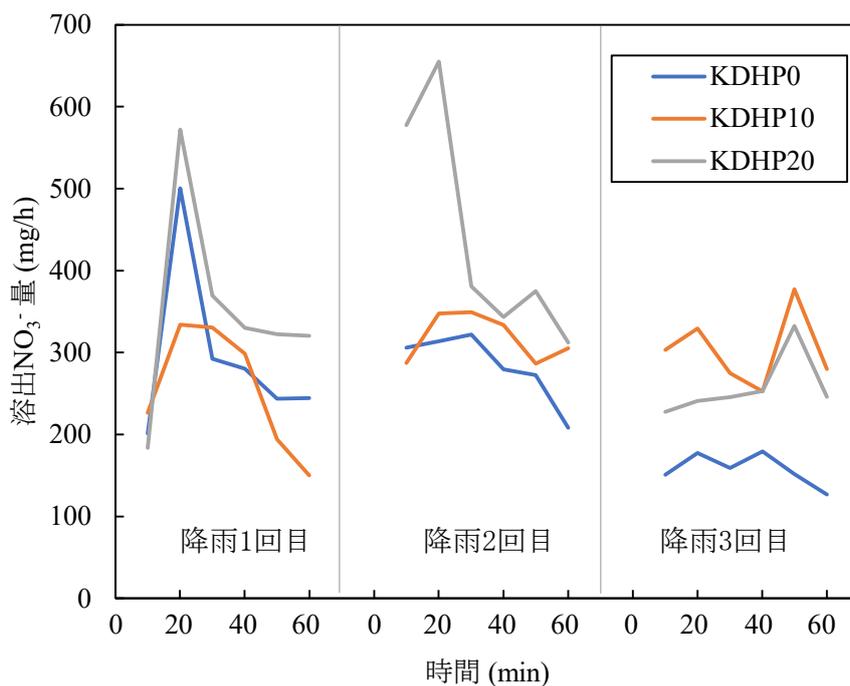


図5 各アグリマットにおける溶出 NO₃⁻量の変化

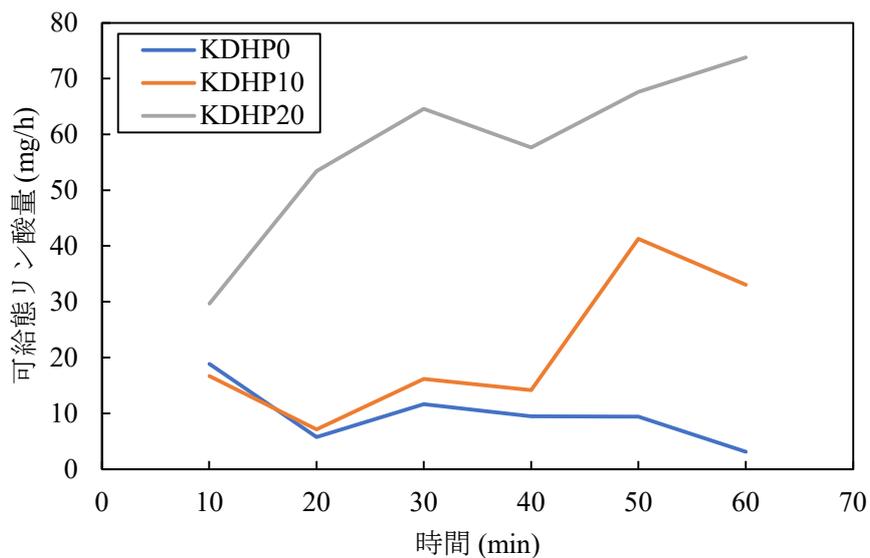


図6 各アグリマットにおける可給態リン酸量の変化

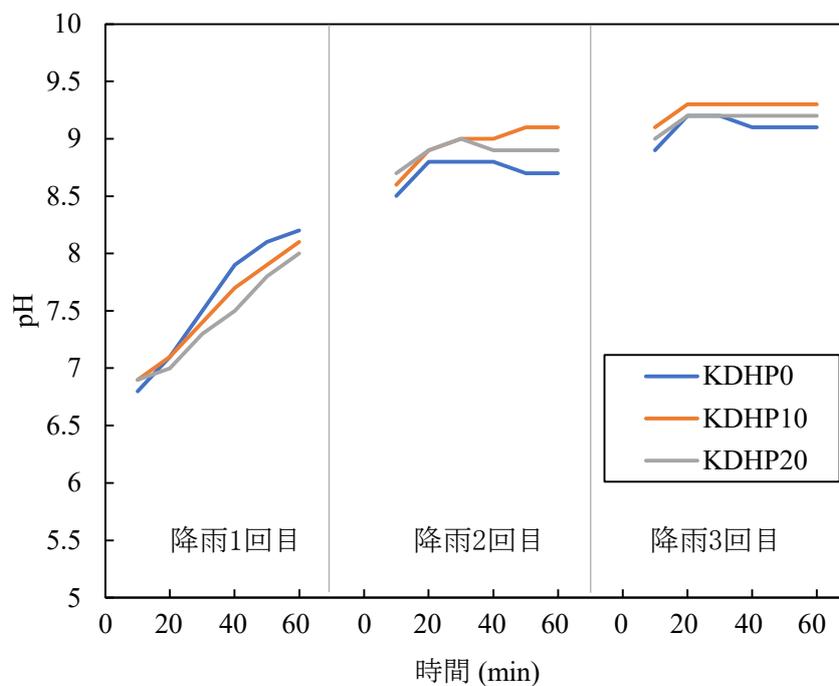


図7 各アグリマットにおける浸透水のpH値の変化

(iv) 温室条件下での試験作物に対する藻類残渣含有アグリマットの効果の検証。

・マルチングアグリマット処理がハツカダイコンの成長と物理化学パラメータに及ぼす影響

各マルチングアグリマットにおけるハツカダイコンの成長を、6週間の温室実験においてライシメーター（480 mm × 330 mm × 150 mm）で実施した。実験装置で用いたライシメーターは5%の傾斜を持たせて設定した。実験開始時の構成を図8に示す。ハツカダイコンの育成はアグリマット（KDHP0）、藻類残渣含有率が質量比で20%のアグリマット（KDHP20）、コントロール（C）の3つの処理条件で実施した。なおコントロール（C）とアグリマット（KDHP0）には藻類残渣アグリマット（KDHP20）に添加した藻類残渣と同じ質量の藻類残渣を土の表面に設置した。

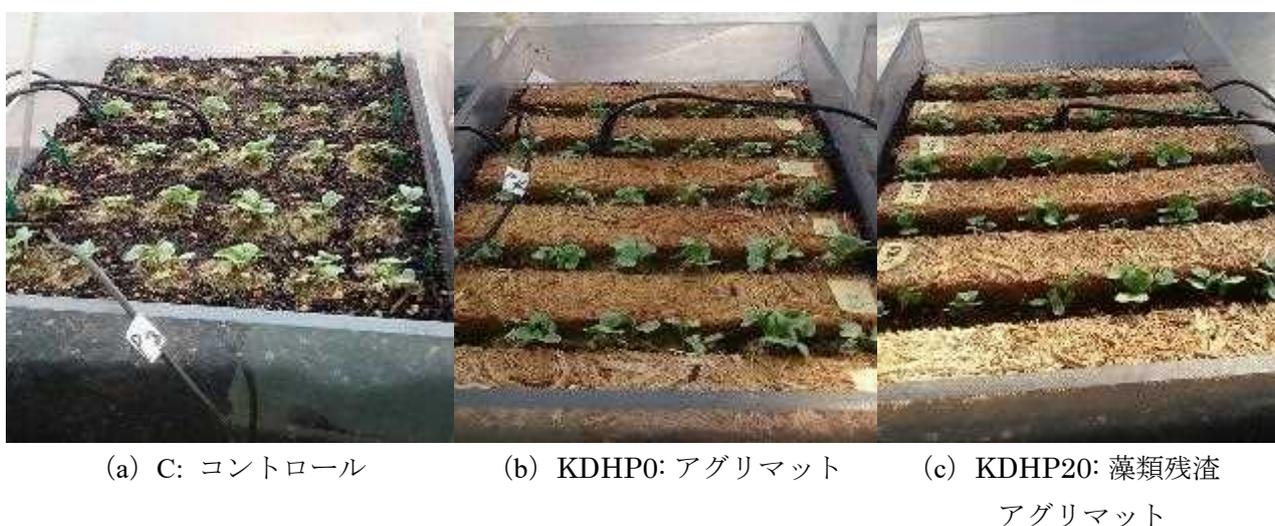


図8 実験開始時の構成

表3に収穫物の地下部と地上部の生重量と乾燥重量を示す。アグリマット（KDHP0）では、藻類残渣アグリマット（KDHP20）およびコントロール（C）と比較して地上部のハツカダイコンの重量（生重量）はわずかに高かった。

図10に葉のクロロフィル含有量（SPAD値）を示す。アグリマット（KDHP0）とコントロール（C）は、藻類残渣アグリマット（KDHP20）に比べてSPAD値が高い結果となった。これは藻類残渣アグリマットが他の条件より保水性が高いことによりアグリマット中の藻類残渣が保有する K^+ の流出を抑えられ K^+ が土からあまり流失しなかったため、植物の窒素の吸収を阻害したためと考えられる。

表3 マルチングアグリマット処理によるハツカダイコンの重量への影響

処理手法	生重量 (g)		乾燥重量 (g)	
	地下部	地上部	地下部	地上部
アグリマット (KDHP0)	6.50 ± 0.71	17.28 ± 1.10	0.59 ± 0.05	1.43 ± 0.09
藻類残渣アグリマット (KDHP20)	5.91 ± 0.51	10.75 ± 0.81	0.56 ± 0.05	0.95 ± 0.08
コントロール (C)	6.46 ± 0.50	10.02 ± 0.58	0.51 ± 0.04	0.88 ± 0.29



図9 各マルチングアグリマット処理において収穫されたハツカダイコン (左から順に KDHP20: 藻類残渣アグリマット、KDHP0: アグリマット、 C: コントロール)

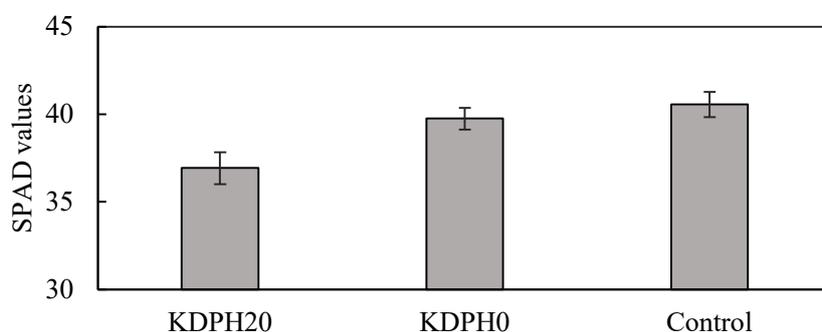
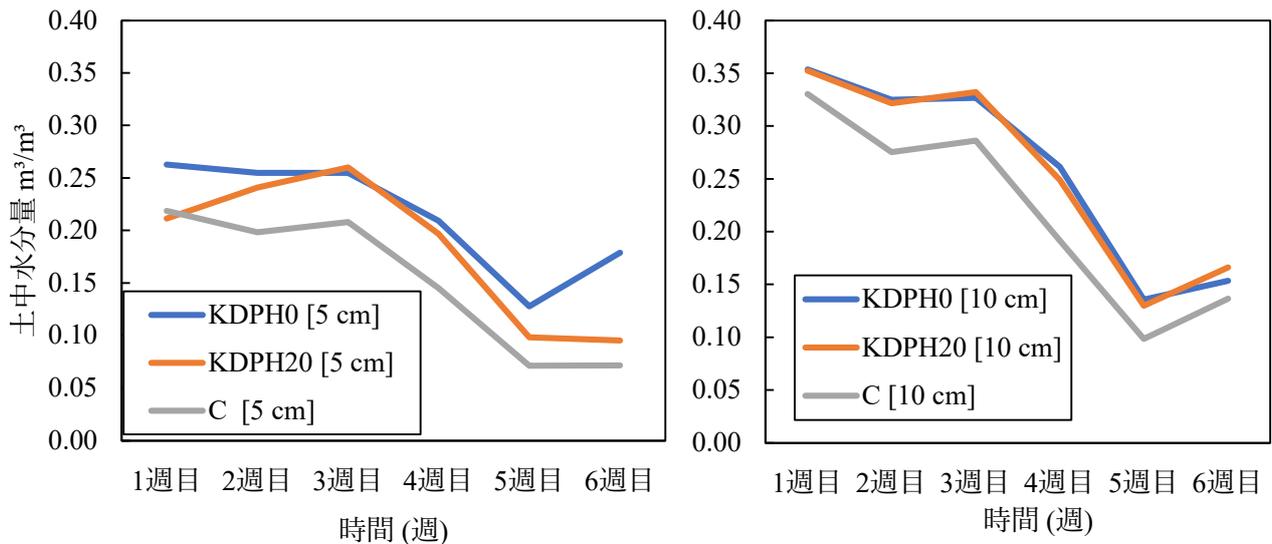


図10 マルチングアグリマット処理によるクロロフィル含有量 (SPAD 値) への影響 (KDHP20: 藻類残渣アグリマット、KDHP: アグリマット、C: コントロール)

・マルチングアグリマット処理によるハツカダイコン生育中の土中の水分、温度への影響

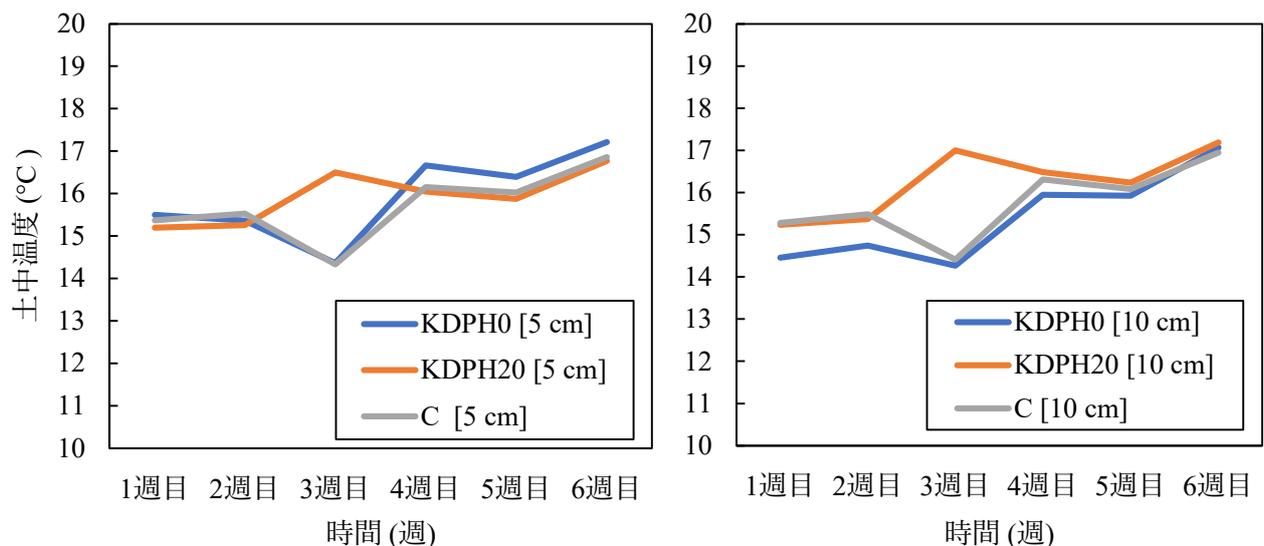
センサを土中の深さ 5 cm と 10 cm の位置に設置し、温室内での育成中のハツカダイコンの土中の状態 (水分、温度) の変化を計測した。なお、マルチングの被覆率はアグリマット (KDHP0) と藻類残渣アグリマット (KDHP20) とともに 57%とした。測定結果を図 11、図 12 に示す。土中水分量は深さ 5 cm と 10 cm 共にコントロールが最も低かった。これはアグリマットのマルチング効果により水分が保持されたためと考えられる。土中温度はすべての条件で一定の温度の範囲 (14.3~17.2 °C) に収まり比較的安定していた。



(a) 深さ 5 cm

(b) 深さ 10 cm

図 11 異なる深さにおける各マルチングアグリマット処理の土中水分量 (m³m⁻³)
(KDHP0: アグリマット、KDHP20: 藻類残渣アグリマット、C: コントロール)



(a) 深さ 5cm

(b) 深さ 10cm

図 12 異なる深さにおける各マルチングアグリマット処理の土中温度 (°C)
(KDHP0: アグリマット、KDHP20: 藻類残渣アグリマット、C: コントロール)

・マルチングアグリマットの違いによるハツカダイコン生育中の土中の物理化学特性の変化

成長したハツカダイコンの土に給水を行い、ライシメーターを用いて土中を通過した浸透水の量を計測した。給水では 1500 g の水を短時間で素早く給水した。給水後の浸透水量と浸透水の pH 値を表 4 に示す。表 4 よりコントロールに比べてアグリマット (KDHP0) と藻類残渣アグリマット

(KDHP20) の浸透水量が少なかった。これはアグリマットが保水しているため浸透した水量が減少したためと考えられる。また、藻類残渣含有量が多いほど浸透水量は多く、浸透しなかった水量は少なくなる傾向が確認された。このことから藻類残渣が保水効果に影響していると考えられる。



図 13 ライシメーターを用いた実験装置と実験時の様子
(手前から順にコントロール、アグリマット、藻類残渣アグリマット)

表 4 マルチング処理が給水後の浸透水量と浸透水の pH 値。

処理手法	物理化学成分 (単位)		
	pH	浸透水量 (g)	表面流量 (g)
コントロール	7.2	218	182
アグリマット	7.4	581	110
藻類残渣アグリマット	7.5	634	102

・降雨シミュレーションによるハツカダイコンの土中の物理化学特性の分析

収穫直前のハツカダイコンの土に降雨シミュレーションを実施した。降雨シミュレーションでは 50mm/h の降雨を 60 分間行い、10 分間隔で浸透水の化学成分を計測した。図 14 に実験装置の外観を示す。降雨シミュレーション開始後最初に浸透した時間はコントロールでは 5 分 47 秒であり、KDHP0 では 6 分 7 秒であり、KDHP20 では 10 分 33 秒であった。そのため、最初の 10 分間の計測では KDHP20 の浸透水量はなく、土壌中の栄養素の流出はなかった。また、浸透水量はコントロールが一番多く、KDHP20 が一番少ない結果となった。これは藻類残渣入りアグリマットの保水性能の高さを支持するものである。降雨シミュレーションで土を浸透した水の様子を図 15 に示す。降雨シミュレーションは実験の開始からおよそ 2 ヶ月経過しているが、浸透水の色はコントロールに比べ KDHP0 と KDHP20 ともに褐色であり、依然浸透水の成分に差があることがわかる。表 5 に降雨シミュレーションの浸透水の pH 値および電気伝導率の測定結果を示す。表 5 より電気伝導率は KDHP0 と KDHP20 ともにコントロールに比べて高い数値を示しており、何かしらの化学成分がアグリマットに長い期間をかけて流出していると考えられる。



図 14 降雨シミュレーション実験装置



(a) コントロール (C)

(b) アグリマット (KDHP0)



(c) 藻類残渣アグリマット (KDHP20)

図 15 降雨シミュレーションにおける浸透水の様子
(左から順に 10 分、20 分、30 分、40 分、50 分、60 分)

表 5 マルチング処理が降雨シミュレーションの浸透水の pH 値および電気伝導率

	10分	20分	30分	40分	50分	60分	合計
コントロール							
pH	7.6	7.4	7.3	7.3	7.2	7.0	-
EC (μS/cm)	3050	2750	2500	1750	1660	1470	-
Infiltration (g)	186.7	765.0	1060.2	1180.2	1212.8	1244.7	5649.6
アグリマット							
pH	8.0	7.6	7.4	7.5	7.5	7.5	-
EC (μS/cm)	8000	3950	3650	2550	2200	1950	-
Infiltration (g)	27.1	266.8	1227.6	1095.1	1137.1	1179.5	4933.2
藻類残渣アグリマット							
pH	NA	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5	-
EC (μS/cm)	NA	3700	3300	3100	2950	2500	-
Infiltration (g)	0.0	498.1	883.8	1043.5	1121.3	1186.4	4733.1

(v) KDHP 硬化剤を用いたコールドプレスアグリマットの水中でのイオン溶出特性の分析

従来手法で作製したアグリマットやその他の素材と KDHP 硬化剤を用いた藻類残渣アグリマットの水中における物理特性を比較した。実験では7種類の試験片を用意した。対象とする試験片はそれぞれ搾汁後1年以内の新しいバガス、搾汁後3年が経過したバガス、搾汁後5年が経過したバガス、MgOを硬化剤として用いたコールドプレスアグリマット、水蒸気処理ボード (Ibi)、KDHP を用いたコールドプレスアグリマット (KDHP0 アグリマット)、藻類残渣とした。それぞれの試験片を24時間浸水し、水中のNO₃⁻、K⁺を計測した。計測結果を図16、図17に示す。解析結果よりKDHPアグリマットは他の試験片に対し非常に多量のK⁺が溶出した。また、藻類残渣でも比較的多いK⁺の溶出があった。NO₃⁻に関してはMgOアグリマットとKDHPアグリマット、藻類残渣において溶出量が多いことがわかる。

本研究グループでは、昨年度までに提案したMgO粉末そのものを硬化剤として使用する方法来に代わり、MgOの効果を促進させるため、クエン酸とリン酸二水素カリウム (KDHP) を添加したアグリマットを開発した。得られた結果は以下のようにまとめられる。

- 1) クエン酸を用いたアグリマットは水中浸漬時の寸法安定性に欠けており、アグリマットには適していない。一方、KDHPを用いたアグリマットはMgOのみを用いたアグリマットと比較して寸法安定性、吸水性ともに大幅に向上した。さらに、KDHPアグリマットに藻類残渣を混合することで、さらに保水性能を向上できることが明らかになった。
- 2) KDHPを使用したアグリマットは化学反応により硬化が進むため、乾燥前に相応の硬化が生じた。これにより、昨年度までに提案したMgOボードよりも生産性を大幅に向上できることを確認した。
- 3) KDHPアグリマットを使用する場合には、アグリマットから比較的多くのK⁺が溶出することがあった。K⁺の土壌への溶出を防ぐには、圃場設置前にアグリマットを水にさらすことで、あらかじめアグリマット中のK⁺の濃度を下げるなどの手法が考えられる。

今後の展望としては、K⁺を含まない硬化剤を用いてMgOの硬化を行うことで、土壌のK⁺の流出量を

制御することが挙げられる。

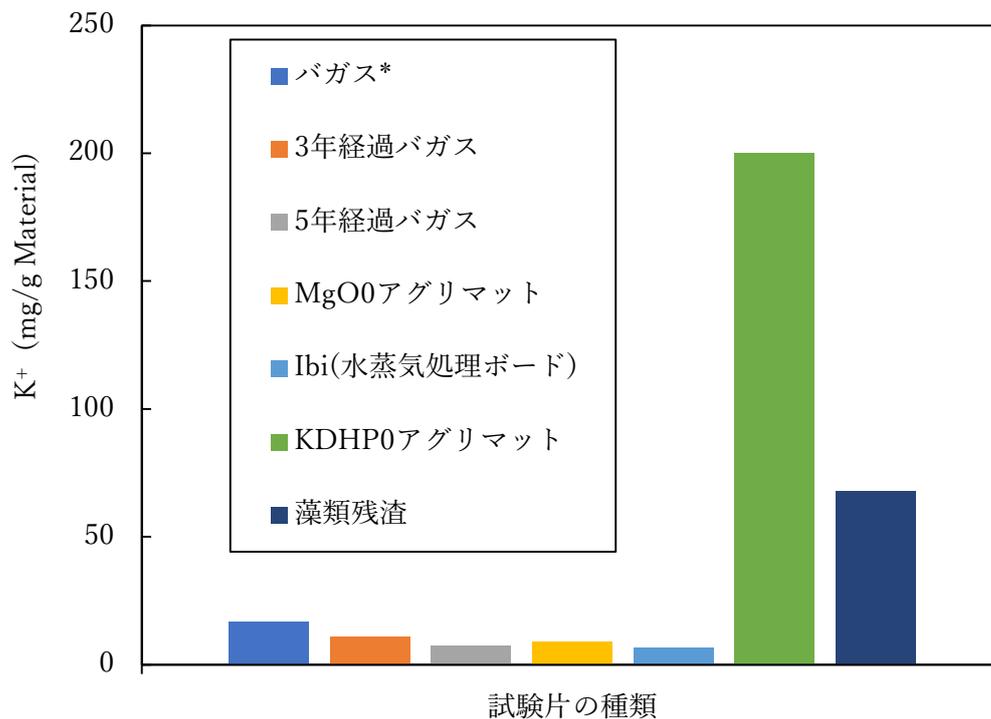


図 16 各試験片からの K⁺の溶出量

*搾汁後 1 年以内の新しいバガス

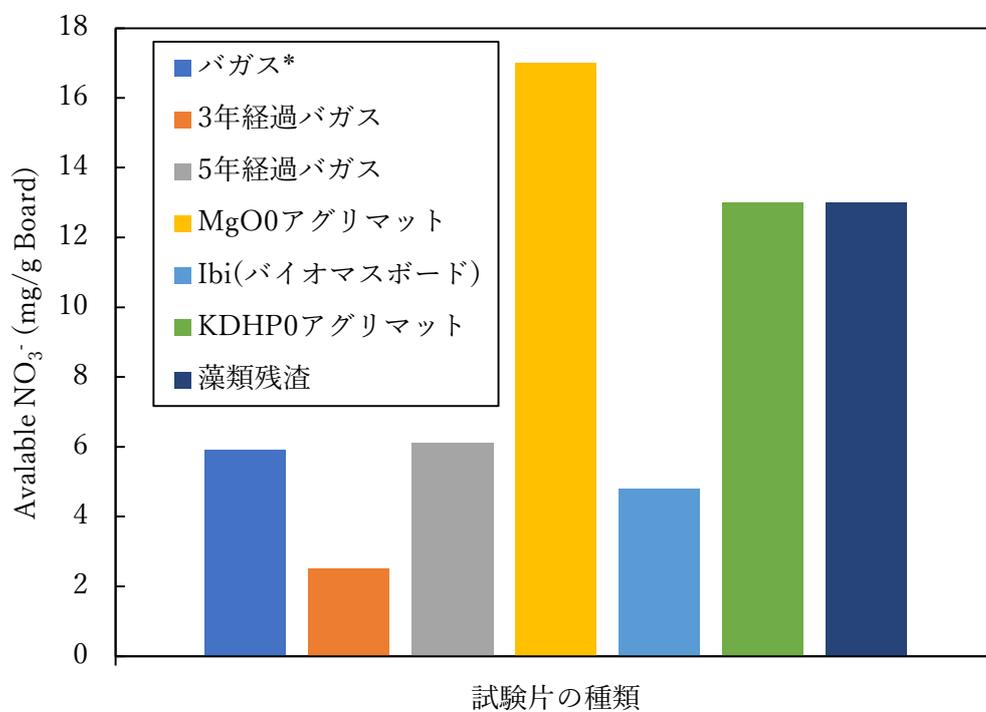


図 17 各試験片からの NO₃⁻の溶出量

*搾汁後 1 年以内の新しいバガス

② 研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

昨年度は新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響により海外出張が禁止となり、南アフリカ共和国のカウンターパートへの技術移転を実施できなかった。

③ 研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし。

(4) 研究題目 4 : 「実証試験装置の開発および実証実験」

グループ E (リーダー : 名古屋大学 神田)

① 研究題目 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。これまでに、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 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

既に 2019 年度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 400 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 年より南アフリカ共和国の若手研究者に運転技能を実施したが、まだ操作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のサポートが必要なレベルに留まっている。このため、2020 年 10 月より南アフリカ共和国在留の邦人の協力も仰ぎながら、日本からのリモート指示により南アフリカ共和国側研究者とともに装置の運転を実施している。

③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

これまで、様々な微細藻類に対して液化 DME 抽出法を適用でき、また南アフリカ共和国に設置した大型装置でもその妥当性が示された。しかし微細藻類を 30L も抽出槽に充填すると抽出槽が閉塞したり、一部しか抽出されないといった、当初研究計画では予期していない新たな課題が発生した。このためバガスを微細藻類と充填することでこれらの問題を解決した (図 4-2)。これはバガスの主成分のセルロースやヘミセルロースが液化 DME に不活性であるとともに、セルロース繊維の内部に存在するメソ孔が液化 DME もの、バガスの体積が大きいことから、微細藻類の最大充填量がおおよそ 11.1kg へと減少するという別の課題も生じた。

2019 年末~2020 年初頭に始まった COVID-19 パンデミックにより、南アフリカ共和国への渡航が 2020 年 3 月以降不可能となり、さらに 2020 年 9 月まで南アフリカ共和国で世界的にも厳格なロックアウトが実施された。このため日本側研究者による現地での運転指導ができなくなった。この不測の事態に対応するため、2020 年 2 月~3 月に名古屋大学の研究者が南アフリカ共和国に在住の邦人に集中的に同装置の運転方法とメンテナンス方法を指導した。ロックダウンが緩和された 2020 年 10 月から当該邦人が日本からの名古屋大学の研究者によるリモート指示に従って、同装置を南アフリカ側研究者とともに運転・保守管理している。

④ 研究題目 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、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現地試験において立証するとともに、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。また、研究題目 3 で作成するアグリマットの原料となる微細藻類とバガスの混合残渣を作成する (図 4-1)。同装置の運転を通して装置の新たな課題を明らかにするとともに、その解決法を今後の更なるスケールアップ展開に資する。



図 4-1 バガスを混合したサンプルの抽出前後の様子

⑤ 研究題目 4 の研究実施方法 (参考)

過年度の進捗を含めて報告する。2019 年 5 月に巴工業から調達した微細藻類回収装置 (図 4-2) はアフリカ共和国ダーバン郊外の Kingsburgh 水処理場内で、現在も良好に稼働している。最大処理量は 7ton/h であり、装置によって藻を分離した後に排出された水はほぼ無色透明であり良好に微細藻類を分離できている。

名古屋大学が設計・製作した液化 DME を溶媒とする微細藻類油脂抽出装置 ((図 4-3: 抽出槽 30L 規模) も同水処理場内に 2019 年 6 月に設置して運転を開始した。60°C 程度の熱源と液化



図 4-3 微細藻類回収装置



図 4-4 微細藻類油脂抽出装置

【令和 2 年度実施報告書】【210531】

DME を用いて高含水の微細藻類から油脂を抽出した。2020 年 3～9 月の運転休止を経て、2020 年 10 月より運転を再開し、既に研究題目 3 での試験に要する微細藻類とバガスの混合残渣 (図 4-1 右下) を約 100kg 作成し ARC へと輸送済みである。

また先述の通り、微細藻類をバガスと混合すると抽出槽へ充填できる微細藻類の量が減少する新たな課題に対して、この原因はバガスの容積が大きすぎるのが原因であると考えた。このため、日本より図 4-4 に示すセルロース球を南アフリカ共和国に輸送し、これを新たな充填剤として用いた試験を実施中である。セルロース球はレンゴー製のビスコパール A であり直径は 2mm である。図 4-5 に示すこのセルロース球の断面図のように内部には空隙が多く嵩密度が 0.1g/cm^3 に過ぎない。空隙はメソ孔～マクロ孔から構成されているとされているので、この空隙に微細藻類に多量に含まれる水分を吸収させることで、微細藻類の充填量を増やす目論見である。

このセルロース球と微細藻類を混合したサンプルを図 4-6 に示す。体積比で 2 : 1、重量比で 20 : 2.67 (kg/kg) となるように混合した状態であり、微細藻類特有の濃い緑色に呈色している。このサンプルを用いて微細藻類油脂抽出装置による試験を実施したところ、残渣は図 4-7 のように明るい黄緑色に変色した。まだ残渣への残留油脂量や水分量については測定できていないものの、これまでの卓上レベルの液化 DME 試験や、バガスと混合した際の現地における試験では、この明るい黄緑色はほぼ完全に油脂が抽出された際に特徴的な色彩であり、油脂が抽出された可能性が高いと考えている。



図 4-5 セルロース球の外観

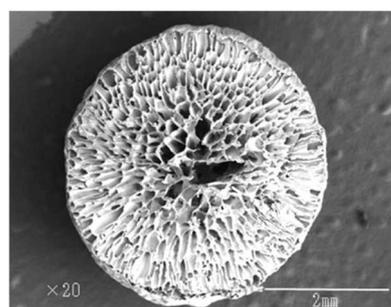


図 4-6 セルロース球の断面



図 4-7 微細藻類とセルロース球の混合サンプル



図 4-8 微細藻類とセルロース球の混合残渣

(5) 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

2020 年度の研究では、2019 年度までに検討した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に基づき、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 1 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。

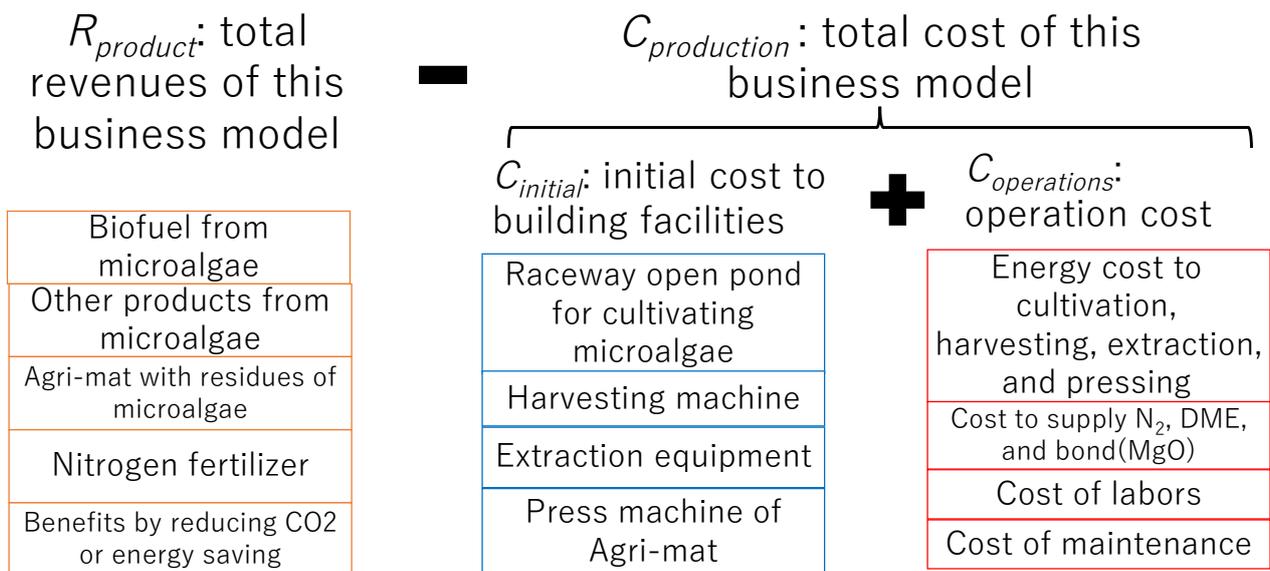


図 1 本プロジェクトのビジネスモデルにおける収入-費用構造の概要

(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、想定す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。

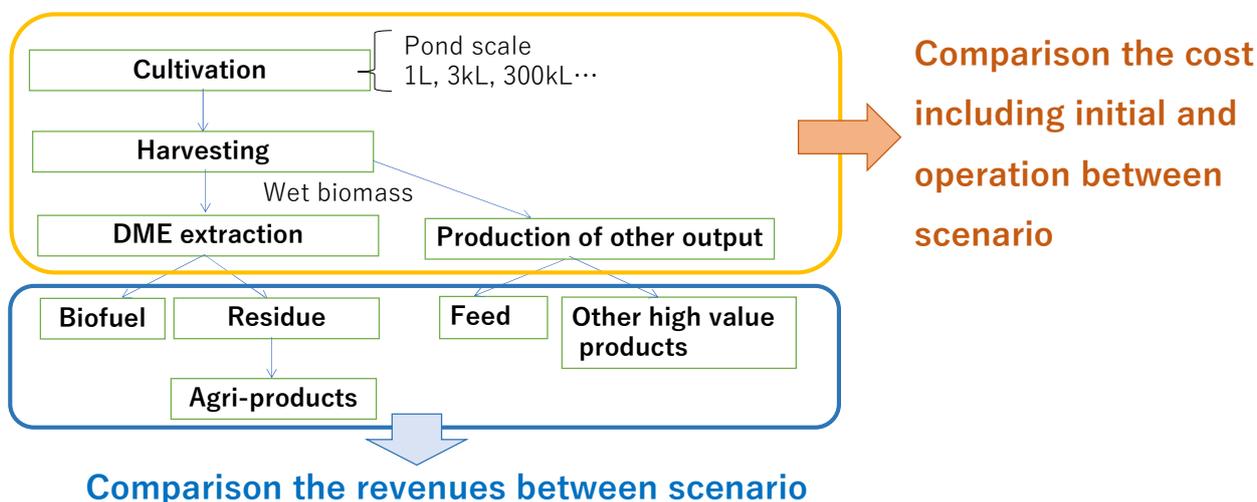


図2 本プロジェクトのビジネスモデルのシナリオ分析の基本構造

(出典) 研究メンバー間での議論に基づき作成。

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た。サーキュラーエコノミーのビジネスモデルについていくつかの典型的なパターンを検討したうえで、本プロジェクトに関連する資源循環と廃棄物の発生抑制に関連するサーキュラーエコノミーのビジネスモデルの選定を行った。

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）

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るが、抽出槽にバガスやセルロース球を、微細藻類とともに充填する必要性が生じたことから、正味の微細藻類の充填量が少なくなっている。これはコスト増に繋がる問題であり、充填物を工夫することによって如何にして微細藻類の充填量を増やすかが課題となっている。また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

2019 年末～2020 年初頭に始まった COVID-19 パンデミックにより、南アフリカ共和国への渡航が 2020 年 3 月以降事実上不可能となり、さらに 2020 年 9 月まで南アフリカ共和国では軍隊が外出禁止を取り締まるほど、世界的にも厳しいロックダウンが実施された。

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た。

本プロジェクトにおいて、微細藻類を培養・収穫・油脂抽出を行っている Kingsburgh 水処理場には下水に COVID-19 ウイルスやその断片が含まれる恐れがあるが、これらの下水管での滞留時間は日本とは異なっており、不活性になっているか否かの判断が難しい状況であった。また、南アフリカ共和国政府により COVID-19 ウイルスの検出や活性に関する試験は医療にリソースが集中投入されたために、下水中の COVID-19 ウイルスに関する試験ができない状況が続いた。

その間にも、DUT は Kingsburgh 水処理場にて下水二次処理水を用いた微細藻類の培養試験を 6 月に再開したが、防護服を着用しての実施であった。しかし同水処理場内にある eThekweni 自治政府職員や管理を委託された警備員などは防護服を着用せずに業務を継続し、これら人員にクラスターが発生していないことから、同水処理場が感染源となる可能性は小さいと判断して、ロックダウンが緩和された 2020 年 10 月から微細藻類油脂抽出装置の運転を再開した。また、DUT も防護服を簡易的なものに変更するなど対応を緩めている。



図 2020 年 5 月頃の Kingsburgh 水処理場内で防護服を着用した DUT 研究者の様子

(2) 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)

ARC によるアグリマットを用いたフィールド試験については、今後ロックダウンが再び実施される場合、外出制限によりアグリマットを用いたフィールドテストを行えなくなるので、屋内に大型の植木鉢を設置したポットテストを並行して実施する。また、東京農工大学による現地における ARC へのアグリマットの作成に関する技術指導が行えなくなるので、東京農工大学にも同型のアグリマット作成装置を設置してリモートで ARC に作成方法の指導を行う対応を取る。

(3) 研究題目 4 : 「実証試験装置の開発および実証実験」

グループ E (リーダー: 名古屋大学 神田)

現地での抽出試験では、日本からのリモート指示に従って南アフリカ共和国在住の邦人と DUT 研究者が微細藻類油脂抽出装置を運転・保守管理を行い、抽出試験を継続してアグリマットの原料となる微細藻類の残渣を作成することとした。現時点で ARC によるポットテストで用いるアグリマットの原料分の抽出残渣を製作済みであり、今後再びロックダウンが実施された場合の研究題目 3 の実施に備えた対応をとっている。

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・試運転を行った。また、COVID-19による渡航禁止となる直前の2020年2月に、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。既に、現地で培養した微細藻類を、現地の微細藻類回収装置と油脂抽出装置を用いて油脂を抽出除去した残渣を作成し、これを原料としたアグリマットの製作を開始しており、その最適条件を探っている段階である。詳細な内容は非公開情報として報告している。



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

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のち、COVID-19感染症予防対策に伴う、各種の展示会が中止されたため、2020年度の社会実装に向けた取り組みは停滞している。しかしながら、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断続的に協議を進めている。

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。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

2021 年に入ってから米国でバイデン政権が誕生し、オバマ政権時代の再生可能エネルギー政策が加速している。他にも米国 Apple 社が取引先にも脱炭素化を求めたり、欧米金融機関やファンドが株主や出資者として企業に脱炭素化を求める動きがでてきている。これに伴って太陽光発電や風力発電へのシフトが加速している。

しかしながら、2021 年に日本国内で夏季と冬期の電力不足が予測されており、その原因として低効率な石炭火力発電所の採算性悪化に伴う廃止と、それに伴うグリーン電力の出力変動を火力発電で補完する能力の低下が挙げられている。つまりグリーン電力の蓄電設備を充実させるか、化石燃料代替のグリーン燃料を生産しなければならないという新たな問題がクローズアップされてきた。また脱炭素化の流れは発電だけに留まらず有機原材料にも広がっており、光合成能力に優れる微細藻類の活用は、近い将来必ず重要性を増すはずである。燃料であっても有機原材料であっても、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）で油脂を抽出可能な、液化 DME を用いた抽出技術は、世界共通の重要なコア技術になりうる。微細藻類の導入を本格化させる本技術は日本発祥の技術であり、必然的にプレゼンスは劇的に向上する。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., Ramana, 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.jenvman.2017.08.012	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)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(Scimago Journal & Country Rank Q1)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(Scimago Journal & Country Rank Q1)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(Scimago Journal & Country Rank Q1)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	10.11408/j.sidre.87.1.297	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	10.14723/tmrsj.45.9	国内誌	発表済	
2020	Ansari, FA., Nasr, M., Rawat, I. and Bux, F. Artificial neural network and techno-economic estimation with algae-based tertiary wastewater treatment. Journal of Water Process Engineering, 40, 101761, 2020	10.1016/j.jwpe.2020.101761	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)への掲載
2020	Siti Machmudah, Dimas Tiar Wicaksono, Mary Happy, Sugeng Winardi, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto, Water Removal from Wood Biomass by Liquefied Dimethyl Ether for Enhancing Heating Value, Energy Reports, 6, 824–831	10.1016/j.egy.2020.04.006	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)への掲載。木質がDMEに対して不活性であることを検討。この知見を元に藻とバガスを混合する手法を考案。
2020	Hideki Kanda, Tsubasa Katsube, Rintaro Hoshino, Mitsuhiro Kishino, Wahyudiono, Motonobu Goto, Ethanol-free antisolvent crystallization of glycine by liquefied dimethyl ether, Heliyon, 6, e05258	10.1016/j.heliyon.2020.e05258	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)への掲載。微細藻類を構成するアミノ酸がDMEに不要であり残渣に残留することを補強する内容。
2020	Hideki Kanda, Wahyudiono, Siti Machmudah, Motonobu Goto, Direct extraction of lutein from wet algae by liquefied dimethyl ether without any pretreatment, ACS Omega, 5, 24005–24010	10.1021/acsomega.0c03358	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)への掲載。藻類に含まれるcarotenoidを抽出。
2020	Akwasi Dwira Mensah et al., S. Onwona-Agyeman, Influence of Soil Characteristics and Land Use Type on Existing Fractions of Radioactive 137Cs in Fukushima Soils, Environments, 2020, 7, no.16	10.3390/environments7020016	国際誌	発表済	
2020	Sibongiseni Mgozeli, Adornis D. N. et al., Innovative Pro-Smallholder Farmers' Permanent Mulch for Better Soil Quality and Food Security Under Conservation Agriculture, Agronomy 2020, 10(4), no. 605	10.3390/agronomy10040605	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)への掲載
2020	Adam Yakubu et al., S. Onwona-Agyeman, Impact of Sugarcane Bagasse Mulching Boards on Soil Erosion and Carrot Productivity, Catena, in press, 2021		国際誌	in press	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)への掲載

2021	Hideki Kanda et al., Surfactant-free decellularisation of porcine aortic tissue by subcritical dimethyl ether, ACS Omega, 6, 13417 – 13425, 2021	10.1021/acsomega.1c01549	国際誌	発表済	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)への掲載。本論文の supplemental information に記載のDMEの生物毒性に関する部分が該当。
2021	Hideki Kanda et al., Molecular dynamics and thermodynamic model of triple point of Lennard-Jones fluid in cylindrical nanopores, Chemical Engineering Science, in press, 2021		国際誌	accepted	分野トップレベル雑誌(Scimago Journal & Country Rank Q1)への掲載。研究題目2における抽出シミュレーションのプログラム開発段階で実施した単成分での動作確認の結果に相当。

論文数 16 件
うち国内誌 2 件
うち国際誌 14 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
2019	星野倫太郎, 液化ジメチルエーテルの湿潤バイオマスからの油脂抽出およびアミノ酸晶析への適用, 名古屋大学, 2016.9	学位論文(博士)	発表済	
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 Jiraratchwaro, 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, 2020.9	書籍	発表済	
2020	加藤美砂子, 今村杜輔, 宮下英明, 齋藤猛, 松本光史, 増田篤稔, 神田英輝他, 藻類応用の技術と市場, シーエムシー出版, ISBNコード 978-4-7813-1516-4, 2020	書籍	発表済	
2020	神田英輝, CO2量抑え抽出に成功 微細藻類からバイオ燃料、名古屋大学環境報告書2020, 23-24, 2020.9	総説	発表済	
2021	神田英輝など, 高圧力の科学・技術事典, 朝倉書店、印刷中	書籍	accepted	
2021	神田英輝, 低沸点弱極性溶媒による高含水微細藻類からの油脂抽出方法、生物工学会誌, 89(9), 2021.9. 印刷中	総説	accepted	

著作物数 14 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

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 分離技術会年会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年会、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」ダージリン、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 AnsongOmari, 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 dimethy 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 Chlorella vulgaris 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 Desmodesmus 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	Jirarachwaro 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, Jirarachwaro 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, Jirarachwaro 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, Naomasa Yamamoto, Qingxin Zheng, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto, Design of lipids extraction process 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
2020	国内学会	神田英輝(名古屋大学)、低沸点弱極性溶媒DMEを用いる乾燥不要の油脂抽出技術、JST/OPERA機能性バイオ共創コンソーシアム・東京大学大学院新領域創成科学研究科 第10回「機能性バイオ」ミニシンポ (2020/12/23)	招待講演
2020	国際学会	S. Onwona-Agyeman (Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)、Development of Eco-friendly Mulching Boards and their Role in Conservation Agriculture, Soil & Water Conservation Society 第75回年度大会、オンライン、7月28日	口頭発表
2020	国内学会	S. Onwona-Agyeman (Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)、Nutrient Release Patterns of Bagasse-based Mulching Boards at Different Fabrication Conditions、第30回日本MRS年次大会、オンライン、12月9日	口頭発表

招待講演	17	件
口頭発表	23	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」など)	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 process 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	
2020	2020/4/22	中部経済新聞(朝刊)	オープンカレッジ「グローバル経済は終わったのかーコロナ後の世界と循環型経済ー」	8面	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2020	2020/10/14	中部経済新聞(朝刊)	オープンカレッジ「コロナ後の世界経済のあり方-経済復興へ脱炭素・循環経済・SDGsの取り組みが加速」	8面	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2020	2021/3/7	朝日新聞	先端人 名大神田英輝さん 効率的に藻類から油脂を抽出	朝刊18面	1.当課題研究の成果である	
10 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	eThekweni 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	eThekweni 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	eThekweni 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	2017/2/20-22	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 Mabuza 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、堤教司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)		JCCI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)		JCCI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)		JCCI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)		JCCI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)		JCCI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)		JCCI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)		JCCI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)		JCCI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 農学国際教育研究センター第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	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
2020	2020/12/17	名古屋市長桜台高校の総合学習授業	名古屋市内	11人	公開	アウトリーチ活動 対象・一般市民(高校生以上)

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オープンボ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、アグリマツ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・アグリマツ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。
2020	2021/2/23	コロナ禍での相互渡航の中断と南アロックダウンへの対応について	約20名	Web開催 アグリマツを用いる試験を屋内ポットテストに変更するとともに、抽出装置にバガスを開塞防止材として充填することに伴う容量減少への対応方法について確認した。またプロジェクトの終了を1年間延長して2022/3/31とすることで合意した。

4 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4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"> ・二酸化炭素の大幅な固定化 ・世界初の藻類由来バイオ燃料の高効率抽出法の開発 ・藻類残渣によるアフリカの農業の発展 ・成果活用による日本の産業の国際競争力の向上
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> ・微細藻類からのバイオ燃料抽出技術の開発 ・微細藻類残渣を用いた保水・栄養維持可能なアグリマット生産技術の開発
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"> ・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 ・微細藻類、下水汚泥、木質チップを用いた農業マット生産技術
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"> ・国際会議での発表 ・国際的なレビュー付雑誌への共著論文の掲載 ・ビジネスモデルや技術に関するハンドブック

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

