

「バイオジェット燃料生産技術  
開発事業」  
(中間評価)分科会  
資料 7

# 「バイオジェット燃料生産技術開発事業」

## 事業原簿【公開版】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	--------------------------------------



— 目 次 —

概要.....	概要- i
略称解説.....	略称解説- i
I. 事業の位置付け・必要性について .....	I-1
1. 事業の背景・目的・位置づけ .....	I-1
1-1 背景 .....	I-1
1-2 研究開発の目的.....	I-2
1-3 本事業の位置づけ .....	I-9
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	I-10
2-1 NEDO が関与することの意義.....	I-10
2-2 実施の効果 .....	I-10
II. 研究開発マネジメントについて .....	II-1
1. 事業の目標.....	II-1
1-1 アウトカム目標 .....	II-1
1-2 アウトプット目標.....	II-1
2. 事業の計画内容.....	II-1
2-1 研究開発の内容.....	II-1
2-2 達成目標 .....	II-2
2-3 研究開発の実施体制.....	II-5
2-4 研究開発の運営管理.....	II-5
2-5 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性.....	II-9
III. 研究開発成果について.....	III-1
(III-1) 一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験.....	III-1
(III-1-1) 高速増殖型ボツリオコッカスを使った純バイオジェット燃料生産一貫プロセスの開発 .....	III-1
(III-1-2) 高性能噴流床ガス化とFT合成による純バイオジェット燃料製造パイロットプラントの .....	III-16
(III-2) 実証を通じたサプライチェーンモデルの構築.....	III-31
(III-2-1) バイオマスガス化 FT 合成による SAF 製造実証およびサプライチェーン構築.....	III-31
(III-2-2) 国産第二世代バイオエタノールからのバイオジェット燃料生産実証事業.....	III-37
(III-2-3) 国産廃食用油を原料とするバイオジェット燃料製造サプライチェーンモデルの構築 .....	III-53
(III-2-4) 油脂系プロセスによるバイオジェット燃料 商業サプライチェーンの構築と 製造原価低減.....	III-59
(III-3) 微細藻類基盤技術開発.....	III-69
(III-3-1) 微細藻バイオマスのカスケード利用に基づくバイオジェット燃料次世代事業 モデルの実証研究.....	III-69
(III-3-2) 海洋ケイ藻のオープン・クローズ型ハイブリッド培養技術の開発.....	III-88

(Ⅲ-3-3) 熱帯気候の屋外環境下における発電所排気ガスおよびフレキシブル プラスチックフィルム型フォトバイオリアクター技術を応用した大規模微細藻類 培養システムの構築および長期大規模実証に関わる研究開発.....	III-103
(Ⅲ-3-4) 微細藻類由来バイオジェット燃料生産の産業化とCO <sub>2</sub> 利用効率の向上に 資する研究拠点及び基盤技術の整備・開発.....	III-111
IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて.....	IV-1
(添付資料).....	添付 1
「バイオジェット燃料生産技術開発事業」基本計画	

概要

		最終更新日	2022年10月4日	
プロジェクト名	バイオジェット燃料生産技術開発事業	プロジェクト番号	P17005	
担当推進部/PM担当者	<p>新エネルギー部 PM 矢野貴久(2021年11月～現在) 古川信二(2020年4月～2021年10月) 森嶋誠治(2017年11月～2020年3月) 矢野貴久(2017年4月～2017年10月) 中野朋之(2022年4月～現在) 保谷泉(2022年1月～2022年3月) 森康(2021年11月～現在) 小林靖(2020年4月～2022年9月) 木邑敏章(2020年2月～2021年12月) 中森研一(2019年4月～2020年11月) 柴原雄太(2019年4月～現在) 浅野浩幸(2018年10月～2021年3月) 吉田行伸(2017年10月～2022年3月) 萩原伸哉(2017年4月～2020年3月) 河守正司(2017年4月～2019年3月) 荒巻聡(2017年4月～2018年3月) 松永悦子(2017年4月～2017年9月)</p>			
0. 事業の概要	<p>本事業では、バイオジェット燃料製造技術を2030年頃までに実用化し、利用促進・普及を通じて、2030年以降の更なる航空分野における二酸化炭素等の温室効果ガス排出量を削減するため、ガス化・FT合成技術や微細藻類培養技術、ATJ技術等のバイオジェット燃料製造技術開発を行い、2030年頃までに商用化が見込まれる製造プロセスを確立する。</p>			
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>世界の航空輸送部門では、今後も拡大する航空需要予測を背景に、地球温暖化対策や石油価格変動に対するリスクヘッジの確保が業界としての大きな課題となっている。国連専門機関である国際民間航空機関(ICAO; International Civil Aviation Organization)は、長期的な低炭素化目標を策定し、その達成にバイオジェット燃料の導入が不可欠としている。また、製造コストが十分経済的になれば、石油価格変動に対するリスクヘッジとしても有効であることから、バイオジェット燃料導入に対する期待は世界的にも高まっており、今後市場規模が拡大すると予測されている。</p> <p>しかしながら、現状バイオジェット燃料は市場形成途上にあり、特に製造コスト削減については世界共通の課題となっている。加えて、実用化に向けては、製造に係る化石エネルギー収支や温室効果ガス排出削減効果の向上を実現し、かつ経済性が成立する製造技術の開発が必須となる。</p> <p>NEDOでは「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業」において液体バイオ燃料製造の要となる基盤技術(バイオマスガス化や微細藻類屋外大規模培養等)開発において優れた成果を得た。次の段階として、これら基盤技術を組合せた一貫製造プロセスにおけるパイロットスケール検証試験が不可欠であり、その成果を基に純バイオジェット燃料製造技術を2030年頃までに商用化するべく、安定的な長期連続運転や製造コストの低減などを実現していく必要がある。</p> <p>さらに 2030年頃までの商用化のためには、純バイオジェット燃料の一貫製造技術の確立とともに、原料の調達や製品の供給を含めたサプライチェーンの構築も視野に入れた実証を経て社会実装を図ることで、当該分野における市場を形成していくことが重要である。</p> <p>さらに、近年のカーボンリサイクルの政策、多様な原料に対する対応、海外の動向を</p>			

	受け、さらなる純バイオジェット燃料製造技術開発の加速が望まれている。							
2. 研究開発マネジメントについて								
事業の目標	<p>【アウトカム目標】 本事業によりバイオジェット燃料の市場形成を支援、促進することにより、2030年頃に、バイオジェット燃料製造技術の実用化を実現することで、ジェット燃料の使用に起因する温室効果ガス排出量の削減に貢献する。</p> <p>【アウトプット目標】 [～2020年度] 2020年度に微細藻技術およびBTL技術を用いたパイロットスケール一貫製造設備で、ASTM認証規格相当のSAFを20リットル/日以上、延べ300日/年以上で製造可能な運転技術を確立する。</p> <p>[～2024年度] 微細藻類やBTLの技術を含め将来的に安価且つ安定的に SAFを生産する技術を活用しながらサプライチェーンモデルを確立する。 カーボンリサイクル技術の一つである微細藻類技術はCO<sub>2</sub>吸収を前提として、育種や多様な培養方法について大量培養技術を確立し、併製品も含めたSAF製造を実現する。 製造コストを先行するHEFA技術に対し、競争力のある製造コストを実現する。</p>							
	事業の計画内容	主な実施事項	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy
	(i)一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験	○	○	○	○	○		
	(ii)実証を通じたサプライチェーンモデルの構築				○	○	○	
	(iii)微細藻類基盤技術開発				○	○	○	
	(iv)技術動向調査	○	○	○	○	○	○	
事業費推移 (単位:億円)		2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	
	実績額	7.9	18.3	22.7	29.0	35.0	(40.7)	(153.6)
開発体制	経産省担当原課	経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油精製備蓄課						
	プロジェクトリーダー	なし						
	プロジェクトマネージャー	新エネルギー部 矢野貴久						
	委託先/助成先	<p>【(i)一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験】</p> <p>① 株式会社 IHI (2017～2020 年度), 神戸大学(2017～2018 年度)</p> <p>② 三菱パワー株式会社, 株式会社 JERA, 東洋エンジニアリング株式会社, 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (2017～</p>						

		<p>2020 年度)</p> <p>【(ii) 実証を通じたサプライチェーンモデルの構築】</p> <p>① 株式会社 JERA、三菱重工業株式会社、東洋エンジニアリング株式会社、伊藤忠商事株式会社(2021 年度～)</p> <p>② 株式会社 Biomaterial in Tokyo、三友プラントサービス株式会社(2020 年度～)</p> <p>③ 日揮ホールディングス株式会社、株式会社レボ・インターナショナル、コスモ石油株式会社、日揮株式会社(2021 年度～)</p> <p>③ 株式会社ユーグレナ(2020 年度～)</p> <p>④ 株式会社 J-オイルミルズ(2022 年度～)</p> <p>⑤ 日本グリーン電力開発株式会社(2022 年度～)</p> <p>【(iii) 微細藻類基盤技術開発】</p> <p>① 株式会社ユーグレナ、株式会社デンソー、三菱ケミカル株式会社、伊藤忠商事株式会社(2020 年度～)</p> <p>② 電源開発株式会社(202 年度～)</p> <p>③ 株式会社ちとせ研究所(2020 年度～)</p> <p>④ 一般財団法人日本微細藻類技術協会(2020 年度～)</p> <p>【(iv)技術動向調査】</p> <p>株式会社三菱総合研究所 (2017 年度、2019 年度、2020～2021 年度))</p> <p>デロイト トーマツ コンサルティング合同会社 (2018 年度)</p> <p>丸紅株式会社(2020 年度)</p>
<p>情勢変化への対応</p>	<p>2016 年に、ICAO が、航空機 CO<sub>2</sub> 削減目標を正式に発表し、バイオジェット燃料導入が打ち出されたこと、ノルウエー、米国の空港でバイオジェット燃料供給が開始されたこと、原料の多様化に応じた各種バイオジェット燃料製造技術の品質規格認証が進められていることを受けて、本事業の方向性の妥当性を検討し結果を踏まえて公募した。</p> <p>2019年、カーボンリサイクル技術ロードマップが経済産業省より出されたことを受けて、2020年に微細藻類基盤技術事業を立ち上げるとともに、社会実装化の加速に向け、様々な原料調達からSAF製造、空港へのSAF供給までのサプライチェーンモデル構築事例を増やすことを目指す事業を立ち上げ、2020、2021年に追加公募を行った。</p> <p>2022年、将来の原料問題への対応と大量生産技術の確立を含めたサプライチェーンモデルの構築に向けて追加公募を行い、既に行っていた1事業で原料製造部分の拡充と、新規な非可食バイオマスを原料とする新たな提案2事業を採択した。</p>	
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>2016 年度実施 担当部 新エネルギー部</p>
	<p>中間評価</p>	<p>2020 年度(1 回目)、2022 年度(2 回目)</p>
	<p>事後評価</p>	<p>2025 年度 実施予定</p>
<p>3. 研究開発成果について</p>	<p>【(i) 一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験】</p> <p>①「高速増殖型ボツリオコッカスを使った純バイオジェット燃料生産一貫プロセスの開発(株式会社 IHI (2017～2020 年度)、神戸大学(2017～2018 年度))」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・タイに建設した合計 10,000m<sup>2</sup> の設備にて大量培養・回収・乾燥のプロセス実証を行った。製造した乾燥藻からオイル抽出・改質の工程を経てバイオジェット燃料を製造し、民間航空機での飛行実証に供した。</li> <li>・バイオジェット燃料の国際規格である ASTM D7566 の認証申請を行い、2020 年 5 月に微細藻類由来燃料の新規格 Annex7(HC HEFA SPK)の取得に成功した。</li> <li>・バイオジェット燃料フライトを通じて燃料製造から混合、給油、飛行までのサプライチェーンモデルを構築し、品質管理を含めた体制構築と課題の検証を行った。</li> </ul> <p>②「高性能噴流床ガス化と FT 合成による純バイオジェット燃料製造パイロットプラントの研究開発 (三菱パワー株式会社、株式会社 JERA、東洋エンジニアリング株式会社、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (2017～2020 年度))」</p>	

- ・パイロットプラントの建設と安定運転を検証し、製造したニート SAF サンプルは ASTM 規格に適合した。
- ・ニート SAF サンプルとケロシン燃料との混合燃料を高温高圧条件の燃焼器内で燃焼させ、燃焼特性および排気ガス組成の計測を実施した。
- ・ニート SAF サンプルと 既存ジェット燃料 (JetA-1) との混合燃料を模型ジェットエンジンに供給して運転し、性能計測を実施した。

【(ii) 実証を通じたサプライチェーンモデルの構築】

①「バイオマスガス化 FT 合成による SAF 製造実証およびサプライチェーン構築(株式会社 JERA, 三菱重工業株式会社、東洋エンジニアリング株式会社、伊藤忠商事株式会社 (2021~2022 年度))」

- ・質・コスト・量の観点から最有望の原料として国産木質バイオマス系の原料を選定。SAF 製造量の拡大を視野に大量調達可能な原料について検討を実施し調達の可能性を見出した。
- ・FS における設備規模および設備建設候補地を選定し、商業規模のガス化炉・FT 反応器等を設計すると共に、ガス化設備と FT 合成設備の取合条件、ヒートマスバランスの整理、SAF 製造工程の最適化と法令を遵守した最適な設備配置計画を実施した。
- ・設備設置箇所を考慮し下流サプライチェーン構築に協力いただける企業と協議して SAF 混合設備等を設定した。
- ・CORISIA 認証のために必要な手続きを整理し、行政機関との連携を実施した。
- ・前提を置いた上で、概算の事業性を算出した。(今後精査必要)

②「国産第二世代バイオエタノールからのバイオジェット燃料生産実証事業(株式会社 Biomaterial in Tokyo、三友プラントサービス株式会社(2020~2023 年度))」

- ・酵素回収用膜処理装置を用いて酵素回収率 99%以上を達成した。回収酵素を用いた糖化試験においても未使用酵素と同等の糖化反応を確認した。
- ・エチレン製造装置を用いてエタノールから 99.9%のエチレン製造に成功した。ジェット燃料製造装置を用いたオリゴマー化、蒸留、水素化の運転試験を行い、液体燃料の製造に成功した。

③「国産廃食用油を原料とするバイオジェット燃料製造サプライチェーンモデルの構築(日揮ホールディングス株式会社、株式会社レボ・インターナショナル、コスモ石油株式会社、日揮株式会社(2021~2024 年度))」

- ・装置に適用する廃油の種類を検討した。収集システムのスマート化に向けて現地調査を実施し、仮説検証を行った。
- ・ライセンサーを選定し基本計画を完了した。廃油性状毎に装置への影響を把握し、設計に反映した。
- ・NEAT SAF 混合以降の設備設計を行い、品質管理方法を検討した。認証機関等へのヒヤリングを通じて認証手法の確立を準備中。
- ・環境影響評価実施中。

④「油脂系プロセスによるバイオジェット燃料商業サプライチェーンの構築と製造原価低減(株式会社ユーグレナ(2020~2021 年度))」

- ・廃食用油よりも 20 円/kg 安価な原料候補を複数発掘した。
- ・BIC プロセスの連続運転技術は確立したが、ジェット燃料収率は改善目標に対し未達となった。HEFA プロセスであっても、既存製油所にプラントを併設することでコスト低減の方針が得られた。
- ・日本海事検定協会に試験機器を導入することで、ASTM D7566 要求全項目の国内検査態勢を確立した。



【(iii) 微細藻類基盤技術開発】

①「微細藻バイオマスのカスケード利用に基づくバイオジェット燃料次世代事業モデルの実証研究(株式会社ユーグレナ、株式会社デンソー、三菱ケミカル株式会社、伊藤忠商事株式会社(2020～2022 年度))」

- ・副生物残渣の有効利用において腐敗成分を抑制する手法を見出した。また、抽出残渣を魚粉一部代替に利用し成長性を確保
- ・増殖予測式による藻体濃度管理により、最大生産性の 90%以上で安定培養可能
- ・膜分離技術(加圧式・浸漬式)により、10 倍以上に培養液濃縮率を達成
- ・2 サイクルで 80%以上、4 サイクルで 90%以上と高い抽出効率で残留溶媒が 60 ppm 以下を達成(目標 300 ppm 以下)
- ・既存ユーグレナの増殖性能を上回る現地ユーグレナを獲得
- ・培地原材料調達から製品輸送に至る全体コストを把握

②「海洋ケイ藻のオープン・クローズ型ハイブリッド培養技術の開発(電源開発株式会社(2020～20202 年度))」

- ・小規模クローズ培養試験では、日射量等のコントロールにより強光阻害等の影響を緩和でき、目標藻体数を安定的に達成。小規模オープン培養試験では、オイル生産性の目標値に対して最大 8 割程度の達成となったが、光条件を改善すれば目標達成できることを改善光条件下の試験から明らかにした。
- ・低水温時の強光阻害メカニズム解明、光透過型太陽電池と培養の関係把握、変異株作成方法と対象遺伝子の選定を進め、藻体収量、オイル蓄積率の向上に取組中。
- ・食油メーカーへの乾燥藻体のサンプル提供、及びサプライマーカの協力を得て安全性試験を実施した。また SAF サプライチェーン関係者との関係構築を進めている。
- ・SAF 生産プロセスでの CO<sub>2</sub> 削減効果/エネルギー収支の試算に関して、生産プロセスに必要な大型機器の調査/仕様検討を行い、一部設置した。また LCA 有識者の意見を反映し、各試算方法を検討している。

③「熱帯気候の屋外環境下における、発電所排気ガスおよびフレキシブルプラスチックフィルム型フォトバイリアクター技術を応用した大規模微細藻類培養システムの構築および長期大規模実証に関わる研究開発(株式会社ちとせ研究所(2020～2024 年度))」

- ・藻類培養設備の構築は、COVID-19 拡大やウクライナ危機の影響を受けながらも着実に進捗。設備構築は 2022 年第二四半期末に完了、FY2022-2024 の大規模微細藻類培養実証実施に向け、培養開始と拡大予定。
- ・培養条件(培養密度、培地中成分濃度/形態、異なる株利用、曝気量、CO<sub>2</sub> 濃度、pH 等)の調整による、光ストレスやコンタミネーションの軽減および同影響に伴う培養破綻率およびバイオマスの生産性改善を目的とした試験が継続中。培養設備の改善により、経済性の向上および運用の効率化も継続中。

④「微細藻類由来バイオジェット燃料生産の産業化と CO<sub>2</sub>利用効率の向上に資する研究拠点及び基盤技術の整備・開発(一般社団法人日本微細藻類技術協会(2020～2024 年度))」

- ・会員企業や推進委員の先生方等と協議を行いながら、標準培養条件については微細藻類種、培地条件、参照地域などの設定を、分析に関しては、脂質分析手法の確立および、タンパク質・炭水化物・灰分の分析手法を確立させた。
- ・微細藻類由来 SAF の産業化をサポートする拠点を建設。開所式を開催。
- ・大崎クールジェン株式会社から供給される、排ガス由来の IGCC CO<sub>2</sub>を利用して培養試験の実施。

	<p>【(iv)技術動向調査】 以下の技術動向調査を実施した。</p> <p>①「バイオジェット燃料の持続可能性評価基準等の動向調査（株式会社三菱総合研究所（2017年度））」 ②「バイオジェット燃料の事業化の成立要件等に関する動向調査（デロイトトーマツコンサルティング合同会社（2018年度））」 ③「バイオジェット燃料生産に係るバイオマス供給可能性に関する調査（株式会社三菱総合研究所（2019年度））」 ④「国内外における微細藻類技術開発の国際動向調査（株式会社三菱総合研究所（2019年度））」 ⑤「海洋ケイ藻によるグリーンオイルからのバイオジェット燃料の早期実現に向けた事業性評価(FS)（電源開発株式会社（2019年度））」 ⑥「二機能触媒によるバイオ由来植物油脂からのバイオジェット燃料製造技術の事業性評価(FS)（日鉄エンジニアリング株式会社, 株式会社ダイキアクシス, 国立大学法人東京農工大学（2019年度））」 ⑦「バイオジェット燃料製造に最適なガス化・FT 合成による一貫製造プロセス・サプライチェーン構築の事業性評価(FS)（株式会社エジソンパワー, JXTG エネルギー株式会社, 国立大学法人富山大学（2019年度））」 ⑧「ATJ 技術を活用した本邦バイオジェット燃料製造事業の事業性評価(FS)（三井物産株式会社, JXTG エネルギー株式会社, 全日本空輸株式会社（2019年度））」 ⑨「SAF 生産に係る一貫生産体制構築に関する調査（丸紅株式会社（2020年度））」 ⑩「微細藻類技術によるバイオジェット 燃料実用化に係る技術ロードマップの策定（三菱総合研究所（2020～2021年度））」</p>		
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="316 1120 550 1160">投稿論文</td> <td data-bbox="550 1120 1362 1160">査読付き 1 件</td> </tr> </table>	投稿論文	査読付き 1 件
投稿論文	査読付き 1 件		
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="316 1160 550 1200">特 許</td> <td data-bbox="550 1160 1362 1200">出願 2 件</td> </tr> </table>	特 許	出願 2 件
特 許	出願 2 件		
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="316 1200 550 1344">その他の外部発表（プレス発表等）</td> <td data-bbox="550 1200 1362 1344">研究発表・講演 38 件 図書・その他(プレス発表含む) 37 件</td> </tr> </table>	その他の外部発表（プレス発表等）	研究発表・講演 38 件 図書・その他(プレス発表含む) 37 件
その他の外部発表（プレス発表等）	研究発表・講演 38 件 図書・その他(プレス発表含む) 37 件		
<p>4. 成果の 実用化・ 事業化に 向けた 取り 組み 及び 見通し について</p>	<p>廃食用油由来の HEFA プロセス、木質バイオマスからのガス化 FT 合成、第二世代エタノール由来の Alcohol to Jet プロセスによる SAF 製造技術は、ロードマップに沿って事業推進中であり、本事業が終了する 2024 年度以降、民間によるスケールアップ・商用化へと進む予定。微細藻類については、カスケード利用の検討や培養実証を本事業が終了する 2024 年度までに実施する。その後はロードマップに沿って 2030 年に向け大規模商用生産技術を開発し SAF 製造コストダウンを目指す。研究拠点の IMAT は、2024 年度までに標準条件の設定を実施する。</p> <p>実用化・事業化に向けて、石油元売り、空港、航空会社も巻き込んで、SAF 製造側の供給サイドと、需要サイドで連携することが重要である。NEDO は技術開発支援のみならず、2022 年度に設置された SAF 官民協議会製造・供給 WG に構成員として参画し、SAF の実用化に向けて必要な検討を行う。製造・供給に係る技術開発の支援の検討のみならず、国内事業者による国産 SAF の CORSIA 適格燃料登録・認証が必要な準備（データ取得等）支援の検討も行う。本事業後半に向けてサプライチェーン構築のさらなる推進を進めるとともに、フライトへの試験的提供や継続的な成果発信により SAF に対する社会的理解・受容を促進する。</p> <p>2027 年の ICAO による CO2 排出削減の義務化を経て、国内でもバイオジェット燃料市場が形成され、2030 年頃には、着実に実用化・事業化が進みその後の普及拡大につながる事が期待される。</p>		

5. 基本計画に関する事項	作成時期	2017年2月 制定
	変更履歴	<p>(1)2017年2月、制定。</p> <p>(2)2017年11月、プロジェクトマネージャーの交代により改定。</p> <p>(3)2019年1月、(別紙1)研究開発計画の2. 研究開発の具体的内容(1)一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験に FS 検討実施に係る一文追加。</p> <p>(4)2019年7月、プロジェクトマネージャー役職変更、および和暦から西暦への統一による改定。</p> <p>(5)2020年3月、研究開発項目の追加、事業期間延長による改訂</p> <p>(6)2020年6月、プロジェクトマネージャーの変更による改訂</p> <p>(7)2022年4月、プロジェクトマネージャー役職変更による改訂</p> <p>(8)2022年6月、プロジェクトマネージャーの変更による改訂</p>



## 略称解説

略号	名称	説明
ASTM	American Society for Testing and Materials International	米国試験材料協会
ATAG	Air Transport Action Group	航空業界のサステナビリティを推進するグローバル連合
ATJ	Alcohol to JET	アルコール類を原料とするジェット燃料
BTL	Biomass to liquid	バイオ燃料
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation	2016年、国際民間航空機関(ICAO)の総会決議文書 A39-3 により創設された国際航空のためのカーボンオフセット及び削減スキーム
FT	Fischer Tropsch	一酸化炭素と水素から触媒反応で炭化水素を合成する反応
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids	廃食油や植物油等の油脂を原料とした燃料変換技術
IATA	International Air Transport Association	国際航空運送協会
ICAO	International Civil Aviation Organization	国際民間航空機関
SAF	Sustainable Aviation Fuel	持続可能なバイオマスを原料とする航空燃料



# I. 事業の位置付け・必要性について

## 1. 事業の背景・目的・位置づけ

### 1-1 背景

世界の航空輸送部門では、今後も拡大する航空需要予測を背景に、地球温暖化対策や石油価格変動に対するリスクヘッジの確保が業界としての大きな課題となっている。国連の専門機関である国際民間航空機関(ICAQ; International Civil Aviation Organization)は、2016年に国際航空輸送分野における2020年以降の温室効果ガス排出量増加分をゼロとするとの目標を策定し、その達成の手段としてSAFの導入が不可欠とされ、2027年からはSAFの導入が義務化されることとなった。

ICAQでは、航空分野のCO<sub>2</sub>削減に向けた手段として、

- ① 日々の運航方式の改善
- ② 省燃費機材への更新等による新技術の導入
- ③ 持続可能な航空燃料SAFの活用
- ④ 排出権取引(炭素クレジット)の活用

の4つを挙げており、この中で将来的に最も削減効果が高いとされているのが③のSAFの活用である。

✓ICAQ (International Civil Aviation Organization)  
バイオジェット燃料導入及びクレジット購入によるCO<sub>2</sub>排出削減を  
・2021年から自主規制、  
・2027年から義務化

✓IATA (International Aviation Transport Association)  
2050年にCO<sub>2</sub>を2005年比で50%削減 (目標)

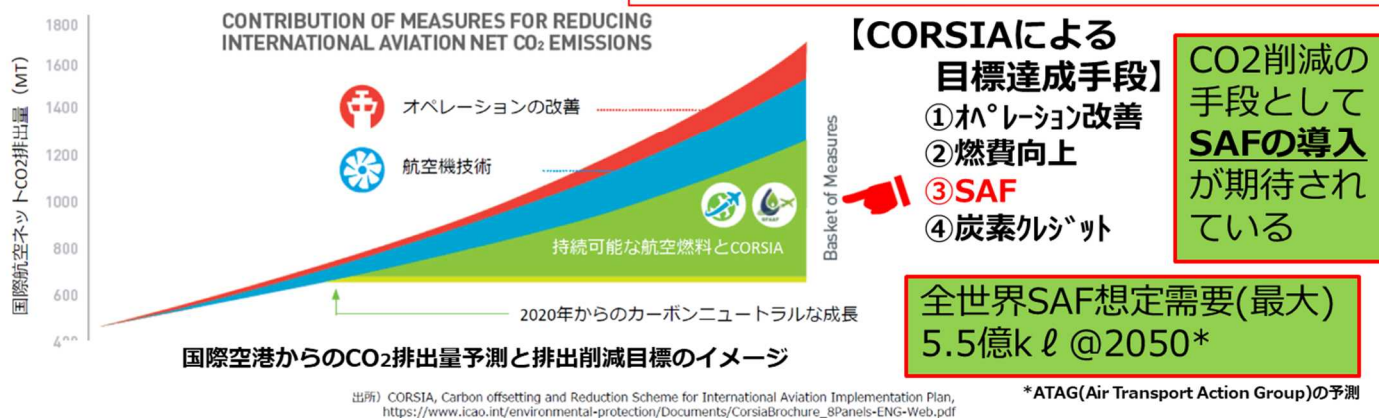


図1-1-1 航空業界の動向

現状のSAF供給量については、世界の航空機メーカーや業界団体等が参加するATAG (Air Transport Action Group)が公表したレポートによると、2020年時点で約6.3万kl (世界のジェット燃料供給量の0.03%)と推計されている。一方、SAFの需要予測については、ATAG Waypoint 2050 において複数のシナリオを示しており、2050年における世界のSAF想定需要は最大5.5億KLとの予測である。

今後、日本だけでなく、海外においてもSAF\*の需要が増加すると見込まれており、SAFの需要増加により世界的に供給が逼迫すれば、SAFの価格が高騰する可能性や、SAFの代替となる炭素クレジット

についても、SAFの市場と同調するかたちで価格が引き上げられてしまう可能性もある。また、SAFが国内で適切に供給されなければ、海外のエアラインが日本の空港を利用しない、日本のエアラインが海外空港を利用できないという事態も想定され、早期の国内サプライチェーン構築に向けた石油業界との連携が求められる。

こうした状況から、各国企業が大量生産に向けて技術開発を進めているところ、我が国もSAFを製造するための技術開発を進めているものの、2050年に向けて増大する需要に対応するためには、原料制約等の観点から、1つの原料・技術に限定することなく、国内外の資源(例えば、古紙、木質バイオマス、微細藻類等)を最大限活用するための技術開発に取組み、国産のSAFの供給量を増やしていくことが重要である。

また、製造コストが十分経済的になれば、石油価格変動に対するリスクヘッジとしても有効であることから、バイオジェット燃料導入に対する世界的な期待の高まりと共に、今後は市場規模も拡大して行くと予測される。

一方、現状バイオジェット燃料は市場形成途上にあり、特に製造コスト削減については世界共通の課題となっている。加えて、実用化に向けては、製造に係る化石エネルギー収支や温室効果ガス排出削減効果の向上を実現し、かつ経済性が成立する製造技術の開発が必須となる。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」という。)では「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業(以下「戦略的次世代プロジェクト」という。)」において液体バイオ燃料製造の要となる基盤技術(バイオマスガス化や微細藻屋外大規模培養等)開発において優れた成果を得た。次の段階として、これら基盤技術を組合せた一貫製造プロセスにおけるパイロットスケール検証試験が不可欠であり、その成果を基に純バイオジェット燃料製造技術を2030年頃までに商用化するべく、安定的な長期連続運転や製造コストの低減などを実現していく必要がある。

さらに2030年頃までの商用化のためには、純バイオジェット燃料の一貫製造技術の確立とともに、原料の調達や製品の供給を含めたサプライチェーンの構築も視野に入れた実証を経て社会実装を図ることで、当該分野における市場を形成していくことが重要である。

\*SAF(Sustainable Aviation Fuel)

## 1-2 研究開発の目的

### ① 政策的な重要性

2008年5月に決定し2013年9月に改定された「環境エネルギー技術革新計画、各技術項目のロードマップ」の対応として、経済成長と温室効果ガスの排出削減を両立するためには革新的技術の活用が必要不可欠であり、我が国が国際的にリーダーシップをとって、開発と普及を促進していくことが求められている。バイオジェット燃料製造技術は、経済産業省による「エネルギー関係技術開発ロードマップ」(2014年8月)において、2030年頃の実用化を目標とする技術として位置づけられている。また、2016年5月に閣議決定された「科学技術イノベーション総合戦略2016」においても、バイオ燃料の研究開発は「重きを置くべき取組」として位置付けられており、2050年に向けた長期的視野に立ち、開発を推進していくことが重要となっている。

さらに、二酸化炭素を炭素資源(カーボン)と捉える「カーボンリサイクル」(図1-2-1)の実現に対応すべくカーボンリサイクル技術ロードマップが策定(2019年6月)され、その一環としてのバイオ燃料の製造技術開発を進めることも求められている。



## ◆政策的位置づけ(2) カーボンリサイクル

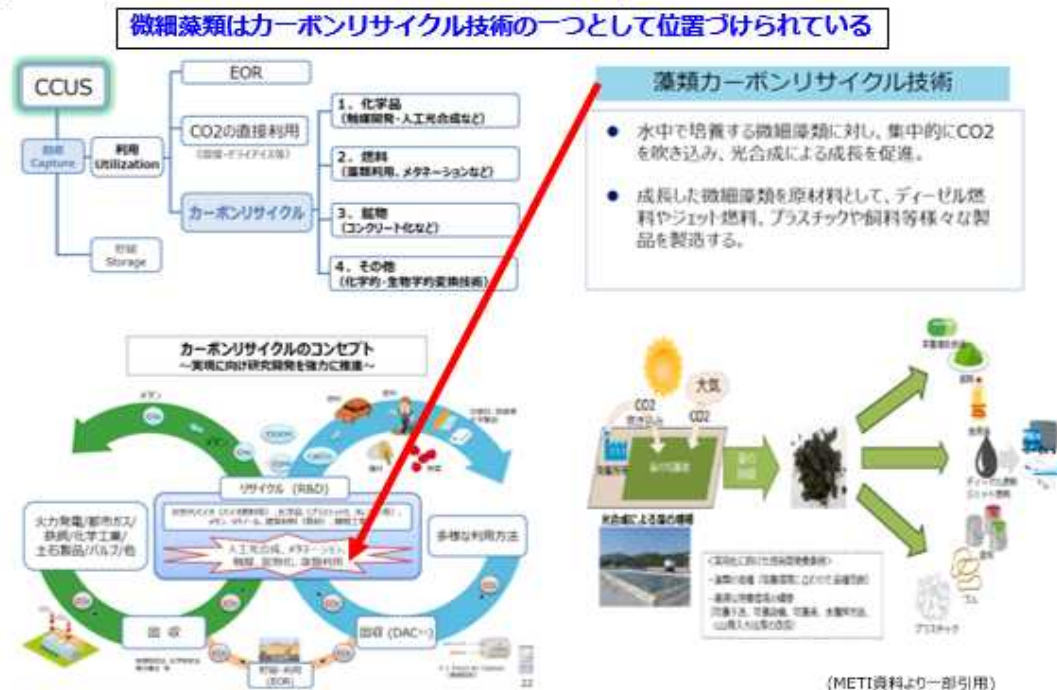


図1-2-1 カーボンリサイクル

微細藻類は、カーボンリサイクル技術の一つとして位置づけられている。微細藻類由来の油をバイオ燃料として活用する試みは世界的にもユニークであるものの、屋外の大量培養の実現と、乾燥・抽出の低コスト化等に課題があり、微細藻類基盤技術の整備と培養技術実証が必要である。

前回の中間評価(2020年)以降、SAFを取り巻く環境は大きく変わった。

2020年10月、我が国は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにする目標を掲げた。この宣言を踏まえ、経済と環境の好循環につなげるための日本の新たな成長戦略として、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、企業の野心的な挑戦を後押しすべく、過去に例のない2兆円の「グリーンイノベーション基金」がNEDOに創設された。

2021年10月に英国グラスゴーにて開催されたCOP26で採択された成果文書では、「世界の平均気温の上昇を1.5℃に抑える努力を追求することを決意する」ことが明記された。国際航空分野では2050年ネットゼロCO<sub>2</sub>排出に向けた国際航空気候野心宣言を日本国としても支持すると表明した。

国土交通省は、2030年時点のSAF使用量として、「本邦エアラインによる燃料使用量の10%をSAFに置き換える」との目標を設定し、この目標達成に向けて国際競争力のある国産SAFの開発・製造を推進すると共に、将来的なサプライチェーンの構築に向けて、供給側の元売り事業者等と利用側の航空会社の連携が重要として国交省、経産省、環境省、農水省が連携し「SAF官民協議会」を設立し、国を挙げての取組みを開始したところである。

NEDOはこの官民協議会の製造・供給ワーキンググループの構成員として参加しており、製造・供給ワーキンググループの活動を支援すると共に、流通ワーキンググループの活動もバックアップする技術開発事業を推進中である。この流通ワーキンググループには、CORSIA認証を取得することを目指すタスクグループが2022年9月に設置され、NEDO事業参加者も多数参画しており、CORSIA認証

取得に必要な検討を推進する予定である。

## 【COP26】 2021年11月 国際航空分野：国際航空気候野心宣言

- ・署名国(18カ国)が、パリ協定の1.5℃目標と一致し、2050年ネットゼロCO2排出に向けた業界の取組を考慮して、ICAOによる野心的な長期目標の採択を支援するもの

[https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku08\\_hh\\_000028.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku08_hh_000028.html)



### 【日本政府】

将来的なサプライチェーンの構築に向けて、**供給側**の元売り事業者等と**利用側**の航空会社との**連携が重要**。2022年4月、SAFの導入を加速させるため、技術的・経済的な**課題**や、その解決に向けた**タイムライン**を**官民で共有し、一体となった取組を進める場として、「SAF官民協議会」を設立**。



図1-2-2 官民協議会

## ② 世界のバイオジェット燃料生産技術開発取組状況

欧米では非可食油糧作物(カメリナ等)の由来するバイオ燃料製造技術を確立し、空港におけるエアライン供用のジェット燃料供給設備への導入を2016年より開始した(米国ロサンゼルス空港(ユニテッド・ターミナルのみ))。加えて、米国ではBTL技術の一つであるガス化・FT合成によるバイオ燃料製造技術及び、バイオアルコールからの炭化水素変換によるバイオ燃料製造技術等について事業化運転に向けてプラントの建設等が進められている。特にフィンランドに本拠地を置くNESTE社においては、廃食用油を原料にしたSAFを2023年までに年間約190万kℓ生産すると発表した。なお、伊藤忠商事はNESTE社製のSAFの日本向け独占販売契約を締結したことを2022年2月に発表している。一方米国においては、フルグラム社が家庭ゴミ等を原料にして2022年までに年間約12万kℓ、ランザジェット社が排ガス等を原料にして2022年までに約3.8万kℓ、2030年に約380万kℓすると発表するなど、各国企業が大量生産に向けて社会実装を進めている。

国際的な純バイオジェット燃料の規格ASTM\*D7566は現時点でANNEX7まで認証が取得されており、2018年4月には「グリーンイノベーション基金事業」にて我が国が取組んでいるエタノールから純バイオジェット燃料を製造する技術(ATJ技術\*)がANNEX5に追加認証された。(表1-2-1)

特にANNEX7は、IHIがNEDO事業で取組んだ微細藻類を原料としたSAF製造であり、認証取得は日本国内企業としては初となる。この認証取得への取組みで習得した知識は、今後のNEDO事業の社会実装に大いに役立つことは確実であり、非常に意味のある成果と言える。

\*ASTM(米国試験材料協会): American Society for Testing and Materials International

\*ATJ技術: Alcohol to JET

### 【先行する海外の事例】

- **2016年**1月、ノルウェーの**オスロ空港**において、世界初の空港の共同貯油施設を用いたSAFの供給が開始された。
- **2016年**3月、米国の**ロサンゼルス空港**において、SAFの供給が開始された。
- 欧州においては、**フィンランドNESTE社**が**廃食用油を原料**にしたSAFを**2023年までに年間約190万kl生産する**と発表。
- **米国においては、フルクラム社**が**家庭ゴミ等**からSAFを**2022年までに年間約12万kl**製造すると発表し、**ランザジェット社**が**排ガス等**からSAFを**2022年までに約3.8万kl、2030年に約380万kl**製造すると発表。

オスロ空港での世界初のSAFの供給



(出典) Avinor社HP

ロサンゼルス空港でのSAFの供給



(出典) United Airlines社HP

(METI資料より一部引用)

原料	企業名/国	プラントの所在地/稼働年	生産量 (予定含む) (※特に記述が無い限り、バイオディーゼルなどのバイオジェット燃料以外の用途も含む。)
廃食用油 廃獣脂 農業残渣等	World Energy (元AltAir Fuels) (アメリカ)	米国カリフォルニア州 Paramount 2015年に稼働開始	ジェット燃料向けのニートSAFとして 14.5万kl/年
	Neste Oil (フィンランド)	・フィンランド (2ヶ所) : 2007・09年稼働開始 ・シンガポール: 2010年稼働開始 ・ロッテルダム: 2011年稼働開始	純バイオ燃料として ・フィンランド2ヶ所: 各約22万kl/年 ・ロッテルダム: 約93万kl/年 ・シンガポール: 約93万kl/年
都市ゴミ	Fulcrum BioEnergy (アメリカ)	米国ネバダ州Reno (Sierra BioFuels Plant) 2019年に稼働開始予定も未実施  北米United Airlines/ハブ近隣 2020年末に稼働開始予定	粗油として約4.56万kl/年【予定】  輸送用燃料全体で114万kl/年【予定】

図1-2-3 海外事例

表 1-2-1 ASTM International D7566 の認証状況

◆代替航空燃料認証制度 ASTM International D7566 認証状況			
取得状況	変換プロセス	概要	申請企業
ANNEX1	Fischer Tropsch (FT)	2009年9月 GTL(Gas to Liquid)50%混合が承認された	SASOL (南アフリカ), Rentech (米)
ANNEX2 (海外では 商用化段階)	Hydroprocessed Esters Fatty Acids (HEFA)	2011年7月 Bio-SPK(Bio Synthetic Paraffin Kerosene)50%混合が承認された	Chevron (米), BP (英) Phillips 66 (米)
ANNEX3	Synthetic Iso-Paraffin (direct sugar) (SIP)	2014年6月 10%混合が承認された	AMYRIS (米), TOTAL (仏)
ANNEX4	Synthesized Paraffinic Kerosene plus Aromatics (SPK/A)	2015年11月 非化石資源由来の芳香族をアルキル化した合成ケロシン	SASOL (南アフリカ), Rentech (米)
ANNEX5	Alcohol to Jet (ATJ)	2016年1月ブタノールto JET 30%混合が承認された 2018年4月 エタノールto JET 50%混合が承認された	GEVO (米)  LanzaTech (米)
ANNEX6	Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ)	2020年1月 50%混合が承認された	Chevron Lummus Global & Applied Research Associates (ARA) (米)
ANNEX7	HydroCarbon-Hydroprocessed Esters Fatty Acids (HC-HEFA SPK)	2020年5月バイオ由来炭化水素の水素化処理により精製される合成パラフィンケロシン 10%混合が承認された	IHII (日)

出典: NEDO TSC Foresight Vol.37 (2020)

### ③ 我が国のバイオジェット燃料生産技術開発状況

国内では、微細藻類由来バイオ燃料製造技術等の開発が経済産業省及びNEDOによる委託事業(戦略的次世代プロジェクト:2010年度から2016年度)として進められた結果、屋外1,500m<sup>2</sup>の試験プラントでのバイオ燃料用微細藻類の培養に成功し、続いて本バイオジェット燃料生産技術開発事業で2020年度までに、タイにおいて15,000m<sup>2</sup>規模の試験プラントでの培養に成功した。製造したSAFサンプルは国内事業者として初のASTM D7566 Annex7を取得、国内定期航空便に提供され無事フライトを完了した。

また、木質バイオマスを原料とするガス化・FT合成による純バイオジェット燃料一貫製造パイロット設備においても、ASTM\* D7566 Annex1に適合するSAFサンプルの製造に成功し、こちらも国内定期航空便に提供され無事フライトを完了している。

#### 【1】

原料:木くずから製造されたSAF  
日付:2021年6月17日  
便名:日本航空515便  
区間:東京国際空港→新千歳空港  
機材:エアバスA350-900

#### 【2】

原料:微細藻類から製造されたSAF  
日付:2021年6月17日  
便名:日本航空515便  
区間:東京国際空港→新千歳空港  
機材:エアバスA350-900

#### 【3】

原料:微細藻類から製造されたSAF  
日付:2021年6月17日  
便名:全日本空輸031便  
区間:東京国際空港→大阪国際空港  
機材:ボーイング787-8

### 【2021年度NEDO事業実績】

- 2021年6月、「一貫生産プロセスのパイロットスケール試験」にて製造したSAFを、定期便に供給し飛行実証完了

**国内で初めて**、原料からの一貫製造プロセスにて生産したJ-SAFを、**定期便に給油**し、国内区間の運航を完遂。関係者（SAF製造事業者、石油元売り事業者、航空運送事業者、国交省・経産省）間で調整を積極的に進め、国産SAFの**サプライチェーン全体に及ぶ社会実装**に貢献。

—SAFの社会実装を目指し、2050年カーボンニュートラルに貢献—



SAF給油の様子（東京国際空港（羽田空港、東京都大田区））

図1-2-4 国内定期航空便へのサンプルSAF供給実績

国内定期航空便へのサンプルSAF提供にあたり、NEDOは関係者（SAF製造事業者、石油元売り事業者、航空運送事業者、国交省・経産省）間で混合、供給、付保等の調整を積極的に実施した。

このように一貫製造プラント事業についてはパイロット設備の建設と運用を完了し、商用化に向けたサプライチェーンの構築の段階に入ったが、一方で、国内のSAF需要については、国土交通省のケーススタディによると2030年時点で約250万kℓ～約560万kℓ、JALおよびANAの共同リリースに因れば、2050年時点で約2,300万kℓとされており、安定的かつ大量に製造・供給出来るSAFサプライチェーンの構築が急務である。

現在実施中のNEDO事業はサプライチェーンの構築若しくは原料調達の種類幅と量を広げる事業が中心となっており、事業完了時においても国内需要を満たす程のSAF製造量は見込めないが、量的な課題については、2022年に「グリーンイノベーション基金事業」にて「CO<sub>2</sub>等を用いた燃料製造技術開発事業」プロジェクトがスタートしており、2030年までの航空機への燃料搭載を目指す「ATJ技術を確立」と、「液体燃料収率50%以上かつ製造コスト100円台/ℓ」で「製造量10万kℓ/年」を達成する技術開発がスタートしている。

2-③-6. 2030年時点の一定の前提を基に試算したSAF想定量 [CORSIA対応]  
**【ケーススタディによる我が国のSAF必要量】**

- ◆ 国際航空のCO2排出削減枠組みであるCORSIAへの対応により、本邦・外航エアラインは、2019年以降CO2排出量を増加させない必要がある。増加するCO2については、①新技術の導入、②運航方式の改善、③持続可能航空燃料(SAF)の活用、④市場メカニズム(炭素クレジット)の活用により削減する必要がある。
  - ◆ 今般、新技術の導入及び運航方式の改善は国際統計に基づいて一定の範囲で見込まれるとの前提の上、それらで削減できないCO2は、SAF(輸入SAF含む)で削減しなければならないものと仮定し、そのために2030年時点で日本での給油が想定されるSAF量を試算する(議論の簡略化のために、④市場メカニズム(炭素クレジット)の活用は考慮しない)。
- 日本での給油が想定される2030年時点のSAF量=約250万~560万kl**
- ※本試算は統計データ等に基づき、一定の仮定を置いて機械的に試算したものであり、将来実際に使用されるSAF量や供給量を予測するものではなく、COVID-19による影響等の不確定要素等、状況に応じた見直しも必要  
 ※本試算で使用したICAO Long Term Forecasts Tablesにおいては、日本が含まれる北アジアのデータを使用、なお、ICAO Long Term Forecasts Tablesは、COVID-19による影響は考慮されていない

	燃料使用量			SAF換算量
	2019年	2030年	増加量 (2030年時点 2019年比)	
ケース① (燃費改善上位、SAF:CO2削減率上位)	約890万kl	約1090万kl	約200万kl	約250万kl
ケース② (燃費改善上位、SAF:CO2削減率下位)				約340万kl
ケース③ (燃費改善下位、SAF:CO2削減率上位)		約1230万kl	約340万kl	約420万kl
ケース④ (燃費改善下位、SAF:CO2削減率下位)				約560万kl

**【国内想定必要量@2030】**

【算定方法】

1. 将来の燃料使用量は、航空需要(人キロ)の成長率を乗じることにより推計。2019年の燃料消費量は、「令和1年資源・エネルギー統計年報(石油)」のジェット燃料油ポンド輸入・輸出を使用
  2. 人キロ成長率は、2019年の方面別の人キロシェア<sup>※1</sup>に、方面別の成長率<sup>※2</sup>を掛け合わせて年度別に算出
  3. COVID-19の影響は、IATAの需要見通しを使用 (出典: IATA/COVID-19 Outlook for air travel in the next 5 years)(2020.5.13)
  4. 2. 及び3. の成長率及び需要見通しを基に、2030年の2019年比人キロ増加率を計算(=1.43倍)
  5. 燃料使用量は、2030年で2019年比1.43倍を使用し、燃費改善率(下位ケース0.58%、上位ケース1.37%<sup>※3</sup>)を加味して2019年比からの燃料増加量を計算(下位ケースはCOVID-19の影響による機体の更新頻度の低下等を見込み、燃費改善がCOVID-19の影響後に開始すると仮定)
  6. SAF削減率を上位80%ケース、下位60%ケースとして、SAF換算量を計算
- ※1 2019年の方面別の人キロシェアは、OAGのデータを集計して算出  
 ※2 方面別の成長率として、ICAO Long Term Forecasts Tablesを使用(日本は「北アジア」に含まれる)。ただし、ICAO Long Term Forecasts TablesはCOVID-19による影響は考慮されていない  
 (出典: [https://www.icao.int/sustainability/Documents/Tables%20of%20the%20traffic%20forecasts\\_v2.pdf](https://www.icao.int/sustainability/Documents/Tables%20of%20the%20traffic%20forecasts_v2.pdf))  
 ※3 ICAO Environment Report 2019による、Low Aircraft Technologyシナリオと楽観的なシナリオの、機体更新等による新技術導入及び運航改善による燃費改善率を使用

<https://www.mlit.go.jp/common/001407977.pdf>

「航空機運航分野におけるCO2削減に関する検討会(第2回) 資料1」令和3年5月28日 国土交通省 航空局 P28

図1-2-5 ケーススタディによる我が国のSAF必要量

④ 本事業のねらい

バイオジェット燃料製造技術を2030年頃までに実用化し、利用促進・普及を通じて、2030年以降の更なる航空分野における二酸化炭素等の温室効果ガス排出量を削減するため、ガス化・FT合成技術や微細藻類培養技術、ATJ技術等のバイオジェット燃料製造技術開発を行い、2030年頃までに商用化が見込まれる製造プロセスの確立及び、サプライチェーンモデルの構築を実証を通じて検証する。

### 1-3 本事業の位置づけ

NEDOでは戦略的次世代プロジェクト（図1-3-1）において液体バイオ燃料製造の要となる基盤技術（バイオマスガス化や微細藻屋外大規模培養等）開発において優れた成果を得た。この事業の発展形として、これら基盤技術を組合せた一貫製造プロセスにおけるパイロットスケール検証試験が不可欠であり、その成果を基に純バイオジェット燃料製造技術を2030年頃までに商用化するべく、安定的な長期連続運転や製造コストの低減などを実現していく必要がある。

さらに2030年頃までの商用化のためには、純バイオジェット燃料の一貫製造技術の確立とともに、原料の調達や製品の供給を含めたサプライチェーンの構築も視野に入れた実証を経て社会実装を図ることで、当該分野における市場を形成していくことが重要である。

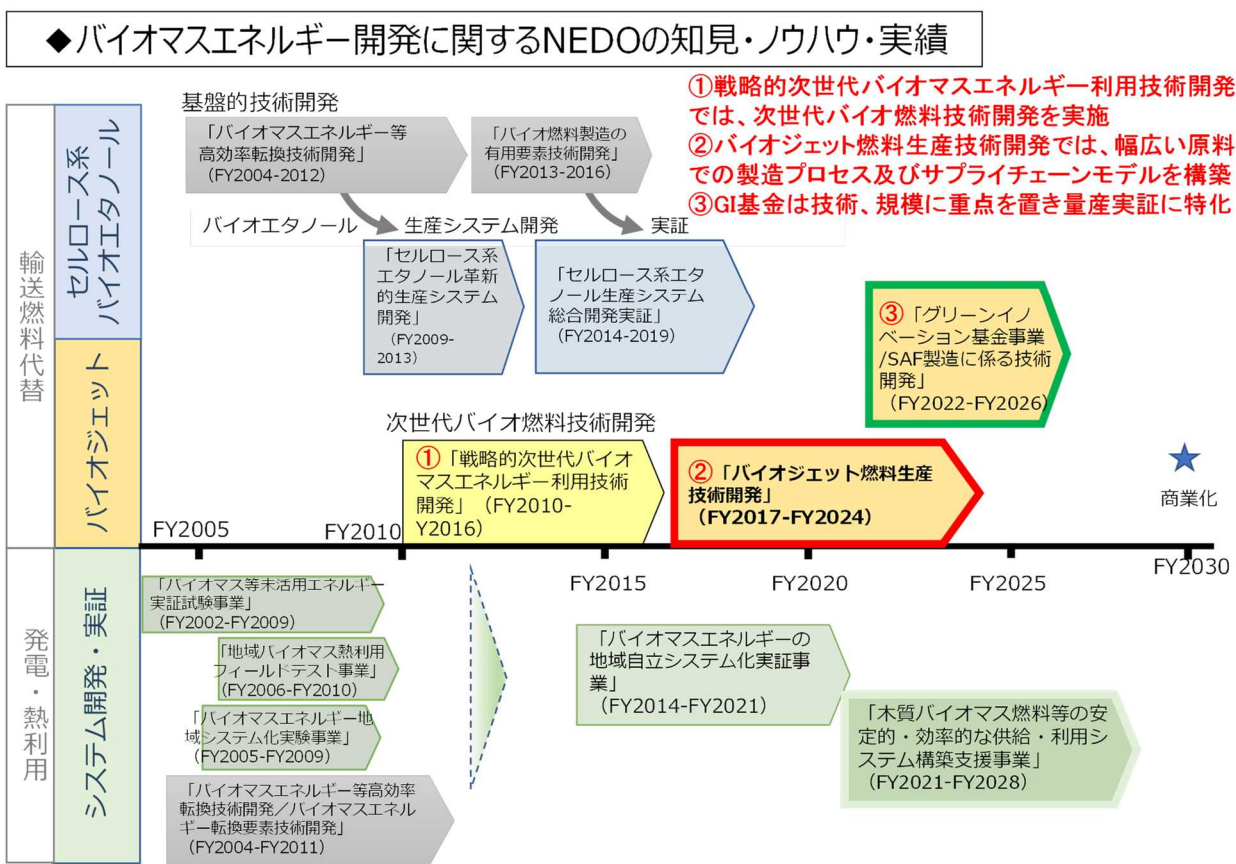


図 1-3-1 バイオマスエネルギーに関する NEDO の取組の全体像

## 2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

### 2-1 NEDO が関与することの意義

バイオジェット燃料生産技術に NEDO が関与する必要性は次の通りである。

- ・エネルギー安全保障に通ずる、国産エネルギー確保に資する技術であること。
- ・実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術または革新的技術であること。
- ・海外での商用化や原料、製造方法の多様化が進む中、国内における市場は黎明期にあり、市場形成に資する事業は大きな社会的意義や便益がある公共性が高く加速が望まれること。
- ・原料調達から燃料製造、供給利用まで複数の業種が介在し、企業単独では取組リスクが高いこと。

これらの課題の解決には、NEDO が過去実施してきた事業を通じて蓄積した知見・ノウハウ・実績を十分に活かすことが必要であり可能である。したがって、NEDO が本事業を主導することが妥当である。

### 2-2 実施の効果

#### [バイオジェット燃料生産による二酸化炭素削減効果]

2030年度の国内ジェット燃料の予測使用量の約10%を純バイオジェット燃料で代替した場合、バイオジェット燃料の温室効果ガス排出削減率を50%とすると、温室効果ガスは二酸化炭素換算で123万トン/年削減と想定される。

#### [その他の効果]

バイオジェット燃料に改質する際に、バイオディーゼルやバイオナフサが副生される。これらを用いて、バイオディーゼル燃料やバイオプロピレンなどの生産が期待される。

さらに、微細藻類の場合には、油分以外の成分については、飼料など他用途への展開が期待される。

これら副生物の商品化により、トータルとして、バイオジェット燃料製造コストの低減につながると期待される。



## II. 研究開発マネジメントについて

---

### 1. 事業の目標

#### 1-1 アウトカム目標

『本事業によりバイオジェット燃料の市場形成を支援、促進することにより、2030年頃に、バイオジェット燃料製造技術の実用化を実現することで、ジェット燃料の使用に起因する温室効果ガス排出量の削減に貢献する』

(参考)温室効果ガス排出削減率50%のバイオジェット燃料が100万キロリットル/年導入された場合、温室効果ガスは二酸化炭素換算で123万トン/年削減と想定される。

#### 1-2 アウトプット目標

2020年度迄に微細藻技術およびBTL技術を用いたパイロットスケール一気通貫製造設備で、ASTM認証規格相当のSAFを20リットル/日以上、延べ300日/年以上で製造可能な運転技術を確立する。

2024年度迄に以下を実施する。

- ・微細藻類やBTLの技術を含め将来的に安価且つ安定的にSAFを生産する技術を活用しながらサプライチェーンモデルを確立する。
- ・カーボンリサイクル技術の一つである微細藻類技術はCO<sub>2</sub>吸収を前提として、育種や多様な培養方法について大量培養技術を確立し、併製品も含めたSAF製造を実現する。
- ・製造コストを先行リードするHEFA技術に対し、競争力のある製造コストを実現する。

\*ASTM(American Society for Testing and Materials)

### 2. 事業の計画内容

#### 2-1 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。なお、本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術または革新的技術に対して、航空機由来の温室効果ガス排出量削減の実現(温室効果ガス50%減)に向け、世界の潮流を見越してバイオジェット燃料の製造技術の確立を目指すものであり、大きな社会的意義及び便益がありながらも、研究開発成果が直ちに市場性と結び付かない公共性の高い事業であるため、委託事業及び助成事業として実施する。

具体的には、下記の内容に取り組む。

(i) **一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験**

本事業では、これまで培われた要素技術を組み合わせつつ、化石エネルギー収支や温室効果ガス削減にかかる環境性の確保に加え、経済性を具備した一貫製造プロセスの工業化システムの実現が必須となる。この基本技術を確立させるべく、パイロットフェーズでの検証試験を行う。

(ii) **サプライチェーンモデルの構築**

想定する将来の製造規模を技術的に実現し得る純バイオジェット製造技術を軸に、将来の商用化を見据えた規模での実証事業等を実施し、サプライチェーンモデルを構築する。その際明らかになった個別の技術課題に関しては技術開発により得られる結果をフィードバックすることでサプライチェーンの確立を加速する。

(iii) **微細藻類基盤技術開発**

純バイオジェット燃料(ASTM D7566規格準拠)の製造および二酸化炭素吸収を主眼に微細藻種の選定、育種や多様な培養方法について将来の商用化を検討するのに十分な規模での大量培養技術を実証し、事業化における必要性に応じ副製品製造も組み合わせたカーボンリサイクル技術を確立する。

(iv) **技術動向調査**

ICAO による航空業界における温室効果ガス排出削減の義務化を 2027 年に控え、カーボンリサイクル技術ロードマップとの整合を図りつつ、短期的に 2025 年、中期的に 2030 年、長期的に 2050 年までの微細藻類技術の指針を示す。また、今後のバイオ燃料の早期市場形成、サプライチェーン構築に資するため、国内外の最新技術開発状況、将来の市場形成のための業界動向調査、サプライチェーン構築における課題、燃料規格や法規制に係る ICAO 等関係機関における協議、ライフサイクルアセスメント、温室効果ガス等を指標とする、バイオジェット燃料の持続可能性評価基準に関する最新情報及び、バイオジェット製造に係る周辺プロセスのコスト情報、利用における実例や現実的な課題等を整理し当該分野における方向性を示すことで、本事業への展開を図る。

## 2-2 達成目標

(i) **一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験**

① 中間目標

2030年頃の実用化に向けて、原料から純バイオジェット燃料(ASTM D7566規格準拠)生産までの安定的な一貫通貫製造技術及び製造コスト低減に資する技術を開発し、バイオジェット燃料安定供給に不可欠となる我が国独自の生産技術を確立する。

具体的には、パイロットスケール一貫通貫製造設備で、ASTM認証規格相当の純バイオジェット燃料を20リットル/日以上、延べ300日/年以上で製造可能な運転技術を確立する。多様な純バイオジェット製造技術のうち先行するHEFA技術\*によるバイオジェット燃料価格に対し競争力のある製造コスト、価格を実現する道筋を示す。

## ② 最終目標

中間目標を達成した上で、確立した原料から純バイオジェット燃料(ASTM D7566規格準拠)生産までの安定的な一気通貫製造技術及び製造コスト低減に資する技術を基に、具体的な事業化を想定した計画を提示する。

\*HEFA技術:Hydroprocessed Esters and Fatty Acids

## (ii) 実証を通じたサプライチェーンモデルの構築

### ① 中間目標

想定する将来の製造規模を技術的に実現し得る純バイオジェット製造技術を軸に、将来の商用化を見据えた規模での実証等の実施体制を組織し、実証設備の設計・建設に着手する。

### ② 最終目標

想定する将来の製造規模を技術的に実現し得る純バイオジェット製造技術を軸に、将来の商用化を見据えた規模での実証等を通じて、原料から純バイオジェット燃料生産、ジェット燃料との混合、エアライン等利用者への供給までのサプライチェーンモデルを構築し、具体的な事業化を想定した計画を提示する。

多様な純バイオジェット製造技術のうち先行するHEFA技術によるバイオジェット燃料価格に対し競争力のある製造コスト、価格を実現するとともに、従来の化石由来ジェット燃料に対する温室効果ガス削減効果等の環境影響評価や原料調達の持続可能性についてICAO等の規制の動向と照らし評価する。

## (iii) 微細藻類基盤技術開発

### ① 中間目標

微細藻類技術の課題を整理し、それを解決する手段を提案、実施体制を組織し、将来の商用化を検討するのに十分な規模での実証の計画や共通基盤を設営に着手する。

### ② 最終目標

純バイオジェット燃料(ASTM D7566規格準拠)の製造および二酸化炭素吸収を主眼に微細藻種の選定、育種や多様な培養方法について大量培養技術を将来の商用化を検討するのに十分な規模で実証し、副製品製造も組み合わせたカーボンリサイクル技術を確立する。また、商用化に際して共通の課題等を解決すべく、我が国における微細藻類技術の向上を図るための共通基盤を設置し、課題解決、ナレッジを集約することで微細藻類技術普及の加速を図る。

## (iv) 技術動向調査

### ① 中間評価

カーボンリサイクル技術ロードマップや既存の微細藻類ロードマップの整理ならびに国内外の微細藻類技術調査について、実施体制を組織し、調査・整理に着手する。また、国内外の最新技術開発状況、将来の市場形成のための業界動向調査、サプライチェーン構築における課題、ICAO 等関係機関における協議、ライフサイクルアセスメント、温室効果ガス等を指標とするバイオジェット燃料の持続可能性評価基準に関する最新情報及び、バイオジェット製造に係る周辺プロセスのコスト情報、等を調査、整理するための実施体制を組織し着手する。

② 最終評価

カーボンリサイクル技術ロードマップとの整合を図りつつ、短期的に 2025 年、中期的に 2030 年、長期的に 2050 年までの微細藻類技術の指針を示す。

国内外の最新技術開発状況、将来の市場形成のための業界動向調査、サプライチェーン構築における課題、燃料規格や法規制に係るICAO等関係機関における協議、ライフサイクルアセスメント、GHG等を指標とする、バイオジェット燃料の持続可能性評価基準に関する最新情報及び、バイオジェット製造に係る周辺プロセスのコスト情報、利用における実例や現実的な課題等を調査、整理し、当該分野の方向性を示す。

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度
一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験	設計・構築		運転技術確立					
			FS 調査	▲ 燃料サンプル提供				
実証を通じたサプライチェーンモデルの構築				設計・構築・運転技術確立				
微細藻類基盤技術開発				設計・構築・運転技術確立				
技術動向調査	国内外技術開発動向、 政策・規格動向等調査				国内外技術開発動向、 政策・規格動向等調査 指針策定			
評価				中間 評価		中間 評価		

図 2-2-1 研究開発スケジュール

## 2-3 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャーにNEDO新エネルギー部矢野貴久主任研究員を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

本研究開発は、NEDOが、単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等の研究機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない)公募に因って研究開発実施者を選定し実施する。



図 2-3-1 実施体制図

## 2-4 研究開発の運営管理

NEDOは研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は効率かつ効果的な方法をとりたいこととし、外部有識者及び業界関係者等で構成する技術検討委員会等の意見を運営管理に反映させる他、プロジェクトの進捗について研究開発実施者から報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行う。

### ① 技術検討委員会

技術検討委員会は、新エネルギー部が事務局となり、2017～2020は表2-4-1、2021以降は表2-4-2に示す外部有識者からなる委員会を組織し開催した。委員の選定にあたっては、本事業における研究開発が原料の入手からバイオジェット燃料製造まで広範囲に亘り、パイロットスケールでの研究開発を行うことからエンジニアリング要素も必要となることや、持続可能性に関する観点も必要になることを考慮して、幅広い分野における有識者を網羅することに配慮した。

表2-4-1 バイオジェット燃料生産技術開発事業 技術検討委員会 (2017～2020)

区分	氏名	所属・役職
委員長	千葉 忠俊	国立大学法人北海道大学 名誉教授
委員	三浦 孝一	国立大学法人京都大学 名誉教授
委員	山本 博巳	一般財団法人電力中央研究所 上席研究員
委員	若山 樹	国際石油開発帝石株式会社 シニアコーディネータ

※敬称略、委員長を除いて五十音順

2017～2019年度にかけて、計6回実施した。主な実施事項は以下のとおり。

- ・ガス化・FT合成チームの「1年間の条件付き採択」の契約延長が承認された。(第1回)
- ・微細藻類チームの神戸大学について、採択条件に対して、一定の成果が確認されたことから、2018年度での終了が承認され、また、契約延長が承認された。(第4回)
- ・ガス化・FT合成チームのパイロットプラント竣工遅延への対応議論とともに、契約延長が承認された。(第5回)
- ・微細藻類チームについて、次年度の進め方が議論され、特に「培養の安定化に注力」することが確認された。(第6回)

表2-4-2 バイオジェット燃料生産技術開発事業 技術検討委員会 (2021～)

区分	氏名	所属・役職
委員長	三浦 孝一	国立大学法人京都大学 名誉教授
委員	則永 行庸	国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学 教授
委員	伏見 千尋	国立大学法人東京農工大学 教授
委員	山本 博巳	一般財団法人電力中央研究所 上席研究員
委員	湯木 将生	三菱UFJキャピタル株式会社 執行役員
委員	若山 樹	国際石油開発帝石株式会社 プロジェクトジェネラルマネージャー

※敬称略、委員長を除いて五十音順

2020年度以降は、計14回実施した。主な実施事項は以下のとおり。

- ・条件付き採択であった「微細藻類由来バイオジェット燃料生産の産業化とCO2利用効率の向上に関する研究拠点及び基盤技術の整備・開発事業(IMAT)」の契約延長が承認された。(第7回)

- ・「高速増殖型ボツリオコッカスを使った純バイオジェット燃料生産一貫プロセスの開発(IHI)」と「バイオマスガス化FT合成によるSAF製造実証およびサプライチェーン構築(MHPSグループ)」で実施してきた事業について、最終目標達成を報告し了承を得た。(第11回、第12回)
- ・「微細藻バイオマスのカスケード利用に基づくバイオジェット燃料次世代事業モデルの実証研究(ユーグレナグループ)」の大きな計画変更を条件付きで承認を得た。(第13回)
- ・「国産第二世代バイオメタノールからのバイオジェット燃料生産実証事業(Bitsグループ)」について、生産規模拡大に向けた体制変更提案について再審査の判断が示された。(第14回)
- ・「国産廃食用油を原料とするバイオジェット燃料商業サプライチェーンモデルの構築(日揮グループ)」について、事業スケジュール前倒しのための再審議申出の承認を得た。(第18回)

## ② 推進委員会

技術検討委員会とは別に、各テーマにおいて、推進委員会を年2回程度実施し、外部有識者からの意見やアドバイスを各テーマの事業推進に反映している。推進委員会は各テーマの実施者が事務局となり、NEDO新エネルギー部はオブザーバーとして参加している。表2-4-3～表2-4-12に、各テーマの推進委員会のメンバーを示す。

表2-4-3 高速増殖型ボツリオコッカスを使った純バイオジェット燃料生産一貫プロセスの開発  
(IHI、神戸大学)推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員長	小川 順	京都大学大学院農学研究科・教授
委員	増田 篤稔	玉川大学農学部生命科学科・教授
有識者	清水 昌	京都大学名誉教授 バイオインダストリー協会 代表理事 会長

※敬称略

表2-4-4 高性能噴流床ガス化とFT合成による純バイオジェット燃料製造パイロットプラントの研究開発  
(三菱パワー、JERA、東洋エンジニアリング、JAXA)推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員長	横山 伸也	東京大学 名誉教授
委員	小俣 光司	島根大学 大学院総合理工学研究科 教授
委員	斉間 等	九州大学 鉄鋼リサーチセンター 教授
委員	則永 行庸	名古屋大学 大学院工学研究科 教授

※敬称略

表 2-4-5 バイオマスガス化 FT 合成による SAF 製造実証およびサプライチェーン構築の研究開発  
(JERA、三菱重工業、東洋エンジニアリング、伊藤忠商事) 推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員	横山 伸也	東京大学 名誉教授
委員	工藤 拓弥	日本エネルギー経済研究所 理事
委員	鈴木 真二	東京大学 特任教授

※敬称略

表 2-4-6 国産第二世代バイオメタノールからのバイオジェット燃料生産実証事業  
(Bits、三友プラントサービス) 推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員	坂西 欣也	産業技術総合研究所
委員	五十嵐 圭日子	東京大学大学院 教授
委員	菊池 康紀	東京大学 准教授

※敬称略

表 2-4-7 微細藻バイオマスのカスケード利用に基づくバイオジェット燃料次世代事業モデルの実証研  
究(ユーグレナ、デンソー、三菱ケミカル、伊藤忠商事) 推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員	鈴木 石根	筑波大学大学院 教授
委員	大熊 那夫紀	一般財団法人 造水促進センター 専務理事
委員	稲葉 敦	一般社団法人 日本 LCA 推進機構 理事長
委員	益本 俊郎	高知大学 教授

※敬称略



表 2-4-8 海洋ケイ藻のオープン・クローズ型ハイブリッド培養技術の開発

(電源開発)推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員長	白岩 善博	筑波大学 名誉教授
委員	田原 聖隆	産業総合研究所 ラボ長

※敬称略

表 2-4-9 熱帯気候の屋外環境下における、発電所排気ガスおよびフレキシブルプラスチックフィルム型フォトバイオリアクター技術を応用した大規模微細藻類培養システムの構築および長期大規模実証に

関わる研究開発(ちとせ研究所)推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員	芋生 憲司	東京大学大学院 教授
委員	Phang Siew Moi	USCI University Emeritus Professor
委員	菊池 亮太	京都大学 特定教授

※敬称略

表 2-4-10 微細藻類由来バイオジェット燃料生産の産業化と CO2 利用効率の向上に関する研究拠点

及び基盤技術の整備・開発(IMAT)推進委員会

区分	氏名	所属・役職
委員	大野 英一	高崎健康福祉大学 講師
委員	菊池 亮太	京都大学 特定助教

※敬称略

## 2-5 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

### ① 事業性評価

NEDOは技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を2020年度および2022年度、事後評価を2025年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すも

のとする。

また、中間評価結果を踏まえ必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。

## ② 知財マネジメント

日本版バイ・ドール条項を適用し、定めた条件を約定することにより、知的財産権は実施機関に帰属させる。(産業技術力強化法第17条)

実施機関においては、我が国の新エネルギー技術を基盤とする産業競争力の強化に資するべく、開発した技術や成果の知的財産マネジメントを実施する。

各チームは、チーム毎に知財合意書を作成して、各チームの研究開発責任機関である企業が知財運営委員会の運営を実施し、本委員会にて特許出願や学会発表について審議する。

## ③ 情勢変化への対応

2016年に、ICAOが、航空機のCO<sub>2</sub>削減目標を正式に発表し、バイオジェット燃料導入が打ち出されたこと、ノルウェー、米国の空港でバイオジェット燃料供給が開始されたこと、原料の多様化に応じた各種バイオジェット燃料製造技術の品質規格認証が進められていることを受けて、本事業の方向性の妥当性を検討し結果を踏まえて公募した。

2019年、カーボンリサイクル技術ロードマップが経済産業省により策定されたことを受けて、2020年に微細藻類基盤技術事業を立ち上げるとともに、社会実装化の加速に向け様々な原料調達からSAF製造、空港へのSAF供給までのサプライチェーンモデル構築事例を増やすことを目指す事業を立ち上げ、2020、2021年に追加公募を行った。

2022年、将来の原料問題への対応と大量生産技術の確立を含めたサプライチェーンモデルの構築に向けて追加公募を行い、既の実施中だった1事業で原料製造部分の拡充と、新規な非可食バイオマスを原料とする新たな提案2事業を採択した。

その他、SAF製造事業者の拡大を図るため、NEDO事業に未参加の企業や商社、石油元売り事業社と不定期に意見交換・技術相談を行い、NEDOが取り組むべき新たな課題の検討の参考としている。

SAFの実用化にあたっては、航空燃料としての規格(例えば、ASTM D7566)に適合していることを示すだけでなく、温室効果ガス排出削減効果のある燃料であることを証する、CORISIA 適格燃料(CEF)登録・認証が必要である。国内事業者による国産SAFのCEF認証に係る手続きが円滑に進むよう、2022年に設置されたSAF官民協議会の認証タスクグループの取組が2022年度後半より本格化するためNEDOもアドバイザーの一員として参画し、事業者の求めに応じて必要な準備(データ取得等)支援の検討を行う。

## ④ 評価に関する事項

評価に関しては以下のとおり。

- ・事前評価:2016年度に当部で実施し、事前評価書を策定。
- ・中間評価(1回目):2020年度に実施。
- ・中間評価(2回目):2022年度に実施。
- ・事後評価:2025年度に実施予定。

事業期間内に必要に応じて外部有識者等による研究開発の評価を実施し、プロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。



### III. 研究開発成果について

#### (III-1) 一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験

##### (III-1-1) 高速増殖型ボツリオコッカスを使った純バイオジェット燃料生産一貫プロセスの開発 実施者:株式会社 IHI、国立大学法人神戸大学

#### 1 研究開発の成果

##### 1.1 背景と課題

高速増殖能、炭化水素油の高含有量、大粒径・浮上性、という特長を持つ藻株「高速増殖型ボツリオコッカス(Hyper-Growth *Botryococcus braunii*, 以下、HGBb)」を利用して、バイオジェット燃料を製造する技術の確立には、HGBb の培養、収穫・乾燥というプロセス構成に必要な要素技術の確立と抽出、改質により航空機適用品質の燃料化技術の獲得が必要である。

本事業では、HGBb の培養から乾燥までの大規模一貫製造プロセスの開発ならびに抽出・改質工程による燃料化プロセスの確立に取り組んだ。その結果、図 1.1-1 に示すプロセスの要素技術が得られ、また藻に含まれる油のジェット燃料化とバイオジェット燃料としての国際規格取得に成功した。

また、将来的に必要なさらなる生産性向上のため、遺伝子組換え法の初段階である遺伝子導入法の開発にも取り組んだ。(2017～2018 年度事業:既報参照)

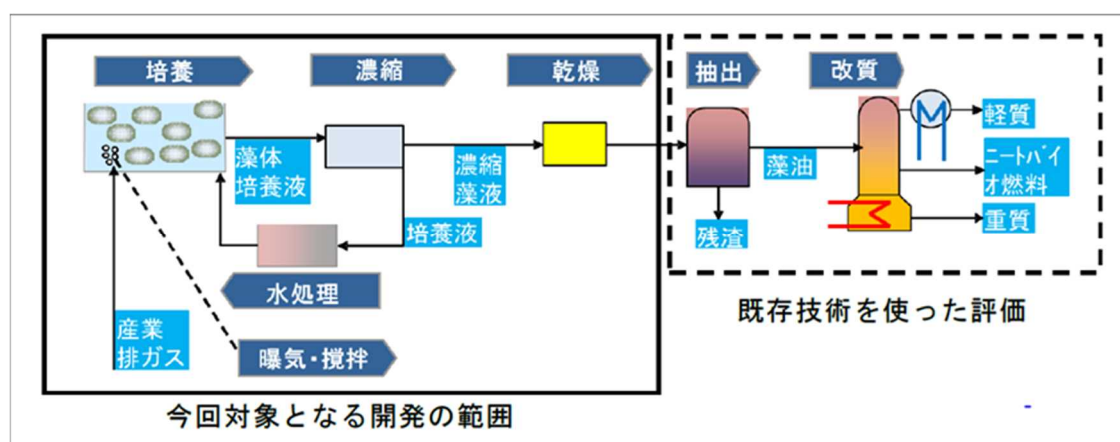


図 1.1-1 HGBb からのジェット燃料化プロセスの構成

2017 年度からスタートした本研究開発では、前述の HGBb の培養を、熱帯で安定した気候であるタイにおいて、過年度に要素技術開発で確認した開放型池を大型化して培養実証試験を実施し、2020 年度末までに、純バイオジェット燃料(ASTM D7566 規格準拠)を 20L/日以上、プロセス全体での安定稼働延べ 300 日/年以上での一貫製造プロセスを確立することを目標とした。このプロセス構築には、事業候補地と同等環境下での想定商用規模の大型開放池の建設、HGBb の培養～収穫～乾燥までの大規模生産プロセス実証、低コスト化に向けたシステム開発が必要であり、これらを目的としたプラント建設、システム試作試験を実施した。

さらに、HGBb 由来バイオジェット燃料の国際規格 (ASTM D7566) 取得と民間航空機でのフライト実証を実現し、航空機搭載レベルでの燃料生産の実証と品質管理システムの確立を目指した。ASTM 認証には、FAA (米連邦航空局) が主導する認証プログラムに基づいた試験と審査が必要となるため、HGBb から生産した燃料サンプルを用いた検討・評価を行った。フライト実証に際しては、製造した燃料単独の品質適合証明に加え、燃料供給から飛行までのサプライチェーン各段階においてバイオジェット燃料特有の供給品質管理体制を構築する必要があり、関係機関と協力してその検討を行った。

## 1.2 中間目標と達成度 (2020～2021 年)

目標	成果	達成度	最終目標に対する進捗
パイロット実証 ・3～4g藻油/(m <sup>2</sup> ・日) ・300日/年稼働	・4g藻油/(m <sup>2</sup> ・日) ・247日/年 (2018.10～2019.7)	△	△
低コスト化技術開発 河川水利用 培地転換	・タイ河川水での培養 確認 ・培地コスト 1/10	○	○
残渣の有価物化 燃料化検討	石炭と同等の粉碎 性、燃焼特性を確認	○	○
国際規格取得 ASTM 認証取得	ASTM D7566 Annex7 取得完了	○	○
フライト実証	・サプライチェーンで の品質管理体制構築 ・国内定期2路線で飛 行実証完了	○	○

×:中止 △:未達 ○:計画通り ◎:超過達成

## 1.3 最終目標に対する進捗状況

### 1.3.1 事業候補地でのパイロットスケールでの大規模培養

#### 1.3.1.1 大規模培養池の造成・整備

- ・ 先行事業検の国内パイロットで開発した開放型培養池を、事業候補地であるタイにおいてスケールアップして整備した。これは、気候が異なる地での安定培養を確認すると同時に、種藻を維持培養するスタートアップ設備として使用も企図した。

- ・ 2017年度に、タイ・サラブリー県において、平坦な遊休地を活用したパイロットスケール試験設備の設計および施設整備に着手し、2018年10月までに培養池を順次拡張し、想定する商用基本サイズ規模(5,000m<sup>2</sup>)を含む合計15,000m<sup>2</sup>の培養池を造成した。(図1.3.1.1-2)。

- ・ 培養池の造成には、先行事業成果のひとつである低コスト池造成法を採用し、土とシート材を使った簡易な池造成を実現した(図1.3.1.1-1)。



図 1.3.1.1-1 パイロット建設地と低コスト池造成法による屋外開放型培養池

1.3.1.2 一貫製造プロセス検証

(1)検証対象

図-1.3.1.2-1に全体のジェット燃料化プロセス構成と今回検証した一貫プロセスの範囲を記す。以下、各工程の検証結果について記述する。

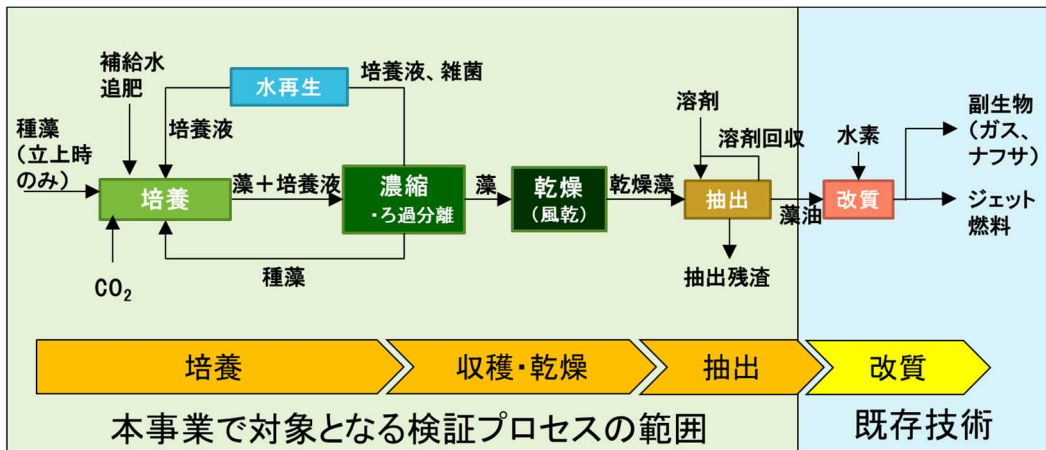


図 1.3.1.2-1 燃料製造プロセスと検証対象

(2)培養工程

・ 培養試験は、2017年度より造成した培養池から順次培養試験を開始し、以下の期間に一貫プロセス検証を実施し、250～5,000 m<sup>2</sup> 各サイズの培養池での拡大培養試験を行った。なお、2020年4月から9月はCOVID-19の影響でタイへの渡航が制限されたため、運用を中断している。

- ・第一期： 2018年04月11日 ～ 2018年06月19日 70日間
- ・第二期： 2018年10月30日 ～ 2019年07月03日 247日間
- ・第三期： 2020年01月06日 ～ 2020年04月08日 94日間
- ・第四期： 2020年10月21日 ～ 2020年12月23日 64日間

- ・ 生産性としては、2ヶ月間の培養平均値で目標値であるオイル生産速度4.0 g藻油/(m<sup>2</sup>・day)を達成することができた。

- ・ 年間稼働日数については、最大で247日(第二期)で年間300日の目標運用日数に到達できなかった。タイでの通年生産性を確保するためには、雨期終了時後の速やかなフル生産移行が必須であり、今後は、乾期・雨期期間移行に適応した運用手順の確立が必要である。

- ・ また、タイでは昼夜を通じて35℃超の高温が数か月続き長期安定培養の阻害要因となった。長期間高温が続く地域では池水の冷却設備が有効であることも確認されが、コスト、エネルギー消費の観点から、今後は、通年生産に適した地域を再検討していくことも必要である。

### (3) 収穫・乾燥工程

- ・ 2018年10月30日～2019年07月3日で収穫した藻体の天日乾燥にて検証した。
- ・ 培養工程から収穫・乾燥工程の接続部で問題となるのは、収穫した藻体の腐敗とオイル品質への影響回避であるが、計画した処理法にて乾燥藻のオイル含有量を減らすことなく、乾燥処理できることを確認できた。

- ・ 乾燥藻の抽出工程への輸送に伴う品質影響についても評価を実施した。収穫後の真空パック処理保管で180日保管後に抽出処理を実施しても問題ないことを確認でき、倉庫内で長期保管が可能と評価した。抽出工程や改質工程は既存の設備を使い、大量に処理することで、処理コストを低減できるため、後工程に必要な乾燥藻体量が確保できるまで倉庫に保管し、まとめて発送するのが現実的であると考えられる。

### (4) 抽出工程

- ・ 藻油の抽出方法について、食用オイルの大量生産に広く使われているヘキサン抽出法を採用し、実用規模で既存の装置を用いて安価かつ環境負荷の低い抽出の運用方法を検証した。
- ・ サンプルは、タイにて生産した乾燥藻体481kg(平均含水率5.4%)を用いた。乾燥藻は一定期間タイのプラント敷地内で保管した後に海上輸送し、日本国内の業者にて藻油を抽出した。その結果、藻体の平均オイル含有率は47.8%であった。一方、国内生産地に比べて比較では、鹿児島ロットに比べてタイロットでは含有窒素等が高くなる傾向が確認された。これは、天日乾燥環境の差異に起因するものと推定しているが、これは抽出後の後工程での調整が可能のため、実生産において対応可能なものと評価した。



#### (5)改質(フライト実証用サンプル燃料の製造)

- ・ 改質(ジェット燃料化)には米国Honeywell UOP社の保有する脂肪酸エステルおよび遊離脂肪酸を水素化処理する、HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty acids)と称させる技術を用いて行った。

- ・ 2019年10月に約700Lの藻油を米国に空輸し、2020年1月から改質着手した。途中、COVID-19蔓延によるプラント閉鎖が頻発し、最終的には2021年1月にフライト用燃料を確保した。量に関してはプラント閉鎖による処理中断と再処理の繰り返しによって大きくロスし、最終的に約100Lを燃料化するにとどまった。そのため、今回の改質率については客観的なデータが得られず評価不能である。

- ・ 得られた燃料は、日米の品質分析機関にて分析を行い、燃料規格であるATSM D7566 Annex 7およびASTM D7566 Table1に準拠していることを確認し、飛行に必要となる品質適合証明(CoA)を取得した。

#### (6)環境モニタリング

- ・ タイでのパイロット実証実施期間中、プラント周辺の通年環境モニタリングを実施し、プラント運用が周辺環境に及ぼす影響を評価した。タイの分析機関(Thailand Institute of Scientific and Technological Research:TISTR)に委託し、期間中(2018年4月~2020年12月)のプラント内外の大気および水質(周辺の河川)をモニタリング評価した。期間を通じて全モニタリング項目とも問題なく、大気、水質ともに適切な管理を行うことで周辺の環境に悪影響を与えないことが確認した。

### 1.3.2 低コスト化・低GHG化技術の開発

#### (1)河川水利用技術

培養工程の低コスト化・低GHG化の一つとして、培養水として河川水を利用の検証を行った。

タイの河川水は濁度が高くそのままでは培養水として適用できないため、簡易な方式である砂ろ過方式処理とPAC凝集を考え、適用評価試験を実施した。

その結果、タイ河川水を砂ろ過処理した水およびPAC凝集処理した水ともに、HGBbに対する急性毒性は見られず、培養水として使用できることが確認できた。一方で、濁度の観点では砂ろ過単独では十分でなく、タイ河川水のPAC凝集等の処理が必要との結論に至った。

#### (2)低コスト培地への転換

HGBb培養の低コスト化・低GHG策として培地の成分転換を行った。現在利用している硝酸カリウム系の培地(以下、従来培地)から、安全で安価なアンモニウム系塩の培地(以下、代替培地)への転換の評価試験を行い、培地転換によりする事により培地コストを約1/10に低減することを確認した。

さらに、HGBbの増殖への影響ををラボ試験により評価した結果、培地転換によっても増殖速度・オイル含有率・炭化水素比率は変わらないことを確認した。なお、本試験は室内での調査であるため、今後は、屋外でも同様の性能が発揮できるかどうかを調べる必要がある。

### 1.3.3 GHG収支評価

本事業での技術実績値をベースに、Greet2018モデルを用いたICAOの計算方法に倣いGHGを試算した。培養池の規模は500haとし、2030年での生産目標ベースでのGHG排出量を評価した。

その結果、ICAO の Eligible Fuel として認定される 89 [gCO<sub>2</sub>/MJ]の数値に対して、概ね 2/3 の水準の GHG 排出に抑制できる可能性を確認した。ただし、この数値は、実際の生産効率によって大きく増減するため、今後の技術開発の進捗やプロセス変更に際して逐次チェックしていく必要がある。

気象条件等によって、大量の廃水処理や温度制御が必要となった場合のインパクトは大きく、技術開発のみでなく立地なども事前に十分に見積もっていくことが重要である。

また、本試算でのGHG排出量水準は、ICAO の基準を満たすものの、エアラインの排出削減量への貢献度を考えると十分な値とは言えず更なる削減策の開発が必要である。

### 1.3.4 コスト試算

本事業でパイロット実証ならびに低コスト化技術の成果見通しを反映したコスト到達水準を試算し、現状および将来に向けた課題を分析した。

試算の結果、開発成果の適用により、現行水準から大幅なコスト低減を見込めるものの、アウトカム目標である 120 円/L～200 円/L の数倍の水準にとどまった。これは、微細藻類のプロセスが、現時点で目標水準到達に最も近いとされる廃棄物系 HEFA と同じ改質技術を使っているが、廃棄物系では発生しない藻油の生産にかかるコスト負担のインパクトが大きい。特に培養工程では化学プラントである改質工程と異なりスケール効果が非常に小さいため、生産量を確保するために必要な数 10～100km<sup>2</sup> 規模の培養池建設と運用にともなうコスト負担が非常に大きい。今後、事業構造が異なる培養と燃料化の両者がバランスする経済規模を見出すことは燃料単独事業では非常にハードルが高く、新たなビジネスモデルも含めた検討が必要となる。

### 1.3.5 ジェット燃料への安定改質技術と ASTM D7566 Annex 認証

民間航空機が使用する再生可能ジェット燃料は、ASTM International(以下 ASTM)で制定されている国際規格 ASTM D7566<sup>[1]</sup>(以下単に D7566)に掲載されている原料と製造方法で製造され、かつ記載の品質規格に合致することが求められる。本事業では、HGBb 抽出油を既存の D7566 Annex2 で規定されている改質技術で処理し認証を得ることを目指した。

具体的には、2017 年度に、国内パイロット培養により得られた HGBb 乾燥藻体から HGBb 抽出油を作成し、Honeywell UOP にて図 1.3.5-1 のプロセスでの改質条件探索に着手した。

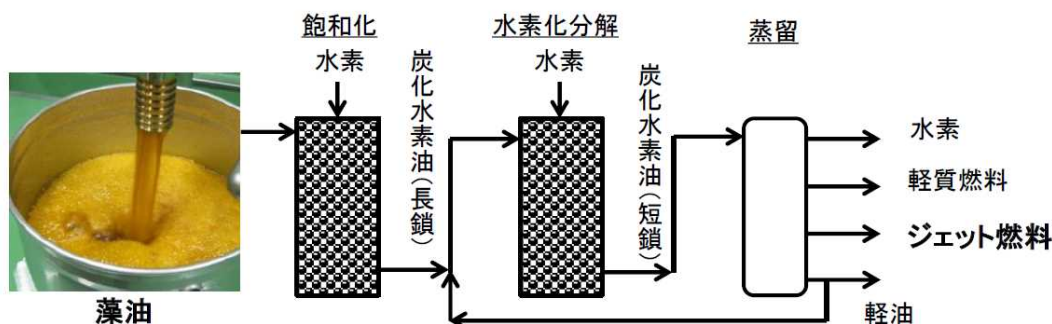


図 1.3.5-1 改質試験プロセスフロー

2018 年度には、各種条件での処理・評価を完了し処理条件を決定した。ASTM D4054 が定める試験用サンプル(Tier1/2)製造を実施し、ASTM 認証試験機関である University of Dayton Research Institute での評価試験を実施した。

2019 年 6 月には、得られた結果と考察を用いた Research Report を ASTM に提出し、本審査のプロセスをスタートした。当初は ASTM D7566 Annex2 認証プロセスを経る予定であったが、同年度新たに制定された Fast Track プロセスを用いた認証取得を OEM より推奨されたため、Fast Track に認証取得方法を変更した。ASTM での小・大委員会での投票を経て、2020 年 5 月に新規の категорияである ASTM D7566 Annex7 (HC-HEFA SPK)の認証を取得した。国内企業による、新規の Annex 認証取得は初めてで、現在に至るまで他にも例はない。

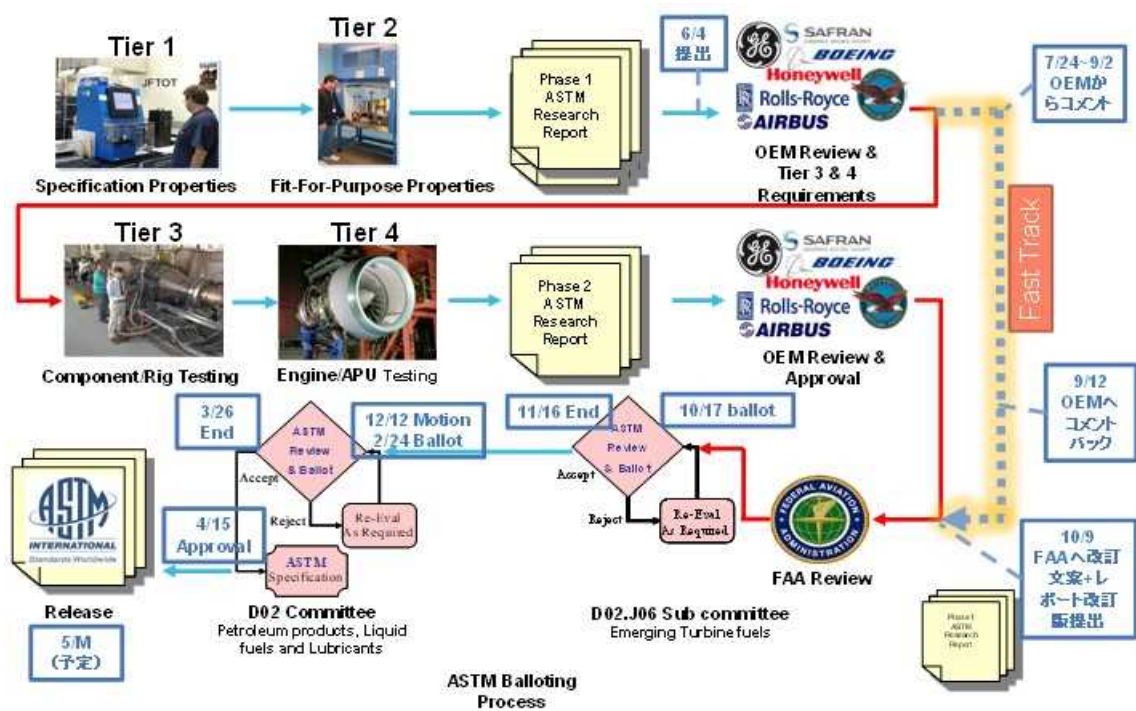


図 1.3.5-2 ASTM 認証プロセス

### 1.3.6 オイル抽出後の残渣の有効利用

藻類残渣の利用として、セメント製造プロセス中の燃料への適用を検討した。

#### (1)粉砕性評価

セメント製造プロセスでは、ローラーミルにより燃料である石炭を微粉砕している。そこで、ローラーミルを使用して石炭と同時に藻類残渣を粉砕できるか、また、混合粉砕物の粒子の大きさが、石炭のみでの粉砕粒子と同等の大きさを得られる藻類残渣の混合割合を確認することを本検討の目的とした。

実験では、実機を模擬した小型ローラーミル(図 1.3.6-1)を使用して、石炭への藻類残渣の混合割合、粉砕時間、粉砕荷重を変えて粉砕性評価試験を行った。



図 1.3.6-1 小型ローラーミル

その結果、石炭と藻類残渣の混合物は、石炭のみの粉砕の場合と同様に粉砕された。残渣混合割合によっては、微粉砕された石炭が、粉砕残渣と固着される結果がみられ、最適な粉砕時間が存在することがわかった。粉砕荷重を大きくすることで、粒子は細くなる傾向がみられた。しかし、藻類残渣の混合割合の増加に伴い、粉砕後の粒径は大きくなり、特に、混合率 10% (発熱量ベース)以上になると、急激に粒径が大きくなり、粉砕性が低下した。

### (2)空気輸送性評価

石炭とオイル抽出残渣の混合物を空気輸送で炉に供給することを想定し、空気輸送可能な石炭とオイル抽出残渣の粒径および搬送空気速度を明らかにすることを目標として評価試験を行った。

空気輸送ラインの基本的な構成部である垂直配管と水平配管に分けて、固体粒子の輸送条件を机上検討した。垂直配管では、搬送空気中の固体粒子に作用する力(重力、浮力、抗力)から浮遊する粒子径および搬送空気速度を推算した。水平配管では土砂などの堆積物の流れの考えを基にした経験式を使って空気輸送可能な粒子径および搬送空気速度を推算した。

その結果、垂直配管および水平配管において、搬送空気速度を 28-30 m/s であれば、石炭とオイル抽出残渣の混合物の空気搬送が可能であると考えられる。ただし、今回検討できていない垂直配管のエルボ一部での滞留では粒子は堆積し易くなる。また、堆積層による配管径の変化による速度変化の影響も考えられるため、今後、実機での検証試験を行う際には、事前に空気搬送の実験や数値流体力学(CFD)によるシミュレーションにて詳細評価することが望ましい。

### (3)燃焼性評価

石炭・オイル抽出残渣混合物の燃焼性を評価した。燃焼性を確認するにあたり、混合物の着火特性、燃え切り時間を確認し、ロータリーキルン炉内で十分に燃焼させることが可能な混合条件を検討した。

具体的には、オイル抽出残渣と石炭の混合物の着火特性、燃え切り特性、および排ガス組成を評価した。着火特性は、カッターミルで粉砕したオイル抽出残渣と石炭の混合物の TG-DTA 分析により評価した。燃え切り特性は、縦型電気加熱炉(以下、DTF)を使用し、サンプルが十分に燃え切るまでの燃焼時間により評価した。そして、DTF の試験で発生する燃焼排ガスを排ガス分析装置により分析した。

その結果、着火性、燃え切り性ともに石炭専焼と大きな差異はなく問題ないことを確認した。

排ガス組成については、残渣中の N と S 分が石炭よりも多いため、オイル抽出残渣の混合率の増加によって NO と SOX の濃度が増加した。オイル抽出残渣の混合率 0-20cal%の範囲であれば、NO は 200 ppm の増加、SOX は 10 ppm 増加する可能性があるとして予測した。

排ガス組成、灰中微量成分についても併せて分析し基礎データとした。

### 1.3.7 混合バイオジェット燃料のサプライチェーンの課題抽出とフライト実証

#### 1.3.7.1 サプライチェーンと品質管理

##### (1)燃料規格

航空機にバイオジェット燃料を搭載して飛行するには、従来のジェット燃料(Jet-A1)の国際規格である ASTM(\*1) D1655 と Sustainable Aviation Fuel(SAF:代替航空燃料)の規格である ASTM D7566 への準拠が必要である。

また、国内での飛行では、国土交通省航空局のサーキュラーNo.6-015「航空機に搭載する代替ジェット燃料(ASTM D7566 規格)の取扱いについて」(令和 2 年 2 月 3 日一部改正(国空機第 1718 号))にて、ASTM D7566 に適合する混合 SAF が ASTM D1655 として取り扱われれば、航空機およびエンジンの燃料規格に関する運用限界の範囲内で使用してよいと定められている。

さらに、本邦の石油連盟により、国内共同利用貯油施設においては、ASTM D1655 または Def Stan(\*2) 91-091 規格合格品についても、石油連盟『共同利用貯油施設向け統一規格』(石連規格)合格品と同様に扱えることが明確化された(2021 年 4 月 28 日付け「国内共同利用貯油施設における ASTM D1655 規格品等の扱いについて」)。

(\*1)ASTM:世界最大の民間の国際標準化・規格設定機関である ASTM International の策定・発行する規格。

(\*2)Def Stan:英国国防省のジェット燃料に係る規格

##### (2)航空機搭載時に確認すべき文書体系の整備と確認

本事業では、航空機に SAF を搭載するにあたり、SAF のサプライチェーン上の工程(ニート SAF 製造および従来のジェット燃料との混合)において必要となる文書体系を整備した。搭載に際しては、これに基づいた認証が得られ、品質保証上の観点から航空機への給油に支障がないことを確認した。

整備・確認した書類は以下3種類の CoA(Certificate of Analysis:品質適合証明書)である。

- ・ニート SAF (ASTM D7566)
- ・従来ジェット燃料(ASTM D1655)
- ・混合 SAF (ASTM D7566 かつ ASTM D1655)

##### (3)サプライチェーン上の課題と解決策

航空機への給油に至るサプライチェーンにおいて、各施設の工程における取り扱いとそこに係る課題を検討し、対応策の実行検証を行った。

###### (A)コンテナから給油車への移し替え

- ・課題 :コンテナ保管中の品質劣化が起きていないことの確認
- ・対応 :給油車(フューエラー)でのバッチ試験実施と分析・管理手順の策定と実行

(B) 給油車から航空機への移し替え

- ・課題 : 給油車内の混合 SAF を余すことなく航空機に供給
- ・対応 : 重石として搭載する従来ジェット燃料を活用した給油手順の立案・実行

(C) 航空機での使用

- ・課題 : 搭載する航空会社で混合 SAF を使い切り
- ・解決法 : 燃料消費実績を基に、機種・路線、給油会社を考慮した対象便の選定

1.3.7.2 フライト実証

2021 年 6 月 17 日、日本航空 515 便(東京国際空港発、新千歳空港行き)のエアバス A350-900 型機にて、下記 2 種の SAF を混合して搭載し、飛行に供した。

表 1.3.7.2-1 混合後バイオジェット燃料の使用状況

SAF	製造者	原料	燃料量 (*3)	備考
1	IHI	藻類	SAF:9380(11%) うち、ニート SAF:10(0.01%)	本研究により製造した SAF
2	三菱パワー、JERA、 東洋エンジニアリング	木質バイオマス	SAF:2,1950(25%) うち、ニート SAF:2830(3%)	NEDO 事業として同時期に製造した SAF

(\*3) カッコ内の割合(%)は、使用した燃料全体(約 8.7k0)のうち、SAF およびニート SAF が占める割合を示したもの。

飛行当日の実施作業は以下の通り。

- ・給油車からの給油前に、目視による燃料の品質確認(混入物の有無等)(写真 3.7.4-1)
- ・給油車から航空機への給油(写真 1.3.7.2-1、1.3.7.2-1)



写真 1.3.7.2-1 給油前の点検



写真 1.3.7.2-2 給油車からの給油



写真 1.3.7.2-3 給油完了

なお、当該便および当該日以降の 2 週間、当該機の燃料系統およびエンジン系統における機材不具合はなく、SAF が飛行性能に影響していないことを確認した。

#### 1.4 総括

高速増殖能、炭化水素油の高含有量、大粒径・浮上性、という特長を持つ藻株「高速増殖型ボツリオコッカス (Hyper Growth *Botryococcus braunii*、以下、HGBb)」を利用して、純バイオジェット燃料を製造する一貫製造プロセスの開発を行い、燃料製造に関する技術実証を完了した。

本事業を通じて得られた主な成果は以下である。

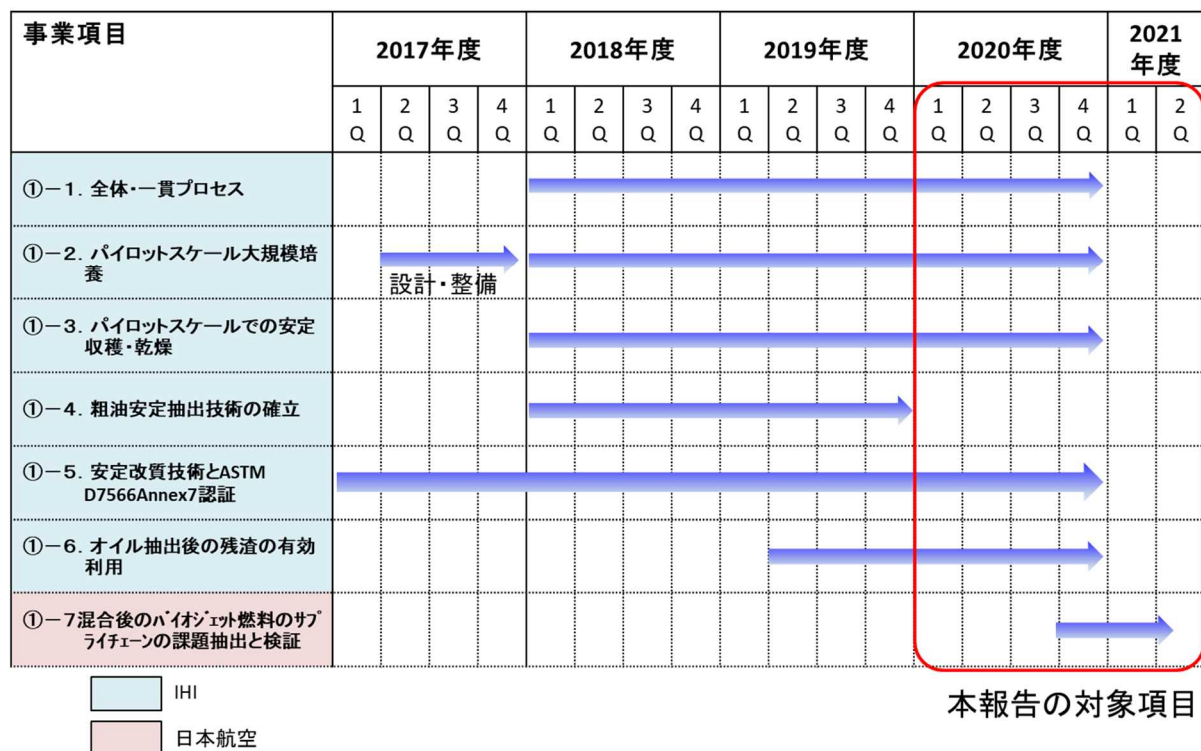
(1) バイオジェット燃料(SAF)の国際規格である ASTM D7566 に関して、欧米以外の申請者として初めて新規格 (Annex7) 取得に成功したこと。

(2) 本事業で製造した純バイオジェット燃料を、本邦民間航空会社の定期便に搭載して飛行実証を行い、バイオジェット燃料製造～飛行までの品質管理プロセスの構築と課題の検証を完了するとともに、日本におけるサプライチェーン構築の橋頭保を築けたこと。

(3) 海外で商用基本サイズとなる規模の培養池での一貫製造プロセスの検証を通じて、多様な自然環境下での大規模事業化の課題を明らかにできたこと。

(4) ICAO CORSIA の Fuel Task Group に参画し、関係機関と協力して LCA 標準値策定の道筋、認証のプロセスと課題を明らかにしたこと

### 1.5 全体スケジュール



6

## 2. 知的財産等の取得および成果の普及

### 2.1 特許

・出願番号:特願2019-128499

発明の名称:藻類製造装置

発明者(筆頭者):田中 浩 (IHI)

・出願番号:特願2019-159453

発明の名称:微生物回収装置

発明者(筆頭者):金子 典充 (IHI)

### 2.2 論文

・バイオサイエンスとインダストリー(日本バイオインダストリー協会)第75巻,5号(2017.9.1)

題目:オイル産生藻類ボツリオコッカスの大量生産に向けた研究開発

著者:田中 浩

・日本機械学会誌 (2019.2.1)

題目:微細藻類によるCO<sub>2</sub>のジェット燃料転換



著者:金子 典充

## 2.3 口頭発表

・発表先:Innovation for Cool Earth Forum 2017 (2017.10.5)

題目:Development of Bio Jet Fuel with Microalgae

発表者:斉藤 真美子

・発表先:CCU&S 研究会(京都大学)(2017.11.6)

題目:微細藻類からのバイオ燃料生産技術開発

発表者:松澤 克明

・発表先:DoD & METI Energy & Power Workshop(2017/9/2)

題目:Development of Bio Jet Fuel with Microalgae

発表者:松澤 克明

・発表先:ASTM D02 Committee, Subcommittee J0.06(2017.12.6)

題目:HEFA Bio SPK from Algae

発表者:橋本 康

・発表先:微細藻類燃料開発推進協議会(JMAF) (2018.1.29)

題目:高速増殖型ボツリオコッカス由来のバイオジェット燃料実現に向けて

発表者:山本 洋一

・発表先:Coordinating Research Council (2018.5.2)

題目:HEFA Bio SPK from Microalgae Hydrocarbon Oil

発表者:橋本 康

・発表先:ASTM D02 Committee, Subcommittee J0.06 (2018.12.12)

題目:HEFA Bio SPK from Algae Hydrocarbon Oil

発表者:橋本 康

・発表先:NEDO-ADEME 合同ワークショップ (2019.3.12)

題目:Development of sustainable bio-jet fuel derived from microalgae

発表者:斉藤 真美子

・発表先:第71回日本生物工学会大会 (2019.9.18)

題目:微細藻類を用いたジェット燃料生産プロセスの構築

発表者:武藤 潤

・発表先:標準化と品質管理全国大会 2019 (2019.10.9)

題目:微細藻類による CO<sub>2</sub> のバイオジェット燃料への転換

発表者:水野 智夫

・発表先:ASTM International (2019.10)

題目:Evaluation of Synthesized Paraffinic Kerosene from Algal Oil Extracted from *Botryococcus braunii* (IHI Bb-SPK) Fast Track Research Report

発表者:松澤 克明

・発表先:CCUS/Carbon Recycling Seminar (2020.3.2)

題目:Development of Algae-Based Bio Fuel

発表者:金子 典充

・発表先:ICAO Stocktaking 2020 (2020.9.8)

題目:Development of Algae-Based Bio Fuel

発表者:金子 典充

#### 【展示会出展】

・発表先:World Future Energy Summit Abu Dhabi (2020.1.13～2020.1.16)

題目:IHI's actions to establish low carbon energy value chain

発表者:水野 智夫、金子 典充

## 2.4 プレス発表

### 【プレス発表】

・2017年4月21日 NEDO、IHI プレスリリース

[http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100759.html](http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100759.html)

[https://www.ihico.jp/ihico/all\\_news/2017/other/2017-4-21/index.html](https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2017/other/2017-4-21/index.html)

・2017年11月6日 IHI プレスリリース

[https://www.ihico.jp/ihico/all\\_news/2017/other/2017-11-06/index.html](https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2017/other/2017-11-06/index.html)

・2018年12月3日 IHIプレスリリース

[https://www.ihico.jp/ihico/all\\_news/2018/other/2018-12-03/index.html](https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2018/other/2018-12-03/index.html)

### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

#### 1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

本事業を通じて微細藻類から商用品質のジェット燃料を製造するプロセスの基盤技術はほぼ確立したと考えている。一方で、事業化向けの最大の課題は事業性の確保と燃料需要に対応する量の確保であると考えられる。

藻類バイオ燃料事業では、藻を製造する農業的の工程と、油脂を燃料化する化学プラントの事業構造が異なるプロセスそれぞれについて事業性を担保する必要がある。燃料事業はスケール効果が支配的で投資規模が巨額になりがちであるため、黎明期においても自立して事業展開を行うための新たな事業モデルの検討を行っていく。

需要に対応する生産量を確保するには、広大な生産適地を世界各地に確保する必要あり、そのための環境対応技術バリエーションの拡充が必須であり、当面はその技術開発に注力する計画である。

#### 2)成果の実用化・事業化に向けた具体的な取組

今後の具体的な取組は以下の計画である。

##### (1) 培養技術バリエーションの拡充

- ・多様な燃料生産候補地に対応できる長期安定培養技術の開発
- ・環境特性を
- ・

##### (2) 事業モデルの再構築

- ・原材料サプライチェーン多様化に向けた課題の整理・検討
- ・資源循環型(水、CO<sub>2</sub>源など)モデル実現に向けた技術開発

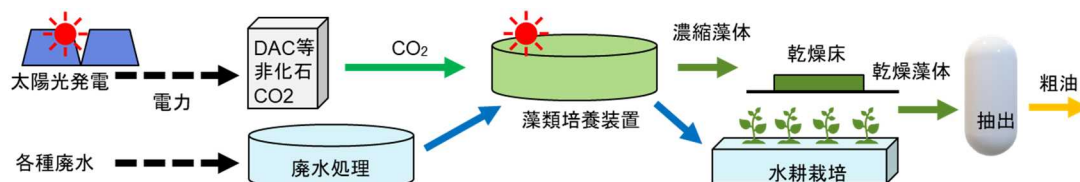


図 3-1 資源循環型モデル

#### 3)成果の実用化・事業化の見通し

当面の SAF 実用化は原価構成上経済性が成り立ち得る廃棄物系 SAF 中心で進まざるを得ない。藻類をはじめとするバイオマス由来 SAF の出番は 2030 年頃と予測しており、その時期を目指して前項の課題解決に取り組んでいく計画である。

### (Ⅲ-1-2) 高性能噴流床ガス化とFT合成による純バイオジェット燃料製造パイロットプラントの研究開発

実施者：三菱パワー株式会社 IHI、株式会社 JERA、東洋エンジニアリング株式会社  
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

## 1 研究開発の成果

### 1-1 背景と目的

航空業界では、今後拡大が予想される航空需要を背景に、二酸化炭素排出量削減による地球温暖化抑止対策が喫緊の課題となっており、2016年10月、国際民間航空機関(ICA0)が、長期的な二酸化炭素排出抑制目標(2020年以降の排出量ゼロ)を策定し、その達成のためにはバイオジェット燃料の普及促進は不可避と考えられている。

バイオジェット燃料の市場形成および導入拡大に対する期待が世界的に高まる中、バイオジェット燃料市場形成へ向けて、ライフサイクルアセスメント(製造から供給までの過程に係る化石エネルギー収支)や二酸化炭素排出量削減率等の評価基準をクリアし、かつ低コストな製造技術の開発が必須となっている。NEDOでは、「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業」において、液体バイオ燃料製造の要となる基盤技術開発で優れた成果を得た。

このような状況を背景として、2030年頃のバイオジェット燃料の商用化に向けて、その生産技術について、より高効率な工業化を実現するための課題抽出およびその対策を盛り込んだ一貫製造プロセスのパイロットスケール試験を行い、安定的な長期連続運転および製造コストの低減などの実現可能性を検証し、我が国のバイオジェット燃料導入の促進に寄与することを本事業の目的とする。

本事業では、スケールアップに適した部分酸化式噴流床ガス化技術と、反応器容積を大幅にコンパクト化できるマイクロチャンネル FT 合成技術を組み合わせたパイロットスケール一貫製造設備を設置し、検証運転により技術の検証を行うとともに、得られた燃料を実エンジンに供し、評価する。また、実用化を睨み、純バイオジェット燃料製造設備の最適化および製造コスト低減に向けた検討を実施する。さらに、解体研究を実施し、経年劣化についての評価を行い、事業性評価に資する。また、バイオジェット燃料製造に至る石油由来の ASTM D1655 ジェット燃料との混合、並びにサプライチェーン全体の具体化に着手する。

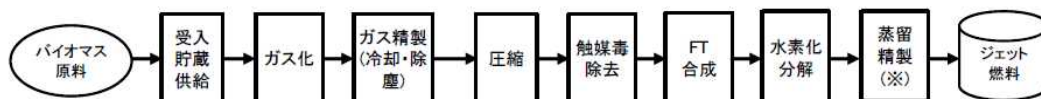


図1-1-1 純バイオジェット燃料一貫製造パイロットプラント プロセスフロー

(※)設備簡素化のため蒸留精製は外注で計画

## 1-2 実施内容とスケジュール

### (1)実施内容

#### ① 高性能噴流床バイオマスガス化技術開発

噴流床バイオマスガス化パイロット設備の設計、製作・調達、建設及び試運転を行う。また、一貫製造設備全体を調整する総合試運転において、データ収集及び評価を経て、検証運転を実施。

(実施体制:三菱パワー株式会社[現 三菱重工業株式会社]、再委託:三菱重工業株式会社)

#### ② 純バイオジェット燃料製造技術開発

純バイオジェット燃料製造パイロット設備の設計、製作・調達、建設及び試運転を行う。また、一貫製造設備全体を調整する総合試運転において、データ収集及び評価を経て、検証運転を実施。

(実施体制:東洋エンジニアリング株式会社)

#### ③ 純バイオジェット燃料製造システムの運転・保守技術の確立

一貫製造設備の運転方法を立案し、試運転を行う。

また、一貫製造設備全体を調整する総合試運転において、データ収集及び評価を経て、検証運転を実施。

(実施体制:株式会社JERA)

#### ④ バイオジェット燃料の燃焼・排気特性およびエンジン性能特性の評価

バイオジェット燃料の燃焼器リグを用いた燃焼・排気特性および実エンジンを用いたエンジン性能特性評価方法の検討、試験内容の立案および試験機材の設計・製作や調達を行い、2020年度に検証運転を実施。

(実施体制:国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)

#### ⑤ 実用規模システムの適正化検討

##### 1) 純バイオジェット燃料製造システムの適正化検討

マテリアルバランス、エネルギーバランス等を、プロセスシミュレータ等を活用して解析、検討を行うことで、バイオジェット燃料製造商用プラントに関するフィージビリティスタディを実施。

(実施体制:三菱パワー株式会社[現 三菱重工業株式会社]、東洋エンジニアリング株式会社)

##### 2) 多様なバイオマス適用性の研究

既存小型噴流床バイオマスガス化装置等を用いて、バイオマス原料の候補から、ガス化炉適用性を評価した。(実施体制:三菱パワー株式会社[現 三菱重工業株式会社]、再委託:三菱重工株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所)

#### ⑥ バイオジェット燃料製造に至る混合並びにサプライチェーン具体化

製造した混合後バイオジェット燃料を国内定期航空会社にサンプル提供し、実運航の使用に供する。純バイオジェット燃料と石油由来のASTM D1655ジェット燃料を混合し、さらに混合以後、実商用機へ実装する際に航空機給油に至るまでの各施設取り扱いの確認、各種承認の調整、ならびにGHGに関するLCA評価などのサプライチェーン全体の具体化を実施。

(実施体制:東洋エンジニアリング株式会社、再委託:日本航空株式会社)

(2)スケジュール

事業項目	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
①高性能噴流床バイオマス ガス製造技術開発	基本設計	詳細設計・製作	建設・ 運転調整	検証運転	
②純バイオジェット燃料製造 技術開発	基本設計	詳細設計・製作	建設・ 運転調整	検証運転	
③純バイオジェット燃料製 造システムの運転・保守技 術の確立	基本設計	建設準備	運転準備	検証運転	
④バイオジェット燃料の燃焼 特性・排気特性の評価	特性評価方法検討 (一次)	評価方法および 試験内容検討	実験用治具 製作	試験 準備	燃焼 試験
⑤実用規模システムの適正化 検討					
⑤1)純バイオジェット燃料 製造システムの適正化 検討				商用機 FS	
⑤2)多様なバイオマス適用 性の研究	基本設計条件検討 (微量成分、ガス化特性把握)		原料多様化試験		
⑤3)純バイオジェット燃料 製造プロセスの経年劣化 特性の評価				解体研究	
⑥サプライチェーン具体化				サプライチェーン 具体化	

### 1-3 成果内容

#### (ア) 高性能噴流床バイオマスガス化技術開発

##### 1. 基本設計および詳細設計

噴流床バイオマスガス化パイロット設備について、下記の通り基本設計及び一部詳細設計を行った。

- ・マスヒートバランスの作成
- ・バイオマス受入・供給、ガス化工程、及び蒸気、酸素・窒素等の系統設計
- ・構成機器・装置の仕様決定
- ・配管・弁仕様決定
- ・設備全体配置図作成
- ・各ユーティリティ使用量検討

##### 2. 詳細設計及び機器・設備の製作・調達、据え付け工事

噴流床バイオマスガス化パイロット設備について、下記系統に関する詳細設計及びそれら系統を構成する機器・設備の製作・調達を行い、据え付け工事を完了した。

- ・バイオマス受入・供給系統
- ・バイオマスガス化系統
- ・生成ガス冷却、除塵系統
- ・蒸気、酸素・窒素、軽油、排水などのユーティリティ系統
- ・計装電気設備及び制御装置

##### 3. 設計、製作・調達、建設及び試運転

噴流床バイオマスガス化パイロット設備の設計、製作・調達、建設及び試運転に関するキーデートを設定し、全体の工程表を作成した。

##### 4. 試運転、供試バイオマス原料のガス化特性確認

噴流床バイオマスガス化パイロット設備について、(2)の系統を構成する機器・設備の単体及び全体系統の試運転を実施し、供試バイオマス原料のガス化特性を確認した。

#### (イ) 純バイオジェット燃料製造技術開発

##### (1) 基本設計および詳細設計

純バイオジェット燃料製造パイロット設備について、下記の通り基本設計及び一部詳細設計を行った。

- ・マスヒートバランスの作成
- ・触媒毒性除去工程、FT合成工程、水素化分解工程、蒸気、水素・窒素等の系統設計
- ・構成機器・装置の仕様決定
- ・配管・弁仕様決定
- ・設備全体配置図作成
- ・各ユーティリティ使用量検討

##### (2) 詳細設計及び機器・設備の製作・調達、据え付け工事

純バイオジェット燃料製造パイロット設備について、下記系統に関する詳細設計、及びそれら系統を構成する機器・設備の製作・調達を行い、据え付け工事を完了した。

- ・触媒毒除去系統
  - ・FT合成系統
  - ・水素化分解系統
  - ・蒸気、水素・窒素などのユーティリティ系統
  - ・計装電気設備及び制御装置
- (3) 設計、製作・調達、建設と試運転・検証運転のキーデット設定  
純バイオジェット燃料製造パイロット設備の設計、製作・調達、建設、試運転及び、検証運転に関するキーデットを設定した。
- (4) 水素化分解油の外注蒸留仕様と純バイオジェット燃料出荷までの全工程表作成  
純バイオジェット燃料製造パイロット設備から得られる水素化分解油の外注蒸留仕様と、外注蒸留から製品純バイオジェット燃料のASTM分析および出荷までの全体の工程表を作成した。
- (5) 合成ガスの分析とガス精製工程設計  
バイオマスガス化試験データから合成ガスの組成・微量成分を同定し、ガス精製工程を検討、設計に反映した。
- (6) 合成ガス圧縮機と触媒毒除去工程の運転・工程分析  
合成ガス圧縮機と触媒毒除去工程の通ガス運転、工程分析を実施した。
- (7) 純バイオジェット燃料の規格調査  
製造する純バイオジェット燃料の規格(ASTM D7566 Annex-1等)の詳細と要求事項、分析項目・分析方法を調査した。また、その認証手順・方法を調査し、下記の対応が必要であることを明らかにした。
- ・認証手順・方法は石油連盟主体で検討中であるが、国内分析機関は、現状、分析手法確立のためのサンプルを入手できないため、本事業との連携が必要である。
  - ・純バイオジェット燃料の実用(給油)のためには、ASTM規格に基づき、石油由来ジェット燃料との混合が必要であるが、そのためには、混合を行う手順・設備・場所・事業者等を具体化することが求められる。(注:ジェット燃料の混合は本事業の対象外)
- (8) 純バイオジェット燃料製造設備に関する法規調査  
純バイオジェット燃料製造パイロット設備に該当する消防法・高圧ガス保安法などの法規調査と対応を行った。
- (9) FT合成反応器の触媒還元  
FT合成反応器の触媒還元を実施した。
- (10) ガス化炉からの合成ガス分析・評価  
ガス化炉からの合成ガスの組成・微量成分を同定し、FT合成の運転のための評価を行った。
- (ウ) 純バイオジェット燃料製造システムの運転・保守技術開発
1. 純バイオジェット一貫製造設備について、下記の項目について検討を完了した。
    - ・パイロットプラント建設候補地の選定検討実施および決定  
株式会社JERAの火力発電所において、パイロットプラントを設置することが可能な用地面積かつ電気、蒸気、所内用水等のユーティリティ供給に最適と考えられる候補地を選定した。
    - ・既設発電プラントとの取合箇所、供給ルート等について決定した。
    - ・消防への事前説明は実施済みで、適宜消防申請を実施した。



## 2. 法対応

以下の法対応を実施した。

- 1) 高圧ガス保安法  
高圧ガス第一種製造所の申請に伴い、名古屋市消防局と調整を実施。高圧ガス製造許可申請書を提出し、提出書類に対する指示事項等について対応済み。
  - 2) 消防法  
屋外タンクおよび少量危険物貯蔵所の申請に伴い、名古屋市消防局および港消防署と調整を実施。屋外タンク設置許可申請書および少量危険物・貯蔵・取扱い開始届を提出し、提出書類に対する指示事項について対応済み。
  - 3) 石油コンビナート等災害防止法(レイアウト規制)  
新名古屋火力発電所は、純バイオジェット燃料製造パイロット設備装置により高圧ガス処理量が増え、レイアウト規制の対象となる可能性があったため、消防庁との事前調整を実施。既設の油タンク廃止時期等を説明し、レイアウト規制の対応不要と回答を得た。
  - 4) 土壌汚染対策法  
土壌汚染対策法および名古屋市の環境保全条例に基づき、500m<sup>2</sup>以上の土地の形質を変更する場合には、土壌調査が必要となるため、名古屋市との事前調整を実施。工事の掘削深さを50cm未満とするように計画を変更し、土壌調査不要との回答を得た。
3. 純バイオジェット燃料製造パイロット設備で使用する木質バイオマス原料を調達した。
  4. 純バイオジェット燃料製造パイロット設備への各種ユーティリティ供給のために下記項目を実施した。
    - ・設備への電力供給については、中部電力株式会社の営業配電線から高圧にて供給した。設備への蒸気、飲料水、工業用水、補給水、計装用空気供給については、新名古屋火力発電所既存設備の各配管から分岐し供給した。
    - ・設備への水素ガス供給については、既設水素ガードル室に散水配管及びガス検知器を増設して、本プロジェクトで利用できるよう対応するとともに、水素カードルの手配を適時実施した。
    - ・設備への液体窒素、液体酸素の供給については、ローリー車により適時供給を実施した。
    - ・その他軽油、プロパンガス等必要なユーティリティについて適時手配し、供給を実施した。
  - (5) 純バイオジェット燃料製造パイロット設備試運転開始に伴い、運転維持管理業務を株式会社テクノ中部に委託し、運転員を配置した。運転員の交替勤務の実施により、24時間設備を運転維持管理できる体制を構築した。
  - (6) 2020年度に実施する検証運転のために、各種運転データ採取を開始するとともに、運転員の技術力向上を図った。
  - (7) ガス化設備、FT合成設備の組合せによる一貫運転により、図1-2-3-1に示すとおり運転保守技術を確立した。

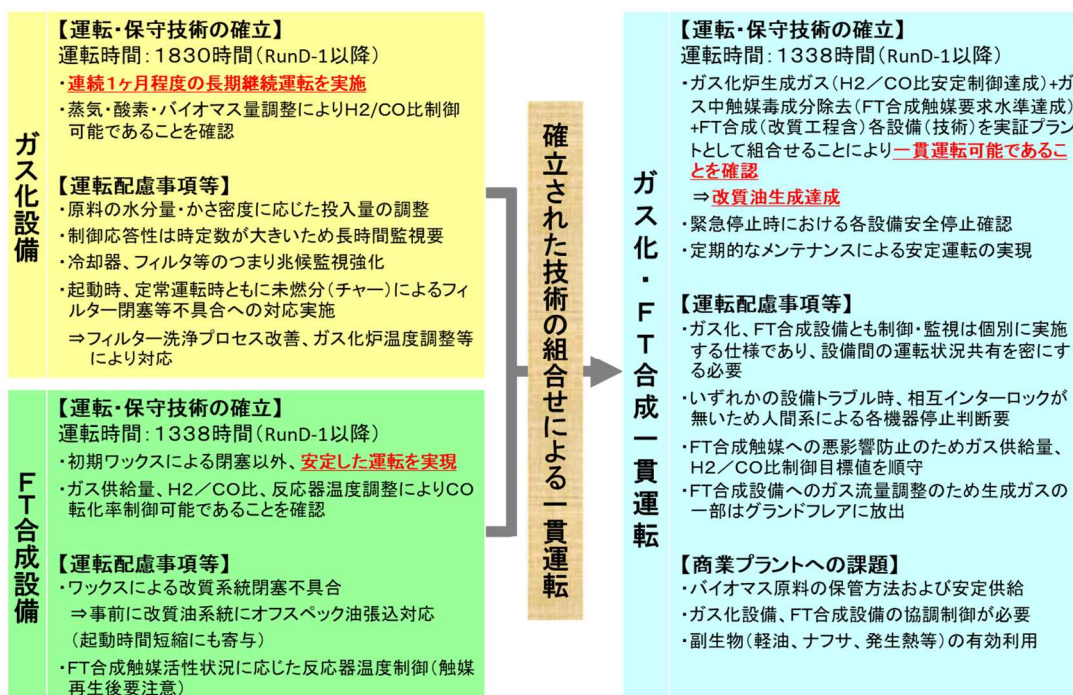


図 1-3-1 パイロットプラント運転の結果

(エ) バイオジェット燃料の燃焼・排気特性およびエンジン性能特性の評価

1. バイオジェット燃料の燃焼・排気特性およびエンジン性能特性評価に関し、以下の検討を実施した。
  - ・試験設備、供試エンジン、試験場所の検討
  - ・試験内容、試験時期の検討
  - ・高温高圧燃焼試験設備を用いた燃焼器リグ試験について、特にPMに関する計測方法を検討した。
  - ・実エンジンを用いたジェットエンジン燃焼試験について、エンジン運転山型と燃料系統の運用方法について検討を実施した。
2. 高温高圧燃焼試験設備で比較対象用燃料であるHEFA燃料での燃焼器リグ試験を実施し、排気特性計測を実施した。
3. エンジン性能特性試験で必要となる以下の器材について、調達、製作を行った。
  - ・燃料供給系統
  - ・データ集録装置
  - ・エンジン入口整流装置 (ICD: Inflow Control Device)
4. 高温高圧燃焼試験結果
  - ・PM の重量密度、数密度ともにケロシン燃料に対しバイオ燃料は大きく低減した。一方、CO・THC・NO<sub>x</sub> 排出量の燃料の違いによる影響は小さい。
  - ・ケロシン燃料とバイオ燃料の PM 平均粒径を比較した場合、バイオ燃料の方が小さい。(ケロシン燃料の PM 量が最大となる空燃比時)
  - ・バイオ燃料は燃料成分分析結果で芳香族成分がほぼ無いことが確認されており、それがケロシン燃料に対し PM の減少に直結すると考えられる。
  - ・ケロシン燃料に対しバイオ燃料の混合比を増やした場合、PM は減少するが、NO<sub>x</sub>、CO、THC

はほぼ変化なかった。(空燃比はケロシン燃料の PM 量が最大となる値で固定)

#### 5. バイオジェット燃料のエンジン性能取得試験

従来のジェット燃料(JetA-1)と純バイオジェット燃料との混合燃料を使用し、模型ジェットエンジンで運転試験を実施した結果、下記の成果が得られた。

- エンジン運転で使用するため、エンジン入口整流装置(ICD)を設計した。設計に当たっては事前に数値解析にて検証を行い、屋外試験の際考慮すべき横風等の外部流に対し ICD が有効であることを確認した。
- 基本的なエンジン特性値(推力、吸入空気流量、燃料消費率、排気温度等)に関しては、混合比による違いは無い。
- 燃料の混合比によるエンジンの始動性の違いも確認されなかった。
- 芳香族が少ないことによる O リング等の膨潤性不足が原因による燃料系統からの漏れ等についても試験期間内に確認されなかった。

### (オ) 実用規模システムの適正化検討

#### 1. 純バイオジェット燃料製造システムの適正化検討

商用規模の ガス化～FT 合成～改質～蒸留 のバイオジェット燃料一貫製造プラントの検討に着手した。

- 商用規模のプロセススキームを策定し、その物質収支、エネルギー収支を算出した。
- 一貫製造のプロセス全体での物質収支や用役系統の最適化を図った。
- バイオジェット燃料製造の経済性検討のための概略設備費、運転費を算出した。
- 純バイオジェット燃料使用による LCA における CO<sub>2</sub> 排出量は 8.0[g-CO<sub>2</sub>/MJ]となり、従来燃料の CO<sub>2</sub> 排出量は約 80[g-CO<sub>2</sub>/MJ]であるので、90%程度の削減率が見込める。(国際民間航空機関 ICAO 資料によれば、89[g-CO<sub>2</sub>e/MJ]をベースラインとしている。)

#### 2. 多様なバイオマス適用性の研究

##### 1) 木質ペレットの破砕物を原料として、240kg/日 バイオマスガス化試験設備(図1-2-3-2)にてガス化試験を実施し、下記の結果を得た。

- 供試のバイオマスについて性状分析を実施した。特異的な特徴はなく、これまでの実績に類する木質バイオマスであることを確認した。
- ガス化特性については、炭素転換率 98.6%、冷ガス効率 74.4%と良好な結果を得た。生成ガス組成は、FT合成プロセスに好適な組成になることを確認した。
- 生成ガス中の hidrocarbon や微量成分の挙動データを取得し、後流側機器設計への反映に供した。



図 1-3-2バイオマスガス化試験設備

- 2) パイロットプラントの試運転で使用したバイオマス原料の分析  
 パイロットプラントの試運転に使用したバイオマス原料について、各種分析を実施した。その結果は次の通り。

表1-3-1 バイオマスプラントの試運転で使用したバイオマス原料の分析結果

項目	単位	木質バイオマス
全水分	wt%	10.7
[工業分析]		<気乾ベース>
水分	wt%	4.2
発熱量(HHV)	kcal/kg	4,780
[元素分析]		<無水ベース>
C	wt%	51.3
H	wt%	6.43
O	wt%	41.73
N	wt%	0.05
全S	wt%	0.02
灰分	wt%	0.47

3) ガス化特性試験(1)

小型基礎試験装置により、製紙スラッジのガス化特性試験を実施した。代表的な木質バイオマスであるスギと比較した結果は次の通り。

- 主成分がセルロースであるため、ガス組成等のガス化特性はほぼ同等であった。
- 灰分の含有率が高いため、固体残渣量が多く、その主成分はCa化合物であった。

4) ガス化特性試験(2)

小型基礎試験装置により、製紙スラッジと樹皮の混合物のガス化特性試験を実施した。主な試験結果は次の通り。

- 製紙スラッジ混合率増加に伴い、各ガス濃度はほぼ直線的に変化する。

・製紙スラッジと樹皮混合率一定の場合、各ガス濃度のガス化条件依存性は、スギとほぼ同等である。

3. 純バイオジェット燃料製造プロセスの経年劣化特性の評価

検証運転完了後、解体研究を実施し、以下の成果が得られた。

1) バイオマスガス化設備

各対象機器・部位の経年劣化(腐食、摩耗等)を調査・分析し、特に大きな問題がないことを確認した。

2) 純バイオジェット燃料製造設備

各対象機器・部位の経年劣化(触媒毒吸着状況、腐食、摩耗)を評価し、問題がないことを確認した。なおFT合成反応器は機密情報を含むため、記載していない。

- ・反応器や槽類に、割れなどの欠陥、異常な減肉や腐食など異常は見られない。
- ・触媒・吸着剤上への炭素析出兆候や予想外の成分は検出されなかった。

⑥ バイオジェット燃料製造に至る混合並びにサプライチェーン具体化

- ・パイロット設備から空港内給油業者までのサプライチェーンと品質確保体系(書類)を確認した。
- ・パイロット設備で製造した純バイオジェット燃料と石油由来の ASTM D1655 ジェット燃料を混合し、混合後の燃料を分析し、ASTM規格に適合すること確認した。さらに、混合以後航空機給油に至るまでの段取り、手続きを確認した。
- ・2021年6月17日、日本航空515便(東京国際空港発、新千歳空港行き)のエアバスA350-900にて飛行に供した。

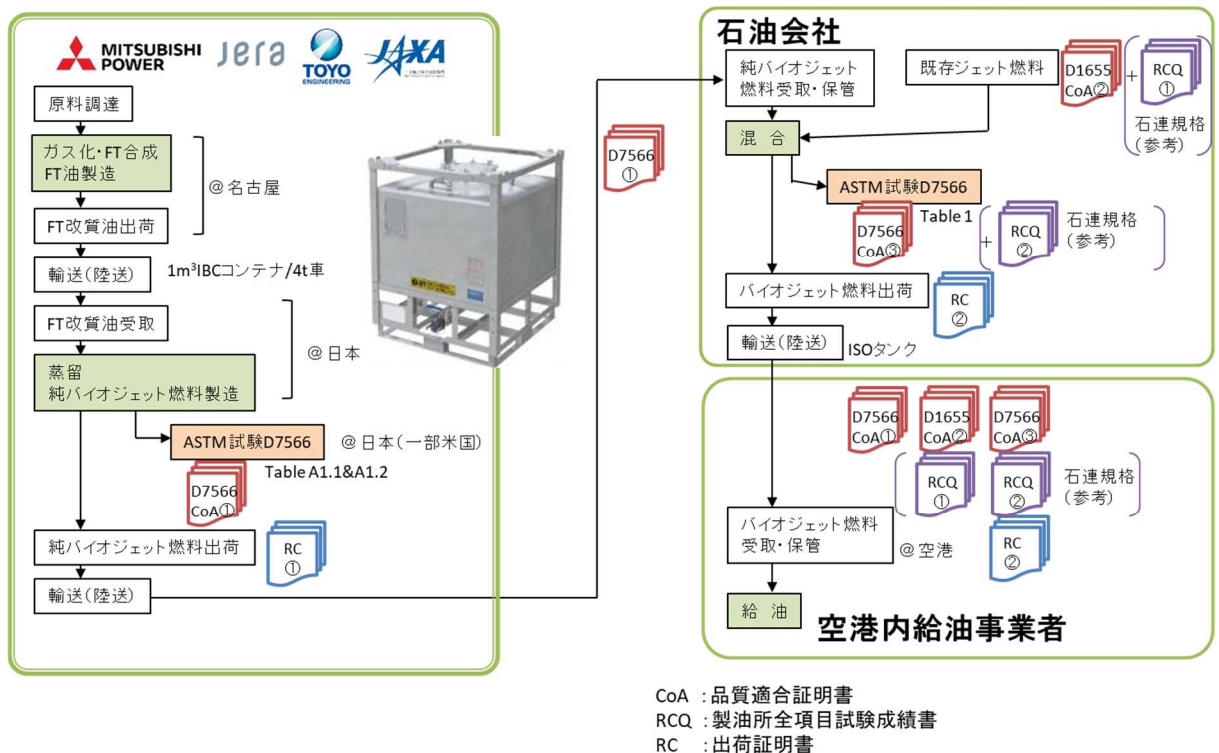


図 1-3-3 サプライチェーンのイメージ



図 1-3-4 給油作業(日本航空株式会社提供)

成果一覧

目標	成果	達成度
①高性能噴流床バイオマスガス製造技術開発	純バイジェット燃料製造パイロットプラントの設計・建設・試運転、同検証運転を実施・完了。目標通りの冷ガス効率、炭素転換率を確認。FT 合成に好適な H <sub>2</sub> /CO 比の生成ガスを安定して製造可能なことを確認。	○
②純バイジェット燃料製造技術開発	純バイジェット燃料製造パイロットプラントの設計・建設・試運転、同検証運転を実施・完了。目標を超える純バイジェット燃料を製造し、全量が ASTM 規格を満足。	◎
③純バイジェット燃料製造システムの運転・保守技術の確立	ガス化設備、FT 合成設備の組合せによる一貫運転により運転保守技術確立。	○
④バイジェット燃料の燃焼特性・排気特性の評価	バイジェット燃料の燃焼・排気特性およびエンジン性能特性評価を実施し、PM の重量密度、数密度ともにケロシン燃料に対しバイオ燃料は大きく低減した。一方、CO・THC・NO <sub>x</sub> 排出量の燃料の違いによる影響は小さかった。また、燃料の混合比による基本的なエンジン特性値(推力、吸入空気流量、燃料消費率、排気温度等)の違いは無く、エンジンの始動性の違いも確認されなかった。	○
⑤実用規模システムの適正化検討	商用規模の ガス化～FT 合成～改質～蒸留 のバイジェット燃料一貫製造プラントの検討に着手し、経済性検討のための概略設備費、運転費を算出した。LCA における CO <sub>2</sub> 排出量は 8.0[g-CO <sub>2</sub> /MJ]となった(ケロシンは 89.0)。	○
⑥サプライチェーン具体化	製造した純バイジェット燃料と Jet A-1 の混合、混合後ジェット燃料の ASTM 規格合格。製造から給油までの品質保証体制調査・確立。定期商用フライトへの給油を実現、	○

## 2. 知的財産権等の取得及び成果の普及

### 【特許】

- 出願番号: 特願2017-221827  
発明の名称: バイオマスガス化装置およびその運転方法  
発明者(筆頭者): 藤井 篤

### 【論文】

- 発表先: Aerospace America (月刊) December 2020 Year in Review (2021.1.21)  
題目: Energy systems focus on environmentally friendly aviation  
発表者: 岡井 敬一
- 発表先: 日本ガスタービン学会誌5月号 (2021.5)  
題目: JAXAにおけるバイオジェット燃料の燃焼研究  
発表者: 藤原 仁志、水野 拓哉、岡井 敬一
- 発表先: 日本エネルギー学会機関誌「えねるみくす」7月号 (2021.7)  
題目: バイオマスからのジェット燃料製造技術の開発  
発表者: 篠田 克彦
- 発表先: 三菱重工技報 第58巻3号 (2021.7)  
題目: バイオジェット燃料製造技術の開発  
発表者: 藤井 篤、稲田 皓介、高橋 寿明、篠田 克彦
- 発表先: Aerospace America (月刊) December 2021 Year in Review (2021.12)  
題目: Progress in carbon-neutral technologies for power generation  
発表者: 岡井 敬一
- 発表先: 石油学会機関紙「ペトロテック」第45巻3号 (2022.3)  
題目: 持続可能な航空燃料によるCO<sub>2</sub>削減  
発表者: 寺井 聡
- 発表先: 日本エネルギー学会機関誌「えねるみくす」第101巻 3月号 (2022.3)  
題目: 航空分野におけるカーボンニュートラルの展望  
発表者: 岡井 敬一

### 【口頭発表】

- 発表先: ICEF2017 (2017.10.5)  
題目: Development of Once-through Process of Biomass Gasification and FT Synthesis for Biojet Fuel  
発表者: 山内 康弘
- 発表先: 平成29年度TSC Foresight セミナー (2017.11.1)  
題目: NEDOバイオジェット燃料生産技術開発事業

『高性能噴流床ガス化とFT合成による純バイオジェット製造パイロットプラントの研究開発』

発表者:山内 康弘

- 発表先:ISEPP-2018 (2018.3.19)

題目:JAXA's Activity on Alternative Jet Fuels and Combustion Experiments using Combustors for Aeroengines

発表者:岡井 敬一

- 発表先:第13回工業触媒フォーラム(触媒学会) (2019.1.22)

題目:木質バイオマスのガス化とFT合成によるバイオマスジェット燃料製造技術開発

発表者:寺井 聡

- 発表先:第71回日本生物工学会大会シンポジウム (2019.9.18)

題目:高性能噴流床ガス化とFT合成による純バイオジェット燃料製造パイロットプラントの研究開発

発表者:山内 康弘

- 発表先:日本エネルギー学会/第56回石炭科学会議 (2019.10.29)

題目:バイオマスからのジェット燃料製造技術の開発

発表者:篠田 克彦

- 発表先:アメリカ航空宇宙学会(AIAA)推進エネルギー会議 AIAA2020-3670(2020.8.25)

題目:Development and Testing of Integrated Process of Woody Biomass Gasification and Fischer-Tropsch Synthesis for Bio-derived Aviation Fuel

発表者:岡井 敬一

- 発表先:日本エネルギー学会 西部支部講演会(2020.10.30)

題目:バイオマスからのジェット燃料製造技術の開発

発表者:篠田 克彦

- 発表先:アメリカ航空宇宙学会(AIAA)SciTech講演会AIAA2021-2036 (2021.1.21)

題目:Combustion Tests using a Single Combustor Model and a Jet Engine of Bio-Derived Aviation Fuel Produced through Integrated Process of Woody Biomass Gasification and Fischer-Tropsch Synthesis

発表者:岡井 敬一

- 発表先:日本機械学会中国四国学生会 第51回学生員卒業研究発表講演会(2021.3.4)

題目:バイオジェット燃料を用いた模型ジェットエンジン性能取得試験

発表者:増田 圭志

- 発表先:石炭・炭素資源有効利用研究会 第1回研究会(2021.3.9)

題目:高性能噴流床ガス化とFT合成による純バイオジェット燃料製造パイロットプラントの研究開発

発表者:山内 康弘



- ・発表先:(株)技術情報協会主催バイオジェット燃料セミナー(2021.7.29)  
 題目:高性能噴流床ガス化技術とマイクロチャンネルFT合成技術を複合化したバイオジェット燃料製造技術について  
 発表者:寺井 聡
- ・発表先:アメリカ航空宇宙学会(AIAA)推進・エネルギー講演会 AIAA2021 (2021.8.9)  
 題目:Emission and Engine Operation with SAF (Sustainable Aviation Fuel) Produced through Integrated Process of Woody Biomass Gasification and Fisher-Tropsch Synthesis  
 発表者:岡井 敬一
- ・発表先:日刊工業新聞(2021.9.6)  
 題目:SAF、脱炭素化に貢献  
 発表者:水野 拓哉
- ・発表先:日本プロジェクトマネジメント協会主催PMシンポジウム2021 (2021.9)  
 題目:エナジートランジション技術の社会実装に向けて  
 発表者:富永 賢一
- ・発表先:CCR研究会講演会 (2021.9.22)  
 題目:持続可能な航空燃料(SAF)の現状とTOYOの取り組み  
 発表者:寺井 聡
- ・発表先:ターボ機械協会第156回セミナー (2021.10.1)  
 題目:バイオジェット燃料の現状とTOYOの取り組み  
 発表者:寺井 聡
- ・発表先:第49回日本ガスタービン学会定期講演会 (2021.10.14)  
 題目:バイオジェット燃料による燃焼・排気特性と関連技術研究  
 発表者:岡井 敬一
- ・発表先:石油学会2021年度精製講演会 (2021.10.22)  
 題目:エナジートランジション技術の社会実装に向けて  
 発表者:富永 賢一
- ・発表先:INCHEM TOKYO 2021 プラントショー(東京ビッグサイト) (2021.11.17~19)  
 題目:FT 合成による SAF(持続可能な航空燃料)製造技術 / 航空燃料の未来  
 発表者:小嶋 保彦
- ・発表先:令和3年度第2回SJAC講演会(2021.12.3)  
 題目:持続可能な航空燃料(SAF)適用に向けた課題と可能性  
 発表者:岡井 敬一
- ・発表先:第30回微粒化シンポジウム(2021.12.16)  
 題目:JAXAにおける航空用バイオ燃料の燃焼研究事例  
 発表者:岡井 敬一

・発表先:Nitrogen + Syngas 2022 Conference & Exhibition (2022.3.29)

題目:Production of Sustainable Aviation Fuel (SAF) from Woody Biomass by Gasification-FT Synthesis  
Technology - Successful Demonstration to Fly a Commercial Flight

発表者:小嶋 保彦

#### 【プレス発表】

・2018年12月3日 三菱日立パワーシステムズ[現 三菱重工業]、東洋エンジニアリング、中部電力  
プレスリリース

[https://power.mhi.com/jp/news/20181203\\_02.html](https://power.mhi.com/jp/news/20181203_02.html)

<https://www.toyo-eng.com/jp/ja/company/news/?n=678>

[https://www.chuden.co.jp/publicity/press/3269514\\_21432.html](https://www.chuden.co.jp/publicity/press/3269514_21432.html)

・2021年6月18日 三菱パワー [現 三菱重工業]、東洋エンジニアリング、日本航空  
プレスリリース

<https://power.mhi.com/jp/news/20210618.html>

<https://www.toyo-eng.com/jp/ja/company/news/?n=804>

<https://press.jal.co.jp/ja/release/202106/006098.html>

#### 【パネル展示】

・発表先:INCHEM TOKYO 2017 プラントショー(東京ビッグサイト) (2017.11.20~22)

題目:再生可能バイオジェット燃料

発表者:東洋エンジニアリング

・発表先:INCHEM TOKYO 2021 プラントショー(東京ビッグサイト) (2021.11.17~19)

題目:持続可能な航空燃料(SAF)と TOYO の取り組み

発表者:東洋エンジニアリング

#### 【受賞実績】

・2021年6月10日 一般財団法人エンジニアリング協会

第13回エンジニアリング奨励特別賞

### (Ⅲ-2) 実証を通じたサプライチェーンモデルの構築

#### (Ⅲ-2-1) バイオマスガス化 FT 合成による SAF 製造実証およびサプライチェーン構築

実施者:株式会社 JERA、三菱重工業株式会社、  
東洋エンジニアリング株式会社、伊藤忠商事株式会社

## 1 研究開発の成果

### 1.1 背景と課題

世界の航空輸送部門では、今後拡大する航空需要予測を背景に、地球温暖化対策や石油価格変動に対するリスクヘッジの確保が業界としての大きな課題となっている。国連専門機関である国際民間航空機関(ICA0)は、長期的な低炭素化目標を策定し、その達成に SAF の導入が不可欠としている。また、製造コストが十分経済的になれば、石油価格変動に対するリスクヘッジとしても有効であることから、SAF 導入に対する期待は世界的にも高まっており、今後市場規模が拡大すると予測されている。

ジェット燃料生産技術開発事業／一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験／高性能噴流床ガス化と FT 合成による純バイオジェット燃料製造パイロットプラントの研究開発(2017 年度～2021 年度)において、実施者らはパイロットスケールでのガス化 FT 合成燃料製造設備による連続した SAF 製造を可能にした。

バイオマスガス化 FT 合成 SAF 製造パイロット設備において確立した技術や得られた研究成果を社会実装するため、SAF 製造事業化に向けて課題となる、大規模なバイオマス原料調達、設備の大型化、一連のサプライチェーン構築等についてフェーズ①として FS 調査を実施し、事業化の可能性検討を実施する。

### 1.2 中間目標と達成度

目標	成果	達成度	最終目標に対する進捗
大規模・安定・安価な SAF 原料の調達	質、コスト、量の観点から各バイオマス原料について調査を実施し原料の選定を実施	△	○
ガス化 FT 合成 SAF 製造設備の基本設計 (Capex、Opex 算定)	設備基本設計実施	○	○
下流サプライチェーン構築	協力企業と検討開始	○	○
SAF・副生物市場調査 (SAF、副生物市場動向把握) (CORSIA 認証スキーム対応)	市場調査開始	○	○
事業性評価	前提を置いたうえでの概算の事業性算出	○	○

×:中止 △:未達 ○:計画通り ◎:超過達成

### 1.3 最終目標に対する進捗状況

#### 1.3.1 SAF 原料調達

- (1) 質、コスト、量に加え持続可能性、供給地点の観点から各バイオマス原料について調査を実施し、最も有望の原料としては国産木質バイオマス原料を選定した。
- (2) 将来の SAF 需要拡大を視野に、より大量製造するために調達可能な原料についても検討を実施し、海外にも目を向けて調達の可能性を見出した。

今後は選定した木質バイオマス原料の調達量、調達価格の精査、課題の整理を実施する。

#### 1.3.2 ガス化・FT 合成製造設備の基本設計

- (1) FS における設備規模および設備建設候補地を選定した。
- (2) 商業規模のガス化炉・FT 反応器等の基本設計を実施した。
- (3) ガス化設備と FT 合成設備の取合条件の調整、ヒートマスバランスの整理を実施した。
- (4) SAF 一貫製造プロセスの最適化を実施中である。
- (5) 設備建設候補地による最適な設備配置計画を検討中である。
- (6) 設備建設工程の最適化を検討中である。

今後設備の基本設計の精査および Capex、Opex の試算、課題の整理を実施する予定である。

#### 1.3.3 下流サプライチェーン構築

- (1) 製造設備設置箇所を考慮し下流サプライチェーン構築に協力いただける企業と検討を開始した。
- (2) 既存ジェット燃料とニート SAF 混合設備等の想定を実施した。

今後 ASTM 認証手続きを含めサプライチェーン構築にかかるコストの試算、課題の整理を実施する予定である。

#### 1.3.4 SAF、副生物市場調査(CORSIA 認証スキーム対応)

- (1) SAF および副生物の市場調査を開始した。
- (2) CORSIA 認証のために必要な手続きの確認、整理を実施した。
- (3) 行政機関を含めた CORSIA 認証検討体制への参画を進めた。

今後市場調査により SAF、副生物の需要想定から許容される販売価格を精査するとともに、今回のプロジェクトで製造する SAF が CORSIA 認証を受けるための手続き等について行政機関と協調して確認、対応を実施する。

### 1.3.5 事業性評価

想定による前提条件を設定し、概算の事業性算出を実施した。

今後各種条件設定の確度を上げて事業性評価を実施し、事業化(事業継続可否)の判断を実施する。

FSにおいて事業性評価に必要な各種データの収集、作成、整理が進んでおり事業化可能性判断に向けて以下のスケジュールを進める予定である。

#### フェーズ1

事業項目	2021年度				2022年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①ガス化FT合成技術によるSAF製造事業化判断のためのFS								
①-a 商業設備規模の検討				■				
①-b 適用法令対応検討					■	■	■	■
①-c 木質バイオマス等各種原料調達可能性調査			■	■	■	■	■	■
①-d 商業規模ガス化設備基本設計					■	■	■	■
①-e 商業規模FT合成設備基本設計(蒸留設備含む)					■	■	■	■
①-f SAF原油と既存ジェット燃料のブレンド方法検討					■	■	■	■
①-g 副生物(軽油、ナフサ等)の販売含む活用検討					■	■	■	■
①-h SAF供給方法検討					■	■	■	■
①-i SAF市場調査					■	■	■	■
①-j 検討結果を総合して事業継続可能性確認の実施							■	■

### 1.4 参考文献

なし

## 2. 知的財産等の取得および成果の普及

### 2.1 特許

なし

### 2.2 論文

なし

### 2.3 口頭発表

発表年月:2022年7月

発表先:航空イノベーション推進協議会

題目:バイオマスガス化FT合成によるSAF製造実証および事業化検討について

発表者:(株)JERA 田邊一太郎

三菱重工業(株) 山内康弘

東洋エンジニアリング(株) 寺井聡

発表年月:2022年7月

発表先:日本機械学会第26回動力・エネルギーシンポジウム

題目:三菱重工の脱炭素・カーボンネットゼロへの取り組み

発表者:三菱重工業(株) 外野雅彦

発表年月:2022年7月

発表先:日本機械学会第26回動力・エネルギーシンポジウム

題目:数値解析によるバイオジェット燃料製造向け噴流床ガス化炉の商用機性能評価

発表者:三菱重工業(株) 松井直也

発表年月:2022年7月

発表先:一般財団法人 エンジニアリング協会 L2PM 実務習得コース

題目:NEDO バイオジェット燃料製造パイロットプラントプロジェクト

発表者:東洋エンジニアリング(株) 小嶋保彦

発表年月:2022年6月

発表先:自動車技術会中部支部セミナー

題目:合成液体燃料製造技術の現状と動向

発表者:東洋エンジニアリング(株) 寺井聡

発表年月:2022年6月

発表先:(株)技術情報センターセミナー

題目:フィッシャー・トロプシュ(FT)合成による持続可能な航空燃料(SAF)製造技術

発表者:東洋エンジニアリング(株) 小嶋保彦

発表年月:2022年5月

発表先:Nitrogen + Syngas USA 2022

題目:TOYO's Energy Transition approach focusing on various areas utilizing synthesis gas technologies

発表者:東洋エンジニアリング(株) 寺井聡

### 2.4 プレス発表

2021年8月30日「商業規模の国内 SAF 製造実証およびサプライチェーン構築事業への参加について」((株)JERA)

2021年8月30日「商業規模の持続可能な代替航空燃料製造実証およびサプライチェーン構築事業に着手 三菱パワーは噴流床ガス化技術で航空分野の脱炭素化に貢献」(三菱パワー(株))

2021年8月30日「Mitsubishi Power to Participate in a Joint Study for the Establishment of a Commercial-scale SAF Production Technology and the Creation of a Supply Chain」(三菱パワー(株))

2021年8月30日「商業規模のSAF製造実証およびサプライチェーン構築事業に着手」(東洋エンジニアリング(株))

2021年8月30日「商業規模の国内SAF製造実証およびサプライチェーン構築に参画」(伊藤忠商事(株))

### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

#### 1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

バイオマスガス化 FT 合成技術による SAF 製造については、パイロット設備における実証により、設備の連続運転、ASTM 規格を満足する SAF 製造が可能なのは確認できた。

一方、実用化に向けては、原料の大規模、安定、安価な調達、ガス化設備、FT 合成設備の大型化、SAFと既存ジェット燃料との混合を含めた下流のサプライチェーンの構築、SAF市場の状況調査、ルールが複雑な CORSIA 認定取得準備等を実施する必要がある。すぐに本技術を活用して実用化・事業化に進むことはできない。

そこで第 1 にフィージビリティスタディ(FS)により、事業化の可能性を調査し、結果により実用化・事業化に進むステップを踏む計画を進める。

#### 2)成果の実用化・事業化に向けた具体的な取組

NEDO 助成事業によりフェーズ①として FS を実施し、上記記載の項目を調査することで、課題等を明らかにし、事業性について評価を実施している。

#### 3)成果の実用化・事業化の見通し

原料の安定調達、特に木質バイオマスの安定調達は課題としてあり、また原料コスト、設備コスト等を勘案し、事業性を評価した場合、既存ジェット燃料価格と同等程度に製造コストを抑えることは非常に難しい。SAF が市場に受け入れられる価格が不透明な点が事業化の見通しを困難なものとしている。

また、SAF 需要に対し国内の供給が全く足りない状況となる可能性があるため、SAF 製造の大規模化を目指す際に、現状国内で調達できる CORSIA で認められる可能性がある原料には限りがあることも事業化、大規模化の見通しを困難なものとしている。

これらの課題の解決を進め、計画通りにプロジェクトが進めば SAF 製造量数万kL/年の商業規模のプラントを 2027 年頃に稼働させるべく検討を続けている。



(Ⅲ-2-2) 国産第二世代バイオエタノールからのバイオジェット燃料生産実証事業  
実施者:株式会社 Biomaterial in Tokyo、三友プラントサービス株式会社

## 1 研究開発の成果

### 1.1 背景と課題

本事業では国内で年間を通じて安定的に発生する未利用バイオマスとして難再生古紙等に着目し、これを原料に生産した国産第二世代バイオエタノールを変換する事で得られる、国産ニート SAF を年間 150 kL 生産する。将来、国産ニート SAF を国内で流通していくためには供給先（石油物売り社を想定）との連携により今までにない新しいサプライチェーンの構築が必要である。一方で、新しいサプライチェーンの構築には大量の国産ニート SAF が必要になることから、本事業では、国産ニート SAF の更なる大量生産、大量供給、新規サプライチェーンのためのモデル事業を実施することを目的としている。

本事業においては、ATJ (Alcohol to Jet) 技術を用いた国産第二世代バイオエタノールからの SAF 生産を行う。国産ニート SAF 生産における重要な技術的な課題として、国産バイオエタノールの安定生産・安定調達と、バイオエタノールからの ATJ 技術によるニート SAF 生産技術の最適条件での実証試験運転が挙げられる。2024 年度中に更なる大規模 SAF 製造プラントの建設のための事業計画書を策定するために、まずは 150 kL/年の SAF 生産を安定的に実施することが不可欠である。そしてその前には三友プラントサービス(株)川崎工場内に既設である 10 kL/年規模の SAF 生産設備の安定運転が必須となる。そのため、ATJ 生産の最適化および連続操業による運転の安定化を実施項目とし、10 kL/年規模のプラントでの SAF の試験製造を行う。

また、SAF 生産設備の安定運転のためには国産バイオエタノールの安定生産も不可欠である。今回の事業では古紙やパルプといった「脱リグニンされた」バイオマスを原料として用いる予定としている。脱リグニンされているため廃棄物系のバイオマスとはいうものの原料調達は 10 円～20 円/kg の有償となる。また、大規模プラントにおける国産ニート SAF 生産においては原料の確保も重要な課題となる。さらに、最終的な国産ニート SAF の製造コスト低減を実現するためには、この原料を用いた国産バイオエタノール生産において「糖化酵素のコスト削減」が重要になる。糖化酵素はバイオマス中のリグニンと結合して活性の低下や回収が困難であることが知られている。今回採用する原料はすでに脱リグニンされており、糖化後に酵素が液中に浮遊するため、膜での回収、再利用が可能であり、酵素の複数回利用によるコスト削減が可能と考えている。そのため、本事業において、古紙パルプ調達先の確保および酵素糖化の最適化を実施項目とし、ATJ における原料となる国産第二世代バイオエタノールの製造原価低減を目的とし、研究開発を行った。

## 1.2 中間目標と達成度

目標	成果	達成度	最終目標に対する進捗
① 酵素糖化の最適化：廃棄古紙、廃棄パルプおよび古紙パルプ等からバイオエタノール製造技術の確立	酵素はセラミックフィルターを通過せず濃縮側にとどまるものの、連続糖化試験においても90%以上の糖化率を確認することができた。また、同時に20%糖液の製造を確認した。さらに、回収したセルラーゼを用いてSHFを行ったところ、想定通りのエタノール濃度を確認した。以上の結果から、20%糖液の製造と発酵性の確認ができたことから、バイオエタノール製造工程におけるプラント設計に利用可能なデータとして利用する予定である。	○	○
② 低濃度エタノール(30%～50%)からのATJ生産の最適化：ATJ変換の最適条件の確立	エチレン製造装置を用いて99.5%エタノールからのエチレン製造試験を行った結果、反応効率に一部課題を残すものの、純度99.9%のエチレンの生産を確認した。	△	△
③ 連続操業(10日×5日=50日)による運転安定化	2021年はSAF製造装置のオリゴマー化・蒸留・水素化の各工程の単独運転を順次実施し、各工程の運転についての知見を得た。得られたSAFは、日本海事検定協会にてASTM D7566の分析を行い、一部スペックアウトしている項目について引き続き運転条件の見直しと連続操業による運転の安定化を進めている。	△	△
④ 古紙調達先の確保	東北地方、北陸地方、四国地方の製紙会社から原料調達に向けたヒアリングを行った。結果、四国地方の丸住製紙(株)からの損紙を原料として利用できることとなり、原料調達先については確保に至った。	○	○
⑤ ATJプラントの基礎設計：生産量150kL/年規模のATJプラントの基礎設計	川崎プラントのSAF製造設備の運転データをもとにByogy社(米)と共有し協議を行っている。今後Byogy社に年産量150kL/年の基礎設計を発注予定である。	○	○

×：中止 △：未達 ○：計画通り ◎：超過達成

## 1.3 最終目標に対する進捗状況

1.3.1 酵素糖化の最適化：廃棄古紙、廃棄パルプおよび古紙パルプ等からのバイオエタノール製造技術の確立(実施内容①)

### < 酵素回収技術の確立 >

2021 年度は主に 10%糖化槽からの酵素回収試験及び酵素糖化液の濃縮実験を 1,000 kgの反応規模にて実施した(図1)。ブラジルの Granbio 社の2Gエタノール生産設備(80,000kL/年)は設計基礎データの取得時に 1,500 kg糖化槽に対して H<sub>2</sub>O:900 kg、バイオマス(絶乾)100 kg、合計 1,000 kgの反応系におけるデータにて設計している。この情報より bits 社も 1,000 kg反応系でのデータ回収を実施した。酵素回収及び糖液濃縮回収の考え方としては糖液製造時のコストに大きな比重を占める酵素をリサイクルすることで糖液製造時のコストダウンを図ること、糖液濃縮回収は後段のエタノール蒸留における蒸留設備費の低減には蒸留前エタノール濃度の高濃度化及びエタノール蒸留前もろみ量の低減が重要である為、エタノール発酵前の糖濃度を 20%以上に設定することが重要である。

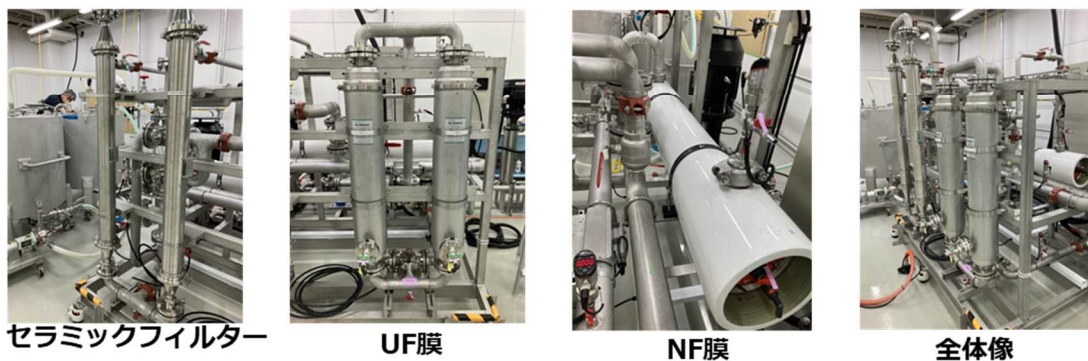
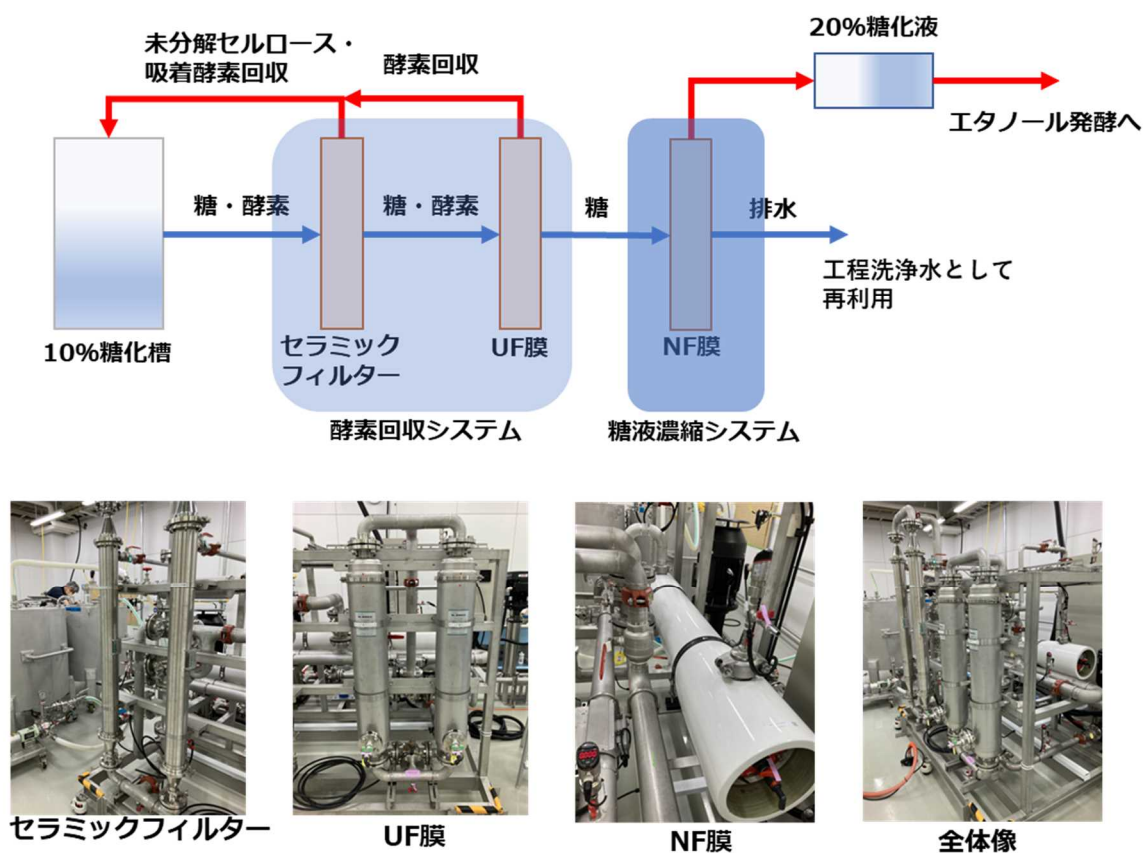


図1 酵素回収用膜処理装置の概略と装置写真

#### 試験① 10%糖化液よりセルラーゼを膜回収する

原料:A工場製 LBKP(広葉樹クラフトパルプ) 100 kg

酵素:市販酵素 A

酵素糖化時間を 18 時間として糖液製造、Brix10.5(糖濃度指標)時点(糖化率 95%以上)で糖化終了とした。

その後、セラミックフィルター→UF 膜処理→NF 膜処理を行い最終的な酵素回収率及び糖質化収率を計算した。

その結果、酵素の回収率は 99%以上であり予想外の好結果となった。酵素の分子量は約 50,000 Da 程

度でありセラミックフィルターの膜を容易に通過する大きさであるがすべてのタンパク質はセラミックフィルターを通過することなく濃縮側にとどまっている。このことより、酵素の多くは糖液中に存在する微細繊維に吸着しており、そのまま系内にとどまっていると推察している (図 2)。次の実験として、このセラミックフィルター内で濃縮された微細繊維を「酵素」と見立てて連続糖化試験を実施した。まず 1,000 kg 反応系での分解残渣に投入酵素活性の 50%程度が吸着していると想定した。これは投入タンパク質総量の 50%が糖化液より回収されていないことより酵素の 50%は未分解残渣に吸着していると仮定したものである。この未分解残渣に吸着している酵素活性を計算し、新たに 30FPU/g となるように新しい LBKP と接触させて酵素糖化を実施した。これを 2nd 実験と定義した。2nd 実験の条件を 50°C、8 時間としたところ、糖化率は 80%程度を維持した。念のため糖化時間を 22 時間まで延長して糖化率を測定したところ 22 時間では糖化率は 90%以上となっている。ついでこの 2nd 実験で回収した微細繊維を再度「酵素」と見立て 3 回目の糖化試験に供した、これを 3rd 実験と呼ぶ。結果は 2nd と同じ結果を呈した。このため、酵素は微細繊維に吸着しており、セラミックフィルターで容易に回収再利用が可能と判断している (図 3)。

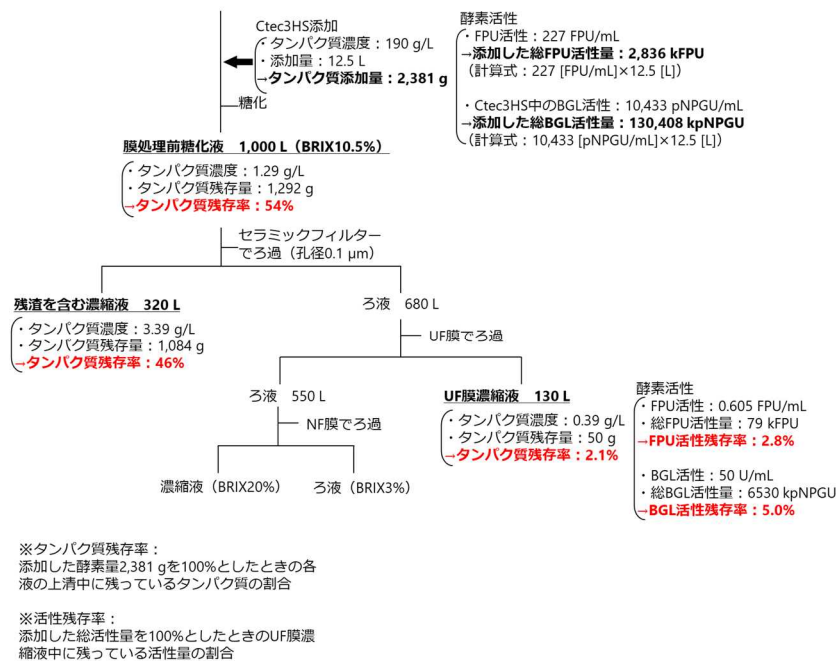


図 2 1 ton スケールでの糖化試験における酵素・酵素活性マテリアルバランス

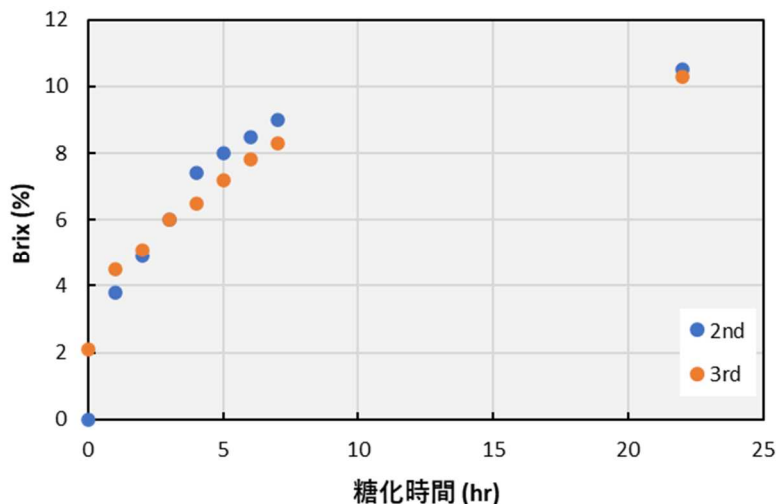


図 3 回収酵素による糖化試験

## 試験② 回収したセルラーゼを用いて SSF もしくは SHF を実施しセルラーゼを回収する

製紙工場内の敷地にプラントを設置し連続糖化試験を行う場合は、SSF(併行複発酵)ではなく SHF(糖液分離発酵)の方が事業性が高いと判断している。原料パルプの糖化液の中のグルコースはバイオプラスチックの原料として有望であり、糖化液を全てエタノール販売するべきではないと考えている。そのため SSF ではなくて SHF での実験を試行した。

①の実験で製造した 20%の糖液を原料としてエタノール生産を実施した。前段で製造した糖液は 20%濃度であり、この中にはグルコース 16%、キシロース 4%程度が含まれる。このため nonGMO 株である bits 酵母はグルコースのみをエタノール化して最終的にエタノール濃度が 8%を超える予定である。

原料:20%LBKP 糖化液

酵母:bits 保有パン酵母(*S.serevisiae.sp*)酵母添加率反応系に 0.5%

反応系:200 ml(n=2)

回転:100 rpm/min

その結果、エタノール濃度は 8%を超えて予想通りの結果となった(図 4)。初発の糖濃度がグルコース 17%、キシロース 2.6%であり若干キシロース比率が低かった。よって LBKP 糖化液の濃縮液でのエタノール生産性には問題が無いと判断している。キシロースは発酵していないが発酵収率は 85%を超えており、仮に遺伝子組み換え酵母を利用してエタノールを生産するとキシロースより約 1%のエタノール濃度が加算されるので、最終的なエタノール収率は 9.5%を超えると推察できる。

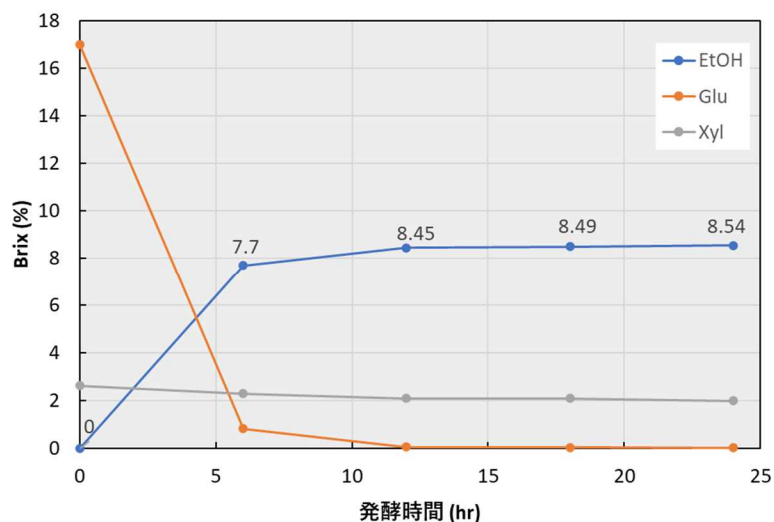


図 4 20%濃縮糖化液の発酵性評価

セルラーゼの回収と糖液濃縮については大きな問題はないが、今後のプラント建設に資するデータ回収のため 2022 年度も部分的に酵素回収と糖液濃縮にかかるデータ取得は継続する予定である。特に、1,000 kg 発酵槽を連続的に使った酵素回収試験と糖液濃縮試験については繰り返し実験での膜の耐久性を確認すべき事項として必須と考えている。今回、20%糖液の製造と発酵性の確認が取れたため

プラント建設時の導入エタノール濃度は 9%以上と設定することが可能である。このことにより蒸留塔の縮小化及びエネルギー投入量の低下が期待され事業性が改善するとともに GHG も削減されると想定される。

### 1.3.2 低濃度エタノールからの純国産バイオジェット燃料生産の最適化及び ATJ 技術の最適条件の確立 (実施内容②)

2020～2021 年度においては、購入エタノールを用いたエチレン製造を行った。研究開発のために使用した装置は、エチレン製造装置 (図 5、6) である。

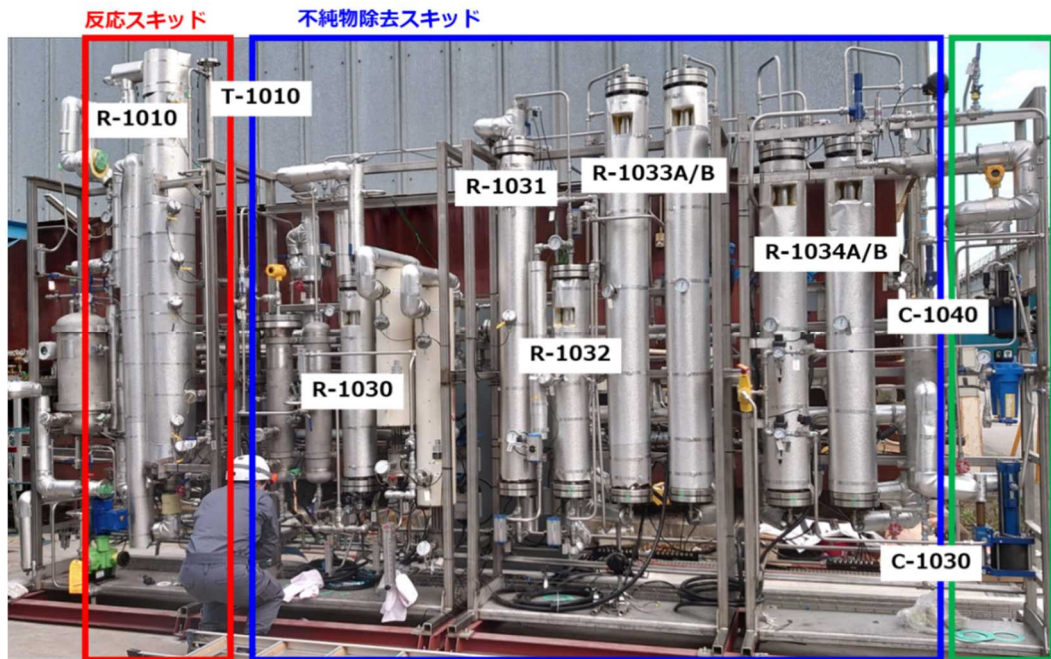


図 5 エチレン製造装置外観

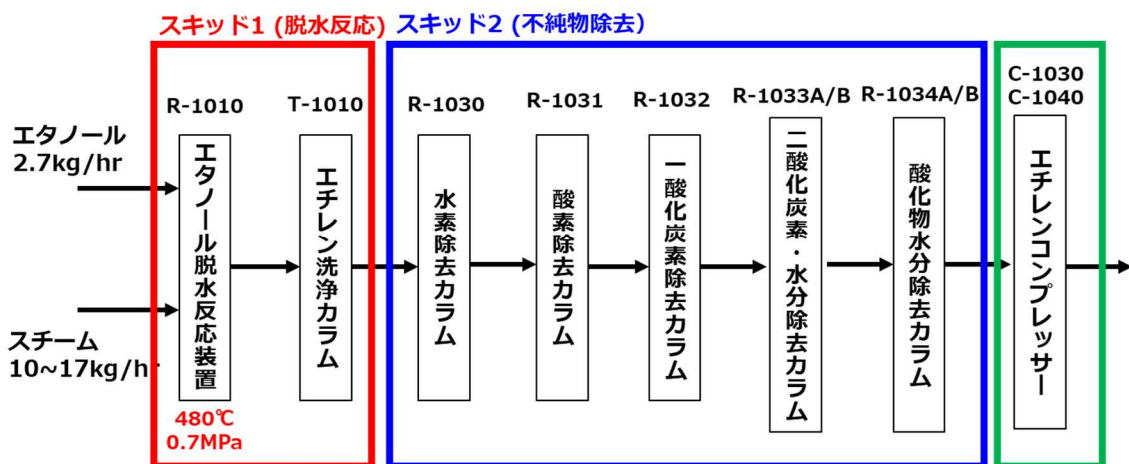


図 6 エチレン製造プロセス

2020～2021 年度においてはエチレン製造装置を用いて、99.5%エタノールからのエチレン製造試験を行った。装置製造元である Petron 社と Web 会議アプリを用いてリモートにて協議を行い、また日本においては東洋エンジニアリング株式会社の協力のもと問題解決業務を行った。2020 年度の運転においては、エチレン濃度 95.3% (表 1, Run1) であったが、触媒のリーク箇所の修理・メンテナンスや温度計の再

校正を行い、2021年度においては、スキッド2の不純物除去工程を含む運転を計3回（Run4～6）行い、エチレン濃度 99.9%（表 1, Run6）の製造を達成した。

表 1 エチレン製造装置を用いて製造したエチレンの分析結果

	Run1	Run4		Run5		Run6	Byogy 要求ス ペック
試験日程	210202-04	210608-10		210803-06		211012-15	
分析機関	弊社	社外A	社外B	社外A		社外A	
スキッド	スキッド1	スキッド1	スキッド1	スキッド1	スキッド2	スキッド2	スキッド2
Ethylene (%)	95.3	98	97.4	95	99.4	99.9	99.5<
H <sub>2</sub> (%)	*1	0.94	0.85	*1	*1	*1	<0.08
O <sub>2</sub> (%)	*1	0.35	0.25	0.9	<0.0005	<0.0005	<0.1
CO (%)	*1	0.003	0.0026	0.005	<0.00001	<0.00001	<0.0005
CO <sub>2</sub> (%)	*1	0.085	0.1	0.09	<0.0001	<0.0001	<0.001
Methane (%)	*1	0.0027	<0.01	*1	*1	*1	<0.1
Ethane (%)	*1	0.1	0.13	*1	*1	*1	<0.1
H <sub>2</sub> O (%)	*1	0.043	0.042	*1	*1	*1	<0.001

\*1; 未測定

また、本装置にて第二世代バイオエタノールを用いたグリーンエチレンの製造と製造したグリーンエチレンを用いてバイオジェット燃料製造を進めるとともに、低濃度エタノール（30～95%）からの ATJ 技術の最適化として ATJ 変換の最適条件の確立を進めていく予定である。

### 1.3.3 連続操業による運転安定化:連続操業性確保（実施内容③）

連続操業による運転安定化のために、エチレン製造装置の運転とともにジェット燃料製造装置の運転についても行った。ジェット燃料製造装置については、オリゴマー化、蒸留、水素化処理についてそれぞれ段階的に試験を行った。研究開発のために使用した装置は、SAF 製造装置（図 7, 8）である。

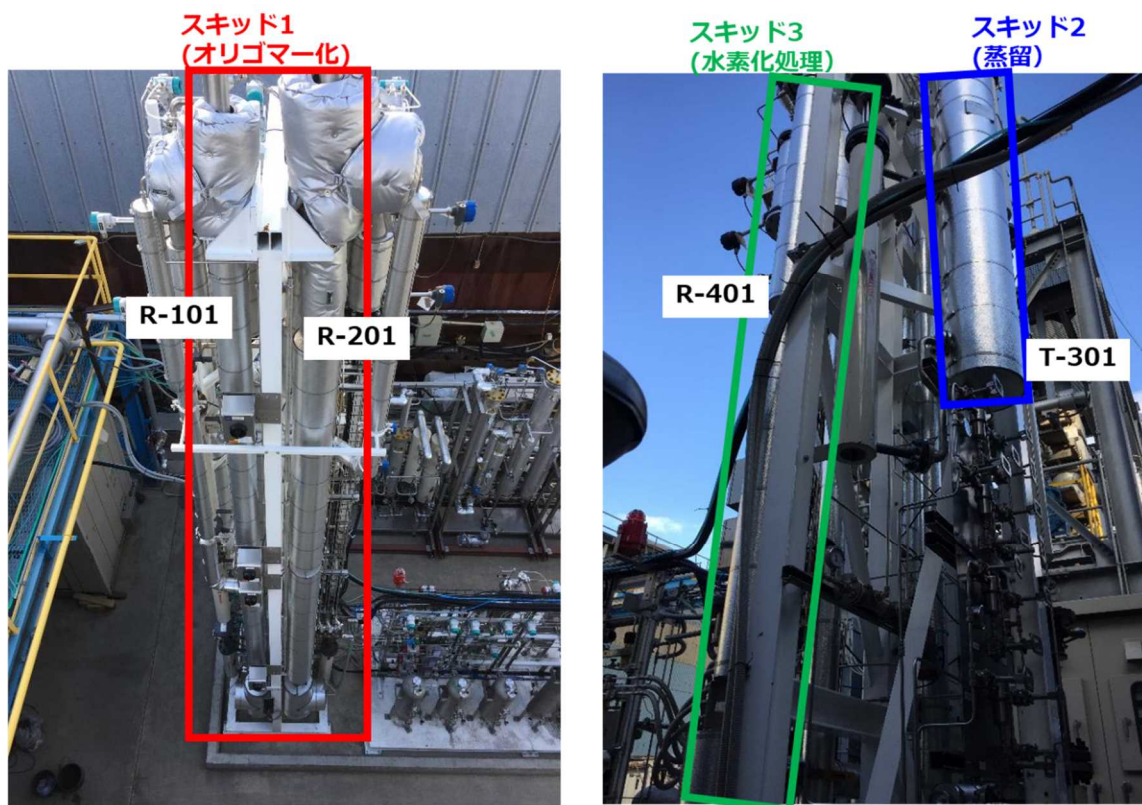


図 7 SAF 製造装置外観

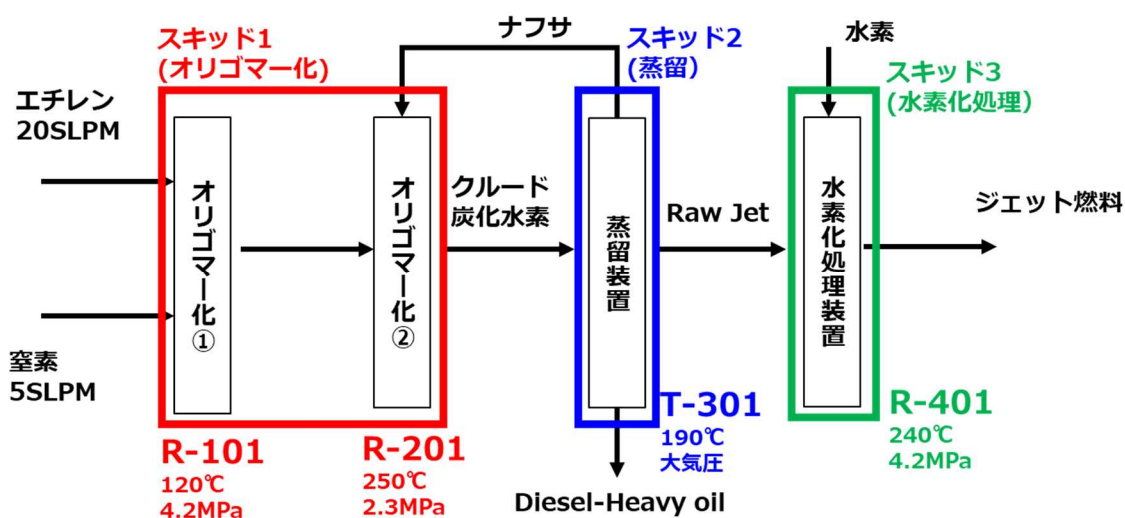


図 8 ATJ 製造プロセス

本装置は、オリゴマー化、蒸留、水素化処理の3段階の工程からなる。本年は、それぞれの工程について単独で試験運転を行った。1段階目のオリゴマー化工程は、R-101 および R-201 の反応器において行われる。2021年度のオリゴマー化試験に先立ち、2020年セル総事業時にオリゴマー化していたサンプル(クルード炭化水素)の分析を行った(図9)。分析したサンプルは、装置製造会社のByogy社のスーパーバイザーのアドバイスにより、比較的ケロシン留分が多く含まれると予想されるDay3のサンプルを使用した。また、分析は石油元売会社にて行った。その結果、クルード炭化水素にはジェット留分が46.7%含まれており(図10、表2)、タイプ分析の結果、アロマ分についても確認することができた(表3)。



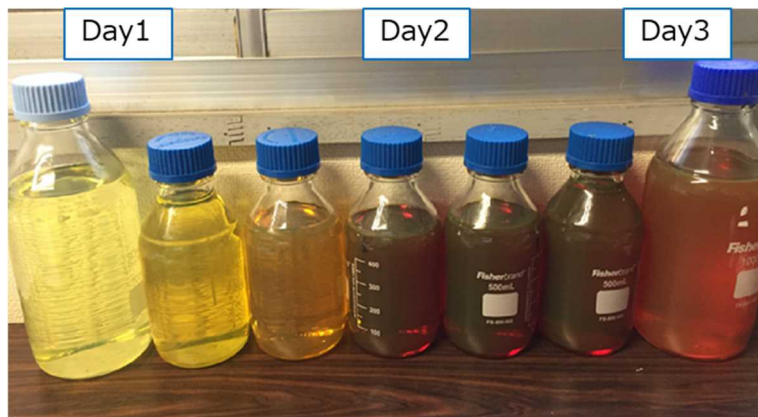


図9 SAF製造装置を用いて製造したクルード炭化水素

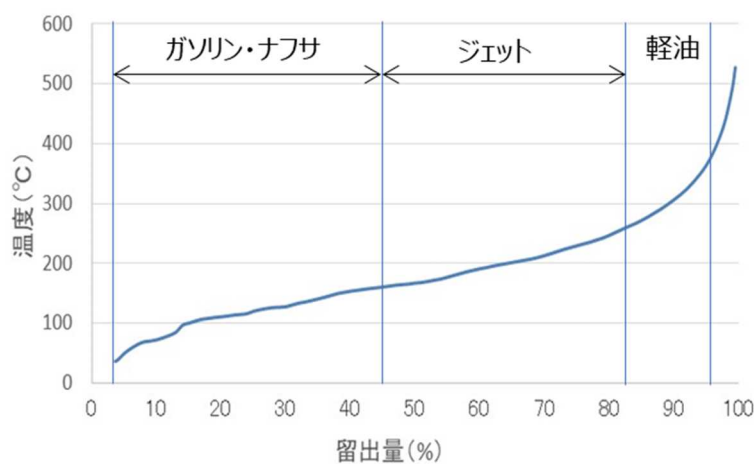


図10 クルード炭化水素のガスクロ蒸留による蒸留曲線

表2 15段蒸留の結果

留分	温度 (°C)	割合 (重量%)
LPG		2.7
ナフサ	IBP~150	36.7
ジェット (灯油)	150~270	46.7
軽油および重質分	> 270	13.9
		計 100

表3 ジェット留分のタイプ分析結果

タイプ	割合 (容量%)
飽和分	0.1未満
オレフィン分	93.5
1環アロマ	5.8
2環アロマ	0.7
3環アロマ	0.1未満

また、2021年度のオリゴマー化試験製造においては、図9と同様のクルード炭化水素の製造試験を行い、アロマ分の割合をコントロールするための試験製造を進めているところである。

2段階目の工程は、蒸留の工程である。蒸留試験として2020年に製造したクルード炭化水素を30L用いて蒸留試験を行った。本試験に用いたサンプルは、図10に示すDay1からDay3までの製造したクルード炭化水素サンプルであり、前述のDay3と比べて比較的ケロシン留分の少ないDay1、Day2のサンプルを含んだ混合サンプルである。本装置では、Light Olefin (ナフサ留分)、Raw Jet (ケロシン留分)、Heavy Oil (重油留分)の蒸留分離が可能である。本試験において、蒸留前サンプル30Lから、Light Olefin 17L、Raw Jet 6.6L、Heavy Oil 3.1Lを取得した(図11)。通常のByogyプロセスでは、得られたLight Olefin

をオリゴマー化に循環利用して Jet 留分を増加させるが、今回は工程毎の単独運転(Light Olefin の再循環なし)のため、Raw Jet の割合が低めに出ている。また、得られた蒸留物を一般社団法人日本海事検定協会理化学分析センターにて JIS K 2254 に準拠した方法にて蒸留性状についての測定を行った。その結果、T10 (10% recovered, temperature) は 190°C、終点 (Final boiling point) は 306.5°Cであることを確認した (図 12)。今後の試験において蒸留の条件を検討する必要があることがわかった。



図 11 クルード炭化水素の蒸留前後の各留分のサンプル

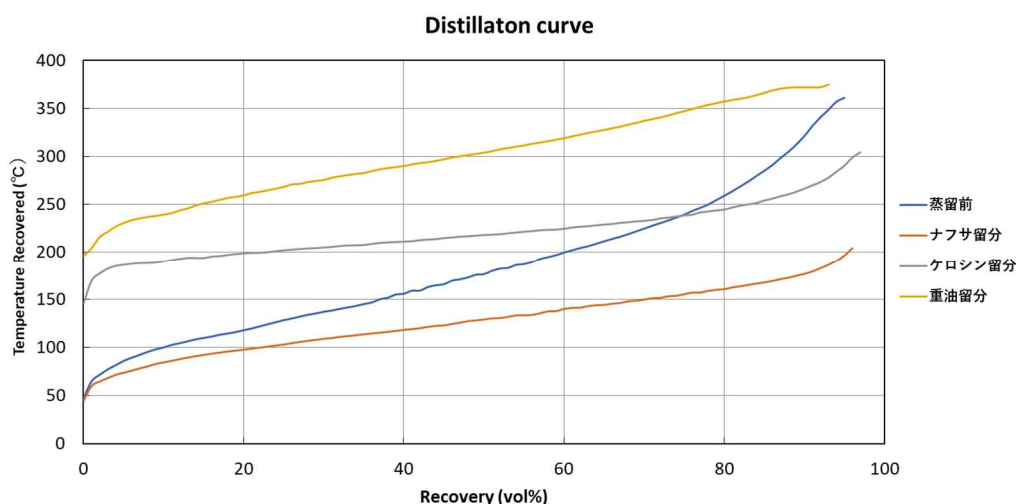


図 12 SAF 製造装置を用いて蒸留したサンプルの蒸留曲線

3 段階目の工程は、水素化処理の工程である。2021 年度においては、モデルサンプル (ガソリン: 灯油: 軽油=1: 3: 1) のサンプルを本装置で蒸留したサンプルに 1-Octene を 10% 添加したサンプルを用いて試験を行った。モデルサンプルにはオレフィンが含まれていないため、オレフィンサンプルとして、比較的入手しやすい 1-Octene を添加した。また、Octene の添加割合は反応性を確認することが目的であることから 10% とした。水素化前後のサンプルのオレフィン分の測定は一般社団法人日本海事検定協会理化学分析センターにて JIS K 2605 参考 1 に準拠した方法にて測定を行った。その結果、水素化処理前後にて蒸留曲線に大きな変化は見られなかった (図 13) が、オレフィン分の消失を確認することができた (表 4)。以上の結果より、水素化によりオレフィンからパラフィンが生成されたと推測される。モデルサンプルでの水素化によるオレフィン分の消失を確認できたことから、今後、装置で製造した実液サンプルを用いて水素化処理試験を行う予定である。

引き続き、運転安定化を目的とし、装置の改修を進め、連続運転を行う予定である。

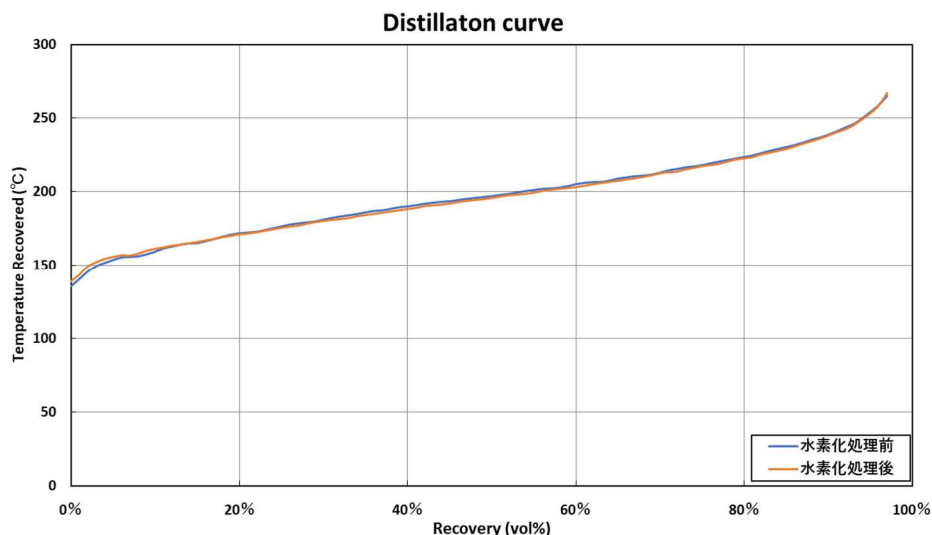


図 13 モデルサンプルの水素化処理前後の蒸留曲線

表 4 水素化処理前後のオレフィン分

	モデルサンプル 水素化処理前	モデルサンプル 水素化処理後
オレフィン分 (質量%)	5.0	0

#### 1.3.4 古紙調達先の確保 (実施内容④)

##### <原料調達>

想定していたA工場では実験の継続が不可能となり、新しい古紙パルプの調達先として「丸住製紙(株)」の四国中央工場(大江工場)と協定を結ぶことができた。大江工場内では工場内損紙が 30 ton/Day 程度発生している。この工程内損紙の大部分は再度離解して製紙工程に回すこともできるが、一度抄紙しているためパルプ物性が抄紙前パルプと大きく異なるため、実は再利用が好まれないパルプである。こういったパルプがリファイナリに適するのであれば積極的にリファイナリに転用することは好ましいと考える工場サイドの意見が尊重されている。

B 工場でも工場内損紙の問題があり、現在どの程度の工場内損紙があるのかを調査中である。工程内から排出できるようであればリファイナリ原料としての活用は望まれているため丸住製紙同様リファイナリ原料としての調達が可能ではないかと期待している。

#### 1.3.5 ATJ プラントの基礎設計:生産量 150 kL/年規模の ATJ プラントの基礎設計 (実施内容⑤)

川崎プラントの SAF 製造設備の運転結果を装置製造元である Byogy 社 (米) と共有し協議を行っている。生産量 150 kL/年の ATJ プラントの基礎設計についても Byogy 社に外注予定であるため、川崎プラントでの運転データをもとに、2022 年度中に ATJ プラントの基礎設計として Basic design package の発注を予定している。



#### 1.4 参考文献

該当なし

### 2. 知的財産等の取得および成果の普及

#### 2.1 特許

該当なし

#### 2.2 論文

該当なし

#### 2.3 口頭発表

該当なし

#### 2.4 プレス発表

該当なし

### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

#### 1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

日本国の航空燃料需要は年間で国内線(500万kL)、国際線(500万kL)を合わせて1,000万kLと膨大である。ジェット燃料由来のCO<sub>2</sub>削減のためには燃料のバイオ化が必要である。日本は2030年にはSAF(既存Jet-A1にニートSAF混合後GHG10%削減)にて国際線のフライトを行う予定である。国際線の年間航空燃料需要の10%を国産ニートSAFに置き換えるだけで年間約50万kLの市場が創出されると考えられる。古紙系のバイオエタノールの利用先としてこの50万kLのニートSAFは非常に有望な市場である。当該事業の企業化案の第一はこの国産ニートSAFの製造販売になる。現状では国産ニートSAFの生産量は非常に少ないが、今後、古紙系のバイオエタノールを生産する企業体が増える可能性があり、ATJ技術の展開次第ではこの国産バイオエタノールを原料にATJ技術を用いて国産SAFに変換し社会実装を行う企業が増えると考えている。国内では、石油元売会社においても、エタノール生産やATJ技術を用いたニートSAFの製造を検証中であることを経済産業省資源エネルギー庁における「持続可能か航空燃料(SAF)の導入促進に向けた官民協議会」において示している

本補助事業では、(株)Biomaterial in Tokyoと三友プラントサービス(株)は共同で2022年6月に事業目的会社「BioJ株式会社」を設立し発酵法を用いたパルプ類からの高濃度バイオエタノール生産工場を新設、そのエタノール由来の国産ニートSAFを生産する予定である。具体的には2024年に四国中央市での2Gエタノール2,000kL/年の生産設備を設置し、このうち550kLを国産ニートSAFに使用する計画である。

将来的には四国地区のパルプ生産工場内に年産で3万kLの2Gエタノール生産工場を建設し、同工場内に1万kLの国産ニートSAF生産設備を建設予定である。

(株)Biomaterial in Tokyoと三友プラントサービス(株)は、複数の国策事業に参加しNEDO事業において、木質系・草本系原料を用いたバイオエタノールの実証事業を行ってきた。これまでの実績から、古紙を原料としたバイオエタノール製造プロセスについて十分な知見と経験を得ている。現在の日本におけるエタノール生産工程は、原料を海外から供給しているため、原料価格や為替動向などの外的要因により左右される脆弱な構造となってくるのが指摘されている。本事業においては、日本において消費量が減少傾向にある古紙を利用することで、国産資源を用いた生産となるために、平時・有事問わず、より安定的に供給することが可能であると考えている。

新設するバイオエタノール生産プロセスは、丸住製紙株式会社よりパルプ類(約12t/日)を調達しパルプの脱水、糖化・発酵によりもろみ液を製造する。糖化用酵素は自製酵素を活用する。酵母生産設備において、自製したグルコースにより発酵用酵母を培養する。

市販酵素は弊社におけるヒアリング調査により、1,400円/kg以上であり(2022年5月調査)事業性のある価格帯で購入することが不可能である。よって国内生産酵素が必須である。酵素の国産化の一環として酵素生産をC会社やD会社に生産委託を行うことも検討しているが国内製紙工場の近傍に発酵設備が無い場合自製酵素の作製を行うものとする。糖化・発酵後のもろみ液は、エタノール濃度が10%程度となり、もろみ塔・蒸留塔・膜脱水の各工程を経て、99.5%の高濃度バイオエタノールを約2,000kL/年生産する計画である。工場は2022年度中に設備整備を開始し運転開始は2024年上期となる。

生産した高濃度エタノールは、ATJ技術により国産ニートSAFとして販売する。同時に余剰の2Gエタノールはバイオプラスチックの原料としての供給も予定している。昨今のコロナウイルス感染症の発生時においては、需給がひっ迫する恐れのある消毒用エタノールとしても供給が可能である。国産ニートSAF

の生産工場は四国中央の丸住製紙株の大江工場内に建設予定である。

また、国産ニート SAF は石油連盟傘下の石油元売社に供給予定である。また、将来的には規格制定が予想される SKA100%規格にも応用可能な設備であり、規格に準拠した場合においてはエアラインに直接販売し、現行の石油由来のジェット燃料よりも環境性の高い燃料として CO2 削減のために使用される予定である。

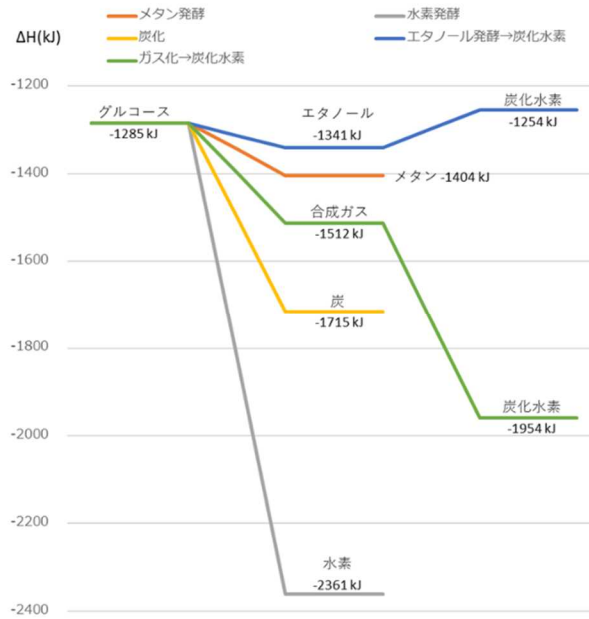
## 2)成果の実用化・事業化に向けた具体的な取組

これまで、NEDO セルロース系エタノール生産システム総合実証事業において純国産バイオマスからの 2G エタノール製造の可能性を検証してきた。本事業が目指しているのは国産 2G エタノールを原料とする国産ニート SAF である。SAF の生産に関する全ての調達を国内で行う事で、国際情勢に影響されない安定調達が可能となると共に、我が国における経済波及効果をもたらす。特に古紙に対して市場価値を与えることで、リサイクル社会に対して大きな影響を与えることになる。

国内で大量かつ安定的に発生している古紙は、有効活用が望ましい資源である。難再生古紙の主要成分であるセルロースはグルコースから構成されている。これを利用する場合、我々の行った試算では、エタノール発酵を経由する ATJ 変換が最も変換効率に優れていた(下図参照:グルコースからエタノール経由での炭化水素生産が最もエネルギー効率が良い)。また得られる中間品はエチレンそのものであるため、状況如何では樹脂用のエチレンとしても販売が可能である。

古紙の発生量は年間百万 t 以上と見積もっており、現在弊社では、これを原料に最終的には年間 20 万 kL の純国産バイオエタノール生産事業を計画している。このバイオエタノール工場に併設する形で 5 万 kL/年程度の生産能力を持つ、国産ニート SAF 製造事業を行う。今後の開発によって第二世代エタノールのコスト低減を実現する事で、競争力のある価格帯を達成することが可能であり事業が成功すると考えている。

また、本事業である国産ニート SAF の生産 (150kL/Y) と次期プラント建設計画は並行して進めて行くことを計画している。設備の規模としては 2G エタノール生産設備として 3 万 kL/年とし、国産ニート SAF 生産量としては 1 万 kL/年を検討中である。一方で、1 万 kL のニート SAF は大型の危険物取扱設備となることから、自治体の承認に時間が掛かると予想される。従って設備投資期間は 2 年以上を見込んでいる。販売については国産ニート SAF については石油連盟傘下の元売り社へ販売する場合と将来的には、SKA100%規格に準拠することにより、ANA や JAL といった国内のエアラインに直接供与が可能になり、より環境性の高いバイオ燃料として市販されることになる。



### 3)成果の実用化・事業化の見通し

事業化のスケジュールとしては以下のように予定している。

年度	2026	2027	2028	2029	2030
製品設計	→				
設備投資	→				
生産			→		
販売			→		
収益発生			→		

#### 予想される重大な障害

- 製品設計段階 : 難再生古紙の調達ルートの確保
- 設備投資 : 今後の旅客需要の変動に伴う資金調達先の変化
- 生産 : 2G エタノールコストの削減達成
- 販売 : 今後の旅客需要の変動

弊社シェアは3年目以降本格生産開始とし、3年目までは本格生産に着手していないものとして算定した。国産ニート SAF の製造原価は本格生産時は減価償却込みで 300 円/kg と見積もった。

一方で古紙価格が低下するシナリオであれば 2030 年ごろには国産ニート SAF の製造原価は 170 円/L であり、販売単価を 270 円/L 程度に設定である、これにより営業利益を落とさずに販売価格の低減が可能であり更なる市場の拡大が期待できる。

なお、将来的に 5 万 kL/年規模の国産 SAF 生産を実現することにより、更なるコスト低減が可能になると期待している。



### (Ⅲ-2-3) 国産廃食用油を原料とするバイオジェット燃料製造サプライチェーンモデルの構築

実施者：日揮ホールディングス株式会社、株式会社レボ・インターナショナル、  
コスモ石油株式会社、日揮株式会社

## 1 研究開発の成果

### 1.1 背景と課題

#### 1.1.1 原料調達

廃食用油を原料とする SAF 製造事業の持続可能なサプライチェーンを構築するためには原料の調達が必須である。本事業においては、年間約3万トンの廃食用油収集を目標としており、廃食用油調達のため、廃食用油を排出する企業との協議を行った。各業界の企業と協議をする中で、今後、国産 SAF の商用化を目指すにあたり、一般消費者や、従来エネルギー業界とは関わりの薄かった業界への普及促進活動を行う必要があることを認識した。そこで、22年3月には、業界横断で国産 SAF の商用化および普及・拡大に取り組む有志団体の設立を行った。

#### 1.1.2 原料収集システムスマート化開発・実証

廃食用油は収集業者が各排出元からトラック等で収集を行うことが一般的であるが、収集を進める上では人口減少や高齢化等による人手(ドライバー)不足が問題となるため、効率的な収集が求められる。現在、一般的な廃食用油の収集方法は排出元へ決まった頻度で収集を行うもので定期収集と呼ばれる。この方法は収集ルートを固定できるため、収集計画を立てやすいという利点がある一方で、各排出元の排出量が一定せず、収集一件当たりの収集量が少なくなる可能性があり、収集効率が低くなってしまうケースがある。さらに、紙での情報管理が主となっており、煩雑な事務業務も課題となっている。これらの課題に対して、スマートな原料収集システムの開発および実証を行う。

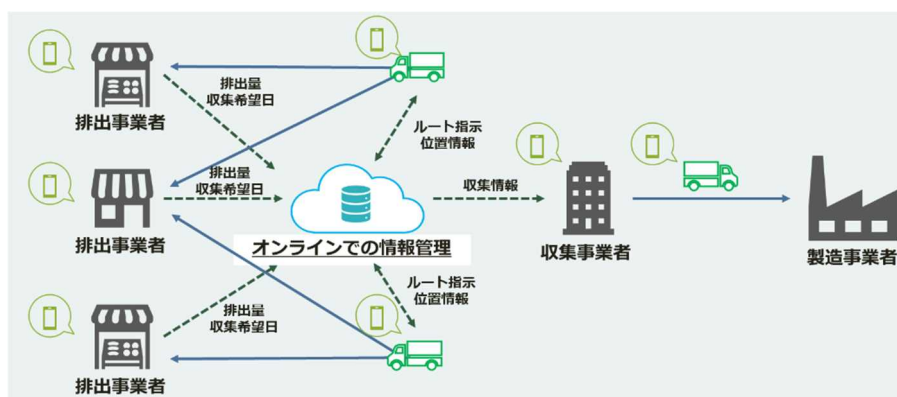


図 1. スマートな原料収集システムのイメージ図

#### 1.1.3 NEAT SAF 製造設備設計・建設

廃食用油から SAF を製造する装置の設計・建設は国内初の取り組みであり、国内法規や環境規制に沿った装置を適切に設計することが必要である。適切な NEAT SAF 製造プロセスの選定、NEAT SAF 製造に関わる検討、品質保証体制について検討を行う。具体的には、SAF 製造装置の基本設計、詳細設計、装置配置計画、法規対応、機器等の発注、購入、建設等を行う。また、操業準備のため、品質管理、運転管理、生産管理、保全管理、安全管理等に関する検討も必要となる。

### 1.1.4 NEAT SAF 混合以降の設備設計・建設

NEAT SAF と石油由来ジェット燃料との混合以降のプロセスについて設備設計および建設を行う。混合後の製品の貯蔵、品質管理、品質保証、使用先施設への供給、販売契約、販売価格等に関する検討を行う。

### 1.1.5 マスバランス法を用いた認証取得に向けた検討

製造した SAF は ICAO が認定する認証機関からの認証を受けることが必須となる。2022 年 8 月時点で、国内で SAF に関する CORSIA 認証を取得した事例はなく、海外事例も参考にしながら、国内製造設備に適した認証取得方法を確立していく必要がある。

特に、サプライチェーン全体における認証品/非認証品の流れを管理、報告すること(chain of custody)が求められており、サプライチェーン管理方法の1つとしてマスバランス法が認められている。マスバランス法とはサプライチェーン全体に渡って認証品と非認証品の入口、出口のマス(質量)バランスを証明することによって認証品と非認証品の混合を認め、生産されたそれぞれの製品バッチ(物理量)に対してどの製品バッチを認証品とするかを任意に設定する方法である。

日本国内でのサプライチェーンにおいてマスバランス法を適用するため、具体的な適用範囲、使用計器等を調査し、マスバランス法を用いた SAF 認証手法の取得に向けた検討を実施する。この際、ICAO 認定機関である ISCC (International Sustainability & Carbon Certification)や RSB(Roundtable on Sustainable Biomaterials)などと協議を行う。

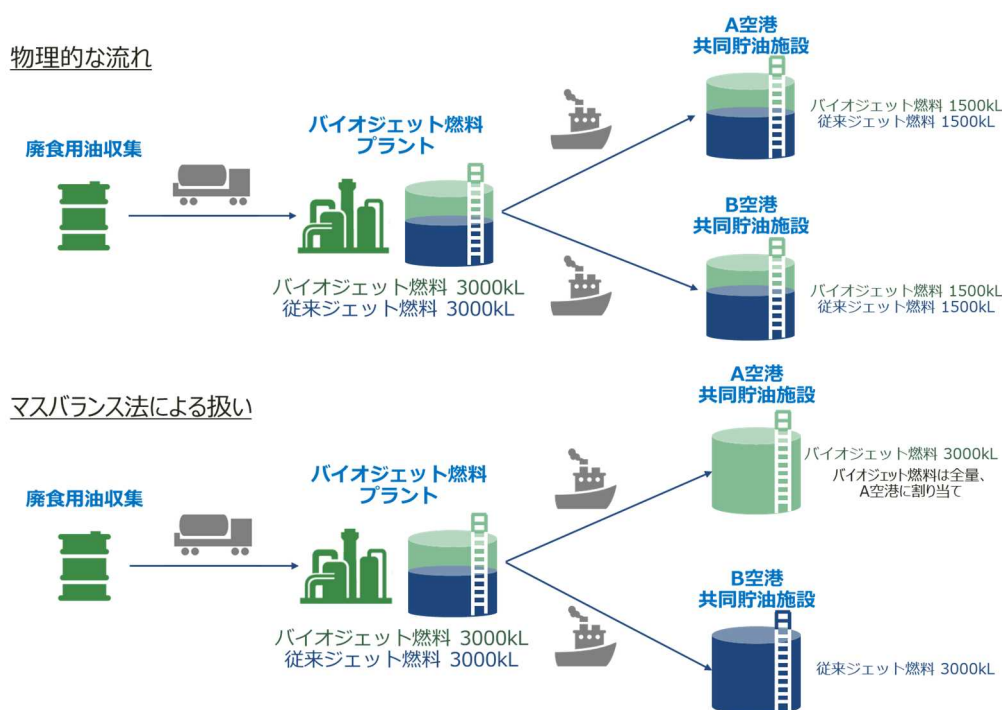


図 2. 製品の物理的な流れとマスバランス法による取り扱い(数字はイメージ)

## 1.2 中間目標と達成度

目標	成果	達成度	最終目標に対する進捗
原料廃食用油の調達	一般消費者および各業界の原料排出元企業と業界横断的に連携していくことの必要性を痛感し、ACT FOR SKY を設立した。	◎	○
原料収集システムスマート化開発・実証	収集の現状について現地調査を実施し、開発するシステムの仮説検証を行った。	○	○
NEAT SAF 製造設備および付帯する設備の設計・建設	ライセンサーを選定し、基本設計を完了した。 SAF 生産・出荷に係るプラント操業の検討を行った。	○	○
NEAT SAF 混合以降の設備設計/品質管理検討	混合以降の設備基本設計を行い、品質管理方法を検討した	○	○
マスバランス法を用いた認証手法の開発	認証機関等にヒアリングを行い、認証手法の確立に向け準備中。CORISIA 認証取得に向けた必要手順およびスケジュールの確認を実施した。	○	○

×:中止 △:未達 ○:計画通り ◎:超過達成

## 1.3 最終目標に対する進捗状況

### 1.3.1 原料調達

業界横断で国産 SAF の商用化および普及・拡大に取り組む有志団体「ACT FOR SKY」の設立を行った。設立時には 16 社が加盟し、幹事企業での記者会見を実施し、世の中に広く発信した。今後加盟を予定している企業も複数社あり、広く普及・拡大に取り組んでいくよう加盟企業各社の「ACT」を促進していきたいと考えている。取り組みのひとつとして、22 年 6 月には関西エアポートと、廃食用油の SAF への利用に関する合意書を締結した。この締結により、関西地方の「空の玄関口」から排出される廃食用油の SAF への利用を呼びかけ、国産 SAF の本格生産体制確立に向けて取り組んでいく。

今後は、ACT FOR SKY での連携を活かしながら、原料廃食用油収集を進めていく。

### 1.3.2 原料収集システムスマート化開発・実証

廃食用油の収集システムの開発・実証に向けて、現地調査を実施し、仮説検証を行った。現地調査では、実際の収集業務に同行し、現地視察および現場担当者へのヒアリングを行った。さらに、実際にタブレット端末をトラックに乗せ、簡易的なシステムを活用した動作性の確認を実施した。これにより、動作性を確認することができたため、現状の収集ルートをもとに、どのようなシステムを導入すればどのような効果が見込めるかに関する仮説検証を行った。今後、22 年度中に関西地区での収集状況をデータ化して可視化を行い、実装する各システムについて少しずつ実地検証を行いながら、導入するシステムを決定する。並行してシステム開発を行い、23 年度中にシステムを完成させる。24 年度には完成したシステムを用いて実地検証を行い、効果を定量化して明らかにする予定。

### 1.3.3 NEAT SAF 製造設備設計・建設

廃食用油からSAFを製造する技術をもつライセンサー複数社に引き合いを実施し、技術評価および選定を実施した。この結果、米国 Honeywell UOP 社の Ecofining プロセスを使用することを決定した。22 年度にライセンサー情報に基づいた設備基本設計を完了した。また、並行して、既存設備との統合設計、法規申請等も進めている。22 年度には米国を訪問し、同様のプロセスで建設された設備見学を行い、実際の運用方法等についての知見を得た。今後、詳細設計および建設を行い、24 年度に工事・試運転を完了し、実証運転を開始する予定である。

### 1.3.4 NEAT SAF 混合以降の設備設計・建設

NEAT SAF と石油由来ジェット燃料との混合設備および混合 SAF の出荷に関わる設備について、製造所内敷地制約・出荷スケジュール等をもとに設備基本設計を行った。さらに、必要な品質分析・頻度を整理し、新たに必要な分析設備の整備を進めている。今後、詳細設計および建設を行い、24 年度に工事・試運転を完了し、実証運転を開始する予定である。

### 1.3.5 マスバランス法を用いた認証取得に向けた検討

CORSIA 認証取得に必要な情報および認証取得までのスケジュールを確認した。副生物として生産予定のバイオナフサ認証の取得も見据え、詳細な確認項目について、認証機関・Certification Body などにヒアリングを実施した。今後、社内監査および実際の数量管理方法の検討を行い、必要書類および定期的な監査体制を確立する。また、23 年度を目途に Certification Body を選定・契約を行い、24 年度の監査に向けて準備を行う。さらに、22 年度 8 月現在、国内で CORSIA 認証を取得した例がないことから、国内他事業者にも展開できるよう SAF 認証取得に関わる手法を確立していく

事業項目	2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
① 原料調達プロセスの検討																
ア.原料調達に関する検討																
イ.スマートな原料収集システムの開発・実証																
② 純バイオジェット燃料製造プロセス																
ア.純バイオジェット燃料製造に関わる検討																
③ バイオジェット燃料製造以降のプロセス																
ア.純バイオジェット燃料混合以降のプロセス検討																
● 販売に関する契約関係検討																
● CORSIA 認証取得																
イ.マスバランス法を用いたバイオジェット燃料認証手法の開発																

## 1.4 参考文献

なし

## 2. 知的財産等の取得および成果の普及

### 2.1 特許

なし

### 2.2 論文

なし

### 2.3 口頭発表

発表先:脱炭素経営EXPO (2021.9.30)

題目:使用済み食用油による国産バイオジェット燃料製造事業について

発表者:日揮ホールディングス株式会社 植村 文香

発表先:INCHEM TOKYO 2021 (2021.11.19)

題目:使用済み食用油による国産バイオジェット燃料製造事業について

発表者:日揮ホールディングス株式会社 西村 勇毅

発表先:技術情報センター 講習会 (2022.6.28)

題目:日本初の国産SAF商用化を目指した取り組み

発表者:日揮ホールディングス株式会社 西村 勇毅

発表先:堺商工会議所 セミナー

「カーボンニュートラル実現に向けたエネルギー産業会の技術開発と補助金活用」(2022.8.1)

題目:持続可能な航空燃料(SAF)への取り組みについて

発表者:コスモ石油株式会社 堺製油所 高田 岳志

### 2.4 プレス発表

・2022年3月2日 日揮ホールディングス、レボインターナショナル プレスリリース

<https://www.jgc.com/jp/news/assets/pdf/20220302j.pdf>

[https://www.e-](https://www.e-revo.jp/2022/03/02/%e5%9b%bd%e7%94%a3saf%ef%bc%88%e6%8c%81%e7%b6%9a%e5%8f%af%e8%83%bd%e3%81%aa%e8%88%aa%e7%a9%ba%e7%87%83%e6%96%99%ef%bc%89%e3%81%ae%e5%95%86%e7%94%a8%e5%8c%96%e3%81%8a%e3%82%88%e3%81%b3%e6%99%ae/)

[revo.jp/2022/03/02/%e5%9b%bd%e7%94%a3saf%ef%bc%88%e6%8c%81%e7%b6%9a%e5%8f%af%e8%83%bd%e3%81%aa%e8%88%aa%e7%a9%ba%e7%87%83%e6%96%99%ef%bc%89%e3%81%ae%e5%95%86%e7%94%a8%e5%8c%96%e3%81%8a%e3%82%88%e3%81%b3%e6%99%ae/](https://www.e-revo.jp/2022/03/02/%e5%9b%bd%e7%94%a3saf%ef%bc%88%e6%8c%81%e7%b6%9a%e5%8f%af%e8%83%bd%e3%81%aa%e8%88%aa%e7%a9%ba%e7%87%83%e6%96%99%ef%bc%89%e3%81%ae%e5%95%86%e7%94%a8%e5%8c%96%e3%81%8a%e3%82%88%e3%81%b3%e6%99%ae/)

・2022年6月29日 日揮ホールディングス、レボインターナショナル プレスリリース

[https://www.jgc.com/jp/news/assets/pdf/20220629\\_01j.pdf](https://www.jgc.com/jp/news/assets/pdf/20220629_01j.pdf)

[https://www.e-](https://www.e-revo.jp/2022/06/29/%e5%9b%bd%e7%94%a3saf%e3%81%ae%e5%95%86%e7%94%a8%e5%8c%96%e3%81%ab%e5%90%91%e3%81%91%e3%81%9f%e5%8d%94%e5%8a%9b%e3%81%ab%e9%96%a2%e3%81%99%e3%82%8b%e5%9f%ba%e6%9c%ac%e5%90%88%e6%84%8f%e6%9b%b8/)

[revo.jp/2022/06/29/%e5%9b%bd%e7%94%a3saf%e3%81%ae%e5%95%86%e7%94%a8%e5%8c%96%e3%81%ab%e5%90%91%e3%81%91%e3%81%9f%e5%8d%94%e5%8a%9b%e3%81%ab%e9%96%a2%e3%81%99%e3%82%8b%e5%9f%ba%e6%9c%ac%e5%90%88%e6%84%8f%e6%9b%b8/](https://www.e-revo.jp/2022/06/29/%e5%9b%bd%e7%94%a3saf%e3%81%ae%e5%95%86%e7%94%a8%e5%8c%96%e3%81%ab%e5%90%91%e3%81%91%e3%81%9f%e5%8d%94%e5%8a%9b%e3%81%ab%e9%96%a2%e3%81%99%e3%82%8b%e5%9f%ba%e6%9c%ac%e5%90%88%e6%84%8f%e6%9b%b8/)

### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

#### 1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

今回、成果の実用化・事業化に向けて最も重要なのは原料の調達と考えている。現在、国内での廃食用油の発生量は年間およそ40～50万トンであるが、燃料用として使用されている量は年間およそ1万トンに留まる。一方、輸出量は年々増加傾向にあり、貿易統計によると、21年の輸出量は年間10万トンに達している。輸出されている廃食用油は海外でSAF含むバイオ燃料へと加工されていると推察される。一方、現時点において国内でのSAF製造はほとんど行われておらず、航空会社は当面、SAFを海外から輸入する必要がある。これは、海外への資本流出を意味している。廃食用油という国内資源および資本の海外への流出を防ぐため、廃食用油の国内回帰を行い、SAF製造につなげていきたいと考えている。

#### 2)成果の実用化・事業化に向けた具体的な取組

廃食用油の国内回帰について、22年4月に立ち上げられた「SAFの官民協議会」で発信を行っている。さらに、22年3月に立ち上げた有志団体ACT FOR SKYでも発信を行うことで、業界を横断して賛同していただける企業と連携し、廃食用油の流出を止め、SAF製造につなげていきたいと考えている。

#### 3)成果の実用化・事業化の見通し

前項にあげた取り組みを行いながら、実用化・事業化に向けて、原料廃食用油の調達、NEAT SAF生産、石油由来ジェット燃料との混合、空港への搬入までのサプライチェーン構築を行い、SAFの空港貯蔵設備への納入を実現させる。25年に商業運転開始を予定している。

(Ⅲ-2-4) 油脂系プロセスによるバイオジェット燃料 商業サプライチェーンの構築と  
製造原価低減  
実施者:株式会社ユーグレナ

## 1 研究開発の成果

### 1.1 背景と課題

世界的にバイオジェット燃料(SAF)による航空分野の脱炭素化の実装が進む中、事業開始時点で、SAFを搭載した商業フライトは一度も実施されていなかった。かかる状況下、当社が保有する日本唯一のSAFの常設製造設備を生かし、十分な規模かつ競争力のある価格でのSAFの供給を商業化ベースで実現すべく、種々の検討を実施した。

本事業においては、技術開発目標として、SAF製造原価100円/Lをベンチマークに設定した。これは、事業開始当初において、市場で支配的な先行技術HEFAによるSAFの製造原価が100-300円/L程度と報告されており、同じ油脂系プロセスを採用する当社もこの下限値である100円/Lを商業化時の目標として設定したものである。また、当時の当社試算によると、バイオジェット燃料製造原価の水準はグリーンフィールド(5,000BD 商業プラントを、バースを除く製造設備/付帯設備を更地から建設)を想定した場合およそ200円/Lであり、当事業での製造原価100円/Lの達成の為、各種ターゲットを設定し、この達成のための各種検討を行った。

加えて、SAFの国内サプライチェーン構築として、国内でのASTM検査体制の構築、及びハイドラント給油の実現を目指した。

具体的な検討項目およびスケジュールを表1、図1に示す。

表1 事業検討項目およびスケジュール

事業項目	2020年度		2021年度				
	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期 (1-2月)	第4 四半期 (3月)
<b>A) 安価原料の 探索による製造 コストの低減</b>	原料探索・ サンプル分析、サブライ ゼーションコスト試 算等の検討						
<b>B) BICプロセス による製造コス ト低減可能性の 追求 (HEFA/BIC 両 プロセスで比較 検討を実施)</b>			実証プラント 運転による データの取 得および運 転条件の確 立			HEFA/BIC の比較検討 と商業プラ ントにおけ る採用プロ セス選定	
<b>C) 油系プロセ ス(HEFA およ び BIC)共通機 器となる、バイ オジェット燃料 収率最大化、運 転運転ノウハウ の確立</b>	ライセンサ ー外注試験 によるデー タ取得			実証プラント 運転による データの取 得/運転条 件の確立			
<b>D) 国内での ASTM 検査体 制の確立</b>	機器見積り/ 選定	発注、貸与 契約等協議	第三者検査 機関へ貸 与、検査運 用開始	第三者検査 機関での国 内 ASTM 試 験運用			
<b>E) 混合バイオジ ェット燃料のハ イドラント給油 の実現</b>		バイオジェ ット燃料の製 造・品質確認		石連指針改 訂調整/給 油オペレー ション確立	ハイドラント 給油による実 証フライトの 実施(フィー ダー給油実 現の約半年 後を想定)		エアライン による実証 フライトの 実施
<b>F) 主要原料およ び(B)により選 定した)新規原 料に基づく LCA 試算およ びサステナビ リティ検証</b>			LCA データ 取得整理/ 新規 CORSA デ フォルト値設 定手続/原 料サステナビ リティ認証取 得手続、確認			LCA 試算お よびサステ ナビリティ検 証	
<b>G) 既存製油所 での Pre-FBED 実施による CAPEX・OPEX 試算</b>	石油元売と の共同 FS 提案	パートナー候補 、立地候補 選定	FS(Pre- FEED による 既設転用検 討含む)実施			事業性評価 実施、FS 完 了	



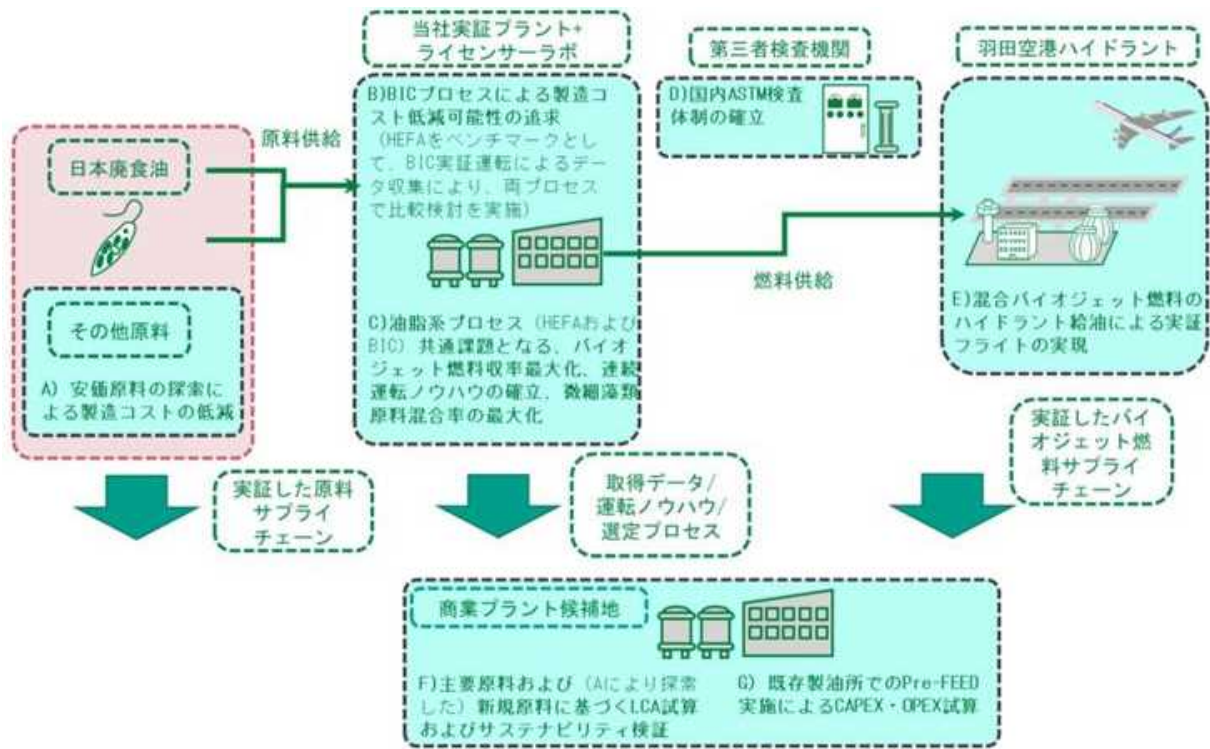


図1 当社事業の全体像

## 1.2 事業終了時の達成度

各目標に対する達成度を表 2 に示し、各論については 1.2.1 以降で詳説する。

表 2 事業達成度総括

目標	成果	達成度
A) 安価原料の探索による製造コストの低減	当初設定の価格水準の原料開拓は実現しなかったが、ベンチマークの廃食油より 20 円/kg 程安い原料候補を複数発掘できた。	○ (市況加味)
B) BIC プロセスによる製造コスト低減可能性の追求(商業化製造技術選定)	JET 収率最大化を目指す JMAX モードの運転には至らなかったが、BIC の十分な運転データを蓄積することができた。次項も踏まえ、HEFA と BIC プロセス各々のデータを比較し、HEFA プロセス採用による商業化の方向性を確認した。	○
C) 油脂系プロセスでの SAF 収率最大化、連続運転ノウハウの確立、微細藻類原料混合率の最大化	BIC プロセスでの連続運転技術は確立できたが、SAF 燃料収率改善は目標未達となった。	△
D) 国内での ASTM 検査体制の確立	日本海事検定協会への試験機器導入を投資、ASTM D7566 要求全項目の構内検査体制を確立。	○
E) 混合 SAF のハイドラント給油による実証フライトの実現	ローリー、リフューエラー給油を含む 4 回のフライトを実施したが、ハイドラント給油には至らず。	△
F) 主要原料および新規原料に基づく LCA 試算およびサステナビリティ検証	商業プラントの予備的基本設計を進める段階においては十分なデータ収集ができた。	○
G) 既存製油所での Pre-FEED 実施による CAPEX・OPEX 試算	既存製油所にプラントを併設することで、コスト低減の方針が得られた。	○

### 1.2.1 安価原料の探索による製造コストの低減

SAF の製造コスト低減のためには、製造原価に占める割合が最も高い原料費を低減する事は必須であり、本項においては、今後世界的に最も普遍的な使用が見込まれる廃食油の市況価格をベンチマークとし、それより 20 円/kg 安く仕入れられる安価原料の探索を実施した。期間中に原料市況が激変した為、当初設定の価格水準の原料開拓は実現しなかったものの、ベンチマークとしていた廃食油より 20 円/kg 程度安い原料は複数発掘出来ており、また陸上植物の自主栽培による原料確保の可能性も見い出せたことから、当初目標は達成できたと判断した。

### 1.2.2 BIC プロセスによる製造コスト低減可能性の追求(商業化製造技術選定)

当社の実証プラントでは CLG 社および ARA 社をライセンサーとした BIC プロセスを採用し、5 BPSD(バレル/日)の処理能力で約 2 週間/(月・回)のバッチ運転を実施し、原料油脂からジェット留分、ディーゼル留分、ナフサ等を生産する。このプロセスはベースとなる運転として、前処理、水熱環化処理、水素化処理、蒸留処理の工程から成る。

当社は実証プロセス計画当初、一気通貫の稼働実績が実証レベルでも存在しない新規性、水熱環化プロセスによりJET燃料に必要な芳香族分を生成でき、100%での認証の可能性が期待できる製品性状、HEFAよりも水素消費量を抑制できる可能性の3点からBICプロセスを選定した。

プラントの運転においては、バッチ毎の運転状況に基づき計画内容を随時変更し最適化を模索したことから、当初計画に対しては限定的な原料・運転モードの実績となった。合計14バッチ運転(11th～24th)の当初計画に対して、実績は合計11バッチ運転(11th～22ndのうち14thは運転停止)でき、また合計7バッチでジェット性状がオンスペックになった。

一方、原料では不飽和系油脂から徐々に飽和系油脂に比率を増やす計画であったが、初期のジェット性状は安定せず、調整に時間を要し、加えて性状安定を優先したために、飽和油脂の混合率は低位に留まり、目標達成には至らなかった。また、運転モードではジェット収率を最大化するJMAXモードに切り替える計画であったが、芳香族分の生成に懸念があったことからJMAXモードの運転は実施しなかった。このように当初計画から変更があり、本助成事業期間中の運転データおよびライセンサーデータなどから、BASEモードにおけるBICプロセスの運転データ集約については、一定の評価はできるものの、JMAXモードにおいては、データ集約には成果を得ることが出来なかったものと判断する。

また、商業プラントにおけるプロセス選択の方向性については、実証プラントでの運転実績および次項で得られた情報を踏まえ、HEFAプロセスの優位性を確認するに至った。

#### 1.2.3 油脂系プロセスでのSAF収率最大化、連続運転ノウハウの確立、微細藻類原料混合率の最大化

SAF収率最大化については、ライセンサーの商業化プロポーザルを参考に目標値を設定したが、上述の通り助成期間中にはJMAXモードによる水素化分解の稼働の実施に至らず、またARA社への委託試験で得られた追加情報に基づくJMAXモード実施の想定においても当初目標値への到達は見込めず、本目標は未達成の評価とした。

続いて、連続運転ノウハウの確立については6回連続でバッチ運転中断なしかつSAFスペックインという当初目標に対し、バッチ毎に12日間程度の連続運転を実施し、17th～22ndバッチにてジェット性状のスペックインに成功したことから、目標は達成できたと評価した。

最後に微細藻類原料混合率の最大化については、微細藻類原料としてユーグレナ油脂の比率最大化による運転を目指したが、ユーグレナ油脂中には飽和分が多いために、混合率の増加に伴い析出点や芳香族分の悪化がみられ、ARA委託試験の結果も踏まえ、当初目標の達成は困難と結論付けた。

#### 1.2.4 国内でのASTM検査体制の確立

SAFに要求されるASTM D7566試験のうち、Halogens(D7566 annex6)とKinematic viscosity@-40°C(D7566 本文)は、日本海事検定協会(以降、NKKKと記載)が試験機器を保有しておらず、NKKKから米国の分析機関への試験外注が必要になり、このために追加のリードタイムやコスト負担が、当社のみならず国内SAF事業者の課題となっていた。

本課題に対し、当社は各種試験機器を選定、購入し、NKKKへの無償貸与を行うことで、2021年6月以降、国内でのASTM検査体制を確立した。



低温粘度測定用恒温装置



燃焼用イオンクロマトグラフィー装置

図 2 各試験機器の設置状況(NKKK 分析室にて)

### 1.2.5 混合 SAF のハイドラント給油による実証フライトの実現

期間中、計 4 回のフライトを実施したものの、当初目標としていたハイドラント給油については、空港設備側の制約(大型空港は基本的に海上搬入のみに対応)やエアラインとのニーズ不一致により助成期間中の実現ができなかった。しかしながら、成田国際空港においては地上搬入に向けたシステム改修が進んでおり、各種協議や準備が進んでいること、成田空港での給油を望む航空事業者が見つかることから、今秋にはハイドラント給油を実現できる見込みである。

助成期間中に実施した 4 回のフライトの概要につき、表 3 および図 3 に示す。

表 3 各フライトの概要

実施空港	羽田空港	鹿児島空港	静岡空港	八尾空港
実施日	2021年6月4日	2021年6月29日	2022年3月16日	2022年3月17日
事業者区分	航空局	プライベート Jet	エアライン (チャーター)	航空測量
機体	サイテーション CJ4	ホンダジェット エリート	エンブラエル ERJ175	テキストロン・ アビエーション式 C90GTi 型
供給量	190L	190L	1000L	190L
供給形態	ドラム	ドラム	ローリー	ドラム
混合比率	3%	3%	10%	5%
混合方法	外部混合	外部混合	自社プラント内 タンク混合	外部混合
給油方法	リフュエラー	ハンドポンプ	リフュエラー	ハンドポンプ



図3 フライト実績(左上から羽田、鹿児島、左下から静岡空港、八尾空港)

### 1.2.6 主要原料および新規原料に基づく LCA 試算およびサステナビリティ検証

当社が商業化プラントで採用予定の原料は、ユーグレナ油脂をはじめとして、未だデフォルト値が設定されていないものが散見される。生産される SAF の GHG 削減効果の数値改善、および CORSIA 認証取得は、供給先確保、価格戦略の両面で商業プラントの運営に対してきわめてクリティカルな要素であり、プラント設計、原料探索段階からこれらを考慮して検討を進めていくことが重要であると考えている。本項では、当社が技術開発を進めるユーグレナ油脂や他の新規原料を採用するにあたって新規デフォルト値を設定するためのスケジュール感や課題、CORSIA 認証取得の見通し、LCA 試算について、情報収集と分析を行い、予備的基本設計を進める現段階においては十分なデータ収集ができたと考える。今後、プラント設計と並行して、CORSIA 認証取得に向けた準備も進めていく予定である。

### 1.2.7 既存製油所での Pre-FEED 実施による CAPEX・OPEX 試算

商業化に向けたスケールアップにおいて技術開発で克服すべき課題として、製造に係る詳細設計が未確立であることに加え、国内での製油所既設設備転用においては、空気が限られ既設設備との干渉を考慮しなければならないという日本ならではの事情があった。この問題を解決すべく、国内石油会社とともに、CAPEX 精度±40%でのプロジェクト経済性の試算と、製油所既設設備の SAF 製造プラントへの転用の技術的可能性検証を行った。

試算は HEFA 商業プラントを既設製油所に併設し、原料 25 万トンの装置能力を前提として行い、この結果として、原料価格高騰の影響を除外すれば、CAPEX、OPEX の低減については十分に目標達成が可能な試算結果を得ることができた。

## 1.3 最終目標に対する進捗状況

### 1.3.1 HEFA プロセス採用による商業化

本事業で得られた結果をもとに、2025 年の商業プラント完成に向けて、本年中に HEFA プロセスでの基本設計に着手する事を検討する。

### 1.3.2 プラント連続運転、原料許容性、SAF 収率向上

商業プラントの本格稼働までは鶴見の実証プラントでの SAF 生産は継続する予定であり、原料許容性の拡大による原料確保の蓋然性向上、SAF 生産量増大を目指した運転技術の改良を継続している。

### 1.3.3 新規原料使用に向けた CORSIA 認証取得

本事業で見出した新規原料候補については、商業プラントでの採用に向けてさらなる事業性評価を行い、有望種に対しては CORSIA 認証取得の準備を進めていく予定である。

### 1.3.4 成田ハイドラントシステムでの給油実現

2022 年秋の成田ハイドラントでの給油を目指し、成田国際空港(株)と、給油を委託する日本空港給油(株)との協議を進めている。8 月の臨時 AFC 会議で当社の成田 AFC への加入が承認され、今後日本空港給油(株)との契約が整い次第、ハイドラントシステムへの燃料搬入、商用機への給油を実施予定である。

## 1.4 参考文献

CLG/ARA

#### 1) Delivering drop-in renewable fuels by ARA

・ [https://www.chevronlummus.com/getmedia/c311143b-8656-42d8-8e87-c16683706ef8/2021-q2-delivering-drop-in-renewable-fuels\\_1.pdf](https://www.chevronlummus.com/getmedia/c311143b-8656-42d8-8e87-c16683706ef8/2021-q2-delivering-drop-in-renewable-fuels_1.pdf)

#### 2) Australian Patent: AU 2019203908 B2 “Hydrothermal cleanup process”

#### 3) US Patent: US 2014/0163272 A1 “Conversion of Triacylglycerides Containing Oils to Hydrocarbons

#### 4) PCT Patent: WO 2014/093097 A1 “Conversion of Triacylglycerides Containing Oils to Jet Fuel Range Hydrocarbons

#### 5) US Patent: US 2013/0066191A1 “Control Module Interface for MRI Bopsy Device”

UOP

#### 1) PCT Patent: WO 2009/117337 A2 “Production of Transportation Fuel from Renewable Feedstocks”

Sulzer

#### 1) BioFlux®: The Solution for Challenges of Renewable Feeds

・ <https://asiandownstreaminsights.com/petrochemicals/bioflux-the-solution-for-challenges-of-renewable-feeds/>

## 2. 知的財産等の取得および成果の普及

### 2.1 特許

該当なし

### 2.2 論文

該当なし

## 2.3 口頭発表(事業開発及び SAF フライト実績について)

2021.11.30 INCHEM TOKYO 2021「持続可能な代替航空燃料(SAF)事業開発と今後の展開」

2022.04.20 TICセミナー藻類バイオマスの活用と技術開発・事業動向「バイオ燃料の事業開発について」

## 2.4 プレス発表

2020.10.05\_NEDOが公募する「バイオジェット燃料生産技術開発事業/実証を通じた サプライチェーンモデルの構築、微細藻類基盤技術開発」に 当社のバイオジェット燃料事業/燃料用微細藻類研究開発が採択されました(<https://www.euglena.jp/news/20201005-2/>)

2021.03.15\_ユーグレナバイオジェット燃料が完成、年内の供給開始・フライト実現へ BICプロセスによるバイオジェット燃料でASTM認証に適合(<https://www.euglena.jp/news/20210315/>)

2021.06.04\_ユーグレナ社のバイオ燃料を使用した初フライト実現

国土交通省が保有・運用する飛行検査機において、バイオジェット燃料を導入したフライト・飛行検査業務を実施(<https://www.euglena.jp/news/20210604-2/>)

2021.06.29\_ホンダジェットでバイオジェット燃料『サステオ』を初使用！ 今秋より一般の方もプライベートジェットで選択可能に 民間航空機で初の「サステオ」フライトが実現 日々の生活でバイオ燃料利用が当たり前となる社会に向けて始動(<https://www.euglena.jp/news/20210629-1/>)

2022.03.16\_定期旅客運送を行うエアライン初のユーグレナ社のバイオジェット燃料「サステオ」を使用したチャーター運航について 未来に繋がる、バイオジェット燃料 特別遊覧フライトを実施しました (<https://www.euglena.jp/news/20220316-2/>)

2022.03.17\_航空測量業界初 アジア航測がSAFで自社双発機を運航 ユーグレナ社のSAF「サステオ」を使用し、持続可能な社会づくりにむけた取り組みを始動(<https://www.euglena.jp/news/20220317-2/>)

以下、事業終了時の SAF 在庫を使用したフライトに関するリリースとして：

2022.06.01\_国内初！バイオ燃料(SAF)を使用したヘリコプターフライトを実施

(<https://www.euglena.jp/news/20220601-2/>)

2022.06.24\_ユーグレナ社 SAF「サステオ」継続利用の初事例 アジア航測が自社単発機で2回目のSAF「サステオ」フライトを実施(<https://www.euglena.jp/news/20220624-2/>)

2022.08.02\_ SAF による「森林資源計測業務(岩手県遠野市受託案件)」および調布飛行場”初”の運航実施 ユーグレナ社のバイオジェット燃料「サステオ」継続利用

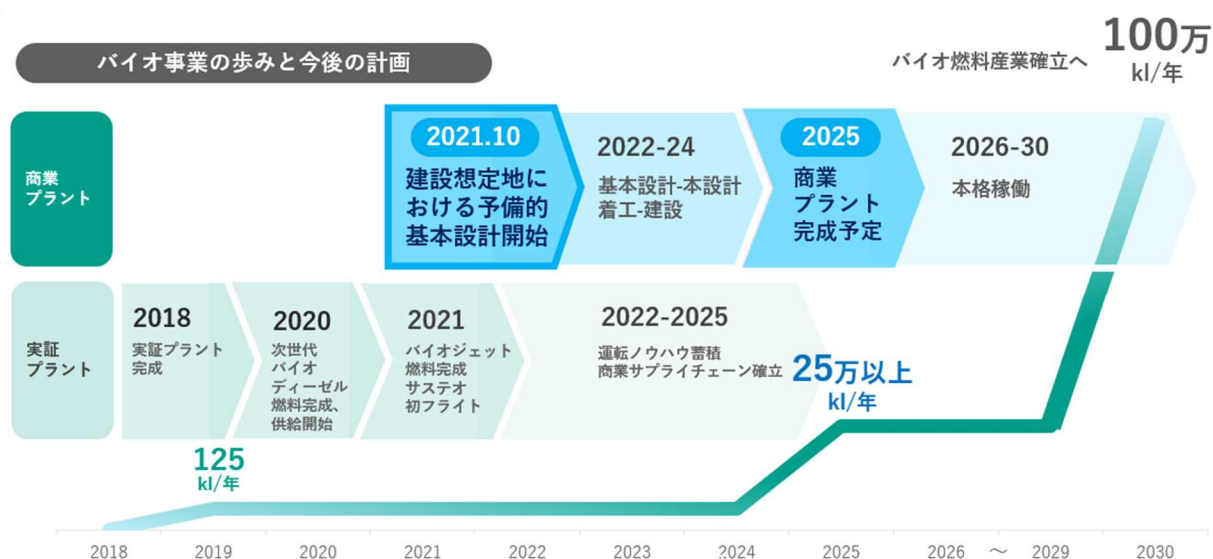
(<https://www.euglena.jp/news/20220802-2/>)

### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

かねてより公表の通り、本事業での検討結果を踏まえ、2021年10月に商業プラントの予備的基本設計を開始し、2025年のプラント完成、2026年からの本格稼働を計画している。

また、SAFの商業サプライチェーンの確立については、NEDO助成事業終了後も各所と連携して着実に進めており、今秋には国産SAFとして初のハイドラント給油を成田国際空港で実現できる見込みである。

また、微細藻類の安定大量培養技術確立については、商業プラントでの独自原料としての活用を目指し、NEDO微細藻類基盤技術実証として実証を継続している。





### (Ⅲ-3) 微細藻類基盤技術開発

#### (Ⅲ-3-1) 微細藻バイオマスのカスケード利用に基づくバイオジェット燃料次世代事業モデルの実証研究

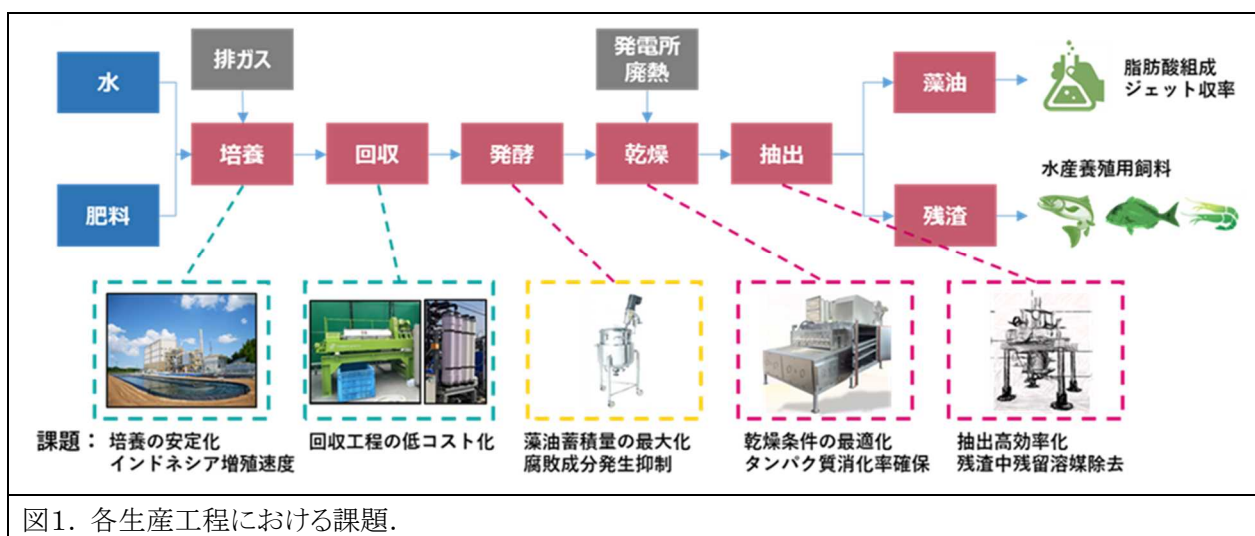
実施者：株式会社ユグレナ、株式会社デンソー、三菱ケミカル株式会社、伊藤忠商事株式会社

## 1 研究開発の成果

### 1.1 背景と課題

微細藻類バイオジェット燃料の事業化実現に向け、培養から藻油抽出に至るまでの各生産工程の技術開発と、生産物である藻油の生産効率向上に加え、残渣の利用価値向上を目的として研究開発を行った。同時に、将来的に広い用地確保ができ、微細藻類の高い増殖速度が見込まれるインドネシアでの小規模培養試験により商業化を想定した生産性試算を行い、また原料調達から製品輸送のコスト評価を含めサプライチェーン全体の事業性評価に取り組んでいる。

具体的には、強光阻害のような環境ストレスによる増殖低下、コンタミネーションによる培養停止を回避し、年間通じて安定培養するための培養管理方法を検討している。回収工程においては、設置コストが高額な遠心分離機に変わる手法として膜分離技術を用いた濃縮機の開発と実用性の検証を行った。微細藻類ユグレナの藻油蓄積量を増加させる発酵工程では、発酵中のバイオマス重量の減少抑制による歩留改善と、残渣の水産養殖用飼料としての利用価値を最大化するべく腐敗成分等の飼料忌避物質の発生抑制の条件検討を行った。乾燥工程では、過乾燥によるタンパク質消化率低下が生じない適切な処理条件と乾燥手法の選定に取り組んでいる。抽出工程では、高効率・低コストに藻油を抽出でき、かつ残渣が飼料として利用可能できる抽出溶媒除去方法を含む詳細プロセスを設計し、小型実証機による実用性検証を行っている。藻油抽出残渣はマダイやニジマス等の養魚を対象に、主な飼料原料である魚粉を代替する原料としての利用性を検証している。また、インドネシアでは乾季・雨季の通年増殖速度の予測を可能にする現地培養データを取得している。



これらの技術開発、実証データ取得に加え、培養に必要な窒素やリン源などの原料調達、製品の輸送

に係るコスト、飼料の市場動向やカーボンクレジットに関する市場調査を合わせ、微細藻類バイオジェット燃料事業のフィージビリティスタディを行う。

## 1.2 中間目標と達成度

目標	成果	達成度	最終目標に対する進捗
<p>&lt;培養工程&gt;</p> <p>1. 半連続窒素欠乏培養の増殖速度 通常培養に対し 90%以上</p> <p>2. 油脂前駆体である多糖類パラミロン蓄積量 15~20%以上の維持</p> <p>3. 生育不良およびコンタミ発生による培養停止 10%以下</p> <p>4. 増殖予測式の構築による安定培養方法の確立</p>	<p>項目 1~3 は 2022 年度実施中のため最終年度に成果報告</p> <p>増殖予測式を構築し、最大生産性の 90%以上で安定培養する藻体濃度管理方法について把握</p>	○	○
<p>&lt;回収工程&gt;</p> <p>1. 回収工程コスト(商業規模 1,000 ha 想定) CAPEX 19 円/kg-藻体以下、OPEX 13 円/kg-藻体以下、計 32 円/kg-藻体以下</p>	<p>膜分離技術(加圧式・浸漬式)により、10 倍以上の培養液濃縮を達成、さらなる運転条件最適化を実施中、コスト評価は最終年度に実施</p>	○	○
<p>&lt;発酵工程&gt;</p> <p>1. 藻油含有率 15~20%、藻体重量ロス削減(歩留 85%以上)、残渣への飼料忌避物質発生防止(ヒスタミン 50 ppm 以下、揮発性塩基窒素 0.12%以下、フェオフォルバイド 1,000 ppm 以下)</p>	<p>発酵中 pH を低く維持することで腐敗成分の抑制可能と確認</p>	○	○
<p>&lt;乾燥工程&gt;</p> <p>1. タンパク質消化率(ペプシン消化率) 90%以上かつ乾燥後の粉末含水率 5~10%以下</p>	<p>加熱温度を 120℃以下に維持することでタンパク質消化率低下を抑制可能と確認</p>	○	○
<p>&lt;抽出工程&gt;</p> <p>1. 藻油抽出効率 80%以上</p> <p>2. 全量フレッシュ溶剤使用に対し溶剤使用量 50%削減</p> <p>3. 残渣中残留ヘキサン濃度 300 ppm 以下</p>	<p>抽出 2 サイクルで 80%以上、4 サイクルで 90%以上と高い抽出効率を達成、残渣中残留溶媒が 60 ppm 以下を達成</p>	◎	○

<p>&lt;飼料化&gt;</p> <p>1. 魚粉置き換え比率 10%以上で魚体成長性 95%以上を維持(対魚粉製飼料)</p>	<p>魚粉を藻油抽出残渣に代替し、成長性(飼料効率)を確保可能と確認; マダイ稚魚 97%(魚粉 17%代替)、ニジマス 96%(魚粉 15%代替)</p>	○	○
<p>&lt;インドネシア培養&gt;</p> <p>1. 現地通年培養速度予測 12~15 g-藻体/m<sup>2</sup>/d</p> <p>2. 生育不良およびコンタミ発生による培養停止 10%以下</p> <p>3. 日本産ユーグレナの増殖性能を上回る現地株の獲得 1株以上</p>	<p>通年培養速度予測のための基礎データ(小規模培養データ)は 2022 年度取得予定</p> <p>既存ユーグレナの増殖性能を上回る現地ユーグレナを獲得</p>	○	○
<p>&lt;事業性評価&gt;</p> <p>1. 各工程コスト積上げ 200~250 円/L 以下(残渣売却益込 100~150 円/L 以下)</p> <p>2. バイオジェット燃料を最終製品とした GHG 排出量削減率 40~50%以上(対化石燃料)</p>	<p>培地原材料調達から製品輸送に至る全体コストを把握</p>	○	○

×:中止 △:未達 ○:計画通り ◎:超過達成

### 1.3 最終目標に対する進捗状況

#### 1.3.1 藻油および残渣飼料のカスケード利用技術の開発

##### <生産物価値向上に向けた各生産工程最適化>

国内研究拠点を活用し培養、回収、発酵、乾燥、そして藻油抽出に至るまでの各生産工程の技術開発を実施し、藻油生産の効率向上、および残渣飼料の商業価値向上に資する基盤技術開発に取り組んだ。2021 年度は国内研究拠点(三重拠点)にて各生産工程の条件検討を行い、残渣飼料の品質向上に繋がる知見を得た。結果を以下にまとめる。

##### 1.3.1.a. 嫌気発酵条件の最適化

ユーグレナは屋外培養中に窒素欠乏状態にすることで細胞内に炭水化物(パラミロン)を蓄積し、その後培養液を回収し密閉された槽内へ移送、低酸素状態にするとパラミロンを分解し中性脂質であるワックスエステルを生成する。これを嫌気発酵と呼ぶが、嫌気発酵中に腐敗の指標とされ、飼料利用上の問題となるヒスタミンや揮発性塩基窒素(VBN)、過剰摂取により人・魚類に光過敏症候群を引き起こすと言われるフェオフォルバイドが増加することが実験により判明した。そこで、発酵温度や発酵時藻体濃度、pH などの条件検討を行ったところ、発酵時の pH を 2.0~3.5 に低く保つことにより腐敗成分やフェオフォルバイドの生成を抑制できることが分かった。一方で、低 pH 化により発酵に依る藻油蓄積量がやや低下する傾向にあり、次年度には藻油生産性と飼料品質両面において最適な発酵条件を決定する予定である。

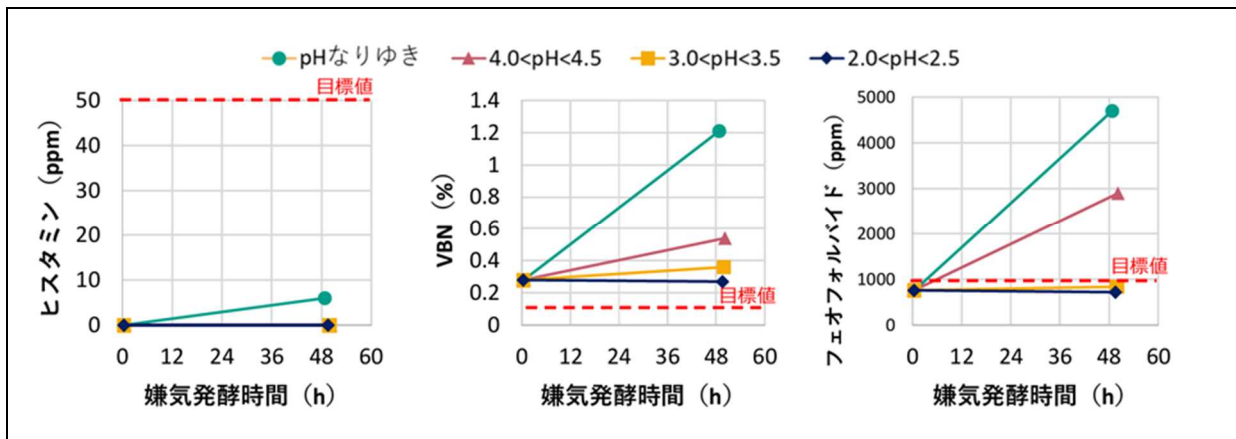


図2. 嫌気発酵時 pH と腐敗成分(ヒスタミン、VBN)およびフェオフォルバイド生成の関係。

### 1.3.1.b. 藻体乾燥条件の最適化

嫌気発酵により藻油蓄積量を増加した後は、抽出時、および保管・輸送時の水分排除を目的に、火力発電所の排ガス(約 100~160℃)を利用し乾燥する想定である。排ガス乾燥を模擬し各温度に調整した熱風にて、嫌気発酵後の藻体を乾燥、飼料品質として重要な指標のひとつであるタンパク質消化率の検証を行った。その結果、100~120℃の温度域では 60 分乾燥処理してもタンパク質消化率の低下はほとんど見られなかったのに対し、140℃では乾燥処理時間とともに顕著に低下、60 分処理後には約 10%の低下が見られた。本結果を踏まえ、次年度に計画する給餌試験では、タンパク質消化率を低下させない条件で乾燥したサンプルを確保する予定である。

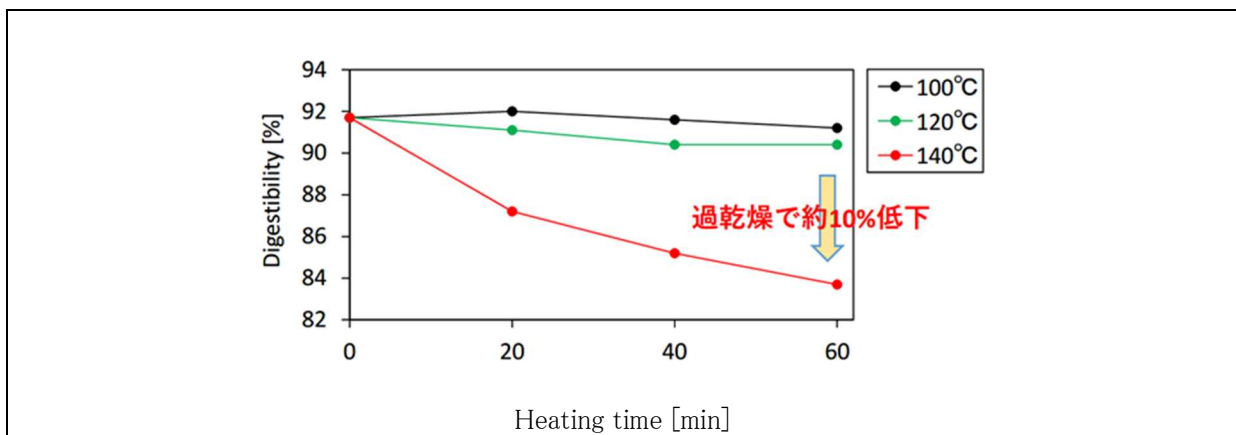


図3.乾燥温度・時間が及ぼす藻油抽出後残渣のタンパク質消化率への影響。

### 1.3.2. 培養安定化技術の開発

#### <環境ストレスを低減する培養管理方法の確立>

インドネシア等の海外における大規模培養実証プラント(5,000 m<sup>2</sup> の培養池)を想定し、培養プロセスウインドウ技術を駆使して培養管理法やコンタミネーション抑制施策の提案を行う。その上で、大規模培養プラントにおける歩留まりを考慮して1年間の生産性を予測し、経済性とGHG削減効果を見積る計画である。2021年度は、オイル蓄積に必要な窒素欠乏下での培養プロセスウインドウを構築するための手法を確立し、ココミクサ KJ 藻の野生株とゲノム編集株の増殖&オイル生産性予測式の構築を試みた。得られた成果については、以下の通りである。

### 1.3.2.a. 窒素欠乏下での増殖&オイル生産性の予測式の構築

本事業開始前に構築していた予測式の精度を高めるべく、新たな計算式を作り上げた。具体的には、1分子のCO<sub>2</sub>固定に要した光量子量を示す“1/QY”と“呼吸によるバイオマス損失”、“細胞中の炭素含量”、“細胞中のオイル含量”について、水温の変化、および窒素欠乏の進行に伴う変化量を数式に変換して見積る手法である。開発した本手法により、1Lのビーカー培養試験の結果に対しては±5%の精度で見積れることを確認できた。更に、本予測式を用いた培養プロセスウィンドウにより、光ストレスの起こらない藻体濃度を明確にできる。コッコミクサ KJ のゲノム編集株については、OD720nm 値を0.65以上に保つ培養管理を行う事で、潜在能力の90%以上を発揮できると見積もられた。

### 1.3.2.b. コッコミクサ KJ 株野生株とゲノム編集株のオイル生産性予測

インドネシアの環境データ(水温と日射量、2019年11月15日～)を用いて、コッコミクサ KJ の野生株とゲノム編集株の増殖&オイル生産性予測を行った。野生株については、培地中の窒素濃度6~9ppmが最適で2.5 g-oil/m<sup>2</sup>/dayのオイル生産速度となり、ゲノム編集株については、培地中の窒素濃度15~21ppmが最適で7.0 g-oil/m<sup>2</sup>/dayを超えるオイル生産速度が見積られた。ゲノム編集により大幅にオイル生産性を向上できたが、寄与度の大きかった改善特性は“強光耐性の付与”と“窒素欠乏下での増殖能向上”であり、その他、“呼吸速度の低下”、“オイル含量の向上”による効果も確認できた。2022年度は構築した増殖予測式をユーグレナ株にも適用し、パラミロン蓄積下での増殖&オイル生産性を見積る計画である。更に、培養池のスケールアップに伴う増殖速度の変化についても、ビーカー培養評価と実際の培養池におけるスケールアップ培養試験の結果を元に計算する計画である。

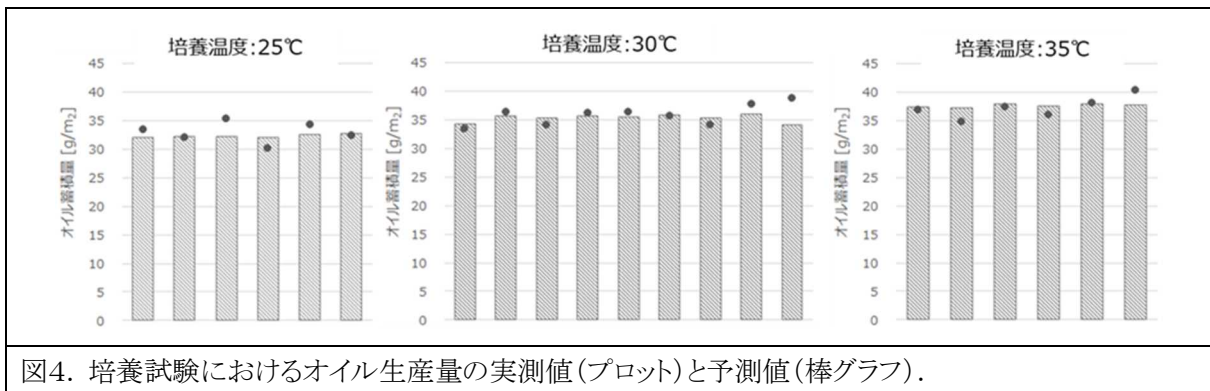


図4. 培養試験におけるオイル生産量の実測値(プロット)と予測値(棒グラフ).

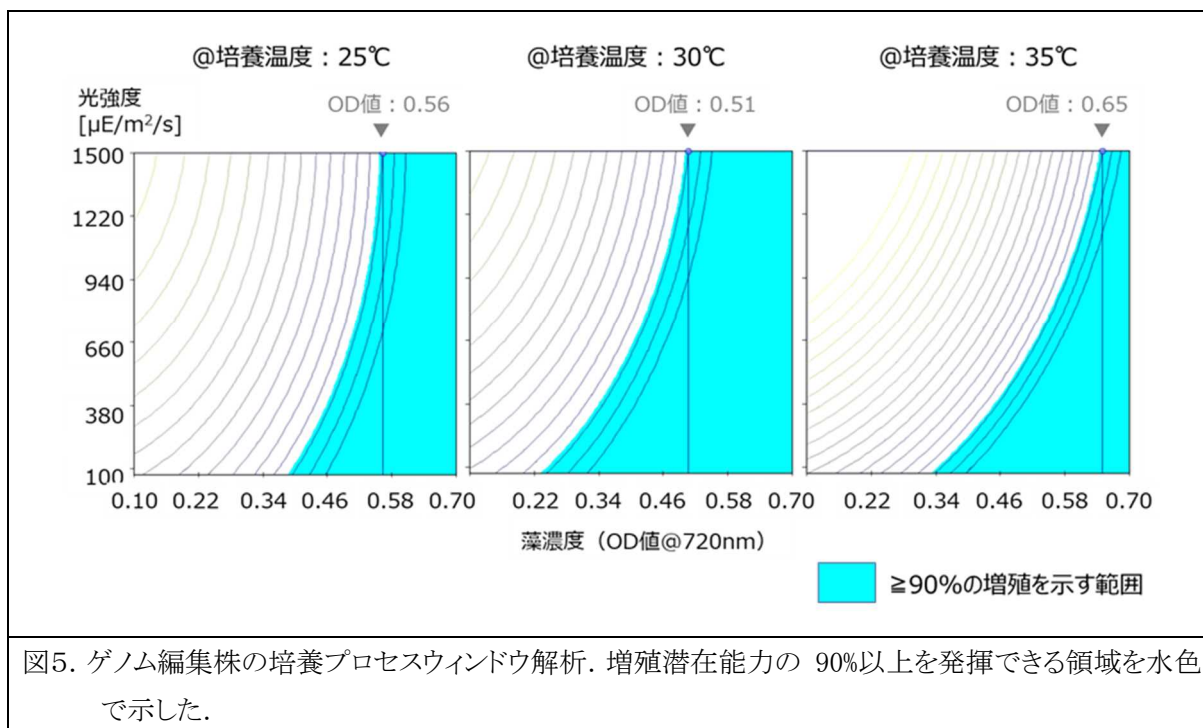


図5. ゲノム編集株の培養プロセスウィンドウ解析. 増殖潜在能力の 90%以上を發揮できる領域を水色で示した.

### 1.3.3. 膜分離技術の開発

#### <国内研究拠点における膜分離実証実験>

大量培養技術の確立に向けた回収工程の低コスト化を目的とし、国内研究拠点(株ユウグレナ 藻類エネルギー研究所)において、製品スケールでの膜分離実験を実施した。実験では、加圧式・浸漬式の 2 つの方式の膜モジュール実験装置を導入し、ユウグレナ培養液の回収における、各方式の基本性能を検証した。また、現行方式に対するコストメリット評価のため、各方式でのコスト試算に取り組んだ。結果は以下の通りとなった。

#### 1.3.3.a. 加圧式膜モジュールの実証実験

まず初めに、短期試験にてユウグレナ培養液回収における膜の運転条件(膜形状、逆洗流量・時間等)の最適化を検討した。膜形状としては、中空糸型とマルチボア型を比較し、内径が大きいマルチボア型のほうが回収した藻類が内部に滞留しづらく、膜ろ過をより安定的に運用できることが示唆された。次いで、最適条件における長期安定性の検証したところ、約 20 時間の連続運転において、濃縮倍率は目標にしている 10 倍濃縮以上の値が得られた。一方で、薬品洗浄後に膜は初期透水性能まで回復せず、膜の中空部の上端側の一部が藻類により閉塞している様子が観察された。2022 年度は物理洗浄時の排出方向を変更することで、薬品洗浄回復性の改善検討をする予定である。



図6. 加圧膜モジュール実機外観と濃縮原理.

### 1.3.3.b. 浸漬式膜モジュールの実証実験

膜ろ過流束、逆洗条件、膜洗浄用の曝気頻度(常時/逆洗時のみ曝気)の最適化を図った。膜洗浄用の曝気を常時実施することで、目標の10倍濃縮まで極めて安定的に連続運転を継続することが可能であったが、濃縮倍率が上昇するとともに浸漬膜槽の発泡が顕著となる点が課題となった。22年度は消泡剤による発泡対策や、逆洗条件等の諸条件の最適化検討の後、長期安定性の検証を予定している。

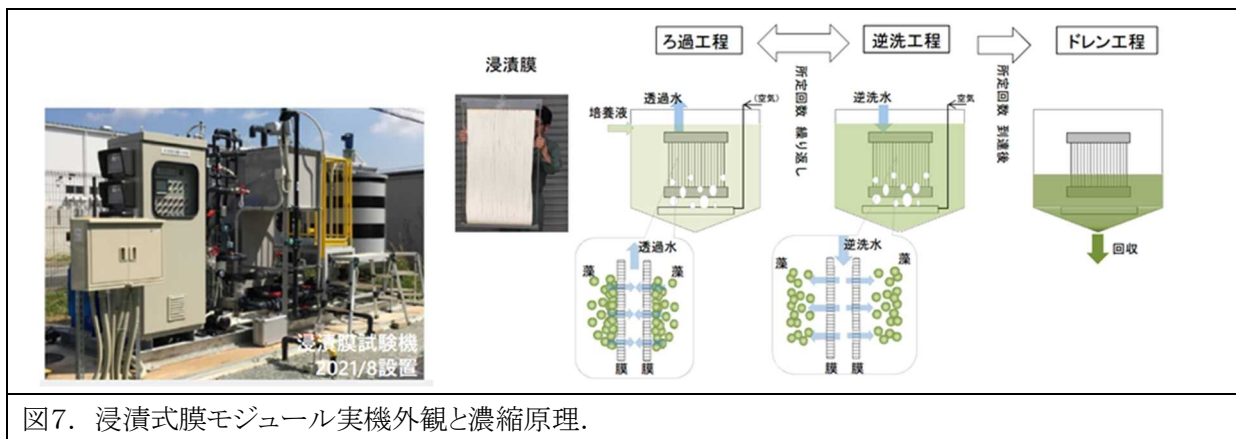


図7. 浸漬式膜モジュール実機外観と濃縮原理.

### 1.3.3.c. コスト試算

加圧膜装置の長期安定性の検証結果を元に、設備コスト、並びに運転コストの試算に着手した。2022年度は加圧膜・浸漬膜ともに実験結果を都度反映させ、コスト試算を継続する予定である。

### 1.3.3.d. 藻培養液の膜目詰まりメカニズムの解明と目詰まり予測の指標因子の探索

膜目詰まりを低減し膜ろ過を安定的に運用するためには、膜閉塞のメカニズムを解明し、目詰まりの進行度を予測しうる培養液の特性因子を見つける必要がある。2021年度は、5ヶ月間(6月～10月)にわたり、国内研究拠点(榊ユーグレナ 藻類エネルギー研究所)において小型膜ろ過試験装置を用いて大規模培養液を同一条件で回収した。環境条件(温度、光強度、CO<sub>2</sub>供給率など)および培地条件(pH、窒素濃度など)にかかわらず、膜目詰まりの進行度は、藻細胞数と100kDa以上の分子量を持つ高分子親水性有機物(バイオポリマー)濃度に依存することが明らかになった。メカニズムを検討した結

果、藻細胞間にバイオポリマーが堆積することで、緻密なケーキが形成され、急激な膜抵抗の増加に繋がると推測される。ケーキ層が圧密されない「限界フラックス」以下で運転することで、ろ過抵抗を減少しながら、20 倍まで濃縮できることを確認した。

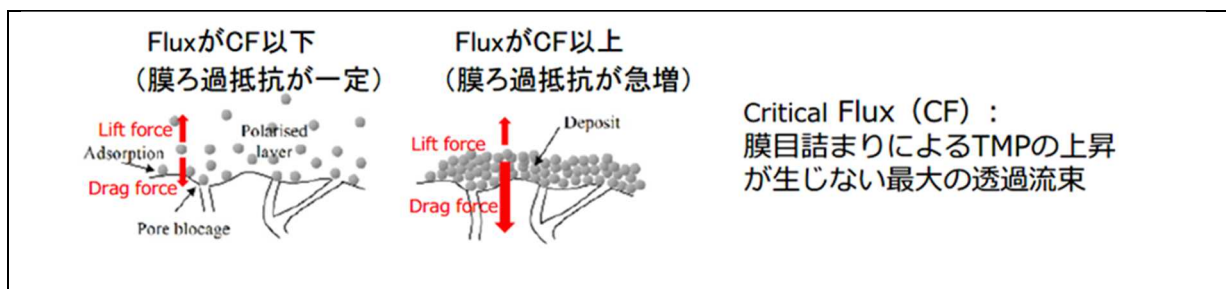


図8. 膜ろ過抵抗上昇の要因分析と解決策. ろ過 Flux を下げ、限界 Flux 以下で運転することでろ過抵抗減少へと繋がる。

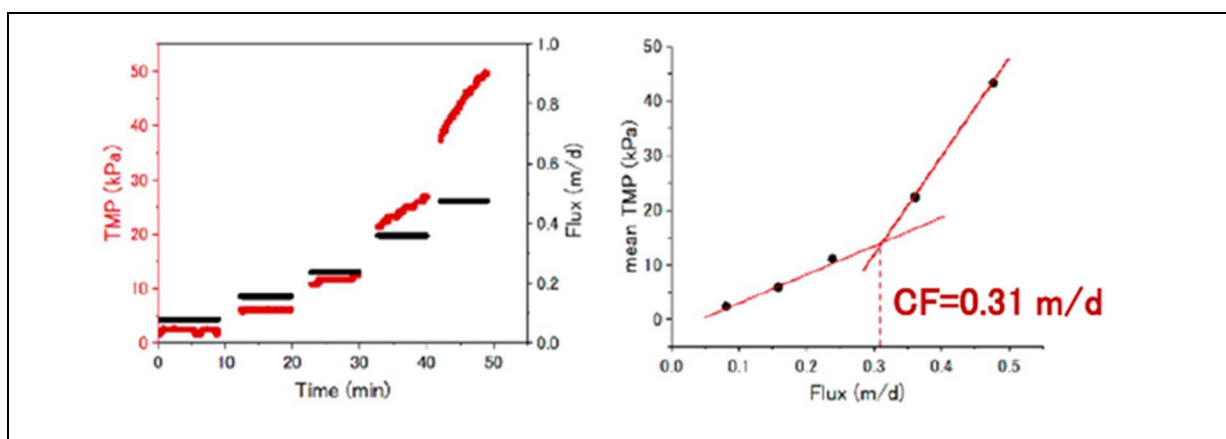


図9. Critical flux (CF; 限界 Flux)の測定結果例。

#### 1.3.4. 抽出技術の開発

##### <抽出実証機製作に向けた基礎検討>

本 NEDO プロジェクトでは藻油抽出技術を開発する為に、ラボ及びベンチスケールで試験を実施して抽出における基礎データを収集する。基礎データ及び従来知見をもとに適用可能な装置として想定している NF 型抽出機の適用目途付けを行う。その上で実プロセスを想定してベンチスケールの NF(ヌッチェフィルタ)型抽出機及び溶剤回収装置を含む抽出装置を製作・購入し、ベンチスケール抽出装置を運転する事で更なるデータ収集を行う。そして、収集したデータや知見をもとに商業時における環境性(LCA:ライフサイクルアセスメント)や経済性(建設費・運転費の試算)を行う。

2021 年度は、ラボ及びベンチスケール試験を実施し、実プロセスを再現する為の実験システムとして想定している NF 型抽出機及びその付帯設備としての溶剤回収装置、残渣乾燥装置を選定し、主要装置の製作・購入を実施した。

##### 1.3.4.a. 抽出基礎条件と残渣乾燥条件の検討

抽出基礎試験として、前年度に実施したラボスケール 2 回、ベンチスケール 2 回の計 4 回に引き続き装置の運転条件等を考慮した検討として更にラボスケール 1 回、ベンチスケール 1 回試験を実施した。抽出効率について、前年度に目標値 80%超の結果を得られているが、抽出回数での再現性を確認し



て当初想定していた抽出回数 6 回を 4 回とした運転条件として対応可能であることを確認した。

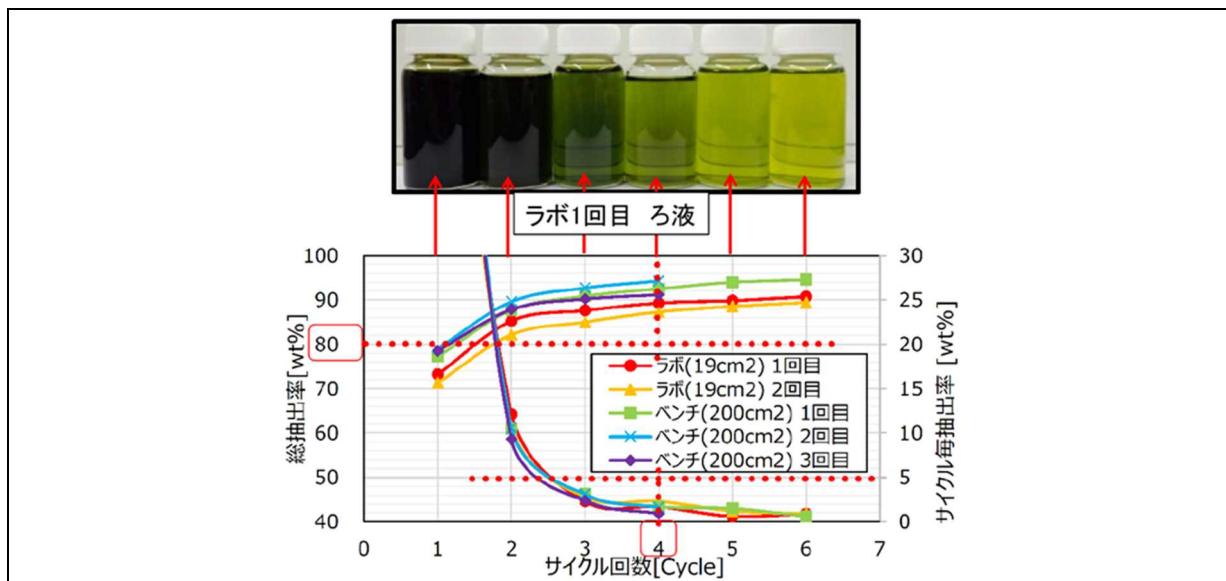


図10. 抽出サイクル回数と総抽出率およびサイクル毎抽出率の関係。

また、残渣の残留溶剤濃度を確認する為、ベンチスケール試験 (NF 抽出機を 2 時間粗乾燥運転後に乾燥 (14 時間、80℃) を実施した。その試験における残渣の残留溶剤濃度は、目標の 300 ppm 以下である 60 ppm を達成した。

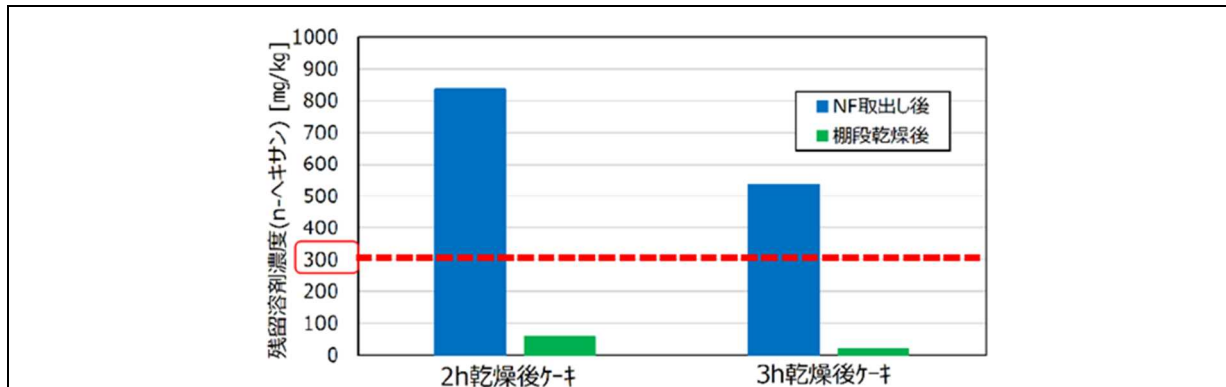


図11. 乾燥前 (青) および乾燥後 (緑) の残留溶剤濃度。

ベンチスケールにおける残渣の残留溶剤濃度と生産性を考慮した運転条件設定については 2022 年度に検討予定とする。

#### 1.3.4.b. ベンチスケール装置の設計・購入及び製作

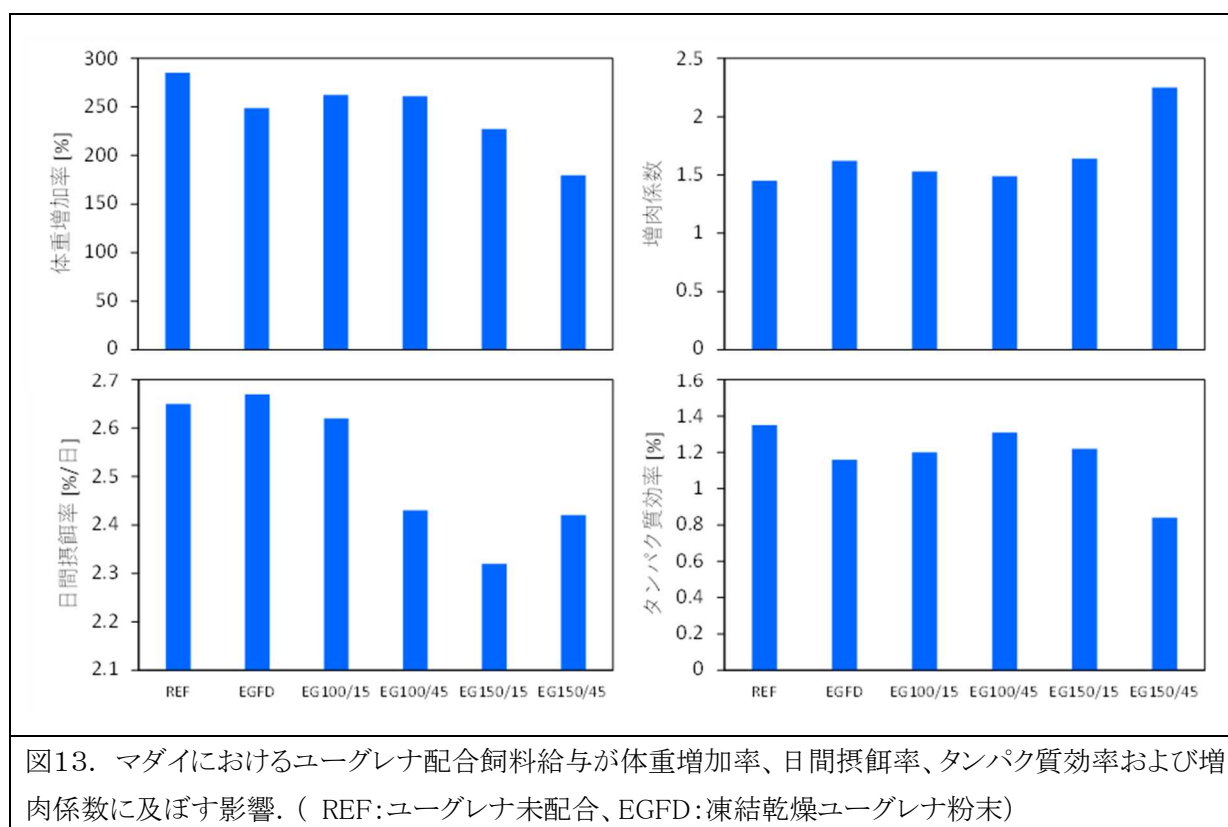
実プロセスを再現する為のベンチスケール装置として、おもに 3 つのユニットが必要となる。1) 抽出及び固液分離を実施するユニット、2) 抽出後のろ液から藻油を取り出し溶剤を回収するユニット、3) 残渣を飼料化させる為乾燥させるユニット、である。上記の3つのユニットの基本計画として、フロー図、配置図、機器リストを作成した。1) については開発要素を反映させた上でカスタマイズ装置として自社製作を行い、2)、3) は実プロセスを再現する為の実験システムとして選定した装置で構築し、主要装置、ユニットの設計、購入、製作を実施した。一部部品においては半導体需給の影響により 2022 年度



表1. ユーグレナ粉末の加熱処理条件

粉末名	加熱処理条件
EG100/15	100°Cで15分間
EG100/45	100°Cで45分間
EG150/15	150°Cで15分間
EG150/45	150°Cで45分間

魚体重 24 g のマダイ稚魚を 60L の水槽に 20 尾ずつ収容して 1 日 3 回試験飼料を飽食給餌した。8 週間後に飼育成績を調べた結果、150°C で加熱したユーグレナ粉末を与えた魚の体重の増加率が対照区よりも有意に低くなり、増肉係数も悪化した。特に EG150/45 を配合区ではタンパク質効率の悪化も見られた。EG100/45、EG150/15 および EG150/45 を配合した区では摂餌量もやや低下していた。成長試験の際の飼料タンパク質と脂質の消化吸収率も EG150/45 を配合した飼料給与区で有意に劣っており、魚体の脂質含量も低下していた。以上の結果から、加熱加工は 150°C よりも 100°C が望ましいと推察された。



一方、本マダイ試験の結果を飼料効率で比較すると、100°C加熱 15 分間処理、45 分間処理の飼料効率は、ユーグレナ未配合の対照区に対してそれぞれ 95%、97%と高い値を示した。飼料効率とは単位飼料あたりの魚体生産量(体重増加量)である。飼料効率が高いということは与えた飼料が効率よく魚肉になることを示すため、一般的に高い方が望ましい。今回の結果から、飼料中魚粉の 17%をユーグレナ残渣で置き換えても 95~97%以上の飼料効率を維持できることが分かった。

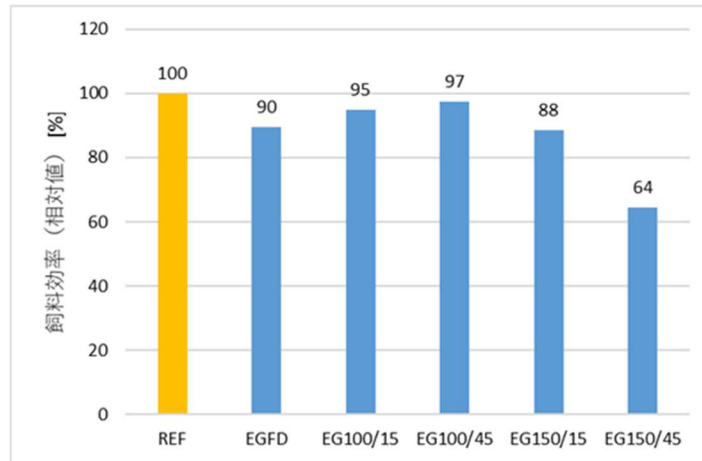


図14. マダイにおけるユーグレナ残渣配合飼料給与が飼料効率に及ぼす影響. ( REF:ユーグレナ未配合、EGFD:凍結乾燥ユーグレナ粉末)

#### 1.3.5.b. ユーグレナ残渣配合飼料のニジマス給餌試験

ニジマスを用いて嫌気発酵後に脱脂加工したユーグレナ残渣を 100℃で 45 分間加熱した粉末 (EG100/45)を添加し、魚粉を段階的に削減した飼料(全体の 2.7%、5.5%および 8.5%添加)の性能を調べた。6.9 g のニジマスを 60L 水槽に 20 尾収容して、試験飼料を飽食給餌し、8 週間後の飼育成績を調べた。その結果、ユーグレナ残渣を 8.5%添加した飼料区の増重率、日間成長率、タンパク質効率が有意に低下し、増肉係数も悪化した。

一方、飼料効率で比較すると魚粉代替率が 7.5%、15%、23.6%でそれぞれ 99%、96%、92%という結果であった。以上から、ユーグレナ残渣で魚粉を代替する場合、試験区 2~3 のように代替率が 15%までは大きな問題なく魚体を成長させられるが、試験区 4 のように代替率 23.6%では飼育成績が低下する傾向にあるといえる。

表2. ユーグレナ残渣配合量と魚粉代替率

項目	試験区1	試験区2	試験区3	試験区4	単位
魚粉配合量	36	34.2	32.4	30.6	% (g/100g)
ユーグレナ配合量	0	2.7	5.5	8.5	% (g/100g)
魚粉代替率	0	7.5	15.3	23.6	%

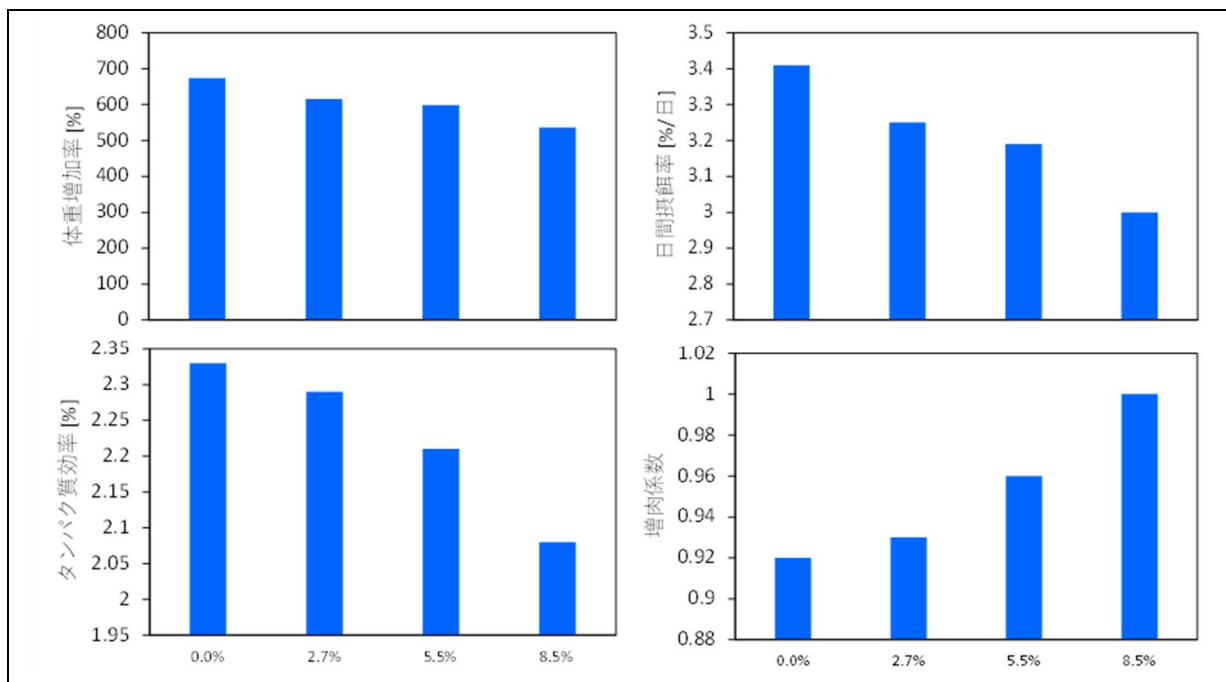


図15. ニジマスにおけるユーグレナ残渣配合率と体重増加率、日間摂餌率、タンパク質効率および増肉係数の関係

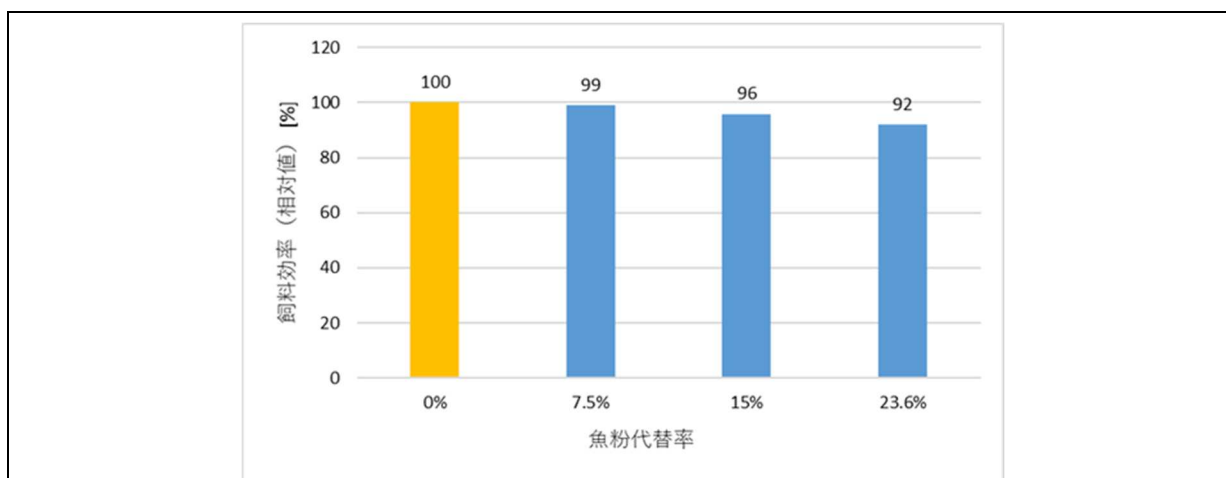


図16. ニジマスにおけるユーグレナ残渣配合飼料給与が飼料効率に及ぼす影響.

### 1.3.6. 新規微細藻類探索・開発

#### < 現地微細藻類サンプリングと *Euglena* 単離 >

本 NEDO プロジェクトでは、日本で採取された微細藻類をインドネシアに持ち込み、当地にて培養試験を行うだけでなく、インドネシア国内でも微細藻類を採取し、日本産微細藻類の性能を凌駕する株を発掘することを目標としている。

#### 1.3.6.a. サンプリングと単離の進捗状況

2021年10月に、ガジャマダ大学の位置するインドネシアのジョグジャカルタ特別州付近にて、*Euglena* が生息する可能性の高い、低 pH であり、かつ有機物を多く含む泥炭地を中心にサンプリングを実施した。計7か所からサンプリングを行い、*Euglena* を81細胞単離し、その中で、選抜培地中で増

殖を示し、かつコンタミネーションの無い 12 株を選抜した。

2022 年度は 2020, 2021 年度と同様に、単離されたインドネシア産 *Euglena* を対象に、試験管試験、2L ビーカー試験において選抜試験を実施し、加えて、屋外環境にて小型レースウェイ培養槽を用いた選抜試験も実施する。

### 1.3.6.b. 有望株の選抜状況

#### I. 屋内試験管試験

2020 年度に単離した株の内、日本産 *Euglena gracilis* よりも高い増殖能を有する可能性が示唆された 5 株に関し、試験管試験によって得られる比増殖速度を日本産株と統計的検定により比較できるように、 $n=4$  にて増殖試験を実施した。その結果、1 株 (IDN7 株) が日本産株に比べて統計的有意に高い比増殖速度を示した。加えて、2021 年度に単離した計 12 株に対し、試験管試験による日本産株との増殖比較試験を実施し、1 株が日本産 *Euglena gracilis* よりも高い増殖能を有する可能性を示唆した。

#### II. 屋内 2L ビーカー試験

屋外の日射量、水温等を模擬可能な 2L ビーカー試験設備をガジャマダ大学内に整備し、試験管試験にて高い比増殖速度を示した IDN-7 と日本産株の増殖能を 2L ビーカー試験設備にて評価した。試験管試験と同様に IDN-7 は日本産株よりも高い増殖速度を示し、また日本産株よりも高い細胞濃度まで培養できる可能性が示された。

#### III. 屋外小型培養試験

ガジャマダ大学内で屋外培養小型培養試験を実施するため、南カリマンタンの石炭火力発電所 (MSW) 内に保有していた 1m<sup>2</sup> レースウェイ培養槽 7 基及び、他付帯設備一式をガジャマダ大学に移送した。2022 年 5 月より大学内に設備を整備し、屋外小型培養試験を実施する。

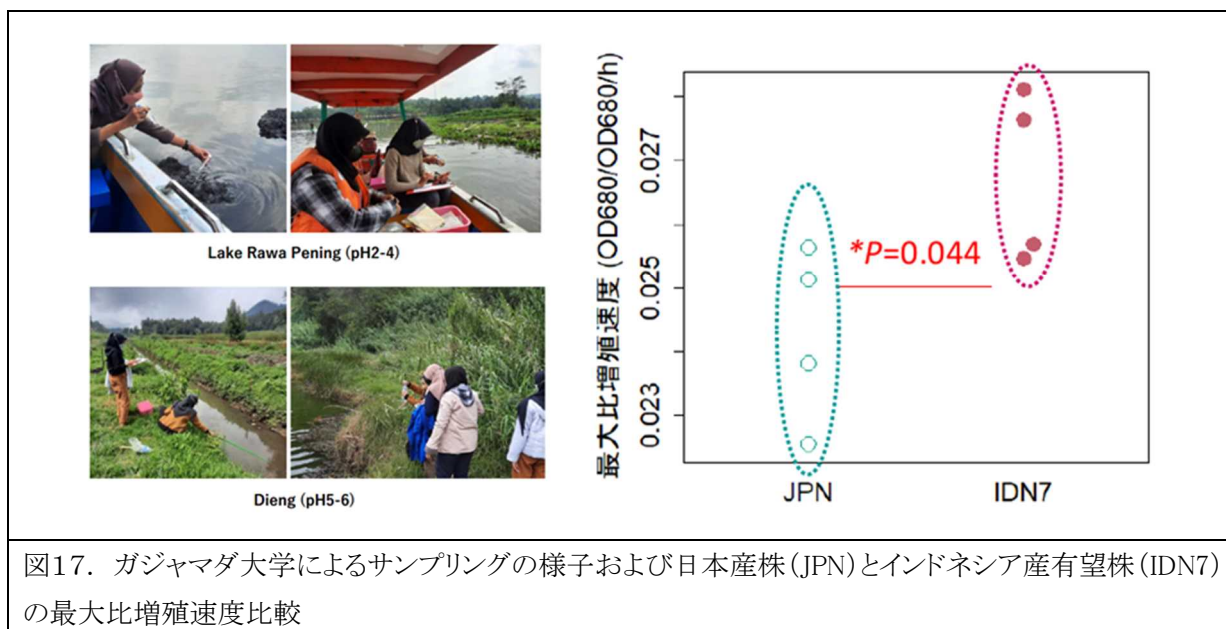


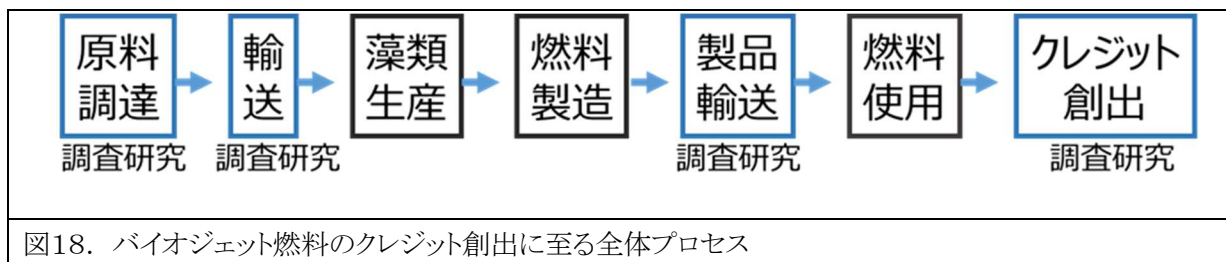
図17. ガジャマダ大学によるサンプリングの様子および日本産株 (JPN) とインドネシア産有望株 (IDN7) の最大比増殖速度比較

2022 年度は 2020, 2021 年度と同様に、単離されたインドネシア産 *Euglena* を対象に、試験管試験、2L ビーカー試験において選抜試験を実施し、加えて、屋外環境にて小型レースウェイ培養槽を用いた選抜試験も実施する。

### 1.3.7. 事業性評価

＜微細藻バイオマスカスケード利用事業におけるサプライチェーン全体の事業性評価＞

本 NEDO プロジェクトでは、バイオジェット燃料に関する政策動向調査、カーボンクレジットに関する市場調査、及び窒素やリン源などの原料調達、製品の輸送に係るコスト評価、並びにサプライチェーン全体における事業性のフィージビリティスタディを実施する。



2021 年度の研究として、海外、特にインドネシアで現法設立した場合の会計・税務・法務影響を確認した。また、培地原料の現地調達、物流コスト、飼料開発、微細藻類のカーボンクレジット取得可能性、事業性評価モデルの作成を実施した。2021 年度調査内容の要旨は下記の通りである。

- (ア) 海外、特にインドネシア事業会社を設立した場合の会計・税務・法務影響について、現地弁護士・税理士・会計士を起用し投資ストラクチャーを検討。
- (イ) 伊藤忠商事インドネシア会社と培地原料の現地調達に関する調査を実施、また伊藤忠ロジスティクスと物流コスト(培地原料・製品)の調査を実施。培地原料につき、多くは現地企業から調達可能だが、一部化学品は現地調達が難しく日本等からの調達が必要。同時に主要原料については不安定な国際情勢で価格が不透明であり、一部原料は高止まりしている。例えば、近隣にあれば、窒素リン源を含む工場排水の利活用等で対応するなど検討余地あり。
- (ウ) 飼料展開の為、世界及び日本の養殖業現状、飼料の需給・価格の中長期見通しを調査。中長期の見通しにおいて、魚価は上昇しつつ魚類の総生産量は増加することが予想されており、魚粉飼料の価格も上昇見込みである。魚粉の安定供給にも懸念あり、その為、極力魚粉を使わない養殖飼料開発への期待が強いことを確認した。
- (エ) 微細藻類のカーボンクレジット創出に向けた課題の洗い出しを実施。例えば CORSIA が規定する SAF の基準を参照すると、藻類の GHG ライフサイクル排出量は認定され得るレベルにあり、クレジット取得の可能性を確認した。

### 1.3.8. 事業全体スケジュール

事業項目	担当	2020年度	2021年度	2022年度
1) バイオジェット燃料製造とカスケード利用技術	EU		生産工程基礎検討	生産工程最適化
2) 培養安定化技術	DN		培養プロセスウインドウ作成	
3) 膜分離技術	MCC/CU	条件検討・製作		実機試験
4) 抽出技術	EU/MKK	基礎検討	製作	実機試験
5) 残渣の飼料化	EU/TUM	飼料設計	小・中規模給餌試験	小規模培養
6) インドネシア培養および新規微細藻類探索	EU/UGM/DN	藻類収集		性能評価
			ゲノム編集株性能評価	
7) 事業性評価	ITC		原料調達・運転費等の市場調査	

※略称について

EU:株式会社ユーグレナ DN:株式会社デンソー ITC:伊藤忠商事株式会社 MCC:三菱ケミカル株式会社 MKK:三菱化工機株式会社 TUM:東京海洋大学 UGM:ガジャ・マダ大学 CU:中央大学

## 1.4 参考文献

なし

## 2. 知的財産等の取得および成果の普及

### 2.1 特許

出願番号:特願 2022-040080

発明の名称:微生物培養液の濃縮方法及び微生物培養液の濃縮装置

発明者(筆頭者):日根野谷 充

出願番号:特願 2022-040083

発明の名称:微生物の分離回収方法及び微生物の分離回収装置

発明者(筆頭者):竹内 雅人

### 2.2 論文

なし



## 2.3 口頭発表・ポスター発表

発表先:2022年度日本水産学会春季大会

題目:Effect of thermal process on utility of microalga *Euglena gracilis* product as a protein source for red seabream (*Pagrus major*) diet.

発表者:Seong TK, Kondo T, Yamamoto Y, Suzuki H, Nawata T, Satoh S, Kabeya N, Haga Y. オンライン、3月28日.

発表先:2022年度日本水産学会秋季大会

題目:ニジマスの飼育成績に及ぼすユーグレナ加工残渣による魚粉代替飼料の影響.

発表者:田中雛子, 成泰敬, 山本芳正, 鈴木秀幸, 縄田俊浩, 佐藤秀一, 壁谷尚樹, 芳賀穰. 2022. 日本水産学会秋季大会、宮崎市、9月6日。(予定)

発表先:2022年度日本水産学会秋季大会

題目:First step of utilization of microalga *Euglena gracilis* product as a fishmeal substitute for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet (微細藻類ユーグレナのテトラピア飼料利用に関する研究).

発表者:Seong T-K, Yamamoto Y, Suzuki H, Nawata T, Satoh S, Kabeya N, Haga Y. 日本水産学会秋季大会、宮崎市、9月6日. ポスター発表(予定)

## 2.4 プレス発表

7件

発表者	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	発表年月
株式会社 ユーグレナ	NEDO 事業採択に関するニュースリリース	株式会社ユーグレナ ホームページ上での公開	2020年10月5日
伊藤忠商事 株式会社	NEDO 事業採択に関するニュースリリース	伊藤忠商事株式会社 ホームページ上での公開	2020年10月5日
伊藤忠商事 株式会社	ビジネスか、環境か 環境を無視できない 時代の「ユーグレナ」 の可能性	NewsPicks 上での掲載、伊藤 忠商事株式会社の ホームページ上での公開	2021年3月29日 NewsPicks 掲載予定、2021年3月31 日伊藤忠商事ホームページ 掲載
三菱ケミカル株式会 社	NEDO 事業採択に関するニュースリリース	三菱ケミカル株式会社 ホームページ上での公開	2020年10月5日
中央大学	NEDO 事業採択に関するニュースリリース	中央大学ホームページ上で の公開	2020年10月6日
東京海洋大学	NEDO 事業採択に関するニュースリリース	東京海洋大学 ホームページ上での公開	2020年10月5日
ガジヤマダ 大学	NEDO 事業採択に関するニュースリリース	ガジヤマダ大学 ホームページ上での公開	2020年10月5日

### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

#### 1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

本研究開発の最終年度には、藻油および残渣飼料のカスケード利用に向けた基本生産プロセスと生産物の商業価値を最大化し得る各生産工程の条件最適化がなされる予定である。本成果に基づき、実用化・事業化に至るために残された課題に注力し、研究開発を加速し事業化実現を目指す。

#### ①商業化候補地における培養実証プラントの建設と実証運転データの取得

委託事業期間における研究開発では、培養から抽出に至るまでの生産工程における基本プロセスが完成するものの、商業化が見込まれるインドネシアでの培養試験はごく小規模のスケールに留まる。そのため、商業化時を想定した規模の培養槽(5,000 m<sup>2</sup>を想定)で培養試験を実施し、本研究開発で予測する年間生産量の再現性を確認する必要がある。また、そのような実証試験を通じ、培養プラントの連続運転時におけるバルブ、送液ポンプなどプロセスラインの不具合易発性を確認し、また重要機器のスペア化や個々の機器の能力にフレキシビリティを持たせ工程全体の整合性を保ち容易に工程詰まりを生じさせないなど、プラント運転管理の観点から商業生産時の操業停止リスクを回避する方法について検討する必要がある。これらの実証運転データを反映し、商業規模の培養プラント設計に反映させる。

#### ②海面養殖実証試験を通じた更なる事業性評価の推進

本事業モデルの収益源として最重要となる残渣飼料について、海面養殖生簀のように実際に商業生産のために用いられる施設を用い、養魚を仔稚魚から出荷サイズの成魚に至るまで約1~2年程度の長期給餌試験を実施する。長期給餌試験を通じ、季節変動する養殖環境のなかで、一般的な養殖飼料と残渣飼料の成長性を比較しその効果を確認、飼料事業として十分な収益が見込めることをより深掘りする。

上記2点の検討を行い事業性評価の精緻化と実証運転実績を蓄積し、可能な限り早期に商業生産への移行を判断する。

#### 2)成果の実用化・事業化に向けた具体的な取組

実用化・事業化に向けた重要な要素に、商業生産を行う用地確保、微細藻類を生産するための水や窒素、リン等の培地原材料の確保の可能性を調査する必要がある。さらには、生産物のなかでもとりわけ残渣の飼料としての収益性が事業全体の成否を左右するため、今後の飼料の市場見通しを把握するべきである。このような考えのもと、本研究開発において実施してきた具体的な取り組みは以下の通りである。

バイオジェット燃料事業として微細藻類を商業生産するにあたっては、生産設備を大規模化することによるスケールメリットを活かした設備コストの低減を図ることが前提となるため、広大な用地が必須となる。加えて、培養に用いる水資源の確保も土地選定において重要な要素となる。過去、NEDOの行った微細藻類の燃料化実証研究の実施可能性に関する候補地検討(NEDO委託事業「微細藻類の燃料化実証研究の実施可能性に関する候補地の検討」平成25年度報告書)の調査方法を参考にしつつ、株式会社ユーグレナは伊藤忠商事株式会社と協力して独自に候補地調査を進め、商業化時の用地および水資源確保が可能な候補地のひとつとしてインドネシア南カリマンタン州の石炭炭鉱を選定している。この炭鉱では、事業化のために10,000 ha以上の広大な敷地が確保できる可能性があり、雨水を貯留した溜池から毎日4億3,800万トンを超える河川放流が行われているため、淡水も豊富にある。さらにこの炭鉱に

は石炭火力発電所も付設されており、培養に供する CO2 も確保できる。このようなインドネシア石炭炭鉱を有力候補としつつ、類似した気象条件で微細藻類の高増殖が見込め、事業進出のしやすさも考慮し、マレーシアなどその他の東南アジア諸国の候補地も継続して探索している。

窒素・リンは微細藻類の細胞を構成する主要な栄養素であり、微細藻類大量生産に向けて同様に大量の原材料確保が必要となる。そのため、本研究開発期間中に商業化時および海外実証時に必要となる原材料の調達先について調査を開始している。窒素源については、微細藻類ユーグレナはアンモニウム態窒素の資化性が高いため、硫酸アンモニウムやリン酸水素アンモニウムなど、リン源については主にリン酸カリウムを調査し、いずれも海外実証時の原材料確保はインドネシア国内で調達可能であるものの、商業化時には中国などインドネシア国外から輸送する必要があることが分かってきた。これらの調査結果はサプライチェーン全体のコスト評価に反映しつつ、安価な調達先の候補を探索していく予定である。

水産養殖用飼料の市場調査も進捗している。世界的なタンパク質需要や魚類製品の直接消費（魚を食べる習慣）の増加に伴い、水産養殖用飼料の市場は拡大傾向であり、アジア・太平洋地域の新興国を中心に養殖が活発化しており今後も大きな成長が見込まれる。特にインドネシアでは、コイやナマズ、ナイルティラピアといった淡水魚の養殖が盛んだが、最も売上高が高いのはエビ養殖である。そのため、本研究開発の最終年度では、インドネシアで生産量の多い種であるバナメイエビを対象にユーグレナ残渣の給餌試験を行い、飼料としての効果を検証し報告する予定である。微細藻類の生産地と飼料を利用する土地が近いことはサプライチェーンにおける輸送コストの点から有利であるため、重要な検討のひとつと位置付けている。

### 3)成果の実用化・事業化の見通し

本研究開発の実用化・事業化に向けては、上述のように海外実証による生産安定性の検証に加え、火力発電所由来の CO2 で培養した微細藻類を原料に含む飼料を給餌した水産物の社会的受容性の確認など、技術開発以外の課題もある。

また、残渣を給餌した水産物については、成長性を確認するだけでなく、火力発電所に由来する重金属の蓄積など、人が食した際に健康被害が生じるリスクの有無についても確認すべきである。加えて、飼料メーカーや養殖業者と協力して大規模な給餌試験を行い、稚魚から成魚に至るまでの養殖に係る全体コストを把握し、餌の価格許容範囲から、残渣の売価を検証する必要がある。また、水産物のテスト販売を通じて、味や風味などの嗜好性に関する消費者目線の評価も今後検討する必要がある。

このように、実用化・事業化に向けた課題はあるが、本研究開発の成果はこれらの課題に挑戦する価値のある成果であると言える。

## (Ⅲ-3-2) 海洋ケイ藻のオープン・クローズ型ハイブリッド培養技術の開発

実施者:電源開発株式会社

### 1 研究開発の成果

#### 1.1 背景と課題

今後も大幅に拡大する航空需要予測を背景に、CO<sub>2</sub>排出削減による地球温暖化抑止対策が国際民間航空機関(ICAO)をはじめとした航空業界における喫緊の課題となっている中、それらの対応策として、SAFの導入による解決が、必要不可欠な手段の一つとして位置づけられており、既に海外では都市ごみ、木質、廃食用油などを原料にしたSAF生産の実用化、商業化(航空会社への販売契約)が進みつつある。

国内では、パリ協定に基づく温室効果ガス排出削減目標を達成すべくカーボンリサイクルなど脱炭素化社会形成に向けた取り組みに努めているところであり、航空分野においても、SAF導入の各種課題について産官学による議論が行われているところである。

2019年6月には、CO<sub>2</sub>を炭素資源ととらえる「カーボンリサイクル」の実現に対応すべくカーボンリサイクル技術ロードマップが策定され、微細藻類によるSAF製造はカーボンリサイクル技術のひとつとして位置づけられている。SAFを含む、微細藻類による製品の安定供給には、安定大量培養技術の確立が不可欠である。

そこで本事業では、SAFの商用化に向け、SAFの原料である微細藻類の安定大量培養技術の確立を目的とする。また光合成機能を解析し、光合成機能と生育、オイル蓄積の関係性を把握することで、代謝のボトルネックを明らかにし、そのボトルネック解消に向け、屋外培養条件の設定や装置改良などの対策を講じ、グリーンオイル生産量向上を行う。さらに、光合成で利用性の低い太陽光の波長域を、光合成に有効な波長域に変換し、光合成効率向上に向けた装置開発などにより、目標とするグリーンオイル生産量を目指す。

また化石エネルギー収支、温室効果ガス(GHG)削減効果、製造可能量及びコストを含めた事業性の評価方法も併せ示す。

## 1.2 中間目標と達成度

目標	成果	達成度	最終目標 に対する 進捗
<p>① 本事業でのグリーンオイル生産量目標値である 200L/回 (例: 藻体収量 0.7g/L, オイル蓄積率 40wt%) を見通す培養条件を設定し、600m<sup>3</sup> クラスのオープン型培養装置 (以下、基本ユニット) とクローズ型培養装置 を組合せた 統合型培養システム (以下、ハイブリッド培養システム) による培養試験を開始する。</p>	<p>基本ユニットでの培養試験に向けて、これまでの培養試験で得られた結果を反映した、グリーンオイル生産量 200L/回を見通す培養条件を設定した。</p> <p>基本ユニットによるグリーンオイル生産量 200L/回の達成に向けた培養試験を開始し、オープン培養の課題となる捕食性雑菌を複数の対策により抑制しつつ、今回設定した培養条件を検証中である。</p>	○	○
<p>② オイル生産性が最大となる培養プロセスの基本ユニット培養試験へ反映、改良株評価による改変技術の有効性を確認する。</p>	<p>オイル生産性を最大にする培養プロセス設計に向けて、光合成促進フィルムの使用により生育促進効果を確認した。また、生育環境因子と生育、オイル蓄積の相関関係に関するデータを取得し、ソラリス株・ルナリス株の光強度に関する特性に係る知見等培養条件に反映した。海洋ケイ藻の改変技術開発は、遺伝子導入方法の最適化及びターゲット遺伝子の選定を終了し、改良株を作出中である。</p>	○	○
<p>③ 実現性の高い SAF 製造事業シナリオを提案する。</p>	<p>SAF 事業シナリオ検討のため、SAF について、大手航空会社や石油元売り等の企業により構成される普及団体「ACT FOR SKY」へ入会し、サプライチェーン関連企業とのネットワーク構築を進めていく。一方、副生品については、市場規模や機能面等の調査の結果、フコキサンチン、エイコサペンタエン酸、パルミトレイン酸、スクワレンの 4 成分に着目し、食油メーカーへの乾燥藻体のサンプル提供、及びサプライメーカーの協力を得て安全性 (遺伝毒性試験等) に問題がないことを確認した。</p>	△	○

④ 得られた成果から CO <sub>2</sub> 削減効果、エネルギー収支を明らかにする。	CORSIA 適格燃料認証基準を参考とするとともに、有識者の助言を得ながら、CO <sub>2</sub> 削減効果/エネルギー収支の試算式の精査を進めた。また各試算に必要な大型機器の消費エネルギーデータの取得を開始した。今後、これまでの試験結果や運用ノウハウ、及びオープン型培養の攪拌の低エネルギー技術調査の情報をもとに、各試算値の精査を進めていく。	△	○
---	--	---	---

×:中止 △:未達 ○:計画通り ◎:超過達成

### 1.3 最終目標に対する進捗状況

目標達成に向けて、段階的に培養装置の規模を拡大して試験を進め、実用化時に用いる大規模装置の仕様及び培養条件を決定した。本事業で用いる培養装置の種類を下記に示す。

表1 培養槽一覧

	培養装置の仕様	本文記載
オープン型	既設大規模オープン型培養装置 (直径 40m/600m <sup>3</sup> クラス)	大規模オープン型培養装置
	既設中規模オープン型培養装置(直径 20m)	中規模オープン型培養装置
	既設小規模オープン型培養装置(直径 5m)	小規模オープン型培養装置
	透明ポリカーボネート製培養装置(2,000L)	透明ポリカーボネート製培養装置
クローズ型	大規模クローズ型培養装置(1.5m <sup>3</sup> /基)	大規模クローズ型培養装置
	既設小規模クローズ型培養装置(350L)	小規模クローズ型培養装置

#### ① 「クローズ型培養装置開発」

##### ① -1 大規模クローズ型培養装置の仕様決定

大規模オープン型培養装置によるオイル蓄積培養に必要な藻体数を準備できる培養容積を有する大規模クローズ型培養装置の仕様について、小規模クローズ型培養装置を用いてソラリス株・ルナリス株の培養試験を通じて装置仕様検討を行った。その結果、基本ユニット(大規模オープン培養槽)におけるクローズ型培養での全培養容積を 10m<sup>3</sup> 規模とした。また、ハンドリング性やメンテナンス性、捕食性雑菌による生育不良化リスク低減などを鑑み、大規模クローズ型培養装置を 6 基設置する構成とした。



図1 大規模クローズ培養装置

また、オープン型培養によるオイル蓄積培養では、初期藻体濃度としてソラリス株で 30 万 cells/mL、ルナリス株で 50 万 cells/mL と設定したことから、クローズ型培養装置で培養させなければならない目標藻体濃度を、ソラリス株で 1,900 万 cells/mL、ルナリス株で 3,200 万 cells/mL とし、それを達成する培地条件を設定した。

以上の結果から、新設する大規模クローズ型培養装置仕様を決定し、2021 年度 10 月以降、順次導入を行っており、2022 年 9 月までに導入完了の予定である。

#### ①-2 大規模クローズ型培養装置の設置と培養試験

小規模クローズ型培養装置を用いたソラリス株・ルナリス株によるクローズ型培養試験では、水温、藻体濃度等に応じた日射量のコントロール(太陽光の遮光)を行うことで、目標藻体濃度を安定して達成することができた。

あわせて、オープン型培養での初期藻体を高濃度化できれば、オープン培養日数短縮による雑菌汚染リスクの低減が見込めることから、クローズ型培養での更なる藻体の高濃度化を目指した試験を行い、ソラリス株で藻体濃度 8,300 万 cells/mL、ルナリス株で藻体濃度 6,700 万 cells/mL を達成した。また、クローズ型培養装置でも培養開始時の初期藻体を高濃度化することで培養期間を短縮できる見通しを得た。

新設した大規模クローズ型培養装置を用いたソラリス株・ルナリス株によるクローズ型培養試験では、培養不良を起こすことなく、目標藻体濃度を達成することができた。

#### ①-3 大規模クローズ型培養装置の運転ノウハウの取得

培養試験を通じて、大規模クローズ型培養装置の運転に必要な培養手順(植菌、培養、装置洗浄、片付けなど)やメンテナンス方法(設備不具合発生時の交換手順)等の知見を取得した。今後は、大規模クローズ型培養装置 6 基運転時の運転ノウハウの取得を行う予定である。

### ② 「オープン型培養装置開発」

#### ②-1 オープン型培養におけるグリーンオイル生産向上培養条件の検討

グリーンオイル生産量目標値(200L/回)達成に必要なオイル生産性の目標値 0.28g/L(=藻体収

量 0.7g/L×オイル蓄積率 40%)に向けた培養条件の検討を行った。

小規模オープン型培養装置を用いたソラリス株によるオープン型培養試験では、オイル生産性 0.22g/L(2021 年度)を得た。その後、光供給が小規模オープン型培養装置より好条件である透明ポリカーボネート製培養装置を用いた培養試験では、オイル生産性の目標値 0.28g/L を達成し、この結果等を小規模オープン培養装置の条件に反映させて光供給条件を改善することで、0.27g/L(2022 年度)のオイル生産性を確認した(図1-3-2-1)。

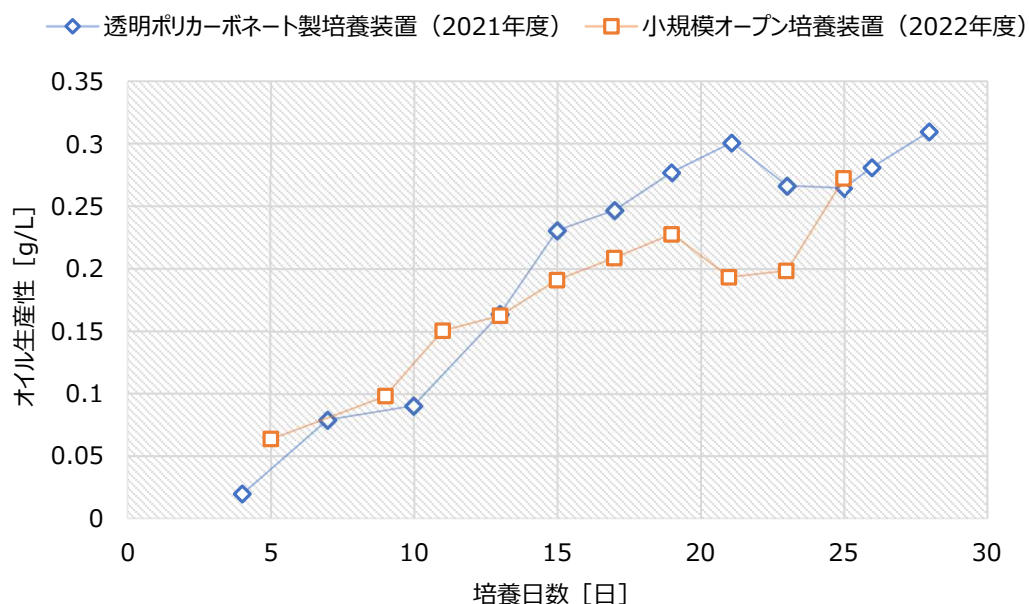


図2 透明ポリカーボネート/小規模オープン型培養装置でのオイル生産性について

また、小規模オープン型培養装置を用いたオープン培養試験を通じて、目標値の達成に向け、培地成分などの培地条件を設定した。

大規模オープン型培養装置の整備前準備として、小規模オープン型培養装置で確認した課題等を反映して、中規模オープン型培養装置の改良(槽材質変更による強度/耐久性/排水性の向上など)を実施した。改良後の中規模オープン型培養装置を用いたルナリス株による屋外培養試験では、小規模オープン型培養装置と同様に安定して培養試験が行えることを確認した。

また、藻体収量、グリーンオイル蓄積率などの向上を目指した、中規模オープン型培養装置による培養試験を通じて、培養管理、機器洗浄、装置メンテナンスなど大規模オープン型培養に必要な有益な知見を得た。

## ②-2 大規模オープン型培養装置の改良、試運転

大規模オープン型培養装置について、②-1 の成果を反映した整備・改良を行った。また、大規模オープン型培養装置では実海水を利用するため、安定培養に向けては海水に含まれる他の微生物の混入を防ぐ必要がある。このため、海水膜ろ過装置を設置するとともに、試運転によって本装置により処理された海水の健全性を確認した。

現在、培養試験を通して、大規模オープン型培養装置の動作確認、培養槽の攪拌に必要な流速の評価を実施しており、藻類の培養装置として攪拌条件等の適正化を行う予定である。





図3 海水膜ろ過装置

### ③ 「オープン・クローズ型ハイブリッド培養装置の研究開発」

#### ③-1 基本ユニットでの培養条件の検討

大規模オープン型培養装置(基本ユニット)とクローズ型培養装置を組合せた統合型培養システム(ハイブリッド培養)での培養試験に向けて、②-1 の培養試験で得られた結果や、大学で実施している基礎研究で得られたソラリス株・ルナリス株の光強度に関する特性に係る知見等を反映した、グリーンオイル生産量 200L/回を見通す培養条件を設定した。

2022年5月より、基本ユニットによるグリーンオイル生産量 200L/回の達成に向けた培養試験を開始した。オープン培養の課題である捕食性雑菌による培養不良に関しては、複数の対策により安定培養を継続することができている。現在、当該対策を施しつつ、設定した培養条件を検証中である。



図4 大規模オープン型培養装置での培養試験状況(2022/6)

#### ③-2 基本ユニットの運用に向けた運転ノウハウの取得

基本ユニットによる培養試験を通じて、基本ユニットの運転に必要な培養手順(植菌、培養、装置洗浄、片付けなど)やメンテナンス方法(設備不具合発生時の交換手順)等の知見を取得している。

#### ④ 「太陽光の利用性向上に向けた装置開発」

光合成促進フィルム及び透過型の有機薄膜太陽電池(OPV:Organic Photovoltaics、以下 OPV)をケイ藻の培養に使用することで、太陽光の利用性を向上することを目的に試験を行った。

光合成促進フィルムを用いた試験では、室内での試験及び屋外での試験により、それぞれフィルムがない時と比較して、細胞濃度が 21.0 %及び 19.9 %増加する結果となり、ケイ藻においても光合成促進フィルムの生育促進の効果を確認した。

また、透過型の青色 OPV を用いた試験では、室内で 3 つの光強度条件で培養試験を行い、光強度が低いほど藻体濃度の増加が遅くなる結果となったが、全ての条件で培養期間終了後のオイル含有率は 40 %以上となる結果が得られた。培養時の OPV の出力は光強度に比例して増加していることから、室内での試験において発電とケイ藻の培養の両立は可能であることを確認した。この結果により、光合成に大きく寄与する波長域(青色域)をケイ藻の培養に使用し、光合成にあまり寄与しない波長域(緑色域)の光を発電に利用することで、エネルギー収支の改善が期待できると考えられる。

今後は、赤色域に対する青色域の波長の比率について藻体濃度との関連を調べ、藻体濃度が最大となる条件を明らかにするとともに、有機薄膜太陽電池と光合成促進フィルムを組み合わせた培養試験を行い、培養と発電を両立できる条件の最適化を行う予定である。

#### ⑤ 「海洋ケイ藻の光合成機能解析」

ケイ藻の藻体収量の向上を目的として、ケイ藻の光合成メカニズムを明らかにするために、生育環境因子とケイ藻の光合成活性との関係について評価を行った。試験では水温、光強度、CO<sub>2</sub> 及び窒素濃度の条件を変えて、生育速度及び光合成活性との相関関係を調べた。その結果、低温下の大気 CO<sub>2</sub> 濃度環境(0.04 %)で生育したルナリス株における光合成のボトルネックは、CO<sub>2</sub> 供給系の低温順化であることが強く示唆される結果を得た。また、油脂蓄積に直結する窒素飢餓耐性にソラリス株とルナリス株とで、対照的な強さとメカニズムの違いがあることが強く示唆された。今後は更に詳細な解析を行うことによりボトルネックを明らかにするとともに、ボトルネックの解消に向けた改変基盤の策定を行っていく予定としている。

#### ⑥ 「光合成機能と生育、オイル蓄積率の関係性解明」

(1) オイル生産性を最大化させる培養条件の設定を目的とし、ラボスケールにおいて、ソラリス株の生育とオイル含有率を評価した。高濃度 CO<sub>2</sub> (2 %) 及び光合成光量子束密度(PPFD) 140 の光強度条件におけるソラリス株のオイル蓄積率は約 40 %であった。一方で、より低い CO<sub>2</sub> 濃度(大気 CO<sub>2</sub> 濃度: 0.04 %) 及びより低い光強度(PPFD 50) 条件においても、オイル蓄積量に顕著な違いは現れないことを確認した。今後は、培養プロセスの設計に向けて、異なる CO<sub>2</sub> 通気量や光量子束密度、栄養条件における、オイル生産性の変化と光合成活性の関係について、解析を行っていく予定である。また、設計した培養プロセスについて、10m<sup>3</sup> クラスのオープン培養装置での検証を行う予定である。

(2) グリーンオイル生産の地域差について検証するために、東京農工大学(東京都小金井市)に小規模オープン型培養装置を設置し、培養を実施した。

2021 年 9 月～10 月に屋外培養を行ったところ、ソラリス株の良好な生育を確認し、試験終了後の乾燥藻体重量が約 1.3 kg、オイル含有率は 14.6 %となり、東京都小金井市においてもソラリス株の屋外培養が可能であることが示された。また、捕食性微生物についても大規模な繁殖は観察されなかつ

た。

2022年5月～6月に実施した屋外培養試験では、福岡県北九州市(電源開発株式会社)で行う培養試験と、培地の種類、培養液量等の条件を統一して試験を行った。ソラリス株は良好な生育を示し、推定バイオマス量は1.7kg(乾燥藻体重量)であったが、バイオマスのオイル含有率は18.5%となり、福岡県北九州市で行った同条件での試験結果と比較して、バイオマス生産量・オイル含有量ともに50%以下の結果となった。東京地域において、バイオマス生産量及びオイル含有率が低かった原因のひとつとして、捕食性微生物の増加が考えられるが、それ以外の要因についても今後解析を進めていく予定である。

#### ⑦「海洋ケイ藻の改変技術開発」

ソラリス株のゲノム編集に向けた組み換え用ベクターの設計及び構築が完了し、エレクトロポレーション法よりも変換効率が高かったパーティクルボンバードメント法を用いて、ベクターをソラリス株へ導入し、基礎的な検討を行っている。並行して接合伝達法についても変換効率の向上の検討を行った結果、接合伝達法の形質転換効率が最も高かったことから、遺伝子導入に接合伝達法を選択することとした。

また、ゲノム編集のターゲットとなる遺伝子の探索を行い、ソラリス株ゲノム上の集光システムを強化するタンパク質をコードする遺伝子(*Lhc* 遺伝子)として、69個の遺伝子を特定した。そのうち培養後期に最も高発現となる2個の*Lhc* 遺伝子をゲノム編集のターゲット遺伝子として選定し、現在ターゲット遺伝子をノックアウトした改良株の作出を行っている。

今後は、作出した改良株の表現型の確認、ラボスケールでの培養におけるバイオマス生産性及びオイル生産性の評価を行う予定である。

#### ⑧「副産品製造も含む SAF 製造事業の採算性検討」

##### ⑧-1 海洋ケイ藻の産生する副産品調査

SAF 製造事業の採算性検討においては、副産品も含めた事業として捉え、副産品のリストアップ、市場性や収益性について調査し、有望な副産品の安全性を評価している。

##### (1) SAF 製造事業者ニーズについて

SAF 製造事業シナリオの実現性を高めるためには、SAF 原料の供給先となる燃料製造事業者のニーズ(品質や価格、需要量等)を把握することが必要である。そこで、国産 SAF の商用化及び普及・拡大を目指す業界団体「ACT FOR SKY」(2022年3月設立)に加盟し、燃料製造事業者やエンドユーザーである航空会社とのネットワークの構築を進めていくこととした。

##### (2) 副産品の市場について

副産品として利用が期待できる物質として、高い市場価値や機能性物質として期待されるフコキサンチン、エイコサペンタエン酸、パルミトレイン酸、スクワレンの4成分に着目し、現状の生産規模や供給源、また市場規模・推移や業界構造、参入企業などから、副産品としての有望性などについて市場調査を行った。その結果、価格、参入可能性、市場規模や機能面から見た成長性などから4成分について副産品利用として有望であることが確認された。

##### (3) 株の安全性について

食油メーカーと秘密保持契約を締結した上で、ソラリス株の乾燥藻体のサンプル提供を行った。食油メーカーでは成分分析を行い、商品適用への可能性を検討している。またサブリメーカーの協力を得て、安

全性評価試験(遺伝変異原性試験、皮膚一次試験、ヒトパッチ試験)を実施し、ソラリス株は、全試験をクリア、ルナリス株は遺伝変異原性がないことを確認し、次の安全性試験を進めている。

⑨ 「CO<sub>2</sub>削減効果とエネルギー収支の試算と更なる効率化検討」

⑨-1 CO<sub>2</sub>削減効果の試算、⑨-2 エネルギー収支の試算

培養後の後段プロセス(藻体の濃縮・脱水、乾燥) に関して、プロセスの低エネルギー化を図る必要があるため、新たな遠心分離機(濃縮・脱水)及び乾燥装置の機器選定、並びに乾燥工程に自然乾燥(天日)を取り入れた低エネルギープロセスの検証を開始した。

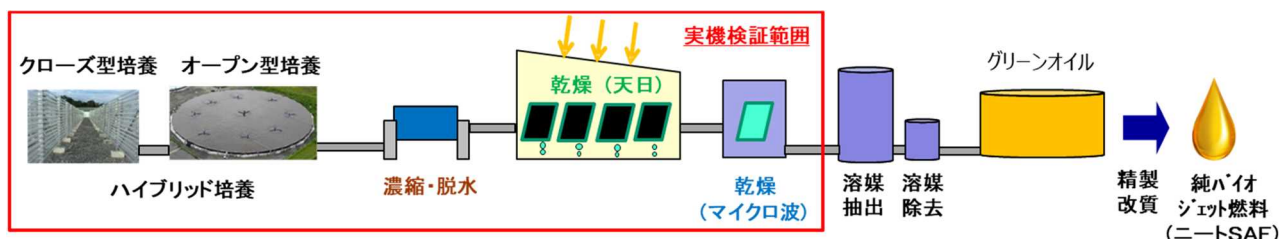


図5 微細藻類によるバイオジェット燃料(ニート SAF) 生産までの工程

(1) 自然乾燥(天日)について

乾燥工程の低エネルギー化に不可欠な自然乾燥(天日)に関して、温室内(高温、低湿度)において自然乾燥試験を実施した結果、数日でオイル抽出プロセスに必要な含水率まで乾燥できた。

(2) CO<sub>2</sub>削減効果/エネルギー収支の試算について

オイル生産プロセスでの CO<sub>2</sub> 削減効果/エネルギー収支の試算式に関して、CORSIA 適格燃料認証基準を参考とするとともに、有識者の助言を得ながら、精査を進めている。また各試算に必要な大型機器の消費エネルギーデータに関して、遠心分離機(据付準備中)及びマイクロ波乾燥装置(基礎試験実施中)により一部のデータ取得を開始している。

これまでの培養試験の結果や運用を通じて得られたノウハウ、並びにオープン型培養の攪拌に関する低エネルギー技術調査の情報をもとに、各試算値の改善に向けた検討を進めていく。

1.2 中間目標と達成度、及び 1.3 最終目標に対する進捗状況に記載の通り、各開発目標について、ほぼ中間目標を達成し、最終目標に対する進捗も計画通りであることから、今後も下記のスケジュールに基づき、開発を進める計画である。

研究開発項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度 (参考)	2024年度 (参考)
<b>【電源開発株式会社】</b>					
① クローズ型培養装置の開発	→				
② オープン型培養装置の開発	→				
③ オープン・クローズ型ハイブリッド培養装置の研究開発					
<b>【公立諏訪東京理科大学】</b>					
④ 太陽光の利用性向上に向けた装置開発					
<b>【関西学院大学】</b>					
⑤ 海洋ケイ藻の光合成機能解析					
<b>【東京農工大学】</b>					
⑥ 光合成機能と生育、オイル蓄積率の関係性解明					
⑦ 海洋ケイ藻の改変技術開発					
<b>【電源開発株式会社】</b>					
⑧ 副生品製造も含むSAF製造事業の採算性検討					
⑨ CO2削減効果とエネルギー収支の試算と更なる効率化検討					

※ 実線は委託事業、点線は助成事業



図 2 研究開発全体スケジュール

#### 1.4 参考文献

なし

## 2. 知的財産等の取得および成果の普及

### 2.1 特許

なし

### 2.2 論文

発表者	所属	タイトル	発表誌名	ページ番号	発表年月
Yoshiaki Maeda, Kahori Watanabe, Marshila Kaha, Yusuke Yabu, Tomoko Yoshino, Mitsufumi Matsumoto, Tsuyoshi Tanaka	東京農工大学、電源開発株式会社	Assessment on the oil accumulation by knockdown of triacylglycerol lipase in the oleaginous diatom <i>Fistulifera solaris</i>	Scientific Reports	20905	2021年10月22日

### 2.3 研究発表・講演(ポスター発表も含む)

発表者	所属	タイトル	学会名・イベント名等	発表年月
田中剛	東京農工大学	State-of-the-art developments in microalgal lipids toward biofuel production	2021 AOCS Annual Meeting & Expo	2021年5月5日
金子由美花、森屋星一郎、前田義昌、吉野知子、田中剛	東京農工大学大学院 工学府生命工学専攻	The physiological role and structural arrangement of the mitochondria of <i>Fistulifera solaris</i> in the oil degradation process	Molecular life of diatoms 6	2021年7月15日
Marshila Kaha, Masayoshi Noda, Yoshiaki Maeda, Tomoko Yoshino, Mitsufumi Matsumoto, Tsuyoshi Tanaka	東京農工大学大学院 工学府生命工学専攻、電源開発株式会社	Proteomic analysis of the oil bodies with different sizes in the marine diatom <i>Fistulifera solaris</i> for oil body-engineering	Molecular life of diatoms 6	2021年7月15日

松本光史	電源開発株式会社	海洋微細藻類によるカーボンリサイクル型燃料/化成品生産に向けた培養技術	(株)技術情報センター オンラインセミナー	2021年8月23日
田中剛	東京農工大学	海洋微細藻類を用いた液体燃料生産へのOMICS技術の利用	JBAバイオエンジニアリング研究会小委員会バイオエンジニアリングにおけるオミックス解析技術キックオフ講演会	2021年8月23日
松本光史	電源開発株式会社	カーボンリサイクルに向けた微細藻類の安定化培養技術開発とバイオジェット燃料生産への展開について	(株)JPI(日本計画研究所) 特別セミナー	2021年10月1日
宮森蒼太、西村恭彦、渡邊康之	公立諏訪東京理科大学, 電源開発株式会社	有機薄膜太陽電池による発電とオイル産生藻類培養の両立の検討	2021年度 一般社団法人日本太陽エネルギー学会 研究発表会	2021年11月12日
村田泰樹、西村恭彦、渡邊康之	公立諏訪東京理科大学, 電源開発株式会社	光合成促進フィルムを用いたオイル産生藻類の検討	2021年度 一般社団法人日本太陽エネルギー学会 研究発表会	2021年11月12日
田中剛	東京農工大学	オイル生産微細藻類のOMICS解析と有用物質生産への応用	第69回日本放線菌学会 学術講演会	2022年3月11日
Insaf Naser (発表者), Yusuke Yabu, Yoshiaki Maeda, Tomoko Yoshino, Tsuyoshi Tanaka	東京農工大学	"Establishment of an efficient genetic transformation system for the marine diatom <i>Fistulifera solaris</i> "	第22回マリンバイオテクノロジー学会大会	2022年5月29日
中村真維 (発表者), 渡邊かほり, 前田義昌, 吉野知子, 田中剛	東京農工大院・工	エピソーマルベクターの開発に向けたオイル高生産珪藻 <i>Fisturifela solaris</i> におけるセントロメア配列の自律複製機能の解析	第22回マリンバイオテクノロジー学会大会(ポスター発表)	2022年5月29日

## 2.4 プレス発表

発表者	所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	発表年月
松本光史	電源開発株式会社	「微細藻類からバイオジェット燃料」へ加速	フジサンケイビジネスアイ	2021年6月22日



### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

#### 1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

SAF 生産事業については、微細藻類から生産されたグリーンオイルを SAF 製造事業者へ販売することを想定している。最大 50 ha 規模の生産設備を九州地域に設置し、北九州空港などの地方空港発の国際線導入を皮切りに、本格的な事業展開を図っていく。

一方で、SAF 生産事業は単独の採算では非常に厳しく、微細藻類が産生する様々な副産物の利用も含めた 1 つの事業モデルとして捉え、微細藻類のビジネス全体の採算性を確保すべく副産物生産事業も実施する。機能性を有する高付加価値物質(フコキサンチン、EPA、スクワレン等) などを含む乾燥藻体については、サプリメントなどの食品関連事業者への販売も想定される。

#### 2)成果の実用化・事業化に向けた具体的な取組

##### (1) SAF 生産事業

SAF 生産事業シナリオの実現性を高めるためには、SAF 原料の供給先となる燃料製造事業者のニーズ(品質や価格、需要量等)を把握することが必要である。そこで、国産 SAF の商用化及び普及・拡大を目指す業界団体「ACT FOR SKY」(2022 年 3 月設立)に加盟し、燃料製造事業者やエンドユーザーである航空会社とのネットワーク構築を進めていくこととした。

##### (2) 副産物生産事業

SAF の社会実装に向けた 2030 年頃のコストターゲット達成には、安定培養、藻体生産性向上及び大規模化によるコスト低減と共に併産される副産物利用が不可欠である。そのため、将来の SAF の事業化を見据えつつ、まずは SAF の製造過程で併産される副産物を活用した化粧品や健康食品等の高付加価値製品事業に取組みながら、SAF の社会実装を目指す。

副産物として利用が期待できる物質として、高い市場価値や機能性物質として期待されるフコキサンチン、エイコサペンタエン酸、パルミトレイン酸、スクワレンの 4 成分に着目し、現状の生産規模や供給源、また市場規模・推移や業界構造、参入企業などから、副産物としての有望性などについて市場調査を行った。その結果、価格、参入可能性、市場規模や機能面から見た成長性などから 4 成分について副産物利用として有望であることが確認された。

株の安全性について、食油メーカーと秘密保持契約を締結した上で、ソラリス株の乾燥藻体のサンプル提供を行った。食油メーカーでは成分分析を行い、商品適用への可能性を検討している。またサプリメントメーカーの協力を得て、安全性試験(遺伝毒性試験、皮膚一次試験、ヒトパッチ試験)を実施し、ソラリス株は、全試験をクリア、ルナリス株は遺伝変異原性がないことを確認し、次の安全性試験を進めている。

#### 3)成果の実用化・事業化の見通し

2030 年以降の実用化・普及段階では、グリーンオイル生産として 1 ha 当たり年間約 50kL、グリーンオイルから作られるニート SAF として約 36kL 程度を想定している。2030 年に向けては、2020 年度から 2024 年度までは、基本ユニットを用いた安定化培養技術の完成を目指し、2025 年以降から 5ha 規模の実証ユニットによる運転/メンテナンス実証を行いつつ、グリーンオイル一貫生産プロセス技術開発を進める。その後は、実証ユニットの 5~10 倍規模の実用化ユニットを用いて地方空港における社会実装の実証を行い、2030 年以降の本格的な実用化を目指すことになる(表1)。

表 1 2030 年以降の社会実装を目指した生産設備規模とグリーンオイル、ニート SAF 生産量(単独生産)及び生産コストの予測

時間軸	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030~
項目	<b>今回提案PJ</b> 基本ユニット 					実証ユニット 					並列化によるスケールアップ 実用化 
培養エリア			0.7ha					~5.0ha			50ha
グリーンオイルの 想定生産量			~7kL					~260kL			~2,600kL
純バイオジェット燃料 想定生産量(年)			~4kL程度					~180kL程度			~1,800kL程度
バイオジェット燃料事業 展望イメージ	<b>社会実装に向けた前調整</b> ・グリーンオイル由来のバイオジェット燃料性状確認 ・実導入に向けたサプライチェーンの検討 ・各種法規制の対応					<b>社会実装の実現に向けた取り組み</b> ・バイオジェット燃料サンプル製造(委託製造) ・フライトまでのサプライチェーン構築 ・主に地方空港から非定期デモフライトの実施					<b>国内への社会実装</b> ・国内バイオジェット燃料製造設備 (バイオジェット燃料生産改質共通設備1基(国内)) ・サプライチェーン完成 ・2030年以降の地方、主要空港からの商用フライト
副産物利用 (藻体の多目的利用)	<b>高付加価値物質利用領域</b> ・設置した設備による高付加価値物質生産へ展開 候補物質：フコキサンチン 新規飼料(社鶏)					<b>高・中付加価値物質利用領域</b> ・基本ユニットを活用した高・中付加価値物質利用へ展開 候補物質：ハルトレイン酸(C16:1) EPA(エイコサペンタエン酸) バイオプラスチック原料 高級温床原料					<b>藻体の多目的利用領域</b> ・バイオジェット燃料生産の専用設備として活用。 ・一部の培養装置は、高・中・低付加価値物質生産 へ利用

2030 年ころまでの実証ユニット(5ha)の試験設備を用いた時点でのニート SAF 製造コスト見通しについては、ニート SAF 単独生産で約 2,000 円/L と見込んでいる。

コスト低減に向けては、N、P 源としての下水利用、培養規模の拡大に当たっては、設備償却費の低減など適切な支援などにより、2030 年度以降の実用化ユニット(50ha)としての国内生産コストは、ニート SAF 単独生産で、約 1,000 円/L 程、改質の際に併産されるバイオディーゼルやナフサを利用することにより、約 500 円/L となることを見込んでいる。さらに、副産物の利用によるコスト低減も含めて、国内で 200 円/L を目指すこととなる。

一方で、微細藻類は小規模培養でビジネス展開が見込める高付加価値物質であるフコキサンチンや、中規模培養程度でビジネス展開が見込める EPA (エイコサペンタエン酸)、界面活性剤や潤滑油などの化学原料へ利用可能な脂肪酸成分、さらに吸湿材へ転換できるグリセロールなど、培養規模に合わせて切れ目なくビジネス展開が行える副産物が生産できる。このことは、最終的な大規模培養である SAF 生産事業まで繋げられる、継続的なビジネスが行えるという強みとなる。

このように、微細藻類由来 SAF の社会実装を 2030 年とターゲットにした場合、その開発途中に、開発した培養規模毎に微細藻類の副産物を事業として成立させ、次のステップ(培養規模の拡大)へ進み、そこでも新たな事業として技術を切り出しながら、SAF 生産事業へ到達することが、現実的な道筋であると考えている。

(Ⅲ-3-3) 熱帯気候の屋外環境下における発電所排気ガスおよびフレキシブル  
プラスチックフィルム型フォトバイオリアクター技術を応用した大規模微細藻類  
培養システムの構築および長期大規模実証に関わる研究開発  
実施者:株式会社ちとせ研究所

## 1 研究開発の成果

以下に本プロジェクトにおいて計画されている各開発項目に関する進捗概要を報告する。

### 1.1. 開発項目別成果概要

#### 1.1.1. 熱帯気候の屋外環境における Photo Bio Reactor (以下、PBR) 技術および火力発電所排気ガスを利用した大規模微細藻類培養システムの構築

(計画:2022 年度内完了予定、現状:実施中)

微細藻類を用いてバイオジェット燃料原料の生産およびバイオ燃料の生産を商業的に実施するためには、微細藻類を安定的かつ大規模に生産するシステムの構築が必要である。熱帯環境下において安定的かつ大規模に微細藻類バイオマスの生産を実施する上で、従来のポンド型のシステムではなく、フラットパネル型の PBR 技術を用いた培養システムの構築が効果的である。同システムの構築のため、マレーシア、サラワク州の火力発電所隣接地において、同システムを構築する上で、その仕様、設計、施工方法、資材調達、建設、を検討し、実施している。

隣接する火力発電所排気ガスを利用する大規模微細藻類培養システムは、その仕様、設計、施工方法等を検討、決定した上、2021 年 3 月に建設が開始された。以降、現地における COVID 感染拡大による 2 度の移動制限(Movement Control Order、MCO)、ウクライナ危機、急激な為替レートの変動等の影響を受けながらも、比較的順調に設備構築が進んでいる。図1および2は、それぞれ建設開始後 5 カ月目(2021 年 8 月)および 16 カ月後(2022 年 7 月)において空撮された大規模微細藻類培養システムである。



図 1 2021 年 8 月における大規模微細藻類培養システム建設の様子。土地の造成が進んでいることが確認される。



図2 2022 年 7 月における大規模微細藻類培養システム建設の様子。研究室、機械室、各種タンク類等の建屋類の多く(図の上部に位置する赤い屋根の建屋類)が建設され、また培養設備(PBR)の建設が進んでいることが確認される。

2022 年 8 月時において、排気ガス導入システムについても、大規模微細藻類培養設備内の建設はほぼ完了し、現在隣接する発電所内の建設が進んでいる。同年 9 月に、発電所排気ガスの利用が可能にな

る予定である。

現在、建屋内の内装や、水道・電気配管、等の設置が進められており、2022 年度内には建設およびコミッショニングの完了が予定されている。また、2022 年 8 月中旬時点において、大規模微細藻類培養システムの一部および工業用 CO<sub>2</sub> を利用した初期培養運用試験が開始されている(詳細は後述)。同試験を通じて、同システムの問題点・欠陥等の確認を実施しながら、建設が進む設備に適宜修正・改善を実施している。

#### 1.1.2. 発電所排気ガスへの曝露による藻類培地および培養藻類への影響評価

(計画:2021 年度内完了予定、現状:内容・時期を修正の上、実施中)

発電所排気ガスを微細藻類培養における CO<sub>2</sub> 源として利用する上で、排気ガスが培養液や培養液中の微細藻類に与える影響を検証する必要がある。同検証を目的として、発電所排気ガスを利用した小規模培養試験を通じた検証を実施する予定であった。

当初、発電所内に数百 L 程度の小規模な微細藻類培養設備を設置し、同試験を実施予定であったが、上述した MCO や、COVID 感染拡大による長期的な施設内への立ち入り制限により、同試験は排気ガス導入システムが完了後に、大規模微細藻類培養システムの一部を用いて実施することとした。

#### 1.1.3. 大規模屋外微細藻類培養システムの運用技術開発

##### 1.1.3.1. 微細藻類種・株の選定および選定種の培養に要する商業用培地の開発

(計画:2021 年度内完了予定、現状:完了)

大規模微細藻類培養システムの安定的な運用および同システムから得られる微細藻類バイオマスの有効利用には、適切な藻類種・株および同培養に利用される商業用培地の開発が必要である。その為、同開発では、多様な微細藻類種から同目的に則した微細藻類種・株の選定、および、同微細藻類種・株を大規模微細藻類培養システム内において安定的に培養可能とする商業培地の開発が実施された。

本プロジェクトでは、2021 年度内に、マレーシア、サラワク州内にて採集および単離された *Chlamydomonas* sp. および *Chlamydomonas reinhardtii* それぞれ 1 株、および、外部ライブラリー (*Chlamydomonas* Resource Center, <https://www.chlamycollection.org/>) より購入した *Chlamydomonas reinhardtii* の 3 株を、初期培養テストにおいて利用することとした。

*Chlamydomonas reinhardtii* を選定した理由としては、

- 世界中の多くの地域で普遍的に存在する種・株であり、環境への適応性が期待できるほか、漏洩時の周辺環境への影響が少ないこと
- 古くから、*Chlorella* 属と並び、微細藻類に関する研究開発においてモデル種として利用されており、生態や培養環境に関する過去の報告が豊富なこと、
- 最適環境下において、非常に倍化時間が短く、高いバイオマス生産性が期待されること、
- 多種多様な変異株がライブラリー化されており、利用可能なこと
- 米国では GRAS 認証を得ており、そのバイオマスやバイオマス残渣の多様な用途への利用が期待されること、

等々があげられる。

上記の株を用いて、サラワク州において調達可能な主に農業規格の肥料を利用した培地開発が実施されている。同開発は、屋内外の環境下において、フラスコ規模から PBR を用いた数千 L 規模において実施されている。現在は、サラワク州において大規模に調達可能な欧州産の混合肥料および同じく単独窒素源肥料を主に利用して開発された培地が試験に用いられている。

8 月末時点において、同培地を利用した大規模微細藻類システムにおける *Chlamydomonas reinhardtii* の 1 株の培養試験では、既に数週間以上の安定的な半連続稼働が確認されており、今後生産性の一層の改善に向けた培地成分の調整および施肥・追肥方法の調整等が継続的に実施される予定である。

#### 1.1.3.2. 純バイオジェット燃料原料として利用可能な微細藻類種・株および商業用培地を利用した屋外培養方法の構築

純バイオジェット燃料原料としての微細藻類バイオマスを安定的に大規模生産する上で、上述した培養システム、微細藻類種・株、培地の選定や開発と同様に、同システムの運用方法の確立が必要である。特に、同培養システムを用いた微細藻類バイオマス生産工程において、大きなエネルギー消費を伴う CO<sub>2</sub> 供給や、品質変化を生じる可能性が大きいバイオマスの乾燥・保管方法の確立は、非常に重要である。その為、同開発においては、CO<sub>2</sub> 導入方法の変化によるバイオマス生産性等への影響評価や、収穫されたバイオマスの乾燥・保管方法の検証を含む、大規模微細藻類培養システムの運用方法の検証が実施された。

##### 1.1.3.2.1. CO<sub>2</sub> の屋内外微細藻類培養への異なる導入法による、微細藻類の成長および成分変化の評価

(計画:2022 年度内完了予定、現状:実施中)

2022 年 8 月現在、Sarawak Biodiversity Centre が有する 1,000-m<sup>2</sup> の微細藻類屋外培養設備および大規模微細藻類培養システムの一部において、上述した *Chlamydomonas reinhardtii* の 1 株を用いて同試験が継続されている。



図3 Sarawak Biodiversity Centre において、24-m 長の PBR を多数用い、各種培養試験を実施している様子。2022 年 7 月より、大規模微細藻類培養システムの一部(48m 長 PBR を多数)用いて運用確認および各種培養試験が開始された。

#### 1.1.3.2.2. 微細藻類バイオマスの純バイオジェット燃料原料としての利用、および微細藻類培養による CO2 排出削減に適した、微細藻類バイオマスの乾燥および保存方法の検証

(計画:2021 年度内完了予定、現状:完了。追加検証中)

微細藻類バイオマスを用いて、異なる多様な条件下における乾燥方法および乾燥後バイオマスの成分検証が実施された。とりわけバイオジェット燃料製造において重要となるバイオマス中の脂質成分に対する乾燥条件の影響評価試験結果例を以下の図に示す。

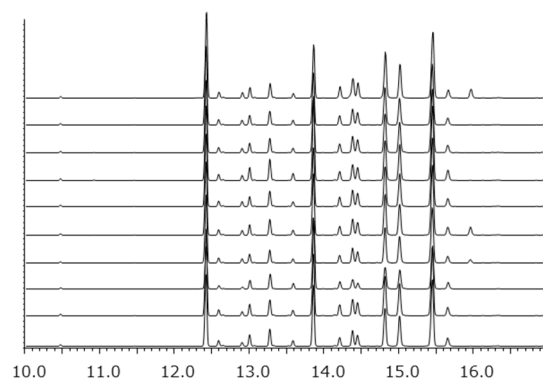


図4 条件の異なる乾燥方法による微細藻類バイオマス中の脂質成分への影響評価試験結果例

これまでのところ、想定されているような乾燥条件(数日間の熱風もしくは天日による乾燥)によって、長期保存に適した水分含有率までの乾燥および乾燥条件による極度の酸化劣化は生じないことが確認されている。

#### 1.1.4. 大規模屋外微細藻類培養の実証

1.1.4.1. および 1.1.4.2. 熱帯気候の屋外環境下における純バイオジェット燃料原料として利用可能な微細藻類種・株の火力発電所排気ガスを利用した大規模微細藻類培養の実証

1.1.4.3. 大規模実証を踏まえた TEA および LCA

(計画:2022 年度下半期に開始予定、現状:一部開始)

同開発は、大規模微細藻類培養システムの構築が完了した後、2022 年度下半期より実施予定となっているため、成果報告を割愛する。

### 1.2 中間目標と達成度

目標	成果	達成度	最終目標に対する進捗
大規模設備構築	建設中	○	○
藻類種選定他	選定完了、培養系確立、屋外試験実施	◎	◎
商業用培地の開発	選定株を用いた屋内外試験において、長期安定培養の実証	◎	◎
排気ガス曝露試験	MCO 等の影響によりスケジュールを変更	△	△
設備運用法の検証	研究室環境、SBC、新設備において継続中	○	○
大規模培養実証	既に一部開始	○	◎

×:中止 △:未達 ○:計画通り ◎:超過達成

### 1.3 最終目標に対する進捗状況

- 熱帯気候の屋外環境における Photo Bio Reactor (以下、PBR) 技術および火力発電所排気ガスを利用した大規模微細藻類培養システムの構築
  - ・ 2022年8月現在、仕様・設計に基づいた設備の建設が進んでいる。また、設備の一部を利用した初期培養試験を通じた設備の改善・修正等も実施している。今後、2022年度内の完成および全面稼働の開始を予定している。
- 発電所排気ガスへの曝露による藻類培地および培養藻類への影響評価
  - ・ 当初の予定を変更し、2022年内の設備完成後、大規模実証を通じた検証を行うこととした。
- 微細藻類種・株の選定および選定種の培養に要する商業用培地の開発
  - ・ 複数株の選定、選定株の培養系確立、屋内外環境で同株の安定培養を可能とする商業用培地の開発および実証を完了。結果、屋内外の環境下において、既存の培地と同等の成長が確認された農業規格の肥料を用いた培地調整を完了。現在、さらに同培地の改善および施肥・追肥プロセスを追加で継続中。
- CO<sub>2</sub>の屋内外微細藻類培養への異なる導入法による、微細藻類の成長および成分変化の評価
  - ・ 屋内外においてPBRを用いた試験を実施中。これまでに、屋外環境を模擬した屋内PBRを用いた試験において、十分な成長が見込まれる曝気量検証を含む、ベースラインの運用方法を確立。今後



は、同運用方法を完成後の屋外大規模設備に適用し、その再現性の検証および更なる改善を実施予定。

- 微細藻類バイオマスの純バイオジェット燃料原料としての利用、および微細藻類培養による CO2 排出削減に適した、微細藻類バイオマスの乾燥および保存方法の検証
- ・ 研究室条件下において、異なる条件の乾燥方法によるバイオマス成分の変化を検証完了。想定される乾燥条件において、バイオジェット燃料製造に利用されるバイオマス中の脂質成分に大きな影響がないことを確認。今後、同方法の改善および大規模設備での再現性検証を実施予定。
- 熱帯気候の屋外環境下における純バイオジェット燃料原料として利用可能な微細藻類種・株の火力発電所排気ガスを利用した大規模微細藻類培養の実証
- ・ 上述の通り、2022年8月現在、工業用CO2を用いた一部大規模実証が開始されている。8月中旬現在、すでにその培養規模は100m3超となっている。今後、CO2導入設備の建設完了後、排気ガスを用いた検証および実証規模の拡大を計画通り実施予定。
- 大規模実証を踏まえた TEA および LCA

#### 本プロジェクトのスケジュール

	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q
<b>1. 熱帯気候の屋外環境下においてPBR技術および火力発電所排気ガスを利用した大規模藻類培養システムの構築</b>																				
1-1. 熱帯地域での大規模屋外藻類培養システムの構築																				
1-2. 石炭火力発電所排気ガスの藻類培養設備への導入システムおよび排気ガスのモニタリングシステムの検討・構築																				
<b>2. 発電所排気ガスへの曝露による藻類増殖および培養藻類への影響評価</b>																				
<b>3. 大規模屋外藻類培養システムの運用技術の開発</b>																				
3-1. 藻類種・株の選定および選定種の培養に要する商業用培地の開発																				
3-2. 純バイオジェット燃料原料として利用可能な藻類種・株および商業用培地を利用した屋内外培養方法の構築																				
3-2-1. CO <sub>2</sub> の屋内外藻類培養への異なる導入方法による、藻類の成長および成分変化の評価																				
3-2-2. 藻類バイオマスの純バイオジェット燃料原料としての利用、および藻類培養によるCO <sub>2</sub> 排出削減に適した、藻類バイオマスの乾燥および保管方法の検証																				
<b>4. 大規模屋外藻類培養の実証</b>																				
4-1. 熱帯気候の屋外環境下における純バイオジェット燃料原料として利用可能な藻類種・株の火力発電所排気ガスを利用した大規模藻類培養の実証																				
4-2. 大規模実証を踏まえたTEAおよびLCA																				

これまでのところ、当初の予定から大幅な変更なく、軽微な修正・改善案とともに、各開発ともおおむね計画通りに実施される予定となっている。

#### 1.4 参考文献およびプレス発表

これまでのところ特になし。

#### 2. 知的財産等の取得および成果の普及

なし

### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

#### 1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

本事業において開発・実証された PBR および発電所等より得られる排気ガスを利用した大規模藻類バイオマス生産システムを利用し、藻類バイオマス生産システムの継続的な拡大を実施予定である。また、安定的な藻類バイオマス原料の供給のもとに、藻類バイオマス中に含まれる各種有用成分を利用し、バイオ燃料やバイオ化成品、食品・飼料等の多様な中間原料および商品開発の実施を予定している。藻類バイオマス原料の安定供給および藻類バイオマスを利用した多様な商品開発により、安定的な需要、供給、サプライチェーンを構築することで、環境持続性の高い新規産業の構築を推進する。

また、本事業における結果に基づくLCAやTEAの実施を通じて、大規模・安定的であるばかりではなく、よりCO2排出削減効果および経済性の改善に取り組む。

#### 2)成果の実用化・事業化に向けた具体的な取組

藻類バイオマスの生産規模拡大に向け、生産規模拡大に要する技術開発および資金調達を、公的機関および主に国内企業と共に継続して推進する。また、生産規模拡大に要する土地の確保および各種許可の取得・調整については、現在も本事業が実施される土地の現地政府と協議を継続している。

加えて、藻類バイオマスを利用した製品・商品開発として、現在多数の主に国内企業と共に、バイオ燃料、バイオ化成品中間原料、バイオ化成品製品・商品、化粧品、食品・食品添加物、飼料、等の製品開発を継続的に実施している。また、製品生産に伴うプロセスや設備の開発、およびサプライチェーンの構築に関しても主に国内エンジニアリング関連企業等と継続的に実施中である。

#### 3)成果の実用化・事業化の見通し

本事業期間中に生産される副産物としての藻類バイオマスを利用した製品開発・研究を促進し、2025年度までに一部製品のプロトタイプ開発・小規模生産実証を目標としている。また、生産規模の継続的な拡大を通じた、大規模化技術の開発および原料の安定供給実証を元に、2030年までに2000ha規模生産設備を利用した藻類バイオマスの商業生産および藻類バイオマス由来製品の上市を目標としている。

(Ⅲ-3-4) 微細藻類由来バイオジェット燃料生産の産業化とCO<sub>2</sub>利用効率の向上に  
資する研究拠点及び基盤技術の整備・開発  
実施者：一般社団法人日本微細藻類技術協会

1 研究開発の成果

1.1 背景と課題

2010年に国際民間航空機関(ICAO)において「2020年以降国際航空からのCO<sub>2</sub>総排出量を増加させない(CNG2020:Carbon Neutral Growth 2020)」という国際的な削減目標が掲げられたことを皮切りに、世界的にSAF(Sustainable Aviation Fuel)の需要が高まり続けている。近年、米国では、2030年までに110億リットルのSAF生産を行い、航空会社の排出量を20%削減すると公約が発表され、日本国内においても、2030年度に温室効果ガス排出の50%削減、2050年のカーボンニュートラルという目標をかかげ「グリーン成長戦略」が策定された。そのような背景の中、微細藻類由来のSAF生産に向けた研究開発は地道ではあるが着実に産業化への道を進んでいる。例えば、最近の米国による微細藻類生産の資源と持続可能性の評価に基づく、1,000以上の大規模な微細藻類培養拠点が建設されることで、750億リットル以上のSAFを生産することができるかと推定されている<sup>1)</sup>。これは、藻類が全国的なSAFの供給に貢献できる大きな可能性を明確に示しており、カーボンニュートラルの観点からも、産業として成り立たせる意義は非常に大きい。

以上のように、微細藻類のSAF生産を中心とした事業創出が現実感を帯びつつある中で、国内で早急に解決しなくてはならない課題として、微細藻類に特徴的な工程群を同じ条件下で比較検討するための「標準条件」を確立することが挙げられる。産業の成り立ちの歴史を紐解くと、ほとんどの領域において標準化は国際競争力を強化していく上で大きな役割を担っており、国際市場での優位性を確保する上で必須要件と言える。

米国では、藻類バイオマス機構(Algae Biomass Organization, ABO)により、藻類生産に関する試験・分析の手法やそれらの報告に用いる際に必要な指標と表記方法等についてまとめられた「Industrial Algae Measurements」が発表される等、技術標準の策定が進められている<sup>2)</sup>(Fig.1)。日本においても、微細藻類関連の研究および商業化を促進する上で、試験・分析手法の標準化や評価基準の策定等、研究基盤の整備がなされるべきである。

Cultivation Characteristics	Agency and method reference
Total suspended solids	ASTM D5907
Total dissolved organic carbon	ASTM D4129,
Total dissolved nitrogen	ASTM D3590
Volatile and semi-volatile organics	ASTM D2908
Volatile alcohols	ASTM D3695
<b>Biomass characteristics</b>	
Moisture	AOAC 930.15; AOAC 934.06
Fiber	AOAC 991.43
Ash	AOAC 942.05; AOAC 923.03
Protein	AOAC 990.03; AOAC 984.13
Carbohydrates	AOAC 986.25
Fat (total lipids)	AOAC 954.02; AOAC 920.39
Fatty acids	ISO15304M
Chlorophyll	AOAC 942.04; AOCS Cc13i-96
Total phosphorus	ASTM D5185
Total nitrogen	ASTM D4629
Sodium	AOAC 985.01
Zinc	AOAC 990.08

Figure 1 藻類手法のガイドライン

出所:Industrial Algae Measurements September2015 Version7.0 p.12

このような背景を受け、国内でも微細藻類関連技術・研究における体系化された効率的な技術開発環境の整備が急務である。すなわち、多様な、微細藻類種、環境条件、培養システム、測定・分析機器、収穫・乾燥・抽出等に関わる機器、が利用可能であり、また、標準化された手法による実証データの取得を可能とする研究拠点および技術基盤の整備は、目標の達成へ向けた体系化された効率的な技術開発において非常に重要な位置を占める。

そのため、本事業では、広島県大崎上島町において、微細藻類技術の向上を図り 2030 年頃のバイオジェット燃料生産技術に係る確実な市場形成および社会実装に資するため、様々な条件下での微細藻類種ごとの実証データ取得が可能なテストベッドを含む研究拠点を整備し、事業化にあたっての課題の解決や培養工程での CO<sub>2</sub> 利用効率を向上させるための手法の検討等を行うことを目的とする。

## 1.2 中間目標と達成度

中間目標と達成度を Table1 に示す。

Table 1 中間目標と達成度 建設部分追加

研究開発項目	目標	成果	達成度	最終目標 に対する 進捗
1)『国内基盤 研究拠点』の 整備 (1)-1. 現場検 証	・研究開発拠点建設地 において、CO <sub>2</sub> や排ガ ス配管の経路設計を始 め、大崎クールジェン 株式会社および一般 財団法人 石炭フロン ティア機構と協議を行う	・複数回の協議を実施し、建設地の 高潮、地震、大雨、台風などの対策 の必要性について議論を実施した。 CO <sub>2</sub> 配管についても、研究所側での 工事内容の調整を完了。また、島で の工事対応が可能な業者のご紹介 など、良好な関係を築き、様々なご 助言を頂戴した。	○	○
1)『国内基盤 研究拠点』の 整備 (1)-2. 環境基 礎調査	・建築する予定地周辺 環境の、環境基礎調査 を実施する。	・過去に大崎クールジェンにて大崎 上島町と制定いただいている法規制 および協定書を確認のうえ、建屋の 設計に反映させた。	○	○
1)『国内基盤 研究拠点』の 整備 (1)-3. 測量・土 壌調査	・整地や造成作業、建 築の事前調査として、 建築予定地の測量およ び土壌調査を行う。外 溝工事等の必要性等 についても併せて確認 する。	・ボーリング調査を実施し、地層構成 と土性を評価した。地層の浅い区分 に関してはやや密度が緩い構成とな っていたが、建設上は特に対処が必 要ではないことが判明した。外構工 事については不要だが、事業者を 区分するフェンスを設置した。	○	○
1)『国内基盤 研究拠点』の 整備 (1)-4. 排水、 排ガス処理手 法検討	・大崎クールジェン 株式会社と協議を行 い、排水や排ガスの処 理に関して、既存設備 との調整を行い、必要 に応じた排水タンクや 処理施設の建設・設置 を検討する。	・大崎クールジェン株式会社から現 地での排水処理規制についての情 報を共有いただき、培養試験結果か ら想定される月間の排水処理量や 規制物質の総量計算を計算し、排 水処理槽の設計を完了させた。排ガ スについては高純度のCO <sub>2</sub> ガスのた め特別な処理は不要との結論。	○	○
1)『国内基盤 研究拠点』の 整備 (1)-5. 研究拠 点	・微細藻類関連技術・ 研究における体系化さ れた効率的な技術開 発環境の整備	・2021年12月にIMAT 基盤技術研 究所の建設が完了し、竣工した。 ・研究に必要な機器を整備し、2022 年4月に開所式を執行した。総勢約	○	○

点の設計・建設		50 名の方が来所し、NEDO 弓取理事をはじめ、県庁・町長・各企業殿に参列いただいた。		
1)『国内基盤研究拠点』の整備 (1)-6. 研究体制の整備	・研究員の増員および組織体制の整備	・2022 年度は研究組織の増員を行い、2021 年度末と比較して、駐在の研究員は 4 名→12 名となった。 ・標準化を規定するうえで、IMAT に参画いただいた企業と技術委員会で決定しているが、参画企業を 9 社まで拡大した。	◎	○
1)『国内基盤研究拠点』の整備 (2). 設備の追加、定期メンテナンス	・各手法の標準化に必要な設備の追加および長期的な運用を視野に入れた、設備の定期的な保守を実施する。	・濃縮藻体液を乾燥せずに、バイオクルードを生成するめ、水熱液化装置を導入した。また、コンタミネーションを遺伝的な観点から検出するため、qPCR などの装置も導入した。	○	◎
2)標準条件の整備 (1). 標準測定・分析手法の整備	・測定、分析項目に関して、標準手法を整備する。	・バイオマス生産性の測定手法を明確にし、規格化した。 分析に関しては、総脂質量、総タンパク質、水分量、灰分量の分析手法を調査し整備を実施した。	○	○
2)標準条件の整備 (2). 標準培養条件の整備	・微細藻類種を選定し、微細藻類種ごとに、異なる培養システムを利用した培養における標準培養条件を作成する。	・論文調査を行い、米国や世界各地で幅広く研究されていることや、脂質含量から SAF に適した藻類種を選定した。また国内藻類事業者ともピアリングを行うことで、選定した藻類種の妥当性を確認した。 ・チューブ型およびフラットパネル型フォトバイオリアクタ、オープンレースウェイポンドの3基の培養システムを利用し、各培養システムを比較可能とする標準培養条件を設定した。	○	○
2)標準条件の整備 (3). 分析手法の標準化	・標準測定、分析手法の整備 で設定した分析内容について、AOAC, ISO 等の方法を参照し、標準化分析条件を整える。規格試験で対応出来ない試験に関しては、最適化	・ABO にて推奨される直接メチルエステル化の直接法と、抽出工程を挟む分析手法(JOCS などの規格法)を比較し、網羅的かつ安定的な測定手法を標準条件に設定した。また藻類種によって、分析手法に差が確認されたため、藻類種に適した最適手法の検討を行っている。	○	○

	を進める。			
3) CO <sub>2</sub> および排ガスの微細藻類培養への応用、および技術経済・環境影響分析 (1). 排ガスの微細藻類培養への応用	・整備された標準条件を用いて、排気ガスを利用した微細藻類培養試験を実施し、各標準培養条件下におけるLCA および TEA に利用可能な培養データを取得する。	・隣接する火力発電所より、排気ガス由来のCO <sub>2</sub> を供給いただき、純CO <sub>2</sub> と排気ガス由来のCO <sub>2</sub> で比較試験を実施した。バイオマス生産性に差異は確認されておらず、取得したバイオマスの成分分析を進めている。	○	○
3) CO <sub>2</sub> および排ガスの微細藻類培養への応用、および技術経済・環境影響分析 (2). LCA・TEAの実施、参照用数値の整備	・標準条件下での微細藻類培養試験を用いて、試験的なLCA, TEAデータの取得を実施する。その内容を協会内に設置する技術委員会等にて検討を行い、適正な評価体制が整っているかどうかを評価する。	・設定した標準条件を用いて、培養試験を進めている。主にマレーシアの気象環境を再現した条件で、試験を進めており、藻類ごとのデータをし得した。 ・生産したバイオマスは、収穫、乾燥、抽出、分析工程での各コストの算出を進めており、技術委員会にて検討を実施した。	○	△
3) CO <sub>2</sub> および排ガスの微細藻類培養への応用、および技術経済・環境影響分析 (3). 下流工程の選定	・収穫、乾燥、抽出工程の標準条件を設定し、最適な下流工程を選定する。具体的には、収穫工程であれば、濾過膜分離、遠心分離を比較し、濃縮率や各機器の稼働コストを算出する。	・収穫および抽出工程の一部において、標準条件を設定し、バイオマス1kgあたりの稼働コストを算出した。乾燥工程をはじめ、収穫、抽出工程の不足分は順次データの取得を進めている。	○	○
4) 産業化への課題解決	・3ヶ月以上の継続的な培養試験を行い、各工程のLCA, TEA や分析手法の最適化に活用する。	・2ヶ月間の継続培養を実施しており、長期間の培養データを蓄積している。 LCA, TEA の算出はデータ取得完了後に開始するため、経済評価等の進捗はなし。そのため達成度を△未達と記載したが、今年度内には達成予定である。	△	○

×:中止 △:未達 ○:計画通り ◎:超過達成

### 1.3 最終目標に対する進捗状況

#### 1.3.1 『国内基盤研究拠点』の整備

##### 1.3.1.1 2022 年度最終目標

微細藻類から SAF を製造する各種工程を様々な観点から技術検証が可能な研究用テストベッドの整備完了。

##### 1.3.1.2 進捗状況

各種工程を検証可能な屋内研究拠点として、広島県豊田郡大崎上島町に MAT 基盤技術研究所を建設した (Fig.2)。

培養工程に関しては、光環境や水温制御可能な 3 種の培養システム、チューブ型フォトバイオリアクタ、フラットパネル型フォトバイオリアクタ、オープンレースウェイポンド (Fig.3) を導入し、世界各地の気象条件を再現可能とした。収穫工程では、藻類の収穫において、一般的な遠心分離機および振動型分離フィルターを導入を行った。それ以外にも、一般的な膜分離や化学凝集剤による回収方法を検討可能とするため、導入を進めている。乾燥工程においては、風熱乾燥・凍結乾燥・噴霧乾燥・天日乾燥を検討可能とし、各装置の導入を実施した。抽出工程に関しては、様々な抽出方法を行うため、超臨界 CO<sub>2</sub>、水熱液化、溶媒抽出装置の導入を実施した。上記工程以外にも、コンタミネーションを遺伝的分野から検出可能とする qPCR や画像処理によってコンタミ率を算出する Flow Cam の導入を実施した。

また今後は、屋外培養環境を整備し、屋外を模倣して取得したデータと実際に屋外で培養したデータの比較および検証を予定している。



Figure 2 IMAT 基盤技術研究所



Figure 3 微細藻類培養設備

#### 1.3.2 標準条件の整備

##### 1.3.2.1 2022 年度最終目標

微細藻類由来のバイオジェット燃料生産に関わる、各種試験、測定、分析の条件および手法の標準化・規格化を確立する。



### 1.3.2.2 進捗状況

Figure 4 に分析のフローを示す。2022 年度では、微細藻類ごとの主成分(脂質、炭水化物、タンパク質)を明確にするため、標準手法の確立を実施している。

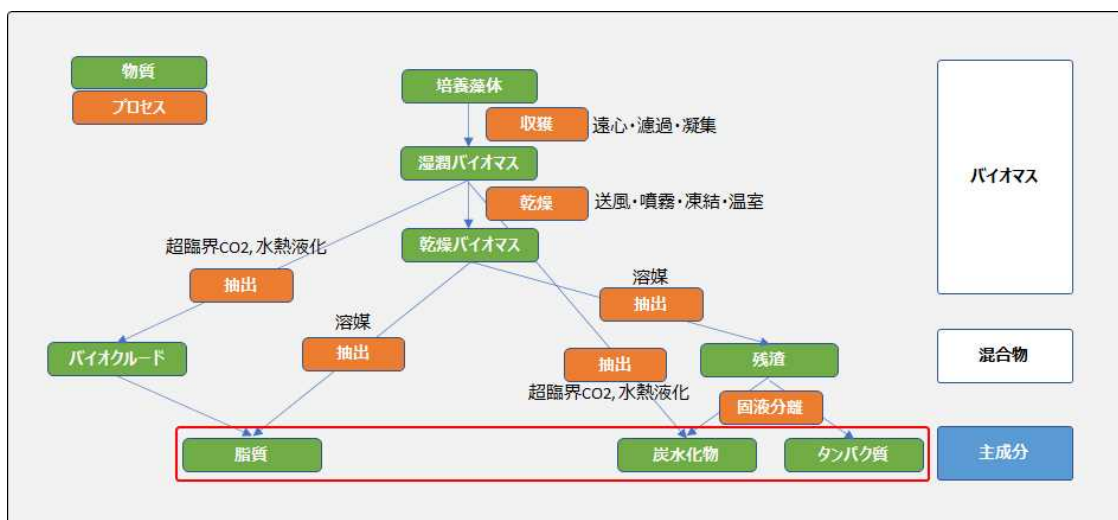


Figure 4 分析フロー

タンパク質含量測定手法に関しては、「ABO(2017) Industrial Algae Measurements」に記載の参照規格「AOAC 984.13」および「ISO 8968-1」を参照し<sup>(Tab.2)</sup>、ケルダール法を用いた抽出を行い、定量性や再現性が確認されたことから、手法の確立を完了した<sup>(Fig.5)</sup>。全脂質量に関しては、JOCS、AOAC をもとにエーテル抽出法、酸分解法の検討を進めている<sup>(Fig.6)</sup>。

Table 2 ABO 推奨規格

測定対象	ABOにて推奨されている規格	規格の概略と所見
生産量	ASTM D5907	排水処理時の検査等に準用される試験。バイオマスに関する記載もあるが、藻類種に応じて手法を変更する必要がある。
タンパク質	AOAC 990.03 AOAC 984.13	燃烧法およびケルダール法。測定手法としては妥当であるが、前処理方法の検討は必要がある。また、残渣の活用や燃料変換を考慮すると、詳細分析が別途必要。
炭水化物	AOAC 986.25	総固形分からタンパク質、脂肪、灰分を差し引きして算出する手法。直接測定する手法は提示されておらず、全有機炭素測定等による検証が推奨される。
総脂質	AOAC 954.02 AOAC 920.39	ジエチルエーテルおよび酸分解法による粗脂質量の測定。生産物に応じてAOCSなどの業界法を用いた測定が必要となる。
脂肪酸	ISO15304	油脂中のトランス脂肪酸をガスクロマトグラフィーによる分析を行うための手法。安定的な分析には、メチルエステル化等を行った手法の規格準用が推奨される。

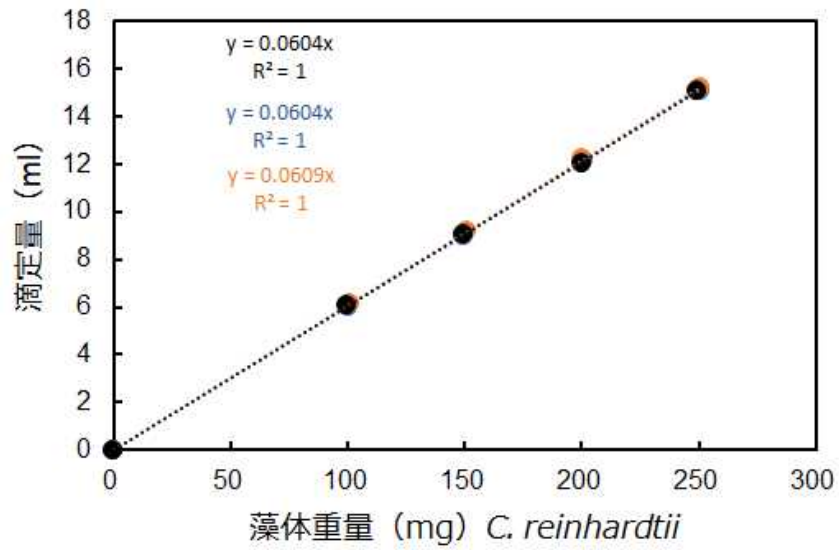


Figure 5 ケルダール法による分析結果例

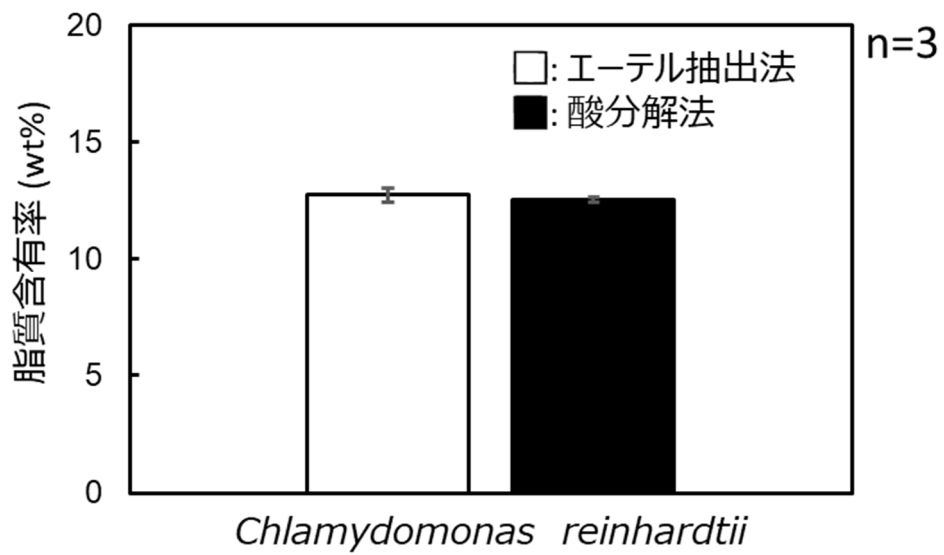


Figure 6 脂質分析手法の検討結果例

### 1.3.3 CO<sub>2</sub>および排ガスの微細総理培養への応用、および技術経済・環境影響分析

#### 1.3.3.1 2022 年度最終目標

微細藻類培養への CO<sub>2</sub>、排ガスに関する試験、および同試験結果に基づく初期技術経済・環境影響分析を実施する。

#### 1.3.3.2 進捗状況

大崎クールジェン株式会社から供給される排ガス由来の IGCC(Integrated Coal Gasification Combined Cycle) CO<sub>2</sub> ガスを用いて、純 CO<sub>2</sub> ガスとのバイオマス生産性比較試験を実施した。試験に用いた培養システムは、オープンレースウェイポンドを使用した。バイオマス生産性は、IGCC CO<sub>2</sub> ガスと純 CO<sub>2</sub> ガス試験区による差が確認されなかった。このことから IGCC CO<sub>2</sub> ガスを用いても、生産性に影響がないことが示唆されたが、得られたバイオマスの成分分析は、現在解析中のため、オイル蓄積能などに与える影響が定かでない。引き続き解析業務を進め、成分による差異がないかを確認する。

今後に関しては、検討していない培養システムおよび藻類種でも検討を行う予定である。

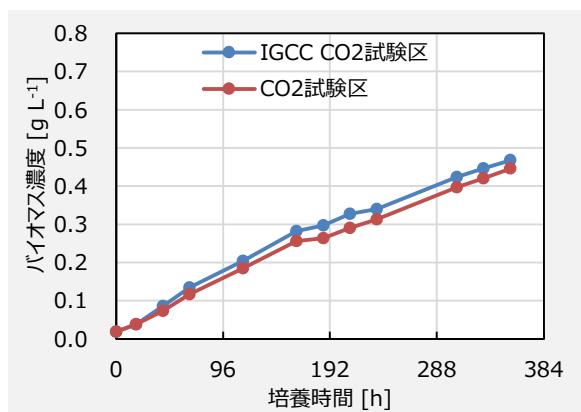


Figure 7 IGCC CO<sub>2</sub>,純 CO<sub>2</sub>ガスの比較試験

### 1.3.4 産業化への課題解決

#### 1.3.4.1 2022 年度最終目標

微細藻類の大規模実証に関する NEDO の他プロジェクトに参画する企業と協議し、2022 年度以降に実施する基本的な内容について、合意を得る。また、2022 年度からは実証試験との比較を行う前準備として、半年程度の継続的な培養試験(半連続培養試験)を行う。そこから得られたサンプルは、各工程の LCA, TEA や、分析方法の最適化等に活用し、さらに精度を高める方策を取る。

#### 1.3.4.2 進捗状況

参画した企業と月に一度、技術委員会を行い、協議を重ねている。Table 3 に、2022 年度の技術委員会実績を示す。半連続培養に関しては、継続培養試験開始に向けて、試験環境の整備が完了し、順次試験を開始予定である。

Table 3 技術委員会開催実績

技術委員会開催日	協議内容
2022年4月20日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開所式について</li> <li>・脂質分析の標準化(第3回)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-Chlamydomonas,Nannochloropsis における脂肪酸メチルの定量分析</li> <li>-GCMS における抽出物の解析</li> <li>-直接メチルエステル化手法の設定について</li> </ul> </li> </ul>
2022年5月18日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開所式のフィードバックと今後のご訪問等について</li> <li>・脂質分析の標準化(第4回)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-直接メチルエステル化手法による組成分析</li> </ul> </li> </ul>
2022年6月15日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規会員企業様のご紹介</li> <li>・培養進捗と収穫工程                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chlamydomonas,Nannochloropsis の遠心分離機による収穫コスト</li> </ul> </li> </ul>
2022年7月20日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タンパク質量測定手法の選定                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-ケルダール法、燃焼法の規格</li> <li>-全自動ケルダール分析装置による滴定結果</li> </ul> </li> <li>・脂質量測定手法の選定                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-全脂質量の測定法について 関連する規格</li> <li>-エーテル抽出法および酸分解法を用いた全脂質量の測定結果</li> </ul> </li> </ul>

### 1.3.5 事業全体スケジュール

これまでの項目を簡易的に記載した図を Fig.5 に示し、それに伴う事業の全体スケジュールを Tab.4 に示す。大幅な遅延はなく、予定通りに業務を遂行している。

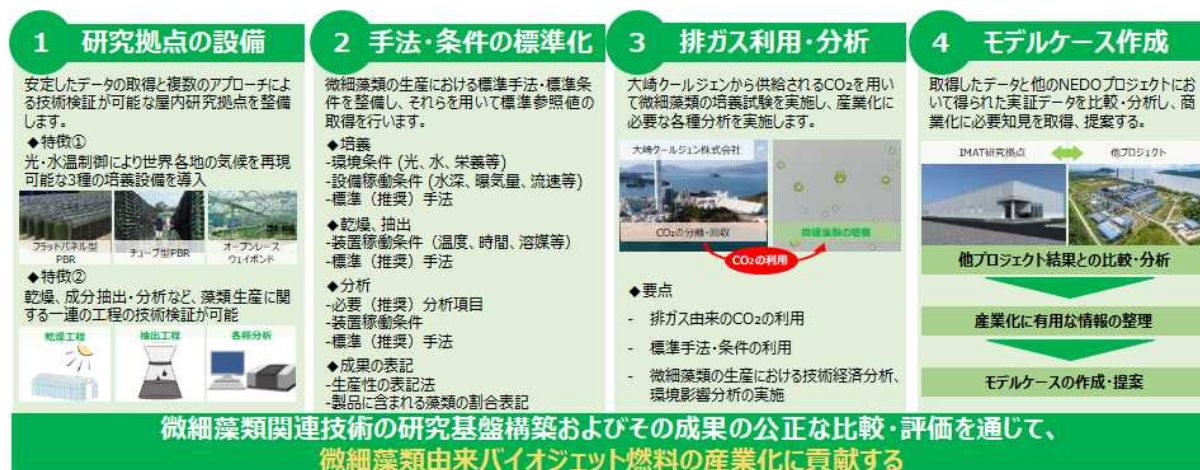


Figure 8 実施項目

Table 4 全体スケジュール

研究開発項目	2020	2021	2022	2023	2024
<b>1.「国内基盤拠点」の整備</b> ・研究拠点の設計・建設【完了】 ・設備の追加 ・拠点設備のメンテナンス	→		→	→	→
<b>2.標準条件の設定</b> ・標準測定、分析手法の整備 ・標準培養条件の整備 ・分析手法の標準化	→	→	→	→	→
<b>3.CO<sub>2</sub>および排ガスの微細藻類培養への応用および技術経済・環境影響分析</b> ・LCA, TEA ・排ガスの微細藻類培養への応用 ・下流工程の選定			→	→	→
<b>4.産業化への課題解決</b> ・実証データ比較・分析			→	→	→

#### 1.4 参考文献

1. “Algae Harmonization Study: Evaluating the Potential for Future Algal Biofuel Costs, Sustainability, and Resource Assessment from Harmonized Modeling” 2017 Technical Report
2. “Industrial Algae Measurements”2017 Algae Biomass Organization

## 2. 知的財産等の取得および成果の普及

### 2.1 特許

該当なし

### 2.2 論文

環境バイオテクノロジー学会誌、2022年22巻1号

題目:微細藻類研究における課題および微細藻類研究拠点での取組について

著者:野村純平、青柳裕之、青木慎一、田村綾子

BIOINDUSTRY、2022 年 8 月号

題目:微細藻類の産業化に向けた取り組みと IMAT 基盤技術研究所の紹介

著者:丸谷飛之、青木慎一、野村純平

### 2.3 口頭発表

発表先:JST OPERA 第11回「機能性バイオ」ミニシンポジウム(2021.7.29)

題目:IMATの紹介と研究拠点での取組について

発表者:野村純平

発表先:日本生物工学会大会シンポジウム「カーボンリサイクルに貢献する微生物」(2021.10.28)

題目:微細藻類研究における課題および微細藻類研究拠点での取組について

発表者:野村純平

発表先:次世代液体燃料シンポジウム2021 (2021.12.7)

題目:広島県大崎上島における微細藻類によるカーボンリサイクル技術の研究

発表者:野村純平

発表先:生態工学会国際シンポジウム(2022.6.24)

題目:Current Status of MicroAlgal Industries and Research Activities at Fundamental Research Center

発表者:古橋康弘、青木慎一、丸谷飛之、野村純平

### 2.4 プレス発表

・藻から飛行機燃料量産へ研究施設 21 年秋、広島県大崎上島で稼働

<https://www.chugoku-np.co.jp/articles/-/52395>

・「(一社)日本微細藻類技術協会 基盤技術研究所 開所式」開催

[https://www.nedo.go.jp/ugoki/ZZ\\_101068.html](https://www.nedo.go.jp/ugoki/ZZ_101068.html)

・【プレスリリース】IMAT 開所式

<https://imat.or.jp/%E3%80%90%E3%83%97%E3%83%AC%E3%82%B9%E3%83%AA%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%80%91imat%E9%96%8B%E6%89%80%E5%BC%8F/>

・IMAT 基盤技術研究所、微細藻類由来 SAF 実用化へ始動

<https://greenproduction.co.jp/archives/5604>

・脱炭素化へ連携確認 広島県大崎上島で知事・町長が意見交換

<https://www.chugoku-np.co.jp/articles/-/181834>

・世界に誇る日本初の技術、石炭利用に伴う CO2 をリサイクルしコンクリートやジェット燃料に・・・最前線の取り組みと分離・回収、CCS の動向

<https://www.sankei.com/article/20220829-FAIRQHATTZVTECQH7HLCTNVQ/>

## 2.5 見学者等

4月の開所式以来、屋内微細藻類研究所として注目頂き、藻類事業者をはじめ、多数の来賓者が訪れた。これまでに来賓人数は延べ203人、来賓企業数は、延べ59社となっている。

### 3.成果の実用化・事業化に向けた取組および見通しについて

#### 1)成果の実用化・事業化に向けた戦略

本事業では、建設された建屋を活用し、微細藻類培養・分析に関する標準化手法の確立と技術経済・環境影響分析の実施を行う。その後、大規模実証に関する NEDO の他プロジェクトにおいて得られた結果と比較・検証し、微細藻類由来バイオジェット燃料製造プロセスのモデルケース設計を実施することが最終目標である。そこで、本プロジェクトにおける成果の実用化に関しては、日本国内の微細藻類事業者の意見・技術の集約の場として、微細藻類の産業利用と関連技術の発展、事業創出の支援を目的とする。具体的には、Tab.5 に示すように、世界各地の気象を再現した気象条件×微細藻類種×培養システム×収穫工程×乾燥工程×抽出工程を経由した際の生産コストを算出する。それにより、各事業者は、藻類の生産コストや収支、または技術経済・環境影響分析を簡易に実施することが可能となる。また藻類事業を参入するにあたり、本事業で確立された標準手法および技術を流用できるため、容易に藻類産業への参入がしやすい。

Table 5 バイオマス生産コスト

気候条件	規格		プロセス (別表)	目的産物	培養規模 (ha)	CO <sub>2</sub> 吸収量 (g/ha)	生産コスト (円/ha)
	微細藻類種	培養システム					
熱帯	藻類A	ORP	A	燃料	1	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>
熱帯	藻類A	ORP	A	燃料	10	a <sub>2</sub>	b <sub>2</sub>
熱帯	藻類A	ORP	A	燃料	100	a <sub>3</sub>	b <sub>3</sub>
熱帯	藻類A	ORP	A	燃料	1000	a <sub>4</sub>	b <sub>4</sub>
熱帯	藻類A	ORP	B	燃料	1000	a <sub>5</sub>	b <sub>5</sub>
熱帯	藻類A	ORP	C	燃料	1000	a <sub>6</sub>	b <sub>6</sub>
熱帯	藻類A	ORP	C	色素	10	a <sub>7</sub>	b <sub>7</sub>
熱帯	藻類A	ORP	C	飼料	10	a <sub>8</sub>	b <sub>8</sub>
熱帯	藻類A	ORP	E	化粧品原料	10	a <sub>9</sub>	b <sub>9</sub>
乾燥	藻類A	T-PBR	A	燃料	100	a <sub>10</sub>	b <sub>10</sub>
国内	藻類B	FP-PBR	A	燃料	100	a <sub>11</sub>	b <sub>11</sub>

#### 2)成果の実用化・事業化に向けた具体的な取組

実用化・事業化に向けた取組に関しては、国内の藻類産業支援を目的としているため、取得したデータおよび技術が実証試験との乖離性について、各企業と協議することで精度の向上に取り組んでいる。例えば、世界各地の気象条件を再現し、屋内でデータを取得しているが、取得したデータが屋外で培養した実証試験との差異を追求する。また、参画いただいた企業と協議することで、実証試験の運用方法も、即しているかを確認した。

さらに、一般社団法人日本微細藻類技術協会の認知度を向上すべく、対外的活動の強化を進めている。具体的には、展示会への出展(Bio Japan 2022 への出展)、広島大学での講演予定、日本生物工学会や次世代液体燃料シンポジウムでの講演など、対外的活動を実施している。また広島県庁とも密に連携しており、地元地域産業や湯崎県知事のご来所など、対外的活動の輪を拡げている。そのため、2022年度の4月からの8月までの見学企業者数は、延べ50社以上を超えた。

#### 3)成果の実用化・事業化の見通し

国際航空運送協会(IATA)によると、世界のSAF需要の見通しは、2020年の世界SAF生産量60千kL(ジェット燃料需要の0.03%)に対して、2050年では、449百万kLまで拡大する見込みとなっている



(Fig.9)。また日本国内においても、ANA ホールディングス・日本航空が発表したように日本のジェット燃料需要見通しでは、国内の SAF 需要が 2020 年の商用生産ゼロに対し、2030 年には国内ジェット燃料の 10%を SAF に置き換えることを目標としている (Fig.10)。

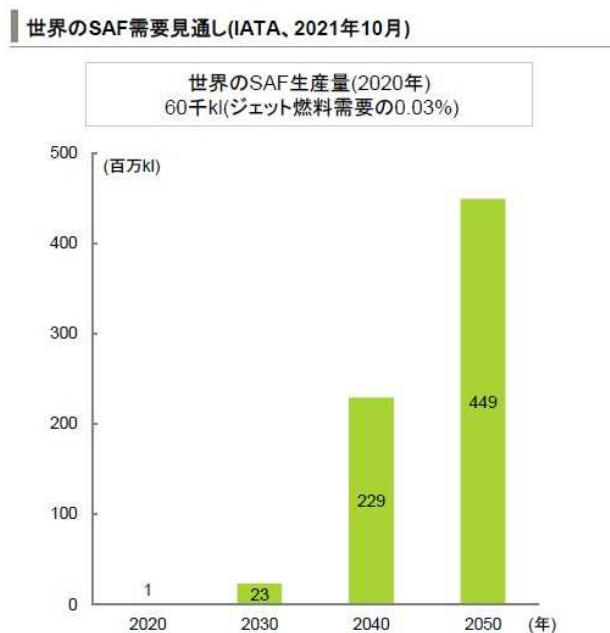


Figure 9 世界の SAF 需要見通し

出所:持続可能な航空燃料(SAF)国産化に向けた取組と事業機会 株式会社三井住友銀行 p.6

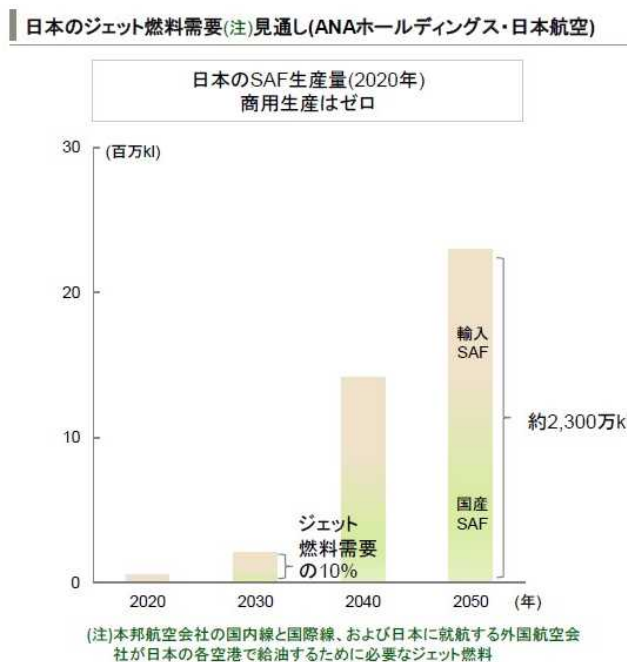


Figure 10 日本ジェット燃料需要の見通し

出所:持続可能な航空燃料(SAF)国産化に向けた取組と事業機会 株式会社三井住友銀行 p.6

上述したように、SAFにおける需要は高まっており、特に微細藻類由来のSAFは非常に注目度が高いが、国内で微細藻類でのSAF生産の事業化を目指している事業者は多くはない。その要因は、研究成果や開発状況を協議するための場の不足や環境影響評価や技術経済分析を行うための標準が定まっていなことに集約される。本事業を通して、国際的に認証される水準の評価基盤を整えることで、産業への後押しが期待される。また、広島大学をはじめとした研究機関との協業の計画も複数件あがっており、産学連携の後押しを行う体制も整いつつある。以上のように、評価基盤の確立と産学連携のハブとして本事業を推進することで、国内における微細藻類由来SAFの事業化に大きく貢献できると想定される。



微細藻類については、カスケード利用の検討や培養実証を本事業が終了する 2024 年度までに実施する。その後はロードマップに沿って 2030 年に向け大規模商用生産技術を開発し SAF 製造コストダウンを目指す。研究拠点の IMAT は、2024 年度までに標準条件の設定を実施する。

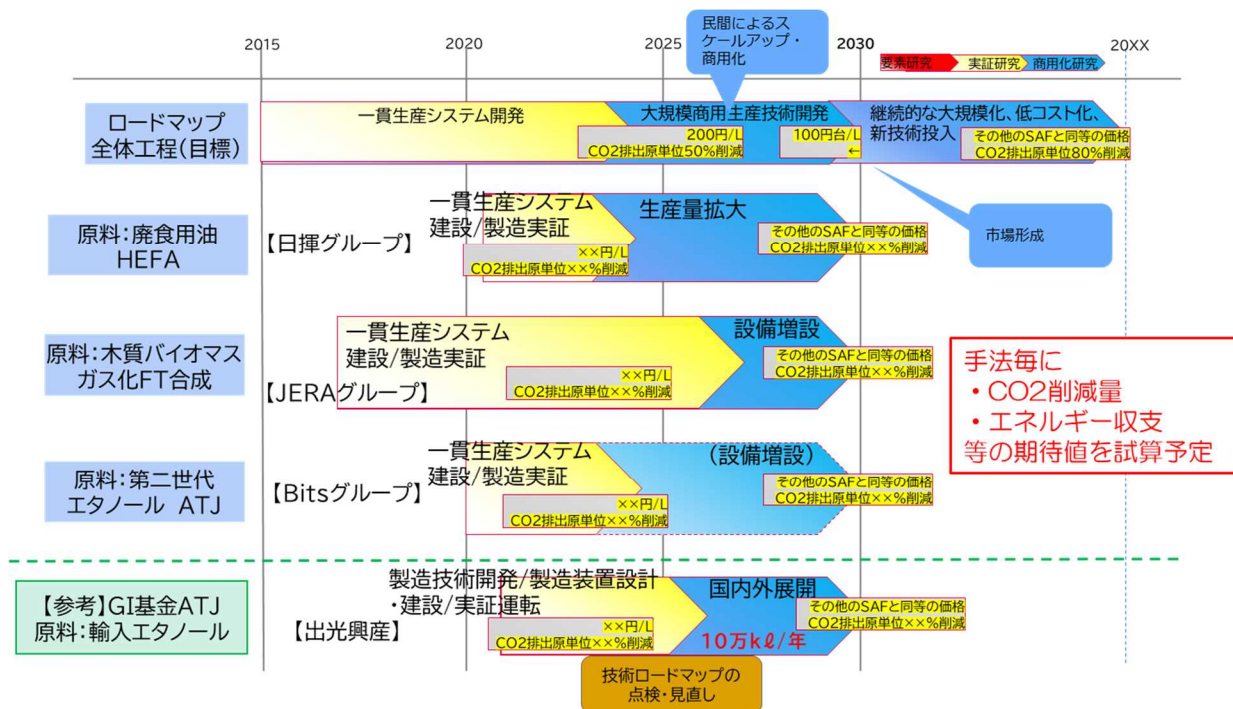


図2 微細藻類ロードマップ

実用化・事業化に向けて、石油元売り、空港、航空会社も巻き込んで、SAF 製造側の供給サイドと、需要サイドで連携することが重要である。NEDO は技術開発支援のみならず、2022 年度に設置された、SAF 官民協議会製造・供給 WG に構成員として参画し SAF の実用化に向けて、必要な検討を行う。製造・供給に係る技術開発の支援の検討のみならず、国内事業者による国産 SAF の CORSIA 適格燃料登録・認証が必要な準備(データ取得等)支援の検討も行う。本事業後半に向けてサプライチェーン構築のさらなる推進を進めるとともに、フライトへの試験的提供や継続的な成果発信により SAF に対する社会的理解・受容を促進する。

2027 年の ICAO による CO2 排出削減の義務化を経て、国内でもバイオジェット燃料市場が形成され、2030 年頃には、着実に実用化・事業化が進みその後の普及拡大につながる事が期待される。

(添付資料)

プロジェクト基本計画



## 「バイオジェット燃料生産技術開発事業」基本計画

新エネルギー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

世界の航空輸送部門では、今後も拡大する航空需要予測を背景に、地球温暖化対策や石油価格変動に対するリスクヘッジの確保が業界としての大きな課題となっている。国連専門機関である国際民間航空機関(ICA0)は、長期的な低炭素化目標を策定し、その達成にバイオジェット燃料の導入が不可欠としている。また、製造コストが十分経済的になれば、石油価格変動に対するリスクヘッジとしても有効であることから、バイオジェット燃料導入に対する期待は世界的にも高まっており、今後市場規模が拡大すると予測されている。

しかしながら、現状バイオジェット燃料は市場形成途上にあり、特に製造コスト削減については世界共通の課題となっている。加えて、実用化に向けては、製造に係る化石エネルギー収支や温室効果ガス排出削減効果の向上を実現し、かつ経済性が成立する製造技術の開発が必須となる。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO」という。)では「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業(以下「戦略的次世代プロジェクト」という。)」において液体バイオ燃料製造の要となる基盤技術(バイオマスガス化や微細藻屋外大規模培養等)開発において優れた成果を得た。次の段階として、これら基盤技術を組合せた一貫製造プロセスにおけるパイロットスケール検証試験が不可欠であり、その成果を基に純バイオジェット燃料製造技術を 2030 年頃までに商用化するべく、安定的な長期連続運転や製造コストの低減などを実現していく必要がある。

さらに 2030 年頃までの商用化のためには、純バイオジェット燃料の一貫製造技術の確立とともに、原料の調達や製品の供給を含めたサプライチェーンの構築も視野に入れた実証を経て社会実装を図ることで、当該分野における市場を形成していくことが重要である。

## ①政策的な重要性

2008 年 5 月に決定し、2013 年 9 月に改定された、「環境エネルギー技術革新計画、各技術項目のロードマップ」の対応として、経済成長と温室効果ガスの排出削減を両立するためには革新的技術の活用が必要不可欠であり、我が国が国際的にリーダーシップをとって、開発と普及を促進していくことが求められている。バイオジェット燃料製造技術は、経済産業省による「エネルギー関係技術開発ロードマップ」(2014 年 8 月)において、2030 年頃の実用化を目標とする技術として位置づけられている。また、2016 年 5 月に閣議決定された「科学技術イノベーション総合戦略 2016」においても、バイオ燃料の研究開発は「重きを置くべき取組」として位

置付けられており、2050 年に向けた長期的視野に立ち、開発を推進していくことが重要となっている。

さらに、第 6 次エネルギー基本計画(2021 年 10 月閣議決定)において、2050 年カーボンニュートラル実現に向けた課題と対応、2030 年に向けた政策対応が掲げられ、その一環としての SAF(持続可能な航空燃料)の技術確立とコスト低減を実現するための技術開発、大規模実証を実施することが求められている。

## ②我が国のバイオジェット燃料生産技術開発状況

国内では、微細藻類由来バイオ燃料製造技術等の開発が経済産業省及び NEDO による委託事業(戦略的次世代プロジェクト:2010 年度から 2016 年度)として進められた結果、屋外 1,500m<sup>2</sup> の試験プラントでのバイオ燃料用微細藻類の培養に成功しているが、燃料生産までの一貫製造技術については未だ実証されていない。なお、戦略的次世代プロジェクトでは、バイオマスのガス化・液化技術(以下「BTL\*」という。)等のバイオ燃料製造技術開発についても検討している。

また、2020 年のオリンピック・パラリンピックにおけるバイオジェット燃料の導入を見据え、経済産業省及び国土交通省主導で、エアライン、空港運営会社、石油元売り会社、バイオ燃料製造技術開発企業等より構成される検討委員会(2020 年オリンピック・パラリンピック東京大会に向けたバイオジェット燃料導入に向けた道筋検討委員会)が 2015 年 7 月に設置され、2016 年 8 月にアクションプランが策定される等、周辺環境整備等を含めた検討が進められている。

\* BTL(Biomass to Liquids)

## ③世界のバイオジェット燃料生産技術開発取組状況

現在、航空機燃料は石油由来の炭化水素を用いている。ICAO は、航空分野の 2020 年以降の温室効果ガス排出量増加分をゼロとする目標を 2016 年 10 月に正式に策定し、バイオジェット燃料の導入を促進している。加えて各国政府レベルでは、石油価格の変動リスクの低減及び自給率の向上といったエネルギーセキュリティへの対応がバイオジェット燃料導入の重要な動機となっている。米国では、米国連邦航空局が、2018 年から米国内で、民間用代替ジェット燃料使用量を年間 10 億ガロン(約 380 万 k リットル)とする目標を掲げている。

欧米では非可食油糧作物(カメリナ等)の由来するバイオ燃料製造技術を確立し、空港におけるエアライン供用のジェット燃料供給設備への導入を 2016 年より開始した(米国ロサンゼルス空港(ユナイテッド・ターミナルのみ))。加えて、米国では BTL 技術の一つであるガス化・FT 合成によるバイオ燃料製造技術及び、バイオアルコールからの炭化水素変換によるバイオ燃料製造技術等について 2020 年以降の事業化運転に向けてプラントの建設等が進められている。

さらに 2018 年 4 月には国際的な純バイオジェット燃料の規格 ASTM\* D7566 の Annex5 にエタノールから純バイオジェット燃料を製造する技術(ATJ 技術\*)が追加認証されており、また登録申請中 Annex を考慮すると、製造方法の多様化、商業化の加速が推測される。



\* ASTM(米国試験材料協会):

American Society for Testing and Materials International

\*ATJ 技術:

Alcohol to JET

#### ④本事業のねらい

バイオジェット燃料製造技術を2030年頃までに実用化し、利用促進・普及を通じて、2030年以降の更なる航空分野における二酸化炭素等の温室効果ガス排出量を削減するため、ガス化・FT合成技術や微細藻類培養技術、ATJ技術等のバイオジェット燃料製造技術開発を行い、2030年頃までに商用化が見込まれる製造プロセスを確立する。

#### (2)研究開発の目標

##### ①アウトプット目標

ガス化・FT合成技術や微細藻類培養技術、ATJ技術等のバイオジェット燃料製造技術開発を行い、2030年頃までに商用化が見込まれる製造プロセスを確立する。

##### ②アウトカム目標

本事業によりバイオジェット燃料の市場形成を支援、促進することにより、2030年頃に、バイオジェット燃料製造技術の実用化を実現することで、ジェット燃料の使用に起因する温室効果ガス排出量の削減に貢献する。

(参考)温室効果ガス排出削減率50%のバイオジェット燃料が100万キロリットル/年導入された場合、温室効果ガスは二酸化炭素換算で123万トン/年削減と想定される。

##### ③アウトカム目標達成に向けての取組

商用規模のプラントに展開できるデータやノウハウが取得でき、物質収支、化石エネルギー収支及びコストの試算や事業の計画ができる規模での実証運転の結果として、製造コスト、化石エネルギー収支、温室効果ガス削減率等を算出して、純バイオジェットが燃料規格(ASTM D7566)に適合するバイオジェット燃料製造のプロセスやサプライチェーンを構築する。

#### (3)研究開発の内容

上記目標を達成するために、別紙1の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。なお、本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術または革新的技術に対して、航空機由来の温室効果ガス排出量削減の実現(温室効果ガス50%減)に向け、世界の潮流を見越してバイオジェット燃料の製造技術の確立を目指すものであり、大きな社会的意義及び便益がありながらも、研究開発成果が直ちに市場性と結び付かない公共性の高い事業であるため、委託事業及び助成事業として実施する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャーにNEDO新エネルギー部矢野貴久主任研究員を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

本研究開発は、NEDO が、単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等の研究機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない)から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

NEDO は研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は効率かつ効果的な方法を取り入れることとし、外部有識者及び業界関係者等で構成する技術検討委員会等の意見を運営管理に反映させる他、プロジェクトの進捗について研究開発実施者から報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、2017 年度から 2024 年度までの 8 年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDOは技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を 2020 年度および 2022 年度、事後評価を 2025 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。

## 5. その他重要事項

### (1) 研究開発成果の取り扱い

#### ① 成果の普及

本研究開発で得られた研究成果については NEDO、委託先とも普及に努めるものとする。

## ②標準化施策等との連携

標準化(本事業では純バイオジェット燃料規格認証取得を指す)については、2028 年にかけてのバイオジェット燃料製造の基盤生産技術確立やサプライチェーン構築に合わせ、ASTM 等の国際規格認証機関における動向調査を行うとともに、規格認証の新規取得及び変更が必要と考えられる場合、委託先や助成先に申請を促すなどの取組を積極的に行なう。

## ③知的財産権の帰属、管理等の取扱い

本研究開発で得られた研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

## ④知財マネジメント

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

## ⑤データマネジメント

本プロジェクトは、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針(委託者指定データを指定しない場合)」を適用する。

## (2) 基本計画の見直し

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

## (3) 根拠法

本事業は「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 号ロ、第 4 号、第 9 号、第 10 号」に基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 2017年2月、制定。
- (2) 2017年11月、プロジェクトマネージャーの交代により改定。
- (3) 2019年1月、(別紙1)研究開発計画の2. 研究開発の具体的内容(1)一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験に FS 検討実施に係る一文追加。
- (4) 2019年7月、プロジェクトマネージャー役職変更、および和暦から西暦への統一による改定。
- (5) 2020年3月、研究開発項目の追加、事業期間延長による改訂
- (6) 2020年6月、プロジェクトマネージャーの変更による改訂

(7)2022年4月、プロジェクトマネージャー役職変更による改訂

(8)2022年6月、プロジェクトマネージャーの変更による改訂

## (別紙 1) 研究開発計画

### 研究開発項目「バイオジェット燃料生産技術開発事業」

#### 1. 研究開発の必要性

バイオジェット燃料製造技術は、経済産業省による「エネルギー関係技術開発ロードマップ」(2014年8月)において、2030年頃の実用化を目標とする技術として位置づけられている。バイオジェット燃料製造技術の実用化に資する技術である、BTL、微細藻類由来バイオ燃料製造技術等の次世代バイオマス利用技術について技術開発を実施するとともにサプライチェーンモデルを構築することにより早期市場形成に資する。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### (1) 一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験

本事業では、これまで培われた要素技術を組み合わせつつ、化石エネルギー収支や温室効果ガス削減にかかる環境性の確保に加え、経済性を具備した一貫製造プロセスの工業化システムの実現が必須となる。この基本技術を確立させるべく、パイロットフェーズでの検証試験を行う。

代表例として、BTL、微細藻類由来バイオ燃料製造技術について記す。なお、スケジュールについては、別紙2参照。

##### ① 微細藻類

微細藻類からの燃料油製造の実用化に向けて、化石エネルギー収支・温室効果ガス排出量削減率の改善及び経済性の確保が可能な一貫製造プロセスの工業化システムを実現する必要がある。本事業では、10,000m<sup>2</sup>程度のパイロットスケール設備を構築し、安定的な大量培養、藻類の回収・脱水乾燥にかかる設備の低コスト化や、化石エネルギー収支改善や温室効果ガス排出量削減にかかる使用エネルギーの効率化に取り組む。

##### ② BTL

BTL 製造の実用化に向けて、一般の商用石油プラント並みの連続安定運転を実現し、経済性を向上させていく必要がある。本事業では数t/日程度のパイロットプラントの連続運転試験を通じてデータを取得し、商業機に不可欠な連続安定運転を可能とする基盤技術の確立に取り組む。

##### (2) 実証を通じたサプライチェーンモデルの構築

想定する将来の製造規模を技術的に実現し得る純バイオジェット製造技術を軸に、将来の商用化を見据えた規模での実証事業等を実施し、サプライチェーンモデルを構築する。その際に明らかになった個別の技術課題に関しては技術開発により得られる結果をフィードバックすることでサプライチェーンの確立を加速する。

### (3) 微細藻類基盤技術開発

純バイオジェット燃料 (ASTM D7566 規格準拠) の製造および二酸化炭素吸収を主眼に微細藻種の選定、育種や多様な培養方法について将来の商用化を検討するのに十分な規模での大量培養技術を実証し、事業化における必要性に応じ副製品製造も組み合わせたカーボンリサイクル技術を確立する。

### (4) 技術動向調査

ICAO による航空業界における温室効果ガス排出削減の義務化を 2027 年に控え、カーボンリサイクル技術ロードマップとの整合を図りつつ、短期的に 2025 年、中期的に 2030 年、長期的に 2050 年までの微細藻類技術の指針を示す。また、今後のバイオ燃料の早期市場形成、サプライチェーン構築に資するため、国内外の最新技術開発状況、将来の市場形成のための業界動向調査、サプライチェーン構築における課題、燃料規格や法規制に係る ICAO 等関係機関における協議、ライフサイクルアセスメント、温室効果ガス等を指標とする、バイオジェット燃料の持続可能性評価基準に関する最新情報及び、バイオジェット製造に係る周辺プロセスのコスト情報、利用における事例や現実的な課題等を整理し当該分野における方向性を示すことで、本事業への展開を図る。

## 3. 達成目標

### (1) 一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験

#### ① 中間目標

2030 年頃の実用化に向けて、原料から純バイオジェット燃料 (ASTM D7566 規格準拠) 生産までの安定的な一貫通貫製造技術及び製造コスト低減に資する技術を開発し、バイオジェット燃料安定供給に不可欠となる我が国独自の生産技術を確立する。

具体的には、パイロットスケール一貫通貫製造設備で、ASTM 認証規格相当の純バイオジェット燃料を 20 リットル/日以上、延べ 300 日/年以上で製造可能な運転技術を確立する。多様な純バイオジェット製造技術のうち先行する HEFA 技術\*によるバイオジェット燃料価格に対し競争力のある製造コスト、価格を実現する道筋を示す。

\*HEFA 技術: Hydroprocessed Esters and Fatty Acids

#### ② 最終目標

中間目標を達成した上で、確立した原料から純バイオジェット燃料 (ASTM D7566 規格準拠) 生産までの安定的な一貫通貫製造技術及び製造コスト低減に資する技術を基に、具体的な事業化を想定した計画を提示する。

### (2) 実証を通じたサプライチェーンモデルの構築

#### ① 中間目標

想定する将来の製造規模を技術的に実現し得る純バイオジェット製造技術を軸に、将来の商用化を見据えた規模での実証等の実施体制を組織し、実証設備の設計・建設に着手する。

#### ②最終目標

想定する将来の製造規模を技術的に実現し得る純バイオジェット製造技術を軸に、将来の商用化を見据えた規模での実証等を通じて、原料から純バイオジェット燃料生産、ジェット燃料との混合、エアライン等利用者への供給までのサプライチェーンモデルを構築し、具体的な事業化を想定した計画を提示する。

多様な純バイオジェット製造技術のうち先行する HEFA 技術によるバイオジェット燃料価格に対し競争力のある製造コスト、価格を実現するとともに、従来の化石由来ジェット燃料に対する温室効果ガス削減効果等の環境影響評価や原料調達の持続可能性について ICAO 等の規制の動向と照らし評価する。

### (3) 微細藻類基盤技術開発

#### ①中間目標

微細藻類技術の課題を整理し、それを解決する手段を提案、実施体制を組織し、将来の商用化を検討するのに十分な規模での実証の計画や共通基盤を設営に着手する。

#### ②最終目標

純バイオジェット燃料 (ASTM D7566 規格準拠) の製造および二酸化炭素吸収を主眼に微細藻種の選定、育種や多様な培養方法について大量培養技術を将来の商用化を検討するのに十分な規模で実証し、副製品製造も組み合わせたカーボンリサイクル技術を確立する。また、商用化に際して共通の課題等を解決すべく、我が国における微細藻類技術の向上を図るための共通基盤を設置し、課題解決、ナレッジを集約することで微細藻類技術普及の加速を図る。

### (4) 技術動向調査

#### ①中間評価

カーボンリサイクル技術ロードマップや既存の微細藻類ロードマップの整理ならびに国内外の微細藻類技術調査について、実施体制を組織し、調査・整理に着手する。また、国内外の最新技術開発状況、将来の市場形成のための業界動向調査、サプライチェーン構築における課題、ICAO 等関係機関における協議、ライフサイクルアセスメント、温室効果ガス等を指標とするバイオジェット燃料の持続可能性評価基準に関する最新情報及び、バイオジェット製造に係る周辺プロセスのコスト情報、等を調査、整理するための実施体制を組織し着手する。

#### ②最終評価

カーボンリサイクル技術ロードマップとの整合を図りつつ、短期的に 2025 年、中期的に 2030 年、長期的に 2050 年までの微細藻類技術の指針を示す。

国内外の最新技術開発状況、将来の市場形成のための業界動向調査、サプライチェーン構築における課題、燃料規格や法規制に係る ICAO 等関係機関における協議、ライフサイクルアセスメント、GHG 等を指標とする、バイオジェット燃料の持続可能性評価基準に関する最新情報及び、バイオジェット製造に係る周辺プロセスのコスト情報、利用における実例や現実的な課題等を調査、整理し、当該分野の方向性を示す。



(別紙2) 研究開発スケジュール

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度
一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験	設計・構築		運転技術確立					
			FS調査	燃料サンプル提供				
実証を通じたサプライチェーンモデルの構築				設計・構築・運転技術確立				
微細藻類基盤技術開発				設計・構築・運転技術確立				
技術動向調査	国内外技術開発動向、政策・規格動向等調査				国内外技術開発動向、政策・規格動向等調査 指針策定			
評価				中間評価		中間評価		