

2021年度成果報告会

契約件名 バイोजェット燃料生産技術開発事業/ 技術動向調査/ 微細藻類技術によるバイोजェット燃料実用化に係る 技術ロードマップの策定

(株)三菱総合研究所
令和3年10月

問い合わせ先
株式会社三菱総合研究所
永村知之、河岸俊輔
E-mail: nagamura@mri.co.jp,
kawagisi@mri.co.jp
TEL: 080-6771-9093(永村)、
080-8017-6306(河岸)

事業概要

1. 期間

開始 : 2020年12月

終了(予定): 2021年8月

2. 最終目標

バイオジェット燃料生産を主軸とする微細藻類技術に係る新たな技術ロードマップを策定することで、今後の航空事業での温室効果ガス排出抑制に資すること

3. 成果・進捗概要

既存の研究・技術開発状況のレビュー、実用化に至るビジネスモデルの検討、ワーキンググループでの検討等を行い、2030年度までの技術ロードマップ案を策定し、提言を行った。

目次

1. 既存の研究・技術開発状況のレビュー
2. 実用化に至るビジネスモデルの検討
3. 技術ロードマップ案の検討

1. 既存の研究・技術開発状況のレビュー

既存の研究・技術開発状況のレビュー方法

①既存事業の結果の整理(国内／国外)

- 既存のロードマップ(COCNロードマップ等)と比較し、残された研究開発課題を明らかにするため、実施済みまたは実施中の事業について、技術課題やその進捗について文献に基づき基礎的な情報を整理した。

②アンケート調査

- 藻類培養から燃料生産に至るまでの各フェーズ・分野における重要技術に関して、有識者及び業界団体を対象にしたアンケート調査を実施した。

③ヒアリング調査

- NEDO実証事業を実施している4社に対し取組実態や目標達成可能性等に関するヒアリングを実施した。

調査対象とする既存事業

	事業者名	事業名	事業期間
1	微細藻燃料開発推進協議会	—	現在も継続中
2	藻類産業創成コンソーシアム	—	現在も継続中
3	NEDO	戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業	2010～2016年度
4	NEDO	バイオジェット燃料生産技術開発事業	2017～2024年度
5	つくば国際戦略総合特区	Project3 藻類バイオマス	現在も継続中
6	JST-OPERA	低CO2と低環境負荷を実現する微細藻バイオリファインリーの創出	2010～2012年度

各種ロードマップにおいて掲げられる目標

RM名	公開日	目標時期	コスト	GHG削減	生産量	備考
米国 MYPP2016	2016年	2022年	<藻類バイオ燃料> 3USD/GGE (87円/L) ¹⁾	—	<バイオ燃料中間体> 5,000ガロン/エーカー・年 (4.7L/m ² ・年) ³⁾	段階ごとのプロセス開発を想定
		2025年	—	—	同上	統合プロセス開発を想定
米国 2021 peer review	2021年	2023年	—	—	<乾燥藻類バイオマス> 30t/エーカー・年(7.4kg/m ² ・年) ³⁾ <変換収量> 80GGE/藻類バイオマス1t (304L/藻類バイオマス1t) ³⁾	—
		2030年	MFSP(最低燃料販売価格):2.5ドル/GGE (72円/L) ¹⁾	—	—	—
EU Strategic Energy Technology (SET) Plan	2016年	2020年	70€以下/MWh (90円/L) ²⁾	—	—	—
		2030年	35€以下/MWh (45円/L) ²⁾	—	—	—
COCN 微細藻類燃料の技術開発ロードマップ	2012年 3月6日	2020年	既存の水素化バイオ燃料コスト(現状では120円/l(1ドル80円前提))と同等以下	バイオエタノールのLCAでガソリン比50%削減と同等	<培養> 10~1000kL/年 <水素化/異性化> 1000kL/年	—
カーボンリサイクル技術ロードマップ	2019年 6月7日	2030年	バイオジェット燃料: 100~200円/L	LCAで現行プロセス(原油由来)半減以下	生産率 75L-oil/日・ha	—

1) 1ガロン3.8L、1USD=110円とした換算に基づく

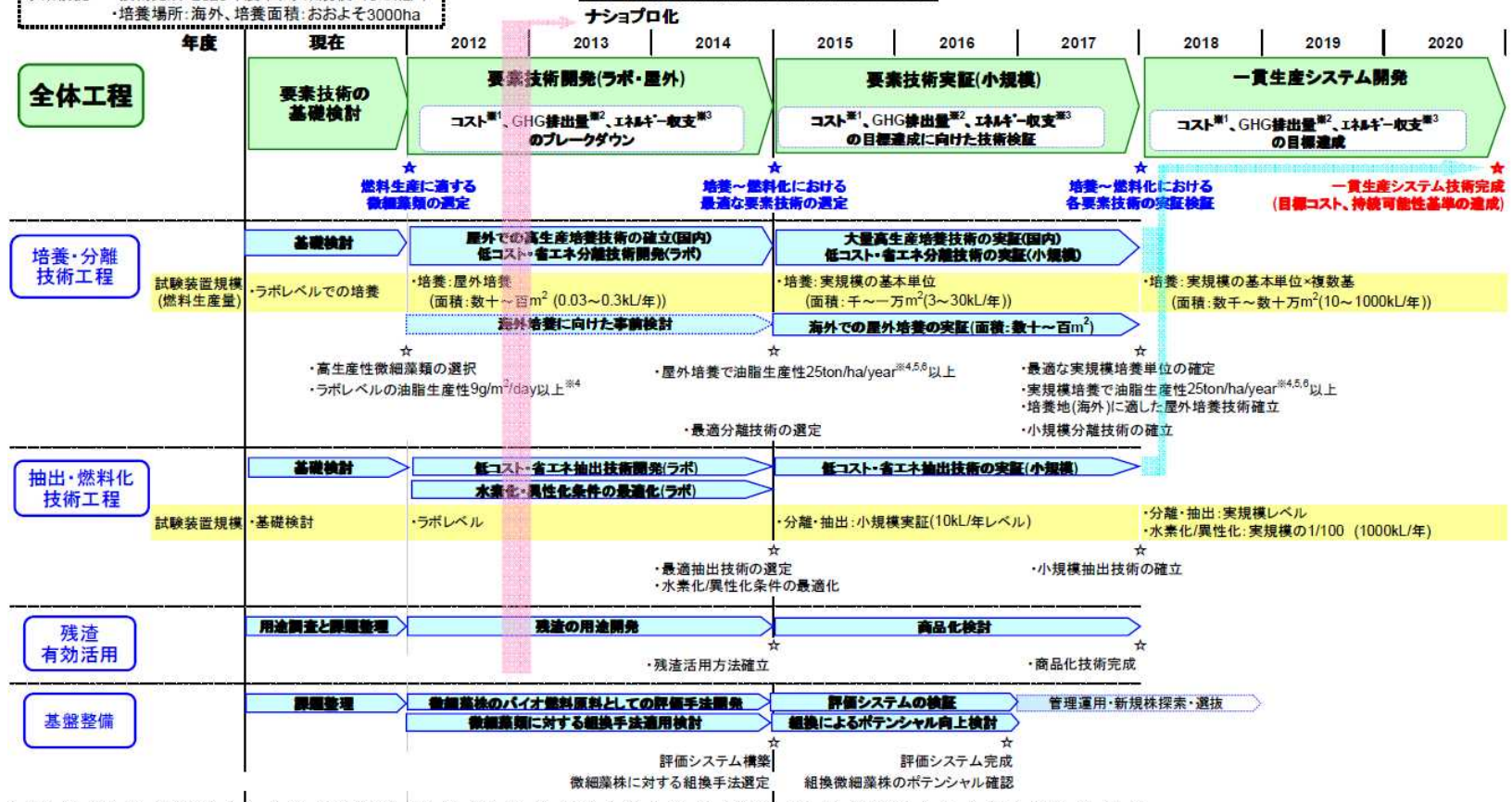
2) 1€=130円、1MWh=101.1L(IEA基準の1MWh=0.086toeに基づく)とした換算に基づく

3) 1ガロン3.8L、1エーカー=4047m²とした換算に基づく

(参考)COCN 微細藻類燃料の技術開発ロードマップ(2012年3月6日)

事業前提
・技術完成:2020年度末、事業規模:10万kL/年
・培養場所:海外、培養面積:おおよそ3000ha

表2 微細藻類燃料の技術開発ロードマップ



※1 事業化時の目標コストは既存の水素化バイオ燃料(現状では120円/L(1ドル80円前提))※7コストと同等以下とする。

※2 エネルギー供給構造高度化法では、バイオエタノールのGHG排出量はガソリン比で50%以上の削減が求められており、微細藻類からのバイオ燃料も同等とする。

※3 経済産業省「バイオ燃料革新技術計画」の技術革新ケースにおいて、バイオエタノールはエネルギー収支2.0以上を目標としており、微細藻類からのバイオ燃料も同等とする。

※4 光合成による独立栄養培養条件。

※5 比較として、植物で油脂生産性の高いパーム油における油脂生産性は6ton/ha/年程度。

※6 目標達成へのブレイクダウンによっては、油脂生産性の目標値について見直される場合もある。

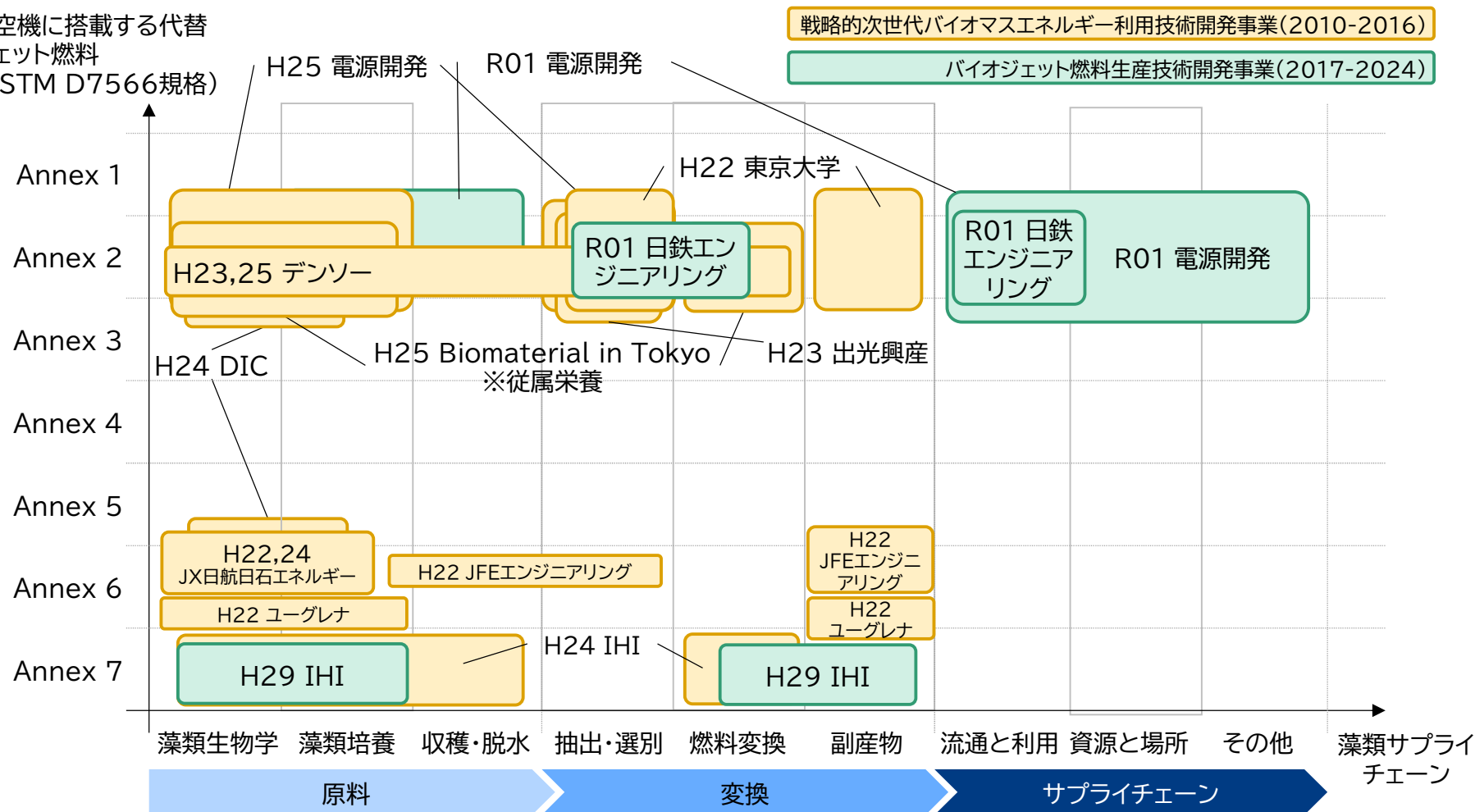
※7 The Outlook for Sustainable Aviation Fuels. John Cooper. BP plc Transport Energy Policy Sept 2011より。今後変動する可能性あり。

出所)産業競争力懇談会(COCN)「微細藻類を利用した燃料の開発」、<http://www.cocn.jp/report/thema38-L.pdf> <2021年3月15日閲覧>

既存研究のマッピング

(ASTM D7566Annex × 米国ロードマップの藻類バイオ燃料サプライチェーン)

航空機に搭載する代替
ジェット燃料
(ASTM D7566規格)



既存研究のマッピング (COCNの藻類バイオ燃料サプライチェーン 1/2)

	~2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
全体目標	要素技術の基礎検討	要素技術開発(ラボ・屋外)			要素技術実証(小規模)			一貫生産システム開発		
試験装置規模	ラボレベルでの培養 分離・抽出・水素化/異性化:基礎検討	培養:屋外培養(面積:数十~百m2 (0.03~0.3kL/年)) 分離・抽出・水素化/異性化:ラボレベル			培養:実規模の基本単位(面積:数千~一万 m2(3~30kL/年)) 分離・抽出:小規模実証(10kL/年レベル)			培養:実規模の基本単位×複数基(面積:数 千~数十万m2(10~1000kL/年)) 分離・抽出:実規模レベル 水素化/異性化:実規模の1/100(1000kL/年)		
培養 (1/3)	ラボレベルでの高生 産性微細藻類の選定	屋外での高生産性培養技術の確立(国内) (面積:数十~百m2)			屋外での高生産性培養技術の確立(国内) (面積:数十~百m2)			実規模の基本単位×複数基での培養技術 の実証(海外)		
	H22 ユーグレナ【ラボ】									
	H22 JFEエンジニアリング【ラボ】		H24 神戸大学【ラボ】							
	H24 JX日鉱日石エネルギー【ラボ】									
	H23 デンソー【ラボ】									
				H25 デンソー【ラボ】						
				H24 JX日鉱日石エネルギー【ラボ】						
				H24 IHI【ラボ⇒小規模】				H29 IHI【小規模⇒大規模】		
				H25 Biomaterial in Tokyo【ラボ】						
				H25 電源開発【ラボ⇒小規模】				R01 電源開発【大規模】		
培養 (2/3)	ラボレベルでの高生 産性微細藻類の選定	低コスト・省エネ培養装置技術の確立			低コスト・省エネ培養装置の実証			実規模の基本単位×複数基での培養技術 の実証(海外)		
	H22 ユーグレナ【ラボ】									
			H24 JX日鉱日石エネルギー【ラボ】							
			H25 デンソー【ラボ】							
			H24 IHI【ラボ⇒小規模】				H29 IHI【小規模⇒大規模】			
			H25 Biomaterial in Tokyo【ラボ】							
			H25 電源開発【ラボ⇒小規模】				R01 電源開発【大規模】			
培養 (3/3)	ラボレベルでの高生 産性微細藻類の選定	海外培養に向けた事前検討			培養地(海外)での屋外培養の実証(面積: 数十~百m2)			実規模の基本単位×複数基での培養技術 の実証(海外)		
			H24 IHI【ラボ⇒小規模】				H29 IHI【小規模⇒大規模】			

既存研究のマッピング (COCNの藻類バイオ燃料サプライチェーン 2/2)

	~2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
全体目標	要素技術の基礎検討	要素技術開発(ラボ・屋外)			要素技術実証(小規模)			一貫生産システム開発		
分離	基礎検討	低コスト・省エネ技術の確立(ラボ)			低コスト・省エネ技術の実証(小規模)			大規模実証		
	H22 東京大学、東京瓦斯【ラボ】								R01 電源開発【大規模】	
			H24 IHI【ラボ⇒小規模】				H29 IHI【小規模⇒大規模】			
			H25 デンソー【ラボ】							
抽出	基礎検討	低コスト・省エネ技術の確立(ラボ)			低コスト・省エネ技術の実証(小規模)			大規模実証		
	H23 出光興産【ラボ】		H25 電源開発【ラボ⇒小規模】							
燃料化	基礎検討	水素化/異性化条件の最適化(ラボ)								
	H23 出光興産【ラボ】		H25 Biomaterial in Tokyo【ラボ】		H29 IHI【小規模⇒大規模】					
			H25 デンソー【ラボ】							
残渣有効活用	用途調査と課題整理	残渣の用途開発			商品化検討					
	H22 ユーグレナ【ラボ】									
	H22 JFEエンジニアリング【ラボ】									
	H22 東京大学【ラボ】									
基盤整備	課題整理	微細藻株のバイオ燃料原料としての評価手法開発 微細藻類に対する組換手法適用検討			評価システムの検証 組換によるポテンシャル向上検討		管理運用・新規株探索・選抜			
		H24 JX日鉱石エネルギー【ラボ】								

アンケート調査の実施概要・調査対象者

● 対象者

- NEDO事業に参画している研究機関・企業
- JST/OPERA 機能性バイオ共創コンソーシアムに参画している研究機関・企業
- 藻類産業創成コンソーシアムに参画している研究機関・企業
- 日本微細藻類技術協会(IMAT)に参画している研究機関・企業
- その他、関連する研究機関・企業等

● 実施形態

WEBアンケートまたは書面にて回答(内容は同一)

● 実施期間

2021年4月～5月

● 配布数・回答数

配布数:69機関 82名

回答数:27機関 29名

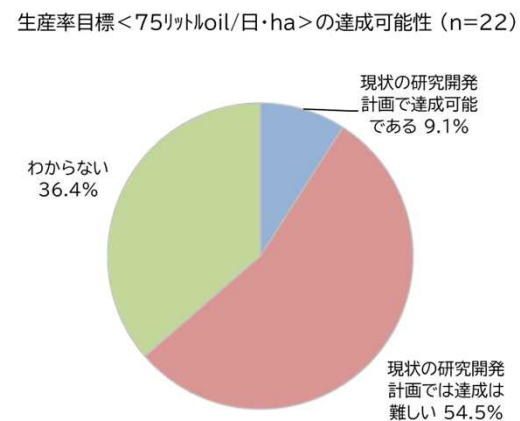
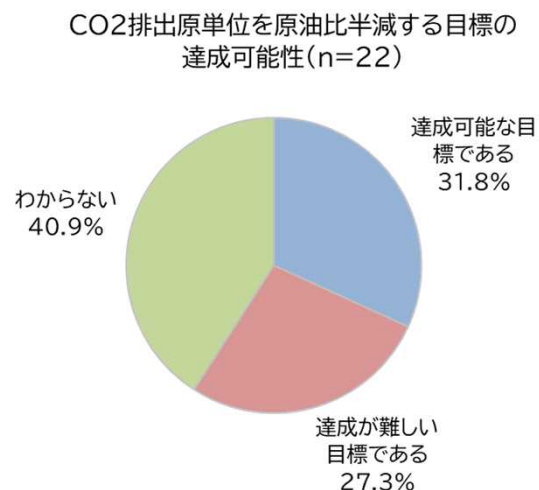
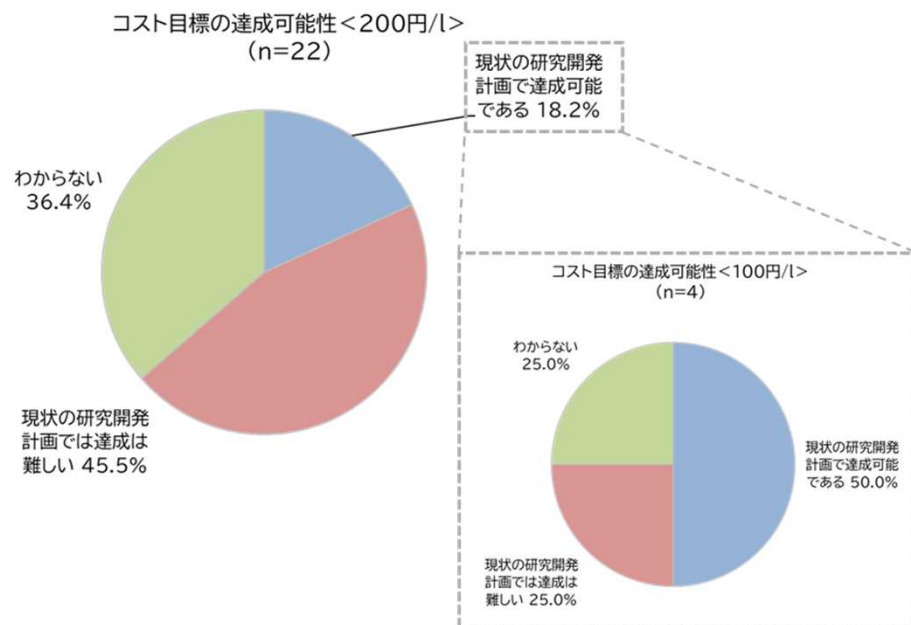
回収率(人数ベース):35.4%

● 回答数内訳

種別	回答数
民間企業	15
大学	12
団体等	1
不明(無記名)	1
合計	29

カーボンリサイクル技術ロードマップの目標の実現可能性

- アンケート結果からは、カーボンリサイクル技術ロードマップで提示された目標の実現可能性について、CO₂排出原単位、コスト、生産率のいずれも「達成が難しい」という回答の割合が最も多かった。



バイオジェット燃料の生産に有望と考えられる技術(1/2)

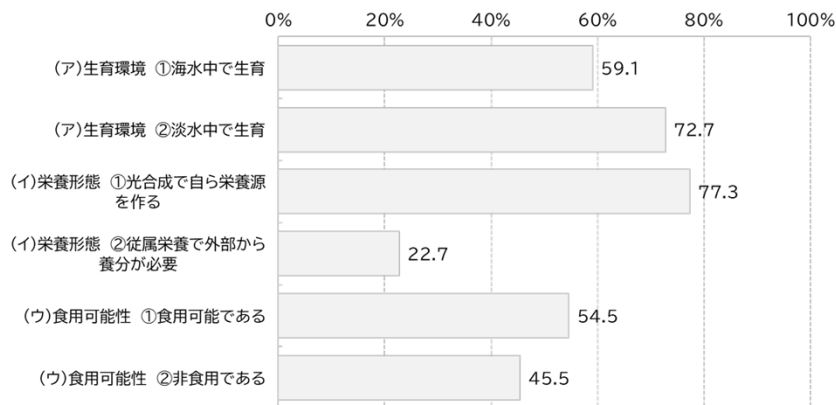
- アンケート結果より、有望と考えられる工程の組み合わせは以下のとおり。

藻類株の属性: 淡水中で生育、独立栄養、可食

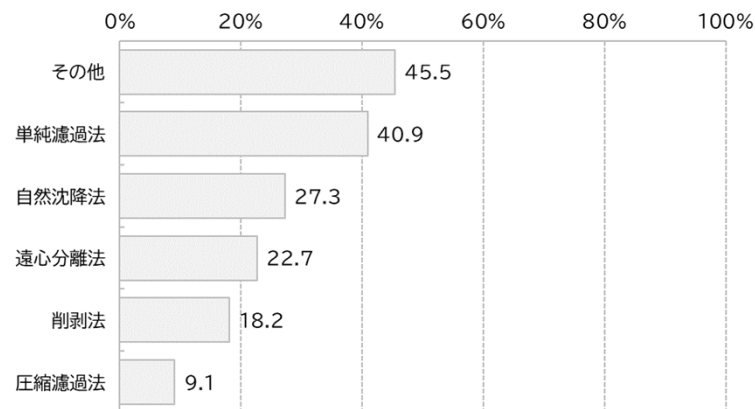
培養システム: 開放系

回収方法: 単純濾過法 ※その他としては「自然沈降法と濾過法の複合」「膜分離」等

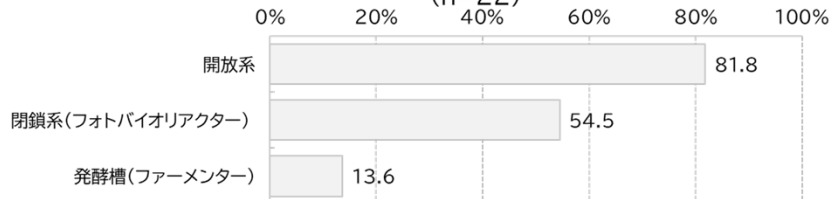
バイオジェット燃料の生産に有望と考えられる藻類株の属性
(n=22)



バイオジェット燃料の生産に有望と考える回収方法
(n=22)



バイオジェット燃料の生産に有望と考えられる培養システム
(n=22)



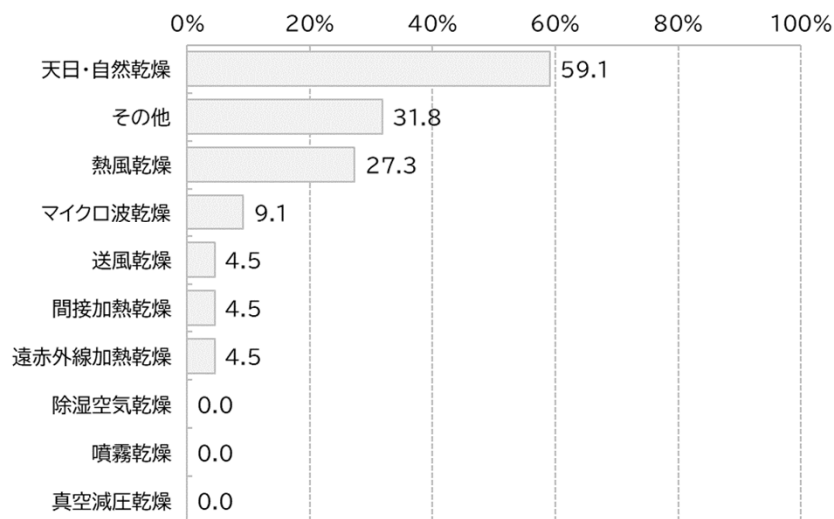
バイオジェット燃料の生産に有望と考えられる技術(2/2)

- アンケート結果より、有望と考えられる工程の組み合わせは以下のとおり。

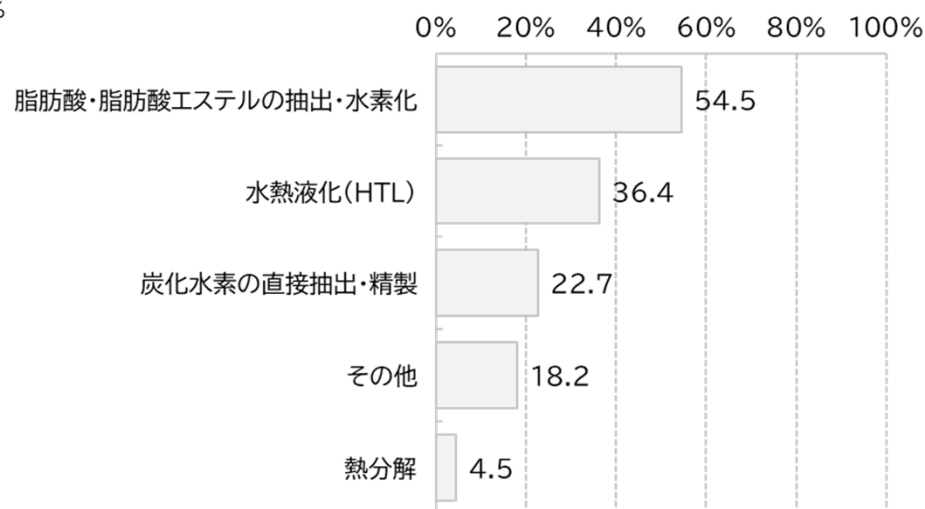
脱水・乾燥方法：天日・自然乾燥

抽出・燃料変換方法：HEFA

バイオジェット燃料の生産に有望と考える脱水・乾燥方法
(n=22)



バイオジェット燃料の生産に有望と考える抽出・燃料変換方法
(n=22)



重要課題と注力すべき要素技術

- アンケートの結果から、分野ごとの重要課題として以下が得られた。

分野	重要課題
藻類生物学	◎開放池(オープンポンド)生産の健全性(生態学捕食者衝突)に関する理解の増進 ○潜在的生産株における異種遺伝子発現のための分子ツールボックスの開発と進歩 ○遺伝子組換え生物の安全性の理解促進、政策的管理
藻類培養	◎商業規模での頑健で安定した培養の実現 ◎新たな培養システムの検討 ○土地、水及び栄養分の使用における持続的かつ費用対効果の高い管理 ◎CO ₂ 供給手法・条件の検討 ●ベンチスケールの実験から大規模なプロセス開発スケールへ、収率を予測する能力の向上
回収・脱水	◎工業的に適切な規模での回収、脱水、乾燥技術の開発と実証 ◎工業的に適切な規模での回収および脱水技術の経済性、持続可能性等の評価 ◎資本コストと運用コストの削減 ●複数の回収アプローチ(例えば、沈降、凝集、溶存空気浮揚、濾過、遠心分離、および機械化された海藻の回収)の検討 ●長期運転における既存および新規の回収および脱水技術の性能の検討
燃料変換	◎あらゆる規模での燃料回収に関連した副産物回収の検討と理解
副産物(残渣の用途開発)	・付加価値化学物質の特定と評価 ・副産物・回収最適化 ◎家畜・養殖用飼料、○高タンパク食品、◎バイオプラスチック原料、●その他(使用する微細藻類の特徴に合わせた用途開発)

注1) ヒアリング対象の事業者4社とそれ以外に分けてクロス集計を行い、以下のように分類した。

◎: アンケート全体の回答数上位3件且つヒアリング対象事業者からも複数回答があった課題、●: ヒアリング対象事業者から複数回答があった課題、○: アンケート全体の回答数上位3件、.: その他ヒアリング対象事業者からの回答やWGでの議論を踏まえ重要なもの

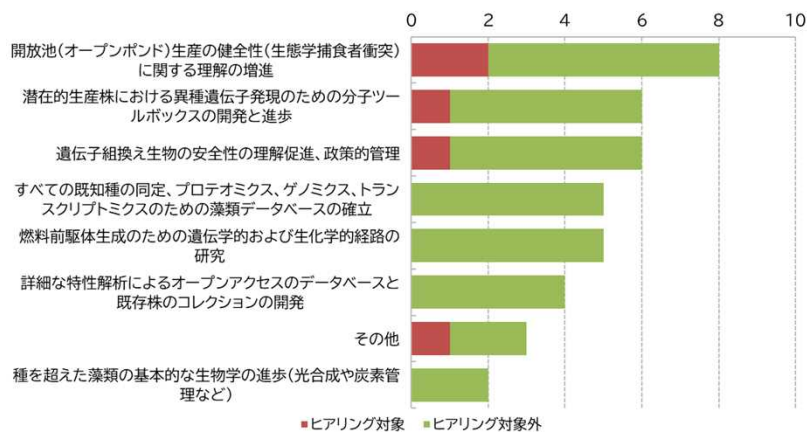
注2) ④燃料変換技術は回答数が少なく(n=4)多数の選択肢に分散しているため、2名から回答があった選択肢1種類のみを取り上げた。 15/29

(参考)重要課題と注力すべき要素技術 アンケート結果(1/2)

- ヒアリング対象の事業者4社とそれ以外に分けたクロス集計結果は以下のとおり。

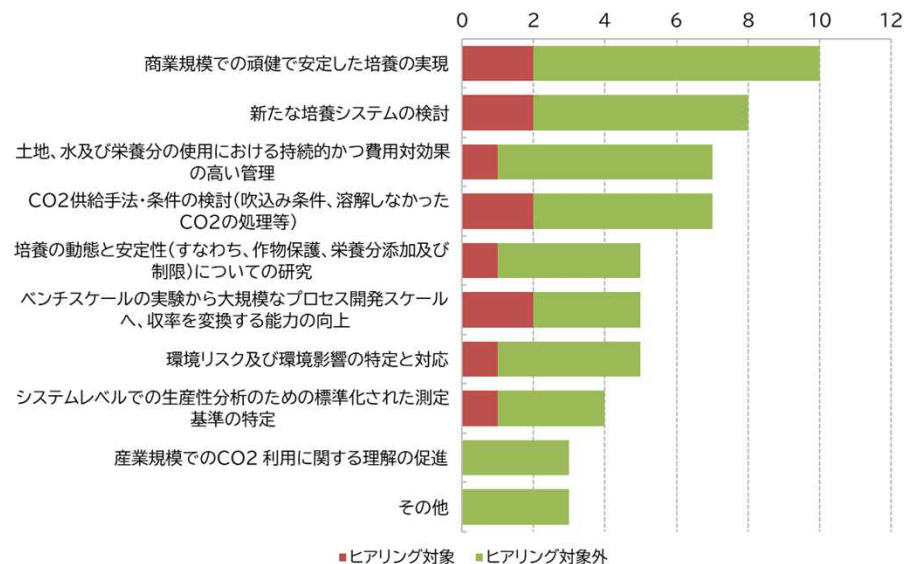
①藻類株の開発

Q22で回答された水準を達成するために今後解決すべき重要な課題
(n=16)



②培養システム

Q32で回答された水準を達成するために今後解決すべき重要な課題
(n=17)

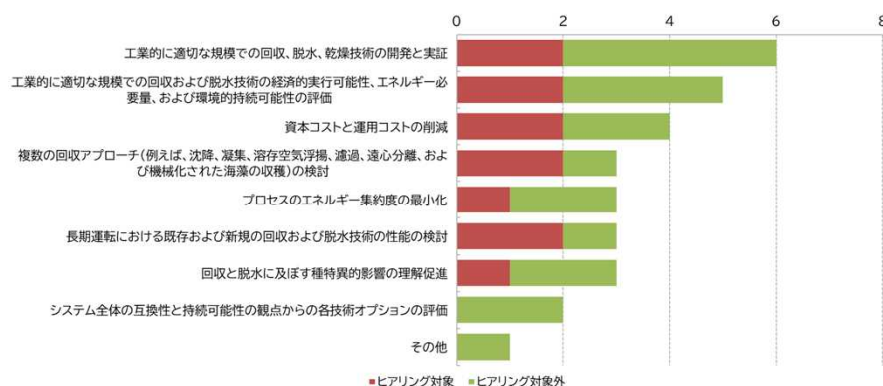


(参考)重要課題と注力すべき要素技術 アンケート結果(2/2)

- ヒアリング対象の事業者4社とそれ以外に分けたクロス集計結果は以下のとおり。

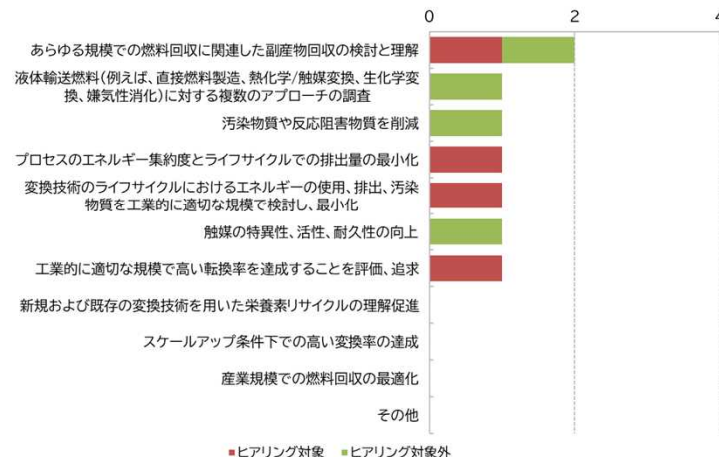
③前処理技術

Q44で回答された水準を達成するために今後解決すべき重要な課題
(n=11)



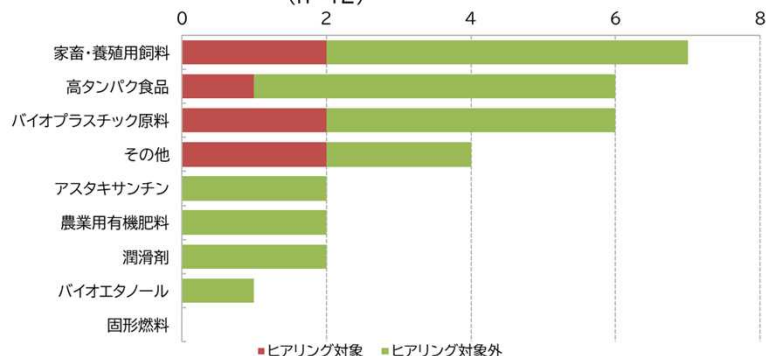
④燃料変換技術

Q55で回答された水準を達成するために今後解決すべき重要な課題
(n=4)



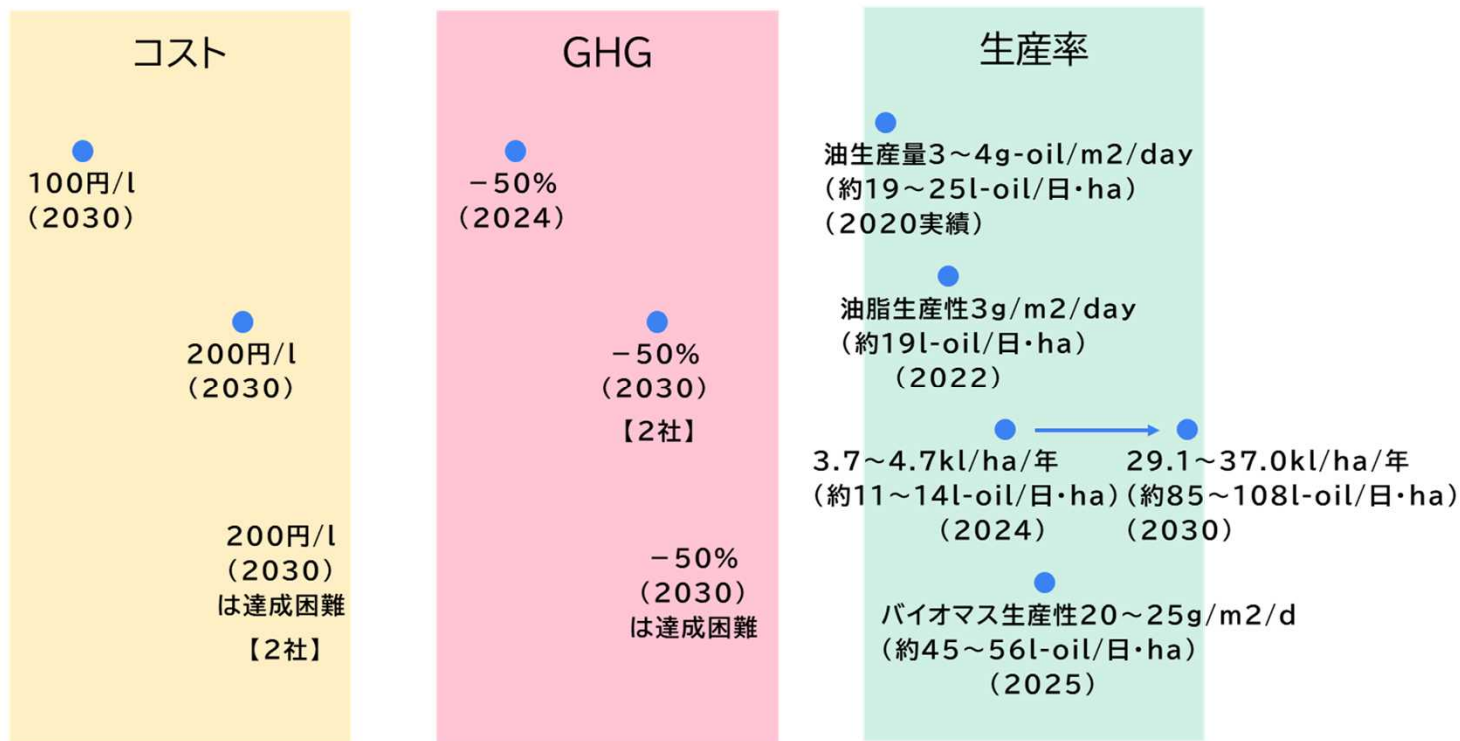
⑤残渣の用途開発

副産物として今後市場開拓に向け注力すべきもの
(n=12)



COCNロードマップの達成状況、今後の目標(見通し) 事業者ヒアリング結果

- 培養はいずれも1,000m²以上の規模で実施しており、目標は一定程度達成
- 抽出、燃料化、残渣有効活用は、小規模での実証、ラボレベルでの実証段階
- 生産コストは目標未達成、それに見合う生産性も未達成
- GHG排出量は現時点では非開示だが今後達成できる試算結果を取得
- 今後のコスト、GHG削減、生産率目標(見通し)は下図のとおり。

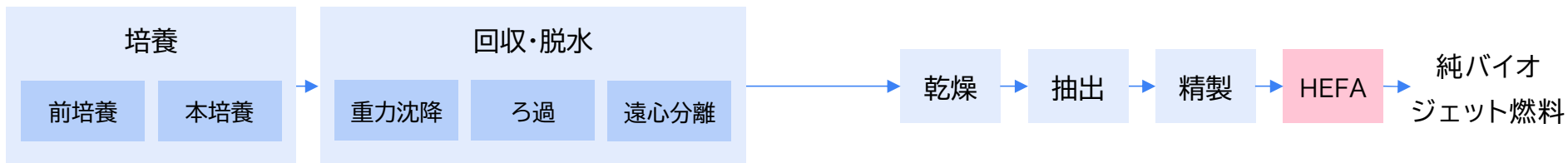


2. 実用化に至るビジネスモデルの検討

試算の目的と対象シナリオ

- 微細藻類SAFを製造・販売するモデルケースを設定してロードマップの各段階で成立可能性のある事業モデルの検討のため、試算を実施
- 培養地域及び培養方式の観点からシナリオを設定し、製造コストを概算。
 - シナリオ1.1はシナリオ1の補足として、発酵プロセスを追加・変換方法にCHJを採用。
 - 培養地域・方式により区別される4ケースは培養プロセスのセクションで検討。

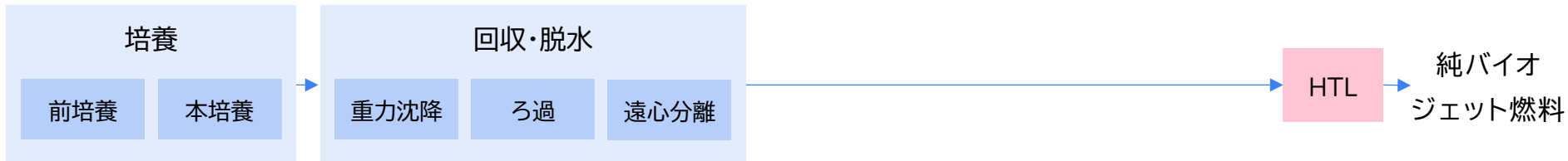
シナリオ1: 純バイオジェット燃料 + 副産物回収



シナリオ1.1: 純バイオジェット燃料 + 副産物回収 (発酵あり)

※乾燥工程の前に発酵工程を追加

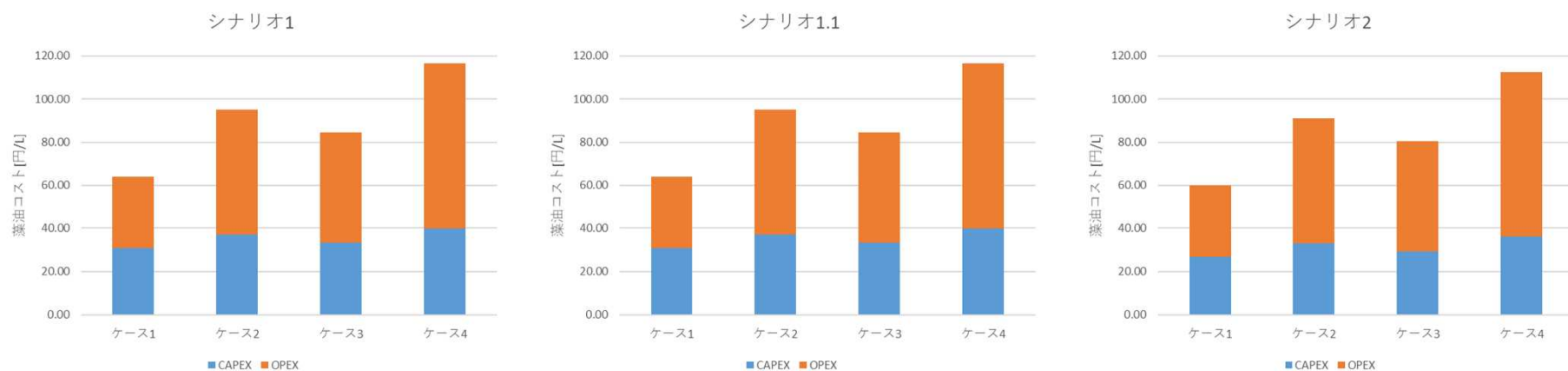
シナリオ2: 純バイオジェット燃料製造重視



コスト試算結果(藻油コスト)

- いずれのシナリオでも東南アジアにおける藻油コスト※は100円/L以下。

※シナリオ2の場合は藻体中のオイル単位量あたりのコスト



	シナリオ1				シナリオ1.1				シナリオ2			
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
藻油コスト[円/L]	64.09	95.12	84.65	116.61	77.43	108.20	97.98	129.69	60.03	91.10	80.58	112.59
純バイオジェット燃料コスト[円/L]	213.69	257.99	243.04	288.68	232.73	276.66	262.08	307.35	189.88	224.92	213.06	249.16

シナリオ1 純バイオジェット燃料+副産物回収

シナリオ1.1 純バイオジェット燃料+副産物回収(発酵あり)

シナリオ2 純バイオジェット燃料重視

ケース1: 東南アジア
×オープンポンド

ケース2: 東南アジア×PBR

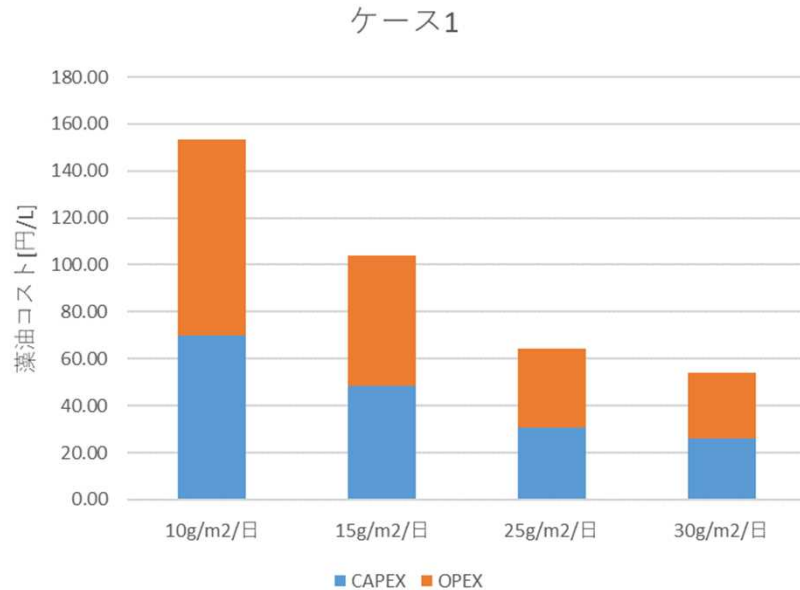
ケース3: 日本
×オープンポンド

ケース4: 日本×PBR

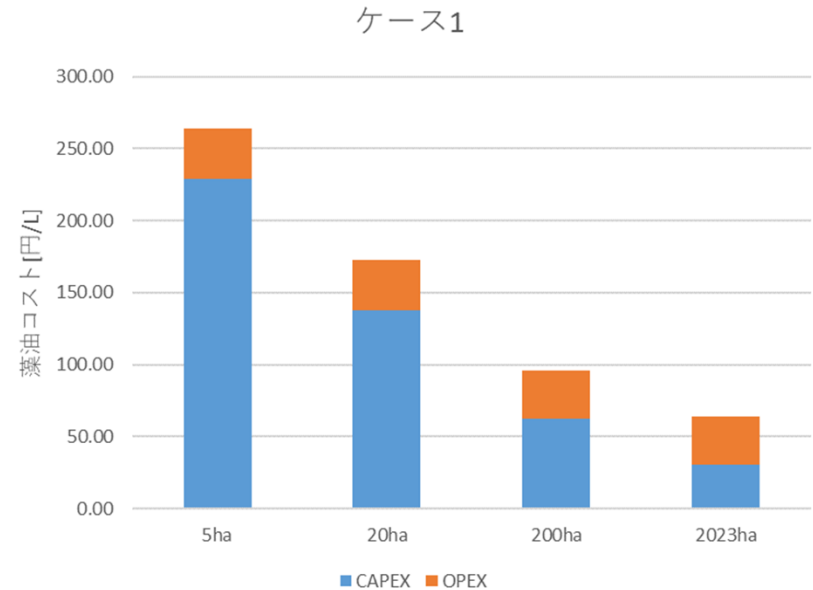
①藻体生産性改善/②培養規模拡大がコストに及ぼす影響

- 藻体生産性の改善、培養規模拡大はいずれも藻油コスト引き下げに大きく寄与することを確認した。

藻体生産性によるコストの変化



培養規模によるコストの変化

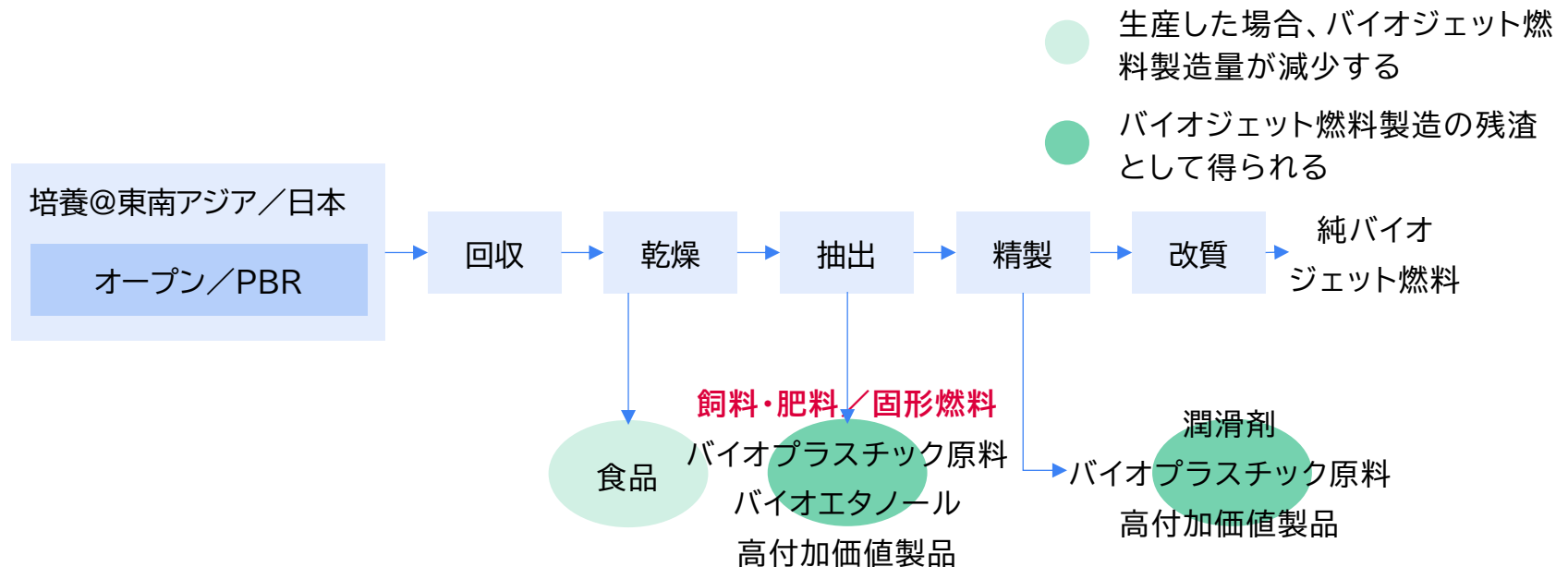


シナリオ1 純バイオジェット燃料+副産物回収
ケース1: 東南アジア×オープンポンド

試算結果分析の観点③副産物控除の影響

- 藻種により具体的な副産物やその収率は異なるが、バイオジェット燃料製造プロセスにおける副産物と回収ポイントは下図の通り。
- 本検討中の試算において、抽出残渣をすべて飼料化可能とした場合、純バイオジェット燃料コストを60円/L引き下げることが可能。すべて燃料化可能とした場合、同様に37円/Lの引き下げが可能。

副産物回収プロセスの全体像



3. 技術ロードマップ案の検討

ロードマップの策定方法

- 以下のようなステップで検討を行った。

図 ロードマップの策定方法

Step1	導入シナリオの設定	<ul style="list-style-type: none">■ SAF全体の導入シナリオと其中での藻類SAFの導入シナリオをICAO等の外部動向を踏まえて設定■ 生産量や生産方法の前提をモデルとして設定
Step2	目標の設定	<ul style="list-style-type: none">■ 2030年の全体目標を設定(シナリオでの要件と文献・アンケート・ヒアリング・ビジネスモデル検討に基づき実現可能性を検討)■ 2030年の分野毎の目標を設定■ バックキャストしてマイルストーンを設定
Step3	重要技術と開発課題の特定	<ul style="list-style-type: none">■ 想定モデルに基づき重要技術と開発課題をアンケート・ヒアリング・ビジネスモデル検討結果から特定■ 重要技術の目標とする基準(指標)をアンケート・ヒアリング・ビジネスモデル検討結果から特定
Step4	技術の相互関係と実現時期の特定	<ul style="list-style-type: none">■ 重要技術の相互関係(技術マップ)を文献及び委員意見より整理■ 重要技術の基礎、実証、商用化等の段階を整理■ 各技術の実現時期を実現順序とアンケートの目標年度から設定
Step5	その他の要素の検討	<ul style="list-style-type: none">■ 研究開発基盤の整備■ 導入障壁とその解決策(ゲノム編集等)

ロードマップに必要な構成要素

- 導入シナリオとしては、SAF全体の導入シナリオを想定しつつ、微細藻類を原料としたSAFの導入もそこに織り込んで検討することが必要
- あわせて、技術マップ及び技術課題と目標の整理のため、技術の重要性の評価と妥当な中間目標の設定が必要
- 以上より、2030年を目標としたロードマップとして、以下の事項を整理

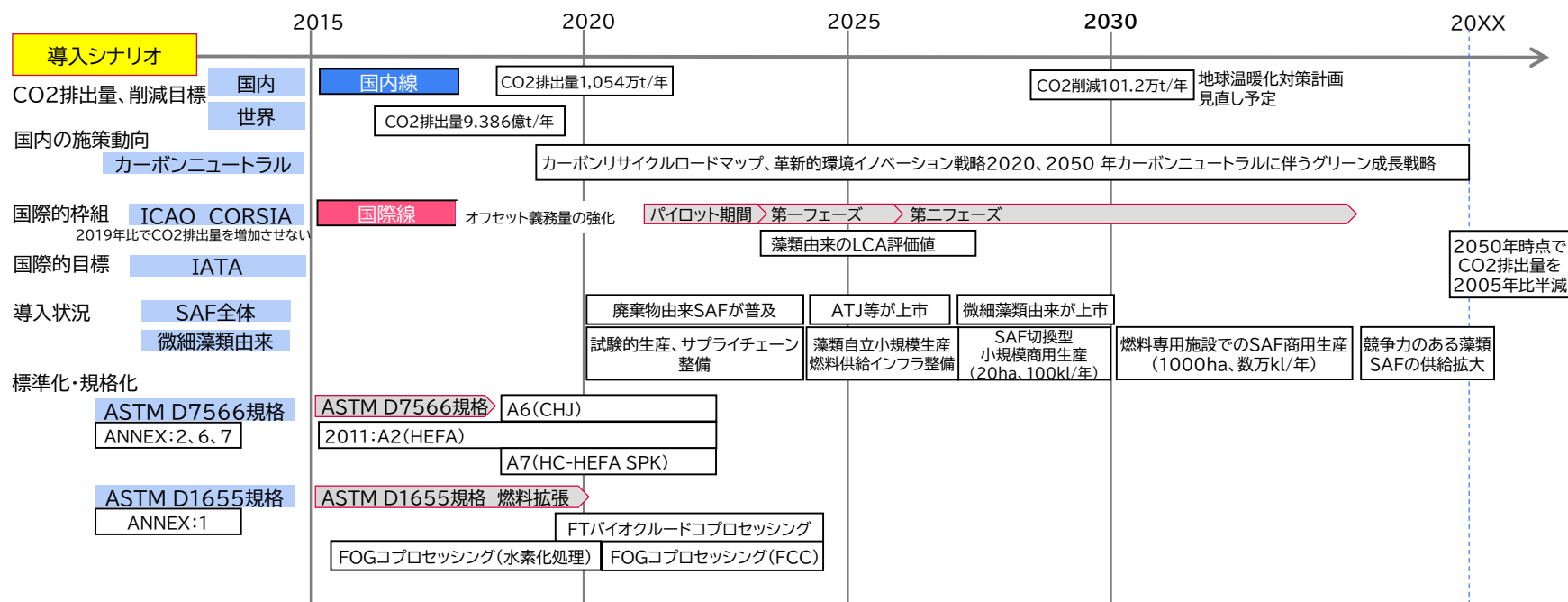
ロードマップに含むべき事項

- ・ 前提となる導入シナリオ
- ・ コスト、GHG削減目標
- ・ 重要技術と開発課題
- ・ 重要技術の目標とする基準(指標)、達成時期
- ・ 研究開発基盤の整備
- ・ 導入障壁とその解決策(ゲノム編集等)

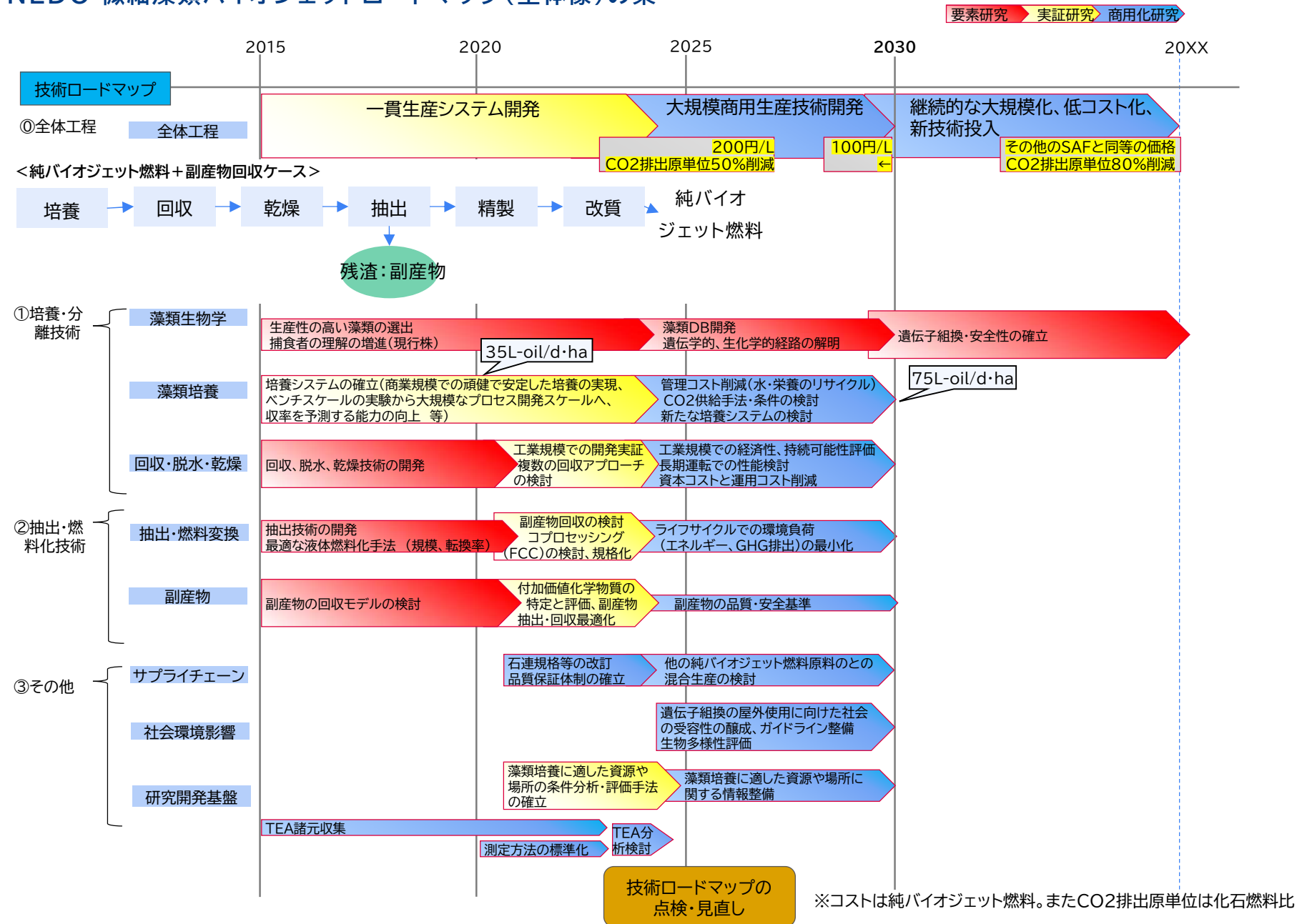
- なお、今後は、TEA(技術経済分析)による重要技術の特定や技術の達成状況を評価する指標の開発等が必要。このため、今回策定するロードマップも必要に応じて段階的に見直すことを想定

NEDO 微細藻類バイオジェットロードマップ(全体像)の案

- 技術開発ロードマップは前提となる導入シナリオとともに2030年を主たるターゲットとしてその先の展開も含めて整理
- 技術開発のロードマップは、残渣を最大限に活用しつつ藻油をHEFA・CHJを用いて燃料製造するケースと、高付加価値産物を回収後にHTLを用いて燃料製造量を最大化するケースとに分けて整理



NEDO 微細藻類バイオジェットロードマップ(全体像)の案



NEDO 微細藻類バイオジェットロードマップ(全体像)の案

