

2025年度成果報告書

油脂分野に関する市場調査 (バイオものづくり革命推進事業 伴走調査)

2025年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 アーサー・ディ・リトル・ジャパン株式会社

着目製品において、短期的には価格許容度が高く受容性の高い用途で実績を作り、中長期的には量産・LCA・規制対応を前提に用途拡張をすることが重要か

	食用油脂	非食用油脂
油脂市場を取り巻く動向 ①③	<ul style="list-style-type: none"> 短期的には、新興国需要で油脂市場は堅調に拡大する一方、EUDR規制等により原料調達制約が強化傾向にあり、カカオ脂など高価格・供給不安定油脂で限定的にバイオものづくり油脂への代替ニーズが顕在化 中長期的には、環境規制と気候変動による供給リスク拡大を背景に、トレーサビリティやLCA対応が必須化され、コスト低減が進めば汎用油脂の一部でも代替余地有 	<ul style="list-style-type: none"> 短期的には、化粧品用途を中心にサステナビリティ志向が拡大し、機能的性が重視され、価格より安定供給・品質一貫性を評価しバイオものづくり油脂が採用傾向 中長期的には、2050年CN対応でフルLCA開示が義務化される可能性があり、また、化粧品に加え工業用途で石油代替が進展し、バイオものづくり油脂は環境規制対応油脂として市場拡大が期待
着目製品の動向 ①②	<ul style="list-style-type: none"> 汎用食用油への直接代替は限定的だが、カカオ脂やバター代替で微生物発酵・細胞培養の先行事例が登場、ただし、規制対応・コスト・品質が課題で商業化は初期段階 	<ul style="list-style-type: none"> 価格許容度が高く、GMO規制の影響も相対的に小さいため、非食用が実証・量産の主戦場であり、C16 Biosciences、Checkerspot等が化粧品・パーソナルケア用途で商業化を先行
着目製品の勝ち筋 ②	<ul style="list-style-type: none"> 短期的には、価格許容度が高く、機能訴求が明確な用途に絞って参入することが重要で、具体的にはCBEや加工食品等での部分代替採用が有望、また、実績活用により、規制対応と受容性のハードル低下も重要 中長期的には、量産化と工程簡略化によるコスト低減を進めつつ、LCA・トレーサビリティ対応を確立することが重要であり、環境規制や供給不安を背景に、汎用油脂の一部代替へ段階的に用途拡張し、市場浸透を企図 	<ul style="list-style-type: none"> 短期的には、化粧品・パーソナルケア用途を起点に高純度・組成制御とサステナビリティ価値を訴求し、価格競争を避け、高付加価値領域で量産実績と顧客認知を獲得 中長期的には、フルLCAで環境面での優位性を定量的に示し、REACH等の規制対応素材として工業用途へ展開し、石油由来原料の代替を軸に用途横断で市場を拡張

藻類由来燃料において、短期的には藻類培養の生産性向上・GHG排出削減による販売価格低減、長期的には需給ギャップに迅速に入り込めるかが重要か

油脂市場 を取り巻く 動向

①③

- SAFにおいては、航空業界のネットゼロの最重要施策の位置づけだが、従来原料の限界や技術未確立による需給ギャップが見込まれる
 - 短期的には、環境価値に基づくクレジットや混合義務化によるSAF需要が増加し、HEFAが先行して大規模商業化
 - 中長期的には、原料供給量に縛りのない合成燃料へのニーズが増大
- BDFにおいては、道路・海運輸送のネットゼロに向けた動力源として電化や水素が有望視
 - 短期的には、BDFは各国の混合義務・補助により需要が継続
 - 中長期的には、政策の重心は航空・海運など化石燃料削減が難しい分野へシフトし、バイオディーゼルは電化や水素化が進む前の次善策として利用される

着目製品 の動向

①②

- スタートアップやエネルギー企業がSAFに向けた藻類開発・培養を推進、2030年前後に商業化か
 - 商業化に向けては、コスト削減が課題であり、生産性がコストに直結するため、環境変化に強い種の選抜や培養方法の改善による安定性向上、また、遺伝子組換えによる土台となる生産性の向上が必要
 - スケールアップに向けては、資金調達と土地確保が課題であり、投資家を納得させる実証データとリスク管理を重視

着目製品 の勝ち筋

②

- 短期では、商業化に向けて実績を積むことが肝要
 - SAF・BDFともにコスト高と技術の未確立から藻類由来燃料の供給・利用拡大は限定的
 - 資金調達を行うためのオフテイク契約等実績蓄積と、低炭素燃料の規制・クレジット制度の活用に向けたGHG排出量の削減のための開発を重視すべき
- 中長期では、需給ギャップを見極め、供給を拡大する事が肝要
 - SAFにおいては、高いHEFAアップグレード能力に対する従来原料の限界が顕在化する時期を見越して代替原料として藻類バイオマス・油脂の供給を拡大
 - BDFにおいては、ディーゼル需要が残りやすい長距離輸送向けに供給しつつ、BDF需要の伸び悩みを織り込み、需給状況に応じてHEFAプレイヤーへの供給も狙うことが重要

Build early traction in high-value applications, then scale into broader markets with cost reduction, LCA, and regulatory readiness.

	Edible Oils	Non-edible Oils
Market Dynamics Surrounding Oils ①③	<ul style="list-style-type: none"> • Short term: The oils market continues to grow, driven by emerging demand, while regulations (e.g., EUDR) tighten sourcing constraints, increasing demand for alternatives to high-cost and supply-unstable oils (e.g., cocoa butter) • Mid-to-long term: Rising environmental and climate risks make traceability and LCA essential, while cost reductions enable substitution even in commodity oils 	<ul style="list-style-type: none"> • Short term: Sustainability-driven demand grows in cosmetics, where functionality, stable supply, and quality consistency are prioritized over price, supporting adoption of bio-based oils • Mid-to-long term: Full LCA disclosure may become mandatory (e.g., toward 2050 CN), accelerating bio-based oil adoption as substitutes for petroleum-based ingredients
Trends in Target Products ①②	<ul style="list-style-type: none"> • Direct substitution of commodity oils remains limited, while new approaches (e.g., cocoa butter alternatives, precision fermentation, cell culture) are emerging, though commercialization is still early due to cost, quality, and regulatory challenges 	<ul style="list-style-type: none"> • High price tolerance and limited GMO constraints make non-edible uses the main arena for early commercialization and scale-up, led by players such as C16 Biosciences and Checkerspot in cosmetics and personal care
Success Factors for Target Products ②	<ul style="list-style-type: none"> • Short term: Focus on high-value, function-specific applications (e.g., CBE, processed foods), and build acceptance through proven use cases • Mid-to-long term: Reduce costs via scale and process improvements, establish LCA and traceability, and expand gradually into broader oil substitution markets 	<ul style="list-style-type: none"> • Short term: Start in cosmetics and personal care, offering high purity, compositional control, and sustainability to capture high-value niches and avoid price competition • Mid-to-long term: Demonstrate environmental advantages via full LCA, expand into industrial uses (e.g., REACH-compliant materials), and grow by replacing petroleum-based inputs

Reduce costs through productivity and GHG improvements, while preparing to capture future supply-demand gaps.

<p>Market Dynamics Surrounding Oils</p> <p>① ③</p>	<ul style="list-style-type: none"> • In SAF: Positioned as a key lever for aviation net zero, but supply-demand gaps are expected due to limited feedstocks and immature technologies <ul style="list-style-type: none"> – Short term: Demand rises with mandates and blending requirements, with HEFA leading early large-scale commercialization – Mid-to-long term: Demand for synthetic fuels not constrained by feedstock availability increases • In BDF: Seen as a decarbonization option for road and marine transport, though electrification and hydrogen are promising alternatives <ul style="list-style-type: none"> – Short term: Demand continues due to mandates and subsidies – Mid-to-long term: Policy focus shifts to harder-to-abate sectors, with biodiesel used as a transitional solution before electrification and hydrogen scal
<p>Trends in Target Products</p> <p>① ②</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Startups and energy companies are advancing algae development and cultivation for SAF, with commercialization expected around 2030 <ul style="list-style-type: none"> – Cost reduction remains a key challenge, as productivity directly impacts economics – Improving stability through strain selection and cultivation methods is required, along with productivity gains via genetic engineering – Scale-up requires funding and land, as well as validated data and risk management to attract investors
<p>Success Factors for Target Products</p> <p>②</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Short term: Building a commercialization track record is critical <ul style="list-style-type: none"> – Supply expansion remains limited due to high costs and immature technologies – Securing offtake agreements and leveraging low-carbon fuel policies and credits for GHG reduction are key • Mid-to-long term: Identifying supply-demand gaps and expanding supply is essential <ul style="list-style-type: none"> – In SAF: Anticipate tightening HEFA feedstock constraints and expand alternative feedstocks (e.g., algae, biomass) – In BDF: Focus on segments with sustained diesel demand (e.g., long-haul transport), while flexibly supplying to HEFA players based on market conditions

目次

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料


市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

市場と競合調査を並行して実施し、標準・ルール・認証等を踏まえた上で、 バイオものづくり製品の勝ち筋、社会実装に向けた提言を整理

項目	タスク	成果物	調査方法
① 市場・ 市場動向	<ul style="list-style-type: none"> • 油脂製品の国内外における市場規模、およびその将来推移の調査（金額・量） • バイオものづくりによる油脂製品の国内外における市場規模、およびその将来推移の調査（金額・量） • バイオものづくり品生産におけるコスト、LCA等の観点からの強み・弱みの整理 	<ul style="list-style-type: none"> • 製品の市場規模調査結果（金額・量） <ul style="list-style-type: none"> - 最終製品/ターゲット製品の市場規模、将来予測（2030、2040、世界、日本） - 上記のうち、バイオものづくり製品が獲得でき得るポジションとその条件 	<ul style="list-style-type: none"> • 各種公開情報調査（レポート、論文等） • 有識者ヒアリング • ADL過去知見
②  先行事例・競合	<ul style="list-style-type: none"> • 食用油、バター代替、カカオ代替等の代替製品（類似製品を含む）の生産に取り組んでいる事例の整理 • 現在普及中または開発中の有望な製品が抱える課題の整理 • 先行事例・競合に対して、バイオものづくり製品に優位性のある領域の特定 • バイオものづくり製品が普及するための要件や勝ち筋の整理 	<ul style="list-style-type: none"> • バイオものづくり製品が獲得でき得るポジションにおける競合プレイヤー・事例の整理 <ul style="list-style-type: none"> - バイオものづくり以外での生産方法の概要と競合プレイヤーの整理 - 商用化および商用化に近い先行事例の概要（ビジネスモデル）と成功要因の整理 • バイオものづくり製品の強み・弱みと社会実装に向けた勝ち筋の整理 <ul style="list-style-type: none"> - 対象技術を念頭にした、価格、認証などの付加価値、外部要因等 	<ul style="list-style-type: none"> • 各種公開情報調査（レポート、論文、契約データベース等） • 有識者ヒアリング • ADL過去知見
③ 標準・ ルール・ 認証等	<ul style="list-style-type: none"> • 油脂製品に関連する標準（規格）・ルール・規制・認証・ガイドライン等の動向の整理 • 先行プレイヤーの対応状況の整理 • バイオものづくり製品を普及させるための上記ルールに対応に必要な要件、整備すべきルールの整理 	<ul style="list-style-type: none"> • 各製品に関する標準（規格）・ルール・規則・認証・ガイドライン等の整理結果 • 先行事例における上記対応状況の整理 • バイオものづくり製品の社会実装のための取得/策定に向けた提言 	<ul style="list-style-type: none"> • 各種公開情報調査（レポート、論文等） • 有識者ヒアリング • ADL過去知見

「価格」「市場規模」「バイオものづくりの提供価値」を総合的に見て着目製品を選定。参考事例として近年着目されている油脂由来燃料動向も調査

着目油脂

- 「価格」「市場規模」「バイオものづくりの提供価値」を総合的に見て着目製品を選定

食用油脂	カカオバター代替脂
	こめ油代替
	代替バター
	パルミトレイン酸
	オレイン酸
非食用油脂	リノレン酸
	パルミトレイン酸
	オレイン酸
油脂由来燃料	バイオディーゼル
	HEFAによるSAF

参考事例

油脂由来燃料

調査方向性

ブラウングリース	<ul style="list-style-type: none"> 活用状況の把握 <ul style="list-style-type: none"> 特に海外での取り組み動向
バイオマス熱分解油	<ul style="list-style-type: none"> 実プラントでの課題対応動向の把握 <ul style="list-style-type: none"> 昔から利用されているが注目度の低い技術で、酸素分を多く含む点に課題有
冷まし油	<ul style="list-style-type: none"> 利用可能性の把握 <ul style="list-style-type: none"> 製鉄プロセスの中で冷却油として利用 従来高炉へ投入していたが、高炉から電炉への転換が見込まれる中、電炉での投入が難しいことから利用可能性に着目
骨油	<ul style="list-style-type: none"> 利用可能性の把握 <ul style="list-style-type: none"> 牛の骨の中から抽出される油 国内ではBSE問題対応により食用牛の骨の取引が大幅に制限されていたが、制限解除の見込みから利用可能性に着目

隔週の定例会にて方向性をすり合わせつつ成果物を作成した

回	日程	アジェンダ	ゴール
KickOff	10/29(水) 13:00-14:00	<ul style="list-style-type: none"> プロジェクト概要 調査スコープ・方針・進め方 	<ul style="list-style-type: none"> スケジュール・体制・アプローチの合意
MTG#1	11/21(金) 15:00-16:00	<ul style="list-style-type: none"> 市場全体像とバイオものづくり需要動向 着目製品の選定 	<ul style="list-style-type: none"> 特にフォーカスすべき領域の合意
MTG#2	12/9 (火) 13:00-14:30	<ul style="list-style-type: none"> 食用/非食用油脂の市場規模推移 食用/非食用油脂の代替製品取り組み事例 食用/非食用油脂の普及・開発中技術の課題 	<ul style="list-style-type: none"> 食用/非食用油脂の競合の取り組み・課題整理
MTG#3	12/19 (金) 13:00-14:30	<ul style="list-style-type: none"> 食用/非食用油脂のバイオものづくりに有意な領域の整理 食用/非食用油脂のバイオものづくりの勝ち筋 食用/非食用油脂のバイオものづくり市場規模推定 	<ul style="list-style-type: none"> 食用/非食用油脂でのバイオものづくりの勝ち筋の認識合わせ
MTG#4 (中間)	1/20 (火) 13:30-15:00	<ul style="list-style-type: none"> 食用/非食用油脂の検討結果まとめ 	<ul style="list-style-type: none"> 食用/非食用油脂の検討結果の修正方針の合意
MTG#5	2/5 (木) 10:00-12:00	<ul style="list-style-type: none"> 油脂由来燃料の市場規模推移 油脂由来燃料の代替製品取り組み事例 油脂由来燃料の普及・開発中技術の課題 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂由来燃料の競合の取り組み・課題整理
MTG#6	2/19 (木) 14:00-16:00	<ul style="list-style-type: none"> 油脂由来燃料のバイオものづくりに有意な領域の整理 油脂由来燃料のバイオものづくりの勝ち筋 油脂由来燃料のバイオものづくり市場規模推定 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂由来燃料でのバイオものづくりの勝ち筋の認識合わせ
MTG#7 (最終)	3/3 (火) 10:00-12:00	<ul style="list-style-type: none"> 全検討結果まとめ 	<ul style="list-style-type: none"> 最終成果物の方向性の合意

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂市場を取り巻く動向
(市場動向、規制・規格・認証動向)

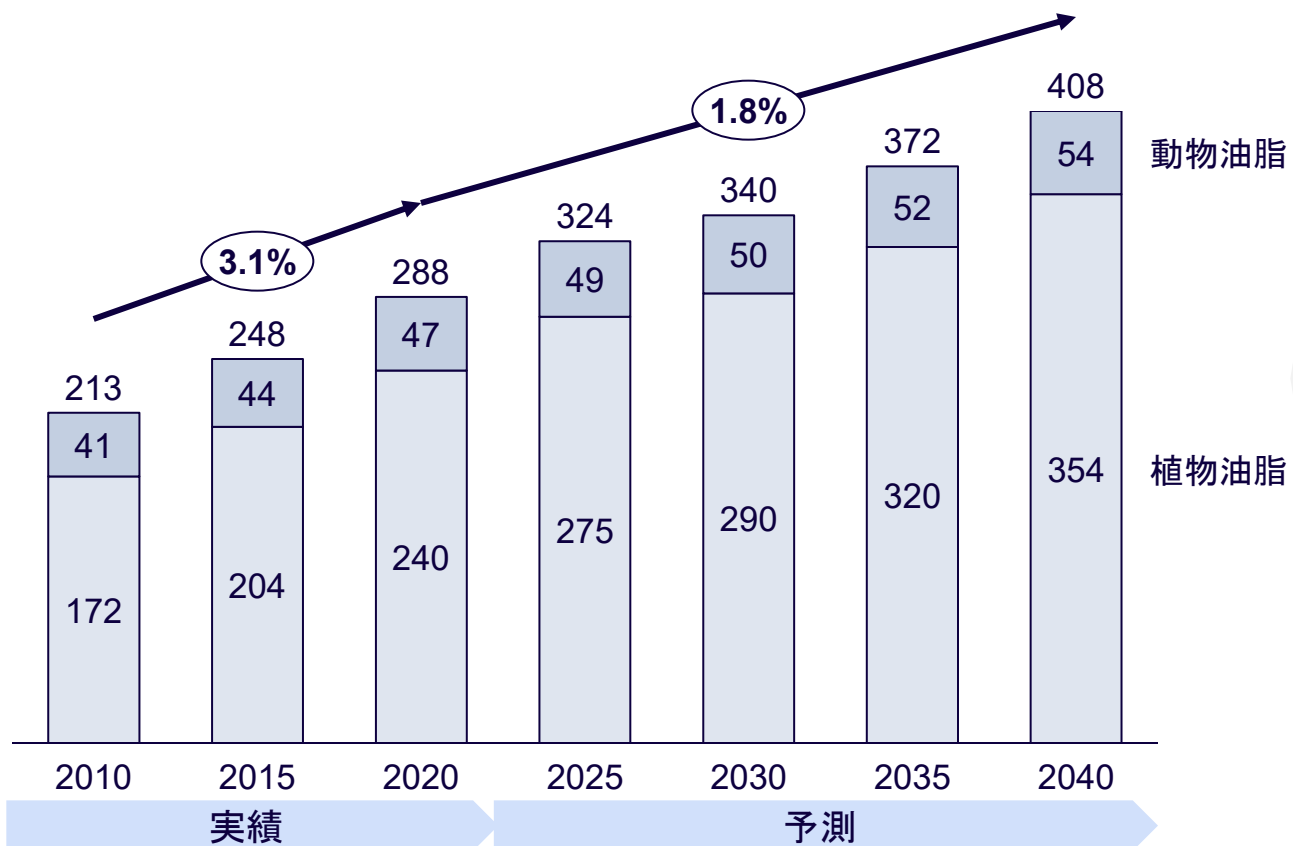
油脂には主に植物・動物油脂が存在 近年バイオ由来油脂が開発されつつある

油脂分類	油/脂	由来	油：常温で液体 脂：常温で固体	概要	代表例
植物油脂	植物油	種子油		種子の脂質から搾油される油	なたね油、大豆油
		果実油		果実中の油が蓄積した細胞から搾油される油	オリーブ油
		核油		主に種子の胚乳から搾油される油	パーム核油
		胚芽油		種子中に含まれる胚芽を分離して搾油される油	コーン胚芽油
	植物脂	種子脂		種子の子葉に含まれる脂質から得られる脂	カカオ脂
		果実脂		主に果実中の果肉から得られる脂	パーム脂
核脂			果実の中心の固い部分(核)から得られる脂	モモ核脂	
動物油脂	動物油	体油		主に魚体の皮下脂肪や内臓周囲から搾油される油	魚体脂(イワシなど)
		肝油		魚の肝臓から搾油される油	魚肝油(タラ由来)
	動物脂	体脂		皮下脂肪中の脂肪組織から得られる脂	牛脂、豚脂
		乳脂		牛などの乳中から得られる脂	乳脂(牛由来)
バイオ由来油脂	バイオ由来油	藻類油		藻類の細胞内脂質から得られる油	微細藻
		微生物油		糸状菌などの細胞内脂質から得られる油脂	トルラ酵母
	バイオ由来脂	藻類脂		藻類の細胞内脂質から得られる脂	微細藻
		微生物脂		糸状菌の細胞内脂質から得られる脂	トルラ酵母
石油由来油	石油		石油精製や化学反応により得られる油	鉱油、合成油	

油脂の消費量は2020年時点から2040年にかけて堅調に増加する見込み

世界における動・植物油脂の消費量推移

(百万トン)

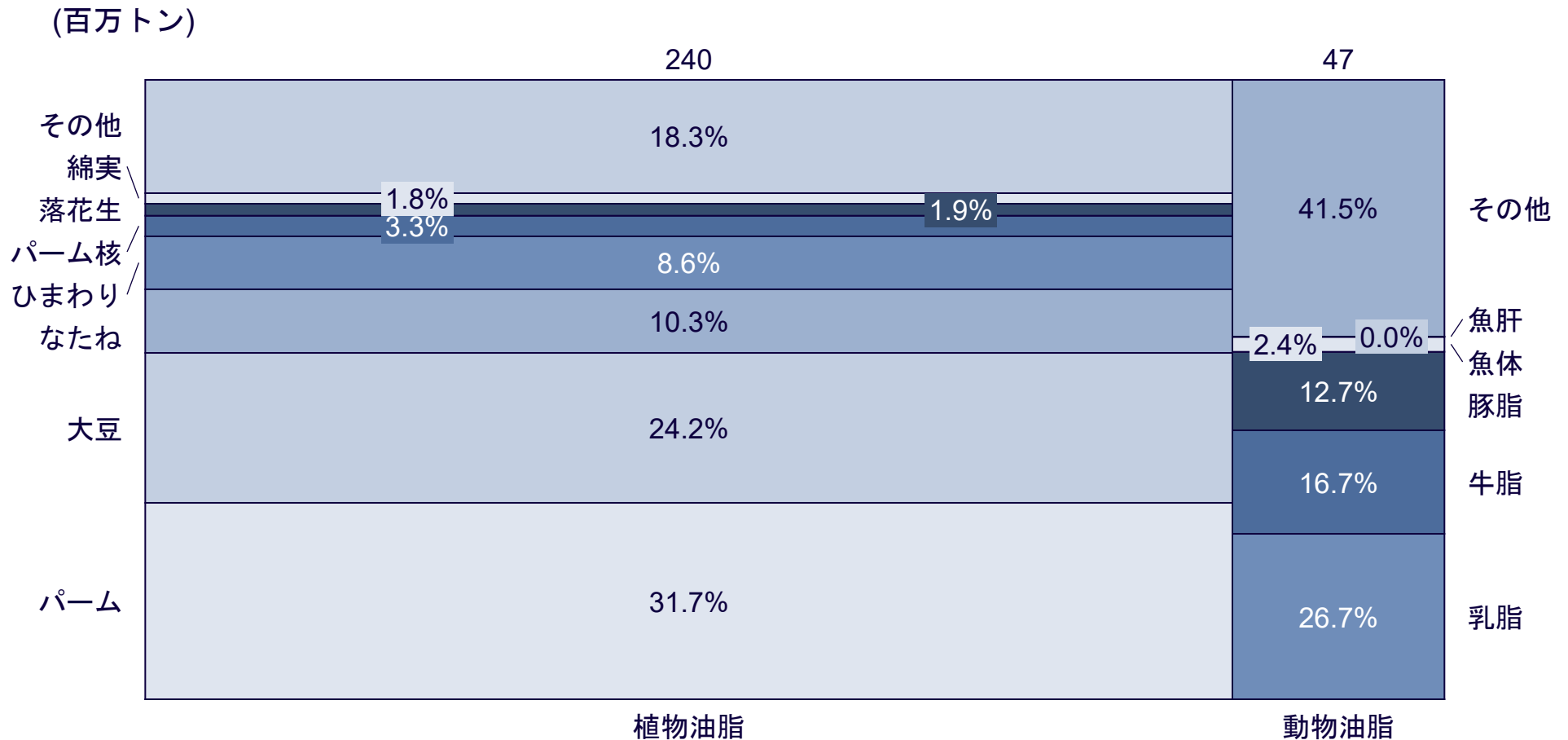


動・植物油脂

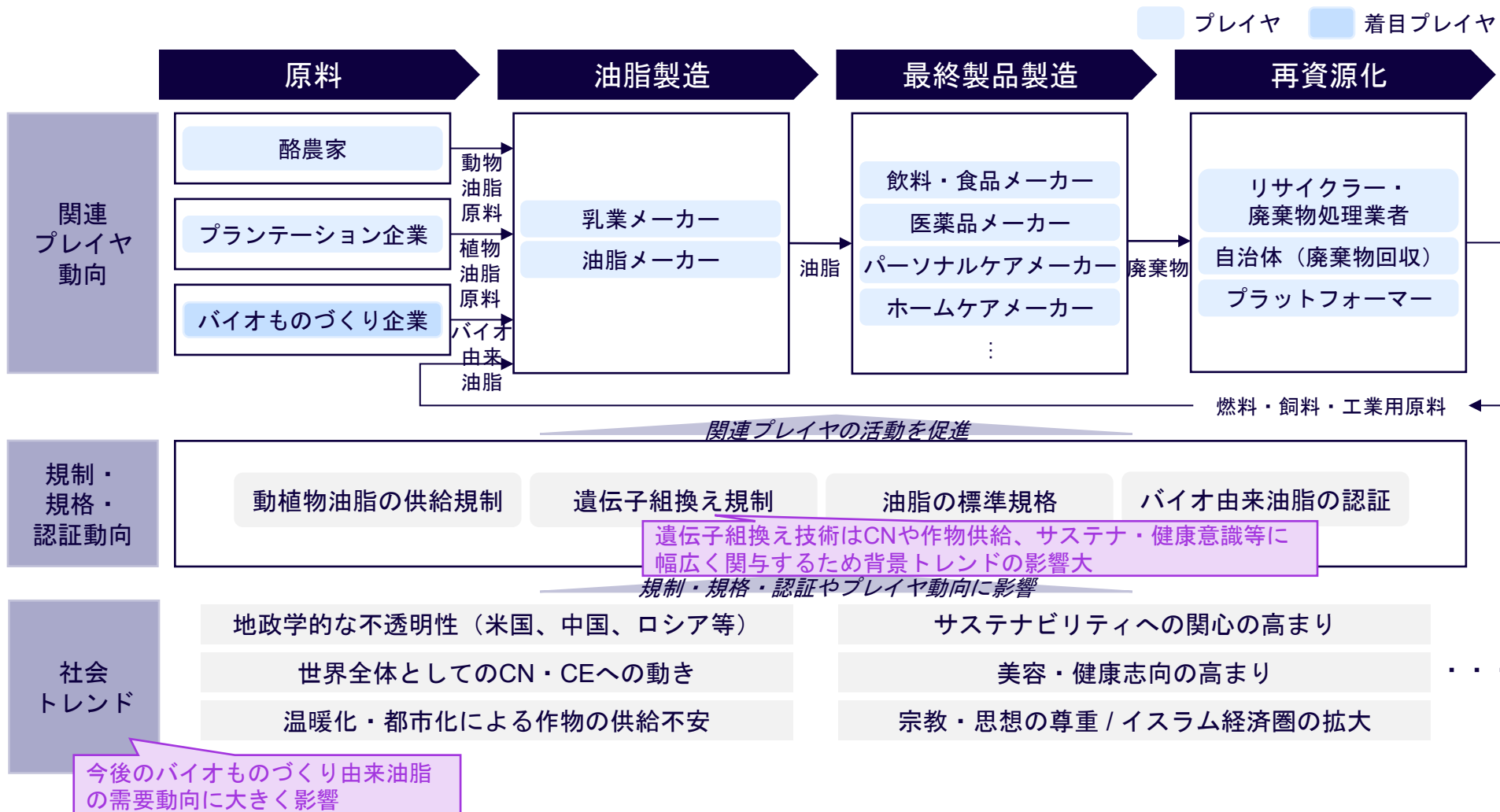
- 実績
 - 動・植物油脂は主に食用油や加工食品向けに使用
 - 人口増加と一人当たりの消費量増加により消費量拡大
- 予測
 - 動・植物油脂は今後サプリや化粧品などへの利用率が高まる
 - 一方で主用途は食用油や加工食品向けであり用途の大部分を占有
 - 主に先進国における人口・一人当たりの消費量の停滞により、消費量の増加は鈍化

油脂全体の消費量の内、植物油脂が全体の80%以上を占めており、 パーム油と大豆油で50%以上を占める

世界における動・植物油脂の消費量(2020)



バイオものづくり油脂の需要や将来動向は、社会トレンドや、それらの影響を受けた規制・規格・認証等の影響を受ける



既存作物の供給不安、CN達成に向けてのトレンドが規制や外部からの圧力となって油脂関連プレイヤーに影響を与える

社会トレンド	概要	油脂製品を取り巻くプレイヤーへの影響
<p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: -40px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">環境の不安定性・構造変化</p> <p>地政学的な不透明性 (米国、中国、ロシア等)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 米中対立やロシアのウクライナ侵攻などを背景に、制裁・関税・輸出規制が発生 穀物・油脂・肥料など一次産品の価格と供給が地政学リスクに大きく左右される状況が常態化 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂や最終製品メーカーは原料の産地分散や代替原料の検討が必要 <ul style="list-style-type: none"> ウクライナ侵攻以降、ひまわり油の価格が一時的に急騰するなど供給が不安定化し、輸入国は供給先を変更
<p>世界全体としてのCN・CEへの動き</p>	<ul style="list-style-type: none"> 地球規模の課題である気候変動問題の解決に向けて、2015年にパリ協定が採択 120以上の国と地域が「2050年カーボンニュートラル」という目標を掲げ、国家レベルのCE(サーキュラーエコノミー)戦略を策定する国も増加 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂や最終製品メーカーでは大企業を中心にネットゼロ目標の宣言と具体的な削減計画の策定が進展 <ul style="list-style-type: none"> 花王は事業活動に伴い排出されるCO2を2040年までにゼロ、2050年までにネガティブをめざしてESG戦略を実行
<p>温暖化・都市化による作物の供給不安</p>	<ul style="list-style-type: none"> 気温上昇や干ばつ・豪雨などの異常気象により、大豆・菜種・パーム油など油糧作物の収量が不安定化 農業労働人口の都市への流出も不安要素 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂や最終製品メーカーは原料の産地分散や代替原料の検討が必要

世界全体の成熟により健康・美容志向、インクルーシブな食体験等ニーズが幅広く、企業のバリューチェーンやR&Dの革新につながっている

	社会トレンド	概要	油脂製品を取り巻くプレイヤーへの影響
環境の不安定性・構造変化	サステナビリティへの関心の高まり	<ul style="list-style-type: none"> パーム油など油脂原料の生産地での強制労働・児童労働・移民労働者の搾取といった人権侵害が国際的に報道 油ヤシ・大豆など油糧作物のための農地拡大が、熱帯林の減少・泥炭地火災・越境ヘイズなど環境破壊の原因として可視化 	<ul style="list-style-type: none"> 企業のVC全体における責任を求める枠組みがEUで2024年に施行される等、環境・人権配慮製品の需要が増大 <ul style="list-style-type: none"> 日清オイリオや不二製油はアクションプランとその進捗を示したパーム油調達レポートを公開
	美容・健康志向の高まり	<ul style="list-style-type: none"> コロナ禍を通じ、食事・サプリ・スキンケアなど、「カラダの内外から整える」美容・健康志向が拡大 食物アレルギー人口の増加と認知向上、各国のアレルゲン表示義務化を背景にアレルゲンフリー/クリーンラベル食品市場が拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 微細藻類由来オメガ3オイルなどクリーンで機能性の高い素材への投資・製品化が進展 アレルギー/健康リスクに関する表示義務・規制が強化され、メーカーは原料選定・処方設計を見直し
	宗教・思想の受容 / イスラム経済圏の拡大	<ul style="list-style-type: none"> 環境配慮・動物福祉・健康意識から動物性食品を避けるビーガン/フレキシタリアン層が増加 イスラム教・ユダヤ教など宗教上の戒律に適合したハラール/コーシャ食品が、人口増加と所得向上に伴い巨大市場へ成長 	<ul style="list-style-type: none"> 競争優位のために新たな需要の取り込みを検討する必要有 ハラール認証の枠組みが確立し、企業は認証を取るためにバリューチェーン全体を整備

欧州・中国は、GMO由来の原料・製品について、最終製品でGMO由来成分が検出されなくても表示・トレーサビリティが求められる場合がある

国/地域	食用向け		非食用向け	
	遺伝子組換え規制	その他の規制	遺伝子組換え規制*2	その他の規制
欧州	GM食品規則*1 (GMO由来油脂を規制)	Novel Food (新規の油脂や製造プロセスを規制)	封じ込め使用指令*3 (遺伝子組換え微生物を規制)	REACH (化学物質を規制)
米国	NBFDS (高度精製油の扱いは制度・判決を踏まえ変動中)	FSMA (製造設備やプロセスを規制)	バイオテクノロジー規制の調和的枠組み (USDA/EPA/FDAの所管分担の枠組み)	TSCA (化学物質を規制)
中国	GMO 安全管理/表示管理 (GMO由来油脂とその加工・輸入を規制)	油脂輸送 新国家標準 (製造プロセスやタンクを規制)	農業転基因生物安全 評価管理 (工業原料や飼料用GMO油脂などを規制)	12号令 (新規化学物質を規制)
日本	食品表示法 (GMO成分が検出される油脂と成分改変型油脂を規制)	食品衛生法-PL制 (製造設備、残留農薬、添加物などを規制)	カルタヘナ法 (GMO微生物を用いた油脂製造プロセスを規制)	化審法 (加工油脂・誘導体を規制)

■ GMO（またはGMO由来原料）を使用した場合、最終製品で検出されなくても表示・トレーサビリティが求められる場合がある
(日本では最終製品中に遺伝子組換え成分を検出できなければ、GMO表記は任意)

■ トレーサビリティを重視し、サプライチェーンに関する記録が義務付けられた規則

着目製品の動向 (先行事例・競合)

バイオものづくりには5つの提供価値があり、食用・非食用油脂においては機能・コスト、燃料用においてはサステナビリティ面での価値提供が重要

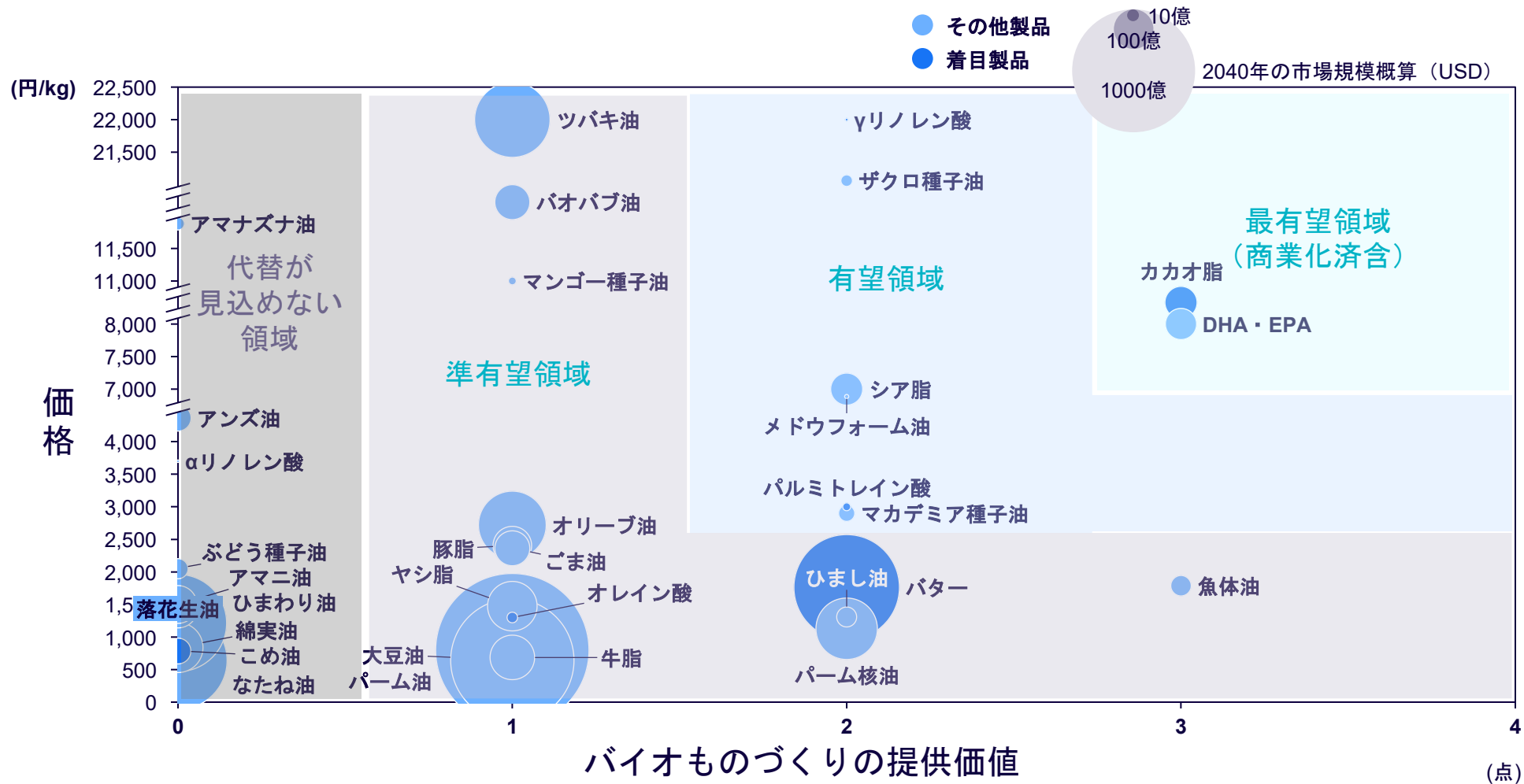
提供価値	概要
<p>1 新規機能の創出・機能向上</p>	<ul style="list-style-type: none"> • バイオものづくりのプロセス以外で生産が困難であり、高い機能の付加が可能な物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - バイオ医薬品は、既存の医薬品では治療が困難だった疾患に対する高い治療効果が期待されている
<p>2 既存素材のコスト削減</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 反応ステップ数が多い、生産性や収率が低い等の理由で、既存製法ではコストが非常に高い物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - HMO等、既存の化学合成では工程が複雑で低収率・高コストだったが、バイオものづくりの導入により工程が簡素化し、高収率・低コストを実現することで大量生産が可能になる物質が期待されている
<p>サステナビリティ貢献</p> <p>3 原料調達・製造に伴う負荷低減</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 製品の原料を調達、または製造する際の環境負荷を低減する物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - パリ協定を筆頭に各規制の影響で、原料調達・製造に伴う負荷の低減が求められており、バイオ由来タイヤ等、原料のサステナブル化や製造時のCFP等の環境負荷の低減が可能な物質が期待されている
<p>4 製品使用に伴う負荷低減</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 製品使用に伴う人体への負荷や、製品使用後の環境負荷をもたらす有害物質を代替する物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - REACHを筆頭に各規制の影響で、製品使用に伴う人体への負荷や、製品使用後の環境負荷の低減が求められており、バイオ由来香料等、有害物質を代替する物質が期待されている
<p>5 生物多様性保護</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 環境問題や密猟等に伴う生物の絶滅リスクの回避や動物福祉の向上に貢献する物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - 昆明・モンリオール生物多様性枠組を筆頭とする各規制や、WWFによる生物保護対策の影響で、タンパク質繊維等、生物の絶滅リスクを回避したり、動物福祉を向上させる物質が期待されている（ここでは、アニマルフリー、ヴィーガンフリーも含む）

提供価値を大きく3つに分けて、各1点で換算

提供価値の点数付け

提供価値	価値概要	点数	代替対象の油脂への加点条件	
1 新規機能の 創出・機能向上	<ul style="list-style-type: none"> バイオものづくりのプロセス以外で生産が困難であり、高い機能の付加が可能な物質を提供 	1点	<ul style="list-style-type: none"> 汎用油脂では訴求されない構造（脂肪酸/TAG/構造設計）があり、かつ採用理由（性能・用途）がその構造に直結する油脂 	
2 既存素材の コスト削減	<ul style="list-style-type: none"> 反応ステップ数が多い、生産性や収率が低い等の理由で、既存製法ではコストが非常に高い物質を提供 	1点	<ul style="list-style-type: none"> 供給量/価格ボラ/地理集中/規制などで、既存サプライチェーンに問題がある油脂 	
サステナビリティ 貢献	3 原料調達・ 製造に伴う 負荷低減	1点* (3つのうち 2つ以上)	<ul style="list-style-type: none"> 調達・製造において環境負荷が問題視されている油脂 <ul style="list-style-type: none"> GHG排出、土地利用変化（LUC）・森林破壊等 アクセシビリティや安全面から避けたい理由が存在している油脂 <ul style="list-style-type: none"> ヴィーガン・宗教・アレルゲン・臭い・汚染懸念等 生態系負荷が問題視されている油脂 	
	4 製品使用に 伴う 負荷低減			<ul style="list-style-type: none"> 製品使用に伴う人体への負荷や、製品使用後の環境負荷をもたらす有害物質を代替する物質を提供
	5 生物多様性 保護			<ul style="list-style-type: none"> 環境問題や密猟等に伴う生物の絶滅リスクの回避や動物福祉の向上に貢献する物質を提供

有望領域評価結果を踏まえ、各領域から、カカオ脂、 γ リノレン酸（ α も）、パルミトレイン酸、バター、オレイン酸、こめ油を着目製品として選定



注釈：脂肪酸の市場規模はB2B原料（濃縮物・抽出物等）に限定。最終製品の小売市場は原則除外
出所：各種レポート・二次情報からADL作成

着目製品の主用途は食品向けであり、中でもカカオ脂とCBEが高価

製品	製品	原料油脂	主要用途	特徴	消費量(万トン)*	単価(円/kg)
カカオ脂・カカオ脂代替	カカオ脂	-	<ul style="list-style-type: none"> 純チョコレート(高級) 	<ul style="list-style-type: none"> 濃厚なくちどけ カカオ本来の風味 	218	9,072
	CBE	<ul style="list-style-type: none"> パーム油 シア脂 	<ul style="list-style-type: none"> 純チョコレート(汎用) 	<ul style="list-style-type: none"> 濃厚なくちどけ カカオに似た風味 高い耐熱性 		3,394
	CBR	<ul style="list-style-type: none"> 大豆油 なたね油 パーム油 	<ul style="list-style-type: none"> 洋菓子 	<ul style="list-style-type: none"> なめらかなくちどけ 	290	1,666
	CBS	<ul style="list-style-type: none"> パーム核油 パーム油 	<ul style="list-style-type: none"> コンパウンドチョコ アイスクリーム 	<ul style="list-style-type: none"> 淡泊なくちどけ 		1,357
バター・バター代替	バター	<ul style="list-style-type: none"> 乳脂 	<ul style="list-style-type: none"> 生食向けペースト 炒め物 製パン・製菓 	<ul style="list-style-type: none"> 濃厚な風味 	922	1,667
	ファットスプレッド	<ul style="list-style-type: none"> パーム油 大豆油 なたね油 	<ul style="list-style-type: none"> 生食向けペースト 	<ul style="list-style-type: none"> 非常にあっさりした風味 中程度のショートニング性 		651
	マーガリン	<ul style="list-style-type: none"> パーム油 大豆油 なたね油 	<ul style="list-style-type: none"> 生食向けペースト 炒め物 製パン・製菓 	<ul style="list-style-type: none"> あっさりした風味 高い可塑性 	1,335	651
	ショートニング	<ul style="list-style-type: none"> パーム油 大豆油 	<ul style="list-style-type: none"> 揚げ物 製パン・製菓 	<ul style="list-style-type: none"> 高いショートニング性 高いクリーミング性 		444
こめ油	米油	-	<ul style="list-style-type: none"> 食用油 	<ul style="list-style-type: none"> 希少成分(γオリザノール、フェルラ酸等)含有 	173	785

*: 2024年の消費量、但し、カカオ脂・カカオ脂代替の消費量は2023年時点

※USD=158.8円(2026/1/13)

出所: 日本植物油会website、不二製油website、日本マーガリン工業会website、日本食品標準成分表、一般社団法人Jミルクwebsite、エキスパートコメントをもとにADL作成

各種脂肪酸は、主に天然由来油脂原料から高純度化されて使用されている 価格は全体的に高価

脂肪酸	系統	製品形態	原料油脂	主な用途・機能*1		製品例		
				食用	非食用	製品	単価(円/kg)	
パルミ トレン酸	n-7	高純度油脂	<ul style="list-style-type: none"> マカデミア油 サジー油 魚油 	<ul style="list-style-type: none"> 粘膜の修復機能を目的としたサプリとして利用 メタボ対策を目的とした代謝改善用サプリとして利用 	<ul style="list-style-type: none"> 高い浸透性によるべたつかなさを活かした化粧品として利用 バリア機能により、高機能化粧品として利用 	マカデミア油	希少性、酸濃度の高さ、有用な微量成分の豊富さから高価	3,000
						サジー油		92,000
オレイン酸	n-9	高純度油脂	<ul style="list-style-type: none"> ヒマワリ油 ツバキ油 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化安定性、耐熱性が高いため食用油に利用 	<ul style="list-style-type: none"> 高い保湿性能、艶出し効果により化粧品に利用 	ツバキ油	天然由来かつオレイン酸以外の希少成分もあり高価	22,000
		油脂化学品	<ul style="list-style-type: none"> パーム脂 牛脂 	<ul style="list-style-type: none"> 高い界面活性機能により、食品添加物(乳化剤)として利用 	<ul style="list-style-type: none"> 溶解力の高さを活かして、相溶化剤として化粧品に利用 	オレイン酸(油脂化学品)		1,300
αリノレン酸	n-3	高純度油脂	<ul style="list-style-type: none"> アマニ油 えごま油 	<ul style="list-style-type: none"> 悪玉コレステロールの低下機能、血圧低下機能を活かし、ドレッシングや調味油として利用 	<ul style="list-style-type: none"> メラニン生成抑制作用により、シミやそばかすを防ぐ化粧品に利用 	アマニ油		3,700
γリノレン酸	n-6	高純度油脂	<ul style="list-style-type: none"> 月見草油 ルリジサ油 	<ul style="list-style-type: none"> 動脈硬化や高血圧に有効なため、食用サプリとして利用 	<ul style="list-style-type: none"> 優れた抗炎症機能により、化粧品(敏感肌向け)に利用 	ルリジサ油	栽培と収穫の困難さ、搾油・精製コストの高さから高価	22,000

*1：企業のwebsiteや業界団体の情報をもとに記載

出所：Aromtech社 website、皮膚科学専門誌『Journal of Lipid Research』、日本植物油会 website、日本化学会 website、Kraton website、日油 website、厚生労働省 e-ヘルスネット、消費者庁 機能性表示食品届出データベース、各種公開情報をもとにADL作成

オレイン酸はパーム油のバイオ代替に伴い、バイオ代替が進行 他製品はコスト面に課題がありつつも、高機能化や希少資源代替にニーズあり

着目製品	バイオものづくりニーズ	バイオものづくり市場規模(mUSD)				全体の市場規模(mUSD)			
		2024*	2030	2035	2040	2024	2030	2035	2040
カカオ脂	<ul style="list-style-type: none"> チョコレート・化粧品市場においてニーズ有 - 希少資源代替によるコスト削減と高機能化の需要増 - プレイヤーが多く、すでに商業化が進行中 	微小	18 (0.7%)	87 (2.3%)	201 (3.7%)	5,400	7,800	10,400	13,400
バター	<ul style="list-style-type: none"> 一部の加工食品向け、生食向け市場にニーズ有 - 原料代替による環境負荷低減とヴィーガン対応の需要増 - 現状プレイヤーが少なく、コストと品質の再現が困難 	微小	430 (0.6%)	880 (1.0%)	1,470 (1.4%)	55,000	71,000	87,000	103,000
こめ油	<ul style="list-style-type: none"> 現時点で食用、工業品市場においてニーズ小 - 米油代替ニーズは少ないが希少成分のニーズはある - 米油のバイオ代替プレイヤーは見られない 	微小	微小	微小	微小	3,200	3,900	4,500	5,200
パルミトレイン酸	<ul style="list-style-type: none"> 化粧品、食用サプリ向け市場においてニーズ有 - 希少資源代替によるコスト削減と高機能化の需要増 - 現状プレイヤーは少ないが、EPAやDHA製造技術の転用により技術開発が進むと史料 	微小	17 (5%)	43 (10%)	80 (15%)	260	350	440	540
オレイン酸	<ul style="list-style-type: none"> 化粧品市場においてニーズ有 - パーム油代替による環境負荷低減と高機能化の需要増 - プレイヤーが多く、すでに商業化が進行中 	微小	17 (3%)	40 (5%)	71 (8%)	460	540	620	700
リノレン酸	<ul style="list-style-type: none"> 化粧品、食用サプリ市場においてニーズ有 - 希少資源代替によるコスト削減と高機能化の需要増 - 化粧品向けのγリノレン酸の製造技術は確立しており、今後サプリ向けのプレイヤーが増加すると思料 	微小	4 (5%)	8 (10%)	15 (15%)	59	72	85	97

バイオものづくり由来のCBE等の需要を含む

バイオものづくり由来のパーム油代替で製造したマーガリン等の需要を含む

バイオものづくり由来のパーム油で製造したオレイン酸も含む

γリノレン酸のみ計上

*カカオ脂は2023年の数値
出所：USDA、各種公開情報、エキスパートコメントをもとにADL作成

カカオ脂・パルミトレイン酸は、短期でコスト低減ニーズが高く、中長期では高機能化・規制対応ニーズが拡大すると思料

着目製品	ニーズの強さ		ニーズの動向	
	短期	中長期	短期	中長期
カカオ脂	中	大	<ul style="list-style-type: none"> カカオ油の価格高騰と高機能製品の需要増を背景に、コスト低減、高機能化ニーズが拡大 	<ul style="list-style-type: none"> カカオ豆規制と高機能製品のさらなる需要増を背景に、規制対応、高機能化ニーズがさらに拡大
バター	小	中	<ul style="list-style-type: none"> 原料の環境規制を背景に、バイオ代替原料を使用した製品のニーズがわずかに拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 一部の製品の高機能化やアニマルフリーの需要増を背景に、高機能化製品やヴィーガン対応製品のニーズが拡大
こめ油	微小	微小	こめ油のバイオ代替ニーズは見られない (希少成分のニーズは微小)	こめ油のバイオ代替ニーズは見られない (希少成分のニーズは微小)
パルミトレイン酸	中	大	<ul style="list-style-type: none"> 高コストな原料・製造プロセスと高機能製品の需要増を背景に、コスト低減、高機能化ニーズが拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 原料規制と高機能製品のさらなる需要増を背景に、規制対応・高機能化ニーズがさらに拡大
オレイン酸	中	大	<ul style="list-style-type: none"> パーム油規制と高機能製品の需要増を背景に、規制対応、高機能化ニーズが拡大 	<ul style="list-style-type: none"> さらなるパーム油規制と高機能製品の需要増を背景に、規制対応、高機能化ニーズがさらに拡大
リノレン酸	小	中	<ul style="list-style-type: none"> γリノレン酸の高コストな原料・製造プロセスと高機能製品の需要増を背景に、コスト低減、高機能化ニーズが拡大 	<ul style="list-style-type: none"> γリノレン酸を用いた高機能製品のさらなる需要増を背景に、高機能化ニーズがさらに拡大

着目製品においては、一部の製品でバイオものづくり製品が商用化されている

着目製品	バイオものづくりにおける代替動向	動向概要	主要プレイヤー
カカオ脂	商業化済 (発酵のみ)	<ul style="list-style-type: none"> カカオそのものを作る細胞培養の方がカカオ脂に寄せる精密発酵に比べて顧客獲得に先んじているが、規制・低生産性により上市が遅れている 菓子メーカーを主な顧客としており、オフイク契約を結ぶ企業も存在 	<ul style="list-style-type: none"> California Cultured Yali Bio Planet A Foods
バター	商業化準備中	<ul style="list-style-type: none"> 脂肪や乳製品という面から参入しようとするバイオものづくりプレイヤーは見受けられるが、代替バターをメインとするプレイヤーは少ない 乳業サプライヤーと連携を進める 	<ul style="list-style-type: none"> Nourish Ingredients Cosaic
こめ油	応用・開発 研究	<ul style="list-style-type: none"> 代替こめ油と称されるものはないが、こめ油の機能性成分ではバイオものづくりで生産する研究が行われている フェルラ酸とトコトリエノールは、バイオものづくりへの研究が進んでいるが、工業スケールでの生産量は確保できていない 	N/A
オレイン酸	商業化済 (初期)	<ul style="list-style-type: none"> オレイン酸をバイオものづくりで生産する取り組みの多くは、パーム油代替油脂を念頭に置いており、食品に比べて化粧品は商業化が進む C16「Palmless™」が50,000 L発酵に成功し、商業スケールに到達。まず化粧品向け原料として販売開始 	<ul style="list-style-type: none"> C16 Biosciences Checkerspot
パルミト レイン酸	商業化済	<ul style="list-style-type: none"> パルミトレイン酸は、微細藻類ナンノクロロプシスに含まれる数多くの栄養素の中の一つとして訴求されている すでに食品・サプリメント市場向けにB2B発売 	<ul style="list-style-type: none"> Qualitas Health
リノレン酸	γは商業化済 (モルティエレラ油等) αは応用研究	<ul style="list-style-type: none"> γ-リノレン酸を多く含む油脂は過去からバイオものづくりによる工業生産可能だったが、リノレン酸は植物油が強く、バイオものづくりによる市場開拓は進んでいない 化粧品・薬用に発売 	N/A

食用油脂において既存油脂を代替するには、規制やコストだけでなく、代替製品に対する顧客・消費者の受容性が課題

食用油脂の普及・開発中技術の課題

基礎研究 ・ 応用研究	生産性向上	<ul style="list-style-type: none"> バイオものづくりによる工業レベルの生産性（速度・精度・量）の達成 <ul style="list-style-type: none"> バイオものづくりによる生産の実現自体は可能 生産性向上にあたっては発酵・培養だけでなく、抽出・精製にも課題有
	オペレーションの最適化	<ul style="list-style-type: none"> 生産の拡大に伴い、品質管理の強化、サプライチェーンの構築が必要 <ul style="list-style-type: none"> 精密発酵は複雑なバリューチェーンであり、規模拡大により勢いが失われることがある
供給	資金調達	<ul style="list-style-type: none"> 工場建設・スケールアップには大きな資金と一定期間が必要 <ul style="list-style-type: none"> 調達した資金で実行できるかといった難しさがある
	製造コスト	<ul style="list-style-type: none"> コスト高の許容に向けたサプライチェーンの経済性の改善 <ul style="list-style-type: none"> 特に精密発酵はプロセスが複雑であり、コストが高い 従来品より高いコストを顧客に価格転嫁する理由となる機能性が必要
需要	規制	<ul style="list-style-type: none"> 既存規制への認可対応（特に新しい用途・原料への許認可取得時間の長さ） <ul style="list-style-type: none"> 新しい用途・原料などは、GRASなどの認可まで時間がかかる 特にカカオやミルクの細胞培養などではいまだ認可が下りていない
	代替製品としての受容	<ul style="list-style-type: none"> 製品自体が顧客・消費者への受容性の向上 <ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ、ビーガン対応、機能性などを価値として訴求するが、汎用的な商品だと、製品自体が顧客・消費者に受け入れられるかも課題 消費者にとって味・風味は重要、B2B顧客にとって慣れ親しんだ素材に近いかも重要か

すでに商用化が進んでいるパーム油や今後プレーヤーが増えそうなココアバターの技術確立可能性が高いと推察

製品	技術の確立可能性		要因
	短期	中長期	
カカオ脂	中	大	<ul style="list-style-type: none"> 結晶性・融点プロファイルなど“機能”が支配的で、単純な脂肪酸生産より難度は上がる サステナ需要・供給懸念を背景に、企業プレイヤー数が多い
バター	小	中	<ul style="list-style-type: none"> 現状、コストと品質の再現は難しい マーガリンなど植物油由来での代替もすでに定着しており、アニマルフリーの利点あまり効かない。専業のプレーヤーは多くない
こめ油	小	小	<ul style="list-style-type: none"> こめ油に含まれるγ-オリザノールはフェルラ酸エステル混合物であり、発酵で作ろうとすると複数プロセスを踏む必要がある プレーヤーはおらず、機能性成分は米ぬかからも採取可能であり、サステナビリティの観点が効かない
オレイン酸	大	大	<ul style="list-style-type: none"> 単一脂肪酸寄りで設計しやすく、すでに技術的には確立に近い 市場が大きいこともあり、プレーヤーが多い
パルミトレイン酸	中	大	<ul style="list-style-type: none"> 魚油代替として近隣領域のDHA/EPAは、微細藻類による生産が一般化しているため、技術の転用が可能と思料 高パルミトレイン酸油は従来油脂でも貴重だが、現状プレーヤーは少ないが、今後増えていくと考えられる
リノレン酸	αリノレン酸	小	<ul style="list-style-type: none"> 供給量の多いごま油や亜麻仁油で豊富なため、そもそも、バイオ代替需要が少ない 参入プレーヤーも見当たらない
	γリノレン酸	中	

着目製品の勝ち筋

着目製品において、各種バイオものづくりの提供価値の訴求に向けた開発が進められているが、大々的な商業化には至っていない状況

提供価値	価値概要	事例	
1 新規機能の 創出・機能向上	<ul style="list-style-type: none"> • <u>バイオものづくりのプロセス以外で生産が困難であり、高い機能の付加が可能</u>な物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 特殊構造の作成 <ul style="list-style-type: none"> - SOS・POS・POPという、一般的な植物油からは作りにくく、ココアバターに多いTAGを微生物発酵で作成可能 - Yali Bioは脂肪酸の並びから自社製品をS.O.S Butterと呼ぶ 	
2 既存素材の コスト削減	<ul style="list-style-type: none"> • 反応ステップ数が多い、生産性や収率が低い等の理由で、<u>既存製法ではコストが非常に高い</u>物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 希少資源代替 <ul style="list-style-type: none"> - 魚油は漁獲量の変化により材料供給が不安定。資源制約・価格変動だけでなく汚染物質（重金属等）への懸念有 - すでに魚油に多く含まれているDHA、EPA、ARAなどの微細藻類による製品は大規模商用化済み。経済性も一定担保可能と推察 	
サステナビリティ貢献	3 原料調達・ 製造に伴う 負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> • <u>製品の原料を調達、または製造する際の環境負荷を低減する</u>物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 原材料として農業・工業の残渣・副産物、CO2やH2のガスを使用 • 石油製品の代替 <ul style="list-style-type: none"> - Checkerspotは従来スキーに使用される石油系プラスチックや樹脂を藻類由来バイオプラスチックに置き換えると、耐久性・安定性・衝撃吸収性が向上するとアピール
	4 製品使用に 伴う 負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> • <u>製品使用に伴う人体への負荷や、製品使用後の環境負荷をもたらす有害物質を代替する</u>物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 特定の食べ物が食べられない人向け <ul style="list-style-type: none"> - Nourish Ingredientsなどは、植物由来の乳製品代替にも使えると訴求 - 魚油代替プレーヤーはヴィーガン&アレルゲンフリー原料であると訴求
	5 生物多様性 保護	<ul style="list-style-type: none"> • <u>環境問題や密猟等に伴う生物の絶滅リスクの回避や動物福祉の向上に貢献する</u>物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 森林破壊等環境問題につながるパーム・カカオの代替 <ul style="list-style-type: none"> - Kokomodoなどはカカオ不足や森林破壊リスクの回避を訴求 - C16 Biosciencesは森林破壊に繋がるパーム油への依存を減らすためにブランドを立ち上げ、パーム油に伴う被害を周知させている

短期的には機能の創出・向上とコスト削減が可能な領域、
中長期的にはサステナや多様性尊重ニーズを満たすことの可能な領域が有望

	短期（～2030年）	中長期（～2040年）
油脂関連の 社会変化	<ul style="list-style-type: none"> 健康・美容需要の増加 従来油脂の供給の不安定さの継続 微生物油の開発・利用促進の政策・規制の制定 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年CN達成に向けた取り組みの本格化 温暖化進行による原料供給不安定さの増大 個人や社会の多様性の更なる尊重
訴求が効く バイオものづくり 製品の提供価値	<ul style="list-style-type: none"> ①機能の創出・向上 ②既存素材に比べたコスト削減 	<ul style="list-style-type: none"> ③原料調達・製造に伴う負荷低減 ④製品使用に伴う負荷低減 ⑤生物多様性保護
注目製品における 有望領域仮説	<ul style="list-style-type: none"> 供給不安定性・コスト低減が求められる油脂由来製品 <ul style="list-style-type: none"> 発酵由来CBE（ココアフリー・チョコレート用脂） やシアバター代替 健康・美容志向×機能が求められる脂肪酸 <ul style="list-style-type: none"> 魚油代替としてのPUFA（多価不飽和脂肪酸） （特にオメガ3(EPA/DHA)） 	<ul style="list-style-type: none"> 個人の思想・特徴の尊重に貢献する油脂由来製品 <ul style="list-style-type: none"> ビーガン、ハラル、アレルギー対応のアニマルフリー動物脂 動物由来バターやラードと同等の官能・機能を持つ微生物由来油脂 環境負荷低減および石油代替に貢献する脂肪酸 <ul style="list-style-type: none"> 化学製品の原料となる微生物由来のオレイン酸

短期的には機能性・コスト低減訴求により浸透度向上を狙い 中長期的には多様性・サステナビリティ貢献素材としての確立を狙う

	短期（～2030年）	中長期（～2040年）
領域	<ul style="list-style-type: none"> 機能の創出・向上とコスト低減を実現可能な製品 <ul style="list-style-type: none"> 供給不安定性・コスト低減が求められる油脂由来製品 健康志向×機能が求められる油脂化学品 	<ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ・多様性尊重に貢献可能な製品 <ul style="list-style-type: none"> 個人の思想・特徴の尊重に貢献する油脂由来製品 環境負荷低減および石油代替に貢献する油脂化学品
事業面	<ul style="list-style-type: none"> 低難易度領域での協業による生産性向上・コスト削減 <ul style="list-style-type: none"> 原理的に大幅なコスト削減が見込まれ、かつ高度な技術を用いない領域に特に着目 自社の技術で対応できない領域での他企業（発酵系）との提携 B2B顧客に使われやすい製品の開発・販売 <ul style="list-style-type: none"> B2B顧客と製品開発時から接触・協業し、顧客の製品理解を深め、顧客ニーズが確実にある領域をターゲットに設定 顧客の既存プロセスにドロップインで使用可能な設計 消費者・顧客の受容性が高いセグメントからの市場参入 	<ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ・多様性促進に課題のある油脂への展開 <ul style="list-style-type: none"> 使用する微生物の横展開 微生物油製造時の副産物の利用促進 工業スケールでのLCAでの価値訴求に向けた開発推進 <ul style="list-style-type: none"> 炭素源や抽出におけるエネルギー源等各プロセスの改善
政策面	<ul style="list-style-type: none"> バイオものづくり品の使用の促進 <ul style="list-style-type: none"> 食品基準におけるバイオものづくりにおける製品の安全性を正確に迅速に判断する審査機関の体制構築 従来の原料・生産方法使用に対する規制制定に向けた啓発 	<ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ・多様性促進に向けた政策・規制制定 <ul style="list-style-type: none"> 脱炭素化、グリーン化等社会的価値創出に向けた義務規定の制定（配合率の設定等） グリーン公共調達やカーボンプライシングと連動した、バイオ由来油脂採用による経済メリットが享受可能な制度設計の提言

バイオものづくりならではの
機能性・コスト低減訴求による
バイオものづくり油脂製品の浸透度向上

バイオものづくり製品の
多様性・サステナビリティ貢献素材としての確立

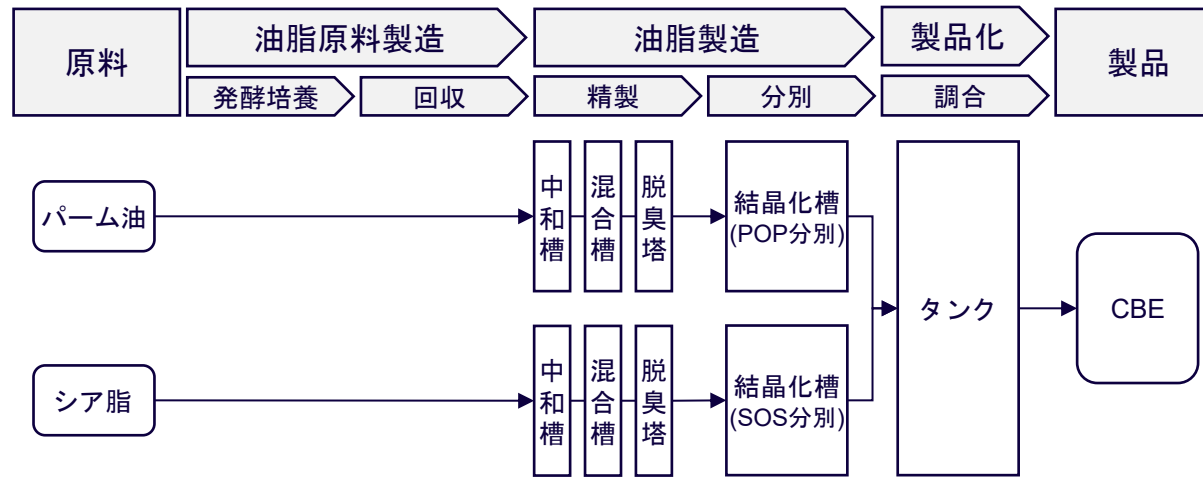
短期的にはカカオ脂のCBE代替とパルミトリン酸製造 中長期的にはバターやγリノレン酸への展開が有望か

勝ち筋方向性

着目製品		短期（～2030年）	中長期（～2040年）
カカオ脂		原料希少性かつ高価格で、構造的にもバイオものづくりが活かせる CBEの代替 を狙う	更に生産面積拡大抑制規制が強化されれば、より需要が増加するため、生産量拡大の開発が重要
バター		市場ニーズが小さく技術確立も不十分であるため、将来動向を睨みつつ技術開発推進	多様性尊重対応で、構造的にバイオものづくりが活かせるショートニングが有望か
こめ油		市場ニーズがほとんど見られず、こめ油自体も低価格であるため優先度は劣後	技術開発が進展しこめ油の機能性成分を低コストで代替可能であれば参入検討余地有
オレイン酸		パーム油の供給不安定性ニーズ対応で、化粧品向けの製品開発を狙う	左記に加え、石油製品代替向けの環境負荷低減効果向上のための開発が重要 (LCA)
パルミトリン酸		原料希少性かつ高価格で、 バイオものづくりで低コスト化が見込める ため、ニーズの高い高級化粧品やサブリ向けを狙う	(左記の継続・拡大)
リノレン酸	γリノレン酸	高価だが、天然由来製品に対し濃度が課題で、濃度向上に向けた開発により、高級化粧品やサブリ向けを狙う（モルティエレラ油等）	(左記の継続・拡大)
	αリノレン酸	市場ニーズがほとんど見られず、αリノレン酸自体も低価格であるため優先度は劣後	(左記同様)

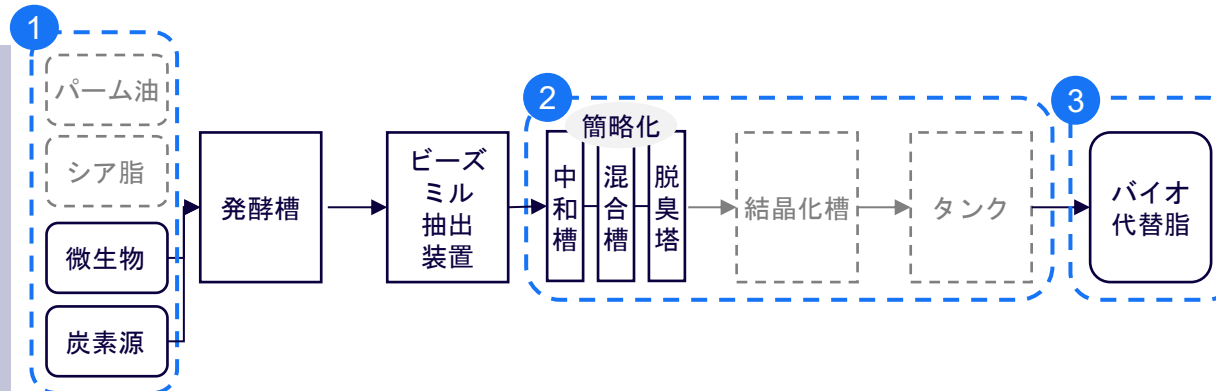
価格高騰・供給リスクの回避と高コスト工程の削減が可能な点で優位であり、プロセスの確立によるコスト低減が重要

カカオ脂 - CBE製造プロセス



従来
プロセス

バイオ
もの
づくり
プロセス



バイオものづくりによる変化点

- 1 価格高騰・供給不足リスクの回避が可能

 - 異常気象、病害虫、産地の政治状況の影響を受けず、原料調達が可能
- 2 高コストな分別・調合工程の削減が可能

 - 微生物の遺伝子設計により、脂肪酸比率を最適化することで将来的に工程の削減が可能
- 3 より高級な化粧品用途への展開が可能

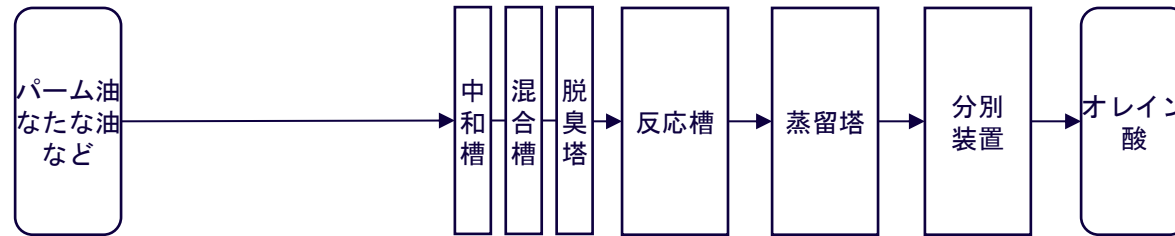
 - CBEより高機能な脂を製造することで、CBEの高価格用途を代替可能

バイオものづくりにより、高コストな工程削減が期待できるものの、原料の パーム油が非常に安価なため、コストメリットは小さいか

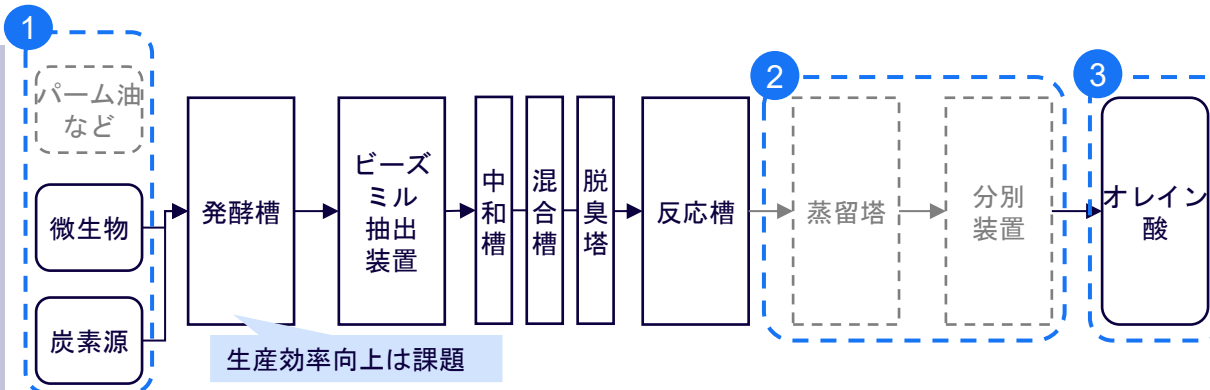
オレイン酸製造プロセス



従来
プロセス



バイオ
もの
づくり
プロセス



バイオものづくりによる変化点

1 価格高騰・供給不足リスクの回避が可能

- 異常気象や環境規制の影響を受けずに、原料調達が可能
- 一方でパーム油は非常に安価なため、コスト的に原料代替は厳しい

2 高コストな蒸留、分別工程の削減が可能

- 微生物の遺伝子設計により、ステアリン酸やリノレン酸の含有量を削減することで将来的に工程の削減が可能

3 高級化粧品、サプリ向けにバイオ代替が可能

- オレイン酸の濃度向上、不純物除去により、高価格製品向けのバイオ代替が可能

*油脂(トリグリセリド)製造では不要

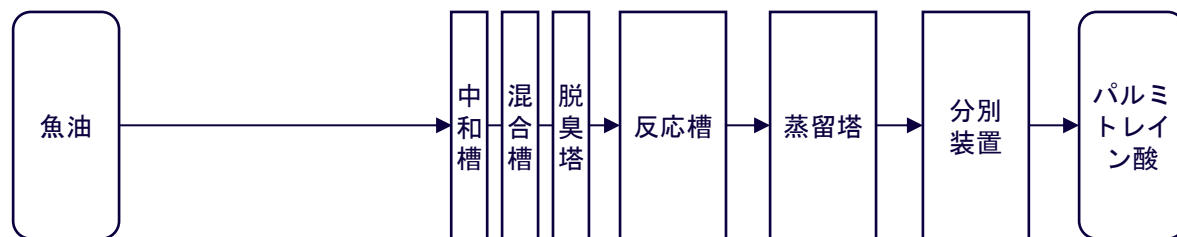
出所：経済産業省「バイオものづくり」関連資料、NEDO website、Checkerspot website、C16 Biosciences website、各種公開情報、エキスパートコメントよりADL作成

蒸留や分別といった高コスト工程の削減が可能な点で優位であり、プロセスの確立によりコスト低減が図れば優位になり得るか

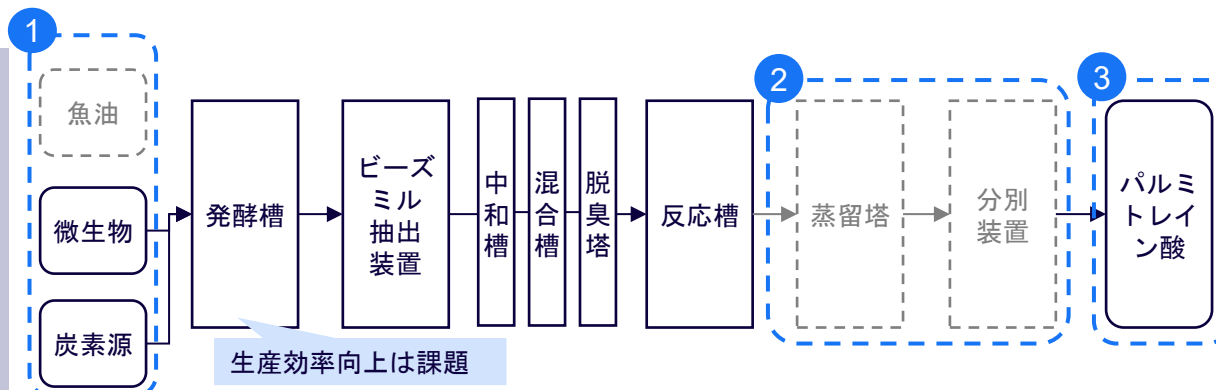
パルミトレイン酸製造プロセス



従来
プロセス



バイオ
もの
づくり
プロセス



バイオものづくりによる変化点

- 1 価格高騰・供給不足リスクの回避が可能
 - ・ 異常気象や漁獲量の影響を受けずに、原料調達が可能

- 2 高コストな蒸留、分別工程の削減が可能
 - ・ 微生物の遺伝子設計により、パルミチン酸の含有量を削減することで将来的に工程の削減が可能

- 3 高級化粧品、サプリ向けにバイオ代替が可能
 - ・ パルミトレイン酸の濃度向上、不純物除去により、高価格製品向けのバイオ代替が可能

*油脂(トリグリセリド)製造では不要

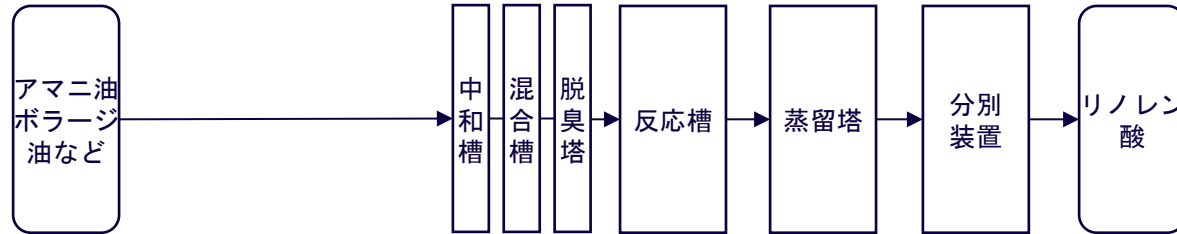
出所：Journal of Oleo Science、Checkerspot website、Corbion website、C16 Biosciences website、各種公開情報、エキスパートコメントよりADL作成

蒸留や分別といった高コスト工程の削減が可能な点で優位であり、プロセスの確立によりコスト低減が図れば優位になり得るか

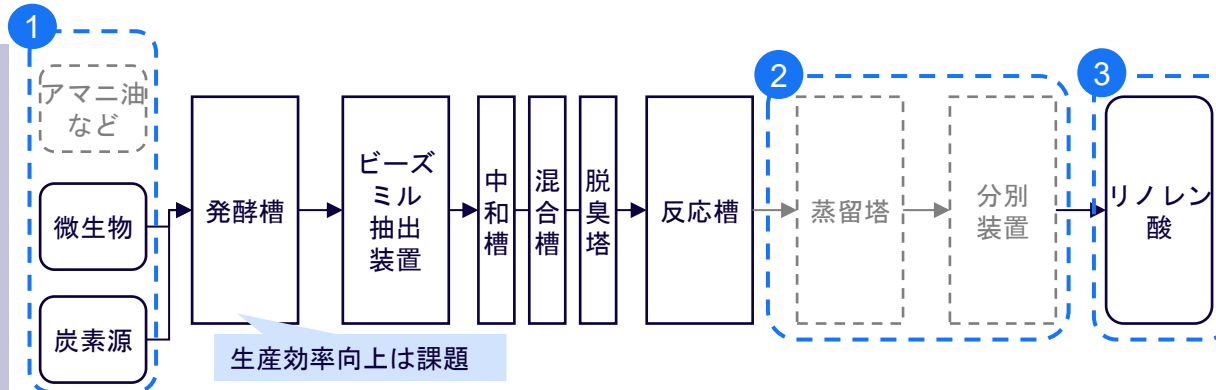
リノレン酸製造プロセス



従来
プロセス



バイオ
もの
づくり
プロセス



バイオものづくりによる変化点

- 1 価格高騰・供給不足リスクの回避が可能
 - ・ 異常気象や環境規制の影響を受けずに、原料調達が可能
- 2 高コストな蒸留、分別工程の削減が可能
 - ・ 微生物の遺伝子設計により、ステアリン酸やリノレン酸の含有量を削減することで将来的に工程の削減が可能
- 3 高級化粧品、サプリー向けにバイオ代替が可能
 - ・ リノレン酸の濃度向上、不純物除去により、高価格製品向けのバイオ代替が可能

*油脂(トリグリセリド)製造では不要

出所：Frontiers in Bioengineering and Biotechnology、ResearchGate website、JAOCS「High-Purity γ -Linolenic Acid from Borage Oil Fatty Acid」、各種公開情報、エキスパートコメントよりADL作成

条件次第では従来油脂に比べて微生物由来油脂が優れうるが、優位性を示すには工業規模での稼働で原料から最終消費までのフルLCAが必要

LCAに関する近年の調査結果

<p>検討状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> 微生物油のLCAのうち、ヘテロ栄養微細藻によるDHA製品については、工業規模プロセスを想定したLCA論文が存在 一方、酵母油（SCO）についてはTEA+LCAの研究はあるものの、商業スケールに近い詳細な公開LCIは少数
<p>検討結果</p>	<ul style="list-style-type: none"> 特定の微細藻類由来のDHA製品では、従来魚油に比べて気候変動への影響が約30–40%低いことが示されているが、優位性はサトウキビの栽培条件や使用エネルギーに強く依存 酵母油は、LCAにおけるGWPでは既存植物油に比べてデータ不足もあり現状劣位である。廃棄物を糖として使用する方法もあるが、糖原料（その生産プロセスを含む）のデータが不足 <ul style="list-style-type: none"> - 酵母油GWP:7.2–11.6 kg CO₂-eq/kg - パーム油GWP:1.36–1.76 kg CO₂-eq/kg
<p>プロセスごとの寄与度</p>	<ul style="list-style-type: none"> サトウキビ糖を用いたヘテロ栄養微細藻DHAのケースでは、多くの環境影響カテゴリで「サトウキビ栽培+砂糖製造」が最大の寄与源 培養・発酵で使用する電力と再エネ割合も重要 微細藻・酵母の多くのケースで脱水・乾燥・油抽出はエネルギー負荷の大きい工程であり、とくに乾燥条件や抽出溶媒の種類・使用量・回収率が結果を左右 残渣タンパク質・バイオマス・副生成物（有機酸、ポリオールなど）を何に使うかでシステム全体の負荷が大きく変化

出所：

Parsons, S., Chuck, C. J., & McManus, M. C. (2018). *Microbial lipids: Progress in life cycle assessment (LCA) and future outlook of heterotrophic algae and yeast-derived oils*. Journal of Cleaner Production, 172, 661–672.

Davis, D. et al. (2021). *Life cycle assessment of heterotrophic algae omega-3*. Algal Research, 60, 102494.

Bonatsos, N. et al. (2020). *Techno-economic analysis and life cycle assessment of heterotrophic yeast-derived single cell oil production process*. Fuel, 264, 116839.

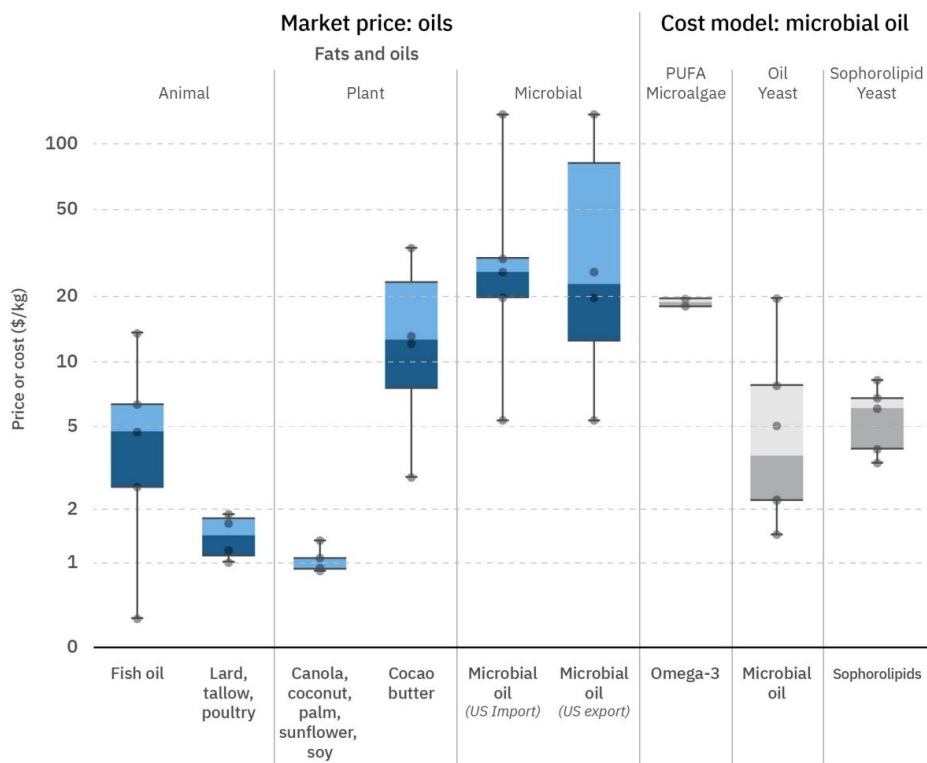
Sae-ngae, S. et al. (2020). *Techno-economic analysis and environmental impact of biovalorization of agro-industrial wastes for biodiesel feedstocks by oleaginous yeasts*. Sustainable Environment Research, 30, 11.

2.-0 LCA Consultants & United Plantations Berhad (2024). *Life Cycle Assessment of Palm Oil at United Plantations Berhad – Results for 2023*.

エキスパートインタビューよりADL作成

微生物由来油脂は汎用油脂に比べてコストが高く、魚油やカカオ脂などの高付加価値油脂よりは安い場合もある

バイオものづくりと従来製品のコスト比較



“現在の公表済みTEMモデルに基づく、微生物由来油脂はコモディティ植物油（脂肪分1kgあたり1.1～1.9ドル）や動物性脂肪（油脂1kgあたり0.9～1.4ドル）に対してコスト競争力を持たない”

“原料コストの削減は、収量および回収率の向上と並んで微生物油の経済性を改善するうえで最も重要なレバーである”

“高単価でも受け入れられる、官能特性や栄養性能が重要な低配合用途がねらい目で特にDHA・EPAなどのオメガ3系PUFAが有望な高付加価値アプリケーションである”
[GFI レポートより]

Figure 15. Comparison of market prices (left) for current animal, plant, and microbial oil products versus TEM COP estimates (right) for microbially produced oils. Trade price ranges are shown for both cocoa butter and microbial oils. For microbial oils prices, both U.S. import and export prices are included; export prices likely reflect high-value omega-3 oils produced in the U.S.

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

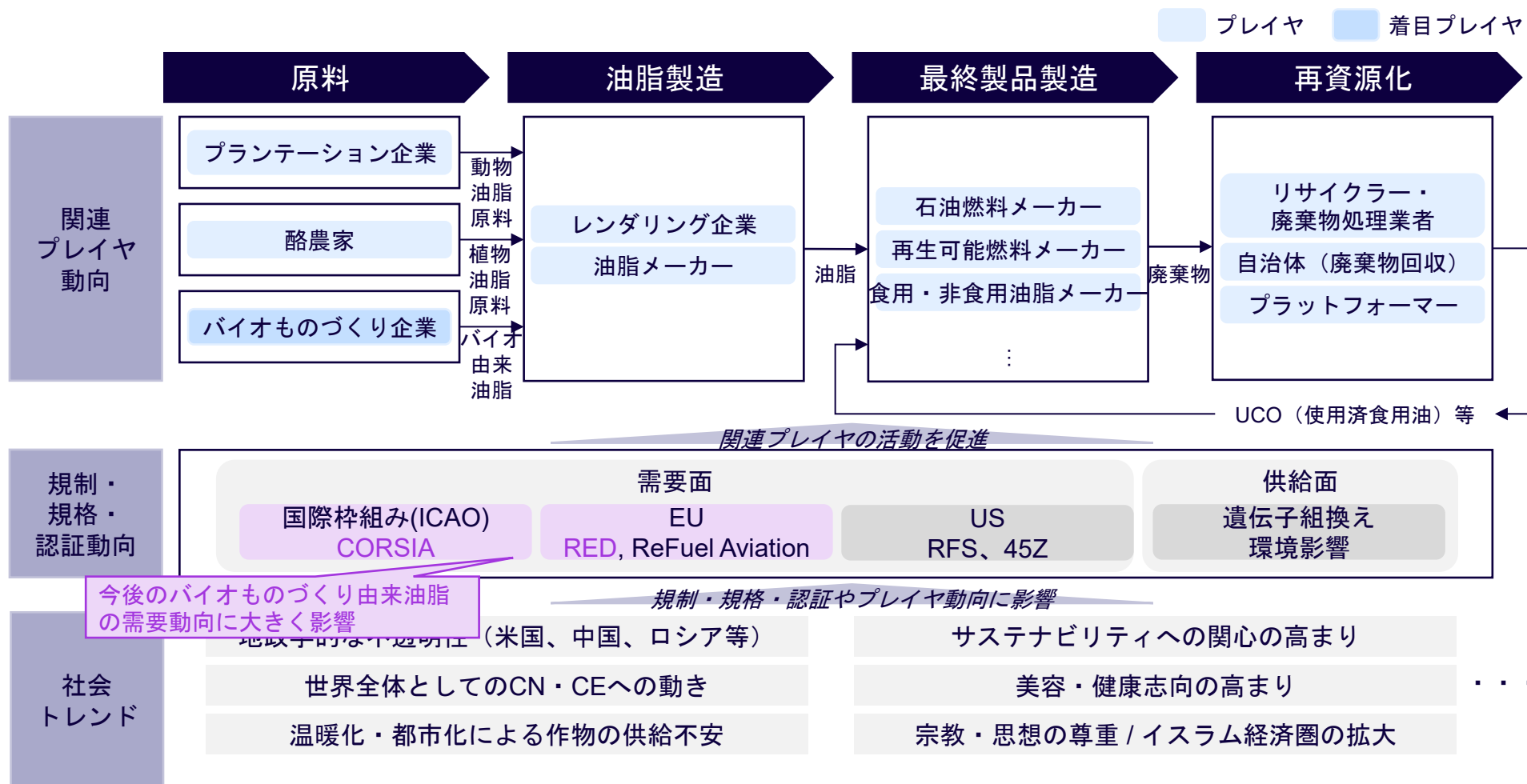
先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

サステナブル燃料市場を取り巻く動向

SAF、BDFにおけるバイオものづくり油脂の需要や将来動向は、ICAOなどの国際機関や各国の規制・制度に大きく左右される



ICAOやEUなどの規制動向が今後のSAF・BDF、バイオものづくり由来輸送燃料の需要動向に大きく影響

ICAOの枠組みCORISIA

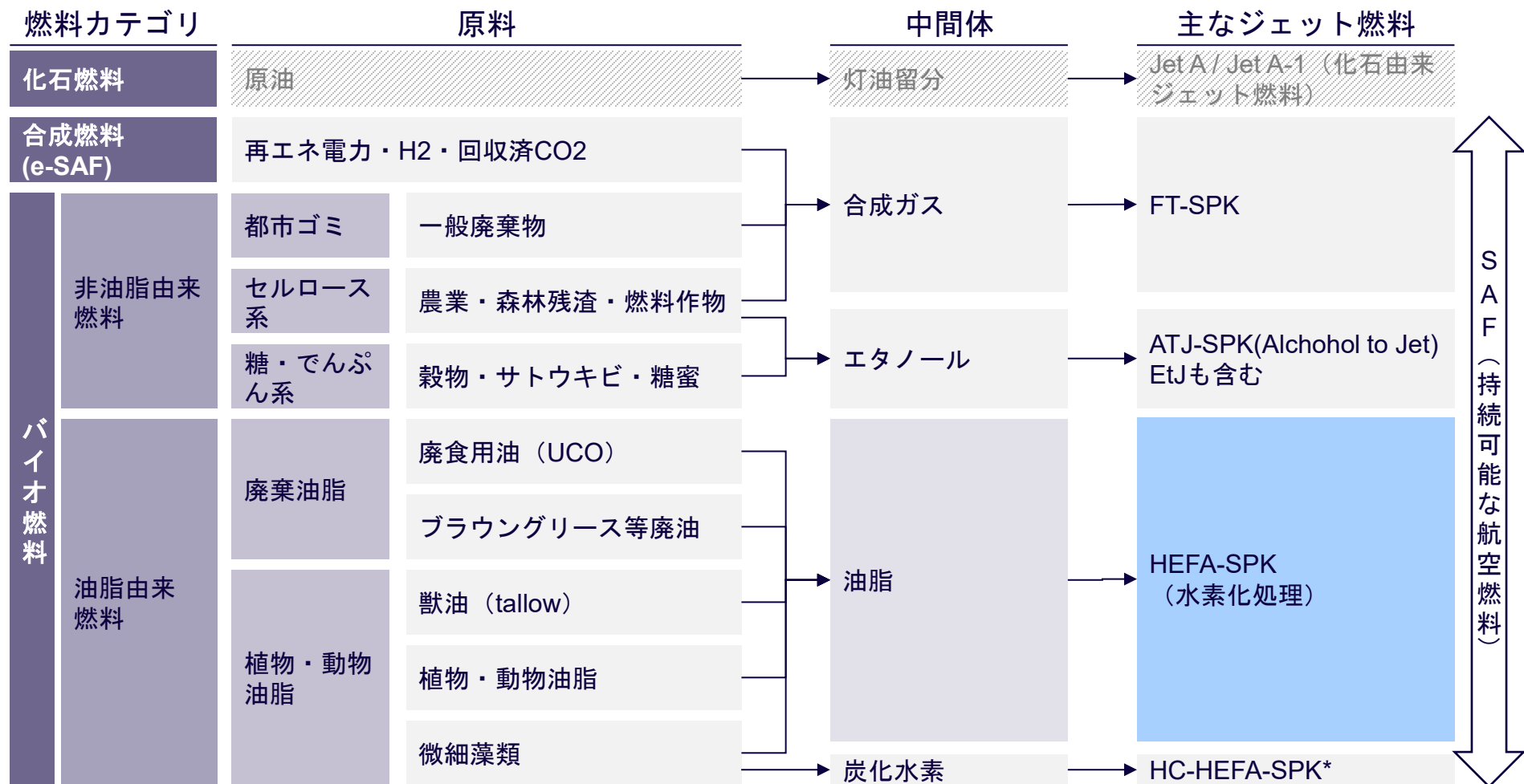
目標	<ul style="list-style-type: none"> ICAO（国際民間航空機関）は2050年に向けてネットゼロを目指す
仕組み	<ul style="list-style-type: none"> CO2排出量に対する国際線の制度対応としてCORISIAがあり、各航空会社はジェット燃料にSAFを混合する事でも負担可能 <ul style="list-style-type: none"> 航空会社はCO2排出がベースラインを超える分についてオフセット必要量が算定され対応が必要 航空会社は、オフセット必要量への対応としてクレジットの償却に加え、CORISIA Eligible Fuels（SAF等）の使用による削減主張で必要量を低減可能 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> ジェット燃料の1単位の排出量と比較した削減率×使用量で計算 </div>
特筆すべき推進対象	<ul style="list-style-type: none"> 原料が残渣・副産物・廃棄物であればカウントされない排出項目が多く、有利 原料がバイオ由来であれば燃焼における排出が計上されない

EUの法令RED III

目標	<ul style="list-style-type: none"> 輸送部門について、加盟国は燃料供給者に供給義務を設定 <ul style="list-style-type: none"> 2030年までに再エネ比率29%またはGHG強度14.5%削減のいずれかを達成させる枠組み 先進的なバイオ燃料(Annex IX Part A)・合成燃料(RFNBO)供給目標も設定 食料・飼料作物由来燃料には厳しく、加算上限が設定
仕組み	<ul style="list-style-type: none"> 目標が達成できない場合の対応は、クレジット購入や不足分に対する課徴金・罰金等各国で設定 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <ul style="list-style-type: none"> 再エネの供給量を中心に計算 再エネに燃料と電力を含める </div> $\text{再エネ比率} = \frac{\text{Annex IX} \cdot \text{合成燃料供給量} \times \text{優遇カウント} + \text{その他再エネ供給量}}{\text{輸送部門の最終供給量(燃料+電力)}}$
特筆すべき推進対象	<ul style="list-style-type: none"> 藻類を含むAnnex IXは研究開発奨励の意図も含めて優遇 <ul style="list-style-type: none"> Annex IX由来バイオ燃料/バイオガスは最大2倍カウント Annex IX Part Aは先進バイオ燃料（藻類、林業・森林産業の廃棄物・残渣、都市ゴミ等） Annex IX Part Bは一部の廃油（UCO、動物脂等）

本件でフォーカスする油脂由来のHEFA以外にエタノール由来のATJ、合成ガス由来のFT合成が有望

本件における着目油脂



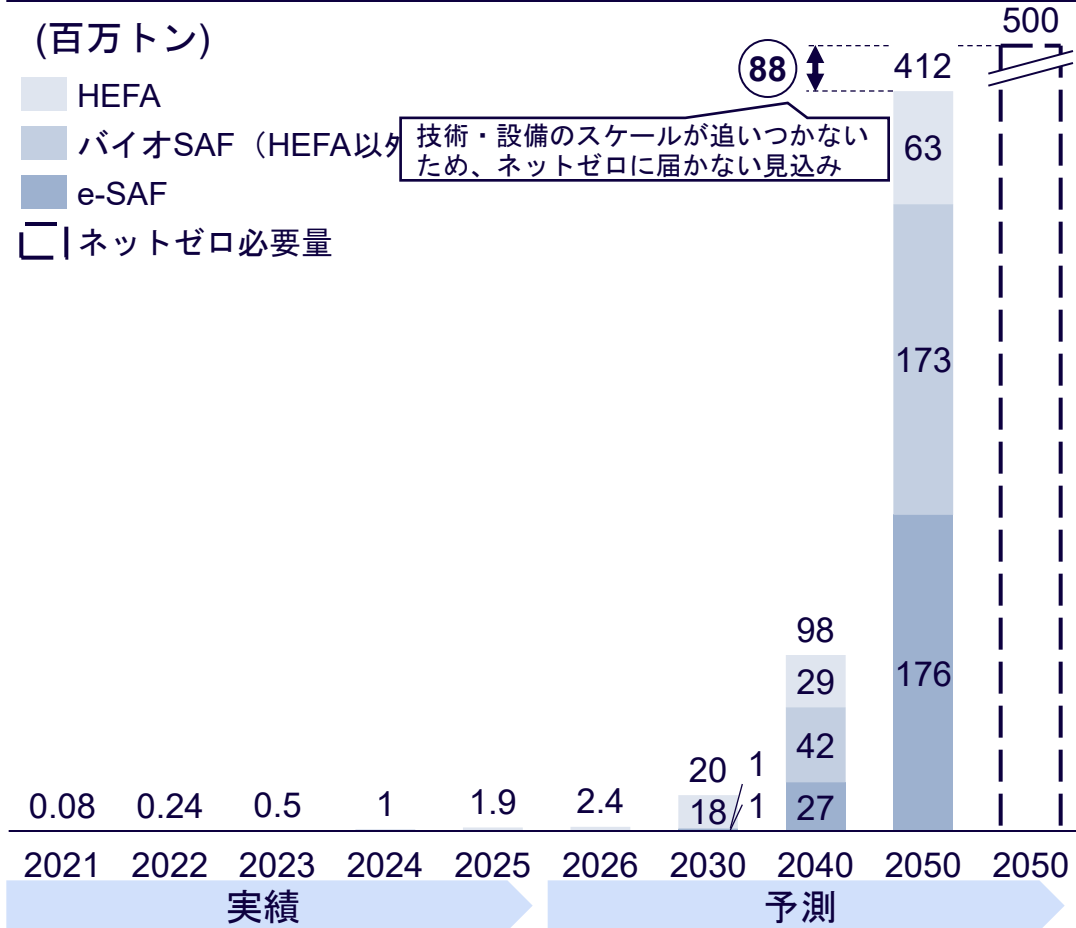
注釈：HC-HEFA は主に特殊な藻類 Botryococcus braunii が分泌する藻油(炭化水素)を水素化处理しバイオジェット燃料化する技術。改質技術自体はHEFAと同一出所：(公財)航空機国際共同開発促進基金、IATA WebサイトよりADL作成

HEFAは大規模商業が進み、ATJやFT合成は近年商業生産を開始

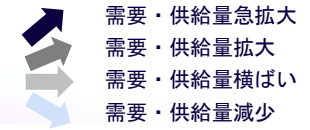
		プロセス	原材料	開発段階	混合上限	概要
洋面航の艦 SAF	油脂由来	HEFA Hydroprocessed Esters Fatty Acids	植物油・藻類油・獣脂・ 廃食油などの油脂	大規模 商用化	50% (Annex 2)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃食油や植物油を水素化処理および脱酸素化して製造 ・ 大規模商用化が進んでおり、今後も拡大予定 <ul style="list-style-type: none"> - Nestleは2027年までに年間生産能力を150万トンから220万トンに拡大する見込み - Eniは2026年までに年間生産能力を年間100万トンに拡大予定で2030年までに倍増させる可能性有
	非油脂由来	ATJ Alcohol to Jet	エタノール/イソブタノール (糖/デンプン/セルロース 由来など)	商用化	50% (Annex 5)	<ul style="list-style-type: none"> ・ アルコールをエチレンなどに脱水し重合することにより製造 <ul style="list-style-type: none"> - 糖・でんぷん、セルロース系の原料を発酵し、エタノール等アルコールを入手 ・ 商用化が近年開始 <ul style="list-style-type: none"> - Lanza Jetが2025年に商業生産を開始(数万トン規模) - Gevoが10万トン規模の施設を建設予定だが、プロジェクト・ファイナンスの問題から開始前
		FT Fischer Tropsch	合成ガス化できる炭素資源 (バイオマス/廃棄物 回収したCO ₂)	商用化	50% (Annex 1)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 木質・農林残渣などのバイオマスや都市ごみ(MSW)、回収したCO₂+再エネH₂を使用 <ul style="list-style-type: none"> - 有機物から合成ガス(CO+H₂)を製造し、FT合成で炭化水素を製造 - 再生可能エネルギーを用いるものはe-SAFと呼称 ・ 近年小規模での商用化準備中 <ul style="list-style-type: none"> - Infimiumが廃CO₂とグリーン水素を原料に2024年に商業生産を開始。数万トン規模の施設が2027年に稼働予定

航空業界が2050年にネットゼロを目指すにあたってSAFは必要不可欠であり、2035年まではHEFAを中心に市場が形成

SAFの生産量（世界）



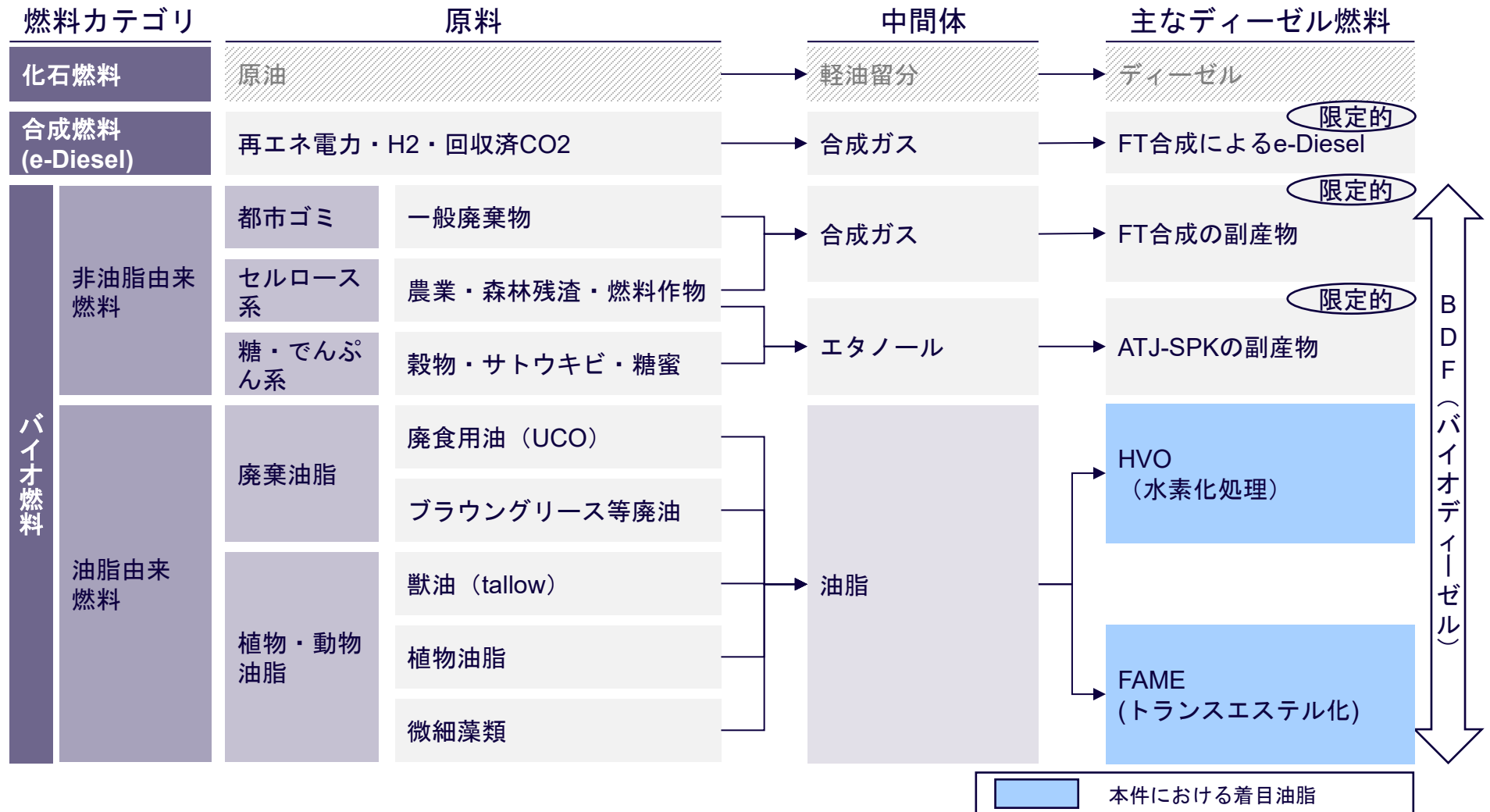
- SAFへの需要
 - 2050年にはネットゼロを目指すには5億トンが必要
 - 航空業界・政府の脱炭素政策（混合義務・支援策）に合わせる形で需要は増加
- SAFの生産
 - SAFの商業生産用プラントが技術確立済みのHEFAを中心に各国で建設中
 - HEFA以外の製法の実証・スケールアップが進む



2050年に向けては、ICAOのネットゼロ宣言や政府・地域の義務設定・支援策によりSAFは大きく成長する見込みだが、供給面で懸念有

市場変動要因		動向	市場成長への影響	
			2030年	2050年
需要	国際機関の目標	<ul style="list-style-type: none"> ICAO（国際民間航空機関）は、国際航空分野で2050年までのCO2排出ネットゼロを宣言 <ul style="list-style-type: none"> 2030年にCO₂を5%削減というグローバル中間目標を設定 世界経済フォーラムでは、世界のジェット燃料供給に占めるSAF比率を2030年に10%へ、というコミットメントに署名 		
	政府の義務・目標	<ul style="list-style-type: none"> 各国政府はEU、USを中心にSAFの利用を義務化・促進 <ul style="list-style-type: none"> EUでは域内空港で供給される航空燃料のSAF最低混合義務を段階導入 <ul style="list-style-type: none"> 2030年にはSAF 6%かつ合成燃料 1.2%。2050年にはSAF 70%かつ合成燃料 35% USでは国内SAF生産目標を2030年 30億ガロン/年、2050年 350億ガロン/年（国内需要の100%相当）を掲げる 		
供給	原料供給	<ul style="list-style-type: none"> 未制約のバイオマスの潜在量は豊富だが、バイオエネルギー・燃料に回り得るのは35%未満であり、廃食油・植物油・廃棄物などは今後の急激な供給増が見込めない <ul style="list-style-type: none"> 微細藻類等新規原料やe-SAFに期待 		
	技術開発	<ul style="list-style-type: none"> HEFAによるSAFが2030年段階では消費量の約90%を占めるが、今後はATJ、次いで合成燃料も技術確立見込み <ul style="list-style-type: none"> 一方で開発中技術の商用化と設備展開のペースが間に合わないため、2050年ネットゼロに向けてSAFの供給量が足りない見込み 		

本件でフォーカスするバイオディーゼルとは、油脂由来燃料を水素化処理して得るHVO、もしくは、トランスエステル化して得るFAMEを主に指す

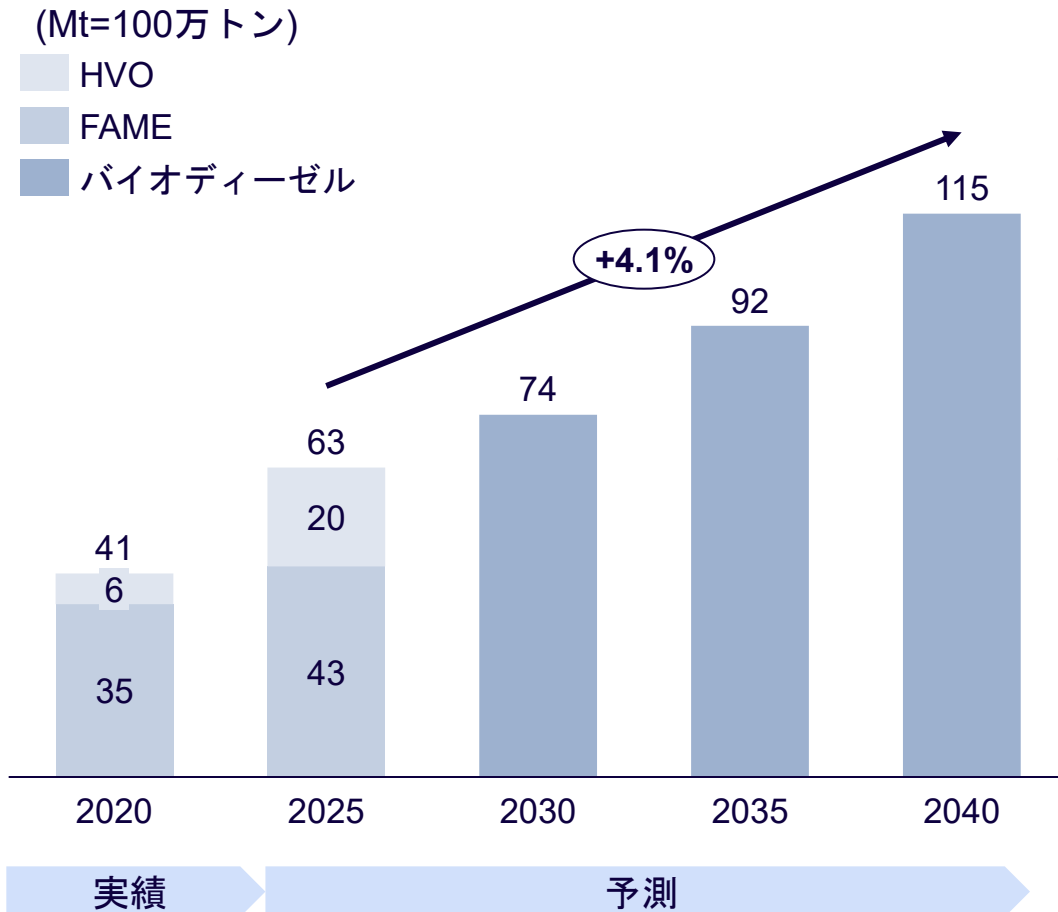


トランスエステル化によるFAMEは従来製造されていたが混合率に上限が存在するのに対し、近年製造開始した水素化処理によるHVOはディーゼル代替が可能

	製品・プロセス	原材料	開発段階	混合上限	概要
従来	FAME (エステル交換反応)	廃食油 ・植物油	大規模 商用化	5~20%で 混合上限を 各国設定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 狭義のバイオディーゼルでは、FAMEを指す ・ 植物油や廃食油を原料としてエステル交換反応によってFAME(Fatty Acid Methyl Ester)を製造 ・ コストはHVOより比較的安価 ・ 酸化しやすく、長期保管不可 ・ 従来から製造 <ul style="list-style-type: none"> – 主要プレイヤーはWilmarやLouis Dreyfus Company – インドネシア等植物油生産国で多く生産
次世代	HVO (水素化処理)	廃食油 ・植物油	大規模 商用化	100%も 可能	<ul style="list-style-type: none"> ・ HVOはRenewable Dieselと呼ばれることが多い ・ 廃食油(UCO)や植物油を水素化処理および脱酸素化してHVO(Hydrotreated Vegetable Oil)を製造 ・ 製造に係るコストはFAMEより高価 ・ 軽油とほぼ同等の性状を有することから長期保管・取扱いが容易 ・ 近年、製造・利用が開始 <ul style="list-style-type: none"> – 主要プレイヤーはDiamond Green DieselやPhillips 66、Nesteであり、UCOや廃獣脂を主に利用

バイオディーゼルの生産量はHVOを中心に拡大するが、原料に対する制約や規制、EV化による輸送燃料需要停滞により成長は停滞すると推測

BDFの生産量（世界）



- 全体
 - 先導する国際枠組みが存在しない
 - 高所得国ではEV・燃費改善により輸送燃料需要そのものが伸びない
 - 特にEUではすでに減少傾向
 - 新興国は油脂生産国を中心にバイオ燃料の新規需要の大部分に寄与
 - 強力なバイオ燃料政策、輸送燃料需要の増加、豊富な原料の潜在能力を持つブラジル、インドネシア、インドなど
 - EUでは、原料制約・持続可能性規制により一部原料が制限される
 - RED II以降、食料・飼料作物由来原料に制限がかかる
 - 高ILUCリスク原料を2030年までにゼロヘフェーズアウト
- HVO
 - ドロップインで利用できるため、従来型バイオディーゼルより導入が進みやすい
- FAME
 - 従来型バイオディーゼルにはブレンド上の制約がある

EVシフトや原料供給の課題がある一方で原料の油脂が豊富な国がバイオディーゼルの混合率を高め、需要を支える

市場変動要因		動向	市場成長への影響	
			2030年	2050年
需要	政府の義務・目標	<ul style="list-style-type: none"> EUやUSでは、燃料供給事業者に供給義務を設定 <ul style="list-style-type: none"> EU (RED III: 輸送部門の再エネ/GHG目標) は義務として加盟国は燃料供給者に対し、2030年までに輸送部門で再エネ比率 29%または GHG強度 14.5%削減義務を設定 USは、対象事業者にBiomass-based diesel (BBD) の義務量を毎年設定 	➔	—
		<ul style="list-style-type: none"> 新興国では油脂生産国を中心にFAMEの混合義務を高く設定 <ul style="list-style-type: none"> インドネシアでは、B40 (軽油にバイオディーゼル40%混合) を2025/1/1から開始 ブラジルでは、2025/8/1からB15に引上げ 	➔	—
	EVシフト	<ul style="list-style-type: none"> EUを中心にEVシフトが進むと考えられる。法規制によっては、2050年に販売台数のうち100%がEVであることも有り得る <ul style="list-style-type: none"> EU: 新車 (乗用車・バン) で2035年に100%排出削減目標 (事実としての規制方向) IEA (NZE) の推計では、2050に向けてロード輸送のエネルギーは電力が大宗になり、バイオ燃料比率は低下と予測 (2030年11%→2050年3%) 	➔	➔
	乗用車以外の需要	<ul style="list-style-type: none"> 乗用車以外の用途 (道路輸送/農機・建機/船舶) ではバイオディーゼルは需給バランスを補完する役割を果たす <ul style="list-style-type: none"> 短距離輸送ではエネルギー源の変更が進む 長距離輸送では水素やアンモニアへの代替は起きるが、切り替わりは比較的遅い 	—	➔
供給	原料供給	<ul style="list-style-type: none"> 未制約のバイオマスの潜在量は豊富だが、バイオエネルギー・燃料に回り得るのは35%未満であり、廃食油・植物油・廃棄物などは今後の急激な供給増が見込めない <ul style="list-style-type: none"> 微細藻類等新規原料やe-SAFに期待 	➔	—

注釈: RFNBOとはRenewable Fuels Of Non-Biological Originであり、主にe-fuelのことを指す

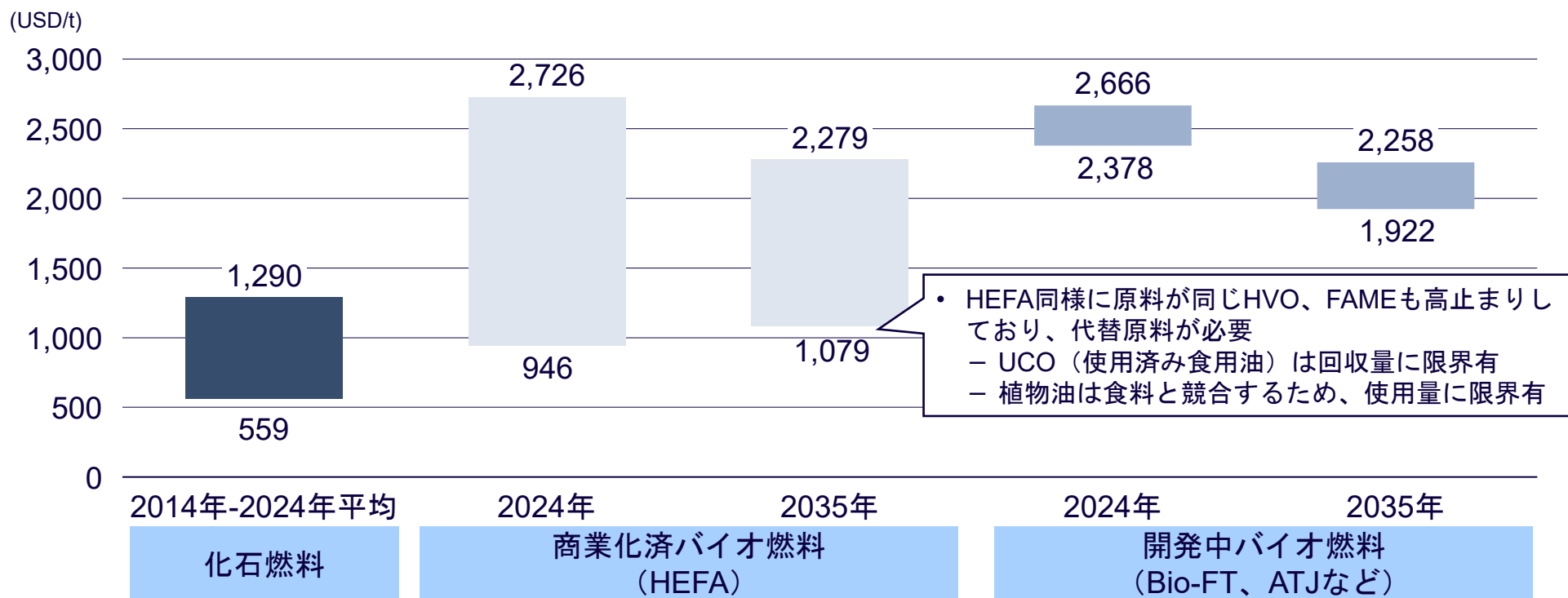
出所:

EU, Delegated Regulation (EU/2023/1640)

EPA, Final Renewable Fuels Standards Rule for 2023, 2024, and 2025

HEFAをはじめとする商業化済みバイオ燃料は原料の価格が需要増により高止まりし、生産可能な最低価格は上昇する見込み

SAF（バイオ航空燃料）のコストと化石燃料価格の比較（2024年および2035年）



• HEFA同様に原料が同じHVO、FAMEも高止まりしており、代替原料が必要
 - UCO（使用済み食用油）は回収量に限界有
 - 植物油は食料と競合するため、使用量に限界有

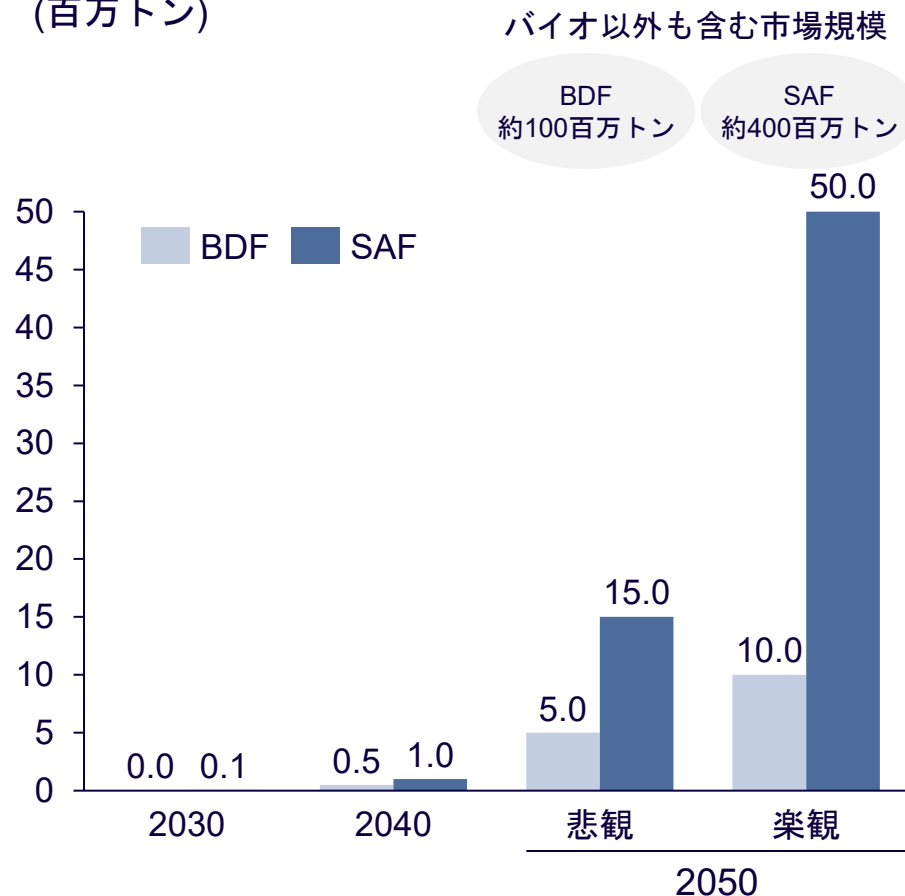
• 既存の商業用バイオ燃料の主なコスト要因は原料であり、生産総コストの80%以上を占める
 • 将来的に、バイオ燃料への競争激化により既存の商業用バイオ燃料が生産可能な最低価格は上昇する
 [IEA「World Energy Outlook 2025」より引用]

サステナブル燃料用油脂の開発動向

藻類由来バイオ燃料は、2030年から商業生産、2040年に100万t生産が可能になり、2050年に数千万tに成長し、SAF需要と供給の差分を埋める役割を果たす

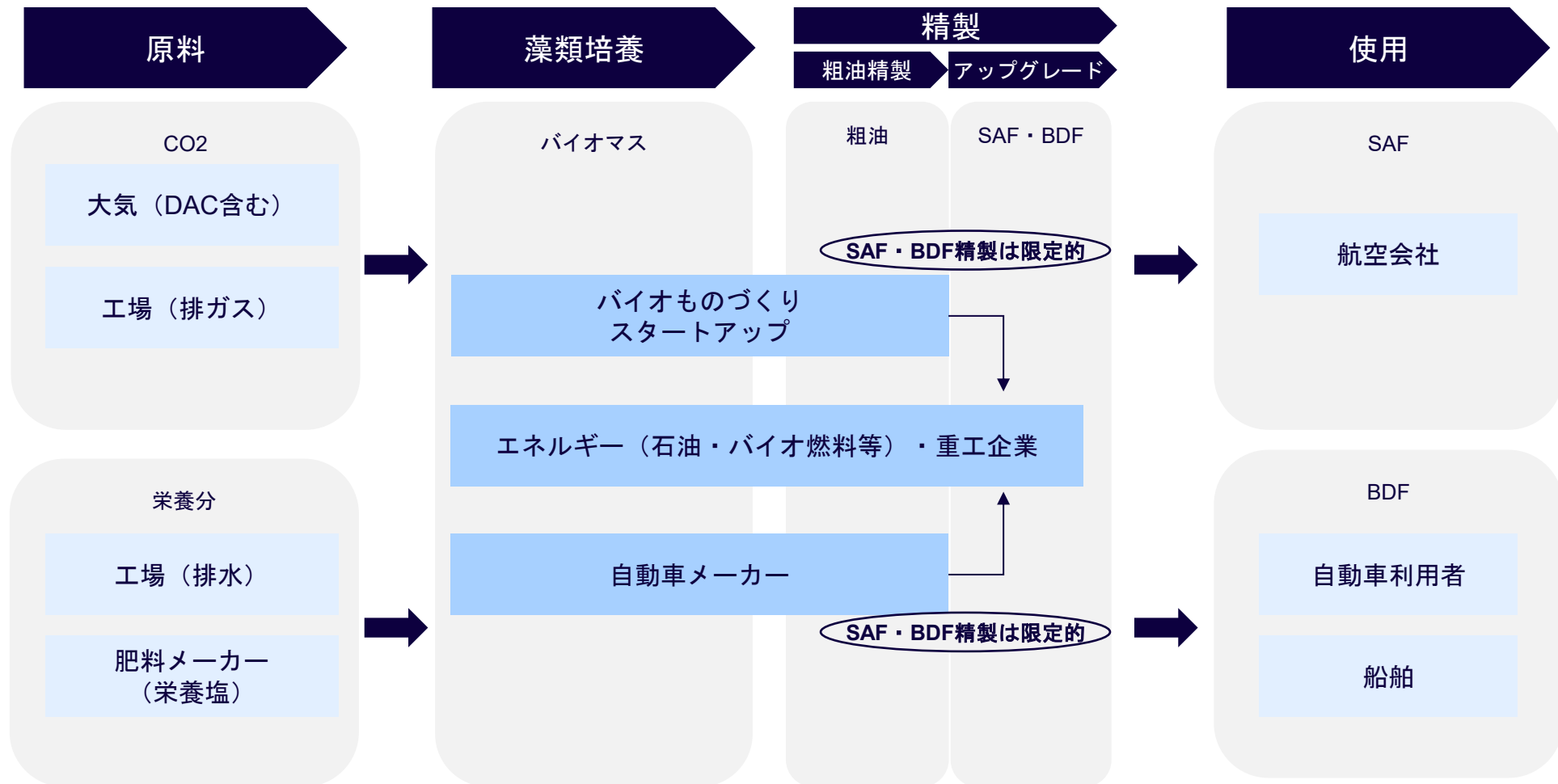
藻類由来バイオ燃料の市場規模（供給可能量ベース）（世界）

(百万トン)



- 藻類由来HEFAへの需要
 - SAFはジェット燃料の最も有望な代替であり、政策により後押しされているが、2050年ネットゼロ達成に向けSAF需給に差分が存在
 - EUのREDでは原料を藻類とする輸送燃料供給は優遇
- 藻類由来BDFへの需要
 - 電動化が進むが、BDF需要は海運、トラック、建機・農機の一部に残存
- 藻類由来燃料の生産
 - 先行プレイヤーが2030年頃に商業生産を開始する見込み（初号機は数万トン/年規模）
 - 各プレイヤーの初号機の商業生産成功により生産可能な各地域への技術移転が進み、需要によって生産能力を拡大。2040年までに50万t級の培養施設が複数建設される見立て
 - 一方で50万t級の培養施設を建設するには、数十億ドルの資本と建設期間が必要であるため、その規模の案件成立は年数件程度で2050年までの供給可能量は数千万tに留まるという見立て
 - SAF、BDFの原料に求められる特徴は重なっている部分が多く、需要によってどちらを生産するかを調節可能

バイオものづくりプレイヤーはCO2を原料に藻類を培養・収穫し、SAFやBDFへの精製は原油同様石油精製企業が担う



商用化を継続して成功させているプレイヤーはおらず、2030年前後での商業化を目指すプレイヤーが多い

プレイヤーカテゴリ	商業化段階	動向概要	主要プレイヤー
バイオものづくり スタートアップ	商業化済	<ul style="list-style-type: none"> 過去商業化準備まで行ったプレイヤーは商業化の難航と資金繰りから破産・経営方針転換 <ul style="list-style-type: none"> Viridosは、長年取り組んだが、商業生産に適した生産性の達成ができず、資金源であったExxon Mobilの方向転換により破産 Cellanaは、Nesteと藻類油のオフテイク契約を結ぶなど実績があったが、今はサプリ、飼料等高付加価値商品に注力 現在商業化準備中の企業は少ないが、2030年前後の商業化を目指す <ul style="list-style-type: none"> Hutan Bioは、2026年の商業パイロット建設を構想中。生産性と安定性のために藻類培養に理想的な種を選抜。初期の大型投資が必要ないモジュール型のバイオリクター設備を活用 CHITOSEは現在5ha規模で稼働しており、2030年までに商業規模となる2000ha規模に拡大する意向 	<ul style="list-style-type: none"> Viridos (US) Cellana (US) Hutan Bio (UK) CHITOSE (日本) ユーグレナ (日本)
エネルギー・重工企業	実証段階	<ul style="list-style-type: none"> バイオ燃料原料の供給源の一つとして藻類培養に着目 <ul style="list-style-type: none"> Nesteは、パイロットレベルの8haのオープンポンドを近年建設 IHIは一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験をNEDOから受託。SAFの国際規格ASTM D7566Annex7(HC-HEFA)を取得 J-Powerはオープン・クローズ型ハイブリッド培養技術の開発をNEDOから受託 	<ul style="list-style-type: none"> Neste (Finland) IHI (日本) J-Power (日本)
自動車	研究段階	<ul style="list-style-type: none"> 自動車業界としてカーボンニュートラルを達成するための手段の一つとして藻類に着目 	<ul style="list-style-type: none"> MAZDA (日本) Honda (日本)

燃料での商業化に必要な高生産性での培養確立までは5~10年かかる見込みであり、スケールアップに向けては、広大な土地確保と資金確保が課題

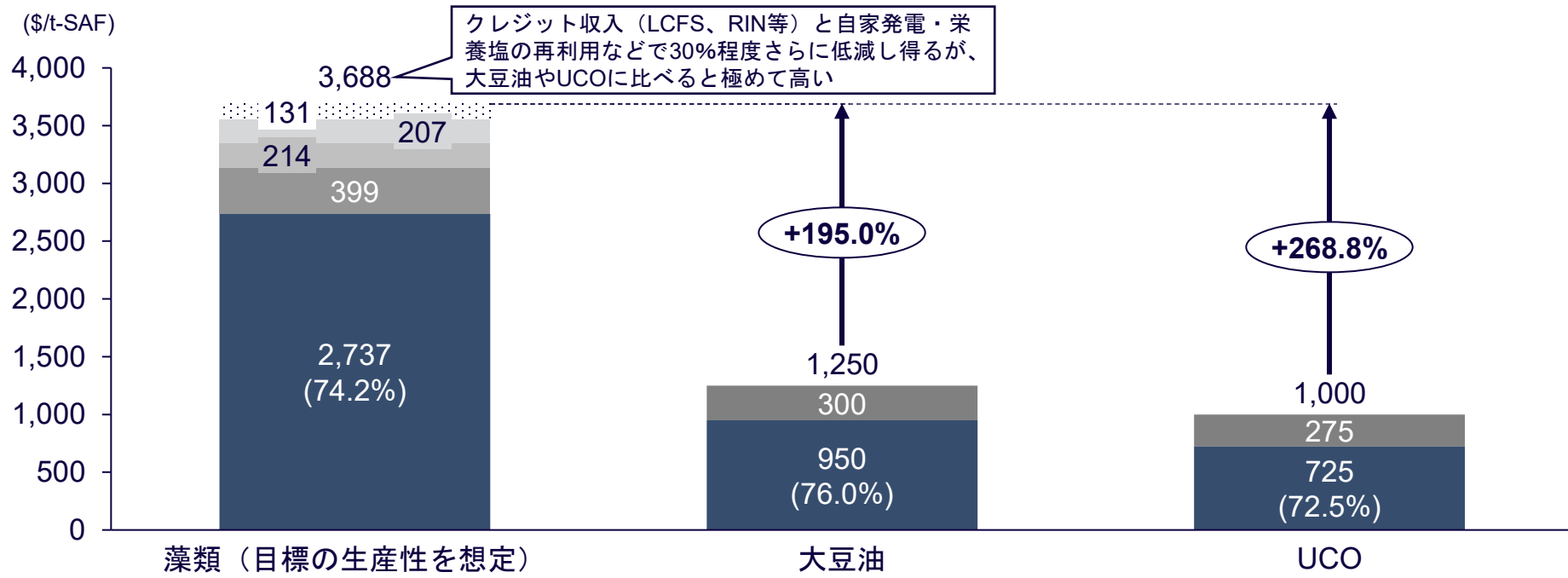
市場成長にあたっての供給面の課題

研究開発・実証	生産性向上	<ul style="list-style-type: none">顧客が重視するコストに直結するため、藻類開発・培養での生産性向上が必要<ul style="list-style-type: none">油から燃料を精製する下流部分（HEFA）では技術確立基準となる生産性の向上と屋外培養での安定性の向上（コンタミ/季節性）が課題であり、解決には5-10年を要する<ul style="list-style-type: none">基準となる生産性の向上は遺伝子組換えが必要安定性の向上には外部環境に強い種の選抜や培養方法の改善が必要
	合計コスト低減	<ul style="list-style-type: none">顧客が重視するコストに直結するため、藻類バイオマスは油脂原料として高い<ul style="list-style-type: none">プール等主要な設備のCAPEXが極めて高いOPEXにおいてもCO2調達コストや電力コスト（特に油水分離）が高い
スケールアップ	資金確保	<ul style="list-style-type: none">商業スケールを実現するには巨額が必要だが、燃料向け藻類に対して今の資本市場は慎重<ul style="list-style-type: none">1万bpd（年間50万t）の施設には数十億ドルが必要2000年代~2010年代初期に比べて燃料向け藻類に対するオフテイク契約や投資が極めて少ない
	土地確保	<ul style="list-style-type: none">広大な土地確保が必要だが、立地条件が多い<ul style="list-style-type: none">商業化に向けては、数千haが必要CO2・海近辺、平坦、低地価、高い日照量・低季節性が理想
規制利用	GHG排出量削減	<ul style="list-style-type: none">顧客のCORSIA等制度利用には石油燃料と比べた際のGHG排出量削減を示す必要がある<ul style="list-style-type: none">電力由来排出が大きく、その中でも揚水や油水分離が大きい非電力では肥料が大きい

顧客にとって特に重要

現状では、従来原料と比較して藻類を原料とするHEFAは倍以上のコストがかかる

原料別のHEFAコスト比較(\$/t-SAF)



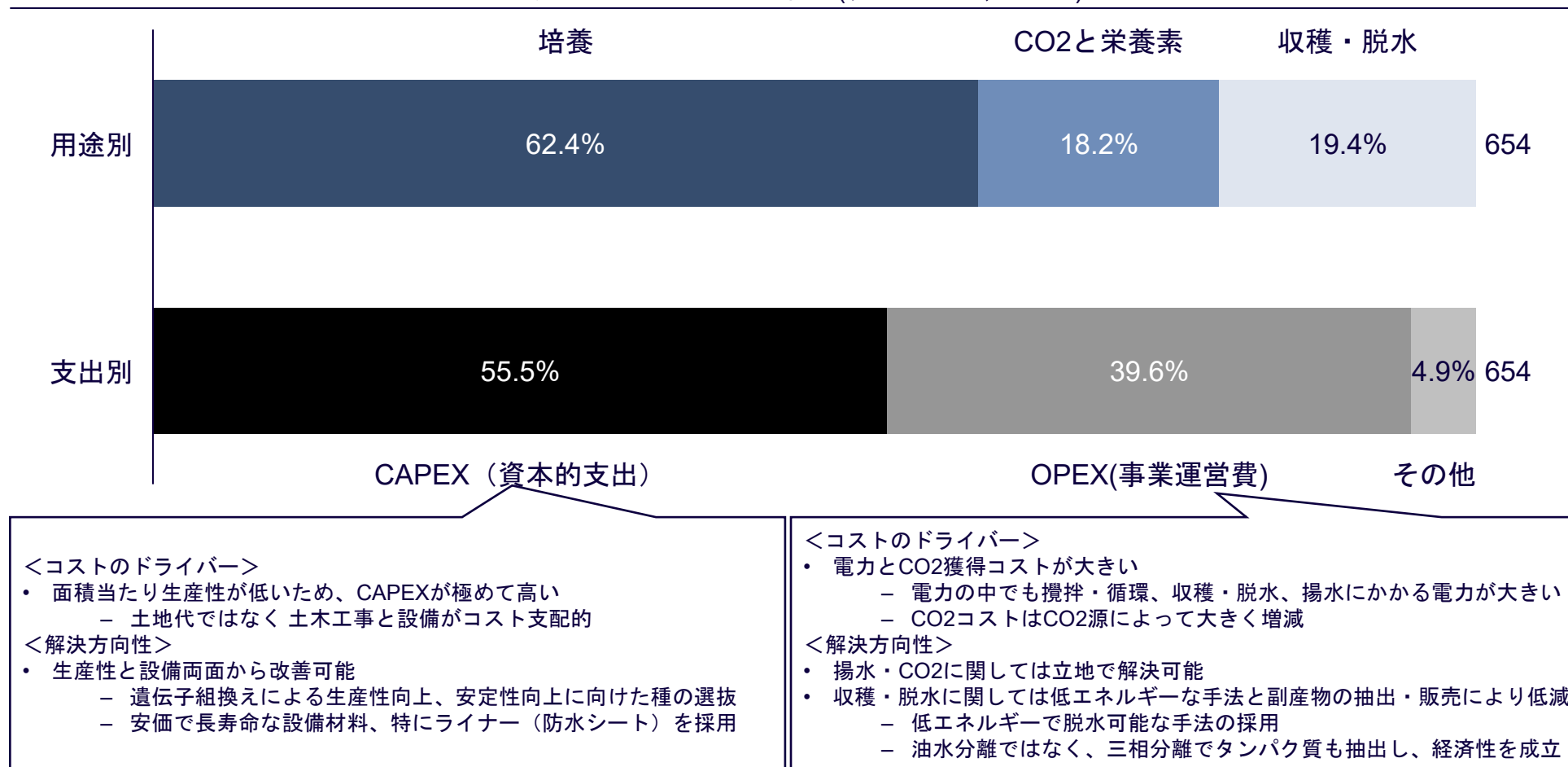
クレジット収入 (LCFS、RIN等) と自家発電・栄養塩の再利用などで30%程度さらに低減し得るが、大豆油やUCOに比べると極めて高い

- その他費用
- 前処理 (抽出前後の前処理・調整工程)
- 脂質抽出 (藻類から油分を回収する工程)
- HEFAアップグレード (水素化・異性化等の燃料化工程)
- HEFA原料
- 生産コスト
- 原料コスト

注釈：RINとLCFSはCI削減が50%以上の場合を想定し適用。
 また、出所先ではAlgae biomass costを495\$/t・Biomass、年平均25 g-AFDW/m²/day (AFDW：灰分除去乾燥重量) 27% lipids as FAMEをターゲットとして設定
 出所：Atnoorkar, S., Wiatrowski, M., Newes, E., Davis, R., & Peterson, S. (2024). Algae to HEFA: Economics and potential deployment in the United States. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18, 1121–1136.
 DOI:10.1002/bbb.2623、ICAO「SAF Rules of Thumb」よりADL作成
 大豆油、UCOの価格は、ICAO「SAF Rules of Thumb」の数値を留出油密度 (kg/L) 0.8として計算

藻類バイオマスではCAPEXが重く、生産性向上と培養設備の変更で改善可能 OPEXにおいては電力やCO2獲得コストが大きい、改善可能

藻類バイオマスのコスト構造(\$/t-Biomass,2023年)



注釈：レースバンドからの蒸発が少ないフロリダの2023 SOT (FA evaporation rates) MBSPを採用。アリゾナの2023 SOT (ASU evaporation rates) MBSP は\$740/ton-biomass

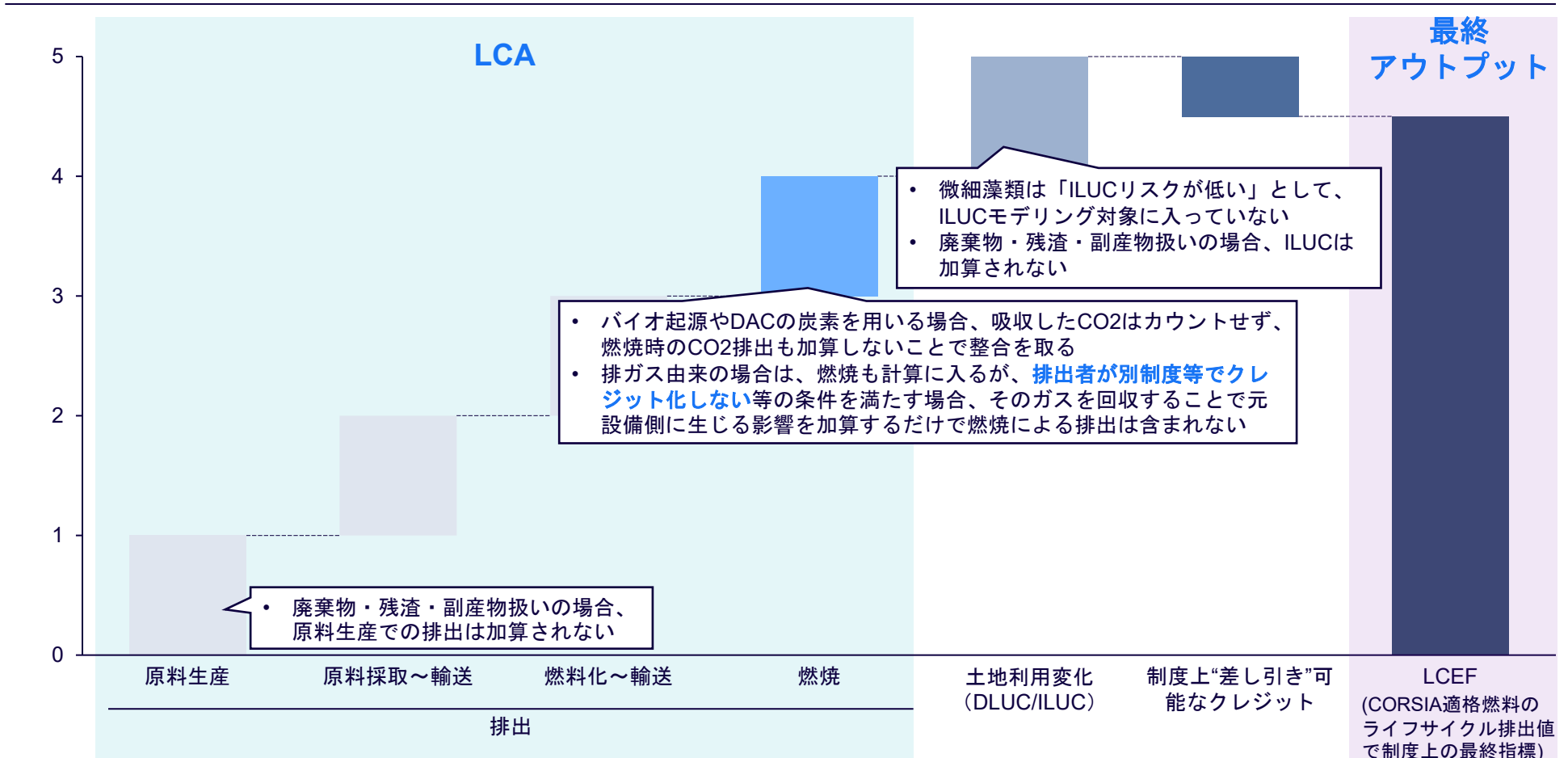
出所：

Algal Biomass Production via Open Pond Algae Farm Cultivation: 2023 State of Technology and Future Research Bruno Klein, Ryan Davis, and Matthew Wiatrowski National Renewable Energy Laboratory

有識者インタビューよりADL作成

GHG排出量は原料生産から燃焼まで測定するが、バイオ、DACや排ガス利用の場合、燃焼による排出・生産時の吸収を加算しない

ICAO/CORSIAのLCA測定方法論（イメージ図）

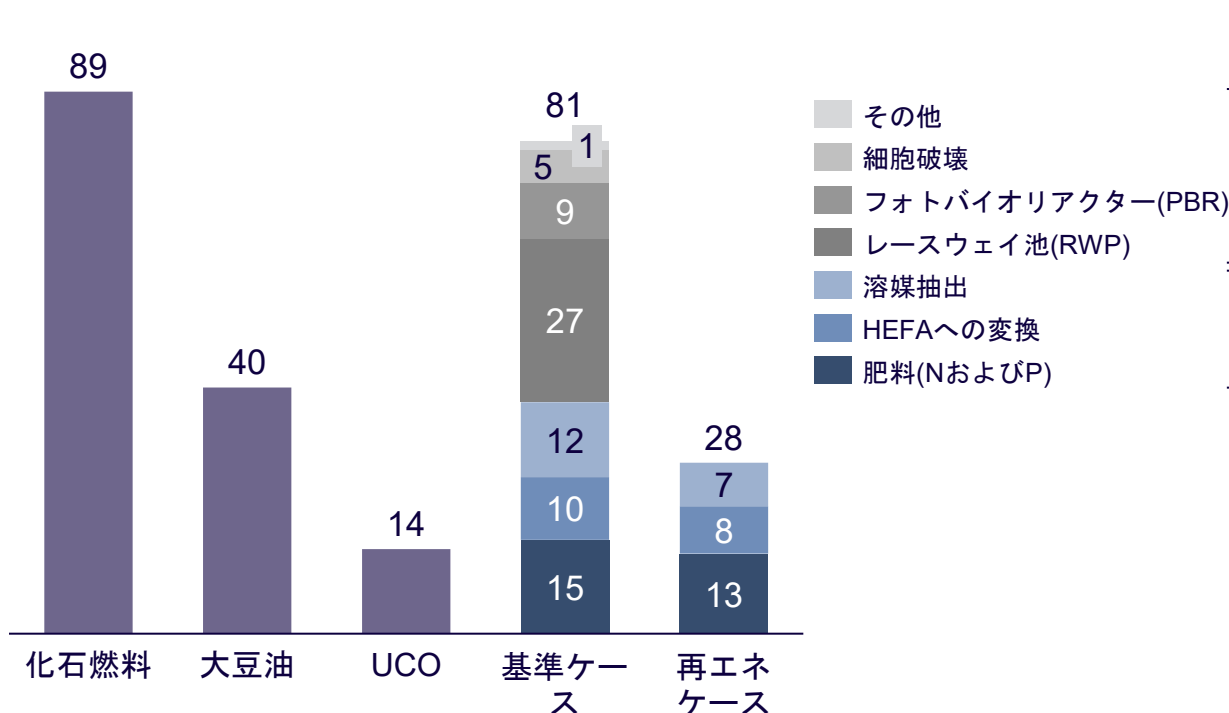


注釈：CORSIA基準は制度利用のために細かく指定されているのに対して、ISOはあくまで国際基準であることに留意が必要
出所：ICAO、ISOのWeb SiteよりADL作成

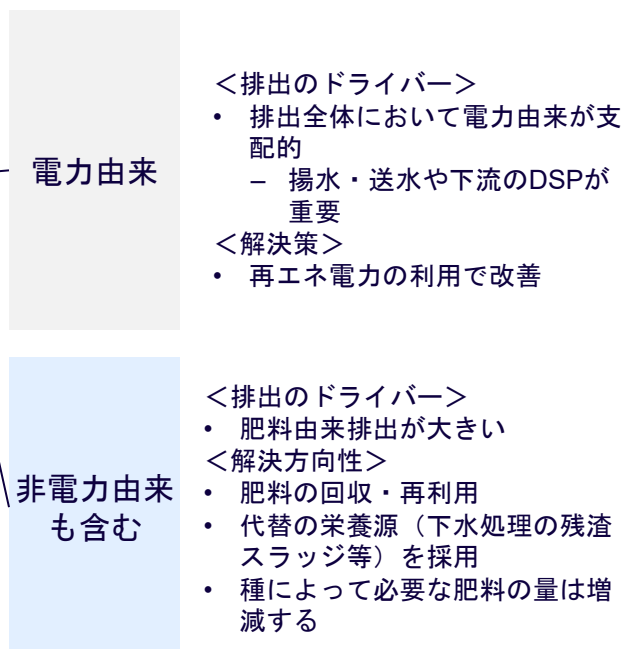
藻類のGHG排出量は石油燃料より低いが、大豆油やUCOには劣る 電力由来のGHG排出量が高いが、再エネ電力の使用や電力量の低減で改善可能

ICAO/CORSIAの方法論ガイドラインを用いた藻類由来HEFAのLCA (gCO₂e/MJ)

GHG排出量比較



重要な排出と解決策



使用電力

- 基準ケースとしてEUグリッド電力 (EU-mix 2016 : 383 gCO₂e/kWh) を設定
- 再エネケースでは、風力 (オンショア)、太陽光PV を利用する場合を想定しており、電力の上流のGHG排出を加算していない

注釈：工程別のネット排出量は、文献の「Total net GHG emissions (=総排出-biogas credit)」を、クレジット控除前の工程別排出内訳 (GHG emissions) の比率で按分して算出した参考値である
 注釈：UCO、大豆油由来HEFAのCore LCAを記載。藻類由来の基準ケースと同様にグリッド電力で計算されている
 出所：Prussi, M., Weindorf, W., Buffi, M., Sánchez López, J., & Scarlat, N. (2021). Are algae ready to take off? GHG emission savings of algae-to-kerosene production., Applied Energy, 304, 117817.
 ICAO Web siteよりADL作成

SAF・BDFにおける
バイオものづくりに有意な領域と勝ち筋

藻類由来燃料の商業化実現に向けて、短期的には将来顧客とのオフテイク契約を成立させ、中長期的には、従来原料の価格高騰に対して低コストを訴求

	短期（～2030年）	中長期（～2040年）
油脂関連の社会変化	<ul style="list-style-type: none"> 2050年CN達成に向けた取り組み 従来油脂の供給不安定 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年CN達成に向けた取り組みの本格化 温暖化進行による原料の供給不安定性の増大 人口増加による長距離移動需要の増加
訴求が効くバイオものづくり製品の提供価値	<ul style="list-style-type: none"> ③原料調達・製造に伴う負荷低減 	<ul style="list-style-type: none"> ②既存素材のコスト削減 ③原料調達・製造に伴う負荷低減
注目製品における有望領域仮説	<ul style="list-style-type: none"> 原料の多様化・新技術への関心が高い将来顧客とのオフテイク契約 <ul style="list-style-type: none"> SAFにおける顧客候補 <ul style="list-style-type: none"> 航空業界：United Airlines エネルギー企業：Chevron、Neste 枠組み：ACT FOR SKY等 	<ul style="list-style-type: none"> 従来原料の供給限界 <ul style="list-style-type: none"> SAF（再生可能な航空燃料） <ul style="list-style-type: none"> 従来原料の供給に限界があるHEFA生産プレイヤーに新原料としての藻類を販売 BDF（バイオディーゼル燃料） <ul style="list-style-type: none"> 従来原料の供給に限界があるHVO・FAME生産プレイヤーに新原料としての藻類を販売 輸送における電化等代替動力移行に向けたつなぎ <ul style="list-style-type: none"> BDF（バイオディーゼル燃料） <ul style="list-style-type: none"> エネルギー転換が進みにくい農機・建機向け、IMOにより規制が進む船舶向けに藻類を販売

短期的には、オフテイク契約成立により需要を示すことで投資を獲得し、 中長期的には、HEFAの原料供給の限界に入り込む

	短期 (~2030年)	中長期 (~2040年)
領域	<ul style="list-style-type: none"> 需要と資金を確保するためのオフテイク契約・実証 	<ul style="list-style-type: none"> 従来原料の供給限界 輸送における電化等代替動力移行に向けたつなぎ
事業面	<ul style="list-style-type: none"> 農地を使わず食料とも競合しない藻類の立ち位置を利用してユーザー側とオフテイク契約に持ち込む <ul style="list-style-type: none"> オフテイク契約や実証を通じて現SAFやジェット燃料との互換性を示す。また、将来顧客に選ばれるためにGHG排出削減、コスト低減を進める オフテイク契約の成立をもとに需要を示し、商業スケールを成立させるために投資家からの投資を獲得 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客が藻類の環境的価値をクレジットに換えてコストを低減できる状態を確立 合成燃料(e-fuel)の商用化が進む前にHEFAの原料供給の限界に入り込む <ul style="list-style-type: none"> 合成燃料の本格的な商用化は2035-2040年頃 HEFAの主な原料である植物油はEUでは使用しにくく、UCOは供給に限界がある
政策面	<ul style="list-style-type: none"> 藻類を原料とする燃料に対する研究開発・投資を行うインセンティブを設計 <ul style="list-style-type: none"> 食料と競合する原料由来バイオ燃料への規制 藻類由来バイオ燃料生産・販売の優遇制度の成立 	<ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ推進に向けた政策・規制制定 <ul style="list-style-type: none"> 電化が難しい長距離輸送におけるバイオ燃料の混合義務の設定 DAC由来CO2の吸収を吸収として環境価値に反映できる算定方法の採用

バイオものづくりならではの
機能性・コスト低減訴求による
バイオものづくり油脂製品の浸透度向上

バイオものづくり製品の
多様性・サステナビリティ貢献素材としての確立

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

その他油脂動向サマリ

現在は、植物油、UCOが輸送燃料で使用される油脂の太宗を占めるが、他にも材料となり得る油脂が存在

 本件にて燃料原料としての可能性を分析した油脂

油脂	輸送燃料原料割合	分類	概要	主要用途	
植物油脂	74% (主に農作物)	農作物 (種子/実)	パーム油 大豆油など	<ul style="list-style-type: none"> 農園から収穫された種子や果肉を破碎・圧搾して製造 	<ul style="list-style-type: none"> 食用油、菓子用油脂 化学原料(石鹼・洗剤・塗料) 燃料
		木質系	バイオマス熱分解油	<ul style="list-style-type: none"> 農業、林業残渣等を無酸素で急速加熱し、発生した蒸気を凝縮して製造 そのままでは、酸素分・水分が多く不安定 製紙(クラフトパルプ)工場が発生する黒液から石鹼分を回収し、酸で分離して粗トール油を製造 蒸留して脂肪酸、樹脂酸、ピッチに分別 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料(輸送燃料、ボイラー燃料) 化学品
			その他バイオマス由来油(トール油等)	<ul style="list-style-type: none"> 蒸留して脂肪酸、樹脂酸、ピッチに分別 	<ul style="list-style-type: none"> 化学品(粘着剤・樹脂、塗料用) 燃料
動物油脂	6% (主に肉・内臓)	肉・内臓由来	牛脂など(Tarrow)	<ul style="list-style-type: none"> レンダリング工場・食肉加工場で食肉処理の脂肪を回収し、加熱溶融で脂を分離し、遠心・ろ過して製造 	<ul style="list-style-type: none"> 化学品(石鹼、蠟燭、飼料) 燃料(輸送燃料)
		骨由来	骨油(Marrow)	<ul style="list-style-type: none"> レンダリング工場・食肉加工場で骨髄を回収し、骨を破碎・加熱・抽出で脂を分離して製造 骨自体はゼラチンなどに使用されることが多い 	<ul style="list-style-type: none"> 化学品(石鹼、蠟燭、製皮)
廃油脂	14% (主にUCO)	飲食店由来	イエローグリース(UCO)	<ul style="list-style-type: none"> 飲食店・食品工場の揚げ油など 回収し、濾過・脱水・不純物吸着を行い、使用 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料(輸送燃料)
			ブラウングリース	<ul style="list-style-type: none"> 飲食店・食品工場のグリーストラップや下水由来のFOG(脂・油・グリース)を指す 回収後加熱し油分を分離・回収、強い前処理を実施 POMEはパーム油工場排水中の残留油・スラッジ油 酸性油は植物油精製の副産物であるソーブストックを酸で分解して脂肪酸を遊離して得る油 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料 バイオガス
		その他産業由来	POME、酸性油など	<ul style="list-style-type: none"> 製鉄/熱処理ラインの焼入れ槽等で使用 多くは鉱物油を基油とする 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料 化学品(石鹼・低級工業油脂)
冷まし油等(焼き入れ油)	<ul style="list-style-type: none"> 製鉄/熱処理ラインの焼入れ槽等で使用 多くは鉱物油を基油とする 	<ul style="list-style-type: none"> 類似用途での再利用 燃料(セメントキルン等) 			
微生物由来油脂	(開発段階)	微細藻類など	<ul style="list-style-type: none"> 光合成や発酵により培養を行ったバイオマスから回収・抽出 	<ul style="list-style-type: none"> 食用油(DHA/EPAオイル、飼料) 化学原料(化粧品) 燃料 	

ブラウングリース、熱分解油のバイオ燃料化は既存原料・既存設備の延長線で商用化が進む

	商業化段階	必要とされる技術	取組み概要
ブラウングリースのバイオ燃料化	商用化済み	油に含まれる遊離脂肪酸を管理可能なレベルに減らす前処理	<ul style="list-style-type: none"> UCOや廃獣脂を扱うプレーヤーがブラウングリース回収・バイオディーゼル化に先行。グリース清掃サービスとして回収場所でも売上を稼ぐ 大手石油プレーヤーは川上企業と提携し、ブラウングリースを多様な原料の一つとしてプラットフォームに保有
熱分解油のバイオ燃料化	商用化準備中	既設触媒・装置に適合させるための酸素分の低減	<ul style="list-style-type: none"> 熱分解油自体は商業化されているが、熱分解油をアップグレードして輸送燃料を作る商用事例は限定的 酸素分の高さに対して水素化や別系統投入によるアプローチをとる傾向
使用済み冷まし油（焼き入れ油）のバイオ燃料化	一部商用化	N/A (取り組みが少ない)	<ul style="list-style-type: none"> 製鉄プロセスで用いられる油脂は鉱油を基油とすることが多い 環境や安全面での懸念から植物・バイオ由来の商品開発・発売が一部進んでおり、販売側が回収してバイオディーゼルに変換する取組みが存在
牛骨油のバイオ燃料化	学術研究に留まる	N/A (取り組みが少ない)	<ul style="list-style-type: none"> 骨油からバイオ燃料を作る取組みは少数の学術研究にとどまっている

ブラウングリースは原料供給側の飲食店にとっても清掃・回収が必要不可欠であり、また、燃料供給者へのインセンティブも期待できる

	ニーズの強さ（市場・規制）		実現可能性（事業・技術）	
ブラウングリースのバイオ燃料化	大	<ul style="list-style-type: none"> 配管詰まり・悪臭の原因物を回収する廃棄物処理としてそもそも回収事業が存在 飲食店から出る使用済み油という点で似通るUCOはREDのAnnex IX Part Bとして優遇されているため期待できる 	大	<ul style="list-style-type: none"> イエローグリース(UCO)をすでに扱っており、延長線でブラウングリースに取り組みうる 深刻に劣化しているため、油に含まれる遊離脂肪酸を管理可能なレベルに減らす必要があるが、商用化済で実現可能
熱分解油のバイオ燃料化	大	<ul style="list-style-type: none"> 林業残渣は林業にとってお金を払って回収を依頼したいものではない場合が多い 林業/木材産業の廃棄物・残渣のバイオマス分はREDのAnnex IX Part Aとして認められている 	中	<ul style="list-style-type: none"> 木質残渣などの廃棄物も含めた多様な有機物を処理できるが、回収が必要 未改質の熱分解油は高酸素・酸性・不安定で、燃料化にはアップグレード負荷がかかるため、共処理には時間を要する
使用済み冷まし油（焼き入れ油）のバイオ燃料化	中	<ul style="list-style-type: none"> 鉄鋼業界はCO2削減圧力が強い業界であるが、製鉄所内でリサイクルする考え 使用済み油という点で似通るUCOはPart Bとして優遇されている 	小	<ul style="list-style-type: none"> 鉱油の方が植物油より極めて安く、植物油由来の冷まし油を販売するプレイヤーは限定的であるため、バイオ燃料のために回収可能な規模とは考えにくい 金属を取り除く前処理が必要だが、金属は従来から取り除く工程が存在
牛骨油のバイオ燃料化	小	<ul style="list-style-type: none"> 牛骨髄はレンダリングや畜産業界にとって廃棄義務がなければ食用等で利用 一定月齢を過ぎた牛脊髄は特定危険部位であり、Part Bとして優遇されるが、その他の骨髄は食用で利用され、廃棄物でなければ優遇されない 	小	<ul style="list-style-type: none"> 骨油由来燃料の商業生産に向けては骨から油抽出のため、大規模設備が必要 Tarrowより脂肪酸割合に燃料適性があるため追加の前処理技術は考えにくい

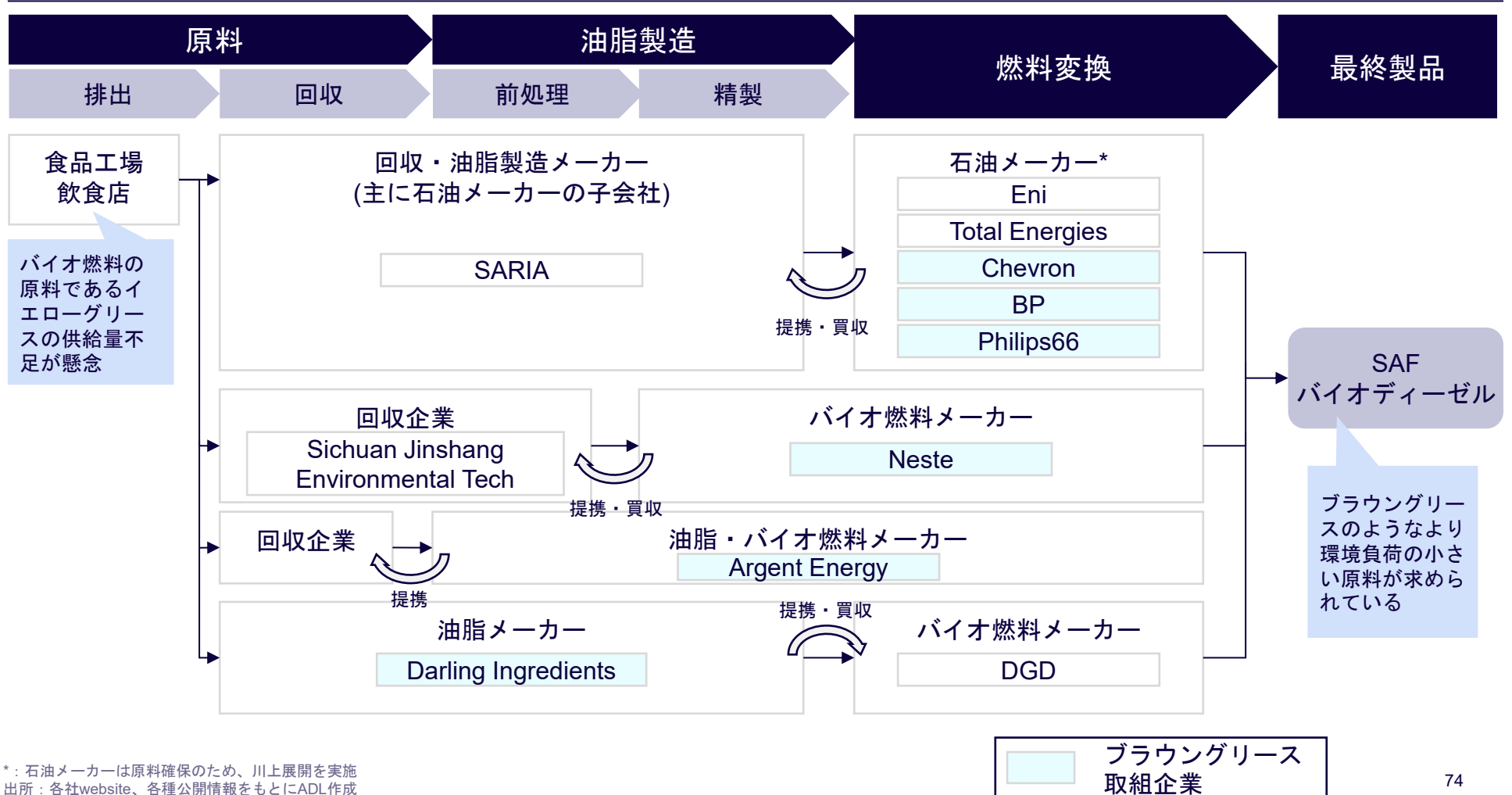
ブラウングリース由来油脂の動向

バイオ燃料用油脂は植物油脂・動物油脂・廃油脂・微生物由来油脂で構成 廃油脂の中では低酸価なイエローグリースが主流

油脂	原料	回収場所	主要用途	バイオディーゼル構成比率	特徴	
植物油脂	パーム油 大豆油など	<ul style="list-style-type: none"> 搾油工場 製油所 	<ul style="list-style-type: none"> バイオディーゼル SAF 	74%	<ul style="list-style-type: none"> 生産効率が非常に高く、供給量が多い 原料により酸化安定性や低温流動性が異なる 	
動物油脂	牛脂など	<ul style="list-style-type: none"> レンダリング工場 食肉加工場 	<ul style="list-style-type: none"> バイオディーゼル SAF 	6%	<ul style="list-style-type: none"> 低温流動性が低いため、精製工程での処理が必要となる 	
廃油脂	低酸価 イエローグリース (UCO)	<ul style="list-style-type: none"> 飲食店 食品工場 	<ul style="list-style-type: none"> バイオディーゼル SAF 	14%	<ul style="list-style-type: none"> 遊離脂肪酸の含有量は少ない 原料の品質にばらつきが生じるため、精製工程での処理が必要となる 	
	高酸価	ブラウングリース (ストリップグリース)	<ul style="list-style-type: none"> 飲食店・食品工場のグリーストラップ 	<ul style="list-style-type: none"> バイオディーゼル SAF バイオガス 	6%	<ul style="list-style-type: none"> 不純物や遊離脂肪酸が多いため精製難度が高い 原料コストが安い
		産業廃棄物 (POME、酸性油など)	<ul style="list-style-type: none"> 搾油工場 製油所 	<ul style="list-style-type: none"> バイオディーゼル SAF 		<ul style="list-style-type: none"> 油脂の精製過程で生じる副産物であるため、遊離脂肪酸を多く含み、精製難度が高い
微生物由来油脂	微細藻類など	<ul style="list-style-type: none"> 搾油工場 製油所 	<ul style="list-style-type: none"> バイオディーゼル SAF 	開発段階	<ul style="list-style-type: none"> 植物よりも増殖速度が速い 耕作不適地や水槽の中でも培養できるため、場所を選ばない 	

石油メーカーやバイオ燃料メーカーが、 回収企業等川上企業と提携してバリューチェーンを組成している傾向

廃油脂由来バイオ燃料のバリューチェーンと主要企業の注力領域



*: 石油メーカーは原料確保のため、川上展開を実施
出所: 各社website、各種公開情報をもとにADL作成

石油メーカーはブラウングリースに注力はしていないが、バイオ燃料の原料の一つとしてとらえている

属性	企業	ステータス	生産拠点	開発・生産動向
大手石油メーカー	Chevron	商用化	<ul style="list-style-type: none"> 米国 	<ul style="list-style-type: none"> 2022年に買収したRenewable Energy Group(REG)がブラウングリースを商用化済み
	BP	開発～商用化	<ul style="list-style-type: none"> 米国 	<ul style="list-style-type: none"> Greasezillaと戦略・資金面の合意を結び、ブラウングリースをバイオ燃料原料にする取り組みを推進。BPは生産設備拡張資金を拠出
	Philips 66	開発～商用化	<ul style="list-style-type: none"> 米国 	<ul style="list-style-type: none"> 原油処理を行ってきた製油所の前処理ユニットを整備し、UCO・fats等を前処理可能にする。ブラウングリースも処理できるようになる見込み
大手バイオ燃料メーカー	Neste	検討中	<ul style="list-style-type: none"> フィンランド オランダ シンガポール 	<ul style="list-style-type: none"> 将来原料としてブラウングリースを検討中 MahoneyなどのUCOの回収・精製企業を買収し川上展開を実施
バイオ燃料メーカー	Argent Energy	商用化	<ul style="list-style-type: none"> 英国 オランダ 	<ul style="list-style-type: none"> 使用済みの食用油や廃脂からバイオディーゼルを抽出 油に含まれる遊離脂肪酸を管理可能なレベルに減らし、後のプロセスで問題を抑える能力でFOGやグリーストラップ廃棄物など深刻に劣化したオイルを扱う
	Darling Ingredients	商用化	<ul style="list-style-type: none"> 米国 	<ul style="list-style-type: none"> 動物油脂のレンダリングから食用油脂・肥料・燃料を生産 グリーストラップ清掃サービス事業を通じてブラウングリースを回収 Valero社との合併会社であるDGDなどを通じてバイオディーゼルを製造

イエローグリースを中心とした油脂系SAF原料の制約と規制要件を背景に開発

ブラウングリース由来油脂の開発背景

詳細

SAF原料の供給制約	イエローグリースの供給制約	<ul style="list-style-type: none"> イエローグリースの供給懸念 <ul style="list-style-type: none"> 人為的に生産できるものではなく、上昇幅が限定的 トレーサビリティの厳格化 <ul style="list-style-type: none"> EUのREDなどによりトレーサビリティ認証が必須となることで供給量不足が懸念 中国におけるSAFの国内活用強化 <ul style="list-style-type: none"> 輸出大国の中国がイエローグリースを輸出から国内活用にシフトしたことで世界における供給量が減少
	その他原料の供給制約	<ul style="list-style-type: none"> 食料・飼料原料由来の供給制約 <ul style="list-style-type: none"> EUでは、食料や飼料を原料とするバイオ燃料は、SAF（持続可能な航空燃料）として認めないという方針を明確に打ち出しており、代替原料が課題となっている
環境負荷低減需要の拡大		<ul style="list-style-type: none"> SAF/再エネ燃料の拡大に伴い、ライフサイクルGHGの低い原料・廃棄物由来原料の活用要求が増加 グリーストラップ等の回収されにくい油脂廃棄物を資源化することで追加的な原料になり、未回収/不適切処理に伴う環境負荷（下水詰まり・漏出、処理過程のGHG等）の回避効果を織り込める可能性
先進バイオ燃料としての優遇		<ul style="list-style-type: none"> イエローグリース(UCO)はREDのAnnex IX Part Bとして認められているため、燃料供給者に原料として選ばれやすい

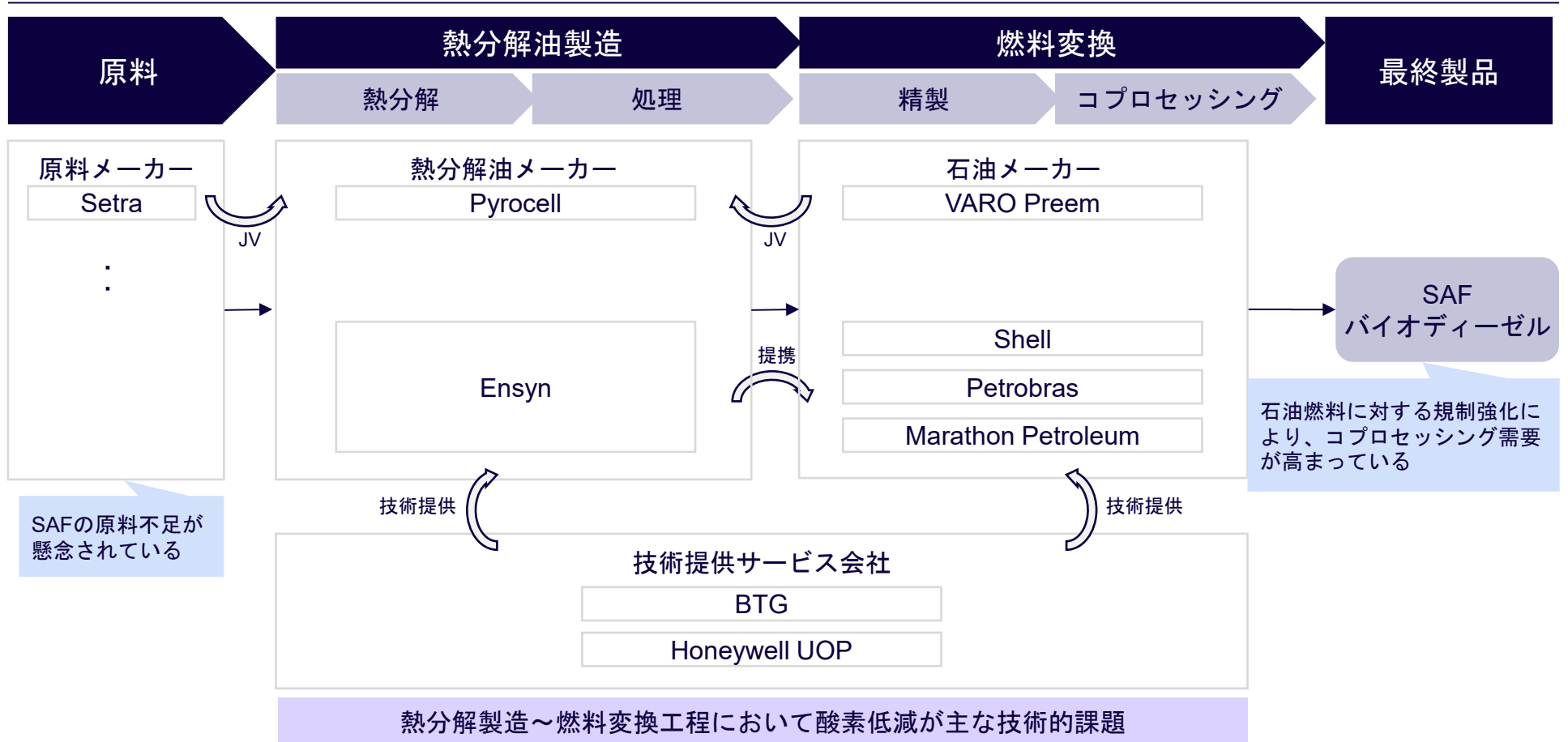
バイオマス熱分解油の動向

木質系を中心に熱分解油自体の商業化は進んでおり、主な用途は熱・電力用途

用途	原料	熱分解油 商業段階	特徴
バイオマス熱分解油 ・熱、電力用途 ・化学原料 ・輸送燃料(開発中)	バイオマス	商用化	<ul style="list-style-type: none"> 農業、林業残渣等を無酸素で急速加熱し、発生した蒸気を凝縮して製造（高速熱分解） そのままでは、酸素分、水素分が多く、熱に弱く、燃料生産時に閉塞等問題が起きやすい
	陸生 木質系	商用化	<ul style="list-style-type: none"> 森林残渣 製材端材 樹皮 <ul style="list-style-type: none"> 木材は灰分が少なく、生成されるオイルの品質が安定
	草本系	開発～ 商用化	<ul style="list-style-type: none"> 稲わら バガス <ul style="list-style-type: none"> 発生量自体は木質系よりも多いが、灰分（シリカやカリウム）が多い
	果実系	一部地域で 商用化	<ul style="list-style-type: none"> パーム空果房 殻・核 <ul style="list-style-type: none"> 発生量自体は木質系よりも多いが、水分やカリウムを多く含む
	水圏 水生系	開発	<ul style="list-style-type: none"> 藻類 水草 <ul style="list-style-type: none"> 高速熱分解自体湿ったバイオマスは不向きであり、HTL（水熱液化）の研究が進む 高速熱分解する場合は、乾燥が大きなボトルネックとなる

バイオマス熱分解油の燃料利用に向けて石油メーカーと熱分解油メーカーの提携が進む

バイオマス熱分解油のバリューチェーンと主要企業の注力領域



熱分解油製造メーカーと石油精製メーカーは各工程で酸素低減を企図

	工程	酸素低減の目的	酸素課題に対するアプローチ
バイオマス熱分解油メーカー（上流）	熱分解油生成時	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵安定性 腐食性 輸送性 	<ul style="list-style-type: none"> 触媒蒸気改質（CFP・蒸気相アップグレード） <ul style="list-style-type: none"> 通常の高速度熱分解で出てくる熱分解蒸気＋微量チャー/灰を凝縮（オイル化）する前に触媒へ通して、蒸気相で部分的に脱酸素・改質してから凝縮する方式 反応としては脱炭酸・脱カルボニル化
	出荷前	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵安定性 腐食性 輸送性 	<ul style="list-style-type: none"> 軽度水素化 <ul style="list-style-type: none"> 貴金属触媒を用いて特に反応性の高いアルデヒド基やケトン基を水素化 濾過、溶媒・アルコール追加 <ul style="list-style-type: none"> 炭素のカス(チャー)を除去し、アルコール添加で酸性度を中和・安定化させる
石油精製メーカー（下流）	精製所	<ul style="list-style-type: none"> 触媒劣化対策 既存の燃料規格への適合 	<ul style="list-style-type: none"> 別系統投入 <ul style="list-style-type: none"> 石油とバイオ熱分解油の接触場所を分離・制御し、配管の詰まりを防ぐ FCC（流動接触分解） <ul style="list-style-type: none"> 既存のガソリン基材生産装置を利用。また、水素を新たに用いない 脱水・脱炭酸・脱カルボニル化 水素化 <ul style="list-style-type: none"> 既存の水素化精製設備を活用。多量の水素を用いて、酸素を水として除去 水素移動 <ul style="list-style-type: none"> 石油系原料からバイオマス熱分解油へ水素が移動し、酸素を水として除去

現状、石油メーカー中心に精製所を改築する事でバイオマス熱分解油を用いたバイオ燃料の商業化準備を進める

企業		生産拠点	動向(熱分解油・コプロ)	酸素課題へのアプローチ
バイオマス熱分解油メーカー	石油メーカー			
Pyrocell Setra× PreemのJV	VARO Preem	Sweden	<ul style="list-style-type: none"> 商業製油所FCCでの長期実機試験（熱分解油初期300トン/最大5万トン、2021） 	<ul style="list-style-type: none"> 別系統投入 FCCで共処理
Ensyn	-	Canada	<ul style="list-style-type: none"> 精製所向け原料として熱分解油を販売 顧客となる精製所での熱分解油利用推進のため、Honeywell UOPと提携 	<ul style="list-style-type: none"> 熱分解油生産時の急冷回収により安定性確保 顧客の精製所で酸素課題を防ぐためにHoneywell UOPと提携して別系統投入を推進
- (Ensyn)	Shell	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 商業製油所FCCでの実機トライアル（bio-pyrolysis oil、5日間） 	<ul style="list-style-type: none"> 別系統投入 高温/腐食を防ぐ投入用のノズルの開発/使用 FCCで共処理
- (Ensyn)	Petrobras	Brazil	<ul style="list-style-type: none"> 商業製油所FCCでの産業スケール実機試験（熱分解油5%、7日間、2025） 	<ul style="list-style-type: none"> 別系統投入 FCCで共処理
-	Marathon Petroleum	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 特許取得レベルで商業化は限定的 	<ul style="list-style-type: none"> 熱分解油の液滴を界面活性剤により小さくし、水素移動を起こりやすくする
BTG		技術提供	<ul style="list-style-type: none"> 石油メーカーと熱分解油メーカーに対して共処理やアップグレードのための技術提供を行う 	<ul style="list-style-type: none"> 出荷前に安定化・水素化を行うことで酸素負荷を下げる 別系統投入
Valmet	-	Finland	<ul style="list-style-type: none"> 触媒熱分解の工業規模パイロット稼働 デモ/商用スケールへロードマップ提示（～2027/28） 	<ul style="list-style-type: none"> CFP(触媒熱分解)により酸素分を低減
(参考) Arbios Biotech	-	Canada	<ul style="list-style-type: none"> 高速熱分解ではなくHTL 年5万バレル規模の商業デモ 	<ul style="list-style-type: none"> HTLは高速熱分解油より低酸素でより安定で製油所適合性が高いと訴求

油脂系SAF原料の制約と規制要件を背景に開発

バイオマス熱分解油の開発背景

詳細

SAF原料の供給制約

- イエローグリースの供給懸念
 - 人為的に生産できるものではなく、上昇幅が限定的
 - 各国がトレーサビリティを重要視する中で、供給懸念が課題となっている

- 食料・飼料原料由来の供給制約
 - EUでは、食料や飼料を原料とするバイオ燃料は、SAF（持続可能な航空燃料）として認めないという方針を明確に打ち出しており、代替原料が課題となっている

先進バイオ燃料としての優遇

- 林業/木材産業の廃棄物・残渣のバイオマス分はREDのAnnex IX Part Aとして認められているため、燃料供給者に原料として選ばれやすい

石油燃料に対する規制強化

- 再生可能エネルギー指令により、輸送部門における再生可能エネルギーの割合を一定以上に義務化する方針
- 航空燃料規制により、ジェット燃料に対するSAFの混合率を段階的に引き上げる方針

冷まし油

製鉄プロセスで用いられる油脂は鉱油を基油としているが、環境や安全面での懸念から植物・バイオ由来の商品開発・発売が一部進んでいる

製鉄プロセス 使用油	油脂種類	従来原料	新規原料についての情報
熱処理油 (焼き入れ油等)	熱処理油	焼入れには、水や水溶性冷却剤なども用いられているが、鉱油系焼入れ油が一般に広く使用される(約85%) 焼戻しにも鉱油が使用	<ul style="list-style-type: none"> 環境や安全性の懸念があるが、焼き入れ油は鉱油由来で市場が占められているため、他原料で商品開発 <ul style="list-style-type: none"> EPAG Technology(独)はバイオ由来の焼き入れ油を発売。使用後は無料で回収し、バイオディーゼルにする Thurckon(伊)は植物由来の焼き入れ油を発売
圧延油	鋼板用冷間圧延油	牛脂系や合成エステル系油	<ul style="list-style-type: none"> 冷間圧延は一般的に5%未満の油と水によるエマルジョンが使われ、水は冷却、油は潤滑の効用を担う 環境や安全性のため水分散型潤滑剤を他原料で開発 <ul style="list-style-type: none"> Kimya(伊)はバイオ由来の潤滑剤を販売
	鋼板用熱間圧延油	鉱油にポリマー、油脂類を添加	N/A
切削油剤	不水溶性切削油剤 (潤滑作用を重視)	鉱油に動植物油やエステル油等を添加等	N/A
	水溶性切削油剤 (冷却作用を重視)	鉱油を基油として界面活性剤、防腐剤などを含む	N/A
	極微量潤滑加工用切削油剤	エステル油や植物油をベースにした専用の切削油。 切削油廃液の削減や作業環境の改善を背景に極微量の潤滑油で供給するMQL加工のために近年開発	<ul style="list-style-type: none"> 実際にパーム油、植物油などで商品化が見られる
その他	打抜き油	鉱油を基油とし、これに油脂類、塩素系・硫黄系極圧添加剤等を加えた添加形潤滑剤が用いられる	N/A
	引抜き油		
	絞り加工油		
	鍛造油		

熱処理油に求められる特性は冷却性能、安定度、光輝性であり、基油の鉱油に加え、添加剤によって特性を調整

	JIS規格	ニーズ	添加剤の役割
一般性状	<ul style="list-style-type: none"> 動粘度 40°Cで30mm²/s以下 引火点 180°C以上 燃焼点 200°C以上 水分質 0.05%以下 	N/A	N/A
冷却性能	<ul style="list-style-type: none"> 油温80°Cで特性温度（冷却過程において「蒸気膜段階」から「沸騰段階」に移るときの金属の表面温度）が480°C以上 800°Cから400°Cまでの冷却秒数が5.0秒以下 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却性の高い熱処理油とは、蒸気膜段階の時間が短くて速やかに沸騰段階に移行し（特性秒数が短い）、沸騰段階から対流段階への移行温度が低く、処理物に硬い硬度を得られるもの 求められる冷却性の程度は重視する仕上がりによる 	蒸気膜破断剤（対流段階開始温度を高める） 界面活性剤（対流段階開始温度を低める）
安定度	<ul style="list-style-type: none"> 粘度比（劣化後の粘度と新品の粘度を比較）は1.5以下 残留炭素分の増加質量が1.5%以下 	<ul style="list-style-type: none"> 使用中に油が酸素と反応して酸化劣化物を生成しにくいもの 高温の処理物と接触する冷却過程において、特に対流段階領域で起こりやすい熱分解が進行しにくいもの 	酸化や熱分解を抑制
光輝性	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 処理物表面の光沢、清浄性を熱処理前後で変えることなく保つもの － 悪影響の要因は、熱処理油の酸化や熱分解による劣化、処理条件、前工程等 	光輝剤（熱処理油により酸化や熱分解による劣化を抑制）

植物油単体を熱処理油とするには酸化が起こりやすいという点で不適合

	特性詳細	特性との適合	詳細
一般性状	動粘度	40°Cで30mm ² /s以下	不適合
	引火点	180°C以上	適合
	燃焼点	200°C以上	適合
	水分質	0.05%以下	N/A
冷却性能	<ul style="list-style-type: none"> 冷却性の高い熱処理油とは、蒸気膜段階の時間が短くて速やかに沸騰段階に移行し（特性秒数が短い）、沸騰段階から対流段階への移行温度が低く、処理物に硬い硬度を得られるもの 求められる冷却性の程度は重視する仕上がりによる 	適合	
安定度	<ul style="list-style-type: none"> 使用中に油が酸素と反応して酸化劣化物を生成しにくい 高温の処理物と接触する冷却過程において、特に対流段階領域で起こりやすい熱分解が進行しにくい 	不適合	二重構造があるため、酸化されやすい 酸化防止の添加剤設計+管理がより重要
光輝性	<ul style="list-style-type: none"> 処理物表面の光沢、清浄性を熱処理前後で変えることなく保つ <ul style="list-style-type: none"> 悪影響の要因は、熱処理油の酸化や熱分解による劣化、処理条件、前工程等 	不適合	安定度の影響を受ける

バイオ由来の焼き入れ油は安全性や環境面を訴求しており、販売側が回収してバイオディーゼルに変換する取組みが存在

EPAG Technologyの取組み



- ドイツを拠点とする個人経営企業
- 電気アーク炉用電極・熱処理用精密鑄造用アクセサリ・バイオオイル消耗品の販売代理店とプラントのエンジニアリングおよび建設に関連する業務を行う

- 廃棄物ゼロ
 - 使用済み油はバイオディーゼルに転換可能
- 業員の安全と環境に対して完全に無害
- CO2換算値への影響が極めて低い
- 割れリスクがほぼゼロ硬度変動が小さい

BIOQUENCHOIL

At the moment of disposal, bioQuenchoil® becomes a waste convertible into energy through the conversion into Biodiesel.



This logo will represent the possibility for the bioQuenchoil® user to disposal the used oil free. With a simple call to a dedicate phone number the UVEO will be picked up by UVEO collectors with no charge.

Thurckonの取組み



- 熱処理用化学物質の分野で30年以上にわたって活動するイタリアの個人経営企業
- 中核事業は、熱処理用の水性浸炭および窒化ストップオフ塗料およびオーダーメイド製品の製造

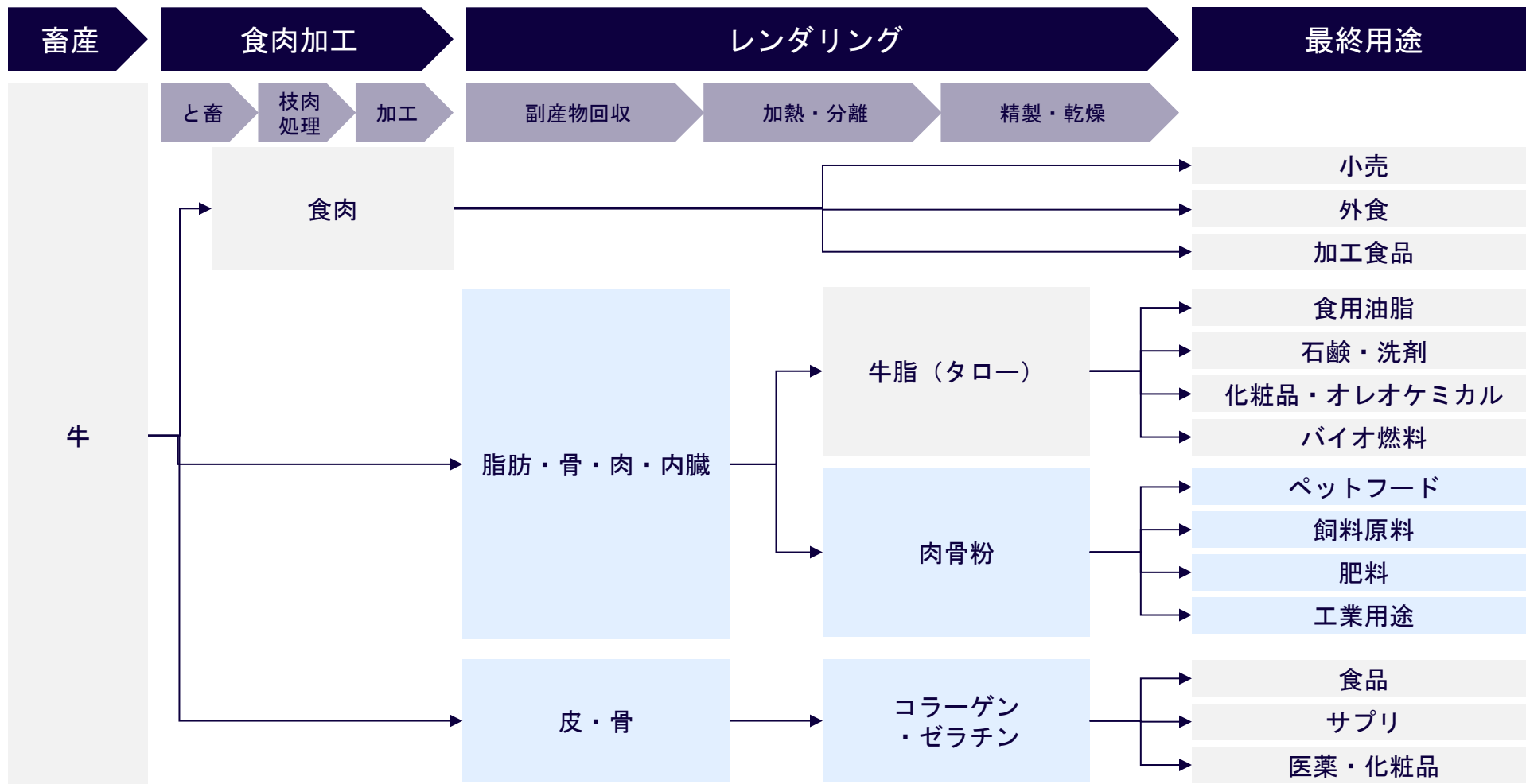
- 植物由来の原料を合成し、**特定の添加剤で機能化**
- 質への利点を訴求
 - 沸点が非常に高いため、部品冷却時の蒸気段階を回避し、冷却が均一になりやすく、焼入れ部品の機械的特性を改善することが可能
- 安全性や環境への影響を訴求

BIOQUENCHOIL

- 引火点、燃焼点が高く、火災が起こりにくい
- 鉱物油が熱分解した場合に生じる有害成分（PAH（多環芳香族炭化水素）やオイルミスト等の発がん性物質）を含まないため、労働者の健康にも安全
- 原料や特性から環境への影響が少なく、リサイクルプロセスによる再利用に適している

骨油

レンダリングにより牛の骨は肥料、ペットフード、飼料原料、ゼラチンとなり、利用されている



BSE蔓延防止のために30か月齢超の牛の脊柱・脊髓は特定危険部位として除去・焼却が義務化されている

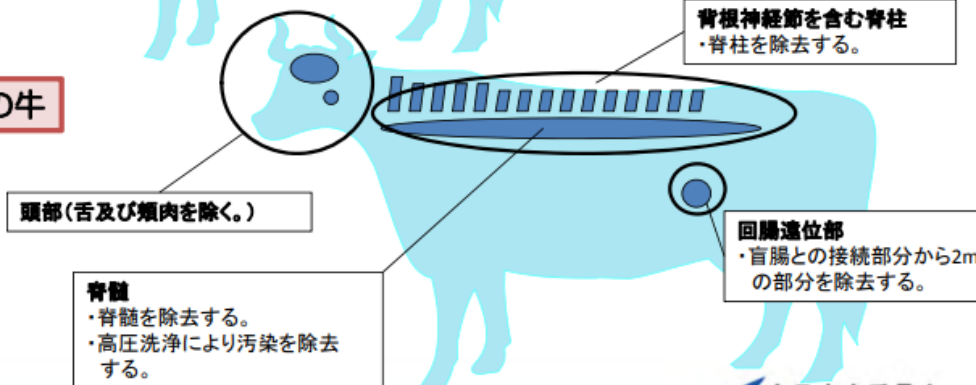
BSEと牛の特定危険部位（SRM）

- BSEは牛の病気の一つ。「BSEプリオン」と呼ばれる病原体が、主に脳に蓄積し、脳の組織がスポンジ状になり、異常行動、運動失調などを示し、死亡する
- プリオンは、脳、脊髓、小腸の一部などに蓄積するため、日本では、全月齢の扁桃及び回腸遠位部（小腸の一部）、**30か月齢超の頭部（舌及び頬肉を除く）**、**脊柱及び脊髓を特定危険部位（SRM）**とされている
- 牛から牛にBSEがまん延したのは、BSE感染牛を原料とした肉骨粉などの飼料を使っていたことが原因と考えられており、牛用飼料への動物由来たん白質使用禁止や異常プリオンたん白質がたまる特定部位をと畜場等で除去・焼却するなどの対策を継続

30か月齢以下の牛



30か月齢超の牛



関連規制の緩和・例外

豚・鶏用飼料としてのビーフミールの解禁（2024年）

- 前提条件として、原料はと畜検査を受けた安全な牛の部位で、異常プリオンが蓄積しやすい部位は除去・焼却され飼料に回らない
- 「牛に対するリスク管理が従来どおり遵守される限り、ビーフミールを豚・鶏用に使っても人への健康影響は無視できる」とされた

牛骨油等を原料とするグリセリン等製造の規制外

- 牛海綿状脳症の発生国又は発生地域において飼養された牛の脊柱は原則食品利用は認められないが、高温・高圧下で加水分解／けん化／エステル交換した“油脂由来物”は例外として原材料利用を認める
 - 250℃・50気圧・3時間の連続高圧加水分解のような強い処理条件で影響が無視できる程度となる

骨油からバイオ燃料を作る取組みは少数の学術研究にとどまっているが、食用と競合せず、脂肪酸割合に関しても期待できる

論文	A Comparative Study of Biodiesel Production from Beef Bone Marrow (牛骨髄からのバイオディーゼル製造に関する比較研究)	Combustion Analysis of Biodiesel Derived from Bone Marrow in a Diesel Generator at Low Loads (低負荷条件におけるディーゼル発電機での骨髄由来バイオディーゼルの燃焼解析)
発表年	2014年	2019年
原料	<ul style="list-style-type: none"> と畜場・食肉加工会社から牛骨を回収 回収した骨を加熱して脂肪を溶かし、ろ過し、ガム質・タンパク残渣・懸濁物を除去して脂肪を得る。さらに60℃・真空下で加熱して水分除去を行う 主要脂肪酸：オレイン酸 41.32%、パルミチン酸 21.68%、ステアリン酸 13.21% エンジン燃料としては高粘度 	牛骨髄 (詳細記載なし)
製法	トランスエステル化（酸化法・アルカリ法・二段階法）	トランスエステル化（アルカリ化）
原料としての期待	<ul style="list-style-type: none"> ゼラチン産業で大量に出る主要廃棄物であり、バイオディーゼル原料としての検討価値が高い 食用植物油は価格が高く、食品用途と競合して将来的にさらに高騰し得るため、商業化の障壁になる。よって人が食べない廃棄系原料（廃動物脂など）の活用が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ゼラチン産業の大きな廃棄物だがリサイクルは一部のみ 骨髄脂肪は非食用で安い代替原料になり得る <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>同一著者の他論文では、骨髄から生成されるバイオディーゼルは、タロー（動物の脂肪からとった脂）よりも飽和脂肪酸含有量が少なく、特にオレイン酸含有量が高いことが重要と記載</p> </div>
結果	<ul style="list-style-type: none"> 生成した骨由来バイオディーゼルは、アルカリ法の方が酸法より品質要求を満たすが、両者とも欧州規格の動粘度・比重/密度・曇点で不適合 	<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル発電機で、低負荷でD2（軽油）とB20（骨髄由来ディーゼルを混合）を比較し、燃焼解析（筒内圧、熱発生率など）を実施 B20は、少なくとも低負荷域ではディーゼル（D2）と同様に燃焼で動作

脚注：Factiva, において「Beef、Bone、Biodiesel」「Beef、Bone、SAF」で記事、論文を探索

出所
Performance, emission and combustion characteristic assessment of biodiesels derived from beef bone marrow in a diesel generator

Combustion Analysis of Biodiesel Derived from Bone Marrow in a Diesel Generator at Low Loads

Z. Didar. A comparative study of biodiesel production from beef bone marrow. Journal of Food Biosciences and Technology. 5 (2015) 61-6.

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

食用・非食用油脂概要

油脂には主に植物・動物油脂が存在 近年バイオ由来油脂が開発されつつある

油脂分類	油/脂	由来	油：常温で液体 脂：常温で固体	概要	代表例
植物油脂	植物油	種子油		種子の脂質から搾油される油	なたね油、大豆油
		果実油		果実中の油が蓄積した細胞から搾油される油	オリーブ油
		核油		主に種子の胚乳から搾油される油	パーム核油
		胚芽油		種子中に含まれる胚芽を分離して搾油される油	コーン胚芽油
	植物脂	種子脂		種子の子葉に含まれる脂質から得られる脂	カカオ脂
		果実脂		主に果実中の果肉から得られる脂	パーム脂
核脂			果実の中心の固い部分(核)から得られる脂	モモ核脂	
動物油脂	動物油	体油		主に魚体の皮下脂肪や内臓周囲から搾油される油	魚体脂(イワシなど)
		肝油		魚の肝臓から搾油される油	魚肝油(タラ由来)
	動物脂	体脂		皮下脂肪中の脂肪組織から得られる脂	牛脂、豚脂
		乳脂		牛などの乳中から得られる脂	乳脂(牛由来)
バイオ由来油脂	バイオ由来油	藻類油		藻類の細胞内脂質から得られる油	微細藻
		微生物油		糸状菌などの細胞内脂質から得られる油脂	トルラ酵母
	バイオ由来脂	藻類脂		藻類の細胞内脂質から得られる脂	微細藻
		微生物脂		糸状菌の細胞内脂質から得られる脂	トルラ酵母
石油由来油	石油		石油精製や化学反応により得られる油	鉱油、合成油	

植物油の用途は主に食用であり、特有の風味や高い耐熱性を活かしてドレッシングや揚げ油に利用されている

由来	油脂	◎：主用途 ○：副用途 主要脂肪酸	食用			非食用			単価(円/kg)
			主/副	用途	特徴	主/副	用途	特徴	
種子油	大豆油	リノール酸	◎	・ 揚げ油 ・ マヨネーズ	・ 高い耐熱性	○	・ 塗料 ・ バイオ燃料	・ 高い透明性	641
	落花生油	オレイン酸	◎	・ 揚げ油 ・ 調味油	・ ナッツ香 ・ 高い発煙点	○	・ 化粧品 ・ 石鹼	・ エモリエント性※	1,440
	なたね油	オレイン酸	◎	・ 食用油全般 ・ マヨネーズ	・ 特有の風味	○	・ 潤滑油 ・ バイオ燃料	・ 高い生分解性	641
	綿実油	リノール酸	◎	・ ショートニング	・ 高い耐熱性	○	・ 石鹼 ・ 化粧品	・ エモリエント性	838
	ひまわり油	リノール酸	◎	・ 揚げ油	・ 高い耐熱性	○	・ 塗料 ・ バイオ燃料	・ 高い乾燥性	1,215
	ごま油	オレイン酸	◎	・ 調味油	・ 特有の風味 ・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品 ・ 医薬品	・ 高い抗酸化性	2,363
	ひまし油	リシノール酸	—	—	—	◎	・ 可塑剤 ・ 潤滑油	・ 高粘度	1,308
	アマニ油	αリノレン酸	○	・ ドレッシング	・ 高い栄養価	◎	・ ニス ・ 塗料	・ 高い硬化性	1,500
果実油	オリーブ油	オレイン酸	◎	・ 調味油	・ 特有の風味 ・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品 ・ 石鹼	・ エモリエント性	2,720
核油	アンズ油	オレイン酸	○	・ ドレッシング	・ 甘い風味	◎	・ 化粧品 ・ 医薬品	・ エモリエント性	4,363
胚芽油	コーン油	リノール酸	◎	・ 揚げ油 ・ マーガリン	・ 高い耐熱性	○	・ 潤滑油	・ 高い抗酸化性	N/A
ぬか油	こめ油	オレイン酸	◎	・ 揚げ油	・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品	・ エモリエント性	785

※エモリエント性：皮膚にある適度な油分と水分を保持したまま潤いを維持し、肌を柔らかく保つ作用

出所：USDA「Oilseeds:World Markets and Trade」、サミット製油website、化粧品成分オンラインwebsite、あぶら屋ヤマケイ website、各種公開情報をもとにADL作成

植物脂の中でも種子・果実脂は主に食用向けに使用される。核脂は化粧品用途が主

◎：主用途

○：副用途

由来	油脂	主要脂肪酸	食用			非食用			単価(円/kg)
			主/副	用途	特徴	主/副	用途	特徴	
種子脂	カカオ脂	オレイン酸	◎	・ チョコレート	・ 良好なくちどけ	○	・ 化粧品	・ 特有の香り	9,072
	シア脂	オレイン酸	◎	・ 食用脂全般 ・ 菓子脂	・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品	・ エモリエント性※	6,907
果実油	パーム油	パルミチン酸	◎	・ 食用油全般 ・ マーガリン	・ 高い耐熱性	○	・ 石鹼	・ 高い可塑性	799
核脂	パーム核油	ラウリン酸	○	・ 菓子脂	・ 良好なくちどけ	◎	・ 石鹼 ・ 界面活性剤	・ 高い発泡性	1,127
	ヤシ脂	ラウリン酸	○	・ 揚げ油 ・ 製菓脂	・ 良好なくちどけ	◎	・ 石鹼 ・ 界面活性剤	・ 高い発泡性	1,474
	ババス脂	ラウリン酸	○	・ 菓子脂	・ 特有の香り ・ 高い抗酸化性	◎	・ 化粧品 ・ 医薬品	・ 高い抗酸化性	N/A

※エモリエント性：皮膚にある適度な油分と水分を保持したまま潤いを維持し、肌を柔らかく保つ作用

出所：USDA「Oilseeds:World Markets and Trade」、サミット製油website、化粧品成分オンラインwebsite、あぶら屋ヤマケイ website、各種公開情報をもとにADL作成

動物油は栄養価の高さからサプリや飼料に利用されている。動物脂は食用油全般と石鹼への利用が主

油/脂	由来	油脂	◎：主用途 ○：副用途 主要脂肪酸	食用			非食用			単価(円/kg)
				主/副	用途	特徴	主/副	用途	特徴	
動物油	体油	魚体油	EPA、DHA	○	・ サプリ ・ 缶詰油	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 飼料	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	1,788
		海獣油	オレイン酸	○	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 潤滑油	・ 低温状態での 高い流動性	N/A
	肝油	魚肝油	EPA、DPA	◎	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	○	・ 飼料	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	N/A
動物脂	体脂	牛脂	オレイン酸	○	・ 揚げ油 ・ 製菓脂	・ 高い耐熱性 ・ 特有の風味	◎	・ 石鹼 ・ バイオ燃料	・ 高い抗酸化性	687
		豚脂	オレイン酸	◎	・ 揚げ油 ・ 製菓脂	・ 特有の風味	○	・ 石鹼 ・ 化粧品	・ 高い流動性	2,404
		家禽脂	オレイン酸	◎	・ 調味油	・ 良好なくちどけ	○	・ 飼料	・ 低温状態での 高い柔軟性	N/A
		羊脂	オレイン酸	○	・ 調味油	・ 特有の風味	◎	・ 石鹼	・ 高い融点	N/A
		山羊脂	オレイン酸	○	・ 調味油	・ 特有の風味	◎	・ 石鹼	・ 高い融点	N/A
	乳脂	乳脂 (牛など)	パルミチン酸	◎	・ バター	・ 特有の風味 ・ 高い可塑性	○	・ 化粧品	・ 特有の香り	1,763

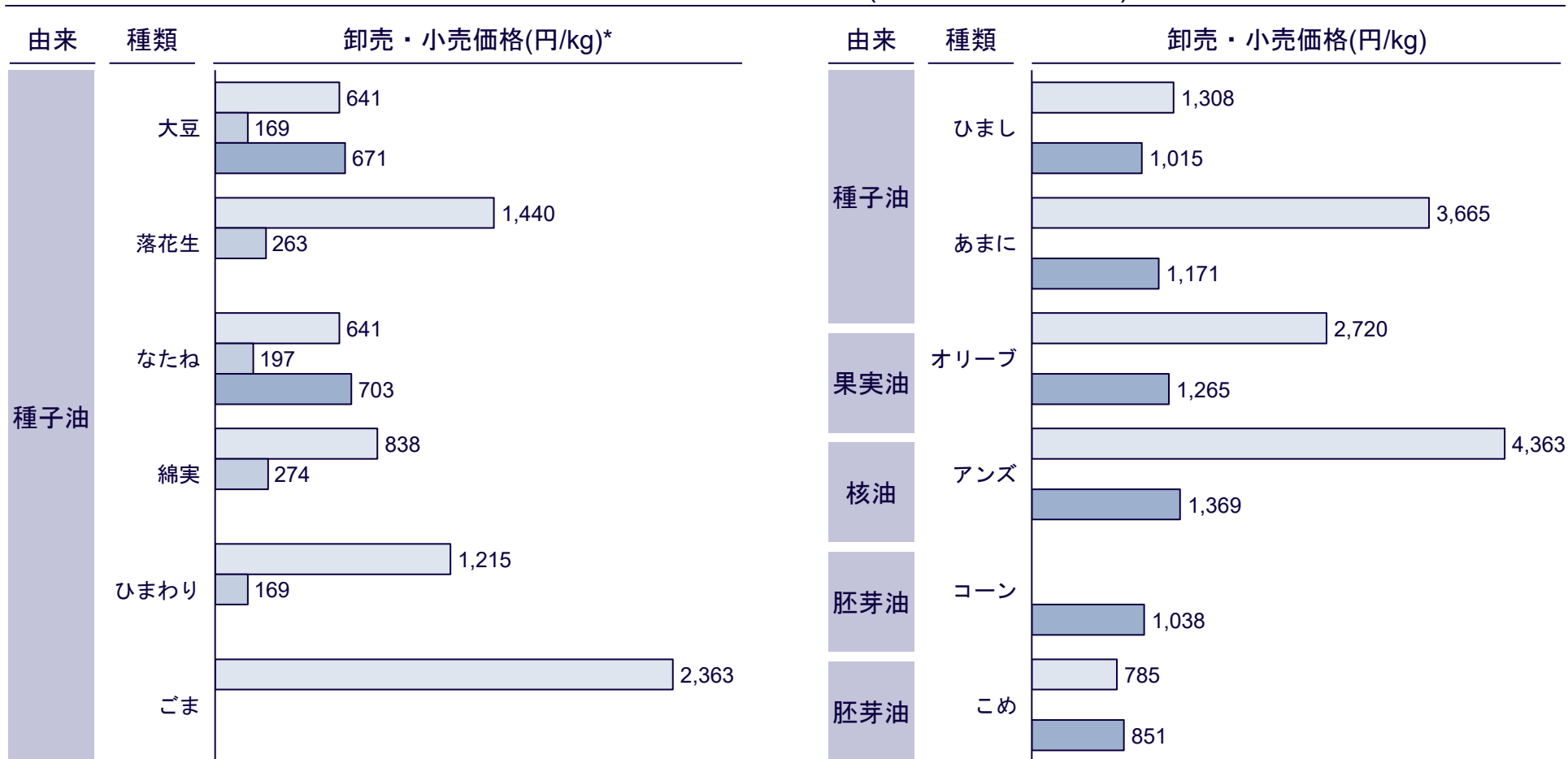
種子由来の植物油の多くは化粧品向けだが、中にはチョコ用脂やサプリ向け用途がみられる

由来	油脂	◎：主用途 ○：副用途 主要脂肪酸	食用			非食用			単価(円/kg)
			主/副	用途	特徴	主/副	用途	特徴	
種子油	ツバキ油	オレイン酸	○	・ ドレッシング	・ 高い抗酸化性	◎	・ シャンプー ・ スキンケア	・ 高い浸透性	22,000
	サフラワー油	リノール酸	◎	・ 揚げ油 ・ マヨネーズ	・ 特有の風味	○	・ 塗料	・ 高い硬化性	N/A
	バオバブ油	オレイン酸	○	・ 調味油	・ 温和な風味	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性※	19,800
	メドウフォーム油	エイコセン酸	○	・ ドレッシング	・ 高い抗酸化性	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性	6,886
	マンゴー種子油	オレイン酸	◎	・ チョコ用脂	・ 良好なくちどけ	○	・ 化粧品	・ 高い可塑性	11,000
	ぶどう種子油	リノール酸	◎	・ ドレッシング	・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品	・ エモリエント性	2,049
	サジー油	αリノレン酸	◎	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	○	・ 化粧品	・ エモリエント性	92,340
	アマナズナ油	αリノレン酸	○	・ ドレッシング	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 潤滑油	・ 低温状態での高い流動性	11,880
	ザクロ種子油	プニカ酸	○	・ サプリ	・ 高い栄養価 (プニカ酸)	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性	21,064
	クランベリー種子油	リノール酸	○	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性	N/A
	ボラージ油	リノール酸	○	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性	N/A
	マカデミア種子油	オレイン酸	◎	・ 菓子脂	・ 特有の風味	○	・ 化粧品	・ エモリエント性	2,953

地域によって油脂ごとに大きな価格差は見られない傾向

地域ごとの主要な植物油の価格(世界・北米・日本)

日本の小売価格
 世界の卸売価格
 北米の小売価格

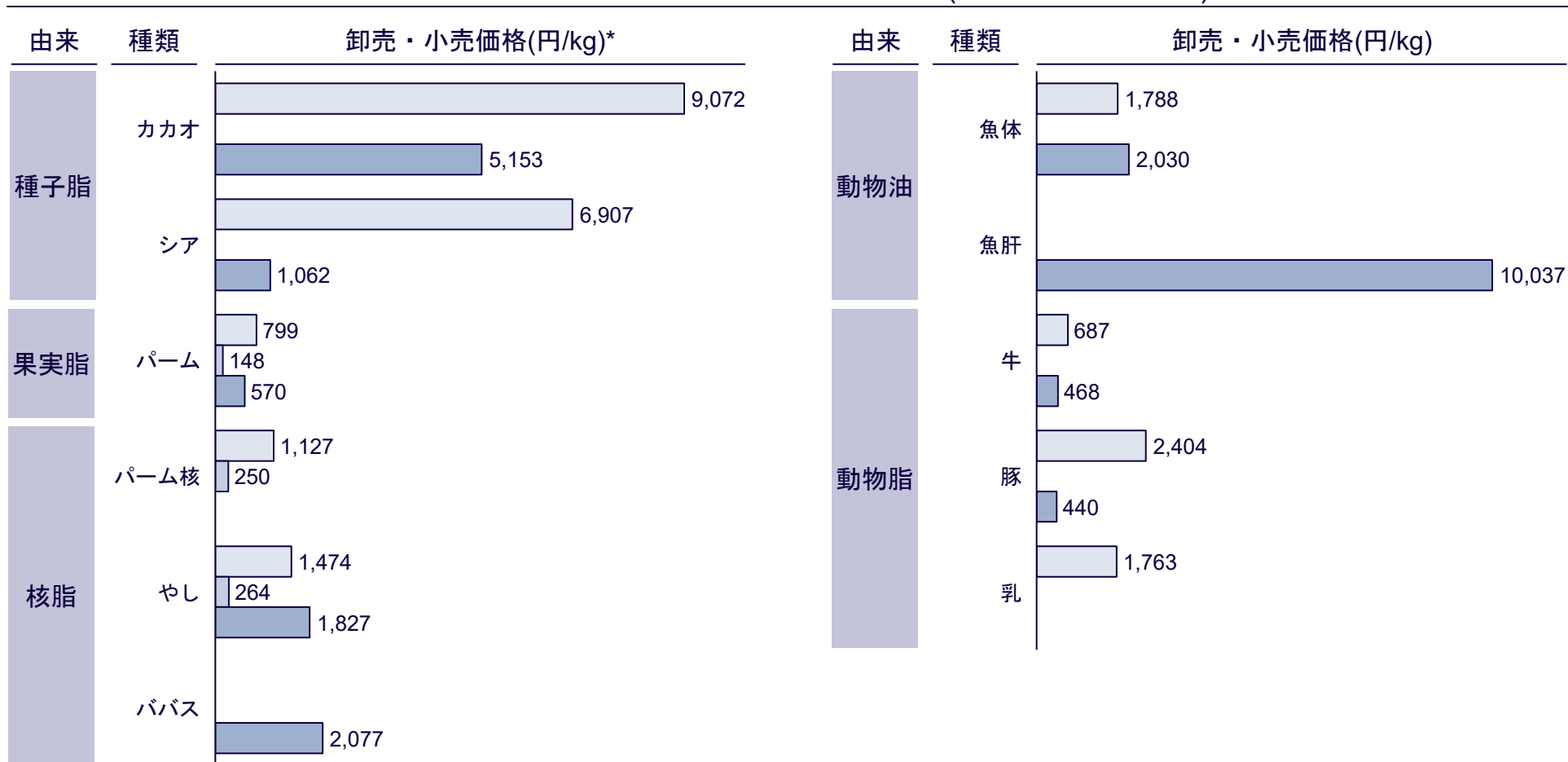


*USDを156.15円として計算(2025/12/24時点)
 ※世界の卸売価格:2024年度の情報、北米・日本の小売価格:2025年12月時点の情報
 出所:あぶら屋ヤマケイ website、JEDWARDS website、USDA website、各種公開情報よりADL作成

地域によって油脂ごとに大きな価格差は見られない傾向

地域ごとの主要な植物脂・動物油脂の価格(世界・北米・日本)

日本の小売価格
 世界の卸売価格
 北米の小売価格



*USDを156.15円として計算(2025/12/24時点)

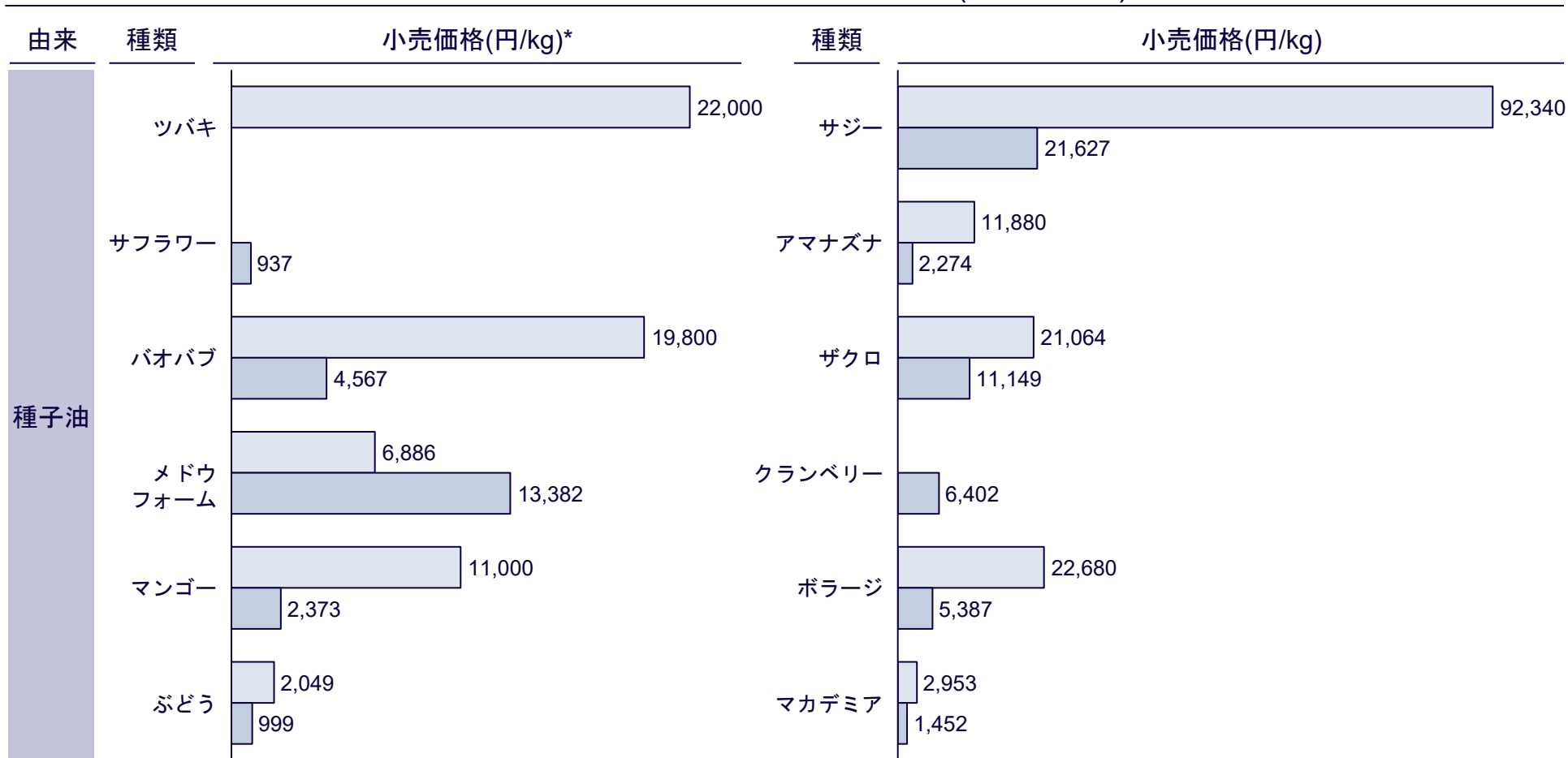
※世界の卸売価格:2024年度の情報、北米・日本の小売価格:2025年12月時点の情報

出所: あぶら屋ヤマケイ website、JEDWARDS website、USDA website、各種公開情報よりADL作成

地域によって油脂ごとに大きな価格差は見られない傾向

地域ごとのその他の植物種子油の価格(北米・日本)

□ 日本の小売価格
 □ 北米の小売価格



*USDを156.15円として計算(2025/12/24時点)
 ※世界の卸売価格:2024年度の情報、北米・日本の小売価格:2025年12月時点の情報
 出所:あぶら屋ヤマケイ website、JEDWARDS website、各種公開情報よりADL作成

石油由来油は主に潤滑油向けに使用され、特徴に応じた使い分けがなされている

種類	概要	系統	グレード・製品例	主な用途	特徴
鉱油	石油を蒸留・精製した油	パラフィン系油	GroupI(溶媒精製グレード)	・ タービン油	・ 高い酸化・熱安定性
			GroupII,III(水素化精製グレード)	・ プロセス油	・ 高い酸化安定性
		ナフテン系油	低粘度グレード	・ 絶縁油	・ 高い低温流動性
			高粘度グレード	・ プロセス油	・ 高い溶解性
合成油	化学合成によって製造された油	合成炭化水素系油	ポリアルファオレフィン	・ コンプレッサ油	・ 高い酸化・熱安定性
			アルキル化ベンゼン	・ 冷凍機油	・ 高い低温流動性
		エステル系油	ジエステル	・ コンプレッサ油	・ 高い低温流動性
			ポリオールエステル	・ 航空タービン油	・ 高い高温安定性
		エーテル系油	水溶性ポリアルキレングリコール	・ ギヤ用油	・ 低い摩擦性
			不溶性ポリアルキレングリコール	・ コンプレッサ油	・ 低い揮発性
		シリコーン系油	ポリジメチルシロキサン	・ 化粧品	・ 高い酸化・熱安定性
			フェニルメチルシリコーン	・ 耐熱絶縁潤滑油	・ 放射耐性
		フッ素系油	パーフルオロポリエーテル	・ 真空ポンプ用油	・ 不燃・非反応性
			ペルフルオロカーボン	・ 電気機器冷却用油	・ 電気絶縁

油脂の95%以上を占めるTAGにより、油脂の物性が決まる 微量な成分は主に乳化作用、抗酸化作用、風味・香りに影響を与える

成分構成 (主/副)	油脂中の成分	構成要素	機能	
			食用	非食用
主成分	TAG※1	各種脂肪酸	食感、くちどけ調整	保湿性、延展性調整
	リン脂質	PC	粘度低減、分散安定化	エモリエント性※2
PE		乳化、気泡安定化	界面調整	
PI		乳化補助	静電安定化	
PA		乳化、気泡安定化	エモリエント性	
副成分	不けん化物	スクアレン	抗酸化性	エモリエント性
		トコフェロール	抗酸化性	抗酸化性
		フィトステロール	抗酸化性	抗酸化性
		アセトゲニン	抗酸化性	殺虫活性
		ワックス	光沢性	増粘性
		リモノイド	抗酸化性	抗酸化性
		セサミン	抗酸化性	抗酸化性
		ポリフェノール	抗酸化性	抗酸化性
		揮発性化合物	TAGから酸化・分解	風味

※1 TAG：トリアシルグリセロールであり、油脂の成分の内95%以上を占める

※2 エモリエント性：皮膚にある適度な油分と水分を保持したまま潤いを維持し、肌を柔らかく保つ作用

出所：サミット製油website、化粧品成分オンラインwebsite、Codex Standards for Fats and Oils from Vegetable Sources、CODEX ALIMENTARIUS「STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS」、The LipidWeb、各種公開情報をもとにADL作成

脂肪酸は不飽和度や炭素鎖長によって特徴が異なる

脂肪酸の種類		主な脂肪酸	主な機能・特徴		
			食用	非食用	
飽和脂肪酸	短鎖 (C4-6)	酪酸、カプロン酸	<ul style="list-style-type: none"> 風味設計 栄養生理 	<ul style="list-style-type: none"> 殺菌作用 	
	中鎖 (C8-12)	カプリル酸、カプリン酸、ラウリン酸	<ul style="list-style-type: none"> 代謝活性 無味無臭 	<ul style="list-style-type: none"> 難溶性薬物の可溶化 エモリエント性 	
	長鎖 (C14-)	パルミチン酸、ステアリン酸、ミリスチン酸、ベヘン酸、アラキジン酸	<ul style="list-style-type: none"> 物性制御 カカオ油脂の代替 	<ul style="list-style-type: none"> 硬度調整 増粘作用 	
不飽和脂肪酸	一価	n-9系	オレイン酸、エイコセン酸、エルカ酸、ネルボン酸	<ul style="list-style-type: none"> 調理安定性 品質維持 	<ul style="list-style-type: none"> エモリエント性
		n-7系	パルミトレイン酸	<ul style="list-style-type: none"> 生理的効果 	<ul style="list-style-type: none"> エモリエント性
	多価	n-6系	リノール酸、γリノレン酸、アラキドン酸、ドコサジエン酸、アドレニン酸	<ul style="list-style-type: none"> 低温状態での高い流動性 	<ul style="list-style-type: none"> 分散性、柔軟性向上
		n-3系	αリノレン酸、DHA、EPA、DPA、ステアリドン酸	<ul style="list-style-type: none"> 高い栄養価 低温状態での高い流動性 	<ul style="list-style-type: none"> 皮膜形成

※エモリエント性：皮膚にある適度な油分と水分を保持したまま潤いを維持し、肌を柔らかく保つ作用

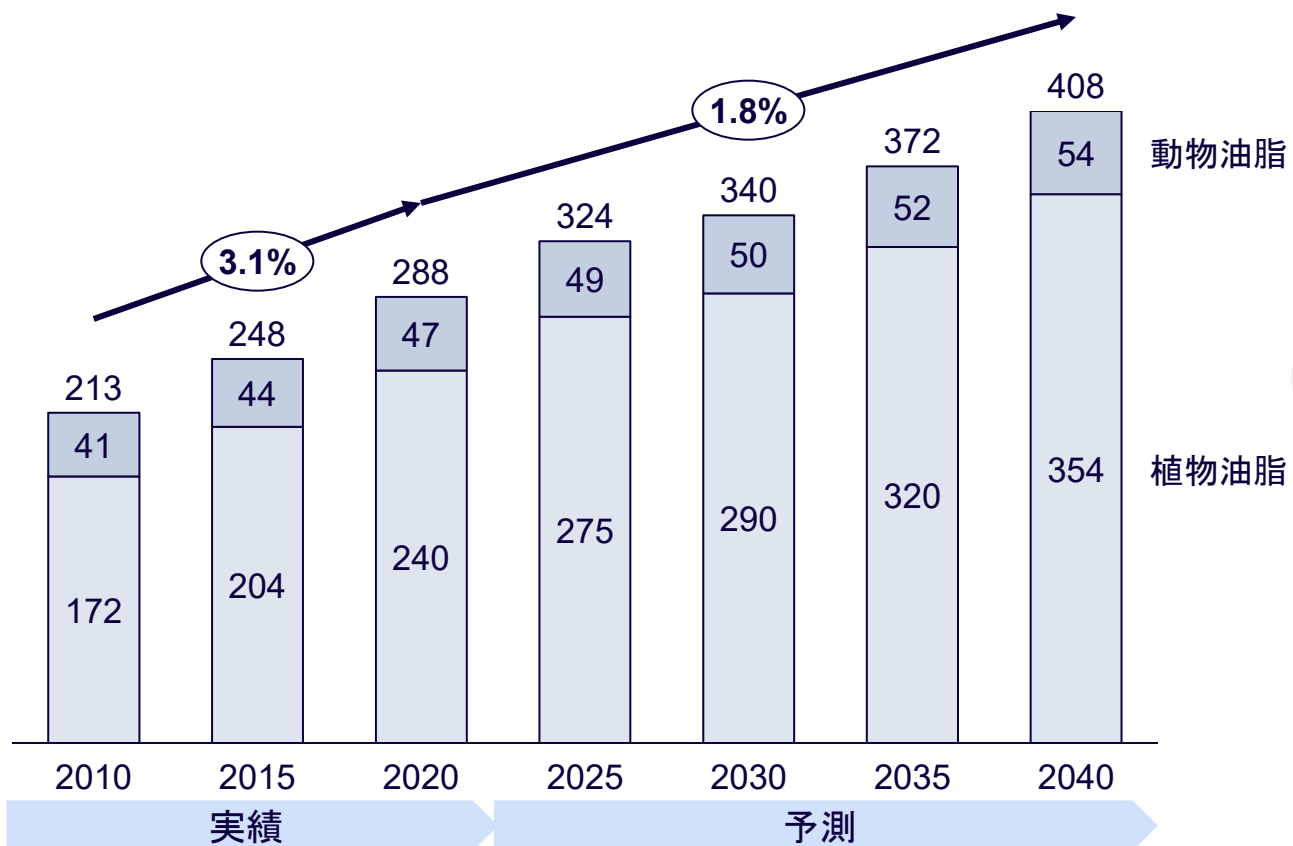
出所：サミット製油website、化粧品成分オンラインwebsite、Codex Standards for Fats and Oils from Vegetable Sources、CODEX ALIMENTARIUS「STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS」、The Lipid Web、各種公開情報をもとにADL作成

食用・非食用油脂動向

油脂の消費量は2020年時点から2040年にかけて堅調に増加する見込み

世界における動・植物油脂の消費量推移

(百万トン)

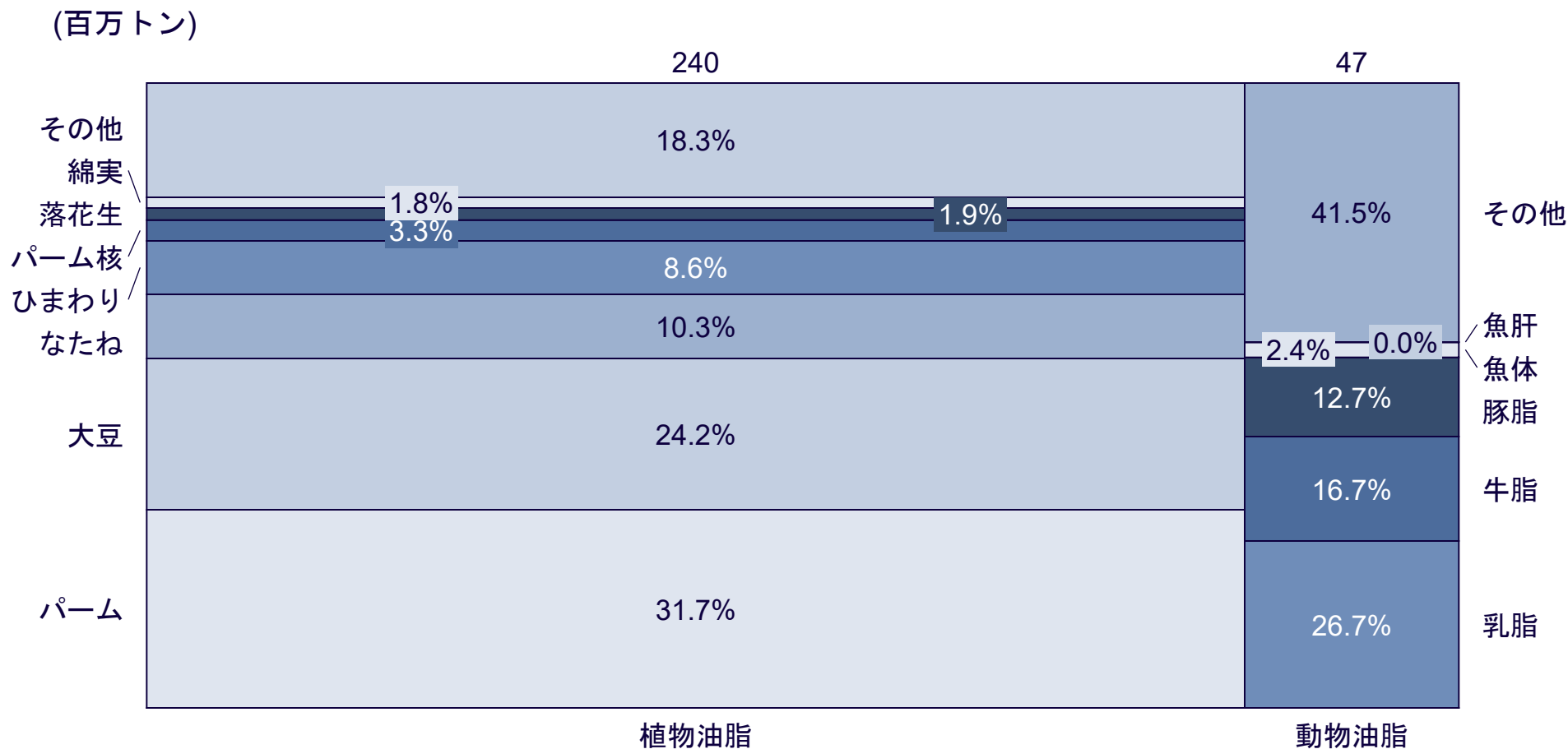


動・植物油脂

- 実績
 - 動・植物油脂は主に食用油や加工食品向けに使用
 - 人口増加と一人当たりの消費量増加により消費量拡大
- 予測
 - 動・植物油脂は今後サプリや化粧品などへの利用率が高まる
 - 一方で主用途は食用油や加工食品向けであり用途の大部分を占有
 - 主に先進国における人口・一人当たりの消費量の停滞により、消費量の増加は鈍化

油脂全体の消費量の内、植物油脂が全体の80%以上を占めており、 パーム油と大豆油で50%以上を占める

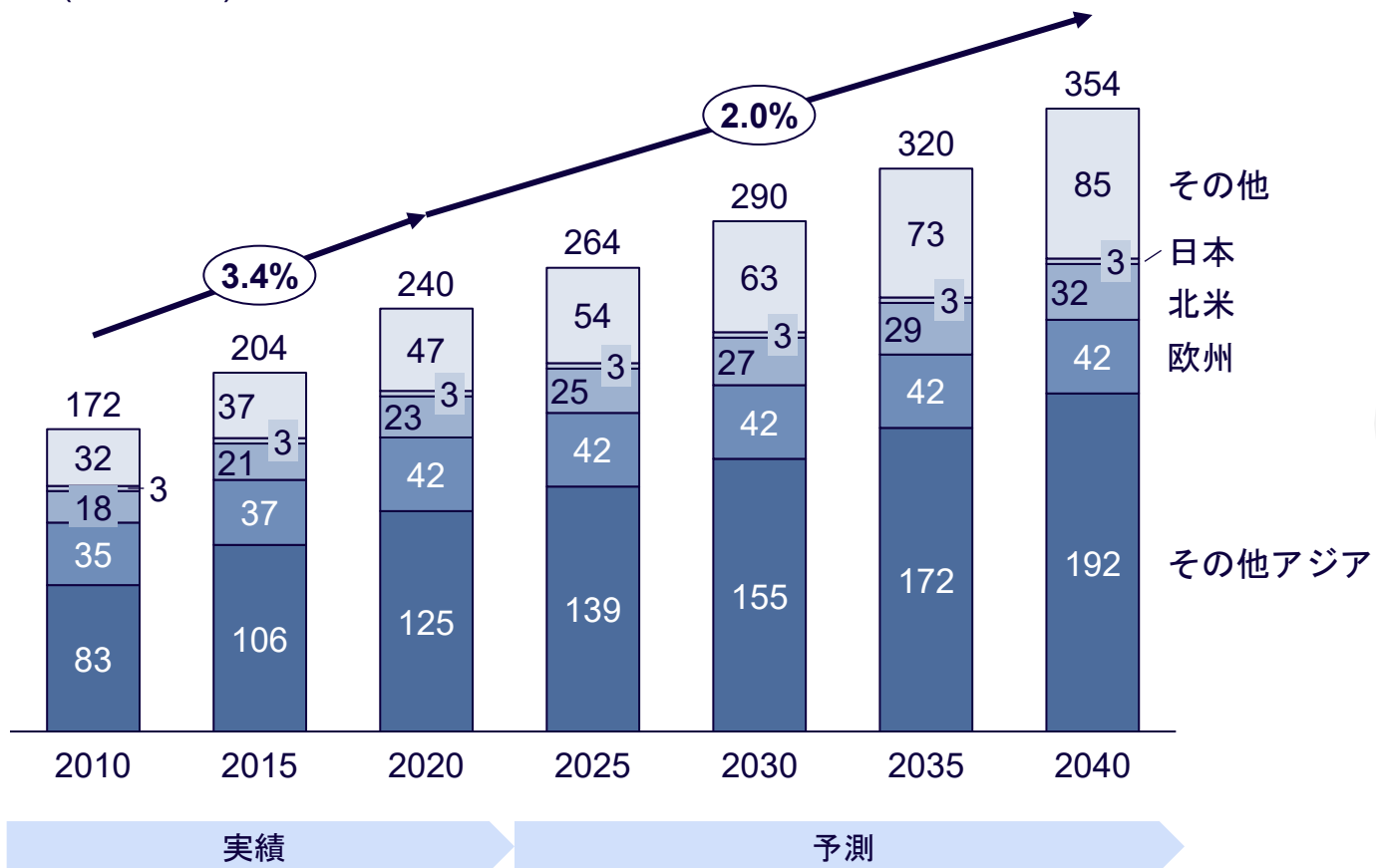
世界における動・植物油脂の消費量(2020)



植物油脂の2020~2040年における消費量は欧州・北米・日本以外の地域での消費量増加を背景に増加傾向

世界における植物油脂の消費量推移

(百万トン)

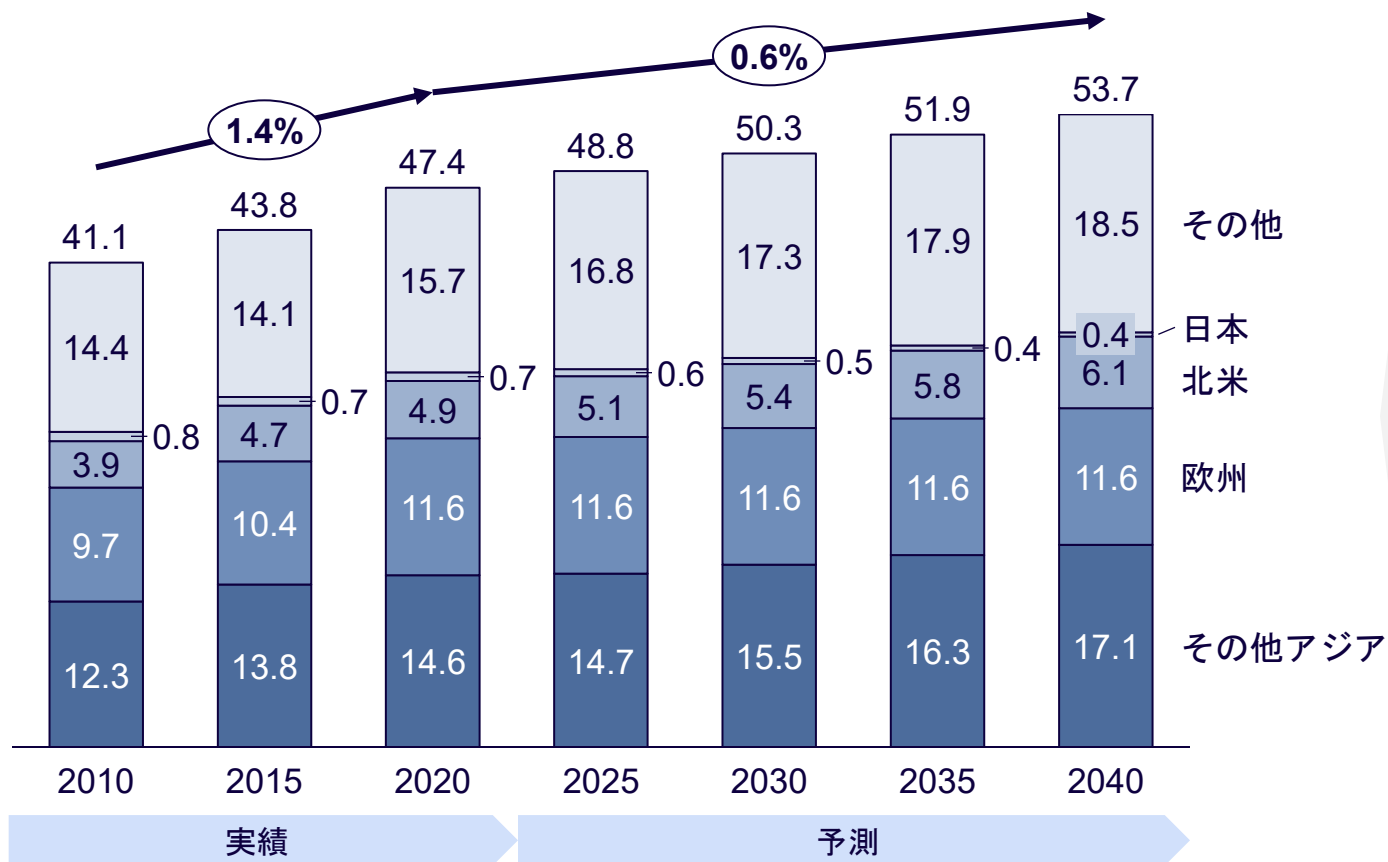


- その他アジア・その他
 - 人口増加と一人当たりの消費量増加により世界の消費量拡大を牽引
- 欧州・北米・日本
 - 人口と一人当たりの消費量の停滞により、消費量の増加は鈍化

動物油脂の2020~2040年における消費量は欧州・北米・日本以外の地域での消費量増加を背景に増加傾向

世界における動物油脂の消費量推移

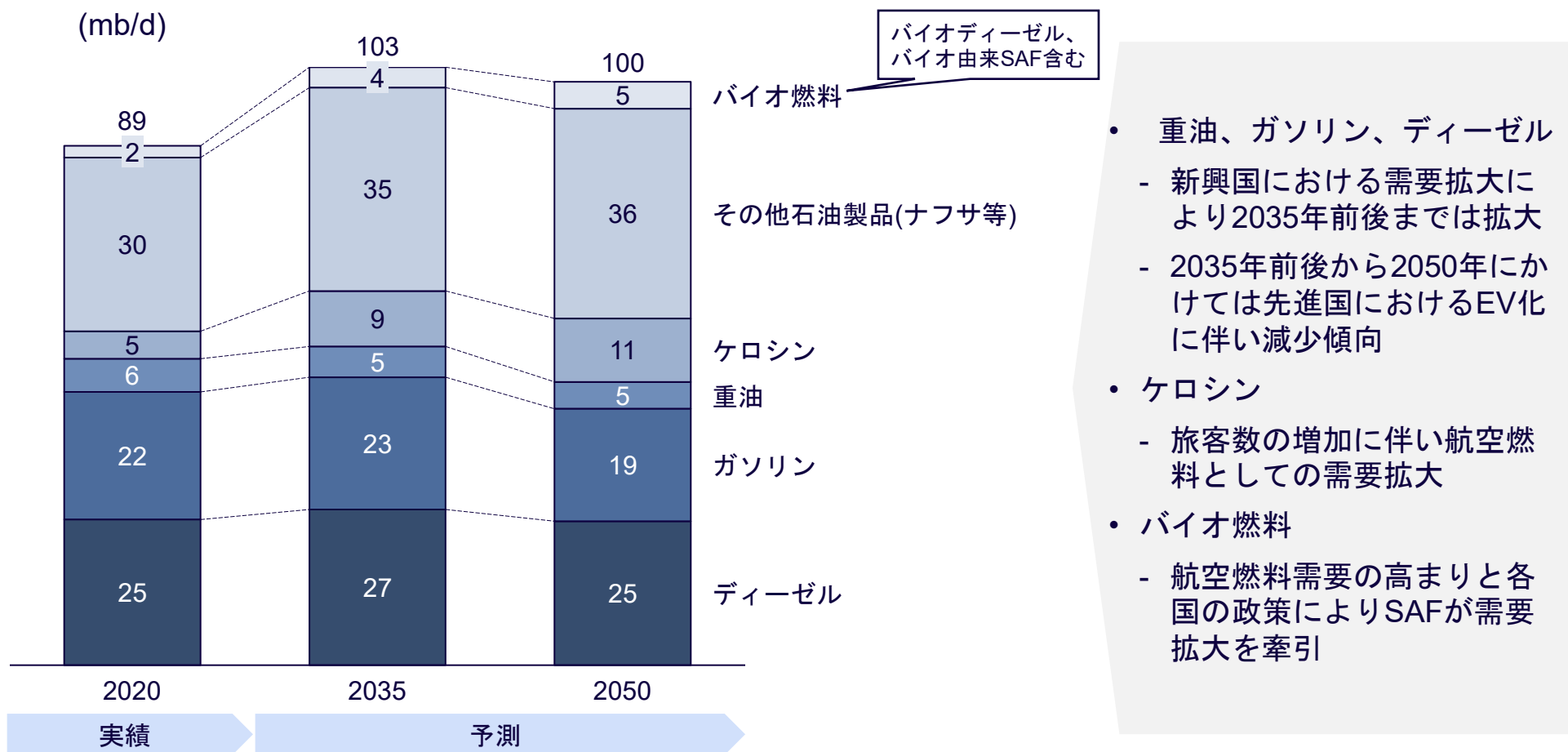
(百万トン)



- その他アジア・その他
 - 人口増加と一人当たりの消費量増加により世界の消費量拡大を牽引
- 欧州・北米・日本
 - 人口と一人当たりの消費量の停滞により、消費量の増加は鈍化

重油・ガソリンの需要は減少傾向にあるものの、ケロシンやバイオ燃料は航空燃料需要の高まりに伴い需要が拡大

世界における石油・バイオ燃料の需要予測(STEPS※)



着目製品概要・動向

カカオ脂の代替油脂は3つあり、それぞれの特徴を活かしてチョコレート以外の用途にも幅広く利用されている

油脂	構成比率	主要脂肪酸	原料油脂	特徴・機能		単価(€/t)	用途	
				製品時	加工時			
カカオ脂代替油脂	CB	70%	<ul style="list-style-type: none"> ・オレイン酸 ・ステアリン酸 ・パルミチン酸 	-	<ul style="list-style-type: none"> ・濃厚な口溶け ・カカオ本来の風味 	<ul style="list-style-type: none"> ・温度調整困難 	14,700	<ul style="list-style-type: none"> ・純チョコレート(高級)
	CBE	30%	<ul style="list-style-type: none"> ・オレイン酸 ・ステアリン酸 ・パルミチン酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・パーム油 ・シア脂 	<ul style="list-style-type: none"> ・濃厚な口溶け ・カカオに似た風味 ・高い耐熱性 	<ul style="list-style-type: none"> ・温度調整困難 ・良好な相溶性 	5,500	<ul style="list-style-type: none"> ・純チョコレート(汎用)
	CBR		<ul style="list-style-type: none"> ・エライジン酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・大豆油 ・なたね油 ・パーム脂 	<ul style="list-style-type: none"> ・なめらかな口溶け ・ガムのような食感 	<ul style="list-style-type: none"> ・温度調整容易 ・限定的な相溶性 	2,700	<ul style="list-style-type: none"> ・洋菓子
	CBS		<ul style="list-style-type: none"> ・ラウリン酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・パーム核油 ・ヤシ油 	<ul style="list-style-type: none"> ・淡泊な口溶け 	<ul style="list-style-type: none"> ・温度調整容易 ・相溶不可 	2,200	<ul style="list-style-type: none"> ・コンパウンドチョコ ・アイスクリーム

※CB : cocoa butter、CBE : cocoa butter equivalents、CBR : cocoa butter replacers、CBS : cocoa butter substitutes

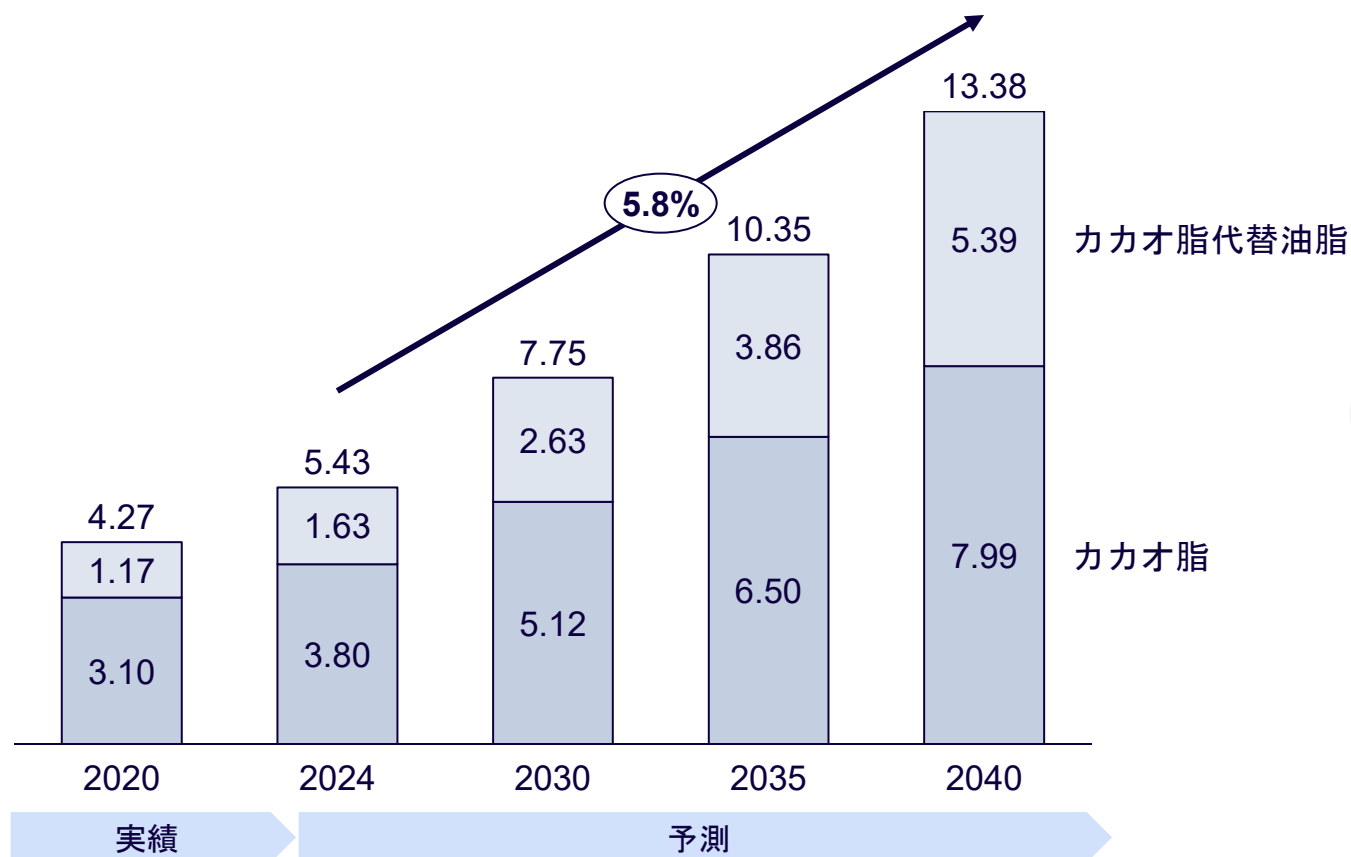
※構成比率は市場規模ベースで推定

出所 : 日本植物油会website、不二製油website、Vesper websiteをもとにADL作成

カカオ脂・カカオ脂代替油脂は人口増加と連動し、市場規模は拡大

世界におけるカカオ脂・カカオ脂代替油脂市場規模推移(2020-2040)

(10億USD)

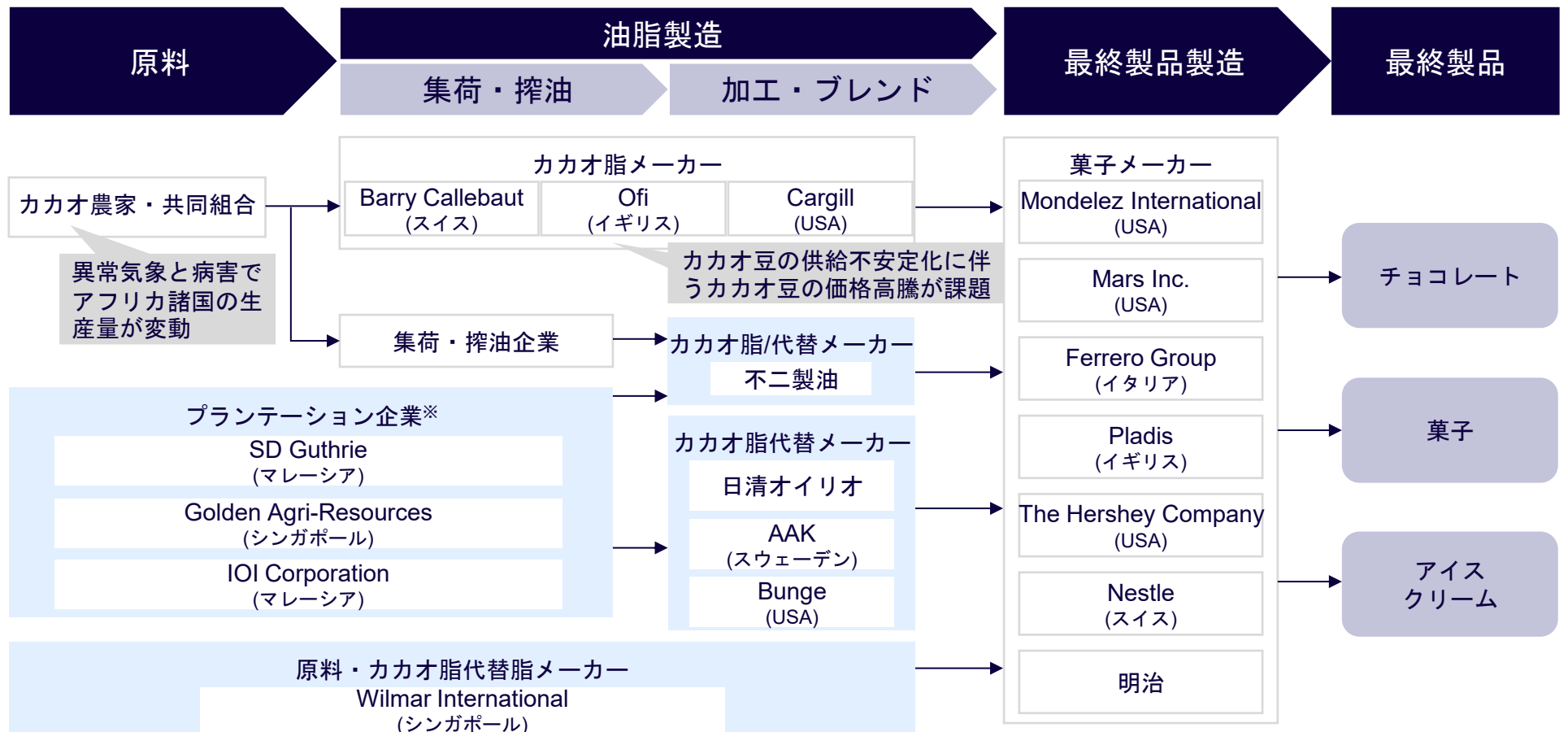


- カカオ脂
 - 新興国のGDP成長、先進国の健康意識の高まりに伴い、チョコレート向けに消費量が増加するものの、カカオ豆の供給力不足により増加率は鈍化
- カカオ脂代替油脂
 - 新興国の人口増加、経済成長に伴い、消費量が増加
 - 主用途である菓子類は、人口増加と経済成長を背景に新興国で増加傾向

カカオ脂メーカーは自社でカカオ豆の集荷から油脂製造まで行うのが主流。一方でカカオ脂代替脂メーカーは油脂の加工・ブレンドに注力

カカオ脂/代替脂のバリューチェーンと主要企業の注力領域

■ 代替油脂製造に關与する企業



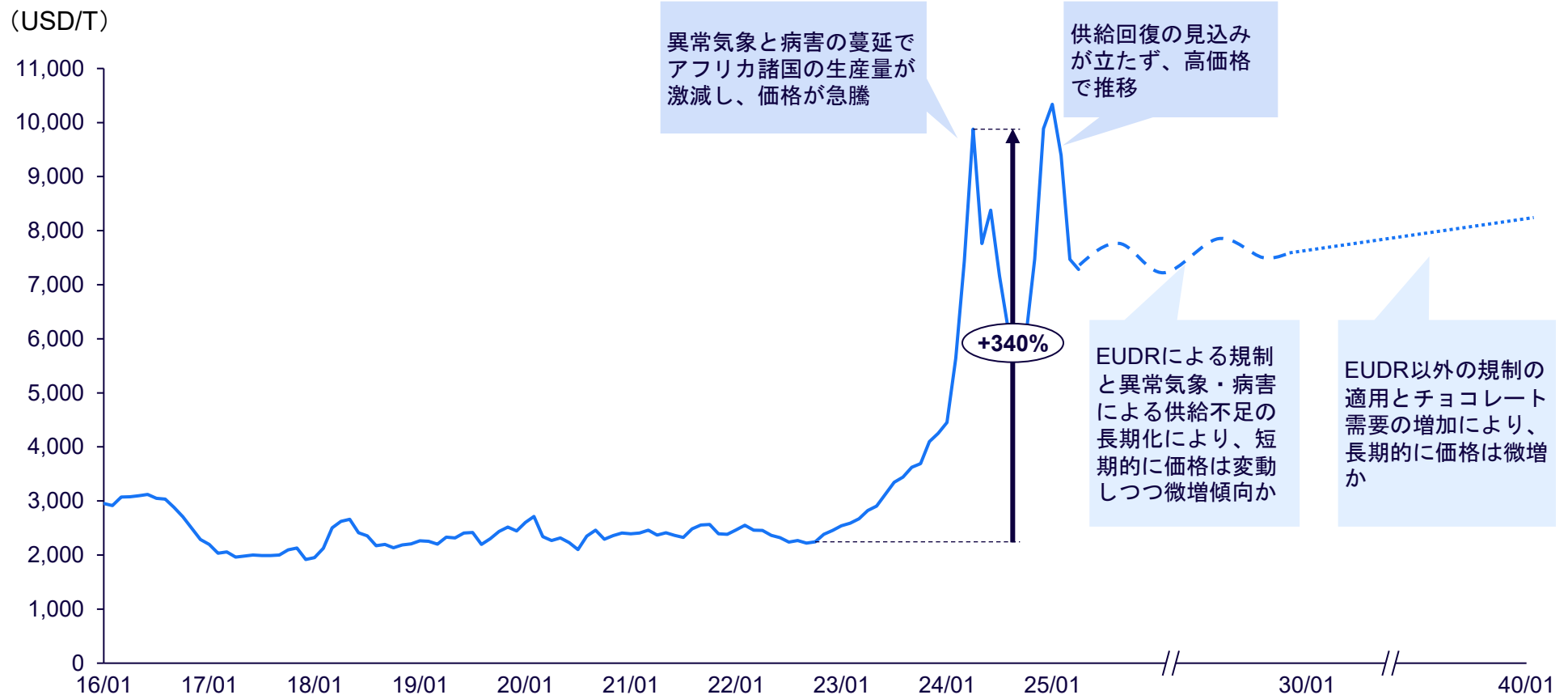
企業は国内外の主要メーカーを選出

※プランテーション企業はパーム果実生産からパーム脂の搾油などを実施する企業。パーム果実は保存安定性が低いため、原料から搾油までを同一企業が実施

出所: 各社website、各種公開情報をもとにADL作成

カカオ豆の価格は2024年に生じた異常気象や病害の蔓延により急騰。2025年時点でも高価格を維持し、2040年にかけて同程度の価格で推移する見込み

世界におけるカカオ豆の価格推移



カカオ豆の需要は長期的に拡大するものの、土地の拡大制限と土地当たりの収穫量減に伴い、供給量が減少し需給差が拡大

		需要・供給量拡大 需要・供給量横ばい 需要・供給量減少	変動要因	短期動向	増減動向	長期動向	増減動向
需要	食用	チョコレート需要	カカオ豆価格の高騰がチョコレート価格に転嫁され、需要の伸び率は鈍化するものの底堅く成長	→	先進国の健康意識の高まりは継続し、純チョコレートの需要は底堅く、増加傾向	→	
	工業	化粧品・医薬品需要	カカオ豆価格の高騰が製品価格に転嫁され、一部の高級品以外は需要の伸び率が鈍化	→	天然成分を重視する高級品の需要は堅調だが、量産品の需要は代替油脂の台頭により鈍化	→	
供給	産地面積	環境規制	EUDR施行に伴い、一部の地域では産地面積の拡大は困難となり、増加ペースは鈍化	→	EUDRに加え、他国でも類似の規制が進む場合、産地面積の拡大は一段と困難になり、停滞	→	
	面積当たりの収穫量	異常気象	エルニーニョ現象による干ばつや豪雨に伴い、収穫量が大幅減	↓	温暖化の進行に伴い異常気象が多発し、産地がカカオ栽培に適さなくなる	↓	
		病害	病害の蔓延により、アフリカ諸国で収穫量が大幅減	↓	病害対策を進めた地域とそうでない地域で収穫量に差が生じ、全体としては微減傾向	↓	
		老木化	生産性のピークを過ぎた木が増加しており、収穫量が減少傾向	↓	植え替えを進めた地域とそうでない地域で収穫量に差が生じ、全体としては微減傾向	↓	
		農家の高齢化・貧困	貧困による肥料などの投資不足と、若者の都市流出により収穫ロスが発生	↓	労働力不足は継続するが、機械化・省人化が進めば収穫量の減少は回避可能	→	

短期的には供給変動リスクにより変動しつつ**価格は上昇**

長期的には産地面積の拡大抑制により供給リスクがさらに顕在化し**価格は上昇**

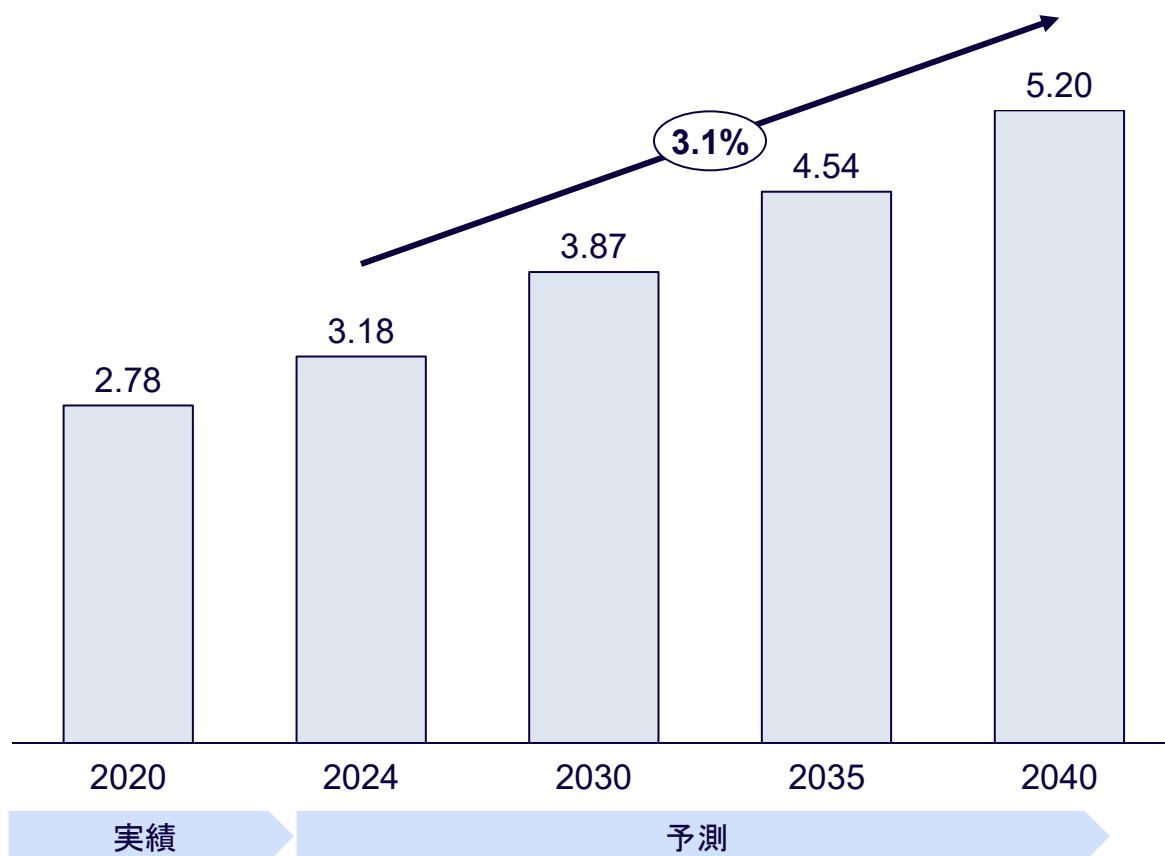
こめ油にはγオリザノールやトコトリエノールといった希少性の高い成分が含まれており、高い機能性が報告されている

微量成分	機能	
	食用	非食用
γオリザノール	<ul style="list-style-type: none"> 高脂血症の改善 筋肉疲労の軽減 	<ul style="list-style-type: none"> 紫外線吸収 メラニン生成抑制
トコトリエノール	<ul style="list-style-type: none"> 抗酸化作用 動脈硬化予防 	<ul style="list-style-type: none"> ヒアルロン酸生産促進
トコフェロール	<ul style="list-style-type: none"> 栄養強化 抗酸化作用 	<ul style="list-style-type: none"> 抗酸化作用
植物ステロール	<ul style="list-style-type: none"> コレステロール吸収阻害 	<ul style="list-style-type: none"> 乳化安定
フェルラ酸	<ul style="list-style-type: none"> 食品の色調安定 認知症改善 	<ul style="list-style-type: none"> 紫外線吸収

こめ油はアジアを中心に市場規模が拡大

世界におけるこめ油の市場規模推移(2020-2040)

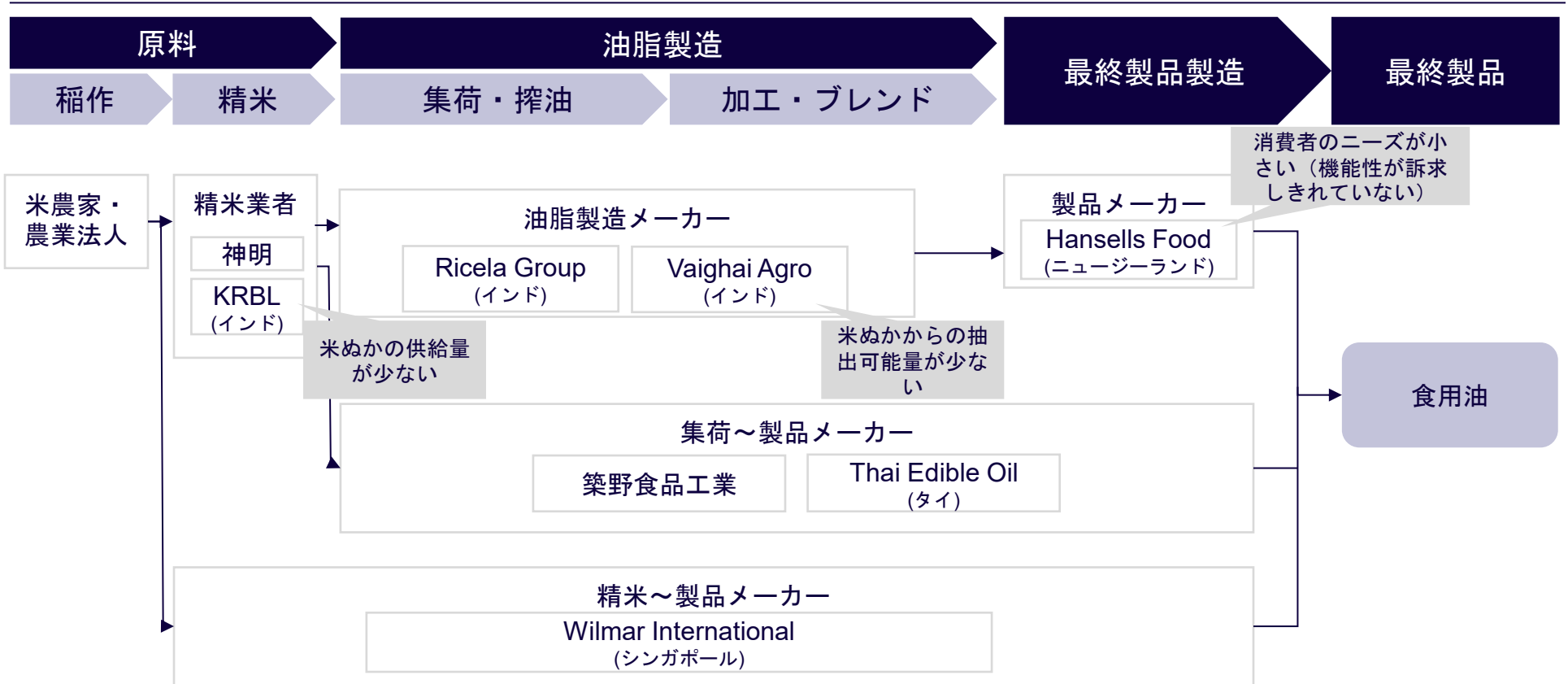
(10億USD)



- こめ油は世界に対してアジアでの生産・消費量比率が8割を超えている
- 今後もアジアでの人口増加やそれに伴う経済成長により消費量が拡大

こめ油のバリューチェーンにおいては、油脂製造から最終製品製造までを一貫して行う企業が主流

こめ油のバリューチェーンと主要企業の注力領域



バター代替製品は油脂の含有量により名称・用途が異なり、それぞれがバターの用途を代替している

製品	構成比率※3	構成要素	脂肪酸	特徴・機能		単価 (USD/kg)	用途	
				生食用	調理用			
バター	78%	乳脂 (80%以上)	<ul style="list-style-type: none"> ・パルミチン酸 ・オレイン酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・濃厚な風味 	<ul style="list-style-type: none"> ・豊かな風味 ・中程度のショートニング性※1 	10.5	<ul style="list-style-type: none"> ・生食 ・炒め物 ・製パン・製菓 	
バター代替	22%	ファットスプレッド	<ul style="list-style-type: none"> ・油脂 (80%未満) 	<ul style="list-style-type: none"> ・オレイン酸 ・リノール酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・非常にあっさりした風味 	<ul style="list-style-type: none"> ・調理向けの使用は限定的 	4.1	<ul style="list-style-type: none"> ・生食
		マーガリン	<ul style="list-style-type: none"> ・油脂 (80%以上) 	<ul style="list-style-type: none"> ・オレイン酸 ・リノール酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・あっさりした風味 	<ul style="list-style-type: none"> ・高いクリーミング性※2 ・高い可塑性 	4.1	<ul style="list-style-type: none"> ・生食 ・炒め物 ・製パン・製菓
		ショートニング	<ul style="list-style-type: none"> ・油脂 (100%) 	<ul style="list-style-type: none"> ・パルミチン酸 ・オレイン酸 	<ul style="list-style-type: none"> ・生食向けの使用は限定的 	<ul style="list-style-type: none"> ・高いショートニング性 ・高いクリーミング性 	2.8	<ul style="list-style-type: none"> ・揚げ物 ・製パン・製菓

※1 ショートニング性：油脂がグルテンの組織形成を阻害することで、サクサクの食感を生み出す性質

※2 クリーミング性：油脂が攪拌されてクリーム状になる際に空気を取り込むことで、ふんわり食感を生み出す性質

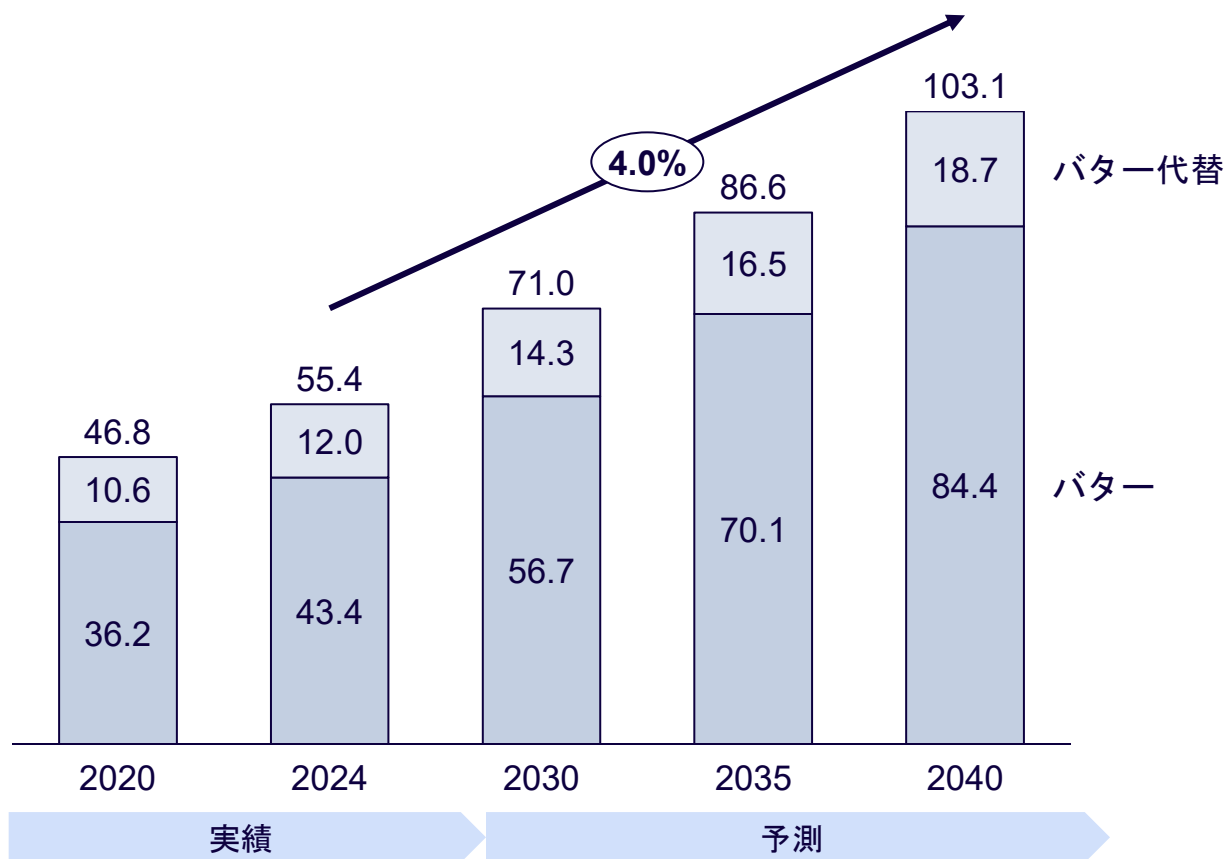
※3 構成比率は市場規模ベースで推定

出所：日本マーガリン工業会website、日本食品標準成分表、一般社団法人Jミルクwebsite、各種公開情報をもとにADL作成

バターは人口増加に伴い市場が拡大傾向。バター代替は先進国での健康意識の高まりと人口増加の停滞を背景に市場拡大は停滞

世界におけるバター・バター代替製品の市場規模推移(2020-2040)

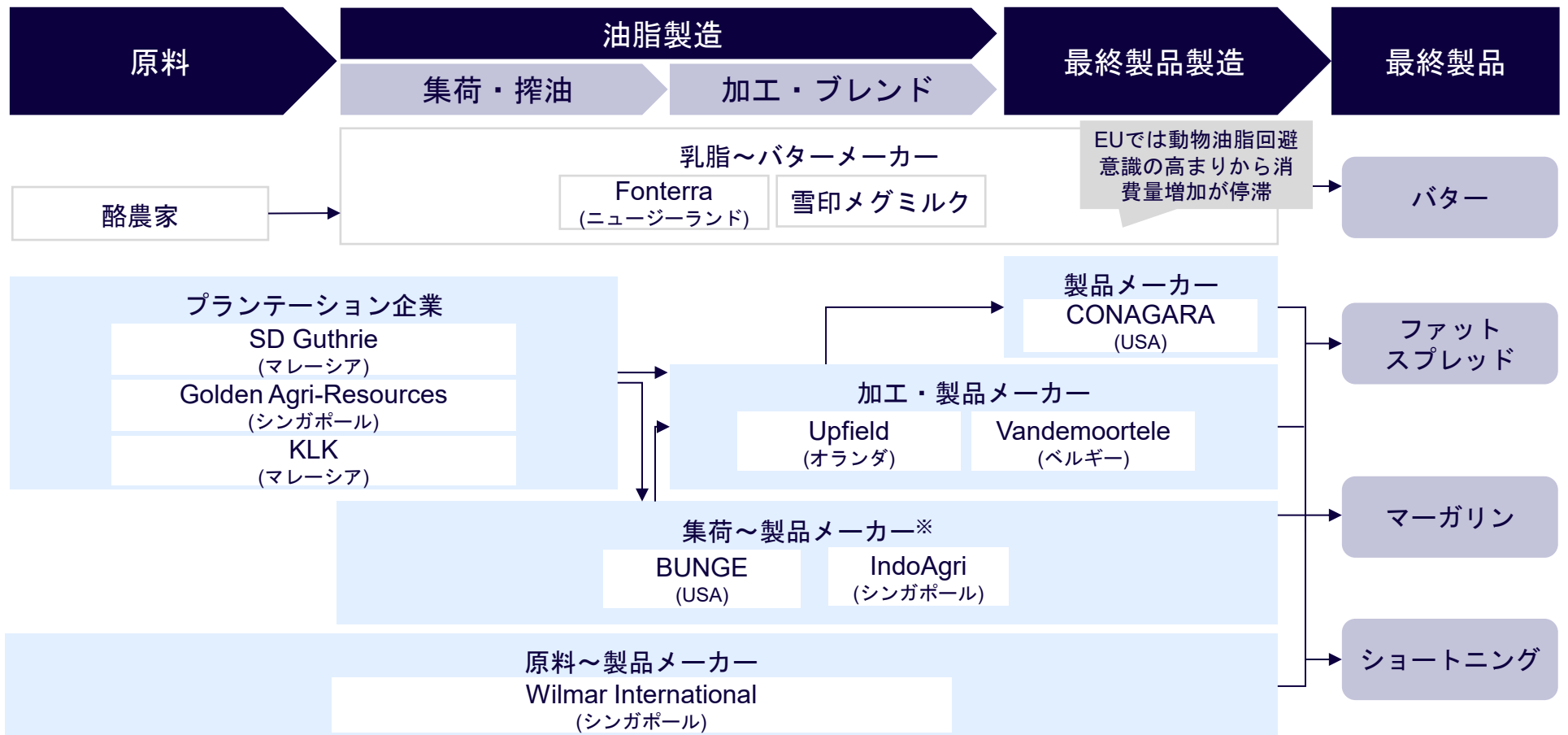
(10億USD)



- バター
 - 新興国の人口増加を背景に消費量が拡大
 - 先進国では、健康意識の高まりからバター代替ではなく、バター利用の需要が増加
- バター代替
 - 新興国では人口増加により消費量が増加

バターのバリューチェーンにおいては、各企業が乳脂からバターまでを一貫して製造。バター代替はビジネスモデルが企業ごとに異なる

バター/バター代替製品のバリューチェーンと主要企業の注力領域 ■ 代替油脂製造に関与する企業



企業は国内外の主要メーカーを選出
 ※酸化しやすいパーム果実などはパーム脂として調達するが、酸化しにくい大豆や菜種などは自社で搾油を実施
 出所：各社website、各種公開情報をもとにADL作成

各種脂肪酸は主に高純度油脂の形態で使用されるものの、オレイン酸は原料の油脂ごとに製品形態が異なる

脂肪酸	系統	製品形態	原料油脂	主な用途・機能*1		製品例		
				食用	非食用	製品	単価(円/kg)	
パルミトレイン酸	n-7	高純度油脂	<ul style="list-style-type: none"> マカデミア油 サジー油 魚油 	<ul style="list-style-type: none"> 粘膜の修復機能を目的としたサプリとして利用 メタボ対策を目的とした代謝改善用サプリとして利用 	<ul style="list-style-type: none"> 高い浸透性によるべたつかなさを活かした化粧品として利用 バリア機能により、高機能化粧品として利用 	マカデミア油	希少性、酸濃度の高さ、有用な微量成分の豊富さから高価	3,000
						サジー油		92,000
オレイン酸	n-9	高純度油脂	<ul style="list-style-type: none"> ヒマワリ油 ツバキ油 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化安定性、耐熱性が高いため食用油に利用 	<ul style="list-style-type: none"> 高い保湿性能、艶出し効果により化粧品に利用 	ツバキ油	天然由来かつオレイン酸以外の希少成分もあり高価	22,000
		油脂化学品	<ul style="list-style-type: none"> パーム脂 牛脂 	<ul style="list-style-type: none"> 高い界面活性機能により、食品添加物(乳化剤)として利用 	<ul style="list-style-type: none"> 溶解力の高さを活かして、相溶化剤として化粧品に利用 	オレイン酸(油脂化学品)		1,300
αリノレン酸	n-3	高純度油脂	<ul style="list-style-type: none"> アマニ油 えごま油 	<ul style="list-style-type: none"> 悪玉コレステロールの低下機能、血圧低下機能を活かし、ドレッシングや調味油として利用 	<ul style="list-style-type: none"> メラニン生成抑制作用により、シミやそばかすを防ぐ化粧品に利用 	アマニ油		3,700
γリノレン酸	n-6	高純度油脂	<ul style="list-style-type: none"> 月見草油 ルリジサ油 	<ul style="list-style-type: none"> 動脈硬化や高血圧に有効なため、食用サプリとして利用 	<ul style="list-style-type: none"> 優れた抗炎症機能により、化粧品(敏感肌向け)に利用 	ルリジサ油	栽培と収穫の困難さ、搾油・精製コストの高さから高価	22,000

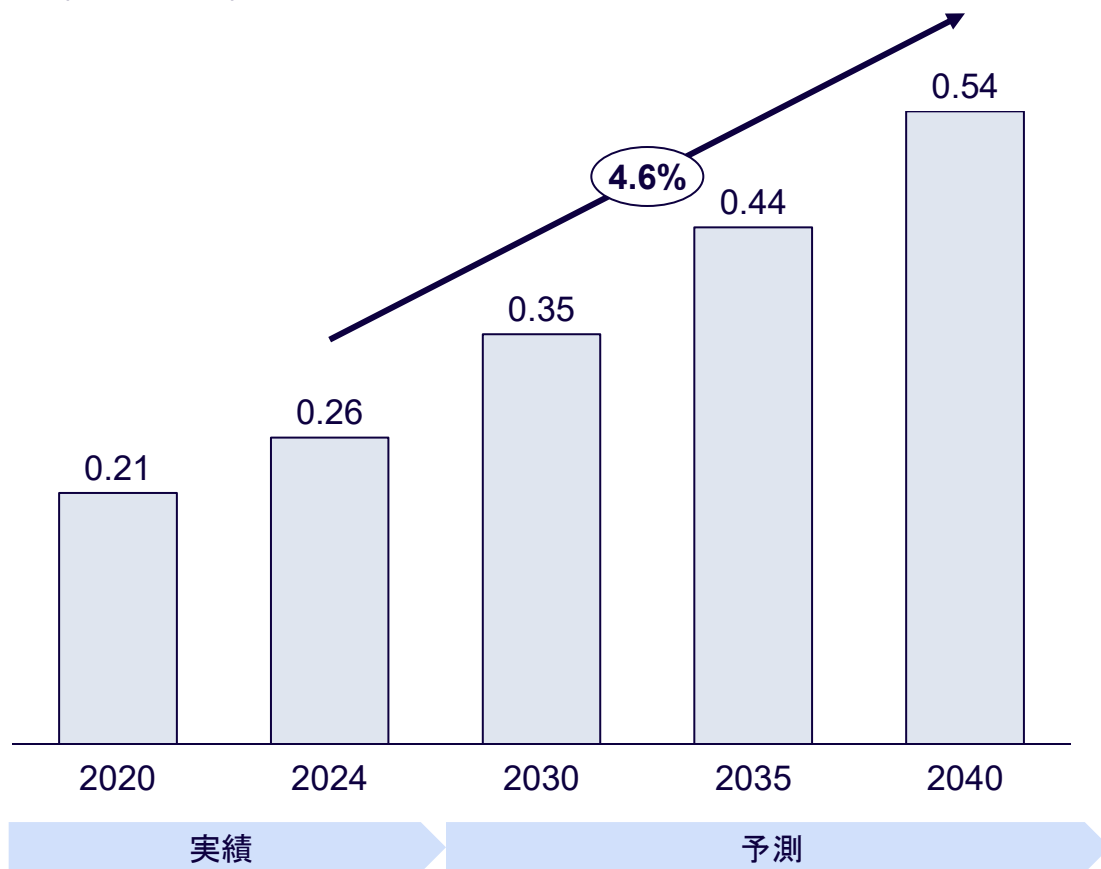
*1: 企業のwebsiteや業界団体の情報をもとに記載

出所: Aromtech社 website、皮膚科学専門誌『Journal of Lipid Research』、日本植物油会 website、日本化学会 website、Kraton website、日油 website、厚生労働省 e-ヘルスネット、消費者庁 機能性表示食品届出データベース、各種公開情報をもとにADL作成

パルミトリン酸は経済成長による健康意識の高まりと天然成分由来製品の需要増により、食品用途と化粧品用途で市場規模が拡大

世界におけるパルミトリン酸の市場規模推移(2020-2040)

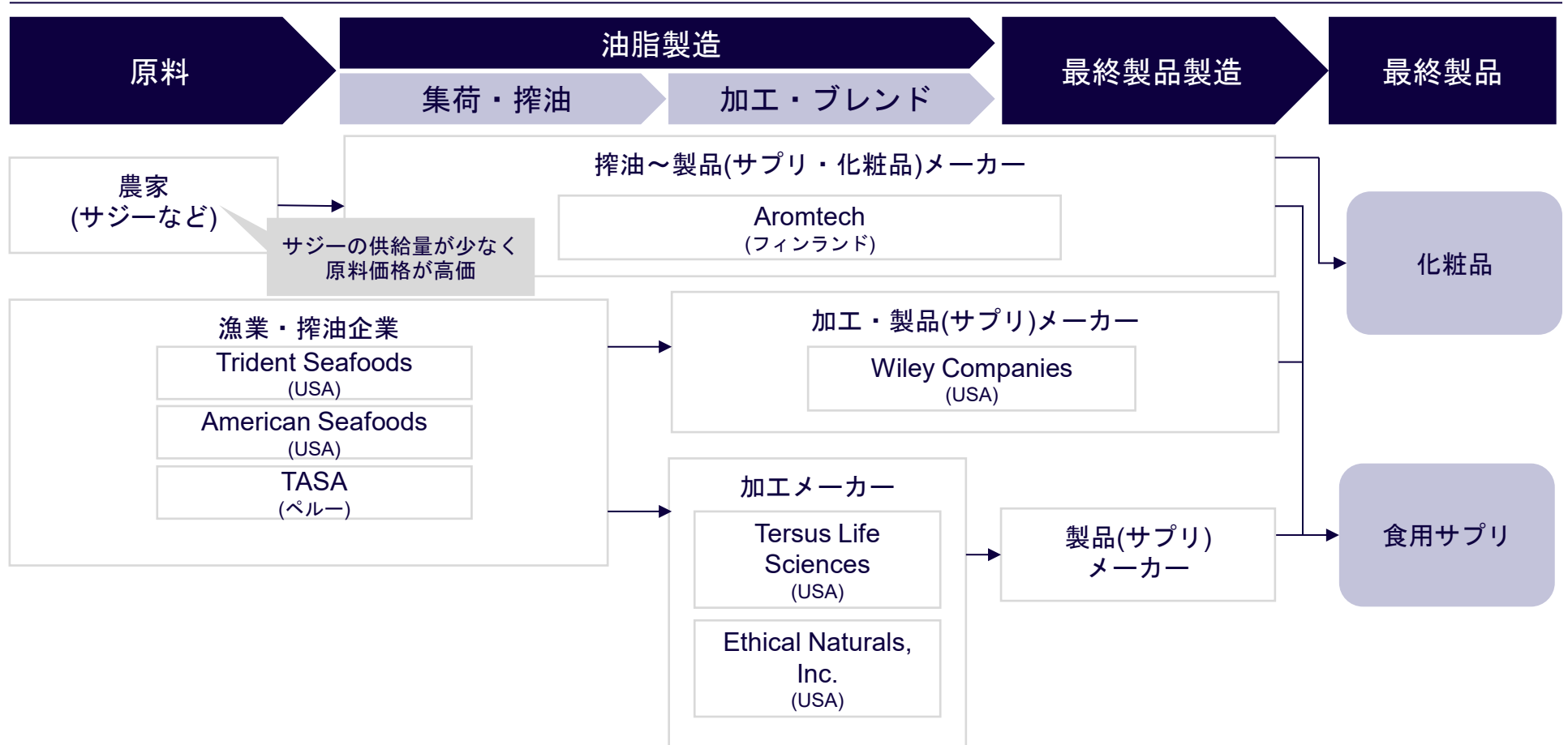
(10億USD)



- 食品用途
 - 高純度油脂(魚油)を主に使用
 - 経済成長に伴う健康意識の高まりや栄養サプリ需要の増加により、食品用途市場は拡大
- 化粧品用途
 - 高純度油脂(マカデミア油、サジー油)を主に使用
 - 経済成長に伴う天然成分由来の化粧品の需要増加により、化粧品用途市場は拡大

高純度パルミトレイン酸油脂を製造している企業は植物油脂由来と魚油由来のプレイヤーに大きく分かれる

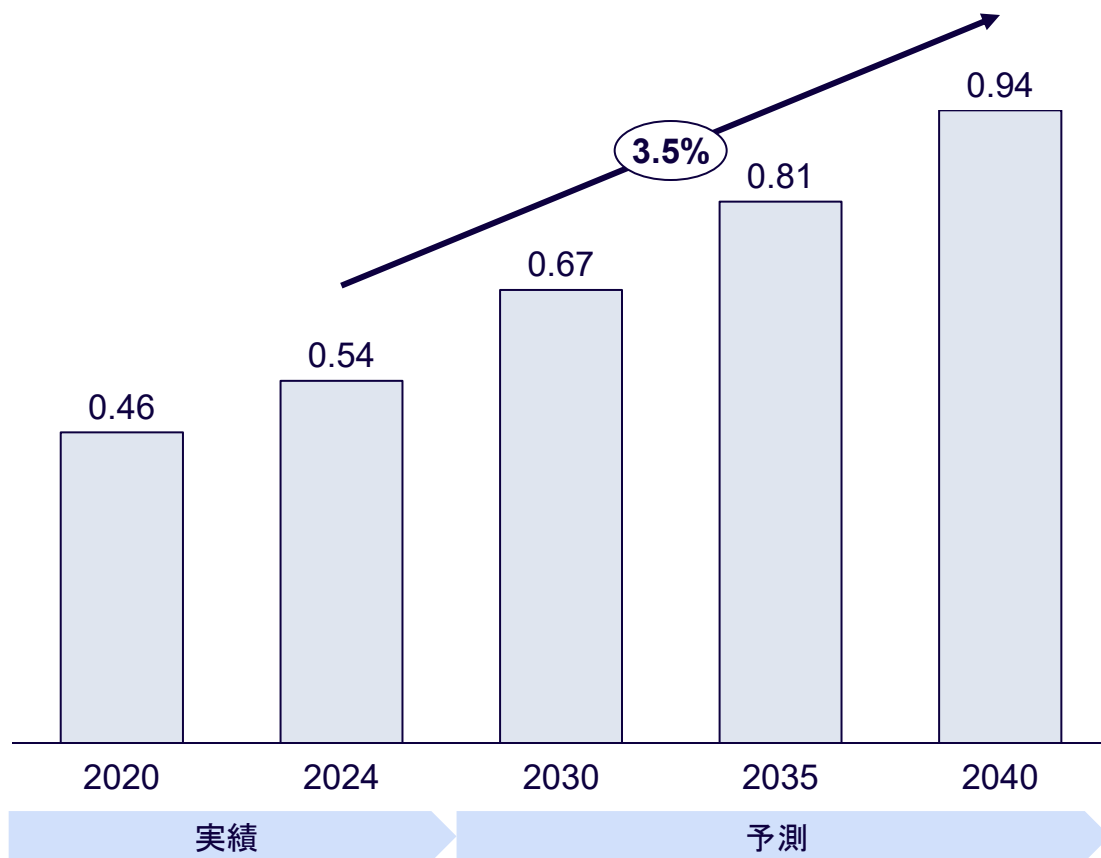
パルミトレイン酸のバリューチェーンと主要企業の注力領域



オレイン酸は、経済成長を背景に食品、化粧品、工業用品用途で市場が拡大

世界におけるオレイン酸の市場規模推移(2024-2040)

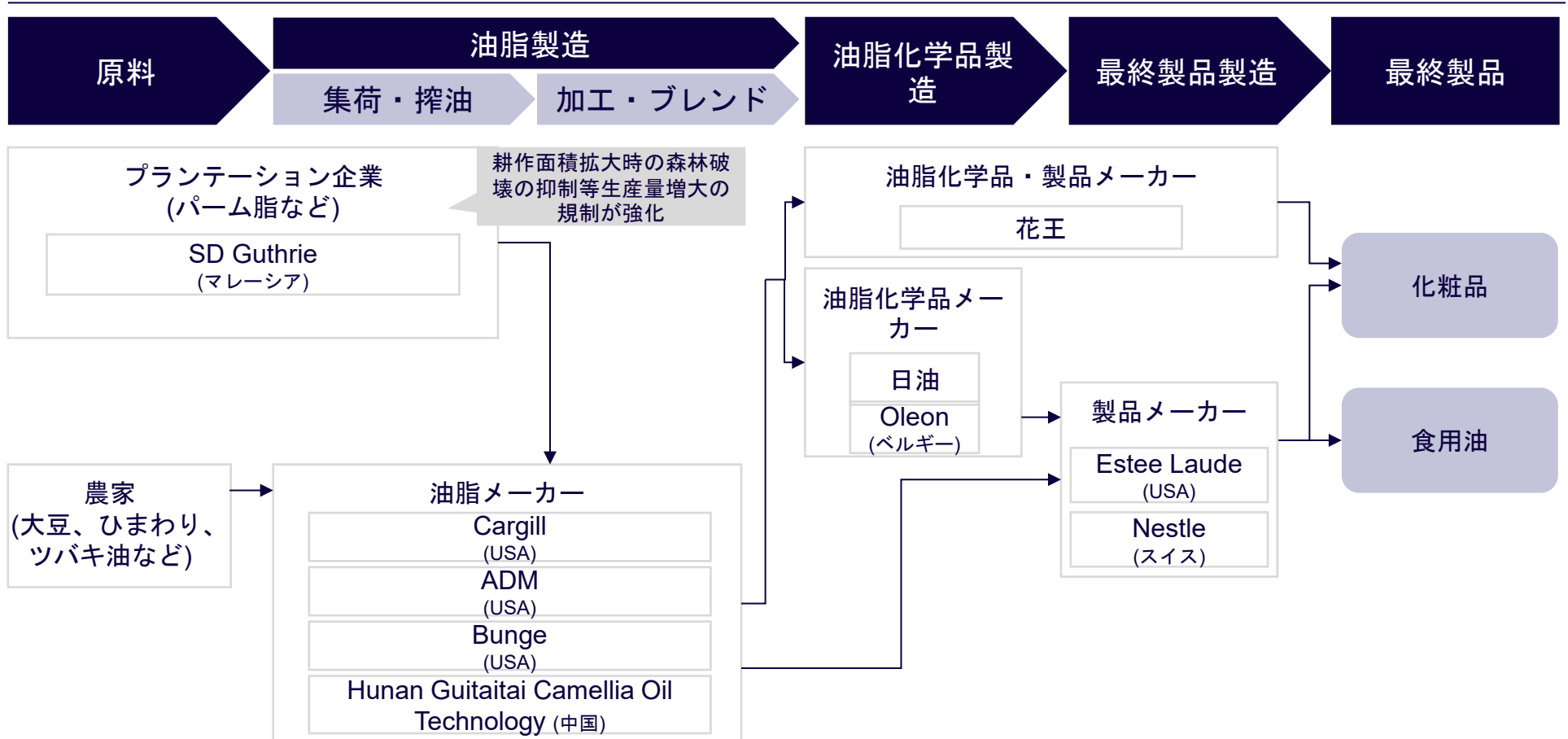
(10億USD)



- オレイン酸は汎用油脂に含まれる
- 食品用途
 - 主に高純度油脂(ヒマワリ油など)を使用
 - 経済成長に伴う健康意識の高まりや栄養サプリ需要の増加により、食品市場拡大
- 化粧品用途
 - 主に高純度油脂(ツバキ油など)を使用
 - 経済成長に伴う天然成分由来の化粧品の需要増加により、化粧品市場は拡大
- 工業品用途
 - 主に油脂化学品(パーム油由来)を使用
 - 新興国の経済成長に伴い、工業品市場は拡大

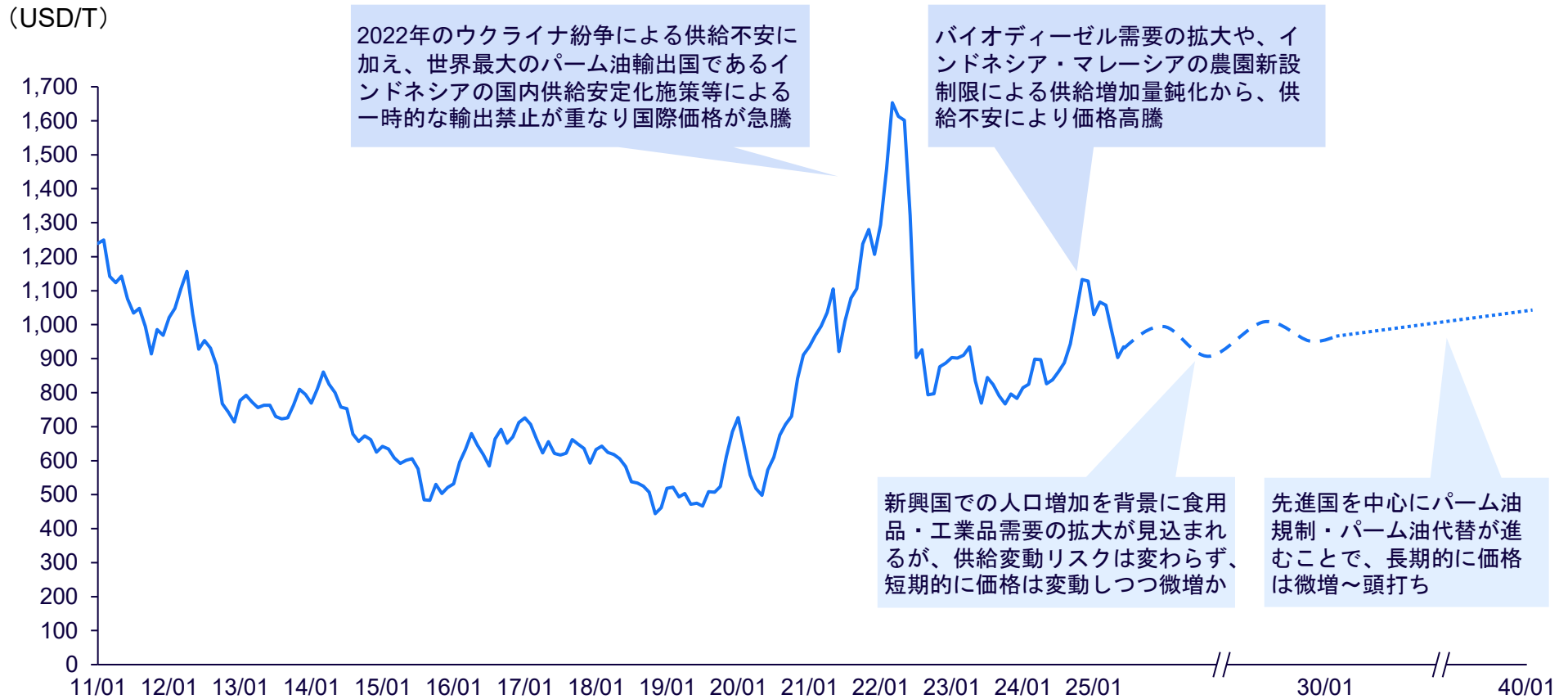
高純度オレイン酸は油脂と油脂化学品の形状で使用され、食用油や化粧品に使用される

オレイン酸のバリューチェーンと主要企業の注力領域



近年、天然油脂原料であるパーム油は、政治的要因や供給面での要因により価格変動が見られる。2040年にかけては需給差の拡大により微増する見込み

パーム油の輸入価格推移



パーム油の需要はSAF需要の高まりに起因して長期的に微増するものの、環境規制や異常気象により生産量は微減し、需給差は拡大

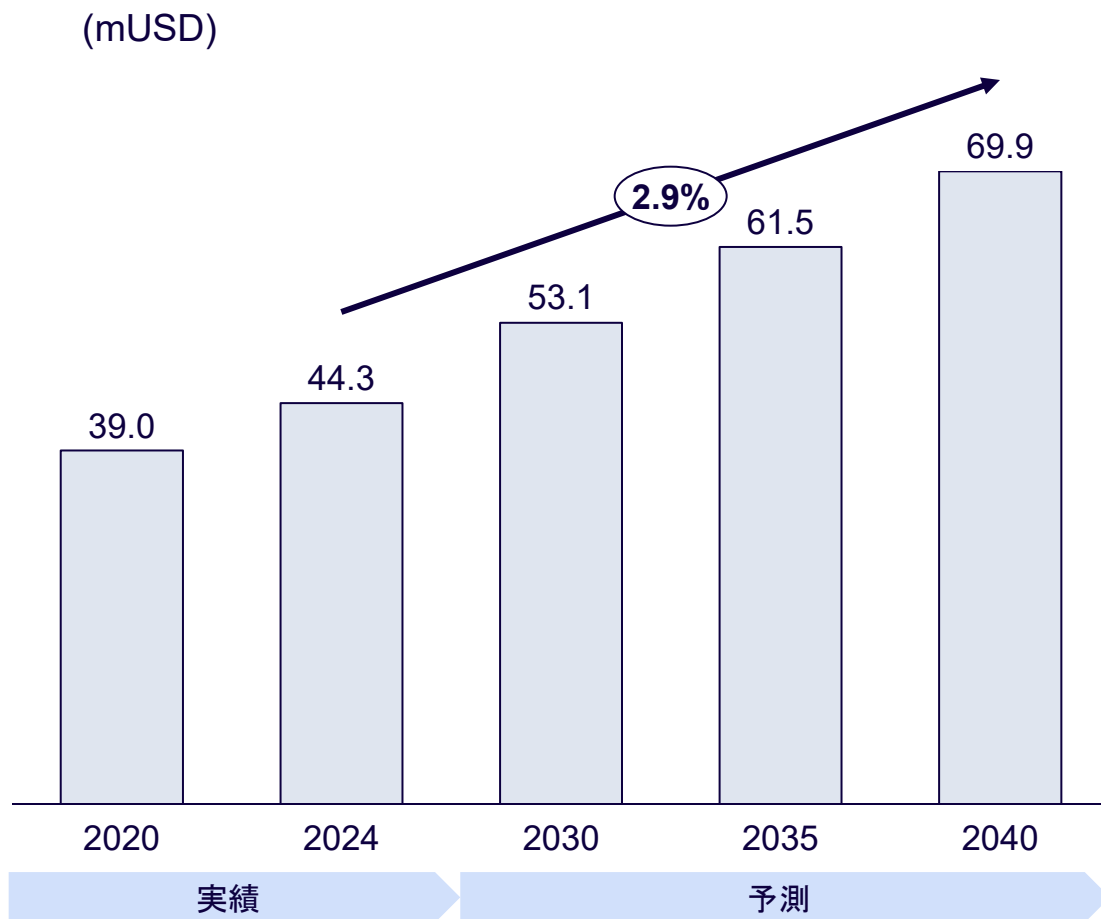
		需要・供給量拡大 需要・供給量横ばい 需要・供給量減少	変動要因	短期動向	増減動向	長期動向	増減動向
需要	既存需要	食用品需要 (汎用)	パーム油を原料とする汎用的な揚げ油や製菓脂は新興国の人口増加と経済成長を背景に需要が拡大	→	新興国における需要の拡大、先進国のパーム油フリー志向による他の植物油への代替により、需要は頭打ち～微増	→	
		食用品需要 (特殊)	パーム油を原料とするバター代替品やカカオ脂代替品は新興国の人口増加と経済成長を背景に増加	→	新興国では需要が拡大し、先進国では機能面から他の植物油への代替が難しく、需要は微増	→	
		工業品需要	新興国では人口増加と経済成長を背景にパーム油需要は拡大するものの、先進国ではEV化に伴い需要は鈍化	→	新興国では需要の拡大が進むものの、先進国ではEVを含めた電動化の拡大により需要は減少傾向	↘	
	新規需要	バイオ燃料需要	SAF等燃料需要の高まりに応じてパーム油需要は拡大	→	パーム油の代替油脂の台頭、パーム油の燃料への利用規制により、需要は頭打ち	→	
供給	産地面積	環境規制	EUDR施行に伴い、一部の地域では産地面積の拡大は困難となり、増加ペースは鈍化	→	EUDRに加え、他国でも類似の規制が進む場合、産地面積の拡大は一段と困難となり、停滞	→	
	面積当たりの収穫量	異常気象	エルニーニョ、ラーニャ等の発生に伴い、収穫量が大幅減	↘	温暖化の進行に伴い異常気象が多発することで、一部の産地はパーム栽培に不適となる	↘	
		老木化	生産性のピークを過ぎた木が増加しており、収穫量が減少傾向	↘	25年を超える老木が全体の大きな割合を占め、抜本的な植え替えなしでは生産量減	↘	
		労働力不足	マレーシアでは労働力不足の影響により、収穫ロスが発生	↘	労働力不足は継続するが、機械化・省人化が進めば収穫量の減少は回避可能	→	

短期的には需要増もありつつも、供給変動リスクも大きく変動しつつ**価格は上昇**

長期的には産地面積の拡大抑制により供給リスクがさらに顕在化し**価格は上昇**

αリノレン酸は経済成長を背景に、食品用途市場が市場拡大を牽引

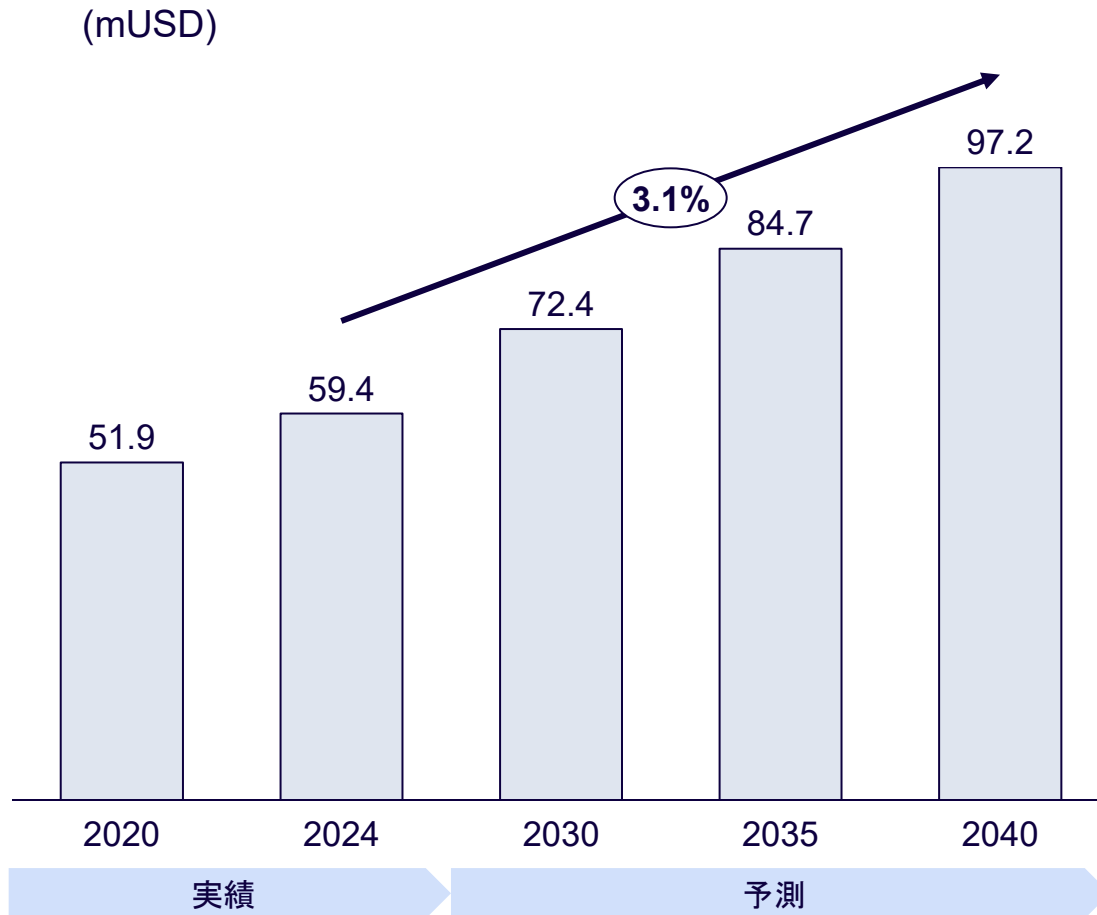
世界におけるαリノレン酸の市場規模推移(2024-2040)



- サプリ用途
 - 健康意識の高まりから、必須脂肪酸含有サプリとしての需要増
- 食用油用途
 - 主に高純度油脂(アマニ油やえごま油)を使用
 - 健康意識の高まりから、必須脂肪酸含有食用油として需要増

γリノレン酸は経済成長を背景に、化粧品用途市場が市場拡大を牽引

世界におけるγリノレン酸の市場規模推移(2024-2040)



- サプリ用途

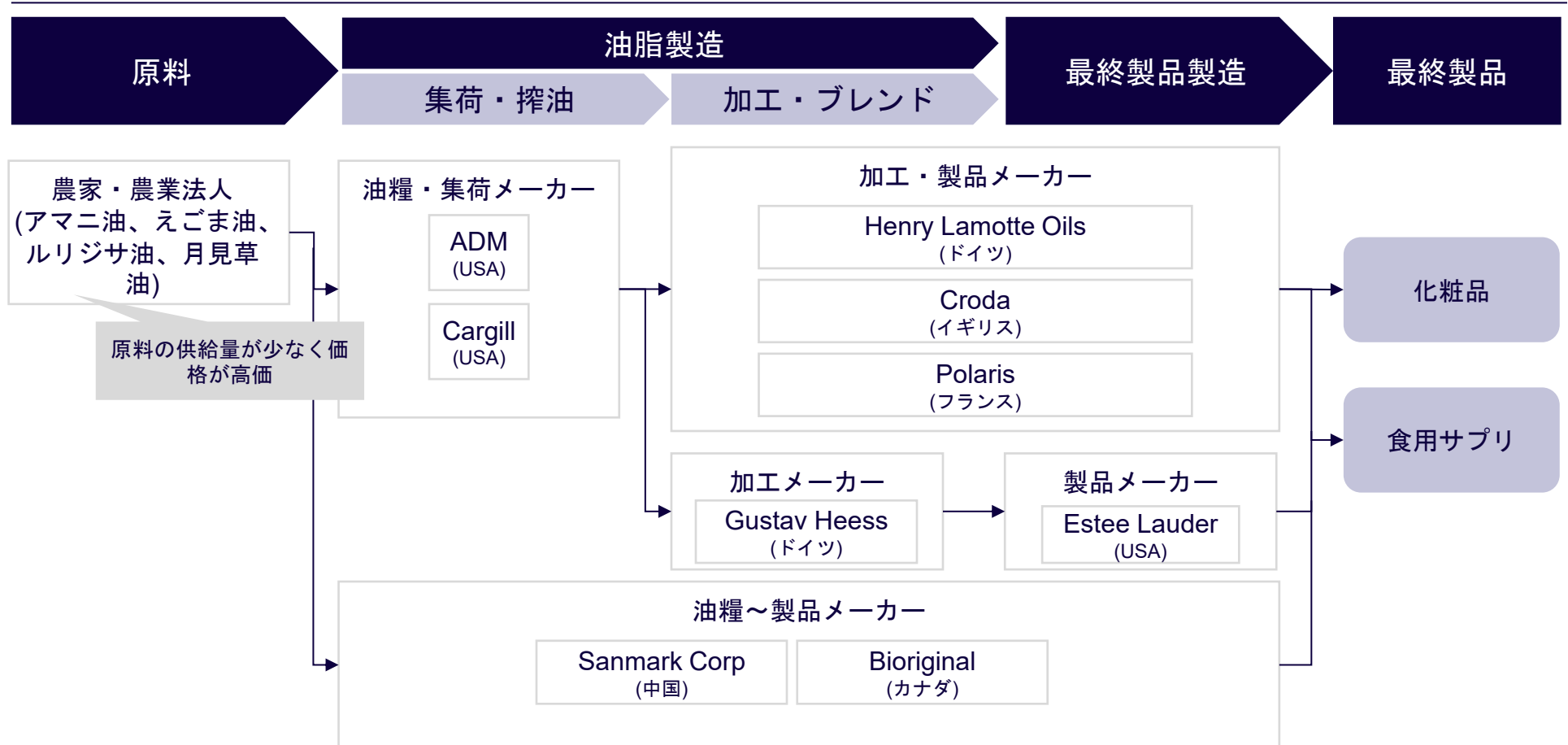
- 健康意識の高まりから、γリノレン酸含有サプリの需要増

- 化粧品用途

- 主に高純度油脂(月見草油やルリジサ油)を使用
- 経済成長に伴うオーガニック製品需要の増加により市場は拡大

高純度リノレン酸油脂の加工・ブレンドを行う企業は最終製品製造も実施。 SanmarkやBioriginalは集荷・搾油から製品製造まで一貫して実施

リノレン酸のバリューチェーンと主要企業の注力領域



各種油脂/脂肪酸の課題は主にコストにあり、 生産効率向上や代替製品の普及に向けた対応がとられている

着目油脂/脂肪酸	課題	課題詳細	対応方針
カカオ脂	高コスト	異常気象や病害等によるカカオ豆の供給不安定化による価格高騰	代替カカオ脂使用の推進
バター	ヴィーガン対応	欧州における動物油脂回避意識の高まりから、消費量が停滞	植物油脂代替の推進 微生物発酵によるヴィーガン対応とバター風味の両立
こめ油	高コスト 機能訴求	米ぬかの供給量および抽出量の少なさ 消費者への機能認知度の小ささ	抽出・精製技術の効率化 消費者への機能訴求
パルミトレイン酸	高コスト	原料の希少性の高さによる価格の高さ	原料の規格外品や加工残渣からの抽出・精製技術の確立によるコストダウン
オレイン酸	高コスト	パームの耕作面積拡大時の森林破壊抑制等、生産量増大関連規制の強化	パームの耕作面積当たりの生産量の増加
リノレン酸	高コスト	原料の希少性の高さによる価格の高さ	原料の規格外品や加工残渣からの抽出・精製技術の確立によるコストダウン

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

バイオものづくり動向

着目製品においては、一部の製品でバイオものづくり製品が商用化されている

着目製品	バイオものづくりにおける代替動向	動向概要	主要プレイヤー
カカオ脂	商業化済 (発酵のみ)	<ul style="list-style-type: none"> カカオそのものを作る細胞培養の方がカカオ脂に寄せる精密発酵に比べて顧客獲得に先んじているが、規制・低生産性により上市が遅れている 菓子メーカーを主な顧客としており、オフイク契約を結ぶ企業も存在 	<ul style="list-style-type: none"> California Cultured Yali Bio Planet A Foods
バター	商業化準備中	<ul style="list-style-type: none"> 脂肪や乳製品という面から参入しようとするバイオものづくりプレイヤーは見受けられるが、代替バターをメインとするプレイヤーは少ない 乳業サプライヤーと連携を進める 	<ul style="list-style-type: none"> Nourish Ingredients Cosaic
こめ油	応用・開発研究	<ul style="list-style-type: none"> 代替こめ油と称されるものはないが、こめ油の機能性成分ではバイオものづくりで生産する研究が行われている フェルラ酸とトコトリエノールは、バイオものづくりへの研究が進んでいるが、工業スケールでの生産量は確保できていない 	N/A
オレイン酸	商業化済 (初期)	<ul style="list-style-type: none"> オレイン酸をバイオものづくりで生産する取り組みの多くは、パーム油代替油脂を念頭に置いており、食品に比べて化粧品は商業化が進む C16「Palmless™」が50,000 L発酵に成功し、商業スケールに到達。まず化粧品向け原料として販売開始 	<ul style="list-style-type: none"> C16 Biosciences Checkerspot
パルミトレイン酸	商業化済	<ul style="list-style-type: none"> パルミトレイン酸は、微細藻類ナンノクロロプシスに含まれる数多くの栄養素の中の一つとして訴求されている すでに食品・サプリメント市場向けにB2B発売 	<ul style="list-style-type: none"> Qualitas Health Allmicroalgae
リノレン酸	γは商業化済 (モルティエレラ油等) αは応用研究	<ul style="list-style-type: none"> γ-リノレン酸を多く含む油脂は過去からバイオものづくりによる工業生産可能だったが、リノレン酸は植物油が強く、バイオものづくりによる市場開拓は進んでいない 化粧品・薬用に発売 	N/A

使用される技術には、細胞培養/精密発酵/発酵が存在し、カカオそのものを作る細胞培養の方がカカオに寄せる精密発酵に比べて顧客獲得に先んじているか

生産方法	プレーヤー	国	創業	カカオ関連製品	ビジネスモデル	開発・販売段階	顧客	
カカオ	細胞培養	California Cultured	US	2020	ココアパウダー/バター フラバノール濃縮粉末	B2B	商業化準備中	Meijiにフラバノールココアパウダーを10年間供給予定
		Celleste Bio	Israel	2022	ココアバター/パウダー	B2B	研究～プロトタイプ段階	Mondelēzが投資（将来の製品展開パートナー候補とみられる）
		Kokomodo	Israel	2024	ココアパウダー (ココアバターも開発予定)	B2B	プロトタイプ～パイロット	大手小売・卸売業者傘下のチョコレートメーカーChocolats Halbaとの提携
		Ayana Bio	US	2021	カカオポリフェノールなどの生理活性物質	B2B	パイロット段階	顧客は栄養補助食品・機能性飲料などのブランドを想定
代替カカオ	精密発酵	Yali Bio	US	2021	代替ココアバター	B2B	商業化準備中	チョコレート・製菓メーカーがメイン顧客候補
		Circe	US	2021	代替ココアバター	B2B	研究～プロトタイプ段階	N/A
		Terra Oleo	Singapore	2023	代替ココアバター	B2B	商業化準備中	食品、パーソナルケア、化粧品のパレーヤーとテスト契約
		Seminal Biosciences	US	2020	代替ココアバター	B2B	研究～プロトタイプ段階	N/A
	発酵	Nukoko	UK	2022	カカオフリーチョコレート	B2B	商業化準備中	食品・飲料原料メーカーDöhler経由でチョコ/菓子/乳製品メーカーへ展開を狙う
		Planet A Foods	Germany	2021	カカオフリーチョコレート (ココアバターは開発中)	B2B2C	商業展開中～スケールアップフェーズ	オンライン・小売店で販売 チョコレートメーカーとも提携
		Foreverland	Italy	2023	カカオフリーチョコレート	B2B	商業展開中～スケールアップフェーズ	食品小売分野で複数のパートナーシップを保有
		Win-Win	UK	2021	カカオフリーチョコレート	B2B	商業展開中～スケールアップフェーズ	ベーカリー、レストラン、製菓企業、CPG企業などにB2B販売

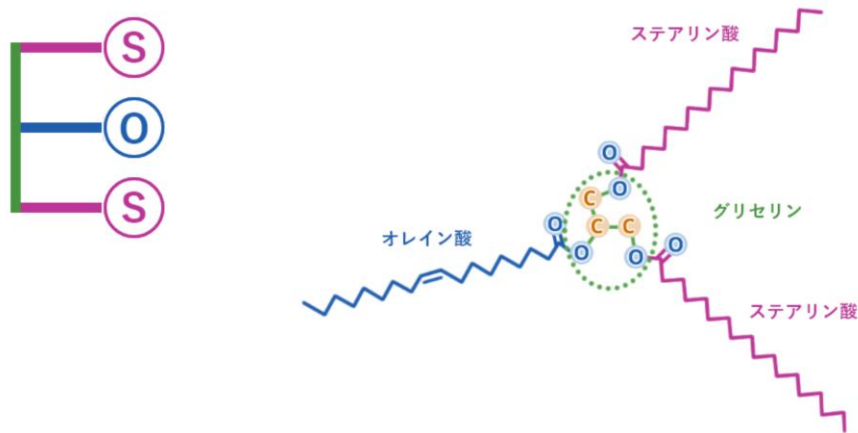
商業化前の課題は規制や運転資金に関してだが、商業化後は消費者ニーズの獲得や生産拡大につき生じるオペレーションに関してに変化する

生産方法		プレーヤー	原料 微生物(基質/細胞)	製品・技術	公開情報内の課題と解決策	
カカオ	細胞培養	California Cultured	酵母/細菌	カカオ細胞	カカオの幹細胞を採取し植物細胞培養によりカカオポリフェノール/ロースト香の前駆体/脂質を細胞レベルで生産	• 需要が大きく、（認可後を見通すと）生産拡大が追いつかない
		Celleste Bio	N/A	カカオ細胞	カカオ細胞を試験管内で増殖し、脂質・フレーバー成分を取得。特にココアバターに焦点	N/A
		Kokomodo	N/A	カカオ細胞	植物細胞培養によりカカオ細胞をタンク内で育て、ココアパウダーを生産	N/A
		Ayana Bio	N/A	カカオ細胞	植物細胞培養により機能性成分を高密度生産（ココアバターは生産していない）	N/A
代替カカオ	精密発酵	Yali Bio	酵母	再生可能な炭素原料	ソフトバターにおける知見を活用し、糖を基質とした酵母による精密発酵で代替ココアバターを実現	• GRASプロセスが未だ終わっていない
		Circe	N/A	CO2	CO ₂ やH ₂ などのガスを炭素源にした好気ガスを用いた微生物発酵で代替ココアバターを生産	• 大規模実証のための存続期間・資金が確保できるか未確定
		Terra Oleo	酵母	農工業廃棄物	農業由来の廃棄物を基質として、遺伝学/酵素工学/代謝工学を組み合わせた酵母による精密発酵で代替カカオ脂	• プロセス全体としてコストがかさむ - 農産廃棄物の活用や処理コスト削減でプロセス経済性を改善
		Seminal Biosciences	N/A	N/A	独自の合成生物学ツールを活用して、精密発酵で代替カカオ脂を生産	N/A
	発酵	Nukoko	酵母の精密発酵でココアバター開発中		原料をそら豆に変えて独自の発酵技術および焙煎などで「風味・香り・口どけ」を代替チョコで再現	• 迅速なスケールアップが難しい - 飲食物原料大手との提携で規模拡大と市場投入を加速
		Planet A Foods			オーツ麦やヒマワリ種子等の植物ベースに独自発酵技術を用いて風味・食感・濃厚さ/滑らかさを代替チョコで実現	• カカオの風味が消費者にとって重要 - 風味をスイスのチューリッヒ大学と協力して調査
		Foreverland			イナゴマメやブドウの種など低価値原材料を使って独自発酵技術および焙煎などで深い味わいを代替チョコで再現	• 生産の拡大、品質管理の強化、サプライチェーンの構築
		Win-Win			イナゴマメやヒマワリの種など多種の材料を使って従来のチョコの製造プロセスと同様に行い、代替チョコで再現	• パイロットから大規模生産へ拡大する際の生産プロセスの最適化やサプライチェーンの管理、物流など様々な課題 • 伝統的なカカオの味を大切にする懐疑的な人々の心を掴むことが難しい

ココアバターのPOP/POS/SOSといったTAG構造は従来のCBEでは複数油脂で実現しているが、今後バイオものづくりでは工程を短縮して製作可能と推察

ココアバターの構造

- ココアバターは脂肪酸としてP（パルミチン酸）・O（オレイン酸）・S（ステアリン酸）が中心で、TAGとしては対称型のPOP/POS/SOSが大部分を占めるのが最大の特徴
- TAG構造の1、3位が飽和脂肪酸（PまたはS）、2位がオレイン酸（O）であることが、結晶多形や融解特性（口どけ、テンパリング適性）に直結



従来油脂とバイオものづくりによる比較

従来油脂(CBE)

- 分別や混合が前提で、さらにテンパリング問題など配慮が必要で原料・工程が増えやすい
 - 目的の融点帯・TAG群（POP/SOSリッチなど）を得るために温度・溶媒・時間など条件を詰めて分画する
 - POPリッチ脂（パーム等由来）+ SOSリッチ脂（シア脂等由来）を用意して、混合でTAG組成を合わせる
 - エステル交換（酵素・化学）を組み合わせる場合もある

バイオものづくりによる油脂

- 分別や混合に依存せず、工程を圧縮可能
 - 現在、微生物（油脂蓄積酵母など）を使って、ココアバターに近い脂肪酸/TAGプロファイルを狙う研究が成立
 - 今後、下流で複数の油脂を分別・混合することなく、上流（菌株・培養条件）を中心にTAG組成を寄せることができると推察

脂肪や乳製品という面から参入しようとするバイオものづくりプレーヤーは見受けられるが、代替バターをメインとするプレーヤーは少ない

生産方法	プレーヤー	国	創業	バター関連製品	ビジネスモデル	開発・販売段階	顧客
微生物発酵	Zayt Bioscience	Germany	2023	汎用代替脂肪(バター様)	B2B	商用化準備中	スキンケア・ヘルスケア分野で初期クライアントと試験実施
	Nourish Ingredients	Australia	2019	乳脂肪に似た脂質	B2B	商用化準備中	乳業大手Fonterraと提携し、Creamiluxという脂質を使った新製品を共同開発中(クリーム、チーズ、バター)
	Cosaic	Switzerland	2021	酵母クリーム	B2B	商用化準備中	乳代替・コーヒークリーマー・アイスクリーム等の食品メーカーを顧客として想定
細胞培養	Brown Foods	India	2021	細胞培養によるミルク	B2B	技術実証済みだが市場導入は先	N/A
	Senara	Germany	2022	細胞培養によるミルク	B2B	技術実証済みだが市場導入は先	乳業メーカーだけでなく既存農家への協力も提案中
	Opalia	Canada	2020	細胞培養によるミルク	B2B	商用化準備中	大手乳業サプライヤーHoogwegtと購入注文契約及びパートナーシップを締結

精密発酵によるコスト高は提携やターゲティング、異なる技術の使用で対応 細胞培養によるミルクはいかなる国でも認可されていない

生産方法	プレーヤー	微生物 (基質/細胞)	原料 (基質/細胞)	製品・技術	公開情報内の課題と解決策
微生物発酵	Zayt Bioscience	N/A	果物/搾汁残さ	果物の廃棄物/搾汁残さなどを原料として精密発酵、脂質を回収・加工して、室温で固形化/加熱でバター様脂肪として仕上	<ul style="list-style-type: none"> 精密発酵は、複雑なバリューチェーンであり、規模拡大により勢いが失われることがある <ul style="list-style-type: none"> 発酵技術企業のKyndaと提携することでコストを低減
	Nourish Ingredients	N/A	N/A	精密発酵で乳脂肪や動物脂肪に近い脂質を発酵タンクで生産	<ul style="list-style-type: none"> 経済的に成立させるために植物由来で代替可能な平凡な脂肪では難しい <ul style="list-style-type: none"> 意図的に発酵技術で提供可能な極めて強力かつ重要な分子に焦点を当てている
	Cosaic	酵母	N/A	「オレオジナス酵母」を使って酵母バイオマス発酵を行い、バイオマスを使って酵母クリームを作る	<ul style="list-style-type: none"> 精密発酵ではコストが高い <ul style="list-style-type: none"> 酵母バイオマス発酵であるため非遺伝子組換えでコストが低い
細胞培養	Brown Foods	N/A	乳腺細胞	哺乳類細胞培養でバイオリアクター内で牛の乳腺細胞を培養し、ミルクのすべての成分を同時に生成。	N/A
	Senara	N/A	牛の乳から採取した細胞	健康な牛の乳から細胞を採取し、独自プロセスで培養してミルクを生成	<ul style="list-style-type: none"> コスト削減が必要 <ul style="list-style-type: none"> 連続的なハイスループットのプロセスを使用した独自のバイオリアクターを開発 認可の前例がないため、すでに規制プロセスが確立している精密発酵よりも規制の壁に直面している 培養ミルクはまだいかなる国でも認可されていない <ul style="list-style-type: none"> 世界大手乳業サプライヤーの購入注文を商業化後押しにする狙い マスマーケット向けの培養ミルクで量産体制を構築し価格競争力を備えるには、技術面・コスト面で依然として課題が残る
	Opalia	N/A	乳腺細胞	牛の乳腺から細胞を分離し、細胞に糖類、塩類、アミノ酸の混合物を供給し、バイオリアクターで培養して、当社独自のプロセスを用いて、ミルクを分泌させる	

こめ油は機能性成分が多く含まれ、抗酸化作用とコレステロールの低下・抑制機能を持つ

	主な成分	概要	機能・用途
脂肪酸	オレイン酸 (全脂肪酸の内約40%)	<ul style="list-style-type: none"> 一価不飽和脂肪酸 (ω-9) オリーブ油/キャノーラ油/アボカドなどに豊富 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化しにくい 体内のLDL (悪玉) コレステロールを抑制する働きがあり、HDL (善玉) コレステロールを増やす働きがある
	リノール酸 (全脂肪酸の内約35%)	<ul style="list-style-type: none"> 多価不飽和脂肪酸 (ω-6) 大豆油・コーン油などに多い 	<ul style="list-style-type: none"> 体の組織が正常に機能する上で欠かせない必須脂肪酸
機能性成分	フェルラ酸	<ul style="list-style-type: none"> フェニルプロパノイド系のポリフェノール 米ぬか、穀類の外皮、コーヒーなどに含まれる 	<ul style="list-style-type: none"> 優れた抗酸化作用 食品添加物の酸化防止剤 天然由来の紫外線吸収剤として化粧品などに利用 持久力向上と抗疲労効果を有する食品素材として期待
	Γ-オリザノール	<ul style="list-style-type: none"> ステロールとフェルラ酸からなる混合物 こめ油に特に豊富 	<ul style="list-style-type: none"> 医薬品として心身症の抑制や高脂血症の抑制に利用 皮脂腺賦活、紫外線吸収、酸化防止作用であり、化粧品原料としても利用
	植物ステロール	<ul style="list-style-type: none"> コレステロールに類似した構造をもつ成分 こめ油に特に豊富 	<ul style="list-style-type: none"> 血清コレステロールを低下させ、特定保健用食品に多く認定 動脈硬化症や心疾患のリスクの低減などの効果 天然物に由来する乳化剤や加工助剤として食品添加物、医薬品または化粧品に広く利用
	トコトリエノール	<ul style="list-style-type: none"> 側鎖が不飽和のビタミンE類 米ぬか油・パーム油に特に多い 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化防止剤として食品添加物に認可 栄養補助食品素材に認可 コレステロール低下作用、神経防護作用、アレルギー抑制効果、紫外線による皮膚炎症の抑制効果などの機能を持つとされる

代替こめ油と称されるものはないが、こめ油の機能性成分ではバイオものづくりで生産する研究は進んでいる

成分	生産方法		発表年	論文内容
フェルラ酸	微生物発酵	大腸菌	2023	大腸菌をモジュール化して最適化し、 使用済コーヒー粉 を炭素源として使うことでグリーンで高効率な生産を実現した研究
		酵母	2025	酵母によるde novo 生産効率化のため、最適な培地組成を設計し、二相バイフェーズ発酵と組み合わせて生産量を大きく改善した研究
		乳酸菌	2020	FAEを最も出す乳酸菌を選び、培養条件を最適化して安い 農業残渣 からフェルラ酸を取り出すバイオ精製プロセスを最適化した研究
γ-オリザノール	微生物発酵	糸状菌	2017	米ぬかを糸状菌 <i>Rhizopus oryzae</i> で固体培養することでγオリザノール回収量や抗酸化能を向上させる研究
	代替成分の化学合成		2010	γ-オリザノールに似たフィトステリルフェルレートを化学合成で効率よく大量製造する方法を示した研究
	ゲノム解析		2021	アジアの多様なイネ品種で種子中のγ-オリザノール量のばらつきを調べ、その差を生み出す遺伝子の場所と候補遺伝子を特定した研究
植物ステロール	微生物発酵	酵母	2025	パン酵母 (<i>S. cerevisiae</i>) の代謝経路を大規模に改変し、カンペステロールを高生産させる代謝工学研究
		酵母	2014	竹の子加工で出る廃棄残渣 を <i>Aspergillus niger</i> で固体発酵し、フィトステロール量を約2倍以上に増やして価値ある原料に変える研究
	細胞培養		2010	ツボクサの培養細胞を使い、セントロサイド（トリテルペノイド類）とフィトステロールを生産する研究
トコトリエノール	微生物発酵	酵母	2025	完全な生合成経路を <i>Y. lipolytica</i> という酵母に導入し、前駆体供給（HGA・GGPP）を強化することで収量を大きく向上する研究
			2023	パン酵母にδ-トコトリエノール合成経路を導入 食品・医薬用途に使いやすいパン酵母 <i>S. cerevisiae</i> を利用することで安全でスケラブルな研究

フェルラ酸とトコトリエノールは、バイオものづくりへの研究が進んでいるが、工業スケールでの生産量は確保できていない

成分	公開情報内の課題
フェルラ酸	<ul style="list-style-type: none"> 従来方法である小麦胚芽、米ぬかなどFAが豊富な植物材料をアルカリ加水分解またはエステラーゼ処理して抽出する方法では下流工程において高コストな膜分離が必要 バニリンからの化学合成は、短い生産サイクル、低コスト、大量生産を可能とするが、これらの手法ではトランス型とシス型のフェルリル酸が混合して生成され、分離が困難である 微生物による植物材料からの生産は収量と生産性に直面しており、経済的な問題を引き起こす 微生物の代謝工学によるデノボ生産（大腸菌など）で迅速に生成するにあたって、経路酵素の発現レベルや酵素活性の調整、前駆体および補因子の供給増加、中間体の抑制効果の克服など複数の側面に注意が必要 植物組織培養は植物原料からの抽出よりも高い収率を提供できるが、汚染が発生するため、工業規模へのスケールアップは達成されていない
γ-オリザノール	<ul style="list-style-type: none"> 原料由来の課題としてそもそも、稲の品種、米の部位、成長段階、植物のストレス条件によってγオリザノールは異なる分布を持つ 高純度γオリザノールを得ることは可能だが、多くのγオリザノールがそのプロセスの中で失われる
植物ステロール	<ul style="list-style-type: none"> 農業副産物を使った従来方法では、原料中の含有量が限られているため抽出・精製コストが高額 デノボ生産では酵母中の過剰な遊離ステロールによる毒化を受け、細胞の増殖性が低下する 植物細胞培養では、経済的実現可能性確保のために生合成と抽出の高収率達成が不可欠だが困難
トコトリエノール	<ul style="list-style-type: none"> 植物抽出は資源の制限と高コストに制約されている 化学合成は通常、動物飼料添加物向けであり、特定のビタミンE異性体の生産には課題がある 微生物合成は、植物抽出や化学合成法に比べて効率性、コスト効率、環境持続可能性の向上など大きな利点を提供する可能性があるが、HGAやGGPP等の前駆体の供給不足と主要酵素の触媒効率の低さが課題。また、生産量は工業生産の需要を満たすには依然として不十分

オレイン酸をバイオものづくりで生産する取り組みの多くは、パーム油代替油脂を念頭に置いており、食品に比べて化粧品は商業化が進む

製造法	プレイヤー	国	創業	オレイン酸関連製品	ビジネスモデル	開発・販売段階	顧客	
微生物発酵	酵母	C16 Biosciences	US	2018	パーム油代替油脂	B2B	コスメ向け初期商業 食品は規制解除待ち	化粧品業界では商業化 食品業界も想定
		ÄIO	Estonia	2022	パーム油代替油脂	B2B	商業化準備中	化粧品・食品業界を想定 製品サンプルの共有を開始
		Xylome	US	2013	パーム油代替油脂	B2B	初期商業	化粧品・医薬品業界に販売 食品も想定
		Sun Bear Biofuture	UK	2022	パーム油代替油脂	B2B	商業化準備中	食品・化粧品を想定 特に植物由来の肉産業向け
		Clean Food Group	UK	2022	パーム油代替油脂	B2B	商業化準備中	化粧品、食品、ペットフードを 想定
		NoPalm Ingredients	Netherlands	2021	パーム油代替油脂	B2B	初期商用	化粧品・食品を想定
	微細藻類	Checkerspot	US	2016	パーム油代替油脂	B2B	パーム代替はR&D段階	食品、栄養、パーソナルケアを 想定
	酵母	NEDO「バイオものづくり」 不二製油×新潟薬科大学	Japan	2020	パーム油代替油脂	B2B	産学実証	N/A

原料は安いですが各プロセスでコストが嵩み、コストの転嫁には機能性が必要 食品向けも想定しているが、規制が厳しく商用化に時間がかかる

生産方法	プレイヤー	微生物 (基質・細胞)	製品・技術	公開情報内の課題と解決策
微生物発酵	C16 Biosciences	N/A	トルラ酵母を用いた発酵によりパーム様油脂を製造 まずは化粧品原料として上市	<ul style="list-style-type: none"> 食品向けのより良い油脂生成と認可取得には資金が必要
	ÄIO	N/A	特殊な酵母を用いて木材や農業の副産物（例えばおがくず由来の糖類）を食品グレードの油脂に変換	<ul style="list-style-type: none"> プロセスの上流・下流ともにコストが高い <ul style="list-style-type: none"> 前処理段階を省略して他企業の加工済み原料を採用 経済性が合えば投資したい投資家もいるが、以前ほどの投資家の熱がない
	Xylome	精密発酵	酵母の精密発酵によるデノボ生産でパーム油のドロップイン代替と化粧品向け原料を展開	<ul style="list-style-type: none"> 食品、化粧品に使われるパーム油に置き換わるための特性や脂質プロファイル、経済性においてさらに改善・研究が必要 持続可能な原料の特定とコンバージョン効率の最大化も重要 持続可能であるだけでなく、特定機能を提供するオイルの開発が必要
	Sun Bear Biofuture	精密発酵	合成生物学/精密発酵/自動化を用いて酵母株を最適化し農業廃棄物や食品製造の副産物を油脂に変換	<ul style="list-style-type: none"> スケールアップにおいて特定の機器の必要性や原料の調達課題 大規模になった場合に発酵プロセスが変わる
	Clean Food Group	非GMO	パン製造等の食品廃棄物	<ul style="list-style-type: none"> 規模拡大を含めた価格の均衡、規制当局の食品としての承認が主な課題 <ul style="list-style-type: none"> 化粧品と食品は規制が異なり、先んじて化粧品に進出
	NoPalm Ingredients	非GMO	ジャガイモの皮など食品産業の副産物	<ul style="list-style-type: none"> 規模拡大に応じて、製造拠点の分散による非効率性、品質の一貫性、供給の安全性が課題となり、強力なパートナーシップ、原料の信頼性が必要
	Checkerspot	微細藻類	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 遺伝子組換え技術を用いず、Prototheca moriformisなどの微細藻類発酵を用いて高オレイン酸パーム油代替品の開発
	不二製油×新潟薬科大学	酵母	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 産業用スマートセルの発酵培養により得られた油脂酵母からパーム油の代替油脂を生産

C16は、油脂生産酵母R. toruloidesを念頭に最終製品化までの各プロセスについて特許を取得している

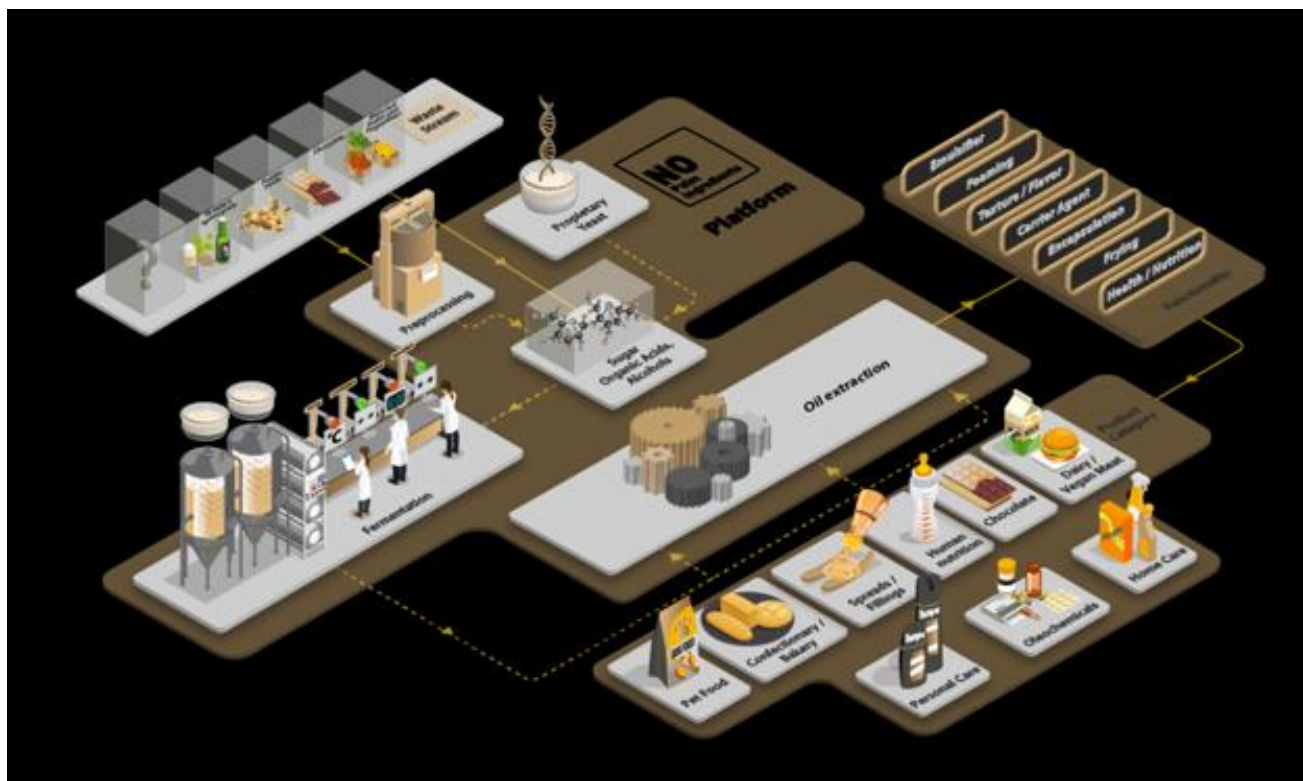
プロセス	該当特許	タイトル	特許概要
炭素源 油脂生産酵母* の培養・脂質蓄積	WO2021154863A1	Microbial lipid production utilizing post-fermentation industrial waste stream feedstocks	<ul style="list-style-type: none"> ・発酵後の工業廃液などを炭素源として用いて、油脂生産酵母で脂質を生産するためのフィードストック設計・炭素源と相性のよい微生物（油脂生産酵母 Rhodosporidium toruloides）と培養条件設定について記載 －トウモロコシ由来バイオエタノール工場などから出る発酵後の廃液・残さは、有機酸やアルデヒドなど酵母への阻害物質が含まれ、また、糖がほとんどないなど発酵に向かない
バイオマス回収 細胞破碎 ・油脂抽出	WO2023220060A1	Enzymatic lysis for extraction of bioproducts from yeast	<ul style="list-style-type: none"> ・R. toruloides など細胞壁が硬い工業酵母（red yeast）に蓄積した脂質・カロテノイド・糖などのバイオプロダクトを酵素により少ない溶媒で獲得する方法について記載 －バイオディーゼル生産では、コストの最大70%が抽出ステップにかかるほど、細胞破碎が高コスト・高エネルギーである
RBD処理	WO2022104046A1	Edible microbial oil	<ul style="list-style-type: none"> ・油脂生産酵母に脂質を蓄積させたバイオマス（全細胞 or 破碎済み）を食用向けに抽出・RBD精製・分別・化学改質するプロセス、最終製品の用途について記載 －用途（抜粋）： ナッツバター・チョコレート・クッキーなど焼き菓子 インスタント麺、肉脂肪代替、ミルク様製品、乳児用ミルクなどの乳脂肪代替
機能設計 (分別・改質)	WO2022104063A3	Personal care compositions comprising microbially produced oil	<ul style="list-style-type: none"> ・発酵で作ったパーム油代替油脂を化粧品・トイレットリー向け用途でどう活用するかという誘導体製造と処方設計について記載 －化学改質による誘導体の製造方法（トランスエステル化、蒸気加水分解、けん化等） －ボディソープ、クリーム、ヘアスターリング剤などの用途別に使える誘導体を記載
	WO2023168301A3	Home care compositions comprising microbially produced oil and derivatives thereof	<ul style="list-style-type: none"> ・発酵で作ったパーム油代替油脂を家庭用洗剤向け用途でどう活用するかという誘導体製造と処方設計について記載 －化学改質による誘導体の製造方法（エステル化・トランスエステル化・FAME化・アミン化・第四級アンモニウム化等） －洗濯・食器用洗剤、クリーナー、消臭スプレーなどの用途別に使える誘導体を記載
調合			
最終製品	WO2021163194A1	Microbially produced palm oil substitutes	<ul style="list-style-type: none"> ・パーム油の物性（ヨウ素価、融点、飽和度など）を模倣する微生物油の組成設計について記載 －パーム油代替として使える微生物油の組成・物性を定義 －パーム油と同じようにオレイン/ステアリンに分別できることを条件づけ 等

No Palm Ingredientsは、工程・設備の簡略化でも生産可能な材料と方法を開発しており、低CAPEXでの高オレイン酸油脂生産を訴求している

プロセス	プロセス概要	
炭素源	炭素源の確保	<ul style="list-style-type: none"> ジャガイモの皮など農作物の副産物等を炭素源（糖・有機酸・アルコール等の供給源）として収集 <ul style="list-style-type: none"> 原料が自然分解して炭素源の一部がエタノール・酢酸・乳酸などに变化するなど劣化していても、酵母はそれを資化して代謝に取り込むため、炭素源として使える。また、その変化は低pHにも貢献
前処理・培地の作成	<ul style="list-style-type: none"> 農産物の副産物を発酵可能な培地に変換 バイオマスを含む培地を調製し、炭素源・窒素源・Mg源・pHなどを所定レンジに収める 	
油脂生産酵母の培養・脂質蓄積	酵母の接種	<ul style="list-style-type: none"> 非GMOのNo Palm独自の油脂生産酵母(<i>Yarrowia lipolytica</i>等)を培地に高接種して発酵開始 <ul style="list-style-type: none"> 加熱による殺菌を簡素化するために培地のpHを低めることで野生微生物の増殖・代謝を落とす 酵母は一般的に細菌より酸性に強い
	増殖	<ul style="list-style-type: none"> 接種後、酵母は炭素源・窒素源・Mg等を代謝して増殖し細胞密度を上げる 従来と異なり、酸素飽和度・pHの連続監視/自動制御が必須ではなく、簡易な発酵槽で成立する
	脂質蓄積	<ul style="list-style-type: none"> 第二の炭素源の追加投入と窒素・マグネシウムの制限で細胞内の油脂蓄積を進める <ul style="list-style-type: none"> 増殖期 20–30°Cから脂質蓄積期 10–20°Cに温度を下げることで脂肪酸特性（鎖長・飽和度）を制御
バイオマス回収	<ul style="list-style-type: none"> 培養液から酵母細胞（固形分）を回収する <ul style="list-style-type: none"> 遠心・ろ過などの分離操作で固形分と液相を分ける 	
細胞破碎・油脂抽出	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥させた後、スクリュープレス等の機械破碎で細胞を破碎し、油を抽出 <ul style="list-style-type: none"> スクリュープレスでは細胞破碎と油水分離を同時に行える 	
RBD処理	(工業スケールの詳細プロセスまでは書かれていない) 油相に残る不純物を除去する追加の精製を行う程度の記載	
機能設計	(工業スケールの詳細プロセスまでは書かれていない)	
最終製品	<ul style="list-style-type: none"> 官能/キャリア/乳化/保存といった機能を用いて、食品/化粧品/洗浄製品/燃料/医療製品におけるパーム油などの植物油の代替を想定 	
No Palm Ingredientsは、低温度と炭素源の追加により高オレイン酸油脂の生産を可能にしている		

発酵プロセス

プロセス概要



前処理

ジャガイモの皮など農産食品の副産物を発酵可能な基質に変換

発酵

- 非GMOの独自の酵母を加え、基質中の糖分、有機酸、アルコールを消費させる
- 短い発酵期間の中で酵母は細胞体内で増殖し、油分を蓄積する

抽出

酵母細胞から純粋な油脂と脂肪を抽出し、使用済みのバイオマスを残す

- 投資家やメディアに向けて低CAPEXを訴求
 - 簡素な設備仕様で生産可能
 - 殺菌の省略
 - 前処理の軽量化
 - 抽出の簡易化

Checkerspotは、遺伝子組換えを用いない株の改良・選抜についての特許を持ち、工業系・パーソナルケア・食品/栄養などの用途を記載

プロセス	プロセス概要		
古典的菌株改良・選抜	ベース株	ベース株の取得	・ 微細藻類野生株 <i>Prototheca wickerhamii</i> (UTEX 1533) 等の油脂生産性微細藻類を取得し、単一株・無菌性を確認
	発酵・培養	ランダム変異導入	・ 微細藻類にUV・化学変異剤 (EMS、4-NQO等) を使って変異を導入し、望ましい形質を持つ変異体の生成を狙う
		形質選抜	・ 変異集団を、薬剤や培地条件などの「選択圧」がかかった条件で培養し、目的形質 (高生産・高オレイン酸など) を持つ細胞を生き残らせる
		ハイスループットスクリーニング	・ 単コロニー分離。多数のクローンを並列に培養し、油生産の代理指標としてのグルコース消費量・オレイン酸比率などの脂肪酸組成を測定して絞り込む
		クローン化・安定性評価	・ 有望株を何十世代も継代培養し、性能 (生育・油量・組成) が落ちないかどうかを評価
		再スクリーニング・最終検証	・ 再度多数並列で培養し、再びグルコース消費・脂質プロファイルを測定して、本当に性能が良くて安定な株を選ぶ ・ 選抜された株をバイオリクターに仕込み、実際の発酵条件で油生産量やオレイン酸含量を評価・最終検証
油脂の回収・精製	(工業スケールの詳細プロセスまでは書かれていない)		
機能設計 (分別・改質)	ポリオールへの化学変換	・ ヒドロホルミル化→水素化などで二重結合に化学反応をかけて OH を導入し、油脂をポリオールに変化 ・ ヒドロホルミル化は、脂肪酸の炭素鎖長を保ったまま、一次ヒドロキシル基 (-CH ₂ OH) を導入できる	
調合	ポリウレタン系材料の生産	・ 航空宇宙、自動車、スキーなどスポーツ/レジャー用品、工業コンテナなどの用途を想定。ポリオールの -OH とイソシアネートの -NCO が反応することでウレタン結合 (-NH-CO-O-) を形成し、ポリウレタン系材料となる	
最終製品	パーソナルケア用途	・ この油を主成分の一つとして入れたスキンケア・ヘアケア・石鹸類全般を想定	
	食品・栄養用途	・ 食品向けとして食用油・フライ油・ドレッシング・スプレッド・冷菓・フレーバー溶媒・食品添加物などを想定 ・ 栄養向けとしては医薬品・サプリメント・乳児用粉ミルク・ミールリプレースメントなどを想定	

パルミトレイン酸は、ナンノクロロプシスに含まれており、数多くの栄養素の一つとして訴求され、すでに食品・サプリメント向けにB2B発売されている

製造法	プレイヤー	国	創業	パルミトレイン酸 関連製品	ビジネス モデル	開発・販売段階	顧客
培養 微細藻類	Qponics	Australia	2011	EPAやパルミトレイン酸を含む ナンノクロロプシス油	B2B B2C	技術検証済～ 商業化	栄養補助食品・医薬品用途 食品分野の企業を想定
	Qualitas Health	US	2013	ナンノクロロプシス 由来のEPA主体オメガ3原料	B2B B2C	商業化済	栄養補助食品・機能性食品・飲 料・動物栄養ブランド、消費者
	Allmicroalgae (参考)	Portugal	2015	ナンノクロロプシス 由来粉末・ペースト・オメガ3油	B2B	商業化済	食品・サプリ、動物飼料、農業、 化粧品などの業界
	株式会社イービス藻類産業研 究所	日本	2018	ナンノクロロプシス 生体・粉末・サプリメント	B2B B2C	商業化済	水産養殖、肥料、機能性商品、 飼料などの業界、消費者
	Phytolipid Technologies (参考)	日本	2021	ナンノクロロプシス 油脂・オメガ3・たんぱく原料	B2B	R&D段階	食品を念頭にエネルギーも想定

微細藻類培養によるパルミトレイン酸の生産は、低コスト化に向けて生産技術の高度化・複数製品の生産・企業の提携が必要

製造法	プレイヤー	製品・技術	公開情報内の課題と解決策
培養 微細藻類	Qponics	ナノクロロプシスを屋外レースウェイポンドで培養	<ul style="list-style-type: none"> オーストラリアにおいてタンパク質豊富な食品原料の生産のためだけに海洋微細藻類を大規模に培養することは、生産コストの観点から経済的に困難 <ul style="list-style-type: none"> 複数製品の生産を行い、高付加価値製品をまず抽出、タンパク質豊富な食品原料は副産物として生産
	Qualitas Health	ナノクロロプシスを屋外レースウェイポンドで培養	<ul style="list-style-type: none"> スケールアップにあたって微細藻類培養の生産性向上だけでなく、進出したい国の規制プロセスへの知見や利用機会の更なる探索が必要 <ul style="list-style-type: none"> 新市場である欧州の企業と提携
	Allmicroalgae(参考)	ナノクロロプシスを屋外レースウェイポンド、また、屋内のチューブ型フォトバイオリアクターで培養	N/A
	株式会社イービス藻類産業研究所	ナノクロロプシスをビニールハウスで培養 培養技術自体は確立	<ul style="list-style-type: none"> 医薬品の市場参入に向けて、大量かつ効率的に培養して安く提供できる体制が必要
	Phytolipid Technologies(参考)	ナノクロロプシスを高密度培養する技術やそれに含まれる有用脂質類を分別して生産する技術を有する	<ul style="list-style-type: none"> 低コスト化、生産技術の高度化に課題

リノレン酸は植物油が強く、バイオものづくりによる市場開拓は進んでいない

		製造法	企業/学術研究	発表年度	事例・研究内容	
G L A	微生物発酵	糸状菌	企業	J & E Sturge	1980年代	γ-リノレン酸 (GLA) を豊富に含む微生物油を糸状菌 <i>Mucor circinelloides</i> を使った発酵プロセスによって1980年代半ば~1990年頃に世界で初めて商業生産
			企業	山桂産業	N/A	糸状菌を使ったモルティエラ油をリノレン酸を多く含む化粧品・薬用原料として取り扱っていたが、近年取扱中止
		微細藻類	学術研究		2023	γ-リノレン酸とカロテノイドを同時生成できる新規微小藻類株に関する研究
A L A	微生物発酵	糸状菌	学術研究		2025	日本で食品に広く使われ「安全」とされている 麹菌 <i>Aspergillus oryzae</i> を宿主自身のDNAだけを使う自己クローン型遺伝子工学で改変してα-リノレン酸を生産する研究
		酵母	学術研究		2020	チーズやヨーグルトの製造における副産物である酸性ホエイを利用して、酵母 <i>Yarrowia lipolytica</i> による ALA 生産の研究
		微細藻類	学術研究		2021	ALAを溜め込む微細藻 <i>Scenedesmus sp. H5J296</i> を大量培養し、その後の抽出・濃縮プロセスにおいて酵素+物理分離で飽和脂肪酸を選択的に落として工夫することでALA比率を引き上げる研究

γリノレン酸を多く含む油脂は過去からバイオものづくりによる工業生産は可能だったが、コストの高さや技術に対する受容がボトルネックになっている

製造法		企業/学術研究		課題	
G L A	微生物発酵	糸状菌	企業 J & E Sturge	<ul style="list-style-type: none"> より安い植物由来の GLA 油（ポリジ油・月見草油など）が出てきて、価格競争で敗北 	
			企業 山桂産業		N/A
		微細藻類	学術研究		N/A
A L A	微生物発酵	糸状菌	学術研究	<ul style="list-style-type: none"> 現在の多くのアプローチは遺伝子組換え生物に依存しており、規制や消費者の受容に関する懸念がある <ul style="list-style-type: none"> 宿主自身のDNAのみを利用する遺伝子工学は日本で広く使用されており、一般に安全と認められているため使用しやすい 	
		酵母	学術研究		N/A
		微細藻類	学術研究		<ul style="list-style-type: none"> 微小藻類ベースのバイオディーゼル生産の研究は生産コストの高さによりボトルネックに直面 <ul style="list-style-type: none"> 微小藻類の培養、脂質抽出、PUFA濃縮それぞれに改善が必要

食用油脂において既存油脂を代替するには、規制やコストだけでなく、代替製品に対する顧客・消費者の受容性が課題

食用油脂の普及・開発中技術の課題

基礎研究 ・ 応用研究	生産性向上	<ul style="list-style-type: none"> バイオものづくりによる工業レベルの生産性（速度・精度・量）の達成 <ul style="list-style-type: none"> バイオものづくりによる生産の実現自体は可能 生産性向上にあたっては発酵・培養だけでなく、抽出・精製にも課題有
	オペレーションの最適化	<ul style="list-style-type: none"> 生産の拡大に伴い、品質管理の強化、サプライチェーンの構築が必要 <ul style="list-style-type: none"> 精密発酵は複雑なバリューチェーンであり、規模拡大により勢いが失われることがある
供給	資金調達	<ul style="list-style-type: none"> 工場建設・スケールアップには大きな資金と一定期間が必要 <ul style="list-style-type: none"> 調達した資金で実行できるかといった難しさがある
	製造コスト	<ul style="list-style-type: none"> コスト高の許容に向けたサプライチェーンの経済性の改善 <ul style="list-style-type: none"> 特に精密発酵はプロセスが複雑であり、コストが高い 従来品より高いコストを顧客に価格転嫁する理由となる機能性が必要
需要	規制	<ul style="list-style-type: none"> 既存規制への認可対応（特に新しい用途・原料への許認可取得時間の長さ） <ul style="list-style-type: none"> 新しい用途・原料などは、GRASなどの認可まで時間がかかる 特にカカオやミルクの細胞培養などではいまだ認可が下りていない
	代替製品としての受容	<ul style="list-style-type: none"> 製品自体が顧客・消費者への受容性の向上 <ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ、ビーガン対応、機能性などを価値として訴求するが、汎用的な商品だと、製品自体が顧客・消費者に受け入れられるかも課題 消費者にとって味・風味は重要、B2B顧客にとって慣れ親しんだ素材に近いかも重要か

すでに商用化が進んでいるパーム油や今後プレーヤーが増えそうなココアバターの技術確立可能性が高いと推察

技術の確立可能性

製品		短期	中長期	要因
カカオ脂		中	大	<ul style="list-style-type: none"> 結晶性・融点プロファイルなど“機能”が支配的で、単純な脂肪酸生産より難度は上がる サステナ需要・供給懸念を背景に、企業プレーヤー数が多い
バター		小	中	<ul style="list-style-type: none"> 現状、コストと品質の再現は難しい マーガリンなど植物油由来での代替もすでに定着しており、アニマルフリーの利点があり効かない。専門のプレーヤーは多くない
こめ油		小	小	<ul style="list-style-type: none"> こめ油に含まれるγ-オリザノールはフェルラ酸エステル混合物であり、発酵で作ろうとすると複数プロセスを踏む必要がある プレーヤーはおらず、機能性成分は米ぬかからも採取可能であり、サステナビリティの観点で効かない
オレイン酸		大	大	<ul style="list-style-type: none"> 単一脂肪酸寄りで設計しやすく、すでに技術的には確立に近い 市場が大きいこともあり、プレーヤーが多い
パルミトレイン酸		中	大	<ul style="list-style-type: none"> 魚油代替として近隣領域のDHA/EPAは、微細藻類による生産が一般化しているため、技術の転用が可能と思料 高パルミトレイン酸油は従来油脂でも貴重だが、現状プレーヤーは少ないが、今後増えていくと考えられる
リノレン酸	αリノレン酸	小	小	<ul style="list-style-type: none"> 供給量の多いごま油や亜麻仁油で豊富なため、そもそも、バイオ代替需要が少ない 参入プレーヤーも見当たらない
	γリノレン酸	中	大	<ul style="list-style-type: none"> すでに化粧品用途で商用化済（コストで競り合っていない状況） GLAの先にあるARAに対する需要が大きいいため、今後、プレーヤー数も増加すると思料

研究段階では人材獲得や研究設備活用のために、商業段階では原料確保・輸送削減・インフラ共有のために拠点を置く

代替製品	プレイヤー	商業化	製法	所在国	研究開発	材料供給	製造	販売
オレイン酸	C16 Biosciences	初期商業	酵母	US	NY州	N/A	NY州 (マンハッタン)	UK、US等 グローバル
	NoPalm Ingredients	初期商業	酵母	Netherlands	Netherlands (Ede)	Belgium (乳製品協同組合と提携)	Netherlands (Ede)	N/A
	Clean Food Group	準備中	酵母	UK	UK (リバプール市等)	UK (ベーカリーと提携)	UK (リバプール市)	UK、Europe、US を想定
カカオ脂	California Cultured	準備中	細胞培養	US	CA州 (Sacramento周辺)	N/A	CA州 (Sacramento周辺)	日本(明治)等 グローバル
魚油	Qualitas Health	商業	微細藻類	US	N/A	US (TX州/NM州)、 Mexico		グローバルを想定

食品研究・技術開発組織の既存インフラがあるFood Innovation CampusでNIZOに工場を持つ

今後、原料副産物の発生源に共立地することで原料確保・輸送費/CO2・インフラ重複・立上げリスクを同時に下げる狙い

カリフォルニア大学デイビス校が近く、人材や研究設備、フードテック・ネットワークを狙ってサクラメント周辺に移転

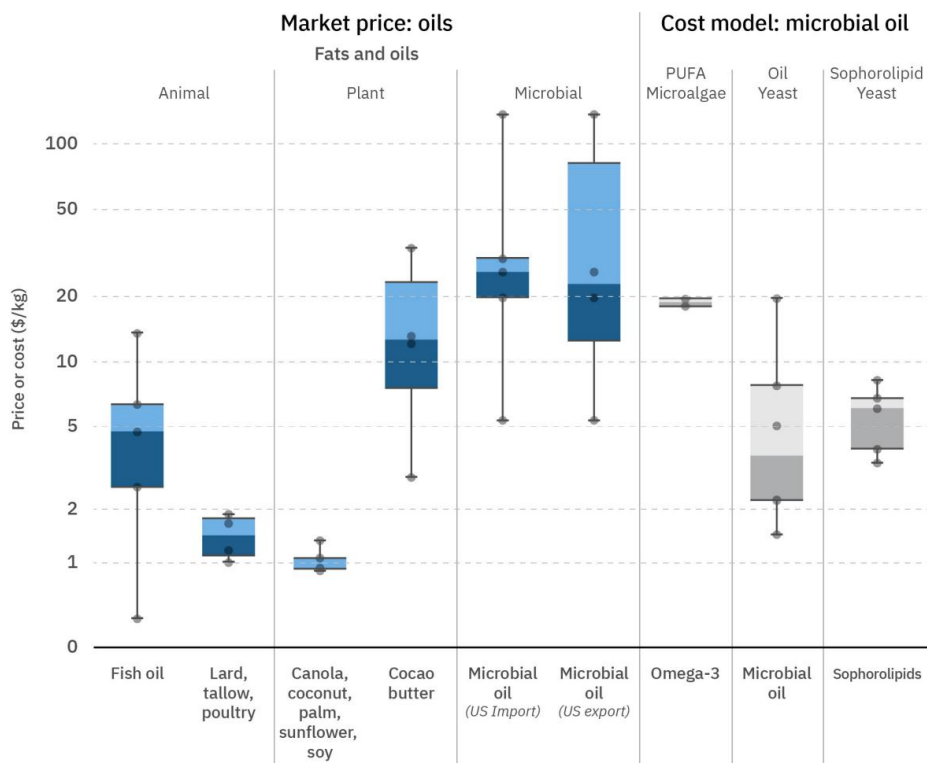
バイオものづくりによる油脂は未だニッチ領域であるため、販売先はエリアに閉じない

所在国外 (想定も含む) N/A 研究・製造関連 販売関連

コスト・LCAに関する分析

微生物由来油脂は汎用油脂に比べてコストが高く、魚油やカカオ脂などの高付加価値油脂よりは安い場合もある

バイオものづくりと従来製品のコスト比較



“現在の公表済みTEMモデルに基づく、微生物由来油脂はコモディティ植物油（脂肪分1kgあたり1.1～1.9ドル）や動物性脂肪（油脂1kgあたり0.9～1.4ドル）に対してコスト競争力を持たない”

“原料コストの削減は、収量および回収率の向上と並んで微生物油の経済性を改善するうえで最も重要なレバーである”

“高単価でも受け入れられる、官能特性や栄養性能が重要な低配合用途がねらい目で特にDHA・EPAなどのオメガ3系PUFAが有望な高付加価値アプリケーションである”

[GFI レポートより]

Figure 15. Comparison of market prices (left) for current animal, plant, and microbial oil products versus TEM COP estimates (right) for microbially produced oils. Trade price ranges are shown for both cocoa butter and microbial oils. For microbial oils prices, both U.S. import and export prices are included; export prices likely reflect high-value omega-3 oils produced in the U.S.

条件次第では従来油脂に比べて微生物由来油脂が優れうるが、優位性を示すには工業規模での稼働で原料から最終消費までのフルLCAが必要

LCAに関する近年の調査結果

<p>検討状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> 微生物油のLCAのうち、ヘテロ栄養微細藻によるDHA製品については、工業規模プロセスを想定したLCA論文が存在 一方、酵母油（SCO）についてはTEA+LCAの研究はあるものの、商業スケールに近い詳細な公開LCIは少数
<p>検討結果</p>	<ul style="list-style-type: none"> 特定の微細藻類由来のDHA製品では、従来の魚油に比べて気候変動への影響が約30–40%低いことが示されているが、優位性はサトウキビの栽培条件や使用エネルギーに強く依存 酵母油は、LCAにおけるGWPでは既存植物油に比べてデータ不足もあり現状劣位である。廃棄物を糖として使用する方法もあるが、糖原料（その生産プロセスを含む）のデータが不足 <ul style="list-style-type: none"> 酵母油GWP:7.2–11.6 kg CO₂-eq/kg パーム油GWP:1.36–1.76 kg CO₂-eq/kg
<p>プロセスごとの寄与度</p>	<ul style="list-style-type: none"> サトウキビ糖を用いたヘテロ栄養微細藻DHAのケースでは、多くの環境影響カテゴリで「サトウキビ栽培+砂糖製造」が最大の寄与源 培養・発酵で使用する電力と再エネ割合も重要 微細藻・酵母の多くのケースで脱水・乾燥・油抽出はエネルギー負荷の大きい工程であり、とくに乾燥条件や抽出溶媒の種類・使用量・回収率が結果を左右 残渣タンパク質・バイオマス・副生成物（有機酸、ポリオールなど）を何に使うかでシステム全体の負荷が大きく変化

出所：

Parsons, S., Chuck, C. J., & McManus, M. C. (2018). *Microbial lipids: Progress in life cycle assessment (LCA) and future outlook of heterotrophic algae and yeast-derived oils*. Journal of Cleaner Production, 172, 661–672.

Davis, D. et al. (2021). *Life cycle assessment of heterotrophic algae omega-3*. Algal Research, 60, 102494.

Bonatsos, N. et al. (2020). *Techno-economic analysis and life cycle assessment of heterotrophic yeast-derived single cell oil production process*. Fuel, 264, 116839.

Sae-ngae, S. et al. (2020). *Techno-economic analysis and environmental impact of biovalorization of agro-industrial wastes for biodiesel feedstocks by oleaginous yeasts*. Sustainable Environment Research, 30, 11.

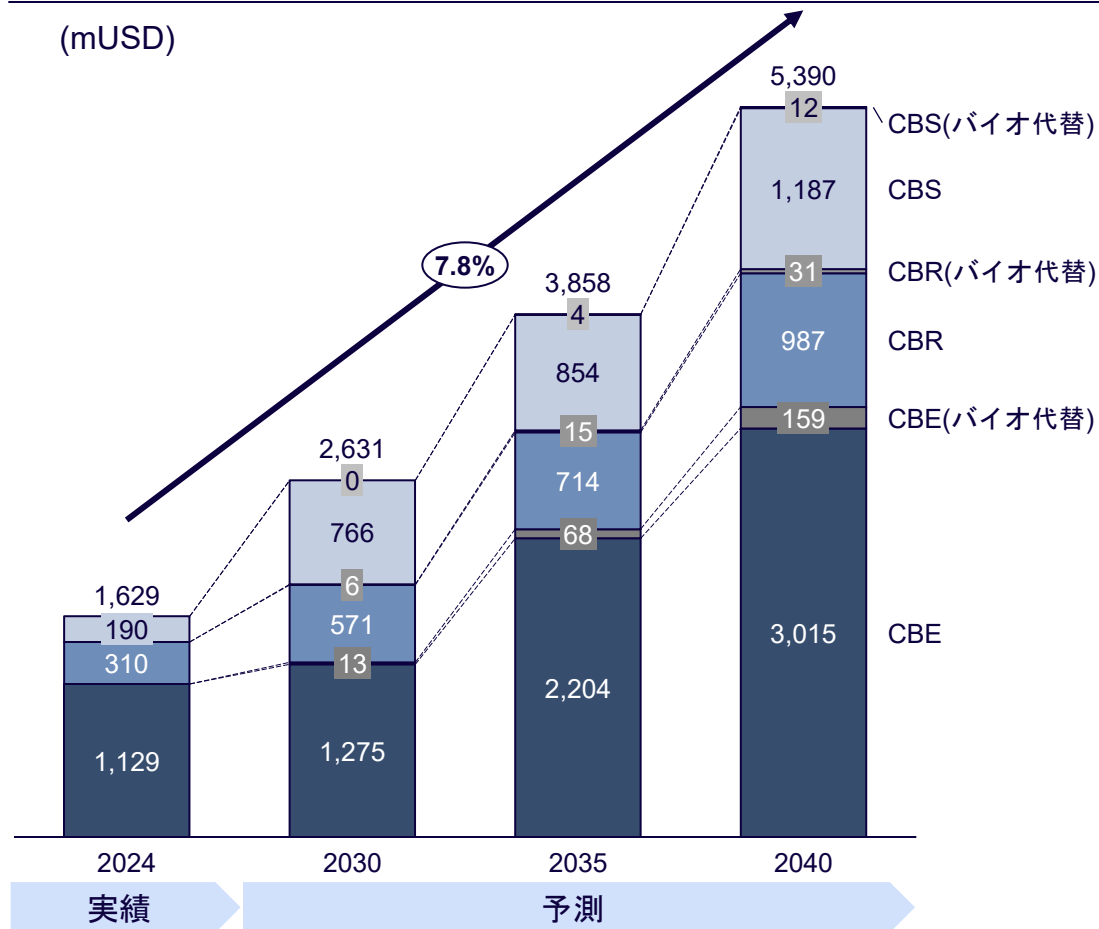
2.-0 LCA Consultants & United Plantations Berhad (2024). *Life Cycle Assessment of Palm Oil at United Plantations Berhad – Results for 2023*.

エキスパートインタビューよりADL作成

着目製品における バイオものづくり市場規模

カカオ脂代替脂の中でも、CBに近い性能を有し、価格許容度の高いCBEにおいて最もバイオ代替が進むと推計

世界におけるカカオ脂代替油脂・バイオ代替カカオ脂の市場規模推移(2024-2040)



- ・ チョコレート・化粧品向けにバイオ代替 CBE・CBR・CBSの市場規模が拡大
 - 供給安定性、高機能化、トレーサビリティ確保におけるニーズが市場拡大要因
 - 特に高価格なCBEはコスト許容度が高く、最もバイオ代替が進行

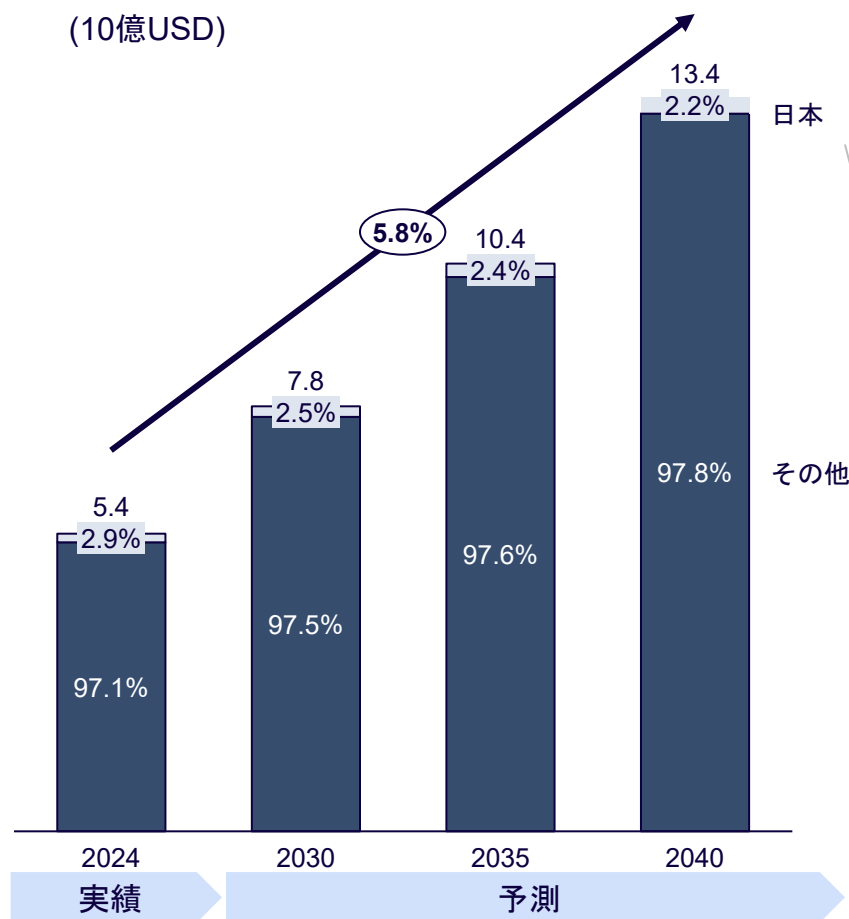
短期ではカカオ豆の価格高騰によりコスト低減ニーズが高い。中長期では高機能製品の需要増と規制の拡大を背景に、高機能化と規制対応ニーズが高まる

代替価値		ニーズの強さ		提供価値が求められる要因
		短期	中長期	
新規機能の創出・機能向上		中	大	<ul style="list-style-type: none"> • CBEの高機能化需要増 <ul style="list-style-type: none"> - トリグリセリド構成比率の最適化による高機能化需要の高まりに伴い、バイオ代替が進行
既存素材のコスト削減		大	大	<ul style="list-style-type: none"> • 製造プロセスのコスト低減需要増 <ul style="list-style-type: none"> - 価格高騰中のカカオ脂代替によるコスト削減需要が増加しているため、バイオ代替が進行
サステナビリティ貢献	原料調達・製造に伴う負荷低減	小	中	<ul style="list-style-type: none"> • 食品全体のLCA需要増 <ul style="list-style-type: none"> - メーカーへのLCA計測・公開需要増
	製品使用に伴う負荷低減	—	—	—
	生物多様性保護	中	大	<ul style="list-style-type: none"> • カカオ脂の代替需要増 <ul style="list-style-type: none"> - 森林破壊の要因となりえるカカオ脂の規制が進むことで、バイオ代替が進行
全体		中	大	

日本は世界におけるカカオ脂・代替脂市場の約2%を占有。国内市場は人口減少に伴い停滞見込み

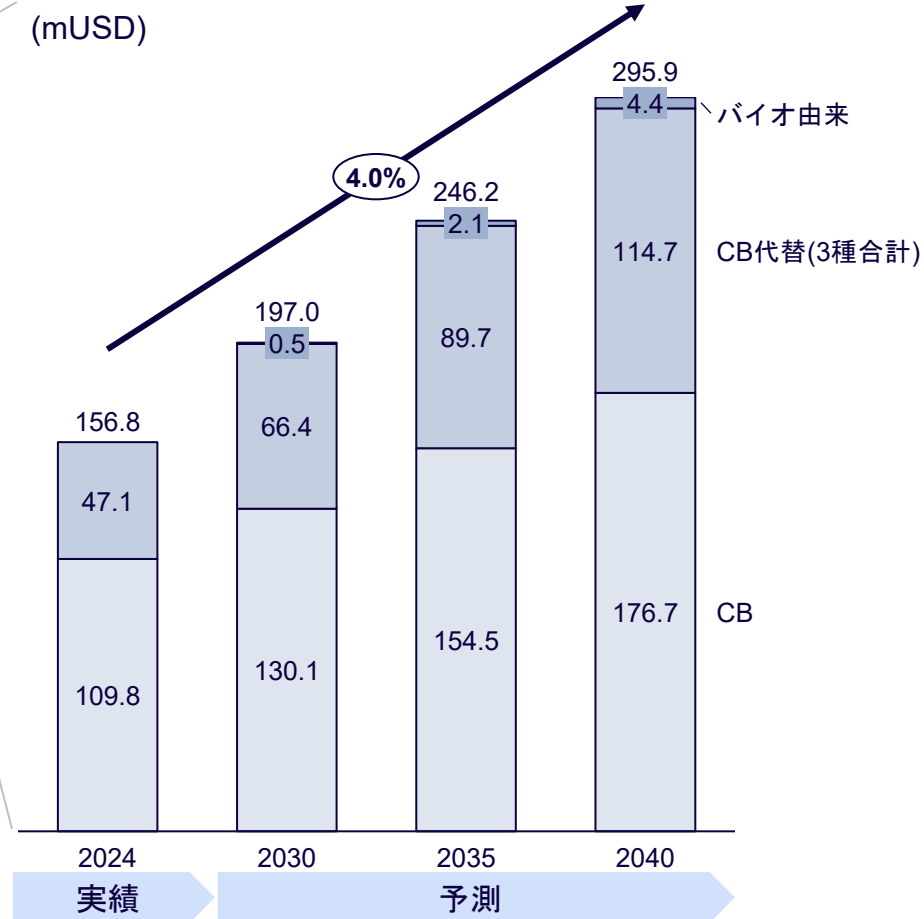
世界のカカオ脂・代替脂の市場規模推移(2024-2040)

(10億USD)



日本のカカオ脂・代替脂の市場規模推移(2024-2040)

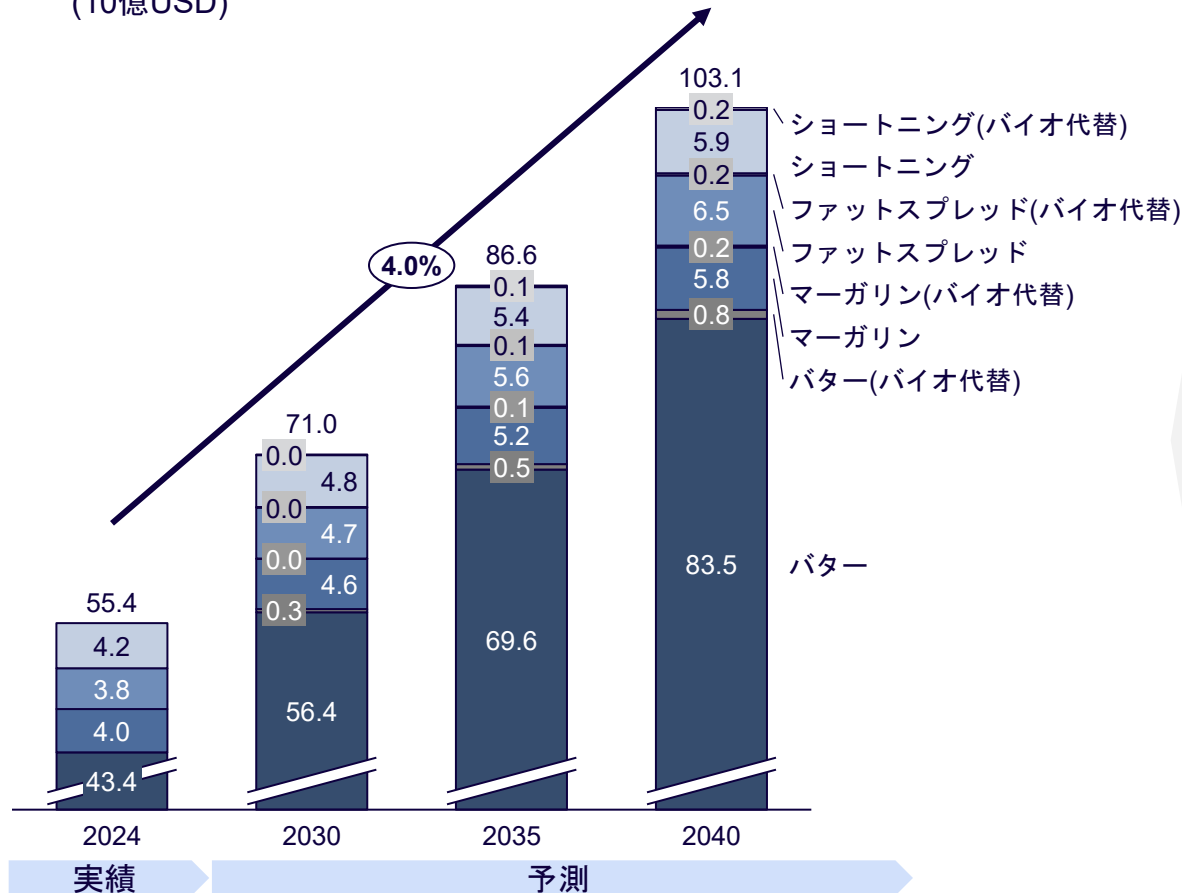
(mUSD)



マーガリンはヴィーガンニーズ、ショートニングは高機能化ニーズにより一部代替が進むが、コスト的には極めて厳しいと推察

世界におけるバター・バター代替・バイオ代替バターの市場規模推移(2024-2040)

(10億USD)



- 加工食品向けショートニング、生食向けマーガリンのバイオ代替市場がわずかに拡大
- ショートニングは機能向上、マーガリンはヴィーガンニーズが市場拡大要因
- コスト的に代替は厳しいが、消費者受容性の観点から、ショートニングの代替が進みやすい

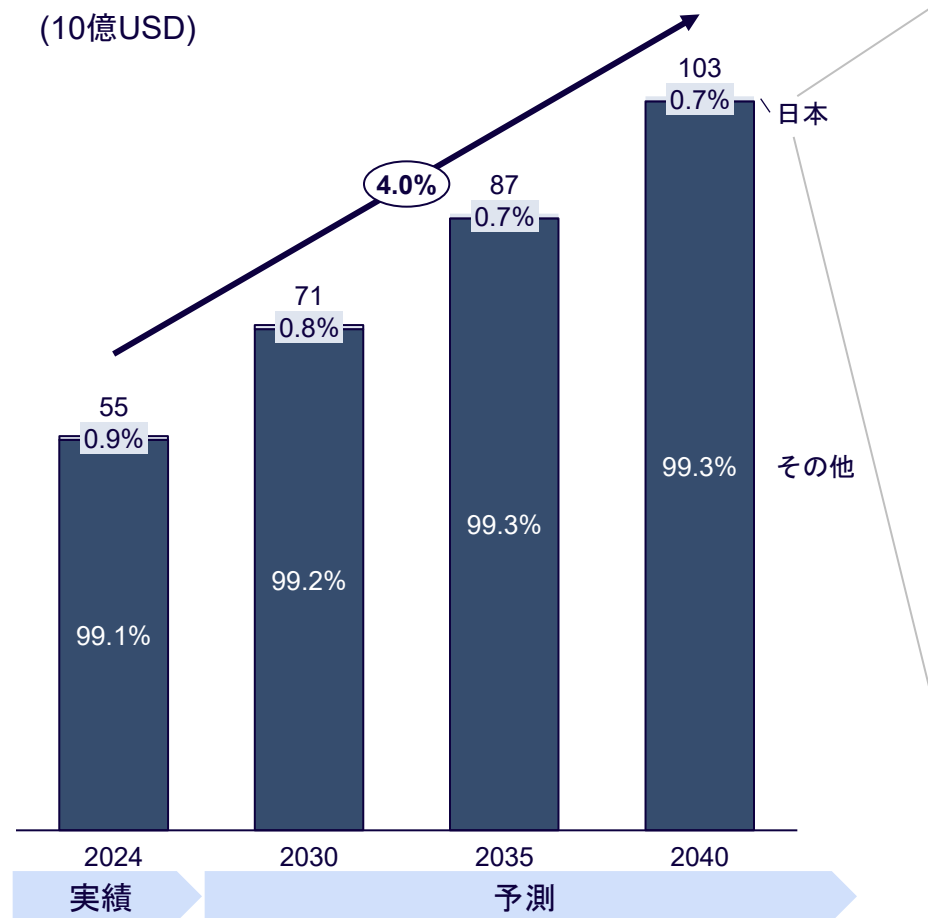
短期では代替ニーズは小さいが、中長期では一部の高性能製品の需要増と規制の拡大を背景に、高性能化ニーズと規制対応ニーズが少し高まる

代替価値	ニーズの強さ		提供価値が求められる要因	
	短期	中長期		
新規機能の創出・機能向上	小	中	<ul style="list-style-type: none"> ショートニングの高性能化需要増 <ul style="list-style-type: none"> 食感向上といった機能向上がバイオ代替により求められる可能性あり 	
既存素材のコスト削減	小	中	<ul style="list-style-type: none"> 生食向け製品の価格低減需要増 <ul style="list-style-type: none"> 現時点でバター代替製品は低価格だが、バイオ代替により価格低減が求められる可能性あり 	
サステナビリティ貢献	原料調達・製造に伴う負荷低減	小	中	<ul style="list-style-type: none"> 動物由来油脂の代替需要増 <ul style="list-style-type: none"> 牛の畜産数が制限されることで、牛脂のバイオ代替が進む可能性あり 食品全体のLCA需要増 <ul style="list-style-type: none"> メーカーへのLCA計測・公開需要増
	製品使用に伴う負荷低減	—	—	<ul style="list-style-type: none"> アニマルフリー需要増 <ul style="list-style-type: none"> ヴィーガン向けバター代替製品の需要増加によりバイオ代替が進行
	生物多様性保護	中	大	<ul style="list-style-type: none"> パーム油・なたね油の代替需要増 <ul style="list-style-type: none"> 森林破壊の要因となりえるパーム油や大豆油の規制が進むことで、バター代替製品のバイオ代替が進行
全体	小	中		

日本は世界におけるバター・バター代替市場の約0.7%を占有。国内市場は人口減少に伴い停滞するものの、健康意識の高まりからバター市場は微増見込み

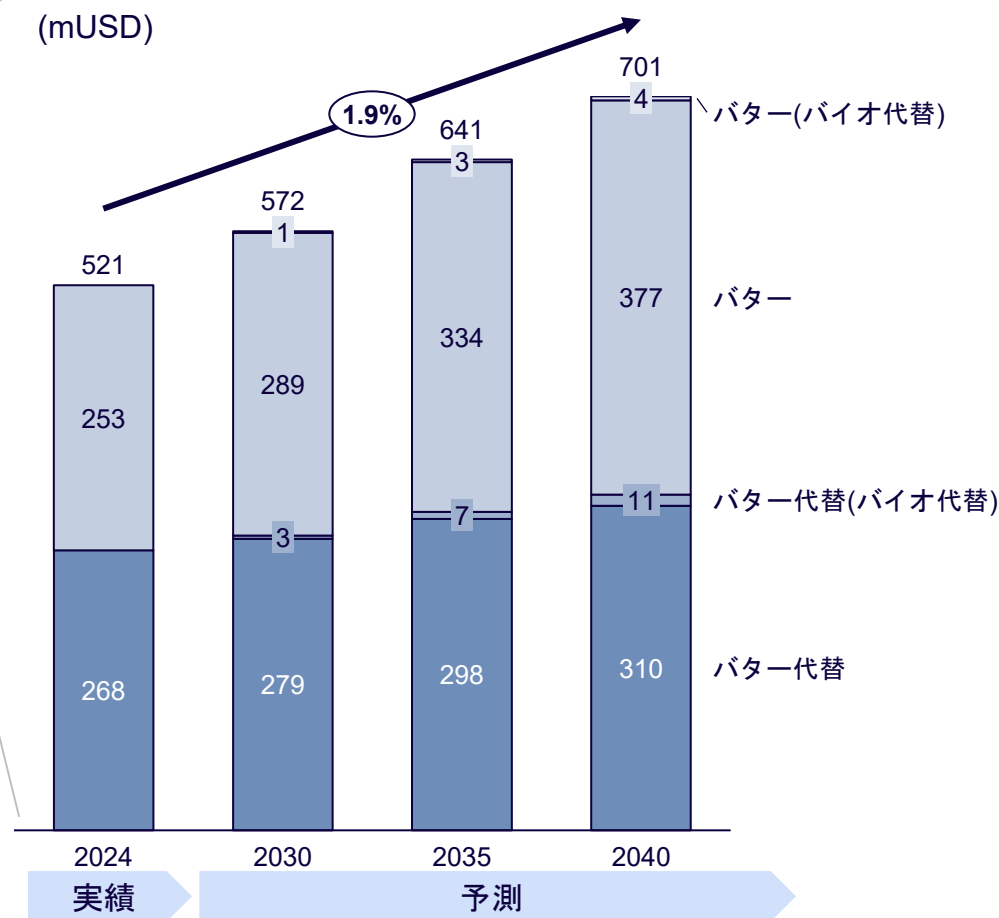
世界のバター・バター代替の市場規模推移(2020-2040)

(10億USD)



日本のバター・バター代替の市場規模推移(2020-2040)

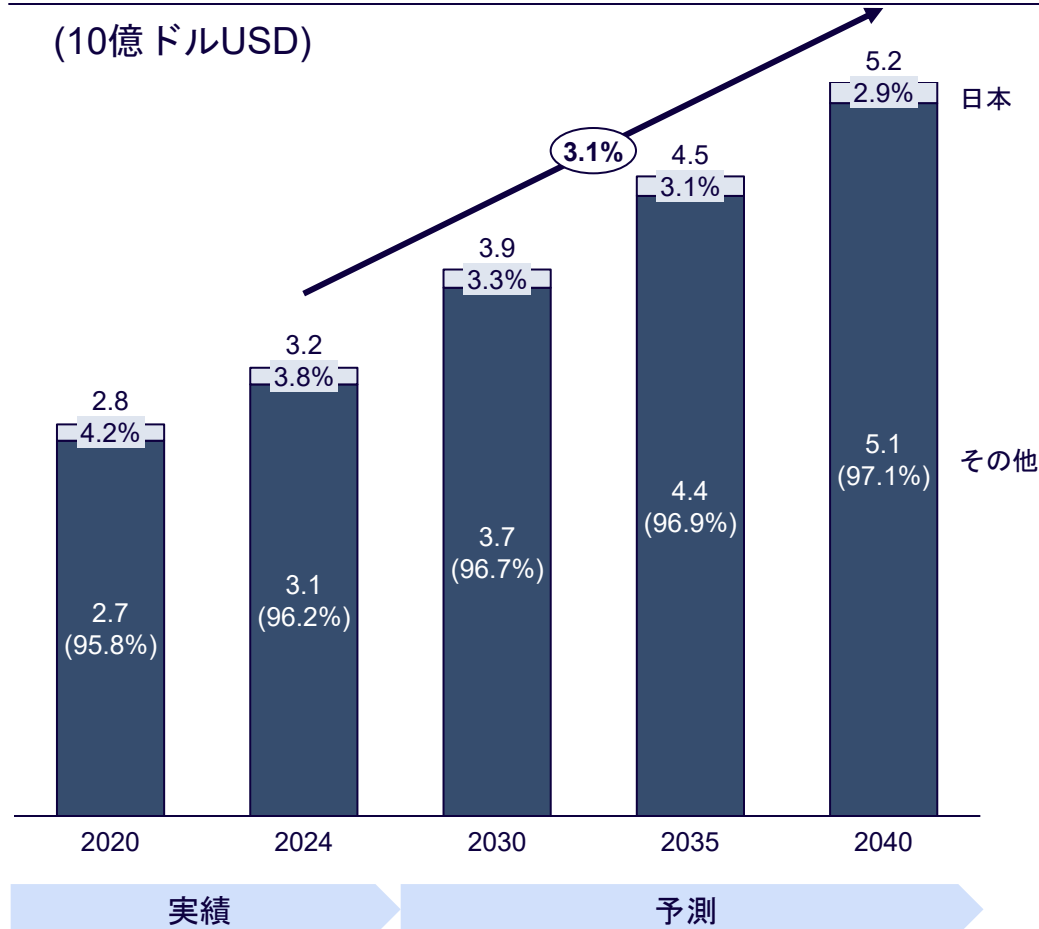
(mUSD)



こめ油はアジアを中心に市場規模が拡大するが、バイオ代替ニーズは見られない

世界におけるこめ油の市場規模推移(2020-2040)

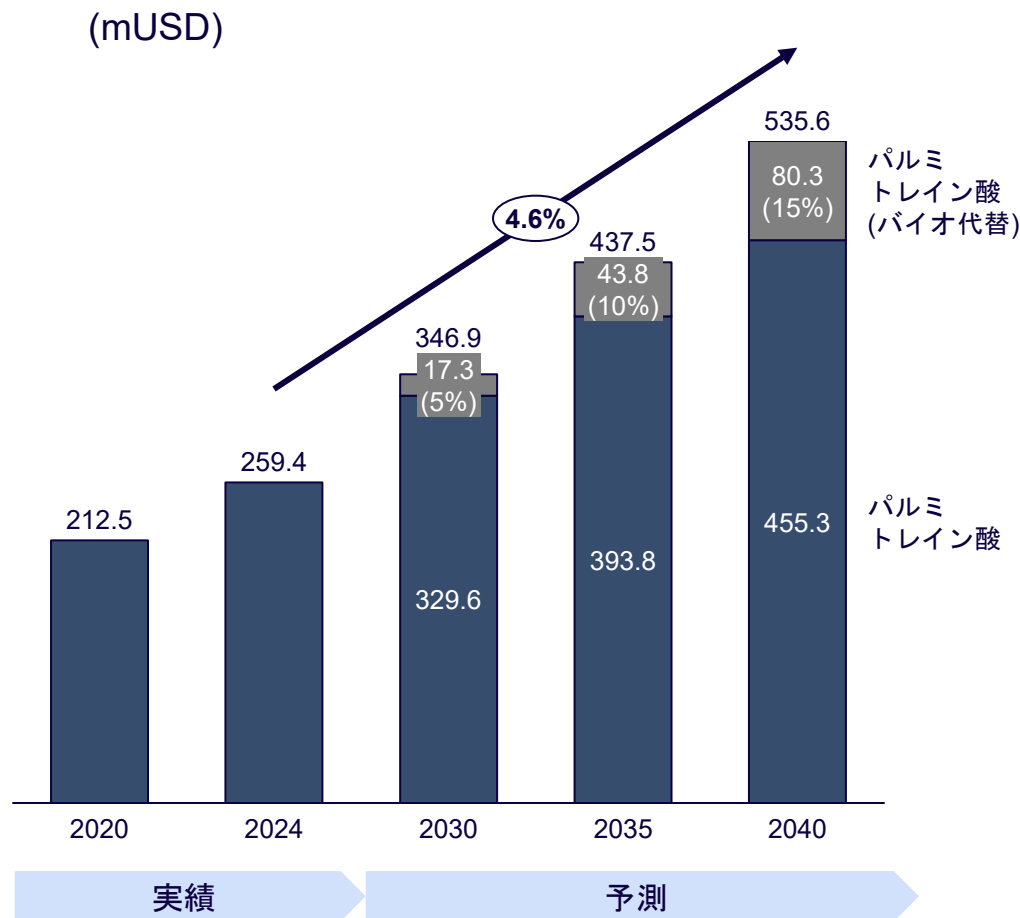
(10億ドルUSD)



- 世界市場
 - 主要生産国であるアジアを中心に市場は拡大するが、バイオ代替ニーズは見られない
- 国内市場
 - 人口は減少するものの、健康意識の高まりに伴う一人当たりの消費量増加により市場が拡大

パルミトリン酸は、希少資源代替と高機能化ニーズによりバイオ代替が進む

世界におけるパルミトリン酸・バイオ代替パルミトリン酸の市場規模推移(2020-2040)



- 化粧品、食用サプリ向けにバイオ代替市場が拡大
 - 希少資源代替、高機能化ニーズが主な市場拡大要因
 - 消費者受容性の高い高付加価値化粧品のバイオ代替を足掛かりに、食用サプリのバイオ代替も進むと推察

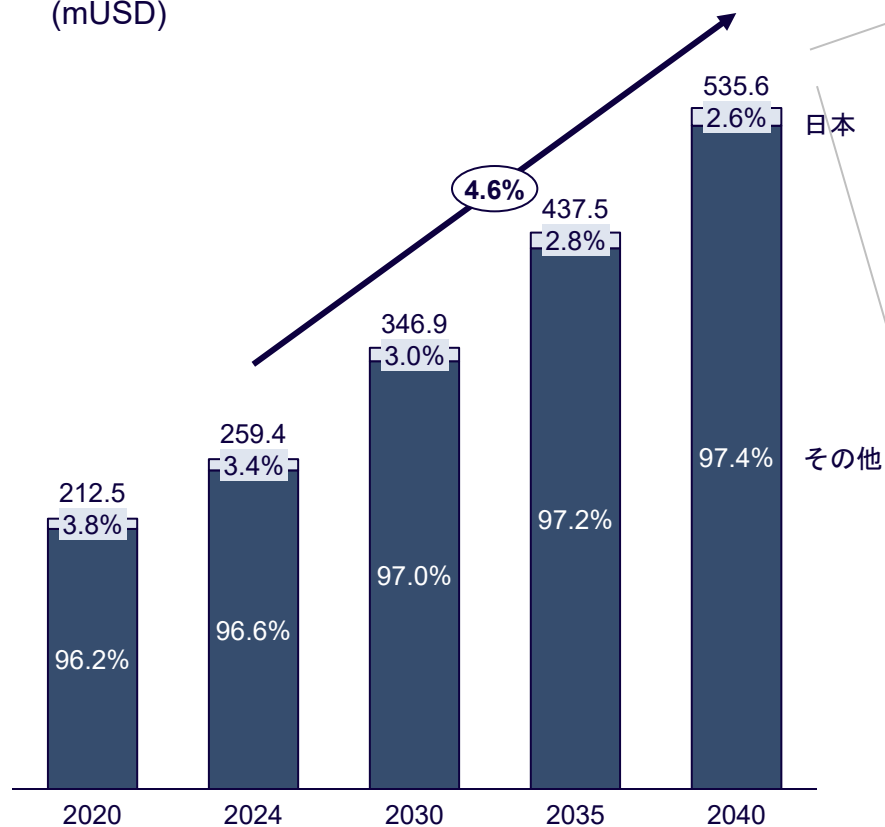
短期では原料・製造コストの高さから、コスト低減ニーズが高い。中長期では高機能製品の需要増と規制拡大を背景に、高機能化と規制対応ニーズが高まる

代替価値		ニーズの強さ		提供価値が求められる要因
		短期	中長期	
新規機能の創出・機能向上		中	大	<ul style="list-style-type: none"> 化粧品・サプリ向けに高機能需要増 純度向上や特定の不純物除去の需要増によりバイオ代替が進行
既存素材のコスト削減		大	大	<ul style="list-style-type: none"> 製造プロセスのコスト低減需要増 原料コスト、高価な製造工程の削減需要増によりバイオ代替が進行 サジー油は非常に高価(約9万円/kg)
サステナビリティ貢献	原料調達・製造に伴う負荷低減	小	中	<ul style="list-style-type: none"> 石油原料の代替需要増 石油原料のバイオ代替が求められる可能性あり
	製品使用に伴う負荷低減	—	—	—
	生物多様性保護	中	大	<ul style="list-style-type: none"> 魚油の代替需要増 魚油の原料となるアンチヨビなどの漁獲制限に伴い、バイオ代替が進行
全体		中	大	

国内パルミトリン酸市場では化粧品とサブリ需要の増加に伴い市場が拡大

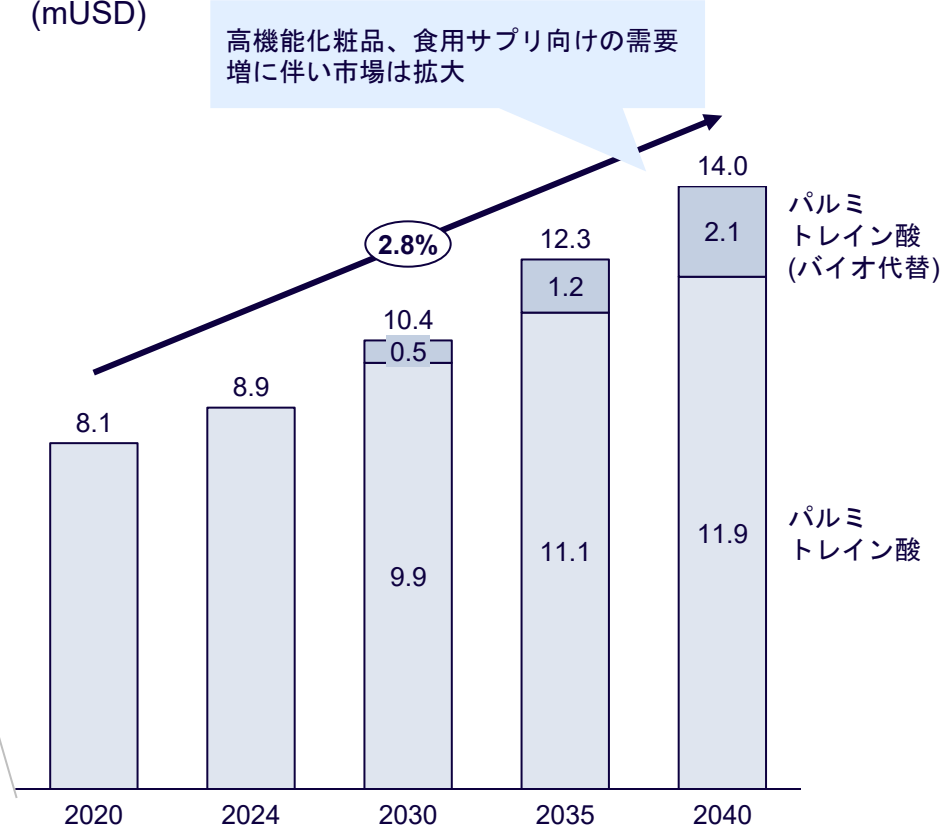
世界のパルミトリン酸の市場規模推移(2020-2040)

(mUSD)



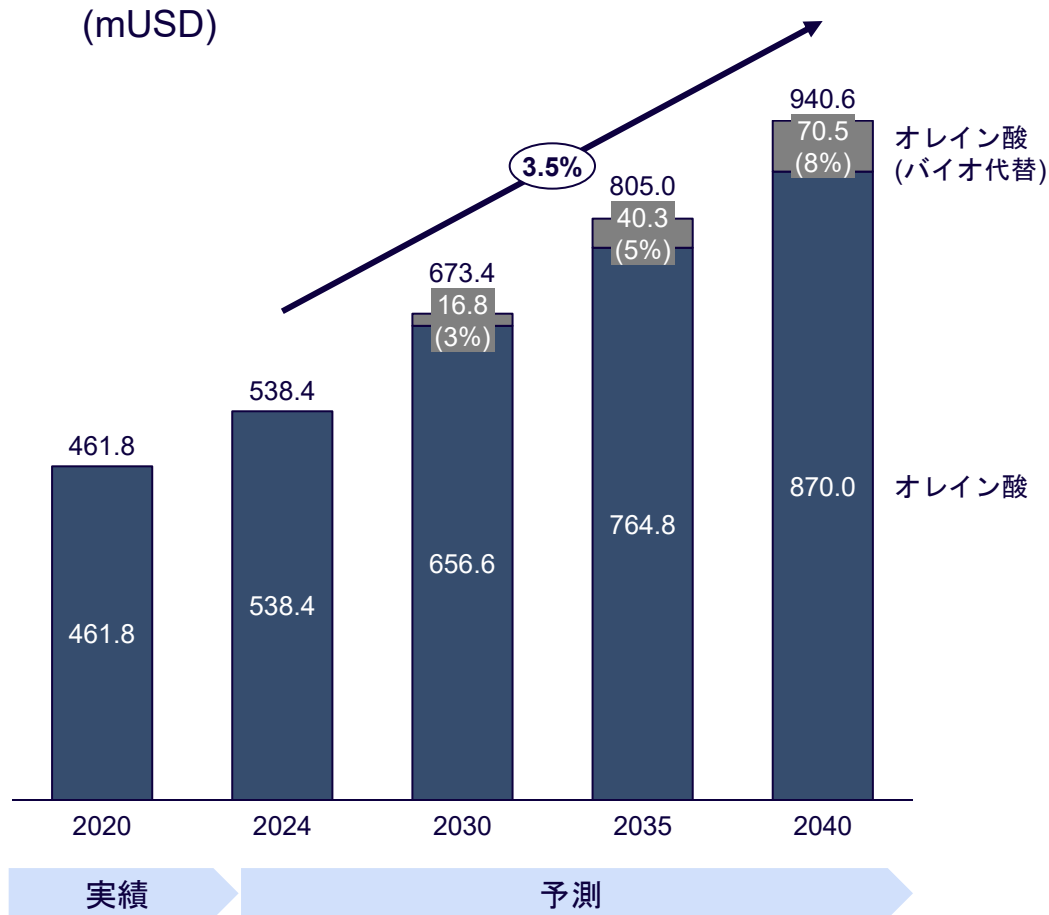
日本のパルミトリン酸の市場規模推移(2024-2040)

(mUSD)



オレイン酸のバイオ代替市場はパーム油代替を背景に化粧品用途で拡大

世界におけるオレイン酸、バイオ代替オレイン酸の市場規模推移(2024-2040)

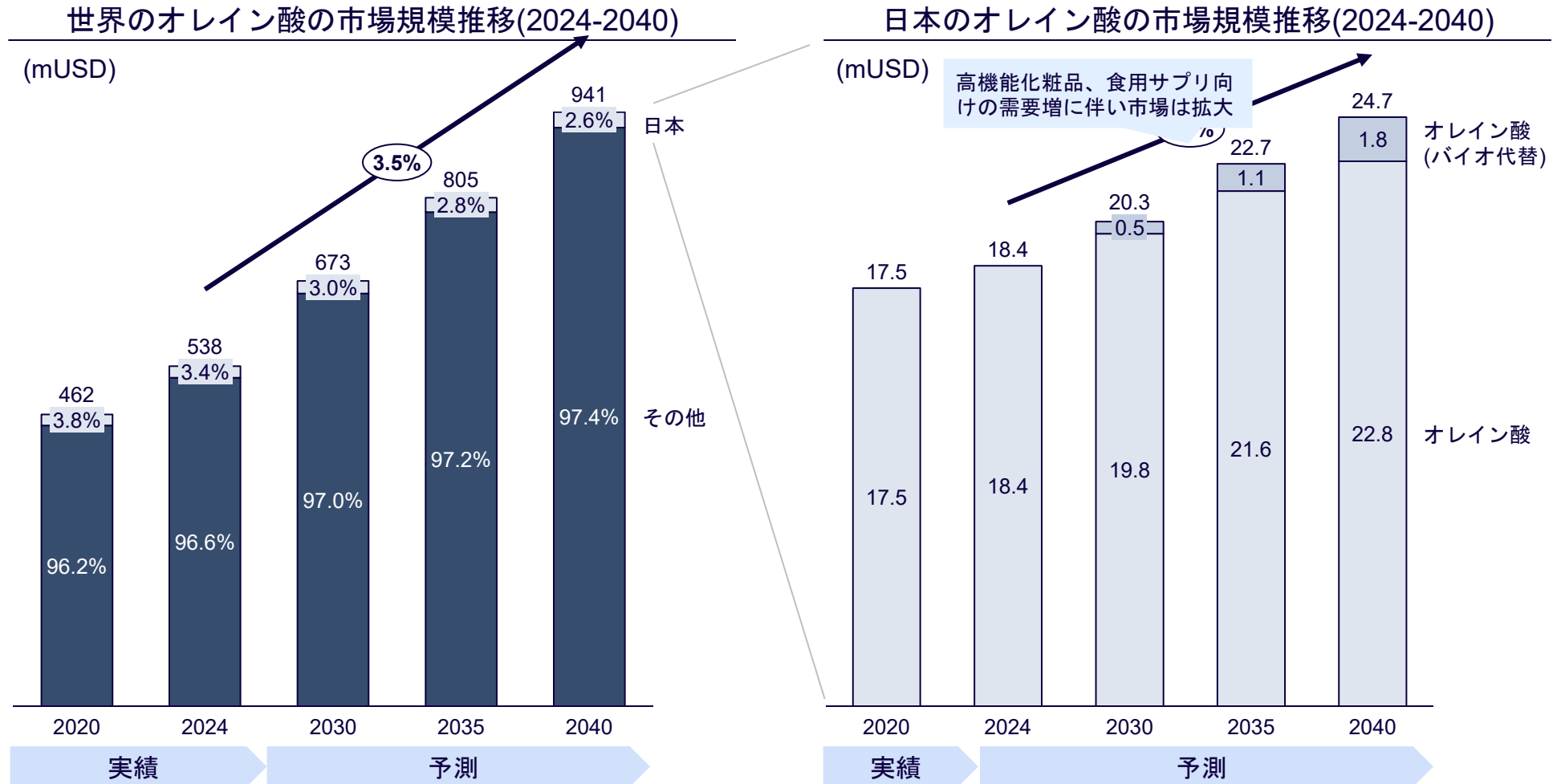


- 化粧品用途を中心にバイオ代替市場が拡大
 - パーム油代替によるサステナニーズが主な市場拡大要因
 - 消費者受容性が高いと見込まれる化粧品市場を足掛かりに、食品市場も今後拡大する見立て

短期ではパーム油の規制に伴い、規制対応ニーズが高い。中長期では高機能製品の需要増に伴い、高機能化ニーズが高まる

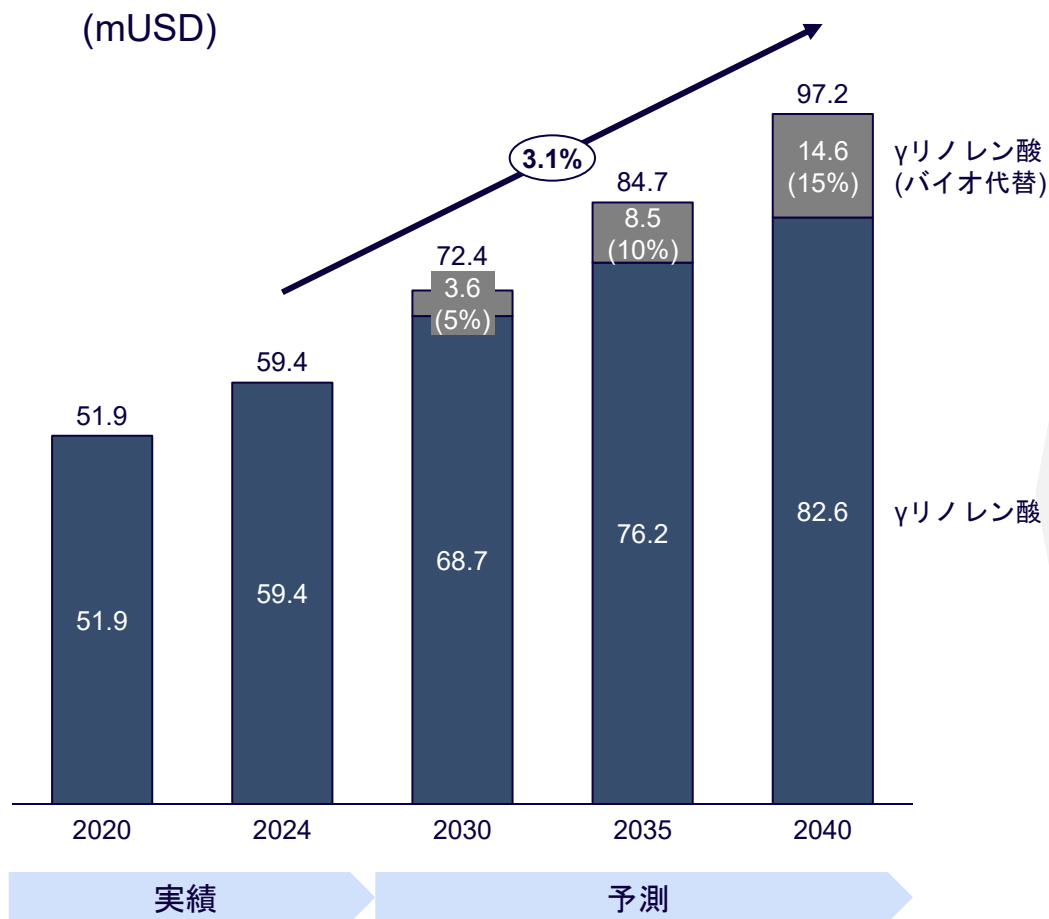
代替価値		ニーズの強さ		提供価値が求められる要因
		短期	中長期	
新規機能の創出・機能向上		中	大	<ul style="list-style-type: none"> 化粧品向けに高機能需要増 <ul style="list-style-type: none"> 純度向上や特定の不純物除去の需要増によりバイオ代替が進行
既存素材のコスト削減		小	中	<ul style="list-style-type: none"> 製造プロセスのコスト低減需要増 <ul style="list-style-type: none"> コストの高い分別・調合工程の削減需要増によりバイオ代替が進行
サステナビリティ貢献	原料調達・製造に伴う負荷低減	小	中	<ul style="list-style-type: none"> 石油原料の代替需要増 <ul style="list-style-type: none"> 石油原料の中でも高機能訴求が出来るような原料においてバイオ代替が進行
	製品使用に伴う負荷低減	—	—	—
	生物多様性保護	大	大	<ul style="list-style-type: none"> パーム油の代替需要増 <ul style="list-style-type: none"> 森林破壊の要因となりえるパーム油や大豆油の代替が進むことで、オレイン酸のバイオ代替が進行
全体		中	大	

国内では化粧品とサブリ需要の増加に伴いオレイン酸市場が拡大



γリノレン酸は経済成長を背景に、化粧品・食品用途市場が市場拡大を牽引。一部の化粧品・食用サブリ用途ではバイオ代替が進行

世界におけるγリノレン酸・バイオ代替γリノレン酸の市場規模推移(2024-2040)



- 特にγリノレン酸に対し、化粧品、食用サブリ向けにバイオ代替市場が拡大
 - 希少資源代替、必須脂肪酸ニーズが主な市場拡大要因
 - 食用油市場は大きいものの、コスト的にバイオ代替は厳しい
- αリノレン酸に関しては汎用油脂に多く含まれており、バイオ代替のニーズが極めて限定的であることから除外

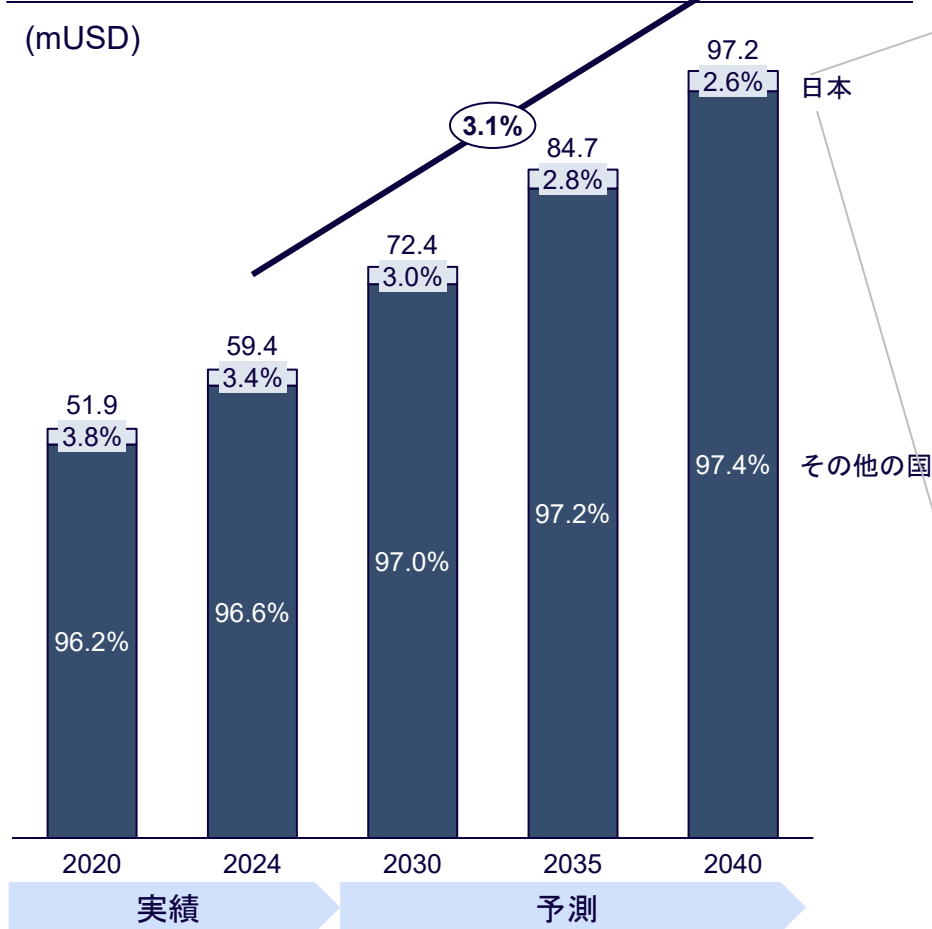
γリノレン酸において短期では、原料・製造コストの高さから、コスト低減ニーズが高い。中長期では高機能製品の需要増により、高機能化需要が高まる

代替価値		ニーズの強さ		提供価値が求められる要因
		短期	中長期	
新規機能の創出・機能向上		小	中	<ul style="list-style-type: none"> 化粧品・サプリ向けに高機能需要増 - γリノレン酸の純度向上や特定の不純物除去の需要増によりバイオ代替が進行
既存素材のコスト削減		小	中	<ul style="list-style-type: none"> 製造プロセスのコスト低減需要増 - 原料コスト、高価な製造工程の削減需要増によりバイオ代替が進行 - ボラージ油は非常に高価(約2万円/kg)
サステナビリティ貢献	原料調達・製造に伴う負荷低減	小	中	<ul style="list-style-type: none"> 石油原料の代替需要増 - 石油原料のバイオ代替が求められる可能性あり
	製品使用に伴う負荷低減	—	—	—
	生物多様性保護	小	中	<ul style="list-style-type: none"> 環境破壊影響低 - 主要原料であるアマニや月見草、ボラージの栽培は現時点で環境破壊問題となっていない
全体		小	中	

国内ではγリノレン酸の化粧品・食用サプリ向け市場が拡大

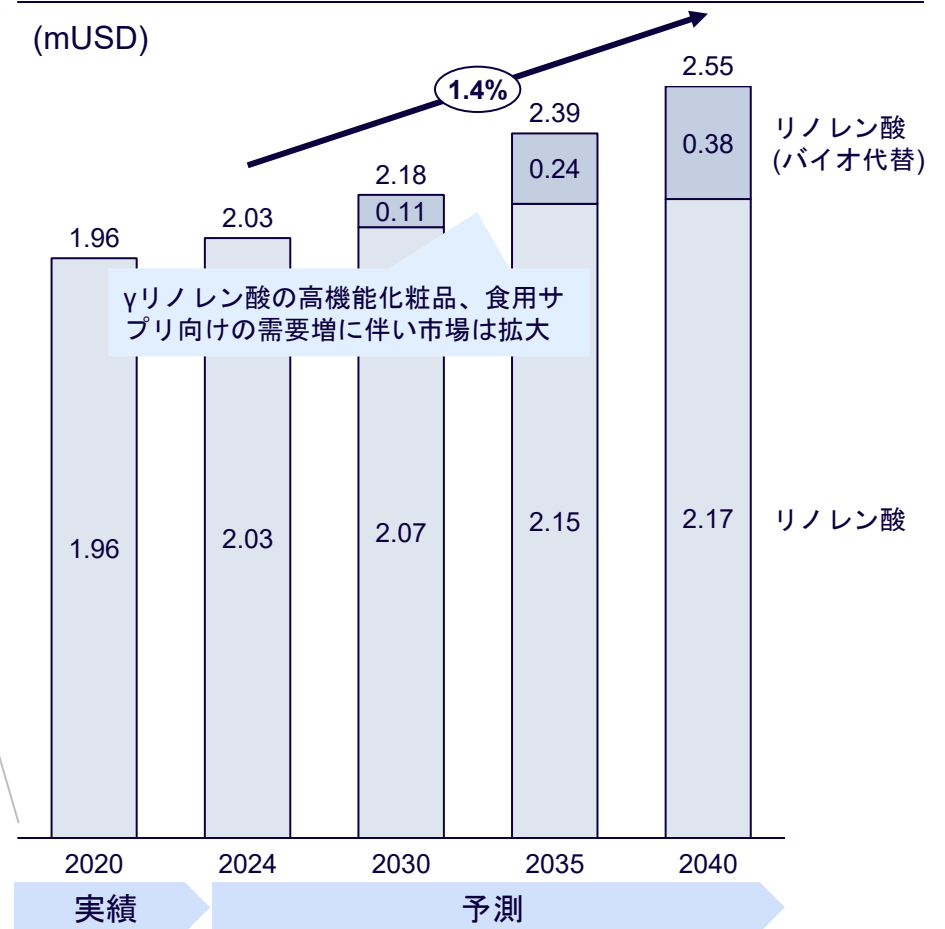
世界のγリノレン酸の市場規模推移(2020-2040)

(mUSD)



日本のγリノレン酸の市場規模推移(2020-2040)

(mUSD)



- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

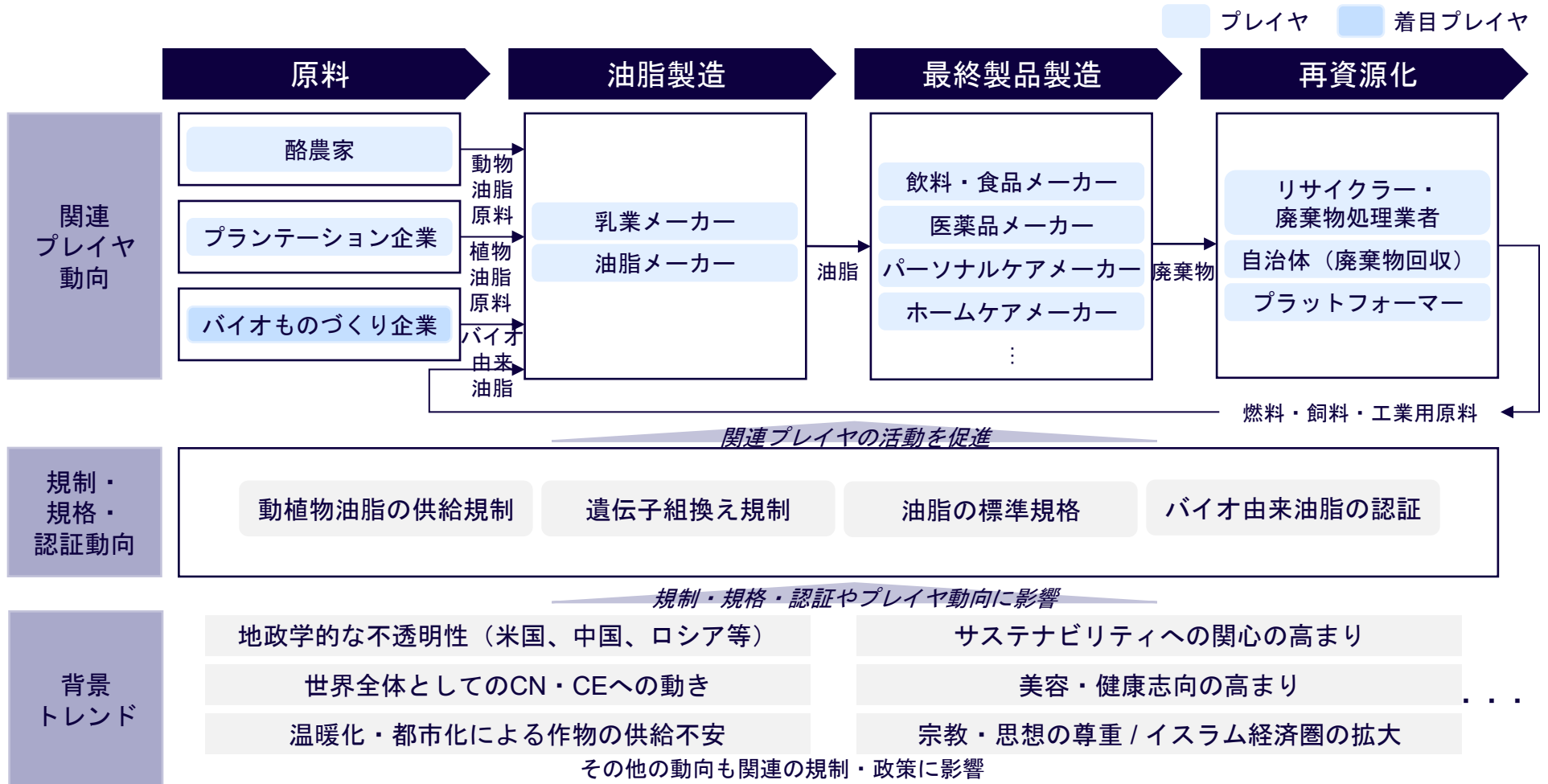
市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

プレイヤーは目の前の競争だけでなく、地政学、サステナビリティや多様性など今後のトレンドやそれらに左右される規制・政策に則り行動する必要がある



植物油脂の主要生産国はパーム油を中心に、各種植物油脂に規制を整備

国/地域	対象作物	規制名	規制当局	規制概要
欧州	パーム油、大豆油、カカオ脂等	EU森林破壊防止規則	欧州委員会	<ul style="list-style-type: none"> 森林破壊に関与した土地で生産された原料・製品のEU市場への投入を禁止 全サプライチェーンでの位置情報確認が必須
	パーム油	再生可能エネルギー指令	欧州委員会	<ul style="list-style-type: none"> 土地利用変化リスクの高いバイオ燃料原料（主にパーム油）の使用の再エネ目標への算入を2030年までに段階的に廃止する方針
米国	大豆油、とうもろこし油	再生可能燃料基準	米国環境保護庁	<ul style="list-style-type: none"> ガソリンや軽油へのバイオ燃料混合を義務付けるプログラム EPAが毎年の義務量（RVO）を設定し、大豆油などの搾油需要を左右する
中国	大豆油、菜種油	GMO安全保障制度	中国農業農村部	<ul style="list-style-type: none"> 遺伝子組換え作物の輸入・生産に関する安全審査と許認可を担当 認可のタイミングが実質的な輸入管理ツールとして使われる場合がある
インドネシア	パーム油	国内供給義務	商業省	<ul style="list-style-type: none"> 輸出業者に対し、輸出量の一定割合を国内市場へ格安で供給することを義務付け 遵守しない場合、輸出許可が発行されない
	パーム油	Indonesia Sustainable Palm Oil	農業省	<ul style="list-style-type: none"> インドネシア政府主導の持続可能なパーム油認証 すべての生産企業に取得を義務化
マレーシア	パーム油	Malaysia Sustainable Palm Oil	マレーシア・パーム油認証協議会	<ul style="list-style-type: none"> 政府傘下のMPOCCが運営する認証制度 小規模農園を含む全生産者に取得を義務化し、国際的な信頼性向上を図る
アルゼンチン	大豆油、ひまわり油	輸出税	経済省	<ul style="list-style-type: none"> 政府の歳入確保および国内価格抑制のため、特定作物に高率の輸出税（大豆約33%）を賦課 税率は経済情勢により頻繁に変更される
ブラジル	大豆油	森林法	MMA	<ul style="list-style-type: none"> アマゾン地域の私有地に対し80%の森林保全を義務付け IBAMAが監視・法執行を行い、違反者には罰金や禁輸措置を課す

動物油脂の主要生産国は牛脂、魚油を中心に規制を整備

国/地域	対象動物	規制名	規制当局	規制概要
欧州	牛脂	EU森林破壊防止規則	欧州委員会	<ul style="list-style-type: none"> 森林破壊地で飼育された牛由来の製品（皮革、肉、牛脂）の市場投入が禁止 トレーサビリティの難易度が高く、ブラジル産等の輸入に大きな障壁を設定
	動物油脂全般	動物副産物規則	欧州委員会	<ul style="list-style-type: none"> 動物油脂をリスク別に分類し規制
米国	牛脂、豚脂、家禽脂、魚油	RFS	米国環境保護庁	<ul style="list-style-type: none"> 国内で販売される輸送用燃料に対し、一定量の再生可能燃料（バイオエタノールやバイオディーゼルなど）を混合することを義務付け
中国	牛脂、豚脂、家禽脂	輸入衛生議定書	中国海関総署	<ul style="list-style-type: none"> BSE（狂牛病）やアフリカ豚熱などの発生国からの輸入を厳格に禁止・制限 政治的な外交カードとして検疫許可が使われることもあり、供給が不安定化する要因
ブラジル	牛脂	TAC	ブラジル環境省	<ul style="list-style-type: none"> 食肉加工業者（レンダラー）に対し、違法伐採地からの牛の購入を禁止する協定 大手業者は監視システムを導入しているが、間接的な供給（牛の移動）の追跡が課題
ペルー	魚油	漁獲枠設定	生産省	<ul style="list-style-type: none"> IMARPEの資源調査に基づき、政府が漁期ごとの「漁獲許容量」を決定 資源量不足や幼魚混獲率が高い場合は、全面禁漁や早期打ち切りが発令され、世界のオメガ3供給と価格に即座に影響

欧州・中国は、GMO由来の原料・製品について、最終製品でGMO由来成分が検出されなくても表示・トレーサビリティが求められる場合がある

国/地域	食用向け		非食用向け	
	遺伝子組換え規制	その他の規制	遺伝子組換え規制*2	その他の規制
欧州	GM食品規則*1 (GMO由来油脂を規制)	Novel Food (新規の油脂や製造プロセスを規制)	封じ込め使用指令*3 (遺伝子組換え微生物を規制)	REACH (化学物質を規制)
米国	NBFDS (高度精製油の扱いは制度・判決を踏まえ変動中)	FSMA (製造設備やプロセスを規制)	バイオテクノロジー規制の調和的枠組み (USDA/EPA/FDAの所管分担の枠組み)	TSCA (化学物質を規制)
中国	GMO 安全管理/表示管理 (GMO由来油脂とその加工・輸入を規制)	油脂輸送 新国家標準 (製造プロセスやタンクを規制)	農業転基因生物安全 評価管理 (工業原料や飼料用GMO油脂などを規制)	12号令 (新規化学物質を規制)
日本	食品表示法 (GMO成分が検出される油脂と成分改変型油脂を規制)	食品衛生法-PL制 (製造設備、残留農薬、添加物などを規制)	カルタヘナ法 (GMO微生物を用いた油脂製造プロセスを規制)	化審法 (加工油脂・誘導体を規制)

■ GMO（またはGMO由来原料）を使用した場合、最終製品で検出されなくても表示・トレーサビリティが求められる場合がある
(日本では最終製品中に遺伝子組換え成分を検出できなければ、GMO表記は任意)

■ トレーサビリティを重視し、サプライチェーンに関する記録が義務付けられた規則

欧州・中国の規制は厳しく、製品製造時に遺伝子組換え技術を使用した時点でGMO表記が必須。米国も欧州の規制内容に追随する方針

国/ 地域	規制名		規制当局	規制対象	概要
	通称	正式名称			
欧州	GM食品規則	Regulation (EC) No 1829/2003	欧州委員会	<ul style="list-style-type: none"> GMO由来油脂 	<ul style="list-style-type: none"> 最終製品のDNA不検出に関わらず、原料にGMOが使用されていれば表示を義務付ける「プロセスベース」の規制 トレーサビリティ管理が厳格
米国	NBFDS	National Bioengineered Food Disclosure Standard	米国農務省	<ul style="list-style-type: none"> GMO由来油脂 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年10月の判決により、DNA不検出を理由とした精製油の表示免除を無効化する方針 GMO由来の全ての油脂が規制対象に変更
中国	GMO 安全管理	農業転基因生物 安全管理条例	農業農村部	<ul style="list-style-type: none"> GMO由来油脂の加工・輸入 	<ul style="list-style-type: none"> GMO油脂の輸入、生産、加工、経営を包括的に規制 輸入時に「農業転基因生物安全証書」を取得するという承認プロセスを流通の絶対条件とし、未承認品種の流入を阻止
	GMO 表示管理	農業転基因生物 表示管理弁法	農業農村部	<ul style="list-style-type: none"> GMO由来油脂(リストに記載) 	<ul style="list-style-type: none"> リスト記載の油脂(大豆油、菜種油など)については、精製工程でDNA等が消失していても、原料がGMOであれば表示を義務
日本	食品表示 法	食品表示基準	消費者庁	<ul style="list-style-type: none"> GMO成分が検出される油脂 成分改変型油脂 	<ul style="list-style-type: none"> 組換えDNA等が残らない精製油脂は原則表示免除 成分改変型(高オレイン酸大豆油等)は特性が変化しているため、DNAの有無に関わらず表示を義務付け

欧州・中国では製造のあらゆる段階でトレーサビリティを重要視。日本は製造プロセス、米国は製造で使用するGMO微生物を規制

国/ 地域	規制名		規制当局	規制対象	概要
	通称	正式名称			
欧州	封じ込め 使用指令	Directive 2009/41/EC	欧州委員会	<ul style="list-style-type: none"> 遺伝子組換え微生物 	<ul style="list-style-type: none"> 人の健康・環境保護のため、封じ込めレベル（封じ込め措置）に応じたリスク評価、届出/許可を規定
米国	バイオテクノロジー規制の調和的枠組み	Coordinated Framework for Regulation of Biotechnology	環境保護庁 (EPA)/食品 医薬品局 (FDA)	<ul style="list-style-type: none"> GMO微生物・植物 	<ul style="list-style-type: none"> EPAが有害物質規制法（TSCA）に基づき、工業用GMO微生物等を規制
中国	農業転基因生物安全評価管理	農業転基因生物安全評価管理規則	農業農村部	<ul style="list-style-type: none"> 工業原料・飼料用GMO油脂 	<ul style="list-style-type: none"> 食用と同様の安全証書が必要 特に輸入される非食用大豆（搾油用）などは、用途を限定した厳格なトレーサビリティ管理が求められる
日本	カルタヘナ法	遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律	農林水産省 / 環境省	<ul style="list-style-type: none"> GMO微生物を用いた油脂製造プロセス 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂を生産するGMO微生物（藻類等）の漏出防止を規制 閉鎖系（タンク内）での利用には「第2種使用承認」が必要（製品としての油脂自体は対象外）

各国とも油脂の製造プロセスにおいて規制を整備。

国/ 地域	規制名		規制当局	規制対象	概要
	通称	正式名称			
欧州	ノベルフード規則	Regulation (EU) 2015/2283 (Novel Food Regulation)	欧州委員会	<ul style="list-style-type: none"> 新規の油脂 製造プロセス 	<ul style="list-style-type: none"> 1997年5月以前にEU内での消費実績がない油脂（藻類油、新規植物油等）が対象 EFSAによる組成・毒性の審査（プロセス）を経て承認されたもののみ、連合リスト（Union List）に掲載され上市が可能
米国	FSMA（食品安全強化法）	FDA Food Safety Modernization Act	食品医薬品局 (FDA)	<ul style="list-style-type: none"> 製造設備 製造プロセス 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂工場の製造工程において、危害要因（汚染・異物混入等）を特定し、「予防管理（Preventive Controls）」を講じることを義務付け 2025年はサプライチェーンの透明性とトレーサビリティの強化が重点
中国	油脂輸送新国家標準	GB 44917-2024 (食用植物油散装運輸衛生要求)	国家市場監督管理総局	<ul style="list-style-type: none"> 製造プロセス 輸送タンク 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂のバルク輸送を「食品専用タンク」に限定 非食品（化学品等）との兼用禁止 タンク材質の規定や、洗浄履歴の3年間保存といった物理的な管理プロセスを強制
日本	食品衛生法（PL制）	食品衛生法 / ポジティブリスト制度	厚生労働省	<ul style="list-style-type: none"> 製造設備 残留農薬 添加物 	<ul style="list-style-type: none"> 油脂製造に使用する器具や容器（プラスチック・合成樹脂）について、安全性が確認された物質のみ使用を認める「ポジティブリスト制」 油脂への物質移行を防ぐための設備管理が必須

各国とも製品としての化学的安定性と環境負荷を重視

国/ 地域	規制名		規制当局	規制対象	概要
	通称	正式名称			
欧州	REACH	Regulation (EC) No 1907/2006	欧州化学品 庁 (ECHA)	<ul style="list-style-type: none"> 化学物質 	<ul style="list-style-type: none"> 工業用油脂の成分を登録 「製品の有害性データ」の提出を義務付け、サプライチェーン上での安全な取扱い（SDSの提供）を強制
米国	TSCA	Toxic Substances Control Act	環境保護庁 (EPA)	<ul style="list-style-type: none"> 化学物質 	<ul style="list-style-type: none"> 非食用の新規油脂（バイオプラ原料等）が対象。製造前に「製品の安全性」を届け出させ、EPAが環境・健康リスクを評価してから上市を許可
中国	12号令	新化学物質環境 管理登記弁法	生態環境部 (MEE)	<ul style="list-style-type: none"> 新規工業用 油脂 	<ul style="list-style-type: none"> 中国域内で初めて製造・輸入される油脂製品が対象 「製品の生態毒性」を実験データで証明し、登録プロセスを経て初めて流通が可能
日本	化審法	化学物質の審査 及び製造等の規制に関する法律	経済産業省	<ul style="list-style-type: none"> 加工油脂・ 誘導体 	<ul style="list-style-type: none"> 天然油脂を化学修飾した製品（エステル等）が対象 「製品の分解性・蓄積性」を審査し、環境への残留リスクが高いプロセスの変更を指示

各国がCodexをもとに規格を制定し、油脂の成分や汚染物質を定義

規格	対象地域	制定機関	主な規格対象	概要
Codex規格	世界	国際食品規格委員会	<ul style="list-style-type: none"> 油脂の成分 汚染物質 	<ul style="list-style-type: none"> 植物油と一般油脂の国際基準 各国が国内法を整備する際のベースであり国際貿易の円滑化を目的
Codex準拠規格	Regulation (EU) 2023/915	欧州委員会	<ul style="list-style-type: none"> 汚染物質 	<ul style="list-style-type: none"> 安全性に極めて厳しい独自規制 3-MCPD、グリシドールエステル、PAHs等の汚染物質に厳しい上限値を設定
	FDA 21 CFR	米国	<ul style="list-style-type: none"> 食品医薬品局 油脂の成分 汚染物質 	<ul style="list-style-type: none"> 添加物や栄養表示を規定 実務的な品質分析は業界規格のAOCS法が実質的な標準
	GB 2716	中国	<ul style="list-style-type: none"> 国家市場監督管理総局 油脂の成分 汚染物質 	<ul style="list-style-type: none"> 植物油の食品安全国家標準で、用語定義や酸価、溶剤残留、調和油の命名・表示などを規定
	JAS規格	日本	農林水産省	<ul style="list-style-type: none"> 油脂の成分

各国がCodexを補完した規格を制定し、製造手法や品質を統一化

規格	対象地域	制定・管理機関	主な規格対象	概要
AOCS Official Methods	世界	米国油化学会 (AOCS)	油脂の成分や汚染物質の測定手法	<ul style="list-style-type: none"> 油脂分析のデファクトスタンダード 物理定数（屈折率、融点）や化学値（IV、AV）の「測定手順」を厳密に規定
FOSFA 契約規格		FOSFA International	油脂の取引条件	<ul style="list-style-type: none"> 海上輸送・貿易の必須ルール 輸送中の品質劣化防止や、前積載貨物の禁止リストなど実務に特化
European Pharmacopoeia	欧州	欧州医薬品品質理事会	油脂の純度	<ul style="list-style-type: none"> 医薬品の原料や製剤に使われる油脂の純度を規定 厳しい不純物・微生物管理を規定
FEDIOL Code of Practice		FEDIOL (欧州製油連盟)	油脂の製造工程	<ul style="list-style-type: none"> 欧州の精製業者向けガイドライン 精製工程で発生する3-MCPDやトランス脂肪酸の低減など、業界独自の高い技術目標を設定
NIOP Trading Rules	米国	全米油糧種子製品研究所 (NIOP)	油脂の取引条件	<ul style="list-style-type: none"> 北米の油脂取引基準 特にココナッツ油などの熱帯油脂の北米流入時の品質判定、検量、仲裁ルールを詳細に規定
ASTM International		ASTM International	油脂の成分や汚染物質の測定手法	<ul style="list-style-type: none"> バイオ燃料・工業用規格。食用ではなく、エンジンの安定動作に必要なセタン価、引火点、低温流動性（CFPP）などの物性を規定
GB/T 規格	中国	国家標準化管理委員会	油脂の成分	<ul style="list-style-type: none"> 精製度による等級管理。「大豆油1級」などの等級を設け、精製レベルに応じた詳細な物性値（色度、不純物、酸価）を多段階で設定
LS/T 規格		国家糧食・物資備蓄局	油脂の成分	<ul style="list-style-type: none"> 国家備蓄における油脂の長期保存性や、国内産業特有の物流品質を管理するための基準
基準油脂分析試験法	日本	日本油化学会 (JOCS)	油脂の成分や汚染物質の測定手法	<ul style="list-style-type: none"> 日本の油脂研究・品質管理の基盤 AOCSと親和性を持ちつつ、日本の分析環境やJAS規格に準拠した詳細な手順を確立

各国はバイオものづくり油脂に関連した製品・プロセスに対する認証を整備

主な対象	対象地域	認証	判定・管理機関	属性
			機関名	
製品	世界	Upcycled Certified	Upcycled Food Association	非営利団体
		Halal / Kosher	各国の宗教認証機関(JAKIM、MUIなど)	宗教団体・民間団体
	欧州	V-Label	European Vegetarian Union (EVU)	非営利団体
	米国	USDA BioPreferred	米国農務省	公的機関
		Non-GMO Project	Non-GMO Project	非営利団体
	中国	中国緑色食品	中国緑色食品発展センター	公的機関
	日本	エコマーク	日本環境協会	公益財団法人
Vegeproject		ベジプロジェクトジャパン	NPO法人	
製造工程	世界	FSSC 22000	FSSC 22000財団	非営利財団
		ISCC PLUS	ISCC System GmbH	国際認証組織
		Sedex (SMETA)	Sedex Information Exchange Ltd.	非営利会員組織
	欧州	RED II	欧州委員会	公的機関
		RSB	RSB	民間団体
	米国	BPI	Biodegradable Products Institute	非営利団体
	中国	Green Factory	工業情報化部 (MIIT)	公的機関
	日本	バイオマスマーク	日本有機資源協会	一般社団法人

各国ではバイオものづくり油脂に関連した各種認証が整備され、サステナ観点から各地で遺伝子組換え技術に関連する認証が整備

地域	認証	制定・管理機関	概要
世界	Upcycled Certified	Upcycled Food Association	<ul style="list-style-type: none"> 本来は廃棄されるはずだった副産物や原料（廃糖蜜、グリセリン等）を再利用して作られた製品であることを証明する食品認証
	Halal / Kosher	各国の宗教認証機関 (JAKIM、MUIなど)	<ul style="list-style-type: none"> イスラム教やユダヤ教の食事規定に適合していることを証明 微生物の「餌（培地）」の成分まで厳密に審査
欧州	V-Label	European Vegetarian Union (EVU)	<ul style="list-style-type: none"> ヴィーガンおよびベジタリアン製品の国際ラベル 動物由来の成分や助剤を一切使用していないことを証明
米国	USDA BioPreferred	米国農務省 (USDA)	<ul style="list-style-type: none"> 石油依存の低減を目的に、植物や微生物などの再生可能なバイオマス資源を一定以上含む製品であることを証明するプログラム
	Non-GMO Project	Non-GMO Project	<ul style="list-style-type: none"> 遺伝子組換え技術を使用していないことを証明 菌株自体だけでなく、培養に使用する原料も審査対象
中国	中国緑色食品	中国緑色食品発展センター (CGFDC)	<ul style="list-style-type: none"> 中国独自の安全性・品質認証 環境への配慮と、厳格な品質管理基準を満たした食品および原材料に対して付与
日本	エコマーク	公益財団法人日本環境協会	<ul style="list-style-type: none"> 商品のライフサイクル全体を通じて環境負荷が低く、環境保全に役立つと認められた商品に付与 日本を代表する環境ラベル
	Vegeproject	NPO法人ベジプロジェクトジャパン	<ul style="list-style-type: none"> 日本国内のヴィーガンおよびベジタリアン市場に向けた認証 植物性代替品としての油脂原料が、動物性原料を一切含まないこと証明

各国はサプライチェーンにおけるトレーサビリティやサステナへの影響に関して認証を整備

地域	認証	制定・管理機関	概要
世界	FSSC 22000	FSSC財団	<ul style="list-style-type: none"> 国際食品安全イニシアチブ（GFSI）が承認した食品安全マネジメントシステムの国際規格 微生物培養工場の衛生管理やフードディフェンスの証明として世界的に活用
	ISCC PLUS	ISCC System GmbH	<ul style="list-style-type: none"> バイオマスやリサイクル原料の持続可能性を証明する国際認証 マスバランス方式（物質収支方式）を用いて、サプライチェーン全体の透明性を確保
	Sedex (SMETA)	Sedex Information Exchange Ltd.	<ul style="list-style-type: none"> 世界で最も広く利用されている社会監査手法（SMETA）を通じ、企業の労働基準、安全衛生、環境、ビジネス倫理の遵守状況を評価・共有する仕組み
欧州	持続可能なバイオ材料円卓会議(RSB)	RSB	<ul style="list-style-type: none"> バイオマスやリサイクル原料の持続可能性を証明する国際認証 マスバランス方式（物質収支方式）を用いて、サプライチェーン全体の透明性を確保
米国	BPI 認証 (生分解性製品)	生分解性製品研究所 (BPI)	<ul style="list-style-type: none"> トレーサビリティ、変更管理、品質証明プロセスを厳格に審査
中国	Green Factory	工業和信息化部 (MIIT)	<ul style="list-style-type: none"> 工場単位の認定制度 省エネ、低炭素、資源循環を考慮した「製造インフラ」の管理体制を評価
日本	バイオマスマーク	一般社団法人日本有機資源協会 (JORA)	<ul style="list-style-type: none"> 製造記録の管理体制や、関連法規への適合プロセスを審査

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

着目製品の勝ち筋と有望領域

着目製品において、各種バイオものづくりの提供価値の訴求に向けた開発が進められているが、大々的な商業化には至っていない状況

提供価値	価値概要	事例	
1 新規機能の 創出・機能向上	<ul style="list-style-type: none"> • <u>バイオものづくりのプロセス以外で生産が困難であり、高い機能の付加が可能</u>な物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 特殊構造の作成 <ul style="list-style-type: none"> - SOS・POS・POPという、一般的な植物油からは作りにくく、ココアバターに多いTAGを微生物発酵で作成可能 - Yali Bioは脂肪酸の並びから自社製品をS.O.S Butterと呼ぶ 	
2 既存素材の コスト削減	<ul style="list-style-type: none"> • 反応ステップ数が多い、生産性や収率が低い等の理由で、<u>既存製法ではコストが非常に高い</u>物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 希少資源代替 <ul style="list-style-type: none"> - 魚油は漁獲量の変化により材料供給が不安定。資源制約・価格変動だけでなく汚染物質（重金属等）への懸念有 - すでに魚油に多く含まれているDHA、EPA、ARAなどの微細藻類による製品は大規模商用化済み。経済性も一定担保可能と推察 	
サステナビリティ貢献	3 原料調達・ 製造に伴う 負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> • <u>製品の原料を調達、または製造する際の環境負荷を低減する</u>物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 原材料として農業・工業の残渣・副産物、CO2やH2のガスを使用 • 石油製品の代替 <ul style="list-style-type: none"> - Checkerspotは従来スキーに使用される石油系プラスチックや樹脂を藻類由来バイオプラスチックに置き換えると、耐久性・安定性・衝撃吸収性が向上するとアピール
	4 製品使用に 伴う 負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> • <u>製品使用に伴う人体への負荷や、製品使用後の環境負荷をもたらす有害物質を代替する</u>物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 特定の食べ物が食べられない人向け <ul style="list-style-type: none"> - Nourish Ingredientsなどは、植物由来の乳製品代替にも使えると訴求 - 魚油代替プレーヤーはヴィーガン&アレルゲンフリー原料であると訴求
	5 生物多様性 保護	<ul style="list-style-type: none"> • <u>環境問題や密猟等に伴う生物の絶滅リスクの回避や動物福祉の向上に貢献する</u>物質を提供 	<ul style="list-style-type: none"> • 森林破壊等環境問題につながるパーム・カカオの代替 <ul style="list-style-type: none"> - Kokomodoなどはカカオ不足や森林破壊リスクの回避を訴求 - C16 Biosciencesは森林破壊に繋がるパーム油への依存を減らすためにブランドを立ち上げ、パーム油に伴う被害を周知させている

短期的には機能の創出・向上とコスト削減が可能な領域、
中長期的にはサステナや多様性尊重ニーズを満たすことの可能な領域が有望

	短期（～2030年）	中長期（～2040年）
油脂関連の 社会変化	<ul style="list-style-type: none"> 健康・美容需要の増加 従来油脂の供給の不安定さの継続 微生物油の開発・利用促進の政策・規制の制定 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年CN達成に向けた取り組みの本格化 温暖化進行による原料供給不安定さの増大 個人や社会の多様性の更なる尊重
訴求が効く バイオものづくり 製品の提供価値	<ul style="list-style-type: none"> ①機能の創出・向上 ②既存素材に比べたコスト削減 	<ul style="list-style-type: none"> ③原料調達・製造に伴う負荷低減 ④製品使用に伴う負荷低減 ⑤生物多様性保護
注目製品における 有望領域仮説	<ul style="list-style-type: none"> 供給不安定性・コスト低減が求められる油脂由来製品 <ul style="list-style-type: none"> 発酵由来CBE（ココアフリー・チョコレート用脂） やシアバター代替 健康・美容志向×機能が求められる脂肪酸 <ul style="list-style-type: none"> 魚油代替としてのPUFA（多価不飽和脂肪酸） （特にオメガ3(EPA/DHA)） 	<ul style="list-style-type: none"> 個人の思想・特徴の尊重に貢献する油脂由来製品 <ul style="list-style-type: none"> ビーガン、ハラル、アレルギー対応のアニマルフリー動物脂 動物由来バターやラードと同等の官能・機能を持つ微生物由来油脂 環境負荷低減および石油代替に貢献する脂肪酸 <ul style="list-style-type: none"> 化学製品の原料となる微生物由来のオレイン酸

短期的には、バイオものづくりならではの機能性・コスト低減訴求が狙える領域が有望か

	項目	具体例
油脂関連の社会変化	健康・美容需要の増加	<ul style="list-style-type: none"> 食品では、トランス脂肪酸フリー、飽和脂肪酸低減、オメガ3などの機能性訴求が一般化。クリーンラベル・添加物低減志向の高機能オイルの需要が高まる 化粧品ではナチュラル・ヴィーガン処方、クリーンビューティー志向・肌悩み別（エイジング・敏感肌など）の需要が高まる
	従来油脂の供給の不安定さの継続	<ul style="list-style-type: none"> 主要油脂原料（カカオ、魚油、パーム・大豆等）の価格高騰・ボラティリティへの懸念 <ul style="list-style-type: none"> - パーム油などは他油脂の代替品として利用されているため、代替品の代替品としての需要も存在
	微生物油の開発・利用促進の政策・規制の制定	<ul style="list-style-type: none"> 多くの国は既に自国の液体油・従来油のサプライチェーンや国内生産を持っており、むしろそれを守ろうとするインセンティブが強い 一方で食品安全・環境負荷の規制（ラベル・トレーサビリティ等）は強化されつつあり、間接的に代替油脂への期待が高まる
訴求が効くバイオものづくり製品の提供価値と解決できる課題	機能の創出・向上	<ul style="list-style-type: none"> カカオ脂の重要な構成要素であり、汎用油脂のみでの代替は難しいSOSといったTAG構造等が製造可能 味・臭いのないオメガ3など油脂の生産、酸化安定性の向上
	既存素材に比べたコスト削減	<ul style="list-style-type: none"> 天然原料市況の高騰・供給不安に対して、発酵生産によるコスト・供給の安定化 副産物など低コスト炭素源の利用による原価低減
注目製品における有望領域仮説	供給不安定性・コスト低減が求められる油脂由来製品	<ul style="list-style-type: none"> 発酵由来CBE（ココアフリー・チョコレート用脂） カカオ供給リスク・価格高騰を回避するブレンド油の部分代替：シアーバターの代替
	健康志向×機能が求められる脂肪酸	<ul style="list-style-type: none"> 魚油代替：特にPUFA（多価不飽和脂肪酸）や、その内のオメガ3(EPA/DHA) 魚油代替に使われる微細藻類ナンノクロロプシスではパルミトレイン酸も訴求ポイントの1つ

中長期的には、深刻化が予想される環境問題への対応の有効手段の一つとして、バイオものづくり製品が訴求できる領域が有望か

	項目	具体例
油脂関連の社会変化	2050年CN達成に向けた取り組みの本格化	<ul style="list-style-type: none"> 消費者・メーカーの環境意識がさらに高まる サプライチェーン全体のCO₂や森林破壊・生物多様性への影響まで管理・開示が求められる。LCAなど油脂別のカーボンフットプリント・土地利用を定量評価し、ポートフォリオを入れ替えるニーズが顕在化
	温暖化進行による原料供給不安定さの増大	<ul style="list-style-type: none"> 異常気象や病害虫の拡大により、特定産地依存の油脂が慢性的な供給・品質リスクを抱える。そのため、レジリエンスの高い油脂・生産方式へのシフト圧力が高まる
	個人や社会の多様性の更なる尊重	<ul style="list-style-type: none"> 宗教・信条・健康状態に応じた“パーソナライズド油脂”（動物由来/アレルギー/添加物の有無など）ニーズの増大
訴求が効くバイオものづくり製品の提供価値と解決できる課題	原料調達・製造に伴う負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> GHG排出・土地利用・水使用の削減
	製品使用に伴う負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> ビーガン、ハラール、アレルギーなど個人の思想・特徴の尊重 酸化・劣化に強く、食品ロスや製品廃棄の削減に寄与
	生物多様性保護	<ul style="list-style-type: none"> 藻類培養など自然生態系を毀損しない生産方式
注目製品における有望領域仮説	個人の思想・特徴の尊重に貢献する油脂由来製品	<ul style="list-style-type: none"> 動物由来バターやラードと同等の官能・機能を持つ微生物由来油脂
	環境負荷低減および石油代替に貢献する脂肪酸	<ul style="list-style-type: none"> ポリエステルや潤滑油・界面活性剤・可塑剤など、石油化学品の代替に微生物由来のオレイン酸を使用可能 牛からのメタン排出・飼料由来の環境負荷削減への貢献

短期的には機能性・コスト低減訴求により浸透度向上を狙い 中長期的には多様性・サステナビリティ貢献素材としての確立を狙う

	短期（～2030年）	中長期（～2040年）
領域	<ul style="list-style-type: none"> 機能の創出・向上とコスト低減を実現可能な製品 <ul style="list-style-type: none"> 供給不安定性・コスト低減が求められる油脂由来製品 健康志向×機能が求められる油脂化学品 	<ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ・多様性尊重に貢献可能な製品 <ul style="list-style-type: none"> 個人の思想・特徴の尊重に貢献する油脂由来製品 環境負荷低減および石油代替に貢献する油脂化学品
事業面	<ul style="list-style-type: none"> 低難易度領域での協業による生産性向上・コスト削減 <ul style="list-style-type: none"> 原理的に大幅なコスト削減が見込まれ、かつ高度な技術を用いない領域に特に着目 自社の技術で対応できない領域での他企業（発酵系）との提携 B2B顧客に使われやすい製品の開発・販売 <ul style="list-style-type: none"> B2B顧客と製品開発時から接触・協業し、顧客の製品理解を深め、顧客ニーズが確実にある領域をターゲットに設定 顧客の既存プロセスにドロップインで使用可能な設計 消費者・顧客の受容性が高いセグメントからの市場参入 	<ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ・多様性促進に課題のある油脂への展開 <ul style="list-style-type: none"> 使用する微生物の横展開 微生物油製造時の副産物の利用促進 工業スケールでのLCAでの価値訴求に向けた開発推進 <ul style="list-style-type: none"> 炭素源や抽出におけるエネルギー源等各プロセスの改善
政策面	<ul style="list-style-type: none"> バイオものづくり品の使用の促進 <ul style="list-style-type: none"> 食品基準におけるバイオものづくりにおける製品の安全性を正確に迅速に判断する審査機関の体制構築 従来の原料・生産方法使用に対する規制制定に向けた啓発 	<ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ・多様性促進に向けた政策・規制制定 <ul style="list-style-type: none"> 脱炭素化、グリーン化等社会的価値創出に向けた義務規定の制定（配合率の設定等） グリーン公共調達やカーボンプライシングと連動した、バイオ由来油脂採用による経済メリットが享受可能な制度設計の提言

バイオものづくりならではの
機能性・コスト低減訴求による
バイオものづくり油脂製品の浸透度向上

バイオものづくり製品の
多様性・サステナビリティ貢献素材としての確立

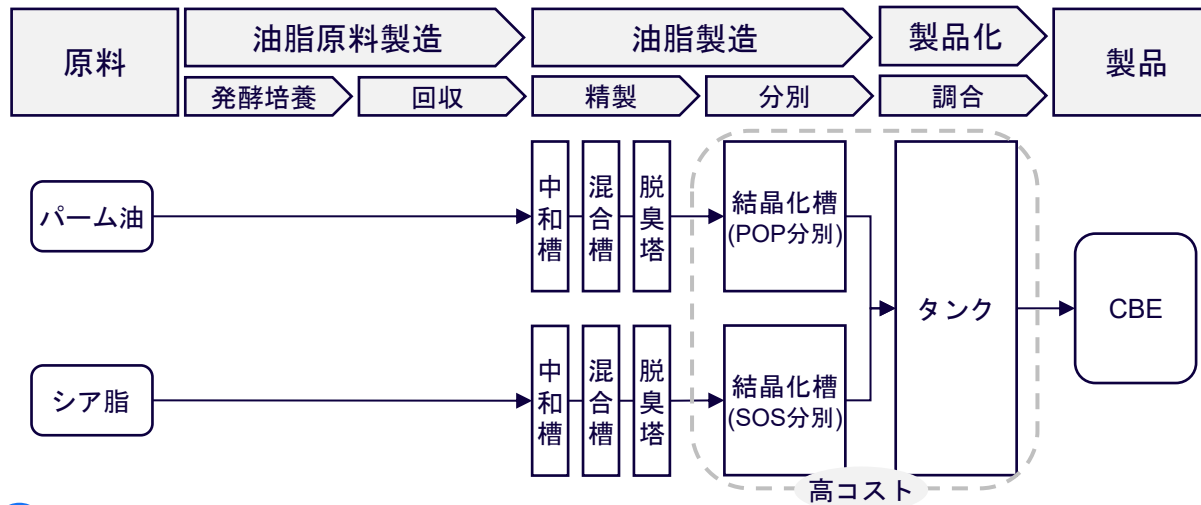
短期的にはカカオ脂のCBE代替とパルミトリン酸製造 中長期的にはバターやγリノレン酸への展開が有望か

勝ち筋方向性

着目製品		短期（～2030年）	中長期（～2040年）
カカオ脂		原料希少性かつ高価格で、構造的にもバイオものづくりが活かせる CBEの代替 を狙う	更に生産面積拡大抑制規制が強化されれば、より需要が増加するため、生産量拡大の開発が重要
バター		市場ニーズが小さく技術確立も不十分であるため、将来動向を睨みつつ技術開発推進	多様性尊重対応で、構造的にバイオものづくりが活かせるショートニングが有望か
こめ油		市場ニーズがほとんど見られず、こめ油自体も低価格であるため優先度は劣後	技術開発が進展しこめ油の機能性成分を低コストで代替可能であれば参入検討余地有
オレイン酸		パーム油の供給不安定性ニーズ対応で、化粧品向けの製品開発を狙う	左記に加え、石油製品代替向けの環境負荷低減効果向上のための開発が重要 (LCA)
パルミトリン酸		原料希少性かつ高価格で、 バイオものづくりで低コスト化が見込める ため、ニーズの高い高級化粧品やサブリ向けを狙う	(左記の継続・拡大)
リノレン酸	γリノレン酸	高価だが、天然由来製品に対し濃度が課題で、濃度向上に向けた開発により、高級化粧品やサブリ向けを狙う（モルティエレラ油等）	(左記の継続・拡大)
	αリノレン酸	市場ニーズがほとんど見られず、αリノレン酸自体も低価格であるため優先度は劣後	(左記同様)

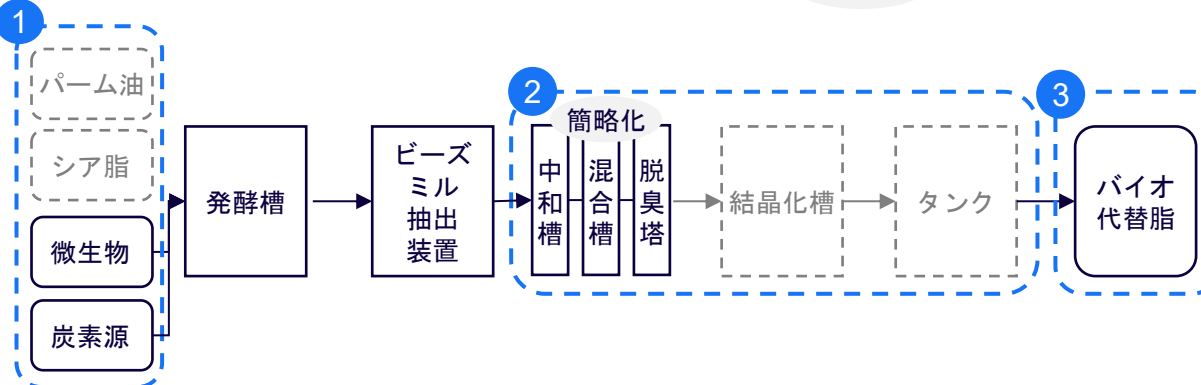
価格高騰・供給リスクの回避と高コスト工程の削減が可能で優位であり、プロセスの確立によるコスト低減が重要

カカオ脂 - CBE製造プロセス



従来
プロセス

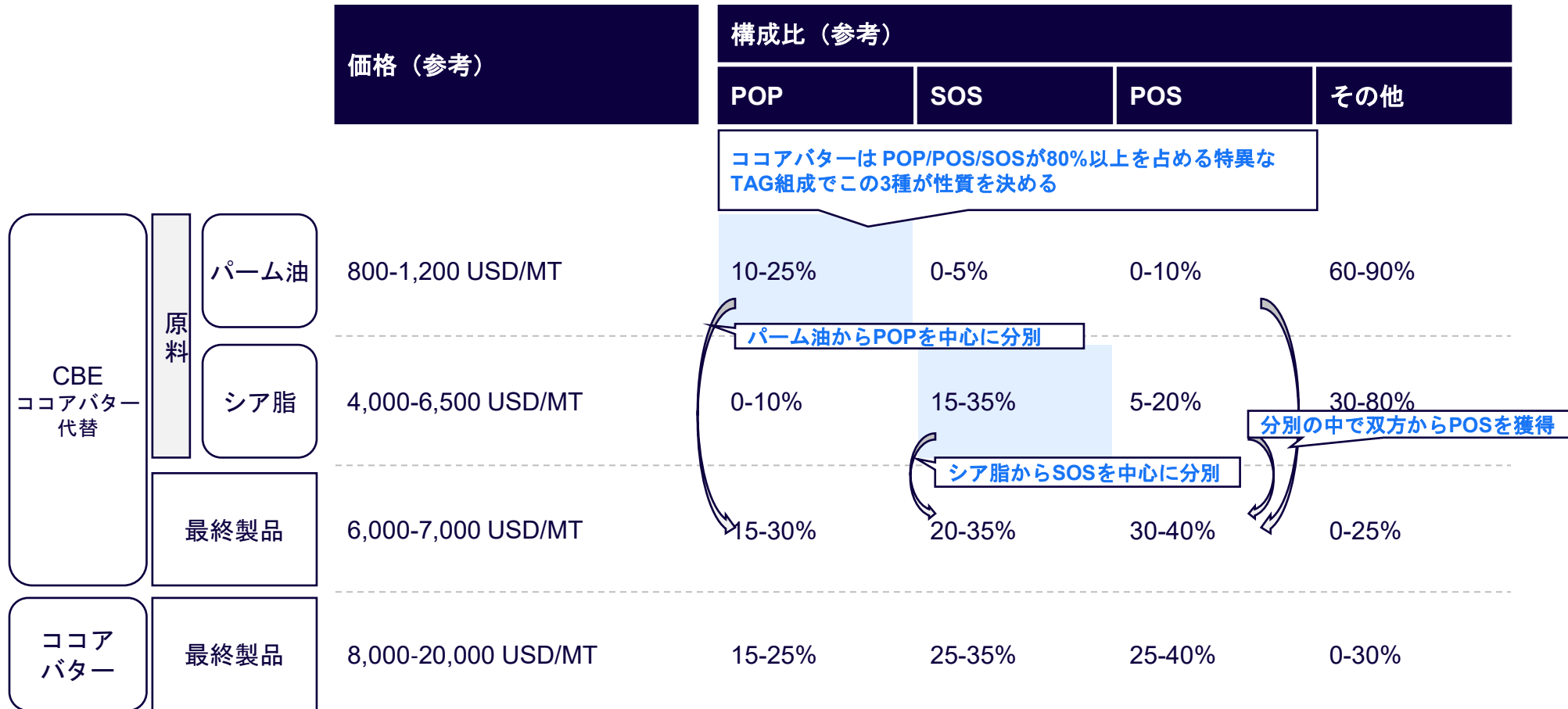
バイオ
もの
づくり
プロセス



バイオものづくりによる変化点

- 1 価格高騰・供給不足リスクの回避が可能
 - ・ 異常気象、病害虫、産地の政治状況の影響を受けず、原料調達が可能
- 2 高コストな分別・調合工程の削減が可能
 - ・ 微生物の遺伝子設計により、脂肪酸比率を最適化することで将来的に工程の削減が可能
- 3 より高級な化粧品用途への展開が可能
 - ・ CBEより高機能な脂を製造することで、CBEの高価格用途を代替可能

パーム油等汎用油脂にはSOSが少ないため、一般的にCBEはパーム油からPOP、高価なシア脂からSOSを分別し生産



出所：

パーム油価格は、財務省通関統計

CBEの価格は日本植物油会website、不二製油website、Vesper website

CBの価格は、IMARC、Tridge

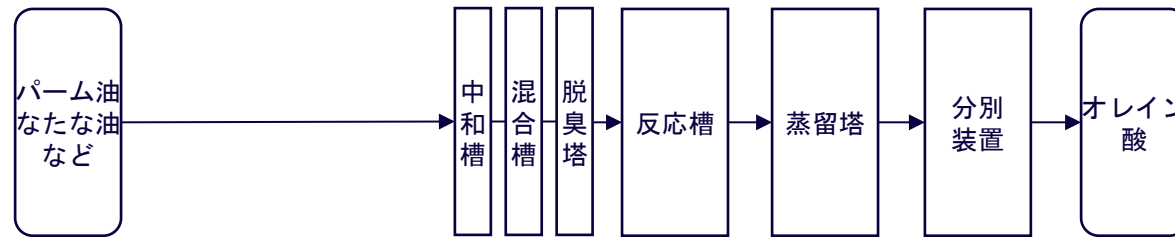
シア脂の価格はTRIDGE websiteよりADL作成

バイオものづくりにより、高コストな工程削減が期待できるものの、原料の パーム油が非常に安価なため、コストメリットは小さいか

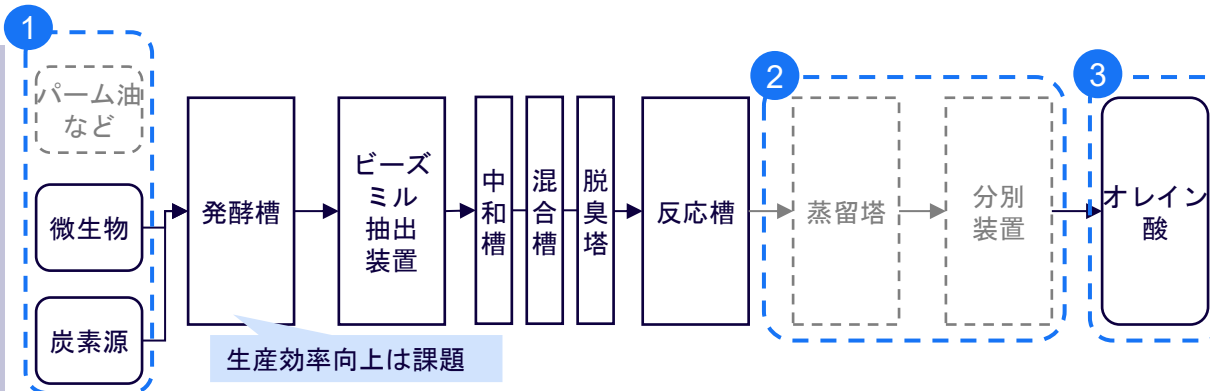
オレイン酸製造プロセス



従来
プロセス



バイオ
もの
づくり
プロセス



バイオものづくりによる変化点

- 1 価格高騰・供給不足リスクの回避が可能
 - 異常気象や環境規制の影響を受けずに、原料調達が可能
 - 一方でパーム油は非常に安価なため、コスト的に原料代替は厳しい
- 2 高コストな蒸留、分別工程の削減が可能
 - 微生物の遺伝子設計により、ステアリン酸やリノレン酸の含有量を削減することで将来的に工程の削減が可能
- 3 高級化粧品、サプリ向けにバイオ代替が可能
 - オレイン酸の濃度向上、不純物除去により、高価格製品向けのバイオ代替が可能

*油脂(トリグリセリド)製造では不要

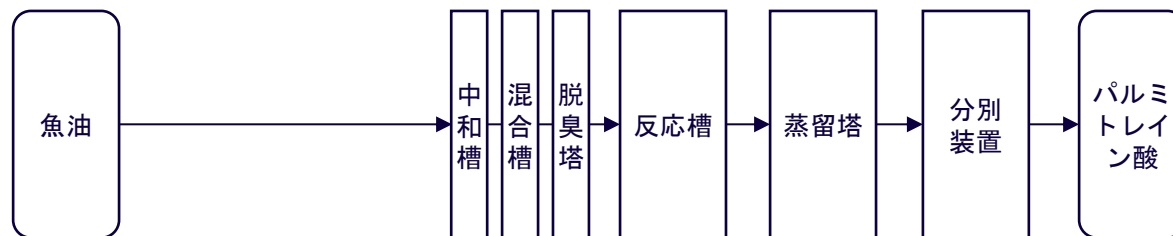
出所：経済産業省「バイオものづくり」関連資料、NEDO website、Checkerspot website、C16 Biosciences website、各種公開情報、エキスパートコメントよりADL作成

蒸留や分別といった高コスト工程の削減が可能な点で優位であり、プロセスの確立によりコスト低減が図れば優位になり得るか

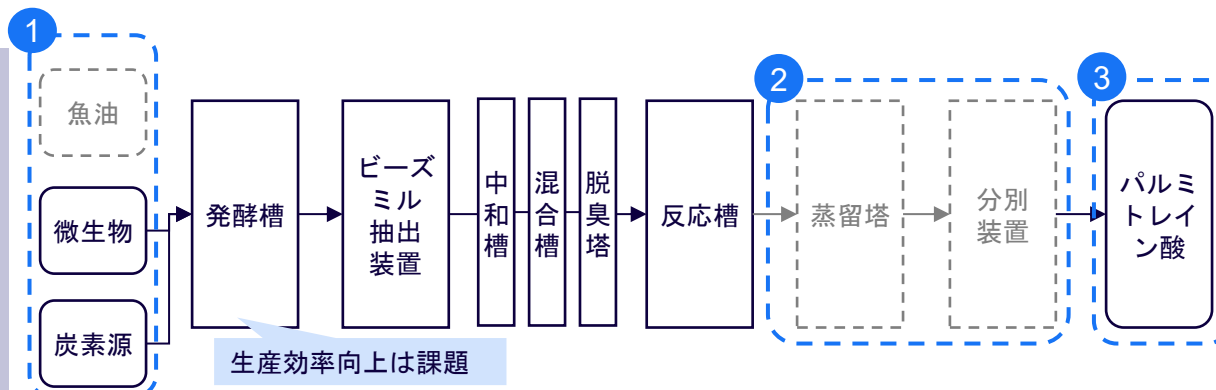
パルミトレイン酸製造プロセス



従来
プロセス



バイオ
もの
づくり
プロセス



バイオものづくりによる変化点

- 1 価格高騰・供給不足リスクの回避が可能
 - ・ 異常気象や漁獲量の影響を受けずに、原料調達が可能

- 2 高コストな蒸留、分別工程の削減が可能
 - ・ 微生物の遺伝子設計により、パルミチン酸の含有量を削減することで将来的に工程の削減が可能

- 3 高級化粧品、サプリ向けにバイオ代替が可能
 - ・ パルミトレイン酸の濃度向上、不純物除去により、高価格製品向けのバイオ代替が可能

*油脂(トリグリセリド)製造では不要

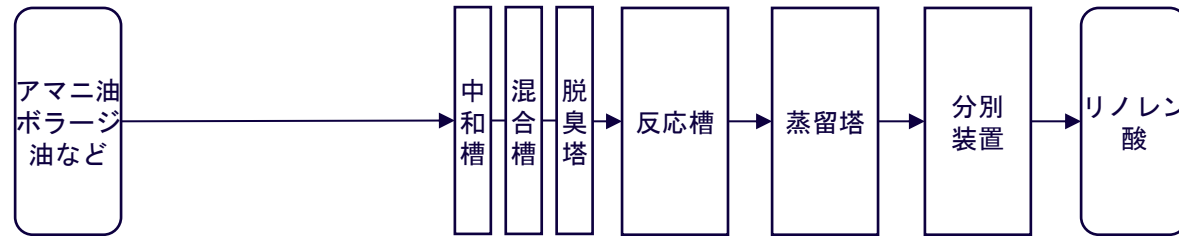
出所：Journal of Oleo Science、Checkerspot website、Corbion website、C16 Biosciences website、各種公開情報、エキスパートコメントよりADL作成

蒸留や分別といった高コスト工程の削減が可能な点で優位であり、プロセスの確立によりコスト低減が図れば優位になり得るか

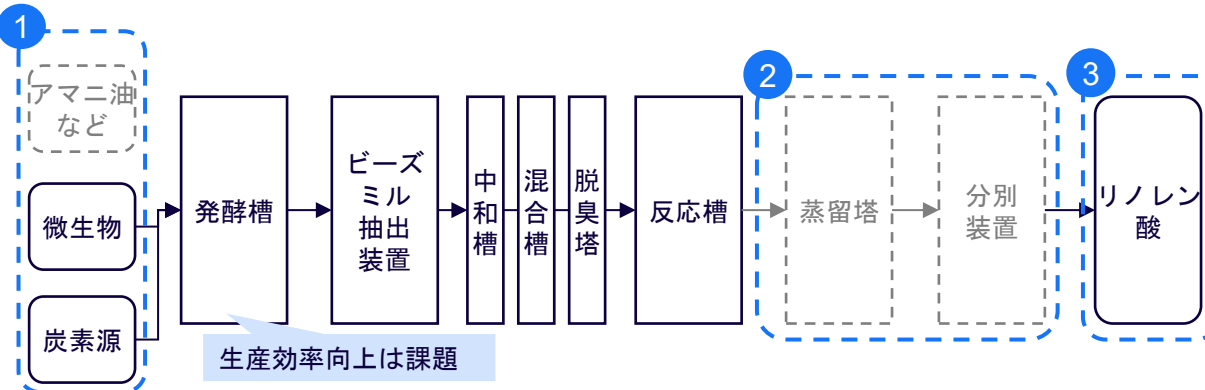
リノレン酸製造プロセス



従来
プロセス



バイオ
もの
づくり
プロセス



バイオものづくりによる変化点

- 1 価格高騰・供給不足リスクの回避が可能
 - ・ 異常気象や環境規制の影響を受けずに、原料調達が可能
- 2 高コストな蒸留、分別工程の削減が可能
 - ・ 微生物の遺伝子設計により、ステアリン酸やリノレン酸の含有量を削減することで将来的に工程の削減が可能
- 3 高級化粧品、サプリー向けにバイオ代替が可能
 - ・ リノレン酸の濃度向上、不純物除去により、高価格製品向けのバイオ代替が可能

*油脂(トリグリセリド)製造では不要

出所：Frontiers in Bioengineering and Biotechnology、ResearchGate website、JAOCS「High-Purity γ -Linolenic Acid from Borage Oil Fatty Acid」、各種公開情報、エキスパートコメントよりADL作成

食用/非食用油脂における バイオものづくり有望領域

提供価値を大きく3つに分けて、各1点で換算

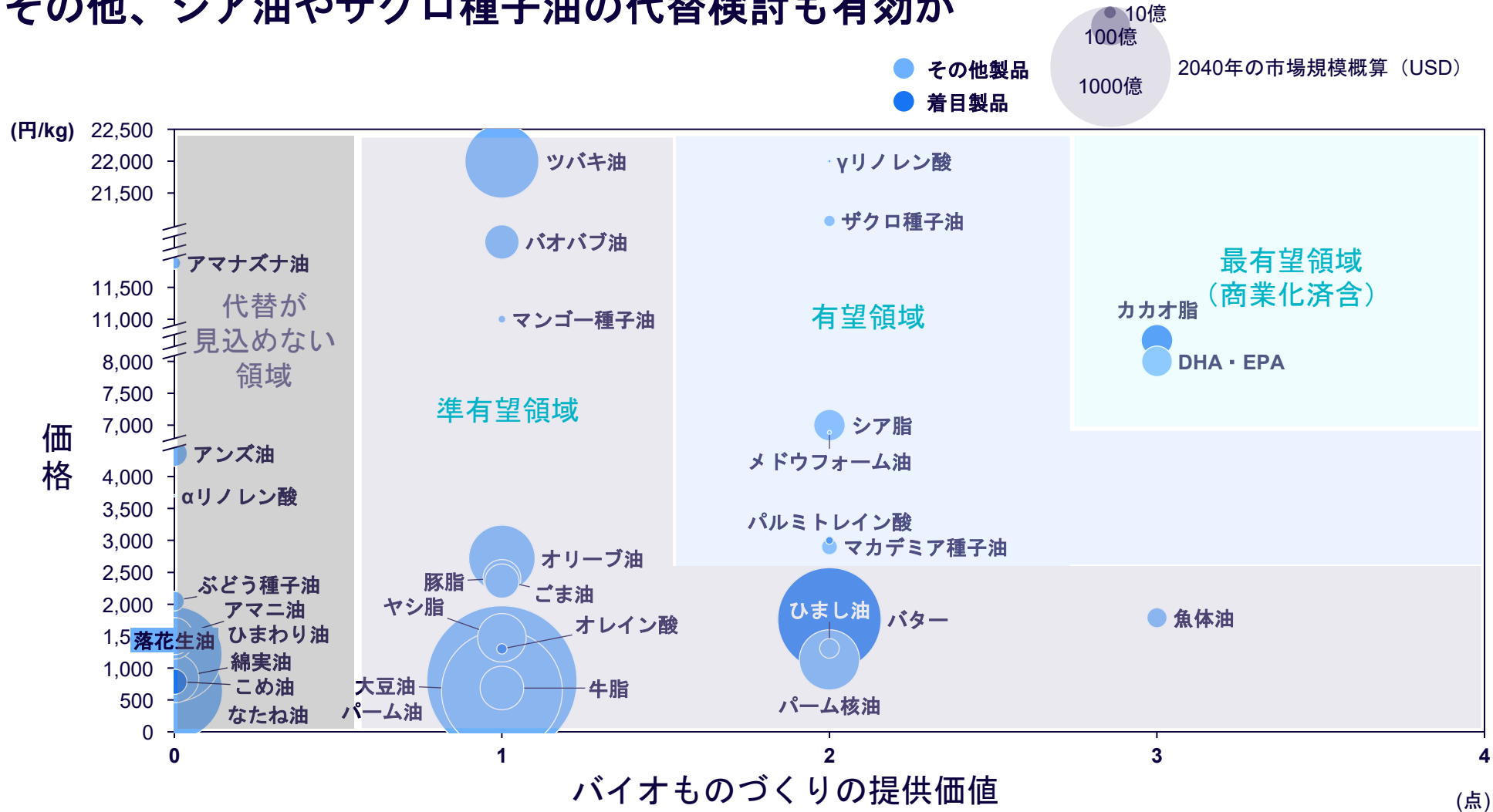
提供価値の点数付け

提供価値	価値概要	点数	代替対象の油脂への加点条件	
1 新規機能の 創出・機能向上	<ul style="list-style-type: none"> バイオものづくりのプロセス以外で生産が困難であり、高い機能の付加が可能な物質を提供 	1点	<ul style="list-style-type: none"> 汎用油脂では訴求されない構造（脂肪酸/TAG/構造設計）があり、かつ採用理由（性能・用途）がその構造に直結する油脂 	
2 既存素材の コスト削減	<ul style="list-style-type: none"> 反応ステップ数が多い、生産性や収率が低い等の理由で、既存製法ではコストが非常に高い物質を提供 	1点	<ul style="list-style-type: none"> 供給量/価格ボラ/地理集中/規制などで、既存サプライチェーンに問題がある油脂 	
サステナビリティ 貢献	3 原料調達・ 製造に伴う 負荷低減	1点* (3つのうち 2つ以上)	<ul style="list-style-type: none"> 調達・製造において環境負荷が問題視されている油脂 <ul style="list-style-type: none"> GHG排出、土地利用変化（LUC）・森林破壊等 アクセシビリティや安全面から避けたい理由が存在している油脂 <ul style="list-style-type: none"> ヴィーガン・宗教・アレルゲン・臭い・汚染懸念等 生態系負荷が問題視されている油脂 	
	4 製品使用に 伴う 負荷低減			<ul style="list-style-type: none"> 製品使用に伴う人体への負荷や、製品使用後の環境負荷をもたらす有害物質を代替する物質を提供
	5 生物多様性 保護			<ul style="list-style-type: none"> 環境問題や密猟等に伴う生物の絶滅リスクの回避や動物福祉の向上に貢献する物質を提供

バイオものづくりには5つの提供価値があり、食用・非食用油脂においては機能・コスト、燃料用においてはサステナビリティ面での価値提供が重要

提供価値	概要
<p>1 新規機能の創出・機能向上</p>	<ul style="list-style-type: none"> • バイオものづくりのプロセス以外で生産が困難であり、高い機能の付加が可能な物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - バイオ医薬品は、既存の医薬品では治療が困難だった疾患に対する高い治療効果が期待されている
<p>2 既存素材のコスト削減</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 反応ステップ数が多い、生産性や収率が低い等の理由で、既存製法ではコストが非常に高い物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - HMO等、既存の化学合成では工程が複雑で低収率・高コストだったが、バイオものづくりの導入により工程が簡素化し、高収率・低コストを実現することで大量生産が可能になる物質が期待されている
<p>サステナビリティ貢献</p> <p>3 原料調達・製造に伴う負荷低減</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 製品の原料を調達、または製造する際の環境負荷を低減する物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - パリ協定を筆頭に各規制の影響で、原料調達・製造に伴う負荷の低減が求められており、バイオ由来タイヤ等、原料のサステナブル化や製造時のCFP等の環境負荷の低減が可能な物質が期待されている
<p>4 製品使用に伴う負荷低減</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 製品使用に伴う人体への負荷や、製品使用後の環境負荷をもたらす有害物質を代替する物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - REACHを筆頭に各規制の影響で、製品使用に伴う人体への負荷や、製品使用後の環境負荷の低減が求められており、バイオ由来香料等、有害物質を代替する物質が期待されている
<p>5 生物多様性保護</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 環境問題や密猟等に伴う生物の絶滅リスクの回避や動物福祉の向上に貢献する物質を提供 <ul style="list-style-type: none"> - 昆明・モンリオール生物多様性枠組を筆頭とする各規制や、WWFによる生物保護対策の影響で、タンパク質繊維等、生物の絶滅リスクを回避したり、動物福祉を向上させる物質が期待されている（ここでは、アニマルフリー、ヴィーガンフリーも含む）

着目製品のうち、カカオ脂やリノレン酸は特に有望な油脂/脂肪酸とみられる その他、シア油やザクロ種子油の代替検討も有効か



注釈：脂肪酸の市場規模はB2B原料（濃縮物・抽出物等）に限定。最終製品の小売市場は原則除外
出所：各種レポート・二次情報からADL作成

植物油の用途は主に食用であり、特有の風味や高い耐熱性を活かしてドレッシングや揚げ油に利用されている

由来	最有望領域 有望領域 油脂	◎：主用途 ○：副用途 主要脂肪酸	食用			非食用			単価(円/kg)
			主/副	用途	特徴	主/副	用途	特徴	
種子油	大豆油	リノール酸	◎	・ 揚げ油 ・ マヨネーズ	・ 高い耐熱性	○	・ 塗料 ・ バイオ燃料	・ 高い透明性	641
	落花生油	オレイン酸	◎	・ 揚げ油 ・ 調味油	・ ナッツ香 ・ 高い発煙点	○	・ 化粧品 ・ 石鹼	・ エモリエント性※	1,440
	なたね油	オレイン酸	◎	・ 食用油全般 ・ マヨネーズ	・ 特有の風味	○	・ 潤滑油 ・ バイオ燃料	・ 高い生分解性	641
	綿実油	リノール酸	◎	・ ショートニング	・ 高い耐熱性	○	・ 石鹼 ・ 化粧品	・ エモリエント性	838
	ひまわり油	リノール酸	◎	・ 揚げ油	・ 高い耐熱性	○	・ 塗料 ・ バイオ燃料	・ 高い乾燥性	1,215
	ごま油	オレイン酸	◎	・ 調味油	・ 特有の風味 ・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品 ・ 医薬品	・ 高い抗酸化性	2,363
	ひまし油	リシノール酸	—	—	—	◎	・ 可塑剤 ・ 潤滑油	・ 高粘度	1,308
	アマニ油	αリノレン酸	○	・ ドレッシング	・ 高い栄養価	◎	・ ニス ・ 塗料	・ 高い硬化性	1,500
果実油	オリーブ油	オレイン酸	◎	・ 調味油	・ 特有の風味 ・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品 ・ 石鹼	・ エモリエント性	2,720
核油	アンズ油	オレイン酸	○	・ ドレッシング	・ 甘い風味	◎	・ 化粧品 ・ 医薬品	・ エモリエント性	4,363
胚芽油	コーン油	リノール酸	◎	・ 揚げ油 ・ マーガリン	・ 高い耐熱性	○	・ 潤滑油	・ 高い抗酸化性	N/A
ぬか油	こめ油	オレイン酸	◎	・ 揚げ油	・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品	・ エモリエント性	785

※エモリエント性：皮膚にある適度な油分と水分を保持したまま潤いを維持し、肌を柔らかく保つ作用

出所：USDA「Oilseeds:World Markets and Trade」、サミット製油website、化粧品成分オンラインwebseite、あぶら屋ヤマケイ website、各種公開情報をもとにADL作成

植物油の中でも種子・果実脂は主に食用向けに使用される。核脂は化粧品用途が主

由来	油脂	主要脂肪酸	食用			非食用			単価(円/kg)
			主/副	用途	特徴	主/副	用途	特徴	
種子脂	カカオ脂	オレイン酸	◎	・ チョコレート	・ 良好なくちどけ	○	・ 化粧品	・ 特有の香り	9,072
	シア脂	オレイン酸	◎	・ 食用脂全般 ・ 菓子脂	・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品	・ エモリエント性※	6,907
果実油	パーム油	パルミチン酸	◎	・ 食用油全般 ・ マーガリン	・ 高い耐熱性	○	・ 石鹼	・ 高い可塑性	799
核脂	パーム核油	ラウリン酸	○	・ 菓子脂	・ 良好なくちどけ	◎	・ 石鹼 ・ 界面活性剤	・ 高い発泡性	1,127
	ヤシ脂	ラウリン酸	○	・ 揚げ油 ・ 製菓脂	・ 良好なくちどけ	◎	・ 石鹼 ・ 界面活性剤	・ 高い発泡性	1,474
	ババス脂	ラウリン酸	○	・ 菓子脂	・ 特有の香り ・ 高い抗酸化性	◎	・ 化粧品 ・ 医薬品	・ 高い抗酸化性	N/A

※エモリエント性：皮膚にある適度な油分と水分を保持したまま潤いを維持し、肌を柔らかく保つ作用

出所：USDA「Oilseeds:World Markets and Trade」、サミット製油website、化粧品成分オンラインwebsite、あぶら屋ヤマケイ website、各種公開情報をもとにADL作成

動物油は栄養価の高さからサプリや飼料に利用されている。動物脂は食用油全般と石鹼への利用が主

油/脂	由来	最有望領域	◎：主用途 ○：副用途	食用			非食用			単価(円/kg)
		有望領域		主/副	用途	特徴	主/副	用途	特徴	
動物油	体油	魚体油	EPA、DHA	○	・ サプリ ・ 缶詰油	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 飼料	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	1,788
		海獣油	オレイン酸	○	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 潤滑油	・ 低温状態での 高い流動性	N/A
	肝油	魚肝油	EPA、DPA	◎	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	○	・ 飼料	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	N/A
動物脂	体脂	牛脂	オレイン酸	○	・ 揚げ油 ・ 製菓脂	・ 高い耐熱性 ・ 特有の風味	◎	・ 石鹼 ・ バイオ燃料	・ 高い抗酸化性	687
		豚脂	オレイン酸	◎	・ 揚げ油 ・ 製菓脂	・ 特有の風味	○	・ 石鹼 ・ 化粧品	・ 高い流動性	2,404
		家禽脂	オレイン酸	◎	・ 調味油	・ 良好なくちどけ	○	・ 飼料	・ 低温状態での 高い柔軟性	N/A
		羊脂	オレイン酸	○	・ 調味油	・ 特有の風味	◎	・ 石鹼	・ 高い融点	N/A
		山羊脂	オレイン酸	○	・ 調味油	・ 特有の風味	◎	・ 石鹼	・ 高い融点	N/A
	乳脂	乳脂 (牛など)	パルミチン酸	◎	・ バター	・ 特有の風味 ・ 高い可塑性	○	・ 化粧品	・ 特有の香り	1,763

種子由来の植物油の多くは化粧品向けだが、中にはチョコ用脂やサプリ向け用途がみられる

由来	最有望領域 有望領域 油脂	◎：主用途 ○：副用途 主要脂肪酸	食用			非食用			単価(円/kg)
			主/副	用途	特徴	主/副	用途	特徴	
種子油	ツバキ油	オレイン酸	○	・ ドレッシング	・ 高い抗酸化性	◎	・ シャンプー ・ スキンケア	・ 高い浸透性	22,000
	サフラワー油	リノール酸	◎	・ 揚げ油 ・ マヨネーズ	・ 特有の風味	○	・ 塗料	・ 高い硬化性	N/A
	バオバブ油	オレイン酸	○	・ 調味油	・ 温和な風味	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性※	19,800
	メドウフォーム油	エイコセン酸	○	・ ドレッシング	・ 高い抗酸化性	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性	6,886
	マンゴー種子油	オレイン酸	◎	・ チョコ用脂	・ 良好なくちどけ	○	・ 化粧品	・ 高い可塑性	11,000
	ぶどう種子油	リノール酸	◎	・ ドレッシング	・ 高い抗酸化性	○	・ 化粧品	・ エモリエント性	2,049
	サジー油	αリノレン酸	◎	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	○	・ 化粧品	・ エモリエント性	92,340
	アマナズナ油	αリノレン酸	○	・ ドレッシング	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 潤滑油	・ 低温状態での高い流動性	11,880
	ザクロ種子油	プニカ酸	○	・ サプリ	・ 高い栄養価 (プニカ酸)	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性	21,064
	クランベリー種子油	リノール酸	○	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性	N/A
	ボラージ油	リノール酸	○	・ サプリ	・ 高い栄養価 (必須脂肪酸)	◎	・ 化粧品	・ エモリエント性	N/A
	マカデミア種子油	オレイン酸 パルミトレン酸	◎	・ 菓子脂	・ 特有の風味	○	・ 化粧品	・ エモリエント性	2,953

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

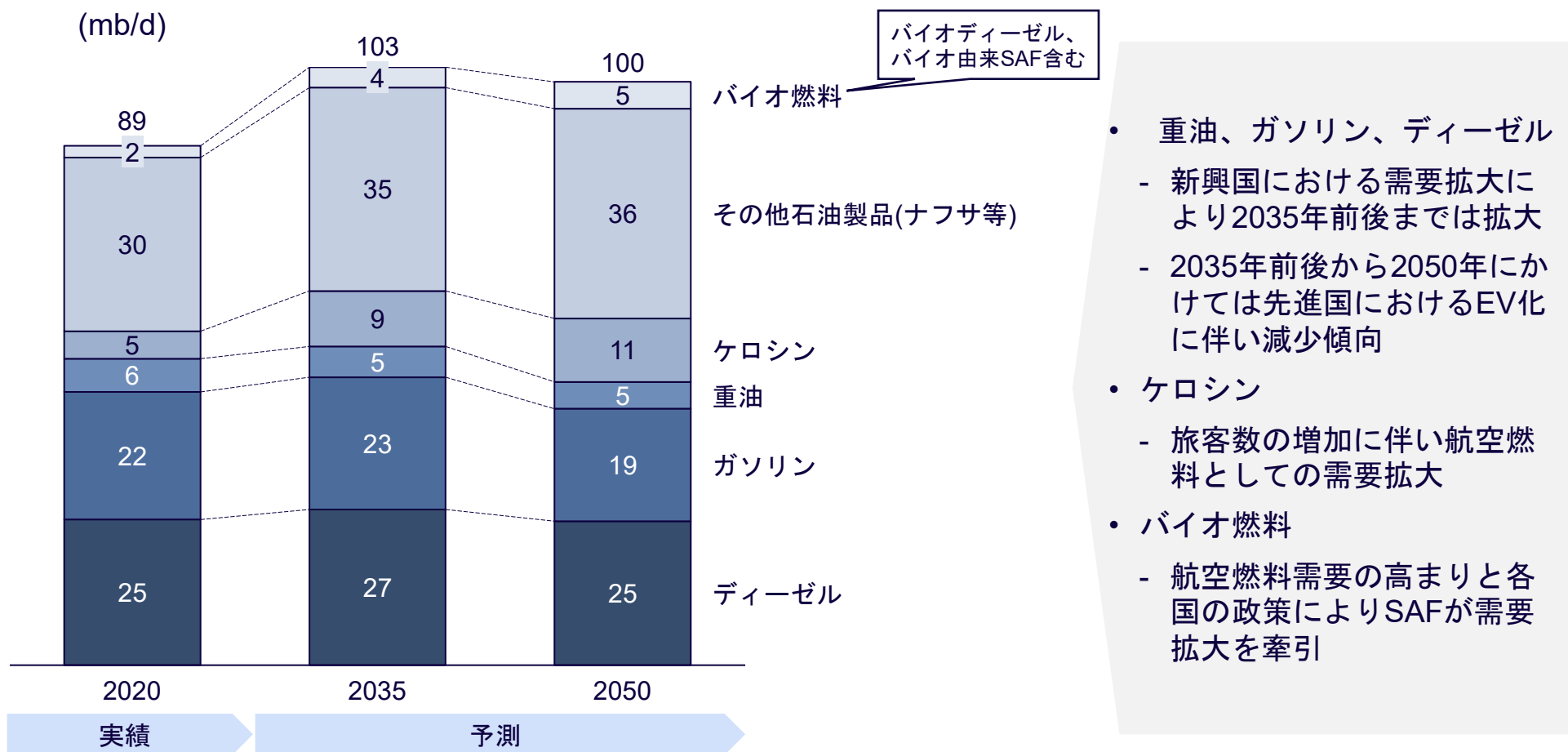
標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料概要

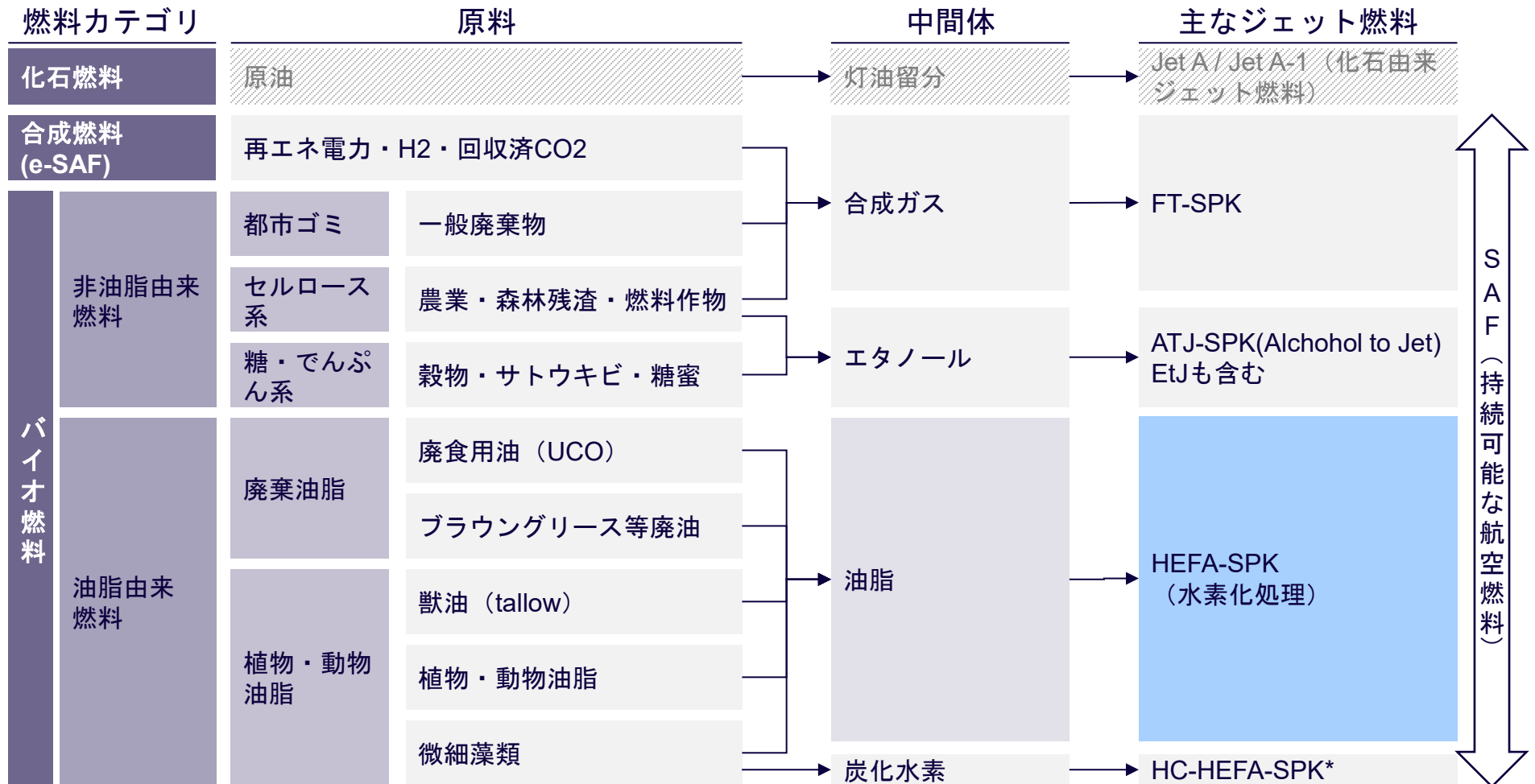
重油・ガソリンの需要は減少傾向にあるものの、ケロシンやバイオ燃料は航空燃料需要の高まりに伴い需要が拡大

世界における石油・バイオ燃料の需要予測(STEPS※)



本件でフォーカスする油脂由来のHEFA以外にエタノール由来のATJ、合成ガス由来のFT合成が有望

本件における着目油脂



注釈：HC-HEFA は主に特殊な藻類 Botryococcus braunii が分泌する藻油(炭化水素)を水素化处理しバイオジェット燃料化する技術。改質技術自体はHEFAと同一出所：(公財)航空機国際共同開発促進基金、IATA WebサイトよりADL作成

HEFA、ATJ、FT合成は商用化が進んでおり、原材料は基本的に異なる

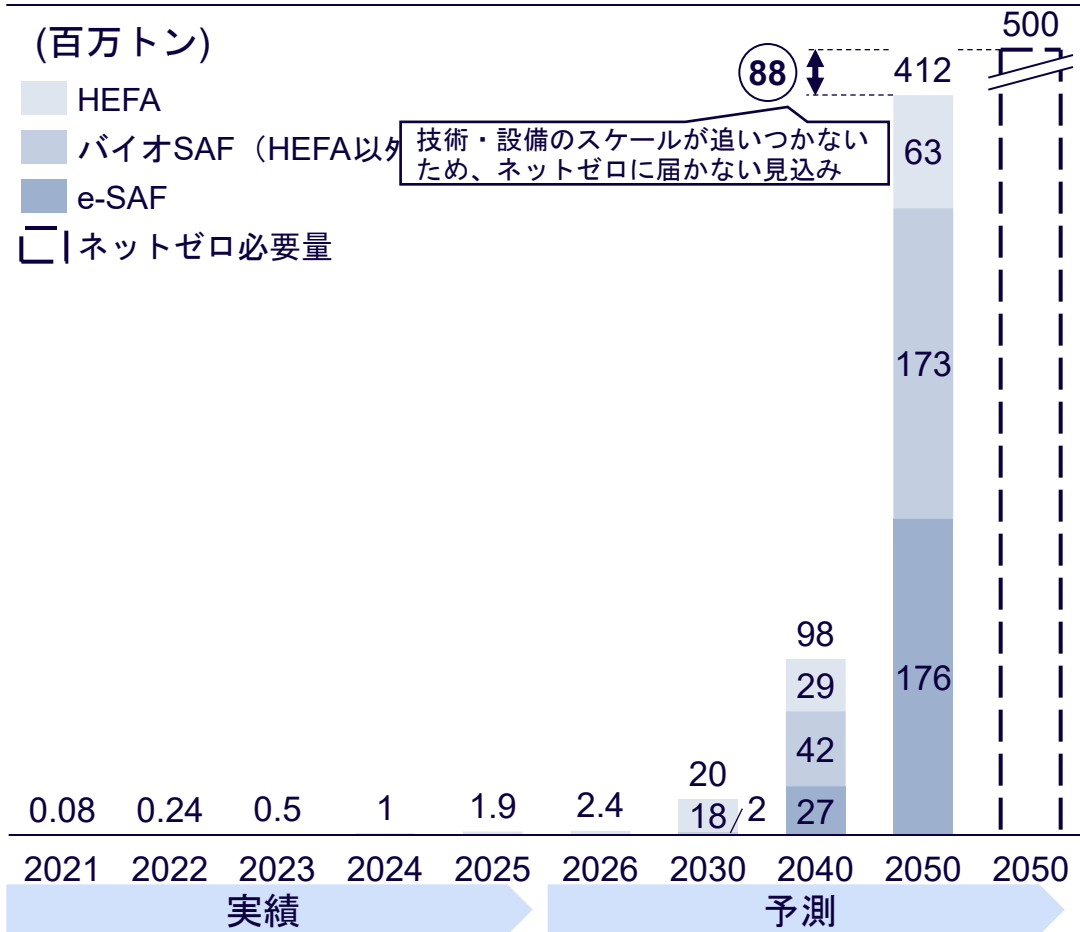
プロセス		プロセス概要	原材料	開発段階	認証
注目の高SAF	油脂由来	HEFA Hydroprocessed Esters Fatty Acids <ul style="list-style-type: none"> 廃食油や植物油を水素化処理および脱酸素化して製造 	植物油・藻類油・獣脂・廃食油などの油脂	大規模商用化	Annex2 (混合上限50%)
	非油脂由来	ATJ Alcohol to Jet <ul style="list-style-type: none"> アルコールをエチレンなどに脱水し重合することにより製造 糖・でんぷん、セルロース系の原料を発酵し、エタノール等アルコールを入手 	エタノール/イソブタノール (糖/デンプン/セルロース由来など)	商用化	Annex 5 (混合上限50%)
	非油脂由来	FT Fischer Tropsch <ul style="list-style-type: none"> 有機物を“合成ガス (CO+H₂) ”にしてから、FT合成で炭化水素を製造 木質・農林残渣などのバイオマスや都市ごみ (MSW)、回収したCO₂+再エネH₂を使用 - 再生可能エネルギーを用いるものはPtLと呼ぶ 	合成ガス化できる炭素資源 (バイオマス/廃棄物回収したCO ₂)	商用化	Annex 1 (混合上限50%)
(参考)	油脂由来	CHJ Catalytic Hydrothermolysis Jet <ul style="list-style-type: none"> 廃食油や植物油を超臨界水熱分解による不飽和脂肪酸の環化反応後、水素化処理および脱酸素化することで製造 	生物系油脂	実証中	Annex 6 (混合上限50%)

HEFAはNesteやTotal Energiesなど複数プレイヤーで大規模商業が進み、ATJやFT合成は近年商業生産が開始している

	プロセス	プレイヤー	国	原材料	開発段階	動向	
注目度の高いSAF	油脂由来	HEFA Hydroprocessed Esters Fatty Acids	Neste	Finland	廃食油・動物性脂肪などの廃棄物/残渣	大規模商業	<ul style="list-style-type: none"> 現在、SAFの生産能力は150万t/年 2027年完了予定の投資で、年間SAF能力が220万tに達する見込み
		Total Energies	France	UCO/動物脂等	大規模商業	<ul style="list-style-type: none"> 2028年にSAF 50万t規模を目指す(HEFA+Co-processing) The Grandpuits biorefinery (HEFA) の生産能力は2026年に23万tに拡大予定 	
		Eni	Italy	廃食油・動物脂・植物油加工副産物	大規模商業	<ul style="list-style-type: none"> 2026年までにSAF生産の選択肢を年間100万トンに拡大、さらに2030年までに生産量を倍増させる可能性 年間40万tの生産能力を持つプラントがシチリアで稼働開始 	
	非油脂由来	ATJ Alcohol to Jet	LanzaJet	US	低炭素エタノール	商業生産開始	<ul style="list-style-type: none"> 2025年にAtJを採用したSAFの商業レベルでの生産を初めて行った。年間1000万ガロンのSAFまたはRenewables Dieselを生産可能
		Gevo	US	トウモロコシ	商業化準備中	<ul style="list-style-type: none"> 年間3,000万ガロンの低コストジェット燃料生産施設(ATJ-30)の建設を計画。一方、プロジェクト・ファイナンス等の問題により建設開始前 	
		FT Fischer Tropsch	DG Fuels	US	サトウキビ残渣などのバイオマス由来の合成ガス+ブルー水素	商業化準備中	<ul style="list-style-type: none"> ルイジアナ州セントジェームズ郡に一日当たり13,000バレルの生産能力、40億ドル規模のクリーンエネルギー複合施設の建設を提案中(2024年~)
		Infinium	US	廃CO ₂ +グリーンH ₂	商業生産	<ul style="list-style-type: none"> 2024年に商業生産が開始 世界最大のe燃料生産施設が2027年に稼働予定。年間23,000トン(約760万ガロン)の持続可能な航空燃料やその他のe燃料製品を生産予定 	
(参考)	油脂由来	CHJ Catalytic Hydrothermolysis Jet	Chevron Lummus ユーグレナ	US Japan	微細藻類ユーグレナ由来の油脂と使用済み食用油等	実証	<ul style="list-style-type: none"> Chevron Lummus Globalとユーグレナ、Applied Research Associatesが実証を行い、2020年にバイオジェット燃料の製造技術の国際規格を得たが、その後CHJにシフトする動きは見られない







航空業界が2050年にネットゼロを目指すにあたってSAFは必要不可欠であり、2035年まではHEFAを中心に市場が形成

SAFの生産量（世界）



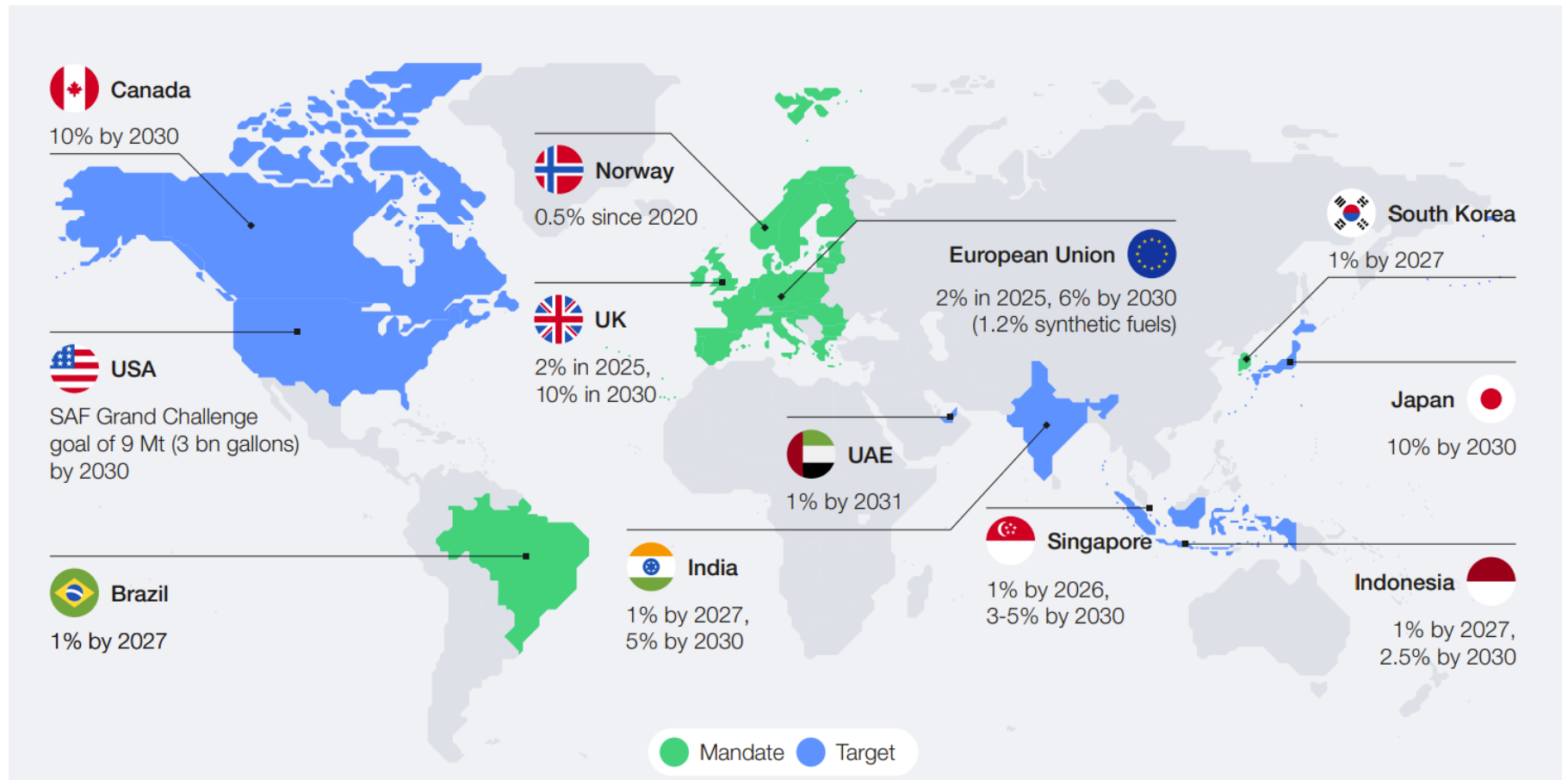
- SAFへの需要
 - 2050年にはネットゼロを目指すには5億トンが必要
 - 航空業界・政府の脱炭素政策（混合義務・支援策）に合わせる形で需要は増加
- SAFの生産
 - SAFの商業生産用プラントが技術確立済みのHEFAを中心に各国で建設中
 - HEFA以外の製法の実証・スケールアップが進む

2050年に向けては、ICAOのネットゼロ宣言や政府・地域の義務設定・支援策によりSAFは大きく成長する見込みだが、供給面で懸念有

市場変動要因		動向	市場成長への影響	
			2030年	2050年
需要	国際機関の目標	<ul style="list-style-type: none"> ICAO（国際民間航空機関）は、国際航空分野で2050年までのCO2排出ネットゼロを宣言 <ul style="list-style-type: none"> 2030年にCO₂を5%削減というグローバル中間目標を設定 世界経済フォーラムでは、世界のジェット燃料供給に占めるSAF比率を2030年に10%へ、というコミットメントに署名 		
	政府の義務・目標	<ul style="list-style-type: none"> 各国政府はEU、USを中心にSAFの利用を義務化・促進 <ul style="list-style-type: none"> EUでは域内空港で供給される航空燃料のSAF最低混合義務を段階導入 <ul style="list-style-type: none"> 2030年にはSAF 6%かつ合成燃料 1.2%。2050年にはSAF 70%かつ合成燃料 35% USでは国内SAF生産目標を2030年 30億ガロン/年、2050年 350億ガロン/年（国内需要の100%相当）を掲げる 		—
供給	原料供給	<ul style="list-style-type: none"> 未制約のバイオマスの潜在量は豊富だが、バイオエネルギー・燃料に回り得るのは35%未満であり、廃食油・植物油・廃棄物などは今後の急激な供給増が見込めない <ul style="list-style-type: none"> 微細藻類等新規原料やe-SAFに期待 		—
	技術開発	<ul style="list-style-type: none"> HEFAによるSAFが2030年段階では消費量の約90%を占めるが、今後はATJ、次いで合成燃料も技術確立見込み <ul style="list-style-type: none"> 一方で開発中技術の商用化と設備展開のペースが間に合わないため、2050年ネットゼロに向けてSAFの供給量が足りない見込み 		

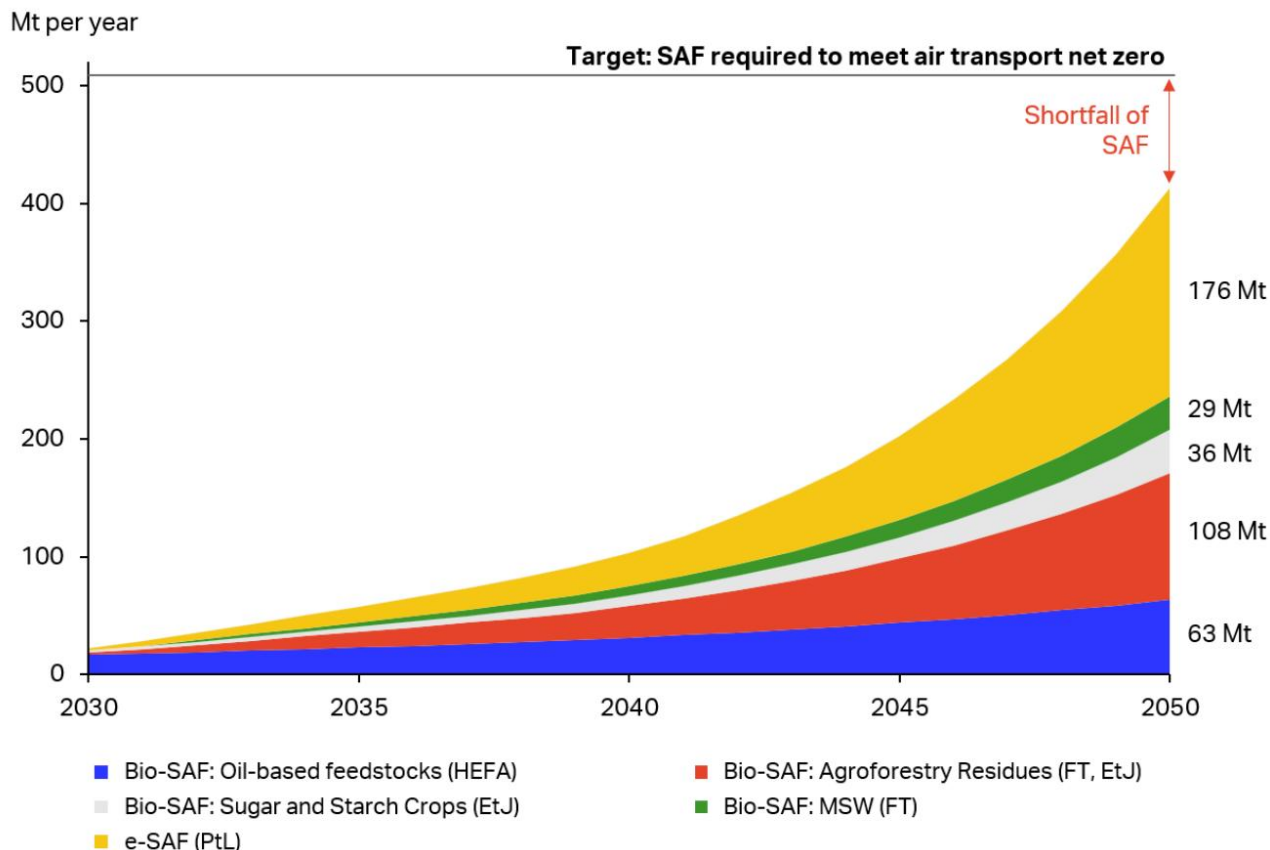
欧州諸国やブラジルではSAF混合を義務づけており、先進国の多くは目標として2030年前後のSAF導入を掲げている

国別SAF義務と目標(抜粋)



原料不足に加え、開発中技術の商用化と設備展開のペースが間に合わないため、2050年ネットゼロに向けてSAFの供給量が足りないと予測

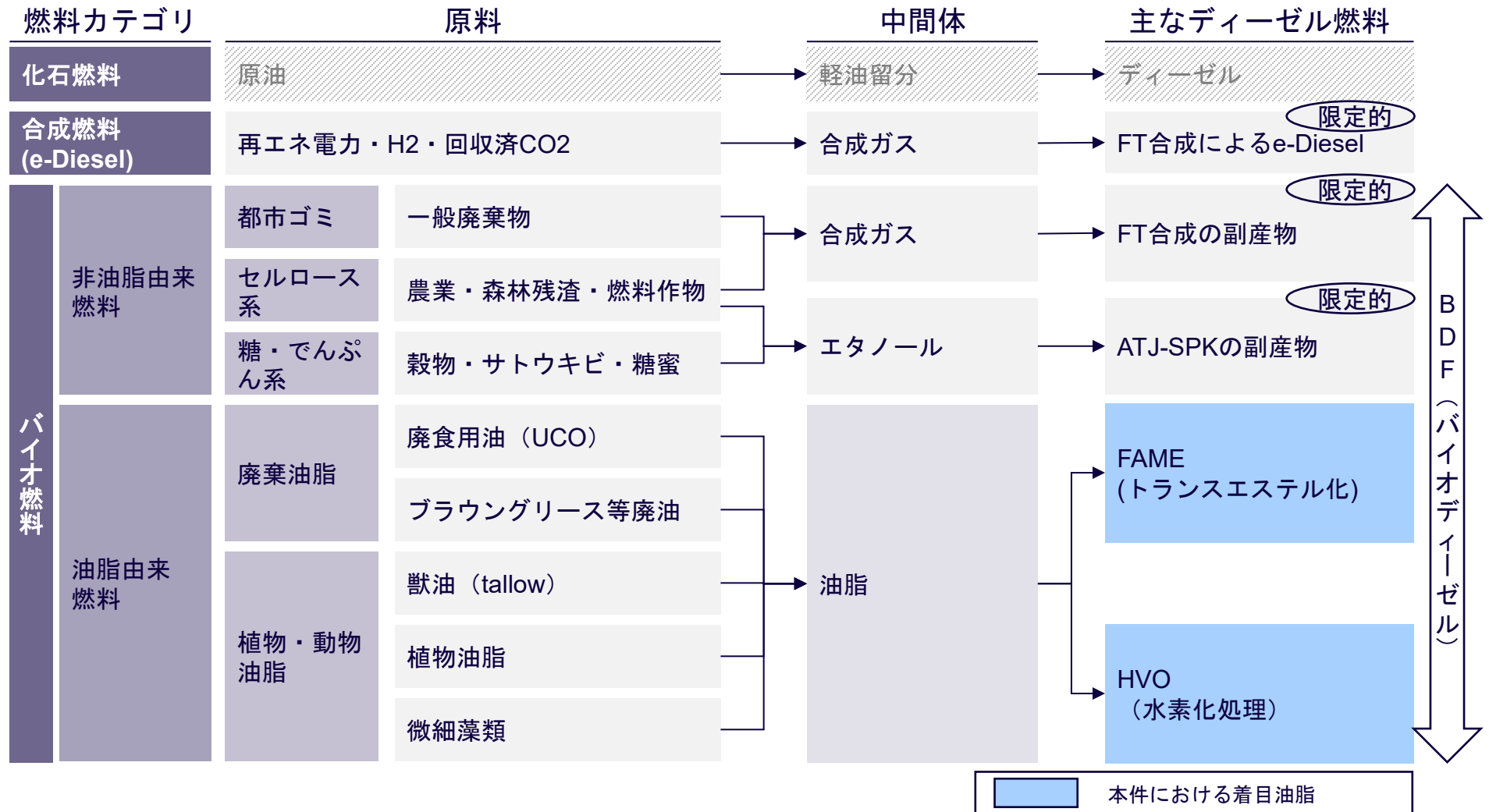
SAFの生産能力推移予想(2030年-2050年)



前提

- 原料の最大量と妥当な量
 - 2050年のバイオマスの量を置いて、理論上の最大値と予想の数値を算出
 - バイオマスの燃料原料としての利用は約35%と予想
- パイロット建設から商業化までのタイムライン
 - HEFA (油脂系) : N/A
 - MSW-FT (都市ごみ→FT) : 12年
 - スケールアップ課題・原料集荷の壁・案件キャンセル/遅延があるため
 - その他 : 10年
- 商業化後の市場成長
 - Bio-SAF : CAGR 15%
 - e-SAF : CAGR 20%

本件でフォーカスするバイオディーゼルとは、油脂由来燃料を水素化処理して得るHVO、もしくは、トランスエステル化して得るFAMEを主に指す



トランスエステル化によるFAMEは従来製造されていたが混合率に上限が存在するのに対し、近年製造開始した水素化処理によるHVOはディーゼル代替が可能

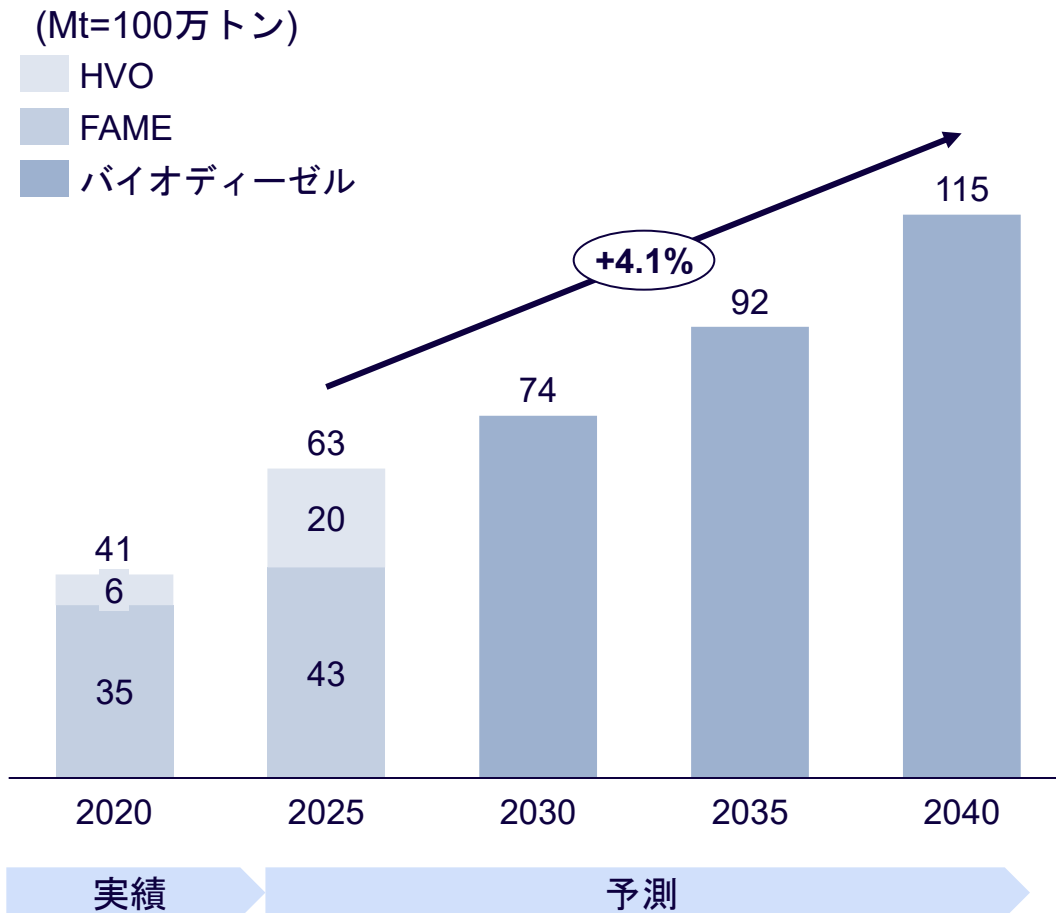
	プロセス	プロセス概要	原材料	開発段階	混合上限
従来	エステル交換反応 トランスエステル化 (FAMEを製造)	<ul style="list-style-type: none"> 狭義のバイオディーゼルでは、FAMEを指す 植物油や廃食油を原料としてメチルエステル化処理によってFAME (Fatty Acid Methyl Ester)を製造 廃食油等を原料として従来から日本各地で製造が行われており、高い脱炭素効果（廃食用油由来の場合軽油比約8割）を有し、コストはHVOより比較的安価だが、酸化しやすく、長期保管不可 	廃食油・植物油	大規模 商用化	5~20%で 混合上限を 各国設定
次世代	水素化処理 (HVOを製造)	<ul style="list-style-type: none"> HVOはRenewable Dieselと呼ばれることが多い 廃食油や植物油を水素化処理および脱酸素化してHVO (Hydrotreated Vegetable Oil)を製造 近年、製造・利用が開始 FAMEとは異なり、製造工程で酸素を除去するため、車両機器への影響を及ぼす物質が含まれておらず、長期保管も可能 炭化水素そのものであるため、軽油とほぼ同等の性状を有することから管理・取扱いが容易で高性能である一方、製造に係るコストはFAMEより高価 	廃食油・植物油	大規模 商用化	100%も可能

従来のFAMEは植物油等を原料に現地生産しているが、次世代のHVOは廃食油等を原料に生産拡大傾向にある

	プロセス	プレイヤー	国	原材料	開発段階	動向
従来	エステル交換反応 トランスエステル化 (FAME)	Wilmar	Singapore	パーム油	大規模商用化	<ul style="list-style-type: none"> インドネシアに4拠点もち、パーム油を原料に合計400万t以上の生産能力を持つ。世界的な需要が停滞してもインドネシア政府のB40バイオディーゼル義務化政策により引き続き支えられる見込み
		Louis Dreyfus Company	Netherlands	大豆、菜種、パーム油	大規模商用化	<ul style="list-style-type: none"> Louis Dreyfus Companyは、ドイツの菜種、アルゼンチン大豆、インドネシア（2拠点）のパーム油を原料として現地生産し、合計150万t以上の生産能力を持つ
次世代	水素化分解 (HVO)	Diamond Green Diesel	US	動物性廃脂・UCO・不可食コーンオイル等	大規模商用化	<ul style="list-style-type: none"> 主にリサイクルされた動物性脂肪、使用済み食用油、食用不可のコーン油を原料に2拠点(US)で年間12億ガロンの生産能力を持つ
		Phillips 66	US	廃油・油脂・グリース・植物油	大規模商用化	<ul style="list-style-type: none"> Phillips 66は、使用済み食用油(UCO)、動物性脂肪・廃油脂・植物油を原料としており、今後、SAFも含めて1拠点(US)で約50,000バレル/日(8億ガロン)に引き上げ
		Neste	Finland	UCO、動物性廃脂、植物油加工の廃棄物	大規模商用化	<ul style="list-style-type: none"> Nesteは使用済み食用油(UCO)、動物性脂肪の廃棄物、植物油加工の廃棄物・残渣を原料にSAFも含めて4拠点(オランダやシンガポール等)で550万tの生産能力を持つ。2024年には、HVO320万t、SAF40万tを売り上げる







バイオディーゼルの生産量はHVOを中心に拡大するが、原料に対する制約や規制、EV化による輸送燃料需要停滞により成長は停滞すると推測

BDFの生産量（世界）



- 全体
 - 先導する国際枠組みが存在しない
 - 高所得国ではEV・燃費改善により輸送燃料需要そのものが伸びない
 - 特にEUではすでに減少傾向
 - 新興国は油脂生産国を中心にバイオ燃料の新規需要の大部分に寄与
 - 強力なバイオ燃料政策、輸送燃料需要の増加、豊富な原料の潜在能力を持つブラジル、インドネシア、インドなど
 - EUでは、原料制約・持続可能性規制により一部原料が制限される
 - RED II以降、食料・飼料作物由来原料に制限がかかる
 - 高ILUCリスク原料を2030年までにゼロヘフェーズアウト
- HVO
 - ドロップインで利用できるため、従来型バイオディーゼルより導入が進みやすい
- FAME
 - 従来型バイオディーゼルにはブレンド上の制約がある

EVシフトや原料供給の課題がある一方で原料の油脂が豊富な国がバイオディーゼルの混合率を高め、需要を支える

市場変動要因		動向	市場成長への影響	
			2030年	2050年
需要	政府の義務・目標	<ul style="list-style-type: none"> EUやUSでは、燃料供給事業者に供給義務を設定 <ul style="list-style-type: none"> EU (RED III: 輸送部門の再エネ/GHG目標) は義務として加盟国は燃料供給者に対し、2030年までに輸送部門で再エネ比率 29%または GHG強度 14.5%削減義務を設定 USは、対象事業者にBiomass-based diesel (BBD) の義務量を毎年設定 		—
		<ul style="list-style-type: none"> 新興国では油脂生産国を中心にFAMEの混合義務を高く設定 <ul style="list-style-type: none"> インドネシアでは、B40 (軽油にバイオディーゼル40%混合) を2025/1/1から開始 ブラジルでは、2025/8/1からB15に引上げ 		—
	EVシフト	<ul style="list-style-type: none"> EUを中心にEVシフトが進むと考えられる。法規制によっては、2050年に販売台数のうち100%がEVであることも有り得る <ul style="list-style-type: none"> EU: 新車 (乗用車・バン) で2035年に100%排出削減目標 (事実としての規制方向) IEA (NZE) の推計では、2050に向けてロード輸送のエネルギーは電力が大宗になり、バイオ燃料比率は低下と予測 (2030年11%→2050年3%) 		
	乗用車以外の需要	<ul style="list-style-type: none"> 乗用車以外の用途 (道路輸送/農機・建機/船舶) ではバイオディーゼルは需給バランスを補完する役割を果たす <ul style="list-style-type: none"> 短距離輸送ではエネルギー源の変更が進む 長距離輸送では水素やアンモニアへの代替は起きるが、切り替わりは比較的遅い 	—	
供給	原料供給	<ul style="list-style-type: none"> 未制約のバイオマスの潜在量は豊富だが、バイオエネルギー・燃料に回り得るのは35%未満であり、廃食油・植物油・廃棄物などは今後の急激な供給増が見込めない <ul style="list-style-type: none"> 微細藻類等新規原料やe-SAFに期待 		—

注釈: RFNBOとはRenewable Fuels Of Non-Biological Originであり、主にe-fuelのことを指す

出所:

EU, Delegated Regulation (EU/2023/1640)

EPA, Final Renewable Fuels Standards Rule for 2023, 2024, and 2025

短距離輸送では電化により、長距離輸送では水素によりディーゼルの代替が進む中、バイオディーゼルは需給バランスを補完する役割を果たす

ディーゼルの用途別割合

用途	具体例	割合(US)	燃料代替動向
公道	トラック、バス	69.1%	<ul style="list-style-type: none"> トラックやバスではBEVやFEVへの切替が奨励され、特に水素を燃料としたFEVは航続距離が長いいため、大型トラック、小型トラックでの活用が期待される
農業・非公道	農機・建機	10.0%	<ul style="list-style-type: none"> 電動化の最大導入シナリオでも油圧ショベルは2030年に5%、2040年に20%と限定的。バイオディーゼルの利用が伸びる 小型の農機は電動化、大型の農機は長期的には水素や合成燃料、短期的にはバイオディーゼルが有望
鉄道	鉄道	5.0%	<ul style="list-style-type: none"> 鉄道はすでに電化が進んでいる。通行量が経済的に実現できない鉄道路線では、水素またはバッテリーの電気列車と部分的な線路電化、適切な充電ポイントの組み合わせがディーゼル列車に代わる必要がある
船舶	バンカー等	3.1%	<ul style="list-style-type: none"> IMOは2023年に2050年頃までにネットゼロ、2030年にゼロ/ニアゼロGHG燃料・技術・エネルギー源を少なくとも5%（努力目標10%）導入を掲げる IEAは海事のエネルギー消費は2050年にアンモニア44%、バイオ燃料19%、水素19%と推計
住居用 商業用 産業用	ボイラー・暖房等	11.1%	<ul style="list-style-type: none"> ヒートポンプによる電化が有望
電力	ディーゼル発電機	0.7%	<ul style="list-style-type: none"> 非常用・離島・工事用電源で使われるため、着目する規制は少なく、バイオディーゼルの使用が期待される

出所：

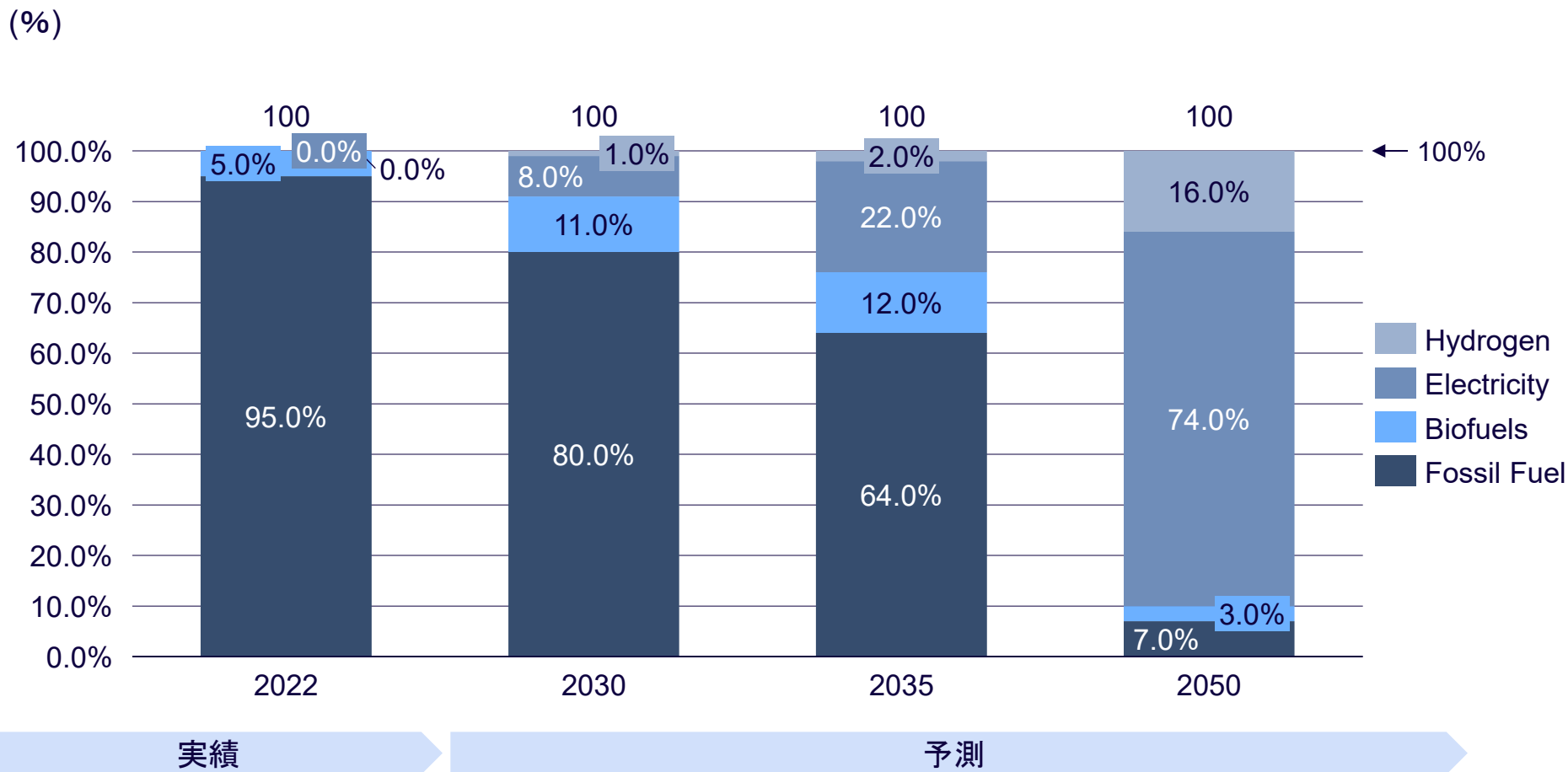
EIA, "Sales of Distillate Fuel Oil by End Use"

METI, "GX建機普及に向けたロードマップ策定に係る研究会"(最終更新2025年) 燃料電池自動車の普及に関する取組"

IEAのWeb サイトよりADL作成

道路輸送においてEVシフトへの過渡期としてバイオ燃料消費は一時拡大するが、2050年にかけては電化が進み、バイオ燃料消費は縮小する

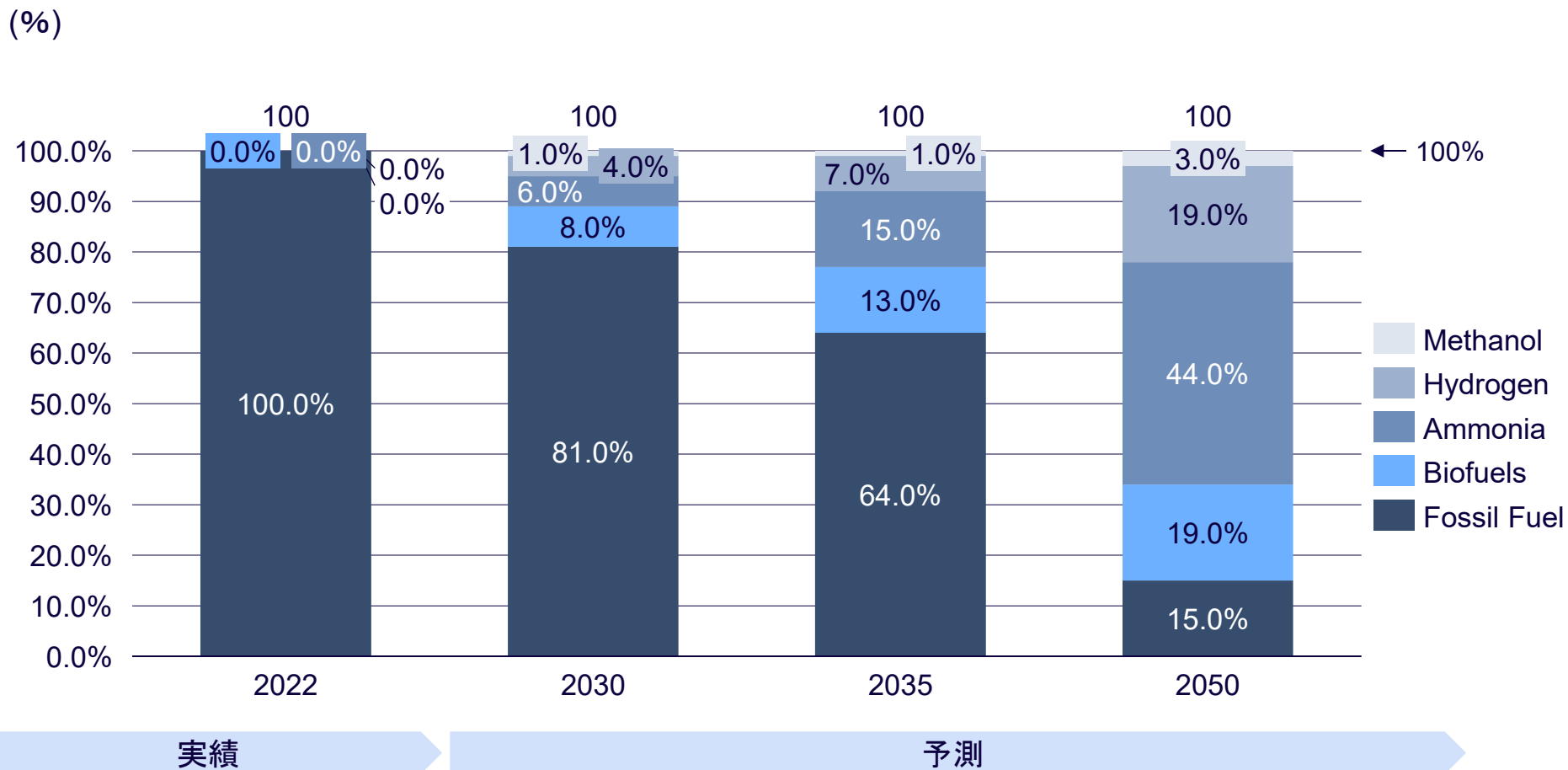
道路輸送における最終エネルギー消費（世界）



注釈：年間販売台数における電気自動車は2050年には100%となることを想定した数値
出所：IEAのWebサイトよりADL作成

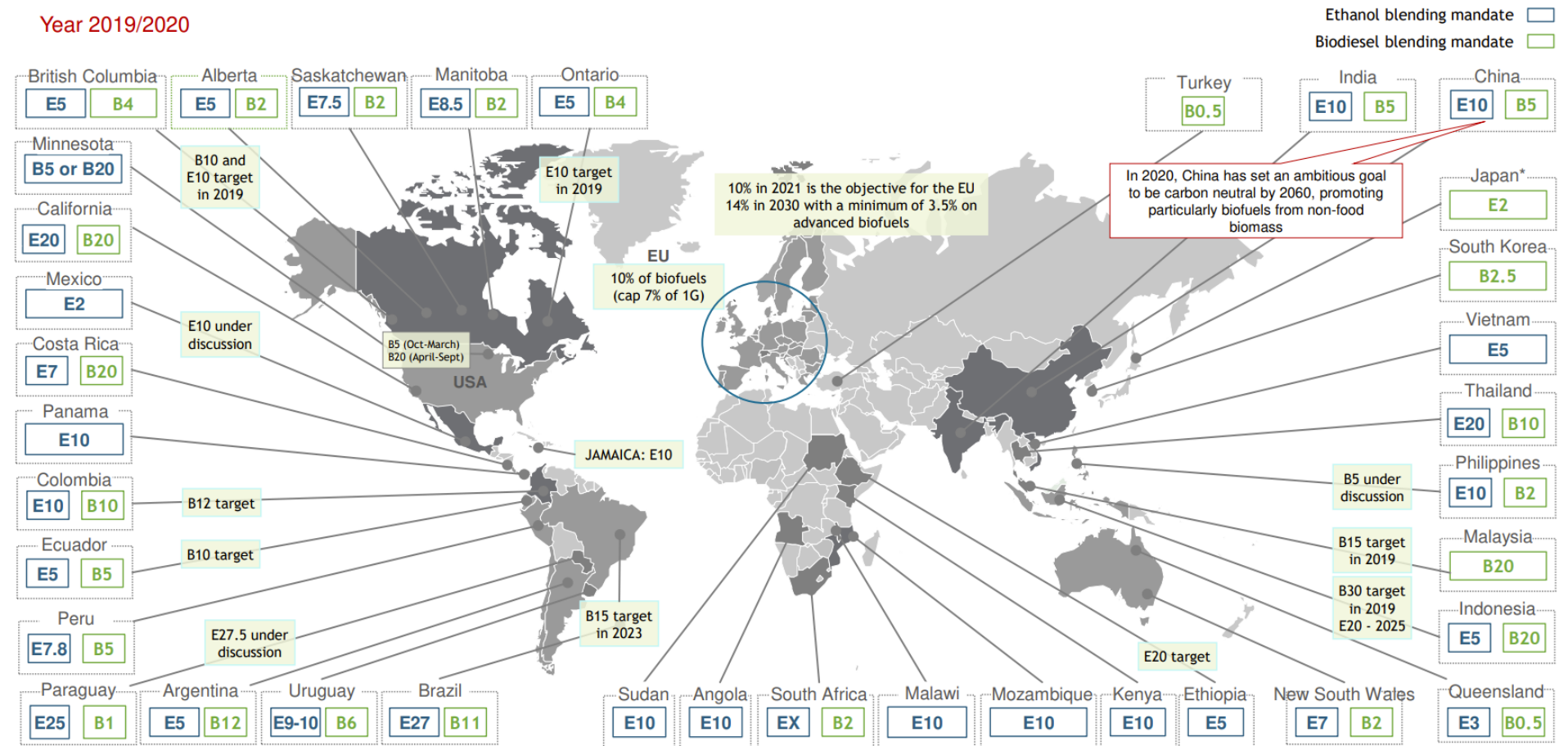
道路輸送においては、バイオ燃料消費は増加していくが、アンモニアと水素など新規代替燃料に劣る

海事における最終エネルギー消費（世界）



バイオ燃料大国であるブラジル、インドネシア、マレーシア等では高い混合率が見受けられる

ディーゼルに対する各国のバイオエタノール・ディーゼル混合割合(義務・目標)



Source: Greenea Analysis, Governments websites

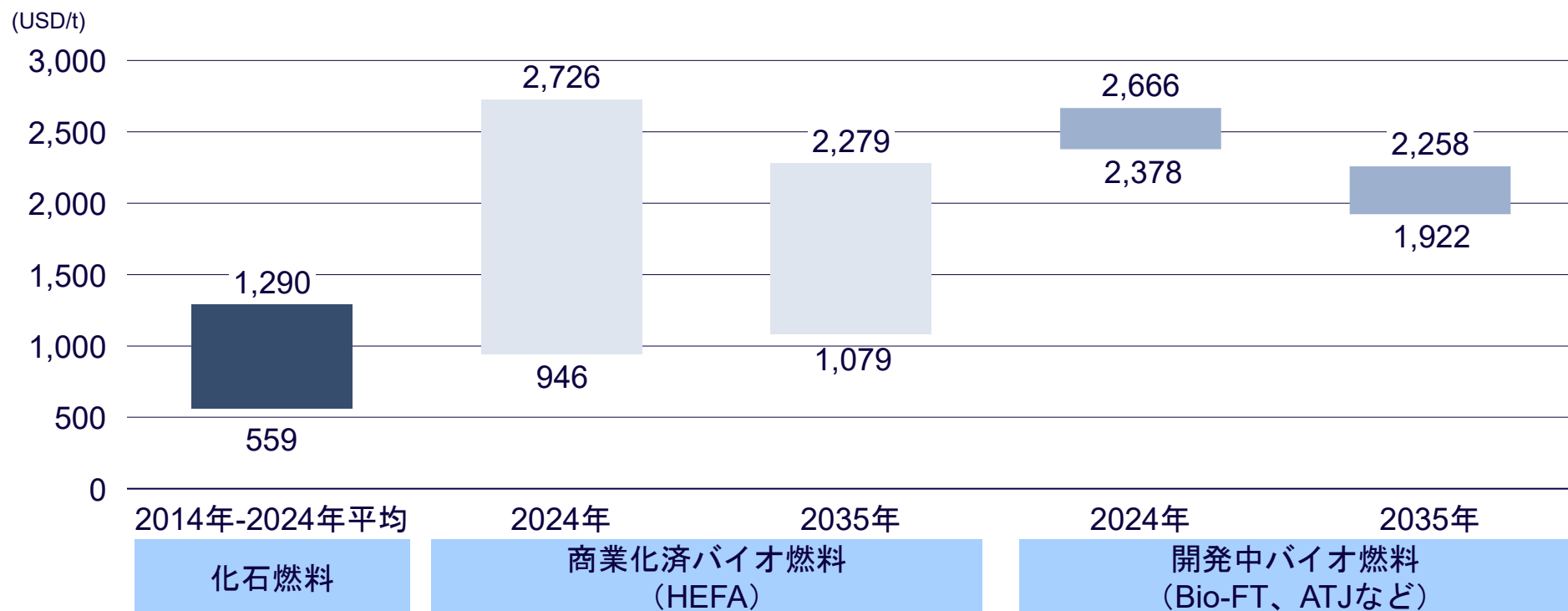
Note:

It is noticeable that most of the oil-producing - particularly from OPEP - have not implemented a biofuel mandate.

1. Turkey only has a mandate of 0.5% of biodiesel

HEFAは原料の価格が需要増により高止まりし、生産可能な最低価格は上昇する見込み

SAF（バイオ航空燃料）のコストと化石燃料価格の比較（2024年および2035年）

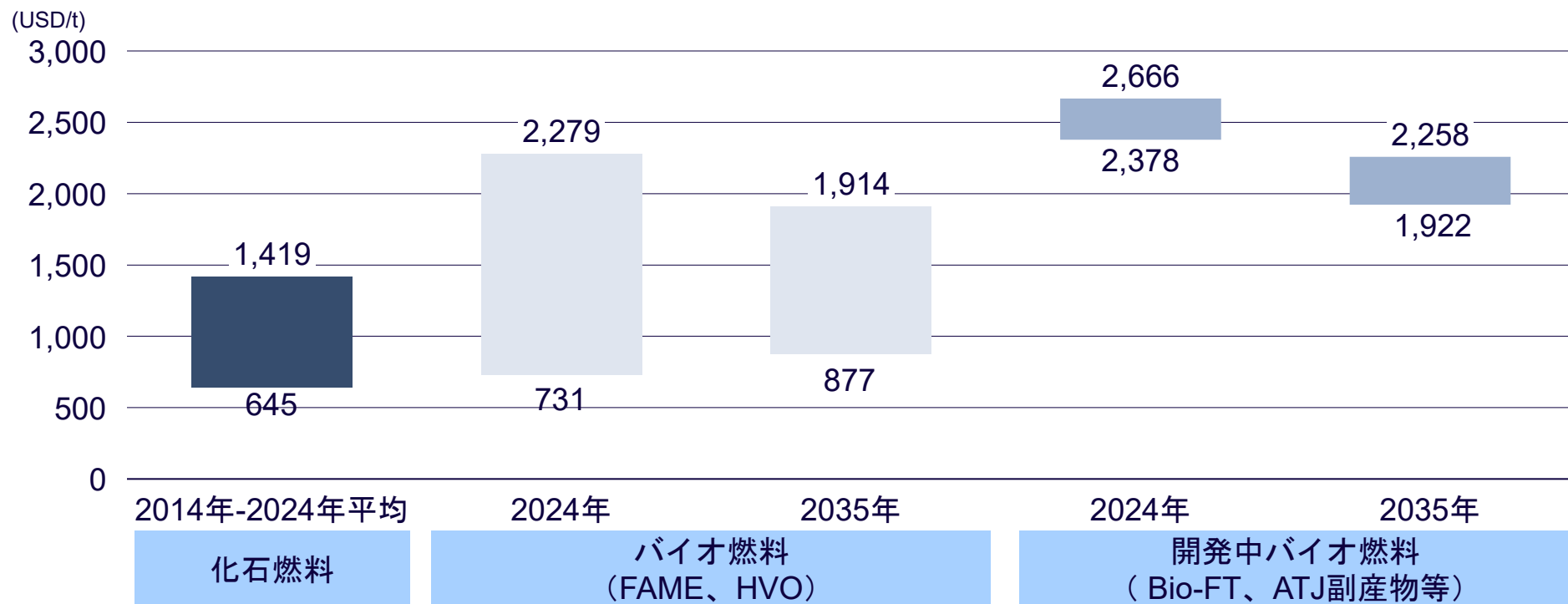


- 既存の商業用バイオ燃料の主なコスト要因は原料であり、生産総コストの80%以上を占める
- 将来的に、バイオ燃料への競争激化により既存の商業用バイオ燃料が生産可能な最低価格は上昇する

[IEA「World Energy Outlook 2025」より引用]

FAME、HVOは原料の価格が需要増により高止まりし、生産可能な最低価格は上昇する見込み

バイオディーゼルのコストと化石燃料価格の比較（2024年および2035年）

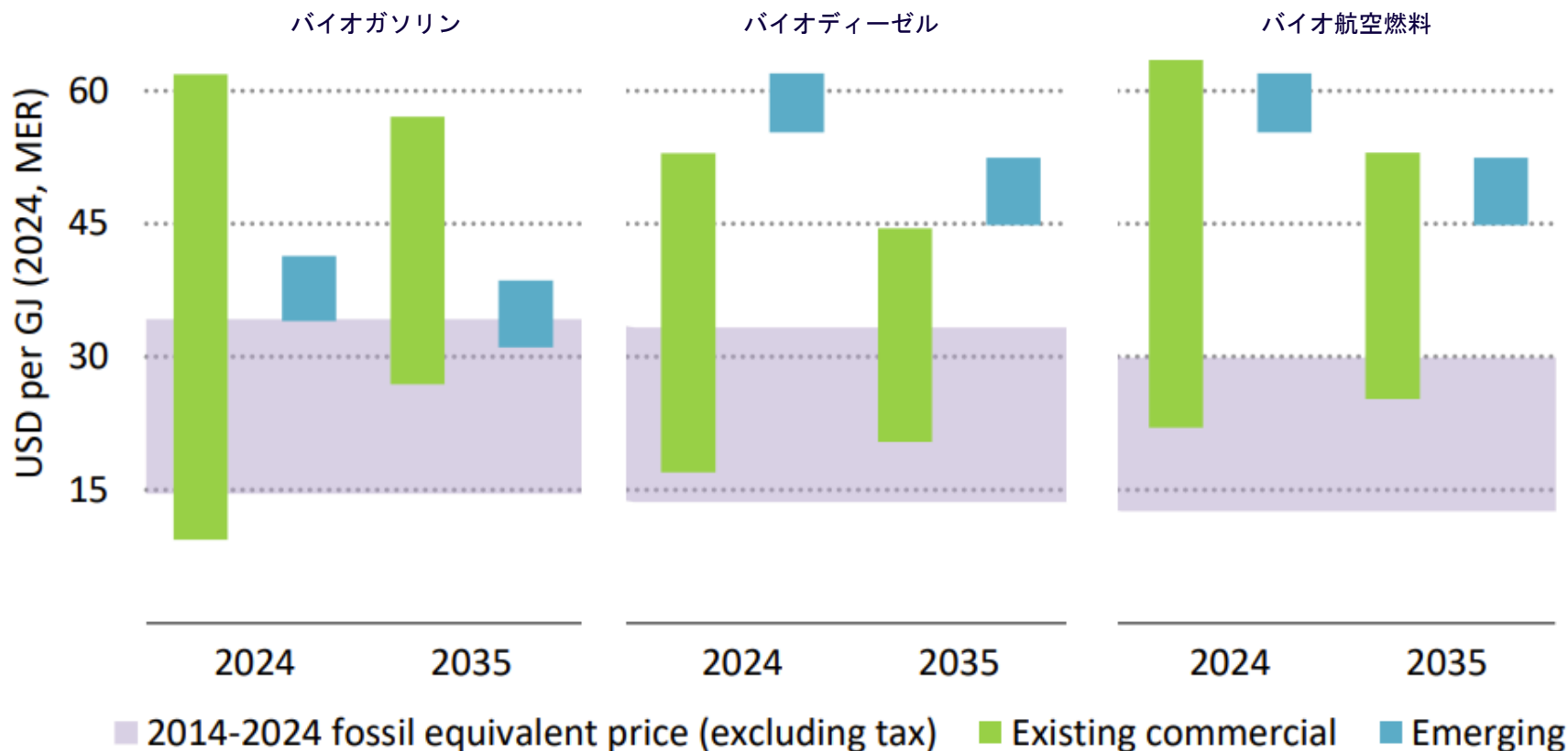


- 既存の商業用バイオ燃料の主なコスト要因は原料であり、生産総コストの80%以上を占める
- 将来的に、バイオ燃料への競争激化により既存の商業用バイオ燃料が生産可能な最低価格は上昇する

[IEA「World Energy Outlook 2025」より引用]

HEFAやFAME、HVOは原料の価格が必要増により高止まりし、生産可能な最低価格は上昇する見込み

液体バイオ燃料のコストと化石燃料の価格との比較（2024年および2035年）



IEA. CC BY 4.0.

顧客にとって価格が最重要であり、価格と環境価値のバランスを比較して購入 使用原料や製法についてストーリーが立てやすいかも判断材料

顧客	KBF		
<p>燃料精製業者 商用車など任意市場</p>	<p>比較基準 としてのKBF</p>	<p>価格</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 最重要で“価格が全て”ともいえる • 航空会社は燃料が運航コストの約20%を占めるため、わずかな差でも安い方を買う
		<p>環境価値</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 原料と製造経路によりライフサイクルCIが変動し、制度上獲得できるクレジット量・価値が異なる <ul style="list-style-type: none"> – 米国は補助制度（LCFS/IRA 45Z）で、CIが良いほど有利 • 物流企業など数値目標を持つ需要家でも重視される
		<p>評判</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 重要度は劣るが、使用企業や精製業者がストーリーで語りやすいかも重要 <ul style="list-style-type: none"> 例) UCOは未使用油での偽装問題、食料作物由来は“Food vs Fuel”批判が有り得る 例) 「藻類は未利用地・塩水利用・食料と競合しにくい」はストーリーとして成立
	<p>土台としての KBF</p>	<p>品質</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料規格に適合しているかは大前提 • コストに跳ね返る不純物や特性を注視 <ul style="list-style-type: none"> – 窒素、塩素、（場合により）CO2源由来の金属などの不純物 – 水素が追加で必要となる不飽和（二重結合）や追加の分岐化が必要になりうる低温特性
		<p>制度利用の ための認証</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 認証により原料生産者が認められていなければ制度を利用できない <ul style="list-style-type: none"> – CORSIAではサプライチェーンの各主体がICAOの承認するSCS（Sustainability Certification Scheme）で認証される必要 – EUではISCC-EU等での認証、RED II/III適合が前提

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

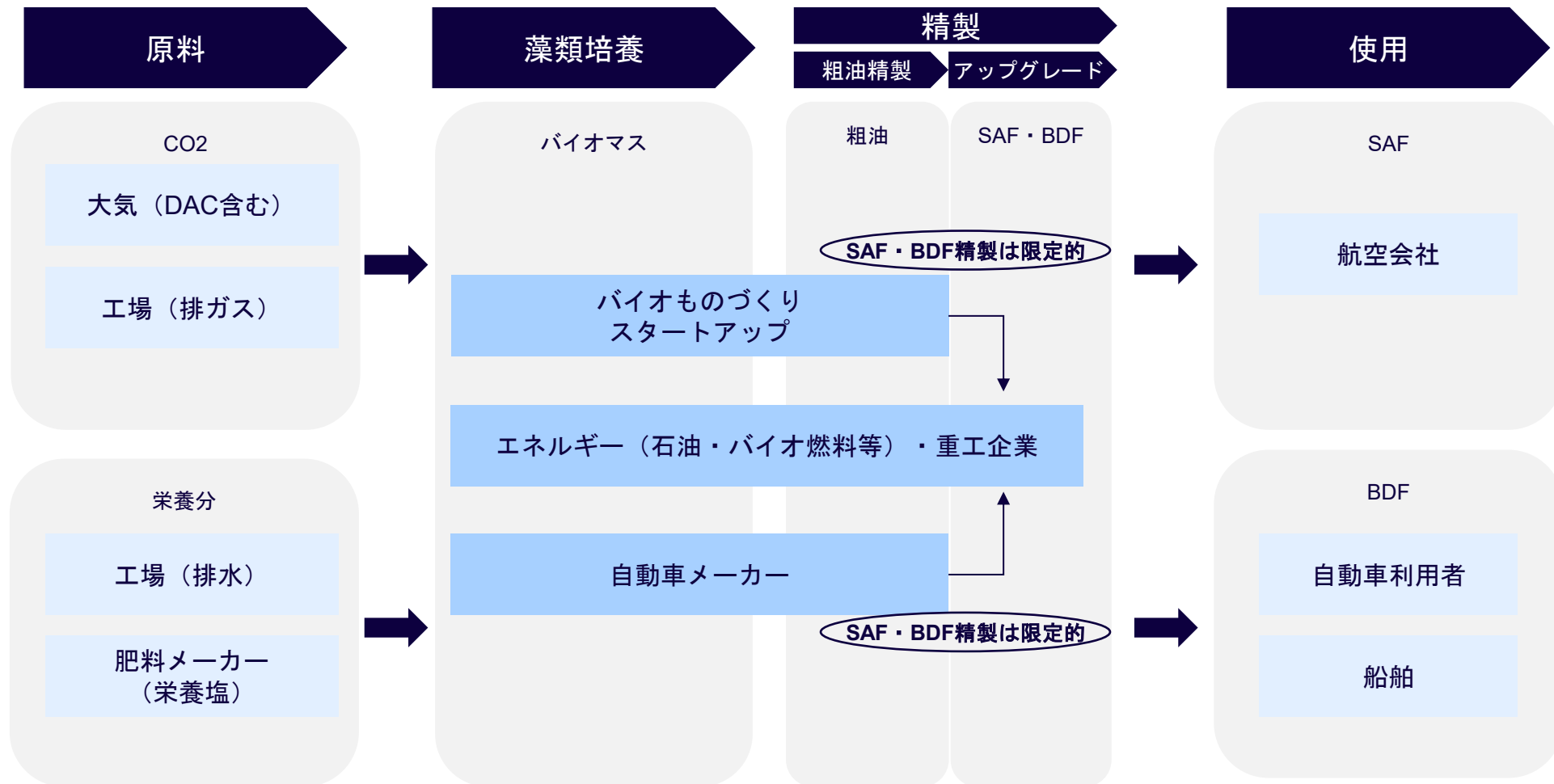
先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

バイオものづくりによる 燃料用油脂の開発・取り組み動向の整理

バイオものづくりプレイヤーは工場からのCO2やリン・窒素を原料に藻類を培養させ、収穫するが、SAFやBDFへの精製は原油同様石油精製企業が担う



商用化を継続して成功させているプレイヤーはおらず、2030年前後での商業化を目指すプレイヤーが多い

プレイヤーカテゴリ	商業化段階	動向概要	主要プレイヤー
バイオものづくり スタートアップ	商業化済	<ul style="list-style-type: none"> 過去商業化準備まで行ったプレイヤーは商業化の難航と資金繰りから破産・経営方針転換 <ul style="list-style-type: none"> Viridosは、長年取り組んだが、商業生産に適した生産性の達成ができず、資金源であったExxon Mobilの方向転換により破産 Cellanaは、Nesteと藻類油のオフテイク契約を結ぶなど実績があったが、今はサプリ、飼料等高付加価値商品に注力 現在商業化準備中の企業は少ないが、2030年前後の商業化を目指す <ul style="list-style-type: none"> Hutan Bioは、2026年の商業パイロット建設を構想中。生産性と安定性のために藻類培養に理想的な種を選抜。初期の大型投資が必要ないモジュール型のバイオリクター設備を活用 CHITOSEは現在5ha規模で稼働しており、2030年までに商業規模となる2000ha規模に拡大する意向 	<ul style="list-style-type: none"> Viridos (US) Cellana (US) Hutan Bio (UK) CHITOSE (日本) ユーグレナ (日本)
エネルギー・重工企業	実証段階	<ul style="list-style-type: none"> バイオ燃料原料の供給源の一つとして藻類培養に着目 <ul style="list-style-type: none"> Nesteは、パイロットレベルの8haのオープンポンドを近年建設 IHIは一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験をNEDOから受託。SAFの国際規格ASTM D7566Annex7(HC-HEFA)を取得 J-Powerはオープン・クローズ型ハイブリッド培養技術の開発をNEDOから受託 	<ul style="list-style-type: none"> Neste (Finland) IHI (日本) J-Power (日本)
自動車	研究段階	<ul style="list-style-type: none"> 自動車業界としてカーボンニュートラルを達成するための手段の一つとして藻類に着目 	<ul style="list-style-type: none"> MAZDA (日本) Honda (日本)

商業化に向けては、生産性やコスト、GHG排出量が課題となり、スケールアップに向けては、広大な土地確保と資金確保が課題

	課題	現状	解決方向性
研究開発・実証	生産性向上	<ul style="list-style-type: none"> 油から精製する下流部分のHEFAで技術確立 上流部分で藻類開発・培養での生産性向上が必要 <ul style="list-style-type: none"> 基準となる生産性の向上 屋外培養での安定性向上（コンタミ/季節性） 	<ul style="list-style-type: none"> 生産性の向上については、油分が重要で自然株は油生産性が低く、油分を高めるために遺伝子組換えを行うことが現実的な解 安定性の向上に向けては、実際の培養環境に近い場での初期実証研究や培養予定地で採取・選抜した強い藻類の使用が有効
	コスト低減	<ul style="list-style-type: none"> プール等主要な設備のCAPEXが極めて高い OPEXにおいてもCO2調達コストや電力コスト（特に油水分離）が高い 	<ul style="list-style-type: none"> CAPEX改善に向けては、安いが長寿命のライナーを使用 CO2供給場所に近い立地で電力コストは低エネルギーな手法の採用 複数製品の生産で経済性を支える <ul style="list-style-type: none"> 燃料を念頭に生産しつつ三相分離で蛋白を肥料として販売、もしくは、カスケード利用で高付加価値製品から抽出し、最後に燃料で全体収支を合わせる
スケールアップ	資金確保	<ul style="list-style-type: none"> 商業スケールを実現するには巨額が必要だが、今の資本市場は慎重になっており、失敗の指摘が先行しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 技術だけでなく、投資家が納得するリスク管理と屋外安定運転などの実証結果を揃える サステナビリティの文脈で批判されがちな石油会社の免罪符として投資を呼び込む 補助金・公的資金を利用
	土地確保	<ul style="list-style-type: none"> 立地条件と合い、広大な土地確保が必要 <ul style="list-style-type: none"> CO₂や海近郊の平坦で低地価な場所 高い日照量・低季節性が理想 	<ul style="list-style-type: none"> 数十万t規模に必要な土地面積を前提に網羅的に世界中の候補地を抽出し、立地条件でスクリーニング 最初の数拠点は自社で管理し、初期実績を積み、広く技術移転を行うことで拡大することが現実的
規制利用	GHG排出量削減	<ul style="list-style-type: none"> 現状では、他HEFA原料と比べて藻類由来HEFAのGHG排出量が大きくなる場合がある <ul style="list-style-type: none"> 電力由来と肥料が割合を占める 	<ul style="list-style-type: none"> 肥料は良い株なら相対的に小さい 電力使用量を下げるために低エネルギーな手法（特に油水分離）の採用や揚水電力を抑えるために海に近いことを立地条件に織り込む 再エネ電力（太陽光・風力）を立地条件に織り込む

バイオものづくりプレーヤーは官公庁などの国の機関と協力して研究開発を進めるが、商業化を継続して成功したプレーヤーはいない

属性	プレーヤー	想定用途		創業年	国	生産拠点	藻類商業化段階	顧客・協業相手	
		SAF	BDF						
バイオものづくりスタートアップ	国外企業	Hutan Bio	✓	✓	2019	UK	Malaysia Morocco 等	商業化準備中	<ul style="list-style-type: none"> 公的資金を含む300万€を投資される（2024年段階） ケンブリッジ大学やKAUSTでの藻類バイオテック／バイオエンジニアリング研究が基盤となる（起業前に10年以上研究開発） Schneider子会社がLCAを実施
		Viridos (元Synthetic Genomics)	✓	✓	2005	US	US (California)	商業化準備中→ 破産申請(2025)	<ul style="list-style-type: none"> Exxon Mobilと共同研究(2009-2023年) United航空、Chevron等が2500万\$投資（2023年）
		Cellana	✓	✓	2004	US	US (Hawaii)	商業化 →経営方針転換	<ul style="list-style-type: none"> Neste Oilと複数年で商業規模の藻類油オフテイク契約を発表（2013年） 微細藻類によるペットフード（オメガ3）を販売するPhytoSmartを吸収(2024年)し、今は高付加価値商品に注力
	国内企業	ユーグレナ	✓	✓	2005	Japan	Malaysia	実証段階 5ha	<ul style="list-style-type: none"> PETRONAS Researchと微細藻類の大規模生産技術に関する包括的共同研究契約を締結 NEDOの「バイオジェット燃料生産技術開発事業」を受託（成果物はCHJであり、HEFAではない）
		CHITOSE	✓	—	2011	Japan	Malaysia	実証段階 5ha	<ul style="list-style-type: none"> NEDOの「バイオジェット燃料生産技術開発事業／微細藻類基盤技術開発」を受託（サラワク州政府系のサラワク生物多様性センター、電力会社サラワク・エナジーと協力） MATSURIという藻類産業関連のコンソーシアムを主催
		COCPIT	✓	—	2023	EU	N/A	N/A	<ul style="list-style-type: none"> 研究機関・大学、エネルギー・バイオ・デジタル業界、評価機関等が参加 <ul style="list-style-type: none"> 微細藻類培養までは、Nantes Univ（研究面）とAlgoSource（オペレーション面）が担当

コスト低減に向けては面積当たりの粗油生産量がボトルネックになるが、生産性向上だけでなく、副産物の販売や必要な土地面積を狭めることでも対応

属性	プレーヤー	使用藻類	原料	取組みと成果	公開情報内の課題と解決策	
バイオものづくりスタートアップ	国外企業	Hutan Bio	アオサ藻	CO2	<ul style="list-style-type: none"> 屋外の密閉型のバイオリアクターで培養 1年間に1 km²あたりCO₂ 25,000 t除去 & bio-oil 4,500 t生産可能。(12.3 g oil/m²/日) 	<ul style="list-style-type: none"> 屋外でのスケール拡大が難しい モジュール設計により成長に合わせて拡大可能に 工業団地や港湾近くの沿岸砂漠地域の確保
		Viridos (元Synthetic Genomics)	GMOナンノクロロプシス	CO2	<ul style="list-style-type: none"> 合成生物学／遺伝子改変 “oil productivity target 25 g/m²/day” open raceway ponds での培養 約7エーカーの生産システムで9 g-oil/m²/日(2022) 炭素フットプリント70%削減見込み 	<ul style="list-style-type: none"> 学研究を通じた収量向上とコスト削減に焦点 長期で巨額の実証が必要でパートナーの戦略変化が会社状況に直結 遺伝子改変藻類を屋外で運用する際の規制・管理
		Cellana	ナンノクロロプシス	CO2 栄養塩	<ul style="list-style-type: none"> 屋内外のハイブリッドでフォトバイオリアクター (PBR) とオープン (海水) ポンドを組み合わせ、汚染リスクとコストのバランスを取る設計 7.4 g-oil/m²/日(2017) 	<ul style="list-style-type: none"> 生産性の向上 技術統合 (培養～処理まで) 残渣や炭水化物を飼料 (魚粉代替等) に回す
国内企業	ユーグレナ	ユーグレナ等	CO2 糖やエタノール	<ul style="list-style-type: none"> 屋外のオープンポンドで独立栄養培養 (光合成) を基盤に研究開発を進める 屋内のタンクで従属栄養培養 (糖/エタノール由来炭素源) を2024年に実証開始 	<ul style="list-style-type: none"> コスト低減には培養密度アップが課題 脂質含有率が高くなりすぎると培養スピードが低下するという相反性がスケールアップの課題 	
	CHITOSE	ボツリオコッカス	排ガス CO2	<ul style="list-style-type: none"> 屋外でフレキシブル プラスチックフィルム型フォトバイオリアクターで培養 世界最大規模(5ha)の設備「C4」の稼働 1ha当たりの藻類の生産量は乾燥重量で年間70t 	<ul style="list-style-type: none"> 安定的な大量培養技術の確立 土地・資金調達の難しさ 生産量拡大 今後、2000haの藻類生産施設で投資回収可能だと示し、フランチャイズ展開を狙う 	
プロジェクト	COCBIT	微細藻類	CO2 栄養塩	<ul style="list-style-type: none"> STPVで太陽光発電も行いながら微細藻類をPBRで育て、HTLとHEFAを含む複数の燃料化ルートと比較・最適化するEUの研究開発助成プログラム 1 m²のSTPV-PBRデモ機を稼働中 	<ul style="list-style-type: none"> 土地・設備面積や屋外での温度制御がコスト要因の一部 STPVをPBRの上に載せる 	

注釈：STPV: (Semi-Transparent Photovoltaics) は、光を一部透過させながら発電もする太陽光電池パネル

プレーヤー選定：Factivaで「Algae and SAF」「Algae and Biodiesel」「Microbe and SAF」「Microbe and Biodiesel」「Microorganism and SAF」と検索し出てきたプレーヤーに加え、SAF製造側を調べた中で培養まで行っていたプレーヤーを記載

出所：各社website、各種公開情報をもとにADL作成

他業界からの参入にあたっては、大学や知見のある他プレーヤーと協業して藻類開発・培養を行い、下流のSAF製造まで一貫して関わる

属性	プレーヤー	想定用途		創業年	国	生産拠点	藻類商業化段階	顧客・協業相手	
		SAF	BDF						
下流業界	エネルギー・重工	Neste	✓	—	1948	Finland	Spain	実証段階 8ha規模	<ul style="list-style-type: none"> バイオ燃料製造企業として2013年米国の藻類企業 Cellana と藻類油の条件付き商業オフテイク契約を発表
		SEDC energy	✓	—	1972	Malaysia	Malaysia	パイロット段階	<ul style="list-style-type: none"> PETRONAS Researchと培養・収穫・抽出（粗藻類油）までの技術を共同開発(2023年-) Sulzer等と年1.5万t規模のSAFのパイロットプラントを構想(2025年)
		BBGI Bangchak	✓	—	2018	Thailand	Thailand	研究初期	<ul style="list-style-type: none"> タイ農業・協同組合省 と Advance Biocarbon と微細藻類培養促進のためのMOU締結（2025年から5年間）
		IHI	✓	—	1853	Japan	Thailand /Japan	実証段階 約10,000m ² 規模	<ul style="list-style-type: none"> 神戸大学とともにNEDO事業受託 SAFの実証にあたっては、Honeywell UOP、JAL、ANAと協力
		J-Power	✓	—	1952	Japan	N/A	実証段階 約1,200 m ² 規模	<ul style="list-style-type: none"> 東京農工大学、関西学院大学及び諏訪東京理科大とともにNEDO事業「バイオジェット燃料生産技術開発事業／微細藻類基盤技術開発」受託
	自動車	MAZDA	—	✓	1920	Japan	Japan	研究段階 5Lと1000Lの複数規模	<ul style="list-style-type: none"> 広島大学と油脂生産効率の革新のために研究室を開設(2017) 他にも東京科学大学及びファイトリピッド・テクノロジーズが藻類遺伝子改変戦略を構築
Honda		✓	✓	1946(2013- 研究)	Japan	Japan	研究段階	N/A	

バイオ燃料製造の大手であるNesteは、オープンポンドで藻類培養のパイロットを作り、藻類利用を進めていく姿勢

属性	プレーヤー	使用藻類	原料	取組みと成果	公開情報内の課題と解決策	
他業界	エネルギー・重工	Neste	微細藻類	N/A	<ul style="list-style-type: none"> オープンポンド培養+収穫・乾燥・ペレット化までのパイロットを近年建設。培養面積8ha、藻類バイオマス~210t/年 	N/A
		SEDC energy	微細藻類	N/A	<ul style="list-style-type: none"> PETRONAS Researchと共同で微細藻類の培養~粗藻類油の抽出までの“藻類生産技術”を開発予定 	<ul style="list-style-type: none"> 高油分の藻類株開発や競争力ある生産コストなど
		BBGI Bangchak	微細藻類	N/A	N/A (2025年にMOU締結のため)	<ul style="list-style-type: none"> コスト競争力が足りない <ul style="list-style-type: none"> 残渣を飼料などにして販売する計画 スケールアップ <ul style="list-style-type: none"> 農家に技術移転で培養拡大を計画
	IHI	ボツリオコッカス株	排ガスCO2	<ul style="list-style-type: none"> NEDOから一貫製造プロセスに関するパイロットスケール試験を受託。屋外で藻類を培養 SAF国際規格ASTM D7566Annex7(HC-HEFA)を取得 	<ul style="list-style-type: none"> 高効率化 製造コストの低減 	
	J-Power	海洋性のソラリス株、ルナリス株	N/A	<ul style="list-style-type: none"> NEDOから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を受託 グリーンオイル生産速度が8.6g/m2/day (ハイブリッド培養) 	<ul style="list-style-type: none"> 生産性および生産速度の向上 <ul style="list-style-type: none"> 従来のオープン系からオープンクローズ型ハイブリッド培養技術を取り入れる 	
	自動車	MAZDA	GMOナンノクロロプシス等	CO2排水由来のリン・窒素	<ul style="list-style-type: none"> 屋外のオープンポンドと研究室の両方で研究 海水がない場合に備え、工場排水(淡水)で育成可能な種の研究も行う 	<ul style="list-style-type: none"> コスト <ul style="list-style-type: none"> 残渣を付加価値化+規模拡大による量産効果 従来の化石燃料と比較した際のCO2削減の実現 天候や培養条件に左右されない安定的な生産
Honda		クラミドモナス	CO2窒素リン	<ul style="list-style-type: none"> 屋外のフラットパネル方式で培養 微細藻類から糖を取り出し、エタノール化し、SAFを製造する事を計画* 	<ul style="list-style-type: none"> コスト <ul style="list-style-type: none"> 低価格帯の燃料やプラスチックを生産すると同時に副産物で高価格帯の医薬品、化粧品、健康食品を生産 	

プレーヤー選定：Factivaで「Algae and SAF」「Algae and Biodiesel」「Microbe and SAF」「Microbe and Biodiesel」「Microorganism and SAF」と検索し出てきたプレーヤーに加え、SAF製造側を調べた中で培養ま

で行っていたプレーヤーを記載

注釈：SAFの製法はHEFAではなくSAFを念頭に置いていると思料

出所：各社website、各種公開情報をもとにADL作成

従属栄養型は生産性は高いが、炭素源や設備にコストがかかり、燃料等コモディティ向けの藻類培養において従属栄養は現実的ではない

	従属栄養型	独立栄養型
使用藻類	<ul style="list-style-type: none"> クロレラ・ユーグレナ 	<ul style="list-style-type: none"> ナンノクロロプシス、ポツリオコッカス、クロレラ
屋内 / 屋外	<ul style="list-style-type: none"> 基本的に屋内 	<ul style="list-style-type: none"> 基本的に屋外
生産性	<ul style="list-style-type: none"> 生産性が高めやすく、安定生産しやすい <ul style="list-style-type: none"> 反応器内で条件（栄養・温度・pH・溶存酸素等）を強く制御でき、高密度培養に寄せやすい 屋内・閉鎖系中心で外乱（天候、季節、混入）の影響が小さい 	<ul style="list-style-type: none"> 生産性を高めにくく、安定生産が難しい <ul style="list-style-type: none"> 光・気象・日照、藻類自身による遮蔽などの物理制約が存在 屋外/開放系では外乱・コンタミの影響を受けやすく、季節変動も出やすい
コスト	<ul style="list-style-type: none"> 設備も原料も高い 	<ul style="list-style-type: none"> 相対的には設備も原料も安い
炭素源	<ul style="list-style-type: none"> 炭素源として糖・エタノールが必要でグルコース、農業残渣等を使用するため、原料コストと供給制約が存在 	<ul style="list-style-type: none"> 光合成のため、炭素源はCO₂を利用。排ガスや将来的にはDACを活用するため、相対的には低い
水	<ul style="list-style-type: none"> 高い水質が求められる 発酵のため、排水処理が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 水質は相対的に求められていない 水を大量に使うが、水が豊富な場所では問題ない
電力	<ul style="list-style-type: none"> 洗浄・滅菌、大量通気/攪拌（酸素移動濃度確保）、冷却（代謝熱）などで電力負担が大きくなりやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 開放系なら滅菌・酸素移動濃度制約が小さく電力は抑えやすい
設備	<ul style="list-style-type: none"> 年間生産能力当たりのコストは\$4,000 - / (t-biomass/year) 	<ul style="list-style-type: none"> 年間生産能力当たりのコストは\$1,200-1,500/(t-biomass/year) (低価なPBR、オープンポンドを想定)

出所：
 Patel et al., *Biotechnology for Biofuels* (2018)、Zhang et al., *Frontiers in Marine Science* (2022)
 NREL (Clippinger & Davis, 2019) NREL/TP-5100-72716、Lever VC Insights, *Scale-up Costs of Precision Fermentation* (設備費用を参照)
 有識者インタビューよりADL作成

水や土地の確保、コンタミ対策のために海水を使用したいプレイヤーが多く、海洋性藻類からほしい特性を持つ藻類を選抜

藻類	藻類概要	使用藻類を選んだ理由
海水 海洋性藻類	<ul style="list-style-type: none"> 原始から存在 海の中で光合成をする生物の総称 	<p>水の確保</p> <ul style="list-style-type: none"> スケールアップするにあたり十分な淡水の確保がボトルネックになり得る
		<p>土地の確保</p> <ul style="list-style-type: none"> 大規模ポンドは数十 km²規模になり得るので内陸の淡水近くより海沿いの方が広い土地を確保しやすい
		<p>塩分によるコンタミ対策</p> <ul style="list-style-type: none"> 高塩分により汚染の原因生物を抑えやすくする考え方が存在
	アオサ	<ul style="list-style-type: none"> 緑藻類の大型海藻で、海水・汽水・淡水まで世界的に分布し、高い適応力と成長の速さが特徴 世界中の海の岩礁域に普通に見られ、一部の種は有機物が多い汽水域でも生育
ナンノクロロプシス	<ul style="list-style-type: none"> 海洋性微細藻類 Viridos、Cellana、MAZDAが燃料向け藻類として採用される等有望視されている 	<p>オイル含有量 / 燃料適性</p> <ul style="list-style-type: none"> 培養条件によりオイルを乾燥重量の最大50%以上蓄積することができる 軽油の主成分になり得るC16系を多く含み、EPAなどPUFA（高度不飽和脂肪酸）も多量に生産が可能
海洋珪藻	<ul style="list-style-type: none"> 海洋性微細藻類 珪藻自体は、堆積物中や固体表面に付着するなど、地球上のあらゆる水域に分布 中鎖脂肪酸が豊富で緑藻系よりバイオ燃料原料として有望という整理も存在 	<p>オイル含有量 / 安定性 / 生育の速さ</p> <ul style="list-style-type: none"> J-Powerは九州近郊(奄美大島等)の海の二か所で採取した中で季節性への強さやオイル含有量、生育の速さで選抜

燃料向けの藻類培養において使用される淡水の藻類は油脂の回収がしやすい藻類か研究が進んでいるかといった着目点によって選択されている

藻類	藻類概要	企業	使用藻類を選んだ理由
淡水	ポツリオコッカス	IHI	<ul style="list-style-type: none"> 光合成により高速で増殖する微細藻類 培養速度を向上するべく改良された油分の多い微細藻類
	クラミドモナス	CHITOSE	<ul style="list-style-type: none"> 作る油の性質が燃料に近い 高速増殖型ポツリオコッカスは石油代替となる炭化水素油を生産し、増殖性が高いという点に特徴
	ユーグレナ	Honda	<ul style="list-style-type: none"> 大量培養し、太陽光を利用するために屋外で培養する事を企図 細胞壁が非常に薄いため生産効率を高められる。バイオエタノール狙い
		ユーグレナ	<ul style="list-style-type: none"> 淡水～汽水や湿った土壤に広く分布 光合成する一方、多くの種が従属栄養（摂食・吸収）もできる。実験・研究用途（増殖や代謝の研究）にも使われる <ul style="list-style-type: none"> 食品だけでなく、バイオ燃料・飼料・肥料・バイオマスプラスチックまで用途が広いこと 培養方法によって、体内により多くの良質な油を作ることができる

Hutan Bioは、生産性だけでなく、低コスト培地や塩性、炭素が高くても生産可能など藻類培養に理想的な種を選抜し、発見

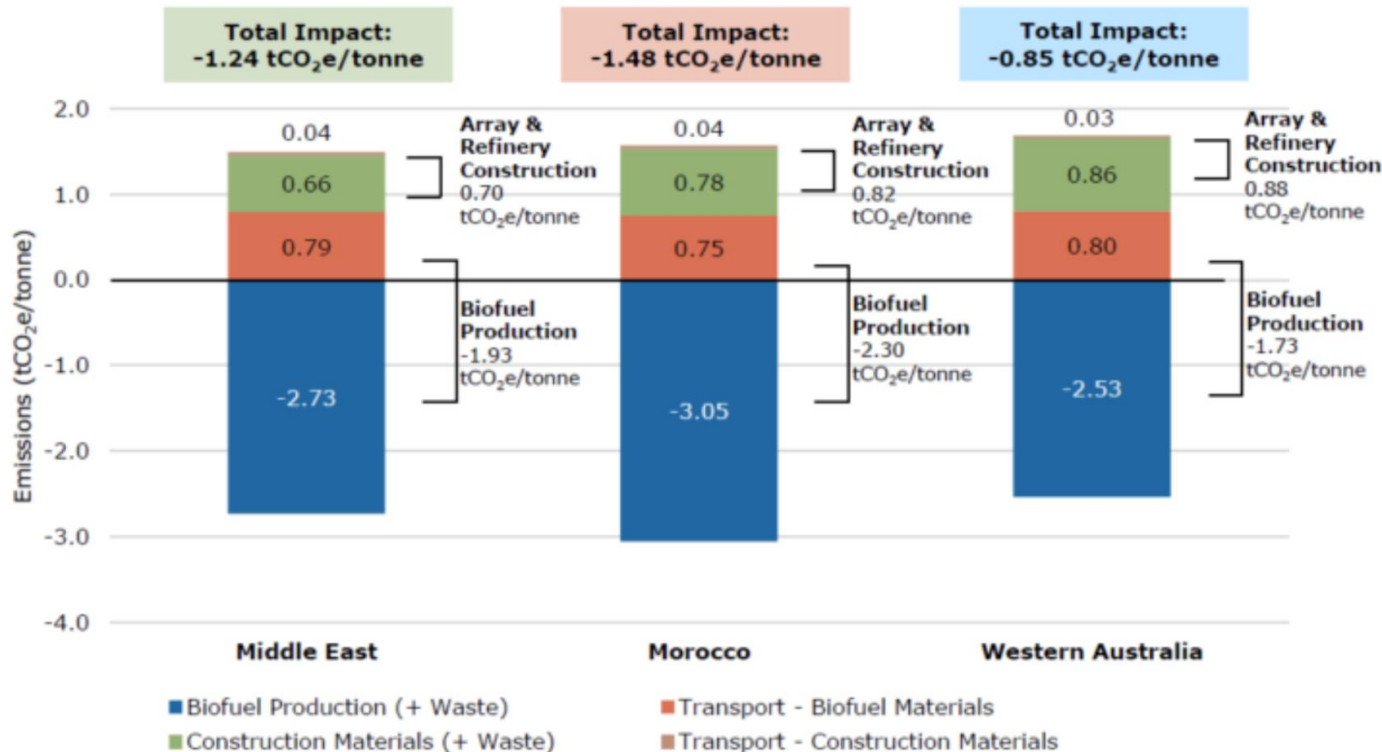
プロセス	プロセス概要	
ベース株	試料の取得	<ul style="list-style-type: none"> ・高日射・高温・塩分が変動する南シナ海とマラッカ海峡で、長期のバイオプロスペクティングを実施 ・海面付近を、両海域で年間を通じて複数地点から採水
	試料の濾過	<ul style="list-style-type: none"> ・微細藻を 15μm→5μm→1μm→0.1μm の逐次濾過で回収
	ハイスループットスクリーニング	<ul style="list-style-type: none"> ・30–35°C、光量100–500、高塩分35–40 PSU、濾過海水+ビタミン無の低コスト培地での選抜 ・培養中に勝手に発生するウイルス/捕食細菌/動物プランクトン等に対する耐性の選抜 ・狙う形質は、バイオマス>5 g/L (DW)、TAG>40% (DW)、脂肪酸鎖長< C22
	単離+希釈培養	<ul style="list-style-type: none"> ・顕微鏡下で単細胞を拾い、希釈で単一株にする ・アオサ藻綱 (Ulvophyceae) アオサ目 (Ulvales) の新属Sphaericaを発見
古典的改良・選抜	UV変異+選抜	<ul style="list-style-type: none"> ・野生のSphaericaに生存率が約50%まで落ちる程度にランダムUV変異をかけて、高塩分培地で耐塩性が上がった派生株を選抜し、さらに15% CO₂ (フルーガス相当を意識) でも育つ高炭素フラックス株を選抜
発酵・培養	閉ループ制御	<ul style="list-style-type: none"> ・OD (光学濃度) からバイオマスを推定し、入射光や塩分、さらに入カメディア (CO₂・水=海水を含む等) のフローや、PBR条件 (温度・pH・塩分・光など) を継続的に調整 ・複数のPBRを中心に制御 ・AIで最適化も今後の選択肢の一つ
油脂の回収・精製	(工業スケールの詳細プロセスまでは書かれていない)	
機能設計	(工業スケールの詳細プロセスまでは書かれていない)	
SAF・BDF	自動車、航空、または海洋用燃料に使用	

Hutan BioはLCAを第三者機関に依頼し、バイオ燃料1トンあたりマイナス最大1.48トンのCO₂eという結果を公表

Greenhouse Gas Emissions

Per tonne of biofuel

Overview



手法

- 第三者機関にPCF(製品カーボンフットプリント)のLCAを依頼
 - EcoAct(Schneider Electric Sustainability Businessの子会社)に依頼
 - ISO基準で測定
- 原材料投入、出荷輸送、生産・製油プロセス、廃棄物処理など、すべての生産段階をカバー
 - 「バイオ燃料分野では稀に見られない透明性の高い炭素計算方法論」で執行

結果

- **バイオ燃料1トンあたり最大1.48トンのCO₂eを除去との計算(2025/01発表)**
 - モロッコは良好な供給源、エネルギーの利用可能性、物流チェーンの短縮により最も排出量が少なかった
- 特に**下流製油プロセス**は、3か所すべてで正の排出に最も大きく寄与
 - 再生可能電力への切替で化石燃料由来と比べて最大約5倍の排出削減が可能

注釈：ISO基準であり、他のCORSIAで採用されている手法ではない
 引用：Hutan Bio のWebサイトよりEcoActのスライドを引用
 出所：Hutan Bio プレスよりADL作成

コスト低減のため、Hutan Bioは初期の大型投資が必要ないモジュール型のバイオリアクター設備や非農業土地利用で対応

コスト優位の源泉	詳細
非農業的・非生産的土地の利用	<ul style="list-style-type: none"> 日照量の高い国々の非生産的かつ非農業的な沿岸砂漠地域に建設
低コスト原料・使用電力の利用	<ul style="list-style-type: none"> 水：アクセスが容易な海水を使用。限られた資源である淡水を使わないことを強く打ち出す 炭素源：近隣の工業団地でのCO₂を原料として使う 電力：太陽光や風力資源が豊富な沿岸砂漠地域に施設を設置
使用藻類の生産性と力強さ	<ul style="list-style-type: none"> 商業スケールにおいて12.3 g oil/m²/day (4,500 t/km²/年) で生産可能 多層なスクリーニングを実施した、優れた形質の藻類を使用 <ul style="list-style-type: none"> 培養中の汚染や捕食等に対する耐性 濾過海水+ビタミン無の低コスト培地でも生産可能 塩分濃度、CO₂が高くても生産可能
モジュール型のバイオリアクター設備	<ul style="list-style-type: none"> バイオリアクターがブロック型になっており、段階的資本支出と容易なスケールアップが可能 <ul style="list-style-type: none"> 単一の資本集約型の建設を初期段階で回避 スケールアップは追加のリアクターブロックを設置して拡張 フォトバイオリアクターバッグを再設計することで生産コストを半減 閉ループ制御により日光の量が少ない際はコストであるCO₂を使わない
既存インフラの活用	<ul style="list-style-type: none"> 工業団地や港湾近くの沿岸砂漠地域における既存インフラを使うことで資本投資を最小限に抑える

出所：

Hutan Bio のWeb サイト、二次情報

WO2024132882 「LIPID PRODUCING MARINE MICROALGA」

WO2025099446 「PHOTOBIOREACTOR CONTROLLER」よりADL作成

Viridosは、20年以上研究開発に取り組んだが、商業生産に適した生産性の達成ができず、資金源であったExxon Mobilの方向転換により破産

資金調達の問題

研究開発の問題

資金調達の問題	研究開発の問題
<p>調達先への依存</p>	<p>生産性の低さ</p>
<p>商業化までのタイムラインの長さ</p>	<p>屋外スケールでの安定再現</p>
<p>商業化に向けた投資の大きさ</p>	<p>下流の大規模実証不足</p>

- 資金調達において依存していたExxon Mobilに撤退されたことで資金バランスが崩れる
 - ViridosにとってExxon Mobilが中核の資金源であり、12年間の藻類バイオ燃料研究に3億5000万ドルを投資（年平均約2900万ドル）
 - Exxonは「収益性をもって大量生産するのが極めて難しい」として撤退（2022年）。その後、Viridosは従業員の60%を解雇
 - Exxonが撤退してから複数投資家から2500万ドル（2023年）を得たが、その後破産(2025年)

- 燃料として成立させるには、面積当たりのバイオマス生産や油生産を商用のしきい値まで押し上げる必要があるが、届かない
 - 25 g oil/m²/day（従来の化石燃料に価格が並ぶための目標）
 - 15 g oil/m²/day（商業生産のための目標）
 - 11.8 g oil/m²/day(2022年のPBR利用の実績値)
 - 9.1 g oil/m²/day(2022年のオープンポンド利用の実績値)

- 藻類燃料を成功させるにはさらに長い開発期間と数十億ドルの資金が必要だがリスクの高さと商業化までの長さから投資したい投資家が見つかりにくい
 - Viridosは約20年取組んだが、商業生産に必要な生産性に届かなかった

- ラボや小規模で出た高い生産性・脂質含量が、オープンポンド（季節・天候・運転条件が揺れる環境）で安定して再現できない
- 遺伝子組換え藻の屋外での運用はEPA（環境保護庁）の許可・監督下で行われる

- 商業スケールの生産に向けて大型投資が必要だが、投資したい投資家が見つかりにくい
 - 1日あたり1万バレルを生産できる商業規模の藻類施設には約50平方マイルの土地が必要で、建設費用は約50億ドルかかる
 - Exxonは大型投資を避けたかったという見方も存在

- 藻類ブームのあった2000年代に比べて藻類培養で狙える市場が縮小しているため、投資家が見つかりにくい
 - 陸上輸送の多くが陸上輸送の多くが電動化され、液体燃料が不要になる可能性があり、需要は航空機と船舶だけになる可能性がある

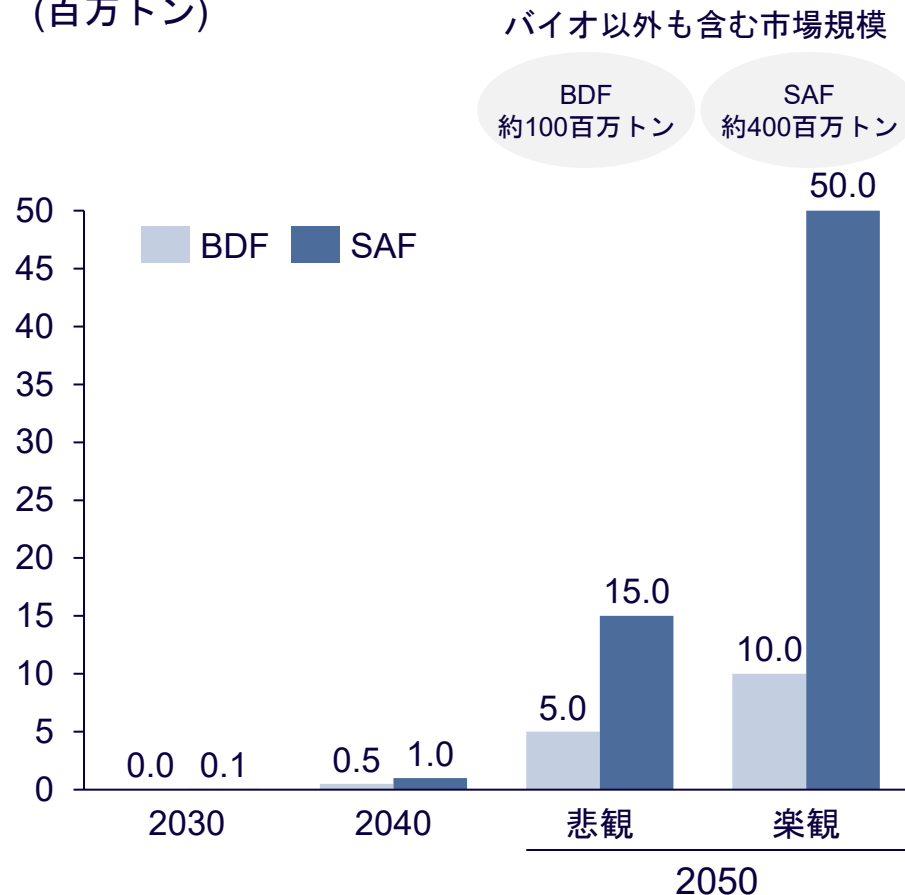
- 収穫→濃縮/脱水→油抽出→アップグレード（燃料化）というサイクルを、商用スケールで安定・安全・安価に回すための実証が足りていない
- 規格適合・燃料物性（HEFA-SPK）まで含めた検証が必要だが、実施できていない

油脂由来燃料のバイオものづくり市場規模推定

藻類由来バイオ燃料は、2030年から商業生産、2040年に100万t生産が可能になり、2050年に数千万tに成長し、SAF需要と供給の差分を埋める役割を果たす

藻類由来バイオ燃料の市場規模（供給可能量ベース）（世界）

(百万トン)



- 藻類由来HEFAへの需要

- SAFはジェット燃料の最も有望な代替であり、政策により後押しされているが、2050年ネットゼロ達成に向けSAF需給に差分が存在

- EUのREDでは原料を藻類とする輸送燃料供給は優遇

- 藻類由来BDFへの需要

- 電動化が進むが、BDF需要は海運、トラック、建機・農機の一部に残存

- 藻類由来燃料の生産

- 先行プレイヤーが2030年頃に商業生産を開始する見込み（初号機は数万トン/年規模）

- 各プレイヤーの初号機の商業生産成功により生産可能な各地域への技術移転が進み、需要によって生産能力を拡大。2040年までに50万t級の培養施設が複数建設される見立て

- 一方で50万t級の培養施設を建設するには、数十億ドルの資本と建設期間が必要であるため、その規模の案件成立は年数件程度で2050年までの供給可能量は数千万tに留まるという見立て

- SAF、BDFの原料に求められる特徴は重なっている部分が多く、需要によってどちらを生産するかを調節可能

油脂由来燃料における コスト・LCA面での分析

燃料での商業化に必要な高生産性での培養確立までは5~10年かかる見込みであり、スケールアップに向けては、広大な土地確保と資金確保が課題

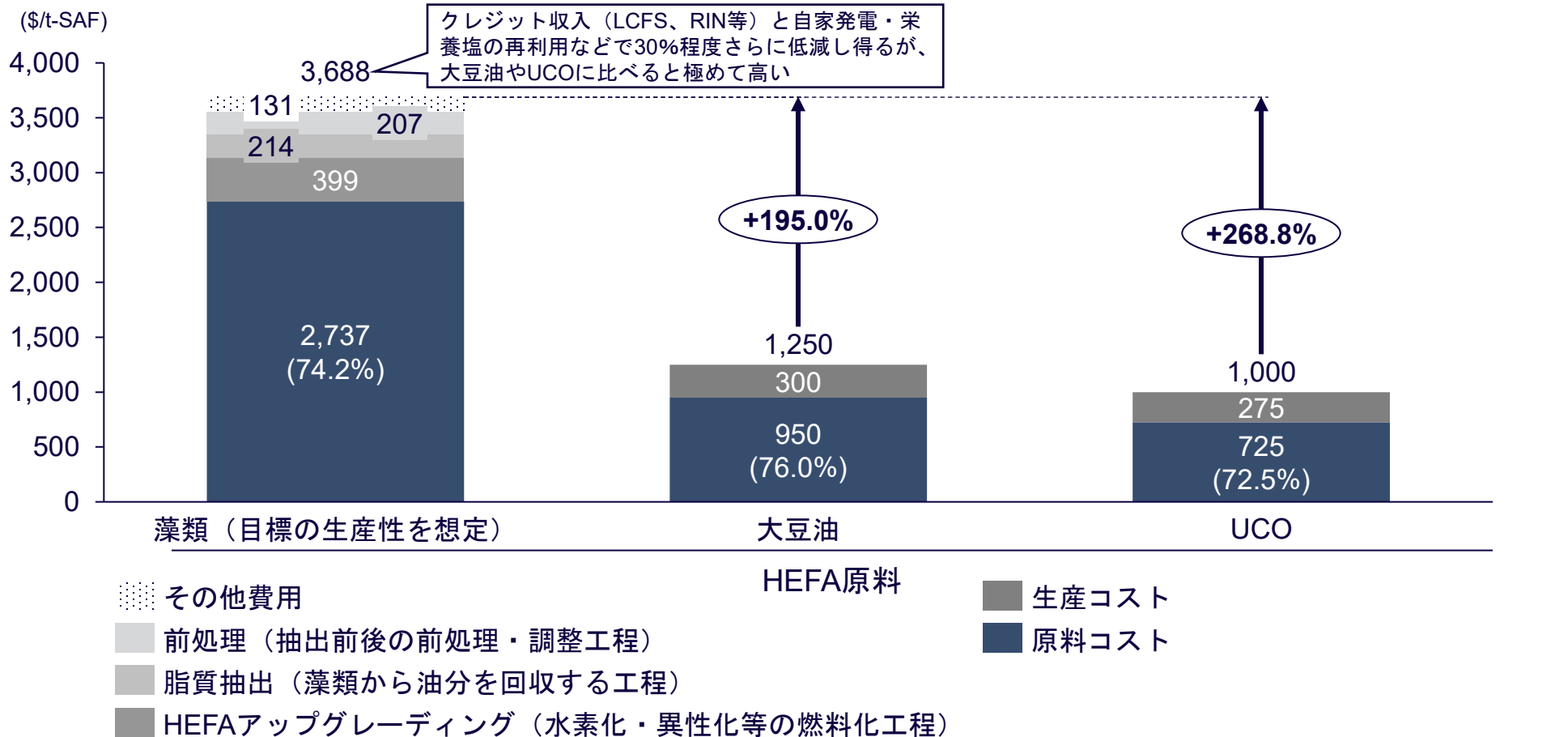
市場成長にあたっての供給面の課題

研究開発・実証	生産性向上	<ul style="list-style-type: none"> 顧客が重視するコストに直結するため、藻類開発・培養での生産性向上が必要 <ul style="list-style-type: none"> 油から燃料を精製する下流部分（HEFA）では技術確立 基準となる生産性の向上と屋外培養での安定性の向上（コンタミ/季節性）が課題であり、解決には5-10年を要する <ul style="list-style-type: none"> 基準となる生産性の向上は遺伝子組換えが必要 安定性の向上には外部環境に強い種の選抜や培養方法の改善が必要
	合計コスト低減	<ul style="list-style-type: none"> 顧客が重視するコストに直結するため、藻類バイオマスは油脂原料として高い <ul style="list-style-type: none"> プール等主要な設備のCAPEXが極めて高い OPEXにおいてもCO2調達コストや電力コスト（特に油水分離）が高い
スケールアップ	資金確保	<ul style="list-style-type: none"> 商業スケールを実現するには巨額が必要だが、燃料向け藻類に対して今の資本市場は慎重 <ul style="list-style-type: none"> 1万bpd（年間50万t）の施設には数十億ドルが必要 2000年代～2010年代初期に比べて燃料向け藻類に対するオフテイク契約や投資が極めて少ない
	土地確保	<ul style="list-style-type: none"> 広大な土地確保が必要だが、立地条件が多い <ul style="list-style-type: none"> 商業化に向けては、数千haが必要 CO2・海近辺、平坦、低地価、高い日照量・低季節性が理想
規制利用	GHG排出量削減	<ul style="list-style-type: none"> 顧客のCORSIA等制度利用には石油燃料と比べた際のGHG排出量削減を示す必要がある <ul style="list-style-type: none"> 電力由来排出が大きく、その中でも揚水や油水分離が大きい 非電力では肥料が大きい

顧客にとって特に重要

現状では、従来原料と比較して藻類を原料とするHEFAは倍以上のコストがかかる

原料別のHEFAコスト比較(\$/t-SAF)



注釈：RINとLCFSはCI削減が50%以上の場合を想定し適用。

また、出所先ではAlgae biomass costを495\$/t・Biomass、年平均25 g-AFDW/m²/day (AFDW：灰分除去乾燥重量) 27% lipids as FAMEをターゲットとして設定

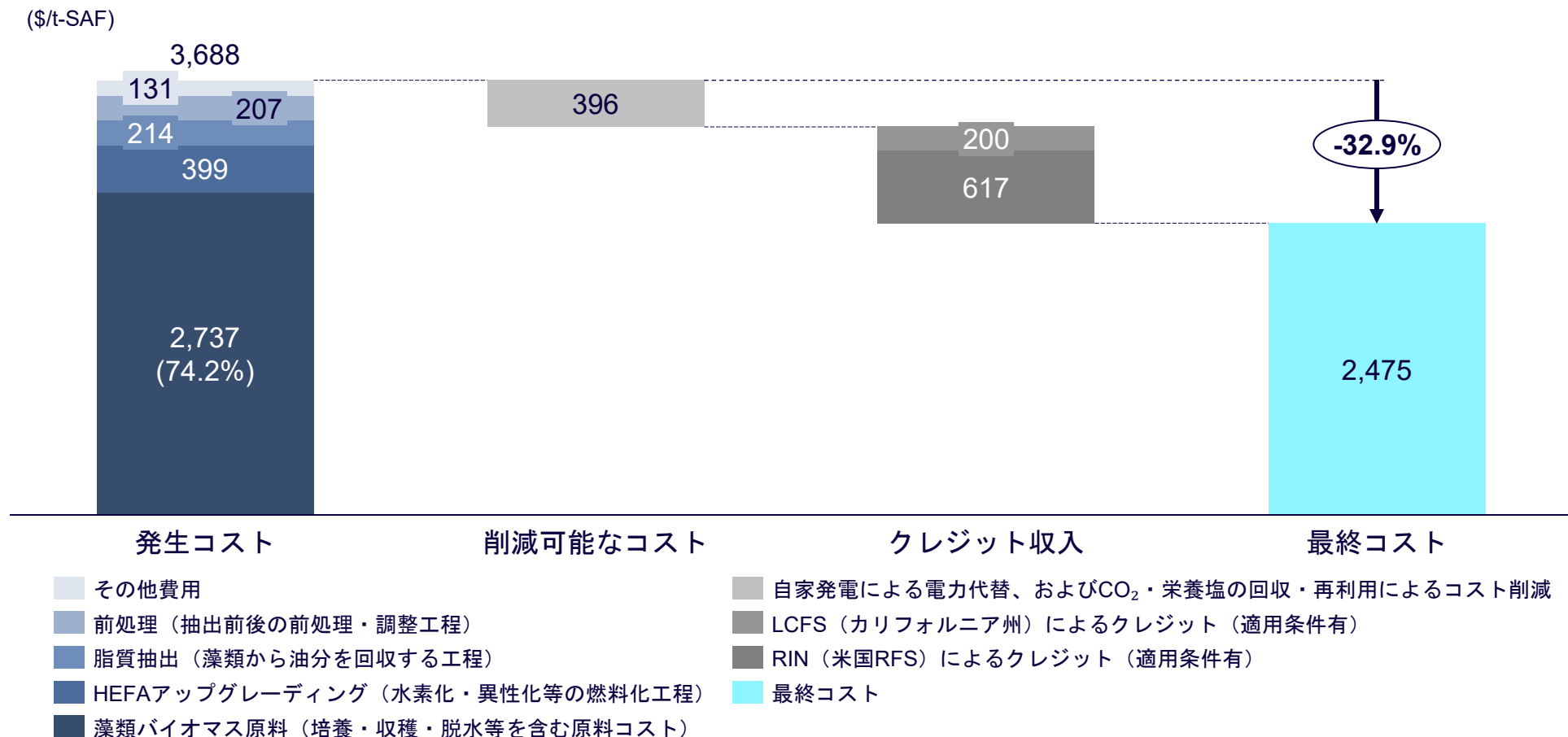
出所：Atnoorkar, S., Wiatrowski, M., Newes, E., Davis, R., & Peterson, S. (2024). Algae to HEFA: Economics and potential deployment in the United States. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18, 1121–1136.

DOI:10.1002/bbb.2623、ICAO「SAF Rules of Thumb」よりADL作成

大豆油、UCOの価格は、ICAO「SAF Rules of Thumb」の数値を留出油密度 (kg/L) 0.8として計算

理想的な生産性でも藻類由来のHEFAのコストは原材料が太宗を占める USではCI削減率と政策によってクレジットが加わり最大30%程度低減可能

目標としている藻類培養由来HEFAのコスト構造(\$/t-SAF)



注釈: RINとLCFSはCI削減が50%以上の場合を想定し適用。

また、出所先ではAlgae biomass costを495\$/t・Biomass、年平均25 g-AFDW/m²/day (AFDW: 灰分除去乾燥重量) 27% lipids as FAMEをターゲットとして設定

出所: Atnoorkar, S., Wiatrowski, M., Newes, E., Davis, R., & Peterson, S. (2024). Algae to HEFA: Economics and potential deployment in the United States. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18, 1121-1136.

DOI:10.1002/bbb.2623 よりADL作成

HEFAへの変換は方法論が確立しているため、コストが低い一方で藻類バイオマスは低生産性によりきわめて高い

コスト項目の詳細

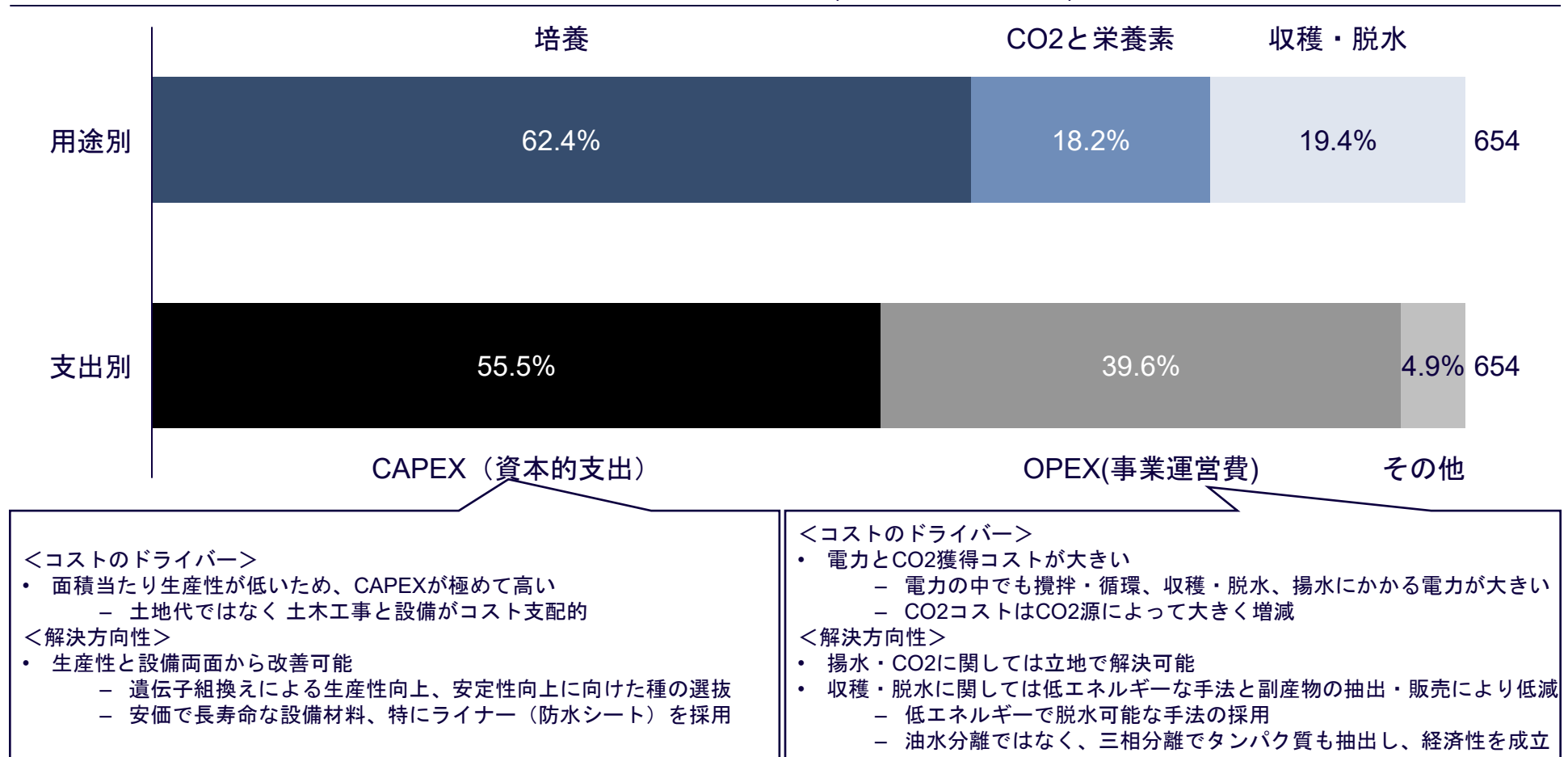
発生 コスト	前処理	N/A
	脂質抽出	N/A
	HEFAアップグレーディング	HEFAへのアップグレードは他原料で技術確立・建設済みのため、安価
	藻類バイオマス原料	燃料コスト全体の最大の構成要素であり、生産性によって最も強く左右される
削減可能なコスト	自家発電による電力代替 CO ₂ ・栄養塩の回収・再利用	脂質抽出後の残渣を嫌気消化しバイオガスで熱電併給に回し、CO ₂ と栄養塩は回収・再利用を想定
クレジット 収入	RIN（米国RFS）による クレジット（適用条件有）	燃料がEPAの条件（製法・原料等）、ライフサイクルGHG削減要件（Advanced biofuelやBiomass-based dieselは50%等）を満たすと再生可能燃料として認定される。生産するとクレジットが生成され取引可能
	LCFS（カリフォルニア州）による クレジット（適用条件有）	燃料のCI（Carbon Intensity）が低いほどクレジットを創出し取引可能

出所：

Atnoorkar, S., Wiatrowski, M., Newes, E., Davis, R., & Peterson, S. (2024). Algae to HEFA: Economics and potential deployment in the United States. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 18, 1121–1136. DOI:10.1002/bbb.2623 よりADL作成

藻類バイオマスではCAPEXが重く、生産性向上と培養設備の変更で改善可能 OPEXにおいては電力やCO2獲得コストが大きい、改善可能

藻類バイオマスのコスト構造(\$/t-Biomass,2023年)



注釈：レースポンドからの蒸発が少ないフロリダの2023 SOT (FA evaporation rates) MBSPを採用。アリゾナの2023 SOT (ASU evaporation rates) MBSP は\$740/ton-biomass

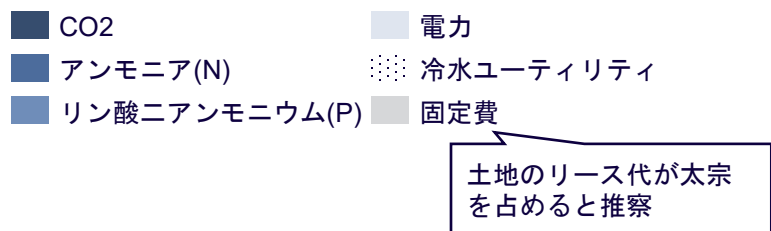
出所：

Algal Biomass Production via Open Pond Algae Farm Cultivation: 2023 State of Technology and Future Research Bruno Klein, Ryan Davis, and Matthew Wiatrowski National Renewable Energy Laboratory

有識者インタビューよりADL作成

OPEXではCO2と土地のリース代、CAPEXではポンドが太宗を占める

藻類バイオマスOPEXの構造

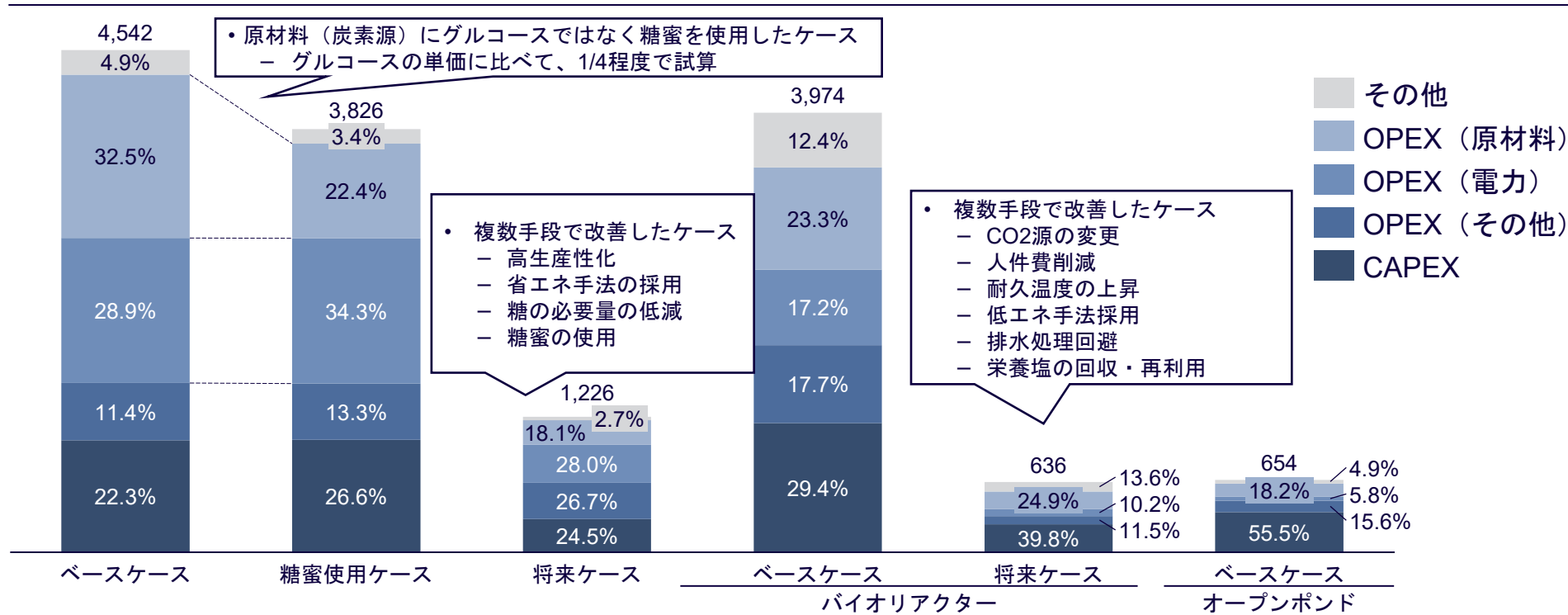


藻類バイオマスCAPEX構造



従属栄養型は原材料と電力を中心にOPEXが高く、独立栄養型と比較すると、CAPEXも重い

培養方法別の藻類バイオマスのコスト比較(\$/t-Biomass)



	従属栄養型	独立栄養型
対象	バイオマスの乾燥重量で計測培養～収穫を計算	バイオマスの乾燥重量で計測培養～収穫を計算
培養方式	クロレラを採用・バッチ発酵 体積生産性 4.81 g/L/day	ナンノクロロプシス・閉鎖型フラットパネルPBR 体積生産性 0.55 g/L/day
原材料	グルコース、ミネラル	N、P、CO2 (市販)
		バイオマスの灰分除去乾燥重量で計測培養～収穫を計算
		海産の単細胞緑藻・オープンポンド 体積生産性 0.04-0.14 g/L/day
		N、P、CO2 (排ガス由来)

注釈：規模や国など同条件ではないことに留意が必要

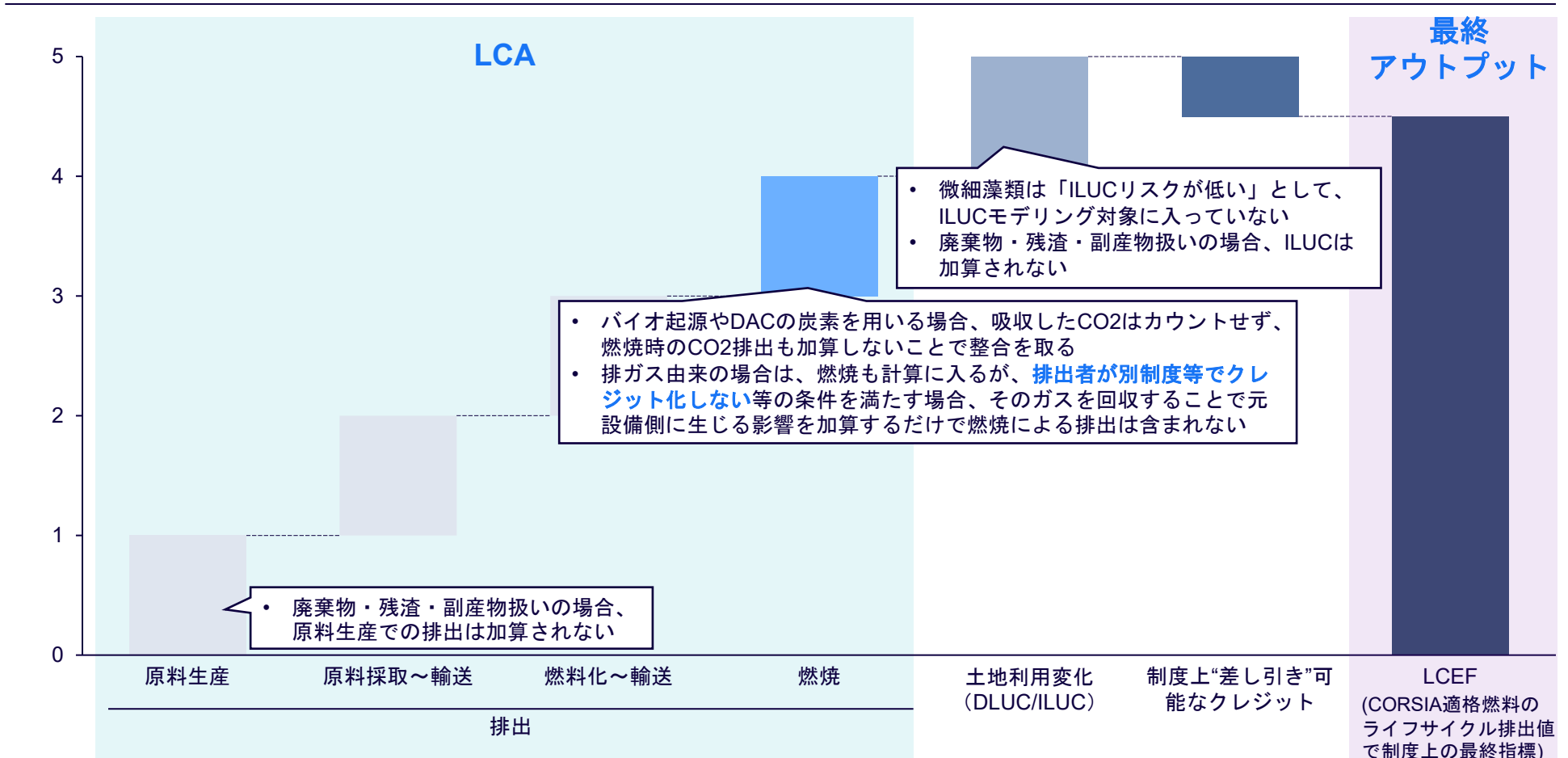
出所：Ruiz, J., "Heterotrophic vs autotrophic production of microalgae: Bringing some light into the everlasting cost controversy." Algal Research, 64, 102698 (May 2022)

Ruiz, J., "Towards industrial products from microalgae (ESI含む)." Energy & Environmental Science, 9, 3036-3043 (2016)

Algal Biomass Production via Open Pond Algae Farm Cultivation: 2023 State of Technology and Future Research Bruno Klein, Ryan Davis, and Matthew Wiatrowski National Renewable Energy Laboratory

GHG排出量は原料生産から燃焼まで測定するが、原料生産においてDAC、排ガス利用の場合、原料が廃棄物・残渣やバイオの場合は計上しない項目が存在

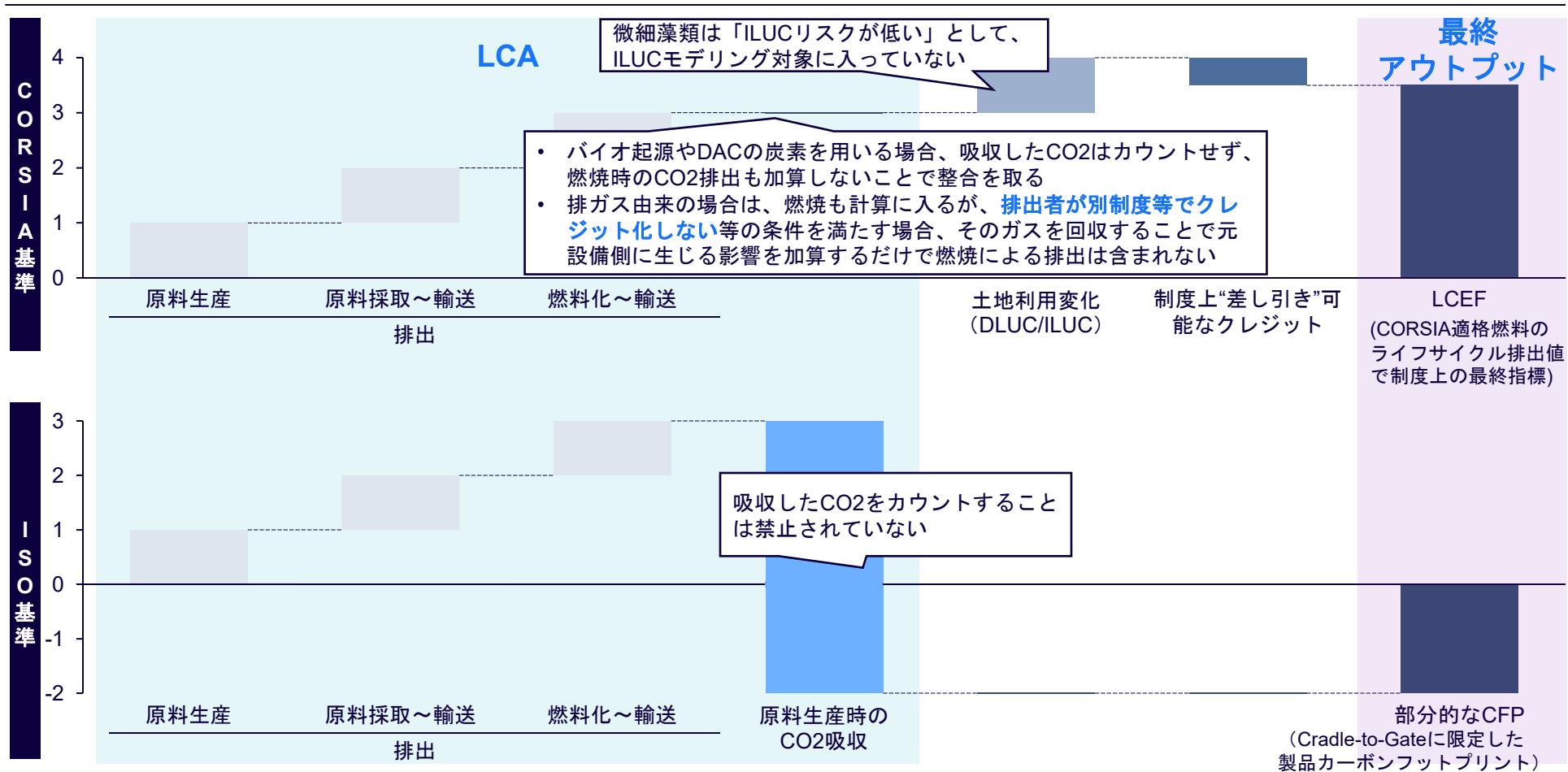
ICAO/CORSIAのLCA測定方法論（イメージ図）



注釈：CORSIA基準は制度利用のために細かく指定されているのに対して、ISOはあくまで国際基準であることに留意が必要
出所：ICAO、ISOのWeb SiteよりADL作成

Hutan BioのISO基準LCAとICAOが採用するCORSlAのLCAでは、吸収したCO2を計算に含めるかが異なり、単純比較できるものではない

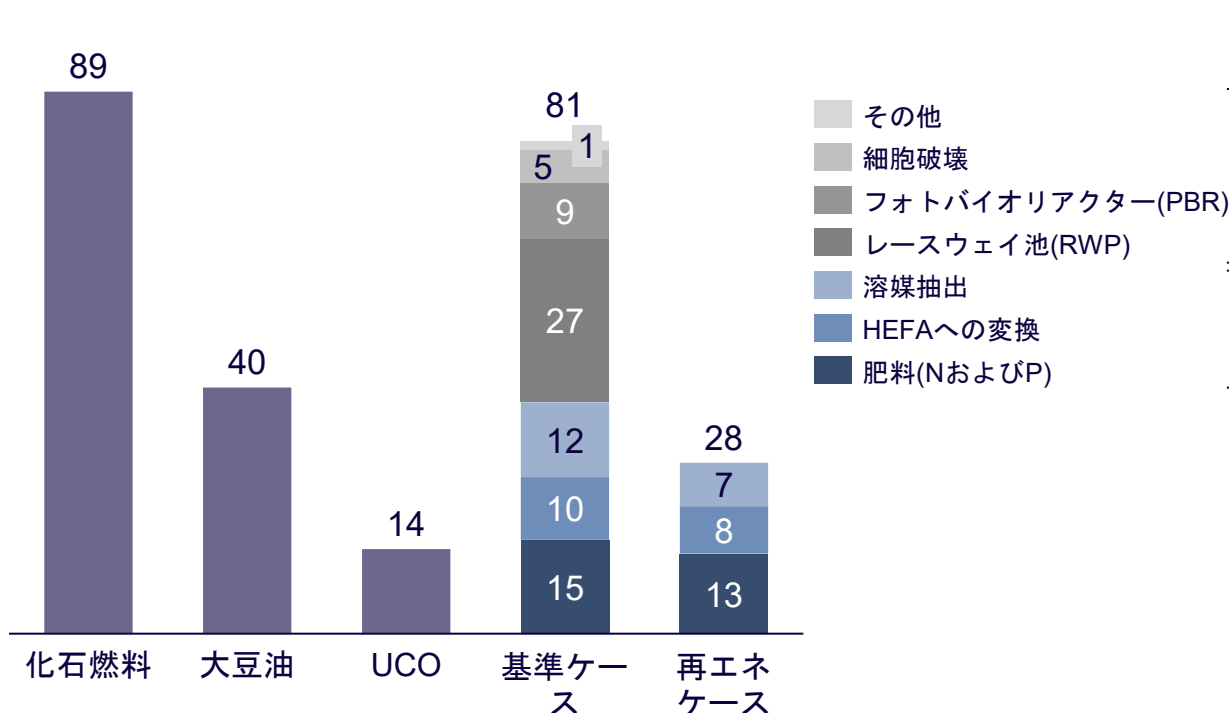
ICAO/CORSIAとISOのLCA測定方法論比較 (イメージ図)



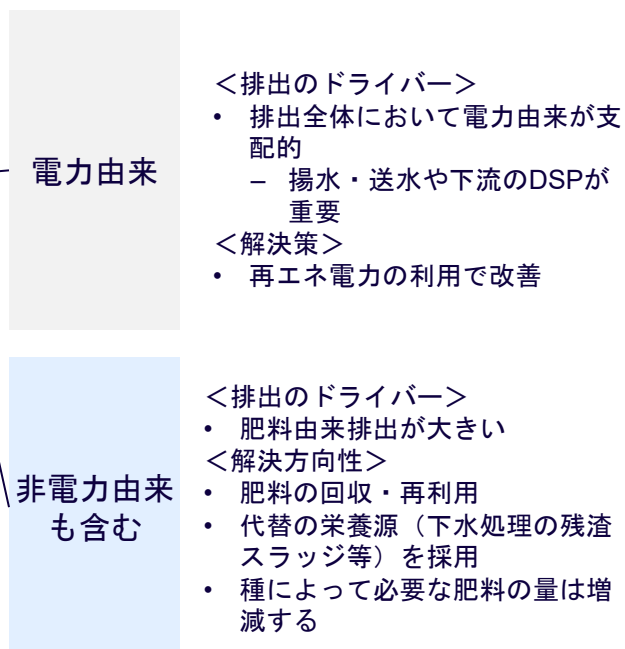
藻類のGHG排出量は石油燃料より低いが、大豆油やUCOには劣る 電力由来のGHG排出量が高いが、再エネ電力の使用や電力量の低減で改善可能

ICAO/CORSIAの方法論ガイドラインを用いた藻類由来HEFAのLCA (gCO₂e/MJ)

GHG排出量比較



重要な排出と解決策



使用電力

- 基準ケースとしてEUグリッド電力 (EU-mix 2016 : 383 gCO₂e/kWh) を設定
- 再エネケースでは、風力 (オンショア)、太陽光PV を利用する場合を想定しており、電力の上流のGHG排出を加算していない

注釈：工程別のネット排出量は、文献の「Total net GHG emissions (=総排出-biogas credit)」を、クレジット控除前の工程別排出内訳 (GHG emissions) の比率で按分して算出した参考値である
 注釈：UCO、大豆油由来HEFAのCore LCAを記載。藻類由来の基準ケースと同様にグリッド電力で計算されている
 出所：Prussi, M., Weindorf, W., Buffi, M., Sánchez López, J., & Scarlat, N. (2021). Are algae ready to take off? GHG emission savings of algae-to-kerosene production., Applied Energy, 304, 117817.
 ICAO Web siteよりADL作成

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

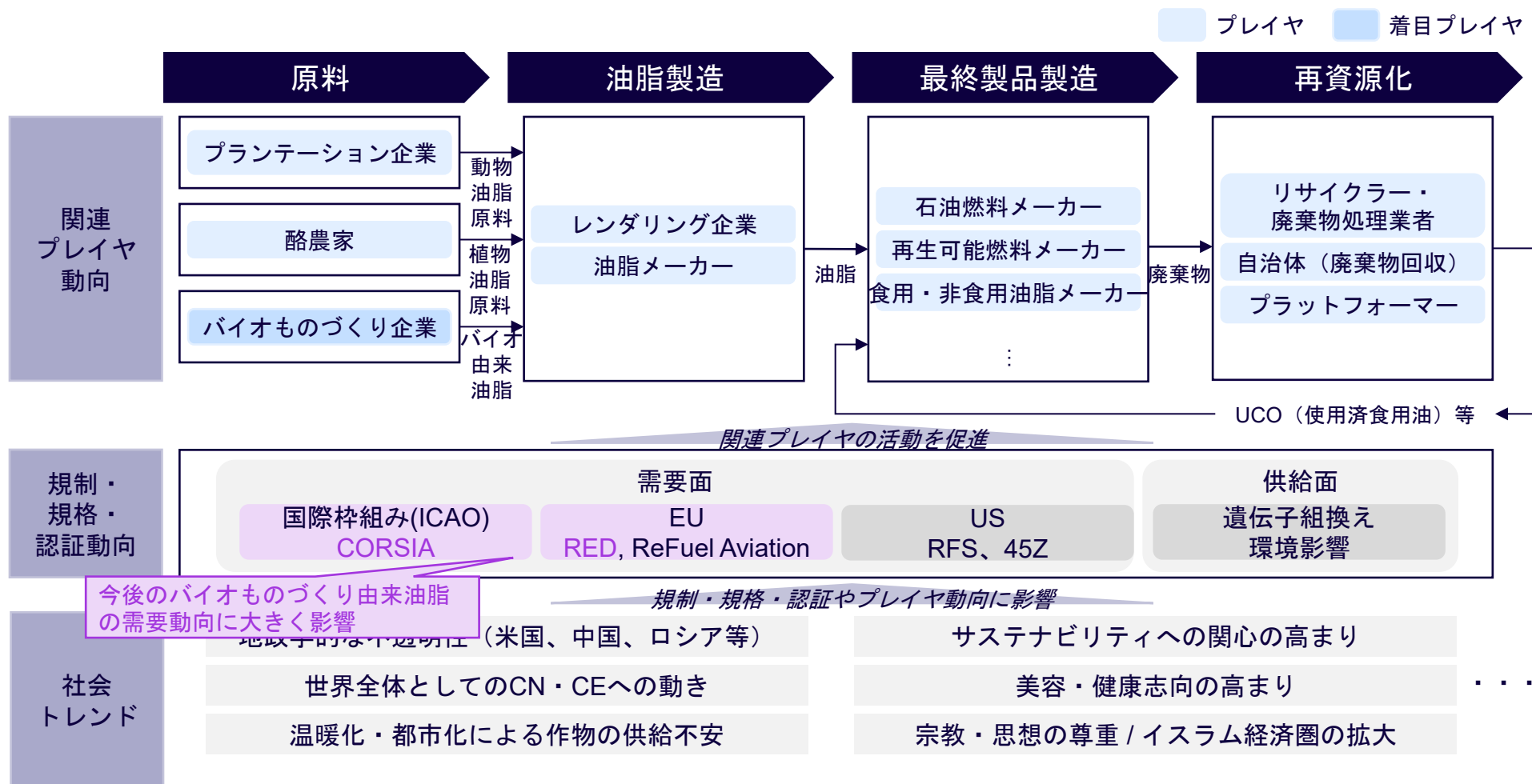
市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

SAF、BDFにおけるバイオものづくり油脂の需要や将来動向は、ICAOなどの国際機関や各国の規制・制度に大きく左右される



SAFはグローバルで同一規格が採用されており、BDFは各国規格が存在し、HVOやFAMEも扱いが異なる

	規格	地域	制定・管理機関	主な規格対象	概要
SAF	ASTM D7566	グローバル	ASTM International	航空タービン燃料	<ul style="list-style-type: none"> 合成炭化水素を含む航空タービン燃料の要件・使用可能添加剤などを規定
	ASTM D1655	グローバル	ASTM International	航空タービン燃料	<ul style="list-style-type: none"> Jet A / Jet A-1 航空タービン燃料の要件と使用可能添加剤を規定 D7566に従い製造・認証された燃料は、D1655燃料として扱える
	ASTM D4054	グローバル	ASTM International	航空タービン燃料	<ul style="list-style-type: none"> 新しい航空タービン燃料／添加剤をASTMでレビューするためのデータ要求・評価手順（研究報告のためのデータ整備）を規定
BDF	ASTM D6751	US	ASTM International	バイオディーゼル	<ul style="list-style-type: none"> 中間留分（軽油等）に混合するためのB100(FAME100%)ブレンドストックの仕様（性状要件）を規定
	ASTM D7467	US	ASTM International	ディーゼル燃料	<ul style="list-style-type: none"> B6～B20(FAME6-20%)のバイオディーゼル混合軽油の仕様を規定。
	ASTM D975	US	ASTM International	ディーゼル燃料	<ul style="list-style-type: none"> ディーゼル燃料の仕様を規定（HVOは石油軽油と同じ規格） B5まで(FAME～5%)は軽油として扱える
	EN 14214	EU	CEN (欧州標準化委員会)	バイオディーゼル	<ul style="list-style-type: none"> FAMEを100%燃料として使う場合、または軽油等へのブレンド基材として使う場合の要件・試験方法を規定
	EN 15940	EU	CEN (欧州標準化委員会)	バイオディーゼル	<ul style="list-style-type: none"> 合成または水素化処理由来のパラフィン系ディーゼル燃料の要件・試験方法（市販・供給燃料として）
	EN 16709	EU	CEN (欧州標準化委員会)	自動車用ディーゼル	<ul style="list-style-type: none"> 高FAME（B20/B30）の要求事項・試験方法（適合車両・運用前提）
	EN 16734	EU	CEN (欧州標準化委員会)	自動車用ディーゼル	<ul style="list-style-type: none"> 最大10%FAME含有の自動車用B10ディーゼルの要求事項・試験方法
	EN 590	EU	CEN (欧州標準化委員会)	自動車用ディーゼル	<ul style="list-style-type: none"> 市販の自動車用ディーゼル燃料の要求事項・試験方法を定める 最大7%のFAMEを含むディーゼルを対象

再エネ燃料の推進枠組みの中で藻類は再エネ燃料の原料として認められており、優遇される場合もある

推進枠組み	地域	制定・管理機関	主な対象	概要
RED II : Directive (EU) 2018/2001	EU	EU	輸送部門の燃料	<ul style="list-style-type: none"> 加盟国は燃料供給者へ義務を課し、輸送部門の最終エネルギー消費に占める再エネ比率を2030年に少なくとも14%とする枠を定める必要有 先進バイオ燃料 (Annex IX Part A) のサブターゲットも設定され、2022年0.2% → 2025年1% → 2030年3.5% 藻類を含むAnnex IX原料由来のバイオ燃料/バイオガスは輸送部門の再エネ比率の算定において優遇してカウントという会計ルールが存在
RED III : Directive (EU) 2023/2413	EU	EU	輸送部門の燃料	<ul style="list-style-type: none"> 加盟国は燃料供給者へ義務を課し、輸送部門で2030年に①再エネ比率29%または②GHG強度14.5%削減を掲げる必要がある 先進バイオ燃料/バイオガス (Annex IX Part A) とRFNBO (非生物起源の再エネ燃料、主に合成燃料) の合算シェアを2025年1% → 2030年5.5% <ul style="list-style-type: none"> 海港を有する加盟国は2030年以降の海運でRFNBO比率1.2%を目指す 藻類を含むAnnex IX由来バイオ燃料/バイオガス+RFNBOは優遇カウント <ul style="list-style-type: none"> 一般輸送では2倍、航空・海運ではAnnex IX Part Aは1.2倍、RFNBOは1.5倍等
RFS Renewable Fuel Standard	US	EPA (米国環境保護庁)	輸送部門の燃料、 家庭用暖房油	<ul style="list-style-type: none"> 輸送燃料、家庭用暖房油、ジェット燃料において、一定量の再生可能燃料を使用することを義務付ける国家政策 ガソリンやディーゼル燃料の精製業者または輸入業者に義務があり、義務を満たすのに十分なクレジット(RIN)を取得する必要がある 基本的に燃料タイプ (FAME、HVO、SAF) 毎にデフォルトで係数を設定 藻類も想定原料の範囲内だが、優遇措置はない
LCFS (CA州) Low Carbon Fuel Standard	US CA州	CARB (California Air Resources Board)	輸送部門の燃料	<ul style="list-style-type: none"> CARBが毎年CI基準 (年々低下) を設定 燃料供給者は、基準より低いCIの燃料 (電力・水素・バイオ燃料等) でクレジットを作るまたは買うことで基準より高いCIの燃料 (主に化石燃料) と相殺する
45Z (Clean Fuel Production Credit)	US	IRS (米国内国歳入庁)	輸送部門の燃料	<ul style="list-style-type: none"> 低ライフサイクル排出の輸送燃料を国内で生産した場合の所得税クレジットであり、2026年2月時点のIRS説明では「2024/12/31以降に国内生産され、2029/12/31までに販売された燃料」が対象 「生産量×排出係数」で設計

バイオ燃料の排出係数を経路と原料で定めるものと0とするものが存在

	推進枠組み	地域	制定・管理機関	主な対象	概要
S A F	ICAO CORSIA	グローバル	ICAO	SAF使用量（効果）	<ul style="list-style-type: none"> 燃料使用量からCO₂を計算して報告し、SAFの効果を申告して差し引き、残りをCORSIA適格クレジットを購入して取消して埋め合わせる <ul style="list-style-type: none"> SAFの効果は経路と原料で定められたデフォルトの排出係数か実測値から計測可
	ReFuelEU Aviation : Regulation (EU) 2023/2405	EU	EU	SAF混合割合	<ul style="list-style-type: none"> 航空燃料サプライヤーに対してEU空港で供給する燃料に年次で一定のSAF、合成燃料を混合することを義務として要求 <ul style="list-style-type: none"> SAFの最低混合目標2030年6%、2035年20%、2050年70% 合成燃料の最低混合目標2035年5%、2050年35%
	EU-ETS	EU	EU	航空、海運由来CO ₂ その他（発電、製造業等）	<ul style="list-style-type: none"> 排出上限（cap）が年々引き下がる中、設備・航空/海運事業者はCO₂排出枠をオークションで調達し、排出量を毎年提出。未達は罰則 バイオ燃料は排出係数0として計算される 2005年開始
（参考）	EU-ETS2	EU	EU	道路輸送由来CO ₂ その他（建物・上記既存EU-ETSの範囲外の産業）	<ul style="list-style-type: none"> 排出上限（cap）が年々引き下がる中、燃料供給者はCO₂排出枠をオークションで調達し、排出量を毎年提出。未達は罰則 バイオ燃料は排出係数0として計算される 2027年開始予定が1年延期となる見込み
	40A（BDF） / 40B（SAF Credit）	US	内国歳入法 US	混合燃料の販売・使用	<ul style="list-style-type: none"> 混合燃料の販売・使用量などに応じた税額控除 2024/12/31以降は失効し、「生産量×排出係数」で設計される45Zに移行
	IMO MARPOL Annex VI CII	グローバル	IMO	船の年間運航炭素強度	<ul style="list-style-type: none"> 船の年間運航炭素強度を求め、格付けが低い場合は是正措置計画が必要

出所：

ICAO CORSIA（Annex 16 Vol. IV 等）、Regulation (EU) 2023/2405（ReFuelEU Aviation）、EU ETS/EU ETS2 関連法令、U.S. Internal Revenue Code §§40A/40B/45Z、IMO MARPOL Annex VI（CII）Council of the EU “2040 climate target: Council and Parliament agree on a 90% emissions reduction”、Commission Implementing Regulation (EU) 2018/2066（MRR、consolidated version）、European Commission MRV Guidance Document No.3 “Biomass and zero-rating under the EU ETS”よりADL作成

ICAOやEUなどの規制動向が今後のSAF・BDF、バイオものづくり由来輸送燃料の需要動向に大きく影響

ICAOの枠組みCORSIA

目標	<ul style="list-style-type: none"> ICAO（国際民間航空機関）は2050年に向けてネットゼロを目指す
仕組み	<ul style="list-style-type: none"> CO2排出量に対する国際線の制度対応としてCORSIAがあり、各航空会社はジェット燃料にSAFを混合する事でも負担可能 <ul style="list-style-type: none"> 航空会社はCO2排出がベースラインを超える分についてオフセット必要量が算定され対応が必要 航空会社は、オフセット必要量への対応としてクレジットの償却に加え、CORSIA Eligible Fuels（SAF等）の使用による削減主張で必要量を低減可能 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> ジェット燃料の1単位の排出量と比較した削減率×使用量で計算 </div>
特筆すべき推進対象	<ul style="list-style-type: none"> 原料が残渣・副産物・廃棄物であればカウントされない排出項目が多く、有利 原料がバイオ由来であれば燃焼における排出が計上されない

EUの法令RED III

目標	<ul style="list-style-type: none"> 輸送部門について、加盟国は燃料供給者に供給義務を設定 <ul style="list-style-type: none"> 2030年までに再エネ比率29%またはGHG強度14.5%削減のいずれかを達成させる枠組み 先進的なバイオ燃料(Annex IX Part A)・合成燃料(RFNBO)供給目標も設定 食料・飼料作物由来燃料には厳しく、加算上限が設定
仕組み	<ul style="list-style-type: none"> 目標が達成できない場合の対応は、クレジット購入や不足分に対する課徴金・罰金等各国で設定 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <ul style="list-style-type: none"> 再エネの供給量を中心に計算 再エネに燃料と電力を含める </div> $\text{再エネ比率} = \frac{\text{Annex IX} \cdot \text{合成燃料供給量} \times \text{優遇カウント} + \text{その他再エネ供給量}}{\text{輸送部門の最終供給量(燃料+電力)}}$
特筆すべき推進対象	<ul style="list-style-type: none"> 藻類を含むAnnex IXは研究開発奨励の意図も含めて優遇 <ul style="list-style-type: none"> Annex IX由来バイオ燃料/バイオガスは最大2倍カウント Annex IX Part Aは先進バイオ燃料（藻類、林業・森林産業の廃棄物・残渣、都市ゴミ等） Annex IX Part Bは一部の廃油（UCO、動物脂等）

遺伝子組換えを伴う藻類培養は遺伝子組換えや環境影響の面での評価を提出する必要がある

推進枠組み	地域	制定・管理機関	主な対象	概要
TSCA / 40 CFR Part 725	US	EPA	Microbial Products of Biotechnology	<ul style="list-style-type: none"> MCAN（商業活動届出）には、用途・工程・放出ポイント・管理策・輸送時の封じ込め・廃棄/不活化など暴露と環境放出を中心にかなり具体的な情報の提出が必要
Directive 2009/41/EC	EU	欧州議会・EU理事会在が制定 加盟国の所轄官庁が運用	GMM contained use	<ul style="list-style-type: none"> 自然の交配/組換えでは起きない方法で遺伝子が改変されたmicro-organismを培養・使用等する活動において、一般公衆・環境への接触を制限し高い安全を確保し、その環境リスク評価と健康影響の評価を提出する必要がある 排水処理や廃棄物を特に考慮
Directive 2001/18/EC	EU	欧州議会・EU理事会在が制定 加盟国の所轄官庁が運用	GMO deliberate release	<ul style="list-style-type: none"> ヒトを除く生物で、自然の交配/組換えでは起きない方法で遺伝子が改変されたものを環境への意図的放出・上市（第三者への提供）する際、環境リスク評価（ERA）と健康影響の評価を提出する必要がある

ISOは一般論としてLCA方法論を定めるが、バイオ燃料に対するより詳細で個別のLCA算定方法は定めていない

	推進枠組み	地域	制定・管理機関	主な対象	概要
L C A	ISO 14040	グローバル	ISO (国際標準化機構)	LCA	<ul style="list-style-type: none"> LCAの原則と枠組みを定める規格で、LCAを(1) 目的・調査範囲設定 (2) インベントリ分析 (LCI) (3) 影響評価 (LCIA) (4) 解釈という段階で進めること、報告、クリティカルレビュー等の基本を示す
	ISO 14044	グローバル	ISO (国際標準化機構)	LCA	<ul style="list-style-type: none"> ISO 14040の枠組みに沿って、LCAを実施する際の要求事項とガイダンスをより具体的に示す (目的・範囲、LCI、LCIA、解釈、報告、クリティカルレビュー等)
	ISO 14067	グローバル	ISO (国際標準化機構)	製品カーボンフット プリント	<ul style="list-style-type: none"> 製品のカーボンフットプリント (CFP) を、ISO 14040/14044と整合する形で定量化・報告するための規格。対象は気候変動 (GHG) 影響のみ
	MEPC.391(81)	グローバル	IMO	船用燃料LCAガイド ライン	<ul style="list-style-type: none"> 船で使う燃料・エネルギー源について、ライフサイクル全体のGHG強度をWell-to-Tank / Tank-to-Wake / Well-to-Wakeで一貫して算定するためのIMOの方法論

再エネの推進枠組みや義務に対して第三者機関として認証を出す機関が存在 ISCCやRSBが有力な認証

認証	地域	制定・管理機関	主な対象	概要
ISCC International Sustainability & Carbon Certification	グローバル	ISCC(認証機関)	RED、CORSAなどの枠組み	<ul style="list-style-type: none"> ISCCは、原料・燃料・材料についてサステナビリティ要件とトレーサビリティを第三者監査で証明する認証体系で、用途（規制・市場）に応じてスキームを選ぶ ISCC EUは、EUの再エネ・燃料規制（RED系）で要求されるサステナビリティ基準とGHG削減基準への適合を検証するスキーム ISCC CORSAは、ICAOのCORSAで求められる持続可能性・トレーサビリティ・LCA方法論に適合するための認証として整理
RSB Roundtable on Sustainable Biomaterials	グローバル	RSB (グローバルな非営利組織ネットワーク)	RED、CORSAなどの枠組み	<ul style="list-style-type: none"> RSBはRSB EU RED Fuel CertificationやRSB CORSAを用意 RSB EU RED Fuel Certificationは、EUの再エネ指令（RED）に整合する認証 RSB CORSAは、SAFのCORSA適格性（持続可能性基準、土地利用、社会・環境セーフガード等）に対応する認証として提供

重要な認証

- 1 プロジェクト概要
- 2 食用・非食用油脂調査結果
- 3 油脂由来燃料調査結果
- 4 その他油脂動向

Appendix

食用/非食用油脂補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

油脂由来燃料補足資料

市場動向

先行事例

標準・ルール・認証

有望領域・勝ち筋

藻類由来燃料において、短期的には藻類培養の生産性向上・GHG排出削減による販売価格低減、長期的には需給ギャップに迅速に入り込めるかが重要か

油脂市場 を取り巻く 動向

①③

- SAFにおいては、航空業界のネットゼロの最重要施策の位置づけだが、従来原料の限界や技術未確立による需給ギャップが見込まれる
 - 短期的には、環境価値に基づくクレジットや混合義務化によるSAF需要が増加し、HEFAが先行して大規模商業化
 - 中長期的には、原料供給量に縛りのない合成燃料へのニーズが増大
- BDFにおいては、道路・海運輸送のネットゼロに向けた動力源として電化や水素が有望視
 - 短期的には、BDFは各国の混合義務・補助により需要が継続
 - 中長期的には、政策の重心は航空・海運など化石燃料削減が難しい分野へシフトし、バイオディーゼルは電化や水素化が進む前の次善策として利用される

着目製品 の動向

①②

- スタートアップやエネルギー企業がSAFに向けた藻類開発・培養を推進、2030年前後に商業化か
 - 商業化に向けては、コスト削減が課題であり、生産性がコストに直結するため、環境変化に強い種の選抜や培養方法の改善による安定性向上、また、遺伝子組換えによる土台となる生産性の向上が必要
 - スケールアップに向けては、資金調達と土地確保が課題であり、投資家を納得させる実証データとリスク管理を重視

着目製品 の勝ち筋

②

- 短期では、商業化に向けて実績を積むことが肝要
 - SAF・BDFともにコスト高と技術の未確立から藻類由来燃料の供給・利用拡大は限定的
 - 資金調達を行うためのオフテイク契約等実績蓄積と、低炭素燃料の規制・クレジット制度の活用に向けたGHG排出量の削減のための開発を重視すべき
- 中長期では、需給ギャップを見極め、供給を拡大する事が肝要
 - SAFにおいては、高いHEFAアップグレード能力に対する従来原料の限界が顕在化する時期を見越して代替原料として藻類バイオマス・油脂の供給を拡大
 - BDFにおいては、ディーゼル需要が残りやすい長距離輸送向けに供給しつつ、BDF需要の伸び悩みを織り込み、需給状況に応じてHEFAプレイヤーへの供給も狙うことが重要

藻類由来燃料の商業化実現に向けて、短期的には将来顧客とのオフテイク契約を成立させ、中長期的には、従来原料の価格高騰に対して低コストを訴求

	短期（～2030年）	中長期（～2040年）
油脂関連の社会変化	<ul style="list-style-type: none"> 2050年CN達成に向けた取り組み 従来油脂の供給不安定 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年CN達成に向けた取り組みの本格化 温暖化進行による原料の供給不安定性の増大 人口増加による長距離移動需要の増加
訴求が効くバイオものづくり製品の提供価値	<ul style="list-style-type: none"> ③原料調達・製造に伴う負荷低減 	<ul style="list-style-type: none"> ②既存素材のコスト削減 ③原料調達・製造に伴う負荷低減
注目製品における有望領域仮説	<ul style="list-style-type: none"> 原料の多様化・新技術への関心が高い将来顧客とのオフテイク契約 <ul style="list-style-type: none"> SAFにおける顧客候補 <ul style="list-style-type: none"> 航空業界：United Airlines エネルギー企業：Chevron、Neste 枠組み：ACT FOR SKY等 	<ul style="list-style-type: none"> 従来原料の供給限界 <ul style="list-style-type: none"> SAF（再生可能な航空燃料） <ul style="list-style-type: none"> 従来原料の供給に限界があるHEFA生産プレイヤーに新原料としての藻類を販売 BDF（バイオディーゼル燃料） <ul style="list-style-type: none"> 従来原料の供給に限界があるHVO・FAME生産プレイヤーに新原料としての藻類を販売 輸送における電化等代替動力移行に向けたつなぎ <ul style="list-style-type: none"> BDF（バイオディーゼル燃料） <ul style="list-style-type: none"> エネルギー転換が進みにくい農機・建機向け、IMOにより規制が進む船舶向けに藻類を販売

短期的には、オフテイク契約成立により需要を示すことで投資を獲得し、 中長期的には、HEFAの原料供給の限界に入り込む

	短期 (~2030年)	中長期 (~2040年)
領域	<ul style="list-style-type: none"> 需要と資金を確保するためのオフテイク契約・実証 	<ul style="list-style-type: none"> 従来原料の供給限界 輸送における電化等代替動力移行に向けたつなぎ
事業面	<ul style="list-style-type: none"> 農地を使わず食料とも競合しない藻類の立ち位置を利用してユーザー側とオフテイク契約に持ち込む <ul style="list-style-type: none"> オフテイク契約や実証を通じて現SAFやジェット燃料との互換性を示す。また、将来顧客に選ばれるためにGHG排出削減、コスト低減を進める オフテイク契約の成立をもとに需要を示し、商業スケールを成立させるために投資家からの投資を獲得 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客が藻類の環境的価値をクレジットに換えてコストを低減できる状態を確立 合成燃料(e-fuel)の商用化が進む前にHEFAの原料供給の限界に入り込む <ul style="list-style-type: none"> 合成燃料の本格的な商用化は2035-2040年頃 HEFAの主な原料である植物油はEUでは使用しにくく、UCOは供給に限界がある
政策面	<ul style="list-style-type: none"> 藻類を原料とする燃料に対する研究開発・投資を行うインセンティブを設計 <ul style="list-style-type: none"> 食料と競合する原料由来バイオ燃料への規制 藻類由来バイオ燃料生産・販売の優遇制度の成立 	<ul style="list-style-type: none"> サステナビリティ推進に向けた政策・規制制定 <ul style="list-style-type: none"> 電化が難しい長距離輸送におけるバイオ燃料の混合義務の設定 DAC由来CO2の吸収を吸収として環境価値に反映できる算定方法の採用

バイオものづくりならではの
機能性・コスト低減訴求による
バイオものづくり油脂製品の浸透度向上

バイオものづくり製品の
多様性・サステナビリティ貢献素材としての確立

契約管理番号 : 25101671-0