経済産業省

資料５

バイオものづくり革命の実現

2023年４月19日

商務・サービスグループ

「バイオものづくり革命の実現」についての問題意識、これまでの経緯、本日の議論の目的

【問題意識】

- バイオものづくりは、**資源自律や化石資源依存脱却など地球規模の社会課題解決と経済成長との両立を可能**とするイノベーション。合成生物学、IT・AI等の技術の進展に加えて、地球環境問題への意識の高まりによる化石資源脱却、地政学的リスクによる資源自律の必要性など、実用化に向けて周辺環境が整いつつある中、今後の大幅な市場規模の拡大が見込まれ、**米中でも兆円単位での投資が行われ、競争が激化**。
- 今後、バイオものづくり分野で我が国の産業を興していくためには、**技術開発、具体的なプレイヤー（企業）育成、市場創出のための仕組み作り**等について我が国の強みを精緻に分析・整理した上で、強弱をつけながら、**戦略的に方向性を検討する必要**がある。

【これまでの経緯】

- 政府では、**2019年にバイオ戦略を策定**（2020年に更新）。「2030 年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現」することを目標に、「持続的な製造法で素材や資材のバイオ化している社会」を掲げ、各市場領域での取組を推進。
- 2022年6月にとりまとめた新機軸部会中間整理では、以下の目標と対応の方向性を提示。

ー課題・定量目標：2030年までに、官民合わせて、年間の投資規模を３兆円に拡大

ー対応の方向性：新たな微生物の設計・開発、微生物を用いた製品開発、有志国と連携したバイオものづくり製品の需要先の確保

- 今般、新たな微生物の設計・開発や微生物を用いた製造プロセスの高度化等、必要となる技術開発及び社会実証を行う予算事業として、今般、**グリーンイノベーション基金（1767億円：2023年3月に第一次公募の採択事業者決定）**や**バイオものづくり革命推進基金（3000億円：2023年3月末に公募開始）**を措置。

【本日の議論の目的】

- 「バイオものづくり革命の実現」に関する進捗状況のご報告。
- 「バイオものづくり革命の実現」に関する今後の進め方について。

（参考）「経済産業政策の新機軸」において取り組む分野（全体における本日の議論の位置付け）

- **世界的な社会課題を起点に(ミッション志向)**、企業の投資先として日本が積極的に選ばれるような、**長期持続的に成長が見込まれる魅力的な市場環境**を、**5～10年腰を据えて官も一歩前に出て**構築し、**国内投資・イノベーション・所得上昇を喚起していく。**
- 同時に、企業の競争力と生産性の向上には、**国内外のつながりも重要**。日本の特徴を活かし、**社会課題「解決」先進国として、国内外で今後広がる社会課題起因の成長市場**を中心に、**内外一体で成長していけるよう、国際連携**等も進めていく。

1.ミッション志向の産業政策

世界的な社会課題であって、**国内で対応する意義**がある分野（＝**人口減少が続く日本で積極的に挑戦しがいのある分野**）で、官も一歩前に出て魅力的な確たる製品・サービス市場を構築

- **①炭素中立型社会の実現**　2050CN、2030▲46%→今後10年で官民合わせて150兆円投資
- **②デジタル社会の実現**　デジタル技術を活用し地域課題解決・魅力向上→2030年に官民で半導体3兆円/年投資　等
- **③経済安全保障の実現**　包括的な経済安全保障の実現
- **④新しい健康社会の実現**　デジタルによる未来の健康づくり→2030年までに全ての患者が医師等とデータ共有
- **⑤災害に対するレジリエンス社会の実現**　気象関連災害等に強い社会
- **⑥バイオものづくり革命の実現**　バイオものづくりの確立→2030年までに官民で３兆円/年投資

2.経済社会システムの基盤の組替え（OS組替え）

国内のヒト・モノへの投資や所得上昇が行われやすくなるよう、**労働市場・資本市場・行政**を、官も一歩前に出て刷新

- **①人材**　日本型雇用システムの綻び、一律・一斉・受動的学びの限界→5年後までに新卒：既卒を7:3→6:4に　等
- **②スタートアップ・イノベーション**　5年後までに国内スタートアップへの投資額10倍に
- **③グローバル企業の経営：価値創造経営**　2030年までに代表的企業のPBR＞1の割合を6割→8割に
- **④徹底した日本社会のグローバル化**　2030年までに対日直投43.5→80兆円　等
- **⑤包摂的成長（地域・中小企業・文化経済）**　大都市との生産性や賃金格差縮小、文化創出ｴｺｼｽﾃﾑ確立
- **⑥行政：EBPM・データ駆動型行政**　データを活用した政策効果検証の仕組み整備

経済秩序の激動期において取り組むべき分野

課題・定量目標

①成長志向型の資源自律経済の確立　②Web 3.0の可能性と政策対応

中間整理後の進捗

中間整理（2022年６月）

（長期ビジョン・定量目標）

- 食料危機や地球環境汚染等の世界的な社会課題を解決するバイオテクノロジーを活用したバイオものづくりについて、**2030年までに、官民合わせて、年間の投資規模を３兆円に拡大する**。

（対応の方向性）

ゲノム解析のコスト低下、IT・AIゲノム編集・ゲノム合成の要素技術の革新により、バイオものづくりの中核となる微生物の設計が容易に。また、**日本は古くから発酵・醸造の技術を有しており、国際競争力の面でも高いポテンシャルを持つ**。拡大する世界市場を取り込んでいくため、以下のような政策に取り組む。

１．新たな微生物の設計・開発

- 要素技術となる微生物の設計段階では、プラットフォーム技術を有する有望なプレーヤーが複数登場。**革新的な素材や燃料などの異分野事業者との共同開発の促進等を通じて、微生物設計プラットフォーム事業者を育成。**

２．微生物を用いた製品開発

- 古くから培った発酵・醸造技術を活かして、**有用微生物のスケールアップ生産実証や目的物質に応じた有用物質の分離・精製技術の高度化を促進。**

３．有志国と連携したバイオものづくり製品の需要先の確保

- サステイナブルな製品としての位置づけを確立して、**安定的な需要を確保できるよう、有志国と連携しつつ、品質評価・表示などの標準化等に取り組む。**

・【関連する政府戦略の策定】
・「GX実現に向けた基本方針」（2023年２月閣議決定）、**「フードテック推進ビジョン」**（同２月）、**「成長志向型の資源自律経済戦略」**（同３月）が策定される等、社会課題に対応した政府方針の策定が加速。

・【バイオ分野における産業界の活発化・技術の進展】
・日本経済団体連合においてバイオエコノミー委員会が発足（2022年6月）、2023年3月にはバイオトランスフォーメーション（BX）戦略を打ち出す等、産業界でも関心が高まっている。
・米国の大手バイオベンチャーGingko Bioworks社が同業のZymergenを買収（2022年7月）する等、プレイヤーの動きにも変化。
・米illumina社が**シーケンサーの大幅な低コスト化を実現**（同10月）、2023年2月には日本のインテグリカルチャー社が**国内初の培養肉の官能評価会（試食会）**を実施する等、社会実装に向けた技術開発も進展。

・【大胆かつ重点的な研究開発投資への着手】
・微生物等設計プラットフォーム技術の高度化、微生物等の開発・改良、微生物等による製造技術の開発・実証等に向け、2022年度中に以下の事業を開始。
〇GI基金事業：「バイオものづくり技術によるCO_2を直接原料としたカーボンリサイクルの推進」プロジェクト（上限額：1,767億円）を開始。2023年3月に第一次の採択事業者を決定（全６チーム）。
〇バイオものづくり革命推進事業：多様なバイオ製品の生産を支援し、経済成長と資源自律化などの社会課題解決との両立を目指すための**バイオものづくり革命推進事業（上限額：3,000億円）**の公募を開始。

・【国際競争の加速】
・2022年９月に発表された米国大統領令の中で、バイオものづくりの拡大等に向けて集中的な投資を行う方針が発表。
・このような中、**日本としてもQuadや二国間会談等において、有志国との連携に向けてバイオテクノロジー分野での国際協力を引き続き推進**。

本会では、バイオものづくりを取り巻く状況や今後の見通しを踏まえ、
バイオものづくり革命の実現に向けた更なる対応の方向性を議論いただきたい。

目次

１．現状分析
１－１．バイオものづくりを取り巻く足下の状況
１－２．バイオものづくりとは
１－３．産業構造の見通し
１－４．バイオものづくりの活用が見込まれる分野

２．対応の方向性
２－１．「バイオものづくり革命の実現」に向けて検討すべき政策の全体像

日本のバイオ戦略について

- 2019年に策定した「バイオ戦略」は、毎年フォローアップを実施。策定以降、脱炭素や資源循環等のグローバルな社会課題がこれまで以上に顕在化したこと、感染症によるパンデミックを経験したこと等を背景に、**バイオ関連の取組が一層加速し、目標達成に向けた素地が醸成されつつある**。

「バイオ戦略フォローアップ」のポイント

◆ 全体目標として「2030年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現」するため、「バイオ戦略2019」・「バイオ戦略2020」を策定し、市場領域の拡大に向け、市場領域ごとに目標を設定し、バックキャスト等の基本方針に基づき取組を推進

◆ 第6期基本計画のほか、気候変動問題への対応の更なる加速やワクチン・治療薬等の開発競争の激化に代表される情勢変化など、最新動向を踏まえ、具体的な取組を充実させ、戦略の実行構想を示すべく、これまでの戦略をブラッシュアップした「バイオ戦略フォローアップ」を策定し、目標達成を目指す

バイオ関連市場の拡大

2030年時点で総額92兆円の市場規模を目指し、市場領域施策を推進

【2030年の市場規模目標】
※1 2025年　※2 市場規模は公的保険外ヘルスケアサービス

バイオ製造
高機能バイオ素材、バイオプラスチック、バイオ生産システム等
【53.3兆円】← 32.5兆円（2018年）

- バイオものづくりの実践に向けた開発・生産体制の整備
- バイオプラスチック導入ロードマップに基づく生産設備・技術開発支援、政府率先調達等の取組の推進

一次生産等
持続的一次生産システム
【1.7兆円】← 0.3兆円（2018年）
木材活用大型建築、スマート林業
【1.0兆円】← 0.5兆円（2018年）

- 「みどりの食料システム戦略」に基づく生産から消費までの各段階の取組やカーボンニュートラル等のイノベーションの推進
- 木材活用大型建築の設計技術等の整備

健康・医療
生活習慣改善ヘルスケア、機能性食品等
【33.0兆円※1】← 25兆円（2016年）※2
バイオ医薬品・再生医療等関連産業
【3.3兆円】← 1.5兆円（2020年）

- 「ワクチン開発・生産体制強化戦略」に基づく取組の実施を含むバイオ医薬品等の開発・生産体制の強化
- 3大バイオバンクの成果による大規模ゲノム・データ基盤の構築

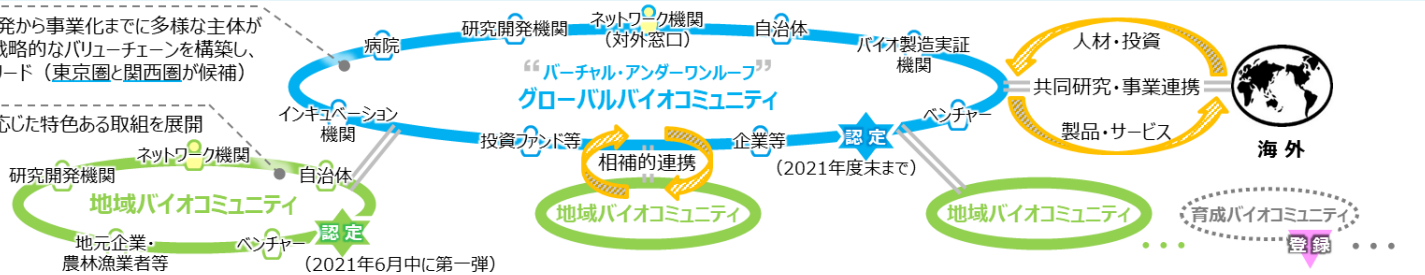
バイオコミュニティの形成

人材・投資を呼び込み、市場に製品・サービスを供給するための体制

全国に多様で個性的なコミュニティ群を形成し、継続的に成長を支援することで、各市場領域でバリューチェーンを構築

研究開発から事業化までに多様な主体が関わる戦略的なバリューチェーンを構築し、世界をリード（東京圏と関西圏が候補）

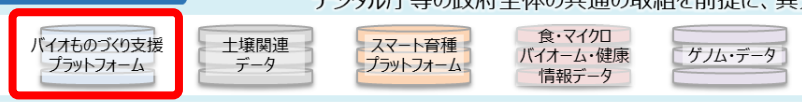
地域に応じた特色ある取組を展開



データ基盤の整備

研究開発・事業化に必要なデータ基盤

デジタル庁等の政府全体の共通の取組を前提に、異分野を含む幅広く、柔軟なデータ連携を可能とする環境を構築



＋ バイオデータの連携・利活用に関するガイドライン（仮称）（2022年度中に策定）

（出所）令和3年6月　統合イノベーション戦略推進会議決定「バイオ戦略フォローアップ」概要資料より一部抜粋、加工

バイオものづくりが可能となる技術的背景

- 直近の10年でDNA合成、ゲノム編集等の技術革新による、**合成生物学が急速に台頭**。さらに、**ゲノム解析、IT・AI技術の進展とあいまって、バイオ×デジタルでの開発競争が激化**。
- その結果、**高度にゲノムがデザインされ、物質生産性を高度に高めた細胞**（＝スマートセル）を利用した、**新たな物質生産プロセス（バイオものづくり）を利用**することが可能となりつつある。

＊合成生物学は、遺伝子配列や代謝経路を設計し、生物機能をデザインする学問

生物情報のデータ化・デジタル化

① ゲノム解析のコスト低下・時間短縮　読む

次世代シーケンサーの登場で一人当たりのヒトゲノム解析は、
コスト・時間：1億ドル・10 年　→ 1000ドル・１日
（※2000年と2020年の比較）

② IT・AI技術の進化　理解する

ディープラーニング等によりゲノム配列が示す「意味」を解明

生物機能のデザイン

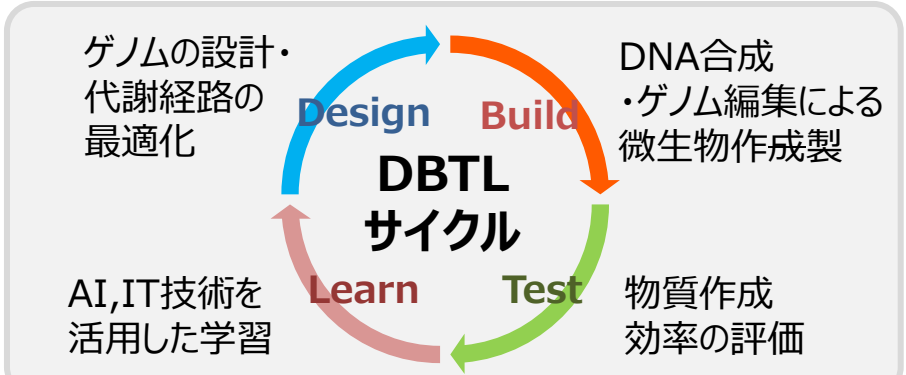
③ ゲノム編集の技術革新　操作する

2020年にノーベル化学賞を受賞したCRISPR/Cas9などにより、ゲノム編集の難易度が低下

④ DNA合成コストの低下　作る

塩基のブロックから、DNAを合成する技術が進展し、
コスト：1/1000に低減（※2000年と2020年の比較）

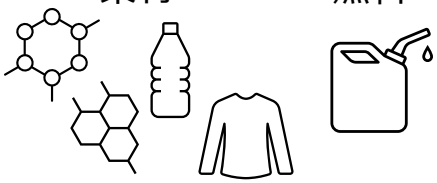
スマートセルの創出



スマートセル

有用物質の生産性が大幅に向上した微生物

物質生産・商用化

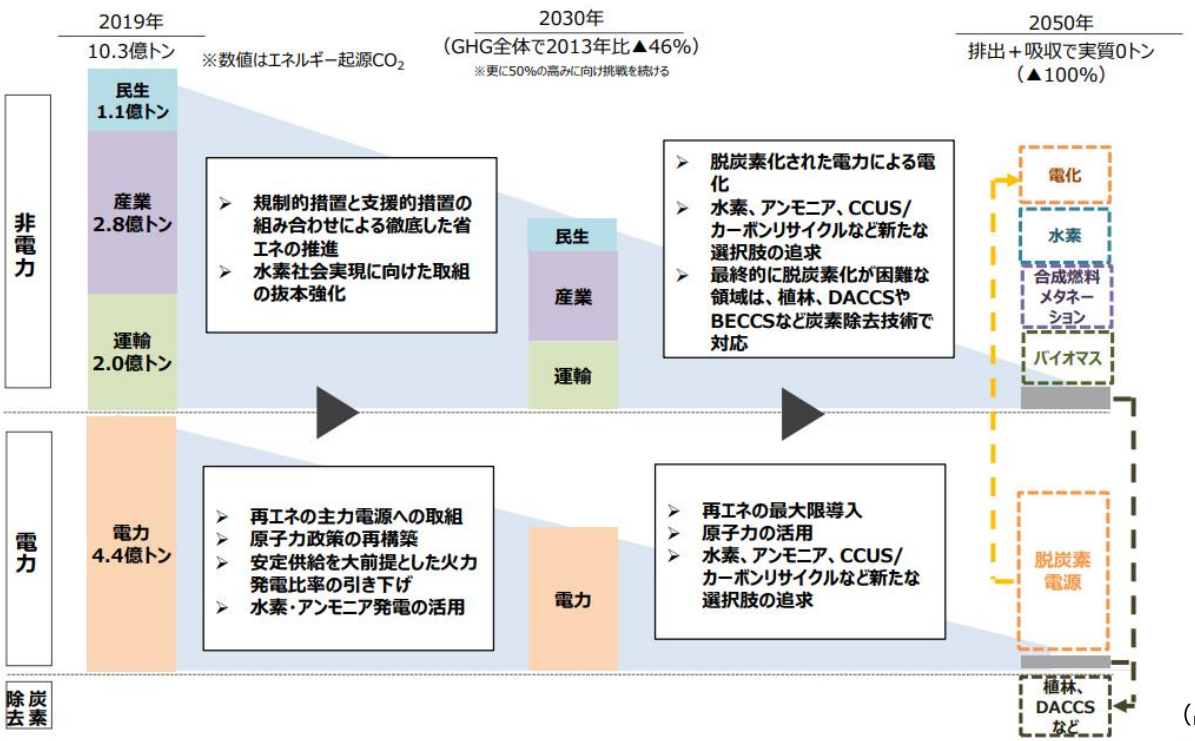


機能性ポリマーなど
高機能材料原料

（参考）バイオものづくりへのニーズの高まり（GX）

- 政府は、気候サミットのグローバル目標を踏まえて、**2030年に温室効果ガスを2013年比で46%削減、2050年にカーボンニュートラルを実現する**という目標を掲げている。その上で、化石エネルギー中心の産業構造・社会構造をクリーンエネルギー中心へ転換する**「グリーン・トランスフォーメーション（GX）」**実現に向けて取り組んでいる。
- **バイオものづくりは、**脱炭素に貢献するポテンシャルが大きい分野として、**GX実現のために官民投資が必要な分野として位置付け**られている。

〇2050年カーボンニュートラルの実現



（出所）経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（概要資料）

〇GXに向けた官民投資

今後10年間の官民投資額全体

150兆円超

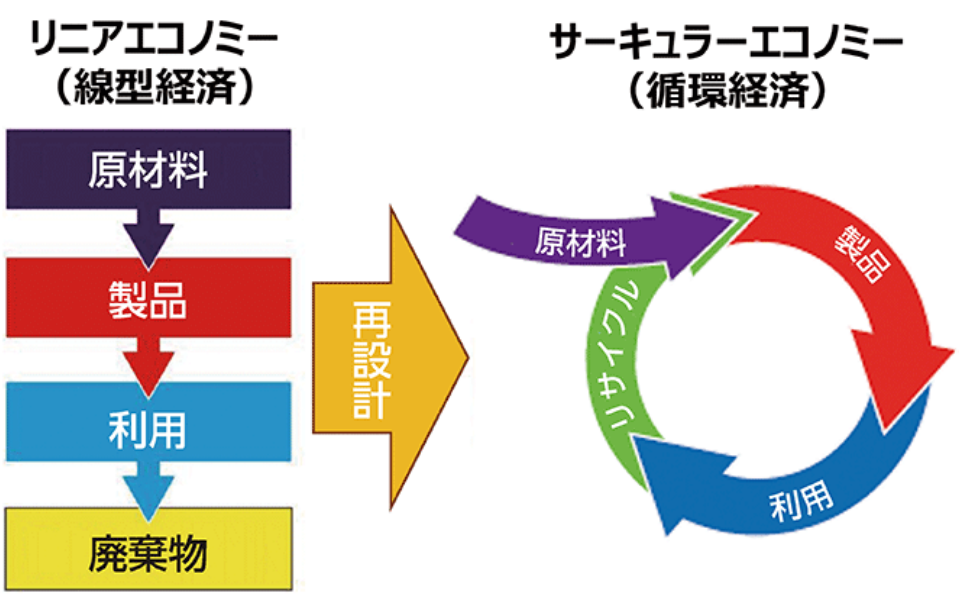
約60兆円～	再生可能エネルギーの大量導入 原子力（革新炉等の研究開発） 水素・アンモニア　等
約80兆円～	製造業の省エネ・燃料転換（例.鉄鋼・化学・セメント・紙・自動車） 脱炭素目的のデジタル投資 蓄電池産業の確立 船舶・航空機産業の構造転換 次世代自動車 住宅・建築物　等
約10兆円～	資源循環産業 バイオものづくり CCS　等

（出所）経済産業省「第11回 2050年カーボンニュートラルを見据えた次世代エネルギー需給構造検討小委員会 合同会合（令和4年12月14日）」資料1より抜粋

（参考）バイオものづくりへのニーズの高まり（資源循環）

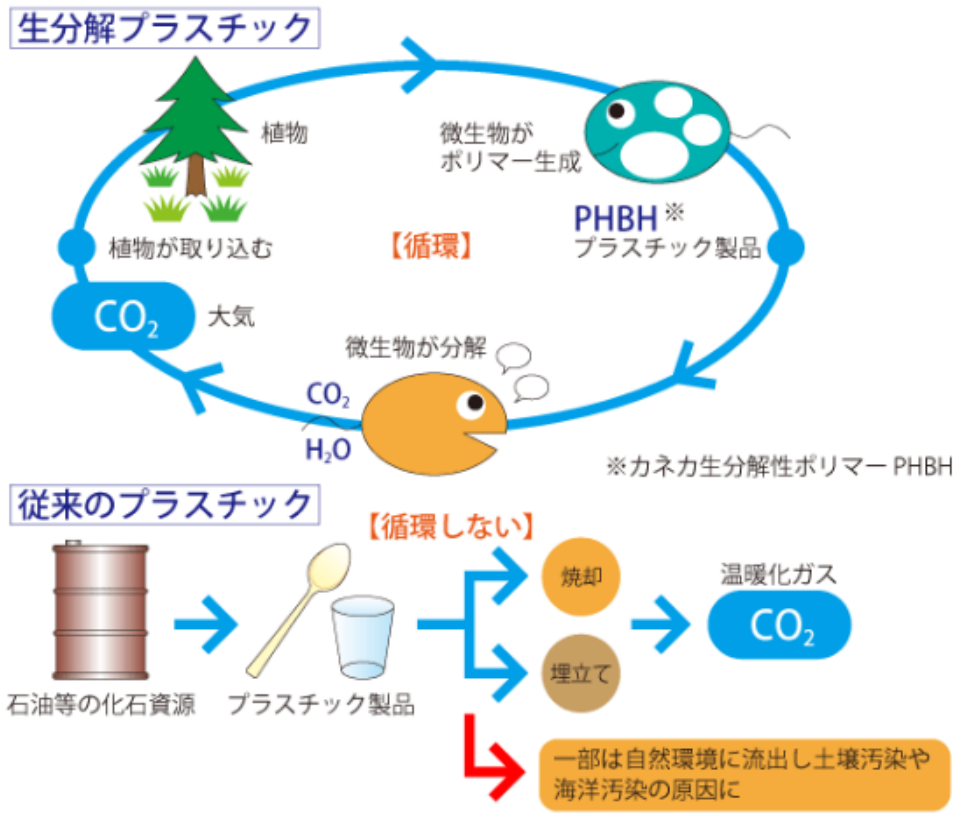
- 従来の大量生産・大量消費・大量廃棄の社会（線形経済：リニアエコノミー）から、資源の効率的・循環的な利用を図りつつ付加価値の最大化を図る経済（循環経済：サーキュラーエコノミー）への転換の要請が強まっている。**バイオものづくりは資源や環境の制約・リスクの克服等、サーキュラーエコノミーの実現への貢献が期待されるテクノロジー。**

○サーキュラーエコノミー



（出所）令和3年版　環境・循環型・生物多様性白書

○バイオ由来の生分解性プラスチックによる資源循環のイメージ



（出所）国立研究開発法人　科学技術振興機構HP　https://www.jst.go.jp/seika/bt2018-09.html

（参考）バイオものづくりへのニーズの高まり（フードテック）

- 世界的な人口増加等による**食料需要の増大やSDGsへの関心の高まりを背景**に、食品産業においても環境負荷の低減など**様々な社会課題の加速**が求められている。また、健康志向や環境志向など**消費者の価値観が多様化**している。
- こうした多様な食の需要に対応し、社会課題の解決を加速するための**フードテックを活用した新たなビジネスの創出**への関心が高まっている。

世界の食料需要見通し（2050年）

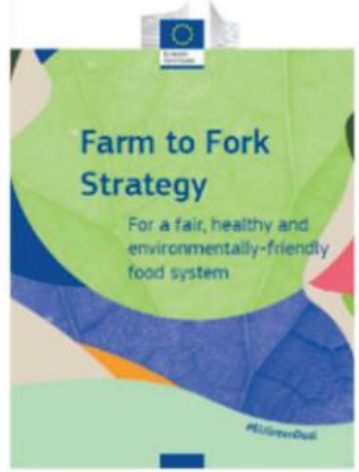
- 世界の食料需要量は、**2050年**には**2010年比1.7倍**（58億トン）になる見通し。
- **畜産物（1.8倍）と穀物（1.7倍）**は**増加率が大きくなっている。**

1．穀物は、小麦、米、とうもろこし、大麦及びソルガムの合計である。油糧種子は、大豆、菜種、パーム及びひまわりの合計である。砂糖作物はサトウキビ及びテンサイの合計である。畜産物は牛肉、豚肉、鶏肉及び乳製品の合計である（以下の各図において同じ）。
2．基準年次の2010年値は、毎年の気象変化等によるデータの変動影響を避けるため、2009年から2011年の3カ年平均値としている（以下の各図において同じ）。
3．2015年値は、USDAのPSDにおける2014年から2016年の3カ年平均の実績値を基に算出した参考値である（以下の各図において同じ）。

出典：2050年における世界の食料需給見通し（農林水産省）

Farm to Fork 戦略（欧州委員会）

- 2050年の温室効果ガス排出ゼロの実現に向け、欧州委員会が**「公平で、健康的な、環境に優しい食料システム」を目指す戦略**として発表（2020年５月）
- **植物、藻類、昆虫等の代替タンパク質・代替肉分野を重要な研究開発分野**と位置付け、グリーン化・デジタル化への移行の推進を提唱



Edible Insects（FAO）

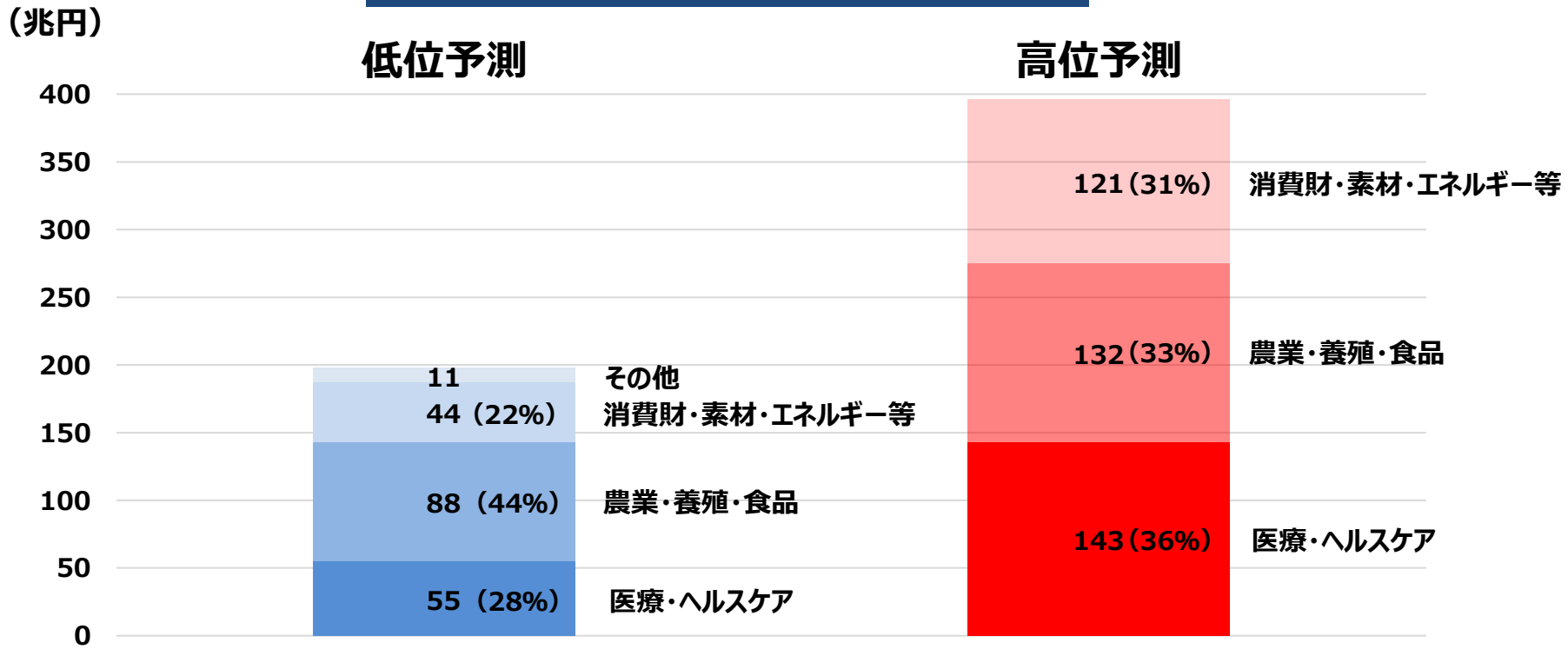
- 昆虫の食料・飼料としての利活用について、FAO（国連食糧農業機関）が報告書「Edible Insects」を発表（2013年）
- この中で、**「2050年に90億人を養わなければならない中で、昆虫が飼料や食糧問題に対する有望な食材である」**と報告

（出所）農林水産省「フードテックをめぐる状況」（令和4年12月）
https://www.maff.go.jp/j/shokusan/sosyutu/attach/pdf/index-4.pdf

バイオテクノロジーにより成長が期待される市場分野（民間試算）

- マッキンゼーによる分析では、細胞内分子や細胞、臓器を活用して物質を生成する**バイオエコノミーの世界市場は、2030年～2040年に200兆円から400兆円に達する**と予測している。
- 医療・ヘルスケアに加えて、**素材・エネルギー・食品などの分野でも高い成長**が予測されている。

バイオエコノミーの成長予測
（2030年～2040年）



（注1）1米ドル＝110円換算
（注2）マッキンゼーのレポートでは、「ゲノム編集等により細胞内分子の機能を活用するもの（例：バイオ医薬品、機能性素材等）」、「細胞、組織、及び臓器を活用するもの（例：再生医療、培養肉等）」を対象として推計
具体的には、400以上の事例から得られた**各分野の既存開発品の将来市場規模推計**を積み上げて試算。間接的な経済波及効果は含まれておらず、人口動態やインフレなどの影響は含まれない。
（出所）「2020 McKinsey Global Institute Analysis」を基に作成。

バイオものづくりを巡る国際競争の活発化

- バイオものづくりの分野では、今後の大幅な市場規模の拡大を見越した巨額の投資が見込まれる。グローバルでは、**米中で兆円単位の投資が行われる等**、そうした**投資を自国内に誘導するための産業政策の競争が活発化**している。

米国大統領令（令和4年9月12日）

- バイオものづくりが**今後10年以内に世界の製造業の３分の１を置き換え**、その**市場規模が約30兆ドル（約4000兆円）に達する**と分析
- **世界中でバイオ分野の技術覇権競争が加速**している状況を踏まえ、バイオものづくりの拡大等に向けて**集中的な投資を行う方針**

米国における合成生物学ベンチャーへの民間投資額

2019年		2021年
約4000億円	→	**約２兆円**

（注1）1米ドル＝110円換算

中国政府によるバイオ関連研究開発の支援例

- 2021年の米国議会の報告書によれば、中国共産党は、**経済成長及び天然資源不足に対応するため、**バイオ分野の研究開発に**1000億ドル（約11兆円）以上の戦略的な投資**を決定。

山西合成生物産業エコロジーパーク(山西省)
約1400億円

合成生物技術イノベーションセンター(天津市)
約360億円

（参考）バイオテクノロジーとバイオものづくりの推進に関する大統領令（2022.9.12）

- 2022年9月12日、バイデン大統領は、「持続可能で安全・安心な米国バイオエコノミーのための**バイオテクノロジーとバイオものづくりイノベーション推進に関する大統領令」に署名し**、National Biotechnology and Biomanufacturing Initiativeを発表。
- ファクトシートでは、**バイオものづくりが今後10年以内に製造業の世界生産の3分の1を置き換え**、**金額換算で約30兆ドル(＝約4000兆円)に達する**という分析を公表。

BRIEFING ROOM

Executive Order on Advancing Biotechnology and Biomanufacturing Innovation for a Sustainable, Safe, and Secure American Bioeconomy

SEPTEMBER 12, 2022 • PRESIDENTIAL ACTIONS

By the authority vested in me as President by the Constitution and the laws of the United States of America, it is hereby ordered as follows:

Section 1. Policy. It is the policy of my Administration to coordinate a whole-of-government approach to advance biotechnology and biomanufacturing towards innovative solutions in health, climate change, energy, food security, agriculture, supply chain resilience, and national and economic security. Central to this policy and its outcomes are principles of equity, ethics, safety, and security that enable access to technologies, processes, and products in a manner that benefits all Americans and the global community and that maintains United States technological leadership and economic competitiveness.

ファクトシート本文（抜粋）

These advances have led industry to embrace biomanufacturing—as an alternative to petrochemical-based production—to make things like plastics, fuels, materials, and medicines. Industry analysis suggests that **bioengineering could account for more than a third of global output of manufacturing industries before the end of the decade—almost $30 trillion in terms of value.**

イニシアチブの9つのポイント～ファクトシートより～

①サプライチェーン強化のためのバイオテクノロジーの活用
②国内のバイオものづくりの拡大
③バイオ製品の市場拡大
④バイオの研究開発の推進
⑤次世代のバイオ人材の育成
⑥バイオテクノロジー製品の規制の合理化
⑦バイオセーフティとバイオセキュリティの推進によるリスク軽減
⑧米国のバイオテクノロジー・エコシステムの保護
⑨パートナーや同盟国と共に、繁栄し安全なグローバルバイオエコノミーを構築

1ドル＝130円

目次

１．現状分析
１－１．バイオものづくりを取り巻く足下の状況
１－２．バイオものづくりとは
１－３．産業構造の見通し
１－４．バイオものづくりの活用が見込まれる分野

２．対応の方向性
２－１．「バイオものづくり革命の実現」に向けて検討すべき政策の全体像

バイオものづくりとは

- バイオものづくりとは、**遺伝子技術を活用して微生物や動植物等の細胞によって物質を生産することであり**、化学素材、燃料、医薬品、動物繊維、食品等、様々な産業分野で利用される技術。
- 具体的には、微生物や植物等の**生物の代謝機能により有用物質を産生**させる技術、あるいは動物の細胞等を用いて、**細胞自体を増殖・高密度化させて有用物質の基礎を形成**する技術であり、その際、細胞等に存在する**遺伝子やゲノムを編集あるいは組み換えることで、有価物を作らせたり、生産性を向上させることも可能**となるものである。

＜参考＞

○新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画（令和４年６月７日閣議決定）

Ⅲ．新しい資本主義に向けた計画的な重点投資
２．科学技術・イノベーションへの重点的投資
（３）バイオものづくり

バイオものづくりは、遺伝子技術により、微生物が生成する目的物質の生産量を増加させたり、新しい物質を生産するテクノロジーであり、**海洋汚染、食糧・資源不足など地球規模での社会的課題の解決と、経済成長との両立を可能とする、二兎を追える研究分野**である。

米国や中国では兆円単位の投資が行われ、国際的な投資競争が激化している。大規模生産・社会実装まで視野に入れた、微生物設計プラットフォーム事業者と異分野事業者との共同研究開発の推進、味噌・醤油・酒類など全国の事業者が強みを有する微生物の発行生産技術やゲノム合成・編集技術等の開発支援・拠点形成や人材育成等、この分野に大胆かつ重点的な投資を行う。

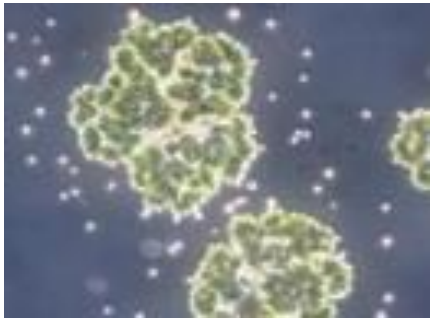
（参考）バイオで生み出される製品例

⇒ ものづくりのバイオ転換

■**高機能素材：**クモの糸と同じタンパク質を、植物由来の原料を用いて微生物が産出@スパイバー社
【左】Spiber㈱が㈱ゴールドウインと共同開発した「ムーンパーカ」、【右】人工構造タンパク質「Brewed Protein™(ブリュード・プロテイン™)」の加工例（繊維、樹脂、ゲル、スポンジ、フィルム等）

⇒ 海洋汚染防止、脱石油

■**生分解性バイオプラスチック：**パーム油を原料に遺伝子改変微生物が産出@カネカ



⇒ カーボンニュートラル

■**バイオ燃料：**石油資源を使わない、植物、微生物由来の燃料@ちとせ研究所

⇒ スマート農水産業

■**機能性作物：**動植物のゲノムを編集して、作物の有用性を高める 【左】サナテックシード㈱が開発した「シシリアンルージュハイギャバ」、【右】京都大学・近畿大学が開発中のゲノム編集マダイ

⇒ 食料の高機能化（低炭素化等）

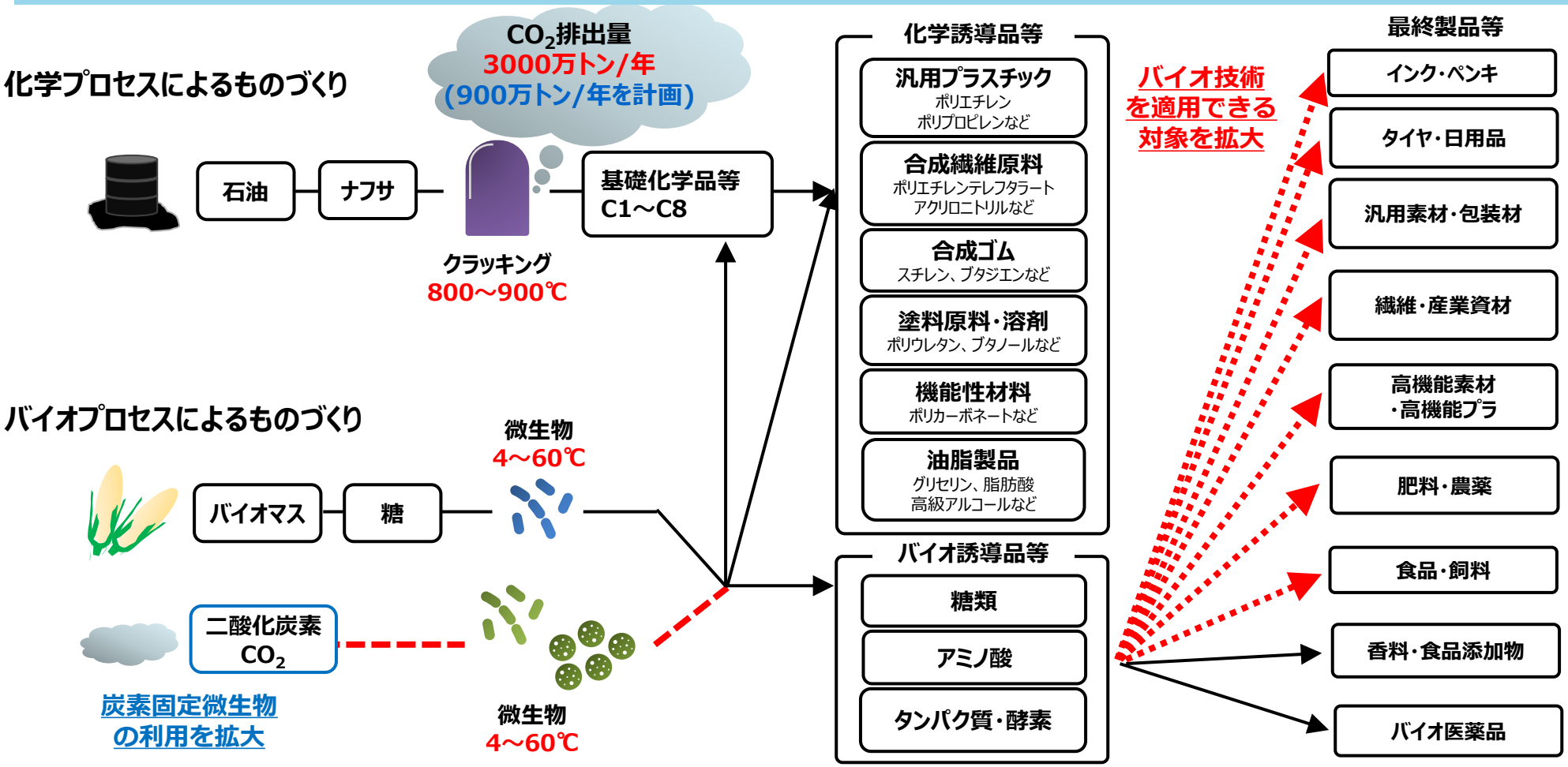
■**細胞性食肉：**動物の細胞に直接アミノ酸やグルコース等の栄養を与えて増やすことにより、比較的少ない資源での生産が可能といわれる代替肉。細胞性食品のうち、いわゆる『培養肉』に相当@Good Meat（シンガポール ）

⇒ 個別化医療

■**バイオ医薬品・遺伝子治療：**遺伝子改変生物が薬となる物質を産出したり、患者自らのリンパ球を遺伝子改変して投与等

（参考）バイオものづくりプロセスの特徴（化学プロセスとの比較）

- 化学プロセスは、800℃以上の高温高圧条件下でものづくりが行われるが、**バイオプロセスでは、自然条件下（常温常圧下）**でものづくりが進行し、**CO_2排出量の削減が期待できる**。
- **バイオものづくりでは、化学プロセスとは違い一般的に多段階の反応を重ねる必要がない**ので、**炭素数の多い複雑な物質生産ほど競争力が高い**。一方、バイオで作れる物質数を増やすためには、**目的物質ごとに最適化された微生物の生産株・生産技術を開発する必要**がある。



バイオものづくりの市場性（社会課題の解決がビジネスになるか）

- **バイオものづくりは社会課題の解決と成長の両立に寄与するとはいえ、当面の間、普及する分野は限定的**。医薬品分野のような新規素材の開発に比べて、単に**既存製造プロセスをバイオものづくりに転換する場合には投資に見合うだけの市場性の有無が鍵となる。**

	意義	背景	バイオものづくりへの期待
経済成長	経済成長	• 我が国における高齢化と、それに伴う労働人口減少を乗り越えつつ、持続可能な経済成長を実現する必要	• バイオ技術を活用した**製造プロセスの転換・生産性の向上** • **高付加価値品の生産** • **社会課題に対応した製品のニーズを踏まえた、国内外市場の獲得**
社会課題の解決	地球温暖化 脱炭素	• 国際的なGHG削減目標を踏まえた、2050年カーボンニュートラルの実現	• プロセス転換による**GHG排出量の削減**、原料の化石資源→バイオマス資源の転換による**脱炭素化** • CO2を原料とする微生物等の活用による**CO2吸収量の増加**
	資源自律	• エネルギー供給の不安定 • 資源自律・循環経済移行の要請	• バイオマス原料を活用した**新たなエネルギー源の安定供給** • 国内の未利用資源の活用やリサイクル等、バイオ技術を活用した**資源自律・資源循環の実現**
	食糧危機	• 世界的な人口増を踏まえた食糧危機の懸念、国内における食料自給率の低下 • 一次産業における環境負荷	• 細胞性食品の普及による**食糧の増産・国内自給率の向上** • **既存品の代替と環境負荷の低減の両立**
	海洋汚染	• プラスチック等の廃棄物による海洋環境汚染、船舶航行や観光・漁業、沿岸地域居住環境への影響	• **生分解性製品の普及による海洋汚染の減少**
	経済安全保障	• 新型コロナ、地政学等国際情勢を踏まえたサプライチェーンの不安定化	• **重要技術の確保**や、**日本の地理的制約を脱却**による**供給網の確保・国内生産の増加による国内サプライチェーンの安定化** • 有志国との**国際連携に基づくグローバルサプライチェーンの安定化**
	その他（労働問題・安全安心・QOLの向上等）	• 原料や製品によっては、労働や人権に係る問題や天然の原材料が有する安全性に懸念があるものがある • 国民一人ひとりの生活の質（QOL）の向上や健康長寿等、WellBeingへの要請の高まり	• 原料の転換による人権問題の解消、安全性の確保等、諸課題の解決 • 社会課題への対応と汎用品の代替を両立することによる**生活の質の低下を回避** • 高付加価値品による**生活の質の向上**

（参考）CO2を直接原料とする微生物（水素酸化細菌等）

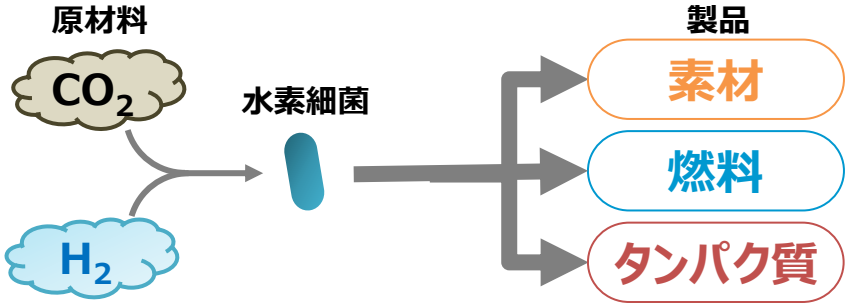
- **微生物を利用して、CO_2等から化学品原料やタンパク質等の物質生産**をする取り組みに関心が集まっている。
- **一部の独立栄養細菌**は、**藻類（ラン藻）と比較して50～70倍高い炭素固定能力**を持つことから、**CO_2の吸収源として有望**。独立栄養細菌の中でも**水素細菌は**、光エネルギーに依存せず、水素の化学エネルギーでCO_2を固定できるため、**高速・高密度の培養が可能であり、産業化へのポテンシャルも高い。**
- 化石資源由来の物質生産と比べて、**生産過程におけるCO_2排出削減だけでなく、CO_2を吸収するダブルの効果により、排出量が大幅に削減される可能性**が示唆されている。

【参考１】微生物の炭素固定機能比較

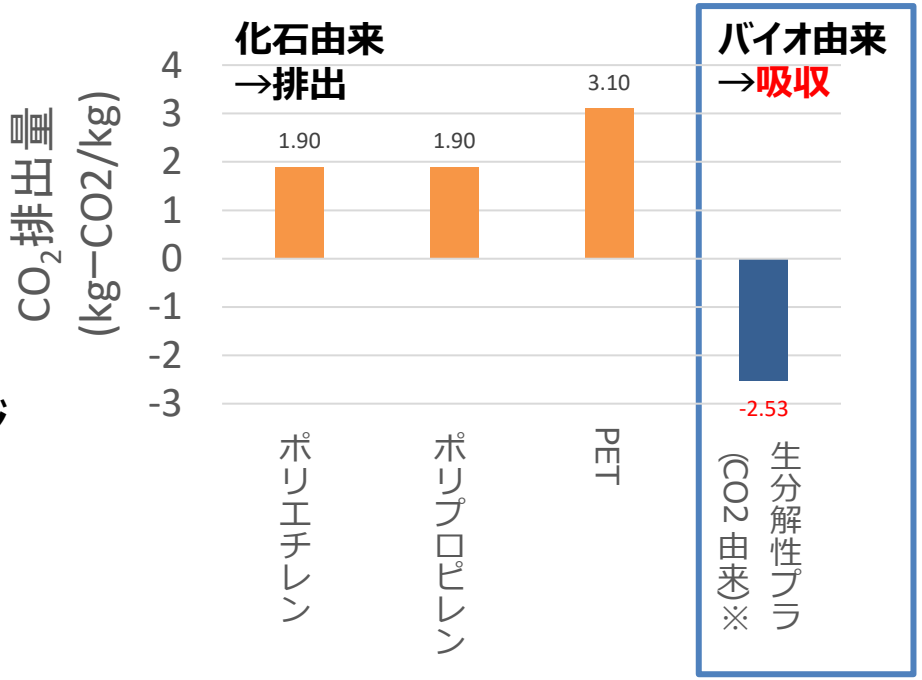
生物種	CO_2固定能力（相対）
ラン藻	1
海洋性微生物	2～4
光合成細菌	18～35
独立栄養細菌	53～75

（出所）「微生物の機能を活用したCO2固定化の検討」 重富徳夫、三菱総合研究所/所報No34、1999 を参考に生物化学産業課にて作成

【参考２】水素酸化細菌による物質生産のイメージ



【参考３】水素酸化細菌による物質生産のCO_2削減効果



（出所）M. Akiyama, T. Tsuge, Y. Doi, *Polym Degrad Stab*, 2003
※M. Akiyama, T. Tsuge, Y. Doi, *Polym Degrad Stab*, 2003 をもとに生物化学産業課試算
※再エネ使用時を想定。CO_2濃縮、回収についてのエネルギーは考慮していない。

（参考）微細藻類によるカーボンニュートラルへの取組

- バイオ燃料の原料にもなる藻類（微細藻類）は、従来より研究が行われている領域であるが、燃料以外にも様々な用途で利用することが可能。
- 大量生産にあたって、方式によっては広大な土地や日照条件が必要といった課題があるが、**微細藻類により多様な製品分野で化石資源に依存しないものづくりが実現できる可能性がある。**

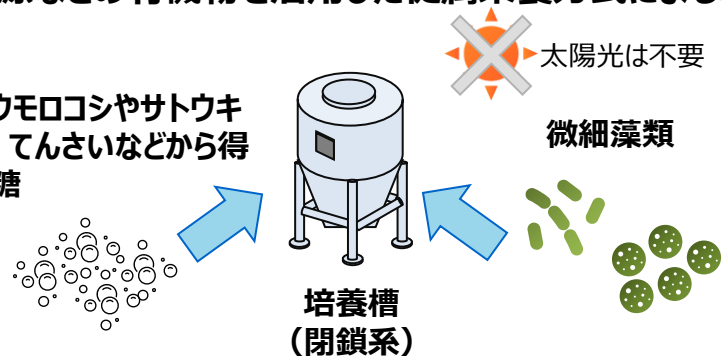
【光合成を活用した独立栄養方式による培養】

開放系培養方法：オープンポンド
設備保有者／ビューテック

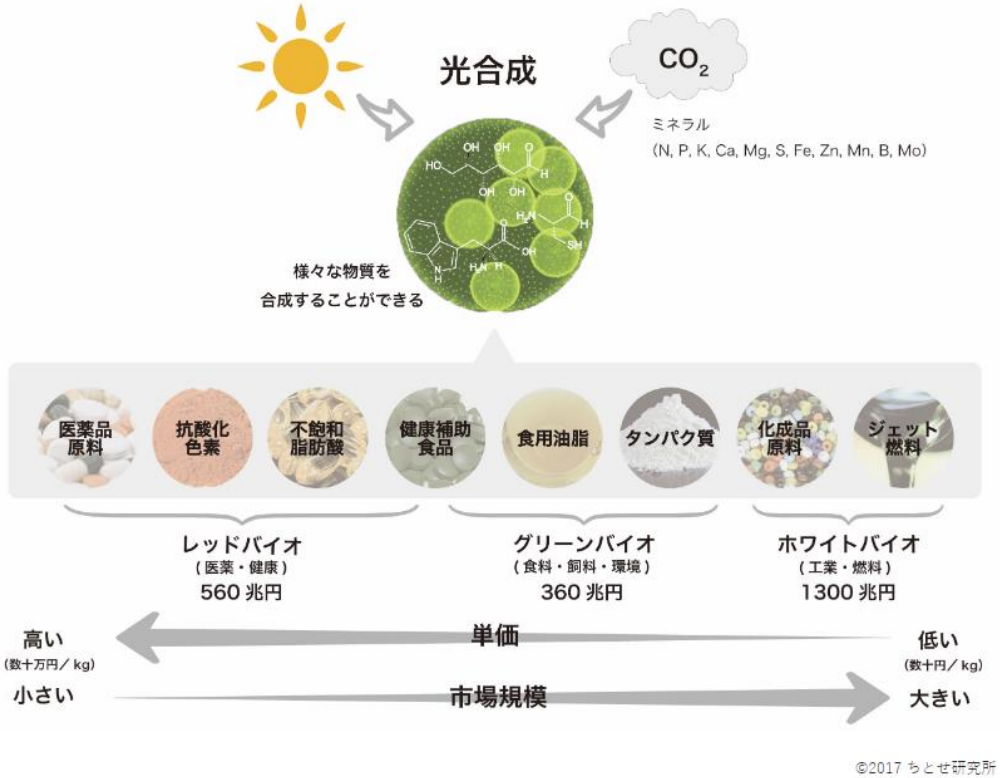
閉鎖系培養方法：フォトバイオリアクター
設備保有者／Sarawak Biodiversity Centre

（出所）ちとせ研究所HP

【糖源などの有機物を活用した従属栄養方式による培養】



【微細藻類を元にした様々なバイオ由来製品群】



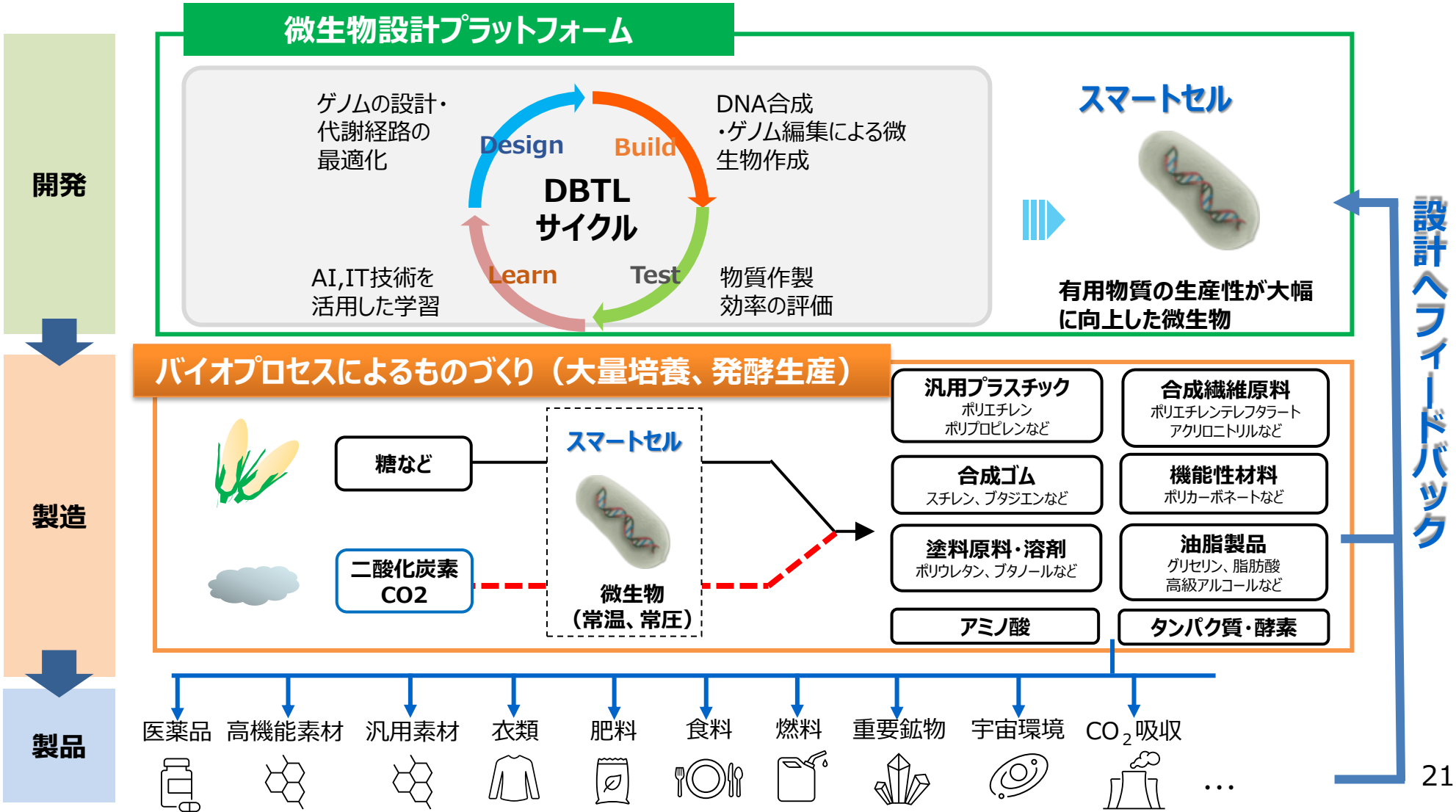
目次

１．現状分析
１－１．バイオものづくりを取り巻く足下の状況
１－２．バイオものづくりとは
１－３．産業構造の見通し
１－４．バイオものづくりの活用が見込まれる分野

２．対応の方向性
２－１．「バイオものづくり革命の実現」に向けて検討すべき政策の全体像

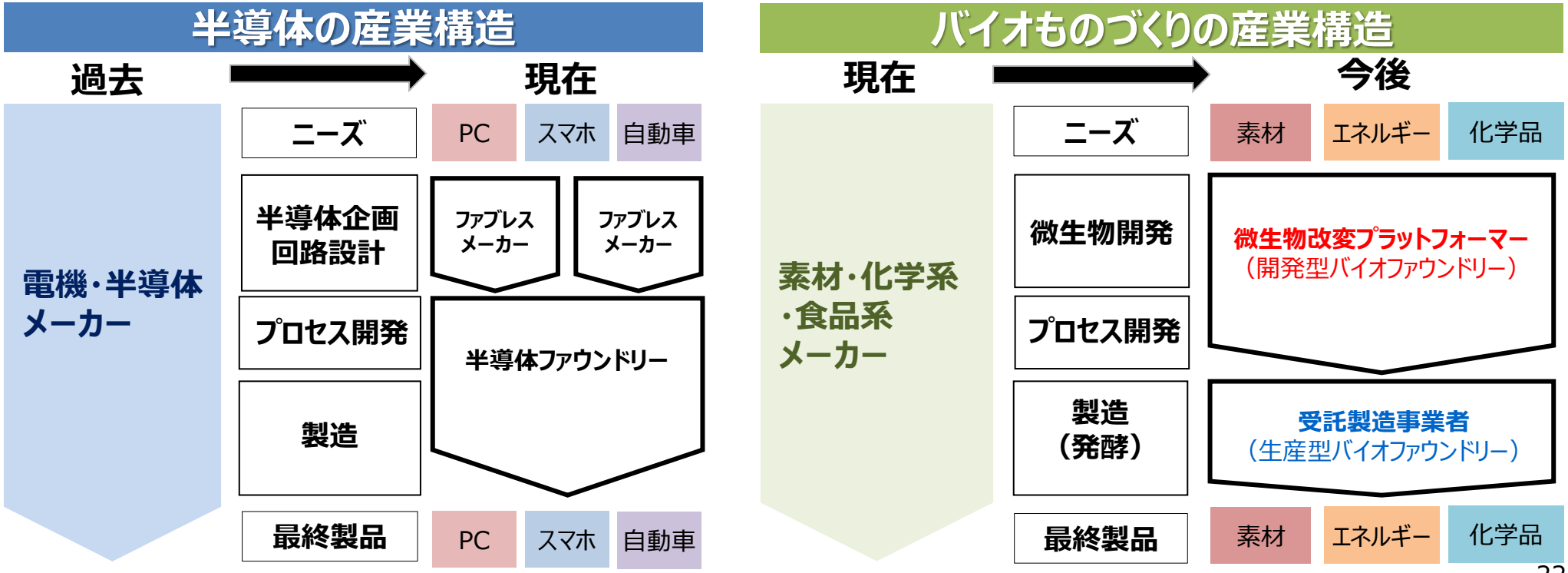
バイオものづくりの産業構造の見通し①（価値の源泉）

- バイオものづくりのバリューチェーンでは、設計されたスマートセルを用いて培養・発酵等を実施し、その結果どのような機能・特徴を有する物質・製品を生産したか、**上流の微生物開発にフィードバックすることで、微生物の高度化を図る**ことが可能。このため、特に**微生物設計のプラットフォーム(PF)技術が付加価値の源泉**となる。



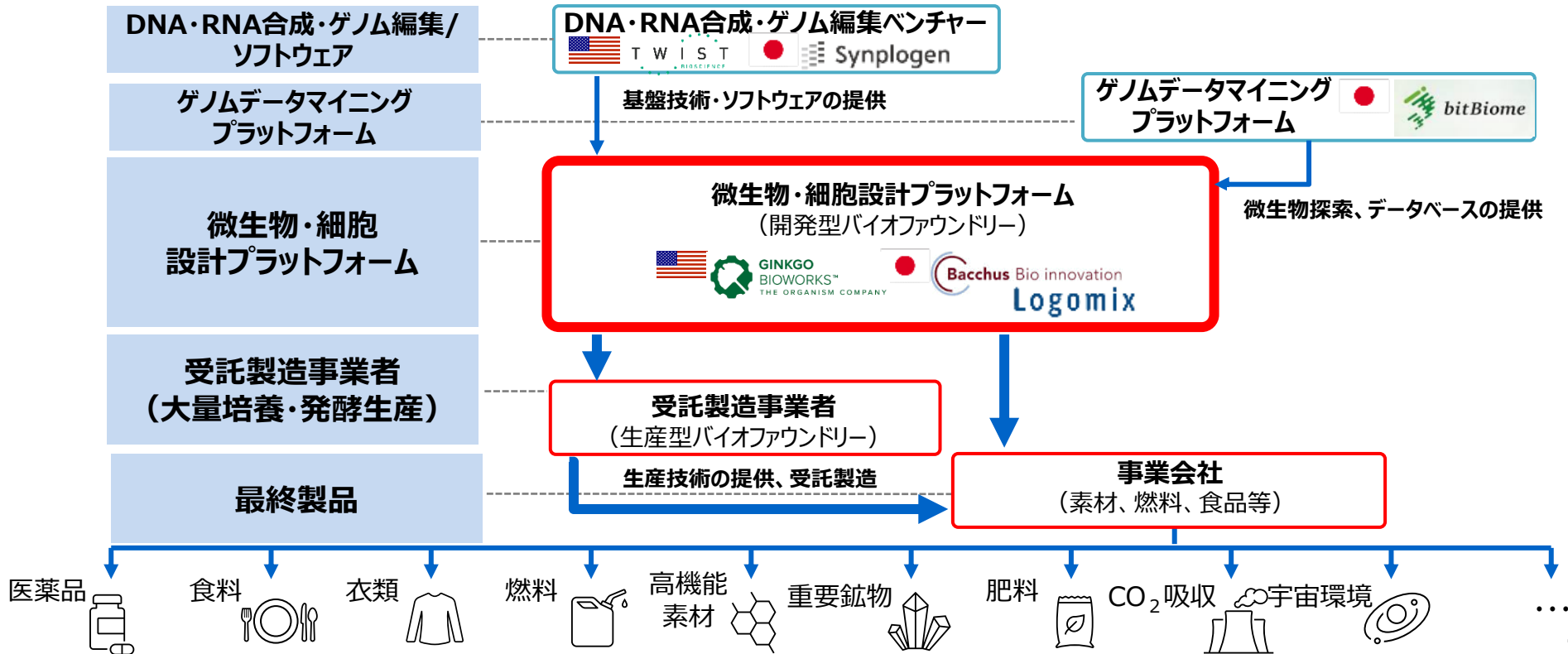
バイオものづくりの産業構造の見通し②（水平分業化の進展）

- **バイオものづくり**では、上流の微生物開発では、**AI・ロボットを用いた効率的な微生物構築技術**、下流の発酵生産では、**培養・精製技術の高度化**といった、**バリューチェーンの段階に応じて全く異なる高度な技術・設備が必要**となる。
- このため、今後のバイオものづくり産業は、**水平分業化が進展**し、それぞれの**PF技術が競争力に直結する**ことが予測される。
- **米国及び中国**は、**価値の源泉を有する微生物設計PF事業者に大きな強み**があり、**PF事業者を中心に多様な製品や目的物質の種類に応じた微生物開発技術と製造技術の組合せ（オープンイノベーション）による好循環の兆しがある**。



バイオものづくりの産業構造の見通し③（エコシステム）

- **我が国の微生物設計PF事業者は米中に比して遅れをとっている**が、**価値の源泉を自国内で保持することは経済安全保障の観点からも重要**であり、水素酸化細菌等、**得意とする宿主を見定め、注力して支援する必要がある**。
- **上流のPF技術の開発は合成生物学の知見の少ない大企業が、自ら対応することが難しいため**、**ユニークな技術を持つスタートアップ企業と連携する**ことで国内のオープンイノベーションが加速し、**独自の強みが発揮できる**。
- **下流の生産プロセスでは、**従来から技術開発が進む分野では事業会社が自社での生産実証を進められるが、微生物や目的物質ごとに異なる培養・発酵の技術・設備が必要となる。このため、**中長期的には、微生物の種類・生産物質の増大や市場の拡大に伴い、生産技術や受託製造に特化したファウンドリ事業者が一定の役割を果たす**ことが想定される。
- バリューチェーンは日本国内・国際双方あり得るが、**国内のPFを増やしながら、各プレイヤーの成長を後押し可能なエコシステムを構築することが重要**である。



目次

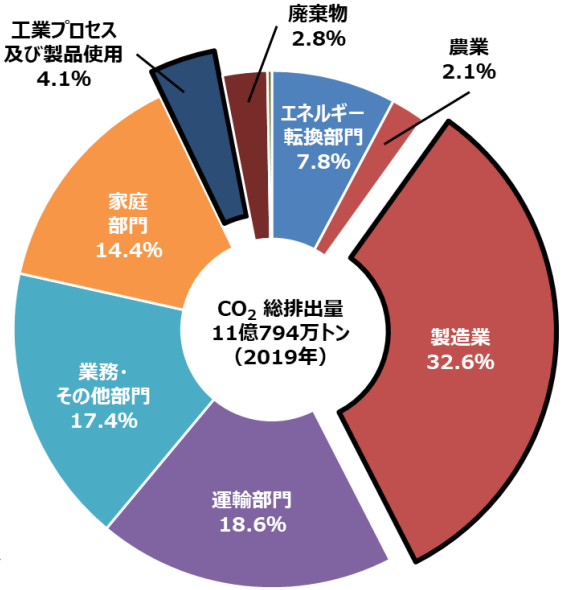
１．現状分析
１－１．バイオものづくりを取り巻く足下の状況
１－２．バイオものづくりとは
１－３．産業構造の見通し
１－４．バイオものづくりの活用が見込まれる分野

２．対応の方向性
２－１．バイオものづくりを巡る課題と対応の方向性

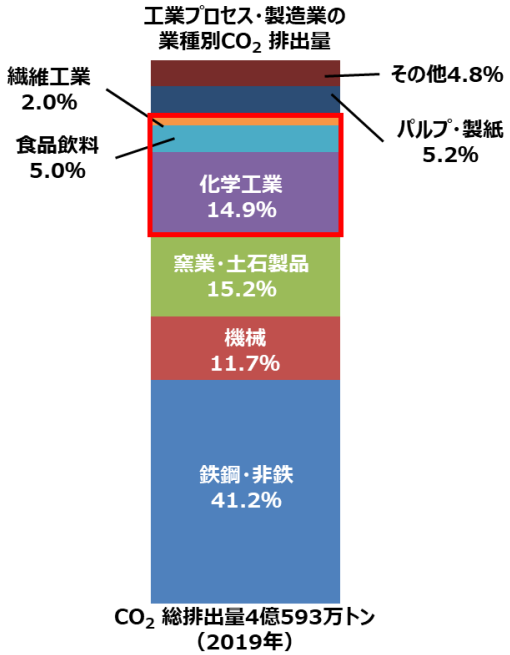
製造業の横断的な課題と今後の対応

- 製造業全体に共通する課題は、
  ・米中対立、新型コロナ感染拡大、ロシアによるウクライナ侵略等により顕在化した**物資・資源の供給途絶リスク**
  ・製造業が産業全体の温室効果ガスの排出量の約３割を占める中での**脱炭素化への対応**
  ・国際的な原料・資源価格の高騰や円安の進行による**原料・エネルギーコストの負担増への対応**
  ・人口減少やニーズの変化に伴い、**今後の内需の縮小を見越した事業の転換**　等。
- 省エネや脱炭素化に向けた技術開発や設備投資、国際ルールへの対応等を進めているが、**既存プロセスの高度化を進めるのみでは課題への対応に限界**のある分野もあり、**産業領域によってはバイオテクノロジーが抜本的なソリューションになる**との期待もある。

＜日本の部門別CO_2排出量(電気・熱配分後)＞



※エネルギー消費ベース

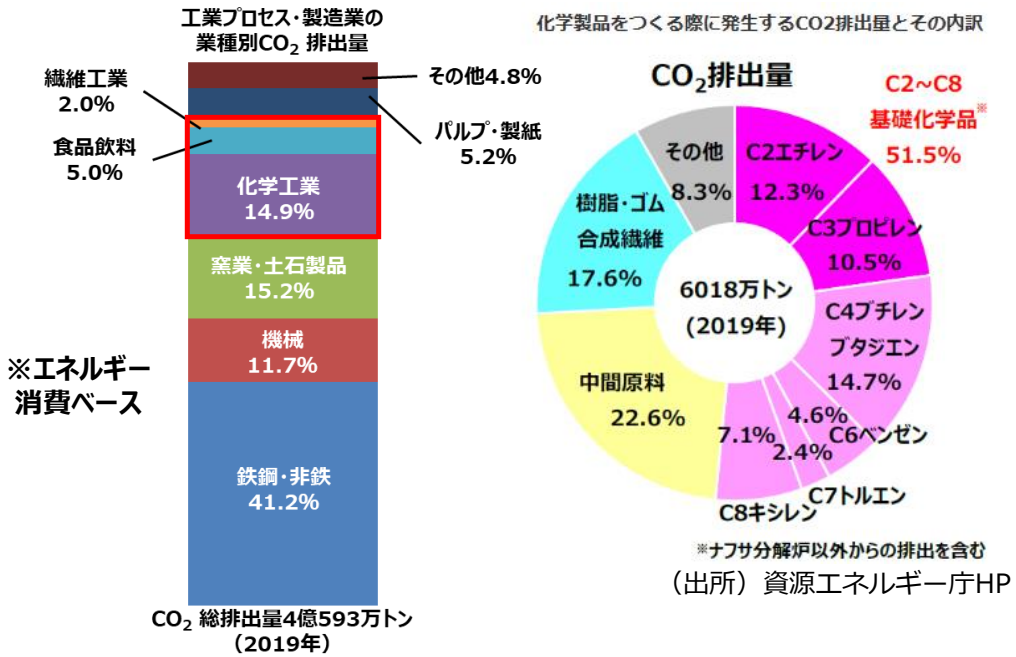


国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ(2019年確報値)」より

（参考）バイオテクノロジーによる業界構造の転換（化学産業）

- 化学産業は、①産業のCO2排出量の2割程度を占め、**カーボンニュートラルの実現に向けて生産プロセスの大規模な転換が求められている**こと、②バイオ原料やCO2等から**生産可能な化学物質が多岐に渡り、既存設備も活用可能**なことから、バイオものづくりのポテンシャルは大きい。
- 現状、**多くの物質生産において化学プロセスの方が低コスト・高効率のため優位性**があるものの、**バイオプロセスは**一般的に多段階の反応を重ねる必要がないため**炭素数の多い複雑な物質生産ほど競争力が高い**。
- 微生物の働きにより生産できる物質数を増やすためには目的物質ごとに最適化された微生物の生産株・生産技術を開発する必要があることを踏まえると、まずは、**バイオものづくりに適した複雑な物質や、生産技術を横展開しやすい汎用的な物質生産に注力することで競争力を高められる**と考えられる。

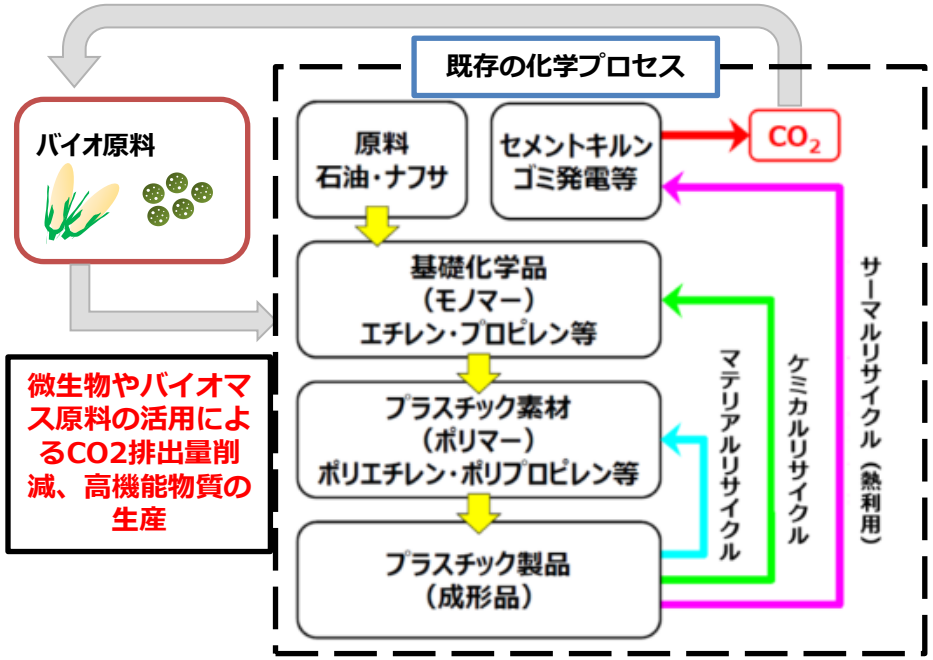
左：工業プロセス・製造業における温室効果ガス排出量（2019年）
右：化学製品をつくる際に発生するCO2排出量とその内訳



（出所）資源エネルギー庁HP

国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ(2019年確報値)」より

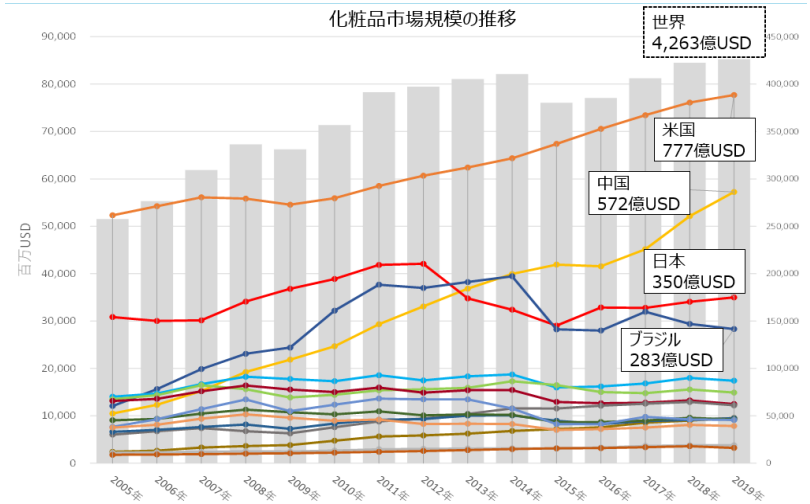
バイオテクノロジーの活用による化学プロセスの転換



（出所）資源エネルギーHP中の資料を改変

（参考）バイオテクノロジーによる業界構造の転換（化粧品・香料）

- 日本製の化粧品は、高機能・高品質、安心・安全が海外でも高く評価され、外国人観光客によるインバウンド需要が増大。**日本は米国、中国に次いで、世界第3位の化粧品大国**。
- サステナビリティや環境意識の高まりの中で、世界最大の化粧品メーカーである仏・ロレアルは、**原料の95%を天然・バイオ由来原料に転換する目標にコミット**。国内メーカーでも、**化粧品の基材（中身）や容器をバイオへの転換の動きが加速**。
- **香料素材**は、天然物の活用や天然物誘導体、類縁体を基本としているが、**天然物中の含有量が少なく**、**構造が複雑**なため、**合成生物学が参入しやすい分野**。**素材の希少性の観点から、バイオで代替することが出来れば、高付加価値製品として競争力を持つと考えられる**。

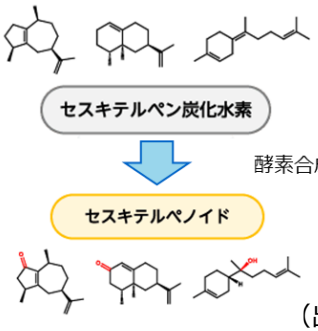


（出所）令和3年4月　化粧品産業ビジョン検討会「化粧品産業ビジョン」

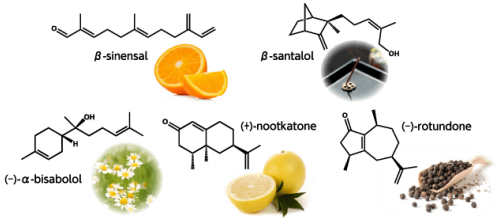
バイオテクノロジーを活用した合成香料

- 香料として利用されるセスキテルペノイドは非常に有用な化合物
- **天然原料から抽出されるが、含有量はわずか**

バイオテクノロジーを活用した酵素合成法の開発



<香料として利用されるセスキテルペノイド>



（出所）長谷川香料株式会社HPより一部加工

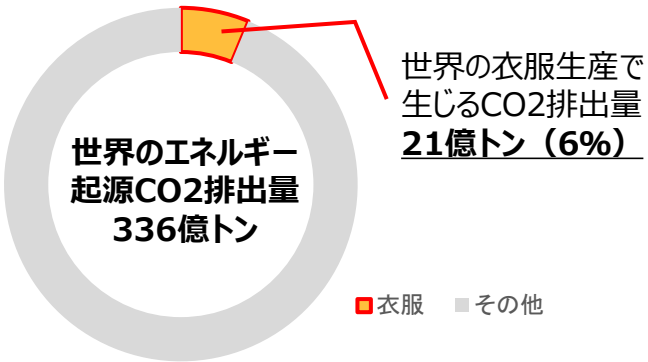
生分解性プラスチックを使用した資生堂の化粧品容器

(株)資生堂では、化粧品の容器についてバイオ化し、ブランド価値を向上

（参考）バイオテクノロジーによる業界構造の転換（繊維産業）

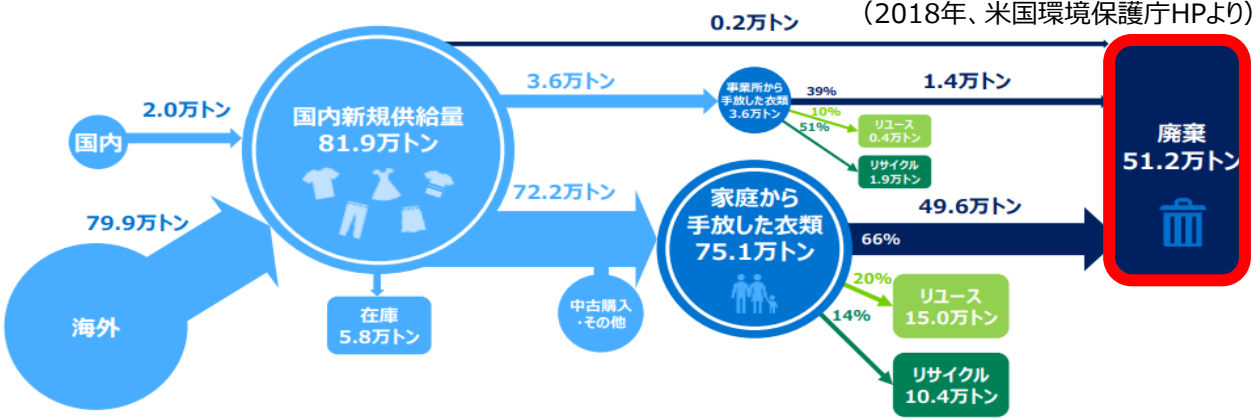
- 化学繊維は天然繊維に比べて大量生産、低価格での販売が可能なため、国内外問わず主流に。
- **繊維産業（アパレル）**は、**製造にかかるエネルギー使用量やライフサイクルの短さなどから環境負荷が大きい産業**と指摘されている。化学繊維だけでなく、**環境に優しいイメージのある天然繊維**も生産時に大量の農薬が利用されるなど**環境への負荷がかかっている**。
- **欧州を中心に**衣類のリユースや使用後の繊維の有効利用等、**循環型経済への移行の要請が強い**。また、**動物性繊維**は家畜飼育による環境負荷に加えて動物愛護の観点からも**使用への懸念が高まっている**。
- **微生物の働きにより作られる「構造タンパク質繊維」**等、**高性能でサステナブルな繊維製品には既にグローバルブランド等が動き出している**が、**今後どの価格帯の繊維までバイオ由来に転換されるかは収益性等に依存**してくると考えられる。

世界のCO2排出量に占める衣服要因（2019年）



衣類のマテリアルフロー（2020年版）

※米国では、1,300万トン/年の衣服が焼却又は埋め立て処分されている（2018年、米国環境保護庁HPより）

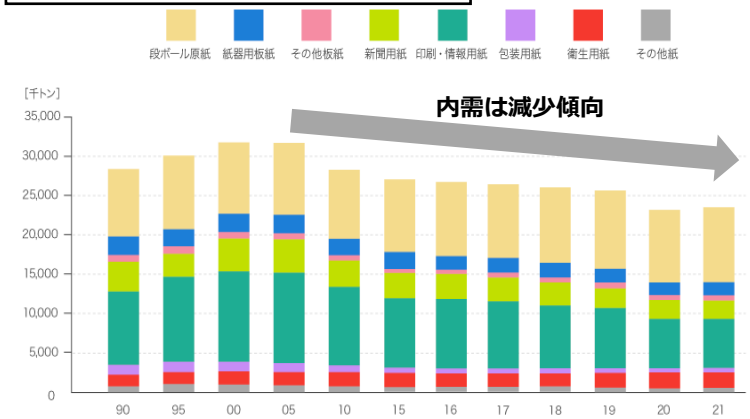


出所：環境省「世界のエネルギー起源CO2排出量」、「令和2年度　ファッションと環境に関する調査業務-「ファッションと環境」調査結果-」より抜粋

（参考）バイオテクノロジーによる業界構造の転換（製紙業）

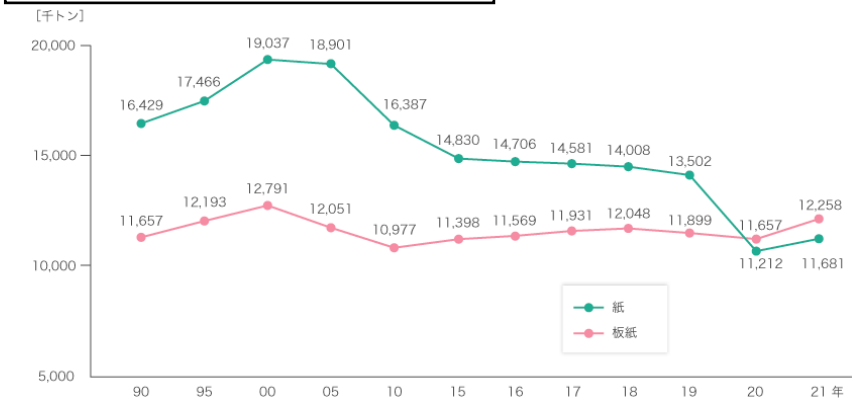
- 製紙業は、**デジタル化の進展による紙の需要減**、**原燃料の高騰等**により、減産に直面。
- ①減産により**余剰となった製紙原料や設備を流用・転換し、バイオ化合物やSAF等に利用可能なバイオエタノール生産**を図る技術の実装や、②副産物となる黒液をバイオ燃料として利用しているほか化成品として活用する取組が進んでおり、このような**事業の一部転換や原材料の更なる有効利用が期待される**。

紙・板紙の内需の推移



(出所)日本製紙連合会HP「製紙産業の現状」

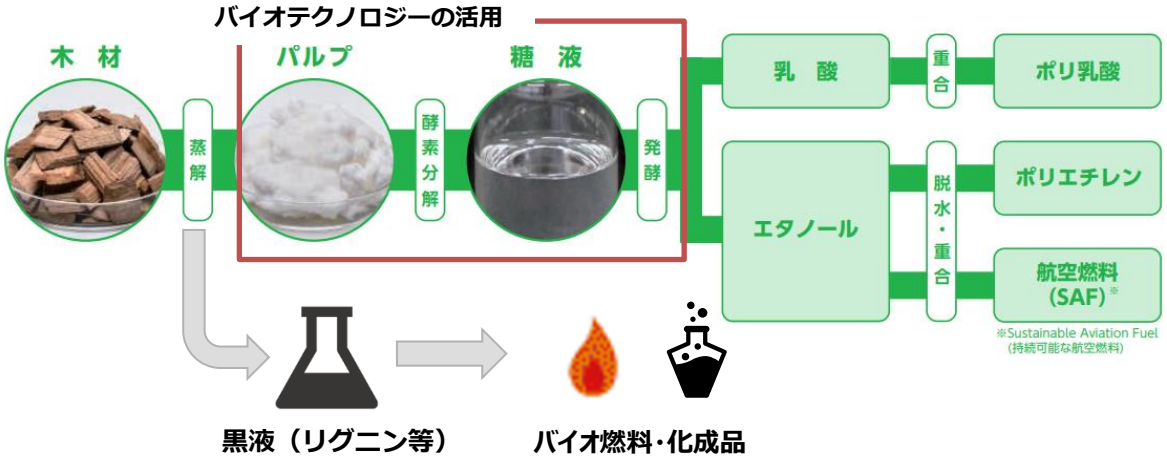
紙・板紙の生産量の推移



(出所)経済産業省「生産動態推計」

バイオテクノロジーの活用による製紙プロセスの転換

製紙原料をそのまま活用・転換し、微生物の働きにより化学品やSAF等を製造



副産物となる黒液もバイオ燃料等として利用

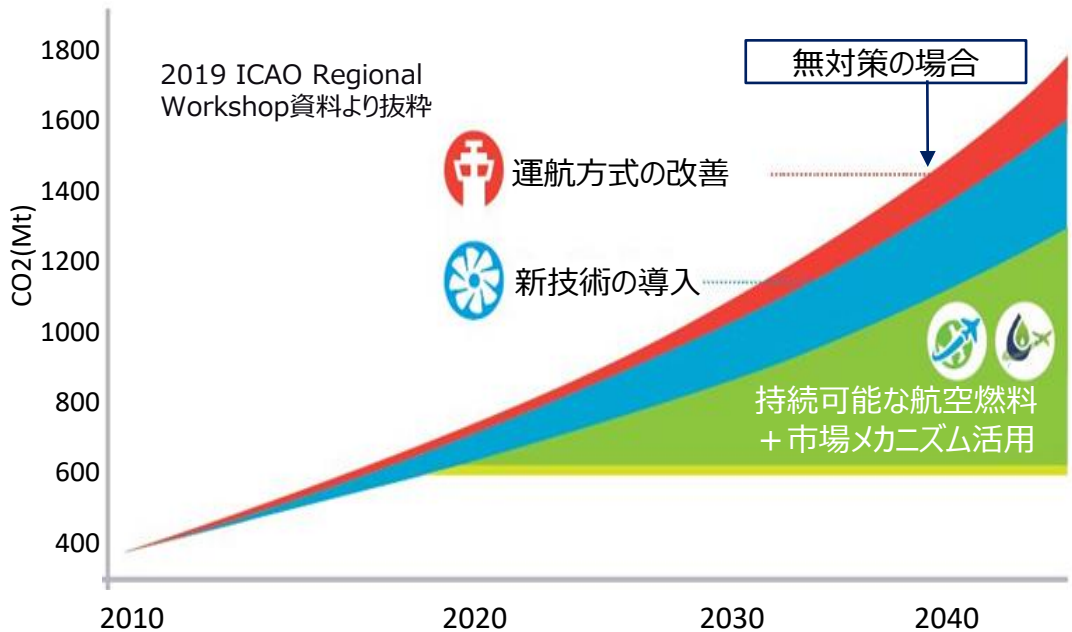
（出所）王子ホールディングス株式会社 「王子グループ統合報告書 2022」を基に経済産業省作成

（参考）国際航空輸送分野でのCO2排出規制によるSAF市場の創出

- 国際航空の分野では、**CO2排出量を2019年の水準未満に抑える**ことが義務づけられている（2021年～）。また、直近のICAO※総会（10/7）において、**2024年以降は、2019年の85%未満に抑える**ことが義務づけられたところ。**SAF**（Sustainable Aviation Fuel、持続可能な航空燃料）**は、この目標を達成するために不可欠の要素であり、一層の成長が見込まれている。**

※International Civil Aviation Organization（国際民間航空機関）の略

＜国際航空からのCO_2排出量予測と排出削減目標のイメージ＞



＜CO_2削減枠組みスケジュール＞

2021年～2026年

- 対象国のうち**自発参加国**の事業者のみ、排出量を抑制する義務が発生。
- 日本は自発参加国であり、**ANA、JAL等**が対象。

2027年～2035年

- **全ての対象国**の事業者※に、排出抑制義務が発生。
- **中国、ロシア**等の一部大国も義務化の対象。これにより、**SAFやクレジットの必要量が増大する可能性**有。

2035年～

ICAOにおいて**中長期目標検討中**

（参考）バイオテクノロジーによる業界構造の転換（SAF）

- **SAFは、航空分野のCO2削減に必要不可欠となり、2050年時点におけるアジアでの市場規模が22兆円規模と予測される成長産業**※。
- SAFの製造技術のうち、短期的に社会実装が見込まれる**HEFAの原料となる廃食油は**、国際的にも価格が高騰している。国内では飼料向け等、既存のサプライチェーンが構築されており、**国内での調達には制約がある**。ATJ方式の原料となるバイオエタノールも、当面は、米国・ブラジル等の国外調達が中心となる見通しであり、輸入コストも生じる。
- 原料調達の困難さや既存の化石由来のジェット燃料に比べて高コストである課題解決に向けて、**微細藻類や微生物等を活用したSAF原料の製造技術の開発なども期待されている。**

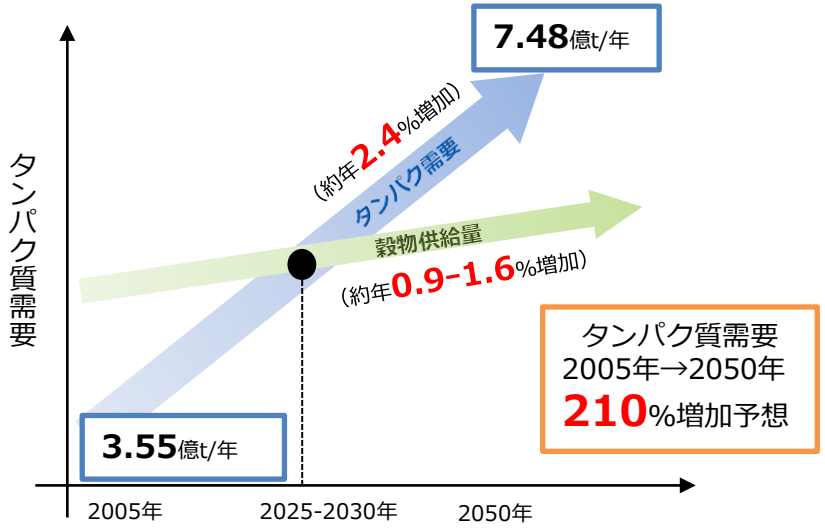
※アジアの市場規模は、2021年10月8日 全日本空輸(株)・日本航空(株)共同リリース「SAF（持続可能な航空燃料）に関する共同レポート」から引用。

製造技術	原料	技術の概要
HEFA Hydroprocessed Esters and Fatty Acids	廃食油、牛脂、微細藻類 等	廃食油等を、高圧下で水素化分解・還元することで、SAFを製造。 ※ 微細藻類については、CO2を効率的に吸収させて藻類を大量培養し、油分を抽出。HEFAにより、抽出した油分からSAFを製造。
ATJ Alcohol to JET	第一世代バイオエタノール （さとうきび、とうもろこし等）、 第二世代バイオエタノール （非可食植物、古紙、廃棄物等）	原料のエタノールを触媒により改質して、SAFを製造。
ガス化FT合成 FT：フィッシャー・トロプシュ法	木くず等のバイオマス、 廃プラスチック等の都市ごみ 等	木くずや廃プラ等をガス化し、触媒により液化してSAFを製造。
合成燃料 Power to Liquid	排ガス等由来の 二酸化炭素と水素	カーボンリサイクル技術を活用して排ガス等から回収した水素を合成し、SAFを製造。

（参考）バイオテクノロジーによる業界構造の転換（食品）

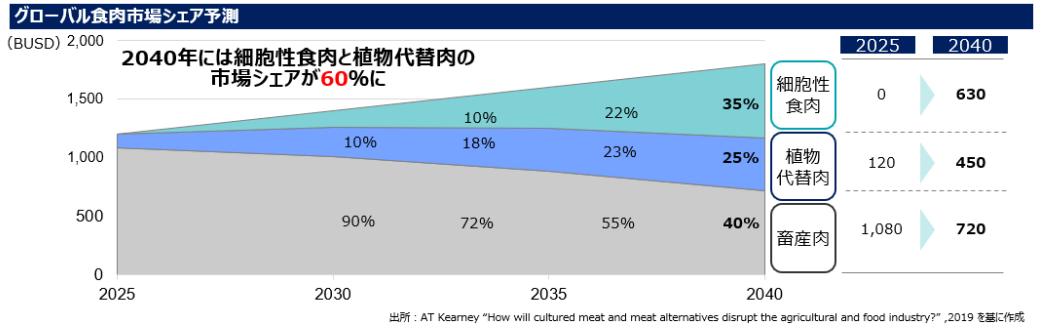
- 世界人口の増加やサプライチェーンの断絶リスクによる**食糧安全保障の確保**、畜産で生じる**温室効果ガスの抑制**、水資源や農地不足等の**環境問題への対応**といった課題に対し、**細胞性食品（いわゆる「培養肉」等）を始めとする代替タンパク質が解決策として期待**されている。
- 既に米国やシンガポール、韓国等でベンチャー企業への先行投資が進んでおり、**一部の国では制度が整備され、製造販売が始まっている**。今後、**高効率で大量生産するための技術など**が必要。
- 日本は「日本食」や「和牛」ブランドといった食の品質に強みを有する一方、**細胞性食品に対する安全性評価基準が未整備であり、市場を見通せない。リスクコミュニケーションなど消費者の理解醸成にも時間が必要**。

2025-2030年にも世界のタンパク質需要が穀物供給量を超える見込（＝タンパク質危機）



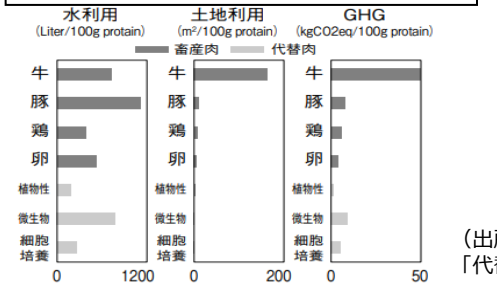
（出所）ちとせグループHPをもとに経済産業省作成

食肉市場シェア予測



（出所）細胞農業研究機構　提言書

タンパク源別の環境負荷比較

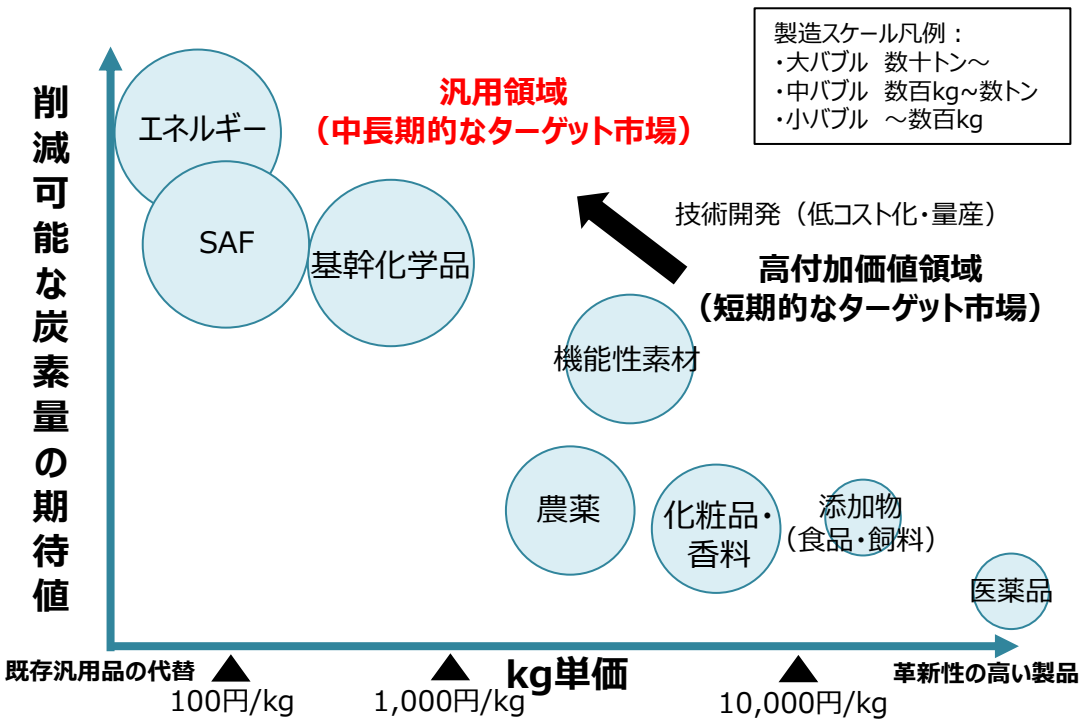


（出所）財務省　ファイナンス（令和4年5月号）「代替肉市場について」

バイオものづくりによる市場獲得の方向性

- **超大量生産が求められる燃料や基幹化学品等の分野は**、既存の化学品の単価が低く、**当面、バイオプロセスで製造するには投資対効果が見合わない。**一方で、革新的な機能・性能を持つ製品や環境影響等の付加価値が求められる製品等の**高付加価値領域ではバイオ製品のニーズが顕在化している**。
- また、脱炭素に向けて航空燃料からSAFへの転換が求められているように、**社会課題を契機とした規制によって新たに市場が創出され、バイオものづくりの活用につながる場合もある**。
- これらを踏まえると、ターゲットとする市場については、①**まずは高付加価値領域に注力**し、②**低コスト化や量産・横展開に向けた技術開発**と**社会課題解決のために必要な規制や市場の在り方の検討**を進め、③**中長期的に汎用品の市場領域を目指す**ことが重要。

＜産業領域別の付加価値インパクト＞



（出所）ADL　生物化学産業に係る国内外動向調査を元に経済産業省作成

重点領域とステップ

①高付加価値領域での製品創出力の強化
（高機能素材・化粧品等）

②技術開発（低コスト化・量産）
規制や市場の在り方の検討

③汎用領域
（基幹化学品・エネルギー分野等）

目次

１．現状分析
１－１．バイオものづくりを取り巻く足下の状況
１－２．バイオものづくりとは
１－３．産業構造の見通し
１－４．バイオものづくりの活用が見込まれる分野

２．対応の方向性
２－１．「バイオものづくり革命の実現」に向けて検討すべき政策の全体像

「バイオものづくり革命の実現」に向けて検討すべき政策の全体像

【これまでの進捗】

- 2022年6月にとりまとめた新機軸部会中間整理では、以下の目標と対応の方向性を提示。
  - ー課題・定量目標：2030年までに、官民合わせて、年間の投資規模を３兆円に拡大
  - ー対応の方向性：新たな微生物の設計・開発、微生物を用いた製品開発、有志国と連携したバイオものづくり製品の需要先の確保
- 今般、新たな微生物の設計・開発や微生物を用いた製造プロセスの高度化等、必要となる技術開発及び社会実証を行う予算事業として、**GI基金（1767億円：2023年3月に第一次公募の採択事業者決定）**や**バイオものづくり革命推進基金（3000億円：2023年3月末に公募開始）**を措置したところ。

【今後の方向性】

- 今後、国際的にバイオエコノミー形成に向けた競争が激化する見込み。米中では投資が先行しているが、支配的なプレイヤーは出てきていない。**日本としては、海外に依存している原料制約を解消を模索しつつ、強みとなりうる重要技術に注力する**。
- また、安価な既製品をバイオ由来製品で代替するためには、バイオ由来製品への消費者の理解やニーズが不透明な中、生産性低下やコスト上昇が見込まれる等、需要の不確実性が存在。このため、**グローバル市場も見据えた市場環境整備を進めていく**。
- 合わせて、**新たな産業を創出していくための事業環境の整備や、関連産業も含めた国内の産業基盤を確立**していく。
  具体的には、以下のような取組が必要。

１．微生物プラットフォーム技術、生産技術開発の加速化

- バイオものづくりの付加価値の源泉となる**微生物設計プラットフォーマー**について、CO2を直接原料とする水素酸化細菌等**日本が強みを持てる宿主（微生物）に着目して育成。**また、古くから日本が強みを持つ**培養・発酵等の生産技術についても競争力を持つ産業を育成**。更に、経済安全保障や環境影響等の観点で重要となる原料制約を克服するため、**原料の前処理技術も含めた技術も開発**。**GI基金事業及びバイオものづくり革命推進基金を活用して戦略的にプロジェクト組成**を進める。
- 技術の社会実装に向けては、出口となる市場領域を見据える。まずは**高付加価値領域や国際標準化されたSAF市場等の市場予見性の高い領域において2030年頃までに商用化**を目指し、**中長期的には汎用品の市場領域**を目指す。

２．市場環境の整備に向けた取組

- バイオ由来製品の付加価値を経済的価値に転嫁する仕組みや安全性評価・製品表示ルールの策定、公共調達の活用、技術の標準化等の**バイオ由来製品の市場創出・拡大を図るための取組**や、消費者とのリスクコミュニケーション等の**消費者の受容形成に向けた取組を具体化**する**。**

３．事業環境の整備等による国内産業基盤の確立

- バイオ×デジタル分野等、**バイオものづくりで不足する人材の特定・確保**や**実証拠点の整備**、有望な**スタートアップへの投資環境整備**に加え、**周辺機器等関連産業の競争力強化**など、**バイオものづくりの国内産業基盤の確立に向けた取組を具体化する**。