



【 目的 外 使用 禁止 】  
2 0 2 0 年 1 1 月 1 7 日  
産 構 審 バ イ オ 小 委 員 会 資 料

# 環境・エネルギー分野へ貢献する バイオモノづくりの展開（現状と課題）

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
技術戦略研究センター  
バイオエコノミーユニット

1. バイオ製品のコスト構造の現状分析と課題設定
2. LCA評価の現状と課題
3. バイオ製品普及に対する各国の本分野の取り組み状況
4. 環境・エネルギー分野へのバイオテクノロジー活用（バイオ製品の普及）に対する施策案
5. まとめ

## 目的

- 環境・エネルギー分野へのバイオモノづくり技術の展開について具体的な施策（案）を作成することを目的
- そのために、関係する技術や制度などの現状と課題を整理（LCAなど環境負荷低減への期待インパクトの明確化、コスト面での現状と課題をファクトベースで整理）
- 海外の取り組み事例も参考にしつつ、具体的な方策案をまとめる

## 課題：バイオ製品のコストアップ要因

### <現状>

原料が高価、  
また、安定的に  
入手困難

生産性に課題  
(反応効率、生  
産効率)

分離精製負荷が  
高い(水溶液か  
らの回収)  
多量の廃水処理

### <対応案>

バイオマス増産  
未活用資源の  
活用

適切なターゲ  
ットの選定と効  
率的合成  
開発の初期か  
らプロセス設計  
思想を考慮

生産反応プロ  
セス・ダウンスト  
リームプロセス  
の高度化  
廃水/廃棄物  
処理効率化・  
再資源化

シード  
型研究

フラッグシッププロジェクトなど  
(高機能品、ミドルマスプロダクトなど)

研究開発支援(技術力向上)  
研究拠点・地域共生圏支援(ネットワーク構築、人材育成)  
産業化支援(スタートアップ時のプル型支援)

## 課題：環境インパクト・環境貢献の正当な評価

### <現状>

LCAに関する論文数は増加  
化石燃料とバイオマス原料で直接比較できる例はまだ少ない

炭酸固定時のエネルギーが  
考慮されていない化石燃料と  
の比較は本質的に不利

良いとこ取りの面も散見

### <対応案>

社会的インパクトを考慮したLCAの普及  
(公的機関が査読ジャーナルで先行実施など・企業との連携が必要)

フラッグシップ  
ターゲットの選定

優良企業活動奨励・認定

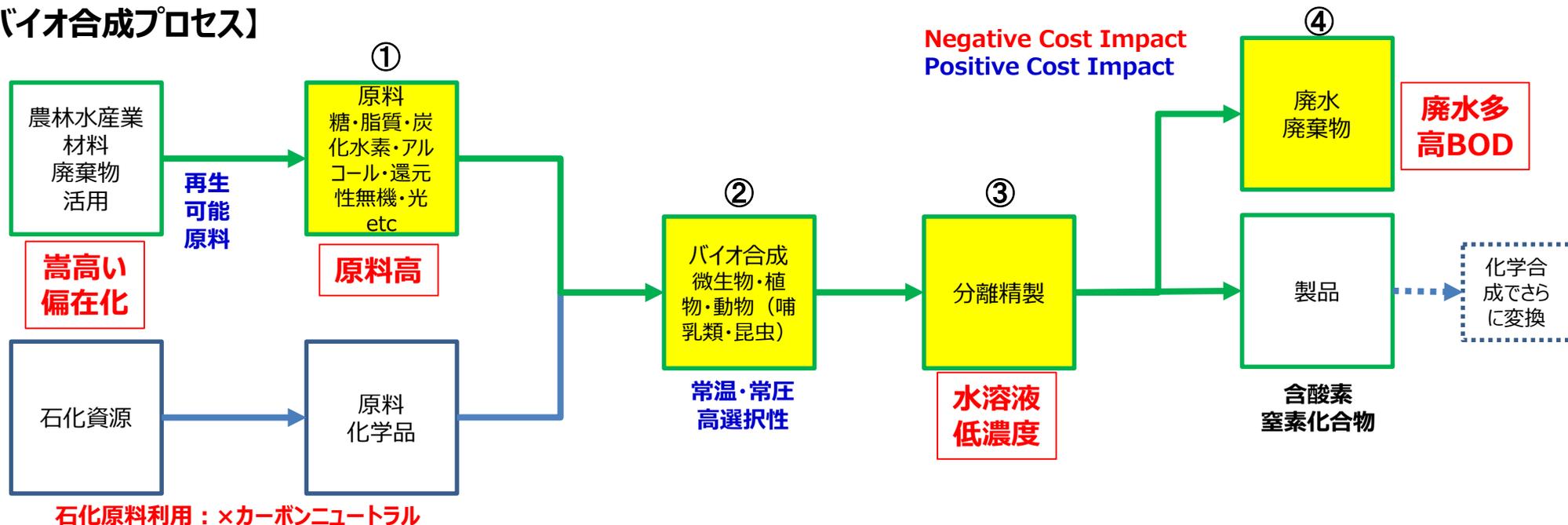
国際標準化も視野

サーキュラー・バイオエコノミー社会形成の支援  
地域共生圏(サプライチェーンマネジメント、再エネ等  
エネルギーマネジメントとの連動・連携)

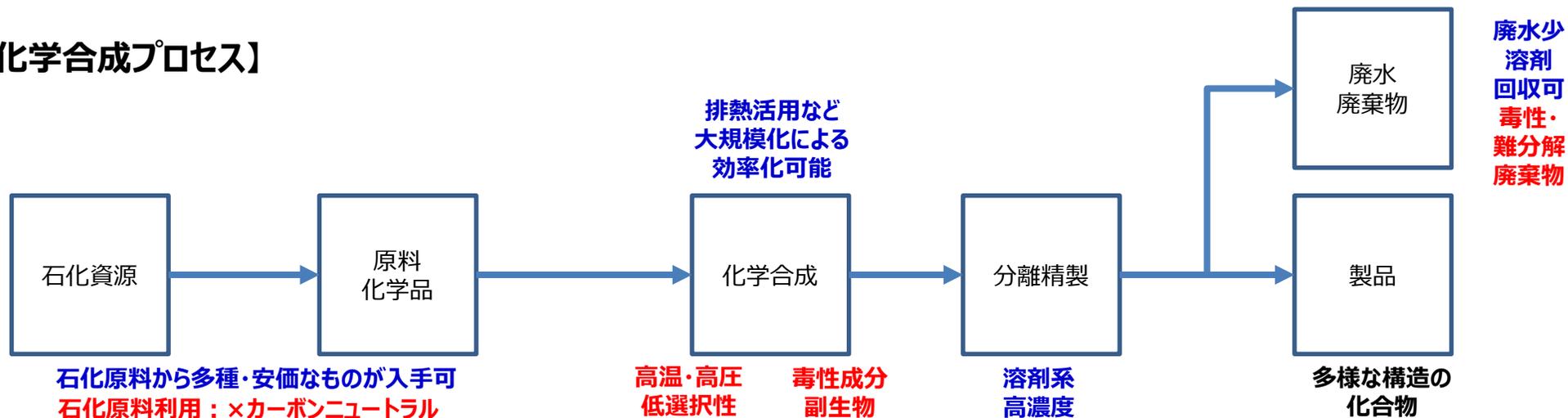
# 1. バイオ製品のコスト構造の現状分析と課題設定

- バイオ製品は、**高選択性・環境負荷の少ない生産プロセス**という特徴があるが、
- **安価安定原料入手・発展途上の生産プロセス**及び**ダウンストリーム効率**の点でのコスト高要因がある

## 【バイオ合成プロセス】



## 【化学合成プロセス】



## ■ 原料面での現状と課題

- バイオマス原料は、**嵩高く、水分を多量に含み移動コスト**がかかる。移動可能な流通形態、あるいは、オンサイトでの活用が重要（原料糖輸入時の課題、賦存バイオマスの有効な活用や増産）
- ✓ **短期的**には、**輸入原料糖を安価に入手できる制度設計**（用途限定）
- ✓ **中長期的**には、**未活用賦存バイオマス等の有効活用やオンサイト活用(バイオマス地産地消)**の技術開発・仕組み作りが必要

## ■ バイオ合成・反応プロセスでの現状と課題

- バイオ合成は一般に**水溶液中での反応**なるため**分離回収負荷**が高くコストアップ要因。一方、**環境負荷の低い**プロセス設計が可能であり、**メリットを活かした技術の活用**が重要
- ✓ **“選択性が高い”**という特徴を活かした**適切なターゲットの選定**、分離回収のしやすい誘導体化などによるターゲット形態の選択なども重要
- ✓ 反応プロセスにおいては、低コスト化のために**連続化などの釜効率の改善**などのエンジニアリング技術開発も重要

## ■ ダウンストリームプロセスでの現状と課題

- ダウンストリームプロセスでは、水溶媒からの**分離回収負荷**が高く、また、生産工程から発生する**多量の廃水処理**が必要であり、コストアップの要因となる
- ✓ **ダウンストリームとのマッチングをあらかじめ考慮**した上での生産技術開発が重要
- ✓ 効率的、**低コスト廃水処理**技術もLCA改善のために重要

## 2. バイオ製品のLCA評価の現状と課題（まとめ）

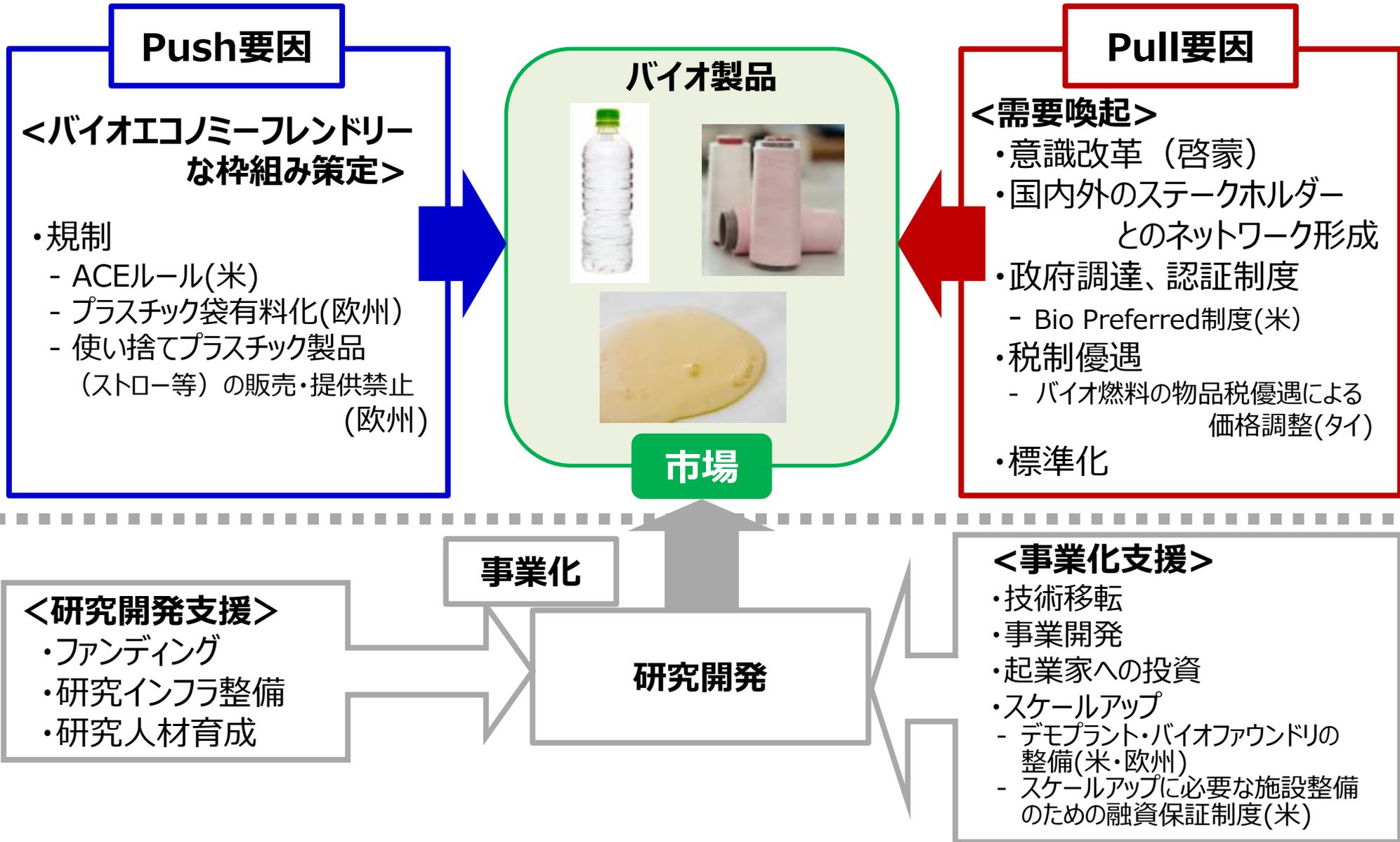
### 1. バイオ製品のLCA評価の現状と課題

- ◆ Life Cycle Assessmentに関する投稿論文のトレンドを調査、2000年以降年々増加傾向
- ◆ さらに“バイオ”のキーワードを加えると2014年頃から全体を超える伸び率で増加
- ◆ バイオ製品のLCA評価ではコスト指標の分析が大半で評価項目の選定にばらつきあり
- ◆ バイオ合成手段の違いや原料の違いなどを比較したLCA評価は増えているが、化石原料とバイオマス原料を比較した例はまだ少ない（炭酸固定時のエネルギーが考慮されない化石燃料との比較は本質的に不利の背景もあるのではないか）
- ◆ 社会的影響を分析するツール「社会的評価」（S-LCA, SIA）を取り入れた論文も増えてきており、「社会」「経済」「環境」の3つの要素を複合的に評価することで持続可能性を評価することによりLCA評価が向上していくと考えられる
- ✓ コスト指標に、環境指標、社会指標を加えた3軸での評価手法の視点が重要ではないか
- ✓ 国際標準化の観点からも企業との連携のもと、公的機関が先例を作っていくことが必要ではないか

S-LCA : Social Life Cycle Assessment  
SIA : Sustainability Impact Assessments

# 3. バイオ製品普及に対する各国の本分野の取り組み状況

- 研究開発から製品の市場での普及まで、バイオエコノミーを促進するための政策措置がとられている
- **Push型、Pull型の政策を組み合わせ**て、産業競争力を上げ、産業を振興することが重要か



# (参考) 各国の本分野の取り組み状況

- 環境・エネルギー分野のバイオモノづくりに関する政策的取組みは、**バイオエコノミー戦略\***のもと、個別の戦術として、まとめられる傾向がある
- 欧米や一部のアジア諸国は、各国の特徴・強みを活かした「バイオエコノミー戦略」を策定し、具体的な施策（次ページ）に着手している

\* バイオエコノミー：バイオマスやバイオテクノロジーの活用により気候変動等の地球規模の問題を解決し、長期的に持続可能な成長をめざす概念



**The Bioeconomy Initiative : Implementation Framework (2019年)** では、国内の豊富なバイオマス資源を持続的に最大限活用し、安全で信頼性が高く、コスト競争力のあるバイオ燃料とバイオ製品の供給を可能とするためのR&D優先領域を設定



2017年に低炭素化を通じた経済成長を目指す「**グリーン成長戦略**」、2018年に初のバイオエコノミー国家戦略（**Growing the Bioeconomy**）を策定。世界トップクラスのバイオサイエンスを基盤に、食料、化学物質、素材、エネルギー生産、健康、環境の分野における主要課題に取り組み、2030年までに4,400億ポンドのバイオエコノミーによるインパクト創出を目指す



化石原料への依存から脱却し、再生可能な原料の生産と活用を基盤とするバイオエコノミーを志向し、「**国家研究戦略バイオエコノミー2030**」（2010年）、「**国家政策戦略バイオエコノミー**」（2013年）、2020年には新たに**National Bioeconomy Strategy**を策定。生物学的資源・プロセス・システムをあらゆる経済領域に活用すべく、気候・環境・生態系の限界負荷を視野に入れたイノベーションを促進



**Thailand 4.0**（2015）で、将来に向けて競争力強化を図るべき新産業として、バイオ燃料・バイオ化学を提示し、先進的なバイオエコノミーの発展を掲げた。2017年には、**Bioeconomy Roadmap**を発表。サトウキビやキャッサバなど既存の経済作物を使用した高付加価値製品の開発により、産業構造の高度化を目指す

## 1. 技術開発の視点から

- ◆ 国内に賦存するバイオマスの徹底活用やゲノム編集、微生物群利用・活用等の技術によるバイオマス増産などにより原料コストの低減が必要ではないか
- ◆ バイオ合成反応・プロセスから分離精製・ダウンストリームプロセスまでをあらかじめ思想設計した上での技術開発プロジェクトマネジメントが必要ではないか。そのためにターゲット化合物の誘導体化などは有用であり、スマートセルPJの成果を有効に活用すべき（Good Practice、工業化例の蓄積）
- ◆ 基盤技術の層の強化が必要であり、拠点などの設置による研究ネットワーク構築や若手研究者が自由なテーマで仮説・検証ができる仕組み・資金手当なども必要ではないか（技術シーズの蓄積）

## 2. 制度設計の視点から

- ◆ バイオマス原料は、コスト構造の主要な点であり、輸入糖の活用やバイオマス増産も含めた仕組みづくりが必要ではないか
- ◆ バイオ製品の産業化を加速するためには、環境への貢献の観点から評価（社会的評価）した上で、プル型の政策誘導が必要ではないか（認証、政府調達など）
- ◆ 輸送コストが課題のバイオマス資源を有効に活用するためには、地域共生型の産業都市（バイオスタウン）のクラスター化が有効ではないか
- ◆ 挑戦的な先進技術を開発するスタートアップ支援の拡充が必要ではないか。その際にバイオクラスター化（研究拠点）が有効ではないか

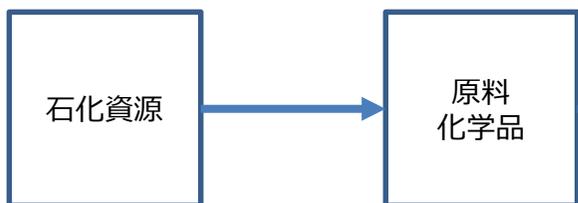
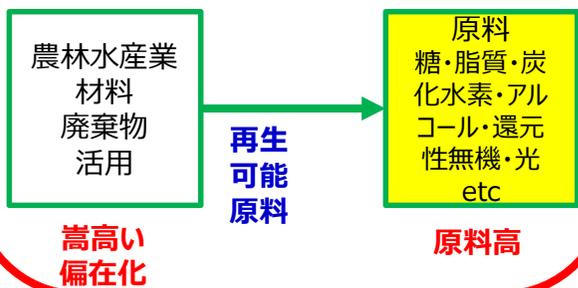
## 3. ターゲット市場領域の視点から

- ◆ 産業界ニーズからは、利益がとれる高付加価値品から始めて徐々に規模を拡大するリスク最小化型思想となるが、同時にプッシュ型の施策や環境面からのバックキャスト型の取り組みも重要ではないか
- ◆ 環境へのインパクトを考慮すると生分解性プラスチックなどを含むミドルマス（5,000～十数万T/Y国内）以上を狙いたいところ

## 技術開発の視点から：作業仮説

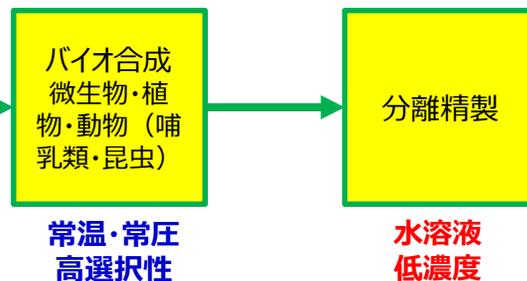
- 1. バイオ製品のコスト構造の現状分析に基づき課題解決について検討
- バイオの特徴を活かす技術開発とバイオ合成の**ボトルネックを解消**する技術開発により社会実装可能なターゲットを手取れないか（コスト課題を解決し、特異性の高い反応を活かす）

- ✓ **ゲノム編集**などを利用した効率的バイオマス生産
- ✓ **微生物群利用・制御**技術による農業生産性向上
- ✓ 未活用資源、廃棄物などの**再資源化**



石化原料利用：×カーボンニュートラル

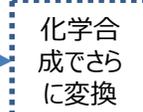
- ✓ **生成物蓄積性向上**や**後段のプロセス負荷を低減**させる技術開発
- ✓ 反応生産性を向上させる**生産菌開発**（嫌気反応化、複数化合物併産など）
- ✓ 生産反応性を向上させる**プロセス設計**（連続反応化など）



- ✓ **低コスト、高効率**廃水、**廃・棄物処理**技術（廃水、廃棄物の再資源化含む）



- ✓ **低コスト、高効率**廃水、**廃・棄物処理**技術（廃水、廃棄物の再資源化含む）
- ✓ バイオの特徴を生かせる**ターゲット探索**
- ✓ **ターゲット設計**技術（マテリアルインフォマティクス含む）



# 4.1. 技術開発の視点から：

## 環境・エネルギー分野へのバイオテクノロジー活用の施策案

### ■ 技術開発の視点から

- 国内に賦存するバイオマスの徹底活用やゲノム編集、微生物群利用・活用等の技術によるバイオマス増産などにより原料コストの低減が必要ではないか
- バイオ合成反応・プロセスから分離精製・ダウンストリームプロセスまでをあらかじめ思想設計した上での技術開発プロジェクトマネジメントが必要ではないか。そのためにターゲット化合物の誘導體化などは有用であり、スマートセルPJの成果を有効に活用すべき（Good Practice、工業化例の蓄積）
  - ✓ バイオ合成のメリットを活かしたターゲット選定（成功例に学ぶ）
  - ✓ ボトルネックを解消する代謝設計（スマセル技術の活用）
  - ✓ 化学工学系人材の育成・インボルブ
- 基盤技術の層の強化が必要であり、拠点などの設置による研究ネットワーク構築や若手研究者が自由なテーマで仮説・検証ができる仕組み・資金手当なども必要ではないか（技術シーズの蓄積）
  - ✓ 研究コミュニティ連携による人的ネットワーク構築（研究拠点・実証拠点など）
  - ✓ 若手研究者のモチベーションアップ

## 4.2. 制度設計の視点から：

### 環境・エネルギー分野へのバイオテクノロジー活用の施策案

- 1. の技術的課題や2. 環境影響評価（LCAの課題）3. 海外動向の状況を考慮して、制度設計の視点から施策をまとめた
  - バイオマス原料は、コスト構造の主要な点であり、輸入糖の活用やバイオマス増産も含めた仕組みづくりが必要ではないか
  - バイオ製品の産業化を加速するためには、環境への貢献の観点から評価（社会的評価）した上で、プル型の政策誘導が必要ではないか（認証、政府調達など）
    - ✓ 社会的評価について、公的機関が先行例を示すことも重要ではない
    - ✓ 物差しを持つことにより、優良企業活動奨励・認定することも可能になり、普及に繋がるのが期待される（国際標準化も視野）
  - 輸送コストが課題のバイオマス資源を有効に活用するためには、地域共生型の産業都市（バイオスタウン）のクラスター化が有効ではないか
  - 挑戦的な先進技術を開発するスタートアップ支援の拡充が必要ではないか。その際にバイオクラスター化（研究拠点）が有効ではないか

## 4.3. ターゲット市場領域の視点から： 環境・エネルギー分野へのバイオテクノロジー活用の施策案

### ■ ターゲット市場領域の視点から

- 個社の取り組みで、強み産業領域である、**機能性化学品**や対策が急がれている**生分解性プラスチック**などの産業化などのリスク最小化戦略のと取り組みに加え、国で、**フラッグシップターゲット**を設定して実施、成功例を積み上げ、**バイオマス原料からのチェーンを構築、量産化効果を得る**方策も重要ではないか

(産業界ニーズからは、利益がとれる高付加価値品から始めて徐々に規模を拡大する**リスク最小化型**思想となるが、同時に**プッシュ型**の施策や**環境面からのバックキャスト型**の取り組みも重要ではないか)

- ✓ バイオマス資源の有効活用の観点からは、酸素・窒素含有化合物が原料原単位からは有利 (ポリエステル、アクリル、ポリアミド、ウレタンなどの原料用モノマーなど)  
(競争領域の正当な競争を阻害しない配慮は必要)

- 高付加価値品の事例としては、川下産業の強みから、自動車材料 (ガラス代替光学樹脂、モーター・電池材料) での**バイオベースポリマー**などが想定される
- 環境へのインパクトを考慮すると生分解性プラスチックなどを含む**ミドルマス** (5,000~十数万T/Y国内) 以上を狙いたいところ
- ◆ (追加) 環境・エネルギー分野という産業分野ではないが、**GHG削減などへの貢献**の観点から**フードテック、アグリテック**での**バイオ**の活用も重要ではないか

- 環境・エネルギー分野へのバイオモノづくり技術に関する技術や制度などの現状と課題を整理するとともに、海外動向の整理を実施
- 整理した現状と課題から、技術開発、制度設計、ターゲット市場領域の視点から施策案をまとめた
- 技術開発の視点からは、バイオマス原料の利活用及び増産、プロセス設計をあらかじめ思想に入れた研究開発（工学系技術者との連携）、シード技術の蓄積の重要性を提示
- 制度設計の視点からは、コストアップ要因である糖やバイオマス原料の安価安定調達について制度改変やバイオコミュニティ（拠点）形成の有用性を提示
- ターゲット市場領域の視点からは、産業界ニーズのリスク最小化型の研究開発（高付加価値品先行）への援助に加えて、プッシュ型の施策や環境面からのバックキャスト型の取り組みの重要性を提示



以上

<http://www.nedo.go.jp/>