



技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

2023年 5月

バイオものづくり実装分野の技術戦略策定に向けて —循環型バイオエコノミー社会の実現に向けて—

Vol. 112

はじめに	2
1章 解決すべき社会課題と実現したい将来像	4
1-1 社会課題と将来像の定義	4
1-2 将来像実現のための方法	6
1-3 環境分析	6
2章 解決・実現手段の候補	15
2-1 ターゲット化合物の選定	15
2-2 バイオものづくりの社会実装のための課題と解決手段	18
2-3 実現に向けた方向性	24
3章 おわりに	27

TSCとはTechnology Strategy Center（技術戦略研究センター）の略称です。

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（TSC）

はじめに

国連の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、2021年8月に第6次評価報告書を発表し、図1のとおり、2100年までのCO₂排出量の推移に関して五つのシナリオを示した。また同報告書は、現在の気候状況は、人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことに疑う余地がなく、将来の気候変動の抑制に向けて、自然科学的見地から、人為的な地球温暖化を特定の水準に制限するには、CO₂の累積排出量を制限し、少なくともCO₂正味ゼロ排出を達成し、他の温室効果ガスも大幅に削減する必要がある、と報告した¹。

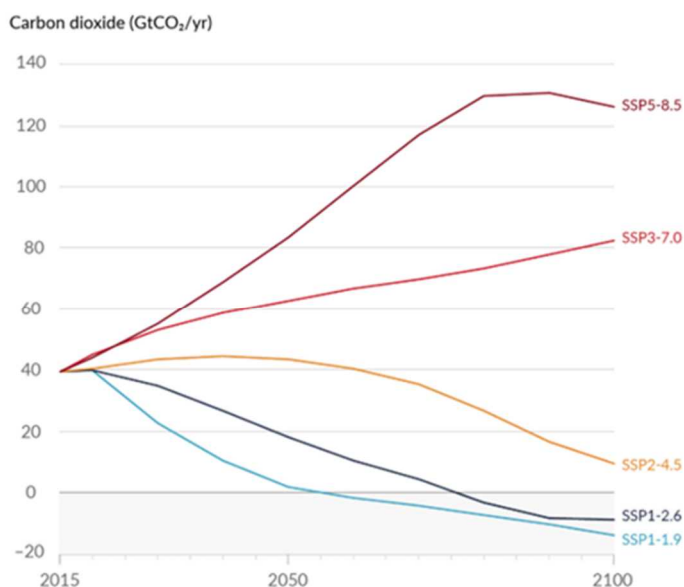


図1 IPCCの2100年までのCO₂排出シナリオ

出所: IPCC Sixth Assessment Report (IPCC WG1, 2021)²

2021年11月に英国で開催された国連気候変動枠組条約第26回締約国会議(COP26)では、パリ協定における1.5°C目標の達成に向けて、今世紀半ばのカーボンニュートラルと、経過点となる2030年に向けた気候変動対策を締約国に求める内容の文書が決議された³。

¹ <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>

² <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

³ <https://www.env.go.jp/press/110207.html>

こうした動きの中で、欧州では国境炭素調整制度など、カーボンプライシングの導入をはじめとする、カーボンニュートラルに向けた取り組みが加速するとともに、欧米をはじめとする各国がカーボンニュートラル実現に向けて取り組むことを正式に表明している。日本においても、2020年10月に『2050年カーボンニュートラル』を宣言し、その実現に向けて、エネルギー・産業部門の構造転換とイノベーション創出を加速するべく『グリーン成長戦略』が策定された。当該戦略では、2050年カーボンニュートラルに向けて予算、金融、規制改革、標準化、国際連携などの政策を総動員して取り組むことが掲げられている。

カーボンニュートラルに向けて、化石資源によるエネルギー源からの転換（水素、アンモニア、再生可能エネルギーの利用）や電化といった脱炭素化による対応が可能な産業に対して、化石資源を原料としている化学産業は炭素を製品に組み込んでいるため、目指すところは「脱炭素化」ではなく「脱二酸化炭素」である。すなわち、化石資源からの移行である。そのような化学産業において、化石資源からの移行に向けた方法として、バイオものづくり⁴活用の期待が一層高まりつつある。SDGs や ESG 投資の高まり、サステナビリティ関連情報の開示や未来志向の企業価値創造⁵の観点から、機関投資家等のステークホルダーからも企業のそのような大胆な事業変革が求められている。バイオものづくりは、化学プロセスと比較して省エネルギーでの物質生産が可能であるとともに、原料を化石資源に依存しないバイオマスからの物質生産も可能であり、炭素循環型社会の実現、持続的経済成長に資するものづくりへの変革が期待できる。

本レポートは、カーボンニュートラル実現に向けた化学産業における化石資源からの移行に貢献することを目的に、バイオものづくりの社会実装に向けた課題と解決の方向性をまとめたものである。

⁴ バイオものづくりは、遺伝子技術を、微生物が生成する目的物質の生産量の増加や、新しい物質の生産に利用するテクノロジー。
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/bio/Kennkyuukaihatsu/whitebio/whitebio.html#biomono

⁵ 非財務情報の開示指針研究会 中間報告（経済産業省、2021）
<https://www.meti.go.jp/press/2021/11/20211112003/20211112003-1.pdf>

1 章 解決すべき社会課題と実現したい将来像

1-1 社会課題と将来像の定義

1-1-1 社会課題と将来像

世界規模での気候変動、環境問題、食料問題、さらには経済安全保障上のサプライチェーンリスクが深刻化する中、エネルギー・穀物価格の高騰やサプライチェーンリスクといった産業や社会に対する重大な損失をもたらすリスクが懸念されている。

こうした社会課題を解決するためには、化石資源を消費する社会から、再生可能な資源を利用する炭素循環型の持続可能な社会に移行することが必要である。図 2 は世界経済フォーラムが示す循環型バイオエコノミーのイメージ図である。バイオエコノミーとは、バイオテクノロジーや再生可能な生物資源等を利活用し、持続的で、再生可能性のある循環型の経済社会を拡大させる概念であるが、この図では、バイオマスやバイオプロセス、バイオ製品を社会に導入することで循環型の豊かな社会がもたらされることを示している。このように、バイオによる炭素循環型の持続可能な社会を目指しつつ、同時に必要な技術革新による経済的価値の創出がもたらされる社会システムへの変革が社会課題の解決の有効な方策となり得る。

本レポートでは、こうしたバイオによる炭素循環と新たな価値創出による経済成長を実現する社会、すなわち、循環型バイオエコノミー社会(=サーキュラーエコノミー×バイオエコノミー)を将来像として定義する。

CIRCULAR BIOECONOMY OF WELLBEING

©EFI

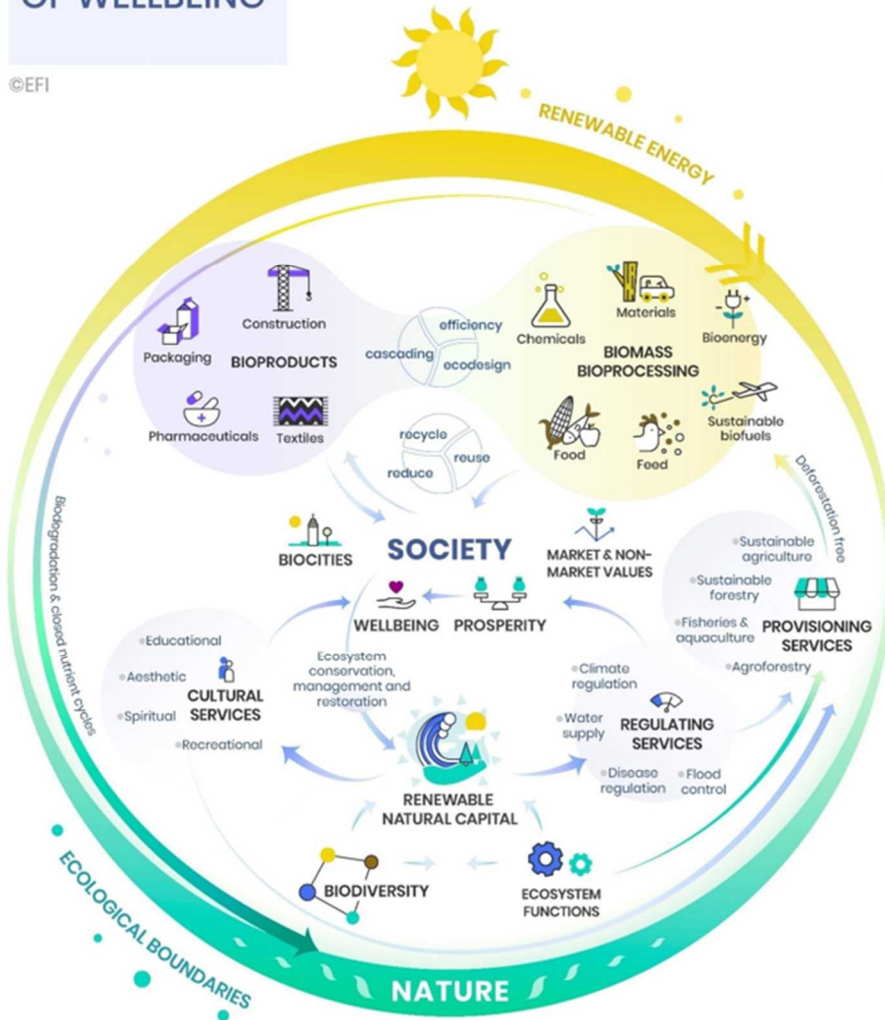


図 2 循環型バイオエコノミー社会のイメージ図

出所: Why the world needs a 'circular bioeconomy' – for jobs, biodiversity and prosperity (World Economic Forum, 2021)⁶

1-1-2 提供価値

本レポートにおける将来像である循環型バイオエコノミー社会は、環境と調和した再生可能な原料を用いることで持続的であり(「環境価値」があり)、地域資源の活用により地域・自然と共生でき(「社会価値」があり)、さらに、関連技術により産業が創成される(「経済価値」がある)社会であると考えられる。

⁶ <https://www.weforum.org/agenda/2020/10/circular-bioeconomy-nature-reset/>

1-2 将来像実現のための方法

循環型バイオエコノミー社会とは、前記 1-1-1 で述べたとおり、バイオマスやバイオプロセス、バイオ製品が導入されている循環型社会のことである。言い換えれば、循環型バイオエコノミー社会の実現には、バイオものづくりを社会実装(産業化)することが必要不可欠であるといえることができる。バイオものづくりの社会実装を実現するための具体的な手段は第 2 章に示す。

1-3 環境分析

1-3-1 政策動向

図 3 に示すとおり、経済協力開発機構(OECD)が 2009 年にバイオエコノミーを提唱⁷して以降、各国がバイオエコノミー戦略の策定・改訂を行っており、特に欧米では当該戦略の中でバイオ化に関する数値目標を掲げている点が特徴的となっている。米国は、2012 年の『National Bioeconomy Blueprint』、及び 2016 年の『Federal Activities Report on the Bioeconomy』において、10 億トンのバイオマスを用いて化石由来燃料の 36%を代替すること、また、2,300 万トンのバイオ由来製品、920 億 kWh の電力供給、170 万人の雇用と 2,000 億ドルの市場創出といった項目を 2030 年の目標として掲げている。また、欧州も、2018 年に改訂された『バイオエコノミー戦略』において、化石由来製品の 30%を生物由来に代替し、輸送燃料の約 25%を生物由来に置き換えることを 2030 年の目標として掲げている。

⁷ <https://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>

日本も、2019年、2020年に『バイオ戦略』を策定し、2021年に、『バイオ戦略フォローアップ』として、①バイオ関連市場の拡大、②バイオコミュニティの形成、③データ基盤の整備を重点項目として掲げている。上記①の中で、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の分野で、2030年に市場規模 53.3 兆円を目標とすることが掲げられている⁸。

2009 The Bioeconomy to 2030

OECD

- ◆ 生物資源やバイオテクノロジーの活用により地球課題解決を目指す“Bioeconomy”の概念を提唱
- ◆ バイオエコノミー市場は2030年に1.6兆ドル（工業39%、農業36%、健康25%）に拡大すると予測

2012 National Bioeconomy Blueprint

2016 Federal Activities Report on the Bioeconomy

米国

【2030年目標】10億トンのバイオマスを使い化石由来燃料36%を代替、2,300万トンのバイオ由来製品、920億kWhの電力供給、170万人の雇用と2,000億ドルの市場創出
*重点領域：ライフサイエンス、環境エネルギー、バイオ製造プロセス、食糧・農業

2012（2018改訂）バイオエコノミー戦略 *2018年英国、2020年ドイツなどが独自に策定

欧州

【2030年目標】化石由来製品の30%を生物由来に代替、輸送燃料の約25%を生物由来に置換
*重点領域：バイオ由来産業の強化、持続可能な農林業支援、生物多様性

2019（2020）バイオ戦略 *毎年フォローアップを実施（下線：経産省担当）

日本

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、9つの市場領域を設定し、市場目標とロードマップを策定（産業界では化学製品の原料の20～25%をバイオに代替することを掲げている）

①高機能バイオ素材、②バイオプラスチック、③持続的・一次生産システム、④有機廃棄物・有機排水処理、⑤生活習慣改善ヘルスケア・機能性食品・デジタルヘルス、⑥バイオ医薬・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業、⑦バイオ生産システム、⑧バイオ関連分析・測定・実験システム、⑨木材活用大型建築・スマート林業

図3 世界各国のバイオエコノミー戦略の概要

出所：各国公表資料⁹より、NEDO 技術戦略研究センター作成

⁸ 『バイオ戦略』は、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、持続可能性、循環型社会、健康（ウェルネス）をキーワードに産業界、大学、自治体等の参画も得て推進しているイノベーション戦略。

<https://www8.cao.go.jp/cstp/bio/index.html>

⁹

OECD The Bioeconomy to 2030

<https://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>

米国 National Bioeconomy Blueprint

<https://obamawhitehouse.archives.gov/administration/eop/ostp/library/bioeconomy>

米国 Federal Activities Report on the Bioeconomy

<https://www.energy.gov/eere/bioenergy/downloads/federal-activities-report-bioeconomy>

欧州 バイオエコノミー戦略

https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/bioeconomy/bioeconomy-strategy_en

上述のバイオエコノミー戦略に基づき、表 1 で示すとおり、各国において関連する政策が推進されている。欧米では官民パートナーシップの下、GHG (Greenhouse Gas) 削減に資するバイオ製造分野で、社会実装に近い、TRL (Technology Readiness Levels: 技術成熟度レベル) あるいは MRL (Manufacturing Readiness Level: 製造技術成熟度レベル) 後半まで企業群に対して支援を行っており、中国においても政府補助金により、バイオ分野における生産能力の増強等を進めている。

このように、炭素循環やカーボンニュートラルの手段として、バイオものづくりの開発・実証等の取り組みが世界的に進展しつつある。

表 1 海外のカーボンニュートラル、バイオものづくりに関する政策動向の概要

各国政策動向の概要	
米国	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2050年までにカーボンニュートラル達成を表明。『米国雇用計画2021』では、2兆ドルで雇用創出、気候変動対策、インフラ整備を推進 ■ DOE『ARPA-Eプログラム』では、バイオ燃料やバイオ由来製品の脱炭素化の技術開発 (ECOSynBio) に3,500万ドル拠出。『Agile Bio Foundry』では合成生物学を活用したGHG削減に資する技術開発を500万ドルで推進 ■ 『BioMADE』は国防総省8,700万ドルと民間からの資金により、バイオ製造の実証開発を加速 (MRL7相当)
欧州	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2050年までにカーボンニュートラル達成を目標として、『欧州グリーンディール』を策定 ■ 『持続可能な化学物質戦略』を発表し、脱炭素化やエネルギー資源の効率化技術を推進 ■ Horizon2020プロジェクトによる資金提供を受けて、欧州官民パートナーシップである『BBI JU』が、域内資源を活用したバイオ製品 (バイオプラスチックや原料モノマー等) のモデル生産実証開発を推進 (約2千ユーロ/1PJ (TRL8相当)、総額37億ユーロ/7年)
中国	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2060年までにカーボンニュートラル達成を表明 ■ 2021-2025年を対象とする『第14次5カ年計画』により、2035年目標を見据え、今後、省庁・地方都市、研究開発機関等でPJが進行。政府補助金でバイオ製品 (PLA等) の生産増強 ■ 『循環経済の発展に関する第14次5カ年計画』(2021) では、サーキュラーエコノミーを発展させ、資源保護と集中的なりサイクル促進を掲げる

出所: 各国公表資料¹⁰より、NEDO 技術戦略研究センター作成

10

米国雇用計画 2021

<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/03/31/fact-sheet-the-american-jobs-plan/>

米国 DOE ARPA-E プログラム <https://arpa-e.energy.gov/technologies/programs/ecosynbio>

米国 BioMADE

<https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2388087/dod-approves-87-million-for-newest-bioindustrial-manufacturing-innovation-insti/>

欧州 グリーンディール

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

欧州 持続可能な化学物質戦略

https://ec.europa.eu/environment/strategy/chemicals-strategy_en

欧州 BBI JU (The Bio-based Industries Joint Undertaking)

<https://www.bbi.europa.eu/about/about-bbi>

中国 循環経済の発展に関する第 14 次 5 年計画

https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202107/t20210707_1285530.html

日本では、『グリーン成長戦略』における重点分野のひとつであるカーボンリサイクル・マテリアル産業の中の一つの項目として、バイオものづくり技術の活用が位置づけられている。その取り組み方針として、ゲノム編集等による産業用微生物の開発、AI 等による効率的な生産プロセスの開発・実証などを実施し、今後 10 年間の集中的な取り組みにより低コスト化を進め、2035 年までに商業ベースで生産可能な化学品の種類・機能を拡大する、としている¹¹。日本におけるバイオものづくり技術開発としては、NEDO において、『カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発(バイオものづくり PJ)』による高付加価値機能に重きを置いた技術開発が進められているほか、グリーンイノベーション基金を用いた『バイオものづくり技術によるCO₂を直接原料としたカーボンリサイクルの推進』プロジェクトも開始されている。

本レポートにおいては、バイオものづくりの対象として工業化学品(バイオ化学品¹²)に焦点を当てて市場動向や技術動向について環境分析を行い、その社会実装のための課題と方向性を整理することとする。

1-3-2 市場動向

世界のバイオ化学品の市場規模は、図 4 にあるとおり、2020 年のコロナの影響を除けば、2022 年以降も毎年 8~9%台の成長率で推移し、2026 年には 1,600 億ドルを超える見込みといわれている。また、地域別にも、欧州、アジア、北米の順で、いずれも成長率は年平均+8%半ばで推移する見込みである(図 5)。

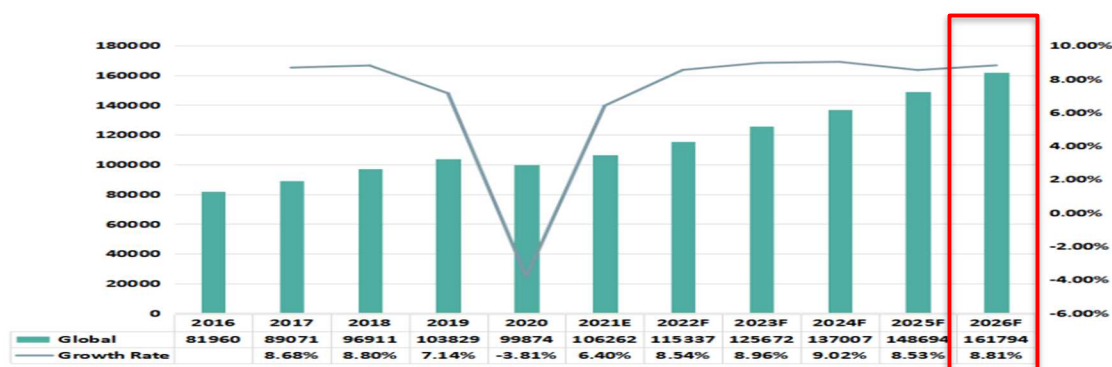


図 4 世界のバイオ化学品の成長率の推移

出所: Global Bio-Based Chemicals and Bio-Based Polymer Market Development Strategy Pre and Post COVID-19, by Corporate Strategy Analysis, Landscape, Type, Application, and Leading 20 Countries (Maia Research Analysis) (赤囲みは NEDO 技術戦略研究センター加筆)

¹¹ <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>

¹² バイオ化学品とは、バイオ技術で製造した工業化学品、バイオマスから作ったプラスチック、分解性プラスチック等の化学品のことを指す。



図5 世界のバイオ化学品の市場規模(億ドル)

出所: Global Bio-Based Chemicals and Bio-Based Polymer Market Development Strategy Pre and Post COVID-19, by Corporate Strategy Analysis, Landscape, Type, Application, and Leading 20 Countries (Maia Research Analysis) (赤囲みは NEDO 技術戦略研究センター加筆)

また、世界のバイオ産業の 2030~2040 年の中長期の市場規模は、年間 2~4 兆ドルを見込み、うちバイオ化学品を含むエネルギー・マテリアル分野では 2,000~3,000 億ドルと予測されている¹³。

日本の産業界も、化学製品のカーボンニュートラルへの取り組みとして、原料由来炭素の 25%をバイオ技術の活用により転換していくことを表明している(図 6)¹⁴。

<化学製品カーボンニュートラルへの取り組み (イメージ図)>

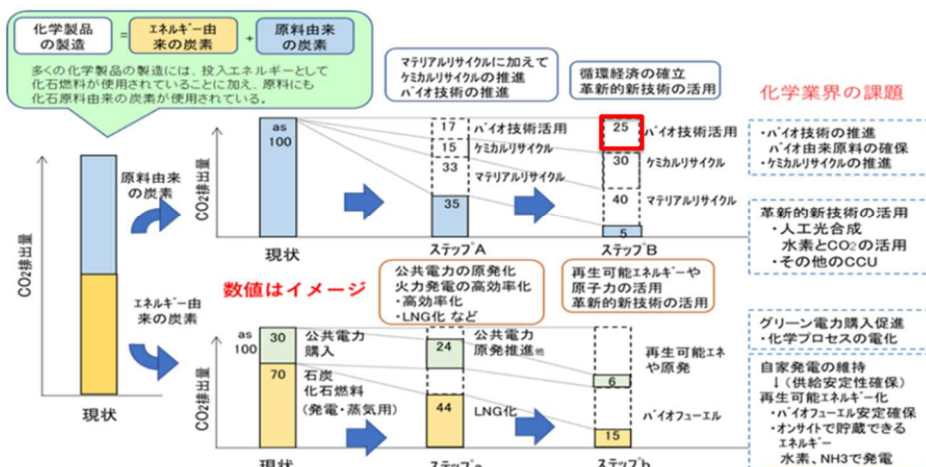


図6 産業界における化学製品のカーボンニュートラルへの取り組み

出所:カーボンニュートラルへの化学産業としてのスタンス(日本化学工業協会, 2021)
(赤囲みは NEDO 技術戦略研究センター加筆)

¹³ The Bio Revolution: Innovations transforming economies, societies, and our lives (McKinsey & Company, 2020)

<https://www.mckinsey.com/industries/life-sciences/our-insights/the-bio-revolution-innovations-transforming-economies-societies-and-our-lives>

¹⁴ <https://www.nikkakyo.org/system/files/20210518CN.pdf>

1-3-3 技術動向

バイオ化学品に係る特許出願ファミリー数は図7に示すとおり、2016年まで増加傾向にあり、それ以降は年間2万件前後で推移している。国・地域別でみると、日本は、表2に示すとおり、中国、米国に次ぎ、韓国と拮抗しており、技術上位国としてトップを狙うことができる位置にあるといえる。

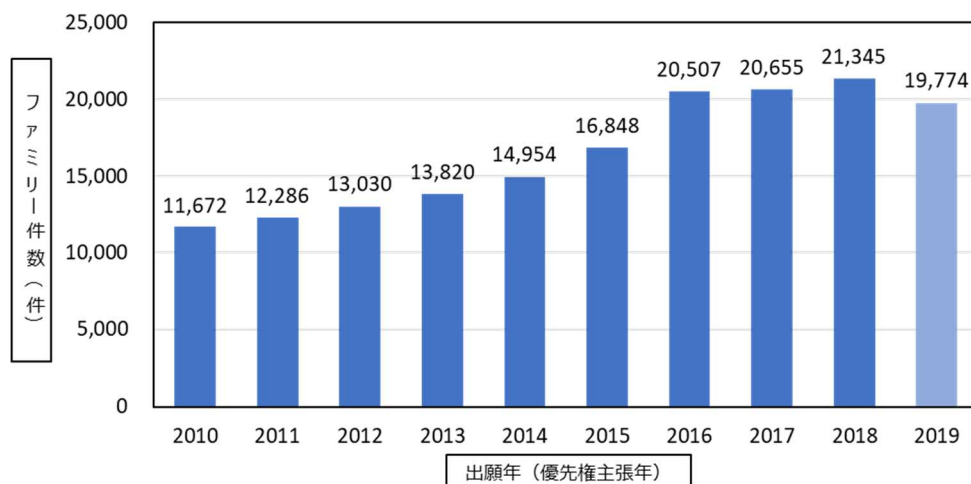


図7 バイオ化学品の特許出願ファミリー件数推移(出願年:優先権主張年)

出所: Derwent Innovation™ の検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

表2 バイオ化学品の年別出願人国籍・地域別上位10か国
(出願年:優先権主張年)

順位	出願年(優先権主張年)									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	米国 3,155	中国 3,958	中国 4,707	中国 5,847	中国 7,438	中国 9,276	中国 13,201	中国 13,467	中国 14,138	中国 12,771
2	中国 3,136	米国 3,079	米国 2,900	米国 2,845	米国 2,531	米国 2,341	米国 2,137	米国 2,187	米国 1,954	米国 1,758
3	日本 1,689	日本 1,441	日本 1,504	韓国 1,364	韓国 1,299	韓国 1,312	韓国 1,393	韓国 1,408	韓国 1,404	韓国 1,484
4	韓国 1,081	韓国 1,128	韓国 1,195	日本 1,195	日本 1,144	日本 1,224	日本 1,226	日本 1,114	日本 1,292	日本 1,259
5	ドイツ 330	ドイツ 318	ドイツ 326	ドイツ 294	ドイツ 222	イギリス 228	インド 190	インド 227	インド 272	インド 351
6	フランス 329	フランス 300	フランス 306	フランス 243	フランス 220	ドイツ 207	ドイツ 175	フランス 190	ドイツ 191	ドイツ 236
7	イギリス 160	イギリス 172	インド 157	インド 177	フランス 197	フランス 192	フランス 175	ドイツ 174	ドイツ 167	フランス 182
8	インド 117	インド 136	ロシア 155	イギリス 135	イギリス 166	インド 184	イギリス 161	イギリス 154	イギリス 163	ロシア 158
9	ロシア 111	ロシア 130	イギリス 133	ロシア 115	ロシア 121	ロシア 169	ロシア 161	ロシア 151	ロシア 163	イギリス 121
10	台湾 105	台湾 103	台湾 77	台湾 95	台湾 105	ポーランド 85	台湾 88	台湾 92	台湾 116	イタリヤ 110

出所: Derwent Innovation™ の検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

出願人別で見ると、世界の出願人トップ 10 では、表 3 に示すとおり、中国が 6、欧州が 2、米・韓国が各 1 機関で、内訳としては、中国は江南大学をはじめとした大学が多いのに対し、欧米韓は主要化学メーカーが占める。日本は 11 位の東レのほか、花王、三菱ケミカル、富士フイルム、大日本印刷、カネカ、王子 HD、住友化学など業種横断的に多くの企業が存在する(表 4)。このようにバイオ化学品に関する出願人に業種横断的に多くの企業が存在することが日本の強みといえる。

表 3 バイオ化学品の出願人上位ランキング<2010~2019 年>
(出願年:優先権主張年)

順位	出願人	出願件数
1	UNIV JIANGNAN (中国)	1,067
2	L'OREAL SA (フランス)	825
3	BASF SE (ドイツ)	815
4	CHINA PETROLEUM & CHEM CORP (中国)	699
5	CHINESE ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES (中国)	676
6	LG CHEM LTD (韓国)	671
7	UNIV SOUTH CHINA TECHNOLOGY (中国)	662
8	CHINA TOBACCO YUNNAN INDUSTRIAL CO LTD (中国)	535
9	UNIV ZHEJIANG (中国)	516
10	DU PONT DE NEMOURS & CO E I (米国)	500

出所:Derwent Innovation™の検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

表 4 国内におけるバイオ化学品の出願人上位ランキング<2010~2019 年>
(出願年:優先権主張年)

バイオ化学品の出願人上位ランキング (国内プレーヤ)		
1	東レ *世界11位	481
2	花王	426
3	三菱ケミカル	348
4	富士フイルム	230
5	大日本印刷	218
6	カネカ	216
7	王子ホールディングス	201
8	住友化学	190
9	産業技術総合研究所	182
10	三井化学	176
11	帝人	172
12	東京大学	168
13	日本製紙	167
14	パナソニック	161
15	ユニチカ	157
16	味の素	155
17	横浜ゴム	153
18	旭化成	149
19	凸版印刷	148
20	大阪大学	147

出所:Derwent Innovation™の検索結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

また、バイオ化学品に係る論文件数は継続的に増加傾向(図 8)であり、国別トップ 10 は、中国、米国、インド、ドイツ、フランス、イタリア、英国、スペインに続き、日本は 9 位となっている(図 9)。

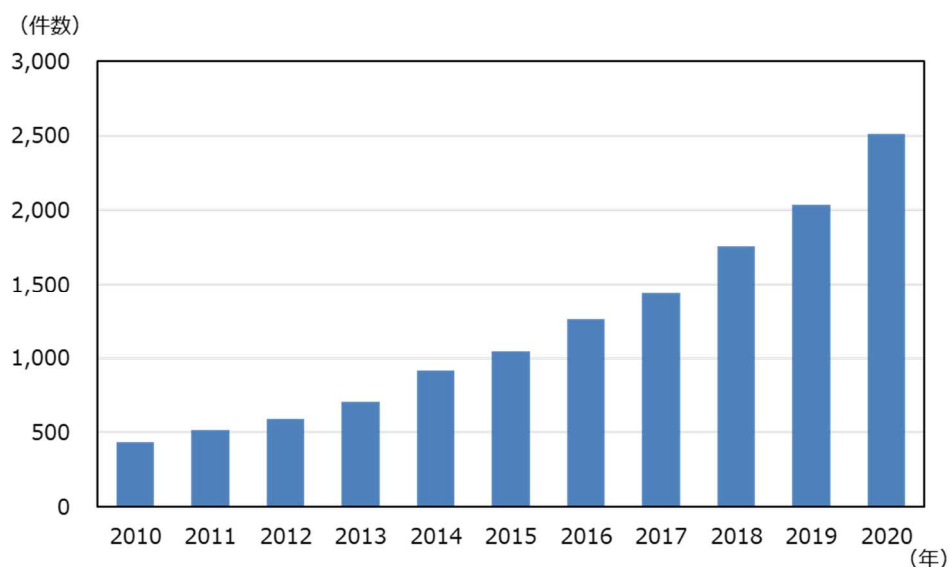


図 8 論文件数年次推移

出所: Web of Science™ の検索結果を基に技術戦略研究センター作成¹⁵

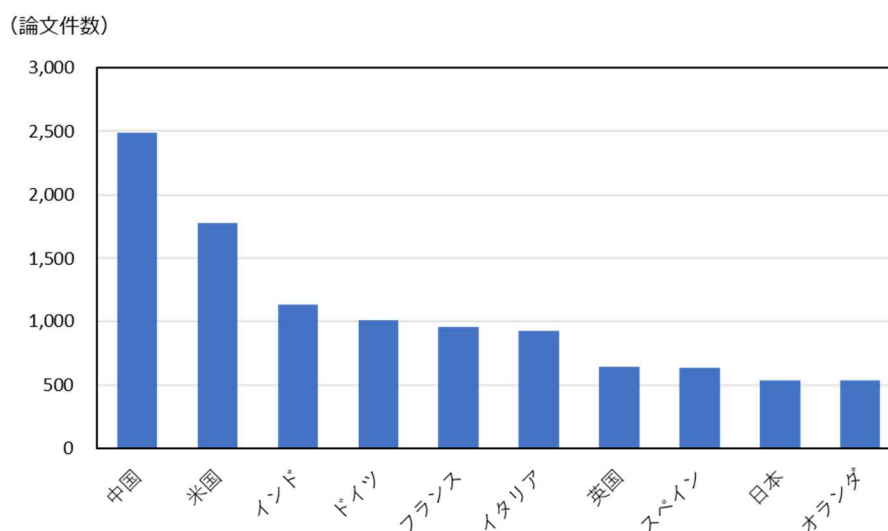


図 9 国別論文件数

出所: Web of Science™ の検索結果を基に技術戦略研究センター作成¹⁶

¹⁵ 検索ワード: (bio-based product*)OR(bio-based material)OR(bio-fuel)OR(bio-chemical*)OR(bio-plastic)OR(bio-fiber)OR(bio-based polymer)、2021 年 10 月時点

¹⁶ 検索ワード: (bio-based product*)OR(bio-based material)OR(bio-fuel)OR(bio-chemical*)OR(bio-plastic)OR(bio-fiber)OR(bio-based polymer)、2021 年 10 月時点

1-3-4 環境分析まとめ

これまで、バイオものづくりに関しては、化学プロセスとのコスト競争力から、高付加価値機能に重きを置いた(経済的側面を重視した)技術開発が進められてきた。しかし、カーボンニュートラルを目指すには、バイオプロセスへの変換により環境負荷低減がより狙える基幹化学品市場の領域(環境的側面を重視すること)も重要である。

これまで示したとおり、バイオ化学品の市場は世界的に拡大している。また、日本はバイオものづくりを行うにあたっての政策的な追い風を受けており、技術的にもトップを狙える位置にあり、産業界もバイオ技術の活用への転換について高い目標を定めている。図 10 はバイオものづくりの対象製品の分類と付加価値の構造であるが、本レポートにおいては、高い環境負荷低減がより狙えるボリュームゾーンであり、様々な物質の起点となる「基幹化学品」をターゲット化合物、すなわちターゲット市場領域と捉えることとする。

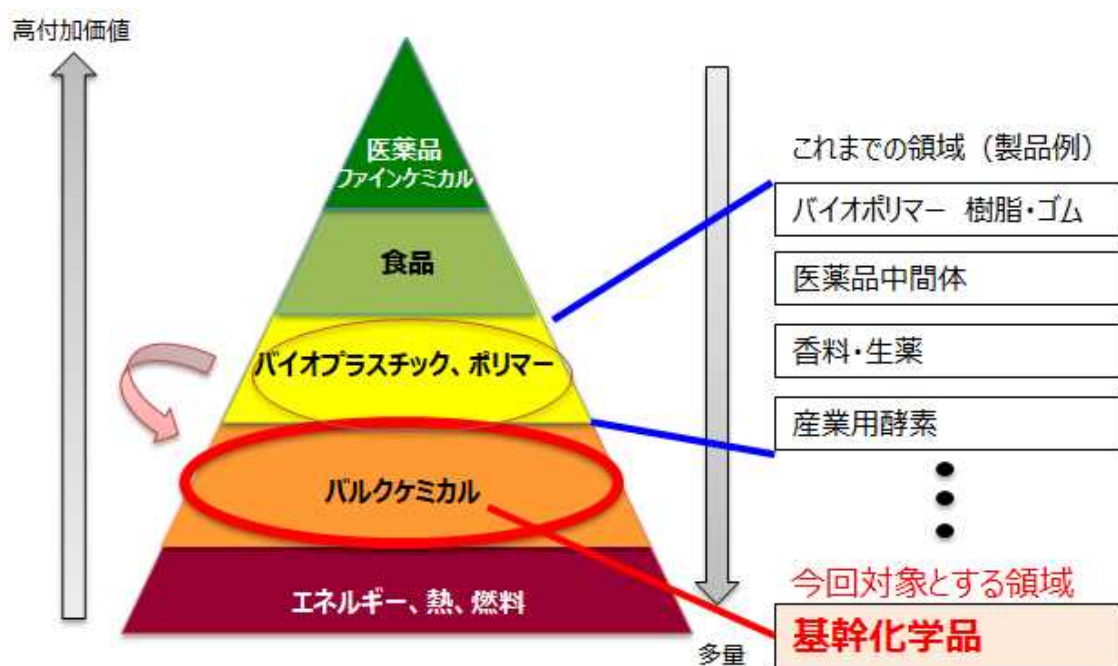


図 10 バイオ製品の付加価値ピラミッド(イメージ図)

出所: The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters (Resources, Conservation & Recycling: X. vol.6. Fig.4, 2021)¹⁷を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

¹⁷ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590289X1930026X?via%3Dihub>

2 章 解決・実現手段の候補

第 1 章では、バイオものづくりにおける環境分析を行うことで、工業化学品の中でもボリュームゾーンである基幹化学品をターゲット市場領域とすることを述べたが、第 2 章では、基幹化学品におけるバイオものづくりを社会実装するための課題と実現に向けた方向性を整理する。

2-1 ターゲット化合物の選定

ターゲット市場領域をボリュームゾーンである基幹化学品とすることで環境負荷低減効果が期待できるが、一方で、資源や投資の規模は限られることから、フラッグシップとなるターゲット化合物を選定して戦略的に投入することが必要となる。そのため判断基準をどのようにするのが課題となる。

2-1-1 海外におけるターゲット化合物選定の判断基準

表 5 に欧米のバイオものづくりにおけるターゲット化合物選定の判断基準を示す。米国は利益率など「経済価値」に重きを置き、欧州は(雇用拡大を含む)土地利用といった「社会価値」を加えた判断基準を用いている点に特徴が見られた。欧米ともに判断基準の中に、「環境価値」の要素は見当たらないものの、欧州では、2019 年に『欧州グリーンディール』を定め、サーキュラーエコノミーとバイオエコノミーの観点から研究開発プロジェクトを官民資金により推進している¹⁸。

表 5 米国と欧州におけるターゲット化合物選定の判断基準

	米国※1	欧州※2
Environmental Value (環境価値)	-	(欧州は戦略上に位置づけ)
Economic Value (経済価値)	<ul style="list-style-type: none"> ・利益率 (2018) ・市場規模 (2018) ・市場特性 (2018) ・販売価格 (2004,2010) ・生産プロセス (2004,2010) ・波及性 (2004,2010) 	<ul style="list-style-type: none"> ・生産量 ・製品価格 ・売上高 ・消費量 ・輸出入量
Social Value (社会価値)	<ul style="list-style-type: none"> ・原料 (2004, 2010) 	<ul style="list-style-type: none"> ・輸入依存度 ・土地利用

※1 米国: Technology development for the production of biobased products from biorefinery carbohydrates (DOE, 2010) 、A framework for the identification of promising bio-based chemicals(OSTI, 2018)

※2 欧州: Getting your hands dirty: A data digging exercise to unearth the EU's bio-based chemical sector

¹⁸ Circular Bio-based Europe Joint Undertaking で官民資金 20 億ユーロ拠出
<https://www.cbe.europa.eu/organisation>

米国エネルギー省(DOE)傘下の再生可能エネルギーに関する研究機関である NREL(The National Renewable Energy Laboratory)のレポートによれば、米国では、2004年にDOEが、バイオリファイナリー¹⁹のプラットフォーム化合物(基幹化合物)として、バイオマスから得られる12種類の化合物(1,4-ジカルボン酸、2,5-フランジカルボン酸、アスパラギン酸、グルタミン酸、レブリン酸、グリセロール、ソルビトール、キシリトールなど)を選定し、2010年にはエタノール、乳酸、フルフラールなどが追加され更新された。これらの化合物は、バイオマス由来の炭水化物を原料として活用できるという点に加えて、米国が重点に置くバイオ燃料とも連動して生産が可能であることから、バイオリファイナリーの経済モデルの点からも重要であるとしている²⁰。

また、2018年には、同じくDOE傘下の研究機関である GLBRC(Great Lakes Bioenergy Research Center)において、ターゲット物質のモデリング研究から潜在的に収益性の高いバイオ由来の化合物を特定するマルチスケールモデリングプロセスを開発し、最大収量を達成できる経済的に有望なイソプレンやフェノール等を含む32の化合物を特定している²¹。

2-1-2 日本としてのターゲット化合物選定における戦略的判断基準

日本におけるフラッグシップとなり得るターゲット化合物の選定を行うための戦略的判断基準を検討するに当たっては、1-1-2で述べた将来像実現に伴う提供価値を最大化するターゲット化合物を選定することが望ましいと考えた。そのため、欧米における判断基準等を参考にしつつ、欧米では判断基準とされていないが重要な観点と考えられる「環境価値」の観点も加えた判断基準を項目出しし、最終的には、将来像実現に伴う三つの提供価値(環境価値、経済価値、社会価値)に紐づく計八つの判断基準の項目を選定した。

一つ目に、「環境価値」の観点からは、「低 GHG 生産」と「枯渇懸念」を判断基準とした。「低 GHG 生産」とは、当該化合物の製造過程における GHG 排出量が一定以下であるかどうかを判断するための判断項目である。例えばコハク酸、FDCA(フランジカルボン酸)、アクリル酸等の酸素・窒素を多く含む化合物は、バイオプロセスで製造する際の単位製品当たりの GHG 排出量が小さいといった特徴がある²²ことから、当該基準を満たす対象化合物としてみなすことができる。また、「枯渇懸念」とは、枯渇懸

¹⁹ バイオリファイナリーとは、バイオマスを原料としてバイオ燃料や化学品を生産する技術や産業。

²⁰ Top Value Added Chemicals from Biomass(NREL, 2004)

<https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35523.pdf>

²¹ A framework for the identification of promising bio-based chemicals(OSTI, 2018)

<https://www.osti.gov/pages/servlets/purl/1506073>

²² Greenhouse Gas Emission Mitigation Potential of Chemicals Produced from Biomass, ACS Sustainable Chem. Eng. 2021

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.1c04836>

念資源の代替となる化合物かどうかを判断する基準である。枯渇が懸念される資源は将来的な調達リスクが高く、バイオマスに代替する価値が高いといえる。

二つ目に、「経済価値」の観点からは、「製品価格」「高生産量」「高シェア」「川下高シェア」「バイオ生産技術」の5項目を判断基準とした。「製品価格」とは、当該化合物から製造される製品が高価格な製品であるかどうか判断する基準であり、「高生産量」とは、現状生産されているもしくは高生産が見込める化合物かどうかを判断する基準である。「高シェア」とは、日本企業が海外と比較して有する強みを判断するため、日本が世界シェアの上位に位置している化合物かどうか判断する基準であり、「川下製品での高シェア」とは、対象の化合物を原料として用いた際の川下製品の世界における日本のシェアが高い化合物を判断する基準である。また、「バイオ生産技術」とは、低コスト化や高付加価値化に重要な代謝改変・培養などのバイオ技術を日本として有している化合物を判断する基準である。

三つ目に、地域雇用の創出や維持、地域における地産地消型の循環型バイオコミュニティ形成等により社会価値の向上に貢献し得る可能性があることから、「社会価値」の観点として、国内に生産拠点があるかどうかを判断する「国内生産」を判断基準として用いた。

以上の検討を踏まえ、これらの「環境価値」、「経済価値」、「社会価値」における八つの判断基準に対して特定の閾値を設定し、化合物ごとにそれらの閾値を超えている項目数を指標化することにより、ターゲット化合物を選定することとした。各判断基準の項目について、特定の閾値とそれに合致する代表的な化合物の例を表6に示す。

表6 ターゲット化合物選定の戦略的判断基準(特定の閾値と代表的な化合物の例)

	判断基準	閾値の説明	凡例；化合物の例
Environmental Value (環境価値)	①低GHG生産	GHG排出量 2.0kg-CO ₂ eq/kg-product以下を加点 (計算値 ACS Sustainable Chem. Eng. 2021, 9, 43, 14480-14487参照)	酸素・窒素を多く含む化合物。 例にコハク酸(1.3)、FDCA(1.3)、アクリル酸(1.8)など
	②枯渇懸念資源	天然枯渇資源の代替 (及びその前駆体など、足がかりの化合物も含む)を加点	例にイソブレン
Economic Value (経済価値)	③製品価格	200円/kg以上を加点	
	④高生産量	(i)100万トン/年※を超える生産量の化合物 (ii)現状売り上げはなくても、100万トン/年を超える明確な置換対象が存在するもの ※1千トン/年超は2倍加点	生産量1千トン/年超のものとして、エタノール、フェノール
	⑤高シェア	世界シェア上位3位以内かつ日本のプレイヤーが複数存在する場合を加点	例にアクリル酸、MMA、フェノール
	⑥川下高シェア	対象化合物を原料に用いた川下製品の世界における日本のシェア上位3位以内を加点	例にアクリル酸(SAP)、イソブレン(合成ゴム)など
	⑦バイオ生産技術	バイオプロセスの取り組み(原料にバイオナフサも含む)として対象化合物に関連する記述が企業ニュースリリースにある場合加点	例にエタノール、アクリル酸、14-BDO、フェノールなど
Social Value (社会価値)	⑧国内生産	国内に生産拠点がある場合加点	国内の雇用確保などの目的(地域循環型バイオコミュニティ)

2-2 バイオものづくりの社会実装のための課題と解決手段

バイオものづくりを社会実装するに当たっての問題として、バイオ化学品と化石由来製品との価格差がある。バイオものづくりを社会実装するためには、その価格差の解消が不可欠で、そのためには技術開発、投資、及び原料の確保が重要である。現状においては、それらについて以下のような課題がある。

一つ目の技術開発に関しては、バイオ化学品を低コストで生産する技術や工業規模へのスケールアップ、さらには既存の化石由来製品とスペックを合わせるなど品質仕様に係る生産技術などの技術的な向上が課題として挙げられる。

二つ目の投資に関しては、投資に対するリスクを軽減し投資を促進することが課題である。そのためには、ステークホルダーの投資に対する信頼性を向上することが必要であり、環境負荷低減効果や環境価値を可視化しステークホルダーに訴求することが必要である。

三つ目の原料確保に関しては、国内の原料の量的制約の解決や海外原料の調達における価格変動リスク、SDGs 対応といった原料の安定調達などが課題として挙げられる。

表7にバイオものづくりを社会実装するに当たっての課題とその解決手段の候補を整理した。それぞれの解決手段の候補の内容や具体例については 2-2-1 以降で示す。

表7 バイオものづくりを社会実装するに当たっての課題と解決手段の候補

	課題	解決手段の候補
<p>【課題①】 技術的課題</p>	<p>■ 以下のような生産技術の向上が必要。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スケールアップ技術 ・ 品質仕様に係る生産技術 ・ 低コスト生産技術 	<p>■ モデル実証開発を通じた以下のような生産技術の向上のための取組。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 生産プロセスの検討（新規代謝ルートの探索、培養条件の最適化、生産の高速化・安定化/コンタミの回避、培養の自動化・遠隔化、廃水の処理の効率化・再利用化の検討等） ・ マテリアルインフォマティクスやバイオインフォマティクスの活用 ・ バイオフィューズ基盤の活用 ・ バイオ技術を持つベンチャー、アカデミア、川下産業などによる異業種連携
<p>【課題②】 投資リスク</p>	<p>■ 投資促進のために以下のような信頼性の向上のための取組が必要。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 環境負荷低減効果・環境価値の可視化 ・ ステークホルダーへの認知・訴求 	<p>■ 以下のような信頼性向上・投資促進のための効果検証等の取組。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ GHG削減等の環境負荷低減効果の定量化・有用性担保（LCA指標化、ブロックチェーンによるトレーサビリティ技術、認証/標準化） ・ 環境貢献の非経済的指標に価値付加（クレジット化） ・ 先行成功事例の積み上げ
<p>【課題③】 原料調達</p>	<p>■ 原料の安定確保のための以下のような観点での取組が必要。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 国内の量的制約の解決 ・ 海外原料の安定調達（価格変動リスクやSDGs対応） 	<p>■ 以下のような原料の安定確保のための取組。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原料のマルチ化利用等による既存原料の活用拡大 ・ 新規原料の拡充 ・ バイオマス原料の認証・証明 ・ 原料の賦存量・利用可能量の把握

2-2-1 技術的課題に対する解決手段

生産技術の向上という技術的課題の解決手段としては、生産プロセスにおける新規代謝ルートの探索や培養条件の最適化、生産の高速化・安定化などの検討を行い、日本の強みが活かせるターゲット化合物を選定し、当該化合物のモデル実証開発を行うことを通じて製造法を確立し、当該技術を横展開することが考えられる。また、その際、マテリアルインフォマティクスやバイオインフォマティクスの活用、整備が進められているバイオファウンドリ基盤²³の活用、アカデミア、ベンチャー、川下企業の連携などにより、バイオ生産の実装/量産化に繋げることが重要である。

例えば、アクリル酸の川下製品である高吸収性樹脂(SAP)は、高齢化社会の進行に伴っておむつ利用における消費量・廃棄量が増加しており、リサイクルや資源循環が求められている。これに対し、図 11 に示す事例のように、ベンチャー企業や川下産業などにおける SAP のリサイクル²⁴や生分解性 SAP の開発²⁵が進行している。日本としては、このような分野で、バイオファウンドリも活用しつつ、異業種間で連携して開発を進めることが、バイオものづくり実装の早期化につながると考えられる。

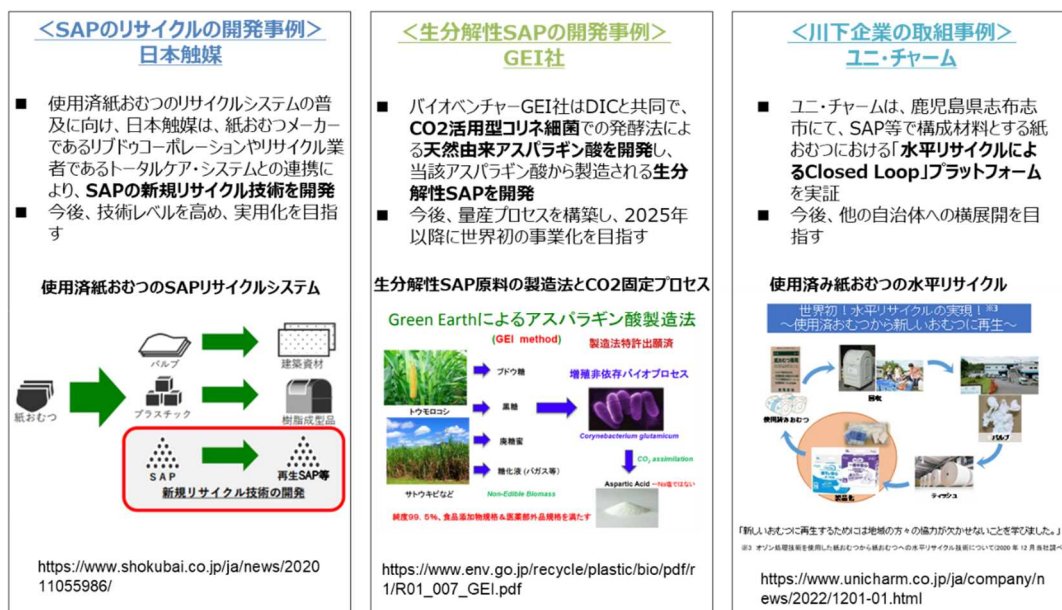


図 11 SAP のリサイクル／生分解性 SAP の開発事例

出所: 各社 HP 情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

²³

関東圏に微生物機能を活用したバイオ生産の実証拠点を形成 (NEDO, 2021)

https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101469.html

NEDO 特別講座 バイオファウンドリ拠点を活用したものづくり人材の育成

<https://www.nedo.go.jp/content/100948488.pdf>

²⁴ 使用済紙おむつリサイクルシステムの普及を目指して (日本触媒, 2020)

<https://www.shokubai.co.jp/ja/news/news0436.html>

²⁵ 植物由来で生分解性を備えた高吸収性ポリマーの製造実証事業委託業務成果報告書 (環境省, 2020)

http://www.env.go.jp/recycle/plastic/bio/pdf/r1/R01_007_GEI.pdf

2-2-2 投資リスクに対する解決手段

投資リスクに対しては、信頼性向上のための取り組みが必要であり、具体的にはGHG削減等の環境負荷低減効果等の効果検証を行い、当該効果を可視化してステークホルダーに訴求できる形にすることが必要である。例えば、化学産業では、バイオマスやリサイクル原料等の情報に関するトレーサビリティ確保のため、図12の事例に示すとおり、LCA(Life Cycle Assessment)等の評価指標やステークホルダーとの情報可視化の効果検証を含め、中立性や公平性の担保が可能なブロックチェーン技術を活用した資源循環プラットフォーム構築の実証が進行している²⁶。こうした先進的な取り組みを共通化・標準化し、日本発の認証システムとして海外展開していくことが投資リスクの解消に当たって重要であると考えられる。

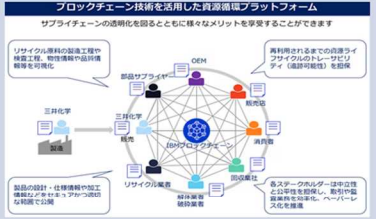
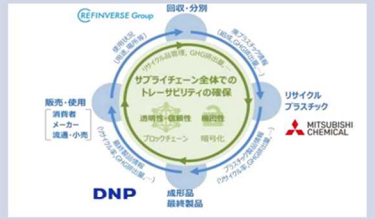
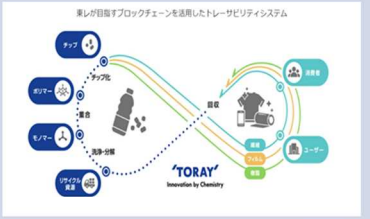
三井化学 × 日本IBM	三菱ケミカル/DNP/リファインバース	東レ×ソラミツ社
 <p>https://jp.mitsuichemicals.com/jp/release/2021/2021_0426.htm</p>	 <p>https://www-m-chemical.co.jp/news/2021/_icsFiles/afieldfile/2021/08/25/spctraceabilitysystem.pdf</p>	 <p>https://www.toray.co.jp/news/details/20220121164103.html</p>
<ul style="list-style-type: none"> 循環経済に向けた素材のトレーサビリティを担保するため、ブロックチェーン技術を活用した資源循環プラットフォームの構築開始 モノマー・ポリマー等の原材料から製品の製造・販売・使用、回収・解体・破碎を経てリサイクル原料として製品製造に再利用されるまでの資源ライフサイクルのトレーサビリティを担保 リサイクル原料の製造工程、検査工程、物性情報、品質情報を可視化 サプライチェーンの透明化、各ステークホルダーの中立性と公平性を担保した取引・監査業務を効率化 	<ul style="list-style-type: none"> サーキュライズ社（三菱ケミカルが出資支援する蘭スタートアップ）の情報管理システムを活用 バイオマスやリサイクル原料の管理・追跡トレーサビリティ、LCA等の環境負荷の評価指標の対応を含めた、透明性・信頼性の高いサプライチェーン構築に向けた実証試験を開始 バイオマスやリサイクル原料を使用した製品の高付加価値化やマスバランス方式による原料管理の高度化に寄与する高いトレーサビリティ精度を有するサプライチェーン構築の有用性を検証 	<ul style="list-style-type: none"> ソラミツ社（ブロックチェーンスタートアップ）の技術を活用したトレーサビリティシステムの実証試験を開始 東レのリサイクル、バイオマス等の技術・製品のサプライチェーンに、ブロックチェーンを融合し、製品回収・再利用による素材循環を可視化・透明化 消費者のリサイクル参画を促すため回収した原材料による製品が消費者に届くまで循環するサプライチェーン情報の見える化の仕組みを検証 リサイクル工程のエネルギー量、消費者が東レ製品を使用した際の環境負荷低減情報の見える化を検証

図12 ブロックチェーン技術を活用したトレーサビリティ構築の例

出所：各社公表情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

²⁶ 循環型社会への貢献に向けたブロックチェーンを活用したトレーサビリティシステムの共同開発について（東レ、2022）

https://www.toray.co.jp/news/details/20220121164103.html

また、産業競争力懇談会(COCN)では、国内の森林資源を活用した長期使用製品による炭素固定システムとして、図13に示すとおり、CO₂トレーサビリティを確保しつつ、クレジット化との連動を視野に検討が進められており²⁷、こうした環境効果のような非経済的価値に対して付加価値を付与する取り組みが投資リスクを解消していく観点から有効である。

図3 木材の用途拡大



図4 緑のエコシステム検討概念図(対象分野)

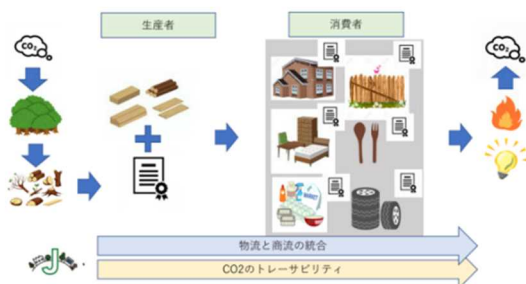


図13 森林資源を活用した長期使用製品による炭素固定システムの研究事例

出所: 緑のエコシステム(COCN, 2022)

図7 炭素固定を狙ったバイオマスプラスチック

現在のプラスチックに対する捉えられ方
 ・化石燃料の使用を控える
 ⇒バイオマス利用
 ・プラスチックによる環境汚染を防ぐ
 ⇒生分解性の付与

さらにバイオマスプラスチックを使うことで
炭素固定材料としてのプラスチック
 森林(木材)の炭素を都市部に固定する
 長期利用可能な高耐久性、高機能性が必要

フィルム、包装容器などが主な対象

家電、自動車、住宅部材など耐久消費財などを主な対象としては

図8 J-クレジット制度の概要



²⁷ <http://www.cocn.jp/report/0b0078b5bf4d59321379e3a8fa6d900dcb313b77.pdf>

2-2-3 原料調達課題に対する解決手段

原料調達の課題解決手段としては、まずは既存バイオマスの有効活用が必要である。既存のバイオマスに関して、表 8 に国内バイオマスの種類別利用状況を示す。未利用系バイオマスでは林地残材や農作物非食用部、廃棄物系バイオマスでは食品廃棄物の利用率が低く、これらを中心に活用ポテンシャルが見込めるが、それらの既存バイオマスをより活用するためには、その利用方法や需要先を拡大することが一つの方策となり得る。具体的には、バイオマスについて複数の製品に活用する原料のマルチ化利用が重要になる。地域の特色に応じたバイオマスをマルチ化利用することで、ボトルネックとなるバイオ化学品の原料確保に加えて、地域における地産地消型の循環型バイオコミュニティや地域環境共生圏の形成にも寄与できる。

表 8 国内バイオマスの種類別の利用状況

バイオマスの種類	①年間発生量 (2019年) [万トン]	②年間利用量 (2019年) [万トン]	③未利用量 (2019) (①-②) [万トン]	④未利用量 (乾燥重量ベース) (③/含水率) [万トン]	利用率 (2019年) (②/①)	2025年の 利用率目標 (注3)	
廃棄物系	家畜排せつ物	8,000	6,900	1,100	110	約86%	約90%
	下水汚泥	7,900	5,900	2,000	200	約75%	約85%
	黒液	1,200	1,200	0	0	約100%	約100%
	紙	2,500	2,000	500	450	約80%	約85%
	食品廃棄物	1,500	440	1,060	106	約29%	約40%
	製材工場等残材	510	500	10	10	約98%	約97%
	建築発生木材	550	530	20	16	約96%	約95%
未利用系	農作物非食用部	1,200	370	830	83	約31%	約45%
	林地残材	970	280	690	690	約29%	約30%
合計	24,330	18,120	6,210	-	約74%	-	

注 1: 黒液、製材工場等残材、林地残材は乾燥重量。その他のバイオマスは湿潤重量

注 2: 家畜排せつ物、下水汚泥、食品廃棄物(2018 年度)、建設発生木材(2018 年度)は年度値。他のバイオマスは暦年値

注 3: バイオマス活用推進基本計画(平成 28 年 9 月 16 日閣議決定)における 2025 年目標値

注 4: 家畜排せつ物、下水汚泥、食品廃棄物、農作物非食用部の含水率を約 90%、建築発生木材は約 20%、紙は約 10%、その他は乾燥重量として NEDO 技術戦略研究センターにて試算

出所: 農林水産省公表資料²⁸を基に NEDO 技術戦略研究センター作成

²⁸ <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/>

例えば、国内資源の徹底活用のための技術開発として、政府による戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の中で、図14に示すような稲わらやもみ殻等の非可食残渣に含まれる成分から多様な化学品の製造を行っている²⁹。ここで、高付加価値の機能製品、医薬品/化粧品向けと、化成品向けとのマルチ化利用により、バランス/最適化を図り、トータルでの収益確保を成立させること(第2期SIPにおいてはC6糖を30円/kgで供給するモデルの構築)を目標としている。

このように、最初のステップとしては、SIP事業の成果をベースとしたマルチ化利用を日本全国へ展開してバイオマスのアベイラビリティ(利用可能性)を高め、次のステップとして、東南アジア等の海外生産地に展開していくことが期待される。

加えて、新規バイオマスの拡充も重要である。国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)が高バイオマス作物を育種母本とした低炭素社会に最適化した新品種の創出等を行っている³⁰が、そのような成果も活用しながら国内の耕作放棄地に高糖性の工業用ソルガム等の育種・栽培を進めていくことも、国内での調達を拡大する手段の一つとして有効と考えられる。

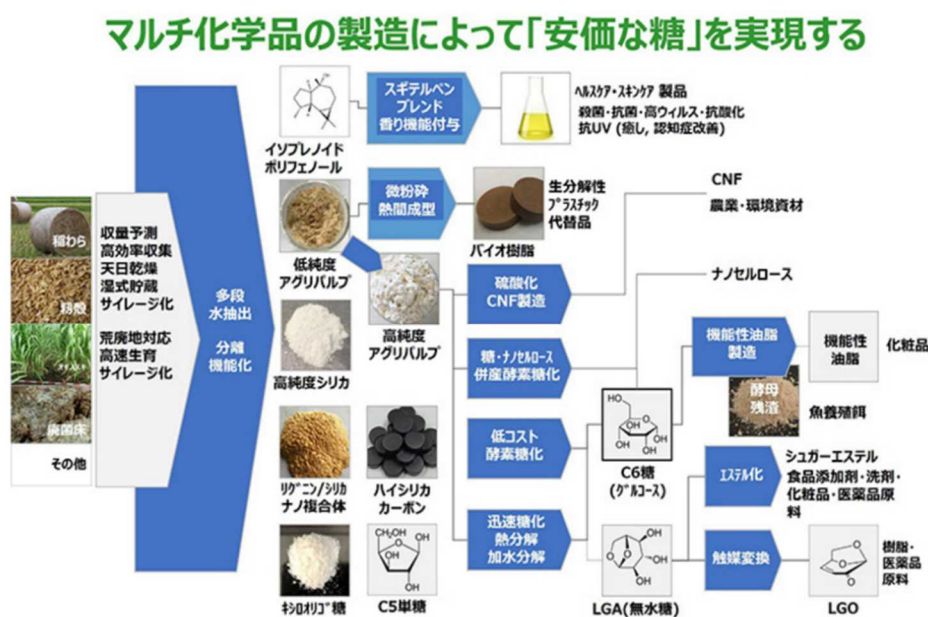


図14 バイオマスの徹底活用による安価な糖原料確保の取り組み

出所:九州大学林研究室 HP³¹より

²⁹ アグリバイオ・スマート化学生産システムの開発(アグリバイオ・化学システムコンソーシアム)

<https://agribioconso.cm.kyushu-u.ac.jp/project/>

³⁰ 雑種強勢の原理解明によるバイオマス技術革新(JST)

<https://www.jst.go.jp/mirai/jp/program/lowcarbon/JPMJMI21E1.html>

³¹ <https://agribioconso.cm.kyushu-u.ac.jp/project/>

2-3 実現に向けた方向性

これまで、日本の強みを活かすことができる基幹化学品をフラッグシップターゲット化合物として選定し、バイオものづくりとして社会実装する際の三つの課題とその解決手段について述べてきたが、社会実装を拡大していくためには、これらの手段が統合的に運営されるエコシステムを構築することが重要である。

図 15 に、将来像(循環型バイオエコノミー社会)の実現に向けて、バイオものづくりを実装するための目指すべきエコシステムを示す。従来のリニアモデルから、サーキュラー/バイオエコノミーモデルへの転換を実現するためには、このシステムが戦略的自律性、すなわち、他国に過度に依存しない経済的競争力を確保することが重要である。そのためには、技術開発や原料調達を通じた経済性確保に加えて、バイオ化による環境貢献の経済的価値化がより重要であり、その具体的な方策としては、①バイオものづくりの環境負荷低減効果に係る LCA 指標化と、ブロックチェーン技術などを活用した認証制度の構築、さらには②バイオものづくり実装製品のクレジット制度の構築が挙げられる。標準化された LCA 指標に基づくトレーサビリティが担保された認証システムの構築やバイオものづくり実装化製品のクレジット制度化により、バイオ化学品の国内生産が活性化することで、サステナブルで強靱な戦略的自律性を備えたエコシステムの構築に繋がると期待される。

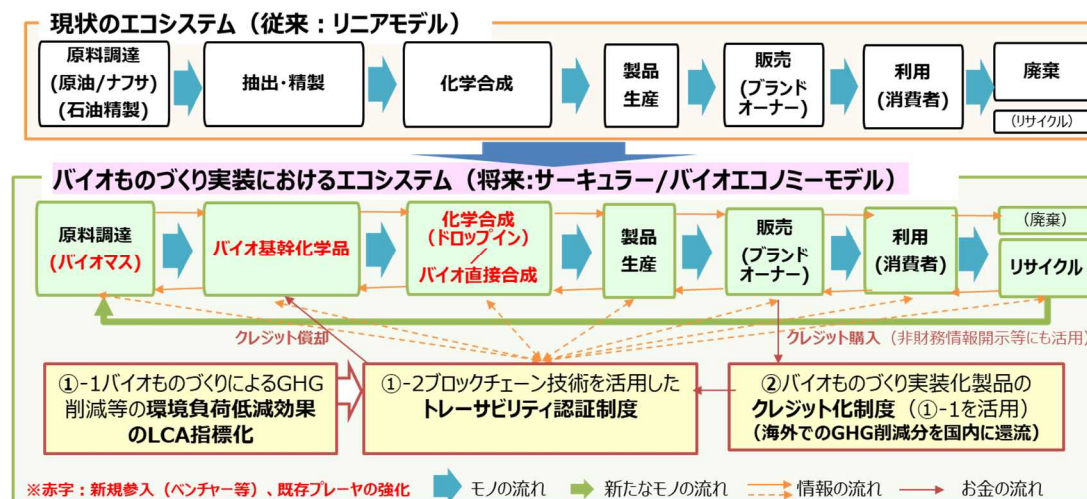


図 15 バイオものづくり実装に向けたエコシステム構築のイメージ

また、図 16 に示すように、高コストであるバイオマス由来製品について、新たなイノベーションと政策的誘導により、一定のコスト低減は期待できるものの、化石由来製品と比較した際に、最終的な価格差が残る可能性がある。そのため、その価格差が許容されるレベルに収まるのかが鍵となる。例えば、価格差の許容レベルの例として、欧州においてユーザー52社に対して行った研究事例がある。この研究事例では、1～2割の価格アップであれば選択するが44%、2～4割アップが21%、5割超アップが4%といった結果となっている³²。また、価格差の許容のためにはバイオものづくりが持つ環境価値、社会価値といった非経済的価値で判断・選択される社会醸成も必要である。社会醸成の取り組みとしては、学校教育やSTEAM教育に加え、企業で意思決定する経営層や投資家向け(例:国際サステナビリティ基準審議会(ISSB)のサステナビリティ関連情報開示や企業価値向上とのリンク)などが想定される。

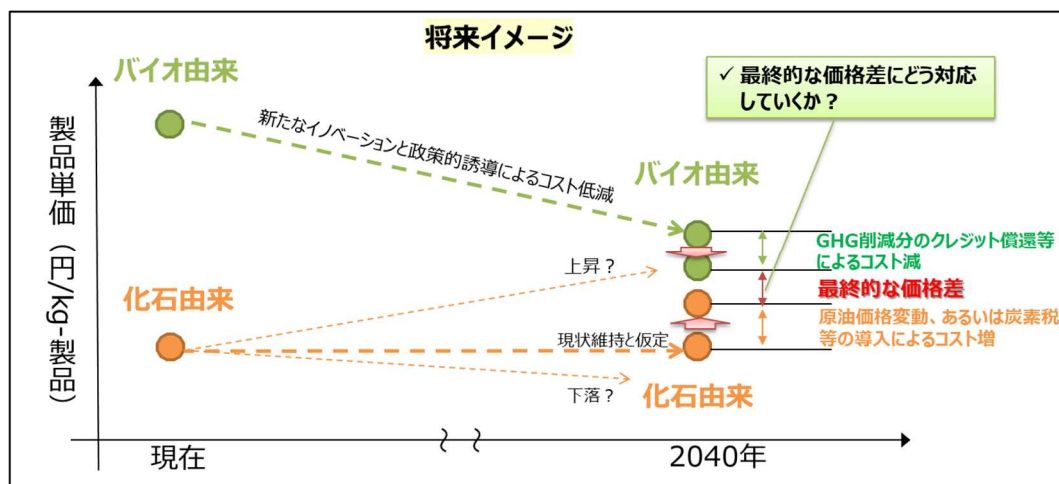


図 16 バイオマス由来製品と化石由来製品との価格差の将来イメージ

³² Bioplasticsmagazine (2020) <https://epaper.bioplasticsmagazine.com/issue-05-2020/64414631>

最後に、バイオものづくり実装に向けたグランドデザインを図 17 に示す。1st ステップとして、フラッグシップとなるターゲット化合物を選定して、モデル実証開発、簡易型 LCA の開発、原料の最適化技術の開発等に注力する。2nd ステップとして、生産工程のスケールアップを目指したモデル実証開発をすることで先行成功事例を創出するとともに、本格 LCA 評価の開発、原料の開発・増産を行う。最終ステップで、それを実装するとともに、他の基幹化学品にも横展開していく。

このような段階を踏んで、海外展開も図りつつ取り組むことで、バイオものづくり実装における課題(技術的課題、投資リスク、原料調達)を解消し、化学産業における炭素循環及びカーボンニュートラルの実現に繋げていくことが期待される。

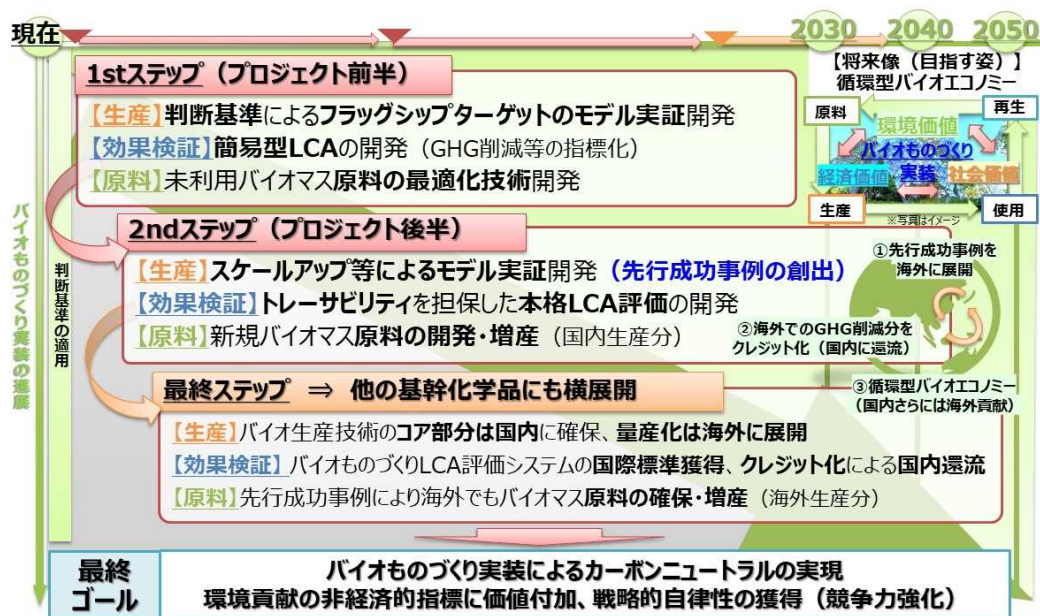


図 17 バイオものづくり実装に向けたグランドデザイン(イメージ図)

3章 おわりに

バイオものづくりは、カーボンニュートラルの実現に向けた有望的な方法のひとつとして、国内外から期待が高まっている。また、SDGs や ESG 投資の高まり、サステナビリティ関連情報の開示や未来志向の企業価値創造の観点から、機関投資家等のステークホルダーからも企業に対してバイオものづくりへの大胆な事業変革が求められている。

現時点において、バイオものづくりを社会実装するためには、スケールアップ開発等の技術的課題、成功事例が少なく経済的指標だけでは投資リスクがあるという課題、さらに、安価かつ安定した量的な面での原料調達に係る課題といったボトルネックが存在する。これらの課題を解決するためには、本レポートで提案したような、フラッグシップターゲット化合物を選定して基幹化学品のモデル実証開発を進め、インパクトのある先行成功事例を積み上げていく流れを作ることが求められる。すなわち、産学官が目指すべき方向性を共有し、フラッグシップターゲットとなる基幹化学品に対して、川下産業が持つ技術やシェアの強みを活かしつつ、バイオフィアウンドリ基盤も有効に活用し、バイオ産業が元来持ち合わせている技術をさらに向上させることで、バイオものづくりの先行事例の社会実装を進めていくことが求められる。こうした先行成功事例の積み上げが、バイオものづくりの実装の担い手となる既存プレーヤの対応力の強化やスタートアップ等の新規プレーヤの創出、そして、事業変革にチャレンジする企業に対する新たな投資の呼び水になる。

加えて、バイオものづくりの実装の拡大に向けては、戦略的自律性を備えたエコシステムの構築(他国に過度に依存しない競争力の確保)が望まれる。具体的な方策としては、技術開発や原料調達のための取り組みに加えて、バイオものづくりによる環境負荷低減効果を可視化・数値化する手法を確立し、それを LCA の標準手法として活用する認証スキームを構築し、さらに、この認証スキームを活用した GHG 削減分をクレジット化する国際的な制度を定着させることである。それにより、環境貢献のような非経済的価値に対して付加価値付与が可能となり、海外からの資金還流が実現できるようになる。このような取り組みを通じて、化学産業がバイオものづくりを発展的に導入する条件が整えられ、カーボンニュートラルに貢献していくことが期待される。

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.112

バイオものづくり実装分野の技術戦略策定に向けて

2023年5月31日発行

TSC Foresight Vol.112 バイオものづくり実装分野 作成メンバー

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(TSC)

■センター長 岸本 喜久雄

■センター次長 飯村 亜紀子

■バイオエコノミーユニット

- | | | |
|--------|--------|---------------------------|
| ・ユニット長 | 水無 涉 | |
| ・研究員 | 今井 浩司 | (2022年5月まで) |
| | 三牧 義也 | |
| | 山森 明弘 | |
| | 木村 雄輔 | |
| | 南 誓子 | |
| | 加納 周雄 | (2021年11月まで) |
| | 小寺 智博 | (2022年6月まで) |
| | 五十嵐 美香 | (2022年6月まで) |
| ・フェロー | 馬場 嘉信 | 国立大学法人 名古屋大学 未来社会創造機構 教授 |
| | 八十原 良彦 | 株式会社カネカ バイオフィルマ研究所 |
| | 湯元 昇 | 国立大学法人 大阪大学 大学院薬学研究科 特任教授 |
| | 吉川 博文 | 東京農業大学 生命科学部 名誉教授 |

- 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

- 本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。