

欧州委員会は、PPWR 第 8 条の下「バイオベースプラ」を「化石ベースリサイクルプラ」に同等と見なす

(一財) 化学研究評価機構
食品接触材料安全センター 石動正和

解説

・欧州委員会は、カーボンニュートラル(CN)の観点からプラスチックのリサイクルを推進している。

・PPWR 第 8 条(2)(c)は、CN の観点から、バイオベースプラを第 7 条リサイクル最低含有率に計上できる可能性を示唆していた。

第 8 条(2)(c)規則(EU)2022/1616 に定められた要件に準拠した食品接触用包装に適したリサイクル技術が利用できない場合、使用済みプラスチック廃棄物から回収されたリサイクル材の代わりにバイオベースプラスチック原料を使用することで、本規則第 7 条(1)及び(2)に定められた目標を達成する可能性を導入する。

・欧州委員会は先頃報告書「プラスチック包装の解析におけるバイオベース原料；包装及び包装廃棄物規則 (EU) 2025/40 へのサポート」を公表し、PPWR 第 8 条の下、「バイオベースプラ」を「化石ベースリサイクルプラ」に同等と見なすアプローチを示したことが確認された（報告書タスク 5）。

・同報告書はまた、「バイオベースプラ」が CN の観点から使用期間の短い食品接触材料に有効であるとし（同付録 IV）、PPWR 第 8 条(2)(b)の下、2040 年に「バイオベースプラ」含有率の強制的目標設定も示唆している（同タスク 4）。このことは、特にシェアが大きく「化石ベースリサイクルプラ」の適用が難しいオレフィン系などの食品接触材料に係ると考えられる。

第 8 条(2)(b) プラスチック包装におけるバイオベース原料の使用を増やすための目標を定める。

・このアプローチは、2026 年 12 月 31 日までに策定される下位法「リサイクル材の含有率の計算方法と検証方法」に反映されると考えられる。

・このアプローチは更に、マテリアルリサイクルに避けられない添加剤の履歴の問題がないので、PPWR 第 8 条(2)(c)の下、2022/1616 改正案に示された「マテリアルリサイクルプロセスから払出されるリサイクル材に含まれる原材料に、プラスチック規則（PIM）適合確認を求める要件」（宣言 B、C）への対策としても考えられる。

EU「プラスチック包装の解析におけるバイオベース原料；包装及び包装廃棄物規則（EU）2025/40 へのサポート」 2026 年 4 月 27 日

https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/98759f3f-3d27-11f1-814f-01aa75ed71a1/language-en?afd_azwaf_tok=eyJraWQjOiIxQTE2ODY0MTQ5MjEwQ0Y0M0VFMzIzGM0FEN0NENUIyOEUE3RkQxNDU2RDU0OThCCTA3NzVDMEM3NTEyNjBEODYzIiwYXnIjoiUlMyNTYifQ.eyJhdWQiOiJvcC5ldXJvcGEuZXUiLCJleHAiOiJlE3ODM2MzU3NzUsImldCI6MTc4MzYzNTc2NSwiaXNzIjoidGllcjEtODZiY2M4NGJkNi1iZGc5cyIsInN1YiI6IjE1Mi4xNjUuMTE3LjEwMyIsImRhdGEiOmsidHlwZSI6ImIzc3VlZCI6ImJlIiwjYwNzA5VDIyMjI0NVotMTg2YmNjODRiZDZiZGc5c2hDMVRZT3R2MTAwMDAwMDAwZiBnMDAwMDAwMDAwZGFjLiwiYiI6Im4yTEVaaakIxLVZrTVYxZkdSV3BubGctRklNUG5ncDJRdmQxbHN1bE1TUU0iLCJoIjoiYThrYTIIS08wdFZRTzVjbXRBeDZRQlE0WEZTeWo3cE8wYUUh6eE9lQk9NMCI9fQ.ZSMGOwsLFeYIQxbO7b0qNmXVLexxEe3m6cqW4rgUn0SYS59_AZefAGv9_SHdHpdnO7iQQuaye1_2Q6Tw8FwgCIoU3EVDkNT8ee0X1D4zGKCD9hPYbPZn1tpwnbdPKo-LYX5OgkaDvHs6YbTMkHj-7RiOx9rd_7pvDXRbqvEHKHJErg7RXZZ4oDGo4qNykRkNeb0WJaufPk-TOYYvNK1LStwIiEdIAELCb5DHX4USN8q-6AvsyYYDiwOlfeLII8l-L65Yrigo93DbAKPD2BFA9_Aa0UEGIglBrWXsSWkSM4lW300rw8cedR14f5VhzZeevGTXFnIOi1tZmR80sRW8A.WF3obl2IDtgvmFRqVdYkD5s

<https://www.confindustria.sa.it/wp-content/uploads/2026/05/Bio-based-Study.pdf>

要旨

本報告書は、EU の「包装及び包装廃棄物規則（PPWR）」の下、プラスチック包装におけるバイオベース原料の役割を、技術開発と環境性能の観点から評価するものである。現在、17 種のバイオベースポリマーが商業的に利用可能であるが、それらは世界プラスチック市場の約 1%を占めるに過ぎず、EU 化学部門における生物起源炭素の僅か 4～5%を占めるに留まる。生産能力はアジア（55%）に集中しており、次いで北米（17%）、EU27+3（14%）となっている。市場シェアは限定的であるものの、包装への利用において根本的な技術的障

壁は存在しない。バイオベースプラスチックは、化石由来の代替品と比較して温室効果ガスの排出量を 30～70%削減できるため、EU の脱炭素化及び循環型経済の目標達成に寄与するものである。また、本報告書では、バイオベース材の使用に関する目標設定の実現可能性、リサイクル材との同等性、及び持続可能性基準を「再生可能エネルギー指令（RED）」と整合させる方法についても評価を行っている。主な提言としては、バイオベース含有量に関する法的拘束力ある目標の設定、統一された持続可能性基準の確立、及びリサイクルインフラの適応などが挙げられる。バイオベース材とリサイクル材の相補性を活用することは、EU における気候中立な包装部門への移行を加速させる一助となり得る。

エグゼクティブ・サマリー

はじめに

EU の「包装及び包装廃棄物規則（PPWR）」は、包装を市場に流通させるための要件として、環境の持続可能性及び表示に関するライフサイクル上の規定を定めている。また、拡大生産者責任、不要な包装の削減や包装のリユース・詰め替えといった包装廃棄物の発生抑制、更には包装廃棄物の回収及び処理（リサイクルを含む）に関する要件も規定している。

PPWR 第 8 条では、プラスチック包装におけるバイオベース原料の持続可能性要件や使用拡大目標を提案し、かつバイオベース原料の使用によって PPWR のリサイクル材含有目標を達成する可能性を導入するため、バイオベースプラスチック包装の技術開発及び環境性能の現状について見直しを行うと定められている。この際、「再生可能エネルギー指令（RED）」で既に規定されているバイオマスの持続可能性基準が考慮されることとなる。本報告書は、バイオベースプラスチック製包装の技術開発状況及び環境性能に関する検討のための根拠を収集するものであり、同包装に適用可能な基準を策定する際の基礎となる、データに基づいた知見を提供することを目的としている。

バイオマスのフローと市場データ

2023 年、世界のバイオマス需要は 136 億トンに達したが、バイオベースポリマーが全体に占める割合は僅か 0.023%であった。2024 年には、主にグリセロール、糖類、デンプン、非食用植物油を原料として、約 320 万トンのバイオマス原料から 420 万トンのバイオベースポリマーが生産された。EU27 カ国の化学産業では、毎年約 1 億 1,000 万トンの炭素（製品等に含まれる炭素）が使用されているが、そのうち生物由来のものは僅か 4～5%に留まっている。

プラスチック分野においては、依然として 99%以上が化石資源由来である。バイオベースポリマーの生産は拡大しており、2030 年までに世界の生産能力は大幅に増加すると予測されている。それにも係らず、現時点で、バイオベースプラスチックがプラスチック総生産量

に占める割合は 1%未満である。

技術開発

バイオベースプラスチック（具体的には 17 種のバイオベースポリマー）は、発酵、化学重合、酵素プロセスなどの様々な技術を用いて、既に現在生産・市場供給されている。生産コストは一般的に化石資源由来のプラスチックよりも高いものの、規模の経済や技術の進歩により、時間の経過とともにコストは低下すると見込まれる。

PLA や PEF（ポリエチレンフラノエート）といった専用のバイオベースプラスチックは、特定の用途において化石由来のプラスチックを凌ぐ独自の特性（PEF の優れたバリア性など）を備えている。バイオベースプラスチックは、メカニカル又はケミカルリサイクル、堆肥化、或いは焼却処理が可能である。ドロップイン型のバイオベースプラスチック（バイオ PE やバイオ PET など）は、既存のリサイクルインフラと完全に適合する。一方、新規のバイオベースポリマーについては、リサイクルインフラの拡充や適応が必要となる。

環境性能

バイオベースプラスチックは一般的に、化石由来プラスチックよりも温室効果ガスの排出量が少なくなる。例えば、バイオ PE やバイオ PP は、生物起源の炭素吸収を考慮すると、カーボンフットプリントを実質マイナスにすることが可能である。バイオベースプラスチックは化石資源の使用や温室効果ガスの排出を削減する一方で、土地利用、富栄養化、酸性化といった他の環境負荷を増大させる可能性もある。バイオベースプラスチックの環境負荷は、原料の調達方法に左右される。

生物多様性の保護や土地利用効率の最大化といった持続可能な慣行を取り入れることで、こうした環境負荷を可能な限り最小限に抑えることができる。持続可能性に関する認証や原料の多様化は、潜在的なトレードオフを緩和する上で極めて重要だが、化石由来の代替品と競争するバイオベースプラスチック生産者にとっては、新たな負担ともなり得る。

持続可能性要件：

再生可能エネルギー指令（RED）は、生物多様性が高い土地や炭素蓄積量が多い土地での調達制限など、バイオマスの持続可能な調達に関する確立された枠組みを提供している。バイオベースプラスチック向けにこれらの基準を適用・調整することは、整合性と信頼性を確保する上で役立つ可能性がある。

既存の認証制度（ISCC PLUS、RSB、FSC など）は、環境、社会、土地利用に関する基準を網羅している。これらの制度は、バイオベースプラスチックの原料調達が持続可能である

ことを検証するために活用できる。

カスケード利用（エネルギーとして回収する前に、バイオマスを材料として最大限に活用すること）は、資源効率を高め、環境負荷を低減する。バイオマスの利用を最適化するため、政策によってカスケード利用を促進すべきである。

バイオベース含有率目標の実現可能性

2050 年に向けたシナリオでは、リサイクル材の利用と並び、バイオベースプラスチックがプラスチック包装の 10～30%を占める可能性があると示唆されている。段階的かつ法的拘束力ある目標を設定することは、市場の成長や投資を促進する可能性があるが、他の法的拘束力ある目標（SAF：持続可能な航空燃料など）から得られた教訓も考慮に入れるべきである。プラスチックにおけるバイオベース成分の含有目標の設定には、いくつかの主要な推進要因と障壁が存在する。推進要因としては、気候変動対策、消費者からの需要、循環型経済の目標などが挙げられる。一方、障壁としては、高い生産コスト、限られたリサイクルインフラ、そしてバイオ燃料と比較した場合の政策上の不備などが挙げられる。

リサイクル由来成分との同等性について言えば、バイオベース成分とリサイクルベース成分の含有目標は、基本的に相互補完的な関係にある。いずれも化石ベース炭素への依存や温室効果ガス（GHG）の排出を低減し、循環型炭素経済の構築を促進するものである。また、バイオベースプラスチックは、食品接触用途や有害物質の回避といった特定の状況において、独自の利点も提供する。同等性を認める枠組みを導入することで、柔軟性と強靱性が高まり、技術中立的なアプローチに基づく技術革新や規模拡大が促進されるだろう。

提言

- ・ 需要と投資を喚起するため、持続可能性基準と連動した、包装においてバイオベース成分の含有に関する法的拘束力ある目標を導入する。
- ・ 炭素循環の実現に向けた体系的な視点を可能にするため、リサイクルベース炭素とバイオベース炭素の同等性を認める。
- ・ バイオマスの持続可能性に関する信頼できる透明性を確保するため、RED III（再生可能エネルギー指令第 3 版）に基づいた持続可能性基準の整合化を図る。
- ・ 循環性を一層向上させ、リサイクルとバイオベースプラスチックの相乗効果を生み出すため、バイオベースプラスチックの回収・リサイクルに向けたインフラ整備を支援する。

- ・ コスト削減と革新的なソリューションの実現に向け、研究開発、特にスケールアップを促進する。

結論

完全な循環型プラスチックシステムを実現するには、化石燃料由来ではないバージン炭素が必要となる。バイオベースプラスチックは、包装分野における化石燃料への依存を低減する有力な手段であるが、その実現は、支援政策、持続可能な原料調達、そして必要なインフラ整備にかかっている。技術的には市場導入の準備が整っているものの、市場への本格的な普及には、市場需要と化石燃料由来製品に対するコスト競争力が不可欠である。環境面での利点、特に気候変動の緩和効果は明らかであるが、トレードオフについては慎重な管理が求められる。持続可能性基準は信頼できる透明性を提供するものであり、RED の枠組みに基づき（かつ適応させ）、インセンティブと連動させるべきである。ここで EU は、バイオベース成分の含有目標とリサイクル成分の含有要件を統合することで、循環型でかつ気候中立な経済への移行を加速させることができる。そのためには、主にバイオベースプラスチックに特化したリサイクルインフラの適応と整備が必要となる。バイオベース成分とリサイクル成分の間には原則として同等性が存在し、PPWR においてそうした同等性が認められれば、炭素の循環性と脱化石燃料化が強化されるだろう。

タスク 1：バイオマスフロー（生物起源炭素の利用）に関するデスクリサーチ及び市場データの収集

バイオマスフロー（生物起源炭素の利用）

データソースと手法

EU27 カ国における化学・派生材料セクターのバイオマスフロー及び生物起源炭素利用のマッピングは、世界及び欧州の炭素フローに関する nova-Institute の包括的研究（Kähler et al., 2023）及び BIC と RCI による共同バイオマス研究（Carus et al., 2025; Carus & Porc, 2025）に基づいている。また、『European Bioeconomy in Figures 2014-2021』（Porc et al., 2024）からも追加のデータや情報を引用している。

世界におけるバイオマス利用

2023 年の世界全体のバイオマス需要は約 136 億トンであり、そのうちバイオベースポリマーが占める割合は僅か 0.023%であった。バイオベースポリマーの原料は主にトウモロコシやサトウキビといった高収量作物や、グリセロール、廃食用油などの副産物から得られるため、これは土地利用面積のシェアで言えば 0.013%に相当する。

2024 年には、世界で 420 万トンの（一部のみバイオベースのものを含む）バイオベースポ

リマーを生産するために約 320 万トンのバイオマス原料が使用された。その主な内訳は、グリセロール (31%)、糖類 (25%)、デンプン (20%)、非食用植物油 (12%) となっている (図 1)。

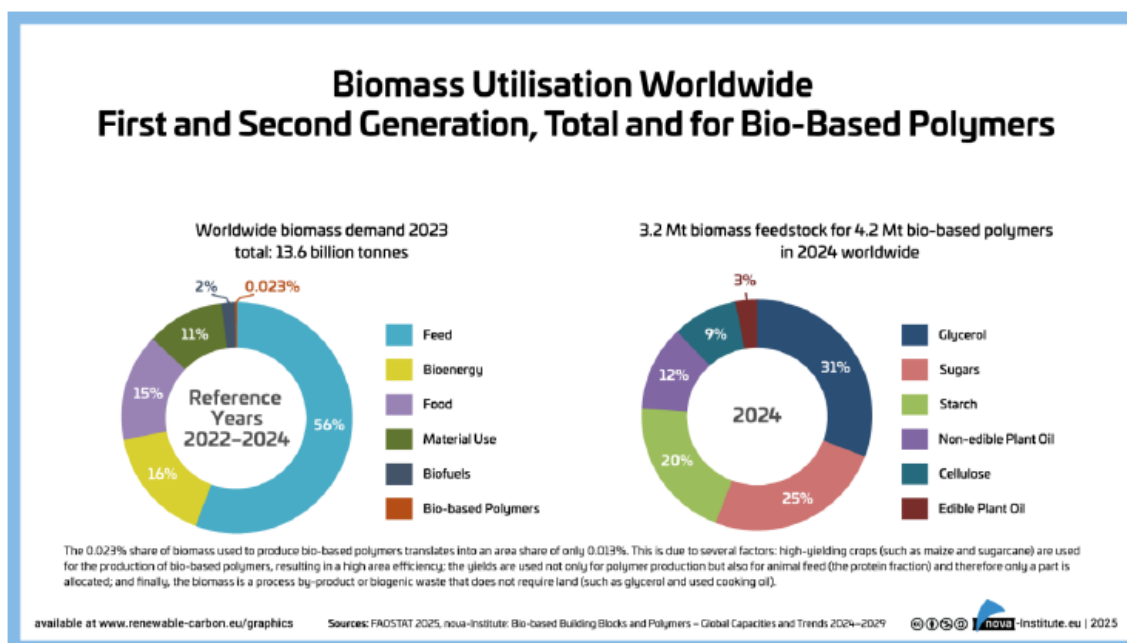


Figure 1: Biomass Utilisation Worldwide (source: Skoczinski et al., 2025)

EU27 カ国の化学セクターにおける生物起源炭素の利用

RCI の炭素フロー報告書 (Kähler et al., 2023 – 2026 年版の更新作業中) によると、EU27 カ国における材料及び化学品への炭素組込み需要の合計は、年間約 200 Mt C (炭素換算トン) に上る。この総量のうち、化学産業 (PRODCOM NACE C20 「化学物質及び化学製品の製造」) が年間約 110 Mt C を占めており、これは材料・化学品セクターにおける組込み炭素量の半分以上に相当する。このうち、年間約 5~6 Mt C (炭素量換算) は生物由来の供給源に由来する。これは化学産業における全内包炭素量の約 4%に相当し、ビチューメン、パラフィンワックス、潤滑油などの重質油分を除外した場合は約 5%となる。残りの約 95% は化石資源由来である。

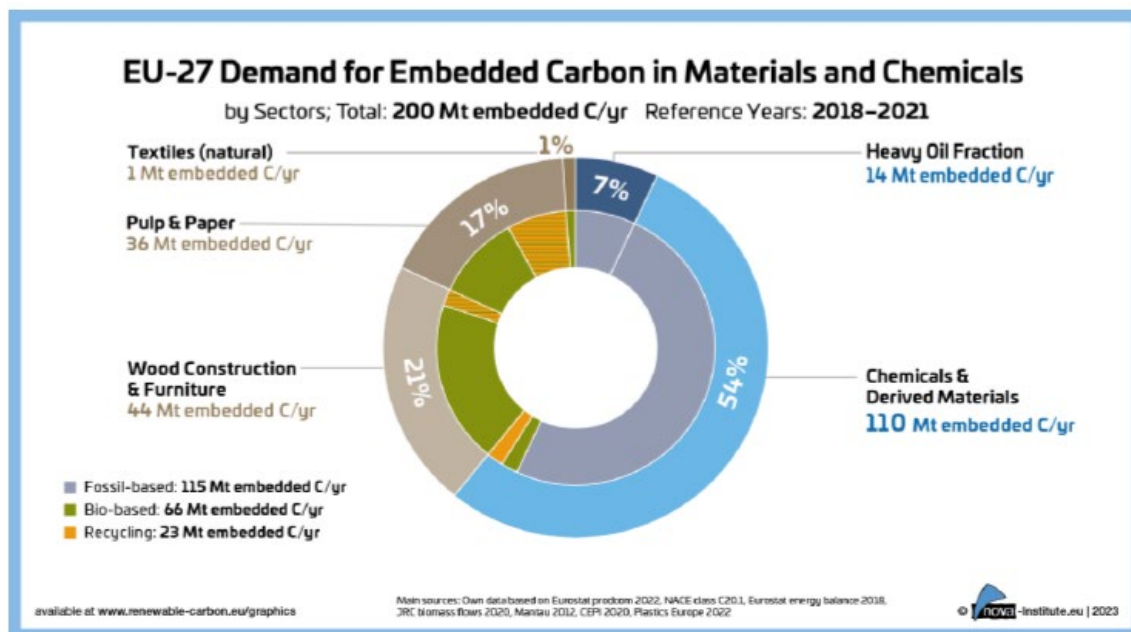


Figure 2: Embedded carbon demand for materials and chemicals in the EU-27 (source: Kähler et al. 2023)

化学部門における生物由来炭素の 90%以上は、PRODCOM NACE 分類の「その他の有機基礎化学品」(C20.14)と「一次形態のプラスチック」(C20.16)という 2つの区分に集中している。「その他の有機基礎化学品」区分では生物由来の割合が 8%であるのに対し、プラスチックのサブセクターはほぼ完全に化石資源由来の原料に依存しており、炭素含有量に占める生物由来の割合は約 1%に留まる。対照的に、染料・顔料(C20.12)や合成ゴム(C20.17)における生物由来の割合は実質ゼロである。

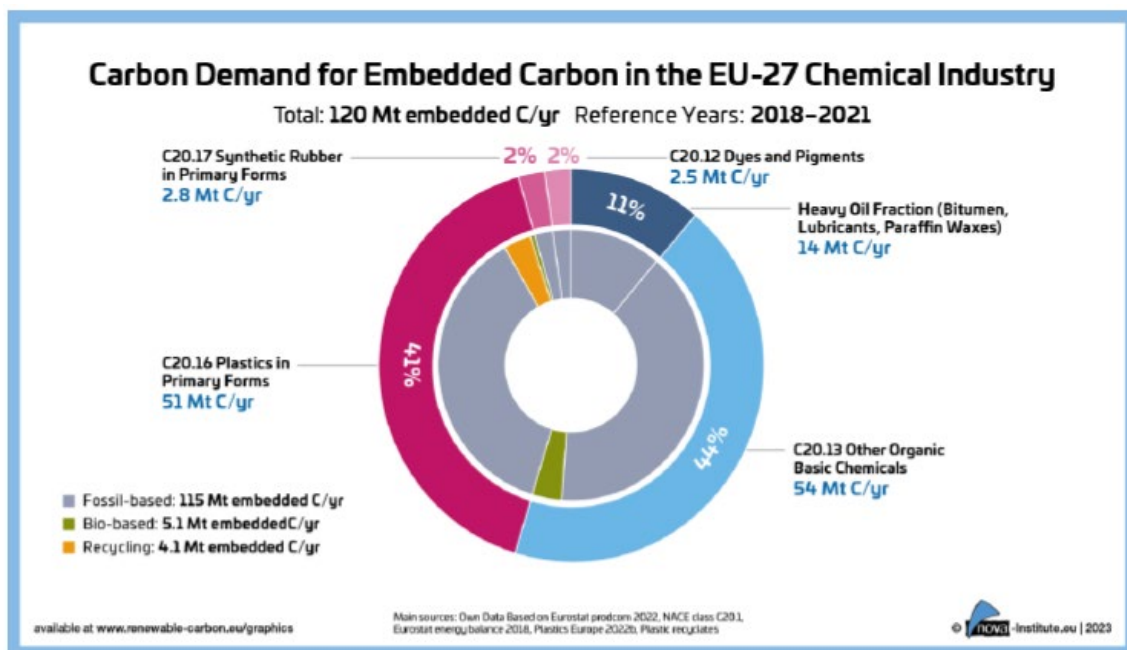


Figure 3: Carbon demand for embedded carbon on in the EU-27 chemical industry (source: Kähler et al., 2023)

これらの結果は、nova-Institute による他の分析結果とも整合している。BIC/RCI バイオマス・レポート (Carus et al., 2025) によると、EU の化学及び関連素材部門へのバイオマス総投入量は乾燥重量で約 11.5 Mt に達し、これは年間 6.2 Mt の生物由来炭素に相当する。主な原料カテゴリーには、デンプン、糖類、植物性油脂、パルプ、天然ゴムが含まれる。文献資料と業界への聞き取り調査を組み合わせた、より詳細な概要については表 1 を参照されたい。

Table 1: Overview of most important feedstock consumption in the chemical industry in the EU-27 (in Mt dry biomass and Mt carbon (C)/yr, for the reference year 2023 (taken from BIC/RCI biomass study (Carus et al., 2025))

Feedstock type	Feedstock for Chemicals & derived Materials 2023 (Mt dry biomass)	Carbon Content (in %)	Feedstock for Chemicals & derived Materials 2023 (Mt C/yr)
Starch (for bioethanol, for use in chemicals)	0.5	44.4%	0.2
Starch (for fermentation of chemicals, not fermentation of yeast and bioethanol)	1.0	44.4%	0.4
Paper Starch	2.7	44.4%	1.2
Sugar (for bioethanol, for use in chemicals)	0.1	42.1%	0.0
Sugar (for fermentation of chemicals, not fermentation of yeast and bioethanol)	1.3	42.1%	0.5
Vegetable Oils	1.6	76.0%	1.2
Animal Fats	0.4	76.0%	0.3
Chemical Pulp	2.0	44.4%	0.9
Natural rubber	1.1	84.4%	0.9
Glycerol	0.5	39.1%	0.2
Used Cooking Oil (UCO) (for use in steam cracker)	0.3	76.0%	0.2
Palm fatty acid distillate (PFAD) (for use in steam cracker)	0.0	76.0%	0.0
SUM	11.5		6.2

Eurostat（欧州統計局）のデータに基づく補足的な情報（Porc et al., 2024）からも、同程度の規模でバイオマスが組み込まれていることが確認される。2021 年において、化学産業（C20）における生物由来の割合は総生産量の 4.5%を占めた。無機製品を除外した化学産業の有機製品部分のみを考慮すると、これは有機製品生産量の約 8.9%に相当する。これらの結果は、RCI 炭素フロー・レポート（Kähler et al., 2023）による内包炭素の分析結果とも概ね一致しており、同レポートでは化学及び関連素材部門における生物由来炭素の割合を約 4~5%と推定している。各データセット間の僅かな差異は、システム境界や手法上の焦点の違いに起因している。例えば、Porc ら（2024）の研究では、肥料（C20.15）——特に生産量ベースで最大級のバイオベース製品である家畜ふん尿などの有機肥料——や、バイオエコノミーの広範な定義に含まれるその他の部分的なバイオベース製品のサブクラスが対象に含まれている。これに対し、RCI による炭素フロー分析ではこれらが除外されて

おり、生産量ではなく、製品に含まれる有機炭素の需要に特化して分析が行われている。

市場データの収集

ここで提示するバイオベースポリマーに関する市場分析は、当該ポリマーの評価における重要な側面について詳細な情報を提供する付属の Excel ドキュメント (Excel Annex I) と密接に関連している。分析は可能な限り、世界レベル及び EU レベルの両方を対象としている。EU レベルについては、情報収集の対象範囲に基づき、EU 27 カ国+3 カ国 (ノルウェー、スイス、英国) を指す「EU 27+3」への言及が頻繁になされている。これら 3 カ国の生産能力は限定的であるため、EU のみを対象とした場合と EU 27+3 を対象とした場合とで、市場数値に実質的な差は殆どない。

世界レベルでの主要な市場分析は、シート「Bio-based Polymers Worldwide」(Excel Annex I を参照) の列 B から列 H に含まれている。生産能力 (列 B 及び列 C)、平均年間成長率 (CAGR、列 D)、実際の生産量 (列 E)、及び生産シェア (列 F) に関する全ての情報は、nova-Institute が実施した最新の年次市場調査に基づいている。この調査は、2026 年 3 月に出版予定の『Bio-based Building Blocks and Polymers - Global Capacities, Production and Trends 2025-2030』(2026 年版)に向けたものである (前版は Skoczinski et al., 2025)。nova-Institute が毎年公表するデータには、商業的に利用可能な 17 種類のバイオベースポリマー全てと、それらが使用される 10 の用途 (繊維など) が含まれているが、Plastics Europe や European Bioplastics が示すデータは、それぞれのバイオベースプラスチック及びポリマーの定義範囲に基づき、一部のポリマーや用途のみを対象としている (図 4 及び図 5)。なお、European Bioplastics や Plastics Europe から提供される市場データは、nova-Institute のデータに基づいている点に留意されたい。

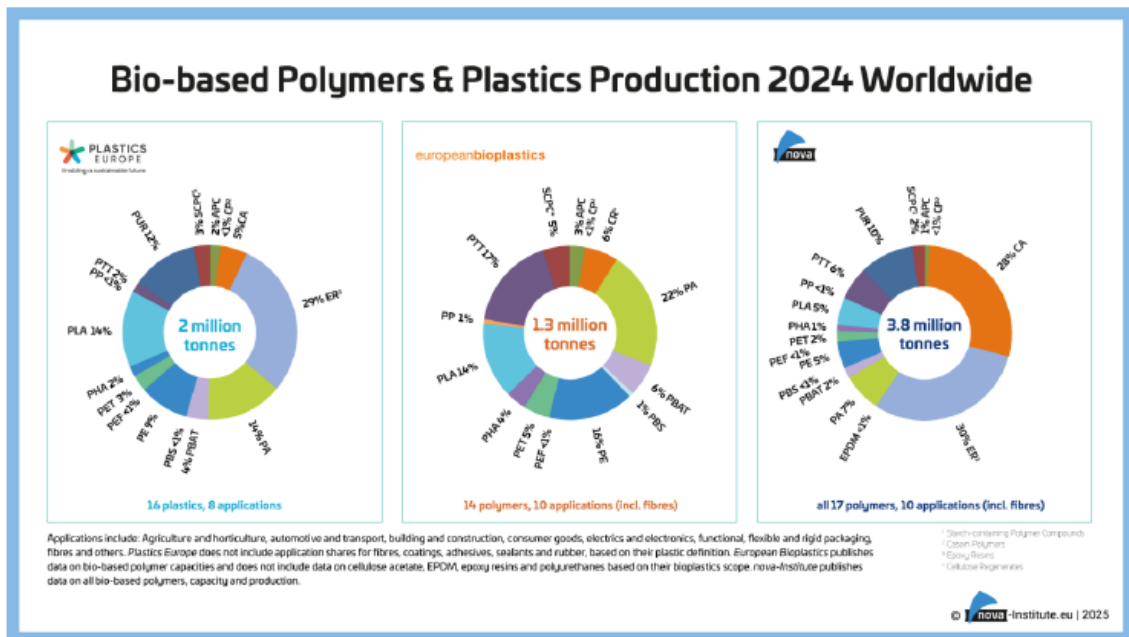


Figure 4: Bio-based Polymers & Plastics Production 2024 Worldwide (source: Skoczinski et al., 2025).

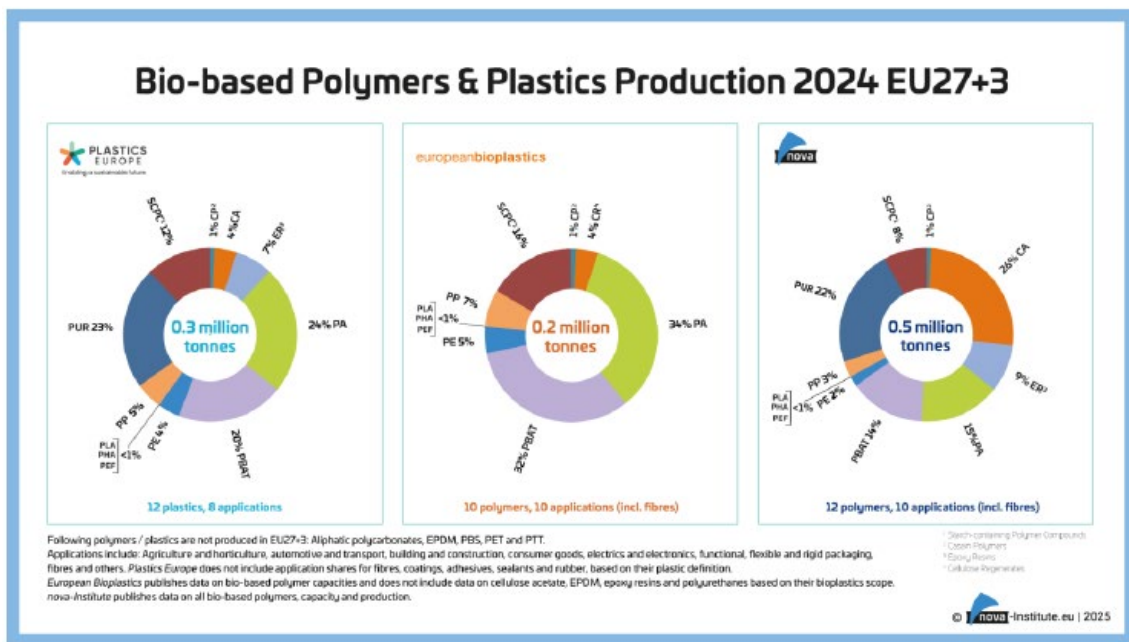


Figure 5: Bio-based Polymers & Plastics Production 2024 EU 27+3 (source: Skoczinski et al., 2025).

調査手法

バイオベース製品の生産能力及び生産量に関する調査は、最近の出版物、プレスリリース、市場調査、アンケート、専門家（多くは CEO レベル）への対面インタビュー、及び専門家ワークショップや会議への参加を通じた分析と議論に基づいている。一方で、生産量を未だ

公表していないものの、将来的に主要企業となり得るスタートアップ企業など、より広範な企業リストも対象に含まれている。2030 年におけるポリマー生産能力の全体的な推定値は、主に、現在既にバイオベースポリマーを生産している企業、又は 2025 年から 2030 年の期間にこの分野での取組みを既に発表している企業の予測に基づいている。この手法では新規参入企業が見落とされる可能性があるため、将来の生産能力が過小評価される恐れがある。全ての市場データは nova 社のバイオポリマー専門家グループによって継続的に更新され、政策立案や将来の市場調査のための確固たる基盤となるはずである。

バイオベース生産能力

本レポートでは、対象となる各バイオベース構成成分及びポリマーについて、インタビュー、データベース、プレスリリースに基づき、生産企業ごとのバイオベース生産能力を示している。バイオベースポリマーに関しては、導入済みの総バイオベース生産能力の数値に加え、稼働率や実際の生産量も示されている。

バイオベース生産データは、インタビュー、データベース、プレスリリースから導き出された。一部のポリマーについては、稼働率を 100%と仮定して仮想的な生産能力を算出するため、バイオベース生産量が用いられている。これには、方法論的（計算に基づく）な理由がある場合と、バイオベース・ビルディングブロック及びポリマー市場の実態を正確に描くという目的がある場合（例：導入された生産能力の一部のみがバイオベース用途に使用されている設備など）がある。前者のケースは、CA（酢酸セルロース）、エポキシ樹脂、PET、PUR に当てはまる。ここでは、生産能力や生産量の数値は、エポキシ樹脂の場合はビルディングブロックであるエピクロロヒドリンの生産量から、PUR の場合は多様なポリオール生産量から算出されている。CA の生産量は、生産されたアセテート繊維の量から逆算されている。また、PET の数値は、取引されたバイオベース MEG（モノエチレングリコール）の量を用いた計算に基づいている。バイオベース・ビルディングブロックであるナフサ、及びバイオベース・ドロップイン・ポリマーである EPDM、PE、PP については、稼働率が低い、或いは化石由来の生産能力が完全にはバイオベースに転換されていない大規模な設備をリストアップすることを避けるため、生産量の数値が報告されている（Skoczinski et al., 2025）。

世界市場分析（付録 6、技術開発、ID 1）

以下に、「バイオベースポリマー」に関する Excel シートの各列とその内容について簡潔に説明する。なお、Excel 内のシート間（具体的には「世界」のシートと「EU 27+3」のシート間）で、列の構成が必ずしも完全に一致していない点に注意されたい。例えば、世界レベルのシートでは、列 G は全ポリマーに占めるバイオベースポリマーの生産シェアを示しているが、EU レベルのシートではこのデータは提供されていない。代わりに、EU レベルの

シートにおける列 G は、EU 域内でのバイオベースポリマーの消費状況の概要を示している。更に、バイオベースポリマーの特性に関する技術的な情報の一部は、地域に関わらず適用されるものであるため、「世界」のシートにのみ記載されており、「EU」のシートには重複して記載されていない点にも留意されたい。

列 A - バイオベースポリマー

市販されている 17 種類のバイオベースポリマーをそれぞれ記載している。

列 B - 2025 年の生産能力

「手法」の項で説明した通りに集計されたデータに基づき、2025 年時点における各ポリマーの世界全体の総生産能力（トン単位）を示している。

列 C - 2030 年の予想生産能力

「手法 (Methodology)」の項で説明した通りに集計されたデータに基づき、2030 年時点における各ポリマーの世界全体の予想総生産能力（トン単位）を示している。

列 D - 2025 年～2030 年の平均 CAGR（年平均成長率）

各ポリマーについて、2025 年の総生産能力と 2030 年の予想総生産能力を用いて算出されている。

列 E - 2025 年の実際の生産量

各ポリマーについて、2025 年の総生産能力と、その生産能力に対する推定平均稼働率（利用率）を用いて算出されている。

例：PHA（ポリヒドロキシアルカン酸）の場合、2025 年の総生産能力は 108,000 トンであり、全生産能力に対する平均稼働率（利用率）は 70%と推定されたため、2025 年の実際の生産量は 76,000 トンとなる。

酢酸セルロース（CA）、エポキシ樹脂、EPDM、一部の PE、PET、一部の PP、及び PUR といったポリマーについては、2025 年の実際の生産量が同年の生産能力と一致している点に留意されたい。これは、方法論的（計算に基づく）な理由、或いはポリマー市場の実態を反映させるための措置（例：設備能力の一部のみがバイオベースであるプラントなど）によるものである。前者のケースは、CA、エポキシ樹脂、PET、PUR に該当する。これらの場合、能力や生産量の数値は、エポキシ樹脂であれば構成要素であるエピクロロヒドリンの生産量から、PUR であれば多様なポリオール生産量から算出されている。CA の生産量は、生産されたアセテート繊維の量から逆算されている。また、PET の数値は、取引されたバ

イオベース MEG の量を用いた計算に基づいている。EPDM、PE（Borealis 社及び LyondellBasell 社分）、PP については、稼働率が低い設備や、化石由来の設備能力が未だ完全にはバイオベース生産に転換されていない設備がリストアップされるのを避けるため、生産量の数値が報告されている。

列 F - バイオベースポリマー全体に占める生産シェア

2025 年の世界におけるバイオベースポリマー総生産量に占める、各ポリマーの生産量の割合（パーセンテージ）を示している。

列 G - ポリマー全体に占める生産シェア

2025 年の世界におけるポリマー総生産量に占める、各バイオベースポリマーの生産量の割合（パーセンテージ）を示している。

列 H - 市場価格

各ポリマーの価格を€/kg 単位で示している。以下に提示する市場価格データは、特定の 8 桁 HS コードによってポリマーを識別可能な国際貿易統計（UN Comtrade、米国の USITC、タイ・ブラジル・インド・中国などの各国の貿易データベースなど）を含む、複数の情報源から得られたものである。これらのデータは、業界の専門家との協議や入手可能な市場情報との照合によって構築された、nova-Institut の内部ナレッジベースによって補完されている。

特定のバイオベースポリマーについては、固有の 8 桁 HS コードが存在しない場合や、市場参加者から代表的な価格情報を得るには商業的な取引量が少なすぎる場合がある。そのような場合、価格データは入手できないか、或いは除外されている。

ここで示されている価格は、固定された取引価格ではなく一般的な傾向を反映した、2025 年の第 1～第 3 四半期における市場平均の目安として解釈されるべきものである。

Table 2: Market Prices for fossil-based polymer (source: UNComtrade EU Market Prices)

Polymer	Avg. EU Market Price (Euro/Kg), 2024
LLDPE	1.18
LDPE	1.18
HDPE/MDPE	1.08
PP	1.09
PET	1.04
PVC	0.85
PS/EPS	0.97
PU Resin	4.17

Table 3: Market Prices for bio-based polymers (source: own nova research and UN Comtrade)

Polymer	Avg. Price (Euro/Kg), 2024
Aliphatic polycarbonates (APC) – cyclic and linear	3
Casein polymers (CP)	N.A
Cellulose acetate (CA)	3.7
Epoxy resins	N.A
Ethylene propylene diene monomer rubber (EPDM)	5.5

Polyamides (PA)	15
Poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)	4.5
Polybutylene succinate (PBS) and copolymers	4
Polyethylene (PE)	2-2,5
Polyethylene furanoate (PEF)	N.A
Polyethylene terephthalate (PET)	2-2,5
Polyhydroxyalkanoates (PHA)	6
Polylactic acid (PLA)	2,5-3
Polypropylene (PP)	3.5
Polytrimethylene terephthalate (PTT)	N.A
Polyurethanes (PUR)	6.5
Starch-containing polymer compounds (SCPC)	4-5

N.A= Data not available

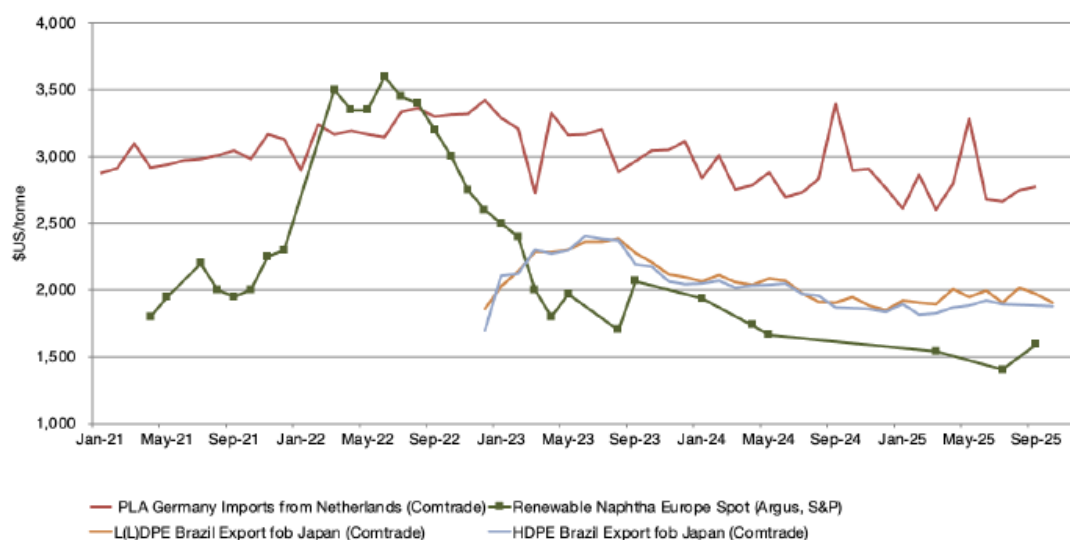


Figure 6: Price chart for PLA (resin), bio-based LDPE and HDPE, and bio-based Naphtha (own nova elaborations via several databases)

17 種のバイオベースポリマー全ての価格変動を追跡することは困難だが、流通量の多い代替品については情報を収集することが可能である（図 6 参照）。但し、価格を必ずしも単純に比較できるわけではないため、各ポリマーに関する以下の点に留意されたい。

PLA：この価格は、ドイツ国内でコンパウンドや製品製造を行うユーザーへの PLA 樹脂の納入価格（オランダ経由）を示している。欧州内には PLA の生産拠点がいないため、全ての材料は主にアントワープ、ロッテルダム、アムステルダム、或いはイタリアを経由して輸入されている。輸入される材料は、アジア（タイ及び中国：TotalEnergies Corbion 社、BBCA Futerra 社）又は米国（NatureWorks 社）の少数の大手生産者から供給されている。材料はオランダの倉庫に輸入され、そこから各方面へ配送される。そのため、グラフ上の価格に

は、アジアや米国からの輸送費や関税（現在はゼロだが）が含まれている。価格は主に、数年にわたる固定条件の契約数量に基づいているため、ある程度の安定性が保たれている。

L(L)DPE 及び HDPE：ブラジルの **Braskem** 社が実質的に唯一のバイオベース PE 販売用生産者であるため、価格データを取得する際は、ブラジルから日本への輸出実績を調査する。（対象期間における）日本への PE 輸出は全てバイオベース品であるため、貿易データ（HS コード 390110、390120）から価格を算出することが可能である。ここではブラジルから日本への輸出データが使用されているため、価格はブラジルの積出港における価格（FOB：本船渡し条件）を表しており、輸送費は含まれていない。この価格は **Braskem** 社から日本国内の数社（或いは 1 社のみ）への販売価格を反映したものだが、欧州の顧客に対しても同様の販売価格が適用されると想定される。但し、実際の価格は、顧客の購入量や契約交渉によって、この報告された平均価格から変動する可能性がある。

バイオベース・ナフサ：価格の追跡は一層困難である。バイオナフサ生産者と顧客との間の契約に基づく価格情報は、**Argus** などの価格報告機関によって収集されているが、一般には公開されていない。本報告書において、**nova** は **Argus** や **S&P** などが公開している情報（記事やサンプル資料など）を収集しており、参照可能なデータポイントは限られている。ここでは傾向が示されている。欧州におけるバイオベース PP（ポリプロピレン）は、小型スチームクラッカーのバッチ式運転、或いはバイオベース・プロパン（HVO/HEFA の副産物でもある）からの生産によって製造され、そのバイオベース含有率は最大約 30～40%となる。プロパンの価格はバイオナフサと同様の傾向を示す。バイオナフサは持続可能な航空燃料（SAF）の重要な原料でもあるが、スウェーデンが EU の目標に合わせて義務割当量を削減したため、それに応じて確実な需要が減少した。バイオベース PP の稼働に必要な顧客を十分に確保することの難しさや、原料・製品の保管・輸送における分別管理の徹底に伴う追加作業が必要となるため、部分的にバイオベースである PP は、バイオナフサに比べてかなり高価になる。示されている価格は、恐らく顧客へのバイオナフサの納入価格を表している。

貿易統計データ（本レポートでは UN Comtrade を参照）に基づくデータについては、報告上の誤りや不正確なデータが含まれる可能性があるため、単月ごとの価格の急騰や急落を過度に重視すべきではない。重要なのは全体的傾向である。

Table 4: Market value for fossil based polymers (source: Plastics Europe, 2025)

Polymer	Global annual Production, million metric tons, 2024	Estimated Global Market value, Euro million, 2024
LLDPE/ LDPE	59.9	70,68
HDPE/MDPE	52.2	56,38
PP	81.9	89,27
PET	26.7	27,77
PVC	55.2	46,92
PS/EPS	22.0	21,34

PU Resin	22.8	95,08
Other Thermopsets, thermoplastics	66.4	N,A
Recycled, Bio-based and attributed	44.4	N.A

Table 5: Market value for bio-based polymers (source: own nova research)

Polymer	Global annual Production, metric tons, 2024	Estimated Global Market value, Euro million, 2024
Aliphatic polycarbonates (APC) – cyclic and linear	38,000	114
Casein polymers (CP)	3,600	N.A
Cellulose acetate (CA)	1,111,000	4070
Epoxy resins	1,350,000	N.A
Ethylene propylene diene monomer rubber (EPDM)	1,000	6
Polyamides (PA)	349,000	4,275
Poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)	79,000	356
Polybutylene succinate (PBS) and copolymers	13,000	46
Polyethylene (PE)	219,000	130-163
Polyethylene furanoate (PEF)	2,000	N.A
Polyethylene terephthalate (PET)	70,000	140-175
Polyhydroxyalkanoates (PHA)	76,000	270
Polylactic acid (PLA)	385,000	350-438
Polypropylene (PP)	23,000	56
Polytrimethylene terephthalate (PTT)	270,000	N.A
Polyurethanes (PUR)	411,000	2470
Starch-containing polymer compounds (SCPC)	76,000	264-330

追加情報

列 J、K、L、M、N、及び表「Bio-based Polymers Applications（バイオベースポリマーの用途）」では、各ポリマーについて、主な用途、包装用途（硬質及び軟質）、バイオベース含有率とそのタイプ（ドロップイン、スマートドロップイン、専用ポリマーへの分類）に関する追加情報を提供している。主な用途（列 J）、包装用途（硬質及び軟質）（列 K 及び列 L）、バイオベース含有率（列 M）、及び表「Bio-based Polymers Applications」に記載されてい

る全ての情報は、nova-Institute が実施した最新の年次市場調査に基づいている。この調査は、2026 年 3 月に出版予定の『Bio-based Building Blocks and Polymers - Global Capacities, Production and Trends 2025-2030』（2026 年版）に向けたものである（前版は Skoczinski et al., 2025）。ポリマーの種類、及び「ドロップイン」、「スマートドロップイン」、「指定」ポリマーへの分類（N 列）に関する情報は、nova-Institute の報告書『Bio-based drop-in, smart drop-in and dedicated chemicals』（Carus et al., 2017）に基づいている。

列 J - 主な用途

各ポリマーの主な用途を示す。

列 K 及び列 L - 軟質包装及び硬質包装における用途シェア

硬質包装及び軟包装に使用される各ポリマーのシェアを示す。なお、脂肪族ポリカーボネート（環状及び線状：APC）、エポキシ樹脂、EPDM、PA、PTT、PUR といったポリマーは、包装用途には使用されない。

列 M - バイオベース比率（ポリマーに含まれる）

バイオベース比率、より具体的には「バイオベース含有量」を示す。これは、欧州標準化機構（CEN）技術委員会 411（CEN/TC 411）「バイオベース製品」における規格「バイオベース製品—用語」（EN 16575:2014）に基づき、製品のうちバイオマスに由来する部分の割合として規定される。これによれば、バイオベース製品は、その全体又は一部がバイオマスに由来するものとなる。一部がバイオベースであるポリマーは、バイオベース由来の部分と化石資源由来の部分で構成されており、完全にバイオベースであるポリマーよりもバイオベース含有量が低くなる。バイオベース含有量は重合反応によって決定されるものであり、地域やポリマー生産者によって変動することはない。例として、バイオベース PET はバイオベース含有量 30%のものしか入手できない。これは、モノエチレングリコール（MEG）のみがバイオベースで入手可能であり、もう一つの構成成分であるテレフタル酸は化石資源由来のものしか入手できないためである。この 30%というバイオベース含有量は、PET の重合に必要なモノエチレングリコールの量によって決まる。バイオベース含有量が高めるには、テレフタル酸もバイオベースで入手し、使用する必要がある。概要は図 7 に示されているが、具体的かつより信頼性の高い情報については、Excel の「付録 I（Annex I）」を参照されたい。

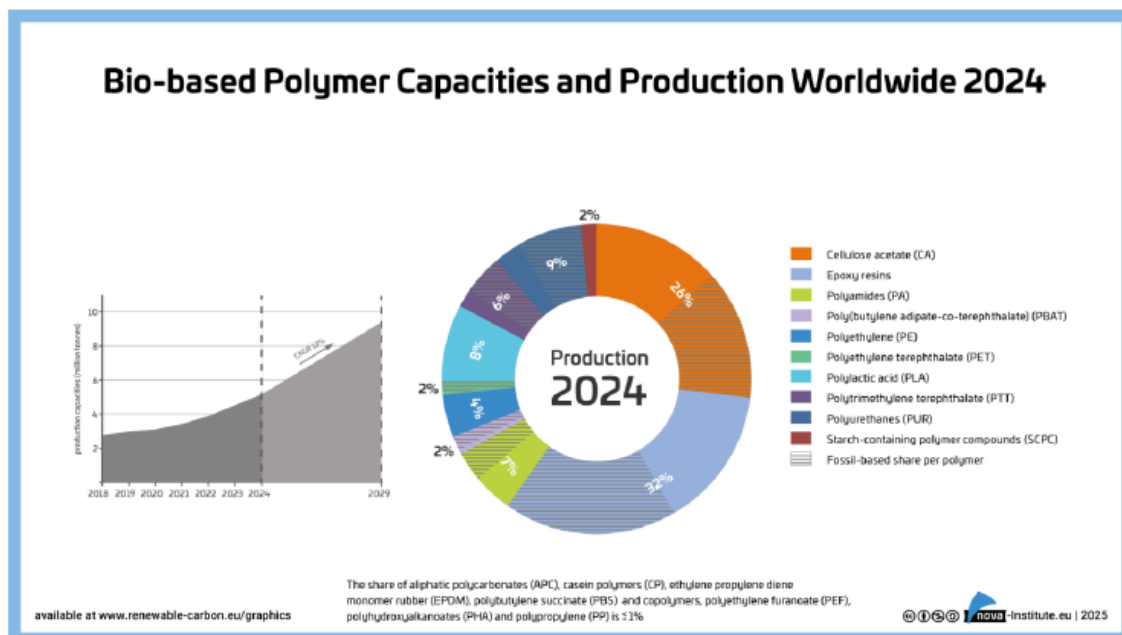


Figure 7: Bio-based Polymer Production and Bio-based Shares 2024 (source: Skoczinski et al. 2025).

列 N - タイプ（ドロップイン、スマートドロップイン、指定）

各ポリマーを「ドロップイン」、「スマートドロップイン」、「指定」のいずれかに分類して示す。

バイオベース・ドロップイン化学品とは、既存の石油化学製品のバイオベース版であり、全に市場が確立されているものである。これらは、既存の化石資源由来の化学品と化学的に同一である。このグループに属するバイオベースポリマーには、EPDM、PE、PET、PP がある。「スマートドロップインケミカル」は、ドロップインケミカルの特別なサブグループである。これらも化石由来の炭化水素を原料とする既存の化学物質と化学的に同一だが、その製造におけるバイオベースの経路は、従来の経路と比較して利点をもたらす。以下の基準のうち少なくとも 2 つに該当する場合、そのドロップインケミカルを「スマートドロップイン」と見なす：

他の代替製造法と比較して、製造に必要なエネルギーが大幅に少ない。

化石由来の同等品や他のドロップインケミカルと比較して、製造経路が短く単純であるため、製品化までの時間が短い。

化石由来の同等品や他のドロップインケミカルと比較して、製造プロセスで使用される、或いは副生成物として生じる化学物質の毒性や有害性が低い。

このグループに含まれるバイオベースポリマー：エポキシ樹脂、PA、PBAT、PBS(X)、PTT、及び天然油由来ポリオール（NOP）以外のポリオールを原料とする PUR。

「指定バイオベースケミカル」とは、専用の経路で商業生産され、化石由来の同等品が存在しない化学物質のことである。そのため、従来の化学反応では得られない製品や、化石由来の代替品では実現不可能な独自の優れた特性を持つ製品の製造に使用できる。このグループに含まれるバイオベースポリマー（プラットフォーム）：APC、CP、CA、PA（1,5-ペンタメチレンジアミン（DN5）及びセバシン酸を原料とするもの）、PEF、PHA、PLA、ならびに NOP 及び SCPC を原料とする PUR。

表「バイオベースポリマーの用途」 - 列 B - 2025 年における世界市場での用途別シェア
各用途に使用されるポリマーのシェアに基づき、2025 年における世界市場での用途別シェアを示す。

表「バイオベースポリマーの用途」 - 列 C - 2025 年における EU 27+3 市場での用途別シェア

各用途に使用されるポリマーのシェアに基づき、2025 年における EU 27+3 の市場用途別のシェアを示す。

市場分析：EU 27+3（付録 6、技術開発、ID 1）

表「バイオベースポリマー EU 27+3」（Excel 付録 I を参照）の列とその内容は、「市場分析：世界全体（付録 6、技術開発、ID 1）」のセクションで説明されているものと同様だが、対象が世界全体ではなく EU 27+3 に絞られている。そのため、EU 27+3 については詳細な再説明を行わない（列 G を除く）。

なお、脂肪族ポリカーボネート（環状及び線状：APC）、EPDM、PBS、PET、PTT といったポリマーは、現在 EU 27+3 では生産されていないことに注意されたい。また、PLA も現在 EU 27+3 では生産されていないが、2030 年にはフランスの Futerro 社によって EU 27+3 で生産される見込みである。

列 G - EU 27+3 における消費量

EU 27+3 におけるバイオベースポリマーの消費量は、主に国際貿易データから算出されている。このデータでは、ポリマー固有の 8 桁 HS コードを用いて輸出入量を追跡することが可能である。EU 27+3 の総消費量は、以下の式を用いて算出された。

EPDM、エポキシ樹脂、ポリアミド、ポリエチレン、ポリプロピレン、PET などの特定の

ドロップインポリマーについては、貿易データ上で石油由来ポリマーとバイオベースポリマーが区別されないため、この手法の適用は困難である。更に、脂肪族ポリカーボネート、カゼインポリマー、PHA などの一部のバイオポリマーについては、関連する HS コードがより広範なカテゴリーにまとめられているため、バイオベースポリマーの量を正確に区分することが難しくなっている。

従って、ここに示される消費データは、2024 年の貿易データに基づく現時点で入手可能な最良の推定値である（前年の貿易統計は通常、翌年の 3 月に公表されるため）。その結果、2025 年のデータは 2026 年 3 月まで利用できない。

タスク 2: バイオベースプラスチック包装の技術開発状況及び環境性能に関するデスクリサーチ

技術開発

バイオベースプラスチックの生産・製造コスト（付録 6、技術開発、ID 2）

バイオベースプラスチックの生産・製造コストに関するデータは、既存の文献では容易に入手できない。全体として、個々のセクター（自動車、包装、建設など）ごとのデータは限られており、個々の製品レベルでのデータは存在しない。個々の製品について詳細な調査を行うことは理論的には考えられるが、多大な労力を要する上、信頼性を制限するような多くの仮定や推定に基づかざるを得ない可能性がある。従って、本プロジェクトの範囲及び予算内で、様々なポリマーの生産コストを算出することは不可能である。必要なデータは入手できず、多額の費用をかけてモデル化する必要がある。表に示されているデータは、市場やデータベースで調査可能な価格である。

長寿命製品及び短寿命製品におけるバイオベースプラスチック使用の割合（付録 6、技術開発、ID 3）

長寿命製品及び短寿命製品におけるバイオベースプラスチックの割合については、ポリマーレベルでも製品レベルでも、データは殆ど或いは全く入手できない。とはいえ、以下の図 8 は、国際的な「nova バイオポリマー専門家グループ」の専門家が、17 種のバイオベースポリマーの市場用途別シェア分布をどのように推定しているかを示している。ここから、長期的及び短期的な用途におけるバイオベースプラスチックについて、いくつかの結論を導き出すことが可能である。その際、例えば電気・電子機器、消費財（おもちゃなど）、自動車・輸送機器、建築・建設に使用されるプラスチックは耐用年数が長いと推定される一方、硬質・軟包装や農業・園芸用途のプラスチックは耐用年数が比較的短いという前提に基づいている。繊維や機能性ポリマーは幅広い用途をカバーするため、その寿命は最終的な用途分野によって異なる。例えば繊維の場合、短寿命の製品（不織布ワイプやタバコのフィルター [CA の主要用途] など）から長寿命の製品（カーペットや衣料品など）まで多岐に亘る。

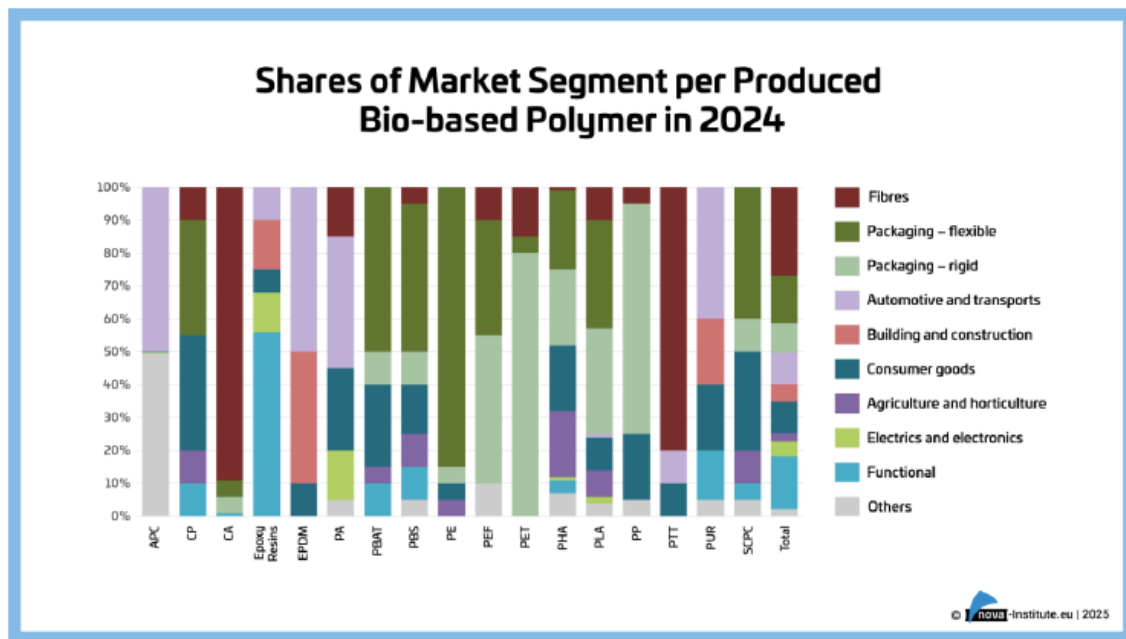


Figure 8: Share of Market Segment pr Produced Bio-based Polymer in 2024, Global (source: Skoczinski et al. 2025).

非ドロップインバイオベースプラスチックの機械的特性（付録 6、技術開発、ID 7）

非ドロップインバイオベースプラスチックには、「スマートドロップイン」及び「指定プラスチック」が含まれる。「0 市場データ収集」の「列 N：タイプ」で説明した通り、ドロップインとスマートドロップインの違いは生産プロセスの効率性のみであり、生成されるポリマーやその特性は化石由来の同等品と変わらない。エポキシ樹脂、PBAT、PBS、PTT といったバイオベースのスマートドロップイン型プラスチックは、化石由来の同等品と全く同じ機械的特性を有している。一方、カゼインポリマー（CP）、酢酸セルロース（CA）、PEF、PHA、PLA、SCPC といったバイオベースの専用ポリマーについては状況が異なる。これらのポリマーには化石由来の同等品が存在しない。また、特定のニッチな用途においては、化石由来ポリマーでは必要な特性を満たせず競合できないため、これらのバイオベースポリマーが独自の特性を発揮して使用されるケースもある。その一例が、主にタバコフィルターの製造といったフィルター用途に使用される酢酸セルロース（CA）である。PHA や PLA など他のポリマーについても、化石由来プラスチックの用途を代替するという特定の要件を満たすため、多種多様なグレードが存在、或いは生産されている。但し、本プロジェクトの期間内では、利用可能な全てのグレードとそれらの機械的特性を化石由来プラスチックと比較して詳細に分析することは困難である。ポリエチレンフラーノエート（PEF）は、PET の 100%バイオベース代替品として知られ、上市されている。直接比較の結果、PEF は PET と同様の特性を持ち、一部の特性では PET を上回ることが示されている。PEF は、バリア性、機械的特性、熱的特性が強化されている。PEF のバリア性は PET と比較して、酸素

(O₂) に対して約 10 倍、二酸化炭素 (CO₂) に対して約 15 倍、水に対して約 2.5 倍優れており、これにより包装製品の保存期間を延ばすことが可能になる。また、PEF は機械的強度も高いため、より薄い PEF 包装の製造が可能となり、必要な資源量を削減できる。熱的特性の面では、PEF は優れた耐熱性を持ち、より低い温度での加工が可能である。更に、PEF は機械的剛性が高く、成形の可能性を広げることができる。PET と PEF の比較に関する詳細は、nova-Institute が支援した報告書『PEF - A Sustainable Packaging Material for Bottles』(Puente ら、2022 年) で確認できる。

予想される技術開発 (付録 6「技術開発」、ID 8)

主要な原料、技術、及び技術的成熟度 (関連表の列 O、P、Q) を見ると、その多くは高い技術成熟度レベル (TRL 9) にあることが示唆されるが、スケールアップや段階的なイノベーションを通じて、更に重要な発展が見込まれる。こうした進化は、効率の向上、コストの削減、そして化石燃料由来の代替品に対する競争力の強化を図る上で不可欠である。予想される主な開発の方向性は以下のとおり：

- ・ スケールアップによるプロセスの最適化：生産量の増加に伴い、確立された発酵、化学、酵素プロセスは、より効率的かつ低コストなものとなる。これは他のクリーン技術における技術革新のパターンと同様であり、商業展開の初期段階において大幅な学習と最適化が進むことを意味する。
- ・ 生物学的及び技術的な進歩：コア技術における段階的な改善が期待される。これには、収率を向上させるための、より効率的な酵素、遺伝子組み換え微生物、発酵プロセスの開発などが含まれる。更に、原料生産における精密農業の革新や、新たな電気化学的経路 (ドロップイン化学品向けなど) の導入も、効率を飛躍的に向上させる可能性を秘めた分野である。
- ・ 原料の多様化と効率化：技術開発は、第一世代の糖類に留まらず、非食用バイオマス (リグノセルロースや廃棄物など) や C1 ガス (産業排出ガス由来など) へと原料の範囲を拡大することにも重点が置かれる。これにより、原料の選択肢が広がるとともに、バイオマスサプライチェーンの循環性と強靱性が向上する。

要約すると、これらのポリマーに関する技術開発の主な道筋は、根本的な新発見ではなく、体系的な最適化とスケールアップに当たる。これにより「グリーンプレミアム (環境配慮型製品の割高なコスト)」が低減される。これはバイオエコノミーにおいてよく見られるパターンであり、商業化段階に入ってからでもイノベーションが継続することで、ポリマーが持つ経済的・環境的便益を最大限に引き出すことが可能になる。

各ポリマーの生産プロセスに関する技術開発状況 (技術的成熟度、主要原料、使用技術など)

は、表「世界のバイオベースポリマー」(Excel 付録 I を参照) の列 O、P、Q に示されている。以下に、これらの列とその内容について簡単に説明する。

列 O - 技術的成熟度

各ポリマーの生産技術が現在どの程度成熟しているかを示す。

この分類は、各ポリマーの主要な生産技術の現在の成熟度を表している。対象となる市販ポリマーの多くにおいて、技術は既に成熟 (TRL 9) しており、破壊的な技術革新 (飛躍的な進歩) は主たる期待事項ではない。むしろ、短期的には以下のような点から最も重要な進歩がもたらされると予想される。

- ・ 継続的なプロセス最適化：効率、収率、コストの段階的な改善。特に、確立された生物学的 (例：発酵) 及び化学的経路において、スケールアップ、市場競争、経験の蓄積を通じて行われる改善。

- ・ スマートな技術の組み合わせ：成熟したプロセス工程を戦略的に統合し、新規又は最適化されたバリューチェーンを構築。

- ・ 特定の生物学的進歩：PHA などの特定のケースでは、効率向上やポリマー特性の調整を目的とした微生物株の改良といった技術革新が含まれる。

電気化学のような新しい経路は長期的な可能性を秘めているが、その主な影響は、現在のところ、確立されたバイオベースポリマーの生産ルートを置き換えることではなく、隣接する CO₂ 利用の分野で見られる。

列 P - 主要技術

各ポリマーの生産に現在使用されている主要技術を示す。ポリマーの大部分は化学重合によって生産されるが、そのプロセスは個々のポリマーによって大きく異なる。また、各ポリマーを合成するための化学重合に使用される構成単位は、発酵によって得られる場合もある。以下に、各ポリマーの主要技術について詳細を説明する。

脂肪族ポリカーボネート (APC) - 環状及び鎖状

脂肪族ポリカーボネート (APC) は、化学重合、具体的にはジオールと炭酸ジメチルの重縮合、環状カーボネートモノマーの開環重合、或いは CO₂ とエポキシドの共重合によって合成できる。APC においてバイオベース化される (生物由来原料に置き換えられる) 部分はジオールである。炭酸ジメチルとの重縮合に使用されるバイオベースジオールの種類に応じて、APC は「ドロップイン」、「スマートドロップイン」、又は「指定ポリマー」に分類される。例えば、ジオール成分としてイソソルビドを用いて製造されるバイオベース環状 APC

は、指定ポリマーに分類される。

カゼインポリマー (CP)

カゼインポリマー (CP) は、乳タンパク質であるカゼインを主成分とし、食用に適さない（ヒトの消費に十分な品質ではない）牛乳から抽出することによって製造される。

酢酸セルロース (CA)

酢酸セルロース (CA) は、木材パルプや綿短毛機などの原料から得られた精製セルロースを、硫酸などの触媒の存在下で無水酢酸と反応させることによって製造される。得られた酢酸セルロースは、部分加水分解によってアセチル化度を低下させ（例えば、ジアセチルセルロースを生成するなど）、その後、副生成物を除去するために精製される。最後に、後続の加工工程に回す前に CA は乾燥される。

エポキシ樹脂

エポキシ樹脂は、ジオール、ポリオール、フェノール系化合物（ビスフェノール A など）、又は二塩基酸といったヒドロキシ基含有化合物と、エピクロロヒドリンとの化学反応によって得られるポリエーテルである。バイオベースエポキシ樹脂の製造においては、現在、バイオベースのエピクロロヒドリン (ECH) と、化石資源由来のヒドロキシ基含有化合物（多くの場合、ビスフェノール A (BPA)）を使用するプロセスが採用されている。

エチレン・プロピレン・ジエンゴム (EPDM)

EPDM は、エチレン、プロピレン、及びジエンを化学的に重合させることによって製造される。バイオベース成分は、重合に使用されるバイオベースエチレンに由来する。

ポリアミド (PA)

ポリアミドには、脂肪族ポリアミド（例：ポリアミド 6 (PA6) やポリアミド 6,6 (PA6,6)）、ポリフタルアミド（半芳香族ポリアミド；例：ポリアミド 6,T (PA6,T)）、及びアラミド（芳香族ポリアミド；例：ケブラー）が含まれる。脂肪族ポリアミドは、 ϵ -カプロラクタムからのポリアミド 6 (PA6) のようにラクタムの開環重合によって、或いはポリアミド 6,6 (PA6,6) における 1,6-ヘキサメチレンジアミンとアジピン酸のようにジアミンと二塩基酸から製造される。脂肪族ポリアミドにおけるバイオベース原料を用いた例としては、化石資源由来の 1,6-ヘキサメチレンジアミンと、ヒマシ油由来のセバシン酸から製造される PA6,12 が挙げられる。ポリフタルアミド（半芳香族ポリアミド）は、1,6-ヘキサメチレンジアミンなどのジアミンと、テレフタル酸などの芳香族酸から製造され、例えばポリアミド 6,T (PA6,T) などが生成される。ポリフタルアミドにおけるバイオベース原料を用いた例としては、ヒマシ油由来の 1,10-デカメチレンジアミンと化石資源由来のテレフタル酸から製造される

PA 10,T が挙げられる。

ポリ（ブチレンアジペート・テレフタレート）（PBAT）

ポリ（ブチレンアジペート・テレフタレート）（PBAT）は、1,4-ブタンジオール（1,4-BDO）、テレフタル酸（TPA）、及びアジピン酸（AA）の化学的共重合によって合成される。現在、バイオベース部分は、糖（テンサイやサトウキビ）又はデンプン（主にトウモロコシ、小麦、或いはアジアではキャッサバ由来）の発酵によって生産されるバイオベース 1,4-ブタンジオール（1,4-BDO）に由来している。

ポリブチレンサクシネート（PBS）及びその共重合体

ポリブチレンサクシネート（PBS）及びその共重合体は、1,4-ブタンジオール（1,4-BDO）とコハク酸（SA）を化学的に共重合させることで合成される。共重合体の場合、アジピン酸（AA）を加えて PBSA を、或いはテレフタル酸（TA）を加えて PBST を生成する。現在、バイオベース部分は、糖（テンサイやサトウキビ）又はデンプン（主にトウモロコシ、小麦、或いはアジアではキャッサバ由来）の発酵によって生産されるバイオベースコハク酸（SA）に由来している。

ポリエチレン（PE）

現在利用可能なポリエチレン（PE）は 2 つの異なる方法で生産でき、その結果、バイオベース成分が 30%の PE、又は 100%の PE となる。一般的に、PE はその唯一の構成単位であるエチレンを重合させることで合成される。エチレンを生成するための分解工程の原料としてバイオナフサ（使用済み食用油（UCO）から生成）を使用すると、バイオベース成分が 30%の PE が得られる。サトウキビ由来のエタノールを脱水して生産されたエチレンを使用する場合、得られる PE はバイオベース成分 100%となる。

ポリエチレンフラノエート（PEF）

100%バイオベースのポリマーであるポリエチレンフラノエート（PEF）は、バイオベースの 2,5-フランジカルボン酸(2,5-FDCA)とバイオベースのモノエチレングリコール(MEG)を化学的に重合させることで生産される。

ポリエチレンテレフタレート（PET）

バイオベースポリエチレンテレフタレート（PET）は、モノエチレングリコール（MEG）とテレフタル酸（TA）を化学的に重合させることで生産される。現在、バイオベース部分は、バイオベースモノエチレングリコール（MEG）に由来している。

ポリヒドロキシアルカノエート（PHA）

100%バイオベースの PHA としては、自然界に存在する PHB や、その共重合体である PHBV、PHBH などが挙げられる。P3HB4HB。これらのポリマーは通常、微生物の体内で生成される。そこでは、PHA が炭素及びエネルギーの貯蔵物質として機能する。バイオテクノロジーの活用により、微生物による酵素制御下の生化学的変換プロセス（発酵）を再現・最適化することが可能になった。これにより、天然に存在するポリマー構造を維持しつつ、PHA の生産収率や特性を向上できる。

ポリ乳酸（PLA）

100%バイオベースのポリ乳酸（PLA）は、化学的な重合プロセス、具体的には乳酸の重縮合、或いはラクチドの開環重合によって製造される。現在最も一般的に採用されている技術は、ラクチドの開環重合である。なお、このラクチドは、デンプンの発酵によって得られる乳酸からあらかじめ製造される。

ポリプロピレン（PP）

一般に、PP はその唯一の構成単位であるプロピレンを重合させることで合成される。現在、プロピレン生成のための分解工程の原料としてバイオナフサ（使用済み食用油（UCO）から生成）を使用することで、バイオベース成分を 30%含む PP が利用可能である。また、バイオマスを発酵させてイソプロパノールを生成し、それを脱水してプロピレンにする方法やバイオエタノール由来のプロピレンを使用する方法による、100%バイオベース PP の新規生産や増産も将来的に計画されている。

ポリトリメチレンテレフタレート（PTT）

ポリトリメチレンテレフタレート（PTT）は、1,3-プロパンジオール（1,3-PDO）とテレフタル酸（TA）の重縮合によって合成されるポリエステルである。現在、そのバイオベース部分は、バイオベースの 1,3-プロパンジオール（1,3-PDO）に由来している。

ポリウレタン（PUR）

ポリウレタンの合成に使用される成分や最終的な架橋度に基づき、ポリウレタンは熱硬化性樹脂又は熱可塑性ポリウレタンとして提供されている。一般に、ポリウレタンはイソシアネートとポリオールが付加重合反応によって合成される。その際、構成単位となるイソシアネートやポリオールには、化石由来又はバイオベースの多種多様なもの（鎖状、環状、又は芳香族のイソシアネートや、各種ポリオール、バイオベースの天然油系ポリオール（NOPs）など）を使用することが可能である。

デンプン含有ポリマーコンパウンド（SCPC）

天然かつ生分解性のポリマーであるデンプンは、他のポリマーと比較して、穏やかな条件で

の加工・製造が求められる。デンプンはエンジニアリングポリマーとしては適していないが、あらゆる環境下で優れた生分解性を示すという特性に加え、機能は限定的ながら低コストの充填剤として利用可能である。そのため、材料加工に利用できるようにするため、通常は添加剤や他のポリマーが配合される。デンプン含有ポリマーコンパウンドを用いた熱可塑性材料（フィルム製品など）において、デンプンの含有量は通常 30%を超えない。これは、デンプンが、非常に吸湿性が高く、ポリマー材料の機械的特性やバリア性を低下させるためである。これは、こうしたコンパウンドの主成分が、生分解性（共）ポリエステル（PBAT、PBS、PHA、PLA）又は非生分解性ポリマー（PE、PP）であることを意味する。

列 Q - 主な原料

主要な技術を用いて当該ポリマーを製造する際に使用される主な原料を示す。

非ドロップインバイオベースプラスチックの廃棄段階管理に関する技術的成熟度／開発状況（付録 6、技術開発、ID 9）

リサイクル性及び生分解性に関する、非ドロップインバイオベースプラスチックの廃棄段階管理の技術的成熟度／開発状況は、表「Bio-based Polymers Worldwide（世界のバイオベースポリマー）」（Excel 付録 I を参照）の列 S 及び T に示されている。以下に、各列とその内容について簡単に説明する。

列 R - ポリマー1 トン当たりの原料トン数

ポリマー1 トンを製造するために必要な当該原料のトン数を示す。プロセス経路、作物から原料（デンプン、糖など）に至るまでの原料必要量、及びそれに関連する土地や水の必要量については、ハノーファー大学バイオプラスチック・バイオコンポジット研究所（IfBB、2025 年）による詳細な研究に基づき記載している。付録 II に一例を追加した。

列 S - リサイクル性

当該ポリマーのリサイクル性を示す。

列 T - 生分解性

当該ポリマーが生分解性を持つかどうか、またどのような環境下で分解されるかを示す。これらの情報や、言及されている試験条件、規格、認証に関する詳細は、nova-Institute のポスター「確立された規格及び認証制度に基づく様々な環境下での生分解性ポリマー」（nova-Institute 他、2024 年）で確認できる。

環境性能

バイオベースプラスチックが気候変動に及ぼす影響（附属書 6、環境性能の状況に関する要

素、ID 1)

バイオプラスチックの生産は、気候変動に影響を及ぼす GHG の排出を伴う。しかし、生産に使用されるバイオベースの原料は、大気中の炭素を吸収・固定し、その炭素は最終的にポリマー中に組み込まれる。これは、GHG 排出量データや算定手法にも反映され得る固有の利点である。ISO 14067 や EN 15804 などの規格では、生物起源炭素の算定において、いわゆる「-1/+1」アプローチが採用される。これは、製品ライフサイクルの開始時に、固定された炭素を「-1」として扱うことを意味する。一方、組み込まれた炭素が（焼却や分解によって）排出される際の潜在的な排出量は、他のあらゆる CO₂ 排出量と同様に「+1」として扱われる。このアプローチにより、「原料調達から工場出荷まで」及び「原料調達から廃棄・処分まで」のシステム境界において、バイオベース製品の利点を示すことが可能になる。

本評価に当たって、多くの資料が検討された。以下の資料は、バイオベースポリマーの環境影響に関する極めて重要な文献と見なされる：

- Beergsma et al., 2023
- Marson et al., 2023
- Nessi et al., 2020
- Plum et al., 2023
- Vanderreydt et al., 2021
- Vink & Davies, 2015
- Vural Gursel et al., 2021
- Walker & Rothman, 2020
- Zuiderveen et al., 2023

比較可能な GHG 排出量データは、通常、ecoinvent のような包括的なライフサイクルインベントリデータベースや、個別の LCA から得られる。しかし、多くのバイオベースポリマーは市場に登場して間もなく、未だデータベースに収録されていない。対象となるバイオベース材料のカーボンフットプリントに関する研究はいくつか存在するが、全てのバイオベースポリマーを網羅できているわけではない。以下の表 6 に数値のリストを示す。これらのデータポイントは異なる情報源に由来するものであり、方法論的に一貫しているとは言えないため、異なる製品群間で直接比較することはできない点に留意されたい。

Table 6: Exemplary Carbon Footprints of bio-based polymers (various sources)

Bio-based polymer	Process emission (Cradle to Gate)	Biogenic carbon uptake	Carbon Footprint including BCU	Specific literature sources assessing the bio-based polymers
Polyethylene (PE)	1,28 kg	3 kg	-2,12* kg	LCA Study conducted by ACV Brasil/2023 (from cradle to Braskem factory gate); Adhering to ISO 14040, ISO 14044, and ISO 14071 standards, this LCA study was subject to a critical review process performed by KPMG. * includes a -0,4 kg CO ₂ eq for improved land.
Polyethylene furanoate (PEF)	3,0 kg	1,9 kg	1,1 kg	Final results from PEFerence project (grant agreement No 744409)
Polylactic acid (PLA)	3,1 kg	1,84 kg	1,26 kg	Ecoinvent 3.11 and Vink & Davies, 2015.
Polypropylene (PP)	0,6 kg	3,1 kg	-2,5 kg	Moretti et al., 2020, ecoinvent 3.11

カーボンフットプリントは、ポリマーの種類、想定される原料、及び適用される手法によって大きく異なる。生物起源の炭素吸収量を考慮に入れると、正味でマイナスになるポリマーさえ存在する。明確にしておきたい点として、結果がマイナスであるからといって、必ずしもそれが炭素除去を意味するわけではないことを強調する。炭素除去には、炭素の隔離（本対象のバイオベースポリマーでも実現可能）が必要であると同時に、長期の使用段階や、組み込まれた炭素が再放出されないような EoL（廃棄段階）のシナリオも重要となる。バイオベースプラスチックは、この基準を満たす可能性のある用途（例：建築・建設分野）で 사용되는こともあるが、材料レベルを対象とする本研究の範囲外となる。

気候変動の緩和に対するバイオベースプラスチックの寄与（附属書 6、環境性能の状況に関する要素、ID 2）

この基準には、化石由来のベンチマークとの比較が盛り込まれている。これは、バイオベースのポリマーやプラスチックを使用する際に代替効果が見込まれるためである。しかし、異なる材料間での比較は複雑であり、それぞれの材料特性を考慮する必要がある（例：Marson et al., 2023）。特に、機能的に同等な基準が存在しない新しい専用のバイオベースポリマーについては、この点が顕著である。バイオ PE の場合、化石由来 PE を基準とすることができるが、PEF、PLA、PHA などは新規かつ独自の材料特性を有しているため、単に材料ベースで比較することは困難である。前述の通り、PEF はボトルやその他の用途で PET を代替し得る新しい材料である。査読付き LCA によれば、ボトルを製造する際、PET と比較して PEF は大幅に少ない量で済む。PEF は優れたバリア性を有しているため、重量 (kg) 当たりの単純な比較は公平とは言えない。LCA の規格では、比較対象となる製品間で「機能単位」が同等であることが求められる。機能単位とは、製品が提供する機能のことである（例：使用期限 12 週間のボトル、耐用年数 40 年の窓など）。本研究はポリマー材料レベルに留まるものであるため、多くの比較検討は必然的に対象範囲外となる。

更に、バイオベースプラスチックと潜在的なベンチマークとの間で定量的な比較を行っている、科学的に信頼できる情報源は限られている。その代表的な例を以下の表 7 に示す。

Table 7: Climate Change impacts of bio-based polymers compared to conventional benchmarks per kg polymer (various sources)

Plastics	Benchmark	GWP Biobased	GWP fossil	Literature sources
Polyamides (PA)	Fossil PAs	1.3 kg	6.5 kg	ARKEMA – PA 11 (https://hnp.arkema.com/en/sustainability/life-cycle-assessment-carbon-foot-print/)
Polyethylene (PE)	Conventional PE	-2.12 kg	~2.3-3.5 kg	Braskem: LCA Study conducted by ACV Brasil/2023 (from cradle to Braskem factory gate); Adhering to ISO 14040, ISO 14044, and ISO 14071 standards, this LCA study was subject to a critical review process performed by KPMG. PE value from ecoinvent 3.10
Polyethylene furanoate (PEF)	PET	1.1 kg	~3.3-4.0 kg	Final results from PEFerence project ecoinvent 3.11. Puente & de Jong (2025).
Polypropylene (PP)	Fossil PP	-2.5 kg	~3 kg	Moretti et al., 2020, ecoinvent 3.11

表 7 で引用されている各研究について、その詳細を把握できるよう、以下に概要を記載する。

この評価の対象は、Arkema 社のバイオベース PA 11 (ヒマシ油由来) であり、全ての「Amino 11」モノマー及び同社の Rilsan® PA 11 の世界的な生産が含まれる。評価範囲は「採取から出荷まで」、即ち原材料の採取（ヒマシの栽培）から、顧客への輸送前段階である「工場出荷口（ゲート）」までである。比較に用いる機能単位は、PA 11 の 1kg である。生産方式は「100%分離型バイオベース PA 11 生産」とされており、これはバイオベース成分が完全に追跡され、化石由来の原料とは分離して扱われていることを意味する。即ち、「原料のマスバランスの割当て」は行われておらず、化石由来原料とバイオベース原料を混合するマスバランス方式には依存していない。

報告されているカーボンフットプリントは、PA 11 1kg 当たり 1.3 kg CO₂e である。この数値には、再生可能エネルギー（電力及びバイオメタン）の利用や、生産拠点におけるエネルギー効率の高いプロセスの導入といった改善効果が反映されている。Arkema 社は、ISO 14040、ISO 14044、ISO 14067 といった国際的に認められた規格に準拠している。データに関しては、自社の生産拠点からの一次データと、確立された LCA データベースからの二次データ（上流工程のフローなど）を組み合わせている。化石由来のベンチマークについては、手法の一貫性と機能的な同等性を確保するため、同社の化石由来 PA のデータに基づいている。

バイオベース HDPE の LCA は「採取から出荷まで」のアプローチを採用しており、サトウキビの栽培から Braskem 社の工場出荷口におけるポリマー生産に至るまでの全工程を対象としている。これには、肥料の散布、収穫、サトウキビの輸送といった農業活動に加え、エタノールの生産やバイオエチレンの合成も含まれる。この研究では、ISO 14040/44 及び ISO 14071（レビュー用）規格に沿った「Environmental Footprint 3.1」手法を適用し、16 の環境影響カテゴリーを評価する（これらは正規化及び重み付けを行い、単一のスコアに統合することが可能である）。HDPE に関する全ての結果は製品 1kg 当たりで算出されており、化石由来 HDPE との比較可能性が確保されている。生物起源炭素の取込みは、エチレンの炭素含有量に基づいて理論的にモデル化されており、バイオベースエチレン 1kg 当たり 3.14kg の CO₂ が除去される計算となる。この CO₂ 除去量は、製造に使用されたバイオエチレンの量に応じて HDPE に割り当てられる。このモデルでは、工場出荷段階までは分解や焼却が発生しないため、生物起源炭素はポリマー内に貯蔵されたままであると仮定する。加工、使用、廃棄といった下流工程は対象外であり、製品が工場から出荷された後の排出や炭素放出は考慮されていない。化石由来 HDPE の数値には ecoinvent のグローバル平均データセットが使用され、比較における整合性が確保されている。この LCA は、データ、モデル化の前提条件、及び手法の妥当性を確認するため、第 3 者による批判的レビューを受けている。

PEF の LCA は、原料生産、重合、ボトル製造、廃棄に至る「採取から出荷まで」の範囲で環境性能を評価している。このシステムには、北西ヨーロッパでの果糖生産、Avantium 社の YXY 技術による FDCA 合成、及びヨーロッパでの PEF 重合が含まれる。エネルギーモデルには、オランダの現在の電力構成と天然ガス由来の蒸気が反映されており、地理的な整合性が確保されている。比較対象（リファレンス製品）は PET 樹脂及び PET ボトルであり、主流である化石由来の代替品との直接的な比較が可能である。評価に当たっては、気候変動、資源利用、土地利用、毒性、富栄養化を含む全ての環境指標に対して EF 3.1 手法が適用されている。データ品質は高く、一次産業データセットと Agribalyse、Ecoinvent、Eunomia などの二次データを組合せており、3 名の独立したレビューアーによる完全な検証が行われている。

本研究では、廃食用油（UCO）を原料とするポリプロピレン（PP）について、cradle-to-gate の範囲を対象としたライフサイクルアセスメント（LCA）を実施し、従来の石油由来 PP と比較している。評価対象は 16 の環境影響カテゴリーである。複数の製品が生成されるプロセスについては、単一のデフォルト手法を前提とするのではなく、複数の配分手法を検討し、配分方法の選択が結果にどのような影響を及ぼすかを詳細に分析している。また、単なる環境影響の数値だけでなく、総合的な環境性能プロファイルを導き出すため、正規化や重み付けの工程も分析に組み込んでいる。分析の結果、UCO 由来 PP の環境負荷のホットスポッ

トは、重合工程、水素製造、LPG 製造、及び LPG の燃焼であることが明らかになった。これは、下流工程が環境負荷の大部分を占めていることを示している。化石燃料由来 PP と比較すると、UCO 由来 PP は、採用する配分手法にもよるが、気候変動への影響を 40~62%、化石資源の消費量を 80~86%削減できることが示された。一方で、その他の 13 の環境影響カテゴリーの多くについては、環境上の利点が選択する配分手法に大きく左右されるため、結果が大幅に変動する可能性がある。

他のバイオベースポリマーについては、カーボンフットプリントのデータを特定することが遥かに困難であり、技術成熟度 (TRL) が低い段階にあることやスコープの違いなどから、それらの数値をそのまま信頼することが難しい場合も少なくない。いくつかの例を挙げると、バイオベース PBAT (「化石由来品と比較してカーボンフットプリントが 37%低い」 (Luo et al., 2025))、バイオベース PBS (「第 1 世代 (1G) の完全バイオベース PBS 製品は、石油由来の既存製品と同等の環境負荷であることが判明した一方、第 2 世代 (2G) の完全バイオベース PBS 製品は、糖の濃縮工程の回避や前処理工程とモノマー生産工程のエネルギー統合といった条件下において、非再生可能エネルギー使用量 (NREU) 及び GHG 排出量を約 3 分の 1 削減できる可能性がある」 (Patel et al., 2018))、バイオベース PHA (「サトウキビを用いた PHA 生産の地球温暖化係数 (GWP) は 0.86~1.59 kg CO₂ 換算/kg PHA の範囲であったのに対し、トウモロコシ粒を用いた場合は 0.01~1.96 kg CO₂ 換算/kg PHA の範囲であった。従って、環境負荷の観点からは、バイオベースかつ生分解性プラスチックである PHA は、化石燃料由来のプラスチックと比較して優れた特性を示すことが示唆される」 (Lee et al., 2023)) などがあるが、研究によって結果や結論が異なる場合もある。

バイオベースポリマー (及び製品) と化石由来ポリマー (及び製品) をより広範な視点で比較した研究も存在する。GHG 排出量に関連する主要な研究からの引用を以下に示す：

- 「全体として、本総説で取り上げた研究は、従来のプラスチックと比較して、バイオプラスチックに伴う悪影響はより軽微であることを示している。」 (Atiwesh et al., 2021)
- 「化石由来プラスチックと比較して、バイオベースプラスチックはカーボンフットプリントを低減できる可能性があり、材料特性の面でも有利な点を示し得る。」 (Rosenboom et al., 2022)
- 「レビュー対象となった文献は、バイオベース材料 1 トン (t) 当たり、従来の材料と比較して、一次エネルギーを 55±34 GJ、温室効果ガス (CO₂ 換算) を 3±1t 削減できることを示唆している。」 (Weiss et al., 2012)

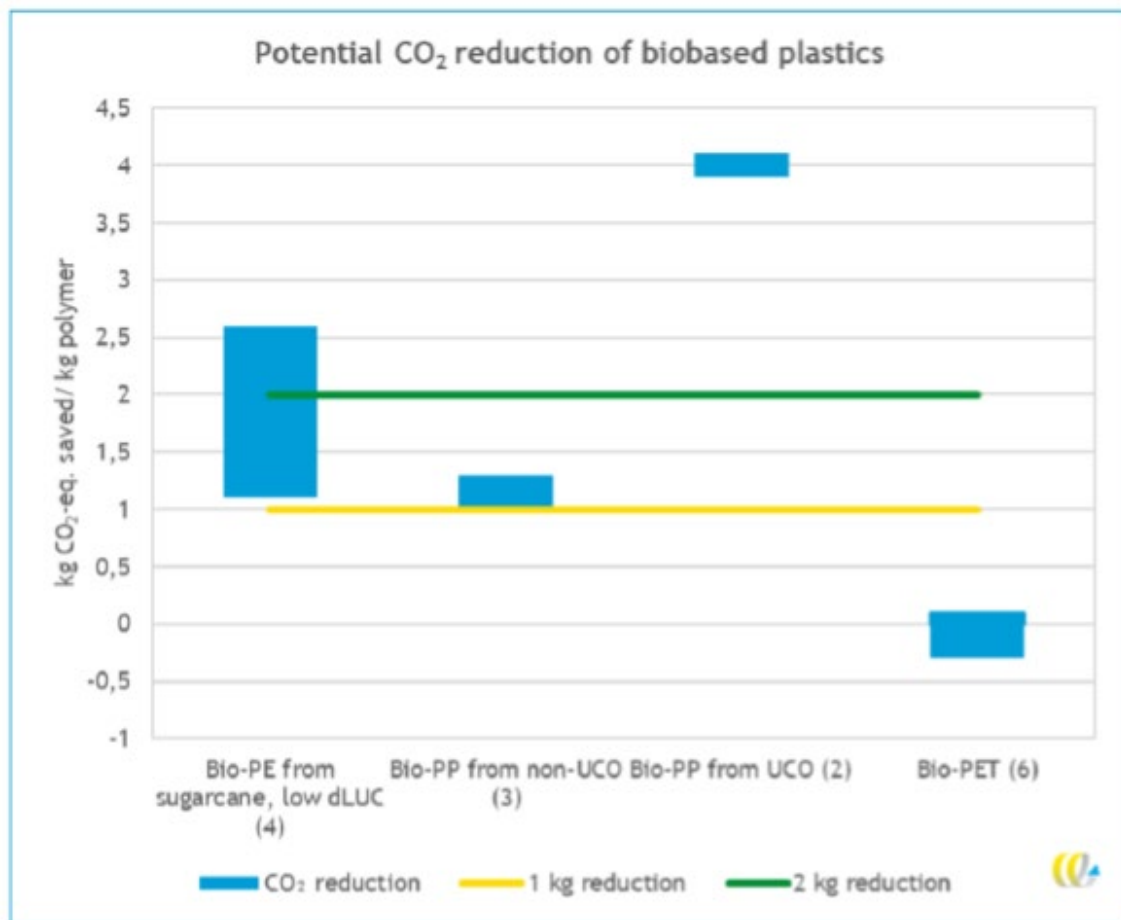


Figure 9: Potential CO₂ reduction of selected bio-based materials (source: Beergsma et al. 2023)

CE Delft によるある研究では、4 種類バイオベースプラスチックに関する既存の GHG 削減データが分析された。対象としたバイオベースプラスチックは、バイオ PE、2 種類のバイオベース PP、及びバイオベース PET である。これら 4 種類のプラスチックのうち 3 種類については、大幅な排出削減の可能性が認められる。バイオベース PET については、カーボンフットプリントは同等の水準に留まる。その結果を図 9 に示す。

Zuiderveen ら (2023) は、バイオベースポリマーを含むバイオベース製品の環境負荷について、それぞれの基準製品（ベンチマーク）と比較した研究を総括している。図 10 は、従来の基準製品と比較して、バイオベースポリマーの GHG 排出量が概して低いことを示している

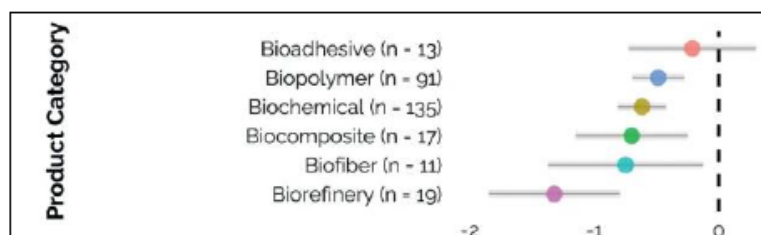


Figure 10: Change in GHG footprint response ratios (RR) in relation to key parameters (adapted from Zuideveen et al, 2023)

最後に、LCI（ライフサイクルインベントリ）データベースの近年の更新により、化石燃料由来の原料に伴うメタン排出量がこれまで過小評価されていたことが可視化された（これは衛星データの精度向上によって明らかになったものである）。この事実は、化石資源由来の化学物質・材料と、再生可能炭素由来のそれらとのカーボンフットプリントを比較する上で、極めて重要な意味を持つ。こうした改訂作業を通じて、国際エネルギー機関（IEA）や国際石油ガス生産者協会（IOGP）といった業界の主要な情報源の間で、排出量報告に著しい不整合があることも明らかになった。例えば、石油生産に伴う世界のメタン排出量について、IEA のデータは IOGP の数値と比べて 15 倍高いと報告されており、国別に見てもロシアでは 10 倍、サウジアラビアに至っては実に 40 倍もの乖離が生じている。

こうしたデータ改定は、LCI データベース等で追跡されている主要な化石由来原料及びその下流製品のカーボンフットプリントが、ここ数年で急激に増加したことを意味する（図 11 及び図 12 参照）。例えば、オレフィン製造の最も一般的な原料であるナフサに起因する気候変動への影響は、メタン排出量の影響により、ほぼ 2 倍に増加した。

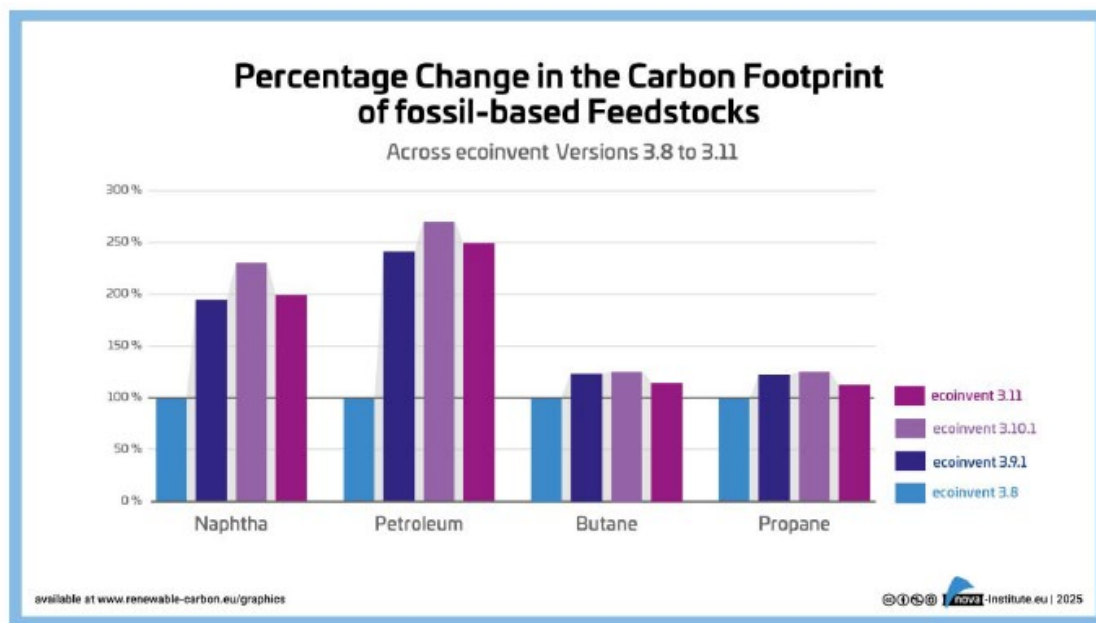


Figure 11: Percentage Change in the Carbon Footprint of fossil-based feedstocks between ecoinvent 3.8 (2021) and 3.11 (2024).

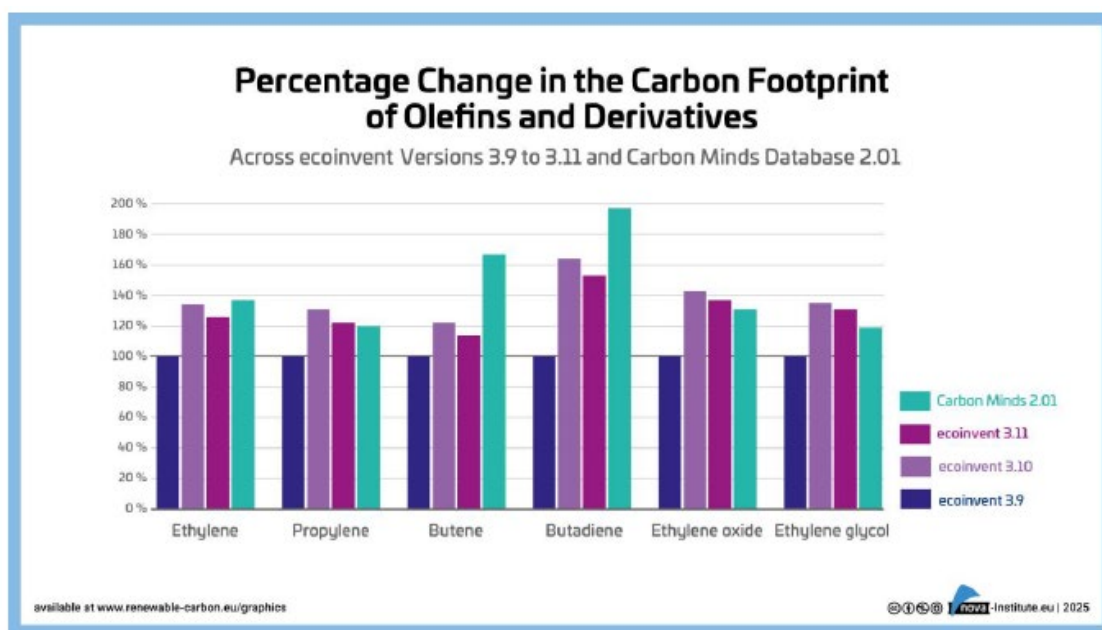


Figure 12: Percentage Change in the Carbon Footprint of Olefines and Derivates between ecoinvent 3.9 (2022) and 3.11 (2024)

ライフサイクルアプローチに基づき、気候変動以外の影響カテゴリー（「環境フットプリント」手法におけるカテゴリーなど：付録 6「環境パフォーマンスの状態に関連する要素」、ID 3）を考慮した、バイオベースプラスチックのその他の環境影響について）

環境影響とは、単に地球温暖化への影響だけを指すものではない。「環境フットプリント」手法のような近年の影響評価モデルには、富栄養化、酸性化、毒性、資源利用、オゾン層破

壊など、多岐に亘る側面が含まれている。影響の全リストについては、図 13 を参照されたい。

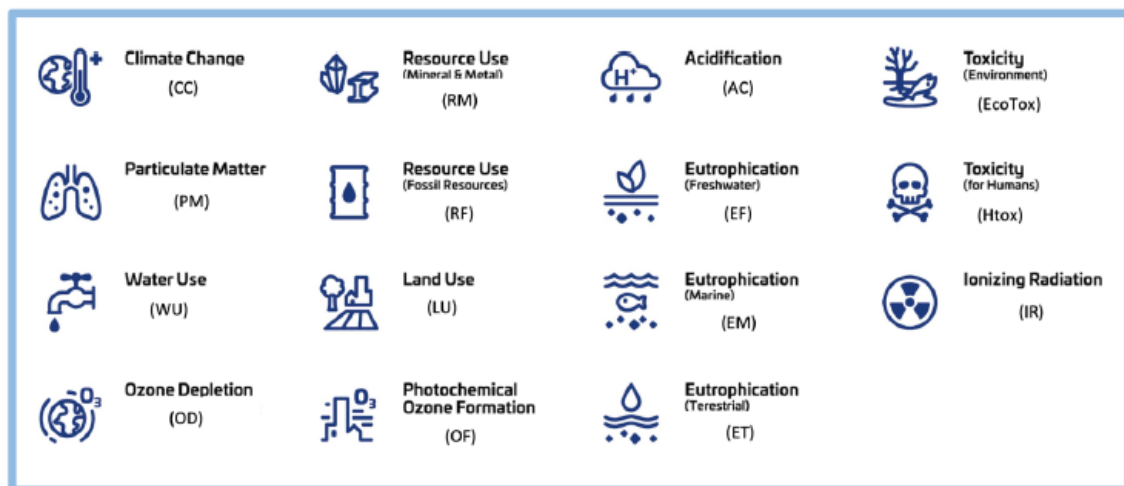


Figure 13: Environmental impacts that are included in EF 3.1 model (visualisation from nova-Institut GmbH)

Zuiderveen ら（2023）もまた、気候変動以外のいくつかの影響カテゴリーについて分析を行っている。図 14 にその研究結果を示す。バイオベース製品と化石由来の基準製品を比較すると、GHG 排出、非再生可能エネルギー利用、オゾン層破壊、光化学オゾン生成による環境影響は、同等かそれ以下である一方、土地利用に関連する富栄養化や酸性化の影響はより大きいという明確な傾向が示されている。

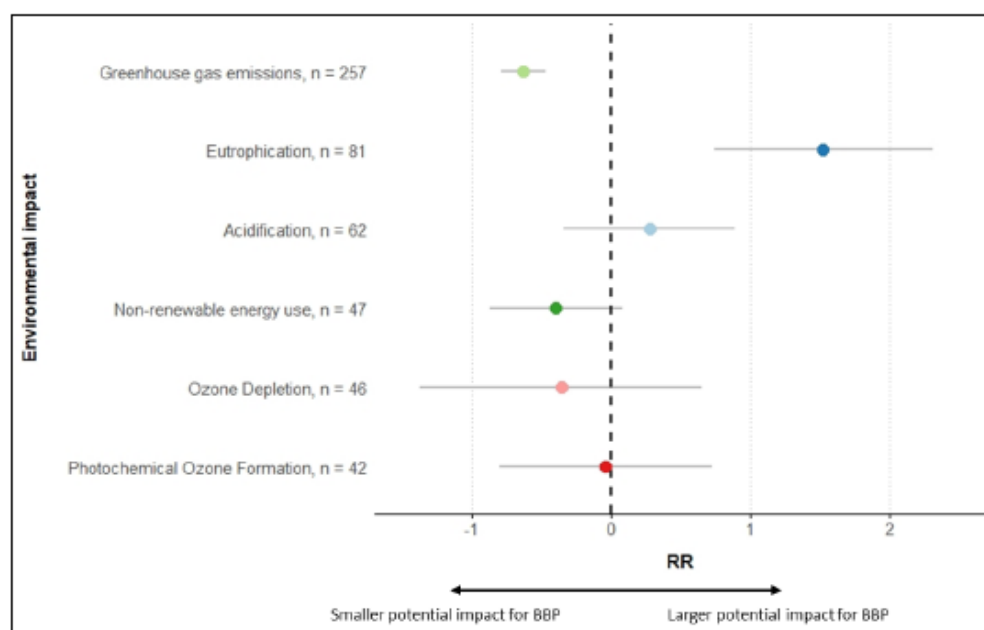


Figure 14: Environmental impacts of bio-based products compared to fossil benchmarks (Zuiderveen et al., 2023)

また、他の研究でも、異なるカテゴリーやライフサイクル段階において影響が大きくなることが指摘されている：

- 「しかし、こうした利点にはトレードオフも伴う可能性があり、その中には農業活動に伴う影響も含まれる」 (Rosenboom ら、2022 年)
- 「バイオベース素材は、富栄養化や成層圏オゾン層破壊のカテゴリーにおいて、従来の素材よりも環境負荷が高くなる可能性がある。酸性化及び光化学オゾン生成については、我々の結果からは結論が出ない。」 (Weiss ら、2012 年)

農業活動に由来する製品と、農業活動を全く含まないバリューチェーンを持つ製品とを比較する場合、農業活動に特有の影響カテゴリーにおいて数値が高くなることは、何ら驚くべきことではない。

しかし、その影響が、そもそも関連があるかどうかを判断することが重要である。「ほぼゼロ」に 100 を掛けても、やはり「ほぼゼロ」に過ぎない。相対的な結果のみを示すことは、誤解を招く恐れがある。LCA において、正規化は、影響の絶対的な重要性を解釈するのに役立つ。正規化の段階では、影響は、例えば当該カテゴリーにおける一人当たりの全体的な影響などと比較される。環境フットプリント手法 (EF 3.1) は、そのような正規化の枠組みを提供するものである。PEference プロジェクトでは、PEF ボトルと従来の PET ボトルを比較する、査読付き LCA が実施された。特性化された結果は、異なる影響カテゴリーの重要性を判断するため、EF 3.1 の係数に基づいて正規化及び重み付けも行われた。

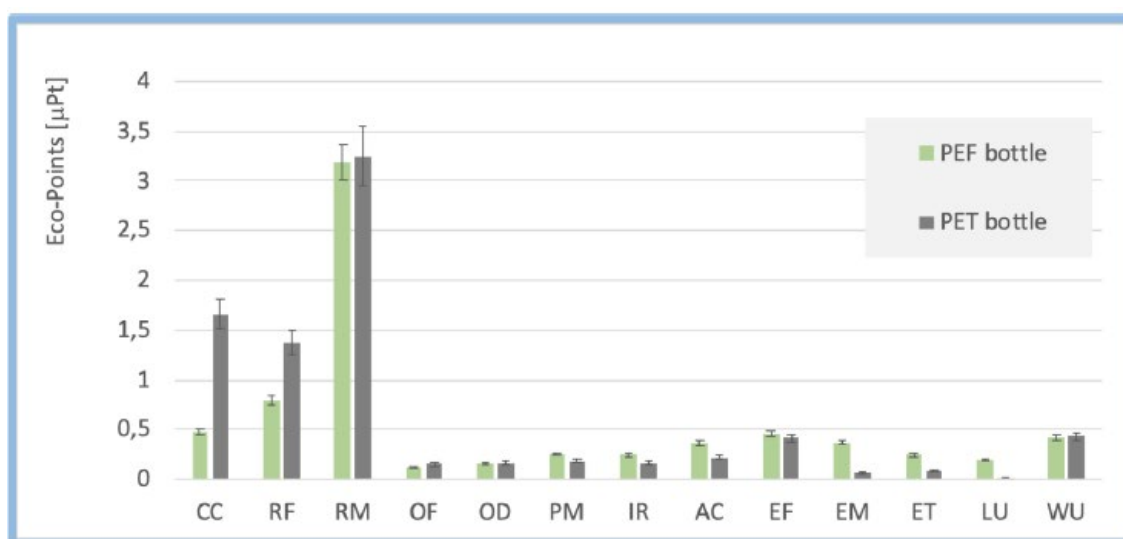


Figure 15: Normalised & Weighted Impacts of PEF and PET bottles (final results of PEference project)

図 15 は、最新の EF 3.1 手法に従って正規化及び重み付けされた結果を示している。バイオベースの PEF は、酸性化 (AC)、海洋及び陸域の富栄養化 (EM 及び ET)、並びに土地利用 (LU) といった一部の影響カテゴリーにおいて、化石由来の PET よりも悪いスコアを示していることが分かる。しかし、分析によれば、PEF が明らかに低い影響を示しているカテゴリー (気候変動 (CC) 及び化石資源利用 (RF)) は、正規化された尺度で見ると全体として極めて重要度が高いことも示されている。この結果は単一の事例に基づくものであり一般化はできないが、相対的な結果やその比較に伴う限界の一例を示すものと言える。

土壌の健全性、土地利用の変化、及び生物多様性に対するバイオベースプラスチックの影響に関する要点 (附属書 6、環境パフォーマンスの状況に関連する要素、ID 4)

一般的なバイオベースポリマーというレベルで土壌の健全性、土地利用の変化 (LUC)、及び生物多様性を評価することは、農業慣行や地域的状況のばらつきが大きいため、根本的な課題に直面している。その結果、環境に関する主張は、ポリマーそのものではなく、特定のバリューチェーンに対してのみ行うことが可能となる。これは、一般的な製品レベルの指標を求めるのではなく、原料や農場のレベルで持続可能性の基準を定めている「再生可能エネルギー指令 (RED)」のアプローチと同様である。

土壌の健全性は新たに取り組むべき優先事項だが、その評価は現地の農業慣行に大きく依存する。あらゆるバイオベース製品は、適切に管理された土壌由来のバイオマスからも、そうでない土壌由来のバイオマスからも生産され得る。こうした多様性は、食品、飼料、燃料を含む他の全てのバイオベース製品と同様に、全てのバイオベース (又は土地利用型) プラスチックにも当てはまる。従って、土壌の健全性に影響を与えるには、ポリマーのレベルではなく、管理上の意思決定が行われる農場のレベルでの取り組みが必要となる。最終的には、LCA がバイオベース製品による土壌健全性の確保を裏付ける一助となるはずだが、結果のばらつきそのものが、詳細な解釈を伴わない単一の数値だけでは意思決定のための実行可能な基準にはならないことを示唆している。

土地利用の変化 (LUC) は、直感的には森林破壊や泥炭地から耕作地への転換と結びつけられがちであり、残念ながら世界の特定の地域における一部の原料については、実際にそうしたケースが見られるのも事実である。土地利用型生産システムに由来する全ての製品には、土地利用の変化を引き起こす一定のリスクが伴う。しかし、LUC による気候変動への影響は、20 年間に亘る炭素蓄積量の損失を償却する形で、既にバイオベースポリマーの GHG 排出量に組み込まれている。

重要な点として、LUC は必ずしも否定的なものではなく、肯定的な結果をもたらす可能性もある。Guarengui ら (2023) は、ブラジルの一部地域におけるサトウキビ栽培について、

様々な対策によって 20 年前と比較して土地の炭素蓄積量が増加していることから、炭素吸収源と見なすことができると報告している。Braskem 社のバイオベース PE はこうした原料を使用しており、査読付き LCA においてその点が評価されている。

生物多様性も重要な側面だが、評価手法の開発が現在も進行中であることや、地域ごとの差異が極めて大きいことから、測定が困難である。即ち、一般的なポリマーのレベルで生物多様性への影響を定量化することには、限定的な価値しかないと言える。図 16 は、近年の様々なアプローチと手法の発展を示している。BioMAPS と GLAM は、将来的に環境評価の枠組みに組み込まれる有望な候補と考えられる。しかし、いずれの手法も、依然として開発及び試験の段階にある。

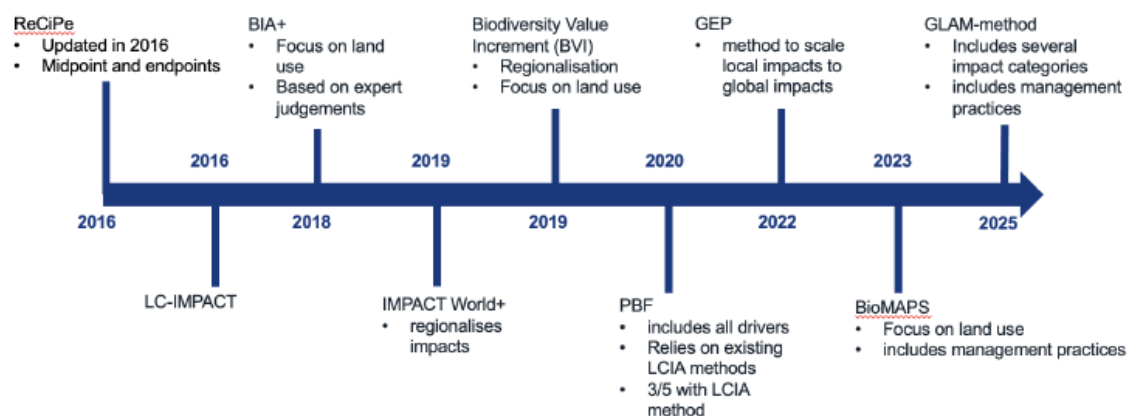


Figure 16: Most recent approaches to assess biodiversity in LCA (source: nova-Institut GmbH)

ReCiPe 法は理論的にも実用的にも適用可能だが、現時点ではまだ広く受け入れられるには至っていない。同手法は、単なる「影響」だけでなく「被害」をもモデル化する、いわゆる「エンドポイント指標」の概念に基づいている。このモデルでは、「淡水生物種への被害」、「陸上生物種への被害」、「海洋生物種への被害」に起因する「生態系への被害」が示される。これは、「生物多様性」の代替指標と見なすことができる。

図 17 は、生態系への被害を引き起こす可能性のある影響（地球温暖化、水利用、土地利用及び土地改変、生態毒性、酸性化）を示している。これまでの章で述べたように、バイオベースプラスチックは、一般的に化石由来プラスチックよりも気候変動への影響が少なく、これに抛り生態系への被害も抑えられる。しかし、土地利用の増大、富栄養化の進行、そして酸性化の増大といった要因が、逆の影響をもたらす可能性もある。現時点では、広く受け入れられ認知されるような完全な定量化は、まだ実現していない。



Figure 17: Cause effect relationships in ReCiPe 2016 model (RIVM Netherlands)

生物多様性に関する重要な側面の一つは、具体的な活動やその影響が、地域によって大きく異なり得るという点である。そのため、BioMAPSのような新しい手法では、土地利用（及びその変化）や、対象となる土地の所在地が特に重視されている。一方、集計された影響を単に換算するだけの ReCiPe のようなモデルでは、こうした側面を十分に網羅はできない。

総じて言えば、ポリマーのレベルにおいて、推奨される手法や広く認められた手法を用いて生物多様性を評価することは、現時点ではまだ不可能である。また、生物多様性への影響は原料や供給業者に大きく依存するため、一般的な製品レベルで一律に論じることができない。バイオ燃料の場合、使用される原料は非常に類似しており、生物多様性への悪影響を低減するという要件も共通している。「再生可能エネルギー指令 (RED)」では、特定の生物多様性指標の数値を算出することは求められていないが、生産に使用可能なバイオマスに関

する基準を定めている。様々な認証制度がこの基準を採用しており、原料や供給業者ごとに生物多様性保護のための安全策が講じられていることを証明できるようになっている。こうしたアプローチは、バイオベースポリマーにおける生物多様性への対応策としても有効と考えられ、RED の持続可能性基準を具体的に扱う次項の基準において、更に議論される予定である。

RED（再生可能エネルギー指令）の持続可能性基準への適合可能性に関する BBP（バイオベースポリマー）バリューチェーンの現状（附属書 6、環境性能の状況に関する要素、ID 5）再生可能エネルギー指令（指令(EU) 2018/2001 及び指令(EU) 2023/2413）第 29 条では、適格なバイオベース燃料に使用される原料について、いくつかの基準が定められている。これらを要約すると以下のとおり：

- 土地利用に関する基準

以下の土地から原料を調達することはできない：

- o 生物多様性価値が高い土地（原生林、自然保護区、保護対象の生息地）。
- o 炭素貯蔵量が多い土地（湿地、泥炭地、継続的に森林で覆われた地域）。
- o 最近森林伐採や土地転換が行われた土地。
- o 農業用バイオマスは、共通農業政策（CAP）の環境要件を遵守しなければならない。

- 森林バイオマスに関する基準

- o 合法的に伐採された木材及び持続可能な方法で管理された森林由来である。
- o 加盟国又は自発的な認証スキームは、以下を保証する必要がある。
- o 伐採後の森林再生。
- o 生物多様性、土壌品質、及び長期的な炭素貯蔵量の維持。
- o 原産国におけるモニタリングと法執行。

-改正版（「RED III」）では、特に森林バイオマスについて、更に厳しいルールが提案されている。

リストに掲載されている全てのバイオベースポリマーは、技術的にはこれらの基準に適合可能である。適合を妨げるような技術的又は化学的な理由は存在しない。例えば、持続可能な方法で栽培されたサトウキビ由来の商業用バイオベースポリエチレン（PE）（Braskem 社の「I'm green™」製品など）は、基準に適合したバリューチェーンが既に稼働していることを実証している。バイオ燃料については適合性が証明される一方で、バイオベースポリマーでは通常そうではない主な理由は、既存の規制の枠組みにある。この枠組みは、バイオベース燃料に対して適合を促すようなビジネスケース（経済的合理性）を生み出しているが、バイオベースポリマーにはそうした仕組みが存在しないからである。これらの基準は、最終的

なポリマーの技術的な製造経路や化学構造ではなく、主に農業・林業の慣行、トレーサビリティ、及び土地管理を対象としている。従って、RED に適合した原料の使用を妨げるような、バイオベースプラスチック固有の技術的又は化学的特性は存在しない。燃料に関しては、特定の調達基準を満たし、認証にかかる金銭的成本を価格に転嫁できる市場を創出する割当制度や資金援助の仕組みが整備されている一方、バイオベースポリマーには資金援助や割当制度が存在せず、包括的な原料の認証は、負担が困難な追加の金銭的負担をもたらす。

Renewable Carbon Initiative (RCI、2025 年) は、欧州委員会との対話を踏まえ、バイオマスに関する持続可能性基準についての見解を策定した。同イニシアティブは、再生可能エネルギー指令 (RED) の下で確立された持続可能性基準が、バイオベースポリマーに使用されるバイオマスにとって強固な基本枠組みを提供していると結論付ける。この評価は、特に農業由来のバイオマスに当てはまる。一方、林業由来のバイオマスについては、他の規制との整合性を確保し、効果的な適用を促進するため、RED の基準に一定の調整を加える必要があるとステークホルダーから指摘されている。

この見解では、有効な持続可能性基準の鍵となる要素として、バイオマスの持続可能な栽培、ライフサイクル全体での温室効果ガス排出量の正味削減、及び多様な種類の原料の適格性について合意がなされた。重要な結論として、持続可能性基準は、遵守義務(割当制度など)や不遵守に対するペナルティといった市場インセンティブと組み合わせられた場合に、最も高い効果を発揮することが挙げられる。

RCI の中では、これらの原則を実務に適用するための取り組みが重点的に行われ、その結果、バイオベース化学品及びその派生材料に対する RED 持続可能性基準の実施可能性を評価した詳細な概要(表 8)が作成された。

凡例：

赤：バイオベース化学品及びその派生材料には適用されない；

緑：バイオベース化学品及びその派生材料に適用される；

黄：修正を加えた上で、バイオベース化学品及びその派生材料に適用される。

Table 8: RED Art 29 sustainability criteria for biomass for bioenergy purposes and main content classified according to their implementability for bio-based chemicals and derived materials.

Aspect in RED	Main content	RED III Clause	Implementable for bio-based chemicals and materials from agricultural biomass	Implementable for bio-based chemicals and materials from forest biomass
Definitions	Defining biomass linked terminology used in criteria	Art. 2		
Scope of criteria	Linking criteria to regulatory targets, scoping applicable criteria for different biomass	Art. 29 (1)		
Protecting soil carbon	Impacts on soil carbon must to be monitored and managed when sourcing agricultural waste and residues	Art. 29 (2)		
Protecting biodiversity	Biomass cannot be obtained from land with high biodiversity value (or had such value in 2008 regardless of whether that remains)	Art. 29 (3)		
Maintaining land carbon stocks	Biomass cannot be obtained from land that previously had high carbon stocks (e.g. change from natural forest to farmland after 2008 banned)	Art. 29 (4)		 *
Protecting peatlands	Biomass cannot be obtained from land that was peatland (e.g. draining soil and conversion from peatland to farmland after 2008 banned)	Art. 29 (5)		
Ensuring sustainable forest management	Ensuring sustainable forest management (e.g. legality, regeneration, preservation of habitats)	Art. 29 (6)	n/a	
LULUCF criteria	LULUCF criteria applied to production from forest biomass	Art. 29 (7)	n/a	 *
Implementing acts and revision	Requirement for EC to set implementing acts by 2021 and review of criteria by 2026	Art. 29 (8-9)		n/a
Greenhouse gas emission savings	Criteria to reach minimum percentage of emission savings compared to fossil fuels	Art. 29 (10)		 *
Efficient use of electricity from biomass	Requirements for electricity producing sites for eligibility	Art. 29 (11)		n/a
Harmonisation of criteria across member states	Requirements for member states to accept compliance for biofuels and bioliquids fulfilling the criteria	Art. 29 (12)		
Derogations from the criteria		Art. 29 (13-15)		
Certification and verification of compliance		Art. 30		

バイオベースプラスチックの生分解性及び堆肥化適性の状況（付録 6「環境性能」、ID 6）
バイオベースプラスチックの生分解性について、明確かつ科学的根拠に基づいた環境基準を策定することは、実現可能かつ必要な政策目標である。検証と信頼の強固な基盤となる基準や認証の枠組みは既に存在しており、これらを規制に組込むことで、市場の透明性を高め、バイオエコノミーを支援することが可能である（European Bioplastics、2025 年）。主な課題は科学的基準の欠如ではなく、適切な廃棄物管理インフラの確保と消費者の意識向上にある（Mhaddolkar ら、2025 年）。これはあらゆる新規材料の流れに共通するシステムレベルの課題であり、インフラ投資や明確な表示義務法といった並行的な政策措置を通じて対処できる。実際、明確な製品基準を設定することは、こうした下流工程への投資を導くための不可欠な第一歩となる。

バイオベースプラスチックの生分解性及び堆肥化適性の状況は、表「世界のバイオベースポリマー」（Excel 付録 I を参照）の列 T に示されている。以下に、各列とその内容の概要を説明する。

列 T - 生分解性

当該ポリマーが生分解性を持つかどうか、またどのような環境で分解されるかを示す。これらの情報や、言及されている試験条件、規格、認証に関する詳細は、nova-Institute のポスター「確立された規格及び認証制度に基づく、様々な環境下での生分解性ポリマー」（図 18）（nova-Institute 他、2024 年）で確認できる。

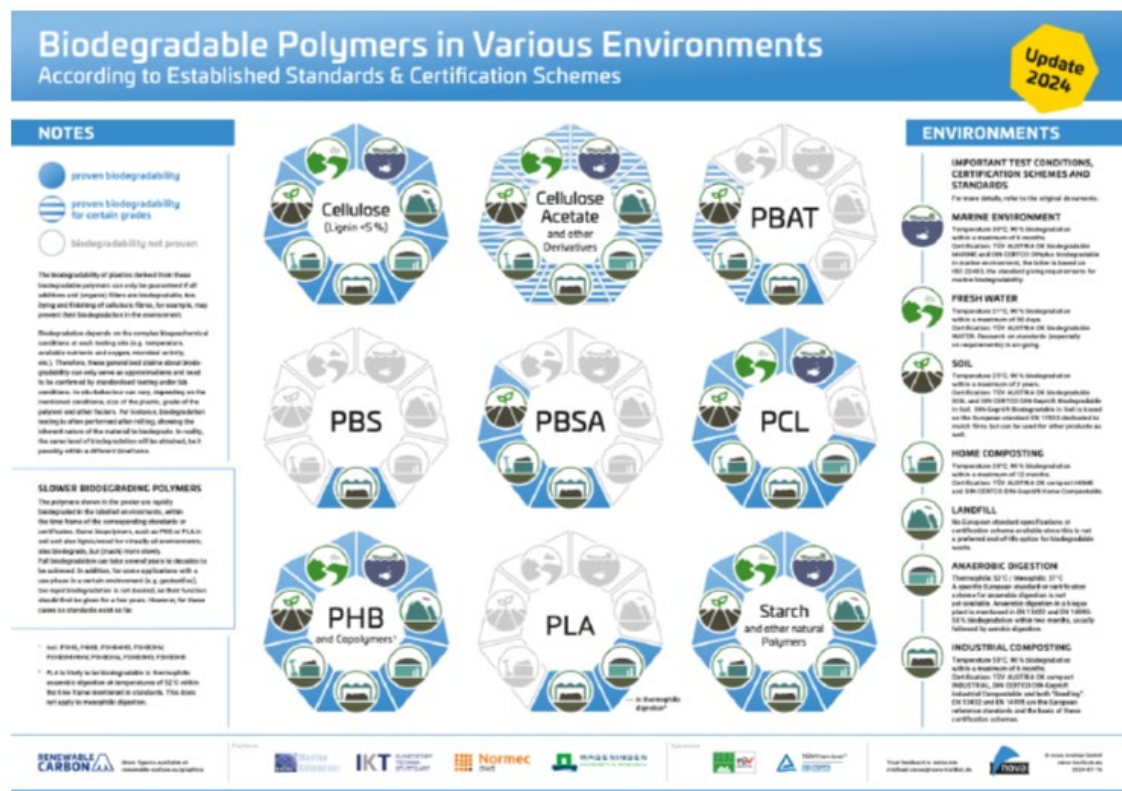


Figure 18: Third update of the poster showing biodegradable polymers in different environments according to established standards and

バイオベースプラスチックのリサイクル性の状況（付録 6、環境性能、ID 7）

バイオベースプラスチックのリサイクル性は多岐に亘る。既存のプロセスに円滑に組み込む「ドロップイン」熱可塑性プラスチックがある一方で、新規のバイオベースポリマーはインフラ面での課題に直面している。現在生産されているバイオベースプラスチックの大部分を占めるバイオベース熱可塑性プラスチックは全て、回収、他のプラスチックとの選別（最新の設備を使用）、及びメカニカルリサイクルが可能である。また、各種のケミカルリサイクルも有効である（下記参照）。但し、ポストコンシューマーリサイクルが実現するかどうかは、回収・選別インフラへの経済的投資を正当化できるだけの十分な商業的流通量と市場需要があるかどうかによって左右される。

リサイクル適性やポリマーごとのデータを見ると、材料の種類によって大きな違いがあることが分かる。バイオベース PE、バイオベース PET、バイオベース PBAT、バイオベース PP など、化石由来の同等品と物理化学的に同一である「ドロップイン」バイオプラスチックは、確立された既存のリサイクル・ルートで従来品と同様に処理でき、リサイクル率も化石由来品とほぼ同等である。

補足として、化石由来及びバイオベースのポリマーの多くは「熱可塑性」である。これは、

加熱すると軟化して成形可能になり、冷却すると再び硬化する性質を持つポリマーの分類を指す。この性質により、大きな化学的変化を伴わずに何度でも形状を変えることができ、全てメカニカルリサイクルが可能である。これに対し、「熱硬化性」ポリマーは、化学反応によって不可逆的に硬化し、強固な三次元架橋構造を形成する。一度硬化すると、熱を加えても軟化したり再溶融したりすることはない。そのため、メカニカルリサイクルはできず、充填材として利用するか、ケミカルリサイクルを行うしかない。バイオベースポリマー17種のリストの中で、熱硬化性ポリマーに該当するのはエポキシ樹脂とポリウレタン (PUR) のみである。

新規のバイオベースポリマーは、より大きな課題に直面している。PLA や PEF はメカニカルリサイクルが可能だが、廃棄物ストリームの中で他のプラスチックと分別する必要がある。これは、EU 全域で導入されている近赤外線 (NIR) 選別技術 (「グリーンドット (Grüner Punkt)」システムなど) を用いれば技術的に可能である。実際、NIR スキャナーを使用すれば、98%の精度で PLA を識別できる。しかし、PLA リサイクルの商業規模のインフラは依然限られており、取扱量の増加に伴い、短中期的には専用のリサイクル・ルートの確立が可能になると期待されている。PHA は高温で不安定なためメカニカルリサイクルが困難だが、PHB (ポリヒドロキシ酪酸) と PLA のブレンド品は、単独の場合 (PHB : 3 サイクル、PLA : 10 サイクル) に比べてリサイクル適性が向上 (11 サイクル) することが示されている。加水分解によるケミカルリサイクルは、PLA をモノマーである乳酸に分解する有望な手法である。酢酸亜鉛触媒を用いることで、PLA と PET の混合廃棄物から選択的に分解することも実証されている。

既存の廃棄物管理システムへの組み込みは、選別精度とインフラとの適合性に大きく左右される。バイオプラスチックに適したスペクトルライブラリを活用すれば、選別・リサイクル施設にある既存の NIR 設備を用いて、ポリマーごとの効率的な選別を行うことが可能である。TOMRA と SEALIVE による試験の結果、NIR (近赤外線) 技術を用いれば、許容される不純物混入の閾値を下回るエラー率で生分解性プラスチックを正確に選別できることが実証された。検出設定を適切に行えば、PLA が PET の選別ラインに混入して影響を及ぼすこともない。イタリア、オランダ、スペインで実施された動的選別試験では、硬質及び軟質のバイオプラスチックを同時に処理する場合でも、一貫した精度が示された。

バイオベースプラスチックのリサイクル適性については、「世界のバイオベースポリマー」という表の列 Q に記載されている (Excel ファイルを参照)。以下に、各列とその内容について簡単に説明する。

産業用及び家庭用コンポスト (堆肥化) やその他のあらゆる形態の生分解プロセスも、バイ

オベースプラスチックの分子を生物学的サイクルに留めるという意味で、「生物学的リサイクル」と見なすことができる。これは、全バイオベースプラスチックの約半分を占める生分解性プラスチック（PLA、PHA/PHB、PBS、PBAT など。図 18 を参照）には適用可能だが、残りの半分は生分解性ではない。

列 S - リサイクル適性 (Recyclability)

各ポリマーのリサイクル適性を示す。

バイオベースプラスチック廃棄物の使用済み製品回収率 (附属書 6「環境パフォーマンス」、ID 8)

バイオベースプラスチックの廃棄段階の製品回収率に関するデータは、従来のプラスチックに比べて十分に整備されていない。入手可能なデータからは、欧州加盟国全体で回収率が低く、国によってばらつきがあることが示唆されている。根本的な課題は、バイオベースプラスチックが複数の廃棄物ルートに分散していることや、これらの材料に特化した回収インフラが整備されていないことにある。もちろん、これはバイオベースプラスチックが全プラスチックの約 1% を占めるに過ぎないことや、リサイクル率の算出には一般的に大きな不確実性が伴うことにも起因している。

特にバイオベースプラスチックの回収率に関するデータは不足している。EU27+3 における使用済プラスチック廃棄物の総回収量は、2020 年に 2,950 万トン (Plastics Europe, 2022)、2022 年に 3,230 万トン (Plastics Europe, 2024) に達したが、これらは主に従来のプラスチックを対象としたものである。2024 年のバイオプラスチック生産量は、生産能力 247 万トンに対し、実生産量約 144 万トン (稼働率 58%) となったが、これらの材料の廃棄段階における回収統計は、従来のプラスチックとは別に体系的に追跡されていない。材料ごとの追跡調査が行われていないため、データに大きな空白が生じ、バイオベースプラスチックの回収実績を正確に評価することが妨げられている。

最近の 2 つの報告書 (Globe Newswire 2025 及び Houssini ら、2025 [例 : 図 20]) は、欧州におけるリサイクルと世界のプラスチックフローについて、地域別の回収及び廃棄段階のデータを含めた包括的かつ詳細な概要を示している。Houssini ら (2025) による調査では、バイオベースプラスチックの原料シェアは 2% (図 19) とされているが、nova 社の「Biopolymer-Report」では約 1% とされている。

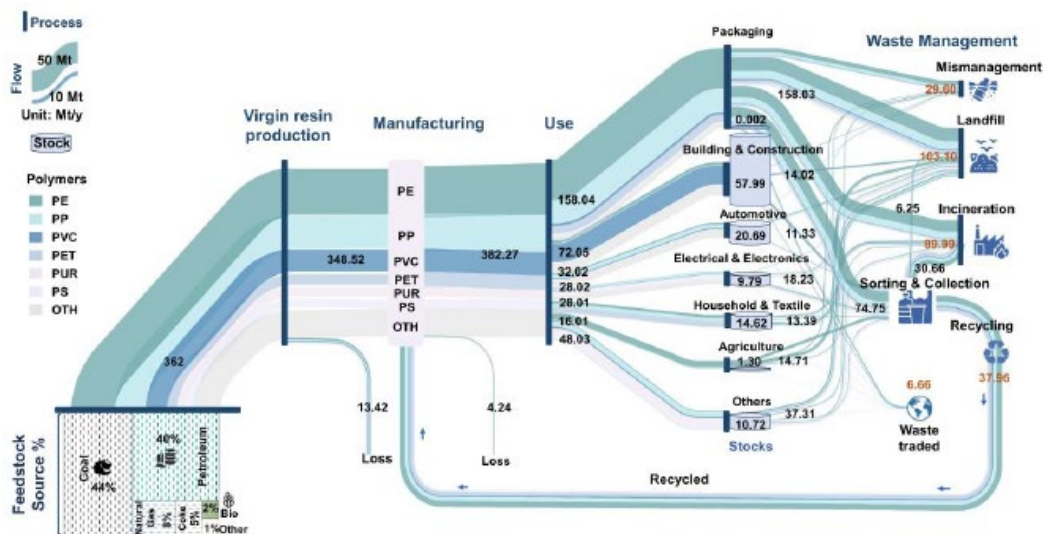


Fig. 1 | Global plastic cycles in 2022. The global plastics cycles are illustrated by flows. Color and width of flows correspond to the types and mass of plastics, respectively. All units in Mt/y. Note: minor discrepancies in values are due to rounding during mass balance calculations.

Figure 19: Global plastic cycles in 2022 (Houssini et al., 2025). The global plastics cycles are illustrated by flows. Color and width of flows correspond to the types and mass of plastics, respectively. All units in Mt/y. Note: minor discrepancies in values are due to rounding

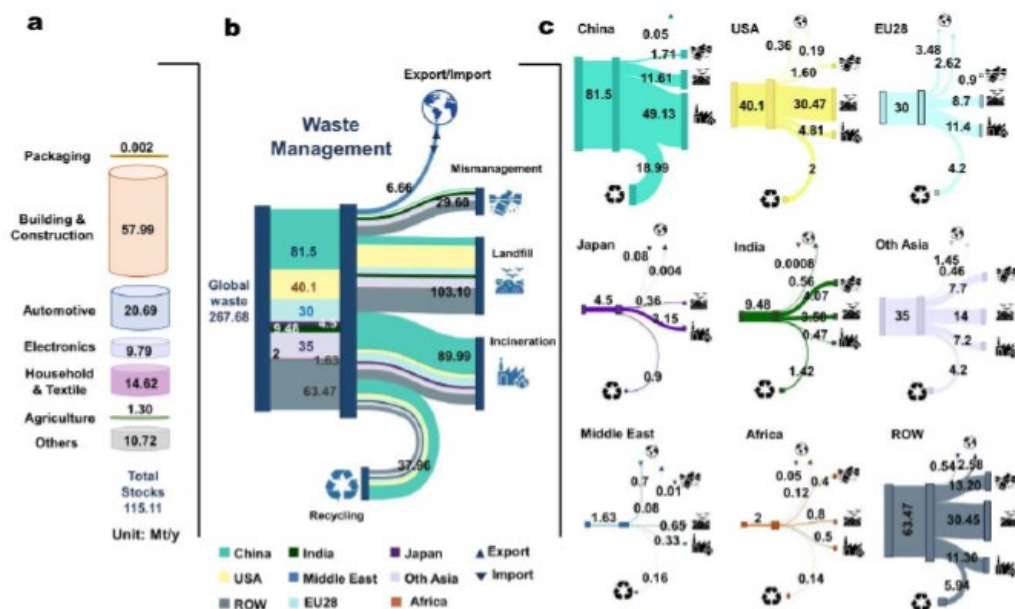


Fig. 4 | Global plastics waste generated. a Global plastics stocks per industrial sector. b Global waste management and end-of-life waste, breakdown per country/region. c Regional and national plastics waste management. Color and width of flows correspond to the countries and mass of plastic waste, respectively. All units in Mt/y units. Note: minor discrepancies in values are due to rounding during mass balance calculations.

Figure 20: Global plastics waste generated a) Global plastics stocks per industrial sector. b) Global waste management and end-of-life waste, breakdown per country/region. c) Regional and national plastics waste management. (Houssini et al., 2025)

特定の材料フローについてデータが存在する場合でも、回収の有効性には大きなばらつきがある。堆肥化可能な包装の回収体制が確立されているイタリアでは、EPR 制度を運用する Biorepack が、2023 年上市された工業的堆肥化可能包装のリサイクル率を 56.9%と報告している (Biorepack, 2024)。これは、バイオベース生分解性プラスチックの回収率として、世界的に見ても記録された最高水準の一つである。しかし、イタリアの実績は例外的なものであり、多くの欧州諸国にはこれに匹敵するシステムが存在しない。Eurostat[1]のデータによると、堆肥化可能プラスチックに対して規制的な政策をとっている国々（ドイツ、ベルギー、オランダ）では、分別回収が義務付けられているにも係らず、バイオ廃棄物の回収率は 15~25%と低水準に留まっており、これが間接的に堆肥化可能プラスチックの回収にも影響を及ぼしている。

ポリマーごとに異なる回収上の課題は、バイオベース材料の多様性を反映している。ドロップイン型バイオベースプラスチック（バイオ PE、バイオ PP、バイオ PET、バイオ PBAT）は、従来のプラスチック回収ルートに混入するため、高度な追跡システムがなければ化石由来のプラスチックと区別できない。これらの材料は既存の回収インフラを活用できるという利点があり、分別回収の枠組みでは 65%のリサイクル率を達成しているが、混合回収では 5%に留まっている。しかし、再生可能資源由来であることや気候変動抑制への貢献といったバイオベース材料の特性は、従来のリサイクル統計においては追跡・評価されていない。

新規のバイオベースポリマーは、回収においてより大きな障壁に直面している。PLA などの生分解性プラスチックは、消費者の認識不足などにより、包装廃棄物、生ごみ、残余廃棄物（一般ごみ）といった複数の廃棄物ルートに分散して排出される傾向があり、特定の処理ルートに向けた効率的な回収が妨げられている。オーストリアで実施された手選別による調査では、生分解性製品がこれら 3 種の回収区分全てに混在していることが確認され、その混在パターンは製品の種類（買い物袋かゴミ箱用袋かなど）によって異なることが明らかになった。こうした分散は、メカニカルリサイクル、工業的堆肥化、更にはエネルギー回収といった、本来想定されているあらゆる処理ルートにおける実質的な回収率を低下させている。なお、最新の選別設備であれば、混合廃棄物の中から PLA を完全に選別することは十分に可能である。

従来のプラスチックと比較すると、化石由来の素材には回収インフラ面で大きな利点があることが分かる。従来のプラスチックは、数十年に亘るシステム開発、消費者への啓発、そして回収目標を義務付ける規制の枠組みの恩恵を受けてきた。従来のプラスチック包装の分別回収システムは、混合廃棄物回収と比較して 13 倍高いリサイクル率を達成しているが、現時点では PET に限られている。EU の廃棄物枠組み指令（指令 2008/98/EC）はリサイク

ル目標を課すことで回収改善への規制圧力を生み出しているが（2035年までに都市廃棄物の65%をリサイクル）、これらの目標は一般的に、バイオベースプラスチックと化石由来プラスチックを区別していない。

回収率は、原料やプラスチックがバイオベースかどうかではなく、用途や形状によって決まる。バイオベースPEの回収率は、化石由来PEの回収率と全く同じになる。回収率は、自動車や建築・建設用途では高く、包装などの用途では低くなる傾向がある。詳細なデータはこちらで確認できるが、閲覧には有料登録が必要である：<https://plasteax.earth/#Explore-data>

バイオベースプラスチックの廃棄後の行方（例：リサイクル、堆肥化、焼却）（付録6、環境性能、ID9）

一般的に、欧州の統計では、プラスチック廃棄物の大部分が埋め立て又は焼却されており、プラスチックからプラスチックへの実質的なマテリアルリサイクル率は約10%であることが示されている。Hosseiniら（2025）は、一次生産量に対する世界のリサイクル率が約10%（プラスチック生産量約380Mtに対し、リサイクル量37.96Mt）であると報告している。特に欧州については、2022年にEUで発生した30Mtのプラスチック廃棄物のうち、実際にリサイクルされたのは4.2Mt（14%）であり、7.2Mtが焼却、14Mtが埋立てられたとしている（図20を参照）。バイオベースポリマーの廃棄後の行方については、「ドロップイン」化学品（既存のプラスチックと化学的に同一なもの）と、専用のポリマーとを区別する必要がある。

バイオPE、バイオPP（、バイオPETなどのドロップインポリマーの場合、廃棄後の行方は技術的に従来の同等品と同一である。従って、それらのリサイクル率、焼却率、埋立て率は、全てのプラスチックの平均値を用いて妥当な範囲で推定することが可能である。とはいえ、既存の設備やプロセスにそのまま投入可能な「ドロップイン」ポリマー（特にエポキシ樹脂など）の中には、リサイクルが殆ど行われていないものがある点に注目すべきである。EU域内の各市場に関する追加データは、EUの公式統計や、Conversio（2025年）、Plastics Europe（2024年）といった機関のデータ、或いはPlasteax.earth（リンク）のようなオンラインプラットフォームなどで確認できる。

一方、「専用ポリマー」については、状況がやや異なる。バイオベースの専用ポリマーの多くは、技術的にはメカニカルリサイクルが可能だが、それを支えるインフラが未整備である。ここでの核心的な課題は「規模とインフラのジレンマ」にある。というのも、これらのポリマーは重量ベースでプラスチック廃棄物全体の僅か約1%を占めるに過ぎないからである（SYSTEMIQ, 2022）。この程度の量では、専用の選別・リサイクルインフラへの大規模な

投資を正当化できない。そのため現状では、国によって対応は異なるが、これらの材料は依然として焼却や埋立て処分されている。しかし、これは技術的な制約ではなく、あくまで商業的な制約であり、新材料につきもののジレンマと言える。取扱量が少ないうちはリサイクル設備への投資が行われず、一方で、リサイクルされないために取扱量が増えず、評価が低く留まってしまうという悪循環がある。総量が約 5%にまで増加すれば、回収・選別・リサイクルは経済的に実行可能な選択肢となるだろう。

PLA は、リサイクルだけでなく、工業的条件下での堆肥化も可能である。但し、市場に関する正確なデータは存在しない。

PEF は PET のリサイクル・ストリームに組み込まれる選択肢を有しており (Avantium, 2025)、これは、新しい専用ポリマーが既存の効率的かつ確立されたリサイクル・ストリームに参入できる好例と言える。但し、混合比率が高まると PET の品質に影響が及ぶため、許容される上限 (5~10%) が存在する。

廃棄物階層に照らした BBP (バイオベースプラスチック) 廃棄物の適合性 (附属書 6、環境パフォーマンス、ID 10)

原則として、バイオベースプラスチック廃棄物は廃棄物階層に対して高い適合性を示すが、その度合いは様々であり、ダウンサイクリングの防止や資源効率の最大化といった点には改善の余地がある。環境負荷の低さに基づき、発生抑制、リユース、リサイクル、エネルギー回収、処分の順に優先順位を付ける「廃棄物階層」の枠組みは、バイオベースプラスチックの持続可能性を評価するための体系的アプローチを提供する (EEA, 2020)。

現在の適合状況を見ると、バイオベースプラスチックは、ポリマーの種類、用途、利用可能なインフラに応じて、階層の複数の段階に位置している。最上位の段階 (発生抑制及び再使用) において、バイオベースプラスチックは従来のプラスチックと同等の性能を発揮する。発生抑制の機会としては、高性能な配合による軽量化が挙げられ、これにより機能を維持しつつ全体的な材料消費量を削減できる。リユースのシナリオは、食品容器、再利用可能なコーヒーカップ、キャリーバッグなどの耐久性のあるバイオベースプラスチック製品において存在するが、現在の市場シェアでは、包装分野におけるシングルユース用途が 45%を占めている (European Bioplastics, 2024)。

リサイクルの段階では、前述の通り、バイオベースプラスチックの適合性は大きく異なる。「ドロップイン」材料 (バイオ PE、バイオ PET、バイオ PP) は、メカニカルリサイクル・ストリームに円滑に組み込まれ、化石由来の同等品と同等の高い階層適合性を実現すると同時に、リサイクル可能原料を使用するという利点も提供する。これらの材料は、特性の劣

化によりダウンサイクリングや処分が必要になるまでに、複数回のリサイクルサイクルを経ることができる。新規バイオポリマー（PLA、PHA、PBS）は、技術的な観点からは完全にリサイクル可能だが、確立されたリサイクルインフラへの参入には課題がある。特に、ポストコンシューマーのリサイクルについては、専用の処理施設を設けることを正当化できるだけの十分な取扱量が確保されるのを待っている段階である。リサイクルが行われる場合、リサイクル材が化石由来バージンプラスチックの生産を代替するため、バイオベースプラスチックは GWP（地球温暖化係数）値がマイナスになるという環境上の利点をもたらす。

有機リサイクル（堆肥化、嫌気性消化）は、生分解性バイオベースプラスチックにとって、廃棄物階層における独自の位置付けをなすものである。有機リサイクルは、素材としての価値を維持する点ではメカニカルリサイクルに劣るものの、従来のプラスチックでは実現できない、栄養分や炭素（及び水素・酸素）の循環的な流れや、再生可能エネルギーの創出を可能にする。家庭での堆肥化も有効な手段の一つだが、その実施状況の追跡や定量化は困難である。産業用コンポスト施設では、認証を受けたコンポスト適格プラスチックを土壌改良材へと処理し、生物学的な炭素循環を完結させる。嫌気性消化では、バイオガスを回収してエネルギー源とする一方で、消化液を肥料として生産する。但し、有機リサイクルでは材料の構造が維持されないため、廃棄物管理の優先順位（廃棄物ヒエラルキー）の定義において、これを真の「リサイクル」と見なすべきかどうかについては議論が続いている。とはいえ、EU の廃棄物ヒエラルキーにおいては、リサイクルは「廃棄物を、当初の目的か否かを問わず、製品、材料、又は物質へと再処理するあらゆる回収作業」（WFD 2008/98/EC、第 3 条 17 項）と定義されており、有機リサイクルはこの定義に合致している。

エネルギー回収を伴う焼却処理は、優先順位としては低い位置づけにあるが、より上位の選択肢が利用できない場合には、有効な「廃棄段階」の処理方法となる。バイオベースプラスチックは焼却時に再生可能エネルギーを生み出し、化石由来の炭素ではなく、元々大気から固定されていた生物由来の炭素を放出する（但し、材料としての価値は永久に失われる）。EUBP（欧州バイオプラスチック協会）は、化石由来プラスチックと比較して再生可能エネルギー生産の利点があることから、エネルギー回収を伴う焼却処理を、バイオベースプラスチックにとって有効な選択肢であると考えている。

この意味あいにおいて、CCU（二酸化炭素回収・利用）という概念は、廃棄物管理の優先順位（廃棄物ヒエラルキー）の中で適切に定義されていないという点で興味深い事例である。我々の見解では、CCU はリサイクルの一形態として分類されるべきである。なぜなら、他のリサイクル技術と同様に、炭素が実際に「テクノスフィア（人間活動圏）」内に留まるからである。回収された CO₂ が生物由来（バイオジェニック）である場合、それは「炭素除去」と見なされる可能性さえある。

埋立ては、資源回収を伴わず環境リスクを生じさせるため、廃棄物管理の優先順位において最も望ましくない段階とされている。EU は「埋立て指令」に基づき、分別収集された廃棄物の埋立てを 2030 年までに禁止するなど削減に向けた取組みを行っているが、2022 年時点でもプラスチック廃棄物の約 25%が埋立てられており、その中には分別収集された廃棄物の 11%も含まれていた (Plastics Europe, 2024)。生分解性バイオベースプラスチックが嫌気性条件下で埋立てられるとメタンが発生し、適切に回収・利用されなければ地球温暖化係数 (GWP) を大幅に増大させる恐れがある。一方、非生分解性のバイオベースプラスチックは、従来のプラスチックと同様に自然界で分解されず長期間残留する。

タスク 3: プラスチック包装におけるバイオベース原料の持続可能性要件に関するデスクリサーチ

JRC (欧州委員会共同研究センター) 及び EC (欧州委員会) による既存の取組み、並びに学術・技術文献の調査

欧州委員会は、バイオベース原料の評価に直接関連する文書をいくつか策定している。

「サーキュラーエコノミー (循環型経済) におけるプラスチックに関する欧州戦略」(欧州委員会, 2018) (COM/2018/28 final) は、「サーキュラーエコノミー行動計画」の重要な柱となるものである。これに続き、2022 年には「バイオベース、生分解性、及び堆肥化可能なプラスチックに関する EU 政策枠組み」についての文書 (欧州委員会, 2022)

(COM/2022/682 final) が公表された。この文書は、a) これらのプラスチックに対する理解を深め、真に環境上の利点をもたらす用途を明確にする、b) 市民、公的機関、企業を指針によって導く、c) 各国レベルでの対応の相違や市場の分断を防ぐことを目的としている。

上記のプラスチック戦略を受け、JRC は、化石資源、バイオマス、CO₂ など様々な原料から製造されるプラスチック製品の環境影響を評価するための、統一された「プラスチック LCA 手法」(Nessi et al., 2021) を策定する任務を負った。この手法は、EU レベルでの再現性があり一貫した研究を可能にすることを意図しており、バイオベースの原材料に関する要件設定のあらゆる取組みにおいて重要な参照情報となる。

本手法では、バイオベースプラスチック製品について、「原材料の調達及び前処理」の段階に含めるべきプロセスや活動が定義されている (一次バイオマス資源、及びバイオベースの廃棄物や副産物の双方を対象とする)。これらは、原料の持続可能性を評価する際に重要なプロセスや活動の全体像を示している。更に、本手法は LCA を実施する際の関連するモデリング要件についても詳細に記述しており、例えば農業生産をモデル化する際に考慮すべき活動、投入物、排出物について、非常に詳細なリストを提示している。なお、本手法

自体は、持続可能性に関する要件や基準について具体的な規定を設けているわけではない。

JRC による最近の研究 (Sinkko et al., 2025) では、従来の製品をバイオエコノミーに基づく革新的な製品に置き換えた場合の環境負荷が検証されている。同研究は、バイオベースの選択肢がいかにして EU の環境負荷を低減し得るかを示す証拠を示し、その利点（気候変動への影響低減や化石資源消費の削減など）とトレードオフ（土地利用の増大や富栄養化の可能性など）の双方を明らかにしている。この分析結果は、特定の原材料要件を設定した場合の影響を理解する上で直接的に活用できる。同研究は、バイオベース製品と化石由来製品の比較に関する一般的な指針として、次のように結論付けている。「バイオベースプラスチックは、土地利用や富栄養化といった一部の評価項目において、より大きな負荷をもたらす傾向がある。従って、バイオベース原料について慎重に設計された持続可能性基準（例：リグノセルロース系バイオマス、藻類、廃棄物などの持続可能な原料の使用）を設けることが鍵となる。」

同研究は、適切なバイオエコノミー・ソリューションを特定する際に考慮すべき主要な基準について、いくつかの示唆を提示して締めくくられている。

環境に関する基準：

- 気候変動の緩和（温室効果ガス）及び適応に対するバイオベースの革新的技術の貢献；
- ライフサイクルアプローチに基づく、バイオベースの革新的技術によるその他の環境影響。これには、環境フットプリント手法と同様に、気候変動以外の評価項目（土壌の健全性、土地利用の変化、生物多様性への影響など）も含まれる；
- 一次原料の利用可能性及び持続可能性；
- 一次バイオマスの使用や、他の用途との競合を抑えるための、有機廃棄物や副産物を原料としての利用；
- 製品廃棄段階の回収率及び処理・管理の選択肢。

市場関連の基準：

- 市場需要の観点から高いポテンシャルを持つバイオベースバリューチェーンに関する指標；
- 従来の製品に対する持続可能な代替品の拡張性或競争力を測る重要な指標としての、バイ

オベース技術革新の生産コスト；

・技術的成熟度及び技術進歩の可能性。

上記の基準リストは、適切なバイオエコノミー・ソリューションを特定することに重点を置いており、本報告書はそれら各項目について信頼できる情報を提供することを意図している。欧州委員会のこれまでの戦略文書は、循環型経済及びカーボンニュートラルへの移行（プラスチック戦略）、プラスチックごみの削減（SUPD：シングルユースプラスチック指令（EU）2019/904）、そしてバイオベースプラスチックの原料としての有機廃棄物や副産物の優先的利用（欧州委員会、2022年）に焦点を当ててきた。

大規模なバイオベース原料の持続可能性要件に関しては、「一次原料の利用可能性及び持続可能性」という側面にも更なる重点を置く必要がある。これこそが、本章の以下の部分で取り上げる主要な側面である。

プラスチック包装に使用されるバイオマスについて、環境及び社会への真にプラスとなる影響を確実にするためには、強固な持続可能性基準を確立することが不可欠である。EUの政策枠組みや学術文献（Mai-Moulin ら、2020年；Blas Mola-Yudego ら、2024年）に基づき、これらの基準は以下の3つの主要な柱に構成できる：

・環境に関する基準は、気候への影響の緩和と生態系の保全に重点を置いている。最優先の目的は、化石由来の代替品と比較して、ライフサイクル全体を通じた GHG 排出量を削減することである。これを補完するものとして、大気、土壌、水質を汚染から保護することに加え、特に水不足が懸念される地域における水使用の慎重な管理と削減が求められる。

・土地及び生物多様性に関する基準は、バイオマスの栽培が陸域生態系に及ぼす直接的な影響に対処するものである。その中心となるのは、森林や泥炭地のような炭素蓄積量の多い土地を保護すること、及び土地の炭素蓄積量を増加させるような手法を導入することである。更に、生物多様性の維持・向上に向けた対策を講じることが極めて重要であり、これは持続可能な森林又は土地管理計画の策定と実施を通じて具体化される。農業生産の場所的移動（転嫁）を防ぐための重要な手段となるのは、間接的土地利用変化（iLUC）のリスクが高い原料を制限し、廃棄物、残渣、或いは荒廃地で栽培された作物など、iLUC リスクの低い原料の利用を促進することである。

・社会的基準は、バイオマスの調達が公平かつ公正であることを保証するものである。これには、人権及び労働権の完全な遵守、並びに安全な労働条件と公正な賃金の保証が求められる。また、土地や水に関する権利の尊重、特に地域社会や先住民族の慣習的権利の承認や、

バイオマス生産が彼らの重要な資源へのアクセスに影響を及ぼさないようにすることも含まれる。

こうした包括的な枠組みは、バイオベース原料への転換が、循環型かつカーボンニュートラルな経済の目標達成に有意義に貢献するよう確実にする助けとなる。

再生可能エネルギー指令（RED）は、EU のエネルギー構成における再生可能エネルギー源由来のエネルギーの割合について、法的拘束力ある目標を定める EU の主要な規制である。本章の意味合いにおいて、RED は、バイオ燃料やバイオ液体を含むエネルギー用途のバイオマスについて、その基準となる一連の持続可能性及び温室効果ガス排出削減基準を確立している。

既存の RED 持続可能性の枠組み

再生可能エネルギー指令

・再生可能エネルギー源由来のエネルギーの利用促進に関する指令（EU）2023/2413

・ 2018 年の当初の指令は継続的に改定されており、最新の改定は 2023 年に行われた。

・ バイオマスに関する持続可能性基準は、RED II（再生可能エネルギー指令 II）において初めて導入された。

・ RED のバイオマス基準は現在の政策における参照点となっているが、それらはエネルギー用途にのみ適用される。

・ これらの基準を満たすことが義務付けられているエネルギー用途については、持続可能性基準を遵守するためインセンティブも設けられている。

・ 化学品・材料セクターについては持続可能性基準が存在しないが、RED II の基準が非公式に参照されることはある。

・ これらの基準を満たすためのインセンティブは存在しない。

RED II の持続可能性基準の要件

・ バイオマスは、原生林、自然保護区、生物多様性の高い草地など、生物多様性価値の高い地域から調達されたものであってはならない。

・ バイオマスは、湿地や恒久的な森林地帯など、炭素蓄積量の多い土地から調達されたものであってはならない。これは泥炭地にも適用されるが、バイオマスの生産が、それまで排水されていなかった土壌の排水を伴わないことが証明された場合は例外となる。この点において、2008 年 1 月時点の土地の状態がベースラインとなる。

・ 森林バイオマスは、合法的かつ持続可能な方法で伐採された地域から調達されたものに限り、特定の LULUCF（土地利用・土地利用変化・林業）基準を満たす必要がある。

・ 化石燃料を基準とした場合の温室効果ガス排出削減量。

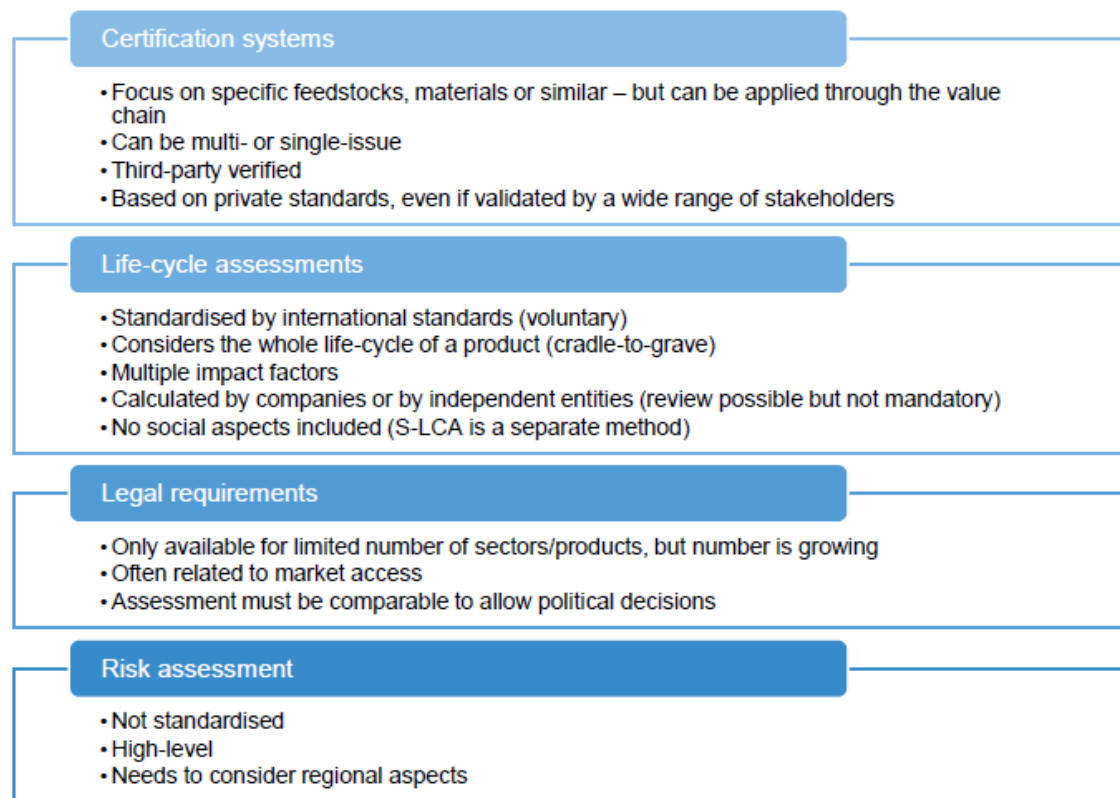
Table 9: Mapping of sustainability criteria covered by the Renewable Energy Directive

Environmental criteria		Land criteria	
Reduce GHG emissions	X	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	X
Protection of air soil and water	partly	Take measures to maintain and improve biodiversity	partly
Waste usage and reduction	–	Create and apply a sustainable forest management plan	X
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	X
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	–	Compliance with land rights	–
Compliance with labour rights	–	Compliance with water rights	–

既存の認証制度、温室効果ガス排出削減基準、及びカスケード利用の原則

今日、製品やプロセスの特性の多くが認証を通じて第 3 者機関により検証可能となっており、持続可能性に関する主張の透明性を確保する上で不可欠な役割を果たしている。認証の対象となる主な要素は以下のとおり：

- ・ バイオベース（生物由来）であること、及びバイオベース炭素の含有率
- ・ バイオベースの割当て分（マスバランス等による）
- ・ リサイクル材の含有率
- ・ バイオマスの持続可能性
- ・ カーボンフットプリント、環境再生型農業
- ・ 生分解性及び堆肥化適性



現在、多種多様な持続可能性認証が存在し、その対象は様々な側面（例：ヴィーガン、オーガニック、クライメート・ニュートラル、フェアトレードなどの社会的側面、堆肥化適性など）やセクター（例：繊維、建築、包装など）に及んでいる。主要な 7 つの持続可能性認証について、その関連性や市場シェアを主な基準として詳細な評価が行われた。これら 7 つの認証は、バイオベース原料に関する持続可能性認証市場の大部分を網羅している。選定された認証制度は、ISCC Plus、RSB、RSPO、Better Biomass、FSC、Bonsucro、及び REDcert である。以下の表 10 に、これら 7 つの認証制度に共通する主要な基準の概要を示す。詳細については、附属書 III を参照されたい。

Table 10: Mapping of relevant sustainability criteria for biomass across 7 relevant certification systems.

Environmental criteria		Land-use criteria	
Reduce GHG emissions	x6	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	x7
Protection of air soil and water	x6	Take measures to maintain and improve biodiversity	x5
Waste usage and reduction	x5	Create and apply a sustainable forest management plan	x1 3 x n/a 2 x refer to other certificate
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	x4 1 x n/a 1 x refer to other certificate
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	x7	Compliance with land rights	x6
Compliance with labour rights	x7	Compliance with water rights	x6

持続可能性認証に関連するその他の政策文書

再生可能エネルギー指令（RED）は、バイオ燃料及びバイオ液体に関する初期の持続可能性基準を定めたが、持続可能なバイオマスに関する EU の規制枠組みはその後大幅に拡大した。現在、いくつかの重要な政策文書が RED を補完し、場合によってはその適用範囲を拡大しており、認証システムにとってより複雑かつ厳しい環境を作り出している。これらの規制は全体として、認証制度に対し、温室効果ガスの削減だけでなく、より広範な環境・社会的セーフガード、サプライチェーンの完全性、循環型経済の原則をも網羅する、より包括的なものとなるよう促している。

以下の表は、バイオマスの持続可能性認証に対するこれらの政策の関連性をまとめたものである。

Policy Instrument	Primary Focus & Relevance to Certification	Key Addition Beyond RED II Baseline
EU Taxonomy Regulation (2020/852)	Provides a classification system for "environmentally sustainable" economic activities. It sets detailed Technical Screening Criteria (TSC) for activities like bioenergy.	Defines substantial contribution to climate objectives and strict Do No Significant Harm (DNSH) criteria across other environmental goals (biodiversity, water, circular economy), often going beyond RED's GHG-focused approach.
Deforestation-Free Products Regulation (EUDR) (2023/1115)	Mandates supply chain due diligence to ensure key commodities (soy, palm oil, wood, cattle, rubber, coffee, cocoa) and derived products are deforestation-free (post-Dec 2020).	Explicitly targets land-use change from deforestation and forest degradation , requiring precise geolocation data of feedstock origin. It is the only major policy in this scope with explicit social

		sustainability (human rights) provisions linked to indigenous communities.
Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) (2024/1781)	Establishes horizontal rules for product durability, repairability, and recyclability. It acknowledges the use of renewable/sustainable materials as a positive parameter.	Shifts focus to the final product's environmental performance , potentially rewarding the use of certified sustainable biomass in sectors like textiles or plastics as part of a product's overall sustainability score.
Green Claims Directive (Proposal, effectively paused)	Lays down rules for substantiating and communicating voluntary environmental claims (e.g., "made from sustainable biomass").	Demands robust, verified, and comparable evidence for any sustainability claim. This will raise the bar for the credibility of certificates and require stricter oversight of certification claims made to consumers.

バイオマスの持続可能性認証の意味合いにおける、ここで言及した政策文書と認証システムの比較表を「図 21」に示す。

認証スキームの相互関係と今後の方向性

これら一連の政策は、バイオマス認証の明確な方向性を示唆している。こうした状況の変化に伴い、持続可能性認証は、バイオエネルギーに特化したものから、バイオマスに関する分野横断的かつサプライチェーン全体に及ぶ要件へと進化している。EU 市場で効果的に機能する認証スキームとするためには、将来を見据え、複数の規制に基づく基準を統合していく必要がある。例えば、RED II への適合を証明する認証を取得していても、EUDR (EU 森林破壊防止規則) の森林破壊に関するデュー・ディリジェンス要件や、タクソノミー (EU 分類規則) における生物多様性に関する DNSH (環境に重大な害を及ぼさないこと) 基準を自動的に満たせるとは限らない。そのため、認証機関は、地理的位置情報の追跡、より広範な環境影響評価、社会的ガバナンスなどを含むよう監査範囲を拡大するよう求められている。一方で企業側は、全ての要件を満たすために生じる追加的な事務負担を懸念している。

Principle	Criterion	Mapping of Criteria / Indicators / Requirements to types of sources											
		EU Taxonomy	ESPR	Green Claims Directive	Deforestation-free Products Regulation	REDIII	ISCC PLUS	RSB	Better Biomass	REDcert	FSC	RSPO	International standards
MITIGATE GLOBAL WARMING	Exclude land with high carbon stock	✓				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
	Increase carbon stock on land					✓	✓	✓	✓	✓			✓
	Reduce GHG emissions	✓				✓	✓	✓	✓	✓			✓
	Use fertilisers efficiently	✓				✓	✓	✓	✓	✓			✓
	Create and apply a forest management plan	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Restrict the use of high iLUC-risk feedstock	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Use only low iLUC-risk feedstock	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PROTECT AND IMPROVE BIODIVERSITY	Exclude land with high biodiversity	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
	Take measures to maintain and improve biodiversity	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Minimize harvesting impacts on biodiversity				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Apply good practices for the use of plant protection products (PPPs) to protect biodiversity	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Apply good practices on integrated pest management to protect biodiversity	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Prohibition of highly invasive species	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Avoid depletion of surface or groundwater resources beyond replenishment capacities					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PROTECT AND IMPROVE WATER RESOURCES	Avoidance of hazardous chemicals	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Apply good practices for good use, storage, handling and disposal of (agro)chemicals	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Apply good practices for the use of plant protection products (PPPs) to protect biodiversity	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Take cleaning up measures in case of pollution	✓								✓			✓
	Good agricultural practices to protect and improve soil quality and productivity are taken	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PROTECT AND IMPROVE SOIL QUALITY AND PRODUCTIVITY	Avoid open air burning	✓					✓	✓	✓	✓		✓	✓
	Control or eliminate the use of dangerous chemicals and pesticides						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PROTECT AND IMPROVE SOCIAL JUSTICE	Compliance with human, labour and land rights				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Figure 21: Mapping matrix of criteria / indicators / requirements for biomass sustainability from different policy documents, certification systems, and international standards

カスケード利用

バイオマスに関する既存の持続可能性基準に加え、「カスケード利用」の原則は、バイオマスの持続可能な利用を最大化するための極めて重要かつ見落とされがちな手段である。政策上の議論では広く支持されているものの、その実践は依然として限定的であり、この原則を独立した重要な分野として認識する必要がある。その潜在能力を最大限に引き出すには、概念的な支持に留まらず、明確な指標を用いるなどして、測定可能な形で適用へと移行することが求められる。

カスケード利用に関する主要な論拠は、それが持続可能性の要である「資源効率」を向上させるという点にある。カスケード利用は、「バイオマスを可能な限り長く、繰り返し、かつ効率的に材料として利用し、製品ライフサイクルの最後にのみエネルギーとして回収する」戦略と定義されている（UBA, 2014）。このように段階的に利用すること（例えば、木造建築からパーティクルボードの製造へ、そして最終的にはエネルギー回収へと移行すること）は、バイオマス単位当たりから生み出される生産性と価値を高める。同じバイオマスを材料として繰り返し利用することで、森林や農地から新たな資源を採取する必要性が低減される。これは、より持続可能な土地管理に直接貢献し、生態系や生物多様性の保護を助け、バイオマスの配分をめぐる競争を緩和することにつながる。

気候変動の観点からは、カスケード利用は直接的なバイオエネルギー生産よりも優れている。木材のカスケード利用に関する LCA の研究によれば、多くの場合、エネルギー利用と

比較してカスケード利用の方が環境負荷は低くなる (Höglmeier et al., 2015)。その理由は、材料としての利用がしばしば「二重の代替効果」をもたらすからである。即ち、バイオベース製品はまず化石資源由来の製品（プラスチックやコンクリートなど）を代替し、製品寿命の終了時にエネルギーとして利用される際には化石燃料を代替する。Carus ら (2014) が述べているように、「材料利用によって達成される二重の代替効果を通じ、直接的なエネルギー利用の場合よりも、ライフサイクル全体でより多くの CO₂削減が可能になる」。更に、材料としての利用は一時的な炭素貯蔵の役割も果たし、製品の使用期間中は生物由来の炭素が大気中に放出されるのを防ぐ (Dammer et al., 2016)。

しかし、現在の政策的枠組みは、こうしたより持続可能なバイオマス利用のあり方を阻害している。RED (再生可能エネルギー指令) などの制度に基づく補助金やインセンティブは、バイオマスの直接的なエネルギー利用を優遇する「強力な市場介入」を生み出し、その結果、材料としての利用は「競争力を持ちにくい」状況に置かれている (Carus et al., 2015)。これは市場を歪めるだけでなく、バイオマスを単一かつ資源効率の低い用途に固定化させてしまい、カスケード利用（段階的利用）がもたらす大きな持続可能性上のメリットを失わせるものである。こうした障壁を克服し、カスケード利用の原則を実践に移すためには、確実な定量化手法が不可欠である。

こうした背景において、我々は nova-Institute が開発した「バイオマス利用係数 (BUF)」に注目している。これは、「カスケード利用 (バイオマスが何回利用されるか)」と「生産効率 (バイオマスのうちどれだけが利用されるか)」を単一の指標に統合したものである (vom Berg et al., 2022)。BUF が 1.0 を超える場合、そのバイオマスは平均して 1 回以上利用されたことを意味する。例えば、欧州の木材セクターにおける BUF は 1.51 だったが、ボトル用バイオ PET のような確立されたカスケード利用の事例では、4.97 という BUF を達成している。この指標を用いることで、政策立案者や産業界は、欧州委員会が近年求めている「カスケード利用の原則を真に尊重する」形でのパフォーマンス測定、目標設定、及び支援制度の設計が可能になる。こうした明確な指標を採用することで、カスケード利用という概念を、単なる理論上の理想から、持続可能なバイオエコノミーにおける測定可能かつ実行可能な要素へと転換できる。

最近のポジションペーパーの評価

現在進行中の「EU 包装・包装廃棄物規則 (PPWR : Regulation (EU) 2025/40)」に関する検討プロセスにおいて、化学品やプラスチック向けの持続可能なバイオマス利用という課題が重要な論点として浮上している。EU が経済の脱化石燃料化を目指す中で、バイオマスは極めて重要な再生可能炭素源となる。しかし、その利用を巡っては、持続可能性や調達、更には、既に明確なインセンティブ構造 (再生可能エネルギー指令 : RED) の下で運用され

ているバイオエネルギー部門との公正な競争といった、複雑な問題が生じている。

そのため、明確かつ整合性がとれ、かつ利用を後押しするような EU の政策的枠組みが必要とされている。最大の課題は、材料用途のバイオマスに関する持続可能性基準を、真の環境的便益を保証できるほど強固なものにしつつ、同時に、技術革新を阻害したり、化石資源由来製品やバイオエネルギー用途との競争に必要な規模拡大を妨げたりするほど過度に厳格或いは不均衡なものにしないという点にある。こうした状況を受け、この分野の複数の関係者がそれぞれの見解をまとめたポジションペーパーを公表している。以下では、Cefic (Cefic, 2025)、European Bioplastics (EUBP, 2025)、及び Renewable Carbon Initiative (RCI, 2025) の立場を概説する。

a) Renewable Carbon Initiative (RCI)

RCI の見解は、あらゆるバイオマス用途に適用される「横断的」な持続可能性基準の具体的な青写真を示すものであり、基準はインセンティブと結びついて初めて有効に機能すると主張している。RCI の主な提言は以下のとおり：

- ・ **RED III の採用と適応**：公平な競争条件を確保するため、化学品や材料に使用されるバイオマスの持続可能性基準の基礎として、RED III（再生可能エネルギー指令第 3 版）の第 29 条を活用することを強く支持している。但し、特に林業由来バイオマスに関しては、具体的な調整（例：基準日を EU 森林破壊防止規則と整合させること、過去の土地利用ではなく現在の管理慣行に重点を置くことなど）を求めている。
- ・ **基準とインセンティブの連動**：バイオ燃料のモデルと同様に、持続可能性基準は、市場を牽引するインセンティブや割当制度（quota）と連動する場合にのみ、法的拘束力を持つべきであると強調する。
- ・ **原料への上限設定の否定**：材料生産のための食料・飼料用作物の利用に上限を設けることに強く反対。食料不安を引き起こすという証拠はなく、これらの作物は高い土地利用効率と有用な副産物をもたらすと主張する。
- ・ **現実的な GHG 算定**：材料における GHG 削減量の算定はエネルギー分野よりも複雑であることを認め、一律の削減率目標を適用するのではなく、標準的な LCA 手法（ISO 14067 など）を用いて化石由来製品よりもカーボンフットプリントが低いことを示すといった、現実的なアプローチを支持する。

b) Cefic

Cefic の立場は、バイオマス由来プラスチックの利用を加速させるための明確な定義の策定

と、公平な競争条件の確保に重点を置いている。

Cefic の主な提言：

- ・用語の明確化：「バイオベース」（¹⁴C 測定による）と「バイオベース割当て」（認証されたマスバランス方式による割当て）の両方のプラスチックを包含する、包括的な新用語「バイオマス由来プラスチック」を提案。これは技術的中立性を確保することを目的としている。

- ・現実的な目標設定：PPWR における目標設定の検討を支持するが、目標は現実的であり、包括的な影響評価に基づき、かつバイオベースとバイオ割当ての両方のプラスチックを含むものであるべきだと主張する。

- ・持続可能性基準の調和：エネルギー部門と材料部門の間の公平な競争条件を確保するため、最終用途に係らず、バイオマスの調達において RED III（再生可能エネルギー指令第 3 版）第 29 条（2～7 項）の持続可能性基準を基礎として利用することを支持する。

- ・カスケード利用原則の現実的な適用：材料としてのバイオマス利用を競争力のあるものにするため、強制的な義務付けではなく、インセンティブ（需要喚起策や統合型加工施設への支援など）を求めている。

c) European Bioplastics (EUBP)

EUBP の立場は、業界の成長を確実にするために、持続可能性基準と強力な市場牽引型インセンティブを組み合わせる必要があると強く主張している。

EUBP の主な提言：

- ・ハードル（規制）より先にインセンティブを：持続可能性基準の導入は、バイオベース含有率の義務的目標、税額控除、資金調達へのアクセスといった市場牽引策とセットで行われるべきであると強調する。

- ・RED III 基準の適応：RED III（再生可能エネルギー指令第 3 版）第 29 条を基礎とすることを支持しつつも、具体的な適応・修正を求めている。バイオベースプラスチックについては、バイオ燃料に課されるような高い削減率の閾値を満たすことではなく、化石由来製品と比較して GHG 排出量が削減されることを実証するだけで良いと主張する。

- ・公平な競争条件の創出：エネルギー分野におけるバイオマスへの強力なインセンティブと、材料分野におけるインセンティブの欠如によって生じている大きな歪みを指摘する。カスケード利用の原則（エネルギー回収よりも材料利用を優先すること）を実現するため、あ

らゆるバイオマス用途に対して「同等の強力なインセンティブ」を求める。

- ・ バリューチェーンの関与：政策立案において、農家やバリューチェーン全体からの視点を考慮に入れるべきだと強調する。

各団体の立場における主な共通点：これら 3 つの団体は多くの重要な課題において、業界として概ね統一された姿勢を示しており、大きな共通点がある：

- ・ **RED III** を基礎とすることへの支持：3 団体全てが、材料利用における持続可能なバイオマスの定義の出発点として、**RED III** 第 29 条の持続可能性基準を用いることを明確に支持している。これは最も重要な共通点である。

- ・ 公平な競争条件の必要性：現在の政策枠組みが不均衡であるという点について、全会一致で合意している。

- ・ インセンティブの必要性：需要を創出し、支援を受けているバイオエネルギー分野との公正な競争を確保するためには、拘束力ある持続可能性基準と経済的インセンティブ（含有率の強制的目標など）を組合せる必要があると主張する。

- ・ カスケード利用の原則の支持：全ての団体がバイオマスのカスケード利用（価値と循環性を最大化するため、エネルギー回収よりも材料利用を優先する利用形態）に言及し、これを支持する。

- ・ 適応の必要性の認識：**RCI** と **EUBP** は共に、**RED III**（再生可能エネルギー指令第 3 版）の基準をそのまま流用できず、特に **GHG** 算定や林業の側面において、材料セクター向けに調整が必要であると明言している。

各団体の立場の主な違い

大まかな目標では一致しているが、それぞれ異なるニュアンスや重点を置いている：

- ・ **RCI** は、**RED III** を適応させるための最も技術的に詳細な枠組みを提示しており、林業に関する具体的な提案や、原料への上限設定に対する、証拠に基づいた強い反対の姿勢を示している。

- ・ **Cefic** は技術的中立性と正確な定義に重点を置き、関連する全ての技術を対象とした、明確かつ実用的な規制上の枠組み（「バイオマス由来プラスチック」）の構築を目指している。

- ・ **EUBP** の主な関心はバイオプラスチック産業の市場牽引と成長にあり、一貫して「新た

な障壁よりもインセンティブを」という視点で問題を捉えている。

・ 原料へのアプローチ：

o RCI は、食品・飼料用作物の利用を擁護する姿勢を最も強く、詳細に示しており、報告書の大部分を上限設定への反対論に割いている。

o EUBP も農業由来原料の利用に言及し、食料との競合を否定しているが、上限設定に関する詳細な議論よりも、規制の公平性に主眼を置いている。

o Cefic は本報告書において、食品作物への上限設定に関する議論には明示的に触れておらず、包括的な基準や定義に焦点を当てている。

・ 林業に関する詳細：

o RCI は、森林バイオマスに関する最も具体的な適応策を提示しており、基準日の変更や、既存の森林認証制度へのより大きな依存を提案している。

o EUBP と Cefic は RED III の林業基準を支持しているが、具体的な修正案の提示においては、そこまで詳細な議論には踏み込んでいない。

簡潔な結論：

バイオベース成分の含有目標を義務付けるに当たり、バイオマスの持続可能性認証に対する「信頼性のギャップ」が懸念されている。しかし、このギャップは認証制度の有無や技術的な厳密さの問題ではなく、むしろシステム的なガバナンスや市場の準備態勢に関するものである。潜在的なギャップとしては、ハーモナイゼーションと相互承認（主要な制度が同等に認められるか）に関する疑問や、監査の規模と完全性（義務化により対象量は大幅に増加するものの、バイオマス認証の全体的なプロセスは変わらないこと）などが挙げられる。

バイオ燃料向けバイオマス認証における 10 年に亘る広範な経験（RED によって確立されたもの）は、バイオベースプラスチックの義務化目標を達成するための強固な基盤となる。必要なシステム、基準、及び監査手順は既に存在している。それらをゼロから作り直すのではなく、新たなセクターに向けてそれらを活用することが政策上の課題となる。そのための具体的なアプローチは以下のとおり：

・ 既存基準の参照：法規制において、持続可能な調達の証明として、確立された（特定の用途に限定されない）スキーム（ISCC、RSB など）を直接参照できる。

・ 明確なコンプライアンス・シグナルの創出：義務化は「欠けていた要素」を埋める役割

を果たす。これにより、化学セクターにおける認証済みサプライチェーンへの投資を正当化する、安定した需要シグナルが生まれる。

・過去の教訓の活用：バイオ燃料の時代に得られたガバナンスの改善や教訓を政策に活かすことで、当初からより高いレベルの整合性を確保することが可能である。

適応による微調整：異なる政策文書間での規制要件の整合を図り、各用途分野において特別な配慮を要する変更点に対応する。可能であれば、バイオ燃料向けの既存システムを、バイオベースポリマーの原料となるバイオマスにも転用・適用すべきである。但し、エネルギー利用と材料利用では性質が異なるため（バイオベースプラスチックは、使用段階がより長く複雑であり、材料特性も多様で、廃棄後の経路も異なる）、技術的な調整が必要となる。こうした側面の多くは、進行中の取組み（例：製品環境フットプリント技術諮問委員会〔PEF TAB〕）で既に検討されている。具体的には、LCA における生物起源炭素の吸収量の算定や、比較しベンチマークの対象となる「比較対照品」の選定に伴う複雑さといった、手法上の課題などが含まれる。

簡潔に言えば、活況を呈している認証制度の状況は弱点ではなく強みと言える。政策立案者は、実証済みのツールが既に存在するという事実には自信を持つことができる。課題はむしろ、それを新たな戦略的目標に適用することにある。

タスク 4: プラスチック包装におけるバイオベース原料の利用拡大に向けた目標設定の実現可能性評価を支援するデスクリサーチ

受託者は、プラスチック包装におけるバイオベース原料の利用拡大に向けた目標設定を行うため、利用可能なエビデンス（当該トピックに関する学術・技術文献など）や定量的データを収集・分析する。これに加え、リサイクル及び回収の選択肢に関する環境的・技術的特性の分析（タスク 2 を参照）や、プラスチック包装におけるバイオベース原料利用の促進要因及び阻害要因の分析も行う。本タスクでは、プラスチック包装に関してバイオベース原料の利用目標を設ける可能性について検討し、世界及び EU 双方の視点を網羅する。

脱化石燃料化にはバイオベースプラスチックが必要

報告書『2050 年のネットゼロ化学産業の将来に関する最近の報告書の評価』は、2050 年までに化学・プラスチック産業のネットゼロ（温室効果ガス排出実質ゼロ）達成を見込む 15 の研究から 24 のシナリオを評価している（Harrandt et al., 2024）。この分析では、世界の化学品生産は今後も拡大し、2050 年の世界的な原料需要は 2020 年比で 2.4 倍に増加すると予測されている。この拡大の大部分は欧州以外で起こると見込まれており、欧州における原料の取扱量は横ばいで推移すると予想されている。プラスチック生産においてネットゼ

ロを達成するには、業界は原料の大幅な転換、いわゆる「脱化石燃料化」を経る必要があると予測されている。全シナリオの平均において、主要な再生可能炭素源は、バイオマス(21%)、炭素回収・利用(CCU: 17%)、リサイクル(42%)であり、残りの19%は炭素回収・貯留(CCS)を伴う化石燃料由来の炭素源となっている(図22)。

全てのシナリオにおいて、原料の供給は、バイオベースの化学品及びプラスチックに対する需要の増加に依存している。7つの報告書に基づく10のシナリオにおいて、2050年時点でのプラスチックに占めるバイオベースの割合は10%から30%の範囲にある(図23、データの中央50%の範囲)。

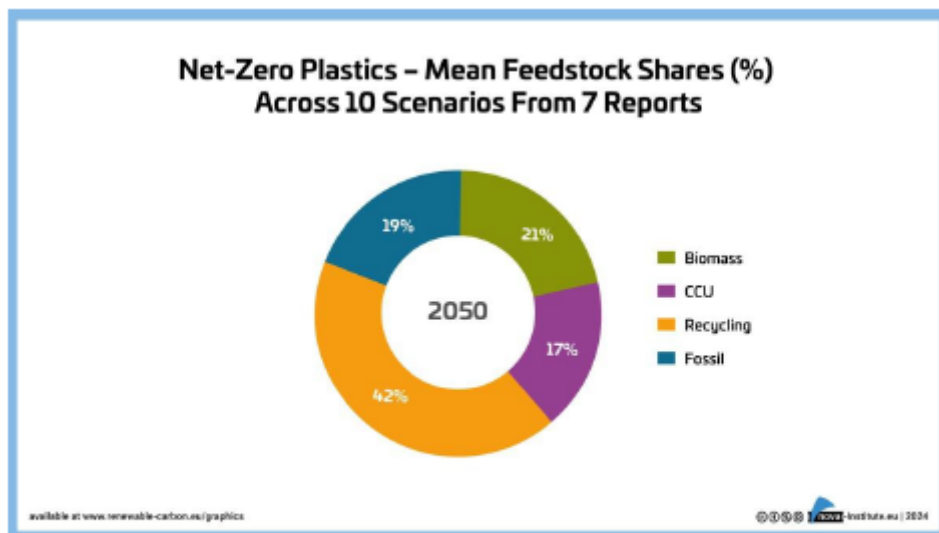


Figure 22: Mean feedstock shares for the 2050 net-zero plastics sector, derived from 10 scenarios across 7 reports (Harrandt et al., 2024)

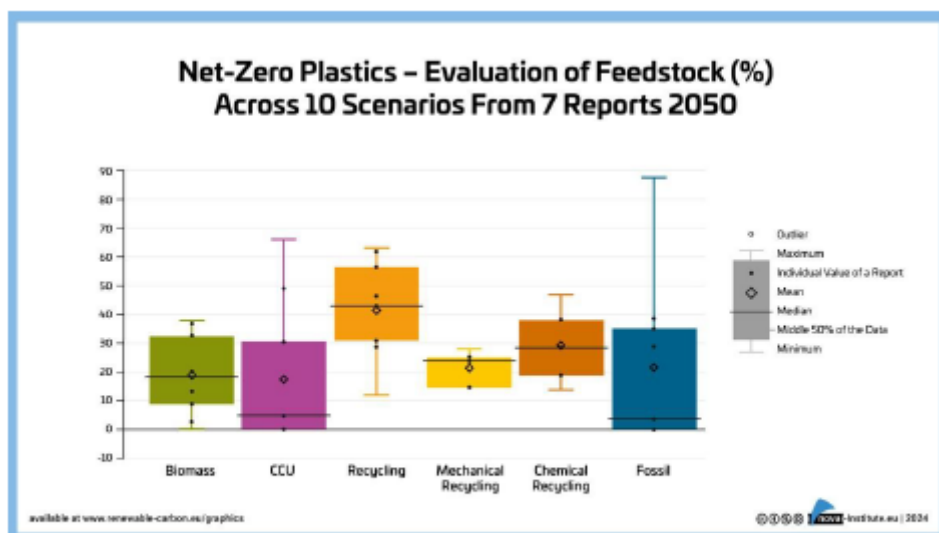


Figure 23: Mean feedstock shares projected for the 2050 net-zero chemical industry, based on 16 scenarios across 9 reports. (Harrandt et al., 2024)

バイオベースプラスチック包装及びその他の分野における目標

多くの国や地域のバイオエコノミー戦略には、大局的かつ野心的な目標が盛り込まれている。しかし、バイオベース産業を推進するための具体的かつ定量的な割当や目標を定めているものはごく僅かである。以下に、本プロジェクトの枠組みの中で確認された事例をいくつか挙げる。

- ・ マレーシア：国家バイオテクノロジー政策 2.0 は、2030 年までに GDP の 5% を貢献するという目標を掲げている。「バイオテクノロジー企業による国内総生産（GDP）への 5% の貢献」（Malaysia Bioeconomy Development Corporation, 2022）。

・ オランダ：オランダのプラスチックに関する移行アジェンダでは、2030 年までにリサイクル材及びバイオベースプラスチックの比率を、それぞれ 41%及び 15%に引き上げる計画を立てている。これは、現在のシェア（リサイクル材約 9%、バイオベース約 1%）と比較して大幅な増加となる。インフラ・水管理省は CE Delft に対し、リサイクルプラスチックやバイオベースプラスチックの含有率を義務付けることが目標達成にどの程度寄与し得るか、またその環境的・経済的影響はどのようなものかについて調査・評価するよう依頼した（CE Delft, 2022）。

・ 欧州委員会（2021 年 12 月）：「化学製品及びプラスチック製品に使用される炭素の少なくとも 20%は、2030 年までに持続可能な非化石由来の供給源から調達されるべきである。その際、EU の生物多様性及び循環型経済の目標、並びにバイオベース、生分解性、及び堆肥化可能なプラスチックに関する今後の政策枠組みを十分に考慮するものとする」（European Commission, 2021）。

・ 再生可能炭素イニシアティブ（RCI）：再生可能炭素及び脱化石化の目標という意味合いで、様々な課題について議論を行った（vom Berg et al., 2025a）：

○ 「現実的な初期目標の設定：産業界が再生可能炭素の目標へと移行できるようにするため、割当量は現在の状況（現状）に近い水準から開始すべきである（例：EU の化学産業全体では 5.5%）。」

○ 目標を段階的に引き上げる：エネルギー・燃料部門や CCS（二酸化炭素回収・貯留）の事例に倣い、EU は 2050 年のビジョン達成に向け、単なる段階的引き上げに留まらず、よりきめ細かな（例えば年次ごとの）マイルストーンを設けるなど、きめ細やかな目標設定を検討すべきである。目標は明確な方向性を示す一方で、5 年ごとの設定では、企業が生産量を急激な目標引き上げに対応させることが難しく、供給過剰や供給不足を招く恐れがある。

○ 野心的な目標設定も可能：再生可能炭素を原料として確保する上で競合関係にある航空業界では、持続可能な航空燃料（SAF）について、既に野心的な目標が導入されている。これらの目標は 2030 年に 6%から始まり、2050 年には 70%へと段階的に引き上げられるものであり、再生可能炭素の利用に関して実質的な目標を設定することが実現可能であることを示している。但し、SAF 目標の策定から得られた教訓（例えば、短期的な供給過剰に対処するための柔軟性確保の仕組みなど）を活かすべきである。

バイオベースプラスチック包装に関する割当（quota）策定のための手法

PPWR 及び廃車（ELV）規則（欧州委員会、2023 年）において、バイオベースプラスチッ

クの将来的な割当量が初めて議論されている。これらの割当量は、将来的に他の分野における指針（ブループリント）となる可能性がある。本章では、既存の再生材使用目標との整合性を考慮しつつ実現可能な割当量を導き出すための知見を提供し、他分野での再生可能炭素目標設定のひな型となることで、この策定プロセスを支援することを目的としている。以下のセクションでは、バイオベース含有率の目標をどのように決定・策定し得るかという手法上のアプローチを示すために作成された、妥当性のあるシナリオを提示する。なお、これは完全に適用済みの定量的手法に基づくものではない。

PPWR における適切な割当量を特定する手順

ステップ 1：2040 年に向けたリサイクル目標／割当量を定めた既存の規制

例：PPWR、2040 年以降の包装におけるリサイクル材最低含有率の割当て

PPWR の場合、プラスチック包装に関するリサイクル材最低含有率については、2030 年及び 2040 年を対象年とし、かつプラスチック包装の種類ごとに具体的な目標が既に決定されている。

Table 11: Recycled content targets envisioned by the PPWR for 2040

Packaging Type	Minimum Recycled Content, 2040	Remaining non-recycled content (Fossil, Bio, CO ₂), 2040
PET packaging (food contact)	50%	50%
Other plastics (food contact)	25%	75%
Single-use plastics drink bottles	65%	35%
Other plastic packaging	65%	35%

ステップ 2：2040 年以降の妥当なバイオベース及び CO₂ 由来の目標

2050 年までの完全な脱化石燃料化を目標とする場合でも、2040 年の時点では包装に一定量の化石由来プラスチックが残存することになる。リサイクル率が高い用途では、2050 年のネットゼロ達成に向けた軌道として、2040 年時点でバージン化石由来プラスチックの含有率を 10%に抑えることは達成可能と考えられる。一方、リサイクル率が低い用途では、化石由来プラスチックの残存率を 20%とすることが現実的であると考えられる。この残存分（化石由来以外の部分）の内訳は、80%をバイオベース（バイオベース CO₂及び DAC を含む）、20%を CO₂由来（化石燃料由来の固定発生源）とする。これは、CCU（二酸化炭素の回収・利用）技術のスケールアップに関する予測スケジュールに基づく現実的であると思われる。食品接触用途においてバイオベースの割合を高く設定することは合理的である。なぜなら、メカニカルリサイクルと比較し、バイオベース材料を用いる方が容易に目標を達成できるからである。

Table 12: Suggested, as reasonable considered targets for bio-based and CO₂-based packaging, complementing the recycled content targets of PPWR in 2040

Packaging Type	Remaining non-recycled content	Bio-based	CO ₂ -based	Virgin fossil
PET packaging (food contact)	50%	24%	6%	20%
Other plastics (food contact)	75%	44%	11%	20%
Single-use plastics drink bottles	35%	20%	5%	10%
Other plastic packaging	35%	20%	5%	10%

ステップ 3：バイオベース含有率の目標 — 2024 年を出発点とし、2024 年から 2040 年にかけて割当量を直線的に増加させる 2030 年及び 2035 年に向けた目標値（割当）

現在の推定では、市場におけるバイオベースプラスチックのシェアは約 1%であり、これはバイオベース包装にとっても現実的な出発点となる。2024 年の既存データから直線的に数値を拡大させることで、2040 年の目標を達成できるという前提を置くことができる。これは利用可能な選択肢の一つである（表 13 参照）。もう一つの選択肢は、当初は緩やかだが、急速に加速して高い成長率に至る「指数関数的な成長」の軌道である。どちらの選択肢にも利点と欠点がある。割当量の指数関数的な増加は、新規市場における生産能力増強のための新たな投資と整合する可能性がある。一方、割当量の直線的な増加であれば、当初は（世界的な生産能力が十分であるため）輸入で対応し、その後、生産能力の増強に伴って国内生産のシェアを高めていくことになる。このアプローチは、ネットゼロ目標との整合性がより高いと言える。「ReFuelEU Aviation」における SAF（持続可能な航空燃料）の割当制度では、5 年ごとの段階的な引き上げにより、需給の不一致や過剰生産能力、或いは急激な需要増に伴う早期の過剰生産といった問題が生じた。こうした教訓を踏まえ、変動を平滑化し、投資の確実性を高め、変化する市場ニーズと供給をより適切に整合させるためには、年次目標のような、よりきめ細かなマイルストーンを検討すべきである（vom Berg et al., 2025a）。

Table 13: Conceivable bio-based plastics packaging targets

Packaging Type	2024	2030	2035	2040
PET packaging (food contact)	1%	8%	15%	24%
Other plastics (food contact)	1%	10%	25%	44%
Single-use plastics drink bottles	1%	5%	12%	20%
Other plastic packaging	1%	5%	12%	20%

ステップ 4：どのバイオベース／バイオ割当てプラスチックを割当量の対象とするか？ また、その算定方法は？

バイオベース含有量をどのように算定するかについては、いくつかの検討事項がある：

- ・ バイオベース含有率が最低 20%のバイオベースプラスチックについて、その全量を対象とするのか、それともバイオベース含有量に相当する部分のみを対象とするのか？ いずれの場合も、確実な認証制度に基づいた運用が可能である。

- ・ 次に、バイオベースプラスチック、バイオ割当てプラスチックに、信頼できる認証システム（ISCC、RedCert、RSB など）に基づいた「バイオプラスチック（マスバランス方式によるもの）」も対象となり得る。

- ・ バイオコンポジットについては、プラスチック部分のバイオベース含有率だけでなく、天然繊維やセルロース繊維のバイオベース含有率も考慮すべきである。これらも化石由来プラスチックの代替となり得るためである（自動車産業や包装分野で特に重要）。

ステップ 5：持続可能性基準

- ・ RED（再生可能エネルギー指令）におけるバイオ燃料の取扱いと同様に、持続可能な原料であることを証明する認証を受けたバイオベース材料、バイオ割当て材料、又は天然繊維のみを、含有率目標の対象とすべきである。これらの基準は、既存の RED III の基準をベースにしつつ、RCI のポジションペーパー（RCI, 2025）などで詳述されている関連要件に合わせて更に調整・策定されるべきである（詳細はタスク 3 も参照）。

ステップ 6：EU 域内での生産か？

欧州における「戦略的自律性」への関心が高まる中、バイオベース含有率目標の達成において、EU 域内で生産されたバイオベース材料、バイオ割当て材料、又は天然繊維をどの程度使用すべきかという点が課題となる。

現実的に考えると、2030 年や 2035 年といった早期の目標に向けた割当量は、主にアジアで生産されたバイオベース／バイオ割当てプラスチックによって達成される可能性が高いだろう。EU 域内に生産拠点を整備し、輸入からの代替を現実的なものにするには約 10 年を要するからである。

即ち、このことは：

割当量の達成に輸入を認めるか、或いは、割当量を EU 域内生産分のみに限定するのであれば、ステップ 3 で算出された数値よりも大幅に低い目標値を設定する必要がある。そうしない場合、成長は直線的には進まず、当初は緩やかで、後になって加速する形を取らざるを得ない。実務的には、当初は輸入に依存しつつも、EU 域内での生産体制構築に関する明確な要件を伴う段階的なシステムが検討されるかもしれない。

プラスチック包装におけるバイオベース原料利用の促進要因と障壁

プラスチック包装の原料を化石由来からバイオベースへと転換するプロセスは複雑であり、持続可能性を推進する要因と、経済的・政策的な大きな障壁が複雑に絡み合っている。この相互関係を理解することは、グリーン包装の未来にとって不可欠である。

主な推進要因：「押し進める」要因

バイオベース包装への機運は、環境面での喫緊の課題、市場での魅力、そして循環型経済の戦略的目標という、複数の要因が組み合わさることで高まっている：

- ・ 持続可能性と気候変動対策：材料のカーボンフットプリント削減という喫緊の課題が、主要な推進要因となっている。バイオベースプラスチックは、化石由来の炭素を再生可能炭素に置き換えるものであり、気候変動への直接的な対策となるとともに、経済システムの脱化石燃料化に寄与する。また、化石燃料由来の原料への依存を減らすことは、自律性や戦略的な強靱性向上にもつながる。これに加え、環境に優しく毒性の低い化学プロセスやバイオテクノロジーの開発も進められており、これらは従来の石油化学的手法よりも持続可能性が高い場合が多くある。

- ・ 消費者からの好意的な認識：バイオベース製品は、最終消費者から明確に好意的に受け止められている。こうした市場の需要は、企業がサステナビリティ戦略の一環としてバイオプラスチックを採用する後押しとなり、競争優位性をもたらす (Partanen et al., 2020)。

- ・ 循環型経済の実現要因：バイオベースの原料は、循環型経済における真の有機循環を確立・強化するために不可欠である。堆肥化可能な設計にすることで、止むを得ず食品廃棄物が付着してしまう包装であっても、その栄養分を土壌に還元することが可能となり、マテリアルリサイクルの仕組みを補完することができる。

- ・ 原料の可用性と多様性：土地利用効率の高い「第一世代」の作物を含め、利用可能な原料の選択肢は多岐に亘る。更に、非食用作物、リグノセルロース系副産物（木材チップなど）、生物由来廃棄物を活用することで、「食料か燃料か」という懸念を緩和し、未利用資源を有効活用できる。こうした取組みは、持続可能性認証制度によって支えられる。

主な障壁：「妨げる」要因

強力な推進要因があるにも係らず、特に政策や経済の面での大きな課題が、広範な普及を妨げている：

- ・ 政策・規制の不備：支援的な政策枠組みの欠如が大きな障壁となっている。義務化や補助金の恩恵を受けているバイオ燃料と比較し、公平な競争条件が整っていない。更に、需要創

出に向けた政策支援（例：バイオベース成分の含有率に関する割当制度など）の欠如や、「カスケード利用の原則」の法的強制力がないことにより、バイオマスは単発的なエネルギー用途に回されることが多く、より付加価値の高い材料用途にとって不利な状況が生じている（vom Berg et al., 2025a）。

- 社会的・環境的懸念：食料作物との競合の可能性や、土地及び生物多様性への負荷について NGO や政策立案者が懸念を抱くのは最もなことである。食料安全保障の観点から見ると、産業用作物の栽培は予想されるほどのリスクではなく、むしろ緊急時の備蓄として機能するなど、この点において有益となり得る（vom Berg et al., 2025b）。非食料系原料が解決策となり得る一方で、大規模なバイオマス栽培に伴うリスクや認識の問題は、特に欧州において、一般市民や政治的な受容を得る上での大きな障壁となっている。

- 経済的競争力：バイオベース原料は通常、確立された化石由来の代替品よりも高価である。また、生産者は、1 世紀に亘る歴史を持つ石油化学産業が享受している規模の経済に対抗することができない。多額の初期投資コストを回収するには、安定的かつ予測可能な政策環境が必要だが、現状ではそれが欠如している。

- 循環型システムへの統合：バイオベース包装の市場シェアが小さいため、回収・選別・リサイクルのためのインフラがまだ大規模に整備されていない。これにより、「鶏と卵」のような問題が生じている。即ち、製品の廃棄段階の処理に関する解決策の欠如が成長を阻害し、一方で成長の遅さが新たなリサイクル・ルートへの投資を正当化しにくくしている。

タスク 5：「バイオベース成分含有率目標」と「リサイクル成分含有率目標」との間の同等性に関する実現可能性評価を支援するためのデスクリサーチ

受託者は、バイオベース成分含有率目標とリサイクル成分含有率目標との間に同等性を持たせることが可能かどうか、またそれをどのように運用できるか（バイオ廃棄物の役割を含む）を評価するために、利用可能なエビデンスを収集する。その際、化石由来プラスチックと同様に、選別及びリサイクルに関する課題についても検討を行う。

プラスチック包装におけるバイオベース成分とリサイクル成分の目標設定の同等性評価

プラスチックに関するネットゼロ及び循環型経済への移行には、包装に使用される炭素の「脱化石燃料化」を根本的に進める必要がある。リサイクル成分の利用拡大は主要かつ極めて重要な戦略だが、化石由来炭素を代替するために必要な規模を達成するには、それを補完する多面的なアプローチが求められる。バイオベース成分とリサイクル成分の目標設定において同等性を確立することは、可能であるだけでなく必要不可欠であると示唆される。なぜなら、これら双方向のアプローチがいずれも、持続可能な炭素循環という包括的な目標の

達成に寄与するからである。

基本原則：炭素の循環性と、補完的な原料の必要性

EU の「持続可能な炭素循環」に関する政策文書や産業界のネットゼロ・ロードマップといった施策の核心的な目的は、化石由来炭素を持続可能かつ循環型の炭素源へと置き換えることにある。メカニカルリサイクルへの単一的な注力は極めて重要であるものの、以下のような構造的な限界に直面している：

技術的・品質的制約：メカニカルリサイクルには、ポリマーの劣化、不純物の混入、多層包装の複雑さといった固有の制約があり、結果としてダウンサイクル（品質低下を伴うリサイクル）を招くことになる。

供給量の制約：高品質なリサイクルプラスチックの供給量は、バージングレードの適用が求められる用途の総需要を満たすには、現在もそして将来的にも不足しており、図 24 に示されるような「リサイクル・ギャップ」が生じている。

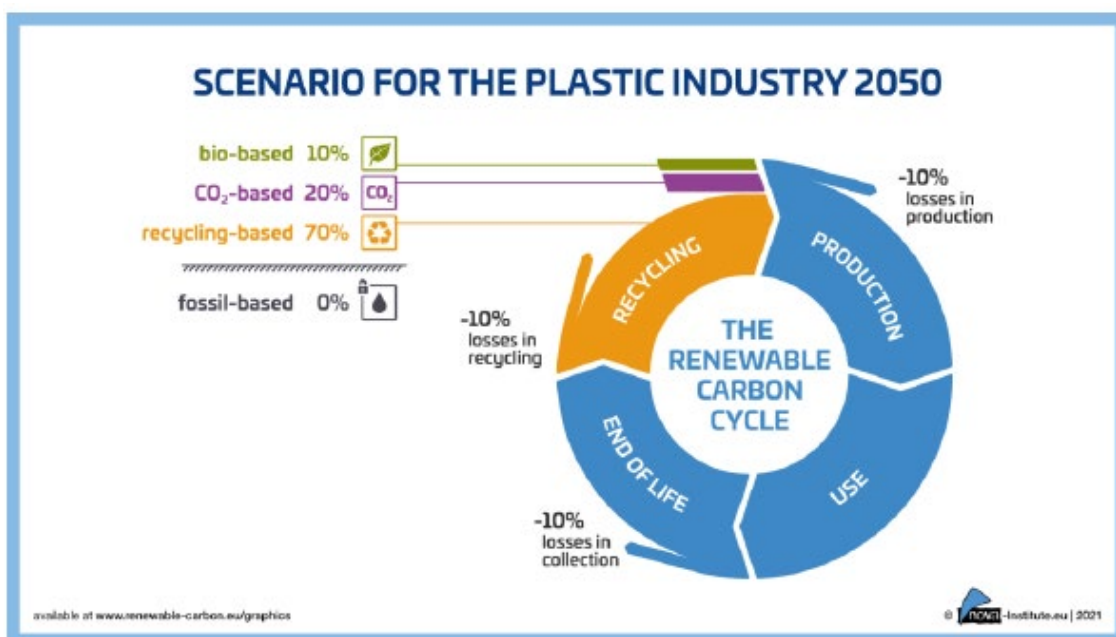


Figure 24: Scenario for the plastics industry 2050

従って、リサイクルのみに依存する戦略では、完全な脱化石燃料化（脱化石資源化）を達成するには不十分である。供給の安定性を確保し、気候変動に関する目標を達成するためには、リサイクル由来原料、バイオベース原料、そして炭素回収・利用（CCU）を組み合わせた「ポートフォリオ・アプローチ」が不可欠である。持続可能な方法で管理されたバイオマスから作られるバイオプラスチックは、化石由来炭素の直接的かつ拡張性のある代替手段と

なり、効果的に炭素循環を完結させ、持続可能な炭素サイクルを実現する。これらの選択肢はいずれも、化石由来バージン原料を直接代替するものであり、炭素に依存する産業の脱化石資源化を可能にする。

同等性に関する議論：多角的な評価基準

バイオベース原料とリサイクル由来原料の「同等性」とは、両者が全く同じであることを意味するのではなく、共通の政策目標に向けて、同等の、かつ相互に補完し合う便益をもたらすことを指す。以下の表は、この評価における主要な基準を概説したものである。

表 14：リサイクル由来原料とバイオ由来原料の同等性に関する議論の多基準評価

論点	リサイクルベース	バイオベース	コメント
リサイクル適性	あり（メカニカルリサイクル材の品質や有害物質の蓄積による制限あり）	あり（90%が熱可塑性プラスチックであり、メカニカル・ケミカルリサイクルが可能）	両方のマテリアルストリームは基本的にリサイクル可能である。課題（リサイクルによる品質低下やバイオ由来品の選別など）は技術的なものであり、インフラや設計の改善によって対処可能であり、本質的な不適格要因ではない。
完全な循環型経済における役割	技術的サイクルにおいて不可欠	不可欠（特に有機サイクルを含む場合）	循環型経済の定義に拠る。定義に有機サイクルが含まれる場合、バイオ由来原料が必要となる。
持続可能な炭素サイクルにおける役割	あり（既存の炭素を循環させ続ける）	あり（再生可能炭素をシステムに導入する）	双方が不可欠である。リサイクルだけでは炭素サイクルを完全に閉じることができない。SCC（持続可能な炭素サイクル）に関するコミュニケーションで概説されているように、完全な脱化石燃料化と炭素サイクルの完結には、バイオベース（及びCCU）による「新たなバージン」の再生可能炭素が必要となる。
バージン化石資源への依存低減／脱化石燃料化に必要なか？	あり（バージン化石原料を直接代替する）	あり（バージン化石原料を直接代替する）	双方が必要である。炭素及びプラスチック包装のリサイクルにおけるギャップを化石ベース炭素で埋めることを避けるために、バイオベース炭素が不可欠である。
バージン化石資源	あり、大きい（約 30	あり、大きい（約 30～	どちらの経路も、化石資源を基準と

源と比較した GHG 排出削減効果	～70%)	40%)	した場合、実質的かつ同等の GHG 削減効果をもたらす。正確な数値は技術に依存するが、方向性と規模はいずれもプラスである。
重要な環境的側面	メカニカルリサイクル:有害物質の蓄積、品質低下	生物多様性及び土地利用の問題	どちらも特有の環境的トレードオフがある。賢明な政策は、化石資源由来の排出回避を評価しつつ、各経路の特定のリスクを軽減する適正規範を奨励する。
食品包装（特に安全性が求められる用途）への適用可能性	メカニカルリサイクル：なし ケミカルリサイクル：あり	あり	この点において、バイオベースプラスチックは現在、重要な優位性を有している。安全規制によりメカニカルリサイクル材の使用が制限される食品直接接触用途であっても、バージン材と同等の品質の材料を提供できるためである。これにより、こうした極めて重要な用途において、バイオベースプラスチックはケミカルリサイクルと同等の役割を果たすことが可能となる。
有害成分（可塑剤、添加剤）の蓄積	メカニカルリサイクル：あり、重要な課題 ケミカルリサイクル：有害物質を分解可能	なし、「白紙の状態」を実現し、過去の残留物質を含まない	バイオ由来素材は、メカニカルリサイクル工程における有害物質の蓄積という懸念の高まりに、根本的な解決策をもたらす。これらは長期的に見て、材料の循環を「クリーン」にするのに役立つ。ケミカルリサイクルで全ての有害物質を分解できるかどうかは、技術に拠る。
メカニカルリサイクルの限界を克服するための追加のオプション	ケミカルリサイクル：あり、複雑な廃棄物ストリームにも対応可能	- あり、有機循環を組み合わせることで - バイオベースのケミカルリサイクル：あり	バイオベース原料とケミカルリサイクルはどちらも、メカニカルリサイクルの限界に対する、並行かつ補完的な解決策となる。
バージン材と同等の品質を実現する能力	ケミカルリサイクルのみ	あり	バージン材と同等の品質（例：高性能用途、食品グレード）が求められる用途において、認証を受けたバイ

			オベースプラスチックとケミカルリサイクルの生成物は、機能的に同等である（また、こうした用途では、品質に制約のあるメカニカルリサイクル材よりも優れている）。
政策・業界による受容性	メカニカルリサイクル：高い ケミカルリサイクル：拡大中だが、評価は分かれる	評価は分かれる（懸念は主に原料の問題に向けられることが多い）	受容性は流動的な要素である。同等性を確立する政策的枠組み自体が、化石燃料に依存しないあらゆる解決策の受容を促進する強力なツールとなるだろう。
消費者による受容性	評価は分かれる（品質や「廃棄物」に対する懸念）	一般に好意的（「自然」「再生可能」といったイメージ）	消費者の認識は現在バイオベース材料に好意的であり、リサイクルを推進する規制の動きを補完しつつ、脱化石燃料化を加速させる市場主導の原動力となり得る。

相乗効果を生む枠組みとしての「再生可能炭素」

持続可能な炭素サイクルを実際に機能させるためには、政策立案者は個別の目標設定に留まらず、脱化石資源化への高いレベルでのコミットメント（化石由来原料の削減確保）と、柔軟な遵守システムの双方を考慮する必要がある。例えば、より広範な「再生可能炭素含有量」という目標を、認証を受けたリサイクル由来原料とバイオベース（及びCCU由来）原料を組み合わせることで達成できる可能性がある。これにより相乗効果が生まれ、システム全体に関わる課題への対処が可能になる。また、野心的なリサイクル目標を確実にしつつ、同時にバイオベース（及びCCU由来）の選択肢のための先導的市場を創出するような、全体目標と具体的な個別目標を組み合わせることも考えられる。航空燃料（SAF）について設定された目標は、こうした規制の最近の事例と言える。

補完的な機能的役割：それぞれの経路は同一ではないが、特定のニーズに対しては機能的に同等である。バイオプラスチックは、食品接触包装材料など、厳しい安全規制が求められる用途において重要な利点を提供する。即ち、メカニカルリサイクル材の使用が制限されがちなこうした分野において、バージン材と同等の品質を持つ材料を提供できる。更に、バイオベース材料は「汚染のない出発点」としての特性を持ち、リサイクル・ストリームにおける有害物質の長期的な蓄積を防ぐのに役立つ。

バイオ廃棄物の重要な役割：この同等性を実現する上で、バイオ廃棄物は不可欠な存在である。バイオ廃棄物は、高度なバイオプラスチックの重要な原料となり、食料供給網との競合

を回避しつつ、原料の循環性を最大化することを可能にする。同時に、堆肥化適格性認証を受けたバイオベース包装は、バイオ廃棄物と共に有機リサイクル・ルートに組み込むことが可能である。これにより、耐久性プラスチックを対象とする技術的リサイクル・ルートを補完する、機能的かつ新たな循環経路が創出される。

規模拡大における食用作物の重要な役割：非食用作物や廃棄物由来の原料は、長期的には重要であり、社会的なイメージも良好だが、バイオベースプラスチック産業を拡大していく上では、現時点において砂糖やデンプンといった「第一世代」の食用作物が不可欠であることを認識する必要がある。包装用途に適した主要なバイオベースポリマー（ポリ乳酸（PLA）やバイオ PET など）の多くは、これらの作物から製造されている。食用作物の利用が基盤となる理由は以下のとおり：

- 確立された規模と効率性：食用作物は、高収量かつ強固な物流網を備えた、効率的で確立された農業システムの恩恵を受けており、化学産業が必要とする大量かつ安定した原料供給を可能にする。

- 技術プラットフォーム：これらは、先駆的なバイオリファイナリーにとって主要かつ経済的に最も実現性の高い原料であり、より高度な非食料系原料への道を開く初期の市場開拓と技術進歩を可能にする。

責任ある政策においては、これらの原料を一律に排除するのではなく、むしろ厳格な持続可能性認証を確保すべきである。それにより、規制された市場において、森林破壊や生物多様性の損失、或いは食料供給との直接的な競合を引き起こすことなく調達されるようにする必要がある。

システム統合の管理：バイオベースプラスチックをリサイクルプロセスに組み込むことは、管理可能な課題である（タスク 2 の関連箇所も参照）。「ドロップイン」型のバイオベースポリマー（バイオ PE やバイオ PET など）は、既存のメカニカルリサイクルプロセスと完全に適合する。その他のバイオプラスチックについても、高品質なマルチポリマー・リサイクル・ストリーム（混合プラスチックのリサイクル工程）に求められる高度な選別技術（近赤外分光法など）を用いることで、効果的に選別することが可能である。これは、高度なリサイクル・システムへのインフラ投資が、リサイクル材とバイオベース材の双方に利益をもたらすことを示している。

バイオベース材とリサイクル材の政策的な同等性を確立することは、プラスチック包装の脱化石燃料化を加速させるための、現実的かつ科学的根拠に基づいた戦略である。バイオベース材料とリサイクル材は表裏一体の関係にある。一方は炭素の技術的サイクルを最適化

し、もう一方は生物学的サイクルを維持するものである。その双方の価値を認識することで、EU は相乗効果を活かし、資源の安全保障を強化するとともに、より強靱で真に循環型のプラスチック包装セクターが構築できる。

参考資料リスト（略）

付録 II - 製造プロセス、原料の必要量、土地及び水利用に関する詳細

Excel 文書（付録 I）列 R には、ポリマー1 トンを製造するために必要な各原料の量（トン）が示される。製造プロセス、作物から原料（デンプン、糖など）に至るまでの必要量、及びそれに関連する土地・水利用の要件については、ハノーファー応用科学大学のドイツ・バイオプラスチック・バイオコンポジット研究所（IfBB、2025 年）による詳細な調査に基づき記載される。同調査における詳細さの例を図 25 に示す。

2.1 Bio-based polyesters

2.1.1 Polylactic acid (PLA)

Bio-based content: 100 %

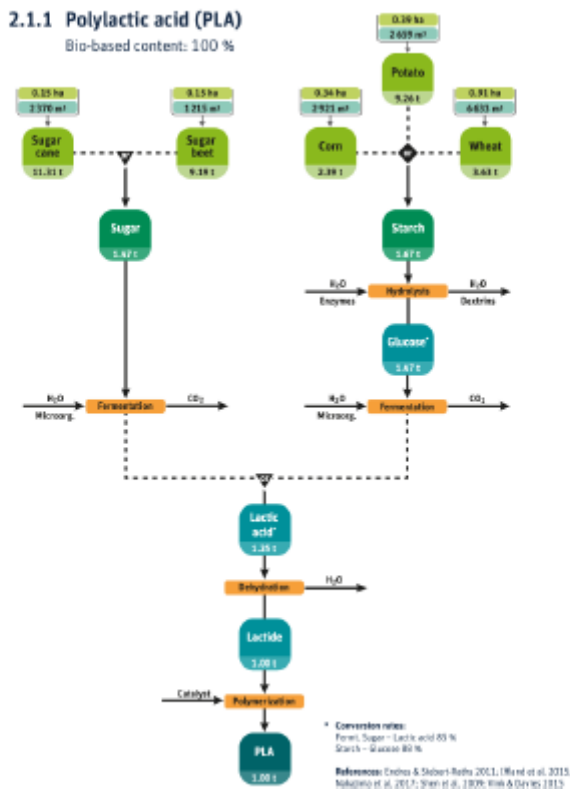


Figure 25: Pathways for bio-based PLA from different biomass feedstocks, with details on processing routes, feedstock needs, land and water use (IfBB 2025)

この調査の強みは、製造プロセス及びそれに関連する土地・水利用に関するデータにある。同調査は、バイオベースポリマー1kg の製造に必要な土地面積が、ポリマーの種類によって大きく異なることを示している。なお、同報告書には生産能力に関する情報も含まれている

が、それらのデータについては、我々の報告書（Skoczinski et al., 2025）に記載されるデータよりも信頼性が低いと判断している。その主な理由は、IfBB が主に学生やプレスリリースの分析を通じて作業を行っているのに対し、nova は幅広い生産企業と直接つながる専門家のグローバルネットワークを有しているためである。こうした経緯から、欧州バイオプラスチック協会は過去に、IfBB のデータベースから我々のデータへと参照先を切り替えている。

附属書 III - バイオマスに関する選定された 7 つの持続可能性認証制度の詳細

Bonsucro

サトウキビの認証

Type of Framework

Standard

Policy

Operating/In force since

2008

Legally Binding





Raw materials covered

Bonsucro is the leading global sustainability platform and standard for sugarcane, including production, processing and trade. The 'Bonsucro EU-RED Standard for Compliance with the EU Renewable Energy Directive Requirements' (also referred to as Bonsucro EU-RED Standard) has been designed as a voluntary add-on to the Bonsucro standards. The Bonsucro EU-RED Standard defines how, under certain conditions, sugar cane millers and their supplying area as well as supply chain operators are able to comply with the requirements in the EU Directive 2018/2001/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). This Directive specifies sustainability requirements for biofuels, bioliquids and biomass fuels in the European Union.

Products covered

The Bonsucro Production Standard applies worldwide to any sugarcane mill and their supplying area wishing to sell sugarcane derived products as Bonsucro certified and make related claims. The Chain of Custody (ChOC) Standard relates to the supply of a product, including all stages from feedstock production up to consumptions. It's proof that sourcing and trading responsibly, allowing you to make sustainability claims about sugarcane sourcing.



Table 15: Mapping of relevant sustainability criteria for biomass covered by Bonsucro

Environmental criteria		Land criteria	
Reduce GHG emissions	X	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	X
Protection of air soil and water	X	Take measures to maintain and improve biodiversity	X
Waste usage and reduction	X	Create and apply a sustainable forest management plan	Not Applicable
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	Not Applicable
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	X	Compliance with land rights	X
Compliance with labour rights	X	Compliance with water rights	X

追加基準 - Bonsucro

土地に関する基準：事業者は認証対象範囲について土地利用変化の分析を行い、(国内又は国際的に) 法的に保護された自然生態系として分類される土地、又は高い保全価値 (HCV) を有すると分類される土地が、2008 年 1 月 1 日以降にサトウキビ栽培地に転換されていない

いことを確認しなければならない。

土地に関する基準：事業者は認証対象範囲について土地利用変化の分析を行い、自然生態系（法的に保護されているか否かを問わず）として分類される土地、又は HCV を有すると分類される土地が、2021 年 1 月 1 日以降に農業用地に転換されていないことを確認しなければならない。

Better Biomass

あらゆる種類のバイオマスを対象とするオランダの認証制度

Table 16: Mapping of relevant sustainability criteria for biomass covered by Better Biomass

Environmental criteria		Land criteria	
Reduce GHG emissions	X	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	X
Protection of air soil and water	X	Take measures to maintain and improve biodiversity	X
Waste usage and reduction	X	Create and apply a sustainable forest management plan	—
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	X
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	X	Compliance with land rights	X
Compliance with labour rights	X	Compliance with water rights	X

追加基準 - Better Biomass

土地に関する基準：生物多様性の高い土地を除外する

土地に関する基準：収穫が生物多様性に及ぼす影響を最小限に抑える

土地に関する基準：生物多様性を保護するため、植物保護剤の使用に関して適切な慣行を適用する

社会的側面：エネルギー用バイオマスの生産は、食料供給や地域におけるバイオマスの用途

(エネルギー供給、医薬品、建築資材など)を脅かすものであってはならない。

Forest Stewardship Council (FSC)

森林バイオマス認証

Type of Framework	Certification System		Raw Material Covered
	Policy	Standard	
Operating/ in force since	1996		Products Covered
Legally Binding	☒	☐	

Raw Material Covered

Wood, Pulp, Non-timber Forest raw materials such as Bark, Bamboo and, Rattan, Natural Gums and Resins as well.

Products Covered

Wood Products (such as Engineered wood products and Furniture) , Pulp and paper products, and Non-timber forest products (NTFPs). Pulp products include also Viscose and Other Wood-based fibres and Textiles.



Table 17: Mapping of relevant sustainability criteria for biomass covered by FSC

Environmental criteria		Land criteria	
Reduce GHG emissions	X	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	X
Protection of air soil and water	X	Take measures to maintain and improve biodiversity	X
Waste usage and reduction	–	Create and apply a sustainable forest management plan	X
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	X
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	X	Compliance with land rights	X
Compliance with labour rights	X	Compliance with water rights	X

追加基準 - FSC

環境に関する基準：収穫量を再生量を下回る水準に維持する

土地に関する基準：より自然な状態にあると特定された区域の有無（あり／なし）

土地に関する基準：保護されている、又はより自然な状態に回復された区域の有無（あり／なし）

土地に関する基準：希少種及び在来種の保護

土地に関する基準：水域を保護するための措置

ISCC PLUS – International Sustainability & Carbon Certification

ドイツを拠点とする、あらゆる種類のバイオマス及び循環型原料を対象とした国際的な認証制度

Type of Framework	Certification System	
	Policy	Standard
Operating/ in force since	2010	
Legally Binding	☒	☐

ISCC PLUS by ISCC International Sustainability & Carbon Certification

Circular and Bio-circular materials, mass balance approach. Market leader – the ISCC allows brand owners and retailers to use the ISCC logo and communicate related claims. The ISCC certification approach requires the entire upstream supply chain to be ISCC certified (only FSC with CoC accepted).

Products Covered
Circular materials, bio – and bio circular materials. Biogenic -, direct air capture - and post-industrial (fossil) CO2

Industry Uptake: Certified products: 65,849 including, over 500 polymer certificates an around 10 CO₂ based materials



Table 18: Mapping of relevant sustainability criteria for biomass covered by ISCC PLUS

Environmental criteria		Land criteria	
Reduce GHG emissions	X	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	X
Protection of air soil and water	X	Take measures to maintain and improve biodiversity	X
Waste usage and reduction	X	Create and apply a sustainable forest management plan	FSC
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	X
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	X	Compliance with land rights	X
Compliance with labour rights	X	Compliance with water rights	X

追加基準 - ISCC PLUS

環境基準：「各農場・プランテーションは、事業の規模や集約度に応じ、大気汚染及び GHG 排出量を削減する計画を策定すること。」

環境基準：水使用量の削減、及び水質の維持・改善に向けた適正農業規範（GAP）の適用

環境基準：植物生産資材（農薬・肥料等）の施用における適正規範の実施

環境基準：ISCC の「循環型経済」原則に基づき、企業が生産プロセスに廃棄物を取り入れることを推奨

土地利用基準：生息地の破壊や劣化の回避

土地利用基準：湧水や自然水路周辺の自然植生エリアの維持又は再生（はい／いいえ）

社会基準：ISCC PLUS における社会基準アドオン（適正規範の要件）：雇用関係

REDcert[2] Chemistry

あらゆる種類のバイオマス及び循環型原料を対象とするドイツ拠点の認証システム

Type of Framework	Certification System	REDCert ² Chemistry by REDCert GmbH
	Standard	REDCert ² scheme for the certification of sustainable material flows in the chemical industry also allows the use of biomass and recovered materials for chemical and mechanical recycling. Focus former on fuels and bio-based feedstocks. Planned to focus more on materials with the REDCert ² Chemistry scheme. The distinction between pre/post-consumer waste is optional, but possible. The REDCert ² certification accepts following schemes in the value chain: ISCC PLUS, RSB, EUCertPlast and RecyClass
Operating/ in force since	2018	Products covered
Legally Binding		Use of biomass covers also CO ₂ based materials. Recycled materials cover processing and final products but also licencing is allowed for automobile and brands. The minimum quantity for the substitution of fossil raw materials with renewable raw materials is 20 % (recycling is also a renewable raw material), the actual duration is specified in the individual certificate.
		Products covered
		Cs. 2000 companies are certified, every company has only one group certificate, certificates for 76 companies for the REDCert ² for chemical industry includes group certificates with large number of different kind of items which enhance the number of certificates.

Table 19: Mapping of relevant sustainability criteria for biomass covered by REDCert²

Environmental criteria		Land criteria	
Reduce GHG emissions	—	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	X
Protection of air soil and water	—	Take measures to maintain and improve biodiversity	—
Waste usage and reduction	X	Create and apply a sustainable forest management plan	Not applicable
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	Use SAI/FSC/ PEFC
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	X	Compliance with land rights	—
Compliance with labour rights	X	Compliance with water rights	—

追加基準 - REDcert[2]

環境基準：REDcert²スキームの認証を受けたバイオマス由来製品の生産又は調達プロセスにおいて、当該製品の生産に使用される化石由来原料の少なくとも 20%が、統合生産拠点・施設内、又は拡張マスマバランスの適用範囲内において、同量の持続可能性認証済みバイオマスに置き換えられていること。

RSB - Roundtable on Sustainable Biomaterials（持続可能なバイオマテリアルに関する円卓会議）

あらゆる種類のバイオマス及び循環型原料を対象とする、スイス拠点の国際的な認証システム

Type of Framework	Certification System
	Standard
Operating/ in force since	Policy
	2013
Legally Binding	☒ ☐

RSB – Roundtable on Sustainable Biomaterials

RSB certification is a globally recognized sustainability framework for biomaterials, biofuels, and biomass production. It is considered the world's most trusted and peer-reviewed certification standard in this field. RSB recognises other credible certification standards and as well as national requirements and practices for sustainability thus facilitating certification for companies. Supply chains can begin at the stage of feedstock production, or in the case of waste and residue-based chains, at the Point of Origin, no self declaration for farms.

Products Covered

RSB certificates are applicable to a wide range of products and industries. The eligible products for RSB certification include Advanced Products (non-energy products from sustainable supply chains). Bio-based or recycled fossil feedstocks as well as CO₂ based materials, they are certified under advanced feedstocks and as recycled carbon.

Industry Uptake: Around 100 certificates, 40 which of are at the moment valid. Most of the certified materials are bio-based, only very few other certificates.



Table 20: Mapping of relevant sustainability criteria for biomass covered by RSB

Environmental criteria		Land criteria	
Reduce GHG emissions	X	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	X
Protection of air soil and water	X	Take measures to maintain and improve biodiversity	X
Waste usage and reduction	X	Create and apply a sustainable forest management plan	Use FSC
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	X
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	X	Compliance with land rights	X
Compliance with labour rights	X	Compliance with water rights	X

追加基準 - RSB

環境基準：大気管理計画：主要な大気汚染物質の特定（はい／いいえ）及び緩和策の記述（はい／いいえ）

環境基準：物質としての利用が可能な場合を除き、廃棄物及び副産物をエネルギー生成に利用すること（はい／いいえ）

環境基準：適正な慣行の例：雨水貯留、灌漑用貯水・供給システム、節水に向けた取り組みの確保

土地利用基準：土壌構造を保護するための慣行の実施

土地利用基準：低 iLUC（間接的土地利用変化）リスクを判定する方法：認証機関報告ツール

社会的側面：貧困地域において、事業活動の影響を受ける地域ステークホルダーの社会経済的地位を向上させること。

社会的側面：地域及び当該場所における食料安全保障へのリスクを評価し、事業活動に起因するあらゆる負の影響を緩和すること。

RSPO - Roundtable on Sustainable Palm Oil（持続可能なパーム油に関する円卓会議）

世界的に最も議論の的となっているバイオ由来原料の一つに特化した認証スキーム

Type of Framework

Certification System

Policy

Standard

Operating/ in force since

2004

Legally Binding

☒
☐

Raw Material Covered

RSPO Certification assures individuals that RSPO Members who produce or physically handle RSPO Certified Sustainable Palm Oil (CSPO) and have obtained RSPO Certification.

Products Covered

Palm oil or palm oil derivatives certified by the RSPO can be sourced through four different supply chain models: Identity Preserved, Segregated, Mass Balance and RSPO Credits / Book and Claim.



Table 21: Mapping of relevant sustainability criteria for biomass covered by RSPO

Environmental criteria		Land criteria	
Reduce GHG emissions	X	Increase carbon stock on land / Exclude land with high carbon stock	X
Protection of air soil and water	X	Take measures to maintain and improve biodiversity	—
Waste usage and reduction	—	Create and apply a sustainable forest management plan	Not applicable
		Restrict the use of high iLUC-risk feedstock and enhance use of low iLUC-risk feedstock	—
Social aspects		Social aspects	
Compliance with human rights	X	Compliance with land rights	X
Compliance with labour rights	X	Compliance with water rights	X

追加基準 - RSPO

環境基準：緩衝帯及び生態学的回廊（エコロジカル・コリドー）の設置

土地に関する基準：泥炭地の管理および回復のための RSPO ベストプラクティス・マニュアル

社会的側面：ステークホルダーの公平性（特に女性および影響を受ける地域社会に対して）

付録 IV - 補足：バイオベース炭素 — 長期用途か短期用途か？

短期用途と長期用途で、割り当てられるべき潜在的な割当量は同一であるべきか？ バイオベースプラスチックの用途を短期的なものに限定すべきだと提唱する政策案がある一方で、気候変動の観点からは短期用途と長期用途の間に違いはないと主張する意見もある。包装は通常、短期的用途だが、自動車や建設といった他の分野では、その用途はほぼ例外なく長期的なものである。以下のセクションでは、製品寿命に関する様々な見解、枠組み、及び影響について論じる。

炭素源が何であるかに係らず、製品の長寿命化は炭素貯蔵の観点から根本的に価値がある。製品の寿命を延ばすこと、或いは長寿命な製品を製造することは、炭素を大気から隔離した状態でより長く保持することにつながる。化石由来製品の場合、この長寿命化は排出を先送りし、気候変動緩和の取り組みに必要な時間を稼ぐという効果をもたらす。バイオ由来製品の場合、長寿命化は直接的に二酸化炭素除去（CDR）につながり、貯蔵期間中は「負の排出」として機能する。全ての用途（例：食品包装）において寿命を最大化することが現実的であるわけではないが、可能な限り長寿命化を優先することは、製品が気候変動対策にもたらす便益を高めることになる。

バイオベース材料は、気候や自然に対し大きな利点をもたらす。

責任ある方法で調達・管理されれば、バイオベースの製品は化石ベースの製品に比べて、ライフサイクル全体での排出量を大幅に削減できる[2]。これは、化石ベース炭素を代替するという重要な役割を果たすためである。LCA においても、この可能性が一貫して示されている[3]。こうした用途を支えるのに十分なバイオマスが世界中に存在するが、それには生物多様性の保護、責任ある土地利用（間接的土地利用変化＝ILUC の回避）、社会的基準の遵守といった、厳格な持続可能性の担保措置が不可欠である。持続可能なバイオベースのソリューションを通じて気候変動を効果的に緩和することは、結果として生物多様性の保全にも寄与する。

バイオベース炭素と長期貯留を組み合わせても、システム全体として気候変動対策上の付加的な利益は生じない。

バイオベース炭素の主な利点（CO₂排出量の削減）と、長期貯留の利点（炭素隔離期間の延長）は別個のものであり、大部分において切り離して考えることができる。長寿命のバイオベース製品は、その寿命期間中、有益な CDR（二酸化炭素除去）効果をもたらすが、「バイオ由来」であることと「長寿命」であることを組み合わせたからといって、それぞれの特性が個別に寄与する以上のシステム全体としての付加的或いは相乗的な気候変動対策上の利益が生まれるわけではない。システム全体における主な利益は、依然として「代替」と「貯留・除去の期間」にある。

重要なのは、製品の視点とシステム全体の視点の違いである。製品レベルの視点（LCA など）では、長寿命製品がバイオベース炭素を貯留することでカーボンフットプリントをマイナスにしているように見えるかもしれないが、システム全体の視点に立てば、バイオベース炭素に限られた資源である限り、正味の気候変動対策上の利益は生じない。限られたバイオベース炭素を特定の部門での利用に充ててしまうと、別の部門における再生可能な代替資源としては利用できなくなる（或いはコストが高くなる）からである。即ち、総排出量を削

減することなく、化石ベース炭素の利用場所が単に別の領域へ移行するだけになってしまうのである。

システム全体として見た場合、短寿命製品において依然として大量の化石ベース炭素が使用されている状況下では、限られたバイオマスを長期貯留型の製品に産業利用することを優先すべきではない。

食品包装のような短寿命製品において化石ベース炭素が主流であり続けると、その炭素は急速に大気中へ放出されてしまう。従って、限られた持続可能なバイオマス資源の最も効果的な使い道は、こうした化石ベース炭素による即時的な排出を代替することにある。バイオマスを長期貯留用途に割り当てることは、二酸化炭素除去（CDR）の観点からは有益だが、化石燃料由来の短寿命製品から絶えず排出されるという、より大規模かつ喫緊の課題に取り組むことに比べれば、戦略的な緊急性は低い可能性がある。こうした回転の速い（製品寿命の短い）分野での代替にバイオマスを優先的に充てることで、短期的な排出削減をより迅速に実現し、炭素循環を促進できる。

この意味合いにおいて、包装などの短寿命製品は、化石燃料ベースプラスチックをバイオベースプラスチックに代替することによる温室効果ガス（GHG）削減効果が特に大きいという点に注目すべきである。化石燃料ベースプラスチックは寿命が比較的短いため、例えば 35 年という期間で見ると、長寿命製品に比べて排出される GHG の総量が著しく多くなる。

従って、短寿命の化石燃料ベースプラスチックをバイオベースの代替品に置き換えることは、長寿命製品の場合と比較し、一定期間内における GHG の削減量をより大きくすることにつながる。

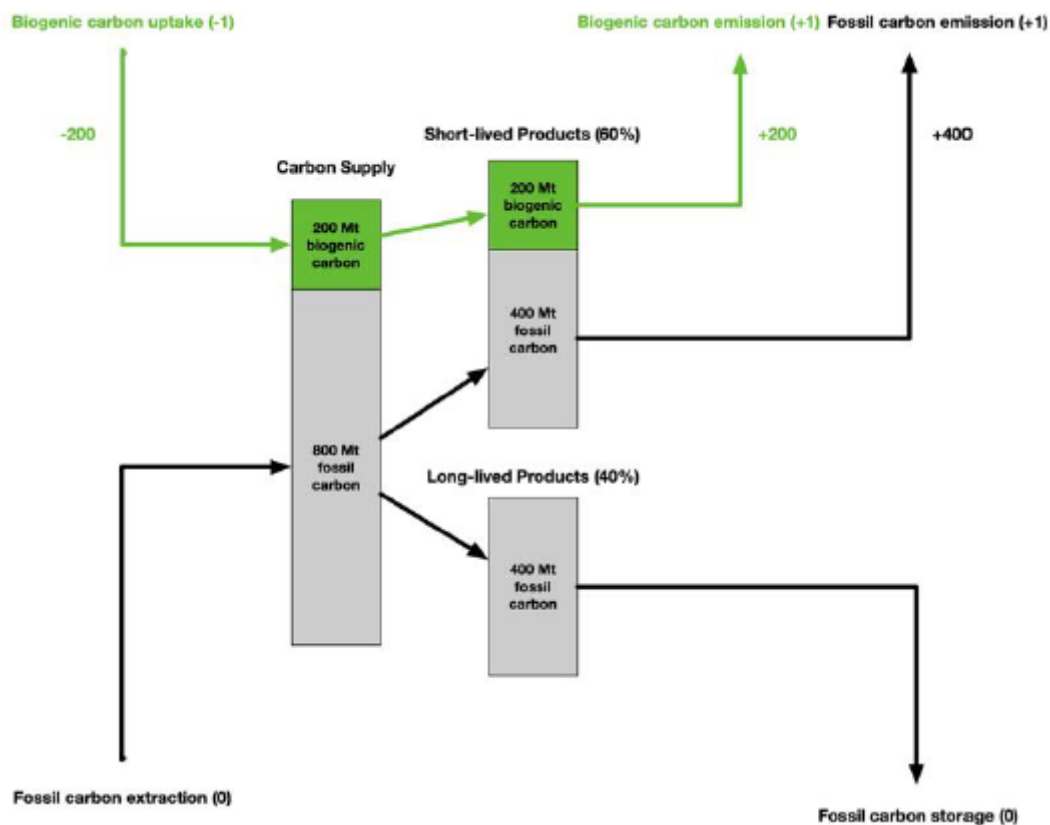
3 つの異なるシナリオに基づく計算例の可視化：

総炭素需要 1,000 Mt は、化石燃料ベース（80%）及びバイオベース（20%）の炭素で賄われる。この 1,000 Mt の総炭素需要のうち、600 Mt は短寿命製品に、400 Mt は長寿命製品に使用される。短寿命製品は廃棄時に排出が生じると想定される一方、長寿命製品は気候変動に影響を及ぼす期間に亘って炭素を固定し続ける（実質的に炭素貯留として計上できる）と想定される。バイオベース炭素の配分に係らず、システム全体の GHG 排出量は常に一定となる。これは、長寿命製品におけるバイオベース炭素の貯留効果が、短寿命製品における化石燃料ベース炭素の追加排出によって相殺されるためである。

Table 22: Calculation examples for fictitious scenarios of bio-based carbon directed towards long- or short-lived products.

Carbon share	Scenario	Demand Short-lived	Bio-based	Fossil-based	Demand Long-lived	Bio-based	Fossil-based	Systemic GHG Emissions
Fossil-based: 80%	All bio-based into Short	600	200	400	400	0	400	400 (400 fossil-based)
Bio-based: 20%	All bio-based into Mixed	600	100	500	400	100	300	400 (500 fossil - 100 biogenic storage)
	All bio-based into Long	600	0	600	400	200	200	400 (600 fossil - 200 biogenic storage)

シナリオ 1（全てのバイオベース炭素を短寿命製品に充当する場合）の図解：



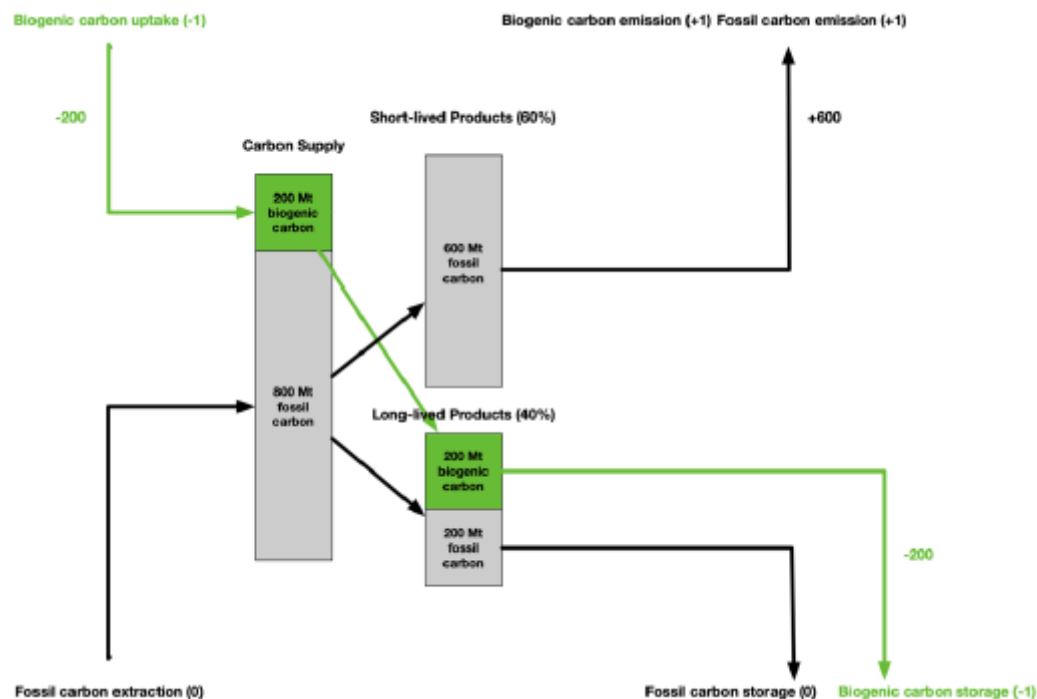
バイオベース炭素の吸収量：200 Mt（うち 200 Mt は短寿命製品の廃棄時（EoL）に放出されるため、吸収と放出が相殺され、バイオ由来炭素の排出量は 0 Mt となる）

化石ベース炭素の採掘量：800 Mt（うち 400 Mt は短寿命製品の廃棄時に放出され（炭素排出量 400 Mt）、400 Mt は長寿命製品に気候変動に影響を及ぼす期間に亘り貯蔵される（炭素排出量 0 Mt））

合計：化石ベース炭素の排出量 400 Mt - バイオベース炭素の貯蔵量 0 Mt = 炭素排出

量 400 Mt

シナリオ 2（全てのバイオベース炭素を長寿命製品に充当する場合）の図解：

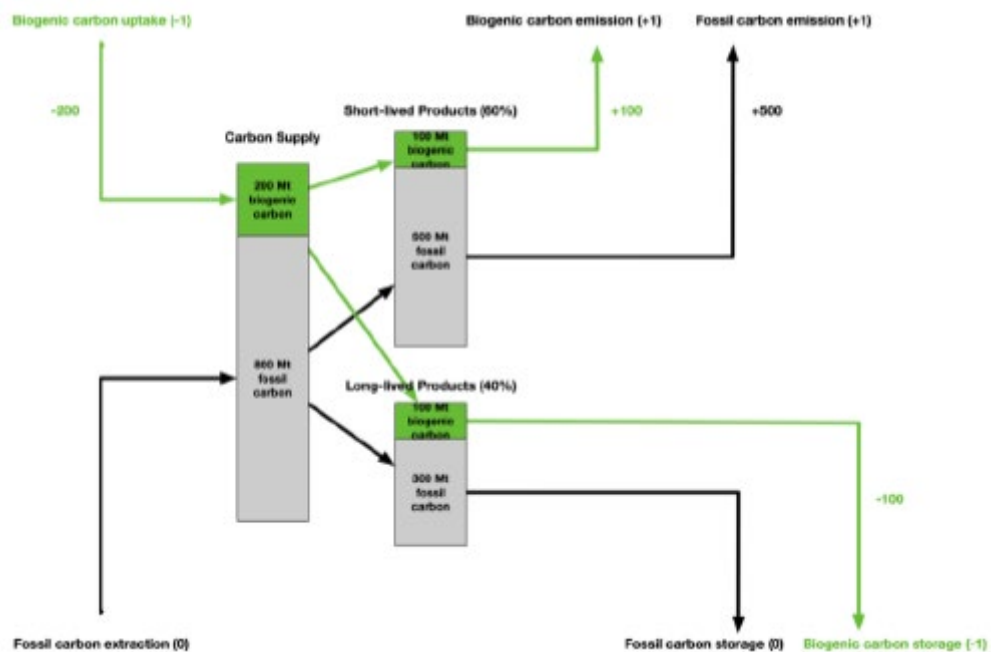


バイオベース炭素の吸収量：200 Mt。そのうち 200 Mt は長寿命製品に充当され、気候変動に影響を及ぼす期間に亘り貯蔵される（＝排出量として-200 Mt C）。

化石ベース炭素の採掘量：800 Mt。そのうち 600 Mt は短寿命製品の製品寿命終了時（EoL）に放出され（＝排出量として 600 Mt C）、200 Mt は長寿命製品に充当され、気候変動に影響を及ぼす期間に亘り貯蔵される（＝排出量 0 Mt）。

合計：化石ベースの排出量 600 Mt - バイオベース炭素の貯蔵量 200 Mt = 炭素排出量 400 Mt

シナリオ 3（バイオベース炭素を製品に混合・分配する場合）の図解：



バイオベース炭素の吸収量：200 Mt。そのうち 100 Mt は短寿命製品の EoL に放出され（＝排出量 0、吸収と排出が相殺される）、100 Mt は長寿命製品に充当され、気候変動に影響を及ぼす期間に亘り貯蔵される（＝排出量-100）。

化石ベース炭素の採掘量：800 Mt。そのうち 500 Mt は短寿命製品の製品寿命終了時（EoL）に放出され（＝排出量として 500 Mt C）、300 Mt は長寿命製品に充当され、気候変動に影響を及ぼす期間に亘り貯蔵される（＝排出量 0 Mt）。

合計：化石ベースの排出量 500 Mt － バイオベース炭素の貯蔵量 100 Mt ＝ 炭素排出量 400 Mt