

※本ガイドラインは国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)委託事業
「バイオものづくりに関するLCAの指針検討に向けた基礎調査」の成果として作成されました。

バイオものづくり分野のLCAガイドライン(本編) ver. 1.0

2026年4月

一般財団法人バイオインダストリー協会

序文

バイオものづくりは、微生物や動植物の機能を活用して物質を生産する技術として、脱炭素社会の実現に向けた重要な選択肢と位置付けられています。しかしながら、「バイオであること」が直ちに環境負荷の低減を意味するわけではありません。原料やプロセス設計、エネルギー利用のあり方によっては、従来の化石資源由来プロセスと比較して必ずしも環境優位とはならない場合もあります。したがって、環境影響を定量的に把握し、科学的根拠に基づいて評価・改善していくことが不可欠です。

ライフサイクルアセスメント(LCA)は、このような評価を支える基盤的手法であり、研究開発段階のプロセス設計・改善から、事業化段階の認証取得や環境価値の訴求まで、幅広い意思決定を支えます。特に、精緻なLCAに基づく国際的な認証の取得や環境情報の開示は、国際市場における競争力の確保・向上の観点からも重要性を増しています。石油化学からの転換が求められる中で、従来プロセスとの定量的比較を可能とするLCAの重要性は一層高まっています。

一方で、バイオものづくり分野では、開発段階の技術が多いことやデータの取得・取り扱いの難しさといった特有の課題により、LCAの実施水準や結果の解釈にばらつきが生じています。その結果、関係者間で議論が成立しない場合や、不十分な前提に基づく評価が誤った環境主張につながるリスクも指摘されています。これは国際的な競争環境の中で看過できない課題です。さらに、バイオプロセスは菌株開発からラボ、ベンチ、パイロット、商業化まで長い開発期間を要します。商業化段階で精緻なLCAを行い、その結果に基づいて改良する従来のアプローチでは、手戻りによる時間的・コスト的ロスが大きくなります。一方で、認証取得等を目的とする場合には、精緻なデータに基づくLCAが不可欠です。したがって、開発初期からLCAを活用して環境負荷のボトルネックを特定しつつ、目的に応じて精緻さの水準を高めていくアプローチが重要となります。

この度、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)及び一般財団法人バイオインダストリー協会(JBA)が実施した「バイオものづくりに関するLCAガイドライン検討会」において、専門家による議論を踏まえ、本ガイドラインを取りまとめました。本ガイドラインでは、完成プロセスを対象とした精緻なLCAに加え、開発段階に応じたレベルでのLCA実施と結果解釈の枠組みを提示しています。その中核として、影響評価結果の精緻さを段階的に整理する指標Bio-LRL (Biomanufacturing LCA Readiness Level)を導入しました。これは、データ収集方法に基づきLCA結果の位置づけを明確化し、目的に応じた活用と共通理解の形成を可能とする新しい概念です。

本ガイドラインver.1.0は、本編で基本的考え方を整理し、実践編で現場におけるLCA実施の方法論を提示しています。今後、実務での適用やフィードバックを通じて内容を充実させ、より高度で多様な用途に対応した枠組みへと発展していくことが期待されます。本ガイドラインが、バイオものづくり分野におけるLCAの共通言語として機能し、建設的な議論の基盤となることで、持続可能で競争力のある産業の発展、ひいては日本のバイオものづくりの国際競争力向上に寄与することを期待します。

2026年3月

バイオものづくりに関するLCAのガイドライン検討会 座長
国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター
特任教授 小原 聡

バイオものづくりに関するLCAガイドライン検討会

■ 委員名簿（五十音順、敬称略）

役職	氏名	所属・職位
座長	小原 聡	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授
委員	大政 健史	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 教授（工学研究科長・工学部長・総長参与）
委員	菊池 康紀	国立大学法人東京大学 未来ビジョン研究センター 教授
委員	関 実	国立大学法人千葉大学 大学院工学研究院 名誉教授
委員	田原 聖隆	国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEAラボ ラボ長
委員	長森 英二	大阪工業大学工学部生命工学科 教授
委員	福島 康裕	国立大学法人東北大学 大学院環境科学研究科 教授
委員	本田 孝祐	国立大学法人大阪大学 生物工学国際交流センター 教授

※所属・職位は令和8年3月現在

（委託者） 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
（オブザーバー） 経済産業省 生物化学産業課
（事務局） 一般財団法人バイオインダストリー協会（中川 智、小泉 英樹）
三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社（仲嶋 翼、黒田 裕章、田畑 智佑）

目次

▶ バイオものづくり分野のLCAガイドライン(本編)

第1部 はじめに	4
(1) 背景	4
(2) 本ガイドラインについて	10
第2部 影響評価結果の精緻さ	12
(1) データ収集方法	12
(2) Bio-LRL (Biomanufacturing LCA Readiness Level) の導入	15
(3) Bio-LRLの算定	} ver. 2.0以降で追加
(4) 目的に応じたBio-LRLの目安	
第3部 バイオものづくりのLCAの基礎	17
(1) LCAの流れ(概要)	17
(2) バイオものづくりのLCAの実施方法	20

バイオものづくり分野のLCAガイドライン(実践編)

算定ツール(Excel)

第1部 はじめに

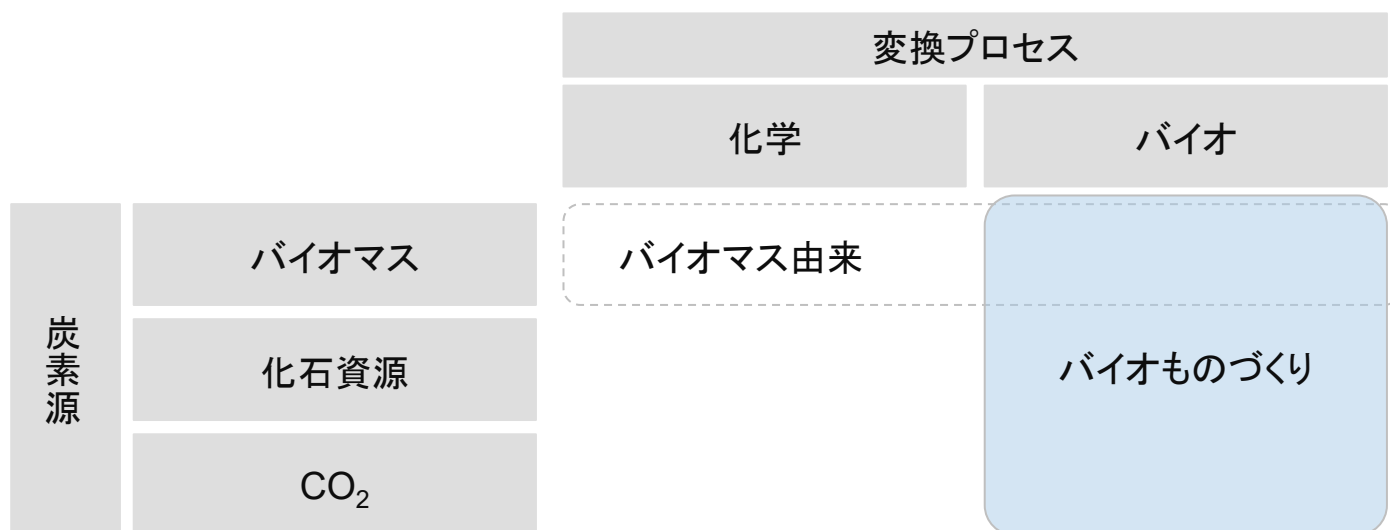
(1) 背景

(2) 本ガイドラインについて

(1)背景

バイオものづくりとは

- バイオものづくりとは、「遺伝子技術を活用して微生物や動植物等の細胞によって物質を生産することであり、化学素材、燃料、医薬品、動物繊維、食品等、さまざまな産業分野で利用される技術」^[1]とされている。
- 原料としてしばしばバイオマスが使用されるが、それに限るものではなく、化石資源（例えば廃プラスチックや廃繊維）やCO₂等を原料とすることも考えられ、それらも含め、生物機能による変換を行う場合はバイオものづくりに該当する（下図）。
- なお、本ガイドラインにおいて、バイオものづくりとは遺伝子技術の活用の有無に関わらず、広く微生物や動植物等の細胞によって物質を生産することを指すものとする。



（出典）

[1] 経済産業省「バイオものづくり革命の実現（2023年4月19日付）」

(1)背景

ライフサイクル思考・ライフサイクルアセスメント(LCA)とは

■ ライフサイクル思考及びライフサイクルアセスメント(LCA)

- 原材料の採掘からエネルギー供給、製品の製造、流通、使用、廃棄といった製品のライフサイクル全体にわたる影響を考慮する考え方を「ライフサイクル思考(Life Cycle Thinking)」と呼ぶ。^[1]
- ライフサイクル思考により、資源消費と排出を減らしつつ、社会・経済面でのパフォーマンスを向上させ、組織やバリューチェーン全体で環境・社会・経済の三側面を結びつけられる。^[2]
- このライフサイクル思考に基づき、環境への影響を定量的に評価する手法が「ライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment)」であり、環境負荷削減目標の設定や進捗管理にも広く使われている。^[1, 2]

(出典)

[1] 一般社団法人日本LCA学会、「LCAを知る・使う」、<https://www.ilcaj.org/introduce/index.html>

[2] Life Cycle Initiative, “What is Life Cycle Thinking?”, <https://www.lifecycleinitiative.org/activities/what-is-life-cycle-thinking/>

(1)背景

バイオものづくりにおけるLCAの意義

■ バイオものづくりと環境影響

- 従来製品(化石資源由来製品等)の同等品をバイオものづくりにより製造する取り組みが進められており、バイオものづくりは大気中のCO₂を吸収したバイオマスを原料として使用することが多く、また常温・常圧のプロセスであることから「環境にやさしい」というイメージが先行している。しかし、定量的にはLCAによる確認が必要である。なおその際、環境影響には気候変動だけでなく、水消費、富栄養化等の観点があることも留意が必要である。
- バイオものづくりでは生物変換を利用して新たな価値を持つ製品をつくることもできる。そのような場合でも、より持続可能な生産プロセスを実現するために環境影響の把握及び低減に取り組むことは重要である。さらに、製品の機能性によっては製造段階だけでなく使用段階や廃棄段階も含めたトータルの環境影響を従来システムより低減できる場合もある。

■ LCAのプロセス開発・改善への活用

- プロセス中の環境負荷が大きな工程(ホットスポット)を特定することで開発課題を設定できる。また、複数シナリオの評価によりプロセスの設計につなげられる。
- LCAは継続的改善(continuous improvement)のためのツールでもあり、一度プロセスを構築した後も、LCAにより継続的にプロセスの見直しを行うことが重要である。

【事例】

- 農業残さ(小麦わら)を原料としたメチルケトンの製造
 - 発酵段階のホットスポットとして、pH調整剤として微量添加する水酸化カリウムの寄与が大きいことを特定
 - Pushpendra, Schonhoff, A., Füchsl, S. C., Röder, H., & Zapp, P. (2025). Prospective Life Cycle Assessment and upscaling of an emerging biorefinery process: A case study on methyl ketone. *Journal of Cleaner Production*, 498, 145208. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145208>

【事例】

- 芳香族化合物(*p*-ヒドロキシ安息香酸(pHBA))の発酵生産
 - 発酵生産の諸条件を変更した17のシナリオについて環境影響及びコスト評価を行った事例
 - Krömer, J. O., Ferreira, R. G., Petrides, D., & Kohlheb, N. (2020). Economic Process Evaluation and Environmental Life-Cycle Assessment of Bio-Aromatics production. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 403. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00403>

(1) 背景

バイオものづくりにおけるLCAの意義(続き)

■ LCAのマーケティングへの活用

- 一般的に従来製品(化石資源由来製品等)に対してバイオものづくりでは製造コストが高くなるが、定量的な環境負荷低減効果を訴求することで、その価値も含めて市場で評価されることが期待される。
- 各種認証の取得や政策適用(規制・優遇)の要件において、製品の環境影響を評価することや評価結果が特定水準を達成することが求められるケースもある。細かな算定方法は各制度のルールに従う必要があるが、環境影響の定量化手法はLCAが基盤となっている。

【事例】

■ Solar Foods社による微生物由来タンパク質の環境主張

- 牛肉や植物由来タンパク質と比較して、水資源消費・土地利用・GHG排出量が小さいことを主張
 - Solar Foods, "Impact", <https://solarfoods.com/impact/>
 - Järviö, N., Maljanen, N.-L., Kobayashi, Y., Ryyänen, T., & Tuomisto, H. L. (2021). An attributional life cycle assessment of microbial protein production: A case study on using hydrogen-oxidizing bacteria. *Science of The Total Environment*, 776, 145764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145764>

(1)背景

バイオものづくりにおけるLCAの課題

■ 研究開発段階において商業生産時点のプロセスを対象にLCAを実施することになる

- バイオものづくりに関する取り組みの多くは研究開発段階であり、将来完成するプロセスに対してLCAを実施する場合、以下の難しさがある。
 - － 研究開発初期段階で商業生産プロセスの全容を見通すことが難しい(特に分離・精製等のダウンストリーム)。
 - － スケールアップ後の運転に係るデータの推計が難しい(通気、攪拌、冷却に必要なエネルギー等)。

■ その他にもバイオものづくり特有のデータの取り扱いの難しさが存在する

- 特に培養工程等、組成が不明なインプット・アウトプットが存在し、物質収支を取りにくい。
- 使用する原材料の原単位がデータベースにないことがある。
- 原料に廃棄物やCO₂等を使用するプロセスの開発も進められているが、LCA上での取り扱いに悩みやすい。



LCAの影響評価結果の精緻さの水準や結果の解釈が実施者ごとにばらつき、関係者間で議論が成立しない場合や、不十分な前提に基づく評価が誤った環境主張につながるリスクも指摘されている。

第1部 はじめに

- (1) 背景
- (2) 本ガイドラインについて

(2)本ガイドラインについて

本ガイドラインの目的

1. バイオものづくりのLCAの影響評価結果の精緻さについて、関係者の目線を揃える考え方及び指標を提示する。加えて主要なLCAの目的に対して、推奨される精緻さのレベルの目安を示す。
 - ver. 1.0では、データ収集方法によるLCAの影響評価結果の精緻さを表す**Bio-LRL (Biomanufacturing LCA Readiness Level)**の考え方を示す。
2. 開発初期から商業運転中までのさまざまな段階のバイオものづくりの取り組みにおいて活用できる、LCA実施方法の手引きを提供する。
 - 結果の精緻さに与える影響を踏まえデータの収集方法を区分し、「ガイドライン(実践編)」にて詳細を解説する。
 - ver. 1.0では、バイオ分野の研究者を主な読み手として想定し、開発中のプロセスについて簡易なLCAを行う手法を解説する。
 - ガイドラインの付属資料として、LCA実施にあたって活用できる計算シート(Excel)も提供する。

【本ガイドラインの位置づけ】

- 本ガイドラインは、LCAの枠組み等を定めるISO 14040:2006及びISO 14044:2006を参考に、バイオものづくりのLCAを実施する際の基礎を示すものである。
- ver. 1.0ではバイオものづくりのLCAについて算定のルールを定めるものではなく、必ずしもLCAの専門家でないバイオ分野の研究者等がLCAを行う際に手引きとして活用されることを意図している。
- 本ガイドラインを参考にすることでバイオものづくりの基礎的なLCAが実施できるようになるが、その上で、各種の認証・制度や他ガイドライン(Together for Sustainability等)への準拠を目指す場合は、それぞれ定められている要求事項に対応する必要がある。

第2部 影響評価結果の精緻さ

(1) データ収集方法

(2) Bio-LRL (Biomanufacturing LCA Readiness Level) の導入

(1) データ収集方法

データベースを活用したLCAの実施

- 近年、LCAの実施にあたり、**活動量**(マテリアルやエネルギーの入出力量)に対して、データベース等に登載されている**原単位**(単位活動量あたりの環境負荷、GHG排出量の場合は排出係数ともいう)を乗じることで影響評価がなされることが多い。
- 商業生産時のバイオものづくりの活動量と原単位のデータを収集するには、収集コストや得られるデータの品質の異なるいくつかの方法が考えられ、その選択は影響評価結果の精緻さに影響する。
 - 活動量: 商業生産段階では品質の高いデータを収集できるが、開発段階では、試験データをもとにスケールアップ後のデータを推計する必要がある。
 - 原単位: 商業生産段階等、原料調達先が定まっていれば、サプライヤーからの情報を反映した品質の高い原単位を活用できる場合があるが、そうでない場合はデータベースのデータ(市場平均等)を使用することになる。加えて、しばしばバイオものづくりに使用される原料はデータベースに登載されておらず、その場合は類似データ等を使用する必要がある。

$$\text{環境影響} = \sum (\text{活動量} \times \text{原単位})$$

例: プロダクト1 kgあたりのGHG排出量

例: 1 kgのプロダクトを製造するのに必要なグルコースの量や電力量

例: 1 kgのグルコースや1 kWhの電力を生産する際のGHG排出量

- 収集コストや得られるデータの品質の異なるデータ収集方法が存在。
- データ収集方法の選択は影響評価結果の精緻さに影響する。

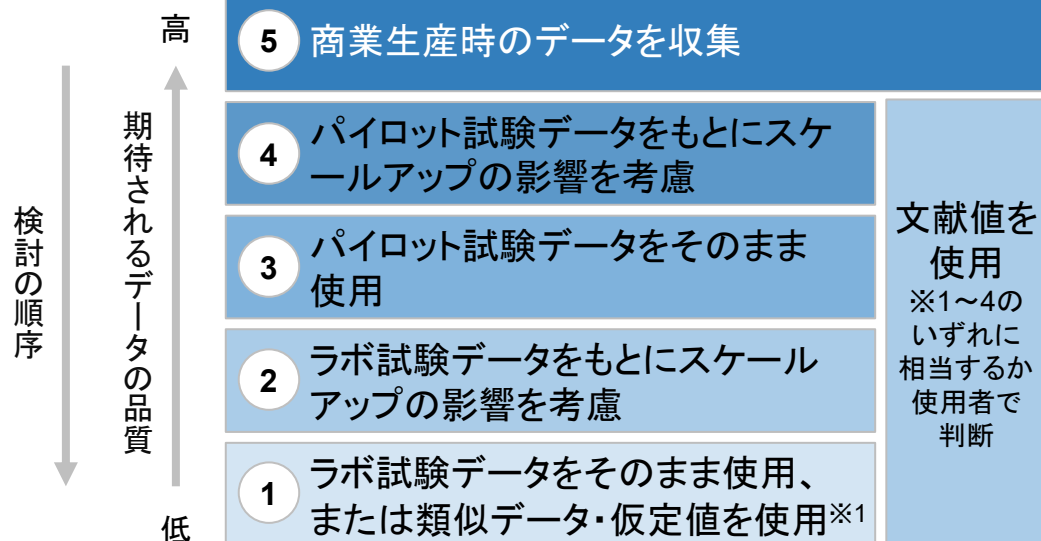
(1) データ収集方法

活動量と原単位データの収集方法

- 以上を踏まえ本ガイドラインでは、商業生産段階のプロセスを評価対象とすることを前提に、活動量及び原単位のデータ収集方法を、データの品質を考慮して以下の各5段階に分類する。
- 詳細は「ガイドライン(実践編)」を参照。

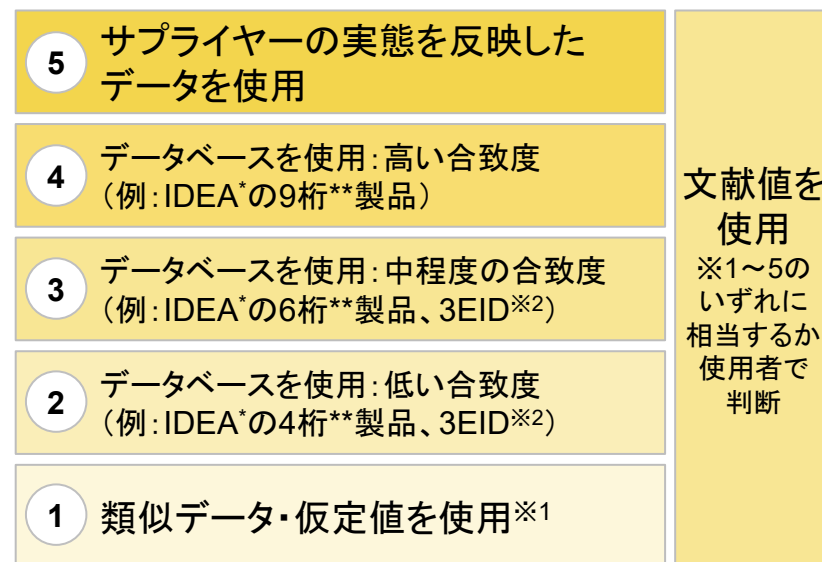
活動量

(例: 1 kgのプロダクトを製造するのに必要なグルコースの量)



原単位

(例: 1 kgのグルコースを製造する際のGHG排出量)



※1 「①類似データ・仮定値」を用いた場合は、感度分析によりその妥当性を確認することが望ましい。(「第3部(2)⑤解釈」参照)

※2 産業連関分析に基づく原単位データの品質は品目により異なるため、2、3のいずれに相当するか使用者で判断すること。

第2部 影響評価結果の精緻さ

(1) データ収集方法

(2) Bio-LRL (Biomanufacturing LCA Readiness Level) の導入

影響評価結果の精緻さの指標「Bio-LRL」の導入

- 活動量と原単位の方法がLCAの影響評価結果の精緻さに影響することから、本ガイドラインではその指標として**Bio-LRL (Biomanufacturing LCA Readiness Level)**を提示する。
- Bio-LRLは、活動量と原単位の方法からLCAの影響評価結果の精緻さをスコア化し、そのスコアの区分として設定する。
- その上で、主要なLCAの目的に対して推奨されるBio-LRLの目安を示すことで、バイオものづくりのLCAに携わる関係者の目線を揃えるために活用されることを期待する。(詳細はガイドライン ver. 2.0以降で追加予定)

Bio-LRL (Biomanufacturing LCA Readiness Level) の定義及び活用イメージ

LCAの影響評価 結果の精緻さ

活動量及び原単位の方法を考慮し、影響評価結果の精緻さをスコア化する。
またそのスコアを区分化しBio-LRLとする。

精緻さのスコア

Bio-LRL

1

2

3

4

5

開発課題の
特定

プロセス設計
(原料検討、
製造技術の検討等)

環境価値も
含めた
事業化判断

マーケティング
(顧客へのデータ開示、
認証取得、規制対応等)

LCAの目的に 応じたBio-LRLの 目安

※ガイドラインver. 1.0ではあくまでイメージのみを示す。

精緻さの評価方法及び目的との対応関係はガイドライン ver. 2.0以降で追加予定。

第3部 バイオものづくりのLCAの基礎

(1) LCAの流れ(概要)

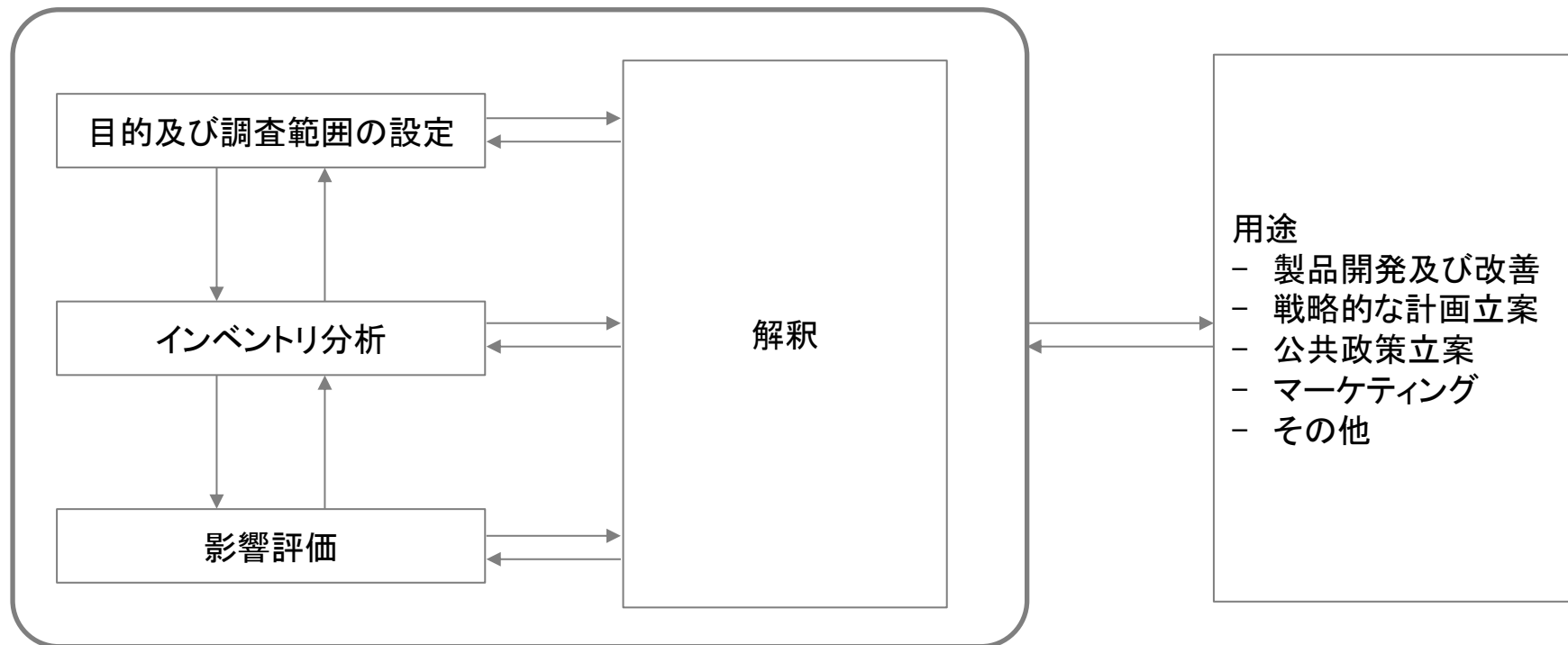
(2) バイオものづくりのLCAの実施方法

LCAのステップ

■ 標準化されたLCAの要素

- LCAはISO 14040:2006及びISO 14044:2006で標準化されており、以下の4つの段階で構成される。
- LCAは反復的な手法であり、目的が達成されるまで各ステップを繰り返し行うこととなっている。

LCAの4つの段階^[1]



(1)LCAの流れ(概要)

LCAの流れ(概要)

- ISO 14040シリーズに基づくLCAの手順を以下に示す。実務上は、活動量データに、データベース等から得られる原単位を乗じることで影響評価を行うことが多い。

ISO 14040シリーズに基づくLCAの手順

目的及び 調査範囲の 設定

- LCAの目的を決定する。
- 目的に応じて調査範囲を設定する。

インベントリ 分析

- 調査範囲についてインプット及びアウトプットを定量化し、どのような環境負荷物質が排出されているか分析する。

影響評価

- 調査対象の環境領域へ、インベントリ分析の結果を割り振る(分類化)
- 影響領域ごとに、基準物質をベースに特性化係数を用いて一つの値にまとめる(特性化)

解釈

- 上記の結果から、結論及び重要な事項を特定する。
- 完全性、感度及び整合性を評価する。
- 結論、限界及び提言をまとめる。

実務上は、活動量にデータベース等から得られる原単位を乗じることで、インベントリ分析と影響評価を実施することが一般的。

$$\text{環境影響} = \sum (\text{活動量} \times \text{原単位})$$

例: プロダクト1 kgあたりの
GHG排出量

例: 1 kgのプロダクトを
製造するのに必要な
グルコースの量や電力量

例: 1 kgのグルコース
や1 kWhの電力を
を生産する際の
GHG排出量

⇒続く「(2)バイオものづくりのLCAの実施方法」では、
①目的及び調査範囲の設定、②活動量データの取得、
③原単位データの取得、④影響評価、⑤解釈に分けて
記載

第3部 バイオものづくりのLCAの基礎

(1) LCAの流れ(概要)

(2) バイオものづくりのLCAの実施方法

① 目的及び調査範囲の設定

■ 目的の設定

- ISO 14040:2006及びISO 14044:2006では、LCAの目的の設定にあたり、以下の4項目を記述することとなっている。
- なお、一般に開示することを意図して比較主張を行う場合は、詳細な要求事項が設けられている。
- 比較主張に関する注意事項はp.26参照（詳細な解説はver. 2.0以降で追加予定）。

LCAの目的の項目と設定例

項目 [1, 2]	設定例
意図する用途	・ マーケティング ・ 投資判断 ・ プロセス開発、改善
調査を行う理由	・ 環境への影響を定量化するため ・ 温室効果ガス排出量を削減するため
意図する伝達先、すなわち、調査の結果を伝えようとしている相手	・ 社内の関係者 ・ 取引先 ・ 消費者
一般に開示することを意図する比較主張においてLCA結果を用いるか	・ 行う ・ 行わない

（出典）

[1] ISO, “ISO 14040:2006”, <https://www.iso.org/standard/37456.html>

[2] ISO, “ISO 14044:2006”, <https://www.iso.org/standard/38498.html>

① 目的及び調査範囲の設定

■ 調査範囲の設定

- ISO 14040:2006及びISO 14044:2006では、調査範囲の設定にあたり、以下の12項目を明確化することを要求している。本ガイドラインでは、この中でも特に重要な「機能単位」、「システム境界」、及び「配分の手順」について解説する。

LCAの調査範囲の項目^{[1], [2]}

- 調査対象の製品システム
- 製品システムが持つ機能
- 機能単位
- システム境界
- 配分の手順
- 選択された影響領域※、影響評価の方法論及び解釈の方法
- 必要とされるデータ
- 前提条件
- 限界
- 初期のデータ品質要件
- (実施する場合)クリティカルレビューの種類
- 調査報告書の種類及び書式

本ガイドラインで解説
(配分の手順は「②活動量データの収集(p30, 31)」参照)

※ 本ガイドライン ver. 1.0は気候変動(温室効果ガス排出量)を主な対象として作成しているが、影響領域は気候変動に限らない(p.38参照)

(出典)

[1] ISO, "ISO 14040:2006", <https://www.iso.org/standard/37456.html>

[2] ISO, "ISO 14044:2006", <https://www.iso.org/standard/38498.html>

① 目的及び調査範囲の設定

■ 調査範囲の設定(続き)

機能単位の設定

- LCAでは、目的に応じて、評価対象について特定の機能を設定する必要がある。この、製品システムの性能を表す定量化された単位を「機能単位」と呼ぶ。LCAにおいて比較を行う場合は、機能単位を同等にする必要がある。なお、1つの製品システムが複数の機能を有することがあることに留意が必要である。
- 機能単位を満たすために必要なものの量を「基準フロー」と呼ぶ。

機能、機能単位、基準フローの設定例

機能	洗濯をする		機能を定量化する
機能単位	衣服 5 kg を洗濯する		機能単位を満たすために必要なものの量を定量化する
基準フロー	洗剤 75 mL (衣服 5 kg を洗濯するために必要な量)		

(参考)

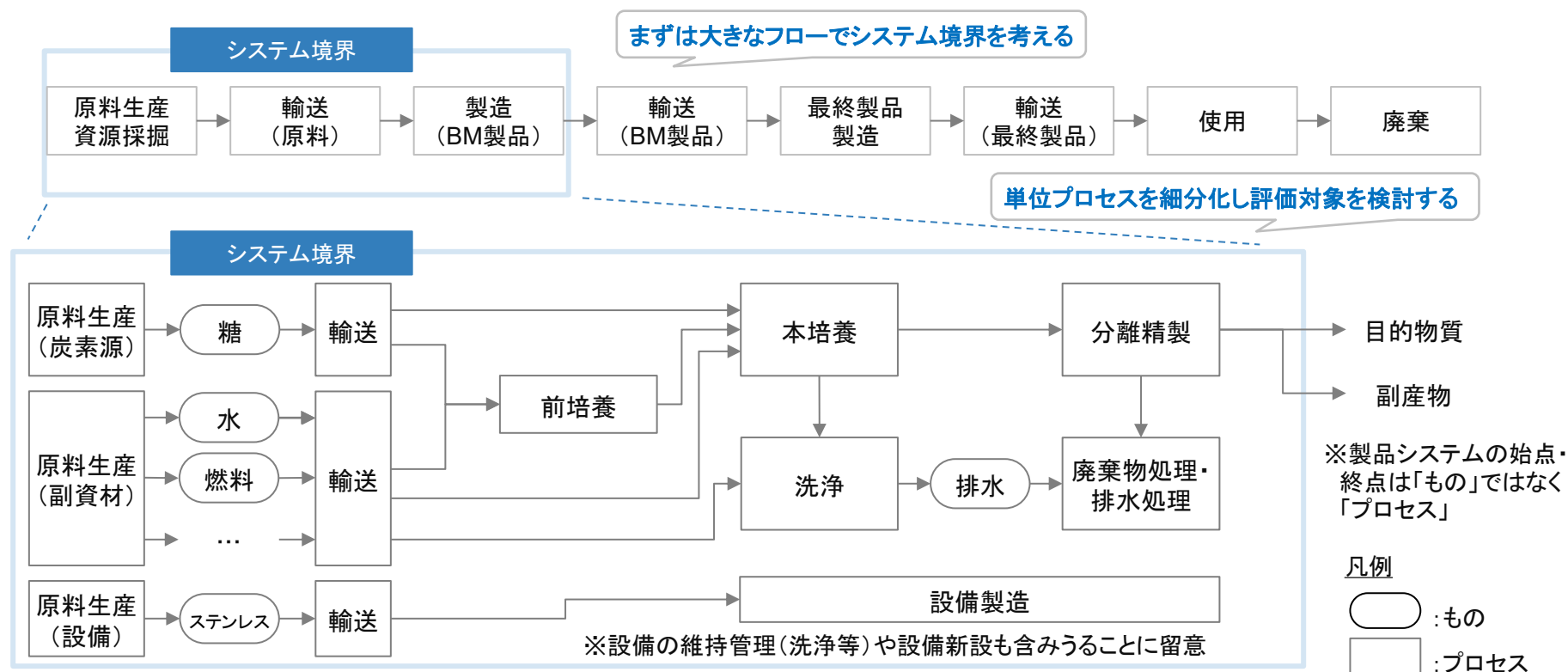
- ISO, "ISO 14040:2006", <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- ISO, "ISO 14044:2006", <https://www.iso.org/standard/38498.html>

① 目的及び調査範囲の設定

■ 調査範囲の設定(続き)

システム境界の設定

- 製品のライフサイクルを構成する各工程を「単位プロセス」と呼び、LCAの評価対象とする単位プロセスをまとめて「製品システム」と呼ぶ。製品システムと評価対象に含まれないプロセスとの境目を「システム境界」と呼ぶ。
- システム境界の設定にあたっては、目的に応じ、どの単位プロセスを製品システムに含めるか検討する必要がある。システム境界の作図方法と合わせ、検討イメージを以下に示す。



① 目的及び調査範囲の設定

バイオものづくりのLCAにおける目的及び調査範囲のよくある設定例

目的	機能単位・ 基準フロー	比較対象	システム境界													
			原料生産 資源採掘	→	輸送 (原料)	→	製造 (BM製品)	→	輸送 (BM製品)	→	最終製品 製造	→	輸送 (最終製品)	→	使用	→
開発課題の特定 (環境負荷が大きい 要因の特定)	1回の培養、1年間の 運転、BM製品1 kg の製造 等	なし	Cradle to gate					(原料生産～培養～精製の検討)								
			Gate to gate					(培養～精製工程の検討)								
原料の比較検討	同等の原料： 原料1 kgの調達	原料	Cradle to gate													
	同等でない原料： BM製品1 kgの製造		Cradle to gate													
製造技術の比較 検討(培養方式等)	BM製品1 kgの製造	製造技術	Cradle to gate													
製品の環境影響の 比較検討	酵素の例1： 力価1 Uあたり	BM製品 (自社内)	Cradle to gate													
	酵素の例2： 最終製品1 kgの製造	BM製品 (自社内)	Cradle to gate													
	洗濯洗剤の例： 洗濯1回あたり	最終製品 (自社内)	Cradle to grave													
顧客へのデータ開 示	BM製品1 kgの製造	なし	Cradle to gate													
競合製品(化石資 源由来製品等)と の比較・マーケティ ング	機能が同等の場合： BM製品1 kgの製造	BM製品/ 最終製品 (自社内 or 他社比較)	Cradle to gate													
	機能が異なる場合： 洗濯1回あたり(例)		Cradle to grave													

※BM: バイオものづくり

※比較主張は注意が必要

① 目的及び調査範囲の設定

■ 比較にあたっての注意事項

- 他社の競合製品等との優位性・同等性に関して一般に開示する主張（比較主張: comparative assertion）を行う場合、評価対象が同等となるように調査範囲が設定されなければならない。加えて、利害関係者からなる委員会がLCAのクリティカルレビューを実施しなければならない等の厳しい要件が課されている。^[1]
- 一方、自社の製品・技術との比較（パフォーマンスストラッキング）は比較主張にはあたらないため、優位性・同等性に関する主張を行うことができる。

比較に注意が必要な例

自社製品との比較	同一条件で算定していれば比較可能 (自社製品が市場の主流製品でない場合、その比較結果(環境影響の低減効果)は市場を代表するものではないことには留意)
市場平均との比較	市場平均値としてデータベース等の値を使用する場合、同じ条件で算定されているか確認が必要。
競合他社の製品との比較	同一条件で算定した上で、利害関係者からなる委員会がLCAのクリティカルレビューを実施しなければならない。 (詳細はISO 14044:2006参照)

① 目的及び調査範囲の設定

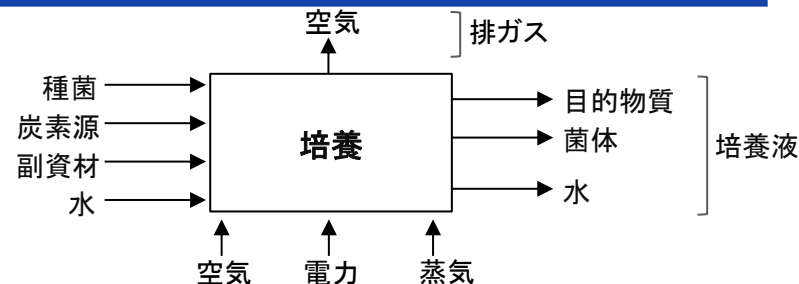
■ 目指すべき精緻さ

- 「第2部 影響評価結果の精緻さについて」で説明したとおり、活動量データ及び原単位データの収集方法によって影響評価結果の精緻さは影響を受ける。
- LCAの目的に応じて、どの程度の精緻さが求められるかを検討することは重要である。
(ガイドライン ver. 2.0以降で目的とBio-LRLの対応関係の目安を示す予定)

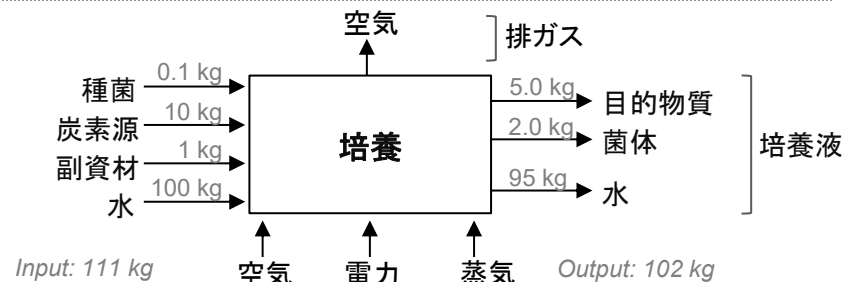
②活動量データの収集

Step. 1
インプット・
アウトプットの
整理

- システム境界(の単位プロセス)に含まれるインプット・アウトプットを明らかにする。

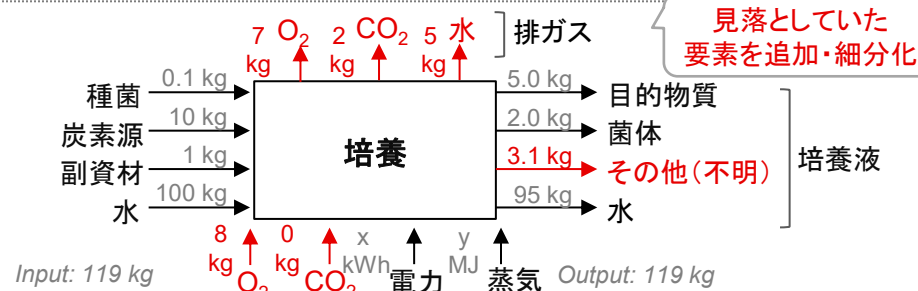
Step. 2
活動量の
収集

- 1年間や1バッチごとのインプット・アウトプットの量を収集する。
- ラボデータ等の場合はスケールアップ後のデータの推計が必要(「ガイドライン実践編」参照)

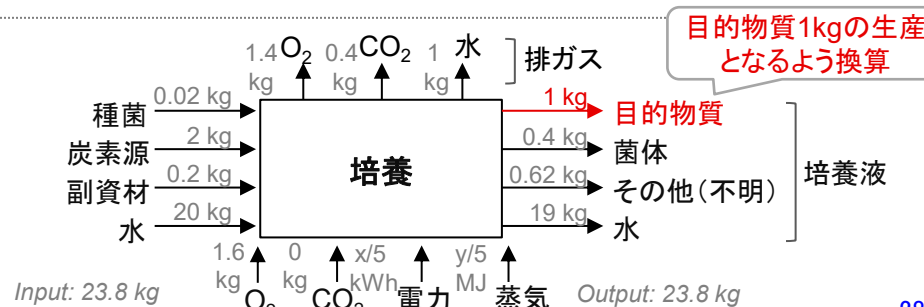
Step. 3
物質収支の
確認

- 物質収支を確認し、見落としている要素がないか確認する。
- 不明な量は仮定値を置いた上で、⑤解釈で重要度を確認する。

※ 物質収支の確認は単位プロセスごとに加えて、システム境界内のプロセス全体でも行う

Step. 4
機能単位へ
の換算

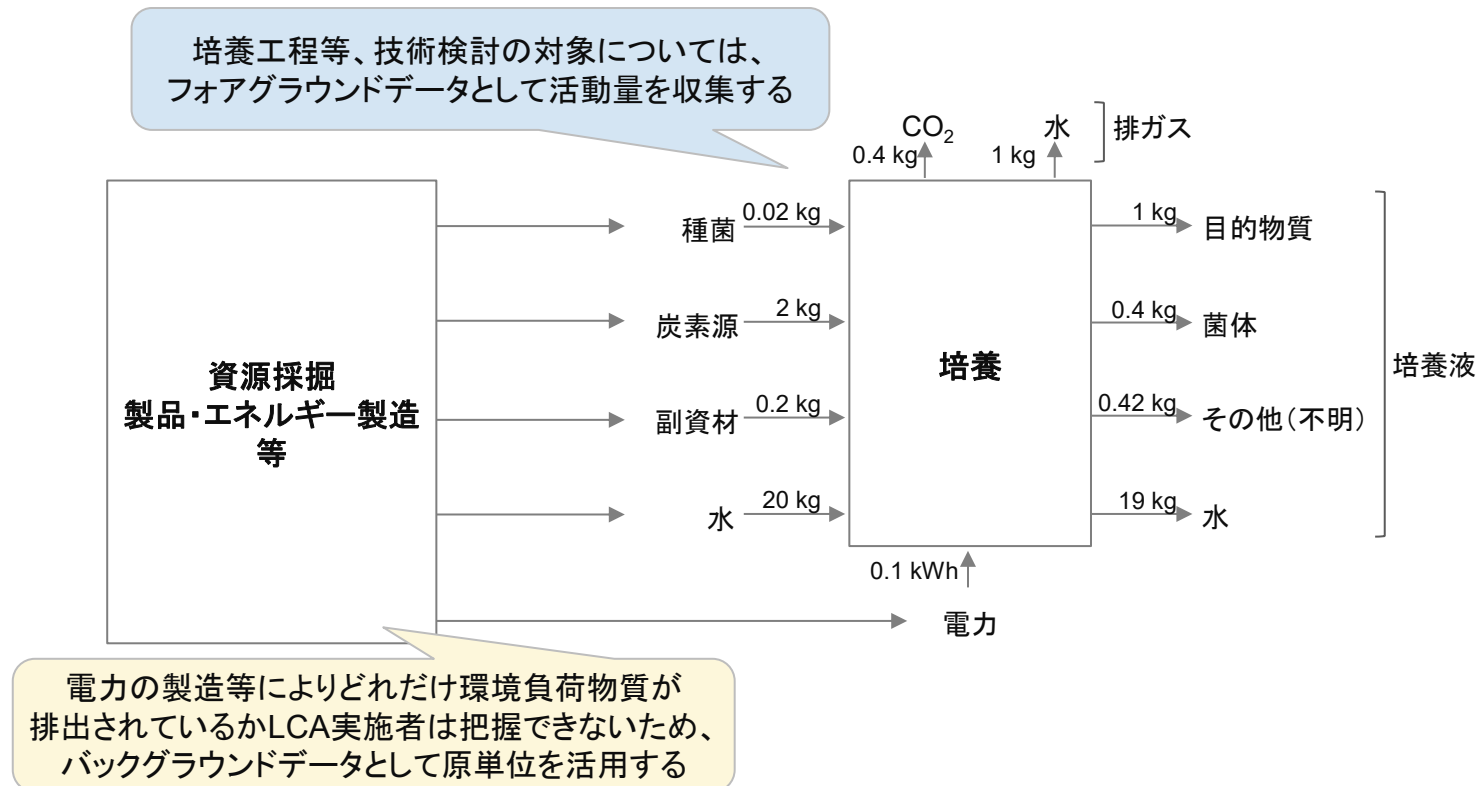
- 活動量を機能単位(基準フロー)あたりに換算する。
 - 右の例では「1 kgの目的物質生産あたり」となるように換算



②活動量データの収集

■ フォアグラウンドデータとバックグラウンドデータ

- LCA実施者の技術検討の範囲内のプロセスのインプット・アウトプット(培地使用量や電力消費量等)は、計測等により可能な限り対象プロセスの活動量を収集することが望ましい。そのようなプロセス及びデータをそれぞれフォアグラウンドプロセス、フォアグラウンドデータという。
- 一方、資源採掘や廃棄物処理等、LCA実施者の技術検討の範囲外のプロセスで、直接収集することが難しいものについては市場平均値などのデータを活用することができる(「③原単位データの収集」参照)。これをバックグラウンドプロセス及びバックグラウンドデータという。



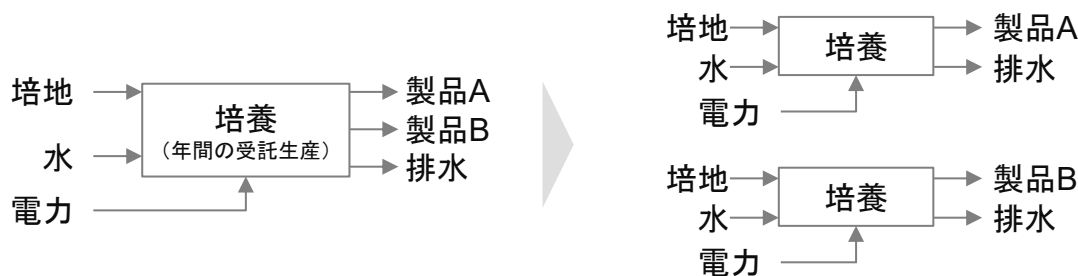
②活動量データの収集

■ 配分の手順

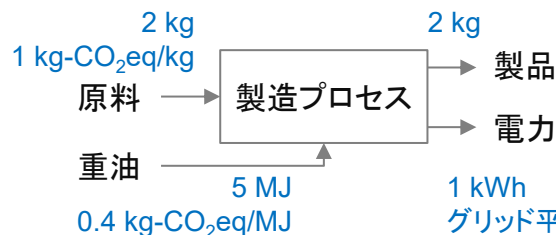
- 1つのプロセスから2つ以上の製品が製造される場合、当該プロセスのインプット・アウトプットを各製品に振り分ける(配分する)必要がある。
- ISO 14044:2006では、配分の手順として以下の優先順位に基づかなければならないとされている。^[1]

ア) 配分を回避する

単位プロセスを細分化できる場合、プロセスを分割する



システム境界を拡張する場合



$$\begin{aligned}
 \text{製品のGHG排出量} &= \text{原料のGHG排出量} + \text{重油のGHG排出量} - \text{電力のGHG排出量} \\
 &= 2 \times 1 + 10 \times 0.4 - 1 \times 0.5 \\
 &= 3.5 \text{ kg-CO}_2\text{eq/kg-B}
 \end{aligned}$$

システム境界の拡張

【システム拡張にあたっての注意】

- 火力発電が主の系統電力の場合、システム境界の拡張に伴う控除が大きくなり、目的システムの環境影響が負の値になる場合がある。システム拡張の適用是非・代替物は慎重に検討する必要がある。

(出典)

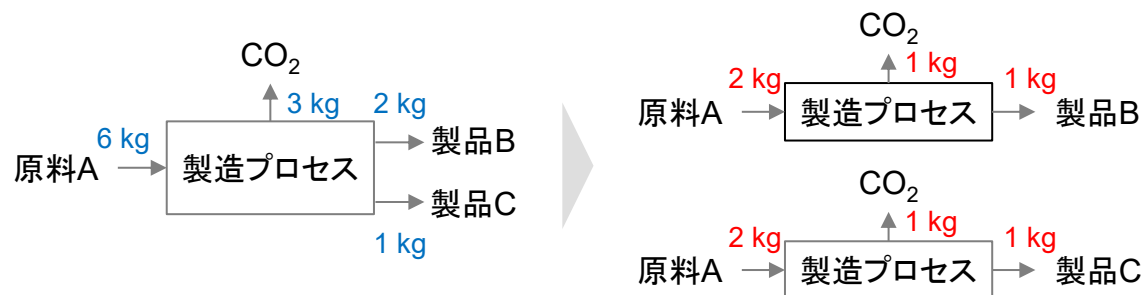
[1] ISO, "ISO 14040:2006", <https://www.iso.org/standard/37456.html>

②活動量データの収集

■ 配分の手順(続き)

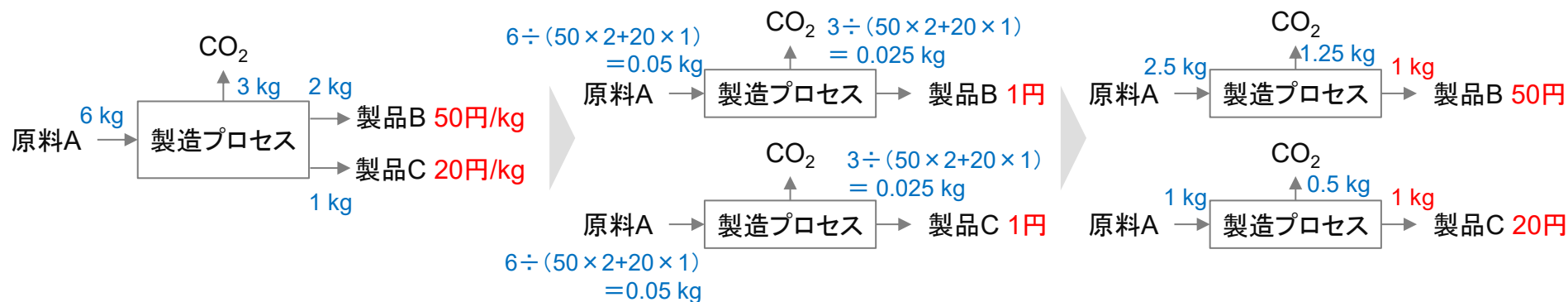
イ) 物理的パラメータによって配分する(例: 質量、熱量)

特徴: 製品の単位重量あたりの入出力は等しくなる



ウ) その他の関係を反映する方法で配分する(例: 経済価値)

特徴: 製品の単位価格あたりの入出力は等しくなる



②活動量データの収集

■ カットオフ

- データ収集の作業負荷を踏まえ、環境影響全体への寄与が小さいと考えられるインプット・アウトプットを省略することを「カットオフ」と呼ぶ。また、カットオフを行うか決定する基準を「カットオフ基準」と呼ぶ。^[1]
- カットオフしたインプット・アウトプットはシステム境界に含まれるが、算定から除外される^[2]。よって、環境影響が十分小さいと判断できない場合はカットオフの対象とすることは望ましくないことから、カットオフは慎重に行う必要がある。
- カットオフを行った際は、カットオフしたインプット・アウトプットを明示するとともに、「⑤解釈」において影響度を分析することが望ましい。

■ 新設設備の考慮

- バイオもののづくりのために新設した設備（培養装置等）について、その建設も評価対象とすることが考えられる。その際、減価償却期間や耐用年数、実使用期間等を考慮して、活動量を設定することが望ましい。

（出典）

[1] ISO, "ISO 14040:2006", <https://www.iso.org/standard/37456.html>

[2] 経済産業省、環境省、「CFPガイドライン」、https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_footprint/pdf/20230526_3.pdf

③原単位データの収集

- 原単位とは単位活動量あたりの環境負荷であり、資源採掘や廃棄物処理等、LCA実施者の技術検討の範囲に入らないプロセスに対して、バックグラウンドデータとしてデータベース等を活用するものである。
- 精緻なLCAの実施にあたっては、適切な原単位(バックグラウンドデータ)の収集・選択が重要になる。原単位データの収集方法は、本ガイドラインでは5段階に分け、「ガイドライン(実践編)」にて工程別に解説する。データが不足する場合は仮定値を置いた上で、「⑤解釈」で重要度を確認する必要がある。

原単位の収集方法の例と注意が必要なポイント

サプライヤーから原単位の 提供を受ける場合

- 原材料生産やエネルギー生産、排水処理等、自社の契約先から原単位を入手できる場合は、当該原単位の適切性をLCA実施者が判断した上で使用することが望ましい。
 - 当該データの算定条件(システム境界、データ収集方法等)についても提供を受けた上で、使用にあたっての適切性を判断することが望ましい。
 - なお、サプライヤーへ原単位の情報提供を依頼する場合は中小受託取引適正化法(取適法)等に留意すること。(経済産業省、環境省、「CFPガイドライン」、p50参照)^[1]

データベースを 使用する場合

- データベースにより、掲載されている情報が異なったり、算定条件・精度が異なったりするため、適切なデータベースの選択が重要になる。

学術論文等の文献値を 使用する場合

- 当該データの算定条件を調査した上で、使用にあたっての適切性を判断することが望ましい。

③原単位データの収集

■ 原単位のデータベース

- 原単位のデータベースはその作成方法によって以下の二種類に大別される。LCAの目的に応じて選択する必要がある。
- 各データベースは作成方法(システム境界・配分等)が異なるため、複数のデータベースを併用することは推奨されない^{注,[1]}が、データの登載状況により、複数のデータベースを併用することもありうる。
- 複数のデータベースを併用する場合、影響評価手法が異なる場合があることに注意が必要である。
(例: GHG排出量の算定対象の温室効果ガスが異なる、地球温暖化係数(GWP)が異なる、同じ酸性化の影響領域であっても影響評価手法が異なる場合がある、等)

(注) IDEAでは、「IDEA 以外の他社のデータベースと、IDEA を混在させ使用することを推奨しない。データベース間で、データ作成方法、配分方法、カットオフ基準、影響評価手法などが異なるためである。開発元が異なる複数のデータベースをやむを得ず利用する場合は、混在使用による結果および結論について注意すること。」とされている。

(出典)[1] 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ、「AIST-IDEA Ver.3.5 標準版 マニュアル第 1 部」

	例	メリット ^[2]	デメリット ^[2]
積み上げ法に基づくデータベース 当該プロセスのインプット・アウトプットを収集・集計することで環境負荷を算定	AIST-IDEA JLCAデータベース ecoinvent Agri Footprint 等	■ 当該プロセスのインプット・アウトプットを収集・集計しており高精度かつ詳細な分析が可能。	■ データベースに登載されていない品目が存在する。
産業連関表に基づくデータベース 産業連関表を用いて商品部門間の生産活動(金額)のやり取りから環境負荷を算定	3EID Eora Global MRIO ...	■ 産業連関表がもとになっているため、すべての商品部門が登載されており、対象分野の網羅性が高い。	■ 平均的な単位生産額あたりの排出量が登載されており、個別品目ごとの分析は難しい。 ■ 対象の環境負荷物質が限定的。

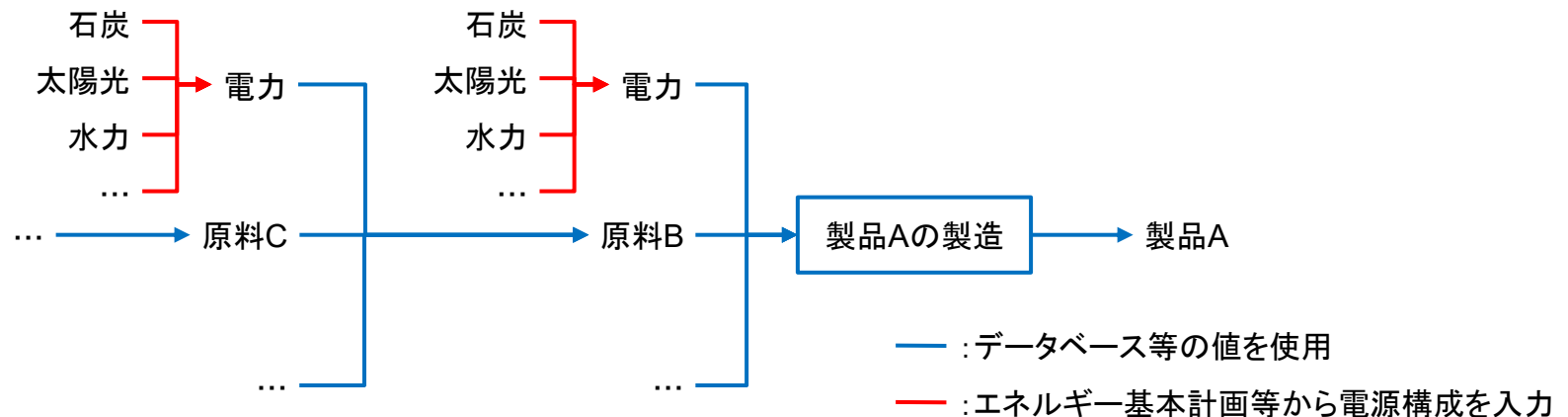
(出典、一部改変)

[2] 環境省、「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位について Ver.3.5」、https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/unit_outline_V3-5.pdf

③原単位データの収集

■ (参考) 将来の原単位

- 現在、国や事業者により、さまざまな将来の原単位が公表されている。将来の原単位の推算にあたってこれらの情報を活用することができるが、不確実性を十分理解した上で使用する必要がある。
 - － 「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」に基づく政府目標: $0.25 \text{ kg-CO}_2\text{eq} / \text{kWh}$ ^[1]
 - － 電気事業低炭素社会協議会による2030年度の目標: $0.37 \text{ kg-CO}_2\text{eq} / \text{kWh}$ 程度(使用端) ^[2]
- 将来の原単位の作成に関する研究が進められており、データベース「ecoinvent」に、気候変動対策や経済、人口動態等を推計する統合評価モデル(integrated assessment model)の将来シナリオを導入した事例が存在する。^[3]
- 簡易的な将来の原単位の作成にあたっては、積み上げ法に基づく原単位をもとに、MiLCAやSimaPro、OpenLCA等のLCA用ソフトウェアを使用することで、下図のように将来のエネルギー動向を反映する手法も有効である。ただし、将来の技術革新が反映されない等の不確実性に留意する必要がある。



(出典)

[1] 資源エネルギー庁、「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」、https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_03.pdf

環境省、「2030年度排出削減目標に関する対策・施策の一覧」、<https://www.env.go.jp/content/000290553.pdf>

[2] 電気事業低炭素社会協議会、「電気事業における地球温暖化対策の取組み」、https://e-lcs.jp/assets/2021FU_torikumi1.pdf

[3] Sacchi, R., et al., "Prospective Environmental Impact Assessment (premise): A streamlined approach to producing databases for prospective life cycle assessment using integrated assessment models," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 160, p. 112311, May 2022, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112311>

④ 影響評価

- 活動量データに原単位データを乗じ、合計することで影響評価を行う。

$$\text{環境影響} = \sum (\text{活動量} \times \text{原単位})$$

例: プロダクト1 kgあたりの
GHG排出量

例: 1 kgのプロダクトを
製造するのに必要な
グルコースの量や電力量

例: 1 kgのグルコース
や1 kWhの電力を
を生産する際の
GHG排出量

- 簡便なことから上記の計算方法が一般的に使用されているが、この方法ではどの環境負荷物質による影響が支配的か分析することはできない(例: GHG排出量の主要因がCO₂なのか、CH₄やN₂O等なのか、分析することができない)。これを確認するには、インベントリ分析を実施する必要がある(p.37参照)。

インベントリ分析と影響評価

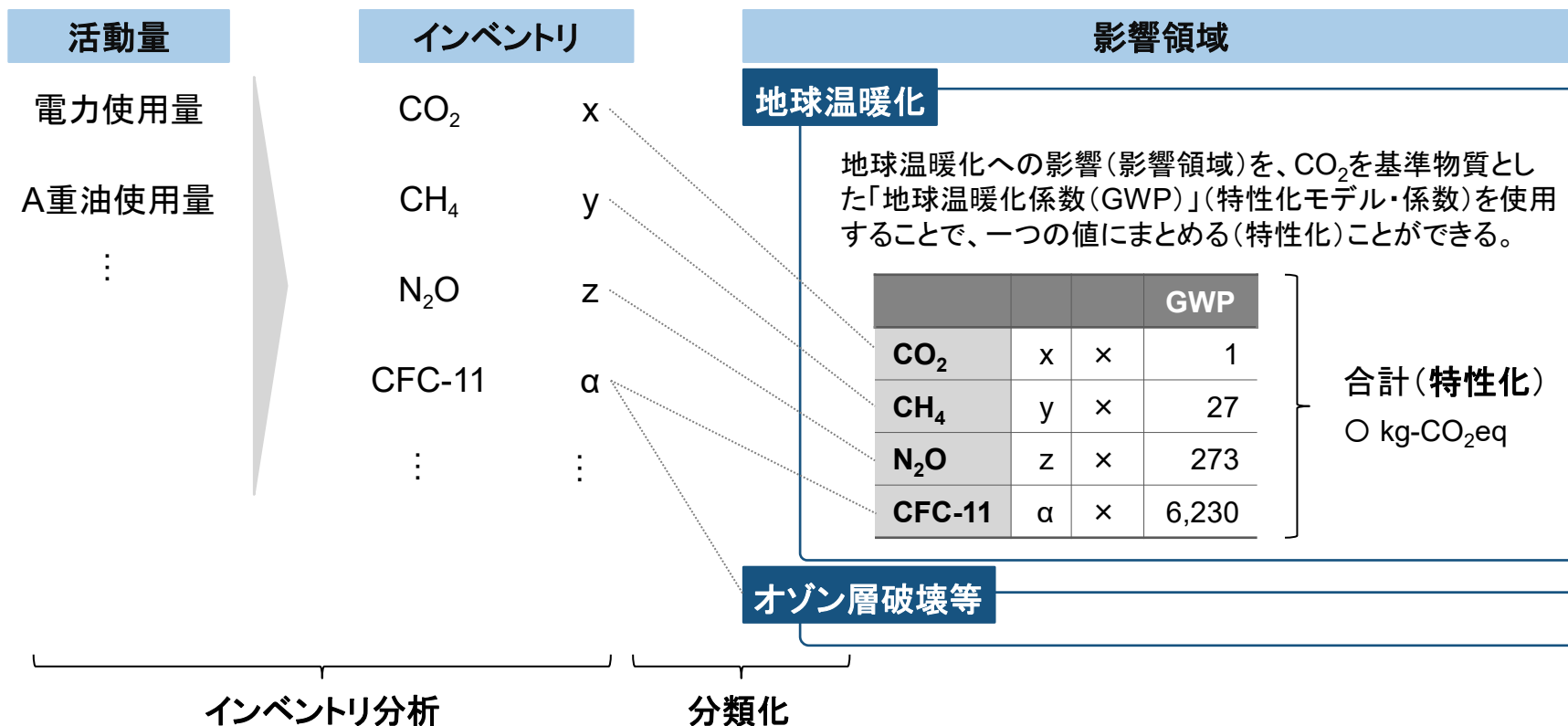
- 近年、原単位のデータベースの発達により、上記の計算方法が一般的に使用されているが、この方法ではどの環境負荷物質による影響が支配的か分析することができない(例: GHG排出量の主要因がCO₂なのか、CH₄やN₂O等なのか、分析することができない)。
- どの環境負荷物質による影響が大きいか確認するためには、インベントリ分析(p.37参照)を実施する必要がある。
- 上記の計算方法(活動量×原単位)はインベントリ分析を経っていないためISO 14040:2006及びISO 14044:2006に準拠しているとは言えないが、計算の進め方・考え方はISOを参考にしたものであり、ISOを逸脱するものではない。

(2) バイオものづくりのLCAの実施方法

(参考) ISO 14040シリーズにおけるインベントリ分析と影響評価

- ISO 14040シリーズでは、インベントリ分析および影響評価は以下の流れで実施される。^[1]
 - どのような環境負荷物質が排出されているか分析する(インベントリ分析)
 - 調査対象の影響領域へ、インベントリ分析結果を割り振る(分類化)
 - 影響領域ごとに、基準物質をベースに特性化係数を用いて一つの値にまとめる(特性化)
- データベースの原単位はあらかじめ特性化された結果が登載されており、インベントリ分析・分類化・特性化を経ずに簡便にLCAを行うことができる。

影響評価の手順



(出典)

[1] ISO, "ISO 14040:2006", <https://www.iso.org/standard/37456.html>

(2) バイオもののづくりのLCAの実施方法

(参考) LCAで評価できる環境影響とLIME2

- LCAは気候変動への影響（GHG排出量）のみならず、さまざまな環境影響を定量的に評価することができる。
- これまでにさまざまな特性化係数が開発されており、日本版被害算定型影響評価手法「LIME2」では、以下の特性化係数が推奨されている。

LIME2 が推奨する特性化係数とその特徴^[1]

影響領域	LIME2で推奨される特性化係数	評価結果の単位	特性化手法が評価する内容
オゾン層破壊	ODP	CFC-11eq. kg	オゾン層破壊能力
地球温暖化	GWP	CO ₂ eq. kg	赤外線放射強制力
酸性化	DAP	SO ₂ eq. kg	沈着を考慮したプロトン量
都市域大気汚染	UAF	SO ₂ eq. kg	日本各地域の気象条件を反映
光化学オキシダント	OECD	C ₂ H ₄ eq. kg	日本各地域の気象条件を反映
有害化学物質	HTP cancer	C ₆ H ₆ air eq. kg	発がん性物質のハザード比
	HTP chronic disease	C ₆ H ₆ air eq. kg	慢性疾患のハザード比
生態毒性	AETP	C ₆ H ₆ water eq. kg	水生生物への有害性
	TETP	C ₆ H ₆ soil eq. kg	陸生生物への有害性
富栄養化	EPMG	PO ₄ ³⁻ eq. kg	溶存酸素消費量
室内空気質汚染	TVOC	kg	物質間の重みづけは行わない
土地利用	LOF	1/m ² /yr	土地の占有面積と占有期間
	LTF	1/m ²	土地改変面積
資源消費（鉱物資源、化石燃料、生物資源）	消費エネルギー	MJ	発熱量
	1/R	1/kg	可採埋蔵量の逆数
廃棄物	WPF	m ³ /kg	処分場に占める容積
騒音	NPF	J/台・km	音源のエネルギー

（出典）

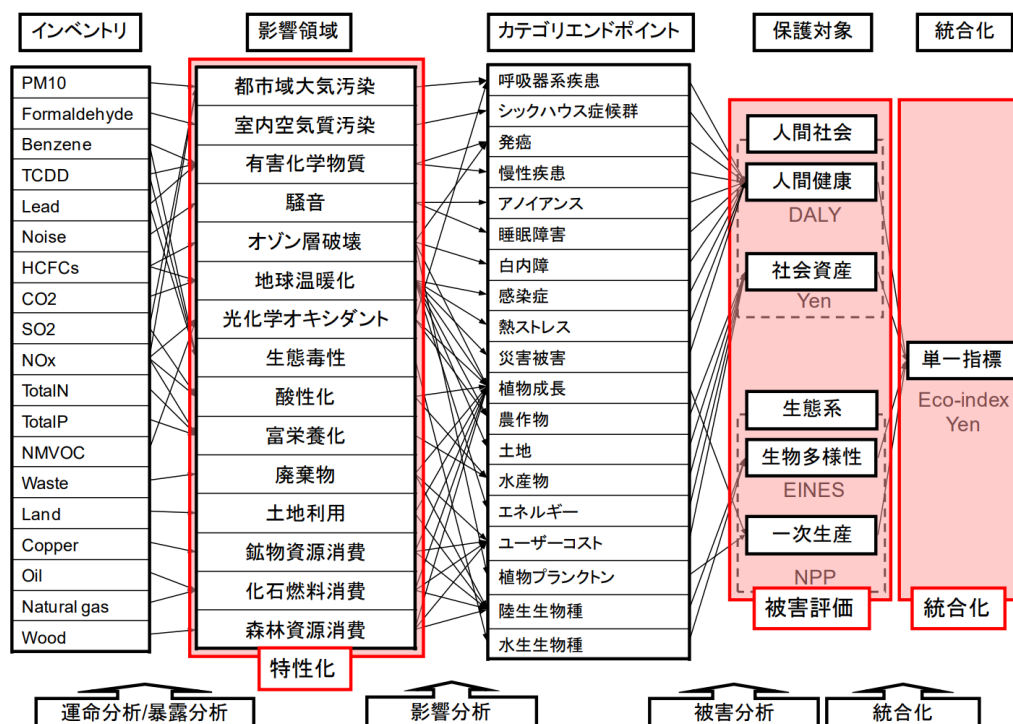
[1] LCA日本フォーラム、「LIME2 係数リストの解説（要約版）」、<https://lca-forum.org/database/impact/pdf/LIME2expository20100701.pdf>

(2) バイオものづくりのLCAの実施方法

(参考) 重み付け

- LCAではさまざまな環境影響を定量的に評価できる反面、どの影響領域が重要か特定することが難しい。そこで、複数の環境影響「重み付け」し、一つの数値に換算する場合がある。(重み付けはLCAの任意の要素である。)
- 一つの数値で表されるため解釈が容易だが、重み付けは主観的な価値判断が必要となるため、重み付けの方法により結果が異なることに注意が必要である。また、一般開示を意図する比較主張においては、重み付けは制限されている^[1]。
- 日本版被害算定型影響評価手法「LIME2」では、「人間健康」、「社会資産」、「生物多様性」、「一次生産」の4つを保護対象とし、これらの項目に重み付けを行うことで、単一指標(Eco-index Yen)に換算される。

LIMEの概念図と評価対象範囲^[2]



(出典)

[1] ISO, "ISO 14044:2006", <https://www.iso.org/standard/38498.html>

[2] LCA日本フォーラム, 「LIME2 係数リストの解説(要約版)」, <https://lca-forum.org/database/impact/pdf/LIME2expository20100701.pdf>

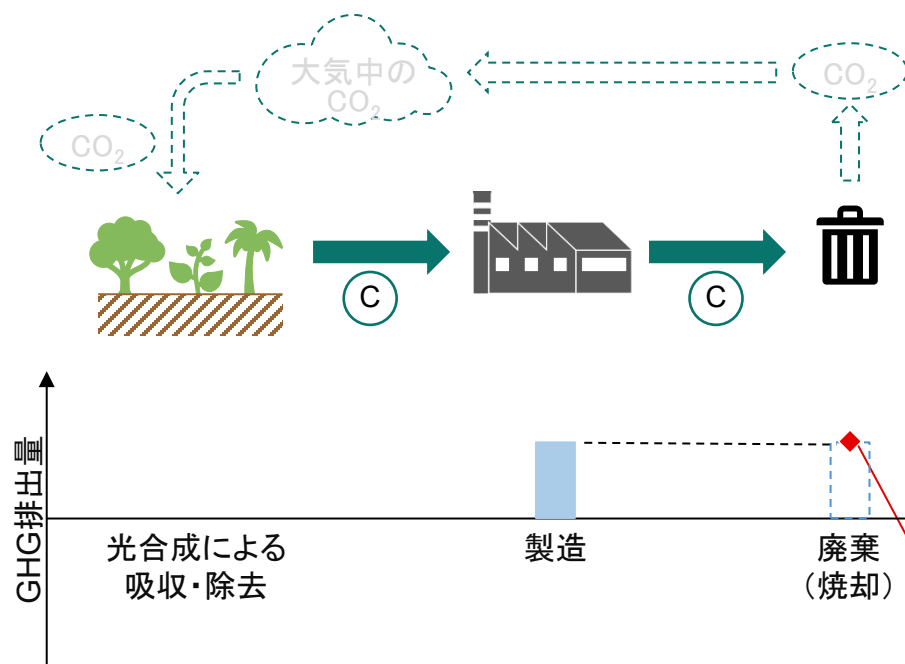
(2) バイオもののづくりのLCAの実施方法

(参考) バイオマス由来炭素の考え方

- バイオマス由来炭素の考え方は2通りあり、バイオマス生産時のCO₂の吸収と廃棄(焼却)時のCO₂の発生量をゼロとみなす「0/0アプローチ」と、ともに考慮する「-1/+1アプローチ」が存在する。
- なお、ISO 14067:2018では「-1/+1アプローチ」を採用することが規定されている^[1]。

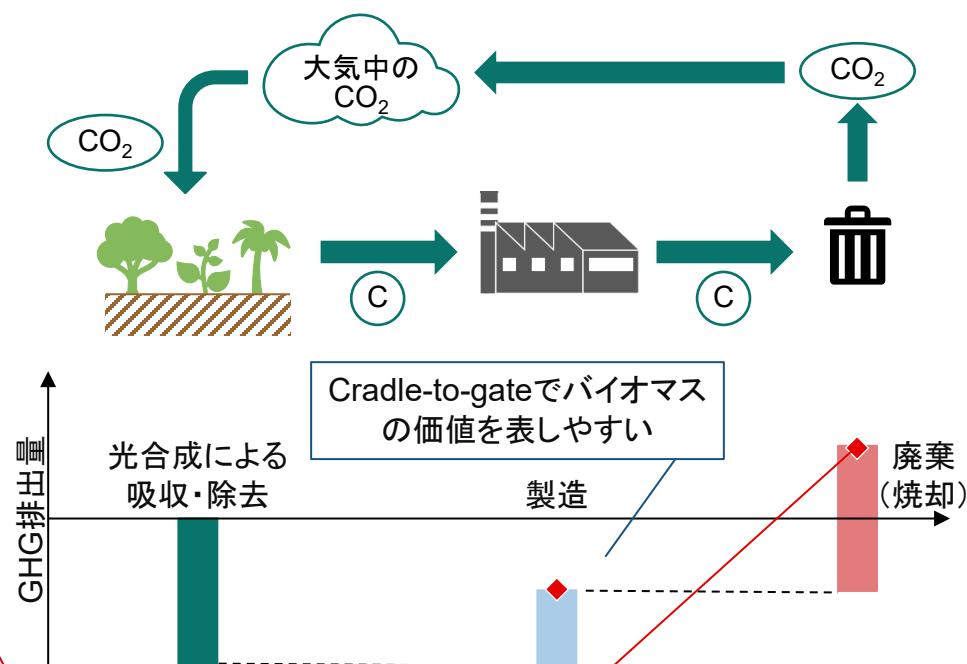
0/0アプローチ

- ・ バイオマス生産時のCO₂の吸収(除去)を考慮しない
- ・ 焼却時のCO₂排出量はゼロとみなす



-1/+1アプローチ

- ・ バイオマス生産時のCO₂の吸収(除去)を考慮する
- ・ 焼却時に吸収量と同量のCO₂が排出される



どちらの方法でもCradle-to-graveの排出量は変わらない

(出典)

[1]ISO, "ISO 14067:2018", <https://www.iso.org/standard/71206.html>

⑤ 解釈

- ISO 14044:2006では、解釈の実施方法が示されている。^[1]
 - インベントリ分析及び影響評価の結果から、重要な事項を特定する
 - 完全性、感度及び整合性を評価する
 - 結論、限界及び提言をまとめる
- 上記のうち、バイオもののづくりのLCAにおいて特に重要な点を以下に示す。

確認事項

対応方法

① 目的及び調査範囲
の設定

- ✓ 評価対象・範囲は結論を導くのに適切か？

- ✓ 必要に応じてシステム境界を変更する

② 活動量
データの
収集③ 原単位
データの
収集

- ✓ 工程の抜け漏れや不適切なデータはないか？

- ✓ 物質収支の確認を行う
- ✓ 使用した活動量・の適切性を確認する

- ✓ 不確実性のあるデータはないか？
- ✓ 類似データ・仮定値の影響評価結果への寄与は小さいか？

- ✓ 感度分析を行う(p42参照)

④ 影響評価

- ✓ 重要なライフサイクルステージや単位プロセスは何か？
- ✓ 気候変動以外の影響領域は考慮しなくてよいのか？

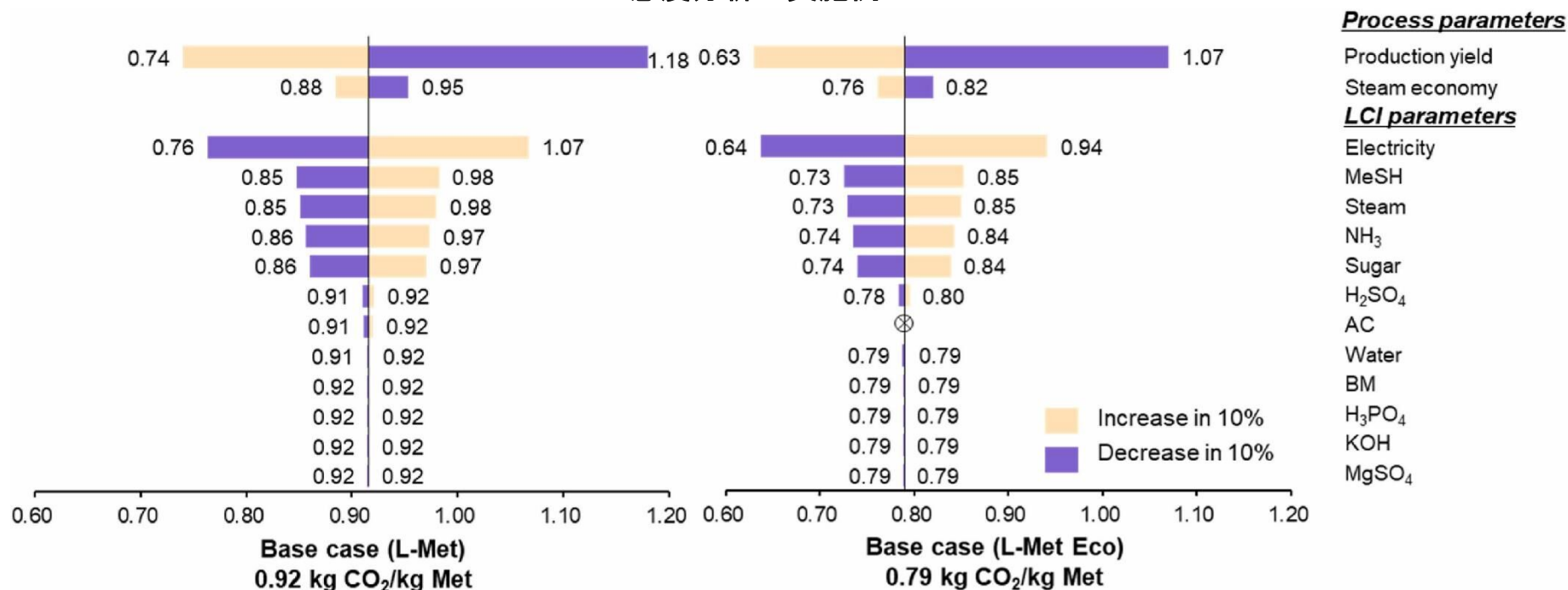
- ✓ 全体に占める割合が大きいライフサイクルステージやインプット・アウトプットを確認する
- ✓ どの影響領域が重要か特定する(土地利用、水資源消費、富栄養化等)

LCAから導き出される結論と、限界を整理する
必要に応じて、LCA結果を見る意思決定者に対し、提言を行う

⑤ 解釈

■ 感度分析の実施方法の例

- 「②活動量データの収集」及び「③原単位データの収集」で収集した活動量及び原単位について感度分析を行う。
一例として、各数値（活動量及び原単位）を10%増減させた場合の、影響評価結果の変動を確認する。
 - 感度が高い順に並べた図を、「トルネードグラフ」と呼ぶ（下図）。
- これにより、どのパラメータが全体に大きく影響するかが明らかになり、どのデータの精度を向上させることが重要かが明らかになる。

感度分析の実施例^[1]

(出典)

[1] Kim, H., Saremi, B., Park, S., Jung, M., Yun, Y., Son, J., Lee, J., Kim, J.-W., & Won, W. (2024). Comparative life cycle assessment for the sustainable production of fermentation-based L-methionine. Journal of Cleaner Production, 462, 142700. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142700>

更新履歴

更新日	ver.	更新内容
2026年4月	1.0	・ バイオものづくり分野のLCAガイドライン（本編） ver. 1.0発行

バイオものづくり分野のLCAガイドライン（本編）

2026年4月 発行

編集・発行 一般財団法人バイオインダストリー協会
 東京都千代田区丸の内1-7-12 サピアタワー 8F

制作協力 三菱UFJリサーチ & コンサルティング株式会社

協力 経済産業省

本ガイドラインは国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)委託事業
「バイオものづくりに関するLCAの指針検討に向けた基礎調査」の成果として作成されました。