

# 国立国会図書館 調査及び立法考査局

## Research and Legislative Reference Bureau National Diet Library

論題 Title	脱炭素技術のライフサイクルアセスメント
他言語論題 Title in other language	Life Cycle Assessment of Decarbonization Technologies
著者 / 所属 Author(s)	玄地 裕 (GENCHI Yutaka) / 産業技術総合研究所安全科学 研究部門研究部門長
書名 Title of Book	脱炭素社会の技術と諸課題 科学技術に関する調査プロジ ェクト報告書 (Technologies for Decarbonized Society and Related Issues)
シリーズ Series	調査資料 2021-5 (Research Materials 2021-5)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2022-03-29
ページ Pages	131-142
ISBN	978-4-87582-892-1
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	ISO14040 (2006) シリーズを中心に、温室効果ガス排出量算 定や削減量算定の基本となるライフサイクルアセスメント (LCA) の手法論、考え方等を概観した。

\* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

\* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

# 脱炭素技術のライフサイクルアセスメント

産業技術総合研究所

安全科学研究部門 研究部門長 玄地 裕

## 目 次

はじめに

### I 国際規格に定められている LCA

- 1 LCA の体系と枠組み
- 2 目的及び調査範囲の設定
- 3 インベントリ分析
- 4 インパクト評価（影響評価）
- 5 解釈

### II 数値解釈のポイント

- 1 「比較主張」を伴う LCA
- 2 製品バスケット法
- 3 配分（アロケーション）

### III 脱炭素と LCA

おわりに

### 【要 旨】

ISO14040（2006）シリーズを中心に、温室効果ガス排出量算定や削減量算定の基本となるライフサイクルアセスメント（LCA）の手法論、考え方等を概観した。脱炭素技術評価という観点から、多様なガイダンスやISO等による温室効果ガス（GHG）排出量、削減貢献量、比較主張等の算定が行われているが、それらの算定結果についての、誤解を招かない利用やコミュニケーション、政策等への展開などには基本的なLCAについての理解が必要である。LCAは、方法論、規格、ガイダンス等の更新や開発が進み、今後の発展が見込まれる。脱炭素技術評価に関係するそれらの情報についても注意が必要である。

## はじめに

2015年の第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）でのパリ協定採択以降、世界は温暖化対応について、国が責任を持ち、より具体的な対策を行う方向性が鮮明になった。いわばトップダウンによる温暖化対策対応であるが、一方で産業界や市民生活の中で、具体的にどのような対策や行動をとることが意味のある温暖化対策に結びつくのか、現場のボトムアップによる温暖化対策をその定量的な効果とともに示すことはあまり容易な事柄ではない。

現在、日本国内からの温室効果ガス（Greenhouse Gas: GHG）排出の90%以上は化石燃料由来であり、その使用量の削減は当然、GHG排出削減に結びつく。電源供給を、化石燃料を利用した火力発電から太陽エネルギーを利用する太陽電池パネルに置き換えればGHG排出削減になることは誰でも想像できることであろう。

一方、火力発電の脱炭素代替技術である太陽電池パネルは、多くが半導体シリコンを利用し、製造時に大量のエネルギーが必要とされ、その多くが現状では化石燃料由来のエネルギーを利用する。したがって、発電時にはGHGの排出はないが、製造時に排出されるGHGについても考慮する必要がある。

ガソリン自動車の脱炭素代替技術である電気自動車（Battery Electric Vehicle: BEV）も同じように、走行時にはGHGを排出しないが、現状では使用する電力の発電時や、バッテリー製造や電気自動車製造時にはGHG排出を伴う。

幸いながらシリコン太陽電池パネルは、一般的に2～3年程度発電運用することで、製造時の電力等の消費エネルギーと同等の発電量を得ることができ<sup>(1)</sup>、それ以上の期間、発電運用することで低炭素化に貢献する。

BEVは、数値的なデータは余り公表されていないので一例になるが、近年の論文からは、同等の距離を走行したガソリンエンジンの自動車からの素材、製造も含めたGHGの総排出量と比較して、約6万km程度以上の走行でGHG排出削減効果が現れることが報告されている<sup>(2)</sup>。

これらは、一部の例にすぎないが、低炭素、脱炭素技術が真にGHG排出削減に効果を発揮するに至るかどうかを議論するためには、素材、製造時の環境負荷も考慮した上でのGHG排出量の計上が不可欠である。そのため、現在、脱炭素技術やシステムについて議論する上でラ

\* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は令和4（2022）年2月27日である。

(1) 産業技術総合研究所太陽光発電研究センター「補足資料 太陽光発電のエネルギーペイバックタイム・CO<sub>2</sub>ペイバックタイムについて」2007.7.17. <[https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about\\_pv/supplement/supplement\\_1.html](https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about_pv/supplement/supplement_1.html)>

(2) Ryuji Kawamoto et al., “Estimation of CO<sub>2</sub> Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA,” *Sustainability*, 11 (9), 2019.5, 2690. <<https://doi.org/10.3390/su11092690>>

ライフサイクルアセスメントの考え方（ライフサイクル思考という）とその結果に対する理解や解釈を正しく行うことが非常に重要となっている。

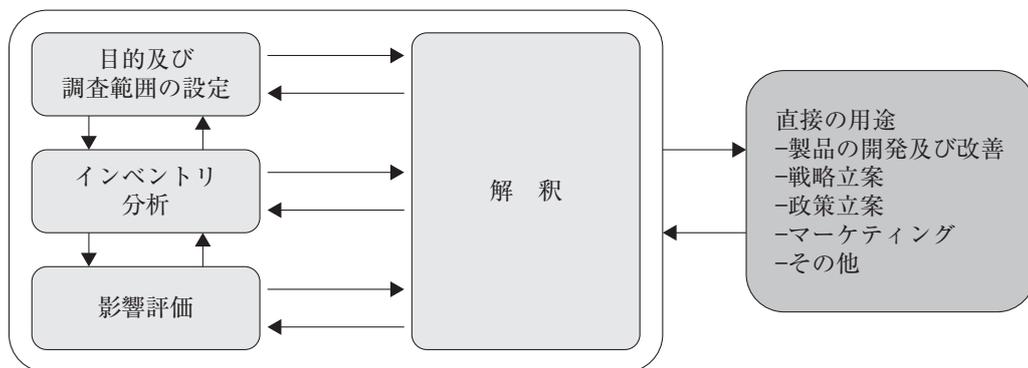
本稿では、ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment：LCA）について、その結果の理解や解釈に必要な基礎的な枠組み、手順を中心として、主に ISO14044（2006）<sup>(3)</sup>/JIS Q 14044（2010）<sup>(4)</sup>の内容に基づき概観する<sup>(5)</sup>。

## I 国際規格に定められている LCA

### 1 LCA の体系と枠組み

LCA の体系、枠組み、手順については、ISO14040（2006）/JIS Q14040（2010）に示されている。この中で、LCA については、「LCA は、原材料の取得から製造、使用及び使用後の処理、リサイクル及び最終処分（すなわち、ゆりかごから墓場まで）に至るまでの製品のライフサイクルの全体を通じた環境側面及び潜在的な環境影響（例えば、資源利用及びリリースによる環境影響）を取り扱う」とされている。ここにも一部書かれているが、LCA の大きな特徴は、原材料の採掘から最終処分に至る製品システムのライフサイクル全体の環境側面を体系的、かつ、適切に取り扱うことである。そのための主な原則と枠組みには、①目的及び調査範囲の設定、②インベントリ分析、③インパクト（影響）評価、④解釈の四つの段階が示されている（図 1）。

図 1 ライフサイクルアセスメントの枠組み



（出典）ISO14040（2006）を基に筆者作成。

### 2 目的及び調査範囲の設定

「目的及び調査範囲の設定」は、LCA 実施に際して非常に重要な役割を持つ。まず、LCA を実施する対象となる製品・サービスについて、特定の機能を決定し定量化するための「機能単位」を定める。例えば、自動車であれば 13 年 13 万 km 走行する自動車などである。機能単位として 11 年 11 万 km と定めた自動車と 13 年 13 万 km と定めた自動車の LCA の結果は当然比較できない。また、どこまでの範囲を製品・サービスの調査範囲とするのか（システム境界と

(3) “ISO 14044: 2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.” ISO website <<https://www.iso.org/standard/38498.html>>

(4) 「環境マネジメント—ライフサイクルアセスメント—原則及び枠組み」（JIS Q 14040:2010）日本工業標準調査会，2010。

(5) LCA の詳細については、伊坪徳宏ほか著、稲葉敦・青木良輔監修『LCA 概論』（LCA シリーズ 第 1 分冊）産業環境管理協会，2007；稲葉敦監修『LCA の実務』（LCA シリーズ 第 2 分冊）産業環境管理協会，2005 等を参照。

呼ぶ)を定める。この国際規格では、LCAだからといって、必ずしもライフサイクル全体を調査範囲とすることは求められていない。原材料調達から設計・製造、使用、廃棄リサイクルのどの範囲をLCAの調査範囲としたかを明確にすればよいとされている。

LCAによって算出された結果は、単純な環境側面の指標や情報提供という使い方もあるが、主には二つの目的で使用される。一つ目は製品やサービスの環境対策ポイント(ホットスポット)の抽出であり、二つ目は製品やサービスの環境性能の比較である。

このうち、特に外部への公表を伴う比較主張を行う際には、比較対象と機能単位やシステム境界の設定が同等であることを確認する必要がある、違う場合には当然結果が異なるので比較はできない。比較主張を行う際の調査範囲の設定方法や注意点については第Ⅱ章で述べる。

### 3 インベントリ分析

インベントリとは棚卸のことである。JIS Q 14040(2010)には、インベントリ分析について、「LCAの第二の段階である。この段階は、調査対象システムに関連するインプット/アウトプットのデータの収集分析の段階」と記載されている。具体的に記すと、LCA実施対象となる製品・サービスの各ライフサイクルステージ(素材、輸送、製造、使用、廃棄など製品・サービスの各段階のこと)で必要となる電力、ガス、蒸気などのエネルギーや、原材料、水、油脂などの必要となる物質の量、排出される排水、廃棄物などの量、さらには生産される製品・サービスの量を入出力明細として整理し、それらに起因する環境負荷物質の入出力明細表を評価範囲内で整理することがインベントリ分析である。

インベントリ分析に際して、例えば製造工程や工場内でデータ取得が可能なものは、原材料の重量や水量、電力消費量、廃棄物重量など(活動量という)であり、これらが例えばGHG排出量としてどの程度の値に相当するのかは、そのままでは算出できない。そこで、インベントリ分析では、環境負荷物質の算出は、通常、(活動量)×(排出原単位<sup>(6)</sup>(以下、原単位))という形で行う。この原単位をデータベース化したものを、インベントリデータベースと呼ぶ。

インベントリデータベースは、各国の電力構成などのエネルギー供給構成、製造工程の技術レベル、原材料などの影響が反映される。そのため、欧州、米国、日本などそれぞれの地域性を反映したインベントリデータベースがそれぞれの地域で使われているケースが一般的である。ただ、インベントリデータベースを持つ国や地域は多くはない。東南アジア、南米、アフリカ等の国々ではその国を代表するインベントリデータベースはほぼ存在せず、一部の開発が端緒についたところである。また、国内産業に限られる、あるいは主要産業に1社しか企業がない国では、データの公表が国やその企業の機密情報に直結するため、データの公表自体が行われない。製品のサプライチェーンがグローバル化している現在、製品や部品調達先の国のインベントリデータベースを元に、製品や部品のインベントリ分析をすることが理想であるが、上述のような事情により、グローバルなサプライチェーンに対応したインベントリ分析が難しいのが現状である。

#### (1) インベントリデータベース

現状、インベントリ分析に必要なインベントリデータを作成するには二つの方法がある。一

(6) 活動量当たりの二酸化炭素排出量。例えば電気1kWh使用当たりの二酸化炭素排出、鉄1kg当たりの二酸化炭素排出量など。活動量ごとに単位が異なるので注意が必要。

つは積み上げ法と呼ばれ、製品がどのように作られ廃棄されるかを製品ごとに具体的に調べていく方法である。もう一つは産業連関表と呼ばれる異なる産業の産出投入（金額ベース）が詳細に調べ上げられた表を利用して、金額から直接間接投入エネルギーの量を求め、それらの量から環境負荷を求める方法である。

### （i）積み上げ法による原単位

現在、実用的に利用されているインベントリデータベースの多くは、この積み上げ法によるものである。

この方法の場合、製品ごとにどのように作られ廃棄されるかの各プロセスをできるだけ詳細に調べる必要がある。その利点は、具体的なプロセス技術を検討していることから、インベントリの作成根拠を明確にでき、環境負荷への対策も容易に検討できる点にある。また、革新的な技術が将来的に導入された場合の検討についても、個別プロセスの改善や入替え等により対応できるという利点もある。

ただし、積み上げ法の問題点は、調査できるプロセスに限界があり、全てのプロセスを網羅できないことにあった。サプライチェーンが世界に広がっている現在、他国の状況についてのプロセスを網羅することは困難を伴うことから、海外の生産プロセスによる環境負荷の取り入れ方も問題になっていた。

積み上げ法による代表的なインベントリデータベースに国立研究開発法人産業技術総合研究所が開発している「IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）」<sup>(7)</sup>がある。IDEAは、国内最大のインベントリデータベースであり、国際的にも最大規模のインベントリデータベースの一つである。日本標準産業分類の細々分類に対応する約4,700のデータセットを格納し、全ての製品について、何らかのインベントリデータの取得を可能としている。従来、積み上げ法で課題となっていた網羅性については国内の統計データ等を活用することによりこの課題を解決した。一方、国際対応については、海外の燃焼用燃料構成比と燃焼効率を考慮することにより、少なくともエネルギー構成の影響を海外の排出原単位に反映させるアダプテーション版を作成することで、精度的には粗いものの少なくとも透明性のある仮定に基づく原単位の提供が可能となっている。現在主要な12か国（英国、フランス、トルコ、中国、韓国、タイ、台湾、ベトナム、マレーシア、インドネシア、米国、ブラジル）の海外アダプテーション版原単位を構築済みである。

### （ii）産業連関法による原単位

産業連関法は、積み上げ法とは異なり、産業間の連鎖については産業連関表に金銭ベースのやりとりが記載されていることから網羅性が担保される。産業連関表は、ある特定地域の全ての産業が製品やサービスを作るプロセスにおいて、投入、産出した財貨を網羅的に調査した表である<sup>(8)</sup>。通常、産業連関法による原単位作成の場合、産業の各部門は複数の財を生産しており、各財へのエネルギー消費や環境負荷は金額に比例して配分される。そのため、ある財のエネルギー消費や環境負荷について、産業部門からの直接、間接の影響を、金銭を担保として分

(7) 「IDEAの開発」産業技術総合研究所安全科学研究部門ウェブサイト <<https://riss.aist.go.jp/idealab/idea/development/>>

(8) 日本における最新の産業連関表は、平成27（2015）年のものである。「産業連関表」総務省ウェブサイト <[https://www.soumu.go.jp/toukei\\_toukatsu/data/io/index.htm](https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/index.htm)>

析することができる。

このように、客観性、整合性がある評価を行うことができる産業連関法であるが、産業連関表は多くても約 400 部門にしか分かれていないため、世の中にある多種多様な製品や技術を分析するには分類が限定されるという課題がある。評価はあくまでも部門の平均財<sup>(9)</sup> についてであって、個々の製品の分析に産業連関表を利用することは難しく、副産物が発生している場合はその配分方法にも工夫が必要となる。エネルギー使用量や環境負荷排出量は、素材やエネルギーの単価が、実際には大口、小口で異なっており、平均単価で素材やエネルギーを比例配分すると、単価の安い大口への配分が過小評価になる。生産プロセスの改善を産業連関表に反映させることが難しいため、技術革新の効果を、単純に数値を入れ替えるなどの作業で見積もることが難しくなっている。

また、海外生産や輸入品に関する分析は、輸入国の産業連関表が必要になるが、必ずしも全ての国に連関表が整備されていないため、反映が難しいことがある。ただ、こうした産業連関表を利用した環境負荷原単位は、米国、欧州、オーストラリアなど先進国を中心に国際的にも整備が進んでおり、国単位、産業単位の分析については、網羅性、国際的整合性といった特徴を生かして、環境と経済の構造分析、製品やサービスのライフサイクルアセスメント (LCA)、環境効率性の評価、産業エコロジーや持続可能な生産消費形態の分析等に活用されている。

産業連関法による代表的なインベントリデータベースとして、国立環境研究所が開発している「産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)」<sup>(10)</sup> がある。3EID の環境負荷原単位は、産業連関表の約 400 部門の単位生産活動 (百万円相当の生産) に伴い直接的・間接的に発生する環境負荷量を示した数値であり、部門間の投入と産出の構造を基礎とする産業連関分析によって算出している。

#### 4 インパクト評価 (影響評価)

インベントリ分析が、調査範囲内の環境負荷物質の入出力明細表を整理する、つまり環境負荷物質の量に主眼が置かれているのに対して、インパクト評価では、インベントリ分析で得られた環境負荷物質の量がどのような環境問題と関係し、どの程度の潜在的影響を与えているかを定量化する、つまり環境問題<sup>(11)</sup> への影響に焦点が当てられている。

影響の定量化については、影響領域の設定、分類化、特性化というステップを必須要件として実施されるが、詳細については専門書を参照されたい<sup>(12)</sup>。取り扱われる影響領域は、本報告書で主に取り上げている気候変動だけではなく、化石燃料や鉱物資源などの資源の枯渇、木材や漁業資源などの生物系資源の枯渇、土地利用、大気汚染、オゾン層の枯渇、酸性化、富栄養化、人間毒性、生態毒性、騒音、振動、悪臭、放射線など広範囲にわたる。

このような広範囲の影響領域を考慮することは、持続可能性についての議論にも近く、LCA では多様な環境への影響を取り扱い、多基準分析の手法を援用してステークホルダーの意思決

(9) 例えば、自動車関係は乗用車、トラック・バス・その他の自動車に分類され、平均的に取り扱われる。

(10) 「産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)」国立環境研究所地球環境研究センターウェブサイト <[https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index\\_j.htm](https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm)>

(11) LCA では一般に影響領域と表現される。ここでは、簡単に環境問題と記したが、化石燃料や鉱物資源などの資源の枯渇、木材や漁業資源などの生物系資源の枯渇など、環境以外と捉えられることもある問題も環境問題の一部として取り扱う。

(12) 例えば、伊坪徳宏・稲葉敦編著『LIME3—グローバルスケールの LCA を実現する環境影響評価手法—』丸善出版、2018。

定に貢献することが意図されている。

国内では、GHG 排出量についての議論が重要視されるケースが多いが、欧州における環境フットプリント<sup>(13)</sup>や水、森林、自然資源など国際的には NGO 等<sup>(14)</sup>による多様な環境影響を考慮する持続可能性の議論が基礎になっているケースも多い点に注意が必要である。

## 5 解釈

LCA では、システム境界（評価範囲）、配分方法の相違や特性化係数<sup>(15)</sup>の選択によって、類似の製品システムに対する評価で異なる結果を導く可能性がある。

また、インベントリ分析では、測定誤差や推定誤差が含まれている。そのため、解釈では、条件や前提が異なることで生じ得る結果への影響を考察する。LCA を実施する際には、結果に対して誤解を招かないためにも、分析手法の透明性、公平性、客観性の担保を十分に認識しておく必要がある。第Ⅱ章にて解釈のポイントについて少し詳しく述べる。

## Ⅱ 数値解釈のポイント

本章では特に製品やシステムを対象として行われる LCA の結果の解釈を行う際に、誤解を招いたり、ミスリードを導きやすい点について言及し、数値的な解釈について政策面などに参考にする際の注意すべき点などについて述べる。インベントリ分析（第Ⅰ章第3節）で述べたとおり、環境負荷物質量の算出は、(活動量)×(排出原単位)で行われるため、数値的な誤差や解釈の違いは、活動量の計測、使用する排出原単位の違いや作成方法の違い、活動量の配分の違い等によって生じる。

ここでは、特に外部への公表を伴う比較主張を行う際の LCA のルールとその方法、生産される物質や製品が複数ある場合等の環境負荷に関する配分（アロケーション）の考え方、削減量を計上する際の評価範囲の設定の考え方（製品バスケット法、代替法）及び注意点、配分方法の違いによる計算結果の違い等の注意点について述べる。

### 1 「比較主張」を伴う LCA

「ある製品と同一の機能をもつ競合の製品に対する優越性又は同等性に関する環境主張」のことを「比較主張」（Comparative assertion）という。これは、例えば企業等が自社製品について、同じような他社の製品に対する環境負荷物質量排出量についての優位性を LCA の結果として示す場合などに相当する。

この比較主張について、一般への開示を意図する場合には、LCA の報告事項について ISO14044 (2006)/JIS Q14044 (2010) の記載がある。以下にその内容に基づいて抜粋を記述した。

●科学的かつ技術的に妥当である。すなわち、明確に特定できる環境メカニズム及び／又は

(13) “The Environmental Footprint Pilots.” European Commission website <[https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/ef\\_pilots.htm](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/ef_pilots.htm)> 欧州委員会が進めている製品のライフサイクル全体の環境負荷量を表示する制度。カーボンフットプリントのように気候変動のみを環境影響領域として対象とするのではなく 15 の環境影響領域を対象とする。

(14) 例えば、CDP ジャパンウェブサイト <<https://japan.cdp.net/>> 等

(15) インベントリ分析の結果を、インパクト評価における影響領域を表す指標の共通の単位に換算するために適用する係数。例えば、地球温暖化であれば地球温暖化係数（Global Warming Potential: GWP）が用いられることが一般的である。

再現性のある実証的な観測を使用している。

- 環境との関連性がある。すなわち、これだけに限る訳ではないが、空間的かつ時間的な特性を含めて、影響領域内エンドポイント (Category endpoint)<sup>(16)</sup>と十分に明確なつながりをもつ。
- 一般に開示することを意図する比較主張において用いようとする領域指標は、国際的に受け入れられたものであることが望ましい。
- 影響評価において影響領域などに対する重み付けは、一般に開示することを意図する比較主張において用いようとする LCA 調査に使用してはならない。
- 一般に開示することを意図した比較主張において用いようとする調査では、感度及び不確かさに関する結果の分析が行われなければならない。

さらに比較主張の場合には、以下の事項について通常の報告に加えてより詳細な報告が要求される。また、環境性能を判断する側もこれらの事項が要求されることについての理解が必要である。

- 物質及びエネルギーのフローの取捨選択の根拠となる分析  
具体的には、調査から除外すべき単位プロセス又は製品システムに関わる環境重要度の規定であるカットオフ基準<sup>(17)</sup>などが恣意的ではないこと（都合よくデータを取捨選択していないこと）が求められる。
- 使用したデータの精度、完全性<sup>(18)</sup>及び代表性の評価
- 調査範囲のルールに従って比較されるシステムの同等性についての記述  
比較されるシステムの機能が同一でなければならない。
- クリティカルレビューの過程についての記述  
利害関係者を含む委員会がクリティカルレビューを実施
- インパクト評価の完全性の評価  
比較は影響領域指標ごとに実施を行う。
- 調査に使用した影響領域指標の科学的・技術的正当性及び環境との関連性の根拠  
トレードオフその他の情報を意思決定者その他の人が入手できるようにする。
- 得られた差異の重要性の評価

## 2 製品バスケット法

例えば、食品廃棄物の利活用に関する LCA を、単純な焼却処理に対して温室効果ガスの削減面での優位性を主張することを目的に実施したとする。実施者は、食品廃棄物の利活用として堆肥化を取り上げ、単純に焼却したときに発生する二酸化炭素などの温室効果ガス排出量と比較する。

ライフサイクル全体を評価範囲として考えると、食品廃棄物の発生までは同じであるが、その後、焼却処理によって発生する二酸化炭素は、植物由来であればカーボンニュートラルなの

(16) 着目されている環境関連事項を特定する自然環境、人の健康若しくは資源の属性又は側面。

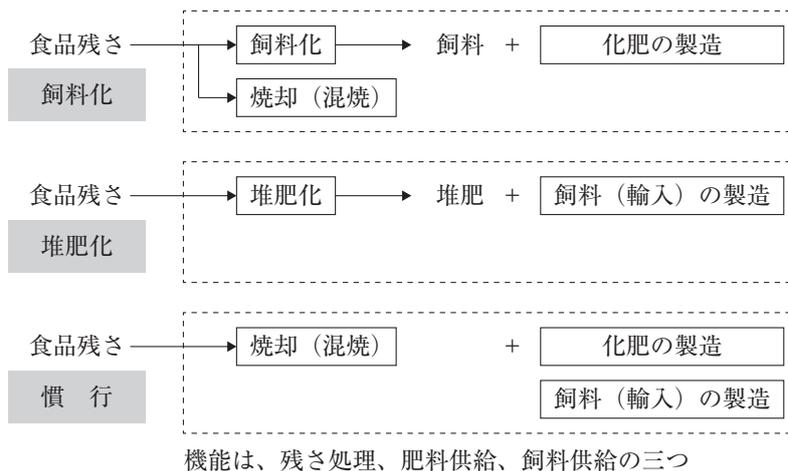
(17) LCA 実施上、量的に無視できる、データが取得できない等の理由で調査から項目が除外されることがある。

(18) LCA の各段階からの情報が、目的及び調査範囲の設定に従った結論を導くのに十分であること。

で排出量として計上されない。一方、堆肥化するには原材料とエネルギーが必要となるため、それらに起因する二酸化炭素、亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）等が計上される。すると、焼却処理と比較して堆肥化は温室効果ガス排出が多く、温暖化対策の観点からは有効ではないと結論づけられるが、これはLCAとしては誤りである。具体的には、比較対象の「機能」が統一されておらず、評価範囲が間違っている。

LCAでは、比較を行う際には、「機能」と「機能単位」をそろえることが必須である。堆肥化の「機能」は、「食品廃棄物がなくなる」ことと「堆肥が生産される」ことの二つである。一方、焼却処理の「機能」は、「食品廃棄物がなくなる」の一つである。そのため、機能が異なり単純な比較はできない。比較に際しては、焼却処理の評価範囲に、堆肥化によって生産される量と同じ量を生産する堆肥製造の通常プロセスを加えることで「堆肥が生産される」機能を加え、双方のシステムから提供される機能を同一にする。このように機能をそろえた評価範囲を設定し、双方のLCAを実施することで、初めて両者の比較が可能になる。この方法は製品バスケット法などと呼ばれることもある（図2）。

図2 食品廃棄物の利活用に関するLCAの評価範囲の設定（製品バスケット法）



（出典）筆者作成。

もう一つ別の方法による比較もある。食品廃棄物を堆肥化することによって堆肥が生産されるため、堆肥の生産が減少し、その分の環境影響が削減される。その削減分を食品廃棄物の堆肥化による環境影響から差し引き、食品廃棄物の堆肥化のライフサイクル全体での環境負荷や環境影響とするものである。この方法は代替法とも呼ばれるものである。

製品バスケット法と代替法は、LCAの環境負荷量の削減量の算出結果については双方の結果は同じである。いずれの方法でも、三つ以上のシステムを考慮するLCAでは、評価範囲が複雑になり注意深い取扱いが必要である。

そのほかにも、インベントリデータベースの互換性、評価プロセスの透明性などが比較可能性の条件となる。インベントリデータベース自体の作り方や考慮する評価範囲が異なっていれば、結果に差異が生じるのは当然であろう。そのため、LCAの結果を文献などから引用し、その結果と自らが実施したLCA結果を比較して優位性を主張する場合には、機能や評価範囲についての考察が必須となるのである。

ISOにおける比較主張に対する制限が厳しい一方で、LCAの結果の使い方として、製品やサービスの比較への期待は大きい。そのため、LCAの考え方をを用いて比較を行うことを実践しようとする動きも出てきている。

資源効率の向上を目指す欧州委員会が主導している製品の環境フットプリントガイド (Product Environmental Footprint (PEF) Guide)<sup>(19)</sup>では、製品カテゴリーごとにルールを定め、同じカテゴリーの中であれば異なる製品間の評価結果の比較を行う可能性を模索する動きもある。条件を整え、機能をそろえる点をルール化することで比較を可能にし、消費者に対するグリーンな選択の促進を目指している。製品・サービスのGHG排出量を算定するカーボンフットプリントのように、製品・サービスの環境影響を算定しなければならない場合には、上述のような比較の手法ではなく、次に述べる配分によって製品・サービスそのものに環境影響を割り当てる処理が適している場合もあり、目的に応じた適切なLCA手法の選択が重要である。

### 3 配分 (アロケーション)

LCAでは、インベントリデータとしては、ある特定の製品だけを製造しているプロセスの入出力を必要としているため、生産される物質や製品が複数ある場合等、環境負荷物質の配分が必要になるケースがある。例えば、化学産業における主生成物と副生成物が生じる場合や、工場で複数の製品が生産され、それぞれの製品の環境負荷物質排出量が必要な場合、さらには、廃棄物の一部がリサイクルされて別の製品に利用される場合などが、配分が必要になるケースの例として挙げられる。LCAでは、評価範囲の設定方法とも密接に関係するが、何らかの配分が必要になるケースが多い。配分方法としては、物理的な単位に基づく配分 (個数、重量、熱量等)、金額に基づく配分等があるが、配分方法の考え方によっては結果に大きな違いが生じる<sup>(20)</sup>ので、明確にその手順を根拠とともに記述する必要がある。

## Ⅲ 脱炭素とLCA

カーボンニュートラル (Carbon neutral) とは、元々は、植物等のバイオマス燃焼時に放出される二酸化炭素は、元来、大気中に存在したものを植物が光合成で固定したものであるために、放出されたとしても大気中の二酸化炭素濃度には影響を与えないとする考え方である。バイオマスの利活用は、そのカーボンニュートラルという特性から、特に温暖化対策としての利活用が注目されてきた。

近年、大気中の二酸化炭素を直接分離回収 (Direct Air Capture: DAC) して化石燃料代替炭素源とした燃料や原料の燃焼によって生じた二酸化炭素を大気中に放出する場合や、化石燃料から生じた二酸化炭素を地中に埋め戻すCCS (Carbon Capture and Storage) も、大気中の二酸化炭素濃度の上昇にはつながらないことからカーボンニュートラルとして扱われるようになり、カーボンニュートラルの考え方が拡張されている (図3)。

一方、確かにバイオマス燃焼時に排出される二酸化炭素は大気中に存在したものかもしれな

(19) Simone Manfredi et al., *Product Environmental Footprint (PEF) Guide*, European Commission Joint Research Centre, 2012.

(20) 例えば、廃棄物のリサイクルのケースでは、金額配分の場合、廃棄物の価値=ゼロとすると廃棄される側の負荷はゼロになるが、重量配分の場合、重さに比例した環境負荷が配分され、ゼロとはならない。

いが、バイオマスからバイオエタノールなどのバイオ燃料製造工程で、多くの場合、現状では化石燃料由来のエネルギーを消費し、そのエネルギーに由来する二酸化炭素が排出される。さらには、原材料の栽培、栽培のための耕起、輸送、バイオマスからの変換など、バイオ燃料の原料から製造、消費までのライフサイクル全体でのバイオ燃料使用に関係する全ての連鎖を考慮すると、二酸化炭素排出を誘引する連鎖は多数存在する。またバイオマス利活用に使用される前後の土地の利用状況そのものが変化することにより温室効果ガスが排出されること（直接土地利用変化）や土地利用が変化したこと起因するサービス（通常は食料生産）の移転によって生じる間接的な温室効果ガス排出（間接土地利用変化）も LCA においては重要な項目として議論されることが多い。

バイオマスの利活用に際しては、上述の例のようにライフサイクル全体を考慮した上で、例えば温室効果ガス削減などの環境性能を評価し、その環境への影響が低減されることを確認した上で導入することが望まれる。DAC や CCS についても同様であり、そのため、LCA は、バイオマス等のカーボンニュートラル<sup>(21)</sup>として扱われる資源の利活用に際しては避けては通れない評価手法の一つとなっている。

図3 カーボンニュートラルの考え方



(出典) 筆者作成。

近年、これらの脱炭素に関する ISO 規格の公表や開発が進んでいる。LCA に関係し、かつカーボンニュートラルに直接関係するものでは、ISO14067 (2018) カーボンフットプリントがあげられる。この中で、バイオマス由来の炭素の取扱いが規定され、バイオマス由来の炭素を含む製品を一定期間（規定がない場合には 10 年以上）保存する場合には、その炭素が排出される時期と削減される時期について別途定めなければならなくなった<sup>(22)</sup>。つまり、カーボンフットプリントとしては、バイオマスでも一概にカーボンニュートラルとして取り扱うのではなく、GHG 排出量と製品に取り込まれて削減される時期を考慮してのカウントが行われるように規定された。

また、2022 年時点で ISO14068 カーボンニュートラルリティ<sup>(23)</sup>の開発が進められており、カーボンニュートラルリティの定義等も含めて今後の動向については注意が必要となっている。

(21) 二酸化炭素を炭素資源（カーボン）と捉え、これを回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルや CCU（Carbon Capture and Utilization）については、原料となる二酸化炭素の起源となる物質や取得方法によって扱いが異なるため、カーボンニュートラルの議論に関しては注意が必要である。

(22) “ISO14067:2018: Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification.” ISO website <<https://www.iso.org/standard/71206.html>>

(23) “ISO/AWI 14068: Greenhouse gas management and related activities - Carbon neutrality.” *ibid.* <<https://www.iso.org/standard/43279.html?browse=tc>> カーボンニュートラルについての考え方や方法論の規格を議論している。

## おわりに

本稿では、ISO14040（2006）シリーズを中心に、温室効果ガス排出量算定や削減量算定の基本となる LCA の手法論、考え方を中心に概観した。LCA、ライフサイクル思考についての理解を優先して記載したが、脱炭素技術評価という観点からは、現在公開されている多様なガイダンスや ISO 等による GHG 排出量、削減貢献量、比較主張等の算定が、ライフサイクル思考を元にして展開されている。

カーボンニュートラルで紹介した ISO14067（2018）製品のカーボンフットプリントのほかに、ISO14064-2（2019）<sup>(24)</sup>プロジェクトにおける温室効果ガスの排出量の削減又は吸収量の定量化、モニタリング及び報告のための使用並びに手引き、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission: IEC）における IEC/TR62726（2014）<sup>(25)</sup>電子電気機器及びシステムのベースラインとの比較による GHG 排出削減量の定量化のガイダンス、GHG protocol における GHG Protocol for Project Accounting<sup>(26)</sup>、国内でも経済産業省による「温室効果ガス削減貢献定量化ガイドライン」、日本経済団体連合会による「グローバル・バリューチェーンを通じた削減貢献<sup>(27)</sup>」等の基準、ガイドラインが既に公開されているが、これらについてもライフサイクル思考が基本となっている。

この分野については ISO14068 カーボンニュートラルリティのように、開発途上の規格もあり、動きが速く、情報の更新に注意が必要である。LCA の方法論についても、従来の LCA は Attributional LCA と呼ばれ、基本的に現状を評価する LCA であるが、革新的な技術評価には、技術を導入するなどの意思決定の結果として幅広い分野にどのような影響があるか、まで考慮する Consequential LCA の適用と開発の必要性が指摘<sup>(28)</sup>されている。

LCA は、方法論、規格、ガイダンス等の更新や開発が進み、今後の発展が見込まれる。また、ここに一部紹介したように評価範囲の設定、配分、比較主張など決め事が多く、かつその違いによって結果が変わる。それらをどのように決めたか、についてと結果の違いを理解することが、LCA を利用する上では重要である。本稿が、その算定結果についての解釈の基本を御理解いただき、誤解を招かない利活用やコミュニケーション、政策等への展開等に少しでも貢献できれば幸いである。

(げんち ゆたか)

(24) “ISO14064-2:2019: Greenhouse gases - Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements.” *ibid.* <<https://www.iso.org/standard/66454.html>>

(25) “IEC/TR62726（2014）.” IEC Webstore website <<https://webstore.iec.ch/publication/7401>>

(26) “Project Protocol.” Greenhouse Gas Protocol website <<https://ghgprotocol.org/standards/project-protocol>>

(27) 日本経済団体連合会「グローバル・バリューチェーンを通じた削減貢献 第3版」2021.3.15. <<https://www.keidanren.or.jp/policy/2018/102.html>>

(28) Alessandra Zamagni ほか「コンセクエンシャル LCA の光と影」『日本 LCA 学会誌』10(3), 2014.7, pp.213-229. <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/10/3/10\\_213/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/10/3/10_213/_pdf/-char/ja)>