

520
2022

Bulletin

国際酪農連盟 (IDF) ブリテン

酪農乳業セクターのための
カーボンフットプリント
IDF グローバル・スタンダード



酪農乳業セクターのためのカーボンフットプリント IDF グローバル・スタンダード

発行番号／版：520/2022

発行日：2022年9月

発行：国際非営利団体の国際酪農連盟（IDF）（Silver Building, Boulevard Auguste Reyers 70/B, B-1030 Brussels, Belgium）

www.fil-idf.org

この出版物に含まれる資料をもとに行動し、または行動しなかったことにより生じた損失または損害について、著者と IDF は一切責任を負わない。このガイダンスは、IDF 環境常設委員会により作成された。

2022年9月発行版

ISSN 0250-5118

© International Dairy Federation AISBL September 2022. この出版物の全部または一部の著作権は IDF にある。本文書中で明示的に許可された場合を除き、この著作物のいかなる部分も、既存ライセンスの規則に従い、IDF の書面による許可なしに、複製、記録、テープへの録音・録画、ウェブ上での頒布等の、グラフィック形式、電子的方法または機械的方法を含む何らかの形式もしくは方法により複製し、または使用してはならない。

引用に際しては出典を明記すること。

IDF. 2022. The IDF global Carbon Footprint standard for the dairy sector.

In: Bulletin of the IDF No. 520/2022.

International Dairy Federation (ed.), Brussels.

翻訳（仮訳）：一般社団法人 J ミルク

編者注：仮訳の正確性、完全性、有用性等についてはいかなる保証をするものではありません。参考資料として扱い、内容に疑義が生じた場合は英文の原文をご確認ください。



目次

序文	F
謝辞	G
エグゼクティブサマリー	J
1 はじめに	1
1.1. 背景	1
1.2. 本ガイドの作成	1
1.3. 本ガイドの目的	2
1.4. 今後の見直しと機能の強化	4
2 LCA およびカーボンフットプリントの基礎	6
2.1. 始める前に必要なもの	6
2.2. カーボンフットプリントの定義	6
2.3. カーボンフットプリントの諸課題	7
2.4. 既存の国際規格・基準とガイダンス	8
2.4.1. ISO 14040、ISO 14044、ISO 14067 を含む ISO 14000 シリーズ	9
2.4.2. WRI および WBCSD の GHG プロトコル	9
2.4.3. PAS 2050:2011 および PAS 2050 dairy	10
2.4.4. PEF ガイダンス文書および PEFCR ガイダンス文書	10
2.4.5. FAO の LEAP	11
2.4.6. 環境製品宣言における乳製品の商品種別算定基準	11
2.4.7. IPCC	11
2.4.8. C-Seq	12
2.4.9. 規格・基準およびガイダンス文書と本ガイドとの整合性のレビュー	12
3 カーボンフットプリント評価の手順	16
3.1. 手順の要旨	16
3.2. ステップ 1 - 目的と範囲の定義	16
3.3. ステップ 2 - インベントリ分析（データ収集）	17
3.4. ステップ 3 - 影響評価（カーボンフットプリントの算定）	17
3.5. ステップ 4 - 解釈	17

2022 年度ブリテンの電子版の購読料金：すべての号で 600 ユーロ

ご注文先：INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION AISBL / FEDERATION INTERNATIONALE DU LAIT AISBL

Boulevard Auguste Reyers, 70/B - 1030 Brussels (Belgium)

電話：+32 2 325 67 40、電子メール：orders@fil-idf.org、http://www.fil-idf.org

4	目的と範囲の定義	18
4.1.	LCAの方法論：帰属的と帰結的	18
4.2.	プロセスの定義	18
4.3.	機能単位	21
4.3.1.	ゆりかごから農場ゲートまで	21
4.3.2.	ゆりかごから乳製品の工場出荷まで	22
4.3.3.	ゆりかごから購入まで、ゆりかごから墓場まで	22
4.4.	データ収集の範囲および境界	23
4.4.1.	農場への入力と資源	24
4.4.2.	酪農	25
4.4.3.	集乳と乳製品加工	28
4.4.4.	流通および小売	29
4.4.5.	使用	30
4.4.6.	廃棄／リサイクル	31
4.5.	生乳のカーボンフットプリントの削減	31
4.5.1.	新しいGHG緩和技術	32
4.5.2.	カーボンフットプリント算定に関連するオフセット	32
5	インベントリ分析	34
5.1.	データ品質	34
5.2.	排出係数	35
5.2.1.	消化管内発酵からのCH ₄ 排出係数	36
5.2.2.	排せつ物（ふん尿）管理からのCH ₄ 排出係数	37
5.2.3.	N ₂ O排出量の概要	37
5.2.4.	他のライフサイクル段階における排出係数	38
5.3.	ライフサイクルインベントリ（LCI）データセットの使用	38
5.3.1.	電力のモデル化	39
5.4.	配分（アロケーション）	39
5.4.1.	農場資源の配分：購入飼料と敷料	40
5.4.2.	酪農における配分	41
5.4.3.	乳製品製造の配分	46
5.4.4.	配分のための乳固形分の定義	46
5.4.5.	生乳および農場から加工工場への輸送の配分	47
5.4.6.	乳製品へのその他の入力と出力の配分	48
5.4.7.	乳製品加工工場から生じるさまざまな副産物間の配分	49
5.4.8.	工場出荷後	50
5.4.9.	共製品の取扱いに関するまとめ	51

5.5.	土地利用と土地利用変化 (LUC)	52
5.5.1.	直接的土地利用変化 (dLUC)	52
5.5.2.	間接的土地利用変化 (iLUC)	53
5.5.3.	炭素隔離と土地利用による排出量	53
5.5.4.	排水された有機質土壌	55
5.5.5.	土地利用の変化、炭素隔離および有機質 (泥炭) 土壌のまとめ	57
6	影響評価	59
6.1.	カーボンフットプリントの算定	59
6.2.	環境フットプリントの算定	60
7	解釈	62
7.1.	報告の評価と感度分析	62
7.2.	報告	62
7.3.	カーボンフットプリント報告書の主要パラメータ	63
8	用語集と略語	65
9	参考文献	72
10	付属書	81
10.1.	乳製品バリューチェーンのフローチャート	81
10.2.	農場レベルでの生乳生産の機能単位の算定	82
10.3.	INRA に準拠した Tier 3 消化管内 CH ₄ 排出量の計算例	84
10.4.	乳用牛飼料用の共製品間の配分算定例	85
10.5.	生乳と肉の間の配分の計算例	86
10.6.	生乳と肉の間で配分する方法の科学的根拠	88
10.7.	乳製品加工工場における製品間の配分の計算例	90
10.8.	直接的 LUC の計算例	92
10.9.	GHG 排出量の算定に必要な技術データ	95
10.10.	緩和オプションの実現可能性マトリックス	98
10.11.	カーボンフットプリント削減のための緩和オプション	99
10.12.	NRF 9.3 DIETARY INDEX に準拠するための機能単位算定に関するガイダンス	106

序文

酪農乳業セクターのためのカーボンフットプリント IDF グローバル・スタンダード

私たちはここに、「ライフサイクルアセスメント（LCA）方法論：酪農乳業セクターでのカーボンフットプリント評価のための IDF のグローバル・スタンダード」に特化した IDF ブリテンの月号をお届けできることを誇らしく思う。注目すべきことは、カーボンフットプリントを測定するための酪農乳業の世界的な規格は、これが唯一のものであるという事実である。ことわざが言うように、「測定できないものは削減できない」。

このブリテンの目的は、酪農乳業セクターがそのバリューチェーン全体を通じて行っている温室効果ガス（GHG）削減のための努力を支援することである。IDF のカーボンフットプリントグローバル・スタンダードは、農業酪農セクターおよび牛乳・乳製品製造セクターの皆様が、それぞれの生産システムと製品のカーボンフットプリントの評価に取り組みに利用いただけるよう、IDF が LCA 手法を用いて開発したものである。この最新版では、最高レベルの一貫性を確保し、なおかつ旧版および後続の改訂版との比較を可能にするため、いくつかの重要分野において、しっかりした科学的証拠に裏付けられた変更がなされている。

酪農乳業セクター向けの最初の LCA 方法論は、IDF 環境常設委員会（SCENV）が、国連食糧農業機関（FAO）と持続可能な農業イニシアチブプラットフォーム（SAI プラットフォーム）の積極的な参加を得て、2010 年に開発し、公開した。その後、進化する科学を反映させるため、当連盟の専門家により方法論の見直しと改訂が継続的に行われた。その結果として、ブリテンの改訂版が 2015 年に発行された。今回の最新版には、酪農乳業セクターの進化とその実践が反映されている。

IDF は、「酪農乳業ネットゼロへの道筋」イニシアチブの創設パートナー6 団体のうちの 1 つであり、2021 年 9 月のこの野心的なコミットメントを支持し、酪農乳業セクターへの情報やツールの提供に関して役割を果たせるよう努めている。このガイドラインは、酪農乳業セクターが環境に与える影響と進捗を定量化することを助けるうえで、さらには、緩和に関する知見と機会をセクター内の皆様と共有するため、温室効果ガス排出に関する専門用語を統一するうえで、基本となるものである。

最後に、ガイド作成のマネジメントにおけるグローバル・デリー・プラットフォームの支援に IDF として謝意を表したい。

私たちは、本ガイドが皆様のお役に立つものと確信している。

キャロライン・エモンド、事務総長、
国際酪農連盟、ブリュッセルにて、2022 年 6 月

謝辞

IDF は、「酪農乳業セクターのためのカーボンフットプリント IDF グローバル・スタンダード」の改訂版、並びに 2010 年に作成された初版へのすべての寄稿に対し、深く感謝したい。とりわけ、今回の改訂作業の共同委員長であるアンナ・フリシエ博士 (Dr. Anna Flysjö、アーラフーズ社) とサンネ・デッカー博士 (Dr. Sanne Dekker、フリースランド・カンピーナ社) の努力は、IDF の評価するところである。お二人はアクションチームのメンバーと共に粘り強く、協力して取り組み、少なからぬ時間を割いて見直しと改訂の大部分を引き受けてくださり、査読の綿密さと最新版の堅牢性を確かなものとするうえで欠かせない存在であった。

次の方々に感謝申し上げます。

この改訂版の作成にご協力いただいた方々：

アルベルト・マレスカ (Alberto Maresca)、SEGES、デンマーク
 アレクサンダー・モレノ (Alexandre Moreno)、Actalia、フランス
 アンドリュー・フレッチャー (Andrew Fletcher)、フォンテラ協同組合およびリデット研究所、ニュージーランド
 アンナ・フリシエ (Anna Flysjö、共同委員長)、アーラフーズ社、デンマーク
 アンソニー・ルノー (Anthony Rouault)、Actalia、フランス
 ブペンドラ・フォンバ (Bhupendra Phondba)、全国酪農開発委員会、インド
 ビルテ・ラッセン (Birthe Lassen)、チューネン研究所、ドイツ
 ブレンナ・グラント (Brenna Grant)、CANFAX/持続可能な牛肉に関する円卓会議、カナダ
 ブライアン・リンゼー (Brian Lindsay、プロジェクト管理)、グローバル・デーリー・プラットフォーム、英国
 クリストファー・パウエル (Christopher Powell)、ニュートレコ社、カナダ
 デイビッド・モリス (David Morris)、DSM Animal Nutrition and Health、英国
 エマ・グREGソン (Emma Gregson)、デーリーUK、英国
 エリック・ハッセル (Eric Hassel)、US デーリー・イノベーションセンター、米国
 フローレンス・ヴァン・スタッペン (Florence Van Stappen)、ワロン農業研究センター、フランス
 グレグ・トーマ (Greg Thoma)、アーカンソー大学、米国
 ギョーム・テシエ (Guillaume Tessier)、BR-NC-Brazil、ブラジル
 ハンス・ブロンク (Hans Blonk)、Blonk Consultants、オランダ
 エンリケ・リベイロ・フィリオ (Henrique Ribeiro Filho)、エスタドデ・サンタ・カタリーナ大学、ブラジル
 ジャン・マルク・デロート (Jean Marc Delort)、IDF、ベルギー
 ジャン=バチスト・ドーレ (Jean-Baptiste Dolle)、Institut De L'Élevage (Idele)、フランス
 ジェレミー・ヒル (Jeremy Hill)、フォンテラ協同組合およびリデット研究所、ニュージーランド
 ジュード・キャパー (Jude Capper)、畜産の持続可能性コンサルタントおよびハーパーアダムス大学、英国

ジュディス・イェンセン (Judith Jensen)、プロマーインターナショナル、ドイツ
 ハウラ・エッゾウシ (Khaoula Essoussi)、ダノン社、オランダ
 ロディ・クーリング (Lody Kuling)、フリースランド・カンピーナ社、オランダ
 ルイス・グスタボ・リベイロ・ペレイラ (Luiz Gustavo Ribeiro Pereira)、エンブラ
 パ、ブラジル
 マーチェ・セブンスター (Maartje Sevenster)、CSIRO 農業食品部門、オーストラリ
 ア
 マイケ・ブラスク (Maïke Brask)、アーラフーズ社、デンマーク
 マリア・サンチェス・マイナー (Maria Sanchez Mainar)、IDF、ベルギー
 マシュー・マイヤー (Matthias Meier)、HAFL、スイス
 マキシム・フォッシー (Maxime Fossey)、Institut De L'Elevage (Idele)、フランス
 モニカ・ゼヘトマイヤー (Monika Zehetmeier)、バイエルン州農業研究センター、
 LFL、ドイツ
 ニコロ・ブラコーニ (Nicolo Braconi)、Blonk Consultants、オランダ
 ピエール・バルカン (Pierre Barrucand)、Actalia、フランス
 ピム・モスタート (Pim Mostert)、ワーヘニンゲン大学、オランダ
 サンネ・デッカー (Sanne Dekker、共同議長)、フリースランド・カンピーナ社、オ
 ランダ
 ステュアート・レッドガード (Stewart Ledgard)、アグリサーチ社、ニュージーラン
 ド
 ティモシー・ロビンソン (Timothy Robinson)、FAO、イタリア
 トローオルス・クリステンセン (Troels Kristensen)、オーフス大学、デンマーク
 シン・ジャオ (Xin Zhao)、マギル大学、カナダ

本ガイドの以前の版の作成にご協力いただいた方々：

アンナ・フリシェ (Anna Flysjö)、アーラフーズ社、デンマーク
 アンナ・カリン・モディン・エドマン (Anna-Karin Modin Edman)、アーラフーズ
 社、スウェーデン
 ブライアン・リンゼー (Brian Lindsay)、リンゼーコンサルタント社、英国
 キュロス・ププリス (Cyrus Poupoulis)、Alexander's Technological Educational
 Institution of Thessaloniki TEI、ギリシャ
 ドナル・オブライエン (Donal O'Brian)、ティーガスク、アイルランド
 ダニエル・マッセ (Daniel Massé)、カナダ農務・農産食品省、カナダ
 エリカ・ヴァリエン (Erika Wallén)、テトラパックインターナショナル社、スウェー
 デン
 グレグ・トーマ (Greg Thoma)、Institute for Sustainable Engineering Analysis、米
 国
 ハラルド・ヴォルデン (Harald Volden)、TINE Rådgivning/TINE アドバイザリーサー
 ビス、ノルウェー
 ジャン・D・ヨハネセン (Jan. D. Johannesen)、アーラフーズ社、デンマーク
 ヤヌス・トゥロウスキ (Janusz Turowski)、ヴァルミア・マズーリー大学、ポーラン
 ド
 ジャン・バチスト・ドーレ (Jean-Baptiste Dolle)、Institut de l'Elevage、フランス
 ジム・バーネット (Jim Barnett)、フォンテラ協同組合グループ、ニュージーランド

ジョン・ケイザー (John Kazer) 、カーボントラスト社、英国
 J-P・ルヴェレ (J-P Revéret) 、Groupe Agéco、カナダ
 ジュード・キャッパー (Jude Capper) 、ワシントン州立大学、米国
 ローレンス・シャルー (Laurence Shalloo) 、ティーガスク、アイルランド
 マーチェ・セブンスター (Maartje Sevenster) 、Sevenster Environmental、オーストラリア
 マルク・ドレッサー (Marc Dresser) 、フォンテラ、ニュージーランド
 マルシン・プライドル (Marcin Preidl) 、German Dairy Association (VDM) 、ドイツ
 ニール・ヴァン・ビューレン (Neil Van Buuren) 、デーリーオーストラリア、オーストラリア
 ニコ・ペイレン (Nico Peiren) 、ILVO Animal Sciences、ベルギー
 オラフ・ティエメ (Olaf Thieme) 、FAO AGAL、ローマ
 オヌール・ダームス (Onur Durmus) 、テトラパックインターナショナル社、ベルギー
 パク・キュヒョン (Park Kyuhyun) 、国立畜産科学院、韓国
 ポール・クロッソン (Paul Crosson) 、ティーガスク、アイルランド
 ピーター・ダーリントン (Peter Darlington) 、CMS UK、イギリス
 ピエール・ガーバー (Pierre Gerber) 、FAO AGAL
 ライナー・バーチュ (Rainer Bertsch) 、チュービンゲン政府、ドイツ
 リチャード・C・ナッチ (Richard C Naczi) 、デーリー・マネジメント社、米国
 リチャード・ウォーレン (Richard Warren) 、デーリーUK、英国
 ロビン・ディキンソン (Robin Dickinson) 、カーボントラスト社、英国
 サンネ・デッカー (Sanne Dekker) 、フリースランド・カンピーナ社、オランダ
 ソフィー・ベルトラン (Sophie Bertrand) 、French Dairy Board、フランス
 スヴェン・ルンディ (Sven Lundie) 、PE インターナショナル、ドイツ
 タイズ・H・パッソス・フォンセカ (Thais H Passos Fonseca) 、ウイスコンシン大学、米国
 トゥーン・ヴェリンガ (Theun Vellinga) 、ワーヘニンゲン大学、オランダ
 ティム・ニコライ (Tim Nicolai) 、デラバルインターナショナル AB 社、スウェーデン
 イン・ワン (Ying Wang) 、デーリー・マネジメント社、米国

エグゼクティブサマリー

世界の酪農乳業セクターでは、乳用牛（牛および水牛）の農場経営者と乳製品製造業者のいずれもが、温室効果ガス排出量（カーボンフットプリント）を算定する必要性を認識している。2010年、「酪農乳業セクター向け共通カーボンフットプリント評価手法：IDFの標準ライフサイクルアセスメント方法論ガイド（A Common Carbon Footprint Approach for the Dairy Sector: The IDF Guide to Standard Life Cycle Assessment Methodology）」の初版が刊行された。このガイドは、酪農乳業セクターが、多様な酪農経営システムのカーボンフットプリントに対する理解を深め、「考え方を共有する」というアプローチにより、適切な緩和オプションを調査し、特定することを可能にした。ガイドはその後、2015年に、新しいLCAと気候科学の進捗を踏まえて改訂された。IDFは今、急速に進化しているカーボンフットプリント評価の方法論の科学と規格・基準をIDFガイドにも反映させるべく、再度ガイドを見直し、改訂する。酪農乳業セクターも、過去12年間、本ガイドを広範にわたり実施し、得られた経験をもとに発展している。この改訂版は、国ごとのカーボンフットプリント評価の開発の段階にかかわらず、世界中での酪農乳業セクターでの使用に耐えるものとなっている。いくつかの変更が行われたものの、根本的な修正は行っていない。この2022年版は、例えば、いわゆる「ゆりかごから墓場まで」と呼ばれるバリューチェーン全体を対象として、他の環境影響項目への影響にも言及している。酪農乳業セクターが取り組もうとしているいくつかの分野については十分な方法論の開発が行われていないが、IDFはこれらの重要分野が将来の改訂の課題として残るよう万全を期した。カーボンフットプリント評価に関するIDFの方法論は、絶えず変化する活動的な開発であり、これからも科学の進歩に合わせて定期的な改訂が行われる予定である。17カ国の50人を超えるLCA専門家と酪農専門家で構成されるIDFの専任LCAアクションチームは、IDFのLCA方法論が科学の最先端で価値のある資源を提供し続けられるように、また、その資源をもとに、世界全体の酪農乳業セクターが責任ある方法で気候への影響を評価、管理し、軽減することができるよう、LCAと気候科学の継続的な評価に取り組んでいる。

キーワード：カーボンフットプリント、酪農乳業、乳製品、排出量、環境アセスメント、温室効果ガス排出量、ライフサイクルアセスメント、乳（牛乳）、緩和

1

はじめに

1.1. 背景

気候変動は、社会のあらゆるレベルで取り組まねばならない数多くの地球規模の環境問題の中で、依然として最優先事項である。ほとんどの業界が、大気中への温室効果ガス（GHG）の排出量を定量化し、削減することを迫られている。したがって、国際的な酪農乳業セクター内の加工業者と酪農組織は、生産システムおよび製品の GHG 排出量（口語的にはカーボンフットプリントと呼ばれる）を算定する必要性を認識している。このため、多くの企業が専門機関や専門組織を積極的に活用して、乳製品のカーボンフットプリントを見直し、算定するようになった。

本ガイドは、46 の IDF 加盟国（これらの国々を合わせると世界の生乳生産量の 75%に相当する）の要請を受けて作成された。異なる算定手法やデータ入力の結果としてカーボンフットプリントの数値にばらつきが生じ、かなりの不一致が生じていることが明らかになったためである。このような事態は人々を混乱させるようなメッセージを送ることになり、酪農乳業セクターは気候変動問題に積極的に関与していないという誤った印象を生み出す可能性がある。カーボンフットプリントと気候変動への対応に関して一貫性のある明確なメッセージを打ち出すことは、国際的な酪農乳業セクターの評判にとって不可欠である。さらに、酪農乳業セクターが気候変動についてすでに高レベルの積極的な取り組みを行っていることを強調するとともに、GHG 排出量をさらに削減するための管理手法を明示することが重要である。

1.2. 本ガイドの作成

本ガイドはそもそも 2010 年に、IDF 環境常設委員会（SCENV）が、国連食糧農業機関（FAO）および持続可能な農業イニシアチブプラットフォーム（SAI プラットフォーム）の積極的な参加を得て初めて作成し、発行された。

IDF カーボンフットプリントガイドの立ち上げに際しては、ガイドを使用していく中での経験的課題や、科学や関連規格・基準の進歩を反映させるため、IDF SCENV による継続的な見直しと改訂を行っていくことが決定された。2012 年に各国の IDF 国内委員会に質問票が配布され、調査結果から得られた貴重なフィードバックが、IDF SCENV による見直しと改訂のプロセスで使用され、2015 年に、本ガイドの改訂版が発行された。

その後、酪農乳業セクターでカーボンフットプリントを使用した評価の重要性が飛躍的に高まったため、2020年にIDFガイドの2回目の改訂に着手した。個々の農場のパフォーマンスの評価や改善のためのモニタリングツールとしてのカーボンフットプリントの利用がますます一般化し、企業が報告するスコープ3や（比較可能な）マーケティングの主張（claim）など、商業目的としてのカーボンフットプリントの使用が増えている。ただし、比較が有効であることは重要である。すなわち、類似したカーボンフットプリントの範囲と方法論を使用して算定することであり、食品を比較する場合においては、栄養価についても考慮されるべきということである。

そこで、次のような修正と更新を含め、より徹底的な改訂を行った。

- 現時点で得られる限りの知見に基づき、酪農生産および乳製品のカーボンフットプリント算定に際して一般的なLCA課題に対処するためのアプローチを特定する
- 最良のアプローチについて今のところ曖昧さや異なる見解が見られる重要領域を特定する
- 既存の手法または開発中の手法に追加しうる実用的かつ科学的なアプローチを推奨する
- 世界中のあらゆる酪農システムに等しく適用でき、小規模農家から大規模な酪農経営まですべてに有効なアプローチを採用する
- 利用者がカーボンフットプリントを軽減し削減する機会を特定できるようにする

更新されたガイドは、

新たに知識を作り出すものではない - 利用可能な科学について、既存の知識を裏付ける参考文献を提示している。適切な規格・基準または指針文書がすでに存在する場合、これを使用している。

1.3. 本ガイドの目的

本ガイドは、世界の酪農乳業セクターがバリューチェーン全体でGHG排出量を削減する過程を支援することを目的としている。このガイドラインは、酪農セクターおよび乳製品製造セクターだけでなく、自分たちの生産システムと製品のカーボンフットプリントを定義することに関心を持っている人々にも使用してもらうため、IDFがライフサイクルアセスメント（LCA）手法を用いて作成したものである。標準化されたアプローチを実施することにより、結果として得られる酪農乳業（牛乳・乳製品）のカーボンフットプリントは、生産システム、地域、製品の違いを超えてより一貫した、比較可能なものになるだろう。ただし、カーボンフットプリントの比較は慎重に行うべきであり、結果として生じた主張については単純化するのではなく、微妙な差異を明らかにすべきである。近年、カーボンフットプリントの変化を調べる傾向が顕著になるにつれ、乳製品のカーボンフットプリントと乳製品以外の製品のカーボンフットプリントを比較することがますます一般的になっている。乳製品のカーボンフットプリントと他の食品のカーボンフットプリントを比較したり、酪農乳業セクターで採用されている管理手法の変化によるカーボンフットプリントの時系列変化を追跡したりする場合、このIDF規格のカーボンフットプリントのモデルを使用することをお勧めする。また、食品を比較する場合には、ガイドライン中の該当する推奨事項に従い、類似しているガイドライン、入力（input）および範囲とすることが望ま

しい。例えば、IDF のガイドラインでは、炭素ストック（carbon stock、訳者注：炭素プール、すなわち大気、森林、海洋等の貯留層にある炭素の量）の変化を評価に含めることを推奨しているため、比較対象となる食品のカーボンフットプリントの分析にも炭素ストックの変化を含めるべきである。ただし、IDF ガイドラインの範囲内にあるのは乳製品のみであり、他の食品はすべて範囲外であるため、IDF ガイドを使用したからといって、乳製品と他の食品との客観的な比較が保証されるわけではない。また、乳製品と乳製品以外の食品を比較する場合は、両者の機能単位（functional unit）における栄養価を含めること、また、「ゆりかごから墓場まで」の比較のみを行うことを推奨する（4.3.3 項を参照）。

異なるデータセットを使用して作成されたフットプリントを直接比較する際には注意が必要だという趣旨のコメントを先に述べたが、機能単位として脂肪タンパク質補正乳量（FPCM）、つまり標準化された乳組成を使用すると、乳の GHG フットプリントとさまざまなサプライチェーンからの乳の栄養価を比較した場合に良好な互換性がみられる。対照的に、牛乳の代替品と称される植物由来の飲料は、標準化された組成を持たず、タンパク質を含めて添加素材の含有量が著しく異なる場合がある。Clegg ら [1] は、299 種類の「植物由来の乳製品代替食品」の栄養組成を調べた結果、136 種類の植物由来飲料は牛乳に比して主要栄養素の濃度が低いと報告している。さらに、乳が「牛乳」と表示されるには、例えば、EU、米国、オーストラリア、ニュージーランドで設定された基準 [2,3,4] のように、多くの国でタンパク質や乳固形分（milk solid）などの主要な栄養素の最小含有量の要件が定められており、これを満たさなければならない。

このガイドラインは、特に乳牛生産と関連製品の製造向けに設計されているが、ほかに代替的な方法が見つからない場合には、ガイドラインを他の反芻動物の酪農種（水牛、羊、山羊など）に適用して、それらのカーボンフットプリントの指標を提供することが可能である。ただし、本ガイドは、混合農業システム（例えば、乳用牛群と豚群を保有している農場や、乳用牛群および別の耕作地の作付け収穫作業を行っている農場など）のカーボンフットプリントを評価するには設計されていない。本ガイドは、カーボンフットプリントの最低基準に関する要件を設定しているが、宣伝の文言（主張）や査読済み研究論文の公開に関する要件を決めているわけではなく、法的根拠を提供しているわけでもない。本ガイドは、他の規格・基準、ガイダンス文書、審査パネル、会計・法的機関に対して、本ガイドおよびその要件を参考として使用することを推奨するにすぎない。

本ガイドの目的は、GHG 排出量を軽減するために酪農乳業セクターを支援し、世界の気候変動に対する酪農乳業セクターの潜在的な影響を低減することにある。ここで述べる方法論を使用すると、以下のことが可能になる。

- すべてのライフサイクル段階、すなわち酪農乳業のバリューチェーン内の農場経営および製造作業の GHG 排出量を報告すること（企業または製品レベル）。
- 時間をかけて成し遂げた進捗を立証するために GHG 排出量をモニタリングすること。
- 緩和行動に目を向けさせるために GHG のホットスポットを特定すること。
- さまざまな GHG 排出削減オプションの影響を判定すること。
- ライフサイクル全体を通じて乳製品のカーボンフットプリントを定量化し、乳製品のカーボンフットプリントパフォーマンスについて顧客や消費者に伝達すること。
- 必要に応じて栄養価を考慮しながら、乳製品とその他の食品間でカーボンフットプリントの比較を行うこと。

1.4. 今後の見直しと機能の強化

食品生産システムの環境影響と LCA を使用したカーボンフットプリントの評価は、科学と知見の急速な進化が見られる領域である。IDF は、LCA およびカーボンフットプリント算定の分野に新たに登場した科学や規格・基準を継続的に見直すとともに、酪農乳業セクターのメンバーが本ガイドを使用して得た実際の経験を取り入れることに尽力している。重要な結果を既存のガイドラインに組み込み、特定のトピックに関して何らかの進展があればメンバーに通知している。

情報を共有し、アプローチの一貫性を高め、科学的発展の最先端にとどまることを目的として、IDF は今後も、関連分野で活動している他の組織と緊密に連携していく。

本ガイドでは主としてカーボンフットプリントに焦点を当てているが、ほかにも重要な環境影響項目、例えば、水利用、毒性、富栄養化、酸性化、土地利用、生物多様性などが一般に LCA に含まれる。環境フットプリント評価（複数の環境影響項目についての LCA）は、6.2 項で手短かに解説する。ただし、生物多様性や毒性など、多くの影響項目に関連する入手可能な文献はまだ進化し続けているため、より多くの影響項目を取り込めるよう影響項目の範囲を広げる方法については、将来ガイドを更新する際にそうした方法に関するガイダンスを調査したり、補完的なガイダンスを作成したりする予定である。一例として、IDF は 2017 年に、酪農乳業セクター内でウォーターフットプリントアセスメントへの理解を深めるため、酪農乳業セクター向けのウォーターフットプリント手法の LCA ガイドを発行した [5]。このレポートでは、水利用に関わる潜在的な環境影響のモニタリング、定量化、評価を可能にするため、ライフサイクル全体にわたって乳製品のウォータープロファイルに関する透明性の高いガイドラインを提供した。IDF ウォーターフットプリント手法の LCA ガイド [5] は、ウォーターフットプリントに関する ISO 規格 (ISO 14046) [6]、すべての畜産セクターを対象とした水利用に関する LEAP (畜産環境評価とパフォーマンス) ガイドライン [7]、および共通のカーボンフットプリント方法論に関するこの IDF ガイドに適合している。

LCA において食品の栄養価をどのように説明するかは、科学がまだ進化し続けている領域である。多くの作業が進行中であるため、カーボンフットプリント評価のこの側面は、IDF のカーボンフットプリントに関するガイドラインの次回の更新で組み込まれる予定である。2020 年の IDF ガイドライン見直しで議論されたその他の問題として、農場外での家畜ふん尿の配分をどのように取り扱うかという問題がある。今のところ、ふん尿には割り当てられたカーボンフットプリントはない。すなわち、農場ゲートでカットオフされるため、作物生産者にとってふん尿はカーボンフットプリントが「ない」のである。ただし、ふん尿の散布や圃場での使用による排出量については説明するべきである。さらに、農場間で動物を移動させる場合の取扱いに関して多くの議論があり、規模が大きくなっている農場のカーボンフットプリント評価が課題となっている。この問題は、本ガイドの改訂において検討されたが、今後の改訂の中でさらに議論される予定である。資本財と動物用医薬品の使用という 2 つの領域は、LCA に含めるにはデータが不足している。これらが LCA に含まれなくても、調査結果に与える影響は少ないと予想されるが、一貫性の観点からすると、これらの領域に関するデータを充実させることが望ましい。最後に、科学的に非常に注目されているにもかかわらず、LCA にどのように取り込むかが明確になっていない領域として、炭素隔離がある。現在の IDF ガイドでは炭素隔離をカーボンフットプリント分

析に含めることを提案している。酪農乳業セクターにとって、炭素隔離が重要な緩和策になり得るからであるが、これについては別報告とする必要がある。IDF は、炭素隔離の方法論を開発する作業にも関与しており、近い将来、炭素隔離を LCA に組み込む方法についてより多くのガイダンスが公開されるはずである。さらに、現時点で、本ガイドに関連するトピックに取り組んでいる追加の 2 つのアクションチーム (AT) が IDF に存在する。一つは生態系サービスを評価するための枠組みを開発する AT、もう一つは栄養価を環境アセスメントに取り込む機会を評価する AT である。飼料添加物その他の緩和技術をどう利用するか、また、これらの技術が広く商業利用されるようになったときに、どのようにして LCA の枠組み内に収めるかに関するより詳細な情報については、別の IDF ブリテンを作成し、その中で提供することになるだろう。

2

LCA およびカーボンフットプリントの基礎

2.1. 始める前に必要なもの

本ガイドでは、これまでに発表されたいくつかの規格・基準を参照しているため、カーボンフットプリントの調査を始める前に、これらの規格文書を手元に用意しておくといよい。さまざまな文書へのリンクは、[第 9 章 - 引用文献](#)に掲載している。LCA やカーボンフットプリントの経験がない場合は、最初に ISO 14044 規格および ISO 14067 規格 [25、26] を読むことをお勧めする。GHG インベントリを完成させるための要件とガイダンスに関しては、必要に応じて、発行済みの他のガイドや規格・基準への参照を含め、次の各章で詳しく説明する。IDF の推奨事項が GHG プロトコル製品基準 [27] に準拠することを確実にするため、このスタンダードにおいて、「～しなければならない (*shall*) 」という表現は GHG インベントリに要求されるものを示すのに使用され、「～することが望ましい (*should*) 」は要求事項ではなく、推奨事項を示すのに使用され、また、「～してもよい、～できる (*may*) 」は許容できるか、許可される選択肢を示す。このガイダンスの各セクションにおいて、「～することを求められる (*required*) 」という表現はスタンダードにおける要件を示すのに使用され、「～する必要がある (*need*) 」、「～することができる、可能である (*can*) 」、「～できない (*cannot*) 」は、要求事項を実施する際の指針を与えるのに使用されるか、ある行動が可能または不可能である場合を示すのに使用される。

2.2. カーボンフットプリントの定義

カーボンフットプリントは、LCA の方法論に基づいている。カーボンフットプリントはもともと産業プロセスチェーンの分析に使用されていたが、ここ 20 年から 30 年の間に、酪農生産を含む農業の環境への影響を評価できるように改良されてきた。LCA 分析は、特定の製品システムや生産システム（例えば、酪農場、乳製品加工施設、酪農生産システム全体）について指定されたシステム境界にわたってすべての入力および出力を体系的に説明する（訳者注：システム境界とは、評価対象の製品あるいはサービスの評価を行う範囲）。システム境界は、調査の目的に大きく依存する。カーボンフットプリントを使用して説明できるのは、製品システムに関連している GHG 排出量のみである。しかし、完全な LCA を行う場合には通常、他の環境影響（水利用、土地利用、毒性、富栄養化、生物多様性など）が含まれる。完全な LCA とは対照的に、製品のカーボンフットプリントを算定するという選択は、気候変動を唯一の環境指標として選択し、これに集中することを意識的に決

定したということになる。

カーボンフットプリントにおいて、GHG とは、「気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change）」（IPCC [8]）により地球温暖化係数（GWP）が定められているガスのことである。各 GHG は、それが地球温暖化を引き起こす能力という観点から、二酸化炭素（CO₂）を基準とする比較により、CO₂ 相当量（CO₂-eq または CO₂e で表される）で測定される。主要な農業の GHG は CO₂、一酸化二窒素（N₂O）およびメタン（CH₄）である。本ガイダンスは ISO 14067 [26] に従って、100 年間の積算期間による GWP を使用し、気候・炭素循環フィードバックを含めている。

カーボンフットプリントは、一連のシステム境界内で、特定のアプリケーションで、指定された製品の規定量に関して、製品のライフサイクル全体で排出されるすべての GHG の環境への影響の総和である。例えば、1 リットルの低脂肪乳（脂肪分 2%）のカーボンフットプリントは、製品のゆりかご（生産資源の生産）から墓場（消費され、廃棄処理された製品）までの全ライフサイクル段階で排出された、生産単位当たりのすべての GHG を算定し、合計することで得られる。

有用な出力を表す基準単位は機能単位として知られており、例えば、定義された型の容器に入っている定義された脂肪・タンパク質含量の新鮮な牛乳 1 リットルというように、定義された量と質を有する。

農業システムへの LCA の適用は、複雑であることが多い。通常は、主製品（例えば牛乳）に加えて、肉やふん尿、エネルギーのような共製品が関与しているからである。乳用牛の飼料は大豆などの作物に由来するものが多いが、これらの作物は共製品として油を含んでいる。このため、配分規則に基づいて、環境影響と資源を各製品に適切に振り分けることが求められる。配分規則は、経済価値、製品の特性、システム拡張など、さまざまな基準に基づく（5.4 項を参照）。

2.3. カーボンフットプリントの諸課題

カーボンフットプリントの算定には多くの課題があり、乳製品の分析も例外ではない。酪農乳業のカーボンフットプリントの調査・評価に関する査読済み研究論文は、これまでに 4,800 点を超える [9–19]。しかし、システム境界、配分方法、排出係数などに方法論的な違いがあるため、これらの研究を比較することは困難である。また、結果の違いが、生産システムや経営手法の実際の違いよりも方法論上の違いに負うところが大きい場合、どこで GHG 排出量の大幅な削減が可能であるかを特定することも難しいかもしれない [20–22]。

牛乳およびその他の乳製品のカーボンフットプリントについては、酪農場での生産段階が最も重要であり、GHG 排出量の 4 分の 3 以上がこの段階で発生する [23]。したがって、カーボンフットプリントの結果に大きな影響を与えうる（農場での）生乳生産量の変数（例えば、牛群の動態や飼料の組成など）を考慮することが極めて重要である。消費者製品レベルで比較する場合には、農場・システム・国・地域にかかわらず、生乳生産による環境負荷を、牛乳、クリーム、チーズ、バターのような製品間で配分するための共通の手法を開発することも極めて重要である。

2.4. 既存の国際規格・基準とガイダンス

IDF は、当初から、既存の規格化作業の見直しと調整に力を注ぎ、すでに LCA の方法論の標準化に携わっていた組織との協力に取り組んだ。「はじめに」で述べたように、適切な規格・基準やガイダンス文書がすでに存在する場合は、それを IDF ガイドラインの中で引用した。LCA 手法による製品のカーボンフットプリントの算定は、初めに ISO 14000 シリーズ、特に ISO 14040 [24]、ISO 14044 [25] および ISO 14067 [26] を基に行うことが望ましいが、酪農乳業のカーボンフットプリントを算定する際に考慮すべき規格・基準とガイダンス文書がいくつかある。

図 1 に示すように、既存のカーボンフットプリントガイドラインは次の 3 つのタイプに分けられる。

1. 一般的なカーボンフットプリントガイドラインとして、ISO（国際標準化機構）[25,26]、GHG プロトコル [27]、一般的な PEF（product environmental footprint：製品環境フットプリント）ガイダンス [28]、PAS 2050（publicly available specification：公開仕様書）[29] など。
2. 酪農乳業固有のガイドラインとして、本 IDF ガイド、乳製品の PEFCR（product environmental footprint category rules：製品環境フットプリントカテゴリ規則）[30]、LEAP（大型反芻動物）ガイドライン [31]、乳製品の EPD（environmental product declaration：環境製品宣言）[32] など。
3. カーボンフットプリントの特定の部分に関するガイダンスとして、IPCC AR6（第 6 次評価報告書）[33]、農業に関する GWP および排出係数、炭素隔離に関する C-Sequ ガイダンスなど [34]。

関連がある場合には、本ガイドの内容とこれらのガイダンス文書の内容が一致していることを確認した。また、本 IDF ガイドの各章で、本文の内容と関連がある場合にはガイダンス文書の使用について触れている。

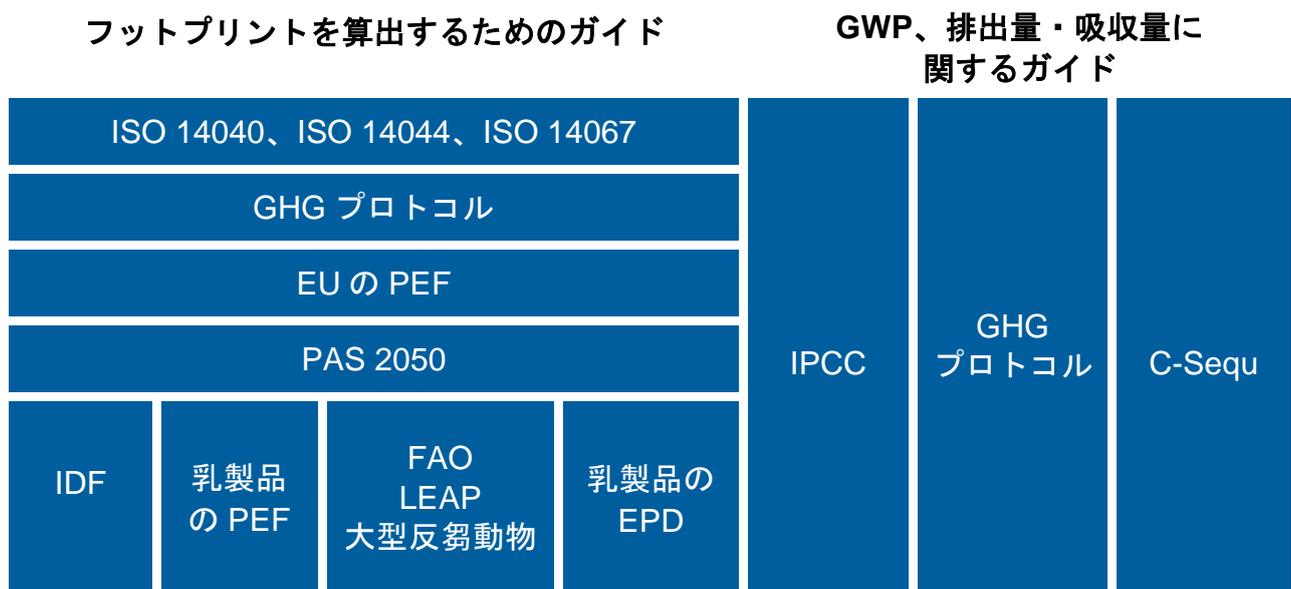


図 1. 乳製品の LCA またはカーボンフットプリントの算定に関連する既存のガイドラインの概要

図 1 に示した概要は、網羅的であるとは言い難い。例えば、米国の酪農乳業セクターには、GHG プロトコル [27] に基づく、企業レベルの GHG インベントリのガイド [35,36] があるが、そのガイドは製品のカーボンフットプリントを定量化する方法についてはいかなる提言も行っていない（例えば、排出量を製品間でどのように配分するかについて扱っていない）ため、上記の概要には含めなかった。

2.4.1. ISO 14040、ISO 14044、ISO 14067 を含む ISO 14000 シリーズ

ISO の LCA 文書は、LCA の方法論とその倫理的行動規則を理解し、適用するのに有用である。具体的な公式やデータセット、技術的ガイダンスは提供していないが、LCA の実施方法に関する倫理的な枠組みを設定しており、LCA を初めて使用する人にとっては背景情報を得られる非常に有用な文書である。個々の ISO 文書の詳細を以下に記す。

ISO 14040:2006 「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」 [24] は、LCA の原則と枠組みについて述べている。これには、LCA の目的および範囲の設定、ライフサイクルインベントリ分析 (LCI) 段階、ライフサイクル影響評価 (LCIA) 段階、ライフサイクル解釈段階、LCA の報告およびクリティカルレビュー、LCA の限界、LCA の各段階の関係、価値選択と任意的要素の使用条件、が含まれている。LCA の技法に関する詳細な説明はなく、LCA の個々の段階の方法論も明記されていない。

ISO 14044:2006 「環境マネジメント - ライフサイクルアセスメント - 要求事項及び指針」 [25] は、LCA 調査の 4 段階に関する詳細なガイダンスを提供している。4 段階とは、目的および範囲の設定の段階、インベントリ分析の段階、影響評価の段階、解釈の段階である。また、結果を報告する方法、比較主張を行う方法、クリティカルレビュー（または ISO レビュー）を実施する方法に関するガイダンスも提供している。ISO レビューは、第三者専門家が LCA 調査を評価するものであり、とりわけ調査結果を外部に発信したり、主張したりする場合に適している。

ISO 14067:2018 「温室効果ガス - 製品のカーボンフットプリント - 定量化の要件とガイドライン」 [26] 。この文書は、製品のカーボンフットプリントの定量化および報告に関する原則、要件、およびガイドラインについて述べている。

これら 3 つの規格に加え、ある程度関連性のある他の ISO 規格がいくつか存在する。具体的には、環境主張を行う場合やエコラベルを使用する際に役立つ ISO 14021 [37] や、組織のフットプリントを報告する際に役立つ ISO 14064 [38] などである。

2.4.2. WRI および WBCSD の GHG プロトコル

温室効果ガスプロトコル (GHG プロトコル [27]) は、最も広く使用されている国際的な会計ツールである。これにより、企業は、GHG 排出量の把握、定量化、管理を行うことができる。世界資源研究所 (World Resources Institute : WRI) と持続可能な開発のための世界経済人会議 (World Business Council for Sustainable Development : WBCSD) は、ほぼ 20 年にわたってパートナーシップを組み、企業、政府、非政府組織および学術機関から集められた利害関係者を主導して、国際的に認められている GHG の算定・報告の基準を

策定した。GHG プロトコル [27] は、国際標準化機構から気候レジストリ（Climate Registry）まで、さまざまな団体・組織によって作成される世界のほぼすべての GHG 基準とプログラムと、個々の企業によって作成される数百もの GHG インベントリに対して、その方法論を提供している。GHG プロトコル [27] は、GHG 報告書に使用される多くの規格・基準、ガイダンス文書およびツールを提供しているが、これらの提供はカーボンフットプリントだけに限らず、あらゆる種類の GHG 報告および算定に及んでいる。乳製品のカーボンフットプリント用途では、次に挙げる規格・基準やガイダンス文書が最適である。

1. 製品ライフサイクルの算定・報告基準（Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard） [39]
2. GHG プロトコル農業ガイダンス [40]
3. 土地利用と炭素吸収・炭素除去に係る温室効果ガス算定・報告ガイダンス（Land Sector and Removals Guidance）（作成中 [41]）

2.4.3. PAS 2050:2011 および PAS 2050 dairy

英国規格協会は、英国の環境・食糧・農村地域省（Department for Environment, Food and Rural Affairs : DEFRA）およびカーボントラスト社と協力して、公開仕様書（PAS）2050「商品・サービスのライフサイクルで排出される GHG を評価するための仕様書（Specification for the assessment of the life cycle GHG emissions of goods and services）」 [29] を作成した。この英国の予備規格（pre-standard）は、製品カーボンフットプリントの方法論に関する最初の包括的提案を提示している。2008年10月に発行された PAS の元のバージョンは、大部分が LCA 規格の ISO 14040 [24] に基づいていた。現行の PAS 2050 [29]（2011年に改訂された）は ISO 規格にたびたび言及しているが、ISO 規格から著しく逸脱している箇所もいくつかある。それゆえ、PAS 2050 [29] は、製品のカーボンフットプリント全体で発生する GHG 排出について、標準化された評価の基礎を作り上げようとする最初の試みと言える。

2.4.4. PEF ガイダンス文書および PEFCR ガイダンス文書

製品環境フットプリント（PEF）は、欧州委員会が EU の業界関係者と協力して開発した欧州規格である [28]。PEF は、LCA を欧州連合内で適用するための一般的ガイダンス（PEF ガイダンス [28]）とセクターごとの PEF カテゴリ規則（PEFCR）を設定することを目的としている。乳製品のカーボンフットプリントには関連する 2 つの PEFCR が存在する。一つは乳製品の PEFCR [30]、もう一つは飼料の PEFCR [42] である。PEF ガイド [28] は、LCA の算定をできる限り標準化することを目指していることから、やや規範的であり、EU 市場におけるグリーン主張（green claim）の標準化に焦点を当てている。乳製品の PEFCR [30] は、さまざまな業界の代表者で構成される技術事務局がこれを作成し、欧州酪農協会（EDA）が取りまとめた。乳製品の PEFCR [30] は、ゆりかごから墓場まで（必須）の LCA を算定するための方法、データセット、5 つの乳製品カテゴリ（液状乳、バター、チーズ、発酵乳製品、および乳素材）についてのデフォルト係数、18 個の異なる環境影響項目について規定している。PEFCR を適用する場合、利用可能な一

次データがない限り、PEF データセット一式を使用する義務がある。乳製品の PEFCR [30] は、一次データが不足している場合、数個のデフォルト値が提供されている場合、または EU 内で環境主張を行いたい場合に有用な文書になり得る。欧州委員会は現在、PEF [28] を中心に据えたいいくつかの立法案を作成している。

2.4.5. FAO の LEAP

「畜産環境評価とパフォーマンス（LEAP）パートナーシップ」は、調和のとれた方法、測定基準およびデータセットを通じて畜産セクターの環境の持続可能性の向上を目指す、複数の利害関係者によるイニシアチブである。LEAP は、全世界で、持続可能な開発のための 2030 年アジェンダおよびパリ協定の達成に貢献しながら、畜産サプライチェーンの持続可能な開発を加速させ、理に適った気候変動対策を支援するための協調的なイニシアチブを主導している。

LEAP は持続可能な畜産生産に関する多くのガイドラインを発行しており、その中で乳製品のカーボンフットプリントに最も適したものを以下に示す。

- 大型反芻動物サプライチェーンの環境パフォーマンス [31]
- 家畜飼料サプライチェーンの環境パフォーマンス [43]
- 畜産生産システムにおける土壌炭素ストックおよびストック変化の測定とモデル化 [44]
- 畜産サプライチェーンにおける飼料添加物の環境パフォーマンス。評価のガイドライン [45]
- 農業における CH₄ 排出量 - 発生源、定量化、緩和および測定基準 [46]

このほか、畜産サプライチェーンにおける栄養フローや関連する環境影響に関する LEAP ガイドラインもある [47]。そのガイドラインは、カーボンフットプリントとはあまり関連がないが、影響項目の一つとして富栄養化が含まれている乳製品の LCA 調査に適している。

2.4.6. 環境製品宣言における乳製品の商品種別算定基準

国際環境製品宣言（International Environmental Product Declaration : EPD[®]）システムは、環境宣言のためのグローバルなプログラムである。環境製品宣言（EPD）は、製品・サービスのライフサイクル環境影響について、透明性のある比較可能な検証済みの情報を提示する。EPD 作成の最初のステップは、適切な商品種別算定基準（PCR）を使用して、対象となる製品を定義することである。PCR とは、独立した第三者パネルによって検証された規則および要件である。例えば、LCA におけるライフサイクルインベントリ（LCI）は、別途検証されるか、信頼できる情報源（製造施設など）のものでなければならない。EPD システム内には乳製品の PCR [32] がある。

2.4.7. IPCC

IPCC は、気候変動に関連する科学の評価を担っている国連機関である。IPCC は、気候変

動とその影響および潜在的な将来のリスクを科学的に評価し、その結果を定期的に政策決定者に提供するとともに、地球温暖化への適応策および緩和策を提示するために設立された。IPCC は、評価することで気候変動に関する既知の知見を確定し、気候変動に関連する主題について科学者たちが合意している部分や調査研究がさらに必要な分野を明らかにしている。IPCC の報告書は、草案作成後、数段階のレビューを経ることにより、客観性と透明性を保証している。IPCC は独自の調査を行っておらず、その報告書は中立的であり、政策に関連しているが、政策を規定するものではない。評価報告書は、気候変動に取り組む国際的な交渉に重要な情報を提供している。乳製品のカーボンフットプリントに最も適した IPCC 報告書は次のようなものである。

- さまざまな GHG の GWP 係数について：第 6 次評価報告書（AR6）（これより新しい版が利用可能になった場合はその版 [33]）
- 農業と土地利用変化の排出係数について：国別温室効果ガスインベントリのための 2006 年 IPCC ガイドライン [48]
- 農業と土地利用変化の排出係数について：国別温室効果ガスインベントリのための 2006 年 IPCC ガイドライン改良版、第 4 巻農林業その他の土地利用 [8]
- 燃料の排出係数について：2012 年の IPCC 排出係数データベース（Emission Factor Database : EFDB） [49]

2.4.8. C-Seq

C-Seq の方法論 [34] は、LCA およびカーボンフットプリントの研究により、（潜在的な排出量に加え）地上および地下の炭素隔離を定量化するための科学的根拠に基づく手法である。酪農セクターおよび肉牛セクターの多くの組織がこの方法の開発に資金提供した。これらの組織は、炭素隔離の機会を推進するための活動を農家が積極的に行うことにより、バリューチェーンにどのようなプラスの影響が生じるかを理解するために、科学的根拠に基づく確実な手法を必要としていた。IDF と「持続可能な牛肉のための世界円卓会議（Global Round Table for Sustainable Beef : GRSB）」は、情報パートナーとしてこのプロジェクトに招かれた。2018 年に開始された同プロジェクトは、世界中の多数の LCA 専門家や土壌研究者から有益な情報を得ながら、パブリックコンサルテーションや試験的運用などによる見直しが何度も行われた。サステナビリティコンサルタント会社であるクアンティス社（Quantis）は、プロジェクトの「テクニカルリード」として契約を締結し、透明性のある開発プロセスに貢献した一流の専門家からの意見や情報に基づいて C-Seq の方法論を開発した。プロジェクトの当初の目的は、カーボンフットプリントに簡単に使用できる科学的に堅牢な手法を開発することであった。最終的に求められる結果は、この複雑な主題に関する知識開発を支援するとともに、排出量を最小化し、気候変動を緩和するための実行可能な方法として炭素隔離を増やすことについて、農家にアドバイスを提供することである。

2.4.9. 規格・基準およびガイダンス文書と本ガイドとの整合性のレビュー

本ガイドの更新の一環として、IDF の LCA アクションチームは、主要なカーボンフットプリント方法論の主題に関して、本 IDF ガイドと、次に挙げるその他の規格・基準やガイド

ンス文書との整合性を見直した：ISO 規格（14067 [26] および 14044 [25]）、PEF（一般的ガイダンス [28]、乳製品の PEFCR [30]、飼料の PEFCR [42]）、LEAP（大型反芻動物 [31]、飼料 [43] および窒素 [47]）、GHG プロトコル [27]、PAS 2050 [29] および EPD における乳製品の PCR [32]。このレビューの結論は、例えば、既存の基準およびガイダンス文書と合致してない場合や不明確である場合に、IDF ガイドを修正するために使用されている。このレビューは、IDF の LCA アクションチームが既存の推奨事項を支持するかどうかについて意識的な決定を下す際にも役立った。これに続いて、既存の規格・基準やガイダンス文書に合致させるべきか、さらに精緻化すべきか、あるいは既存の規格・基準やガイダンス文書から抜け出すべきかについて、意識的な決定を行うことができる。

このレビューの主な結論は、次のとおりである。

- 目的：さまざまな規格・基準やガイダンス文書の目的は異なるが、いずれも主眼は製品 LCA またはカーボンフットプリントに置かれている。企業の報告（corporate reporting）や組織の LCA など、より広い範囲を対象としている規格・基準やガイダンス文書もある。現行の IDF ガイドでは、目的を拡大してバリューチェーン全体をカバーし、乳製品の栄養価を組み込む方法について何らかのガイダンスを提供することを決定した。
- カーボンフットプリントと環境フットプリント：PEF [28] は、さまざまな規格・基準およびガイダンス文書の中で、カーボンフットプリント以外の環境影響を本ガイドに含めることに関して最も詳細な情報を提供している。私たちは、現行の IDF ガイドではこれまでどおりカーボンフットプリントに主眼を置くことに決めたが、本ガイドを他の影響項目のために使用する機会を示唆する項目（6.2 項を参照）を新たに設けた。
- 範囲：規格・基準やガイダンス文書の範囲はそれぞれ異なっている。本ガイドで特定され言及されている 4 つの主要範囲は、1) ゆりかごから農場ゲートまで、2) ゆりかごから工場出荷まで、3) ゆりかごから購入まで、4) ゆりかごから墓場までである。本ガイドの範囲を工場出荷から廃棄／リサイクル（end of life）まで広げるとともに、どのガイドをどの時点で使用すべきか、システム境界をどのように設定するかについてガイダンスを提供することにした。
- 帰属的（attributorial）LCA と帰結的（consequential）LCA：ISO は帰属的 LCA と帰結的 LCA の違いを明記していないが、その他すべての規格・基準およびガイダンス文書は、帰属的 LCA の使用を推奨している。本ガイドでは、帰属的 LCA の推奨を維持することにしたが、帰結的 LCA の使用が有用になり得る状況をいくつか示した。
- 機能単位の選択：推奨されている代表的な機能単位は、例えば kg FPCM のように質量ベースであるが、乳製品の PEFCR [30] は、チーズのカーボンフットプリント分析に乾燥重量を使用することを提案している。栄養価については、どの規格・基準やガイダンス文書も明示的に推奨していない¹。本 IDF ガイドでは、考えられる機能単位の候補について議論し、どのような状況でどの機能単位を推奨するかについて検討することにした。また、栄養価を取り入れることに関して、その実施方法についてはまだコンセンサスが得られていないことを認めた上で、食品を比較する際に栄養価を

¹ しかし、ISO 14040 [24] は次のように述べている。「機能単位の第一の目的は、入力と出力に関連付けられた基準を提供することである。この基準は、LCA の結果の比較可能性を保証するために必要である」。質量ベースの機能単位は LCA の結果の比較可能性を保証しない可能性があるため、質量ベースの機能単位は ISO に沿ったものではない。

含める方法を推奨している。

- 配分：すべての規格・基準とガイドラインが、特定の製品の配分に関する推奨事項を提示しているわけではない。例えば、ISO は配分に関する行動規則のみを定めている。乳製品の場合、異なるガイドライン間で配分が調整されている。飼料に関しては経済価値による配分が推奨されている（IDF、飼料の PEF_{CR} [42]、飼料の LEAP [43]）。また、農場レベルの乳生産の場合、乳と肉との間で生物物理学的に配分することが推奨されている（IDF、乳製品の PEF_{CR} [30]、大型反芻動物の LEAP [31]、EPD における乳製品の PCR [32]）。ふん尿の配分に関しては、ほとんどのガイド（IDF、乳製品の PEF_{CR} [30]、大型反芻動物の LEAP [31]）は、ふん尿が酪農生産の残渣と見なされる場合にはカットオフを提案し、収益を生み出す共製品と見なされる場合には経済価値による配分を提案している。一部のガイド（EPD における乳製品の PCR）は、ふん尿の配分に関して何ら提言を行っていない。酪農サイトにおける生乳の共製品については、乾燥重量または乳固形分の質量に基づく配分が推奨されている（IDF、乳製品の PEF_{CR} [30]、大型反芻動物の LEAP [31]、EPD における乳製品の PCR [32]）。
- 二重計上：二重計上について具体的に言及してはいないが、通常は生物起源エネルギーと化石エネルギーの使用や、エネルギー使用でのシステム拡張をめぐる議論において、回避すべき問題として言及される。酪農乳業のバリューチェーンにおける生物起源エネルギーと化石エネルギーの生産・使用の配分に矛盾が生じているが、これに関してさらなるガイダンスが必要である。現行ガイドでは、エネルギー使用を中心に、二重計上を回避するためのガイダンスが新たに追加されている。
- 地球温暖化係数（GWP）：ここで言及されている規格・基準およびガイダンス文書はすべて、GWP として 100 年の時間枠による係数 GWP₁₀₀ を使用している。気候・炭素循環フィードバック（地球温暖化が炭素循環に及ぼす影響）に関して、規格・基準およびガイダンス文書は相反する立場を取っている。PEF [28] および ISO 14067 [26] が気候・炭素循環フィードバックを含む GWP の使用を推奨している一方で、GHG プロトコル [27] の提供する GWP 値は気候・炭素循環フィードバックを除外した GWP である。現行の IDF ガイドは、炭素循環フィードバックを含む IPCC の最新の（現時点で AR6 [33]）100 年間の GWP を使用した具体的なガイダンスを加えるとともに、その値をガイド中に明記した。
- 生物起源 CH₄ の放出：ほとんどの規格・基準およびガイダンス文書は、生物起源の排出量を別途報告することを提案しているが、生物起源 CH₄ に別の GWP を使用する必要性について明確に述べているものはごくわずかである。生物起源 CH₄ の GWP として使用する数値に関する具体的な提言を明記しているのは、PEF [28] のガイダンス文書だけである（化石起源 CH₄ の GWP と生物起源 CH₄ の GWP）。ただ、この数値は IPCC の AR5 [50] や AR6 [33] とは一致しない。現行のガイドでは、AR6 [33] の生物起源 CH₄ の GWP 係数を推奨している。
- 直接的土地利用変化（direct land use change：dLUC）と間接的土地利用変化（indirect land use change：iLUC）：ほとんどの規格・基準およびガイダンス文書で dLUC が推奨されている。通常、iLUC は明らかに除外されているか、含めることを検討し別個に文書化することを推奨している。現行ガイドは、dLUC を取り入れるが別個に報告し、iLUC を感度分析に含めることを推奨している。
- 炭素隔離：一部の規格・基準およびガイダンス文書は炭素隔離について、それを裏付ける十分な科学的証拠が入手可能であることを条件として、炭素隔離を含めることを認めているが、それを別個に報告することを推奨している。ただし、これらの規格・

基準およびガイダンス文書には、裏付けに必要な科学的証拠を判定する方法や、どのように炭素隔離を測定し、モデル化し、カーボンフットプリントに組み込むかについての説明がほとんどない。本ガイドでは、炭素隔離をカーボンフットプリントに含めることに関して C-Sequ ガイドライン [34] を使用することと、それを別個に報告することを推奨している。

- 泥炭土壌からの排出：泥炭土からの CO₂ および N₂O の排出は、規格・基準およびガイダンス文書に含まれないか、言及されていない。ISO と PEF [28] では泥炭土からの CO₂ 排出を化石起源（生物起源ではない）CO₂ として報告することが提言されているが、PEF では議論が進行中であり、この提言にある泥炭土からの CO₂ 排出が生物起源の排出に変更される可能性がある。本ガイドでは、泥炭土壌からの CO₂ および N₂O 排出を含めることを提案している。

3

カーボンフットプリント評価の手順

3.1. 手順の要旨

カーボンフットプリントの実施に関わる手順について、図2に要旨を示す。以下のセクションで簡単に説明したのち、本章以降の各章でさらに詳しく説明する。

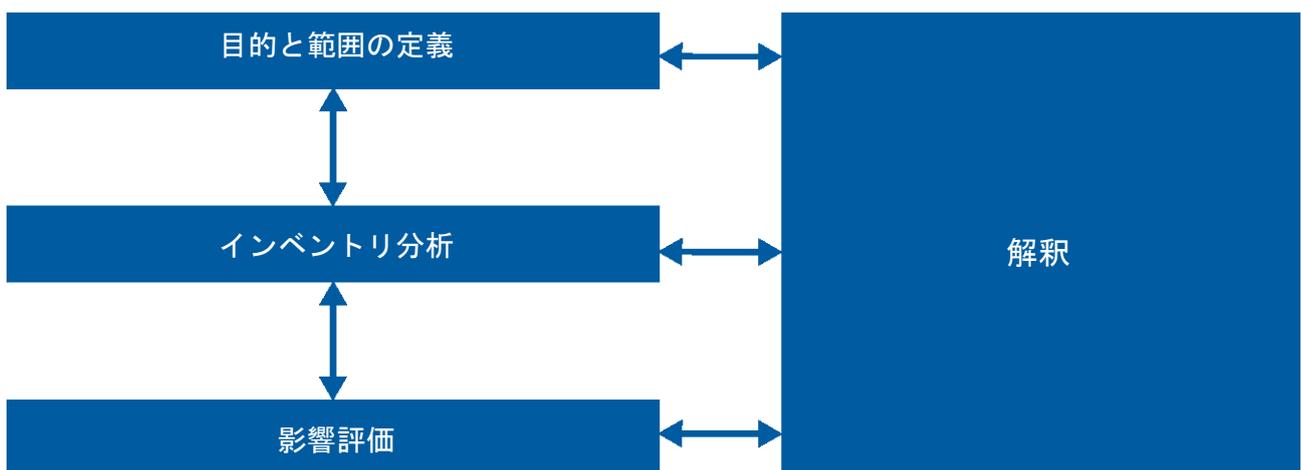


図2. LCA またはカーボンフットプリント評価を実施するための4段階（ISO 14040 [24] に基づく）

3.2. ステップ1 - 目的と範囲の定義

LCAの最初のステップは、図2に示されたとおり、プロジェクトの目的を特定すること、すなわち、答えを出すべき調査の問いとは何かを特定することである。分析の最初に目的を設定することは、カーボンフットプリントの目的を明確にし、プロセスと製品ライフサイクルのすべての部分を含み、なおかつ、プロジェクトの規模が拡大したり、プロセスの途中でデータが不足したり、問題の製品に関係のない領域に拡大し始めたりしないよう確実を期すために必要不可欠である。目的に基づくことで、分析の対象となる機能単位（例えば、何kgのヨーグルトまたは何トンのバターなど）および分析に含める必要のあるすべてのライフサイクル段階を特定することが可能になる。この段階で、LCA方法論の可能な2つのアプローチ（帰属的または帰結的）のうち、どちらを採用するかを決定することも重要である。「はじめに」で述べたように、本ガイドでは帰属的アプローチを推奨し、それについて説明している。調査の範囲設定も、この段階でプロジェクトの目的に応じて確定することが望ましい。範囲の設定には、ゆりかごから農場ゲートまで、ゆりかごから

工場出荷まで、ゆりかごから購入まで、あるいは、ゆりかごから墓場までの調査を行うべきかどうかの決定が含まれる。これにより、どの単位プロセスがカーボンフットプリントの範囲内にあるか、またはカーボンフットプリントから除外されるかについても具体的に確定される。

上記の過程を経て、システム境界を明確にかつ具体的に設定することができ、最終目的に基づいて選択への動機が与えられる。

3.3. ステップ 2 - インベントリ分析（データ収集）

この段階は一般的に、製品（液状乳やチーズなど）の生産システムのデータ収集とモデル化を含み、最も時間のかかる段階である。データ収集には、データの参照、文書化、記述および検証も含まれる。調査の境界内のプロセスに関連するすべてのデータについて、LCA からのデータ出力が正確かつ正当で、状況（context：例えば、地域化されているといった状況）に関連しており、科学的根拠に基づいていることを保証するために、検証しなければならない。仮定を用いることは常に最小限に留めることが望ましい。データは機能単位に関連付けられ、機能単位に従って表されなければならない（例えば、何 kg の FPCM、何トンのチーズなど）。製品の質量収支は完全で、フードロスを検討することが望ましい。GHG の排出量と吸収量の算定に必要なとされる最小限の技術データの提案は、[付属書 10.9](#)に記載されている。

3.4. ステップ 3 - 影響評価（カーボンフットプリントの算定）

第 3 段階では、（2 番目の）インベントリ段階で収集された情報を使用してカーボンフットプリントを算定する。生産プロセスに関連するすべての GHG 排出量は、IPCC の直近の GWP に従って二酸化炭素相当量（g-CO₂e、kg-CO₂e、または t-CO₂e）に換算し、総 CO₂e を得るためにこれを合計する。次に総 CO₂e を総生産量で除して、機能単位当たりのフットプリントを算出する（例えば、チーズ 1 kg 当たりの kg-CO₂e）。

3.5. ステップ 4 - 解釈

ステップ 4 は、ステップ 1～3 の情報を解釈するという意味で反復的である。したがって、ステップ 3 を終了した後、正確な結論を導き出してベンチマークとするために、情報を正確に示すことが重要である。報告書には、結果に対する方法論およびデータの選択が結果への不確実性に及ぼす影響についての情報が含まれていることが望ましい。そして、それに応じて複製されることが望ましい。結果の信頼性を確定するため、不確実性分析または感度分析により、入力データの変動性、排出係数および計算方法がカーボンフットプリントに及ぼした影響を測定することができる。予想される調査結果の用途に応じて、これを検証のために提出することができる。これには、科学誌に査読付き論文向けに提出すること、ISO (14044) のレビューを実施すること [25]、活動データと方法を会計士に確認してもらうこと、あるいは、第三者認証機関からカーボンニュートラル製品認証を取得するために必要となる炭素クレジットの数量を決定することなどが含まれる。

4

目的と範囲の定義

科学的なプロセスや計算の場合と同様に、カーボンフットプリントの目的を明確にすることが重要である。目的に関する知識 - 測定対象（機能単位当たりのカーボンフットプリント）に関して、なぜそれが測定されているのか、どのような読者を想定しているか、結果の使用目的が社内のビジネス資料で使用するものなのか、それとも一般に公開する比較のためなのか - を明らかにすると、分析を実施するのに必要なデータ、方法論、プロセスを特定する助けとなる。

4.1. LCA の方法論：帰属的と帰結的

IDF ガイドラインの目的は、酪農および乳製品製造から生み出される製品のカーボンフットプリントを算定するための**帰属的**アプローチを提供することである。

帰属的 LCA は、製品またはプロセスに出入りする環境に関連した物理的フローを記述することに重点を置いている。この帰属的 LCA は**帰結的** LCA とは対照的である。帰結的 LCA は、環境に関連したフローが、需要の変化などに対してどのように変化するかを説明する。GHG の削減や軽減を目指す戦略を評価する場合には、帰結的 LCA も役立つ可能性がある。なぜなら、乳量を増やすなどの緩和戦略は、生乳生産システムからの GHG 排出量に有益な効果をもたらすが、他の面で（例えば、肉牛生産システムからの排出量に）マイナス効果をもたらすかもしれないからである。本ガイドは、帰結的 LCA を使用しないよう勧めることはしないが、同時に、その適用方法についてガイダンスを提供することもしない。帰結的 LCA を利用する場合、バリューチェーン外の影響も評価に含まれるため、二重計上を回避するよう注意を払うことが望ましい。これはつまり、帰結的 LCA の利用が、GHG 排出量に関する企業報告や排出量の相殺を含む製品主張の目的にはそぐわないということである。帰属的・帰結的 LCA のモデル化技法の使用に関する詳細については、FAO の LEAP ガイダンス [31] の付属書 16 を参照されたい。

4.2. プロセスの定義

目的を定義したら、ライフサイクルのどの段階（またはプロセス）をカーボンフットプリントに含めるかを決定することができる。まずフローチャートを作成し、どのプロセスを含めるべきかを特定するのがよい（[付属書 10.1](#)にある酪農生産のバリューチェーンのフローチャート例を参照）。乳製品のカーボンフットプリントのライフサイクル段階は、通常、農場資源の生産（飼料など）、酪農（畜産および乳生産など）、集乳（輸送）、乳製品加

工、流通、小売、消費者による使用、および廃棄／リサイクルである（図 3）。カーボンフットプリントの目的は、多くの場合、異なる乳製品を比較すること、例えば、2 つの異なる食品（熟成チーズと未成熟チーズ）や、異なる種類の新製品（オランダのイチゴ入りヨーグルトとスペインのイチゴ入りヨーグルト）を比較することである。あるいは、例えば農場が違ふとか、乳製品加工設備の相違とか、包装材の差異といった処理加工の差異がカーボンフットプリントに及ぼす影響を比較することが目的かもしれない。繰り返しになるが、本ガイドは、乳製品のカーボンフットプリントの算定を円滑に進めることのみを目的としており、混合農業（例えば、乳用牛群と豚群、乳用牛群と別の耕作地経営など）のカーボンフットプリントを算定するために使用されたり、非乳製品（肉製品や焼いた食品など）を製造する他の処理加工のカーボンフットプリントを算定するために使用されたりするのは望ましくない。

調査の範囲によっては、カーボンフットプリント調査からあるライフサイクル段階が除外される場合があってもよい。除外するのは、除外対象のライフサイクル段階の GHG 排出量が、比較による影響を受けないことが確実な場合に限ることが望ましい。ライフサイクルの一部（例えば包装）についてのみ GHG 削減を主張する場合、一部についての主張は、判断を誤らせるものと受け止められて司法当局に禁止される可能性があるため、注意を要する。乳製品のカーボンフットプリントを報告する際には、どのライフサイクル段階が含まれていて、どの段階が除外されているのかを、透明性を持って詳細に報告することが望ましい。例として、農場ゲートの後、工場出荷後、または小売後の輸送が含まれるかどうか、どのライフサイクル段階に廃棄物が含まれるか、食品の調理と消費が分析に含まれているかどうか、などが挙げられる。

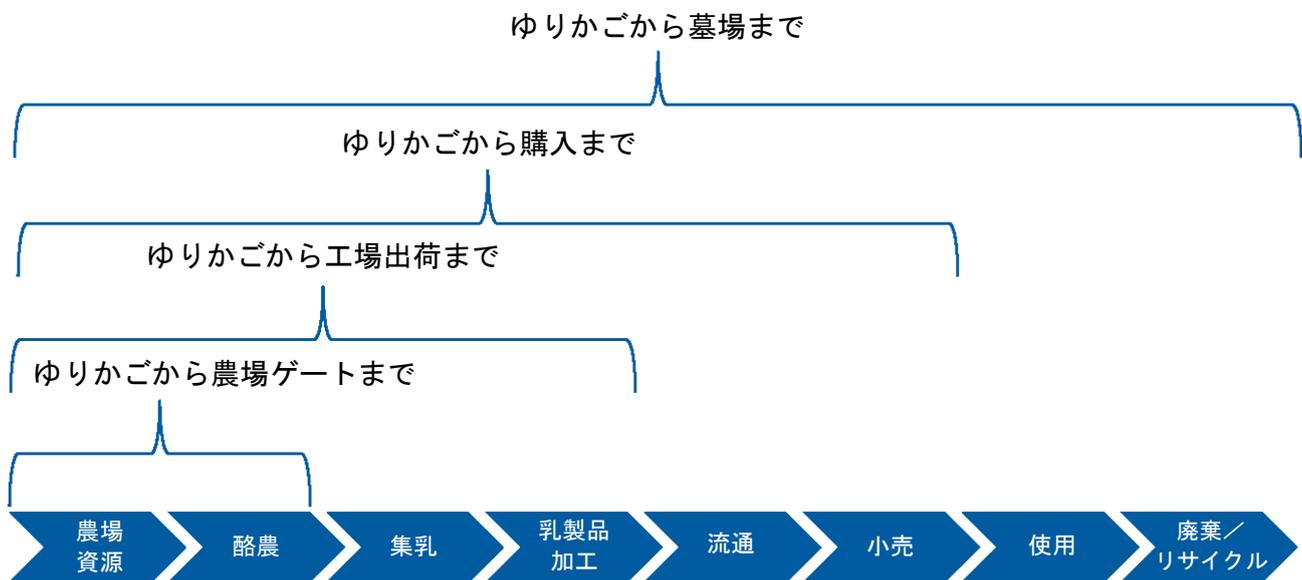


図 3. 酪農生産における一般的な 8 つのライフサイクル段階

ライフサイクルの範囲を定義し、どのようにシステム境界を設定するかについて、ガイダンスを以下に提供する。

ゆりかごから農場ゲートまで：

- 農場での進捗状況を測定するため

- ・ 農場、農業システム、協同組合、地域および国を比較するため

ゆりかごから農場ゲートまでの調査を実施する場合、生乳の乳製品加工業者への輸送が含まれるか除外されるかを明確に示すことを推奨する。ただし、一部の酪農バリューチェーンには加工業者への流通がない可能性があるため、一貫性を保つために、農場ゲート以降の輸送を除外することを推奨する。これにより、乳製品が農場で消費、加工、または販売される際の問題も緩和される。

ゆりかごから工場出荷まで：

- ・ 乳製品および乳素材の生産・加工の進捗状況を測定するため
- ・ 製品、加工システム、企業、地域、国を比較するため
- ・ 製品イノベーションを比較するため
- ・ 製品のカーボンフットプリントの性能について企業間コミュニケーションを行うため

企業間の報告のためのゆりかごから工場出荷までの調査を実施する場合、一貫性を保つとともに実用的な理由から、工場出荷後の乳製品の輸送を除外することを推奨する。これにより、市場へのルートが異なる製品を比較する場合や、同一製品が多数の顧客に対して、それぞれ異なる物流で販売されるときに生じる比較の問題が軽減される。ただし、製品の乾燥・液体の相違を比較する場合は（例えば、液状乳と粉乳）、調達について顧客にアドバイスする際に工場出荷後の物流について説明することが望ましい。製品を乾燥させることで GHG が排出されるが、輸送から生じる GHG 排出量は、水分重量の比率の関係で、液状製品の方が大きい可能性があるからである。どの種類の製品の最終結果が最も少ないカーボンフットプリントを示すかは、乳製品製造者と顧客の間の輸送距離や輸送手段によっても異なる。

システム境界内のさまざまなプロセスや場所のカーボンフットプリントを算定する際に IDF ガイドラインを適用し、参照することも可能である。例えば、酪農場の拡張や再建を計画していたり、乳製品の加工を変更することを予定していたりする場合、当該加工システムのある部分についてカーボンフットプリントの算定を行うことが可能である。ただし、部分的なカーボンフットプリント分析は、当該乳製品の環境への影響について比較し社外で発信するために使用するのではなく、むしろ、気候変動に関するイノベーションや投資を正当化する目的で使用することが望ましい。イノベーションや投資のカーボンフットプリント調査に関しては、ライフサイクルの別の部分とのトレードオフを組み込むことも望ましい。例えば、新しいプロセスの導入により、量の増加、違う材料や、物流面の変更が必要になる場合などがそうである。

ゆりかごから購入まで：

- ・ 購買行動をモニタリングし、比較するため
- ・ 乳製品の生産チェーン全体の影響を比較するため。ただし、（消費による）消費者段階での使用および廃棄／リサイクルの影響は除く。

ゆりかごから墓場まで：

- 栄養価と食品廃棄物の影響を含め、食事と消費行動のカーボンフットプリントを評価し、比較するため
- 乳製品における進捗状況を消費者の視点で評価するため
- さまざまな加工システム、ブランド、企業、地域、国の消費者製品を比較するため
- 製品に関する主張を行うため²

4.3. 機能単位

使用する機能単位が一貫していると、異なる調査研究との間で結果を比較するのに役立つが、調査の目的次第で異なる機能単位を使用してもよい。すべてのカーボンフットプリント調査において、機能単位およびそれに伴う範囲と境界を明確に説明することが望ましい。これにより、結果の比較可能性を高めることができる。また、調査報告に、別の機能単位への再計算をしやすい追加情報、例えば、乳製品の密度（体積当たりの質量）、乾燥重量、栄養価などが含まれていると、それも結果の比較に役に立つ。また、バリューチェーンのどこで機能単位が定義されているかを示すこと、例えば、機能単位は購入された牛乳 1 リットルであるとか、消費された牛乳 1 リットルであるというようにはっきり示すことも重要である。カーボンフットプリント調査の範囲が異なっている場合に使用できるさまざまな機能単位について、以下の項で検討する。

4.3.1. ゆりかごから農場ゲートまで

農場ゲートを境界として調査を実施する場合、機能単位は、分析が行われる国における、農場ゲートでの 1 kg FPCM（乳脂肪 4%、タンパク質 3.3%の補正乳 1 キログラム）である。農場ゲートを境界として選択することは、農場を離れる準備ができていない乳が製品であるということ、それは動物の実際の乳量ではない。したがって、農場段階における乳の潜在的損失（例えば、子牛に与えられた乳など）を含めることが望ましい。

FPCM を農場間の比較の基準として使用することで、品種や飼料条件が異なる農場間での客観的な比較が保証される。乳用牛と水牛の FPCM は、生乳生産量に、特定の農場または地域の生乳のエネルギー含量の、乳糖含量が常に乳量の 4.85%で乳脂肪 4%、純タンパク質含量 3.3%の標準乳のエネルギー含量に対する比を乗じて算出される（式 1 を参照）[51]。

$$\text{FPCM (kg)} = \text{生乳生産量 (kg)} \times [0.1226 \times \text{脂肪\%} + 0.0776 \times \text{純タンパク質\%} + 0.2534]$$

式 1. ゆりかごから農場ゲートまでのカーボンフットプリント調査における機能単位 (kg FPCM) を算出するための式

標準乳の機能単位に別の乳組成が必要とされる場合は、エネルギー式（詳細については付属書 10.2 を参照）を使用して新しい標準乳のエネルギーを計算し、これを FPCM 計算式の係数の再計算に使用することができる。

² ゆりかごから墓場までの範囲を使用した商業目的の主張については、いくつかの規格で推奨されている（例えば ISO 14021 [37]）。

4.3.2. ゆりかごから乳製品の工場出荷まで

この段階の分析において推奨される機能単位は、乳製品工場出荷時に包装されているかバルクの状態にある製品の質量または体積量である。製品の目的や他製品との比較の必要性に応じて、液状重量ベースの機能単位または乾燥重量ベースの機能単位を使用することが可能である。例えば、粉末乳糖と液体乳糖のカーボンフットプリントを比較する必要がある場合、乾燥重量ベースで比較するのがよい。乾燥重量と栄養組成が異なる製品を比較する場合には、これらの違いを考慮し、できれば機能単位で説明することが望ましい。また、生産された製品と比べて販売された製品に違いがある場合もあり（例えば、不適切な生産計画により生産された製品の一部が売れ残ると、製品の廃棄につながることもある）、これを特定して説明することが望ましい。

4.3.3. ゆりかごから購入まで、ゆりかごから墓場まで

酪農乳業の最終製品のカーボンフットプリント算定に関しては、異なる範囲、機能単位を使用することができる。最初にカーボンフットプリントの算定にあたり、さまざまなシステム境界を設定することができる。

- 消費者による購入まで。購入後の排出量は除外する。機能単位は、購入した製品の数量である。自宅への輸送、自宅での保管および調理は除外するが、小売店への輸送、小売店での保管・調理および小売店での食品廃棄物は含める。
- 廃棄／リサイクルまで。購入から消費までの輸送、保管、調理、食器洗い、食品廃棄物による排出量を含める。製品および包装材の廃棄物処理による排出量も含める。機能単位は、消費された製品の数量である。

消費段階では、食品廃棄物、および食品の調理（加熱調理など）に起因する食品の質量および栄養価の変化が相当なものになる可能性がある。したがって、上記の2つのシナリオのうちどちらが適用されるかを明示することが非常に重要である。製品の「購入された質量」1 kg のカーボンフットプリントは、水分と栄養素の損失のために、製品の「消費された質量」1 kg のカーボンフットプリントよりも低くなる。この2つの違いに気付かないと、公正を欠いた比較につながる。製品主張、食品の比較、カーボンニュートラルの主張に関しては、「消費された質量」を機能単位として使用することを推奨する。この機能単位は、栄養価を比較に組み込むことができ、すべてのライフサイクル段階を含んでいるため、カーボンフットプリント評価が完全に客観的なものになり、結果として最も公平な食品比較につながる。

次に挙げる乳製品の機能単位は、カーボンフットプリント調査で一般的に見られるものである。

- サイズ（質量、体積、重量、ポーション（食品を日常生活で数えるのに使う単位）、乾燥重量）
- 経済的価値（さまざまな通貨）
- 食事（1食／1日／1カ月／1年当たりの実際の摂取量または推奨摂取量）
- エネルギー（kcal または MJ）
- 1つの成分の栄養価（炭水化物、総タンパク質またはタンパク質の品質、脂肪、織

- ・ 総合栄養価スコア (Integrated nutritional value score)

前述のとおり、選択される機能単位は調査の目的によって異なる。製品の比較を目的としない場合は、前述の機能単位のいずれかを適用することができる。ただし、乳製品を他の乳製品と比較したり非乳製品と比較したりする場合は、総合栄養価スコアを使用することが望ましい。類似の食品を比較する場合、それらの食品は 1 つ以上の栄養的側面に関して比較することができるが、その比較が誤解を招かないよう注意を払うことが望ましい。さまざまな食事（乳製品なし、ベジタリアン、ビーガンなど）の影響を、栄養価および気候変動への潜在的影響という観点から判断する際、食事の比較は乳製品の状況からも非常に役立つ。ただし、栄養機能がまったく異なる単一食品同士の比較には意味がないことに注意しなければならない（例えば、オレンジと乳製品の比較）。こうした食品は、それぞれの NRF (Nutrient-rich food) スコアはほぼ同じであっても、置き換えることは不可能だからである。どちらの食品にも栄養面での恩恵がある（オレンジには繊維とビタミン C、乳製品にはタンパク質、必須脂肪酸、カルシウム、ビタミン B12 が含まれている）が、これらの食品は置き換え可能というよりむしろ補完的である。それは、エネルギー効率の悪いファンヒーターとエネルギー効率の良い電子レンジを比較するようなものである。電子レンジはよりエネルギー効率が良いが、誰も家の暖房には電子レンジを使わないだろう。

現在、単一食品同士、特に乳製品同士のカーボンフットプリント比較では、NRF 9.3 の方法が最も広く受け入れられている [52]。ただし、LCA にとって最適な総合栄養価スコアに関する議論は進行中であり、本ガイドの次のバージョンで更新される可能性があることに留意すべきである。目下議論されている問題の一つは、栄養素の負の健康面を機能単位に含めるべきか、それとも LCA 調査の健康影響項目として追加すべきか（すなわち、生態毒性に匹敵するものとして）ということである。NRF 9.3 スコアを計算するための計算方法およびデータ収集方法に関するガイダンスは、[付属書 10.12](#) に掲載されている。例えば、栄養情報が入手できないなどの理由でこの方法が実施不可能な場合、液状重量ベースでの比較よりは乾燥重量ベースでの比較の方がまだ有効である。ただ、乾燥重量ベースでの比較により比較主張を行うことは、この場合は勧められない。食品を比較するのに適した枠組みを定義するための作業を進めることが求められており、FAO [53] や IDF をはじめ、いくつかの取り組みがすでに開始されている。

4.4. データ収集の範囲および境界

ここでは、ライフサイクル段階ごとのデータ収集について述べる。比較可能性と整合性を担保するため、異なるカーボンフットプリント調査の範囲および境界を比較可能なものとするのが重要である。ただし、乳製品のカーボンフットプリントに関連する知識体系の構築を継続することも重要であるため、以前は含まれていなかった排出源とサプライチェーンの資源を含める柔軟性が存在している。どの情報源をカーボンフットプリントに含めることが望ましいか、また、どの追加的情報源を含めることができるかを明らかにすることを推奨している。カーボンフットプリントに含める必要のない情報源についても、その影響についてこれまでに評価がなされ、カーボンフットプリントへの影響は少ないことが分かっているので、ガイダンスを提供している。とは言え、排出量が予想よりも大きな影響を与える状況が発生する可能性は残る。そこで、ライフサイクルでの GHG 排出量が非

常に少ない排出源については、相当量の排出源ほど詳細な処理を必要としないことを保証するため、1%の基準値を設定した [8]。実用的な観点から、何らかの材料またはエネルギーフローの総排出量への寄与度が 1%未満の場合、その材料またはエネルギーフローを「*de minimis* (些細なこと)」と見なし、除外することができる。ただし、排出量の 95%を説明するという判定基準が満たされていることを条件とする [21]。データが収集される前に環境影響の大きさを知ることが難しいのは明らかであるが、こうした知識は以前のカーボンフットプリント調査や単純な仮定に基づく計算から得ることができる。データ収集は可能な限り完全であることが望ましいが、カーボンフットプリントへの寄与がかなり大きいデータソースが定量化されていないことは常にあり得る。その場合、1%の基準値ルールを使用することを推奨する。いずれにせよ、どの排出源が乳製品のカーボンフットプリント調査に含まれているか、付属文書 (annex) や付属書に含まれているかを明確に報告すること、また、一つ一つの GHG 排出源の寄与を可能な限り詳細に報告することを推奨する。そうすることで、調査を比較する必要がある場合に比較可能性が高まり、結果をうまく修正できるようになる。背景の LCA のバックグラウンドデータセットは、資本財を含んでいたり除外していたり一貫していないことがある点に留意すべきである。したがって、資本財の包含または除外に関する推奨事項は、1%の切り捨てルールではなく、信頼できるデータセットを実際に利用できることに基づいている。上記にかかわらず、カーボンフットプリントに含まれているプロセスおよびデータと除外されたプロセスおよびデータを報告し、これに関わる選択の内容を明確に記述することが望ましい。

4.4.1. 農場への入力と資源

酪農生産に使用される入力と資源については、常にカーボンフットプリントに含めることが望ましい。これらの資材と資源は、酪農生産のために酪農場に投入される「製品」(エネルギー源と動物を含む)を意味する。酪農生産用の育成牛を飼育するための入力もこれに含まれる。以下の酪農場資源をカーボンフットプリントに含める必要がある。

- 飼料添加物を含む乳用牛群の補助飼料
- 敷料
- 肥料および土壌改良剤。これには、化学肥料、石灰、ふん尿、堆肥、バイオ炭、ふん尿ペレット、植物性肥料、食物および飼料残渣が含まれるが、これらに限定されない。購入したふん尿については、カットオフルールが適用される (5.4.1 項、10.9 項、農場での配分に関する 5.4.1 項を参照)。言い換えると、農場ゲートに至る前の、ふん尿排せつ・貯蔵による上流の影響は通常、評価から除外するのが望ましいが、酪農場へのふん尿輸送の影響はカーボンフットプリントに含めることが望ましいということである。
- 化石燃料および生物起源燃料を含むエネルギー、酪農に関連する農場作業用の熱および電気。エネルギーが酪農場で生成され、カーボンフットプリントシステムの境界内で酪農その他の作業に使用される場合、購入した資本財、補助材料およびエネルギー生成のために投入したバイオマスを、カーボンフットプリントに含める必要がある。そうでない場合にはこれらの農場への投入を除外することができる。
- 乳用牛群の後継牛として使用される乳牛
- 他の酪農場で行われる酪農生産に関連する活動。例えば、乳牛の後継牛および育成牛のための飼料生産や、酪農場外で (一時的に) 飼育、維持されている乳牛など

購入した資源については、ゆりかごから農場ゲートまでのライフサイクル段階をカーボンフットプリントに含める必要がある。これには、農場ゲートに至る前のライフサイクル段階で行われる、採掘、収穫、その他の種類の調達、農業、輸送、加工および包装、廃棄および廃棄物処理が含まれるが、これらに限定されない。

飼料生産は、PEF（一般的ガイダンス [28]）、乳製品の PEFCR [30]、飼料の PEFCR [42]）および FAO の LEAP [43] ガイダンスの要件に準拠して取り扱われなければならない。配合飼料や濃厚飼料のレシピ並びに各飼料原料の原産国を明記することが望ましい。飼料生産のための土地利用変化に伴う排出量は、カーボンフットプリントに含める必要があるが、別途報告する。

物流については、輸送のためのエネルギー消費に加え、インフラと輸送車両による GHG の影響を含めることが望ましい。灌漑用水の調達・利用のためのエネルギー使用もカーボンフットプリントに含めることが望ましい。資本財に分類される酪農場への入力は、カーボンフットプリントから除外してもよい。ただし、これについては現時点で知見の差がかなりあるため、より質の高い資本財の環境フットプリントデータセットの開発を推奨している。他の酪農場への入力の影響は除外してもよいが、カーボンフットプリントへの寄与が 1%未満であると見込める場合に限られる（4.4 項を参照）。このように影響が比較的少ないものの例として、サイレージ用プラスチックフィルム、冷媒、殺虫剤、および水の生産が含まれる。酪農用医薬品および獣医のサービスも、信頼できるデータセットが現在不足しているため、カーボンフットプリントから除外することができる。ただ、カーボンフットプリントへの影響と環境への影響は不明であり、抗菌剤やその他の動物用医薬品の GHG への影響に関するさらなる研究が必要である。

4.4.2. 酪農

酪農のシステム境界は、システム内で生じるすべてのプロセス、すなわち乳生産のために必要なすべての畜産活動（農場での飼料生産、乳牛と育成牛の飼育、放牧など）に限られる。酪農場における酪農関連以外の農業生産は、プロセスの下位区分により乳製品のカーボンフットプリントから除外することが望ましい（5.4.2 項を参照）。

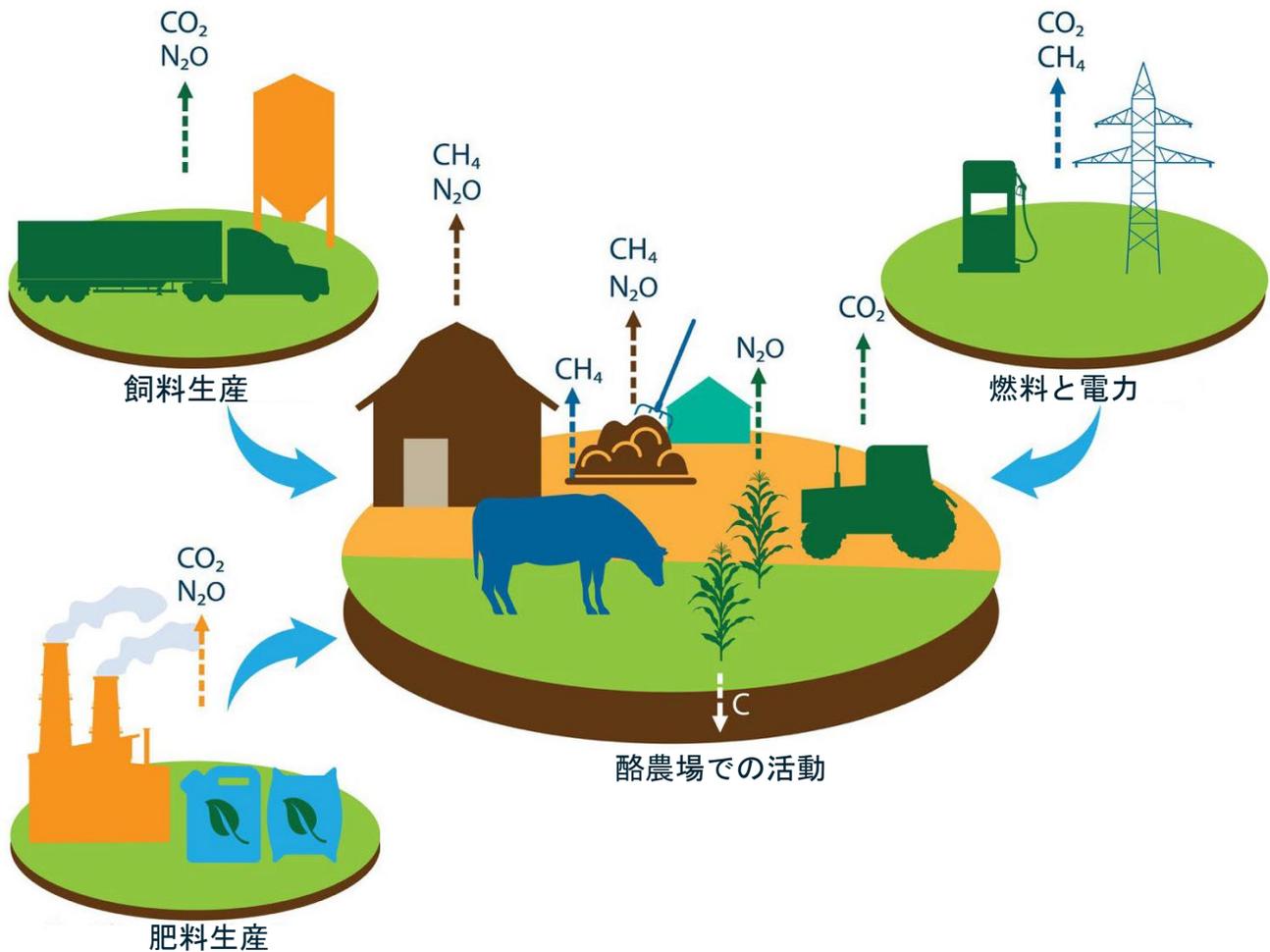


図 4. 酪農場に関連する GHG 排出

酪農業のカーボンフットプリントに含めることが望ましい酪農場での GHG 排出（図 4 に示す）

- 天然ガス、ディーゼル燃料、その他の（バイオ）燃料など、酪農用の燃料の使用に関連する農場での GHG 排出量のすべて。一般的に、燃料は、圃場作業、放牧管理、畜舎および搾乳に使用される。化石起源 CO₂ を含めることが望ましいが、バイオ燃料の燃焼による CO₂ 排出は除外することができる（バイオ燃料の炭素はバリューチェーンの初期段階で大気中から固定されたもののため、正味の排出量は全くないからであるが、バイオ燃料の生産による排出は酪農場資源として含める必要がある）。そのほかカーボンフットプリントに含めることが望ましいのは、生物起源燃料・化石燃料の生産および利用から排出される、GHG の漏出である（例えば、ふん尿の分解や天然ガスまたはバイオガスの調達による CH₄）。
- 乳牛および後継牛や育成牛の消化管内 CH₄ の排出

- 牛舎内で乳用牛や後継牛のふん尿および敷料から発生する（ふん尿の貯蔵・処理中の発生を含む）GHG 排出（CH₄ および直接的・間接的な³ N₂O 排出）
- 乳用牛群に給餌する（飼料生産・放牧等）ために使用されている耕地と牧草地からのすべての GHG 排出量。これには以下から生じる排出量が含まれるが、これらに限定されない。
 - 肥料および土壌改良剤の施用（例えば、土壌からの直接・間接的な³ N₂O 排出、石灰および尿素からの CO₂ 排出）
 - 牧草地での乳用牛および後継牛の排せつ物（例えば、直接的・間接的な³ N₂O 排出）
 - 泥炭土の酸化と無機化（CO₂ および N₂O の直接排出）、および酪農に使用される泥炭土からの CH₄ 排出
 - 収穫損失と作物残渣（N₂O の直接排出）
 - 無機質土壌中の窒素（N₂O の直接・間接排出）
 - 炭素隔離（CO₂ 排出と作物残渣およびふん尿から土壌有機物への CO₂ の吸着）。ただし、別途報告することが望ましい（5.4.3 項を参照）。
 - 酪農業のために、耕地や草地の利用と森林伐採の間で土地利用が変化したことによる dLUC（生物起源の CO₂ 排出）。ただし、これに関しては別途報告することが望ましい。
- 農場における酪農関連の処理加工。これには肥料、化学物質、飼料の保存（サイレージと干し草の製造、穀物の乾燥）および素材の農場での生産が含まれる。
- 廃棄物とその処理（例えば、食べ残された飼料の廃棄物、サイレージ製造または包装材料から出るプラスチックフィルムの廃棄物）
- 農場で使用される冷媒（GHG の直接排出、および NH₃ が冷媒として使用される場合の間接的な N₂O 排出）
- 農場での乳製品加工。ただし、これは比較のために別途報告することが望ましい。

酪農業のカーボンフットプリントから除外しなければならない GHG 排出量：

- 短期的（生物起源の）炭素循環で説明される排出量（図 5 を参照）。動物や作物に吸収された炭素は、すぐに再放出されるため、カーボンニュートラルである（ただし、住宅を建てるのに使用されている木材のように、植物材料が数十年間保存される場合を除く）。もう少し説明すると、吸収された炭素は代謝されて再び CO₂ となり、呼吸により放出されるかバイオマス（つまり、ふん尿や作物残渣）として放出され、その後分解される。ただし、短期的炭素循環で生物起源 CH₄ に変換される炭素については、説明することが望ましい。
- 大気からの酪農地への窒素沈着は除外できる。これらの排出は、乳製品以外の生産プロセスからの間接的な N₂O 排出を表すため、それらの生産プロセスとその製品のカーボンフットプリントに含めることが望ましい。

酪農業のカーボンフットプリントから除外してもよい GHG 排出量：

- 農薬。カーボンフットプリントからの除外は許容できるが、生態毒性の影響があることから、環境フットプリントに含めることを推奨する。

³ 間接的な N₂O の排出とは、アンモニア（NH₃）と、土壌並びに貯蔵・処理中の肥料、土壌改良剤および排泄物から排出される、溶出した硝酸イオン（NO₃）からの排出である。

- 水の使用（水道水、地下水、地表水）。カーボンフットプリントからの除外は許容できるが、水不足への影響があることから、環境フットプリントに含めることを推奨する。
- 農場で使用される洗浄剤

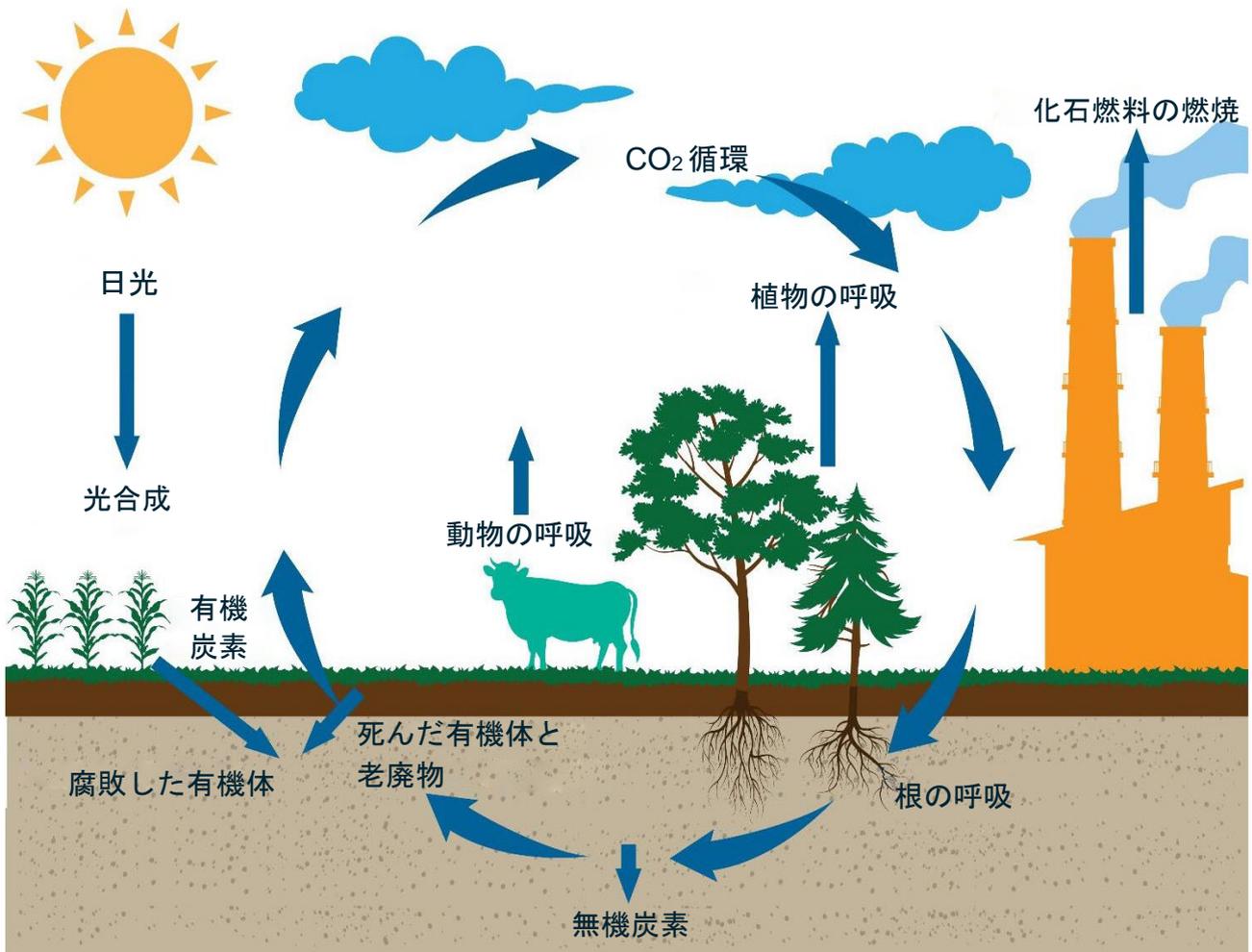


図 5. 酪農場における短期的炭素循環

4.4.3. 集乳と乳製品加工

システム境界は、集乳・加工システム内の関連のあるプロセスを包含しており、以下のものから生じる GHG 排出量を **含むことが望ましい**（ただし、これらに限定されるものではない）。

- 農場ゲートから加工工場までの生乳の輸送と工場間の製品輸送
- 上記の輸送に関連する GHG 排出を伴うエネルギー使用
- GHG 排出を伴う工程を経て作られたエネルギーキャリアの消費（例えば、バイオベース電気および化石電気、天然ガスおよびバイオ燃料）
- 加工、生産、配送および操作材料の消費に起因する放出（例えば、冷媒の放出）

- 現場での淡水利用
- 乳加工段階の廃水処理から発生する CH₄ および N₂O 排出を含む廃水処理（工場内または工場外、またはその両方）
- 包装材、フードロス、補助資材の廃棄物処理（埋立地からの CH₄ 排出が含まれる）
- 例えば、塩、砂糖、酵素、果物などの原材料（生産および輸送による上流での排出が含まれる）
- 乳製品を製造するための補助材料。これには化学物質、冷却剤、洗浄剤、包装材料などが含まれる。包装については、一次包装を含めることを勧める。購入した包装材料、乳製品の実際の包装に由来するエネルギー・水・廃棄物、およびプロセス中で廃棄された包装材料の処理による影響は、乳製品加工ライフサイクル段階に含める必要がある。乳製品の保管・熟成中に生じた再包装もこの段階に含まなければならない。
- 乳加工プロセスにおけるフードロスは、カーボンフットプリントの物質収支の算定に含めることが望ましい。

集乳・加工システムのカーボンフットプリントから**除外しなければならない**GHG 排出量：

- 製品の中に貯蔵されている生物起源炭素⁴の寿命が 100 年未満の場合、乳製品のカーボンフットプリントに含めないことが望ましい。
- 燃焼も分解もされない化石炭素源からの CO₂ 排出については計算に入れないことが望ましい。一例として、最終的に埋立地に運ばれるプラスチック包装材が挙げられる（プラスチックが分解されるまでに数百年かかる可能性があるため）。

集乳・加工システムのカーボンフットプリントから**除外してもよい**GHG 排出量：

- 二次包装および三次包装（カーボンフットプリント調査の主眼ではない場合）
- 乳酸発酵、レンネット、酵母などの乳製品加工設備への生産と分配、並びに乳製品加工設備での固形廃棄物のように、カーボンフットプリントへの寄与が 1%未満の材料
- 乳製品加工設備の資本財

一部の地域または国では、2 つの異なる種（牛、水牛、羊、山羊）の乳が混合され、加工設備に送られる。この場合、加工設備で受け取る混合乳に含まれるそれぞれの種の乳のカーボンフットプリントと割合を知っておくとよい。

4.4.4. 流通および小売

次の GHG 排出量と関連活動は、流通および小売のカーボンフットプリントに**含めることが望ましい**。

⁴ 場合によっては、生物起源炭素の含有量が関係してくるかもしれない（例えば、バイオプラスチックと化石プラスチックの包装材を比較する場合など）が、その際には、ライフサイクルの各段階で生物起源炭素の含有量について正確に説明し、明確かつ透明性を持って報告する必要がある。

- 加工業者から小売流通センターへの輸送および加工業者から小売業者への輸送。輸出された乳製品の国際輸送をこれに含めることができる。
- 輸送・流通段階における保管およびそれに関連する排出（エネルギー、冷媒）
- 流通および小売におけるフードロス - 物質収支に含める必要がある。
- 小売業に外食産業が含まれる場合（テイクアウト、コーヒーメーカー、レストランなど）、食品の調理を含める必要があるが、別途報告し、民生用のライフサイクル段階の範囲と境界に準拠する必要がある（4.4.5 項）。
- 乳製品を含む複合食品（ピザなど）の場合、製品加工を含める必要があるが、別に報告するものとし、ライフサイクルの乳製品加工段階の範囲と境界に準拠する必要がある（4.4.3 項）。
- 流通・小売における廃棄物とその処理

除外してもよい GHG 排出量：

- 流通センターと小売業者の資本財

小売・流通段階をモデル化するにあたり、乳製品の PEFCR ガイダンス [30] の原則に準拠することを推奨する。資本財が乳製品の小売・流通段階に代表的なものである場合、乳製品の PEFCR [30] のデフォルト値を使用することができる。

4.4.5. 使用

消費者使用のカーボンフットプリントに**含まれることが望ましい**各種の活動と排出量：

- 購入場所まで往復するためのエネルギー使用量（購入した製品間で配分する）
- 食品の冷蔵または冷凍に使用される家庭内のエネルギー（保存された製品間で配分する）
- 食品の調理。食品の加熱調理および調理中の食品の質量および栄養価の変化を含む（調理された製品間で配分する）。
- 調理器具、皿の洗浄（湯沸かし、食器洗い、調理された製品間で配分する）
- 包装材の残渣を含む、回避可能な食品廃棄物と回避不可能な食品廃棄物

消費者使用のカーボンフットプリントから**除外してもよい**GHG 排出量：

- 消費者による常温保存
- 消費者に関連する資本財
- 乳製品を消費するためのカトラリー（ナイフ、フォーク、スプーンなど）

消費者使用段階をモデル化するにあたり、乳製品の PEFCR ガイダンス [30] の原則に準拠することを推奨する。資本財が乳製品の小売・流通段階に代表的なものである場合、乳製品の PEFCR [30] のデフォルト値を使用することができる。

4.4.6. 廃棄／リサイクル

廃棄／リサイクル段階のカーボンフットプリントに**含まれることが望ましい活動**と GHG 排出量：

- カーボンフットプリント調査の範囲で、乳製品のライフサイクル全体にわたるフードロス、食品廃棄物および包装材からの廃棄物。埋め立て、焼却、リサイクル、堆肥化など、廃棄／リサイクルを説明する明確なカーボンフットプリントについて考慮することが望ましい。
- 処理場への廃棄物の輸送

廃棄物と廃棄物処理については、カーボンフットプリント調査に含まれるライフサイクル段階ごとに別個にモデル化し、できれば、各段階でどれくらいの廃棄物が発生しているかを明確にするために、個々のライフサイクル段階の一部として結果に含めて報告することが望ましい。

4.5. 生乳のカーボンフットプリントの削減

このカーボンフットプリントに関するガイドの目的は、全世界の酪農乳業セクターがGHG排出量を削減できるよう支援することである。したがって、乳製品のカーボンフットプリント削減のためのオプションに関するガイダンスは、本ガイドに盛り込むのに適している。GHG 緩和オプションの広範なリストが**付属書 10.11**に掲載されている。このリストは、酪農家、企業およびその他の利害関係者が各々の乳製品のカーボンフットプリントを削減するオプションを検討するよう働きかけることを意図しており、優先順位を付けたり、影響や有効性に基づいて作成されたものではない。これは、乳製品のサプライチェーンがそれぞれ異なるものであり、緩和オプションの有効性、採用可能性および適用可能性が、地理的条件（例えば、気候、土壌の種類）や、政治的考慮事項（例えば、当局による禁止および補助金）、消費者の嗜好などの物理的基準によるかどうかにかかわらず、世界各地で大幅に異なるためである。酪農家がカーボンフットプリントをさらにどの程度削減しうるかは、特定のライフサイクル段階がカーボンフットプリント調査に含まれているかどうか、乳製品のサプライチェーンからの GHG 排出量がすでにどの程度最適化されているかによっても異なる。例えば、

- サプライチェーンに泥炭土が存在しない場合、水位を上げても有益な環境影響は生じない。
- 生乳の調達先の国で飼料添加物の使用が禁止されている場合、サプライチェーンでのその使用による GHG 排出量削減は見込めない。
- 乳用牛 1 頭当たりの乳量を増やせる可能性は、地域、国、個々の農場によって異なる。その可能性は特に、基準値とどの程度の改善が行われているかによる。また、酪農家の酪農生産に対する知識と理解、および経済的投資を行う能力によっても左右される。
- 乳製品が農場で販売または消費される場合、農場外の輸送における物流を最適化することには意味がない。

酪農乳業サプライチェーンでの GHG 緩和策の適用を検討する場合、サプライチェーンお

よびカーボンフットプリントモデルでどの緩和オプションが実現可能であるかを判断する際に、[付属書 10.11](#) の実現可能性マトリックスの枠組みが役立つかもしれない。負のトレードオフが生じないようにするため、他の環境問題、経済、動物福祉に対するさまざまな緩和オプションの影響も考慮することが望ましい。乳製品の緩和オプションに関する詳しいガイダンスについては、出版物 [31 および 54-56] で言及している。

4.5.1. 新しいGHG 緩和技術

この IDF ガイドの有効期間中に、乳用牛（または他の反芻動物）システムに関連する GHG 排出の一部を軽減する新しい技術がいくつか利用可能になるかもしれない。そうすると、本稿で説明したカーボンフットプリント手法にこれらの技術をどのように取り入れるかという問題が生じる。新しい緩和技術の使用に備えて準備しておくことは、本ガイドの寿命を延ばし、科学的に証明された技術の採用を促すのに役立つ。詳細な算定方法を提供するのに利用可能な技術情報は今のところ充分ではないが、これらの技術の性能に関する多くの科学的証拠が入手できるようになるとともに、技術を組み込むための準備を整えることが望ましい。このような技術には、飼料添加物、ワクチン、装着型デバイス、硝化抑制剤などがある。

イノベーションプロセスの初期段階で新しい緩和オプションのカーボンフットプリントへの影響を評価するために、カーボンフットプリントにこれらのオプションを含めることを推奨する。ただし、実用的な実装について主張する場合は、その有効性に関するセクターの調整（例えば、IDF、LEAP、酪農乳業のためのグローバル・リサーチ・アライアンスのようなプラットフォームを介して）を行った後、十分な科学的根拠に基づいて、慎重に行うことが望ましい。緩和技術を国別温室効果ガスインベントリに組み込むことが認められた時点で、カーボンフットプリントに組み込むことを要求してもよい。国別温室効果ガスインベントリに組み込まれることは、緩和パフォーマンスに適したレベルの科学的厳密性を示すものであり、十分に実証され国際的に認められた排出削減の主張をカーボンフットプリントに含めることができる。またこれにより、国別温室効果ガスインベントリと、各国の GHG 報告の合計から算出された世界全体の排出量という全体的評価の両方とカーボンフットプリントが一致していることも保証される。カーボンフットプリントにおける緩和技術の利益は、それが投入される国別温室効果ガスインベントリに使用されているのと同じ式、またはより状況に即した式を用いて計算することが望ましい。使用範囲は、システム境界内で文書化された使用レベルに基づくものとする。上記により、カーボンフットプリントに関して緩和技術の有効性に影響を与える地域的要因を考慮することができる。

4.5.2. カーボンフットプリント算定に関連するオフセット

製品のカーボンフットプリントを「相殺」するため、つまりカーボンニュートラルを主張するための炭素クレジットおよびカーボントオフセット枠組みにますます注目が集まっている。炭素クレジットまたはカーボントオフセットは、カーボンフットプリントを削減するために使用することはできず、カーボンフットプリントを埋め合わせるためにのみ使用できる。したがって、炭素の「削減」と「埋め合わせ」を区別することが重要である。酪農乳業セクター内では、炭素クレジットを生成するためにセクターが果たすべき役割につ

いて議論が続けられている。例えば、炭素クレジットは炭素隔離または消化管内 CH₄ の排出量を削減するための飼料添加物使用によって生成することができる。ただし、一つ注意すべき点がある。ある農場が炭素隔離によって炭素クレジットを生成し、それが別のセクターに販売される（つまり、農場を離れる）と想定した場合、これも「ネガティブエミッション（負の排出）」ということになる。この農場は削減分を自己のカーボンフットプリントに含めることはできない。なぜなら、二重計上、二重主張につながるからである。つまり、農場はライフサイクル内の炭素削減としてこの緩和を説明し、他のセクターは別のライフサイクルのカーボンフットプリントの埋め合わせとしてこの緩和を説明するため、異なる当事者により 2 回計上され、主張されることになる。炭素クレジットを用いたカーボンフットプリントの削減は、炭素クレジットがバリューチェーン内に保持されている場合にのみ可能である。もちろん、オフセット認証を受けていない（同じ）農場での削減（例えば、効率の向上、排出量の削減、低カーボンフットプリントの入力購入）は、農場のカーボンフットプリントに含めることができる。

5

インベントリ分析

5.1. データ品質

LCA の算定で最も重要な課題の一つは、調査で使用されるデータの透明性と正確な報告である。IDF は、データの供給源および利用が ISO 14044 [25] と ISO 14067 [26] に即して行われることを推奨している。詳細についてこれらを参照することが望ましい。

使用されるデータが一次データ（個々の農場やサイトからのデータ）であるか（これが望ましい）、二次データ（一般的なデータベース、記事、レポート、全国統計など）か、それとも仮定に基づくデータやデフォルトのデータ（調査対象の製品に特異的ではない）なのかを明記することが望ましい。すべてのデータについて、情報源（例えば、データが収集された参照先、会社、データが取得された場所、どのデータベース、記事、レポートからデータが取り出されたかなど）を文書化しなければならない。また、時間的・地理的・技術的な範囲と、当該データが研究目的に照らしてどの程度代表的なものであるかを明記することが望ましい。長期間の平均データを使用することができるし、特定年のデータを使用してもよいが、農産物については、季節変動がカーボンフットプリントに影響する可能性があることを考慮することが重要である。したがって、データが収集される期間は、調査にとって適切で、かつ目的に合致していることが望ましい。例えばカーボンフットプリントの年間進捗状況と年次変化を測定することが目的である場合、各年のデータ収集と報告が最適である。対照的に、製品の現在のカーボンフットプリントを消費者に周知することが目的で 2、3 年の間の主張を維持する必要がある場合は、過去 3 年間の平均カーボンフットプリントを算定する方が適切である。そして、管理上の負担を抑えるため 3 年後に更新するのがよい。

データは、カーボンフットプリント算定の対象地域のできるだけ代表的なものであることが望ましいが、地域の範囲はカーボンフットプリント調査の目的によって、つまり農場特有のものか、それとも地域、国、大陸に特有のものか、世界全体であるかによって異なる。収集されたデータは、生産システムの技術的特性も表すものであることが望ましい。例えば、データが表しているのは近代的な乳製品加工工場かそれとも旧式の乳製品加工工場か、地域のサプライチェーンかそれとも国際的な乳製品取引か、大規模な酪農場かそれとも小規模の酪農場か、有機酪農かそれとも従来の酪農か、乳牛は放牧かそれとも舎飼い。例えば、米国で生産される生乳のデータが、サハラ以南のアフリカの農場を代表するものにあてはまらないことは明白であるが、これは、それぞれの気候と生産システムがまったく異なるからである。

データ収集とライフサイクルインベントリのモデル化を行っている間は、端数処理を適用

しないことが望ましい。方法論と詳細さの度合いが調査全体にわたって一貫性を保ち、高品質で、適切かつ実現可能であることが望ましい。酪農は乳製品のカーボンフットプリントへの寄与が大きいいため、農場での詳細なデータの収集は極めて重要である。なぜなら、詳細なデータがなければ、農場における排出量の低減を測定してカーボンフットプリント削減の進捗状況を評価することはできないからである。したがって、農場ごとのデータを収集する場合は、データの正確性・完全性を確保することと、酪農家がデータ提供にかけられる時間と労力との間でバランスを見出さなければならない。既存の情報源にアクセスして自動でデータ収集する方法は、データの品質を高め、酪農家の管理上の負担を軽減するのに役立つ。

最後に、カーボンフットプリント調査におけるデータのばらつきと不確実性については定性的な面だけでも議論するべきで、できれば、感度分析などによる定量的アプローチについて議論することが望ましい。乳製品の PEF ガイダンス文書と PEF CR には、データ品質評価と呼ばれる標準化された手法が紹介されているが、これは、EU 市場でカーボンフットプリントまたは PEF [28] に関する主張を行う際に使用することが推奨されている。N₂O 排出量は、1 つの圃場内であっても、気象条件により、時間とともに大幅に変動し、また N₂O を直接測定するにはかなり費用がかかるため、正確なデータを入手できないことがよくある。データの精度も、特に、飼料摂取量や貯蔵飼料および収穫損失などのように推定が困難なパラメータの場合、変動する可能性がある。したがって、重要なパラメータ、特に正確に推定するのが難しいパラメータについては、感度分析を実施することが重要である。

5.2. 排出係数

排出係数は、特定の排出源または活動から排出される GHG の量の指標となる。排出量を測定するための方法と情報源にはいろいろあるが、その精度と詳細さに応じて階層化されている。最も簡易な方法は Tier 1 と呼ばれ、それより詳細で、国別情報が利用できる方法は Tier 2 と呼ばれる。地域の状況・条件を説明する個別データを用いる方法は Tier 3 と呼ばれる。例えば、国別温室効果ガスインベントリのための 2006 年 IPCC ガイドライン [48] とそれに続く 2019 年 IPCC ガイドライン改良版 [8] では、消化管内発酵からの CH₄ 排出量を推定するための 3 つの Tier すべてを記述している。Tier 1 では、排出量は上記の文献に記載された標準的な排出係数を使用して算定される。Tier 2 レベルの排出量算定には、総エネルギー摂取量に関する詳細な国別データと畜産カテゴリの CH₄ 換算係数が必要である。Tier 3 では、詳細な飼料組成、第一胃内発酵から生じる生成物の濃度、動物の個体数や飼料の品質・入手可能性における季節変動、考えられる CH₄ の低減戦略などに関して、直接の実験的測定で得られる、科学的に許容されたより正確なデータが必要である。

調査方法に関しては、入手可能で調査に採用し利用することのできる、可能な限り高い階層の方法を常に使用しなければならない。そうすることで、精度と代表性が向上し、カーボンフットプリントを削減するための緩和戦略が有効になる。乳製品のカーボンフットプリントの一貫性を確保するため、少なくとも Tier 2 の方法を使用することを推奨する。製品の主張を行う場合や、査読付き出版物については、Tier 2 または Tier 3 の排出係数のみの使用を勧める。異なる Tier を使用しているカーボンフットプリント調査間の比較主張を

行う場合、その違いを明示的に取り上げ、その違いが結果に及ぼす影響を不確実性分析によって推定しなければならない。

次の資料は、Tier 1、Tier 2 および Tier 3 の方法論に含まれる排出係数と算定に関する情報を提供している。

- 国別温室効果ガスインベントリのための 2006 年 IPCC ガイドライン、第 4 巻：農林業およびその他の土地利用 [48]
- 国別温室効果ガスインベントリのための 2006 年 IPCC ガイドラインの 2019 年改良版、第 4 巻：農業、林業およびその他の土地利用 [8]
- 国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) GHG インベントリに関するトレーニングパッケージ [57]
- 燃料の IPCC 排出係数データベース [49]

以前の IPCC 報告書に掲載されている時代遅れの方法の代わりに、IPCC ガイドラインの 2019 年改良版 [8] や今後発行される改訂版を使用することが望ましい。改良版では、排出係数に関する最新の科学情報を取り入れ、生産性と排出量の関係に改良を加え、商業生産システムと自給自足システムの分化に焦点を当て、方法と排出源の一貫性を改善している。5.2.1～5.2.3 項では、酪農における排出係数の使用について具体的なガイダンスを示す。酪農は乳製品のカーボンフットプリントの主な要因である。5.2.4 項では、その他のライフサイクル段階における排出係数と方程式の使用に関するガイダンスを示す。

5.2.1. 消化管内発酵からの CH₄ 排出係数

既存の Tier 1 法に加えて、IPCC ガイドラインの 2019 年改良版 [8] は、生産システムを低生産性システムと高生産性システムに区別した国と、低生産性システムから高生産性システムに移行している国を対象に、より高度な Tier 1a 法を導入した。Tier 1 法と Tier 1a 法を適用する場合は、それぞれの別個の消化管内発酵の CH₄ 変換率 (Y_m) と CH₄ 排出係数を使用することを推奨する。

Tier 2 法では消化管内 CH₄ 排出係数を、それぞれの畜産カテゴリーの総エネルギー摂取量と Y_m に基づいて推計する。この方法論では、年間生乳生産量 (低/中/高) と飼料の品質 (消化率と中性デタージェント繊維 (NDF) 含量) に基づく別個の Y_m を使用することを推奨する。ただし、乳量、消化率および NDF に関するデータが十分な品質であるように注意しなければならない。別の方法として、IPCC ガイドラインの 2019 年改良版では、簡素化された Tier 2 法も提案されている。この方法では、事前に定義された飼料乾物摂取量の単位当たり CH₄ 産出量を使用して消化管内 CH₄ 排出係数を算定する。

実施可能であれば、Tier 3 法を使用して、消化管内排出量の推定に国固有の情報を取り入れることを推奨する。Tier 1 および Tier 2 の方法は、飼料による総エネルギー摂取量および CH₄ (Y_m) としての総エネルギー損失比率に依拠している。ただし、飼料摂取量と Y_m は、飼料の消化率とエネルギー含有量の変化、飼料摂取量の増加、飼料組成、乳用牛の品種と個体差、環境ストレス要因、ルーメンマイクロバイームの特徴、発酵速度の影響を受ける可能性がある。例えば、IPCC ガイドラインの 2019 年改良版 [8] には、飼料の消化率が 10% 変化すると、飼料の特性に応じて消化管内 CH₄ 排出量が 12~20% 影響を受け

ることが示されている。したがって、Tier 3 方法論で消化率の推計するための改善が行われることを勧める。例えば、INRA により提案された式 [58] は、[付属書 10.3](#) で説明されているように、飼料給与レベルと濃厚飼料の割合が飼料の消化率低下に及ぼす影響を考慮するのに役立つかもしれない。

5.2.2. 排せつ物（ふん尿）管理からの CH₄ 排出係数

IPCC の 2019 年改良版 [8] では、高生産性システムと低生産性システムに別々の揮発性物質（VS、訳者注：ここでは有機物とほぼ同義）の排せつ率を使用することを推奨している。Tier 1 法によれば、CH₄ 排出量を、1 頭当たりではなく、ふん尿中に排せつされる揮発性物質の単位当たり（VS 1 kg 当たりの CH₄ 排出量（g））で推計することが望ましい。対照的に、Tier 2 法では、CH₄ 換算係数（methane conversion factor : MCF）を、気候帯の月ごとの気温（年平均気温ではない）から導くことと、ふん尿貯蔵期間を考慮に入れることが望ましい。発酵槽の品質が異なることから、新たに開発された新規の嫌気性分解の MCF は、発酵残渣（digestate : 消化液）の貯蔵も考慮しており、IPCC の 2019 年改良版 [8] に従って使用することを推奨する。Tier 3 法では、食物の相互作用（摂取レベルや濃厚飼料の比率など）が VS 排せつ量に与える影響を、実験による実際のデータを使用して説明することを推奨する。

5.2.3. N₂O 排出量の概要

最低限の要件として、次の N₂O 排出量をカーボンフットプリントに含めることが望ましい。

- 化学肥料の製造からの N₂O の直接・間接排出。化学肥料製造プロセスと現地の法律によって、N₂O 排出量にかなりの違いが生じる。したがって、可能であれば使用した化学肥料の地域や供給元を特定し、それに応じて N₂O 排出量をモデル化したデータセットを使用することを推奨する。
- 畜舎内の排せつ物、乳用牛および後継牛の排せつ物貯蔵・処理（敷料を含む）から生じる N₂O の直接・間接排出
- 乳用牛群（農場内と農場外の両方）を飼養するために利用される耕地と牧草地から放出されるすべての N₂O 排出。これには、次のような N₂O 排出が含まれるが、これに限定されない。
 - 肥料の土壌への施用と土壌改良剤による N₂O の直接・間接排出
 - 牧草地の乳用牛や後継牛の排せつ物から放出される N₂O の直接・間接排出
 - 該当する場合、泥炭土からの N₂O の直接排出（詳しいガイダンスについては、[5.5.4 項](#)を参照）
 - 収穫損失と作物残渣からの N₂O 直接排出
 - 無機化された無機質土壌中の窒素からの N₂O の直接・間接排出
- ライフサイクルを通して使用される冷媒からの N₂O の間接排出（例えば NH₃ が冷媒として使用されている場合）

N₂O 排出をモデル化するには、IPCC の 2019 年改良版 [8] を参照し、可能であれば国別排出係数を使用することを推奨する。ただし注意すべきは、酪農の N₂O 排出量測定値がほとんどないということである。存在するデータは時代遅れでばらつきがあり、一貫性のな

い方法に基づいているものが多い。そのため、調査結果と国別排出係数との間にかなりの差異が見られる。不確実性と地域の特異性が説明されることが望ましい。N₂O 排出量やそれに影響を与える要因、潜在的な緩和策に関する調査研究がさらに進むことが期待される。

5.2.4. 他のライフサイクル段階における排出係数

飼料からの排出量については、飼料の PEFCR [42] および飼料に関する LEAP ガイダンス [43] を、排出量算定の基礎として使用することを推奨する。冷媒の排出量は、農場、工場または小売店で消費される冷媒の量に基づいて算定するのが最もよい。燃料と物流については、既存のデータベースと IPCC の燃料係数を使用するのが最もよい。それが適当でない場合は、使用する燃料について、信頼できる国ごとのエネルギー含量と燃焼係数を使用するのがよい [48]。リサイクルからの排出量をモデル化するには、PEF ガイダンス文書 [28] の循環フットプリント計算式の使用を推奨する。

5.3. ライフサイクルインベントリ (LCI) データセットの使用

乳製品のカーボンフットプリントのバックグラウンドデータをモデル化するのに使用できるさまざまな LCI データベースが存在している。しかし、その方法論を検討する際には注意することが望ましい。例えば、一部のデータベースは帰結的 LCA での使用が意図されており、帰属的 LCA には適していない。一部の情報源は地域に特異的なものである。また、データベースに土地利用変化 (LUC)、炭素隔離、資本財、泥炭土など特定の排出源が含まれている場合もあれば含まれていない場合もある。配分とカットオフルールも、LCI データベースによって異なる場合がある。結果レベルでは、排出源の登録の仕方がデータベース間で異なる可能性があり、その結果、粒度が変化する。使用する LCI データセットが本ガイドの方法論上の推奨事項に合致していることを確認することが重要である。工業化された先進生産システムでは LCI データベースの対象範囲は概ね良好であるが、開発途上地域や開発途上の生産システムでは LCI データベースの対象範囲は明らかに不十分である。LCI データベースが、調査対象の乳製品について十分な品質のバックグラウンドデータを提供していない場合、一次データを収集して査読済みの研究論文からのデータに依拠するか、代表性の低いデータセットを使用することになる。後者のオプションを選択した場合、結果を検討する際にその点に注意しなければならない。さらに、代表性の低いデータセットバックグラウンドのカーボンフットプリントへの寄与が大きい場合 (例えば、酪農配合飼料など)、製品主張を行うのは控えた方がよい。カーボンフットプリントが徐々に改善されていることを測定するためにデータセットは有用であるが、乳製品のカーボンフットプリントが時間をかけて改善されていることを正確に追跡していくためには不足する情報の拡充も必要である。

乳製品のカーボンフットプリントでよく使用される LCI データベースの一部のリスト：

- Eco-invent (スイスのデータベース [59])
- EF 3.0 データセット (PEF 調査用、2022 年末にリリース予定 [60])
- GFLI (飼料成分のデータベース、Global Feed LCA Institute ホームページ [61])
- Agrifootprint (食品および農産物に関するオランダのデータベース [62])

- Agribalyse（食品および農産物に関するフランスのデータベース [63]）
- USDA（米国のデータベース [64]）

LCI データベースは、インターネット上でも見つけられる [65]。

5.3.1. 電力のモデル化

電力については、利用可能な場合はサプライヤー固有の電力データを使用することを推奨する（例えば、風車から得られる電力を使用する場合、関連のあるカーボンフットプリントも風車による電力のカーボンフットプリントとすることが望ましい）。利用できない場合は、輸入と輸出分を計算に入れて、製品の生産国についてその国のグリッド残余ミックス値（グリッド損失を含む）を使用することが望ましい。グリッドの残余ミックスとは、属性が主張されなかったか、または追跡されなかった電力をいう。これにより、サプライヤー固有の電力（通常はグリーン電力と呼ばれる）を使用する際の二重計上が防止される。残余ミックスが利用できない場合は、電力のライフサイクル段階が生じた国で使用されている輸入と輸出を考慮した平均電力ミックス（グリッド損失を含む）の使用を提案する。

5.4. 配分（アロケーション）

共製品の取扱いに関する方法論は、多くの場合、カーボンフットプリントの結果に大きな影響を与える。共製品の取扱いにはいろいろな方法がある。科学的な用途か実用的な用途かに応じてさまざまであるが、単一の方法や一般的方法、確立された方法はない。ISO 14044 [25] で説明されている配分手順は次のとおりである。

ステップ 1: 次の方法により、可能な限り配分を回避することが望ましい。

- 多機能プロセスを 2 つ以上のサブプロセスに分割し、各サブプロセスに関連する入力データと出力データを収集する
- 共製品関連の追加的機能を含めるため、生産システムを拡張する（システム拡張と呼ばれる）

ステップ 2: 配分を回避できない場合、生産システムの入力および出力を、異なる製品間または異なる機能間で、それらの間に内在する物理的な関係を反映する方法で分割して配分することが望ましい（つまり、システムがもたらす製品または機能に定量的変化が生じた場合に入力と出力が変化する方法であることが望ましい）。

ステップ 3: 物理的な関係だけを設定することも、物理的な関係のみを配分の基礎として使用することもできない場合には、製品間または機能間で入力を配分する方法は、物理的な関係以外の関係を反映する方法であることが望ましい。例えば、製品の経済価値に比例させる形で、共製品の間で入力データと出力データが割り振ることが考えられる。

農場から工場出荷までの乳と乳製品のライフサイクル全体を見渡すと、複数の共製品が発生するプロセスがいくつかある。例えば、

- 飼料製造（大豆粕と大豆油など）

- 農場での生乳と肉の生産（つまり、農場から運び出される場合、肉と子牛は共製品である）
- 加工工場での乳製品の製造（無脂肪乳とクリーム、チーズとホエイなど）
- エネルギー生成（農場でのバイオガス生産や乳製品製造工場で生産された送電網に送る余剰電力など）
- 使用段階における複数食品の同時輸送・冷蔵・準備の影響（牛乳と他のいくつかの食品を購入し、それらを消費者の家庭に輸送することなど）

本 IDF ガイドは帰属的 LCA 方法論を使用しているため、システム拡張は不適當であり、二重計上により通常は使用できないことにも注意すべきである。したがって、上記の ISO の配分手順の箇条書き 1. b) は無関係である。

5.4.1. 農場資源の配分：購入飼料と敷料

多くの飼料成分は複数の製品を作る生産システムからの共製品であり、その環境負荷は、共製品の間で割り振られることが望ましい。乳用牛向けに広く使用されている飼料成分の一部ではこのような環境負荷の配分が行われているが、その中には次のようなものがある。

- 大豆粕または圧搾大豆粕および外皮（大豆から製造される大豆油と大豆皮の共製品）
- ナタネ粕または圧搾物（ナタネから製造されるナタネ油の共製品）
- パーム核圧搾物（アブラヤシから製造されるパーム油の共製品であるパーム核から製造されるパーム核油の共製品）
- コーングルテンミールまたは圧搾物（トウモロコシから製造されるコーングルテンフィード、コーン胚芽ミールおよびコーンスターチの共製品）
- ヒマワリミールまたは圧搾物（ヒマワリから生産されるヒマワリ油の共製品）
- 乾燥ジスチラーズグレイン・ソリュブル（DDGS、トウモロコシ穀粒から製造されるコーンエタノールの共製品）
- 糖蜜と蒸留残渣（砂糖およびエタノール生産の共製品）
- ビートパルプと柑橘ジュース粕（砂糖生産と柑橘類ジュース生産の共製品）
- ふすま（小麦から製造される小麦粉の共製品）
- 穀物とわら
- 人間の食品セクターからの廃棄物（ホエイ、骨粉、魚粉など）

乳用牛用の敷料によく使用されるものの中で、環境負荷の配分が行われているものは、

- わら（穀物生産の副産物）
- おがくず（林業の副産物）

現行ガイドでは、飼料製造における共製品や敷料について、経済価値による配分を使用している（敷料は、飼料や農業・林業セクターから出る副産物であることが多い）。経済価値により環境負荷を配分する方法は、現段階で使用するのに最も適した配分法であると見なされる。

- システムの細分化は通常、飼料製品や敷料では不可能である
- 入力と出力の関係を反映した物理的な関係を見出すことが難しい。例えば、一般的に

大豆粕がタンパク質源として使用される一方で、大豆油はエネルギー源として使用される。このような場合、タンパク質含量またはエネルギー含量に基づいて配分しても、両方の製品に関連する配分係数とはならない

これらの結果として、農場への入力に関しては、経済価値による配分が推奨される。多くの飼料成分は地域的にまたは局所的に生産されているため、年ごとの変動を最小限に抑えるよう 5 年間の平均価格の使用を推奨する。ある特定の地域サプライヤーから飼料を入手する場合は、その所定の価格を使用するのがよいが、飼料が国際商品である場合は、国際市場価格を使用することを推奨する。飼料に関する配分の計算例は付属書 10.4 に掲載されている。

5.4.2. 酪農における配分

生乳生産に重点を置いている酪農場の場合、余剰な子牛と廃用牛から生み出される肉は重要な共製品である。したがって、これらの総排出量を決定し、生乳と他の共製品に配分する必要がある。場合によっては、ふん尿も農場外に運び出されるので、もしそうであれば、これも共製品と見なす必要がある。

内在する物理的な関係に基づく配分方法の使用を推奨する。ISO 14044 ガイドラインの 2020 年追補 [66] では、各製品を個別に生産できる複合生産に対して、内在する物理的な関係に基づく配分方法の使用が適用可能であると示唆しているが、IDF ガイドラインで提供している方法は ISO 14044 のステップ 2 [25] に即していると言える。なぜなら、この手法は、生乳と肉を作るために動物が利用する飼料の正味エネルギーに基づいているからである。ISO との整合性の有無にかかわらず、IDF ガイドラインで推奨している上記の方法は、収益ベースの方法より安定しており、酪農業の主製品間での配分に普遍的に適用することができる。

さらに、動物の飼料摂取は、消化管内 CH₄ 排出量と、動物の排せつ物から放出される N₂O および CH₄ の排出量の主たる決定要因であり、これらの排出量を合わせると、農場の GHG 排出量全体の最大 80% に寄与する可能性がある。動物の生理学的な正味エネルギー必要量、飼料摂取量および GHG 排出量の間には直接的な相関関係があるので、上記の寄与率はこの方法の適用を裏付けるものである。

IDF ガイドラインで推奨している方法は、酪農場のすべての活動が混在していることを前提としており、複数の製品間で累積排出量を配分するためのメカニズムを提供しているが、**データがすぐに利用できる状況であれば、ISO ガイドラインに基づき、システムを分離して考えることが望ましい**。システムの分離が実現可能と考えられる例として、酪農場が肥育のために雄の子牛を飼い、飼料摂取とふん尿管理の記録を別々にしている場合がある。この場合、肥育作業は酪農作業とは別のものと見なすことができ、肥育された子牛のために配分する必要はない。

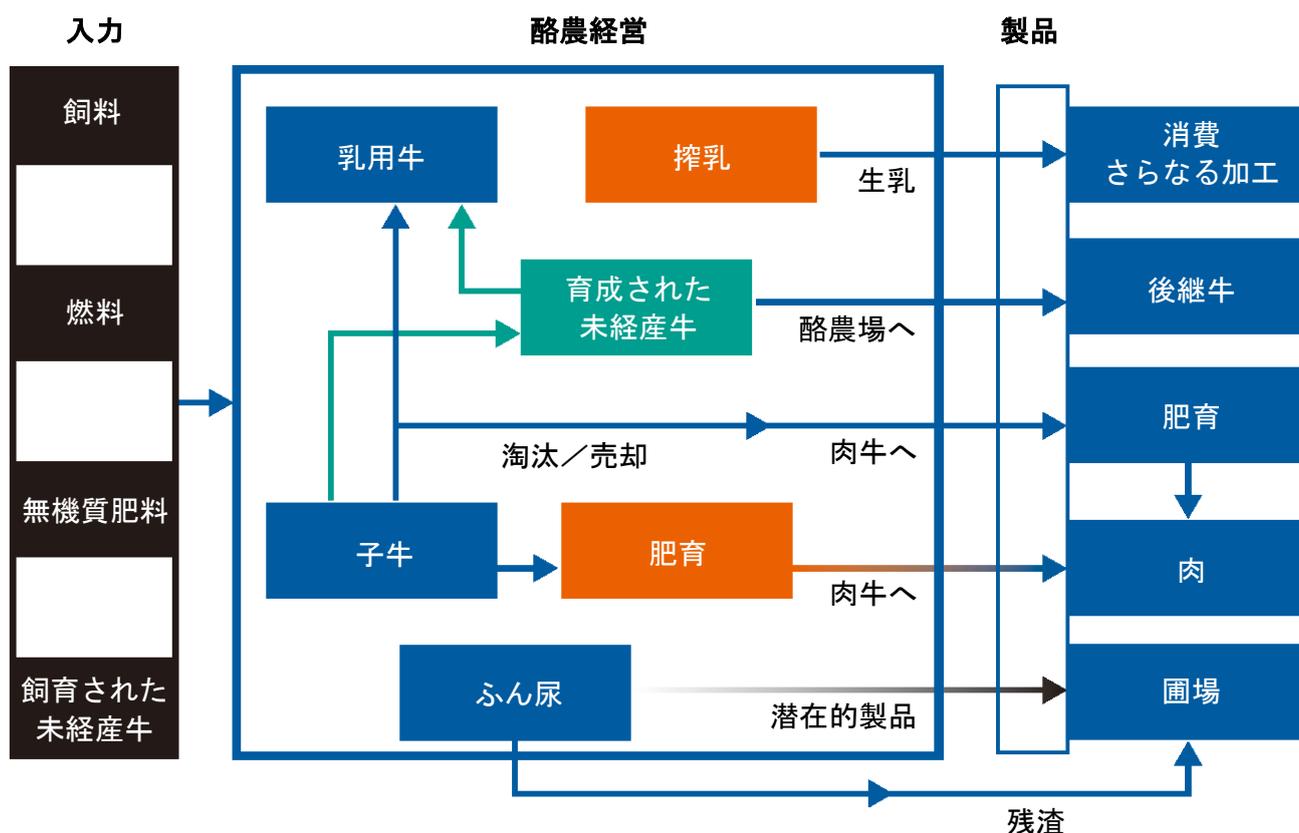


図 6. 酪農経営のフローと製品。オレンジ色のボックスは、ISO 階層のステップ 1 に従って、潜在的に分離可能な活動である。肉用に販売される肥育用動物は、別個に説明されなければ、配分の対象となる。購入（上流の排出、組み込まれた排出）と農場での直接排出の両方に起因する排出を、潜在的な共製品の間で配分するときは、それぞれの製品を生産するために消費される飼料の正味エネルギーに基づいて配分する（状況によっては例外となりうるふん尿を除く）。緑色の矢印は、配分計算に影響しない内部フローを表している。

報告期間において牛群の規模が大幅に変動しているときは特に、酪農経営にとって非定常状態にあたることから、動物の移動によって配分計算が著しくゆがめられる可能性がある。LCA は、基本的に、定常状態での環境会計の枠組みを提供できるよう構築されている。したがって、全体を代表しない結果につながるため、非定常状態の状況下ではカーボンフットプリント会計に IDF のガイドラインを使用することは推奨しない。例えば、繁殖用未経産牛の購入により乳用牛の群れが拡大している場合、これら購入された動物への負担は、それらが生産に関与しなくても、生乳のカーボンフットプリント会計に含まれることになるため、群れが拡大中の状況では、群れの規模がほぼ一定の定常状態に比較して、カーボンフットプリントが増加する結果となる。

以前の 2015 年 IDF ガイドラインにおける生乳と肉の配分係数は、Thoma らのアプローチに従って計算された [67]。しかし、このアプローチはさまざまな酪農生産状況でテストされ、特異性と対象範囲に欠けたところがあることがわかった [68]。具体的に言うと、この以前のアプローチは、農場を離れる動物の種類（子牛や廃用牛など）の区別は行っていない。さらに重要なことに、回帰分析の有効範囲が、肉と生乳の比 (M_{meat}/M_{milk}) がゼロから約 3%までという狭い範囲の状況に限定されている。今回の IDF ガイドラインの改訂は、潜在的な共製品間の配分割合を推定するための改善アルゴリズムを提供している。しかし、ふん尿への配分はまだ導入されていない。本ガイドにおいては、ふん尿を残渣と

して扱い、カットオフ手法を使用することを推奨している（詳細については、本章の後半で説明する）。

酪農生産における多機能性の問題を解決するため、多くの代替的方法が提案されている。IDF の LCA 配分アクションチーム（AT）では一連の会議の中で、これら代替的方法について議論した。酪農場経営における複数の製品間の配分の概念的基礎に関し、最終的に得られたコンセンサスは、Nemecek と Thoma [69] による、システムの生物物理学的評価に基づく改良された計算方法を採用するというものであった。この方法は、泌乳に必要な正味エネルギー（NE_L）および成長に必要な正味エネルギー（NE_G）と、乳生産および体重との間の既知の関係に基づいている。配分係数の算出は次の手順による。

ステップ 1a : 1 年間に販売された生体重の合計 kg [M_{meat}] を収集、算出する。この方法を実施する際、農場を離れる動物の生体重は、動物の送り先にかかわらず、M_{meat} に含めるものとする。農場で死亡し、死亡管理の対象となる動物は含めない。

ステップ 1b : 1 年間に生産される FPCM の総 kg [M_{milk}] を収集し、算出する。M_{milk} は、付属書 10.2 に示された式 10 を使用する乳脂肪 4%、タンパク質 3.3%補正乳量（FPCM）（販売済み）の総量である。

ステップ 2 : 生乳用の簡単な計算式を使用する（NE 値の単位は MJ/kg）。

$$AF_{milk} = \frac{NE_L \times M_{milk}}{NE_L \times M_{milk} + NE_G \times M_{meat}}$$

式 2. 農場の生乳の売上高に基づく酪農場の生乳配分係数（AF_{milk}）の計算式

ステップ 3 : 肉用の簡単な計算式を使用する。

$$AF_{meat} = 1 - AF_{milk}$$

式 3. 農場で販売される牛の生体重に基づく酪農場の食肉配分係数（AF_{meat}）の計算式

別の計算：ある状況では、企業から販売される動物の種類を区別することが好ましいかもしれない。この場合、それぞれの成長ステージで成長要求の正味エネルギーを知っておかなければならない。これらの計算については、次の関連性を使用することができる。

$$AF_{milk} = \frac{NE_L \times M_{milk}}{NE_L \times M_{milk} + \sum_i NE_{Gi} \times M_{classi}}$$

式 4. 農場販売されるさまざまな成長ステージの牛の生体重に基づく酪農場の生乳配分係数（AF_{milk}）の代替式

この式で、M_{classi} は販売される成長ステージ i の質量である。成長に必要な正味エネルギーは、図 7 の販売時動物年齢から推定できる。Nemecek と Thoma [69] によると、成長に必要な正味エネルギー必要量の合理的な近似値は、出生時に販売された子牛で 27.5 MJ/kg、成熟動物で 15 MJ/kg LW、繁殖用未経産牛と肥育した子牛の場合は 11 MJ/kg LW、生乳が

3.1 MJ/kg FPCM である。異なる品種間で NE_G と年齢との関連性を見ると比較的ばらつきは少ないが、年齢と体重との関連性は異なると予想されるので、配分は異なるであろう。動物が牛肉部門に販売されるか、それとも別の酪農場に販売されるかは、配分係数の計算に影響しない。この状況において、各成長ステージの配分係数は、上記の式の分子を式 $NE_{Gi} \times M_{classi}$ で置き換えて計算する。なお、この配分係数は、特定の成長ステージまたは乳生産のいずれかに明確に帰属させることができない排出源にのみ適用されるべきである。例えば、搾乳機によるエネルギー使用は完全に乳生産に帰せられるべきであり、食肉に配分されるべきではない。同様に、農場から販売される肥育用子牛または繁殖用未経産牛について企業が別個の環境会計処理ができる場合、この活動は分離可能であり、配分の対象にならず、また、配分係数の算定にも寄与しない。計算例を[付属書 10.5](#)に示す。この方法の詳しい説明については、農場から販売される、異なる成長ステージにおける動物の正味エネルギー必要量のより精密な推定を含め、[付属書 10.6](#)を参照されたい。

成長に必要な正味エネルギー必要量

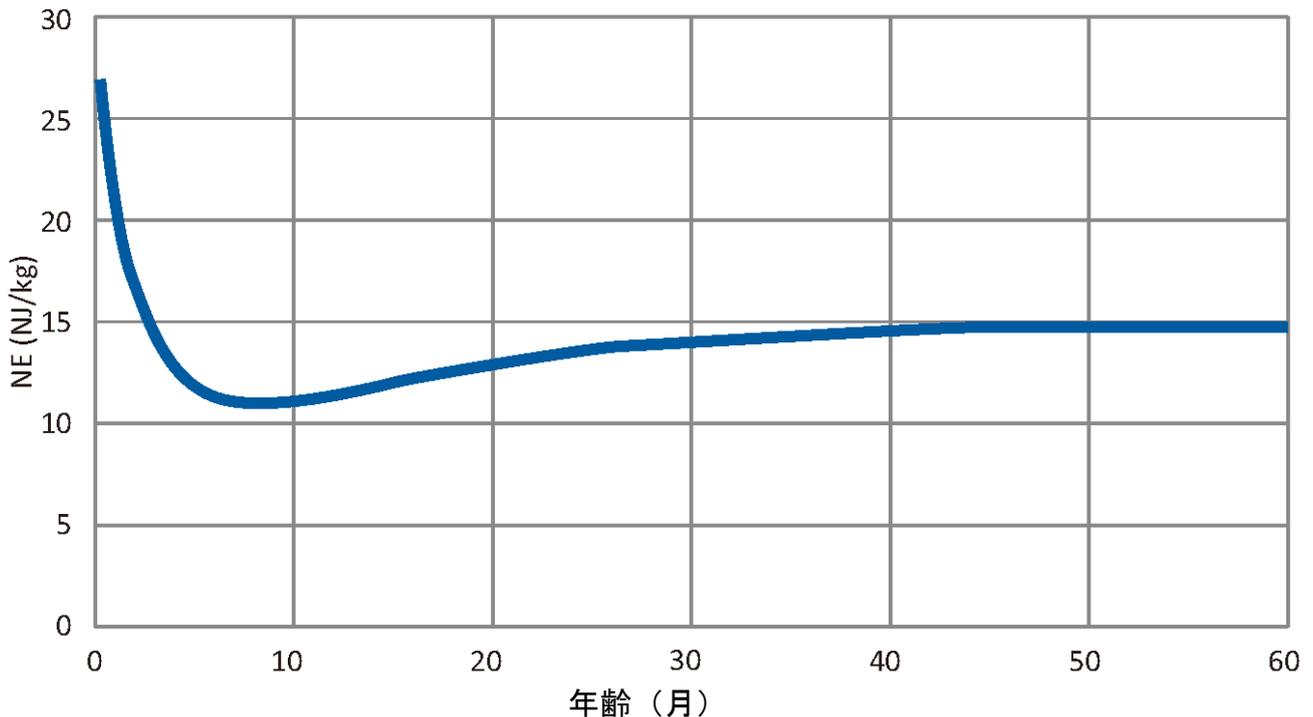


図7. 動物年齢の関数としての成長に必要な正味エネルギー。さまざまな品種においてグラフに示された関係が有効である。

農場から販売されたふん尿については、配分においては残渣として扱い、カットオフ手法を使用することを推奨する。この手法は調査の目的と範囲から考えて適当ではないと LCA 従事者が思う状況や、ふん尿は共製品または廃棄物に分類すべきと判断されるような状況では、それぞれ経済価値による配分を適用するか、配分を行わないことが望ましい。これは、大型反芻動物のサプライチェーンに関する FAO の LEAP ガイダンス [31] の手引きと一致しており、以前の IDF ガイダンスにも準拠している。大型反芻動物のサプライチェーンに関する FAO の LEAP ガイダンスの 9.3.1(f)項 [31] に述べられているように、ふん尿が残渣に分類される場合、「ふん尿は、システム境界では本質的に価値がない。このことは、残渣の有用な製品（エネルギーや肥料など）への変換に関連する活動が、生産システム境界の外で起こるという点で、カットオフによるシステム分離に相当する」。このアプローチでは、圃場での散布までのふん尿管理に関連する排出は動物システムに割り振られ、圃場から生じる排出は作物生産システムに割り振られる。共製品または廃棄物に分類されるふん尿の配分に関するガイダンスについては、FAO の LEAP ガイダンス [31] の 9.3.1(f)項を参照されたい。

要約すると、ふん尿は次のように分類される。

- 廃棄物 - 配分が行われない。そこで、ふん尿の処理からの排出量はすべて（酪農場の境界の外に落ちているものも含まれる可能性がある）酪農場の一部であり、すべての製品（生乳や肉など）の間で配分されることが望ましい
- 残渣 - カットオフ手法を適用することが望ましい
- 共製品 - 経済価値による配分を適用することが望ましい

FAOの養分循環に関するガイドライン [47] に述べられているように、経済価値による配分にシャドウプライスを使用することは推奨しない。これは、地域の市場・価格変動の結果として配分係数に有意な差が生じる可能性があるためである。したがって、他の共製品に比したふん尿からの収入に基づき、経済価値による配分を使用することが望ましい。

調査の目的により、乳用牛の他の多元的機能を含めるのが適切であると考えられる（例えば、役畜としての利用など）。IDF ガイドラインのこの改訂版には上記の内容は含まれていないが、LEAP ガイダンス [31] に追加の手引きが掲載されている。

5.4.3. 乳製品製造の配分

乳製品製造工場では通常、複数の製品を製造している。なぜなら、生乳の脂肪含量は粉乳やフレッシュ乳製品（液状乳、ヨーグルト、乳製品デザートなど）の製品仕様よりも高く、そのため余剰となった乳脂肪をさらに加工してバターや無水乳脂肪（anhydrous milk fat : AMF）を製造することができるからである。酪農乳業セクターにおける共生産のもう一つの代表例は、共製品のホエイが生じるチーズの生産である。これらの共製品があるため、生乳の生産と輸送および加工の環境影響に加えて、その他の入力・出力の環境影響を、生乳の共製品に配分する必要が生じる。

工場内のプロセスごとのデータ収集は資源集約的であり、プロセス単位レベルでの不十分な計測をしていないため、不可能な場合もある。多くの場合、複数の製品が1つのプロセスから生み出されるため（例えば、無脂肪乳とクリーム分離）、配分が必要である。多くの場合、資源の使用または排出に関するデータは工場単位でしか入手できないことから、会社または加工場レベルの集約されたデータを使用した場合、加工場内の単位プロセスの詳細なデータは得られるものの、ある製品単位のカーボンフットプリントの精度は低くなる。したがって、調査の目的と期間を考慮しながら、可能な限り詳細なデータを取得することを勧める。

5.4.4. 配分のための乳固形分の定義

乳は主に、脂肪、タンパク質、乳糖という3種類の固形物に加えて、灰分とも呼ばれる少量の無機質から成る。経済的価値があるのは主として脂肪、タンパク質、乳糖であるため、これら乳固形分に基づく配分が適切である。乳製品加工施設で入手できるデータはさまざまであり、極めて精度の高いデータを使用することを推奨する。脂肪、タンパク質、乳糖のデータは入手可能だが、無機質の量が不明な場合は、脂肪、タンパク質および乳糖に基づいて配分することを勧めるが、乾燥重量値が分かっている、その精度が高い場合には、それを配分を使用することを勧める。乳固形分（脂肪、タンパク質および乳糖）に基づく配分か、合計乾燥重量に基づく配分かは、カーボンフットプリントの結果にはわずかな影響しか与えないと考えられている。最も重要なことは配分に一貫性を持たせて、排出量が環境会計処理の中で「失われる」ことがないようにすることである。

5.4.5. 生乳および農場から加工工場への輸送の配分

生乳が加工工場に入る時の（農場から加工工場への輸送を含む）生乳に具現化されているカーボンフットプリントの配分は、最終製品に含まれる脂肪、タンパク質、乳糖⁵の乳固形分含量に基づいて行うことが望ましい。すなわち、これら 3 つの乳固形分構成成分の乾燥重量を使用して質量に基づく配分を行う（5.4.4 項を参照）。

配分係数（AF）は、次の式を使用して製品（i）ごとに計算できる。

$$AF_i = \frac{MS_i \times Q_i}{\sum_{i=1}^n (MS_i \times Q_i)}$$

式 5. 最終製品の乳固形分含量に基づく加工工場の配分係数（AF_i）の計算式

この式で、AF_iは製品 i の配分係数であり、MS_iは製品 i の乳固形分含量（乳固形分の百分率、または乳固形分の質量を単位とする重量パーセントもしくは製品 i の質量を単位とする重量パーセントとして表される）である。Q_iは、製造施設から出荷または単位作業から産出される製品 i の量（製品 i の kg）である。

製造施設で生産される全製品の乳固形分の合計含量（乳固形分の総量）を知るのは難しい場合があるかもしれない。製造施設に投入される乳固形分に関してより信頼できる情報が存在する場合は、代わりにそれを使用できる。次に製造施設に投入される製品 i の総乳固形分を、製造施設に投入される総乳固形分で除した値を算出するため、同じ式（式 5）を使用する。したがって、一貫性を保つために、製造施設に投入される乳固形分または製造施設から出荷される乳固形分のいずれかについて、配分を行うことが望ましい。製造施設から出荷される製品中の乳固形分を、製造施設に投入される総乳固形分で除することはできない。なぜなら、一部の排出は収支が明らかではないからである。加工工場に投入され、出荷された総乳固形分に関するデータが入手可能な場合は、生産プロセスで発生する（洗浄などによる）損失があれば、それを計上することが重要である。図 8 は、乳製品加工施設における乳収支（乳固形分の投入・出荷）を簡略化した図である。ここで、製品 i の生乳中の乳固形分は、製品 i 中の乳固形分と製品 i の乳損失の合計である。



図 8. 乳製品加工工場の乳収支の簡略図

⁵ 乳の中には灰分も少量含まれているが、灰分は一般的に経済的価値がないため、本ガイドでは乳固形分の脂肪、タンパク質、乳糖のみ含めることを提案している。

5.4.6. 乳製品へのその他の入力と出力の配分

図 9 に示すように、生乳以外にも、乳製品加工工場への入力（電力、熱、水など）と出力（固形廃棄物、製品廃棄物、廃水、冷却剤からの排出物など）がいくつかある。カーボンフットプリントでは、これらの入力と出力のすべてが考慮されなければならない。可能であれば、エネルギーおよびその他の入力、排出およびその他の出力を、可能な限り特定の加工段階と製品フローに割り振ることが望ましい（ISO 14044 [25] のステップ 1）。例えば、生乳をまず低温殺菌して無脂肪乳とクリームに分離し、次いで無脂肪乳を乾燥させて脱脂粉乳を製造する場合には、低温殺菌と分離に必要なエネルギーを乳とクリームの間で配分することを勧めるが、乾燥に必要なエネルギーは脱脂粉乳にのみ割り振ることが望ましい。上記の手順は、検針値が存在するか、あるいは工場の製品別情報が利用可能であれば、比較的簡単に実施することができる⁶。製品に割り振るのが簡単容易な入力（包装材料や原材料など）もあれば、配分が不要なものもあるが、他の入力はより複雑である（エネルギー使用や廃水処理など）。さまざまな加工段階や製品フローに関して差別化された情報が存在せず、入力を特定の製品に帰することが不可能な場合には、式 5 で説明したように、すべての入力および出力を当該製品の乳固形分含量に基づいて配分することを勧める。加工シナリオの大部分で、エネルギーは、主として加熱・冷却・乾燥プロセスに使用されている。つまり、最終製品の乳固形分含量（乾燥重量単位）は、エネルギー使用の割合を十分反映している⁷（詳細は [57] を参照）。存在する乳固形分（脂肪、タンパク質または乳糖）の種類に関しては、加熱、冷却、乾燥によって変化しないため区別しない。したがって、製品中の乳固形分量だけが加工により変化する。他の入力（水、化学物質など）と出力（廃棄物、廃水など）は通常、カーボンフットプリントへの寄与率が小さいため、乳固形分含量に基づく配分が最善の選択肢と見なされる。一部の乳製品には、非乳成分も含まれている（バターと植物油が混ざったスプレッドや、フルーツまたはフルーツミックスが入っているフルーツヨーグルト）が、乳製品加工工場で使用されるエネルギーの大半は加熱と冷却に使われていると推定される。したがって、乾燥重量ベースではなく乳固形分含量に基づいて再び配分を行うことを推奨する。つまり、エネルギーは植物油、果物、砂糖などには配分されない。

⁶ 特定の現場や調査に適用可能な入力と出力のための配分マトリックスがある場合には、それも適用することができる。

⁷ 熱のプロセスにおけるエネルギー使用の真の要因は、入ってくる製品の水分含量と、当初製品と最終製品間の乾燥重量の違いであるが、一般にすべての製品は同じ生乳に由来するため、最終的な乳固形分含量に反映される。

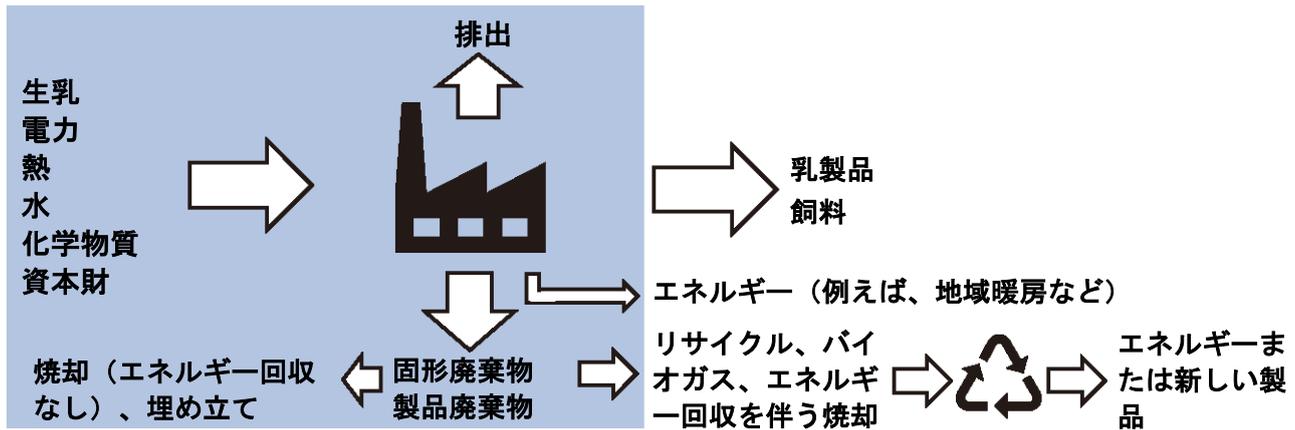


図 9. 乳製品加工工場への入力と出力の概要。網掛けの領域は、さまざまな製品に配分される活動を図解したものである。

乳製品製造工場レベルでの配分手順は、次のように要約される。

- ステップ 1:** システムを細分化した後、詳細で差別化された情報（例えば、検針値）または考える最良の知識に基づいて、入力と出力を特定のプロセスに割り振る
- ステップ 2:** ステップ 1 から入力または出力を差し引き（該当する場合）、式 5 で説明した製品の乳固形分含量に基づいて、残りの入力および出力を各製品に割り振る

5.4.7. 乳製品加工工場から生じるさまざまな副産物間の配分

前述のとおり、乳製品加工工場は通常、複数の乳製品を生産しているが、副産物または廃棄物、もしくはその両方のストリームも生み出す。前項で説明したように、乳製品加工工場における入力と出力の配分は、各乳製品の乳固形分含量の差異に基づいて配分することが望ましい。場合によっては、製品が格下げされると経済的損失が生じ得るが（例えば、等級分けされたチーズ用に切断されたチーズ）、人間の消費に供する食物としてまだ適しているから（つまり、高品質の製品）、乳固形分含量に基づいて配分を行うことが望ましい。しかし、非食用品質（non-food quality）の乳やホエイの副産物も製造されることがあり、例えば動物の飼料用に使用されている。このような場合、経済価値による配分を推奨する。この配分は 2 段階で行われる。

まず、人間の消費に供される主製品の経済的価値と、動物の飼料になる副産物の経済的価値に基づいて、配分を実施する。環境影響（およびすべてのフロー）を主製品と副産物に分割し、それから、主製品のすべてに関連する環境影響（とすべてのフロー）の合計を、乳固形分含量に基づき、人間の消費に供される製品の間で、先述のとおり配分する。多くの場合、副産物の経済的価値は比較的低く、配分を行うのに十分なデータを見つけるのが難しいことがあるため、カットオフが適切な場合がある。したがって、低品質（つまり非食用品質）の副産物が、食品と同じ環境負荷を有することはないだろう。

その他の副産物、例えば、余剰熱が地域社会の地域暖房に使用されたり、食品廃棄物がバイオガスに変換されたりということもあり得る。これら副産物への配分は再分割を通じて

行うのが好ましい方法であり、それが不可能な場合にはカットオフを使用するのがよい⁸。廃棄物ストリームに正しく対処するためには、このストリームで何が起こるかを知ることが重要である。廃棄物が新しい製品に使用される場合（固形廃棄物がリサイクルされる場合など）、カットオフを適用することを推奨する（新しい製品がアップグレードに伴う環境影響を吸収する）。廃棄物が埋め立てられるか熱回収なしで焼却される場合、廃棄物に配分を行うべきではない。廃棄物処理からの排出量は、すべて製品間で配分されることが望ましいからである。食品廃棄物階層にヒントを得た出力間の配分の概要を、図 10 に示す。

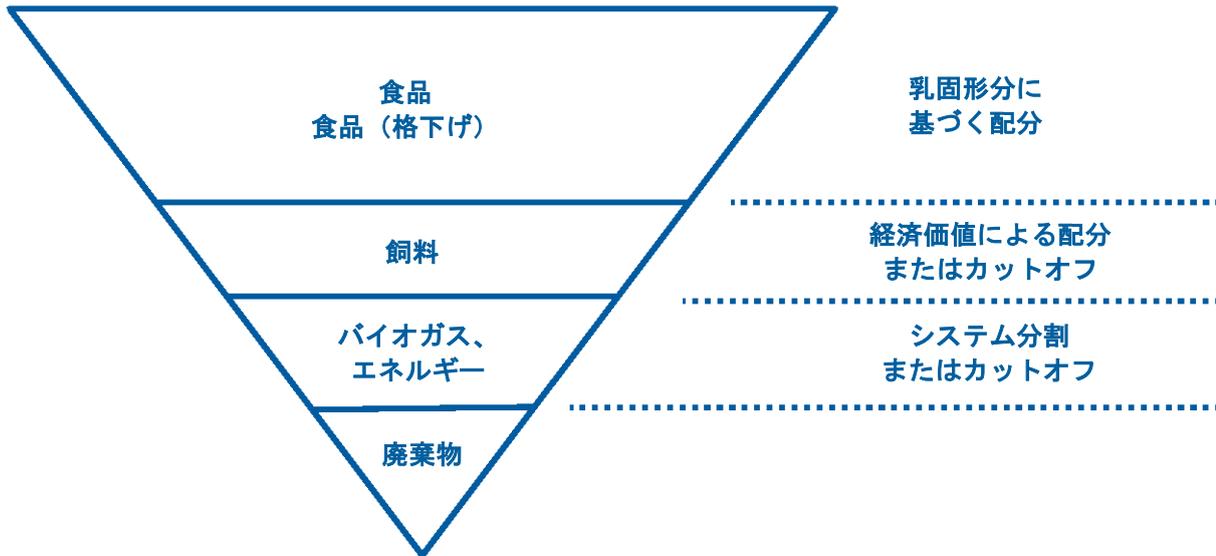


図 10. 乳製品加工段階での各種出力間の配分の概要

5.4.8. 工場出荷後

工場出荷後は、流通、小売、家庭への輸送、および消費者による冷蔵という 4 つの主要段階に分類できる。乳製品の卸売や小売店への流通（または工場や流通センターとの間の中間輸送）には、製品の質量に基づく配分を適用しなければならない。小売店での乳製品の保管には、乳製品の体積に基づく配分を使用しなければならない。一次データが利用できない場合、乳製品の PEFCR [30] の表 43 でデフォルトデータを利用できる。小売段階から消費者への輸送に関しては、配分は、乳製品の質量に基づいて行わなければならない（詳細は PEFCR [30] を参照）。最後に、乳製品が消費者による冷蔵を必要とする場合には、乳製品の体積に基づく配分が行わなければならない（詳細は PEFCR [30] を参照）。

⁸ 余剰熱が得られる状況ではしばしばシステム拡張が適用される（例えば、ある工場が地域暖房を提供し、天然ガスを代替している場合など）が、これを適用した場合、二重計上のリスクがある。なぜなら、天然ガスを代替することで工場がクレジットを取得する一方で、地域暖房を使用している者は使用する熱に非常に低いカーボンフットプリント（またはカーボンフットプリントゼロ）を適用する可能性があるからである。

5.4.9. 共製品の取扱いに関するまとめ

表 1 は、購入飼料、酪農場、乳製品製造から成るライフサイクルの各段階で推奨される配分方法の概要を示したものである。これらの各段階から、さまざまな主製品、副産物、および廃棄物ストリームが生み出される。飼料は購入飼料生産の主製品であることは明らかだが、飼料が食品セクターの副産物である場合は、食品もまた主製品である。経済的価値が比較的低いその他の副産物として、飼料や敷料、エネルギー利用に提供される作物残渣（わらなど）がある。この購入飼料生産のライフサイクル段階では、経済価値による配分を推奨する。酪農場の経営の場合、主製品は生乳と肉である。後者には皮革やその他の枝肉製品も含まれるが、それは、農場を離れる生きた動物として表されるからである。場合によっては、ふん尿がバイオガスまたは肥料に使用される高価値の製品になる。生乳と肉の間の配分には生物物理学的な配分を推奨するが、ふん尿についてはデフォルトの配分として農場ゲートでのカットオフを勧める。酪農場が農場から持ち出される作物を生産する場合は、再分割を行うことを勧める。再分割は、バイオガスなどからエネルギーが生成される状況でも推奨される。製造段階で作られる人間の消費に供される乳製品への配分には、乳固形分含量に基づく配分を提案する。ホエイと乳損失が家畜飼料として使用される場合は、経済価値による配分またはカットオフを推奨する。また、酪農場レベルの場合と同様に、製造工場レベルでのエネルギー生成には再分割またはカットオフを推奨する。

表 1. システムを出る製品に推奨される配分方法の概要

出力： ライフ サイクル段階	食品	飼料	肥料	燃料／ エネルギー／ 熱	廃棄物
購入飼料の生産	経済価値による	経済価値による	無関係	経済価値による	配分なし。排出はすべて他の製品に配分する。
酪農業	生乳または肉*：生物物理学的（物理的因果関係）	作物：再分割	カットオフまたは経済価値による	再分割またはカットオフ	配分なし。排出はすべて他の製品に配分する。
乳製品の製造	食品：質量（乳固形分）	ホエイまたは乳損失：経済価値による配分またはカットオフ	無関係	再分割またはカットオフ	配分なし。排出量はすべて他の製品に配分する。

* 農場を離れる動物の生体重。すなわち、皮革なども含む

前回の IDF ガイド（2015 年）では、農場および製造工場での発電に対してシステム拡張を推奨したが、二重計上のリスクがあるため、今回の改訂でこの点を変更した。グリーンエネルギー（バイオガスや風車の電力など）の使用者は一般的に、グリーンエネルギーのクレジットを取得するので、残余ミックスエネルギーに比べて少ないカーボンフットプリントをガスや電力に使用する。そのため、農場や工場がシステム拡張を適用した場合（グリーンエネルギーのクレジットを同時に取得した場合）、二重計上になる。

5.5. 土地利用と土地利用変化（LUC）

土地利用および土地利用変化（LUC）による排出量は乳製品のカーボンフットプリントに重大な影響を与える可能性があるが、それを含めるかどうかは研究によって開きがあり、必ずしも明確に報告されているわけではない。以下のセクションで、dLUC、iLUC、土地利用による炭素隔離と排出、および排水された有機質土壌について詳しく述べる。

5.5.1. 直接的土地利用変化（dLUC）

これは、LCA プロセスの中でも非常に課題の多い複雑な領域である。大豆やパーム油・パーム核をベースとする材料など特定の飼料原料は土地利用変化リスクの高い国で生産されているが、dLUC は、これらの飼料原料のカーボンフットプリントへの寄与度に大きな影響を与えている。IDF は、慎重に審査したうえで、本文書の目的のために、PAS 2050:2011 [29] 5.5 項および付属文書 E、並びに PAS 2050-1:2012 [70] の付属文書 B に記載されているガイダンスを採用することにした。

要約すると、このガイダンスでは、dLUC による炭素ストックの変化に起因する GHG 排出量を、農業活動に由来する製品のライフサイクルへの入力として評価すること、また、この製品の GHG 排出量評価に、dLUC による炭素ストックの変化に起因する GHG 排出量を含めることが望ましい、と述べられている。この場合、「炭素ストックの変化」とは、土壌炭素の変化と地上・地下のバイオマスの経時変化を指す。

LUC の影響の評価には、評価の基準年から 20 年以内に生じたすべての dLUC を含めることが望ましい。調達した原料に関連して以前の土地利用変化に関する一次情報を入手できる場合は、それを使用することが望ましい。土地利用変化に起因する総排出量の 20 分の 1（5%）を、土地利用の変化後 20 年にわたり毎年、当該製品の GHG 排出量に含めることが望ましい。排出量は、国別温室効果ガスインベントリのための IPCC ガイドライン [8,46] の該当セクションのガイダンスに従って算定し、カーボンフットプリントに含めなければならない。留意すべきは、dLUC とは、農産物を生産した結果として、または製品のための土地への入力の結果として、非農地から農地へ転換されることを指すということである。一方、iLUC は、他の場所で農業実践に変化が生じた結果として、非農地から農地へ転換されることを指している。LUC 排出量の算定には大きな不確実性が伴うため、透明性を高めるために、LUC 排出量を別途報告することを勧める。

dLUC の計算方法に関する詳細なガイダンスは、LUC が分かっている場合と不明な場合の dLUC の計算方法の例とともに、[付属書 10.8](#) に示されている。飼料に関する FAO の LEAP ガイダンス [43] でも詳しい情報を見ることができる。

5.5.2. 間接的土地利用変化 (iLUC)

この概念は、評価される乳製品システムの外で生じた LUC の責任を明らかにするために使われている。理論的に、実際の LUC はすべて、最近転換された土地を直接利用している製品システムの dLUC を通じて説明されるはずであるが、この方法では必ずしも完全な原因・結果の連鎖を追跡できない。Brandão らによれば、iLUC を LCA に含めるために提案された枠組みは、LUC の割合を土地に基づくすべての生産の結果であると見なすことから、特定の製品または機能に対する需要の増加が、補償を介してどのように土地の転換を引き起こすのかを詳細に評価することまで、多岐にわたる [71]。前者のアプローチは、帰属的 LCA に iLUC を含める方法 [72] を提供するというよりも、特定のサプライチェーンに dLUC があるかどうかにかかわらず、LUC の原因をすべての製品の LCA に帰する方法を提供するものである。ただし、ある作物や地域の dLUC が別の作物や地域の iLUC であると仮定すると、二重計上につながる可能性があり、また実際に二重計上につながっていることも考慮すべきである [72]。後者のアプローチの方が一般的であり、iLUC は需要や供給の変化に関連しているという所与の前提があるため、通常は帰結的 LCA に関連付けられる。例えば、バイオ燃料原料に対する需要の増加が問題としてよく注目を浴びているが、これは食料の需要と競合する可能性がある。指令 2018/2001 を補足する欧州委員会委任規則 (EU) 2019/807 [73] は、以下の場合に、バイオ燃料原料を間接的土地利用変化のリスクを高めるものとして特定した。

- 2008 年以降、バイオ燃料原料の生産面積（世界全体）の年間平均拡大率が 1% を上回り、10 万ヘクタール超の土地に影響を与えている
- 所定の計算式により、高炭素ストックの土地へのこのような拡大の割合が 10% を超えている

製品カーボンフットプリントの規格である ISO 14067:2018 [26] は、iLUC に関して国際的に合意された手順が存在しないことを認めている。同規格は、iLUC を含める方向で検討することが望ましいが、算定する場合は別個に文書化しなければならない、と記している。iLUC は調査対象システムに関する重要な洞察を提供し得ることから、間接的な影響にも対処するため、感度分析として iLUC を含めることを推奨する。評価する場合は、別途報告する必要がある。二重計上になるため、dLUC と iLUC による排出量を合計することはできない。

5.5.3. 炭素隔離と土地利用による排出量

草地およびその他の農地植生は、地球の地表のかなりの部分を覆い、さまざまな土壌タイプと気候帯にまたがっている。農業生態系は大量の炭素リザーブを保持しており、その大部分は土壌有機物中に含まれている [74]。したがって、土壌炭素隔離（強化された吸収源）は農業セクターにおける重要な緩和機会と見なされており、年間 0.3~6.8 Gt の CO₂ を隔離できると推定されている [75]。土壌中および植生中に炭素を隔離できる可能性は

高いが、炭素のために農地の耕作と農地管理を失うリスクもある。したがって、炭素隔離を増やすと同時に、現在の炭素ストックを維持することで、潜在的な排出量を回避することが重要である。

農地の炭素ストックの変化は農地の管理の仕方と密接に結びついており、それによって炭素ストックが増加したり激減したりする可能性がある。今ある炭素ストックを維持して増やすことにより、温室効果を抑えることができる。（例えば呼吸または枯死による）炭素の光合成投入量を増やしたり、貯蔵炭素の放出を遅らせたりする管理方法は、炭素ストックを増大させる [76]。炭素の蓄積と損失はほとんど地下で起こる。この炭素プール（貯蔵された炭素）は、地上の炭素プールよりも代謝回転速度が遅い。これは、土壌中の有機炭素の大部分が、植物リター（残渣・枯死物等）がより持続性のある有機化合物に変換されることによって生じるためである [77]。ただし、炭素の貯蔵は直線的なプロセスで進むわけではなく、最初の20年間は急速に進み、その後減速する。また、炭素の貯蔵は土壌微生物群集による有機物分解の反応速度に左右される。長期的には、入力と出力が釣り合う均衡状態に向かって進む傾向がある。ただし、炭素貯蔵に期限が設定されているわけではない。古くからある家畜の放牧に適した土地の中には、その炭素ストックをいまだに増やし続けている土地がある。地理空間条件と気候条件も、土壌中の炭素の代謝回転速度と、均衡状態に達するまでの時間に影響を与える。涼しい気候では、暖かい気候に比べて代謝回転が遅くなり、均衡状態に達するまでの時間が長くなる。炭素ストックの変化を評価する際に、上記の要因を考慮しなければならない。

草地面積を維持したり、耕地を草地に転換したりすることで、土壌中により多くの炭素を貯蔵することができる。ただし、このプロセスは脆弱であり、可逆的であることを覚えておかなければならない。土壌炭素の動態は、草地の管理の仕方によって決まる。一部の管理方法は、土壌環境の物理化学的条件と土壌中の有機物の物理的保護の両方に影響を与えるかもしれない [78]。国際的に一貫性のある、地域レベルで詳細な正味 CO₂ フラックスの推定値セットが不足している現状では、地域ごとに潜在的な排出源と吸収源を定量化することは困難である。しかしながら、特定の地域の正味フラックスについて有益な推定値を提供してくれる研究がいくつかある。例えば、西ヨーロッパの温帯草原に関する調査に基づいて、Soussanaら [79] は、草地の炭素隔離速度は平均すると、1平方メートル当たり年間 5 ± 30 g の炭素を隔離していることになると推定した。その後の文献で、Soussanaら [78] は、管理に変化が生じた後、CO₂ ストックの変化に関わる不確実性が非常に高いことを認めた。

地上の炭素隔離（樹木や生垣など）も、気候変動を緩和する役割を果たす可能性がある。一部の生産システムでは、侵食を減らしたり作物を風から保護したり、放牧されている家畜に日陰を提供したりするために、圃場の間に生垣を植えている。この地上のバイオマスは、生物多様性やその他の生態系サービスにとっても重要である。炭素の貯蔵場所が地下であるか地上であるかにかかわらず、炭素ストックは耕作、火災、浸食、干ばつなどの攪乱の影響を受けやすく、蓄積されたストックの急速な消耗につながる可能性がある。したがって、炭素隔離を計算に入れる場合、CO₂ 損失も定量化しなければならない。

LCA 研究では今日まで、炭素隔離の計算方法に関するコンセンサスがなかった。酪農乳業における炭素隔離については、Knudsen ら [80] を除き、これを LCA に含めた研究はほとんどない。C-Sequ プロジェクト [34] や土地利用と炭素除去に関する GHG プロトコル [41] など、炭素隔離をどのように定量化するかについて方法を開発しているプロジェクトがいくつか進行中である。前者のプロジェクトは 2022 年に、後者のプロジェクトは 2023 年中に完了する予定で、どちらのプロジェクトも炭素隔離をカーボンフットプリント評価に組み込むための適切な手法を提供しており、積極的な隔離措置を取っている酪農家はクレジットを取得できるようになる。前述のガイドでは、土壌測定の方法については触れていない。土壌測定の方法、および土壌炭素ストックとその変化のモデル化に関する詳細情報については、土壌炭素ストックに関する LEAP ガイダンス [44] を参照されたい。

炭素隔離は酪農カーボンフットプリントに大きな影響を与え得るため、カーボンフットプリントの算定に炭素隔離を含めることを推奨するが、別途報告することを勧める。上記の手法は ISO 14067 [26] と整合している。その ISO 規格は、土地利用による GHG 排出量と除去量を含めることが望ましいと述べた上で、別個に文書化しなければならないとしている。

5.5.4. 排水された有機質土壌

排水された有機質土壌（泥炭）からの GHG 排出量は、IPCC 第 5 次報告書 [50]（改訂版が利用可能な場合はそれ以降の報告書）に従って LCI に含まなければならないが、国固有の Tier 3 のモデルを使用することが望ましい。これを利用できない場合は、2006 年 IPCC ガイドラインの 2014 年補足 [81] のセクション 2.2.1.1 (CO₂)、2.2.2.1 (CH₄)、および 2.2.2.2 (N₂O) に要約されているモデルを適用することができる。排出量は、農場で生産された飼料と購入飼料の両方について算定することが望ましい。排水された有機質土壌からのすべての GHG 排出量の算定では、係数 A に基づいて算定されるが、この係数は、作物・国の組み合わせごとに、有機質土壌における農地面積の割合として定義され、式 6 により推計される。

$$A = \frac{\text{排水された有機質土壌上の作物作付面積}}{\text{作物の作付総面積}}$$

式 6. 作物の作付総面積に占める排水された有機質土壌の割合を算出するための式（係数 A）

有機質土壌は、一般的に、以下の基準 1 と 2、もしくは 1 と 3 に基づいて識別される。

1. 有機層位の厚さが 10 cm 以上。20 cm の深さまで混合されている場合、20 cm 未満の層位は、有機炭素を 12%以上含んでいなければならない。
2. 数日以上水で飽和されていない土壌は、重量で 20%超の有機炭素（つまり、約 35%の有機物）を含んでいなければならない。
3. 土壌は水飽和現象の影響を受けやすく、次のいずれかを含む。
 - a) 土壌に粘土が含まれていない場合、重量で 12%以上の有機炭素（つまり、約 20%の有機物）

- b) 土壌に 60%以上の粘土が含まれている場合、重量で 18%以上の有機炭素（つまり、約 30%の有機物）
- c) 中間量の粘土に対してそれに釣り合う有機炭素の中間量

作物および国ごとに（農場レベルの評価の場合は農場ごとに）Aを算定したら、各GHGの排出係数（ $CO_{2,soil,organic}$ 、 $CH_{4,soil,organic}$ 、 $N_2O_{soil,organic}$ ）を用いてGHG排出量を算定することができる。これらのパラメータは、一次データ、もしくは全国調査（Tier 2）に基づいていることが望ましい。これらのデータを利用できない場合は、二次データソースを使用してもよい（Tier 1、例えば国別温室効果ガスインベントリ報告書または FAOSTAT [82]）。

CO_2 排出量については、式 7 を使用しなければならない。

$$CO_{2,soil,organic} = \sum_{c,n,d} (A \times EF_{CO_2,organic})_{c,n,d} \times \frac{44}{12}$$

式 7.排水された有機質土壌の CO_2 固有の排出係数を算出するための式

ここで、

$CO_{2,soil,organic}$ は、土地利用カテゴリにおける排水された有機質土壌からの年間オンサイト CO_2 排出量あるいは除去量 (kg/年) である。総和は、異なる気候帯（添え字 c）、土壌の栄養状態（添え字 n）、および排水クラス（添え字 d）について算出される。

$A_{c,n,d}$ は、気候帯 c、土壌の栄養状態 n、および排水クラス d（これらは LCA 従事者が提供しなければならない）の有機質土壌上の作付面積 (ha) の割合である。

$EF_{CO_2,organic,c,n,d}$ は、気候帯 c、土壌の栄養状態 n、排水クラス d における、排水された有機質土壌の排出係数 (kg/ha/年) である。これは、(IPCC [50]、Tier 1) の表 2.1 のデフォルト値を基にすることができる。国固有の排出係数を利用できる場合 (Tier 2) は、それを使用しなければならない。

CH_4 排出量については、式 8 を使用しなければならない。

$$CH_{4,soil,organic} = \sum_{c,n,d} (A_{c,n,d} \times ((1 - Frac_{ditch}) \times EF_{CH_4,land,c,n,d} + Frac_{ditch} \times EF_{CH_4,ditch,c,d}))$$

式 8.排水された有機質土壌からの CH_4 固有の排出係数を算定するための式

ここで、

$CH_{4,soil,organic}$ は、排水された有機質土壌からの年間 CH_4 損失（排出）である (kg/年)。

$A_{c,n,d}$ は、気候帯 c、土壌の栄養状態 n、および排水クラス d（これらは LCA 従事者が提供しなければならない）の有機質土壌上の作付面積 (ha) の割合である。

$EF_{CH_4,land\ c,n,d}$ は、気候帯 c 、土壌の栄養状態 n 、および排水クラス d における、排水された有機質土壌からの CH_4 直接排出の排出係数 (kg/ha/年) である。これは、(IPCC [50]、Tier 1) の表 2.3 のデフォルト値を基にすることができる。国固有の排出係数が利用可能な場合 (Tier 2) は、それを使用しなければならない。

$EF_{CH_4,ditch\ c,d}$ は、気候帯 c および排水クラス d で、排水路からの CH_4 直接排出の排出係数 (kg/ha/年) である。これは、表 2.4 (IPCC [50]、Tier 1) のデフォルト値を基にすることができる。国固有の排出係数を利用できる場合 (Tier 2) は、それを使用しなければならない。

$Frac_{ditch}$ は、排水された有機質土壌の総面積のうち、水路が占める割合である。ここで「水路」とは、泥炭地 (無次元) に切り込まれた人工水路の領域と見なされる。水路面積は、水路の幅に水路の全長を乗じて算出することができる。水路が垂直に切られている場合、水路の幅は、土手から土手までの平均距離として算出することができる。水路の堤防が傾斜している場合、水路の幅は、開放水面の平均幅に、浸水した周辺植生を加えたものとして算定することが望ましい。これは、表 2.4 および表 2A.1 (IPCC [50]、Tier 1) のデフォルト値を基にすることができる。国固有の排出係数を利用できる場合 (Tier 2) は、それを使用しなければならない。

N_2O 排出については、式 9 を使用しなければならない。

$$N_2O_{soil,organic} = \sum_{c,n,d} (A_{c,n,d} \times EF_{N_2O,organic\ c,n,d}) \times \frac{44}{12}$$

式 9. 排水された有機質土壌から N_2O 固有の排出係数を算定するための式

ここで、

$N_2O_{soil,organic}$ は、管理された土壌からの合計 N_2O 直接排出量 (kg/年) である。

$A_{c,n,d}$ は、気候帯 c 、土壌の栄養状態 n 、および排水クラス d (これらは LCA 従事者が提供しなければならない) の有機質土壌上の作付面積 (ha) の割合である。

$EF_{N_2O,organic\ c,n,d}$ は、気候帯 c 、土壌の栄養状態 n および排水クラス d における、排水された有機質土壌の排出係数 (kg/ha/年) である。これは、表 2.5 (IPCC [50]、Tier 1) のデフォルト値を基にすることができる。国固有の排出係数を利用できる場合 (Tier 2) は、それを使用しなければならない。

5.5.5. 土地利用の変化、炭素隔離および有機質 (泥炭) 土壌のまとめ

表 2 は、IDF ガイドラインの最新改訂版により乳製品のカーボンフットプリント算定に含めるべきものの概要と、排出や炭素隔離をどのように文書化するかを示している (この表は ISO 14067 [26] にヒントを得て作成された)。

表 2. IDF ガイドライン改訂版に示された乳製品のカーボンフットプリントの算定に含めるべきものの概要

	算定における取扱い			文書化	
	含めなければ ならない	含めることが 望ましい	感度評価とし て含めること を検討するこ とが望ましい	別途文書化し なければなら ない	算定する場合 は、別途文書 化しなければ ならない
dLUC による GHG 排出量	X			X	
iLUC による GHG 排出量			X		X
泥炭土壌からの GHG 排出量	X			X	
炭素隔離による GHG 除去量		X			X

6

影響評価

この段階の前に実施しなければならないさまざまなステップに比べて、カーボンフットプリントの算定は比較的簡潔であるが、正確性、代表的データ、透明性、正当化できる方法論および仮定に関して先に述べた注意事項はまだ有効である。

6.1. カーボンフットプリントの算定

次の手順を使用して乳製品の機能単位のカーボンフットプリントを算定する。

1. 製品のライフサイクルに含まれる各活動の GHG 排出量を、その活動に含まれるすべての材料、エネルギーおよび廃棄物に GHG 排出係数を乗じて算定する。次に、活動から生成される GHG の直接排出量を合計して、すべての活動にわたり個々の物質（CH₄、N₂O、CO₂ など）の GHG 排出量の総計を算出する。
2. さまざまな GHG 物質の排出量データは、個々の GHG 物質の排出量（例えば、kg CH₄）に、該当する影響特性化係数（以下を参照）を乗じて CO₂e に変換される。すべての GHG 物質の CO₂e を合計すると、総カーボンフットプリントが得られる。機能単位当たりのカーボンフットプリントを算出するには、総カーボンフットプリントを、当該システムの機能単位の総数（例えば、販売された FPCM の牛乳の合計 kg や消費された牛乳の合計リットル）で除する必要がある。また、排出物質ごとの結果だけでなく、ライフサイクル段階で分けられた結果を提供することも推奨される。

推奨される影響特性化係数は、100 年間の地球温暖化係数（GWP₁₀₀）である。GWP 係数は時間の経過とともに変化してきたため、この方法論を使用する場合は、常に最新の IPCC GWP 係数を用いることを勧める。現時点で最新の係数は、気候変動に関する IPCC の 2021 年報告書（第 6 次報告書）「自然科学的根拠（The Physical Science Basis）」の第 7.6 章で確認することができる [33]。GWP₁₀₀ については、次の係数（炭素循環応答を含む）が報告されている。

- 1 kg の化石起源 CH₄ (CH₄ fossil) = 29.8 kg CO₂e
- 1 kg の非化石起源 CH₄ (CH₄ non-fossil) = 27.0 kg CO₂e
- 1 kg の N₂O (N₂O) = 273 kg CO₂e

さまざまな冷媒の GWP 係数は、上記に列挙した係数と同じ文献から入手できる。カーボンフットプリント調査で使用する GWP 係数の選択は評価結果に重大な影響を与える可能性があり、調査の目的が、他の GWP 係数が使用される状況で排出量を比較することである場合（例えば、PEF [28] に準拠するため、炭素 - 気候フィードバックを含む IPCC の 2013 年報告書の GWP 係数を使用しなければならない場合）は、明確に最も適切な GWP を選択しなければならない。

6.2. 環境フットプリントの算定

LCA では、気候変動に加えて、他の環境影響（酸性化や富栄養化など）を含めることが可能である。この IDF ガイド改訂版では、これらの影響項目の算定方法に関して詳細なガイダンスは提供していない。ただ、いったんカーボンフットプリント算定用のデータが集まれば、いくつか例外はあるが（例えば毒性）、その他の環境影響に関する追加的計算にそれほど多くの追加的労力が必要とされることはない。追加の環境影響項目について算定することは、気候変動の緩和オプションの潜在的な負の副作用について理解を深めるのに役立つ場合がある。また、それらの算定は、他の食品と比較して乳製品の影響の微妙な差異を区別するのに役立つ**可能性がある**。例えば、水不足の地域で採れたアーモンドを含むアーモンド飲料の場合、牛乳と比較して、カーボンフットプリントは低くウォーターフットプリントは高いかもしれない。

LCA で評価される環境影響項目には、気候変動、酸性化、土地利用、水利用、光化学オゾン形成、電離放射線、粒子状物質の排出、富栄養化（海洋、淡水、陸水域）、資源消費（化石金属と鉱物）および生態毒性（ヒト、癌、非癌）が含まれる。LCA の結果を判定するためのさまざまな環境影響評価（environmental impact assessment : EIA）手法がある。広く適用されている EIA の例として、ILCD [83]、ReCiPE [84]、PEF [28] などがある。随意的な手法として、個々の影響項目の結果を 1 つのスコアに集約すること、つまり、ある 1 つの数によって製品の全体的な環境影響を判断するというものがある。これには、複数の影響を同一単位に再計算して、異なる環境影響項目の相対的な損害や重要性を重み付けするという正規化のプロセスが用いられる。EIA が異なれば、異なる特性化係数、正規化係数、重み付け係数が使用されるが、そうすると、結果に影響する可能性がある。従って、異なる EIA を使用した研究の比較は、注意して行うことが望ましい。さらに、乳製品の評価に関して追加された影響項目の中には、例えば農業における微細粉塵や重金属の土壌への放出に関するデータなど、ライフサイクル全体でデータが不足している影響項目があるかもしれない。結論を出す際には、これらの不安を検討することを勧める。

影響項目のリストはかなり網羅的であるが、すべての環境問題が乳製品や食品セクターに等しく関係しているわけではない。乳製品の PEFCR [30] では、PEF EIA 手法に基づくホットスポットの特定により、乳製品に最も関連のある影響項目は気候変動、粒子状物質、酸性化、富栄養化、土地利用、水使用、資源消費（化石資源）であることを明らかにした。この結果は評価の範囲を絞り込むのに役立つ。ただし、持続可能性の観点からすれば重要だが、通常は LCA には含まれない環境影響項目と環境問題がまだいくつかある（生物多様性やプラスチック汚染など）。乳製品の環境影響の全体像を理解するためには、これらの問題が今以上に大きな研究上の関心を得ることが求められる。

7

解釈

カーボンフットプリント調査には常に不確実性が含まれているため、結果の評価と報告は調査における非常に重要な段階である。乳製品からの GHG 排出量の大部分は生物起源の排出である CH₄ と N₂O によって表されるが、これらは間違いなく正確に測定することが不可能であるため、その排出量には常にある程度の不確実性が伴うだろう。また、生物学的なシステムとして、例えば気象条件による作物収量の変化のように、自然によるかなりの変動が生じる。これらの要因は、結果について議論する中で、調査の目的に沿って説明されなければならない（3.2 項）。

7.1. 報告の評価と感度分析

報告される結果の内容とそれに関連する感度分析は、調査の目的によって決まる。通例、乳製品のカーボンフットプリント報告書には、排出量を削減できる方法を明記した項目を含めることを勧める。こうした項目を設けることで、調査の実施には目的があり（つまり、継続的な排出削減）、調査から得られた知見は、たとえ些細なものであっても、あるいは「即効性のある」解決策を通じて得られたものであっても、改善につながることを示すことになる。乳製品ライフサイクル内のさまざまな環境パラメータとプロセス選択の影響を理解するために、道路輸送か鉄道輸送かの選択や、乳量の違いがもたらす影響などについて、感度分析を行うことも重要かもしれない。感度評価が必要かどうか、また、感度評価はどの程度詳細であることが望ましいかは、調査の目的と使用されたデータの詳細度によって異なる（次項を参照）。比較評価を行う場合、感度分析は特に重要である。

7.2. 報告

報告がどの程度詳細であることが望ましいかは、調査の目的（例えば、企業報告か製品 LCA か）によっても異なる。企業報告の場合、排出量はスコープ 1、スコープ 2 およびスコープ 3 に関して報告することが望ましいが、製品 LCA の場合、LCA の結果は、通常、異なるライフサイクル段階（農場、工場、輸送、包装、および小売や消費者）に従って報告される。ただし、以下に挙げた原則は、財務会計および報告の原則に基づいており、この状況にも適用可能である。以下の原則は、技術、環境、会計という幅広い分野の利害関係者を含む共同作業の結果も反映している。それゆえ、GHG の会計と報告は、WRI と WBCSD GHG プロトコルの製品ライフサイクル基準 [39] で説明されているように、次の原則に基づいていることが望ましい。

- 関連性 - GHG インベントリが企業または業界の GHG 排出量を反映し、内部および外部の使用者の意思決定ニーズに役立つよう努める
- 完全性 - インベントリレポートが、指定された境界内の製品ライフサイクルからの GHG 排出量および除去量のすべてをカバーするよう確実に期す。除外された重要な GHG 排出量と除去量を開示し、その根拠を示す
- 一貫性 - GHG インベントリについて意味のある経時的な比較を可能にする方法論、データ、および仮定を選択する
- 透明性 - 明確な監査証跡に基づき、事実に基づく首尾一貫した方法で、関連のあるすべての問題を取扱い、文書化する。関連する仮定をすべて開示し、インベントリレポートで使用されている方法論と情報源に適切に言及する。インベントリレポートがその意図された内容を忠実に表すよう、推定について明確に説明し、偏向を避ける
- 正確性 - システム全体として、報告された GHG 排出量および除去量が実際の排出量と吸収量を上回ったり下回ったりしないように、また、実行可能な限り不確実性が低減されるように努める。対象とする使用者が、報告された情報の信頼性について合理的な保証を得て意思決定できるように、十分な精度を達成する

5.1 項で説明したように、すべての情報源を文書化することが望ましい（例えば、データが収集された参考文献、会社、工場、またはデータが取得されたデータベース、記事、レポートなど）。また、時間的・地理的・技術的範囲を明確に述べることを望ましい。

7.3. カーボンフットプリント報告書の主要パラメータ

調査した乳製品システムをよりよく理解するため、次に上げる「主要パラメータ」を報告書に含めることが有益である。

- 総カーボンフットプリント、次のように分割：
 - 化石起源・生物起源 CH₄
 - N₂O
 - 化石起源 CO₂
 - 生物起源 CO₂（包装材料中の生物起源炭素と LUC による炭素排出は別々に報告することが望ましい）
 - 有機質（泥炭）土壌からの CO₂ と N₂O
 - 炭素隔離（評価した場合）
- 使用した機能単位
- 生乳に起因する排出量の割合（具体的には、生乳と肉や動物（場合によってはふん尿）の間の配分係数、および配分係数を算定するのに使用した方法）
- 1 頭当たりの乳量と乳組成
- 牛 1 頭当たりの乾物摂取量と成長ステージごとの体重
- 異なる飼料タイプに区分された乾物摂取量（最低でも、粗飼料と濃厚飼料の割合）
- 乳牛ふん尿処理法（排せつ物管理システム）
- 使用したすべての排出係数と GWP 係数およびその情報源

- 乳製品製造工場およびその他の当該ライフサイクル段階で適用した配分係数

8

用語集と略語

アクションチーム (action team : AT)

IDF の委員会が、特定のトピックについて助言し、必要に応じてガイドおよび報告書を作成するために設置したもの。

配分・アロケーション (allocation)

調査中の製品システムと他の 1 つ以上の製品システムとの間で、共有プロセスや製品システムからの入力（投入）または出力（排出）を分割すること。

配分係数 (allocation factor : AF)

資源や排出量をシステム間または製品間で分割するための配分計算で使用される係数。

無水乳脂肪 (anhydrous milk fat : AMF)

無水乳脂肪は、乳脂肪分 99.8%、水分最大 0.1%の濃縮バターである。

帰属的 (attributional)

製品またはプロセスに出入りする、環境面で重要な物理的フローを説明する LCA 評価。

生物起源 (biogenic)

バイオマスに由来するが、化石化されておらず、化石源に由来しない。

バイオマス (biomass)

地層に埋まっている物質や化石に変化した物質を除く、生物起源の物質。

境界 (boundary)

どの単位プロセスが製品システム（ライフサイクル）の一部であるかを特定する一連の基準。

副産物 (by-product)

主製品のプロセスやシステムに関係する副生成物で、共製品より価値が低いもの。

資本財 (capital goods)

製品のライフサイクルで使用される機械、設備、建物などの財。

二酸化炭素 (carbon dioxide : CO₂)

重要な温室効果のある無色無臭のガス。呼吸や火山噴火など自然過程で放出されるほか、森林伐採や化石燃料の燃焼などの人間の活動によって放出される。

二酸化炭素換算量 (carbon dioxide equivalent : CO₂e)

GHGの放射強制力（地球温暖化影響）を比較するための単位で、同等の影響を与える二酸化炭素の量で表される。

カーボンフットプリント (carbon footprint)

製品またはサービスの生産、使用、および最終処理に起因する GHG 排出の総量を意味し、通例、二酸化炭素換算量 (CO₂e) で表される。

牛 (cattle)

本文書中で牛とは、乳牛と水牛の両方を指し、子牛、未経産牛、乾乳牛および泌乳牛を含めた、異なるライフステージにあるすべての動物を指す。

熱電併給・コジェネレーション (combined heat and power : CHP)

使用可能な熱エネルギーと電気または機械的エネルギー（またはその両方）を 1 つのプロセスで同時に生成すること。

炭素貯留・炭素隔離 (carbon storage/sequestration)

生物起源または化石起源の大気中炭素を、大気ガス以外の形で土壌中や植生中に保持すること。

帰結的 (consequential)

環境フローが、需要の変化などの異なる決定に反応して、どのように変化するかを説明する LCA 評価。

共製品 (co-products)

同一の単位プロセスまたは製品システムからもたらされる 2 つ以上の製品のうちのいずれか。

データ品質 (data quality)

カーボンフットプリントの算定に使用されるデータの信頼性と不確実性。

デフォルトデータ (default data)

一次データが利用できない場合に使用することができる、規格・基準やガイダンスに含まれる所定のデータ。

直接的土地利用変化 (direct land use change : dLUC)

飼料原料の栽培に使用される土地など、直接の製品システムの境界内で生じた土地利用の変化に対する責任を明らかにするために使用される概念。

乾燥重量・乾物量 (dry matter)

すべての水分が蒸発した後に残る物質の量—製品（飼料、粗飼料など）の非水成分。

排出係数 (emission factor)

単位当たりの GHG 排出量（例えば、電気 1 kWh 当たりの CO₂、ふん尿 1 kg 当たりの NH₃）。排出係数は通常、二次データソースから得られる。

排出 (emissions)

GHG の大気への投入をもたらす空気への放出。農業からの主な GHG 排出は、二酸化炭素 (CO₂)、一酸化二窒素 (N₂O)、およびメタン (CH₄) である。

消化管内発酵 (enteric fermentation)

ほとんどの反芻動物の消化プロセスの自然な一部で、これにより、メタン生成細菌と呼ばれる嫌気性微生物が消化管に存在する飼料を分解し発酵させて、宿主動物に吸収される化合物を生成する。

環境影響評価 (environmental impact assessment : EIA)

プロジェクトまたは開発提案が環境に与える有意な影響を評価する目的で使用される手法。

環境製品宣言 (environmental product declaration : EPD)

EPD は、一つのまとまった報告書の形で、製品のライフサイクルストーリーを伝える。EPD は、カーボンフットプリント、スモッグの生成、オゾン層の破壊、水質汚染など、製品の環境への影響に関する情報を提供する。

脂肪・タンパク質補正乳 (fat-and-protein-corrected milk : FPCM)

設定された脂肪分 (4.0%) とタンパク質含量 (3.3%) に従って標準化された乳の量。これは、生産システム間の生産量、資源の使用、効率を比較するために使用できる。

機能単位 (functional unit)

これは、調査対象の製品やサービスの機能を定量的に表したもので、カーボンフットプリント算定の基礎となる。カーボンフットプリントモデルにおける他のすべてのフローが関連している基準フローである。比較の単位としても有効である。

地球温暖化係数 (global warming potential : GWP)

各ガスの地球温暖化への影響を比較できるようにするため開発された。具体的には、二酸化炭素 (CO₂) の排出量 1 トンと比較して、あるガスの排出量 1 トンが一定期間にどれだけのエネルギーを吸収するかを測る尺度である。

温室効果ガス (greenhouse gas : GHG)

地球の表面、大気、および雲から放出される赤外線のスเปクトルの中の特定の波長で放射線を吸収・放出する、自然および人為起源の大気の気体成分。GHGには多くのガスが含まれるが、特に、二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O)、ハイドロフルオロカーボン、パーフルオロカーボン、および六フッ化硫黄 (SF₆) が含まれることに注意。

間接的土地利用変化 (indirect land use change : iLUC)

直近の製品システム境界の外の土地利用変化に対する責任を明らかにするために使用される概念。

入力 (input)

単位プロセスに入る製品、材料、資源またはエネルギーのフロー。

土地利用 (land use : LU)

土地の一区画に適用される全体的な取り決め、活動、および入力。土地利用という用語は、土地が管理される社会的・経済的目的の意味でも使用される（放牧、木材採取など）。土地利用は、森林地、農地（一年生および多年生作物）、草地、湿地、集落、その他の土地という IPCC 土地利用カテゴリに従って分類される。

土地利用変化 (land use change : LUC)

ある土地利用カテゴリから別の土地利用カテゴリへの変化。

ライフサイクル (life cycle)

例えば、乳製品のゆりかごから墓場までのライフサイクルのように、原材料の取得または天然資源の生成から、リサイクル・回収活動を含む製品寿命の終了まで、連続的で相互に関連する製品システムの諸段階。

ライフサイクルアセスメント (life cycle assessment : LCA)

システムの入力と出力に基づいて、製品システムの潜在的な環境影響をそのライフサイクル全体にわたって評価するために不可欠な方法。

ライフサイクル GHG 排出量 (life cycle GHG emissions)

製品の指定されたシステム境界内で、製品のライフサイクルの全プロセスから発生する GHG 排出量の合計。

ライフサイクル影響評価 (life cycle impact assessment : LCIA)

LCI で得られた基本フロー（環境資源と排出）から生じる潜在的な環境影響の評価が行われる LCA の段階。

ライフサイクルインベントリ (life cycle inventory : LCI)

製品システムの入力フローと出力フローのインベントリ（目録）作成を含む LCA の段階。上記のフローには水、エネルギー、原材料の入力と、空気、土地、水への放出が含まれる。

メタン (methane : CH₄)

無色無臭の気体で、嫌気性環境下で自然界に豊富に存在し、特定の間活動（反芻動物の畜産（消化管内発酵とふん尿）化石燃料の採掘と埋め立て）の産物として発生する。メタンは、パラフィン系炭化水素の中で最も単純な構造を持ち、温室効果ガスの中で最も強力なものの一つである。メタンの地球温暖化係数は、27.0（生物起源メタン）、29.8（化石起源メタン）kg CO_{2e}/kg CH₄ [33] である。

（生物起源）メタン ((biogenic) methane)

生物学的プロセス（植物中、土壌中、動物の体内など）から生産される。生物起源メタンは、短期的炭素循環中の炭素である。

（化石起源）メタン ((fossil) methane)

化石起源メタンの排出は、通常何百万年もの間地下に貯留されてきた地中炭素を大気中に戻す。化石起源メタンの放出は大気中の二酸化炭素濃度を高めるので、メタンとしてさらなる温暖化を引き起こす。

メタン換算係数 (methane conversion factors : MCF)

消化管内発酵メタンの正確な排出インベントリを提供するための国ごとの値。「Y_m」（メタンとして失われる飼料エネルギーの割合を算出するための係数）と共に使用される。

重要な寄与 (material contribution)

評価対象の製品に関連する予想ライフサイクル GHG 排出量の合計の 1%を超える GHG 排出源の製品への寄与。ここで留意すべきは、1%という重要性のしきい値が設定されたのは、ライフサイクルの GHG 排出源の中でそれほど重要でない排出源には、より重要な排出源と同等の扱いを必要としないですむようにするためだということである。

乳固形分 (milk solids)

乳に含まれる 3 つの異なる固形物（脂肪、タンパク質、乳糖）の合計。乳には灰分と呼ばれる微量の無機質も含まれているが、通例、乳固形分を計算する際には無視される。

正味エネルギー (net energy : NE)

飼料中のエネルギー量から、ふん、尿、および消化代謝プロセスによる熱産生で失われたエネルギーを差し引いたもの。

一酸化二窒素 (nitrous oxide : N₂O)

土壌および産業プロセスでの硝化および脱窒から生じる無色無臭の GHG。一酸化二窒素の地球温暖化係数は、273 kg CO_{2e}/kg N₂O [33] である。

オフセット (offsetting)

評価対象の製品のライフサイクルに関係のないプロセス中の GHG 排出の除去または放出防止を通じて、プロセスまたは製品に関連する GHG 排出のバランスを取るためのメカニズム。

有機質土壌 (organic soils)

本文書の中で、有機質土壌とは、有機物含量の多い排水された泥炭土壌を指す。

出力 (output)

単位プロセスから出る製品、材料、資源またはエネルギーのフロー。

泥炭土壌 (peat soils)

有機物含量の多い排水された土壌。

一次活動データ (primary activity data)

製品のライフサイクルで生じる活動の定量的測定値。これに排出係数を乗じると、プロセスから生じる GHG 排出量が算出される。例として、使用されたエネルギーの量、生産された材料の量、提供されたサービスの量、または影響を受けた土地の面積などが挙げられる。

製品 (product)

何らかの商品またはサービス。

公開仕様書 (publicly available specification : PAS)

構成とフォーマットが正規の規格・基準によく似ているが、開発モデルが異なる標準化ドキュメント。

商品種別算定基準 (product category rules : PCR)

1 つ以上の製品カテゴリについて環境製品宣言 (EPD) を作成するための一連の規則、要件および指針。

製品環境フットプリント (product environmental footprint : PEF)

サービスまたは製品のサプライチェーン活動を考慮に入れて、そのサービスまたは製品の環境パフォーマンスをライフサイクル全体で測定する方法論。

製品環境フットプリントカテゴリ規則 (product environmental footprint category rules : PEFCR)

対象となる製品のライフサイクル環境パフォーマンスを測定する方法に関する一連の規則。

原材料 (raw material)

製品の製造に使用される一次材料または二次材料。

二次データ (secondary data)

製品のライフサイクルに含まれるプロセスからの排出量を直接測定した情報源以外の情報源から得られたデータ。二次データは、活動の一次データが入手できない場合、または一次データを取得することが不可能な場合に使用されることに留意すべきである。排出係数のように、二次データが優先される場合もある。

短期的炭素循環 (short carbon cycle)

光合成、呼吸、生物の腐敗により二酸化炭素から生じた大気中の炭素。

システム境界 (system boundary)

どの単位プロセスが製品システム（ライフサイクル）の一部であるかを特定する一連の基準。

システム拡張 (system expansion)

共製品に関わる追加機能を取り込むために製品システムを拡張するか、またはシステムの一部を取り除いて代替システムの追加機能を取り込むこと。

単位プロセス (unit process)

ライフサイクルインベントリ分析で検討される、入力／出力データの定量化が行われる最小要素。

揮発性物質 (volatile solid : VS)

液相を経ることなく、固相から気相に変化しやすい物質（訳者注：家畜ふん尿処理（排せつ物管理）分野では「有機物」とほぼ同義で使用される）。

廃棄物 (waste)

所有者が処分することを意図しているか、処分するよう義務付けられている物質または物体。

9

参考文献

1. Clegg, M. E., A. Tarrado Ribes, R. Reynolds, K. Kliem, and S. Stergiadis. 2021. A comparative assessment of the nutritional composition of dairy and plant-based dairy alternatives available for sale in the UK and the implications for consumers' dietary intakes. *Food Res. Int.*148:110586. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110586>
2. European Parliament. 2013. Regulation (EU) No 1308/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 establishing a common organisation of the markets in agricultural products and repealing Council Regulations (EEC) No 922/72, (EEC) No 234/79, (EC) No 1037/2001 and (EC) No 1234/2007. European Parliament and Council, Strasbourg, France, available at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:347:0671:0854:EN:PDF>
3. Code of Federal Regulations. 1977. Part 131 - Milk and Cream 42 FR 14360, Washington DC, USA, available at: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-131>
4. Board of Food Standards Australia New Zealand. 2016. Australia New Zealand Food Standards Code – Standard 2.5.1 – Milk. Board of Food Standards Australia New Zealand, Canberra, Australia.
5. IDF. 2017. The IDF Guide to Water Footprint Methodology for the dairy sector. IDF Bulletin 486/2017. IDF, Brussels, Belgium.
6. ISO. 2014. Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines. ISO 14046:2014. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
7. FAO. 2019. Water use in livestock production systems and supply chains – Guidelines for assessment (Version 1). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy, available at: <https://www.fao.org/3/ca5685en/ca5685en.pdf>
8. IPCC. 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda,

- M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). IPCC, Switzerland, available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
9. Haas, G., F. Wetterich, and U. Köpke. 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83(1):43-53. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00160-2)
 10. Hospido, A. 2005. Life cycle assessment as a tool for analysing the environmental performance of key food sectors in Galicia (Spain): milk and canned tuna. Doctoral Thesis. University of Santiago de Compostela, Spain.
 11. Williams, A. G., E. Audsley, and D. L. Sanders. 2006. Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project IS0205. Cranfield University, Bedford, UK.
 12. Casey, J. W., and N. M. Holden. 2005. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agricultural Systems* 86(1):97-114. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.09.006>
 13. Thomassen, M. A., R. Dalgaard, R. Heijungs, and I. de Boer. 2008. Attributional and consequential LCA of milk production. *Int J LCA* 13(4):339-349. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0007-y>
 14. Basset-Mens, C., S. Ledgard, and M. Boyes. 2009. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics* 68(6):1615-1625. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.11.017>
 15. Cederberg, C., and A. Flysjö. 2004. Life cycle inventory of 23 dairy farms in South-Western Sweden. Report 728.SIK, Swedish Institute for Food and Biotechnology, Göteborg, Sweden.
 16. Cederberg, C., A. Flysjö, and L. Ericson. 2007. Livscykelanalys (LCA) av norrländsk mjölkproduktion.(LCA of milk in northern Sweden).Report 761. SIK, Swedish Institute for Food and Biotechnology, Göteborg, Sweden.
 17. Flysjö, A., C. Cederberg, and I. Strid. 2008. LCA-databas för konventionella fodermedel – miljöpåverkan i samband med production (LCA-database for conventional feed ingredients – environmental impact at production). Version 1.1, Report 772. SIK, Swedish Institute for Food and Biotechnology, Göteborg, Sweden.
 18. Arsenault, N., P. Tyedmers, and A. Fredeen. 2009. Comparing the environmental

- impacts of pasture-based and confinement-based dairy systems in Nova Scotia (Canada) using life cycle assessment. *Int J Agric Sust* 7(1):19-41.
<https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0356>
19. Garg, M. R., B. T. Phondba, P. L. Sherasia, and H. P. S. Makkar. 2016. Carbon footprint of milk production under smallholder dairying in Anand district of Western India: a cradle-to-farm gate life cycle assessment. *Anim. Prod. Sci.* 56:423-436.
<http://dx.doi.org/10.1071/AN15464>
 20. Cederberg, C., and B. Mattsson. 2000. Life cycle assessment of milk production — a comparison of conventional and organic farming. *J. Clean. Prod.* 8(1):49-60.
[https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(99\)00311-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(99)00311-X)
 21. Basset-Mens, C. 2008. Estimating the carbon footprint of raw milk at the farm gate: methodological review and recommendations Proceedings of the 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 12–14 November 2008., Zürich, Switzerland. ISBN 978-3-905733-10-5.
 22. Lorenz, H., T. Reinsch, S. Hess, and F. Taube. 2019. Is low-input dairy farming more climate friendly? A meta-analysis of the carbon footprints of different production systems. *J. Clean. Prod.* 211:161-170. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.113>
 23. FAO. 2009. GHG emissions from the dairy sector: a life cycle analysis. FAO, Rome, Italy, available at: <https://www.fao.org/3/k7930e/k7930e00.pdf>
 24. ISO. 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. ISO 14040:2006(E). International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
 25. ISO. 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. ISO 14044:2006(E). International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
 26. ISO. 2018. Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification. ISO/TS 14067:2018. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
 27. GHG Protocol. 2022. GHG Protocol. <https://ghgprotocol.org/> Accessed 18th May 2022.
 28. The European Commission. 2018. Product Environmental Footprint Category Rules Guidance Version 6.3. The European Commission, available at: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf
 29. BSI. 2011. Specification for the assessment of life cycle GHG emissions of goods and services. Publicly Available Specification PAS 2050:2011. BSI, London, UK.

30. EDA. 2018. Product Environmental Footprint Category Rules for Dairy Products. EDA, available at: https://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/pdf/PEFCR-DairyProducts_2018-04-25_V1.pdf
31. FAO. 2016. Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy. Available at: <https://www.fao.org/3/i6494e/i6494e.pdf>
32. EPD. 2021. Product Category Rules. Dairy Products. Product category classification: UN CPC 0221, 2211, 2212, 2221, 2223, 2224, 2225. Version 1.0. 2021:8. Valid to:2025-10-25. EPD, online: <https://portal.environdec.com/api/api/v1/EPDLibrary/Files/8df61262-db5d-4415-3a0c-08d98fadb225/Data>
33. IPCC. 2021. Sixth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/> Accessed 18th May 2022.
34. Global Dairy Platform. 2021. C-Sequ - Draft LCA guidelines for calculating carbon sequestration in cattle production systems. <https://www.globaldairyplatform.com/news-posts/carbon-sequestration-guidelines/> Accessed 18th May 2022.
35. IDF. 2022. Life cycle assessment guidelines for calculating carbon sequestration in cattle production systems. In: Bulletin of the IDF No. 519/2022. International Dairy Federation (ed.), Brussels.
36. Innovation Center for U.S. Dairy. 2019. Scope 3 GHG Inventory Guidance For U.S. Dairy Cooperatives and Processors. Innovation Center for U.S. Dairy, Chicago IL, USA, available at: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/Scope_3_Handbook_2019_FINAL%20%2811%29_0.pdf
37. ISO. 2016. Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling). ISO 14021:2016. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
38. ISO. 2006. GHGs – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of GHG emissions and removals. ISO 14064-1:2006. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
39. WRI/WBCSD. 2011. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute/World Business Council for Sustainable Development, Available at https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf

40. WRI/WBCSD. 2014. GHG Protocol Agricultural Guidance. Interpreting the Corporate Accounting and Reporting Standard for the agricultural sector World Resources Institute/World Business Council for Sustainable Development, Available at https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHG%20Protocol%20Agricultural%20Guidance%20%28April%2026%29_0.pdf
41. WRI/WBCSD. (under development). GHG Protocol Land Sector and Removals Guidance. World Resources Institute/World Business Council for Sustainable Development, Available at <https://ghgprotocol.org/land-sector-and-removals-guidance>
42. FEFAC. 2018. PEFCR Feed for Food Producing Animals. EDA, available at: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_feed.pdf
43. FAO. 2016. Environmental performance of animal feeds supply chains: Guidelines for assessment. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy. Available at: <https://www.fao.org/3/i6433e/i6433e.pdf>
44. FAO. 2019. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy. Available at: <https://www.fao.org/3/CA2934EN/ca2934en.pdf>
45. FAO. 2020. Environmental performance of feed additives in livestock supply chains. Guidelines for assessment. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy. Available at: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9744en>
46. FAO. 2022. Methane Emissions in Agriculture – sources, quantification, mitigation and metrics. FAO, Rome, Italy.
47. FAO. 2018. Nutrient flows and associated environmental impacts in livestock supply chains: Guidelines for assessment (Version 1). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy, available at: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/CA1328EN/>
48. IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). IGES, Japan, available at: <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
49. IPCC. 2012. IPCC Emission Factor Database (EFDB). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef_main.php Accessed 18th May 2022.
50. IPCC. 2014. Fifth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/> Accessed 18th May 2022.

51. National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001[eds]. The National Academies Press, Washington, DC.
52. Drewnowski, A. 2018. Measures and metrics of sustainable diets with a focus on milk, yogurt, and dairy products. *Nutr. Rev.* 76(1):21-28.
<https://doi.org/10.1093/nutrit/nux063>
53. McLaren, S., A. Berardy, A. Henderson, N. Holden, T. Huppertz, O. Jolliet, C. De Camillis, M. Renouf, B. Rugani, M. Saarinen, J. van der Pols, I. Vázquez-Rowe, A. Antón Vallejo, M. Bianchi, A. Chaudhary, C. Chen, M. Cooreman Algoed, H. Dong, T. Grant, A. Green, E. Hallström, H. Hoang, A. Leip, J. Lynch, G. McAuliffe, B. Ridoutt, S. Saget, L. Scherer, H. Tuomisto, P. Tyedmers, and H. van Zanten. 2021. Integration of environment and nutrition in life cycle assessment of food items: opportunities and challenges. FAO, Rome, Italy, available at:
<https://www.fao.org/3/cb8054en/cb8054en.pdf>
54. SAI Platform. 2013. Reducing Greenhouse Gas Emissions from Livestock: Best Practice and Emerging Options. <https://saiplatform.org/our-work/reports-publications/reducing-greenhouse-gas-emissions-from-livestock/> Accessed 11th May 2022.
55. Gerber, P. J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Faluccci, and G. Tempio. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO, Rome, Italy, available at:
<https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
56. FAO. 2019. Five practical actions towards low-carbon livestock. FAO, Rome, Italy, available at: <https://www.fao.org/3/ca7089en/ca7089en.pdf>
57. UNFCCC. 2007. Training package on GHG inventories.
https://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/ghg_inventories/index.htm Accessed 18th May 2022.
58. INRA. 2018. INRA Feeding System for Ruminants. P. Noizère, D. Sauvant and L. Delaby [eds]. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, NL.
59. ecoinvent. 2022. ecoinvent. <https://ecoinvent.org/> Accessed 18th May 2022.
60. ecoinvent. 2022. EF 3.0 Data Provision. <https://ecoinvent.org/activities/environmnetal-footprint-data/ef-3-0-data-provision/> Accessed 18th May 2022.
61. GFLI. 2022. Feed Life Cycle Analysis (LCA) database and tool.
<https://globalfeedlca.org/> Accessed 18th May 2022.
62. Blonk. 2022. Agri-footprint. <https://blonksustainability.nl/tools/agri-footprint> Accessed 18th May 2022.

63. Agribalyse. 2022. Welcome to the AGRIBALYSE® documentation. <https://doc.agribalyse.fr/documentation-en/> Accessed 18th May 2022.
64. USDA. 2022. LCA Commons. <https://data.nal.usda.gov/dataset/lca-commons> Accessed 18th May 2022.
65. OpenLCA. 2022. Databases. <https://www.openlca.org/category/databases/> Accessed 18th May 2022.
66. ISO. 2020. Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines — Amendment 2.ISO 14044:2006/AMD 2:2020. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
67. Thoma, G., O. Jolliet, and Y. Wang. 2013. A biophysical approach to allocation of life cycle environmental burdens for fluid milk supply chain analysis. *Int. Dairy J.* 31:S41-S49. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.08.012>
68. Ineichen, S., U. Schenker, T. Nemecek, and B. Reidy. 2022. Allocation of environmental burdens in dairy systems: Expanding a biophysical approach for application to larger meat-to-milk ratios. *Livestock Science* 261:104955. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104955>
69. Thoma, G., and T. Nemecek. 2020. Allocation between milk and meat in dairy LCA: critical discussion of the IDF's standard methodology *Proceedings 12th International Conference on Life Cycle Assessment of Food LCAFood2020*. p 83-89, 13-16 October, Berlin, Germany.
70. BSI. 2012. PAS 2050-1:2012 Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products. BSI, London, UK.
71. Brandão, M., E. Azzi, R. M.L. Novaes, and A. Cowie. 2021. The modelling approach determines the carbon footprint of biofuels: The role of LCA in informing decision makers in government and industry. *Clean. Env. Sys.* 2:100027. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100027>
72. Schmidt, J. H., B. P. Weidema, and M. Brandão. 2015. A framework for modelling indirect land use changes in Life Cycle Assessment. *J. Clean. Prod.* 99:230-238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.013>
73. European Parliament. 2019. Regulation (EU) 2019/807 of 13 March 2019 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council as regards the determination of high indirect land-use change-risk feedstock for which a significant expansion of the production area into land with high carbon stock is observed and the certification of low indirect land-use change-risk biofuels, bioliquids and biomass fuels. European Commission, Strasbourg, France, available

at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0807>

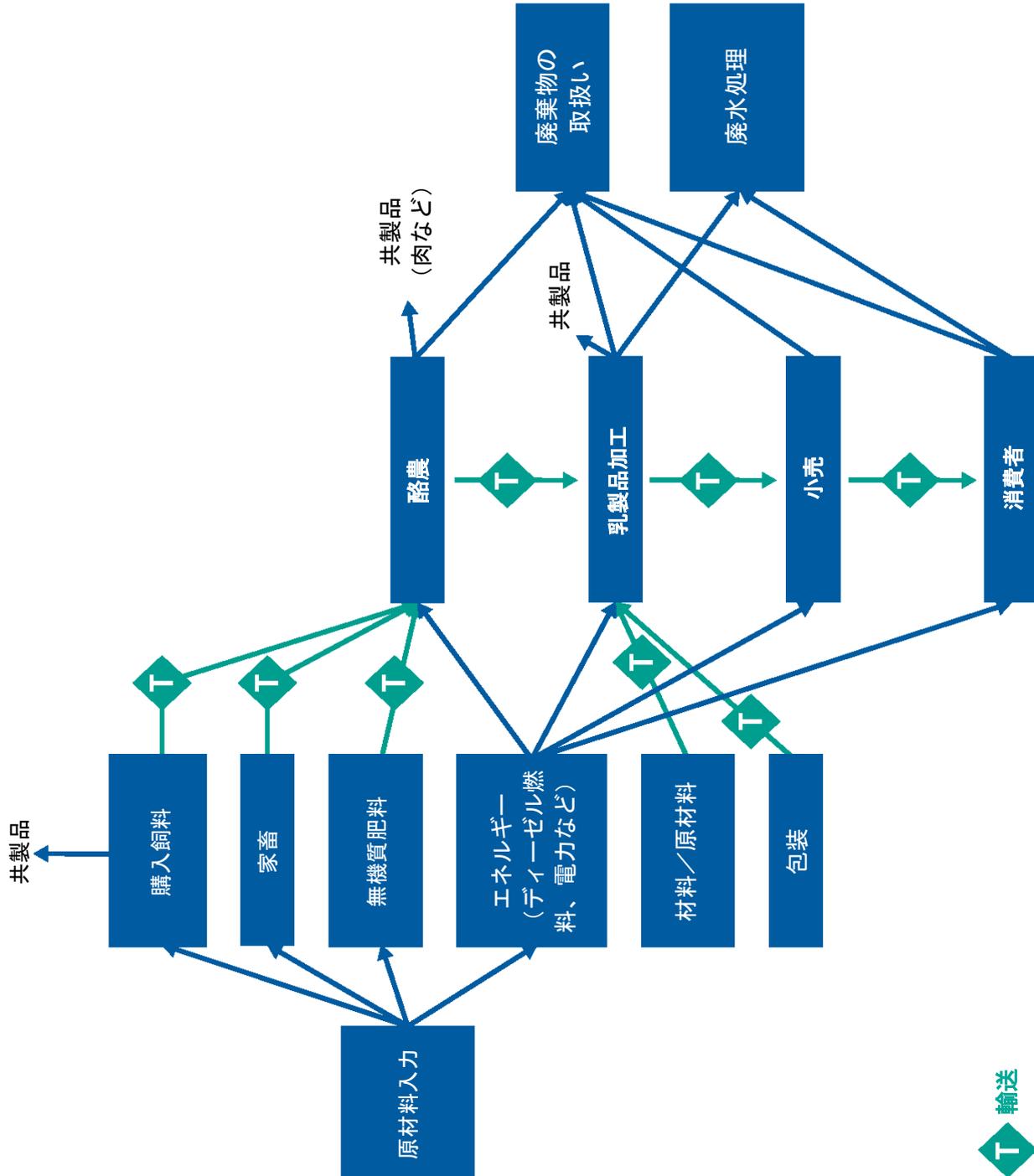
74. FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. FAO, Rome, Italy, available at: <https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf>
75. Roe, S., C. Streck, M. Obersteiner, S. Frank, B. Griscom, L. Drouet, O. Fricko, M. Gusti, N. Harris, T. Hasegawa, Z. Hausfather, P. Havlík, J. House, G.-J. Nabuurs, A. Popp, M. J.S. Sánchez, J. Sanderman, P. Smith, E. Stehfest, and D. Lawrence. 2019. Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nature Climate Change* 9(11):817-828. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0591-9>
76. Jones, M. B., and A. Donnelly. 2004. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. *New Phytologist* 164(3):423-439. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01201.x>
77. Paustian, K., C. V. Cole, D. Sauerbeck, and N. Sampson. 1998. CO₂ Mitigation by Agriculture: An Overview. *Climatic Change* 40(1):135-162. <https://doi.org/10.1023/A:1005347017157>
78. Soussana, J. F., T. Tallec, and V. Blanfort. 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* 4(3):334-350. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990784>
79. Soussana, J.-F., K. Klumpp, and T. Tallec. 2009. Mitigating livestock greenhouse gas balance through carbon sequestration in grasslands. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science* 6(24) <https://doi.org/10.1088/1755-1307/6/24/242048>
80. Knudsen, M. T., T. Dorca-Preda, S. N. Djomo, N. Peña, S. Padel, L. G. Smith, W. Zollitsch, S. Hörtenhuber, and J. E. Hermansen. 2019. The importance of including soil carbon changes, ecotoxicity and biodiversity impacts in environmental life cycle assessments of organic and conventional milk in Western Europe. *J. Clean. Prod.* 215:433-443. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.273>
81. IPCC. 2014. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). IPCC, Switzerland.
82. FAO. 2022. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#home> Accessed 18th May 2022.
83. European Commission. 2022. ILCD International Life Cycle Data system. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ilcd.html> Accessed 18th May 2022.

84. RIVM. 2018. LCIA: the ReCiPe model. <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe> Accessed 18th May 2022.
85. Sauvant, D. 2020. Modélisation de l'efficience et de la robustesse chez les ruminants, le point de vue nutritionnel. INRAE Productions Animales 33(1) <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2020.33.1.3128>
86. Brown, J. E., H. A. Fitzhugh, Jr., and T. C. Cartwright. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle 1. Journal of Animal Science 42(4):810-818. <https://doi.org/10.2527/jas1976.424810x>
87. ESDAC. 2022. European Soil Data Centre (ESDAC). <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/> Accessed 18th May 2022.
88. The European Commission. 2010. C(2010) 3751:COMMISSION DECISION of 10 June 2010 on guidelines for the calculation of land carbon stocks for the purpose of Annex V to Directive 2009/28/EC. Official Journal of the European Union, L 151/19.
89. Sluik, D., M. T. Streppel, L. van Lee, A. Geelen, and E. J. M. Feskens. 2015. Evaluation of a nutrient-rich food index score in the Netherlands. J Nutr Sci 4:e14-e14. <https://doi.org/10.1017/jns.2015.4>
90. WHO. 2015. Guideline: Sugars intake for adults and children. WHO, Geneva, Switzerland, available at: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/668769/retrieve>

10

付属書

10.1. 乳製品バリューチェーンのフローチャート



10.2. 農場レベルでの生乳生産の機能単位の算定

既知の脂肪・タンパク質含量を有する生乳のエネルギー含量は、次の式により算定する。

$$NE_L = 0.0929 \times \text{脂肪}\% + 0.0563 \times \text{純タンパク質}\% + 0.0395 \times \text{乳糖}\% \text{ (Mcal/kg)}^9$$

式 10. 既知の脂肪・タンパク質含量を有する生乳のエネルギー含量を算定するための式

標準乳（脂肪 4%、純タンパク質 3.3%）のエネルギー含量は、0.748965 Mcal/kg または 3.13 MJ/kg である。これにより、方程式は次のように単純化される。¹⁰

$$NE_L = 0.0929 \times \text{脂肪}\% + 0.0563 \times \text{純タンパク質}\% + 0.192$$

式 11. 既知の脂肪・タンパク質含量を有する生乳のエネルギー含量を算定するための単純化された式

ここで、乳糖含量は 4.85%と推定される。この数値は乳牛では一般的であるが、他の種では異なるかもしれない。留意すべき点として、純タンパク質ではなく、粗タンパク質を使用する場合には、タンパク質係数を 0.0563 から 0.0547 に変更することが望ましい。最近の乳製品検査結果のほとんどは、純タンパク質を報告している。

個々の経営体による生産量を脂肪とタンパク質の標準に補正するには、まず標準組成を選択し、次に経営体の年間生産量に、標準乳のエネルギー含量の比率（一般的に脂肪 4%、粗タンパク質 3.3%、乳糖 4.85%であるが、必要に応じて変更できる）を乗じる。

乳牛、水牛、標準乳の比較上の FPCM の例を表 3 に示す。

⁹ 全米研究評議会. 乳牛の栄養に関する小委員会. 2001年. 乳牛の栄養要求量. National Academy Press、ワシントン DC (National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. The National Academies Press, Washington, DC.) [51] の式 2-15.

¹⁰ 式 2-16. (同上)

表 3. FPCM 生産量の計算例

	経営体 A (乳牛)	経営体 B (水牛)	標準乳
生産量	1000 Mg	1800 Mg	n/a
脂肪含量	4.5%	7.36%	4.0%
タンパク質含量	3.1%	4.19%	3.3%
乳糖含量	4.85%	5.08%	4.85%
エネルギー含量 (Mcal/kg) *	0.784155	1.120301	0.748965
FPCM 係数 [§]	1.0470	1.4958	
FPCM 生産量 ^{§§}	1047 Mg	2692 Mg	n/a

* 上記の式 11 を使用して算定される。

§ 標準乳のエネルギー含量に対する算出されたエネルギー含量の比。

§§ 生乳生産量に FPCM 係数を乗じたもの。

10.3. INRA に準拠した Tier 3 消化管内 CH₄ 排出量の計算例

$$\Delta\text{OMd_FL} = -2.74 \times (\text{FL} - \text{FLref})$$

式 12. 粗飼料と濃厚飼料および副産物の飼料給与レベルに関する消化の相互作用

ここで、 $\Delta\text{OMd_FL}$ （有機物消化率の%単位）は消化相互作用である。

FL は、食事の飼料給与レベル（乾物摂取量、%BW（体重））である。

FLref は、与えられる飼料の参照 FL である（乾物摂取量、% BW）。

粗飼料の場合、FLref は、表集計される OM 消化率を決定するために標準的なヒツジで *in vivo* で測定された FL に相当する。濃厚飼料と副産物の場合、FLref は 2 に固定されるが、これは、Sauvant [85] で報告された表中の粗飼料の FLref の平均に相当する。

$$\Delta\text{OMd_CO} = -6.5 / (1 + (0.35 / \text{PCO})^3)$$

式 13. 飼料中の濃厚飼料割合の変化に関連する消化相互作用

ここで、 $\Delta\text{OMd_CO}$ は、濃厚飼料割合の変化に関連する消化相互作用である（OM 消化率の%単位）

PCO は、飼料中の濃厚飼料割合である（ $0 \leq \text{PCO} < 1$ ）。

計算例

表の値に基づいて FLref = 2.0% BW および OMd = 79.0%の飼料を与えられた泌乳牛が、実際に FL = 3.5% BW および PCO = 0.4 を経験した場合、消化率の低下は次のようになる。

$$\Delta\text{OMd_FL} = -2.74 \times (3.5 - 2.0)$$

$$\Delta\text{OMd_FL} = -4.1\%$$

$$\Delta\text{OMd_CO} = -6.5 / (1 + (0.35/0.4)^3)$$

$$\Delta\text{OMd_CO} = -3.9\%$$

$$\text{total } \Delta\text{OMd} = \Delta\text{OMd_FL} + \Delta\text{OMd_CO}$$

$$\text{total } \Delta\text{OMd} = -8.0\%$$

したがって、OM 消化率は 79%ではなく 71%になる。

10.4. 乳用牛飼料用の共製品間の配分算定例

ミール（粕）と油は共製品であり、ミールが LCA の一部として飼料に使用される場合、経済価値によるミールの配分係数（AF）は、以下の式で算定されるとおり、ミールの出力の値を合算した出力の値で除した値である。プロセスからの出力は、ミール X kg（ミールの価格は A \$/kg）と油 Y kg（油の価格は B \$/kg）である。したがって、

$$AF_{\text{meal}} = (X \times A) / (X \times A + y \times B)$$

式 14. ミール（牛の飼料に使用される共製品）の配分係数を計算するための式

次に、配分係数に、プロセスの環境への影響（例えば、原材料の栽培と輸送に関連する排出量、加工に使用されるエネルギー）を乗じ、X で除してミール 1 kg のカーボンフットプリントを求める。共製品の価格がすべて同じ通貨で表されている限り、特定の通貨を考慮することは関係ないことに注意されたい。これは通常、プロセスが生じる国の通貨である。

図 12 に示す例では、1000 kg のナタネを生産することで、520 kg のナタネ粕と 430 kg のナタネ油（当初重量のうち 50 kg は廃棄物ストリームで失われる）が取れると仮定し、市場価格はナタネ粕が 0.18 \$/kg、ナタネ油が 0.85 \$/kg として上記の式を適用すると、ナタネ粕の生産の配分係数は $(520 \times 0.18) / (520 \times 0.18 + 430 \times 0.85) = 0.2039$ となる。エラーを避けるために、有効数字 4 桁で四捨五入することを勧める。



図 12. 飼料用の共製品の配分例

10.5. 生乳と肉の間の配分の計算例

図 13 に示す例は、650 頭のミルクィングショートホーン（成熟体重 568 kg）という泌乳牛がそれぞれ年間 8500 kg の FPCM を生産し、合計で年間 5525 Mg FPCM を生産する農場を仮定して、生乳と肉の間で配分する場合の計算を示している。更新率が 25% の場合、余剰の未経産牛と雄牛の子牛（出生時の体重はそれぞれ 35.6 kg と想定）は、現場で 12 カ月齢まで肥育された後、肉牛部門に販売される。この簡単な例では、肥育作業は酪農作業と切り離されておらず、したがって 3 つの主製品間の配分が必要とされることを想定している。この例の目的上、この例での総未配分カーボンフットプリントは 1.4 kg CO_{2e}/kg FPCM であり、合計で 7735 Mg CO_{2e} の未配分排出量を作業に付与するものと仮定する。

牛の淘汰：568 kg/頭 × 163 頭 = 92.3 Mg、1 頭の子牛/乳用牛/年とし、性分布を均等にし、死亡率を無視すると、次のようになる。未経産牛 162 頭 × 300 kg/頭 + 雄牛の子牛 325 頭 × 300 kg = 146 Mg。ここで、子牛は 12 カ月間肥育され、1 頭当たり 300 kg に達すると仮定する。

成長に必要な正味エネルギー必要量の概算は、出生時に販売された子牛の場合 27.5 MJ/kg、成熟牛では 15 MJ/kg LW、繁殖した未経産牛と肥育した子牛の場合は 11 MJ/kg LW、生乳が 3.1 MJ/kg FPCM であると想定される（Nemecek および Thoma [69] による）。

配分のための式（上記のステップ 2）を使用すると、生乳への配分は次のようになる。

$$AF_{milk} = \frac{3.1 \text{ MJ/kg} \times 5525000 \text{ kg}}{3.1 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times 5525000 \text{ kg} + 11 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times 146000 \text{ kg} + 15 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times 92300 \text{ kg}} = 0.851$$

したがって、未配分のフットプリントのうち 85.1% が生乳に割り振られ、1.19 kg CO_{2e}/kg FPCM の農場ゲートフットプリントが得られる。

肥育された子牛への配分を算定するには、方程式の分子を肥育された子牛からの寄与（分母の中間項）に置き換えるだけでよい。

$$AF_{fattened} = \frac{11 \text{ MJ/kg} \times 146000 \text{ kg}}{3.1 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times 5525000 \text{ kg} + 11 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times 146000 \text{ kg} + 15 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times 92300 \text{ kg}} = 0.08$$

同様に、廃用牛については、分子を分母の第 3 項で置き換えることにより、配分割合が計算される。

肥育された子牛に 8%、廃用牛に 6.9% を割り振る。したがって、肥育した子牛のフットプリントは次のようになる。

$$\frac{AF_{fattened} \times \text{総排出量}}{\text{LW production}} = \frac{0.08 \times 7735000 \text{ (kg CO}_{2e}\text{)}}{146000 \text{ (kg LW)}} = \frac{4.24 \text{ kg CO}_{2e}}{\text{kg LW}}$$

また、廃用牛の場合、配分割合は 0.069 であり、フットプリントは 5.78 kg CO_{2e}/kg LW になる。

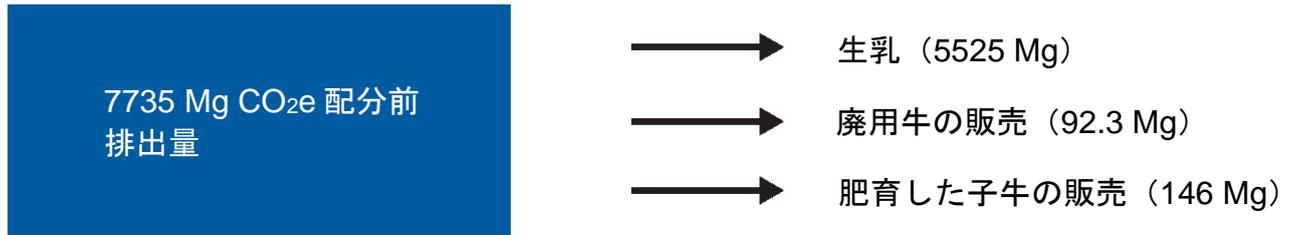


図 13. 共製品としての生乳と肉の配分例

10.6. 生乳と肉の間で配分する方法の科学的根拠

米国の 536 の農場からの詳細な農場レベルのデータの収集を含む大規模な研究が、Thoma らによって 2012 年に完了した (2013 年 [67])。その研究では、家畜飼料中のエネルギー含量と生乳および肉牛の生産量との因果関係が明らかになった。ただし、回帰方程式の実装が作業で提示されて以来、その適用性の限界に対処する必要があることが明らかになった。具体的には、農場から販売されるさまざまな成長ステージの牛への配分の違い、因果関係の適用可能な範囲が限定されていること、因果関係の有効な範囲外で運営されているシステムが多いことである。

現行のガイドラインは、Nemecek と Thoma [69] によって提案された方法を拡張したもので、酪農業における牛の成長に対する生乳生産に必要な正味エネルギー利用の原則に基づいている。この方法は、国別温室効果ガスインベントリのためのガイドライン 2019 年改良版 [8] を NRC 2001 (妊娠関係) と組み合わせた応用に基づいている。次の関係式が採用されている (式番号は IPCC を参照)。

$$NE_p = \int \frac{270}{179} (0.00318 * t - 0.0352) \left(\frac{CBW}{45} \right) dt \quad (\text{EQ: 2.19, [51]})$$

$$NE_G = 22.02 \left(\frac{BW}{c(MBW)} \right)^{0.75} (ADG^{1.097}) \quad (\text{EQ: 10.6, [8]})$$

ここで、 NE_p は妊娠のための正味エネルギー (MJ/日)、 NE_G は成長に必要な正味エネルギー (MJ/日)、 CBW は子牛の出生時体重 (kg)、 BW は体重 (kg)、 ADG は一日平均体重増 (kg/日) である。成長関係の正味エネルギーの定数「 c 」は、未経産牛で 0.8、去勢雄牛で 1.0、雄牛で 1.2 である。 MBW は成熟体重 (kg) である。

Nemecek と Thoma [69] は式 10.6 の積分を行い、 NE_G の妥当な平均値が 11~15 MJ/kg の範囲に収まることを示した (直ちに販売された子牛を除く)。 NE_G の成長ステージごとの推定値を算定するための、数学的により厳密な手法は、次の積分から正味エネルギーを推定することである。

$$NE_G(\text{age}) = \int_0^{\text{age}} 22.02 \left(\frac{BW(t)}{c(MBW)} \right)^{0.75} (ADG^{1.097}) dt$$

ここで、 t は動物の年齢 (日単位) である。動物の成長曲線がわかっているならば、この計算は簡単である。計算を可能にするために一般的で単純な成長モデルを採用することができる。体重を年齢の関数として表す von Bertalanffy の関係式は、数多くの種の成長を予測するために使用されており、特に牛の評価に使用される [86]。

$$BW(t) = MBW(1 - Be^{-kt})^3$$

$$ADG(t) = 3k BW(t) \left[\frac{Be^{-kt}}{1 - Be^{-kt}} \right]$$

NRC (National Research Council : 全米研究評議会) [51] の推奨に基づいて最初の繁殖時の乳牛の体重を約 0.55 MBW とすることで、次の関係から成長定数 k を推定することができる。ここで、AFC は最初の分娩時の年齢 (日単位) である。

$$k = \frac{-1.2045685065}{AFC - 280}$$

そして、定数 B は子牛の出生時体重から算定することができ、通常は 0.06275 MBW (年齢 = 0) である。

$$B = 0.6026213$$

これらの計算にはスプレッドシートを利用できる。

したがって、配分を算定するプロセスは次のように要約できる。

ステップ 1a : 1 年間に販売された各体重別クラスの動物の生体重 [kg meat] をまとめて、年間合計体重 (kg/年) を算定する。

ステップ 1b : 1 年間に生産された生乳 (4%脂肪分、3.3%タンパク質換算) をまとめ、総 kg 数を算定する。

ステップ 2 : 積分式から各成長ステージの牛の成長に必要な正味エネルギーを算出する。

ステップ 3 : 配分係数を算定する。

ここで概説したアプローチにより、経済価値による配分や固定的な配分のアルゴリズムの欠点のいくつかを回避できる。具体的には、生乳・食肉セクターの経済事情の変動による配分割合の変化を防ぎ、単一の農場から地域までさまざまな規模での生乳と食肉の相対的な生産量の違いを説明する。

この計算で使用するために必要な正味エネルギーは、厳密に成長と泌乳のためのものであることに留意する。維持のためのエネルギーは配分割合の計算には含まれないが、後に共製品間で配分される。さらに、購入した動物 (例えば、後継牛として購入した未経産牛など) の取扱いについては、配分の算定には影響しないが、それは、これらの動物が飼料や電力と同様、農場への投入資源と見なされ、販売されるときに、配分割合の計算に含まれるからである (同時に、作業から生じる環境負荷の配分を受け取る)。

10.7. 乳製品加工工場における製品間の配分の計算例

異なる製品の間での、原材料とエネルギーの配分は、脂肪、タンパク質、乳糖の乳固形分含量に基づいている¹¹。次の例では、架空の数値を使用している。

乳製品工場は、チーズと副産物としてホエイを生産する。工場の年間合計生乳受乳量は1000トン（12.7%乳固形分）で、チーズの生産量（59%乳固形分）は105トンである。さらに、チーズ製造の副産物として875トンのホエイ（7%乳固形分）が製造される。工場では2%の乳製品原材料の損失がある（20%乳固形分、図14を参照）。

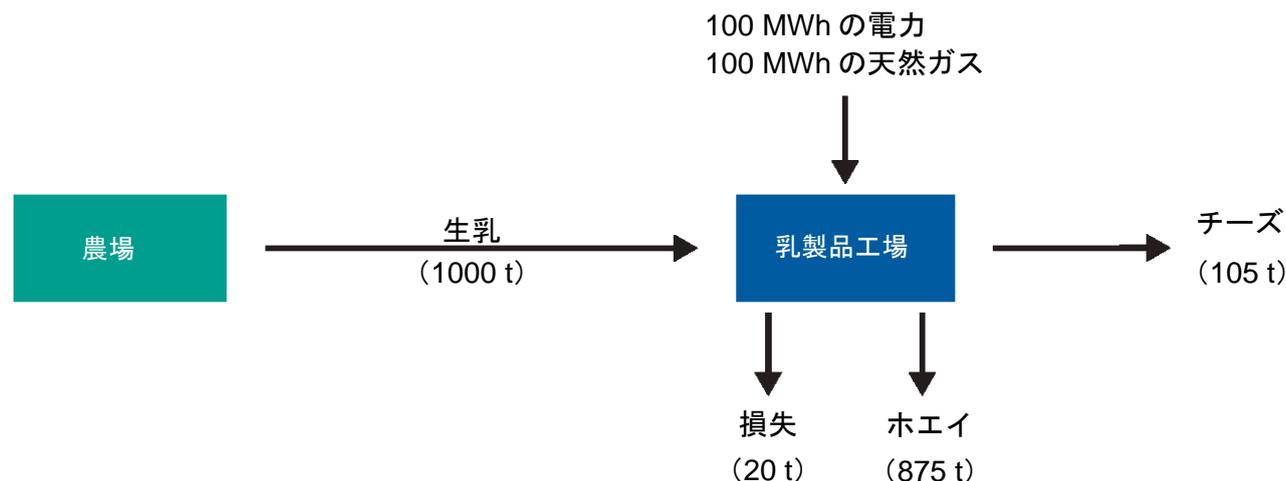


図14. チーズ製造のための乳製品工場への入力と出力の簡略化された概要

生乳のカーボンフットプリントは、1.5 kg CO₂e/kg FPCM（12.15%乳固形分）である。生乳とFPCMでは乳固形分含量が異なるため、これを調整する必要がある。したがって、生乳の総受乳量1000トンはFPCM1045トンに相当する（1000トン×12.7%/12.15%）。したがって、生乳受乳量の合計カーボンフットプリントは1568トンCO₂eである。

乳製品工場で使用されるエネルギーのカーボンフットプリントは、100 MWhの電力と100 MWhの天然ガスである。電力の排出係数はMWh当たり0.5トンCO₂e、天然ガスの排出係数はMWh当たり0.2トンCO₂eである。エネルギー使用の合計カーボンフットプリントは70トンCO₂e（100×0.5+100×0.2）である。

ホエイを使用する場合（さらにホエイパウダーに加工する場合）、排出量をチーズとホエイに割り振る必要がある。製品中の総乳固形分は、チーズが62トン（105トン×59%）、ホエイが61トン（875トン×7%）である。式5（5.4.3項を参照）を使用すると、50%の配分係数がチーズに与えられる。

チーズのカーボンフットプリントは、すべてのホエイが人間の消費に利用された場合、合計で823トンのCO₂e（（1568トンのCO₂e+70トンのCO₂e）×0.5）で、チーズkg当たり7.8kgCO₂eとなる（823000kgCO₂e/105000kg）。

¹¹ 総乳固形分含量は、灰分も含めると、わずかに高くなる。

ホエイが人間の製品に利用されず、豚の飼料に使用された場合、排出はホエイには配分されず、チーズがすべての環境負荷を負担しなければならない。この場合、チーズのカーボンフットプリントは 1638 トンの CO₂e (1568 トンの CO₂e + 70 トンの CO₂e) で、チーズ kg 当たり 15.6 kg CO₂e となる (1638000 kg CO₂e/105000 kg)。

10.8. 直接的 LUC の計算例

LUC が既知の場合：

グアテマラでは 10 年前、湿潤な熱帯気候にある活動性の高い (HAC) 土壌の熱帯山地林 1 ヘクタールが、中程度の投入量と高い耕作強度のサトウキビ栽培に転換された。提示された定義は IPCC [8] の専門用語に基づいており、土壌と気候に関する地図は JRC [87] によって提供された。これらのさまざまなパラメータを使用して以下を推定する。

- 拡大する作物の土壌炭素ストック (SOCa) : 44.4 トン C/ha。これは、当該農地システムの土壌炭素ストックであり、IPCC [48] に基づく気候、土壌の種類、作物の種類、耕起管理、および投入レベルによって異なる。
- 拡大する作物の植生炭素ストック (CVEGa) : 34.4 トン C/ha。これは、拡大する作物の植生炭素ストックであり、EC [88] に基づく作物の種類と気候によって異なる。
- 基準の土壌炭素ストック (SOCr) : 44.0 トン C/ha。上記と同様であるが、基準の土地利用として、転換前のもの。
- 基準の植生炭素ストック (CVEGr) : 94.0 トン C/ha。基準の土地利用として、転換前のもの。
- 基準の枯死有機物ストック、森林のみ (CDOMr) : 7.4 トン C/ha。森林からの転換の場合にのみ有効で、FAO から入手可能 [74] 。
- 最初の 2 つの計算パラメータ (SOCa + CVEGa) の和から、拡大する作物の総炭素ストック (CSa = 78.7 トン C/ha) が得られる。一方、他の 3 つのパラメータ (SOCr + cvegR + CDOMr) の総和からは、基準の総炭素ストック (CSr = 145.4 トン C/ha) が得られる。

これら 2 つのパラメータは、最終的に、グアテマラで 1 ヘクタールの熱帯山林地をサトウキビ畑に転換する LUC の影響を評価するために使用される。こうして得た値は、2010 年から 2030 年までの各年に均等に適用されることが望ましい (転換後 20 年で償却)。

$$\text{LUC} = (\text{CSr} - \text{CSa}) \times 44/12 \times 1/20 = \text{年間 } 12.21 \text{ tonne CO}_2\text{e/ha}$$

ここで、44/12 は CO₂-C から CO₂ への変換で、1/20 は 20 年にわたる償却である。

評価が実施される 20 年以上前に土地利用変化が発生したことを実証できる場合、土地利用の変化に起因する排出量はすべて PAS 適用の前に発生したと想定されるため、土地利用変化による排出量を評価に含めないことが望ましい。

以前の土地利用が不明な場合、LCA 従事者は PAS 2050-1:2012 [70] の付属文書 B に詳述されている方法を参照しなければならない。

LUC が不明な場合：

グアテマラでのサトウキビ生産をもう一度見てみると、この特定の作物と国の組み合わせでの転換の度合いと型を推定するために上記のパラメータを計算する必要がある。以下のすべてのパラメータについては、拡大と縮小のデータは FAOSTAT [82] から外挿することができ、3年平均に基づくことが望ましい。例として、

- 評価作物の現在の総面積に対する評価作物の面積拡大の割合（REC）：34%。この場合、現在の面積 250083 ヘクタール（2016～2018年の平均）に対して、20年前は 170860 ヘクタール（1996～1998年の平均）であった。 $(250083 - 170860) / 250083 = 34\%$ 。
- 草原と森林を犠牲にした面積拡大の割合（SEF&G）：96%。これは、すべての作物の作付面積縮小の和（39407 ha）をすべての作物の作付面積拡大の和（995352 ha）で除して得られた値を、1から引いて算出される。
- 森林地を犠牲にした面積拡大の割合（SEF）：50%。これは、SEF&Gに、森林の縮小（-818 ha）を森林および草地の縮小（-757 haと-818 haの和）で除して得られた値を乗じて算出される。
- 草地を犠牲にした面積拡大の割合（SEG）：46%。これは、SEF&Gに、草地の縮小（-757 ha）を森林および草地の縮小（-757 haと-818 haの和）で除して得られた値を乗じて算出される。
- 多年生作物農地を犠牲にした面積拡大の割合（SEP）：0.1%。これは、 $(1 - SEF\&G)$ に、多年生作物の作付面積縮小の和（1309 ha）を全作物の作付面積縮小の和（1309 haと38098 haの和）で除して得られた値を乗じて算出される。
- 一年生作物農地を犠牲にした面積拡大の割合（SEA）：3.8%。これは、 $(1 - SEF\&G)$ に一年生作物の作付面積縮小の合計（38098 ha）を乗じて、全作物の作付面積縮小の合計（1309 haと38098 haの和）で除して算定される。

前述の例のように、LCA 従事者は、既知の気候、土壌タイプ、耕作強度および入力レベルを使用して、異なるシナリオ（森林、平均、多年生作物、一年生作物からの転換）ごとに土地利用変化による排出量を算定（20年間で償却）することが望ましい。これらの情報も不明な場合、LCA 従事者は、指定された情報源を使用し、概算として国の平均を推定することができる。

この例では、平均的なデータを使用することにより、森林（LUCf）、草地（LUCg）、多年生作物農地（LUCp）、および一年生作物農地（LUCa）について、それぞれ年間 14.5、0.4、0.0、-3.2 トン CO₂e/ha の排出係数が算出される。

それぞれの割合（SEF、SEG、SEP、SEA）に相対的拡大率（REC）を乗じる必要があり、それから平均影響を算定することができる。2つの平均影響を算定する必要がある。

$$\begin{aligned} \text{加重平均} &= \text{SEF} \times \text{REC} \times \text{LUCf} + \text{SEG} \times \text{REC} \times \text{LUCg} + \text{SEP} \times \text{REC} \times \text{LUCp} + \text{SEA} \\ &\times \text{REC} \times \text{LUCa} = 50\% \times 34\% \times 14.5 + 46\% \times 34\% \times 0.4 + 0.1\% \times 34\% \times 0 + 3.8\% \times \\ &34\% \times (-3.2) = \text{年間 } 2.5 \text{ tonne CO}_2\text{e/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{平均} &= \text{LUCf} \times \text{REC} \times 33\% + \text{LUCg} \times \text{REC} \times 33\% + \text{LUCp} \times \text{REC} \times 0\% + \text{LUCa} \times \\ \text{REC} \times 33\% &= 33\% \times 34\% \times 14.5 + 33\% \times 34\% \times 0.4 + 0\% \times 34\% \times 0 + 33\% \times 34\% \\ &\times (-3.2) = \text{年間 } 1.3 \text{ tonne CO}_2\text{e/ha} \end{aligned}$$

平均 LUC は、現在の土地利用に相当する土地利用からの転換を 0%と見なして計算することができる。最悪のシナリオを選択する必要がある。この場合、加重平均 LUC は年間 2.5 トン CO₂e/ha。

ある国と栽培作物の組み合わせでの平均土地利用変化に関するデータは、公開されているデータベース（例えば、FAOSTAT [82]）から得られる。報告の際には、使用したデータの制約とデータギャップの可能性を検討して、明確に説明することが望ましい。データの制約の例としては、特定の作物（粗飼料など）に関するデータの欠如、関連する土地利用の不確実な分布、年間変動の違い、混合農業システムに関する報告などがある。また、PAS 2050-1:2012 [70] に詳しく述べられている方法論は、牧草地への転換の影響を推定する方法を示していないことにも留意されたい。

10.9. GHG 排出量の算定に必要な技術データ

表 4. GHG 排出量の算定に必要な技術データ一覧

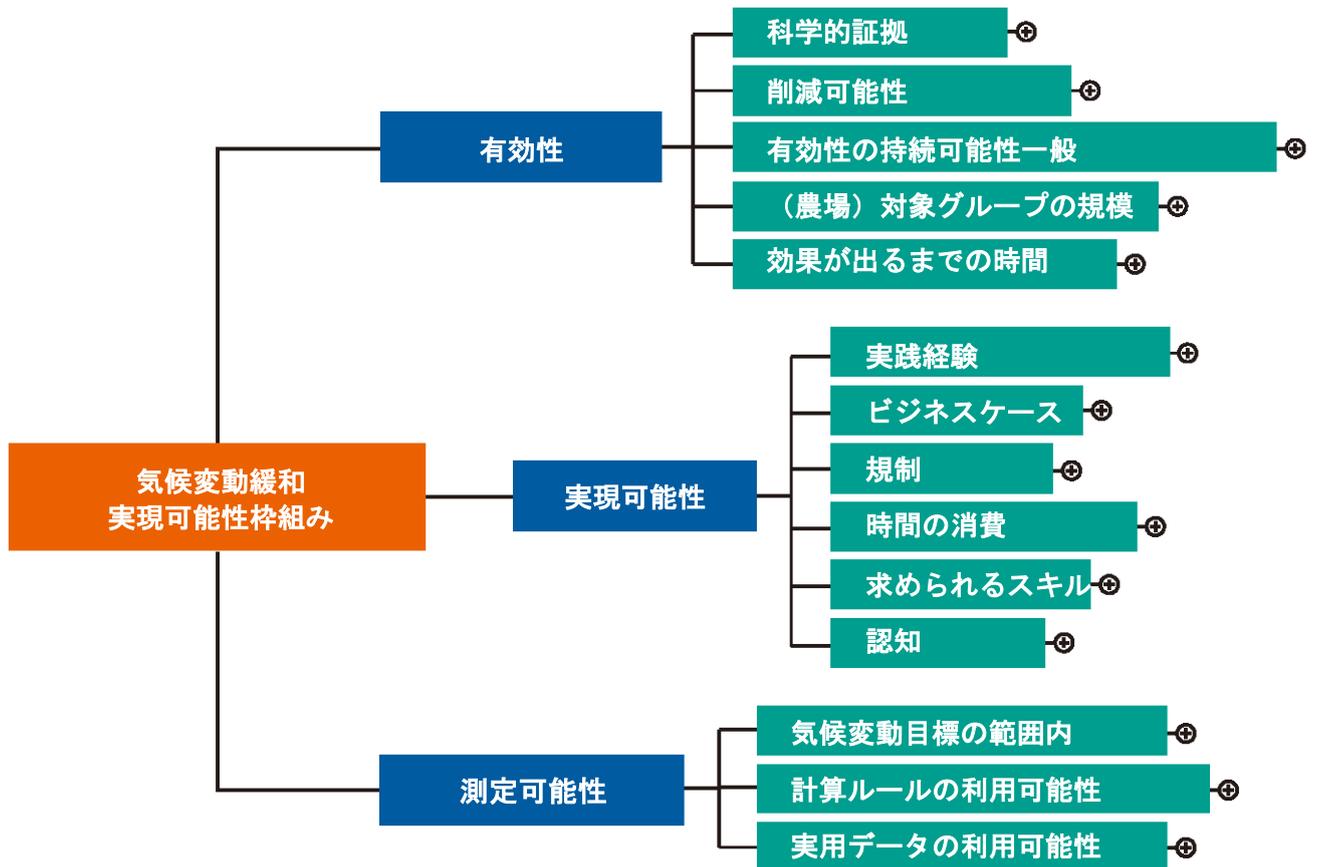
農産物	
生乳の総供給量	このタイプの農場から供給される生乳の総量
生乳生産量	乳用牛の平均年間生乳生産量 (kg/乳牛/年) または乳用水牛の平均年間生乳生産量 (kg/乳牛/年)
脂肪分とタンパク質	地域で生産される生乳の脂肪およびタンパク質の平均含量 (質量%)
食肉生産	農場ゲートにおける食肉加工用に販売される生体重 (kg)
その他	販売されたふん尿、乳用動物の役畜としての役割、燃料・エネルギー・熱資産管理
乳用牛群	
繁殖	動物 1 頭当たりの年間出生数と 1 出産当たりの子畜の数 (それぞれ、生殖能力と多産性)。雄牛と乳用牛の比率に従って、繁殖 (自然繁殖または人工繁殖) に必要な雄牛の数を見積もる必要がある。
成長	出生から成熟年齢になるまでの動物の生体重の増加を指す。成熟年齢は、成長が停止する年齢として定義され、雌の動物が初めて出産する時期と一致する可能性がある。
死亡	動物の年間死亡率は、出生時の若い動物、出生から成体になるまでの若い動物、成体動物という 3 つのグループに分けられる。
更新	毎年新規の若い成体動物に置き換えられる成体動物の数
更新率を上回る動物	上記の更新率は、群れを一定の規模で維持するために必要な若い動物の数を規定している。その他の動物は、同じ生産システム内に保持されるかまたは販売される可能性がある。
体重	動物は体が大きいほど、体重が重いほど、維持のためにより多くのエネルギーを必要とする。また、分娩時の体重から成体または食肉処理までの成長はそれ以上であり、より多くのエネルギーを必要とする。
放し飼い、放牧または畜舎での給餌	動物が飼料を探してたくさん歩かなければならないときには、動物が屋内にいて飼料を集めるための労力が必要ないときよりも、エネルギー要求量は高くなる。
ふん尿管理	
貯蔵	貯蔵法と貯蔵期間によって排出の程度が決まる。
ふん尿の施用	ふん尿施用の様式によって、環境への排出量が決まる。また、ふん尿が非飼料作物や燃料に使用される場合は、ふん尿の区分で定義される。嫌気性分解の場合、発酵槽の品質と消化液の貯蔵によって MCF が決定される。

飼料	
消化率	摂取飼料のエネルギーまたは栄養素の総量と、ふん中排せつ量の差を反映する。
窒素含量	飼料の窒素含量。
中性デタージェント繊維 (NDF) 含量	ヘミセルロース、セルロース、リグニンを含む炭水化物画分
利用率	給与飼料全体に占める摂取された飼料の割合。利用されない飼料（飼料の「廃棄物」）は、ふん尿管理システムに入り、排出に寄与することがある。
飼料生産（飼料用地）	
1ヘクタール当たりの乾物収量	
総作物収量に占める割合	作物残渣や廃棄物の場合、総作物収量（例えば、穀物 + わら）に占める割合を明示しなければならない。
ふん尿と肥料の使用	
機械によるエネルギー使用	作物の管理（耕起、収穫、保全など）および農場の維持管理（生け垣、車線、排水路の清掃など）
飼料の輸送	飼料成分の動物生産現場への輸送
飼料原料の追加的加工	飼料工場で飼料原料をさらに濃厚飼料に加工すること
実際の土地利用	草地の場合、その状態が改善しているか、定常状態か、減少しているかを推定するために、牧草地管理を定義しなければならない。後者は、過放牧と土地の劣化に当てはまる。耕地の場合、耕作システムが土地の劣化と土壤炭素の枯渇に影響を与える可能性がある。
以前の土地利用	森林が草地や耕地に転用されたり、草地が耕地に転用されたりすると、大量の炭素が失われる。土地利用変化がある場合、IPCCのガイドラインに従って、20年の時間枠を使用する [48]。
その他の外部からの入力	
搾乳に必要なエネルギー	
加熱・暖房に必要なエネルギー	
冷却・冷房に必要なエネルギー	
水供給	
その他	除草剤、殺虫剤、および冷媒の損失を含む
加工	
生乳	製造工場へ配分された合計 製造工場への生乳の輸送
材料	生乳以外の材料 原産国 材料の製造工場への輸送

中間製品	工場間、会社間の移動（例：クリーム、バターミルク、乳糖） 中間製品の輸送
エネルギー	電気エネルギーおよび熱エネルギーの使用 エネルギー源（黒炭、天然ガス、石油、LPG、バイオガス） コージェネレーションシステム
化学物質	CIP システムで使用される主な化学物質（苛性ソーダ、硝酸、トリプレックス、次亜塩素酸ナトリウムなど） 化学物質の製造工場への輸送
包装	包装材料の量とそれぞれの材料の構成：紙、段ボール、LDPE、LLDPE、最終製品の包装に使用される窒素と二酸化炭素 包装材料の原産国
冷媒	最終製品の製造と保管に使用される冷媒の量と種類
水	水の量と水処理プロセス
廃水	廃水発生量と廃水処理プロセス
固形廃棄物	固形廃棄物量とリサイクルされた量
最終製品	製造工場で生産される製品（牛乳、ヨーグルト、チーズ、粉乳など）の量

10.10. 緩和オプションの実現可能性マトリックス

農場で緩和オプションを実施し、または削減可能性を評価する場合、また、緩和オプションをカーボンフットプリント評価に含める場合には、以下の実現可能性の枠組みに挙げられているトピックを考慮し、個々の緩和オプションの技術的可能性と実際的な実現可能性・実施規模とを区別し、カーボンフットプリントという視点で見ることが重要である。



10.11. カーボンフットプリント削減のための緩和オプション

表 5. 乳製品ライフサイクルにおける GHG 排出量の緩和オプション

緩和オプション	簡単な説明
1.0 消化管内 CH ₄ 阻害剤	
1.1 飼料添加物	
CH ₄ 阻害剤	<p>IDF は、市販製品があることを認識しており、以下の報告書でそれを調べ直すことができる。</p> <p>https://globalresearchalliance.org/wp-content/uploads/2021/12/An-evaluation-of-evidence-for-efficacy-and-applicability-of-methane-inhibiting-feed-additives-for-livestock-FINAL.pdf</p>
電子受容体	<p>硝酸塩は、特に低タンパク質飼料において非タンパク質窒素供給の利点があるため、有望な CH₄ 緩和剤になる可能性がある。</p> <p>例：フマル酸塩、リンゴ酸塩、硝酸塩、硫酸塩、ニトロエタンなど</p> <p>制約：第一胃内微生物は、硝酸塩化合物、NH₃ 生成のリスク、および中間生成物（亜硝酸塩）の毒性に適応する。フマル酸とリンゴ酸は大量に使用する必要があり、コストが高くなるため、その使用は制約を受けるかもしれない。</p>
イオノフォア	<p>イオノフォアは、第一胃の酢酸：プロピオン酸比の減少を助ける。イオノフォアは、飼料効率への影響と単位飼料当たりの CH₄ の減少を通じて、高穀物飼料または混合穀物飼料を与えられた反芻動物で中程度の CH₄ 緩和効果を持つ可能性がある。この効果は、牧草ベースの飼料を与えられた反芻動物ではそれほど一貫していない。</p> <p>例：モネンシン</p> <p>制約：抗生物質耐性の可能性。成長促進剤として認められていない。</p>
植物生理活性物質	<p>タンニンなどのポリフェノール化合物（縮合型および加水分解性）は抗 CH₄ 生成作用があるため、消化管内 CH₄ 排出を最大 20%削減できる可能性がある。</p> <p>加水分解性タンニンは CH₄ 生成菌を直接阻害するが、縮合型タンニンは繊維の消化を阻害し、それによって CH₄ の生成を阻害する。</p> <p>サポニンとエッセンシャルオイルの使用を推奨できるようになるには、長期間の研究が必要である。</p> <p>例：タンニン、サポニン、エッセンシャルオイルおよびそれらの活性成分など、植物の二次代謝産物</p> <p>制約：タンニンは、飼料摂取と動物生産を損なう可能性がある（タンニンはアミノ酸の吸収を低下させるため、飼料の粗タンパク質濃度が乳生産を制限している場合、抗栄養作用がある）。</p>

<p>飼料用脂質</p>	<p>飼料用脂質は第一胃で生体水素化を受けるため、水素の利用可能性やメタン生成の等価物を減少させる。 さらに、脂質は第一胃内のバクテリアと原生動物を全体的に抑制するため、抗メタン生成効果も発揮する。 脂質は CH₄ 排出削減に効果的であるが、その実現可能性は、その費用対効果、飼料摂取量への潜在的な影響、生産性、および乳脂肪分によって左右される。</p> <p>例： 脂肪酸カルシウム、粒状脂肪、植物油、油糧種子、牛脂など</p> <p>制約： 保護されていない脂質の含量レベルが高くなると、繊維の消化に影響を与え、乳脂肪の低下を招く。</p>
<p>外因性酵素</p>	<p>外因性酵素は飼料効率を改善し、CH₄ 排出を間接的に削減する可能性がある。</p> <p>例： エンドグルカナーゼ、キシラナーゼなど</p> <p>制約： データに矛盾があるため、外因性酵素は効果的な緩和策として推奨できない。</p>
<p>直接給餌微生物 (DFM)</p>	<p>DFM の間接的な効果には、第一胃の pH の安定化、総 VFA 産生の増加、乳酸の減少、酸素除去の増加、微生物の成長のための成長因子の供給、有機物と繊維の消化率の向上、十二指腸の微生物タンパク質とメチオニンの流れが含まれる。 酵母の間接的な影響により、CH₄ 排出強度が中程度に低下する可能性がある。</p> <p>例： アスペルギルス・オリゼ、サッカロマイセス・セレビスエの酵母製品 (生酵母、酵母培養物)</p> <p>制約： 厳密な意味で制約はないが、CH₄ 軽減に対する酵母の直接的な影響の科学的証拠は不十分である。</p>
<p>プロトゾアの除去 (Defaunation)</p>	<p>プロトゾアの除去は、defaunating 剤によって第一胃内からプロトゾアが除去されるプロセスである。このプロセスの中で、プロトゾアに関連するメタン生成菌の集団も第一胃内で減少する。</p> <p>例： ラウリン酸、ヤシ油、亜麻仁油など</p> <p>制約： プロトゾアは、繊維と有機物の消化に重要な役割を果たす。したがって、プロトゾア除去は消化率、動物生産、乳脂肪レベルに悪影響を及ぼす可能性がある。さらに、プロトゾアに関連するメタン生成菌の除去は、バクテリアに関連するメタン生成菌の個体群の増加を引き起こす可能性がある。プロトゾア除去反応の変動性と不確実性のため、実用的な CH₄ 緩和戦略として推奨することはできない。</p>
<p>メタン生成菌に対するワクチン接種</p>	<p>第一胃内の古細菌に対するワクチンは、唾液を介して第一胃内に抗体を継続的に供給するという考え方に基づいている。ワクチンが有効であるためには、個々の種だけでなく、メタン生成菌の群全体をカバーする必要がある。この方法はまだ開発中であり、実用化の準備は整っていない。</p>

1.2 飼料と飼料給与管理

飼料摂取量の影響	<p>飼料摂取量が増加すると、Ym 係数は、維持量を超える摂取レベルごとに約 1.6% 単位減少する。飼料摂取量を増やすと、部分通過速度 (fractional passage rate) が増加し、消化率が低下し (食事の質による)、したがって CH₄ が減少する。</p> <p>しかし、乾物摂取量増加の結果としての消化率の低下は、ふん尿とともに発酵性有機物の排せつを増やし、ふん尿管理システムのタイプに応じて、CH₄ および N₂O の排出を増加させる可能性がある。</p>
濃厚飼料の混合	<p>飼料給与で濃厚飼料の割合を増やすと、飼料摂取量および畜産物の単位当たりの消化管内 CH₄ 排出量を減らすことができる。しかし、これは長期的に見て実行可能な GHG 緩和戦略ではないかもしれない。なぜなら、繊維質飼料を可食の産物に変換する反芻動物の重要性、穀物のバイオ燃料への転換、増加する人口を養うために穀物の優先度が増していることを無視しているからである。</p> <p>飼料中の濃厚飼料の割合を高いレベルにまで引き上げると、繊維の消化率に悪影響が生じ、潜在的な生産損失に加えて、ふん尿中の発酵性有機物の濃度が増加し、貯蔵されたふん尿からの CH₄ 排出量が増加する可能性がある。</p>
飼料の品質と管理	<p>植物の成熟度が高まると、牧草飼料中の NDF、ADF、およびリグニンの含有量が増加し、消化率に悪影響を及ぼす。</p> <p>消化管内 CH₄ 排出量は、栄養素の品質 (牧草飼料タイプ) および消化率 (成熟の段階) の向上と相関している。</p> <p>牧草の中で、C3 (寒い季節) の牧草は C4 (暖かい季節) の牧草よりも消化されやすく、C4 (暖かい季節) の牧草はリグニン p-クマル酸エステルの濃度が高くなる。</p> <p>成熟の初期段階で牧草を収穫すると、可溶性炭水化物含量が増加し、植物細胞壁のリグニン化が減少するため、消化率が向上し、単位可消化乾物量当たりの消化管内 CH₄ 排出量が減少する。</p>
飼料の加工	<p>穀物の消化性を高めるための加工は、畜産物の単位当たり消化管内 CH₄ 排出量を減らす可能性が高い。ただし、この緩和策は、低投入型の生産システムでは経済的に実現可能ではないかもしれない。</p>
的確な飼料給与	<p>的確な飼料給与、つまり家畜の養分要求量と飼料の養分供給を厳密に一致させることは、飼料利用率を最大化し、第一胃内の発酵を安定させ、微生物タンパク質の生産を最大化し、第一胃と動物の健康を改善し、ふん尿への栄養素の排せつを最小限に抑えるために重要である。これらの的確な飼料給与の効果は、消化管内およびふん尿の GHG 排出量を減少させることが見込まれる。</p>

2.0 ふん尿とふん尿管理

<p>飼料操作 (タンパク質含量)</p>	<p>低タンパク飼料を乳用牛に与えると、ふん尿貯留・処理中の N₂O 排出量が減少する。しかし、ルーメン分解性タンパク質の濃度を下げると、消化管全体の繊維消化率が低下し、発酵性炭水化物の濃度が上昇し、ふん尿からの CH₄ の生成が増加する可能性がある。ただし、第一胃内の繊維分解性が低下するので、これらの影響は消化管内 CH₄ 産生の減少によって相殺される可能性がある。</p> <p>過剰なタンパク質の摂取は、ふん尿からの NH₃ と N₂O の排出を増加させると思われるので、避けることが望ましい。動物の必要量に近いタンパク質を与えることは、動物の生産段階に応じてタンパク質濃度を変えることを含め、ふん尿からの NH₃ および N₂O 排出量の効果的な軽減策として推奨される。</p> <p>反芻動物用の低タンパク食は、第一胃内の微生物タンパク質合成と繊維分解性を損なわないよう、ルーメン分解性タンパク質 (RDP) のバランスを取ることが望ましい。飼料摂取量の落ち込みと生産性の低下を避けるために、飼料はアミノ酸のバランスを取ることが望ましい。</p>
<p>生物脱臭</p>	<p>この技術は、NH₃ を N₂ に変換するバイオスクラバー、または NH₃ を吸収するバイオベッドを使用して、畜舎から出る換気された空気を処理することに基づいている。NH₃ の損失を防ぐことは、アンモニウムの沈着を減らし、結果として N₂O への変換を減らすことで、間接的に N₂O 排出量を減らす可能性がある。</p> <p>生物脱臭を使用する場合、バイオフィルタースクラバーでの潜在的な N₂O 生成を考慮することが望ましい (畜舎の排気流から NH₃ を取り除くために使用されるバイオフィルターは、生物脱臭媒体での硝化および脱窒プロセスの結果として N₂O を生成する)。</p>
<p>ふん尿の貯蔵と分離</p>	<p>貯留されたふん尿からの GHG 排出量の緩和オプションのほとんどは、ふん尿貯留や曝気の時間、すのこ床、堆積の時間を短縮するというように、微生物発酵プロセスが起きる時間を短縮したり、土地への散布前に好気的条件を作り出したりすることを目的としている。これらの緩和手法は効果的であるが、経済的な実現可能性は不確実である。</p> <p>ふん尿を液体と固体に分離し、固体を好気的に堆肥化すると、CH₄ が減少することが示されているが、N₂O 排出量への効果は変動しやすく、NH₃ と合わせたふん尿窒素 (N) 損失を増加させる。</p>
<p>ふん尿貯留用カバー</p>	<p>半透過性のカバーは、NH₃、CH₄ および悪臭の排出を削減するのに役立つが、N₂O 排出量を増加させる可能性がある。したがって、その有効性は明らかではなく、結果は大きく異なる可能性がある。</p> <p>油の層や密封されたプラスチックカバーなどの不浸透膜は、気体の排出を削減するには効果的だが、あまり実用的ではない。</p> <p>電気または熱を生成するために、不浸透性カバーの下に蓄積された CH₄ を燃焼させることが推奨される。</p>
<p>ふん尿の酸性化</p>	<p>酸性化によるふん尿の pH の適度な低下は、NH₃ の揮発や貯蔵されたふん尿からの CH₄ の損失を大幅に削減する。</p>
<p>堆肥化</p>	<p>家畜のふん尿を堆肥化すると、かなりの N と CO₂ が失われるが、嫌氣的に貯蔵されたふん尿と比較して、臭気と CH₄ の排出を削減できるという利点があるため、GHG 緩和オプションとして推奨される。しかしながら、窒素の損失は主として NH₃ であるものの、N₂O としての損失もあることは考慮すべきである。</p>

<p>嫌気性消化（メタン発酵・バイオガス化）</p>	<p>嫌気性消化（メタン発酵）の使用は、ふん尿から発生する CH₄ の大部分を捕捉して放出抑制できる可能性が大きいだけでなく、再生可能エネルギーを生成し、開発途上国に衛生の機会を提供するという意味でも、推奨される GHG 緩和戦略である。 メタン発酵が CH₄ の正味排出源にならないよう、発酵システムを管理することが重要である。現時点で結果は明らかではないが、残渣である消化液の土地への施用により、N₂O 排出量を軽減する可能性もある。</p>
<p>乳牛ふん尿の施用</p>	<p>ふん尿中の N の濃度を下げる、嫌気性状態になることを防ぐ、分解性のふん尿 C の濃度を下げるといった試みは、ふん尿の土壌への施用から生じる GHG 排出を削減するのに成果を上げた戦略である。 固形分を分離するメタン発酵の前処理をすることで、地表下に施用したふん尿からの CH₄ 排出を軽減することができる。そうでなければ、地表面に施用したふん尿からの CH₄ 排出よりも高い値となりうる。 ふん尿の施用のタイミング（例：雨が降る前は施用を避ける）を考慮し、土壌の pH を 6.5 以上に維持することで、N₂O の排出を減少させる可能性がある。</p>
<p>ウレアーゼ阻害剤と硝化阻害剤</p>	<p>硝化阻害剤は、集約的な畜産システムからの N₂O 排出を減少させることを約束するが、N の損失を削減することは別として、生産者への利益は限定的である。 ウレアーゼ阻害剤は、尿素を保ち、NH₃ の揮発を減らすのに効果的である。しかし、ウレアーゼ阻害剤は、土壌中のアンモニウムを増やし、次いで硝酸塩の濃度を増大させる可能性があることから、N₂O 排出量の増加を招く可能性がある。</p>
<p>3.0 畜産</p>	
<p>家畜の生産性向上</p>	<p>世界の多くの地域において、最も効果的な GHG 緩和戦略の一つは家畜の生産性を高めることである。これにより、環境へのフットプリントを減少させた上で、これまでと同じ食品生産量を、これまでより少ない数の家畜で維持することができる。 動物の生産性の向上は、動物の遺伝学、給餌、繁殖、健康、および動物に関わる作業全体の管理を含む、複数のメカニズムを通じて達成することができる。 飼料中の穀物を含む飼料の品質を改善し、適切な栄養と在来種または交雑種の使用を通じて生産のための動物の遺伝的可能性を達成することは、動物の生産性を向上させ、製品の単位当たりの GHG 排出量を削減するための推奨されるアプローチである。</p>
<p>動物遺伝学</p>	<p>余剰飼料摂取量（RFI）を低 CH₄ 排出牛の選択ツールとして使用することは、可能性としては興味深い緩和オプションであるが、今のところ、低 RFI 動物の飼料摂取量単位または製品単位当たりの CH₄ 排出量が低下するかどうかに決定的な科学的証拠はない。したがって、RFI による GHG 削減の直接的な利益は不確実であると考えられる。 ただし、飼料効率を考慮して選択すると、GHG 排出強度の低い家畜が作出される。品種の違いと、飼料転換効率改善のために動物の遺伝的な潜在能力を最大限に利用することは、反芻動物および非反芻動物の強力な GHG 緩和ツールになり得る。</p>
<p>動物の健康と死亡率</p>	<p>動物の健康状態の改善と死亡率および罹患率の低下により、牛群の生産性が向上し、単位製品当たりの非 CO₂ GHG 排出の強度が削減されると予想される。</p>

<p>家畜の繁殖力</p>	<p>繁殖力が低いと、家畜生産システムからの GHG 排出量が増加する。これは主に、繁殖力が低いと、畜生産者は生産単位当たりの動物数を増やしておこうとし、また、群れの規模を維持するためにより多くの後継動物を維持しようとするからである。</p> <p>最適な離乳と性成熟期の達成、初産年齢の引き下げ、フラッシング（栄養供給量の増加）、周産期ケアと健康の強化、および生殖補助技術の使用は、GHG 排出量の削減に寄与し得る。</p> <p>生殖技術は、利用可能で費用対効果が高い場合に使用することで、生殖効率を高め、動物の数と GHG 排出強度を削減する。生殖技術には、繁殖力を高めるための遺伝的選択やゲノム選択、人工授精、性別選択された精液、胚移植、発情／排卵同期などがある。</p>
<p>4.0 処理加工と輸送</p>	
<p>省エネ</p>	<p>生産される製品 1 kg 当たりのエネルギー使用量を削減し、省エネ対策に投資することで、利益が生まれる可能性がある。</p>
<p>グリーンエネルギー</p>	<p>グリーン電力の生成と使用、バイオ燃料、電化を推奨する。</p>
<p>適正な処理加工方法</p>	<p>食品廃棄物と格下げを回避し、CIP、GHG を排出しない冷却剤に切り替え、エネルギー効率の高い乾燥技術を採用する。</p>
<p>持続可能な調達</p>	<p>低カーボンフットプリントの（非）乳素材を購入する。</p>
<p>包装</p>	<p>食品廃棄物と包装材料の使用量を削減するために、低カーボンフットプリントの包装材料を使用し、ポーションサイズに十分注意する。食品廃棄物が出ないように包装材のデザインを修正し、重量を減らし、カーボンフットプリントが低くなる場合はリサイクルされた材料やバイオベースの材料を使用する。</p>
<p>輸送</p>	<p>可能な限り輸送距離を削減し、効率的なサプライチェーンを最適化するエネルギー効率の高い輸送モード（最新の車両）を使用する。一般に、GHG 排出量を削減するには、船、列車、トラック、それから航空（影響の低いものから高いものへ、順にランク付けされている）による輸送を使用する。</p> <p>最適な冷却と適切な二次包装および三次包装により、製品の腐敗と損傷を回避する。</p> <p>バイオベース燃料、水素駆動トラック、電気トラック、その他の持続可能な非化石エネルギー源を道路輸送に使用する。</p>
<p>乾燥重量含量</p>	<p>輸送距離と輸送時間を考慮し、輸送距離が短い場合は液体のホエイ素材が適しているが、輸送が長い場合はホエイを粉末にすることが望ましい。混合乳製品用素材の乾燥と希釈の繰り返しは避ける。</p>
<p>レシピ</p>	<p>（混合）乳製品のカーボンフットプリントと栄養価のバランスを取る。カーボンフットプリントを最小化し、栄養価を最大化するよう、最適化することが望ましい水分、飽和脂肪、塩分、糖分も考慮に入れる。</p>

5.0 小売消費と廃棄／リサイクル

小売業者	<p>食品のカーボンフットプリントと栄養価について、質の高いデータに基づくさらなる差別化を含め、消費者に知らせる。</p> <p>処理加工と輸送に関する推奨事項に沿って、腐敗と損傷を回避し、効率的な物流および保管を行う。</p>
消費者	<p>食料品を購入する際に化石燃料の使用を減らす。</p> <p>エネルギー効率の高い電化製品を使用する。</p> <p>腐敗、製品への損傷、食品廃棄物および過剰消費を避ける。</p>
廃棄／リサイクル	<p>包装材をリサイクルする。ただし、リサイクルのためのエネルギー使用に注意を払う。</p> <p>食品廃棄を回避する - 地域または国の規制で許可されている場合は、飼料として使用するか、堆肥化する。ただし、堆肥化の排出量を考慮に入れる。</p> <p>埋め立てを回避する - CH₄の回収とエネルギー生成が望ましい。</p> <p>廃棄物の燃焼を回避する。燃焼させる場合はエネルギー回収と組み合わせる。</p>

10.12. NRF 9.3 DIETARY INDEX に準拠するための機能単位算定に関するガイダンス

NRF 9.3 スコア [89] には以下が含まれる。

- 「適格」栄養素のためのボーナス：タンパク質、繊維、ビタミン A、ビタミン C、ビタミン E、鉄、カリウム、カルシウム、マグネシウム
- 「不適格」栄養素のためのペナルティ：飽和脂肪酸、添加糖、ナトリウム

NRF 9.3 スコア [89] のためのデータ収集には以下を必要とする。

- 調査中の製品 100 kcal 当たり（または 1 食分当たりまたは 100 グラム当たり）の上記栄養素の量
- 一覧表にある栄養素の現地の（利用できない場合は世界の）「1 日の推奨量（RDI）」（遊離糖を除く）
- 添加糖については、WHO [90] の「遊離糖」の定義を使用する。すなわち、果物、野菜および乳製品に自然に存在する糖は計算に入れてはならない。炭水化物の分解によるものなど、加工中に作られた糖は計算に入れる。WHO [90] は、遊離糖に関して、1 日当たりの総エネルギーの 10% 以下を推奨している。これは、女性の場合は最大 50 グラム、男性の場合は最大 60 グラムを意味する。
- 他の栄養素については、平均的な男性および女性の 1 日の推奨量（RDA）（できれば現地の数値）を使用する。調査が特定の対象集団を目的としている場合、例えば育児用調製粉乳や高齢者向けの栄養の場合には、例外を設けることができる。

表 6. 乳製品の NRF 9.3 スコアの計算例

ボーナス	(単位)	栄養素/100 kcal		RDI	=	NRI 9.3 スコア
タンパク質	g	8	× 100 /	50	=	15
食物繊維	g	0	× 100 /	35	=	0
ビタミン A	mcg	33	× 100 /	800	=	4
ビタミン E	mg	0	× 100 /	13	=	0
ビタミン C	mg	2	× 100 /	75	=	3
鉄	mg	0	× 100 /	11	=	0
カリウム	mg	356	× 100 /	3500	=	10
カルシウム	mg	273	× 100 /	950	=	29
マグネシウム	mg	27	× 100 /	350	=	8
平均						8
ペナルティ						
飽和脂肪酸	g	2	× 100 /	-20	=	-10
添加糖	g	0	× 100 /	-60	=	0
ナトリウム	mg	93	× 100 /	-6000	=	-2
平均						-4
NRF 9.3 総合スコア						4

国際酪農連盟

著者への指示

論文の提出

原稿の提出（プログラム・オブ・ワークまたは IDF イベントに関する IDF の主題の枠組みの中にあるかどうかに関係なく）は、それが他の場所での出版について同時に検討されていないことを意味する。複数の著者による論文の提出は、すべての著者の同意を意味する。

寄稿の種類

研究論文、研究論文の個別の章、レビュー論文、IDF イベントで発表される技術論文または科学論文、学会発表論文、IDF プログラム・オブ・ワークに関する主題の報告書。

言語

論文はすべて英語で書かれていることが望ましい。

原稿

- ファイルは、電子メールまたは IDF の FTP サイト経由で電子的に送信しなければならない。ログインの詳細は依頼に応じて送信される。
- Word 2003 または 2007 による最終稿
- 最終稿に含まれるすべての表や図は、別個の Word ファイル、Excel ファイル、PowerPoint ファイルで、白黒またはカラーフォーマットで送信しなければならない。
- すべてのファイル名に著者の姓を入れ、さらに論文、表または図のタイトルを付さなければならない。

参考文献

- 文書内の参照には番号を付け、それを角括弧の間に配置しなければならない。
- 文書の最後にある参考文献一覧には、次の事項を含める。

- すべての著者の名前とイニシャル
- 論文のタイトル（出版物が本である場合は章）
- 出版物が雑誌の場合は、雑誌のタイトル（The American Chemical Society, Washington, DC 発行の「Bibliographic Guide for Editors and Authors」に従って略称を用いる）および巻番号
- 出版物が書籍の場合は、発行者の名前、市または町の名前、編集者の名前とイニシャル
- 出版物が学位論文の場合は、大学名と市または町の名前
- ページ番号またはページ数、および日付

例 : 1 Singh, H. & Creamer, L.K. Aggregation & dissociation of milk protein complexes in heated reconstituted skim milks. J. Food Sci. 56:238-246 (1991).

例 : 2 Walstra, P. The role of proteins in the stabilization of emulsions. In:G.O.Phillips, D.J.Wedlock & P.A.William (Editors), Gums & Stabilizers in the Food Industry - 4.IRL Press, Oxford (1988).

要旨

発表される論文または章ごとに、150 ワードを超えない要旨を記載しなければならない。

住所

著者および共著者は、完全な住所（電子メールアドレスを含む）を表示しなければならない。

綴りと編集に関する規則

IDF の綴りと編集に関する規則を遵守することが望ましい。付属文書 1 を参照。

付属文書 1

IDF の綴りと編集に関する規則

英語を母国語とする場合、綴りや文法などについては著者の国の慣例（英国、米国など）を遵守する。ただし、誤りは訂正されるものとし、言葉の意味の取り違えが生じる可能性がある場合、例えば、gallon（ガロン）のような値が異なる単位の場合や、billion のように著しく意味が異なる言葉の場合には説明を加えるものとする。

“	通常は一重引用符ではなく、二重引用符を用いる
?!	疑問符と感嘆符の前後に半角スペースを入れる
±	前後に半角スペースを入れる
microorganisms（微生物）	ハイフンなし
Infra-red（赤外線）	ハイフンあり
et al.	下線なしで斜体にしない
e.g.、i.e.、～that is など	for example, と英語でスペルアウトする
litre（リットル）	著者がアメリカ人でない限り、liter としない
ml、mg など	数字と ml、mg などの間にスペースを入れる
skimmilk（無脂肪乳）	形容詞であれば一語、名詞であれば二語にする
sulfuric（硫黄）、sulfite（亜硫酸塩）、sulfate（硫酸塩）	sulphuric、sulphite、sulphate とはしない（IUPAC の承認により）。AOACI ではなく AOAC INTERNATIONAL と表記する
programme（プログラム）	次の場合を除き、program としない a) 著者がアメリカ人である場合、または b) コンピューターのプログラムで“milk and dairy product”ではなく milk and milk product と綴る場合 - 非科学的なテキストでは通常、ある程度の自由裁量が認められる
-ize、-ization	いくつかの例外を除き、-ise、-isation としない
小数点のカンマ	（ISO の承認により）両方の言語での規格（のみ）で 数値と%の間にスペースは入れない。つまり、6%などとする。
Milkfat	一語にする
USA、UK、GB	使用しない
数字	全部書き出す
1000-9000	カンマなし
10 000 など	カンマではなくスペースを入れる
hours（時間）	∅ h
second（秒）	∅ s
litre（リットル）	∅ l
the Netherlands	

1つのテキストに2人またはそれ以上の著者が関与している場合は、両方の名前を1行に記入し、その後に所属を脚注として示す。

例えば

A.A.Uthar¹ & B. Prof²

¹ University of (~大学)

² Danish Dairy Board (デンマーク酪農連盟)

IDF は、国際機関の名称をスペルアウトしない。

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION AISBL / FEDERATION INTERNATIONALE DU LAIT AISBL
Boulevard Auguste Reyers, 70/B - 1030 Brussels (Belgium) - <http://www.fil-idf.org>