

研究開発初期段階の新規技術を対象とした
ライフサイクル CO₂ 排出量の簡易評価ガイドライン

第2版 2023年11月

(初版 2022年7月)

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター

目 次

1. はじめに.....	4
2. ガイドライン策定の目的	4
3. 簡易 LCCO ₂ 評価の考え方	5
3.1 評価の対象とするライフサイクルの範囲（システム境界）	5
3.2 フォアグラウンドデータとバックグラウンドデータ.....	6
3.3 バックグラウンドデータの既定値.....	7
3.4 評価対象とする生成物に利用された原料 CO ₂ の取り扱いについて.....	9
4. 簡易 LCCO ₂ 評価手順.....	11
4.1 システム境界の設定.....	11
4.2 簡易 LCCO ₂ 評価に必要なデータの収集	12
4.3 LCCO ₂ 排出量の計算	13
4.4 従来技術との比較	14
4.5 レポーティング.....	14
5. 簡易試算ツールについて	16
5.1 対象とする CCU 技術と投入物のバックグラウンドデータ	16
5.2 比較対象とする従来技術の CO ₂ 排出原単位データ	18
5.3 試算ツールの構成	18
6. 参考文献.....	26

付録 1 簡易試算ツール

付録 2 レポーティング事例集

改訂履歴

版数	発行月	主な改訂内容
第1版	2022年7月	・初版発行
第2版	2023年11月	・ガイドラインの対象技術をCCU技術から拡大。 ・簡易試算ツールに5つの技術を追加。 ・付録としてレポート事例集を追加。

1. はじめに

カーボンニュートラルの実現に向け、CCU 技術やリサイクル技術などの CO₂ 削減に貢献する様々な新規技術の研究開発が進められています。このような研究開発をより効果的に進めていくためには、「その技術が本当に CO₂ 削減につながるのか、削減効果はどの程度か」、「CO₂ 削減にインパクトのある技術要素はどこなのか」を研究開発の初期段階で見極めることが重要です。また、このような新たな技術の導入の際には、従来技術に対してサプライチェーンが大きく変わることから、ライフサイクル全体での CO₂ 排出量（以後、LCCO₂ 排出量、または単に LCCO₂ と表記）の評価が不可欠です。

しかしながら、研究開発初期段階（TRL1～3 程度）の LCCO₂ 排出量の評価に際し、前提条件となる、原料の前処理や製品の後処理等の主要工程以外の工程の詳細や、投入される原料・エネルギーの CO₂ 排出原単位などのデータを設定することは、LCA に精通していない研究者にとっては大きな負担でありハードルが高いと考えています。

そこで、研究者が容易に LCCO₂ 排出量进行评估できるよう、研究開発初期段階の LCCO₂ 評価における重要な考え方やその評価手順をまとめたガイドラインを策定しました。また、このガイドラインに基づいて作成した簡易試算ツールおよびレポート事例集を付録として添付しました。以下、2 章、3 章でガイドライン策定の目的と評価の考え方について述べた後、4 章、5 章で評価手順と試算ツールの内容について説明します。

2. ガイドライン策定の目的

このガイドラインでは、LCA の手法に精通しない方でも容易に評価が行えるよう、研究開発初期段階の新規技術に対し、研究開発初期段階でも収集することが可能なデータを用いて LCCO₂ 排出量の概算値を評価することを目的に、評価の考え方や具体的な評価手順を定めました。以降、本ガイドラインに基づく LCCO₂ 評価を簡易 LCCO₂ 評価と呼びます。

本ガイドラインを用いることにより、当該技術による LCCO₂ 排出量の概算値の評価に加え、研究目標となる生成物収率やエネルギー投入量等の因子が LCCO₂ 排出量に与える影響を把握することができます。これらにより、適切な研究開発目標の設定に貢献することを期待します。

本評価においては、ライフサイクル全体のうち LCCO₂ 評価の対象とする範囲を限定するとともに、主要な投入物の CO₂ 排出原単位¹を提供しています。また、このように計算の前提を固定しているため、異なる技術でも共通の前提の下で比較することが可能です。なお、ライフサイクル全体を評価の対象としていないことや設定している計算の前提が、実施者が対象とするプロセスの実態と一致しているとは限らないことから、簡易 LCCO₂ 評価による LCCO₂ 排出量は概算値となります。

¹ 単体量当たりの生産にかかった CO₂ 排出量のこと（kg-CO₂/単体量）

3. 簡易 LCCO₂ 評価の考え方

本章では簡易 LCCO₂ 評価においてポイントとなる考え方を説明します。

3.1 評価の対象とするライフサイクルの範囲（システム境界）

LCCO₂ 評価では、はじめに、ライフサイクル全体のうち、LCCO₂ 評価の対象とする範囲を設定する必要があります。このような範囲をシステム境界と呼びます。既に市場に出回っている製品のシステム境界の設定では、原料の製造から廃棄までのライフサイクル全体をシステム境界とすることが一般的です（図 1a）。一方で、研究開発初期段階の新規技術において、評価対象とした主生成物の使用並びに使用後処理段階、また輸送、設備製造、原料の製造工程の実態を明確に把握することは困難であると予想されます。そこで、簡易 LCCO₂ 評価では、システム境界の対象を、新規技術および主要工程に限定し、それ以外の工程はシステム境界から除外しています²。メタン合成の場合のシステム境界の考え方を例示すると、LCCO₂ 評価では原料の製造工程から、メタン合成工程、輸送、利用に至るサプライチェーン全体がシステム境界になりますが（図 1a）、簡易 LCCO₂ 評価では原料の製造工程およびメタン合成工程のみがシステム境界となります（図 1b）。

また、簡易 LCCO₂ 評価において評価の対象とする生成物は、主生成物のみとし、副生成物や実態の把握が難しい廃熱の利用は評価の対象外とします。

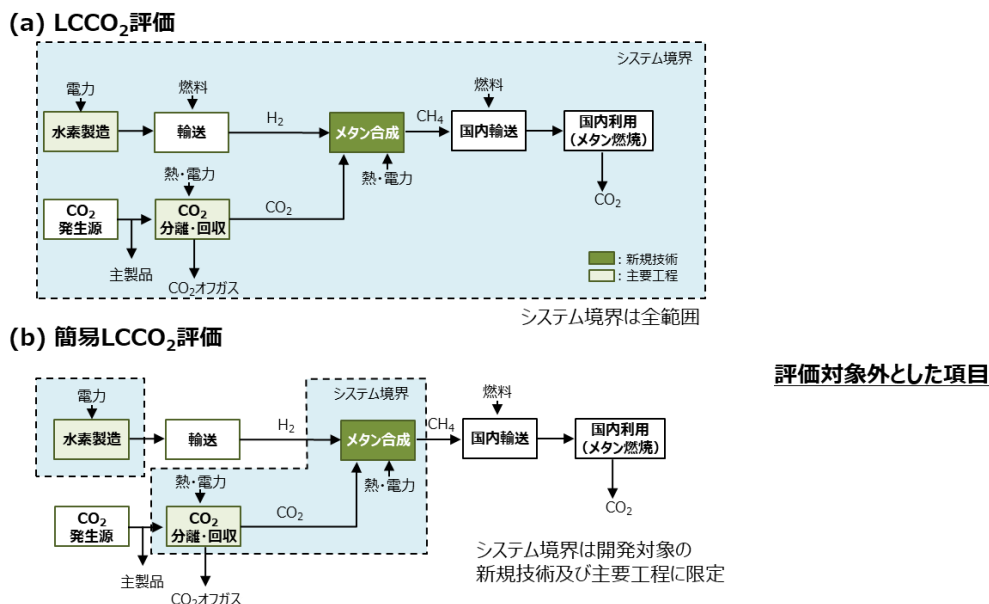


図 1 CCU 技術によるメタン合成におけるシステム境界の設定例

² 一般的な LCA の実施においては、システム境界は通例、原材料の調達から製品の使用後処理まで、全てのライフサイクル段階を対象とする Cradle-to-Grave（ゆりかごから墓場まで）の範囲で設定される。一方で、調査の目的に応じて対象製品の製造までの段階で留める Cradle-to-Gate（ここで、gate とは factory gate、すなわち対象製品が生産される工場のゲートを指している）の範囲で設定されるケースもある。本ガイドラインにおいて設定されるシステム境界は、この Cradle-to-Gate に該当するといえる。

3.2 フォアグラウンドデータとバックグラウンドデータ

LCCO₂ 排出量は、システム境界中の工程ごとに、投入する原料やエネルギーの CO₂ 排出原単位と投入量から、その工程までの CO₂ 排出量を求め、それを次の工程での CO₂ 排出原単位として順次計算することで評価します（図 2）。その際、原料やエネルギーの投入量のように、LCCO₂ 評価実施者自ら収集するデータをフォアグラウンドデータと呼び、投入物の CO₂ 排出原単位のように LCA データベースや文献等から引用するデータをバックグラウンドデータと呼びます。

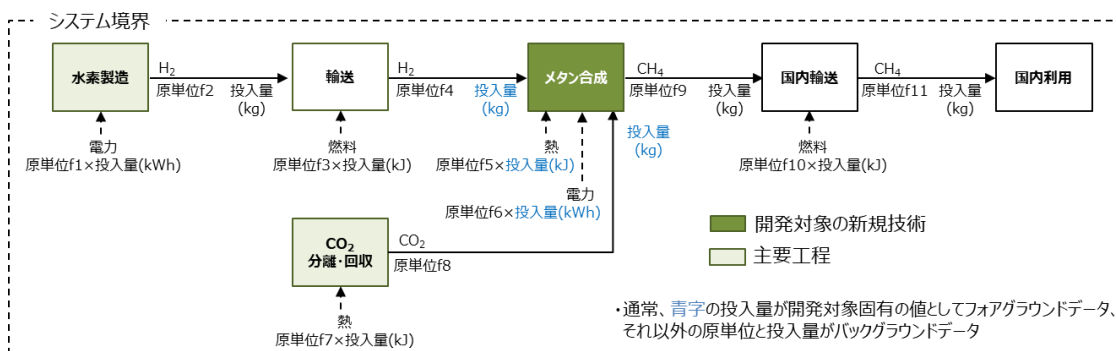


図 2 メタン合成の LCCO₂ 評価において収集が必要なデータ

3.3 バックグラウンドデータの既定値

研究開発初期段階では、原料の製造方法や電源構成、熱供給源等が定まっていないケースが多く、原料やエネルギーの CO₂ 排出原単位などを見積もれないため、バックグラウンドデータを適切に設定することが困難であると考えられます。そこで、本ガイドラインでは、新規技術の主要な投入物である電力、熱、原料 CO₂、水素についてバックグラウンドデータの既定値を脱炭素化の程度に応じた 3 つのシナリオに対して用意しました。これらを活用すれば、データ収集が簡素化されることに加え、各シナリオに応じた評価条件で他の技術との横並び評価が可能になります。

本ガイドラインで整備したバックグラウンドデータの既定値は、現状適用ケース、中間ケース、低炭素ケースの 3 種で、表 1 の数値としました。これらの算出の考え方は表 2 のとおりです。

各ケースの既定値を用いた LCCO₂ の計算結果から以下のような考察を行うことを想定しています。

- ▶ 現状適用ケースは、評価対象の新規技術に投入される投入物について、その供給に係る CO₂ 排出量を基に、どの投入物の影響が大きいかを把握することによって CO₂ 削減にインパクトのある技術要素はどこなのかを考察することを想定。
- ▶ 低炭素ケースおよび中間ケースは、従来技術の LCCO₂ 排出量と比較することにより、評価対象の新規技術の確立が将来、本当に CO₂ 削減につながるのか、削減効果はどの程度かといった有効性を確認することを想定。

表 1 主要 4 投入物のバックグラウンドデータの既定値

投入物	単位	現状適用ケース (2020 年想定)	中間ケース (2030 年想定)	低炭素ケース (2040 年想定)
電力	kg-CO ₂ /kWh	0.506	0.158	0.00665
熱	kg-CO ₂ /MJ	0.0510	0.0510	0.00224
原料 CO ₂ (CO ₂ 分離回収あり)	kg-CO ₂ /kg-CO ₂	0.148	0.0801	0.00704
原料 CO ₂ (CO ₂ 分離回収なし)	kg-CO ₂ /kg-CO ₂	0	0	0
水素	kg-CO ₂ /kg-H ₂	9.82	7.56	0.318

表 2 バックグラウンドデータの既定値の算出の考え方

投入物	現状適用ケース (2020 年を想定)	中間ケース (2030 年を想定)	低炭素ケース (2040 年を想定)
電力	<ul style="list-style-type: none"> World Energy Outlook 2021^[1]より、2020 年における世界の電力供給量と電力由来 CO₂ 排出量を基に推計 	<ul style="list-style-type: none"> World Energy Outlook 2021 より、2030 年のネットゼロシナリオにおける世界の電力供給量と電力由来 CO₂ 排出量を基に推計 	<ul style="list-style-type: none"> World Energy Outlook 2021 より、2040 年のネットゼロシナリオにおける世界の電力供給量と電力由来 CO₂ 排出量を基に推計
熱	<ul style="list-style-type: none"> 天然ガスの高位発熱量と CO₂ 排出原単位を基に推計 		<ul style="list-style-type: none"> 水素による熱供給を想定し、低炭素ケースにおける水素の CO₂ 排出原単位を基に推計
原料 CO ₂ (CO ₂ 分離回収あり)	<ul style="list-style-type: none"> 石炭火力発電所から MEA 化学吸収法による CO₂ 分離回収を想定し、CO₂ 分離回収エネルギー由来の排出を推計 熱消費量はプロセスシミュレーションによる推計値、電力および MEA の消費量は文献値^{[2][3]}を使用 	<ul style="list-style-type: none"> カーボンリサイクルロードマップ^[4]に記載されている 2030 年における CO₂ 分離回収技術のターゲットのうち、濃度数%の低圧ガス用に対応する所要エネルギー量を採用 熱の CO₂ 排出原単位は各ケースの値に準拠 	
原料 CO ₂ (CO ₂ 分離回収なし)	<ul style="list-style-type: none"> 大気や排ガスを CO₂ 分離回収装置を用いず直接利用することを想定 		
水素	<ul style="list-style-type: none"> CCU を伴わない天然ガスの水蒸気改質による水素製造を想定 	<ul style="list-style-type: none"> アルカリ水電解による水素製造を想定^[5] 電力の CO₂ 排出原単位は低炭素ケースの値に準拠 	

表 1 に示す原料 CO₂ のバックグラウンドデータについては、CO₂ 分離回収工程から得た原料 CO₂ (分離回収あり) と CO₂ 分離回収装置を用いずに大気や排ガスから直接利用する原料 CO₂ (分離回収なし) の 2 種を想定しました。原料 CO₂ (分離回収あり) では、CO₂ を回収する際に必要となるエネルギーに由来する CO₂ 排出量のみを対象としており、CO₂ の発生源から生成される主製品や CO₂ 回収時のオフガスは考慮していません (図 3)。CO₂ 分離回収装置を用いずに直接利用する原料 CO₂ (分離回収なし) は CO₂ 排出原単位を 0 としました。

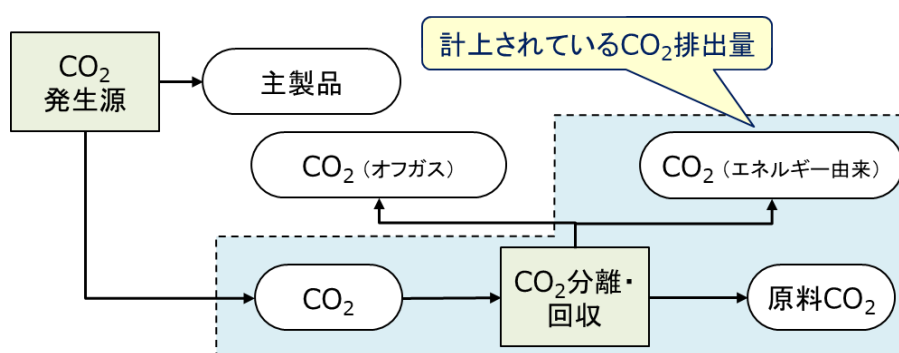


図 3 原料 CO₂ のバックグラウンドデータの対象範囲

3.4 評価対象とする生成物に利用された CO₂ の取り扱いについて

簡易 LCCO₂ 評価における CO₂ 排出の取り扱いを図 4 に示します。本評価では、新規技術に投入した全 CO₂ を回収するために必要なエネルギー由来の CO₂ 排出は増加分として計上し、新規技術に投入した CO₂ のうち評価対象とする主生成物に利用された CO₂ は減少分として計上します。これは、簡易 LCCO₂ 評価における評価対象は主生成物のみであり、未反応の CO₂ や副生成物に利用された CO₂ は大気中に排出されたと考えるためです。特に CCU 技術によって得られた製品を後工程の原料とする場合 (例えば CCU 技術によって製造したメタノールを原料に用いてオレフィンを製造する等)、後工程において未反応の原料や副生成物に利用されている CO₂ も主生成物に利用された CO₂ として過剰にマイナス計上しないよう注意が必要です。原料の CO₂ 排出原単位に CO₂ 利用分が考慮されているかを確認の上、計算してください。評価対象とする主生成物に利用される CO₂ の重量は、主生成物 1kg 当たりに利用される CO₂ の重量としてデータを収集します。利用される CO₂ の重量は、通常、主生成物の化学組成から算出します。これらの考え方にに基づき算出した正味の CO₂ 排出量が簡易 LCCO₂ 評価によって求められる LCCO₂ 排出量となります。

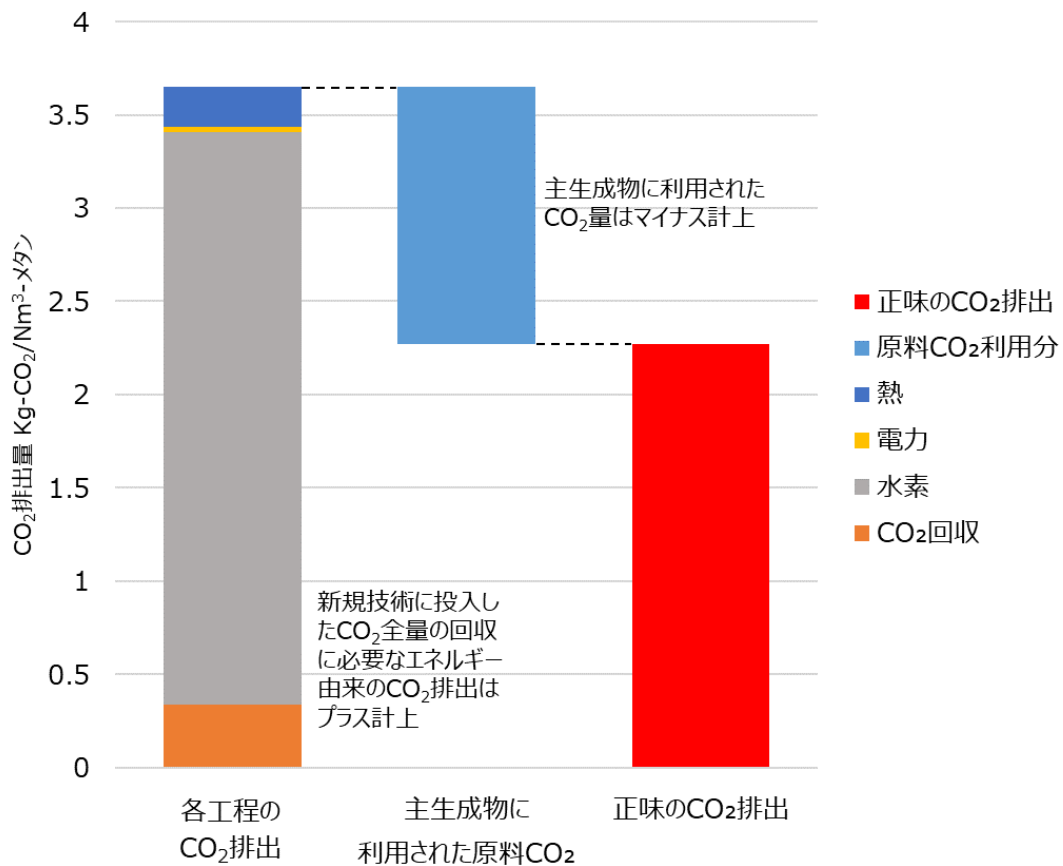


図4 LCCO₂ 排出量算出時のCO₂の取り扱い

なお、今回の評価ではCO₂発生源の主製品や回収時のオフガス、評価対象とした主生成物の使用や使用後処理に伴うCO₂の排出を考慮していないこと、評価対象とする主生成物に利用されるCO₂を関連する製品と配分せず全量マイナス計上していることから、LCCO₂排出量の評価結果がゼロやマイナスの値となったとしても、必ずしもカーボンニュートラルやネガティブエミッションを達成しているとは言いきれない点に留意が必要です。加えて、カーボンニュートラルや、ネガティブエミッションの定義は【コラム】に示してあります。

4. 簡易 LCCO₂ 評価手順

本章では簡易 LCCO₂ 評価手順を説明します。本ガイドラインは、研究開発初期段階（TRL1~3 程度）の新規技術を対象とします。また、評価の基準となる、評価対象とする生成物の生成量（機能単位³）は、例えば、素材であれば重量（例：1kg）、エネルギーであれば発熱量（例：1MJ）等、分かりやすい単位を設定します。以降の説明では、1 単位量を 1kg と設定した場合を例として説明しています。新規技術から複数の生成物が生成される場合は、主生成物を評価対象として、それらの生成量の合計値を 1 単位量（1kg）とします。詳細は「4.2.1 フォアグラウンドデータの収集」に示します。

4.1 システム境界の設定

はじめに、システム境界を設定します。研究開発初期段階で想定できるライフサイクル全体を示したうえで、システム境界を設定してください。システム境界の設定にあたっては、「3.1 評価の対象とするライフサイクルの範囲（システム境界）」を参照してください。CCU 技術によるメタン合成における簡易 LCCO₂ 評価のシステム境界の設定例を図 5 に示します。

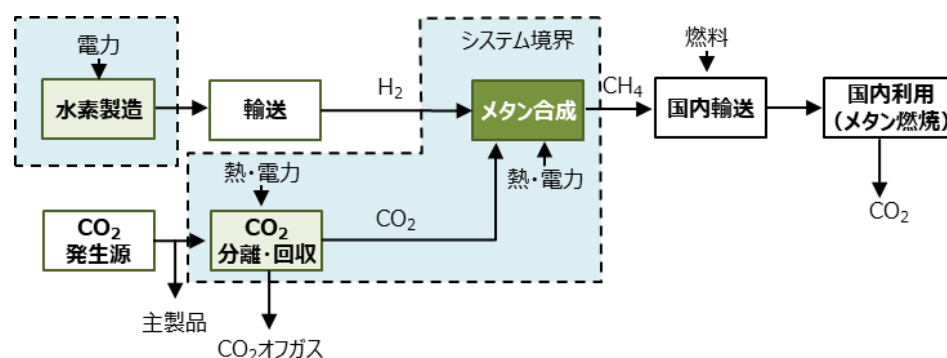


図 5 簡易 LCCO₂ 評価の対象とするライフサイクルの範囲（メタン合成の例）

³ LCA の国際規格である ISO14040^[6]および ISO14044^[7]では、評価の対象とする製品の機能や性能を一定の数量単位で表現したものを機能単位と呼んでいる。機能単位の設定は、特に異なる製品間の比較を行う際には製品間で統一することが必須であり、LCA を通じて製品の環境負荷を定量的に把握するための土台となる、重要な要素である。

ここで、CCU 製品の化学構造や組成が従来製品と異なる場合は、例えば燃料であればその走行距離（年間走行距離 1 万 km×車両の耐用年数 10 年＝生涯 10 万 km の走行）を機能単位に設定する等、本来的には用途に応じた機能単位の設定が求められる。本ガイドラインでは研究開発の初期段階における評価を想定しており、使用段階で当該製品が発揮する性能が明確ではないケースも考えられることから、単位重量や単位発熱量等、物理量によるシンプルな機能単位の設定を求めている。

4.2 簡易 LCCO₂ 評価に必要なデータの収集

システム境界が設定できたら、次に、フォアグラウンドデータとバックグラウンドデータを収集します。

4.2.1 フォアグラウンドデータの収集

簡易 LCCO₂ 評価において、収集が必要なフォアグラウンドデータは（表 3）、①新規技術に投入される原料やユーティリティの投入物とその投入量 (X)、②生成物とその生成量 (α)、③評価対象とする主生成物 1kg 中に利用されている原料 CO₂ の重量 (β) の 3 つです。

①の投入量や②の生成量には、実験やシミュレーションから算出したデータ等を用います。その際、各投入物の投入量は評価対象とする生成物が 1kg となるように調整してください。評価対象とする主生成物が複数ある場合は、それらの生成量の合計値が 1kg となるように投入物の投入量を調整します。③の評価対象とする生成物 1kg 中に利用されている原料 CO₂ の重量は、通常、生成物の化学組成から算出します。ただし、コンクリートのように組成が不明な場合は最大限利用されると推定される量として構いません。

なお、試算ツールには、原料やユーティリティの投入量や生成物の生成量の理論値を入力する欄を設けています。理論値は生成物収率が 100% だった場合の化学量論により算出される値であり、実験値（あるいはシミュレーションデータ等）のフォアグラウンドデータと理論値を比較することにより、研究開発による CO₂ 削減ポテンシャルや簡易 LCCO₂ 評価結果の妥当性の確認に利用できます。

フォアグラウンドデータを設定する際は、どのような根拠に基づくデータであるかを明記してください。なお、評価対象に含まない副生成物や廃熱の利用は簡易 LCCO₂ 評価の対象外ですが、これらについても生成量を収集し記録することが望ましいです。

表 3 フォアグラウンドデータ

入出力		フォアグラウンド データ
Input:	電力	X_1 kWh
	熱	X_2 MJ
	原料 CO ₂	CO ₂ 回収エネルギー 由来の排出 X_3 kg
		評価対象とする主生成物 に利用される CO ₂ β kg
	水素	X_4 kg
	...	X_n kg
Output:	評価対象とする 生成物	$\sum \alpha_n$ kg (=1)

4.2.2 バックグラウンドデータの収集

簡易 LCCO₂ 評価において、収集が必要なバックグラウンドデータ（表 4）は各投入物および生成物の CO₂ 排出原単位（Y）です。主要な投入物である電力、熱、原料 CO₂、水素については、原則として本ガイドラインにて用意したバックグラウンドデータの既定値（表 1）を用いてください。評価対象の投入物が表 2 に示した前提と異なる場合等、一般的に用いられている LCA データベースの値や既報の論文等の値の方が妥当な場合は、それらを用いることも可能です。表 1 以外の投入物や主生成物のバックグラウンドデータについては、LCA データベースや論文の値を引用するとともに、その情報源と選定の根拠を明記してください。なお、CCU 技術によって得られた製品を投入物とする場合はバックグラウンドデータに CO₂ 利用分が考慮されているか確認してください。

表 4 バックグラウンドデータ

入出力		バックグラウンドデータ		
Input:	電力	Y_1	kg-CO ₂ /kWh	
	熱	Y_2	kg-CO ₂ /MJ	
	原料 CO ₂	CO ₂ 回収エネルギー由来の排出	Y_3	kg-CO ₂ /kg
		評価対象とする主生成物に利用される CO ₂	-1	kg-CO ₂ /kg
	水素	Y_4	kg-CO ₂ /kg	
...	Y_n	kg-CO ₂ /kg		
Output:	主生成物			

なお、簡易 LCCO₂ 評価では温室効果ガス（GHG : Greenhouse Gas）のうち、CO₂ のみを対象とすることを基本とします。GHG 全体を対象とする場合は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change）の最新の評価報告書における地球温暖化ポテンシャル（GWP : Global Warming Potential）の 100 年値の係数を用いて CO₂ 等量に換算した GHG を用いるのが望ましいです。CO₂ 以外の特定の GHG に特化した評価を行う場合や、最新ではない GWP の係数を用いる場合、また 100 年値以外の GWP 係数を用いる場合は、その根拠を明記してください。

4.3 LCCO₂ 排出量の計算

「4.2.1 フォアグラウンドデータ」で収集した各投入物の投入量に対し、「4.2.2 バックグラウンドデータ」で示した個々の投入物に対応した既定値を乗算して得られる各投入物の CO₂ 排出量を加算した値から、評価対象とする主生成物 1kg に利用される CO₂ 重量を減ずることにより、LCCO₂ 排出量を算出します（表 5）。

表 5 LCCO₂ 排出量の計算のイメージ

入出力		フォアグラウンド データ		バックグラウンド データ	=	CO ₂ 排出量
Input:	電力	X_1 kWh	×	Y_1 kg-CO ₂ /kWh	=	Z_1 kg-CO ₂
	熱	X_2 MJ	×	Y_2 kg-CO ₂ /MJ	=	Z_2 kg-CO ₂
	原料	X_3 kg	×	Y_3 kg-CO ₂ /kg	=	Z_3 kg-CO ₂
	CO ₂	CO ₂ 回収エネルギー由来の排出				
		評価対象とする主生成物に利用される CO ₂	β kg	×	-1 kg-CO ₂ /kg	=
	水素	X_4 kg	×	Y_4 kg-CO ₂ /kg	=	Z_4 kg-CO ₂
	...	X_n kg	×	Y_n kg-CO ₂ /kg	=	Z_n kg-CO ₂
Output:	主生成物	$\sum \alpha_n$ kg (=1)				
		合計				$\sum Z_n$ kg-CO ₂

4.4 従来技術との比較

従来技術との比較をするために、比較対象とする従来技術により製造された製品を定めます。簡易 LCCO₂ 評価により算出された LCCO₂ 排出量と比較対象の LCCO₂ 排出量の差が、新規技術により削減が見込まれる CO₂ 削減量となります。

比較対象の設定にあたっては、評価の対象とした主生成物と化学構造や組成が同じ製品が存在する場合はその製品を、存在しない場合は、例えば評価の対象とした主生成物が輸送用燃料であればガソリン等、同一の機能を有する製品を設定します。

比較対象とする従来技術の LCCO₂ 排出量の算出にあたっては、一般的に用いられている LCA データベースにある当該製品の CO₂ 排出原単位を用いてください。その際、利用するデータベースは、簡易 LCCO₂ 評価のために利用したデータベースを利用することが望まれます⁴。この時、「4. 簡易 LCCO₂ 評価手順」で設定した機能単位と同一とします。また、既報の論文等に記載されているデータを比較対象として適用する場合等は、その情報源とともに選定の根拠を明確にします。なお、従来技術により製造された製品が複数の生成物で構成される場合は、各生成物の生成量と CO₂ 排出原単位を乗算して加算することにより、比較対象の LCCO₂ 排出量を算出してください。

4.5 レポーティング

簡易 LCCO₂ 評価結果を報告する際には、評価の目的や計算のトレーサビリティを確保するための情報を報告することが望まれます。基準となるレポーティングの項目を表 6～表 9 に示していますが、具体的なレポーティング項目については、報告する相手との協議によって決定してください。なお、研究開発目標が達成されたときの CO₂ 削減効果の確認や CO₂ 削減にインパクトのある技術要素を見極め研究開発目標として設定するなど実際の使用ケースを想定したレポーティング事例集を付録として提供しています。

⁴ 比較対象とする従来技術のシステム境界は、新規技術のシステム境界と必ずしも一致しているとは限らない。システム境界が異なる場合の従来技術との差より求められる CO₂ 削減効果は、あくまでも目安である点、留意が必要である。

表 6 レポート項目 (1) 目的

項目	項目および要件の説明
対象とする主生成物と技術	<ul style="list-style-type: none"> 対象となる新規技術から生成される主生成物の名称を記載
目的	<ul style="list-style-type: none"> 目的を記載
概要説明	<ul style="list-style-type: none"> 対象となる新規技術について、簡潔に記載
意図する伝達先	<ul style="list-style-type: none"> 結果を伝える相手を記載
機能単位	<ul style="list-style-type: none"> 対象となる新規技術の性能を表す、定量的な参照単位を記載 <ul style="list-style-type: none"> 新規技術から生成される主生成物の単位量 (例: 1kg、1MJ) を機能単位として設定する 評価対象とする主生成物が複数ある場合、それらの生成量の合計値が単位量となるような形で評価を行う

表 7 レポート項目 (2) 評価範囲

項目	項目および要件の説明
システム境界	<ul style="list-style-type: none"> ライフサイクル全体のうち、評価対象とする範囲について、図示も含め記載

表 8 レポート項目 (3) LCCO₂ 排出量の計算

項目	項目および要件の説明
フォアグラウンドデータのデータソース	<ul style="list-style-type: none"> フォアグラウンドデータ (対象となる新規技術への投入物並びに生成物に関する定量的な情報) のデータソースを記載
エネルギー源	<ul style="list-style-type: none"> 新規技術に投入されるエネルギー (電力、熱、蒸気等) の供給源を記載⁵
バックグラウンドデータのデータソース	<ul style="list-style-type: none"> バックグラウンドデータのデータソースを記載 ガイドラインで整備した規定値以外を用いる場合は、その情報源とともに選定の根拠を記載

表 9 レポート項目 (4) 評価結果

項目	項目および要件の説明
評価結果	<ul style="list-style-type: none"> 表やグラフ等も用いて、定量的な評価結果を記載
主な結論	<ul style="list-style-type: none"> 現状適用、中間、低炭素、の各ケースの評価結果から導き出される、それぞれの目的に応じた結論を記載 評価対象に含まない生成物や廃熱などの有効利用の可能性についての補足説明等も併せて記載

⁵ ただし、表 1 の既定値を用いた場合は記載不要。

5. 簡易試算ツールについて

付録として添付している簡易試算ツールは、LCA の手法に精通していなくても容易に評価が行えるよう、16 種類の新規技術について、簡易 LCCO₂ 評価における考え方に基づくシステム境界、評価対象とする主生成物、必要な投入物を設定するとともに、そのバックグラウンドデータと従来技術により生成される主生成物の CO₂ 排出原単位を提供しています。本ツールで提供する新規技術については、実験やシミュレーションから求めたフォアグラウンドデータを入力することで、評価対象とする主生成物の LCCO₂ 排出量が試算され、結果が表やグラフとして表示されます。

5.1 対象とする主生成物と投入物のバックグラウンドデータ

簡易試算ツールで評価対象とした主生成物を表 10 に示します。また、バックグラウンドデータを提供している投入物は、公開されている文献^{[8]・[34]}を用いて行った感度分析を基に、LCCO₂ 評価への影響が大きいと推算されたものを選定しています。用意した投入物の詳細は簡易試算ツールの「バックグラウンドデータ」シートを参照してください。

簡易試算ツールでは、これらの投入物の CO₂ 排出原単位を国立研究開発法人国立環境研究所の発行する「産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)」^[35]を元に以下の方法により算出し、提供しています。

- ① 3EID の最新版である 2015 年版から、対象となる投入物や生成物が該当する産業連関表の列部門⁶の CO₂ 排出原単位を引用
 - ・ 「CO₂ 排出原単位 (エネルギー起源) (I-A)⁻¹」と「CO₂ 排出原単位 (非エネルギー起源) (I-A)⁻¹」の合算値
 - ・ 単位 : t-CO₂/百万円
- ② 「平成 27 年 (2015 年) 産業連関表 部門別品目別国内生産額表」^[36]より、対象となる投入物および生成物に対応する列部門の単価の平均値を算出
- ③ ①と②を乗算することにより、物量あたりの CO₂ 排出原単位を算出

なお、簡易試算ツールでは、国内の一般的な LCA データベースとして、国立研究開発法人産業技術総合研究所が提供する「IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis)」^[37]の活用時に参照するデータが容易にそろえられるよう、対応する製品分類コードを提示しています。

⁶ 部門は産業連関表を表章する際の区分のことをいいます。列部門は産業連関表におけるタテの計数の並びをいい、財・サービスを生産するための費用構成 (投入) を示します。

表 10 簡易試算ツールで評価対象とする主生成物

分野	主な開発対象	研究開発目標例	主生成物
CO ₂ 分離回収	分離材	<ul style="list-style-type: none"> ・分離回収エネルギー○GJ/t-CO₂以下 ・分離回収コスト○円/t-CO₂以下 	CO ₂
化学品・燃料	触媒 CCU プロセス	<ul style="list-style-type: none"> ・収率○%以上 ・選択率○%以上 ・製造コスト○円台/L 	メタン
			一酸化炭素
			水素
			メタノール
			オレフィン (C2~C5)
			ブタジエン
			芳香族 (BTX)
			液体燃料
			ぎ酸
			ポリオール
			炭酸ジメチル エチレングリコール
ジメチルエーテル			
ジメトキシメタン			
鉱物	環境配慮型 コンクリート 代替セメント 混和剤 骨材	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂削減量○kg/m³ ・CO₂固定量○kg/m³ 	セメント
			コンクリート
廃プラスチック ケミカル リサイクル	ポリスチレン 解重合プロセス	<ul style="list-style-type: none"> ・廃プラスチック転化率○%以上 ・生成物収率○%以上 	スチレン エチルベンゼン トルエン メチルスチレン
	ポリオレフィン 油化プロセス		芳香族 軽質油 中質油 重質油

5.2 比較対象とする従来技術の CO₂ 排出原単位データ

従来技術との比較のため、比較対象とする従来技術により生成される主生成物の CO₂ 排出原単位についても、3EID を元に算出した結果と IDEA の製品分類コードを提供しています。

5.3 試算ツールの構成

試算ツールは、図 6 に示すように、「メニュー」シート、「バックグラウンドデータ一覧」シート、「LCCO₂ 排出量試算」シートの 3 種のシートで構成されています。また、「LCCO₂ 排出量試算」シートの具体的な利用方法については、簡易試算ツールの中にある「試算シートの使い方」を参照してください。

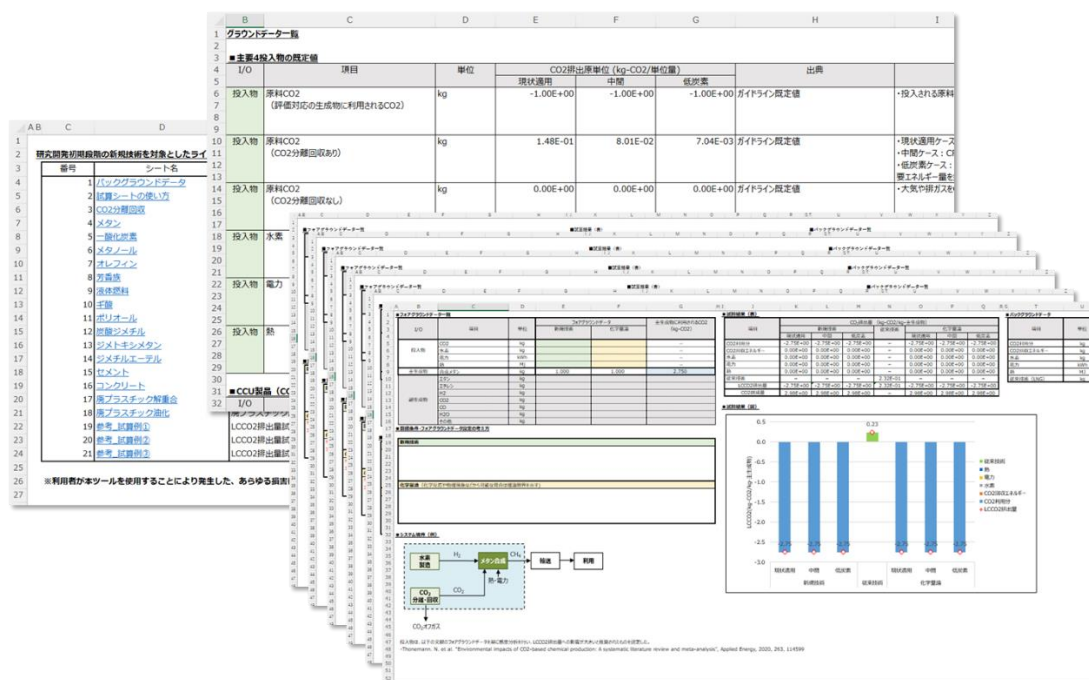


図 6 試算ツールを構成する 3 種のシート

「メニュー」シートからは、他の各シートへ移動することが可能です（図7）。

番号	シート名	概要
1	バックグラウンドデータ	バックグラウンドデータの一覧
2	試算シートの使い方	LCCO ₂ 排出量試算シートの記入欄の説明
3	CO₂分離回収	CO ₂ 分離回収のLCCO ₂ 排出量試算
4	メタン	メタンのLCCO ₂ 排出量試算
5	一酸化炭素	一酸化炭素のLCCO ₂ 排出量試算
6	メタノール	メタノールのLCCO ₂ 排出量試算
7	オレフィン	オレフィンのLCCO ₂ 排出量試算
8	芳香族	芳香族のLCCO ₂ 排出量試算
9	液体燃料	液体燃料のLCCO ₂ 排出量試算
10	ギ酸	ギ酸のLCCO ₂ 排出量試算
11	ポリオール	ポリオールのLCCO ₂ 排出量試算
12	炭酸ジメチル	炭酸ジメチルのLCCO ₂ 排出量試算
13	ジメチルエーテル	ジメチルエーテルのLCCO ₂ 排出量試算
14	ジメチルエーテル	ジメチルエーテルのLCCO ₂ 排出量試算
15	セメント	セメントのLCCO ₂ 排出量試算
16	コンクリート	コンクリートのLCCO ₂ 排出量試算
17	廃プラスチック解重合	廃プラスチック解重合のLCCO ₂ 排出量試算
18	廃プラスチック油化	廃プラスチック油化のLCCO ₂ 排出量試算
19	参考_試算例①	LCCO ₂ 排出量試算シートの利用例（研究開発目標が達成されたときのCO ₂ 削減効果の確認）
20	参考_試算例②	LCCO ₂ 排出量試算シートの利用例（CO ₂ 削減量のアウトカム目標達成に向けた研究開発目標）
21	参考_試算例③	LCCO ₂ 排出量試算シートの利用例（論文特許情報からの他社技術の推定）

※利用者が本ツールを使用することにより発生した、あらゆる損害に関して一切の責任を負いません。

図7 「メニュー」シート

「LCCO₂ 排出量試算」シートは、ユーザーがデータや前提条件を入力する欄と、試算結果やバックグラウンドデータを参照する欄の大きく2つのパートに分かれています（図8）。

ユーザーがデータや前提条件を入力

ユーザーが試算結果やバックグラウンドデータを参照

The screenshot shows a detailed spreadsheet with the following sections:

- バックグラウンドデータ一覧 (Background Data List):** A table listing various materials and their CO₂ emissions.
- CO₂削減率 (CO₂ Reduction Rate):** A table showing reduction rates for different scenarios.
- バックグラウンドデータ参照 (Background Data Reference):** A table for selecting background data.
- 前提条件 (前提条件) (Assumptions):** A section for defining process parameters.
- 試算結果 (試算結果) (Calculation Results):** A table showing the calculated LCCO₂ values.
- CO₂削減率 (CO₂ Reduction Rate):** A bar chart comparing CO₂ reduction rates across different scenarios.

図8 「LCCO₂ 排出量試算」シートの構成

このうち、データの入力欄では、フォアグラウンドデータ（新規技術並びに化学量論に基づく投入物の投入量や、主生成物に利用されるCO₂の量）を入力します（図9）。

■フォアグラウンドデータ一覧

I/O	項目	単位	フォアグラウンドデータ		主生成物に利用されるCO ₂ (kg-CO ₂)
			新規技術	化学量論	
投入物	CO ₂	kg	2.292	1.375	-
	水素	kg	0.313	0.188	-
	電力	kWh	0.050		-
	熱	MJ	4.200		-
	一酸化炭素 (CCU由来)	kg			-
主生成物	メタノール	kg	1.000	1.000	1.375
副生成物	CH ₄	kg			
	H ₂	kg			
	CO ₂	kg			
	CO	kg			
	H ₂ O	kg			
	その他	kg			

図9 フォアグラウンドデータ入力欄と入力例

なお、廃プラスチックのケミカルリサイクルにおいては、研究開発ごとに対象としたい主生成物が異なる可能性が高いため、評価対象とする主生成物をユーザーが選択できるようになっています（図10）。

■フォアグラウンドデータ一覧			主生成物 or 副生成物を選択する	
I/O	項目	単位	フォアグラウンドデータ	
			新規技術	化学量論
投入物	電力	kWh		
	熱	MJ		
	廃プラスチック (ポリスチレン)	kg		
主生成物	スチレン	kg		
主生成物	エチルベンゼン	kg		
主生成物	トルエン	kg		
主生成物	メチルスチレン	kg		
副生成物	残渣 (石炭類似)	kg		
副生成物	オフガス	kg		
主生成物	計	kg	0.000	0.000
副生成物	計	kg	0.000	0.000
生成物合計		kg	0.000	0.000

図10 廃プラスチックケミカルリサイクルのフォアグラウンドデータ入力欄

また、オレフィンや芳香族等、一部の製品については、触媒の合成や再生等によるCO₂排出量が大きくなる可能性があるため、触媒に係るCO₂排出量を考慮できるように、任意の入力欄を設けています（図11）。

■ 触媒（合成ゼオライト等）を考慮する場合に入力

項目	単位	量
触媒1kgから生産される主生成物の総生産量	kg-主生成物総生産量/kg-触媒	
触媒を1kg合成並びに再生に伴うCO2排出量	kg-CO2/kg-触媒	
主生成物1kg生成した時の触媒に係るCO2排出量	kg-CO2/kg-主生成物	0

図 11 触媒に係る CO₂ 排出量を考慮するための任意入力欄

また、データの入力欄の下にあるスペースに、収集したフォアグラウンドデータの前提条件やフォアグラウンドデータ設定の考え方を記載します（図 12）。

■ 前提条件・フォアグラウンドデータ設定の考え方

<p>新規技術</p> <p>開発中のプロセスの研究開発目標から投入物のフォアグラウンドデータを算出。 研究開発目標：CO2基準のメタノール収率60%、H2基準のメタノール収率60% ユーティリティ（電力、熱）は従来技術（CO/H₂からのメタノール合成）と同等</p>
<p>化学量論（化学反応や物理現象などから可能な場合は理論限界を示す）</p> <p>水素とCO₂からメタノール量論反応に入れる量と反応熱より試算。発熱反応。 $3\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{OH}$, $\Delta\text{Hr} = - 53.3\text{kJ}$</p>

図 12 前提条件・フォアグラウンドデータ設定の記載欄

データの入力欄に入力されたデータを基に、LCCO₂ の試算結果が表とグラフで表されま
す (図 13 および図 14)。

■試算結果 (表)

項目	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /kg-主生成物)						
	新規技術			従来技術	化学量論		
	現状適用	中間	低炭素		現状適用	中間	低炭素
CO ₂ 利用分	-1.38E+00	-1.38E+00	-1.38E+00	-	-1.38E+00	-1.38E+00	-1.38E+00
CO ₂ 回収エネルギー	3.39E-01	1.84E-01	1.61E-02	-	2.04E-01	1.10E-01	9.68E-03
水素	3.07E+00	2.37E+00	9.95E-02	-	1.85E+00	1.42E+00	5.98E-02
電力	2.53E-02	7.90E-03	3.33E-04	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
熱	2.14E-01	2.14E-01	9.41E-03	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
一酸化炭素 (CCU由来)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
従来技術	-	-	-	8.34E-01	-	-	-
LCCO ₂	2.28E+00	1.40E+00	-1.25E+00	8.34E-01	6.75E-01	1.56E-01	-1.31E+00
CO ₂ 削減量	-1.44E+00	-5.63E-01	2.08E+00	-	1.59E-01	6.77E-01	2.14E+00

図 13 試算結果の例 (表)

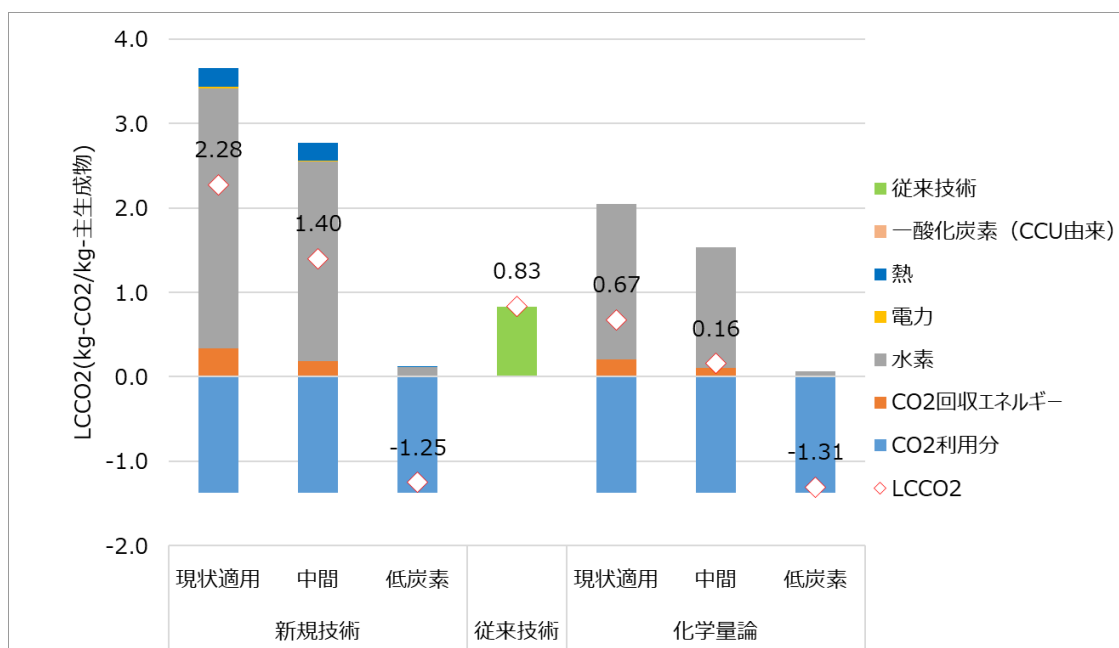


図 14 試算結果の例 (グラフ)

計算に用いたバックグラウンドデータ (CO₂ 排出原単位) は、各「LCCO₂ 排出量試算」シ
ートの右端にあるバックグラウンドデータ一覧で参照することが可能です (図 15)。

■バックグラウンドデータ一覧

項目	単位	CO2排出原単位 (kg-CO2/単位量)			出典
		現状適用	中間	低炭素	
CO2利用分	kg	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	ガイドライン既定値
CO2回収エネルギー	kg	1.48E-01	8.01E-02	7.04E-03	ガイドライン既定値
水素	kg	9.82E+00	7.56E+00	3.18E-01	ガイドライン既定値
電力	kWh	5.06E-01	1.58E-01	6.65E-03	ガイドライン既定値
熱	MJ	5.10E-02	5.10E-02	2.24E-03	ガイドライン既定値
一酸化炭素 (CCU由来) ※1	kg	1.82E+00	1.05E+00	5.14E-02	ガイドライン既定値
従来技術 (メタノール)	kg	8.34E-01	-	-	3EID

図 15 バックグラウンドデータ一覧

バックグラウンドデータ一覧の基になっているデータは、「バックグラウンドデータ」シートに収められています。「バックグラウンドデータ」シートのうち、J, K 列には IDEA のバージョン 3 シリーズの製品コードと製品名を掲載しており、これらを用いて IDEA のデータを計算に適用することが可能です。バージョン 3 シリーズのデータは L 列に入力するようにしてください。また、I 列には 3EID の CO₂ 排出原単位と産業連関表の単価を用いて算出したバックグラウンドデータを掲載しています。これらのデータは、G, H 列に記載している産業連関表の列部門コードと部門の名称に対応しています。バックグラウンドデータとして参照するデータベースは、E39 セルのプルダウンメニューで選択が可能です(図 16)。

使用するCO2排出原単位 (kg-CO2/単位量)	
2015年 産業連関表 + 3EID	出典
2015年 産業連関表 + 3EID	3EID
IDEA ver3	3EID
ユーザー設定値	3EID
2.25E+00	3EID

図 16 計算に用いるバックグラウンドデータの選択

なお、「バックグラウンドデータ」シート 6~29 行には、現状適用、中間、低炭素、の 3 種のケースごとに、新規技術の主要な投入物である原料 CO₂、水素、電力、熱のバックグラウンドデータを掲載しています。

【コラム】

カーボンニュートラル、ネガティブエミッションの考え方

Zimmermann, et al. (2020)^[38]によると、CCU技術がライフサイクルを通じて理論上カーボンニュートラルと呼べるケースをCO₂が吸収される場合や隔離される場合に分けて定義しています。前者はバイオ由来またはDACにより大気から吸収されたのと同量のCO₂が最終的に排出されるケース（図17）、後者は化石由来のCO₂全量が永久に隔離・貯留されるケースであり（図18）、いずれの場合もライフサイクル全体にわたりその他全てのGHG排出量がゼロである場合と整理しています。

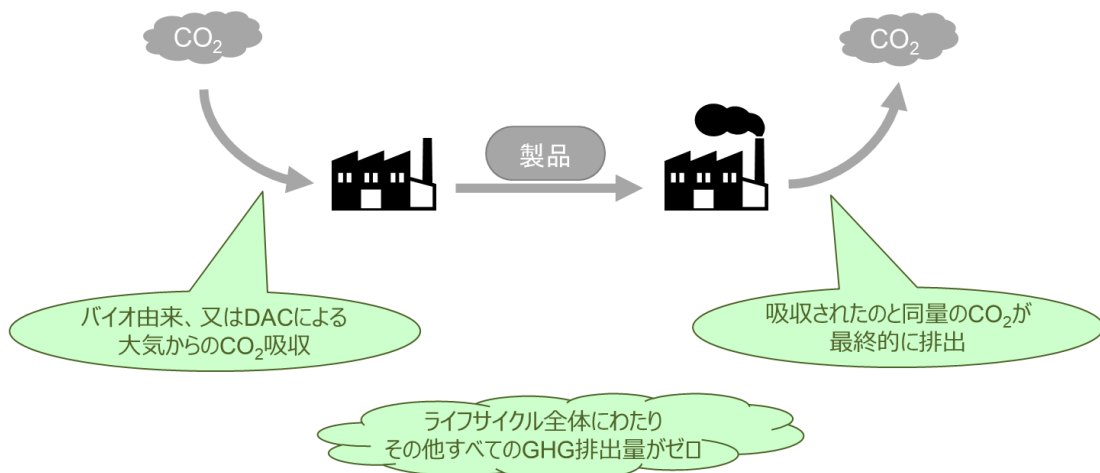


図17 カーボンニュートラル - CO₂ 吸収 -

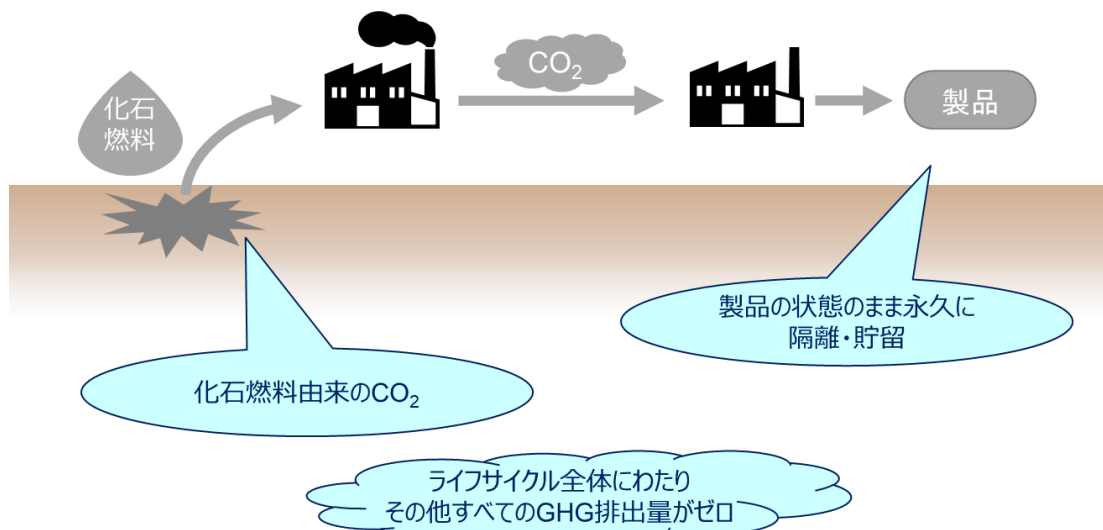


図18 カーボンニュートラル - CO₂ 隔離 -

同様に、Zimmermann, et al. (2020) は、CCU 技術が潜在的にはネガティブエミッションといえるケースについて、バイオ由来または DAC により大気から吸収された CO₂ が製品の状態のまま永久に隔離・貯留され、かつライフサイクル全体にわたりその他すべての GHG 排出量が隔離・貯留された CO₂ よりも少ないケースと整理しています (図 19)。

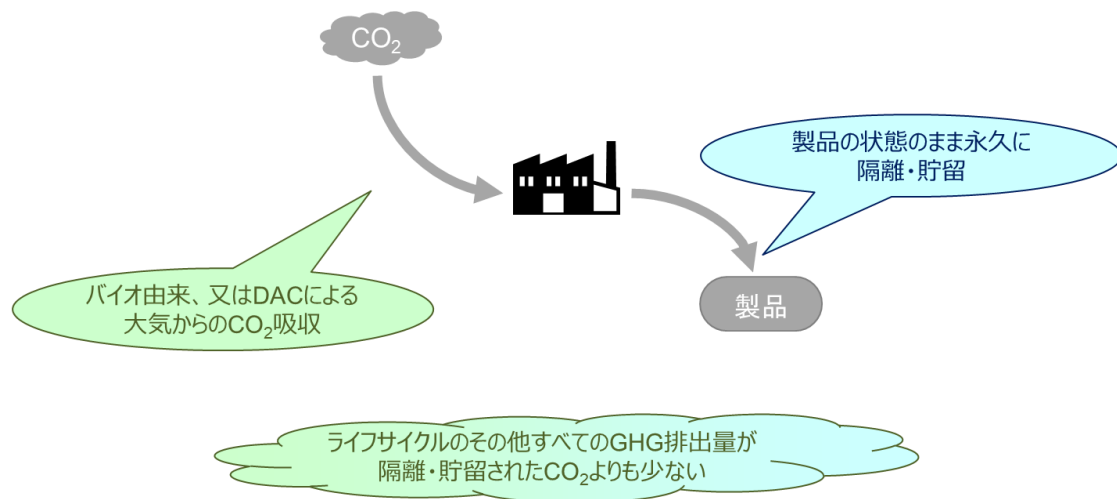


図 19 ネガティブエミッション

6. 参照文献

- [1] International Energy Agency. “World Energy Outlook 2021”, 2021.
- [2] 電力中央研究所報告書. “日本における CCS 付き微粉炭火力発電のライフサイクルアセスメント—CCS 導入による環境・健康リスク—”, V12012, 2013.
- [3] 電力中央研究所報告書. “日本における CCS 付き石炭火力発電のライフサイクルアセスメント（その2）—太陽光発電、地熱発電との環境影響比較—”, V13021, 2013.
- [4] 経済産業省. “カーボンリサイクルロードマップ”, 2023.
- [5] Millet P, Grigoriev, S. “Water electrolysis technologies - Hydrogen Electrochemical Production”, Hydrogen Energy and Fuel Cells Primers, 2018, 17-62.
- [6] International Organization for Standardization. “ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework”, 2006
- [7] International Organization for Standardization. “ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines”, 2006
- [8] Thonemann. N. et al. “Environmental impacts of CO₂-based chemical production: A systematic literature review and meta-analysis”, Applied Energy, 2020, 263, 114599.
- [9] Keith D. et al. “A Process for Capturing CO₂ from the Atmosphere”, Joule, 2018, 2, 8, 1573.
- [10] 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター. “低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書 二酸化炭素の Direct Air Capture (DAC) 法のコストと評価”, 2020.
- [11] Fasihi M. et al. “Techno-economic assessment of CO₂ direct air capture plant”, Journal of Cleaner Production, 2019, 224, 957-980.
- [12] Kiani A. et al. “Techno-Economic Assessment for CO₂ Capture From Air Using a Conventional Liquid-Based Absorption Process”, Frontiers in Climate, 2020, 8, 92.
- [13] 産業競争力懇談会. “産業協力懇談会 2021 年度 DAC 研究会最終報告”, 2022. (<http://www.cocn.jp/report/2021/>; 2022/8/29 閲覧)
- [14] 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター. “低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書 二酸化炭素の Direct Air Capture (DAC) 法のコストと評価 (Vol. 2) —吸着分離プロセス—”, 2021.
- [15] 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター. “低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書 二酸化炭素の Direct Air Capture (DAC) 法のコストと評価 (Vol. 4) — Moisture Swing Adsorption 法—”, 2022.
- [16] Roussanaly S. et al. “A new approach to the identification of high-potential materials for cost-efficient membrane-based post-combustion CO₂ capture”, Sustainable Energy Fuels, 2018, 2, 1225-1243.
- [17] 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター. “低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書 CCS (二酸化炭素回収貯留) の概要と展望—CO₂ 分離回収技術の評価と課題—”, 2016.

- [18] Zhai H. and Tubin E. “Techno-Economic Assessment of Polymer Membrane Systems for Postcombustion Carbon Capture at Coal-Fired Power Plants”, *Environ. Sci. Technol.*, 2013, 47, 3006-3014.
- [19] 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター. “低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書 CCS（二酸化炭素回収貯留）の概要と展望（Vol. 2）－膜による分離回収コスト及び貯留コストの評価と課題－”, 2017.
- [20] Chen Z.J. et al. “Life cycle assessment of typical methanol production routes: The environmental impacts analysis and power optimization”, *Cleaner Production*, 2019, 220, 408-416.
- [21] Zhang, H. and Desideri, U. “Techno-economic optimization of power-to-methanol with co-electrolysis of CO₂ and H₂O in solid-oxide electrolyzers”, *Energy* 2020, 199, 117498.
- [22] Adnan, M.A. and Kibria, M.G. “Comparative techno-economic and life-cycle assessment of power-to-methanol synthesis pathways”, *Appl. Energy* 2020, 278, 115614.
- [23] Rosental M. et al. “Life Cycle Assessment of Carbon Capture and Utilization for the Production of Large Volume Organic Chemicals”, *Frontiers in Climate*, 2020, 2, 1.
- [24] Xiang D. et al. “Comparative study of coal, natural gas, and coke-oven gas based methanol to olefins processes in China”, *Computers Chem. Engineer.*, 2015, 83, 176-185.
- [25] Dimian, A.C. and Bildea, S. “Energy efficient methanol-to-olefins process”, *Chemical engineering Research and Design*, 2018, 131, 41-54.
- [26] Zhang D. et al. “Aromatics production from methanol and pentane: Conceptual process design, comparative energy and techno-economic analysis”, *Computers Chem. Engineer.*, 2019, 126, 178-188.
- [27] Rosental M. et al. “Life Cycle Assessment of Carbon Capture and Utilization for the Production of Large Volume Organic Chemicals”, *Frontiers in Climate*, 2020, 2, 586199.
- [28] Takunju. “Life cycle assessment of the production of a solar MTG fuel based on electrochemical hydrogen production with energy supply by a PV/CSP hybrid solar power plant”, *Carbon Sources and Conversion*, Ruhr-Universität Bochum, 2021.
- [29] セメント協会. “セメントの LCI データの概要”, 2022
(<https://www.jcassoc.or.jp/seisankankyo/seisan02/seisan02c.html>; 2023/1/9 閲覧)
- [30] 取違ら. “炭酸化したセメント系材料における CO₂ 固定量の評価手法および物性変化に関する研究”, *土木学会論文集*, 2021, 77, 37-54.
- [31] 河合. “コンクリートの環境負荷評価 ①コンクリートに関わる環境負荷”, *コンクリート工学*, 2012, 50, 554. (<https://doi.org/10.3151/coj.50.554;2023/2/23> 閲覧)
- [32] 海洋プラスチック問題対応協議会. “プラスチック製容器包装再商品化手法およびエネルギーリカバリーの環境負荷評価（LCA）”, 2019.
(<https://www.nikkakyo.org/news/page/7599>; 2022/9/8 閲覧)

- [33] 環境省. “温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度 算定方法及び排出係数一覧”.
(<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>; 2023/1/4 閲覧)
- [34] Heyde M. and Kremer M. “Recycling and Recovery of Plastics from Packagings in Domestic Waste: LCA-type Analysis of Different Strategies”, ecomed Publ., 1999.
- [35] 国立環境研究所. “産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) (2015年版)”.
- [36] 総務省. “平成 27 年 (2015 年) 産業連関表 部門別品目別国内生産額表”.
- [37] 産業技術総合研究所. “IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis) ”, バージョン 3.1.0, 2021.
- [38] Zimmermann, A. et. al. “Techno-Economic Assessment & Life Cycle Assessment Guidelines for CO₂ Utilization (Version 1.1)”, 2020.