

ライフサイクルアセスメント(LCA)による  
Carbon Removal and Recycling (CR2) Technologies  
の温室効果ガス排出量算定ガイドライン

第 2.5 版 2024 年

LCA 日本フォーラム

## 目次

1.	はじめに	1
1.1	ガイドライン策定の背景	1
1.2	ガイドライン策定の目的および適用範囲	1
1.3	既存の規格並びにガイドライン等との関係	1
1.4	ガイドラインの活用	2
2.	Carbon Removal and Recycling Technologies (CR2 技術)の定義	2
3.	CR2 技術による GHG 排出量の算定方法	3
3.1	算定を実施する目的の設定	3
3.2	機能単位の設定	3
3.3	評価範囲の設定	3
3.4	算定の対象とする GHG と温室効果係数	4
3.5	算定方法	4
3.5.1	化石原燃料を使用する技術による GHG 発生量(式(1)の右辺第 1 項)の算定方法	4
3.5.2	CR2 技術の導入要素による GHG 排出量(式(1)の右辺第 2 項)の算定方法	4
3.5.3	CR2 技術の導入要素による GHG 貯留・隔離量(式(1)の右辺第 3 項)の算定方法	5
3.6	CR2 技術によるコストの算定	6
3.7	データ収集方法およびデータ品質	6
3.8	感度分析および不確実性分析	6
4.	CR2 技術による GHG 削減貢献量の算定方法	6
4.1	GHG 削減貢献量の定義および算定の目的	6
4.2	GHG 削減貢献量の算定方法	6
4.3	リファレンスの設定	7
5.	報告	8
6.	クリティカルレビューと検証	8
7.	用語解説	9
Appendix	CR2 技術による GHG 排出量および GHG 削減貢献量の算出例	11
Appendix 1.	発電+CCS システムの GHG 排出量および GHG 削減貢献量	11

Appendix 2. 化石原燃料使用技術+CCU システムの GHG 排出量および GHG 削減貢献量	11
Appendix 3. DAC+CCU システムの GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量) .....	12
Appendix 4. DAC+CCS システムの GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量) .....	12
Appendix 5. 混焼 BECCS (化石:バイオマス = 1:2) 発電システムの GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量) と GHG 削減貢献量 .....	13
Appendix 6. バイオ炭の GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量) と GHG 削減貢献量 .....	14

## 1. はじめに

### 1.1 ガイドライン策定の背景

2015 年に採択されたパリ協定において、産業革命前からの気温上昇を 2℃より十分低く抑えることが長期目標として掲げられた。しかしながら、現状の大気中の温室効果ガス (Greenhouse Gases、以下 GHG) の濃度推移のままでは、上記長期目標の達成は厳しいことが、IPCC の報告書等で示されている。そこで近年、CO<sub>2</sub> を大気から回収・貯蔵する技術 (ネガティブエミッション技術; Negative Emission Technologies、または二酸化炭素除去 (CDR)、以下 NETs と総称)、または排出ガスから回収した CO<sub>2</sub> を有効利用 (カーボンリサイクル)・貯留する技術 (Carbon Capture, Utilization and Storage、以下 CCUS) の開発が進められている。

しかしながら、これらの技術は炭素回収・隔離等の各プロセスにおいて、エネルギーや資源を消費し、CO<sub>2</sub> およびその他 GHG が排出されること、そして隔離期間や副産物の影響、自然界への副次的な影響において不確実性が高いこと、などその総合的な有効性は不明確な点も多い。そのため、ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment、以下 LCA) によってその効果を定量的に評価することが求められている。

LCA 日本フォーラムでは、NETs 研究プロジェクトを設置し、過去の NETs および CCUS に関する LCA 研究の事例を収集し、LCA 評価に向けた考え方を整理するとともに、その前提条件等に関する注意事項について検討することとした。検討にあたり、NETs だけでなく、NETs と要素技術を共有する CCUS などの評価も将来の産業技術マップを構築するにあたり有用と考えられることから、これら技術を総称して Carbon Removal and Recycling Technologies (以下 CR2 技術) と呼ぶことにし、CR2 技術全体を対象とした。

本ガイドラインは、その研究会がまとめた CR2 技術の温室効果ガス排出量算定に関するガイドラインである。

### 1.2 ガイドライン策定の目的および適用範囲

本ガイドラインは、CR2 技術の導入による GHG 排出量および除去量を CR2 技術のライフサイクル全体で算定する方法を示すものである。

ただし、GHG 排出量以外の顕著な排出物質および大量の資源消費量が見込まれる場合には、それらについて注記しなければならない。

### 1.3 既存の規格並びにガイドライン等との関係

本ガイドラインは、以下の国際規格を参照して作成した。

- ・ ISO 14040: 2006 Environmental management — Life Cycle Assessment — Principles and framework
- ・ ISO 14044:2006 Environmental management — Life Cycle Assessment — Requirements and guidelines

36 また、以下のガイドライン等と整合するように算定方法を整理している。

- 37 ・ 日本 LCA 学会:GHG 削減貢献量のガイドライン,  
38 <https://www.ilcaj.org/lcahp/doc/guideline20150224.pdf>
- 39 ・ 経済産業省:GHG 削減貢献定量化ガイドライン,  
40 <https://www.meti.go.jp/press/2017/03/20180330002/20180330002-1.pdf>
- 41 ・ IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- 42 ・ IPCC: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- 43 ・ Müller, L. J. et al. 2020: A guideline for life cycle assessment of carbon capture and utilization.  
44 *Frontiers in Energy Research* 8: 15.
- 45 ・ 本ガイドラインに記載のない事項については、上記規格・ガイドラインを参照のこと。

46

#### 47 1.4 ガイドラインの活用

48 本ガイドラインは、CR2 技術に関する研究者および開発実務者が、CR2 技術の GHG 排出量ま  
49 たは GHG 除去量を算定し、その結果を組織の内部で活用すること、並びに、学術的な発表および  
50 CSR 報告書等への記載による外部へのコミュニケーションに活用することを想定している。

51 また、国や自治体、業界団体などにより、CR2 技術導入による GHG 排出削減効果に関する制度  
52 等の構築の指針として活用されることを想定している。

## 53 2. Carbon Removal and Recycling Technologies (CR2 技術)の定義

54 ここでは、CR2 技術を「NETs」および「化石原燃料を使用して GHG を排出する技術と CCUS 技  
55 術とを組み合わせたシステム」を併せたものと定義する。化石原燃料を使用して GHG を排出し  
56 る技術とは、化石エネルギー利用および産業プロセスからの GHG 発生を伴う技術を指す。NETs  
57 については、Minx et al. (2018)による広義な定義 “intentional human efforts to remove CO<sub>2</sub>  
58 emissions from the atmosphere”を参考に、NETs を「大気から GHG を回収し、貯留・隔離する技術」  
59 と定義する。

60 このガイドラインでは、CR2 技術による大気への GHG 排出量 (あるいは大気からの GHG 除去  
61 量) を以下のように算定する。この値が負となる場合は、正味で GHG を大気から除去することを意  
62 味する。

63

$$\begin{aligned}
 & \text{(CR2 技術による GHG 排出量)} \\
 & = \text{(化石原燃料を使用する技術による GHG 発生量)} \\
 & + \text{(CR2 技術の導入要素による GHG 排出量)} \\
 & - \text{(CR2 技術の導入要素による GHG 貯留・隔離量)} \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}
 \end{aligned}$$

68

69 ここで、CR2 技術により回収される GHG 源として化石原燃料を使用する技術を伴わない場合  
70 (NETs のうち、回収 GHG に化石原燃料技術由来 GHG を含まない場合)は、右辺第 1 項がなく、

71 第2項および第3項のみとなる。

72 式(1)の右辺第1項、第2項、第3項の算定方法を、それぞれ3.5.1節、3.5.2節、3.5.3節に示す。

73

74

75 Note 1: CR2 技術による GHG 排出量算定方法の例としては Appendix を参照。

76 Note 2: 第3項の GHG には、現在の CO<sub>2</sub>-EOR に多く用いられるような、天然の CO<sub>2</sub> ドームに存在する自然起源 GHG を貯留・隔離した場合は含まない。

77

### 78 3. CR2 技術による GHG 排出量の算定方法

#### 79 3.1 算定を実施する目的の設定

##### 80 【要求事項】

- 81 ・ 算定を実施する際には、算定の対象となる技術または製品を明確にしなければならない。

##### 82 【推奨事項】

- 83 ・ 算定する理由、報告相手、報告手段を明確にすることが望ましい。

84

#### 85 3.2 機能単位の設定

##### 86 【要求事項】

- 87 ・ 機能単位を設定しなければならない。機能単位とは GHG 排出量を算定する技術およびシステムの機能を特定し、その機能がある単位で定量化したものである。
- 88
- 89 ・ GHG 排出量を算定する期間、および地域も特定されなければならない。期間の設定に当たっては、各 CR2 技術による GHG の貯留・隔離に関する科学的な根拠を示さなければならない。

90

91

92 Note: 機能単位の例

93 バイオ炭: バイオ炭質量 1kg

94 BECCS (Bioenergy with CCS): 発電電力量 1 kWh (送電端)

95 植林: 植林面積 1 ha

96

#### 97 3.3 評価範囲の設定

##### 98 【要求事項】

- 99 ・ 評価範囲(システム境界)内のプロセスを特定しなければならない。
- 100 ・ 各プロセスにおいて使用されるすべてのエネルギー、原材料、および廃棄物は原則としてシステム境界への導入(インプット)、および排出(アウトプット)に含めなければならない。また、プロセスを構成する資本財についても原則としてシステム境界内に含めなければならない。
- 101
- 102
- 103 ・ システム境界内のプロセスの一部を除外する場合は、それらのプロセスを明記するとともにその理由を明確に述べなければならない。
- 104

105

## 106 3.4 算定の対象とする GHG と温室効果係数

107 **【要求事項】**

- 108 ・ 気候変動枠組条約で合意された 7 つの GHG (二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、メタン(CH<sub>4</sub>)、一酸化二窒
- 109 素(N<sub>2</sub>O)、ハイドロフルオロカーボン(HFCs)、パーフルオロカーボン(PFCs)、六フッ化硫黄
- 110 (SF<sub>6</sub>)、三フッ化窒素(NF<sub>3</sub>))を算定の対象とする。
- 111 ・ GHG の地球温暖化係数は、気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on
- 112 Climate Change)の評価報告書等の最新版の係数を用いなければならない。なかでも、GWP
- 113 (Global Warming Potential) 100年係数の使用を推奨する。

114 **【許容事項】**

115 その理由を明確に示せば、特定の GHG だけを評価してもよい。

116

## 117 3.5 算定方法

## 118 3.5.1 化石原燃料を使用する技術による GHG 発生量(式(1)の右辺第 1 項)の算定方法

119 **【要求事項】**

- 120 ・ この算定においては、CR2 技術で回収される GHG 源として利用される、化石原燃料を使用す
- 121 る技術に投入されるエネルギー、原材料、および廃棄物処理等に関わる GHG 発生量を算定
- 122 しなければならない。同時に、当該技術の資本財の生産に関わる GHG 発生量を算定しなけ
- 123 ればならない。

124 **【許容事項】**

- 125 ・ 原則として資本財の生産に伴う GHG 発生量を算定対象とするが、事業の実施に起因しない
- 126 資本財、およびその GHG 発生量が化石原燃料を使用する技術の運転に関わる GHG 発生
- 127 量よりも非常に小さいものと考えられる資本財については算定の対象外とすることができる。た
- 128 だし、その理由を合理的に説明する必要がある。

129

## 130 3.5.2 CR2 技術の導入要素による GHG 排出量(式(1)の右辺第 2 項)の算定方法

131 **【要求事項】**

- 132 ・ この算定においては、CR2 技術に導入されるエネルギー、原材料、および廃棄物処理等に関
- 133 わる GHG 排出量を算定しなければならない。同時に、当該技術の資本財の生産に関わる
- 134 GHG 排出量を算定しなければならない。

135 **【許容事項】**

- 136 ・ 原則として資本財の生産に伴う GHG 排出量を算定対象とするが、事業の実施に起因しない
- 137 資本財、およびその GHG 排出量が CR2 技術の運転に関わる GHG 排出量よりも非常に小さ
- 138 いものと考えられる資本財については算定の対象外とすることができる。ただし、その理由を
- 139 合理的に説明する必要がある。

140

## 3.5.3 CR2 技術の導入要素による GHG 貯留・隔離量(式(1)の右辺第 3 項)の算定方法

CR2 技術による GHG 貯留・隔離には、CCS による GHG の地下貯留、CCU による製品としての GHG の隔離、および、自然プロセスに依存する GHG の隔離がある。

Note 1: 製品としての隔離は、人工的な工程を経て、GHG を固定したものをいう。例えば合成燃料、コンクリート構造物、バイオ炭などがある。CCU における一時的な隔離も含む。

Note 2: 自然プロセスに依存する隔離には、植林、農地土壌、ブルーカーボン、鉱物の風化促進などがある。

Note 3: 製品としてバイオ炭で隔離する場合のように、利用場所の条件など、自然プロセスの考慮が必要な場合もある。

**【要求事項】**

- ・ CCS による GHG の地下貯留の場合は、貯留・隔離される GHG 量を算定しなければならない。この場合、回収された GHG 量から輸送および貯留プロセスにおける大気中への GHG 漏洩量を差し引いた量を貯留・隔離量として計上しなければならない。
- ・ CCU による製品としての GHG の隔離の場合は、
  - (1) 回収 GHG 由来で製品に含まれることとなった GHG 量
  - (2) 回収 GHG 量から製品に利用されない GHG 量を差し引いた GHG 量のいずれかの方法で GHG 隔離量として計上しなければならない。また、製品による平均的な GHG 隔離期間を明記しなければならない。
- ・ 自然プロセスによる算定を実施する際には、算定の対象とする炭素貯蔵場所(炭素プール)を定義し、プール内炭素量の時間あたりの増減量(吸排出係数)および活動量(対象エリアの面積など)を明確にしなければならない。

**【推奨事項】**

- ・ CCS および自然プロセスに依存して GHG を貯留・隔離する場合、貯留・隔離中の GHG 漏洩量は、モニタリングにより算定することが望ましい。
- ・ 自然プロセスに依存する GHG 隔離の算定の際には、主要な炭素プールを可能な限り網羅して算定することが望ましい。

**【許容事項】**

- ・ 貯留・隔離中の GHG 漏洩量のモニタリングが困難な場合は、推定値を用いることができる。たとえば、バイオ炭による炭素隔離中の分解による漏洩量は、100 年後の炭素残存率を用いて漏洩量が算定できる。
- ・ 自然プロセスに依存する GHG 隔離の算定の際に、吸排出係数の測定が困難な場合は、IPCC ガイドラインに定められているデフォルト値を用いることができる。

## 177 3.6 CR2 技術によるコストの算定

## 178 【推奨事項】

- 179 ・ CR2 技術に伴うコストが算定されることが望ましい。
- 180 ・ GHG 削減貢献量を算定する場合(4章)、GHG 削減貢献量あたりのコストが付記されることが
- 181 推奨される。

182

## 183 3.7 データ収集方法およびデータ品質

## 184 【要求事項】

- 185 ・ データ入手方法およびデータ品質は、ISO 14040:2006 規格 / JIS Q 14040:2010 および ISO
- 186 14044:2006 規格 / JIS Q 14044:2010 に準拠しなければならない。

187

## 188 3.8 感度分析および不確実性分析

## 189 【推奨事項】

- 190 ・ GHG 排出量の算定にあつては、感度分析および不確実性分析を実施し、前提条件の結果へ
- 191 の寄与について確認することが望ましい。

## 192 4. CR2 技術による GHG 削減貢献量の算定方法

## 193 4.1 GHG 削減貢献量の定義および算定の目的

194 本ガイドラインでは、CR2 技術による GHG 削減貢献量を「CR2 技術を導入したシステム全体で  
195 評価した、正味の GHG 排出削減量」と定義する。すなわち、GHG 削減貢献量は「回避された GHG  
196 排出量 (avoided emissions)」を意味する。

197

## 198 【要求事項】

- 199 ・ CR2 技術による GHG 削減貢献量を算定する際には、算定の対象となる CR2 技術、および
- 200 CCU の場合は GHG 隔離に用いる製品を明確にしなければならない。

201

## 202 【推奨事項】

- 203 ・ CR2 技術による GHG 削減貢献量を算定する目的や理由、報告相手、報告手段を明確にす
- 204 ることが望ましい。
- 205 ・ CR2 技術による GHG 削減貢献量を算定する時点、期間、および地域も特定されることが望ま
- 206 しい。

207

## 208 4.2 GHG 削減貢献量の算定方法

209 CR2 技術による GHG 削減貢献量は次の算定式にて計算できる。

210

211 CR2 技術による GHG 削減貢献量 = リファレンスの GHG 排出量 - CR2 技術による GHG 排出

212 量 …式(2)

213

214 Note: CR2 技術による GHG 削減貢献量算定の例としては Appendix を参照。

215

#### 216 4.3 リファレンスの設定

##### 217 【要求事項】

- 218 ・ リファレンスは、CR2 技術を導入したシステムと同一の機能単位を持つシステムとしなくては
- 219 ならない。
- 220 ・ リファレンスは、CR2 技術を導入したシステムがない場合に、その地域・その時点に想定さ
- 221 れるシステムとしなくてはならない。

222

223 Note 1: DACCS (Direct Air Capture and Carbon Storage) システムの場合は、DACCS 投資前の

224 排出ゼロの状態をリファレンスとすることができる。

225

- 226 ・ 機能単位およびその数量は、(2)式右辺第 1 項(リファレンスの GHG 排出量)と(2)式右辺第 2
- 227 項(CR2 技術による GHG 排出量)の間で同一としなくてはならない。
- 228 ・ 評価範囲は、(2)式右辺第 1 項(リファレンスの GHG 排出量)と(2)式右辺第 2 項(CR2 技術に
- 229 による GHG 排出量)の間で同一としなくてはならない。

230

231

##### 232 【推奨事項】

- 233 ・ 対象とするシステムに機能単位が複数ある場合は、それぞれの機能単位を明確に設定するこ
- 234 とが望ましい。

235

236 Note: 複数の機能単位がある例(CCU)

237 セメント生産設備にて CO<sub>2</sub> 回収を行い、回収 CO<sub>2</sub> を用いてメタノール生産を行うケース

238 (Appendix 2) の場合、機能単位は、セメント 1 t と、メタノール 1 t の二つがある。

239

##### 240 【許容事項】

- 241 ・ 機能単位が複数存在する場合であっても、データの観測、入手、推定が著しく困難である場
- 242 合は、機能単位を 1 つとみなしてもよい。
- 243 ・ 機能単位が複数存在する場合であっても、機能単位に由来する GHG 排出量・削減貢献量が
- 244 十分小さい場合は、当該する機能単位を考慮しなくてもよい。
- 245 ・ 評価範囲は一般に広く設定することが望ましいものの、「リファレンスの GHG 排出量」と「CR2
- 246 技術による GHG 排出量」の両方でプロセスが同一となるシステム、あるいは同一と見なしてよ
- 247 い部分システムがある場合は、同一と見なせることを明確に説明した上で評価範囲外としても

248 よい。

249

250 Note 1: 既存の方式で生産したメタノールと CCU により生産したメタノールについて、メタノール出  
251 荷以降のプロセスを同一とみなし、メタノール生産プロセスまでを評価範囲とし、メタノール出  
252 荷以降のプロセスを評価範囲外としてもよい。

253

254 Note 2: CR2 技術の内、主産物、副産物が間接的あるいは波及して大きな GHG 排出削減に寄  
255 与する場合もある(例: バイオ炭の土壌鋤き込みによる化学肥料利用の削減、化学肥料製造  
256 由来の GHG 排出削減)。このような場合、その GHG 排出削減効果を具体的かつ詳細に述べ  
257 た上で(かつ正負両方の効果を正味で計上した上で)CR2 技術による GHG 削減貢献量とし  
258 て計上してもよい。

259

## 260 5. 報告

### 261 【推奨事項】

262 ・ GHG 排出量の算定結果を関係者等へコミュニケーションする際、目的によってその方法が異  
263 なることが想定される。第三者向けの報告書には、以下の要件を含むことが望ましい。

264 a. 算定の目的

265 b. 評価対象技術の設定

266 c. 機能単位の設定(隔離期間および地理的範囲等を含む)

267 d. [影響領域の設定]

268 e. 評価範囲の設定

269 f. 算定の対象とした GHG と温室効果係数

270 g. GHG の貯留・隔離量の算定方法および算定結果

271 h. データの収集方法

272 i. データ品質

273 j. 解釈

274 k. クリティカルレビュー

## 275 6. クリティカルレビューと検証

### 276 【推奨事項】

277 ・ 作成した報告書はクリティカルレビューあるいは、検証を実施することが望ましい。ただし、必  
278 ずしも第三者によるものに限らない。

279

## 280 7. 用語解説

281 CCS(carbon dioxide capture and storage)：産業およびエネルギー関連の供給源からの CO<sub>2</sub> の分  
282 離、輸送、地層への注入で構成され、結果的に大気からの長期的な隔離となるプロセス。  
283 (ISO/TR27915:2017 を和訳)

284 (以下「1.」～「5.」は、ISO 27917 による CCS についての補足説明を和訳)

285 ※ 1. CCS として「carbon capture and storage」がしばしば用いられるが、炭素の回収ではなく、  
286 二酸化炭素の回収を目的とするので、「carbon capture and storage」は不正確であるため  
287 推奨されない。植林は炭素回収の別の形態であるが、産業排出源から CO<sub>2</sub> を除去する物  
288 理的プロセスを正確に示すものではない。

289 ※ 2. 「sequestration (隔離)」という用語も、「storage (貯留)」の代わりに使用されるが、  
290 「sequestration」はより一般的であり、生物学的プロセス(生物による炭素の吸収)を指すこ  
291 ともあるため、CCS では「storage」という用語が好ましい。

292 ※ 3. 長期とは、CO<sub>2</sub> 地質貯留が効果的で環境的に安全な気候変動緩和措置として必要な  
293 最小期間を意味する。

294 ※ 4. 二酸化炭素の回収、利用(または使用)、および貯留(CCUS)という用語には、大気か  
295 らの隔離が有益な結果に関連付けられる可能性があるという概念も含まれている。  
296 CCUS は、地質内での貯留による CO<sub>2</sub> の長期的な隔離が行われるという CCS の定義の  
297 範囲内で具体化された表現。CCU は、地質内の貯留はなく、二酸化炭素を回収し利用  
298 (または使用)すること。

299 ※ 5. CCS はまた、海洋、湖、飲料水、その他の天然資源からの CO<sub>2</sub> の長期的な隔離を保  
300 証する必要がある。

301

302 二酸化炭素除去(CDR)：人為的に大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を回収し、地中、陸上、海洋の  
303 貯留層、または製品に長期的に貯留する活動。生物学的または地質学的な二酸化炭素吸収源の  
304 強化や、直接的な大気中の二酸化炭素回収・貯留(DACCS)も含まれるが、人間の活動に直接起  
305 因しない自然な二酸化炭素の吸収は除外される(Smith et al. 2024 を和訳)。

306

307 GHG(温室効果ガス)：地球の表面、大気、および雲によって放出された赤外線放射のスペクトル  
308 内の特定の波長で放射を吸収および放出する、自然または人為的な大気的气体成分  
309 (ISO/TR27915:2017 を和訳)

310

311 GHG 除去：指定された期間に大気から除去された GHG の総質量(ISO/TR27915:2017 を和訳)

312

313 GHG/CO<sub>2</sub> 排出削減：ベースラインシナリオと評価対象技術のアウトプットの間 GHG 排出量の  
314 計算された正味の削減量(ISO/TR27915:2017 を和訳)

315

316 CCU (carbon dioxide capture and utilization): 排気ガスまたは大気からの二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を回  
317 収し製品に変換すること

318

319 参考文献

320 ISO 14040:2006 Environmental management — Life Cycle Assessment — Principles and  
321 framework

322 ISO 14044:2006 Environmental management — Life Cycle Assessment — Requirements and  
323 guidelines

324 ISO 27917:2017 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage — Vocabulary —  
325 Cross-cutting terms

326 ISO/TR27915:2017 Carbon dioxide capture, transportation and geological storage –  
327 Quantification and verification

328 Minx, J. C., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Fuss, S., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, R., Beringer,  
329 T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T., Lenzi, D., Luderer, G., Nemet, G. F.,  
330 Rogelj, J., Smith, P., José Luis Vicente-Vicente, Wilcox, J., and Maria del Mar Zamora  
331 Dominguez. 2018. Negative emissions – Part 1: Research landscape and synthesis.  
332 Environmental Research Letters 13 (063001).

333 Müller, L. J., Kästelhön, A., Bachmann, M., Zimmermann, A., Sternberg, A., Bardow, A. 2020. A  
334 guideline for life cycle assessment of carbon capture and utilization. Frontiers in Energy  
335 Research 8: 15.

336 温室効果ガスインベントリオフィス(編), 2020, 環境省地球環境局総務課脱炭素社会移行推  
337 進室(監修)「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2020 年」, 国立環境研究所地球環  
338 境研究センター

339 経済産業省, 2017, GHG 削減貢献定量化ガイドライン,

340 <https://www.meti.go.jp/press/2017/03/20180330002/20180330002-1.pdf>

341 日本 LCA 学会, 2015, GHG 削減貢献量のガイドライン,

342 <https://www.ilcaj.org/lcahp/doc/guideline20150224.pdf>

343 IPCC, 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by  
344 the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa  
345 K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

346 IPCC, 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas  
347 Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J.,  
348 Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and  
349 Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

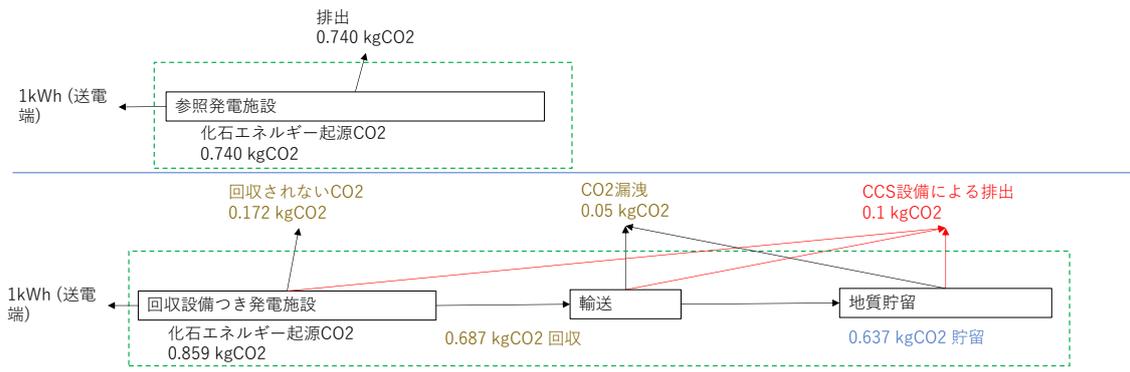
350 Smith, S. M., Geden, O., Gidden, M. J., Lamb, W. F., Nemet, G. F., Minx, J. C., Buck, H., Burke,  
351 J., Cox, E., Edwards, M. R., Fuss, S., Johnstone, I., Müller-Hansen, F., Pongratz, J., Probst, B.

352 S., Roe, S., Schenuit, F., Schulte, I., Vaughan, N. E. (eds.) The State of Carbon Dioxide  
 353 Removal 2024 - 2nd Edition. DOI 10.17605/OSF.IO/F85QJ (2024)  
 354

355 **Appendix CR2 技術による GHG 排出量および GHG 削減貢献量の算出例**

356

357 **Appendix 1. 発電+CCS システムの GHG 排出量および GHG 削減貢献量**



排出量 (発電CCSシステムによる排出量)  
 = (化石原燃料を使用する技術によるGHG発生量) + (CR2技術の導入要素によるGHG排出量) - (CR2技術の導入要素によるGHGの貯留・隔離量)  
 = (化石エネルギー起源CO2発生量 + CCS設備による排出量 - CO2貯留量)  
 = 0.859 + 0.1 - 0.637  
 = 0.322 kgCO2/kWh = バウンダリー間の移動 (0.172 + 0.05 + 0.1)

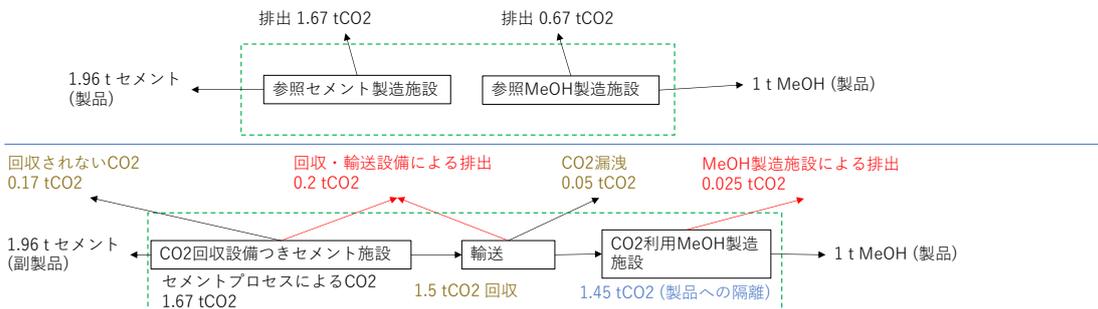
削減貢献量 (CO2 emissions avoided)  
 = (参照発電施設の排出量) - (発電CCSシステムの排出量)  
 = 0.740 - (0.322) = 0.418 kgCO2/kWh

358

359 **図 A-1 火力発電と CCS 利用火力発電の GHG 排出量および GHG 削減貢献量の例**

360

361 **Appendix 2. 化石原燃料使用技術+CCU システムの GHG 排出量および GHG 削減貢**  
 362 **献量**



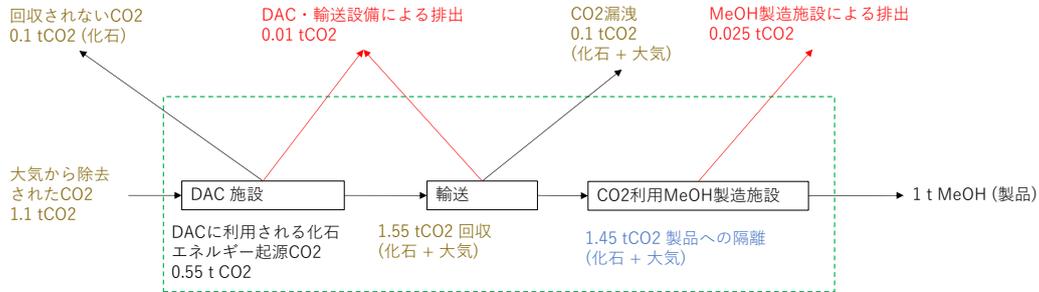
排出量 (CCUシステムによる排出量)  
 = (化石原燃料を使用する技術によるGHG発生量) + (CR2技術の導入要素によるGHG排出量) - (CR2技術の導入要素によるGHGの貯留・隔離)  
 = (セメントプロセスによるCO2発生量) + (回収・輸送設備による排出量 + MeOH 製造施設排出量) - (MeOH製品へのCO2隔離量)  
 = (1.67) + (0.2 + 0.025) - (1.45) = 0.445 tCO2/tMeOH = バウンダリー間の出入り (0.17 + 0.2 + 0.05 + 0.025)

削減貢献量 (CO2 排出 avoided)  
 = (参照セメント施設の排出量 + 参照MeOH施設の排出) - (CCUシステムによる排出量)  
 = (参照セメント施設の排出量 + 参照MeOH施設の排出)  
 - ((セメントプロセスによるCO2発生量) + (回収・輸送設備による排出量 + MeOH 製造施設排出量) - (MeOH製品へのCO2隔離量))  
 = (1.67 + 0.67) - (1.67 + 0.2 + 0.025 - 1.45)  
 = (2.34 - 0.445)  
 = 1.895 tCO2/tMeOH

363

364 図 A-2 セメント生産設備にて CO<sub>2</sub> 回収を行い、回収 CO<sub>2</sub> を用いてメタノール生産を行う CCU シ  
 365 ステム(2つの機能単位)の GHG 排出量および GHG 削減貢献量の例  
 366

367 Appendix 3. DAC+CCU システムの GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量)



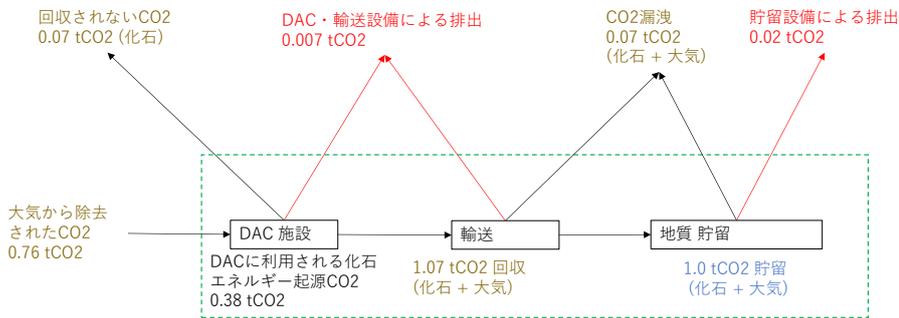
排出量 (DAC + CCUシステムによる排出量)  
 = (化石原燃料を使用する技術によるGHG発生量)+(CR2技術の導入要素によるGHG排出量) - (CR2技術の導入要素によるGHGの貯留・隔離量)  
 = (化石エネルギー起源CO<sub>2</sub>発生量) + (DAC・輸送設備による排出量 + MeOH 製造施設排出量) - (MeOH製品へのCO<sub>2</sub>隔離量)  
 = 0.55 + (0.01 + 0.025) - 1.45  
 = -0.865 tCO<sub>2</sub>/tMeOH = バウンダリー間の出入り (0.1 + 0.01 + 0.1 + 0.025 - 1.1)

368

369 図 A-3 DAC+CCU システムの GHG 排出量(マイナスの場合は除去量)の例

370

371 Appendix 4. DAC+CCS システムの GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量)



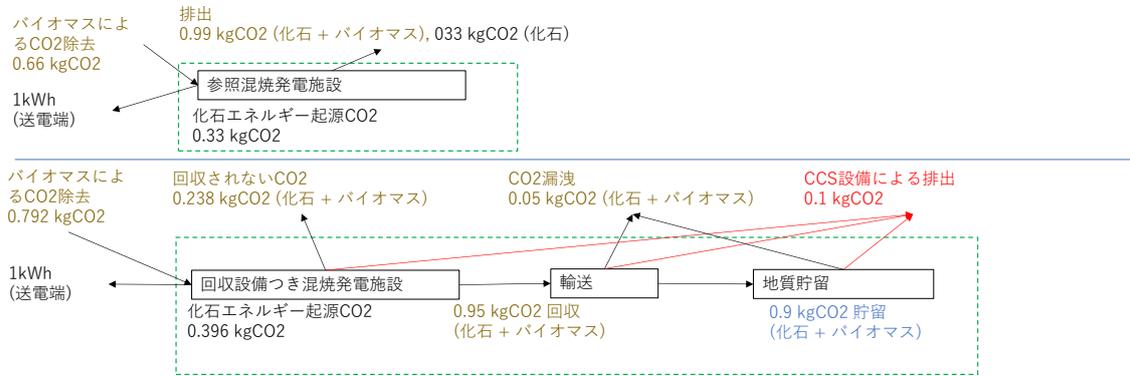
排出量 (DAC + CCSシステムによる排出量)  
 = (化石原燃料を使用する技術によるGHG発生量)+(CR2技術の導入要素によるGHG排出量) - (CR2技術の導入要素によるGHGの貯留・隔離量)  
 = (DACに利用される化石エネルギー起源CO<sub>2</sub>発生量) + (DAC・輸送設備による排出量 + 貯留設備による排出量) - (CO<sub>2</sub>貯留量)  
 = 0.38 + (0.007 + 0.02) - (1.0)  
 = -0.593 tCO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> stored = バウンダリー間の出入り (0.07 + 0.007 + 0.07 + 0.02 - 0.76)

372

373 図 A-4 DAC+CCS システムの排出量(マイナスの場合は除去量)の例

374

375 Appendix 5. 混焼 BECCS (化石:バイオマス = 1:2) 発電システムの GHG 排出量 (マイ  
376 ナスの場合は除去量) と GHG 削減貢献量



排出量 (混焼発電CCSシステムの排出量)  
 =(化石原燃料を使用する技術によるGHG発生量)+(CR2技術の導入要素によるGHG排出量) - (CR2技術の導入要素によるGHGの貯留・隔離量)  
 =(化石エネルギー起源CO<sub>2</sub>発生量+ CCS設備利用による排出量 - CO<sub>2</sub>貯留量)  
 = 0.396 + 0.1 - 0.90  
 = -0.404 kgCO<sub>2</sub>/kWh = バウンダリー間の移動 (0.238+ 0.05 + 0.1 - 0.792)

削減貢献量 = (参照混焼施設の排出量) - (混焼発電CCSシステムの排出量)  
 = 0.33 - (-0.404) = 0.734 kgCO<sub>2</sub>/kWh

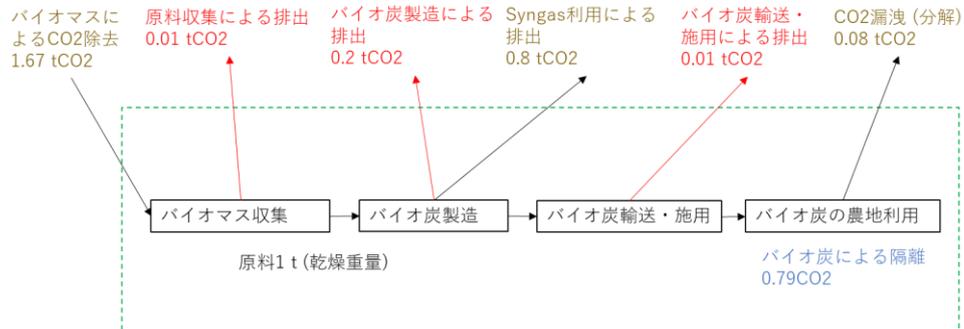
377

378

図 A-5 混焼 BECCS (化石:バイオマス= 1:2) 発電システムの  
379 GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量) と GHG 削減貢献量の例  
380

381 Appendix 6. バイオ炭の GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量) と GHG 削減貢献量

382



排出量 (バイオ炭の排出量)

$$\begin{aligned}
 &= (\text{化石原燃料を使用する技術によるGHG発生量}) + (\text{CR2技術の導入によるGHG排出量}) - (\text{CR2技術の導入によるGHGの貯留・隔離量}) \\
 &= 0 + (0.01 + 0.2 + 0.01) - 0.79 \\
 &= -0.57 \text{ tCO}_2/\text{tバイオマス原料} = \text{バウンダリー間の出入り} (0.01 + 0.2 + 0.01 + 0.8 + 0.08 - 1.67)
 \end{aligned}$$

383

384 図 A-6 バイオ炭の GHG 排出量 (マイナスの場合は除去量) と GHG 削減貢献量の例

385