

# 研究開発初期段階のCCU技術に対する LCCO<sub>2</sub>評価のガイドライン策定に向けて

環境・化学ユニット  
技術戦略研究センター  
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

©NEDO 2021

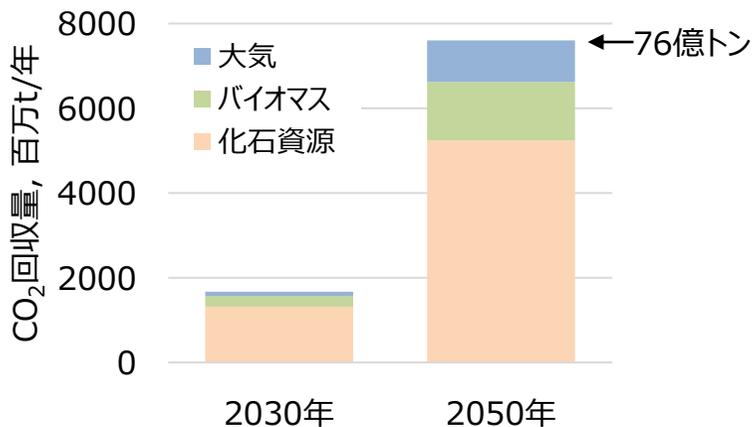
- CO<sub>2</sub>排出削減に向けてCCU技術への期待は高く、様々な研究開発が進められている。CCU技術の研究開発を効果的に進めていくためには、研究開発初期段階において、本当にCO<sub>2</sub>削減につながるのか、インパクトのある技術要素はどこかを見極めることが重要である。特に、CCU技術は従来技術からサプライチェーンが大きく変わるため、ライフサイクル全体でのCO<sub>2</sub>（LCCO<sub>2</sub>）排出量の評価が不可欠である。
- 一方、研究開発初期段階のCCU技術に対するLCCO<sub>2</sub>排出量の評価に際し、前提条件となる、開発対象技術ではないプロセスの詳細や、投入される原料・エネルギーのCO<sub>2</sub>排出原単位などを設定することは、LCAに精通していない研究者にとって、大きな負担でありハードルが高い。したがって、研究開発初期段階のCCU技術に対して、研究者が簡易にLCCO<sub>2</sub>評価を行えるガイドラインを策定することが有用であると考え、そのための論点を整理した。
- 国内外のLCCO<sub>2</sub>評価に対する方法論や考え方について調査を実施した結果、研究開発初期段階のLCCO<sub>2</sub>評価の方法論が確立された事例はなかったが、簡易LCCO<sub>2</sub>評価の考え方として、評価対象範囲を主要技術に限定することや、研究者自身が設定することの難しいCO<sub>2</sub>排出原単位に脱炭素シナリオに応じた既定値を設定することが有効であることを見出した。
- CCU技術の例として、CO<sub>2</sub>と水素からのメタン合成を取り上げ、簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性を確認した。簡易LCCO<sub>2</sub>評価によっても、適切な評価対象範囲と既定値を設定することで、従来技術からのCO<sub>2</sub>削減量、影響の大きい技術要素（ホットスポット）の抽出が可能であることを確認した。
- 研究開発初期段階のCCU技術に対する簡易LCCO<sub>2</sub>評価ガイドライン策定に向けて、既定値の前提となる脱炭素シナリオ設定の考え方、ガイドラインとして用意すべき既定値の項目の選定、既定値の設定方法、並びに、レポートにおける記載事項の整理が論点として挙げられる。

1. 背景
2. 研究開発初期段階のLCCO<sub>2</sub>評価に関する調査
3. 簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性確認
4. 全体のまとめ及びガイドライン策定に向けた論点

# 1. 背景

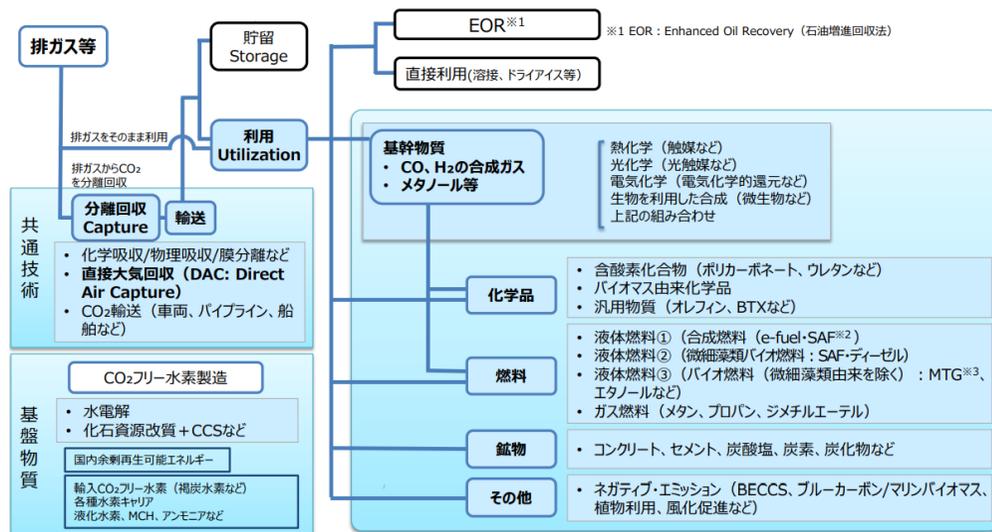
# CCU技術の重要性

- IEAのネットゼロシナリオ（NZS）によれば、CCUS技術によるCO<sub>2</sub>分離・回収量は、2050年において世界で76億トン/年と試算されており、CO<sub>2</sub>削減目標に対して大きく貢献することが想定されている。
- 日本をはじめとするCCSやEORに適したサイトが限定的である地域においては、CCUS技術のうち、CO<sub>2</sub>を製品の原料として利用するCCU技術への期待が高い。
- CCU技術の重要性は日本の政策文書\*にも示されており、技術の確立に向けて、国家プロジェクトを含め、様々な研究開発が進められている。

 排出源別の世界のCO<sub>2</sub>分離回収量の想定


出所：IEA「Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector」に基づいてNEDO技術戦略研究センター作成

カーボンリサイクル技術ロードマップにおける技術体系



※2 SAF: Sustainable aviation fuel  
※3 MTG: Methanol to Gasoline

出所：資源エネルギー庁「カーボンリサイクル技術ロードマップ」

IEA(International Energy Agency): 国際エネルギー機関  
 NZS(Net Zero Scenario): ネットゼロ (CO<sub>2</sub>の排出量から吸収量と除去量を差し引いた合計をゼロにする) を達成するためのシナリオ  
 CCS(Carbon dioxide Capture and Storage): CO<sub>2</sub>回収・貯留  
 CCU(Carbon dioxide Capture and Utilization): CO<sub>2</sub>回収・利用  
 CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage): CO<sub>2</sub>回収・利用・貯留  
 EOR(Enhanced Oil Recovery): CO<sub>2</sub>を圧入し石油の回収量を増やす技術

\* 資源エネルギー庁, カーボンリサイクル技術ロードマップ, 2019年6月 (2021年7月改定)  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>  
 統合イノベーション戦略推進会議決定, 革新的環境イノベーション戦略, 2020年1月  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>

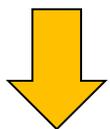
# CCU技術の評価

- CCU技術の研究開発をより効果的に進めていくためには、研究開発の各段階で「その導入が本当にCO<sub>2</sub>削減につながるのか、削減効果はどの程度か」、「CO<sub>2</sub>削減にインパクトのある技術要素（ホットスポット）はどこなのか」を研究者自身が見極めることが重要である。
- 特に、CCU技術の導入によって、従来技術に対して製品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CO<sub>2</sub>（LCCO<sub>2</sub>）排出量の評価※が不可欠である。

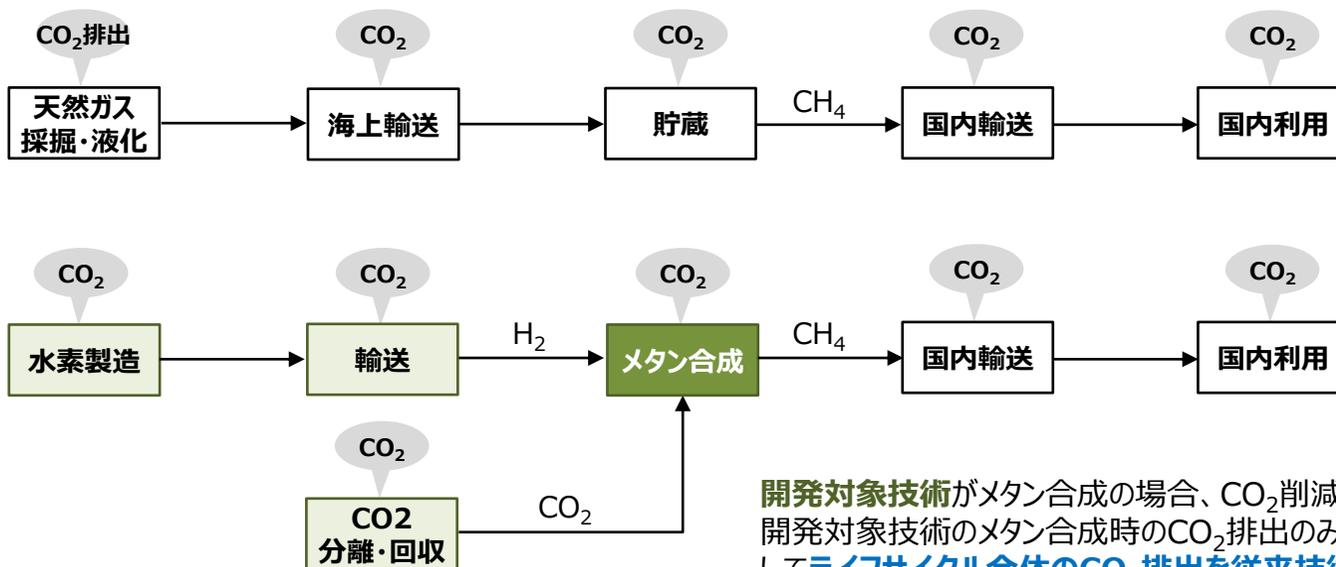
※ライフサイクル全体の評価（LCA）は本来、様々な環境負荷を評価するものであるが、そのうちCO<sub>2</sub>に着目

## CCU技術導入によるサプライチェーンおよび工程変化のイメージ CO<sub>2</sub>と水素によるメタン合成

従来技術  
採掘・輸入したメタンの  
国内利用



CCU技術導入  
水素とCO<sub>2</sub>から合成する  
メタンの国内利用



開発対象技術がメタン合成の場合、CO<sub>2</sub>削減効果の評価には、開発対象技術のメタン合成時のCO<sub>2</sub>排出のみならず、LCCO<sub>2</sub>としてライフサイクル全体のCO<sub>2</sub>排出を従来技術と比較することが不可欠

□ 変化したサプライチェーン    ■ 開発対象技術

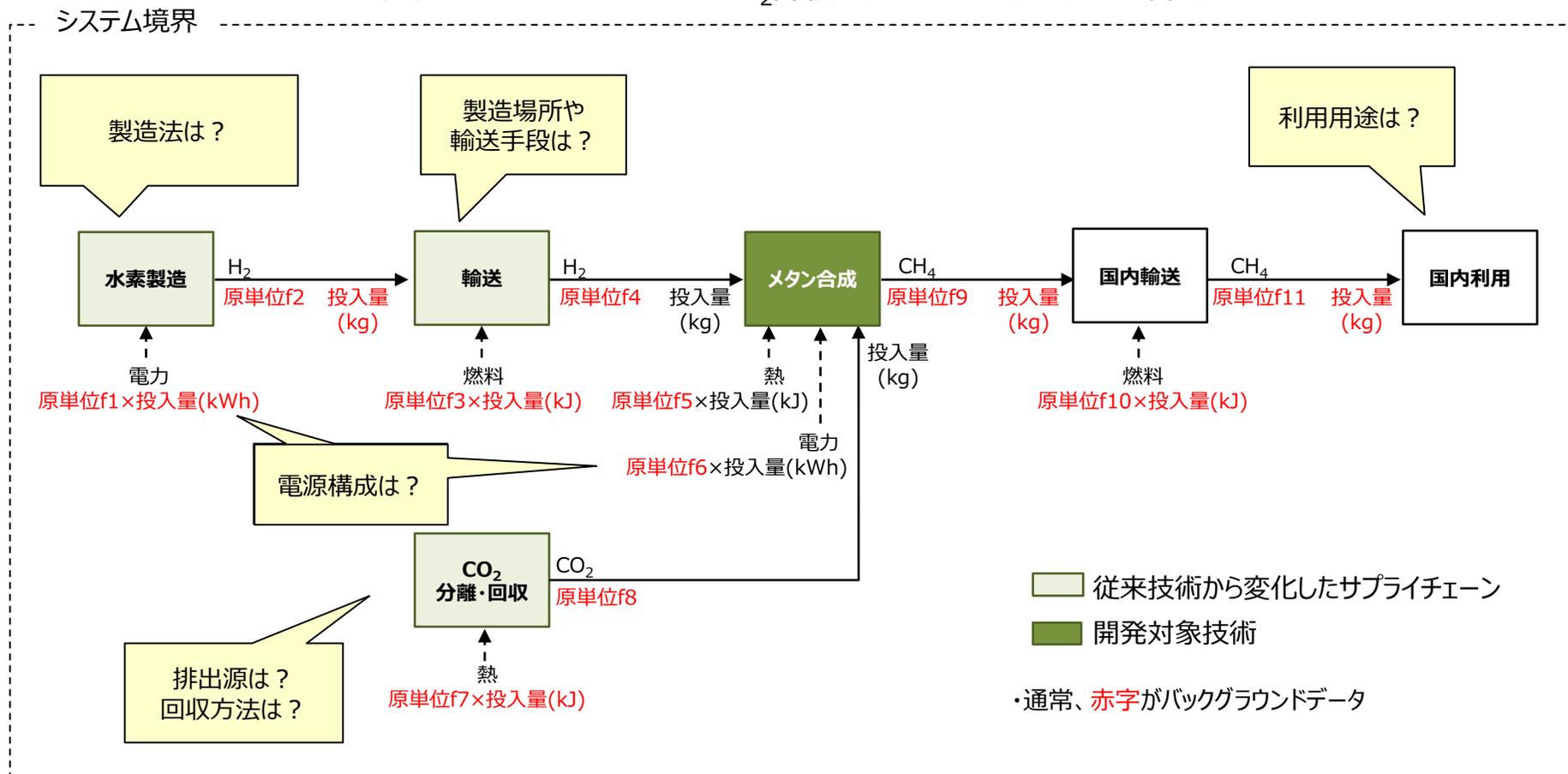


# 研究開発初期段階におけるLCCO<sub>2</sub>評価の実態①

TSC Environment &amp; Green Chemistry Unit

- 研究開発初期段階のCCU技術に対する LCCO<sub>2</sub>排出量の評価に際し、前提条件となる、開発対象技術ではないプロセスの詳細や、投入される原料・エネルギーのCO<sub>2</sub>排出原単位などのバックグラウンド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。

## CCU技術によるメタン合成のLCCO<sub>2</sub>評価における研究者にとっての課題



# 研究開発初期段階におけるLCCO<sub>2</sub>評価の実態②

TSC Environment &amp; Green Chemistry Unit

- 前提条件やバックグラウンドデータの設定が実施者により異なっていることが多く、他の技術との横並び評価が難しい。
- 対象となるCCU技術と従来技術や他のCCU技術とのLCCO<sub>2</sub>排出量を横並び評価するためには、前提条件やバックグラウンドデータを統一して設定できるように、ガイドラインを策定することが重要である。

## 前提条件の設定の違いによる横並び評価の難しさ



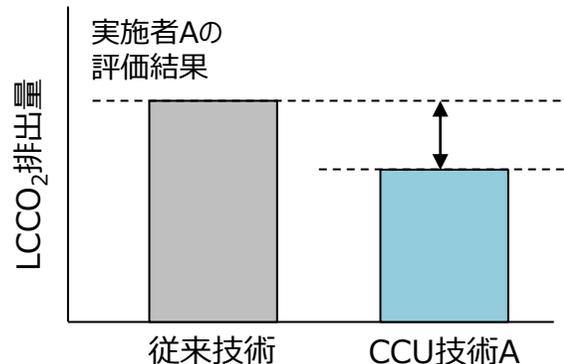
実施者A

### 開発対象技術の性能

反応収率：50%  
反応温度：300℃

### 前提条件

水素製造：アルカリ水電解  
電源構成：再エネ80%



各実施者の評価結果では、従来技術に比較して、CCU技術Aの方が優れるように見えたが、前提条件をそろえると、実際には、CCU技術Bが優れている。



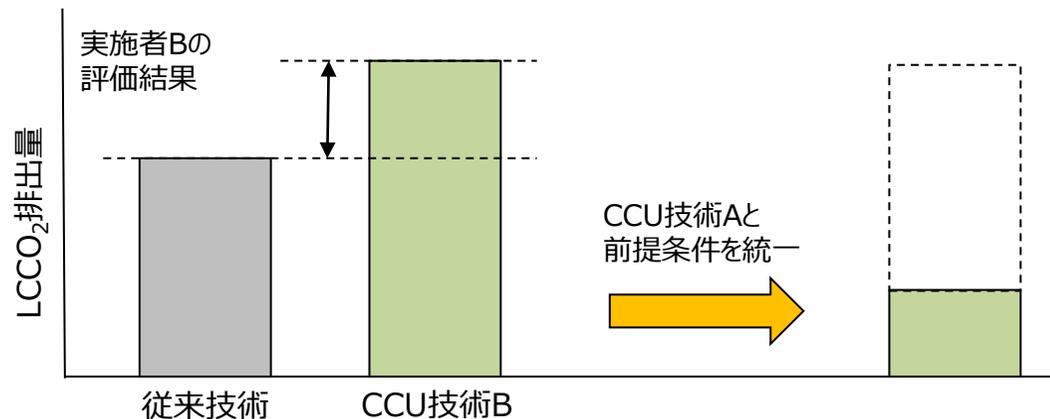
実施者B

### 開発対象技術の性能

反応収率：90%  
反応温度：200℃

### 前提条件

水素製造：アルカリ水電解  
電源構成：再エネ50%



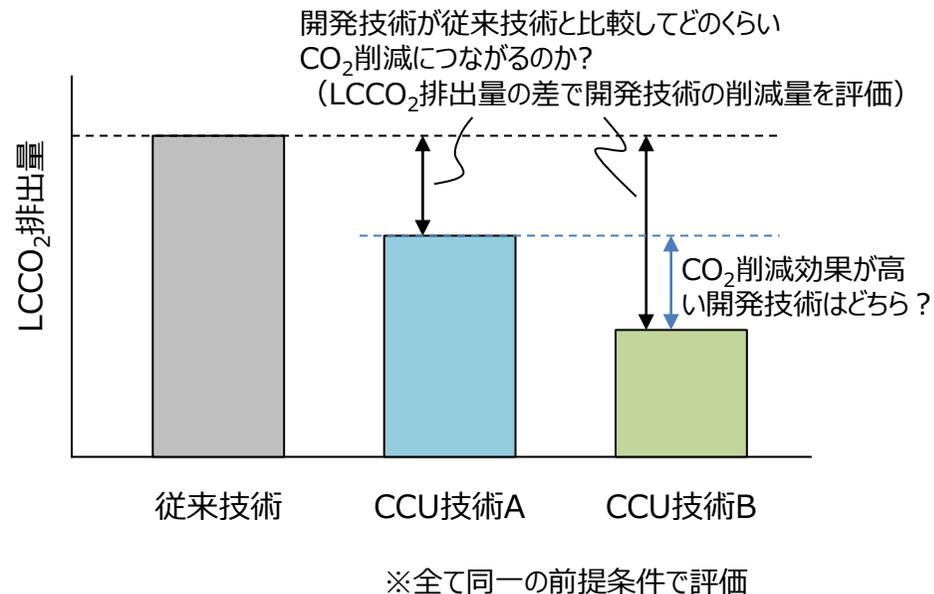
# 国内外のLCCO<sub>2</sub>評価の方法論・考え方に関する調査のポイント

■ 開発対象技術のCO<sub>2</sub>削減効果を評価する際には、対象となるCCU技術と従来技術や他のCCU技術の間で、同一の前提条件でのLCCO<sub>2</sub>排出量にどの程度の差があるのかを評価することが重要と考え、これらを簡易に評価できる手法の確立に向け、以下のポイントで国内外のガイドラインを対象に調査した。

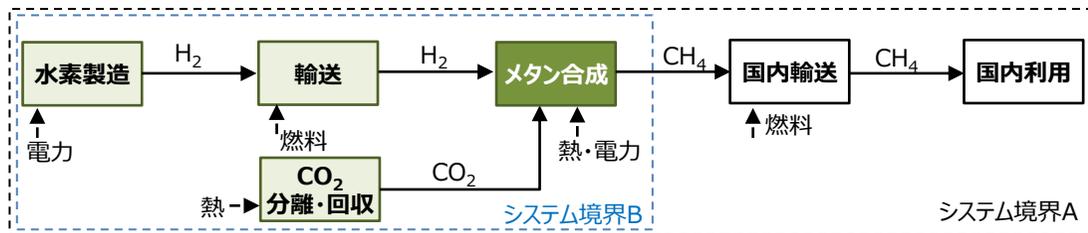
- ① システム境界の設定方法  
研究開発初期段階の技術进行评估する場合、従来技術と同じ工程は境界外としても良いのではないかな？
- ② バックグラウンドデータの設定方法  
計算に用いるバックグラウンドデータを少なくし、代表的数値に設定できないかな？

LCCO<sub>2</sub>評価によるCO<sub>2</sub>削減効果の評価イメージ

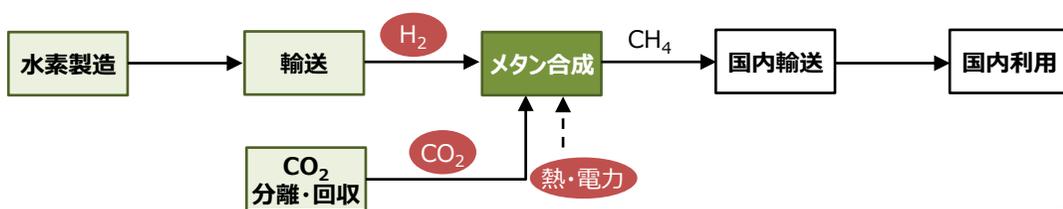
簡易LCCO<sub>2</sub>評価手法確立に向けた調査のポイント



- ① ライフサイクル全体のうちのどの範囲までをシステム境界とすべきか  
(A) 全体で考える必要がある？ (B) 従来技術と同じ部分は省略可？



- ② 例えばバックグラウンドデータは、メタン合成プロセスに投入する原料の水素、CO<sub>2</sub>とエネルギーの熱・電力のCO<sub>2</sub>排出原単位のみとし、代表的数値とできないかな？



## 2. 研究開発初期段階のLCCO<sub>2</sub>評価に関する調査

# 国内外のLCCO<sub>2</sub>評価の方法論・考え方に関する調査結果

- 研究開発初期段階のLCCO<sub>2</sub>評価の方法論や考え方として確立された事例はなかった。
- システム境界とバックグラウンドデータの設定について、参考にすべき考え方が、Global CO<sub>2</sub> Initiative が2020年に公表した「TEA & LCAガイドライン」に示されている。

## TEA&LCAガイドラインについて

### 【タイトル】

“Techno-Economic Assessment & Life Cycle Assessment Guidelines for CO<sub>2</sub> Utilization”

- 最新版は、2020年9月公開のバージョン1.1
- <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/162573>

### 【策定の主体】

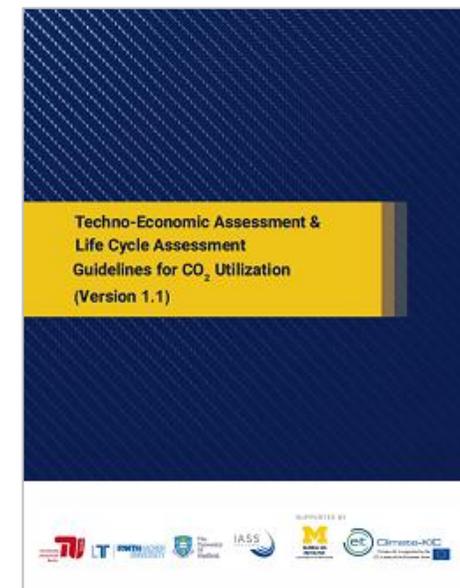
- Technische Universität Berlin
- RWTH Aachen University
- The University of Sheffield
- Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. Potsdam
- Global CO<sub>2</sub> Initiative at the University of Michigan
  - 情報発信の主体

TEA&LCAガイドラインのうち、以下の項目に参考にすべき考え方が記載

Part C : LCA Guidelines

C.4 Scope Definition → システム境界の考え方

C.7 Life Cycle Interpretation → 標準的な投入物のバックグラウンドデータの既定値



# TEA&LCAガイドラインを参考としたシステム境界の考え方

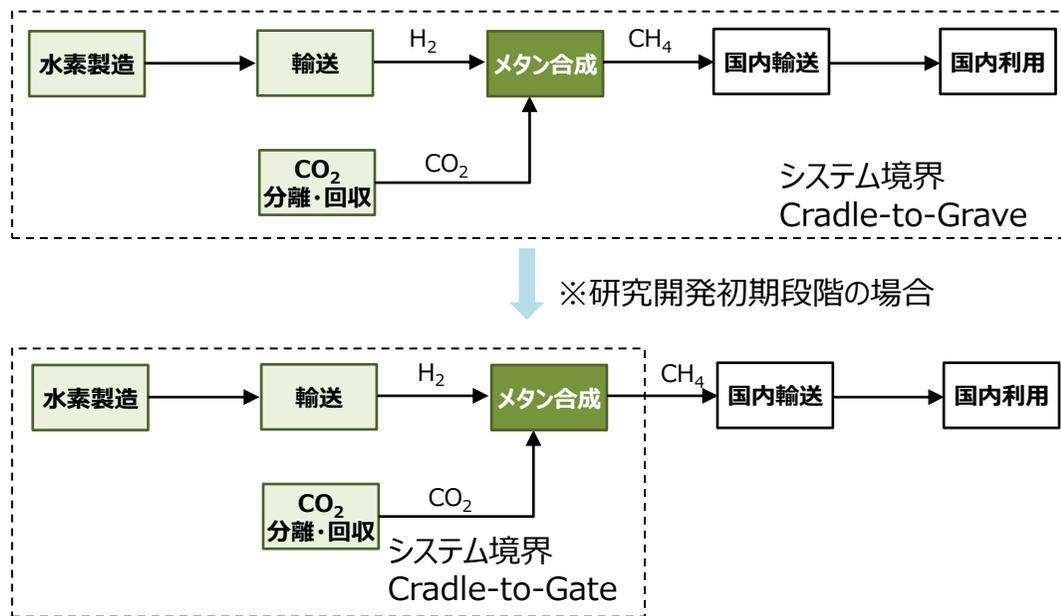
- TEA & LCAガイドラインでは、評価対象や用途に応じてシステム境界が定められている。
- このガイドラインでは、実用化技術のLCCO<sub>2</sub>評価において化学構造・組成が従来製品と異なる場合は、原材料調達から使用後処理までをシステム境界に含めること（Cradle-to-Grave）を求めている。ただし、研究開発初期段階の技術进行评估する場合は、原料調達から製品製造までをシステム境界の対象とし（Cradle-to-Gate）、以降の工程を対象外とすることも許容している。
- したがって、研究開発初期段階の技術の簡易LCCO<sub>2</sub>評価方法としては、システム境界の対象を主要工程に限定することが考えられる。

TEA&amp;LCAガイドラインにおけるシステム境界の整理

評価対象、用途		システム境界
CCU製品	化学構造・組成が従来製品と同じ	Cradle-to-Gate
	化学構造・組成が従来製品と異なる	Cradle-to-Grave

化学構造・組成が従来製品と異なる場合、使用段階や使用後処理にかかる環境負荷がCCU製品と従来製品で異なるため、システム境界はCradle-to-Graveであることが求められる。

TEA&amp;LCAガイドラインにおけるシステム境界のイメージ



# TEA&LCAガイドラインを参考としたバックグラウンドデータの考え方

- TEA & LCAガイドラインでは、現状や完全脱炭素化等のシナリオごとに定めた前提条件に基づき、電力、水素、原料CO<sub>2</sub>、熱、天然ガスのバックグラウンドデータの既定値を設定することが推奨されている。
- これらを活用すれば、脱炭素シナリオに応じた既定値が自動的に決まるため、データ収集が簡素化されるとともに、評価条件が統一されることで他の技術との横並び評価が可能になる。
- ただし、研究開発初期段階の技術では、前提条件の設定によっては対象技術の評価が大きく変動するリスクがある。
- したがって、研究開発初期段階の技術の簡易LCCO<sub>2</sub>評価に際しては、複数の脱炭素シナリオと前提条件を適切に設定することが重要である。

## 各シナリオと前提条件

要素	シナリオA (現状)	シナリオB (脱炭素率低)	シナリオC (脱炭素率高)	シナリオD (完全脱炭素化)
電力	EU28か国の系統平均	2℃シナリオに準じたEU28か国の系統平均の予測値	2℃シナリオに準じたEU28か国の系統平均の予測値	風力発電
水素	メタンの水蒸気改質	アルカリ水電解	アルカリ水電解	アルカリ水電解
原料CO <sub>2</sub>	石炭火力発電	石炭火力発電	石炭火力発電	DAC
熱	天然ガスボイラー	天然ガスボイラー+電化	電化	電化
天然ガス (メタン)	天然ガス	天然ガス	天然ガス+メタネーション	メタネーション

## シナリオごとのバックグラウンドデータ既定値



シナリオに応じて既定値が自動的に決定

要素	既定値A (現状)	既定値B (脱炭素率低)	既定値C (脱炭素率高)	既定値D (完全脱炭素化)
電力 (kg-CO <sub>2</sub> /MJ)	0.12	0.042	0.011	0.003
水素 (kg-CO <sub>2</sub> /kg-H <sub>2</sub> )	11	7.6	2.1	0.67
原料CO <sub>2</sub> (kg-CO <sub>2</sub> /kg-CO <sub>2</sub> )	-0.85	-0.95	-0.94	-0.98
熱 (kg-CO <sub>2</sub> /MJ)	0.07	0.044	0.012	0.0032
天然ガス (メタン) (kg-CO <sub>2</sub> /MJ)	0.480	0.480	-1.40	-2.30

# 研究開発初期段階のLCCO<sub>2</sub>評価に関する調査のまとめ

## ■ 結果

国内外のLCCO<sub>2</sub>評価ガイドラインを対象に調査した結果、以下の知見を得た。

- 研究開発初期段階の技術を対象としたLCCO<sub>2</sub>評価の方法論や考え方として確立された事例はなかった。
- 「TEA&LCAガイドライン」から、システム境界とバックグラウンドデータの設定について参考にすべき考え方を見出した。
- ① 研究開発初期段階であれば、システム境界はCradle-to-Gateとすることも許容されている。
- ② 脱炭素シナリオとバックグラウンドデータの設定により、他の技術との横並び評価が可能となる。
- ③ 研究開発初期段階の技術では、前提条件の設定によっては対象技術の評価が大きく変動するリスクがあるため、採用する脱炭素シナリオと前提条件の適切な設定が必要。

## ■ 得られた指針

研究開発初期段階の技術については、以下のポイントを考慮した簡易LCCO<sub>2</sub>評価が有効と考えられる。

- システム境界の対象を、開発対象のプロセスや主要工程に限定する。
- 複数の脱炭素シナリオに応じたバックグラウンドデータの既定値をデータセットとして用意する。



次章で、CCU技術の例として、CO<sub>2</sub>と水素からのメタン合成を取り上げ、簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性を確認した。

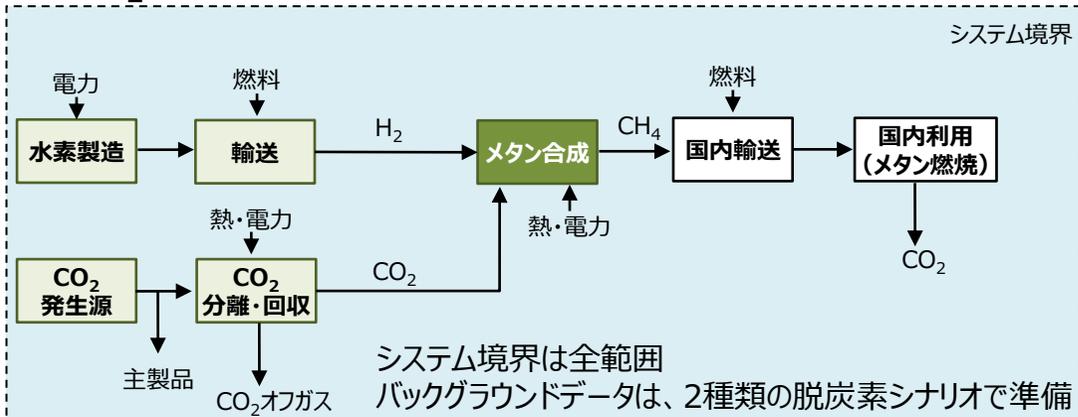
### 3. 簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性確認

# システム境界と既定値の設定方法

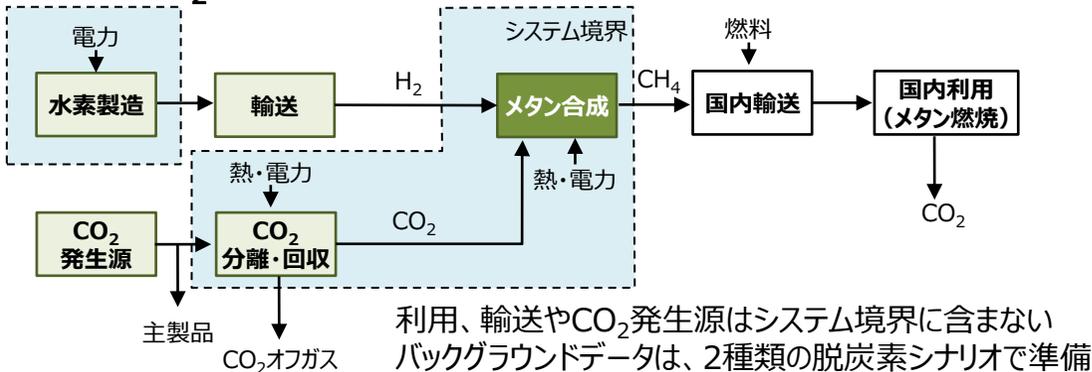
- 簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性確認のため、システム境界とバックグラウンドデータを以下のとおり設定した。
  - システム境界は主要工程に限定することとし、製品製造後の利用並びに輸送、CO<sub>2</sub>発生源は対象外とした。
  - バックグラウンドデータは、前提条件の大きく異なる2種類の脱炭素シナリオを用いて設定した（次ページ）。
- 比較対象となる従来技術は輸入LNGの燃焼を設定した。

## CCU技術

### LCCO<sub>2</sub>評価

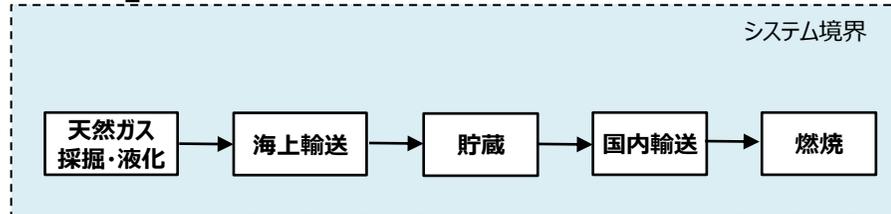


### 簡易LCCO<sub>2</sub>評価

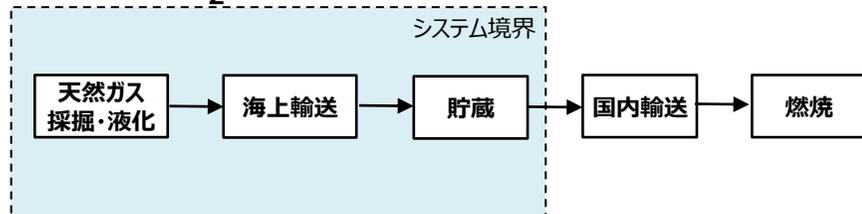


## 従来技術（輸入LNGの燃焼）

### LCCO<sub>2</sub>評価



### 簡易LCCO<sub>2</sub>評価

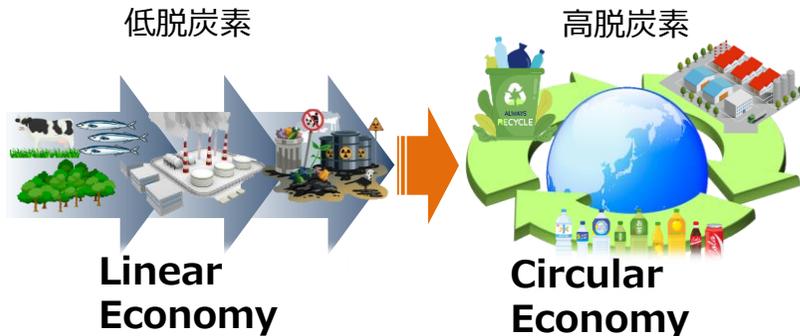


# 2種類の脱炭素シナリオの概要と、評価結果の表記法

## 2種類の脱炭素シナリオで設定した前提条件

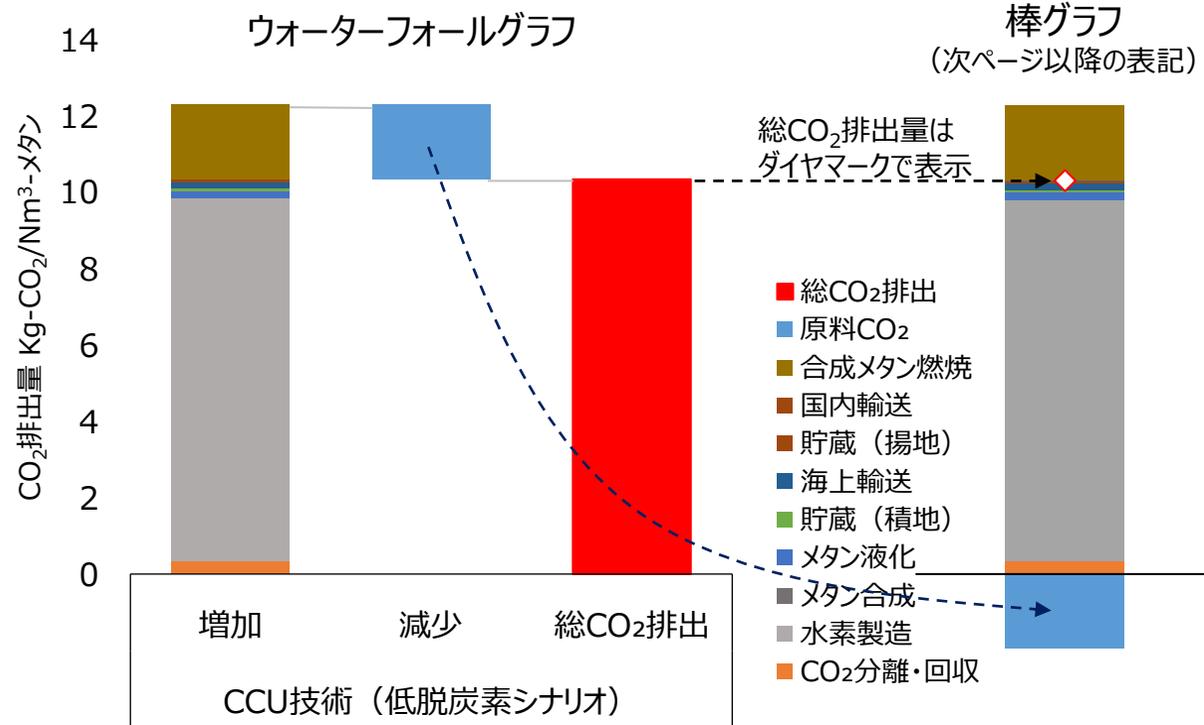
要素	低脱炭素シナリオ	高脱炭素シナリオ
電力	日本国内の系統電力構成比を基に設定	再エネ電力使用 (CO <sub>2</sub> 排出はゼロカウントではない)
水素	上記の電力による水電解	上記の電力による水電解
原料CO <sub>2</sub>	微粉炭燃焼後排ガス	転炉副生排ガス
熱	ボイラー (LNG)	排熱利用 (CO <sub>2</sub> 排出はゼロカウント)

### 脱炭素シナリオのイメージ



出所: TSC Foresight 将来像「イノベーションの先に目指すべき『豊かな未来』」, NEDO, 2021年6月

## 評価結果の表記法



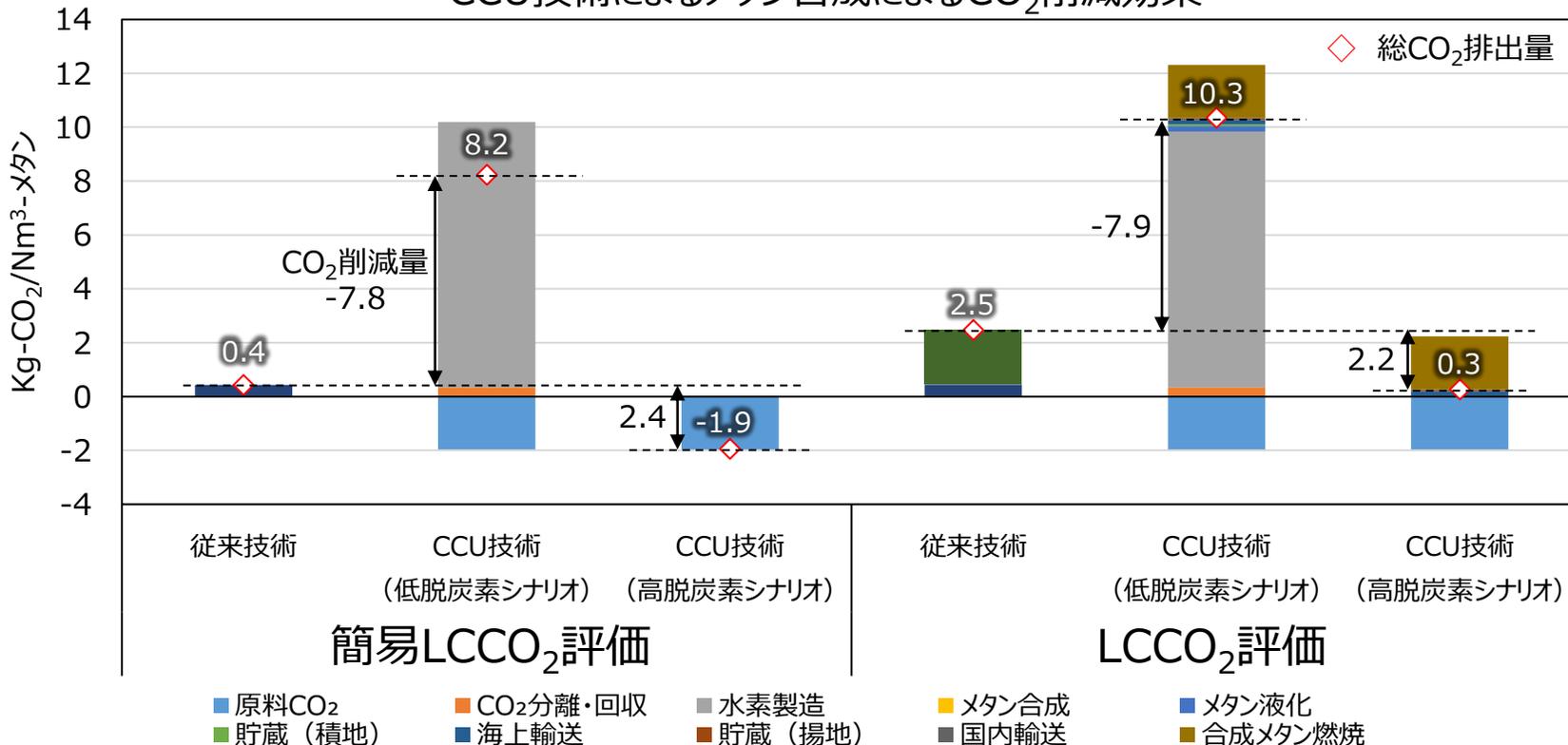
ウォーターフォールグラフ (左) : 簡易LCCO<sub>2</sub>評価で算出されたCO<sub>2</sub>排出量増減  
CO<sub>2</sub>分離回収工程、水素製造工程、メタン燃焼、輸送、貯蔵などでCO<sub>2</sub>排出増。  
原料CO<sub>2</sub>は、合成メタン燃焼時に排出されるのと同量のCO<sub>2</sub>を利用しているとみなし  
減少分として計上。

棒グラフ (右) : 簡易LCCO<sub>2</sub>評価で算出されたCO<sub>2</sub>排出量積算結果  
原料CO<sub>2</sub>を負の領域に示し、総CO<sub>2</sub>排出量を図中に◇で示した。

# 簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性の確認 (CO<sub>2</sub>削減効果)

- 簡易LCCO<sub>2</sub>評価では、システム境界を限定したため、燃焼等によるCO<sub>2</sub>排出を含まず、絶対値はLCCO<sub>2</sub>評価より小さくなっている。
- 従来技術に対するCO<sub>2</sub>削減量の評価値は、簡易LCCO<sub>2</sub>評価とLCCO<sub>2</sub>評価とで同等であり、簡易評価が有効であることを確認した。
- 従来技術と比較して、低脱炭素シナリオではCO<sub>2</sub>排出量はむしろ増加するが、高脱炭素シナリオではCO<sub>2</sub>排出量が減少することから、異なるシナリオでのバックグラウンドデータの設定が有効であることも確認。

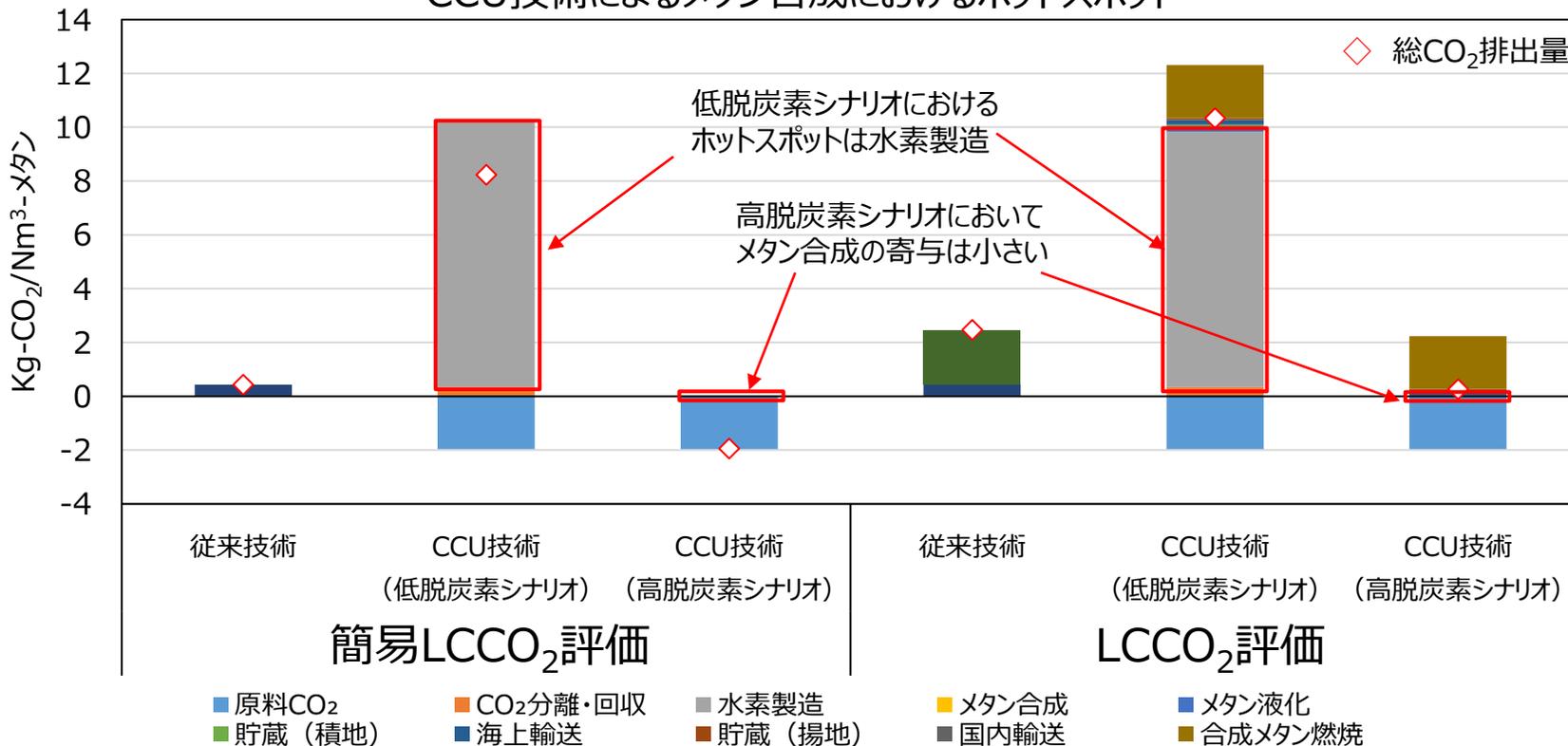
### CCU技術によるメタン合成によるCO<sub>2</sub>削減効果



# 簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性の確認 (ホットスポット)

- 簡易LCCO<sub>2</sub>評価では、システム境界を限定したため、全てのプロセスに対するCO<sub>2</sub>排出の内訳は示されていないが、評価したシステム境界の範囲内で、どのプロセスがホットスポットかについては、LCCO<sub>2</sub>評価と同様に確認できた。
- 簡易LCCO<sub>2</sub>評価においても、インパクトのある技術要素の見極めが可能であり、有効性を確認。

### CCU技術によるメタン合成におけるホットスポット



※LCCO<sub>2</sub>評価だけでは技術の優劣が評価できないことに注意が必要 (例えば、高脱炭素シナリオでは、対象技術のメタン合成における反応の効率化がCO<sub>2</sub>排出量削減効果として表れにくくなる)。

# 簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性確認のまとめ

## ■ 結果

CCU技術の例として、CO<sub>2</sub>と水素からのメタン合成を取り上げ、システム境界を主要プロセスに限定し、バックグラウンドデータを前提条件の大きく異なる低脱炭素シナリオと高脱炭素シナリオを用いて設定し、簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性を確認した。

- 簡易LCCO<sub>2</sub>評価は、LCCO<sub>2</sub>評価と比較して、CO<sub>2</sub>排出量を小さく見積もるものの、従来技術に対するCO<sub>2</sub>削減量は同等であった。
- 簡易LCCO<sub>2</sub>評価、LCCO<sub>2</sub>評価いずれの場合も、従来技術と比較して低脱炭素シナリオではCO<sub>2</sub>排出量はむしろ増加するが、高脱炭素シナリオではCO<sub>2</sub>排出量が減少する効果が確認できた。
- 簡易LCCO<sub>2</sub>評価では、システム境界を限定したため、全てのプロセスに対するCO<sub>2</sub>排出の内訳は示されていないが、評価したシステム境界の範囲内で、どのプロセスがホットスポットかについては、LCCO<sub>2</sub>評価と同様に確認できた。

## ■ 得られた示唆

- システム境界を限定し、適切な脱炭素シナリオの前提条件に即してバックグラウンドデータの既定値を設定する簡易LCCO<sub>2</sub>評価によって、対象技術のCO<sub>2</sub>排出量削減効果の評価が可能である。

## 4. 全体のまとめ及びガイドライン策定に向けた論点

- 国内外のLCCO<sub>2</sub>ガイドライン調査結果から、簡易LCCO<sub>2</sub>評価の方向性として、システム境界の限定と複数の脱炭素シナリオに対応する既定値の適切な設定が重要との知見を得た。
- CO<sub>2</sub>と水素からのメタン合成を取り上げ、調査で得た知見を活用した簡易LCCO<sub>2</sub>評価の有効性を確認し、簡易LCCO<sub>2</sub>評価においても「本当にCO<sub>2</sub>削減につながるのか、削減効果はどの程度か」、「CO<sub>2</sub>削減にインパクトのある技術要素（ホットスポット）はどこなのか」を評価できることを確認した。
- 研究開発初期段階のCCU技術に対する簡易LCCO<sub>2</sub>評価ガイドライン策定に向けた今後の論点としては、以下が挙げられる。

## 論点

- 既定値設定の前提となる、脱炭素シナリオの設定の考え方
- 用意する既定値項目（どの項目があれば代表的なCCU技術をカバーできるのか）
- 既定値の設定方法
- レポーティングに記載する必要事項（評価結果の追試が可能となる項目及び記載方法の検討）



技術戦略研究センターレポート

## 研究開発初期段階のCCU技術に対するLCCO<sub>2</sub>評価のガイドライン策定に向けて

2021年11月 発行

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 (TSC)

- センター長            岸本 喜久雄
- センター次長        飯村 亜紀子  
                             西村 秀隆 (2021年6月まで)
- 環境・化学ユニット
  - ユニット長        土肥 英幸
  - 研究員            坂本 友樹
  - 研究員            寒川 泰紀
  - 研究員            鈴木 秀土
  - 研究員            柳田 泰宏 (2021年3月まで)

- ・本資料に掲載されている全てのドキュメント、画像等の著作権は、特に記載されているものを除き、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 (以下、NEDO TSCという。) に帰属します。
- ・本資料の内容の全部又は一部について、私的使用又は引用等著作権法上認められた行為として、適宜の方法により出所を明示することにより、引用・転載複製を行うことが出来ます。  
ただし、NEDO TSC以外の出典元が明記されている場合は、それぞれの著作権者が定める条件に従ってご利用下さい。
- ・本資料に掲載されている著作物を商業目的で複製する場合は、予め下記お問い合わせ宛にご連絡下さい。  
商業目的で複製とは、直接収益を得ることを目的に著作物を複製して販売すること等を指します。
- ・本資料の全部又は一部について、NEDO TSCに無断で改変を行うことはできません。
- ・本資料に関する問い合わせ先:  
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  
電話 044-520-5150    E-Mail: tsc-unit@ml.nedo.go.jp