

特集記事・3

カーボンニュートラルに向けた日本の各産業の取り組み

カーボンリサイクル技術のCO₂削減効果の評価における課題と国際的な動向

Challenges and World Trend of Evaluating Carbon Recycle Technologies

森本慎一郎

Shinichirou Morimoto

 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
 ゼロエミッション国際共同研究センター
 環境・社会評価研究チーム長

1 はじめに

地球温暖化対策として二酸化炭素 (CO₂) など大気中の温室効果ガス (GHG : Greenhouse gas) の削減は世界的な課題であり、パリ協定以降、特に重要になってきている¹⁾。その中でCO₂を分離回収し、燃料、化成品、及び鉱物として有効利用・再利用するカーボンリサイクル技術はCO₂の削減に寄与する技術として近年、特に注目を浴びている^{2,3)}。鉄鋼業においても、製鉄工程において多大なCO₂を大気中に排出するため、排出されたCO₂を回収してリサイクルする技術の適用は極めて重要である。なお、カーボンリサイクル技術はCO₂有効利用技術 (CCU : Carbon capture and utilization) 技術と殆ど同じ意味で使用されることがあるが、本稿ではCCUも含めた総称として「カーボンリサイクル技術」の文言を使用する。

我が国におけるカーボンリサイクル技術の導入については経済産業省が公表している「カーボンリサイクル技術ロードマップ」⁴⁾に具体的な目標値が記載されている。その中では合成燃料やコンクリートなど、各技術における目標値をライフサイクルアセスメント (LCA : Life cycle assessment) やコストの観点から記載されている。したがって、これら技術の導入や技術開発の目標値を定めるにあたって、正確な評価が必要であることが示唆される。他方、カーボンリサイクル技術は多くの場合、CO₂分離回収、水素製造、CO₂変換など複数の技術で構成されており、これら技術の運用条件によって評価結果は異なる。同様に評価範囲やCO₂アカウンタの方法によっても評価結果は異なるが、これらの範囲や方法を一義的に定め、世界的な合意形成を図ることは極めて困難になる。

本稿では、これらカーボンリサイクル技術の評価における

課題について概観すると同時に、その課題解決に向けた国内外の動向について解説する。それによって今後、カーボンリサイクル技術の評価に向けてどのような取り組みが必要になるのかを提示する。

2 カーボンリサイクル技術の評価に関する国内外動向と課題

2.1 カーボンリサイクル技術の評価方法に関する国内外動向

カーボンリサイクル技術のCO₂削減量 (効果) をLCAに基づくカーボンフットプリントをベースとして評価する場合、評価範囲にはCO₂固定発生源、CO₂分離回収、水素製造、CO₂変換、CO₂利用が含まれることがあり、さらに水素製造においても天然ガスの水蒸気改質や水電解など技術の特性に応じて評価範囲を検討する必要がある。多くの研究論文ではISO14040/14044⁵⁾をベースとして定められた評価範囲に含まれる全プロセスのライフサイクルでのCO₂排出量を計算し、既存の製品とカーボンリサイクルによって生成した製品のライフサイクルでのCO₂排出量との差分をCO₂削減量として計上している。当然、このライフサイクルでのCO₂排出量やCO₂削減量も評価範囲が異なると結果は異なる。

カーボンリサイクル技術のLCAや経済性評価の方法について纏めた一例として、欧米を中心にGlobal CO₂ initiativeが主導して作成した“A guideline for life cycle assessment of carbon capture and utilization (Techno-Economic Assessment & Life Cycle Assessment Guidelines for CO₂ Utilization)”がある^{6,7)}。このガイドラインではカーボンリサイクル技術のLCAと経済性評価 (TEA : Techno economic assessment) について基本的なクライテリアを定めると同時に、評価範囲とCO₂削減量のアカウント方法も説明され

ている。具体的にはライフサイクルでのCO₂排出量を既存製品とカーボンリサイクル製品の差分で求めているが、その際の評価範囲にCO₂固定発生源も加えた“System expansion approach”の考え方を明示している。この考え方はNiklas von der Assen⁸⁾が発表した“Avoided burden”の考え方に類似している。他方、この方法はCO₂固定発生源側で生産される主製品（例えば鉄鋼プラントの場合は粗鉄となる）とCO₂を回収してリサイクルする側（例えばメタネーションを行う場合は合成メタンとなる）の主製品とで機能単位が異なることがあり、製鉄側とメタネーション側でどのように評価結果であるCO₂削減量を配分 (allocation) するかという問題が生じてしまう。Niklas von der Assenはこの方法はカーボンリサイクル技術のLCAには適用するべきでないと主張している。“System expansion approach”はカーボンリサイクル以外にも、例えば鉄鋼のように製品をリサイクルする場合のCO₂削減量算定にも適用されるが、カーボンリサイクルのようにCO₂を回収してリサイクルする場合は配分の方法がより複雑になる。

また、文献^{6,7)}ではCO₂固定発生源を評価範囲に加えない“mono-functional system”の考え方も示されており、これは“Cut off approach”と呼ばれる考え方に近く、例えばNils Thonemannが実施したカーボンリサイクル技術のメタ解析⁹⁾はこの評価範囲で行っている。

その他、国際エネルギー機関 (IEA : International energy agency) Greenhouse Gas R&D Programmeでは“Greenhouse Gas Accounting for CO₂ Capture and Utilisation (CCU)”

Technologies – Greenhouse Gas Accounting Guidelines for CCU”においてもカーボンリサイクル技術の評価方法についてガイドラインを示している他¹⁰⁾、日本では経済産業省が主催している「CO₂カウントに関するタスクフォース」¹¹⁾で議論している他、これらの検討結果を基に国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が「研究開発初期段階のCCU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」を公表した¹¹⁾。このガイドラインでは上述した“Cut off approach”にてライフサイクルでのCO₂排出量やCO₂削減量を評価する具体的な手順をしめすと同時に使用すべきバックグラウンドデータ、及び評価を行うための簡易ツールの提供も行っている。

2.2 カーボンリサイクル技術の評価範囲と配分に関する考え方

2.1において概説した評価範囲とCO₂削減量の評価方法、及び配分の考え方について詳しく説明する。図1に評価範囲にCO₂固定発生源を加えず“Cut off approach”によってCO₂削減量を評価する場合の概念を示す。

図1に示す通り、カーボンリサイクル技術によって燃料を合成する場合、CO₂削減量は既存の燃料合成とカーボンリサイクル技術による燃料合成のライフサイクルでのCO₂排出量の差で求める。既存の燃料合成では例えば化石資源を採掘し、それを燃料として加工する際、及び生成された燃料を使用する際にCO₂は排出される。他方、カーボンリサイクル技術による燃料製造ではCO₂固定発生源から分離回収したCO₂から合成燃料を加工する。この加工の工程でCO₂が排出され

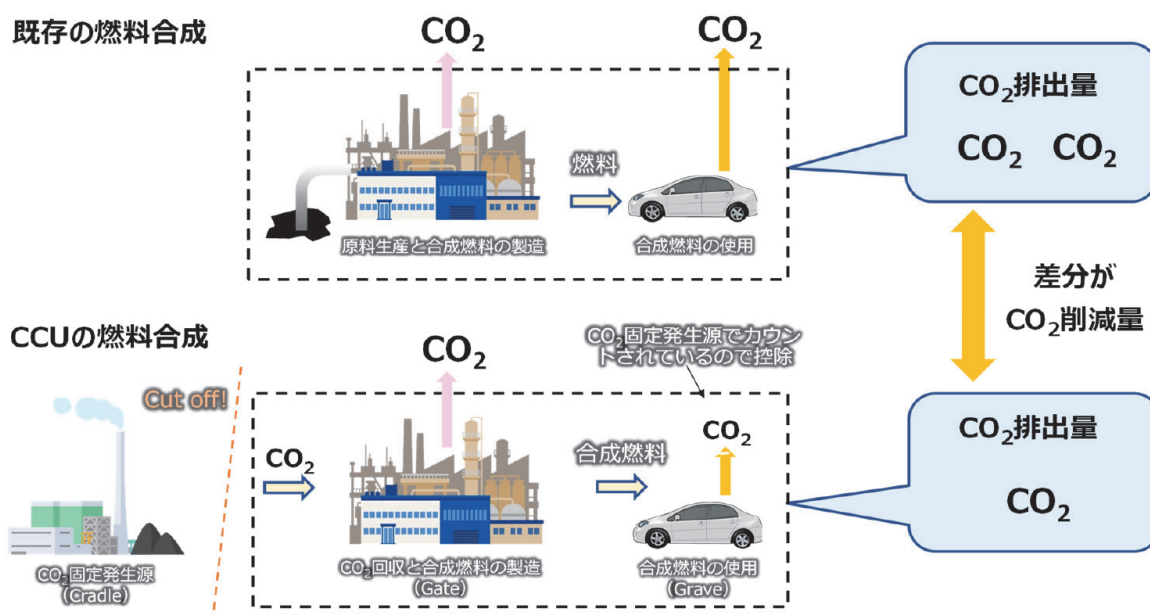


図1 “Cut off approach”によってCO₂削減量を評価する場合の概念図 (Online version in color.)

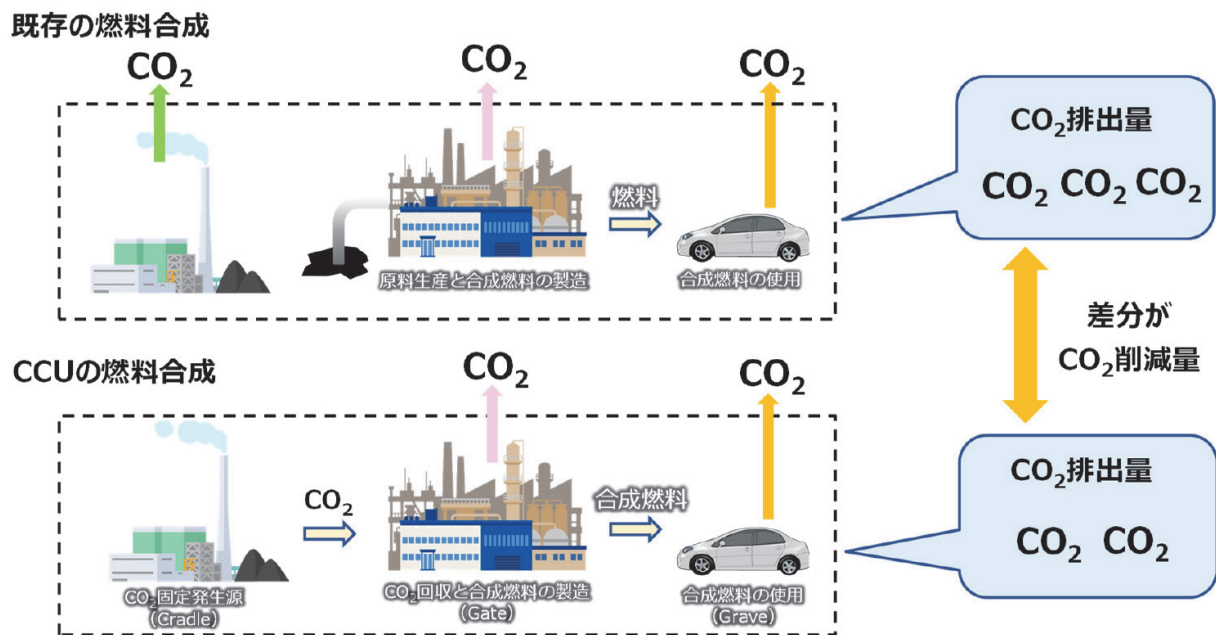


図2 システム拡張によってCO₂削減量を評価する場合の概念図（Online version in color.）

ることは既存の燃料と変わらない（具体的な値は異なる）が、使用によるCO₂排出量は評価範囲外にあるCO₂固定発生源で既にCO₂排出量が計上されているので、新たに計上する必要はない。したがって、“Cut off approach”によってCO₂固定発生源を評価範囲の外に置いた場合、カーボンリサイクル技術による燃料製造では燃料使用によるCO₂排出量は0となる。

次に図2にシステム拡張によって同様にCO₂削減量を評価する場合の概念を示す。

図2に示す通り、システム拡張の場合もカーボンリサイクル技術による燃料合成のCO₂削減量は既存の燃料合成とカーボンリサイクル技術による燃料合成のライフサイクルでのCO₂排出量の差で求める。既存の燃料合成では化石資源の採掘、燃料加工、及び燃料使用にCO₂が排出される以外に（カーボンリサイクル技術の燃料合成と生成物の条件を合わせるために）カーボンリサイクル技術のCO₂固定発生源に該当する工程からのCO₂排出量も加算する必要がある。他方、カーボンリサイクル技術による燃料製造ではCO₂固定発生源を含むCO₂分離回収、合成燃料加工、燃料使用のCO₂排出量が評価範囲にあり、CO₂固定発生源からのCO₂排出量は合成燃料使用によるCO₂排出量として計上されるので、二重計上を避ける。結果的にCO₂排出量の差は図2の通りになる。

システム拡張でCO₂削減量を計上する場合、上述の通り配分の問題が生じる。具体的にCO₂削減量はCO₂固定発生源、CO₂分離回収、燃料合成を行った業者間で貢献分を配分する必要がある。この際、それぞれの業者の生成品が異なる場合

は機能単位をどのように設定するかを検討も必要になる。これまで、研究論文¹³⁾では経済価値による配分などが提案されるなど、様々な方法が提案されているが、未だ世界的に共通の方法は提案されていない。Niklas von der Assenを始めとする研究者がカーボンリサイクル技術の評価においてシステム拡張に基づく評価範囲を設定するべきでない、と主張している理由はここにある。

3 まとめ

本稿では、カーボンリサイクル技術の評価における評価範囲の設定方法やそれによるCO₂削減量の計算方法について国内外の検討動向を述べた。それを踏まえ、評価範囲によってCO₂削減量の計算方法が異なることを具体的に説明し、システム拡張を適用した場合は配分に関する合意形成が課題になることを説明した。

現在、カーボンリサイクル技術の評価に関する世界共通のガイドライン作成に向けて様々な取り組みが行われている。一方、配分の問題は地域特性や事業者間の意思決定が関連するのでガイドライン化することは極めて困難になっている。しかし、配分の方法は一つに限定するのではなく、複数の方法を提案し、それぞれの評価（計上）方法を国内外に示していくことで地域特性や事業者間の状況を勘案した最適な方法を評価者自身が決定いくことを支援することができる。評価方法を一つに限定して決定していくのではなく、評価者・意思決定者の状況に応じた柔軟なガイドライン作りも今後、必

要になってくるのではないだろうか。最終的な目標はカーボンリサイクルによるCO₂削減量を国家のNDC (nationally determined contribution) に登録できるようにすること、更にはカーボンクレジットとして使用促進することであり、そのための評価方法やガイドラインはどのようにあるべきかについて、更なる国際的な対話が望まれる。

参考文献

- 1) United Nations, Paris agreement, (2015), https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf, (Accessed 13 Apr 2022).
- 2) G.Garcia-Garcia, M.C.Fernandez, K.Armstrong, S.Woolass and P.Styring : Analytical review of life-cycle environmental impacts of carbon capture and utilization technologies. *ChemSusChem*, 14 (2021), 995, <https://doi.org/10.1002/cssc.202002126>
- 3) C.Hepburn, E.Adlen, J.Beddington, E.A.Carter, S.Fuss, N.Mac Dowell, J.C.Minx, P.Smith and C.K.Williams : The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal, *Nature*, 575 (2019) 87, <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1681-6>
- 4) 経済産業省：カーボンリサイクル技術ロードマップ, (2021), <https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>
- 5) ISO, 2006. ISO 14040:Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, (2006), <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- 6) L.J.Müller, A.Kätelhön, M.Bachmann, A.Zimmermann, A.Sternberg and A.Bardow : A guideline for life cycle assessment of carbon capture and utilization. *Front. Energy Res.*, (2020), <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00015>, (accessed 2020-02-14) . 8.
- 7) L.Tim, et al. : Techno-Economic Assessment & Life Cycle Assessment Guidelines for CO₂ Utilization, (2022), <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/171800>
- 8) N.von der Assen, J.Jung and A.Bardow : Life-cycle assessment of carbon dioxide capture and utilization: avoiding the pitfalls. *Energy & environmental science*, (2013), Issue 9, <https://doi.org/10.1039/C3EE41151F>
- 9) N.Thonemann : Environmental impacts of CO₂-based chemical production : A systematic literature review and meta-analysis, *Applied Energy*, 263 (2020), 114599, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114599>
- 10) IEAGHG, Greenhouse Gas Accounting for CO₂ Capture and Utilisation (CCU) Technologies – Greenhouse Gas Accounting Guidelines for CCU, IEAGHG Technical Review 2018-TR01b, IEA Greenhouse Gas R&D Programme, (2020).
- 11) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：研究開発初期段階の CCU 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, (2020), <https://www.nedo.go.jp/content/100949869.pdf>
- 12) N.von der Assen, Philip Voll, Martina Peters and Andre Bardow. 2014. Life cycle assessment of CO₂ capture and utilization : a tutorial review, *Chem. Soc. Rev.*, (2014) 43, 7982. <https://doi.org/10.1039/c3cs60373c>

(2023年10月3日受付)