



2050年カーボンニュートラル実現に向けた技術リストの作成を開始

有望なカーボンニュートラル技術をCO₂削減ポテンシャル、CO₂削減コストおよび技術成熟度の観点から整理して一覧化

はじめに

2020年10月26日、日本政府は2050年までに温室効果ガスの排出量を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを宣言した^{*1}。温室効果ガスには二酸化炭素（以下、CO₂と記載）、メタン、一酸化二窒素、フロン等が含まれるが、CO₂が90%以上を占める^{*2}。本シリーズのレポートではCO₂を対象とし、CO₂の排出量と吸収量を相殺して実質的にゼロにすることを旨とする技術にフォーカスする。

日本で2050年のカーボンニュートラルを達成するためには、CO₂排出量を実質ゼロにすることに貢献する技術の社会実装に向けた現実解（道筋）が必要である。政府の方針では、CO₂排出削減及びCO₂吸収に関する様々な技術を組み合わせて達成する目算だが、今後は計画の具体化と共に、その進捗状況に応じて官民で推進する技術開発と社会実装の取り組みを堅実にブラッシュアップしていくことが重要であると考えられる。

デロイト トーマツ グループでは、カーボンニュートラルに貢献する技術をCO₂排出量の削減ポテンシャル及びCO₂排出削減コスト、技術成熟度等の観点から整理して比較するリスト（以下、技術リストと記載）の作成を試みており、本稿掲載の技術リストはそのプロトタイプである。今後、この技術リストに有望な技術を順次加えて拡充し、データの精査と定期的な見直しを行うことで、カーボンニュートラル実現に向けた技術の社会実装戦略の立案や、企業・自治体の取り組み内容の検討の一助となれば幸いである。

背景と目的

昨今、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて官民が盛んに取り組んでいる状況である。政府の方針では、CO₂排出削減及びCO₂吸収に関する技術を組み合わせることで2050年までにカーボンニュートラルを実現することを見込んでいる。しかし、多種多様な技術がある中で、CO₂削減量のポテンシャルや技術開発から社会実装までに要する費用、現在の技術成熟度等が一覧で整理さ

れた比較可能なリストが見当たらない状況である。また、研究機関・企業等による技術開発状況や、官公庁による法制度等仕組みの整備状況といった情報も点在しているため、全体感を持った議論ができずどこから手を付けてよいのかわかりにくいことが一つの課題と考えられる。有望な技術を着実に社会へ実装し、日本のカーボンニュートラルを実現するためには、各技術に関してその削減ポテンシャル等を整理したリストを社会へ広く公開していくことで、多様なステークホルダーを巻き込みやすくし、社会実装に向けた議論が一步でも前進することを期待したい。今後も、既存の技術のみならず、新しい有望技術の洗い出しやCO₂排出削減量のポテンシャル及びCO₂排出削減コストの試算、現在の開発状況を踏まえた技術成熟度を調査し整理することで、各技術を網羅的に俯瞰できるよう技術リストとして更新を続けていく。

技術リストの設計思想

技術リストの設計にあたって、本稿では以下のステップを想定している。

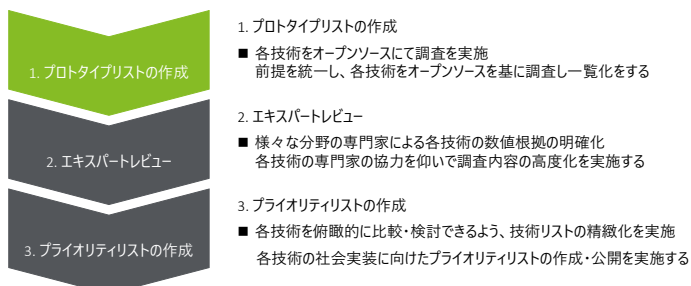


図1：技術リスト作成の設計思想

現在は「1. プロトタイプリストの作成」を開始したところである。本ステップでは、各技術を調査していく上での共通前提を定義し、オープンソースの情報を基に可能な限り客観的な情報で技術を整理・一覧化することを目指している。

技術リストの作成方法

技術リストの作成手順

■ 調査分析対象とする技術候補の収集

対象技術は経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」2021年6月18日発行版³から抽出した。

■ 技術の選定

今回のプロトタイプリストとして作成する技術リストでは、2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略にて紹介されているネガティブエミッション技術^{※1}に関連した技術を対象とした。カーボンニュートラルを実現する上で、CO₂の排出を抑制する技術と同様に、CO₂を吸収する技術も重要である。政府の見通しにおいても、カーボンニュートラル実現にあたってCO₂吸収に関する技術は必要不可欠であると述べており⁴、その重要さから第1弾の調査対象とした。

※1 ネガティブエミッション技術は大気中からCO₂を回収・除去する技術を指す。

■ 対象技術の分析項目

本技術リストにおいて整理する項目は以下の3点とした。

- CO₂排出削減量
 - ・ 既存技術を全て新技術に置き換えた場合のCO₂排出削減量をCO₂排出削減量ポテンシャルとして試算した。年間CO₂排出削減量を示し、単位はt-CO₂ / 年で表した。
- CO₂排出削減コスト
 - ・ 各技術を用いてCO₂を1トン削減する上で必要な費用であり、単位は千円 / t-CO₂ で表した。
- 技術成熟度
 - ・ 各技術の現時点における技術の到達度を表す。技術成熟度は環境省が“TRL 計算ツール利用マニュアル”にて公開している TRL（技術成熟度）の定義一覧に従った（表1）⁵。

表1：CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業における技術成熟度の定義一覧

レベル	定義	フェーズ
8	製造・導入プロセスを含め、開発機器・システムの改良が完了しており、製品の量産化又はモデルの水平展開の段階となっている。	量産化／水平展開
7	機器・システムが最終化され、製造・導入プロセスを含め、実際の導入環境における実証が完了している。	フィールド実証
6	機器・システムの実用型プロトタイプ／実用型地域モデルが、実際の導入環境において実証されており、量産化／水平展開に向けた具体的なスケジュール等が確定している。	模擬実証
5	機器・システムの実用型プロトタイプ／実用型地域モデルが、実際の導入環境に近い状態で実証されており、量産化／水平展開に十分な条件が理論的に満たされている。	
4	主要な構成要素が限定的なプロトタイプ／限定的な地域モデルが機器・システムとして機能することが確認されており、量産化／水平展開に向け必要となる基礎情報が明確になっている。	実用研究
3	主要構成要素の性能に関する研究・実験が実施されており、量産化／水平展開に関するコスト等の分析が行われている。	応用研究
2	将来的な性能の目標値が設定されており、実際の技術開発に向けた情報収集や分析が実施されている。	
1	要素技術の基本的な特性に関する論文研究やレポート等が完了しており、基礎研究から応用研究への展開が行われている。	基礎研究

出所：環境省の資料⁶を基にデロイト作成

■ 情報ソース

各技術を調査する上で客観的な情報を基に整理を行うため、以下のような情報ソースを活用した。

- 国・公的組織等による公開資料
- 大学・研究所等の研究機関による公開資料
- 技術を有している企業による公開資料

■ エビデンスレベル

各情報ソースのエビデンスレベルを以下の4つに分類した（図2）。今回の技術リストにおいてはエビデンスレベルⅠ～Ⅲまでの情報ソースを基に作成した。

- I. 日本のデータセット
- II. 海外のデータセット
- III. 論文
- IV. エキスパートオピニオン

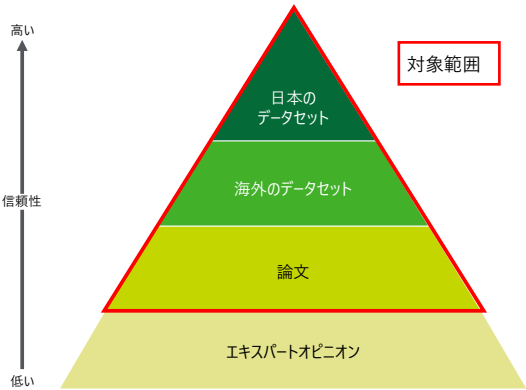


図2：エビデンスレベル

■ CO₂排出削減量・CO₂排出削減コスト試算の前提条件

日本国内におけるCO₂排出削減量ポテンシャル・CO₂排出削減コストを試算する上では、活用可能なデータの種類や量、各情報ソースにおける前提の違い等様々な制約があるため、以下のように前提を揃えた。

- ターゲットについて
 - ・ 2050年までに日本国内にて現在の技術を全て新技術に置き換えた場合を想定してCO₂排出削減量のポテンシャルを試算した。
- CO₂排出削減量について
 - ・ CO₂排出削減量・吸収量の算出は、可能な限り原料の調達から製品の破棄等終わりまでの製品ライフサイクル全体を考慮して既存技術と新技術で比較した。
 - ・ CO₂排出削減量・吸収量に関して他の技術とのダブルカウントについては考慮しない。
 - ・ CO₂排出削減量・吸収量のポテンシャルを算出する上で、現在の需要・供給を新技術に全て置き換え、最大限に利用できると仮定して算出した。将来（2050年）の需要・供給量は現時点では試算・考慮しない。
- CO₂排出削減コストについて
 - ・ CO₂排出削減コストはCO₂排出削減ポテンシャル及び技術の導入・運用費用（技術開発費用は含まず）を用いて算出した。
 - ・ 技術を導入・運用する上で必要な費用については、オープンソースのデータがある場合はそれらを利用し、現時点で不十分であると判断した場合には類似事例等を基に算出を行った。類似事例等もない場合、調査可能な数値を複数用いて推定した。
 - ・ 耐用年数について、情報がある場合はその情報を、ない場合は一律20年と仮定した。

技術リスト（プロトタイプ）

技術リストについて

ネガティブエミッション技術を対象に調査分析し、プロトタイプリストとして作成した技術リストは下表のとおりである（表2）。

本稿においては各技術の試算の仕方の例として吸収型コンクリートによるCO2排出削減量の試算のみを示した。各々の技術の試算をする上で、公開されている情報ソース^{*3, *6-^{*}16}を利用した。

技術リスト作成の試みから得られた示唆

2019年の日本国内におけるCO2の総排出量は約11億トンである^{*2}。今回調査を実施したネガティブエミッション技術を最大限利用した場合におけるCO2吸収量の合計は約3,900万トンである。これは現在日本国内で排出しているCO2の約3.5%に相当する。

CO2排出量の実質ゼロを実現するためにはCO2排出量とCO2吸収量が等しくなければならない。他の様々な技術でCO2排出量を抑制したとしても、現在排出しているCO2の約3.5%にまでCO2排出量を削減することは現時点では非常に困難だと考えられる。

従って、CO2排出を抑制する技術を普及・展開させることはもちろんだが、CO2を吸収するネガティブエミッション技術に関しても更に技術開発、実証実験、社会実装を促進しCO2吸収量を増やしていくことが必要であると考える。

そのためには本技術リストを活用して、社会全体として有望な技術に対して更に積極的に投資を行っていくこと、及び技術開発・実証実験・社会実装の状況を適宜把握し、更なる打ち手を堅実・着実に検討・実行していくことが重要である。

今後のステップ

本技術リストはカーボンニュートラルを実現するための技術を、CO2排出削減量のポテンシャル、CO2排出削減コスト、技術成熟度の観点から整理をする技術リストの作成を目指す上でのプロトタイプリストである。

本技術リストを社会実装に役立つものにするためには、技術リストに掲載する技術の拡充に加え、調査分析に用いるデータの拡充と精査、各技術によるCO2排出削減量・吸収量のダブルカウントの考慮、前提条件の精緻化と統一、各技術の粒度統一や統合といった検討が必要である。

従って、引き続き今回掲載した以外の多種多様な技術について調査分析を実施していくと共に、各技術の専門家の知見等を取り入れた上で、本検討の精度を高めていきたい。

そのためには、本稿の作成に関わったメンバーだけではなく、デロイト トーマツ グループ内外の研究者・政府・企業等、様々な分野の人々との協働が必要不可欠である。今後この活動を周知し協働を加速させることで、重要技術の社会実装を促しカーボンニュートラル達成への貢献を目指す。

また、中長期にわたって定期的に技術リストの内容を再調査及び他の新技術の追加調査等を実施していくことで本技術リストを更新し、各技術を俯瞰的に比較・検討ができるプライオリティリストとして公開していくことを目指す。

表2：ネガティブエミッションに関する技術リスト

技術ソリューション	CO2排出削減量 [t-CO2/年]	CO2排出削減コスト [千円/t-CO2]	技術成熟度 [レベル]	エビデンスレベル
吸収型コンクリート	30,410,000	411	4	論文 ^{*3, *6-[*]9}
膜分離・化学・物理吸収によるCO2分離及び圧縮貯留	4,928,000	7	4	論文 ^{*10-[*]11}
鉄鋼スラグを活用したブルーカーボン	3,420,000	543	8	日本のデータセット ^{*12-[*]14}
微生物によるCO2リサイクル	183,600	(調査中)	4	日本のデータセット ^{*15-[*]16}
...				
(以下は今後調査、掲載予定の技術の一部抜粋)				
農地による炭素貯留	(調査中)	(調査中)	(調査中)	(調査中)
CO2を原料とするパラキシレン製造技術	(調査中)	(調査中)	(調査中)	(調査中)
合成燃料	(調査中)	(調査中)	(調査中)	(調査中)
バイオマス発電	(調査中)	(調査中)	(調査中)	(調査中)

CO2排出削減量の試算例

吸収型コンクリートにおけるCO2排出削減量の具体的な試算方法及び試算する上で用いた仮定の値は以下の通りである。（式1及び表3）。

式1：吸収型コンクリートのCO2排出削減量の試算に用いた式

CO2排出削減量 = (既存技術によるCO2排出量 - 新技術によるCO2排出量) × (国内生コンクリートの出荷量)

表3：吸収型コンクリートのCO2排出削減量の試算に用いた仮定

項目	値	備考
既存技術によるCO2排出量	330 [kg/m^3]	大成建設株式会社が発表したカーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発にて掲載されている普通コンクリートCO2排出量の最大値 ^{*6} とした。
新技術によるCO2排出量	-55 [kg/m^3]	大成建設株式会社が発表したカーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発にて掲載されているCO2吸収型コンクリートのCO2排出量の最大値 ^{*6} とした。
国内生コンクリートの出荷量	7,900万 [m^3/年]	国土交通省による令和2年度 主要建設資材需要見通し報告にある生コンクリートの令和2年度における需要見通しの値 ^{*7} とした。

参考資料

- *1 首脳官邸ホームページ 第百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説
<https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html>
(2021年7月1日アクセス)
- *2 環境省ホームページ 2019 年度（令和元年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について
<<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/results/material/honbun2019rev2.pdf>>
(2021年7月1日アクセス)
- *3 経済産業省ホームページ 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略<<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>>
(2021年7月1日アクセス)
- *4 経済産業省ホームページ 2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析（中間報告）
<https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/043/043_005.pdf>
(2021年7月1日アクセス)
- *5 環境省ホームページ TRL 計算ツール利用マニュアル＜第三版＞
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/biz_local/29_a01/7_trlmanual.pdf>
(2021年7月1日アクセス)
- *6 大成建設株式会社ホームページ カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発<https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210216_5079.html>
(2021年7月1日アクセス)
- *7 国土交通省ホームページ 令和 2 年度 主要建設資材需要見通し<<https://www.mlit.go.jp/common/001370937.pdf>>
(2021年7月1日アクセス)
- *8 會澤高圧コンクリート株式会社ホームページ コンクリートの比重
<<https://concrete-mc.jp/specificgravity/>>
(2021年7月1日アクセス)
- *9 国土交通省ホームページ 生コン業界の現状と課題への取組みについて
<<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/douroshizai/pdf02/5.pdf>>
(2021年7月1日アクセス)
- *10 IEAホームページ World Energy Outlook2019
<<https://iea.blob.core.windows.net/assets/98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WE02019-free.pdf>>
(2021年7月1日アクセス)
- *11 国立研究開発法人科学技術振興機構ホームページ CCS（二酸化炭素回収貯留）の概要と展望（Vol.2）
<<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2016-pp-06.pdf>>
(2021年7月1日アクセス)
- *12 J-STAGEホームページ 浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/kaigan/75/1/75_10/_pdf/-char/ja>
(2021年7月1日アクセス)
- *13 環境省ホームページ 閉鎖性海域における水環境改善技術
<https://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/list/h21/02_h_4%5B1%5D.pdf>
(2021年7月1日アクセス)
- *14 e-Govホームページ 減価償却資産の耐用年数等に関する省令
<<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=340M50000040015>>
(2021年7月1日アクセス)
- *15 株式会社CO2資源化研究所ホームページ UCIDI®Technology
<<https://www.co2.co.jp/jp/technology>>
(2021年7月1日アクセス)
- *16 一般財団法人 日本水産油脂協会ホームページ 平成30年度事業報告書
<<http://www.suisan.or.jp/html/file/h30report.pdf>>
(2021年7月1日アクセス)

執筆者

金子 泰人／Yasuhito Kaneko
アナリスト
サイバーアドバイザリー
デロイト トーマツ サイバー合同会社

趙 浩／Hao Zhao
シニアスタッフ
ESG・IRアドバイザリー
リスクアドバイザリー事業本部
有限責任監査法人トーマツ

宍戸 圭介／Keisuke Shishido
マネジャー
ESG・IRアドバイザリー
リスクアドバイザリー事業本部
有限責任監査法人トーマツ

齋藤 晃太郎／Kotaro Saito
マネージングディレクター
オペレーショナルリスク
リスクアドバイザリー事業本部
有限責任監査法人トーマツ

片桐 豪志／Tsuayoshi Katagiri
パートナー
ガバメント & パブリックサービスズ
リスクアドバイザリー事業本部
有限責任監査法人トーマツ

Deloitte.

デロイト トーマツ

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト トーマツ合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャルアドバイザリー合同会社、デロイト トーマツ税理士法人、DT弁護士法人およびデロイト トーマツ コーポレート ソリューション合同会社を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のビジネスプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザリー、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市以上に1万名を超える専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループWebサイト（www.deloitte.com/jp）をご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイトネットワーク”）のひとつまたは複数指します。DTTL（または“Deloitte Global”）ならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTLおよびDTTLの各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。DTTLはクライアントへのサービス提供を行いません。詳細は www.deloitte.com/jp/about をご覧ください。

デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバーファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オーストラリア、バンコク、北京、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザリー、リスクアドバイザリー、税務およびこれらに関連するプロフェッショナルサービスの分野で世界最大級の規模を有し、150を超える国・地域にわたるメンバーファームや関係法人のグローバルネットワーク（総称して“デロイトネットワーク”）を通じFortune Global 500®の8割の企業に対してサービスを提供しています。“Making an impact that matters”を自らの使命とするデロイトの約312,000名の専門家については、（www.deloitte.com）をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、デロイト トウシュ トーマツ リミテッド（“DTTL”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイト・ネットワーク”）が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接また間接に発生したいかなる損失および損害に対して責任を負いません。DTTLならびに各メンバーファームおよびそれらの関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2021. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.



IS 669126 / ISO 27001