

Deloitte.

デロイト トーマツ

2050年カーボンニュートラル実現に向けた 技術リスト第5弾

The GX tech List for 2050



目次

序論	3
技術リストの作成方法	4
技術リスト（プロトタイプ）	6
試算例	8
外部専門家による意見の反映	9
技術リストの分析事例	10
結論	15
謝辞	16
参考資料	17
執筆者一覧	27



序論

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全体の90%を占めるCO₂に加えて、メタン等も対象とし、CO₂の排出量と吸収量を相殺して実質的にゼロを目指すことにフォーカスする。

カーボンニュートラルを達成するためには、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地道に、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 グループの科学技術イニシアチブ Deloitte Tohatsu Science and Technology（以下、DTSTと記載）では、カーボンニュートラルに貢献する技術をCO₂排出削減量のポテンシャル及び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、本稿はその第5弾である。第1~3弾では、調査手法の構築に始まり、掲載技術数を拡充しながら調査項目や分析事例を追加してきた。第4弾では、投資・開発の方向性を簡易評価することを目的として、ニュース記事データに対してテキストマイニング（情報抽出）アルゴリズムを適用し、各技術に関連する記事数を各技術の相対的な注目度合いとして算出した結果をまとめた。また、各技術を特徴づける検索語（クエリ）を設定し、テキストマイニングの手法により検索語と関連の高い記事を抽出し、日本・海外での各技術の注目度合いを可視化した。

第5弾にあたる本稿では、掲載技術数を63件まで拡充するとともに技術分野に関しても農業分野や再生可能エネルギーの熱利用を中心に拡張した。加えて、本リストの客観性の向上を目的として、一部の技術については大学の研究者を中心とする外部の専門家の意見を反映した。

今後は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と共に、各技術のエキスパートレビュー及び統合モデル考慮による各技術の相互作用やダブルカウントの控除、各技術プレーヤーとの紐づけ等を行うことを予定している。本技術リストが日本の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政策立案や技術開発に取り組んでいる。しかし、多種多様な技術がある中で、CO₂排出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散在しているため、全体感を持った議論ができずにどこから手を付けてよいかのわかりにくいことが一つの課題と考えられる。

日本のカーボンニュートラル実現に向けて各技術に関してその削減ポテンシャル等を同じ観点で整理した技術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、有望な技術の社会実装を目指す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、特許件数、法規制等を踏まえた技術成熟度等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。

（注：本技術リストに含まれる数値は、一定の前提の基で算出した参考値であるため、これらのみに全面的に依拠して判断を下すこと等はないようお願い致します。また本稿に関連して生じた損害または障害等に関しては、その理由の如何に関わらず、当社は一切責任を負うものではありません。）

技術リストの作成方法

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。

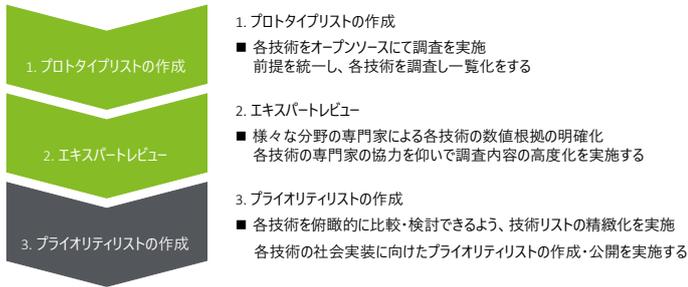


図1：技術リスト作成の設計思想

現在は「2. エキスパートレビュー」を開始したところである。本ステップでは、各技術を調査した結果に対して研究者等の外部の有識者からレビュー頂き、技術の評価手法を精緻化すると同時に先端的な研究情報を反映することを目指している。

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を参考にしながら、関連する分野の技術も調査し取りまとめた。

■ 技術タイプの定義

本技術リストにおいてはカーボンニュートラルに関する技術について、運用時のCO2排出有無により大きく以下の3つの技術タイプを定義し、各技術を分類した。一部技術については実運用する際、他のタイプの技術と組み合わせて利用されるため、技術によっては複数のタイプにわたり分類されるものもある。したがって、本技術リストにおいては、各技術を下記の定義に基づいて大まかな分類を行った。

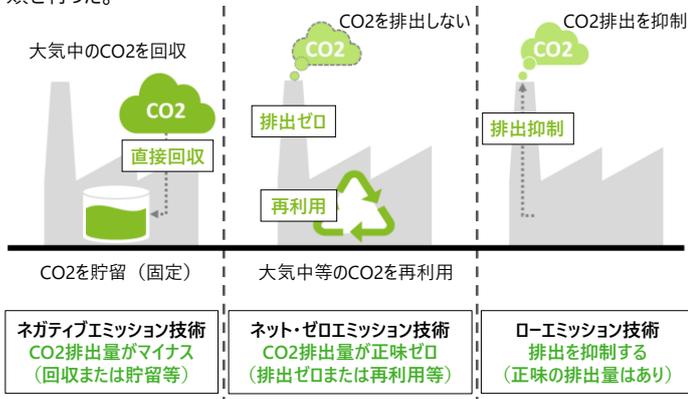


図2：各技術タイプのイメージ図

- **ネガティブエミッション技術**
 - 大気中からCO2を回収または貯留する技術（図2の左）をネガティブエミッション技術とした。CO2を回収・貯留するため排出量はマイナス、すなわちCO2を吸収する技術である。
 - 例としてはCO2を大気中から直接回収するDAC技術（Direct Air Capture）やCO2を貯留する二酸化炭素貯留技術（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）等が該当する。
- **ネット・ゼロエミッション技術**
 - 大気中へ新たなCO2を排出しない技術（図2の中央）をネット・ゼロエミッション技術とした。CO2を排出しない、または大気中等のCO2を回収し、再利用することで正味のCO2排出量がゼロとなる技術である。
 - 例としては風力発電をはじめとする再生可能エネルギーやバイオ由来のグリーンLPGをはじめとするカーボンリサイクル技術等が該当する。

➤ ローエミッション技術

- 大気中へのCO2を排出を抑制する技術（図2の右）をローエミッション技術とした。CO2を排出するが、既存の技術と比較してCO2排出量を抑制する技術である。
- 例としては火力発電所の高効率化や次世代自動車活用による省エネルギー技術等が該当する。

■ 技術の選定

技術の選定にあたっては、左記の技術タイプの定義の通り「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、ネット・ゼロエミッション技術及びローエミッション技術に関連する技術を対象とした。カーボンニュートラルの実現には、これら3種類の技術を組み合わせ、トータルでCO2排出量をゼロにすることが求められる（図3）。したがって、これらの技術のうち主要とされ、調査可能な技術を本稿の調査対象とした。

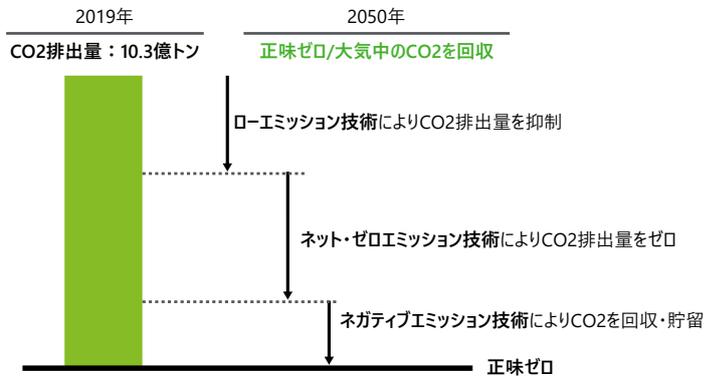


図3：2050年に向けて日本が目指すべき姿（正味ゼロ排出のイメージ）

■ 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4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と仮定した場合に、CO2排出削減が可能なポテンシャル量としてCO2排出削減量を試算した。年間CO2排出削減量を示し、単位は百万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。
- **特許件数**
 - 各技術に関連した特許技術が世界中で出願されている件数であり、単位は 件 で表した。
 - 特許件数については表1の検索条件を用いて調査を行った。

表1：特許件数の調査を行う上での特許検索条件

使用データベース	Derwent Innovation ⁴
調査対象国	日米欧中等主要国を含むDerwent Innovation収録のすべての国（90か国以上）
検索式	当該技術に関する国際特許分類（IPC）、当該技術に関する技術的キーワードを使用して作成

➤ 技術成熟度

- 各技術の現時点における到達度を表す。技術成熟度は産総研が公開しているTechnology Readiness Level(TRL)の定義を参考にした(表2)^{5,6}。
- 第1弾にて公開した技術リストでは環境省が“TRL 計算ツール利用マニュアル”にて公開している技術成熟度(以下、TRLと記載)の定義に従って8段階のTRLを用いていたが、世界でより広く利用されている9段階のTRLを用いることにした。

表2：本技術リストにおける技術成熟度の定義一覧

レベル	定義	フェーズ
9	大量生産開始	研究後期
8	パイロットライン導入	
7	トップユーザーテスト(システムレベル)	
6	実証・プロトタイプ機(システムレベル)	研究前期
5	ラボテスト(要素技術段階)	
4	応用的な開発(要素技術段階)	
3	技術コンセプトの確認	基礎研究
2	原理・現象の拡張	
1	基本現象の発見、原型装置の開発	

出所：産業技術総合研究所^{5,6}

■ 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

■ エビデンスタイプ

各情報ソースのエビデンスタイプを表3に示すエビデンスタイプⅠ～Ⅲの3つに分類した。

本技術リストは日本のカーボンニュートラル実現を目指すものとして作成されており、日本独自の事情を考慮していきたいと考えている。例えば製品を製造する際に利用する電気等のエネルギー源のCO2排出量により、同じ製品によってもLife Cycle Assessment(以下、LCAと記載)によるCO2排出量が異なる事象が発生する。また、将来的には日本独自の法規制や不動産事情、そうしたビジネス条件による採算への影響も織り込むことも検討している。そのため、可能な限り日本国内のデータセットを利用する方針としている。

表3：エビデンスタイプ

No.	エビデンスタイプ	概要
I	日本のデータセット	日本国内における実証実験等による情報ソース
II	海外のデータセット	海外における実証実験等による情報ソース
III	論文	論文等による情報ソース

■ CO2排出削減量・CO2排出削減コスト試算の前提・制約条件

日本国内におけるCO2排出削減量と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、以下のように前提条件を揃えたり、制約条件があることを認識したうえで検討した。

➤ ターゲット時期について

- 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排出削減量は、2050年においてどれくらいCO2排出の削減が可能を示すポテンシャル量である。現在の需要・供給量に対して、現在の技術を全て新技術に置き換えて、最大限に利用できると仮定して算出した。なお、2050年における需要・供給量は試算・考慮しない。
- CO2排出削減量の算出は、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(LCA)を考慮して既存技術と新技術で比較した。
- CO2排出削減量に関して、他の技術とのダブルカウントについては考慮しない。

➤ CO2排出削減コストについて

- CO2排出削減コストは、CO2排出削減量及び技術の導入・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、オープンソースにて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。

➤ 技術の粒度について

- 各技術を分類する粒度は、使用する素材や方法、運転条件等いくらでも粒度を細かく分類できてしまうが、際限がなく、データもなくなって整理がそもそもできなくなるため、一般的な技術名称レベルにとどめた。

➤ 技術同士のカーボンリゼーションについて

- ある技術が発展するともう一方の技術のシェアが下がるといった関連技術同士のカーボンリゼーションについては考慮しないこととした。

➤ 算出結果の数値全般、TRLの妥当性について

- 専門家や技術を分類する粒度によって見解が分かれるところが多いとあると理解している。しかし、算出や評価をまず行わなければ、比較することはできないため、妥当性を追求するよりは広く情報を整理することを優先した。
- 一方で、算出や評価にあたっては、科学技術のバックグラウンドを有するDTSTのプロフェッショナル複数人が一つの技術をレビューして計算の妥当性や数値の根拠、算出された数値を相互確認し、責任者が全てのプロセスを確認している。さらに、本稿作業メンバーとは別組織のデロイト トーマツ グループのプロフェッショナル複数人が本稿全体をレビューするという重層的な確認プロセスを経た。

技術リスト（プロトタイプ） - 1/2

技術リストについて

第5弾の技術リストは、63技術を掲載した技術リストとした（表4, 表5, 表6）。今回調査した結果は、前頁“技術リストの作成方法”を基に科学技術のバックグラウンドを有するDTSTのプロフェッショナルが算出した値ではあるが、その結果は数ある算出方法の中から算出した一例である。

表4：ネガティブエミッションに関する技術リスト

No.	技術ソリューション	CO2排出削減量 [百万t-CO2/年]	CO2排出削減コスト [千円/t-CO2]	特許数 [件]	技術成熟度 [レベル]	エビデンスタイプ
1	エリートツリーの普及によるCO2固定	250	(調査中)	(調査中)	8	日本のデータセット ^{*7-13}
2	BECCS（バイオマスエネルギーによるCO2回収・貯留）	93	2.8	(調査中)	7	海外のデータセット ^{*262-264}
3	吸収型コンクリート	30	410	1,879	7	論文 ^{*3, *14-117}
4	農地におけるバイオ炭の投入によるCO2固定	7.6	190	(調査中)	7	日本のデータセット ^{*18-25}
5	浅海におけるブルーカーボンの活用 ※1	7.5	540	(調査中)	8	日本のデータセット ^{*28-30}
6	膜分離・化学・物理吸収によるCO2分離及び圧縮貯留	3.8~7.7	7.0	7,029	4	論文 ^{*26-27}
7	微生物によるCO2リサイクル	0.18	(調査中)	916	4	日本のデータセット ^{*31-32}
8	DAC：Direct Air Capture（分離・回収まで）	(調査中)	44	(調査中)	6	日本のデータセット ^{*33-37}

表5：ネット・ゼロエミッションに関する技術リスト

No.	技術ソリューション	CO2排出削減量 [百万t-CO2/年]	CO2排出削減コスト [千円/t-CO2]	特許数 [件]	技術成熟度 [レベル]	エビデンスタイプ	
9	洋上風力発電	着床式	500	23	11,119	9	日本のデータセット ^{*38-42}
		浮体式	(調査中)	(調査中)	(調査中)	7	
10	事業用太陽光発電	480	13	45,351	9	日本のデータセット ^{*39-44}	
11	陸上風力発電	440	25	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*39-42, *45}	
12	住宅用太陽光発電	170	14	45,351	9	日本のデータセット ^{*39, *41, *42, *44, *46}	
13	核融合炉	140	(調査中)	(調査中)	2	論文 ^{*39, *47-57}	
14	高温ガス炉（発電のみ）	130	11	(調査中)	3	論文 ^{*39, *47, *55, *58-65}	
15	高速炉	130	550	(調査中)	5	日本のデータセット ^{*39, *40, *47, *55, *66-71}	
16	小型炉（SMR）	130	(調査中)	(調査中)	6	論文 ^{*39, *40, *47, *55, *72-77}	
17	水素ボイラー	130	170	(調査中)	8	日本のデータセット ^{*78-88}	
18	石炭による火力発電におけるアンモニアの混焼	124	22	481	5	論文 ^{*41, *94-96}	
19	合成燃料（ガソリン代替）	逆シフト反応 + FT合成	110	320	855	5	海外のデータセット ^{*89-93}
		メタノール合成 + MTG	(調査中)	(調査中)	(調査中)	8	
20	水素発電	混焼	(調査中)	(調査中)	(調査中)	7	日本のデータセット ^{*39, *78, *97-99}
		専焼	88	(調査中)	704	6	
21	地熱発電	64	17	1,655	8	日本のデータセット ^{*39-42, *100, *101}	
22	水電解装置	50	19	(調査中)	6	日本のデータセット ^{*35, *78-80, *102-104}	
23	LCCM住宅	51	(調査中)	(調査中)	6	日本のデータセット ^{*105-108}	
24	人工光合成によるプラスチック原料（オレフィン）	45	343	(調査中)	4	論文 ^{*109-117}	
25	ZEH（戸建）	39	43	(調査中)	6	日本のデータセット ^{*106, *108, *118-120}	
26	合成メタン	33~36	50~56	433	6	論文 ^{*35, *46, *121-124}	
27	中小水力発電	36	12	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*39-42, *125}	
28	ZEB	32	210	(調査中)	6	日本のデータセット ^{*118, *126-130}	
29	SAF （持続可能な航空燃料）	HEFA	(調査中)	(調査中)	(調査中)	8	日本のデータセット ^{*131-135}
		FT-SPK	31	(調査中)	(調査中)	7	
		SIP-HFS	(調査中)	(調査中)	(調査中)	6	
		ATJ-SPK	(調査中)	(調査中)	(調査中)	6	
30	海洋温度差発電	24	56	(調査中)	6	論文 ^{*39, *40, *136-139}	
31	アンモニア燃料船	22	(調査中)	(調査中)	4	論文 ^{*140-149}	
32	水素コージェネレーション（専焼）	22	(調査中)	(調査中)	2	日本のデータセット ^{*150-156}	
33	潮流発電	13	82	(調査中)	6	論文 ^{*39, *40, *136, *137, *157-162}	
34	燃料転換（製紙産業熱源へのバイオマス利用）	13	140	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*39, *40, *163-171}	
35	再生可能エネルギー熱利用	地中熱利用 ※2	12	170	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*278-287}
		太陽熱利用	10	298	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*267-277}
36	バイオマス由来プラスチック（微生物生産に限定）	10	410	1,879	8	日本のデータセット ^{*3, *172-177}	
37	波力発電	9.1	67	(調査中)	6	論文 ^{*39-40, *136, *137, *178-180}	
38	木造高層ビルの普及によるCO2削減	6.0	(調査中)	(調査中)	7	日本のデータセット ^{*181-182}	
39	廃棄物処理施設のCO2回収	3.3	29	(調査中)	6	論文 ^{*183, *184}	
40	バイオマスによるグリーンLPガス	2.8	9.2	108	5	日本のデータセット ^{*185-189}	
41	CO2固定能の高い作物の開発・導入 ※3	2.5	70	(調査中)	7	日本のデータセット ^{*265-266}	
42	再生可能エネルギー熱利用	1.8	237	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*288-292}	
43	再生可能エネルギー熱利用	1.8	237	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*288-292}	
44	FCバス	1.5	580	2,993	8	日本のデータセット ^{*58, *90, *152, *190-200}	

※1 削減コストは鉄鋼スラグにより吸収源を新規に造成するケースを想定している。なお、新規吸収源の造成を伴わない場合は、維持管理費のみでCO2削減に寄与できるとしている

※2 戸建住宅における暖房利用を算定範囲としている

※3 エリアンサスを原料とするペレットの熱利用を算定範囲としている

（注：本技術リストに含まれる数値は、一定の前提の基で算出した参考値であるため、これらに全面的に依拠して判断を下すこと等はないようお願い致します。また本稿に関連して生じた損害または障害等に関しては、その理由の如何に関わらず、当社は一切責任を負うものではありません。）

技術リスト（プロトタイプ） - 2/2

技術リストについて

第5弾の技術リストは、63技術を掲載した技術リストとした（表4, 表5, 表6）。今回調査した結果は、前頁“技術リストの作成方法”を基に科学技術のバックグラウンドを有するDTSTのプロフェッショナルが算出した値ではあるが、その結果は数ある算出方法の中から算出した一例である。

表6：ローエミッションに関する技術リスト

No.	技術ソリューション	CO2排出削減量 [百万t-CO2/年]	CO2排出削減コスト [千円/t-CO2]	特許数 [件]	技術成熟度 [レベル]	エビデンスタイプ	
45	電気自動車	96	130	28,431	9	日本のデータセット ^{*90, *152, *198, *201, *205}	
46	高効率ヒートポンプ ※1	51	293	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*46, *297, *315}	
47	自然冷媒	49	220	(調査中)	9	論文 ^{*206, *218}	
48	ガスコジェネレーション	14	79	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*150, *154, *219, *222}	
49	高炉水素還元製鉄	11	(調査中)	(調査中)	5	日本のデータセット ^{*223, *227}	
50	定置用燃料電池	6.5	180	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*78, *97, *195, *228, *231}	
51	マイクロ波加熱	5.6	(調査中)	(調査中)	8	日本のデータセット ^{*316, *323}	
52	LNG 燃料船	4.8	39	48	8	論文 ^{*140, *144, *232, *235}	
53	廃棄物発電	3.6	110	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*236, *238}	
54	水稲栽培の中干期間の延長(メタン排出抑制)	3.6	0	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*334, *337}	
55	燃料電池船	3.5	220	539	7	論文 ^{*146, *195, *223, *239, *245}	
56	メタン排出抑制 (給餌分野) ※2	3NOP	2.9	32	(調査中)	7	日本のデータセット ^{*324, *333, *338, *340}
		微細藻類ユーグレナ/海藻カゲキノリ給餌	(2.9)	(129)	(調査中)	3	
		牛へのカシューナッツ殻液給餌	(1.5)	(76)	(調査中)	7	
57	EV船（蓄電池船）	2.9	100	49	8	論文 ^{*243, *252}	
58	家畜排せつ物管理方法の変更(メタン排出抑制)	2.5	61	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*327, *328, *341, *345}	
59	複合材料（乗用車） ※3	1.8	(調査中)	(調査中)	3	日本のデータセット ^{*293, *294}	
60	既存建物の改修	1.2	(調査中)	(調査中)	6	日本のデータセット ^{*253, *255}	
61	アミノ酸バランス改善飼料(N2O排出抑制)	0.26	(調査中)	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*327, *328, *342, *343, *346, *350}	
62	道路照明のLED化	0.13	93	(調査中)	9	日本のデータセット ^{*256, *257}	
63	複合素材（航空機） ※3	0.09	(調査中)	(調査中)	5	日本のデータセット ^{*295, *296}	

※1 民生・産業の両部門を対象とし、CO2の削減量算定においては、熱源の電化およびヒートポンプの更新による効率改善のいずれも含むとして算出した

※2 畜産における給餌においてメタン排出を抑制する技術をまとめて扱う（3NOPを代表値とする）

※3 移動体重量の軽量化に伴う燃費改善効果を見込んでCO2削減量は算出している

（注：本技術リストに含まれる数値は、一定の前提の基で算出した参考値であるため、これらのみに全面的に依拠して判断を下すこと等はないようお願い致します。また本稿に関連して生じた損害または障害等に関しては、その理由の如何に関わらず、当社は一切責任を負うものではありません。）

試算例

試算例について

本稿の技術リストにおいては、各技術の試算の仕方の例として、吸収型コンクリート及びバイオマスによるグリーンLPガスの生成によるCO2排出削減量の試算を示した。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（吸収型コンクリート^{*3,*14,*17}、バイオマスによるグリーンLPガス^{*185,*189}）を利用した。

CO2排出削減量の試算例1

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7）。

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

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

表7：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 ^{*14} 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 ^{*14} 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 ^{*15} とした。

CO2排出削減量の試算例2

バイオマスによるグリーンLPガスの生成における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2及び表8）。バイオガスから製造したグリーンLPガスはカーボンニュートラルであり、化石燃料から得られたLPガスがバイオガス由来のLPガスに置き換わった場合、その分CO2排出量は減少するとした。

式2：バイオマスによるグリーンLPガスの生成のCO2排出削減量の試算に用いた式

$$\begin{aligned} \text{CO2排出削減量} &= \text{既存のLPガスにおけるCO2排出量} \\ &= (\text{既存LPガスの単位量あたりのLCAにおけるCO2排出量}) \times (\text{DME}^{\ast 3} \text{生成ポテンシャル}) \\ (\text{DME生成ポテンシャル}) &= (\text{利用可能なバイオガスのポテンシャル量}) \times (\text{単位バイオガス量あたりのDME生成量}) \end{aligned}$$

※3 DME：Di-Methyl Ether（ジメチルエーテル）：LPガスと同等に扱うことができる可燃性ガス

表8：バイオマスによるグリーンLPガスの生成のCO2排出削減量の試算に用いた仮定

項目	値	備考
利用可能なバイオガスのポテンシャル量	161,436万 [m ³ /年]	日本LPガス協会によるDME混合によるLPガスの低炭素化（令和3年3月25日）資料 ^{*186} 及び農林水産省によるバイオマスの活用をめぐる状況資料 ^{*187} の各廃棄物ごとにメタン潜在生成量と利用ポテンシャルを掛けて合計した値を利用可能なバイオガスのポテンシャル量の値とした。
単位バイオガス量あたりのDME生成量	5.11[t-DME/万 m ³]	日本LPガス協会によるグリーンLPガスの生産技術開発に向けた研究会 報告書(令和3年5月12日)のプラント規模と年間稼働日から年間のDME生成量を算出した ^{*185} 。次に算出した年間DME生産量を、原料バイオガス量で割った値を単位バイオガス量あたりのDME生成量の値とした。
既存LPガスの単位量あたりのLCAにおけるCO2排出量	3.34 [t-CO2/t-LPG]	日本LPガス団体協議会によるLPガス読本にあるエネルギー別二酸化炭素排出原単位におけるLPガスの値 ^{*189} とした。

外部専門家による意見の反映

アカデミアによるレビューについて

以下に示す技術調査において、客観性の向上や分野における最新知見の反映を目的として、技術の知見を有する大学や企業等の専門家の意見を取り入れた。意見の反映にあたっては、次頁に示す試算手法や参考文献を共有し、最新事例・情報を踏まえた上で値の妥当性について校閲を受けた。

表9：技術リストへの外部専門家の意見の反映事項

技術ソリューション	技術リスト項目への反映内容
洋上風力発電 着床式	<ul style="list-style-type: none"> 最新の文献の値を用い、CO2削減コストの算定を更新した (26 → 23 [千円/t-CO2]) TRLを6から7へ更新した
陸上風力発電	<ul style="list-style-type: none"> 最新の文献の値を用い、CO2削減コストの算定を更新した (22 → 24.6 [千円/t-CO2])
事業用太陽光発電	<ul style="list-style-type: none"> 最新の文献の値を用い、CO2削減コストの算定を更新した (16 → 13.1 [千円/t-CO2]) 太陽光発電はベースロード電源にはなり得ないため、蓄電池等との組み合わせなしでは導入量に制約がある。現状のCO2削減コストの試算においては蓄電池コストは含んでおらず、CO2削減ポテンシャル170 [百万t-CO2/年]に相当する太陽光発電を13.1 [千円/t-CO2]のコストで導入できるわけではないため、留意が必要である
住宅用太陽光発電	<ul style="list-style-type: none"> 最新の文献の値を用い、CO2削減コストの算定を更新した (15 → 13.6 [千円/t-CO2]) 太陽光発電はベースロード電源にはなり得ないため、蓄電池等との組み合わせなしでは導入量に制約がある。現状のCO2削減コストの試算においては蓄電池コストは含んでおらず、CO2削減ポテンシャル170 [百万t-CO2/年]に相当する太陽光発電を13.6 [千円/t-CO2]のコストで導入できるわけではないためその点留意が必要である 文献※によると、住宅用等の太陽光発電の事業性を考慮した導入ポテンシャルは471～1,373 [億kWh/年]とされており、その場合のCO2削減ポテンシャルは31～91 [百万t-CO2/年]程度である ※我が国の再生可能エネルギー導入ポテンシャル (概要資料導入編) Ver1.0、令和4年4月、環境省
地熱発電	<ul style="list-style-type: none"> 削減ポテンシャルにおいて、温室効果インベントリに従い蒸気に含まれるCO2量を考慮した CO2削減コストの算定を更新した (14 → 16.5 [千円/t-CO2]) (蒸気を考慮したことによる削減ポテンシャルの減少によるコストの増加) TRLを9から8へ更新した
定置用燃料電池	<ul style="list-style-type: none"> 特になし
水電解装置	<ul style="list-style-type: none"> プラント建設に係るCO2排出量等を加味して新技術のCO2排出係数を見直した (0.00 → 18.25 [g-CO2/MJ]) 以上より、CO2削減量を更新した (72 → 50 [百万t-CO2]) TRLを3から6へ更新した
石炭による火力発電におけるアンモニアの混焼	<ul style="list-style-type: none"> 最新の文献の値を用い、CO2排出削減量の算定を更新した (100 → 124 [百万t-CO2]) 以下の理由からCO2削減コストの算定を更新した (20 → 22 [千円/t-CO2]) <ol style="list-style-type: none"> CO2削減量算定更新 設備投資費用及び運営費用の更新
電気自動車	<ul style="list-style-type: none"> パラメータを一部更新した 以上より、CO2削減ポテンシャルを更新した (95 → 96 [百万t-CO2/年]) 以下の理由からCO2削減コストの算定を更新した (170 → 130 [千円/t-CO2]) <ol style="list-style-type: none"> CO2削減量算定更新 一部パラメータの更新 他技術との平仄をそろえて、運用コストを修正した (FCVとの平仄を合わせて保険料を除外)
FCバス	<ul style="list-style-type: none"> 他技術 (BEV) CO2削減コストの算定の考え方の平仄を合わせた。ただし、FCバスの数値に変更はない
浅海におけるブルーカーボンの活用	<ul style="list-style-type: none"> 技術名を更新した (鉄鋼スラグを活用したブルーカーボン⇒浅海におけるブルーカーボンの活用) CO2削減量について、2030年値から現状値2019年値を差し引いていたが、現状値を差し引かない形に更新した (3.4 → 7.5 [百万t-CO2]) 削減コストは鉄鋼スラグにより吸収源を新規に造成するケースを想定しており、新規造成が必要ない場合は維持管理費のみとなる旨を注記した
SAF (持続可能な航空燃料)	<ul style="list-style-type: none"> TRLを5から6へ更新した
合成燃料 (ガソリン代替)	<ul style="list-style-type: none"> 削減ポテンシャルおよび金額コストに変更点はない TRLを6から5へ更新した。また、燃料の製造方法によりTRLは異なるため、細分化して製造方法ごとにTRLを表示した
合成メタン	<ul style="list-style-type: none"> 以下2点を考慮してCO2削減ポテンシャルの算定を更新した (37 → 33～36 [百万t-CO2/年]) <ol style="list-style-type: none"> ベースラインとバウンダリを整合させた メタンの合成反応時のメタン収率を考慮 以上に伴い、CO2削減コストを更新した (49 → 50～56 [千円/t-CO2])
人工光合成によるプラスチック原料 (オレフィン)	<ul style="list-style-type: none"> メタノール製造の工程を含めてCO2削減コストを再試算した (370 → 343 [千円/tCO2]) TRLを5から4へ更新した
DAC : Direct Air Capture (分離・回収まで)	<ul style="list-style-type: none"> CO2削減ポテンシャルやCO2削減コストに関して以下の留意事項を追記した CO2削減ポテンシャル：本試算では集中型DACを対象としているが、分散型DACも視野に入れるとポテンシャルはより大きくなる可能性に留意が必要である CO2削減コスト：本試算においては、アルカリ溶液へのCO2吸収を想定しているが、他の文献では100～1,000 [USD/t-CO2] (13,000～130,000 [円/t-CO2] @130 [円/USD]) 程度との報告もあり要素技術によってかなり幅があることには留意が必要である
膜分離・化学・物理吸収によるCO2分離及び圧縮貯留	<ul style="list-style-type: none"> 最新の文献の値を用い、CO2削減ポテンシャルの算定を更新した。(4.9 → 3.8～7.7 [百万t-CO2/年]) コストに関しては現時点では未確定な要素が多く、2050年には分離回収コストが1,000円/t-CO2以下※1や現状5,000～10,000円/t-CO2から将来的には3,000円/t-CO2程度になりうる※2という試算もある。 ※1：CCS長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ、令和5年3月、資源エネルギー庁 ※2：Cost Evaluation of CCS Technology and Deployment Scenarios in Japan、2007年2月、RITE

技術リストの分析事例

本分析事例の目的

本技術リストで公開している各技術のコストやポテンシャル等には更なる修正・議論の必要があると想定している一方、現技術リストを分析することで、様々なインサイトが得られるのではと想定している。現時点まで試算したデータの分析事例を共有し、その分析方法やインサイトに関してフィードバックを得て、今後の技術リストの活用方法や改善方針に生かしていくことを想定している。

分析事例①：散布図利用による、各技術のポジショニング把握による投資価値の簡易評価

本分析では散布図を利用し、現時点での各技術のポジショニングを把握し、投資・開発の方向性を簡易評価することを目的とした。技術リストのデータを対象としているが、これらは更新時期によって変わっていくものとなるため、本評価はあくまで現時点のスナップショットという位置づけであり、更新時期や各技術の評価方法の変更により、刻一刻と変化していくことは予めご了承ください。

■ 分析スコープ

本技術リストで対象とした全63技術中でCO2排出削減コスト・技術成熟度が判明している全45技術を対象とする。

■ 概要分析方法

全45技術について、以下を軸にとった形で散布図を図4に示した。

- 横軸：技術成熟度[レベル] (= 投資リスクと想定)
- 縦軸：CO2排出削減コスト [千円/t-CO2] (= 費用対効果と想定)

■ ポジショニング整理方法

各技術を整理するために、以下の閾値を設けた。

- 横軸：技術成熟度：レベル6以上
 - ・ 実証段階以降に入っている技術とそうでないものを区別するため（技術成熟度の詳細は表2参照）
- 縦軸：CO2排出削減コスト：50 千円/t-CO2
 - ・ International Energy Agency (IEA) の「World Energy Outlook 2021」の「Net-Zero Emissions Scenario (1.5°Cシナリオ)」では、2050年に先進国における炭素価格として、250USD /t-CO2になると推計
 - ・ 最終的な社会実装を想定した場合、その約2倍である50 千円/t-CO2 以下でないと、確実な投資対象とならないと想定

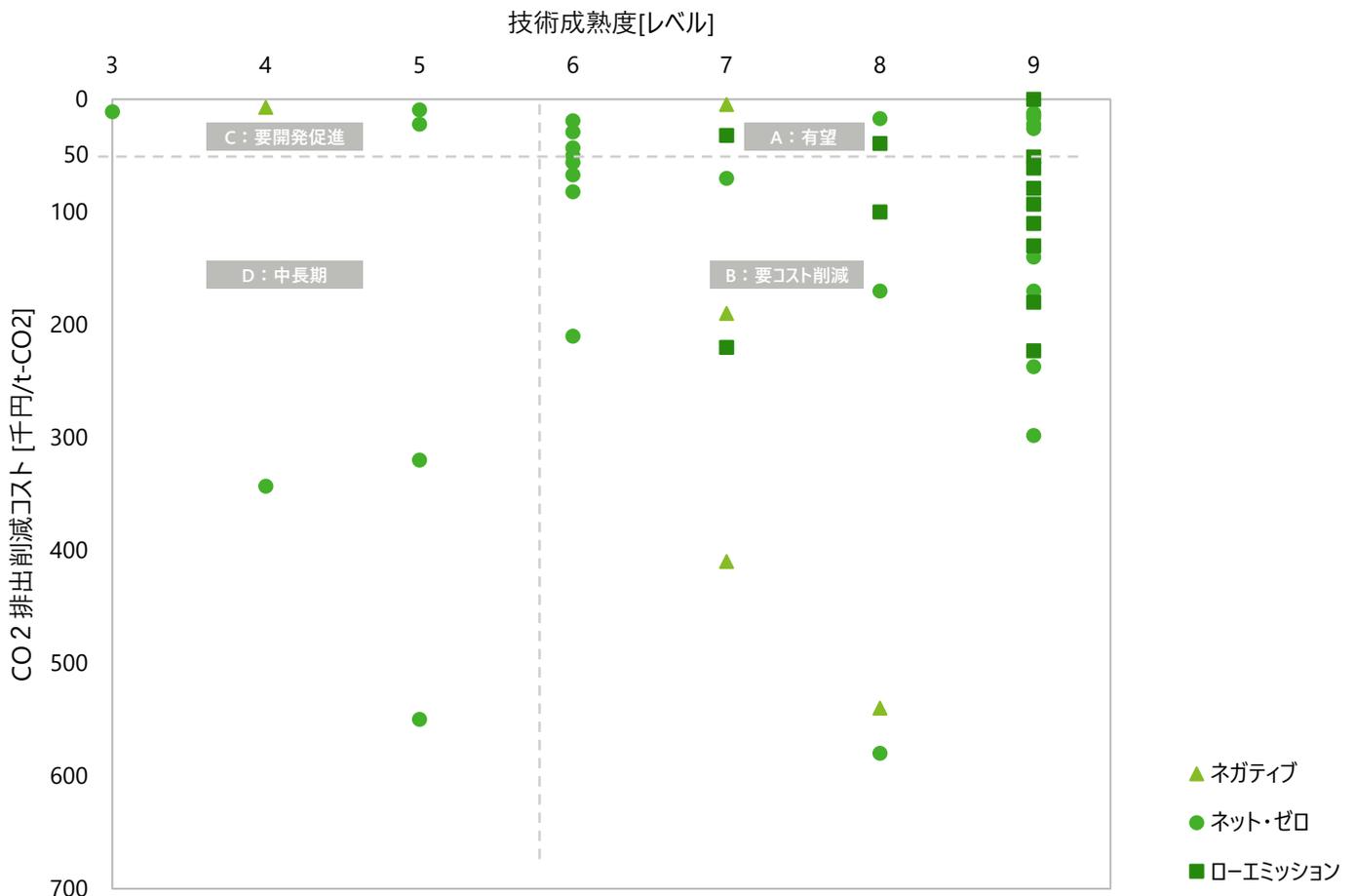


図4：各技術の概要ポジショニング分析

■ 各ポジションの技術に関する分析

前項で設定した閾値により、各技術を以下のように分類し、各グループに関しての簡易的な考察を追記した。

- A：有望
- B：要コスト削減
- C：要開発促進
- D：中長期

【A：有望】

本グループは既にも実証試験レベル以上に入っており、コストとしてもある程度実証化の見込みがあると想定されているグループである。このグループに含まれる技術については、優先的に投資を進めることでより経済的かつ確実に社会実装に近づけるのではないかと考えられる。現時点では、本グループには14技術が含まれており、その大半が普及が進んでいる再生可能エネルギーをはじめとしたネットゼロ技術であることが特徴である。具体的には、太陽光、風力発電等の成熟した再生可能エネルギー技術が該当し、農業関連技術も見受けられる。また、水電解装置も外部有識者のレビューによりTRLが上がったことで、このグループに移動した。また、本グループに入っている技術群においても、各技術のポテンシャルや相互作用を十分に考慮する必要があることは今一度強調しておきたい。

表10.1：有望技術ソリューション候補リスト

技術タイプ (対象数)	技術ソリューション
ネガティブエミッション (1)	BECCS (バイオマスエネルギーによるCO2回収・貯留)
ネット・ゼロエミッション (10)	洋上風力発電(着床式)、事業用太陽光発電、陸上風力発電、住宅用太陽光発電、地熱発電、水電解装置、ZEH (戸建)、合成メタン、中小水力発電、廃棄物処理施設のCO2回収
ローエミッション (3)	LNG 燃料船、3NOP、水稻栽培の中干期間の延長

【B：要コスト削減】

本グループは既にも実証試験レベル以上に入っているものの、実装にあたりコストが主なボトルネックになっていると想定されるグループである。最も該当技術数の多いグループであり、カーボンニュートラル技術はコストが高いという一般的な論説と合致する。このグループに含まれる技術については、コスト削減のための技術開発や量産化検討を行うことで、社会実装に近づけるのではないかと考えられる。現時点では、本グループには24技術が含まれており、ネガティブ、ネット・ゼロ、ローエミッションそれぞれの多種多様な技術があるのが特徴である。

表10.2：要コスト削減技術ソリューション候補リスト

技術タイプ (対象数)	技術ソリューション
ネガティブエミッション (3)	吸収型コンクリート、農地におけるバイオ炭の投入によるCO2固定、浅海におけるブルーカーボンの活用
ネット・ゼロエミッション (11)	水素ボイラー、ZEB、海洋温度差発電、潮流発電、燃料転換（製紙産業熱源へのバイオマス利用）、波力発電、FCバス、太陽熱利用、地中熱利用、雪氷熱利用、CO2固定能の高い作物の開発・導入
ローエミッション (10)	電気自動車、自然冷媒、ガスコジェネレーション、定置用燃料電池、廃棄物発電、燃料電池船、EV船（蓄電池船）、道路照明のLED化、産業用ヒートポンプ、家畜排せつ物管理方法の変更

【C：要開発促進】

本グループはコストに関してはある程度見込みがあるレベルだが、技術成熟度が低いと想定されているグループである。このグループに含まれる技術については、技術開発を優先して促進していくことで、より経済的な形でのカーボンニュートラル実現に資すると考えられる。現時点では、本グループには4技術が含まれており、その大半が代替燃料に関連するものとなっている。

表10.3：要開発促進技術ソリューション候補リスト

技術タイプ (対象数)	技術ソリューション
ネガティブエミッション (1)	膜分離・化学・物理吸収によるCO2分離及び圧縮貯留
ネット・ゼロエミッション (3)	高温ガス炉、石炭による火力発電におけるアンモニアの混焼、バイオマスによるグリーンLPガス

【D：中長期】

本グループは、現時点ではコスト・技術成熟度の両面から社会実装には難しいと想定されているグループである。このグループに含まれる技術については、短期ベースでの社会実装を考えるのではなく、中長期的な視点で開発状況を今後見極めていくことが重要と想定される。現時点では、本グループには3技術が含まれているが、今後の開発やデータ公開等が期待される。

表10.4：中長期技術ソリューション候補リスト

技術タイプ (対象数)	技術ソリューション
ネット・ゼロエミッション (3)	合成燃料（ガソリン代替）、高速炉、人工光合成によるプラスチック原料（オレフィン）

技術リストの分析事例（高度自然言語処理）

分析事例②：情報検索アルゴリズムを用いた各技術の注目度の可視化

■ 概要

本分析では各種報道における各技術の注目度合いをテキストマイニング（情報抽出）アルゴリズムを適用して算出し、投資・開発の方向性を簡易評価することを目的とした。ここではニュース記事データにおける各技術に関連する記事数を、各技術の相対的な注目度合いとみなした。技術リストには成熟度が低い技術から高いものまで含まれており、日々変化する研究開発動向や社会実装に向けた取り組みのトレンド把握のためには、情報のリアルタイム性、網羅性に優れるデータソースが必要である。この点に鑑み、本分析では従来用いられてきた財務情報などと比較し、情報のリアルタイム性、網羅性に優れ、近年特に金融領域の投融資にて活用が進んでいるニュース記事データをデータソースとした。

一般的なニュース記事データには国・地域、業種、カテゴリといったタグが付与されている場合があるものの、本技術リストのような分類・粒度でのタグは付与されておらず、大量の記事データから各技術に関連する記事データを抽出するために、テキストマイニングが必要である。本分析では、各技術を特徴づける検索語（クエリ）を設定し、テキストマイニングの手法により検索語と関連の高い記事を抽出し、日本・海外での各技術の注目度合いを可視化した

■ 分析スコープ

本技術リストの全50技術のうち以下3件を考慮し、全47技術を対象とした

- 「洋上風力発電」と「陸上風力発電」はどちらか一方に限定した記事数が少ないため「風力発電」に統一した
- 「既存建築物の改修」「道路照明のLED化」は意味合いが汎用的であり適切な検索語が設定できなかったため、除外した

■ 分析方法

Step1：データベースの定義

国内外のカーボンニュートラル、脱炭素関連のニュース記事や技術記事を49,760件収集しデータベースを作成した。なお、本データは文字型データが羅列された非構造データであるため、後段の分析のために単語を切り出し（トークン化）、適切な前処理を実施した

- 検索ワード：low-carbon, decarbonization, carbon-neutral
- 検索期間：2018年1月1日-2021年11月20日
- 言語：英語
- 対象国：すべて（日本：2,045件、海外：47,715件）

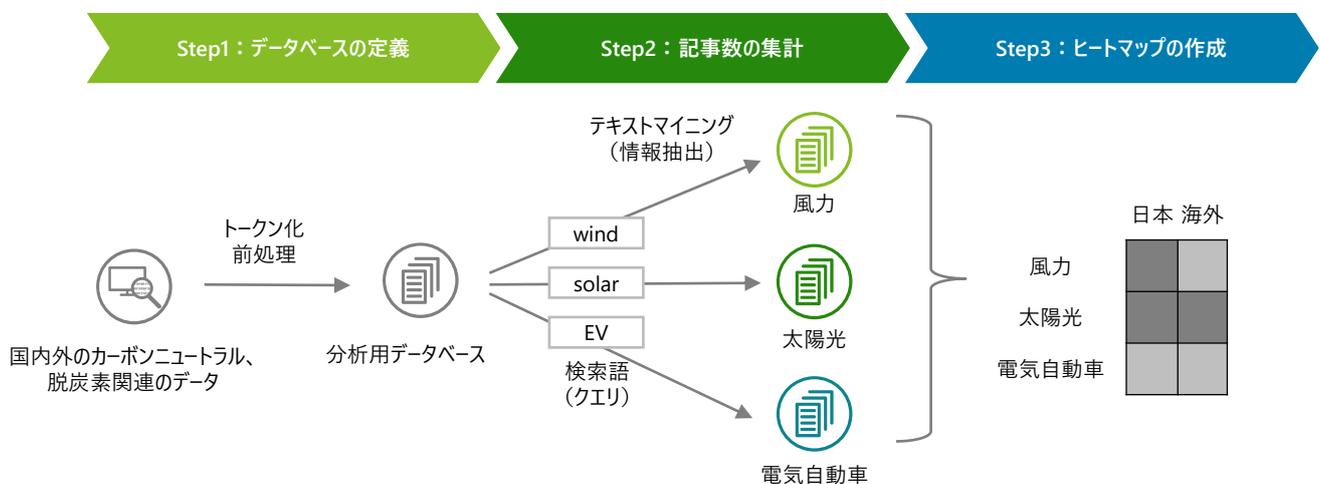
Step2：記事数の集計

各技術を特徴づける検索語（クエリ）を指定し、検索語と文書データの関連性を Okapi BM25（BM: Best Matching25 以降、BM25）[258]と呼ばれる検索アルゴリズムにより判定した。BM25は文書データからある検索語に関連する文書を検索する手法であり、検索語のシリア度および出現回数、検索語の出現する文章の長さを考慮したスコア（=関連度の高さ）を算出することができる。各技術について算出したBM25スコアを特徴量とする文書データのクラスタリングを行い、各技術について一定以上の関連性を持つ文書データを抽出した

Step3：ヒートマップの作成

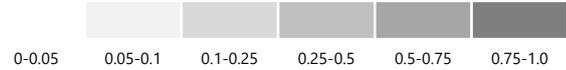
各技術に関連する記事数の集計期間での累積値を算出し、各技術の注目度合いの差異を日本と海外で比較できるように、それぞれ最大値1、最小値0に正規化した。正規化済みデータを用い、日本における注目度が昇順の並びとなる形でヒートマップを作成した

図5 分析方法イメージ



■ 分析結果

表11 各技術のニュース記事における注目度



	技術	日本	海外	技術	日本	海外
①	事業用太陽光発電	1.00	1.00	高速炉	0.04	0.03
	風力発電（洋上・陸上）	0.94	0.67	海洋温度差発電	0.03	0.02
	EV乗用車	0.93	0.72	鉄鋼スラグを利用したブルーカーボン	0.03	0.01
	ZEB	0.50	0.62	合成メタン	0.03	0.02
②	核融合	0.26	0.05	FCバス	0.03	0.00
	水素発電	0.25	0.16	コンクリート・セメント	0.03	0.03
①	再エネ水電解による水素製造	0.22	0.09	中小水力発電	0.02	0.04
	定置用燃料電池（家庭用）	0.18	0.11	CO2分離回収(DAC)	0.02	0.04
②	ZEH	0.16	0.09	人工光合成によるプラスチック原料	0.02	0.01
	石炭火力発電におけるアンモニアの混焼	0.10	0.05	ガス燃料船（アンモニア燃料船）	0.01	0.00
①	バイオ由来プラスチック	0.10	0.05	CO2分離回収(微生物)	0.01	0.01
	CO2分離回収(CCS)	0.10	0.12	LNG 燃料船	0.00	0.01
④	小型炉(SMR)	0.08	0.04	木材（木質建設部材、等）	0.00	0.03
	地熱発電	0.07	0.03	廃棄物発電	0.00	0.00
③	グリーンLPG	0.07	0.02	ノンフロン冷媒	0.00	0.01
	製紙産業の脱炭素化	0.07	0.07	燃料電池船	0.00	0.00
④	水素還元製鉄	0.06	0.04	EV船	0.00	0.00
	合成燃料	0.06	0.08	農地（バイオ炭、等）	0.00	0.00
③	住宅用太陽光発電	0.05	0.07	LLCM住宅	0.00	0.00
	高温ガス炉	0.05	0.07	水素コージェネレーション	0.00	0.00
④	森林（人工林の適切な間伐、エリートツリー、等）	0.05	0.04	水素ボイラー	0.00	0.00
	廃棄物処理施設のCO2回収	0.05	0.04	波力発電	0.00	0.01
	需要サイドのCN化	0.03	0.09	潮流発電	0.00	0.00
	代替航空燃料（SAF）	0.02	0.08			

【考察】

表11より、日本と海外で注目度がある程度の相関があるように見受けられる一方、双方での注目度が乖離している技術も見られた。以下4グループに分け簡単に考察するが、今後は技術リストの結果一覧への反映や他分析との統合を進め、更なるインサイトを得たい。例えば、今まで調査してきたCO2排出削減ポテンシャル、コスト、技術成熟度等と組み合わせ、日本の投資プレーヤーに向けた各技術の統一的な評価指標開発等が挙げられる。なお、表の右側にある技術については本分析では注目度は低かったが、分析するソースや時間軸・手法により、異なる結果は得られると思われる。

①日本、海外共に注目度が高い技術（太陽光、風力発電、EV乗用車、ZEB、定置用燃料電池、CCS）

本グループに含まれる技術の大半は、技術成熟度も実証試験レベル以上であり、かつコストとしてもある程度実証化の見込みがある技術であるため、注目度が高いと想定される。CCS・低地用燃料電池は現時点で技術成熟度/コストに関する懸念があるものの、削減ポテンシャルの高さに対する期待があると考えられる。

②日本の注目度が海外と比較して高い技術（核融合、水素発電、水素製造、ZEH、火力、プラスチック）

日本はエネルギー自給率が低いため、代替エネルギー源とされる技術が着目されている傾向が読み取れる。また、省エネ技術に係るZEHやバイオ由来プラスチックについては、日本における政策・社会的な要請が高まっていることとも関連していると想定される。

③共通して注目されている技術（製紙産業の脱炭素化、合成燃料、住宅用太陽光発電、高温ガス炉）

日本・海外にて共通して注目度が一定量高い。住宅用太陽光発電のように過去に着目を浴びた技術が含まれており、時間軸での詳細分析が必要と想定。

④その他のトピック技術（小型炉、地熱発電、グリーンLPG、水素還元製鉄、森林、廃棄物処理施設のCO2回収、需要サイドのCN化、代替航空燃料）

日本/海外で着目されている技術として想定されるため、実際の動向を鑑みつつ分析を進めていくと、更なるインサイトが得られる可能性が想定される。

■ 分析の課題と今後の方向性

最後に、分析対象データと分析手法の2つ観点から、今後の分析に向けた課題を整理する。
 本分析では2018年1月～2021年11月までの約4年間のニュース記事データを用いた。しかし近年の気候変動対策への政策・産業界の取り組みの機運の高まりに鑑み、データの集計期間を直近に延ばすことで結果が変化することが想定される。また、ニュース記事データだけではなく、学術論文や業界誌などのデータソースを併せて使用することで、研究開発の観点からの技術注目度を把握できると考えられる。加え、本分析では英語データのみを対象としたものの、日本語データを併せて使用することで、国内および海外メディア視点での技術の注目度を比較するなどの分析が可能になると考えられる。
 次に分析手法に関しては、本分析で用いた情報抽出（テキストマイニング）の手法に加え、各技術に関連する記事の内容を分類することで、技術がどのような文脈で語られているかを分析することができる。例えば「原子力発電の小型炉」に関連する記事の中には、企業の技術開発に関するものや、BCP対応や法規制に関する記事が混在している可能性がある。各技術が語られる文脈の違いを明らかにすることで、それらの技術が普及・成熟する上での障壁を明らかにすることができ、さらなる示唆につながると考えられる。

■ Appendix：テキストマイニング（情報検索）アルゴリズム

文書データの最も簡単な検索手法は、検索語の単純マッチングである。しかしこの手法では、検索語を含むものの文脈的に要求内容と整合しない文書データまで適合する、または検索語の表記ゆれや同義語・類義語の問題に対処しない限り要求する文書データを適合しないなど、文書データの適合度を過剰/過小に評価する可能性があり、ここでテキストマイニング（情報検索）のアルゴリズムの活用が必要である。
 文書データの適合度を算出するモデルとして、従来からTerm frequency - inverse document frequency（以降、Tf-idf）が用いられてきたが、近年はより高精度な結果を得られるBM25が提案されている²⁵⁹。Tf-idfとBM25はどちらも、検索語の出現頻度と検索語を含む文書データ数を考慮した重みづけの方法であるが、BM25では検索語を含む文書データの文字数も考慮することができる利点がある。本検討では、まず技術リストの各技術の特徴づける検索語を設定し、BM25を用いて文書データとの適合度を判定するスコアを算出した。
 次に、BM25のスコアを用いて、文書データの分類を行った。分類には代表的な密度ベースのクラスタリング手法であるHierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise（以降、HDBSCAN）を用いた²⁶⁰。HDBSCANは密接するデータを同じクラスタに分類し、低密度な領域にあるデータをノイズと判定するアルゴリズムであり、k-meanと比べてあらかじめクラスタの数を指定する必要がない点が利点である。HDBSCANでは、 ϵ ：データからの距離（半径）、minimum sample：クラスタを形成する最小データ数、の2つをパラメータとし、あるデータからの距離 ϵ 以内に minimum sample以上のデータがあればクラスタを形成する。
 HDBSCANのパラメータは、ホテリング理論に基づく異常度の検定を実施し、チューニングを行った²⁶¹。異常度の検定にはBM25のスコアの平均と分散を用いた統計量を用い、カイ二乗分布に従うと仮定した。ここではBM25により一定以上のスコアが付与され関連性が高いと判断された文書データについて、他の文書データに対する異常度（＝内容が特異か）の検定を実施した。
 上述の方法にて分類した文書データについて、該当地域が日本と日本以外のデータ数を集計し、ヒートマップを作成した。

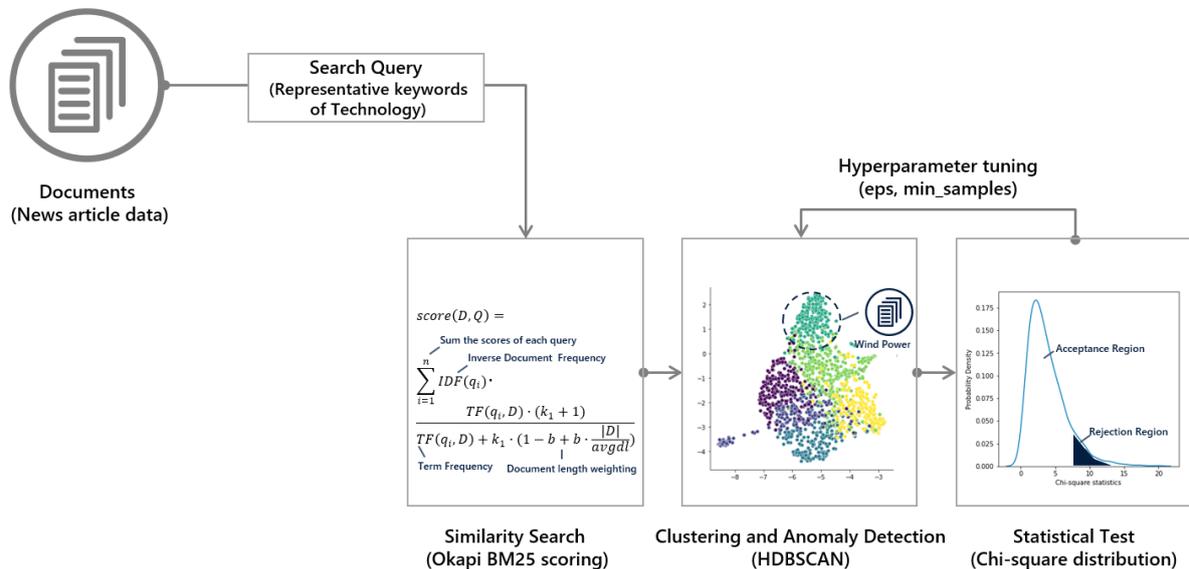
図6 テキストマイニング（情報検索）イメージ

Information Retrieval with Okapi BM25, HDBSCAN

Extracting technology-relevant documents by density-based clustering based on a given search query and calculated BM25 score.

過剰適合を防ぎつつ各技術に関連する文書データを抽出するため、文書データとクエリの類似度を高精度で判定するOkapi BM25と密度ベースクラスタリングを組み合わせた情報検索を実施した

BM25スコアを基にしたHDBSCANによるクラスタリングでは、一定以上のスコアが付与されクエリと関連性が高いと判断された文書データの異常値を算出、カイ二乗検定の結果と整合するようハイパーパラメータのチューニングを実施した



結論

まとめ

本稿（技術リスト）の目的は、カーボンニュートラルに関する技術について可能な限り客観的かつ共通前提の下に、各技術に関する情報を整理・一覧化することであった。リストの作成方法としては、科学技術のバックグラウンドを有するDeloitte Tohmatsu Science and Technology（DTST）のプロフェッショナルが国や大学、企業が公開しているオープンソース情報を調査及びそれらの情報を基に試算した結果を取りまとめた。

本稿でまとめたカーボンニュートラルに関する63技術について、現時点で以下の3点が示唆として見えてきた。

1. ネガティブエミッション技術は全体的に成熟度が低い傾向

ネガティブエミッション技術はネット・ゼロエミッション技術やローエミッション技術と比較すると、CO2排出削減量は低く特許数は少なく、CO2排出削減コストは高い傾向にあった。現時点では、この分野に対する投資や研究が遅れていることが推測される。一方、CO2排出量の実質ゼロを実現するためにはCO2を回収、貯蓄するネガティブエミッション技術は必要不可欠であり、中長期的な視点での開発推進が必要と想定している。

2. CO2排出削減量のポテンシャルはネット・ゼロエミッション技術が高い

CO2排出削減量に着目すると、ネット・ゼロエミッション技術に関する技術ソリューションの値が高い傾向にあることが分かった。ネット・ゼロエミッション技術には風力発電や太陽光発電といったエネルギーを産み出す分野に関するソリューションが多く含まれていることからだと想定される。すなわち、電力の脱炭素化がCO2排出削減に大きく寄与すると言える。ただし、現時点での技術リストのCO2排出削減量の計算には技術同士の重複があり、単純に表の数値を合計した値が日本におけるCO2排出削減量のポテンシャルになるわけではない。また、再生可能エネルギーの過大導入は電力の安定供給とのトレードオフであることを十分に考慮する必要がある。

3. ローエミッション技術の多くは技術成熟度が高い

ローエミッション技術は全体的に成熟度が高く、電気自動車やガスコジェネレーションといった、既に社会実装されつつある技術が多くある傾向にあった。これらの技術の更なる社会実装を進める上では、CO2排出削減コストを低くすることが主な課題であると考えられる。

技術を調査して得られた課題

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、特許数、技術成熟度、テキストマイニングによる分析の観点から整理をした上でのプロトタイプである。様々なカーボンニュートラルに貢献する技術を調査していく中で得られた課題を情報の量・質の2つの観点から、以下に列記した。

■ 情報の量

➤ 調査対象技術の拡充

本稿の技術リストでは63個のカーボンニュートラル技術について調査を行った。本稿に掲載していない技術も多数あることから、今後引き続き掲載する技術を拡充することが必要である。

➤ 調査対象における更なる情報の収集

調査できる情報が少ないオープンソースの情報を基に調査を行っており、技術によって成熟度が異なるため、CO2排出削減量やCO2排出削減コスト等のデータの有無に差が大きい。多くの値においては、数値を仮定した上で算出を行っている。今後は技術を持つ大学や企業等と連携することや社会実装プロジェクトを推進することで、情報をより一層収集し、値の精緻化を行うことが必要だと考えている。

➤ 技術を有するプレーヤー(大学、企業等)の掲載に関する検討

現時点では各技術ソリューションに関する研究やビジネスを行っている大学や企業等をまとめたリストは存在しない。各技術に紐づく大学や企業等を一覧化することで、技術の社会実装に向けた取り組みを更に前進させることが必要だと考えている。

しかし、現時点では情報の客観性・公平性を担保する点で課題を感じており、公開の有無や公開方法について検討中である。

■ 情報の質

➤ 数値の重複の考慮

現時点での技術リストにおいては、値の重複を考慮していないため、ある技術を導入するともう一方の技術の導入可能な量が下がるといった関連技術同士の影響は考慮していない。

今後は重複の考慮や統合モデル等の検討が必要であると考えている。

➤ 技術の分類に関する再検討

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日発行版から調査する技術の選定を行っている。現在の技術リストにおいては技術ソリューションの粒度が異なっており、実際には更に技術を細かく分類できるものも存在するため、技術の粒度の適切さの検討が必要である。

➤ 専門家によるさらなる意見の反映

技術リストを作成するにあたっては、科学技術のバックグラウンドを有するDTSTのプロフェッショナルによる調査及び本稿作業メンバーとは別組織のデロイト トーマツ グループのプロフェッショナル複数人が本稿全体をレビューしている。

今回、一部の調査技術において、技術の知見を有する大学や企業等の専門家の意見を取り入れたが、今後はさらにそのレビュー数を増加させる必要がある。

今後のステップ

本技術リストを社会実装に役立つものにするためには、前項の技術を調査して得られた課題に関して解決に向けて取り組むと共に、社会実装に関連する法規制や社会的な受容性、産業の競争力維持・向上、長期的な技術開発等といった観点を考慮したうえで、実現可能性の優先順位や複数のカーボンニュートラルに向けたシナリオを検討することが必要であると考えている。

したがって、今回掲載した以外の多種多様な技術についても調査し、技術を俯瞰的に分析をしていくと共に、各技術の専門家の知見等を取り入れて、本技術リストの高度化に向けて引き続き更新をしていかなければならない。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、様々な分野の専門家との協働が必要不可欠である。

今後この活動を周知し様々な専門家との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していく。

本取り組みにご関心のある方、カーボンニュートラルを実現する技術に関する情報提供や連携のご相談等は本技術リストの末尾にあるDeloitte Tohmatsu Science and Technology CNチームのメールアドレス宛にまでご連絡をお願いいたします。

謝辞

おわりに

末筆となるが、本稿の技術リスト執筆にあたり、専門家としての意見や分野の最新情報の提供等、様々な形でサポートを頂いた豊橋技術科学大学 引間和浩助教、鳥取大学大学院 辻悦司准教授、九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 CHAPMAN ANDREW JOHN 准教授、国立研究開発法人 港湾空港技術研究所 桑江朝比呂グループ長、電力中央研究所 社会経済研究所 稗貫峻一主任研究員、東京都市大学大学院 高津淑人教授、岐阜大学大学院 神原信志教授、ならびにWeb公開にあたって全面的にサポート頂いたマーケティングチームに心より御礼申し上げたい。

参考資料

- *1 首相官邸第二百三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/2020/1026shoshinhinyomei.html>
(2021年7月1日アクセス)
- *2 環境省 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 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 クラリベイト・アナリティクス Derwent Innovation
<<https://clarivate.com/derwent/ja/solutions/derwent-innovation/>>
(2021年11月30日アクセス)
- *5 国立研究開発法人産業技術総合研究所 令和元年度 研究評価委員会(材料・化学領域) 評価報告書
<https://unit.aist.go.jp/evaloo2020/R01research/R01research_zairyokagaku.pdf>
(2023年5月31日アクセス)
- 6 国立研究開発法人産業技術総合研究所 技術成熟度
<<https://unit.aist.go.jp/adperc/ci/research/outline3.html>>
(2021年11月30日アクセス)
- *7 (国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センターエリートツリーの開発・普及
<<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/houkokusho/attach/pdf/souseiju2019-7.pdf>>
(2021年11月30日アクセス)
- *8 (独) 森林総合研究所 温暖化対応推進拠点 一般向け算定・報告解説(090130)
<<https://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-2-per-a-tree.pdf>>
(2021年11月30日アクセス)
- *9 林野庁 モデル地区における森林施業の考え方
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/kakusyu/pdf/00271_3_h18_003.pdf>
(2021年11月30日アクセス)
- *10 林野庁 都道府県別森林率・人工林率(平成29年3月31日現在)
<<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/1.html>>
(2021年11月30日アクセス)
- *11 農林水産省 みどりの食料システム戦略
<<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-7.pdf>>
(2021年11月30日アクセス)
- *12 林野庁 森林・林業基本計画の概要
<<https://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kikaku/attach/pdf/210615-4.pdf>>
(2021年11月30日アクセス)
- *13 (国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター エリートツリーの普及に向けた今後の課題について<<https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/rinbokuiikusyugijyutusenyakuiinkai/documents/kongonokadai.pdf>>
(2021年11月30日アクセス)
- *14 大成建設株式会社 カーボンサイクル・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>
(2022年6月3日アクセス)
- *15 国土交通省 令和2年度 主要建設資材需要見通し
<<https://www.mlit.go.jp/common/001370937.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *16 會澤高圧コンクリート株式会社 コンクリートの比重
<<https://concrete-mc.jp/specificgravity/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *17 国土交通省 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>>
(2022年6月3日アクセス)
- *18 立命館大学 HP
<<https://www.ritsumeikan-carbon-minus.org/%E3%83%90%E3%82%A4%E3%82%AA%E7%82%AD%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6>>
(2022年6月3日アクセス)
- *19 農林水産省 環境政策室 バイオ炭の農地施用を対象とした方法論について
<<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/biochar/attach/pdf/top-4.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *20 総務省統計局 統計データ(8-3 耕地面積)
<<https://www.stat.go.jp/data/nihon/08.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *21 農林水産省 バイオ炭の施用量上限の目安について
<<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/biochar01.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *22 農林水産省 令和2年耕地面積(7月15日現在)
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/sakumotu/menseki/r2/kouti/index.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *23 J-クレジット 方法論 バイオ炭の農地施用
<https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-004_v1.0.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *24 山形大学紀要 第18巻 第2号:57-84.平成31年2月 木炭生産者の現状と森林資源管理の課題(P21)
<<https://core.ac.uk/download/pdf/269026063.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *25 農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター バイオ炭普及研究の今と、今後の展望(P14)
<<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/visual/attach/pdf/r2-3-8.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *26 IEA World Energy Outlook2019
<<https://iea.blob.core.windows.net/assets/98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *27 国立研究開発法人科学技術振興機構 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>>
(2022年6月3日アクセス)
- *28 J-STAGE 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>
(2022年6月3日アクセス)
- *29 環境省 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>
(2022年6月3日アクセス)
- *30 e-Gov 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>>
(2022年6月3日アクセス)
- *31 株式会社CO2資源化研究所 UCIDI®Technology
<<https://www.co2.co.jp/jp/technology>>
(2022年6月3日アクセス)
- *32 一般財団法人日本水産油脂協会 平成30年度事業報告書
<<http://www.suisan.or.jp/html/file/h30report.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *33 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 二酸化炭素の Direct Air Capture(DAC)法のコストと評価
<<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2019-pp-07.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *34 日刊工業新聞社 工業団地インフォ
<<https://estate.nikkan.co.jp/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *35 一般社団法人日本ガス協会 天然ガスの特徴・種類
<<https://www.gas.or.jp/tokucho/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *36 株式会社富士経済プレスリリース CO2分離・カーボンサイクル関連市場
<<https://www.fuji-keizai.co.jp/file.html?dir=press&file=20069.pdf&nocache>>
(2022年6月3日アクセス)
- *37 産業競争懇話会 COCN【DAC(Direct Air Capture)研究会】
<<http://www.cocn.jp/report/1c5b57152a8d0c5c739ccfee2693fe42bb1b792d.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *38 一般財団法人新エネルギー財団 洋上風力発電の課題について
<https://www.nef.or.jp/keyword/ya/articles_yo_01_05.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *39 電力中央研究所 日本における発電技術のライフサイクルCO2排出量総合評価
<<https://cripi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=Y06&tenpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=8713>>
(2022年6月3日アクセス)
- *40 資源エネルギー庁 エネルギー白書2021
<<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/pdf/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *41 資源エネルギー庁 総合エネルギー調査会 発電コスト検証ワーキンググループ(第8回会合) 資料3各電源の諸元一覧
<https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_20210908_02.pdf>
(2022年6月3日アクセス)

- *42 環境省 令和元年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報等の整備・公開等に関する委託業務報告書
<<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/report/r01.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *43 資源エネルギー庁 再生可能エネルギーとは
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/solar/index.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *44 電力中央研究所 日本における発電技術のライフサイクルCO2排出量総合評価
<<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=Y06&enpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=8713>>
(2022年6月3日アクセス)
- *45 NEDO 再生可能エネルギー技術白書
<<https://www.nedo.go.jp/content/100544818.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *46 資源エネルギー庁 総合エネルギー統計2019年度
<https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline1>
(2022年6月3日アクセス)
- *47 日本エネルギー経済研究所総合研究部環境グループ、電力グループ わが国における化石エネルギーに関するライフサイクル・インベントリー分析
<<https://eneken.ieej.or.jp/data/old/pdf/enekei/lci.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *48 京都フュージョニアリング 京都フュージョニアリング
<<https://kyotofusionengineering.com/company>>
(2022年6月3日アクセス)
- *49 三菱重工 核融合エネルギー
<https://www.mhi.com/jp/products/energy/fusion_reactor.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *50 東芝 核融合
<<https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/nuclearenergy/research/energy.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *51 日立製作所 核融合・加速器
<<https://www.hitachi.co.jp/products/energy/nuclear/accelerator/index.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *52 笠田竜太（京都大学）他 若手による核融合炉実用化に向けた技術成熟度評価
<http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2013_04/jspf2013_04-193.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *53 上村聡志（名古屋大学）他 二酸化炭素排出量の計算による核融合炉の環境負荷評価
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/taesj/8/1/8_J08.019/_pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *54 核融合会議開発戦略検討分会 核融合エネルギーの技術的実現性計画の拡がりと呼野としての基礎研究に関する報告書
<<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/old/kakuyugo/siryosiryoy136/siryoy213.htm>>
(2022年6月3日アクセス)
- *55 経済産業省 令和3年エネルギー基本計画の概要
<<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-2.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *56 大野哲靖（名古屋大学）工学実証段階にきた核融合発電研究の現状と課題
<https://www.chuden.co.jp/resource/seicho_kaihatsu/kaihatsu/kai_library/news/news_158_02.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *57 田中知（東京大学）核融合炉の安全規制と廃棄物処理
<http://www.jspf.or.jp/conference/fusion_energy02/pdf/2Q05.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *58 経済産業省 第12回CO2フリー水素WG事務局提
<https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/co2free/pdf/012_01_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *59 経済産業省 水素の製造、輸送・貯蔵について
<https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/suiso_nenryodenchi_wg/pdf/005_02_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *60 日本原子力研究開発機構 商用高温ガス炉発電原価の再評価
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/taesj/advpub/0/advpub_j21.005/_pdf/-char/ja>
(2022年6月3日アクセス)
- *61 日本原子力研究開発機構 高温ガス炉による水素製造が実用化へ大きく前進
<<https://www.jaea.go.jp/02/press2018/p19012502/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *62 日本原子力研究開発機構 高温ガス炉とは
<<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/faq/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *63 日本原子力研究開発機構 高温ガス炉による水素製造技術の研究開発
<<https://www.jaea.go.jp/jaea-houkoku14/shiryu/03.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *64 岡本孝司（東京大学）高温ガス炉の課題
<https://www.iae.or.jp/htgr/pdf/02_result/infomation/02result_20130903_04.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *65 日本原子力研究開発機構 高温ガス炉タービンシステム（GTHTR300）の経済性評価
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/taesj2002/5/2/5_2_109/_pdf/-char/ja>
(2022年6月3日アクセス)
- *66 環境エネルギー政策研究所 2020年の自然エネルギー電力の割合（暦年速報）
<<https://www.iseip.or.jp/archives/library>>
(2022年6月3日アクセス)
- *67 日本原子力研究開発機構 高速炉サイクルの経済性評価—炉の建設コストと燃料サイクルコスト—
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/61/1/61_43/_pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *68 中部電力 高速炉開発の現状と今後「もんじゅ」の廃止措置と高速炉の開発目標
<https://www.chuden.co.jp/resource/seicho_kaihatsu/kaihatsu/kai_library/news/new_s_158_22.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *69 日本原子力研究開発機構もんじゅ性能試験データを用いた高速炉技術に関する先端的な研究
<<https://www.nsystemkoubo.jp/result/h22/o17.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *70 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻 社会に受容される高速炉開発の進め方—技術から人・社会への検討範囲拡大と高速炉開発意義の共有—
<https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/fr/senryaku_wg/pdf/006_01_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *71 九州大学 新型炉の国際協力の現状と今後の研究開発課題（イノベーションの創出）
<<http://www.aesj.or.jp/division/ard/documents/AESI-2019S-ARD-2.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *72 EnergyShift 世界で注目を集めている小型原子炉は、本当に脱炭素の選択肢になるのか
<<https://energy-shift.com/news/693065ca-965a-4f55-9fc3-550cf5f85cd1?page=4>>
(2022年6月3日アクセス)
- *73 EnergyShift 世界で注目を集めている小型原子炉は、本当に脱炭素の選択肢になるのか
<<https://energy-shift.com/news/693065ca-965a-4f55-9fc3-550cf5f85cd1>>
(2022年6月3日アクセス)
- *74 時事通信社 脱炭素の切り札？次世代小型炉「SMR」の課題と現状
<<https://www.jiji.com/jc/v4?id=2022kogatagensiro0001>>
(2022年6月3日アクセス)
- *75（一般社団法人）海外電力調査会 世界の小型モジュール炉の開発動向
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy2021/siryoy32/1_haifu.pdf>
(2022年6月3日アクセス)

- *76 三井住友DSアセットマネジメント株式会社 脱炭素の切り札か、安全で低コストな『小型原子炉』
<<https://www.smd-am.co.jp/market/daily/keyword/2022/02/key220203gl/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *77 環境エネルギー政策研究所 2020年の自然エネルギー-電力の割合 (暦年速報)
<<https://www.isep.or.jp/archives/library>>
(2022年6月3日アクセス)
- *78 経済産業省 今後の水素政策の課題と対応の方向性 中間整理 (案)
<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/025_01_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *79 経済産業省 基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告
<https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_20210908_01.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *80 神戸・関西圏水素利活用協議会 神戸・関西圏水素利活用協議会協議会レポート (2020年度)
<<https://www.city.kobe.lg.jp/documents/51573/gairyakuban.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *81 三浦工業株式会社 統合報告書2021
<<https://www.miuraz.co.jp/assets/pdf/ir/integrated/2021/view.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *82 一般財団法人 ヒートポンプ・蓄熱センター 令和2年度ヒートポンプ普及見通し調査
<https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/2020NewsRelease/news_release_siryu.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *83 日刊工業新聞HP ボイラの市場動向と技術動向
<https://pub.nikkan.co.jp/uploads/book/pdf_file5859d23e856fd.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *84 経済産業省 (資源エネルギー庁) 標準発電量・炭素排出係数 (総合エネルギー統計)
<https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/carbon.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *85 三浦工業株式会社 仕様リスト
<https://www.miuraz.co.jp/assets/doc/product/list_QA-17021-18_20200401.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *86 三浦工業株式会社 令和3年度「先進的省エネルギー投資促進支援事業費補助金」様式7-1 様式7-2「先進事業」における『先進設備・システム』応募申請書
<https://sii.or.jp/file/cutback_system_search_03/R3A-0042.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *87 三浦工業株式会社 三浦工業の水素社会への取り組み
<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/2050_gas_jigyo/pdf/04_06_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *88 三浦工業株式会社 運転時CO2排出ゼロ、水素燃料の貫流蒸気ボイラをラインナップ
<<https://www.miuraz.co.jp/news/newsrelease/2017/831.php>>
(2022年6月3日アクセス)
- *89 合成燃料研究会 合成燃料研究会中間とりまとめ
<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/gosei_nenryo/pdf/20210422_1.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *90 トヨタ自動車株式会社、みずほ情報総研株式会社 輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価 (日本における輸送用燃料製造 (Well-to-Tank) を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告) p19
<https://www.mizuho-ir.co.jp/solution/improvement/csr/lca/pdf/jisseki02_wtwghg2004.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *91 Audi 2018年3月12日プレスリリース
<<https://www.audi-press.jp/press-releases/2018/b7rqm000000lqor.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *92 環境省 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧
<<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>>
(2022年6月3日アクセス)
- *93 資源エネルギー庁 エンジン車でも脱炭素? グリーンな液体燃料「合成燃料」とは
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyogosei_nenryo.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *94 資源エネルギー庁 エネルギー白書2017
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/pdf/001_02_003.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- (2022年6月3日アクセス)
- *95 資源エネルギー庁 石炭火力検討ワーキンググループ中間取りまとめ概要
<https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/sekita_n_karyoku_wg/pdf/20210423_1.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *96 国立研究開発機構 アンモニア混焼技術 2020年度成果報告会
<<https://www.nedo.go.jp/content/100932835.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *97 環境省 水素社会実現に向けた経済産業省の取組
<https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/events/PDF/shiryu06.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *98 経済産業省 「大規模水素サプライチェーンの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画
<<https://www.meti.go.jp/press/2021/05/20210518003/20210518003-2.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *99 環境省 電気事業者別排出係数 (特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) - R1年度実績 -
<<https://www.env.go.jp/press/files/jp/116530.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *100 環境省 我が国の地熱発電の概要
<https://www.env.go.jp/nature/geothermal_power/conf/h2301/mat02.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *101 日本地熱協会 地熱発電の現況と課題
<https://www.ena.or.jp/?fname=gec_2021_1_14.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *102 経済産業省 グリーンイノベーション基金事業「再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画
<https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/gifund/pdf/gif_04_randd.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *103 経済産業省 水素・燃料電池戦略ロードマップの達成状況 (推移)
<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/roadmap_hyoka_wg/pdf/002_03_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *104 経済産業省 水素社会実現に向けた社会実装モデルについて
<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/027_01_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *105 国土交通省 ZEH (ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)、LCCM (ライフ・サイクル・カーボン・マイナス) 住宅関連事業 (補助金) について
<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000153.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *106 総務省 住宅の規模
<https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2008/nihon/2_4.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *107 環境省 LCCM住宅の展開
<<https://www.env.go.jp/earth/house/conf/lcs01/mat03-3.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *108 環境省 ZEHの普及促進に向けた政策動向と令和2年度の関連予算案
<<https://www.env.go.jp/earth/meti%20moe%20.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)

- *109 ARPCHEM 人工光合成PJ について
<https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/jisedai_karyoku/pdf/002_02_05.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *110 NEDO 世界初、人工光合成により100m2規模でソーラー水素を製造する実証試験に成功
<https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101473.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *111 新エネルギー・産業技術総合開発機構「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発」事業原簿【公開】
<<https://www.nedo.go.jp/content/100899250.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *112 内閣府「ボトルネック課題研究会」CO2 利用に当たってのボトルネック課題及び研究開発の方向性
<<https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/houkousei.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *113 株式会社東レリサーチセンター エネルギー・環境分野における有望技術の技術課題に関する包括的調査
<<https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/houkokusho.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *114 石油化学協会 石油化学製品の生産
<<https://www.jpca.or.jp/statistics/annual/seisan.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *115 NEDO「二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発」(中間評価)
<<https://www.nedo.go.jp/content/100899249.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *116 newsclip タイ石化最大手PTGC、オレフィンプラント新設 投資額10億ドル
<<http://www.newsclip.be/article/2018/01/25/35289.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *117 製造産業局 カーボンリサイクル関連プロジェクト(化学品分野)の研究開発・社会実装の方向性
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/004_04_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *118 JCCCA 全国地球温暖化防止活動推進センター 日本の部門別二酸化炭素排出量(2019年度)
<<https://www.jccca.org/download/13335>>
(2022年6月3日アクセス)
- *119 太陽光発電導入ガイドライン ゼロエネルギー住宅(ZEH)仕様にするのに必要な費用の目安
<<http://www.qool-shop.com/zeh/entry213.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *120 国土交通省 建築物ストック統計の公表について
<https://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000785.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *121 一般財団法人エネルギー総合工学研究所 メタネーションによるカーボンニュートラル・メタン(CNメタン)の経済性評価の調査報告～CO2のコスト評価・排出量評価～
<https://www.iae.or.jp/wp/wp-content/uploads/2020/07/metanation_202003.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *122 浜松ヒートテック株式会社 技術資料No.11 気体燃料の物性代表値
<http://www.heat-tech.co.jp/business/dm/HHT_DM_No.11.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *123 European Union's Horizon 2020 research and innovation programme Report on the costs involved with PtG technologies and their potentials across the EU
<https://www.storeandgo.info/fileadmin/downloads/deliverables_2019/20190801-STOREandGO-D8.3-RUG-Report_on_the_costs_involved_with_PtG_technologies_and_their_potentials_across_the_EU.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *124 資源エネルギー庁 今後のガス事業政策について
<https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/033_03_01.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *125 NEDO 再生可能エネルギー白書第2版
<<https://www.nedo.go.jp/content/100544823.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *126 国土交通省 建築物ストック統計の公表について
<<https://www.mlit.go.jp/common/001198960.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *127 経済産業省 令和元年度 ZEB ロードマップフォローアップ委員会 とりまとめ
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/uppport/pdf/2004_followup_sammary.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *128 国土交通省 住宅・建築物の省エネ・省CO2 施策と支援事業の動向
<https://www.kenken.go.jp/shoucho2/pdf/symposium/23/23-1v3_mlit.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *129 経済産業省 省エネ普及促進コーナー(ZEB) ネット・ゼロ・エネルギー・ビルとは
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/assets/pdf/enterprise/enex2019/shiryos5.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *130 日系XTECH 水道光熱費はm2当たり年約5000円、REIT所有ビル
<<https://xtech.nikkei.com/kn/article/building/news/20031027/113232/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *131 東洋エンジニアリング e-fuel・SAF
<<https://www.toyo-eng.com/jp/ja/solution/e-fuel/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *132 経済産業省 CO2等を用いた燃料製造技術開発プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性(案)
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/007_02_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *133 経済産業省 令和元年度燃料安定供給対策に関する調査等(バイオ燃料等のライフサイクルGHG 排出量算定に関する調査)報告書
<https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000447.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *134 国土交通省 航空輸送統計年報(令和元年(2019年))
<https://www.mlit.go.jp/report/press/joho05_hh_000549.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *135 石油連盟 統計情報
<<https://www.paj.gr.jp/statis/kansan/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *136 国立研究開発法人産業技術総合研究所 2-1804 2050年の社会像を見据えた再生可能エネルギー利用拡大への道筋
<https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_1_r03/seika/2-1804.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *137 国立研究開発法人 平成29年度 海洋開発人材育成 海洋開発工学概論 海洋再生可能エネルギー開発編
<<https://www.mlit.go.jp/common/001235504.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *138 NEDO NEDO 再生可能エネルギー技術白書7 海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ
<<https://www.nedo.go.jp/content/100107275.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *139 NEDO H27年度報告書2. 海洋温度差発電システムの確立について
<https://www.pref.okinawa.jp/site/shoko/seisaku/kiban/oceanrenewableenergy/otec/houkokusyo/documents/h28hatsuden_03_2syou.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *140 経済産業省 グリーンイノベーション基金事業に係る実施予定先一覧
<<https://www.nedo.go.jp/content/100938629.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *141 国土交通省「次世代船舶の開発」プロジェクトの研究開発・社会実装計画(案)
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restructuring/pdf/002_04_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *142 海上技術安全技術研究所 船舶へのLCAの適用に関する調査研究
<<https://www.nmri.go.jp/oldpages/env/lca/Paper/pdf/27.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *143 日本船主協会 世界の商船船腹量の推移
<<https://www.jsanet.or.jp/data/pdf/2020data10-1.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *144 日本船主協会 日本籍船船腹量の推移
<<https://www.jsanet.or.jp/data/pdf/2020data10-5.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *145 経済産業省 次世代船舶の開発 事業概要
<<https://www.nedo.go.jp/content/100938630.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *146 国際海運GHGゼロミッションプロジェクト 国際海運のゼロミッションに向けたロードマップ
<<https://www.mlit.go.jp/common/001344866.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *147 国際海運GHGゼロミッションプロジェクト 国際海運のゼロミッションに向けたロードマップ(PPT)
<<https://www.mlit.go.jp/common/001377661.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)

- *148 国土技術政策総合研究所 総トン数 (GT) と載貨重量トン数 (DWT)
<<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/rpn/rpn0028pdf/kh0028015.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *149 日本船主協会 わが国外交商船隊
<<https://www.jsanet.or.jp/data/pdf/2020data40-1.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *150 資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会 (第6回会合)、平成27年4月
<https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/006/pdf/006_06.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *151 一般財団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センター コージェネの特徴
<https://www.ace.or.jp/web/chp/chp_0030.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *152 環境省 サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース (Ver.3.1)
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/estimate_tool.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *153 一般財団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センター 原動機種別導入状況
<https://www.ace.or.jp/web/works/works_0060.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *154 環境省 電気事業者別排出係数一覧 (令和4年提出用)
<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r04_coefficient_rev.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *155 株式会社日立パワーソリューションズHPガスコージェネレーションシステム水素燃料への取り組み
<<https://www.hitachi-power-solutions.com/energy/self-generation/engine/gas/hydrogen.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *156 東邦ガス株式会社 プレスリリースコージェネレーションシステム用ガスエンジン商品機で都市ガス・水素混焼の試験運転に成功～水素混焼率35%での定格運転は国内初～
<https://www.tohogas.co.jp/corporate-n/press/1223638_1342.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *157 九電みらいエナジー「潮流発電技術実用化推進事業」発電機設置工事の開始について
<<https://www.q-mirai.co.jp/news/archives/243>>
(2022年6月3日アクセス)
- *158 IPCC 再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書
<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/special_reports/srren/pdf/SRREN_Ch06_ja.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *159 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野 (2021年)
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2020/FR/CRDS-FY2020-FR-01/CRDS-FY2020-FR-01_20107.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *160 地球工学研究所・環境科学研究所 海洋エネルギー利用発電技術の現状と課題
<<https://criepi.denken.or.jp/jp/env/outline/2010/report/pdf/67.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *161 NEDO 再生可能エネルギー技術白書
<<https://www.nedo.go.jp/content/100544821.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *162 スマートジャパン 国内初の商用スケールの「大型潮流発電」を実証、九電みらいが長崎県五島沖で
<<https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/2203/18/news063.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *163 日本製紙連合会 産業構造審議会 第12回 製造産業分科会
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/pdf/012_04_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *164 日本製紙連合会 技術環境部 紙パルプ産業のエネルギー事情 2020 年度版 (2019 年度実績)
<<https://www.jpa.gr.jp/file/release/20210225034339-1.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *165 環境省 温室効果ガス総排出量 算定方法ガイドライン
<https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/data/guideline.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *166 日本製紙連合会 2021年度カーボンニュートラル行動計画 (低炭素社会実行計画) フォロ-アップ調査結果(2020年度実績)
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chiky_kankyo/eishi_wg/pdf/2021_001_05_01.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *167 日本木質バイオマスエネルギー協会 国産材を活用した木質バイオマス発電におけるGHG 排出量の試算について
<https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/biomass_sus_wg/pdf/012_03_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *168 日本製紙連合会 製紙業界の「低炭素社会実行計画」(2020 年目標)
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chiky_kankyo/eishi_wg/pdf/h29_001_04_02.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *169 資源エネルギー庁 地熱発電・中小水力発電・バイオマス発電のコストデータ
<https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/050_02_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *170 農林水産省 再生可能エネルギー事業の標準的な収支及びキャッシュフロー (農林水産省試算)
<https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E6%9C%A8%E8%B3%AA%E3%83%90%E3%82%A4%E3%82%AA%E3%83%9E%E3%82%B9%EF%BC%89Ver1.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *171 環境省大臣官房環境経済課 地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き (金融機関向け) Ver.1.1 ~木質バイオマス発電事業編~
<<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/pdf/syushi.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *172 NEDO カーボンサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発
<https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100170.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *173 資源エネルギー庁 エネルギー白書2021
<<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *174 日本プラスチック工業連盟 年次資料 (2020年プラスチック製品生産実績、プラスチック製品生産実績)
<<http://www.jpif.gr.jp/3toukei/toukei.htm>>
(2022年6月3日アクセス)
- *175 経済産業省資料 表 1-3 プラスチック製容器包装の製造における CO2 排出原単位
<<https://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/h24fy/h2503-yourimri/h2503-yourimri-01.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *176 Erwin T.H. Vink and Steve Davies Life Cycle Inventory and Impact Assessment Data for 2014 Ingeo™ Polylactide Production
<<https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/ind.2015.0003>>
(2022年6月3日アクセス)
- *177 環境省廃棄物分科会 廃棄物分野における排出量の算定方法について
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/committee/h30/Waste_30.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *178 NEDO 6 波力発電の技術の現状とロードマップ
<<https://www.nedo.go.jp/content/100107274.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *179 三井造船【事業名】小型で高効率な波力発電システムに関わる技術開発・実証事業 (副題: 大洗港における技術実証)
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpptv_funds/pdf/db/153.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *180 電力中央研究所 発電プラントの温暖化影響分析 (平成4年)
<<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=Y91005&tenpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=3088>>
(2022年6月3日アクセス)
- *181 日本鉄鋼連盟 用途別受注統計(2021年3月 累計)
<<https://www.jisf.or.jp/data/yoto/index.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *182 日鉄総研 日本鉄鋼連盟『ゼロカーボンスチールへの挑戦』実現に向けた課題 (P11)
<<https://www.esisyab.iis.u-tokyo.ac.jp/symposium/20210204/20210204-05.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *183 環境省 廃棄物・資源循環分野における2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)
<http://www.env.go.jp/council/03recycle/y030-38b/mat01_1.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *184 warecl ステーション 佐賀市はCO2分離回収の先駆け! バイオマス産業で地域振興目指す
<<https://wa-recl.net/article/a/189>>
(2022年6月3日アクセス)

- *185 日本LPガス協会 グリーンLPガスの生産技術開発に向けた研究会 報告書(令和3年5月12日)
<https://www.j-lpgas.gr.jp/data/GreenLPG_Report_20120622.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *186 日本LPガス協会 DME混合によるLPガスの低炭素化(令和3年3月25日)
<https://www.j-lpgas.gr.jp/data/GreenLPG_Presen_DME_20210325.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *187 農林水産省 食料産業局 バイオマスの活用をめぐる状況
<<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-110.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *188 財団法人エンジニアリング振興協会地下開発利用研究センター バイオマス起源 DMEを含むエネルギー貯蔵供給システムの開発に関する調査研究報告書
<https://hojo.keirin-autorace.or.jp/seikabutu/seika/20nx/_bhu/_zp_/20-112koho-03.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *189 日本LPガス団体協議会 LPガス読本
<<http://www.nichidankyo.gr.jp/toku/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *190 一般財団法人日本自動車研究所 燃料電池自動車(FCV)のしくみ
<http://www.jari.or.jp/portals/0/jhfc/beginner/about_fcvi/index.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *191 公益社団法人日本バス協会 2020年度版(令和2年度)日本のバス事業
<https://www.bus.or.jp/about/pdf/2020_busjigyo.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *192 日野自動車 日野自動車のFCVバスへの取組と課題
<https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/suiso_nenryodenchi_wg/pdf/004_s01_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *193 国土交通省 燃料電池バスの普及及び導入支援策について
<https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/nenryodenchi_fukyu/pdf/003_03_02.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *194 国土交通省 自動車燃費一覧(令和2年3月)
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000044.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *195 資源エネルギー庁 水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況
<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/roadmap_hyoka_wg/pdf/002_01_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *196 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 水素基本戦略
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *197 水素・燃料電池戦略協議会 水素・燃料電池戦略ロードマップ
<<https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-1.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *198 Ryuji Kawamoto, Hideo Mochizuki, Yoshihisa Moriguchi, Takahiro Nakano, Masayuki Motohashi, Yuji Sakai and Atsushi Inaba Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA
<<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2690>>
(2022年6月3日アクセス)
- *199 環境省 次世代自動車ガイドブック2017-2018
<https://www.env.go.jp/air/car/vehicles2017-2018/LEV_chapter2-1.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *200 石崎啓太、中野冠 内燃機関自動車、ハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車における車内空調を考慮した量産車両 LCCO2排出量の比較分析
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/transjsme/84/866/84_18-00050/_pdf/-char/ja>
(2022年6月3日アクセス)
- *201 国土交通省 自動車燃料消費量調査2020年度
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00600370&kikan=006000&tstat=000001051698&cycle=8&year=20201&month=0&result_back=1&result_page=1&tclass1val=0>
(2022年6月3日アクセス)
- *202 日産自動車 電気自動車総合サイト
<<https://ev2.nissan.co.jp/BLOG/582/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *203 IEA World Energy Outlook 2020
<<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>>
(2022年6月3日アクセス)
- *204 東京電力エナジーパートナー ウェブサイト
<<https://evdays.tepco.co.jp/entry/2021/10/12/000021>>
(2022年6月3日アクセス)
- *205 一般社団法人日本自動車販売協会連合会 車種別販売台数
<<http://www.jada.or.jp/data/year/y-r-hanbai/y-r-type/y-r-type-ns/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *206 パナソニックホールディングス株式会社 ノンフロン冷凍機システム
<https://panasonic.biz/appliance/cold_chain/refrigerator/cfcfree/>
(2022年6月3日アクセス)
- *207 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 冷熱製品サイト
<<https://www.mhi-mth.co.jp/business/engineering/c-puzzle/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *208 株式会社前川製作所 冷蔵倉庫向けノンフロン冷凍機
<http://www.mayekawa.co.jp/ja/about/natural_refrigerant/>
(2022年6月3日アクセス)
- *209 国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス 日本の温室効果ガス排出量データ
<<https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *210 経済産業省、環境省 代替フロンに関する状況と現行の取組について
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_busshitsu/flon_godo/pdf/010_01_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *211 公益社団法人日本冷凍空調学会 次世代冷媒に関する調査委員会 次世代冷媒・冷凍空調技術の基本性能・最適化・評価手法および安全性・リスク評価
<https://www.jsrae.or.jp/committee/jisedai_R/2019_ProgressR_WG3.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *212 日本経済新聞 2015年7月23日 三菱重工、サウジで大型ターボ冷凍機80台受注
<https://www.nikkei.com/article/DGXLASDZ23HLQ_T20C15A7TJC000/>
(2022年6月3日アクセス)
- *213 三菱重工 2015年7月23日 ニュースリリース
<<https://www.mhi.com/jp/news/1507235663.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *214 環境省 冷媒代替の現状と課題
<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0612-01/mat02_3-2.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *215 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 WEBカタログ 高性能ターボ冷凍機
<<https://www.mhi-mth.co.jp/catalogue/index.php?mode=preview&contentsNumber=545&pvp=5>>
(2022年6月3日アクセス)
- *216 東京電力エナジーパートナー株式会社 電気料金プラン(高圧電力)
<https://www.tepco.co.jp/ep/corporate/plan_h/plan10.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *217 国税庁 耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表
<<https://www.nta.go.jp/law/tsutatsu/kobetsu/sonota/700525/fuhyou/10.htm>>
(2022年6月3日アクセス)
- *218 環境省 サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベースVer.3.2
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/estimate_tool.html#no02>
(2022年6月3日アクセス)
- *219 栃木県 天然ガスコージェネレーション設備の導入事例
<<https://www.pref.tochigi.lg.jp/kankyoseisaku/home/keikaku/archive/shinenergy/pdf/8.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *220 神奈川県 コージェネレーションシステムの魅力
<<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/e3g/cnt/f537516/index.html#cost>>
(2022年6月3日アクセス)
- *221 資源エネルギー庁 ガス事業生産動態統計調査
<<https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/gas/ga001/results.html#headline2>>
(2022年6月3日アクセス)
- *222 一般財団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センター コージェネ・廃熱利用機器メーカー情報-2
<https://www.ace.or.jp/web/chp/chp_0100.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *223 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発
<<https://www.nedo.go.jp/content/100932842.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)

- *224 日本製鉄株式会社 鉄鋼業における水素利用
<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/020_05_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *225 国立研究開発法人 国立環境研究所 日本の温室効果ガス排出量データ(1990～2019年度)確報値
<<https://www.nies.go.jp/gio/archive/ghgdata/index.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *226 普通鋼電炉工業会 電炉鋼のシェア
<http://www.fudenkou.jp/about_03.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *227 東京製鉄 環境報告書2020
<http://www.tokyosteel.co.jp/eco/achievement/pdf/Tokyo_Steel_Environmenta_l_Report_2020.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *228 経済産業省 水素・燃料電池戦略ロードマップ
<<https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-1.>>
(2022年6月3日アクセス)
- *229 東京ガス エネファームを導入するには
<<https://home.tokyo-gas.co.jp/living/enefarm/introduction/new.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *230 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 定置用燃料電池大規模実証研究事業報告書
<<https://www.nedo.go.jp/content/100116229.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *231 西部ガス 光熱費は、年間どのくらいお得になりますか？
<https://www.saibugas.co.jp/home/house/myhome_ene/farm/qa04.htm>
(2022年6月3日アクセス)
- *232 商船三井 船舶におけるLNG燃料としての現状と今後
<<https://www.mol-service.com/ja/blog/lng-as-ships-fuel>>
(2022年6月3日アクセス)
- *233 日本船舶技術研究協会 国際海運のゼロエミッションに向けた産学官公の総合戦略
<<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001389406.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *234 海上技術安全研究所 GHG削減船の実現に向けた検討
<https://www.nmri.go.jp/event/presentation/R3/lecture_13.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *235 一般財団法人 運輸総合研究所 船舶の代替燃料としてのLNGの可能性に関する調査研究
<https://www.jttri.or.jp/docs/190207_houkokusho.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *236 環境展望台 環境技術解説 廃棄物発電
<<https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=72#:~:text=%E5%BB%83%E6%A3%84%E7%89%A9%E7%99%BA%E9%9B%BB%E3%81%A8%E3%81%AF,%E3%82%92%E8%A1%8C%E3%81%86%E6%96%B9%E6%B3%95%E3%81%A7%E3%81%82%E3%82%8B%E3%80%82>>
(2022年6月3日アクセス)
- *237 電力中央研究所 日本における発電技術のライフサイクルCO2排出量総合評価
<<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDetail?reportNoUkCode=Y06>>
(2022年6月3日アクセス)
- *238 環境省資料 廃棄物発電に係るコスト試算
<http://www.env.go.jp/.recycle/waste/tool_gwd3r/h24_report03.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *239 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 低・脱炭素燃料に対応する船用動力システムに関する研究
<https://www.nmri.go.jp/event/presentation/R1/lecture_1.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *240 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 船舶分野における燃料電池システムの展開
<https://www.nmri.go.jp/_src/7826/pnm2a170012-00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *241 国土交通省 海事局 内航海運のCO2排出量の現状及び取り巻く環境等について
<<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001402855.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *242 MONOist (出典：日本郵船) 海運もゼロエミッション、燃料電池で動く「日本初」の船舶が2024年竣工
<https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2009/09/news047_3.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *243 一般財団法人 日本船舶技術研究協会 欧州における電池推進船の動向調査
<https://www.jstra.jp/html/PDF/research2017_02.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *244 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 内航船舶のカーボンニュートラル推進に向けた短期的取り組みの検討
<<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001406937.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *245 船主連絡協議会 貨物船部会 令和2年度 貨物船船舶経費見直しについて
<<http://www.zenkaiun.or.jp/wp/wp-content/uploads/2020/11/20201119111429806.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *246 日経ビジネス 商船三井や三菱商事が挑むEVタンカー、背景に海運業「2つの高齢化」
<<https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00002/080700601/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *247 BBC Pining for cleaner air in the Norwegian fjords
<<https://www.bbc.com/news/business-39478856>>
(2022年6月3日アクセス)
- *248 富士電機 リチウムイオン電池を唯一の動力源とするゼロエミッション船の「電気推進システム」を提供
<<https://www.fujielectric.co.jp/products/saveblue-solution/electricpropulsion.html>>
(2022年6月3日アクセス)
- *249 国土交通省 運輸部門における二酸化炭素排出量
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html>
(2022年6月3日アクセス)
- *250 三菱総合研究所 蓄電システムをめぐる現状認識
<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/storage_system/pdf/01_05_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *251 国際海運 GHG ゼロエミッションプロジェクト 国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ
<<https://www.mlit.go.jp/common/001354532.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *252 国土交通省 参考資料
<<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001364129.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *253 既存建築物省エネ化推進事業 既存建築物省エネ化推進事業
<<https://hyoka-jimu.jp/kaishu/>>
(2022年6月3日アクセス)
- *254 国土交通省 国土交通省における省エネ対策の概要
<https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/pdf/032_02_00.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *255 株式会社 野村総合研究所 既存建築物のZ E B化推進に向けた調査報告書
<https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000723.pdf>
(2022年6月3日アクセス)
- *256 国土交通省 現状の道路照明における課題・新たな道路照明に期待する効果
<<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001362070.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *257 国土交通省 現状の道路照明における課題・新技術に期待する効果
<<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001312075.pdf>>
(2022年6月3日アクセス)
- *258 Robertson, Stephen E. and Hugo Zaragoza. "The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond." *Found. Trends Inf. Retr.* 3 (2009):333-389.
<<https://dl.acm.org/doi/10.1561/1500000019>>
(2022年2月28日アクセス)
- *259 Lv, Yuanhua and ChengXiang Zhai. "Lower-bounding term frequency normalization." *International Conference on Information and Knowledge Management* (2011).
<<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2063576.2063584>>
(2022年2月28日アクセス)
- *260 Campello, R.J.G.B., Moulavi, D., Sander, J. (2013). Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates. In: Pei, J., Tseng, V.S., Cao, L., Motoda, H., Xu, G. (eds) *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. PAKDD 2013. Lecture Notes in Computer Science*(), vol 7819. Springer, Berlin, Heidelberg.
<https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-37456-2_14>
(2022年2月28日アクセス)
- *261 M. Çelik, F. Dadaşer-Çelik and A. Ş. Dokuz, "Anomaly detection in temperature data using DBSCAN algorithm," *2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, Istanbul, Turkey, 2011, pp. 91-95."
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/5946052>>
(2022年2月28日アクセス)

- *262 国立環境研究所 ネガティブ・エミッションの達成にむけた全球炭素管理
<<https://www.nies.go.jp/kanko/news/34/34-4/34-4-04.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *263 資源エネルギー庁 エネルギー白書2021
<<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/2-1-4.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *264 経済産業省産業技術環境局ネガティブエミッション技術について
<[007_03_02.pdf \(meti.go.jp\)](https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html)>
(2023年6月9日アクセス)
- *265 NEDO「2018年度～2019年度成果報告書 バイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業／地域自立システム化実証事業／栃木県におけるエリアンサスを含めたバイオマス資源を活用した公共施設への地域自立システム化の事業性評価（FS）」
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/attach/pdf/w_pellet-4.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *266 林野庁 令和3年における木質粒状燃料（木質ペレット）の生産量等について
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/kaigan/75/1/75_10/_pdf/-char/ja>
(2023年6月9日アクセス)
- *267 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究グループ 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/jag/60/4/60_483/_pdf/-char/ja](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/attaka_eco/system/index.html)>
(2023年6月9日アクセス)
- *268 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>>
(2023年6月9日アクセス)
- *269 経済産業省資源エネルギー庁 太陽熱利用システム
<[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/attaka_eco/system/index.html](https://www.ipros.jp/cg2/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E7%86%B1%E6%B8%A9%E6%B0%B4%E5%99%A8/)>
(2023年6月9日アクセス)
- *270 iPROS 太陽熱温水器 - 企業5社の製品一覧とランキング
<<https://www.ipros.jp/cg2/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E7%86%B1%E6%B8%A9%E6%B0%B4%E5%99%A8/>>
(2023年6月9日アクセス)
- *271 門倉宏子、本藤祐樹 家庭用太陽熱給湯機のエネルギー収支とライフサイクルCO2排出量
<[https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/12/2/12_97/_pdf/-char/ja](https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2018/pdf/kouzou_gaiyou.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *272 総務省 平成30年住宅土地統計調査住宅及び世帯に関する基本集計
<https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2018/pdf/kouzou_gaiyou.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *273 総務省 平成25年住宅・土地統計調査結果による住宅に関する主な指標（確報値）
<https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/topics/pdf/topics86_2.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *274 リフォームLab. 太陽熱温水器の価格と費用対効果
<[https://standard-project.net/smarthouse/water-heater/solar-powered_cost.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/underground/index.html)>
(2023年6月9日アクセス)
- *275 リフォームLab. 給湯器の交換 費用や光熱費を徹底比較
<[https://standard-project.net/smarthouse/water-heater/#2](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/underground/index.html)>
(2023年6月9日アクセス)
- *276 NEDO TSC Foresight Vol.41
<<https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)
- *277 吉永美香、城出浩作 住宅用太陽熱利用給湯システムの評価及び効果予測シミュレーションに関する研究
<[https://www.jstage.jst.go.jp/article/shasetaikai/2018.10/0/2018.10_105/_pdf/-char/ja](https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *278 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究グループ 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](https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *279 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>>
(2023年6月9日アクセス)
- *280 経済産業省資源エネルギー庁 再生可能エネルギーとは
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/underground/index.html>
(2023年6月9日アクセス)
- *281 阪田義隆、葛隆生等 地中熱利用ヒートポンプシステム導入によるCO2排出量削減の全
- 国評価：戸建住宅への暖房利用を例として
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejer/74/5/74_359/_pdf/-char/ja>
(2023年6月9日アクセス)
- *282 岡田浩一、山崎智雄等 ライフサイクルCO2排出量による地中熱利用事業および小水力発電事業の評価
<[http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00519/2013/21-0043.pdf](https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *283 NEDO TSC Foresight Vol.41
<<https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)
- *284 小原隆、守山久子 地中熱ヒートポンプで省エネ化
<[https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00119/>](https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf)
(2023年6月9日アクセス)
- *285 阪田義隆、葛隆生等 ライフサイクルに基づく地中熱交換器規模の算定と地下水流れがもたらす削減効果の分析：戸建て住宅を例として
<[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jag/62/4/62_515/_pdf/-char/ja](https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *286 阪田義隆、長野克則等 地中熱利用における課題と地下水学からのアプローチ
<[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jag/62/4/62_515/_pdf/-char/ja](https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *287 新潟県地中熱利用研究会 地中熱利用ヒートポンプ
<[http://ngeoh.jp/example/>](https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf)
(2023年6月9日アクセス)
- *288 国土交通省 雪冷熱エネルギーの活用促進
<[https://www.milt.go.jp/policy/shingikai/content/001319591.pdf](https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *289 資源エネルギー庁 再生可能エネルギーとは > 雪氷熱利用
<[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/snow/index.html](https://www.nedo.go.jp/content/100928248.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *290 NEDO 再生可能エネルギー白書 8その他の再生可能エネルギー等の技術の現状
<<https://www.nedo.go.jp/content/100116325.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)
- *291 ニセコ町 雪氷熱エネルギー実証実験
<[https://www.town.niseko.lg.jp/resources/output/contents/file/release/1498/13917/21midoribunkenhokoku09.pdf](https://www.nedo.go.jp/content/100116325.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *292 NEDO/三菱UFリサーチ&コンサルティング株式会社(委託) 再生可能エネルギー熱利用技術開発 再生可能エネルギー熱利用システムの普及に向けた技術開発に関する調査
<https://www.nedo.go.jp/koubo/FF3_100257.html>
(2023年6月9日アクセス)
- *293 炭素繊維協会 航空機・自動車・風車LCA
<[https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf](https://www.nedo.go.jp/koubo/FF3_100257.html)>
(2023年6月9日アクセス)
- *294 一般社団法人日本自動車工業会 2021年の車種別新車販売台数と構成比
<[https://www.jama.or.jp/statistics/facts/four_wheeled/index.html](https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *295 炭素繊維協会 航空機・自動車・風車LCA
<<https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)
- *296 一般財団法人 日本航空機開発協会 民間航空機に関する市場予測
<[174_ext_01_0.pdf \(jadc.jp\)](https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *297 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター一般社団法人日本 エレクトロヒートセンター 令和4年度 電化普及見通し調査報告書
<[https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/press_topics/%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%94%E5%B9%B4%E5%B9%B4%E5%BA%A6/R4Houkoku.pdf](https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *298 国立社会保障・人口問題研究所 日本の将来推計人口（平成30年度推計）結果報告書
<[https://www.ipss.go.jp/pp-ajsetai/j/HPRI2018/t-page.asp](https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf)>
(2023年6月9日アクセス)
- *299 資源エネルギー庁 空調機器のエネルギー消費割合
<[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/what/>](https://www.carbonfiber.gr.jp/pdf/lca.pdf)
(2023年6月9日アクセス)

- *300 国立環境研究所 ネガティブ・エミッションの達成にむけた全球炭素管理
<<https://www.nies.go.jp/kanko/news/34/34-4/34-4-04.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *301 国立社会保障・人口問題研究所 日本の将来推計人口（平成29年度推計）結果報告書
<https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp29_Report3.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *302 資源エネルギー庁 ホームページ第二節 部門別エネルギー消費の動向
<<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2020html/2-1-2.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *303 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）脱炭素社会実現に向けた 省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進 プログラムの概要
<<https://www.nedo.go.jp/content/100931519.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)
- *304 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）未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発
<https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100097.html>
(2023年6月9日アクセス)
- *305 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）省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・冷凍空調技術及び評価手法の開発
<https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100140.html>
(2023年6月9日アクセス)
- *306 環境省 地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）
<<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *307 資源エネルギー庁 2030年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）
<<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-3.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)
- *308 産業技術環境局・資源エネルギー庁 クリーンエネルギー戦略 中間整理
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/green_transformation/pdf/008_01_00.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *309 環境省 <第6-1-3表>暖房使用状況別・月別エネルギー種別エネルギー消費量2019
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=01304956&kikan=00650&tstat=000001149406&cycle=8&class1=000001149407&result_page=1&tclass2val=0>
(2023年6月9日アクセス)
- *310 資源エネルギー庁 トップランナー基準の現状等について
<https://www.meti.go.jp/committee/summary/0004310/017_s01_00.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *311 神奈川県LPガス協会 販売事業者向け業界最新情報
<<https://www.kanagawalpg.or.jp/050211.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *312 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター 家庭部門のエネルギー消費について
<<https://www.hptcj.or.jp/individual/tabid/158/Default.aspx>>
(2023年6月9日アクセス)
- *313 資源エネルギー庁 令和2年度エネルギー消費統計調査
<https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec001/2020_01/>
(2023年6月9日アクセス)
- *314 （一社）日本冷凍空調工業会 自主統計
<<https://www.jraia.or.jp/statistic/detail.html?ca=0&ca2=0>>
(2023年6月9日アクセス)
- *315 日立製作所 業務用エコキュート | 価格・部品適用表
<https://kadenfan.hitachi.co.jp/biz_hp/pdf/price.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *316 マイクロ波化学（株） 公式ホームページ
<<https://mwcc.jp/>>
(2023年6月9日アクセス)
- *317 NEDO GaN増幅器モジュールを加熱源とする産業用マイクロ波加熱装置を開発
<https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100519.html>
(2023年6月9日アクセス)
- *318 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 マイクロ波加熱を用いた省エネ・CO2削減精製技術によりベリリウム鉱石の溶解に成功—汎用性の高い精製法として社会実装により、核融合発電の実現を加速—
<<https://www.qst.go.jp/site/press/20230330.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *319 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 マイクロ波加熱を用いる省エネ・CO2削減精製技術でリチウム実鉱石の溶解に成功—社会実装に向け加速—
<<https://www.qst.go.jp/site/press/20220713.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *320 国立社会保障・人口問題研究所 日本の将来推計人口（平成29年度推計）結果報告書
<https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp29_Report3.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *321 資源エネルギー庁 総合エネルギー統計2019
<https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline7>
(2023年6月9日アクセス)
- *322 （一社）日本エレクトロヒートセンター 産業用ヒートポンプ.com
<<https://sangyo-hp.jeh-center.org/>>
(2023年6月9日アクセス)
- *323 日本経済新聞 日経Xtech マイクロ波加熱で炭素繊維を短時間・低コストで製造、三井化学ら実証へ
<<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/14168/>>
(2023年6月9日アクセス)
- *324 農研機構 カシューナッツ殻液は乾乳牛のメタンを大幅に抑制できる
<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2012/210c0_03_08.html>
(2023年6月9日アクセス)
- *325 国立環境研究所 日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2022年）
<[NIR-JPN-2022-v3.0_J_GIOWeb.pdf](https://www.nies.go.jp/nir-jpn-2022-v3.0_j_gioweb.pdf) (nies.go.jp)>
(2023年6月9日アクセス)
- *326 株式会社エス・ディー・エスバイオテック ルミナアップ
<https://www.sdsbio.co.jp/products/anim/rumi_p.html>
(2023年6月9日アクセス)
- *327 農林水産省 畜産統計（乳用牛 飼養戸数・頭数）
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&lid=00001304956&toukei=00500222&tstat=000001015614&tclass1=000001020206&tclass2=000001171886&cycle=7&year=20220&month=0&tclass3val=0&tstat_infid=000032256893>
(2023年6月9日アクセス)
- *328 農林水産省 畜産統計（肉用牛 飼養戸数・頭数）
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&lid=00001304956&toukei=00500222&tstat=000001015614&tclass1=000001020206&tclass2=000001171886&cycle=7&year=20220&month=0&tclass3val=0&tstat_infid=000032256921>
(2023年6月9日アクセス)
- *329 農業協同組合新聞 カシューナッツ殻液配合鶏用飼料発売 出光興産
<<https://www.jacom.or.jp/niku/news/2015/10/151019-28305.php>>
(2023年6月9日アクセス)
- *330 日本農業新聞 牛のげっぷ中メタン抑制へ 飼料添加物の基準策定 農水省
<<https://www.agrinews.co.jp/farming/index/106558>>
(2023年6月9日アクセス)
- *331 帯広畜産大学 微細藻類ユーグレナと海藻のカギケノリの組み合わせが反芻家畜のメタン排出を軽減することを確認メタン排出抑制効果を有する反芻家畜用の飼料原料としての可能性
<<https://www.obihiro.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2023/04/press20230412.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)
- *332 国立環境研究所 日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2022年）
<[NIR-JPN-2022-v3.0_J_GIOWeb.pdf](https://www.nies.go.jp/nir-jpn-2022-v3.0_j_gioweb.pdf) (nies.go.jp)>
(2023年6月9日アクセス)
- *333 ABC News How feed additives could cut methane emissions from livestock by 90 per cent
<N/A>
(2023年6月9日アクセス)
- *334 J-クレジット 方法論 水稲栽培における中干し期間の延長
<https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-005_v1.0.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *335 日本国温室効果ガスインベントリ報告書2023年5.4.稲作（3.C.）
<https://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/jqjm1000001v3c7t-att/NIR-JPN-2023-v3.0_j_gioweb.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *336 須藤 重人 水田の中干し延長で温暖化対策
<<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/publish/niaesnews/096/09603.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)

- *337 農業環境技術研究所（現農研機構） 水田メタン発生抑制のための新たな水管理技術マニュアル
<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/methane_manual.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *338 農林水産省 令和4年度農業由来のメタン等排出削減対策に係る国際調査等委託事業
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/methane_report.html>
(2023年6月9日アクセス)
- *339 DSM Bovaer
<Bovaer® (dsm.com)>
(2023年6月9日アクセス)
- *340 PR TIMES DSMの新たな飼料添加物、オランダでの試験で乳牛の温室効果ガス排出を大幅に削減 <N/A>
(2023年6月9日アクセス)
- *341 J-クレジット 方法論 家畜排せつ物管理方法の変更
<https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-002_v1.2.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *342 国立環境研究所 日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2022年）
<NIR-JPN-2022-v3.0_J_GIOweb.pdf (nies.go.jp)>
(2023年6月9日アクセス)
- *343 農林水産省 家畜排せつ物処理状況等調査結果（平成31年4月1日現在）
<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/H31_syori-joukyou.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *344 畜産環境技術研究所 固液分離機
<https://www.chikusan-kankyo.jp/kg/kg/kg_5_5_1-8.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *345 丸紅株式会社 畜産業界におけるJ-クレジット制度への登録について
<<https://www.marubeni.com/jp/news/2022/release/00067.html>>
(2023年6月9日アクセス)
- *346 J-クレジット 方法論 牛・豚・ブロイラーへのアミノ酸バランス改善飼料の給餌
<https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-001_v3.0.pdf>
(2023年6月9日アクセス)
- *347 農林水産省 畜産統計（豚 飼養戸数・頭数）
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&lid=0000101304956&toukei=00500222&tstat=000001015614&tclass1=000001020206&tclass2=000001171886&cycle=7&year=20220&month=0&tclass3val=0&stat_infid=000032256951>
(2023年6月9日アクセス)
- *348 農林水産省 畜産統計（ブロイラー 飼養戸数・羽数）
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&lid=0000101304956&toukei=00500222&tstat=000001015614&tclass1=000001020206&tclass2=000001171886&cycle=7&year=20220&month=0&tclass3val=0&stat_infid=000032256971>
(2023年6月9日アクセス)
- *349 農研機構 肥育牛のアミノ酸バランス飼料の給与事例紹介
<<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/attach/pdf/sympo-3.pdf>>
<<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/press/attach/pdf/211223-3.pdf>>
(2023年6月9日アクセス)
- *350 J-クレジット 第29回 J-クレジット制度運営委員会資料
<https://japancredit.go.jp/steering_committee/data/haihu_230301/1_inkai_shiryo.pdf>
(2023年6月9日アクセス)

Deloitte Tohatsu Science and Technology CNチーム 執筆者一覧

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

坂口 直樹 / Naoki Sakaguchi
ディレクター
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社

趙 浩 / Hao Zhao
マネジャー
ストラテジックリスク & サステナビリティ
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

秋本 佳希 / Yoshiki Akimoto
マネジャー
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

杉山 貴志 / Takashi Sugiyama
マネジャー
パブリックセクター
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社

大南 絢一 / Junichi Ominami
パブリックセクター
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社

浦田 亮啓 / Akihiro Urata
デロイト トーマツ コンサルティング合同会社

高田 翔平 / Shohei Takata
コーポレート ストラテジー
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

明石 康平 / Kohei Akashi
パブリックセクター・ヘルスケア事業部
監査・保証事業本部
有限責任監査法人トーマツ

友成 一暉 / Kazuki Tomonari
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

関口 尚 / Nao Sekiguchi
GAUゼネラル
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

作内 友哉 / Tomoya Sakunai
GAUゼネラル
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

豊田 浩起 / Hiroki Toyoda
GAUゼネラル
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

大場 久永 / Hisanaga Oba
シニアマネジャー
デロイトアナリティクス
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

毛利 研 / Ken Mohri
シニアマネジャー・スペシャリストリード
デロイトアナリティクス
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

王 哲 / Zhe Wang
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

山本 昂 / Takashi Yamamoto
デロイトアナリティクス
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 Tohatsu Science and Technology CNチーム

Mail dtst_carbon_neutral@tohatsu.co.jp

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グループ合同会社を含む）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都市に約1万7千名の専門家を擁し、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、デロイトトウシュー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（オークランド、バンコク、北京、ベンガルール、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、ムンバイ、ニューデリー、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、法務などに関連する最先端のサービスを、Fortune Global 500®の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促し、より豊かな経済、公正な社会、持続可能な世界の実現に向けて自ら率先して取り組むことを通じて、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来175年余りの歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters”をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの約415,000名の人材の活動の詳細については、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、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して直接または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。

Member of

Deloitte Touche Tohatsu Limited

© 2023. For information, contact Deloitte Tohatsu Group.

