

アジア太平洋研究所 (APIR) Discussion Paper Series No.51  
2024/10

ASEAN 主要国とインドにおける  
今後のエネルギー政策と CO<sub>2</sub> 排出係数の予測について

下田 泰広  
アジア太平洋研究所  
研究推進部 統括調査役

本稿の内容は全て執筆者の責任により執筆されたものであり、  
(一財)アジア太平洋研究所の公式見解を示すものではない。

## 目次

要旨	1
背景	1
1. CO <sub>2</sub> 排出係数の重要性	2
2. 電源構成と CO <sub>2</sub> 排出係数の関係性検証	4
3. CO <sub>2</sub> 排出係数の推定	6
4. 今後の各国のエネルギー政策	8
5. まとめ	11
補論	12
1. ASEAN 主要国とインドへの拠点展開における CO <sub>2</sub> 排出係数の予測	12
2. カーボンニュートラルを実現させるために	13
2-1. 再エネの今後の動向	13
2-2. カーボンキャプチャーの可能性	14
2-3. カーボンクレジット取引	15
3. 生成 AI 市場拡大による電力需要量増加	16
4. 補論のまとめ	17
参考資料	18

2024年10月11日

## ASEAN 主要国とインドにおける 今後のエネルギー政策と CO<sub>2</sub> 排出係数の予測について

APIR 研究推進部 統括調査役 下田 泰広

### 要旨

本稿では、地球温暖化防止のためのカーボンニュートラルを実現するために、各団体や企業が取り組んでいる温室効果ガス（本稿では CO<sub>2</sub> とする）排出量削減活動に着目し、今後の ASEAN 主要国とインドにおける CO<sub>2</sub> 排出量がどのように変化していくのかを予測することを検討した。

本稿では、「電源構成<sup>1</sup>」と「CO<sub>2</sub> 排出係数<sup>2</sup>」の関係を把握することにより、電源構成の内訳から CO<sub>2</sub> 排出係数を算出する関係式を推定した。さらに、今後各団体や企業が ASEAN 主要国やインドに新たな拠点を置く場合、将来におけるそれらの国のエネルギー政策によって CO<sub>2</sub> 排出量がどのように変動していくのかについて、関係式を用いて予測した。

さらに、その関係式を用いて日本の CO<sub>2</sub> 排出係数について試算を行った。もし仮に、石炭燃料の使用を 0 にし、その分を水力以外の再生可能エネルギー（以下：再エネ）に切り替えると、CO<sub>2</sub> 排出係数を半減させることができる。先進国の中でも石炭火力発電の比率が高い日本においては、まず石炭を他の燃料に切り替えることから始めなければならないことを、今回のモデルは示唆している。

### 背景

カーボンニュートラルを実現させるために、各団体や企業は今後様々な方策を展開していく必要があり、その一環である CO<sub>2</sub> 排出量削減を進める手段として、省エネや化石燃料の

---

<sup>1</sup> 電源構成：発電において利用されるエネルギー源の割合。エネルギー源とは、化石燃料（石炭、石油、ガス）・水力・原子力・再生可能エネルギーなど。エネルギーミックスとも呼ばれている。その構成は国や地域によって異なる。

<sup>2</sup> CO<sub>2</sub> 排出係数：1kWh の電力を供給するのにどれだけの CO<sub>2</sub> を排出しているかを示す指標。火力発電のような化石燃料を消費して発電する場合は CO<sub>2</sub> の排出量は多くなり CO<sub>2</sub> 排出係数は高くなる。一方太陽光発電等の自然由来の発電であれば CO<sub>2</sub> の排出量を抑えられるので、CO<sub>2</sub> 排出係数は低くなる。

電化や太陽光発電による再エネの導入等を実施している段階であろう。これらは自部門で削減させることができる部分であり、これを自助努力部分とする。一方で、事業活動を継続するうえで必要な購入電力についても電力会社等により CO<sub>2</sub> 排出量削減は進められており、ここを外部協力部分とする。購入する電力がどれだけの CO<sub>2</sub> を排出して発電されたかによって単位電力量当たりの CO<sub>2</sub> 排出量は変わり、これを CO<sub>2</sub> 排出係数(kg-CO<sub>2</sub>/kWh)と呼んでいる。この数値が低い値の電力を購入の方がその団体や企業における CO<sub>2</sub> 排出量も低く抑えられることにもつながり、自助努力部分に加え外部協力部分の両方で CO<sub>2</sub> 排出量削減を進めていかなければならない。CO<sub>2</sub> 排出係数の値はその国や地域の電源構成によって異なるものであり、今後はカーボンニュートラル実現を目指し、CO<sub>2</sub> 排出量を抑える電源構成に転換されていくことにより数値は低くなる傾向にあるため、その動向に注目していかなければならない。

今後新たな拠点候補地を検討するうえで、人件費や電気料金等のコストや消費市場の関連に加え、CO<sub>2</sub> 排出量削減に関しても十分留意しなければならない状況となっている。今回は ASEAN 主要国（インドネシア・ベトナム・マレーシア・タイ）とインドをターゲットに、今後その国のエネルギー政策がどのように展開していくかによって、CO<sub>2</sub> 排出係数に与える影響を予測する関係式を推定し、新たな拠点選びにおける指標の一つとして提供する。

## 1. CO<sub>2</sub> 排出係数の重要性

今後団体や企業が長期的な成長を支える経営基盤の強化として、ESG（Environmental：環境・Social：社会・Governance：企業統治）投資は非常に重要な取り組みとなってきている。その中でも環境において、CO<sub>2</sub> 排出量削減は明確な数値目標が期限付きで設定され、各団体や企業において目標達成のための対策検討が進められている段階にあるだろう。企業が生産性向上や利益増大を目的とし海外進出する場合、これまでは人件費や電力価格等のコスト・優秀な人材確保・立地条件・材料調達・消費市場の関係といった点を重要視し、新拠点検討が進められてきたケースが多いと思われる。しかし今後は、SDGs が国際的に強く求められてきているように、環境においてもその責任を果たさなければならず、環境課題を無視して事業の継続・拡大を行うことはあり得ない状況にある。

2015年にパリで開かれた、温室効果ガス削減に関する国際的取り決めに話し合う「国連気候変動枠組条約締約国会議<sup>3</sup>(COP21)」で合意された、パリ協定が要求する温室効

---

<sup>3</sup> 国連気候変動枠組条約締約国会議：Conference of the Parties (COP) 1992年の地球サミットで採択された「気候変動枠組条約」の締約国が、地球温暖化対策について話し合う国際会議。全ての COP 参加国には、具体的な対策を含む温室効果ガス削減計画の策定・実施、そして温室効果ガス排出量の実績公表が義務付けられている。

果ガス削減目標である「SBT<sup>4</sup>」における 2050 年のカーボンニュートラル実現に向けて、世界各国・企業・団体等のそれぞれの組織において CO<sub>2</sub> 排出量削減のロードマップを作成しながら、この困難な課題への取り組みを開始している。

特に企業においては、SDGs の観点からも CO<sub>2</sub> 排出量を削減するよう取り引き先企業等から要求され、実現できなければ今後の取り引きができなくなる状況に追い込まれるケースにも発展しかねないといった、数十年先の地球規模の課題である前に、目前に迫りつつある死活問題として捉えていかなければならない状況にもあるだろう。

各企業では工場増設等の事業規模拡大を図ることは常に検討が行われていることではあるが、そのために設備稼働を増やすことや多くの拠点を展開するということは、当然更なる電力等のエネルギー消費増につながり、必然的に CO<sub>2</sub> 排出量は増加してしまう状態になる。SBT では基準年の CO<sub>2</sub> 排出量を 100%として、そこからどれだけ削減できたのかを評価するもので、生産性が向上し CO<sub>2</sub> 排出量の原単位を改善しても増産によって CO<sub>2</sub> 排出量が基準年より増加すればそれは評価されない。要するに CO<sub>2</sub> 排出量の上限が決まっているということである（図-1 にイメージ図を示す）。

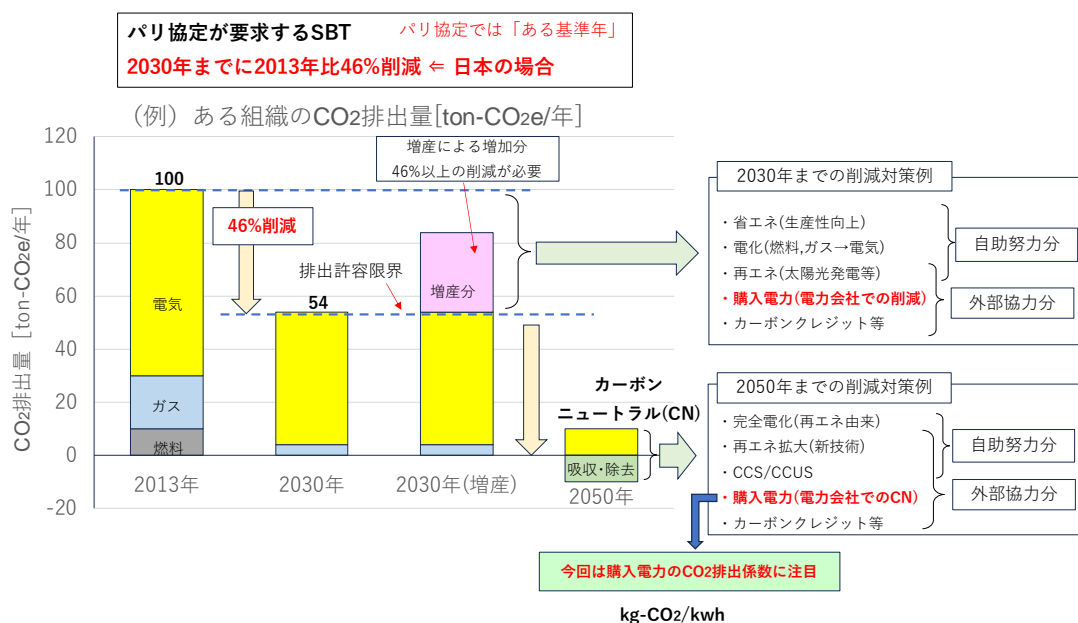


図-1 CO<sub>2</sub> 排出量削減のシナリオ

事業規模拡大はその事業を存続させていく上では非常に重要な活動であるが、CO<sub>2</sub> 排出量も削減していかなければならない状況下においては非常に悩ましい課題となってくる。特に製造業においては、2030 年度の削減目標を達成するだけでも、かなり根

<sup>4</sup> SBT (Science Based Targets) : パリ協定で求められている水準と整合した、企業の温室効果ガス削減目標。地球の気温上昇を産業革命前の水準に比べて 2°Cより十分低く保ち、さらに 1.5°Cに抑えることを目指す。すべての国が 5 年ごとに削減目標を提出・更新する。

本のかつ革新的な製造プロセス変更の実現や太陽光発電等の自然エネルギー発電装置の導入等が必要になる。それには多額の設備投資や労力を費やすことになるが、仮にそれを実施したとしてもおそらく目標まで到達しない状況になるケースもあるだろう。

目標未達分の CO<sub>2</sub> 排出量を削減する案としては、電力会社等が自然エネルギーや再エネ等で発電した CO<sub>2</sub> 排出係数の低い電力の購入や、非化石証書<sup>5</sup>を発行するといった対策がある。ただし現時点では再エネ等で CO<sub>2</sub> 排出量を下げて発電された電力は価格が高くなる問題がある。今後再エネが広く普及すれば価格は下がってくるだろうが、企業側としては自己負担投資なしで CO<sub>2</sub> 排出量が下げられるので、CO<sub>2</sub> 排出係数の値は非常に重要な指標となってくる。その国や地域の電源構成によりこの CO<sub>2</sub> 排出係数は異なり、今後 CO<sub>2</sub> 排出量削減を展開していくうえで、現状と今後の推移を把握しておくことは非常に重要であると考えます。

## 2. 電源構成と CO<sub>2</sub> 排出係数の関係性検証

海外に新たな拠点を設置し事業拡大を行う場合、これまでは日本と比較して人件費や電気代等が安い立地を選ぶ「コスト重視や市場環境の関連」が主流であった。しかし、既に述べたように、今後においては CO<sub>2</sub> 排出量削減も重要な達成課題の一つとなってきた。日本から海外に拠点を移し、日本の生産量を落とせば日本での CO<sub>2</sub> 排出量は削減される。しかし移転した拠点での CO<sub>2</sub> 排出量も合算して評価しなければならないので、その拠点の CO<sub>2</sub> 排出係数が日本よりも高ければ CO<sub>2</sub> 排出量は増加してしまうので、CO<sub>2</sub> 排出係数は非常に重要になる。本稿ではそれに焦点を当てる。

今回は ASEAN 主要国（インドネシア・ベトナム・マレーシア・タイ）やインドへ新たに拠点展開する際、その国の現状と今後のエネルギー政策がどのように CO<sub>2</sub> 排出係数に変化を及ぼすかについて検証を行うために、まずは現状の世界各国の電源構成と CO<sub>2</sub> 排出係数の関係を調査することとした。

表-1 に国際エネルギー機関<sup>6</sup>（IEA）から入手した CO<sub>2</sub> 排出係数と Energy Institute から入手した世界各国（ここでは 31 か国）の電源構成と、さらにその電源構成より非化石燃料比率や石炭比率といったそれぞれの燃料比率を計算したものを示す。データは 2021 年の数字である。この表-1 を元に、非化石燃料比率と CO<sub>2</sub> 排出係数の関係を図-2 に示す。

---

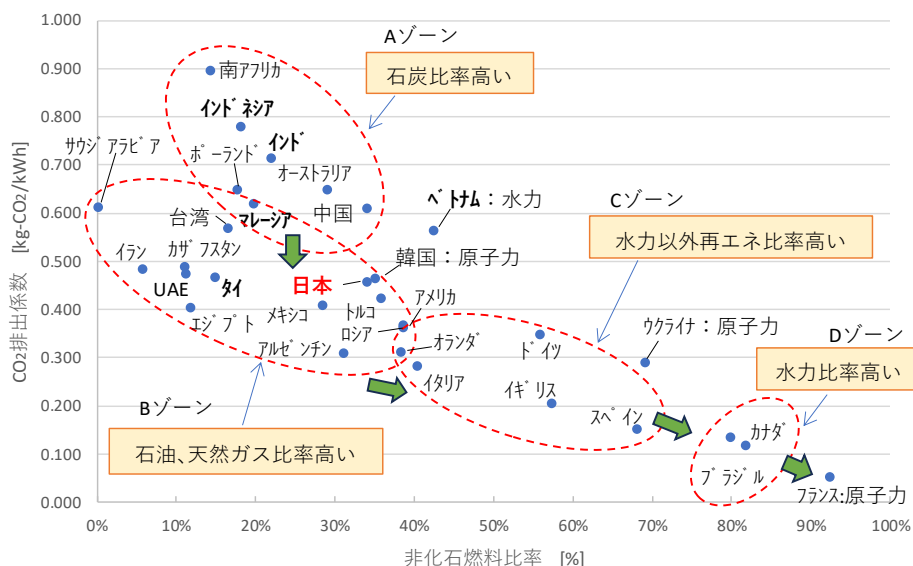
<sup>5</sup> 非化石証書：発電時に化石燃料を使用せず大気中の二酸化炭素を増加させないものを「非化石電源」と呼び、再生可能エネルギーなど非化石電源の「環境価値」を取引するために証書にしたもの。

<sup>6</sup> 国際エネルギー機関：International Energy Agency（IEA）エネルギーの安全保障と安定的な需給を目的とする国際機関。1974 年の第 1 次石油危機後に設立され、本部はパリ。OECD の枠内機関で 31 か国が加盟（2023 年時点）。

表-1 世界各国のCO2排出係数と電源構成 (2021年)

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]								比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エネ	他	Total	石炭	石油	天然ガス	非化石燃料			
														原子力	水力	水力以外 再エネ	他
1	中国	0.609	5,329	12	287	408	1,300	1,149	50	8,534	62%	4%	5%	15%	13%	1%	34%
2	アメリカ	0.368	978	21	1,698	821	249	622	13	4,401	22%	39%	19%	6%	14%	0%	39%
3	インド	0.713	1,274	2	60	44	160	173	1	1,715	74%	4%	3%	9%	10%	0%	22%
4	ロシア	0.363	181	8	520	222	215	6	5	1,157	16%	46%	19%	19%	0%	0%	39%
5	日本	0.463	302	34	326	61	80	136	81	1,020	30%	35%	6%	8%	13%	8%	35%
6	ブラジル	0.134	24	20	87	15	363	145	2	656	4%	16%	2%	55%	22%	0%	80%
7	カナダ	0.118	34	3	80	92	383	50	5	647	5%	13%	14%	59%	8%	1%	82%
8	韓国	0.456	212	7	178	158	3	40	4	602	35%	31%	26%	1%	7%	1%	34%
9	ドイツ	0.347	165	5	90	69	20	214	26	589	28%	16%	12%	3%	36%	4%	56%
10	フランス	0.052	4	2	35	379	59	61	7	548	1%	7%	69%	11%	11%	1%	92%
11	サウジアラビア	0.611	0	158	234	0	0	1	0	393	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.482	1	34	291	4	15	2	0	345	0%	94%	1%	4%	1%	0%	6%
13	メキシコ	0.407	14	33	189	12	35	47	0	330	4%	67%	4%	11%	14%	0%	29%
14	インドネシア	0.778	190	7	56	0	25	32	0	309	61%	20%	0%	8%	10%	0%	18%
15	トルコ	0.422	103	0	111	0	56	64	0	335	31%	33%	0%	17%	19%	0%	36%
16	イギリス	0.204	7	2	123	46	5	117	9	309	2%	40%	15%	2%	38%	3%	57%
17	スペイン	0.150	6	10	72	57	30	96	5	274	2%	30%	21%	11%	35%	2%	68%
18	台湾	0.569	129	5	108	28	3	12	5	291	44%	39%	10%	1%	4%	2%	17%
19	イタリ	0.282	16	12	144	0	45	68	3	289	6%	54%	0%	16%	24%	1%	40%
20	オーストラリア	0.649	137	5	48	0	16	61	0	267	51%	20%	0%	6%	23%	0%	29%
21	ベトナム	0.562	114	0	26	0	76	28	0	245	47%	11%	0%	31%	12%	0%	43%
22	南アフリカ	0.896	206	3	0	12	2	16	5	244	84%	1%	5%	1%	6%	2%	14%
23	エジプト	0.402	0	11	174	0	14	10	0	210	0%	88%	0%	7%	5%	0%	12%
24	マレーシア	0.618	78	1	61	0	31	4	0	175	45%	36%	0%	18%	2%	0%	20%
25	タイ	0.466	36	1	113	0	5	22	-0	176	20%	65%	0%	3%	12%	0%	15%
26	ポーランド	0.648	130	2	16	0	2	28	1	180	72%	10%	0%	1%	16%	1%	18%
27	UAE	0.474	0	0	132	11	0	6	0	149	0%	89%	7%	0%	4%	0%	11%
28	アルゼンチン	0.308	2	13	90	10	20	17	1	153	2%	67%	7%	13%	11%	0%	31%
29	オランダ	0.311	17	1	57	4	0	40	3	122	14%	47%	3%	0%	33%	2%	38%
30	ガスター	0.487	75	0	27	0	9	3	0	115	65%	24%	0%	8%	3%	0%	11%
31	ウクライナ	0.289	37	1	10	86	10	11	0	155	24%	7%	55%	7%	7%	0%	69%

出所) CO2排出係数：IEA(国際エネルギー機関) World Energy Blances Outlook 2023  
 電源構成：Energy Institute (Resources and data downloads,Consolidated Datasetsa-Narrow format) より著者作成



出所) CO2排出係数：IEA(国際エネルギー機関) World Energy Blances Outlook 2023、  
 電源構成：Energy Institute (Resources and data downloads,Consolidated Datasetsa-Narrow format) より著者作成

図-2 非化石燃料比率とCO2排出係数の関係 (2021年)



図-2のグラフをみるとCO<sub>2</sub>排出係数と非化石燃料比率にはかなり明確な関係があることが言える。さらに電源構成を考慮して、次のように説明できる。

まず、CO<sub>2</sub>排出係数が高い国は、非化石燃料比率がおおよそ30%以下と低く石炭比率は40%以上と高い、南アフリカ・インドネシア・インド・オーストラリア・ポーランド・マレーシア・中国等となっており、ここをAゾーンとする。CO<sub>2</sub>排出係数は0.609～0.896kg-CO<sub>2</sub>/kWhとなっている。そこから、非化石燃料比率は同程度に低い、石油と天然ガス比率が60%以上となるサウジアラビア・イラン・UAE・タイ・エジプト・メキシコ・アルゼンチン等がBゾーンに下がり、0.308～0.611kg-CO<sub>2</sub>/kWhとなる。次に、水力以外の再エネ比率が高くなり、非化石燃料比率もおおよそ40%以上に高くなる国であるドイツ・オランダ・イギリス・スペインがCゾーンにスライドし、0.150～0.347kg-CO<sub>2</sub>/kWhとなる。特徴的な例として、地理的に水力発電が盛んなカナダ・ブラジルは非化石燃料比率が80%程度になり、Dゾーンの0.118～0.134kg-CO<sub>2</sub>/kWhとなる。さらに、原子力比率が69%と非常に高く、非化石燃料比率が92%のフランスは0.052kg-CO<sub>2</sub>/kWhと段違いに低い値となっている。各国の発電装置の規模や年式等によって、電源構成だけでは正確に分類できない多少の誤差は生じると思うが、ある程度は電源構成の内訳とCO<sub>2</sub>排出係数の関係を反映しているグラフであると言える。

更に図-2の説明を付け加える。ASEAN主要国やインドに日本から拠点を移転させたと仮定した場合、2013年の日本のCO<sub>2</sub>排出係数(0.564kg-CO<sub>2</sub>/kWh)をベースに考えると、タイだけが減少し、ベトナムは同レベル、その他の国においては排出係数が高くなる。つまり、インド・インドネシア・マレーシア・フィリピンに拠点を移した場合10～38%もCO<sub>2</sub>排出量が増加することになる。前述した通りCO<sub>2</sub>排出量削減目標値は地球規模での評価となるので、日本で削減しても海外で増加させては意味をなさない。新拠点を選擇するうえでも、その拠点のCO<sub>2</sub>排出係数がどのレベルにあるのか、特に今後の各国のエネルギー政策によってどのように変化していくのかを十分に検討しておく必要がある。

### 3. CO<sub>2</sub>排出係数の推定

図-2はCO<sub>2</sub>排出係数と非化石燃料比率の関係を、電源構成の内訳を考慮することによっておおよそ明確に捉えていると言える。その電源構成の内訳がどの程度CO<sub>2</sub>排出係数に影響を与えるのかについて検証すべく、回帰分析を行った。説明変数としては、石炭比率、石油天然ガス比率、水力以外の再エネ比率、水力比率とした。単年だとサンプル数が31個(=国の数)と少ないので、過去10年分(2012～2020年は参考資料P18～22の表-5～13を参照)のデータを使うこととした。表-2に回帰分析の結果を示す。

表-2 Excel での回帰分析結果

回帰統計	
重相関 R	0.945
重決定 R2	0.893
補正 R2	0.892
標準誤差	0.066
観測数	310

分散分析表					
	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	4	11.161	2.790	635.980	0.000
残差	305	1.338	0.004		
合計	309	12.499			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	0.021	0.022	0.963	0.336	-0.022	0.064	-0.022	0.064
石炭比率	0.915	0.025	35.992	0.000	0.865	0.965	0.865	0.965
石油天然ガス比率	0.507	0.024	21.262	0.000	0.460	0.554	0.460	0.554
水力以外再エネ比率	-0.112	0.050	-2.226	0.027	-0.211	-0.013	-0.211	-0.013
水力比率	-0.003	0.032	-0.099	0.921	-0.067	0.061	-0.067	0.061

表-2 の回帰統計をみると重決定 R2 値は 0.893 と高い値を示した。t 値をみると石炭比率が 35.992、石油天然ガス比率が 21.262 となっており、それらはかなり CO<sub>2</sub> 排出係数を増大させる影響を与える説明変数であることが言える。一方で水力以外の再エネ比率は-2.226、水力比率は-0.099 となり、これらは逆に CO<sub>2</sub> 排出係数を小さくさせる影響を与える説明変数となった。表-2 を式で表すと以下のようになる。

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{ 排出係数 } Y = & +0.021 + 0.915 \times C + 0.507 \times \text{OG} - 0.112 \times \text{RE} - 0.003 \times H \quad \dots \text{式(1)} \\
 \text{t 値} & (0.963) \quad (35.992) \quad (21.262) \quad (-2.226) \quad (-0.099)
 \end{aligned}$$

Y : CO<sub>2</sub> 排出係数 (Carbon dioxide emission factor)

C : 石炭比率 (Coal ratio)

OG : 原油・天然ガス比率 (Crude Oil、Natural Gas ratio)

RE : 水力以外の再エネ比率 (Renewable Energy ratio)

H : 水力比率 (Hydro ratio)

説明変数で原子力比率を除いた理由は次の 3 つである。①比率の説明変数を使っているのも、全てを足すと 100%=1 となる。説明変数間の線形制約の問題があり、多重共線性が発生するため、影響力の少なそうな説明変数を除くことにした。②310 個のサンプル中 119 個で原子力が 0%であり、水力の 20 個よりも多い。このことは原子力のデータの情報量が少ないことを意味する。③原子力は安全の確保が大前提だが非常に重要な発電設備である。しかしながら 2011 年の福島第一原発事故の影響を受けて世界

的にも今後の見通しが不確定な状況でもあり、今回の説明変数からは外すこととした。ちなみに「他」もほとんど0%レベルなので除いている。

式(1)を用いて各エネルギー比率を変化させたときの CO<sub>2</sub> 排出係数の変化量は次のようになる。石炭比率を1%上げると CO<sub>2</sub> 排出係数の変化量は0.009 高くなり、石油天然ガス比率を1%上げると0.005 高くなる。石炭比率を5%下げ、その5%を石油天然ガスに切り替えると0.020 低くなり、水力以外の再エネに切り替えた場合では0.046 低くなる。水力以外の再エネ比率がマイナスとなるのは、発電して分母の [kWh] が大きくなって分子である CO<sub>2</sub> 排出量 [kg] は増えないので、CO<sub>2</sub> 排出係数は低くなるためである。石炭比率を下げることで CO<sub>2</sub> 排出係数が低くなる影響が理解できる。モデルに基づくと次のようになる。石炭比率の係数は0.915 と影響度は高い。2021年の日本の電源構成で、式(1)より予測値を求めると CO<sub>2</sub> 排出係数は0.464kg-CO<sub>2</sub>/kWh となる。もし仮にこの2021年の石炭比率30%を0%にし、その分を水力以外の再エネ比率に切り替え13%を43%にすると、CO<sub>2</sub> 排出係数の変化量は-0.271 となり CO<sub>2</sub> 排出係数は0.193kg-CO<sub>2</sub>/kWh まで大きく低下させられる。先進国の中でも石炭比率が高い日本は、COP28 開催時に4回連続化石賞<sup>7</sup>を受賞している。日本政府は公的資金を拠出し、火力発電所の化石燃料の一部を、CO<sub>2</sub> を排出しないアンモニア混焼<sup>8</sup>などに転換することで CO<sub>2</sub> 排出量削減を進めようとしており、その額が世界最大となっている。さらに国内だけでなくアジア全体で石炭火力などを延命させ、再エネへの移行を遅らせていると批判されたことが受賞の理由である。図2においても石炭比率の高い国は CO<sub>2</sub> 排出係数が高い位置にあり、まずは石炭を他の燃料に切り替えることから始めなければならない。

この式(1)に各国の今後のエネルギー政策における電源構成を代入することにより、将来における CO<sub>2</sub> 排出係数を予測することができる。

## 4. 今後の各国のエネルギー政策

現在発表されている各国の今後のエネルギー政策について、入手できる範囲で情報を収集した。

日本では2021年10月に「第6次エネルギー基本計画」が出され、次のような内容となっている。①東日本大震災から10年を経て、安全性の最優先が大前提 (S+3E)。

---

<sup>7</sup> 化石賞：環境 NGO「Climate Action Network (CAN)」が、気候変動対策に対して足を引っ張った国に与える賞。気候変動への取り組みが「後退している」ことを「化石」と表現して皮肉ったもの。

<sup>8</sup> アンモニア混焼：アンモニアは燃焼時に CO<sub>2</sub> を排出しないことから、石炭にアンモニアを混ぜて火力発電所などで燃焼を行うこと。専焼になれば CO<sub>2</sub> 排出量はゼロになるが、アンモニアは製造時に CO<sub>2</sub> が発生するので厳密な意味でカーボンニュートラル資源ではないと言われている。

S は Safety (安全性)、3E は Energy Security (安定供給) と Economic Efficiency (経済効率性の向上) と Environment (環境への適合)。②可能な限りの原発依存度の低減。③2050年カーボンニュートラルを見据え、2030年の温室効果ガス排出削減目標(2013年から46%削減)の実現に向けたエネルギー政策。④気候変動対策と、日本のエネルギー需給構造が抱える課題の克服。

この計画の具体的な数字を拾うと次のようになる。2030年の電源構成(野心的な見通し)では、石炭比率19%、石油天然ガス比率22%、原子力比率20~22%(→21%とした)、再エネ比率36~38%(→この内、水力は11%となっていたので、水力以外の再エネを27%とし再エネ合計を38%とした)を目指すとしている。

インドにおいては、COP28でモディ首相が発言された「非化石燃料比率50%を目指す」を採用し、電源構成を次のように見積もることとした。水力以外の再エネ比率を40%とし、水力比率を現状レベルの10%と予想した。再エネのメインは太陽光としている。インドでは日射量が安定しており、太陽光のポテンシャルは高いとされている。もう一つは風力で、これまで導入されたのはすべて陸上風力である。今後世界で導入が拡大されるといわれている洋上風力は、国内サプライチェーンやインフラ不足の影響でまだ導入実績はない。インドは水素製造においても高いポテンシャルを秘めていると言われており、諸外国はこのインド製の水素を輸入することを画策している。一方で、インド国内で水素発電等に活用することによってCO<sub>2</sub>排出量(=CO<sub>2</sub>排出係数)へどう影響を与えるのか、今後のインド水素ビジネスの動きにも注目していきたい。

インドは中国・アメリカに続きCO<sub>2</sub>排出量の多い国である(表-14 参照:参考資料P22)。モディ首相はCOP28において、インドにおけるカーボンニュートラルのゴールは2050年ではなく2070年と発言している。インドの温室効果ガス排出量は世界の4%程度でしかなく、影響力は低いことを理由としているが、今後の経済成長を目指すうえで、これまでに経済発展をしてきた先進国が設定したルールには従わないという意味も込められているのかもしれない。それでもCO<sub>2</sub>排出量を削減しつつ経済発展を両立させるといふ方向性は示しているので、海外進出の拠点候補に残しておいても良いと考える。

インドネシアにおいては、「INDONESIA LONG-TERM STRATEGY 2050(2021年7月)」の中にある2030年のグラフから読み取ることとした。インドネシアは今後経済発展により電力需要量は拡大する見通しとなっている。その需要増部分は太陽光や地熱でカバーするとある。石炭比率61.6%をおよそ55%に下げ、それを石油に転換するといった程度しか具体的対策は記されていない。2050年においては、再エネ比率は50%までしか上げられないが、石炭燃料を使いつつ「カーボンキャプチャー」を活用し、CO<sub>2</sub>排出量を下げる取り組みを展開していく方針としている。実際世界各国の大手企業がインドネシアにCO<sub>2</sub>地下貯留設備建設を計画している。CO<sub>2</sub>排出量を抑えていくことも必要だが、カーボンキャプチャーはCO<sub>2</sub>を外気として排出させないので、実用化され

る時期や削減量の見込み等、今後の動きを観察していく必要がある。

インドネシアでは今後、経済成長により電力需要量は2050年に2020年比で6倍になる見通しを立てている。経済発展を止めないために化石燃料を使用して発電量を確保しつつ、その変わりカーボンキャプチャーを実行することによりカーボンニュートラルへ移行させ、インドネシアへの海外からの投資や工場建設を促す狙いもあるだろう。

ベトナムにおいては、「第8次国家電力開発基本計画（PDP 8:Power Development Plan8）」が出されているが、発電設備容量構成のみで電源構成については記されていないので正確には予測できない。この基本計画の文言の中から読み解くと、ベトナムでは今後経済成長により2050年の総発電設備能力を2020年比で7～9倍とする計画があり、石炭火力を全廃し再エネの発電能力構成に占める比率を2030年計画の28.6%から2050年に約70%にするという目標が掲げられていた。とりあえず水力以外の再エネ比率はそれに従い28.6%（2022年比15.2%増）とした。さらに発電容量の不足分を輸入LNGで補い石炭比率を下げる計画となっているので、石油天然ガス比率を2022年比の14.1%増の25%とし、再エネ比率を上げた分と合わせて石炭比率は2022年比27.4%減の11.4%と予想した。再エネでは洋上風力と太陽光の導入を促進させる計画とある。

ベトナムにおいても、経済発展のために電力供給量を増大させながら、化石燃料比率を下げ、水素や再エネ比率を上げてカーボンニュートラルを実現させていく必要がある。数値目標はかなり高く設定しているため、数字だけが先行している感がある。今後においては、具体的な対策や数値目標に対する根拠等が示される時期が来ると思われるので、その内容についてしっかり吟味する必要がある。

マレーシアにおいては、2021年に持続可能エネルギー庁(SEDA)が公表した「Malasia Renewable Energy Roadmap」で2035年の電源構成が記されている。石炭比率は18%、石油天然ガス比率は41%、水力比率は18%、水力以外の再エネ比率は22%とある。また、2023年8月に発表された「国家エネルギー移行ロードマップ(NETR)」には、2050年にカーボンニュートラルを実現すると記されており、その取り組みとして石油火力発電の全廃や再エネ比率を70%まで引き上げる数値目標が掲げられている。

マレーシアもCO<sub>2</sub>貯留能力が高く、今後カーボンキャプチャーに関する開発も盛んに行われる見込みである。インドの水素、インドネシアとマレーシアのカーボンキャプチャーの実用化は未知数であり、今後の技術開発状況によってその時期と能力を見極めていく必要がある。

タイもエネルギー政策は発表されているが、今後の電源構成を予測できるような情報を入手できず、2030年の見込みを予想することはできなかった。

参考に、2012年から2022年における日本とインド・ASEAN主要国のCO<sub>2</sub>排出係数と電源構成の推移を表-15（参考資料P23）に記載しておく。近年の各国のエネルギー政策を比較することができる。

## 5. まとめ

電源構成の内訳と CO<sub>2</sub> 排出係数には理論的にも影響を与える関係にあると言える。特に石炭比率は強い影響を与える。石炭から石油や天然ガスに使用燃料を転換することで CO<sub>2</sub> 排出量は抑えられ、それにより当然 CO<sub>2</sub> 排出係数は低くなる。さらに太陽光、風力等の再エネへの転換によっても係数は低く抑えられる。今回はその転換の影響を数値化することができる式を推定した。今後の各国のエネルギー政策を把握することで CO<sub>2</sub> 排出係数の推移を予測することができるので、各団体や企業が ASEAN 主要国やインドへの事業展開を検討する状況となった時に、CO<sub>2</sub> 排出量削減の取り組みの参考データとして役立てていただきたい。ただし、今回推定した式(1)はこれまでの電源構成により得られたものであり、今後再エネ比率が大きくなりさらに新たなエネルギー開発等によって、この式(1)の予測から外れてくる可能性がある。それらの状況を勘案しながら式(1)の見直しが必要となるので、今後の動向についても引き続き注目していきたい。

パリ協定の SBT においては、2050 年をカーボンニュートラルの目標年としている。ASEAN 主要国やインドにおいては、経済発展を優先させながらのカーボンニュートラルへの取り組みとなり、かなり難しい舵取りとなる。再エネに切り替えることでどこまで電力需要をカバーできるのか、水素やカーボンキャプチャー等はいつ頃実用化されるのかはまだまだ不透明な状況である。一方現状レベルでみた時に、今後の各国のエネルギー政策では、石炭比率を下げるとか再エネ比率を上げるといったおおよその方向性を示しているだけで、詳細な電源構成や具体的な対策とその数値目標の根拠まで落とし込めていない内容のエネルギー政策も多々ある。国によってはその政策の計画通りに CO<sub>2</sub> 排出量削減を進められないケースも出てくるだろう。今後 2030 年が近づいてくれば、実現可能な具体的対策と数値目標が掲げられる状況になると思われるので、その内容や達成目標の時期等を把握し、それらをしっかり理解したうえで、新たな拠点選びをする必要があると考える。

一方で日本においても課題はある。日本は先進国の中でも石炭比率が高く CO<sub>2</sub> 排出係数も高い。2030 年には石炭比率を 19%まで下げるとあるが、これでも 2021 年時点の先進国レベルよりも高い。さらにその先の 2050 年において、もし仮に石炭比率を 0%まで下げて、その分を水力以外の再エネ比率を上げたとしても CO<sub>2</sub> 排出量は 0 にはならない。目標達成のためには、石油・天然ガス比率の更なる低下やカーボンキャプチャーなどの技術導入が必要である。もちろん各団体や企業においても、生産設備等の省エネ活動や化石燃料を使用している設備の電化が必要となってくる。日本に居れば誰かがカーボンニュートラルを実現してくれるという状況ではなく、それぞれの立場における改善努力の積み重ねが必要であることを、皆で共有しなければならないと考える。

## 補論

### 1. ASEAN 主要国とインドへの拠点展開における CO2 排出係数の予測

4 項の ASEAN 主要国とインドにおける今後のエネルギー政策を基に、2030 年（マレーシアは 2035 年）の CO2 排出係数を予測した結果を表-3<sup>9</sup>に示す。

表-3 ASEAN 主要国とインドにおける今後の電源構成と CO2 排出係数予測

年	国名	化石燃料		非化石燃料				CO2排出係数[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]		
		石炭 比率	石油 天然ガス 比率	原子力 比率	水力 比率	水力以外 再エネ 比率	他	式(1) 予測値	実際値	2013年日本 との比較
2013	日本	33.0%	45.9%	1.3%	15.2%	0.8%	3.8%	21.1%	0.564	
2030	日本	19.0%	22.0%	21.0%	11.0%	27.0%	0.0%	59.0%	0.283	50%
	インド	45.0%	2.0%	3.0%	10.0%	40.0%	0.0%	53.0%	0.439	78%
	インドネシア	55.3%	24.7%	0.0%	7.3%	12.7%	0.0%	20.0%	0.652	116%
	ベトナム	11.4%	25.0%	0.0%	35.0%	28.6%	0.0%	63.6%	0.251	45%
2035	マレーシア	18.0%	41.0%	0.0%	18.0%	22.0%	1.0%	41.0%	0.393	70%
	- タイ									

出所) CO2排出係数：IEA(国際エネルギー機関) World Energy Blances Outlook 2023

電源構成：Energy Institute (Resources and data downloads, Consolidated Datasets-Narrow format) より著者作成

日本の場合 2013 年が基準年となるので、この 2013 年の CO2 排出係数 (0.564kg-CO<sub>2</sub>/kWh) と 2030 年 (マレーシアは 2035 年) の CO2 排出係数予測値を比較する。

日本では 2013 年比で 50%の CO2 排出量が削減していることになる。インドネシアでは 116%となりこの国だけ増加してしまう結果となった。インドネシアに関しては、2030 年までは特に大きな電源構成の変化はなく、2040 年頃からエネルギー転換させていく計画となっている。インドネシア以外では 45~78%となった。日本に属する各団体や企業における 2030 年の目標は 46%削減の 54%であり、目標には未達な国もあるがその部分は省エネや生産性向上などの自助努力でカバーしなければならない。タイの電源構成は予想できなかったため今回は算出していない。

ベトナムの CO2 排出係数は日本(0.283kg-CO<sub>2</sub>/kWh)よりも低い値(0.251kg-CO<sub>2</sub>/kWh)となっている。図-2 の非化石燃料比率と CO2 排出係数の関係を示したグラフでベトナムの位置をみると、A・B・C・D のグループから少し外れた所であり、もう少し詳細にベトナムのエネルギー事情を調査する必要があるかもしれないが、元々水力発電が盛んであり、政府が掲げる政策 (石炭比率を抑え、再エネ比率を上げる) 通りにエネルギー転換が進めば CO2 排出係数の低減も可能かもしれない。

<sup>9</sup> 表-3：「式(1)予測値」欄に式(1)を用いて算出した数字を入れた。「2013 年日本との比較=各国の式(1)予測値/0.564」とした。

今後大きな経済成長が予想されているインドネシアは、CO<sub>2</sub> 排出量が削減できないので新たな事業拠点としては不適切であるかという点、それは現時点では断言できない。インドネシアは 2060 年にカーボンニュートラルを実現するとしており、2030 年から 2040 年頃までは経済発展のための電力発電量増加を優先させるので、CO<sub>2</sub> 排出量削減には積極的ではない。カーボンキャプチャーのポテンシャルが高いと言われているインドネシアでは、2030 年頃までにその技術を実用化することを目指しており、これにより CO<sub>2</sub> 排出量を抑えることも織り込みながら、2060 年でのカーボンニュートラル実現を最終的な目標にしていると考えられる。今後のインドネシア政府のエネルギー政策に注目しながら、インドネシアでの新拠点の可能性を見極める必要がある。

今後は各国で新たな CO<sub>2</sub> 排出量削減対策が導入されるであろう。その内容によって当然 CO<sub>2</sub> 排出係数にも影響を与えることになるので、今回推定した式(1)の予測通りにはいかない可能性は十分ある。状況によって、改めて電源構成と CO<sub>2</sub> 排出係数の関係を見直し、新たな予測式を推定することとする。将来拠点展開する国のエネルギー政策や CO<sub>2</sub> 排出量削減のための新たな技術導入の動きに注視しながら、今後の事業計画を検討する必要がある。

## 2. カーボンニュートラルを実現させるために

2030 年までは各団体や企業で CO<sub>2</sub> 排出量を削減する対策を実施しながら、どの程度 CO<sub>2</sub> 排出量を削減できたのかという現時点の立ち位置を把握する段階になるのではないかと考えている。それまでの状況を踏まえたうえで次の目標である 2050 年（2060 年や 2070 年としている国もある）のカーボンニュートラルに向けての課題を改めて整理し、新たな再エネの実用化や、カーボンキャプチャーなど様々な技術開発を行うことで、地球全体でのカーボンニュートラルを実現させる動きに移行していく必要がある。それに向けた対策状況についての一例を以下に述べる。

### 2-1. 再エネの今後の動向

日本の場合、2030 年の CO<sub>2</sub> 排出量削減目標は 2013 年比 46%削減であるが、その先の 2050 年は再エネ比率をさらに大きく増やし、カーボンニュートラルを実現していく必要がある。

再エネの中では太陽光発電の導入が一番進んでおり、IEA のレポートによれば、2050 年には 2022 年比で 10~20 倍に拡大していくと予想されている。日本は国土面積における発電設備容量が世界トップレベルにある。しかし、平地面積の少ない日本においては平地以外の土地や場所に導入できる太陽光発電技術の開発が必要であり、その解決策の一つが日本で開発された「ペロブスカイト太陽電池」である。薄いシート状の太陽



光電池で、軽くて折り曲げられるといった特徴があり、曲面や壁、耐荷重の低い屋根にも設置ができるので、これまで設置できなかった場所への展開が期待されている。ただし、変換効率が低く耐久性が低いといった問題等があり、実用化には様々な課題をクリアしなければならない状況にある。一方で現在多く使用されているシリコン系太陽電池にも課題がある。こちらも当然寿命があるわけで、東日本大震災後に急速に普及した反動で、2030～2040年頃に一齐に耐用年数を迎える。パネルからガラスやプラスチック・アルミニウムといった資源を分離するには高度な技術を要しコストも掛かる。カドミウム・鉛・ヒ素・セレンといった有害物質を含み不法投棄などによる環境破壊も懸念される。それまでに法規制や高度なリサイクル技術の開発が必要である。

風力発電も今後需要拡大が見込まれている。こちらも IEA のレポートによると、2050年には2022年比で5～10倍に拡大していくと予想されている。風力発電には陸上風力や洋上風力等がある。洋上風力は大規模かつ大量のエネルギーを導入することが可能で、その国の「風」が動力であるため他国からの燃料輸入を必要とせず、国際情勢に左右されることなく安定的に確保できるメリットがある。国土が狭く、周りを海に囲まれている国である日本や ASEAN 主要国においては、太陽光に続く主力再エネと言われている。洋上風力には「着床式と浮体式」がある。浮体式は何点かで海底に係留した浮体の上に風車を載せる方式であり、深い海域では着床式よりも設置コストは低く、大規模な支持構造物を必要としないため、より広範囲に設置が可能である。この浮体式洋上風力にも色々課題はあるが、ノルウェーやスコットランドで実用化されており、今後の導入拡大が期待されている。

それ以外では「メタネーション・水素エネルギー・バイオマス」などの開発が進められているが、実用化については2030年以降と予想されている。太陽光や風力の発電規模と比較するとまだまだ小さく、2050年のカーボンニュートラルにはあまり貢献できないという見方が強い。

## 2-2. カーボンキャプチャーの可能性

化石燃料を使用せざるをえず CO<sub>2</sub> 排出量そのものを減らせない場合は、カーボンキャプチャーが有効となってくる。石炭や重油を燃焼して利用する火力発電所や化学工場などから出る排気ガスの中から、CO<sub>2</sub> を分離・回収し、地下にある CO<sub>2</sub> を通さない地層に貯留する「CCS<sup>10</sup>」や有効利用する技術「CCUS<sup>11</sup>」である。IEA のレポートによれば、CCUS は 2070 年までの累積 CO<sub>2</sub> 削減量の 15% を担い、カーボンニュートラル達

---

<sup>10</sup> CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) : CO<sub>2</sub> を回収し地下層に貯留する技術。排ガスから CO<sub>2</sub> だけを分離・回収し、CO<sub>2</sub> を通さない泥岩などの遮へい層や隙間の多い岩石貯留槽に閉じ込めることで、CO<sub>2</sub> を削減しようとする技術。

<sup>11</sup> CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) : CCS と同様に CO<sub>2</sub> を回収し貯留することに加え、さらに有効利用する技術。貯留せずに有効利用する場合は CCU。

成時に約69億ton/年の削減に貢献することが期待されており、経済産業省の報告「CCS 長期ロードマップ検討会中間とりまとめ（2020年5月）」によると2030年頃に実用化の見込みとある。このCCSやCCUSにも課題はある。コスト面や貯留後に漏出した際の健康や環境への悪影響等である。そういった背景がありつつも、今後の各国のCCS・CCUS 開発状況や安全性を確保したうえでの実用化時期をしっかりと見極めることにより、新たな拠点の選択肢の幅は広がると考えている。

各団体や企業が独自の改善努力でカーボンニュートラルを進めても、完全にCO<sub>2</sub>排出量をゼロにすることは難しく、どうしてもCO<sub>2</sub>を排出しなければならない設備等がいくらか残るであろう。発電所や大規模工場以外の小規模工場や設備等でもカーボンキャプチャーの技術が開発・導入されれば、大きな削減効果として貢献すると考えている。

### 2-3. カーボンクレジット取引

カーボンクレジット<sup>12</sup>は近年その取引が始まり、2022年での発行残高は4億7,500万ton-CO<sub>2</sub>eq<sup>13</sup>となっている。カーボンクレジットの詳細については本稿での説明は省くとして、自部門でCO<sub>2</sub>排出量を削減することができない場合、カーボンクレジットを購入することでCO<sub>2</sub>排出量をオフセットさせる方法を取らざるを得ないケースも出てくるだろう。ただし、カーボンクレジットの運用ルールや申請方法、信頼性といった面で課題があり、現時点では世間に広く浸透している状況にはない。まだ日本では導入されていない炭素税<sup>14</sup>が本格施行された以降に、CO<sub>2</sub>削減目標未達で炭素税を支払うよりも、カーボンクレジットでオフセットさせた方が損をしないというような状況にならないと市場は動かないのではないかと考える。

カーボンクレジットの市場取引が活発になるのは中間目標である2030年以降ではないかと予想しているが、今後新たな仕組みや制度が生まれてくる可能性もあり、当面は自助努力でCO<sub>2</sub>排出量を削減しつつ、どうしても削減できないような状況になった場合の選択肢の一つとして捉えておく。

---

<sup>12</sup> カーボンクレジット：CO<sub>2</sub>など温室効果ガスの排出削減量を、主に企業間で売買可能にする仕組み。

<sup>13</sup> CO<sub>2</sub>eq：equivalent の略で同等とか等量とかいう意味。ここではCO<sub>2</sub>に換算するということを表す。

<sup>14</sup> 炭素税：企業や個人が排出するCO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの排出量に応じて課せられる税金。排出量を減らすための政策手段。日本ではまだ導入されていない。炭素税に代わる制度として「地球温暖化対策税」があるが、現在の税負担は289円/ton-CO<sub>2</sub>と炭素税と比較するとかなり低い。パリ協定の目標を達成するにはこの税率は十分でないため、早急に見直す必要があるとされている。

### 3. 生成 AI 市場拡大による電力需要量増加

現在「生成 AI」は様々な分野において世界中で広がりを見せている。この生成 AI の「事前学習」はデータセンターで行われ大量の電力を消費する。実際「Chat-GPT 3」の事前学習では 1,287MWh 消費し、これは日本の一般家庭における年間消費電力のおよそ 300 世帯分に相当するとのこと。当然「推論」でも事前学習レベルではないにしろ電力は消費する。アメリカではこのデータセンターの電力需要拡大を受けて、石炭火力発電停止を先送りしたというニュースもあった。

今後においても生成 AI による電力需要拡大が見込まれている。現在の生成 AI は英語で学習された大規模言語モデル<sup>15</sup> (LLM) が主流で、日本語やその他の外国語による回答の精度が悪いという課題があり、各国で母国語による独自の LLM 開発が盛んに行われている。各団体や企業においても生成 AI 導入によって業務改善効果が認められてきており、各団体や企業レベルにおいても独自の LLM 開発も行われ始めている。このような背景もあり、数多くの事前学習や個人ユーザーによる膨大な推論が行われることにより、データセンターの需要は激増（建設ラッシュ=電力需要）していくと予想されている(表-4 にデータセンターの電力消費量予測を示す)。

生成 AI はまだ生まれたばかりの技術ではあるが、その革新的な発明が瞬く間に社会に受け入れられ、かつてない爆発的な勢いで市場が拡大している。ハルシネーションや倫理的・法的な課題等、クリアしていかなければならないハードルは多々あるが、今後の人類の発展において強力な技術になることは明白であり、それに伴い市場規模も飛躍的に成長していくと予想されている。2050 年は世界規模での生成 AI 市場拡大と新興国の経済発展による電力需要量増により、各国が公表したエネルギー政策の計画よりも相当多くの発電設備が必要となるであろう。一方でエッジ AI<sup>16</sup>や IOWN<sup>17</sup>など、省電力化につながる技術が開発・導入されている状況にもある。これらの技術開発には大いに期待したい。

表-4 データセンターの電力消費量予測[TWh]

年	日本	世界
2018	14	190
2030	90	3,000
2050	12,000	500,000

出所：科学技術振興機構より著者作成

<sup>15</sup> 大規模言語モデル：Large language Models (LLM)、膨大なテキストデータと高度なディープラーニング（深層学習）技術によって構築された自然言語処理に特化した生成 AI の一種。

<sup>16</sup> エッジ AI：クラウドを介さずにデバイス側のみで処理を行う。通信にかかる時間を削減できるのでリアルタイム生成が可能。データセンターとの通信を必要としないので電力消費が抑えられる。

<sup>17</sup> IOWN：Innovative Optical and Wireless Network の略。NTT が開発を進める次世代情報通信基盤やその構想。ネットワークからデバイスまでの通信を電気信号から光信号に置き換え、光ベースでの通信を確立することで、低消費電力、高品質・大容量、低遅延など、通信性能を大幅に向上させる。

## 4. 補論のまとめ

今後の ASEAN 主要国とインドのエネルギー政策による電源構成の内訳と今回推定した式(1)を用いて、将来の CO<sub>2</sub> 排出係数を予測した。マイルストーンである 2030 年の削減目標においては、日本から拠点を移管した場合に CO<sub>2</sub> 排出量が増加する国もある。しかし最終的な目標は 2050 年（2050 年以降に設定している国もある）のカーボンニュートラル実現である。各国がこの 2050 年に向けてどのようなエネルギー政策を掲げて削減に取り組んでいくかが重要であり、2030 年時点に焦点を絞る必要はない。今回提供した式(1)は、それぞれの燃料比率が CO<sub>2</sub> 排出係数にどのような影響を及ぼすかを示した。今後においても各国の電源構成の内訳を把握し、2050 年を見据えた CO<sub>2</sub> 排出量削減計画を検討することが重要であると考えます。

再エネに関しては太陽光と風力が主流であることは間違いない。ただし、化石燃料の発電量をカバーするには、さらなる技術開発（ペロブスカイト太陽電池や浮体洋上風力等）や大規模設置工事（投資）等が必要になるだろう。一方で再エネ電力はコスト高でもあるため、個人・一般消費者レベルにも SDGs が受け入れられるような社会になっていなければならない。コスト高でも SDGs に繋がる商品は購入する。そういった ECO 商品や脱炭素に関連する市場が育つ環境構築も必要である。

現時点では、カーボンキャプチャーやカーボンクレジットに関しては 2030 年以降、メタネーション・水素エネルギー・バイオマスに関しては 2050 年以降で本格化してくるという見通しであるが、今後の新たな技術開発や仕組みの構築によっては前倒しになる可能性もあり、これらの動向については引き続き情報を観察しておき、必要に応じて適宜導入等を検討すればよいだろう。

パリ協定では地球温暖化対策と経済成長の両立を目指している。前述した生成 AI は間違いなく今後の経済成長に欠かせないものではあるが、世界各国の経済発展や人口増加<sup>18</sup>による電力需要の高まりに加え、生成 AI の爆発的な広がりによるデータセンターの電力需要の高まりは、パリ協定で掲げた目標の達成をかなり危うくしていると感じる。太陽光・風力の発電量が今の 10 倍になれば、現時点の世界総発電量でみた場合はカーボンニュートラルを達成できるであろうが、2050 年の電力需要予測値をカバーできるレベルにはない。再エネといっても立地条件や設置費用等の課題もあり、無限に増やせるわけではない。次世代の人類が安心して暮らせる地球環境を持続的に維持していくためのカーボンニュートラルを実現させるには、上述した新たな再エネやカーボンキャプチャー技術の早期実用化に加え、新たな超革新的技術がいくつも開発されることが必要であると考えている。

---

<sup>18</sup> 人口増加：「世界人口推計 2024 年版：結果の概要」によると、世界人口のピークは 2080 年代半ばで 103 億人になるとの見解。

参考資料

表-5 世界各国のCO2排出係数と電源構成（2012年）

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]								比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エ	他	Total	石炭	石油	非化石燃料				
													天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エ	他
1	中国	0.741	3,748	11	110	98	863	137	20	4,988	75%	2%	2%	17%	3%	0%	22%
2	アメリカ	0.488	1,641	25	1,318	810	274	228	15	4,311	38%	31%	19%	6%	5%	0%	31%
3	インド	0.849	787	10	96	33	116	49	0	1,092	72%	10%	3%	11%	5%	0%	18%
4	ロシア	0.435	169	28	526	178	163	1	4	1,069	16%	52%	17%	15%	0%	0%	32%
5	日本	0.558	331	206	431	18	77	34	10	1,107	30%	58%	2%	7%	3%	1%	13%
6	ブラジル	0.101	14	19	47	16	415	41	0	552	3%	12%	3%	75%	7%	0%	86%
7	カナダ	0.160	67	6	62	94	380	23	4	637	11%	11%	15%	60%	4%	1%	79%
8	韓国	0.552	222	20	127	150	4	3	4	531	42%	28%	28%	1%	1%	1%	30%
9	ドイツ	0.487	277	7	76	99	22	122	26	629	44%	13%	16%	3%	19%	4%	43%
10	フランス	0.075	18	7	25	425	59	25	6	565	3%	6%	75%	10%	4%	1%	91%
11	サウジアラビア	0.733	0	150	131	0	0	0	0	282	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.574	0	78	156	1	13	0	0	249	0%	94%	1%	5%	0%	0%	6%
13	メキシコ	0.501	34	56	154	9	32	11	2	296	12%	71%	3%	11%	4%	1%	18%
14	インドネシア	0.720	102	27	49	0	13	10	0	200	51%	38%	0%	6%	5%	0%	11%
15	トルコ	0.470	68	2	104	0	58	7	0	240	28%	44%	0%	24%	3%	0%	27%
16	イギリス	0.486	143	3	100	70	5	36	6	364	39%	28%	19%	1%	10%	2%	32%
17	スペイン	0.310	56	15	73	61	21	66	5	298	19%	30%	21%	7%	22%	2%	51%
18	台湾	0.607	122	8	66	40	6	3	5	250	49%	30%	16%	2%	1%	2%	22%
19	イタリ	0.393	54	19	129	0	42	50	5	299	18%	49%	0%	14%	17%	2%	32%
20	オーストラリア	0.839	165	4	50	0	17	13	2	251	66%	21%	0%	7%	5%	1%	13%
21	ベトナム	0.353	21	0	40	0	53	0	0	115	18%	35%	0%	46%	0%	0%	46%
22	南アフリカ	0.925	237	2	2	13	1	1	3	258	92%	1%	5%	0%	0%	1%	7%
23	エジプト	0.447	0	21	127	0	13	2	0	163	0%	91%	0%	8%	1%	0%	9%
24	ロシア	0.681	56	7	61	0	9	2	0	134	41%	50%	0%	7%	1%	0%	8%
25	タイ	0.510	35	1	119	0	8	5	0	169	20%	71%	0%	5%	3%	0%	8%
26	ポーランド	0.773	136	2	6	0	2	15	1	162	84%	5%	0%	1%	9%	0%	11%
27	UAE	0.586	0	0	106	0	0	0	0	106	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
28	アルゼンチン	0.375	3	19	76	6	29	2	1	136	2%	70%	5%	21%	1%	0%	28%
29	ロシア	0.441	27	1	54	4	0	12	4	103	27%	54%	4%	0%	12%	4%	20%
30	オースタ	0.471	68	1	15	0	8	0	0	91	75%	17%	0%	8%	0%	0%	8%
31	カタール	0.470	80	1	16	90	10	1	1	199	40%	8%	45%	5%	0%	0%	51%

表-6 世界各国のCO2排出係数と電源構成（2013年）

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]								比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エ	他	Total	石炭	石油	非化石燃料				
													天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エ	他
1	中国	0.725	4,077	10	116	112	910	184	23	5,432	75%	2%	2%	17%	3%	0%	23%
2	アメリカ	0.489	1,714	29	1,210	831	267	266	14	4,330	40%	29%	19%	6%	5%	0%	32%
3	インド	0.813	848	11	66	33	132	56	0	1,146	74%	7%	3%	12%	6%	0%	19%
4	ロシア	0.439	162	9	530	173	181	0	4	1,059	15%	51%	16%	17%	0%	0%	34%
5	日本	0.564	359	165	420	15	79	41	9	1,088	33%	54%	1%	7%	4%	1%	13%
6	ブラジル	0.138	22	26	69	15	391	48	0	571	4%	17%	3%	68%	8%	0%	80%
7	カナダ	0.151	69	6	59	103	392	24	4	656	10%	10%	16%	60%	4%	1%	80%
8	韓国	0.536	223	20	141	139	4	5	5	537	42%	30%	26%	1%	1%	1%	28%
9	ドイツ	0.488	288	7	67	97	23	129	26	638	45%	12%	15%	4%	20%	4%	43%
10	フランス	0.071	21	4	21	424	71	27	8	575	4%	4%	74%	12%	5%	1%	92%
11	サウジアラビア	0.716	0	156	139	0	0	0	0	295	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.582	0	102	138	4	15	0	0	259	0%	92%	2%	6%	0%	0%	7%
13	メキシコ	0.487	32	48	165	12	28	12	1	297	11%	72%	4%	9%	4%	0%	18%
14	インドネシア	0.691	111	20	58	0	17	10	0	216	51%	36%	0%	8%	4%	0%	12%
15	トルコ	0.442	64	2	105	0	59	10	0	240	27%	44%	0%	25%	4%	0%	29%
16	イギリス	0.457	130	2	96	71	5	49	6	358	36%	27%	20%	1%	14%	2%	36%
17	スペイン	0.245	42	14	57	57	37	74	5	285	15%	25%	20%	13%	26%	2%	61%
18	台湾	0.596	121	7	68	42	5	4	5	252	48%	30%	17%	2%	2%	2%	22%
19	イタリ	0.343	49	15	109	0	53	59	5	290	17%	43%	0%	18%	20%	2%	40%
20	オーストラリア	0.801	155	5	53	0	19	16	1	250	62%	23%	0%	8%	7%	0%	15%
21	ベトナム	0.369	24	1	42	0	58	0	0	124	19%	34%	0%	46%	0%	0%	47%
22	南アフリカ	0.942	231	4	3	14	1	1	3	256	90%	3%	6%	0%	0%	1%	7%
23	エジプト	0.447	0	27	123	0	13	2	0	165	0%	91%	0%	8%	1%	0%	9%
24	ロシア	0.693	54	3	71	0	12	1	0	141	38%	53%	0%	8%	1%	0%	9%
25	タイ	0.531	35	1	119	0	5	7	0	169	21%	72%	0%	3%	4%	0%	7%
26	ポーランド	0.772	140	2	5	0	2	15	1	165	85%	4%	0%	1%	9%	0%	11%
27	UAE	0.569	0	0	110	0	0	0	0	110	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
28	アルゼンチン	0.348	2	21	75	6	33	2	1	139	2%	69%	4%	24%	1%	0%	30%
29	ロシア	0.445	28	1	54	3	0	12	3	101	27%	55%	3%	0%	12%	3%	18%
30	オースタ	0.500	69	1	15	0	8	0	0	93	75%	17%	0%	8%	0%	0%	8%
31	カタール	0.479	81	0	14	83	14	1	1	194	42%	7%	43%	7%	1%	0%	51%

表-7 世界各国のCO2排出係数と電源構成（2014年）

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]							比率							
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エネ	他	Total	石炭	石油	非化石燃料				
													天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エネ	他
1	中国	0.684	4,203	10	133	133	1,060	230	26	5,794	73%	2%	2%	18%	4%	0%	25%
2	アメリカ	0.486	1,714	33	1,211	839	256	297	14	4,363	39%	29%	19%	6%	7%	0%	32%
3	インド	0.836	950	11	64	35	139	63	0	1,262	75%	6%	3%	11%	5%	0%	19%
4	ロシア	0.386	159	11	535	181	173	1	5	1,064	15%	51%	17%	16%	0%	0%	34%
5	日本	0.550	353	121	448	0	82	52	7	1,063	33%	54%	0%	8%	5%	1%	13%
6	ブラジル	0.168	27	34	81	15	373	59	0	591	5%	19%	3%	63%	10%	0%	76%
7	韓国	0.151	66	5	62	107	383	25	6	653	10%	10%	16%	59%	4%	1%	80%
8	韓国	0.517	225	13	129	156	3	9	6	540	42%	26%	29%	1%	2%	1%	32%
9	ドイツ	0.473	274	6	61	97	20	142	26	626	44%	11%	16%	3%	23%	4%	46%
10	フランス	0.053	9	2	16	436	63	30	8	565	2%	3%	77%	11%	5%	1%	95%
11	サウジアラビア	0.658	0	176	152	0	0	0	0	328	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.567	1	64	192	4	15	0	0	276	0%	93%	1%	5%	0%	0%	7%
13	メキシコ	0.464	34	32	174	10	39	14	1	303	11%	68%	3%	13%	5%	0%	21%
14	インドネシア	0.741	120	23	61	0	15	10	0	229	52%	37%	0%	7%	4%	0%	11%
15	トルコ	0.493	76	2	121	0	41	12	0	252	30%	49%	0%	16%	5%	0%	21%
16	タイ	0.412	100	2	101	64	6	59	7	338	30%	30%	19%	2%	2%	40%	
17	スペイン	0.255	45	14	47	57	39	71	4	279	16%	22%	21%	14%	26%	2%	62%
18	台湾	0.602	123	8	73	42	4	4	5	260	47%	31%	16%	2%	2%	2%	21%
19	イタリ	0.331	47	14	94	0	59	62	5	280	17%	39%	0%	21%	2%	45%	
20	オーストラリア	0.768	155	6	54	0	14	18	0	248	63%	24%	0%	6%	7%	0%	13%
21	ベトナム	0.383	35	1	43	0	62	0	0	141	25%	31%	0%	44%	0%	0%	44%
22	南アフリカ	1.002	227	4	3	14	2	3	3	255	89%	3%	5%	1%	1%	1%	8%
23	エジプト	0.459	0	32	125	0	14	1	0	171	0%	91%	0%	8%	1%	0%	9%
24	ロシア	0.666	56	3	74	0	13	1	0	147	38%	52%	0%	9%	1%	0%	10%
25	タイ	0.536	38	2	120	0	5	9	0	174	22%	70%	0%	3%	5%	0%	8%
26	ポーランド	0.756	132	2	5	0	2	18	1	159	83%	4%	0%	1%	1%	0%	13%
27	UAE	0.563	0	0	116	0	0	0	0	117	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
28	アルゼンチン	0.362	3	19	76	6	32	2	1	139	2%	69%	4%	23%	2%	1%	29%
29	フランス	0.473	32	2	51	4	0	12	2	103	31%	51%	4%	0%	1%	2%	18%
30	カナダ	0.592	67	1	18	0	8	0	0	95	71%	20%	0%	9%	0%	0%	9%
31	ウクライナ	0.438	70	0	13	88	8	2	1	183	39%	7%	48%	5%	1%	0%	54%

表-8 世界各国のCO2排出係数と電源構成（2015年）

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]							比率							
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エネ	他	Total	石炭	石油	非化石燃料				
													天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エネ	他
1	中国	0.656	4,046	10	167	171	1,115	279	27	5,815	70%	3%	3%	19%	5%	0%	27%
2	アメリカ	0.456	1,468	30	1,435	839	246	316	15	4,350	34%	34%	19%	6%	7%	0%	33%
3	インド	0.778	1,007	9	65	38	133	70	0	1,322	76%	6%	3%	10%	5%	0%	18%
4	ロシア	0.394	159	10	530	195	168	1	5	1,068	15%	51%	18%	16%	0%	0%	35%
5	日本	0.535	347	104	414	5	86	68	7	1,030	34%	50%	0%	8%	7%	1%	16%
6	ブラジル	0.164	27	28	79	15	360	72	0	581	5%	19%	3%	62%	12%	0%	77%
7	韓国	0.148	62	5	65	101	382	40	6	661	9%	11%	15%	58%	6%	1%	80%
8	韓国	0.527	232	13	120	165	2	11	5	548	42%	24%	30%	0%	2%	1%	33%
9	ドイツ	0.449	272	6	61	92	19	169	27	647	42%	10%	14%	3%	26%	4%	47%
10	フランス	0.056	9	3	24	437	55	36	7	572	2%	5%	77%	10%	6%	1%	94%
11	サウジアラビア	0.650	0	185	165	0	0	0	0	351	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.551	0	56	207	3	13	0	0	280	0%	94%	1%	5%	0%	0%	6%
13	メキシコ	0.460	34	31	186	12	31	17	0	310	11%	70%	4%	10%	5%	0%	19%
14	インドネシア	0.733	125	31	54	0	14	11	0	234	53%	36%	0%	6%	4%	0%	10%
15	トルコ	0.446	76	2	99	0	67	17	1	262	29%	39%	0%	26%	6%	0%	32%
16	タイ	0.347	76	2	100	70	6	77	7	339	22%	30%	21%	2%	23%	2%	48%
17	スペイン	0.293	53	17	52	57	28	69	4	281	19%	25%	20%	10%	25%	1%	56%
18	台湾	0.609	117	12	79	36	4	4	5	258	45%	35%	14%	2%	2%	2%	19%
19	イタリ	0.343	45	14	111	0	46	63	4	283	16%	44%	0%	16%	22%	1%	40%
20	オーストラリア	0.789	162	6	50	0	14	22	0	254	64%	22%	0%	6%	9%	0%	14%
21	ベトナム	0.519	53	1	47	0	57	0	0	158	33%	30%	0%	36%	0%	0%	36%
22	南アフリカ	0.932	224	4	0	12	1	6	3	250	90%	2%	5%	0%	2%	1%	9%
23	エジプト	0.462	0	36	130	0	14	2	0	182	0%	91%	0%	8%	1%	0%	9%
24	ロシア	0.687	63	2	70	0	14	1	0	150	42%	48%	0%	9%	1%	0%	10%
25	タイ	0.513	35	1	129	0	4	10	0	178	19%	73%	0%	2%	6%	0%	8%
26	ポーランド	0.730	133	2	6	0	2	21	1	165	81%	5%	0%	1%	13%	1%	14%
27	UAE	0.549	0	0	127	0	0	0	0	127	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
28	アルゼンチン	0.360	2	22	79	7	32	2	0	145	2%	69%	5%	22%	1%	0%	29%
29	フランス	0.497	42	1	46	4	0	14	3	110	38%	43%	4%	0%	12%	3%	19%
30	カナダ	0.445	63	1	18	0	9	0	0	92	69%	21%	0%	10%	0%	0%	10%
31	ウクライナ	0.396	57	1	10	88	5	2	2	164	35%	7%	54%	3%	1%	1%	59%

表-9 世界各国のCO2排出係数と電源構成（2016年）

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]								比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再稼	他	Total	石炭	石油 天然ガス	非化石燃料				
											原子力	水力	水力以外 再稼	他			
1	中国	0.640	4,156	10	188	213	1,153	370	42	6,133	68%	3%	3%	19%	6%	1%	29%
2	アメリカ	0.433	1,346	26	1,483	848	264	367	14	4,349	31%	35%	20%	6%	8%	0%	34%
3	インド	0.729	1,074	9	73	38	128	80	0	1,402	77%	6%	3%	9%	6%	0%	18%
4	ロシア	0.358	171	11	522	197	185	1	4	1,091	16%	49%	18%	17%	0%	0%	35%
5	日本	0.530	323	92	395	18	79	72	56	1,035	31%	47%	2%	8%	7%	5%	22%
6	ブラジル	0.127	26	15	56	16	381	85	0	579	4%	12%	3%	66%	15%	0%	83%
7	韓国	0.144	62	5	63	101	385	46	6	668	9%	10%	15%	58%	7%	1%	81%
8	韓国	0.521	233	17	128	162	3	14	5	561	41%	26%	29%	1%	2%	1%	33%
9	ドイツ	0.446	262	6	81	85	21	169	29	651	40%	13%	13%	3%	26%	4%	45%
10	フランス	0.061	8	3	38	403	60	37	8	556	1%	7%	72%	11%	7%	1%	91%
11	サウジアラビア	0.658	0	169	189	0	0	0	0	358	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.531	0	38	225	6	15	0	0	286	0%	92%	2%	5%	0%	0%	8%
13	韓国	0.466	34	34	192	11	31	18	0	319	11%	71%	3%	10%	6%	0%	19%
14	インドネシア	0.730	135	21	62	0	19	11	0	248	55%	33%	0%	8%	5%	0%	12%
15	韓国	0.464	92	2	89	0	67	24	0	274	34%	33%	0%	25%	9%	0%	33%
16	韓国	0.278	31	2	143	72	5	78	9	339	9%	43%	21%	2%	23%	3%	48%
17	スペイン	0.246	37	17	53	59	36	68	4	275	14%	25%	21%	13%	25%	2%	61%
18	台湾	0.612	121	12	83	32	7	4	5	264	46%	36%	1%	12%	2%	2%	18%
19	イタリヤ	0.331	38	12	126	0	42	66	5	290	13%	48%	0%	15%	23%	2%	39%
20	オーストラリア	0.791	162	6	48	0	18	24	0	258	63%	21%	0%	7%	9%	0%	16%
21	ベトナム	0.540	64	2	46	0	64	0	0	176	36%	27%	0%	37%	0%	0%	37%
22	南アフリカ	0.945	226	0	0	15	1	8	3	253	89%	0%	6%	0%	3%	1%	11%
23	エジプト	0.446	0	34	138	0	13	3	0	188	0%	92%	0%	7%	1%	0%	8%
24	ロシア	0.655	69	1	65	0	20	1	0	157	44%	42%	0%	13%	7%	0%	13%
25	韓国	0.488	37	0	126	0	4	13	0	180	21%	70%	0%	2%	7%	0%	9%
26	ノルウェー	0.720	133	2	8	0	2	21	1	167	80%	6%	0%	1%	12%	0%	14%
27	UAE	0.541	0	0	129	0	0	0	0	130	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
28	アルゼンチン	0.365	2	21	84	8	30	2	0	147	1%	71%	6%	20%	1%	0%	27%
29	フランス	0.468	39	1	53	4	0	15	3	115	34%	47%	3%	0%	13%	3%	19%
30	韓国	0.578	61	2	20	0	12	0	0	95	65%	23%	0%	12%	0%	0%	13%
31	韓国	0.424	61	2	10	81	8	2	2	165	37%	7%	49%	5%	1%	1%	56%

表-10 世界各国のCO2排出係数と電源構成（2017年）

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]								比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再稼	他	Total	石炭	石油 天然ガス	非化石燃料				
											原子力	水力	水力以外 再稼	他			
1	中国	0.631	4,430	10	203	248	1,165	502	46	6,604	67%	3%	4%	18%	8%	1%	30%
2	アメリカ	0.421	1,310	23	1,395	847	297	418	14	4,304	30%	33%	20%	7%	10%	0%	37%
3	インド	0.728	1,115	9	75	37	136	99	0	1,471	76%	6%	3%	9%	7%	0%	19%
4	ロシア	0.351	174	7	516	203	185	1	4	1,091	16%	48%	19%	17%	0%	0%	36%
5	日本	0.512	320	70	400	29	79	87	56	1,042	31%	45%	3%	8%	8%	5%	24%
6	ブラジル	0.125	23	15	66	16	371	96	3	589	4%	14%	3%	63%	16%	0%	82%
7	韓国	0.141	60	4	59	101	395	46	5	670	9%	9%	15%	59%	7%	1%	82%
8	韓国	0.537	258	10	134	148	3	18	5	576	45%	25%	26%	0%	3%	1%	30%
9	ドイツ	0.417	241	5	86	76	20	196	29	654	37%	14%	12%	3%	30%	4%	49%
10	フランス	0.069	10	3	43	398	49	42	8	554	2%	8%	72%	9%	8%	1%	90%
11	サウジアラビア	0.651	0	172	223	0	0	0	0	395	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.532	1	27	252	7	17	0	0	305	0%	92%	2%	6%	0%	0%	8%
13	韓国	0.476	31	39	197	11	32	20	0	329	9%	72%	3%	10%	6%	0%	19%
14	インドネシア	0.765	148	19	56	0	19	13	0	255	58%	29%	0%	7%	5%	0%	13%
15	韓国	0.461	97	1	110	0	58	30	0	297	33%	38%	0%	20%	10%	0%	30%
16	韓国	0.248	23	2	137	70	6	93	8	338	7%	41%	21%	2%	27%	2%	52%
17	スペイン	0.289	46	16	64	58	18	70	4	276	17%	29%	21%	7%	25%	1%	54%
18	台湾	0.635	128	13	91	22	5	5	5	270	47%	39%	8%	2%	2%	2%	14%
19	イタリヤ	0.326	35	12	140	0	36	68	4	296	12%	52%	0%	12%	23%	1%	36%
20	オーストラリア	0.774	159	5	55	0	13	26	0	259	61%	23%	0%	5%	10%	0%	15%
21	ベトナム	0.478	63	1	40	0	88	0	0	192	33%	21%	0%	46%	0%	0%	46%
22	南アフリカ	0.898	224	0	0	14	1	12	4	255	88%	0%	6%	0%	5%	2%	12%
23	エジプト	0.465	0	26	152	0	13	3	0	193	0%	92%	0%	7%	1%	0%	8%
24	ロシア	0.650	69	2	62	0	27	1	0	161	43%	40%	0%	17%	1%	0%	17%
25	韓国	0.484	36	0	121	0	5	15	0	177	20%	69%	0%	3%	8%	0%	11%
26	ノルウェー	0.709	133	2	10	0	3	22	1	170	78%	7%	0%	2%	13%	0%	15%
27	UAE	0.533	0	0	134	0	0	1	0	135	0%	99%	0%	0%	1%	0%	1%
28	アルゼンチン	0.350	2	12	91	6	32	2	1	146	1%	71%	4%	22%	1%	0%	28%
29	フランス	0.438	34	1	58	3	0	17	3	117	29%	50%	3%	0%	15%	3%	21%
30	韓国	0.609	69	1	22	0	11	0	0	103	67%	22%	0%	11%	0%	0%	11%
31	韓国	0.361	49	1	7	86	9	2	2	156	32%	6%	55%	6%	1%	1%	63%

表-11 世界各国のCO2排出係数と電源構成 (2018年)

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]								比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エ	他	Total	石炭	石油 天然ガス	非化石燃料				
											原子力	水力	水力以外 再エ	他			
1	中国	0.637	4,764	11	216	295	1,199	636	46	7,166	66%	3%	4%	17%	9%	1%	30%
2	アメリカ	0.410	1,250	27	1,583	850	290	452	14	4,465	28%	36%	19%	6%	10%	0%	36%
3	インド	0.744	1,199	6	71	39	140	124	0	1,579	76%	5%	2%	9%	8%	0%	19%
4	ロシア	0.366	177	8	524	205	191	1	4	1,109	16%	48%	18%	17%	0%	0%	36%
5	日本	0.491	314	49	388	49	81	99	73	1,053	30%	41%	5%	8%	9%	7%	29%
6	ブラジル	0.109	21	12	55	16	389	106	3	601	3%	11%	3%	65%	18%	0%	85%
7	韓国	0.130	51	4	67	100	386	48	6	662	8%	11%	15%	58%	7%	1%	82%
8	韓国	0.533	256	11	162	134	3	22	5	593	43%	29%	23%	1%	4%	1%	28%
9	ドイツ	0.401	228	5	82	76	18	205	30	643	35%	13%	12%	3%	32%	5%	51%
10	フランス	0.054	6	2	33	413	64	48	8	574	1%	6%	72%	11%	8%	1%	93%
11	サウジアラビア	0.596	0	148	227	0	0	0	0	375	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.523	1	28	266	7	10	1	0	312	0%	94%	2%	3%	0%	0%	6%
13	メキシコ	0.398	29	36	216	14	32	23	0	349	8%	72%	4%	9%	7%	0%	20%
14	インドネシア	0.765	160	18	57	0	22	27	0	284	56%	27%	0%	8%	9%	0%	17%
15	トルコ	0.464	113	0	92	0	60	39	0	305	37%	30%	0%	20%	13%	0%	32%
16	イギリス	0.229	17	1	131	65	5	105	8	333	5%	40%	20%	2%	31%	2%	55%
17	スペイン	0.253	39	14	58	56	34	70	3	274	14%	26%	20%	13%	25%	1%	59%
18	台湾	0.601	131	8	92	28	4	6	5	276	48%	37%	10%	2%	2%	2%	16%
19	イタリ	0.307	31	12	129	0	49	66	4	290	11%	48%	0%	17%	23%	1%	41%
20	オーストラリア	0.736	157	5	51	0	17	32	0	263	60%	21%	0%	7%	12%	0%	19%
21	ベトナム	0.555	84	0	40	0	84	1	0	209	40%	19%	0%	40%	0%	0%	41%
22	南アフリカ	0.926	226	1	0	12	1	11	5	256	88%	0%	5%	0%	4%	2%	11%
23	エジプト	0.413	0	16	167	0	13	4	0	199	0%	92%	0%	6%	2%	0%	8%
24	マレーシア	0.659	77	1	64	0	26	2	0	171	45%	38%	0%	15%	1%	0%	17%
25	タイ	0.479	36	0	116	0	8	18	0	178	20%	66%	0%	4%	10%	0%	14%
26	ポーランド	0.705	133	2	13	0	2	20	1	170	78%	8%	0%	1%	12%	1%	13%
27	UAE	0.520	0	0	135	0	0	1	0	136	0%	99%	0%	0%	1%	0%	1%
28	アルゼンチン	0.321	2	7	95	7	32	3	0	147	1%	70%	5%	22%	2%	0%	29%
29	ホンダ	0.419	30	1	58	4	0	19	3	114	27%	51%	3%	0%	16%	2%	22%
30	カナダ	0.608	75	0	21	0	10	1	0	107	70%	20%	0%	10%	0%	0%	10%
31	ウクライナ	0.381	49	1	11	84	10	3	2	160	31%	7%	5%	7%	2%	1%	62%

表-12 世界各国のCO2排出係数と電源構成 (2019年)

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]								比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エ	他	Total	石炭	石油 天然ガス	非化石燃料				
											原子力	水力	水力以外 再エ	他			
1	中国	0.623	4,855	11	233	349	1,273	742	42	7,503	65%	3%	5%	17%	10%	1%	32%
2	アメリカ	0.383	1,051	20	1,708	852	285	484	14	4,414	24%	39%	19%	6%	11%	0%	37%
3	インド	0.706	1,199	3	72	45	162	141	0	1,622	74%	5%	3%	10%	9%	0%	21%
4	ロシア	0.374	188	9	512	209	194	2	5	1,118	17%	47%	19%	17%	0%	0%	37%
5	日本	0.482	307	38	364	66	74	107	71	1,026	30%	39%	6%	7%	10%	7%	31%
6	ブラジル	0.107	22	11	66	16	398	118	3	633	3%	12%	3%	63%	19%	0%	84%
7	韓国	0.129	48	3	70	100	382	47	6	656	7%	11%	15%	58%	7%	1%	82%
8	韓国	0.515	244	8	154	146	3	27	4	587	42%	28%	25%	0%	5%	1%	31%
9	ドイツ	0.346	171	5	90	75	20	221	27	609	28%	16%	12%	3%	36%	4%	56%
10	フランス	0.054	2	2	42	399	56	55	7	563	0%	8%	71%	10%	10%	1%	92%
11	サウジアラビア	0.613	0	155	224	0	0	0	0	379	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
12	イラン	0.476	1	32	245	6	34	1	0	319	0%	87%	2%	11%	0%	0%	13%
13	メキシコ	0.405	33	35	208	11	24	34	0	345	9%	71%	3%	7%	10%	0%	20%
14	インドネシア	0.761	174	11	62	0	21	27	0	295	59%	25%	0%	7%	9%	0%	16%
15	トルコ	0.431	113	0	57	0	89	45	0	304	37%	19%	0%	29%	15%	0%	44%
16	イギリス	0.206	7	2	132	56	6	114	7	324	2%	41%	17%	2%	35%	2%	57%
17	スペイン	0.198	14	12	83	58	22	74	3	268	5%	36%	22%	8%	28%	1%	59%
18	台湾	0.575	126	6	91	32	6	8	5	274	46%	35%	12%	2%	3%	2%	19%
19	イタリ	0.285	21	12	142	0	46	70	3	294	7%	52%	0%	16%	24%	1%	41%
20	オーストラリア	0.713	150	5	56	0	14	41	0	266	56%	23%	0%	5%	16%	0%	21%
21	ベトナム	0.650	111	1	42	0	67	6	0	227	49%	19%	0%	29%	3%	0%	32%
22	南アフリカ	1.025	220	1	0	13	1	12	5	253	87%	1%	5%	0%	5%	2%	12%
23	エジプト	0.383	0	8	172	0	14	6	0	201	0%	90%	0%	7%	3%	0%	10%
24	マレーシア	0.630	76	1	72	0	26	3	0	178	43%	41%	0%	15%	1%	0%	16%
25	タイ	0.461	36	1	122	0	6	21	0	187	19%	66%	0%	3%	11%	0%	15%
26	ポーランド	0.665	120	2	15	0	2	24	2	164	73%	10%	0%	1%	14%	1%	16%
27	UAE	0.505	0	0	135	0	0	4	0	138	0%	97%	0%	0%	3%	0%	3%
28	アルゼンチン	0.287	1	3	91	8	28	7	0	140	1%	68%	6%	20%	5%	0%	31%
29	ホンダ	0.368	20	1	71	4	0	23	3	121	17%	59%	3%	0%	19%	2%	24%
30	カナダ	0.637	74	0	22	0	10	1	0	106	69%	20%	0%	9%	1%	0%	10%
31	ウクライナ	0.366	46	0	12	83	7	5	1	154	30%	8%	5%	4%	3%	1%	62%



表-13 世界各国のCO2排出係数と電源構成 (2020年)

発電量 順位	国名	CO2排出係数 [kg-CO2/kWh]	発電量[TWh]									比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再録	他	Total	石炭	石油	天然ガス	原子力	非化石燃料			
															水力	水力以外 再録	他	
1	中国	0.614	4,922	11	253	366	1,322	863	42	7,779	63%	3%	5%	17%	11%	1%	3%	
2	アメリカ	0.353	844	19	1,749	831	283	548	13	4,288	20%	41%	19%	7%	13%	0%	39%	
3	インド	0.688	1,144	2	75	45	164	152	1	1,582	72%	5%	3%	10%	10%	0%	23%	
4	ロシア	0.359	175	7	466	216	212	4	5	1,085	16%	44%	20%	20%	0%	0%	40%	
5	日本	0.478	298	32	354	43	77	118	75	997	30%	39%	4%	8%	12%	8%	31%	
6	ブラジル	0.099	18	12	59	14	396	127	3	629	3%	11%	2%	63%	20%	0%	86%	
7	カナダ	0.117	39	3	73	98	387	50	5	653	6%	12%	15%	59%	8%	1%	82%	
8	韓国	0.465	209	7	161	160	4	33	4	577	36%	29%	28%	1%	6%	1%	35%	
9	ドイツ	0.310	135	5	95	64	18	233	25	575	23%	17%	11%	3%	41%	4%	59%	
10	フランス	0.051	1	2	37	354	62	62	7	524	0%	7%	67%	12%	12%	1%	92%	
11	サウジアラビア	0.611	0	148	232	0	0	0	0	381	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	
12	イラン	0.478	1	37	268	6	23	2	0	337	0%	91%	2%	7%	1%	0%	9%	
13	インドネシア	0.395	19	32	194	11	27	42	0	326	6%	69%	3%	8%	13%	0%	25%	
14	インドネシア	0.771	181	7	51	0	24	29	0	292	62%	20%	0%	8%	10%	0%	18%	
15	トルコ	0.411	106	0	71	0	78	52	0	307	34%	23%	0%	25%	17%	0%	42%	
16	イギリス	0.186	5	2	111	50	7	128	9	312	2%	36%	16%	2%	41%	3%	62%	
17	スペイン	0.154	6	11	70	58	31	83	5	263	2%	31%	22%	12%	32%	2%	67%	
18	台湾	0.568	126	4	100	31	3	10	5	280	45%	37%	11%	1%	4%	2%	18%	
19	イタリア	0.265	15	11	134	0	48	69	3	281	5%	52%	0%	17%	25%	1%	43%	
20	オーストラリア	0.678	143	5	53	0	14	50	0	265	54%	22%	0%	5%	19%	0%	24%	
21	ベトナム	0.628	115	1	34	0	73	12	0	235	49%	15%	0%	31%	5%	0%	36%	
22	南アフリカ	0.918	209	1	0	10	1	13	5	239	87%	1%	4%	1%	5%	2%	12%	
23	エジプト	0.368	0	7	167	0	15	10	0	199	0%	88%	0%	8%	5%	0%	12%	
24	マレーシア	0.689	84	1	54	0	28	3	0	170	50%	32%	0%	16%	2%	0%	18%	
25	タイ	0.472	37	1	114	0	5	21	0	176	21%	65%	0%	3%	12%	0%	14%	
26	ポーランド	0.629	109	2	17	0	2	25	1	157	70%	12%	0%	1%	16%	1%	18%	
27	UAE	0.499	0	0	130	2	0	5	0	137	0%	95%	1%	0%	4%	0%	5%	
28	アルゼンチン	0.273	2	7	89	10	24	13	1	145	1%	66%	7%	16%	9%	0%	33%	
29	ハンガリー	0.303	10	1	73	4	0	33	2	123	8%	60%	3%	0%	27%	2%	32%	
30	カザフスタン	0.573	73	0	24	0	10	2	0	109	67%	22%	0%	9%	2%	0%	11%	
31	クウェート	0.333	40	0	14	76	8	9	0	148	27%	10%	52%	5%	6%	0%	63%	

出所) 表-6~13いずれも、

CO2排出係数: IEA(国際エネルギー機関) World Energy Blances Outlook 2023

電源構成: Energy Institute (Resources and data downloads,Consolidated Datasets-Narrow format) より著者作成

表-14 世界各国のCO2排出量 (2023年)

1~25位			26~50位		
順位	国名	CO2排出量 [百万ton]	順位	国名	CO2排出量 [百万ton]
1	中国	11,218.37	26	スペイン	246.80
2	アメリカ	4,639.71	27	エジプト	232.08
3	インド	2,814.32	28	シンガポール	224.38
4	ロシア	1,614.73	29	カザフスタン	221.15
5	日本	1,012.78	30	アルゼンチン	190.92
6	インドネシア	701.42	31	パキスタン	189.56
7	イラン	683.64	32	イラク	168.22
8	サウジアラビア	620.41	33	オランダ	156.07
9	ドイツ	571.86	34	フィリピン	152.58
10	韓国	571.22	35	アルジェリア	144.67
11	カナダ	519.51	36	カタール	132.51
12	メキシコ	489.87	37	ベネズエラ	120.85
13	ブラジル	451.05	38	ウズベキスタン	120.07
14	南アフリカ	425.04	39	バングラデシュ	118.21
15	トルコ	411.10	40	コロンビア	110.21
16	オーストラリア	376.12	41	ウクライナ	105.32
17	イギリス	327.30	42	ベルギー	103.28
18	ベトナム	305.41	43	クウェート	93.94
19	イタリア	301.28	44	トルクメニスタン	93.87
20	UAE	287.17	45	チリ	86.48
21	マレーシア	284.66	46	オマーン	85.11
22	ポーランド	270.28	47	チェコ	82.88
23	タイ	269.71	48	モロッコ	69.11
24	台湾	265.52	49	香港	65.89
25	フランス	254.56	50	イスラエル	65.51

出所) Energy Institute 統計 より著者作成

表-15 日本とインド、ASEAN主要国のCO<sub>2</sub>排出係数と電源構成推移 (2012~2022年)

国名	年	CO <sub>2</sub> 排出係数 [kg-CO <sub>2</sub> /kWh]	発電量[TWh]								比率						
			石炭	石油	天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エネ	他	Total	石炭	石油	非化石燃料				
													天然ガス	原子力	水力	水力以外 再エネ	他
日本	2012	0.558	331	206	431	18	77	34	10	1,107	30%	68%	2%	7%	3%	0.9%	13%
	2013	0.564	359	165	420	15	79	41	9	1,088	33%	54%	1%	7%	4%	1%	13%
	2014	0.550	353	121	448	0	82	52	7	1,063	33%	54%	0%	8%	5%	1%	13%
	2015	0.535	347	104	414	5	86	68	7	1,030	34%	50%	0%	8%	7%	1%	16%
	2016	0.530	323	92	395	18	79	72	56	1,035	31%	47%	2%	8%	7%	5%	22%
	2017	0.512	320	70	400	29	79	87	56	1,042	31%	45%	3%	8%	8%	5%	24%
	2018	0.491	314	49	388	49	81	99	73	1,053	30%	41%	5%	8%	9%	7%	29%
	2019	0.482	307	38	364	66	74	107	71	1,026	30%	39%	6%	7%	10%	7%	31%
	2020	0.478	298	32	354	43	77	118	75	997	30%	39%	4%	8%	12%	8%	31%
	2021	0.463	302	34	326	61	80	136	81	1,020	30%	35%	6%	8%	13%	8%	35%
	2022	0.478	309	41	320	52	75	152	85	1,034	30%	35%	5%	7%	15%	8%	35%
インド	2012	0.849	787	10	96	33	116	49	0	1,092	72%	10%	3%	11%	5%	0%	18%
	2013	0.813	848	11	66	33	132	56	0	1,146	74%	7%	3%	12%	5%	0%	19%
	2014	0.836	950	11	64	35	139	63	0	1,262	75%	6%	3%	11%	5%	0%	19%
	2015	0.778	1,007	9	65	38	133	70	0	1,322	76%	6%	3%	10%	5%	0%	18%
	2016	0.729	1,074	9	73	38	128	80	0	1,402	77%	6%	3%	9%	6%	0%	18%
	2017	0.728	1,115	9	75	37	136	99	0	1,471	76%	6%	3%	9%	7%	0%	19%
	2018	0.744	1,199	6	71	39	140	124	0	1,579	76%	5%	2%	9%	8%	0%	19%
	2019	0.706	1,199	3	72	45	162	141	0	1,621	74%	5%	3%	10%	9%	0%	21%
	2020	0.688	1,144	2	75	45	164	152	1	1,582	72%	5%	3%	10%	10%	0%	23%
	2021	0.713	1,274	2	60	44	160	173	1	1,715	74%	4%	3%	9%	10%	0%	22%
	2022	0.689	1,380	3	47	46	175	206	1	1,858	74%	3%	2%	9%	11%	0%	23%
インドネシア	2012	0.720	102	27	49		13	10	0	200	51%	38%	0%	6%	5%	0%	11%
	2013	0.691	111	20	58		17	10	0	216	51%	36%	0%	8%	4%	0%	12%
	2014	0.741	120	23	61		15	10	0	229	52%	37%	0%	7%	4%	0%	11%
	2015	0.733	125	31	54		14	11	0	234	53%	36%	0%	6%	4%	0%	10%
	2016	0.730	135	21	62		19	11	0	248	55%	33%	0%	8%	5%	0%	12%
	2017	0.765	148	19	56		19	13	0	255	58%	29%	0%	7%	5%	0%	13%
	2018	0.765	160	18	57		22	27	0	284	56%	27%	0%	8%	9%	0%	17%
	2019	0.761	174	11	62		21	27	0	295	59%	25%	0%	7%	9%	0%	16%
	2020	0.771	181	7	51		24	29	0	292	62%	20%	0%	8%	10%	0%	18%
	2021	0.778	190	7	56		25	32	0	309	61%	20%	0%	8%	10%	0%	18%
	2022	0.771	205	6	56		27	38	1	333	62%	19%	0%	8%	11%	0%	20%
フィリピン	2012	0.681	56	7	61		9	2	0	134	41%	50%	0%	7%	1%	0%	8%
	2013	0.693	54	3	71		12	1	0	141	38%	53%	0%	8%	1%	0%	9%
	2014	0.666	56	3	74		13	1	0	147	38%	52%	0%	9%	1%	0%	10%
	2015	0.687	63	2	70		14	1	0	150	42%	48%	0%	9%	1%	0%	10%
	2016	0.655	69	1	65		20	1	0	157	44%	42%	0%	13%	1%	0%	13%
	2017	0.650	69	2	62		27	1	0	161	43%	40%	0%	17%	1%	0%	17%
	2018	0.659	77	1	64		26	2	0	171	45%	38%	0%	15%	1%	0%	17%
	2019	0.630	76	1	72		26	3	0	178	43%	41%	0%	15%	1%	0%	16%
	2020	0.689	84	1	54		28	3	0	170	50%	32%	0%	16%	2%	0%	18%
	2021	0.618	78	1	61		31	4	0	175	45%	36%	0%	18%	2%	0%	20%
	2022	0.651	76	2	68		33	4	0	183	42%	38%	0%	18%	2%	0%	20%
タイ	2012	0.510	35	1	119		8	5	0	169	20%	71%	0%	5%	3%	0%	8%
	2013	0.531	35	1	119		5	7	0	169	21%	72%	0%	3%	4%	0%	7%
	2014	0.536	38	2	120		5	9	0	174	22%	70%	0%	3%	5%	0%	8%
	2015	0.513	35	1	129		4	10	0	178	19%	73%	0%	2%	6%	0%	8%
	2016	0.488	37	0	126		4	13	0	180	21%	70%	0%	2%	7%	0%	9%
	2017	0.484	36	0	121		5	15	0	177	20%	69%	0%	3%	8%	0%	11%
	2018	0.479	36	0	116		8	18	0	178	20%	66%	0%	4%	10%	0%	14%
	2019	0.461	36	1	122		6	21	0	187	19%	66%	0%	3%	11%	0%	15%
	2020	0.472	37	1	114		5	21	0	176	21%	65%	0%	3%	12%	0%	14%
	2021	0.466	36	1	113		5	22	0	176	20%	65%	0%	3%	12%	0%	15%
	2022	0.472	36	2	115		7	22	0	180	20%	65%	0%	4%	12%	0%	16%
ベトナム	2012	0.353	21	0	40		53	0	0	115	18%	35%	0%	46%	0%	0%	46%
	2013	0.369	24	1	42		58	0	0	124	19%	34%	0%	46%	0%	0%	47%
	2014	0.383	35	1	43		62	0	0	141	25%	31%	0%	44%	0%	0%	44%
	2015	0.519	53	1	47		57	0	0	158	33%	30%	0%	36%	0%	0%	36%
	2016	0.540	64	2	46		64	0	0	176	36%	27%	0%	37%	0%	0%	37%
	2017	0.478	63	1	40		88	0	0	192	33%	21%	0%	46%	0%	0%	46%
	2018	0.555	84	0	40		84	1	0	209	40%	19%	0%	40%	0%	0%	41%
	2019	0.650	111	1	42		67	6	0	227	49%	19%	0%	29%	0%	0%	32%
	2020	0.628	115	1	34		73	12	0	235	49%	15%	0%	31%	5%	0%	36%
	2021	0.562	114	0	26		76	28	0	245	47%	11%	0%	31%	12%	0%	43%
	2022	0.628	101	1	28		96	35	0	260	39%	11%	0%	37%	13%	0%	50%

出所) CO<sub>2</sub>排出係数: IEA(国際エネルギー機関) World Energy Outlook 2023

電源構成: Energy Institute (Resources and data downloads, Consolidated Datasets - Narrow format) より著者作成

## 参考文献

- 一般社団法人 日本原子力産業協会(2022)、『国際エネルギー機関 (IEA) 「2022 年版世界エネルギー見通し」 (WEO 2022) 概要紹介』、(<https://www.jaif.or.jp/information/world-energy-outlook2022/>)
- 科学技術振興機構 (JST) (2021)、「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.2)」、(<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2020-pp-03-gaiyou.pdf>)
- グローバルノート、「CO<sub>2</sub> 排出量世界ランキング」(2024)、(<https://www.globalnote.jp/post-3235.html>)
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2021)、「第 6 次エネルギー基本計画」、([https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/))
- 経済産業省 資源エネルギー庁 (2024)、「日本の再エネ拡大の切り札、ペロブスカイト太陽電池とは? (前編)」、([https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/peovskite\\_solar\\_cell\\_01.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/peovskite_solar_cell_01.html))
- 国際エネルギー機関 (IEA) (2023)、『CO<sub>2</sub> 排出係数』、「World Energy Outlook 2023」、
- 国際連合広報センター (UNIC) (2024)、「世界の人口は今世紀中にピークを迎える」、([https://www.unic.or.jp/news\\_press/info/50542/](https://www.unic.or.jp/news_press/info/50542/))
- 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) (2023)、「風力発電分野の技術戦略策定に向けて」、(<https://www.nedo.go.jp/content/100960323.pdf>)
- 独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) (2023)、「ベトナム 第 8 次国家電力開発基本計画 (PDP8)」、([https://oilgas-info.jogmec.go.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page\\_/001/009/795/2306\\_m\\_vn\\_powerplan8.pdf](https://oilgas-info.jogmec.go.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/009/795/2306_m_vn_powerplan8.pdf))
- メガソーラービジネス (2024)、「太陽光パネルのリサイクル義務化へ、再資源化の担い手が課題に」、(<https://project.nikkeibp.co.jp/ms/atcl/19/news/00001/04515/?ST=msb>)
- 日本貿易振興機構 (JETRO) (2023a)、『インドが「損失と損害」基金の運用決定を歓迎、再エネ誓約は見送り』、(<https://www.jetro.go.jp/biznews/2023/12/6dd2e06598854b47.html>)
- 日本貿易振興機構 (JETRO) (2023b)、「水素製造における高い潜在性を秘めるインド」、(<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2023/0503/439dbf577fb34709.html>)
- マレーシア 持続可能エネルギー庁 (SEDA) (2021)、「Malasia Renewable Energy Roadmap」、([https://www.seda.gov.my/reportal/wp-content/uploads/2022/03/MyRER\\_webVer3.pdf](https://www.seda.gov.my/reportal/wp-content/uploads/2022/03/MyRER_webVer3.pdf))

- マレーシア 経済省 (2023)、「国家エネルギー移行ロードマップ (NETR)」、(<https://www.mondaq.com/oil-gas-electricity/1397096/malaysias-national-energy-transition-roadmap-part-2-roadmap-in-full>)
- Energy Institute (EI)、『電源構成』(2023)、(<https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>)
- IDEAS FOR GOOD、『日本が4連続受賞した「化石賞」って？賞の目的や各国の選出理由まとめ』(2023) (<https://ideasforgood.jp/fossil-of-the-day/>)
- Spaceship Earth (2023a)、『SBT (Science Based Targets)』、(<https://spaceshipearth.jp/sbt/>)、2023年10月19日
- Spaceship Earth (2023b)、「CCSとは？カーボンニュートラルの貢献度・CCUSとの違い・問題点を解説」、(<https://spaceshipearth.jp/ccs/>)、2023年11月10日
- Spaceship Earth (2023c)、「カーボンクレジットとは？仕組みや種類、ビジネスの活用事例」(<https://spaceshipearth.jp/carboncredit/>)、2023年10月24日
- UNFCCC (2021)、「INDONESIA Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050」(<https://www.slideshare.net/slideshow/indonesia-long-term-strategy-for-low-carbon-and-climate-resilience-2050/269774757#85>)
- VERIFIED MARKET REPORTS(2023)、「風を操る：インドのタービンのトップトレンドを深く掘り下げる」、(<https://www.verifiedmarketreports.com/ja/blog/top-7-indian-wind-turbine-trends/>)

URL 記載のものは全て、最終閲覧日は2024年10月9日