CCNE連続オンライン企画「原発ゼロ社会への道」

原発ゼロ社会とカーボンニュートラルは両立できる

2021年7月19日

東北大学 東北アジア研究センター・同大学院環境科学研究科教授

明日香壽川

内容

1. 前提的な話
2. 日本の2030年原発ゼロ・石炭火力ゼロシナリオ
3. 再エネ・省エネ対策と影響の具体的なイメージ
4. まとめ

1. 前提的な話

言葉の定義が必要

原発ゼロ社会？

カーボンニュートラル？

両立できる？

今日のお話での定義

原発ゼロ社会

→2030年原発ゼロ

カーボンニュートラル

→日本国内で2030年石炭火力ゼロ

→日本国内で既存技術のみで2030年エネルギー起源CO_2を46%以上削減（2013 年比）

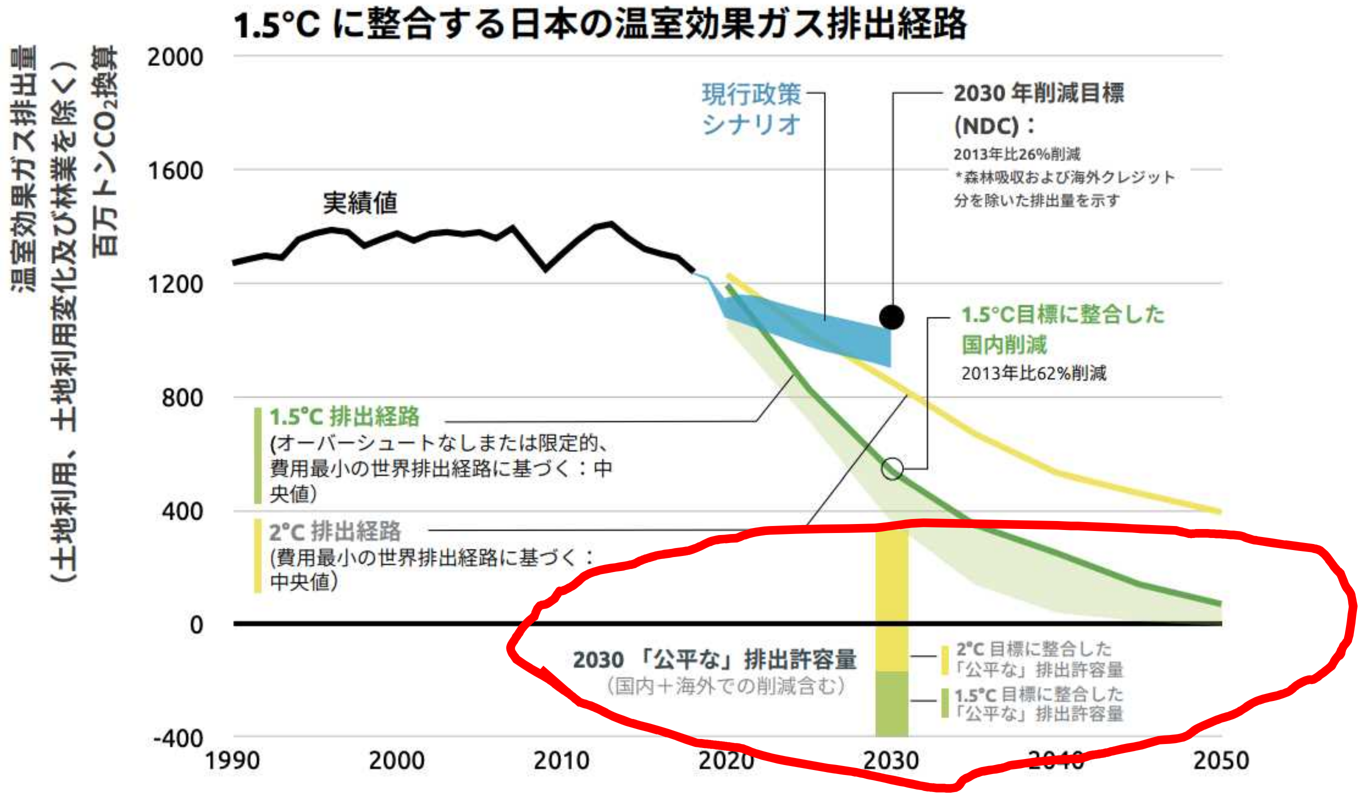
→日本国内で2050年カーボンニュートラル

両立できる

→上記を実現するシナリオ（エネルギーミックス）の方が他のシナリオよりも経済性が高い（発電コスト総額、発電コスト単価、エネルギーコスト、GDP、雇用）

46%削減に関する根本的誤解

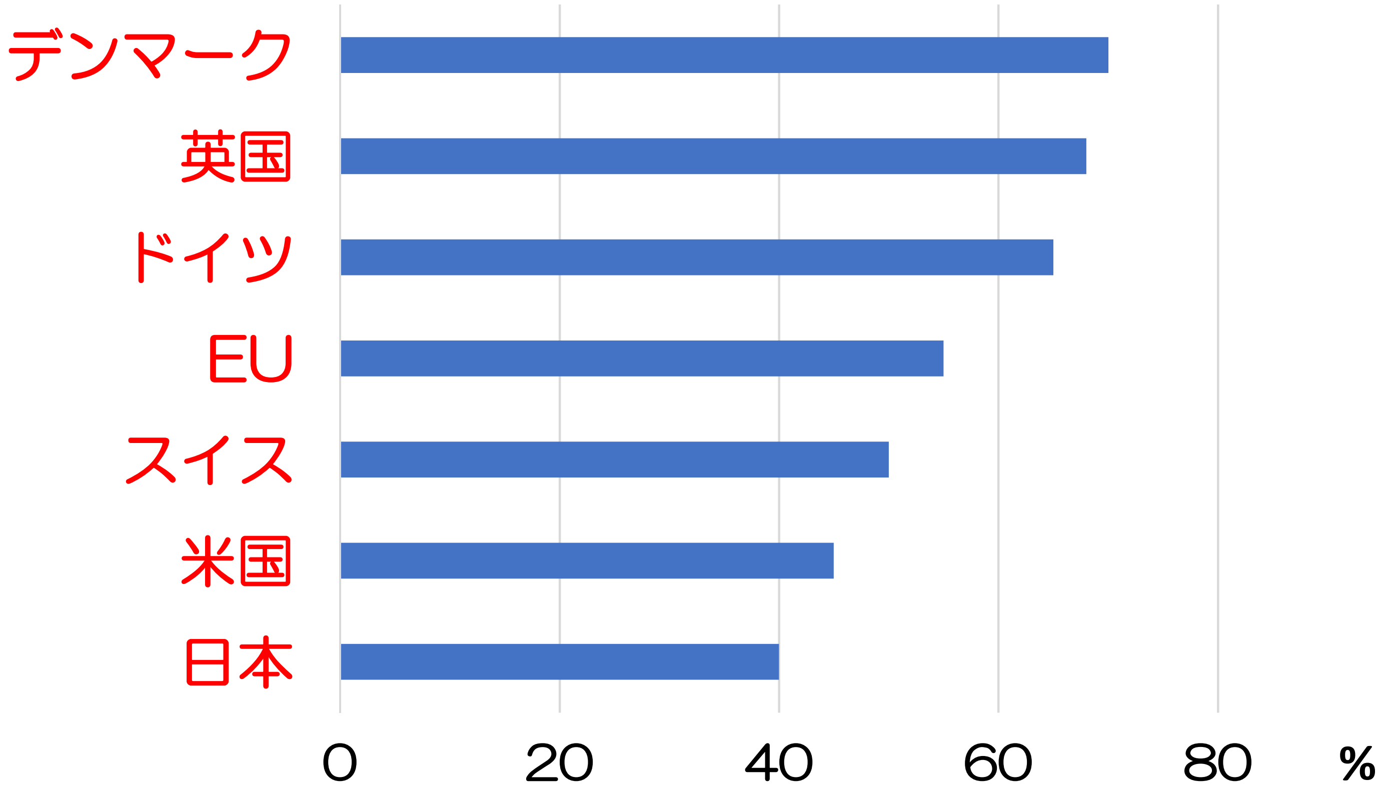
2030年46%削減（2013年比）というのは、公平性を考えると1.5度目標達成には全く不十分で、国際的にも見劣りがする



出典：Climate Action Tracker（2021）

日本の目標は他先進国に比べて非野心的

先進国の2030年CO_2排出削減数値目標の比較（1990年比）



原発と温暖化：これまでの議論

原発推進派の主張（戦略）

- 原発は温暖化対策に必要→方便
- 原発は安くて安全→今は逆風（再エネ価格下降）
- 自分たちの権益と国益を意図的に混同

原発反対派の主張（戦略）

- 原発は高くて安全ではない→今は順風
- 原発こそ環境破壊→比べられないし、相手（原発推進派）は実際には環境なんて何とも思っていないので効果ない
- 原発の排熱が海洋温暖化を促進→科学的にはあまり意味がない（人為的CO_2排出による海洋への熱供給は桁が違う）
- 地球温暖化やCO_2温暖化説は嘘→科学的に間違っている

現状を鑑みると

1. 推進派は「原発vs.温暖化」「原発vs.再エネ」「環境vs.経済」の２項対立のフレーミングを仕掛け、反対派の多くもそれに乗っかってしまっている
2. それもあって、現実的には、一般市民の多くを説得するためには、原発ゼロ・石炭火力ゼロでも電気代が高くならず停電にもならず雇用も経済もマイナス影響を受けないことを示すしかない

現状を鑑みると（続き）

3. 多くの人は、実際には3E+Sの中の一つのEfficiency（経済性≒電気代）しか考えず、かつ発電コスト総額（円）と発電コスト単価（円/kWh）の違いをあまり意識していない
4. 原発推進派（現状維持派）は、現在、逆風の中、再エネの変動性や統合コストを持ち出して「原発安い神話」の維持を画策
5. どちらの側も省エネの議論が圧倒的に欠如

順風：米国政府も原発は高いと言っている

Table 1b. Estimated levelized cost of electricity (LCOE, unweighted) for new generation resources entering service in 2025 (2019 dollars per megawatthour)

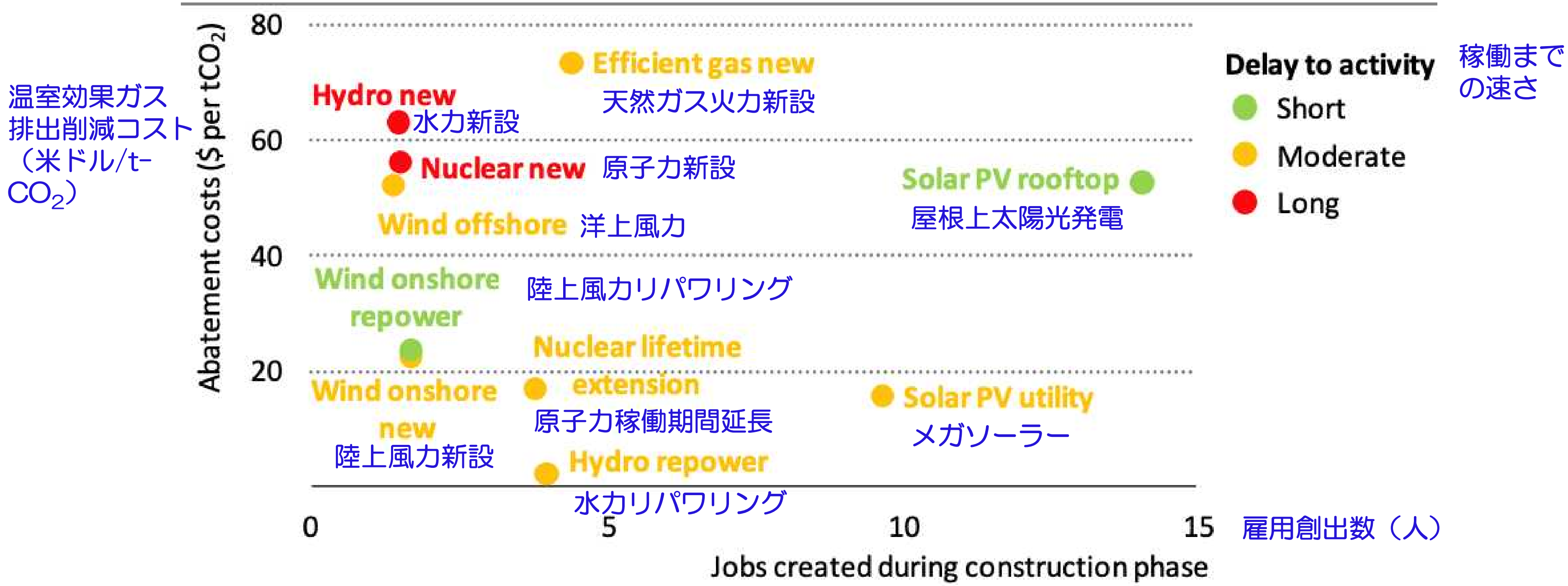
米ドル/MWh

Plant type		Capacity factor (percent)	Levelized capital cost	Levelized fixed O&M[1]	Levelized variable O&M	Levelized transmis-sion cost	Total system LCOE	Levelized tax credit[2]	Total LCOE including tax credit
Dispatchable technologies									
Ultra-supercritical coal	石炭火力	85	47.57	5.43	22.27	1.17	76.44	*NA*	76.44
Combined cycle	天然ガス複合	87	8.40	1.59	26.88	1.20	38.07	*NA*	38.07
Combustion turbine	天然ガス	30	16.17	2.65	44.33	3.47	66.62	*NA*	66.62
Advanced nuclear	原子力	90	56.12	15.36	9.06	1.10	81.65	-6.76	74.88
Geothermal	地熱	90	20.38	14.48	1.16	1.45	37.47	-2.04	35.43
Biomass	バイオマス	83	39.92	17.22	36.44	1.25	94.83	*NA*	94.83
Non-dispatchable technologies									
Wind, onshore	陸上風力	40	29.63	7.52	0.00	2.80	39.95	*NA*	39.95
Wind, offshore	洋上風力	44	90.95	28.65	0.00	2.65	122.25	*NA*	122.25
Solar photovoltaic[3]	太陽光	29	26.14	6.00	0.00	3.59	35.74	-2.61	33.12
Hydroelectric[4,5]	水力	59	37.28	10.57	3.07	1.87	52.79	*NA*	52.79

出典：US Energy Information Administration（2020）

順風：IEAも再エネは安くて速くて雇用創出大きいと言ってる

Figure 2.3 ▷ **Job creation per million dollars of capital investment in power generation technologies and average CO_2 abatement costs**



New solar PV and wind have low abatement costs, as do nuclear lifetime extensions and repowering existing wind and hydro facilities; solar PV provides the largest boost to jobs.

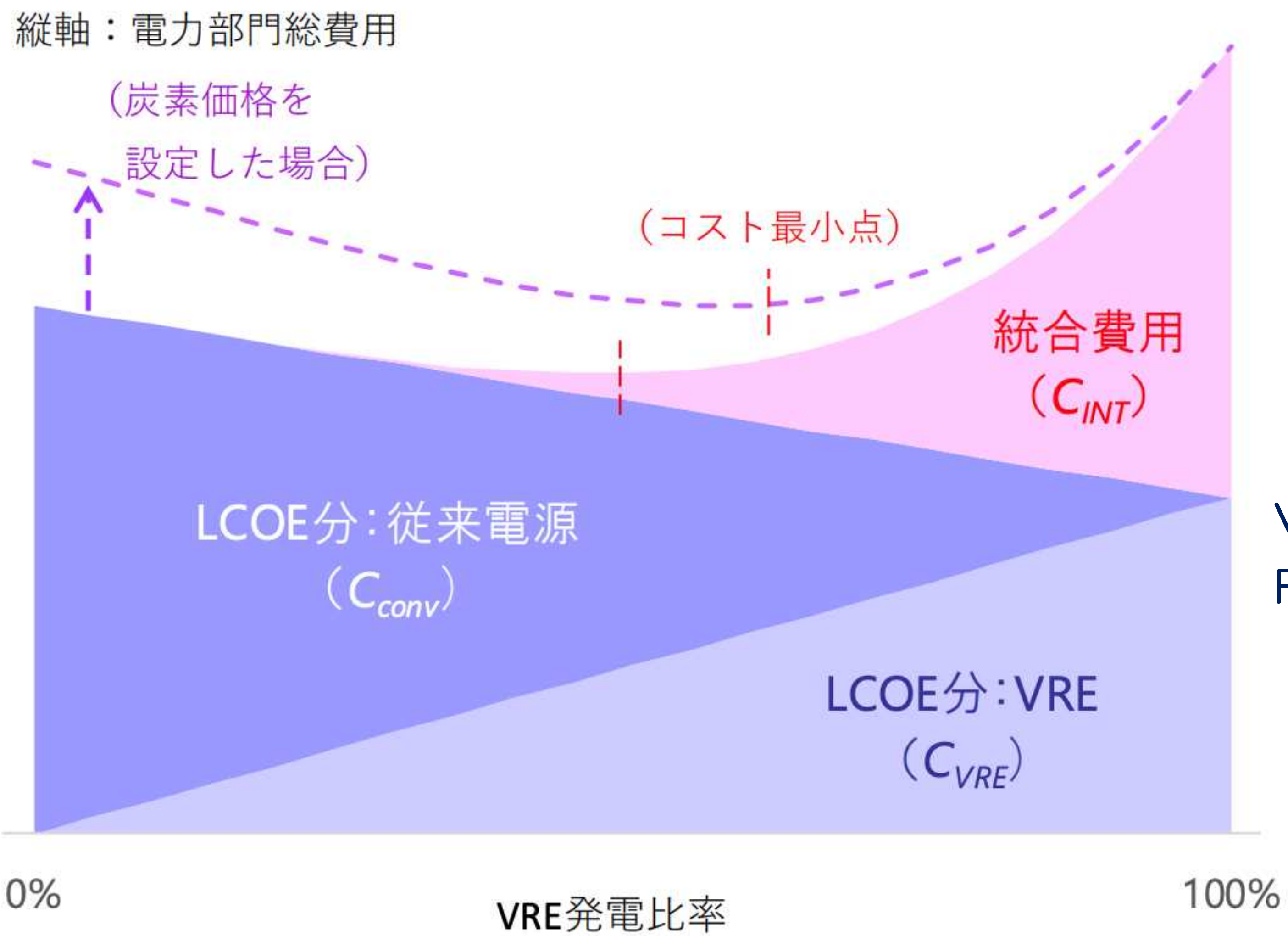
Note: Avoided CO_2 emissions calculated based on displacing coal-fired generation, global averages shown.

出典：IEA（2020）

日本国内の原発推進派の新たな議論

- 平準化した発電コスト（モデルプラントの建設・運転維持費を発電量で除したもの）では、原発単体での相対的な価格優位性を主張するのが難しくなっている
- ゆえに、現在、「統合コスト」という概念を持ち出して、「再エネは増えると高くなる」と主張（第5次基本計画の時は「システムコスト」という言葉を使用）
- しかし、政府・RITE・エネ研の出している数値は、必ずしも「世界標準」ではない

再エネは増えると高くなる？



VRE(Variable Renewables:変動電源（太陽光と風力）

出典：日本エネルギー経済研究所（2021）

変動電源の統合コストをメタ分析した Nature Energyの論文（2021年1月）

ANALYSIS
https://doi.org/10.1038/s41560-020-00695-4

nature energy

Check for updates

A systematic review of the costs and impacts of integrating variable renewables into power grids

Philip J. Heptonstall ✉ and Robert J. K. Gross

The impact of variable renewable energy (VRE) sources on an electricity system depends on technological characteristics, demand, regulatory practices and renewable resources. The costs of integrating wind or solar power into electricity networks have been debated for decades yet remain controversial and often misunderstood. Here we undertake a systematic review of the international evidence on the cost and impact of integrating wind and solar to provide policymakers with evidence to inform strategic choices about which technologies to support. We find a wide range of costs across the literature that depend largely on the price and availability of flexible system operation. Costs are small at low penetrations of VRE and can even be negative. Data are scarce at high penetrations, but show that the range widens. Nonetheless, VRE sources can be a key part of a least-cost route to decarbonization.

出典：Heptonstall and Gross（2021）

その論文の中での変動電源の統合コスト の分布

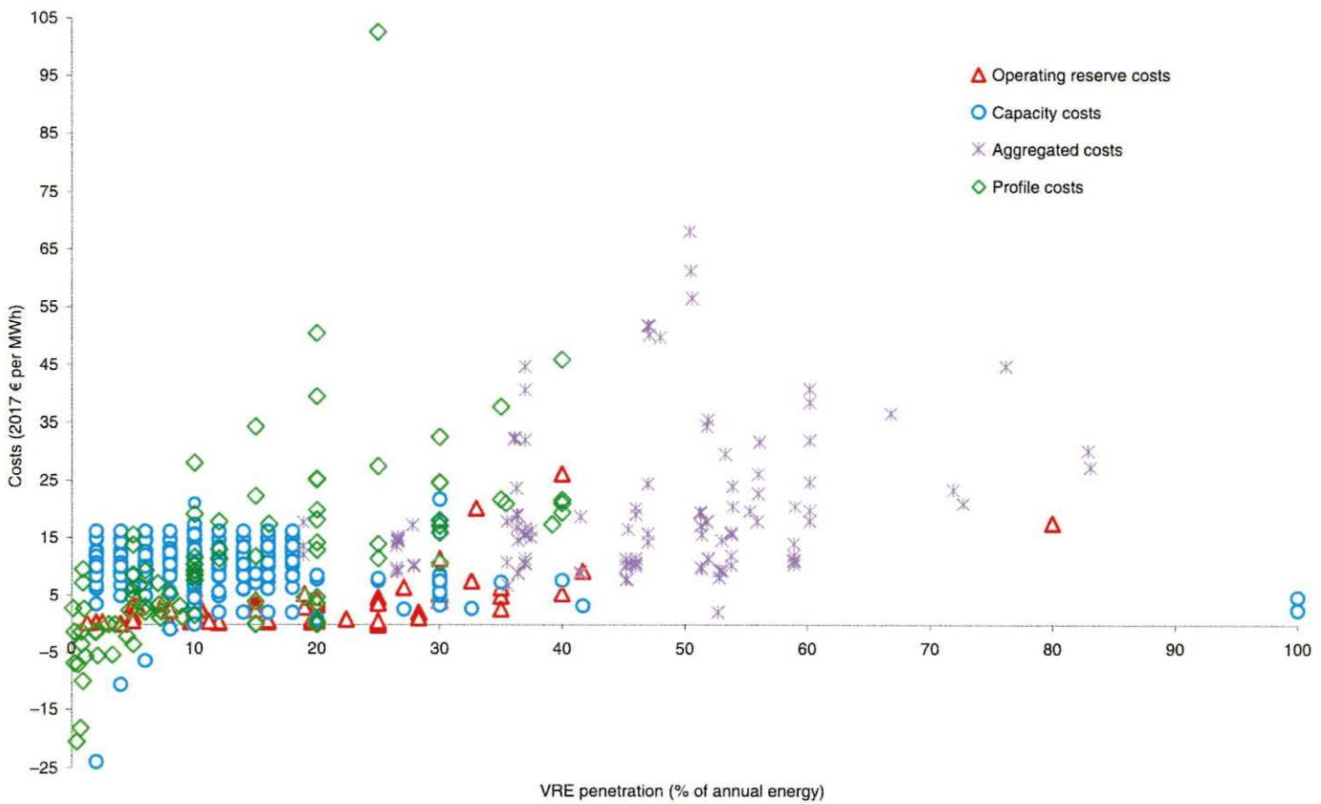
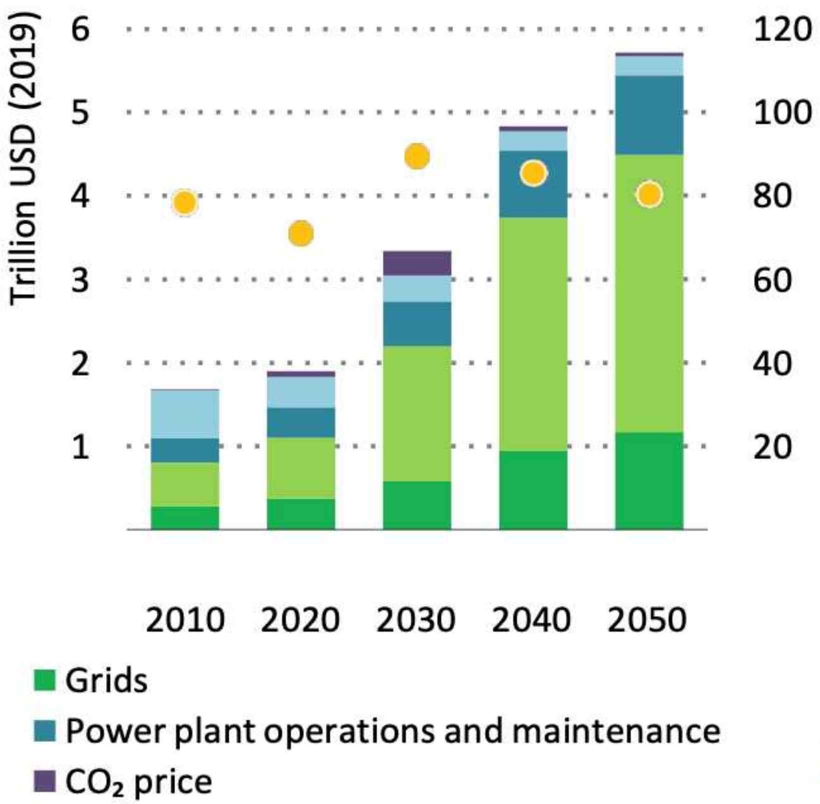


Fig. 2 | Data for operating reserve, capacity adequacy, aggregated and profile costs. Costs are normalized to 2017 Euro. The VRE penetration level is expressed using the most common metric found in the literature, that is, the percentage of annual electricity demand met by VRE. Approximately three-quarters of the entire dataset used this metric. Less common metrics for assessing VRE penetration levels include the percentage of total system installed capacity and the percentage of peak system load. Findings that used these metrics are not included in the figures in this paper as the data are not directly comparable. Data sources for this figure are from refs. [16,17,24,33,37,44,49,74–86]. The operating reserve data were drawn from 11 studies with no single study dominating the results. Capacity cost data were drawn from seven studies, with ref. [49] contributing approximately 75% of the total number of data points. Aggregated cost data were drawn from three studies, with ref. [24] contributing over 60% of the data. Profile costs data were drawn from five studies, with ref. [17] contributing slightly less than half of the data points. This data are available in the Supplementary Data.

出典：Heptonstall and Gross（2021）

ちなみに、IEAは2050年ネットゼロ（太陽光と風力で発電量の7割）でも発電コスト単価は上がらないと言っている

2050年ネットゼロの場合の世界全体の電力システムコスト



・ が発電コスト単価で単位（右縦軸）はUSドル/MWh (2019)

出典：IEA（2021）

欧州各国は2030年に高いVRE比率を目標としている

日本と同じような孤立系統であるアイルランドやスペインは、「2030年に再エネ電力割合70%」、「2030年に再エネ電力割合74%」をそれぞれ目標としている

2. 日本の2030年原発ゼロ・石炭火力ゼロシナリオ（GR戦略）

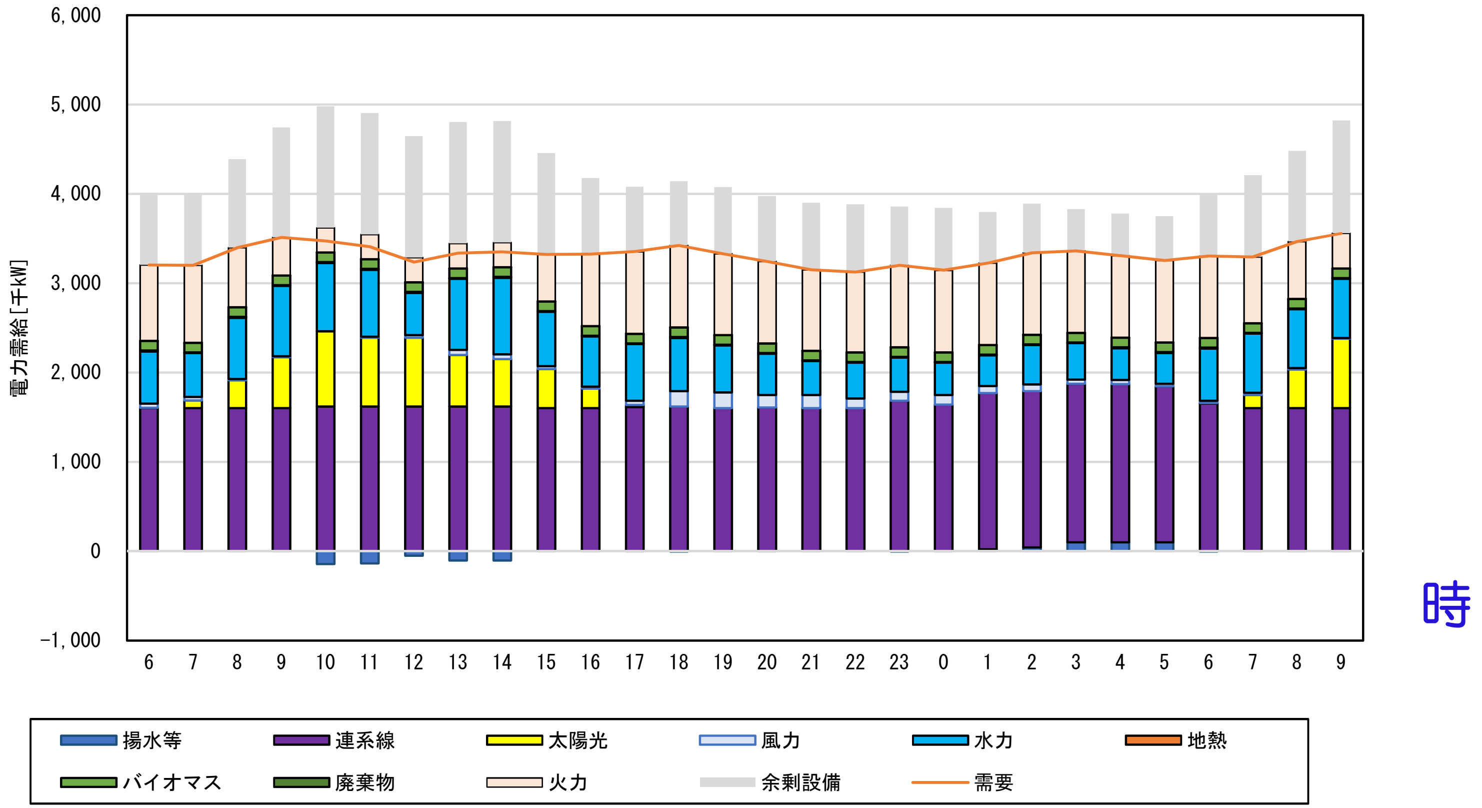
電気代は高くならない

年	発電コスト総額[兆円]		発電コスト単価[円/kWh]	
	シナリオ		シナリオ	
	GR戦略	政府エネルギー・ミックス	GR戦略	政府エネルギー・ミックス
2018	16	16	16	16
2030	11	15	14	14
2040	10	14	12	14
2050	9	14	10	14

出典：未来のためのエネルギー転換研究グループ（2021）

電力需給バランスは対策をとれば問題ない

過去3年（2016-2018年）で北陸電力管区で太陽光・風力の発電量が小さくて、かつ需要が最も大きかった日（2018年2月21-22日）



出典：未来のためのエネルギー転換研究グループ（2021）

３. 再エネ・省エネ対策と影響の具体的なイメージ （GR戦略シナリオの場合）

再エネ：太陽光と風力が圧倒的主力

GR戦略での2030年の太陽光の想定

- 屋根上：全住宅の10%（2019年は6%）
- ソーラーシェアリング：農地・耕作放棄地の0.8%
- 今後の野立て（メガソーラー）：0%

（ただし、未利用産業用地4.6万haや荒廃農地27万haでのメガソーラーは検討可能。例えば、未利用産業用地の半分転用で太陽光は約1500万kW増）

再エネ：太陽光と風力が圧倒的主力（続き）

GR戦略での2030年の風力の想定

- 洋上：1000万kW（日本風力発電協会の堅い数値として採用。最近の政府認定想定と同じ。場所もほぼ決まっていて、投資もほぼ集まっているので、どれだけアセス期間を短くできるかがポイント）

→自然破壊型や住民無視の再エネ導入はなしが前提

家庭・業務部門：機器交換・断熱基準強化・ゼロエミッションハウス義務化

事例：断熱基準（鳥取県）

断熱性能は３段階。県ではT-G2を推奨しています。

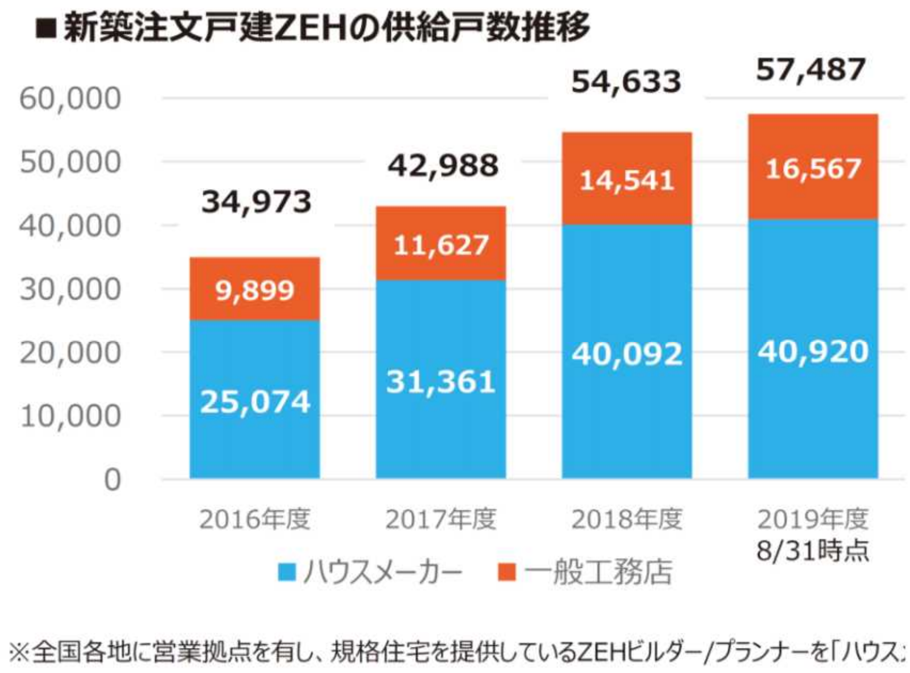
区分	国の省エネ基準			ZEH（ゼッチ）	とっとり健康省エネ住宅性能基準		
	等級2	等級3	等級4		T-G1	T-G2	T-G3
備考	旧基準 (S55年)	新基準 (H4年)	次世代基準 (H11年)	2020年標準 政府推進	冷暖房費を抑えるために必要な **最低限レベル**	経済的で快適に生活できる **推奨レベル**	優れた快適性を有する **最高レベル**
断熱性能 U_A値	1.80	1.54	0.87	0.60	0.48	0.34	0.23
気密性能　C値	—	—	—	—	1.0	1.0	1.0
冷暖房費削減率	—	—	0%	約10%削減	約30%削減	約50%削減	約70%削減
世界の省エネ基準（U_A値）との比較※4	寒 今の日本 日本の省エネ基準は努力義務ですが欧米は義務化されている ●日本（0.87） 今の欧米 ●フランス（0.36） ●ドイツ（0.40） ●英国（0.42） ●米国（0.43） 暖						

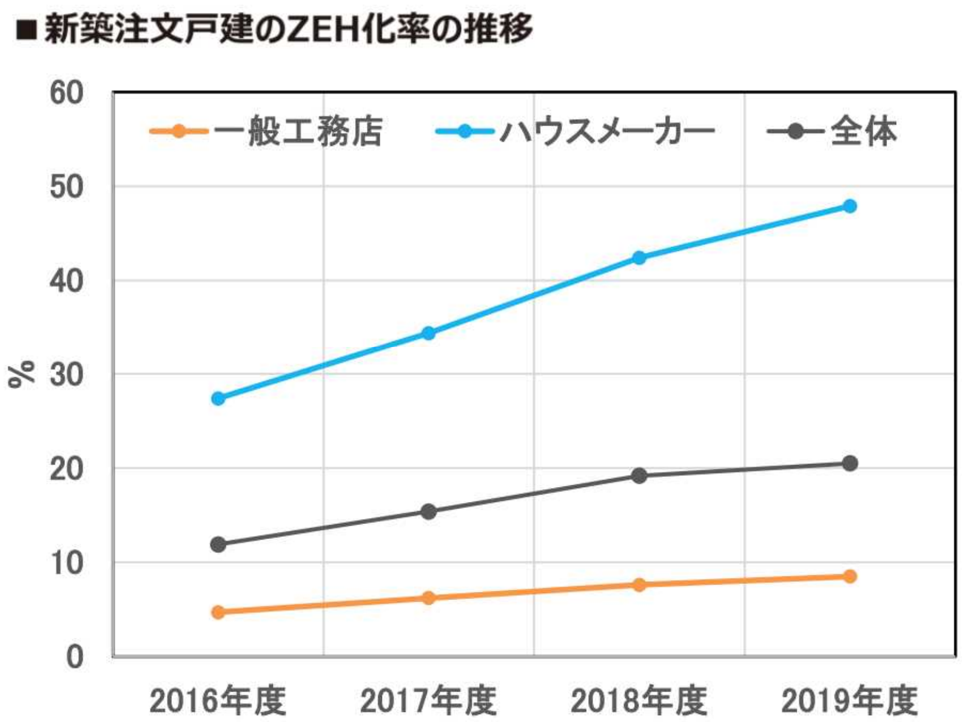
※ZEHは、ネット・ゼロ・エネルギー・ハウスの略。断熱化による省エネと太陽光発電などの創エネにより、年間の一次消費エネルギー量（空調・給湯・照明・換気）の収支をプラスマイナス「ゼロ」にする住宅をいいます。

出典：鳥取県HP（2021）

家庭・業務部門：機器交換・断熱基準強化・ゼロエミッション義務化

課題は一般工務店や一部ハウスメーカーのキャパビル





出典：資源エネルギー庁省エネ小委員会資料

運輸部門：ガソリン車の販売禁止の早期実施が必要

- EUが2035年にハイブリッドを含めたガソリン車販売禁止
- 一つの企業（産業）の短期的利益や雇用と地球温暖化被害のバランスをどう考えるかの問題
- 重要なポイントは、温暖化問題がなくても、電気自動車シフトは進んでおり、日本だけが不利なわけではない（企業戦略の問題）

産業部門：素材産業の省エネが不十分

- 今の政府省エネ対策は、産業部門が圧倒的に不十分（素材産業：鉄鋼、セメント、石油製品、化学、製紙など）
- 少なくとも省エネベンチマークを遵守を徹底させるべき（偏差値60の工場レベルの効率を義務付ける）
- 電炉鋼割合を高めるのは不可欠（抵抗は強い）
- しかし、ビジネスの環境自体が大きく変化している

日本での雇用転換のイメージ

日本の様々な企業・産業からの転職および新卒などの新規就職

雇用転換・雇用吸収

現時点での再エネ産業による雇用（約27万人）

エネルギー転換で新たに創出される雇用 2030年まで約2544万人年（年間約254万人の雇用が10年間維持）

エネルギー転換で何らかの影響をうける雇用（約20万人）

雇用転換

配置転換

同企業内の移動

新規雇用創出の内訳（年間）

・農林水産鉱山: 1.1万人

・建設:46.9万人

・製造業:60.3万人
　うち金属製品・機械44.8万人

・第三次産業:145.1万人
　うち卸売小売業:61.1万人
　うちサービス業（事業者向等）：40.1万人

出典：未来のためのエネルギー転換研究グループ（2021）

→６大CO_2排出産業の雇用およびGDP寄与割合は（意外に）小さい

日本の火力発電所での雇用（2017年）

	従業者数	雇用者割合	付加価値額	GDP割合	設備容量	人件費単価	人件費単価	発電量
	人		百万円		MW	百万円/MW	百万円/人	TWh
電気業					電力供給計画	コスト等検証WG	賃金構造基本統計調査	電力供給計画
石炭火力発電所	2,841	0.00%	208,303	0.04%	43350	0.45	7.5168	290.4
石油火力発電所	2,488	0.00%	45,190	0.01%	39380	0.475	7.5168	63
天然ガス火力発電所	4,682	0.01%	298,252	0.06%	82120	0.43	7.5168	415.8
その他					97290			161.6

出典：未来のためのエネルギー転換研究グループ（2021）

雇用転換はすでに世界では進んでいる

例えば、米国では、2019年時点で、エネルギー効率向上、再エネ、系統管理および蓄電、クリーン自動車、クリーン燃料の5つの分野の雇用数は合計で約335万人。一方、化石燃料分野および原子力発電分野の雇用数は、それぞれ約119万と約7万人（E2 2020）。

4. まとめ

「原発ゼロ社会とカーボンニュートラルが両立できる」とは

- できる、できないではなくて、たくさんある中からどのようなシナリオを選ぶか
- あるシナリオを選んだら、その影響はプラスもマイナスもある（企業、個人、地域、国）
- 重視される影響は、結局は、企業、個人、地域、国に対する経済性
- 今のエネルギーシステムで経済的利益を受けている人たちは必死で抵抗する

「原発ゼロ社会とカーボンニュートラルが両立できる」とは（続き）

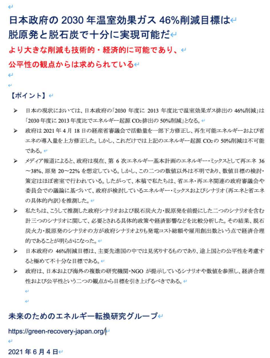
- 省エネは再エネと同じく、あるいはそれ以上に重要なのに無視されている
- 多くの研究機関や国連機関が、再エネ・省エネ中心のシナリオの方が多くの国にとって総合的に国益にプラスになると分析（原発は高いので経済合理的な選択肢になりえない）
- 化石燃料産業のない日本にとって、石炭火力ゼロは、本来は比較的簡単なはず（それだけ電力会社が強い）

「原発ゼロ社会とカーボンニュートラルが両立できる」とは（続き）

- マイナス影響を受ける企業、個人、地域、国（彼らが抵抗勢力）のケアが最大の課題（ケアするか、しないか、するとしたらどの程度）
- ただし、温暖化対策要因というよりもビジネス環境変化要因もある
- 日本での真剣な政治的議論、特に雇用に関する議論はほとんどない
- 一方、例えばバイデン政権は省庁横断の石炭産業転換タスクフォースを設置している

参考文献

① 未来のためのエネルギー転換研究グループ（2021）「レポート 2030：グリーン・リカバリーと2050年カーボン・ニュートラルを実現する2030 年までのロードマップ」2021年2月25日
https://green-recovery-japan.org/


日本政府の 2030 年温室効果ガス 46%削減目標は
脱原発と脱石炭で十分に実現可能だ
より大きな削減も技術的・経済的に可能であり、
公平性の観点からは求められている

【ポイント】

未来のためのエネルギー転換研究グループ
https://green-recovery-japan.org/
2021 年 6 月 4 日

② 未来のためのエネルギー転換研究グループ（2021）「日本政府の2030年温室効果ガス46%削減目標は脱原発と脱石炭で十分に実現可能だ-より大きな削減も技術的・経済的に可能であり、公平性の観点からは求められている
2021年6月4日
https://green-recovery-japan.org/pdf/greenhousegas_2030.pdf

③ 『グリーン・ニューディール-世界を動かすガバニングアジェンダ』
岩波新書　2021年6月20日

参考文献（続き）

- 日本エネルギー経済研究所（2021）2050年カーボンニュートラルのモデル試算、2021年6月30日総合資源エネルギー調査会基本政策分科会資料

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/044_009.pdfhttps://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/044/044_009.pdf

- Climate Action Tracker (2021) Japan’s Paris Agreement target should be more than 60% by 2030 - analysis

https://climateactiontracker.org/press/japans-paris-agreement-target-should-be-more-than-60-by-2030_analysis/

- E2(2020) CLEAN JOBS AMERICA 2020, APRIL 2020.

https://e2.org/wp-content/uploads/2020/04/E2-Clean-Jobs-America-2020.pdf

- Heptonstall, P.J., Gross, R.J.K. (2021). A systematic review of the costs and impacts of integrating variable renewables into power grids. Nat Energy 6, 72-83. https://doi.org/10.1038/s41560-020-00695-4 https://www.nature.com/articles/s41560-020-00695-4

- IEA(2021) Net Zero by 2050 Roadmap for the Global Energy Sector

https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad0d4830-bd7e-47b6-838c-40d115733c13/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector.pdf

- IEA（2020）Sustainable Recovery: World Energy Outlook Special Report.

https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery/covid-19-and-energy-setting-the-scene#abstract

- USEIA（2020） Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2020.

https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo20/pdf/electricity_generation.pdf