

CCNE連続オンライントーク
「原発ゼロ社会への道」2022

原発と再エネのコスト -国内外の議論の最前線-

2023年2月14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

Take Away メッセージ

1. 日本政府の主張は「原発は安い」から「原発は高くない」に変化
2. 再エネ新設発電コストは原発新設発電コストの数分の1
3. 再エネ新設発電コストは原発運転発電コストとほぼ同じ（あるいはより安い）

Take Away メッセージ（続き）

4. 再エネ新設+蓄電池のコストは原発の運転コストとほぼ同じ
5. 温室効果排出削減コストでも、原発運転延長は再エネ新設よりも6倍高い（削減量は6分の1）
6. 原発には、再エネに比較して巨額の税金と電気料金が支払われている

原発新設は再エネ新設よりはるかに高い

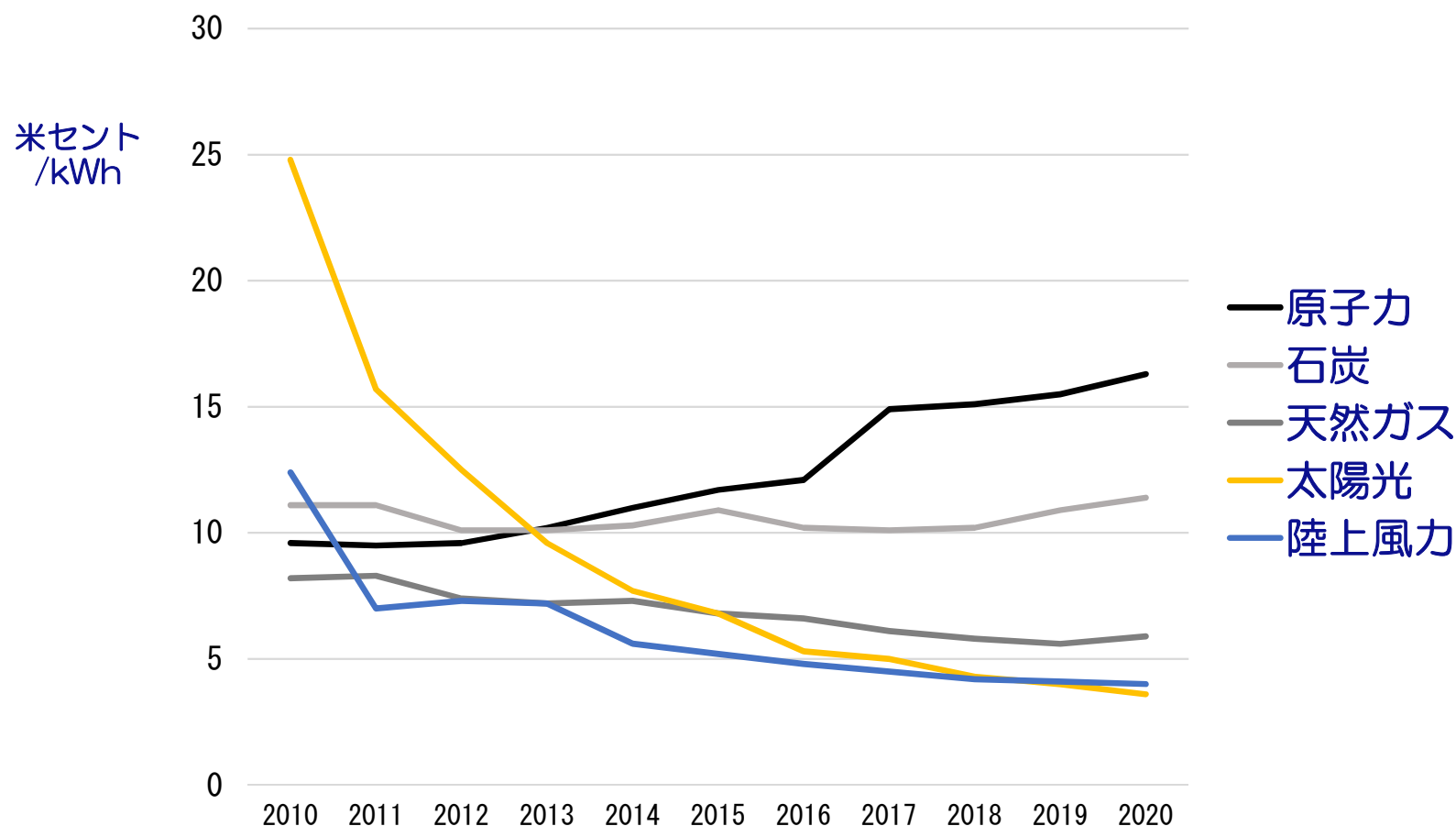
| 機関・組織名 | 原発新設と再エネ新設のコスト比 |
|-----------|-----------------|
| 米エネルギー情報局 | 2倍 |
| Lazard | 3~8倍 |
| Bloomberg | 5~13倍 |

注：均等化発電コスト（LCOE）の比較

出典：Lovins（2022）、Lazard（2020）、BNEF（2020）、USEIA（2022）より作成

2013年頃から原発新設は高い

発電エネルギー技術の新設コスト比較



出典：Lazard (2021)

米政府機関の米エネルギー情報局 (EIA) も毎年そのような数値を公表

2022年発電エネルギー技術のコスト比較 (米国)

Table 1b. Estimated unweighted levelized cost of electricity (LCOE) and levelized cost of storage (LCOS) for new resources entering service in 2027 (2021 dollars per megawatthour)

| Plant type | Capacity factor (percent) | Levelized capital cost | Levelized fixed O&M ^a | Levelized variable cost | Levelized transmission cost | Total system LCOE or LCOS | Levelized tax credit ^b | Total LCOE or LCOS including tax credit |
|--|---------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---|
| Dispatchable technologies | | | | | | | | |
| Ultra-supercritical coal | 85% | \$52.11 | \$5.71 | \$23.67 | \$1.12 | \$82.61 | NA | \$82.61 |
| Combined cycle | 87% | \$9.36 | \$1.68 | \$27.77 | \$1.14 | \$39.94 | NA | \$39.94 |
| Advanced nuclear | 90% | \$60.71 | \$16.15 | \$10.30 | \$1.08 | \$88.24 | -\$6.52 | \$81.71 |
| Geothermal | 90% | \$22.04 | \$15.18 | \$1.21 | \$1.40 | \$39.82 | -\$2.20 | \$37.62 |
| Biomass | 83% | \$40.80 | \$18.10 | \$30.07 | \$1.19 | \$90.17 | NA | \$90.17 |
| Resource-constrained technologies | | | | | | | | |
| Wind, onshore | 41% | \$29.90 | \$7.70 | \$0.00 | \$2.63 | \$40.23 | NA | \$40.23 |
| Wind, offshore | 44% | \$103.77 | \$30.17 | \$0.00 | \$2.57 | \$136.51 | -\$31.13 | \$105.38 |
| Solar, standalone ^c | 29% | \$26.60 | \$6.38 | \$0.00 | \$3.52 | \$36.49 | -\$2.66 | \$33.83 |
| Solar, hybrid ^{c,d} | 28% | \$34.98 | \$13.92 | \$0.00 | \$3.63 | \$52.53 | -\$3.50 | \$49.03 |
| Hydroelectric ^d | 54% | \$46.58 | \$11.48 | \$4.13 | \$2.08 | \$64.27 | NA | \$64.27 |
| Capacity resource technologies | | | | | | | | |
| Combustion turbine | 10% | \$53.78 | \$8.37 | \$45.83 | \$9.89 | \$117.86 | NA | \$117.86 |
| Battery storage | 10% | \$64.03 | \$29.64 | \$24.83 | \$10.05 | \$128.55 | NA | \$128.55 |

← 原子力

← 太陽光

出典：USEIA (2022)

米エネルギー情報局は2010年時点で 2016年には風力の方が原子力より安い としている

2010年発電エネルギー技術のコスト比較（米国）

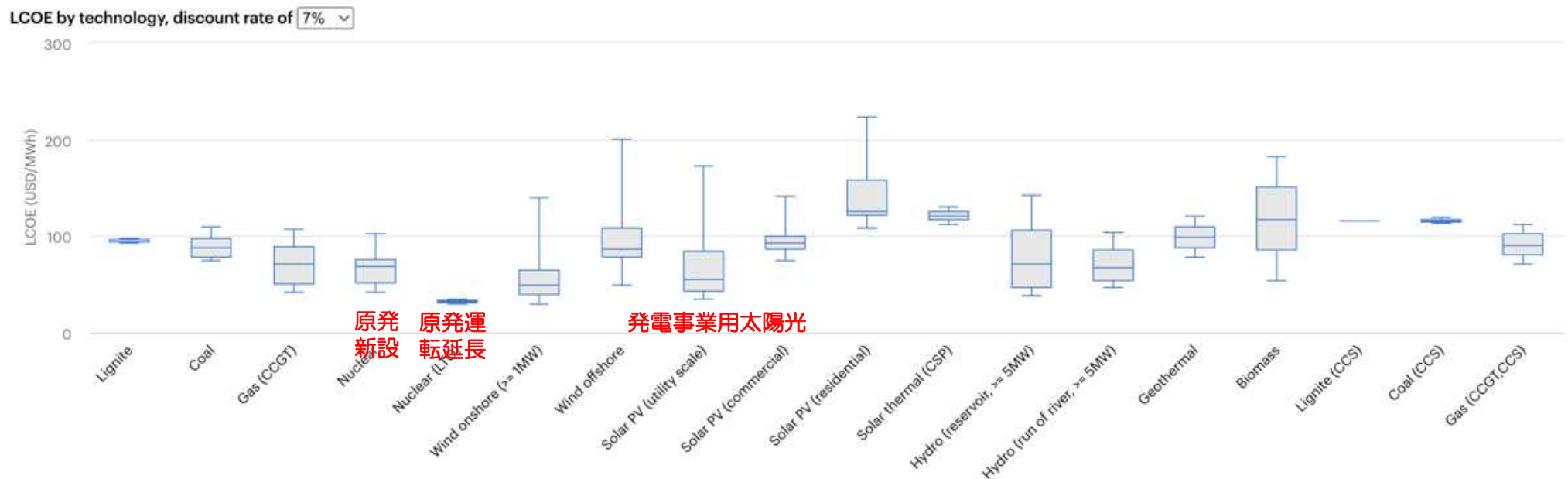
| Plant Type | Capacity Factor (%) | U.S. Average Levelized Costs (2009 \$/megawatthour) for Plants Entering Service in 2016 | | | | Total System Levelized Cost |
|---------------------------------|---------------------|---|-----------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | | Levelized Capital Cost | Fixed O&M | Variable O&M (including fuel) | Transmission Investment | |
| Conventional Coal | 85 | 65.3 | 3.9 | 24.3 | 1.2 | 94.8 |
| Advanced Coal | 85 | 74.6 | 7.9 | 25.7 | 1.2 | 109.4 |
| Advanced Coal with CCS | 85 | 92.7 | 9.2 | 33.1 | 1.2 | 136.2 |
| Natural Gas-fired | | | | | | |
| Conventional Combined Cycle | 87 | 17.5 | 1.9 | 45.6 | 1.2 | 66.1 |
| Advanced Combined Cycle | 87 | 17.9 | 1.9 | 42.1 | 1.2 | 63.1 |
| Advanced CC with CCS | 87 | 34.6 | 3.9 | 49.6 | 1.2 | 89.3 |
| Conventional Combustion Turbine | 30 | 45.8 | 3.7 | 71.5 | 3.5 | 124.5 |
| Advanced Combustion Turbine | 30 | 31.6 | 5.5 | 62.9 | 3.5 | 103.5 |
| Advanced Nuclear | 90 | 90.1 | 11.1 | 11.7 | 1.0 | 113.9 |
| Wind | 34 | 83.9 | 9.6 | 0.0 | 3.5 | 97.0 |
| Wind – Offshore | 34 | 209.3 | 28.1 | 0.0 | 5.9 | 243.2 |
| Solar PV ¹ | 25 | 194.6 | 12.1 | 0.0 | 4.0 | 210.7 |
| Solar Thermal | 18 | 259.4 | 46.6 | 0.0 | 5.8 | 311.8 |
| Geothermal | 92 | 79.3 | 11.9 | 9.5 | 1.0 | 101.7 |
| Biomass | 83 | 55.3 | 13.7 | 42.3 | 1.3 | 112.5 |
| Hydro | 52 | 74.5 | 3.8 | 6.3 | 1.9 | 86.4 |



出典：USNRC
(2011)

最近日本政府が引用する2020年IEA 文献では、原発電は安くないけど運 転延長は安い

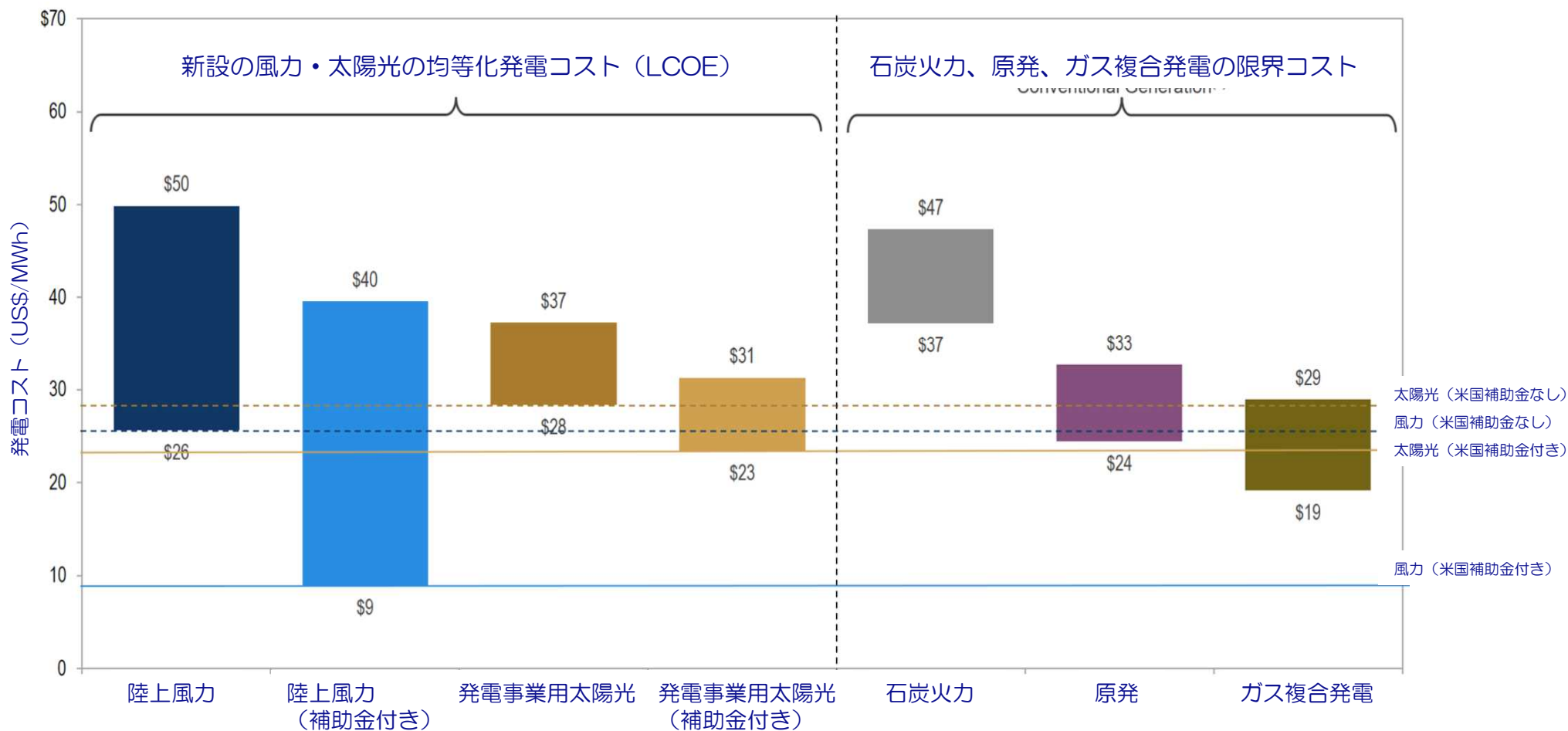
発電コスト比較



IEA. All rights reserved.

出典：IEA/OECD NEA (2020)

しかし、Lazard (2021) では原発 運転コスト（限界コスト）は再エネ新 設コストと同じか高い



出典：Lazard (2021)

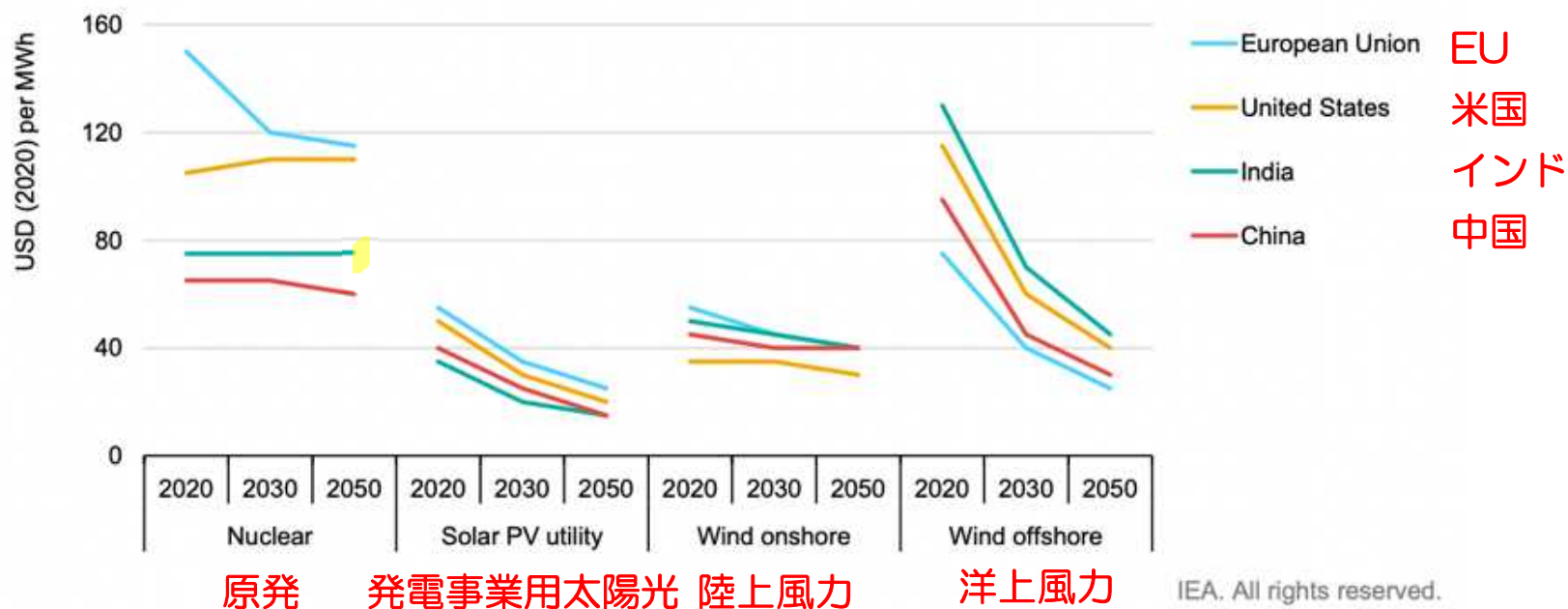
Lazardと日本政府が引用する2020年IEA文献との違いの理由

「（前略）第一に、Lazard の想定値は近年の欧米における建設費用上昇を反映していると思われるのに対し、OECD評価（著者注：2020年IEA文献）ではフランス・米国のデータ提出者の判断により、足元の異常状態がある程度緩和した状況を想定した値が提出されていると考えられること、第二にOECDの評価には欧米以外の国も含まれていることが挙げられる（後略）」（松尾2021）

最近の日本政府が引用する別の2022年IEA文献では原発新設はかなり高くなっている

新設発電コスト比較（2020～2050年）

Levelised cost of electricity for selected technologies and countries in the Net Zero Emissions by 2050 Scenario

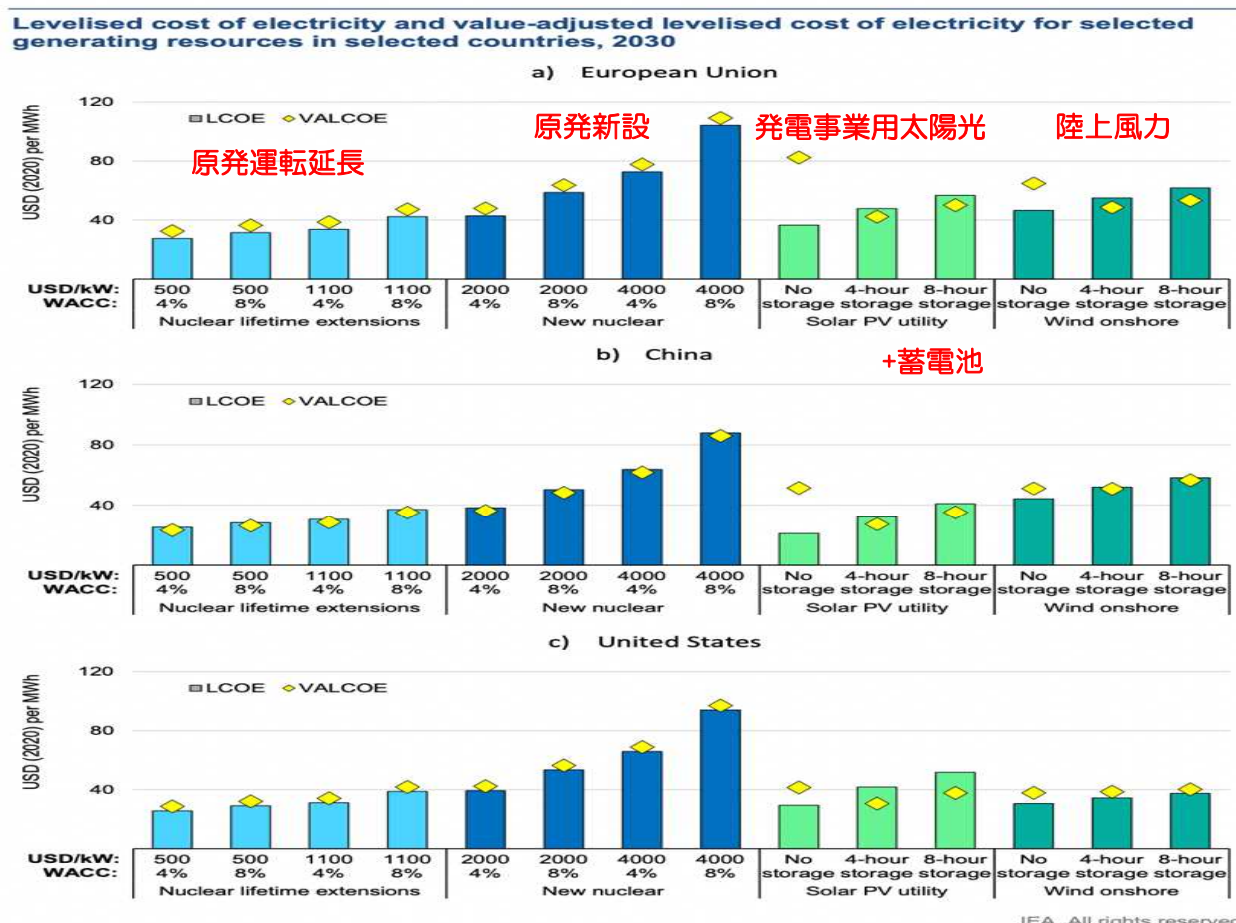


Note: Levelised costs for nuclear include the costs of decommissioning.

Source: IEA (2021), [Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector](#).

同文献では運転延長も安くない（蓄電池を含めても）

各種・各地域発電コスト比較（2030年）



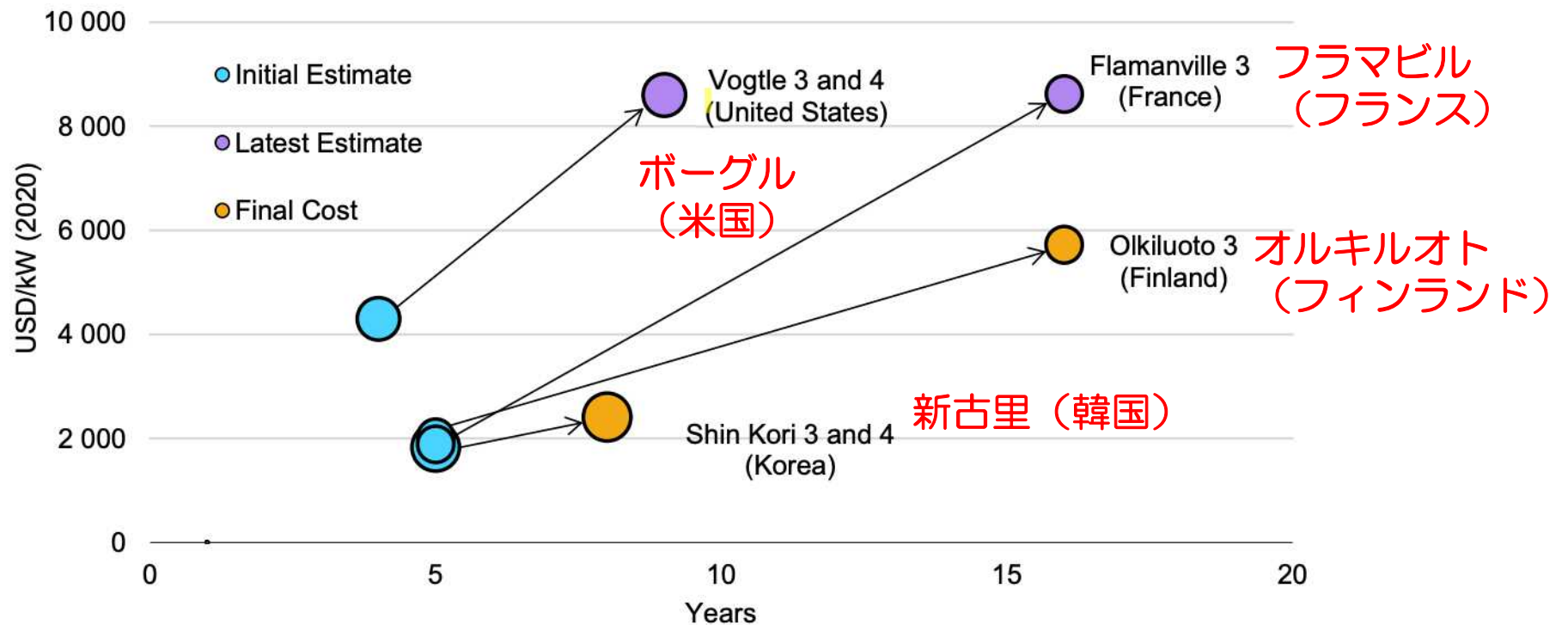
Notes: LCOE = levelised cost of electricity; VALCOE = value-adjusted LCOE; WACC = weighted average cost of capital. VALCOE is a metric in the IEA energy modelling framework that reflects technology-specific LCOEs and contributions to system value. The size of storage is assumed to be one-quarter of that of the renewable energy project (e.g. a 100 MW solar PV array has a 25 MW battery with 4 hours or 8 hours of duration). Construction costs for solar PV and wind onshore and simulated operations are based on the Net Zero Emissions by 2050 Scenario. Source: IEA (2021), [World Energy Outlook 2021](#).

出典：IEA (2022a)

新設はコストも工期も2～3倍

最近建設された、あるいは建設中の原発の建設コストと工期の変化

Overnight cost and construction times for selected recent nuclear projects



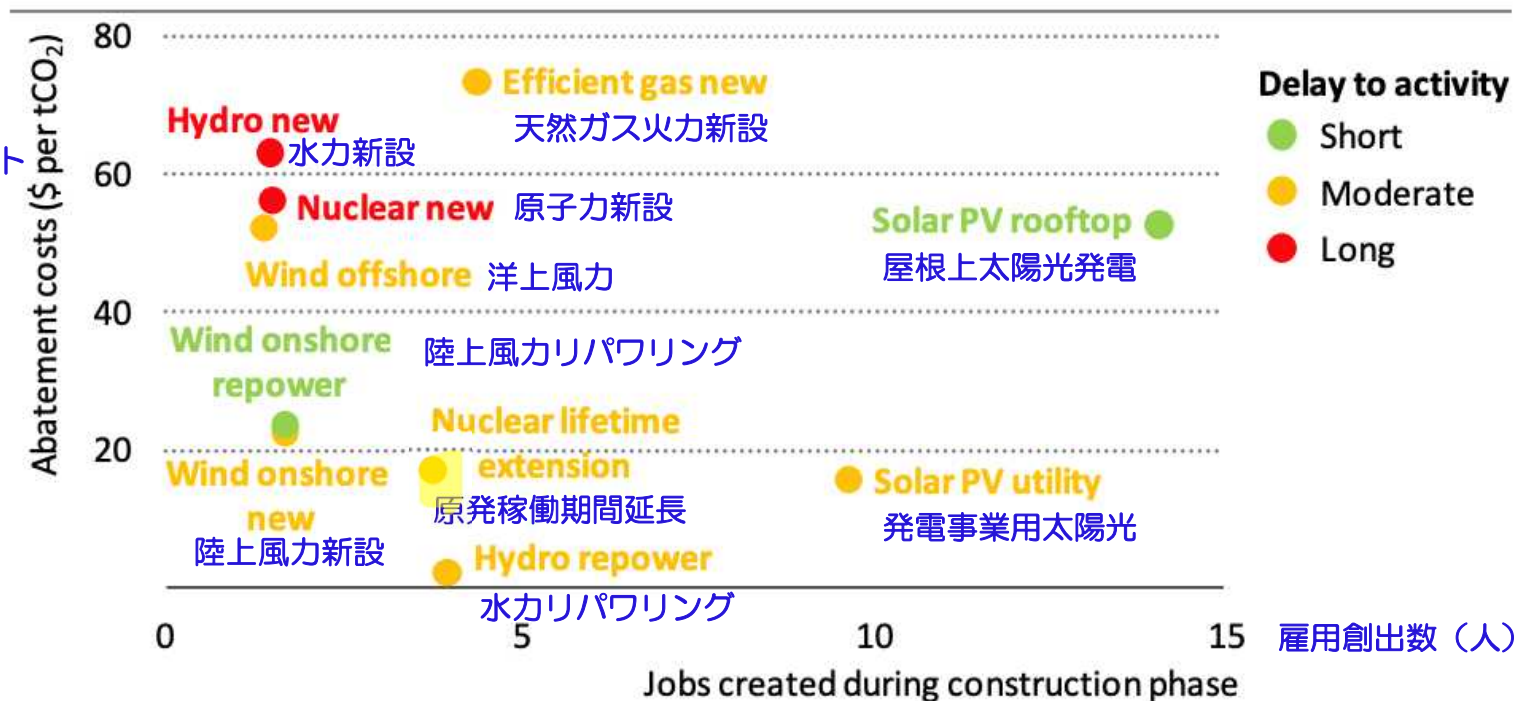
IEA. All rights reserved.

Source: Nuclear Energy Agency (2020), [Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear](#).

温室効果ガス排出削減コストでは、原発 運転延長と再エネ新設はほぼ同じ (3年前のIEA文献)

Figure 2.3 ▶ Job creation per million dollars of capital investment in power generation technologies and average CO₂ abatement costs

温室効果ガス
排出削減コスト
(米ドル/t-
CO₂)



稼働まで
の速さ

出典：IEA
(2020)

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 CO₂ emissions calculated based on displacing coal-fired generation, global averages shown.

しかし最新IEA文献（アップデート）では 温室効果ガス排出削減コストでも運転延 長よりも再エネ新設の方がはるかに安い



<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/job-creation-per-million-dollars-of-capital-investment-in-power-generation-technologies-and-average-co2-abatement-costs>

統合コストの過大視は問題

変動電源を系統に連系するとシステム全体でコストが高くなるという議論があるが.....

- IEA 2016：変動電源の割合が45%でも大きな追加的な費用は発生しない
- Heptonstall and Gross 2020（世界中の統合コストの研究を集めてメタ分析した論文）：統合コストの大きさを過大視するのは問題
- 米国もドイツも「2030年電力80%、2035年電力ゼロエミッション」が目標。それに関して統合コストが大きいから電気代は高くなるという研究論文は（自分が知る限り）あまりない

原発はコストとスピードで負けている
上に固有のリスクおよび問題を持つ

- ✓ 事故
- ✓ 核拡散
- ✓ 放射性廃棄物
- ✓ 攻撃対象

→ゆえに最悪の選択肢

日本でも原発運転延長は高いという 計算あり

原発の発電コスト（建設費なし）

| 60年運転(社会的費用を含まないケース) | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 2022年度 以降の設 備利用率 | 高浜1 | 高浜2 | 高浜3 | 高浜4 | 大飯3 | 大飯4 | 美浜3 | 伊方3 | 玄海3 | 玄海4 |
| 10% | 98.3 | 98.0 | 38.9 | 53.1 | 31.2 | 31.8 | 128.0 | 35.5 | 47.4 | 34.7 |
| 20% | 49.9 | 49.8 | 25.6 | 29.8 | 20.4 | 19.4 | 64.8 | 25.7 | 28.9 | 23.3 |
| 30% | 33.8 | 33.7 | 19.3 | 21.0 | 15.3 | 14.2 | 43.7 | 20.3 | 21.0 | 17.7 |
| 40% | 25.7 | 25.6 | 15.6 | 16.4 | 12.4 | 11.4 | 33.1 | 16.8 | 16.6 | 14.4 |
| 50% | 20.9 | 20.8 | 13.2 | 13.5 | 10.5 | 9.6 | 26.8 | 14.5 | 13.9 | 12.2 |
| 60% | 17.7 | 17.6 | 11.5 | 11.6 | 9.2 | 8.3 | 22.6 | 12.7 | 12.0 | 10.7 |
| 70% | 15.4 | 15.3 | 10.2 | 10.2 | 8.2 | 7.4 | 19.6 | 11.4 | 10.6 | 9.5 |
| 80% | 13.6 | 13.6 | 9.2 | 9.1 | 7.4 | 6.7 | 17.3 | 10.4 | 9.5 | 8.6 |
| 90% | 12.3 | 12.3 | 8.4 | 8.3 | 6.8 | 6.2 | 15.6 | 9.5 | 8.7 | 7.9 |

政府コスト検証WGでの
原発発電コスト試算（建設費あり）
2015年度 10.1円
2021年度 11.5円（2020年）
11.7円（2030年）

| 60年運転(社会的費用を含まないケース) | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|------|------|------|-----------|-----------|------|------|------|------|----------|
| 2022年度 以降の設 備利用率 | 泊1 | 泊2 | 泊3 | 女川2 | 柏崎刈 羽6 | 柏崎刈 羽7 | 浜岡3 | 浜岡4 | 志賀2 | 島根2 | 東海第 2 |
| 10% | 101.0 | 74.7 | 37.5 | 68.9 | 60.3 | 78.7 | 46.6 | 42.8 | 61.8 | 67.7 | 98.1 |
| 20% | 52.7 | 42.8 | 23.8 | 43.4 | 38.0 | 43.8 | 30.4 | 28.4 | 31.6 | 42.4 | 53.8 |
| 30% | 36.0 | 30.3 | 17.6 | 31.9 | 28.0 | 30.6 | 22.7 | 21.4 | 21.6 | 31.1 | 37.3 |
| 40% | 27.5 | 23.6 | 14.2 | 25.4 | 22.3 | 23.7 | 18.3 | 17.3 | 16.6 | 24.7 | 28.8 |
| 50% | 22.4 | 19.4 | 11.9 | 21.2 | 18.6 | 19.5 | 15.4 | 14.6 | 13.6 | 20.5 | 23.5 |
| 60% | 18.9 | 16.6 | 10.3 | 18.2 | 16.0 | 16.6 | 13.3 | 12.7 | 11.6 | 17.7 | 19.9 |
| 70% | 16.5 | 14.5 | 9.2 | 16.0 | 14.1 | 14.5 | 11.8 | 11.3 | 10.1 | 15.5 | 17.4 |
| 80% | 14.6 | 12.9 | 8.3 | 14.4 | 12.7 | 12.9 | 10.6 | 10.2 | 9.1 | 13.9 | 15.4 |
| 90% | 13.2 | 11.7 | 7.6 | 13.0 | 11.5 | 11.7 | 9.7 | 9.3 | 8.2 | 12.6 | 13.9 |

日本でも原発運転延長は高いという 計算あり（続き）

原発の発電コスト（建設費なし）

| 各想定の種類 | コスト (円/kWh) |
|-------------------------------|----------------|
| 2020年コスト検証WG評価額 | 10.1 |
| 2020年（被害想定額政府試算ケース・a） | 11.4 |
| 2020年（被害想定額民間試算最小値ケース・a） | 12.0 |
| 2020年（被害想定額民間試算最大値ケース・a） | 13.7 |
| 2020年（被害想定額政府試算ケース・b） | 16.1 |
| 2020年（被害想定額被害想定額民間試算最小値ケース・b） | 16.6 |
| 2020年（被害想定額民間試算最大値ケース・b） | 18.4 |

出典：諏訪・歌川（2021）

原発が稼働すると電気料金が下がる (下げる)？

「例えば関西電力、九州電力などは、再稼働が進んでおりますので、料金値上げの申請を今回は行っておりません」(2023年2月2日衆院予算委員会での西村経産大臣答弁)

本当？

- 四国電力は再稼働しても値上げ申請
- 原発稼働のコストも決して安いものではなく大きな負担になっているはず
- 原発再稼働した電力会社の負債は、原発再稼働していない電力会社よりも増えている？
- 原発再稼働した電力会社の利益は、原発再稼働していない電力会社よりも好転していない？

本当？（続き）

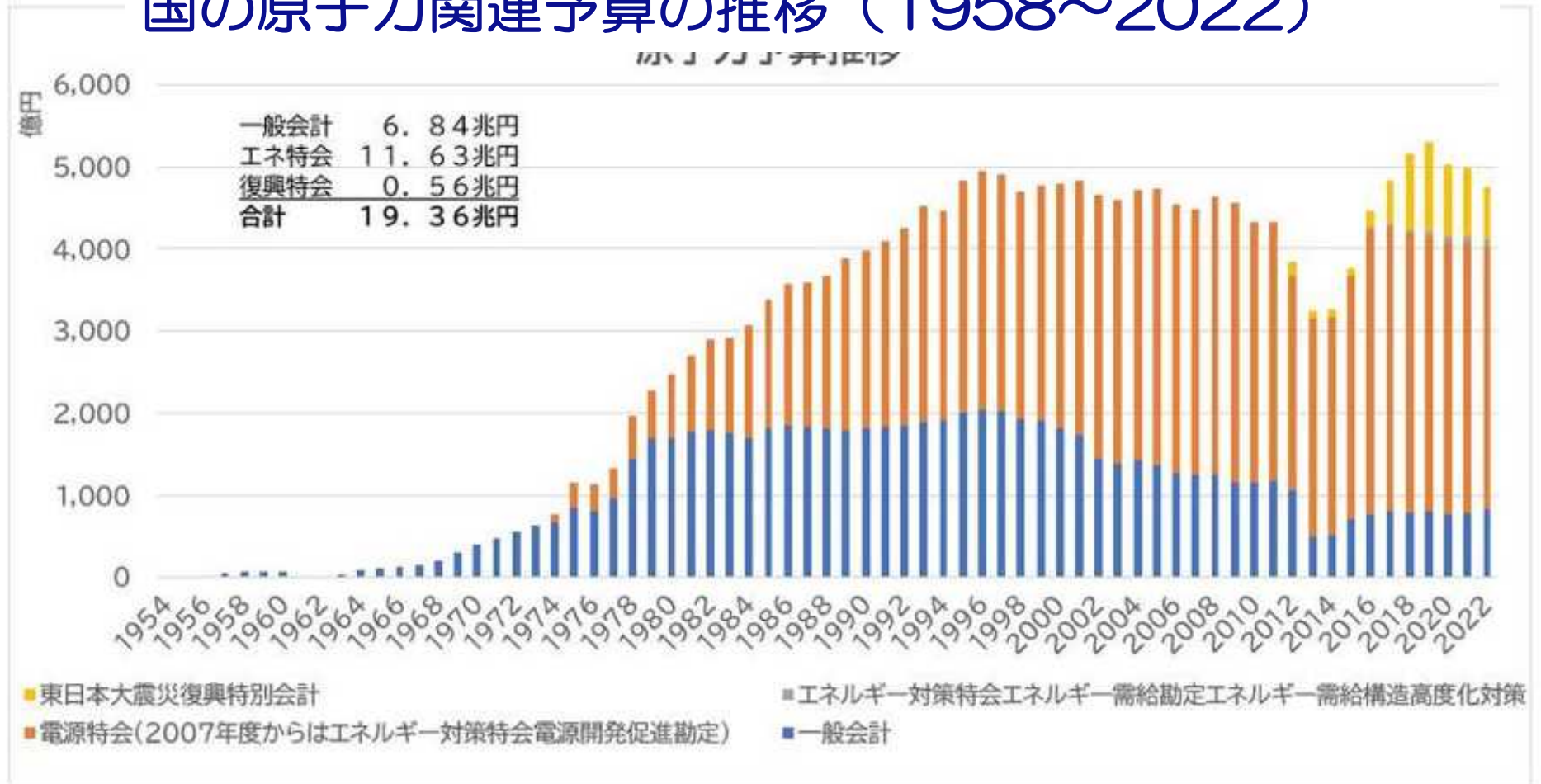
- 電気料金は、化石燃料の価格変化、個別の経営資産の価値評価、事業ポートフォリオ、財務状況など多くの要素が関わるものであり、そんな単純ではないはず

考えられる理由

1. そのようなストーリーを作って原発再稼働を進めるために、とにかく我慢
2. 原発のコストに含まれるべきものが入っていない（会計保守原則違反）
3. すでに様々な形で、税金や電気料金として国民が原発に対してお金を支払っている

原発に払われた多額の税金！

国の原子力関連予算の推移（1958～2022）



出典：原子力白書などをもとに原子力資料情報室の松久保肇氏作成

一方、再エネに払われた税金は多くない！

原子力予算と再エネ予算



注：再エネ予算は過去3回のコスト検証WG資料および田中（2019）から

出典：原子力資料情報室の松久保肇氏作成の図を一部改変

国の研究開発費の大部分は原発

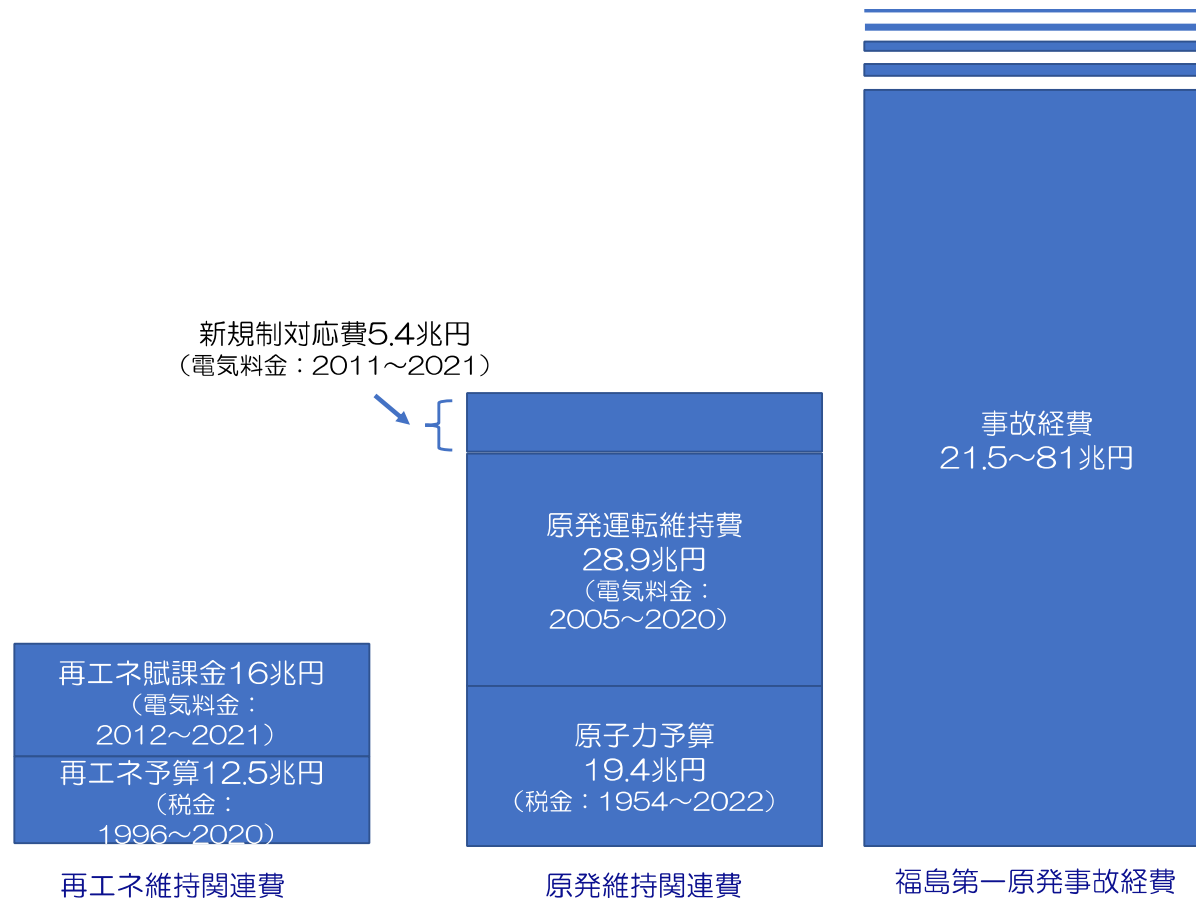
国のエネルギー関連研究開発予算（1974～2021年）



出典：IEA Energy Technology RD&D Budget Database各年版より
原子力資料情報室松久保肇氏 作成

税金も電気代も圧倒的に原発へ！

再エネと原発の国民負担比較図



注：再エネ予算は推計。算入されていない費用や重複している費用もある。

出典：筆者作成

ではなぜ原発推進？

- 利権や既得権益
- 核兵器転用技術ポテンシャルや核兵器産業の維持（原子力潜水艦開発なども）
- 火力発電維持

→ 温暖化対策や経済合理性を越えた理由

まとめと考察

- 原発の新設はかなり高く、運転延長も高くなっている
- しかし、日本ではその認識は乏しい
- 原発は温暖化対策を遅らせるというのも理解されない
- 世界では、原発運転延長 vs. 再エネ新設（+蓄電池）も勝負は見えている（ゆえに小型炉に期待）
- 日本ではこれまで再エネよりも多くの税金と電気料金が原発へ行っている
- 核兵器との関係は日本ではタブー？常識？核武装？
- S+3Eはさらに形骸化

参考文献

- Bloomberg New Energy Finance (2021) by T. Brandily & A. Vasdev, “[2H2021 LCOE Update](#),” 21 Dec 2021 (subscriber content).
<https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery/covid-19-and-energy-setting-the-scene#abstract>
- IEA (2022a) Nuclear Power and Secure Energy Transitions From today’ s challenges to tomorrow’ s clean energy systems.
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/0498c8b8-e17f-4346-9bde-dad2ad4458c4/NuclearPowerandSecureEnergyTransitions.pdf>
- IEA (2022b) Job creation per million dollars of capital investment in power generation technologies and average CO2 abatement costs, 26 Oct 2022.
<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/job-creation-per-million-dollars-of-capital-investment-in-power-generation-technologies-and-average-co2-abatement-costs>
- IEA/OECD NEA (2020) Projected Costs of Generating Electricity 2020.
<https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>
- IEA (2020) Sustainable Recovery: World Energy Outlook Special Report.
<https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>
- IEA (2014) “The Power of Transformation”
http://www.nedo.go.jp/library/denryoku_henkaku.html (NEDOによる日本語訳)
- Lovins A. (2022) US nuclear power: Status, prospects, and climate implications, The Electricity Journal, Volume 35, Issue 4, 2022, 107122, ISSN 1040-6190.
<https://doi.org/10.1016/j.tej.2022.107122>.
- 松尾雄司 (2021) 発電コスト評価と電源別限界費用, 日本原子力学会誌, Vol.63, No.7
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/63/7/63_507/_pdf

参考文献（続き）

- 日本経済研究センター（2019）「続福島第一原発事故の国民負担」。
https://www.icer.or.jp/icer_download_log.php?post_id=43790&file_post_id=43792
- 大島堅一（2021）原発のコスト, CCNEオンライン企画, 2021年7月5日。
http://www.ccnejapan.com/wp-content/20210705CCNE_Oshima.pdf
- 諏訪亜紀・歌川学（2021）結局、原子力発電のコストはいくらなのか？モデル発電所方式に基づくコスト分析、京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座コラム No.252
https://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable_energy/stage2/contents/column0252.html
- 田中信一郎（2019）「原発ゼロ」と「再エネ主力電源化」～その予算と戦略は？～」第76回国会エネルギー調査会（準備会）発表資料、2019年2月28日。
<https://www.dropbox.com/s/dzo51mkt28429xk/%E5%9B%BD%E4%BC%9A%E3%82%A8%E3%83%>
- USEIA（2022）Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2022, March 2022.
https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
- USEIA（2019）“Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2019” , Feb. 2019.
https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
- USEIA（2011）Annual Energy Outlook 2011
<https://www.osti.gov/servlets/purl/1019039>
- USNRC（2011）Levelized Costs of New Generation Resources in the AEO 2011
<https://www.nrc.gov/docs/ML1202/ML12026A753.pdf>