

電源別発電コスト評価について

－ OECD/NEA, IEAによる評価報告書を中心に－

令和3年3月31日

日本エネルギー経済研究所

松尾 雄司

Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition

Projected Costs of Generating Electricity

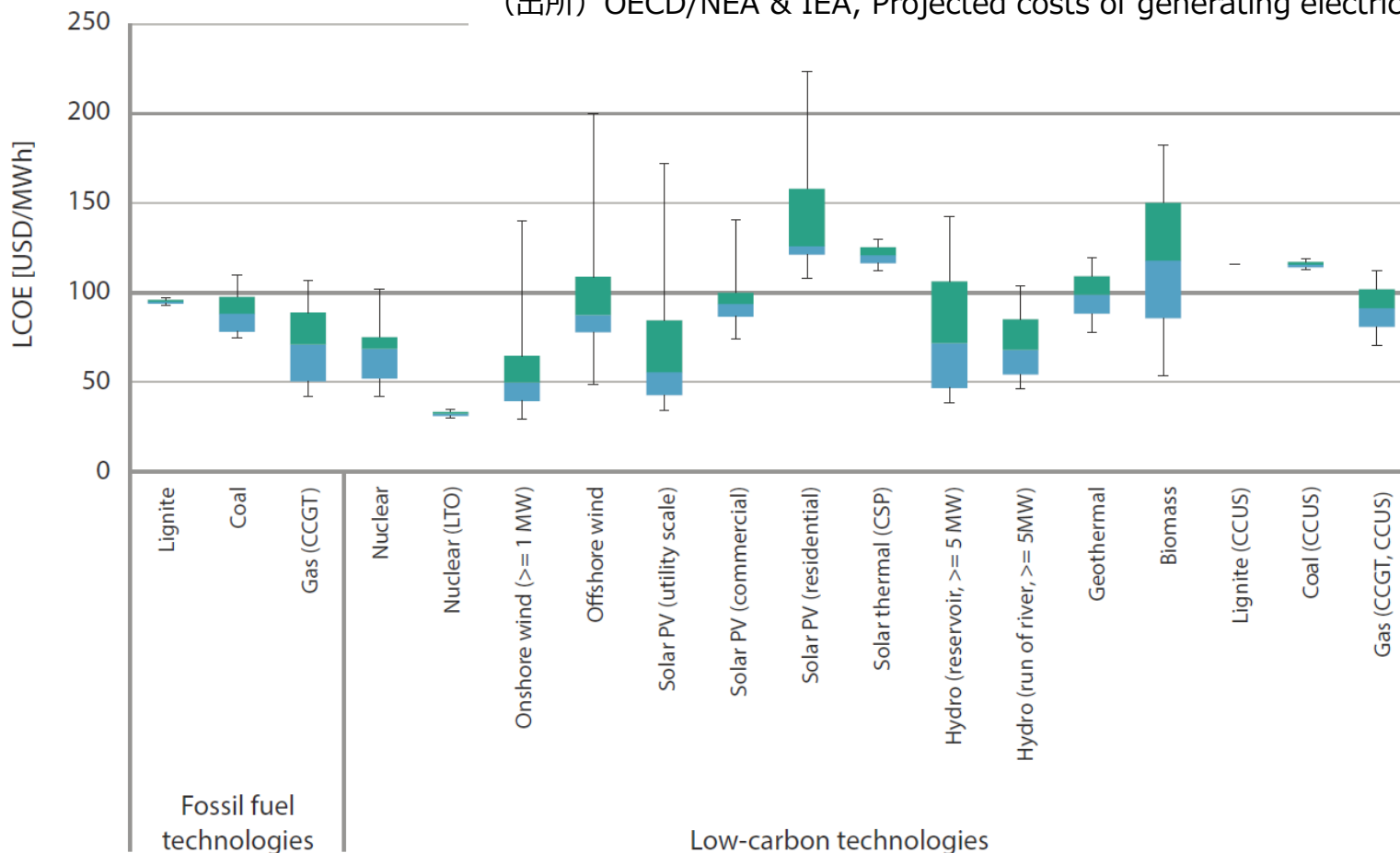
2020 Edition



- OECD原子力機関（NEA）及び国際エネルギー機関（IEA）による電源別発電単価（Levelized Cost of Electricity: LCOE）の評価。1983年以降継続的に実施しており、最新の第9版は2020年12月9日に公表された。
- 世界各国、主にOECD加盟国からのデータ提供に基づき、統一的な条件のもとで試算を実施。日本からは発電コスト検証ワーキンググループによる2015年の評価結果（2030年モデルプラント）に基づいてデータを提出。
- 第9版では従来と異なる以下の取り組みが注目される。
 - (1) 二酸化炭素回収・利用・貯留技術（CCUS）や原子力の寿命延長（Long-term Operation: LTO）のLCOEの評価
 - (2) 蓄電池のコストの評価（Levelized Cost of Storage: LCOS）
 - (3) 非OECD諸国（ロシア、ルーマニア、中国、インド、ブラジル）のデータの掲載
 - (4) 新たな評価指標：価値調整済みLCOE（Value-adjusted LCOE: VALCOE）の提示

OECDによるLCOEの評価結果例

(出所) OECD/NEA & IEA, Projected costs of generating electricity 2020 Edition



- 割引率は一意に定めることのできない値であるため、3つのケース（3%、7%、10%）について試算。上図は7%の評価結果。
- 国ごとにLCOEの評価結果が異なるため、ここでは縦軸に幅をもって表示している。

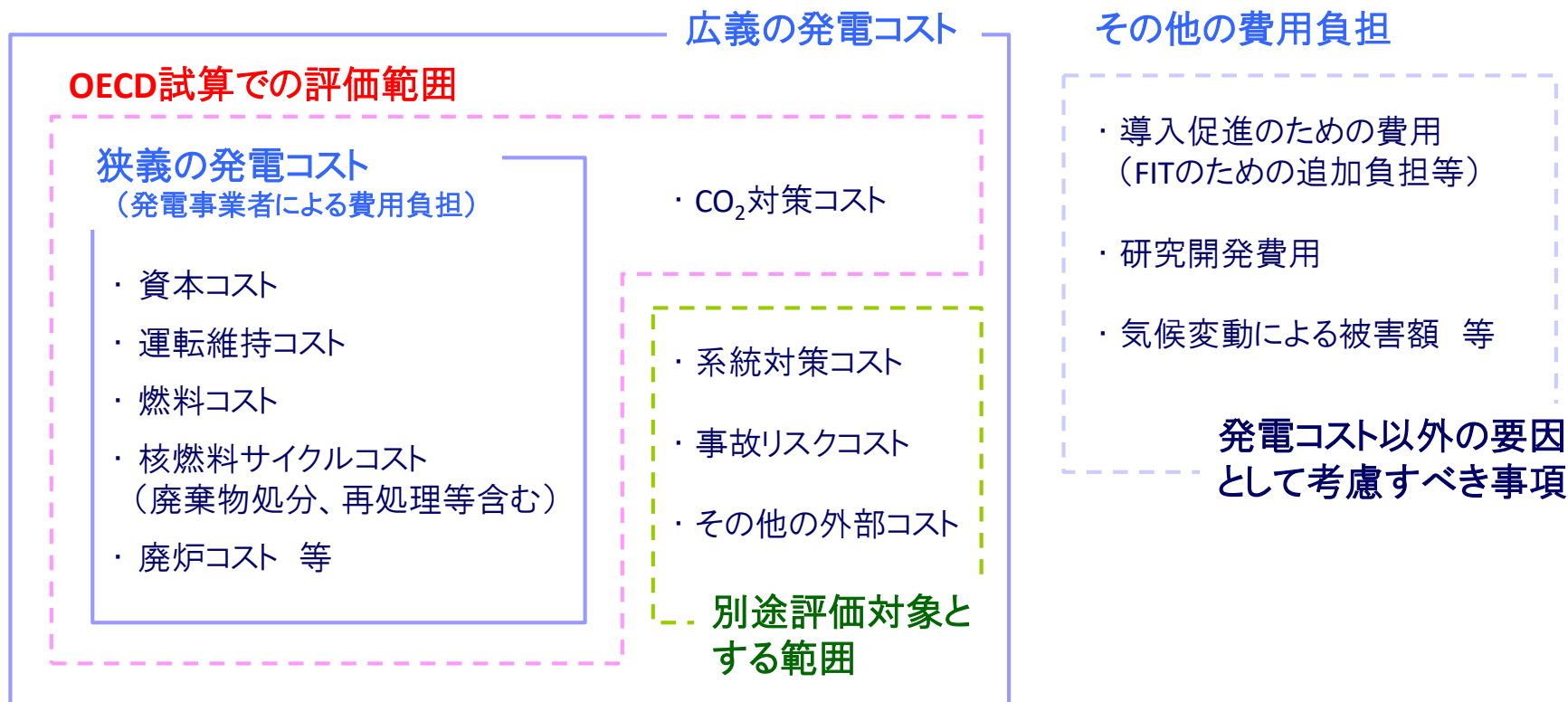
OECD試算の基本的な考え方と前提条件

- 各種の技術自体のパフォーマンスを評価。→ 社会的、政策的、法的な要因等については別途の考慮とする。例えば、原子力発電所の稼働年数については世界一律で60年とする。
- 各電源の稼働年数や設備利用率について、原則として統一的な値を想定。但し、社会的・政策的要因等を除いても国ごとに異なるものについては、各国からの提出データを使用。
 - 各種費用（プラント建設費、燃料費等）・・・国ごとの人件費や資材価格の相違等を反映
 - 火力発電の効率等・・・それぞれの国における技術自体のパフォーマンスの差
 - 太陽光、風力等の設備利用率・・・当該技術をその国で利用するための制約条件（適地制約等含む）

前提条件例（2020年試算）

	石炭火力	天然ガス 火力	原子力	水力	風力	太陽光
稼働年数	40年	30年	60年	80年	25年	25年
設備利用率	85%	85%/30%	85%	(国ごとに設定)		
廃止措置費用 (建設費に対する比)	5%	5%	15%	5%	5%	5%

コスト評価の範囲



- 基本的に「狭義の発電コスト」、即ち電気事業者の費用負担分に相当するものを対象として評価。但し例外として、より広義の発電コストのうちCO₂対策コストのみ加算されている（2020年試算では30ドル/tCO₂）。
- その他の「広義の発電コスト」（外部コスト・系統対策コスト等）については、別途詳細に評価することを想定（OECD内外の諸機関等において評価を実施）。
- 技術以外の要因（社会的・政策的等）によって変動する費用負担は、「発電コスト」の評価の対象外と位置付けられる。

発電コストの評価にあたって考慮すべき点

※ 前回（2015年試算）同様、モデルプラント方式により各電源のLCOEを網羅的に評価することが有用。但し、例えば以下の諸点について考慮することが必要と思われる。

評価の公平性・網羅性

- 再生可能エネルギーのコスト低下や原子力の追加的安全対策費用など最新の状況を十分に踏まえた上で、新たなデータのもとに、全ての電源について偏ることなく評価を行うべき。
- 更に、今後のエネルギーミックスを考える上で重要となる新たな電源のコストを試算することも有用。

LCOE評価の範囲

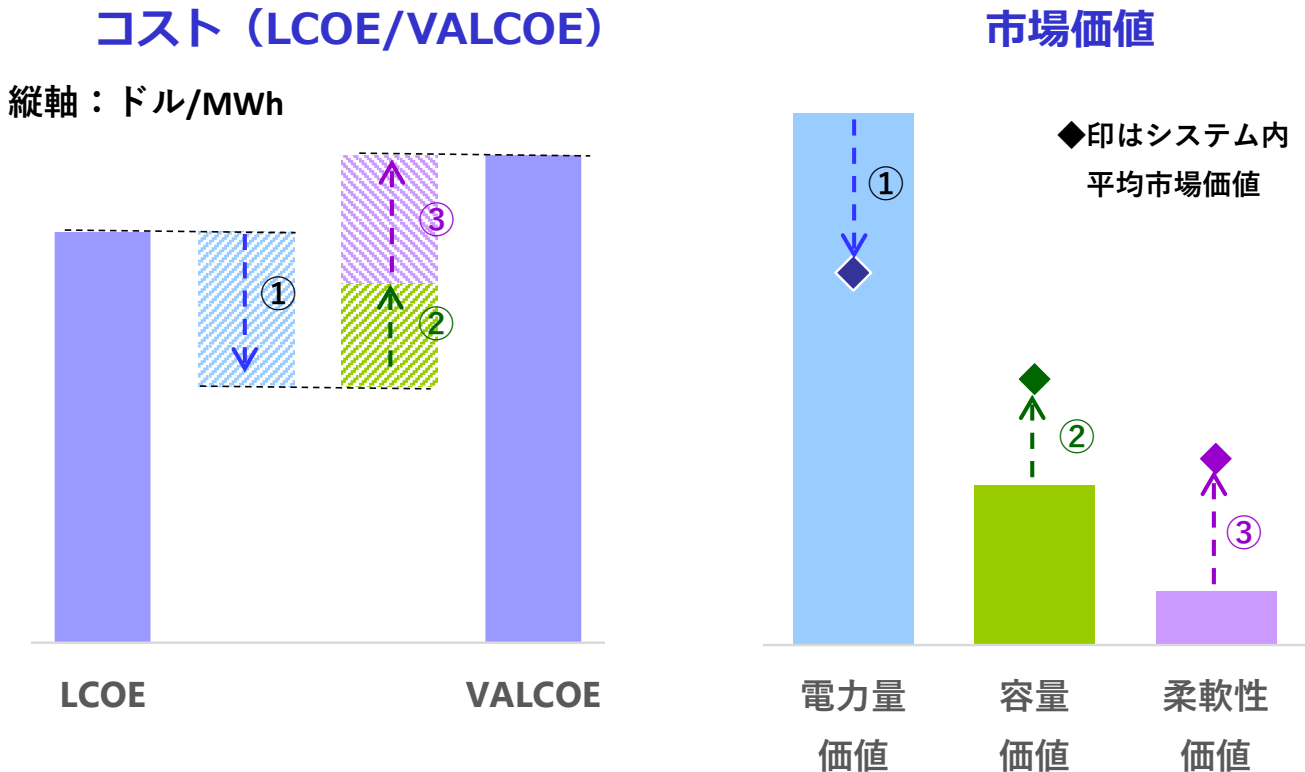
- OECD試算では基本的に電気事業者の費用負担分に相当するものを対象として評価。但し例外として、それ以外のもののうちCO₂対策コストのみ加算されており、これはOECD試算に限らず、現状では一般的な方法であると思われる。
- 本来は発電量に応じて変化する費用、即ち「分母（発電量）が大きくなると分子（費用）も大きくなる」ような費用のみをLCOE評価の対象とすべき。

システムコストの評価

- 今後VREの大量導入が予想される中で、電源単体のLCOEのみではなく、システム全体にかかる費用についての議論が別途必要となる。但し、その前提としてまずはLCOEの評価を正しく行うこと自体の意義が薄れるわけではない。

価値調整済みLCOE (VALCOE)

(出所) OECD/NEA & IEA, Projected costs of generating electricity 2020 Editionを基に作成



- 価値調整済みLCOE (Value-adjusted LCOE: VALCOE) とは、再生可能エネルギーの大量導入等に伴う電力市場の変化を経済性評価に取り入れるためにIEAが考案した指標。ただし後述の通り同様の試みは他にも多くなされており、検討途上の段階にあると言える。
- あるエネルギーミックス内で、各電源の①電力量価値、②容量価値、及び③柔軟性価値を計測。「価値が低い電源」を「相対的にコストが高い」電源と見做し、市場の平均価値から当該電源の価値を引いた値をLCOEに加算することで、価値によるコストの補正を行う。

システムコストを考慮したVALCOE以外の評価指標

(出所) 松尾, 村上, 荻本, (2019). 第38回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, 20-4に加筆

1) 統合費用 (Integration cost, System cost)

電力部門の総費用からLCOE比例分を差し引いたもの。世界各地域を対象に多数の評価例あり。

2) System value

IEAによる概念 (例えば“Next generation wind and solar power” (2016)) 。

3) Levelized avoided cost of electricity (LACE)

米国エネルギー省 (DOE/EIA) による指標。Annual Energy Outlookで用いられている。

4) Enhanced levelized cost/Wider system impact

英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) による評価指標。電源別限界費用。

5) System LCOE (Hirth et al., 2016)

電源別限界費用。電源の価値単価と需要の価値単価の差をLCOEに加算して推計。

6) Marginal system LCOE (Ueckerdt et al., 2013; Reichenberg et al., 2018)

電源別限界費用。2技術系にのみ適用される。

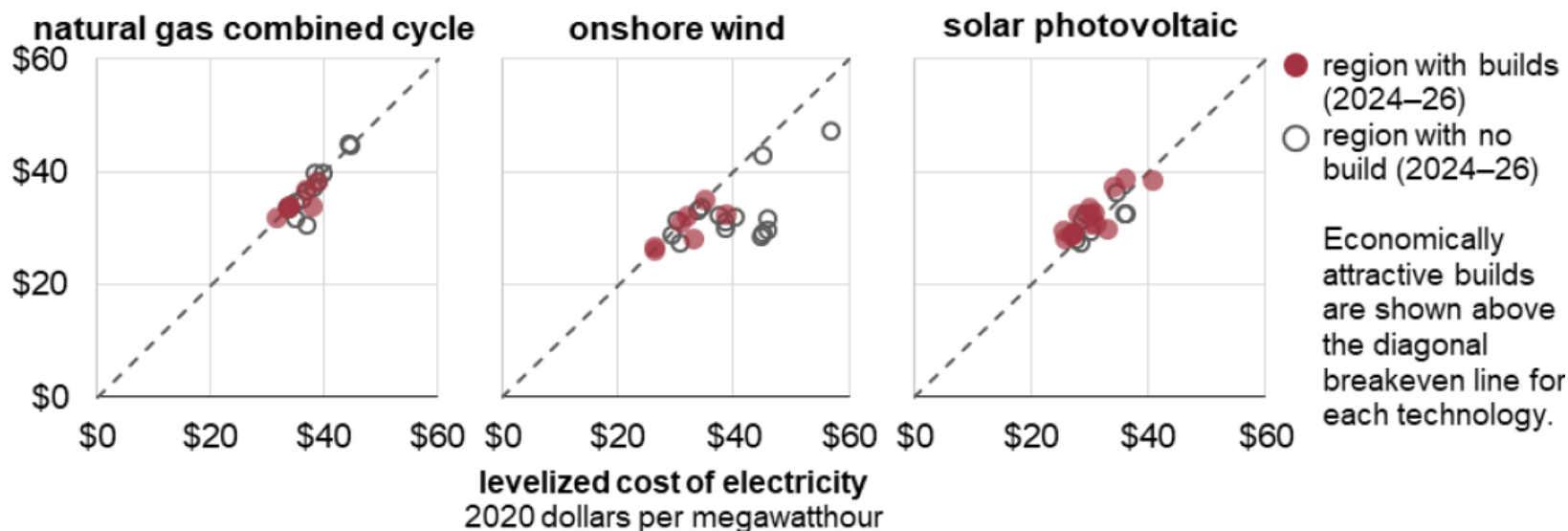
7) 相対限界System LCOE/平均System LCOE (Matsuo and Komiyama, 2021)

電源別限界費用と平均費用。

米エネルギー省（DOE）による平準化回避費用 (Levelized avoided cost of electricity: LACE)

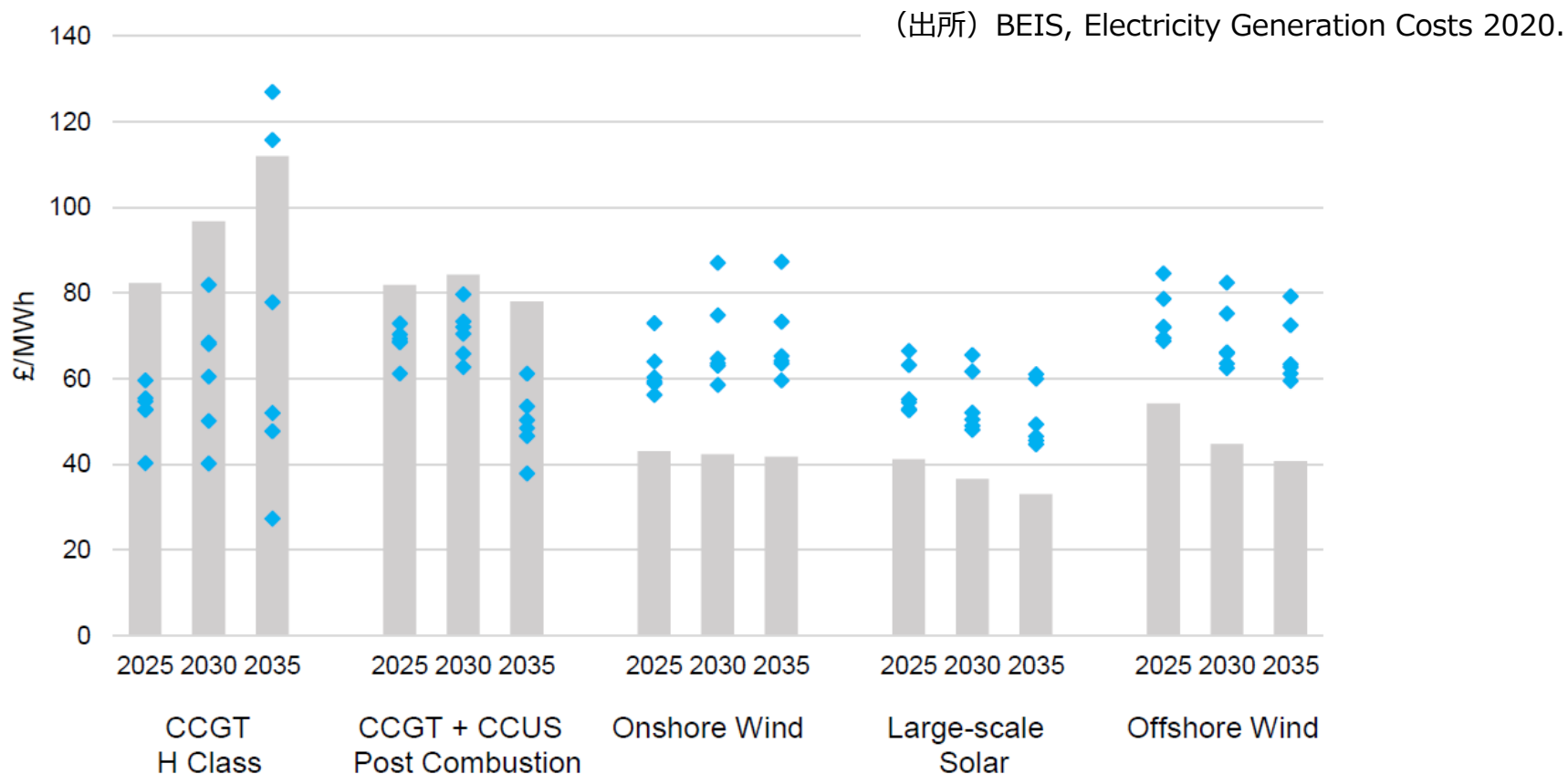
(出所) DOE/EIA, Levelized costs of new generation resources in the Annual Energy Outlook 2021.

levelized avoided cost of electricity
2020 dollars per megawatthour



- 米エネルギー省・エネルギー情報局（Department of Energy, Energy Information Administration）は電源の市場価値単価を平準化回避費用（LACE）と名付け、LCOEとは別途評価を行っている。
- LACEはエネルギーミックスによって異なり、また地域によっても異なる。ある電源のLACEがLCOEを上回れば、それを追加的に導入することが経済合理性をもつ。

英BEISによる拡張平準化コスト (Enhanced levelized cost)



- 英ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) は従来のLCOE (図中灰色) に加えて、①卸電力市場、②容量市場、③アンシラリーサービス市場、及び④電力系統への影響を加味した“Enhanced levelized cost”を評価 (図中◆印)。
- これらの影響は、当該電源をどのようなエネルギーミックスの中に追加するかによって大きく異なる。ここでは、2050年に電力部門を脱炭素化する6つのシナリオ (再エネ偏重ケース/原子力偏重ケース/中庸ケース×電力需要低位/高位) について評価を実施。

VALCOEと類似した指標：電源別限界費用

L. Hirth, F. Ueckerdt and O. Edenhofer, (2016). *Energy J.*, 37(3), 1-27.

Y. Matsuo and R. Komiyama, (2021). *Sustain. Sci.*, 16, 449-461.

System LCOE (Hirth et al., 2016)

- VALCOEと類似した指標。以下の式によって定義される。

$$L_{HUE, i} = C_i - V_i + V_L$$

C_i : 電源 i のLCOE

V_i : 電源 i の価値単価

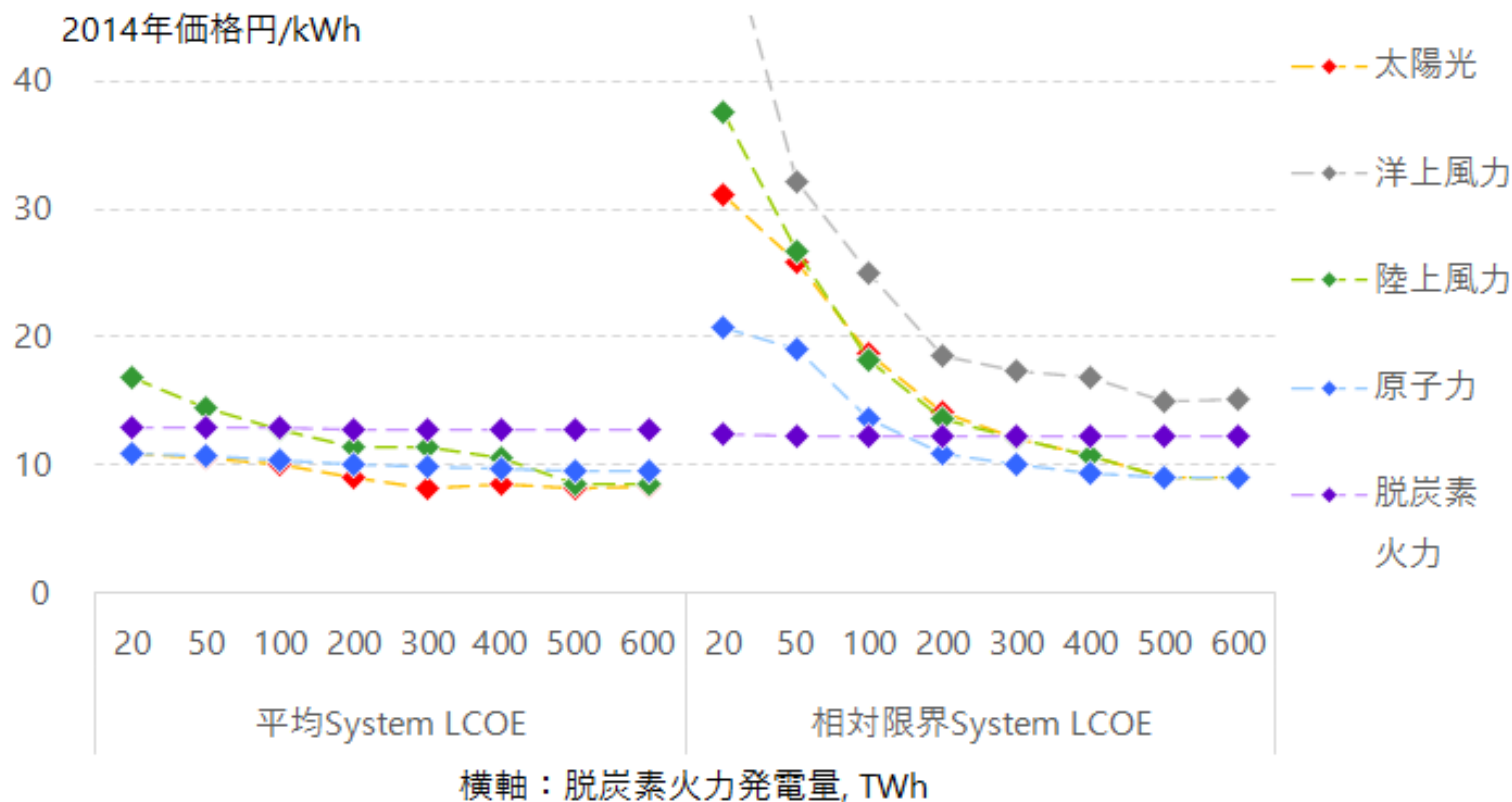
V_L : 需要平均の価値単価

相対限界System LCOE (Matsuo and Komiyama, 2021)

- あるエネルギーミックスにおいて2種類の電源の発電量を代替した際に全体の総システム費用が上昇するか・低下するかを計測することにより、それらの電源の相対的な経済性を評価する指標。
- ある「基準技術」（例えばその系で支配的な火力発電）の相対限界System LCOEは一定値 L_0 を取るとする。その上で、基準電源0を1kWh分電源 i で代替した際の総費用の上昇を L_I とし、電源 i の相対限界System LCOE L_i を $L_i = L_0 + L_I$ で定義する。

日本の評価例：電源別限界費用と平均費用

Y. Matsuo and R. Komiyama, (2021). *Sustain. Sci.*, 16, 449-461.を基に作成



- 2050年に日本で電力部門の脱炭素化を実現することを想定し、(1)変動性再生可能エネルギー、(2)その他の再生可能エネルギー、(3)原子力、(4)脱炭素火力（水素など）によって全電力を供給することを想定。脱炭素火力を基準電源として表示。
- 火力発電量が小さくなり、再生可能エネルギー比率が高まるにつれて、太陽光・風力の限界費用は顕著に上昇する。

システムコスト・電源別限界費用から得られる示唆

※ システムコストを考慮した評価指標の多く（VALCOE, Enhanced levelized cost, System LCOE_HUE, 相対限界System LCOEなど）は、「電源別限界費用」の評価を試みるものと整理される。これらの指標の評価により、以下のような理解が得られる。

- 各電源のコスト（経済性）は単一の値によって示されるものではなく、**それが存在するエネルギーミックスの状況に応じて変化する**。
- ある電源の限界費用が他電源よりも低い場合にはその導入量を拡大させることが経済合理性をもち、高い場合には経済合理性を失う。換言すれば、「最適なエネルギーミックス」においては理論上、全ての電源の限界費用が同じ値をもつ。
- ある電源の導入量が小さい場合にはその限界費用は比較的安く、**導入量が大きくなるにつれて限界費用は上昇する**。特に、均衡点（＝最適なエネルギーミックスにおける導入量）を超えて導入を進めると限界費用が著しく上昇し得るため、**単一の電源に過度に依存するシナリオは多くの場合、総コストの上昇を招く**。
- 資源制約や社会的要因等によって導入が均衡点以前で抑えられている電源は、他電源よりも低い限界費用をもつ。逆に、政策的理由により均衡点を超えて導入が進められている電源は、他電源よりも高い限界費用をもつ。
- 電源別限界費用の評価は、建設費や運転維持費、最大設備利用率といったLCOEと共通する要素に依存する。このため、電源別限界費用の評価を行うためにも、**まずはLCOEを正確に評価することが重要**となる。