

システム統合を反映した 統合コストの一部を考慮した発電コスト（仮称）の試算

2021年8月4日

東京大学生産技術研究所
日本エネルギー経済研究所

荻本和彦
松尾雄司

検討の目的

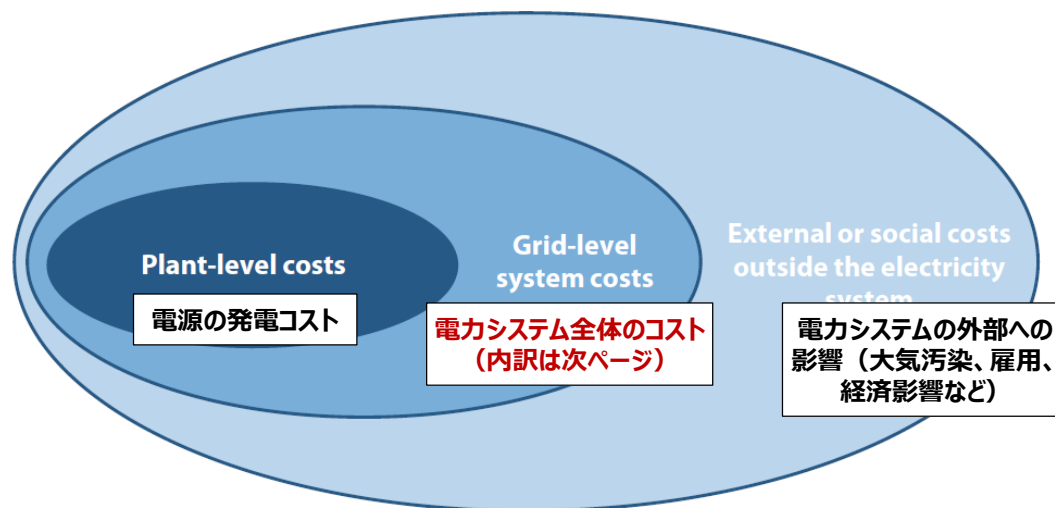
- **均等化発電コスト（LCOE）**により算出される電源コストは、電源ごとの固有の費用に基づいて、資本費や燃料費といった電源のコスト構造の比較に使用することができる。LCOEは、理解しやすい反面、それによる表現には限界がある。
- 具体的には、各電源から生産される電力が、需要に対してどのように有効に使われるかは、エネルギーミックスや地理的・時間的な需要の構造に依拠するが、LCOEはそういった電力需給の変化に伴うコストを考慮することができない。
- また、現実的に、すでに電力システムは存在しており、今後の電源構成を検討していくにあたって、ゼロからの設備形成を想定するわけではないため、ある電源を導入した際に、電力システム全体として追加的にかかるコストも評価していく必要がある。

本検討で取扱う、

- **統合コストの一部を考慮した発電コスト（仮称）（LCOE*）**では、あるエネルギーミックスに対し各種の電源を一定量（限界的に）増加させたとき、電力システム全体で変化する費用をとらえ、これを当該電力を増加させた正味の発電電力量で除した費用を、当該電源の追加によって発生するコストと定義することができる。
- 本検討では、電力需給解析を用いて統合コストの一部を考慮した発電コスト（仮称）（LCOE*）を計算する。すなわち、一定の条件のもとで、ある電源を電力システムに受け入れるための費用を含めた電源コストを評価する。
- この評価によって、例えば、現状のエネルギーミックスに、さらに太陽光を追加した場合に発生する、火力の起動停止や揚水損失などのコストを反映した、電源別のコスト比較を行うことができる。

(参考) OECDにおける電力コストの議論①

- 発電総コスト (Full cost of Electricity Provision) は以下の3カテゴリーに分類される。
 - (1) 発電所のコスト (例: LCOE)
 - (2) 電力システム全体のコスト (例: 再エネ導入に伴う系統安定化費用)
 - (3) 外部費用 (例: 大気汚染、事故、国土利用の変化や資源の目減り、雇用・経済・イノベーション・エネルギー安全保障への影響等に伴う費用)
- 今回の分析対象は、上記(2) 電力システム全体のコスト (Grid-level system cost) の一部。これは、変動再エネの大量導入に伴い注目されている比較的新しいコストの概念。

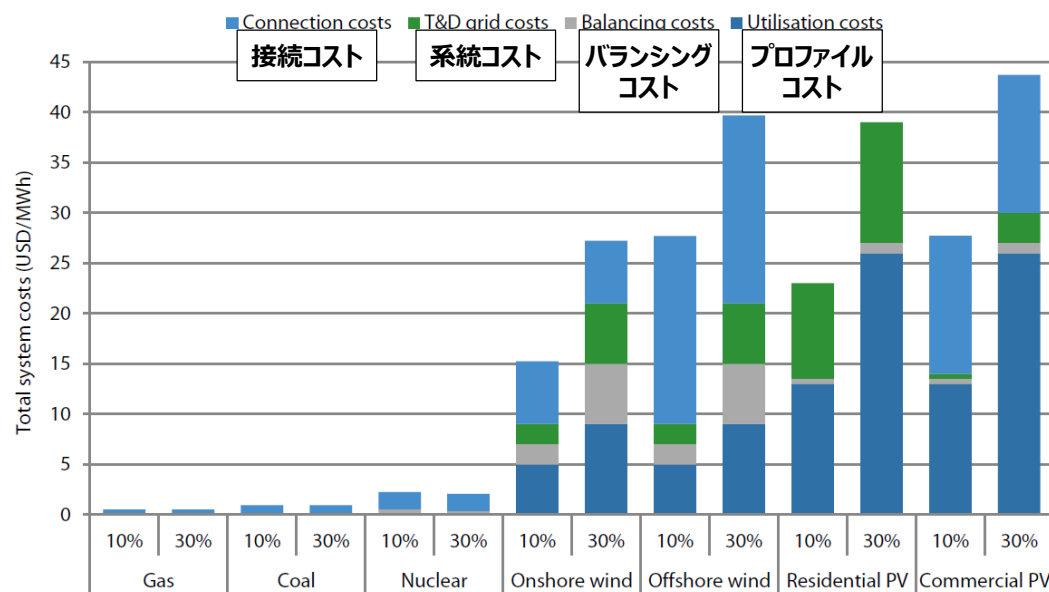


Source: NEA, 2012b.

Source: OECD (2018) The Full Cost of Electricity Provision

(参考) OECDにおける電力コストの議論②

- (2) 電力システム全体のコストは、さらに以下の3カテゴリーに分類できる。
 - ① プロファイルコスト : 変動再エネ発電量が上下することに伴う、既存火力等の運用変更と発電効率低下に伴うコスト
 - ② バランシングコスト : 変動再エネ発電量が予測不可能なことに伴う、既存火力等の発電量の調整や予備力の確保に伴うコスト
 - ③ 系統・接続コスト : 変動再エネ適地と需要地がズれることに伴う基幹系統整備費用や基幹送電網につなぐコスト
- 今回の分析対象は、上記①と、②の一部（出力抑制など）。



注1 : 上記は特定国の分析ではなく、既存の論文等の平均値を集計したもの。

注2 : 原子力は出力調整可能（ディスパッチャブル）という設定。

(出所) OECD (2018) The Full Cost of Electricity Provision

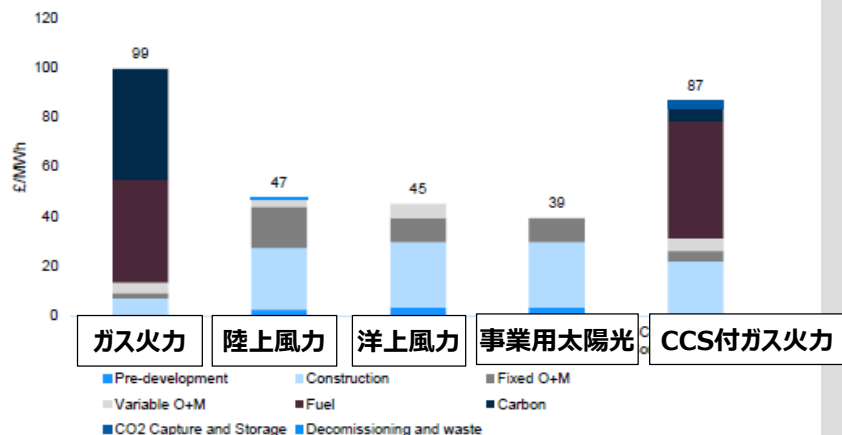
(参考) 世界における検討

- 太陽光・風力の大量導入と発電コストの低下に伴って、各電源が電力システム全体に与える影響も分析しないと、コストの全体像を捉えられないという考え方が、世界各国で広がってきている。
- 例えば、**OECD、米国、英国**などで**試算**が行われており、政策にも活用されている。
- **LCOEに比べ、分析や表現手法が国際的に確立しておらず、各国が試行錯誤で取り組んでいる。**

- 英国（ビジネス・エネルギー・産業戦略省）では、モデルプラント方式を採用してkWhあたりの発電コスト（LCOE）を試算。
- 最新（2020年）の報告書（5年に1度、コストを試算するもの）で、電力システム全体への負荷を考慮したLCOEを初めて試算。

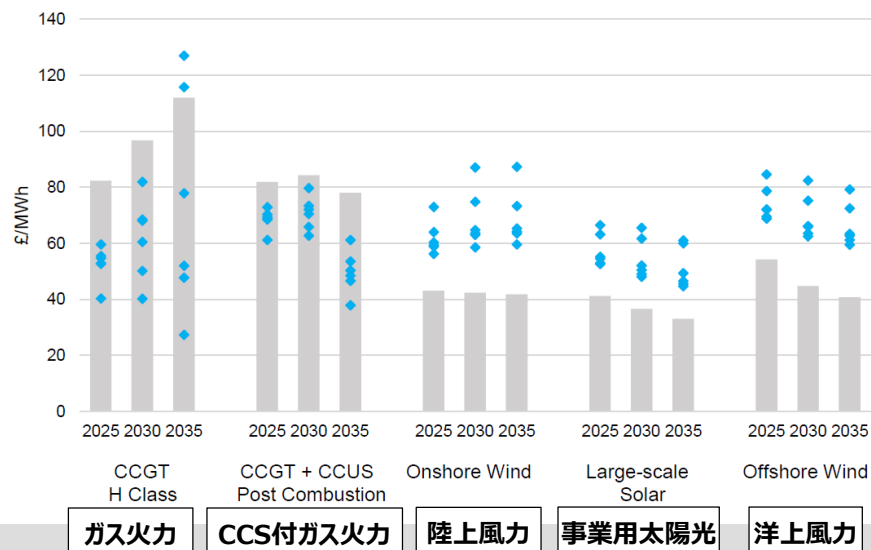
電源別の発電コスト（LCOE）

Chart 4.5: Levelised Cost Estimates for Projects Commissioning in 2030, £/MWh, in real 2018 prices



電力システム全体への負荷を考慮したLCOE

- 灰色の棒グラフが、LCOE。
- 青色のドットが、電力システム全体への負荷を考慮したLCOE（複数のシナリオを想定しているため、複数の点が表示されている）



LCOEの限界を越える電源評価法「システム価値」

IEAの“System Integration of Renewables, An update on Best Practice”

(2017) (翻訳は、NEDOより公開中:https://www.nedo.go.jp/library/system_integration_of_renewables.html)

では、LCOEの限界とそれを越える方法について、次のように述べられている。

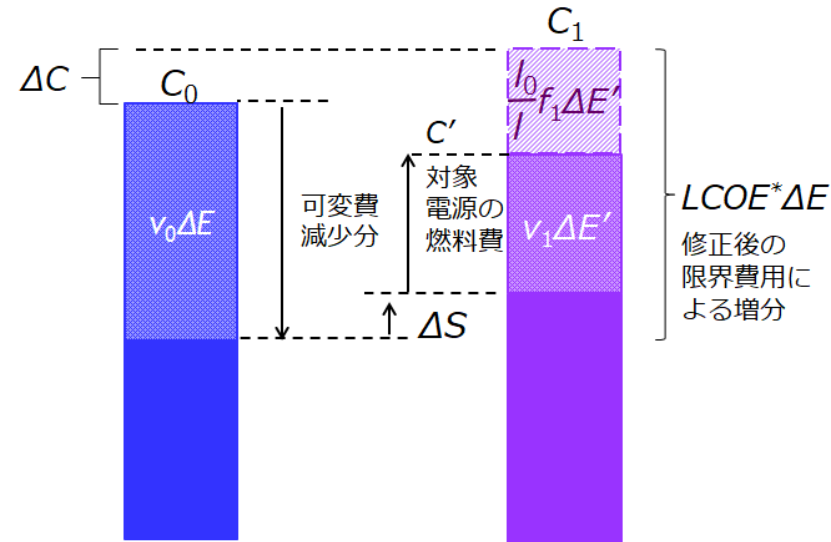
- LCOEを指標にすると、いつ、どこで、どのように発電したかが分からない。「いつ」は、達成可能な発電の時間的プロファイル、「どこで」は発電所の位置、「どのように」は発電技術の種別による電力システムとの関係を意味する。いつ、どこで、どのようにという点で各技術が異なる場合、LCOEに基づく比較は十分でなく、誤解を招く可能性もある。LCOEのみに基づく比較は異なる供給源から発電された電気が同じ価値を持つことを暗に仮定している。
- 電力の価値は、いつ、どこで発電されるかによって決まり、VRE(変動再生エネルギー)の割合が高い電力システムでは特にそうである。豊富な発電量が比較的低い需要と同時に発生すると、その時点の電力の価値は低くなる。逆に、発電量があまり得られず、需要が高い時間では、電力の価値は高くなる。システム全体の電力の価値を考慮することで、VRE統合と電力システム改革の課題についての新しい展望が開かれる。
「システム価値」は、任意の発電技術の追加によって得られる正味の利益として定義される。

統合コストの一部を考慮した発電コスト (仮称) ($LCOE^*$) の計算方法

- 電力需給解析モデルでは、2030年のエネルギーミックスにおける発電設備は既設分・計画分のみと想定し、電源追加前の資本費分は考慮せず、以下を計算する。
 - 追加前後の運用費用 (下図 C_0 および C')
 - 追加電源による火力発電電力量の減少分 (下図 ΔE)
- C' に追加電源の資本費である $l_0/l f_1 \Delta E'$ を加え C_1 を算出する。
- 下図による $LCOE^*$ の定義から、 $C_1 - LCOE^* \Delta E = C_0 - v_0 \Delta E$
- 追加電源の修正された限界費用 $LCOE^*$ は両辺を ΔE で除して $(C_1 - C_0) / \Delta E + v_0$ で与えられる。

記号

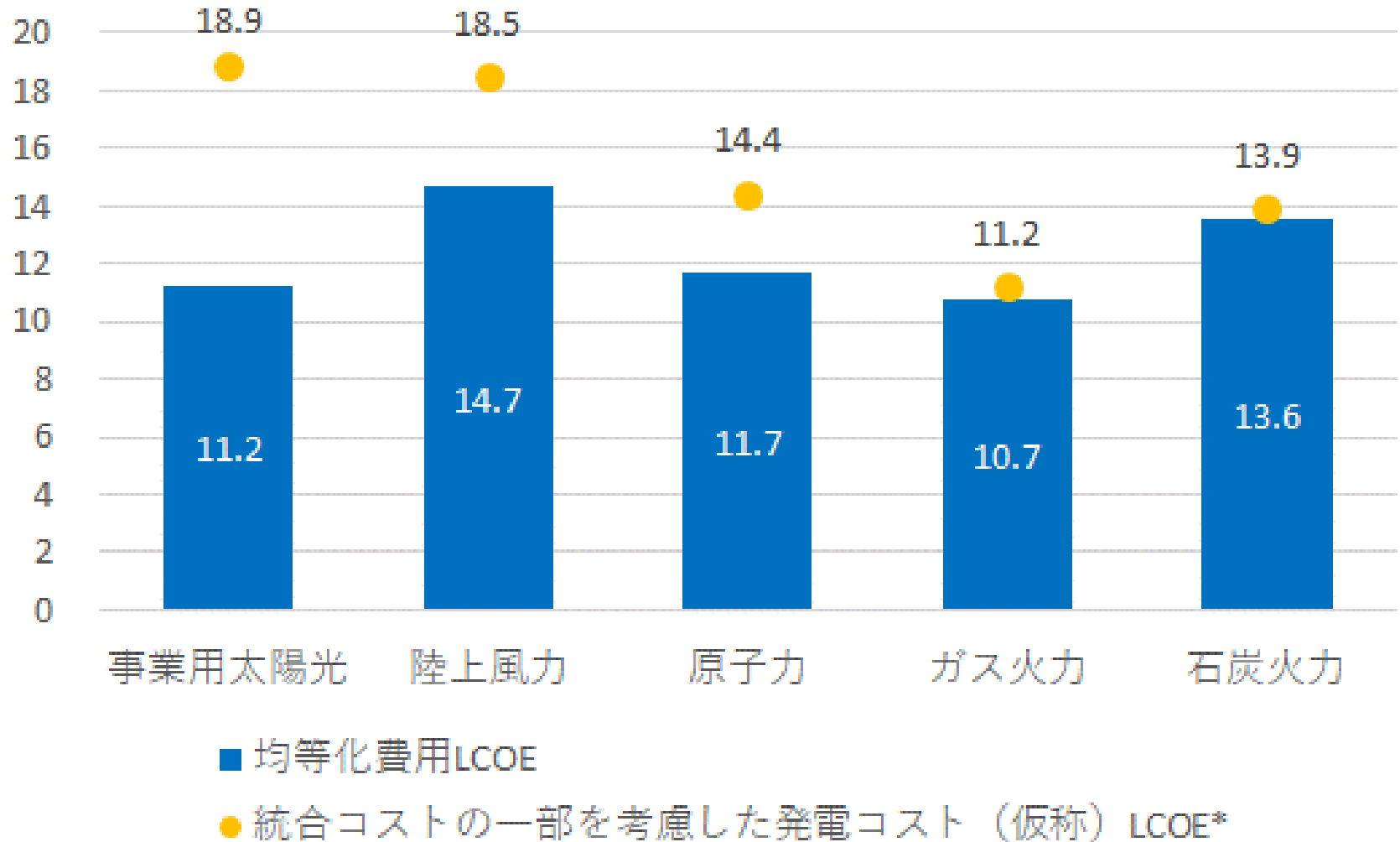
C_0, C_1	: ベースの運用費用、電源追加後の総費用
C'	: 電源追加後の運用費用
$\Delta C (=C_1 - C_0)$	: 電源追加による総費用の変化
ΔS	: 系統安定化のためのディスパッチ等費用
ΔE	: 追加電源の有効な発電電力量 (火力の発電電力量減少分)
$\Delta E'$	: 追加電源の本来の発電電力量
v_0	: ベースのエネルギーミックスにおける 限界運用費の単価
f_1, v_1	: 追加電源の固定費・可変費の単価
l	: モデル計算時の追加電源の設備利用率
l_0	: 均等化発電コスト $LCOE$ 算出時の想定設備利用率
$LCOE, LCOE^*$	: 均等化発電コストと統合コストの一部を考慮した発電コスト (仮称)



燃料費がある場合の年間の総費用のイメージ

(PV、風力の場合は、 $v_1 \Delta E'$ はゼロとなる)

統合コストの一部を考慮した発電コスト (仮称) ($LCOE^*$) の計算方法



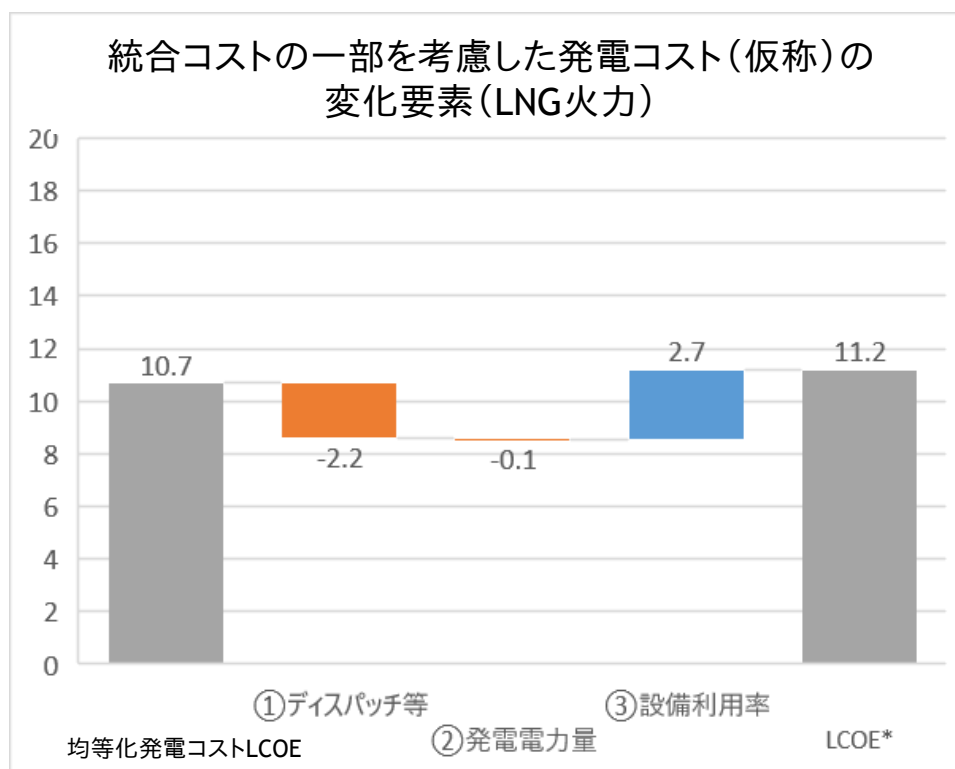
今回2030年エネルギーミックス上での試算結果

解析結果：統合コストの一部を考慮した発電コスト（仮称）の変化要素（LNG火力の場合）

□ 均等化発電コスト(LCOE)から統合コストの一部を考慮した発電コスト（仮称）(LCOE*)の変化は、三つの要素に分解される。

- ① 系統安定化のためのディスパッチ等（燃料種・運転効率・起動停止など）の費用変化
- ② 蓄電ロスや、出力抑制などの電力量損失による変化
- ③ 設備利用率の変化によるLCOE上での固定費変化

□ LNG火力の場合、高い調整力が供給され、調整力が低い他の電源の発電できる量が増えることで①が低下し、均等化発電コスト(LCOE)で想定された70%より低い設備利用率となることで③が増加し、仕上がりではほぼ相殺している。

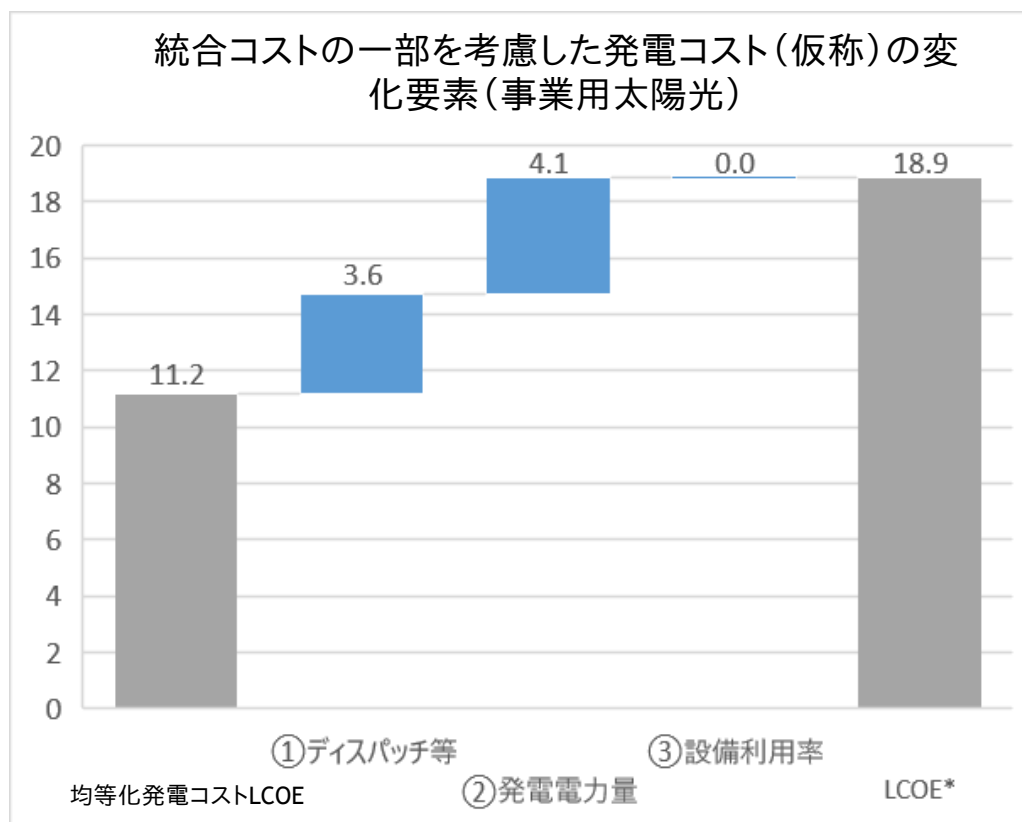


解析結果：統合コストの一部を考慮した発電コスト（仮称）の変化要素（事業用太陽光の場合）

□ 均等化発電コスト(LCOE)から統合コストの一部を考慮した発電コスト(呼称調整中)(LCOE*)の変化は、三つの要素に分解される。

- ① 系統安定化のためのディスパッチ等(燃料種・運転効率・起動停止など)の費用変化
- ② 蓄電ロスや、出力抑制などの電力量損失による変化
- ③ 設備利用率の変化によるLCOE上での固定費変化

□ 太陽光発電の場合、調整力の供給のための調整電源の確保などにより①が増加し、揚水発電の貯蔵損失と出力抑制により②が増加する。



(参考) 統合コストの一部を考慮した発電コスト (仮称) (LCOE*)の数式的要素分解

$LCOE = f_1 + v_1$ に対し、

$LCOE^* = (C_1 - C_0) / \Delta E + v_0$ は ΔS の導入により以下のように分解される。

$LCOE^* \cdot \Delta E = \Delta S + v_1 \Delta E' + l_0 / l \times f_1 \Delta E'$ (下図参照) より、

$LCOE^* = \Delta S / \Delta E + \Delta E' / \Delta E (v_1 + l_0 / l \times f_1)$

$= LCOE + \textcircled{1}(\text{ディスパッチ等}) + \textcircled{2}(\text{発電電力量}) + \textcircled{3}(\text{設備利用率})$

① $\Delta S / \Delta E$

ディスパッチ (燃料種※・運転点・起動停止など) による費用の変化

※ 調整力の差による石炭からガスへの代替など

② $(v_1 + l_0 / l \times f_1)(\Delta E' / \Delta E - 1)$

均等化発電コスト(LCOE)算定時とモデル計算時の設備利用率の差異により固定費分を補正したLCOE

$(v_1 + l_0 / l \times f_1)$ に対する有効な発電電力量率による補正

揚水発電の損失や連系線などの損失、PVや 風力の出力抑制により ΔE が減少すると、LCOEが増加方向に補正される。

③ $f_1(l_0 / l - 1)$

②の補正に用いた設備利用率の差異による

均等化発電コスト(LCOE)の固定費分に対する補正

燃料費がある場合の年間の総費用のイメージ (再掲)

