



**BERKELEY LAB**

Bringing Science Solutions to the World



U.S. DEPARTMENT OF  
**ENERGY**

Office of Science

# 日本における脱炭素電源の経済性

Kenji Shiraishi, Ph.D.

Sustainable Energy & Environmental Systems Department

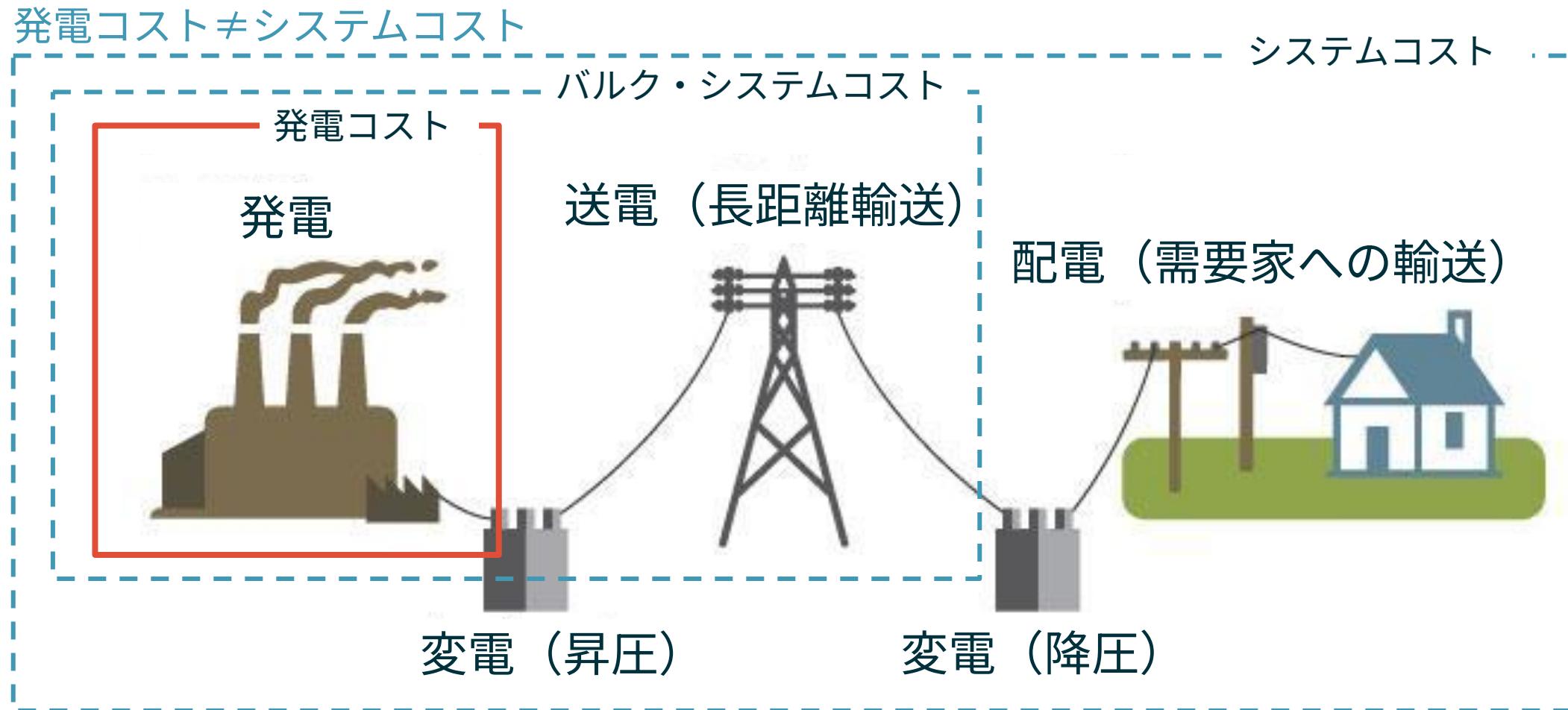
November 20, 2024, Tokyo, Japan

# Table of contents

安定した電力供給を損なうことなく、最も安価にCO<sub>2</sub>排出をゼロにするには、数ある脱炭素電源をどのように組み合わせるべきなのだろうか？

|                    |                        |                      |                        |
|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| 01                 | 02                     | 03                   | 04                     |
| 電力システムの要素<br>と費用内訳 | 電力の脱炭素化に必<br>要な発電部門の変化 | LCOE：発電コストの<br>直感的指標 | LCOE：計算方法と結<br>果のまとめ   |
| 05                 | 06                     | 07                   | 08                     |
| 洋上風力のLCOE          | 原子力発電のLCOE             | 火力発電のLCOE            | システムモデル計算<br>：LCOEを超えて |

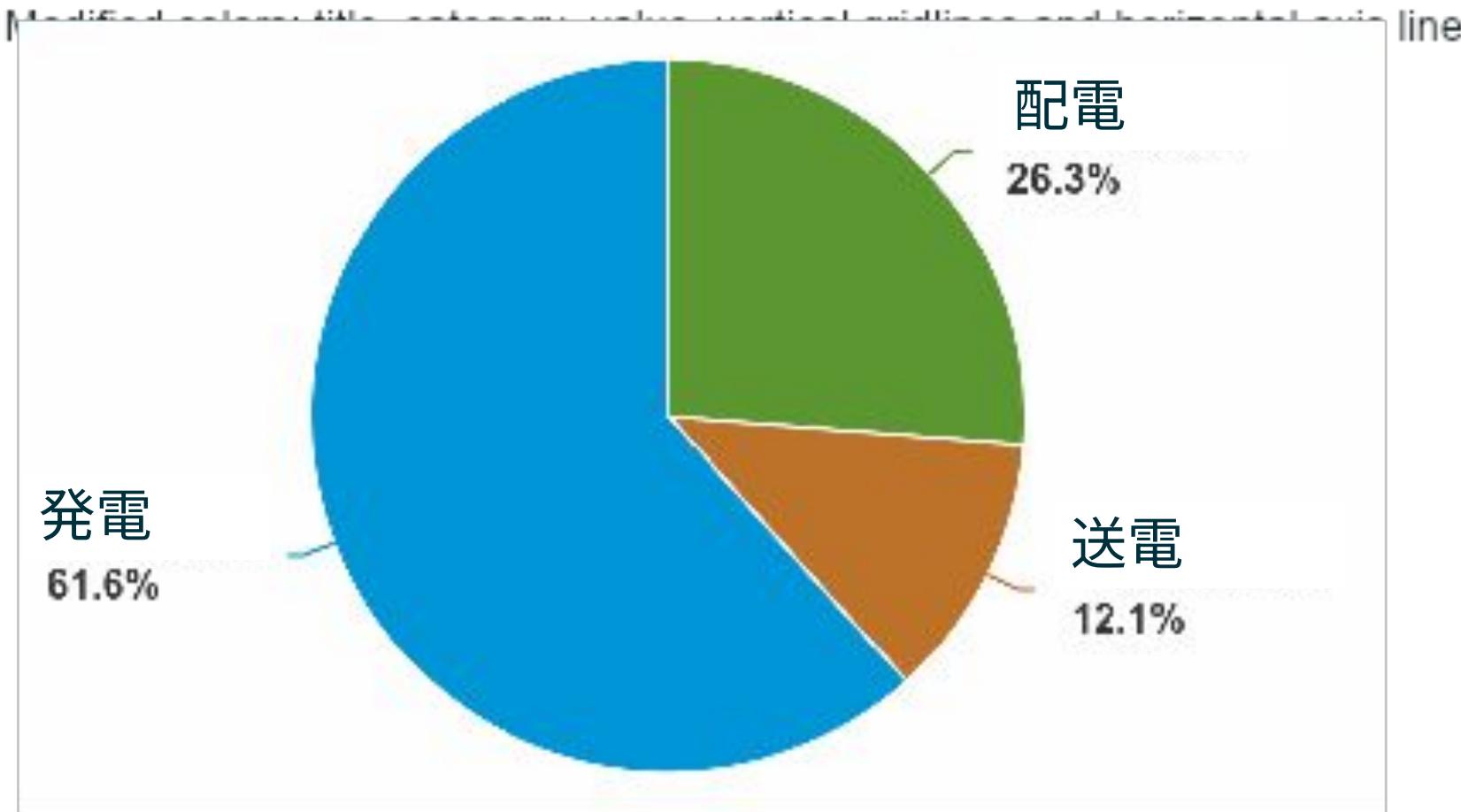
# 電力システムは主に発電、送電、配電から構成される



Source: Adapted from National Energy Education Development Project (public domain)

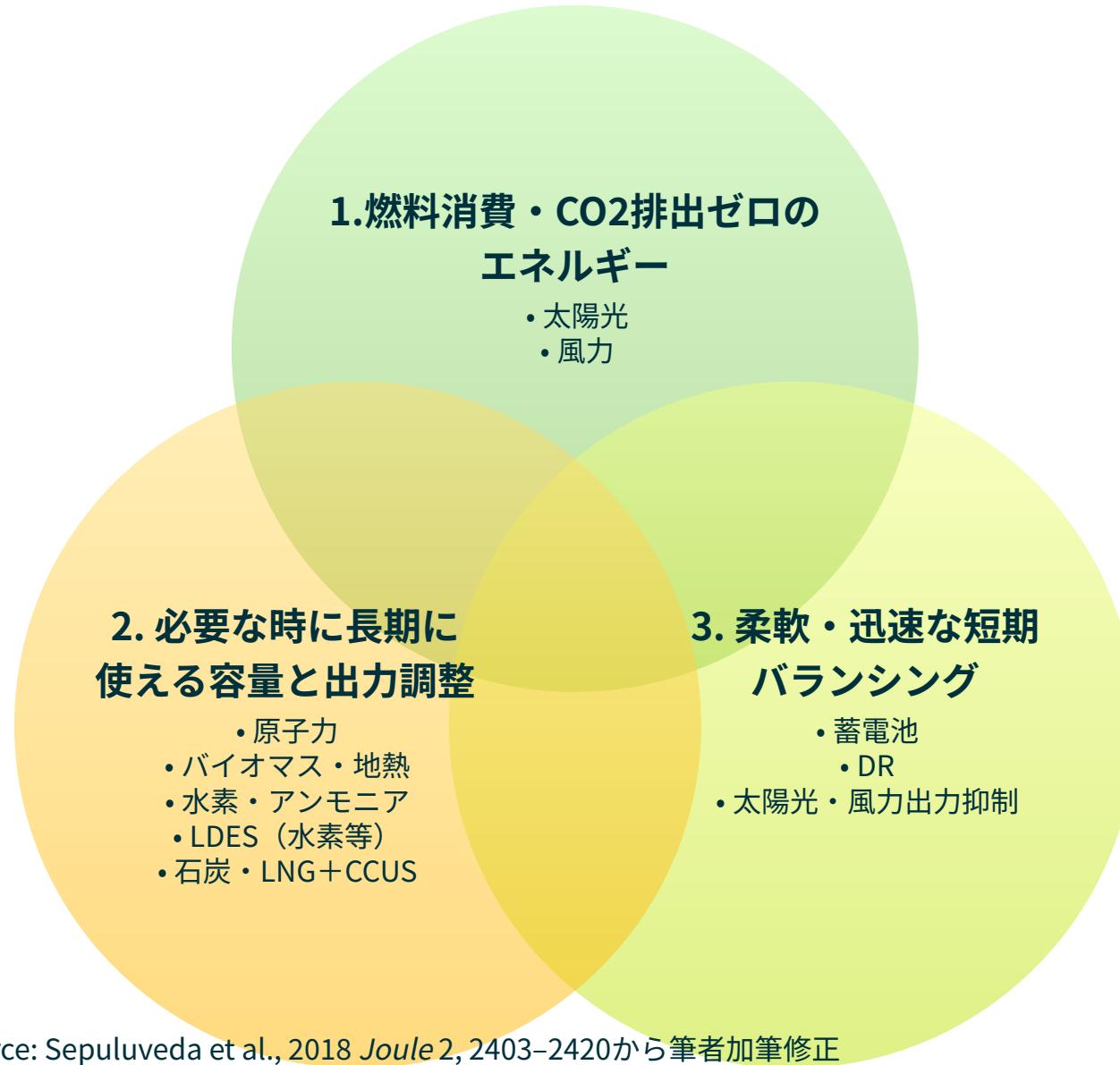
# 発電は電力料金の何割を占めているのか？

電力料金の内訳（2022年米国データ）



Source: U.S. EIA Annual Energy Outlook 2023

# CO<sub>2</sub>排出ゼロの電力システムで発電部門に必要な3要素



- 発電電力量の割合としては 1 が最大
  - 例：2050年の電源構成 (Shiraishi et al., 2024)
    - 1の変動性再エネ 75%
    - 2のファーム電源 25% (原子力12%, 地熱等13%)
    - 3の蓄電池の容量は135 GW; 900GWh
- LCOEはエネルギー（1）のみを評価
- 基本的には、LCOEの小さい電源を増やすことが、発電コストを低くするための必要条件
- LCOEが大きくとも、2、3の価値を提供する技術も必要

# LCOE: 均等化発電単価

Levelized Cost of Electricity

- ・ 発電部分に該当するが、前スライドのとおり、全てではない
- ・ 新設する発電所について、モデルプラントを想定し、運転期間にわたる全ての費用（建設費、維持管理費等）を、全ての発電電力量で割ったもの
- ・ 費用と発電電力量は、ともに現在価値に割り戻して計算
- ・ 単位は円/kWh（基準年の円を用いる。名目ではなく実質）

# LCOEの計算方法

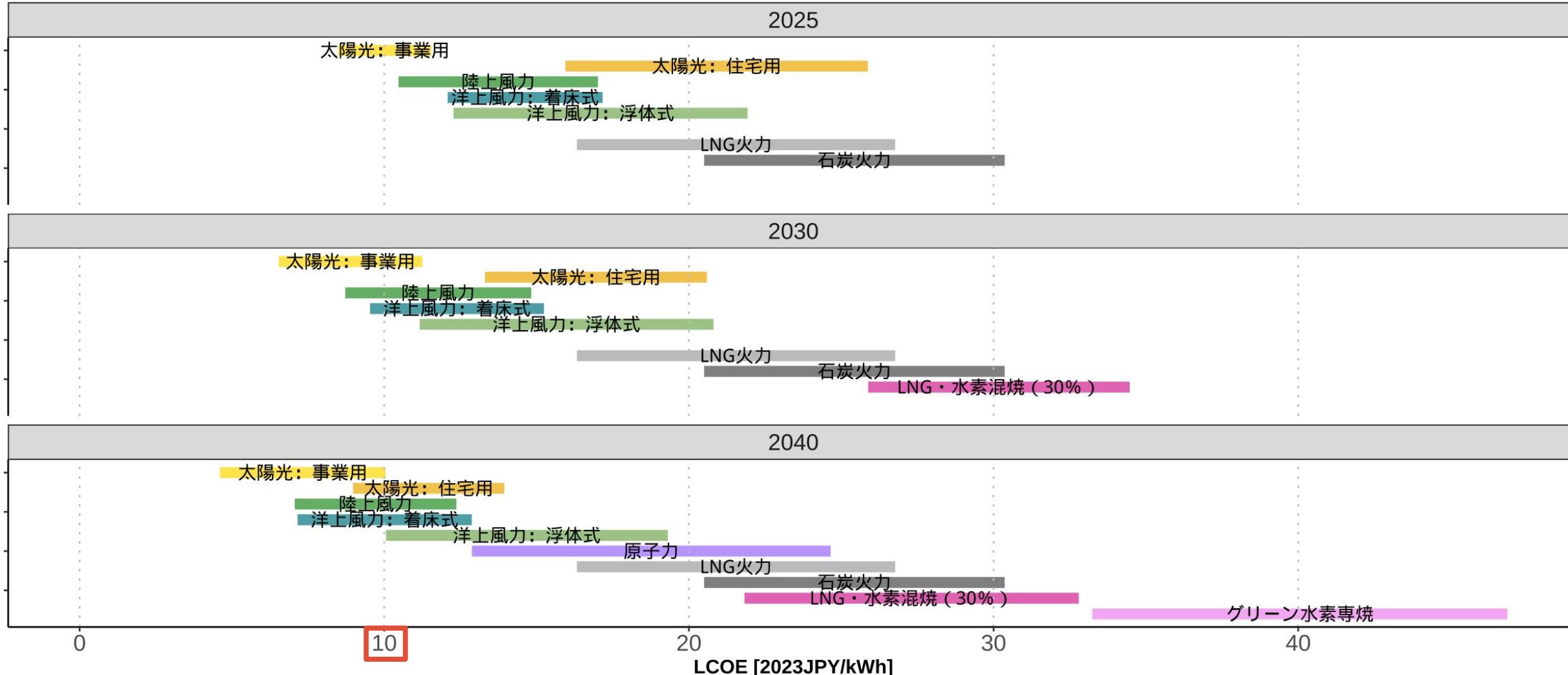
基本的にエネ庁発電コスト検証WG（2021）の計算方法を踏襲

## 修正事項

- 太陽光・風力の建設費等は2035年日本レポートで技術委員会と議論したものを利用（日本の実際の費用とボトムアップ費用計算（NREL ATB（2022））を参考に作成）
- 変動再エネの設備利用率は2035年日本レポートで計算したものを活用（上限・下限は各クラスターの平均値から設定）
- 原発の建設費は、先進国における近年の実績値を参考に幅を設定
- LNG、石炭の価格は5年間のCIF価格実績値から25・75パーセンタイルを上限・下限に設定
- 各種火力発電の設備利用率は研究を元に設定（Shiraishi, et al., 2024）
- 水素価格はグリーン水素の各種文献値から設定（Shiraishi, et al., 2024）
- 1ドルは近年の値動きを参考に150円と設定
- 純粋な発電費用を計算するため、政策費用と廃止費用は含めず

# 新設電源のLCOEまとめ（炭素価格1.3万円/t-CO<sub>2</sub>）

- 各種変動性再エネのLCOEは継続的に低下。10円/kWhを切る。
- 幅がある中でも安価なものを優先的に導入し、発電コストを下げる。



# 洋上風力：豊富で質の高い資源が大需要地に近接/隣接

世界有数のポテンシャル (2,000GW+)。浮体式の活用が鍵。

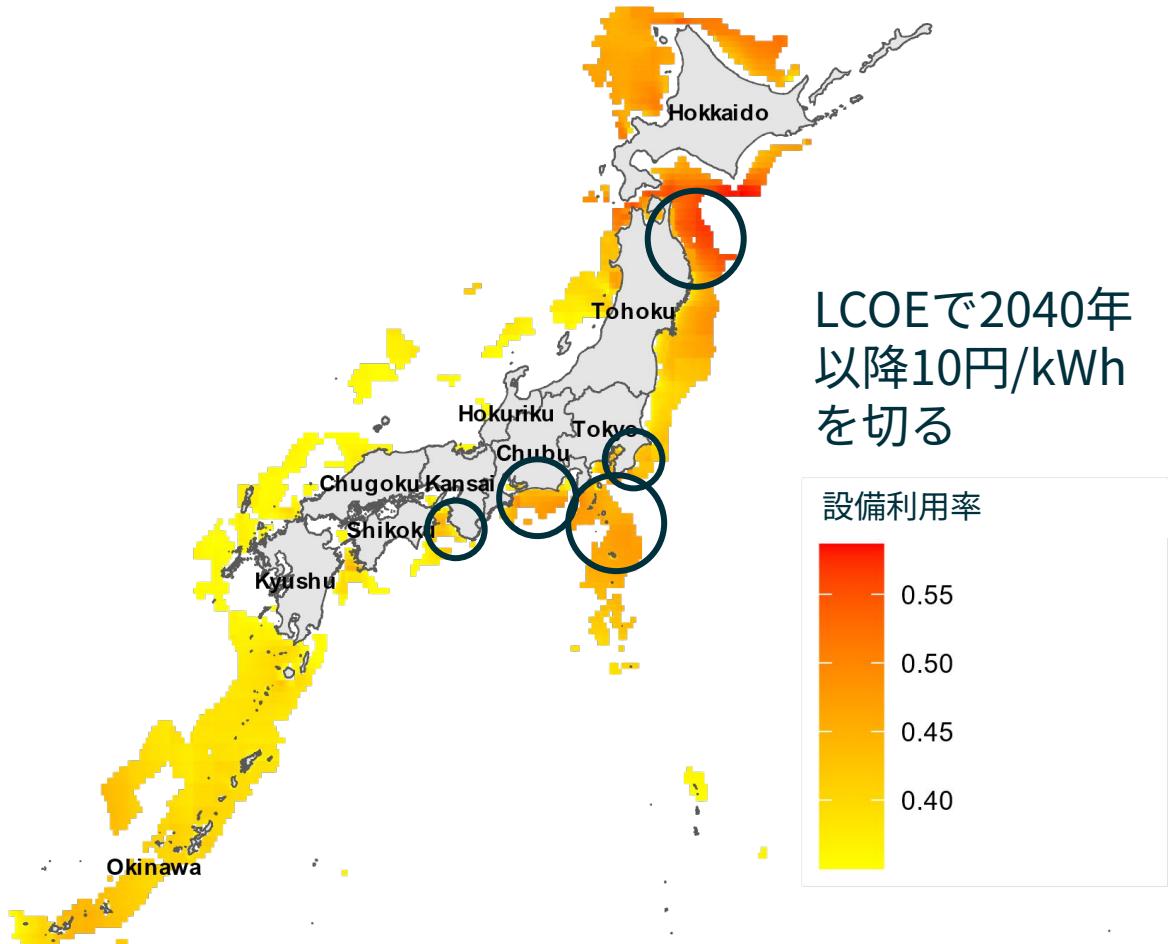


図 洋上風力（着床式・浮体式）の設備利用率

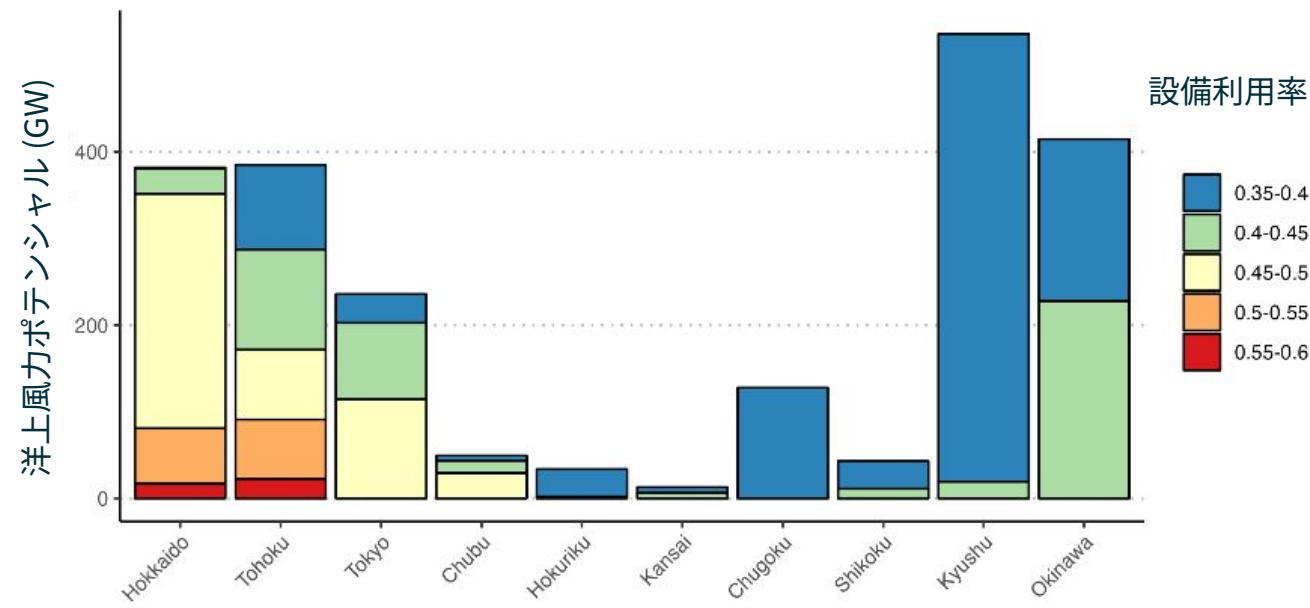
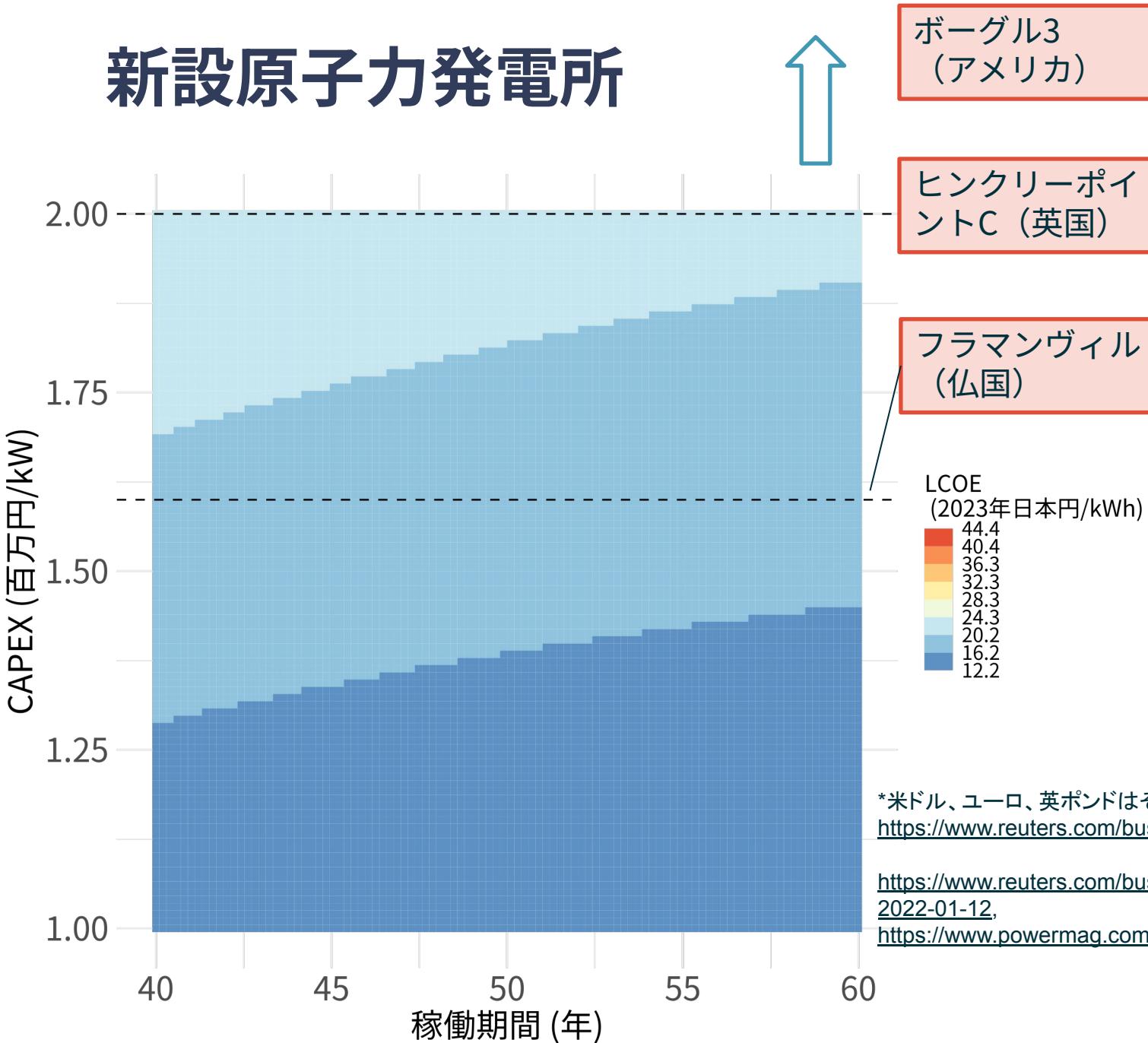


図 洋上風力（着床式・浮体式）の地域別ポテンシャル

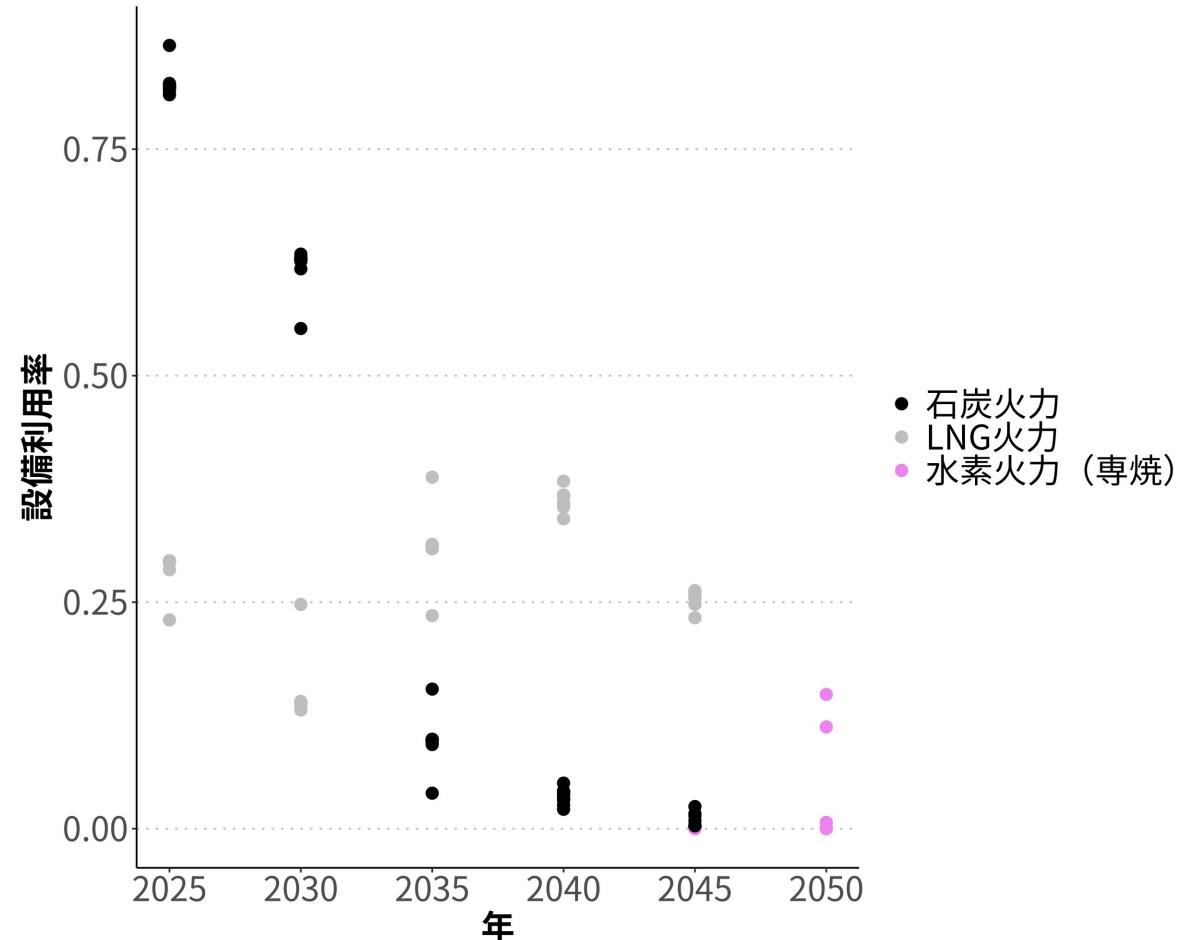
# 新設原子力発電所



- 近年、先進国では1GWあたり1.5兆円(1.5百万円/kW)以上の事業が相次いでいる\*
- 新設原子力発電所の稼働が見込まれるのは2040年以降。建設費等をどれだけ押さえられるかがLCOE低下の鍵になる。

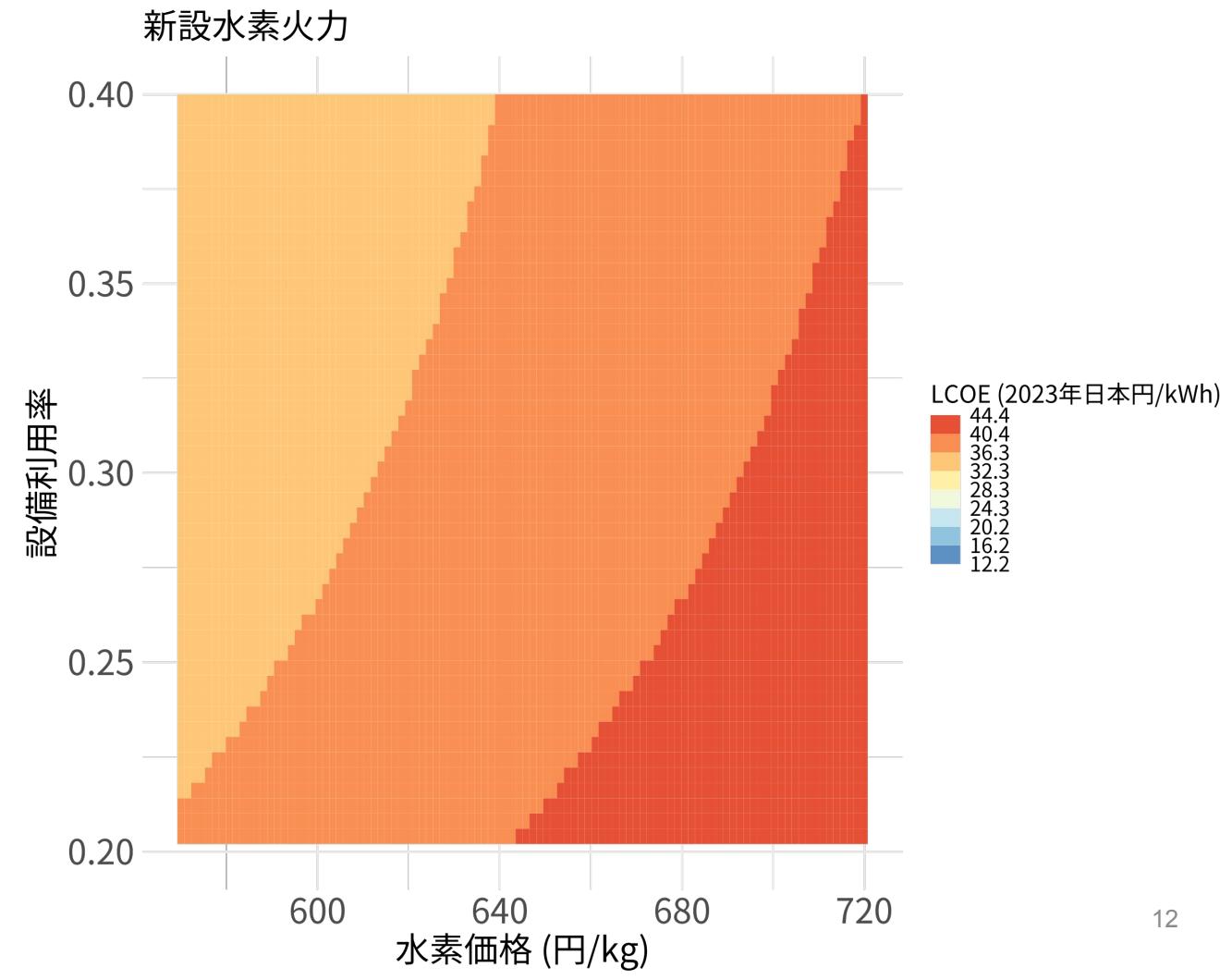
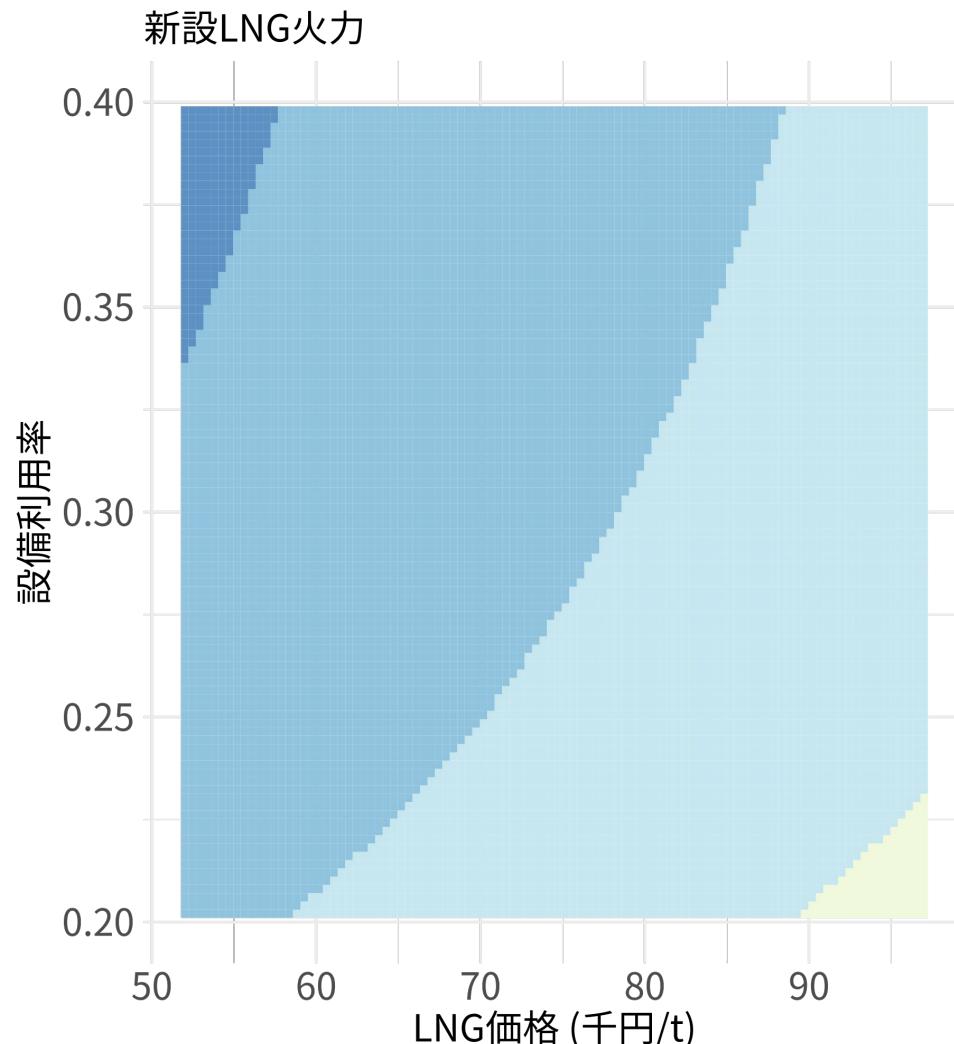
# 火力発電の設備利用率は低下していく

CO2排出規制の強化と変動性再エネの拡大により、火力発電の役割は変化（1から2，3へ）

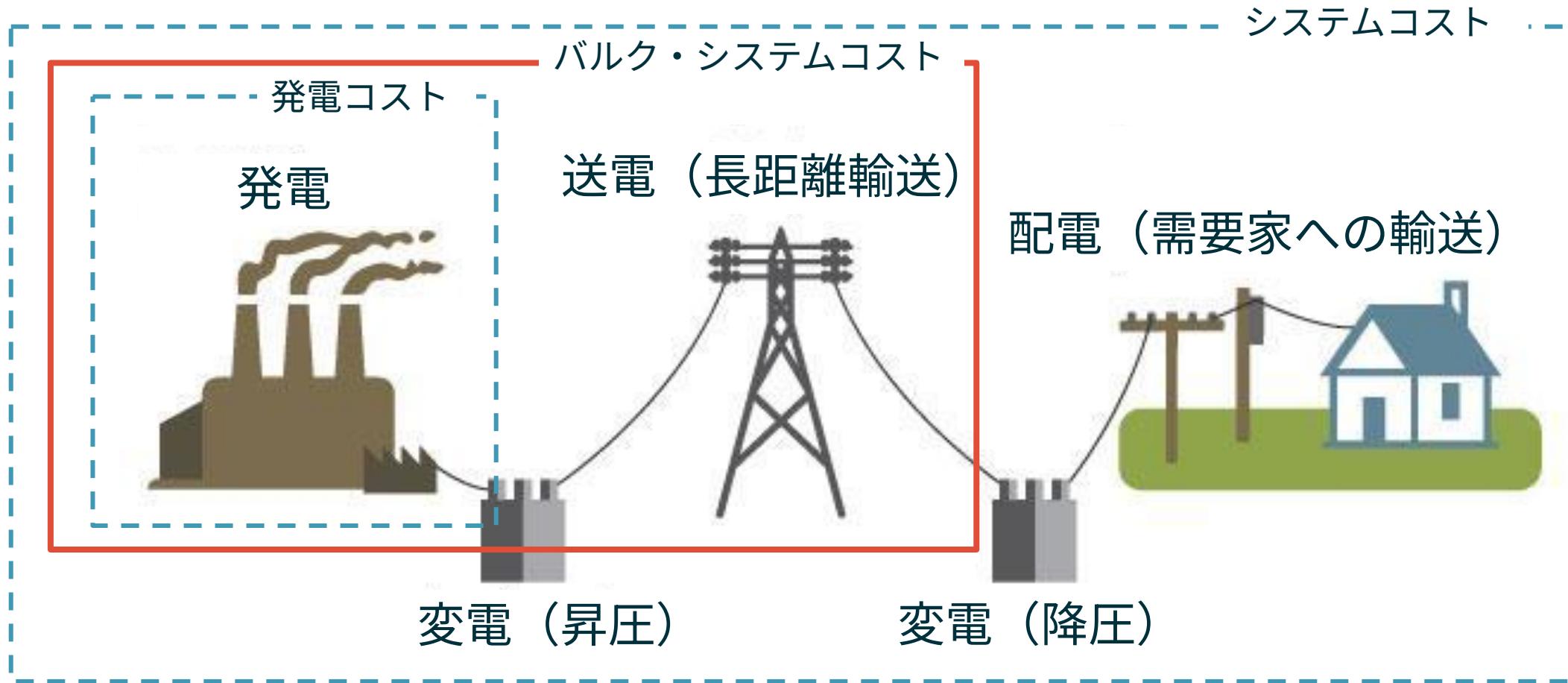


# 新設火力発電所

燃料価格と設備利用率によってLCOEは変動する：エビデンスに基づく蓋然性の高い設定が重要



# LCOEを超えて：システムモデル計算



Source: Adapted from National Energy Education Development Project (public domain)

# システムモデル計算

1. 安定した電力供給を損なうことなく、
2. 最も安価に
3. CO<sub>2</sub>排出をゼロにするため各種の脱炭素電源、蓄電池、地域間連系線の投資と運用を計算

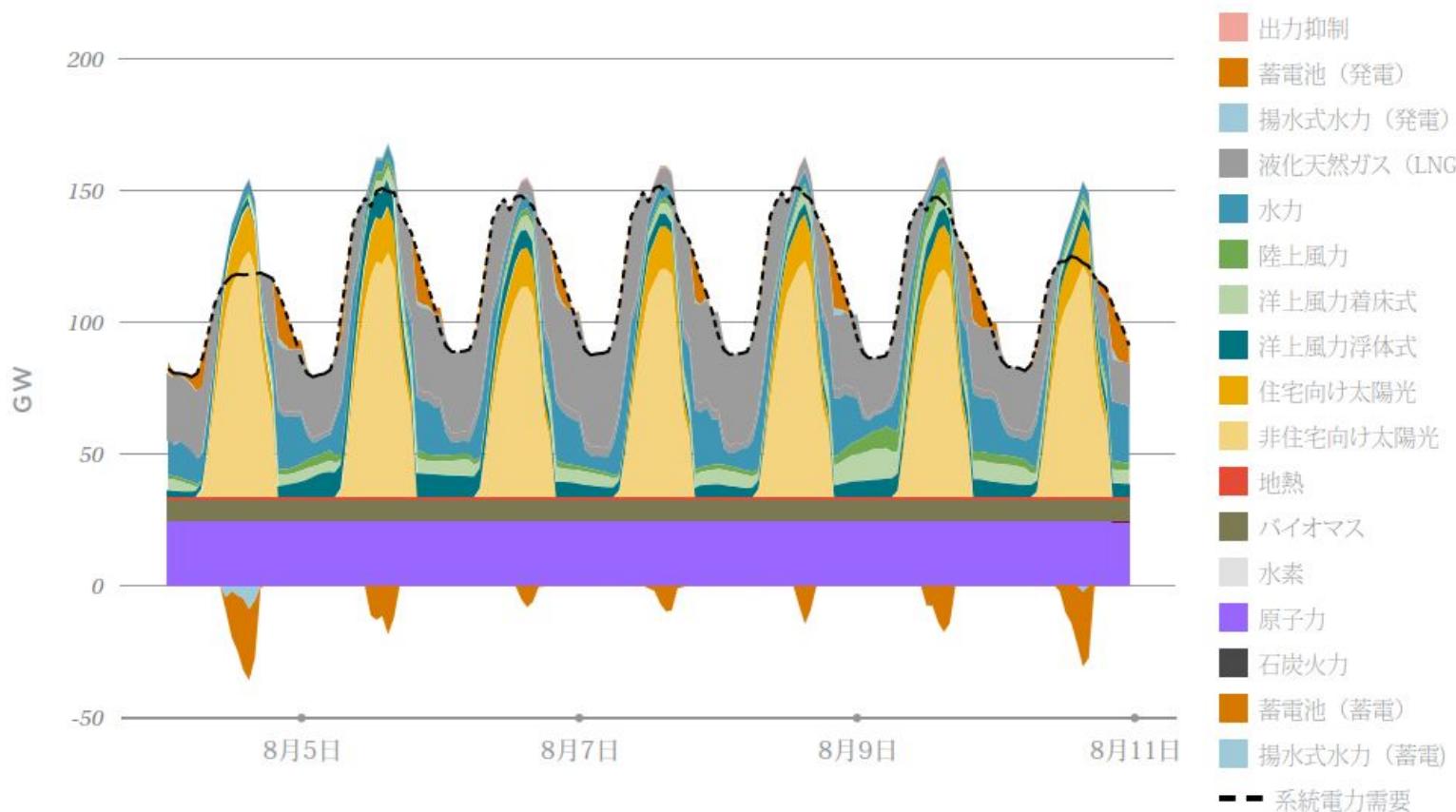


図9. 2035年夏季の残余需要最大週における系統運用

# システムモデル計算による最安投資・運用の特定

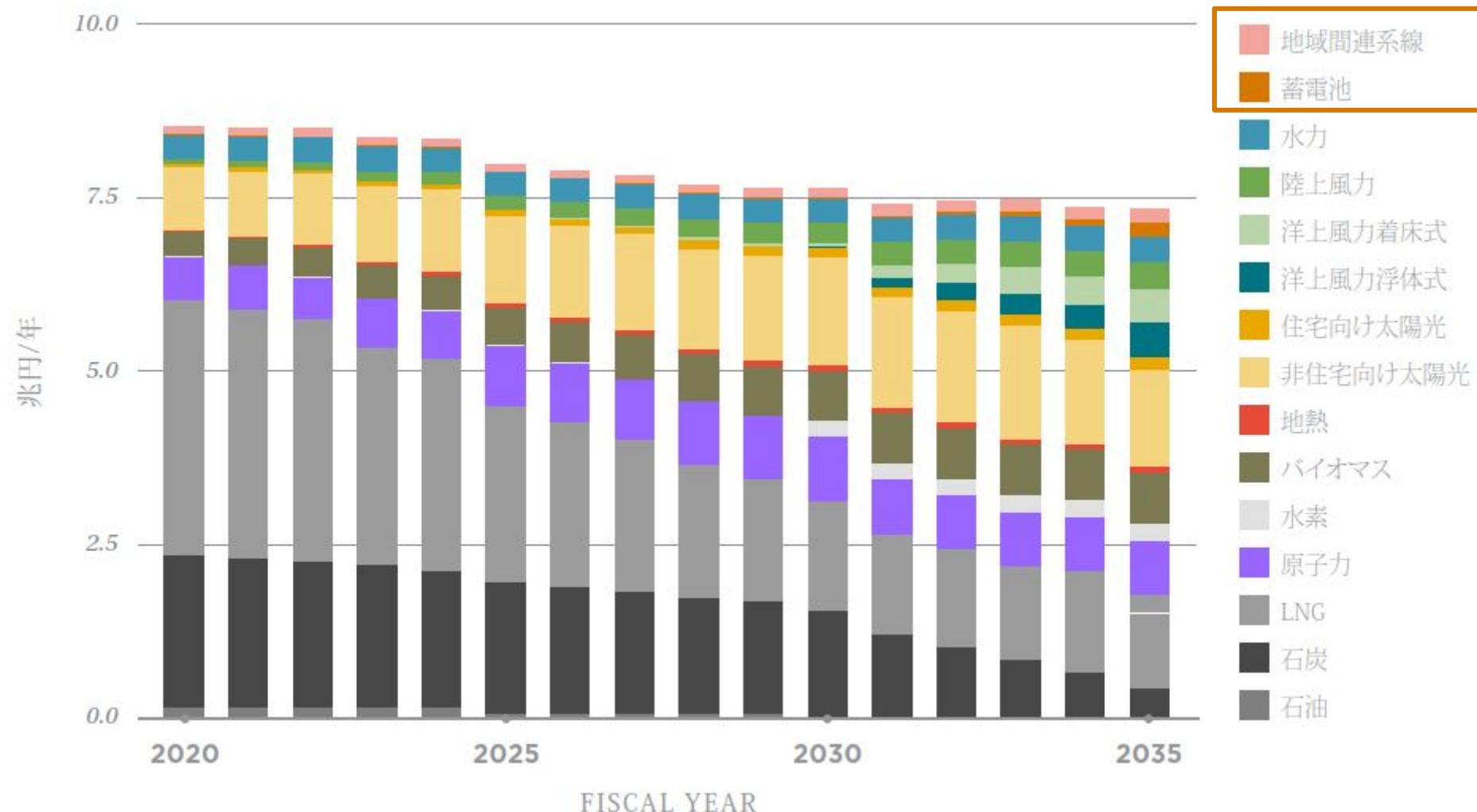


図14. 年間卸電力費用の内訳(2020年の日本円を基準とした実質値)

# システムモデル計算による最安投資・運用の特定

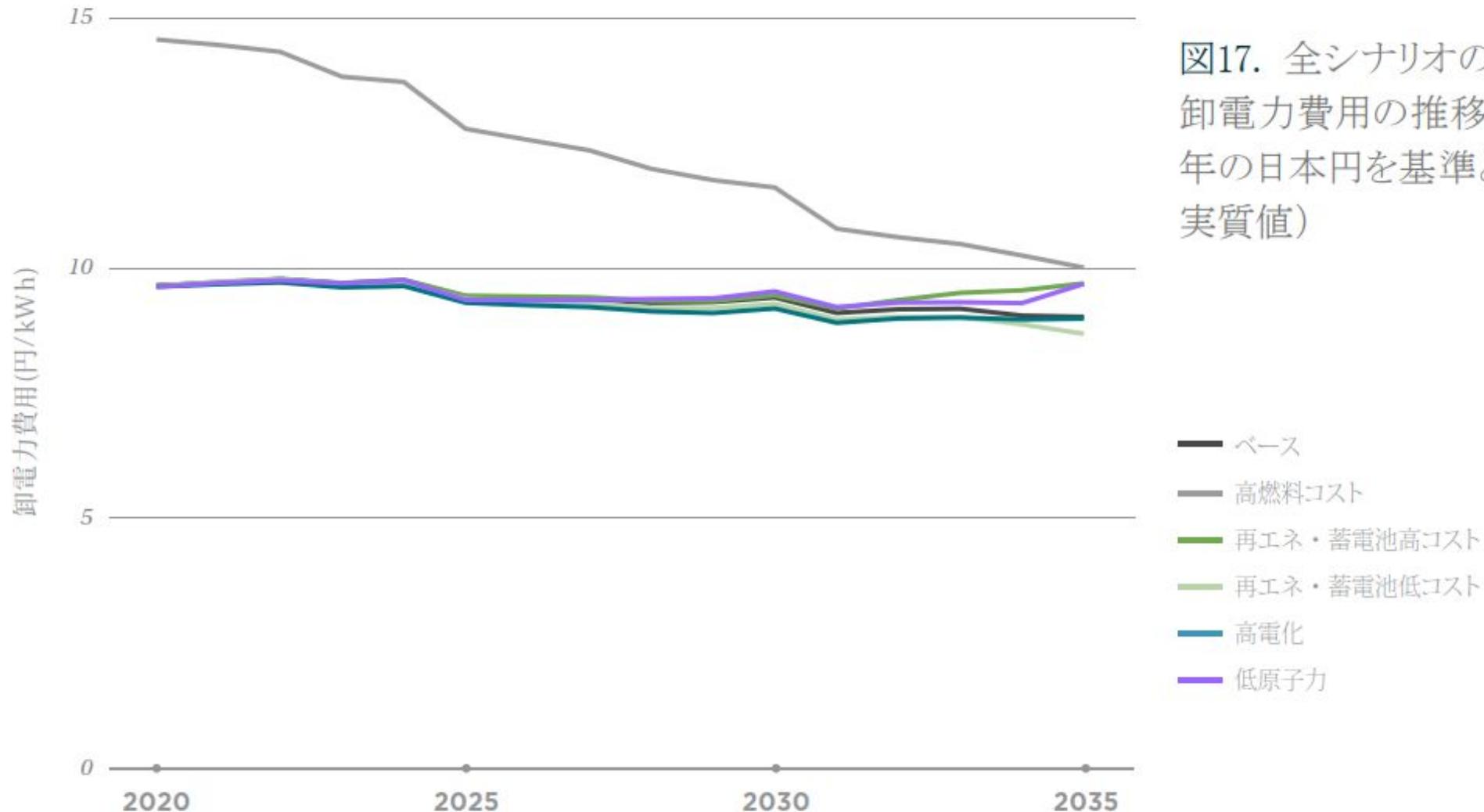


図17. 全シナリオの平均卸電力費用の推移(2020年の日本円を基準とした実質値)

# まとめ

- ・発電は電力料金の最大の要素
- ・LCOEは発電原価を直感的に表す指標
- ・LCOEの小さい脱炭素電源を中心に電力システムを作ることは、電力価格低減のための必要条件（十分条件ではない）
- ・変動再エネはLCOEで安価だが、その他の2要素で要補完
- ・システムモデル計算によって、発電の三要素を満たしつつ、安定した電力供給を行いつつ、安価で、 $\text{CO}_2$ を排出しない発電、蓄電、送電の組み合わせを特定

# 参考文献

K. Shiraishi, et al., "The role of hydrogen as long-duration energy storage and as an international energy carrier for electricity sector decarbonization." Environmental Research Letters. 19 084011, 2024. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad5856>

K. Shiraishi, et al., "The 2035 Japan Report: Plummeting Costs of Solar, Wind, and Batteries can Accelerate Japan's Clean and Independent Electricity Future." Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, CA, LBNL-2001526, 2023.  
<https://emp.lbl.gov/publications/2035-japan-report-plummeting-costs>

白石賢司 and 諸富徹, “エネルギー基本計画は「再エネ第一」に組み替えを: 蓄電池と国産水素で、変動性再エネの弱点克服.” 東洋経済オンライン, 2024. <https://toyokeizai.net/articles/-/822787>

# Thank You

kshiraishi@lbl.gov