



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

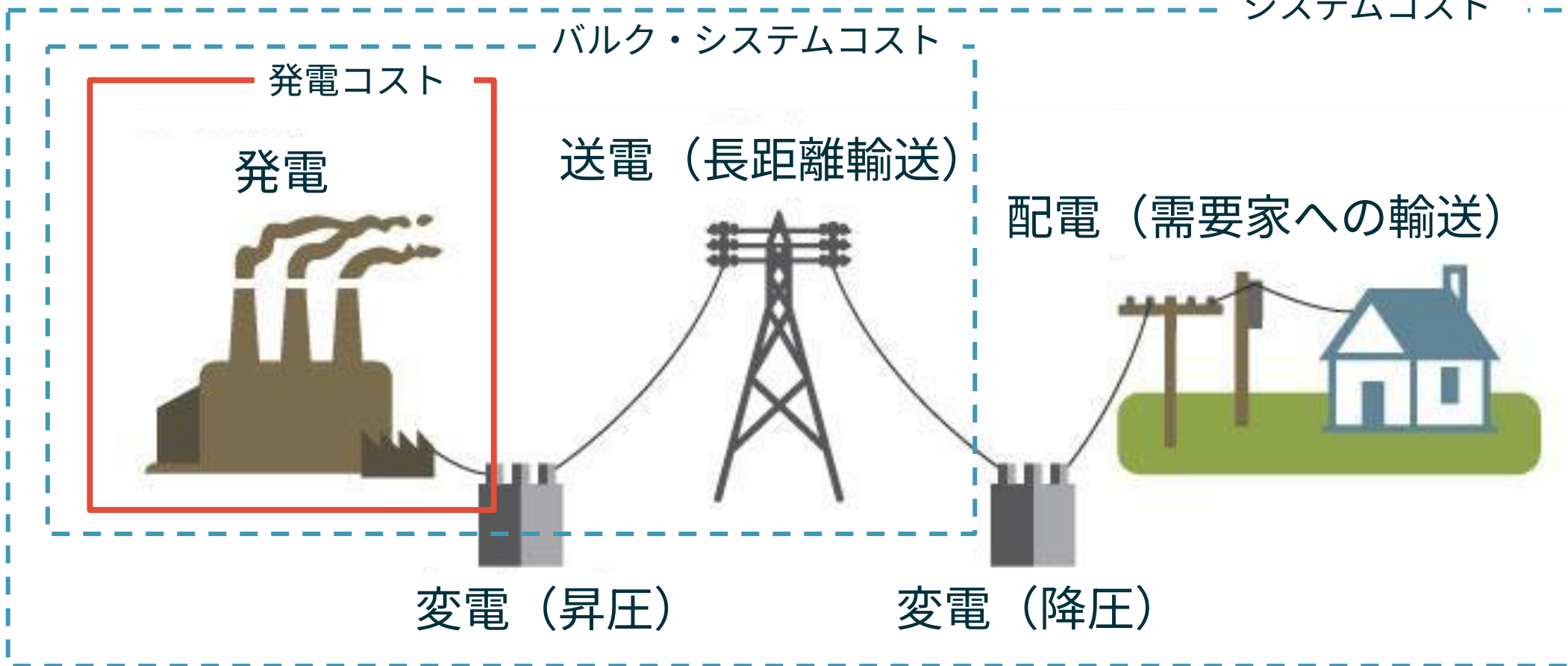
Table of contents

安定した電力供給を損なうことなく、最も安価にCO₂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と費用内訳	電力の脱炭素化に必要な発電部門の変化	LCOE：発電コストの直感的指標	LCOE：計算方法と結果のまとめ
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：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

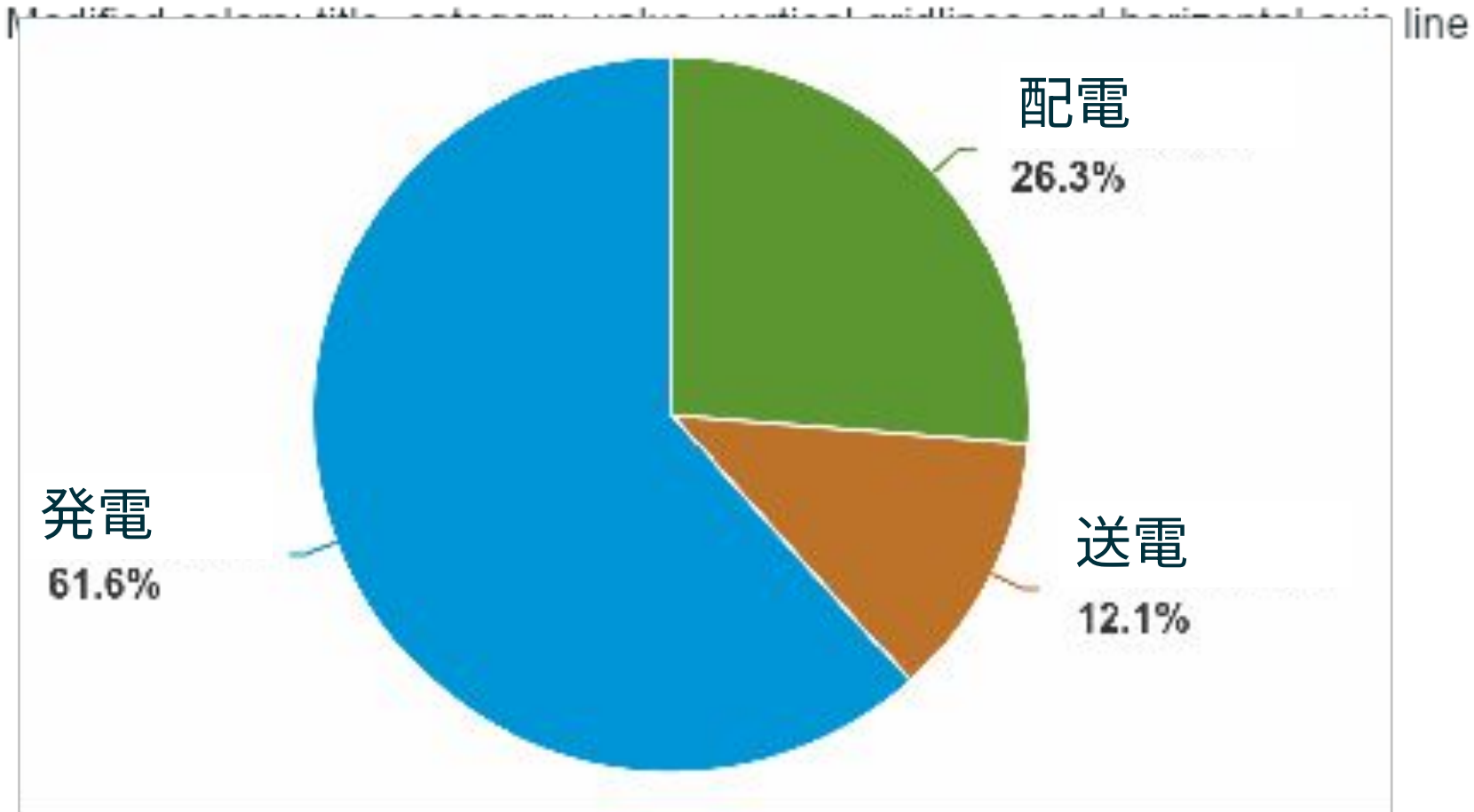
発電コスト ≠ システムコスト



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

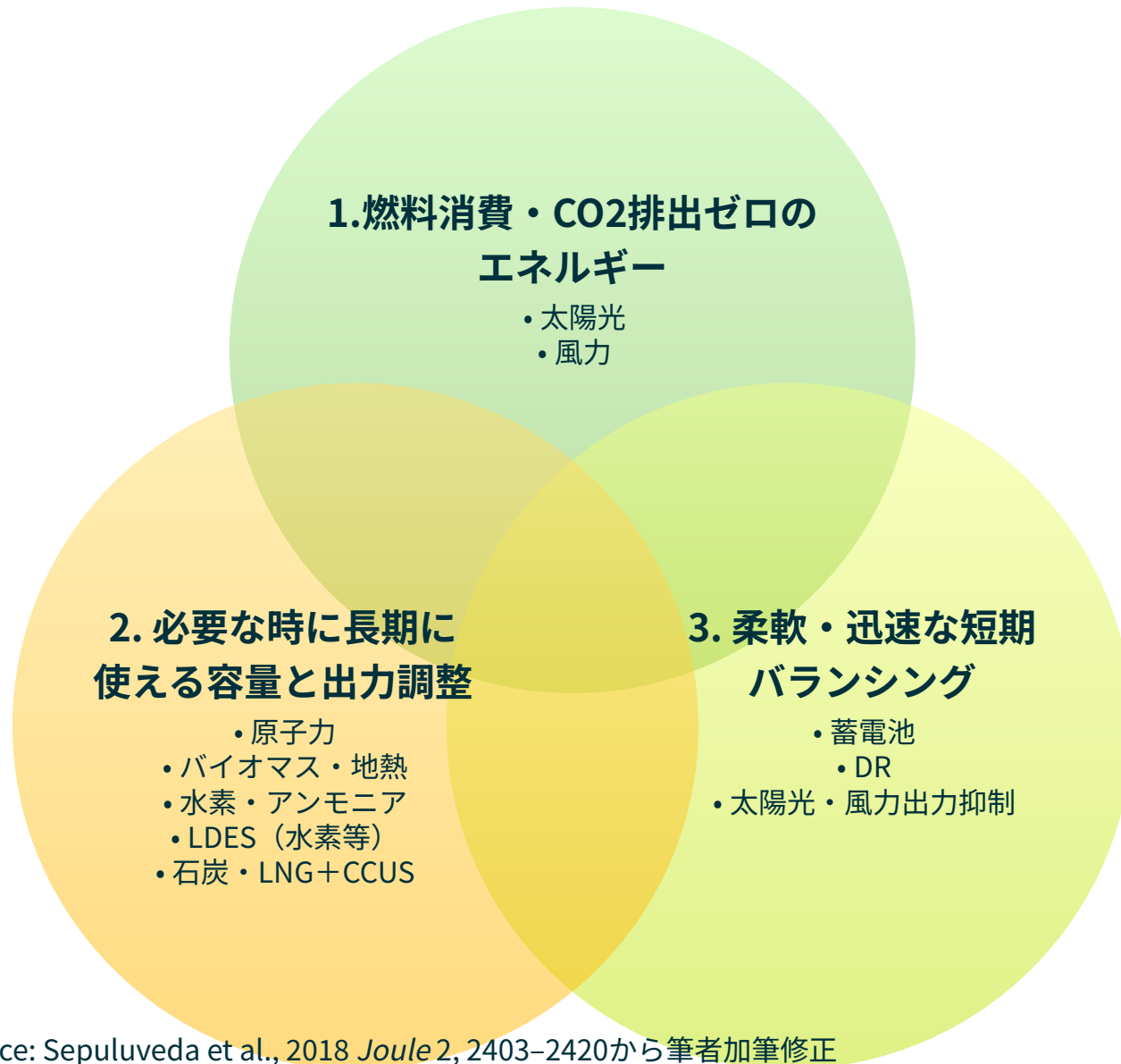
発電は電力料金の何割を占めているのか？

電力料金の内訳（2022年米国データ）



Source: U.S. EIA Annual Energy Outlook 2023

CO₂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

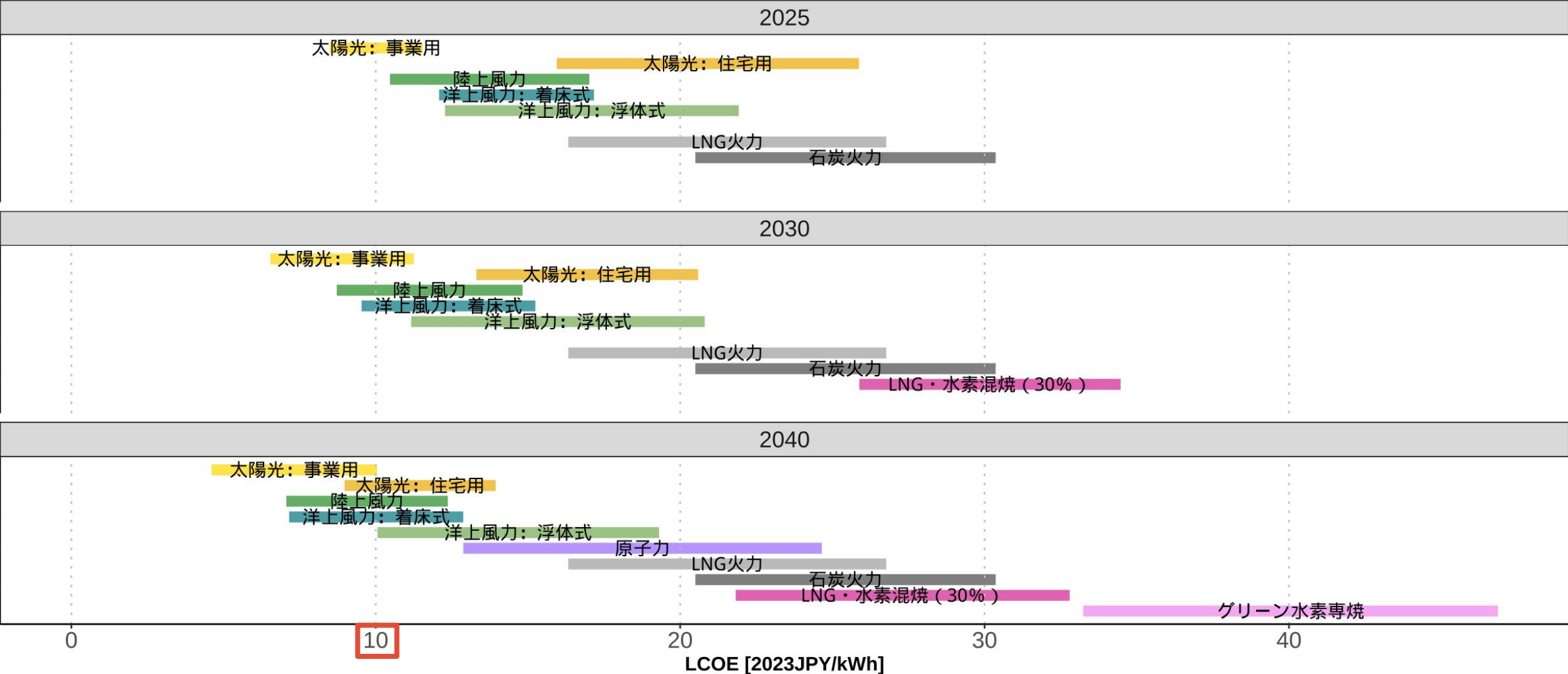
基本的にエネルギー発電コスト検証WG（2021）の計算方法を踏襲

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-CO₂）

- 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。

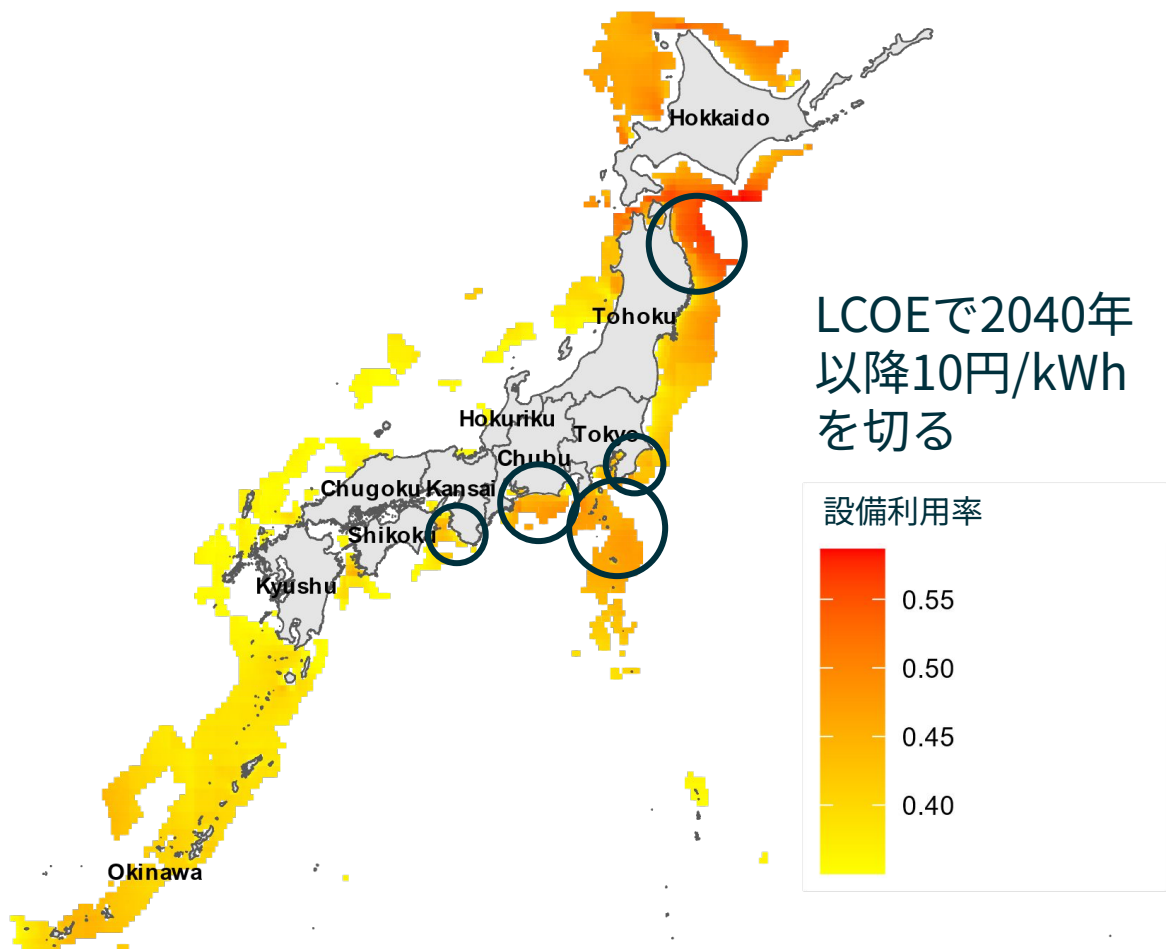


図 洋上風力（着床式・浮体式）の設備利用率

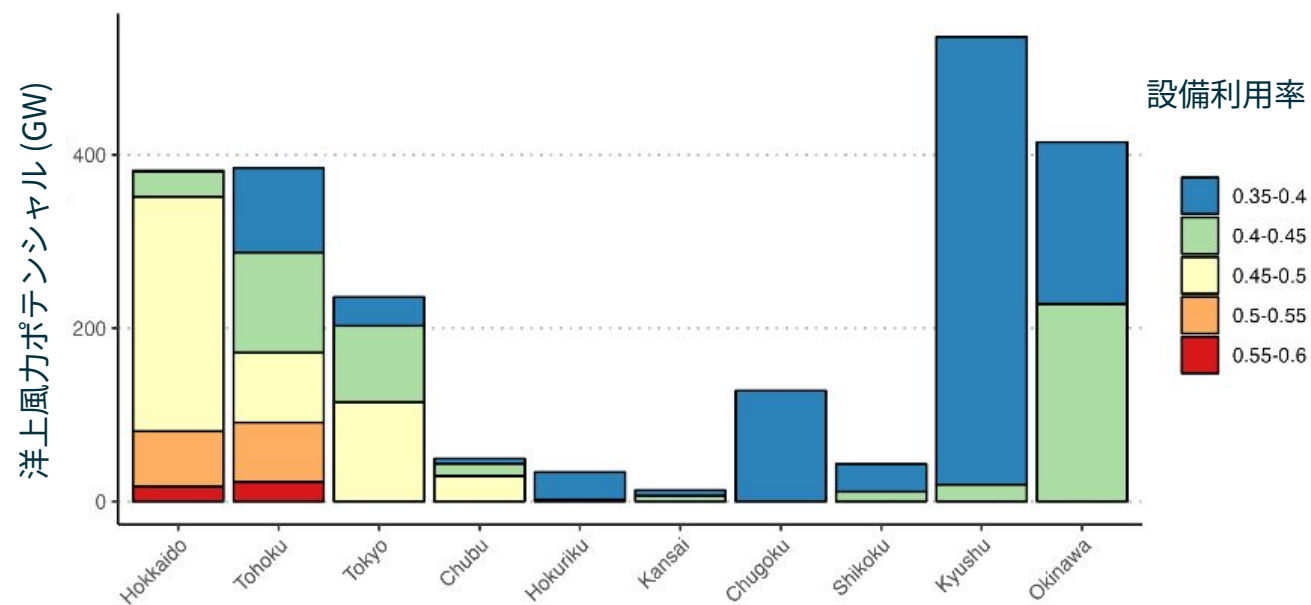
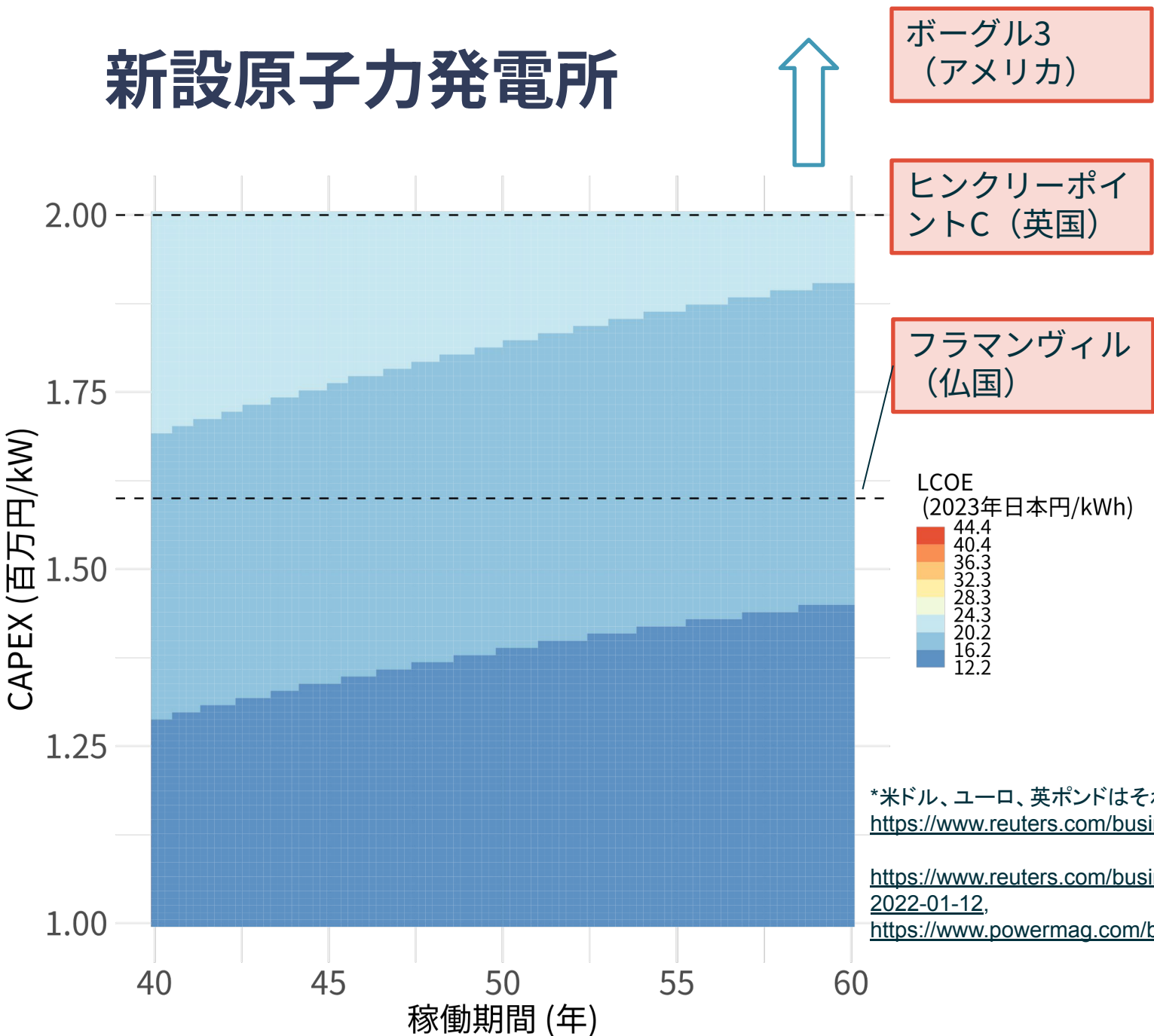


図 洋上風力（着床式・浮体式）の地域別ポテンシャル

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。

*米ドル、ユーロ、英ポンドはそれぞれ 150円、164円、196円で計算。

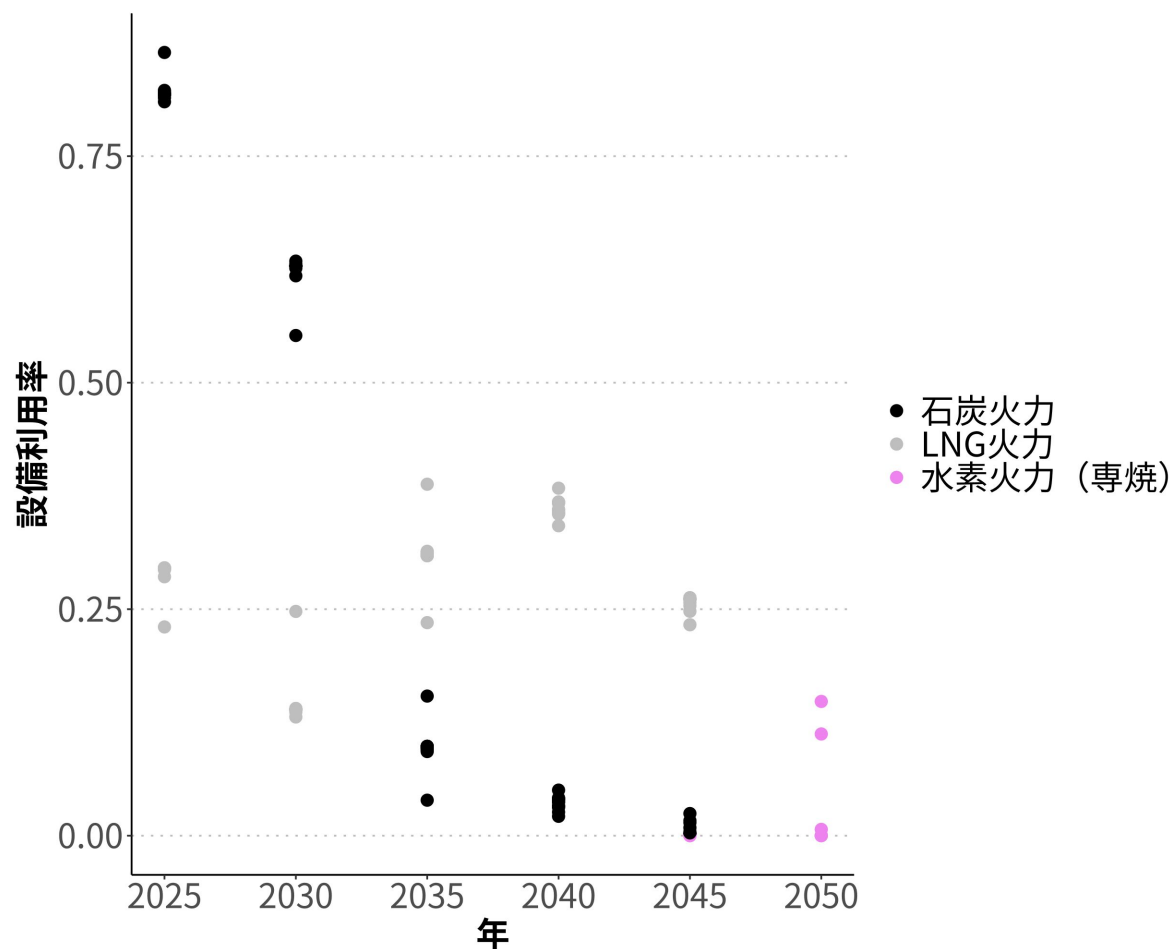
<https://www.reuters.com/business/energy/cost-edfs-new-uk-nuclear-project-soars-40-bln-2023-02-20/>,

<https://www.reuters.com/business/energy/edf-announces-new-delay-higher-costs-flamanville-3-reactor-2022-01-12/>,

<https://www.powermag.com/blog/cost-makes-adding-new-nuclear-power-plants-unthinkable/>

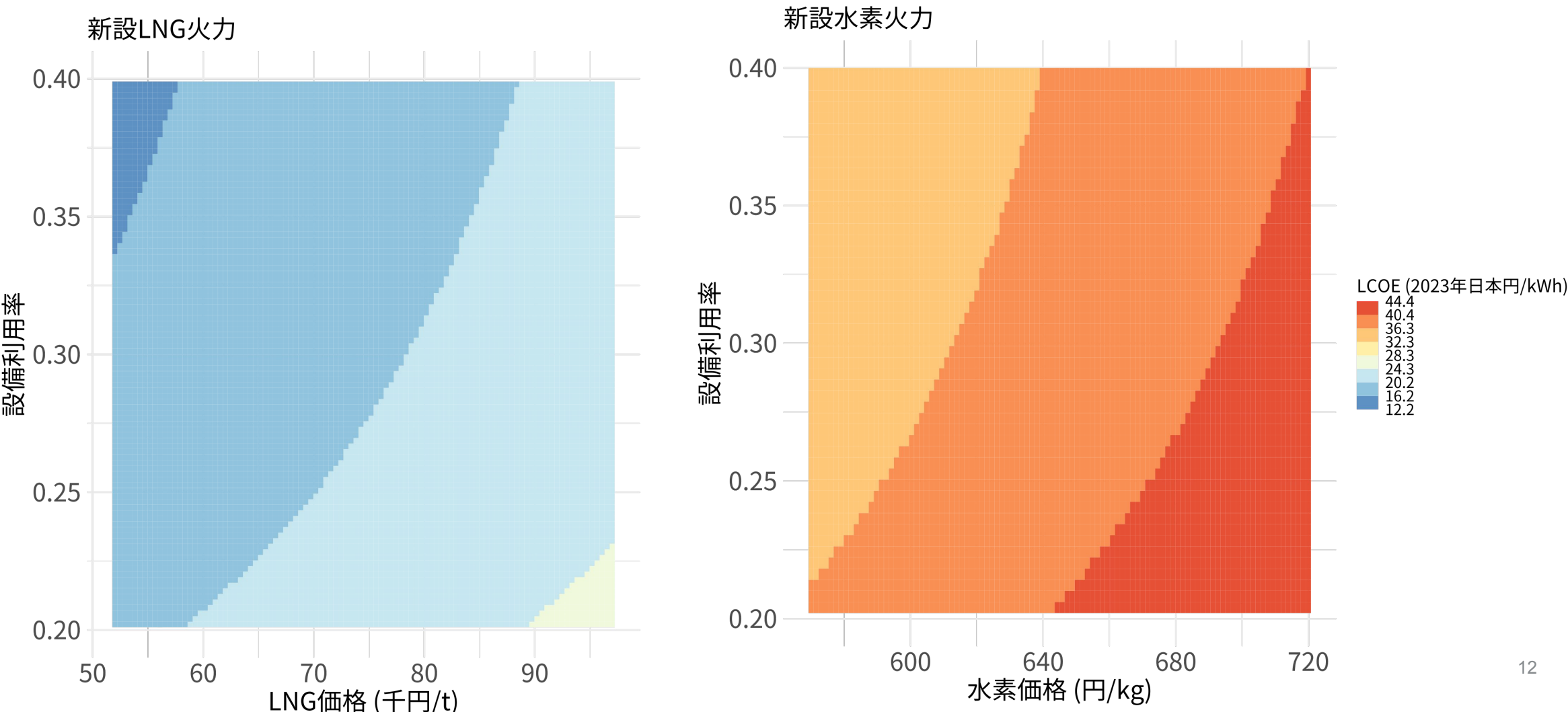
火力発電の設備利用率は低下していく

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）

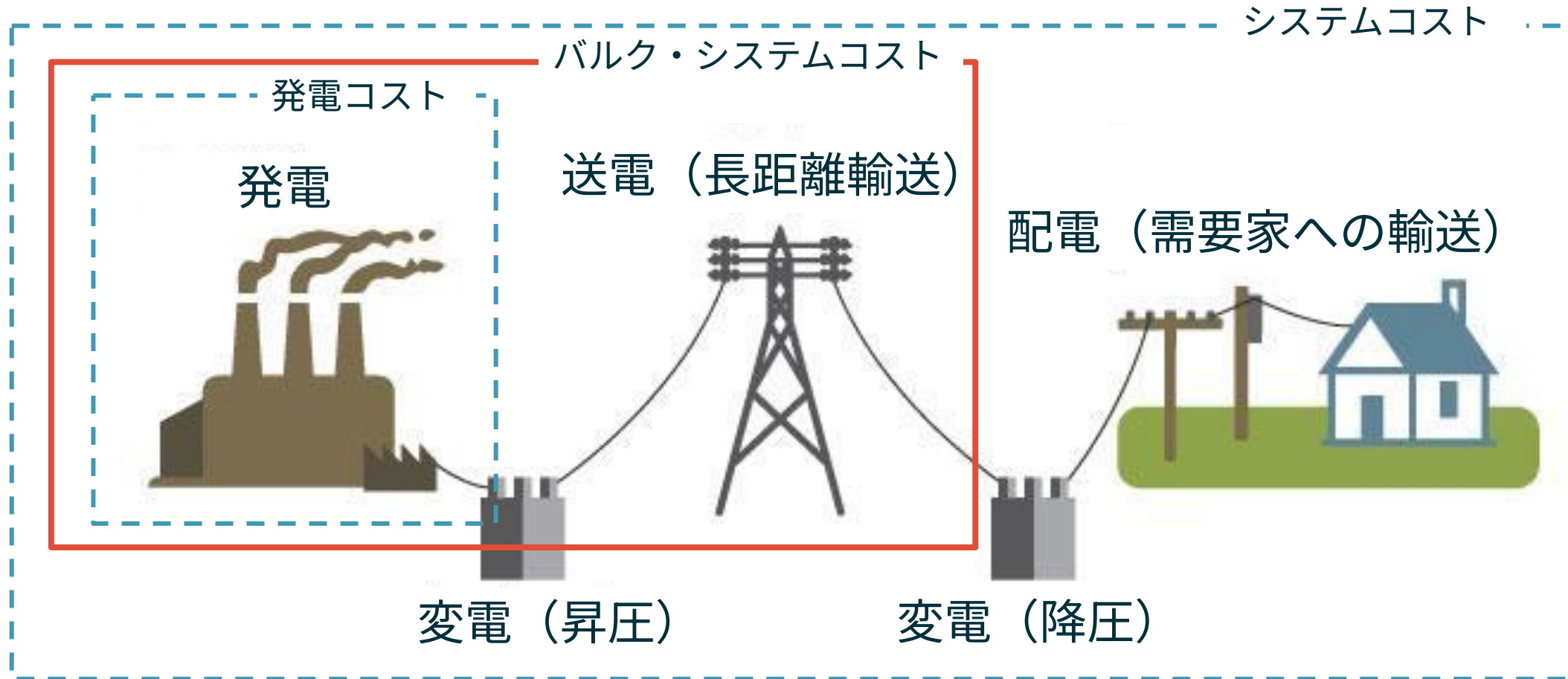


新設火力発電所

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. CO₂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

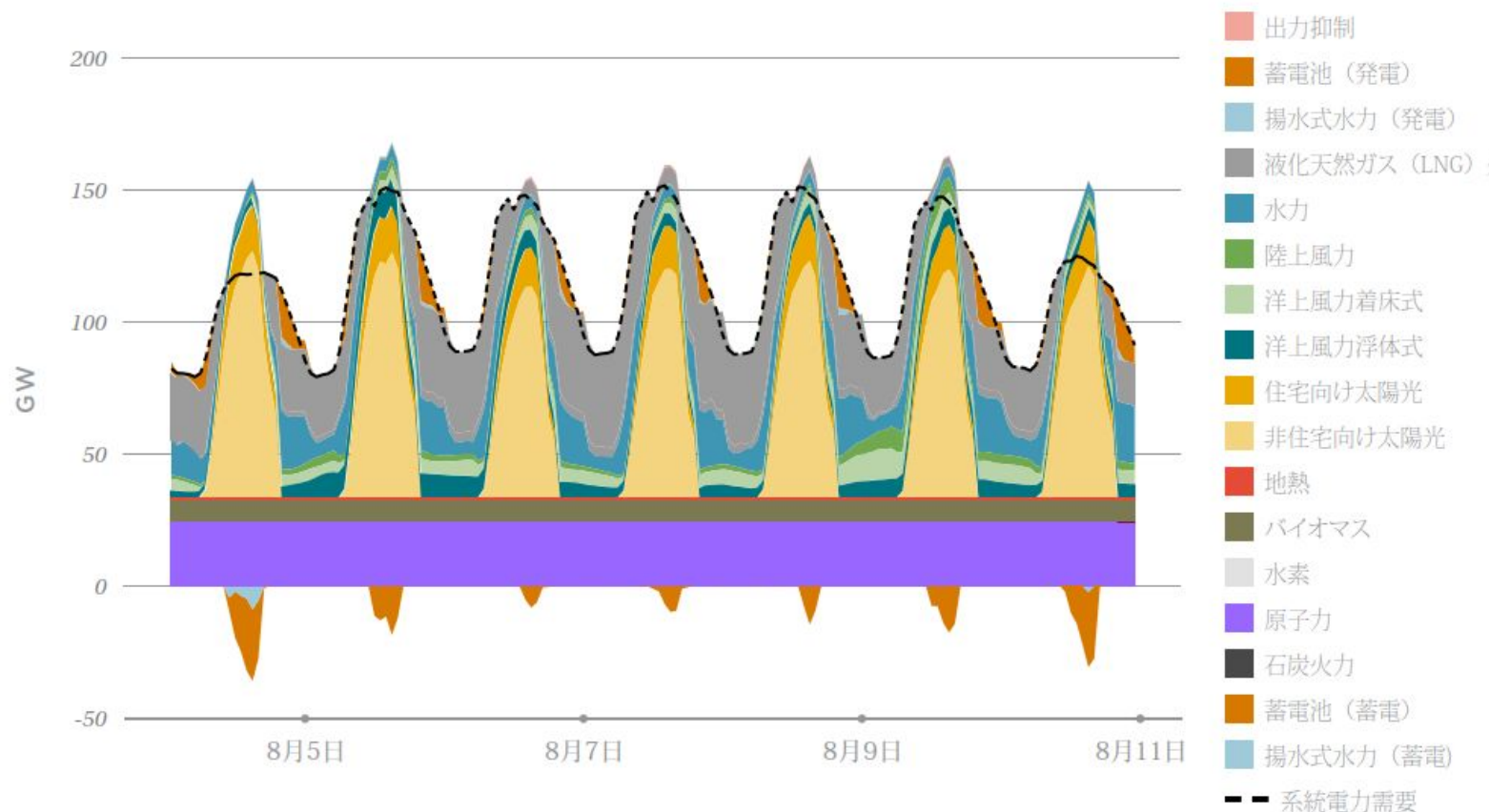


図9. 2035年夏季の残余需要最大週における系統運用

システムモデル計算による最安投資・運用の特定

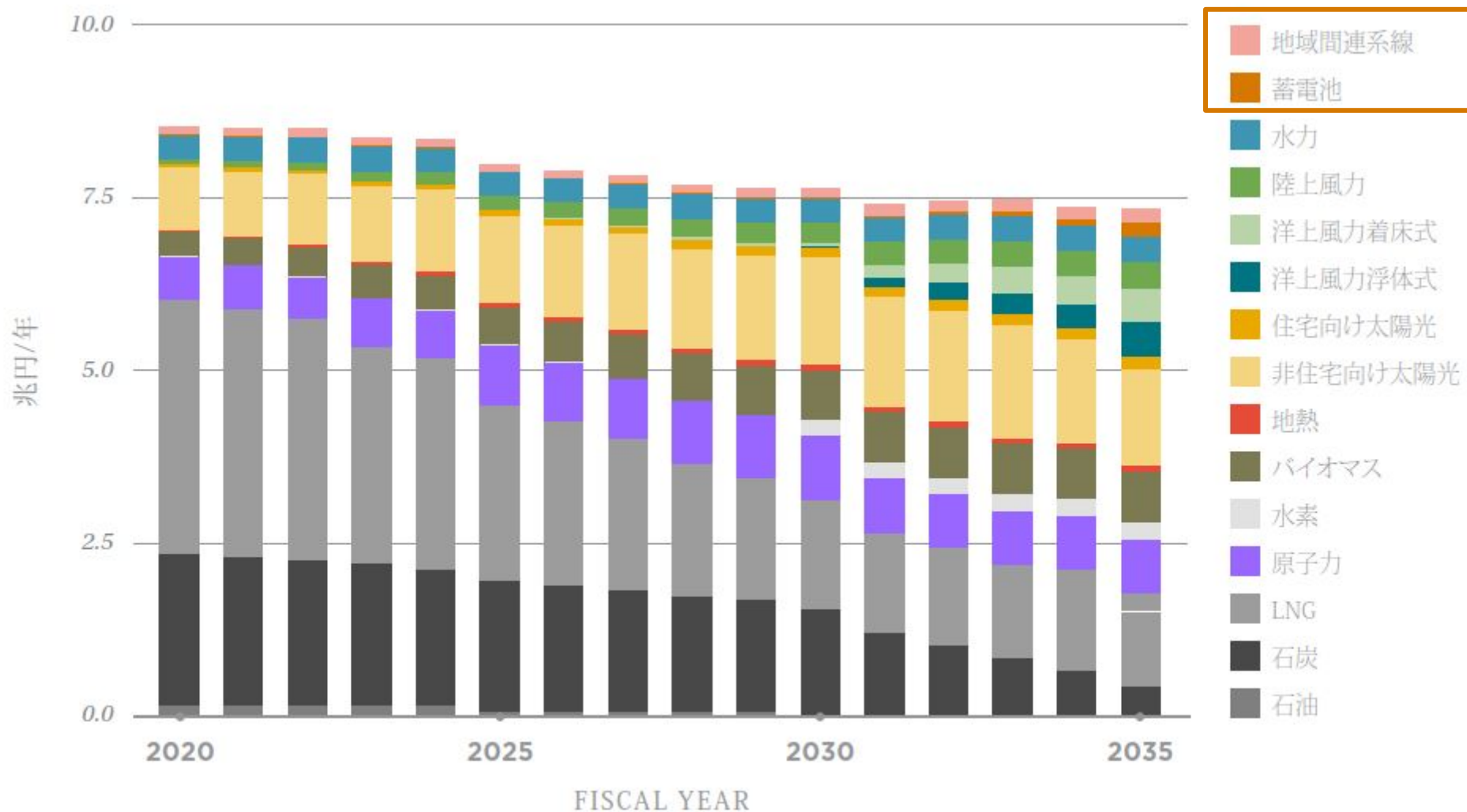


図14. 年間卸電力費用の内訳(2020年の日本円を基準とした実質値)

システムモデル計算による最安投資・運用の特定

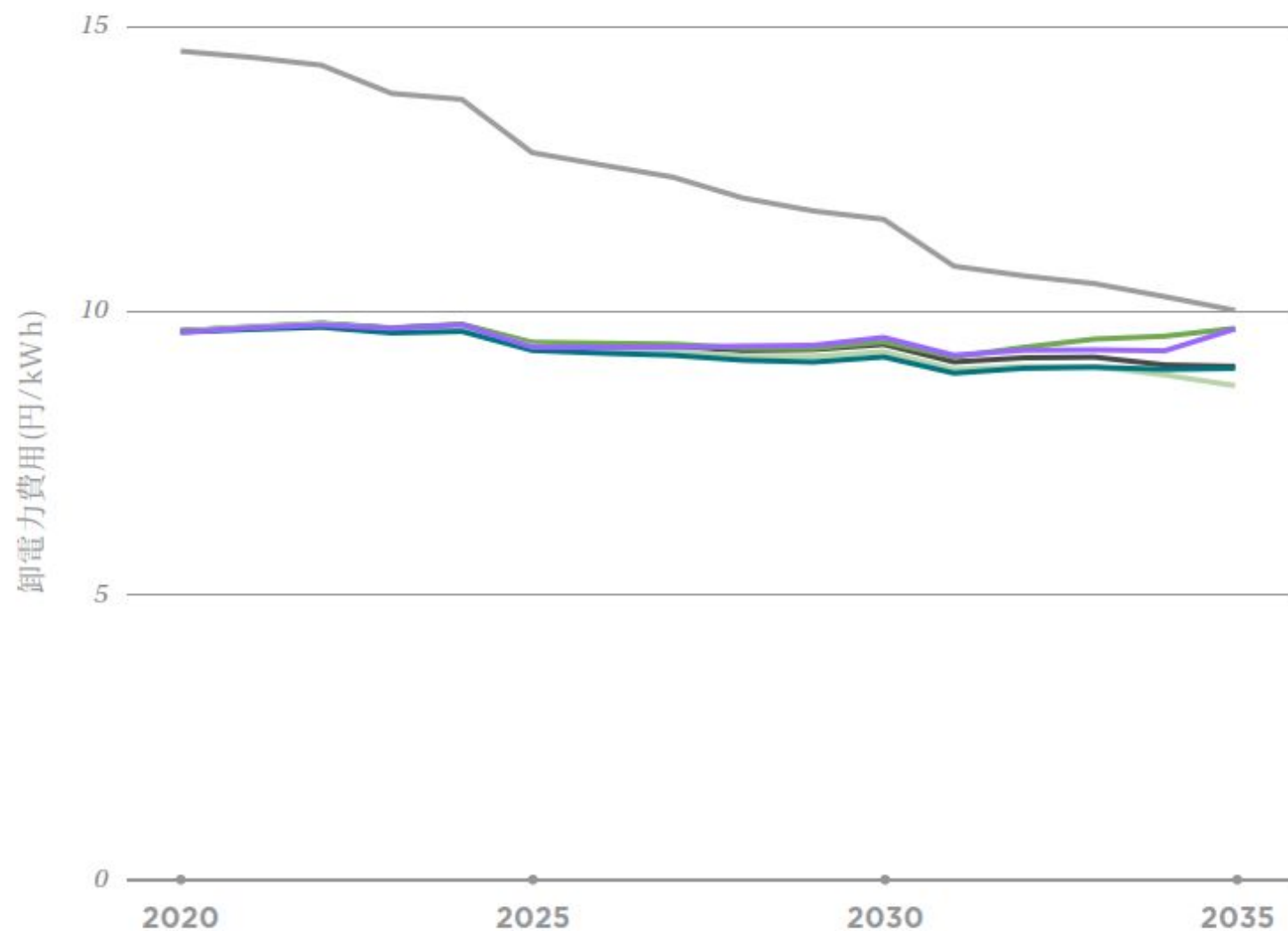


図17. 全シナリオの平均卸電力費用の推移(2020年の日本円を基準とした実質値)

- ベース
- 高燃料コスト
- 再エネ・蓄電池高コスト
- 再エネ・蓄電池低コスト
- 高電化
- 低原子力

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、CO₂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