

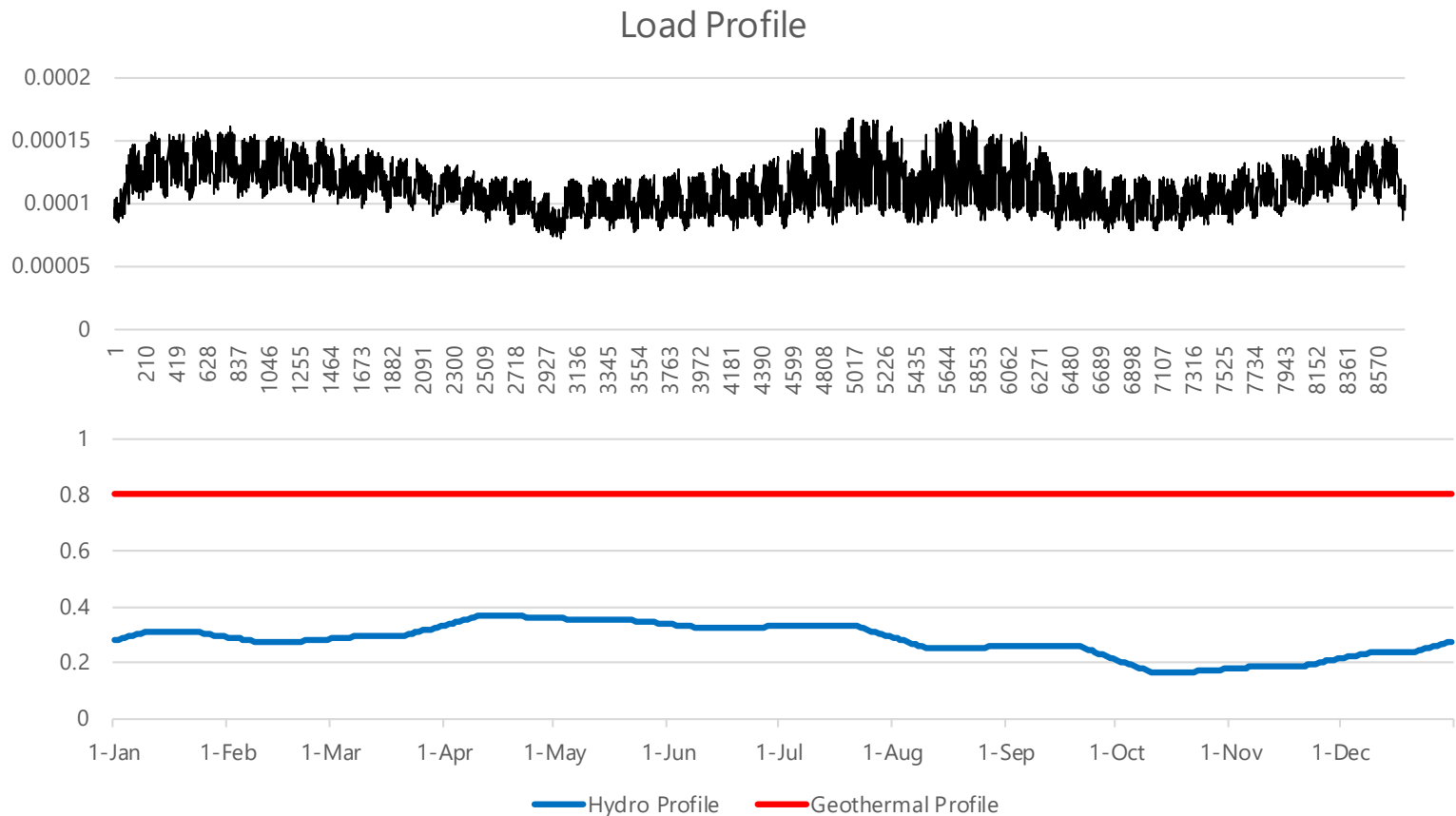
持続可能な脱炭素電源 原子力・次世代炉の役割 (長期最適電源構成モデルによる試算)

令和7年電気学会電力・エネルギー部門大会特別企画パネルディスカッション
2050年カーボンニュートラルに向けた電力・エネルギーシステムの役割
2025年9月18日

東京大学 大学院工学系研究科
原子力国際専攻 教授
藤井 康正

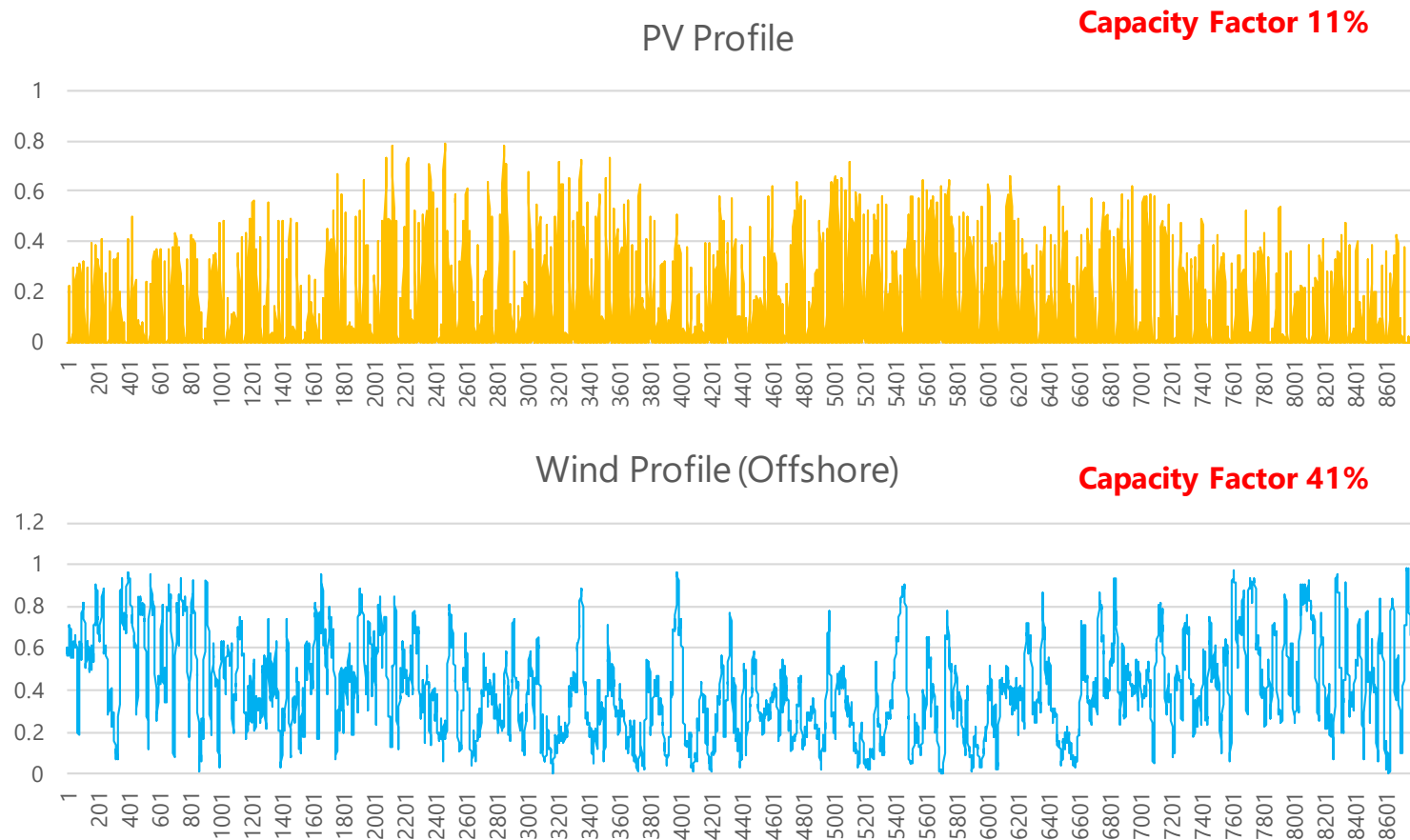
- 空間的には日本全体の電力システムを1つの節点で、時間的には1年間を4380時点（2時間間隔）で表している。
- 地域区分に関しては簡略化されたモデル
 - 送配電設備の容量制約と関連費用は考慮していない。
 - 資源賦存が北海道、東北北部、九州西部などに偏在している洋上風力発電については、楽観的な前提
- 100年間の動学的最適化
 - 対象期間は2020年から2120年
 - 時点間隔は5年（21時点）で期間中の諸量は台形補完
 - 線形計画法
 - 変数の個数は約200万個、制約条件式の本数は約400万本
 - 計算所要時間は約30分

- 想定データ
 - 年負荷曲線（上段）
 - 一般水力・地熱発電の年間設備利用率（下段）



- 想定データ

- 太陽光発電の年間設備利用率（上段）
- 風力発電（洋上）の年間設備利用率（下段）



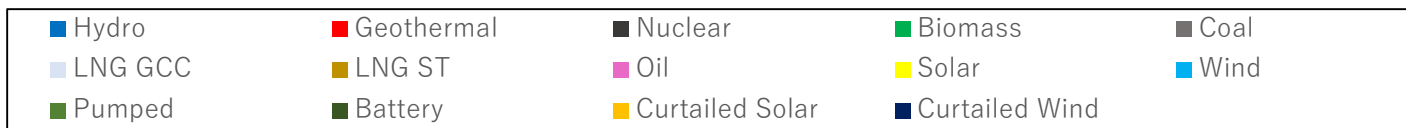
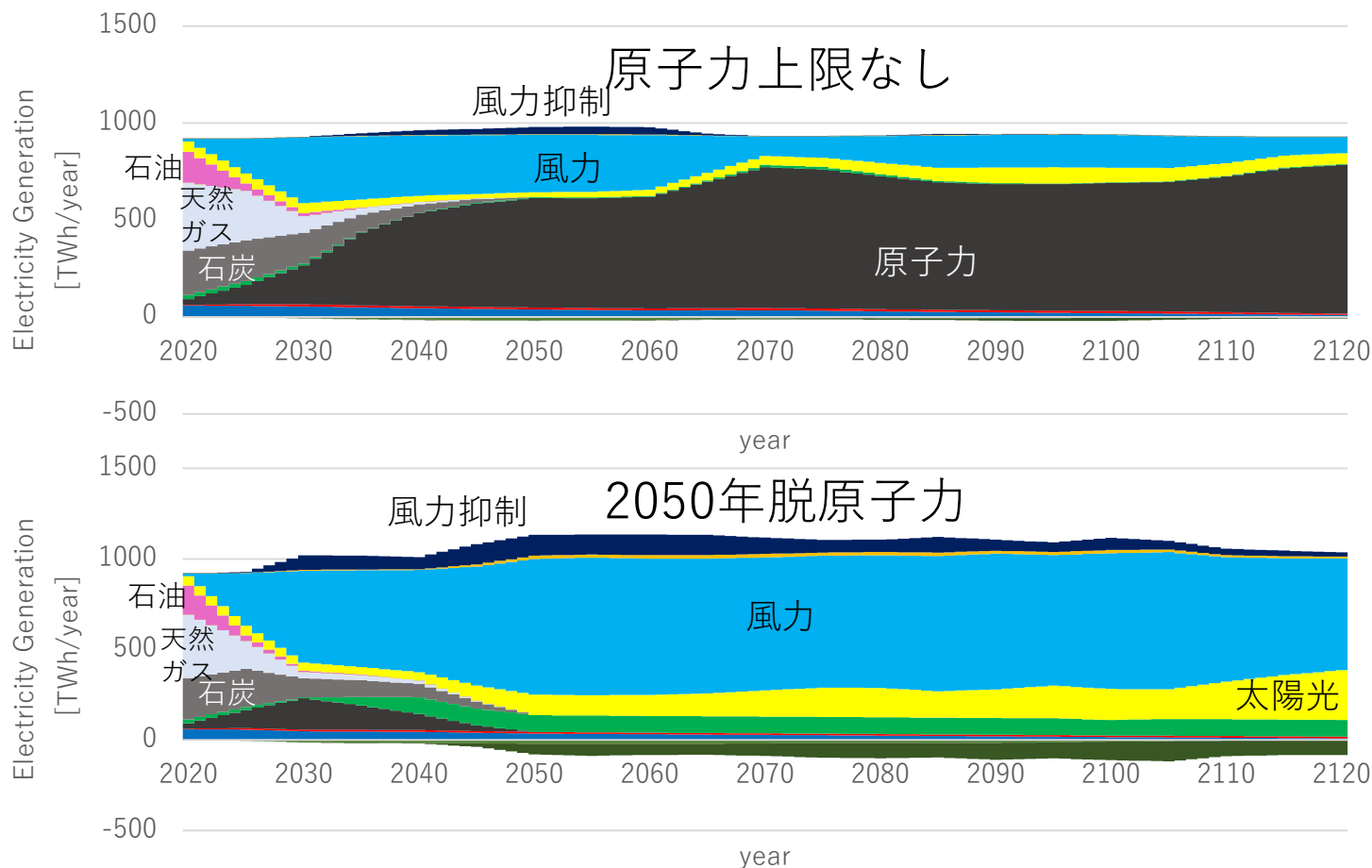
- コストに関する想定（抜粋）

費目	項目	想定単価等
燃料費	バイオマス	300 [\$/Toe]
	石炭	120~200 [\$/Toe]
	天然ガス	500~840 [\$/Toe]
	石油	450~700 [\$/Toe]
	ウラン	40~290 [\$/ lb of U ₃ O ₈]
設備費	原子力発電	4,000 [\$/kW]
	石炭火力発電	2,700 [\$/kW]
	天然ガス火力発電	2,000 [\$/kW]
	石油火力発電	2,000 [\$/kW]
	水力・地熱	6,000 [\$/kW]
	太陽光発電	1,400~900 [\$/kW]
	洋上風力発電	2,500 [\$/kW]
	バッテリー	200~50 [\$/kWh]
	再処理施設	30,000 [\$/kg-HM/year]

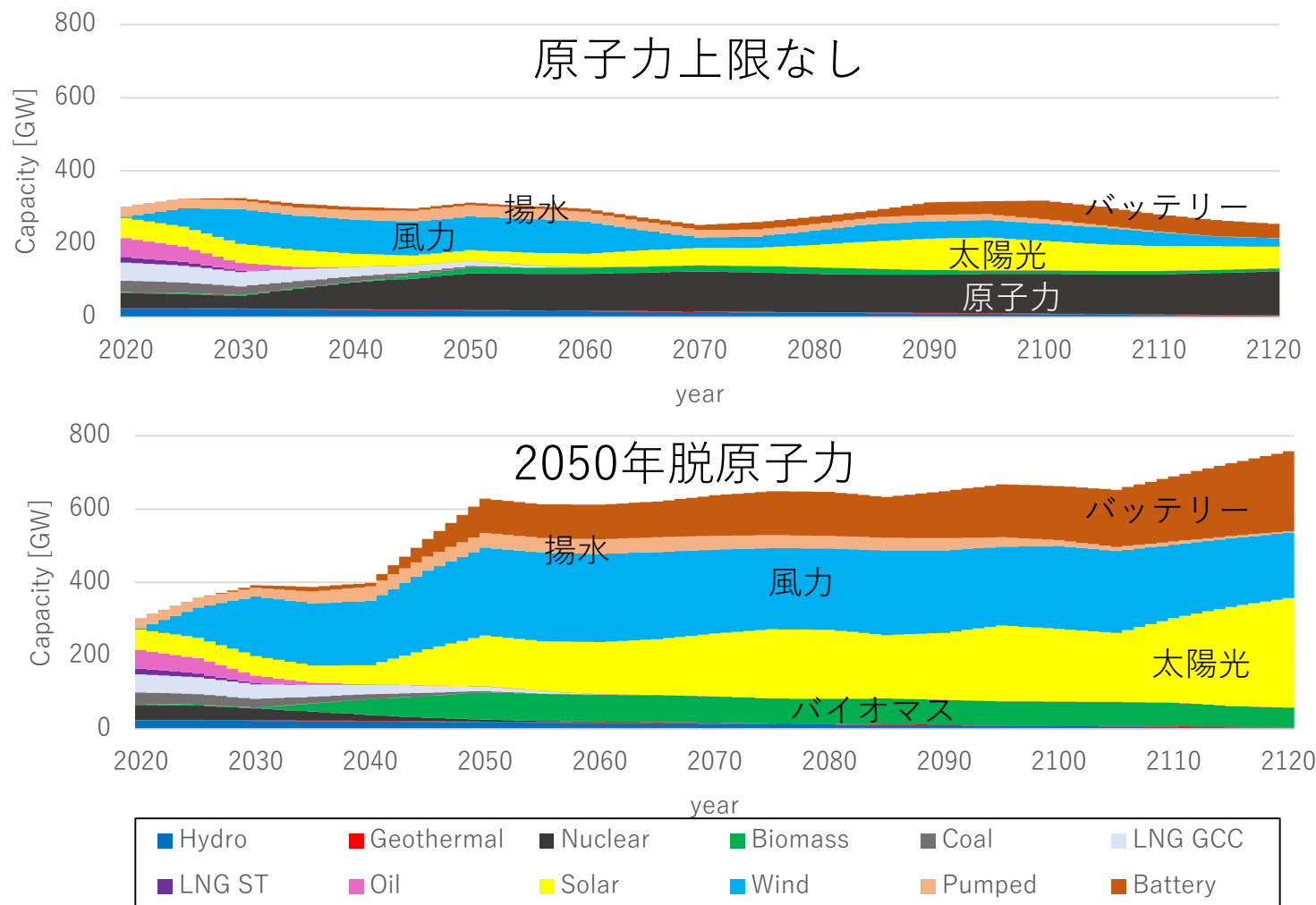
- 原子力関連
 - 天然ウラン輸入
 - U235濃縮
 - UOX、MOX燃料製造
 - UOX、MOX使用済み燃料再処理
 - 高レベル放射性廃棄物のガラス固化
 - 使用済燃料の貯蔵施設間輸送
 - 使用済燃料直接処分、ガラス固化体処分
 - プルトニウム貯蔵、劣化ウラン貯蔵、回収ウラン貯蔵
 - 原子炉の建設、運用・維持、廃炉
 - 軽水炉：BWR、PWR、ABWR、APWR
 - その他：FBR（炉心、ブランケット）、FR、HTGR
 - 明示的に考慮されている核種
 - U235、U236、U238
 - Pu238、Pu239、Pu240、Pu241、Pu242
 - Am241

- 電力需要
 - 省エネルギーによる削減と電化・データセンター需要による増加
 - 簡単のため今後100年間は年単位の電力需要は一定
 - 919 TWh/year
- CO₂ 排出量制約
 - 2050年以降は発電部門からの排出は0
(カーボンニュートラル)
- 原子力発電
 - 極端な2ケース
 - 原子力上限なしケース
 - 2050年脱原子力ケース

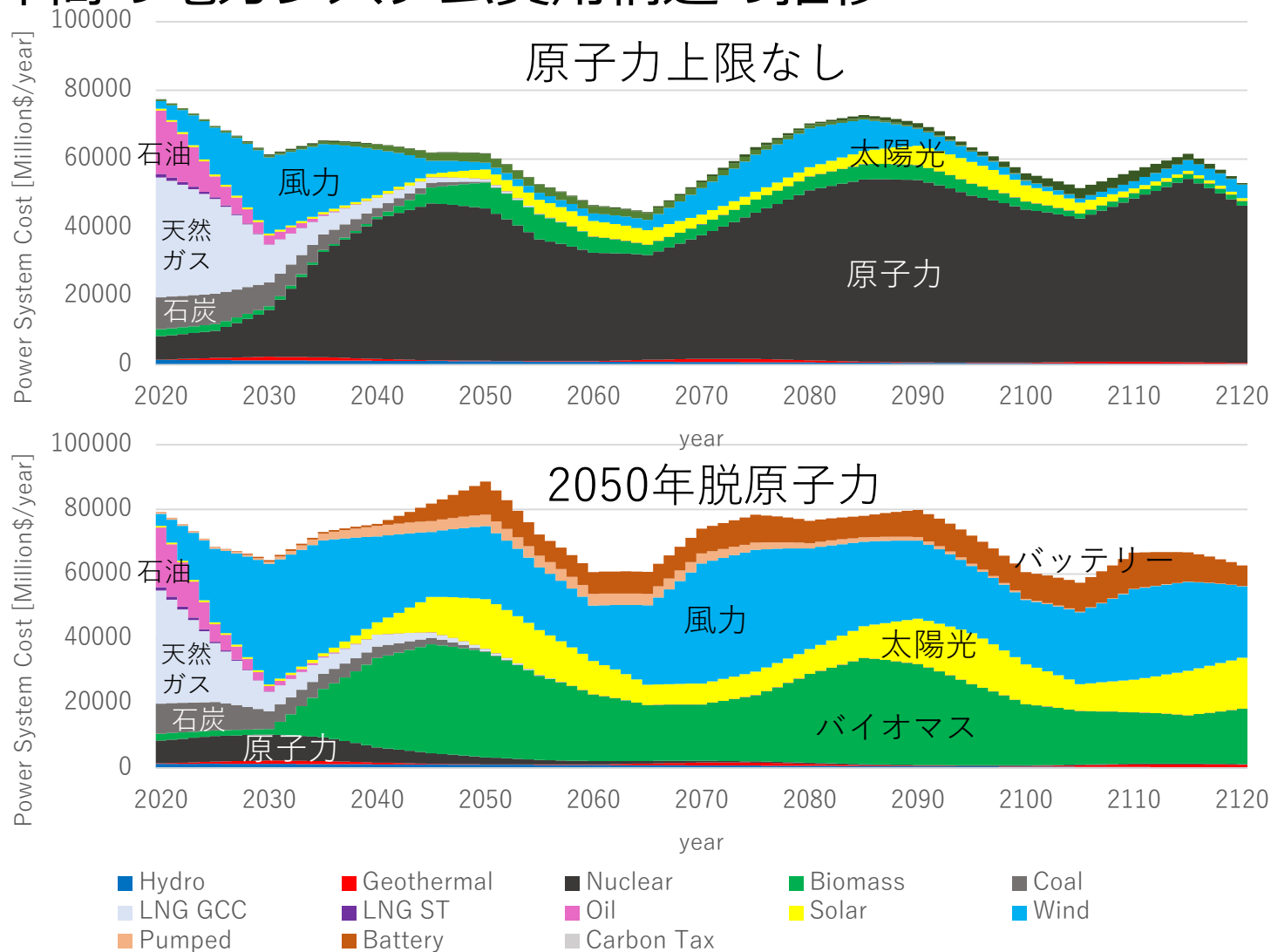
- 100年間の最適電源構成（発電電力量）の推移



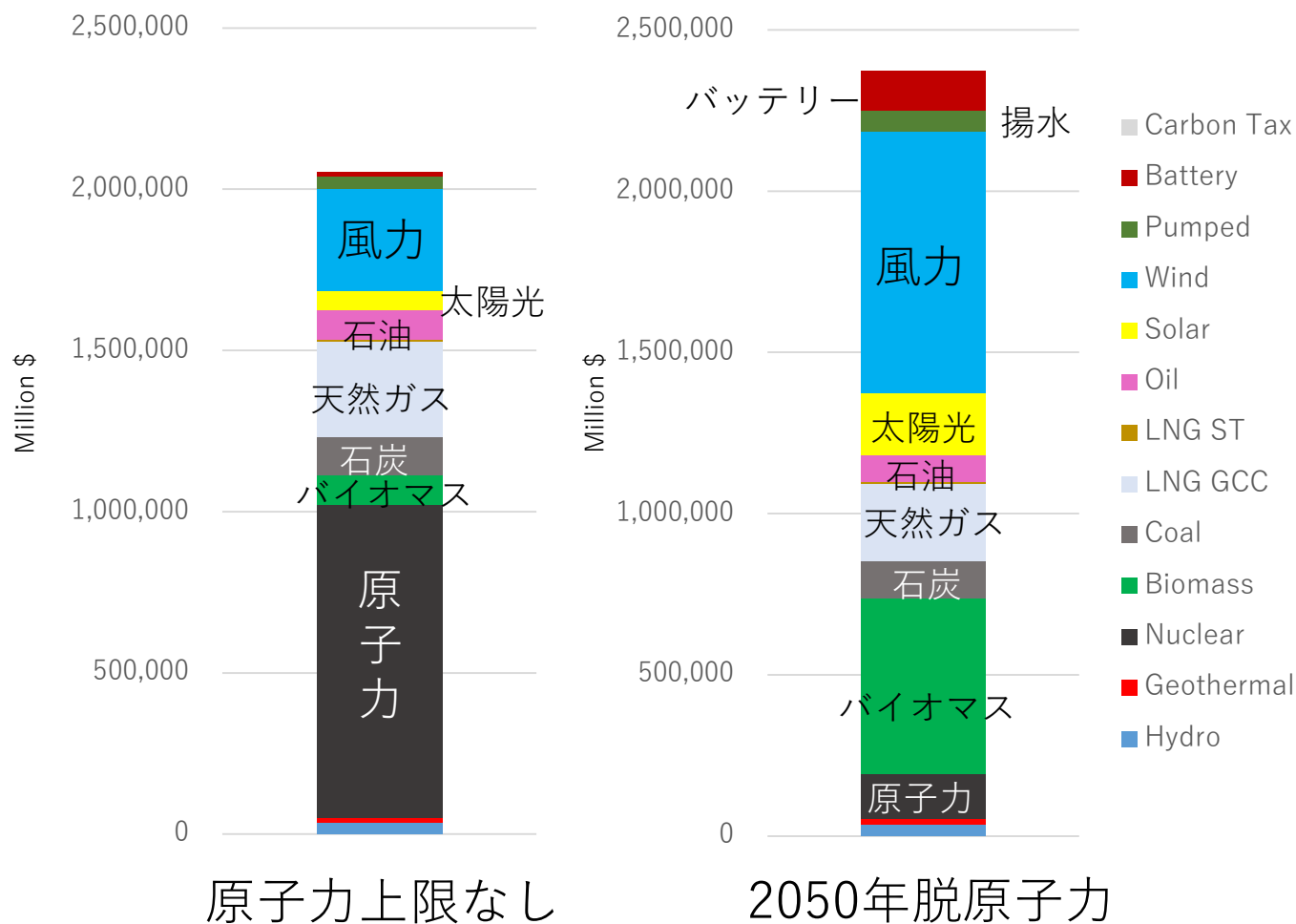
- 100年間の最適電源構成（設備容量）の推移



100年間の電力システム費用構造の推移

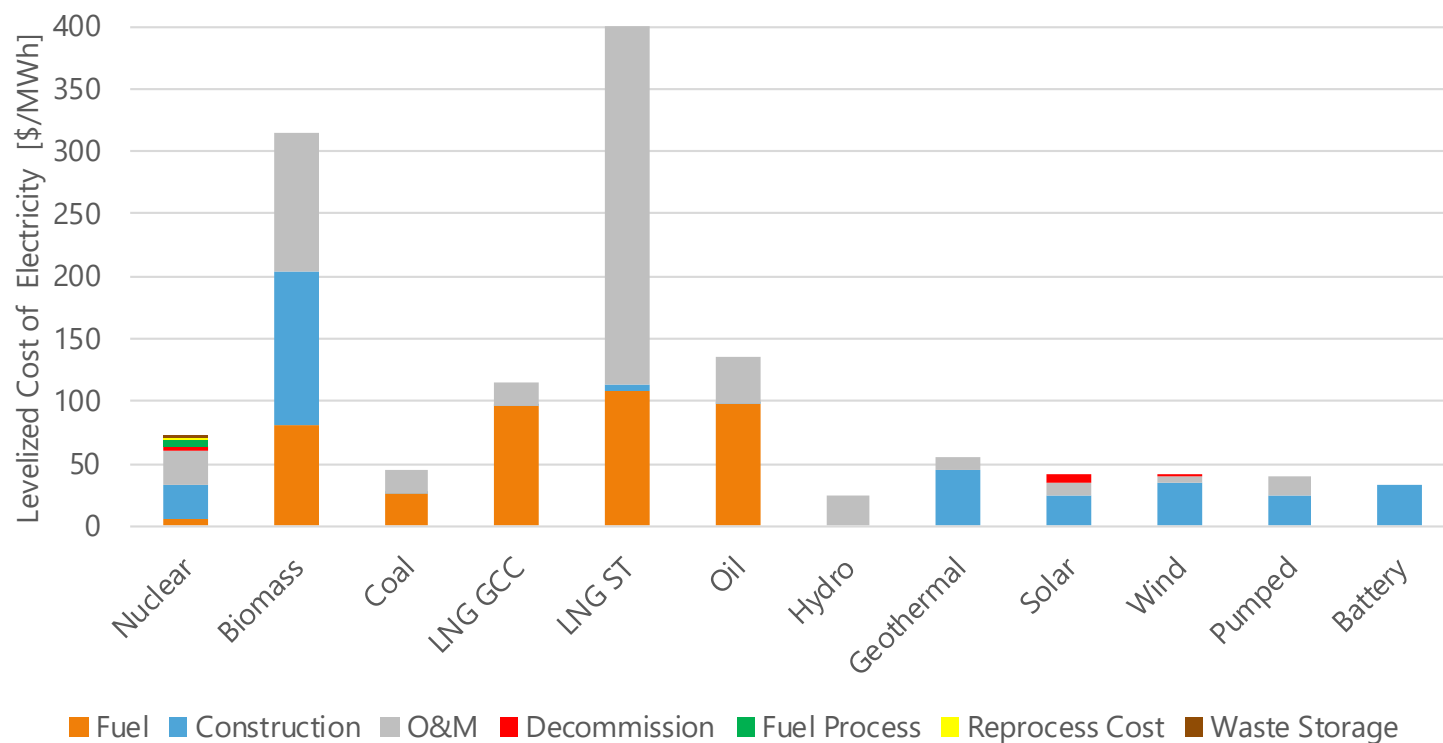


- 100年間の電力システム費用構造の割引済み総和



- 均等化発電原価

原子力上限なしケース



$$\sum_{t=0}^{100} \frac{LCOE \cdot Q_t}{(1+d)^t} = \sum_{t=0}^{100} \frac{C_t}{(1+d)^t}$$

$LCOE$: 均等化発電原価、 Q_t : t 時点の発電電力量、 C_t : t 時点の発電費用、 d : 割引率(3%/year)

- 原子力発電の設備容量に関する極端な2ケースを想定した試算結果を紹介した。
- 自然変動電源の発電単価が原子力発電のそれよりも有意に安価であっても、安定した出力が可能な原子力発電の方が電源構成に占める割合が高くなる可能性がある。
 - 電気の経済的価値は時々刻々変化
 - 安定電源は、自然変動電源が発電していない時間帯（電気の希少価値が高い時間帯）で収入が得られる。
- 発電単価に基づく最適電源構成の議論には注意が必要なことが示された。
- 割引率の影響でバックエンド費用は相対的には小さい。

- 「安全神話」と「危険神話」
 - 低線量・低線量率被曝の健康影響
 - 放射線以外のDNA二重鎖切断の要因（代謝による活性酸素は200mSv/day相当）