

エネルギーストレージミックスの経済合理性

令和6年3月14日

カーボンニュートラルに向けたエネルギー貯蔵技術研究会報告会

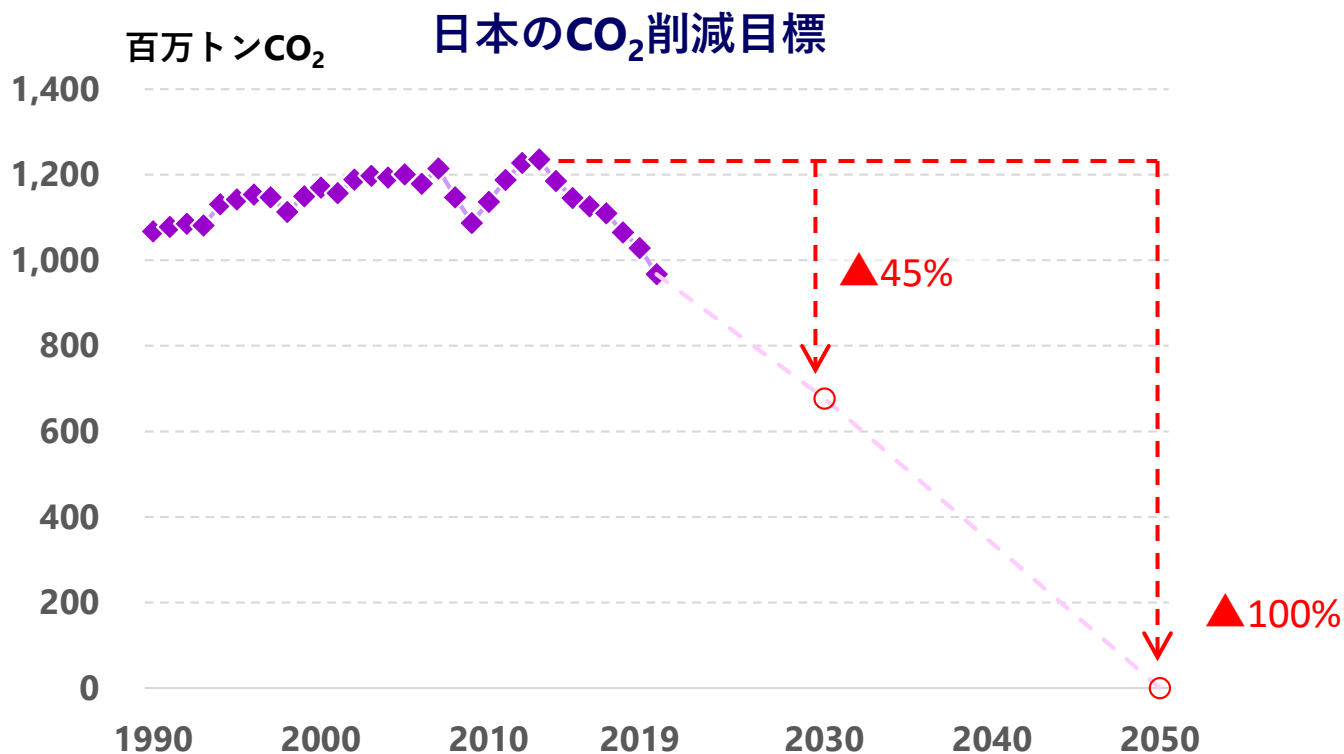
@早稲田大学西早稲田キャンパス61号館210室

立命館アジア太平洋大学/日本エネルギー経済研究所

松尾 雄司

試算の背景

- 日本政府はエネルギー起源二酸化炭素（CO₂）の排出量を2030年までに2013年度比で45%減（温室効果ガス排出量では46%減）、更に2050年までに温室効果ガス排出量を正味でゼロとする目標を掲げており、この目標を達成するためのエネルギーミックスに関する検討が進められている。ただし、多くの試算例において、蓄熱技術の大規模利用は明示的に考慮されていない。
- 今回、日本の2050年を対象としたゼロ・エミッションのモデル分析の中で、新たに蓄熱技術の導入をモデル化することにより、同技術が日本のエネルギーミックスで果たし得る役割について分析を行った。



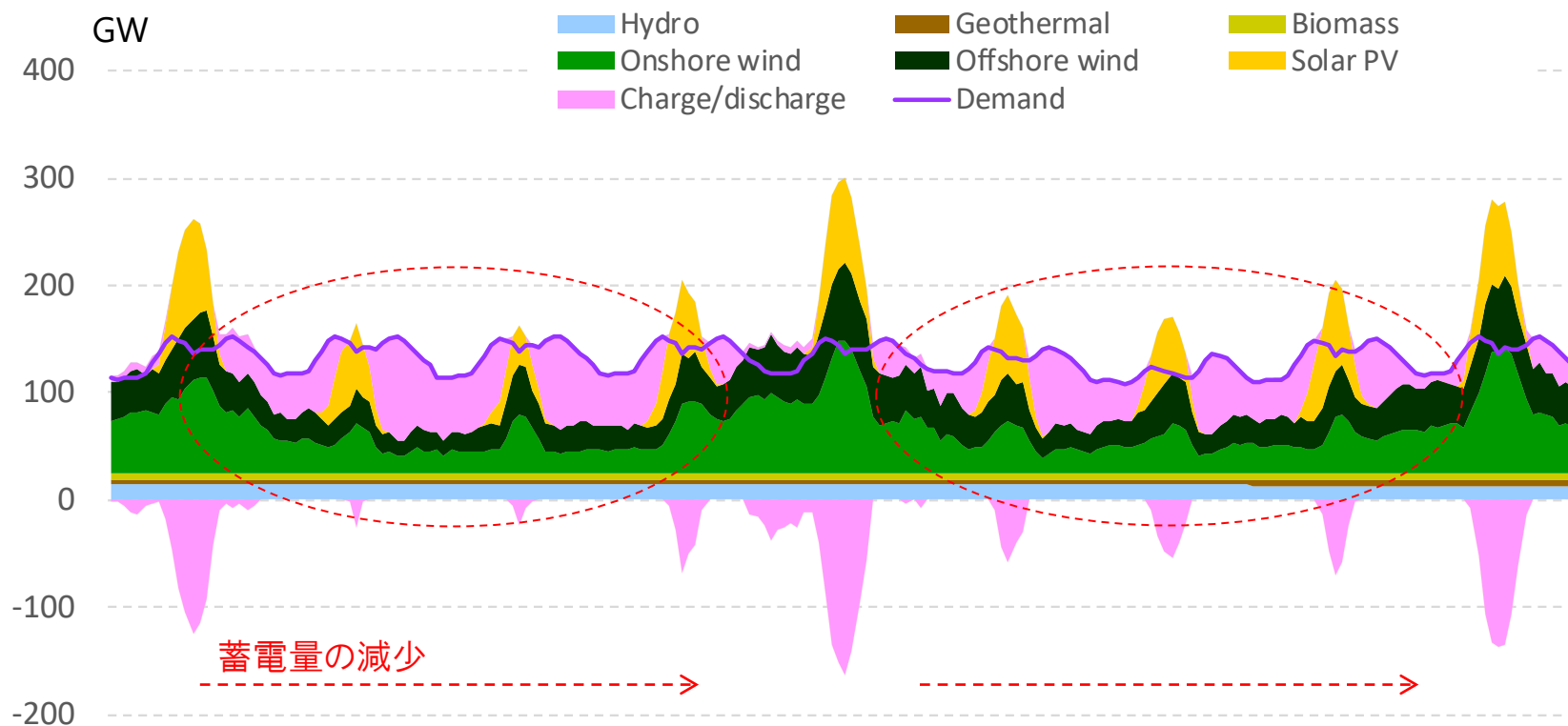
(実績値の出所)

国立環境研究所

エネルギー需給の中での蓄熱技術の役割

- 2050年カーボンニュートラル達成のためには変動性再生可能エネルギー（Variable Renewable Energy, **VRE**：太陽光及び風力）の**大量導入**が必要。
- VREが大量導入された場合、その**出力変動に対処するための方策**が必要となる。
 - 送電網拡張
 - デマンドレスポンス（DR）
 - 出力抑制
 - 蓄エネルギーシステムの導入
- **蓄エネルギーシステム**の中でも、揚水発電、蓄電池、ガス体（水素等）貯蔵、蓄熱など**様々な技術が存在**し、それぞれ長所・短所がある。
- 蓄熱技術は蓄電池に比べ、サイクル効率が低い、エネルギーロスが多いといった短所がある反面、設備コストが安いという長所がある。
- 最適なエネルギーシステムの中では、これらの**長所・短所をもった様々な技術が目的に応じて使い分けられる**。特に、蓄エネルギー技術の中でもそれぞれの技術が使い分けられ、適切な**エネルギーストレージミックス**が存在する。

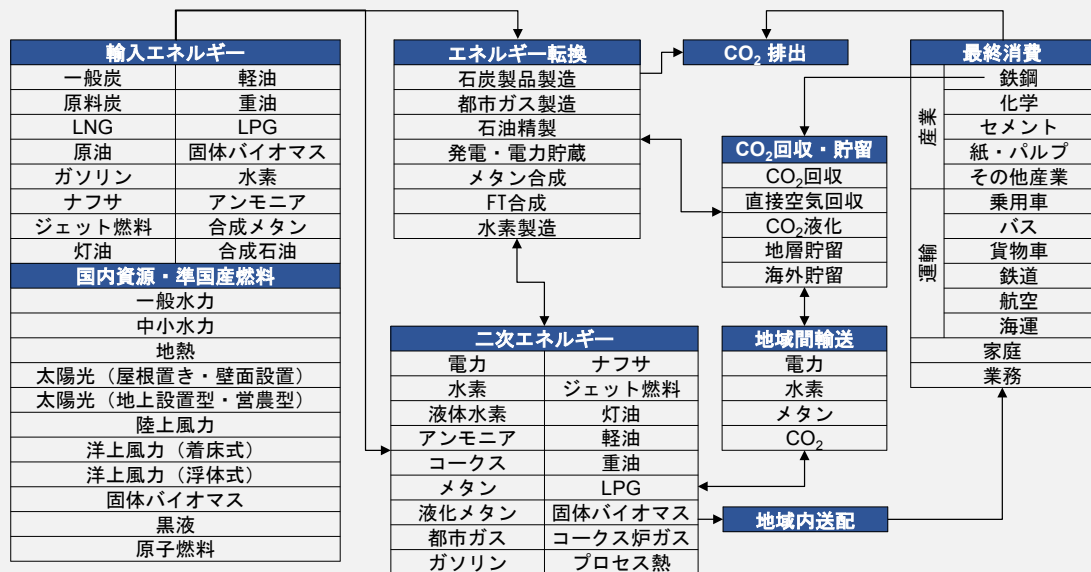
蓄エネルギー設備所要量を決定する要因：「無風」期間



- 1年のうち1度か2度、風力・太陽光の発電量が極めて小さくなる時期（無風・無光期間・"Dark doldrums"と呼ばれる）が生じる。
→ この「無風期間」の電力需要を賄うために必要な電力量が、蓄電池の必要量となる。
- 短期（1日単位）ではなく比較的長期のエネルギー貯蔵が必要となり、必ずしもサイクル効率の良くない（しかし安い）貯蔵技術が選択され得る。

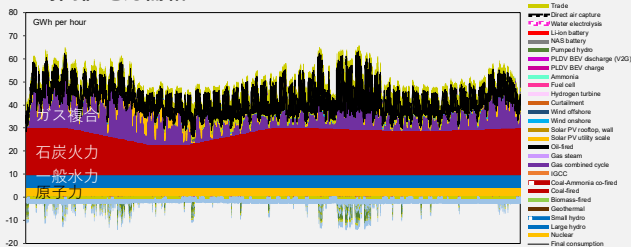
使用したモデル：IEEJ-NE_Japan

エネルギーシステム全体のモデル化

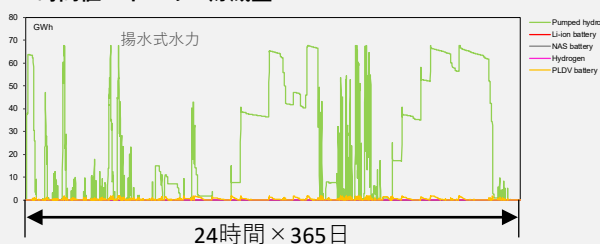


詳細な電力需給分析

1時間値電力需給

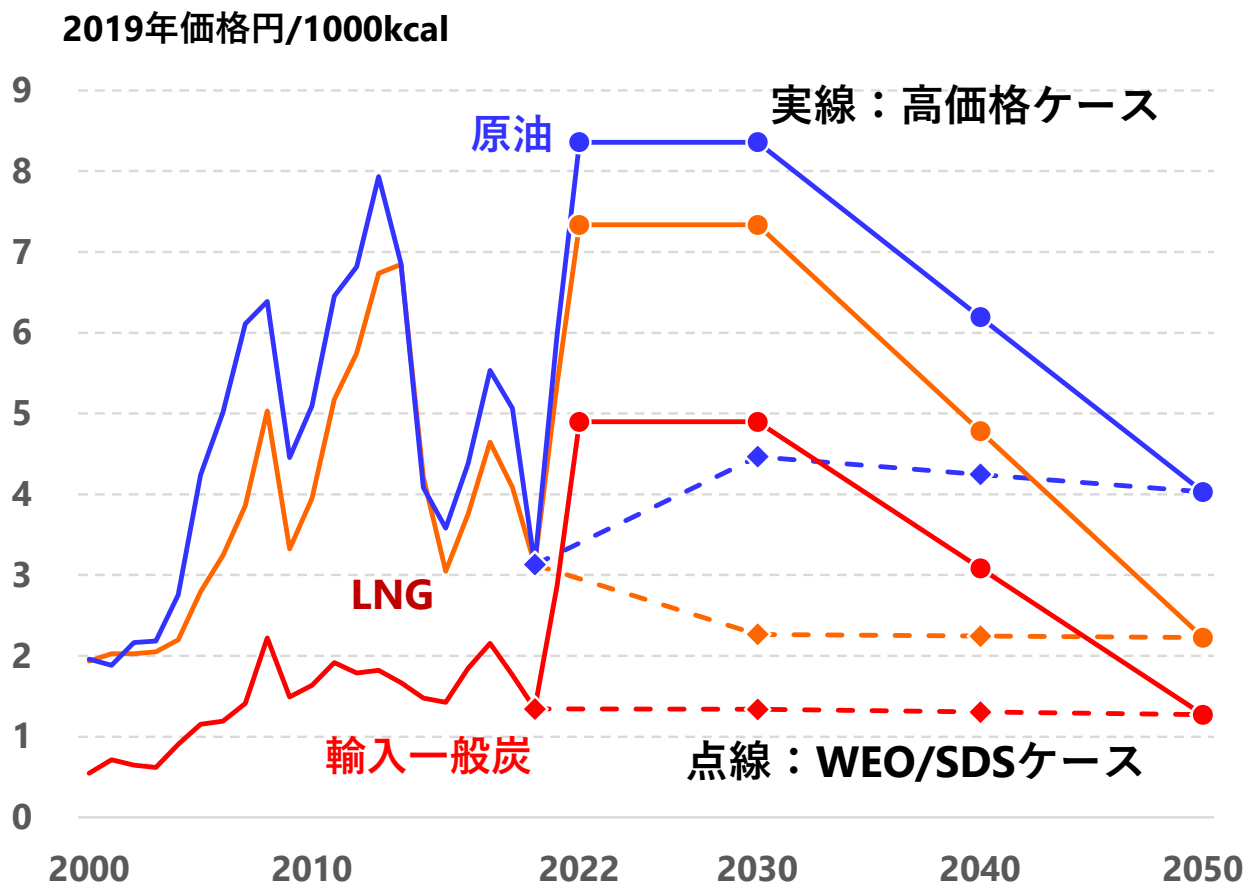


1時間値エネルギー貯蔵量



- 政府の総合資源エネルギー調査会、第44回・第50回基本政策分科会（2021, 2022）で公表した日本の2050年のエネルギーミックスに関する試算に用いたエネルギーシステムモデル（IEEJ-NE_Japan）を利用して試算。
- 本モデルは線形計画法による技術導入モデルであり、所与の前提条件のもと、CO₂排出制約を最小コストで達成するための需要側・供給側エネルギー関連技術の最適な導入・利用量を計算する。
- 原子力発電設備容量は60年までの稼働延長を想定し、2050年に25.5GWとした。

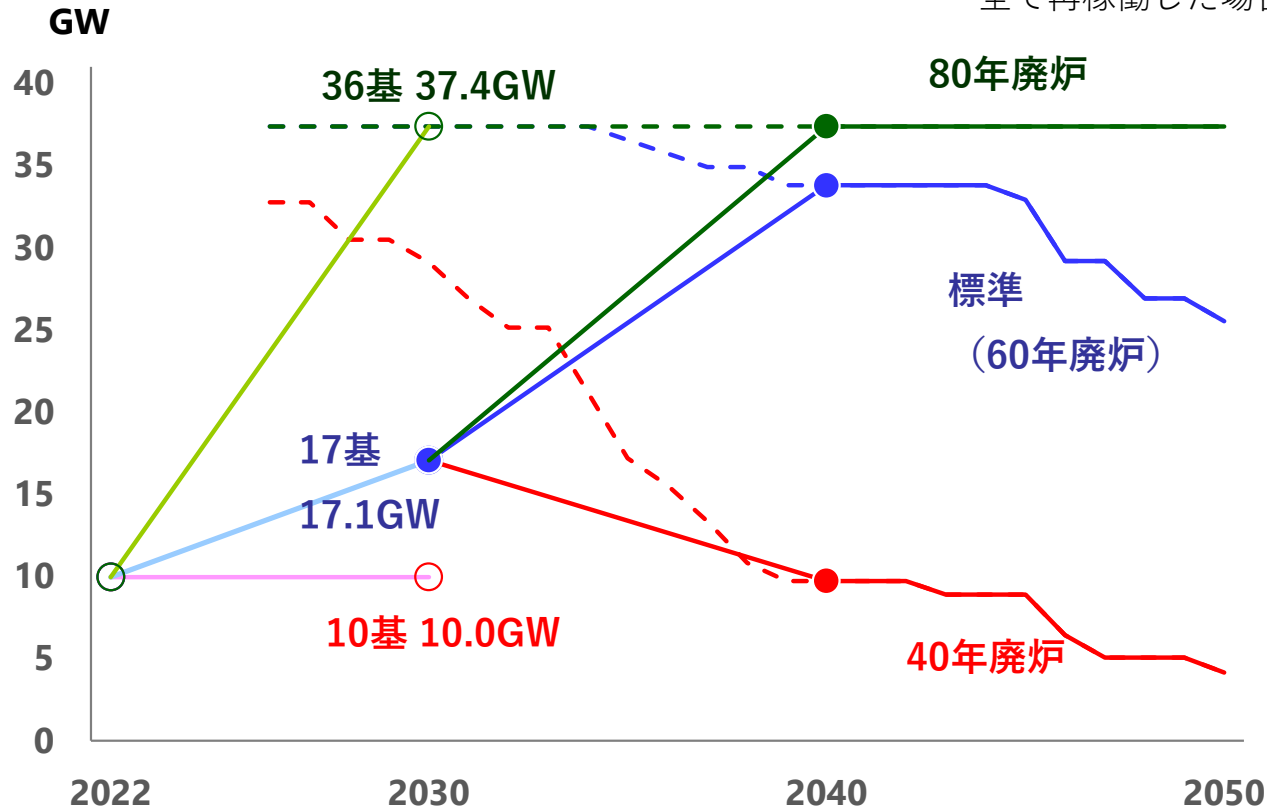
一次エネルギー価格の想定



- 本試算では、一次エネルギー価格（日本の輸入CIF価格）につき、国際エネルギー機関（IEA）の**World Energy Outlook 2021**における**Sustainable Development Scenario (SDS)** 相当の将来見通しを想定した。
- 上図実線は2022年の高価格が2030年まで継続するケースを想定。（今回は不使用）

原子力発電設備容量の想定

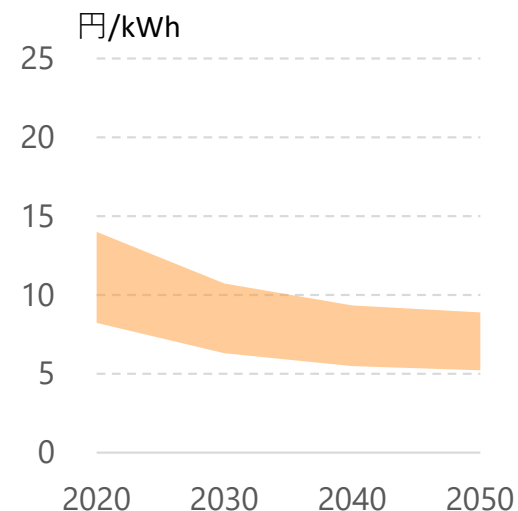
※点線は40年・60年80年ケースでそれぞれ
全て再稼働した場合の設備容量



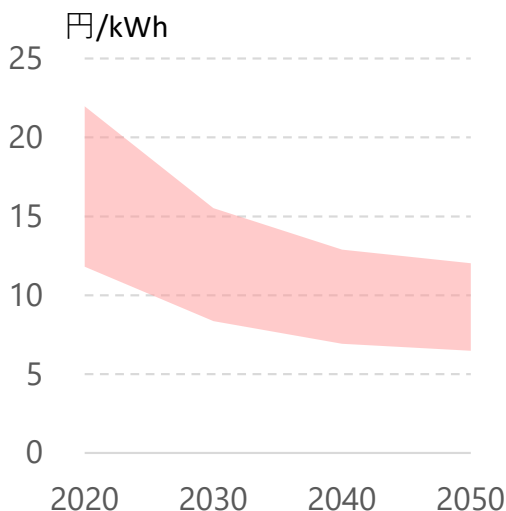
- 2050年に向けて、利用可能な全ての原子炉が60年までの運転期間延長を行うものと機械的に想定した（上図「標準」ケース）。

太陽光・風力発電単価（LCOE）の想定 （基準ケース）

太陽光（地上設置・営農型）

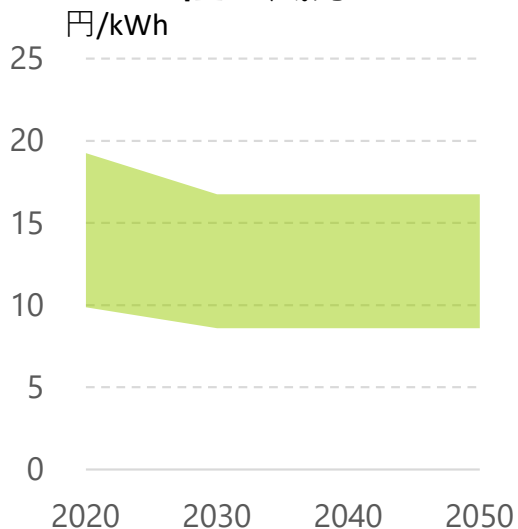


太陽光（屋根・壁面）

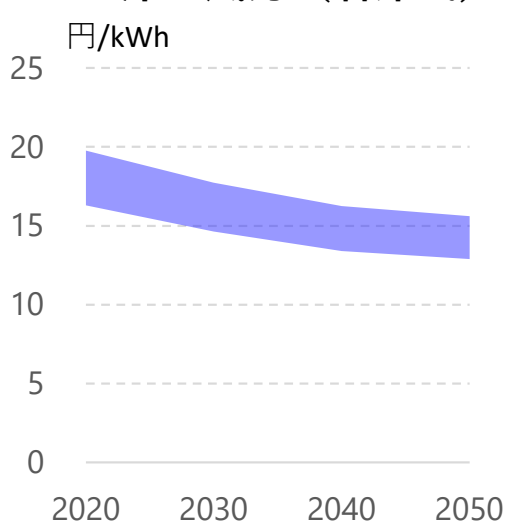


- 太陽光・風力発電の発電単価（Levelized Cost of Electricity：LCOE）については2021年発電コスト検証WG・調達価格等算定委員会等の資本費をもとに、GISデータのメッシュ毎の日射量・風況条件を考慮して推計。
- ここではパネルやタービンの価格が2050年まで低下を続けるものの、内外価格差が解消するには至らないケースを想定。

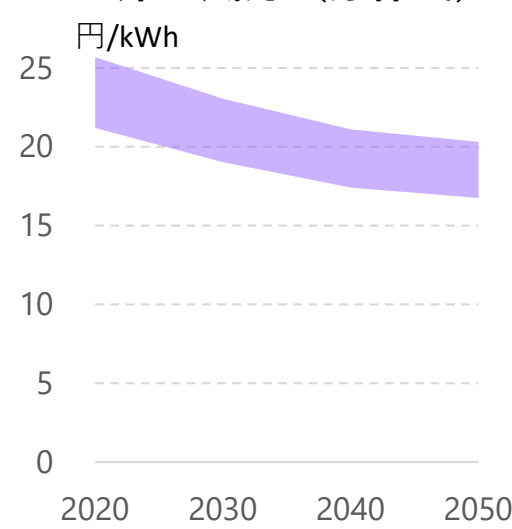
陸上風力



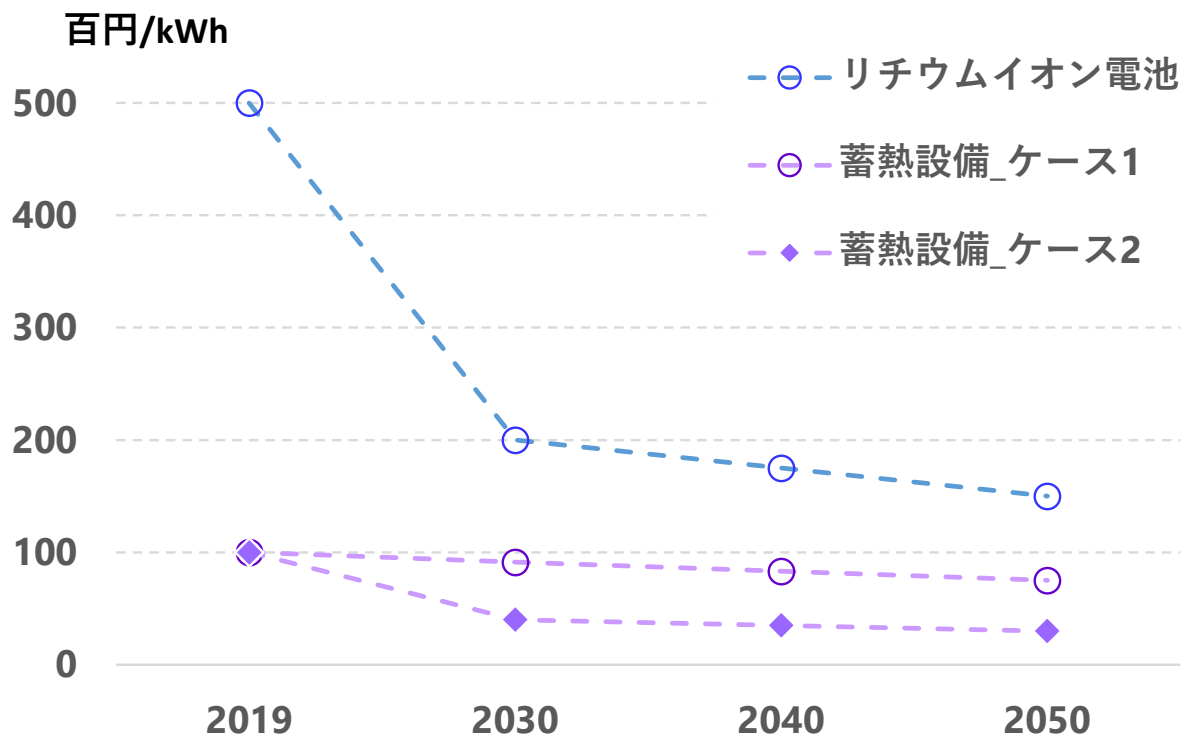
洋上風力（着床式）



洋上風力（浮体式）



蓄電池（Li-ion）及び蓄熱設備のコスト想定



ケース0 蓄熱設備なし

ケース1 蓄熱設備コストが2050年に7500円/kWh

ケース2 蓄熱設備コストが2050年に3000円/kWh

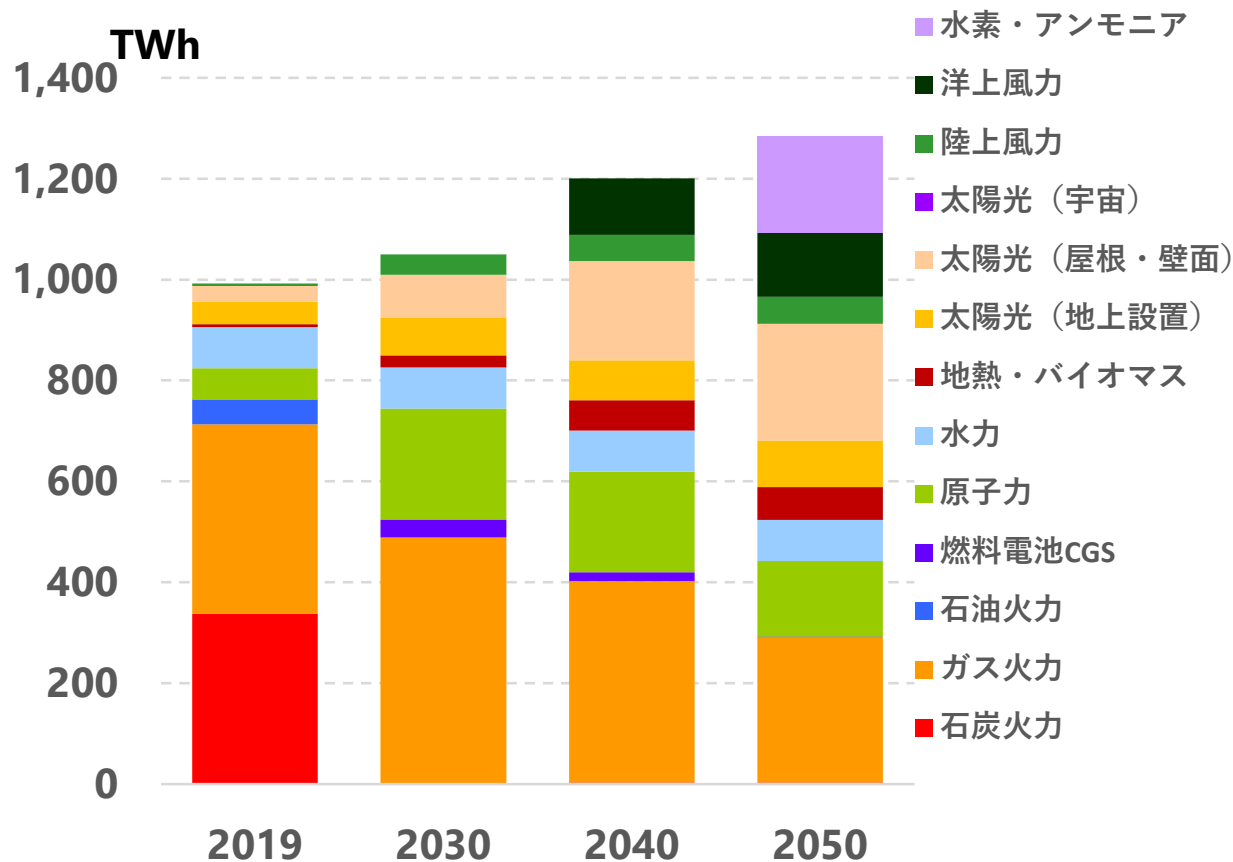
※ 揚水発電は足元実績相当（全国で165GWh）で固定としているため、コスト計算の対象外。

その他の想定

	リチウムイオン電池	蓄熱設備
稼働年数	10年	30年
自己放電（放熱）	0.05%/時	1%/日 (0.042%/時)
サイクル効率	85%	45%
C-rate	1.0	1.0

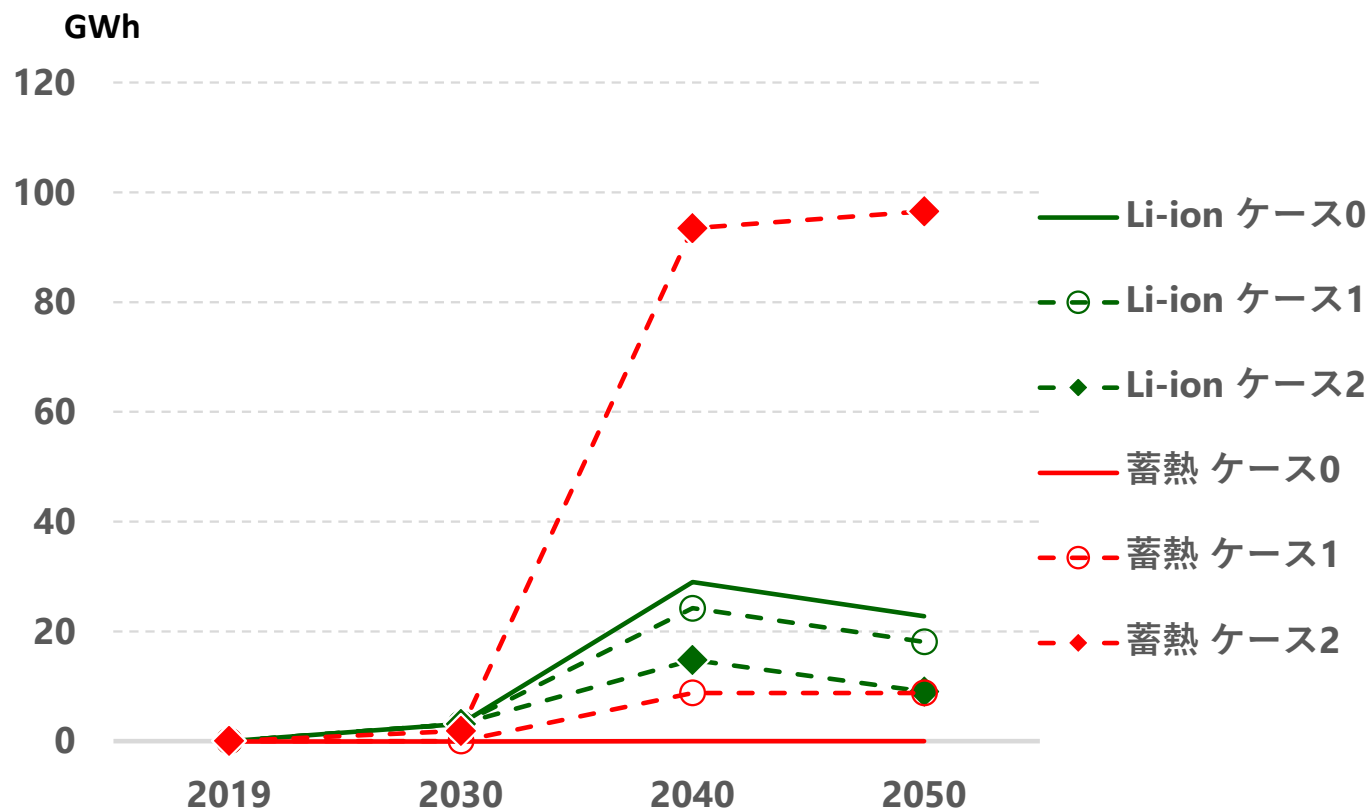
- サイクル効率については標準的なケースで45%と想定。また、自己放熱率は1%/日とした（リチウムイオン電池の自己放電率想定と概ね同程度）。
- Cレート（放熱/放電出力[kW] ÷ 蓄電/蓄熱容量[kWh]）は1.0と想定した。

電源構成（ケース0：蓄熱なし）



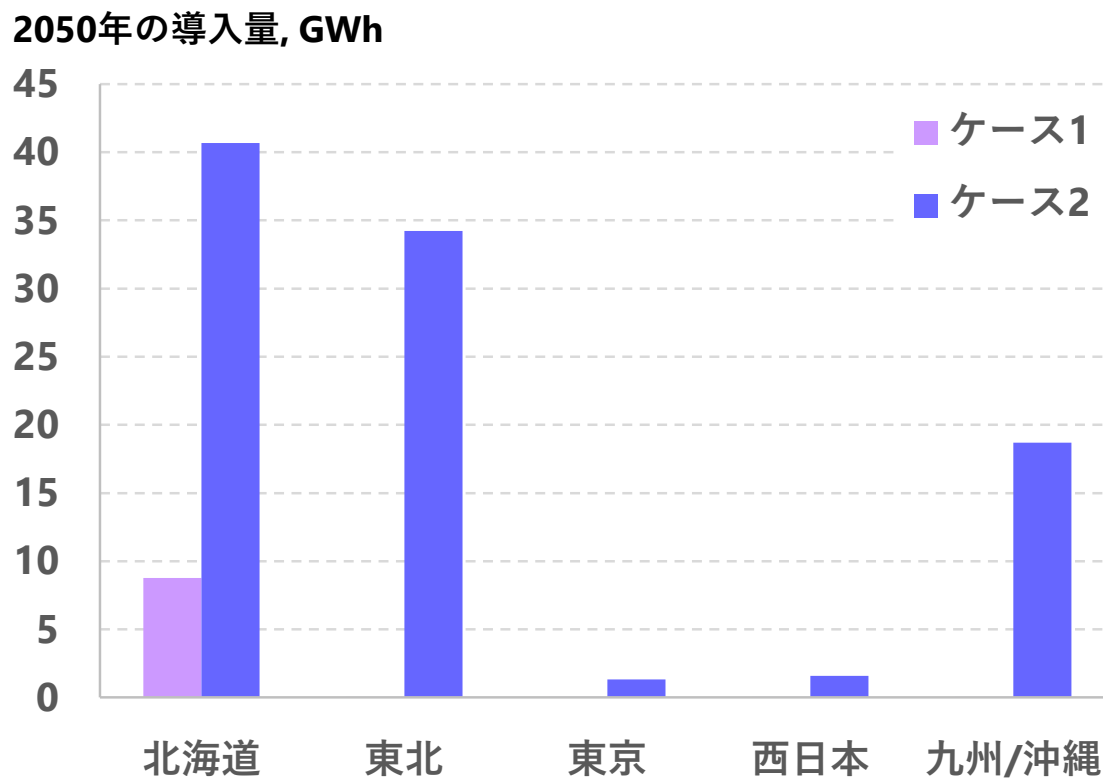
- 蓄熱技術のないケース0では、再生可能エネルギー比率（水力含む）は2019年の18%から2030年に29%、2040年に48%、2050年に51%まで上昇する。

蓄電設備及び蓄熱設備の導入量



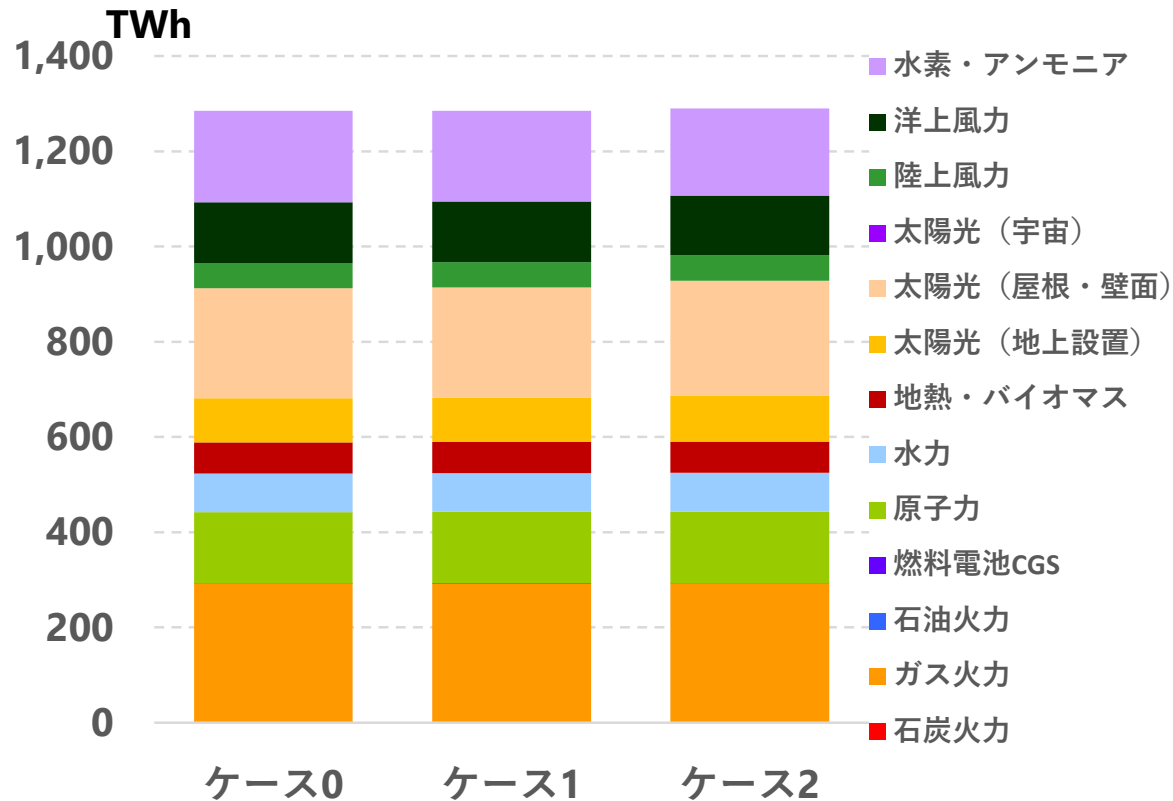
- ケース0（蓄熱なし）のLi-ion電池導入量23GWh（2050年：全国）に対し、ケース2（蓄熱コスト3000円/kWh）では9GWhまで導入量が低下。
- その代わりに、蓄熱設備が97GWhまで導入される。

蓄熱設備の導入地域（2050年）



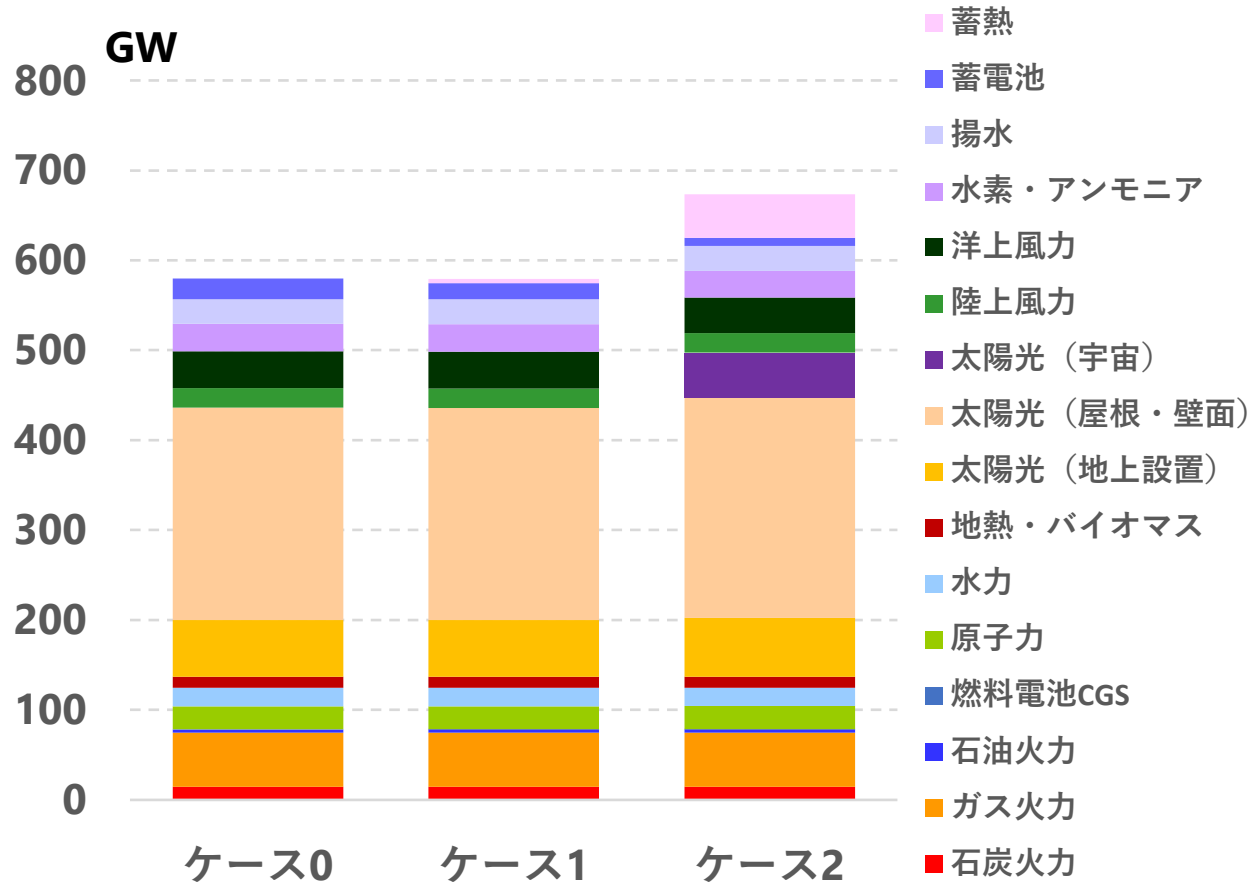
- 変動性再生可能エネルギーが大量に導入される北海道、東北や九州地域において、特に蓄熱設備が設置される。

2050年の電源構成



- 蓄熱なしケースの2050年の再エネ比率は50.7%に対し、ケース1ではほぼ比率は変わらない。
- ケース2では微小に比率が上昇し、51.4%となる。

2050年の発電設備構成



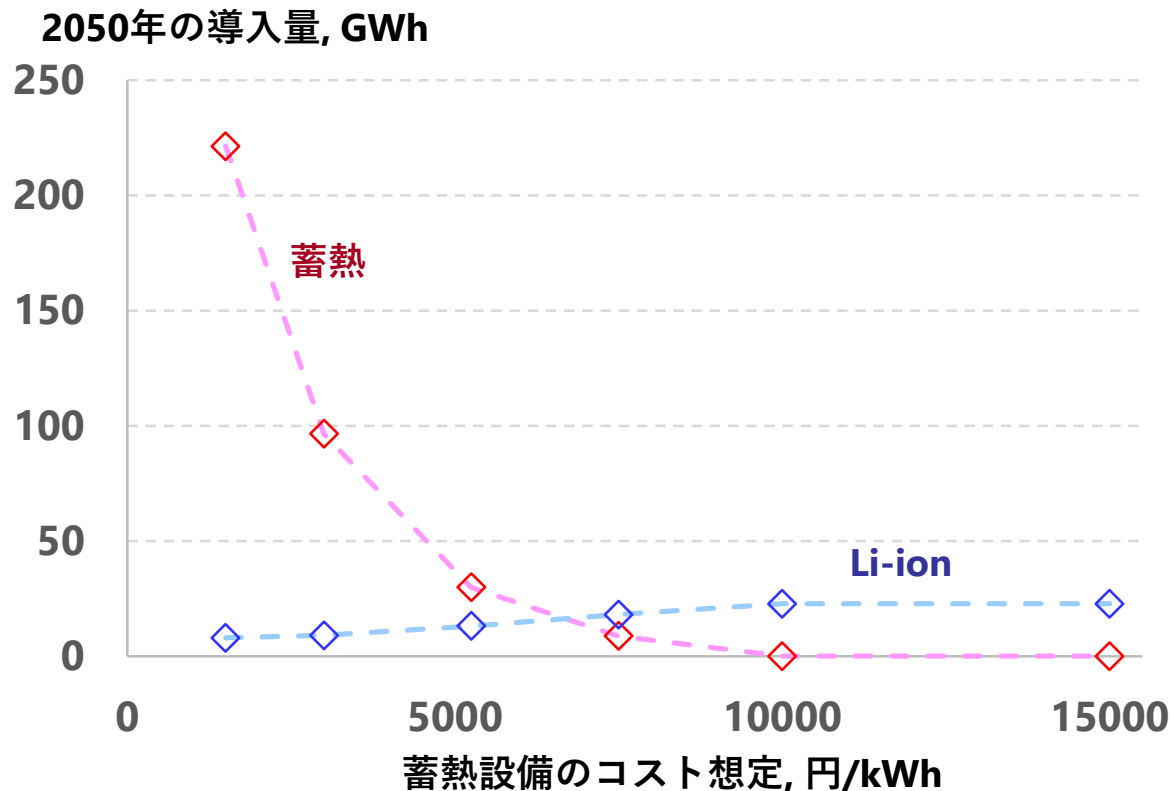
- ケース2では全発電設備の7%程度を蓄熱設備が占めるに至る。

感度解析

蓄熱設備につき、以下のパラメータを変化させて感度解析を行った。

- 導入コスト
- サイクル効率
- 自己放熱率
- cレート

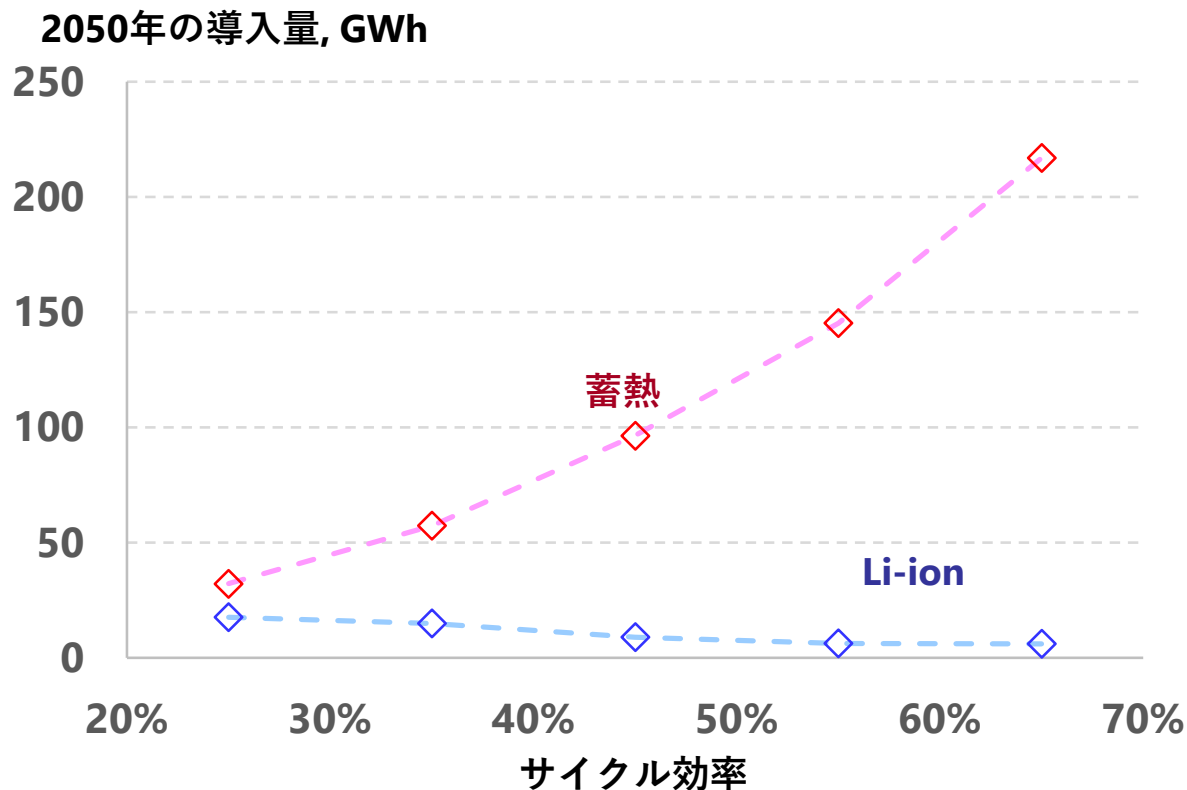
感度解析：蓄熱設備のコスト



- リチウムイオン電池のコスト想定15000円/kWhに対し、蓄熱設備のコストが10000円/kWhを上回るとほとんど導入されない。逆に、コストが5000円/kWhよりも小さくなると急速に導入されるようになる。

感度解析：サイクル効率

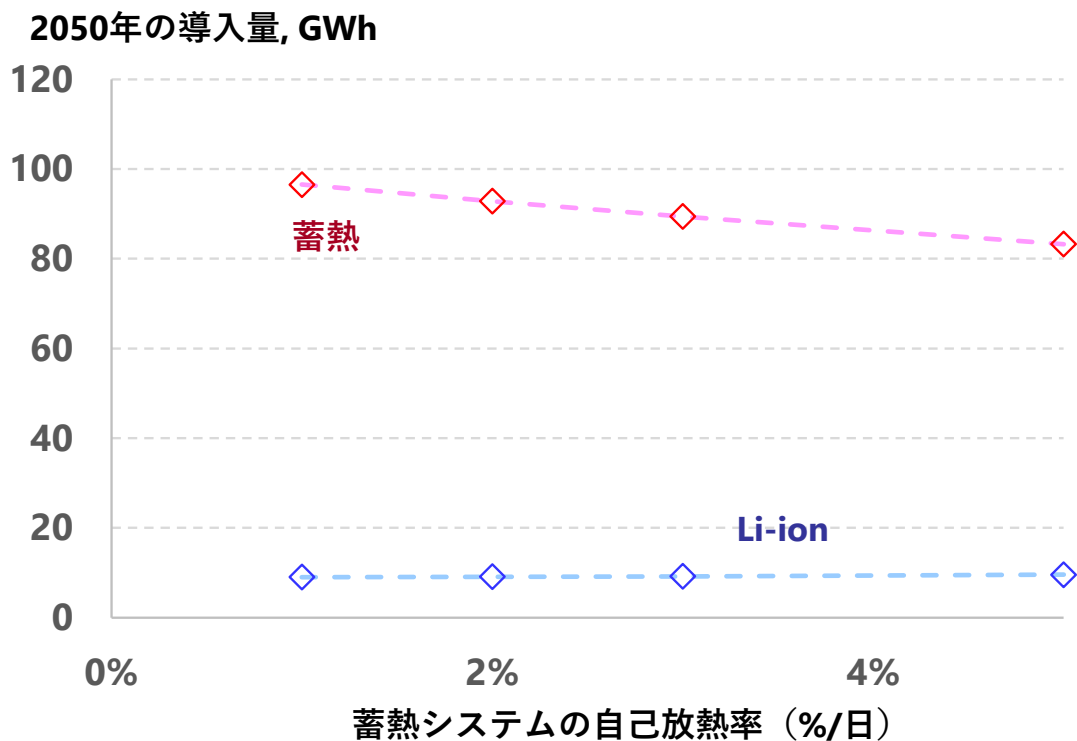
※ 蓄熱のコストは3000円/kWhと想定



- 蓄熱設備の最適導入量はサイクル効率によって大きく変化する。45%の場合の2050年導入量（97GWh）に対し、効率が（仮に）65%になると200GWhを超える。

感度解析：自己放熱率

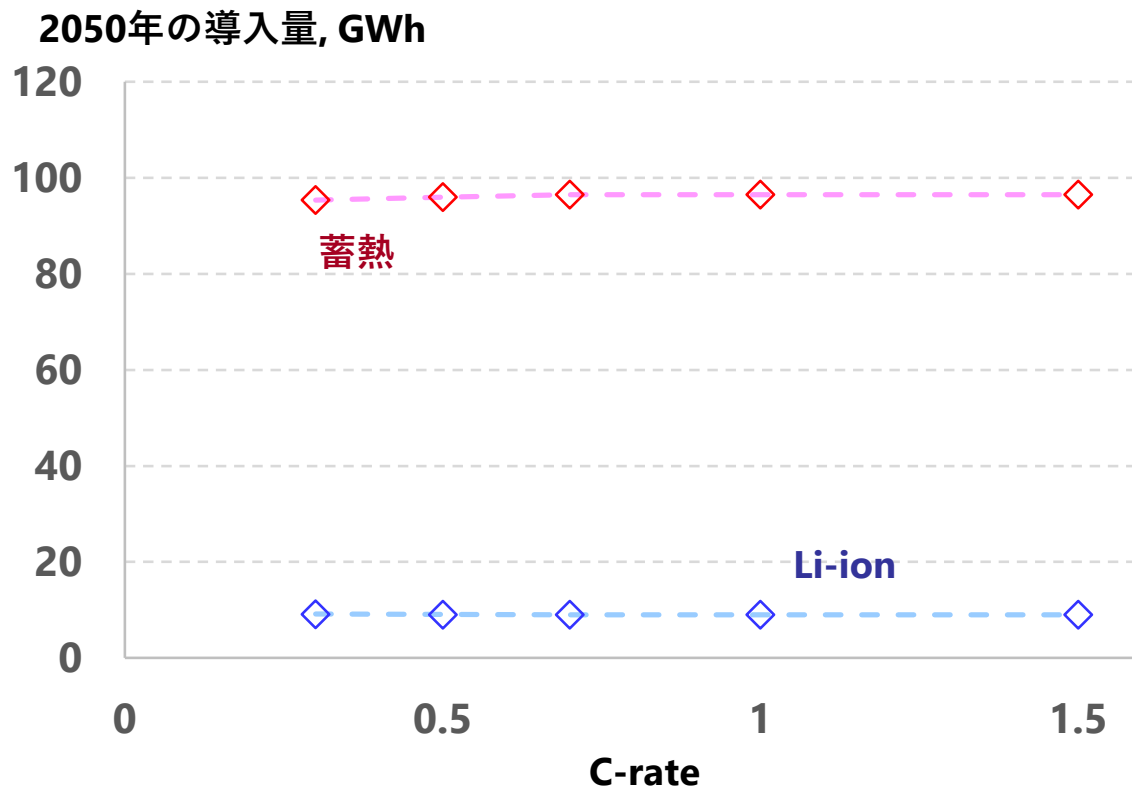
※ 蓄熱のコストは3000円/kWhと想定



- 自己放熱率が想定の1%/日よりも大きくなると、蓄熱システムの経済性が悪化し、最適導入量が低下する。
- 仮に5%/日まで上昇した場合、最適導入量は97GWhから83GWhまで低下する。

感度解析：Cレート

※ 蓄熱のコストは3000円/kWhと想定



- 放電出力 (kW) と蓄電容量 (kWh) との比 (Cレート) が蓄熱設備の導入量に与える影響は小さい。

まとめ

- 2050年の脱炭素化に向けて50%近い、もしくはそれ以上の再生可能エネルギー比率を達成する場合、電力需給の安定化のために、**蓄エネルギー技術が重要**となる。
- ここでは、エネルギー貯蔵の時間スケールに応じて蓄電池と蓄熱とが使い分けられることになる（**エネルギー貯蔵ミックス**）。
- ただし、そのためには蓄熱技術のコスト（蓄熱容量あたりの設備単価）が蓄電池よりも相当程度安価であることが必要。蓄電池のコストが15000円/kWhの場合、蓄熱技術が概ね**5000円/kWhよりも安価であれば大量に導入**され得る。
- **サイクル効率を高めること**は蓄熱技術の経済優位性を保つ上で重要となり得る。他方で、自己放熱率や放熱速度はさほど大きく影響しない。
- 試算の結果は前提条件に大きく依存するため、今後もさまざまなケースで評価を行い、カーボンニュートラル達成時の蓄熱技術のあり方について検討を進めることが必要である。