

# 長期エネルギー貯蔵システム (LDES)を取り巻く市場環境

2024年度 第4回定置用蓄電システム普及拡大検討会

2024年11月11日 討議用資料

機密・専有情報 | © 2024 マッキンゼー・アンド・カンパニー

この資料は、お客様の内部使用のみを目的としており、マッキンゼー・アンド・カンパニーの個別の明示的な承諾を得ることなく、この資料を使用することを固く禁じます。この資料に係るすべての権利はマッキンゼー・アンド・カンパニーに帰属します。

調整力の必要性に  
応える技術的  
アプローチは  
複数存在

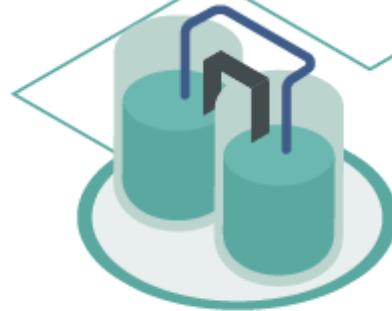
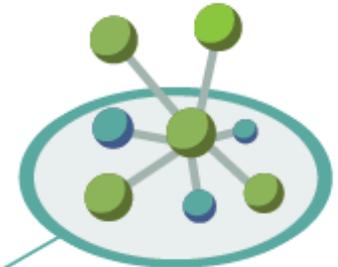
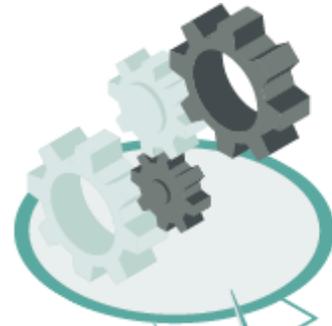
### 熱貯蔵 (加熱/冷却)

熱でエネルギーを貯蔵し、電気もしくは熱で放出 (例: スターリングエンジン・熔融塩)



### 機械貯蔵

位置エネルギー/運動エネルギーの貯蔵 (例: 揚水発電、重力ベース貯蔵、圧縮空気エネルギー貯蔵 (CAES)、液化空気エネルギー貯蔵 (LAES)、液体CO<sub>2</sub>)



### 電気化学貯蔵

電位エネルギーを貯蔵する様々な種類の電池  
(例: 空気金属電池・フロー電池)

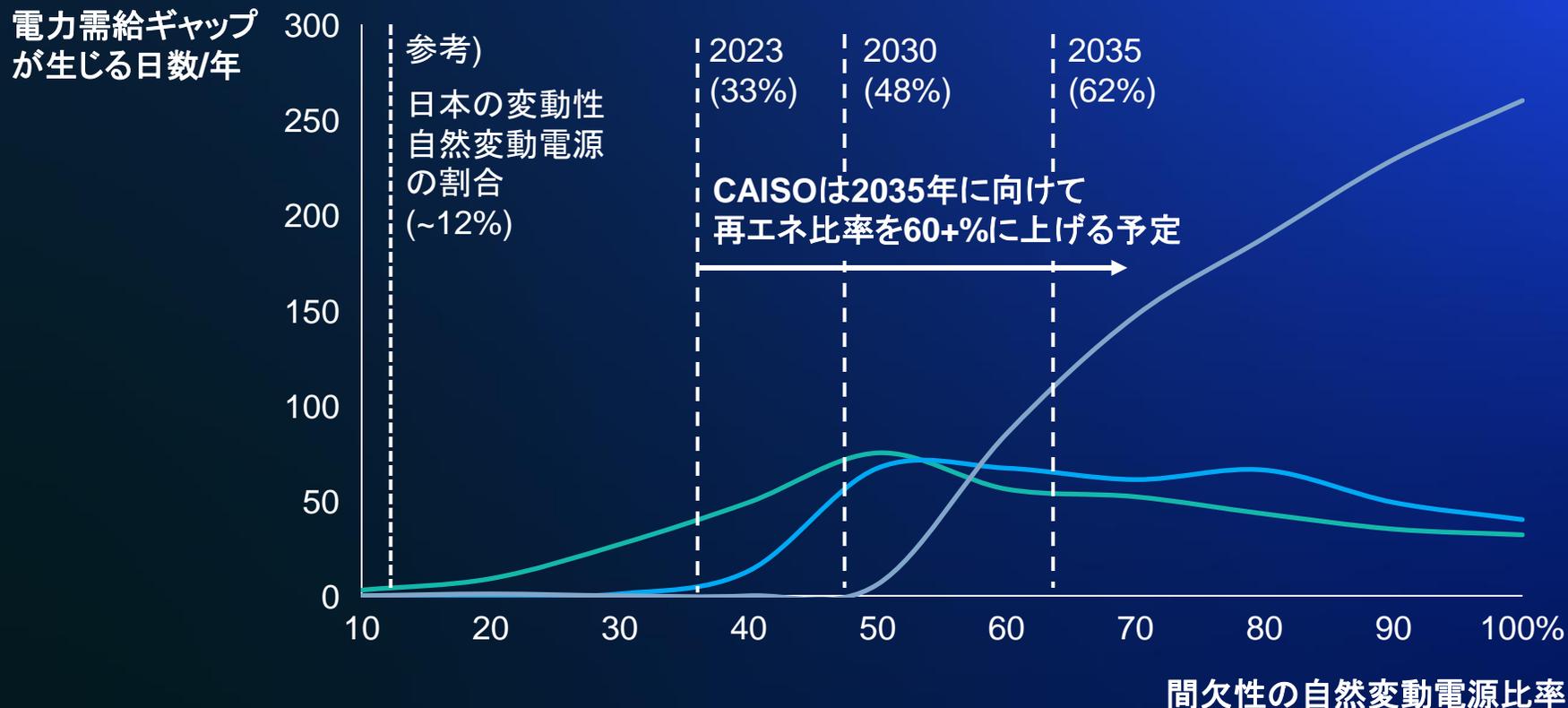
### 化学貯蔵

化学結合でエネルギーを貯蔵  
(例: H<sub>2</sub>)

# 長期エネルギー貯蔵システムは間欠性の自然変動電源が5割を超えると重要性を増すと考えられている

米国のCAISO (カリフォルニア州の独立系統運用機関)における例

## 需給ギャップの時間別分布(シミュレーション結果)



再生可能エネルギーの普及が進むにつれて、長期貯蔵への依存度が高まる

再生可能エネルギーの普及率が50%を超えた場合、LDESが必要になる

リードタイムを考慮すると、2030年に操業開始する為には2025年頃にはFID (最終投資決定) する必要がある

2023年のCAISOの生産および抑制データに基づく。供給ギャップとは、再生可能エネルギーの発電が需要を満たせない時間を指します。風力の供給信頼度を27%、太陽光を7%と仮定し、太陽光/風力の設備容量の割合を74%/26%としている。横軸は間欠的な自然変動電源比率が全負荷に対してどの程度貢献しているかを示し、化石燃料の全廃を100%と仮定している。日本の自然変動電源の割合は2023年(暦年)実績(電力調査統計、環境エネルギー政策研究所の集計データ)。

# 間欠性の自然変動電源が増えるにつれ、長期間の供給ギャップが生じる日数が増え、LDESの重要性が高まる

シミュレーション結果の一例

発電全体での自然変動電源シェア  
%

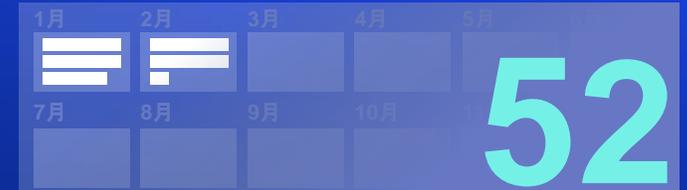
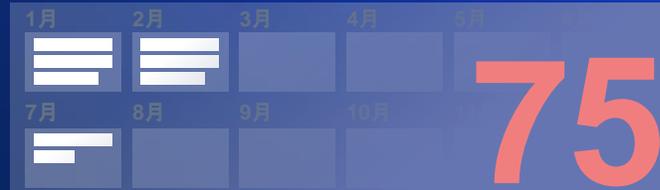
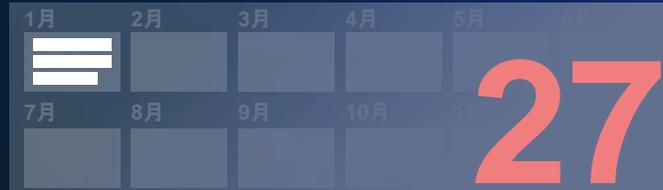
xx 供給ギャップが生じる日数

25%

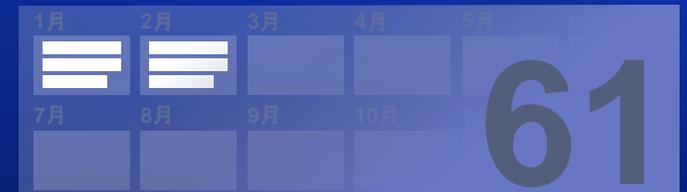
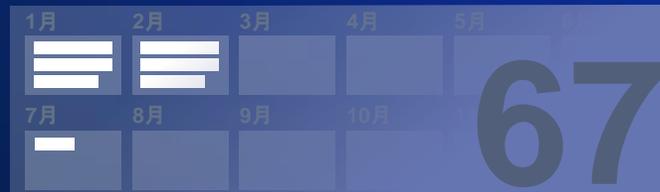
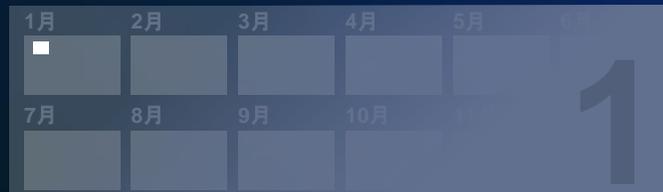
50%

70%

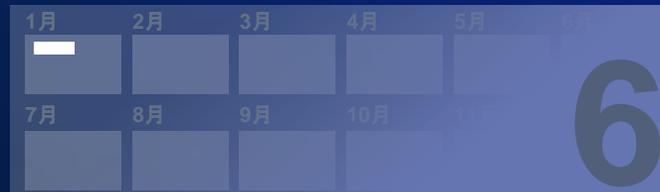
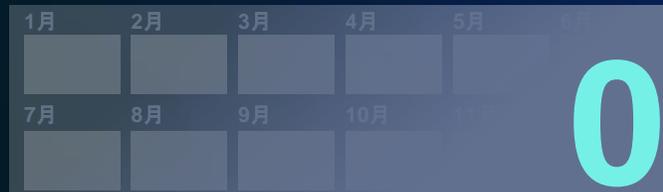
1 - 4時間の  
ギャップ



4 - 8時間の  
ギャップ



8 - 12時間  
ギャップ



ギャップの  
合計日数



現在

2030

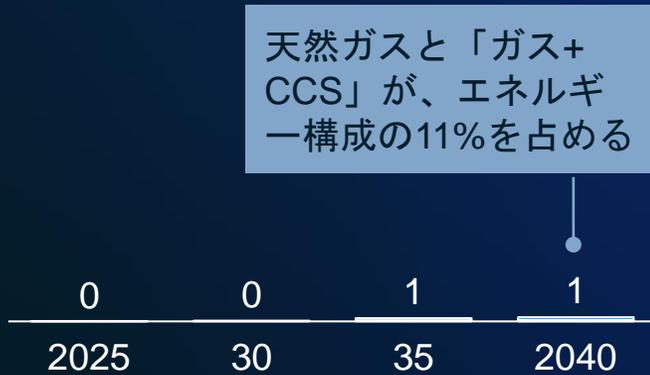
2035

# LDESの導入容量は、電力セクターの脱炭素目標の設定により大きく変化する

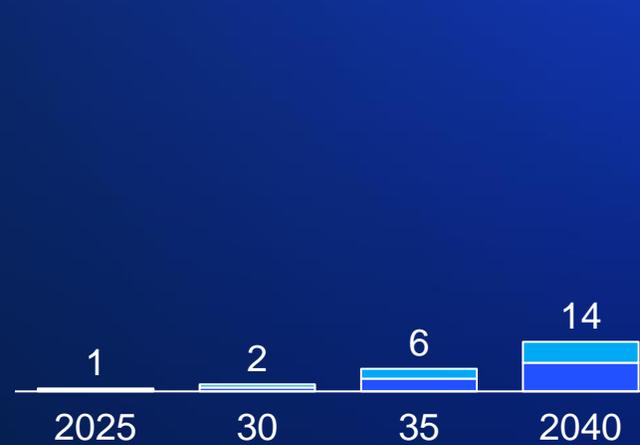
## グローバルに設置が必要なLDESの容量 2025-2040

□ LDES (8-24 hr) ■ LDES (24+ hr)

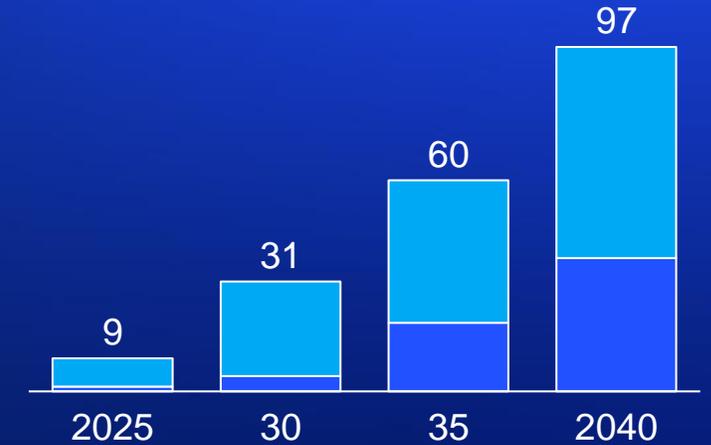
緩やかな移行シナリオ<sup>1</sup>  
TWh



ネットゼロ遅延シナリオ<sup>2</sup>  
TWh



1.5°Cシナリオ（ネットゼロ）<sup>2</sup>  
TWh



### 電力ネット ゼロの達成 時期

どの国も未達

2040年 – EUおよび米国  
2050年 – 中国  
2060年 – インド

2035年 – 先進国  
2040年 – 途上国

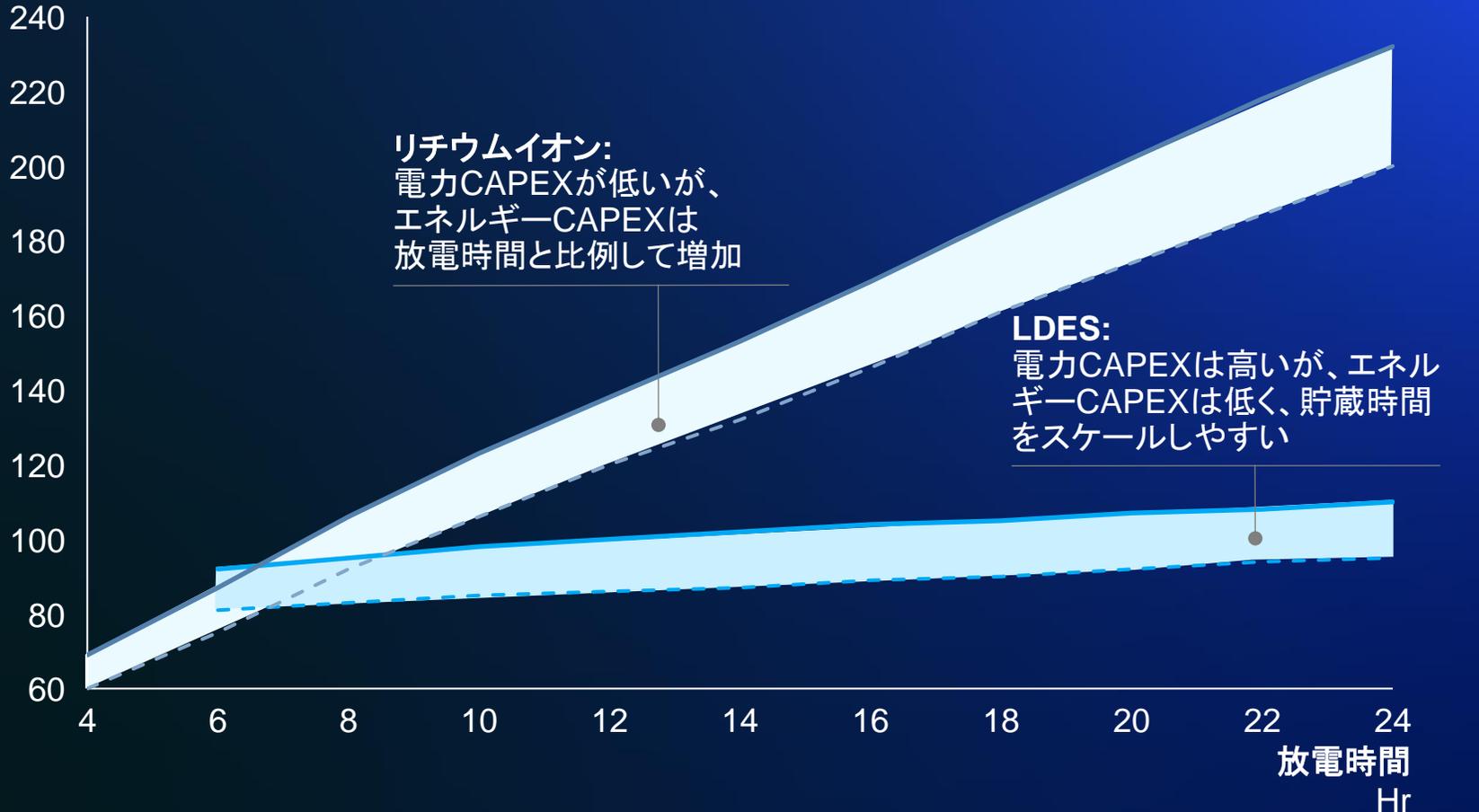
1. 緩やかな学習率の前提に基づく  
2. LDES Councilメンバーベンチマーク(2022)の上位25%の結果と緩やかな学習率から推定

# LDESは6~9時間以上のギャップが生じるとコスト有利性が生まれる可能性がある

2030年断面における均等化貯蔵原価(LCOS)の比較

## LCOS

米ドル/MWh



リチウムイオン電池はパワー密度が高いが、エネルギー密度が低く、比較的短時間の貯蔵においては有利

LDESはパワー密度が低い、エネルギー密度は高く、長期的エネルギー貯蔵・供給が可能

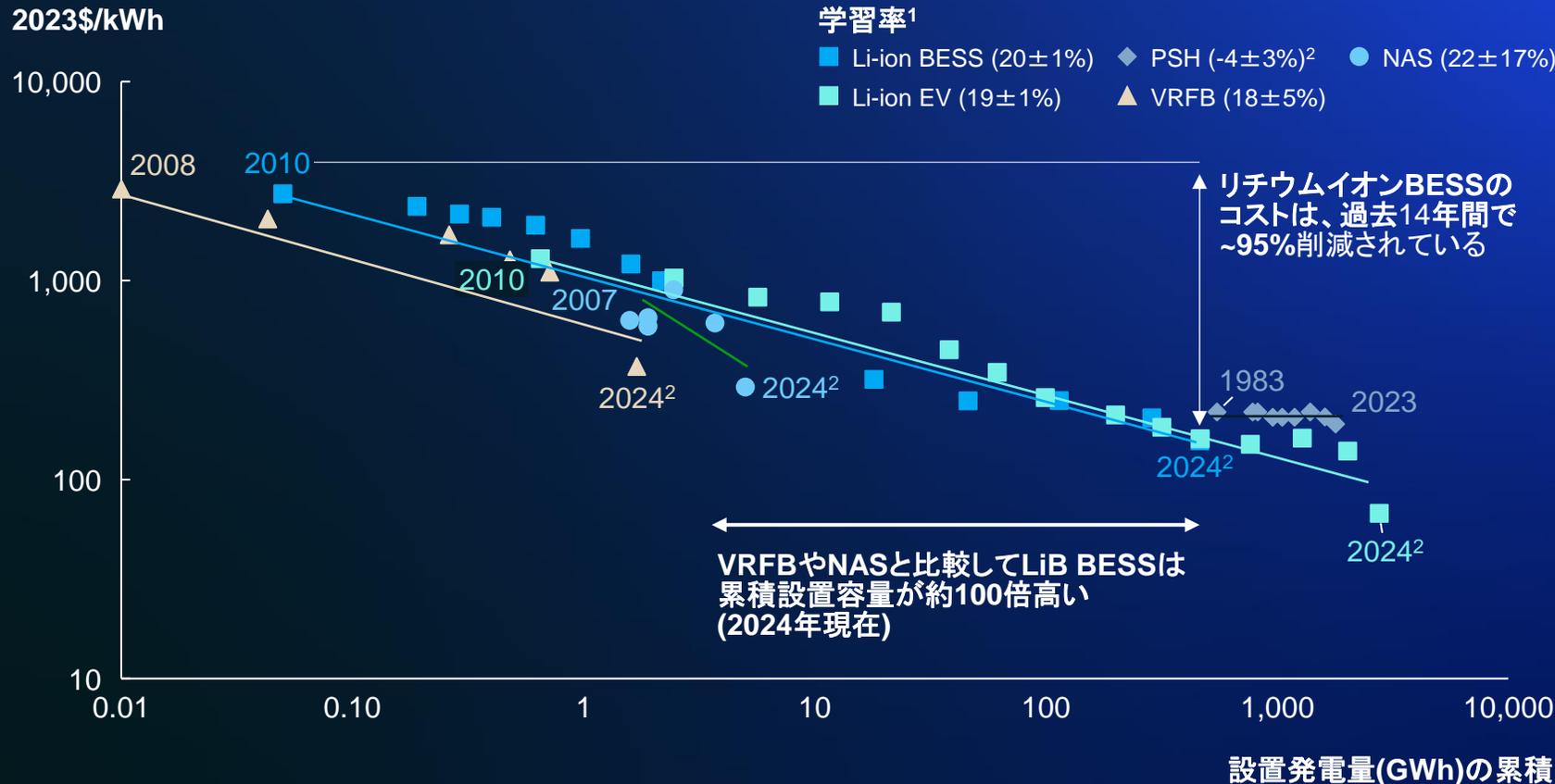
LDESはサイクル寿命も長く、メンテナンスコストも低いものも多く、長期貯蓄用途において有用

1.  $LCOS = (Initial\ CAPEX + O\&M\ Cost + Charging\ Cost + Replacement\ Cost + Final\ Disposal\ Cost) [\$/] / Total\ Discharged\ Energy\ MWh$

# リチウムイオン電池は、2010年から2024年の間に~95%のコスト削減を達成。 他の電力貯蔵技術をコスト面で凌駕している

非網羅的

## 様々な電力貯蔵技術の学習曲線



学習曲線は、導入レベルや技術固有の学習率に基づいて、テクノロジーのコストが経時的にどの程度下がっているかを示す<sup>1</sup>

主にEVセクターのスケール効果により、低価格のLFPセルを調達できるため、Li-ion BESS(バッテリーエネルギー貯蔵システム)のコスト削減が実現

VRFB(バナジウムフロー電池)およびNAS(ナトリウムイオン電池)はコスト削減ポテンシャル(学習率)は高いが、Li-ionに比べて導入は限定的

PSH(揚水発電)は、コスト削減ポテンシャルが限られた成熟したアプローチであり、規制、環境要因などサイト固有の課題を抱える案件のコストが高くなる傾向にある

1. 学習率は、Wrightの法則に従い、設置容量の累積を2倍にすることでどの程度のコストを削減するかを示す
2. 10時間のシステムの平均システム期間を想定し、電力容量(MW)からエネルギー容量(MWh)に導入とコストを変換
3. 2024年現在の累計。累計設置名目容量の推定値(YTDから外挿)

# LDESは、電力を供給する場合は「Power LDES」、熱を供給する場合は「TES」に分類することが可能

長時間のエネルギー貯蔵(LDES)には、10時間以上のエネルギー供給を維持するため、経済的に拡張可能なエネルギー貯蔵テクノロジーが含まれる

## LDESテクノロジー

### 電力貯蔵 (Power LDES)



間欠性の  
自然電源



貯蔵方法:  
機械的、熱的、電気化学的、  
化学的



電力

### 熱エネルギー貯蔵 (TES)



間欠性の  
自然電源



貯蔵方法:  
熱



熱

熱エネルギー貯蔵(TES)は、熱変換によりグリッドにフレキシビリティを提供し、システムコストを低減する効果を有する



再生可能由来のエネルギーを熱の形で貯蔵することにより、フレキシビリティが低い熱需要に対応



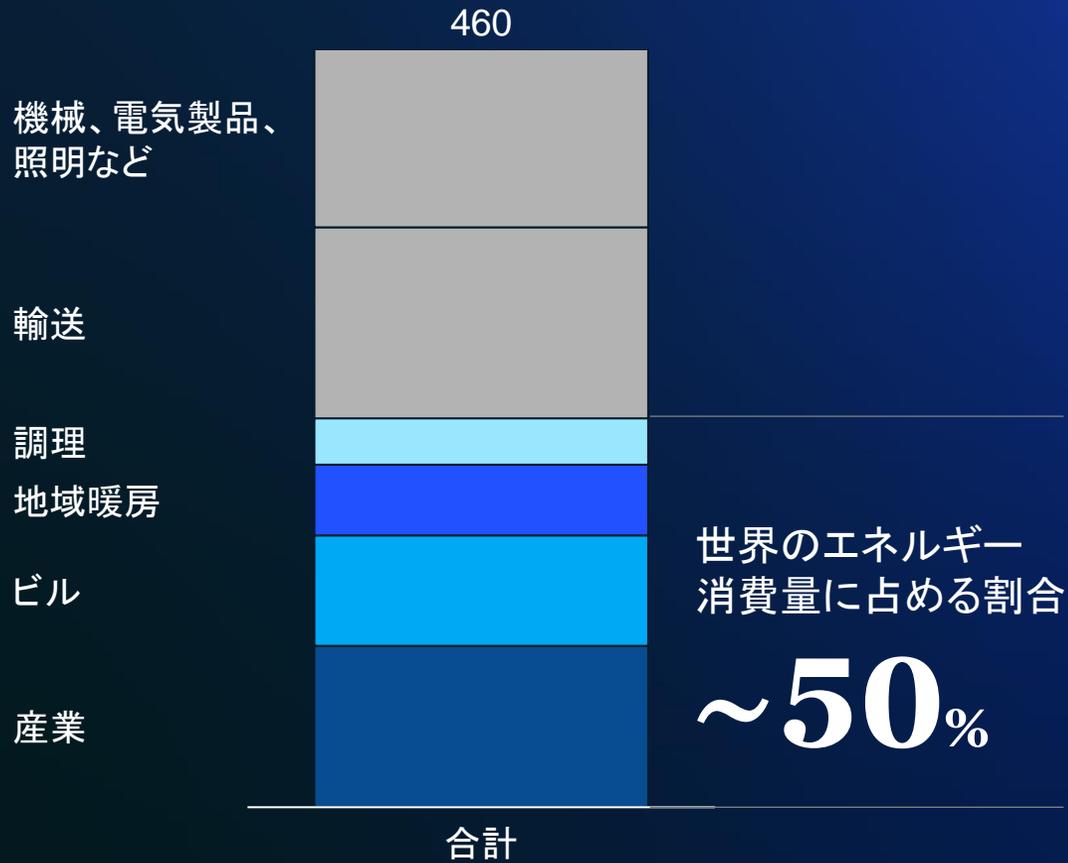
蓄熱した熱を用いた加熱や様々な温度で放熱することで、熱の質を変化させることが可能



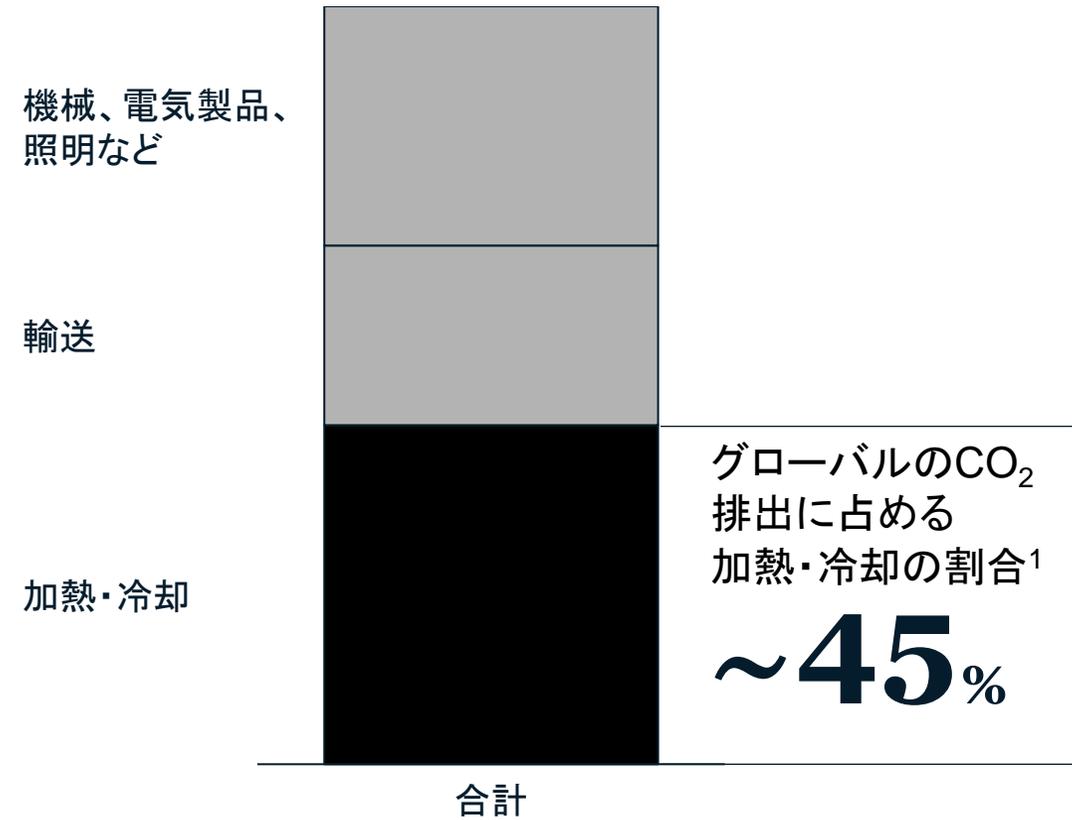
熱、水素、電力が相互に関わる用途で、複数のエンドユースを提供可能

# 熱需要はエネルギー消費量の~50%、CO2排出量の~45%を占めている

## 世界の最終エネルギー消費量 (EJ; 2019年)



## エネルギー関連のCO<sub>2</sub>排出量 (GtCO<sub>2</sub>; 2019<sup>1</sup>)



1. 電力からの間接排出を含む

熱貯蔵については、  
現時点で収益がプラス  
になる可能性がある  
ユースケースが存在し  
ている

熱貯蔵は、自然変動エネルギーを  
活用し、「24/7のゼロカーボン熱」を  
提供可能



## IRR<sup>1</sup> ビジネスケースの前提条件(例)

6-28%	約25bar 330°Cの蒸気が必要  現在、30MWのガスボイラを使用しており、これを熱貯蔵付きの電気ボイラに置き換えられる予定
0.5-16%	約10bar 120°Cの温水が必要  現在、250MWのガスボイラを使用しており、これを洋上風力発電と熱貯蔵に置き換えられる予定
最大16%	約104bar 325°Cの蒸気が必要  現在、380MWのガスボイラーを使用しており、これは熱貯蔵付きの電気ボイラーに置き換えられる予定
最大22%	電力と30~40°Cの温水が必要  現在、2MWのガスボイラーと0.25MWのディーゼル発電機を使用。1MWの自家発電機を搭載した熱貯蔵で補充可能

1.範囲はベースケースとアップサイドケースを示す

# エネルギー貯蔵は、クリーンな電力と熱の「24時間体制」供給を確実に提供するために使用できる

例示 非網羅的

## LDESタイプ 電源

## 貯蔵方法

## プロジェクト例

### 電力 LDES



機械的、熱的、  
電気化学的、化学的



熱

OEM	顧客	国	概要
Form energy	Georgia Power		15 MW 100時間の空気鉄電池。2026年のオペレーションを目指す(電気化学貯蔵)
Corre energy	Eneco		2026年にCODを目標とした320 MW 3.5日の圧縮空気エネルギー貯蔵(機械貯蔵)
ESS Inc.	LEAG		50 MW 10時間の鉄系フロー電池。2027年のオペレーションを目標にしている(電気化学貯蔵)
Energynest	YARA		肥料工場で4 MWh TESを導入
Brenmiller	Enel		発電所に24 MWh TESを導入
Kraftblock	Pepsico Eneco		2024年末までを目標に、フェーズ1(70MWh)の運用を開始

(導入例)



Energynest<sup>1</sup>



Brenmiller<sup>2</sup>

1. <https://energy-nest.com/>

2. <https://www.proger.it/en/inaugurazione-tes-thermal-storage-system-santa-barbara/>

## 本日議論させて頂いた内容

欧州や米国など電力の脱炭素化の目標を2035年においている地域を中心に、**電力の脱炭素化を実現する上で重要な技術として長期エネルギー貯蔵(LDES)**が注目されている

太陽光、風力など、**間欠性がある自然変動電源の占める割合が50%を超えてくると、LDESの重要性が高くなる**。欧州や米国が先行市場となる可能性が高く、**海外市場の取り込みが事業化においては重要**

**電気化学系のLDES技術はリチウムイオン電池よりも安価になる可能性がある一方、産業のスケール化進展の違いにより、足元ではリチウムイオン電池の方が価格で有利になっているケースが多い**

**熱貯蔵技術は欧州を中心にエネルギー効率を高める技術として導入が進んでおり、収益性も高いことから、様々な導入事例が出てきている**。日本でも**省エネや余剰再エネ利用の手段として活用を検討出来るのではないか**

McKinsey  
& Company