

環境ベテランズファーム Webセミナー (2023年10月)

講演テーマ:再生可能エネルギーの活用における蓄電技術の現状と課題

**講師:一般財団法人電力中央研究所
エネルギートランスフォーメーション研究本部 研究統括室**

上席研究員 三田 裕一 様

講師略歴:

- ・ **1990年 早稲田大学大学院 理工学研究科修士修了**
- ・ **同 電力中央研究所 入所**

再生可能エネルギーの活用における 蓄電技術の現状と課題

電力中央研究所

エネルギートランスフォーメーション研究本部

上席研究員 三田 裕一

NPO法人環境ベテランズファーム(EVF)Hybridセミナー

2023年10月27日(金) 新宿NPO協働推進センター501会議室

ご紹介内容

1. カーボンニュートラルに向けて
2. 電力の安定供給
3. 電力貯蔵システム
4. 定置用蓄電池
5. リチウムイオン電池
6. まとめ

ご紹介内容

1. カーボンニュートラルに向けて
2. 電力の安定供給
3. 電力貯蔵システム
4. 定置用蓄電池
5. リチウムイオン電池
6. まとめ

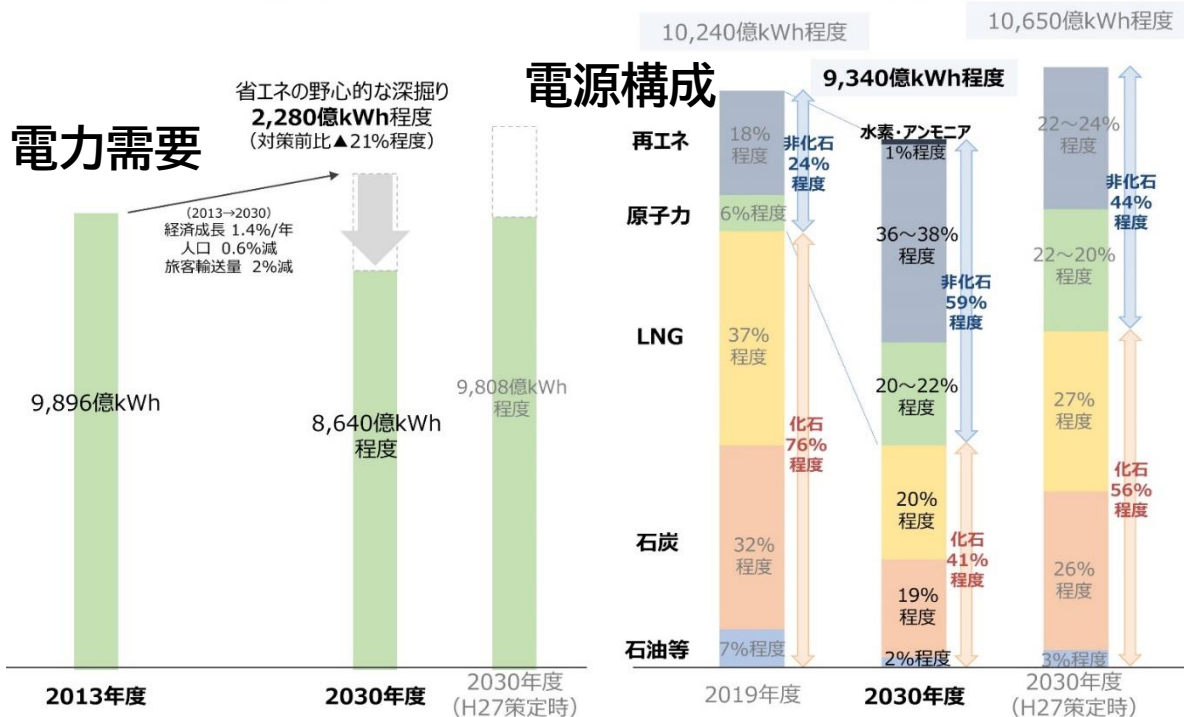
カーボンニュートラルに向けた動き

- 米国 2025年までに26～28%削減(2005年比)
- 日本 2030年までに26%削減から45%削減に変更(2013年比)
- 英国 2030年までに68%削減(1990年比)
- EU 2030年年までに58%削減(90年比)
- 中国 2035年までにGDP当たり排出量65%超え削減(2005年比)

出所:読売新聞, 2021年4月10日, など

第6次エネルギー基本計画

- 2021年に第6次エネルギー基本計画案の見直しが行われた。
- 第6次エネルギー基本計画では総発電量を抑制、再エネ比率は36～38%程度とされた。
- 一方で、石炭、LNGはそれぞれ19%程度と20%程度と、26ポイント構成比が低下した。



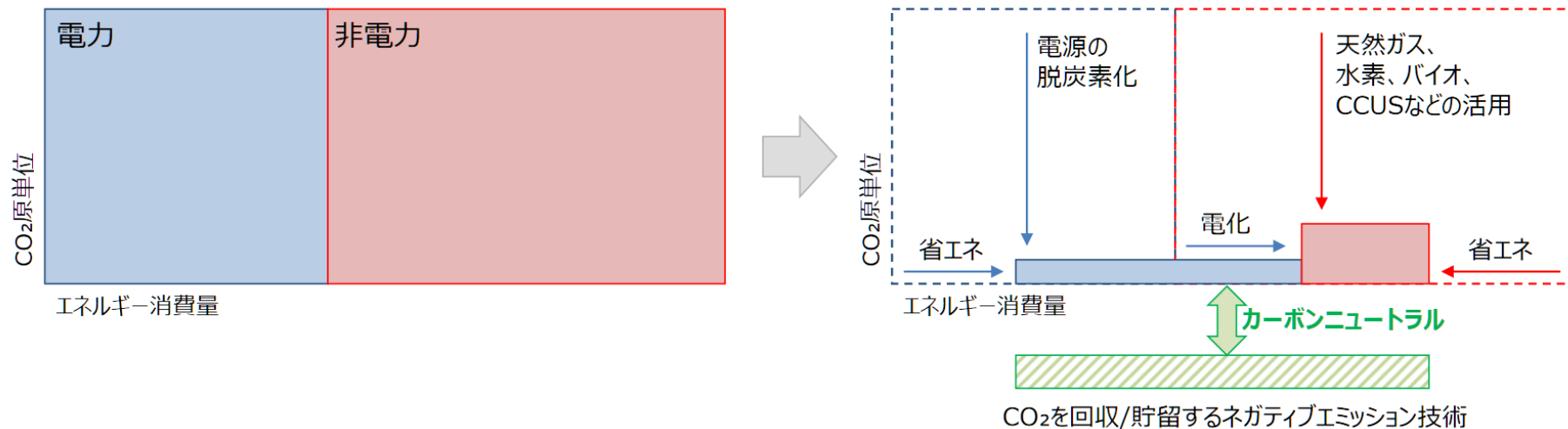
出所: 第6次エネルギー基本計画(閣議決定: 2021年10月22日)

- ✓ 調整力を確保し、系統安定化技術の高度化が不可欠
- ✓ 太陽光発電、風力発電での供給力確保は可能か
- ✓ 既存のインフラなどのエネルギーシステムの最大限の活用が必要

エネルギー利用のカーボンニュートラル

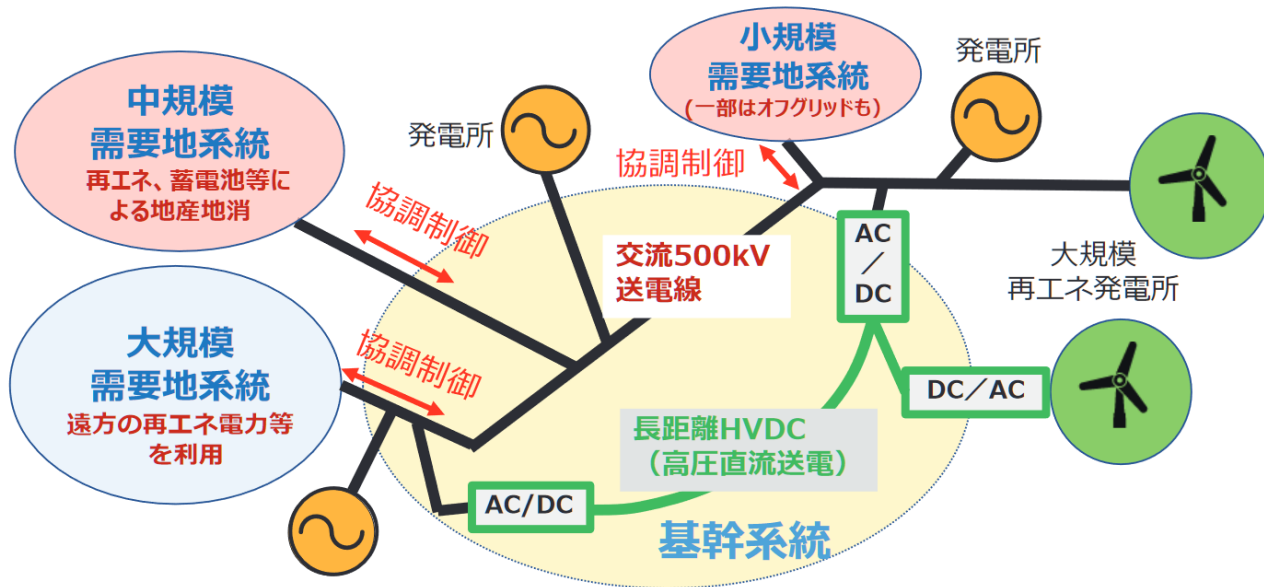
- ① 既存の技術を最大限に活用・普及を推進し、新たな技術の社会実装に重点的、計画的に取り組む。
- ② 省エネ、電化、電源の脱炭素化、水素化を進めても、化石燃料を使わない姿は現実的ではなく、CO₂を回収・貯留するネガティブエミッション技術も重要である。
- ③ 脱炭素化が難しい産業部門における技術・対策については、長期的な不確実性があるため、複数のオプションで取り組む。

CO₂排出削減のイメージ



カーボンニュートラルを実現する将来の電力系統

- カーボンニュートラル実現に向け、再エネを最大限導入
 - ✓ 基幹系統:風力など大規模, 需要地継投:PVなど小規模
- 基幹系統と需要地継投恵協調制御
- 需要地継投では、可能な限り地産地消(設備増強抑制, 損失低減)



日本国内の再エネ電源の導入状況

- 2030年導入目標に向けて、今後の積極的な導入が不可欠
- 現時点導入量, FIT既認定未稼働の稼働分, に加え, 新規での導入が必要

	既導入量	2030年度の野心的水準
太陽光	56.0 GW	103.5-117.6 GW
風力	4.2 GW	23.6 GW
地熱	0.6 GW	1.5 GW
中小水力	9.8 GW	10.4 GW
バイオマス	4.5 GW	8.0 GW

出所: 資源エネルギー庁, 「2030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)」, 2021年10月,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_03.pdf

再生可能エネルギーによる発電

1. 水力発電(制御可能)

期待

2. 地熱発電(制御可能)

大量導入が見込める

3. 太陽光発電(不安定)・太陽熱発電(制御可能)

4. 風力発電(不安定)

大型電源を計画

期待

5. 海洋エネルギー発電(波力、海流、潮流、潮汐力、温度差)(?)

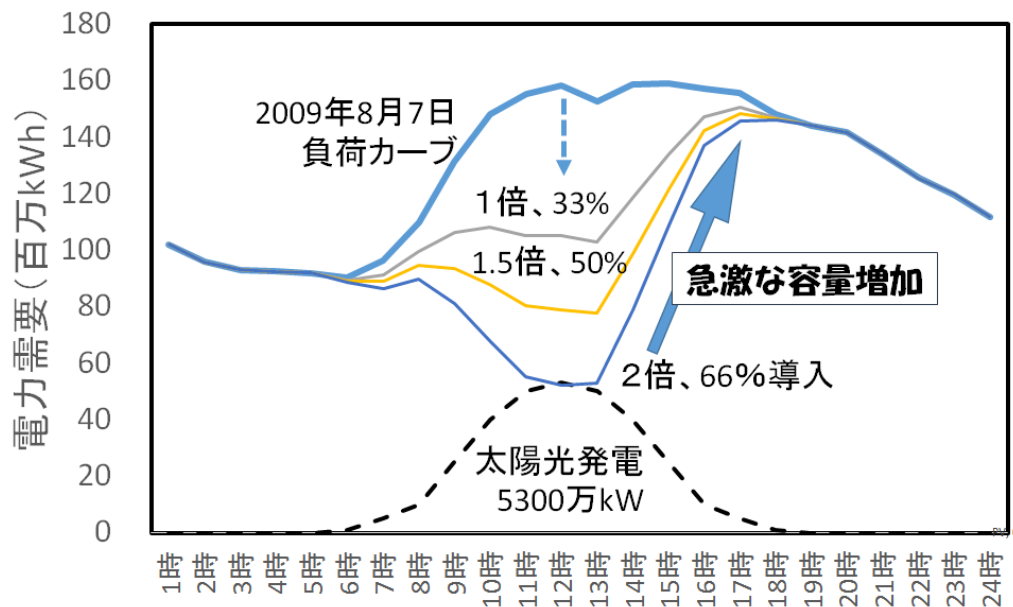
6. バイオマス発電(制御可能)

太陽光発電の課題

- 発電効率が低い
- 利用効率が低い(夜は発電しない, 利用率20%程度)
- 発電予測が必要／ピンポイントでは難しい
- 昼夜の急速な出力変動
- 日没で発電終了／ダックカーブ対応が必要
- FIT終了後の運用は？PCS故障した場合は？
- 自然破壊, 農地破壊の抑制

ダックカーブの懸念

日本版ダックカーブの試算



- 日本での“ダックカーブ”の可能性
- 夕方、日没とともにPVは発電終了
- 夕方からの需要が重畳
- 将来は火力発電が減り、電源不足に
- PVは、2～3倍まで増加

- ✓ 5300(6400)万kWでも急激な変化
- ✓ 4倍の2億kWまで増強したら？

風力発電の課題

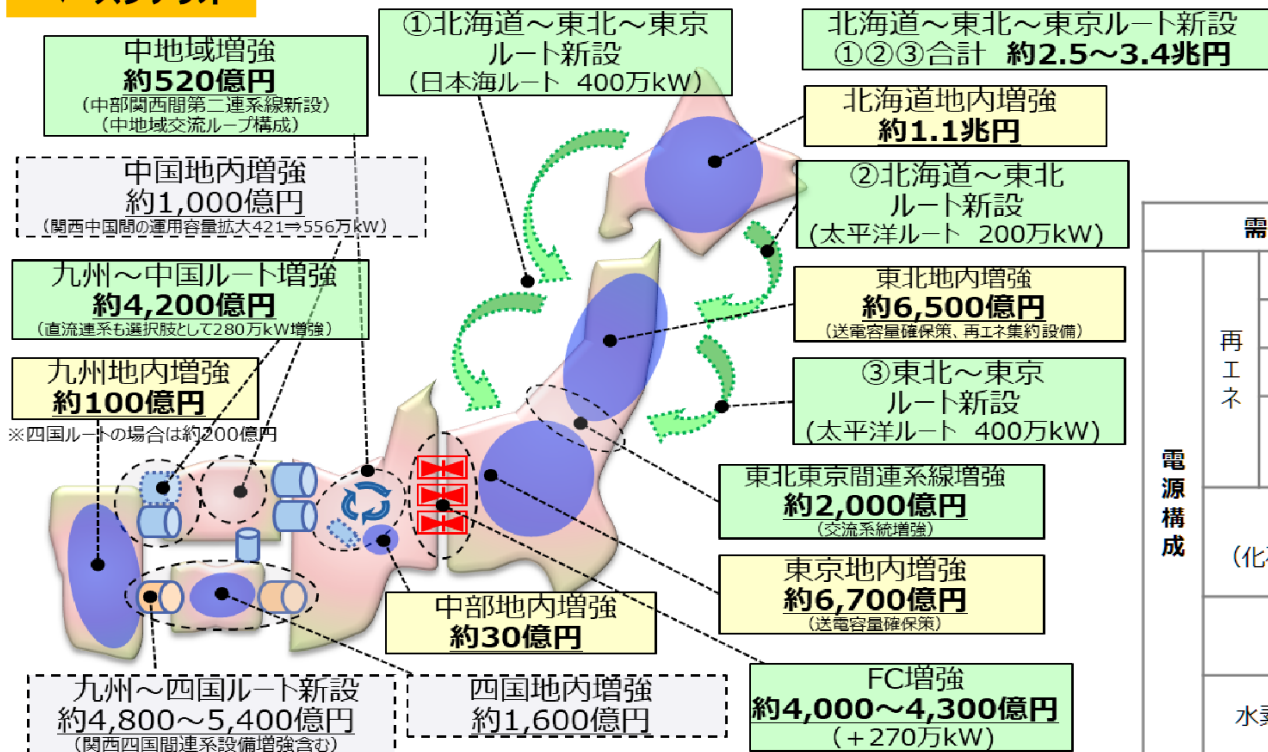
- 発電が不安定(夏季は風で発電しない)
- 大きな羽の運搬には道路が必要
- 風況, 環境アセスメント, 用地, 系統接続で課題
- 風切り音, 落雷, 着雪・氷, 野鳥, シャドーフリッカー対策
- 洋上風力は, 漁業権利, 腐食対策, 電力搬送ケーブルの整備
- 浮体式の場合は, 風車を設置する船の造船が必要

ご紹介内容

1. カーボンニュートラルに向けて
2. 電力の安定供給
3. 電力貯蔵システム
4. 定置用蓄電池
5. リチウムイオン電池
6. まとめ

電力広域系統のマスタートプラン(ベースシナリオ)

ベースシナリオ



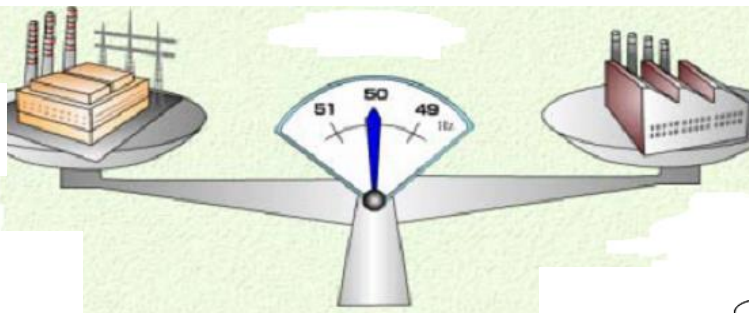
【凡例】

■ 連系線増強 ■ 地内増強 ■ 将来の選択肢

			需要立地誘導 シナリオ	ベース シナリオ	需要立地 自然体シナリオ
需要※			・ 1.2兆kWh程度		
電源 構成	再 エ ネ	太陽光	約260GW（※1）		
		陸上風力	約41GW（※1）		
		洋上風力	約45GW（官民協議会導入目標）		
		水力 バイオマス 地熱	約60GW（エネルギーミックス水準）		
	火 力 （化石＋CCUS）		・ 供給計画最終年度の年度末設備量 ・ 一般送配電事業者へ契約申込済の電源 （廃止後は水素・アンモニアにリプレイスと仮定）		
	原子力		既存または建設中の設備が全て60年運転 すると仮定		
	水素・アンモニア		既設火力の一部が45年運転で廃止後、 リプレイスされるものと仮定		

電力需給のバランス確保

電力供給

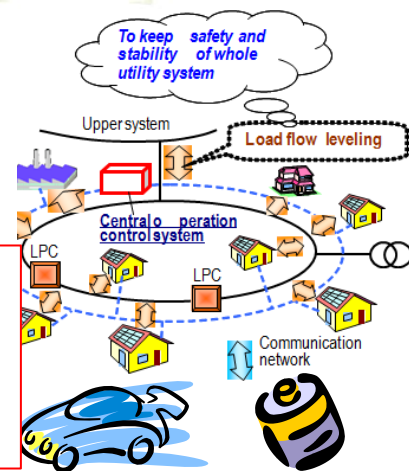


電力需要



需給バランス
(電圧 $101\text{V} \pm 6\text{V}$ ・
周波数 $50\text{Hz} \pm 0.2\text{Hz}$)

30分間隔で、同時同量
+
0.1秒～で、出力制御



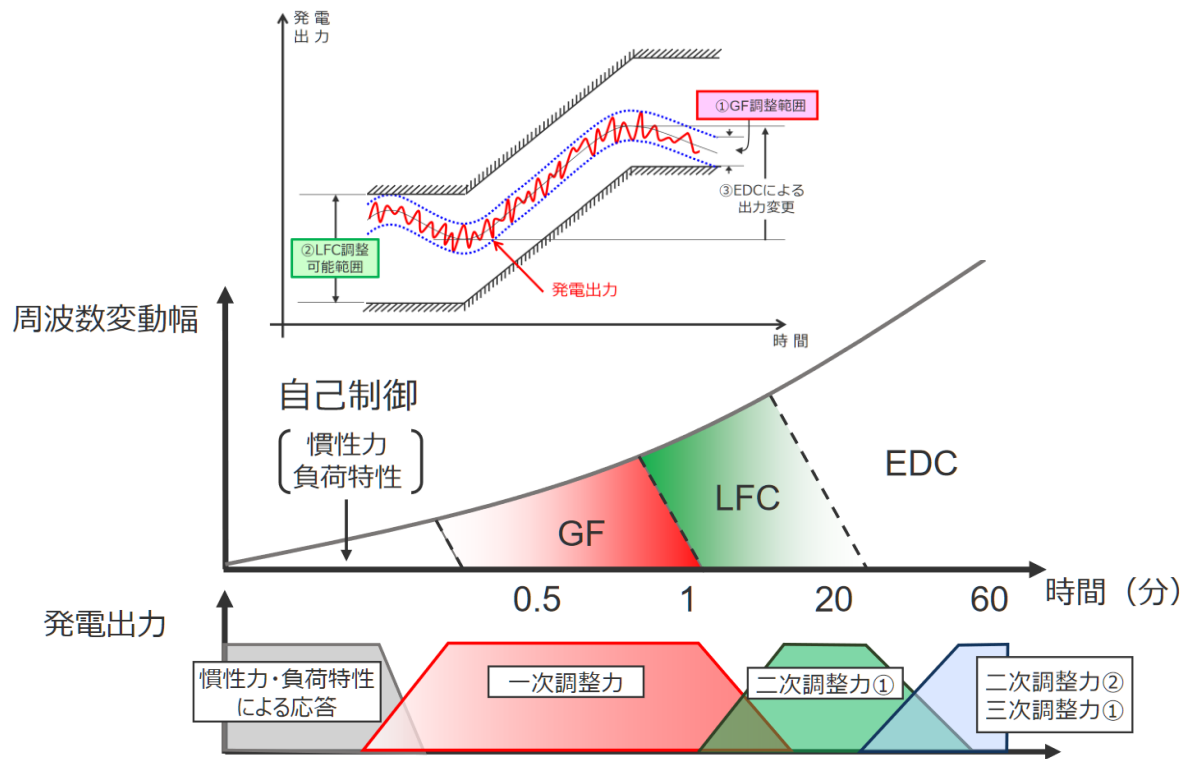
安定した高品質な電力供給

■ 系統配電の監視・事故対応

■ 需給調整

- ✓ 月、週、日の電力負荷に対応した供給計画(経験値)
- ✓ 気象データ(気温、湿度、日射の予測)
- ✓ イベント(サッカーなどの情報)の影響
- ✓ 電源の確保(経済性、調整対応)
- ✓ 周波数と電圧調整の確保
- ✓ ガバナフリー、周波数調整(LFC)、負荷調整(EDC)の確保

調整力(GF/LFC/EDC)機能の概要



■ GF(ガバナフリー)機能

発電機の回転速度(周波数)を一定に保つよう、同期発電機の调速機(ガバナ)が系統周波数の変化に追従して、発電出力を増減する

■ LFC(負荷周波数制御)機能

系統周波数を一定に保つよう、中央給電指令所で周波数および連系線潮流の偏差から、偏差を解消する発電出力を計算し制御する

■ EDC(経済的運用)機能:

比較的長時間の負荷変動(十数分から数時間程度の周期)に対応するため、中央給電指令所で、需要予測に合わせ先行的に発電出力を制御する

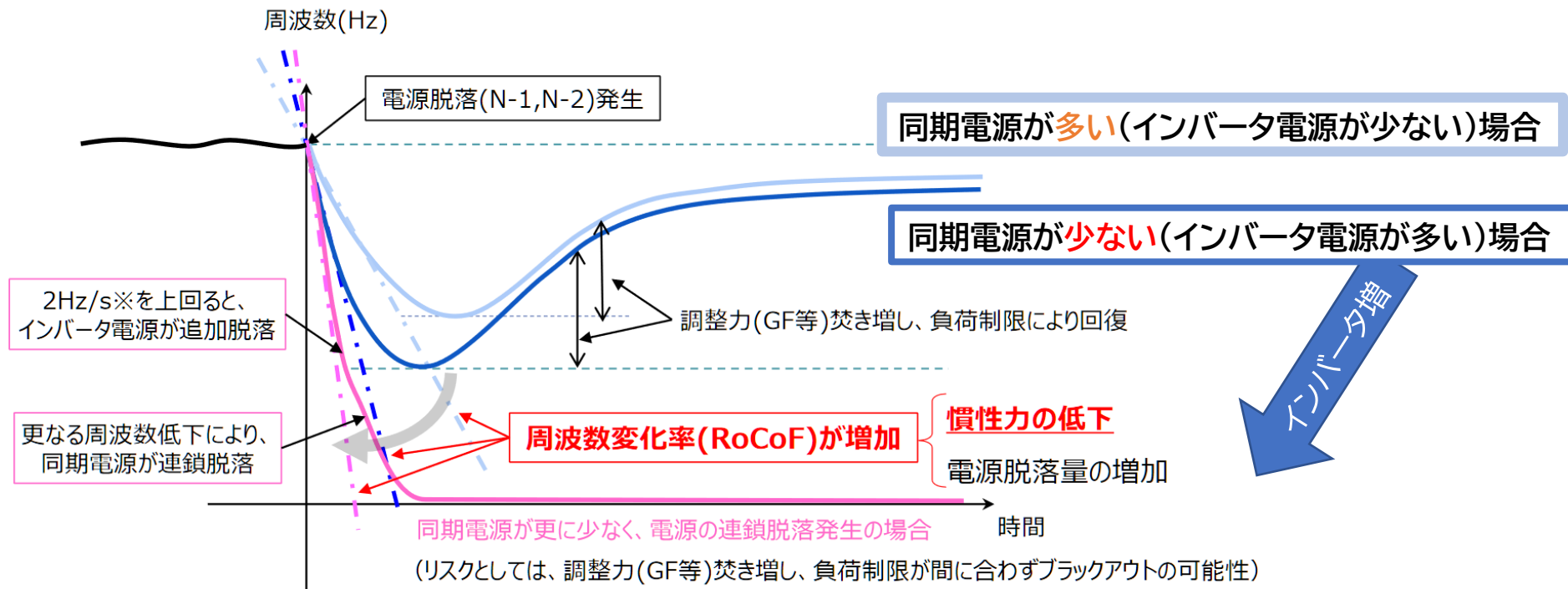
需給調整市場の整備

	一次調整力	二次調整力①	二次調整力②	三次調整力①	三次調整力②
英呼称	Frequency Containment Reserve (FCR)	Synchronized Frequency Restoration Reserve (S-FRR)	Frequency Restoration Reserve (FRR)	Replacement Reserve (RR)	Replacement Reserve-for FIT (RR-FIT)
指令・制御	オフライン (自端制御)	オンライン (LFC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン
監視	オンライン (一部オフラインも可※ ²)	オンライン	オンライン	オンライン	オンライン
回線	専用線※ ¹ (監視がオフラインの場合は不要)	専用線※ ¹	専用線 または 簡易指令システム※ ⁶	専用線 または 簡易指令システム	専用線 または 簡易指令システム
応動時間	10秒以内	5分以内	5分以内	15分以内	45分以内
継続時間	5分以上	30分以上	30分以上	商品ブロック時間(3時間)	商品ブロック時間(3時間)
並列要否	必須	必須	任意	任意	任意
指令間隔	－ (自端制御)	0.5～数十秒※ ³	専用線：数秒～数分 簡易指令システム※ ⁶ ：5分	専用線：数秒～数分 簡易指令システム：5分※ ⁵	30分
監視間隔	1～数秒※ ²	1～5秒程度※ ³	専用線：1～5秒程度 簡易指令システム※ ⁶ ：1分	専用線：1～5秒程度 簡易指令システム：1分	1～30分※ ⁴
供出可能量 (入札量上限)	10秒以内に 出力変化可能な量 (機器性能上のGF幅 を上限)	5分以内に 出力変化可能な量 (機器性能上のLFC幅 を上限)	5分以内に 出力変化可能な量 (オンラインで調整可能 な幅を上限)	15分以内に 出力変化可能な量 (オンラインで調整可能 な幅を上限)	45分以内に 出力変化可能な量 (オンラインで調整可能 な幅を上限)
最低入札量	5MW (監視がオフラインの場合は1MW)	5MW※ ^{1,3}	専用線：5MW 簡易指令システム※ ⁶ ：1MW	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW
刻み幅 (入札単位)	1kW	1kW	1kW	1kW	1kW
上げ下げ区分	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ

出所:送配電網協議会,「需給調整市場の概要・商品要件」,(2022年4月),
https://www.tdgc.jp/jukyuchoseishijo/outline/docs/gaiyoushouhin_ver.3_20220401r.pdf

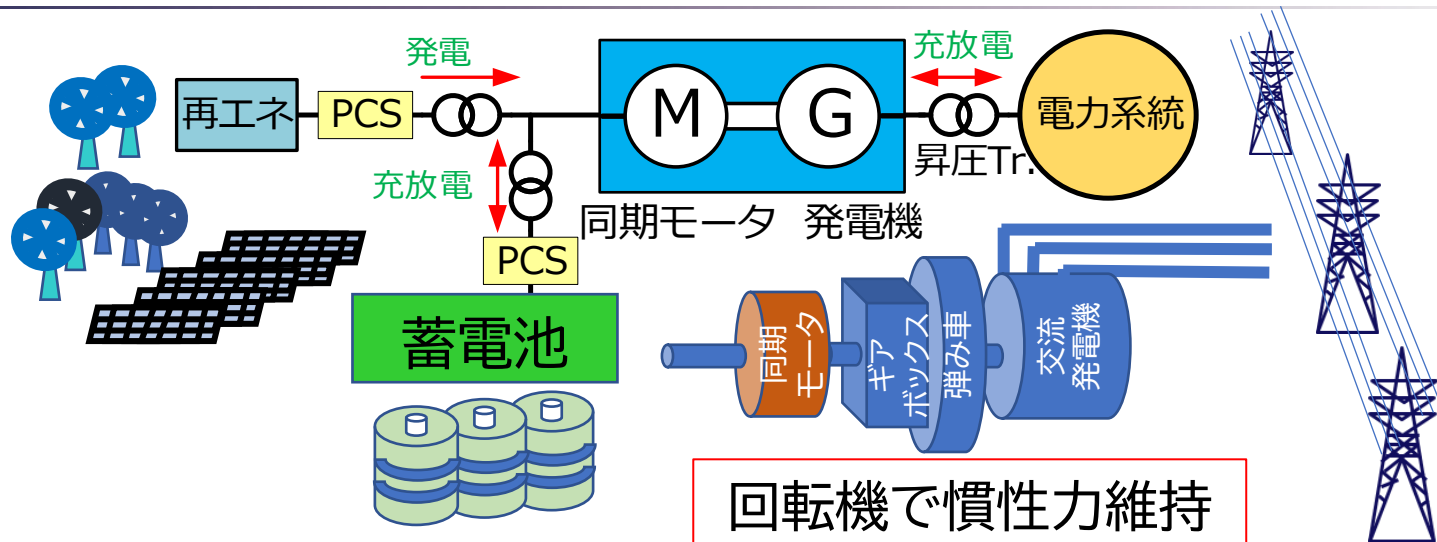
火力・原子力発電など同期電源減少による慣性力不足

同期電源減少(非同期機・インバータ電源増加)に伴う主な技術的な課題



出所:電力広域的運営機関, 第57回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会(2021年2月)資料3,
https://www.occto.or.jp/iinkai/chouseiryoku/2020/files/chousei_57_03.pdf

慣性力の維持：再エネに蓄電池とM-Gセット



PCS: Power Conditioning Subsystem(パワーコンディショナ)

回転発電機を介すことで、系統からは、同期発電機に見える

更に回転発電機の代わりに、パワエレ機器の仮想同期発電機

出所: 北内, 青木, 「再生可能エネルギーと蓄電池を伴うM-Gセットの提案」, 平成30年電気学会電力・エネルギー部門大会要旨集, No.168, 2018年9月.

ご紹介内容

1. カーボンニュートラルに向けて
2. 電力の安定供給
3. 電力貯蔵システム
4. 定置用蓄電池
5. リチウムイオン電池
6. まとめ

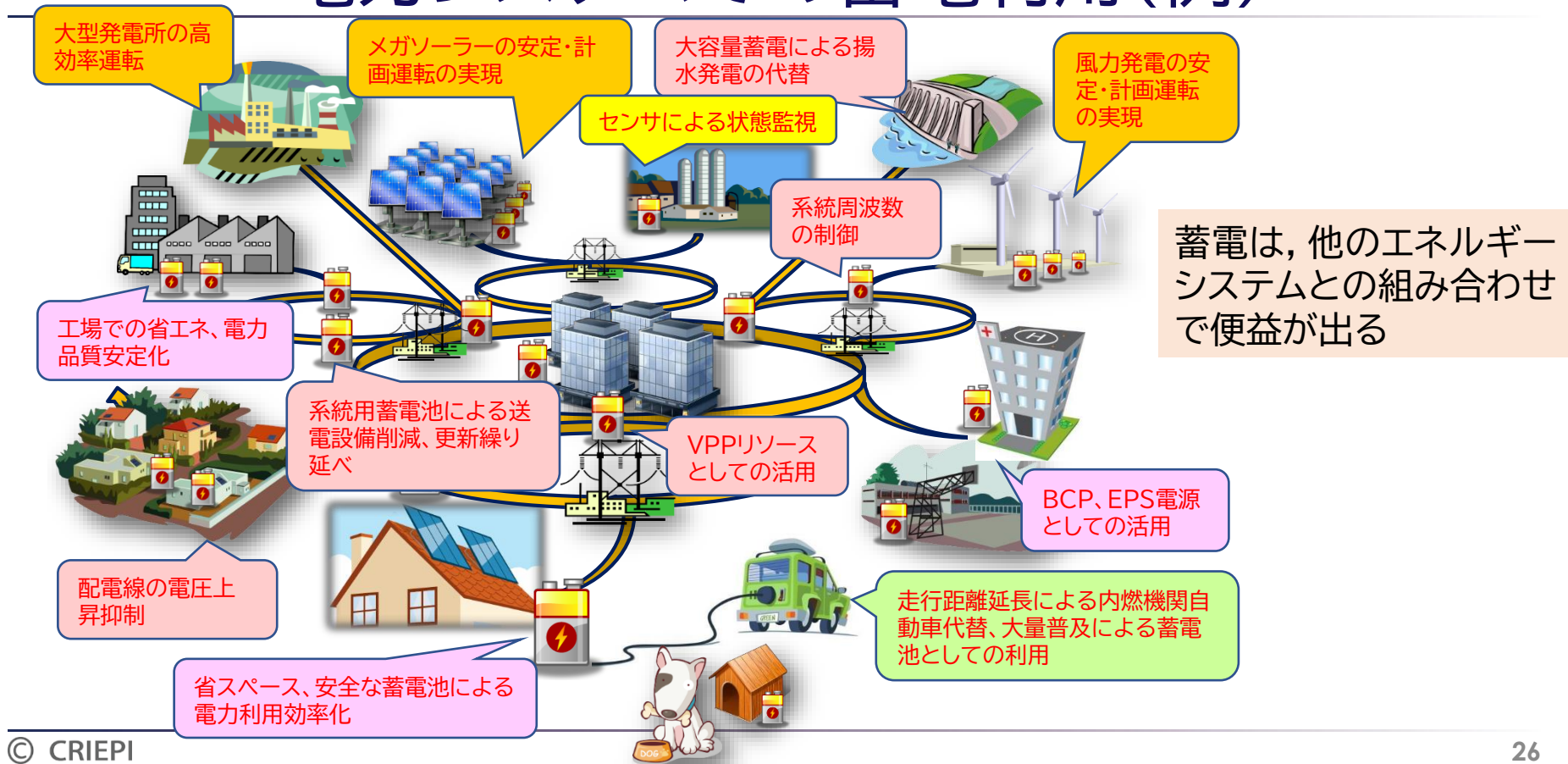
電力貯蔵技術の役割

蓄電技術の役割	活用内容	事例
① 系統安定化 (周波数、電圧)	太陽光・風力発電での変動を吸収し、短周期と長周期で平滑化する。短周期では大出力(kW)、長周期では大容量(kWh)が要求される	北海道電力NW・南早北、東北電力NW・西仙台、南相馬、離島など
② 需要と供給の 時間的シフト	太陽光・風力発電での発電と、需要との時間的なズレを調整するために、数時間の電力貯蔵によりシフトする	九州電力送配電・豊前、沖縄電力・宮古島などの離島、鉄道の電力回収(京浜急行)
③ 調整火力の補助	火力発電の出力制御による系統安定化時に、火力発電の起動時間を補うために電力貯蔵を活用する。火力の出力上昇までの時間を補う。	東北電力NW・西仙台、米国・加州など
④ 送電容量不足対策	太陽光・風力発電は、計画的な導入設置が無いため、需要地までの送電容量が不足することがある。過疎地に設置される場合には、送電線が無い場合もある。	ドイツの南北連系線、国内の農業用地の転用など。
⑤ 負荷平準化	発電機の利用効率を向上させるために、負荷の少ない時間帯に電力貯蔵する	効率や安全性の観点から定出力運転の電源の活用。需要のピークカット。工場設置のNaS電池など
⑥ バックアップ電源	瞬時電圧低下や停電時の電力供給	精密工場等、落雷対策

蓄電(電池)システムの活用

- (配電システムの容量調整、需給調整) 基幹・配電システムでの電力貯蔵システム(時間シフトや出力制御など)を活用した安定化。
- (系統安定化) M-Gセットや仮想同期発電機、Grid Forming型インバータなどの系統配電の安定化用機器に搭載。
- (系統安定化、負荷平準化) 【新規】蓄電池所の導入:蓄電池システムだけで独立した施設が系統に連系。DRやVPPなどに活用。
- (需給調整、負荷平準化) 家庭・工場などの需要サイドで、需給協調。PVと蓄電池を利用した地産地消。PVの活用やBCPに。
- (需給調整、負荷平準化) マイクログリッドなどでの地域融通(PV等の活用)。低圧での送電容量と損失も考慮が必要。
- EVに加えて、建機・作業車両、船舶、航空機も電動化。

電力システムでの蓄電利用(例)



各種エネルギー貯蔵技術

利用種類	貯蔵技術	規模	効率	備考(課題)
位置エネルギー	揚水発電	大 数十万kW	70%	立地
	重量	中 数百kW	90%?	騒音、立地
	インバースダム	中 数千kW	70%以下	立地、漁業協調
化学エネルギー	二次電池 (蓄電池)	中 数千kW	~90%程度	可燃性、コスト
	水素	中 数万kW	40%以下	貯蔵でロス大
物理エネルギー	キャパシタ	小 数十kW	~90%程度	低エネルギー密度
電磁気エネルギー	SMES (超電導電力貯蔵)	中 数千kW	ロス小	瞬低、停電対策
圧縮エネルギー	CAES (圧縮空気電力貯蔵)	中 数十万kW	50%	熱ロス、立地
運動エネルギー	フライホイール	小 数十kW	ロス小	大規模化
熱エネルギー	高温蓄熱	大 数十万kW	70%?	蓄熱技術

重力エネルギー貯蔵

- コンクリートなどの重りを上げ下げすることで、電気エネルギーを位置エネルギーに変換する蓄電方法
- 英・スコットランドのGravitricity社とスイスを拠点とするEnergy Vault社が、重力蓄電を実用化
- 一般的な揚水発電の変換効率が約70%なのに対して90%という高効率を実現
- 立地と騒音・景観に課題



重さ2トン、高さ200mで約1kWh

海中での利用も検討中



出所:Energy Vault社ウェブページ, <https://www.energyvault.com/ldes>.

エネフロウェブページ,「Vol.32 ローテク“重力蓄電”は再エネの救世主か」, https://ene-fro.com/article/ef222_a1/

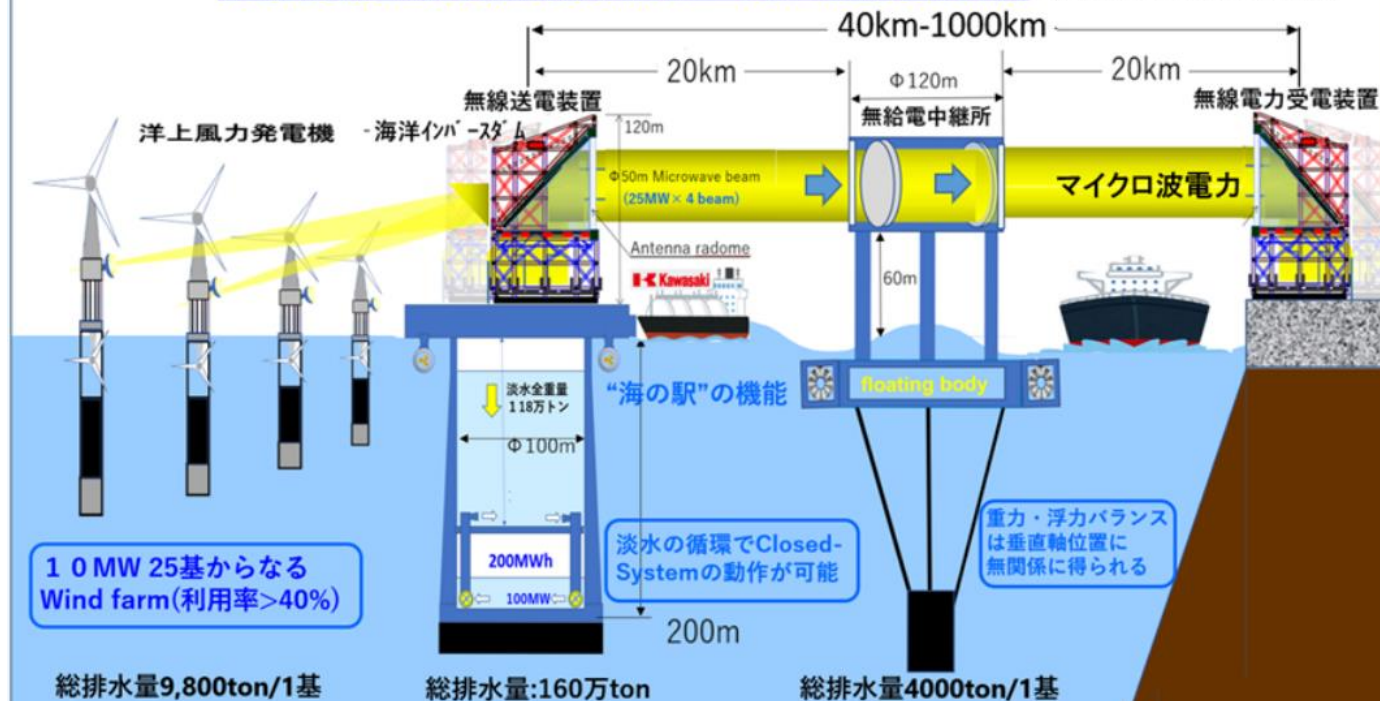
海洋インバースダム

原理：海水位置エネルギー利用の蓄電

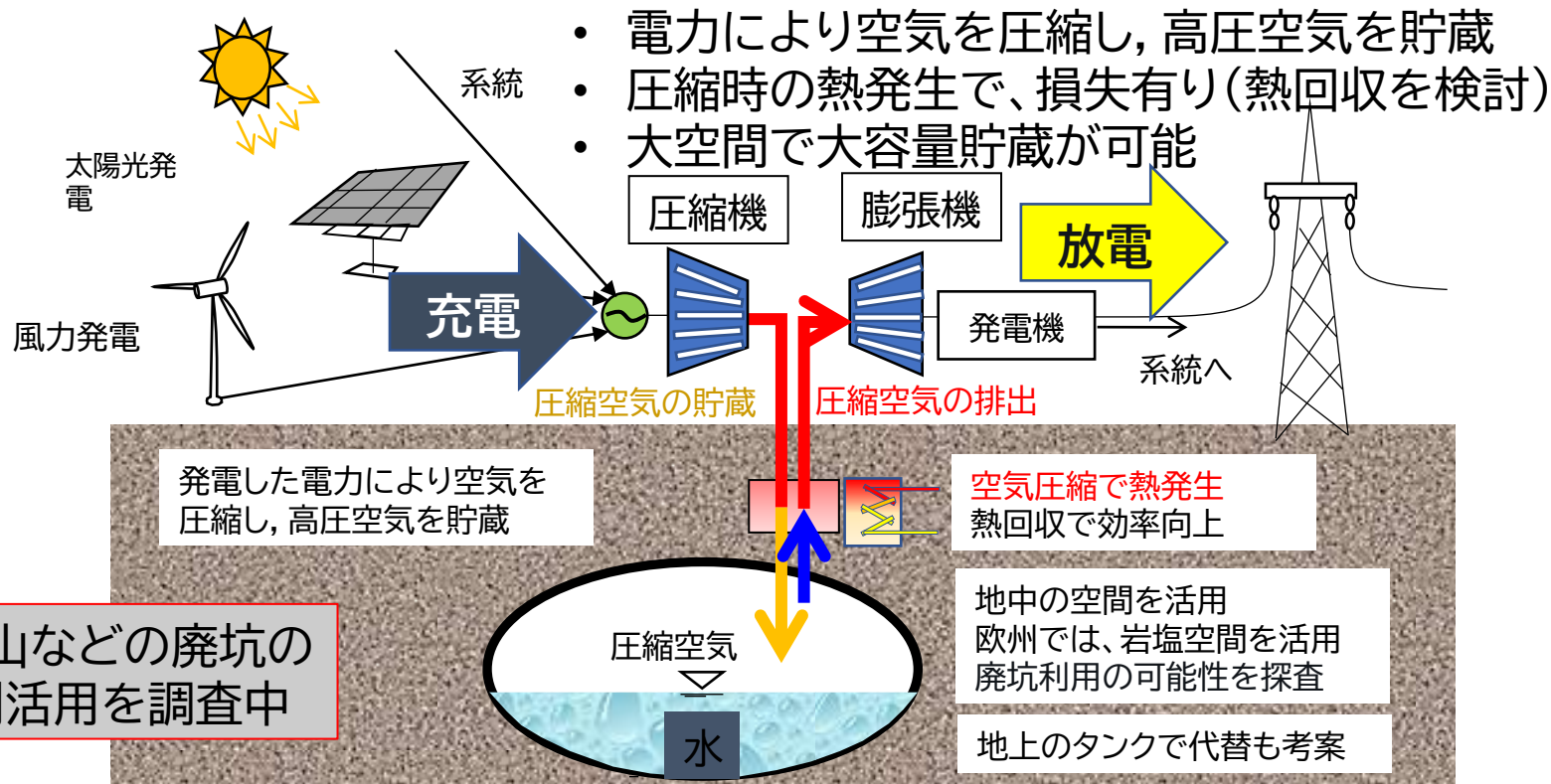
- ダム空間を海中に作り、海水を放出・注水して、発電と蓄電を繰り返す。
- 揚水と逆の動作になる。

洋上の中継器により再エネの採取・配送の自由度を向上

完全浮体式洋上風力と完全浮体式海洋インバースダムの組み合わせ利用（10万kW再エネ洋上発電所）



圧縮空気エネルギー貯蔵 (Compressed Air Energy Storage: CAES)



CAESの事例(空圧電池[®])

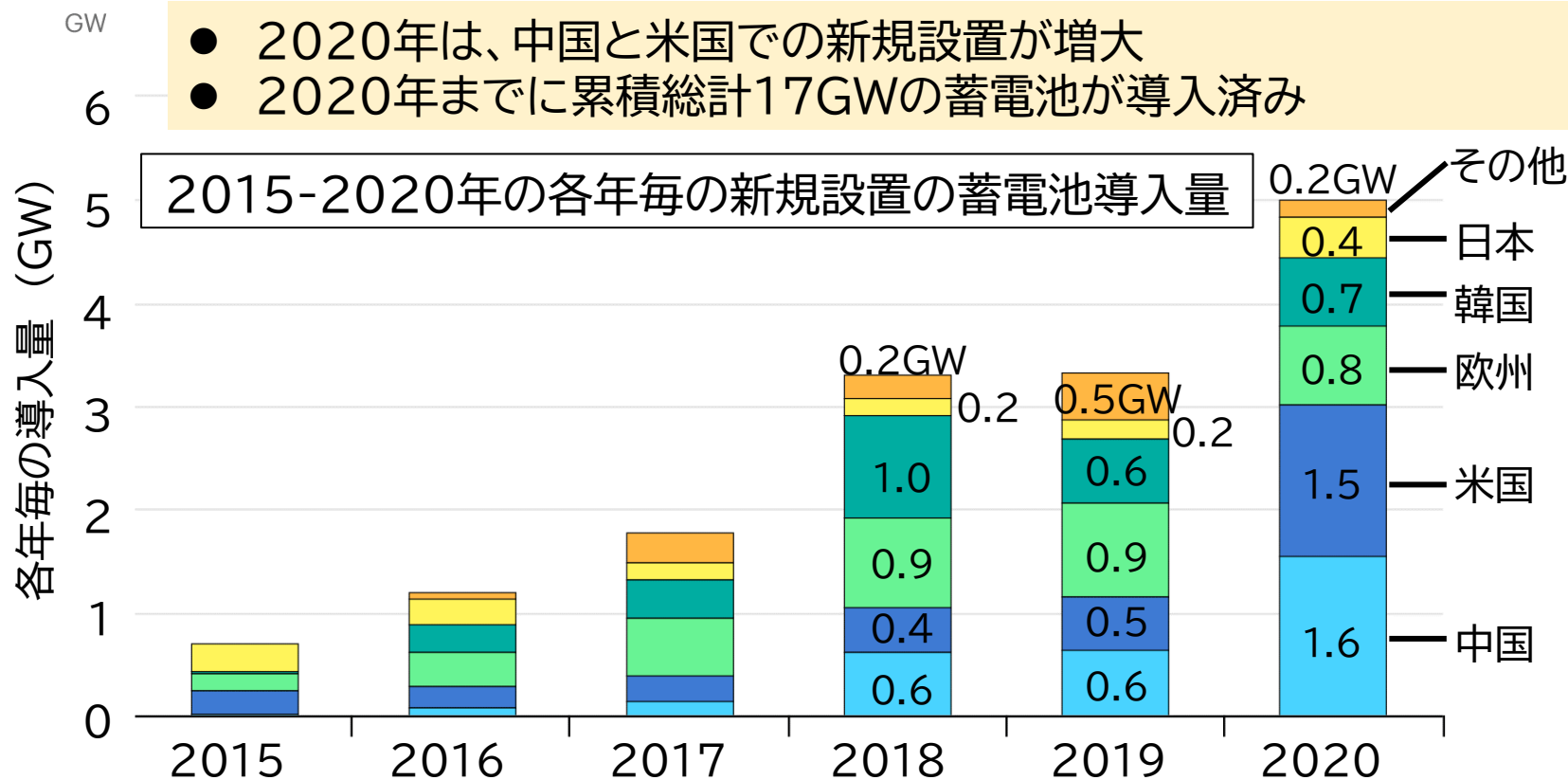


- 2018年にNEDOの研究開発事業で地上タンクを用いたCAESの実証実験を実施
- 空気の圧縮(貯蔵)と膨張(発電)に空圧電池[®]で電力貯蔵の実証を実施
- 貯蔵電力容量は1000kW×30分の500kWh
- 空気タンクは直径2m×高さ11.2m(30m³)×52基⇒**タンクの大容量化が課題**

ご紹介内容

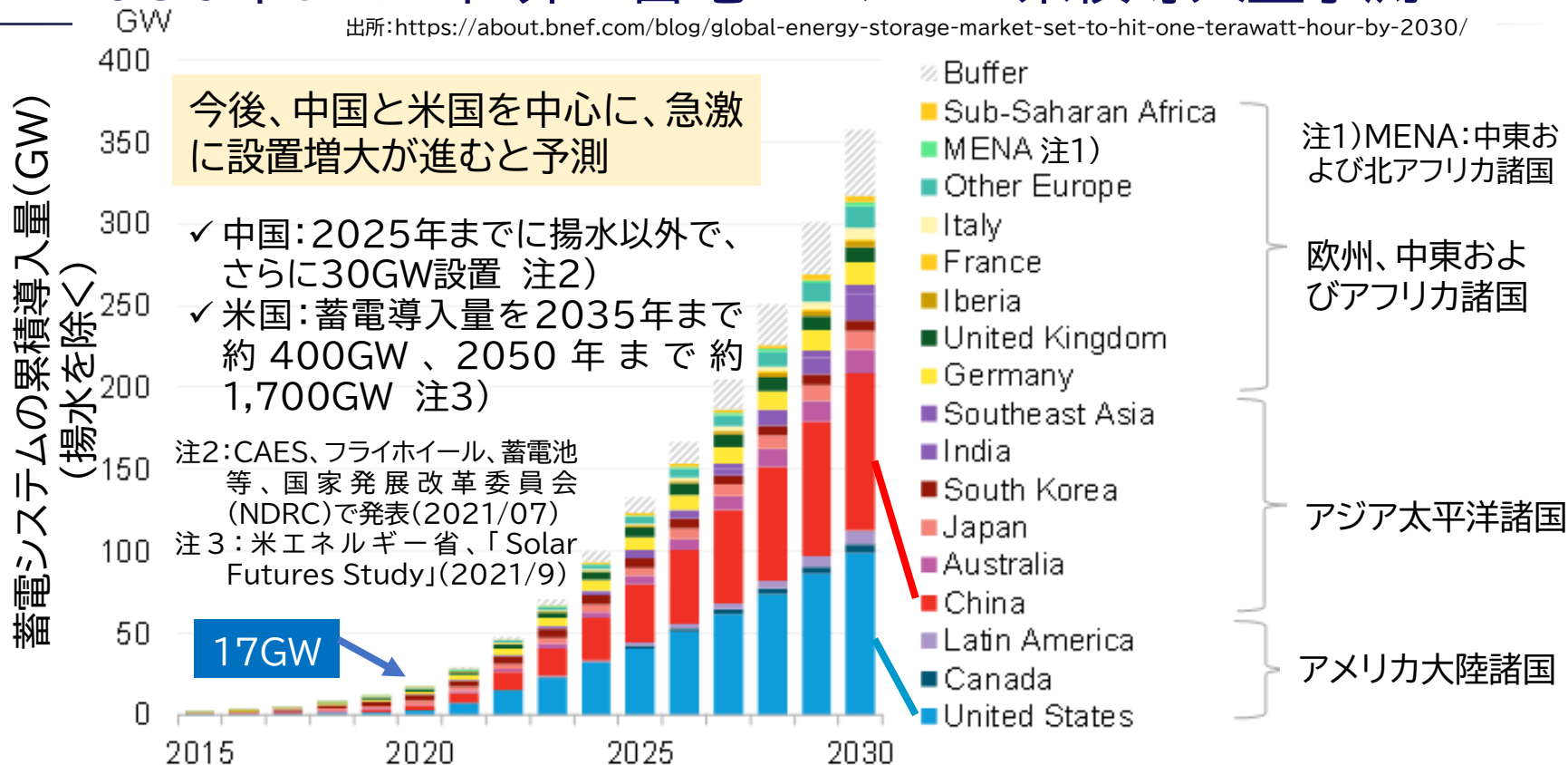
1. カーボンニュートラルに向けて
2. 電力の安定供給
3. 電力貯蔵システム
4. 定置用蓄電池
5. リチウムイオン電池
6. まとめ

世界における定置用蓄電システムの導入実績

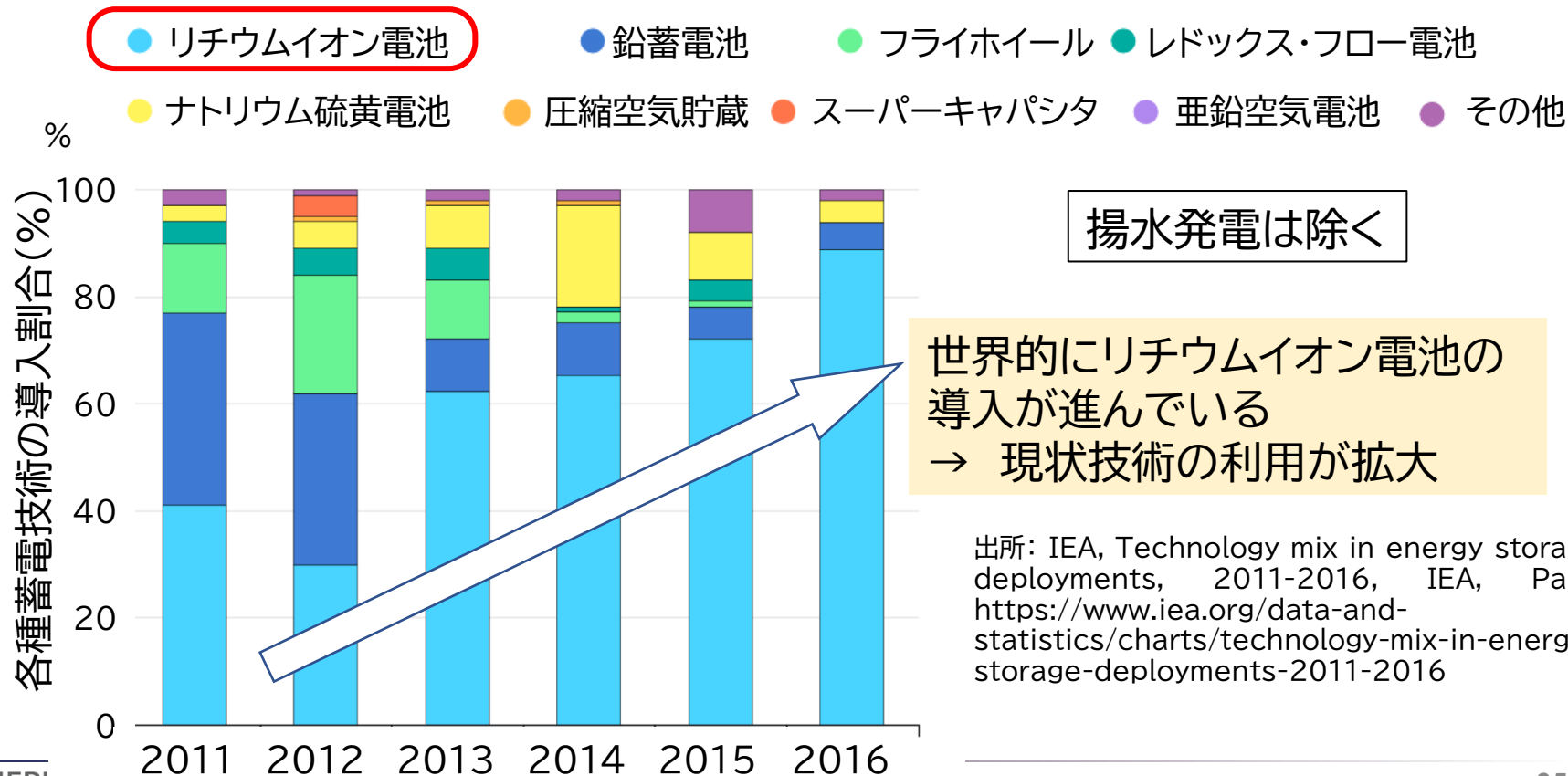


2030年までの世界の蓄電システムの累積導入量予測

出所: <https://about.bnef.com/blog/global-energy-storage-market-set-to-hit-one-terawatt-hour-by-2030/>



利用されている電力貯蔵技術



再エネ電源の系統連系／契約申し込みの状況

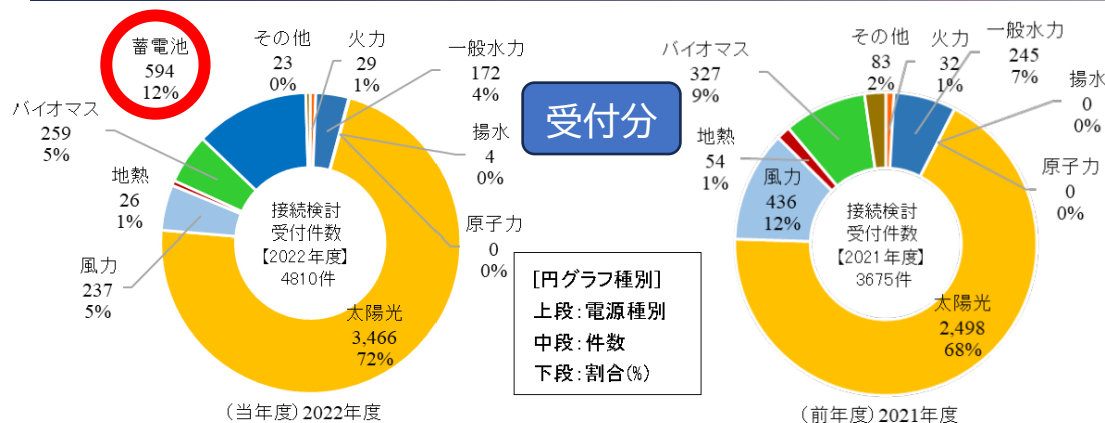


図7 接続検討の電源種別毎の受付件数割合(全エリア合計)

出所：電力広域的運営推進機関、「発電設備等系統アクセス業務に係る情報公表について(2022年度の受付・回答分)」,
https://www.occto.or.jp/access/toukei/2023/files/230622_access_toukei.pdf

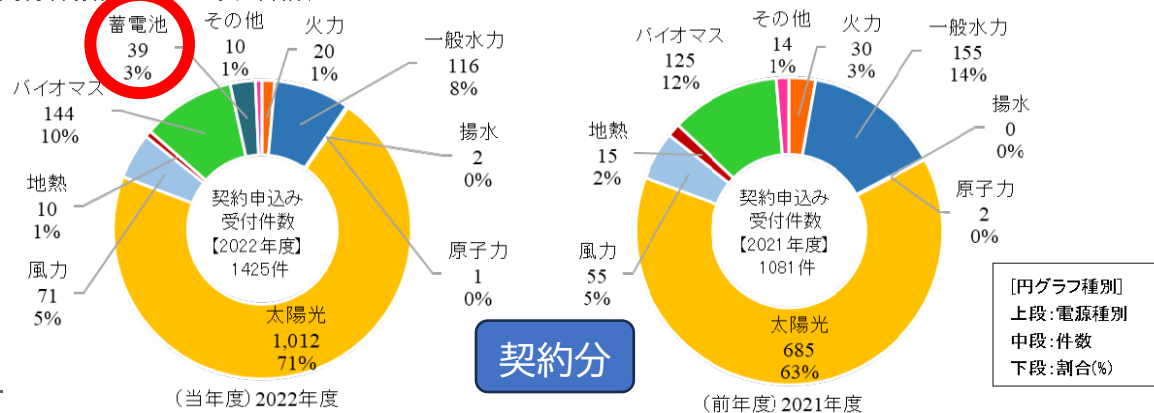
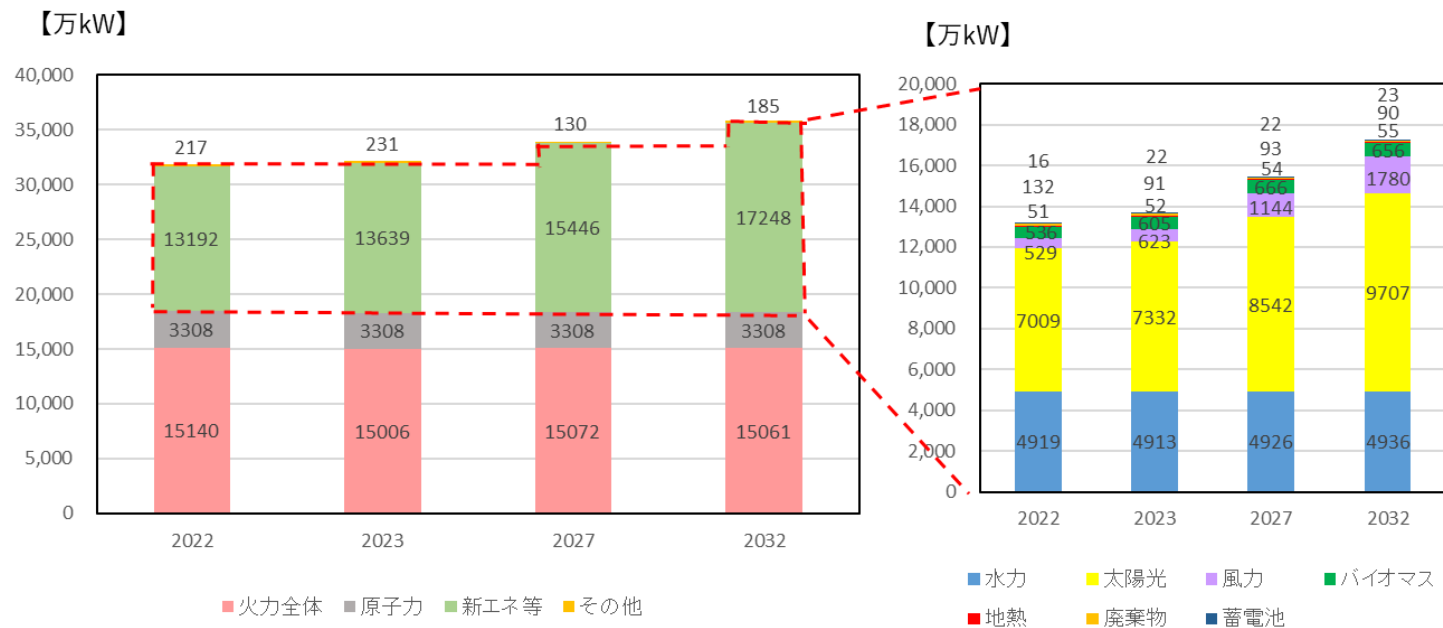


図17 契約申込み 電源種別毎の受付件数割合(全エリア合計)

再生可能エネルギーの今後の推移(2023年度供給計画)



※各電源の設備容量の合計値は、事業者から提出された数字を機械的に積み上げたものである。

図3-1 設備容量（全国合計）

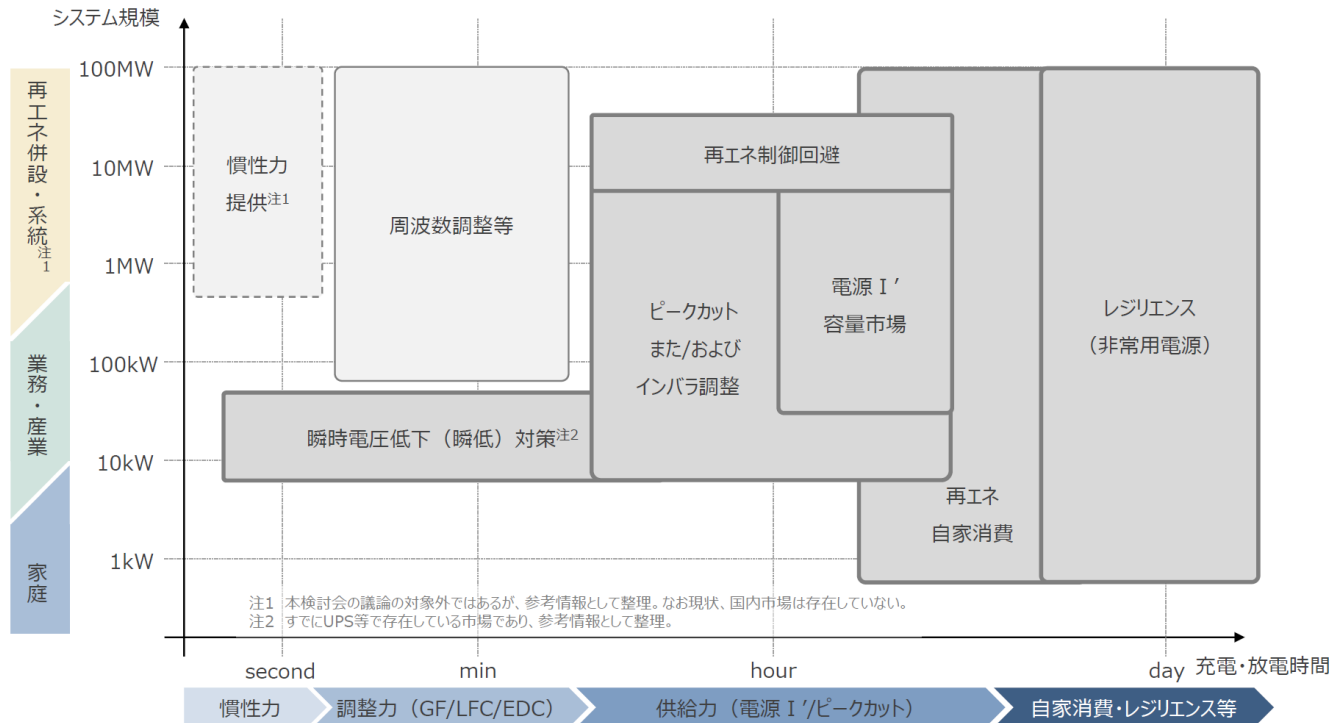
出所：電力広域的運営推進機関，「2023年度供給計画の取りまとめ」，https://www.occto.or.jp/kyoukei/torimatome/files/230330_kyokei_torimatome.pdf

電力貯蔵用蓄電池システムの設置

- 系統安定化のために、変電所に設置
- 出力安定のための安定化の太陽光・風力発電所に併設
- 負荷平準化・ピーク負荷対応での需要家に設置
- (新規) 系統安定化やVPP・DRを系統に直接連系の蓄電所の設置(関連省令の改訂中)

定置用蓄電システムの設置場所とユースケース

- 定置用蓄電池の普及には、単独用途ではなく、多用途対応(マルチユース)の実現が重要



ご紹介内容

1. カーボンニュートラルに向けて
2. 電力の安定供給
3. 電力貯蔵システム
4. 定置用蓄電池
5. リチウムイオン電池
6. まとめ

リチウムイオン電池の特徴

- ナトリウム硫黄電池, レドックスフロー電池: ほぼメーカー1社
- リチウムイオン電池: 幅広い選択肢と特性 → 国内外の多数のメーカーで生産, 形状も材料も多様

ラミネート形
(パウチ)



円筒形



モジュール



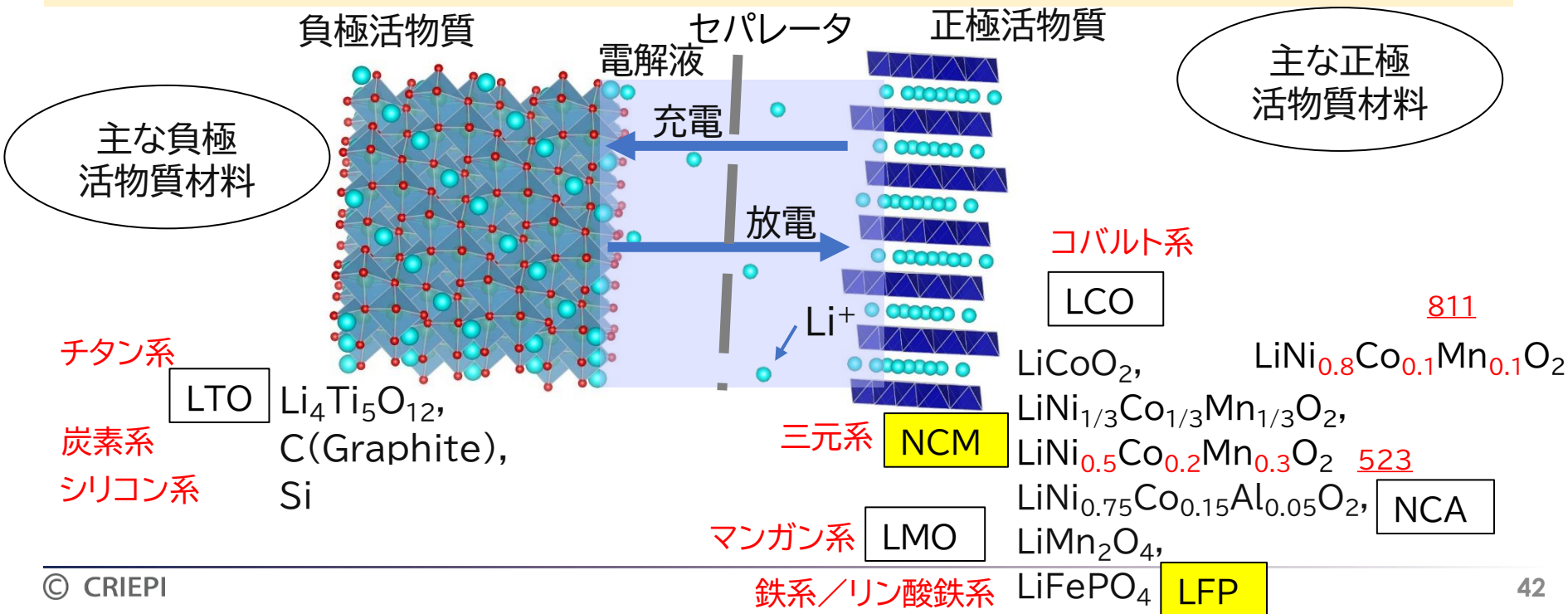
角形



リチウムイオン電池の主な構成材料

- 正極と負極の組み合わせで、電圧、容量など特性が異なる
- 電解液は可燃性液体（消防法危険物第4類）
- 材料によって異なる電池特性

材料資源の確保は？
新規材料の電池の実用化の時期は？
リユース・リサイクルは？



リチウムイオン電池の材料別シェア

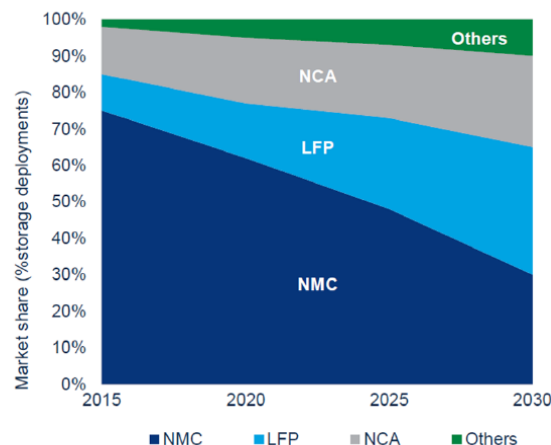
LFP電池の拡大

- エネルギー密度は低いものの、資源制約の少なさや低コストのメリットもあり正極材に鉄系のLFPを採用した電池の採用が拡大。採用が進んでいる中国のみならず他国でもエントリーレベルでのEVで採用を決めたOEMも出始めている。特に、定置型貯蔵システムではLFP系が主流となる見方が強い。
- 日本の電池メーカーも複数社がLFP電池を生産しているが、LFP材料の供給は中国企業がほぼ独占している状況（国内メーカーも少量生産）。

<車載メーカー・電池メーカーの動向>

- テスラのイーロンマスクは同社のバッテリーは最終的にLFPが2/3、3元系が1/3になると発言。
（特に、中国市場、定置用はLFPが中心）
- VW、フォード、ダイムラーもLFP採用車種の販売の方針を発表。
- LG、サムソンもLFP電池の生産の方針を打ち出している。

正極材料の見通し



出典：経済産業省 第2回蓄電池産業戦略検討官民協議会、資料3（2022年2月）、
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/0003/03.pdf

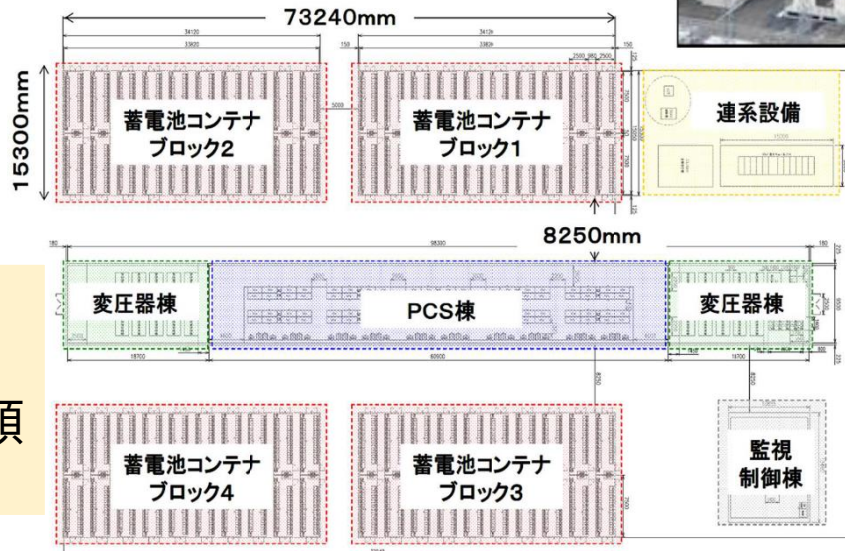
大型蓄電池の設置事例(東北電力NW西仙台変電所)

出所:東北電力(株):「大型蓄電システム緊急実証事業 西仙台変電所周波数変動対策蓄電池システム実証事業」成果報告書

20MW-20MWh
電池コンテナ:80台
500kW-PCS:80台



平面配置図



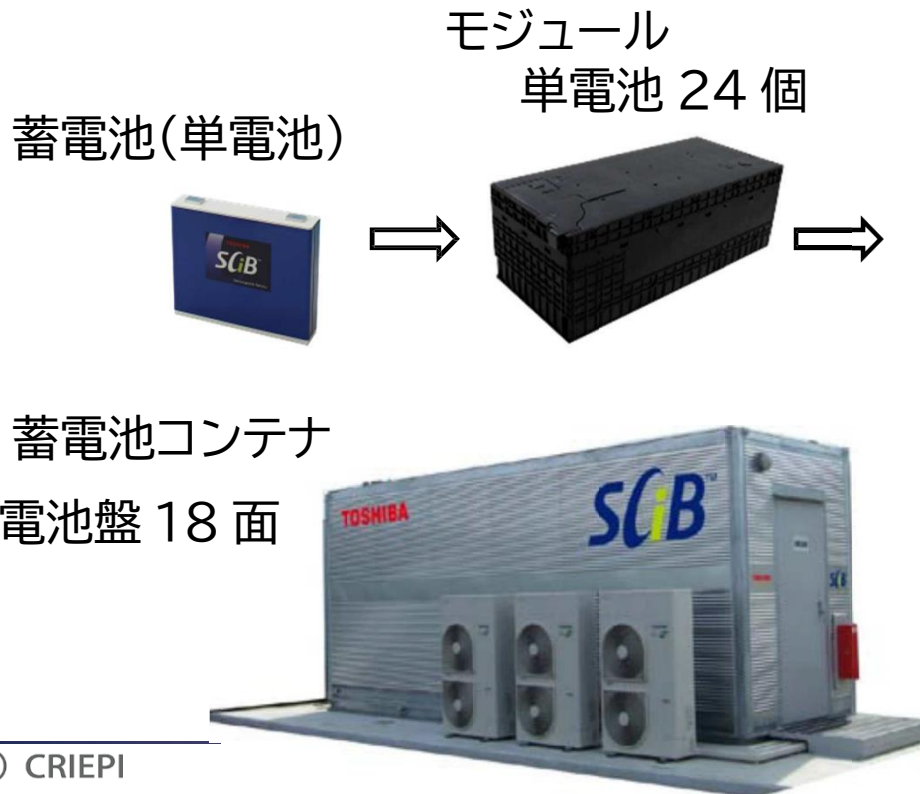
所要設置面積:
約6,000 m²
→ 約300 m²/MW

リチウムイオン電池:
有機電解液を使用
→ 消防法上の危険物第4類
→ 隔離距離等が必要

蓄電池コンテナの四方に保有空地(幅5m)を確保

東北電力NW西仙台変電所 大型蓄電池の蓄電池構成

出所:東北電力(株):「大型蓄電システム緊急実証事業 西仙台変電所周波数変動対策蓄電池システム実証事業」成果報告書



蓄電池システム:20MW-20MWh

蓄電池盤

蓄電池モジュール 22 個

蓄電池コンテナ:80台

蓄電池盤:18台/コンテナ

モジュール:22個/蓄電池盤

単電池:24個/モジュール

→ 76万個の単電池を制御

大規模な蓄電池システムの最適運用のために、電池管理システム(BMS)で、単電池の電圧、温度等の管理が重要

系統用蓄電池システムの構成

東北電力 西仙台変電所の大型蓄電池システムの主要機器仕様

蓄電池 関連機器	機器名	定格事項 他	数量
系統連系 設備等	蓄電池盤（リチウムイオン二次電池）	607.2V 24.2kWh	1,440面
	蓄電池コンテナ	蓄電池盤 18面, 空調, 消火設備を収納	80台
	パワーコンディショナ（PCS）	500kW AC300V	80台
	昇圧用変圧器	2,000kVA 6.6kV/300V	20台
	主要変圧器	45,000kVA 33kV/6.6kV	1台
	計器用変圧変流器	36kV	1台
	ガス遮断器	36kV 1,200A	1台
	真空遮断器	7.2kV 4,000A	1台
		7.2kA 600A	21台
	所内変圧器	1,500kVA 6.6kV/210V	2台
	統括制御盤	蓄電池システムの統括監視制御	1面
	連系設備監視制御盤	連系設備の制御, 計測, 状態・故障表示	2面
	保護継電器盤	連系設備の保護	5面
	直流電源装置	直流電源の供給	1式
	無停電電源装置（UPS）	電源喪失時の交流電源供給	20台

他の電力設備と同様の機器・設備も装備

出所: 東北電力(株): 「大型蓄電システム緊急実証事業 西仙台変電所周波数変動対策蓄電池システム実証事業」成果報告書

蓄電池システムの設置面積(例)

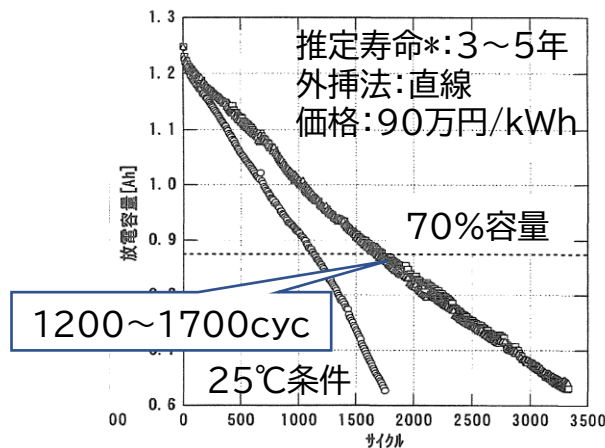
設置場所	電池種類	定格出力	定格容量	設置面積	運転状況	出力・容量当たり面積
東北電力NW 西仙台変電所	リチウムイオン電池	20 MW	20 MWh	6,000 m ²	2015/2から 運用中	300 m ² /MW 150 m ² /MWh
東北電力NW 南相馬変電所	リチウムイオン電池	40 MW	40 MWh	8,500 m ²	2016/2から 運用中	213 m ² /MW 213 m ² /MWh
北海道北部風力送電 北豊富変電所	リチウムイオン電池	240 MW	720 MWh	17,000 m ² 建屋延床面積	2023/4から 運用中	71 m ² /MW 24 m ² /MWh
関西電力送配電 紀の川変電所	リチウムイオン電池	48 MW	113 MWh	8,000 m ² 建屋延床面積	2024/4運 開予定	167 m ² /MW 71 m ² /MWh
九州電力送配電 豊前蓄電池変電所	ナトリウム硫黄電池	50 MW	300 MWh	14,000 m ²	2016/3から 運用中	280 m ² /MW 47 m ² /MWh
北海道電力NW 南早来変電所	バナジウムレドック ス・フロー電池	15 MW	60 MWh	5,000 m ² 建屋設置面積	2015/12か ら運用中	333 m ² /MW 83 m ² /MWh

北豊富変電所の蓄電池ベース100万kW → 0.07 km²必要
500 GW → 36 km²必要, 1 TW → 71 km²必要

リチウムイオン電池の寿命性能

- 実用化初期(1990年代初め)から, 寿命性能は圧倒的に改善(10年以上)
- ただし, インフラシステムで活用するための十分な耐久性の確保は未検証(20年, 30年は不明)
- 用途・利用方法による違いの把握, 安全性の維持, 運用中の性能の見える化は課題

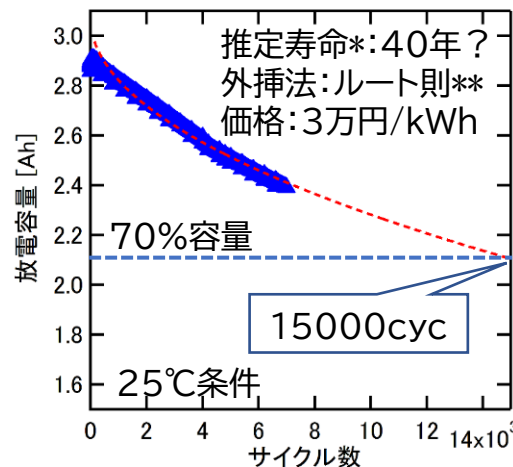
初期型(1993年製)の寿命特性



LiCoO₂/Hard Carbon系電池

出典: 電中研研究報告 T98072 (1999).

2012年製電池の寿命特性



*1日1回充放電として試算、保存による劣化は考慮していない。

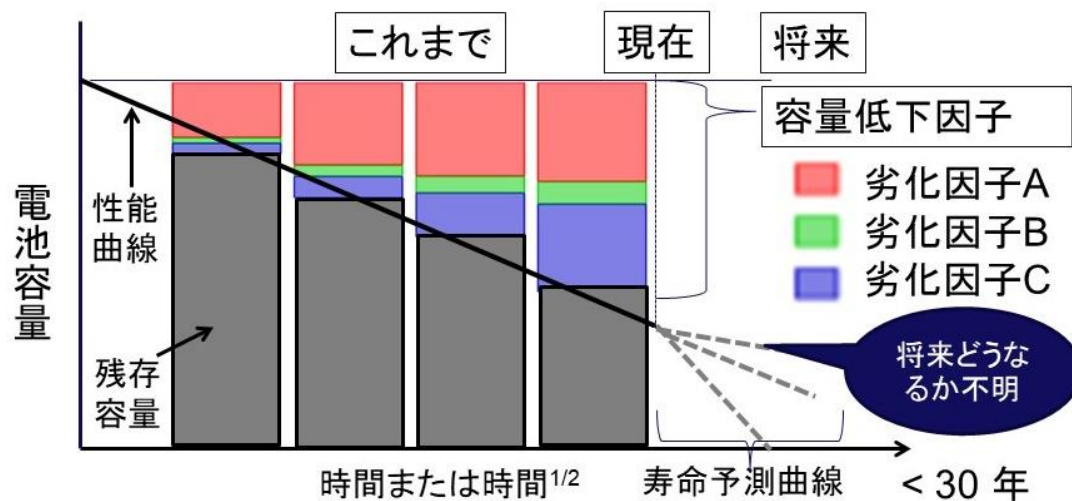
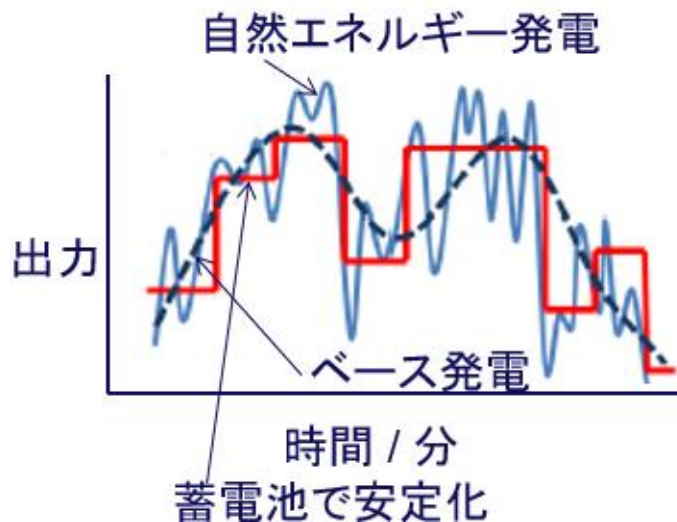
**運転時間、またはサイクル数の1/2乗と容量が直線関係にあること

LiFePO₄/Graphite系電池

出典: 電中研研究報告 Q16001 (2017).

運用条件(電池の使い方)と電池劣化

- 電池の劣化評価技術の開発により, 残存性能(価値)の見える化が必要
- 電池の性能低下は, 運用条件(使い方か環境)に依存する電池の劣化の影響を受ける
 - ⇒ 例えば, 再エネと組み合わせ大電流短期間充放電, や, 空調管理のない環境で充放電, など
- 運用条件ごとに異なる電池劣化の因子を定量的に抽出し, モデル化
 - ⇒ 運用中の劣化診断による残存性能の把握, 寿命予測, 安全性低下検知 ⇒ ユーザの利用促進

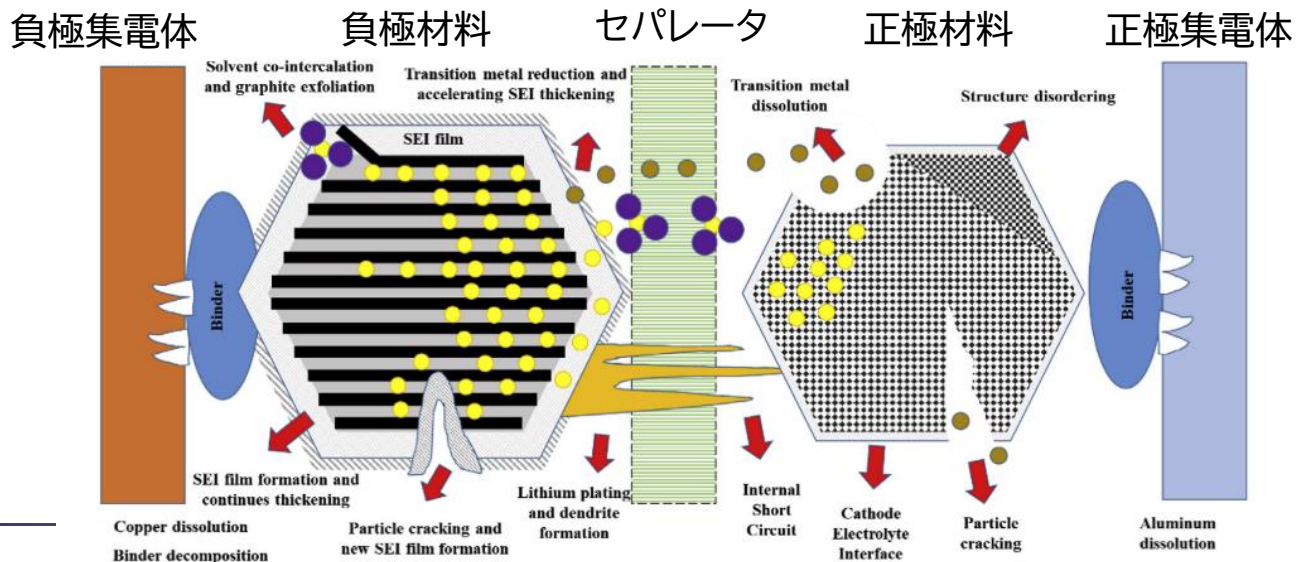


リチウムイオン電池は劣化する

- 様々な劣化の仕方が報告されている
- 劣化の仕方によっては発火等の深刻な影響を引き起こす
- ただしLIBの劣化機構は完全には明らかになっていない(電池の突然死等)
- LIBを安全・効率的・長寿命に使用するには、運用中の劣化状態を適切な評価が必要

LIBの劣化機構の模式図

出所: X. Han et al., ETransportation., 1, 100005 (2019).



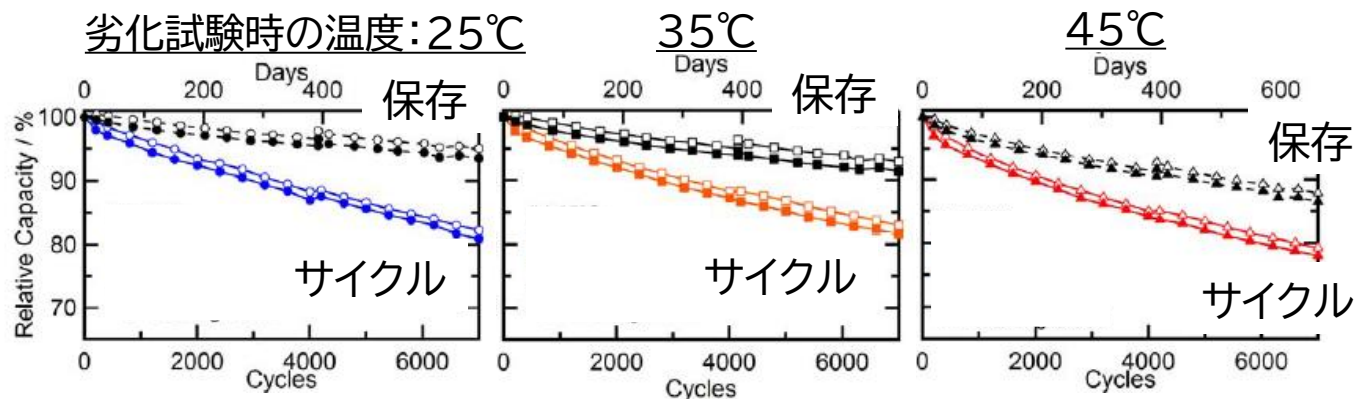
LIB寿命評価例(サイクルと保存における劣化)

1. 劣化試験:一定温度でサイクル試験と保存試験を実施
2. 容量確認試験:25℃で充放電して放電容量等で性能を確認

電中研データ:国内メーカーLIB(LFP/Gr系, 3Ah, 小型円筒形単電池)

サイクル試験:3A、SOC 0-100%

保存試験:SOC 50% *State Of Charge充電状態



- ✓ 7,000サイクルで容量低下5%~20%(容量維持率95%~80%)
- ルート則に従い容量低下を確認。高温環境で劣化が加速。

海外でのリチウムイオン電池の火災事故

- 韓国(30力所以上), 米国等でMW級蓄電池で火災事故発生
- 韓国では官民合同の事故調査委員会を設置し, 事故原因および対策を公表、その後も事故発生継続
 - ✓ 温度制御・管理なし、環境温度の変動が大(低温から高温への変化)
 - ✓ 保護装置不良、LIBの製造不良、他
- 日本の国内設置蓄電池で安価な中国製、韓国製リチウムイオン電池の選択事例が増
- 日本での大規模蓄電池の事故事例はない
 - ✓ 「電力貯蔵用電池規程(JEAC5006)」準拠
 - ✓ 蓄電所の電技・解釈の改訂中

韓国Yongin変電所の蓄電システム火災
(2018/10)

出所:<https://www.youtube.com/watch?v=noMG-AvnDoM>



電力貯蔵用電池の設置・運用要件

電力貯蔵用電池規程

1. 総則(一般事項、電力貯蔵用電池にかかわる関係法令)
2. 電力貯蔵用電池設備の構成(電池の構成、交直変換装置の構成、電力貯蔵用電池設備の適用形態、システム制御装置の機能)
3. 性能・構造(電池設備、交直変換装置、システム制御装置)
4. 施設条件及び運搬
5. 試験及び検査
6. 電力貯蔵用電池設備設置のための手続き
7. 管理基準

JEAC 5006-2022

JESC E0007 (2022)
日本電気技術規格委員会

電気技術規程
発 変 電 編

日本電気協会

電力貯蔵用電池規程

(BATTERY FOR POWER STORAGE SYSTEM)

JEAC 5006 - 2022

最新法令・基準等を反映した改訂版
が2022年度末に発行

IEC TC120(電気エネルギー貯蔵システム)への展開

蓄電池システムの導入コスト

豪州・南オーストラリア州の蓄電所(100MW-129MWh)の場合

発表:2017/7/6、運転開始:2017/11/23

工事費込みのシステム価格:9600万豪ドル

(州補助、当時約75億円相当)

→ 約5.8万円/kWh

(PCS等を含む建設費であり前ページとは異なる)

増設計画あり:50MW-64.5MWh

出所:<https://hornsdalepowerserve.com.au/>



<参考> 日本の業務・産業用蓄電池システムの
工事費込みのシステム価格

(系統連系設備は含まないと推察)

✓ 2019年時点:24.2万円/kWh^[1]

✓ 2030年目標:6万円/kWh^[2] ←←← 蓄電池産業戦略[3]でも引用あり

出所: [1]第4回定置用蓄電システム普及拡大委員会(2021/2)、https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/storage_system/pdf/004_04_00.pdf

[2]2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021/6)、<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>

[3]蓄電池産業戦略(2022/8)、https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/battery_saisyu_torimatome.pdf

蓄電池システムの導入コスト

日本初の蓄電所「北海道・千歳バッテリーパーク」の場合

- 米国テスラが、グローバルエンジニアリング、エネ・ビジョンと協働で「北海道・千歳バッテリーパーク」の建設を発表
- 電力卸市場、需給調整市場、容量市場へ参加

システム規模: 1523.8 kW-6095.2 kWh

稼働開始予定: 2022年夏頃

出所: テスラ、プレス発表資料(2021/8/19)、
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000009.000043349.html>

リチウムイオン電池: 中国CATL製

システム納入価格: 5万円弱/kWh

(系統連系設備費、工事費が含まれるか不明)

出所: 日本経済新聞電子版(2021/8/19)



テスラが発表した日本初の蓄電所

低価格の電池調達と、ユニット化した標準システムで現地作業を省略化し、低価格化を実現と推察

蓄電池システムの将来コスト見通し

- 米国NRELのレポート:リチウムイオン電池の系統用蓄電池の導入コストを予測
- 4時間容量の蓄電池 → 2030年:245-403USD/kWh, 2050年:159-348USD/kWh と予測

蓄電池コストの様々なレポートを分析

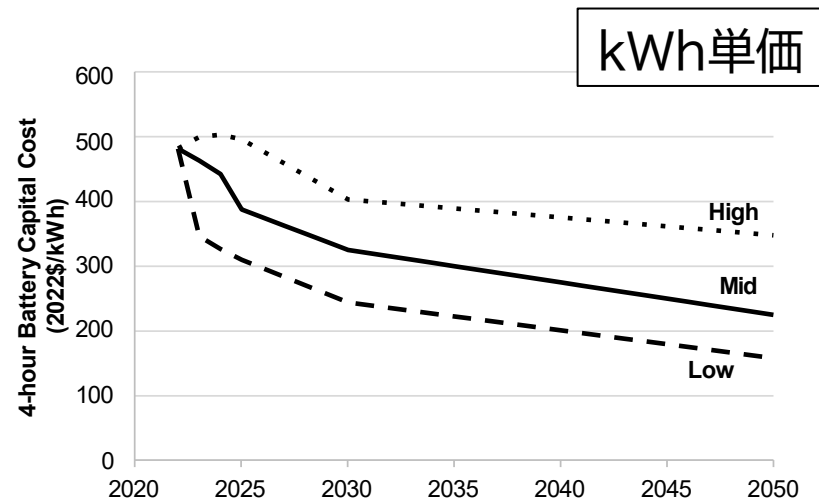
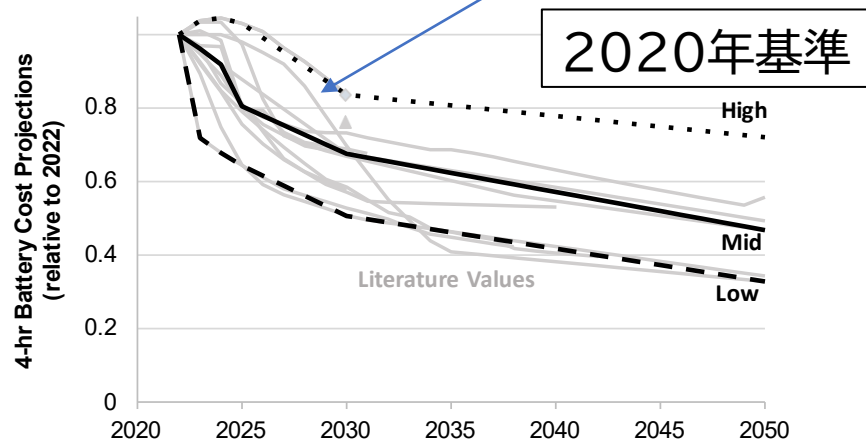
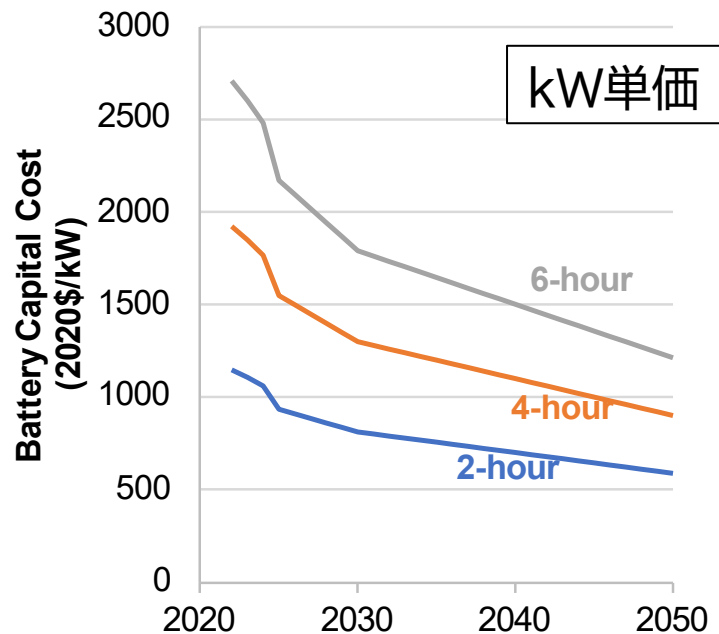
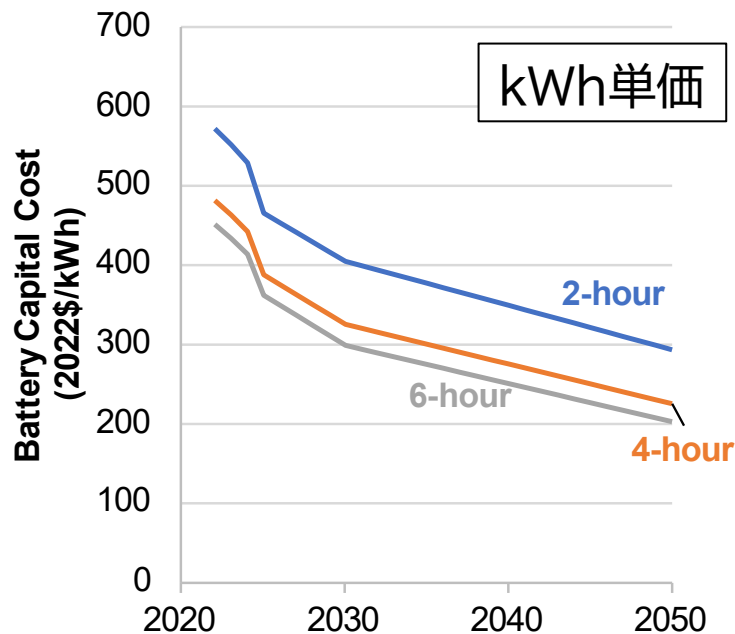


Figure ES-1. Battery cost projections for 4-hour lithium-ion systems, with values normalized relative to 2022. The high, mid, and low cost projections developed in this work are shown as bolded lines.

Figure ES-2. Battery cost projections for 4-hour lithium-ion systems.

蓄電池システムの将来コスト見通し

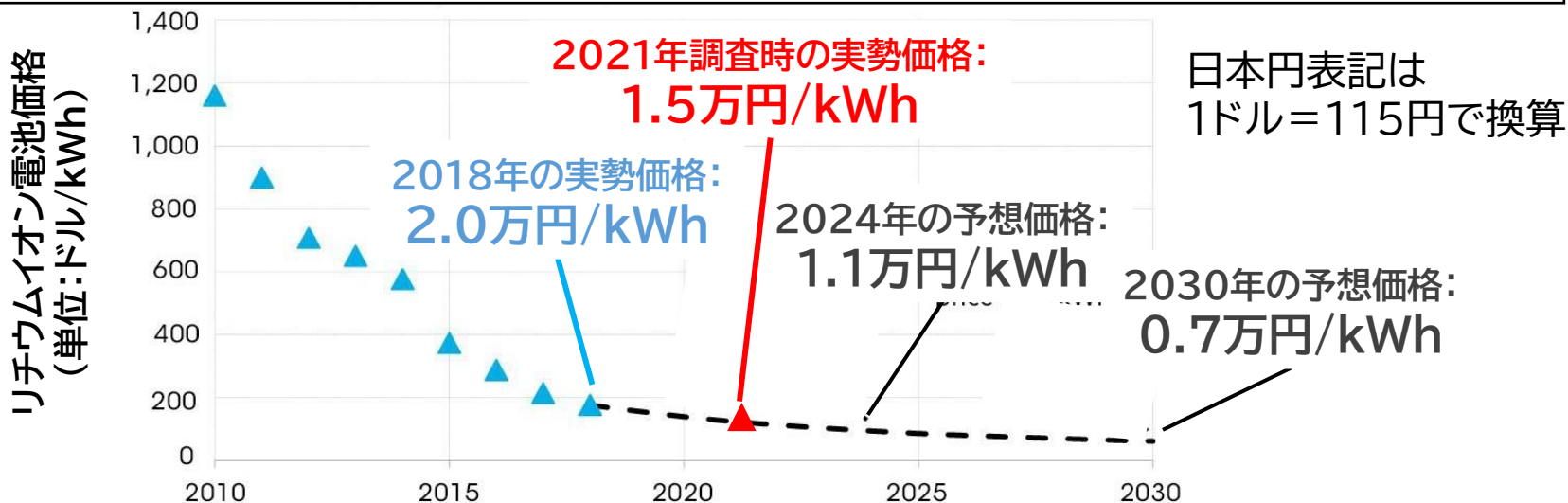
- 米国NRELのレポート:リチウムイオン電池の系統用蓄電池の導入コストを予測
- 2,4,6時間容量の蓄電池コストも試算 **寿命:15年, 充放電Wh効率:85%を想定**



リチウムイオン電池(電池パック＝電池単体)の価格

- 2015年以降:世界市場形成(中国、欧州、米国) → 電気自動車用電池価格:2～3万円/kWhに
→ 中国, 韓国の電池メーカーが低価格化をけん引
- 蓄電システム用電池も中国、韓国メーカーからの供給増(生産量増大)により、低価格化

電気自動車、定置用蓄電池などのリチウムイオン電池価格平均値(電力変換器を含まず)



<参考>リチウムイオン電池の材料コスト内訳

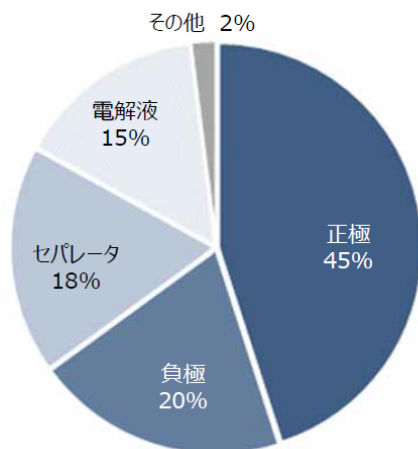
MRI

株式会社三菱総合研究所

LiB材料コスト構成（三元系）

- 三元系LiBの場合、材料コストの45%を正極材が占める。
- 正極材の材料コストの中では、特に活物質（31%）及びバインダー（36%）が大きなウェイトを占めている。

三元系LiBの材料コストの構成



部材価格

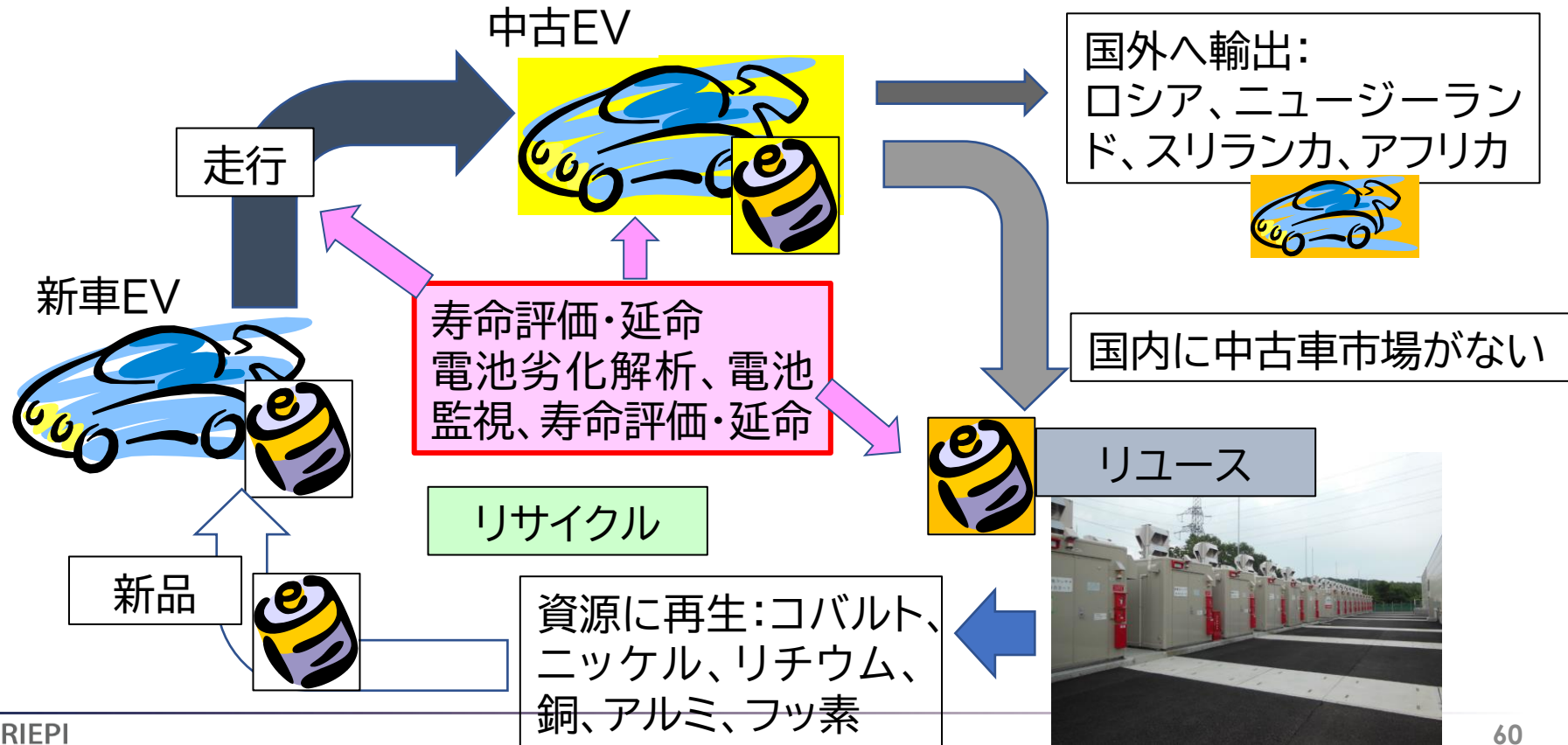
部材		部材詳細	単価
正極	正極活物質	NCM333-G (89wtg-%)	24.00 [US\$/kg]
	伝導体	カーボンブラック (6wtg-%)	6.90 [US\$/kg]
	正極バインダー	PVDF (5wtg-%)	27.60 [US\$/kg]
	正極溶剤	NMP (96wtg-%スラリー混合物)	16.56 [US\$/kg]
	正極集電体・端子	20umアルミニウム	0.74[US\$/m ²]
負極	負極活物質	天然グラファイト	14.87 [US\$/kg]
		人造グラファイト	18.00 [US\$/kg]
	負極バインダー	SBR (5.0wtg-%)	5.52 [US\$/kg]
セパレータ	セパレータ	12um圧延銅箔	1.66 [US\$/m ²]
		20um PP	1.84 [US\$/m ²]
	セパレータ	20um PVDF	4.60 [US\$/m ²]
電解液	電解液	EC/DMC/MEC-LiPF6	18.00 [US\$/kg]

部材価格は日本が所有する日本の工場のケース

出所:三菱総合研究所, 鉱物資源基盤整備調査事業(鉱物資源確保戦略策定に係る基礎調査)報告書(2018年3月)

出所) Donald Chung, Emma Elgqvist, and Shriram Santhanagopalan(2016), Automotive Lithium-ion Cell Manufacturing: Regional Cost Structures and Supply Chain Considerations, p9,20, Clean Energy Manufacturing Analysis Center に基づき三菱総合研究所作成

EV循環による低コスト化・資源確保



国の蓄電池産業戦略での目標

蓄電池産業戦略における目標

1st Target

液系LiBの製造基盤の確立

国内製造能力目標

「国内の自動車製造の安定的な基盤を確保するため、2030年までのできるだけ早期に、国内の車載用蓄電池の製造能力を100GWhまで高める」（グリーン成長戦略、令和3年6月決定）ことに加え、蓄電池の輸出や定置用蓄電池向けに必要な製造能力の確保も念頭に、遅くとも2030年までに、蓄電池・材料の国内製造基盤150GWh/年の確立を目標とする。

2nd Target

グローバルプレゼンスの確保

グローバル製造能力目標

蓄電池製造に不可欠な上流資源のグローバル市場での購買力確保、標準化・国際的なルール形成での影響力確保等の観点から、2030年に我が国企業全体でグローバル市場において600GWh/年（※）の製造能力確保を目標とする。

※ 2030年の世界市場が3000GWh/年まで拡大した場合もシェア20%を確保する試算。

3rd Target

次世代電池市場の獲得

研究開発能力目標

全固体電池など次世代電池を世界に先駆けて実用化し製造技術の優位性・不可欠性を確保するため、産学官の研究開発力を結集し、2030年頃に全固体電池の本格実用化、2030年以降も我が国が技術リーダーの地位を維持・確保することを目標とする。

出典：経済産業省 蓄電池産業戦略検討官民協議会、蓄電池産業戦略(2022年8月),
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/battery_saisyu_torimatome.pdf

蓄電池産業の国内基盤の拡充

今後の取組（技術・ビジネス①）

1. 国内基盤拡充のための政策パッケージ

国際競争力を持つ形で遅くとも**2030年に150GWh/年の国内製造基盤を確立**するため、以下の取組を実施。

○ 蓄電池・材料の国内製造基盤の確立

➤ 官民連携による蓄電池・材料の国内製造基盤への投資強化

1,000億円基金（R3補正）による支援に加えて、目標達成に向けた更なる国内製造基盤の拡充のための政策パッケージを具体化し、官民連携して、遅くとも2030年までに150GWh/年の基盤確立を目指す。

BASC（電池サプライチェーン協議会）において毎年、会員企業を対象に業界の最新投資状況のフォローアップを行う。

【参考】官民での必要投資額：3.4兆円（部材製造：1.3兆円、電池製造：2.1兆円）※BASCアンケート値

➤ 国際競争力を持つためのDX、GXによる先端的な製造技術の確立・強化

我が国の強みである蓄電池の性能・安全性等を維持しつつ、課題であるコスト競争力を向上させるため、コスト分析も行いながら、先端的な製造プロセスの開発投資に対する支援の強化を図る。

➤ 我が国蓄電池の競争力強化に向けたセル・システム一体での対応策の検討

BAJ（電池工業会）がJEMA（日本電機工業会）と連携し、コスト低減や高付加価値化など競争力強化に向けた、セル・システム一体での課題と対応策の検討を進める。

【参考：目標価格】

- ・車載用蓄電池パック : 2030年までのできるだけ早期に、1万円/kWh以下※1
- ・家庭用蓄電システム : 2030年度に、7万円/kWh（工事費込み）※2
- ・業務・産業用蓄電システム : 2030年度に、6万円/kWh（工事費込み）※2

※1「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和3年6月）
※2「エネルギー基本計画」（令和3年10月）

出典：経済産業省 蓄電池産業戦略
検討官民協議会、蓄電池産業戦略
（2022年8月）、

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/battery_saisyu_torimatome.pdf

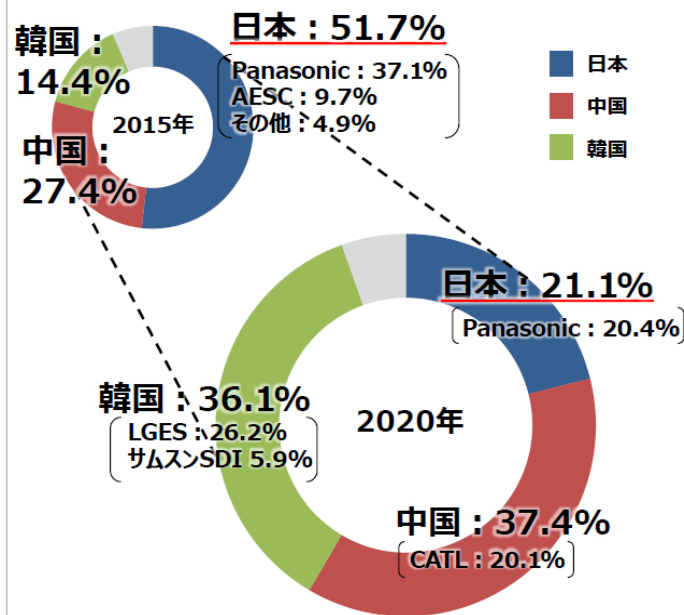
○ 蓄電池の制御システムの高度化に向けた対応

市場のニーズに即した蓄電池の高度化・高付加価値化を図るため、制御システムの高度化のための技術開発・実証等の施策の検討を進めるとともに、NITE（製品評価技術基盤機構）においてマルチユースの類型化や評価手法の構築等の検討を進める。

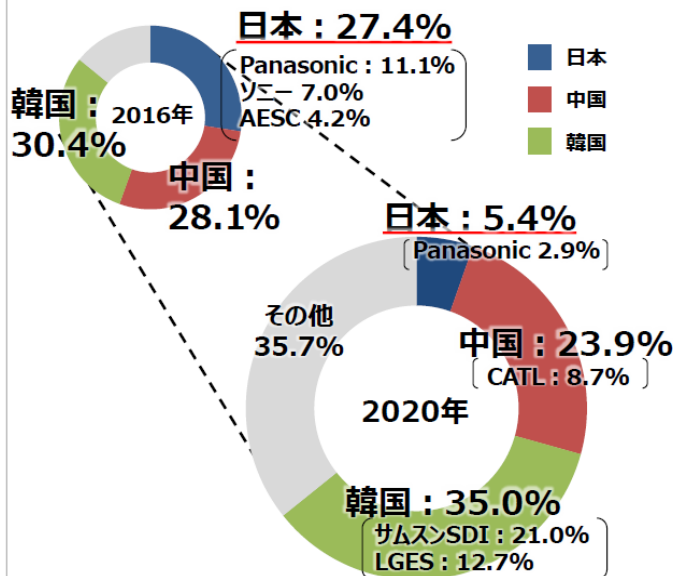
リチウムイオン電池の世界市場シェア

- 日系勢は技術優位で初期市場を確保したが、市場の拡大に伴い中韓メーカーがシェアを拡大、一方で日本メーカーはシェアを低下。

車載用リチウムイオン電池【世界】



定置用リチウムイオン電池【世界】



出典：経済産業省 蓄電池産業戦略
検討官民協議会、蓄電池産業戦略
(2022年8月),
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/battery_saisyu_torimatome.pdf

リチウムイオン電池材料の市場シェア

電池材料の競争力

- 日系材料は品質面で優位で、一定のシェアを持つが、中国勢がコスト面に加え、品質面でも追い上げ。日系電池メーカーも中国材料活用の可能性。
- 韓国製電池の発火による大規模リコール事件もあり、安全な日系材料へのニーズも高まっているが 生産性向上等による価格競争力向上が不可欠。

正極

競争力：生産技術、材料技術、スケール、電気代

NCA（円筒形電池用）

①住友金属鉱山	42.4%
②ECOPRO（韓）	26.7%
③BTR（中）	15.7%
④BASF戸田（独日）	11.0%

NCM（角/ラミネート型）

①LGケミカル（韓）	9.9%
②湖南長遠鋳科（中）	9.2%
③B&M（中）	8.6%
④北京当昇（中）	7.3%
⑤日亜化学	7.1%

※全固体電池でも活用

負極（黒鉛）

競争力：資源価格（天然黒鉛：安い資源が中国偏在）
電気代（人造黒鉛）

①BTR（中）	18.5%
②江西紫宸（中）	16.0%
③上海杉杉（中）	14.2%
④広東凱金（中）	11.5%
⑤昭和電工マテリアルズ	6.7%

➡ 次世代負極（Si系など）にも期待

電解液

競争力：添加剤知財・配合ノウハウ

①広州天賜（中）	21.1%
②新宙邦（中）	13.0%
③MUAイオニックソリューションズ	11.3%

セパレータ

競争力：価格（日系は安全性優位）

①上海エナジー（中）	21.8%
②星源材質（中）	12.9%
③旭化成	12.2%
④中材鋳膜（中）	12.2%
⑤SK ie technology（韓）	9.6%
⑥東レ	7.9%

その他

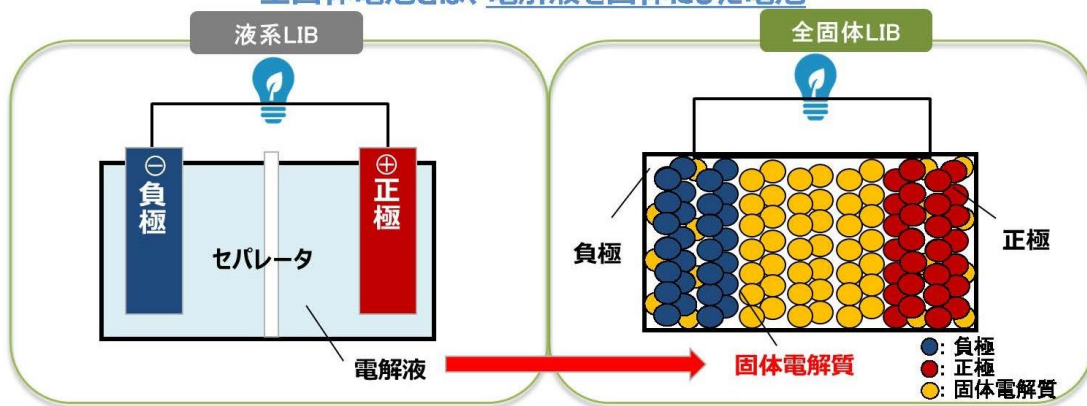
例：電池セルの外装の一種である「パウチ」など

出典：経済産業省 蓄電池産業戦略
検討官民協議会、蓄電池産業戦略
(2022年8月),
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/battery_saisyu_torimatome.pdf

全固体電池の特徴と課題

- 当面は液系リチウムイオン蓄電池が主流。一方、次世代蓄電池として全固体リチウムイオン蓄電池が期待されている。様々な見方があるが2020年代後半以降にEV市場で投入の可能性も。
- 日本が研究開発をリードしてきたが、近年、各国も研究強化、特に中国が猛追。

全固体電池とは、電解液を固体にした電池

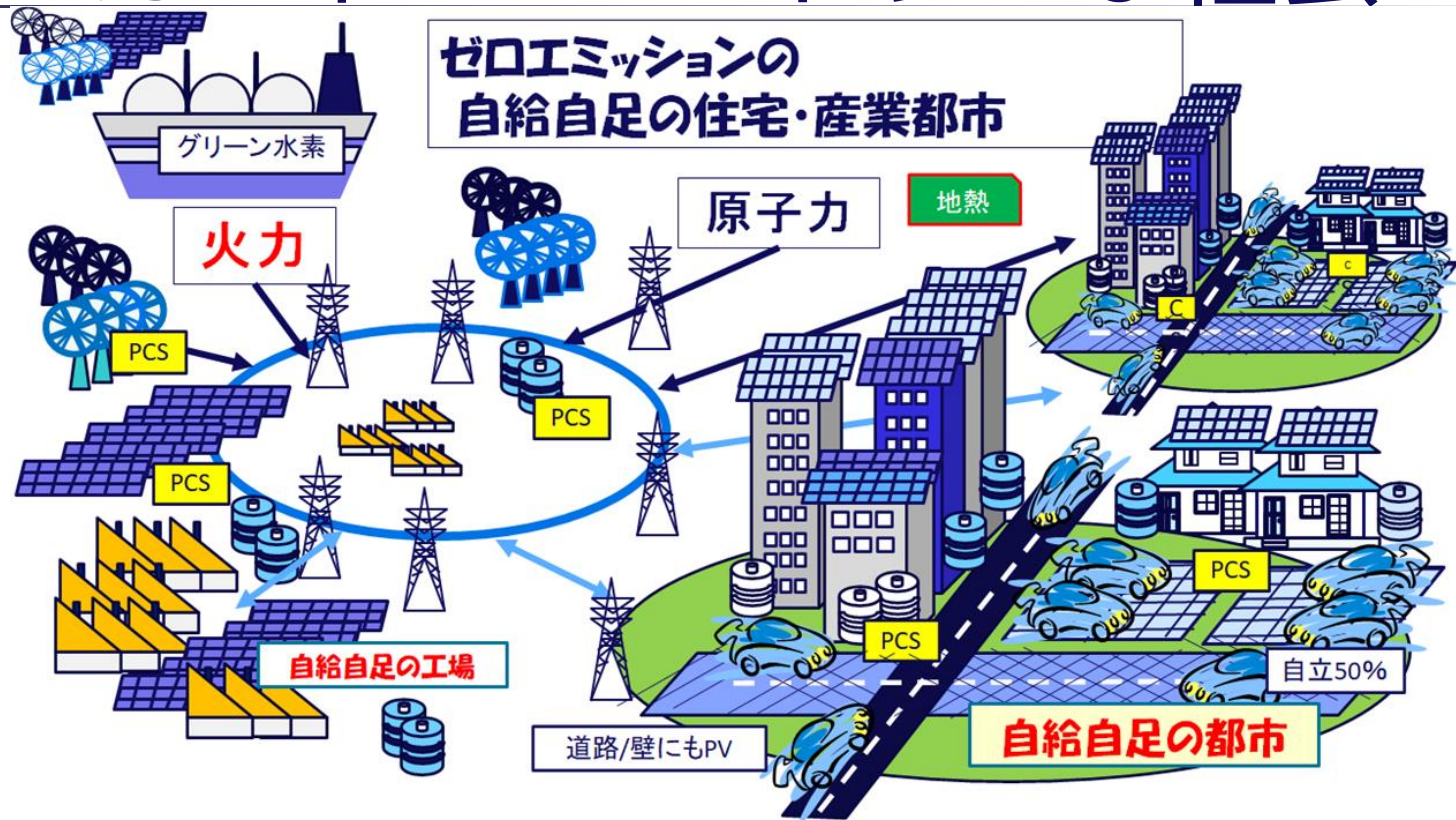


【全固体リチウムイオン蓄電池の特徴】

- ✓ 可燃性の電解液による発火や、液漏れがなくなり、安全性が向上
- ✓ 同じ体積の液系LiBと全固体電池で比べると、航続距離が約2倍
- ✓ 大電流での急速充電が可能となり充電時間が短縮（液系LiBの1/3程度）
- ✓ 経年劣化（寿命が短い）については技術課題あり
- ✓ 量産化技術の確立も課題

出所：経済産業省、蓄電池産業戦略（2022年8月），
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/battery_strategy/battery_saisyu_torimatome.pdf

カーボンニュートラルな社会



6. まとめ

- カーボンニュートラルに向けて、世界的に再生可能エネルギーの導入が拡大し、需要と時間的・空間的なズレが増大
- 蓄電技術の効果的な導入がカーボンニュートラル実現のキー
- 蓄電池(二次電池)は、電力の供給と需要の両サイドで活用
- 多様な蓄電池を適材適所の利用
- 電気自動車は充電の集中が懸念されるが、V2Xの活用も期待
- 現状、リチウムイオン電池の劣化診断、残存価値の評価技術を活用して最大限の活用が不可欠
- 全固体電池は課題が多いが、期待は大きい。

ご清聴ありがとうございました



三田裕一, mita@criepi.deken.or.jp

環境ベテランズファーム Webセミナー

Q & A

環境ベテランズファーム Webセミナー

以上でEVF Webセミナーを終了いたします

**このセミナーにご質問・ご意見のある方はEVFのHPから
質問内容・ご意見を送信をお願いします。**

**今月末までに寄せられたご質問は講師に取りまとめてお
取次ぎし、後日、セミナー報告の中の主要な質疑応答に
集約してHPに掲載いたします。**