

限定配布

令和7年度第4回シンビオ社会講演会  
～再生可能エネルギーの最新動向と課題～

# 変動性再生可能エネルギーの大量導入にかかわる 問題点とその対策に関する将来展望

寺 井 隆 幸

(一財)エネルギー総合工学研究所・理事長  
(東京大学名誉教授)  
<t-terai@iae.or.jp>

2/13/2026

# 目次

## 1)はじめに

2) 変動性再生可能エネルギー主力電源化に向けた電力系統の技術的課題

3) 電力システムにおける対策と将来展望

4) 蓄電・蓄エネルギー技術の現状と将来展望

- 揚水発電
- 二次電池(蓄電池)
- 余剰電力による水素製造と水素発電
- 蓄熱発電
- 圧縮空気エネルギー貯蔵

5) まとめ: 2050年の電力とエネルギーシステム

# 寺井隆幸(自己紹介)

1954. 5	兵庫県神戸市生まれ(兵庫県・私立六甲学院高等学校出身)
1978. 3	東京大学工学部原子力工学科卒業
1980. 3	東京大学大学院工学系研究科修士課程(原子力工学専攻)修了
1983. 3	東京大学大学院工学系研究科博士課程(原子力工学専攻)修了
1983. 4	日本学術振興会奨励研究員に採用
1984. 11	東京大学工学部助手(原子力工学研究施設@東海村)に採用
1986. 11~1987. 2	アメリカ・ローレンスリバモア国立研究所に客員研究員として滞在
1987. 12	工学部助教授(原子力工学科)に昇任
1992. 5 ~1993. 2	ドイツ・カールスルーエ原子力研究所に客員研究員として滞在
1994. 4	大学院重点化により工学系研究科システム量子工学専攻に所属変更
1996. 4	工学部総合試験所へ配置換え
1999. 4	大学院工学系研究科教授(システム量子工学専攻)に昇任
2000. 4	工学部システム創成学科(環境・エネルギーシステムコース)に併任
2003. 7	大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設(東海村)に配置換え
2005. 4	大学院工学系研究科原子力国際専攻に配置換え
2007.11	大学院工学系研究科総合研究機構に配置換え
2020. 3	東京大学定年退職
2020. 6	東京大学名誉教授
2020. 8	一般財団法人 エネルギー総合工学研究所理事長に就任

CAO、MEXT、METI、茨城県、JAEA、QST、JNFLなどの原子力・核融合関係の審議会委員など。

Face Book (個人、友達限定): <https://www.facebook.com/takayuki.terai.5>

(ご希望があれば、メッセージ等で本講義へ参加した旨を明記いただき、リクエストをお願いします)

Instagram(個人): <https://www.instagram.com/takayuki.terai.5/>

Twitter(個人): <https://twitter.com/TakayukiTerai>

Face Book(国内・海外/こんなところに行きました): <https://www.facebook.com/terai.ip/>

Face Book(東大時代の研究室): <https://www.facebook.com/terailab>

主な専門分野: 粒子線照射やプラズマによる材料の物性制御と新機能創出、原子力・核融合炉工学、環境・エネルギーシステムの要素技術(原著論文470報、総説35報、著書20冊)

趣味: 旅行(特に海外。今は、中南米・アフリカ・中東・中央アジア・南アジアなどへ行ってみたい)、読書(地理・歴史・社会・文化・自然科学)、博物館めぐり、適度なスポーツ、写真術(昔はDPEもやりました。今はもっぱらデジタルカメラ)



# (一般財団法人)エネルギー総合工学研究所

- ・役員：理事長・副理事長(専務理事)・常務理事・理事8名・監事2名、評議員：12名、職員：約60名
- ・エネルギー技術の体系的基盤の確立・向上を図り、国民経済の健全な発展に寄与することを目的に、1978年4月1日に「財団法人エネルギー総合工学研究所」として設立。<https://www.iae.or.jp/>

## ■ 当研究所の主な調査研究テーマ及び専門性等

- 役割 ①調査研究、FS(システム設計・評価(経済性及び技術性)、実用化シナリオ策定)、実証試験  
②PJのとりまとめ・全体調整、③分野別研究会の主宰(プラットフォームとしてシーズ探索、PJ提案)
- 政府機関、独立行政法人、民間企業、海外研究機関等からの受託事業/会費収入による自主研究
- 実施にあたり、大学、事業会社、研究機関等とコンソーシアムを構築

### 地球環境

- <調査研究テーマ>
- ・エネルギー需給構成、CO2削減効果などのシステム分析
  - ・エネルギー需要に関する調査研究
  - ・ネガティブエミッションに関する調査研究
  - ・国際規格の策定支援(CCS分野)
  - ・国際エネルギー機関研究開発プライオリティ設定専門家会合(IEA EGRD)への参画
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・エネ総研モデル(GRAPE、TIMES-Japan)による地球環境およびエネルギーシステムの長期・統合評価分析
  - ・IEA、米国DOE傘下研究機関、スタンフォード大学

### 新エネルギー・電力システム

- <調査研究テーマ>
- ・再エネ大量導入に対する課題解決の検討/調査
  - ・電力システム改革、デジタル化に関する検討/調査
  - ・地域エネルギー供給のビジネスモデル策定
  - ・蓄エネルギー技術の開発/実証(蓄熱、CAES)
  - ・APNet(次世代電力ネットワーク)研究会(東大・横山名誉教授)
  - ・太陽熱・蓄熱技術研究会(新潟大・児玉教授)
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・熱システム解析・評価
  - ・電力システムの計画・運用・保全技術、海外の電力システムの調査分析
  - ・DLR(ドイツ航空宇宙センター)

### 原子力

- <調査研究テーマ>
- ・次世代炉・革新炉(含SMR、核融合)に関する調査研究と開発支援
  - ・IAEA安全基準対応支援、諸外国安全制度調査
  - ・1F事故解析への貢献(OECD/NEA、日米協力)
  - ・廃止措置の促進・効率化・人材育成支援
  - ・廃止措置調査検討委員会(東大・岡本教授)
  - ・廃止措置へのDX適用に係る勉強会
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・熱流動解析(SAMPSONコード、数値シミュレーション)
  - ・安全規制制度(IAEA等)・放射能インベントリ評価
  - ・IAEA、NEA、MIT、米国DOE傘下研究機関

### <S+3Eを支えるエネルギー技術>

- ・Safety:安全性
- ・Energy Security:エネルギー安全保障
- ・Economic Efficiency:経済性
- ・Environment:環境適合性

### 水素

- <調査研究テーマ>
- ・エネルギーキャリアとしての水素(水素需要量の分析、各種エネキャリアの経済性・環境性分析)
  - ・蓄エネルギー手段としての水素(再エネ有効利用のための水素利活用、PtG)
  - ・水素を支える個別技術分野(水電解技術、水素発電・燃焼タービン、水素液化技術)
  - ・CO2フリー水素に関する研究会(RITE 山地理事長)
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・シナリオ分析と策定・製造から利用までのシステムコスト評価
  - ・SINTEF(ノルウェー産業科学技術研究所)
  - ・IMDEA(マドリッド高等研究所)

### 炭素循環

- <調査研究テーマ>
- ・CO2分離・回収・貯蔵、CO2有効利用の各技術に関する調査・分析(含、DAC、CNPの調査・検討)
  - ・海外再エネ由来のCO2フリー燃料を核としたカーボンリサイクル等を含むエネルギーシステムの検討/調査/評価
  - ・低炭素社会に資する革新的技術のポテンシャル調査/分析
  - ・次世代火力発電技術ロードマップや省エネ戦略等の施策支援
  - ・廃棄物活用、石油化学コンビナート脱炭素化検討
  - ・ACC(人為的カーボンサイクル)技術研究会(早大・中垣教授)
- <専門性・関係海外研究機関>
- ・数値解析・プロセス設計・C1化学
  - ・CSIRO(オーストラリア連邦科学産業研究機構)

# 最近、エネルギー関係の本を出版しています



日本屈指の研究機関による  
中長期ビジョン(シナリオと技術展望)と  
有識者7名による  
トランジションに向けた提言。

**推薦** 示唆に富む本書から険しい道筋がみえてくる  
山地憲治 地球環境産業技術研究機構理事長

- エネルギー総合工学研究所編著「図解でわかるカーボンリサイクル」(技術評論社、2020)
- エネルギー総合工学研究所編著「図解でわかるカーボンニュートラル」(技術評論社、2021)
- エネルギー総合工学研究所編著「見てわかる！エネルギー革命」(誠文堂新光社、2022)
- CN2燃料の普及を考える会編著「図解でわかるカーボンニュートラル燃料」(技術評論社、2022) 所員が一部分担執筆
- エネルギー総合工学研究所編著「図解でわかる再生可能エネルギー×電力システム」(技術評論社、2023)
- エネルギー総合工学研究所編著「カーボンニュートラル2050ビジョン」(エネルギーフォーラム社、2024)
- エネルギー総合工学研究所編著「図解でわかる熱エネルギー」(技術評論社、2025) など。

毎年、シンポジウムを開催し、毎月、月例研究会を開催しています。ここ2年間はオンライン形式。  
 詳細は研究所のホームページをご参照ください。 <https://www.iae.or.jp/>  
 多くの特典(季刊誌「エネルギー総合工学」の無料配布・シンポジウム・月例研究会・賛助会員会議へのご招待等)がある**賛助会員を募集中**  
 (現在 98 法人)。

# 目次

1) はじめに

## 2) 変動性再生可能エネルギー主力電源化に向けた電力システムの技術的課題

3) 電力システムにおける対策と将来展望

4) 蓄電・蓄エネルギー技術の現状と将来展望

- 揚水発電
- 二次電池(蓄電池)
- 余剰電力による水素製造と水素発電
- 蓄熱発電
- 圧縮空気エネルギー貯蔵

5) まとめ: 2050年の電力とエネルギーシステム

# 第7次エネルギー基本計画のポイント

## 基本的な方向性

- S+3E(安全性、安定供給性、経済効率性、環境適合性)の原則は維持。エネルギー安全保障に重点。
- DXやGXの進展による電力需要増加。脱炭素電源の確保が経済成長に直結する状況であり、再エネ、原子力は、二項対立ではなく、ともに最大限活用。
- 再エネを主力電源として最大限導入するとともに、特定の電源や燃料源に過度に依存しないようバランスのとれた電源構成を目指す。
- エネルギー政策と産業政策を一体的に検討し、「GX2040ビジョン」とも連携。

## 主要分野における対応

- 再エネは、主力電源として、地域との共生と国民負担の抑制を図りながら最大限の導入。ペロブスカイト太陽電池は、2040年までに20GW導入。EEZ等での浮体式洋上風力の導入。次世代型地熱等の加速。
- 原子力は、安全性の確保を大前提とした再稼働とバックエンドを加速。「廃炉を決定した事業者が有する原発サイト内」における次世代革新炉への建て替え。フュージョンエネルギーを含めた次世代革新炉の研究開発を促進。
- 火力は、LNGの長期契約確保、水素・アンモニア・CCUS等による脱炭素化を推進。非効率な石炭火力を中心に発電量を低減しつつ、予備電源制度等を不断に検討。技術革新が進まず、NDC実現が困難なケースも想定して、LNG必要量を想定。
- 事業者の積極的な脱炭素電源投資を促進する事業環境整備、ファイナンス環境の整備。
- 省エネ・非化石転換の推進。省エネ型半導体や光電融合等の開発、データセンターへの制度的対応、省エネ設備の普及支援。脱炭素化が難しい分野における水素等やCCUSの活用。自給率向上に資する国産資源開発。
- AZECの枠組みを通じて、多様かつ現実的な道筋によるアジアの脱炭素化を進め、世界全体の脱炭素化に貢献。

# 2040年度におけるエネルギー需給の見通し(エネルギーミックス)

- 2040年度エネルギー需給の見通しは、諸外国における分析手法も参考としながら、様々な不確実性が存在することを念頭に、複数のシナリオを用いた一定の幅として提示。

		2023年度 (速報値)	2040年度 (見通し)
エネルギー自給率		15.2%	3～4割程度
発電電力量		9854億kWh	1.1～1.2兆 kWh程度
電源構成	再エネ	22.9%	4～5割程度
	太陽光	9.8%	23～29%程度
	風力	1.1%	4～8%程度
	水力	7.6%	8～10%程度
	地熱	0.3%	1～2%程度
	バイオマス	4.1%	5～6%程度
	原子力	8.5%	2割程度
	火力	68.6%	3～4割程度
最終エネルギー消費量		3.0億kL	2.6～2.7億kL程度
温室効果ガス削減割合 (2013年度比)		22.9% ※2022年度実績	73%

# 新エネルギーの定義

新エネルギーとは、日本の法律\*で「技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済性の面での制約から普及が十分でないもので、石油代替エネルギーの導入を図るために特に必要なもの」と定義されている。現在、太陽光発電や風力発電、バイオマスなど10種類が指定されている。



\*新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法、略称新エネ法

# 新エネルギーの評価と課題

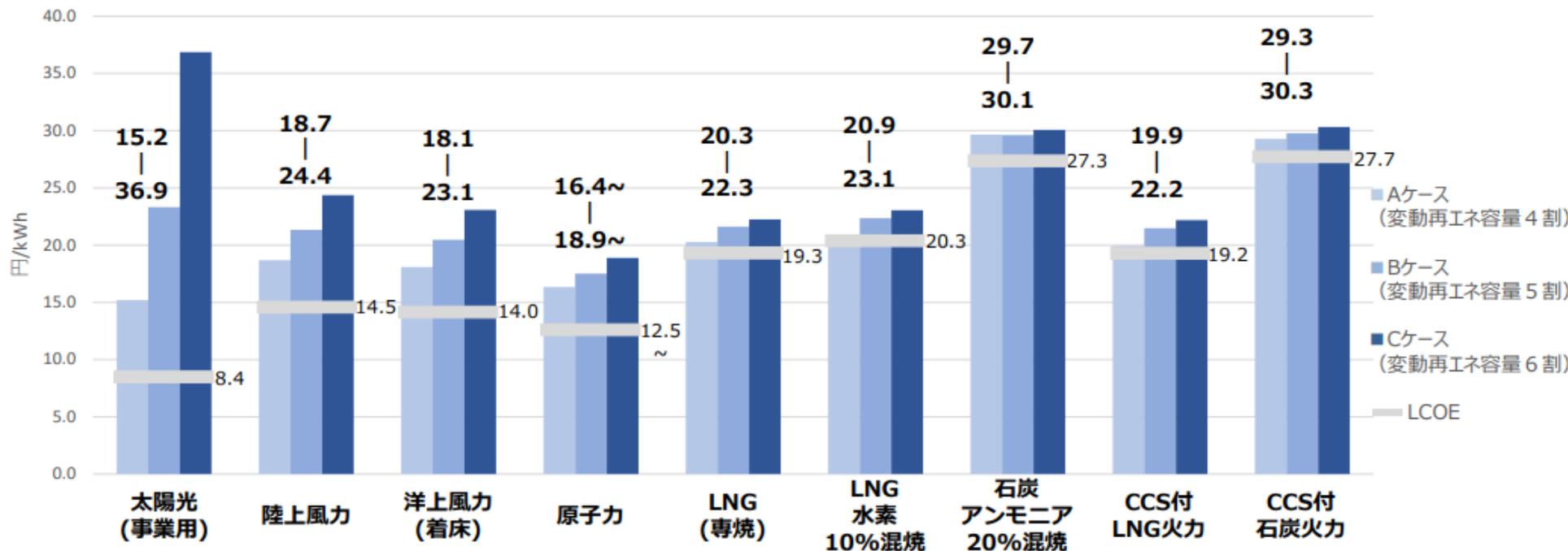
	太陽光発電	風力発電	廃棄物発電(バイオマス発電を含む)
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>○枯渇する心配がない</li> <li>○発電時にCO<sub>2</sub>等を出さない</li> <li>○需要地に近いため送電ロスがない</li> <li>○需要の多い昼間に発電</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○枯渇する心配がない</li> <li>○発電時にCO<sub>2</sub>等を出さない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○発電に伴う追加的なCO<sub>2</sub>の発生がない</li> <li>○新エネルギーの中では連続的に得られる安定電源</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>○エネルギー密度<sup>※1</sup>が低く、火力・原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要</li> <li>○夜間は発電できず、さらに雨、曇りの日は発電出力が低下し不安定</li> <li>○設備にかかるコストが高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○エネルギー密度が<sup>※1</sup>低く、火力・原子力と同じ電力量を得ようとすると広大な面積が必要</li> <li>○風向き・風速に時間的・季節的変動があり、発電が不安定</li> <li>○風車の回転時に騒音が発生</li> <li>○風況の良い地点が偏在</li> <li>○設備にかかるコストが高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○発電効率が低い</li> <li>○ダイオキシンの排出抑制対策や焼却灰の減量化等の更なる環境負荷低減が必要</li> </ul>
必要な敷地面積 <sup>※2</sup>	100万kW級原子力発電所1基分を代替する場合		
	約58km <sup>2</sup> 山手線の面積とほぼ同じ	約214km <sup>2</sup> 山手線の面積の約3.4倍	
設備利用率	12%	20%	

※1 エネルギー密度:単位面積あたりでどれくらい発電できるかを表す数値

※2 第1回低炭素電力供給システム研究会(平成20年7月)

# 統合コストの一部を考慮した発電コスト 2040年の試算結果

- 太陽光や風力といった安定した供給が難しい電源の比率が増えていくと、電力システム全体を安定させるために電力システム全体で生じるコストも増加する。電源別の発電コストを比較する際、従来から計算してきた①に加え、一定の仮定を置いて、②も算定した。  
 ①新たな発電設備を建設・運転した際のkWh当たりのコストを、一定の前提で機械的に試算したもの（＝「LCOE」）  
 ②ある電源を追加した場合、**電力システム全体に追加で生じるコスト**（例：他電源や蓄電池で調整するコスト）を考慮したコスト  
 （■統合コストの一部を考慮した発電コスト）
- 統合コストの一部を考慮した発電コストは、**既存の発電設備が稼働する中で、ある特定の電源を追加した際に電力システムに追加で生じるコスト**を計算している。具体的には、LNG火力など他の電源による調整、揚水や系統用蓄電池による蓄電・放電ロス、再エネの出力制御等に関するコストを加味する。
- 将来のコストは、燃料費の見通し、設備の稼働年数・設備利用率、ある特定の電源を追加した際に電力システムで代替されると想定される電源の設定（今回は、費用が一番高い石炭火力とした）などの**試算の前提を変えれば、結果は変わる**。今回は、3ケースについて算定。更なる技術革新などが起こる可能性も留意する必要あり。



# 再エネ主力電源化に向けた電力システムの技術的課題と対応

課題	問題点と対応状況
①再エネの送電容量の確保	<p>◆ 大規模再エネの適地と大規模需要地が離れ、送電線容量が不足。局所的なアクセス線容量不足も発生。</p> <p>● <b>空間的ギャップ</b></p> <p>⇒日本版コネクト&amp;マネージによる対応、地域間連系線の強化、将来の再エネポテンシャルを踏まえた<b>マスタープランの作成</b></p>
②再エネの出力変動への対応	<p>◆ 電力の需要と供給は常にバランスを取る必要があり、現在は調整力として火力・揚水発電に依存。</p> <p>◆ 再エネ増加に伴い<b>調整力が不足すると、再エネの出力制御が増加の懸念</b></p> <p>● <b>時間的ギャップ</b></p> <p>⇒火力発電の調整力の維持、グリッドコードの整備、需給調整市場の整備、EVなど分散型エネルギー資源(DER)の活用</p>
③システムの安定性の確保	<p>◆ 再エネ(非同期電源)増加により慣性力が不足し、大規模電源脱落時などに広域停電のリスクが高まる。</p> <p>● <b>直流と交流のギャップ</b></p> <p>⇒一定量の同期電源の維持、同期調相器の設置、疑似慣性力機能の導入</p>

# 目次

1) はじめに

2) 変動性再生可能エネルギー主力電源化に向けた電力システムの技術的課題

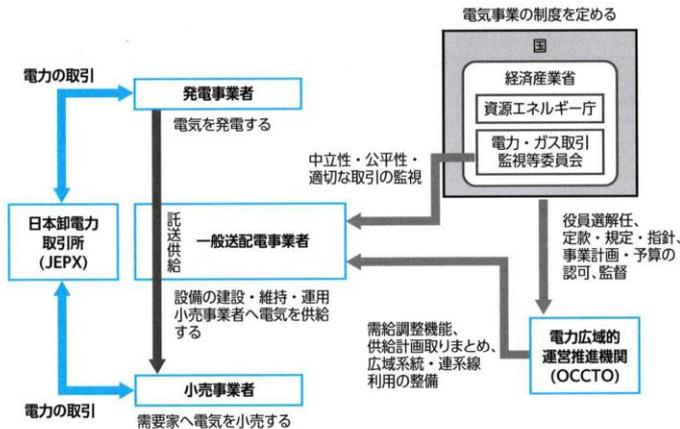
3) 電力システムにおける対策と将来展望

4) 蓄電・蓄エネルギー技術の現状と将来展望

- 揚水発電
- 二次電池(蓄電池)
- 余剰電力による水素製造と水素発電
- 蓄熱発電
- 圧縮空気エネルギー貯蔵

5) まとめ: 2050年の電力とエネルギーシステム

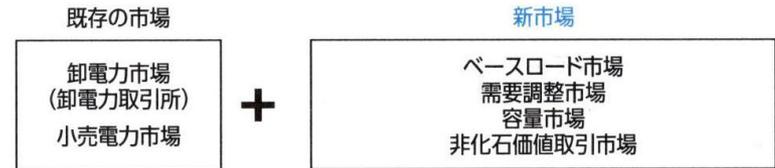
# 電力事業のすがた



電気事業体制の全体像  
出典：送配電協議会「送配電協議会について」(2023)<sup>[19]</sup>をもとに作成

## 電力システム改革の工程表

第1段階 (2015年4月~)	第2段階 (2016年4月~)	第3段階 (2020年4月)
電力広域的運営推進機関 (広域機関) の創設	小売全面自由化	送配電部門の法的分離



電力システム改革のステップ

出典：電力中央研究所 社会経済研究所 服部 徹「わが国の電力市場の全体像と設備形式 海外の経験を踏まえた展望」(2019)<sup>[3]</sup>をもとに作成

### A 発電事業【届出制】

発電した電気を小売電気事業者などに供給する者  
ex. JFEスチール、東京電力フェニックス&パワー、自治体 など(953社)  
※小売電気事業等の用に供する電力の合計が1万kW超

### B 送配電事業 (①~③)

#### ①一般送配電事業【許可制】

発電事業者から受けた電気を小売電気事業者などに供給する者 (離島供給や最終保障供給義務を負う)  
ex. 東京電力パワーグリッド、関西電力 など(10社)

#### ②送電事業【許可制】

一般送配電事業者に電気の振替供給を行う者  
ex. 電源開発送電ネットワークなど(3社)

#### ③特定送配電事業【届出制】

特定の供給地点における需要に応じ、電気を供給する者 (小売供給のためには登録が必要)  
ex. 住友共同電力、JR東 など(20社)

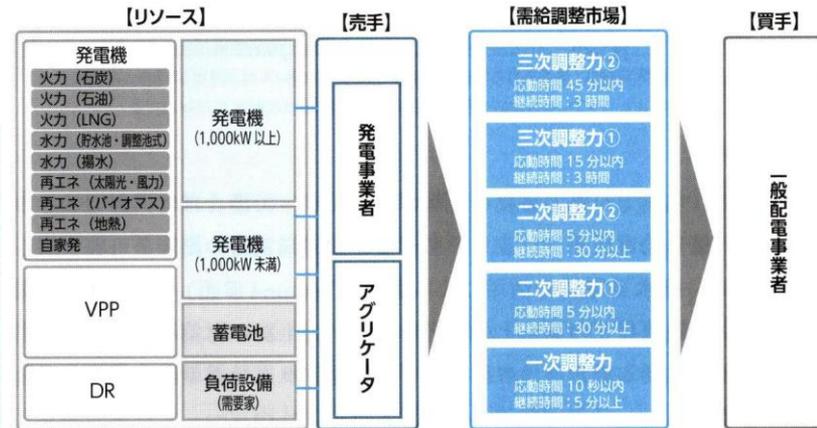
### C 小売電気事業【登録制】

一般の需要(※)に応じ電気を小売する者 (需要家への説明義務や供給力確保義務を負う)  
ex. エネット、東京電力エナジーパートナー、KDDI など(713社)

※一般の需要(一般家庭、企業、商店など)

電気事業者の3分類

出典：経済産業省 資源エネルギー庁「電気事業制度について」(2020)<sup>[6]</sup>をもとに作成



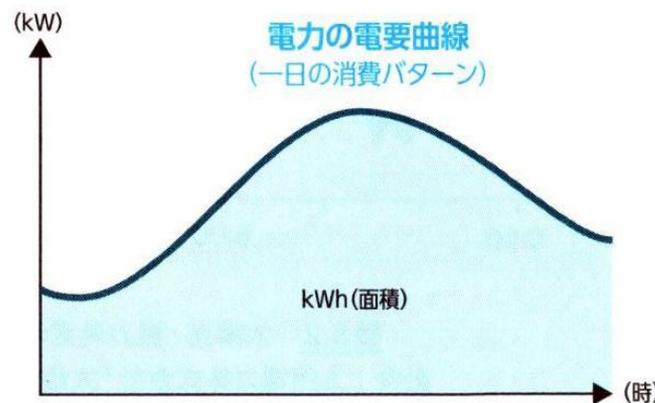
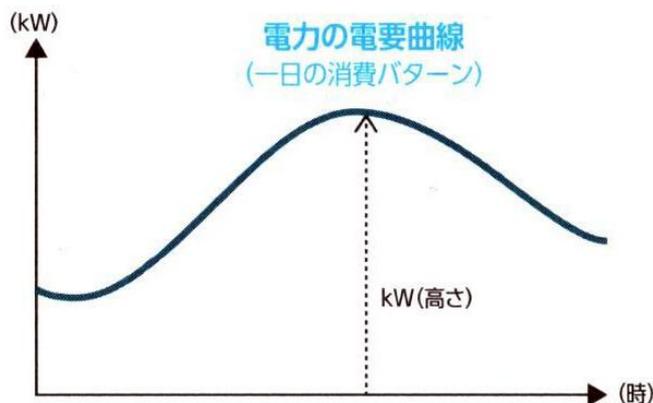
需給調整市場の概要

出典：経済産業省 資源エネルギー庁「需給調整市場について」(2020)<sup>[17]</sup>をもとに作成

# 電力の3つの価値と変動性再エネの出力

## 電力の3つの価値

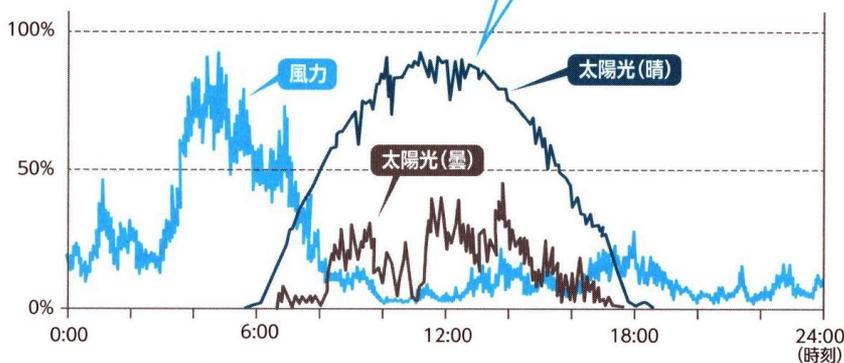
電力(kW)	電力量(kWh)	調整力(ΔkW)
ある瞬間に発電・使用する電力の大きさ	時間あたりに発電・使用する電力の合計量	発電と需要を一致するために電力を調整する能力



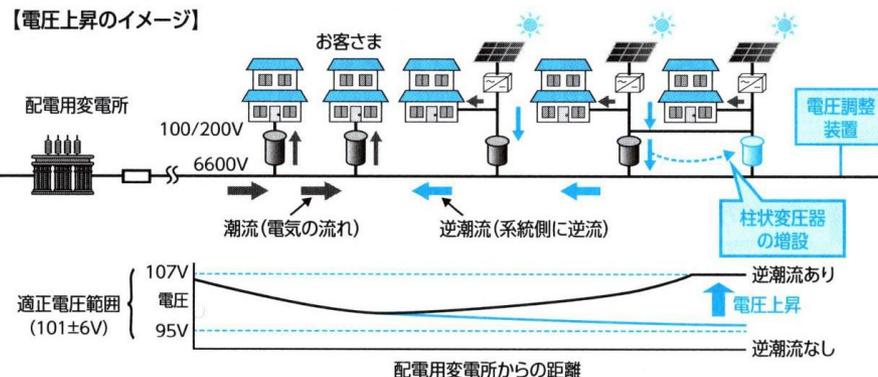
## 電力(kW)と電力量(kWh)の違い

発電出力(%)  
※定格出力を100%とした場合

太陽光も風力も出力を一定に保てない



太陽光・風力発電の1日の間の出力変動(2013年時点)



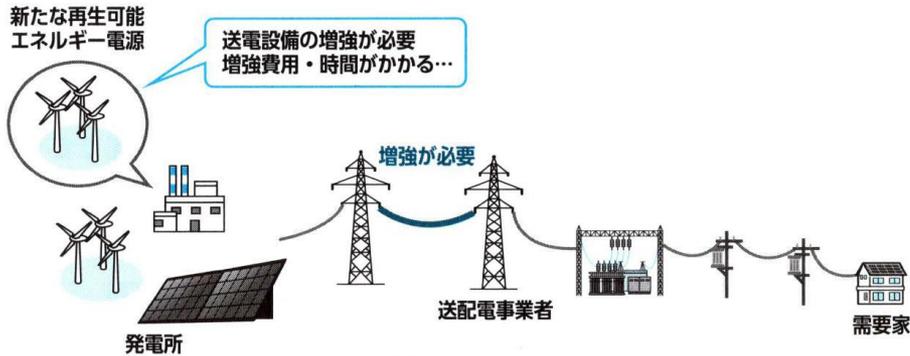
太陽光発電による配電線の電圧上昇

# 変動性再エネを電力系統へ大量導入する際の課題

## 変動性再エネを電力系統へ大量導入する際の課題

課題	問題点
①再エネの送電容量の確保	再エネのポテンシャルの大きい地域(風力は北海道、東北など)と大規模需要地が離れているため、十分な送電容量が確保できない場合がある。再エネ導入量の拡大にともない、送電線の空き容量不足(系統制約)が顕在化してきた。
②再エネの出力変動への対応 (調整力の確保)	電力の需要と供給(発電)は常にバランスを保つ必要がある。現在は調整電源として主に火力発電に依存しているが、カーボンニュートラルの達成のためには調整電源の脱炭素化を進める必要がある。 また、調整力が適切に確保できないと再エネの出力を制限する必要が生じて、再エネ事業への影響が懸念される。
③系統の安定性維持 (慣性力の確保)	電力系統に事故が発生した際、周波数を維持して大規模な停電を避けるためには、系統全体での同期化力(同期発電機が安定した運転を継続する能力)および一定の慣性力(火力発電所などのタービンが回転し続ける力)の確保が必要である。太陽光・風力は、同期化力および慣性力を有していないため、その割合が増加すると系統の安定性を維持できない可能性がある。
④自然条件や社会的制約への対応	再エネは日射や風況などの気象や立地条件により、発電量が大きく左右される。大規模な太陽光は適地が少なくなっている。また、周辺の地域状況や環境規制などに応じて、景観や環境への影響に対する配慮や調整が必要である。
⑤コスト負担への受容性および 経済への影響	再エネを大量に電力系統に導入するためには、送変電設備の増強や新技術による対応などに、多額な設備投資が必要となる。また、FIT制度による太陽光発電などの増加にともない、再エネ賦課金の負担が大きくなっている。その結果、電気料金が大幅に上昇する懸念があり、産業界の競争力低下を含めて、コスト負担への社会的受容性をどのように考えるかの議論が必要である。

# 送電網の現状



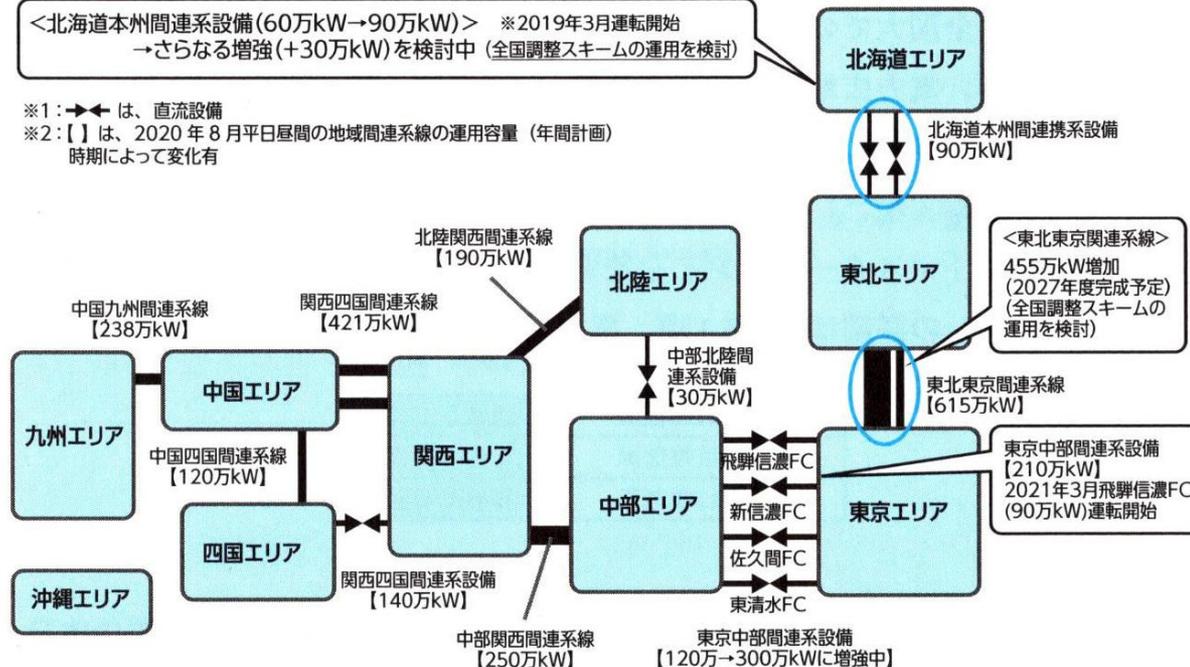
増強に頼らず既存の設備を有効活用

既存システムの有効活用(系統増強の回避)

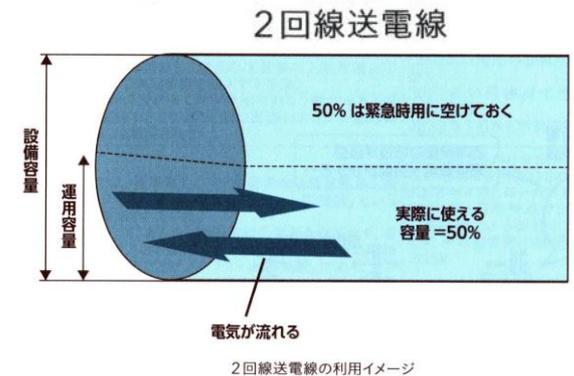
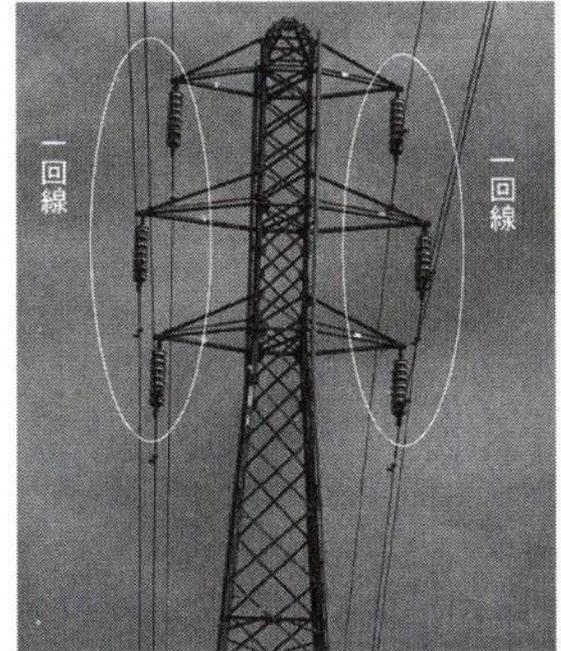
<北海道本州間連系設備(60万kW→90万kW)> ※2019年3月運転開始  
→さらなる増強(+30万kW)を検討中(全国調整スキームの運用を検討)

※1: ⇄ は、直流設備

※2: [ ] は、2020年8月平日昼間の地域間連系線の運用容量(年間計画)  
時期によって変化有



日本の電力システムの地域間連系線



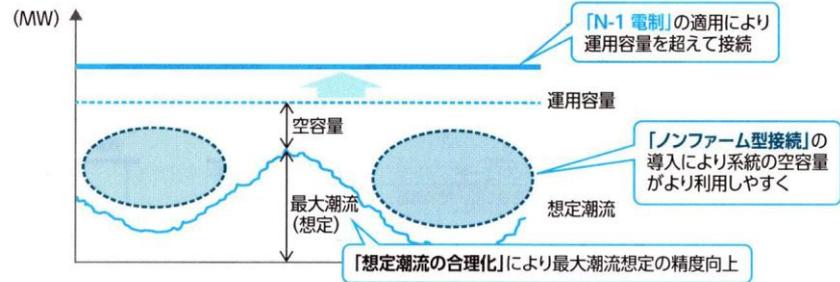
# 日本版コネクト&マネージの概要

日本版コネクト&マネージの概要

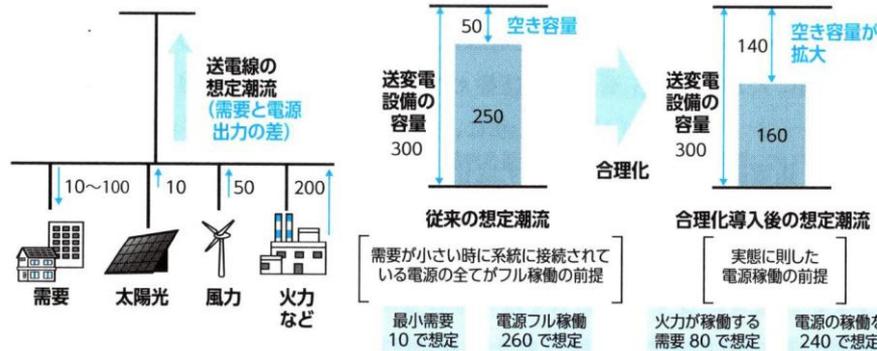
手法	概要	導入状況 <sup>[14]</sup> (2023年5月現在)
①想定潮流の合理化	<p>これまでは、送電線に接続されたすべての発電設備が最大出力で運転するとして送電線の空き容量を計算していた。</p> <p>想定潮流の合理化は、実際の運用に近い各発電設備の出力により送電線の空き容量を計算して空き容量を増やす手法。</p>	<p>2018年4月から実施</p> <p>約590万kWの空き容量拡大を確認(最も高い電圧の変電所のみで算定した値) (なお、100万kWは大型火力発電所1基に相当)</p>
②N-1電制	<p>電制とは電源制御の略である。これまでは、送電線の1回線が事故になっても発電電力の全量を送電可能とするため、送電線容量の半分を空けていた。</p> <p>N-1電制は、送電線事故時に一部の電源を瞬時に保護装置により遮断し、健全な送電線の上限容量以下にすることで運用容量を拡大する手法。</p> <p>ただし、制御量が多く安定供給を損なう懸念がある系統には適用できないため、特に影響の大きい一部の基幹系統には適用されない。</p>	<p>2018年10月から一部実施</p> <p>約4,040万kWの接続可能容量を確認(最も高い電圧の変電所のみで算定した値)</p> <p>2021年11月時点で全国で約650万kWの接続</p> <p>2022年7月から本格適用を実施</p>
③ノンファーム型接続	<p>これまでは、発電電力に対して必要な送電線容量を接続契約の申込順に確保する「ファーム型接続」という方式が採用されていた。</p> <p>これに対して、あらかじめ送電線の容量を確保せず、容量に空きがある際に再エネなどの新たな電源を送電線に接続する方式が「ノンファーム型接続」である。ノンファーム型接続は、容量に空きがなくなった際は、発電量の「出力制御」を行うことを前提として、接続契約が結ばれる。</p>	<p>2021年1月から全国の空き容量のない基幹系統に適用開始された。</p> <p>2023年4月にローカル系統に適用</p> <p>2023年1月末時点で全国でノンファーム型接続による契約申込みが約900万kW、その前段階の接続検討が約4,700万kW</p> <p>一般送配電事業者が、送電線の混雑管理・出力制御を適切に実施するためのシステムの開発がNEDO事業として2023年度の完成を予定に進められている<sup>[15]</sup>。</p>

出典：経済産業省・資源エネルギー庁「日本版コネクト&マネージにおけるノンファーム型接続の取組」(2023)<sup>[14]</sup> / 経済産業省・総合資源エネルギー調査会「電力ネットワークの次世代化に向けた中間とりまとめ」(2021)<sup>[15]</sup>をもとに作成

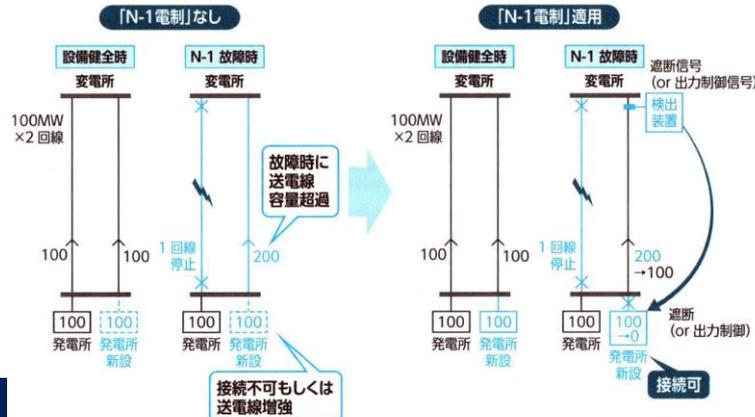
# 日本版コネクト&マネージの概要



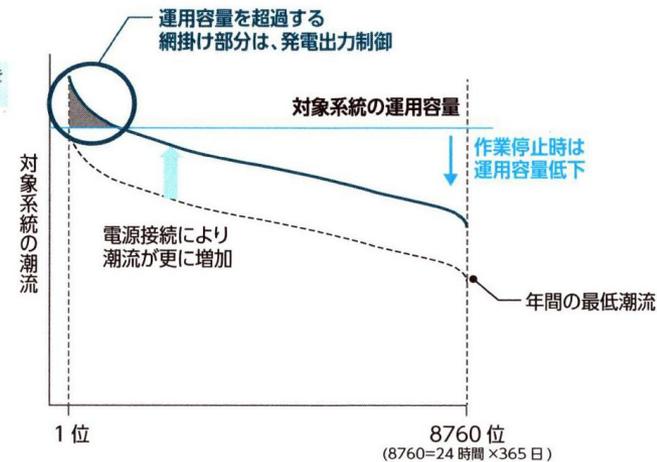
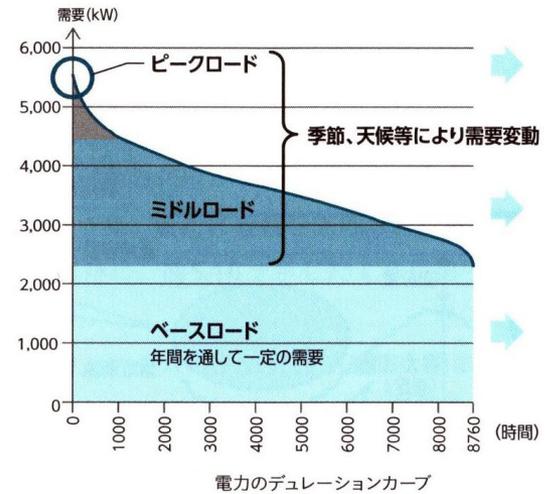
日本版コネクト&マネージによる送電線の効率的活用



「想定潮流の合理化」による送電線の空き容量の拡大イメージ

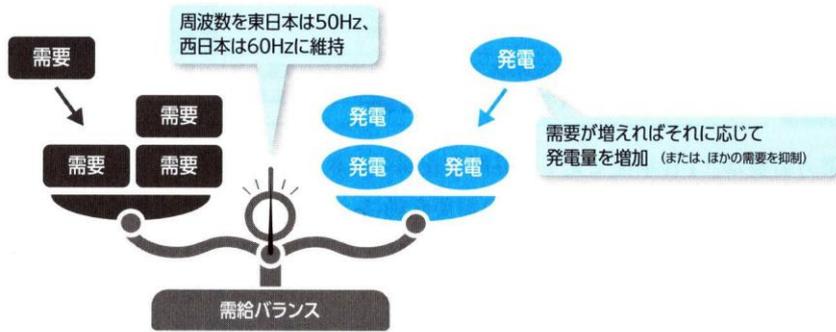


「N-1電制」による送電線の運用容量の拡大イメージ



ノンファーム型接続の考え方

# 調整力の確保

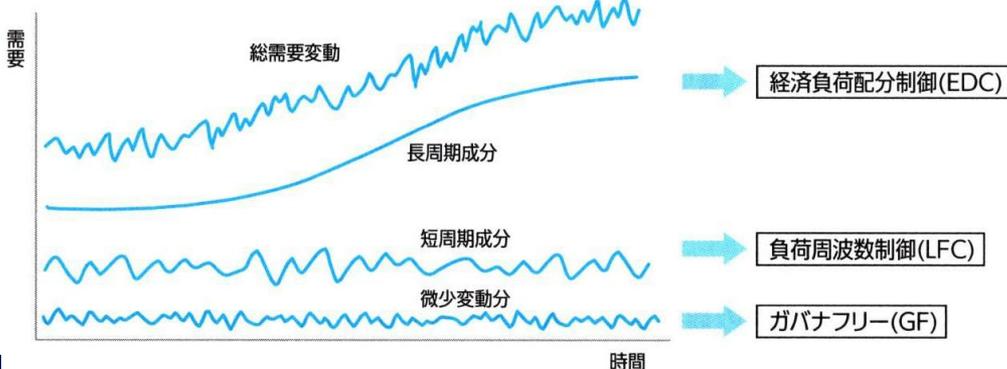


電力の需給バランス

## 発電と需要のバランスと周波数の変化

需要 < 発電	周波数は上昇
需要 = 発電	周波数は安定
需要 > 発電	周波数は低下

位相角安定性や電圧安定性も重要だが省略

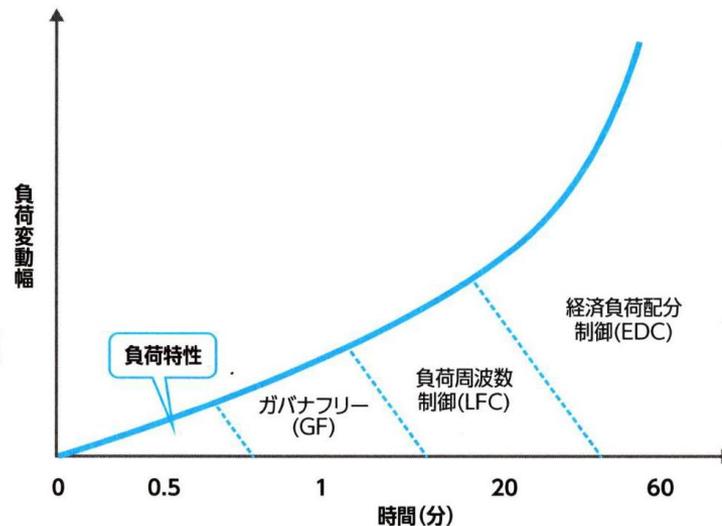


電力需要の時間的变化

需給制御の各方式の概要

制御方式	応動時間	概要
自己制御 (負荷特性)	1秒以下	同期発電機の持つ慣性力(同期発電機および直結したタービンなどの原動機が持つ機械的エネルギー)により、周波数変動を自らが制御して抑制する特性。
ガバナフリー (GF: Governor-Free)	数秒~数分	LFCが追従できない短時間の負荷変動に対応するため、発電機が回転数の変動を検知し、调速機により発電出力を自動的に制御する。
負荷周波数制御 (LFC: Load Frequency Control)	数分~十数分	需要予測が困難な負荷変動(数分から十数分程度)や需給のミスマッチングに対応するため、給電システムから自動的に発電出力を制御する。
経済負荷配分制御 (EDC: Economic Load Dispatching Control)	十数分~数時間	比較的長時間の負荷変動(十数分から数時間程度)に対応するため、給電指令所にて発電機の経済性を考慮して発電出力を制御する。

出典：電力広域的運営推進機関「GFおよびLFC運用の現状について」(2020)<sup>[31]</sup> / 加藤政一「詳解電力系統工学」(2017)<sup>[33]</sup>をもとに作成



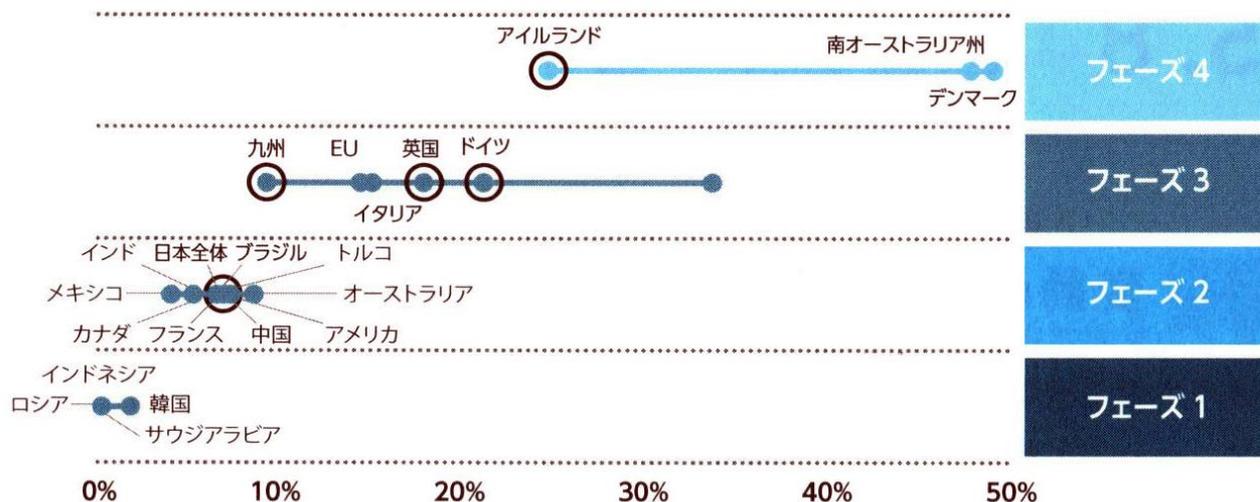
各制御方式の需要変動と応動時間

# 再生可能エネルギー導入のフェーズ

変動性再エネの電力システムへの導入の6つのフェーズ

フェーズ	電力システムの状況
1	ローカル系統での調整が必要となる。
2	系統混雑が現れ始め、需要と変動性再エネのバランスが必要となる。
3	出力制御が起こり、柔軟な調整力や大規模なシステム変更が必要となる。
4	変動性再エネを大前提とした系統と発電機能が必要となる。
5	変動性再エネの供給が頻繁に需要を上回り、交通や熱の電化による柔軟性確保が必要になる。
6	変動性再エネの余剰・不足がより長い時間軸で発生し、合成燃料や水素などによる季節貯蔵が必要になる。

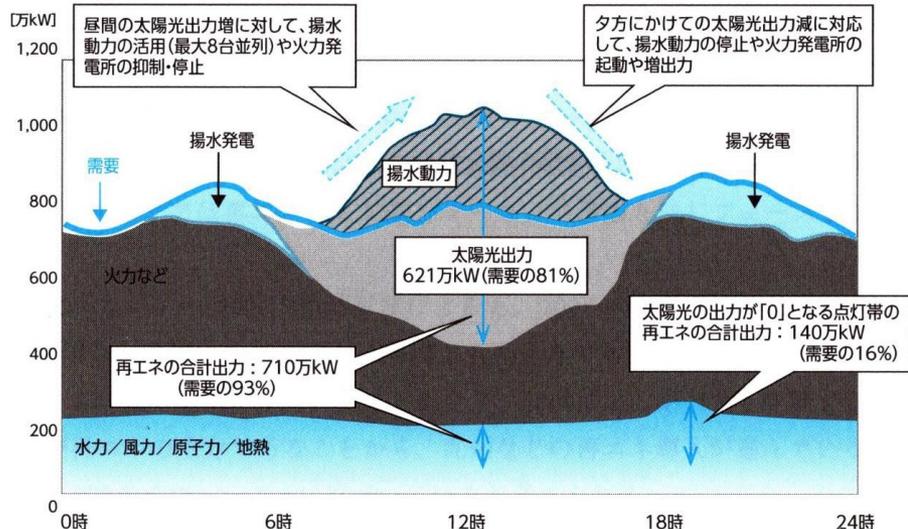
出典：経済産業省・資源エネルギー庁「グリッドコードの体系及び検討の進め方について」(2019)<sup>[35]</sup>をもとに作成



各国の変動性再エネの導入比率(2017年)とIEAの定義するフェーズ

出典：経済産業省・資源エネルギー庁「グリッドコードの体系及び検討の進め方について」(2019)<sup>[35]</sup>をもとに作成

# 変動性再エネの出力制御



2018年5月3日(木曜日)の九州エリアの電力需給

出典：九州電力株式会社「再エネ出力制御に向けた対応状況について」(2018)<sup>[37]</sup>をもとに作成

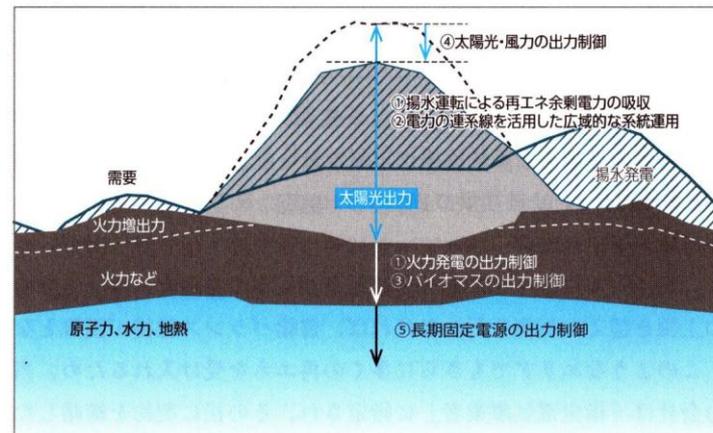
## 再エネの出力制御を減らす取り組み

手法	概要
系統情報の公開・開示	再エネの出力制御の予見可能性を高め、電源の適切な立地誘導を行うため、発電事業者自らが出力制御量を分析・シミュレーションできるように、一般送配電事業者は系統情報の公開・開示を進めてきた。
発電設備のオンライン化	発電設備が一般送配電事業者の出力制御指令を直接受信できる仕組みを備えていない「オフライン制御」の場合は、前日16時に制御量が確定され、発電事業者自らが当日8～16時に発電を停止する。一方、発電設備が専用通信回線や出力制御機能付パワーコンディショナー(PCS) <sup>[17]</sup> を備える「オンライン制御」の場合は、当日2時間前の需給予測に応じた柔軟な調整が可能で、必要時間帯のみの制御が可能となる。オンライン制御の活用により、九州エリアでは約3割の再エネ制御量を削減(2018年度実績)した。
火力発電の最低出力の引き下げ	需給バランスを維持するため、調整力としての火力発電は一定の出力を維持する必要がある。安定供給確保を前提として、火力発電の最低出力を可能な限り下げられる検討が進められている <sup>[49]</sup> 。
地域間連系線の強化	他エリアへの送電容量を増加することにより、当該エリアの再エネ発電設備の出力制御量を低減できる。

出典：経済産業省・資源エネルギー庁「再エネ出力制御の低減に向けた取組について」(2023)<sup>[50]</sup>をもとに作成

## 各電源の出力制御の優先順位

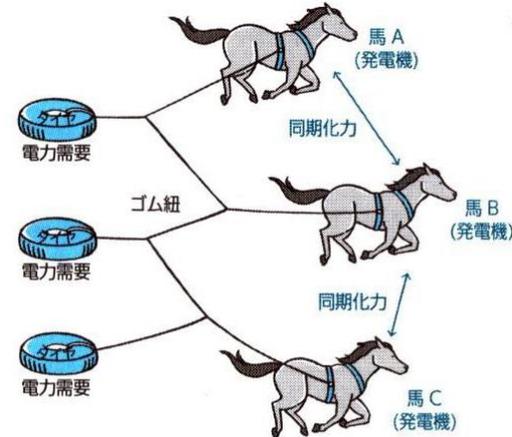
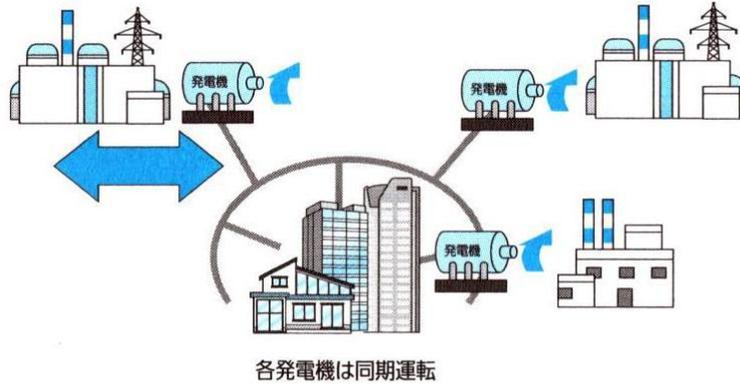
- ① 火力発電(石油、LNG、石炭)の出力制御、揚水発電の活用による再エネ余剰電力の吸収<sup>[5]</sup>
- ② 連系線を活用した他エリアへの送電
- ③ バイオマス発電の出力制御
- ④ 太陽光・風力発電の出力制御
- ⑤ 出力制御が技術的に困難な長期固定電源(揚水以外の水力、原子力、地熱)の出力制御



優先給電ルールに基づく運用(太陽光・風力の出力制御)

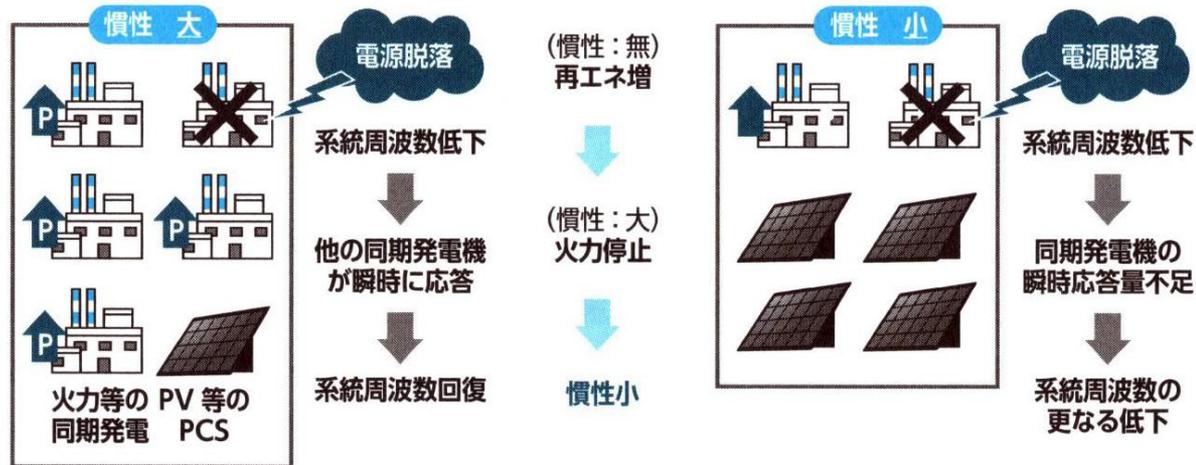
出典：九州電力株式会社「九州本土における再生可能エネルギーの出力制御について」(2018)<sup>[41]</sup>をもとに作成

# 発電機の慣性力と同期化力



発電所の同期運転のイメージ

## 慣性低下メカニズム



(例) 2016.9 南オーストラリア大停電

慣性力の低下により系統の安定性が損なわれるイメージ

# 慣性力・同期化力不足への対応

慣性力・同期化力不足への対策メニュー

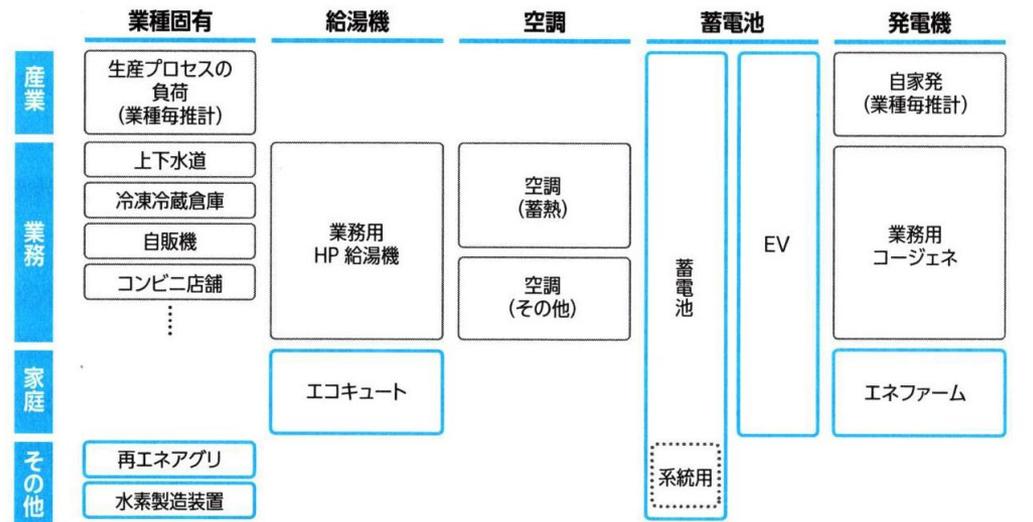
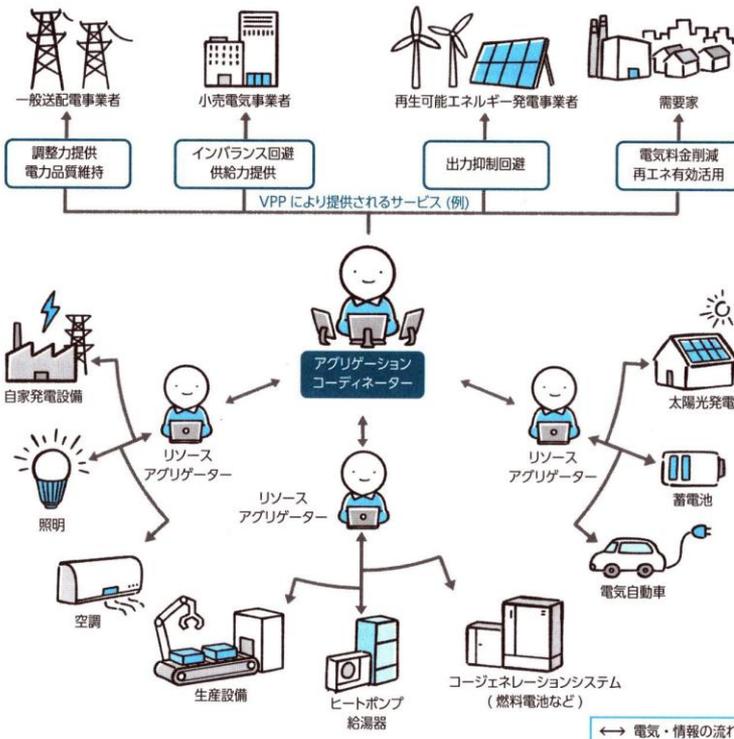
対策メニュー	慣性力の改善	同期化力の改善	概要	課題
同期発電機台数の確保(マストラン)	○	○	・必要な慣性力に応じて同期発電機を優先的に系統に並列	・経済的最適運用とはならない ・再エネの抑制につながる可能性
同期調相器	○	○	・無負荷運転の同期電動機で慣性力を有し、電圧維持も可能 ・既設発電機を改造して同期調相機として使用する事例もある	・設置場所の制約大 ・慣性力が小さく多くの台数が必要 ・運転中のロス発生 ・回転機のため保守コストが大きい
系統増強	×	○	・系統インピーダンスを低減させて同期化力を改善	・慣性力には効果なし ・送電線の増設など、大規模工事が必要でコストが大きい
MGセット <sup>20</sup>	○	○	・再エネ(+蓄電池)と同期電動機を組み合わせ、同期発電機から電力を出力	・電動機や発電機、蓄電池など多くの設備が必要 ・設置および保守のコストが大きい
仮想同期発電機(疑似慣性)	○	○	・インバータに同期発電機の動きを再現する制御を組込んで同期化力を持たせ、蓄電池などと組合せて使用することで慣性力相当の出力を出す <sup>21</sup>	・慣性力を出力するためにインバータの大容量化や蓄電池などによるエネルギー源の確保が必要

出典：送配電網協議会「同期電源の減少に起因する技術的課題」(2021)<sup>[59]</sup> / 電力広域的運営推進機関「再エネ主力電源化」に向けた技術的課題及びその対応策の検討状況について」(2021)<sup>[61]</sup>をもとに作成

# 再エネ供給の新たな調整力

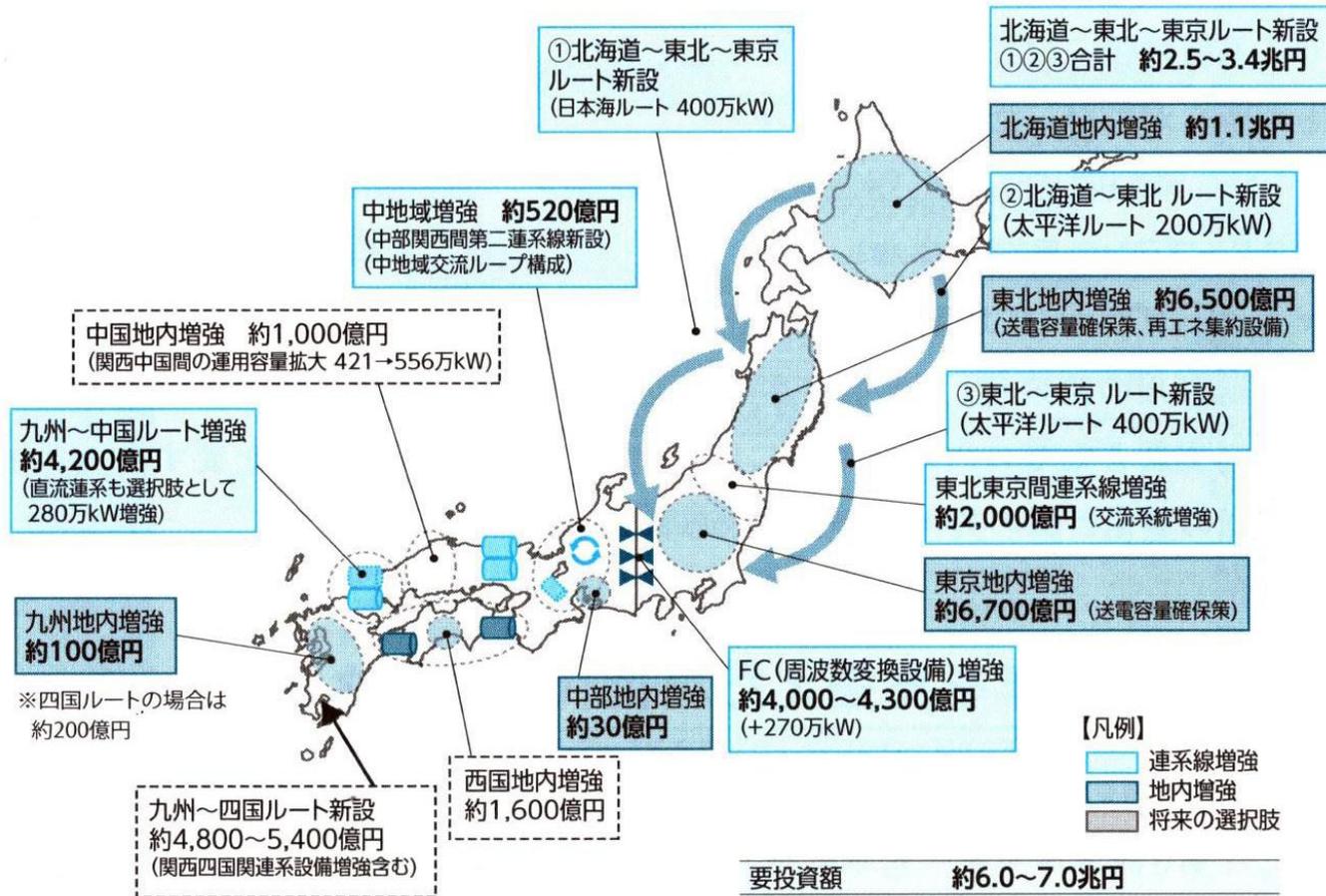
## 新たな調整力の仕組み

調整力	概要
DR(デマンドレスポンス)	DRとは、需要家側エネルギーリソースの保有者もしくは第三者が、エネルギーリソースを制御することで、電力需要パターンを変化させるもの。需要制御パターンにより、需要を減らす「下げDR」と需要を増やす「上げDR」の2種類に分類される。 また、需要制御の方法により、電気料金型(電気料金の設定により電力需要を制御する)と、インセンティブ型(電力会社やアグリゲーターと需要家が契約を結び、需要家が要請に応じて電力需要の抑制などを行う)の2種類に分類される。
VPP(バーチャル パワープラント)	VPPとは、需要家側エネルギーリソース、電力システムに直接接続されている発電設備、蓄電設備などを集約して制御することで、仮想的に大型発電所と同等の機能を提供するもの。



各分野で期待される分散型エネルギーリソース(DER)

# 広域系統整備に関する長期展望



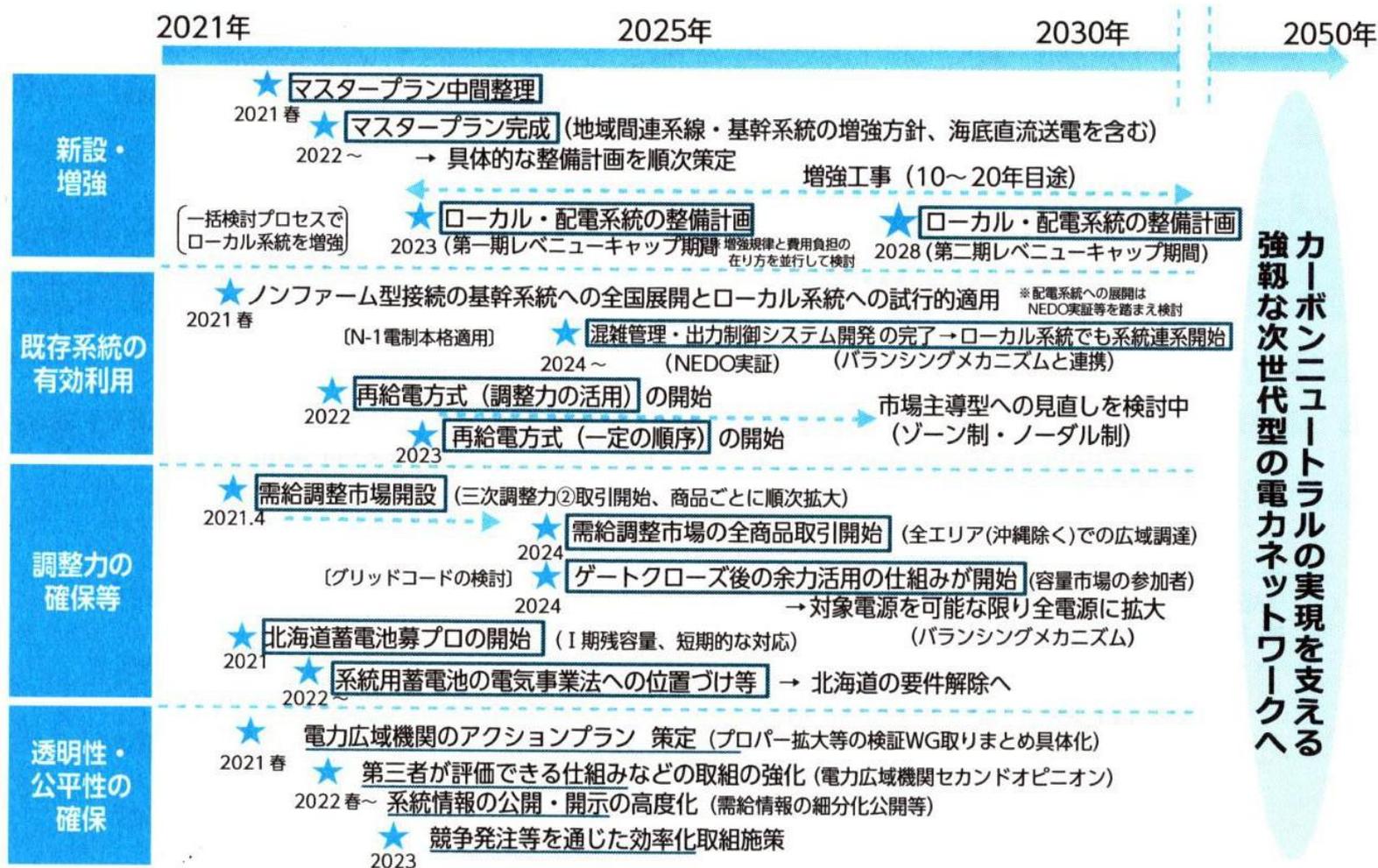
要投資額	約6.0～7.0兆円
費用便益比(B/C)	0.7～1.5
年間コスト	約5,500～6,400億円/年
再エネ比率	増強後47% (50%) 増強前43%
出力制御率	増強後12% (7%) 増強前22%

( )は系統増強以外の施策として、電源側の立地の誘導等を行った場合の参考値

広域系統整備に関する長期展望(ベースシナリオ)

出典：電力広域的運営推進機関「広域系統長期方針(広域連系システムのマスタープラン)」(2023)<sup>[104]</sup>をもとに作成

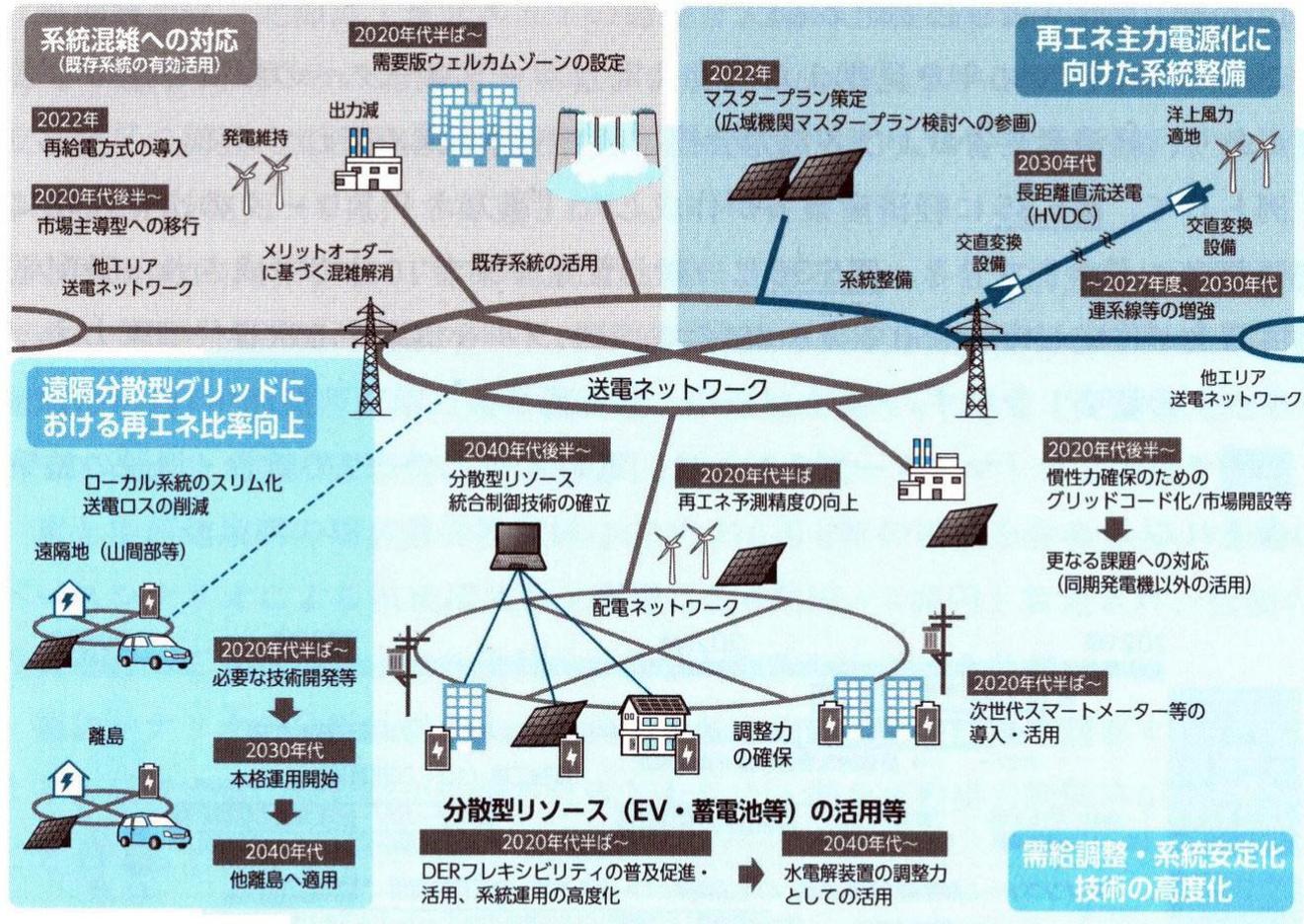
# 電力ネットワークの次世代化に向けたロードマップ



電力ネットワークの次世代化に向けたロードマップ

出典：経済産業省・資源エネルギー庁「電力ネットワークの次世代化(2050年カーボンニュートラルに向けた送配電網のバージョンアップ)」(2022)<sup>[106]</sup>をもとに作成

# 2050年カーボンニュートラルを実現する次世代型電力ネットワークの絵姿



2050年カーボンニュートラルを実現する次世代型電力ネットワークの絵姿

出典：送配電網協議会「2050年カーボンニュートラルに向けて～電力ネットワークの次世代化へのロードマップ～」

(2021)<sup>[107]</sup>をもとに作成

# 目次

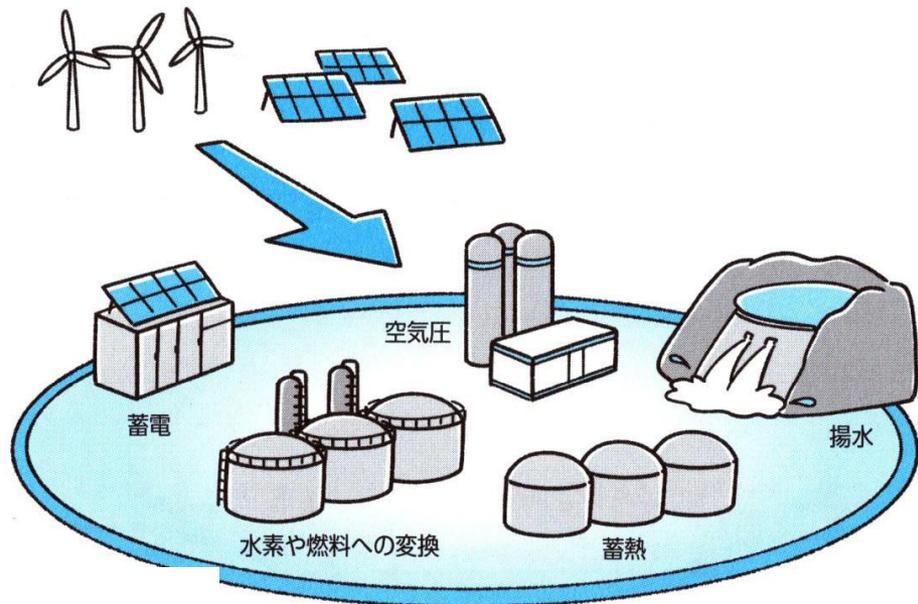
- 1) はじめに
- 2) 変動性再生可能エネルギー主力電源化に向けた電力システムの技術的課題
- 3) 電力システムにおける対策と将来展望
- 4) 蓄電・蓄エネルギー技術の現状と将来展望**
  - 揚水発電
  - 二次電池(蓄電池)
  - 余剰電力による水素製造と水素発電
  - 蓄熱発電
  - 圧縮空気エネルギー貯蔵
- 5) まとめ: 2050年の電力とエネルギーシステム

# 蓄電・蓄エネルギー技術

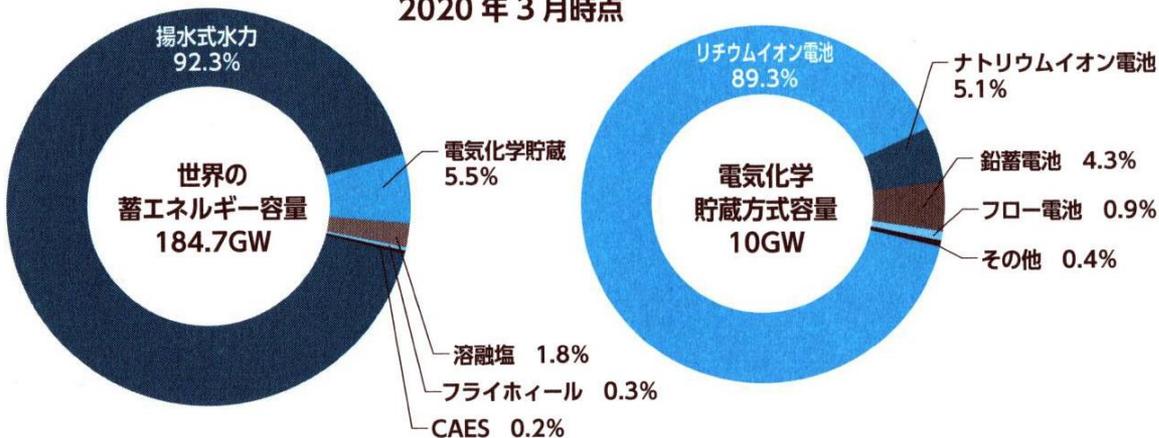
## 電気エネルギー貯蔵



出典：(一財)エネルギー総合工学研究所, 図解でわかるカーボンニュートラル (2021)

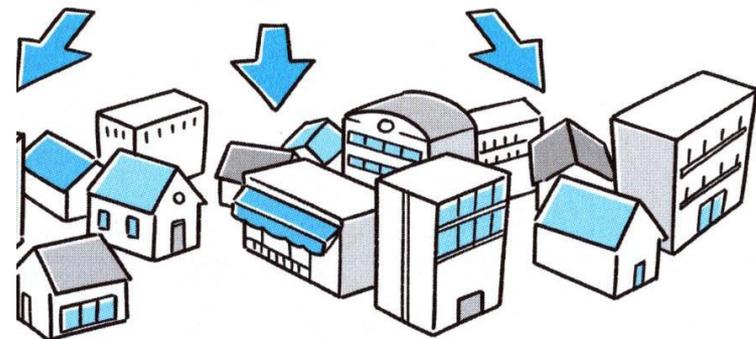


## 世界の蓄エネルギー容量 2020年3月時点



## 世界の蓄エネルギー設備容量

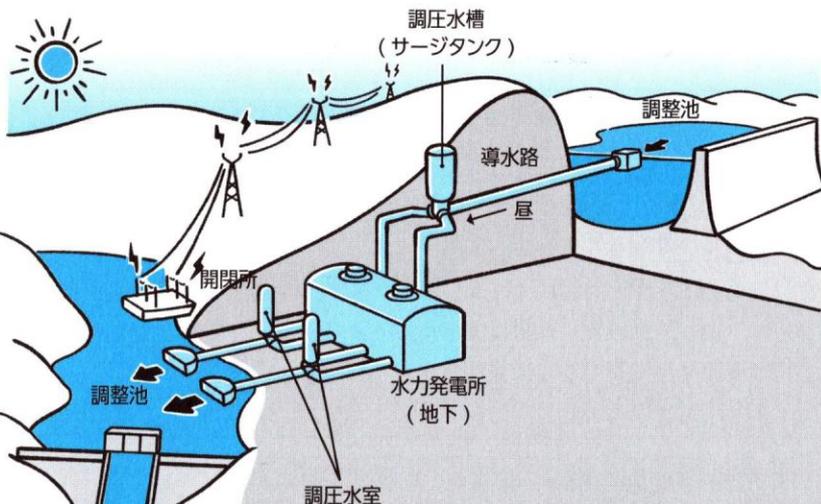
出典：EPRI(電力研究所)「Energy Storage Technologies」(2021)<sup>[66]</sup>をもとに作成



# 揚水発電

主な国内の揚水式発電所

事業社名	発電所名	発電所出力(MW)	発電機台数	運開年	事業社名	発電所名	発電所出力(MW)	発電機台数	運開年
北海道電力株式会社	京極	400	2(2)	2014	関西電力株式会社	奥多々良木	1,932	6	1974
	高見	200	2(1)	1983		大河内	1,280	4(2)	1992
東京電力ホールディングス株式会社	新高瀬川	1,280	4	1979	中国電力株式会社	奥吉野	1,206	6	1978
	玉原	1,200	4	1982	中国電力株式会社	俣野川	1,200	4	1986
	葛野川	1,200	3(1)	1999	九州電力株式会社	小丸川	1,200	4(4)	2007
	今市	1,050	3	1988	電源開発株式会社	新豊根	1,125	5	1972
	神流川	940	2	2005		下郷	1,000	4	1988
	塩原	900	3(1)	1994		奥清潔	1,000	4	1978
中部電力株式会社	奥美濃	1,500	6	1994	電源開発株式会社	奥清津第二	600	2(1)	1996

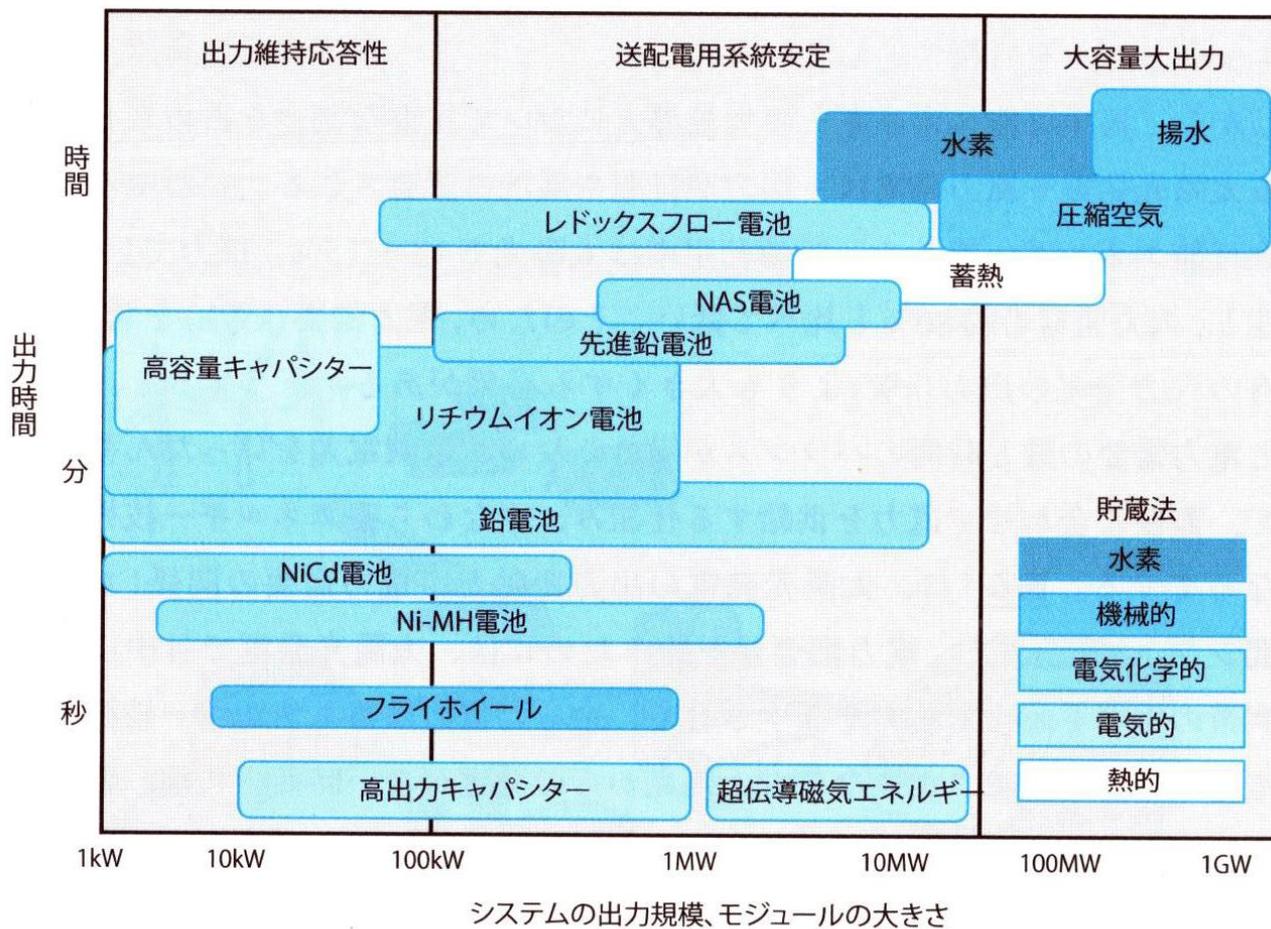


各所の効率

	機器	効率	機器	効率	機器	効率
受電	電動機	0.97	ポンプ	0.88	水圧管路	0.98
送電	水圧管路	0.98	水車	0.89	発電機	0.97

①発電起動・停止時間	停止から出力100%まで3～5分程度であり、他電源と比べて圧倒的に短い。発電を停止させる時間は5～8分である。
②発電出力調整	50～60%/分と速く、たとえば朝の負荷急増時などの需要変動に対応ができる。
③ブラックスタート	広範囲の停電が発生した場合の復旧の立ち上げ箇所となる。2018年9月に北海道管内でブラックアウト <sup>19</sup> が発生したが、新冠発電所1号機(10万kW)を並列し、基幹送電線への送電、発電所の起動を順次進め、停電から復旧させた。ブラックアウト解消には大型の火力発電機が必要だが、それらを起動させるために発電所の所内機器を運転させなければならず、そのための外部電源が必要となる。これに対して水力発電機は入口弁などのバルブを操作することで起動することができる。

# 各種蓄エネルギー技術の特性

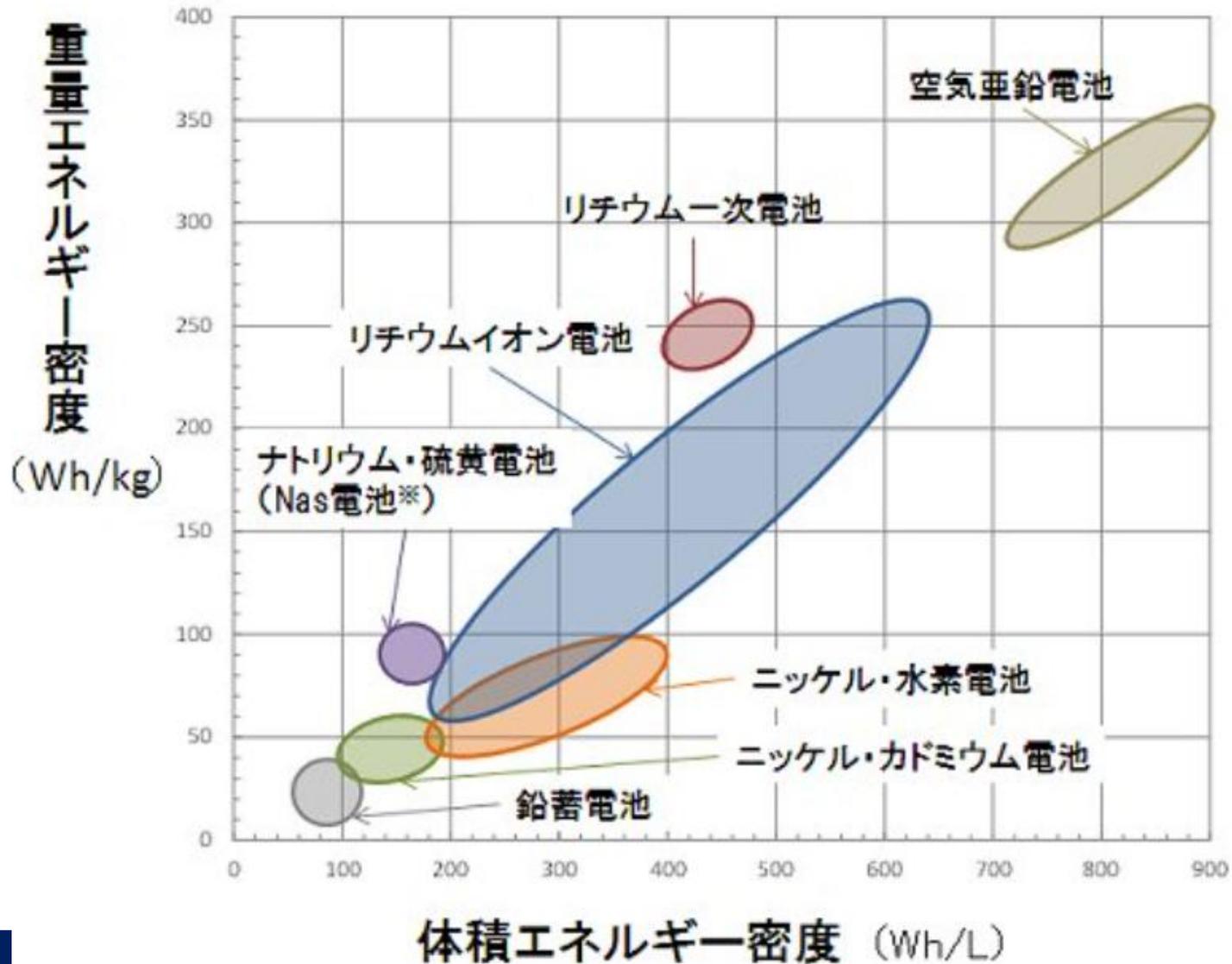


蓄電システムの価格目標

用途	2020年度(現在)	2030年度
家庭用	18.7万円/kWh(工事費含む)	7万円/kWh(工事費含む)
業務・産業用	24.2万円/kWh(工事費含む)	6万円/kWh(工事費含む)

出典：経済産業省「定置用蓄電システム普及拡大検討会」(2021)<sup>[14]</sup>をもとに作成

# 主な二次電池(蓄電池)の性能比較



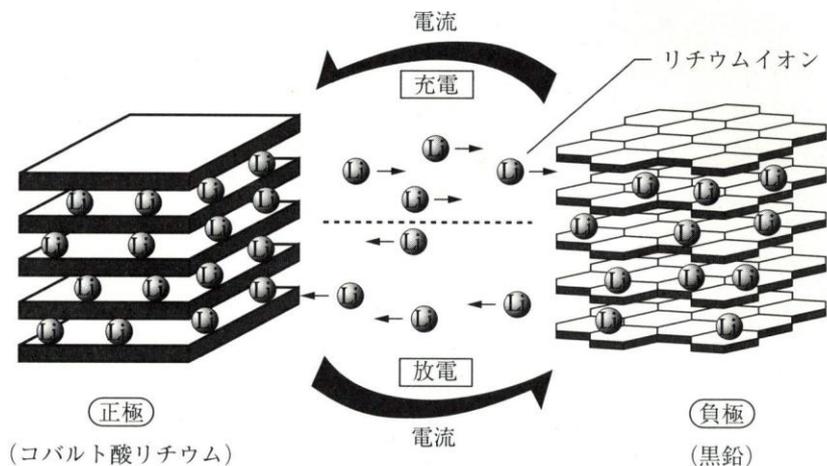
# 大型電力貯蔵用蓄電池の特徴

大型電力貯蔵用電池の特徴

	リチウムイオン電池	ナトリウム硫黄電池	レドックスフロー電池
公称電圧 (V)	3.7V	2.1V	1.4V
正極	リチウム複合酸化物	硫黄	炭素
負極	炭素	ナトリウム	炭素
電解質	非水系有機電解液	酸化アルミナ固体電解質	バナジウムイオン水溶液
特徴	常温作動で扱いやすい 軽量・コンパクト 急速充放電が可能	高温 (300°C) 作動 コンパクト	常温作動で扱いやすい 大容量化しやすい
充放電原理	リチウムイオンの正負極間の移動で充放電を行う	ナトリウムイオンの正負極間の移動で充放電を行う	酸化バナジウムの価数変化 (水素イオンの移動) を利用し充放電を行う
反応式	正極) $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- \rightleftharpoons \text{LiCoO}_2$ 負極) $\text{C}_6\text{Li}_x \rightleftharpoons \text{C}_6 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$ 全体) $\text{C}_6\text{Li}_x + \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 \rightleftharpoons \text{C}_6 + \text{LiCoO}_2$	正極) $x\text{S} + 2\text{Na}^+ \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{S}_x$ 負極) $2\text{Na} \rightleftharpoons 2\text{Na}^+ + 2\text{e}^-$ 全体) $2\text{Na} + x\text{S} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{S}_x$	正極) $\text{VO}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{VO}_2^+ + 2\text{H}^+ + \text{e}^-$ 負極) $\text{V}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{V}^{2+}$ 全体) $\text{VO}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{V}^{3+} \rightleftharpoons \text{VO}_2^+ + 2\text{H}^+ + \text{V}^{2+}$
原理図	<p>● Li<sup>+</sup> (リチウムイオン) ○ e<sup>-</sup> (電子)</p> <p>放電 (e<sup>-</sup> →) / 充電 (← e<sup>-</sup>)</p> <p>負極 (-) / 正極 (+)</p> <p>集電体 / セパレータ / 有機電解液 / 負極活物質 / 正極活物質</p>	<p>● Na (ナトリウム) ● Na<sup>+</sup> (ナトリウムイオン) ● S (硫黄) ● Na<sub>2</sub>S<sub>x</sub> (多硫化ナトリウム) ○ e<sup>-</sup> (電子)</p> <p>放電 (e<sup>-</sup> →) / 充電 (← e<sup>-</sup>)</p> <p>負極 (-) / 正極 (+)</p> <p>負極端子 (Na極) / 負極 (ベータアルミナ) / 固体電解質 / 正極 (S極) / 正極端子</p>	<p>● H<sup>+</sup> (水素イオン) ○ e<sup>-</sup> (電子)</p> <p>放電 (e<sup>-</sup> →) / 充電 (← e<sup>-</sup>)</p> <p>VO<sub>2</sub><sup>+</sup> (V<sup>3+</sup>) / VO<sub>2</sub><sup>+</sup> (V<sup>4+</sup>) / VO<sub>2</sub><sup>+</sup> (V<sup>3+</sup>) / VO<sub>2</sub><sup>+</sup> (V<sup>4+</sup>) / タンク / セパレータ (イオン交換膜) / 電解液 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液) / カーボンフェルト電極上で反応</p> <p>正極 / 負極</p> <p>V<sup>2+</sup> / V<sup>3+</sup> / V<sup>2+</sup> / V<sup>3+</sup> / タンク</p>

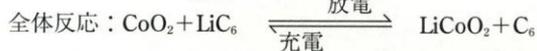
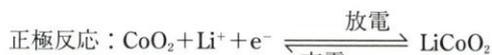
出典：一般財団法人電力中央研究所 テクノロジー&トレンド「活用が期待される二次電池とは」(2021)<sup>[7]</sup> / テムズ中日株式会社 Kids環境ECOワード【エネルギー】No.17「NAS電池」ってな〜に?」(2021)<sup>[8]</sup> / 電池の情報サイト「レドックスフロー電池の構成と反応、特徴」(2021)<sup>[9]</sup>をもとに作成

# リチウムイオン二次電池



液状の電解質はLiPF<sub>6</sub>, LiBF<sub>4</sub>あるいはLiClO<sub>4</sub>のようなリチウム塩とエチレンカーボネートのような溶媒

- 実用化されている二次電池の中でエネルギー密度が最大
- 高い電圧 (3.7V)
- メモリー効果がない
- 自己放電が少ない
- 充電/放電効率が良い (80%–90%)
- 寿命が長い (500–1000サイクル)
- 高速充電が可能
- 大電流放電が可能
- 使用温度範囲が広い
- 汎用性が高い

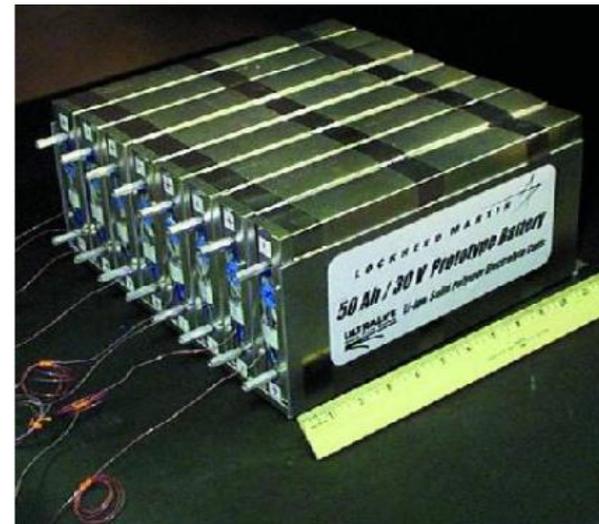


正極材料	平均電圧	重量毎の容量	重量毎のエネルギー
LiCoO <sub>2</sub>	3.7 V	140 mA·h/g	0.518 kW·h/kg
LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4.0 V	100 mA·h/g	0.400 kW·h/kg
LiNiO <sub>2</sub>	3.5 V	180 mA·h/g	0.630 kW·h/kg
LiFePO <sub>4</sub>	3.3 V	150 mA·h/g	0.495 kW·h/kg
Li <sub>2</sub> FePO <sub>4</sub> F	3.6 V	115 mA·h/g	0.414 kW·h/kg
LiCo <sub>1/3</sub> Ni <sub>1/3</sub> Mn <sub>1/3</sub> O <sub>2</sub>	3.6 V	160 mA·h/g	0.576 kW·h/kg
Li(Li <sub>a</sub> Ni <sub>x</sub> Mn <sub>y</sub> Co <sub>z</sub> )O <sub>2</sub>	4.2 V	220 mA·h/g	0.920 kW·h/kg

負極材料	平均電圧	重量毎の容量	重量毎のエネルギー
黒鉛 (LiC <sub>6</sub> )	0.1–0.2 V	372 mA·h/g	0.0372–0.0744 kW·h/kg
ハードカーボン (LiC <sub>6</sub> )	? V	? mA·h/g	? kW·h/kg
チタネイト (Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> )	1–2 V	160 mA·h/g	0.16–0.32 kW·h/kg
Si (Li <sub>4.4</sub> Si) <sup>[67]</sup>	0.5–1 V	4212 mA·h/g	2.106–4.212 kW·h/kg
Ge (Li <sub>4.4</sub> Ge) <sup>[68]</sup>	0.7–1.2 V	1624 mA·h/g	1.137–1.949 kW·h/kg

# リチウムイオン二次電池

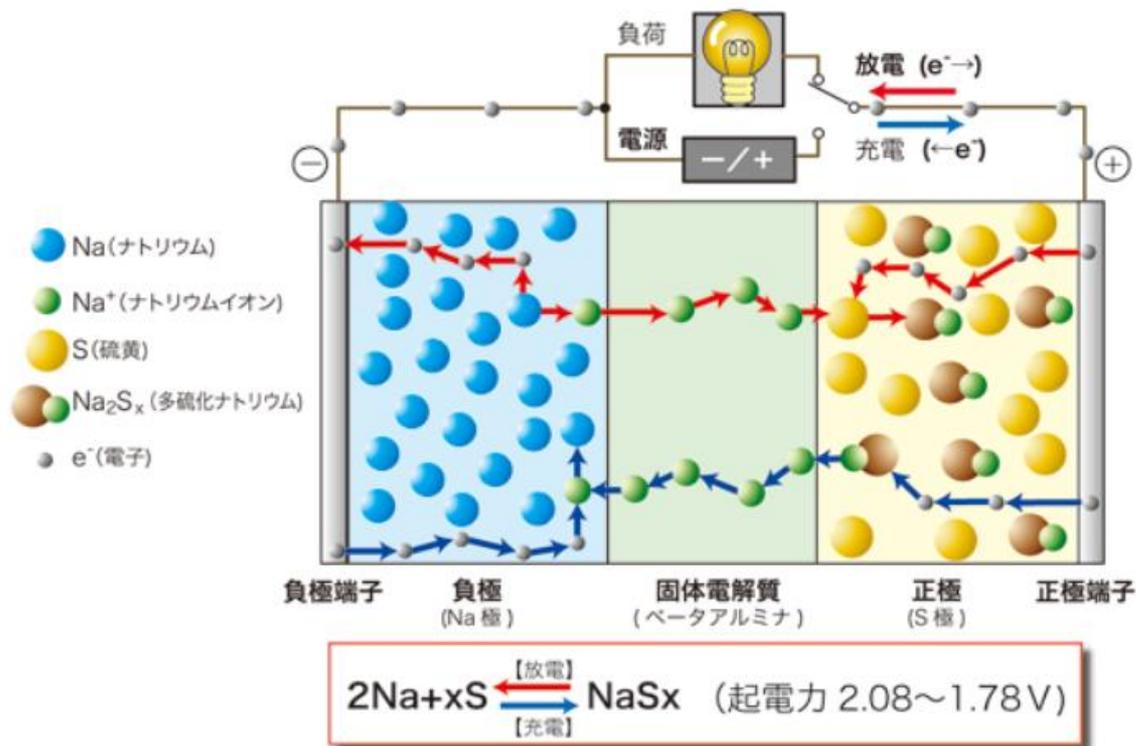
<u>重量エネルギー密度</u>	100-243 Wh/kg <sup>[1][2][3]</sup>
<u>体積エネルギー密度</u>	250-676 Wh/L <sup>[1][2][3]</sup>
<u>出力荷重比</u>	~250-340 W/kg <sup>[1]</sup>
<u>充電/放電効率</u>	80%-90% <sup>[4]</sup>
<u>エネルギーコスト</u>	1.5 Wh/US\$ <sup>[5]</sup>
<u>自己放電率</u>	8% - 21 °C 15% - 40 °C 31% - 60 °C (月あたり) <sup>[6]</sup>
<u>サイクル耐久性</u>	LiCoO <sub>2</sub> : 500-1000回 LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : 300-700回 NMC: 1000-2000回 LiFePO <sub>4</sub> : 1000-2000回 ※負極: 黒鉛 <sup>[7]</sup>
<u>公称電圧</u>	LiCoO <sub>2</sub> : 3.6-3.7 V LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : 3.7-3.8 V NMC: 3.6-3.7 V LiFePO <sub>4</sub> : 3.2-3.3 V ※負極: 黒鉛 <sup>[7]</sup>
<u>使用温度範囲 (放電時)</u>	-20 °C ~ 60 °C <sup>[8]</sup>
<u>使用温度範囲 (充電時)</u>	0 °C ~ 45 °C <sup>[8]</sup>



NASAの大型リチウムイオンポリマー二次電池

# ナトリウム硫黄 (NaS) 電池の充放電の仕組み

【NAS電池の動作原理】



## <放電の仕組み>

- (1) 負極側でナトリウム(Na)がナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)と電子(e<sup>-</sup>)に分かれる。
- (2) ナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)はセラミックスを通過して正極に移動する。電子(e<sup>-</sup>)は電池の外に出て負荷を通り正極側に移動する。(電流の向きは電子の動く向きとは逆なので、ナトリウム側が負極になる)
- (3) ナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)・硫黄(S)・電子(e<sup>-</sup>)が反応して多硫化ナトリウム(Na<sub>2</sub>S<sub>x</sub>)になる。

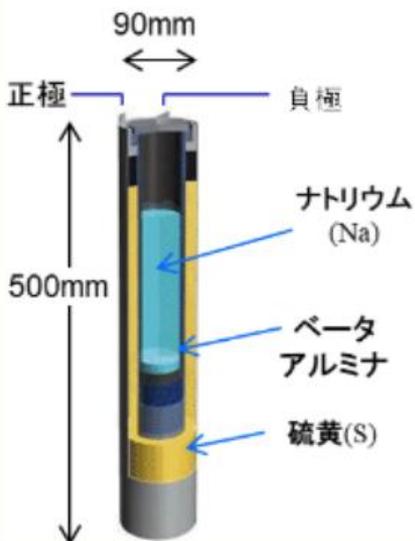
## <充電の仕組み>

- (1) 電気を流すことで、多硫化ナトリウム(Na<sub>2</sub>S<sub>x</sub>)がナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)・硫黄(S)・電子(e<sup>-</sup>)に分かれる
- (2) ナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)はセラミックスを通過して正極に移動する。
- (3) 負極側に移動したナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)は、電子(e<sup>-</sup>)を受け取ってナトリウム(Na)に戻る。

# ナトリウム硫黄 (NaS) 電池

## 単電池 (最小単位)

- ・ 開路電圧 約2V
- ・ 定格容量 約700Ah



## モジュール電池

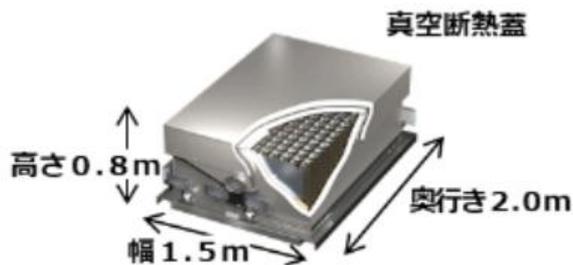
### ■標準タイプ

- ・ 出力 DC3 1.6 kW
- ・ 電力量 DC2 2.7 kWh



### ■高出力タイプ

- ・ 出力 DC3 4.7 kW
- ・ 電力量 DC2 0.8 kWh



## 電池ユニット

### ■パッケージタイプ

- ・ 出力 DC1,2 6.3 kW
- ・ 電力量 DC9,0 9.4 kWh
- ・ モジュール 40台

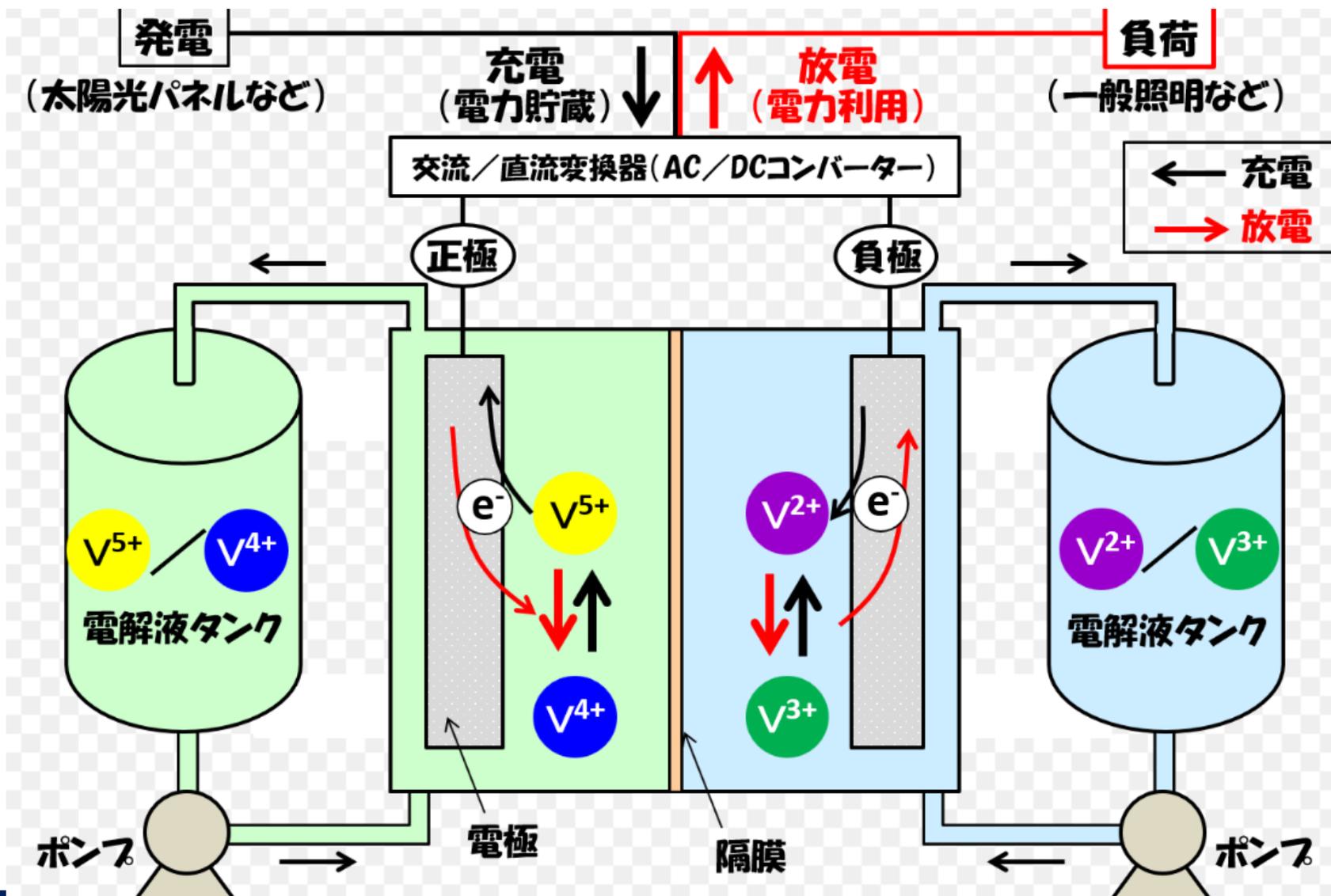


### ■コンテナタイプ

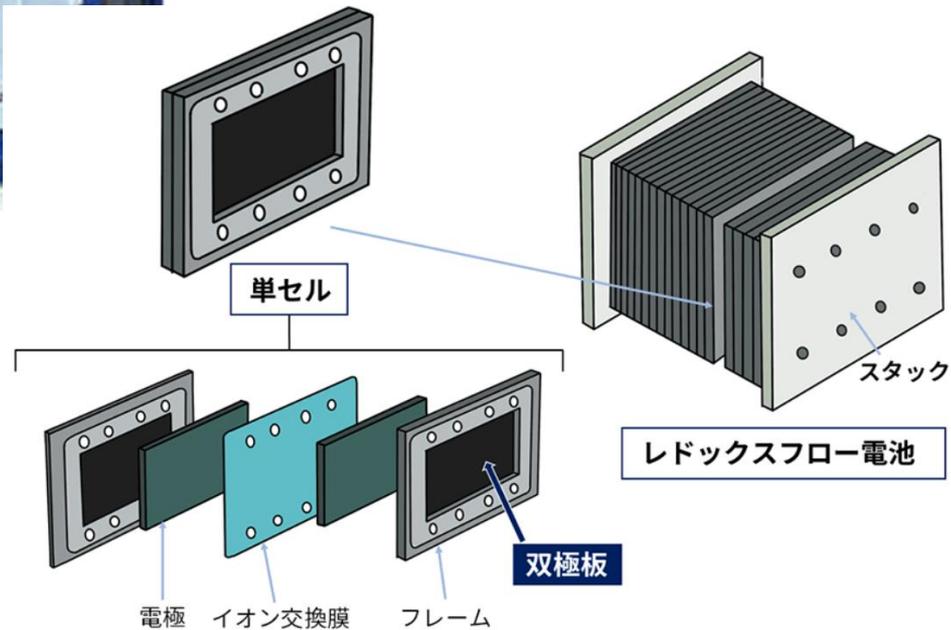
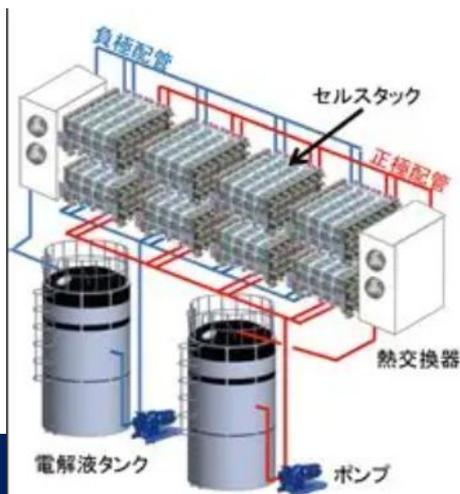
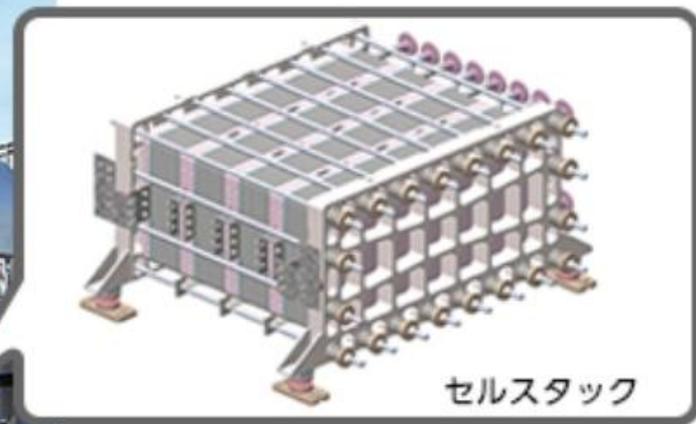
- ・ 出力 DC2 0.8 kW
- ・ 電力量 DC1,2 5.0 kWh
- ・ モジュール 6台



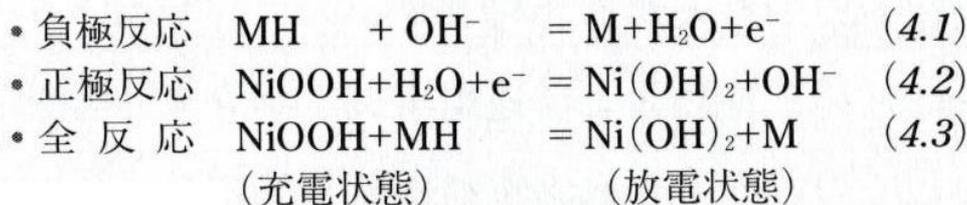
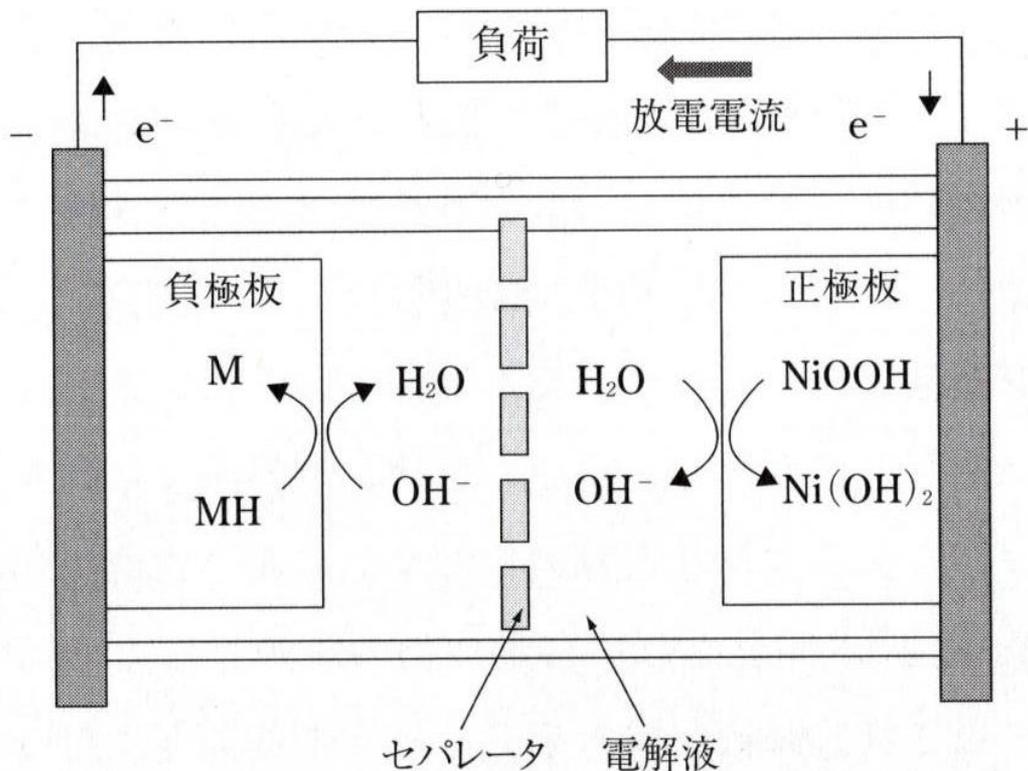
# レドックスフロー電池の仕組み



# レドックスフロー電池



# ニッケル水素電池



## ニッケル水素電池の充放電反応

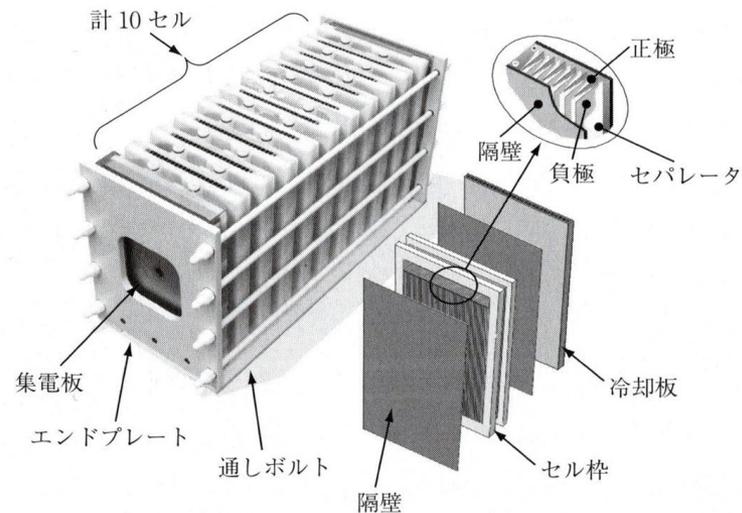
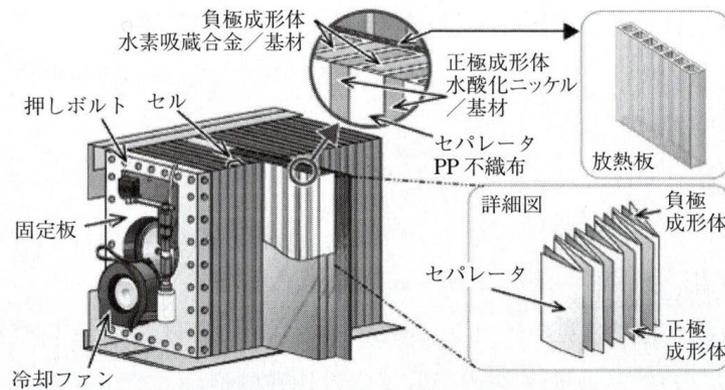
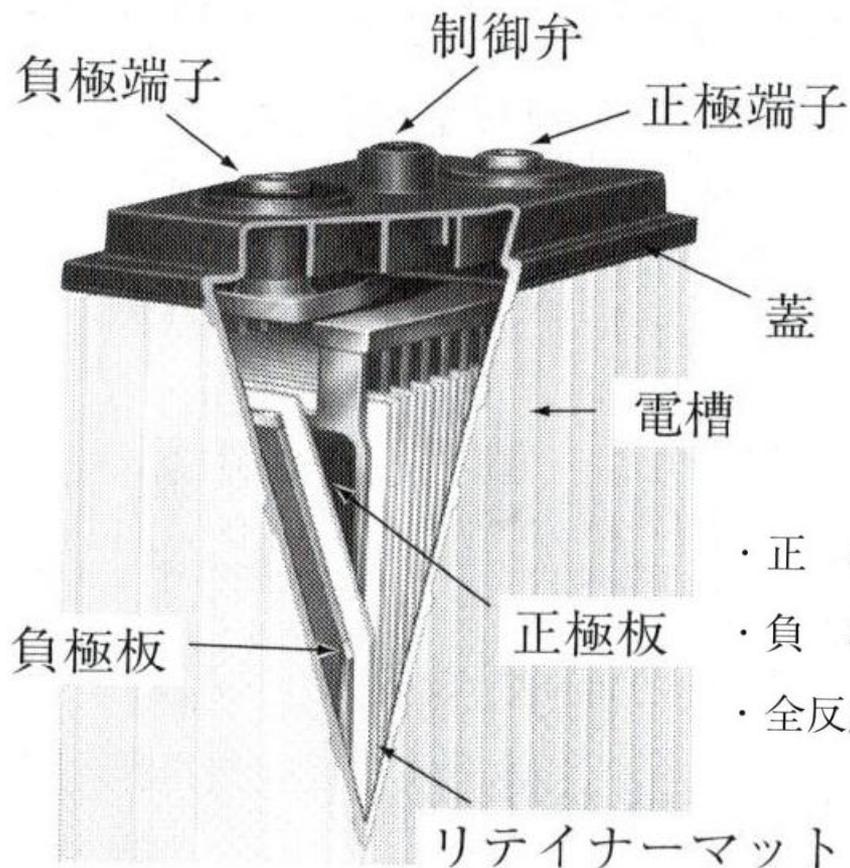


図 4.2 定置用ニッケル水素電池の構造



鉄道蓄電システムおよび移動体用ニッケル水素電池の構造

# 鉛蓄電池



- ・正 極： $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- ・負 極： $\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{PbSO}_4 + 2\text{e}^-$
- ・全反応： $\text{PbO}_2 + \text{Pb} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

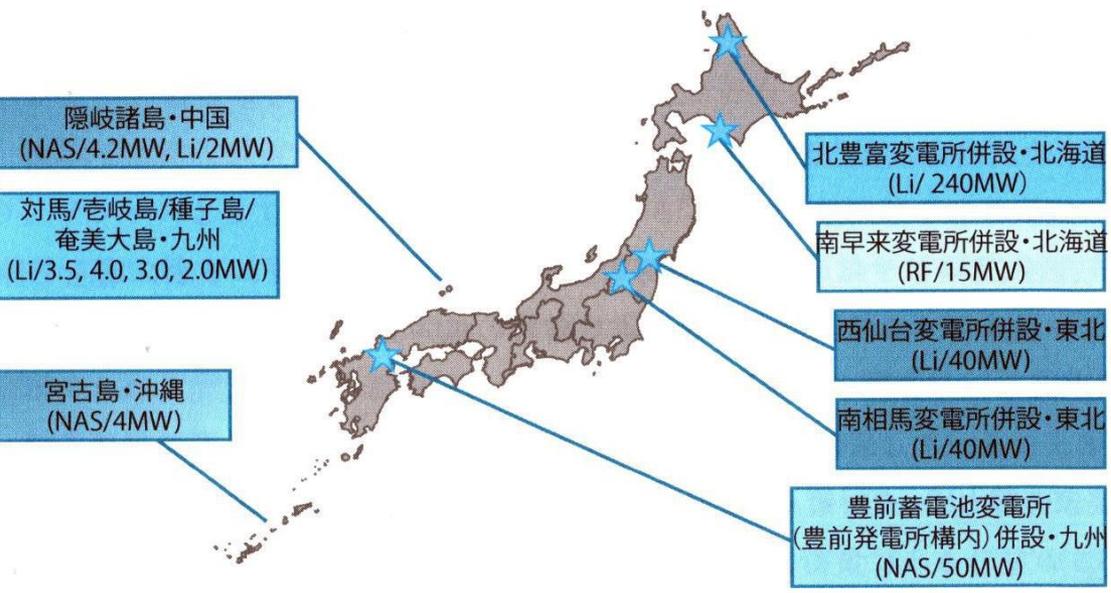
制御弁式鉛蓄電池の構造

# 主な二次電池(蓄電池)の性能比較

## 【主な二次電池の性能比較】

種類	NAS電池	鉛蓄電池	リチウムイオン電池	ニッケル水素電池	レドックスフロー電池
主な電極材料	ナトリウム・硫黄	鉛・硫酸	炭素・遷移金属酸化物・有機電解質	ニッケル・水素吸蔵合金・アルカリ水溶液	バナジウム
主な用途	電力貯蔵 負荷平準化	電力貯蔵 負荷平準化 非常用電源	携帯機器 ハイブリッドカー 電気自動車 電力貯蔵	携帯機器 ハイブリッドカー 電気自動車 電力貯蔵	電力貯蔵 非常用電源
電池効率(%)	~88	65~80	~96	~84	61~82
自己放電	ほとんど無し	1.5%/月	10%/月	30%/月	比較的多い
運転・保守性	高温保持 208~350°C 要監視	無保守・常温	無保守・常温	無保守・常温	電解液循環 常温 要監視
寿命(サイクル)	~1500	300~1500	600~1000	~1500	1500~1800

# 国内のMW級の系統用蓄電池システム

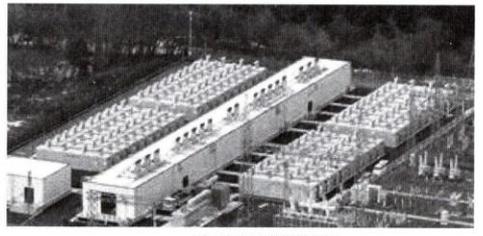


国内のMW級の系統用蓄電池システム

出典：電力中央研究所 電力流通テクニカルカンファレンス「カーボンニュートラルの実現に向けた二次電池の期待と課題」(2021)<sup>[18]</sup>をもとに作成

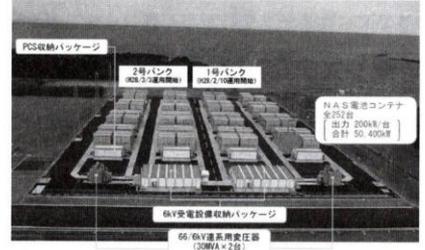
北豊富変電所併設	北海道北部風力送電株式会社が同社の変電所に、風力発電の出力変動緩和として、240 MWの蓄電池システムを設置した(2023年3月竣工) <sup>[23][24]</sup>
南早来変電所併設	北海道電力株式会社および住友電気工業株式会社が2015年12月に南早来変電所にレドックスフロー電池(15 MW)を設置し、再エネの出力変動に対する調整力の性能実証等に取り組んだ <sup>[25]</sup>
西仙台変電所および南相馬変電所併設	東北電力株式会社および株式会社東芝が2015年2月に西仙台変電所、2016年2月に南相馬変電所にリチウムイオン電池(いずれの変電所でも40 MW)を設置し、それぞれ周波数調整力、蓄電池による余剰電力吸収等の検証に取り組んだ <sup>[26][27]</sup>
豊前蓄電池変電所 (豊前発電所構内) 併設	九州電力株式会社および日本ガイシ株式会社が2016年3月に豊前発電所内の豊前蓄電池変電所にNAS電池(50 MW)を設置し、太陽光発電の出力に応じて充放電を行う蓄電システムの効率的な運用の実証等に取り組んだ <sup>[28]</sup>

蓄電池種類	リチウムイオン電池		
蓄電池規模	定格出力 20 MW(短時間 40 MW)	容量	20 MWh
実証期間	平成26年度～平成29年度		

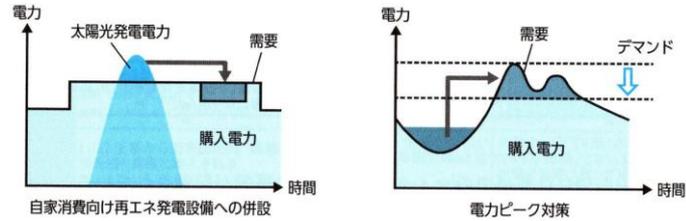


蓄電システムの設備外観  
資料提供：東北電力ネットワーク株式会社プレスリリース(2015)<sup>[23]</sup>、東芝株式会社ニュースリリース(2013)<sup>[27]</sup>

蓄電池種類	NaS電池		
蓄電池規模	定格出力 50 MW	容量	300 MWh
実証期間	平成27年度～平成28年度		

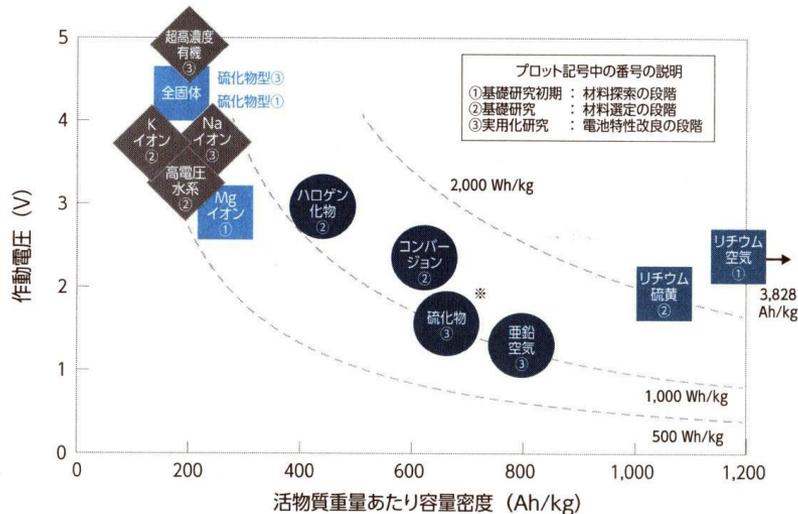


蓄電システムの設備外観  
資料提供：九州電力送配電株式会社プレスリリース(2016)<sup>[23]</sup>、日本ガイシ株式会社プレスリリース(2016)<sup>[28]</sup>



自家消費向け再エネ発電設備への併設  
電力ピーク対策  
蓄電池を用いた電力ピーク対策と再エネ自家消費の概要

# 次世代蓄電池の研究開発



革新型蓄電池を用いたバッテリーパックの実用化目標

目標項目	実用化目標 (革新型蓄電池)	参考 (現行の液系 LIB)
コスト	1万円/kWh以下	2万円/kWh程度
重量エネルギー密度	フッ化物電池：400Wh/kg以上 亜鉛負極電池：200Wh/kg以上	130～160Wh/kg程度
体積エネルギー密度	フッ化物電池：900Wh/L以上 亜鉛負極電池：400Wh/L以上	150～240Wh/L程度
カレンダー寿命	15年以上	7～8年程度
サイクル寿命	2,000回以上	1,000回程度
安全性	内部短絡や過充電など、異常時の発火リスク無し	リスク有り
原材料調達リスク	無し	有り (Li, Co)
急速充電時間	20分以下	40分程度

出典：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「電気自動車用革新型蓄電池開発，2022年度実施方針」(2022)<sup>[57]</sup>をもとに作成

※印の付記されたものは、実測ベースの容量密度・作動電圧をプロットしたことを示す

NEDO/先進・革新型蓄電池材料評価技術開発

**全固体** 全固体LIBをEV搭載バッテリーとして2025年頃に量産化を目指す共通基盤技術を開発

JST/ALCA-SPRING

**蓄電池種別** 現在のリチウムイオン電池を凌駕する高性能な革新型蓄電池について、基礎研究を実施。全固体電池、リチウム-硫黄電池に加え、従来の考え方に囚われず新しいタイプの電池に取り組み

NEDO/RISING2

**蓄電池種別** 2020年度末までに実セルでエネルギー密度500Wh/kgを確認する計画。併せて、耐久性・安全性が車載用として課題がないことも確認。2030年の実用化が目標

文部科学省/元素戦略

**蓄電池種別** リチウムイオン電池以上の性能を、計算化学との協業・汎用元素機能最大化により実現する。高濃度電解技術の大規模上市、ナトリウムイオン電池の企業移管、水系高電圧電池の特許網構築を実施中

日本の国家プロジェクトで開発されている次世代蓄電池

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発(中間評価)分科会資料」(2018)<sup>[18]</sup>をもとに作成

開発電池とプロジェクト名

開発電池名	プロジェクト名(略称)
①ナノ界面制御電池(ハロゲン化物)	RISING 2 <sup>*1</sup>
②亜鉛空気電池	RISING 2
③ナノ界面制御電池(コンバージョン)	RISING 2
④金属硫化物電池	RISING 2
⑤全固体電池	SOLiD-EV <sup>*2</sup> 、ALCA-SPRINGほか
⑥リチウム硫黄電池	ALCA-SPRING <sup>*3</sup> ほか
⑦リチウム空気電池	ALCA-SPRING <sup>*3</sup> ほか
⑧マグネシウムイオン電池	ALCA-SPRING <sup>*3</sup> ほか
⑨ナトリウムイオン電池	元素戦略 <sup>*4</sup> ほか

注)プロジェクトの正式名称は次の通り

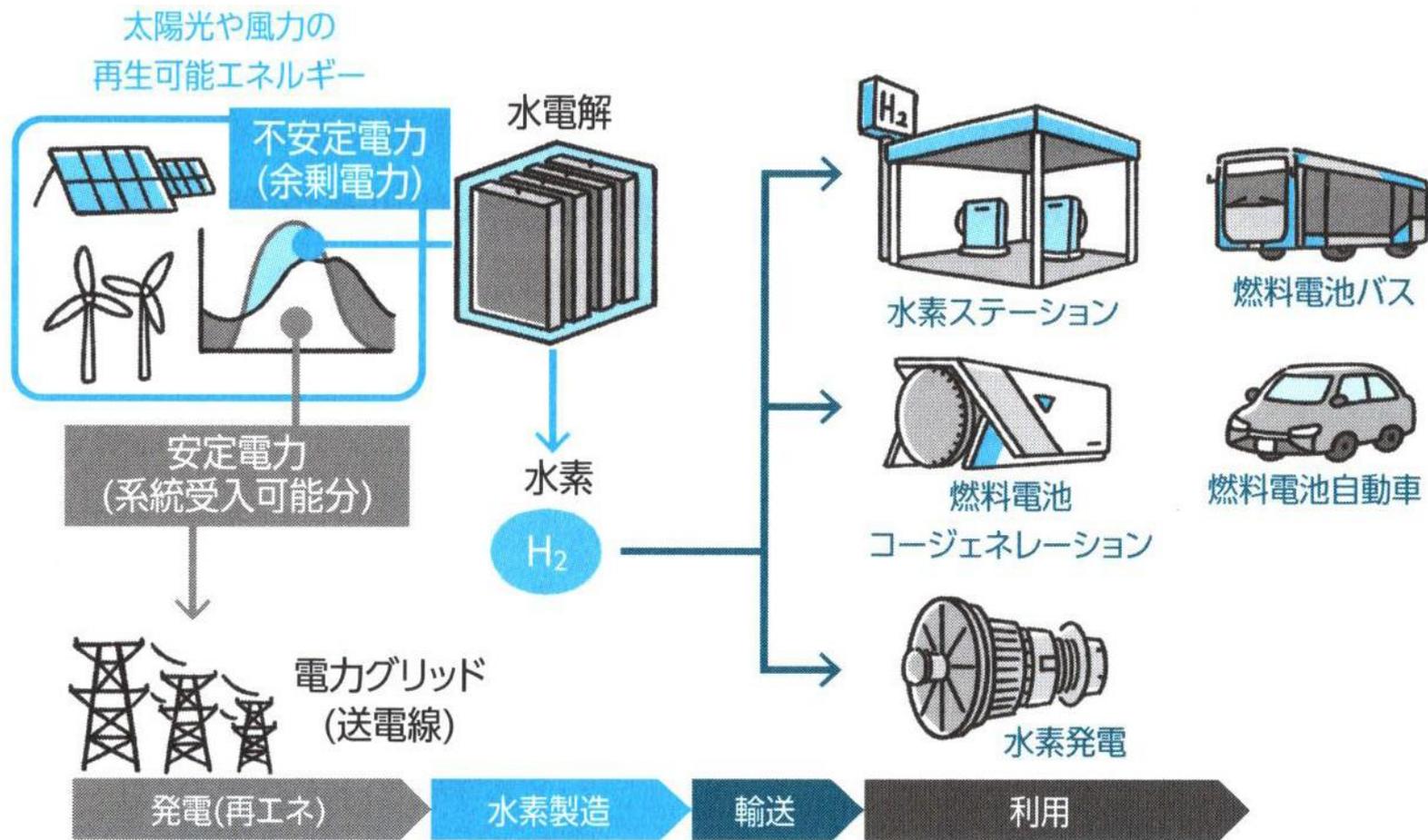
※1 RISING 2：国立研究開発法人国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発<sup>[14]</sup>

※2 SOLiD-EV：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)先進・革新型蓄電池材料評価技術開発<sup>[15]</sup>

※3 ALCA-SPRING：科学技術振興機構(JST)事業「戦略的創造研究推進事業/先端的低炭素化技術開発」(ALCA)の「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」(SPRING)<sup>[16]</sup>

※4 元素戦略：文部科学省事業「元素戦略プロジェクト<研究拠点型>」<sup>[17]</sup>

# 再エネ余剰電力を用いた水素製造



再エネ余剰電力を用いた水素製造

出典：経済産業省「エネルギーの今を知る10の質問」(2018)<sup>[41]</sup>をもとに作成

# 水電解による水素製造

電解方式の概要

	アルカリ水電解	PEM形水電解
フィード	KOH溶液、NaOH溶液	純水
必要電力	4.5~6.5 kWh / m <sup>3</sup> N	5.0~6.0 kWh / m <sup>3</sup> N
システム規模	大型化可能(2MW / ユニット)	1MW / ユニット
水素純度 ※精製プロセス含む	99.99%	99.99%

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「水素エネルギー白書」(2015)<sup>[10]</sup>をもとに作成

水電解装置の種類と主な特徴

	アルカリ形			固体高分子形		
	2019年	2030年	将来	2019年	2030年	将来
電解効率 (LHV, %)	63~70	65~71	70~80	56~60	63~68	67~74
システムコスト (\$/kW)	500~1,400	400~850	200~700	1,100~1,800	650~1,500	200~900
製品寿命 (時間)	60,000~90,000	90,000~100,000	100,000~150,000	30,000~90,000	60,000~90,000	100,000~150,000

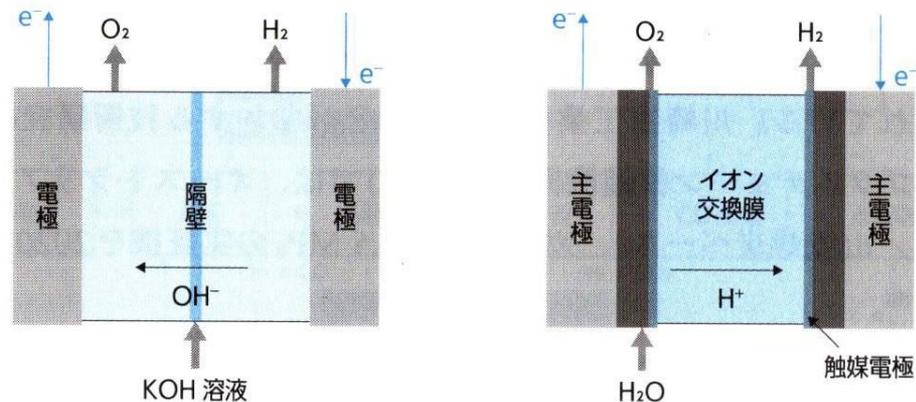
出典：国際エネルギー機関(IEA)「The Future of Hydrogen」(2019)<sup>[43]</sup>をもとに作成

アルカリ形水電解システムと固体高分子形水電解システムのコスト(現状値と目標値)

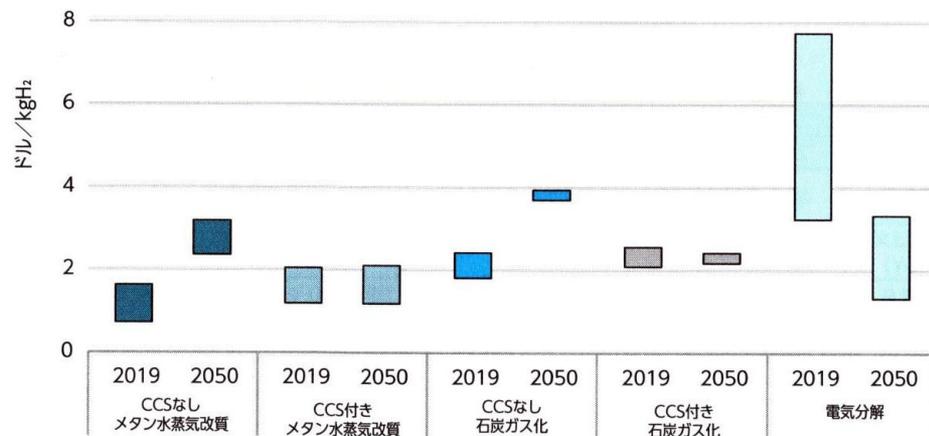
項目	単位	現状値 (2019年度末) <sup>*1</sup>		ロードマップの目標値		
		メーカー想定値 <sup>*2</sup>	実証値	2020年	2030年	
アルカリ形水電解システム	エネルギー消費量 <sup>*3</sup>	kWh/Nm <sup>3</sup>	4.3(0.15A/cm <sup>2</sup> 時)~5.0(1.0A/cm <sup>2</sup> 時)	4.3(0.15A/cm <sup>2</sup> 時)~5.0(1.0A/cm <sup>2</sup> 時)	4.5	4.3
	設備コスト	万円/Nm <sup>3</sup> /h (万円/kW)	60 (12)	72 (14.4)	34.8 (7.8)	22.3 (5.2)
	メンテナンスコスト	円/(Nm <sup>3</sup> /h)/年	24,000	29,000	7,200	4,500
項目	単位	現状値 (2019年度末)		ロードマップの目標値		
		メーカー想定値 <sup>*4</sup>	実証値(見込み) <sup>*5</sup>	2020年	2030年	
固体高分子形水電解システム	エネルギー消費量	kWh/Nm <sup>3</sup>	5	4.6~4.8	4.9	4.5
	設備コスト	万円/Nm <sup>3</sup> /h (万円/kW)	125 (25)	182 (37.9)	57.5 (11.7)	29.0 (6.5)
	メンテナンスコスト	円/(Nm <sup>3</sup> /h)/年	2020年目標未達見込	12,000	11,400	5,900

- ※1 前提条件：水素純度99.9%、水素圧力0.05MPa
- ※2 水素製造量100,000~200,000Nm<sup>3</sup>/hの場合の水電解装置メーカーによる試算値
- ※3 劣化前
- ※4 水電解装置メーカーのカタログ値・試算値
- ※5 本格的な実証開始前であるが、これまでの検証結果から達成見込みの値

出典：経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況」(2020)<sup>[44]</sup>をもとに作成



アルカリ水電解及びPEM形水電解の概略図



持続可能な開発シナリオにおける技術別の水素製造コスト

出典：国際エネルギー機関(IEA)「Energy Technology Perspectives 2020」(2020)<sup>[45]</sup>をもとに作成

# ■燃料電池の種類と特徴

		固体酸化物形	熔融炭酸塩形	リン酸形	高分子電解質形	アルカリ水溶液形
電解質	電解質物質	安定化ジルコニア ( $ZrO_2+Y_2O_3$ )	炭酸リチウム ( $Li_2CO_3$ ) 炭酸カリウム ( $K_2CO_3$ )	リン酸 ( $H_3PO_4$ )	イオン交換膜 (とくにカチオン交換膜)	水酸化カリウム ( $KOH$ )
	イオン導電種	$O^{2-}$	$CO_3^{2-}$	$H^+$	$H^+$	$OH^-$
	比抵抗	$\sim 1\Omega cm$	$\sim 1\Omega cm$	$\sim 1\Omega cm$	$\leq 20\Omega cm$	$\sim 1\Omega cm$
	作動温度	$\sim 1000^\circ C$	$600\sim 700^\circ C$	$170\sim 200^\circ C$	$80\sim 100^\circ C$	$50\sim 150^\circ C$
	腐食性	—	強	強	中程度	中程度
	使用形態	薄膜状	マトリックスに含侵 またはペースタイプ	マトリックスに含侵	膜	マトリックスに含侵
電極	触媒	不要	不要	白金系	白金系	ニッケル・銀系
	燃料極 (マイナス極)	$H_2+O^{2-}\rightarrow H_2O+2e^-$	$H_2+CO_3^{2-}\rightarrow H_2O+CO_2+2e^-$	$H_2\rightarrow 2H^++2e^-$	$H_2\rightarrow 2H^++2e^-$	$H_2+2OH^-\rightarrow 2H_2O+2e^-$
	空気極 (プラス極)	$1/2O_2+2e^-\rightarrow O^{2-}$	$1/2O_2+CO_2+2e^-\rightarrow CO_3^{2-}$	$1/2O_2+2H^++2e^-\rightarrow H_2O$	$1/2O_2+2H^++2e^-\rightarrow H_2O$	$1/2O_2+H_2O+2e^-\rightarrow 2OH^-$
燃料 (反応物質)	水素、一酸化炭素	水素、一酸化炭素	水素 (炭酸ガス含有不可)	水素 (炭酸ガス含有不可)	純水素 (炭酸ガス含有不可)	
燃料源	石油、天然ガス、メタノール、石炭	石油、天然ガス、メタノール、石炭	天然ガス、ナフサまでの軽質油、メタノール	天然ガス、メタノール	電解工業の副生水素、水の分解 (熱化学法、電解)	
化石燃料を用いたときの発電システム熱効率	50~60%	45~60%	40~45%	40~50%	60% (燃料電池本体の効率)	
問題点および開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>セル構造</li> <li>耐熱材料</li> <li>電解質の薄膜化</li> <li>サーマルサイクルに対する耐久性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構成材料の耐食、耐熱化</li> <li><math>CO_2</math>の循環系など要素技術の開発、熱収支、ボトムングサイクルを考慮したシステム解析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安価な触媒の開発あるいは白金使用量の低減</li> <li>発電システム全般にわたる長寿命化、低コスト化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構成材料の高性能化、長寿命化</li> <li>セル構成技術と大形化</li> <li>温度、水分管理</li> <li>白金使用量の低減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料、酸化剤中の<math>CO_2</math>による電解液劣化</li> <li>水・熱収支の制御</li> <li>純水素燃料利用技術の実現</li> </ul>	

# 固体高分子型燃料電池 (PEFC)

■高分子電解質形燃料電池の原理

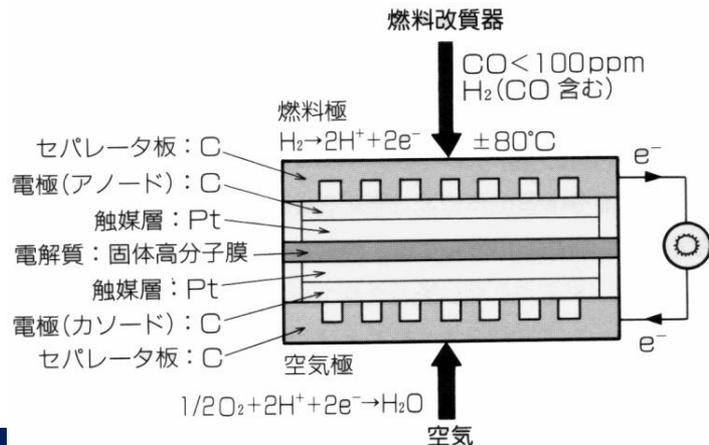
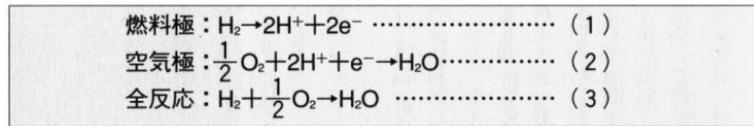
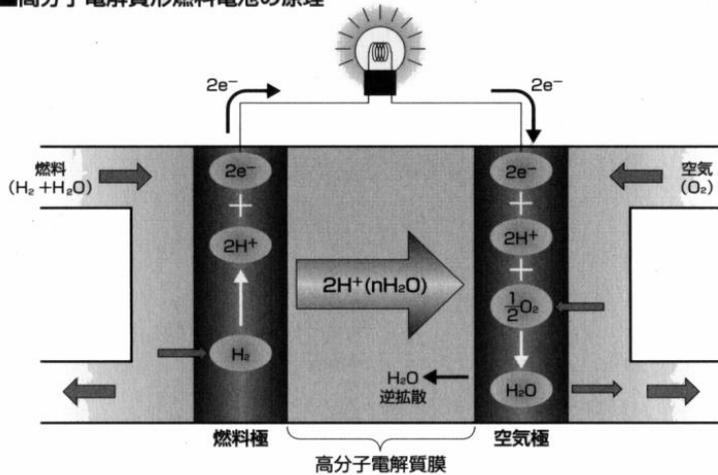
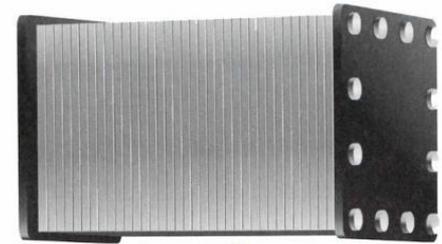


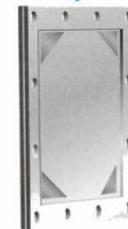
図 固定高分子型燃料電池(PEFC)の原理

固体高分子膜型燃料電池

燃料電池スタック



セル



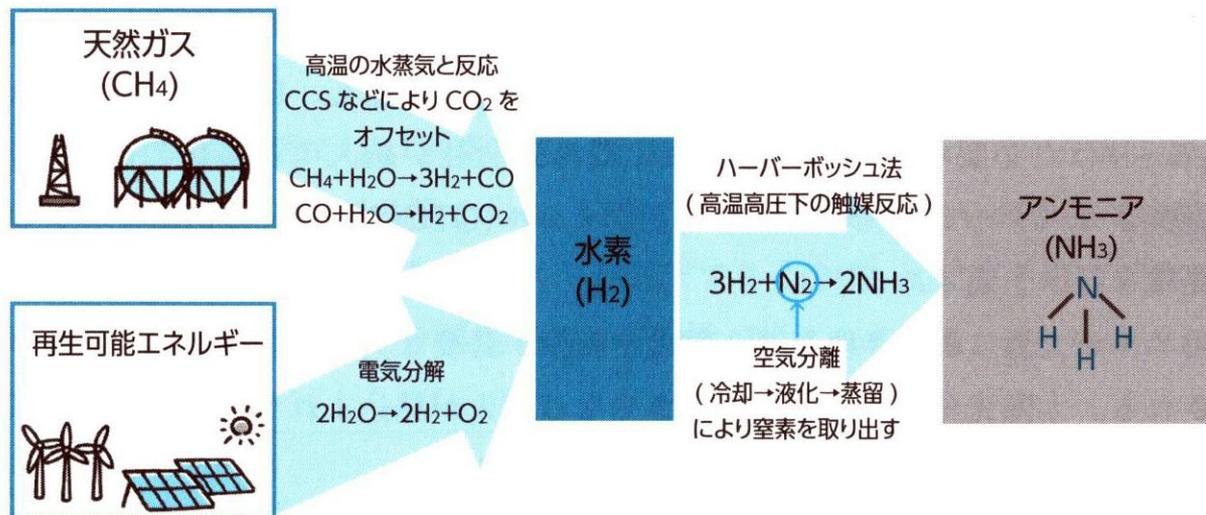
セルの内部



イオンを燃料極 (アノード) から酸化極 (カソード) に移動するプロトン交換膜を、電極とセパレータではさんだセルを積層してスタックにする

# 代表的な水素キャリア

キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	合成メタン
体積 (対常圧水素)	約 1/800	約 1/500	約 1/1300	約 1/600
液体となる条件、毒性	-253°C、常圧 毒性無	常温常圧 トルエンは毒性有	-33°C、常圧など 毒性、腐食性有	-162°C、常圧 毒性無
直接利用の可否	N.A. (化学特性変化無)	現状不可	可 (石炭火力混焼など)	可 (都市ガス代替)
高純度化のための追加設備	不要	必要 (脱水素時)		
特性変化などのエネルギーロス	現在: 25~35% 将来: 18%	現在: 35~40% 将来: 25%	水素化: 7~18% 脱水素: 20%以下	現在: 32%
既存インフラ活用、活用可否	国際輸送は不可 (要新設)。国内配送は可	可 (ケミカルタンカーなど)	可 (ケミカルタンカーなど)	可 (LNGタンカー、都市ガス管など)
技術的課題など	大型海上輸送技術 (大型液化器、運搬船など) の開発が必要	エネルギーロスの更なる削減が必要	直接利用先拡大のための技術開発、脱水素設備の技術開発が必要	製造地における競争的な再エネ由来水素、CO <sub>2</sub> 供給が不可欠



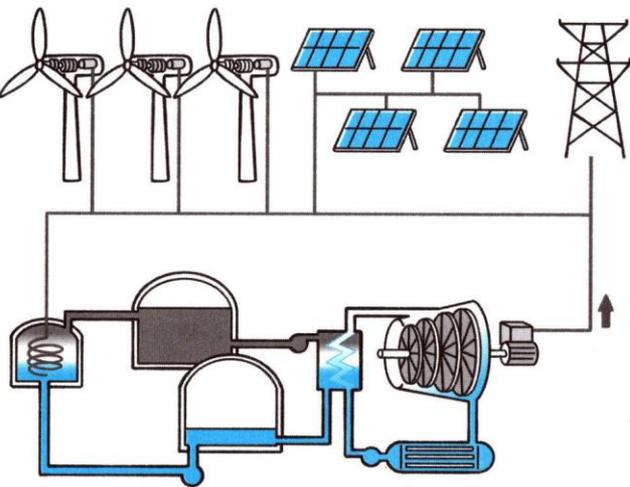
# 蓄熱発電

世界の民間蓄熱発電開発

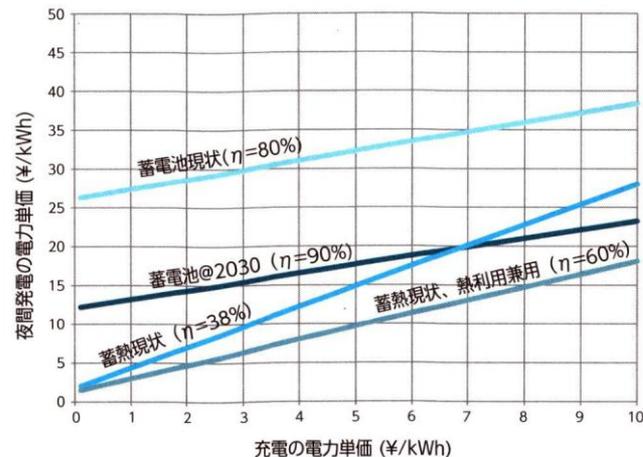
	研究段階	パイロット段階	技術的に完成
発電専用	マルタ社 (MALTA : アメリカ)、デュークエネルギー社 (Duke Energy : アメリカ)、エネルギードーム社 (EnergyDome : イタリア) <sup>注1)</sup> LAESに類似、中部電力株式会社 / 株式会社東芝	シーメンスガメサ (Siemens-Gamesa : ドイツ)、セアス・エヌブイイー社 (Seas-nve : デンマーク)、ハイビュー社 (High View : イギリス) <sup>注1)</sup> LAES、エンラサ社 (Enlasa : イギリス)、米電力研究所 (EPRI : アメリカ)、サウザン社 (Southern Co. : アメリカ)、ブレンミラー社 (Brenmiller / NYPA : アメリカ)、株式会社神戸製鋼所 <sup>注2)</sup> A-CAES	エルヴェーエー社 (RWE : ドイツ)、モルテックス社 (MOLTEX : カナダ)、テラパワー社 (TerraPower : アメリカ)、テレストリアル社 (Terrestrial : アメリカ)、株式会社東芝 / 富士電機株式会社
電熱併給	クラフトブロック社 (Kraftblock : ドイツ)	1414 デグリース社 (1414degrees : オーストラリア)、エネルギーネスト社 (EnergyNest : フィンランド)、エコテックセラム社 (Eco-Tech-Ceram : フランス)、ソルトエックス社 (SaltX : ドイツ)、バッテンフォール社 (Vattenfall : ドイツ)、テクセル社 (TEXEL : フィンランド)	アゼリオ社 (Azelio : フィンランド)、ストラソル社 (STORASOL : ドイツ)
詳細確認中	247ソーラー社 (247Solar : アメリカ)、オールボーシーエスピー社 (aalborgCSP : デンマーク)、アルミナ社 (Almina : アメリカ)、ブレイトン社 (Brayton : アメリカ)、シーシーティー社 (CCT : オーストラリア)、シーソルパワー社 (CsolPower : アメリカ)、エコゲン社 (Ecogen : アメリカ)、エコバット社 (Ecovat : オランダ)、エレメント16社 (Element16 : アメリカ)、グラファイトエナジー社 (Graphite Energy : アメリカ)、ケルビン社 (KELVIN : アメリカ)、キョウト社 (KYOTO : フィンランド)、ルメニオン社 (Lumenion : ドイツ)、バッテンフォール社 (Vattenfall : ドイツ)、マン社 (MAN : ドイツ)、エービービー社 (ABB : ドイツ)、ピンテイル社 (Pintail : アメリカ)、クアンタム社 (Quantum : アメリカ)、ソリッド社 (SOLID : オランダ)、スティースダル社 (Stiesdal : ドイツ)		

注1) LAES : 液化空気エネルギー貯蔵 (Liquid Air Energy Storage)

注2) A-CAES : 断熱圧縮空気エネルギー貯蔵 (Adiabatic Compressed Air Energy Storage)



蓄熱発電の構成例



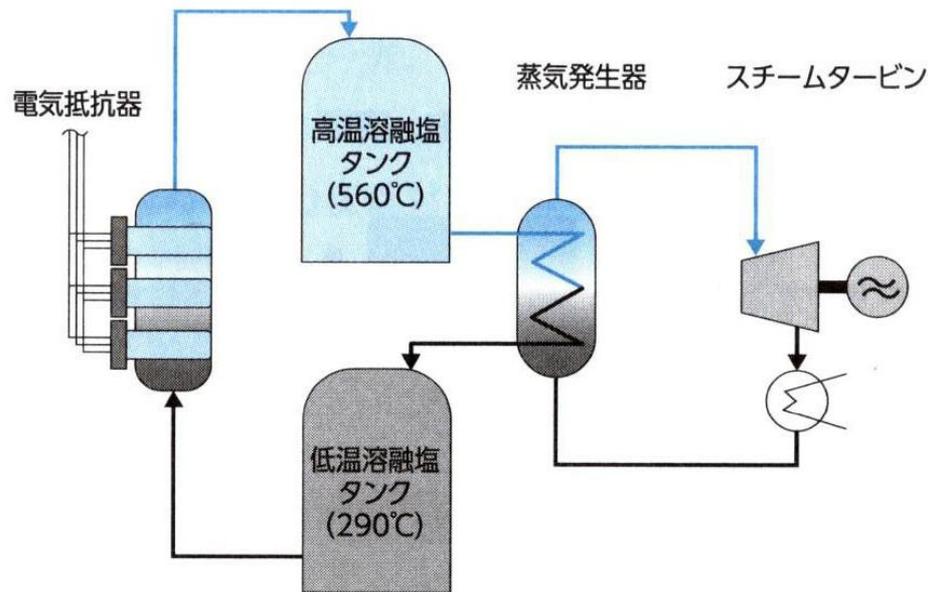
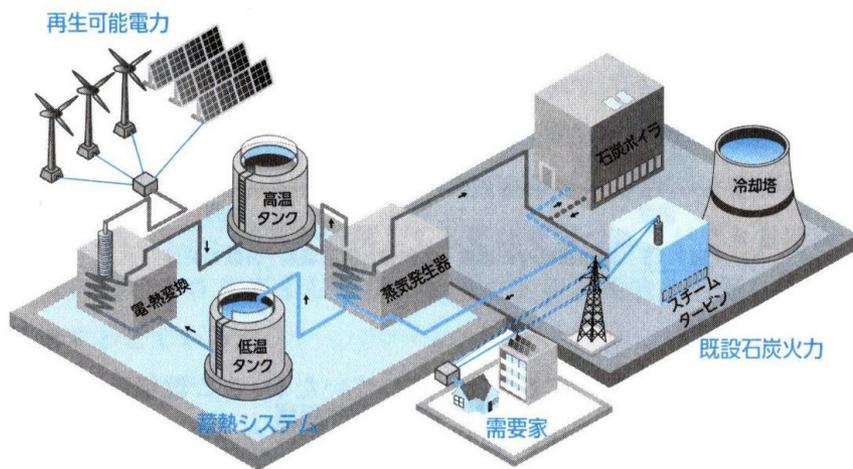
太陽光発電電力の夜間利用時における蓄熱発電と蓄電池の経済性比較

# 蓄熱発電



蓄熱発電システムの基本構成

顕熱蓄熱: 岩石、コンクリート、Al-Si、熔融塩など  
 潜熱蓄熱: パラフィン、マイクロカプセルなど  
 化学蓄熱:  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaO}$  など

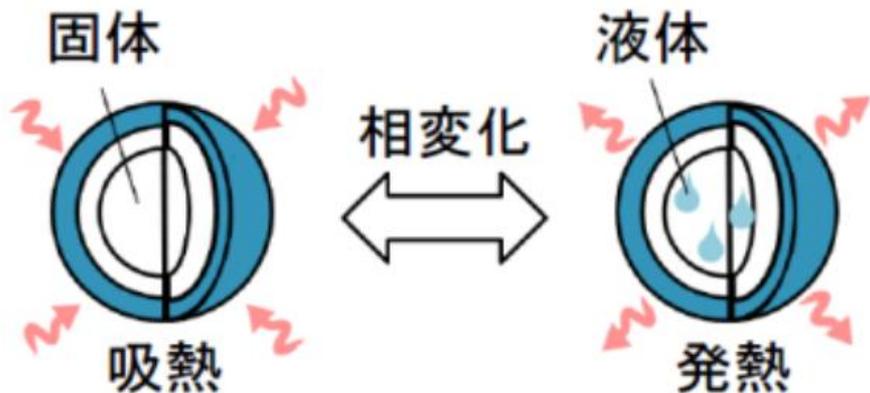


熔融塩を用いた蓄熱発電システムの一例  
 $\text{NaNO}_3$  (60 wt%) -  $\text{KNO}_3$  (40 wt%)

RWE Power社の石炭火力ボイラの蓄熱システムへの置き換え構想概念図(蓄熱材が熔融塩の場合)

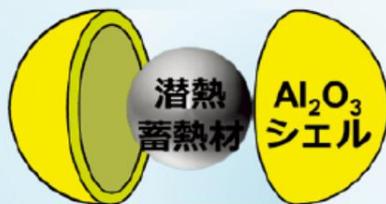
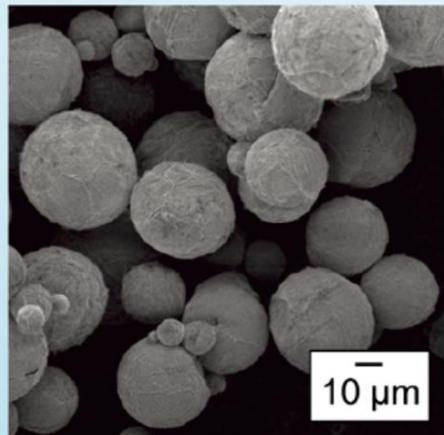
出典: en:former「Coal-fired power plant to be converted into heat storage facility」(2019) [30] をもとに作成

# 潜熱蓄熱材



状態変化に伴う体積変化に対応するため、  
潜熱蓄熱材を $\text{Al}_2\text{O}_3$ などのマイクロカプセルに  
封入する。

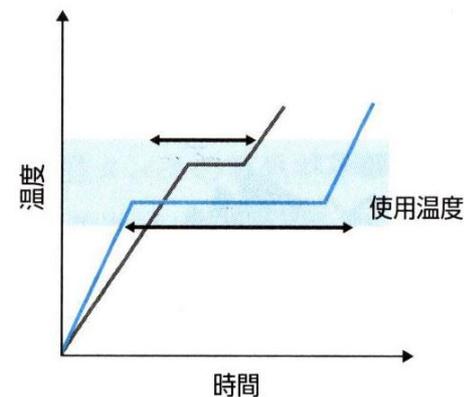
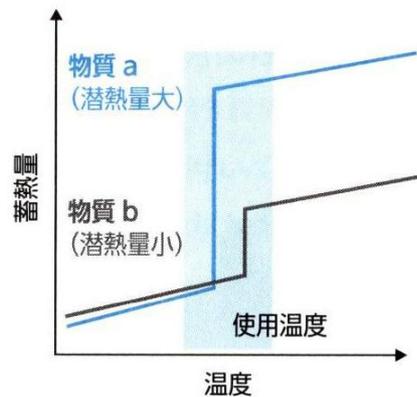
## 高温潜熱蓄熱マイクロカプセル



高温領域で高密度  
蓄熱可能な  
革新的蓄熱材料

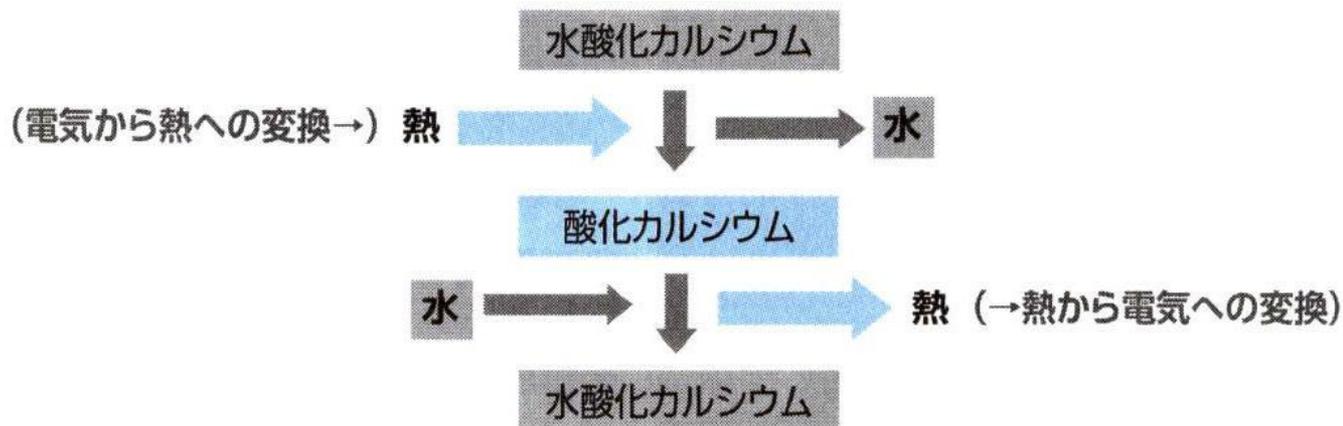
参考: Nomura et al., Scientific Report 5 (2015)

図1

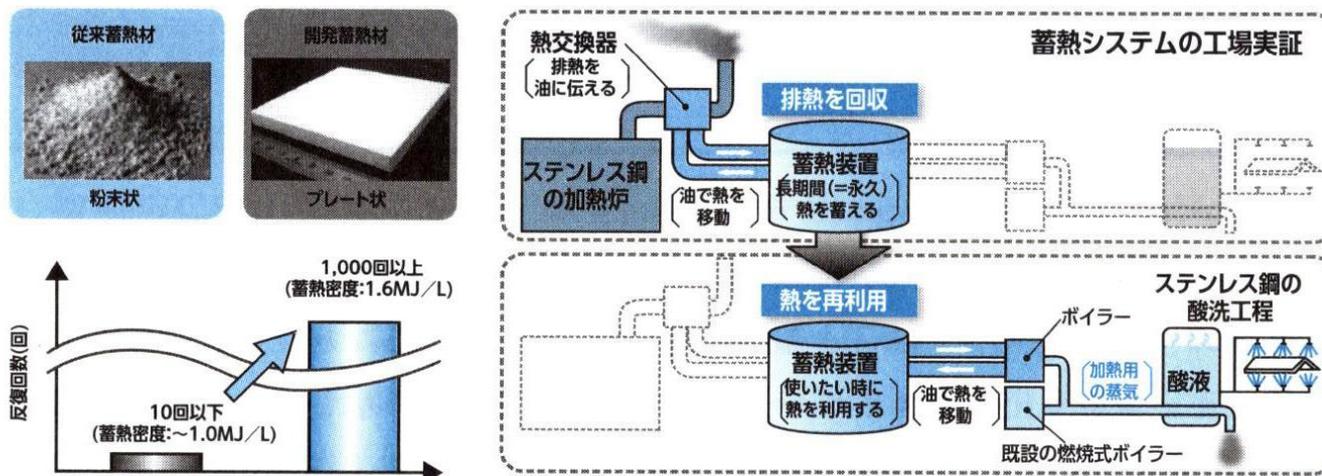


潜熱蓄熱材の温度・潜熱量と使用温度・時間の関係

# 化学蓄熱



水酸化カルシウム/酸化カルシウム系の化学蓄熱概念図

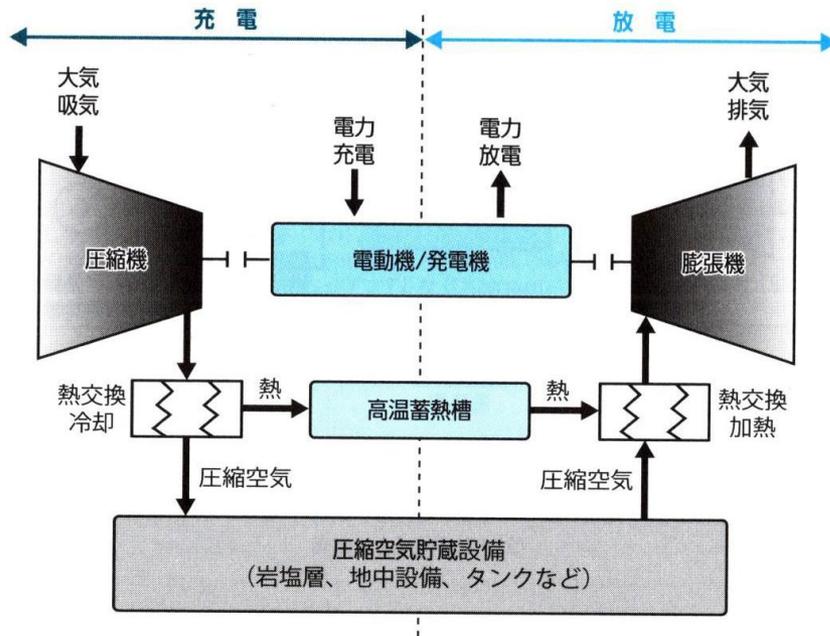


愛知製鋼株式会社開発の化学蓄熱材および実証試験概念図

出典：愛知製鋼株式会社「地球温暖化抑制に貢献する蓄熱システム～

世界ではじめてカルシウム系蓄熱材を用いた工場実証に成功～」(2019)<sup>[42]</sup>をもとに作成

# 圧縮空気エネルギー貯蔵



A-CAESの概念図

出典：川村太郎 他「圧縮/液化空気によるエネルギー貯蔵技術」(2021)<sup>153)</sup>に一部加筆



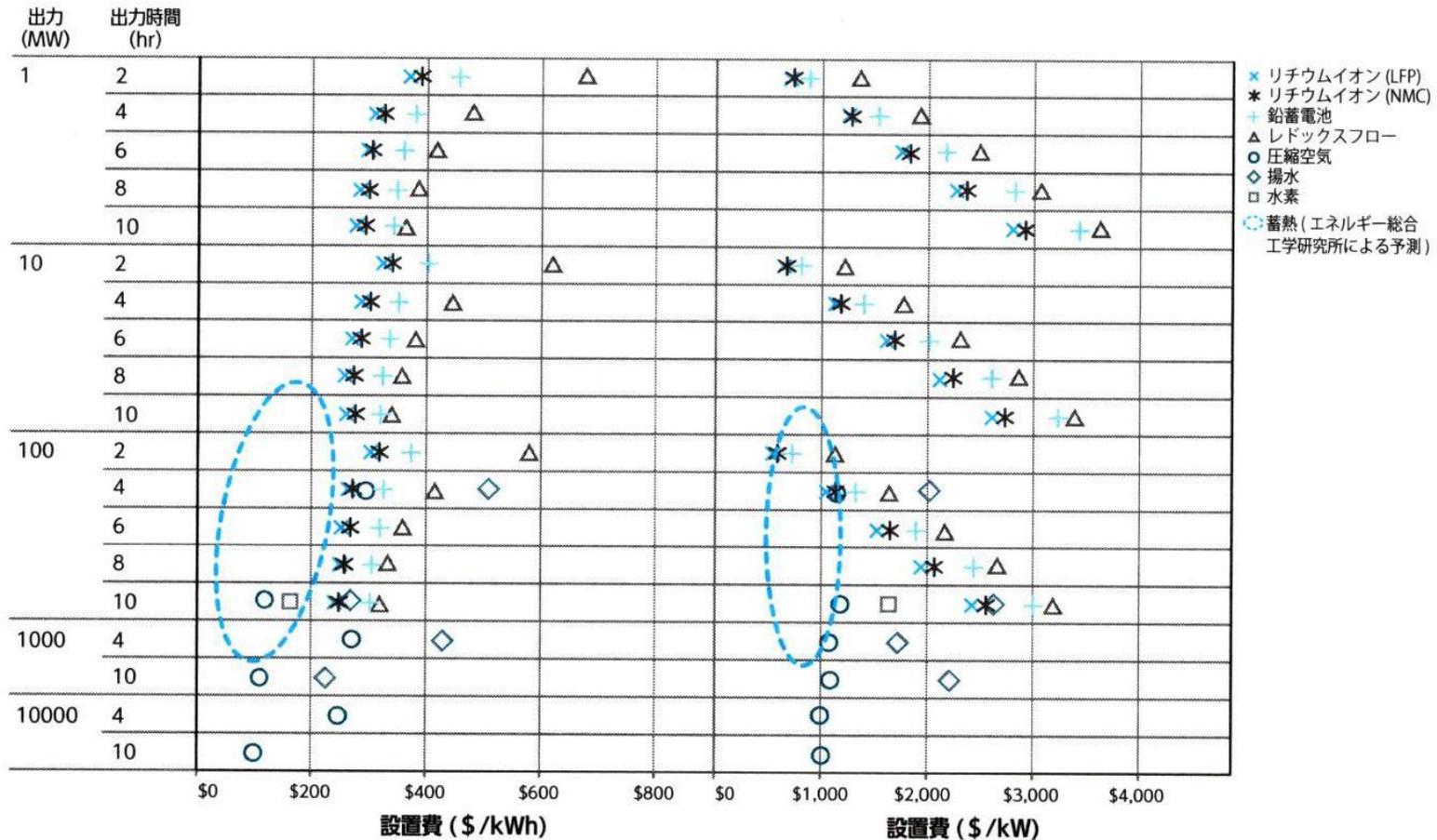
世界で稼働中または稼働予定の主なA-CAES施設

プロジェクト名	場所	目的	開始年	出力(MW)	容量(MWh)	空気貯蔵	再生熱蓄熱
TICC-500	中国 精華大	実証	2014	0.5	0.5	地上タンク	顕熱
Chinese Academy of Sciences, CAES demonstration plant	中国 Guizhou	実証	2017	2.8(充電) 10(放電)	40	地上タンク	顕熱
Pilot scale demonstration of AA-CAES	スイス Biasca	実証	2017	0.7	—	岩塩層	潜熱、顕熱およびハイブリッド
Zhongyan Jirtan CAES	中国 Jiangsu	商用	2017	50~60	200~300	岩塩層	顕熱
Goderich A-CAES facility	カナダ Ontario	商用	2019	22(充電) 1.75(放電)	7	岩塩層 (静水庄)	顕熱
Feicheng A-CAES Centre	中国 Shandong	商用	2019	50~1,250	7,500	岩塩層	顕熱
Angas A-CAES facility	オーストラリア South Australia	商用	2022 (予定)	5	10	亜鉛層 (静水層)	顕熱

出典：川村太郎 他「多様性を増す蓄エネルギー技術～再エネ大量導入時代の選択肢～」(2021)<sup>153)</sup>をもとに作成

CAES (Compressed Air Energy Storage)  
A-CAES(Adiabatic-CAES)

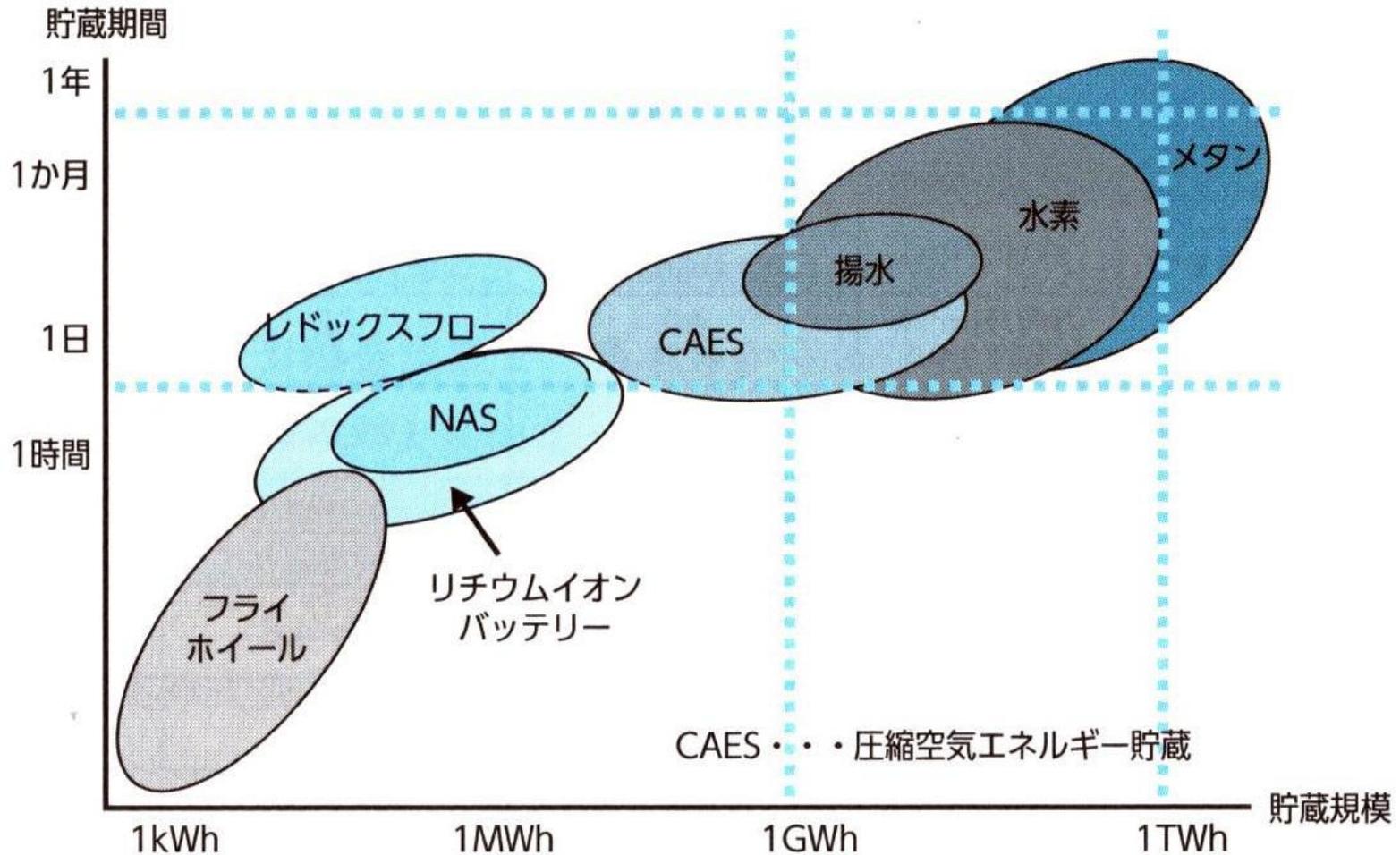
# 各蓄エネルギー技術のコスト予測



各蓄エネルギー技術のコスト予測(2030年時点)

出典：Department of Energy (DOE)「2020 Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment」(2020)<sup>[55]</sup>をもとに作成

# 各種電力貯蔵装置の貯蔵規模と貯蔵期間



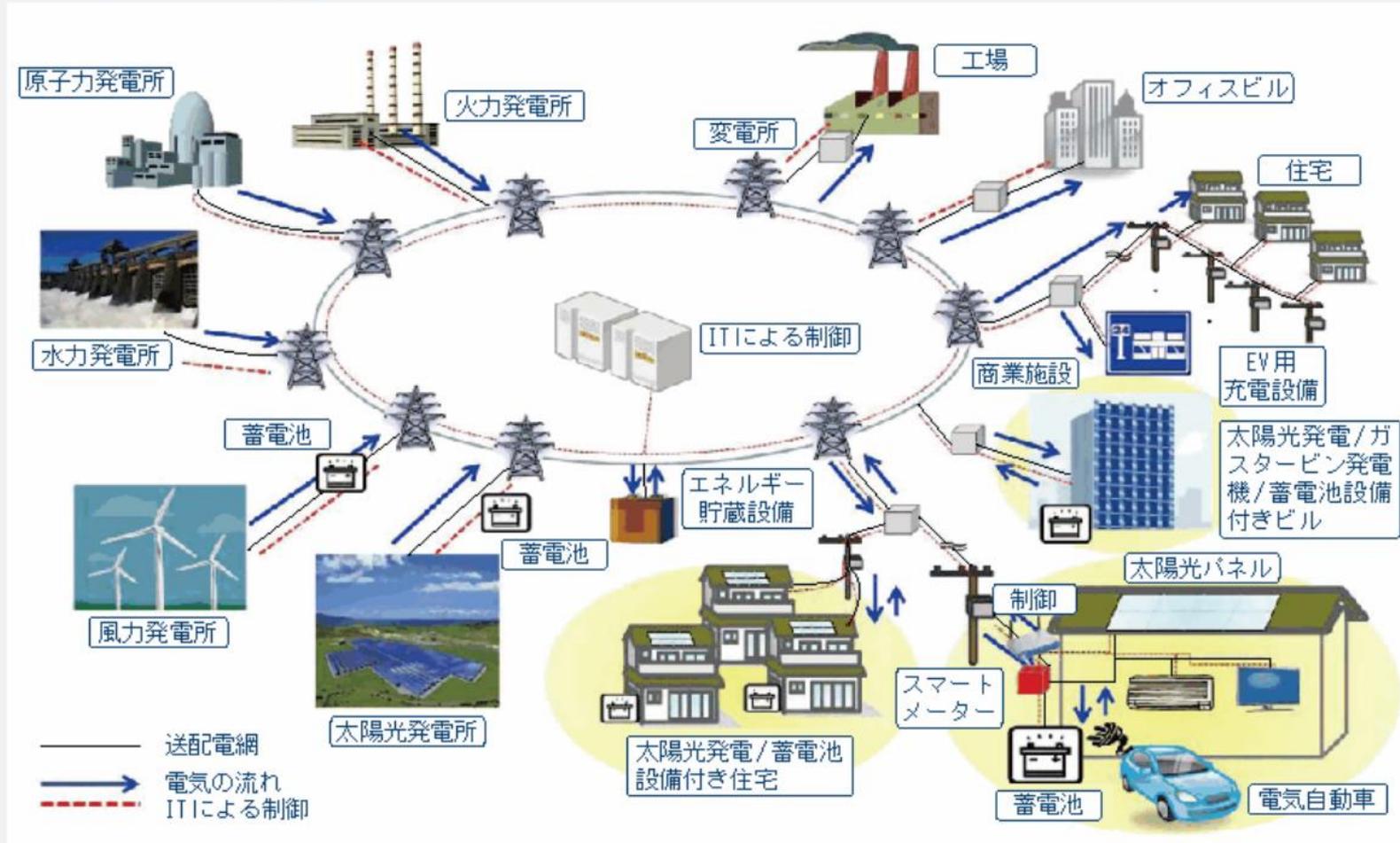
各種電力貯蔵装置の貯蔵規模と貯蔵期間

# 目次

- 1) はじめに
- 2) 変動性再生可能エネルギー主力電源化に向けた電力システムの技術的課題
- 3) 電力システムにおける対策と将来展望
- 4) 蓄電・蓄エネルギー技術の現状と将来展望
  - 揚水発電
  - 二次電池(蓄電池)
  - 余剰電力による水素製造と水素発電
  - 蓄熱発電
  - 圧縮空気エネルギー貯蔵
- 5) まとめ: 2050年の電力とエネルギーシステム**

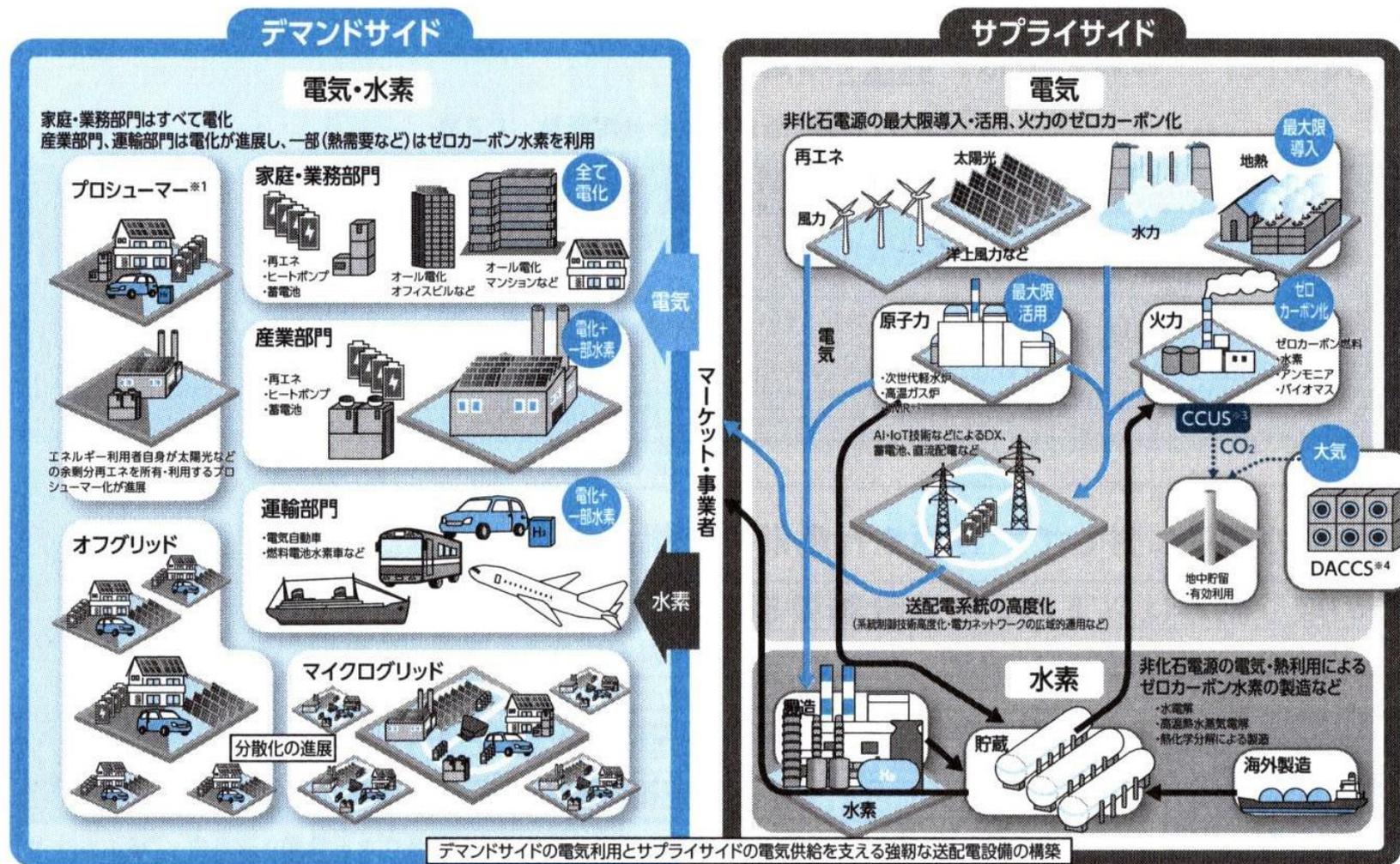
# 2050年の電力システムのイメージ

スマートグリッドの概念図



出典：経済産業省「次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて」

# 2050年のエネルギーシステム図



※1 プロシューマー:自身で発電した電気を消費し、余剰分は売電する生産消費者  
※3 CCUS:排ガスからCO<sub>2</sub>を回収し、有効利用または地中などに貯留する技術

※2 SMR:小型モジュール炉  
※4 DAACS:大気中からCO<sub>2</sub>を直接回収し、地中などに貯留する技術

2050年のエネルギーシステム例

出典: 関西電力株式会社「ゼロカーボンビジョン2050」(2021)<sup>[13]</sup>をもとに作成