

日本学術会議主催学術フォーラム

「カーボンニュートラルに向けたエネルギー供給側と需要側の連携」

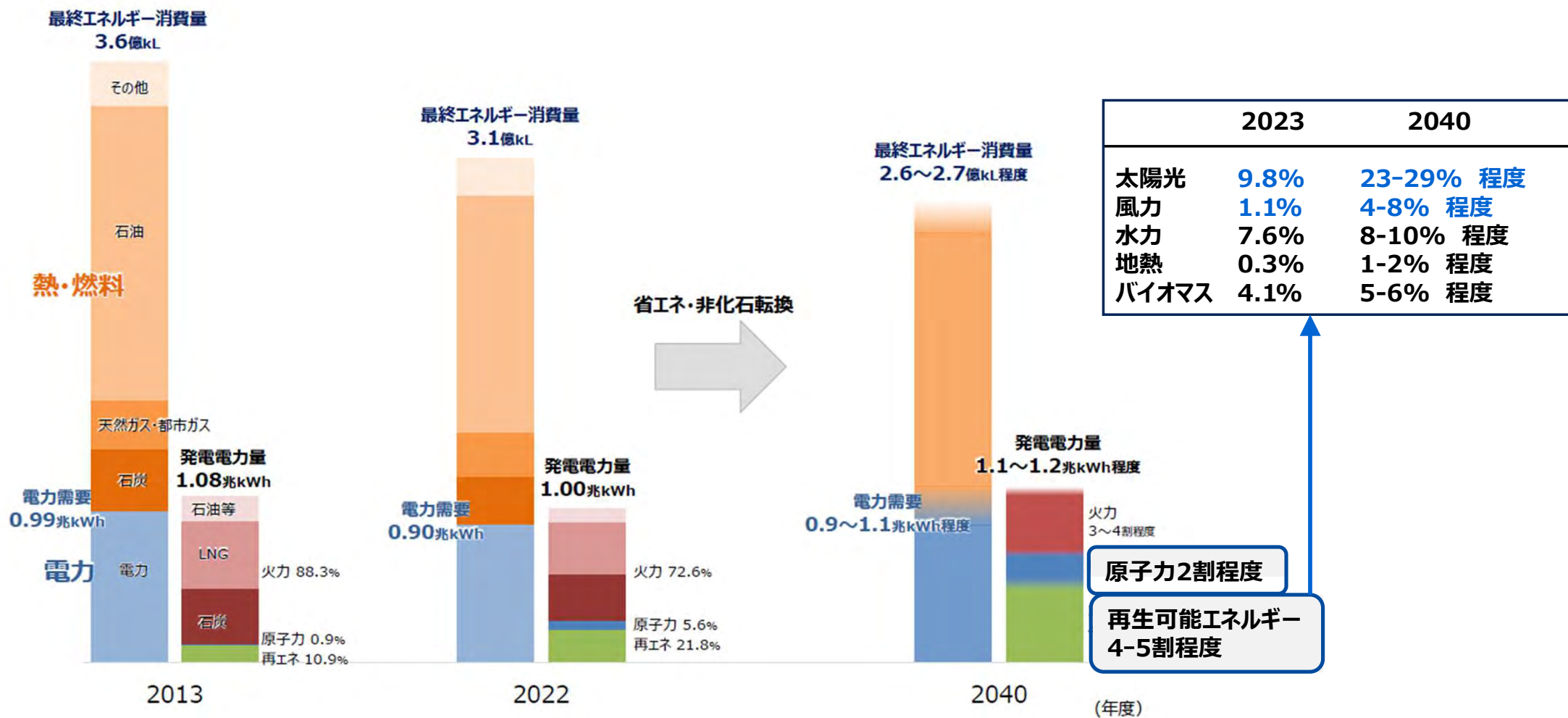
CNに向けたエネルギー供給の技術動向 ー原子力発電と蓄熱発電ー

TOSHIBA

(株) 東芝 岩城 智香子

2026.7.15

第7次エネルギー基本計画におけるエネルギーミックスの見通し



経済産業省 資源エネルギー庁,「2040年度におけるエネルギー需給の見通し」(2025年2月)を基に追記

エネルギー基本計画における原子力の位置づけ

基本方針：S + 3E（安全性 + 安定供給、経済効率性、環境適合性）

Safety + Energy Security、Economic Efficiency、Environment

背景（環境の変化）

- ・ロシアのウクライナ侵攻や中東情勢の緊迫化によるエネルギー価格のインフレーション
- ・DX・GXの進展による電力需要の増加
- ・AIや半導体分野の成長による、電力需要増加の見込み
⇒国際競争力のある価格で、安定的かつ脱炭素な電力供給の確保が必要

第6次との主な違い

- ・エネルギー安全保障の強化
- ・原子力発電の活用方針の転換
- ・2040年を見据えた長期的な政策目標の設定、電源構成の見直し

原子力の位置づけ

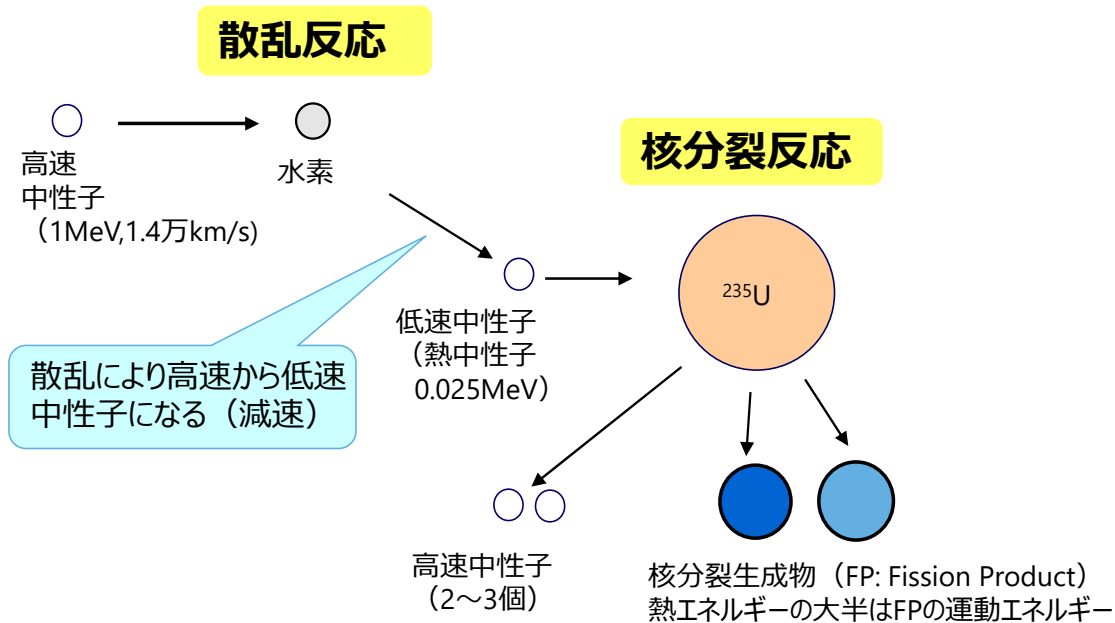
- ・第6次：「安全性を最優先として、原発依存度を低減する」
- ・第7次：「**原子力の安全性の確保を前提とし、必要な規模を持続的に活用**」
- ・具体的な取り組み
 - 60年を超える新たな運転期間制度を着実に執行
 - 新しい安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉**の開発・建設を進める
 - 廃炉が決まった原子力発電所サイト内で、次世代革新炉への建て替えを具体化

原子力発電の原理 核分裂と自己制御性

1回の核分裂で約2, 3個の中性子が発生し、その内の1個が次の核分裂反応を起こせば、核反応は**連鎖反応**として継続

中性子発生数 = 中性子吸収数 + 中性子漏れ数

< : 未臨界状態
= : 臨界状態
> : 超臨界状態



- ボイド反応度 (ボイド効果)
出力上昇 ⇒ 減速材の温度上昇・ボイド (蒸気泡) 増加
⇒ 密度低下、中性子減速効果低下
⇒ 核分裂反応抑制
- ドップラ反応度 (ドップラ効果)
燃料温度上昇 ⇒ ウラン238の共鳴吸収幅増加
⇒ 中性子吸収の増加 ⇒ 低速中性子減少
⇒ 核分裂反応抑制



原子炉の固有の安全性 (自己制御性)

※反応度：原子炉が臨界状態からずれている程度を示す無次元量

臨界状態を制御しながら、連続的にエネルギーを取り出す装置が原子炉

革新炉とは

革新炉の定義

安全性向上、廃棄物低減、資源利用効率向上、核不拡散性強化等の観点から先進的な技術を取り入れた原子炉。
事故の教訓を踏まえた安全対策に加え、CN実現に向けた社会・産業変革への対応。

e.g. 革新的安全性（受動的安全システム、事故耐性燃料）、負荷追従、多目的利用（水素・熱供給、医療応用）

大型	小型	
1000MWe規模	小型モジュール炉（SMR） 300MWe以下	超小型炉(マイクロ炉) 1-10MWe
・既設炉の設計をベースに更なる安全性向上 ・出力調整能力（負荷追従） ⇒再生可能エネルギーとの協調	・高安全性、小型可搬、多目的利用、工期短縮（工場生産・ユニット輸送現地組み立て） ・低炭素社会とエネルギー安全保障の観点から欧米を中心に各国で開発進展 ・昨今では、電力需要増加の見込みを背景にSMR×データセンター構想	

2050年CNに向けた革新炉開発のポートフォリオ

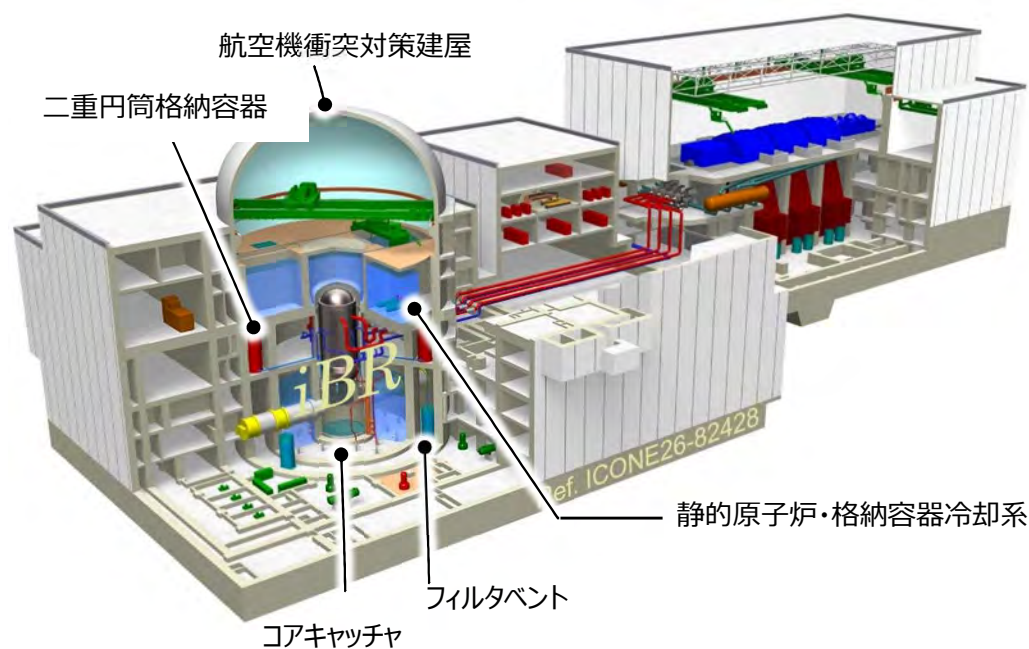
	特徴	技術成熟度	規制対応	市場性				非エネ分野
				経済性	負荷追従	水素製造	廃棄物有害度低減	
革新軽水炉	・冷却材/減速材：軽水（現行の軽水炉と同様） ・原子炉出口温度：約300℃	◎ 既存技術を活用可	◎ 既存規制を活用可	◎ 現行の軽水炉と同水準	○	△	△	○
小型軽水炉	海外 国内 ・工場製作・モジュール化による建設期間短縮 ・大型炉に比べ初期投資を抑制 ・分散配置が可能 ・発電に加え熱供給や水素製造にも活用可能	○	○～◎	◎ 米国のガス火力並が目標	○ モジュール毎の制御で可能	△	△	○
		○	△ 基準の議論が必要	?				
高速炉	・高速中性子を利用し、減速材を用いない ・冷却材として液体ナトリウムが主流 ・ウラン資源を有効利用できる ・長寿命核種の核変換が可能 ・受動的安全性や自然循環冷却を取り入れた設計	○	○	◎ 現行の軽水炉と同水準	◎ 蓄熱システムとの組み合わせで可能	○	◎ Pu・MA（マイナーアクチノイド） 燃焼	◎ 医療用の製造可
高温ガス炉	・冷却材：Heガス、減速材：黒鉛 ・原子炉出口温度：850～950℃ ・高温熱を利用し多目的利用可能 ・燃料と黒鉛の耐熱性が高く、固有安全性を有する	○	○	○⇒◎ コジェネで経済性向上	◎	◎ 高温を活用した水素製造	△ 高燃焼度で処分場面積低減	○ 耐高温材料製造技術の獲得

革新軽水炉

特徴の例

- ・非常時の冷却ポンプや電源等の**安全設備の多重化**と同時損傷リスク回避
- ・万が一炉心損傷等の重大事故が発生した場合の影響を抑制する**静的メカニズム**※を採用した冷却システム

※自然力（重力、圧力差、密度差など）により機能する仕組み



革新炉の例 (1)

(1) 東芝レビュー Vol.78 No.3 (2023)

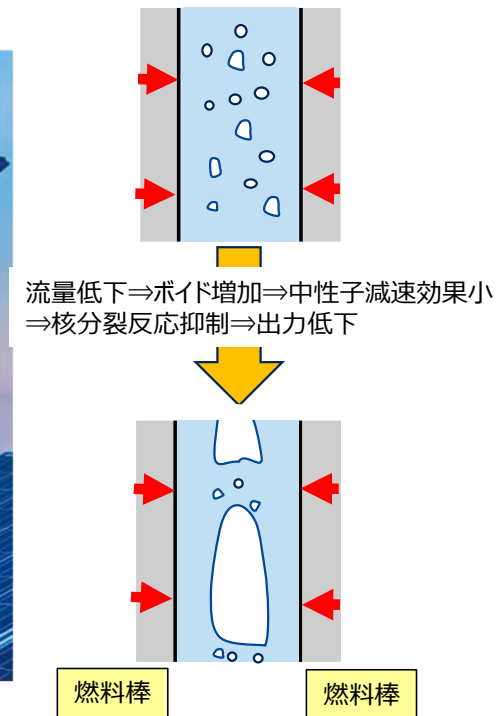
(2) 東芝HP, <https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/nuclearenergy/research/iBR.html>

冷却材流量制御により原子炉出力を調整

炉心の蒸気泡（ボイド）量を調整し高速かつ大幅に原子炉出力を容易に調整



負荷追従運転(2)



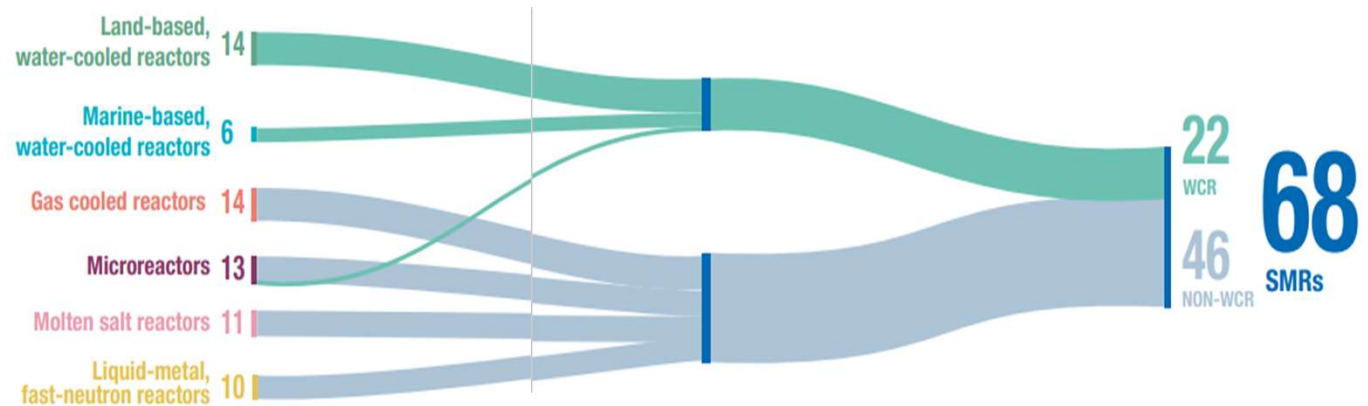
SMR開発動向

「Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments 2024」



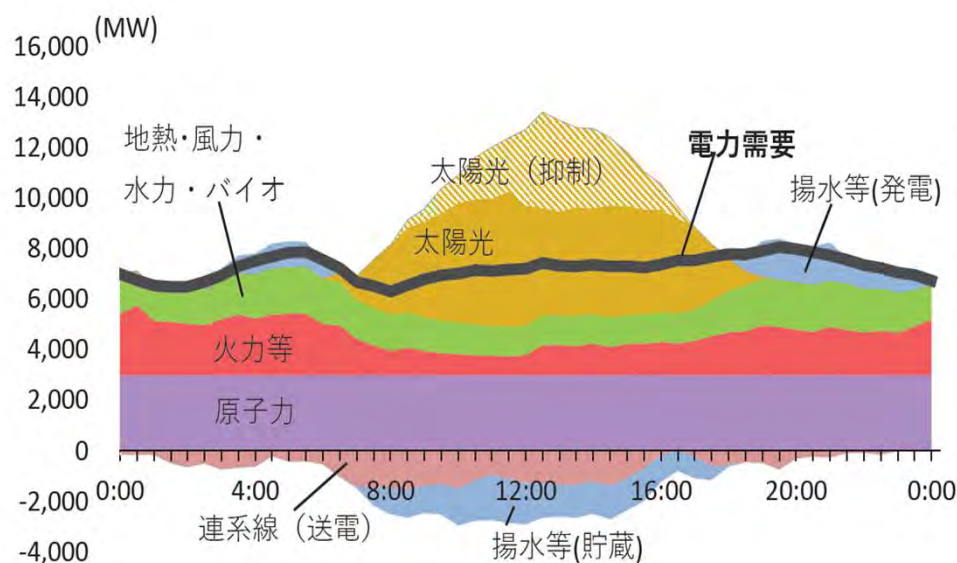
国際原子力機関（IAEA）がまとめたSMRの現状と展望

- COP28で、**2050年までに原子力発電容量を3倍化**する目標が共有
- **2050年には新規原子力容量の約25%をSMRが占めると予想**
- **世界で約70種類のSMRが開発中**
- 電力需要増加、グリーンで安定した電源への需要を背景にSMR市場が急速に拡大。IT企業からの関心も増加
- 新興国での導入検討や、**発電以外（熱供給・水素製造等）への利用が進展**
- **多くのSMRは開発・認可段階**、ロシア（浮体式）と中国（200MWe級高温ガス炉）が商業運転中
- 本格的な導入には**経済性向上、投資環境整備、規制合理化、サプライチェーン強化が課題**
- IAEAはSMR導入に向けた国際的な環境整備、各国の意思決定を支援

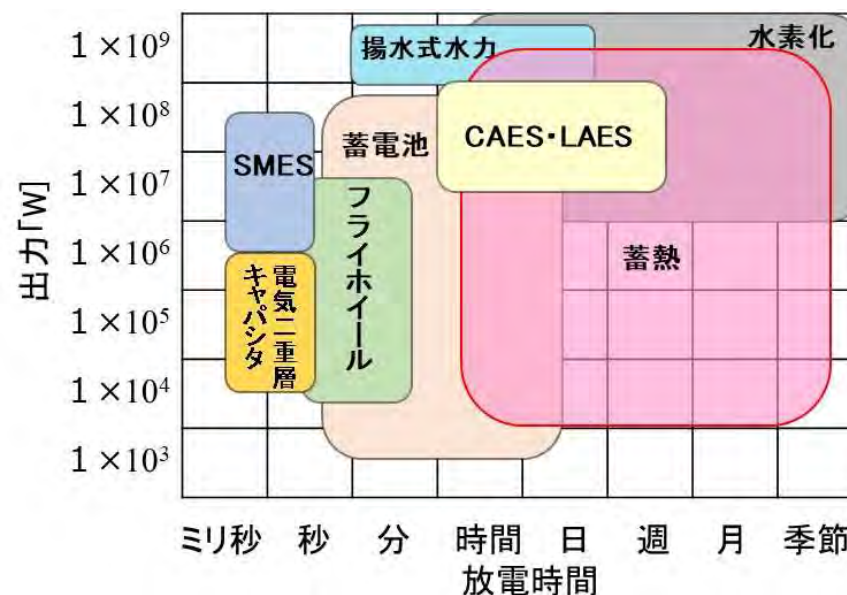


調整力とエネルギー貯蔵

- 太陽光・風力などの変動性再生エネルギーの比率が増加することにより、電力需給のミスマッチが拡大。
- 今後は火力発電や揚水発電による需給調整が難しくなる場面が増加、再エネの出力抑制の増加が懸念。
- 出力変動や出力抑制に対応し、再エネを最大限活用するためには、電力を柔軟に調整できる調整力の増強が不可欠。
- エネルギー貯蔵技術には多様な選択肢が存在。各技術は貯蔵時間、応答速度、コスト、立地制約、安全性、環境負荷などの観点で特徴が異なり、それらを活かした活用法が求められる。



九州エリアの電力需給実績と出力抑制の状況（2004年5月3日）⁽¹⁾



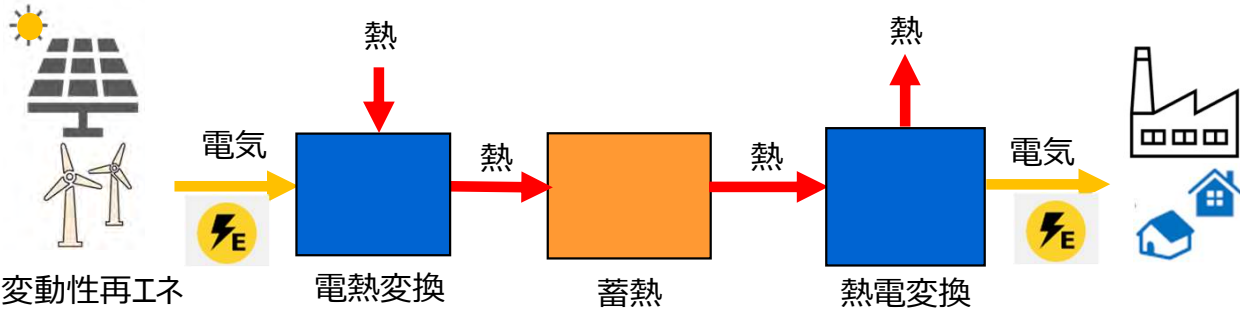
エネルギー貯蔵技術の出力・放電時間⁽²⁾

(1) 資源エネルギー庁 エネルギー動向（2025年6月版）

(2) 日本機械学会 動力・エネルギーシステム部門 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書, 2024

蓄熱発電

- 蓄熱発電（Carnot Battery）は、充電時に電力を熱として貯蔵し、放電時に熱を再び電力へ変換するエネルギー貯蔵技術。
- 2010年代以降、再生可能エネルギーの導入拡大を背景に、欧米を中心として多様な技術開発・実証プロジェクトが進展
- 2020年には、国際エネルギー機関（IEA）の国際共同開発プログラムとして、IEA Annex 36 “Carnot Batteries”が発足。
- 近年は、数時間～数日にわたる電力貯蔵を可能とする**長時間エネルギー貯蔵（LDES）**技術の一つとして注目。
- 海外では「電力→蓄熱→産業熱（Power-to-Heat）」による産業熱の脱炭素化市場が先行して拡大しており、投資や導入が活発化。



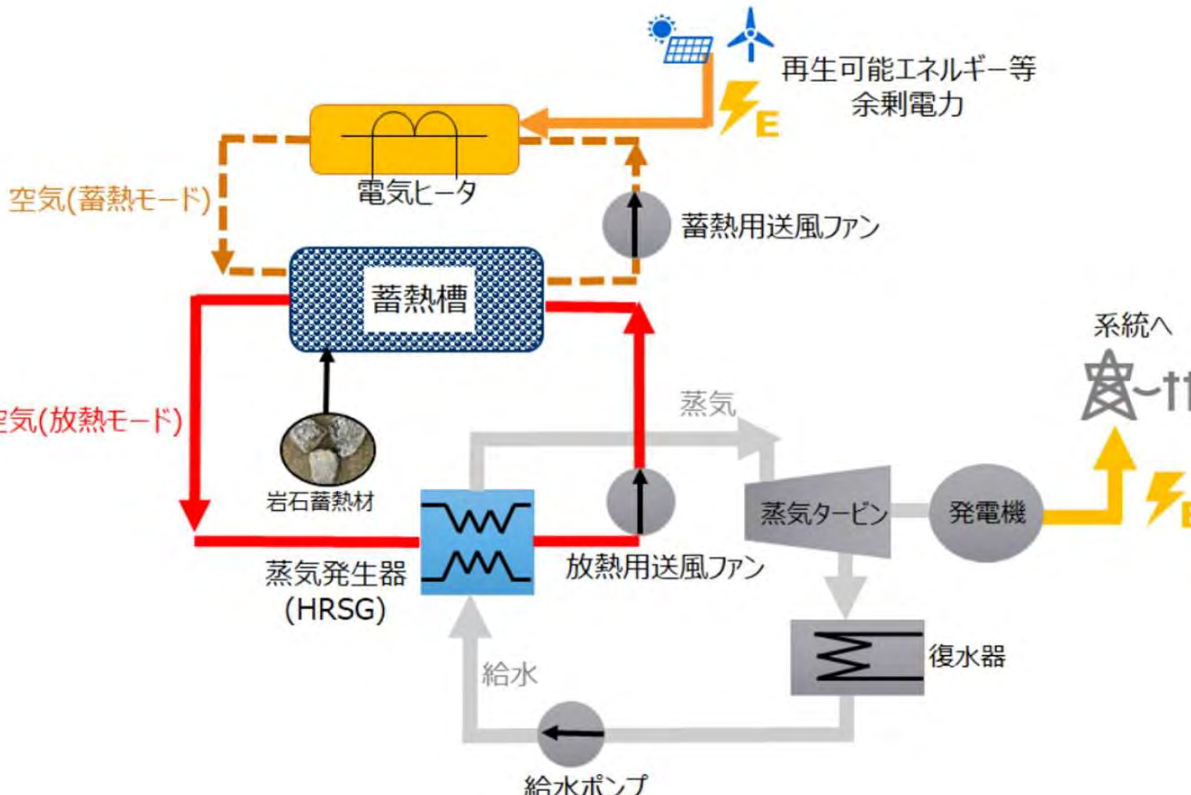
蓄熱発電のコンセプト

- ✓ 低コスト・低環境負荷：蓄熱材自体は安価
- ✓ 大規模化貯蔵：GWh級の貯蔵可能かつ大規模ほどコストメリット
- ✓ 高効率利用：熱電併給で総合効率80%以上

代表的な蓄熱発電プロジェクト

企業	蓄熱材	温度	用途	設備容量
Siemens Gamesa (ドイツ)	岩石	～750℃	発電・系統調整	30 MW～GWh級
Gemasolar (スペイン)	熔融塩	～565℃	発電	300 MWhth
Brenmiller Energy (イスラエル)	碎石	～650℃	蒸気・産業熱・発電	10～ 1000 MWh
MGA Thermal (オーストラリア)	合金 (相変化材)	～550℃	蒸気・発電	数十～数百 MWh級
Energy Nest (ノルウェー)	高耐久コンクリート	～390℃	産業熱（食品・製紙・化学）	数MWh～数百 MWh
Rondo Energy (米国)	耐火レンガ	1100～1500℃	高温産業（セメント・金属）	数十～数百 MWh級

蓄熱発電の社会実装に向けた開発



蓄熱発電の構成例 (1)

- 「碎石利用」による岩石蓄熱発電システムの実証試験が国内で進行中（10MWh級, 600℃超）
 - ・ 碎石は豊富、安価、環境負荷小、使用温度領域広
 - ・ 成熟技術の組み合わせにより構成可能
 - ・ 既存インフラとの親和性高
 - 例）廃止火力発電所→蓄熱発電プラントへ転用
工場ボイラ→再エネ由来の熱・蒸気供給設備へ転換
 - ・ **セクターカップリング**※の中核技術としても期待
 - ※電力部門と熱・運輸・産業部門をなどを統合し、再エネ由来の電力を他部門でも活用することで、エネルギーシステム全体の脱炭素化と柔軟性向上を図る考え方。
-
- 蓄熱発電の社会実証に向けた課題
 - ・ 機器・システムの最適設計と蓄熱設備の標準化による初期コスト低減
 - ・ エネルギー・マネジメント・システム（EMS）を活用したシステム最適運用と価値の最大化
 - ・ 導入メリットの評価・見える化による理解促進
 - ・ 制度・市場整備と導入を支える事業環境構築

(1) 東芝プレスリリース「岩石蓄熱技術を用いた蓄エネルギーサービス事業に関する技術開発・実証の本格的な開始について」, 2022年11月21日
<https://www.global.toshiba/jp/news/energy/2022/11/news-20221121-01.html>

TOSHIBA