

令和7年3月3日(月)

成果報告会

ご説明資料

# 脱炭素化・レジリエンス強化に資する 分散型小型モジュラー炉を活用した エネルギーシステムの統合シミュレーション手法開発

研究代表者

東京大学

小宮山 涼一

実施機関

代表機関

東京大学

再委託先機関

日本エネルギー経済研究所

再委託先機関

原子力機構

再委託先機関

日揮グローバル

再委託先機関

三菱重工業

# 1. 研究の概要 — 背景・目的 —

## 持続可能なエネルギーシステムの実現

カーボンニュートラル、レジリエンス強化、エネルギーコスト抑制、再エネ主力電源化、原子力の持続的利用

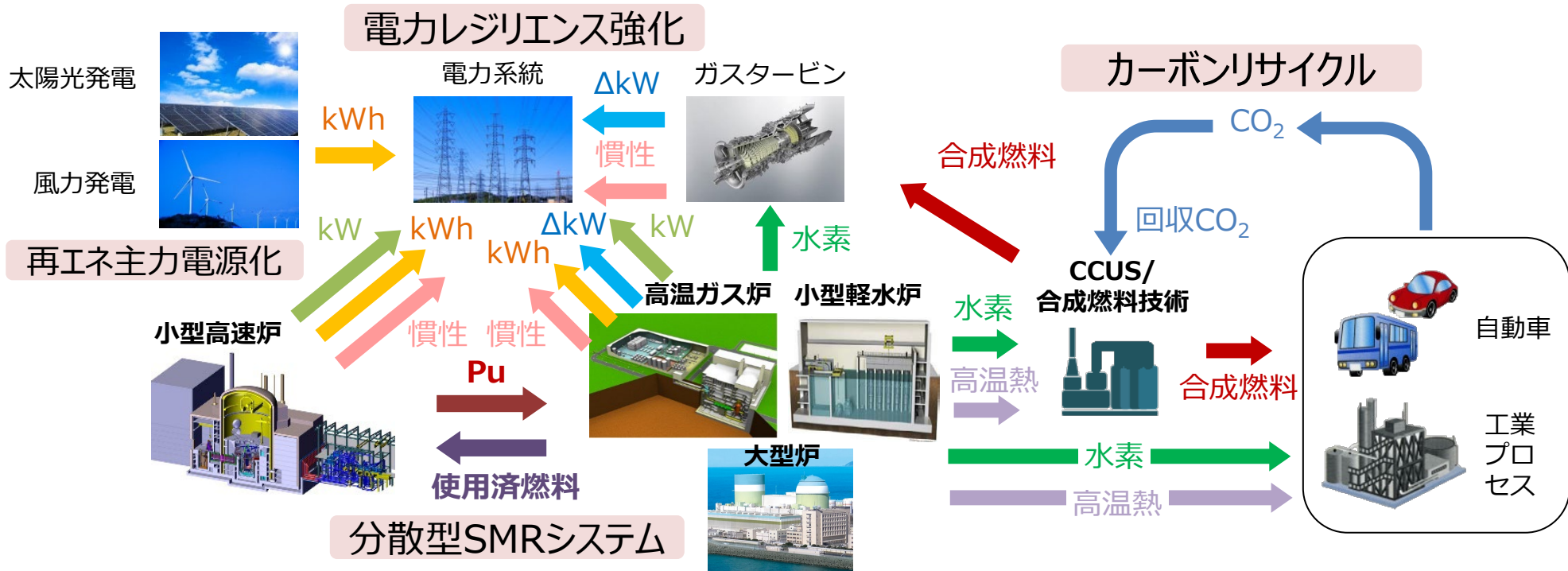
持続可能な開発目標(SDGs)

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



クリーンエネルギー、レジリエンス、安価なエネルギーサービス、再エネ、イノベーション等

### カーボンニュートラル実現、レジリエンス強化、エネルギーコスト抑制



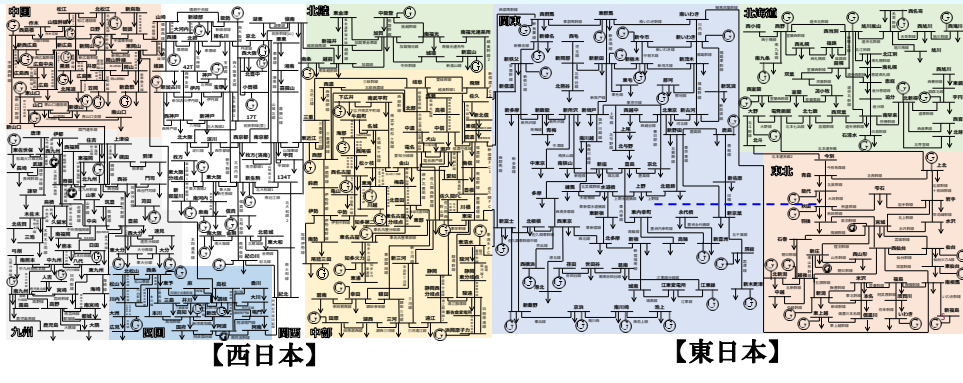
SMR: 小型モジュール炉 kWh : 電力 ΔkW : 調整力 kW : 供給力

# 1. 研究の概要 — 研究体制 —

## SMR最適導入戦略分析ツール

(東京大学)

SMRを考慮した電力需給モデルによる分析  
高時間解像度・多地点電力需給モデル  
(約400個の母線、約500本の基幹送電線)



→電源出力配分、電源投資、電力潮流等

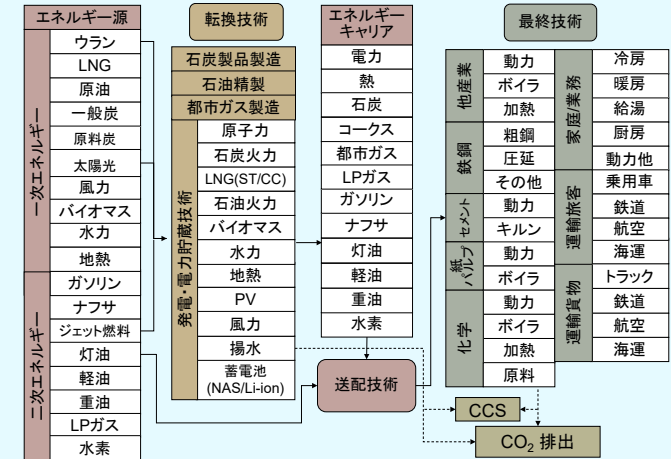
SMR技術評価結果

(日本エネルギー経済研究所)

エネルギー需給分析モデル構築・特性データベース整備  
多部門・高時間解像度エネルギー需給分析モデル

電力需要

電力部門  
特性データ



→2050年までの最適エネルギー需給構成等  
特性データ

(原子力機構)

原子カシステム技術の評価

原子カシステムの燃料サイクル諸量の評価、原子カシステムの新規導入地点に係るサイト影響の評価、原子カシステムの負荷追従性能の評価、原子カシステム技術評価結果のレビュー

(三菱重工)

対象とする原子カシステム技術の評価

原子カシステム導入戦略分析ツールのインプット条件の評価

(日揮)

多目的利用システムモデルの開発

水素サプライチェーンシステム・CO<sub>2</sub>再資源化システム特性データベースの構築、蓄電池の技術調査

## (東京大学)

## SMRを考慮した電力需給モデルによる分析

## ■ 主な想定

- 計16シナリオの下で分析を実施
  - 【原子力関連】 SMRコスト(基準、上昇、低下)、SMR負荷追従率(基準、低下)
  - 【競合技術、市場環境】 蓄電池価格(基準、低下)、再エネ出力抑制(有、無)、CO2制約(有、無)、デマンドレスポンス(無、有)、電力需要量(基準、増加、減少)
- 原子力設備容量の想定
  - 大型炉：外生(計23.7GW、60年運転での2050年値)
  - 小型炉：石炭立地サイト、大型炉廃炉地域の導入を仮定(日本全体で最大29GW [1ユニット5万kW])
  - 原子力電力比率(大型+小型)→20%で上限制約
- SMR技術データ
  - 負荷追従性能：LNG複合火力と同水準と想定  
負荷追従率：44%増/時間、31%減/時間
- SMR(高温ガス炉)の多目的エネルギー利用
  - 水素を利用した合成ガス製造技術(CCUS技術)を考慮
  - 合成ガスの都市ガス燃料代替に伴うコスト削減、CO<sub>2</sub>削減効果をモデルで明示的に考慮
- 系統用蓄電池・CCUS技術
  - 日揮グローバルの調査による系統用蓄電池コスト、充放電機能劣化メカニズム、CCUS技術コストの考慮
- 火力CCSの考慮
  - CCS付火力(LNG、石炭)、技術データは経産省公表値

## シナリオ設定 (16シナリオ)

		SMR コスト	蓄電池 価格	再エネ 出力抑制	負荷 追従率	CO2制約	DR	電力需要
シナリオ1	CO2制約無	基準	基準	有	基準	無	無	基準
シナリオ2	基準	基準	基準	有	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ3	SMRコスト低下(技術進展)	低下	基準	有	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ4	蓄電池コスト低下	基準	低下	有	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ5	再エネ最大活用	基準	基準	無	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ6	再エネ最大活用+蓄電池コスト低下	基準	低下	無	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ7	負荷追従率低下	基準	基準	有	低下	ネットゼロ	無	基準
シナリオ8	SMRコスト上昇(2倍増)	上昇	基準	有	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ9	SMRコスト上昇(3倍増)	上昇	基準	有	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ10	SMRコスト上昇(4倍増)	上昇	基準	有	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ11	SMRコスト上昇(5倍増)	上昇	基準	有	基準	ネットゼロ	無	基準
シナリオ12	DR10%導入	基準	基準	有	基準	ネットゼロ	有	基準
シナリオ13	DR20%導入	基準	基準	有	基準	ネットゼロ	有	基準
シナリオ14	DR30%導入	基準	基準	有	基準	ネットゼロ	有	基準
シナリオ15	電力需要減少(3割低下)	基準	基準	有	基準	ネットゼロ	無	減少
シナリオ16	電力需要増加(3割増加)	基準	基準	有	基準	ネットゼロ	無	増加

## SMRコストの想定(JAEAのコスト評価を踏まえた設定)

- 基準ケース、上昇ケース(基準比2~5倍)、低下ケース(高温ガス炉、高速炉のコスト低下)
- 基準ケース(技術進展を見込んだJAEAによる推計)  
軽水炉SMR: 約30万円/kW、高速炉SMR: 約48万円/kW、高温ガス炉SMR: 約52万円/kW

30万円/kW~52万円/kW

150万円/kW~260万円/kW

[千円/kW]	シナリオ2 基準	シナリオ8 コスト2倍	シナリオ9 コスト3倍	シナリオ10 コスト4倍	シナリオ11 コスト5倍	シナリオ3 低下(技術進展)
軽水炉SMR	296	591	887	1,182	1,478	296
高速炉SMR	484	968	1,452	1,936	2,420	242
高温ガス炉SMR	518	1,037	1,555	2,073	2,592	259

SMRコスト上昇

SMRコスト低下

# (東京大学)

## SMRを考慮した電力需給モデルによる分析

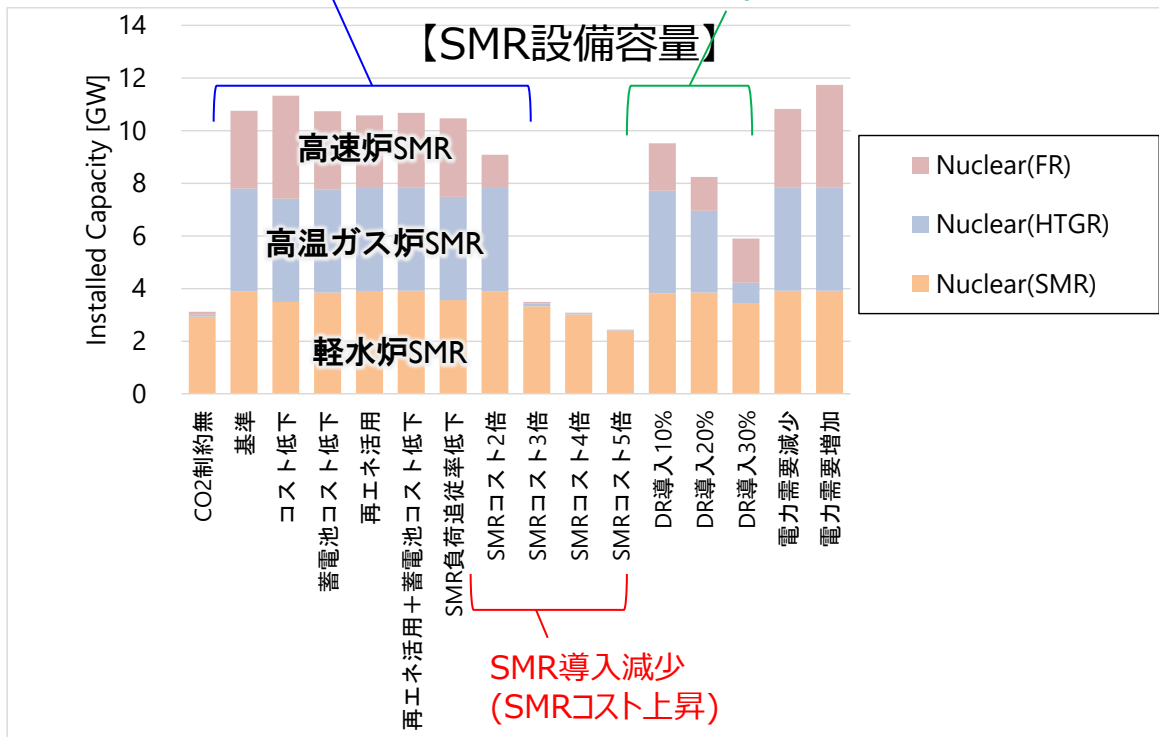
- 再エネ大量導入時、SMR導入拡大の一方、調整機能の低い大型原子炉の出力が抑制される可能性
- SMR建設コスト増加(2倍～5倍増)：SMR導入減少→SMRコスト上昇抑制は重要な課題
- DR導入：需要側の柔軟性向上→負荷追従性を有するSMR導入量が減少(SMRによる負荷調整ニーズが低下)

### SMR導入量(軽水炉SMR、高温ガス炉SMR、高速炉SMR)

再エネ大量導入時

→ 調整力ニーズ増加とSMR導入拡大、大型炉の出力減少

DR導入拡大(需要側の柔軟性向上)  
→ SMR導入減少(SMRによる負荷調整ニーズが低下)



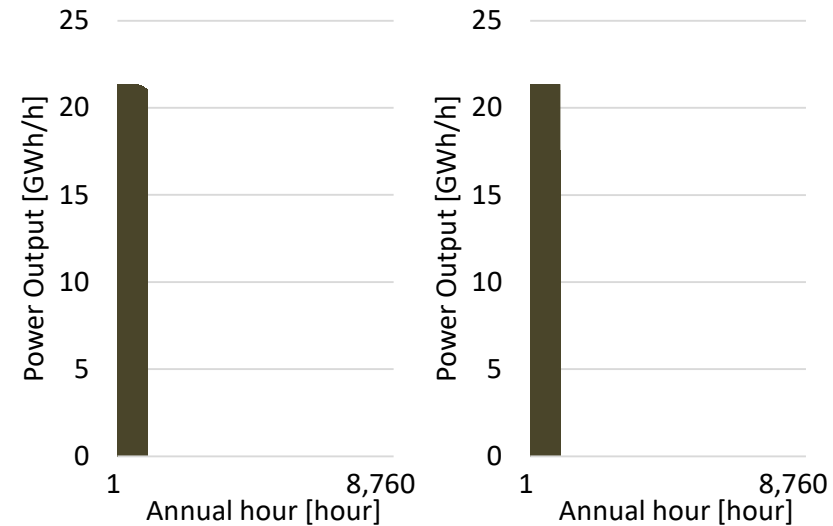
### 負荷持続曲線(大型炉)

再エネ大量導入→大型炉の稼働率低下

(シナリオ1)CO2制約無し (シナリオ2)基準ケース

設備利用率：80%

設備利用率：70%



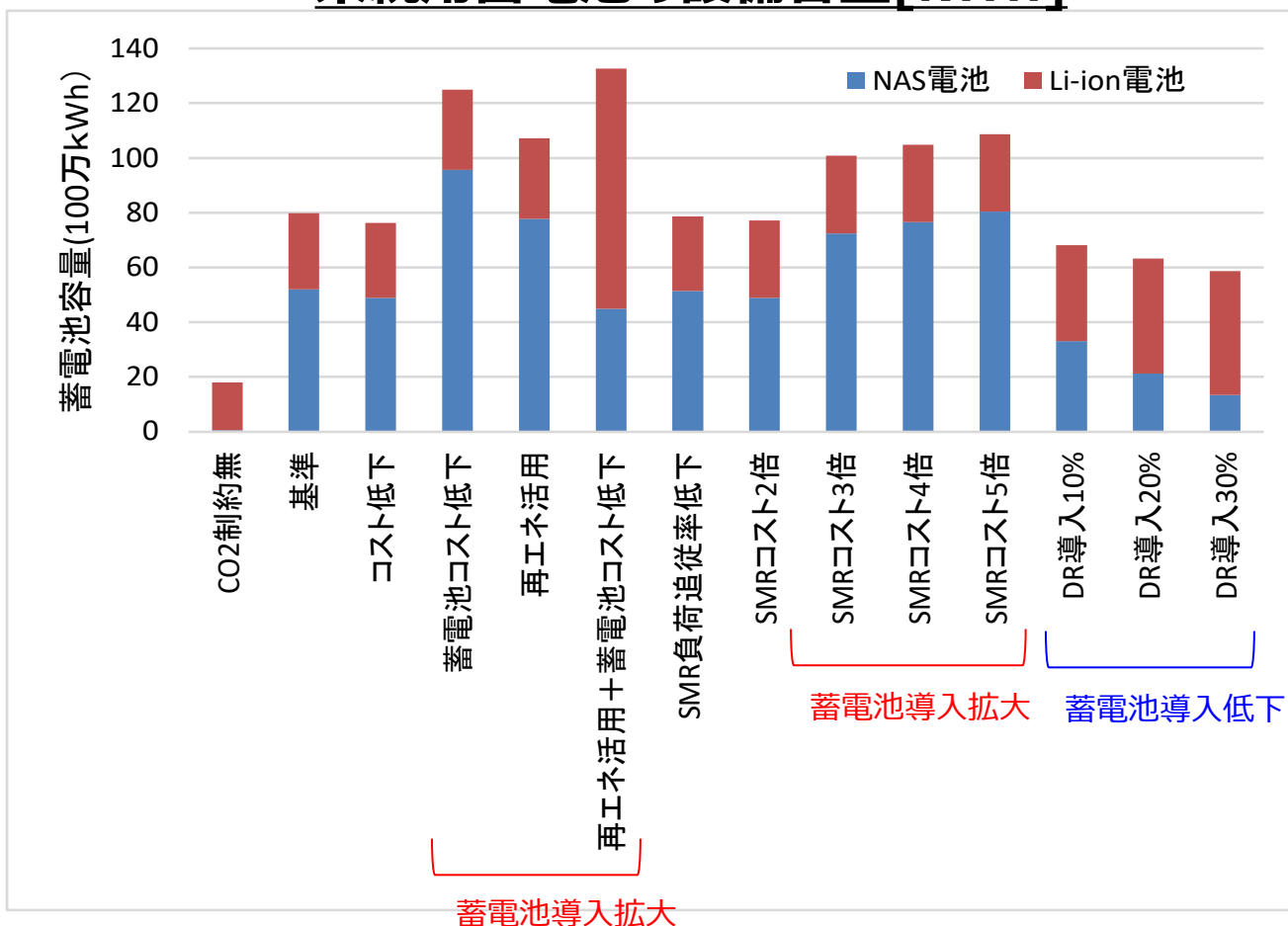
※原子力設備利用率の上限値は、大型炉、小型炉共に80%と設定

# (東京大学)

## SMRを考慮した電力需給モデルによる分析

- 蓄電池コスト低下ケース、再エネ活用ケース(出力抑制無し)、再エネ最大活用ケース等において1億kWh以上の系統用蓄電池が導入(現在の揚水式水力の導入量は推定2億kWh以上)
- SMRコスト上昇により系統用蓄電池の導入が増加する傾向→SMRと調整力で競合の可能性

### 系統用蓄電池の設備容量[kWh]



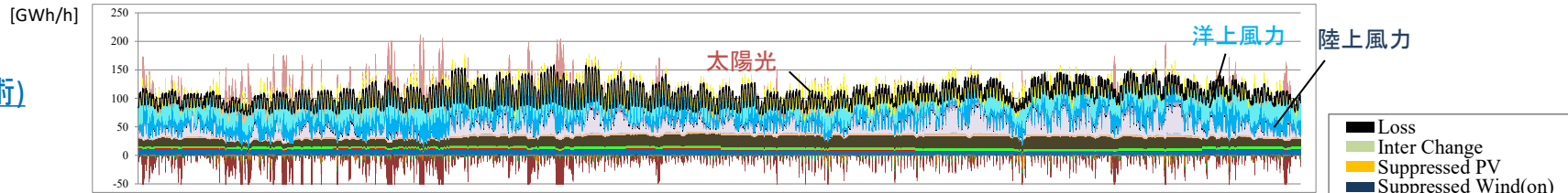
# (東京大学)

## SMRを考慮した電力需給モデルによる分析

変動再エネ比率の高い期間に、大型炉、軽水炉SMR、高速炉SMR等の調整運転により需給バランス維持

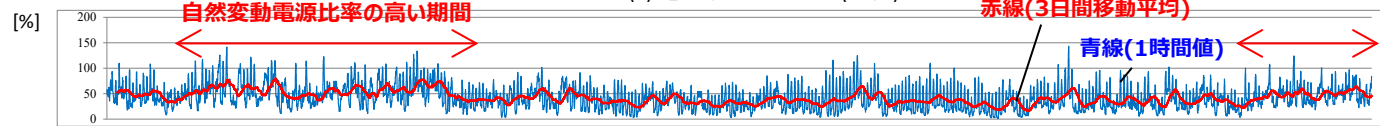
### 最適電源出力配分(年間8,760時間) [シナリオ6: 再エネ活用 + 蓄電池コスト低下]

電源出力配分(全技術)



(a) 電源最適出力配分(全体)

自然変動電源比率



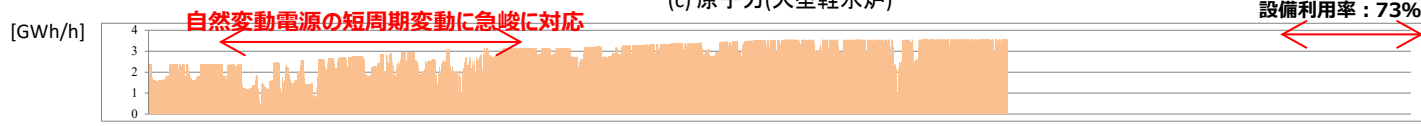
(b) 自然変動電源比率

大型軽水炉



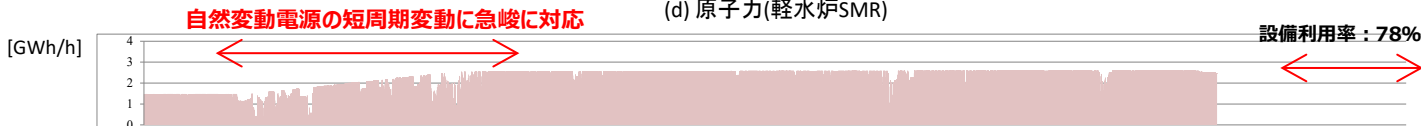
(c) 原子力(大型軽水炉)

軽水炉SMR



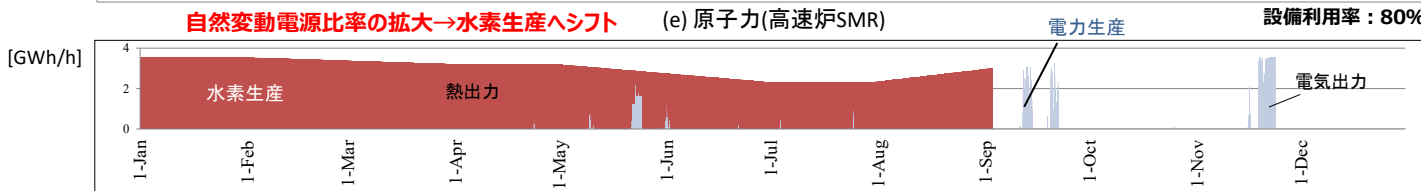
(d) 原子力(軽水炉SMR)

高速炉SMR



(e) 原子力(高速炉SMR)

高温ガス炉SMR



(f) 原子力(高温ガス炉SMR)

- Loss
- Inter Change
- Suppressed PV
- Suppressed Wind(on)
- Battery2(out)
- Battery1(out)
- Pumped(ont)
- Battery2(in)
- Battery1(in)
- Pumped(in)
- PV
- Wind(offshore)
- Wind(onshore)
- Oil
- Coal(NH3 cofiring)
- LNG(H2 cofiring)
- Coal-CCS
- LNG-CCS
- Hydrogen
- LNG GCC
- Coal
- Nuclear(HTGR)
- Nuclear(SMR)
- Nuclear
- Biomass
- Geothermal
- Hydro
- Load

# (日本エネルギー経済研究所)

## エネルギー需給分析モデル構築・特性データベース整備

### SMRを利用するエネルギーシステムのモデル構築

- 2050年に向けて、**SMR(軽水炉、高速炉、高温ガス炉)**の経済性を、エネルギーシステム全体の中で評価できるようモデル構築を進めた。
  - 各炉型のコストや、高温ガス炉の熱出力などは、JAEAによる推計データを活用。
- 特に、**高温ガス炉についてはISプロセスによる水素製造や産業部門での熱利用にも対応**できるよう、複数種の炉型をモデル内に組み込んだ。
  - 発電専用、電力・水素併給用、水素製造専用を個別に設定。
  - 産業用の対象部門は石油化学、石油精製、紙パルプ、製鉄を想定。
  - 複数種の高温ガス炉に対して、合計設備容量で制約をかける(=原子炉間で競争させる)ことも可能とした。
- 第四世代炉型SMRの建設費については、建設を重ねることによる習熟効果や、革新的な建設方法によるコスト低減の可能性もあることから、下表の通り標準ケースとは別に低位ケースも想定した。(軽水炉型については両ケースで共通)
  - 想定通りにコスト低減が進まない可能性も踏まえ、標準ケースの2,3倍となるケースも想定。

#### 各炉型の建設費想定

(円/kW)

	軽水炉SMR	高速炉SMR	高温ガス炉SMR
標準コスト	296,000	484,000	518,000
低位コスト	296,000	242,000	259,000



# (日本エネルギー経済研究所)

## エネルギー需給分析モデル構築・特性データベース整備

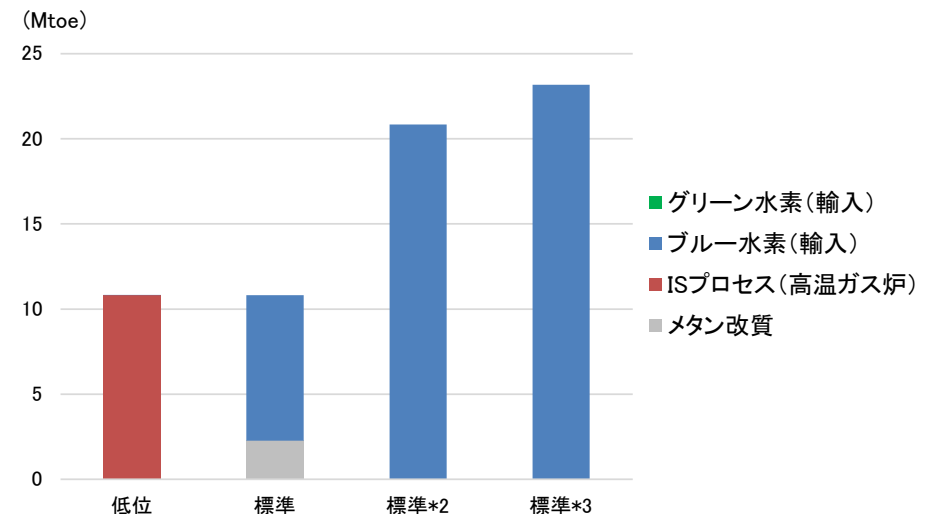
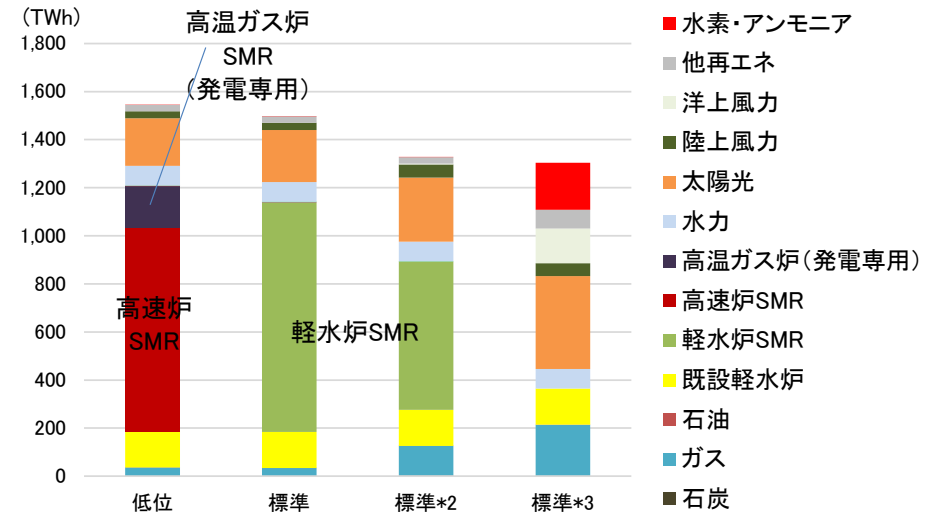
- 構築したモデル内で想定を様々に変化させ、電源構成や水素需給への影響について感度分析を実施。
- 以下では代表的なケースを抜粋。(全て2050年時点)

### 電源構成

- 原子炉の建設費が**標準ケースの場合、新設炉は全て軽水炉SMR**となる。また、導入量に上限を設けない限り、総需要の大部分を担うこととなる。
- 建設費低位ケースでは高速炉や高温ガス炉が導入される。ただし、発電・水素製造のコジェネ用高温ガス炉は導入されない。**
- 建設費が標準ケースの3倍以上となると、原子炉は一切新設されない。**

### 水素製造量

- 建設費が標準ケース以上の場合、水素製造用高温ガス炉は導入されない。最も安価な輸入ブルー水素がほぼ全てを占める。**
- 建設費低位ケースでは水素製造用の高温ガス炉が導入され、ほぼ全ての国内需要をまかなう。**



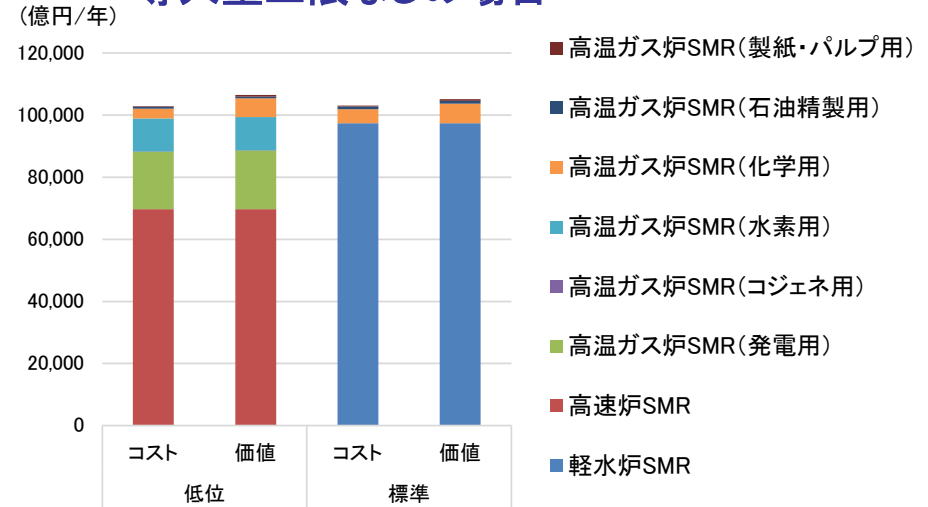
# (日本エネルギー経済研究所)

## エネルギー需給分析モデル構築・特性データベース整備

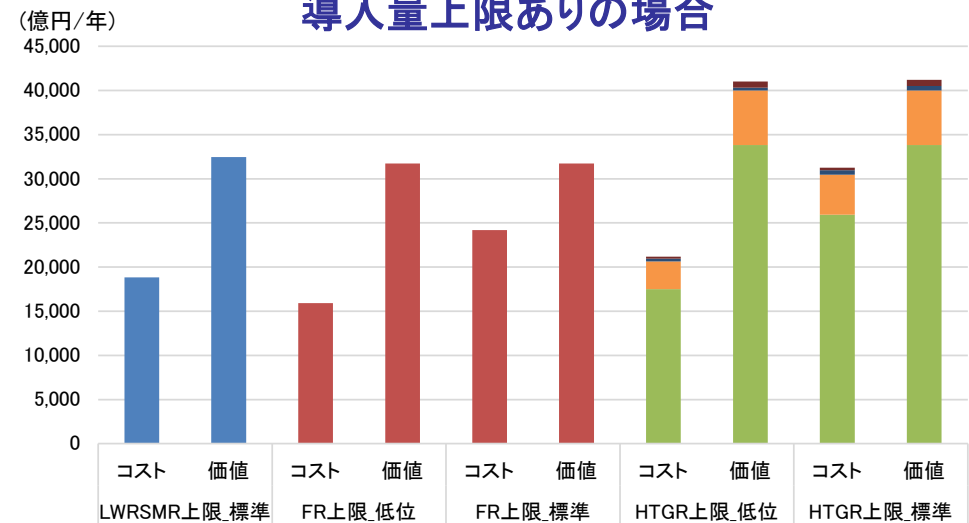
### 新型炉が有する経済価値

- 各ケースにおける電力や熱のシャドウプライス\*を用いることで、各種SMRが発電した電力や、水素製造用に供給した熱の経済的価値を算出することができる。
- これを、各炉型の建設や運転にかかる年間費用と比較すると右上図の通り。(「低位」「標準」は、それぞれ前頁でいう、原子炉建設費低位ケースと標準ケースに相当)
- シャドウプライスを用いて価値を計算している関係上、導入量に上限制約を設けないケースではコストと価値がほぼ等しくなるまで原子炉が建設される。
- 各々の炉型のSMRに25.5GW(発電出力相当)の導入上限を設定した場合、建設費が「標準」および「低位」のケースではいずれも上限一杯までSMRが導入され、その際のコストと価値は右下図の通りとなる。いずれのケースでもコストを上回る価値を持つことが確認できる。

### 導入量上限なしの場合



### 導入量上限ありの場合



\* シャドウプライス:最適化の制約を緩めて当該炉の設備容量を別の手段で用意する場合に増加する費用

## 【成果の新規性】

- SMRの活用がエネルギーシステムにもたらす価値を定量的に評価する手法はこれまでほとんど提案されておらず、これを具現化するシミュレーション手法の構築は、革新性や独創性に富んだ研究であると考えられる。

## 【研究効果】

- 電力システムやエネルギーシステム全体へのSMRなど次世代炉導入の効果を定量的に評価できることから、次世代炉開発におけるコスト目標の設定や負荷追従性能の設計に貢献しうると考えられる。

## 【今後の課題・方向性】

- ローカル系統や配電系統など電力の下流系統を考慮に入れた拡張版電力需給モデルを開発し、DER(Distributed Energy Resource)など需要端技術の影響を考慮したSMR導入可能性評価を行う必要などが挙げられる。また、今後多様な新型炉技術の開発が進むことが見通され、その最新の状況を反映したシミュレーション手法の改良は引き続き重要な課題であると考えられる。

## 【事業終了後の活動】

(東京大学)電力需給モデルによる分析:

- 電力需給モデルの規模を約3倍の規模まで拡張、(ノード数、送電線):(約400地点、約500本)→(約1,200地点、約1,400本)。電源起動停止や部分負荷効率をユニット毎に考慮。
- 官公庁の委員会にて報告(東京大学:電力広域的運営推進機関[第8回 同時市場における電源起動・出力配分ロジックの技術検証会、2024年11月27日])

# 付録

# (日本原子力研究開発機構)

## 原子力システムの燃料サイクル諸量の評価

### ■ 研究成果

- 小型高速炉(SFR)により増殖したPuを用い多用途高温ガス炉(HTGR)を運転するマルチリサイクルを評価するための諸量評価コードを開発し(令和5年度成果報告書3.3-2~3.3-12頁参照)、また、各種SMRの原子力発電コストを評価した(令和5年度成果報告書3.3-12~3.3-17頁参照)。

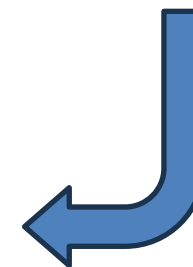
▶ 小型高速増殖炉と高転換型MOX高温ガス炉の設計を基に、マルチリサイクル成立性を開発した諸量評価コードで確認

- 高速増殖炉から高温ガス炉へPuを供給、また高速炉により、軽水炉と高温ガス炉から発生したMAを変換

### レジリエンス最適化設備容量

	出力 (MWe/基)	導入基数 (-)	設備容量 (GWe)	設備利用率 (%)	熱効率 (%)
大型軽水炉(PWR)	1200	25	30.0	72	34.6
軽水炉SMR(PWR)	77	15	1.2	77	30.8
高速炉SMR	300	12	3.6	76	39.2
高温ガス炉SMR	275	15	4.1	80	45.8

	消費天然 ウラン量 (t/y)	劣化ウラン 発生量(t/y)	劣化ウラン 消費量(t/y)	Pu供給量 (t/y)	Pu消費量 (t/y)	MA発生量 (t/y)	MA消費量 (t/y)	使用済燃 料発生量 (t/y)	ガラス固化体 (canister/y)
大型軽水炉(PWR)	4515	4008	-	3.72	-	0.64	-	506.7	456.0
軽水炉SMR(PWR)	209	185	-	0.17	-	0.03	-	23.4	21.1
高速炉SMR	-	-	4.2	1.69	-	-	1.10 (0.42)	184.7	51.0
高温ガス炉SMR(MOX)	-	-	2.1	-	1.68	0.42	-	46.8	42.1
高温ガス炉SMR(U)	122	117	-	0.04	-	0.01	-	4.4	10.5
合計	4845	4311	6.3	5.63	1.68	1.10	1.10 (0.42)	766.0	580.7
収支	4845	4304	-	3.95	-	0.00	-	766.0	580.7

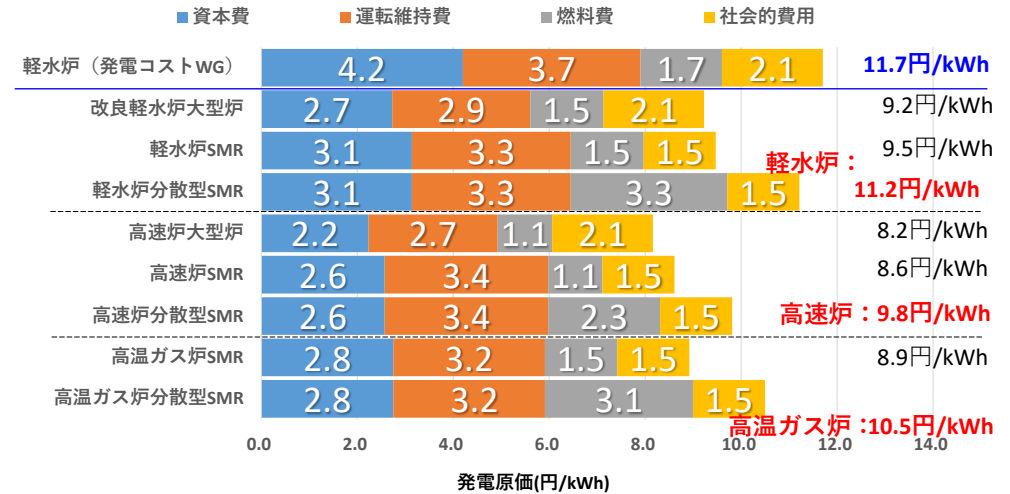


# (日本原子力研究開発機構)

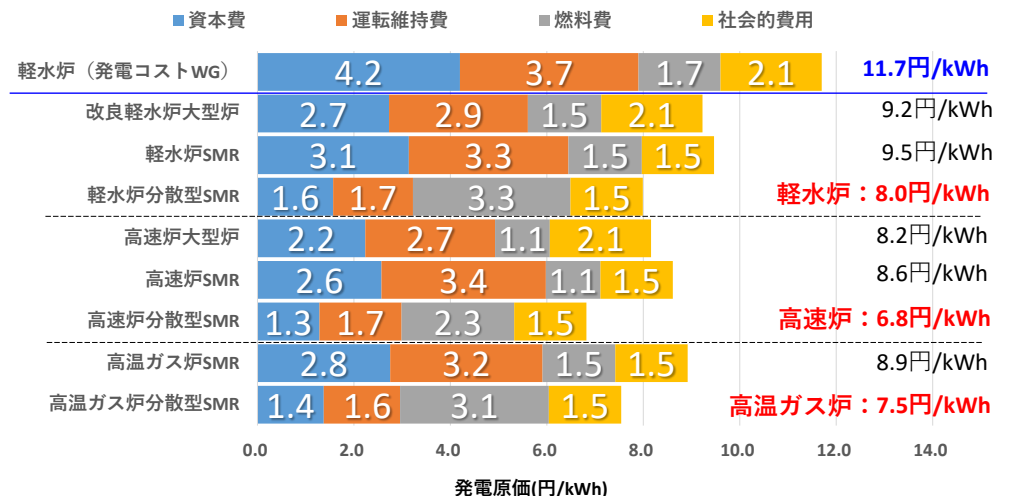
## 原子力システムの燃料サイクル諸量の評価

- 各種SMRの原子力発電コストを革新技術採用有無で評価し、より現実的な評価を行える発電コストを提示

### 標準炉 (2030年からの導入)



### 革新炉 (2040年からの導入)



### 原子力発電コストの評価根拠:

- 発電コストWG2021年度版に準拠
- 改良型軽水炉では設備利用率及び耐用年数を向上
- SMRの分散型システムでは原子炉及び燃料サイクルのスケールダウン効果を考慮
- SMRは固有安全のため社会的費用の事故補償を考慮せず
- 革新炉では浮体免震による設計標準化や3Dプリントによる燃料製造の革新技術を採用した場合、建設費や燃料費の低減効果を考慮

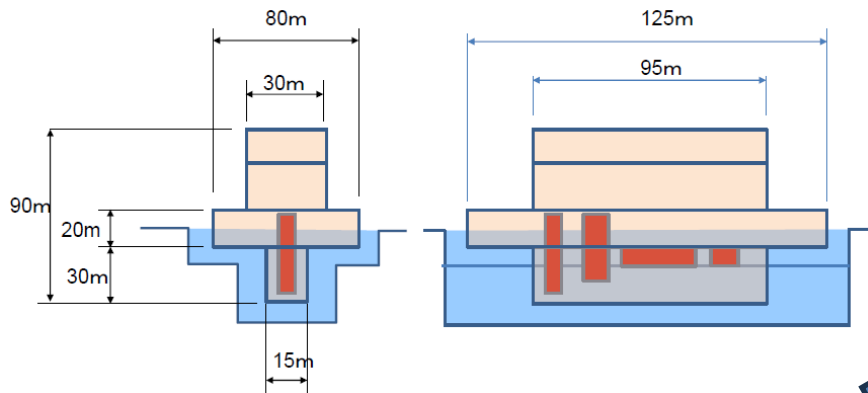
# (日本原子力研究開発機構)

## 原子力システムの新規導入地点に係るサイト影響の評価

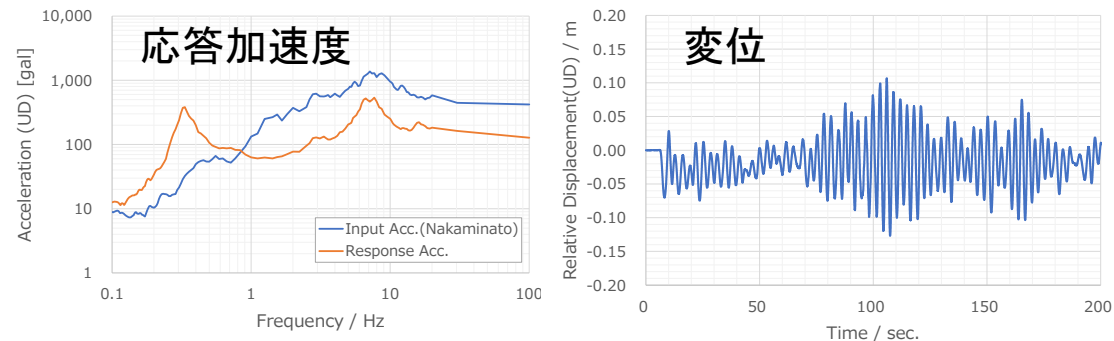
### ■ 研究成果

- 地震時建屋安定性評価に資する技術的課題の整理結果を基に、浮体免震を適用した建屋の揺動・スロッシング評価を実施し、新規立地に係る浮体免震建屋導入に当たってのコスト面影響や規制上安全要求の検討を実施した。また、概略比較ではあるが、SMR級の原子力発電プラントにおいては、免震プラントと比較して浮体免震プラントでは20%程度のコストに抑えられる見込みが示唆されるとともに、プラントレイアウトにおける課題についても抽出した(令和5年度成果報告書3.3-19~3.3-33頁参照)。

### ➤ 揺動・スロッシング評価



浮体式免震型プラントの構造概念



### 上下方向の応答加速度と変位の評価結果

- 入力加速度より応答加速度が大幅に減少
- 応答加速度ピークの長周期化
- 最大変位(0.13 m程度)は安全設計要求を満足

**免震効果の確認**

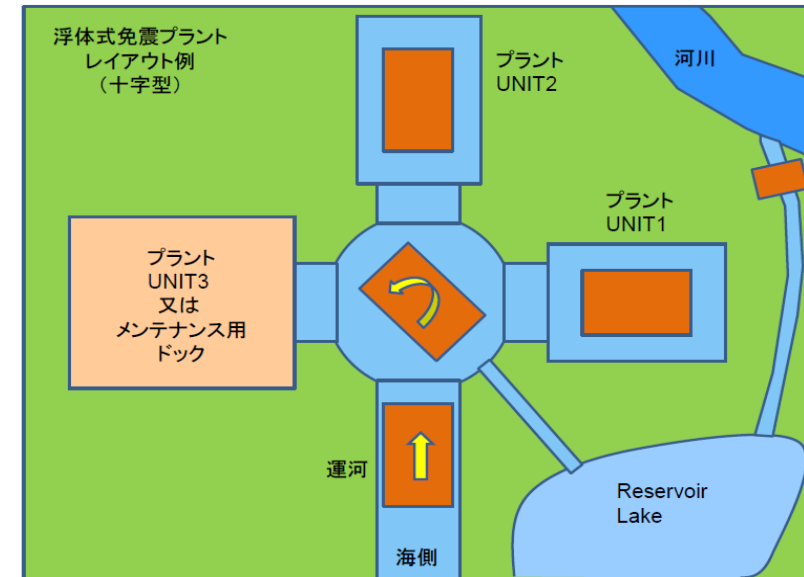
# (日本原子力研究開発機構)

## 原子力システムの新規導入地点に係るサイト影響の評価

### ➤ 新規立地に係る浮体免震SMR導入に当たってのコスト面影響や規制上安全要求の検討

- 免震による建屋・地盤等耐震構造簡略化で、従来プラント設計と浮体免震プラントの概略比較を試算し、20%程度のコストに抑えられる見込み。その他の設計上の利点と合わせて、**従来SMRよりコスト30%~50%削減を目標とした。**
- 免震適用のプラントレイアウト概念に対し、立地に依存しない設計標準化とそれに伴う**規制対応の軽減を可能とするための課題を抽出**

	SMR (従来)	SMR (浮体免震)	SMR 目標 (浮体免震)
建屋物量	100 % SC鋼板 +SCコンクリート	100 % SC鋼板 +SCコンクリート	12.5 % S鋼板(高い免震 効果より)
機器物量	100 %	100 %	100 %
地盤工事 (掘削作業)	100 % 土壌掘削 +岩盤掘削 +護岸工事	36 % 土壌掘削 +プール壁工事	21 % 土壌掘削 +プール壁工事
免震機構	100 % (3D免震装置)	67.5 % (浮体構造物)	12.5 % (浮体構造物)
計	100 %	72 %	22 %



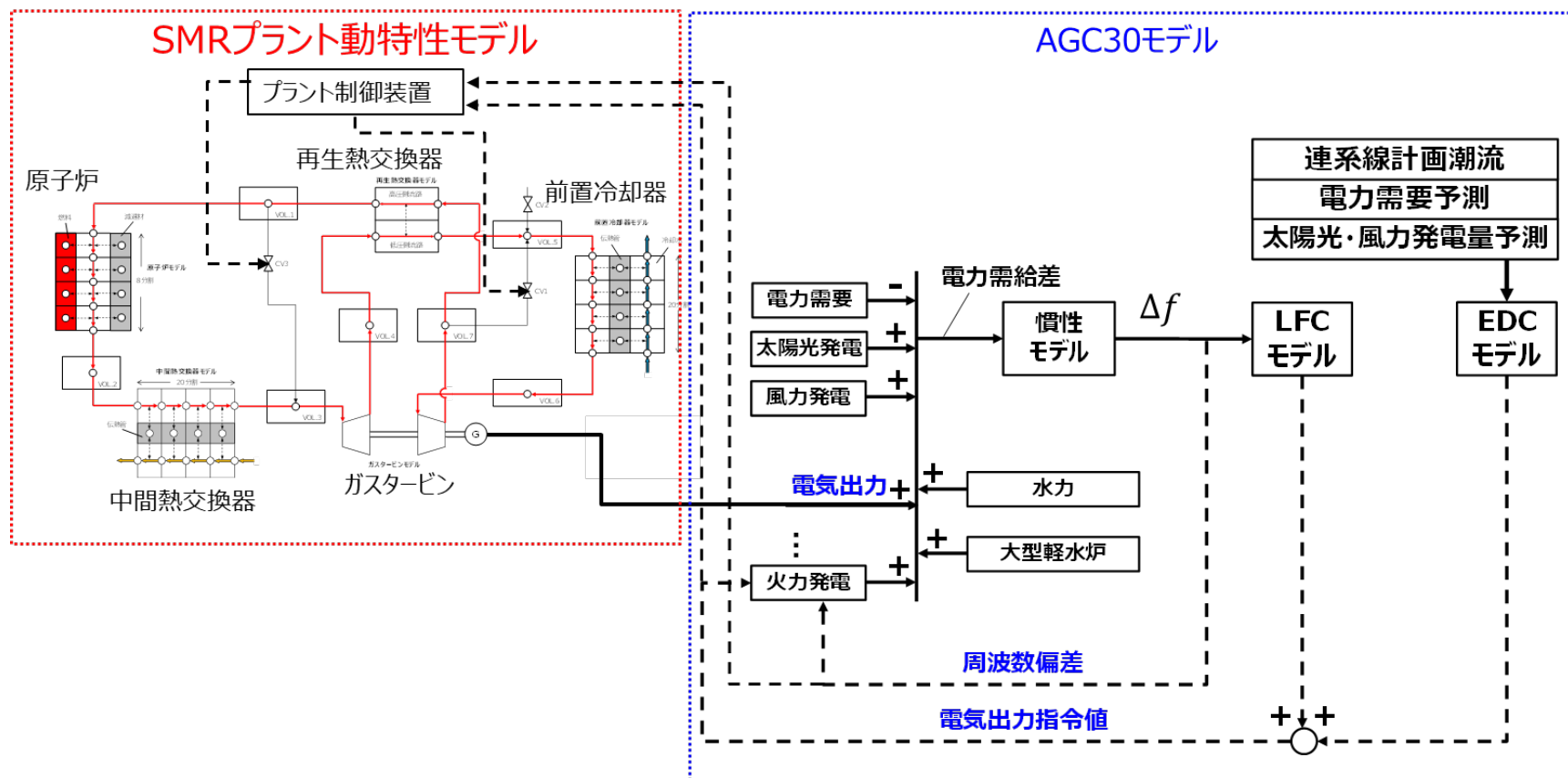


# (日本原子力研究開発機構)

## システムの負荷追従性能の評価

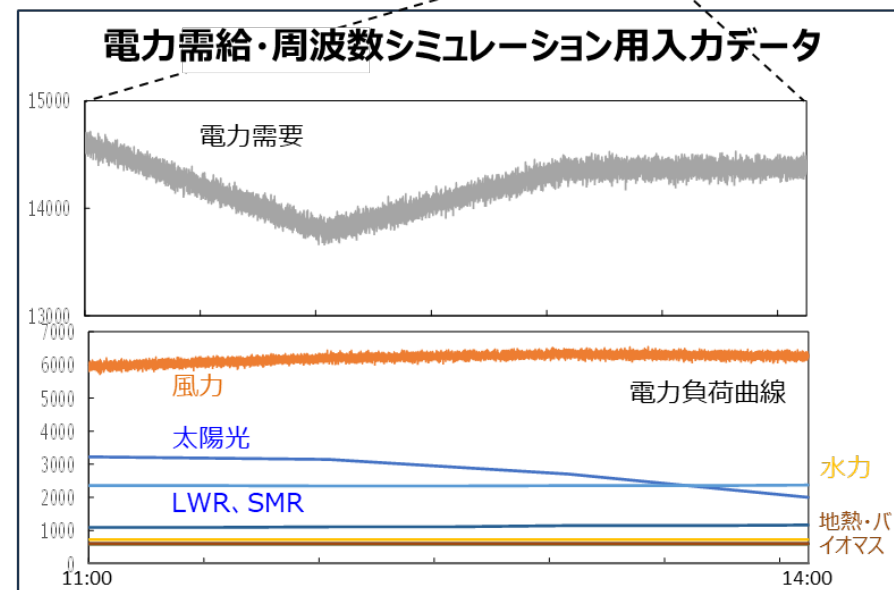
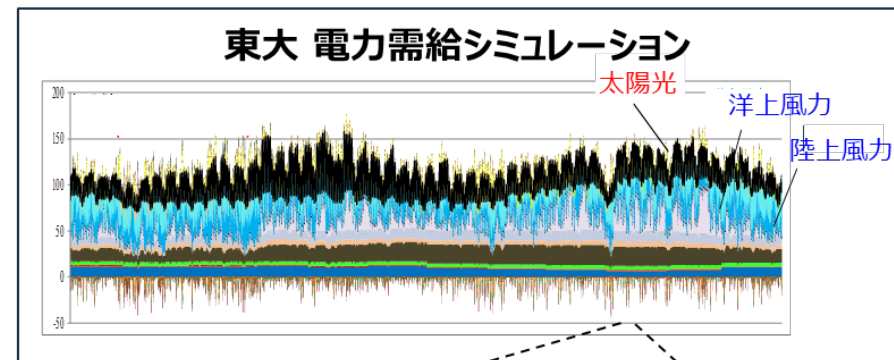
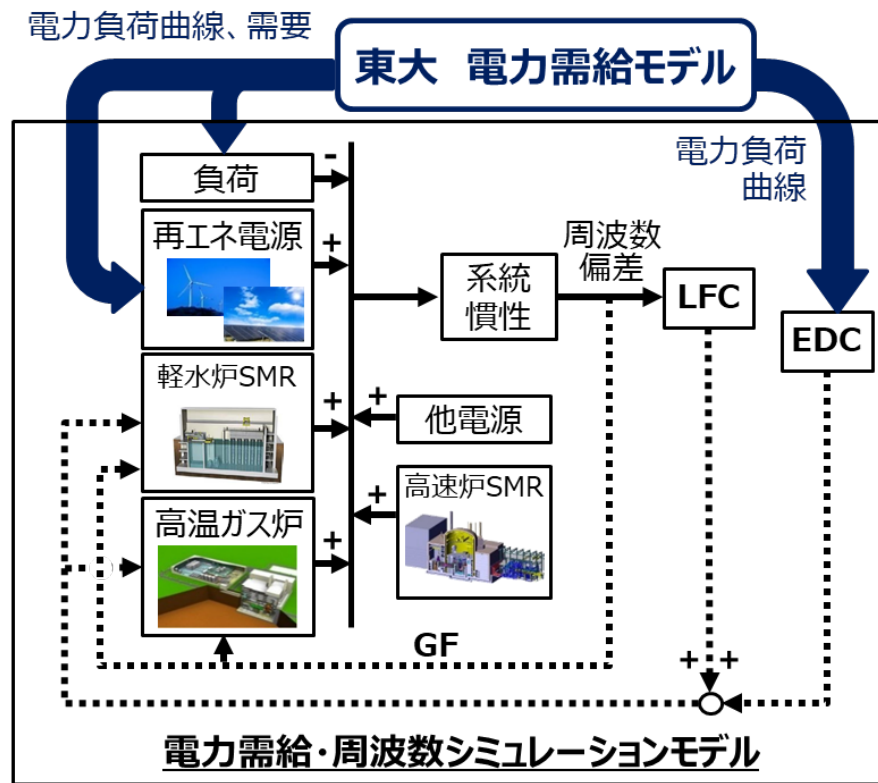
### ■ 研究成果

- 再エネが大量導入された電力系統におけるSMRの負荷追従運転性能を評価し、東京大学による電力システム分析で算定されたSMRプラントの出力曲線を満足可能なSMRプラント運転制御方式を検討した(令和5年度成果報告書3.3-34~3.3-46頁参照)。
- SMRプラント動特性モデルと電気学会標準解析モデル(AGC30モデル)を統合した電力需給・周波数シミュレーションモデルを構築



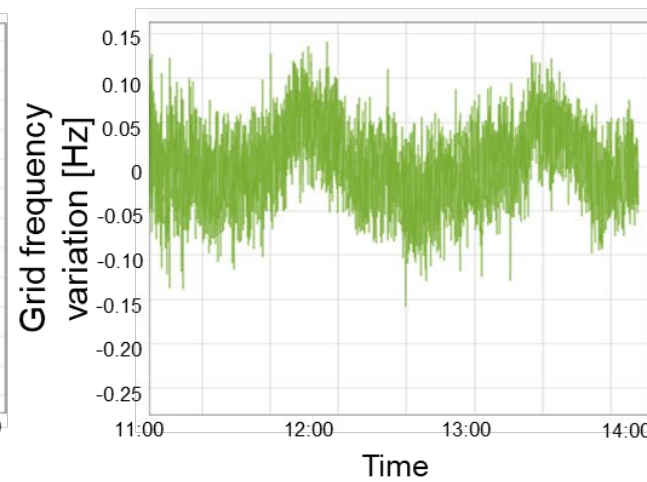
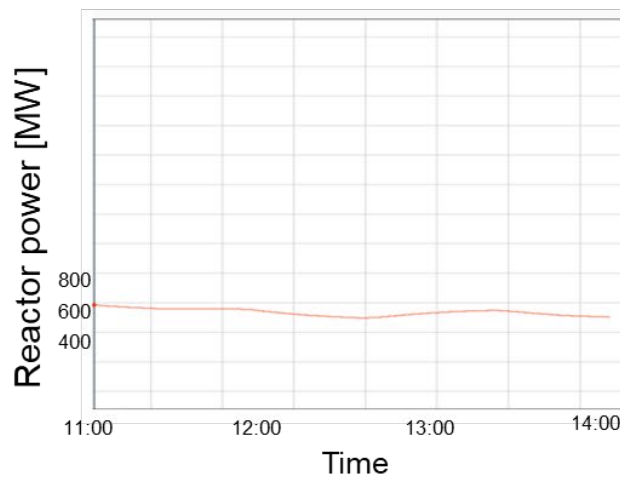
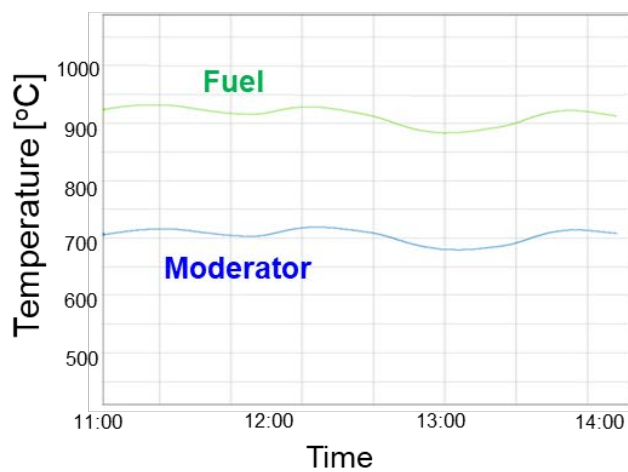
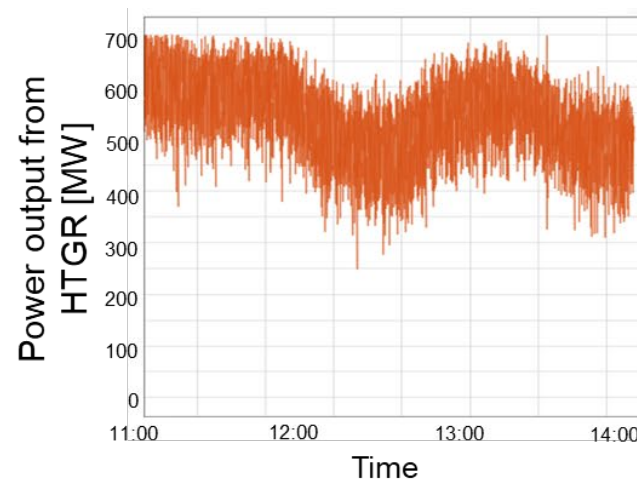
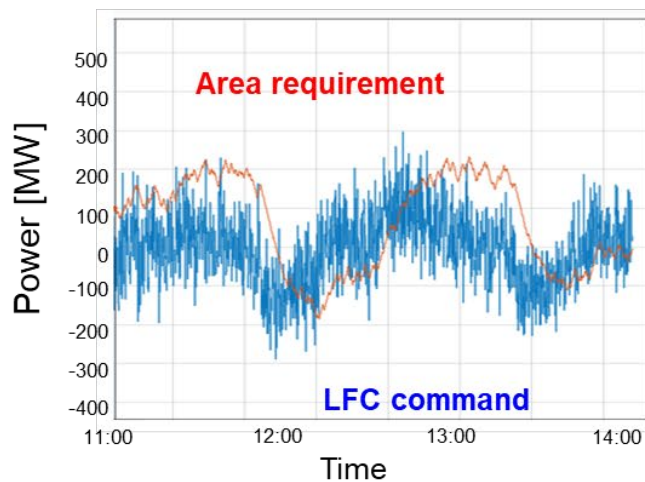
# (日本原子力研究開発機構) システムの負荷追従性能の評価

- 再エネが大量導入された電力系統を対象に東京大学電力需給シミュレーション結果を用いて新たに構築した電力需給・周波数シミュレーションモデルによりSMRの負荷追従運転性能を評価



# (日本原子力研究開発機構) システムの負荷追従性能の評価

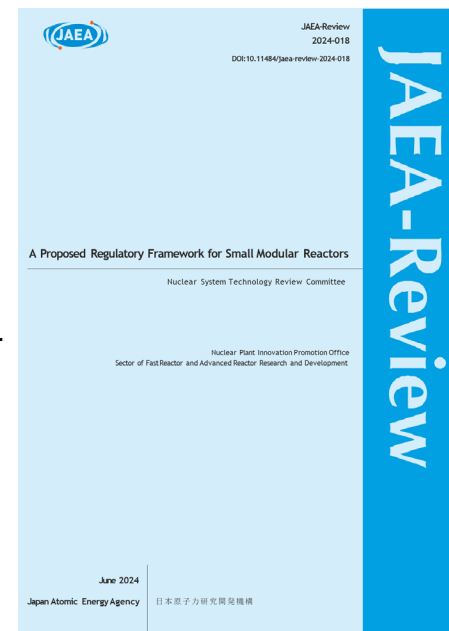
- LFC指令値に応じたSMRプラントの調整力供給により電力系統周波数偏差を $\pm 0.2$  Hz未満に維持、SMR原子炉の大きな熱容量により原子炉温度変動は微少かつ緩慢で原子炉出力一定運転可能であることを確認



# (日本原子力研究開発機構) システム技術評価結果のレビュー

## ■ 研究成果

- 原子力システム導入戦略分析ツールのインプットとなる原子力システム技術に関する専門家委員会を開催し、原子力システム技術評価の検討結果についてレビューを行った(令和5年度成果報告書3.3-47頁参照)
  - MHI、東芝ESS、IHI、元US NRC、US FAA(アメリカ連邦航空局)からの6名の専門家を委員委嘱し、専門家委員会を2回開催
  - 第1回専門家委員会(令和5年10月24～26日)
    - 設計標準化、工場製造、サイト独立型SMR(DFS-SMR)の商用配備のためのライセンス枠組みの提案について検討
      - ⇒ライセンス枠組みの概要に関する報告書を作成
      - ⇒委員会報告書として発行 “A Proposed Regulatory Framework for Small Modular Reactors”, JAEA-Review 2024-018 (2024), DOI:10.11484/jaea-review-2024-018
  - 第2回専門家委員会(令和6年3月26日)
    - 原子力システム技術評価の検討結果についてレビュー
      - ⇒今後の展開に係る留意点(課題)として以下が示唆された
        - － シミュレーションツールの妥当性
        - － SMRと浮体免震技術との組合せにおける制御棒挿入性への影響
        - － 浮体免震プール水への排熱の除熱方法の確認・検討

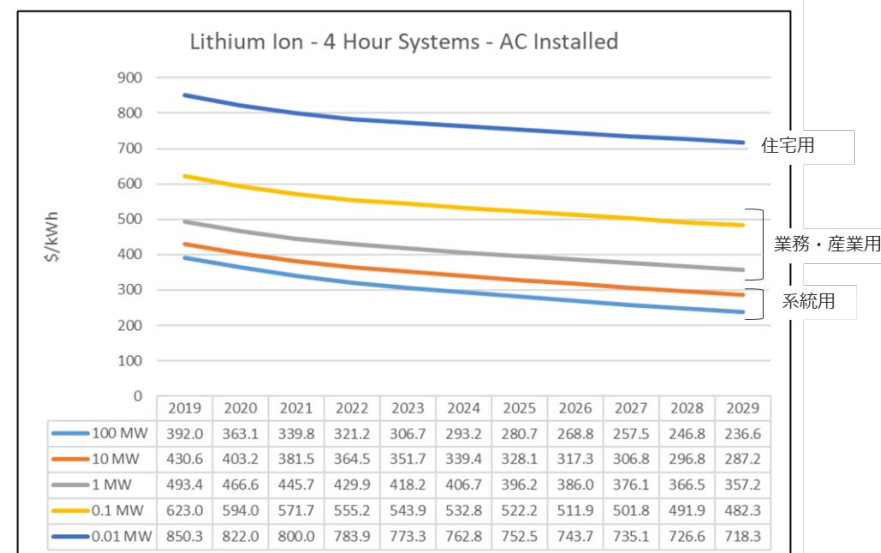


# (日揮グローバル) 蓄電池に関する技術調査

## ■ 蓄電池の将来の市場性調査

2029年のコスト減少率予測 (2020年度比)

蓄電池分類	電力規模	2020年 (\$ /kWh)	2029年 (\$ /kWh)	コスト減少率
系統用	100MW	363.1	236.6	25%
	10MW	403.2	287.2	29%
業務・産業用	1MW	466.6	357.2	24%
	0.1MW	594	482.3	19%
住宅用	0.01MW	822	718.3	13%



2019 Energy Storage Pricing Survey, Sandia National Laboratories (2021)

## LFP電池 (放電4時間) の電力規模別システム設置価格予想 (~2029年度) として、以下を確認。

→ 電力の市場規模に応じて、システム設置コストが左右され、系統用および住宅用蓄電池では、将来的にも倍以上の価格差になる見込み。具体的には、2029年のコスト減少率 (2021年度比)は、電力規模が大きいものほど比較的大きく、規模に応じて13~29%程度コストが減少すると予測される。

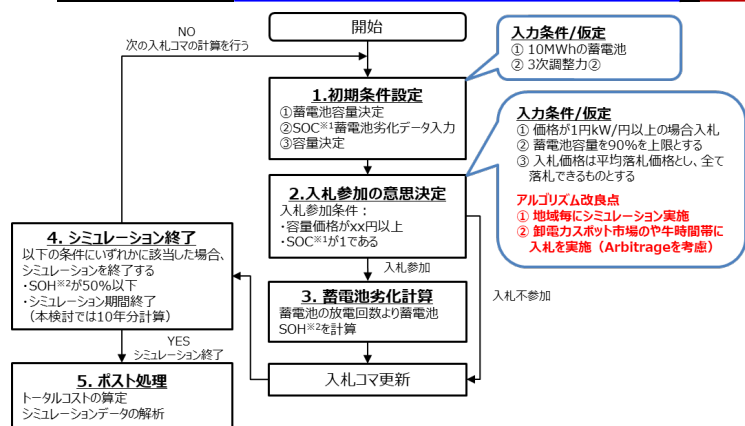
## 蓄電池のリユース・リサイクルに係る国内外の政策や経済性を調査。

→ 種々のリスクを伴う資源採掘工程を省くことができる蓄電池のリサイクル・リユースは、将来的な蓄電池の需要に対する安価かつ安定的な供給手段である一方で、特に国内では分離・精製した原料から部材等を製造する際には、欧州のバッテリー規制が示しているようなトレーサビリティのシステムを確立し、蓄電池のライフサイクルに関する透明性を担保することが必要。

# (日揮グローバル) 蓄電池に関する技術調査

## ■ 蓄電池劣化のアルゴリズムを改良および試解析実施

対象蓄電池：NMC電池 (Ni-Co-Mn-Cd電池) , LFP電池 (Li-Fe-PO<sub>4</sub>電池)

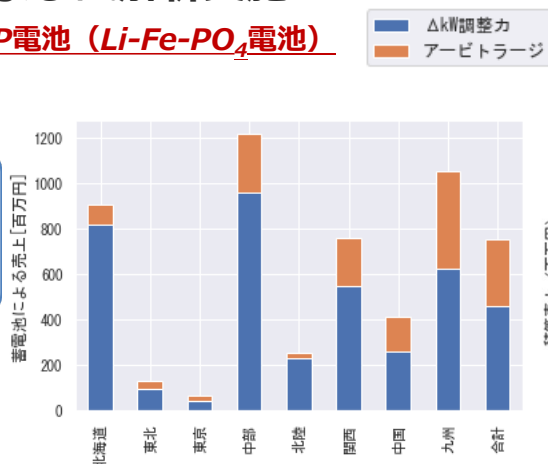


- ※1 SOC : State of Charge (蓄電池の充電率を表す指標)  
※2 SOH : State of Health (蓄電池の劣化状態を表す指標)

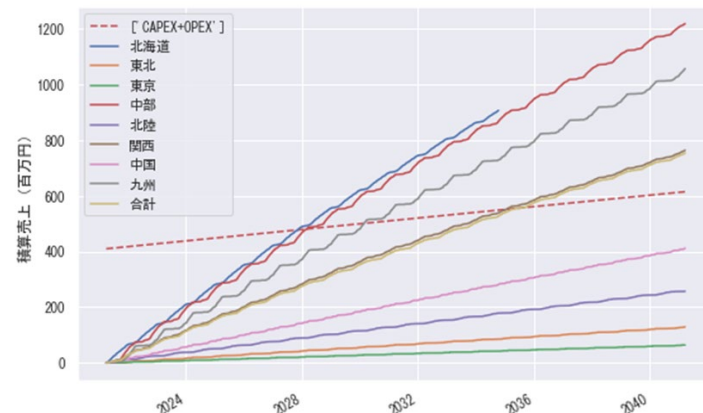
### 蓄電池の入札シミュレーションのアルゴリズム

- Arbitrage※1を考慮の上、日本国内の地域別に蓄電池設置時の収益および特性データ※2を算出。  
→ 電力価格の変動 (毎年-3% ~ +3%)による不確かさを考慮した感度分析を実施。

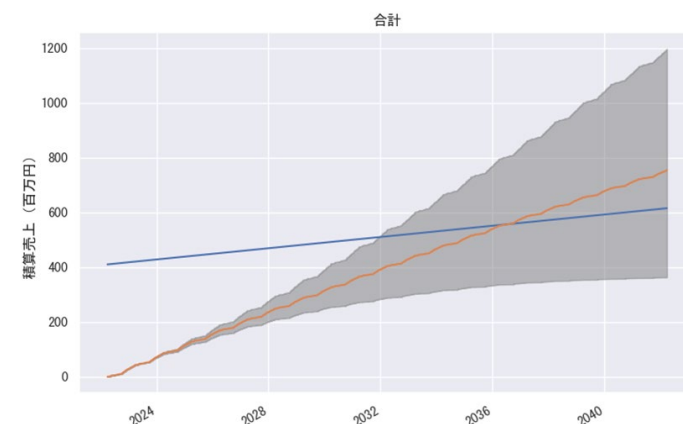
- ※1 : 電力仕入値が安価時に購入し、当該値が高値時に売却する  
※2 : 蓄電池導入コスト、サイクル寿命、耐用年数、充放電効率、自己放電ロス等



調整力価格とアービトラージの売り上げ比較



地域ブロック別に見た蓄電池の経済性検討結果



電力価格の変動による不確かさ検討結果

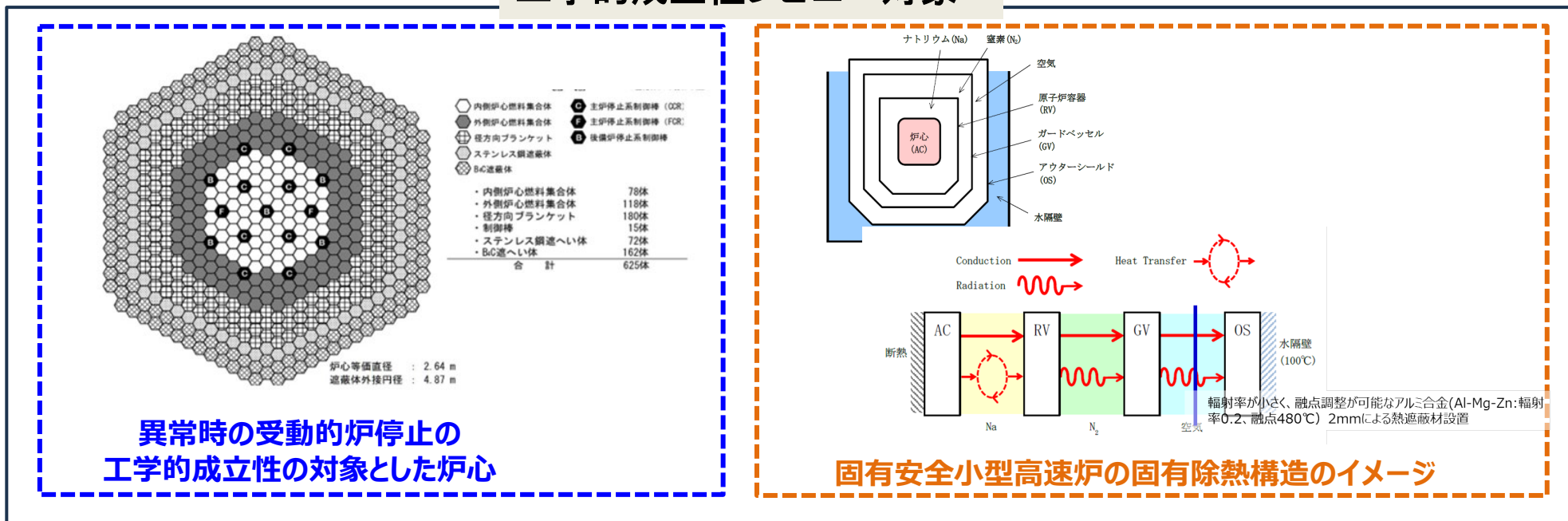
# (三菱重工)

## 原子力システム導入戦略分析ツールのインプット条件の評価

### ■ 研究成果

- 原子力プラントメーカーの知見に基づき、原子力システム導入戦略分析ツールのインプット条件として用いる原子力システム技術の工学的成立性について評価した(令和5年度成果報告書3.5-1~3.5-8頁参照)。
- 具体的対象としては、固有の安全特性として**異常時の受動的炉停止**及び**固有除熱が可能な小型ナトリウム冷却高速炉の工学的成立性**について見通しを確認するとともに**課題を抽出した**。(なお、評価対象となる小型高速増殖炉設計の原子炉出力や増殖比については、エネルギー需給分析や諸量評価に反映した。)

### 工学的成立性レビュー対象



# (三菱重工)原子力システム導入戦略分析ツールのインプット条件の評価

## ◆高速炉炉心の工学的成立性の評価

- ・小型高速炉設計の工学的成立性に関する課題抽出
- ・プラント動特性試験解析に関する課題抽出
- ・変更された小型高速炉設計の工学的成立性に関する課題抽出



対象炉心について上記検討を実施。その結果に基づき以下を評価

### ➤ 安全性を高めた小型高速炉設計の工学的成立性評価

30万kWe高増殖金属燃料炉心におけるATWS時の動特性解析結果について、炉心設計の観点からレビューを行い、主要な提言事項として各ATWS事象について工学的成立性の観点から以下の課題等を抽出

#### ・ULOF: 流量減少時緊急炉停止失敗事故

以下の設計対策が必要である

- ①流量半減時間延長のための電源供給の信頼性確保(安全系並の信頼性を確保できる電源系の設計)
- ②慣性力保持のための方策(回転体質量増加等)(なお、設計基準内事象でのスクラム時熱過渡影響への留意が必要)

#### ・UTOP: 制御棒誤引抜時緊急炉停止失敗事象

正の反応度投入制限との組み合わせが必要である。ロッドストップの導入により成立の見通しを得ている。

#### ・ULOHS: 除熱喪失時緊急炉停止失敗事象

大きな負の反応度が入る炉心支持板の熱膨張による反応度温度時定数が成立性に大きく影響。実証データに基づいて定量的に把握しておく必要がある



# (三菱重工)原子力システム導入戦略分析ツールのインプット条件の評価

## ◆小型高速炉の固有徐熱の設計レビュー

SMR最適導入戦略に適合する安全性を高めるための固有除熱特性検討の結果を受け、固有安全性を含めた固有除熱の工学的安全成立性について概略検討を行い、研究目標に対する技術課題を抽出

### ○水プールの水までの伝熱を一次元で簡易にモデル化し、各部位の温度を求めていることに起因する簡易評価の課題

- ・炉心及び炉容器(RV)内は構造が複雑であるため、簡易評価では炉内は熱伝導のみで熱が伝わるとしてモデルの保守性、妥当性は今後確認が必要。
- ・RV等において高さ方向に熱が逃げるため、径方向の温度バランスが変わる可能性があることに留意が必要
- ・アウターシール(OS)近傍並びにプール全体の流況は不明部への熱流出は壁への伝熱、水面からの蒸発を考慮しているが、それらを実際の流動等と結びつけて正確に評価する必要がある。

### ○設計の詳細化における課題

- ・構造設計の進捗後に伝熱を再評価することが必要となる。
- ・プールの容量、原子炉構造直下の掘込部の大きさ、外部からの冷却水の取り入れ等は評価結果に大きな影響を与えるため、浮体及び水プールの設計進捗に応じモデルを改定し伝熱の再評価していくことが必要である。

### ○熱ロス対策の課題

- ・定格運転時の熱ロス対策として、複数の材料を熱遮蔽に用いる検討が行われている。空気雰囲気中に設置することから酸化等により輻射率が大きくならないような配慮が必要である。
- ・当該構造が高温になった場合自動的にかつ確実に脱落する構造及び除熱が必要となるような事象以外の場合、脱落することなく確実にRVを保温する構造の具体化が必要である。