

原子力小委員会への情報提供

原発開発、導入、利用の諸問題について

2022/10/13

第32回原子力小委員会

松久保 肇（原子力資料情報室）



もくじ

1. 新設原発
2. 既設原発



新設原発



革新炉ワーキンググループ

カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ(骨子案)抜粋

2.2. レジリエンス・セキュリティリスクへの対応

炉型革新による革新的安全性

- 革新炉による炉型革新によって、より合理的に地震や津波等の自然災害、航空機衝突といった外部ハザードへの対応強化が可能。自然循環や圧力差による冷却を含め自然法則を安全機能に採用した受動的な安全炉の開発・導入が、東京電力福島第一原子力発電所事故後も進展。
- 革新軽水炉では、上記のような更なる安全性向上対策に加え、重大事故時も環境影響を防ぐコアキャッチャーや、放射性希ガスの分離・貯留設備等の緊急時の避難や土地汚染を防止する対策も可能。小型軽水炉では、設計のシンプル化で事故確率の大幅な低減を目指す。炉心溶融が基本的に発生しない高温ガス炉、自然に止める・冷える・閉じ込める機能を目指すナトリウム冷却高速炉は、実機経験を我が国が豊富に持ち、優れた安全性を持つ。

● 略

水素製造や熱貯蔵、分散型電源等によるシステムの柔軟性・レジリエンス確保

- 略
- 革新軽水炉や小型軽水炉、高速炉、高温ガス炉等は、制御棒の組成の工夫、システムの電力需要に応じた水素製造や熱貯蔵、モジュールの個別の起動・停止等により負荷追従が可能となり、システム全体の柔軟性の向上にも貢献し得る。
- 略
- 小型分散型電源としての小型軽水炉やマイクロ炉、システム分離された可搬型電源としての船舶搭載炉等も脱炭素化を進めていくために着目されている。

AP1000、EPR、VVER1000など、多くの原発で導入済みの機能

EPR、VVER1000などで実装済み

1982年原子力長期計画「中小型軽水炉の利用を含め、条件によっては比較的早期に実現する可能性があり、所要の調査等を経て民間主導の下で進められるべきもの」

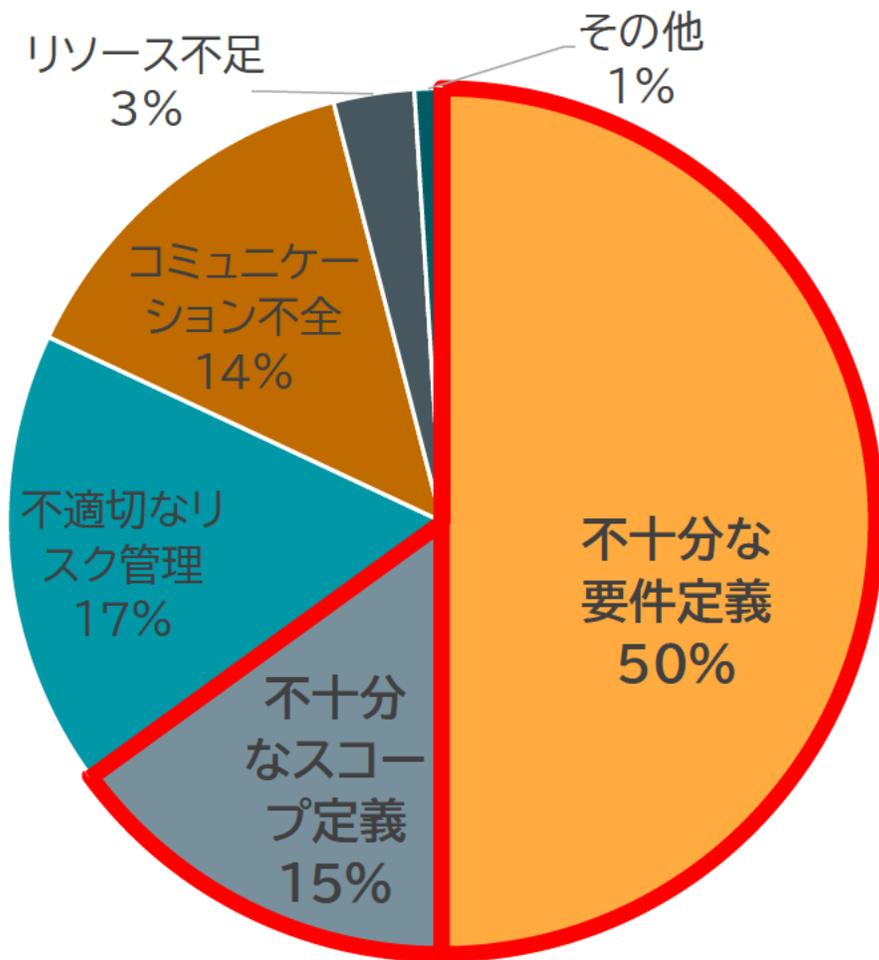
負荷追従運転は原発比率の高いフランスなどで導入済みの機能だが、経済性の悪化をもたらす。原発に求められている機能なのか

マイクロ炉、船舶搭載炉など、だれが求めているのか



なぜプロジェクトは失敗するのか

プロジェクトの失敗要因



プロジェクトが失敗する最大の理由は上流工程



その観点で革新炉開発について考えると…

本気のエンドユーザーがない

資金の出し手が国
(国はユーザーではない)

責任主体があいまい

要件が決められない・決めてもニーズに合わない。

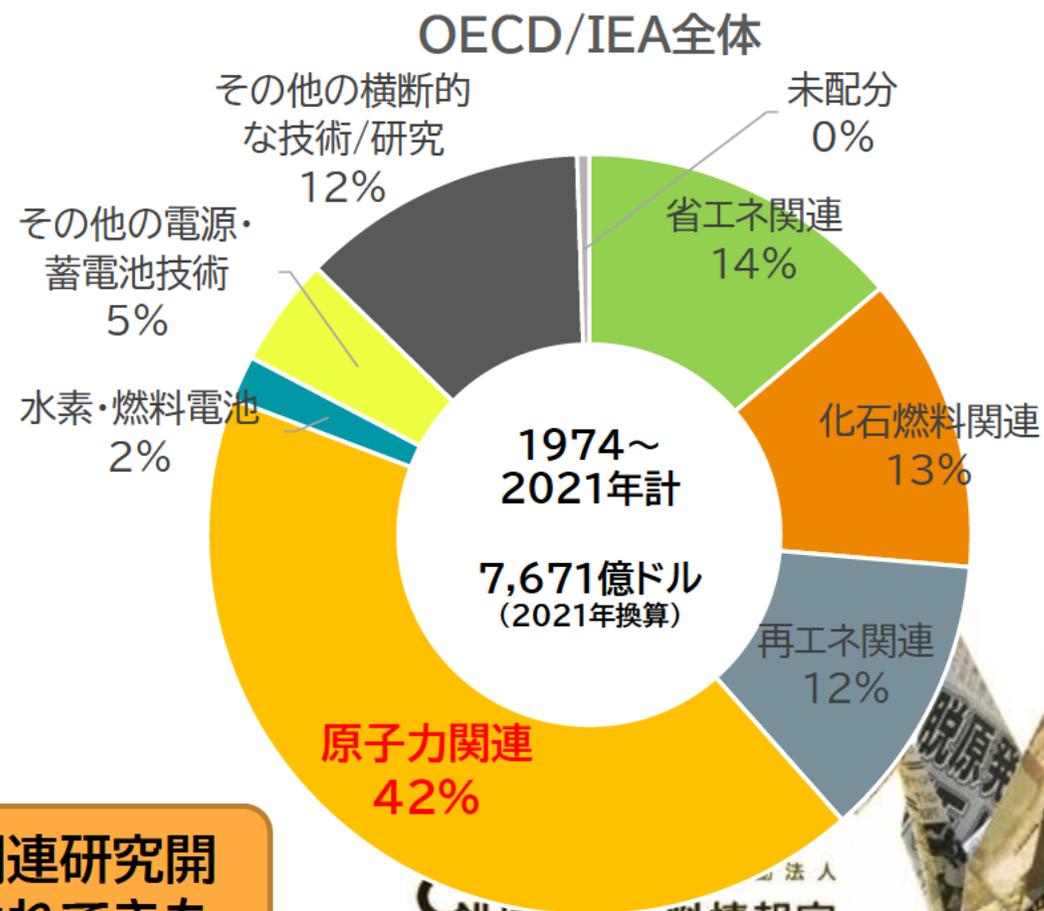
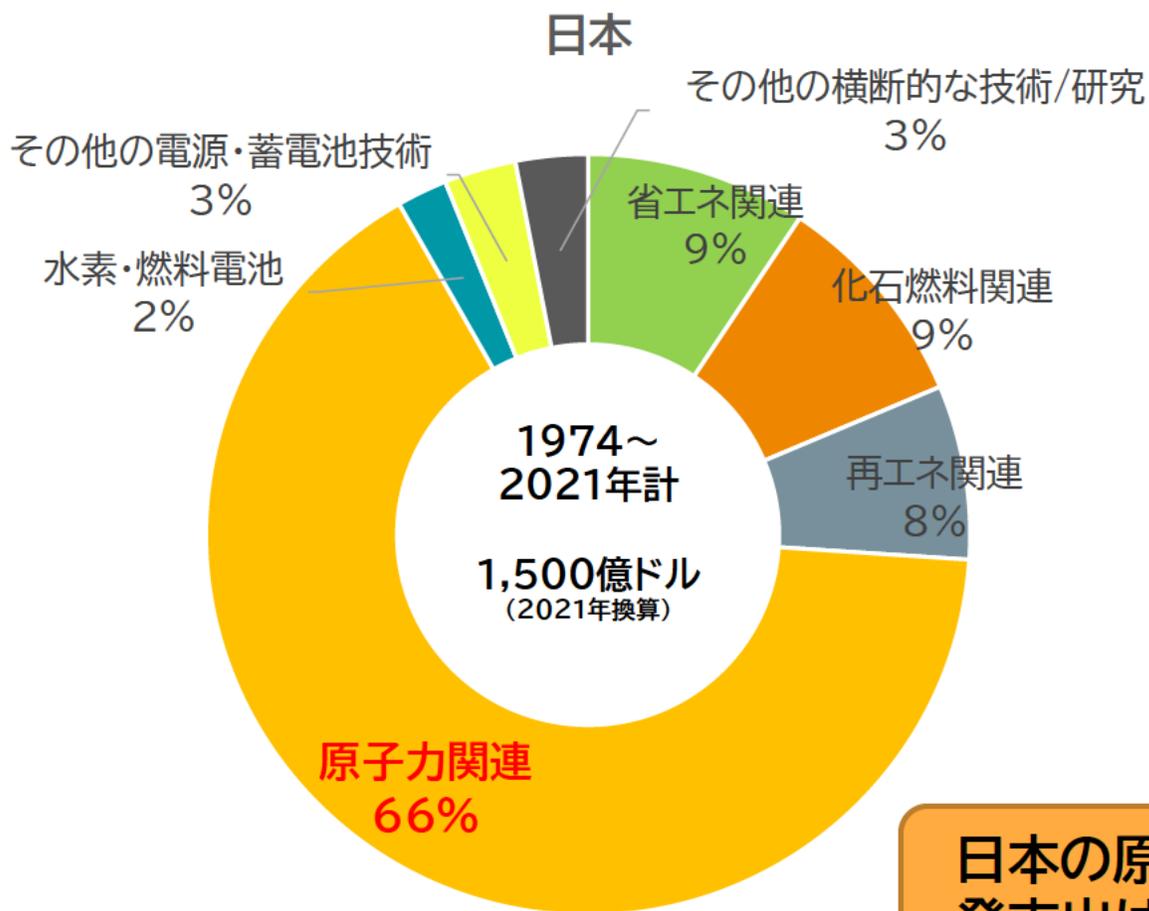
プロジェクトに失敗する

「革新軽水炉」以外は
司令塔・開発主体の
議論以前の段階



優遇されてきた原発の研究開発費

エネルギー関連の政府支出研究開発費



日本の原子力関連研究開発支出は優遇されてきた

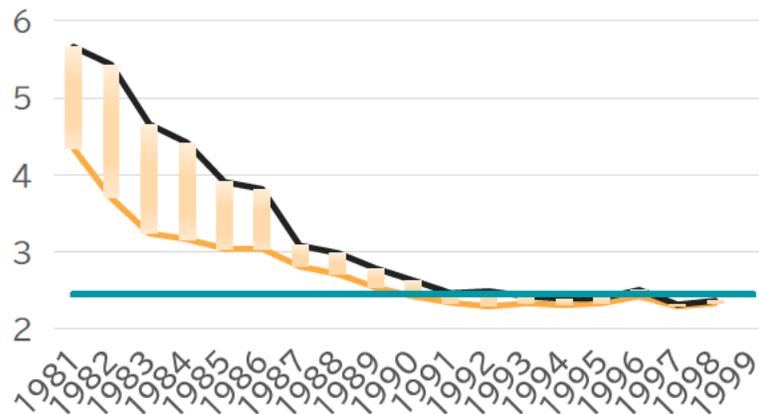
IAEA 世界の原発発電電力量予測の推移

IAEA Reference Data Series No. 1より作成

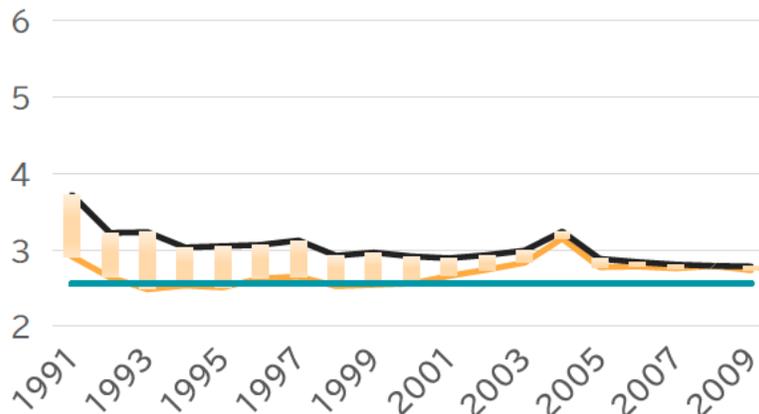
— 高位予測
— 低位予測
— 実績値

単位:兆kWh

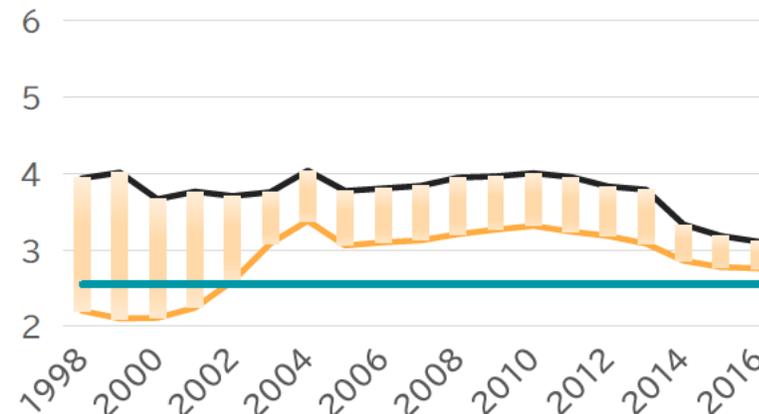
2000年予測と実績



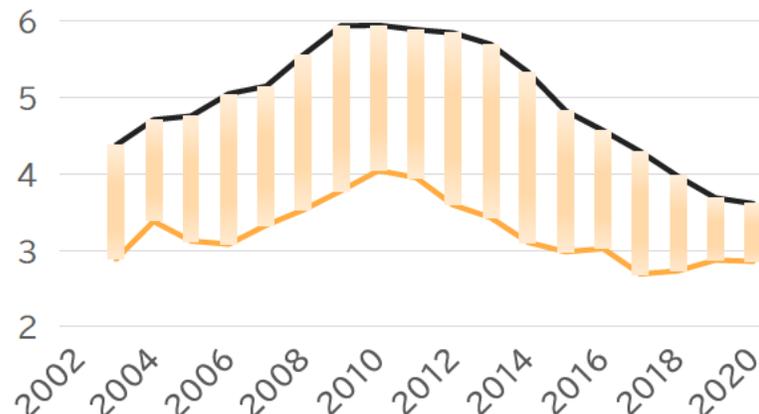
2010年予測と実績



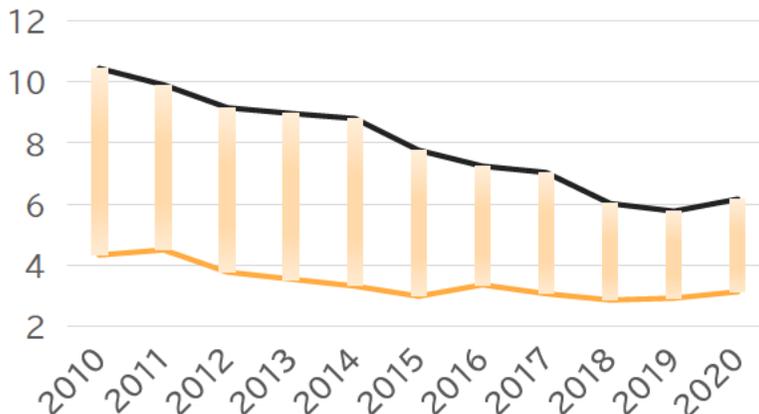
2020年予測と実績



2030年予測



2050年予測



- ① 激しく変動する長期予測
- ② 多くは低位予測すら下回る



長期予測は過去当てにならない
かった。今後も当てにならない

競争力のない原発

2030年の電源別発電コスト試算の結果概要

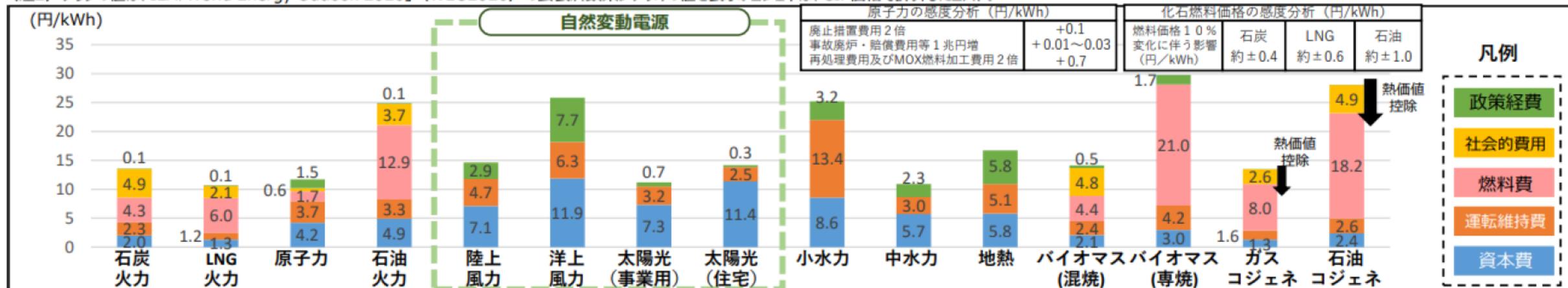
均等化発電原価(LCOE)は、標準的な発電所を立地条件等を考慮せずに新規に建設し所定期間運用した場合の「総発電コスト」の試算値。政策支援を前提に達成すべき性能や価格目標とも一致しない。

1. 各電源のコスト面での特徴を踏まえ、どの電源に政策の力点を置くかといった、**2030年に向けたエネルギー政策の議論の参考材料**とする。
2. **2030年に、新たな発電設備を更地に建設・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。**
(既存の発電設備を運転するコストではない)。
3. 2030年のコストは、燃料費の見通し、設備の稼働年数・設備利用率、太陽光の導入量などの**試算の前提を変えれば、結果は変わる。**
4. 事業者が**現実に発電設備を建設**する際は、ここで示す**発電コストだけでなく、立地地点毎に異なる条件を勘案して総合的に判断**される。
5. **太陽光・風力（自然変動電源）の大量導入により、火力の効率低下や揚水の活用などに伴う費用が高まる**ため、これも考慮する必要がある。
この費用について、今回は、系統制約等を考慮しない機械的な試算（参考①）に加え、**系統制約等を考慮したモデルによる分析も実施し、参考として整理**（参考②）。

電源	石炭火力	LNG火力	原子力	石油火力	陸上風力	洋上風力	太陽光(事業用)	太陽光(住宅)	小水力	中水力	地熱	バイオマス(混焼、5%)	バイオマス(専焼)	ガスコジェネ	石油コジェネ
発電コスト(円/kWh) ※()は政策経費なしの値	13.6~22.4 (13.5~22.3)	10.7~14.3 (10.6~14.2)	11.7~ (10.2~)	24.9~27.6 (24.8~27.5)	9.8~17.2 (8.3~13.6)	25.9 (18.2)	8.2~11.8 (7.8~11.1)	8.7~14.9 (8.5~14.6)	25.2 (22.0)	10.9 (8.7)	16.7 (10.9)	14.1~22.6 (13.7~22.2)	29.8 (28.1)	9.5~10.8 (9.4~10.8)	21.5~25.6 (21.5~25.6)
設備利用率	70%	70%	70%	30%	25.4%	33.2%	17.2%	13.8%	60%	60%	83%	70%	87%	72.3%	36%
稼働年数	40年	40年	40年	40年	25年	25年	25年	25年	40年	40年	40年	40年	40年	30年	30年

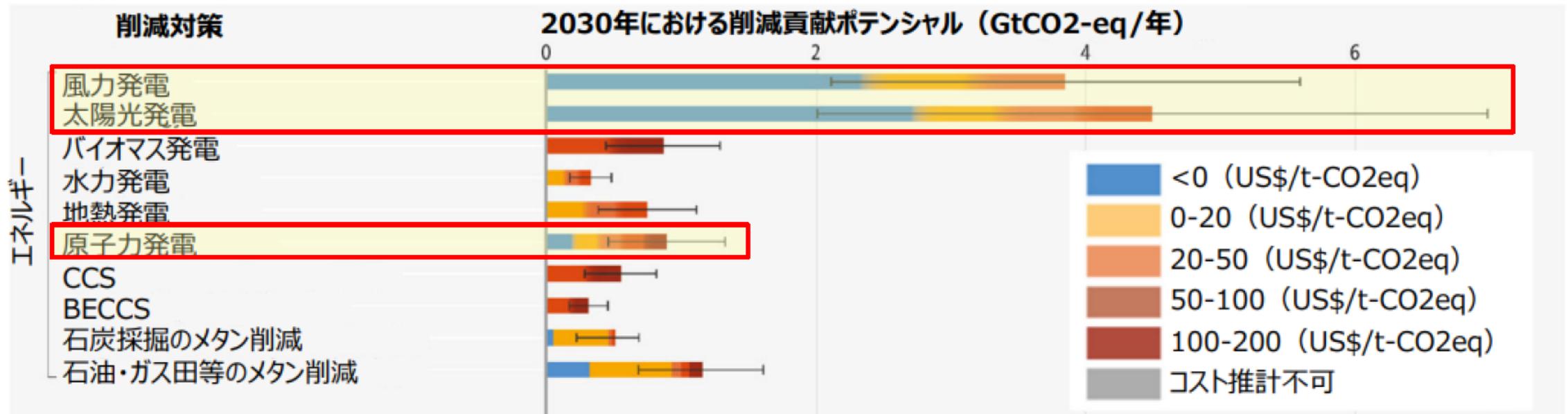
(注1) 表の値は、今回検証で扱った複数の試算値のうち、上限と下限を表示。将来の燃料価格、CO2対策費、太陽光・風力の導入拡大に伴う機器価格低下などをどう見込むかにより、幅を持った試算としている。例えば、太陽光の場合「2030年に、太陽光パネルの世界の価格水準が著しく低下し、かつ、太陽光パネルの国内価格が世界水準に追いつくほど急激に低下するケース」や「太陽光パネルが劣化して発電量が下がるケース」といった野心的な前提を置いた試算値を含む。

(注2) グラフの値は、IEA「World Energy Outlook 2020」(WEO2020)の公表済政策シナリオの値を表示。コジェネは、CIF価格で計算したコスト。



風力・太陽光のGHG削減ポテンシャルを大幅に下回る原発

2030年における排出削減対策と削減費用別の削減ポテンシャル (1/2)



(出所) IPCC AR6 WG3 SPM Figure SPM.7 翻訳は https://www-iam.nies.go.jp/aim/pdf/IPCC_AR6_WG3_SPM.220405.pdf

IPCCによれば、2030年における原発のGHG削減ポテンシャルは風力・太陽光をはるかに下回る



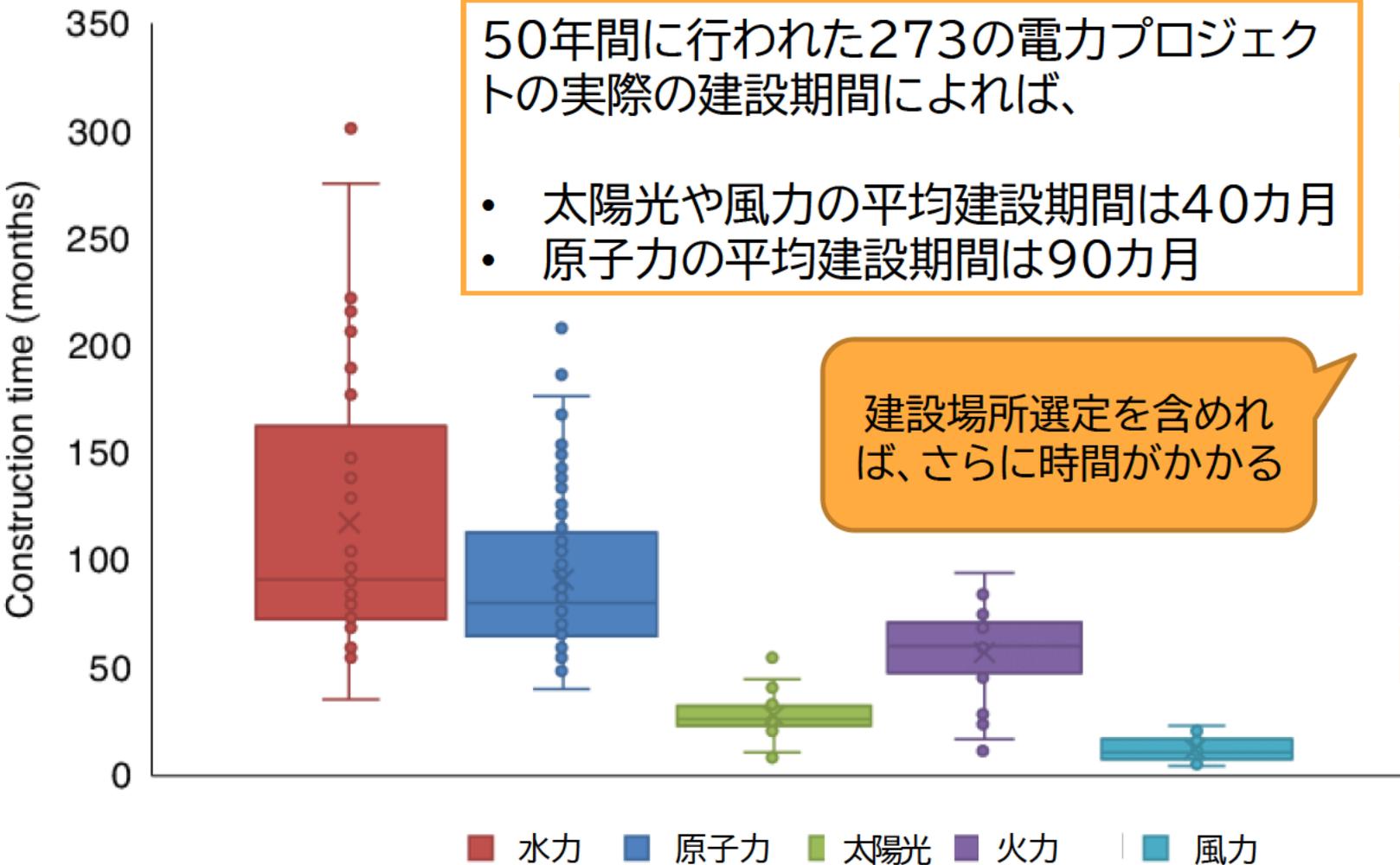
運転開始に時間がかかりすぎる原発

電源別平均建設期間

50年間に行われた273の電力プロジェクトの実際の建設期間によれば、

- 太陽光や風力の平均建設期間は40カ月
- 原子力の平均建設期間は90カ月

建設場所選定を含めれば、さらに時間がかかる



日本政府の2011年時点の見積もり

電源種別	計画から稼働までの期間
原子力	約20年
石炭火力	約10年
LNG火力	約10年
一般水力	約5年
小水力	2～3年程度
地熱	9～13年程度
陸上風力	4～5年程度
メガソーラー	1年程度
燃料電池	約2週間

第5回コスト等検証委員会資料6-1(2011/11/25)
<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111125/siryo6-1.pdf>

「革新軽水炉」で頻発するコスト超過・工期遅延

国	炉型	発電所名	状況	合計出力[MWe, ネット]	計画時の初期投資額 [10億米ドル]	実際の費用 [10億米ドル]	計画建設期間 (年)	実際の建設期間 (年)
中国	AP1000	Sanmen-1	稼働	2314	5.84	7.3	4.3	9.4
中国	AP1000	Sanmen-2	稼働				4.5	8.9
中国	AP1000	Haiyang-1	稼働				4.6	9.1
中国	AP1000	Haiyang-2	稼働				4.7	8.6
米国	AP1000	Vogtle-3	建設中	2234	14.3	30.3	3.3	
米国	AP1000	Vogtle-4	建設中				3.6	
米国	AP1000	Summer-2	建設中断	2234	9.8	25	4.3	計画中止
米国	AP1000	Summer-3	建設中断				4.7	計画中止
韓国	APR1400	Shin-Kori-3	稼働	2832	4.89	6.46	5	8.1
韓国	APR1400	Shin-Kori-4	稼働				5	10
韓国	APR1400	Shin-Kori-5	建設中	2680	7.58	8.8	4.9	
韓国	APR1400	Shin-Kori-6	建設中				4.4	
韓国	APR1400	Shin-Hanul-1	稼働	2680	6.26	7.6	4.7	10.4
韓国	APR1400	Shin-Hanul-2	建設中				4.6	
UAE	APR1400	Barakah-1	稼働	5380	24.4	24.4	6	8.6
UAE	APR1400	Barakah-2	稼働				6.2	8.6
UAE	APR1400	Barakah-3	建設中				4.8	
UAE	APR1400	Barakah-4	建設中				4.9	
フィンランド	EPR	Olkiluoto-3	稼働(試運転)	1600	3.55	9.4	3.9	16.5
フランス	EPR	Flamanville-3	建設中	1650	3.6	13.6	5.6	
中国	EPR	Taishan-1	稼働	3320	7.5	9.1	3.6	9.1
中国	EPR	Taishan-2	稼働				5.2	9.4
英国	EPR	Hinkley Point C-1	建設中	3260	20	29	7	
英国	EPR	Hinkley Point C-2	建設中				6.6	

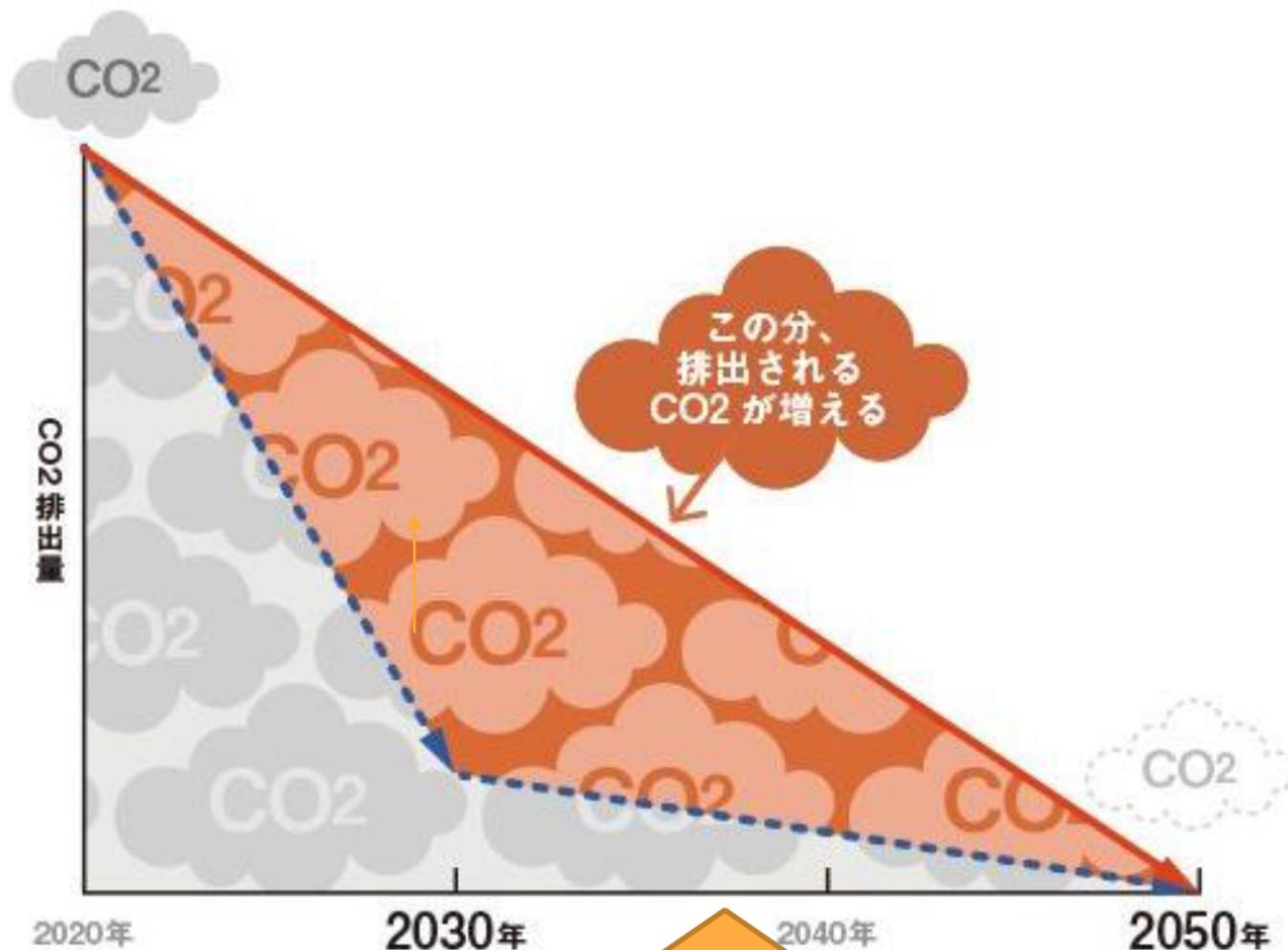
Oettingen, M., Costs and timeframes of construction of nuclear power plants carried out by potential nuclear technology suppliers for Poland.
https://pulaski.pl/wp-content/uploads/2021/06/Pulaski_Policy_Paper_No.6_2021_EN-1.pdf をもとに、一部は最新の数字に修正

計画通りのコスト・工期で建設されたものは皆無
 中には初期計画の3倍近いコスト超過、工期遅延も発生



炭素予算

- 1.5°C目標を達成するためには温室効果ガスの累積排出量を抑えることが重要
- 直線で減らした場合、その分累積排出量は増えてしまう
- Tipping Point(転換点)を迎えつつある今、温室効果ガス削減の即効性のある対応が求められている
- **運転開始まで長時間を要する原発に賭けている余裕はない**



Greenpeaceウェブサイトより
(<https://www.greenpeace.org/japan/nature/story/2022/05/27/57279/>)

2030年代半ばに原発が1基建っても遅すぎる

既設原発



老朽化原発と安全

原子炉等規制法の規定

原子力発電所の運転期間は40年とし、1回に限り、20年延長できる

原子力の開発・利用に当たっての「基本原則」

- ① 開発・利用に当たっての「安全性が最優先」であるとの共通原則の再確認
- ② 原子力が実現すべき価値(S+3Eの深化)
- ③ 国・事業者が満たすべき条件

田中俊一 原子力規制委員会 委員長(当時)

「40年前の炉をつらつらと眺めてみると、40年前の設計は、やはり今これからつくろうとする基準から見ると、必ずしも十分ではないというところがあります。」(2012年9月19日記者会見)

更田豊志 原子力規制委員会 委員長(当時)

「高経年化に関しての提案があることは承知しているのですが、(略)圧力容器の照射脆化について、電気協会での脆性遷移温度の評価式に関して、随分前から規制委員会は苦言というか注文をつけているけども、こっちは一向に音沙汰がないのですよね。(略)都合のいいところのつまみ食いの議論をやろうとしているように聞こえるのですよ。高経年化について議論するのだったら、照射脆化もきっちりやるし、設計の古さについても、それこそRIDMですから。きちんと議論しましょうと。」(2018年8月3日第6回 主要原子力施設設置者の原子力部門の責任者との意見交換会)

「設計そのものの古さというのは、最も新しい技術と比較したときにカバーできるところとできないところというのはあります。」(2021年4月28日記者会見)

まとめ

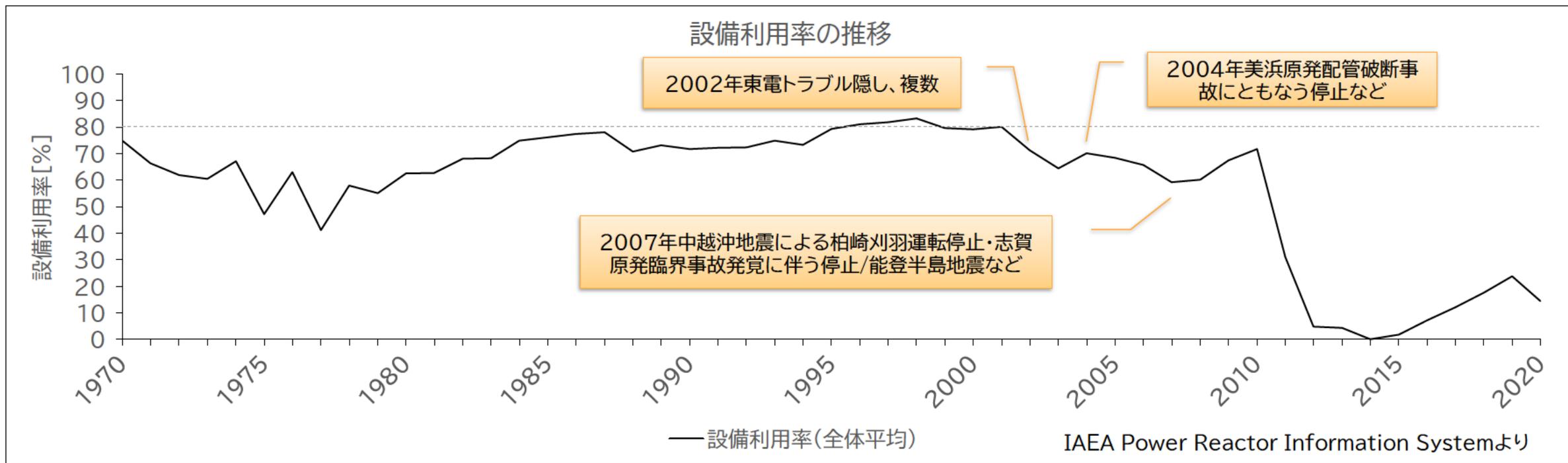
- ① 原子力利用にあたっては「安全性が最優先」
- ② 40年前の炉の設計は必ずしも十分ではない
- ③ 高経年化の問題について、原子力設置者は十分な対応を行っていない



GX実行会議の要請である「運転期間の延長など既設原発の最大限活用」は、基本原則に反する

低い日本の原発平均設備利用率

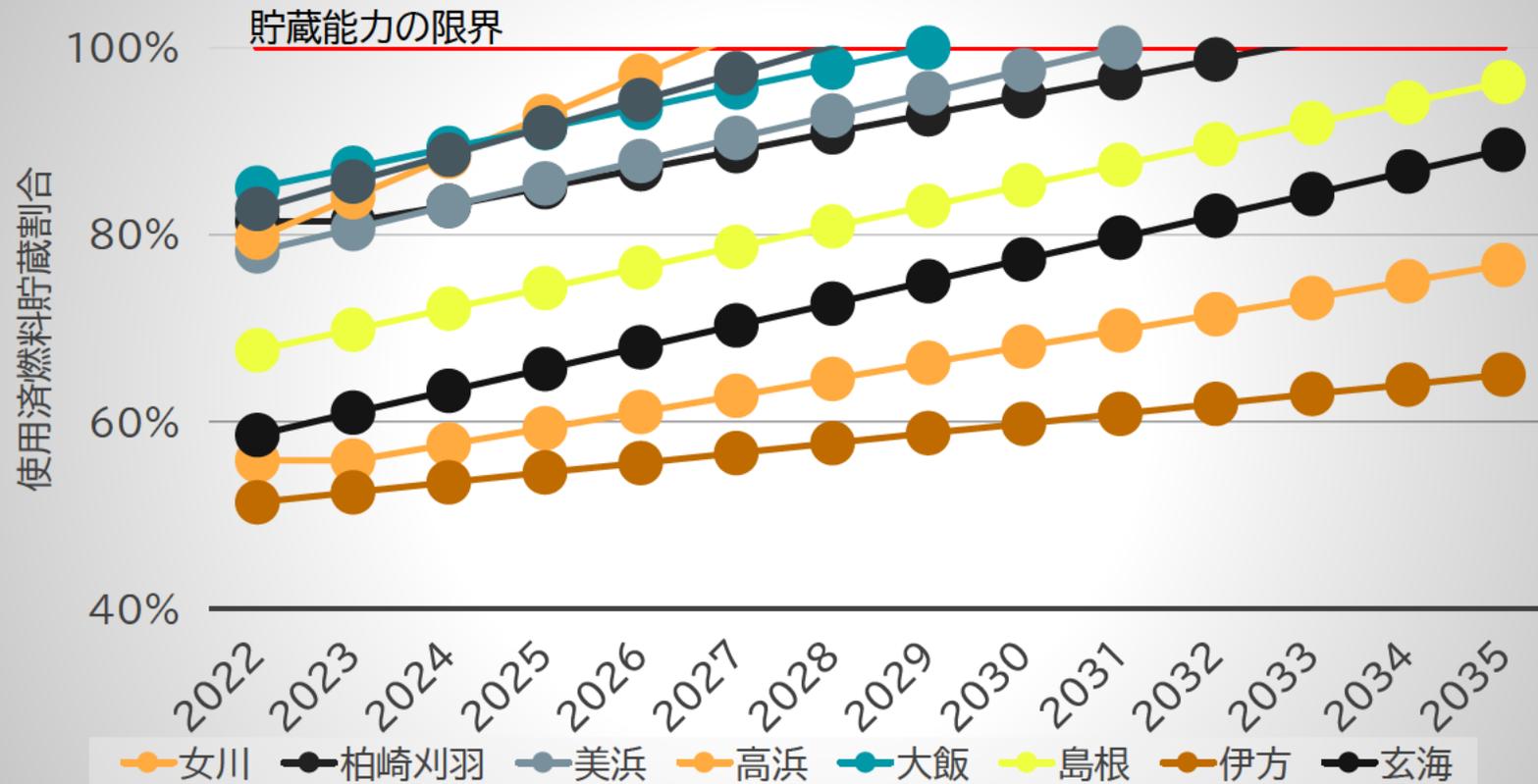
- 日本で原発の平均設備利用率が80%を超えたのは1990年代後半から2000年代前半の4年のみ
- 1970～2020年の平均値は56%、1970～2010年の平均値でも69%



- 再稼働原発の設備利用率のばらつきは大きい。
- 老朽化した原発の設備利用率が高くできるのか？

使用済燃料貯蔵能力というボトルネック

再稼働(見込み)原発の
使用済み燃料貯蔵割合推移予測

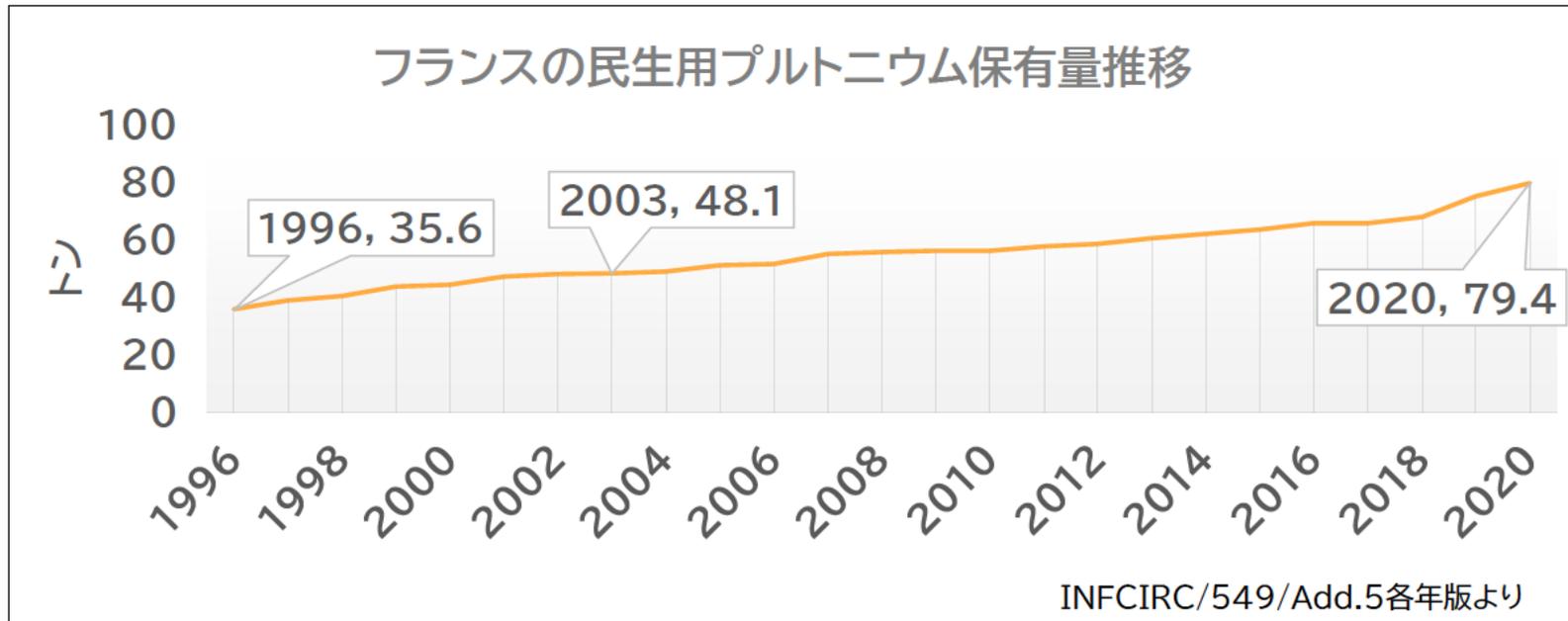


電気事業連合会「使用済燃料対策推進計画」に基づき推計。貯蔵能力は増強後を前提とした。未稼働原発の再稼働時期は、事業者見込みなどに基づく仮定のもの。

- 各原発とも使用済み燃料貯蔵能力がひっ迫してきており、川内、高浜、大飯は2027年前後で、美浜、柏崎刈羽は2031年前後で貯蔵量の限界を迎える
- 再稼働しても数年で停止になる可能性

フランスの教訓 プルトニウム保有量、再処理

- フランスは2003年、再処理量とプルトニウム消費量のバランスを取る原則をしめした。日本はこれに倣って「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方」を策定
- 実際には、フランスのプルトニウム保有量は、原則を示した2003年の48.1トンから2020年には79.4トンへと増加。製造したMOX燃料が品質が悪く、歩留まり率が低いことなどが原因



- 日本では当面、MOX利用原発は限定的。再処理工場が仮に稼働できても、当面、再処理量は増やせない
- フランスの状況をみれば、長期的にも再処理量と消費のバランスを維持する以上、再処理量は増やせない
- 再処理は使用済み燃料対策にならない

原発・原子力関連施設攻撃リスク

過去の原子力関連施設への攻撃

年	対象	手法	攻撃者
1980	イラク・オシラク炉	爆撃	イスラエル
1981	イラク・オシラク炉	爆撃	イスラエル
1984-87	イラン・ブーシェフル原発	爆撃	イラク
1991/1993	イラク・ツワイサ核施設	爆撃など	米
2007	シリア・アルキバール炉	爆撃	イスラエル
2008~10	イラン・ナタンズ核施設	サイバー攻撃	米・イスラエル?
2014	イスラエル・ディモナ原子炉	ミサイル	ハマス(非国家主体)
2020	イラン・ナタンズ核施設	爆破	イスラエル?
2021	イラン・ナタンズ核施設	爆破	イスラエル?
2022	ウクライナ・原発など	攻撃・占拠	ロシア

社会的動乱と補償

原子力損害の賠償に関する法律 3条

原子炉の運転等の際、当該原子炉の運転等により原子力損害を与えたときは、当該原子炉の運転等に係る原子力事業者がその損害を賠償する責めに任ずる。ただし、その損害が異常に巨大な天災地変又は社会的動乱によつて生じたものであるときは、この限りでない。

中曽根康弘 科学技術庁長官(当時)

「第三条におきまする天災地変、動乱という場合には、国は損害賠償をしない、補償してやらないのです。(中略)政府に法律上責任はない、そういうことになるのであります。」
(1960年5月18日衆議院 科学技術振興対策特別委員会)

原発・原子力関連施設への攻撃可能性は今後の原発利用の前提

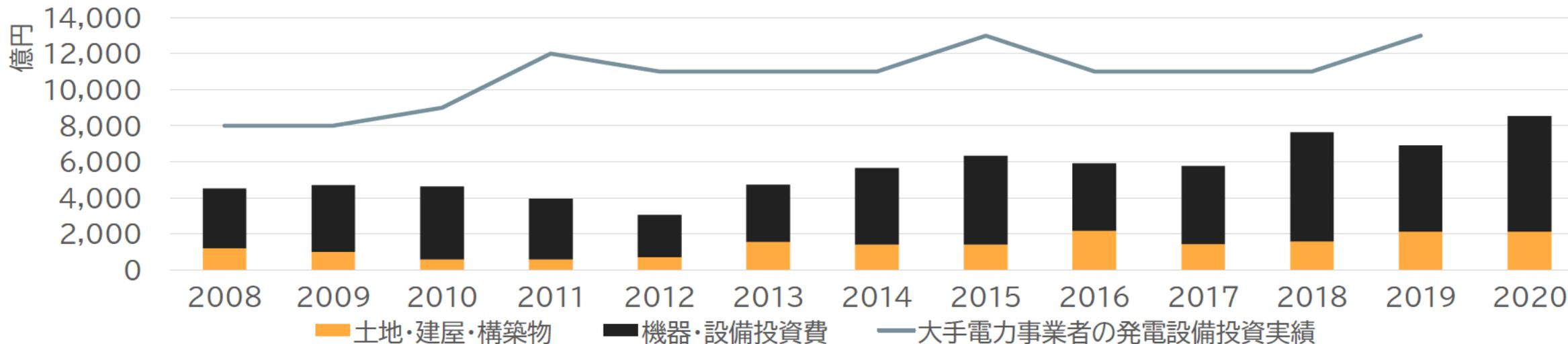
- 原発攻撃のリスクをどう対処するのか。
 - ① 攻撃中の避難計画 : どこに逃げるか、そもそも避難できるか
 - ② 原子力施設の防衛 : 施設周辺で戦闘が起こってはいけない
 - ③ 施設のリスク低減 : 冷却が進んだ燃料は乾式貯蔵に切り替え、燃料プールの稠密度を早急に下げる必要
 - ④ その他の課題 : 占拠、戦争長期化時の防衛(外部電源喪失リスク含め)etc
- 原発攻撃に伴う補償をどうするのか。
 - ① 「原子力損害の賠償に関する法律」は、原発攻撃について、保障しないとしている。今後も原発を利用するのであれば攻撃を踏まえた補償の在り方を検討する必要



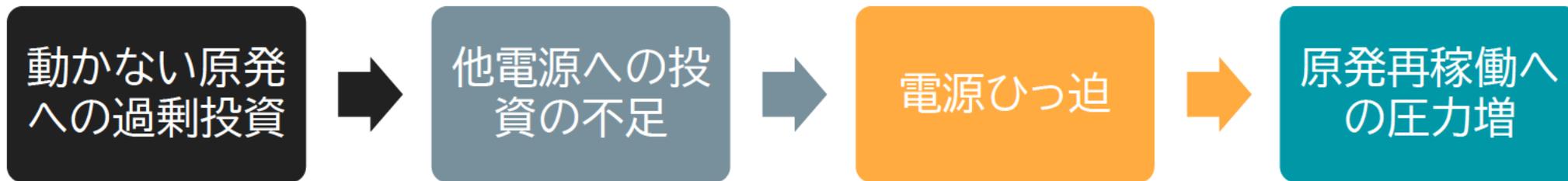
このような課題は現実的に対応可能なのか？

設備投資費をひっ迫させる原発

大手電力の発電設備投資実績と原子力関連支出



「原子力発電に係る産業動向調査」各年度版及び成長戦略会議(第2回)資料2より作成



これは、国民各層とのコミュニケーションの深化なのか？



まとめ

革新炉は古くからあるコンセプト

ニーズがないから失敗する革新炉

革新炉は気候危機対策にも電力需給対策にも、間に合わない

「安全性が最優先」という基本方針と相反する原発利用

稼働してもそれほど期待できない原発

