

原子力発電コストに関する情報の整理

令和6年10月18日

立命館アジア太平洋大学/日本エネルギー経済研究所

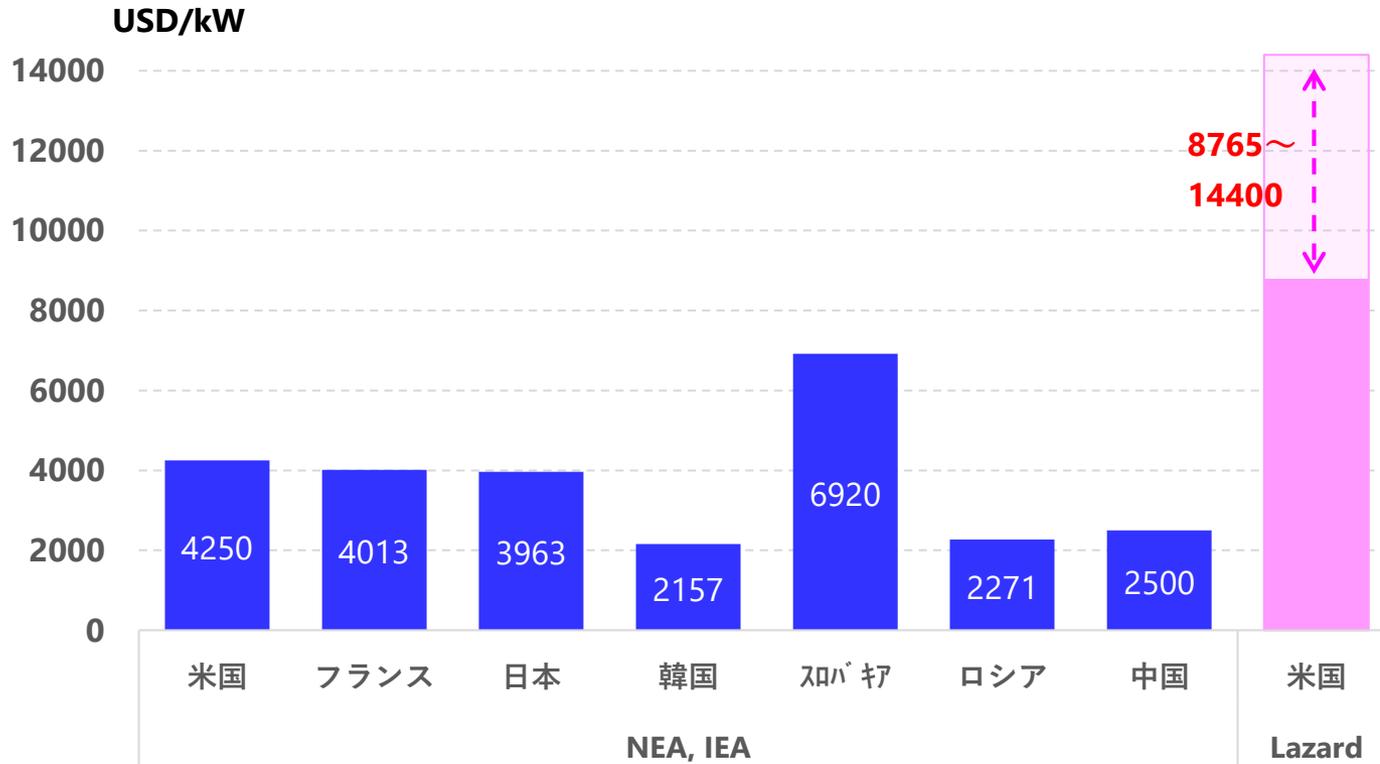
松尾 雄司

- 発電所の建設単価について
- 原子力発電の「価値」について
- 原子力発電所の設備利用率について

原子力発電の建設単価：NEA, IEAとLazard

(出所) OECD/NEA, IEA, "Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition"
Lazard, "Levelized Cost of Energy+ June 2024"

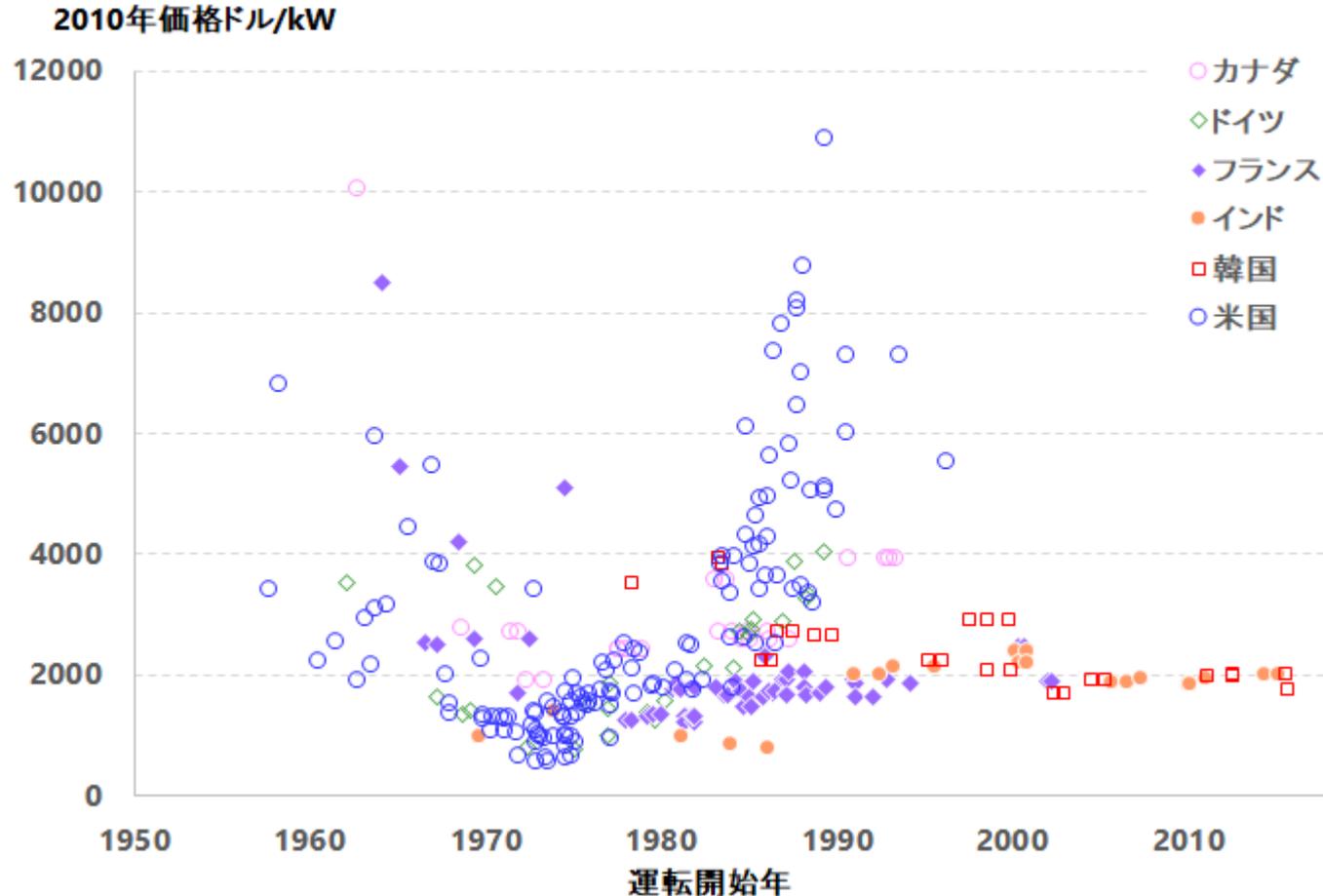
(註) **NEA, IEA**は2018年価格、**Lazard**は2024年価格 (?)



- 欧米の原子力建設単価はLazard (2024)のように非常に高く想定されることもある。
- Lazard (2024)では、**Vogtle発電所の建設コストデータを参照**している。これは、**数十年ぶりに原子力発電所建設を行った事例におけるコスト高騰をそのまま反映**したものであり、設計・品質不良による手戻りやサプライチェーンの劣化によるEPC費用の増加、長年にわたる諸経費の増加、資金調達費用の増加等の影響が現れている。

原子力発電所建設単価の推移（世界）

（出所） J. Lovering et al., (2016). *Energy Policy*, 91, 371-382より作成

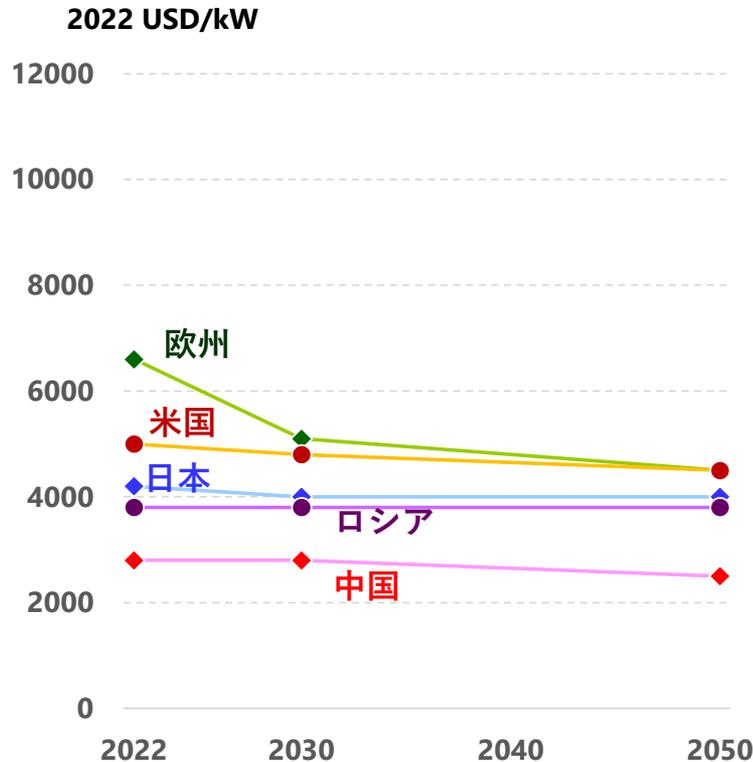


- 米国では1980年代、規制が強化されたことや建設期間が長引いたこと等に伴い、原子力発電所建設コストが急上昇した。
- 一方で、継続的にプラント建設を続けた韓国やインドではコストの顕著な上昇は見られない。

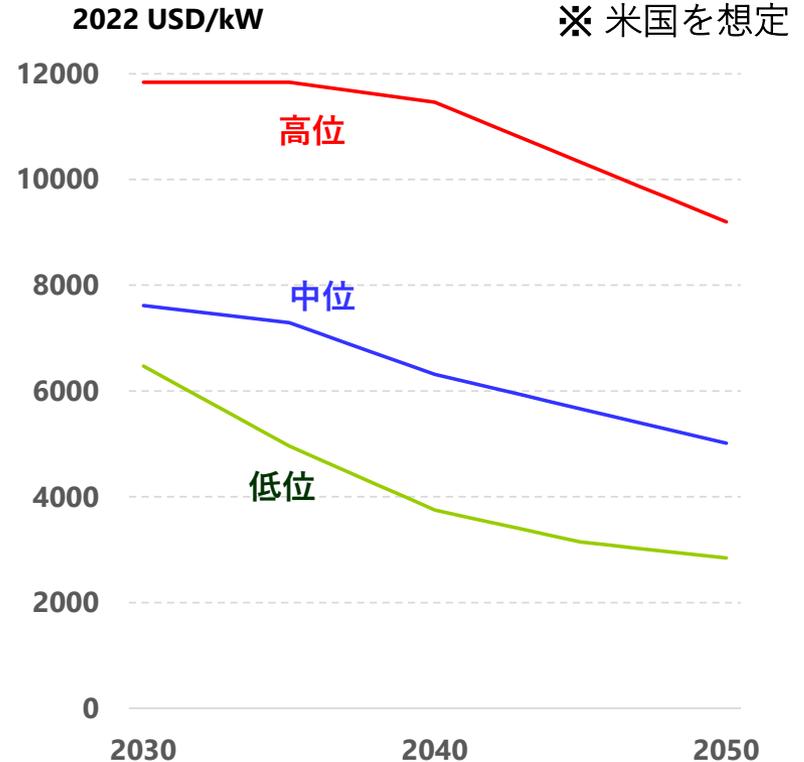
原子力発電の建設単価：IEAとNREL

(出所) IEA, "World Energy Outlook 2023" NREL, "2024 Annual Technology Baseline"

IEA, WEO 2023



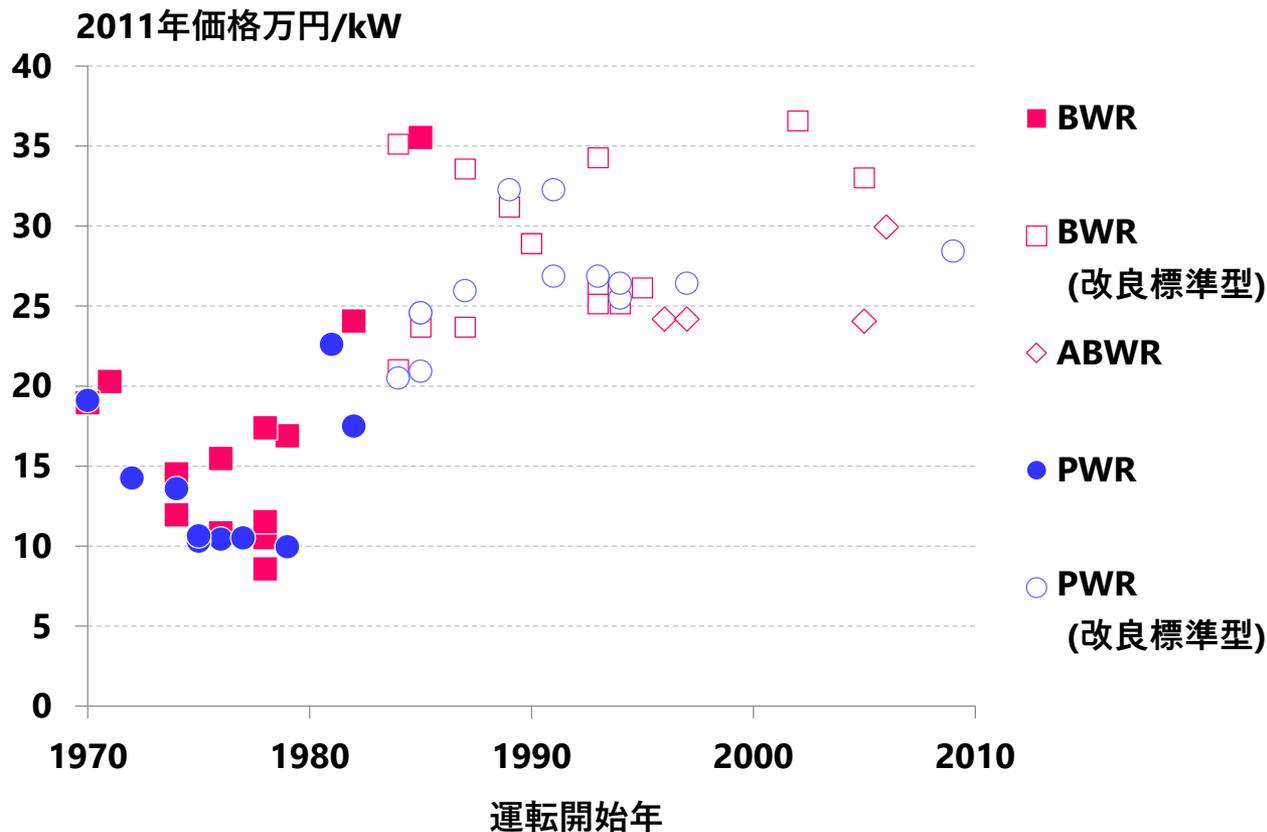
NREL, 2024 ATB



- IEAの"World Energy Outlook"や、米・国立再生可能エネルギー研究所（NREL）の想定では、主に建設基数の増加による習熟に伴い、**欧米における高い原子力建設単価は2050年にかけて低下してゆく。**
- 他方で、ロシア・中国など**継続的に建設を続けている国では、今後の顕著なコスト低下は想定されない。**

日本の原子力発電所の建設単価

(出所) Y. Matsuo and H. Nei, (2019). *Energy Policy*, 124, 180-198.



- 電力各社が提出した原子炉設置許可申請書に記載されている建設単価を使用（計画途中で値が変更されている場合は最終的な値を使用）。
- 企業物価指数により2011年実質価格に換算。

日本の原子力発電所の建設単価（重回帰分析）

(出所) Y. Matsuo and H. Nei, (2019). *Energy Policy*, 124, 180-198.

Table 1

Result of the regression analysis of the overnight unit cost (Standard model, variable inflation rates).

	Coef.	Std. error	t-value	p-value
<i>Constant</i>	3.80 [*]	1.55	2.45	1.77E-02
設備容量 ln CAP	-0.24 ^{**}	0.08	-2.87	6.00E-03
労働力単価 ln LC	0.34 [†]	0.18	1.89	6.52E-02
過渡期ダミー <i>dumTR</i>	0.52 ^{**}	0.18	2.90	5.57E-03
改良標準型ダミー <i>dumIS123</i>	0.67 ^{***}	0.11	6.07	1.81E-07
PWRダミー <i>dumPWR</i>	-0.10 [*]	0.04	-2.44	1.85E-02
初号機ダミー <i>dumFOAK</i>	0.39 ^{**}	0.12	3.32	1.72E-03
<i>Adjusted R²</i>	0.812			

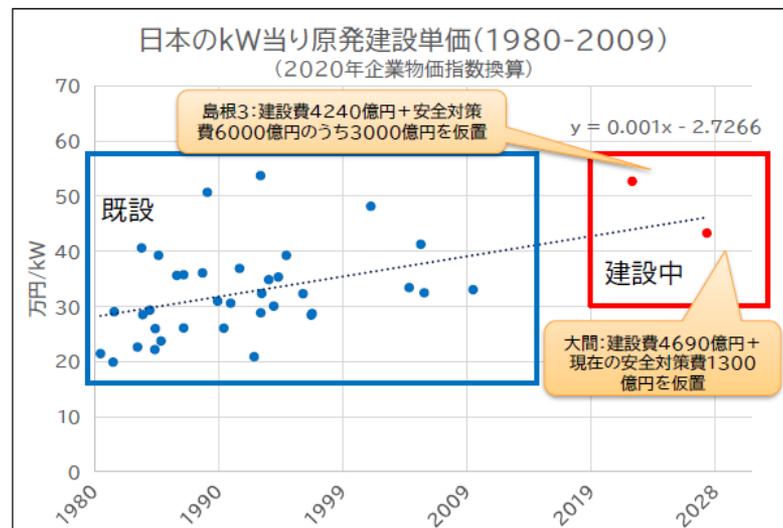
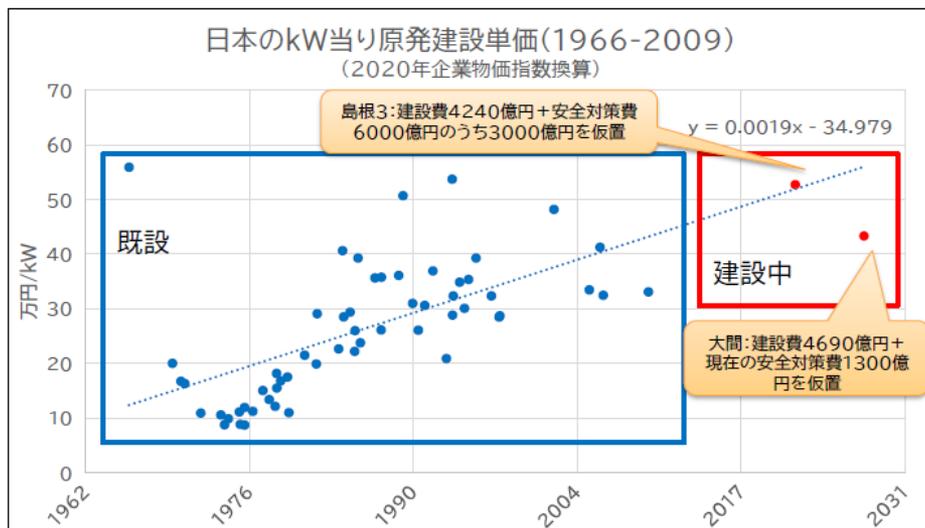
***, **, *, †はそれぞれ0.1%, 1%, 5%, 10%水準で有意であることを示す。

- 改良標準化、設備容量（規模の経済性）、労働力単価、初号機効果、ならびにBWR/PWRが過去、建設単価に有意に影響していた。
- 他方で、累積建設基数・タイムトレンド、基準地震動(S1, S2)等は有意に影響を与えていない。
- **日本では過去、時系列による建設単価の上昇は有意に確認されない。**
- フランスや米国を対象とした類似の学術論文では建設単価が有意に上昇しているとされ、日本のデータとは異なる。

日本の原子力発電所の建設単価

(出所) 2021年7月7日・第3回発電コスト検証WG資料 (原子力資料情報室)

- 日本のkW当り原発建設費は、1966年から見ても、1980年から見ても、同様に上昇傾向を示している。
- 原子力の規制基準強化は、建設費、建設期間にも影響すると考えられる。
- 原発の建設費は現状維持とすべきではなく、少なくとも、現在の建設費上昇の延長線上で見積もるべき。



- 物価の補正はされており、その点で適切な比較にはなっている。
- 既設炉に追加的安全対策費用が積みまれておらず、「建設中」のみに加算されている。
- 既設炉の**建設単価変動要因に関する分析**がなされていない。

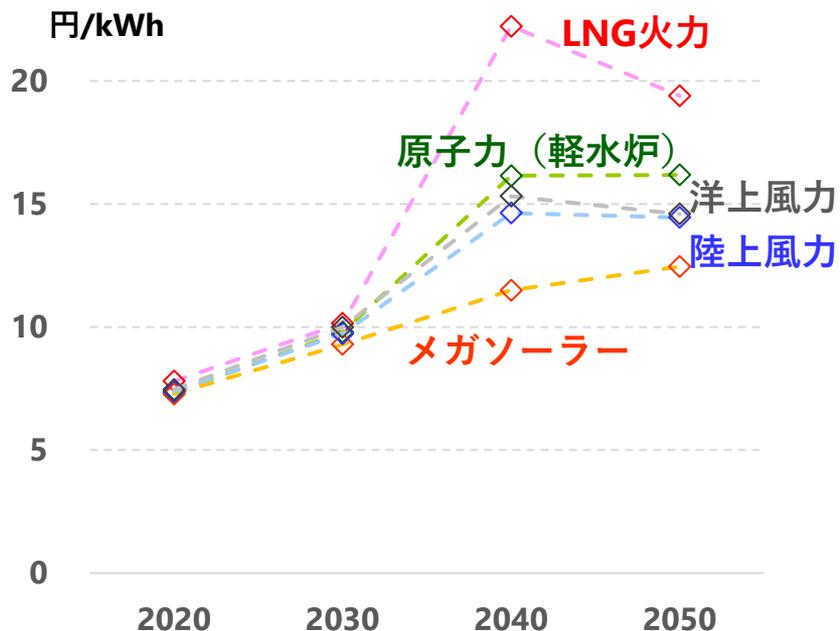
原子力発電所の建設単価：まとめ

- 過去、世界的には、数十年間新設がなく新設炉の建設期間延長が相次いだ欧米等において特に建設単価が顕著に上昇している。他方で、継続的に建設を進めている国では建設費用は比較的安定している。
- 日本では欧米と異なり、継続的に原子力発電所建設を続け、その建設期間も概ね5年程度で安定していた。これにより、発電所建設単価には有意な上昇が観測されていない。
- このことから、最新の（＝福島事故直前の）実績値に追加的安全対策費用を加算することで建設単価を評価する方法は適切であると思われる。
- 今後日本で新增設を行う場合、少なくとも最初のプラントのコストは建設費が高騰する可能性もある（しない可能性もある）が、正確な予測は不可能。このことから、
 - (1) 万一コストが上昇する可能性についても考慮に入れることが望ましい。
 - (2) コストを安定化させるためには、継続的に建設を進め、かつ、プラントの建設期間が長期化しないよう注意する必要がある。
- 原子力に限らず、化石燃料、再生可能エネルギー、低炭素技術等、すべてにわたって不確実性を排除しないことが政策立案上は有用であると思われる。

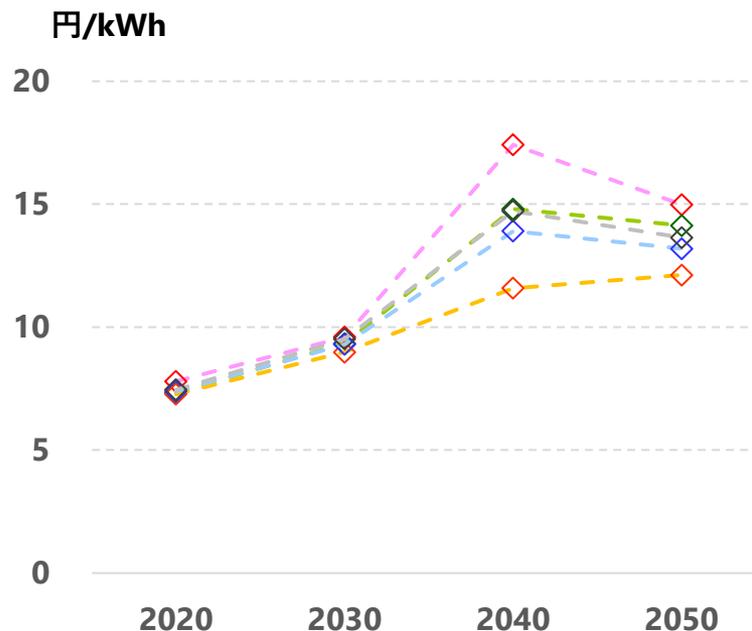
電源の価値の評価例（第1回発表資料より）

※第44回基本政策分科会（2021年6月30日）における日本エネルギー経済研究所発表資料に基づき試算

標準（ベース）ケース



CCS拡大ケース



- エネルギーミックスの中における**価値**は当該発電設備によって卸電力市場、容量市場等のマーケットから得られる収益として計算できる。
- 線形計画モデルでは、需給制約式のシャドウプライス（≒卸電力価格）にその時点の発電量を乗じ、年間にわたって合計することで卸電力市場の、供給予備力制約のシャドウプライス（≒容量市場価格）に設備容量を乗じることで容量市場の収益を計算できる。
- 標準（ベース）ケースとCCS拡大ケースにおける各電源の価値単価（=年間収益を年間発電量で除した値）は上図の通り。

脱炭素化時の原子力発電の経済性

- エネルギー需給モデルによる検討結果によれば、変動性再生可能エネルギー（VRE：太陽光、風力など）が極めて大量に導入された場合、原子力の価値は、**VREの出力が数日間天候により小さくなる時期に安定的に電力を供給できること**にある。
- この状況下では、原子力の経済性は、VREではなく、**脱炭素火力（CCS付き火力、水素火力、アンモニア火力など）との競合**によって規定される（「再エネ+蓄電池」は蓄電池容量が数日間以上の規模にならない限り競合相手とはならない※）。
- 従って、仮に原子力発電の建設費用が上昇した場合でも、そのLCOEが脱炭素火力と同等になるまでは一定程度の経済合理性をもつ。それを超えた場合には、原子力発電が経済合理性をもつことは難しい。

※ Matsuo et al., (2020). *Applied Energy*, 267, 113956.

LCOE評価における設備利用率の想定（火力・原子力）

	石炭火力	ガス火力 (CCGT)	原子力
OECD/NEA, IEA ¹⁾	85%	85%	85%
米エネルギー省 ²⁾	85%	87%	90%
英国エネルギー安全保障 ・ネットゼロ省 ³⁾	88-91%	88%	90%
2021年 発電コスト検証WG	10%-80%, デフォルト値70%		60%-80%, デフォルト値70%

1) OECD/NEA & IEA, Projected costs of generating electricity 2020 Edition.

2) U.S. EIA, Levelized costs of new generation resources in the Annual Energy Outlook 2022.

3) DESNZ(BEIS), Electricity generation costs (2016), Electricity Generation costs 2020, Electricity Generation Costs 2023.

- 2021年発電コスト検証ワーキンググループでは、火力・原子力の設備利用率をエクセル上で変更できるようにした上で、デフォルト値としては70%で設定。
- OECDや諸外国のLCOE評価では、技術上、現実的に可能な最大値を用いることが多い（但しOECD試算でCCGTは30%を想定するなど、例外もある）。

原子力発電所の設備利用率（再稼働後）※1

	設備容量 (万kW)	並入 (発電開始)	営業運転 開始	差し止め分含む		差し止め分除く	
				発電開始後 の日数	設備利用率	発電開始後 の日数	設備利用率
美浜3号機	82.6	2021/6/29	2021/7/27	1,129	67%	1,129	67%
高浜1号機	82.6	2023/8/2	2023/8/28	365	84%	365	84%
高浜2号機	82.6	2023/9/20	2023/10/16	316	104%	316	104%
高浜3号機	87	2016/2/1	2016/2/26	3,104	63%	2,720	72%
高浜4号機	87	2017/5/22	2017/6/16	2,628	74%	2,628	74%
大飯3号機	118	2018/3/16	2018/4/10	2,330	76%	2,330	76%
大飯4号機	118	2018/5/11	2018/6/5	2,274	87%	2,274	87%
関西計	657.8				75%		78%
四国（伊方3号機）	89	2016/8/15	2016/9/7	2,908	60%	2,268	77%
玄海3号機	118	2018/3/25	2018/5/16	2,321	77%	2,321	77%
玄海4号機	118	2018/6/19	2018/7/19	2,235	80%	2,235	80%
川内1号機	89	2015/8/14	2015/9/10	3,275	84%	3,275	84%
川内2号機	89	2015/10/21	2015/11/17	3,207	83%	3,207	83%
九州計	414				81%		81%
合計	1,160.8				76%		79%

※1 特定重大事故等対処施設の整備のための定期検査を含む。それを含まない場合には設備利用率はより高くなる。

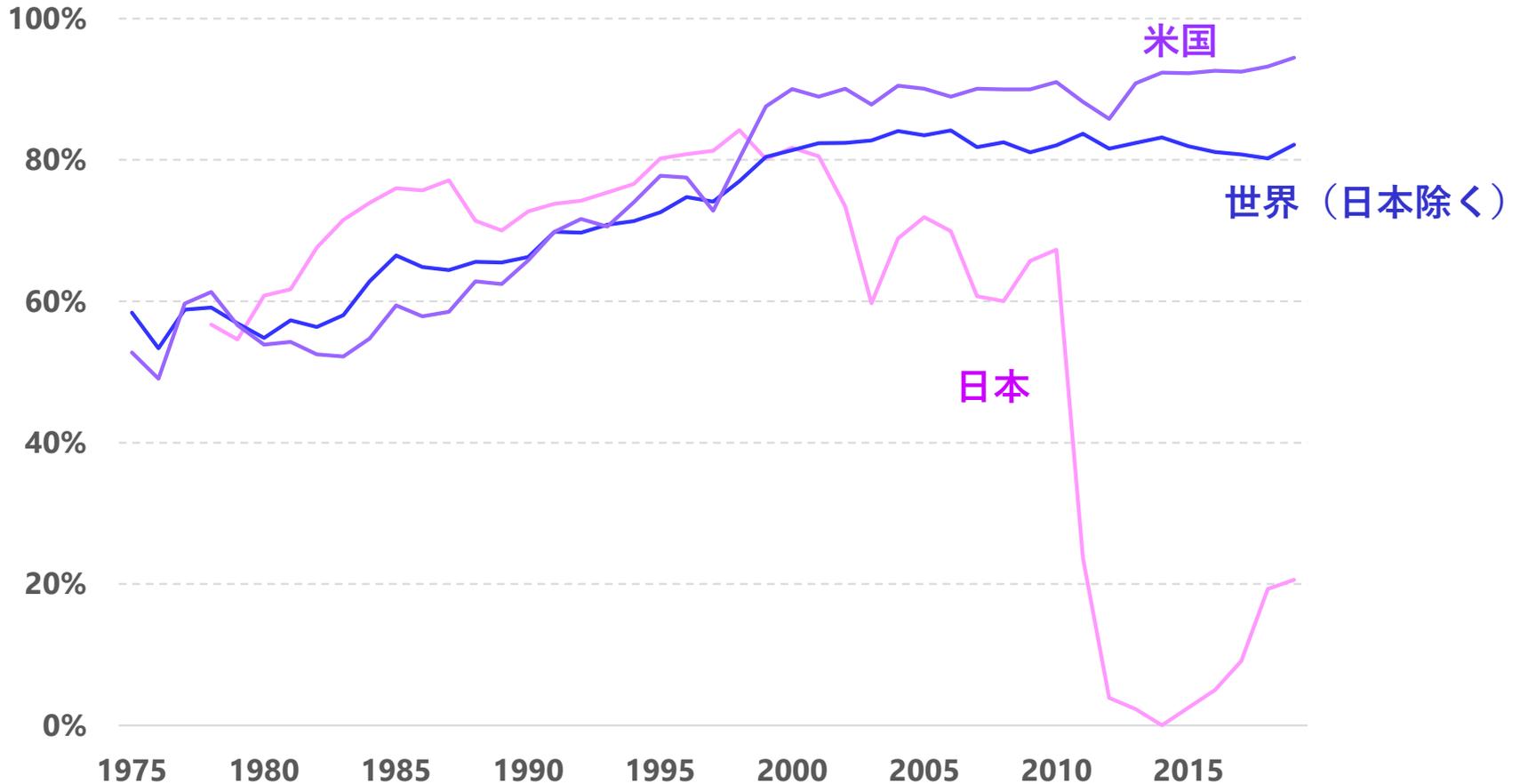
註) 福島第一原子力発電所事故後の再稼働時から2024年7月末までの集計。

「差し止め分除く」とは司法判断による運転差し止めの仮処分の日数分を控除した値。

(出所) 原子力産業協会
データより作成

原子力発電所の設備利用率の推移（日本・世界）

（出所）IAEA-PRIS, 原子力産業協会データより作成



- 2000年代に入り、世界平均では概ね80%以上、米国では90%以上で安定的に推移。
- 日本では2000年頃までは世界平均を上回っていたが、その後低い水準で推移した。