

シンビオ社会研究会「エネルギー基本計画2050」講演会
京都大学芝蘭会館別館研修室 I
京都市左京区吉田牛ノ宮町11 - 1
2020年1月29日（水）14:00～17:00

原発の役割はもう終わったか？

京都大学エネルギー理工学研究所
森下和功

morishita@iae.kyoto-u.ac.jp

自己紹介

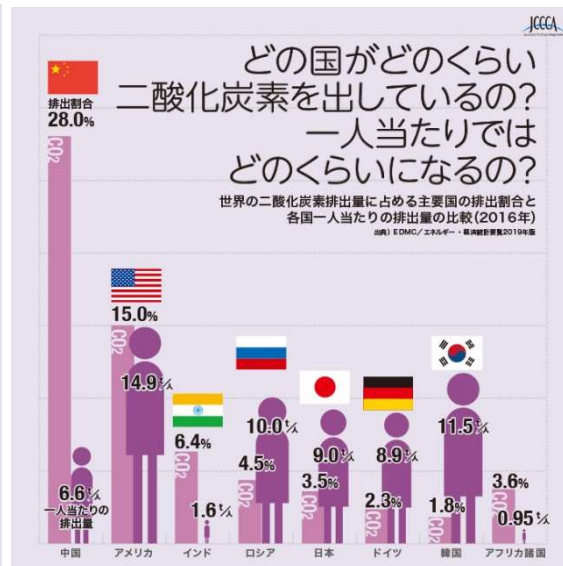
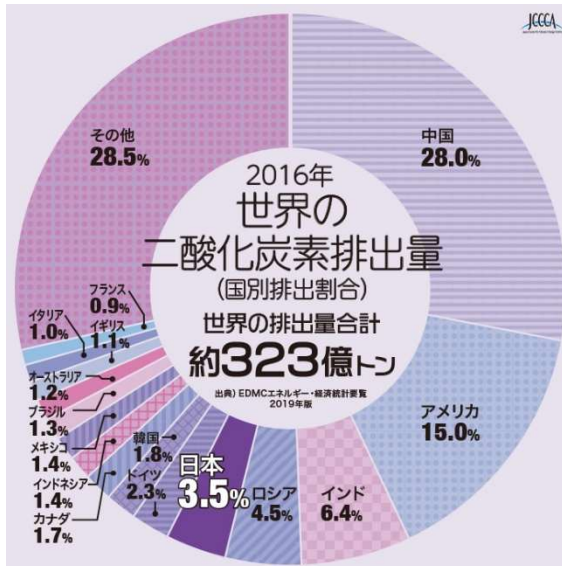
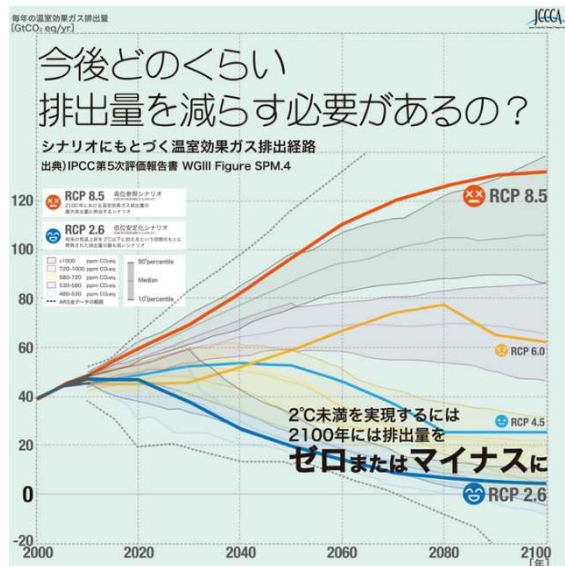
原子力エネルギーシステム保全のための材料研究

- 原子炉・核融合炉の材料と保全の研究
特に、材料の経年劣化（照射損傷）の解明と劣化予測
- 原子炉・核融合炉の保全
 - ① プラント・材料の**状態を把握**し（非破壊評価）
 - ② 材料劣化の進行を**予測**し（理論シミュレーション）
 - ③ 予測に基づき**対処**（修理、取換、寿命判断、廃棄）
- 材料劣化の予測
 - ・ マルチスケールモデリング
 - ・ 予測の**不確実性**を考慮して（リスク）

世界的な気候非常事態に対する国際的取組みが始まっている。

パリ協定

- **2020年以降の気候変動**に関する国際的枠組み
- 2015年12月の**COP21**（パリ）で採択、2016年11月発効。
- **脱炭素社会の実現**
産業革命前に比べ**2°C未満**に抑制 さらに**1.5°C抑制努力**
- 21世紀後半までに人為的温室効果ガスの**排出と吸収を均衡**（ネットゼロ）









日本の排出量は全世界の3%に過ぎないが、1人あたりの排出量に直すと、意外と多い。

パリ協定に対する日本の対応

2030年と2050年

- 2030年までに2013年比**26%削減**、2050年に **80%削減**
- 現状からの積み上げでない目標
- イノベーションの加速化による「環境と成長の好循環」により実現

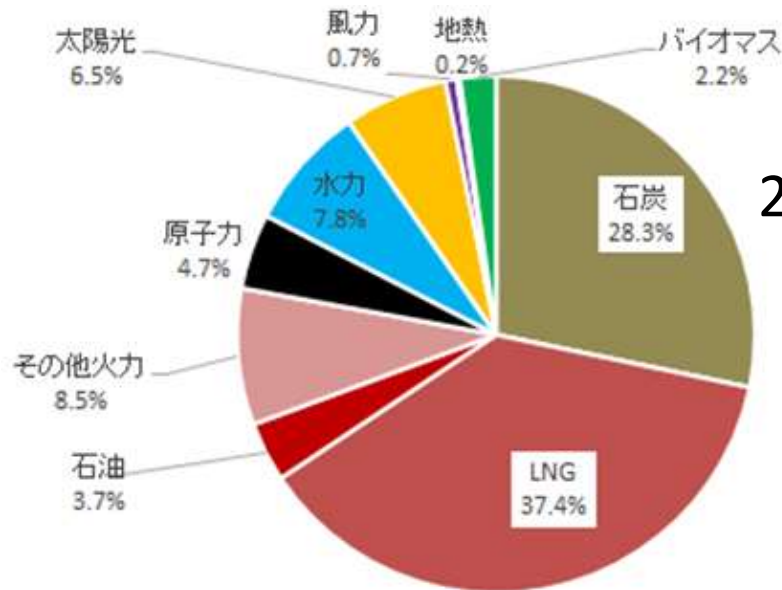
各国の削減目標
国連気候変動枠組条約に提出された約束草案より抜粋

国名	削減目標	
 中国	GDP当たりのCO ₂ 排出を 2030年までに 60 - 65% 削減 <small>※2030年前後に、CO₂排出量のピーク</small>	2005年比
 EU	2030年までに 40% 削減	1990年比
 インド	GDP当たりのCO ₂ 排出を 2030年までに 33 - 35% 削減	2005年比
 日本	2030年度までに 26% 削減 <small>※2005年度比では25.4%削減</small>	2013年度比
 ロシア	2030年までに 70 - 75% に抑制	1990年比
 アメリカ	2025年までに 26 - 28% 削減	2005年比

平成27年10月1日現在

いかに経済に悪い影響を与えずに目標を達成するか？

日本の電源構成の現状と 再生可能エネルギー内訳の推移



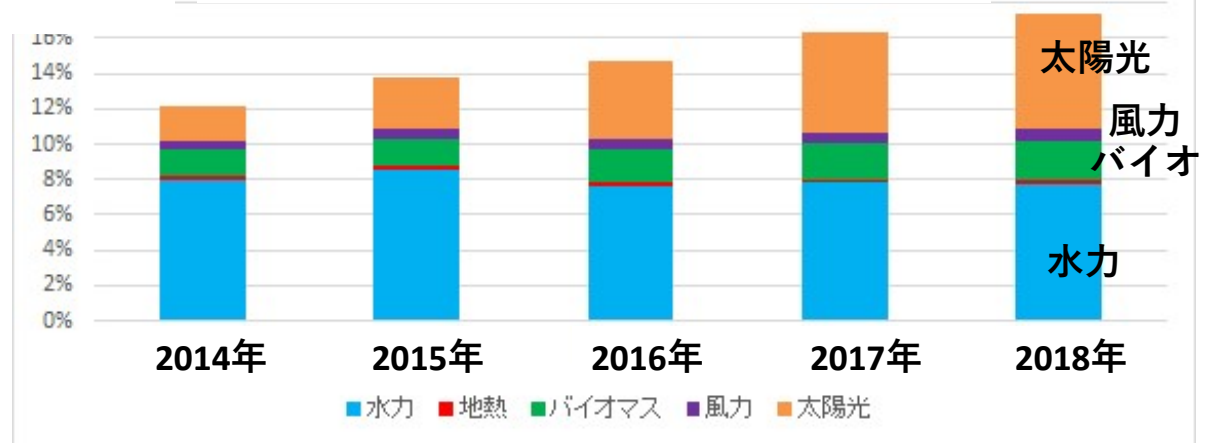
2018年

78%が化石燃料
17%が再生可能エネルギー
5%が原子力

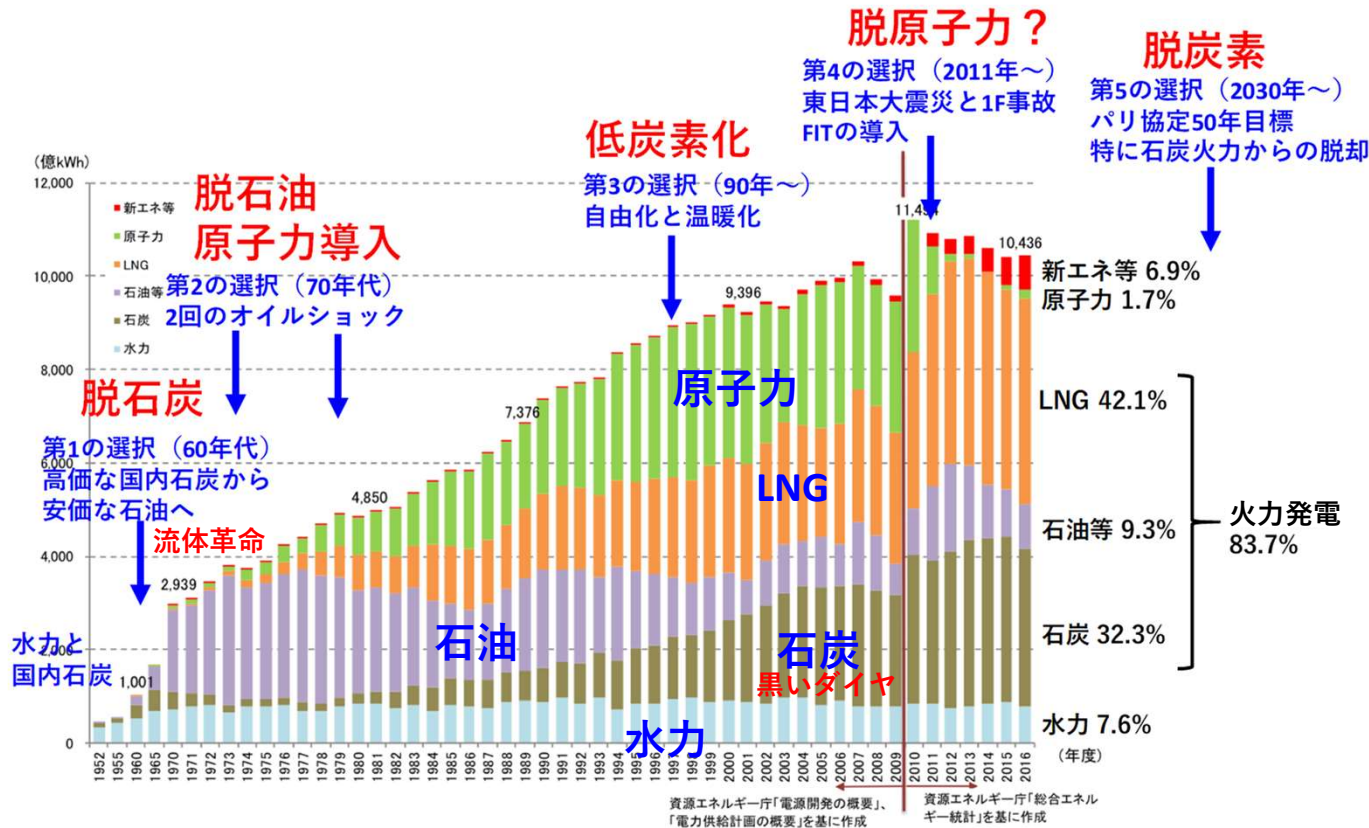
福島事故の影響で、
日本の原子力は数%

太陽光が順調に
シェアを伸ばしている。
他はそうでもない。

日本の年間発電量に占める再エネ比率の推移
2014年～2018年



日本の電源構成の推移



電源構成を決定する要因 (S + 3Eに影響するもの)
 資源量、コスト、発電量、供給安定性、普及率 (太陽光発電)、
 社会的受容性 (原子力、石炭)、インフラ整備 (電力系統など)、
 技術的実現性 (核融合炉など)、法規制 (安全基準、再エネ賦課金、裁判)、燃料別CO2排出係数 (kg-CO2/kWh) など

2018年計画における2030年構成は

- 原発 20~22%、
- 再エネ 22~24%
- 火力56%

原子力減で火力増

原子力問題と環境問題は同時に解けないのか？

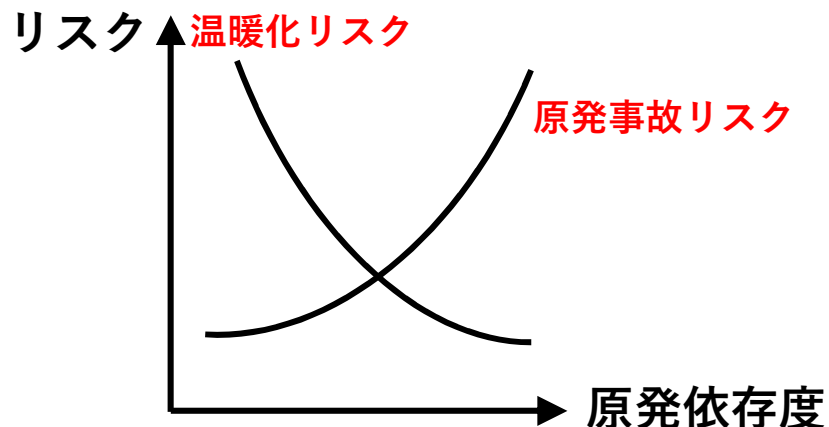
● 地球温暖化への対応

2030年でCO₂排出量を26%削減、2050年で80%削減

● 福島原発事故の影響

原発依存度をできる限り低減する方針のもと、安全最優先の再稼動や使用済燃料対策など、必要な対応を着実に進める。

● リスクトレードオフにどう対処すべきか



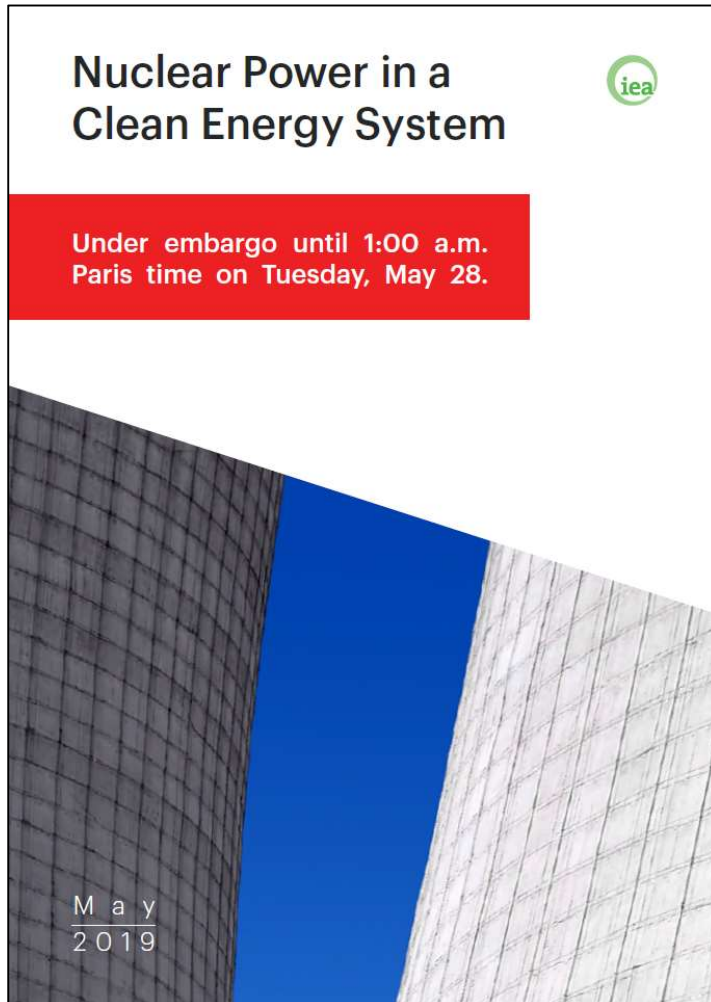
ひとつのリスクが発現すると、それに対し強い対応をするあまり、別のリスクが引き起こされることがある。

[参考] リスク学事典 (丸善)

最適化して両方のリスクを最小化するのか？それともどちらかのリスクを選択するのか？

いつまでに決めればいいのか？

原子力の現状および今後はどうなるか？



IEA報告書 2019年5月

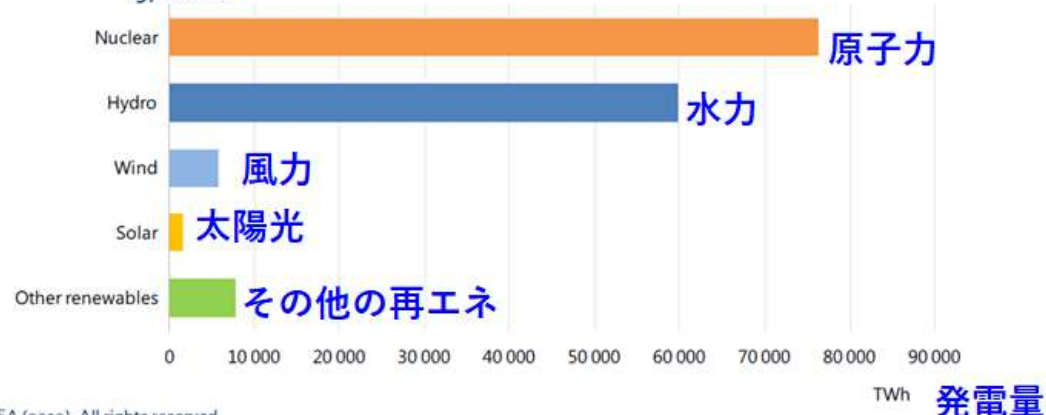
“Nuclear Power in a Clean Energy System”

- 新政策シナリオ (New Policies Scenario)
最新のエネルギー政策が実施されると想定
- 持続可能な開発シナリオ (Sustainable Development Scenario)
パリ協定の目標達成の施策を想定
- 原子力縮小ケース (Nuclear Fade Case)
先進国において、既存炉の寿命延長や新設がない

- ✓ 原発縮小による中長期の影響に関する報告書
- ✓ 原発の寿命延長や新設などの手立てを打たないと、先進国では、2040年までに原発発電能力が最大で約3分の2減る。
- ✓ 電力需要を他の電力源で賄うと、費用や温暖化ガス排出量の増加につながる。急激な原子力縮小のリスクを警告した。

これまで原子力は脱炭素電源としての役割を十分に果たしてきた

Figure 3. Cumulative low-carbon electricity generation in advanced economies by source, 1971-2018

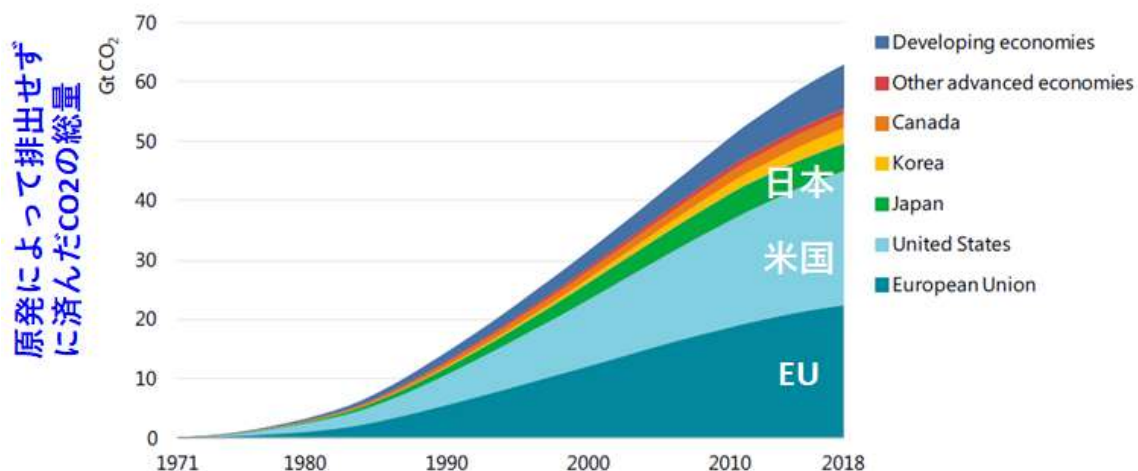


IEA (2019). All rights reserved.

2018年の世界の電力供給の10%が原子力である。先進国では発電量の18%を占め、低炭素電源の中では最大になる。

1970年代以降、先進国の低炭素電源の発電量の90%が原子力と風力である。

Figure 4. Cumulative CO₂ emissions avoided by global nuclear power to date



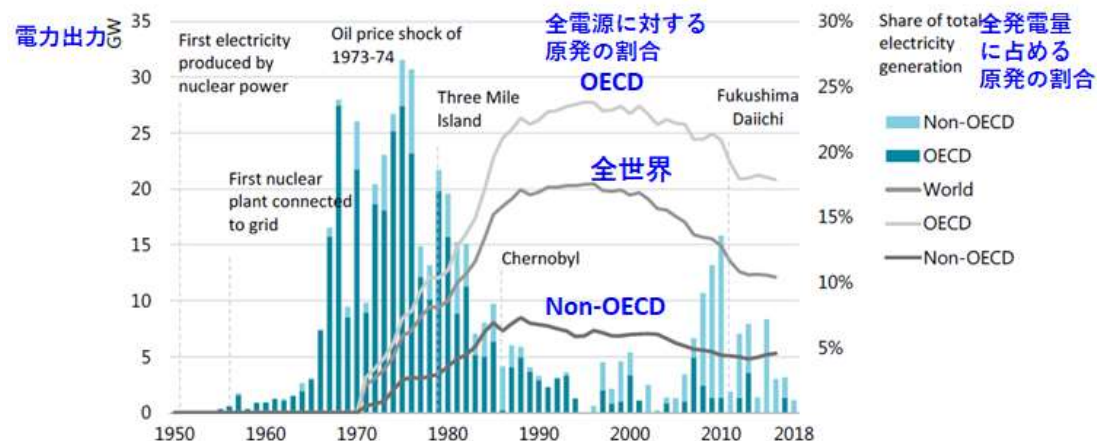
IEA (2019). All rights reserved.

原発がなければ、この半世紀の間、CO₂排出量は今の20%増になっていたはず。

[出典] IEA報告書(2019)

米国やEUの原子炉の多くは運転年数30年以上

Figure 5. Reactor construction starts and share of nuclear power in total electricity generation



Note: OECD = Organisation for Economic Co-operation and Development.
Sources: IAEA (2019), Power Reactor Information System (PRIS) (database); IEA (2018a), Electricity Information 2018 (database).

先進国で稼働中の原発のほとんどは1990年以前に建設されたものである

Figure 6. Age profile of nuclear power capacity in selected countries/regions



Source: IAEA (2019), Power Reactor Information System (PRIS) (database).

平均運転年数

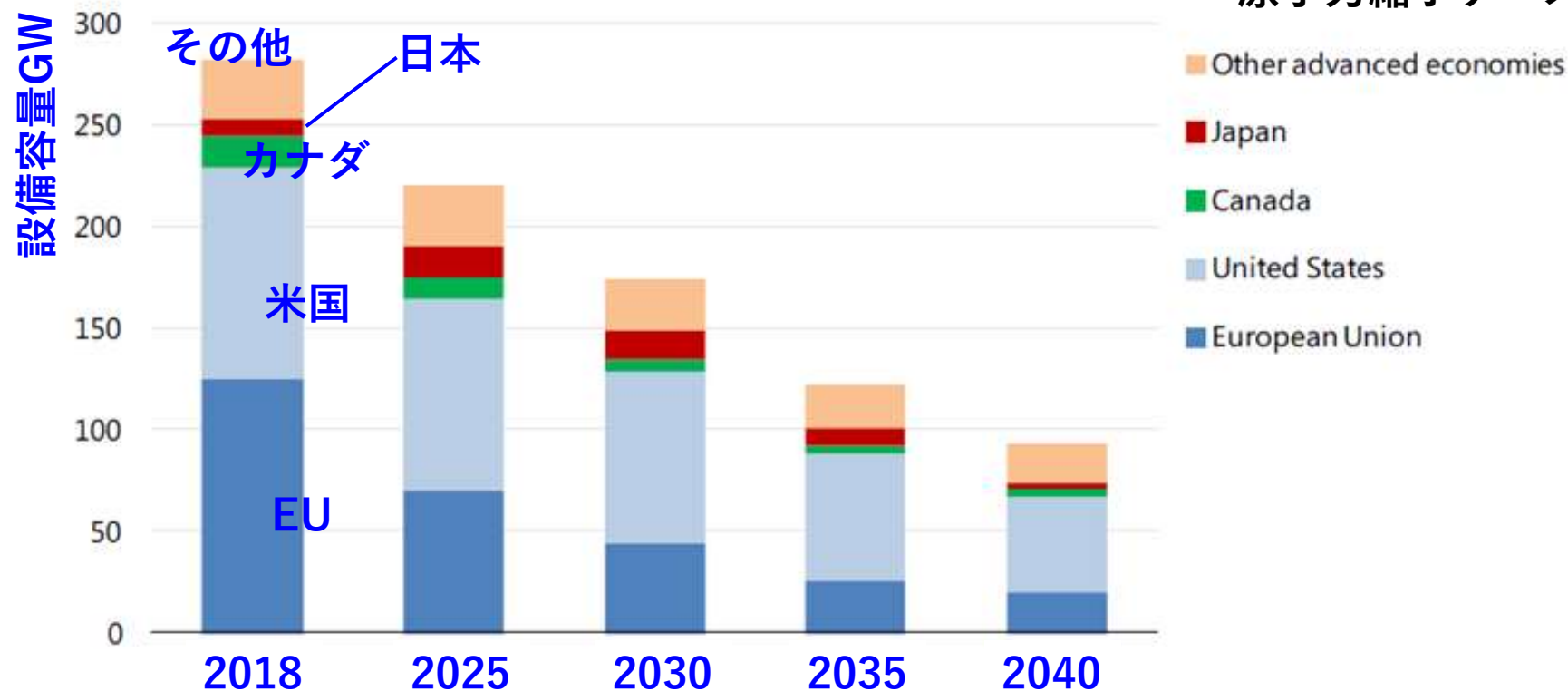
米国	39
EU	35
ロシア	40
日本	29
韓国	21
インド	23
中国	7

[出典] IEA報告書(2019)

寿命延長や新設などの手を打たなければ、先進国では 2040年までに原発の発電能力が最大で約3分の2減る

Figure 19. Operational nuclear power capacity in advanced economies in the Nuclear Fade Case

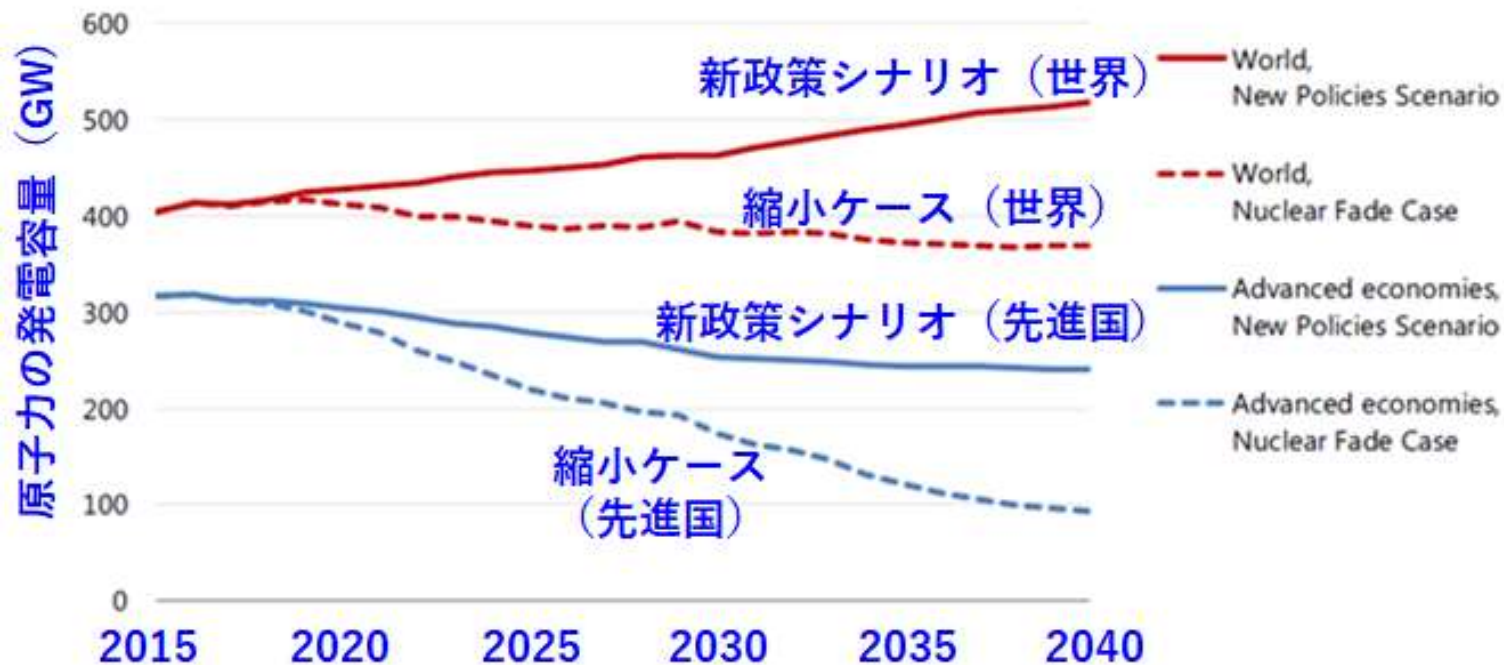
原子力縮小ケース



[出典] IEA報告書(2019)

原子力縮小ケースにおける先進国の原子力の急激な減少は、発展途上国での成長を上回り、世界の原子力発電能力を下げってしまう

Figure 21. Nuclear power capacity in the New Policies Scenario and the Nuclear Fade Case

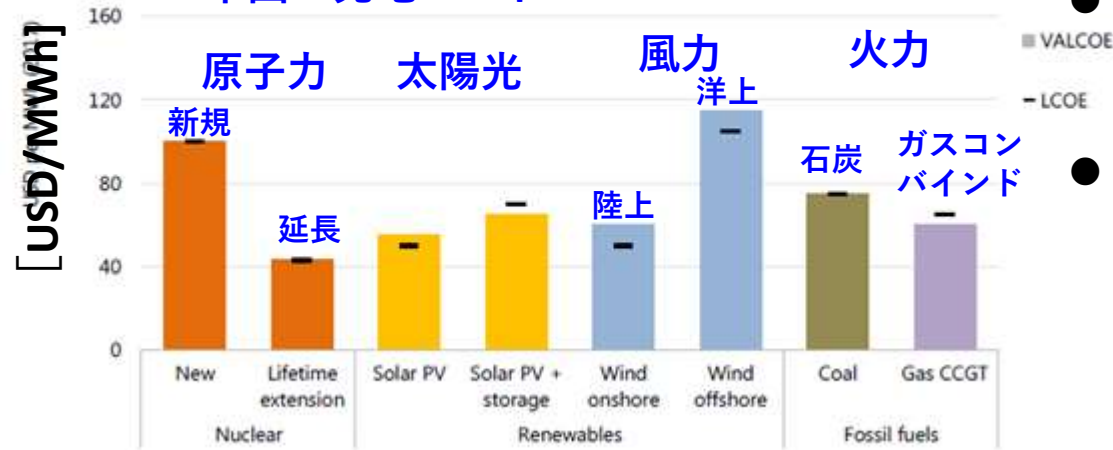


- 新政策シナリオ (New Policies Scenario) : 最新のエネルギー政策が実施されると想定
- 原子力縮小ケース (Nuclear Fade Case) : 先進国で寿命延長や新規建設がないと想定

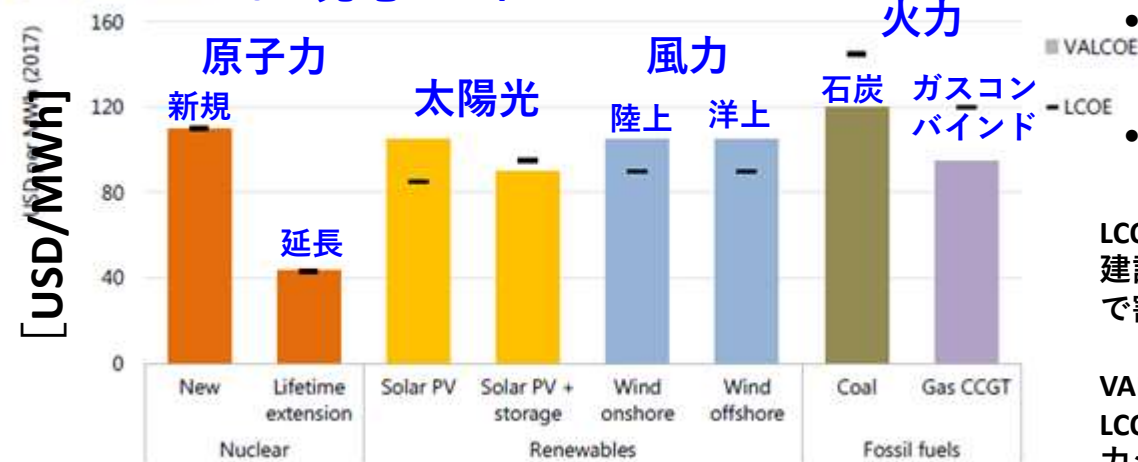
原子力プラントの寿命延長はコスト競争力が高い。 一方、現状では新規建設には投資しづらい。

Figure 11. Projected LCOE and value-adjusted LCOE by technology, 2040

a) United States 米国の発電コスト



b) European Union EUの発電コスト



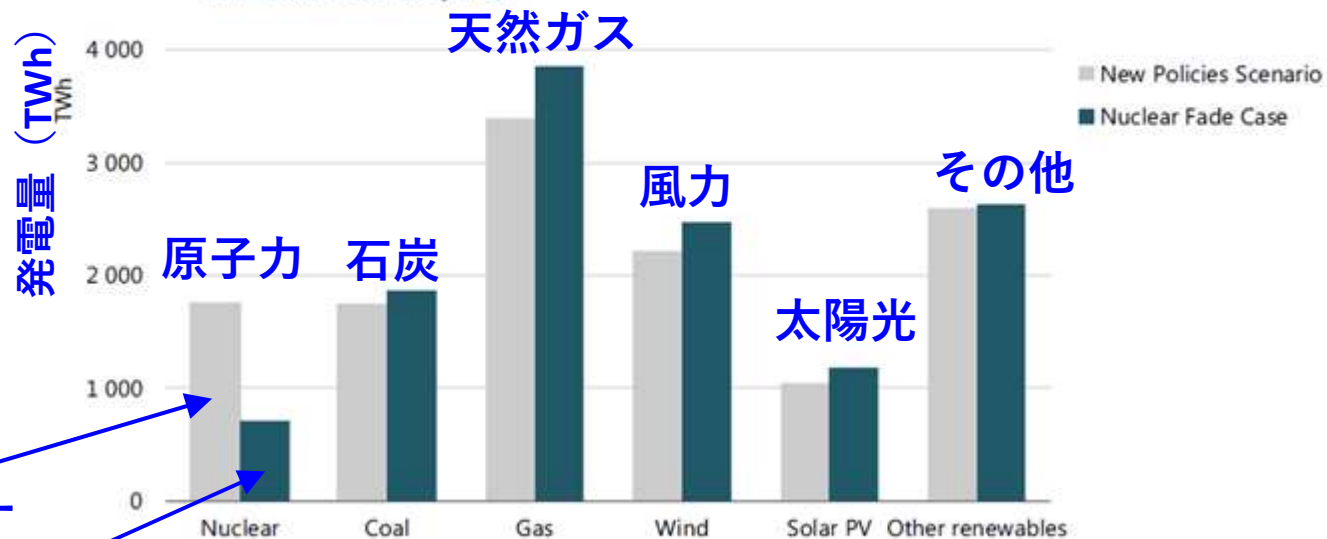
- 原子炉の寿命延長はコスト競争力が高い。
- 原子力新規建設はコスト的に厳しい。
 - ・ 先行投資が莫大（数十億ドル）
 - ・ 長いリードタイム（着手から完成までの期間）
 - ・ 建設上の問題、遅延、コスト超過のリスク
 - ・ 政策または電力システム自体の変更の可能性
 - ・ 強力な政策支援が必須

LCOE 均等化発電原価 [USD/MWh]
建設費、運転維持費、廃棄処理費の合計を発電量で割った値

VALCOE 価値補正済みLCOE
LCOEに加え、需給調整や送配電網整備など、電力システム全体で生じるコストを含む

原子力縮小による発電容量の減少分は、天然ガスによる発電で相殺することになる。

Figure 23. Electricity generation by source in advanced economies in the New Policies Scenario and Nuclear Fade Case, 2040



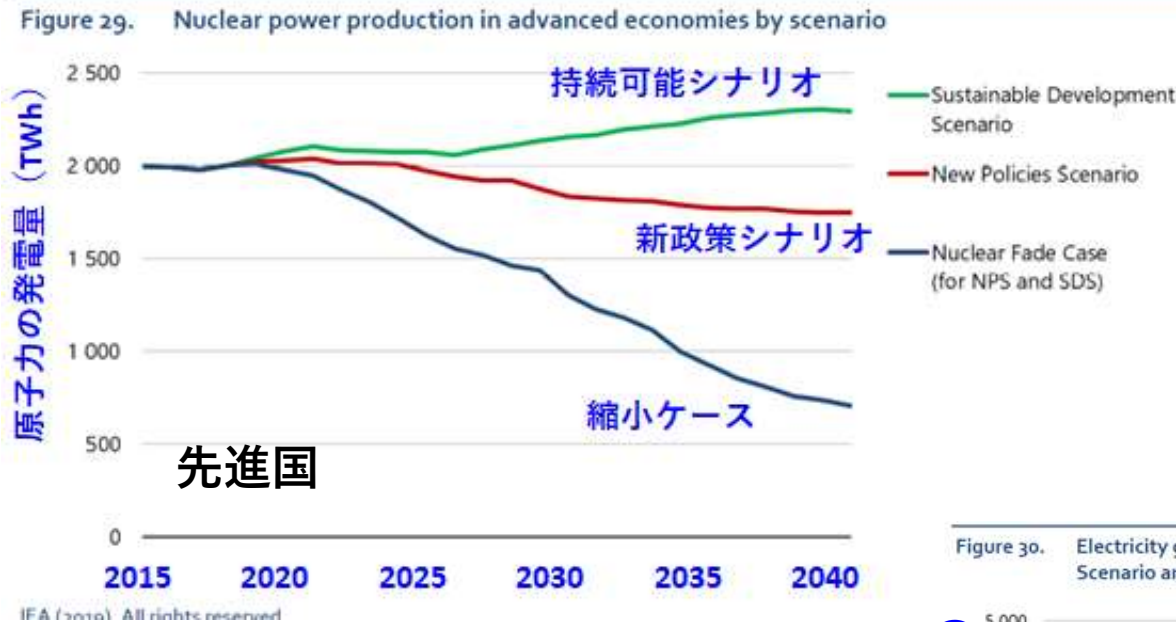
新政策シナリオ

縮小ケース

- 新政策シナリオ：最新のエネルギー政策が実施されると想定
- 原子力縮小ケース：先進国で寿命延長や新規建設がないと想定

ガスの増加でCO2排出量は増えてしまう。
ただし、そもそも新政策シナリオではパリ協定の目標は達成できない。

持続可能性を条件にするのであれば、原子力縮小ケースで減少した発電容量は、風力と太陽光で補うことになる。



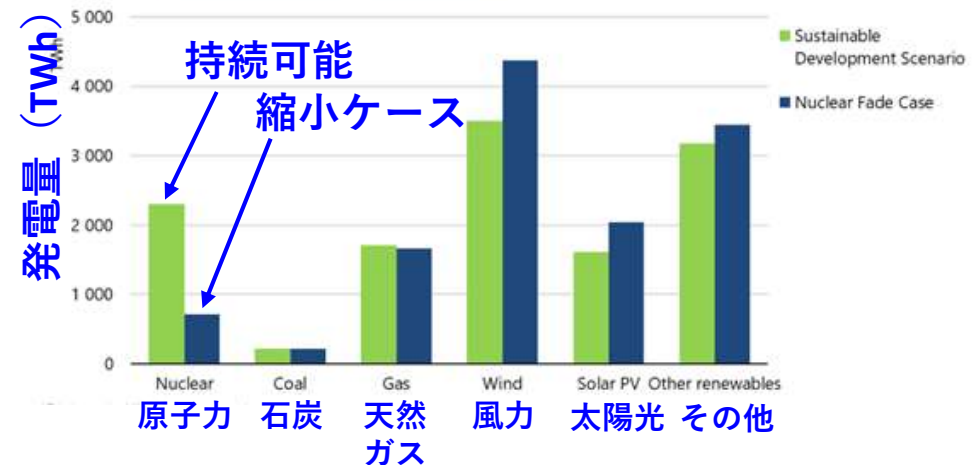
持続可能シナリオにするには、原子力の利用が不可欠である。

縮小ケースで持続可能性を追求するのであれば、原子力を使わないことで発生する電力不足を何で補えばいいのか？

→風力と太陽光

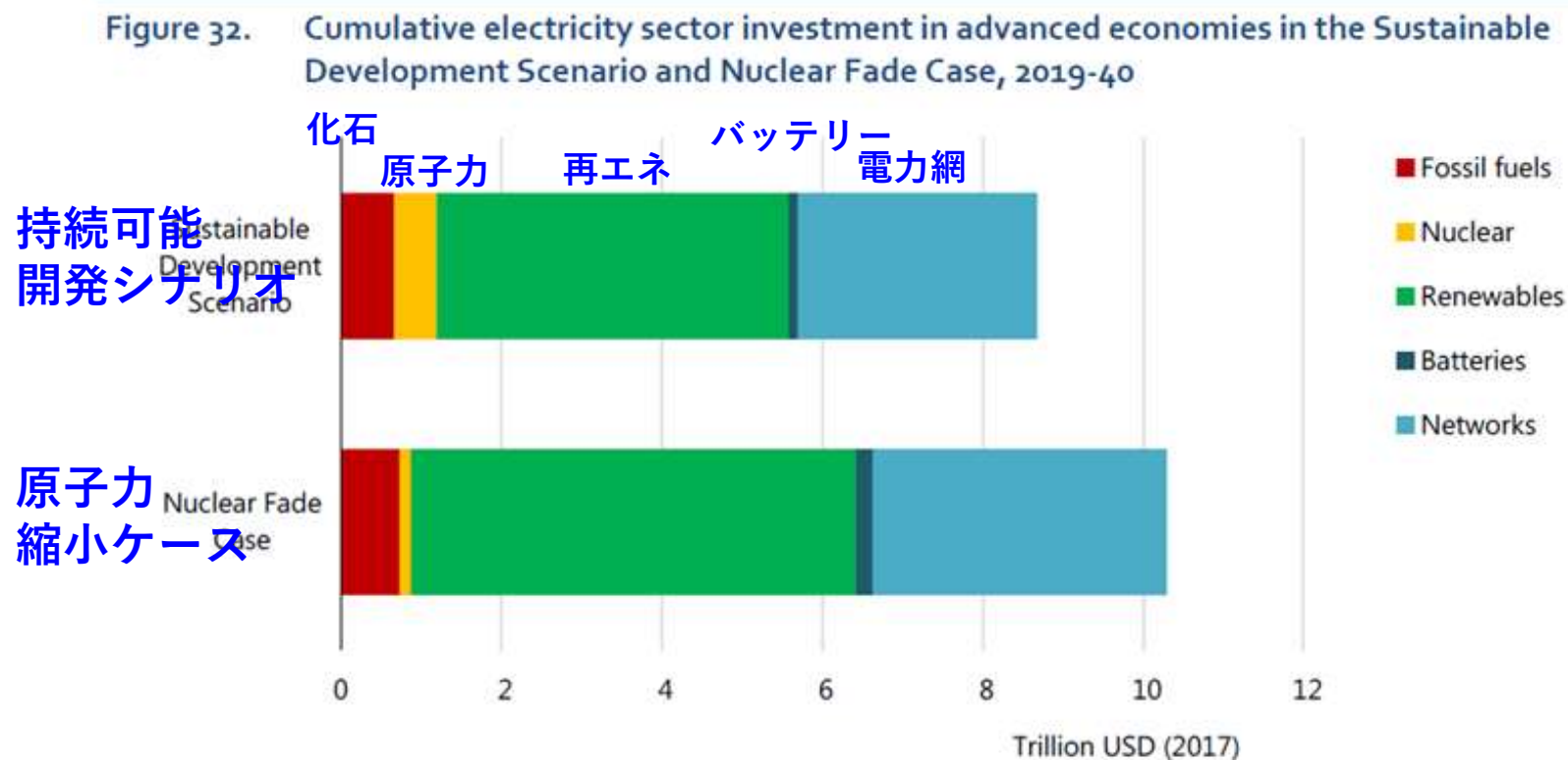
- 新政策シナリオ
最新のエネルギー政策が実施されると想定
- 持続可能な開発シナリオ
パリ協定の目標達成に必要な施策を想定
- 原子力縮小ケース
先進国において、既存炉の寿命延長や新規建設がないとする想定した

Figure 30. Electricity generation by source in advanced economies in the Sustainable Development Scenario and Nuclear Fade Case, 2040



原子力保守費用4000億ドルが不要になる代わりに、 再エネ、蓄電池、電力網の投資に2兆ドルが必要になる。

持続可能開発シナリオで原子力縮小ケースにした場合としない場合の投資額の比較



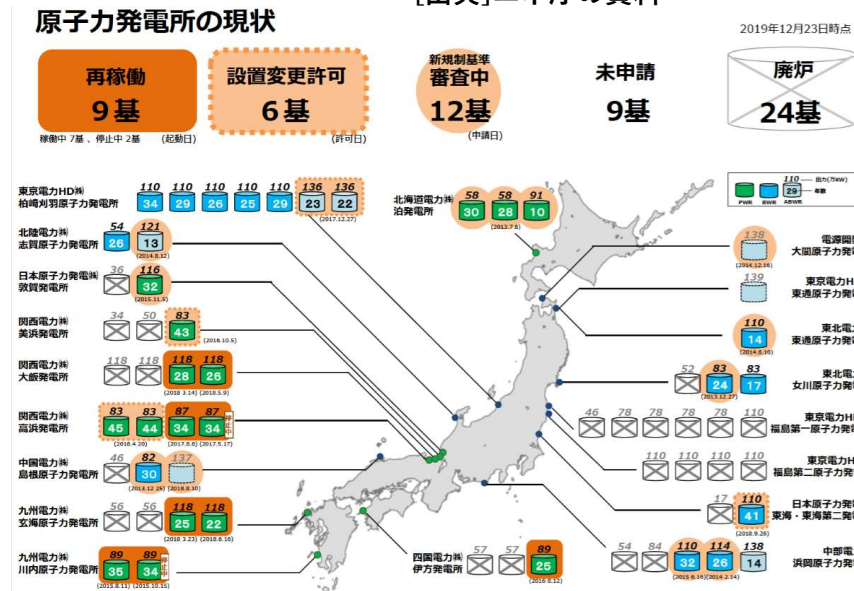
IEA (2019). All rights reserved

パリ協定の目標を達成しつつ、原子力縮小とするのであれば、
再エネを利用拡大するための相応の追加の投資が必要になる。

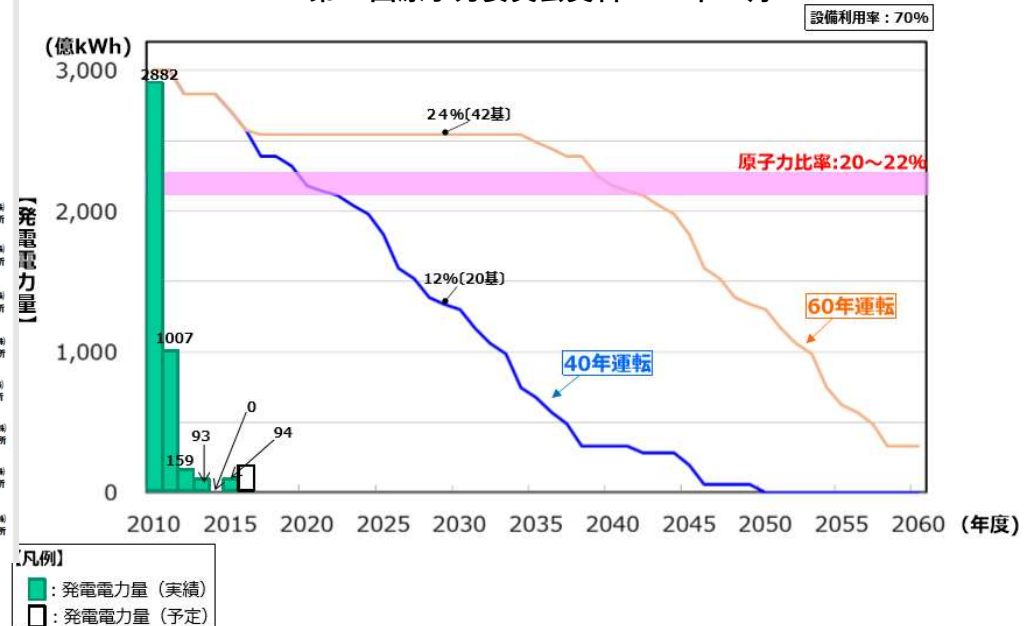
日本の原発縮小シナリオはもう始まっている？

- 高経年化 + 新規建設投資高 + 寿命延長制限によるフェードアウト
- 新規規制基準による追加投資の必要性和コスト超過
→ 低出力炉の経済的合理性に基づく廃止措置決定
- 規制庁による新規規制基準適合性審査の遅延
- 裁判所による仮処分命令

[出典] エネ庁の資料

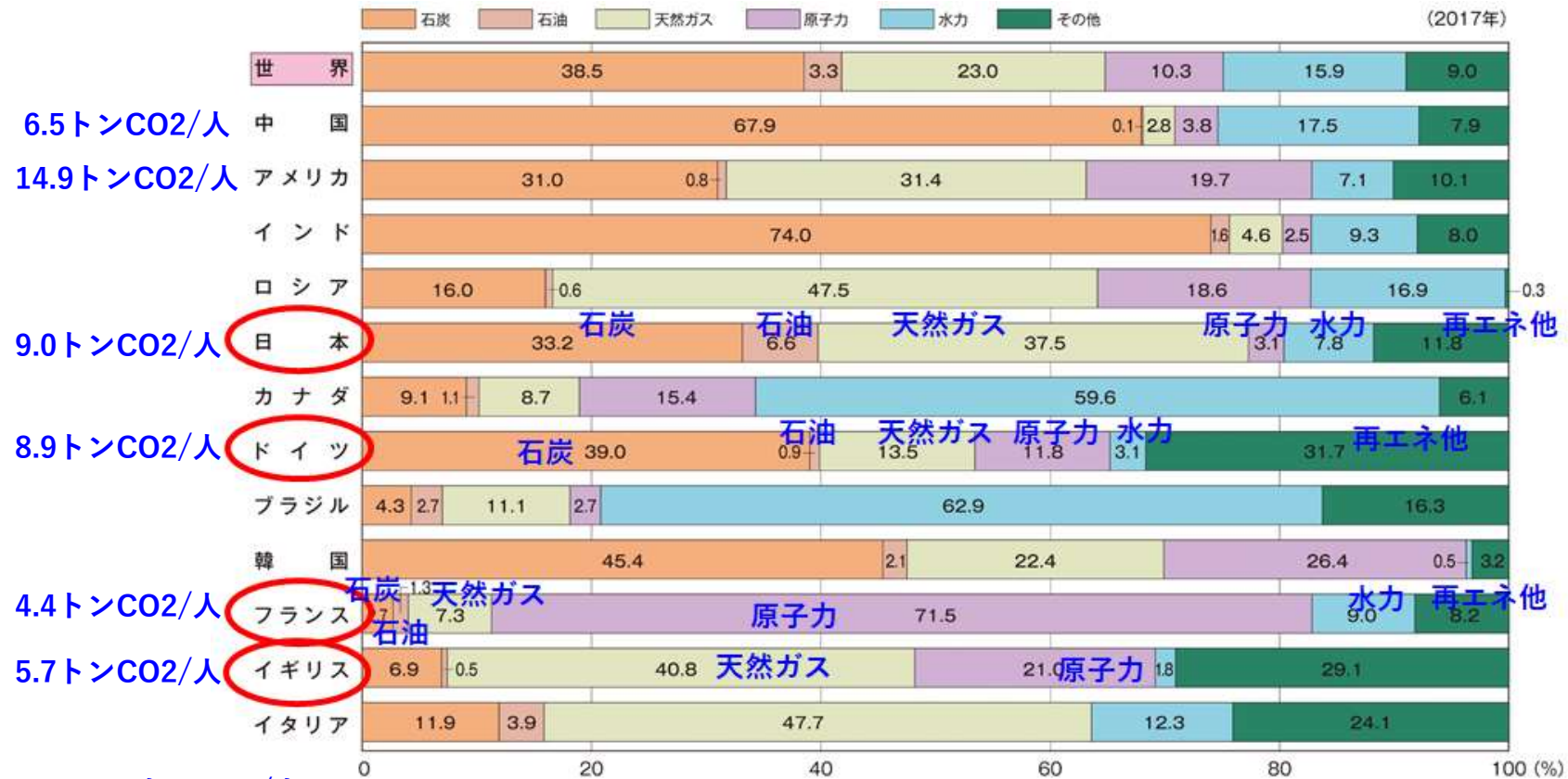


[出典] 電気事業連合会「原子力発電の現状について」、第38回原子力委員会資料2016年12月



- 規制が定める寿命により、原子力比率をエネルギー基本計画の20~22%に維持することは困難である。
- 原子炉の新規計画から稼働まで10~20年かかることを考えると、既設炉の寿命を延長したとしても、原子力比率をエネルギー基本計画どおりに維持することは困難である。

日本はどの国の電源構成を見習うべきか？



※EU 6.4トンCO2/人

[参考] 原子力・エネルギー図面集
エネ庁ホームページ

- ドイツは再エネの割合が大きいが、1人あたりのCO2排出量は日本と変わらない。変動型再エネ（太陽光・風力）のバックアップに石炭を使っているため。今後は石炭減へ。
- フランスは原子力が多く、1人あたりのCO2排出量は日本の半分。
- イギリスは低炭素電源（原子力、再エネ、水力）で全体の半分以上を占める。残りの半分は火力だがガス比率が大きい。一人当たりのCO2排出量は日本よりも低い。

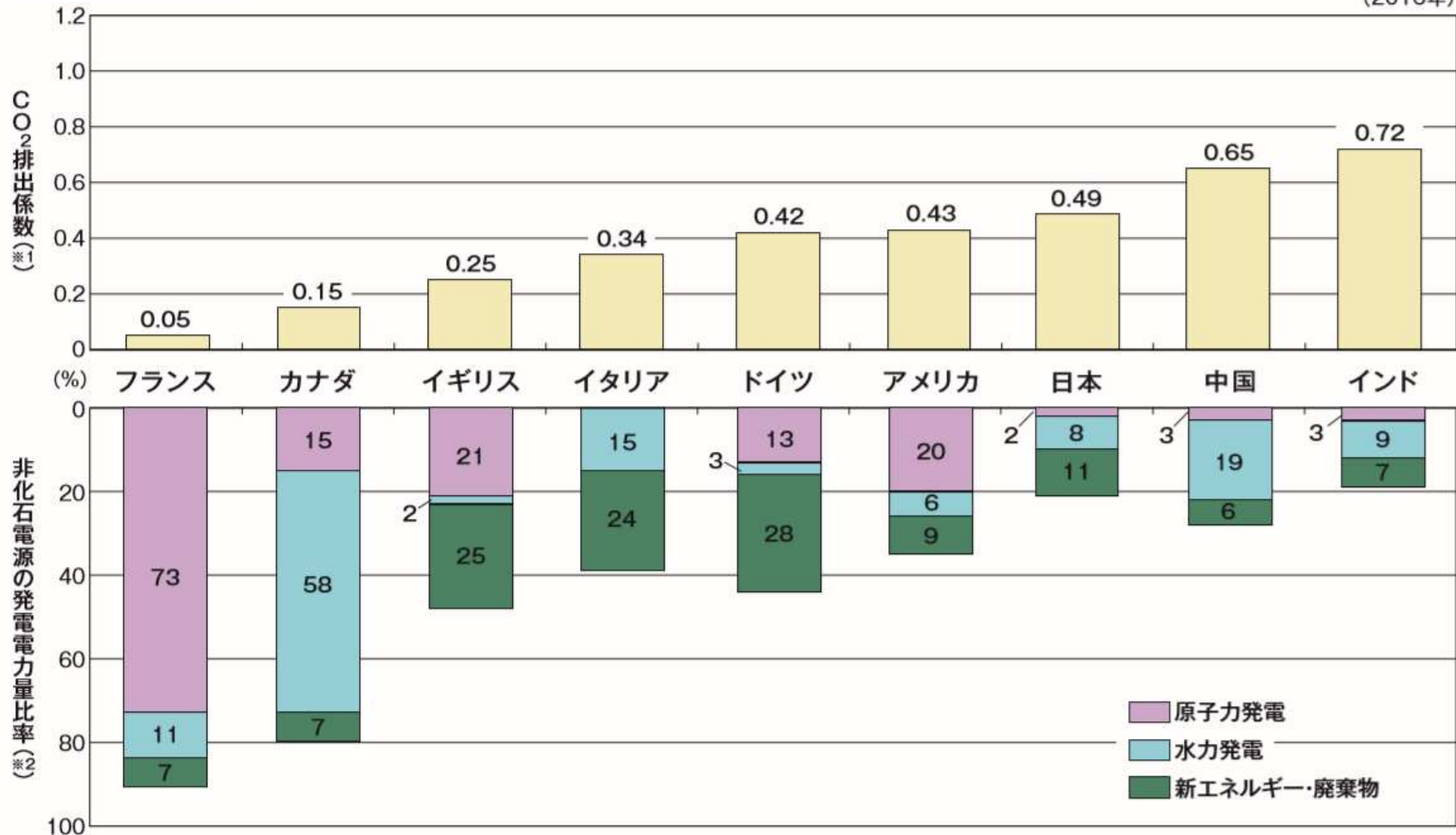
CO2排出係数（発電端）の各国比較

真の環境先進国はどこか？

[参考] 原子力・エネルギー図面集

kg-CO2/kWh

(2016年)



原発を抑えるべきか、継続すべきか。

再エネ + バックアップを選択するか、
原発を継続すべきか。

2050年目標を達成するには
どちらの選択がよいか？

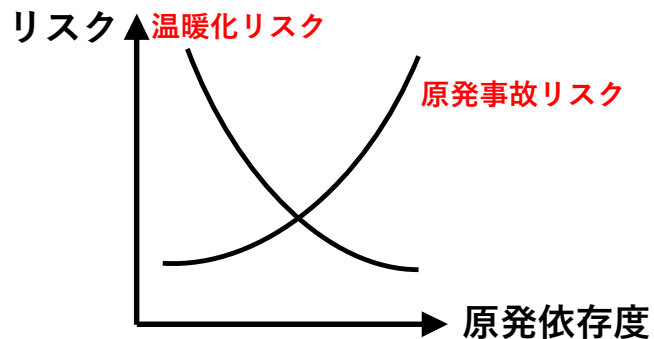
実現している技術とそうでない技術

少なくとも技術的実現性を考えると、
今から原発ゼロにしてしまうのはよくない。
不確実性が増大する。
確実性の高い選択をすべき。

いますぐ決断しないと間に合わない。
原子力フェードアウトしかかっている。

原発は稼働していなくても危険である。
ならば代替が確定するまでは原発を稼働
させ、その後廃炉を検討するのが合理的、
論理的、理性的である。

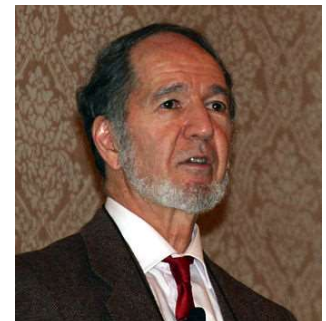
現時点では温暖化対策にとって原子力発電が最も適している。
いまやるべきリスク選択を誤ってはいけない。



両方のリスクを最適化すべきか、
それとも一方を選択すべきか？

米国の進化生物学者
ジャレド・ダイヤモンド

「温暖化で人類が減びることはあっても、
原発事故で減びることは有りえない。
温暖化のほうが深刻、原発を手放すな」



Wikipediaより