



原子力発電と確実なエネルギー移行

今日の課題から明日のクリーンエネルギーシステムへ

(Nuclear Power and Secure Energy Transitions

From today's challenges to tomorrow's clean energy systems)

概要紹介

国際エネルギー機関 (IEA) 特別報告書 2022年6月30日発表

(一社)日本原子力産業協会

情報・コミュニケーション部

2022年7月

原子力発電と確実なエネルギー移行

今日の課題から明日のクリーンエネルギーシステムへ

IEA特別報告書 2022年6月30日発表

iea

Nuclear Power and Secure Energy Transitions

From today's challenges to tomorrow's clean energy systems

International
Energy Agency

◆特別報告書目次

- ・ エグゼクティブサマリー
- ・ 政策勧告
- ・ イントロダクション
- ・ 第一章：今日の世界の原子力発電
- ・ 第二章：実質ゼロ排出への道における原子力エネルギーの役割
- ・ 第三章：原子力エネルギーの競争力
- ・ 第四章：小型モジュール炉 (合計93頁)

- エネルギーを取り巻く近年の世界情勢や地球温暖化防止への意欲的な取組などから、原子力が復活するまたとないチャンスが訪れたと確信している
- 復活するかどうかは各国政府が原子力発電所を安全に運転させ、新たな原子力技術への投資を支持する政策を打ち出せるかどうかにかかっている
- 産業界は、新規建設の工期延長とコストの増加という課題に、早急に取り組まねばならない



IEAのF. ビロル事務局長
©IEA

目次

- ✓ 報告書のポイント
- ✓ 原子力の継続利用を決めた国への政策勧告

<図表紹介>

- ✓ 原子力は今も主要なクリーン電力の供給源
- ✓ マーケットの主導権は先進国からシフトへ
- ✓ 各国の原子力発電支援の重要な動き（2020～2022年）
- ✓ 原子力発電所の建設期間（国別、1967～2021年）
- ✓ 最近の原子力プロジェクトにみるオーバーナイトコストと建設期間
- ✓ 各国の原子力発電所の平均稼働率
- ✓ 世界のエネルギー由来CO₂ 排出量（シナリオ別、2000～2050年）
- ✓ 2050年までの原子力発電設備容量（NZEシナリオ）
- ✓ 低原子力ケースでNZEシナリオを達成する場合
- ✓ 世界の2050年までの原子力発電所の退役と新規追加（国/地域別、NZEシナリオ）
- ✓ 先進国の既存原子力発電設備容量（シナリオ/ケース別）
- ✓ 既存原子炉の政策および規制決定の状況（国別、2019年5月～2022年5月）
- ✓ 再稼働または運転期間延長に係る政策および規制決定保留の状況（国別）
- ✓ 2050年までの原子力発電量と原子力シェア（NZEシナリオ）
- ✓ NZEシナリオとIPCCシナリオの原子力発電量シェアの比較
- ✓ 2050年までの世界の給電可能な発電設備容量（電源別、NZEシナリオ）
- ✓ 原子力発電所の建設コスト想定（国/地域別、NZEシナリオ）
- ✓ 均等化発電コスト（技術別/国別、NZEシナリオ）
- ✓ 均等化発電コストと価値調整済均等化発電コスト（電源別、2030年）
- ✓ 原子力発電の余剰電力利用による水素製造（NZEシナリオ）
- ✓ 世界で開発中のSMR（短期開発見通し）
- ✓ 世界のSMRプロジェクトの数（開発段階別）
- ✓ エネルギー移行におけるSMRの役割
- ✓ 世界の主要なSMRプロジェクトの数（温度範囲と想定されている利用）

報告書のポイント

◆燃料価格の高騰やエネルギー安全保障への懸念が高まるなか、多くの国で原子力を推進する機運が高まっている。成功するかどうかは、政府と産業界にかかっている

- IEAが提唱する2050年実質ゼロ排出量シナリオ（NZE, 以降NZEシナリオと記す）では、2020～2050年の間に原子力発電は倍増し、原子力を活用しようとするすべての国で新規建設が必要となる
- 原子力発電の利用を継続または拡大することを選択した国々では、輸入化石燃料への依存低減やCO₂排出量削減により、太陽光や風力発電を電力システムにより多く取り入れることが可能になる。NZE達成に向けた持続可能でクリーンなエネルギーシステムの構築は、原子力なしではより困難に、よりリスクが高く、より高価になる
- 原子力の利用を支援し、その安全性を高めるために強固な政策が必要だが、原子力発電の競争力を保証するために、産業界はOn Time, On Budgetでプロジェクトを遂行しなければならない
- 既存炉や新規建設だけでなく、最新技術の開発など新たな投資を集めるためには、今後も政府の政策支援や政府補助が必要である。原子力のような資本集約的かつ長いライフタイムを有する資産、特に重大な政策リスクにさらされる資産には、十分な民間資金が存在することはほとんどない
- NZEシナリオでは、今世紀半ばまでの排出量削減の半分がまだ商業的に利用可能となっていない技術によるものであり、これには小型モジュール炉（SMR）が含まれる。SMRの固有の安全性や小型化による資本コストの低下、プロジェクトリスクの低減は、社会的受容性を向上させ、民間投資を呼び込む可能性がある
- SMRの長期的な展開が成功するかどうかは、民間投資を活用するための政策立案者や規制当局からの強力な支援にかかっている。特にSMRの属性を考慮した許認可・規制の枠組の合理化や調和が鍵となる

原子力の継続利用を決めた国への政策勧告

◆プラントの運転期間を延長する：

既存原子力発電所の運転期間延長を認可し、安全である限り出来るだけ長く運転継続ができるようにする

◆電力市場が給電可能かつ低排出な容量の価値を認める：

原子力発電所が排出の回避、利用可能な容量や周波数制御を含む電力セキュリティを維持するために提供するサービスに対して、競争的かつ非差別的な方法で補償されるよう、電力市場を設計する

◆新規炉を支援するための資金調達の枠組を創設する：

許容できるコストで、また投資家と消費者間でリスクを公平に共有しながら、新規プラントの資本コストを集めるためのリスク管理と資金調達の枠組を設定する

◆効率的かつ効果的な安全規制を促進する：

安全規制当局が新規プロジェクトや設計を適時にレビューし、新しい設計に対して調和のとれた安全基準を開発し、許認可要件が明確に伝わるよう潜在的な開発者と公衆が関与するためのリソースとスキルを有することを確保する

◆廃棄物処分の解決を実施する：

高レベル廃棄物処分施設をまだ持っていない国で同施設の承認と建設の優先付けに市民を関与させる

◆SMRの開発と展開を加速する：

SMRが電力、熱、水素のコスト効果の高い低排出源となり得る機会を特定する。実証プロジェクトとサプライチェーン開発への投資を支援する

◆パフォーマンスにしたがって計画を再評価する：

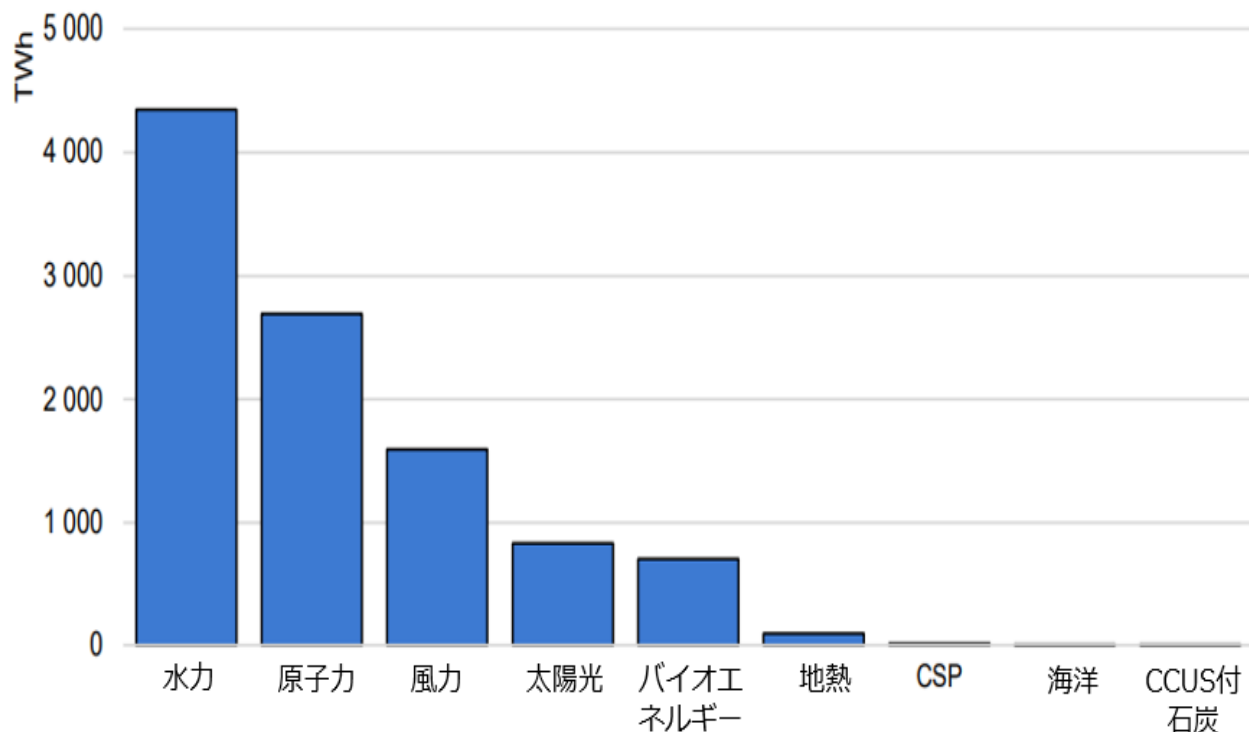
産業界がOn Time, On Budgetで安全にプロジェクトを遂行することを条件に、長期的な支援を行う

原子力は今も主要なクリーン電力の供給源

- 2020年の世界の発電量に占める原子力の割合は約10%。原子力シェアは1990年代後半の18%から低下しているが、それでも原子力は水力発電に次ぐ低排出の電力源であり、先進国では主要な電力源
- 原子力発電によって、1971～2020年の間に世界で約660億トンのCO₂排出が回避された。原子力発電の貢献がなければ、発電による総排出量は20%近く増加し、エネルギー関連の総排出量も6%増加したと見られる

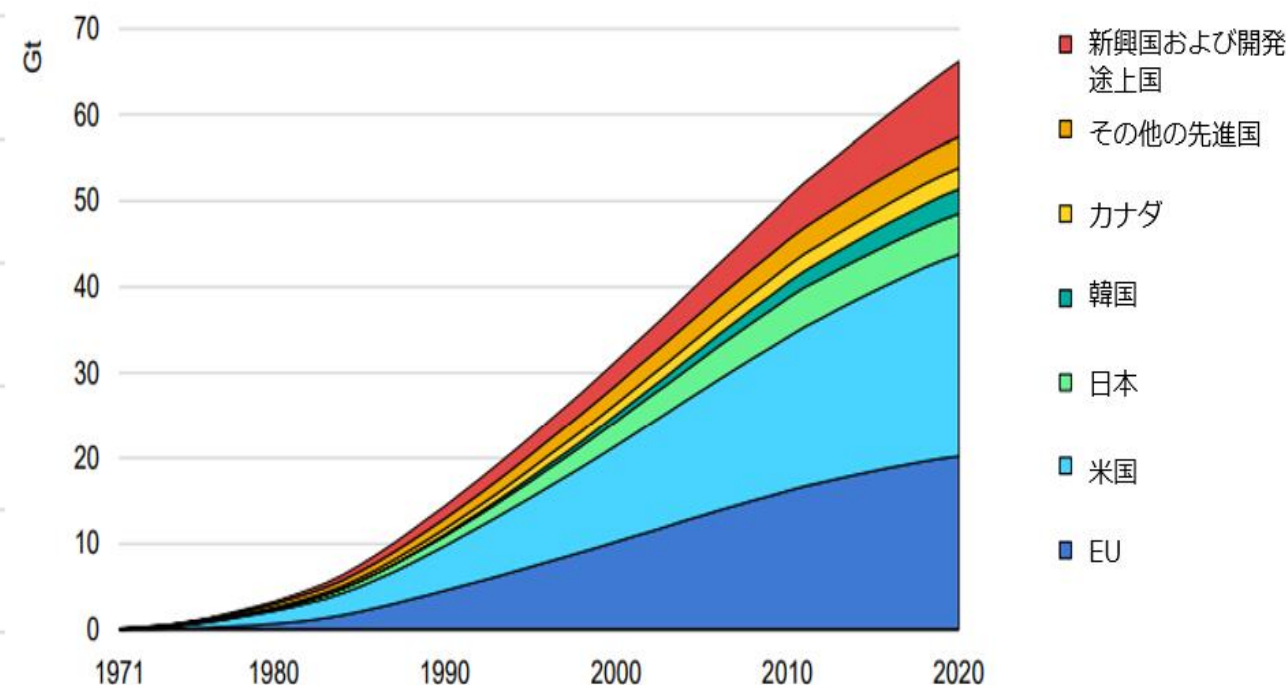
◆世界の低排出電源の発電量（2020年）

TWh = 10億kWh



◆原子力発電により回避された累積CO₂排出量（国/地域別）

Gt = 10億トン



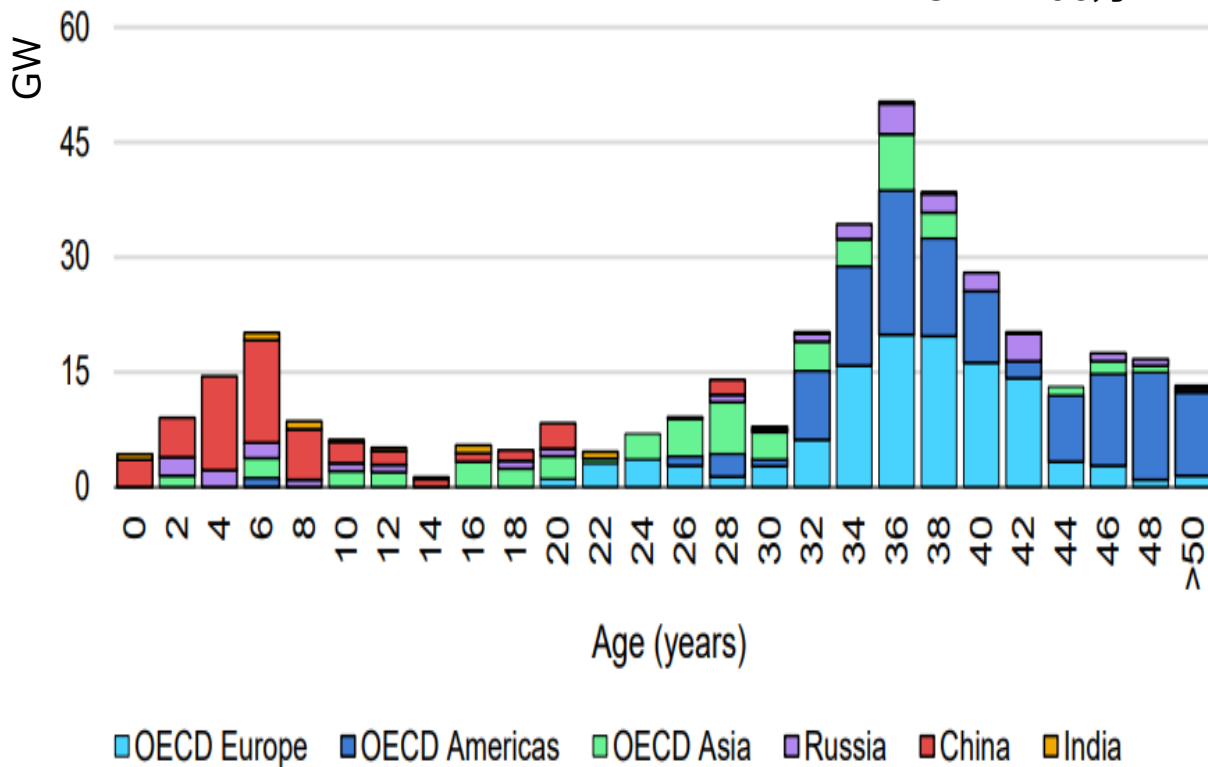
CSP : 集光型太陽熱発電

CCUS : 二酸化炭素回収・有効利用・貯留

マーケットの主導権は先進国からシフトへ

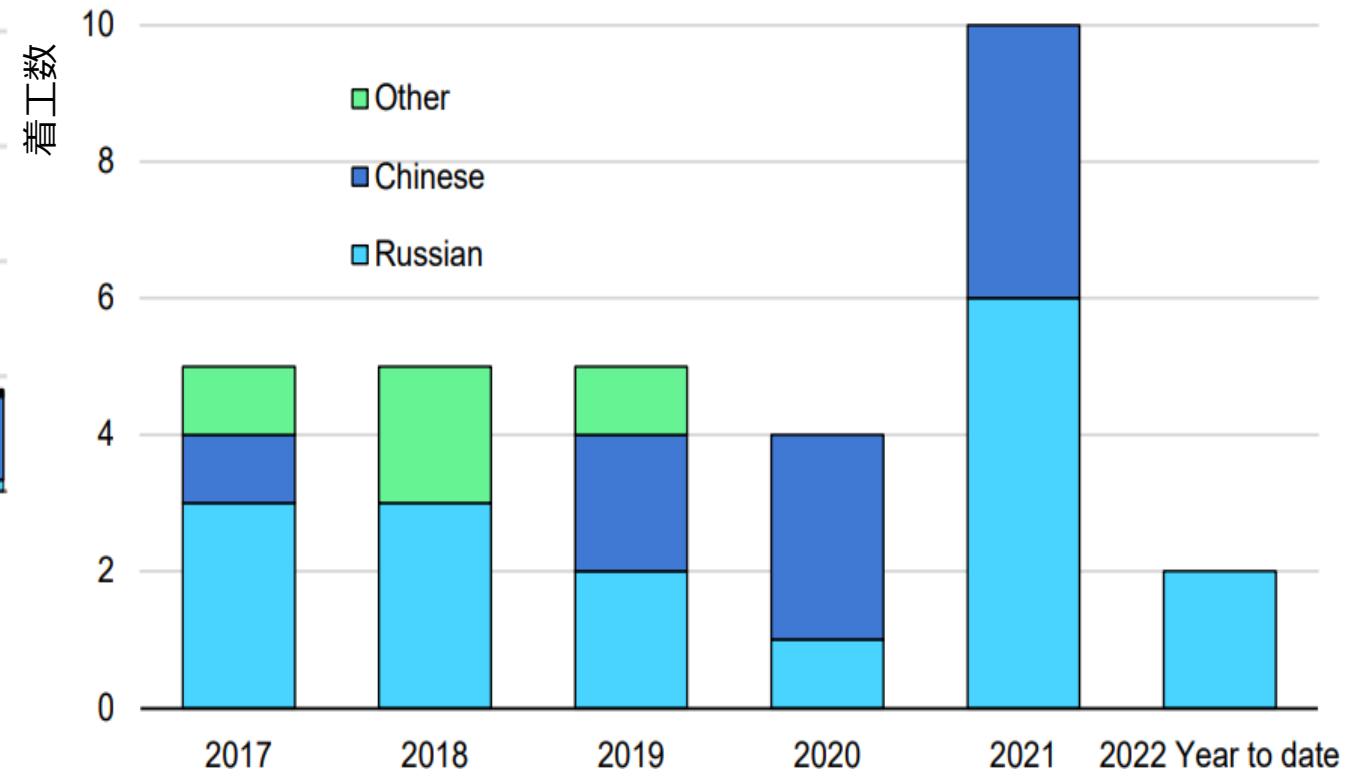
- 世界の原子炉群のほぼ70%は先進国にあるが、経年化が進んでいる。原子力発電所の平均運転年数は地域によって大きな差があり、中国ではわずか5年、インドでは15年、北米では36年、欧州では38年
- マーケットの主導権はロシアと中国にシフトしつつある。2017年以降に着工した31基の原子炉のうち27基がロシアまたは中国の設計

◆運転中原子力発電設備の運転年数分布
(地域別、2021年末) GW = 100万kW



OECD Europe: ベルギー、チェコ、フィンランド、フランス、ドイツ、ハンガリー、リトアニア、オランダ、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン、英国
 OECD Americas: カナダ、メキシコ、米国
 OECD Asia: 日本、韓国

◆技術由来国別 原子力発電の着工数 (2017～2022年)

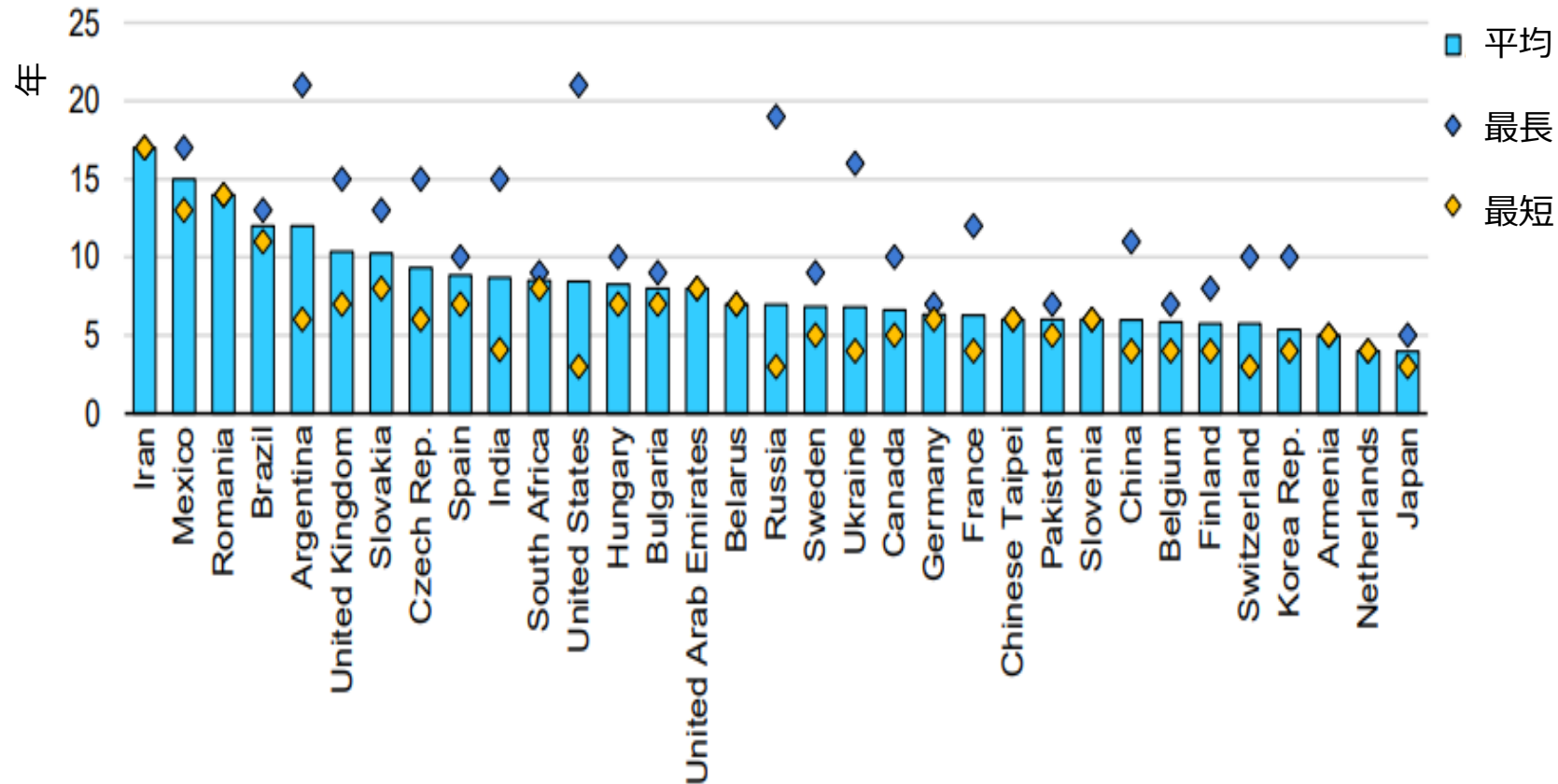


各国の原子力発電支援の重要な動き(2020～2022年)

国	政策
米国	・ 2022年民生用原子力クレジットプログラムの一環として、米国の既存原子炉群維持に60億米ドルを投資 ・ クリーン水素ハブの実証に80億米ドルを割当、原子力による水素製造に特化したハブ少なくとも1つを含む ・ 先進炉実証プログラムを受けて、2つの原子力プロジェクトに7年間で総額32億米ドルを投資
カナダ	・ SMR行動計画2020ではSMR展開に向けたステップを提示 ・ いくつかのプロジェクトは連邦・州政府の資金を獲得 ・ GE日立社製SMRをダーリントンで建設するSMRプロジェクトを発表。2020年代後半までに運転開始予定
フランス	・ フランス2030の投資計画に続き、安全性を確保しつつ延長可能な全ての原子炉の運転期間延長を発表 ・ 2028年から約500億ユーロのコストで、大型炉6基の建設計画を発表。2050年までにさらに8基を建設するオプション付 ・ 2030年までにSMRを含む革新炉開発に10億ユーロを投資
英国	・ 2022年エネルギー安全保障戦略の一環として、2050年までに2,400万kW、予測電力需要の約25%を達成するためにSMRとともに新規大型炉8基の野心的目標を発表 ・ 2022年に成立した原子力エネルギー（資金調達）法は、規制資産ベースモデルの導入を規定 ・ 政府は2021年、SMR開発のために2億1,000万ポンドの資金提供を約束、それに見合う2億5,000万ポンドの民間投資が実施
ベルギー	・ 政府は2022年3月、2035年まで10年間、2基の運転期間延長のために必要な措置を講じることを決定
オランダ	・ 新規建設2基について2022年に議論
ポーランド	・ 2020年ポーランド原子力発電プログラムでは、計600～900万kWの大型炉建設を計画 ・ 政府は2022年、既存石炭火力コジェネレーションプラントの代替に米国の技術をベースとしたSMR展開で合意
韓国	・ 2022年に選出された新政府は、現在の施設の運転期間延長支援、2サイトの建設再開、SMRに係る協力の発展、強化を計画。2030年までに海外で10基建設を追求
日本	・ 政府は2022年、安全であることを条件として既存炉の再稼働を視野にエネルギー安全保障を強化することを発表
中国	・ 第14次5か年計画（2021～2025年）では、2022年初頭の5,300万kWから2025年までに約7,000万kWを目標に、着実な建設ペースを維持
インド	・ 2023～2025年に新規原子炉群10基・900万kWの建設開始 ・ 仏の大型炉6基建設に向けた政治的なステップ

原子力発電所の建設期間(国別、1967～2021年)

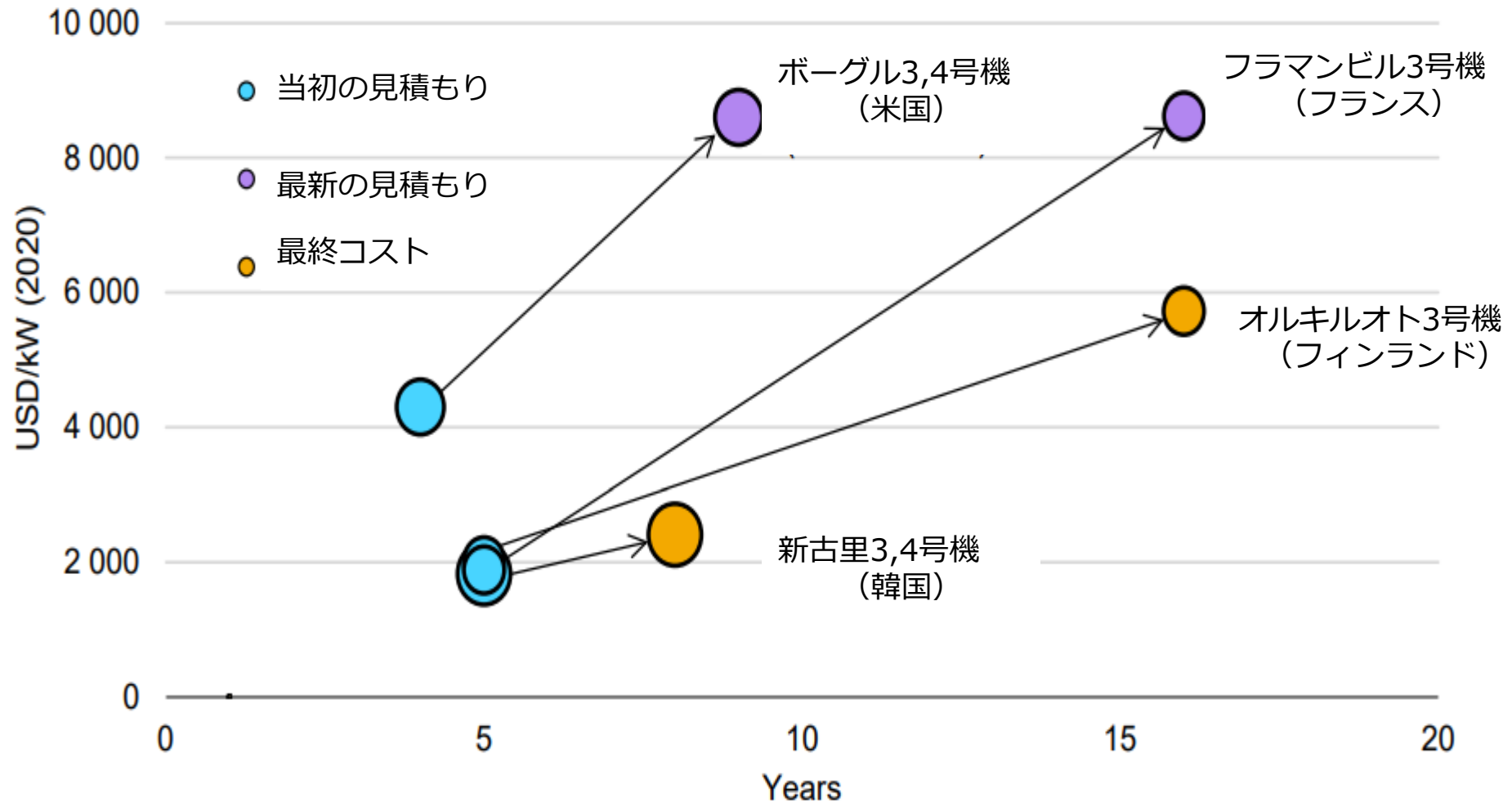
- 建設コストの高騰とリードタイムの長期化が近年、多くの国の原子力産業にとって悩みの種
- 今日、世界で運転中の原子炉の建設期間は平均7年。そのうちの15基は15年以上かかり、152基は5年以内に建設
- 米国やカナダ、フランス、中国、韓国、日本など成熟した原子力プログラムを持つ国々は、一般的により迅速に建設できた。新規建設プロジェクトの完成に必要な時間とは別に、許認可申請や立地選定、許認可発給に数年かかる



* 個々のプロジェクトの建設活動の一時的な一時停止を除く

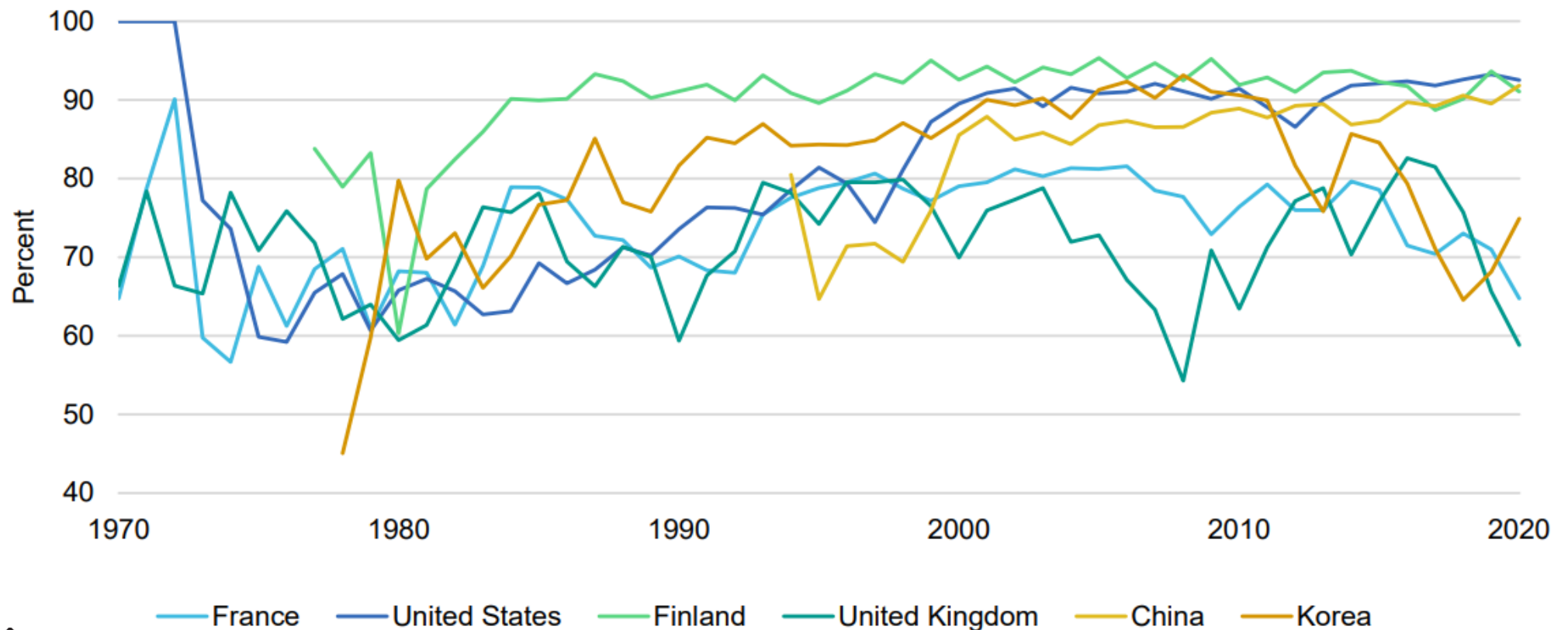
最近の原子力プロジェクトにみるオーバーナイトコストと建設期間

- 欧米の最近の原子力発電所建設プロジェクトは、大幅な遅れとコスト超過に見舞われている。建設実績が比較的良好な韓国でさえ、同様の傾向が見られる

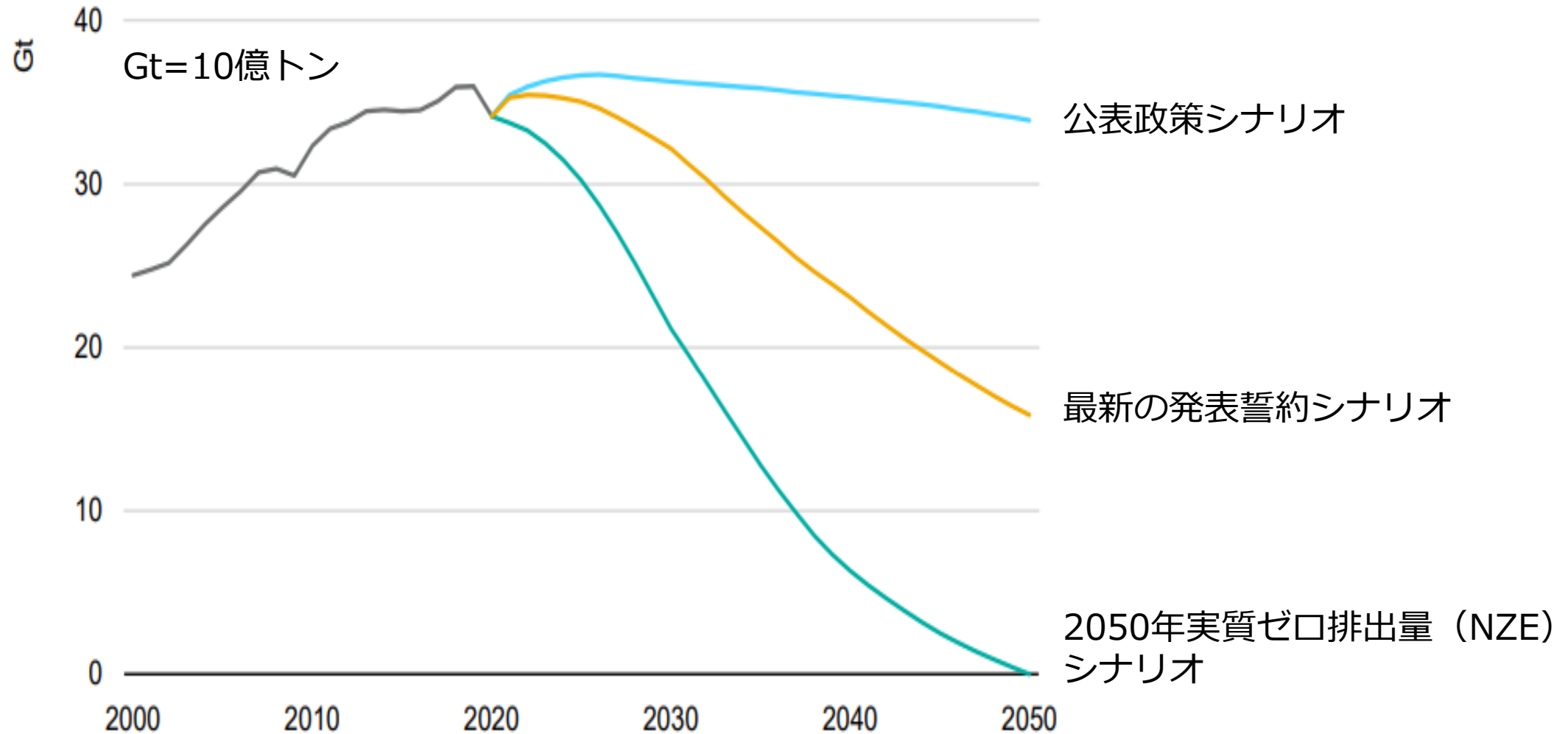


各国の原子力発電所の平均稼働率

- フランス、イギリス、韓国など一部の国では2015年以降、主に運転期間延長のための作業や計画外停止により、発電所の稼働率が低下
- フランスの原子力発電所の稼働率は2022年3月、54%に低下。最近の低下は、グラン・カレナージュ（40年超運転に向けた大規模改修）やCovid-19の危機後に再スケジュールされた保守停止、運転中56基のうち少なくとも9基の配管で見つかった腐食の兆候を調査するための計画外停止など、複数の要因による
- 一方、フランスと同じように高経年化した原子力発電所を有する米国では、平均稼働率は2000年までほぼ一定だったが、それ以降は上昇し、2020年には91%に達する



世界のエネルギー由来CO₂排出量(シナリオ別、2000～2050年)

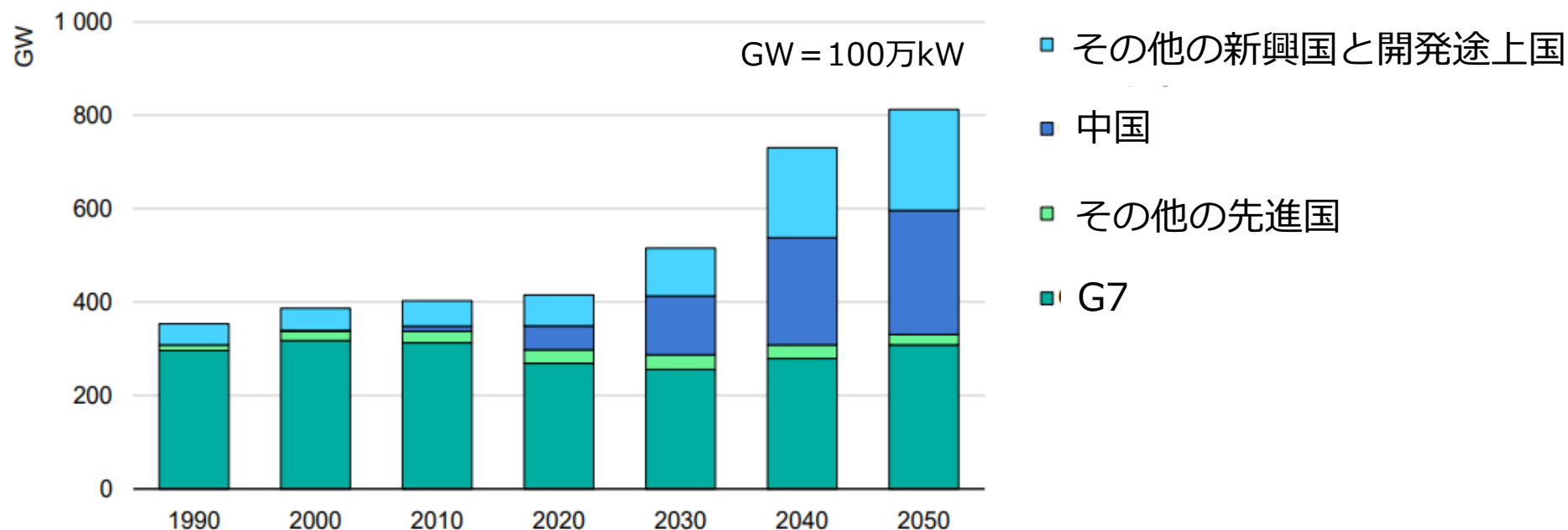


- ✓ **公表政策シナリオ:** 現在実施されている政策や目標を考慮したシナリオ
- ✓ **発表誓約シナリオ:** COP26やNDC（各国が決めた貢献）として提出されたものを含め、排出量削減を発表したすべての誓約が完全かつ期限内に達成されることを想定したシナリオ
- ✓ **2050年実質ゼロ排出量（ネットゼロエミッション, NZE）シナリオ:** 世界が2050年までにネットゼロの排出量を達成するためのシナリオ

2050年までの原子力発電設備容量(NZEシナリオ)

- 世界の原子力発電設備容量は、2022年初めの4億1,300万kWから2050年には8億1,200万kWにほぼ倍増
- 先進国では2020～2030年の間に原子力発電設備容量は約5%減少するも、新規建設により2050年には3億3,000万kWと回復。G7のうち、米国、カナダ、英国、日本、フランスの5か国は、先進国の中で原子力発電設備容量の大部分を占め続ける
- 新興国や開発途上国ではさらに急速に増加。2020年の1億2,000万kWから2050年には4億8,000万kWとなり、世界の増加分の約90%を占める
- 中国が2030年までに米国とEUを追い抜き、原子力発電設備容量の面で世界のリーダーとなり、2050年までに世界の原子炉群の3分の1を占めるようになる。インド、ブラジル、南アフリカなどのその他の新興国・開発途上国も原子力プログラムの拡大が加速するほか、東南アジア、アフリカ、中東で新たな原子力発電国が誕生

◆NZEシナリオにおける原子力発電設備容量（国/地域別）

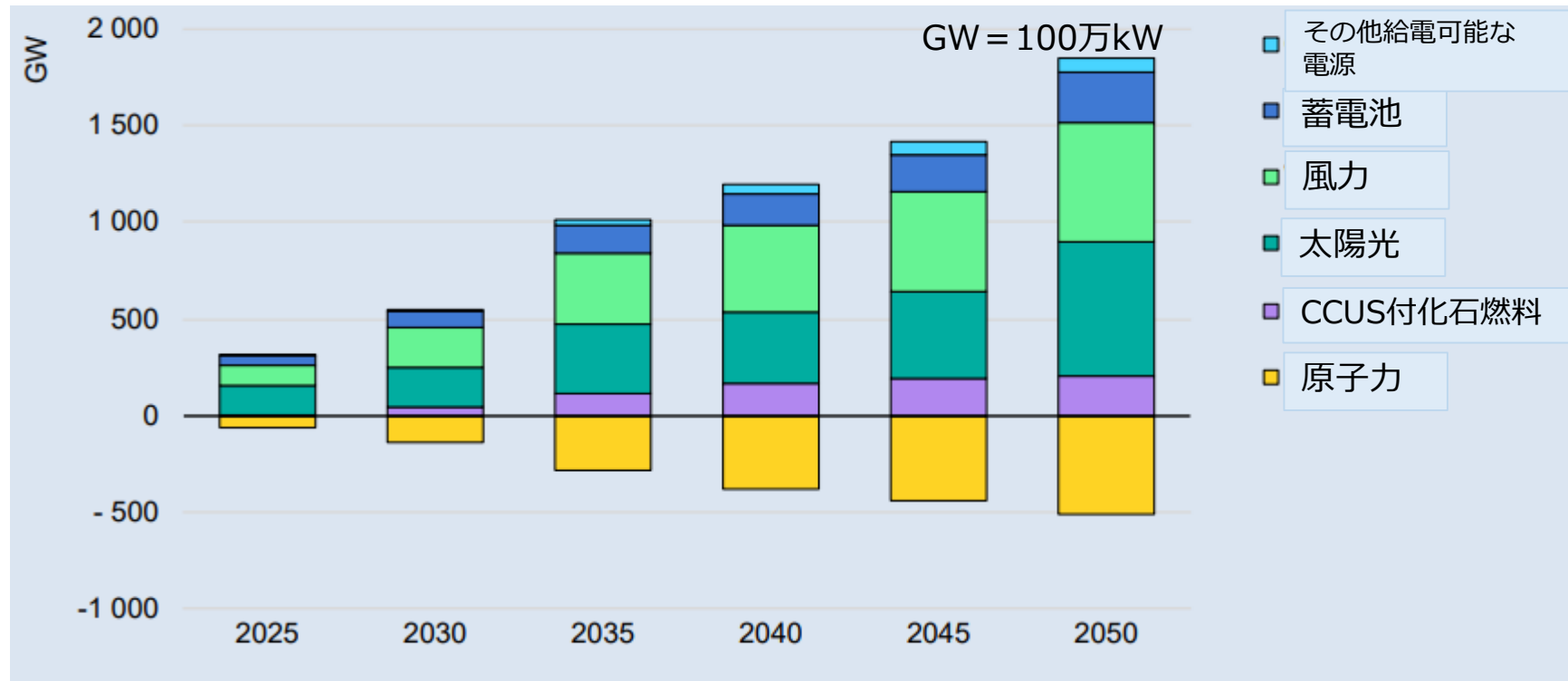


* 発電設備容量は所内電力を含めたグロス設備容量

低原子力ケースでNZEシナリオを達成する場合

- 低原子力ケース*では、原子力は2022年初めの4億1,300万kWから2050年には3億1,000万kWに減少（NZEシナリオでは2050年：8億1,200万kW）。原子力シェアは2020年の10%から2050年には3%に低下
- 低原子力ケースの場合、より多くの再生可能エネルギーを電力システムに統合する必要性（2050年までに合計13億kWの追加の再生可能エネルギーが必要）に加え、全体的な投資コストや電力料金の増加、クリーンなエネルギー供給チェーンへの追加負担、天然ガスや石炭の市場価格に対するエクスポージャーがより高くなる

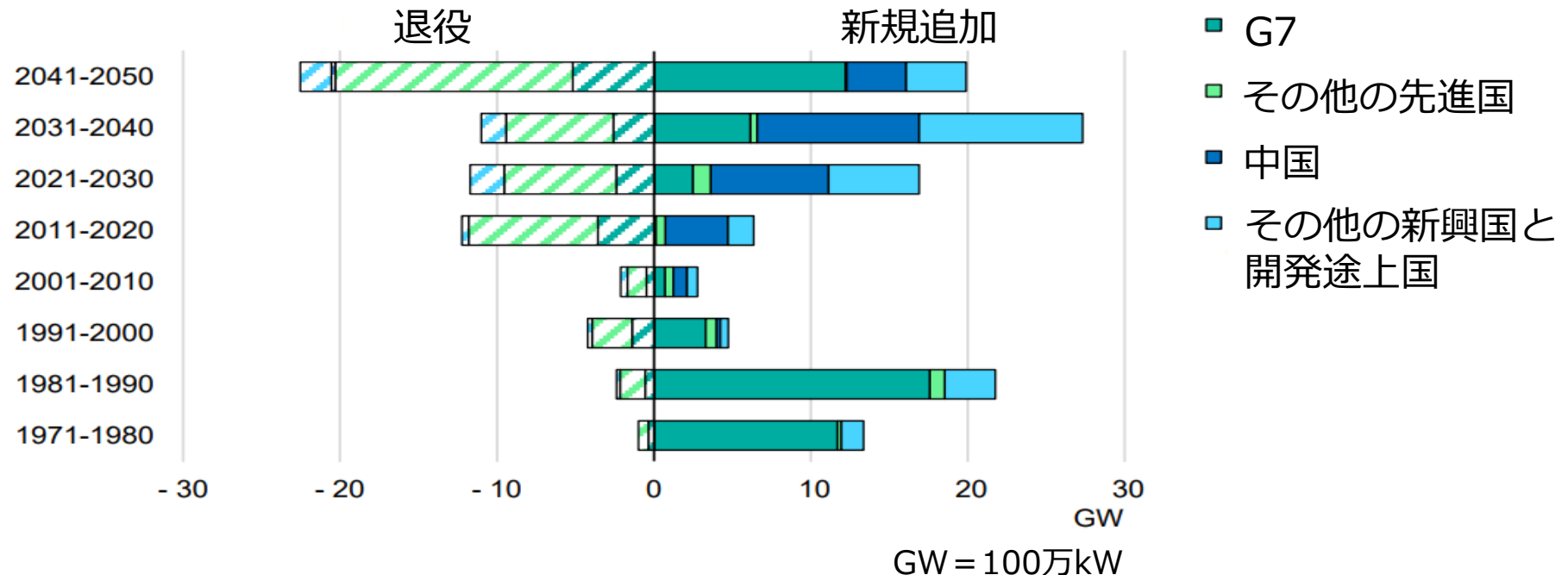
◆NZEシナリオと比較した低原子力ケースにおける世界の発電設備容量の変化



* 先進国では、追加の運転期間延長や新規建設がないと仮定。新興国と開発途上国では、新規建設が2016～2020年と同じ平均ペース、すなわち2050年までに年間約600万kWの容量が追加されると仮定

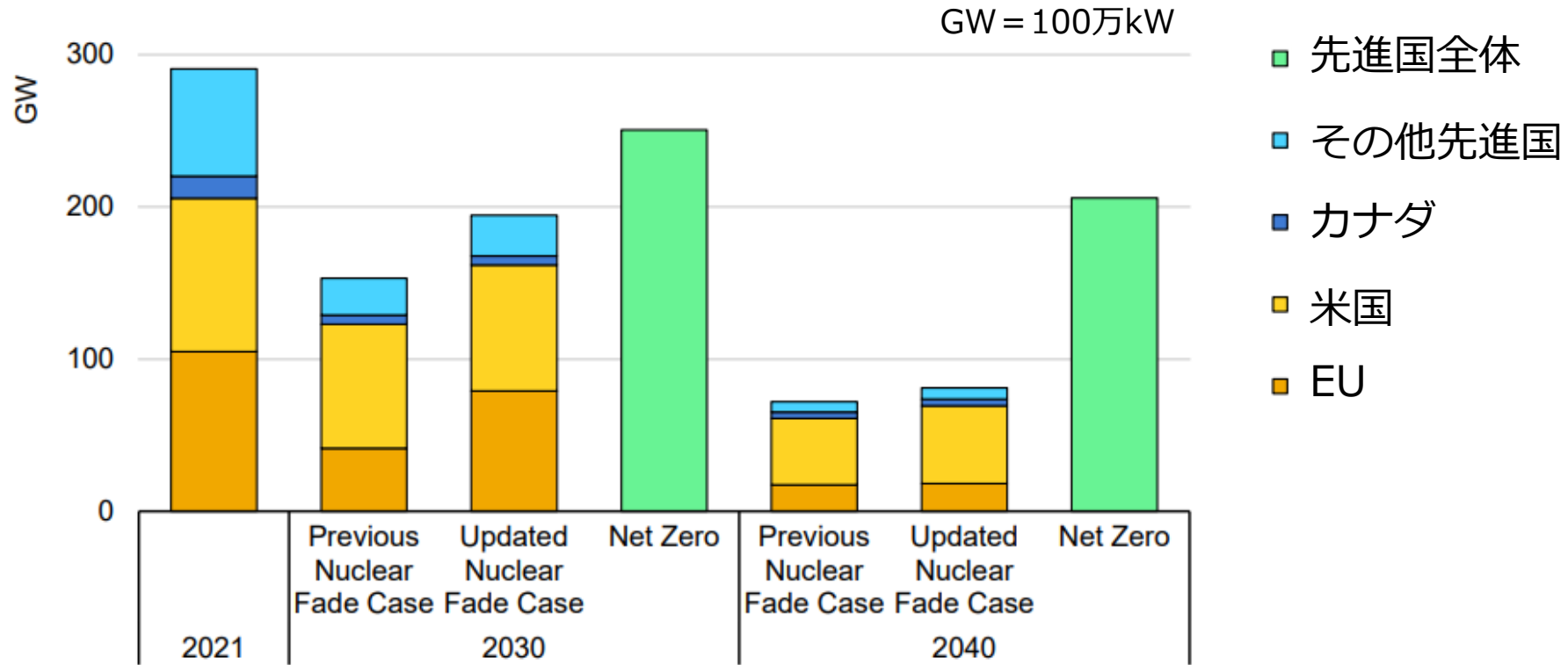
世界の2050年までの原子力発電所の退役と新規追加(国/地域別、NZEシナリオ)

- 2021～2050年にかけて、世界で6億4,000万kWの原子力発電設備容量が新たに運転開始。2030年代には毎年平均2,700万kW以上が運転開始し、1980年代の建設ラッシュの平均値を上回る（単年度の記録は1984年の3,400万kW）。このペースを達成するためには、大型プラントの新規建設は近年年間平均5基程度だったものを、今後10年間で年間20基程度に急増させる必要あり
- 中国は新規建設の世界的なリーダーであり続け、2040年までの間に年間平均900万kWの原子力発電所を建設、世界全体の40%を占める。他の新興国と開発途上国では、合わせて年間800万kWが追加。2040年代にはG7諸国での建設が増加し、退役の波を相殺するため、世界の原子力発電所建設に占める中国とその他の新興国の合計シェアは減少
- 中国以外の新興国や開発途上国での急速な建設拡大は、中国や欧州、米国からの原子力技術の輸入に依存することになり、各国の技術間競争が発生



先進国の既存原子力発電設備容量(シナリオ/ケース別)

- 既存原子炉の運転期間延長が認められず、既存プラントへの新規投資や建設中のプロジェクト以外の新規建設がない場合、先進国の既存原子炉群は急速に縮小する
- 最新の原子力縮小ケース（Nuclear Fade Case）*では、先進国の既存原子力発電設備容量は、2030年までに3分の1が、2040年までに70%以上が減少し、規模は約8,000万kWに縮小する
- 最大の減少はEUと米国で、今後前向きな規制決定がなければ、日本やカナダ、他の先進国でも大きな減少となる



* Nuclear Fade Case : 先進国で既存原子炉のさらなる運転期間延長がないと仮定。前回のNuclear Fade Caseは、IEAの2019年版報告書を指す Net Zero : 2050年実質ゼロ排出量（NZE）シナリオ

既存原子炉の政策および規制決定の状況(国別、2019年5月～2022年5月)

- 原子炉の運転期間延長に係る決定は、天然ガスの需要や輸入国のエネルギー安全保障に重要な影響を及ぼす
- 最近の規制決定がなければ、先進国の天然ガス需要は、NZEシナリオでは2030年には約50bcm多くなる

国	決定の種類	備考	設備容量 (GW) (GW=100万kW)
フランス	運転認可延長	32基（各約90万kW）の10年の運転期間延長の規制承認を取得	30.4
米国	運転認可延長	シーブルック1号機の最初の20年の運転期間延長を認可	1.3
		6基が2回目の20年の運転期間延長承認を取得	6.3
スペイン	運転認可延長	5～10年の運転期間延長に向け7基が承認済か最終承認待ち 最大2035年までの運転	7.4
ベルギー	運転期間延長	2基の2035年までの10年の運転期間延長に向け前進	2.2
日本	再稼働の決定	2基が再稼働の規制認可を取得	1.7
ブルガリア	運転認可延長	コズロドイ6号機の2029年までの運転期間延長を承認	1.0
メキシコ	運転認可延長	ラグナベルデ1号機の2050年までの運転認可承認を取得	0.8
ルーマニア	運転期間延長	チェルナボーク1号機の2059年までの運転期間延長（30年）に向け改造工事	0.7
計			51.8

再稼働または運転期間延長に係る政策および規制決定保留の状況(国別)

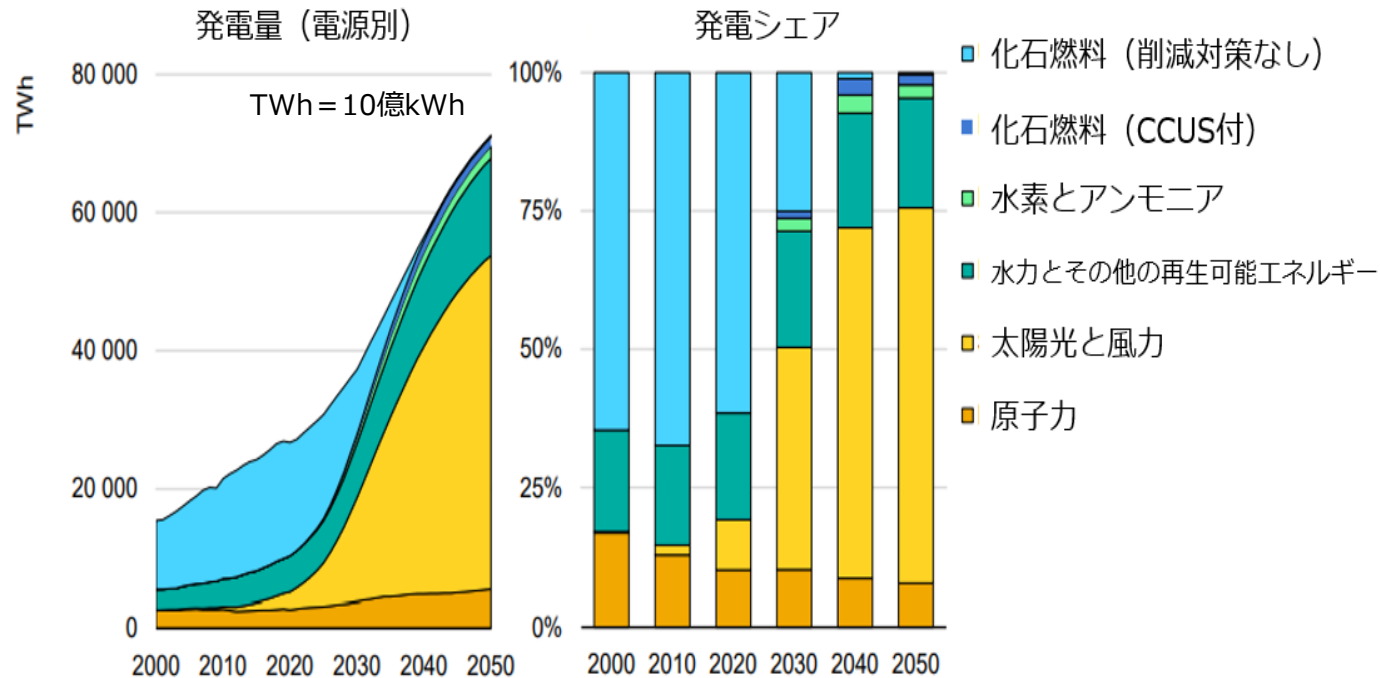
- 現在保留中の再稼働や運転延長の決定が実現すれば、2020年には天然ガスの需要がさらに約70bcm減少する可能性がある

国	決定の種類	備考	設備容量 (GW) (GW=100万kW)
米国	運転認可延長	運転中4基が最初の20年の運転期間延長決定待ち	4.9
		9基が2回目の20年の運転期間延長について審査中、5基が2024年までに申請を計画	13.3
日本	再稼働の決定保留	10基が再稼働に向け審査中	9.0
フランス	運転認可延長	22基が運転継続のため2025年以前に検査に合格する必要あり	24.2
韓国	運転認可延長	5基が2026年までに運転認可期間満了	4.8
英国	運転期間延長	サイズウェルBの20年の運転期間延長（～2055年まで）について検討中	1.3
フィンランド	運転認可延長	ロビーサの2基の運転継続申請が計画中	1.0
メキシコ	運転認可延長	ラグナベルデ2号機の申請保留	0.8
計			57.3

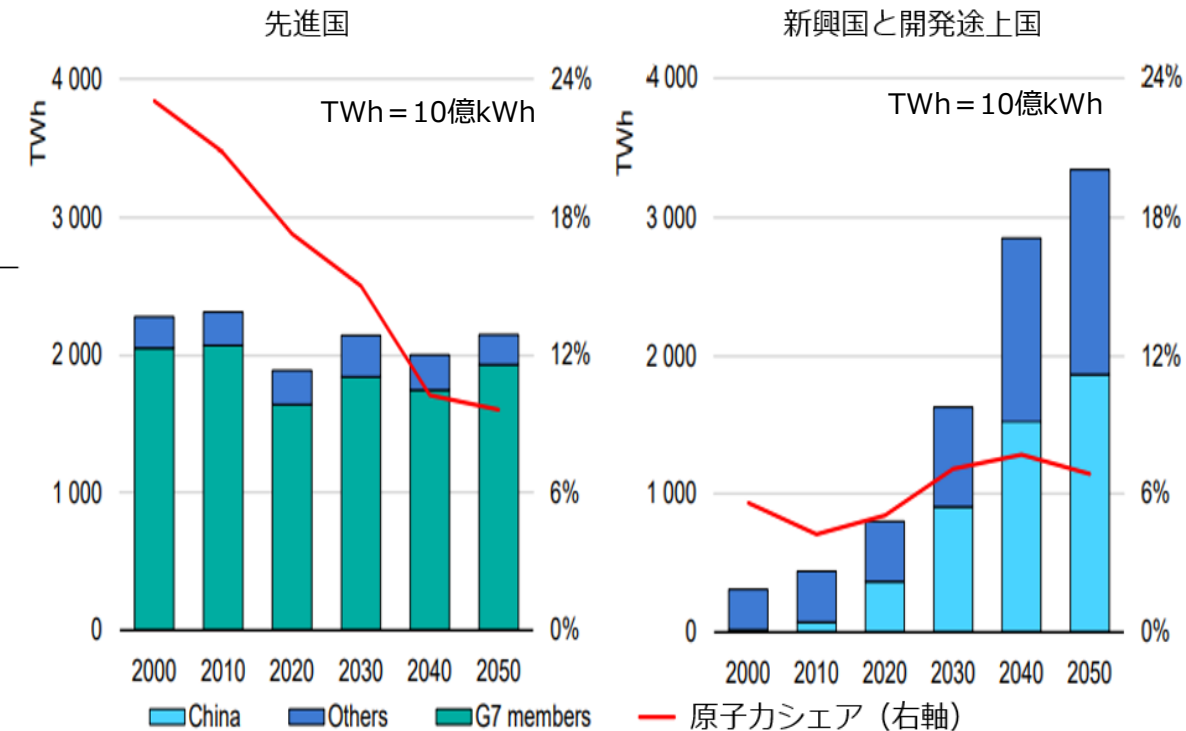
2050年までの原子力発電量と原子力シェア(NZEシナリオ)

- NZEシナリオでは、世界的に原子力発電設備容量が拡大し、原子力発電量も2050年には2020年の2倍以上に増加(2020年:2,690TWh→2050年: 5,500TWh)。しかし、2050年の原子力発電シェアは8%に減少(2020年:10%)
- 先進国では、2020～2050年にかけて原子力発電量が15%増加。輸送や産業の電化、建物の暖房、水素製造による新規需要を満たすため全体の電力需要が2倍になるので、2050年の原子力シェアは10%に減少(2020年:18%)
- 新興国と開発途上国では、原子力発電量は2020～2050年にかけて4倍以上に増加、原子力シェアは5%から7%に増加。中国では、5%から11%とさらに増加し、風力、太陽光に次ぐ第3の電源となる

◆世界の電源別発電量と発電シェア

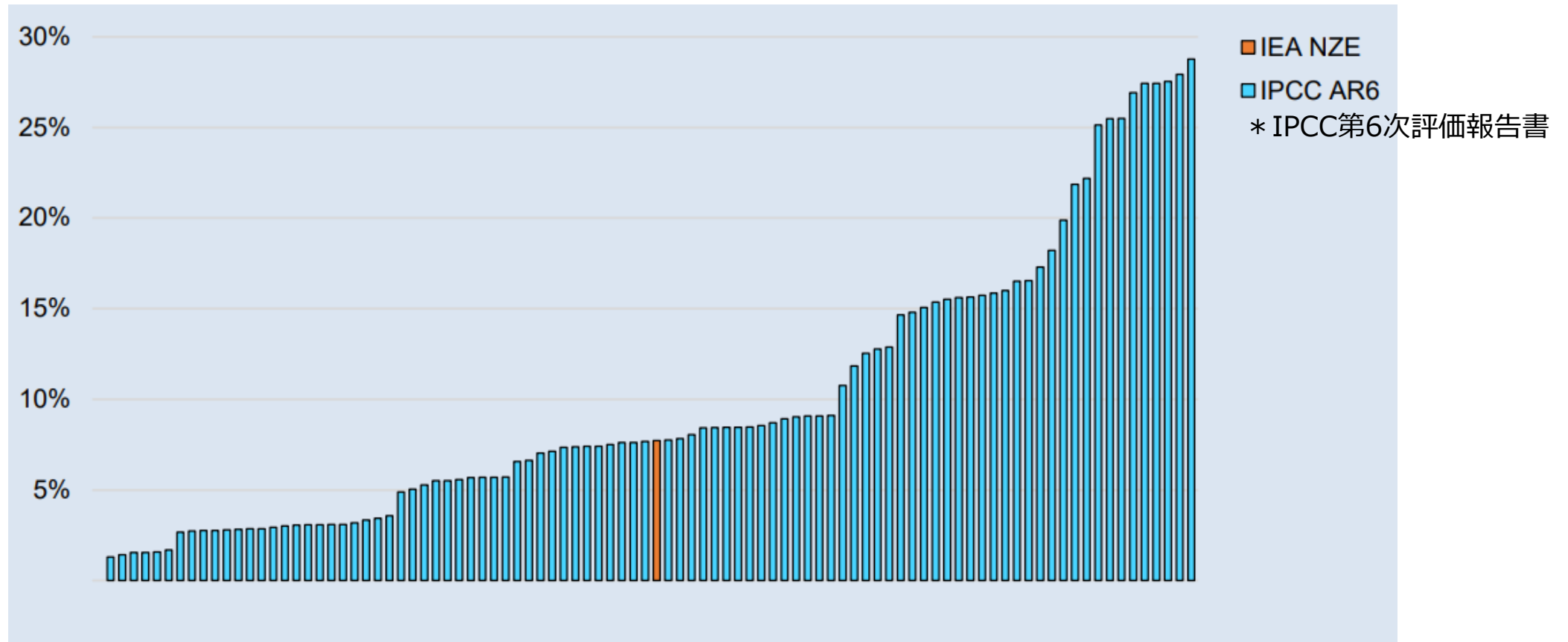


◆原子力発電量と発電シェア(経済規模別)



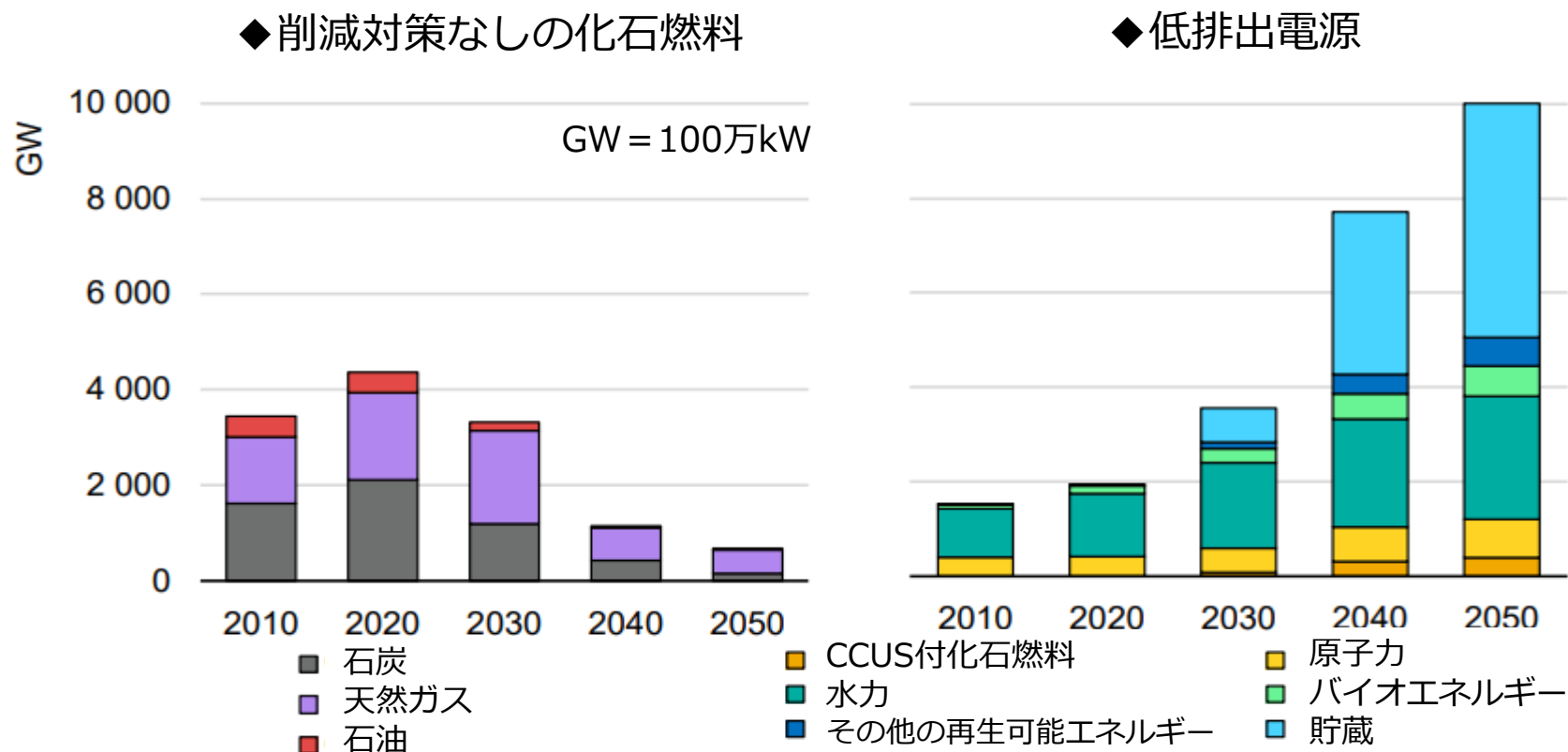
NZEシナリオとIPCCシナリオの原子力発電量シェアの比較

- 地球温暖化を2100年までに1.5℃以下に制限（C1カテゴリー）するために評価したIPCC（気候変動に関する政府間パネル）による97のシナリオでは、原子力発電量とシェアには幅がある。原子力発電量は2050年に1,000～26,000TWhの範囲にあり、中央値は5,600TWh。2050年の原子力シェアは1～29%の範囲で中央値は7.6%
- 一般的にC1カテゴリーにおける他のシナリオと比較して、NZEのパスウェイはバイオエネルギーにあまり依存せず、風力や太陽光、水素に依存したシナリオになっている



2050年までの世界の給電可能な発電設備容量(電源別、NZEシナリオ)

- 原子力発電は、電力システム全体の安定性に重要な貢献を果たすことが可能。システムの安定性への貢献度を示す指標である給電可能な総発電設備容量に占める原子力発電の割合は、2021～2050年の間に約8%と安定的に推移
- 給電可能な電源はこれまで、システムの安定性を確保するための主要な手段であった。NZEシナリオでは、電力システムは変動性の太陽光や風力への依存度を高めながら進化するため、今後もこの傾向は続く
- 削減対策なしの化石燃料は今日、給電可能な設備容量の大部分を占めているが、NZEシナリオでは2030年までに4分の1減少し、それ以降は急激に減少



原子力発電所の建設コスト想定(国/地域別、NZEシナリオ)

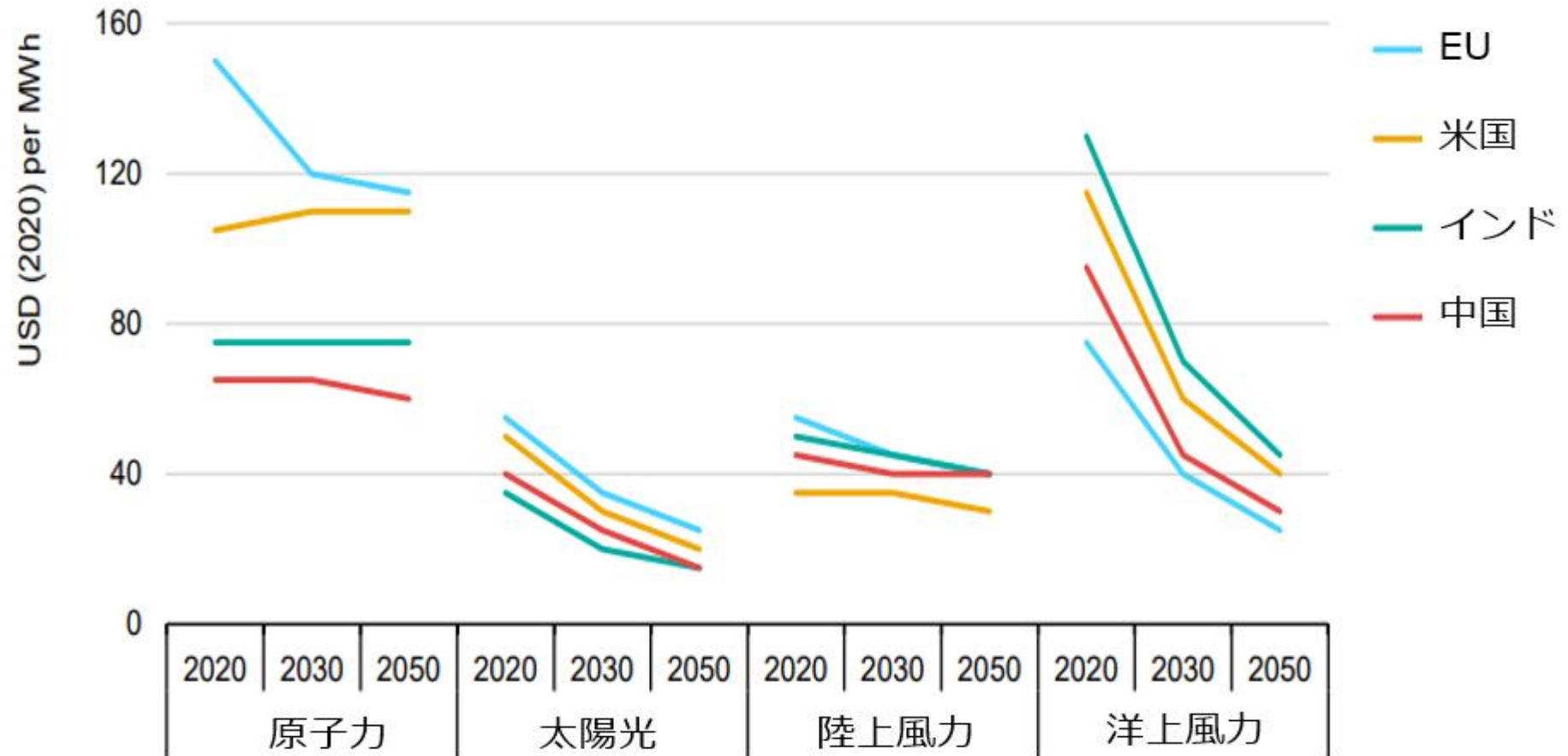
- 中国とインドが最も低コスト（1kWあたり3,000米ドル以下）で新規原子力発電所を建設し、5～7年でプロジェクトが完了すると想定。110万kWの大型原子炉を新設する場合、コストは約30億ドル（2020年米ドル換算）
- EUと米国では、今後30年間に徐々に低下し4,500米ドル/kW程度になるものの、かなり高水準で推移すると想定。コスト削減を達成するためには、プロジェクトをOn Time, On Budgetで遂行することが必要
- 建設コスト削減には、①設計が最終化してから着工する、②“N号機ユニット”の効率性を達成するために同じ設計を続けて建設する、③同じサイト内に複数のユニットを建設する—などがある。また立地プロセスにもイノベーションが起きており、長期の建設前の期間を短縮することが可能

(USD/kW, 2020年時点の価格)

地域	2020	2030	2050
EU	6,600	5,100	4,500
米国	5,000	4,800	4,500
インド	2,800	2,800	2,800
中国	2,800	2,800	2,500

均等化発電コスト(技術別/国別、NZEシナリオ)

- 原子力発電の均等化発電コスト（プラントのライフタイム全体の総発電コストを総発電量で割った数値）は、他の低排出エネルギー源と比較すると高いものの、安定性や柔軟性など電力システム全体（給電可能性）を考慮した価値調整済均等化発電コストの場合、原子力発電の競争力は向上する。特に、風力と太陽光発電の発電量シェアが増加するなかで、低排出で給電可能な原子力の役割は大きくなる

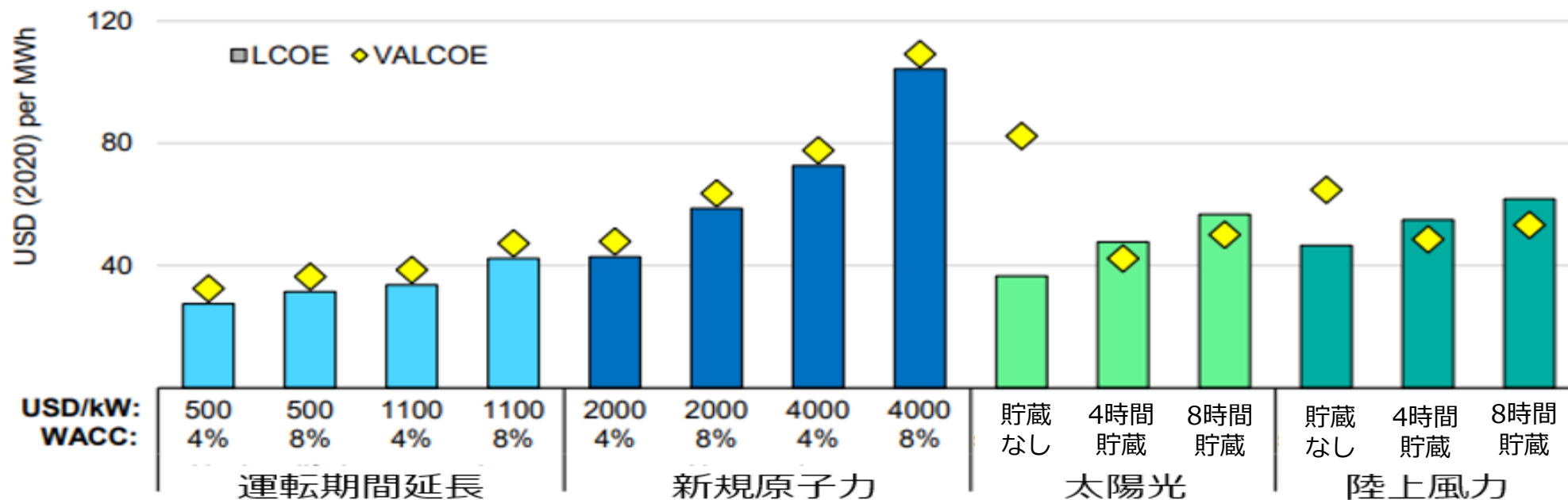


* 原子力の均等化発電コストは、廃止措置コストを含む

均等化発電コストと価値調整済均等化発電コスト(電源別、2030年)

- 太陽光発電や風力発電と市場シェアを争うためには、原子力の新規建設コストを急激に低下させる必要がある
- 原子力発電の運転期間延長は、低排出の電力源として特に欧州と米国で競争力がある。ほとんどの延長プロジェクトの資本コストは、2030年には500~1,100米ドル/kWの範囲となり、均等化発電コストは一般に40米ドル/MWh以下となる

a) 欧州の例



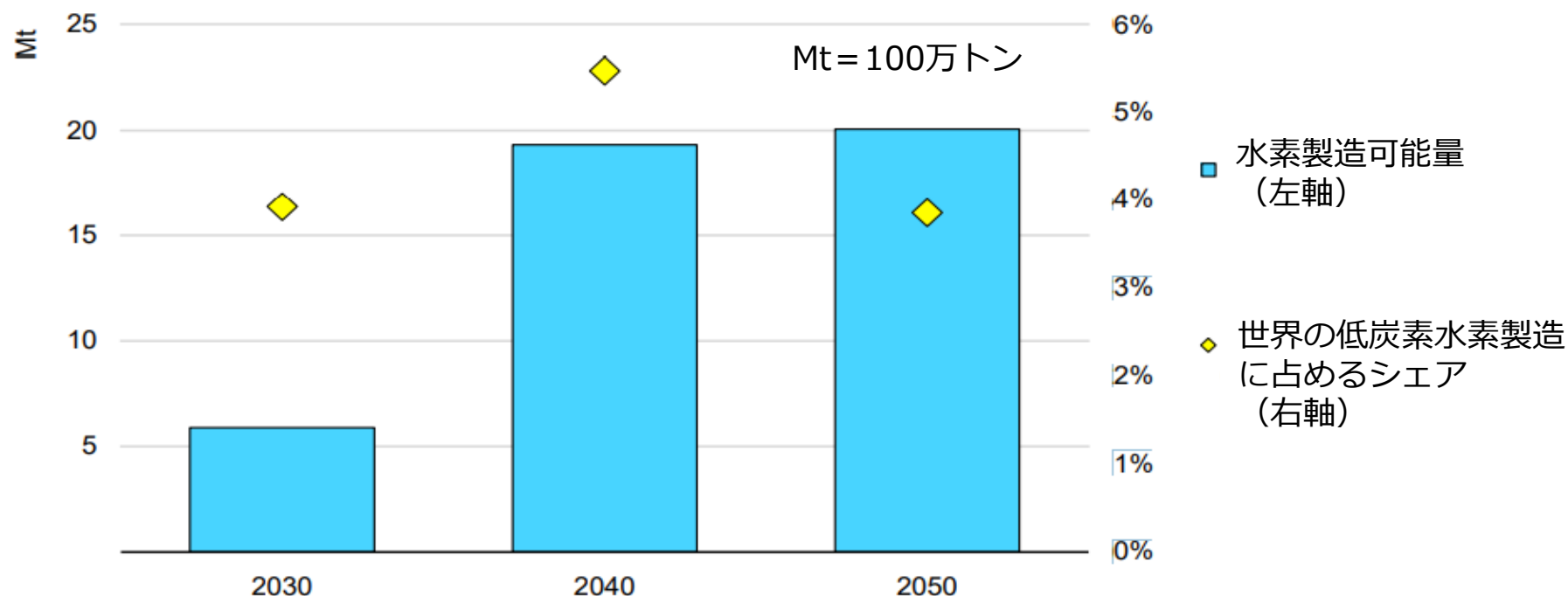
* LCOE: 均等化発電コスト、VALCOE: 価値調整済均等化発電コスト、WACC = 加重平均資本コスト

VALCOE は、技術別のLCOE とシステム価値への寄与を反映する IEA エネルギーモデリング枠組の指標

蓄電池の規模は、再生可能エネルギープロジェクトの4分の1と仮定（例：100MWの太陽光発電設備に4~8 時間持続する 25MW のバッテリーを設置）。太陽光発電と陸上風力発電の建設および運転のコストは、NEZシナリオに基づく

原子力発電の余剰電力利用による水素製造(NZEシナリオ)

- 電力需要が少ない時期の原子力発電の停止や卸売価格の低下の機会を利用して、電気分解による水素製造を行うことは、より現実的な選択肢となり得る
- NZEシナリオでは、変動性の太陽光発電や風力の割合が急速に増加し、暖房や道路輸送などのエネルギー最終用途の電化が進むため、原子力発電所を含むベースロード発電所の設備利用率が低下
- NZEシナリオでは、世界の原子力発電所群の平均設備利用率は低下する一方（2030年:84%、2040年:76%、2050年:77%）、発電設備容量は増加。世界の原子力発電所群の設備利用率を90%に引き上げ、その分の電力を電気分解に利用することで理論的には、低炭素水素の追加生産が可能



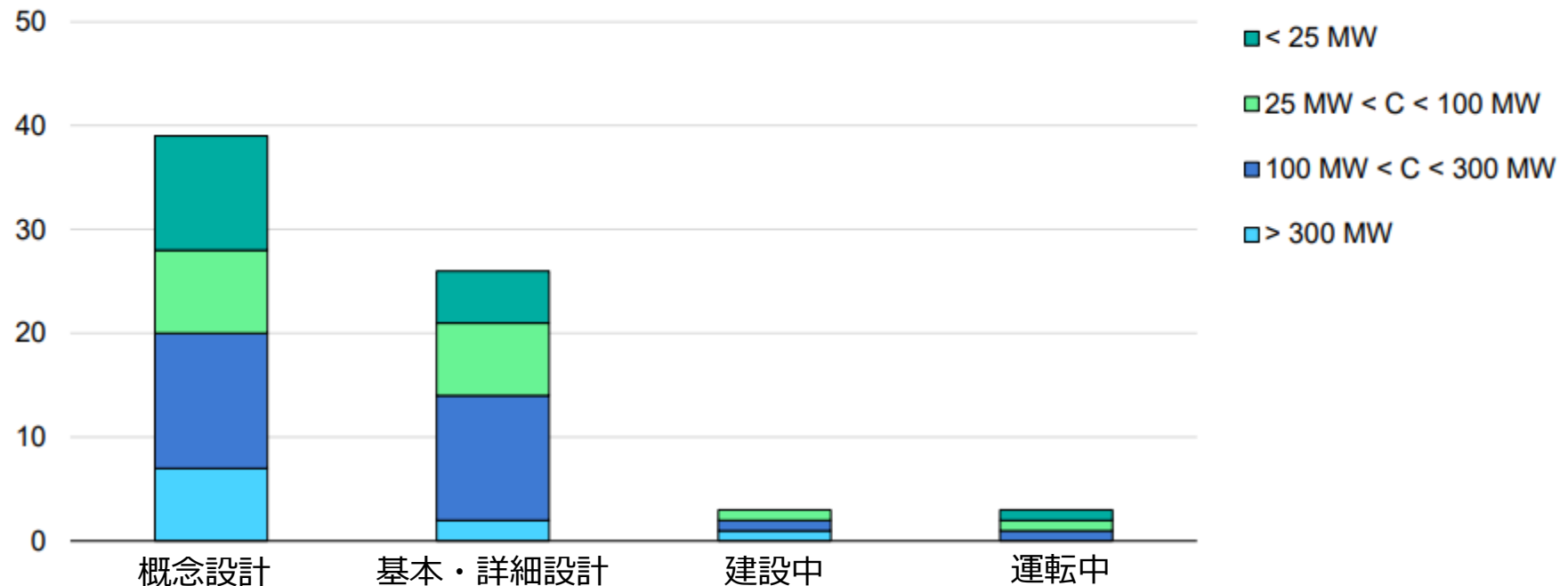
* 水素製造可能性は、NEZシナリオで予測されているように設備利用率を2030年の84%、2040年の76%、2050年の77%から 90%に引き上げ、その追加出力分はすべて電気分解による水素製造に使用すると仮定

世界で開発中のSMR(短期開発見通し)

設計	モジュールあたりの ネット出力	炉型	設計者	国	状況
ARC-100	100 MWe	Na高速炉	ARCクリーン・エナジー	カナダ	ニューブランズウィック州で実証プロジェクトを計画中
CAREM	25 MWe	PWR	アルゼンチン原子力委員会	アルゼンチン	建設中@サラテ
BWRX-300	300 MWe	BWR	GE-日立	米国/カナダ	カナダ・オンタリオ州営電力がダーリントンで初の商業展開を発表。米TVAがクリンチリバーでの展開を視野に協議中
eVinci	5 MWe, 最大13 MWt	ヒートパイプ	ウェスチングハウス	米国/カナダ	米国で2021年許認可前審査申請を提出
Kairos Power FHR	140 MWe	溶融塩炉	カイロス・パワー	米国	オークリッジ国立研究所と計画中の実証プロジェクトが審査中
Mircro-Modular Reactor Project	15 MWt	高温ガス炉	グローバル・ファースト・パワー/ウルトラ・セーフ・ニュークリア	カナダ	カナダ原子力研究所サイト（チョークリバー）で計画中の実証プロジェクトが審査中
Stable Salt Reactor-WasteBurner (SSR-W)	300 MWe	溶融塩炉	モルテックス	カナダ	ニューブランズウィック州で実証プロジェクトを計画中
NuScale SMR	50 MWe ×12基	PWR	ニュースケール・パワー	米国	アイダホ国立研究所、ユタ州公営共同電力事業体との実証プロジェクトが進行中
Sodium	345 MWe	Na高速炉	テラパワー/GE-日立	米国	ワイオミング州ケメラーで実証プロジェクト
NUWARD	170 MWe ×2基	PWR	EDFが率いるコンソーシアム	フランス	2030年までに実証プロジェクトを計画
RITM-200	55 MWe	PWR	OKBMアフリカントフ	ロシア	初の陸上型をヤクーツクで2028年までに計画
UK SMR	470 MWe	PWR	ロールスロイスが率いるコンソーシアム	英国	認可申請中で、潜在的サイトとしてウィルファとトローズフィニッドを特定
Xe-100	80 MWe ×4基	高温ガス炉	X-エナジー	米国	エナジー・ノースウェストとワシントン州で実証プロジェクト

世界のSMRプロジェクトの数(開発段階別)

- NZEシナリオでは、排出量削減の半分はSMRのような、まだ商業的に利用可能となっていない技術を活用する。また世界の化石燃料プラントは、2040年までに原子力発電を含む低炭素電源にリプレイスされる必要がある
- 今後も技術開発と実証が引き続き進展し、コストダウンが図られることを前提に、2030年以降新規原子力発電設備容量のうちSMRが占める割合が増加すると予想
- 一部の国では、非常に強力な政治的、制度的支援があり、R&Dや実証プロジェクトへの政府補助金は過去2年間で桁違いに増加している。これにより、大規模な民間投資の誘致が可能になり、プロジェクト開発のための新しいプレーヤーと新しいアプローチが原子力産業にもたらされている。また、なかには技術的リーダーシップを主張する機会と見なしている国もある



*C：発電設備容量

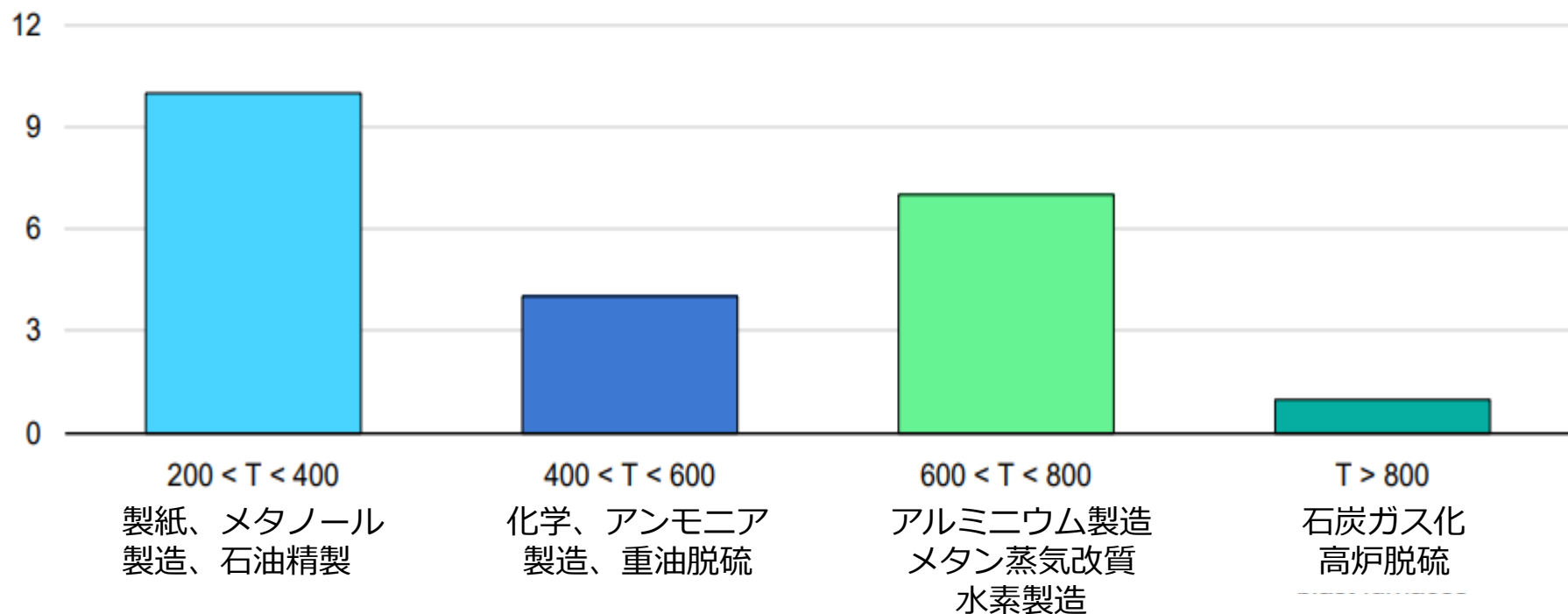
エネルギー移行におけるSMRの役割

役割	利用可能性など
電力網における石炭火力の代替	- 原子力発電にオープンな国では、NZEシナリオでは2040年までに8,000基近くの石炭火力発電所が閉鎖し、先進国では2030年までにすべての石炭火力発電所が閉鎖 - SMRのような低排出発電のためのサイトの再利用は、既存サイトの設備や建物、その他の施設、送電網への接続、冷却水や地元の熟練労働力などを利用する機会に恵まれ、技術・コスト面でも一定の利点を提供。また、地元の経済活動や技能を維持することで、地元の経済的・社会的な利益も大きくなると期待 - 欧州だけでも（原子力に反対、または脱原子力の国以外）、石炭火力全体の32%を占める3,400万kWは、発電設備容量50～700MWの発電所からなっている。これらの石炭火力発電所は、場合によっては同等の電力供給を確保するために大型原子炉、またはタイミング等にもよるが200～300MWのSMRも石炭火力発電所の容量の一部を置き換えるのに適している
重工業・オフグリッド採鉱・地域暖房における化石燃料の代替	- 多くのSMR設計は高温で運転され、化石燃料による電力、熱、水素のコージェネレーションに代わる、真の低排出発電を初めて実現できる可能性がある - 商業利用できる産業は、化学、製鉄、アンモニアなど - 資源採鉱サイトでのディーゼル発電機の代替など、オフグリッドの用途として1MWeの原子炉を含むいくつかの小型SMRが開発中 - 国や地域によっては、化石燃料を利用したコージェネレーションプラントによる地域暖房に大きく依存。SMRが商業的に成熟すれば、低排出の地域暖房の燃料となり得る数少ない実用的なソリューションの一つ
水素製造、海水淡水化、船舶推進	- 大型・小型の原子力発電所は、水素ベースの合成燃料だけでなく、低炭素水素の需要増に対応するのに適している - 高温ガス炉は、高温電解または熱化学サイクルと組み合わせて、水素製造が可能。産業拠点の近くにSMRを立地することで、非常に高い水素輸送・流通コストを削減し、SMRをベースとした水素の競争力を高めることができる - SMRは、海水淡水化プラントとしても利用可能、または商船向けの低排出推進源としての利用を視野

* 本表は報告書の説明に基づき、一覧表にとりまとめたものです

世界の主要なSMRプロジェクトの数(温度範囲と想定されている利用)

- 現在開発されているSMRは、主に想定されている使用方法によって、サイズ、出力や温度、技術、燃料サイクルの点で大きく異なる。最も成熟した設計のうち、そのほぼ半分が熱出力温度が400℃以下
- 400℃以下のSMRは、製紙やメタノール生産、石油精製に適している。なかには800℃を超える熱を発生させるものもあり、石炭ガス化や鉄鋼製造向き



*T： 温度、℃