

Technology Brief-Nuclear Power (原子力発電の技術概要書) 概要紹介

国連欧州経済委員会 (UNECE) 2021年8月11日発表

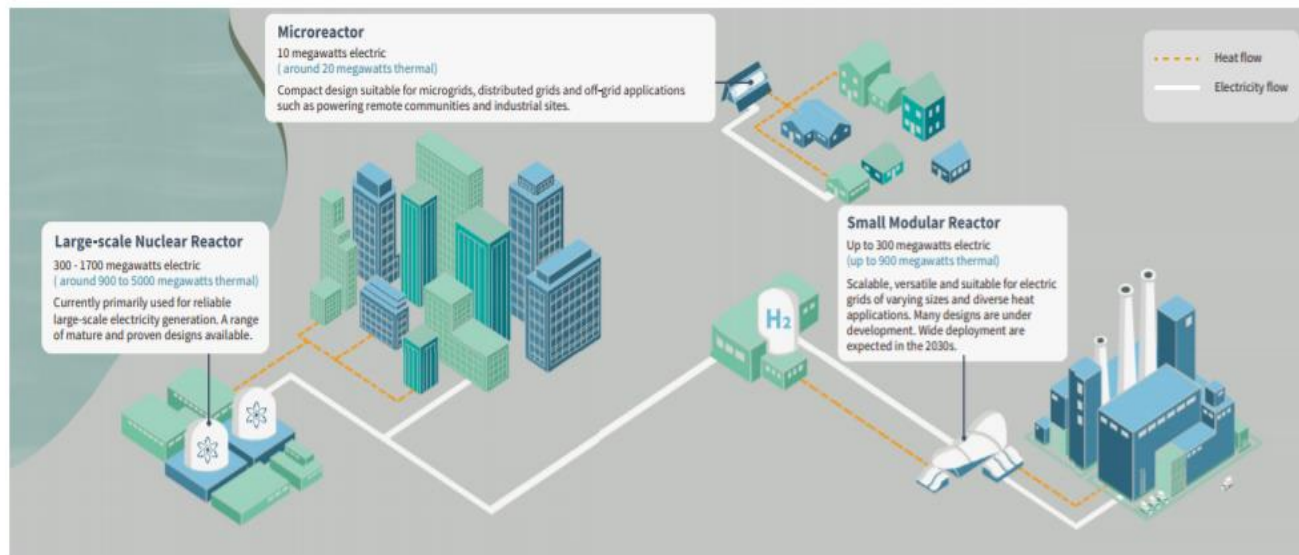


(一社)日本原子力産業協会
情報・コミュニケーション部
2021年9月

Technology Brief-Nuclear Power（原子力発電の技術概要書）

国連欧州経済委員会（UNECE） 2021年8月11日発表

- ✓ 国連経済社会理事会の欧州経済委員会（UNECE）は2021年8月11日、気候変動の緩和や低炭素技術の開発加速の一助となるべくとりまとめている技術概要書のシリーズで原子力発電を取り上げ、そのなかで「**原子力が除外されれば、世界の気候目標は達成されない**」とし、原子力発電は気候目標達成に貢献する重要な低炭素電力・熱供給源であると結論付けました
- ✓ 現在、UNECE地域の原子力発電は総発電電力量の20%、低炭素電源の43%を占めていますが、未だ電力の半分以上を化石燃料に頼っていることから、世界のエネルギーシステムを急速に変革するための時間はなくなりつつあるとしています
- ✓ 今回の技術概要書では、パリ協定と持続可能な開発のための2030アジェンダの実現に向け、世界のエネルギーシステムとエネルギー集約型産業の脱炭素化には、再生可能エネルギーとともに、原子力発電が幅広いポートフォリオの一つを構成すると指摘しています。既存炉に加え、小型モジュール炉（SMR）や先進型炉のような新技術が電力以外の用途（地域暖房や高温プロセス熱、水素製造）により新たな市場を開拓し、またSMRは小規模グリッドや遠隔地での電力供給を可能にするほか、変動性の再生可能エネルギー源との共存性を向上させるとしています



◆ 報告書目次

- ・ 謝辞
- ・ 重要な結論
- ・ イントロダクション
- ・ 原子力発電
- ・ 原子力発電の利用
- ・ 原子力発電の経済性と脱炭素化コスト
- ・ 原子力発電所の長期運転と柔軟な運転
- ・ 健康・環境への影響分析 ほか （合計約30頁）

目 次

- ✓ UNECE(国連欧州経済委員会)について
- ✓ 報告書の主なポイント
- ✓ 原子力発電を利用して気候および持続可能な開発目標を達成したいと考える政策立案者への勧告
- ✓ UNECE地域のCO₂ 排出量(政策シナリオ別)
- ✓ 低炭素エネルギー源により回避された世界のCO₂累積排出量
- ✓ UNECE地域の原子力発電の利用状況
- ✓ 原子力発電について① 3種類の原子炉
- ✓ 原子力発電について② SMRとマイクロ原子炉
- ✓ 原子力発電について③ 開発中の第四世代炉
- ✓ 原子力の発電以外での利用可能性 水素製造、エネルギー集約型産業、地域暖房
- ✓ 原子力発電の経済性と脱炭素化コスト①②③④⑤
- ✓ 原子力発電の長期運転と柔軟な運転①②③
- ✓ 健康・環境への影響分析①②③④
- ✓ UNECE諸国の原子力発電所(2021年5月現在)

UNECE(国連欧州経済委員会)について



UNECE

SUSTAINABLE
DEVELOPMENT GOALS

- ✓ 設立年：1947年
(国連経済社会理事会の下にある5つの地域委員会の1つ)
- ✓ 加盟国：56カ国(欧州、北米、中央アジア/西アジア)
- ✓ 概要：UNECEは、第2次世界大戦後、欧州の破壊からの復興・回復のために設置された。主な目的は、加盟国の経済における関係強化であり、情報交換や相互協力方法の立案などを実施。現在では欧州諸国だけでなく、北米や中央アジア、西アジア諸国も加盟している

UNECE加盟国



出典: UNECEウェブサイト

報告書の主なポイント

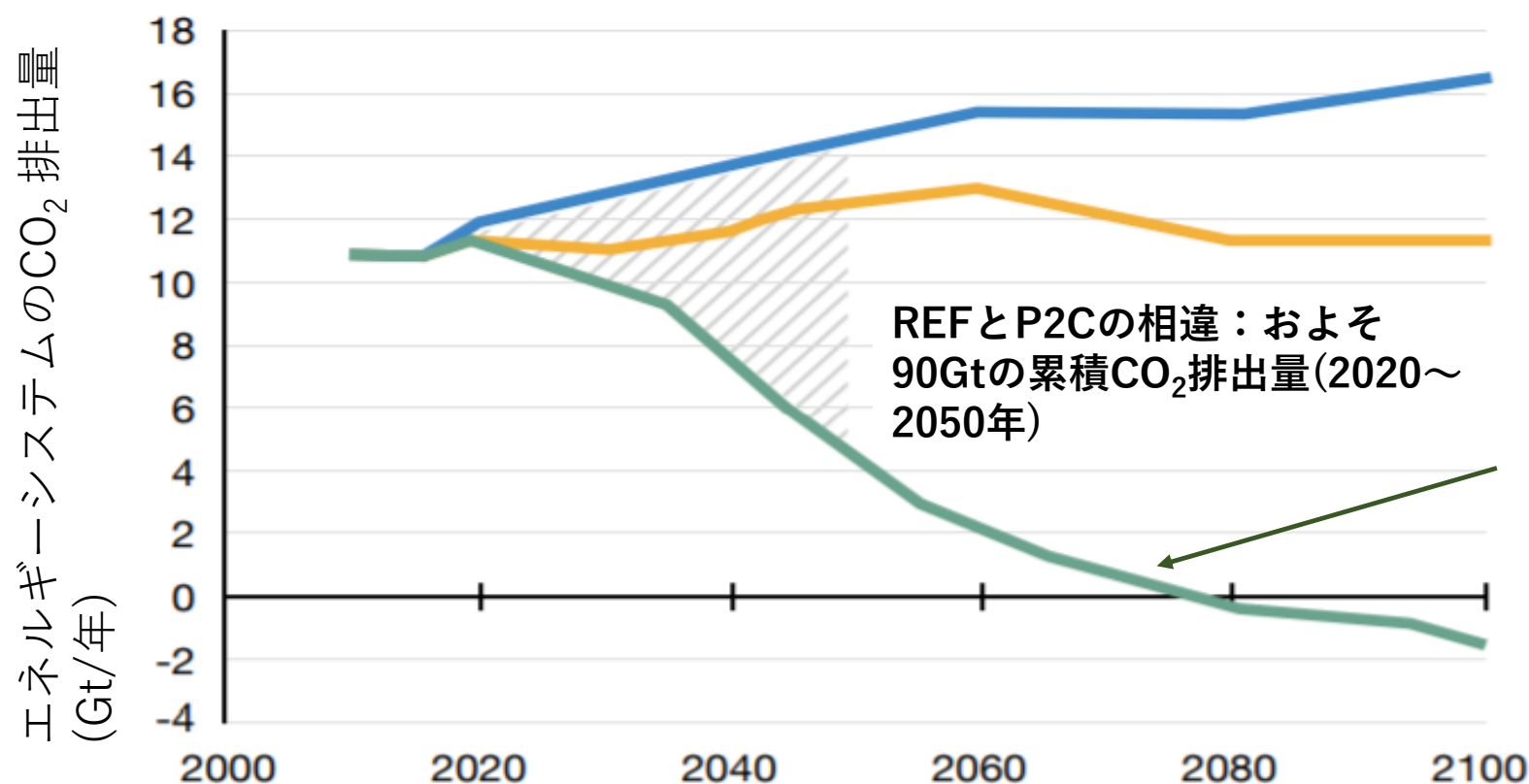
- ✓ 原子力は、カーボンニュートラル（CN）の達成に貢献する低炭素な電力と熱の重要な供給源である。原子力は、これまでCO₂排出を回避するうえで主要な役割を果たしてきた。エネルギーの脱炭素化は、利用可能なあらゆる低炭素技術の使用を必要とする重要な取組である
- ✓ **分析では、原子力が除外されれば、世界の気候目標は達成されない**
- ✓ 原子力発電は小型モジュール炉（SMR）や高度な原子炉技術を含む新しい技術が出現、進化し続けている。これらの技術は、確立された大型原子炉を補完し、地域暖房、高温プロセス熱、水素製造などの新しい市場を開拓する。SMRは小規模グリッドや遠隔地での電力を供給し、変動性の再生可能エネルギー源との共存性を改善する
- ✓ 世界の多くの地域で、原子力発電所はコスト競争力のある発電オプションである。地域によっては、新規原子力発電所は均等化発電コストベースでは、他の電源よりも高いかもしれないが、これらの投資を正当化するレジリエンスと環境上の利点を提供し、エネルギーシステム全体をより手頃な価格で持続可能なものにする。原子力産業界は、建設費を削減するために最近のプロジェクトから学ぶ努力を行っている
- ✓ 実行可能な脱炭素化オプションとして、エネルギーミックスにおいて重要な役割を果たすことができるという観点から、原子力発電を追求することを選択する国がある一方で、さまざまな理由、例えば、天然資源が豊富であることや安全性や放射性廃棄物に関する懸念から、原子力発電を利用しないと決定した国もある

原子力発電を利用して気候および持続可能な開発目標を達成したいと考える 政策立案者への勧告

- ✓ **すべての低炭素技術のための公平な競争の場を確立する**
エネルギーの脱炭素化は、原子力を含む利用可能なすべての低炭素技術の展開を必要とする重要な取組である
- ✓ **新規原子力開発のための前向きで長期的な政策シグナルを提供する**
一貫した政策と明確な市場の枠組は、新規原子力発電プロジェクトへの投資を可能にし、安定したサプライチェーンをサポートする
- ✓ **SMRと先進型原子炉技術の開発と展開を加速する**
新たな原子力技術の展開と商業化には、技術的、財政的、規制上の支援が不可欠である。許認可制度の国際的な調和を推進すべきである
- ✓ **既存原子力発電所の長期運転を確保する**
既存原子力発電所の長期運転は、不必要なCO₂排出を回避し、エネルギー移行のコストを削減する。これは、安全性と経済的な尺度に配慮する必要がある
- ✓ **原子力発電プロジェクトの低コスト融資のメリットを評価する**
グリーンファイナンスの分類は、科学的、技術的に中立な方法論に基づくべきである。多国籍銀行と国際金融機関は、持続可能な貸付活動の一環として、原子力プロジェクトを検討すべきである

UNECE地域のCO₂排出量(政策シナリオ別)

Gt CO₂=10億トンCO₂



REF：UNECE諸国がこれまでどおりの気候政策を継続する場合に予想される排出量のシナリオ

NDC：UNECE諸国がパリ協定の一環で誓約したNDC（国別削減目標）を加味した排出量のシナリオ

P2C：2°C目標を達成するために、UNECE諸国がREFに比べて2020～2050年の累積CO₂排出量を90Gt削減し、2080年以降は実質排出量をゼロにするシナリオ

出典: UNECE Pathways Project

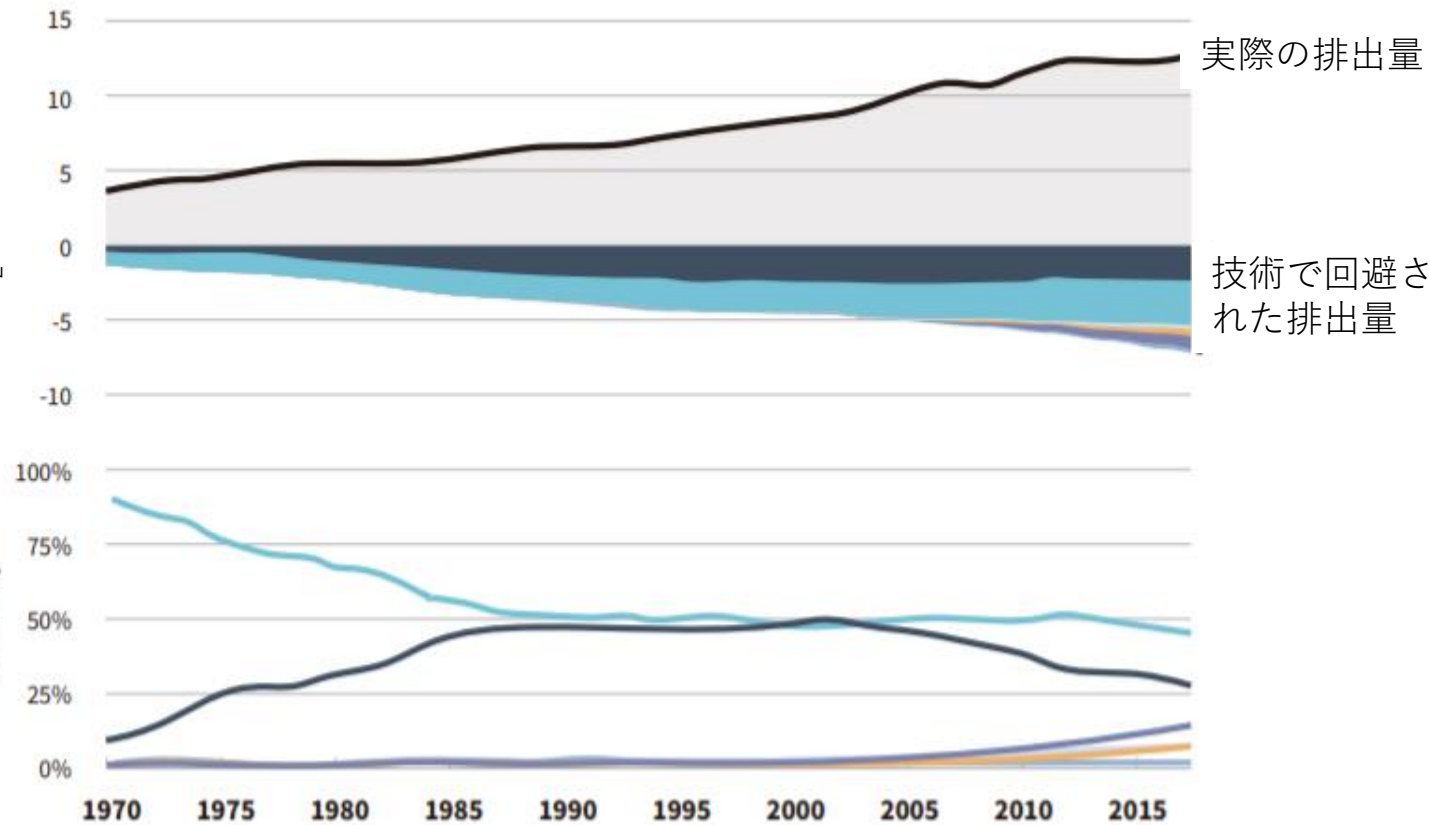
2°C目標達成のためには、2050年までに90Gtの累積CO₂排出量削減が必要
いかなる低炭素電源も検討の対象から外すことはできない

低炭素エネルギー源により回避された世界のCO₂累積排出量

Gt CO₂=10億トンCO₂

電力部門 実際および
回避された排出量
(GtCO₂)

低炭素電力のシェア



回避された累積排出量
(1971~2018)

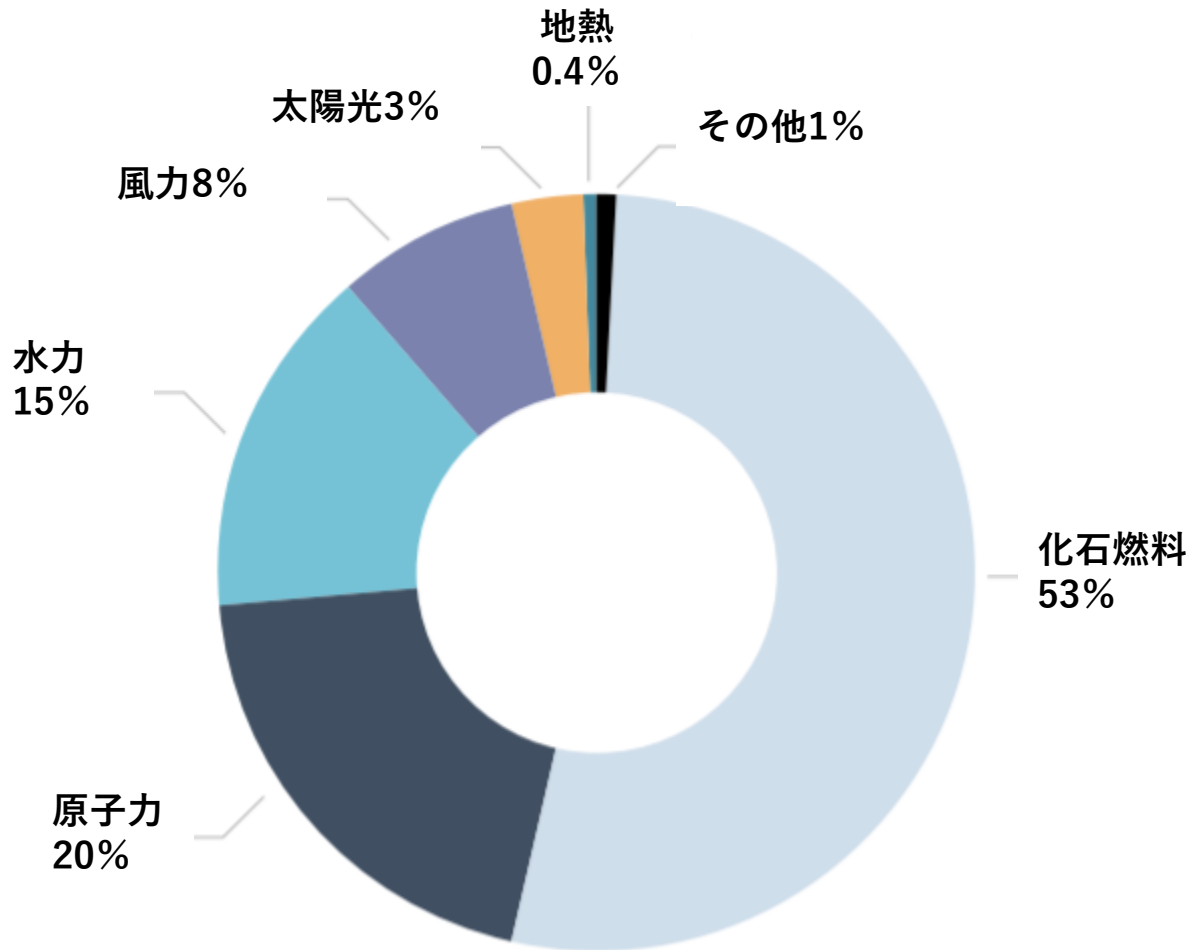


出典: IAEA, Climate Change and Nuclear Power 2020

原子力発電により過去50年間でおよそ74Gtの累積CO₂排出量を回避
世界のエネルギー関連排出量のほぼ2年分に相当

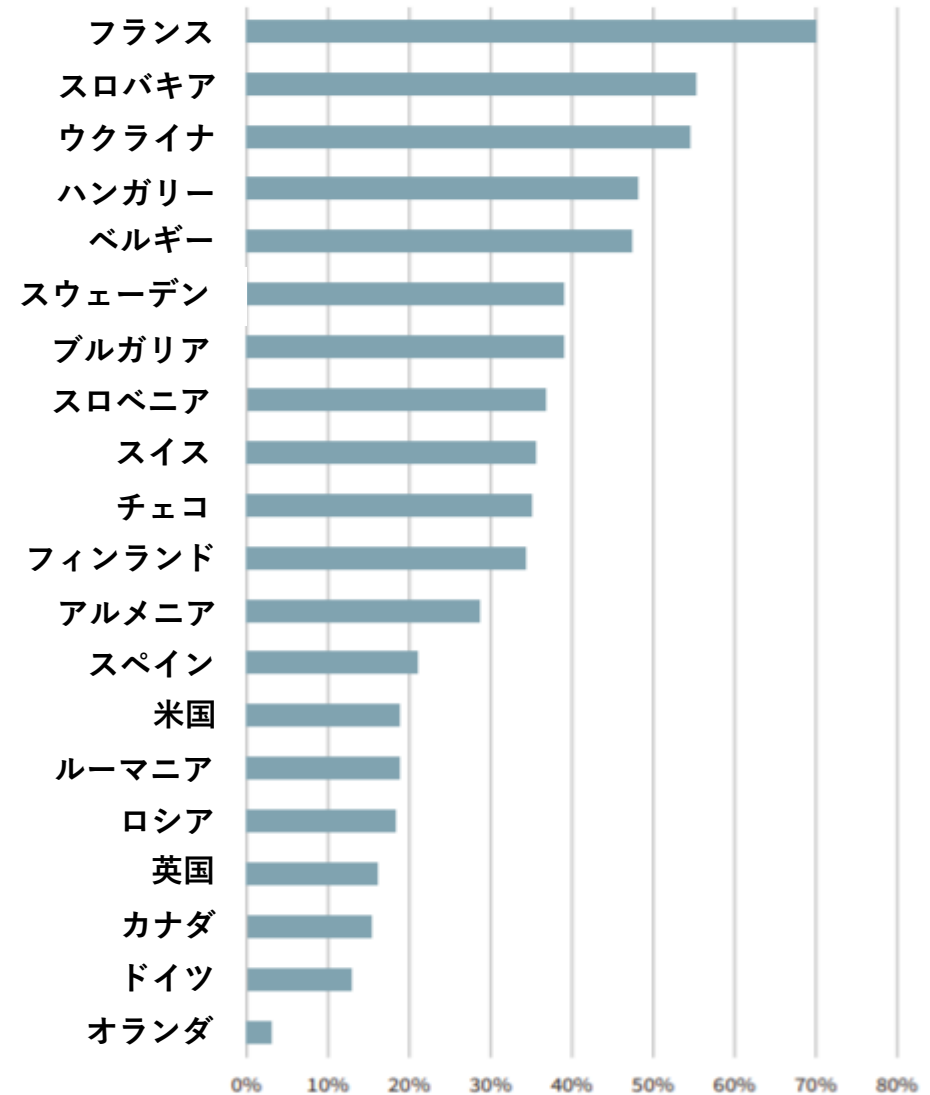
UNECE地域の原子力発電の利用状況

UNECE地域の電源別発電量シェア（2019年）



UNECE地域では約290基の原子力発電所が運転中
原子力発電量シェアは20%、低炭素電力に占める割合は43%

UNECE諸国の原子力発電量シェア



原子力発電について①3種類の原子炉(その1)

- ✓ 原子力発電は、開発中の新技術で進化し続けており、原子力発電利用の範囲を拡大し、将来の脱炭素化されたエネルギーミックスにおいて変動性の再生可能エネルギーやCCS（炭素回収・貯蔵）付化石燃料のような、他の低炭素エネルギー源との共存性を高める
- ✓ 今日の原子力発電所は、水を加熱して蒸気を作り、タービン発電機を回す汽力発電所である。原子力発電所の燃料は炭化水素ではなく、処理されたウランやプルトニウム、（潜在的に）トリウムで構成されており、熱は炭化水素の燃焼ではなく、原子炉内の核分裂によって生み出される。核分裂の過程は、非常にエネルギーリッチで、燃焼の約百万倍のエネルギーを放出する
- ✓ **原子炉技術は、主に3つのクラスに分かれる。大型（百万kW規模）原子炉、小型モジュール炉（SMR）およびマイクロ原子炉**である。大型原子炉は今日、商業的に利用されており、SMRやマイクロ原子炉は開発中で、一部の設計は急速に商業展開に近づいている
- ✓ **大型原子炉**…原子力技術開発の歴史の大半は、規模の経済を利用するために原子炉のサイズの拡大に費やされた。現在、約75万kWから180万kWまでさまざまな成熟した標準型原子炉/原子力発電所の設計が商業化されている。これらの設計は、すべて実証された技術に基づいており、定評のあるベンダーによって提供されている。今日の大型原子炉は、90%を超える設備利用率を達成することができ、少なくとも60年間運転するように設計されている。ほとんどのプラントは、低い燃料コストおよび運転コストを生かすべく「ベースロードモード」で運転しているが、必要に応じて負荷追従モードで運転でき、地域暖房や電気分解による水素製造にも適応可能である

原子力発電について①3種類の原子炉(その2)

- ✓ **小型モジュール炉 (SMR)** …最新のSMR設計は、電気出力で最大30万kW利用可能である。第一世代の原子炉は電気出力が小さく、多くの小型炉は今日、潜水艦や海軍艦艇に見られることに留意すべきである。現在のSMRの特徴は設計と製造アプローチで、その小さなサイズを利用して革新的な安全機能を組み込むほか、新しい生産技術を利用し（高度化された工場建設や標準化など）、新たなビジネスモデルを開拓する。多くのSMRは、エネルギー需要や既存のグリッド容量では大型原子炉が大きすぎて利用できない市場向けに想定されている。SMRは、化石燃料発電所のリパワリングやコジェネレーション、小規模な電力グリッド、そして遠隔地やオフグリッド地域など幅広いユーザーと用途に柔軟な発電を提供できる
- ✓ 現在、70以上のSMR設計が様々な用途向けに開発中である。様々なSMRの設計は、異なる技術成熟度レベルにある。水冷却型のSMRは、極めて成熟しているとみることができ、そのようなプラントの1つが、ロシア北部沿岸の遠隔地のコミュニティに建設され、現在熱電併給しているほか、別の設計も米国の規制当局によって承認されている。中国の高温ガス炉HTR-PMは現在建設中であり、2021年末に運転開始予定である。多くのSMR開発者は、初号機が2020年代に運転を開始し、これらの設計が2030年代に広く展開できるようになることを見込んでいる。新規技術に基づく設計は概して、商業化にはほど遠い
- ✓ **マイクロ原子炉**…マイクロ原子炉はSMRの一部である。マイクロ原子炉は、最大約2万kWの熱出力、あるいは最大約1万kWの電気出力が見込まれており、設置される可能性のあるサイトに完全なプラントの形で輸送されるように設計されている。初期の設計は、オフグリッド利用向けに調整されている。一部の設計は、特に設計者や規制当局が簡素化された許認可アプローチを追求するならば、対象とするニッチ市場（主に、ディーゼル発電機と競合）で改革を行わなくても商業化できるため、5年以内にベンダー国で運転する可能性がある

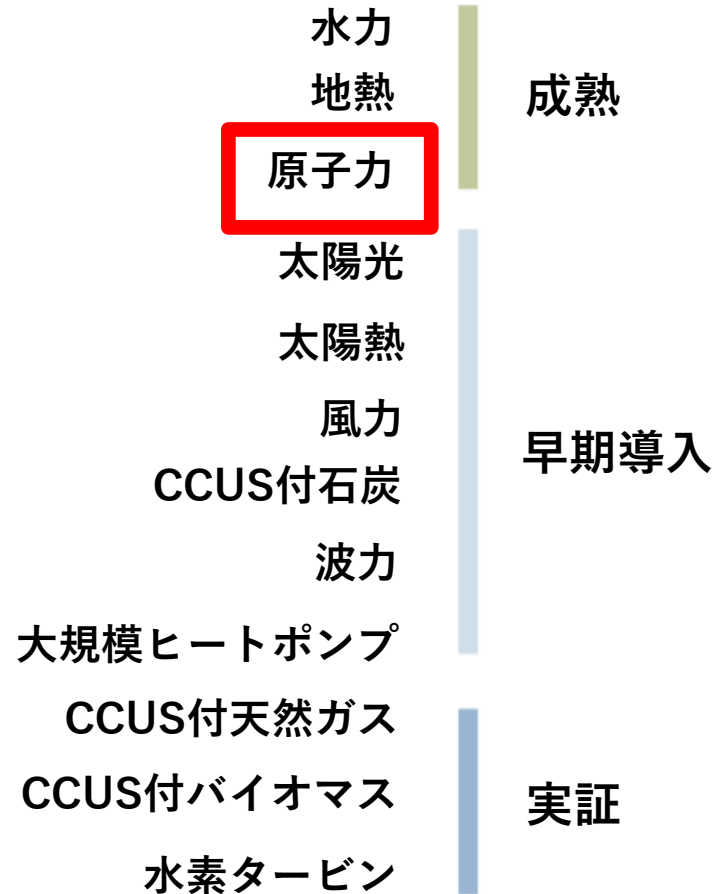
原子力発電について①3種類の原子炉(その3)

原子炉のクラスとサイズ	設置	利用	技術	技術成熟度レベル* (TRL)
中型～大型炉 (>30万kW)	オングリッド	電力 水素製造 脱塩 地域暖房	原子炉タイプ: PWR, BWR, PHWR, 高速 中性子炉(FNR) 変換: ランキンサイクル	PWR, BWR, PHWR : 11 ナトリウム冷却高速炉 (SFR) : 8～9
SMR (小型モジュール炉) (30万kWまで)	オン・オフグリッド 大規模送電網 小規模あるいは未開発 送電網 産業プロセス オフグリッド農業	電力 水素製造 脱塩 地域暖房 産業プロセス熱	原子炉タイプ: PWR, BWR, 熔融塩炉 (MSR), 高温ガス 炉 (HTR), ガス冷却高速炉 (GFR), 高速中性子炉 (FNR) 変換: ランキンサイクル、 ブレイトンサイクル	PWR型SMR : 6～9 その他SMR : 2～8
マイクロ原子炉 (およそ2万kWtまで)	オフグリッド 産業施設 鉱山操業 遠隔地コミュニティ 石油・ガスプラット フォーム オフグリッド農業	電力 脱塩 輸送 地域暖房 産業プロセス熱	原子炉タイプ: 高速中性子 炉、高温ガス炉 変換: ランキンサイクル、 ブレイトンサイクル、超臨 界蒸気、ヒートパイプ、ス ターリングエンジン	2～6

*開発中の技術が実運用にどれだけ近いかを表す指標。数値が大きいほど実用化に近い

原子力発電について②SMRとマイクロ原子炉

発電技術の技術成熟度レベル



出典: IEA ETP Clean Energy Technology Guide

マイクロリアクターの例 米国ウルトラ・セーフ・ニューク リア社の小型高温ガス炉

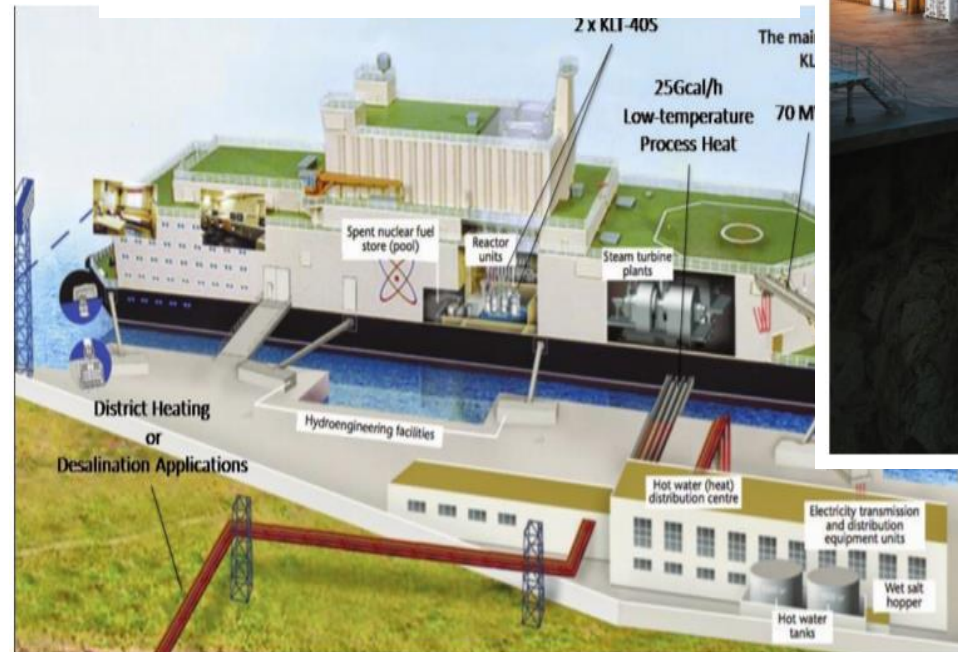


出典: Ultra Safe Nuclear Corporation

マイクロ原子炉は、
5年以内に米国とカナダで利用可
能になることが期待されている

SMRの例

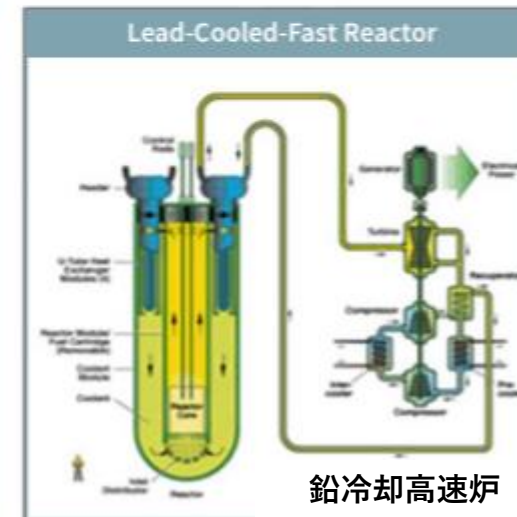
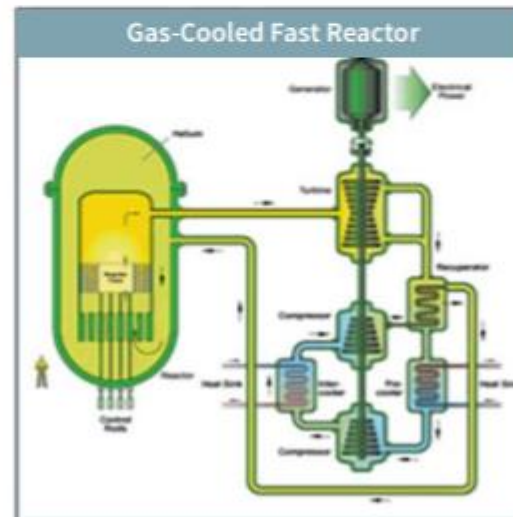
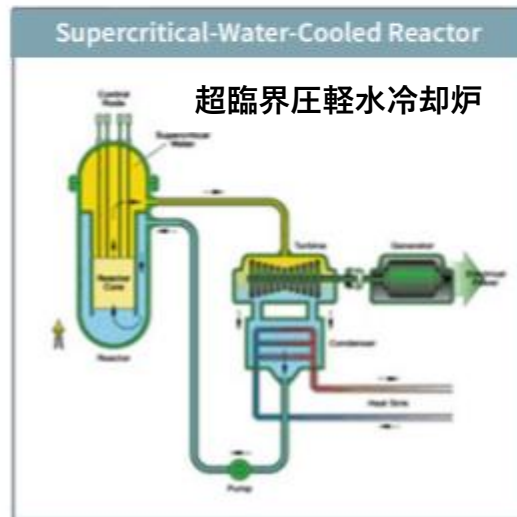
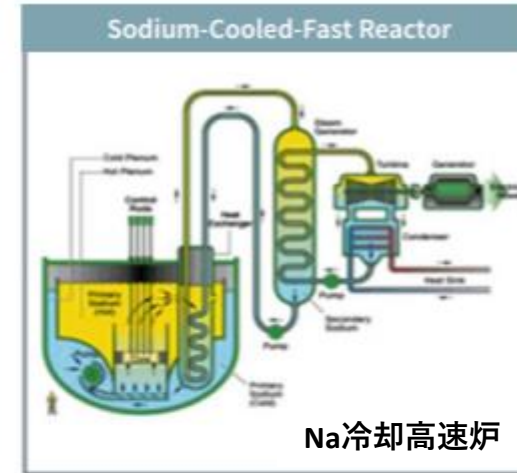
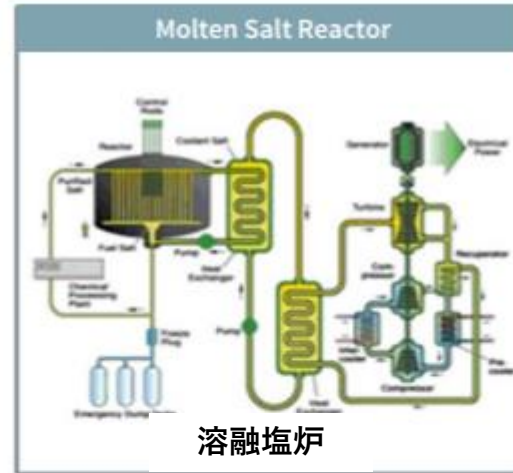
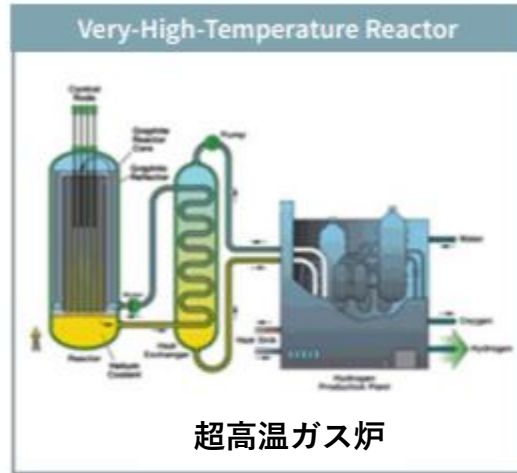
ロシアの海上浮揚型原子力発電所
(2020年5月営業運転開始)



出典: Rosatom

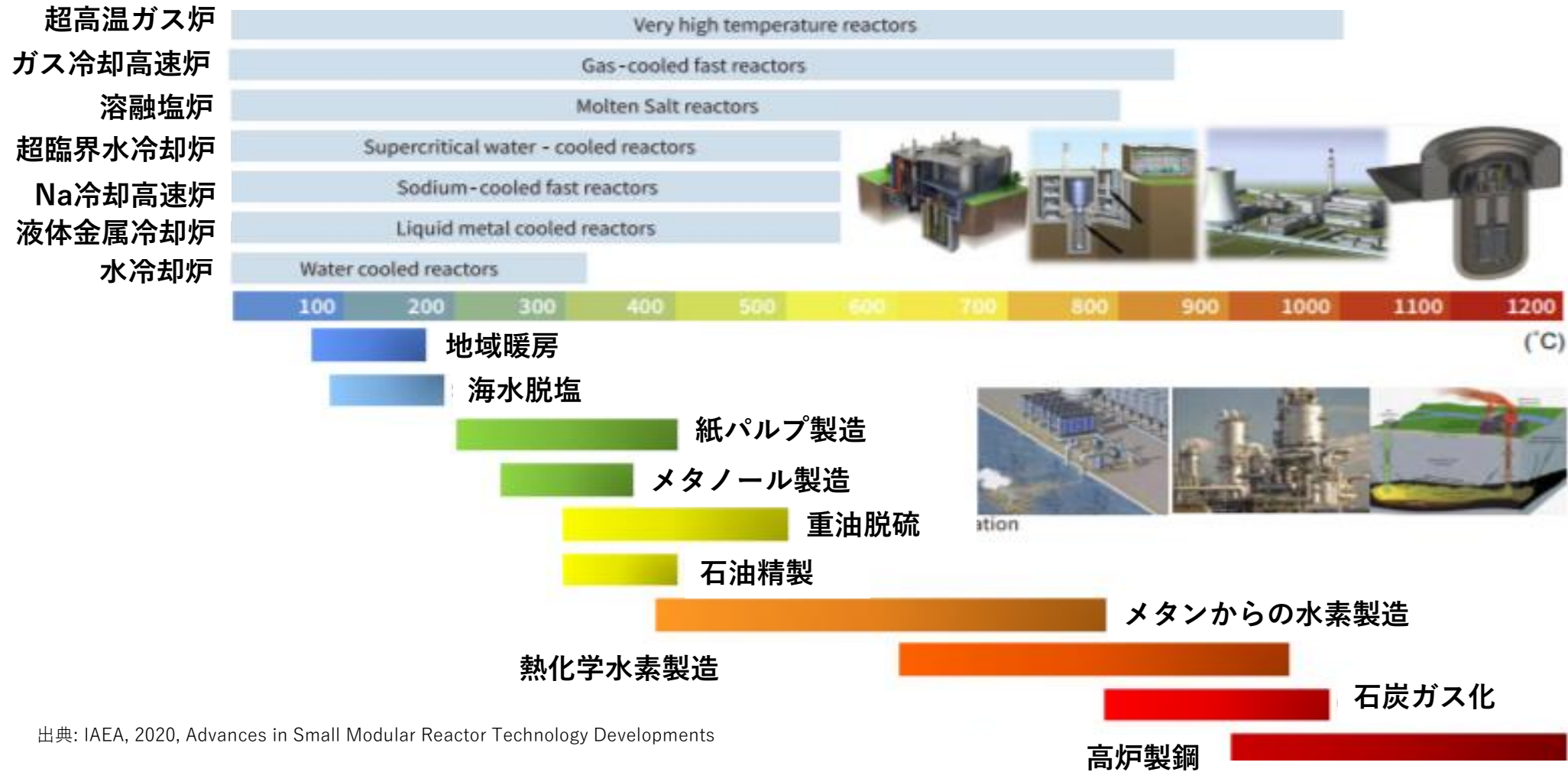
原子力発電について③開発中の第四世代炉

欧州、北米を中心とした“スタートアップ企業”を含む多くの民間企業が研究機関と連携して、革新炉の市場化をめざしており、ベンチャーキャピタルを惹き付けている



出典: Generation IV International Forum

原子力の発電以外での利用可能性 水素製造、エネルギー集約型産業、地域暖房



出典: IAEA, 2020, Advances in Small Modular Reactor Technology Developments

原子力プロセスの熱は、脱炭素化が困難な化学、紙パルプ製造、鉄鋼生産のようなエネルギー集約型産業の脱炭素化に有効な手段となり得る

原子力発電の経済性と脱炭素化コスト①

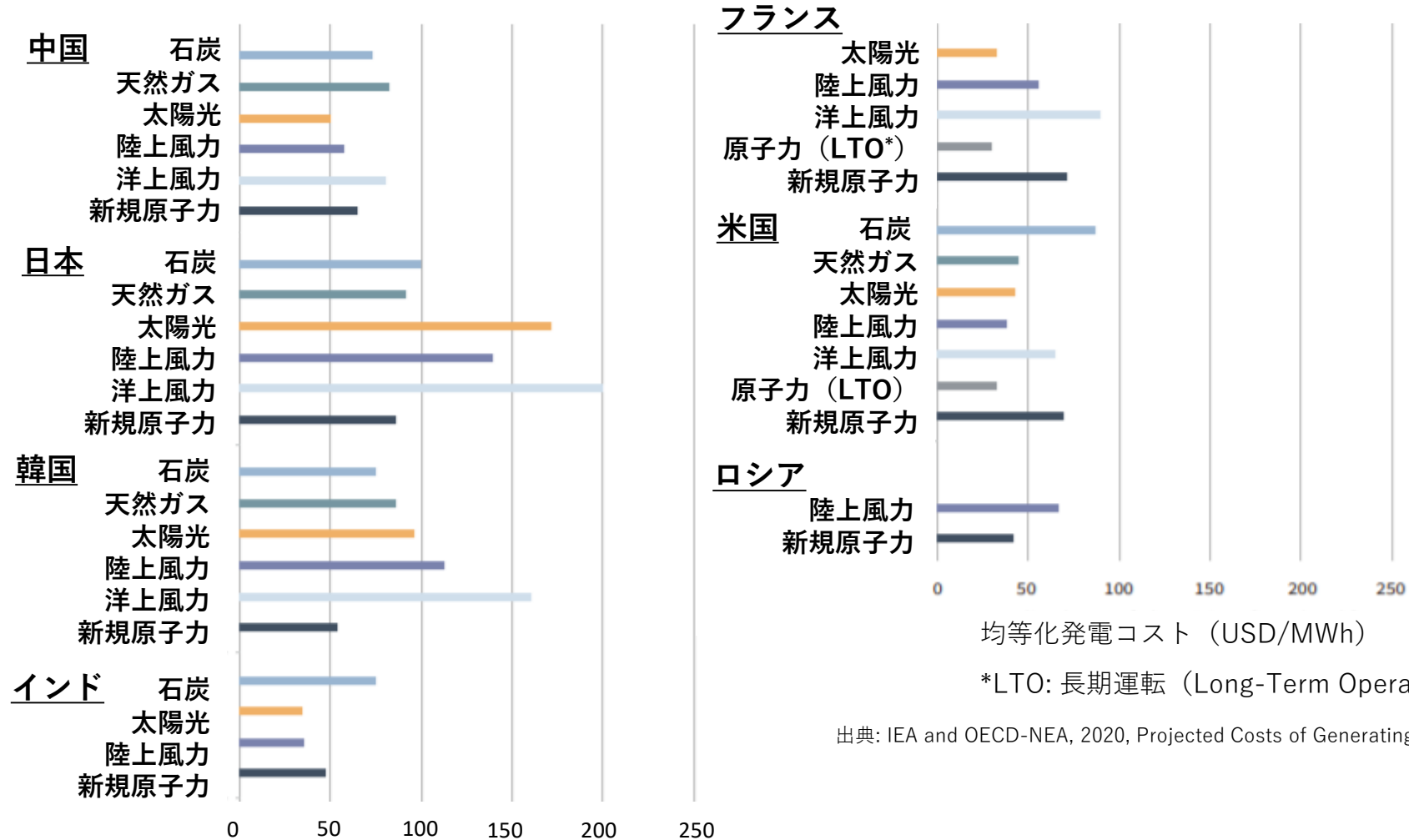
- ✓ 均等化発電コスト（LCOE）*は、プラントレベルで全コストを比較するが、電力システム全体の価値や間接コストを考慮しておらず、運転が異なる技術（例：変動性の再生可能技術と給電可能な技術）を比較するには不十分である。変動性の再生可能エネルギー（VRE）源のコストは急速に低下しているが、これらの技術はまた追加のシステムコストを課し、普及率が高くなるとコストが大幅に増加し始める。原子力発電所や水力発電、CCS付化石発電所など、確実に給電可能な低炭素発電をエネルギーシステムに追加することは、脱炭素化の全体コストを削減し、移行が成功する可能性を最大化する。多くの国にとって、原子力発電が、最適化された最速、最小コスト、最小リスクの脱炭素化パスウェイの一部を形成することは明らかである
- ✓ 原子力発電所はまた、既存の市場では捉えられていない重要な正の外部性を生み出す。それらは、異常気象など、エネルギーシステムに定期的に影響を与える深刻な衝撃に対するレジリエンスを高める。例えば、米国テキサス州での昨今の冬の大停電（2021年2月）の間、原子力発電所は最も影響を受けない発電形態であった
- ✓ UNECE諸国のなかでも、とりわけ欧州と米国で、初号機（FOAK）の建設や初の原子力発電所プロジェクトについて、いくつかの十分に裏付けられた問題が発生した。能力とサプライチェーンが再確立されるにつれ、産業界は現在、このフェーズから移行しつつある。中国、日本、韓国、ロシアのような一貫して原子力建設プログラムを維持してきた国々は、新規建設コストを下げている。それゆえ、他の国々のプロジェクトの短期的な建設コスト削減にも大きな可能性がある

*均等化発電コスト（LCOE）：発電所の建設準備から廃炉終了（廃棄物処分も含む）までの全体にわたっての割引後の各コストの総合計を割引後の発電電力量の総合計で除したもの

原子力発電の経済性と脱炭素化コスト②

- ✓ 世界中の最近の建設プロジェクトの教訓の活用や設計の成熟度と規制の安定性の優先化、標準化された原子炉プログラムの実施、そしてベストプラクティスの推奨の追求により、各国は今後10年間で原子力発電所プロジェクトのコストの大幅削減を期待することができる。低コストの資金調達へのアクセスと組み合わせると、これら取組は原子力エネルギーの均等化発電コストを大幅に削減し、脱炭素化と低炭素エネルギー移行の全体的なコストを削減するのに役立つ
- ✓ SMRは、原子力技術の追加のコスト削減のパスウェイを提供する。SMRは、商業展開に向けて規模の経済と標準化に基づき、経済的な優位性を達成することをめざしている。SMR技術は、大型の原子炉技術と比較して幅広いエネルギーサービスを提供し、グリッドに接続された顧客だけでなく、オフグリッドの遠隔地のコミュニティや産業ユーザーのニーズにも対応できる。さらに、資本コストの削減や建設期間の短縮、モジュール式の建設工法により、SMRは資金調達が容易となり、投資リスクも低くなる。大規模な展開はまた、学習率が加速することを意味し、将来のコスト削減の可能性をさらに高める

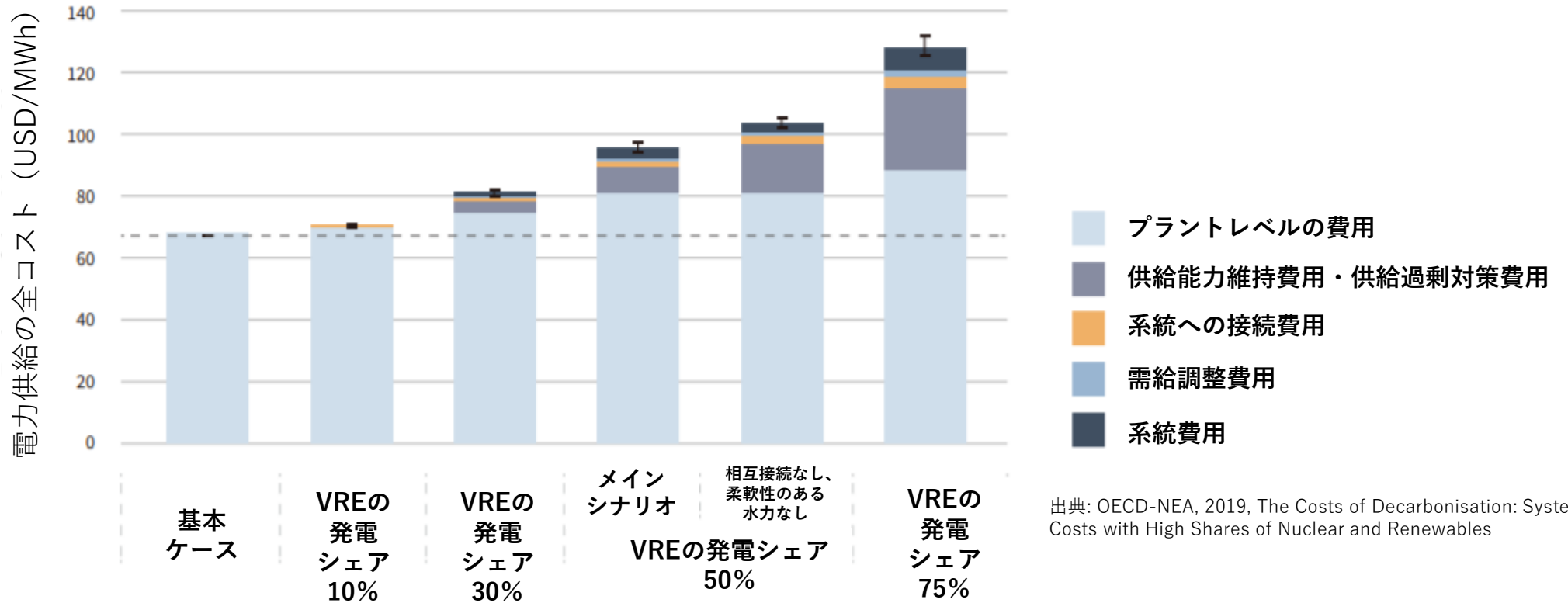
原子力発電の経済性と脱炭素化コスト③ 各国の均等化発電コスト(LCOE)



原子力発電は、世界の多くの地域でコスト競争力のある発電オプションである。しかし、均等化発電コストはプラントレベルでのコスト評価であり、電力システム全体の価値あるいは間接コストが考慮されておらず、変動性の再生可能エネルギー等運用が異なる技術と比較するには不適

原子力発電の経済性と脱炭素化コスト④

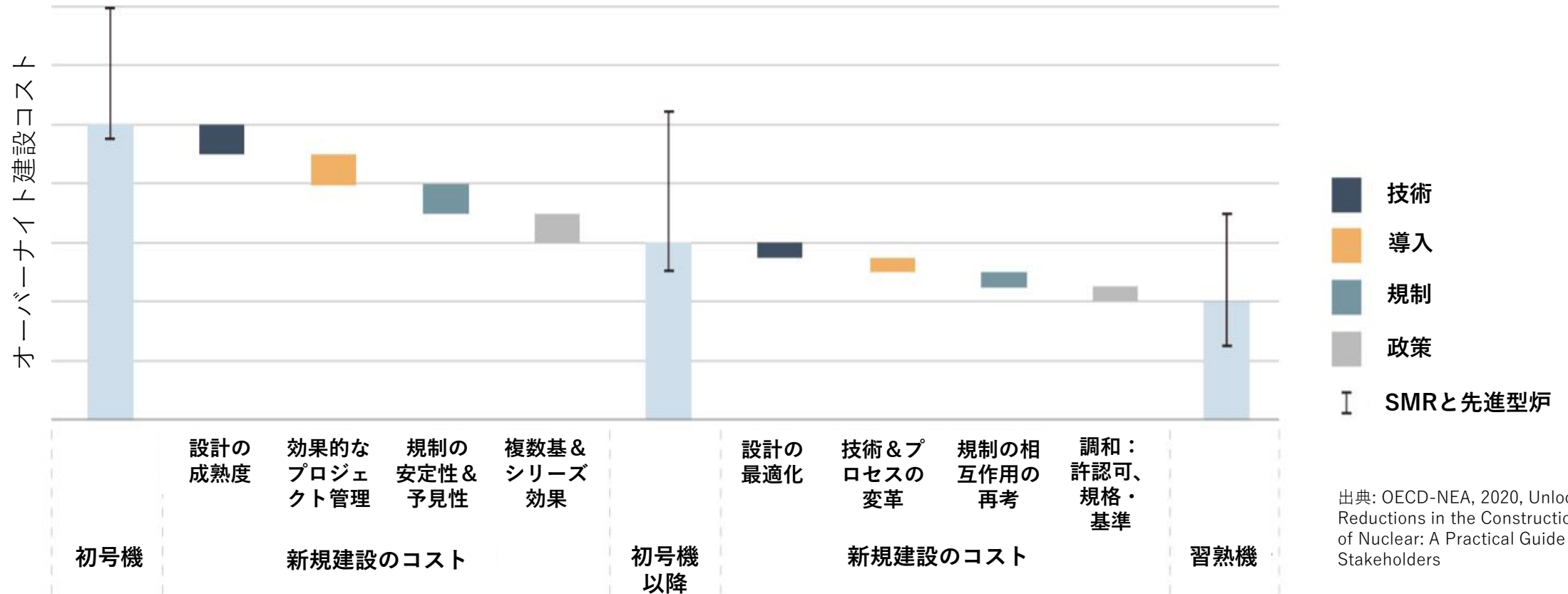
変動性の再生可能エネルギー（VRE）普及に伴うシステムコストの増加



変動性の再生可能エネルギー源のコストは急速に低下しているが、普及が進むにつれ、追加のシステムコストが必要となり、システムコストは大きく増加し始める。エネルギーシステムに原子力や水力、CCS付化石燃料プラントなどの確実に給電可能な低炭素発電を追加することは、エネルギー移行が成功する可能性を最大化しつつ、脱炭素化の全体的なコストを削減する。多くの国にとって、原子力発電が、最適化された最速、最小コスト、最小リスクの脱炭素化パスウェイの一部を形成することは明白である

原子力発電の経済性と脱炭素化コスト⑤

原子力コストとリスク削減を牽引するもの



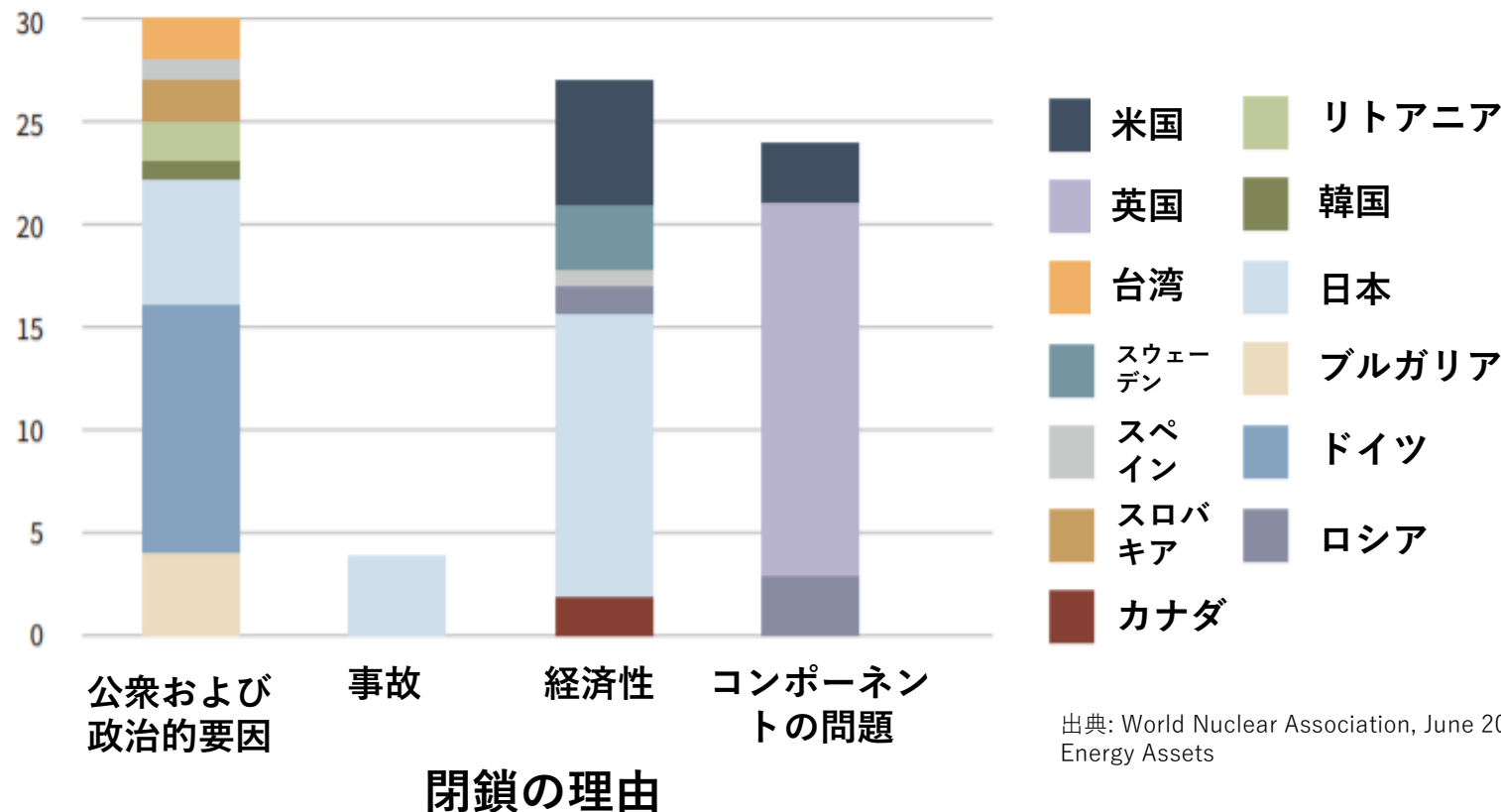
最近の建設プロジェクトの教訓を活用し、ベストプラクティスの推奨を追求する等により、今後10年間で原子力発電プロジェクトのコストを大幅に削減することが期待できる。低コストの資金調達と組み合わせることで、均等化発電コストを大幅に削減し、脱炭素化と低炭素エネルギー移行の全体的なコスト削減に役立つ。SMRも資本コストの削減、建設時間の短縮、モジュール式の建設により、資金調達を容易にし投資リスクも低減するほか、大規模展開により将来のコスト削減の可能性をさらに高める

原子力発電所の長期運転と柔軟な運転①

- ✓ 原子力発電所は当初、30～40年の運転認可を受けていたが、発電所の運転寿命に技術的な制限はない。当初の運転認可期間を超えた原子力発電所の運転は、長期運転（LTO）として知られているが、現在では多くの国で一般的であり、高いレベルの安全性を維持し、長期的にプラントのパフォーマンスを最適化するために必要とされるすべての要素を特定できるプラント経年管理プログラムがある。ほとんどの米国の原子力発電所（PWRとBWRの両方）は、すでに20年間の運転認可更新が許可されており、計60年間運転する。現在、多くの原子力発電所は、最大80年間運転できるように2回目の運転認可更新を進めており、既に多くのユニットが承認されている。カナダでは、PHWRの中期的な改造工事により、少なくとも60年間の運転をめざしている。**IEAによると、既存の原子力発電の長期運転は、多くのUNECE諸国が利用できる最も低コストの発電オプションの1つである**
- ✓ それにもかかわらず、UNECE地域では過去20年間で多くの原子力発電所が閉鎖されている。閉鎖の多くは、事故等に起因した政治的決定の結果である。その他、市場の根本的欠陥によって悪化した経済的状况による閉鎖も多い。最近の原子炉の閉鎖は欧州でも起こっており、ドイツが2011年に原子力の段階的廃止に着手し、特定の東欧の国々では、EU加盟の条件として原子炉を閉鎖した。ほとんどの場合、これらプラントは、少なくとも部分的に化石燃料による発電に置き換えられており、このことは気候緩和の取組の後退を表している。米国の最近の経済的な理由による閉鎖の多くは、シェールガスの生産が卸売ガス価格の急激な低下を引き起こし、それにより電力価格が引き下げられたことによる。ただし、市場と容量オークションの基本的な構造もまた重大な役割を果たしている。一部の欧州諸国では、最近の原子炉の閉鎖は、原子力発電所に対する特定の政府税に部分的に起因している。**IAEAとIEAは、さらなる原子力発電所の早期閉鎖を防ぐことが、気候変動に対処するための喫緊の優先事項と見なしている**

原子力発電所の長期運転と柔軟な運転②

世界で閉鎖された原子炉（2000年1月～2020年1月）

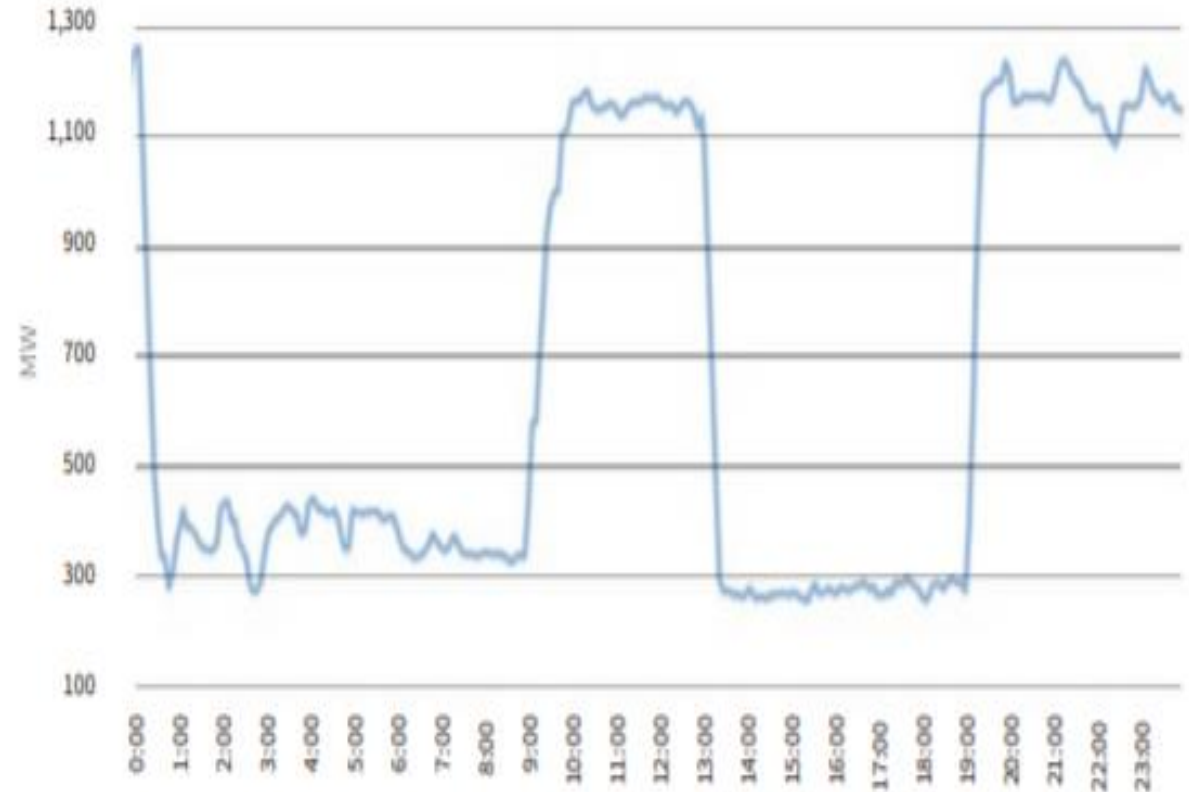


UNECE地域では2000年以降、政治的、経済的、あるいは技術的な理由から、70基を超える原子炉が閉鎖。その多くは少なくとも部分的に化石燃料発電に置き換えられており、これは気候緩和に対する取組と逆行した流れとなっている。IEAとIAEAは、さらなる原子力発電所の早期閉鎖を防ぐことが、気候変動に対処するための喫緊の優先事項であると勧告している

原子力発電所の長期運転と柔軟な運転③

- ✓ 今日、世界中のほとんどの原子力発電所は「ベースロード」モードで運転している。原子力発電の変動費は低く、発電された電力量に対してのみ支払う市場構造と相まって、事業者は発電量を最大にするよう動機付けられる。最高のパフォーマンスを発揮する原子力発電所は、定期的に平均年間設備利用率が90%を超え、あらゆる発電形態のなかでも最も高い。しかし、一部の原子力発電所は、直接的に発電出力を変更し、必要に応じて負荷追従モードで運転することができる。また他のほとんどの原子力発電所も負荷追従モードが可能となるよう調整することができる
- ✓ 原子力発電所が柔軟に運転することを妨げる基本的な技術的障壁はない。電力市場は、競争力があり技術中立的な方法で柔軟性を提供する発電所に補償する必要がある。変動性の再生可能エネルギーの量が増え続け、CO₂排出の発電に制約が課されるなか、既存の原子力発電所は、エネルギー貯蔵、需要側マネジメント、再生可能エネルギーの出力抑制とともに、システムの柔軟性の貴重な源として頼りにすることができる

仏ゴルフフェッシュ2号機の1日の発電出力の変化例



出典: Nuclear Innovation Clean Energy Future, September 2020, Flexible Nuclear Energy for Clean Energy Systems

健康・環境への影響分析①

- ✓ あらゆるエネルギー生産形態はリスクを伴い、環境・健康影響を引き起こすので、これらの産業活動は影響が受け入れ可能なレベルに管理されていることを確認するため、監視と規制の対象となる。**原子力発電は、放射線事故や放射性廃棄物管理などの特定のリスクをもたらすが、包括的なライフサイクルの評価は、幅広い環境指標にわたって評価された場合、原子力はあらゆるエネルギー源のなかで最も影響が小さいものの一つであることを示している。**これらの影響は、再生可能エネルギーとほぼ同等であり、化石燃料よりも桁違いに低い。原子力エネルギーをEUのグリーンファイナンスタクソノミー（クリーン事業の投資分類）に含めるべきかどうかに関して、欧州連合の共同研究センターによる調査の結論は、「原子力エネルギーが他の発電技術よりも人間の健康や環境に害を及ぼすという科学的根拠は見受けられなかった」としている
- ✓ 世界が直面している最も重要な健康・環境の課題は大気質である。世界保健機関（WHO）は、周辺の大気汚染により毎年世界中で420万人が死亡しており、その多くはエネルギーの生産と利用に関連している、と報告している。料理の火の煙に晒されることによる家庭での汚染では、年間380万人が死亡している。原子力発電所は大気を汚染せず、これまでの利用で100万人以上の命を救う一助になったと考えられている。原子力発電所はまた、CO₂やその他の温室効果ガス排出の削減に明らかに役立つ。**IPCCは、原子力エネルギーのライフサイクル全体の温室効果ガス排出は再生可能エネルギー源と同等であると認識している**
- ✓ 原子力発電所は、単一のサイトから大量の電力を生み出すことができる。構造の材料に関しては、原子力発電所はほとんどがスチールとコンクリートであるが、米国エネルギー省によると、風力や水力などの再生可能エネルギーの約10分の1しか必要としない。対照的に、2020年の世界銀行の報告書は、「ソーラーパネルや風力タービン、バッテリーの製造は当面、重要鉱物の需要と供給を形成するであろう」と述べている。原子力発電所はまた、冷却目的で水を必要とし、これは地域の水域環境への影響を防ぐために管理する必要がある。このため、注意深い立地と環境影響評価が必要である

健康・環境への影響分析②

- ✓ 原子力技術は、公衆や労働者に対しての潜在的な放射線の健康影響をもたらす。しかし、放射線は自然発生する。「人工」放射線は、人への影響において自然放射線と何ら変わりはない。原子力施設は、放射性物質の放出から人々と環境を守るために、複数の保護バリアで設計されている。提案された英国の原子力発電所の規制上の正当性は、英国国民の年間の放射線量が、英国からニューヨークへの復路便の飛行機からの放射線量とほぼ同じであると評価している。原子力産業は、ほとんどの人が日常生活で被曝する放射線の0.1%未満にしなければならない
- ✓ 2つの最も深刻な原子力事故は、1986年のチェルノブイリ事故と2011年の福島第一原子力発電所事故である。これらは多くの公衆の不安の原因であり、長期的な避難をもたらした。そして前述のように、発電所の閉鎖という政治的決定の基礎となっている。これらの事故や原子力の運転中に発生したその他の事象から学んだ教訓は、世界的に共有され、新しい原子炉の設計と運転慣行に組み込まれている
- ✓ 放射性物質は原子力発電の発電中に生み出される。そのような物質は、労働者や環境を保護する持続可能な管理の慣行および適切に設計された施設での最終的な処分を必要とする。放射性廃棄物は、存在する放射能レベルと放射能が持続する時間によって分類され、後者は、存在する放射性同位元素の半減期によって決まる。極低レベル廃棄物（VLLW）と低レベル廃棄物（LLW）は、地表近くの埋め立てタイプの施設での処分に適している。中レベル廃棄物（ILW）と使用済燃料を含む高レベル廃棄物（HLW）は、深地層処分場での処分を必要とする。中レベルおよび高レベル廃棄物は、長寿命の放射性核種を含み、数十m～数百mのオーダーの処分深度が必要である

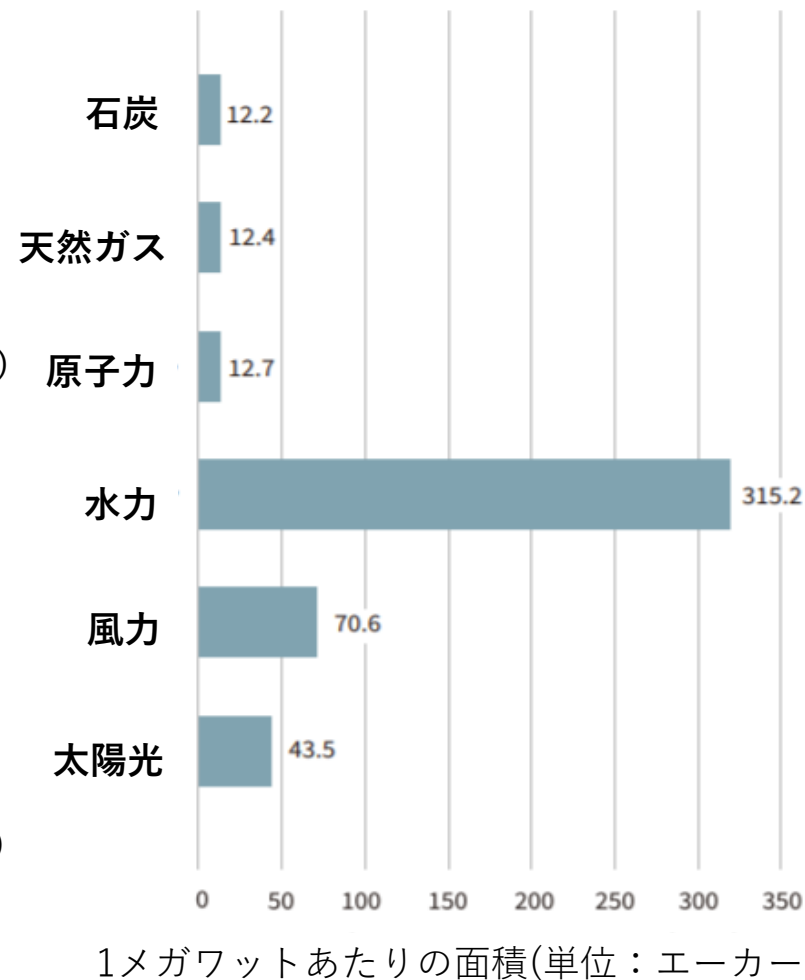
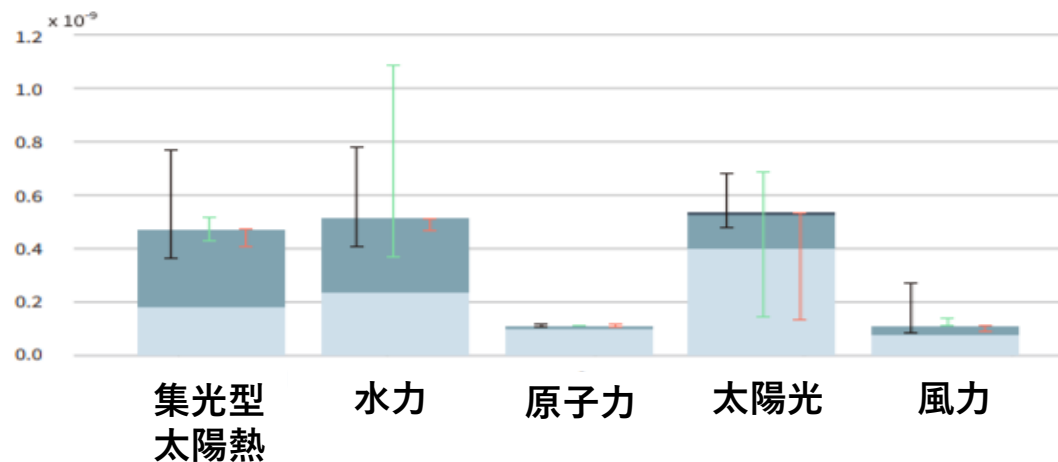
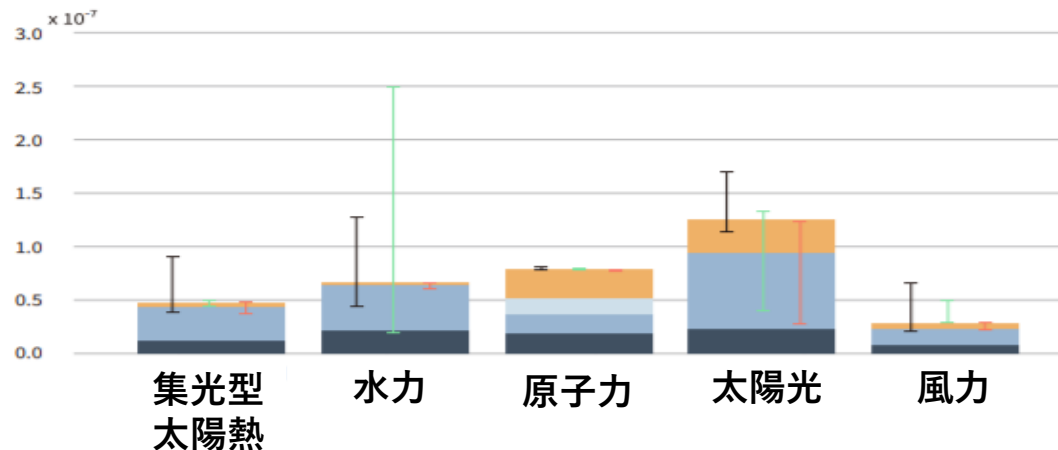
健康・環境への影響分析③

- ✓ 原子力産業が生み出す放射性廃棄物の約97%は、放射化学的特性評価の後、低レベルまたは極低レベルのいずれかに分類される。HLWは、量の点では最も少ない割合（0.1%未満）であるが、全放射エネルギーの約95%を占める。高レベル廃棄物は、主に使用済燃料またはそのリサイクルされた残りで構成されている。世界で操業しているHLWの最終処分場はないが、フィンランドでは処分場の建設が進んでおり、2023年の世界初となる操業に向け、順調に進捗している
- ✓ 原子力発電に使用されるほとんどの材料は、過度に汚染されていない限り、リサイクルや再利用できる。使用済燃料でさえ、リサイクルする機会があるため、自動的に廃棄物として分類されるべきではない。したがって、「放射性廃棄物」という用語は、再利用あるいはリサイクルするのが実用的でないと考えられ、処分される予定の放射性物質に適用される。このように、**原子力エネルギーは循環経済の原則と非常に一致している**
- ✓ パブリック・アクセプタンスは、原子力発電の将来にとって重要な要素であり、多くの国が将来の開発を追求することを選択している一方で、特にそのようなことをしないと選択する国もある。公衆の態度は、原子力に関連する恩恵とリスクの認識に大きく左右されるが、原子力ではない代替案の恩恵とリスクにもまた左右される。事故のリスクと放射性廃棄物管理に関する懸念は、パブリック・アクセプタンスに否定的な影響を与える可能性がある。一方、HLW処分場の操業に向けて目に見える進歩を遂げている国は、パブリック・アクセプタンスが最も高いレベルにある国の一つである

健康・環境への影響分析④

各エネルギー源に必要な土地面積

低炭素エネルギー源のエネルギーライフサイクルの影響評価結果



出典: Gibon et al., 16 March 2017, Health benefits, ecological threats of low-carbon electricity, Environmental Research Letters, 12, 3

出典: Strata, June 2017, The Footprint of Energy: Land Use of U.S. Electricity Production

原子力は事故や放射性廃棄物管理など特定のリスクもある一方、**包括的なライフサイクル評価では、原子力はあらゆるエネルギー源の中で最も影響が小さいものの1つ**



UNECE諸国の原子力発電所(2021年5月現在)

運転中原子炉を保有する UNECE諸国	運転中 基数	設備容量 (万kW)	原子力発電量 シェア (%)	建設中 基数	最近の状況
アルメニア	1	37.5	28	0	1基の新規建設を提案中。既存炉の長期運転
ベルギー	7	593	48	0	2025年までに原子力全廃
ブルガリア	2	200.6	38	0	少なくとも1基の新規建設を計画。SMRを調査
カナダ	19	1355.4	15	0	複数のSMR許認可活動を積極的に展開
チェコ	6	393.2	35	0	少なくとも1基の新規大型炉建設を計画。SMRを調査
フィンランド	4	279.4	35	1	1基の新規大型炉建設を計画。積極的にSMRを調査
フランス	56	6137.0	71	1	6基の新規建設を提案中。政府は原子力シェアを50%に低減する意向
ドイツ	6	811.3	12	0	2023年までに原子力全廃
ハンガリー	4	190.2	49	0	2基の新規大型炉建設を計画
オランダ	1	48.2	3	0	現在、1基の新規建設について協議中
ルーマニア	2	130.0	19	0	2基の新規大型炉建設を計画。SMRを調査
ロシア	38	2857.8	20	2	25基の新規建設を計画。さらに21基を提案中 (SMRと大型炉)
スロバキア	4	181.4	54	2	少なくともさらに1基の大型炉建設を提案中
スロベニア	1	68.8	37	0	1基の新規大型炉建設を提案中
スペイン	7	712.1	21	0	新規建設計画なし
スウェーデン	6	685.9	34	0	新規建設計画なし
スイス	4	296.0	24	0	現在、全ての新規建設を禁止
ウクライナ	15	1310.7	54	2	少なくとも2基の新規建設を提案中
英国	15	892.3	16	2	少なくとも4基の新規大型炉建設を計画。SMR開発に資金提供
米国	93	9552.3	20	2	10基の新規大型炉建設プロジェクトが認可。複数のSMRが開発中、1基のSMRが設計承認取得