

OECD/NEA 報告書「原子力発電所の長期運転と脱炭素化戦略」について

2021年9月17日

(一社)日本原子力産業協会
情報・コミュニケーション部

経済協力開発機構・原子力機関（OECD/NEA）は2021年7月29日、報告書「原子力発電所の長期運転と脱炭素化戦略」を発表した。

温暖化対策の緊要性が増すにつれ、原子力を利用する国々が益々野心的な脱炭素化目標に取り組む中で、原子力発電所の長期運転（LTO）に対する関心が高まっている。こうした動きを受けて原子力機関（NEA）は2019年に原子力発電所の長期運転のための法的枠組みに関する報告書を発表した。これは、原子炉の長期運転の法的・規制的意味を総合的に評価した最初の報告書である。国際エネルギー機関（IEA）も同じ年に、報告書「クリーンエネルギーシステムにおける原子力発電」を発表し、持続可能な開発目標を確保する上で運転認可の延長が不可欠な役割を果たすことを強調した。

今回のNEAの報告書は、これら2つの報告書を集大成する形でまとめたものと言える。

マグウッドNEA事務局長は序文で、

「仮に40年の運転後に殆どの原子力発電所が閉鎖することになれば、電力システムはかなりのストレスを受け、炭素排出実質ゼロの目標が遠のいてしまう可能性がある。この状況は、各国が排出削減目標を達成するために給電可能な大量の化石燃料発電の廃止を並行的に進めている中で、脱炭素化の取り組みを妨げるだけでなく、電力供給の安全保障と手頃さ（手頃な価格）を損なうことにつながる。」

と述べ、長期運転の重要性を強調している。

報告書は約150頁からなり、エグゼクティブ・サマリーに続いて、原子力発電を取り巻く環境、LTOの役割を述べ（第1章）、LTOの実現に向けて、LTOの外部環境としてエネルギー政策の側面と規制・法的側面を分析し（第2, 3章）、次いで原子力発電所の内部能力として技術的側面、運転・人的側面、経済的側面を検討し（第4, 5, 6章）、最後に結論と勧告で締め括っている（第7章）。

本文には、非常に興味のあるテーマについて図表類をふんだんに使っており（45の図、4の表、18のボックス記事）、それらだけでも参考になる。

以下にエグゼクティブ・サマリーの概要を紹介する。

詳細については、報告書そのものを参照されることをお勧めします。

エグゼクティブ・サマリー

長期運転は野心的な脱炭素化戦略において、電力供給の持続可能性、競争力及び安全保障を支える

国際エネルギー機関（IEA）は、2050年までにカーボンニュートラルを達成するために原子力発電量が倍増すると見ている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）も原子力の役割増大を認識している。原子力の役割増大には、新規原子力発電所の建設と既存炉の長期運転（LTO）が重要である。

長期運転は、当初の設計の前提に対応して以前に確立された運転期間（通常は設計に応じて30～40年）を超えて、包括的な安全評価によって正当化される運転として定義される。当初想定された運転期間は、より長期の運転期間を禁止する技術的制約を表すものではなく、残存耐用年数と混同してはならない。残存耐用年数は、実際のプラント条件と最新の知見を考慮して、定期的に再評価される。殆どの場合、耐用年数は当初想定された設計寿命よりも長い。運転認可の延長を認める事例は殆どの国の法律や規制でも見られる。

2020年末現在、世界で100基以上の原子炉が40年以上運転しており、世界の原子炉の30%以上がLTO条件下で運転していると考えられる。世界の原子炉の平均運転年数が30年以上であり、より多くの国が野心的な二酸化炭素排出削減目標に取り組んでいるため、LTOの役割は、今後拡大すると予想される。LTOは、単に脱炭素化以外に、持続可能なエネルギー移行に不可欠の「エネルギー・トリレンマ」（①環境保護、②経済性、③電力供給保障）の同時達成という重要な役割を果たす。

環境保護

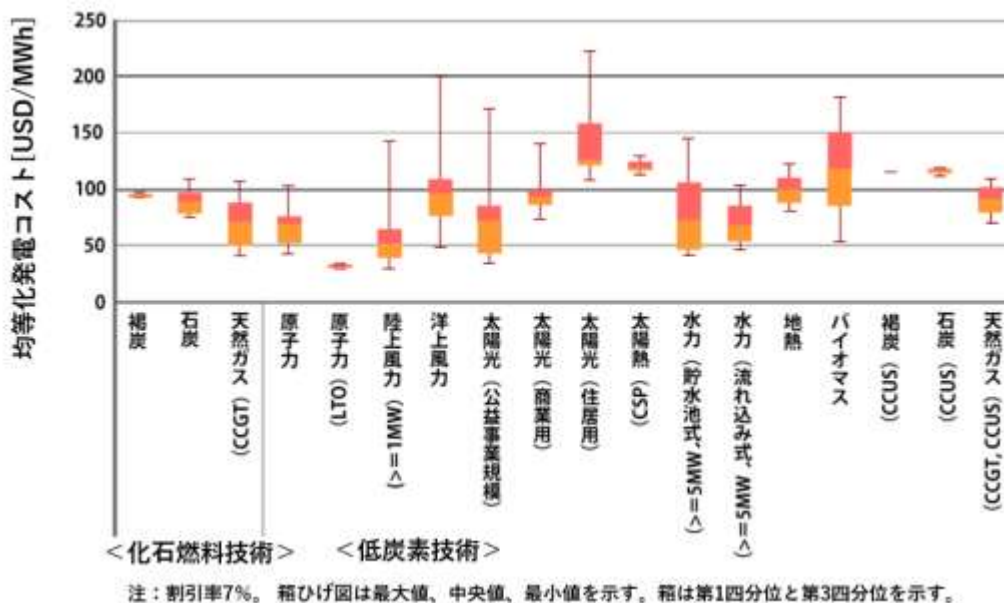
LTOは、（化石燃料発電所に置き換わる場合）炭素排出を避ける有効な方法であり、より予測可能な形で脱炭素パスウェイを管理する。原子力発電は、年間最大29億トンの二酸化炭素の排出（現在の二酸化炭素の総排出レベルの約10%）を節約し、2050年までの実質ゼロを支える。この節約の約40%（即ち12億トンCO₂/年）は、LTOが実施されなければ消滅し、排出量削減の世界的取り組みを妨げる可能性がある。最近の経験では、原子力発電は短期的には、変動性の再生可能エネルギー（VRE）を補完する化石燃料火力発電所に置き換わる可能性が高い。原子力発電国にとって、LTOは低炭素発電能力の重要な柱であり、その上に、LTOの期間を利用して、全体的な脱炭素の達成に必要なイノベーションの開発・商業化を進めることができる。

経済性と投資効率

IEA/NEAの推計によると、世界の多くの地域で、運転期間の延長は、プラントレベルで最もコスト競争力の高い低炭素ソリューションである（図1を参照）。オーバーナイトコストは通常、450～950米ドル/kWeで、それに関連する均等化発電コスト（LCOE）は25～50米ドル/MWhである。この数値は、プラントの運転履歴や投資履歴だけでなく各国の規制によって変動し得る。既存プラントの改修は、新規プラントの建設に比べて技術的にも管理上の観点からも簡単である。また、数多くのプロジェクト経験を活用することにより、コスト超過のリスクを削減することができる。

電力システムレベルでは、LTOは、原子力発電の給電可能性という属性を拡張し、VREの高シェアがもたらすシステムへのストレスを低減し、全体的なシステムコストの増加の抑制に貢献する。運転認可の延長はさらに、特に大気汚染や気候変動によって引き起こされる外部コストを制限するという効果も期待される。

図1: 各電源の均等化発電コスト（2025年）



電力供給保障

LTO は、当該国に対して原子力発電所の燃料の入手可能性と多様性の面だけでなく、慣性、一次、二次周波数制御及び負荷追従などの面で利点の拡大を可能にする。

殆どの国における電力供給の安全保障（安定供給）上の重要な関心事項の 1 つは、システムの妥当性、即ち中長期的な物理的設備能力の利用可用性である。この問題は、将来的には石炭やガス火力などの給電可能な発電設備の閉鎖が増えていく中で重大になりつつある。原子力の段階的廃止政策は、設備容量マージンをさらに削減する。欧州では、公表政策シナリオによれば、石炭と原子力発電能力（2020 年の給電可能電力の 40% を占める）が 2040 年までに 66%（1.6 億 kW）減少する見込みである。様々な国が同時に給電可能な発電設備を段階的に廃止するため、国際的な相互接続による柔軟性もまた減少する可能性がある。VRE の発電量シェアが高くなるほど、その低い設備利用率のために、電力の安全保障が制限されると予想される。その他の柔軟性オプション（長期蓄電、デマンドレスポンス、セクターカップリングなど）の大規模な展開の見通しは依然として不確実である。LTO は、脱炭素化戦略における電力の安全保障を強化できる実証済みのソリューションの一部である。

不確実性

一般的に、エネルギー政策は、政治的、経済的、産業的、社会的な影響が係ってくる場合、不確実性を伴い、複数の要因が排出軌道に影響を与え、システムコストを引き上げ、システムの信頼性を損なう可能性がある。さらに、近隣諸国との協調的なアプローチがない場合、プロセスはさらに不確実性を増す。

この意味で、技術の多様性、時間、実装の容易さは、政策立案者にとって貴重なリソースとなり得る。適切な LTO の決定は、迅速なアクセスを可能にし、エネルギー計画の柔軟性が向上し、広範囲の予期せぬリスクに対応しやすくなる。LTO は、政策立案者がエネルギー転換の全ての次元を適切に管理し、課題の範囲を減らすために動員することができる技術オプションとみなすことができる。

長期運転のための重大な技術的障害はない

原子力発電所は、その寿命の間に、構造物・系統・機器（SSC）の殆どが通常の保守手順や改修工事の一環として交換される。交換を行うことによって、経年化の影響を軽減し、最新の規制、知識、運転経験に従って必要な安全性向上を実施できる。

但し、技術的・経済的な理由で交換が不可能と見なされる SSC がある。これらのコンポーネントの経年変化によって最終的に原子力発電所の運転期間が制限される。原子炉圧力容器などが該当する。数十年にわたる研究と運転経験の蓄積から、運転寿命を制限する主な経年変化メカニズム、ストレス因子などは十分に理解されている。実際、この技術的証拠と経年変化管理プログラムを組み合わせることによって、運転中に安全マージンが許容範囲内に保たれるよう確保している。LTO プログラムでは、内部評価、定期的な再評価及び外部のピアレビューを実施している。

その結果、電力会社が必要な修理と交換を行う一方で、入手可能な技術的証拠を使用して強化された経年変化管理プログラムを実施するならば、長期運転が重大な技術的障壁に直面することはない。

これまでの経験では、電力会社は、LTO 改修のための長い停止期間を利用して、出力の向上、計装制御系の改善、柔軟な運転、全体的なプラント近代化などの追加の改良工事を実施している。

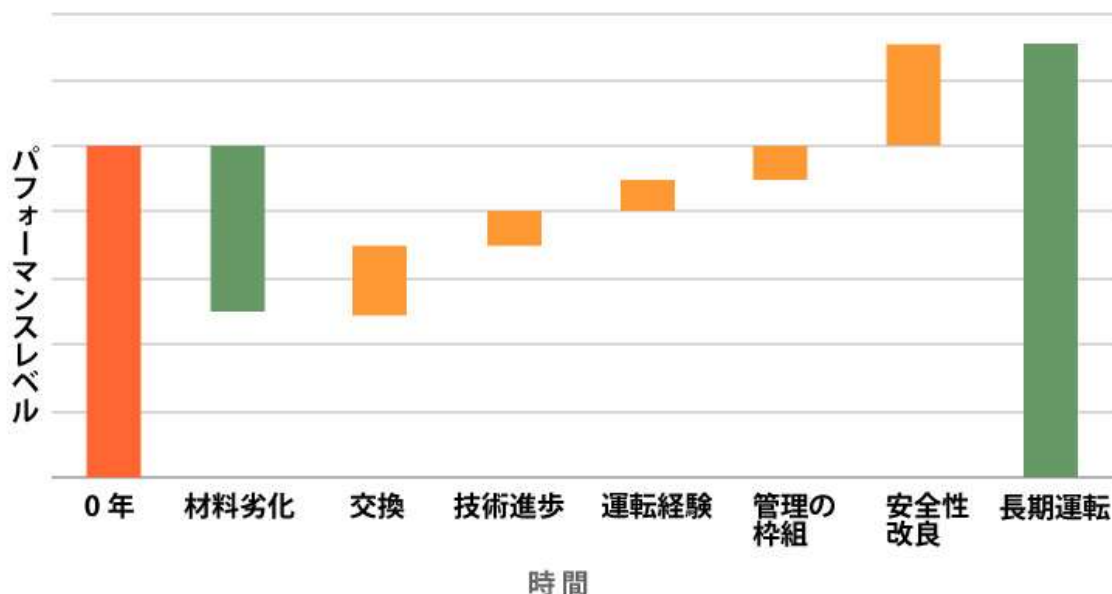
サプライチェーン能力の維持が重要

原子力発電所のパフォーマンス指標（例えば、計画外設備利用損失率、計画外スクラムなど）は、世界的に原子炉の運転年数が増えているにもかかわらず着実に改善してきている。機器等の交換、新しい技術進歩（経年変化管理プログラムの強化を含む）、運転経験の拡大、追加の安全性改良など、電力会社による総合的・効果的な管理の結果である（図 2 参照）。従って、LTO プログラムの一環として必要な投資や機能強化が引き続き行われる限り、パフォーマンスレベルの急激な低下は起きるはずはなく、むしろ向上するかもしれない。

このパフォーマンスの傾向はまた、各種プロジェクトの実施や絶え間ないコンポーネントの調達など、堅調に推移する産業能力によって支えられている。しかし、サプライチェーンの問題は、政策の不確実性や市場の劣化が高い技術資格要件と結び付いて、近年の新たな懸念材料となっている。これらの傾向は、各国の原子力開発の規模や標準化の程度によって、国毎に異なる。これまでのところ、原子力産業は、これらのリスクを何とか管理することができた。例として、規制当局と電力会社は、資格のあるサプライヤーのネットワークを強化するために協力して働いている。原子力産業は高齢化した労働力の退職を計画し管理してきたが、人材の引き付けと維持も大きな懸念事項となっている。

原子力発電所が長期間運転する中で、認可された SSC と熟練した労働力の欠如によって、卓越した運転と経済パフォーマンスを維持する電力会社の能力が損なわれる可能性がある。原子力産業政策と国際協力は、長期的にサプライチェーン能力を維持するために必要な政府、産業界、規制当局、研究機関、学界の共同事業を可能にする上で重要である

図 2: 原子力発電所のパフォーマンスレベルの経時的な質的進化



原子力発電所の LTO を可能にする政府の役割

原子炉の長期運転を妨げる要因の殆どは、事実上、政策によるものである。第一に、早期の閉鎖は主に政策決定によって起きている。欧州では、2025年までに運転を終了する原子炉の約80%が政策上の理由からである。安定した長期的な原子力政策の欠如は、原子力事業に影響を与え、諸々の追加リスクの源泉である。

第二に、一部の地域では、原子炉の気候変動対策と電力供給の信頼性に関する属性を反映しない低い卸電力価格が継続しているため、電力会社は当初の計画よりも早期の原子炉閉鎖に追い込まれている。ガス価格が低い米国では、ネガティブな市場見通しの結果、2013年以降8基の原子炉が閉鎖し、同様の理由で2022年までにさらに5基が閉鎖の予定である。市場の圧力は、プラント投資の経済的魅力を低下させ、最終的には将来のLTO決定を阻害する。一方で、低炭素技術の開発を支える様々な規制や支援メカニズムが利用されつつあり、そのような規制や支援メカニズムはLTOにも拡張できる。

例えば米国の一部の州では、炭素排出回避に報酬を与えるゼロ・エミッション・クレジット（ZEC）が実施されている。

最高の安全基準と運転パフォーマンスを維持するための努力は継続する必要があるが、政策立案者には脱炭素戦略を促進するために LTO の支援に向けて果たすべき重要な役割がある。適切かつタイムリーな政策により、原子力発電所の保有国は、LTO プログラムを可能にする鍵を握っており、LTO の利益を享受することができる。これらの政策のうち、政策のコミットメント、アドホックの支援メカニズム、原子力課税制度の見直しなどは、迅速に実施することができる。市場の構造改革など、他の政策改革にはもっと時間がかかるかもしれない。全体として、政策立案者は、具体的な国の事情に合わせて様々なソリューションを組み合わせた政策パッケージを設計するための強固な基盤を持っている。

＜主な政策提言＞

1. 既存の低炭素設備容量を維持する

既存の低炭素原子力発電設備容量を方程式に含めないならば、電力システムの脱炭素化はさらに困難になる。LTO は、今後数十年間排出量を回避し、予測可能な方法で排出削減軌道を管理するための安全で迅速なソリューションである。

2. 経年変化メカニズムとその管理に関する情報の技術的基盤を拡大する

長年にわたる研究のおかげで LTO が可能となった。運転期間の長期化によって、今後も安全な運転に必要な技術的証拠を提供するために研究開発努力が必要になる。この分野の国際協力を促進する取り組みは、引き続き追求されるべきである。

3. 新しい技術とプラントの強化をサポートする

電力会社は、新技術の導入等により資産を強化し適応させることができる。安定した政策とリスク共有の取り組みにより、政府はその導入を促進し一層のパフォーマンス向上を促すことができる。

4. 広範な産業経験を活用するための協力を促進する

外部のピアレビューと国際的な運転経験の共有は、ベストプラクティスを確保し、より長期の運転期間とプラントの適応を可能にするための効果的なツールである。規制当局とのタイムリーな対話と協力は、殆どの場合、最も革新的なソリューションの採用を加速することにつながる。

5. あらゆるレベルでサプライチェーン能力と原子力の専門知識を維持する

LTO によって、各国は既存のサプライチェーン能力を維持し、原子力人材を更新するために若い世代に明確なシグナルを送ることになる。これらの行動は、あらゆるレベルで原子力の専門知識を育成するために、規制当局、産業界、学界との共同事業によって補完されるべきである。

6. 長期的で予測可能な産業計画を策定する

原子力のような高固定コストの技術には、政策の確実性が必要である。原子力産業戦略を通じて、政府は運転認可延長の計画と最適化に必要な長期的で安定した枠組みを提供することができる。

7. 長期運転のシステム価値が十分かつ確実に評価されるように市場規制を改革する

多くの地域で、市場問題を克服し低炭素技術を支える様々な規制やメカニズムが用いられている。これらの規制や支援メカニズムは、排出回避の観点から、またシステムの妥当性とグリッドの信頼性の面で、電力システムに提供する価値を適切に評価し報いるために、LTO に拡張することができる。原子力の課税制度の見直しなどの他の選択肢も同様に考えることができる。

以上