



EU の既存原子力発電所群の長期運転の重要性 — 手頃なコストで欧州の気候目標達成のために — ポジション・ペーパー

原子力発電は



低炭素な発電である



供給安定性を確保する



環境的にも経済的にも、そして社会的にも持続可能である

数字でみる原子力産業



EU 域内の発電量シェア
25%



低炭素電力に占める割合
約 50%



雇用数
約 110 万人



年間売上
1,020 億ユーロ

フォーラム
ポジション・ペーパー「EUの既存原子力発電所群の長期運転の重要性」

エグゼクティブ・サマリー

1. 本書の目的
2. LTOとは？
3. LTOの利点
 - 3.1 脱炭素化を牽引
 - 3.2 経済的側面
 - 3.3 規制的側面
 - 3.4 運転上の側面
 - 3.5 供給安定性
 - 3.6 システムの信頼性
 - 3.7 水素経済
 - 3.8 その他の恩恵
4. 課題
 - 4.1 規制面
 - 4.2 産業の課題
 - 4.3 雇用
 - 4.4 産業およびエネルギーの独立性
 - 4.5 原子力部門に対する特定税
 - 4.6 パブリック・アクセプタンス
 - 4.7 ステークホルダーの意識
 - 4.8 サプライチェーンの課題
5. 政策提言

<参考文献>

エグゼクティブ・サマリー

電力部門の脱炭素化は再生可能エネルギーだけでは達成できず、世界が 2050 年までにカーボンニュートラルという目標を達成するためには、原子力が役割を果たす必要があると認識する専門家が増えている。このペーパーは、既存原子炉群の長期運転 (LTO) がもたらす好機を概説することを目的としている。さらに、取り組むべきいくつかの課題を概観し、一連の EU の政策提言を提供するものである。

要約：

- 2050 年カーボンニュートラル経済への移行における改定された中間的な脱炭素化目標は、以前よりも野心的であり、既存の原子力発電所 (NPP) の LTO なしでは達成できない。
- LTO を実施している原子力発電所の発電コストは、他の電源 (再生可能エネルギー、天然ガスなど) による発電コストに比べて間違いなく低い。これは、既存原子炉群の LTO が明らかに経済的優位性を有しているからである。すなわち、設備投資コストがはるかに低く成熟したソリューションであるため、投資家や資本市場の投資リスクが低い、そして顧客コストの低下と安定化をもたらす。
- 技術的観点からは、原子炉の LTO は、「既存の原子力施設に対して合理的に実行可能な安全性向上のタイムリーな実施」のおかげで、大きな優位性を提供する。これにより、旧世代の原子炉を改正原子力安全指令に準拠した原子力安全基準のレベルまで引き上げる。
- 原子力の運転は、LTO の間に改善可能である。これは次のように説明できる。
 - I. LTO 改修時に事業者が実施するプラントの機能強化
 - II. 運転能力の向上
 - III. ベストプラクティスの共有を可能にする枠組のガバナンス
 - IV. 原子力のバリューチェーン/エコシステム全体にわたる労働力の技能維持
- LTO は、EU のエネルギー輸入、主に化石燃料依存度を低減し、送電網の信頼性とセキュリティを高め、電気料金を抑制する。
- 低炭素の原子力発電は、電力システムに確実な容量を提供し、高いシェアの変動性の再生可能エネルギー (VRE) との共存をより低いコストで支援する。

1. 本書の目的

このポジション・ペーパーの目的は、既存原子炉群の長期運転（LT0）とその恩恵についてより多くの情報を提供することである。この情報は、2030年に温室効果ガス排出量を55%削減し、2050年までにEUのカーボンニュートラル目標を達成するというEUの非常に野心的な目標に沿って提供されている。同時に、費用対効果の高いかつ確実なエネルギー移行が重要である。

今回の文書は、2019年7月に発表したポジション・ペーパーの更新版であり、次のことを考慮している。

- ・ 2030年目標がより野心的であるため、既存の原子炉群を運転し続けることの重要性が増加
- ・ 再生可能エネルギーの大量導入を追求しているいくつかの国で見られる電力の安定供給上の潜在的問題
- ・ 原子力のLT0の均等化発電コスト（LCOE）に関する新たな情報
- ・ Compass Lexecon社による“[Pathways to 2050 : role of nuclear in a low-carbon Europe](#)”報告書の改訂版
- ・ ブレグジットおよびそれに伴う全ての政策決定者のモデリングでEU27か国のみを考慮
- ・ 原子力のLT0に関連するEspoo（エスポー条約：越境環境影響評価条約）およびAarhus（オーフス条約：環境に関する、情報へのアクセス、意思決定における市民参画、司法へのアクセス条約）の要求事項の更新

a. 2030年に向けたより野心的なEUの脱炭素化目標

「欧州の2030年気候変動野心の向上“Stepping up Europe’s 2030 climate ambition”」と題される戦略は、2050年までに気候中立の経済に達するための戦略的長期ビジョンを概説している。この戦略ではまた、2050年までに気候中立性を達成するためには、1990年比のGHG排出の目標値である現在の40%削減では不十分であり、したがって、2030年以降の大幅削減が必要になることを認めている。

2030年のGHG排出量削減目標を1990年比で55%に引き上げることを検討するという目的は、欧州気候法のなかですでに採択されている。

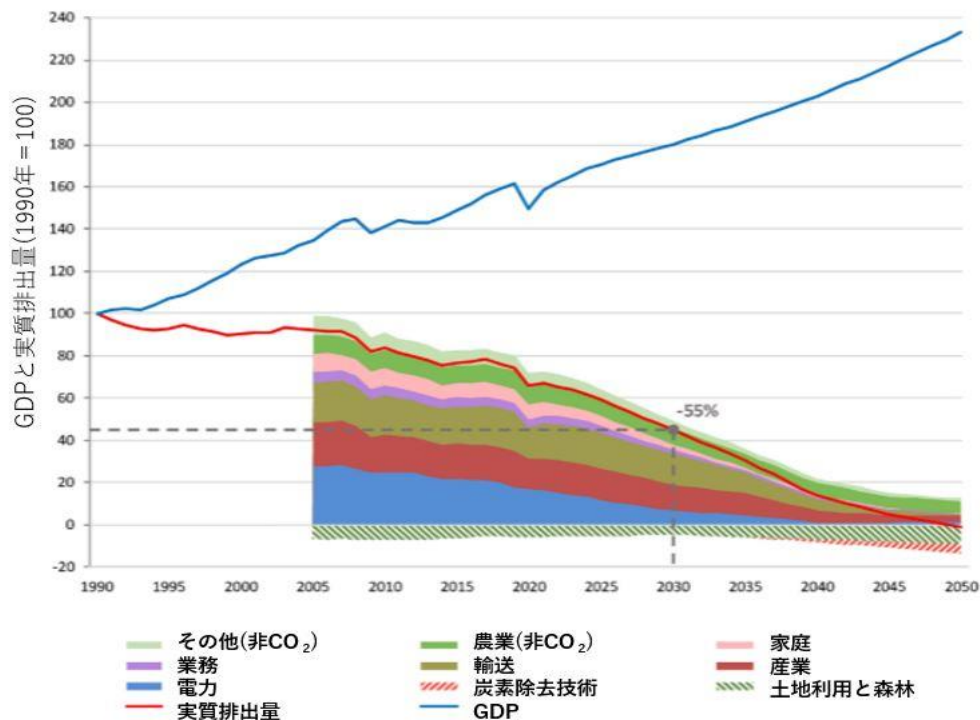


図1. 持続的な経済的繁栄と気候中立性へのEUのパスウェイ (1990～2050年)

図1に示すように、電力部門は2040年頃までにカーボンニュートラルにいち早く到達するものの一つであるため、脱炭素化の圧力は大きい。

この目標を達成するために、欧州委員会（EC）は、2030年までに温室効果ガスの実質排出量を少なくとも55%削減することを可能にする政策パッケージ⁴を提案した。

欧州グリーン・ディール実現のための政策シナリオによると⁵、2030年には原子力発電設備容量が2030年のすべてのシナリオ案では、現在の1億700万kWから約9,390万kWに減少し、シナリオによって原子力シェアは16.3～17.3%となる。2050年までには、発電設備容量はさらに減少し、5,000万～7,000万kW程度となり、電力に占める割合はシナリオによって6.9～11.8%となる。現在の原子力発電シェアは約25%⁶であることに言及することは重要である。2020年と比較して減少が予想されるのは、以下の2つの理由によるものである。

- ・ 一部の国での脱原子力（例：ドイツ、ベルギー）
- ・ 電力需要の増加

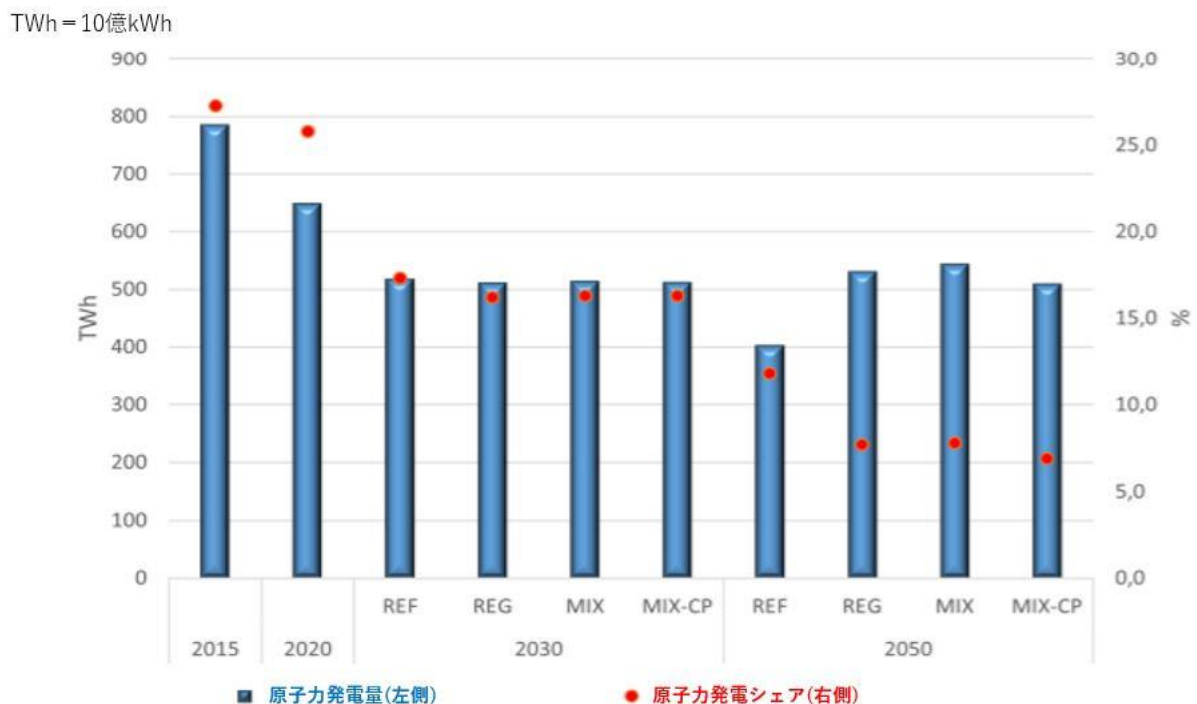


図2.EUの電力ミックスにおける原子力発電量と原子力シェア
リファレンスシナリオ⁷と欧州グリーンディールで提案されたシナリオ⁸

ECの最新シナリオとその原子力発電に関する予測については、EUの2020年のリファレンスシナリオは予測ではなく、EUおよび加盟国の政策（National Energy and Climate Plans-NECP）に基づいた見通しである。これは、エネルギー効率と再生可能エネルギーに関する現行のEUの2030年エネルギー目標（それぞれ32.5%と32%）に対する各国の貢献が達成されると仮定し、政策立案者が2020年の政策枠組に基づき、経済、エネルギー、気候、輸送の長期見通しを分析することを可能にするものである。

FORATOMの結論：2030年に焦点を当てたNECPでは、ほとんどの新規原子力発電所建設プロジェクトが抜け落ちている。その結果、2050年の視点でも検討されていない。次回のNECPの改定では、この部門の進展に関する最近の発表を考慮すべきである。

b. 国際的なレベルでの進展

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の最新報告書⁹では、1.5℃の目標に到達するための我々の行動のチャンスが急速に閉まりつつあることを強調している。**また累積排出量の影響も示しており、1トンのCO₂を排出する毎に地球温暖化が進むことを意味している。**この炭素予算の増加に関する強い発言は、2050年に向けての移行期において原子力から化石燃料への置き換えを検討している国々にとって重大な警告となるはずである。

また国際エネルギー機関（IEA）は最近、とりわけLTOとともに原子力部門の全般の潜在的役割を強調するいくつかの声明を発表している。2019年の欧州原子力エネルギーフォーラム（ENEFF）のなかで、ビロル博士は、政策変更がなければ、2040年までに欧州の原子炉群の4分の3が廃炉になることを示唆した。加えて、再生可能エネルギーの増加と

石炭の段階的廃止により 40%の排出量を削減できるとする一方、原子力を維持することにより CO₂排出量の削減を加速することができると主張した。

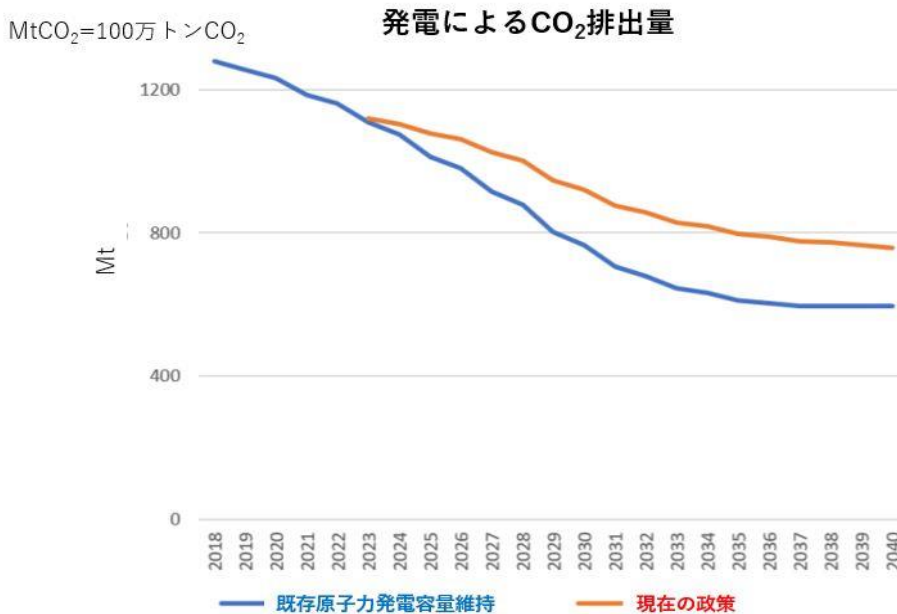


図3. 欧州における2040年排出削減量のIEA予測
ビロル博士によるプレゼンテーション@2019年ENEFCのプレナリーミーティング、プラハ

2019年5月に発表された「クリーンエネルギーシステムにおける原子力発電¹⁰」報告書によると、IEAは「原子力発電の急減は、エネルギー安全保障と気候目標を脅かす」、「(既存原子炉の) 運転期間延長はエネルギー転換を軌道に乗せるために不可欠」と、さらに踏み込んだ見解を示している。これらの結論は、2020年に発表されたIEAのEUに関する政策レビューにも反映されている¹¹。

ビロル氏の発言は、“長期運転 (LTO) とよばれる既存原子力発電所の運転を延長することが、低炭素電力の最もコスト効果の高い供給源であることも分かった”というIEAと経済協力開発機構/原子力機関 (OECD-NEA) の共同レポート「発電コスト予測 2020」の結論によってさらに強化されている¹²。

OECD-NEAの最近の報告書によると¹³、長期運転は野心的な脱炭素戦略を支援するために利用できる最も安全で成熟したソリューションの一つであるという。LTOは、2030年までに気候変動目標を確実にするための鍵となる。高LTOシナリオは、2050年までにカーボンニュートラルに向けたギャップを埋めるのにも役立ち、総排出量の40%近くを原子力により回避することができる。

LTOの役割は排出の回避にとどまらず、電力供給の安定性や価格の面でも重要な貢献が期待できる。これを可能にする主な条件には、原子力発電所の気候変動や供給安定性の利点を適切に反映した、長期的な産業政策や市場規制が含まれる。

これらすべての組織の全体的なメッセージは、電力部門の脱炭素化は再生可能エネルギー

だけでは達成できない、ということである。原子力は、再生可能エネルギー源（RES）とともに EU の脱炭素化目標を達成することができる将来のエネルギーミックスにおける唯一の重要かつ拡張可能な低炭素のパートナーである。

FORATOM は、欧州委員会が長期的な脱炭素化目標を達成するためにいくつかのイニシアチブを打ち出す一方で、既存の原子力発電所の寿命を適切に延長するための努力が十分でないと考えている。その結果、上記に照らして、EU は、再生可能エネルギーやエネルギー効率に莫大な投資をしているにもかかわらず、脱炭素化の目標を達成できない可能性がある。

c. 原子力の LTO に影響を与える EU の法規制の側面

欧州委員会は最近、LTO の判断に影響を与える可能性のあるいくつかの法律を提案した。

①欧州グリーンディール／政策パッケージ「Fit For 55 パッケージ」

欧州委員会の 2021 年の作業プログラムによると、欧州グリーンディールの気候行動、特に気候目標計画の実質 55%削減目標に関連する改定やイニシアチブが Fit for 55 パッケージで提示されている。

欧州気候法は、2050 年までに気候中立な EU をめざすこと、2030 年までに温室効果ガスの実質排出量（除去量控除後の排出量）を 1990 年の取組と比較して少なくとも 55%削減することを目標としていることから、EC は「Fit for 55 パッケージ」の一環として立法案を策定し、目標達成に取り組む姿勢を示している。FORATOM は、次のような法案が原子力部門に影響する可能性があると考えている。

- ・ 海運、航空、カーボンオフセットを含む EU 排出権取引制度(ETS)と国際航空のための削減スキーム(CORSIA)の改定、および自国における ETS の適用
- ・ 炭素国境調整メカニズム (CBAM) と自国における CBAM の適用
- ・ エネルギー課税指令の改正
- ・ 新しい2030年の気候目標の野心を実現するための再生可能エネルギーとエネルギー効率指令の改正、特に低炭素水素の政策全般における検討のあり方について
- ・ クリーンエネルギーパッケージ(CEP)

②クリーンエネルギーパッケージ (CEP)

2019 年に採択されたクリーンエネルギーパッケージは一定の効果を上げたが、勝者（すなわち、再生可能エネルギーやエネルギー効率）を選ぶため、低炭素技術への長期投資を奨励することはできず、エネルギー分野の脱炭素化という中心課題に取り組むことなく、エネルギー市場の混乱の増加を招いている。その状況は、エネルギー同盟の年次報告で紹介されている¹⁴。

前回のエネルギー同盟報告書の付属文書によると¹⁵、2019 年も再生可能エネルギーは、

介入なしでは市場で生き残ることができないため、最も補助金の多いエネルギー部門であり、原子力については、2つの電源の発電シェアが同程度（約25%）であっても、補助金は全体で最も低い。

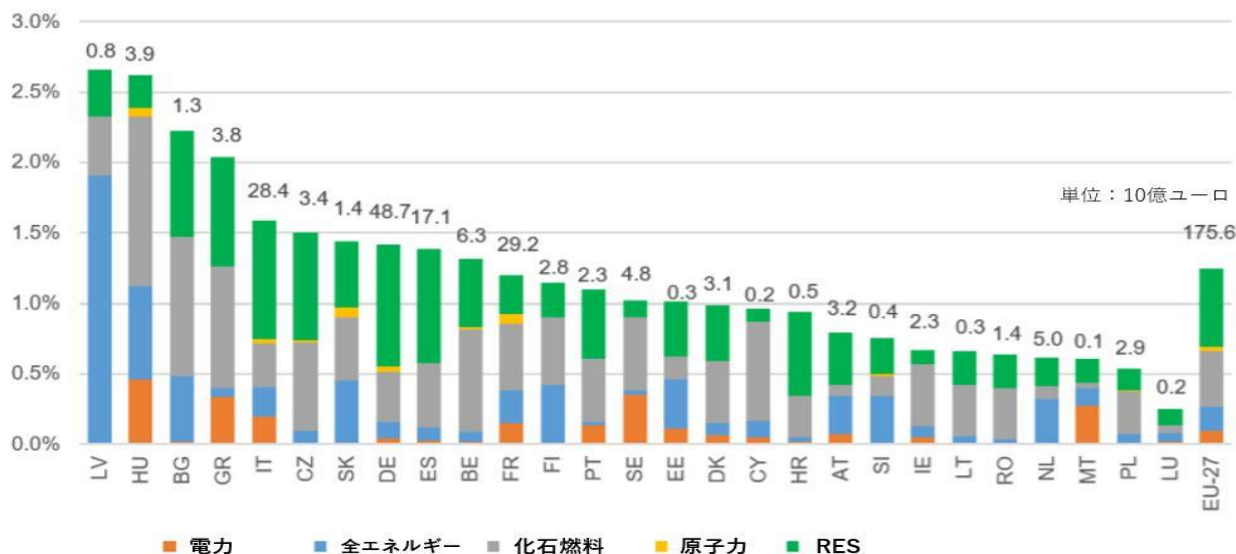


図4. エネルギー源に対する補助金（GDP比、2019年）

2020年の原子力については、ドイツとフランスにおける原子力施設の早期閉鎖と廃炉を補償するための新たな手段として、27億ユーロが追加で支出されたことを述べておく。今後、原子力発電、石炭火力発電、褐炭火力発電の早期閉鎖に対する補償は、EUのエネルギー補助金総額（数値）にますます大きな影響を与えることが予想される。しかし、この影響は既存原子力発電所の閉鎖を回避し、LT0を実施することによって打ち消すことができる。

欧州グリーンディール・イニシアチブは、より現実的なアプローチを示しており、最も成熟した技術である再生可能エネルギーと原子力発電を中心に、低炭素エネルギーのすべての潜在的供給源を活用する2050年の電力システムを予見している。しかし、未だ市場の問題を解決することはできない。それどころか、再生可能エネルギーとエネルギー効率指令の改正に起因する構造的問題を、それぞれ38%~40%、約37%というさらに高い目標を提案することによって、一層深めているのである。

③ エネルギー価格と行動・支援のためのツールボックス

ECは2021年10月に「エネルギー価格上昇への取組：アクションと支援のためのツールボックス」に関するコミュニケーション（政策指針提言文書）¹⁶を公表した。法案の提案でなくとも、提案された措置は、EUのエネルギーミックスに関する将来の意思決定に影響を与える可能性がある。エネルギー価格高騰に対する弱者救済のための短期的な対策に加え、中長期的な対策も提案されており、その多くは再生可能エネルギーに関連するものである。

④ Espoo（エスポー条約：越境環境影響評価条約）および Aarhus（オーフス条約：環境に関する、情報へのアクセス、意思決定における市民参画、司法へのアクセス条約）の適用

エスポー条約については、アドホックワーキンググループ（運転期間延長 [LTE] に対する条約の適用性を評価するために設置）が行った作業を受けて 2021 年 7 月に公表されたガイダンスでは、原子力発電事業者が、ある原子力発電所の LTO を行うための LTE がエスポー条約の適用範囲に含まれるかどうかを判断するための一連の指標を示している。

オーフス条約は、公的機関が保有する環境情報の公開や、環境に関する意思決定に参加する権利などの要件を定めている。したがって、原子力発電所の運転条件が更新・見直される際には、オーフス条約の規定が適用されると考えられる。

2. LTO とは？

LTO（長期運転 (LTO)（または“運転期間延長”））に対する考え方は国によって異なり、それゆえ異なる意味を持つ。一般的に、大抵の法律または規制は無期限の運転期間を規定し、または無制限の運転認可延長を許可している。国際原子力機関 (IAEA) によれば、LTO は「例えば、運転認可期間や設計、基準、運転認可および/または規制によって定められた確立された時間枠を超える運転で、ある時点で、系統、構造物および機器の寿命制限プロセスおよび特徴を考慮し、技術評価によって正当化されたもの」として考えることができる。

3. LTO の利点

原子力の LTO の利点について説明する前に、今日、原子力が電源構成に占める割合は 25% 以上で、EU のなかで単一電源としては最も高い（低炭素電源の 50% 以上を占める）ことに言及する価値がある。

3.1 脱炭素化を牽引

重要なメッセージ: 2050 年カーボンニュートラルに向けた移行における中間的な脱炭素化目標は、既存原子力発電所の LTO なしでは実現が大変困難なものになろう。

2050 年までにネットゼロエミッションを達成するために、EU は 2030 年の脱炭素化目標として、温室効果ガス排出量を少なくとも 55% 削減（1990 年比）することを掲げている¹⁷。これは、40% 削減をめざした従来の目標から野心的な目標に高めたことを意味する。今回のシナリオでは、電力部門の脱炭素化をさらに進め、2030 年までに CO₂ 排出量を 70% 以上削減し、2040 年までにカーボンニュートラルを達成することを想定している。このためには、化石燃料による発電量の大幅削減（2015 年比 150% 以上削減。これは給電可能な電源の利用に大きな影響を与える）を行う一方で、変動性の再生可能エネルギーを含む成熟した低炭素電源の大規模な導入が必要となる。

a. 低原子力シナリオと高原子力シナリオにおける電力部門の排出量の比較

Compass Lexecon 社が発表した¹⁸ 最近の報告書、すなわち、2018 年の報告書 “Pathways to 2050: Role of nuclear in a low carbon Europe” の更新版だが、発電システムの脱炭素化における原子力の影響に関する知見は明確である。

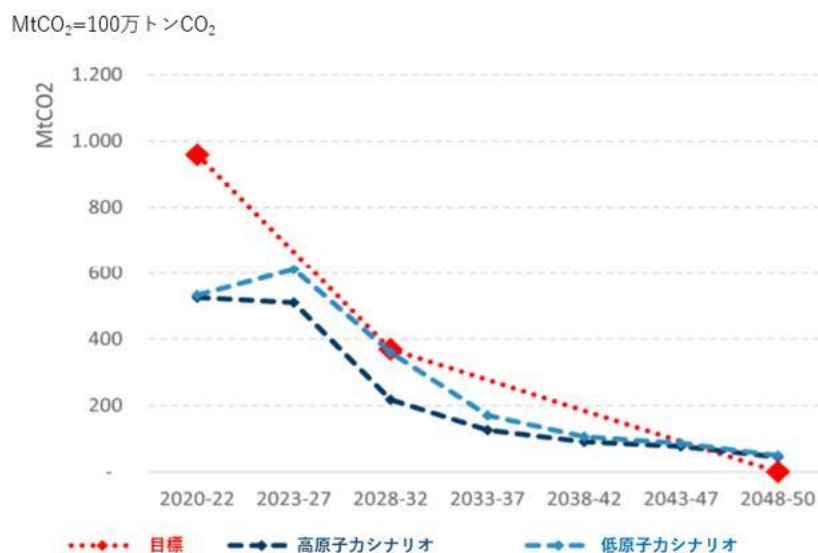


図5. 電力部門のCO₂排出量見通し

報告書のモデリングでは、どちらのシナリオも 2030 年と 2050 年の目標を達成することが示されているが、注目すべきは、低原子力シナリオ（新規建設や LTO を伴わない）では、短期的（2023～2027 年）には排出量が増加することである。これは、1 トン毎の CO₂ が地球温暖化につながるため、全体の炭素予算に重要な影響を与えることになる。

さらに、2023～2032 年については、低原子力シナリオが EU の目標とする軌道に非常に近いことも注目すべき点である。つまり、誤差が少ないということである。原子力発電に替わって提案されているそれぞれの施策、例えば、再生可能エネルギー、あるいは天然ガスプロジェクトの実施であれ、失敗なく成功しなければならない。さもなければ、EU の気候変動に関する目標は達成されない。

b. 2030 年気候目標 (GHG 排出量を 40%削減から 55%削減) 達成に必要な追加の取組に対する原子力の貢献

内部分析では（分析で考慮した仮定は Box. 1 を参照）、FORATOM は、2030 年の新たな GHG 排出目標達成のために必要とする電力部門の追加努力の 70%は、既存原子炉群の LTO を利用することにより達成できると見ている。

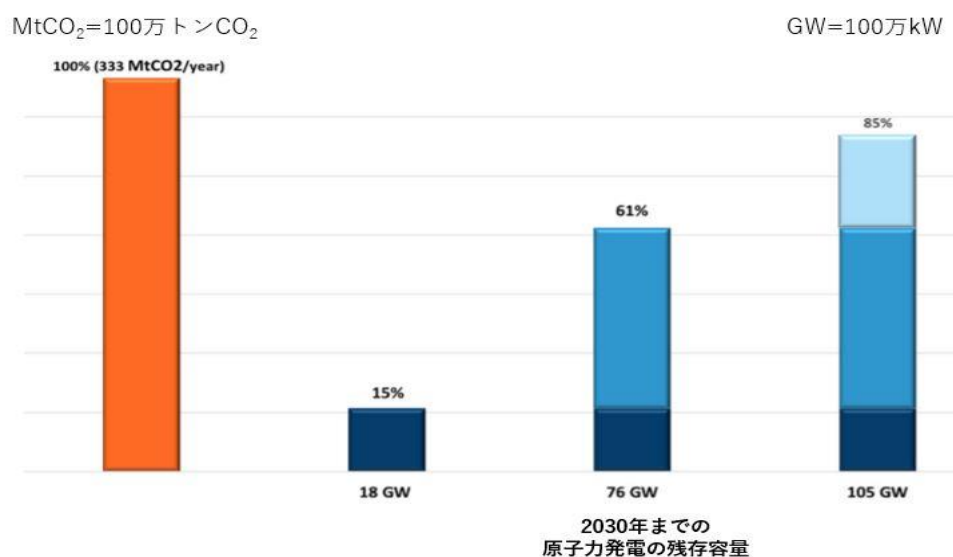


図6. 新しい脱炭素化目標に関する既存原子炉群の運転期間延長の影響

低 LTO シナリオが最も実施される可能性が高い。このため、このシナリオで算出された、結果を取り上げる。これらの結果は、原子炉群が全て運転継続されれば、電力部門に期待される追加努力の 85%以上がカバーできることを示唆している（リファレンスとして考慮された低 LTO シナリオの 70%上乗せ）。

Box. 1 図 6 でなされた仮定

a. 排出量目標

2005～2030 年(GHG 目標-40%)まで、電力部門（GHG 2005 年：12 億 5,700 万トン）は 6 億 2,700 万トンを削減し、電力部門の排出量は 6 億 3,000 万トンとなる。電力部門の平均削減量は 50%。

2015～2030 年(GHG 目標-55%)まで、電力部門（GHG 2015 年：9 億 8,700 万トン）は 6 億 9,000 万トン削減し、電力部門の排出量は 2 億 9,700 万トンとなる。電力部門の平均削減量は 70%。

電力部門の 2 つの目標の差は **3 億 3,300 万トン**。

b. 技術別排出量

排出量の違いを明らかにするために使用した計算では、ライフサイクル排出量を原子力では 12 gCO₂/kWh、原子力を代替する技術（主に天然ガス）では 400 gCO₂/kWh とみなす。

c. 2030 年までの原子力発電の残存容量

- ・ 低い想定 – 運転中の原子力発電所はわずか 1,800 万 kW
- ・ 中間の想定 – 7,600 万 kW の原子炉が運転中
- ・ 高い想定 – 現在の全ての原子力発電所（1 億 500 万 kW）が運転継続

注：2020 年以降の新規建設は考慮していない。

c. EU の低炭素発電予測

EU では現在、原子力発電が最大の単一電源である¹⁹。電力需要が増加しても、低炭素で天候に左右されない最大の電力源であるため、原子力はシステムの重要な構成要素であり続けるだろう。図6で示すように、利用できる低炭素ソリューションのポートフォリオからLT0を除外すると、化石燃料発電への依存度が高まるため、短中期的にはGHG排出量が増加することが予想される。このことはまた、新規の化石燃料発電設備に関しては、ロックイン効果が生じる。すなわち、一旦建設された設備は、資金的な問題から数年後に廃止されることはない。電力需要が停滞した場合でも、原子力をポートフォリオから除外すれば、低炭素電源の全体的なシェアが実際に減少することを考えると、LT0なしに2030年の脱炭素化目標を達成することは事実上不可能である。

実際、もしEUがこの期間中、原子炉群をフルに維持するために投資した場合、2030年までに電力の最大65%を低炭素電源から調達することになり（40%の再生可能エネルギーと25%の原子力）、気候変動政策における世界のリーダーとなる。

既存原子炉のLT0に投資しないことによる低炭素設備容量のシェア低下は、中期的には排出量の増加につながる。これは、バックアップのニーズを満たすために化石燃料源に依存せざるを得ないからである。Compass Lexeconの報告書²⁰の結果に基づくと、原子炉群の早期閉鎖は、2020～50年に3兆6,250億kWh（天然ガス）と5,250億kWh（石炭）の化石燃料による追加的な発電が必要となる。

FORATOMの意見では、EUの排出権取引制度（EU-ETS）は産業界のGHG排出量削減のための主要な手段であるべきで、現在の1トンあたりのCO₂価格水準は低炭素技術への投資のインセンティブとして十分であるべきである。しかし、我々は2つのハードルがあると見ている。

- ・ CO₂の価格影響が小さくなる現在のエネルギー価格
- ・ まだ実証されておらず、投資家が求める重要な機能である現在のCO₂価格水準の安定性

3.2 経済的側面

重要なメッセージ:LT0は他の電源と比較して、明らかに経済的な優位性を持っている。LT0は、設備投資コストが非常に低く、投資家や資本市場の投資リスクが低く、消費者のコスト低減につながる成熟したソリューションである。

a. 資本コスト

PINC（原子力の説明プログラム）によると、2000～2025年までのLT0の平均投資額は約630ユーロ/kWeであり、これはすべての低炭素技術の中で最も低い資本コストである。これらの結果は、IEAやOECD-NEAの研究結果とも一致する。またPINCは、2015～2050年の間のLT0の総投資額として469億ユーロが必要だと推定している。

b. 発電コスト

IEA によれば²¹、原子力の長期運転（LTO）の均等化発電コスト（LCOE）があらゆる技術のなかで最安値である。

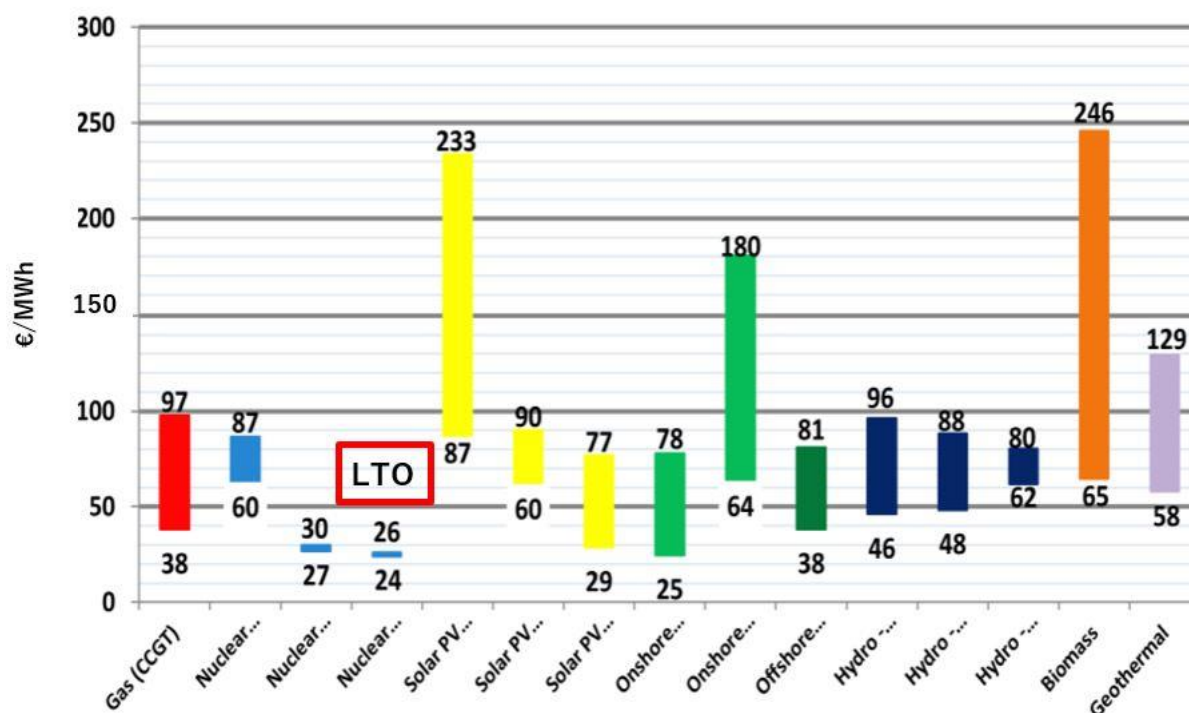


図8. 欧州における異なる技術のLCOE（均等化発電コスト）の比較（割引率7%）

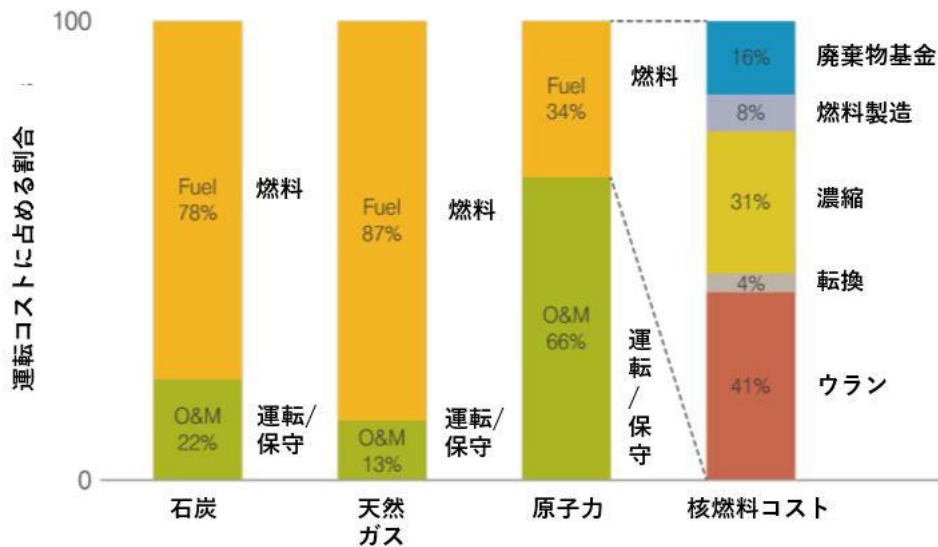
しかし LCOE をよりよく理解するためには、発電コストに関する最近の進展や影響について考慮する必要がある。

・炭素価格

IEA の報告書では、CO₂ 価格 30 ドル/CO₂ トンを想定していることに留意すべきである。現在の EU の炭素市場では、CO₂ の価格は 70 ドル/トン以上（60 ユーロ/トン以上）である²²。そのため、天然ガス（CCGT）の LCOE は大幅に変化する。

・化石燃料価格とウラン価格

また、LCOE に大きな影響を与えるのが化石燃料の価格である。2021 年 9～10 月の天然ガス価格は、2021 年前半と比較して 2 倍以上になった。同時に、ウラン価格と原子力の LCOE は非常に安定した状態を維持している。



出典：米国原子力エネルギー協会

図9. 原子力、石炭、天然ガス発電の運転コストの内訳

図9に示すように、原子力発電運転の全体コストに占めるウラン価格の影響は15%程度である。その結果、原子力発電の運転コストは非常に安定しており、ウラン価格が大きく変動した場合でもその影響はごくわずかである。

- 異なる電源の比較に LCOE は適切か？

2018年、IEAは発電技術の相対的な競争力を評価する必要性を検討した。重要な要素は、発電コストだけでなく、その価値も考慮することであった。そこで世界エネルギー展望2018年版²³では、競争力の新しい指標として、価値調整済LCOE (VALCOE)が開発された。

VALCOEは、予測された電力の均等化発電コストと、技術別のエネルギーの価値、柔軟性の価値、容量の価値のシミュレーションを組み合わせている。

FORATOMはこの指標にとどまらず、ネットワーク統合コストや外部コストも考慮しなければならないというような、異なる電源の生産コストを適切に比較するために必要なパラメーターを特定している。

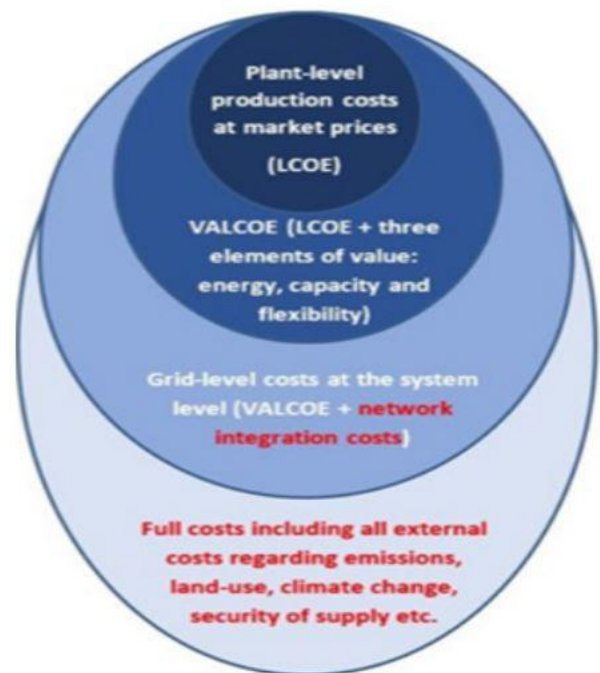


図10. 異なる技術の発電コスト全評価

c. 価値調整済 LCOE

IEA の報告書²⁴では、原子力の LTO による発電コストは、他の低炭素化オプションと比較して非常に競争力があると結論付けている。実際、間欠性の発電の割合が高い場合のシステムコストを含めると、その数値はさらに良くなる。このような状況では、原子力の価値調整済 LCOE (VALCOE) はあまり影響を受けないが、太陽光発電は、発電ミックスにおける間欠性の再生可能エネルギーの割合が高くなるにつれ、価値が大幅に失われる。

d. ネットワーク統合コスト

OECD-NEA の最近の報告書の一つでは、ネットワーク統合コスト（接続と送配電コスト）が評価されている。

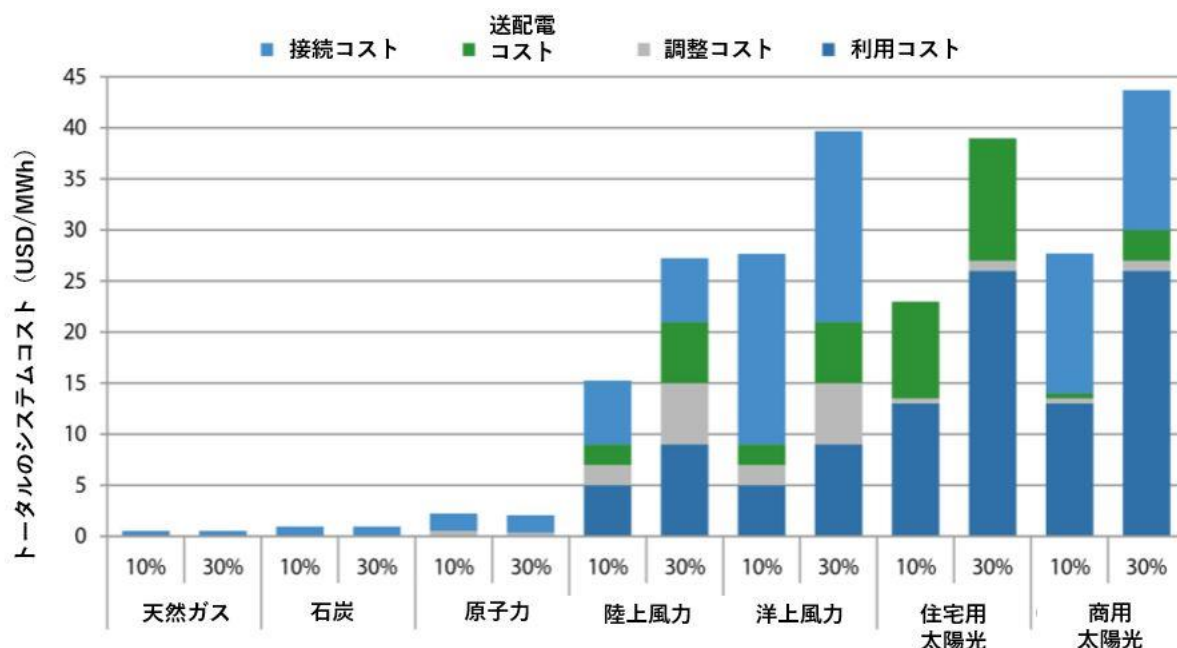


図11. 変動性の再生可能エネルギーの発電シェアが10%および30%の場合の、選択された発電技術のグリッドレベルのシステムコスト

変動性の再生可能エネルギー（10%または 30%）の導入を含むどのシナリオでも、上述のネットワーク統合コストは、原子力よりも再生可能エネルギーの方が大幅に高い。また原子力の LTO の場合は、すでに接続されているため、コストはゼロである。

e. 外部コスト

既存の原子炉群の代替オプションを評価している国もあるが、外部コストも重要なパラメータであり、決定時に考慮されるべきものである。EC の外部コストに関する報告書では²⁵、原子力のコストは 15 ユーロ/MWh で集光型太陽熱 (CSP) と同じであり、天然ガスの 68 ユーロ/MWh よりはるかに低い。これらのコストは重要であり、特に既存の原子炉群に LTO を付与する代わりに新規の天然ガス容量を開発することを決定する際には、考慮されなければならない。

f. 消費者コスト

原子力発電所の早期閉鎖は、今世紀半ばまでに割引前の消費者コストに 2,000 億ユーロ

以上影響を与えるだろう。消費者は、脱炭素経済への移行における原子力発電の貢献をさらに強化することによって、短中期（2035年以前）に節約の恩恵を受けるであろう。

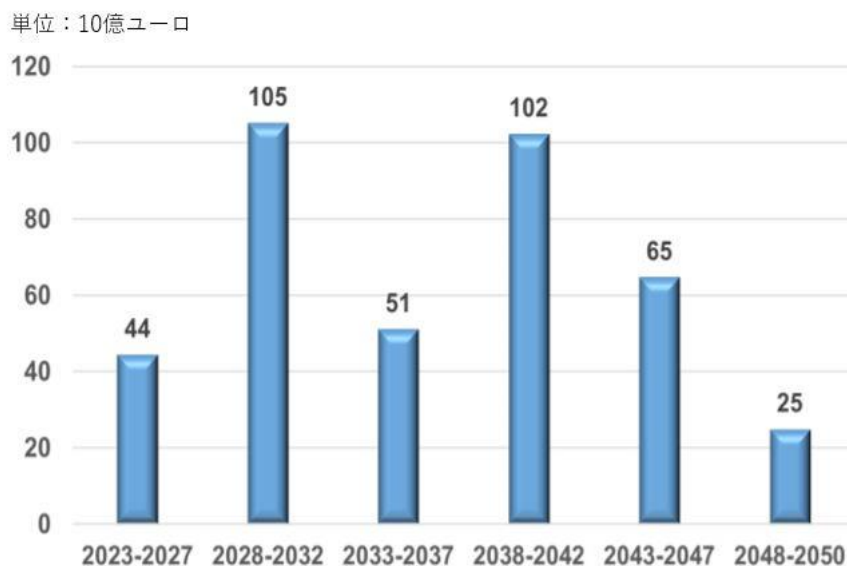


図12. EU27が国—LTOと比較した原子炉早期閉鎖による消費者コスト
—Compass Lexecon社の結果²⁶に基づくFORATOMの試算

g. 低投資リスク

現在、欧米を中心に世界の約30%の原子炉群がLTOの条件下で運転している²⁷。それに伴うLTOプロジェクトの多さが、産業能力の開発・維持に寄与し、LTOコストの長期的な低減にもつながっている（図13）。強固な産業能力、継続的な学習、低い資本コストにより、投融資リスクは低くなっており、事業者も容易に対応できる。

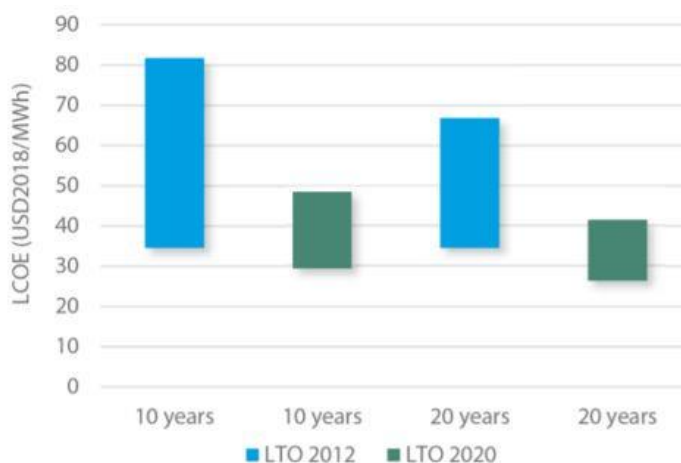


図13. 運転延長期間別 LTOのLCOEの推移²⁸

3.3 規制の側面

重要なメッセージ: 技術的な観点から見ると、原子炉のLTOは、「既存の原子力施設に対して合理的に実行可能な安全性向上のタイムリーな実施²⁹」のおかげで、大きな優位性を提供する。これにより、旧世代の原子炉を改正原子力安全指令に準拠した安全性レベルまで引き上げる³⁰。

原子力発電所の運転時間は、投資の経済的合理性と欧州および国際的な最高の原子力安全基準の達成をめざすことを目的とした現行の許認可手続きまたは枠組によって制限される。運転認可の決定は、許認可の条件が同じであるため、「LTO 前」と「LTO 後」を区別していない。実際、ほとんどの法律または規制は、無期限の運転期間を定めているか、無制限の運転認可延長を認めている³¹。

IAEA の定義によると³²、LTO とは、評価を行い規制条件に適合した場合に、技術プロジェクトあるいは許認可で定義された枠組を超えた継続的な運転である。LTO は、プロジェクトの物理的側面を変更するわけではないため³³、大きな変更でもなく、マイナーな変更でもない。“長期運転前”の原子力発電所の安全要件は、“長期運転中”と同じ、あるいはそれ以上であることに留意することが重要である。原子炉は計画停止後のように、通常運転に基づく同じ条件下で運転される。

原子力産業は、最高かつ最も厳しい品質保証の原則を適用する点において先駆者である。長い時間をかけて、設計と人的側面の両方を網羅する包括的な安全文化を発展させてきた。これに基づいて、原子力産業は、世界で 18,000 炉年の運転期間中³⁴に発生したあらゆる事象や事故を十分に分析し、教訓を得ることができた。欧州の事業者はまた、ENSREG（欧州原子力安全規制機関グループ）³⁵、IAEA SALTO（IAEA 長期運転安全評価）、WANO（世界原子力発電事業者協会）ピアレビューなどの国際的なイニシアチブに参加し、国際的に最良の基準から逸脱する可能性を早期に発見するとともに、学んだ教訓を広めることができる。その結果、欧州で現在運転中のプラントは、これらの改善の恩恵を十分に受け、運転開始時よりもはるかに安全なものとなっている。

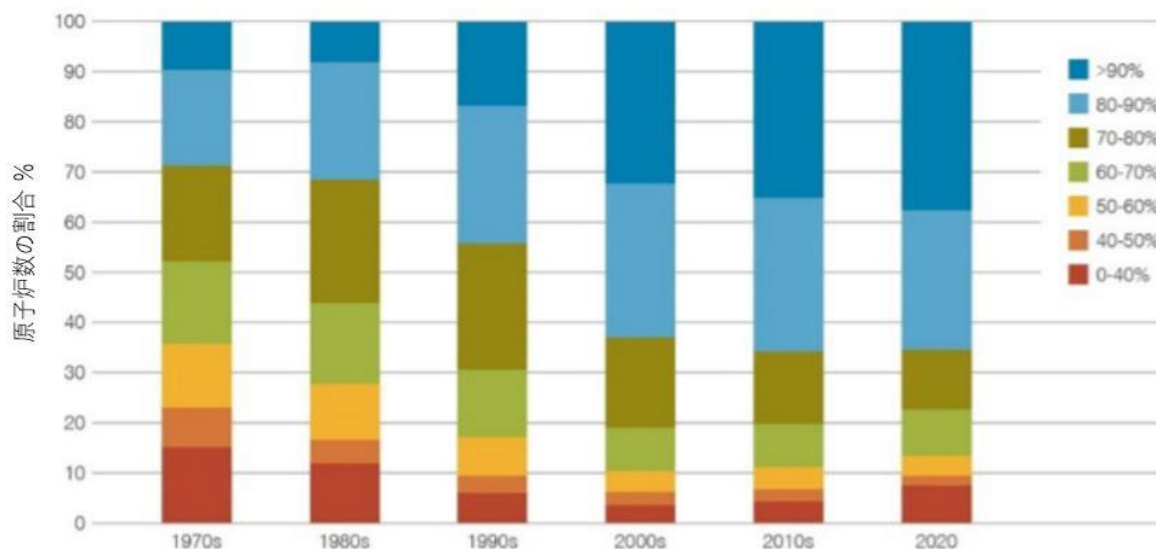
なお、当初の設計寿命に達しても、安全性のレベルや経年劣化による技術的な劣化には、実質的なクリフェッジ効果はない。当初の設計寿命は、原子炉圧力容器などの寿命を制限する機器について設定された初期仮定に基づくものであり、原子力発電所の残存耐用年数と混同されることがあってはならない。残存耐用年数は、実際のプラント条件と利用可能な最新の知見を考慮して、定期的に再評価される。ほとんどの場合、残存耐用年数は当初想定した設計寿命より長くなっている³⁶。

3.4 運転上の側面

重要なメッセージ:原子力の運転は、LTO の間に改善することができる。これは、以下のよう
に説明することができる。i) LTO 改修中に事業者が実施するプラントの機能強化、ii)
運転能力の向上、iii) ベストプラクティスの共有を可能にする枠組のガバナンス

IAEA PRIS の世界の運転実績は、原子力発電所の運転が経年化にもかかわらず改善され、LTO 期間中はさらに改善され得ることを示唆している（図 14）。これは、技術的な要因と組織的な要因の組み合わせによって説明することができる。LTO の改造期間中、事業者は必要な交換や安全性の改善を行うだけでなく、プラントの信頼性を高めるためのプラント強化（例：デジタル I&C システム、プラント全体の近代化）を実施する。さらに、運転員

は 30～40 年にわたる運転で得た経験と技能を活用し、LTO 期間中もパフォーマンスレベルを維持、あるいは向上させることができる。IAEA や OECD-NEA のような組織が主導する国際レベルでの運転経験の共有も、さらなるパフォーマンスの利点をもたらす。



出典：世界原子力協会、IAEA PRIS

図14. 世界の原子力発電所の設備利用率の長期トレンド³⁷

3.5 供給安定性

重要なメッセージ: LTO は、EU のエネルギー輸入依存度(主に化石燃料)を低減し、電力システムに供給安定性をもたらす。

火力発電への依存度が高まることは、EU の気候変動対策にマイナスの影響を与え、エネルギー供給保証も危うくする。



図15. 高/低シナリオにおける電力部門における化石燃料消費量の違い³⁸ (TWh)

上述したとおり、Compass Lexecon 社による報告書³⁹では、原子炉群の早期閉鎖は 2020～2050 年にかけて計 4 兆 1,500 億 kWh の化石燃料による発電を追加することになる。80%以上の追加の化石燃料発電が短中期的(2037 年まで)に必要となるからである。これは主に、

再生可能エネルギー技術導入時に給電可能な発電が必要となるからである。再生可能エネルギーへの移行の初期段階では、蓄電技術に頼ることになるが、現在ではシステムの不安定さを補うのに十分な成熟度ではない。

EUは化石燃料の輸入依存度が高く（図16参照）、既存の原子炉群を早期に閉鎖した場合、2030～2035年に向けた移行は供給安定性の観点から非常に困難となる。

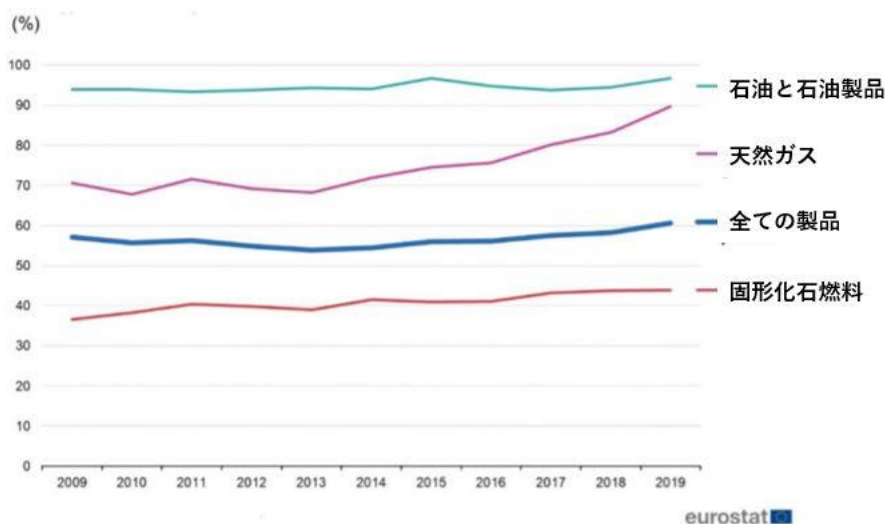


図16. EU27ヶ国のエネルギー依存率 (2009～2019年) ⁴⁰

核燃料製造の場合も、EUの原子炉群に必要なウランの大半を輸入している。しかし、化石燃料に比べれば、たとえ市場が限られていても、サプライヤーの多様性によってあるサプライヤーが利用できない場合も、十分な代替手段がある。

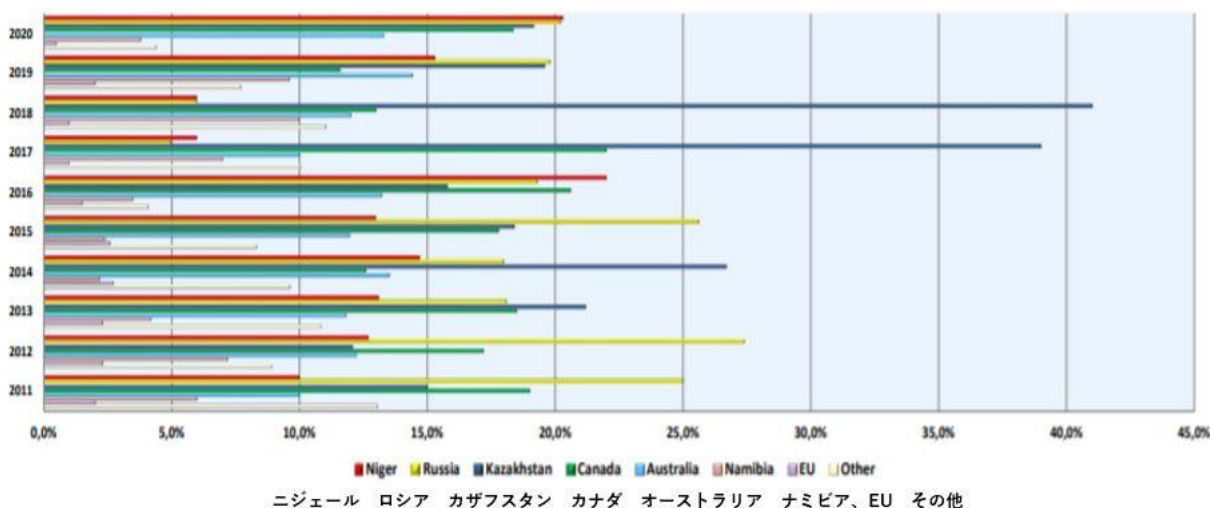


図17. EUのウラン輸入の推移⁴¹

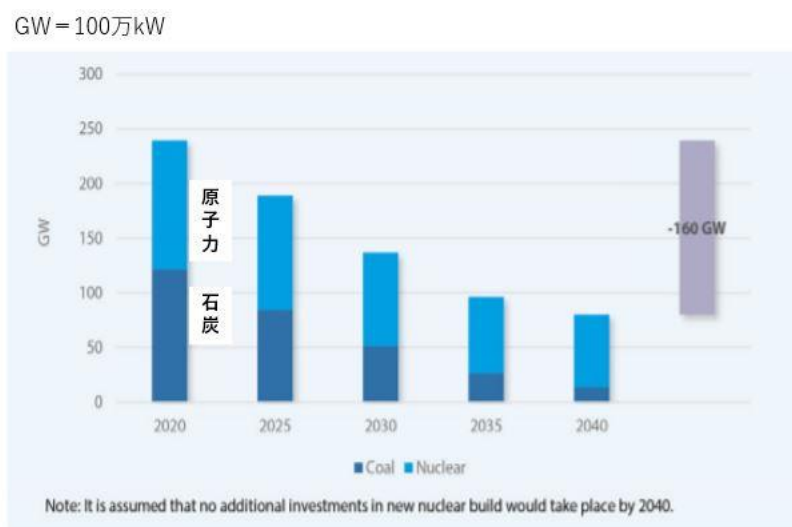
2020年3月に発表された報告書⁴²では、ユーラトム供給局（ESA）が供給安定性の観点からEUレベルでの核燃料の利用可能性を分析し、潜在的なリスクを指摘した。潜在的な供給不足の克服について、ESAは「ウランのインベントリーは、EUの電力会社の原子炉に平均2.75年間燃料を供給できる」ことを認めた⁴³。原子力部門のこの特徴は、化石燃料と比較して、特に天然ガスの備蓄量が低い水準にある現状では優位性をもたらす。

最後に、エネルギー価格が高騰している現在、原子力は化石由来の火力発電をメリットオーダー曲線から押し出すことで、卸売電気料金を抑制することができる。同時に、原子力施設の運転コストは低く、長期的に安定しているため、規制価格制の契約⁴⁴対象となる需要家の電気料金の引き下げに利用することができる。LTO は、これらの利点を時間的に拡大し、電力供給の全体的な手頃さを強化することになる。

3.6 システムの信頼性

重要なメッセージ：低炭素の原子力発電は、電力システムに安定した容量を提供し、より多くの変動性の再生可能エネルギー(VRE)との共存をより低い統合コストで支援する。

多くの加盟国は、脱炭素化の軌道において、火力発電を大量の間欠性の再生可能エネルギーに置き換えることを検討している。石炭火力は、フランス、スペイン、イタリア、ポルトガル、オランダ、デンマーク、スウェーデン、英国、フィンランド、オーストリアで、2030年までに段階的に廃止される。一方、ドイツは2030年までに石炭火力の発電設備容量の半分以上を削減し、2022年までの脱原子力を提案している。フランスは、2025年までとする以前の目標を遅らせて、2035年までに原子力発電シェアを50%に制限する。全体として、容量ギャップは2040年までに1億6,000万kWになる可能性があり、これは欧州の給電可能な容量の約40%に相当する（図18参照）。



注：2040年までに新規建設への追加投資が行われないと仮定

図18. 公表政策シナリオ（2040年）による欧州の原子力と石炭の設備容量の推移

固有の変動性のため、間欠性の再生可能エネルギーのシステムの信頼性への貢献は非常に限定的である。このことは、変動性の再生可能エネルギーが安定した容量を提供する能力を評価することで示すことができる。確実な容量とは、最悪のシナリオ（すなわち、最大の需要で供給力が低い日）において、システムで利用できる最小の容量である。例えば、風力発電が提供する確実な容量は、設備容量の 10%未満である。太陽光発電の確実な設備容量はゼロ MW である。一方、火力発電と原子力発電はとりわけ、設備容量の 90%以上の容量を提供する。

再生可能エネルギーの間欠性の問題を解決するのは、蓄電技術であるとする報告もある。しかし、これはまだ未成熟な蓄電技術に依存することになる。Compass Lexecon 社のレポートによると⁴⁵、エネルギーミックスに占める原子力の割合が低いと、電力システムは大規模かつ未熟な蓄電技術（約 3 億 2,500 万 kW のバッテリーや低シナリオにおける 2050 年の P2X2P <Power to X to Power>のような季節的蓄電）に大きく依存することになる。

さらに相互接続は、欧州のシステムの信頼性に関する一般的な問題が発生した場合、確実な容量を提供することができない。実際、どの国も自国の供給安定性を確保することさえできずに、全ての国が同時に供給安定性を確保するために、近隣諸国に頼ることができることを正当化することは難しいように見える。このことは、一部の国が近隣諸国との協議を制限したうえで、一方的に給電可能な容量の段階的廃止を決定している状況下では、さらに重要である。

結果として、欧州委員会は加盟国に対して、国家エネルギー・気候計画に供給安定性の詳細な分析を盛り込むよう勧告すべきである。加盟国は、供給安定性を確保しつつ、排出量を最小限にするペースで火力発電を段階的に廃止すべきである。このシナリオで原子力が果たすことのできる役割は、この技術が保証する高い利用性のために、エネルギー移行期間中の供給安定性を確実にするという点で重要である。

最近のフランスの戦略レポート⁴⁶「2030年までの欧州の供給安定性とは？」は、欧州の電力ミックスの推移に関する前提条件をまとめている。フランスの6つの国境国（ベルギー、英国、ドイツ、イタリア、スペイン、スイスを含む）と2025年、2030年、2035年のそれぞれの生産手段、需要、柔軟性、相互接続を一覧にしたスプレッドシートが作成されている。

調査した7か国すべてにおいて、この期間中に、すでに計画されているものを除き、給電可能な発電技術がネットワークに追加されず、再生可能エネルギーの開発目標が尊重されなかった場合、電力の安全余裕度は、2020年の3,400万kWから2025年には1,600万kWに減少し、その後2030年には-750万kW、2035年には-1,000万kWとなる。

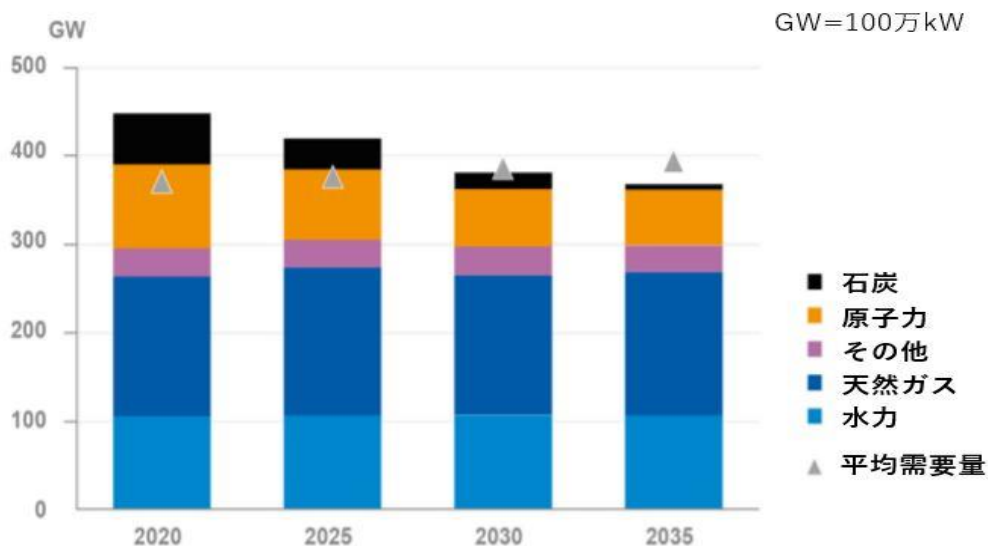


図19. フランスと近隣の欧州諸国の給電可能な電力容量予測 (2020～2035年)
 フランスの平均需要ピークは、RTE (送電事業者) が予測したものであり、
 その他の国については、対応する認定機関が評価したもの

相互接続、蓄電、デマンドサイド・レスポンス (需要側対応)、セクター・カップリングアプローチ (例：水素製造) などの柔軟なソリューションの開発により、大量の給電可能な発電設備を段階的に削減しながら、システム全体の信頼性を高めることができる。しかし、これらのソリューションのなかには産業的に成熟していないものもあるため、大規模な展開には不確実性がある⁴⁷。

既存の原子力はまた、システムに柔軟性を与え (季節、週、日単位)、負荷追従を含むグリッドサービスの幅を提供する。フランスやドイツのような国々は、原子力発電所を負荷追従モードで運転した経験が豊富であり⁴⁸、原子炉の柔軟性は一部の国が頼っている機能である⁴⁹。LTO プロジェクトは、関連するビジネスケースが経済的に強固であれば、既存の原子炉を改造し、柔軟な運転を可能にする好機である。原子力発電の柔軟な運転は、新規建設と既存原子炉の LTO の両方において、特に変動性の再生可能エネルギーの普及率が高い場合に、システムコストを下げつつ、変動する再生可能エネルギーを高い比率で開発、促進することができる⁵⁰。

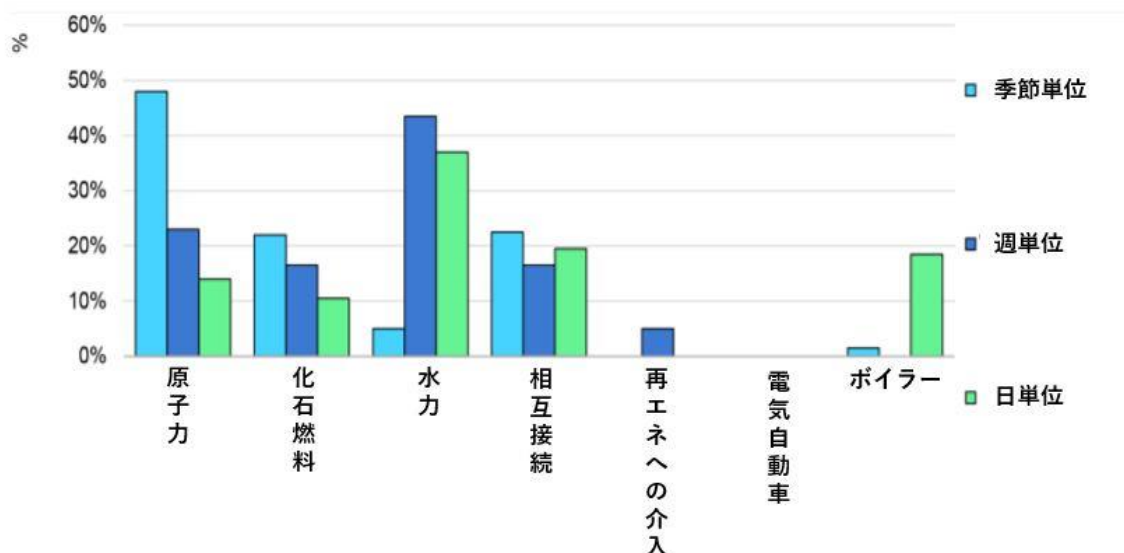


図20. フランスの柔軟性のある電源

出典："[Conditions and Requirements for the Technical Feasibility of a Power System with a High Share of Renewables in France Towards 2050](#)" (IEA, 2021年1月)

3.7 水素経済

重要なメッセージ: 原子力の LT0 は、低価格の電力料金と高い信頼性(85%以上の容量)を提供することができるため、2030 年までに競争力のある低炭素型水素経済を確立するための最適な候補となる。

FORATOM が最近のポジションペーパーやバックグラウンドとなるペーパーで説明しているように⁵¹、化石燃料による水素製造に対して競争力を持つためには、電気分解によって得られる水素は、3つの重要な特性を備えていなければならない。

1. 低炭素であること
2. 手頃な価格であること
3. 発電の点で信頼性が高いこと

第一の特性は、原子力と再生可能エネルギーともに満たしている。第2の特性は、原子力の LT0 と一部の再生可能エネルギーによって満たされ得る。第3の特性については、原子力だけが満たす。上述したとおり、原子力は最大の低炭素で、天候に左右されない電力源である。

3.8 その他の恩恵

a. 循環経済

原子力発電は、最も鉱物資源密度の低い、低炭素技術である。原子炉の LT0 は 電力が既存施設で生産され、長期運転中に必要な原材料がはるかに少なくなるため、原材料の節約になる。また、廃止措置から生じる廃棄物の量、すなわち廃棄物強度は、大量の TWh で除算

されるため、放射性廃棄物の量（TWh あたりの廃棄物量）もまた減る。廃棄物強度の説明は、原子炉が運転している期間、同じレベルにある核燃料には適用されない。

b. 産業の発展と貿易

・ 競争力

LT0 オプションを選択することは、欧州の原子力産業のサプライチェーンを維持、発展させ、国内外で競争力のあるものにする。デロイト社が実施した調査によると⁵²、長期運転と新規建設の組み合わせで、EU28 か国の貿易黒字（輸出入の差額）は現在の価値の 181 億ユーロから 2050 年には 335 億ユーロに増加する。この増加は、主にサプライチェーンの発展が EU28 か国のマーケットをカバーするだけでなく、輸入の減少につながり、EU または域内のコンポーネントや潜在的な新規炉設計の輸出が増加するためである。結論は、EU28 か国をカバーすることに加えて、サプライチェーンが欧州外への輸出増につなげることができることである。

・ 労働能力の維持

同じデロイト社の調査によると⁵³、長期運転の選択によって、原子力産業は、事業者やサプライヤーの能力の維持、向上や 35 万人の雇用提供などの恩恵を得る。

c. リスク管理

現在の気候政策、とりわけ 2030 年以降の完全な結果を見通すことは難しい。これらの政策のなかには、炭素排出削減の観点から期待された結果を生まないものもあり得る。風力と太陽光を迅速にスケールアップさせることができる一方、大規模な電力システムの柔軟性を実現する革新的なソリューションがタイムリーに利用できるかどうか不確実性が残る。それゆえ、潜在的な供給安定性と信頼性という供給上の懸念が高まる。並行して、欧州のより野心的な脱炭素化目標達成には、成熟したすぐに利用できる低炭素なソリューションが必要である。LT0 は潜在的なリスクを最小化しながら、短中期の野心的な脱炭素化目標をサポートするオプションとして浮上している。LT0 が提供するアディショナルタイムはまた、炭素排出目標や供給安定性に影響を与えることなく、イノベーションを開発するための時間稼ぎとなる。

4. 課題

4.1 規制面

既に述べたように、技術的観点から見て、たとえ LT0 が原子炉の運転方法の変更と見なすことができない場合でも、原子炉の運転期間延長については、Espoo（エスポー条約：越境環境影響評価条約）および Aarhus（オーフス条約：環境に関する、情報へのアクセス、意思決定における市民参画、司法へのアクセス条約）の条約から生じる特定の要件の適用性に関する議論がある。

4.2 産業の課題

LT0 では、原子力部門の技能や膨大な専門知識だけでなく、既存のサプライチェーンも維持する。上述したように、LT0 は既存原子炉群の運転を改善するが、これは材料の経年科学、計測制御の完全アナログシステムのデジタル化、フルスケールシミュレーター、3D モデルなどの分野におけるイノベーションと技術的ブレークスルーの貢献によってのみ実現することができる。

4.3 雇用

デロイト社⁵⁴の調査によれば、LT0 は、約 35 万人の直接・間接雇用に影響を与える。これらの雇用は、現在の原子炉群の LT0 がなければ失われる。LT0 を進めないと、他にもいくつかの課題が生じうる：優秀な人材の誘引や新技術に対する労働力の適応、新入社員による定年退職者の置き換え、高度な技能の維持など。同じデロイト社⁵⁵の調査によれば、現在 EU における原子力産業従事者の約 47% が高い技能を有しているので、新世代の従事者への移行は、よりチャレンジングなものになり、十分に開発された高等教育システムへのアクセスに依存することになる。

4.4 産業およびエネルギーの主権

3 つの主要経済大国が輸出と協力制限規制を設定するなど、エネルギー市場での地位を強化していることにより（米国の輸出管理、中国からの輸出管理、ロシアからの天然ガスと石油の管理）、LT0 は、欧州の電力網に長期間給電することができ、他の経済大国によって定められた規制の制限から物理的に独立した強力な産業資産を欧州が維持するための方法である。さらに、原子力産業および LT0 に直接的あるいは間接的に関連する研究開発プログラムは重要であり、多くの産業にとって決定的である（医療、食糧・農業、センサー開発、航空宇宙、物理・物性研究）。LT0 は、欧州のエネルギーおよび産業の主権を支援する。

4.5 原子力部門に対する特定税

LT0 を進めるかどうかの決定は、経済的なものである。欧州では現在の市場環境下で、LT0 は魅力的な投資であることには変わりはない。しかし、国によってこの判断は、原子力部門にのみ適用される税によって、大きく影響される（すなわち、スペイン、フランス、ベルギー）。

4.6 パブリック・アクセプタンス

ケースによっては、世論はいつも原子力に対して好意的でないかもしれないが、これはしばしば、主に技術面に関する情報が不足していることによる。しかし先に説明したように、LT0 は既存原子炉を最新の原子力安全基準に適合させる好機である。加えて、国によっては、新規建設よりも既存施設に対してより好意的であるため、LT0 はチャンスと捉えることができる。オランダとフランスでは最近、原子力に対する国民の支持が高まっており、前向きな進展が見られる。

4.7 ステークホルダーの意識

より広く言えば、一つの重要なチャレンジは、LT0 を進めないことによる潜在的な結果について、とりわけ気候変動に関連して、幅広いステークホルダー（政治家、メディア、政策決定者、インフルエンサー、公衆）の意識を高めることである。焦点は、現在利用可能な全ての低炭素技術によって提供されるさまざまな利点だけでなく、将来商業的に実行可能性がある画期的な技術に関する信頼できる情報を提供すべきである。

4.8 サプライチェーンの課題

欧州の国のなかには、とりわけ原子炉数が少なく、異なる設計のタイプの国については、政策や市場の不確実性が適格なサプライヤーを減少させている。なかには、当初の機器製造者が一部の重要なコンポーネントの製造をやめ（あるいは単純に市場から撤退）、サプライチェーンの衰退を加速させている。これらのリスクを緩和するために、欧州の事業者は、サプライチェーン管理の強化、協力と調和のレベルアップ、リバースエンジニアリング、安全重要度の低い部品への汎用品の導入などを含む一連の戦略を実施している。欧州では、一部の非重要部品のための汎用品グレード格上げ（CGD： Commercial Grade Dedication）プロセスの利用を促進するために、様々な国家プロジェクト（一部は規制当局と共同で）が行われている⁵⁶。

5. 政策提言

上記の課題をふまえ、FORATOM は、次のような政策提言をしたい。

- 首尾一貫した、矛盾のない、安定した EU の政策枠組 (Euratom 含む) を確保すること
 - ・ 原子力発電を全てのエネルギー政策議論、とりわけ、EU の脱炭素化目標 (欧州グリーンディール/Fir for 55 パッケージ) および 2021 年後半にその重要性がますます明らかになった供給安定性に関する議論に、原子力を完全に組み入れる。
 - ・ 政策間の一貫性を確保する——例えば、気候目標の達成をめざした政策は、EU の「全ての人々のためのクリーンな地球」のコミュニケーションにおいて認識された全ての低炭素技術を支援すべきである。
 - ・ 技術的中立性を確保する。
 - ・ LTO が電力システムに提供する価値を認識していない市場の失敗、税制、特定の規制に再び対処する。
- EC の気候中立な経済に向けた長期ビジョンに沿って、EU の野心的な 2050 年 CO₂ 排出ネットゼロエミッション目標に合意すること
 - ・ EU が 2050 年までに気候中立を達成し、2040 年までに電力部門を脱炭素化できるよう、引き上げられた EU の中期 (2030 年) GHG 削減目標に既存の原子炉群を含める。
 - ・ あらゆる低炭素発電形態への平等な市場アクセスと支援を可能にする。これにより、より持続可能で費用対効果の高いエネルギーミックスが可能となり、非市場支援スキームの必要性が減少する。
- 欧州が技術的リーダーシップを維持することを確実にするために強力な産業戦略を策定し、実施する
 - ・ サプライチェーンの最適化努力を支援する。
 - ・ 規制者とともに、許認可・規制プロセスのより良い整合を促進し、EU の原子力部門のさらなる調和に貢献する。
- 人材能力開発支援
 - ・ 原子力産業に若者を引き入れることを支援する。これをするためには、他の国際機関とともに、EU は、2050 年の低炭素経済において、原子力発電は将来性があるという事実についてもっと声を上げるべきである。
 - ・ 政策立案者、教育システム、そして業界は、世代交代と能力の移行を確実にするためだけでなく、労働力が新技術 (デジタル化、インダストリー 4.0) に適応するのを助けるために共に力を合わせるべきである。

以上

<参考文献>

- ¹ FORATOM position paper on “[The importance of long-term operation of the existing EU nuclear fleet](#)”, July 2019.
- ² Stepping up Europe’s 2030 climate ambition.
- ³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R1119>
- ⁴ [Fit for 55 package](#).
- ⁵ https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en.
- ⁶ FORATOM calculations using [EMBER](#) data.
- ⁷ [EU Reference Scenario 2020](#).
- ⁸ Policy scenarios for delivering the European Green Deal.
- ⁹ [Climate Change 2021 The Physical Science Basis](#), IPCC 2021.
- ¹⁰ “[Nuclear Power in a Clean Energy System](#)” – IEA, May 2019.
- ¹¹ <https://www.iea.org/reports/european-union-2020>.
- ¹² [Press release](#) of the IEA and OECD-NEA report of the “Projected Costs of Generating Electricity 2020”.
- ¹³ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_60310/long-term-operation-of-nuclear-power-plants-and-decarbonisation-strategies.
- ¹⁴ [EC State of Energy Union reports](#).
- ¹⁵ Annex to the State of the Energy Union Report on energy subsidies in the EU
- ¹⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2021%3A660%3AFIN&qid=1634215984101>.
- ¹⁷ <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2021/04/21/european-climate-law-council-and-parliament-reach-provisional-agreement/>.
- ¹⁸ Compass Lexecon report on “[\(2021 Updated Results\) Pathways to 2050: Role of nuclear in a low-carbon Europe](#).”
- ¹⁹ [«Europe’s Power Sector in 2020»](#), Ember and Agora Energiewende, January 2021.

- ²⁰ Compass Lexecon report on [“\(2021 Updated Results\) Pathways to 2050: Role of nuclear in a low-carbon Europe.”](#)
- ²¹ IEA report on [“Projected Costs of Generating Electricity 2020”](#).
- ²² [EMBER Daily Carbon Prices viewer](#).
- ²³ IEA report on [“World Energy Outlook 2018”](#).
- ²⁴ [IEA report on “Projected Costs of Generating Electricity 2020”](#).
- ²⁵ Energy costs, taxes and the impact of government interventions on investments: final report – [External costs](#), EC 2020.
- ²⁶ Compass Lexecon report on [“\(2021 Updated Results\) Pathways to 2050: Role of nuclear in a low-carbon Europe”](#).
- ²⁷https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_60310/long-term-operation-of-nuclear-power-plants-and-decarbonisation-strategies.
- ²⁸ Ibid.
- ²⁹ Nuclear Safety Directive 2014/87 – article 8.a.
- ³⁰https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_60310/long-term-operation-of-nuclear-power-plants-and-decarbonisation-strategies.
- ³¹https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15154/legal-frameworks-for-long-term-operation-of-nuclear-power-reactors?details=true.
- ³² IAEA (2017): [Handbook on Ageing Management for Nuclear Power Plants](#).
- ³³ Case C-275/09 Brussels Hoofdstedelijk Gewest v. Vlaamse Gewest ECJ “the extension of the licence in the absence of any work or interventions involving alteration to the physical aspect of the site is not a project under EIA directive”.
- ³⁴ IAEA Power Reactor Operation Years (PRIS).
- ³⁵ <http://www.ensreg.eu/>.
- ³⁶https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_60310/long-term-operation-of-nuclear-power-plants-and-decarbonisation-strategies.
- ³⁷ [World Nuclear Performance Report 2021](#), WNA.
- ³⁸ Compass Lexecon report on [“\(2021 Updated Results\) Pathways to 2050: Role of nuclear in a low-carbon Europe.”](#)
- ³⁹ Ibid.

- ⁴⁰ [Eurostat](#).
- ⁴¹ EURATOM Supply Agency annual reports (2011-2020).
- ⁴² Analysis of nuclear fuel availability at EU level from a security of supply perspective.
- ⁴³ [EURATOM Supply Agency annual report 2020](#).
- ⁴⁴ <https://www.foronuclear.org/en/press-room/press-releases/nuclear-power-as-part-of-the-solution-for-lowering-high-energy-prices/>.
- ⁴⁵ Compass Lexecon report on “[\(2021 Updated Results\) Pathways to 2050: Role of nuclear in a low-carbon Europe.](#)”
- ⁴⁶ [France Stratégie](#).
- ⁴⁷ https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_60310/long-term-operation-of-nuclear-power-plants-and-decarbonisation-strategies.
- ⁴⁸ https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_14754.
- ⁴⁹ FORATOM’s position paper on “[Flexible operation of nuclear power plants](#)”, 2018.
- ⁵⁰ https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_15000/the-costs-of-decarbonisation-system-costs-with-high-shares-of-nuclear-and-renewables.
- ⁵¹ FORATOM [position](#) and [background papers on nuclear hydrogen production](#).
- ⁵² [Economic and Social Impact report](#) – Deloitte, April 2019.
- ⁵³ Ibid.
- ⁵⁴ Ibid.
- ⁵⁵ [Economic and Social Impact report](#) – Deloitte, April 2019.
- ⁵⁶ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC121103>

FORATOM について

欧州原子力産業協会 (FORATOM) は、ベルギー・ブリュッセルに本拠を置く欧州の原子力産業団体である。FORATOM は 15 か国の原子力協会で構成され、これらの協会を通じて約 3,000 の欧州の原子力企業を代表し、約 110 万人の雇用を支えている。



Avenue des Arts 56
1000 Brussels
tel +32 2 502 45 95
foratom@foratom.org
www.foratom.org

