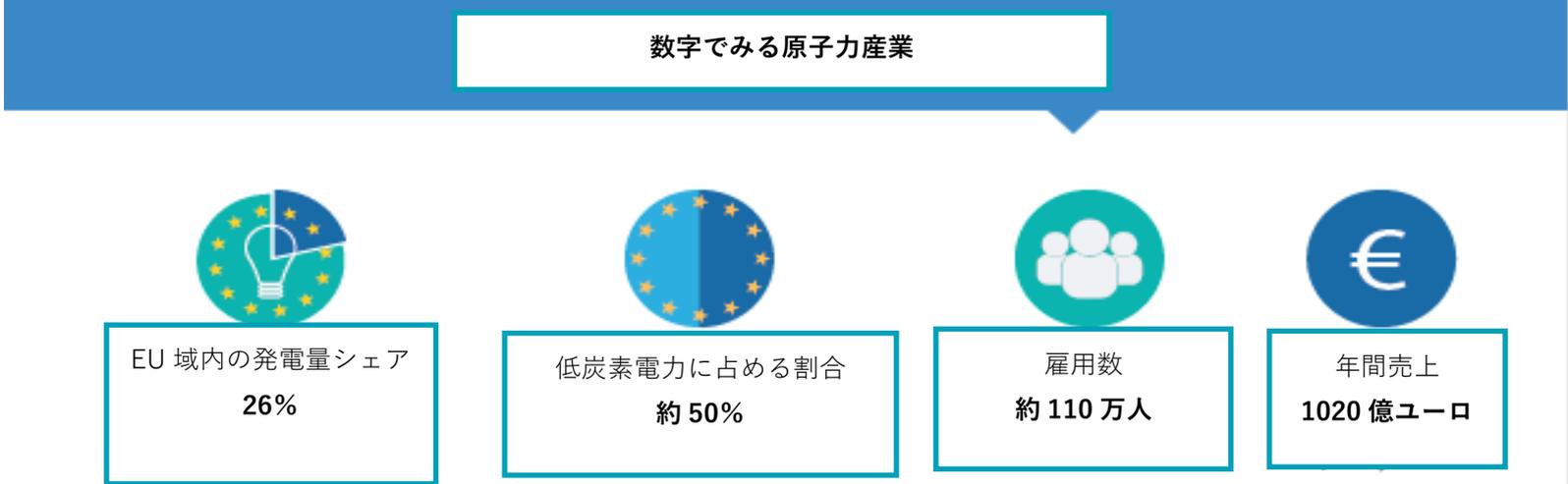


EU の既存原子力発電所群の長期運転の重要性 — 手頃なコストで欧州の気候目標達成を助ける —



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 CO₂削減目標を達成しようとするならば、原子力が重要な役割を果たす必要があると認識する専門家は増えている。このペーパーは、既存原子炉群の長期運転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。

2050 年に向けた移行期における中期の脱炭素化目標は、既存の原子力発電所の長期運転がなければ、達成できない。実際、EU がこの期間中全ての運転中原子力発電所群を維持するために投資するならば、電力の 58%は 2030 年までに低炭素電源由来となり、EU は気候変動政策のグローバル・リーダーになる。さもなければ、低炭素電源由来の発電シェアは 38%に下落し、2030 年までに CO₂の累積排出量が約 15 億トンも増加する。

要約：

- 長期運転はその他の電源と比べて、議論の余地なく、経済的に優位である。長期運転は、はるかに低い資本投資コストですみ、投資家や資本市場に対する低い投資リスク、そしてより低い消費者コストにつながる。
- 技術的観点から、原子炉の長期運転は、“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、旧世代の原子炉は、改正された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られる。
- 長期運転は、EU のエネルギー輸入依存、主に化石燃料依存を低減し、送電網に信頼性をもたらす。
- 低炭素な原子力発電は、電力システムに確実な容量を提供する。

FORATOM は、次のような政策提言を行いたい。

- 首尾一貫した、矛盾のない、安定した EU の政策枠組（Euratom 含む）の確保
- 欧州委員会の気候中立な経済に対する長期ビジョンに沿って、2050 年の EU の野心的な正味ゼロエミッションの CO₂排出量目標に合意
- 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の強力な産業戦略の開発と実施
- 人材能力開発の支援

内容

このポジション・ペーパーの目的は、2050年までに温室効果ガス排出量を削減し、費用対効果の高い移行を確実にするというEUの非常に野心的な目標に照らして、既存の原子炉群の長期運転とその便益について、より多くの情報を提供することである。

「全ての人々のためのクリーンな地球」と題するこの戦略は、2050年までに気候中立な経済を達成するためのEUの戦略的長期ビジョンを概説しており、**原子力が再生可能エネルギーとともに、カーボンフリーな欧州の電力システムのバックボーンを形成すると確認している**。この戦略によれば、2050年の原子力発電設備容量は、9900～1億2000万kWの範囲内であり(原子力発電設備容量を9500～1億500万kWと予測したPINC【Nuclear Illustrative Programme、原子力説明プログラム】2017版よりも高い)、提案されている8つのシナリオのうち、どれに拠るかによるが、EUの電力構成の15%前後を占める。

国際的なレベルでは、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の最新報告書「1.5℃の地球温暖化」(2018年10月)は、世界の温度上昇を1.5℃未満に維持しようとするならば、原子力発電が不可欠であると認識している。IPCCシナリオの1つによれば、我々の気候目標を達成したいのであれば、世界の原子力発電の設備容量を6倍にする必要がある。国際エネルギー機関(IEA)は最近また、原子力部門全般、とりわけ、長期運転を支持する幾つかの声明を発表している。例えば、2019年の欧州原子力エネルギーフォーラム

(ENEF)で、ビロルIEA事務局長は、政策変更がなければ、欧州の原子力発電所群の3/4は、2040年までに廃止措置を迎えるであろうと指摘した。これに加えて、ビロル事務局長は、再生可能エネルギーの増加と石炭の段階的廃止で排出量を40%削減することができ、原子力を維持することでCO₂の排出削減を加速させることができると付言している。

2019年5月に発表された最新の報告書「クリーンエネルギーシステムにおける原子力発電」によれば、IEAは、“原子力発電の急速な低下は、エネルギーセキュリティや気候目標を脅かす”、“既存原子炉の運転延長は、エネルギー移行を順調に進めるために重要である”と述べ、さらに踏み込んでいる。



図1. 欧州における2040年の排出削減量のIEA予測
ビロル事務局長発表 2019年ENEF@プラハ

これら全ての組織による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、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、低炭素パートナーである。

FORATOMは、欧州委員会が長期目標を達成するために幾つかのイニシアチブを立ち上げる一方、既存原子力発電所群の運転寿命延長のための努力が行われていないと考えている。その結果、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、脱炭素化目標を達成することに失敗するだろう。

欧州委員会は最近、長期運転への投資に影響を与える可能性がある幾つかの重要な法案を発表し、その一部を採択した。

- ・「全ての欧州の人々のためのクリーンエネルギー(CEP)」の立法パッケージ
- ・「全ての人々のためのクリーンな地球」、2050年までの繁栄、モダン、競争力、そして気候中立な経済のためのEUの長期戦略ビジョン
- ・第4次「エネルギー同盟の状況」報告書
- ・EUのエネルギー・気候政策におけるより効率的かつ民主的な意思決定

FORATOMの意見では、CEPは、主に再生可能エネルギーやエネルギー効率化政策に焦点を当て勝者を選んでいるため、低炭素技術に対する長期投資の奨励に失敗し、電力部門の脱炭素化という中核的な問題に取り組まずにエネルギー市場の破壊を増幅している。この状況はまた、最新の「エネルギー同盟の状況」でも示されている。

「全ての人々のためのクリーンな地球」の戦略ビジョンは、主に、再生可能エネルギーと原子力という最も成熟した技術に焦点を当て、あらゆる潜在的な低炭素エネルギー源を活用する2050年の電力システムを見通して、より実践的なアプローチを提示している。

現在、EUでは1億2000万kWの原子力発電設備容量が、電力の約1/4を担い、低炭素電力の約50%を占めている。原子力発電は、2050年のカーボンフリーな電力部門において明らかに重要な役割を果たす。2050年までの間、原子力発電は主に、既存の原子力発電所群の長期運転に頼ることになる。加えて、2050年までに、かなりの新規建設が必要となる。このポジション・ペーパーの目的は、EUの既存原子力発電所群の長期運転の重要性や好機、課題について、より多くの情報を提供することである。

長期運転の便益—脱炭素化のドライバー

2050年に向けた移行期における中期の脱炭素化目標は、既存の原子力発電所の長期運転がなければ、達成できない

EUは、2030年に温室効果ガス排出量を少なくとも40%削減（1990年比）するという脱炭素化目標を掲げており、現在2050年目標について取り組んでいる。しかし現在の2030年目標は、それほど野心的なものではなく、2050年目標の達成が非常に厳しくなっている。欧州議会は、この点について懸念を示しており、より野心的な目標である55%削減を要求している。実際、2030年の排出削減目標は、目標をより野心的なものにするために、改定することが可能である。現行シナリオは、化石燃料の利用が織り込まれている。つまり、既存の（化石燃料を使用する）発電設備の運転期間延長のみならず新設により、

短中期的に温室効果ガス排出量の増大につながるのだ。また、一旦建設されると、明らかに経済的利益のために、ほんの数年後では段階的に廃止できないため、新たな化石燃料の生産施設に関連してロックイン効果を生み出す。電力需要がたとえ鈍化しても、低炭素電源の全体シェアが実際に減少することを考えると、運転延長なしでは、2030年の脱炭素化目標の達成は、事実上不可能である。

EUがこの期間中全ての運転中原子力発電所群を

維持するために投資するならば、電力の58%は2030年までに低炭素電源由来となり、EUは気候変動政策のグローバル・リーダーとなる。そうでなければ、低炭素電源由来の発電シェアは38%に下落する。

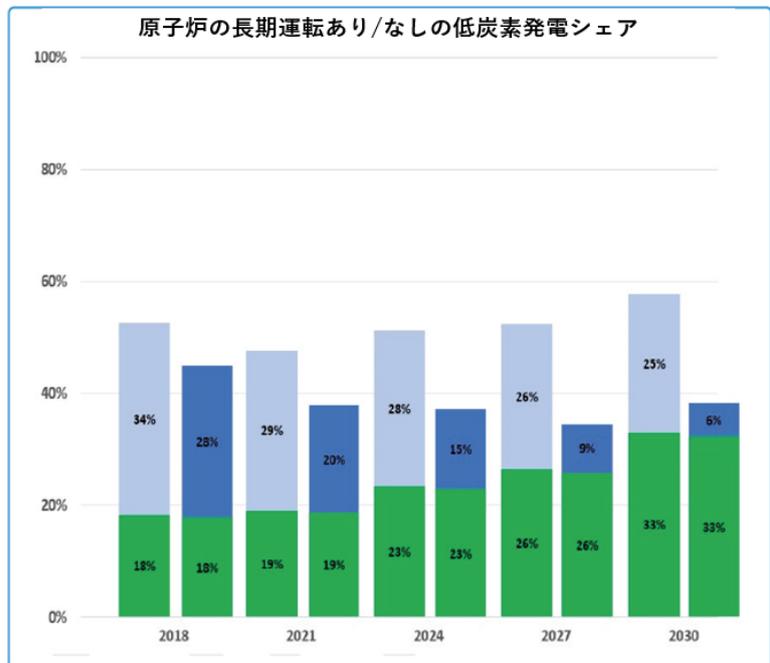


図2.FORATOM試算の低炭素発電シェア
(水色:長期運転あり、青色:長期運転なし、緑色:再生可能エネルギー)
注1:FTI CL社の研究による電力量予測
注2:長期運転の前提として、各国の異なる寿命延長期間の特性を考慮している

既存原子炉の長期運転に投資しないことによる低炭素電源シェアのこの減少は、バックアップニーズを満たすために化石燃料源に依存するので、事実、中期的には排出量が増加する。早期閉鎖シナリオ（すなわち、既存原子炉の長期運転なし）では、2020～2050年の間の総排出量が増加し、CO₂排出量に関し最大の影響が短・中期的に記録される。

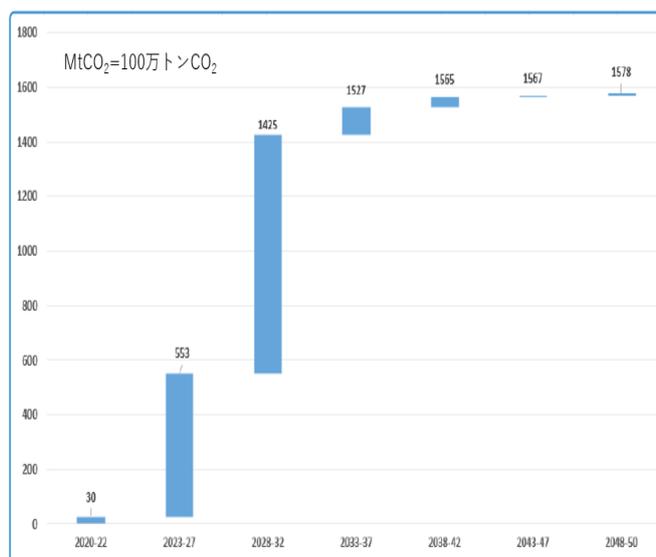


図3.原子炉の早期閉鎖の場合、全体排出量に追加されるCO₂排出量(MtCO₂)
FTI-CL Energy社の結果に基づくFORATOMの試算

FORATOM の意見では、欧州排出量取引制度（EU-ETS）が産業の温室効果ガス排出量を削減するための主要なツールとなるべきであるが、低炭素技術に対する長期投資を奨励するものでないため、目的を達成するには未だほど遠い。FORATOM はしばしば、現在の EU-ETS が既存の低炭素技術の継続的な運転を奨励していないこと、そして化石燃料からの転換を奨励していない事実について、懸念を表明している。

経済的側面

主要なメッセージ: 長期運転はその他の電源と比べて、議論の余地なく、経済的に優位である。長期運転は、長期運転がはるかに低い資本投資コストですみ、投資家や資本市場に対する低い投資リスク、そしてより低い消費者コストをもたらす。

資本コスト

PINC によれば、2000～2025年間の長期運転の平均投資は、キロワットあたり約 630 ユーロで、あらゆる低炭素技術のなかで最も低い資本コストを示している。PINC はまた、2015～2050年の間に長期運転への投資総額を約 469 億ユーロと試算している。

発電価格

欧州委員会の2030年のPRIMESモデル図予測によれば、設備容量（長期運転）の電力の均等化発電コスト（LCOE）は、あらゆる技術のなかで最も低い。

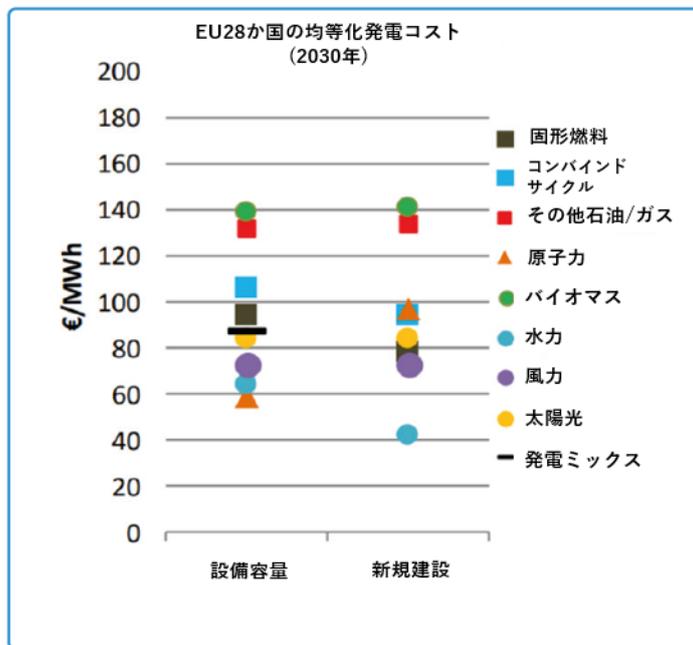


図5.EU28か国－技術別発電価格とコスト予想(2030年)の比較

消費者コスト

原子力発電所の早期閉鎖は、今世紀中頃までに割引前の消費者コストに2000億ユーロ以上影響を与えるであろう。消費者は、脱炭素経済への移行において原子力発電の貢献をさらに強化することによって、短、中期的に(2035年前)節約の恩恵を受けるであろう。

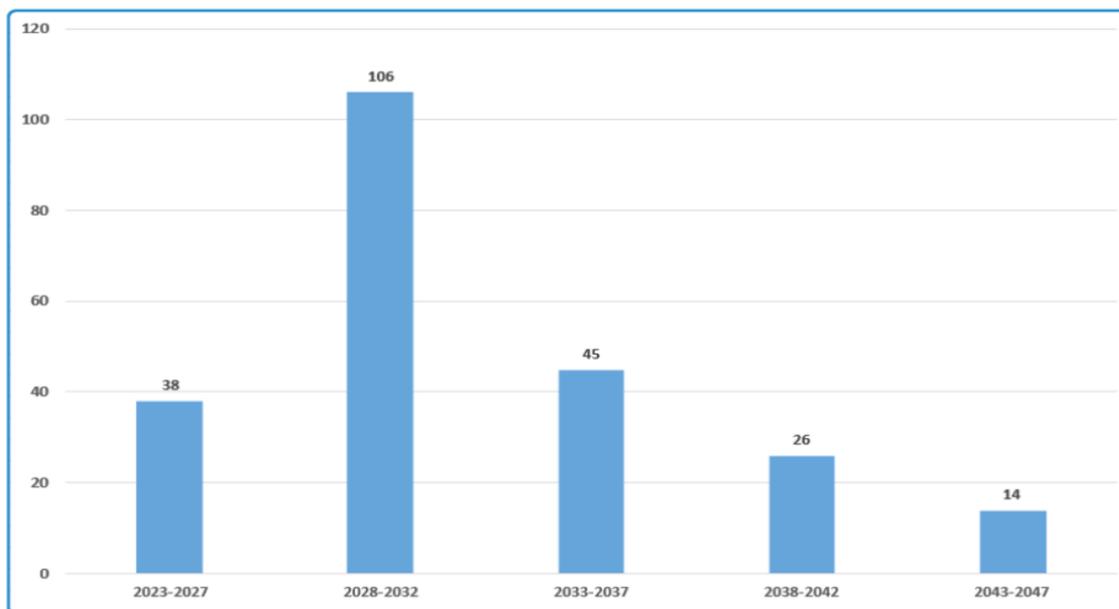


図6.EU28か国－原子炉の早期閉鎖による消費者コスト(単位: 10億ユーロ)

規制的な側面

技術的見地から、原子炉の長期運転は、“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、旧世代の原子炉は、改正された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られる。

原子力発電所の技術的な運転寿命は、投資の経済的合理性と最高の欧州および国際的な原子力安全基準を達成することを目的とした現行の許認可手続きあるい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、“長期運転前”と“長期運転後”に違いはない。

IAEA の定義によれば、長期運転は、評価を行い規制条件が適合した場合に、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。長期運転は、プロジェクトの物理的な側面を変更しないため、大きな変更でもマイナーな変更のどちらでもなく、“長期運転前”の原子力発電所の安全要件は、長期運転中の安全要件と同じか、あるいはそれ以上であることに留意することが必要である。原子炉は、計画停止後など、通常運転に基づいて同じ条件で運転される。

原子力産業は、最高かつ最も厳格な品質保証の原則を適用する点において先駆者である。時とともに、設計および人的側面の両方を包含する、包括的な安全文化を発展させてきた。これに基づき、原子力産業は、世界で 18000 炉年に起きたいかなる事象や事故を十分に分析し、教訓を学ぶことができた。その結果、現在欧州で運転しているプラントは、これらの改善から完全に恩恵を受けており、それらが運転開始した時よりもはるかに安全になっている。

当初の設計寿命に達すると、経年劣化による安全性のレベルまたは技術的劣化のいずれにおいても、クリフエッジ効果がないことを留意すべきである。

供給安定性

長期運転は、EU のエネルギー輸入依存—主に化石燃料—を低減し、送電網に信頼性をもたらす

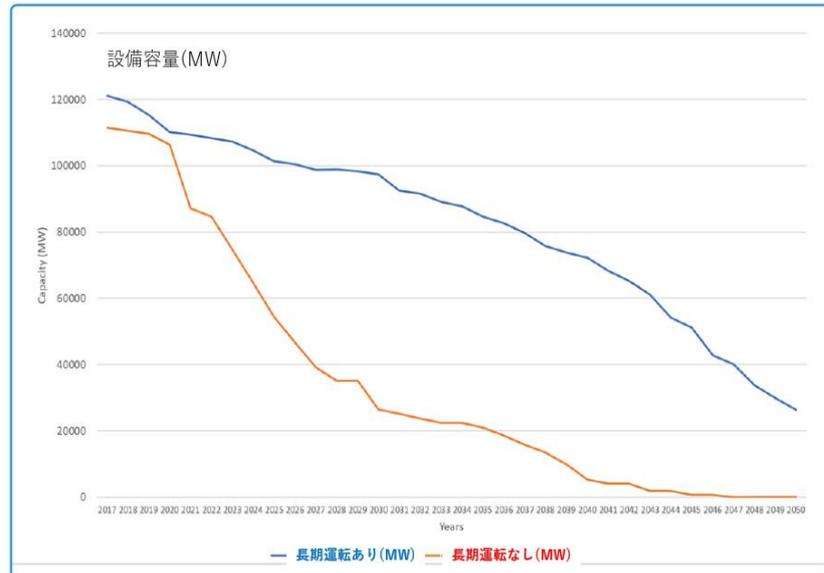


図7.長期運転あり/なしのEU28各国における原子力発電設備容量の予測(FORATOMによる試算)
注1:新規建設は考慮されていない
注2:長期運転の前提として、各国の異なる寿命延長期間の特性を考慮している

図7で示されているように、長期運転あり/なしの原子力発電設備容量のトレンドは、2017～2050年までに漸進的な減少を示している。各国の長期運転予定によると、長期運転ありの原子力発電設備容量は、2050年までにおよそ2500万kWに達する一方、長期運転なしの場合、2046年までに0万kWに減少する。これら2つのシナリオ間のギャップは、2030年にはおよそ7100万kWのレベルまで増加し、その多くは追加の化石燃料の設備容量でそのギャップを埋める必要がある。

FTI-CL エネルギーコンサルティング社が実施した最近の研究結果は、原子力発電設備容量の早期閉鎖は、6兆5000億kWhの化石燃料（ガスと石炭）の消費を増加させる。その結果、次のとおり、欧州の化石燃料への依存度を高めるであろう。

- ・2020～2050年間で電力部門のガスの消費が36%増加
- ・2020～2050年間で電力部門の石炭の消費が18%増加

石炭の輸入が少量である場合、ガスの依存度が非常に高くなる（2017年のEU28か国の天然ガス依存度は、74.4%）。

電力システムの信頼性

低炭素な原子力発電は、電力システムに確実な容量を提供する

電力部門の脱炭素化が、供給安定性を脅かすべきではないことを強調することは重要である。国家エネルギー・気候計画にはこれまで、供給安定性に関する深い分析が欠けている。

多くの加盟国が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、オーストリアにおいて、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。

間欠性の再生可能エネルギーは、供給安定性の観点から、確実な汽力発電の設備容量に置き換わることはできない。例えば、風力発電は、設備容量の10%未満の確実な容量を提供する。太陽光発電の確実な設備容量はゼロ MW である。一方、汽力、とりわけ原子力発電は、設備容量の90%以上の確実な容量を提供する。確実な容量は、最悪ケースのシナリオ（すなわち、最大の需要と供給が少ない日）において、システムで利用できる最小の容量である。

さらに、相互接続は、欧州の供給安定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はできない。本当に、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。

結果として、欧州委員会は、加盟国に対して、各国のエネルギー・気候計画において供給安定性の詳細な分析を盛り込むよう、要請すべきである。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。原子力発電がこのシナリオにおいて果たすことができる役割は、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において、供給安定性を確実にするという点で重要である。

その他の恩恵

経済の循環

原子炉の長期運転は、電力が既存の施設で生産され、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。廃止措置から生じる廃棄物の量、すなわちいわゆる廃棄物強度は、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。

競争力

長期運転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研究によると、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 億ドルに増加する。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 又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

同じデロイト社の研究によると、長期運転の選択によって、原子力産業は、オペレーター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。

課題

長期運転は、EU のエネルギー輸入依存－主に化石燃料の依存－を低減し、また送電網に信頼性をもたらす

規制面

既に述べているように、技術的観点から見て、たとえ長期運転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、原子炉の運転寿命延長については、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。

産業の課題

長期運転なしでは、競争力のある熟練したサプライチェーンを維持することは難しい。十分に維持され、開発されたサプライ・チェーンなしでは、既存原子炉群を最新化する際、問題となる（計装制御の完全アナログシステムのデジタル化やフルスケールシミュレーター、3Dモデル等…）。

雇用

デロイト社の研究によれば、長期運転の雇用は、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、現在の原子炉群の長期運転がなければ失われる。長期運転を進めないと、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、高いレベルのスキルの維持等。同じデロイト社の研究によれば、現在EUにおける原子力産業従事者の約47%が高いスキルを有しているので、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。

産業およびエネルギーの独立性

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、ロシアからのガスと石油のタッグの管理）、長期運転は、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、原子力産業および長期運転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、物理および材料物理研究）。長期運転は、欧州のエネルギーおよび産業の独立性を支援する。

原子力部門に対する特定税

長期運転を進めるかどうかの決定は、経済的な決定である。一部の国では、この決定は、原子力部門のみに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）。

パブリック・アクセプタンス

いくつかのケースにおいて、世論はいつも原子力に対して好意的では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、長期運転は既存原子炉を最新の原子力安全基準に適合させる機会である。加えて、長期運転は、いくつかの国におけるパブリック・アクセプタンスは新規炉の建設よりも既存施設に対してより好意的であるため、好機として検討され得る。

ステークホルダー(利害関係者)の意識

より広く言えば、一つの重要なチャレンジは、長期運転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、そして公衆）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の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。

市場の失敗

市場の失敗に取り組むためにもっとやるべきことがある。とりわけ、卸売価格が低すぎ、再生可能エネルギーの拡大と化石燃料からの転換を促進するのに十分高くない炭素価格のせいでますます予測不可能になるという問題に取り組むために、もっとやるべきことがある。

政策提言

上記の課題を鑑み、FORATOM は、次の政策を提言したい。

- 首尾一貫した、矛盾のない、安定した EU の政策枠組（Euratom 含む）の確保
 - 原子力発電を全てのエネルギー政策議論、とりわけ、EU の脱炭素化目標および供給安定性に関する議論に完全に統合する
 - 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（原子力発電を他技術と平等に取り扱う）を確保する
 - 市場の失敗に再度対処する
- 欧州委員会の気候中立な経済に対する長期的ビジョンに沿って、2050 年の EU の野心的な正味ゼロエミッションの CO₂ 排出量目標に合意すること
 - EU が 2050 年までに気候中立性（炭素排出正味ゼロ）を達成し、2040 年までに電力部門を脱炭素化する軌道に乗っていることを確実にするために、EU の中期(2030 年)CO₂削減目標を引き上げる

- ・すべての低炭素電源形態への平等な市場アクセスと支援を可能にする。これは、より持続可能で費用対効果の高いエネルギーミックスを可能にし、非市場支援スキームの必要性を減らす。
- 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の強力な産業戦略と開発の実施
 - ・ 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、ライセンスや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。このためには、他の国際機関とともに、EU は、原子力発電は 2050 年の低炭素経済において、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、Industry 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