

フランスの経済復興計画の一翼を担う原子力新規建設

概要

目下の第一の関心事は **COVID-19** の健康危機を管理し、ロックダウン措置を首尾よく緩和することであるが、深刻な影響を受けた経済を復興することもまた国家にとって重大な関心事である。危機の渦中、フランスの原子力産業界は（産業界を代表する CSFN¹と GIFEN²を通じて）政府との対話を促してきた。その目的は、病院と救急サービスに通信手段を提供すると共に、大勢のフランス人の在宅勤務や不可欠なサービスの保守を可能にするため、**電力供給という公益事業を確実に継続すること**であった。原子力産業界では、従業員の安全性と、サプライチェーンに携わる多くの中小企業の財務健全性を保証できるかどうかも問題であった。

経済がロックダウン状態から脱するにつれ、経済が回復し、**政府は意欲的な復興計画を策定しつつある**。多くの経済専門家^{3,4}、国際機関（世界銀行⁵、国際エネルギー機関）、専門委員会（フランス気候高等評議会⁶）は、これらの復興計画が満たすべき条件を議論し、危機の社会経済的影響を抑制するための目標を盛り込み、「新世界」への道を開く作業に着手している。この「新世界」が気候目標に沿って経済成長を促すことを目指すのであれば、原子力が中心的な役割を果たす。

フランスの原子力産業界はフランスで三番目の規模の産業部門であり、地域にしっかりと定着した産業として、また有力な輸出産業として、**復興の原動力の一端を担う**。これは特に、「*Grand Carénage*（グラン・カレナージュ）」と呼ばれる原子力フリートの長期運転のためのフランス電力（EDF）の保修および投資プログラムに当てはまる。このプログラムは、年間 40 億ユーロ規模の部門⁷と 1,000 社に上る関係企業の活動にとって重要な原動力となっている。この部門では、2019 年初期に締結された原子力セクターディールの一環として、特にデジタル分野（GIFEN の枠組みにおけるデジタルプラットフォームなど）、訓練・技能分野（「原子力大学」など）において、いくつかの投資プロジェクトも進行中である。

既存の原子力フリートへの投資に加え、2019 年～2024 年フランス複数年エネルギー計画（Programmation

¹ CSFN: フランス原子力産業戦略委員会

² GIFEN: フランス原子力産業協会

³ Thinking post-crisis: 「復興よりも再建」 P.Criqui and S.Treyer, The Conversation-2020 年 4 月 24 日

⁴ 危機の後、「緑のお金のための時間」 Th. Piketty、ル・モンド-2020 年 5 月 9 日

⁵ COVID-19 からの経済復興計画: 「政策立案者のための持続可能性チェックリスト」 Stephen Hammer and Stéphane Hargatte-2020 年 4 月 14 日

⁶ 気候、健康: 「より良い予防、より良い治療-健康と気候リスクに対するフランスのレジリエンスを強化するための公平な移行を加速させる」 フランス気候高等評議会-2020 年 4 月

⁷ EDF-2019 年度決算-40 億ユーロは通常のメンテナンス用の 30 億ユーロと大規模な改修工事用の 10 億ユーロに分けられている。出展: SFEN 「原子力産業の生産コストに関する報告書」 (2018 年 9 月)

pluriannuelle de l'énergie - PPE) により、2021 年中期までに新規原子炉の建設について十分な情報を得た上で決定を下すよう設えられた作業計画が策定された。これらの新規建設により、2030 年から現行の原子力フリートの一部を段階的に再生し、2050 年までに再生可能エネルギーと共に、低炭素の調整可能電源を確保する⁸。現時点で選ばれば、これらの投資は、今すぐに、今後の数年間あるいは数十年間、成長と雇用に大きく貢献することが期待できる。

本 SFEN ポジションペーパーは、原子力新規建設プログラムが復興計画にどのように貢献するかを明らかにするため、SFEN「経済・エネルギー戦略」専門家グループによって作成された。長期的な投資が不可欠となる電力部門に関しては、1929 年の世界恐慌におけるフランクリン・ルーズベルト米大統領の対応から多くの洞察が得られる。ニューディール政策は、「緊急介入、復興、社会計画の根底からの変革（救済、復興、転換）という 3 つの活動分野を推進することを目指した」⁹。本ポジションペーパーでは、最後の 2 つの目標（復興と転換）を重点的に取り扱う。

まとめ

提案された原子力新規建設プログラムを 6 基の EPR から開始する決定は、フランス経済に効果的な刺激となる。その影響は、長期戦略目標に沿って 2021 年以降に重大なものとなる。

1. 戦略的インフラである EPR の建設により、原子力サプライチェーンに多くの短期雇用が創出され、フランス企業のシェアが 80%を超えると予想される。産業部門における危機の影響が緩和される。最初の EPR の試運転により、産業界にとって重要な時期に部門の技能が集約され、多くの教訓が得られ、原子力新規建設の競争力を確保するために必要な一連の効果が誘発される。また、バリューチェーンにおいて輸入率が最も低い分野の 1 つである原子力新規建設は、経済の他の部分、特にプラントが建設される現地レベルで大きな波及効果を及ぼす（フランスの場合、原子力に 1 ユーロ投資すると、経済に 2.5 ユーロが創出される）。プログラムは、2021 年中期の決定に向けて、いくつかの主要なマイルストーンをすでに達成している。
2. COVID-19 騒動後の「新世界」を巡って進められている議論では、原子力エネルギーは 3 つの重要事項を満たしている。すなわち、原子力エネルギーは、フランスの気候目標を達成するための主要要因の 1 つであり、将来の危機的出来事に対して電力システムのレジリエンスを保証するために不可欠であり、フランスのエネルギーおよび産業主権の屋台骨を担う。さらに、原子力産業界は、欧州の産業復興戦略を支え、インダストリー4.0 に競争力のある低炭素電力に加え、産業革新の技術と専門知識をもたらす。

原子力界は経済復興の取り組みに人員を投じて参加し、社会の転換に貢献する用意が整っている。

⁸ SFEN 報告書「フランス原子力産業の再生をいつ決定すべきか?」-2019 年 4 月

⁹ 危機後のことを考える:復興よりも再建 P.Criqui and S.Treyer、The Conversation-2020 年 4 月 24 日

1. 新規原子炉建設プログラムを開始することは、2021 年からの社会・経済復興に有効な手段となる

前書き：戦略的インフラはこれまでも復興計画の中核をなしてきた。現在は原子力がこの役割を果たさなければならない。

インフラへの投資は、当初から復興計画の要であった。ルーズベルト大統領のニューディール政策¹⁰には、1933 年のテネシー川流域開発公社（TVA）設立が含まれており、1930 年代および 1940 年代に多くのダムが建設された。終戦の時点で TVA は米国随一の発電事業者となっており、特にアルミ製造工場（電気分解）に電力を供給し、地域開発に貢献していた（1,000 km 以上の水路が建設され、植林が行われ、耕作法が改善された）。第二次世界大戦後に欧州で実施されたマーシャルプランにも同じことが言える。フランスにおけるもう 1 つの例として、フランス「栄光の 30 年」始めの水力発電ダム建設が挙げられる。

2008 年金融危機後の復興計画では、フランス政府¹¹は 7 億ユーロを低炭素交通インフラとエネルギー効率に投資し、4 億ユーロを道路計画（修復および新規）に投資した。

原子力フリートは、フランスの主要戦略インフラの 1 つである。19 サイトで 57 基の原子炉が稼働し、需要に応じて一日中使用できる低炭素電力を発電している。原子力フリートは、都市部（フランスの総人口の 4 分の 3 以上）と 250 社以上の法人顧客に電力を供給する。これは送電系統運用者（RTE）に直結する 530 施設に相当する。安定した電力を手頃な価格で供給することにより、フランスの産業界の競争力に貢献している。さらに、その環境影響は、CO₂ 排出量、騒音、視覚公害、原料の消費量、設置面積などから見て、産出するエネルギー量（主要先進国の電力の 75%）に対して最小限に抑えられている。

新規原子炉の建設は、フランス I4CE など、多くの機関から提案される持続可能なインフラプロジェクトを通じて、経済復興に向けた措置と全面的に足並みを揃えて実施される¹²。審査中のプログラムには、3 サイトに 2 基ずつ、6 基の EPR の建設が含まれる。これは、現在のフランスの原子力フリートの 15%あるいは 10GW の発電能力の再生に相当する。現在のところ、三箇所のフランスの地域であるノルマンディー（パンリー発電所）、オー＝ド＝フランス（グラブリーヌ発電所）、オーベルニュ＝ローヌ＝アルプ（稼働中の複数のサイト）がプロジェクトを受け入れる意向を示している。

原子力界全体（官民のステークホルダー）でのプログラムへの年間投資総額は建設段階で年間 20 億ユーロ¹³と概算されている（念のため記すと、フランスの再生可能電力エネルギーへの公共支出は 2020 年だけで 50 億ユーロ以上と推定される¹⁴）。

したがって、2021 年のプログラム開始は、原子力部門と他の産業部門に二重の経済的刺激効果をもたらす。

1.1 原子力部門に属する企業各社への波及効果

初期には毎年、エンジニアリング作業、機器製造の開始、用地造成に数億ユーロが投入される。さらに、主要建設プログラムは 20 年間に及ぶものと見込まれ、複数メーカーとの枠組み契約実施が想定されることから、2021 年以降、原子力部門に属する企業各社がプログラムに要求されるサプライチェーンと技能に投資するために必要な見通しが立つ。

¹⁰ フランクリン・デラノ・ルーズベルト大統領が、大恐慌の影響を受けた米国への介入政策につけた名称

¹¹ 回復計画に向けて 7-2008 からの学習、14CE-Q.Perrier-2020 年 4 月

¹² I4CE - 「気候への投資は、危機から抜け出すのに役立つ」 同研究所は、建物の熱改修や再生可能エネルギー設備の建設と並行して、新しい公共交通インフラの建設や鉄道路線の改修を提案している。

¹³ 20 年間に及ぶ平均コスト 4,500€/kWe（7 年間の建設、各原子炉間に 2 年間の遅れ）を基準とした SFEN の推定額

¹⁴ フランスエネルギー規制委員会（CRE）、審議番号 No.2019-172-2019 年 7 月

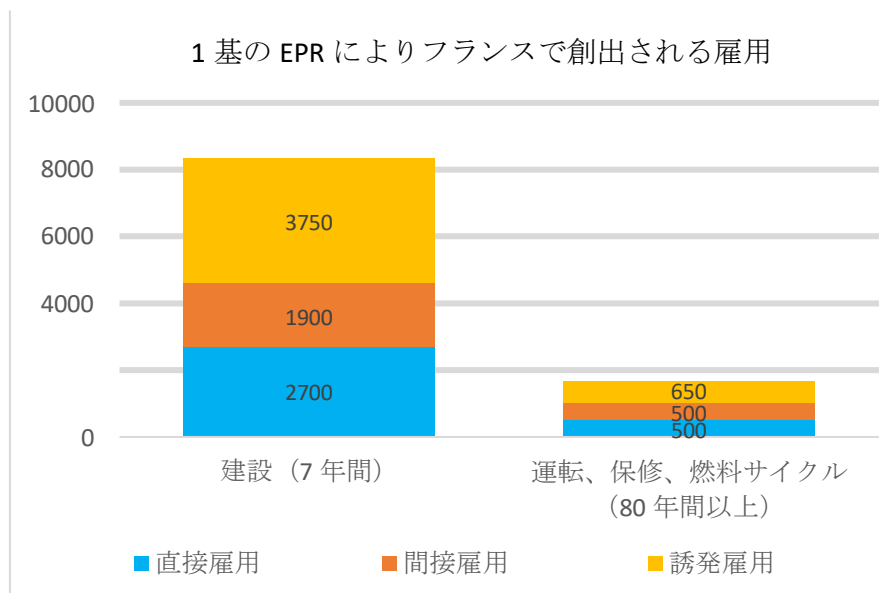
1.1.1. EPR プロジェクトでは、短期的および長期的に多くの雇用がフランスで創出される

フランスには、3,000 社¹⁵から構成される完全に統合された産業部門があり、そのおかげで原子力発電所の設計・建設にかかわる専門技術を育成することが可能である。フランスで三番目の産業部門として、220,000 人分以上の直接および間接雇用を創出している¹⁶。

PWC 社によると¹⁷、フランス国内での EPR 建設におけるフランス企業のシェアは 80%であり、他のエネルギー部門に比べて非常に高くなっている。フランス経済・財務省¹⁸は、2015 年末時点のフランスでの付加価値は、既設の風力発電基地では 40%、地上太陽光発電所では 47%であると述べた。これらの部門では、フランスは、タービン羽根やソーラーパネルの製造などの主要技術において、依然として外国のステークホルダーに依存している。

EPR プロジェクトでは、研究段階と建設段階（平均 10 年間程度）で平均 8,350 人分の雇用（直接、間接、誘発）が創出される。多くの雇用は、建設段階の上流で創出される。エンジニアリングチームは、予備プロジェクトの準備を完了し、必要な現場測量と調査を実施する。そして、最初の 5 年間、これらのチームは規制分析、スケールモデリング、計算、計画を継続する。土木工学チームは、掘削作業と取水口、通路、建屋の建設を行う。機器メーカーと組み立てチームは、作業期間中を通じて（配管などのために）現場にとどまる。適用される規制要件と業界規格・基準に沿って実施される作業の適合性を保証することを目的として、検査および認定機関も同じく現場にとどまる。建設およびプロジェクト管理チームも常駐する。

建設段階（7～10 年間）が過ぎてからも、EPR プロジェクトでは長期的に雇用が創出される。運転段階（最低 60 年間）には、1,600 人分の常勤、有資格の再配置不可能な雇用が含まれる。



1.1.2. EPR 建設プログラムにより、他の部門における危機の影響が緩和される

原子力産業界は、3,000 社以上のフランス企業からなる統合サプライチェーンに依存している。その 80%以

¹⁵ 出典:CFSN 2019

¹⁶ GIFEN/CSFN 作成:2018 年のデータ

¹⁷ フランスにおける原子力の社会経済的重要性（PWC 社）2011 年 5 月

¹⁸ エネルギー転換法の産業機会（CGE）2017 年 2 月

上は中小企業であり、航空、自動車、化学、造船、鉄鋼、石油・ガス部門など、他の主要産業部門にもサービスを提供している。原子力発電部門の累積取引額は約 475 億ユーロである一方で、そのシェアは会社ごとに異なる。取引額が事業者の業務の半分ほどに相当するとすれば、大企業と中企業のシェアは約 20%、中小企業のシェアは約 10%となる。原子力建設業務は、他の産業部門が直面している重大な危機を緩和するのに役立つ。5 月上旬¹⁹に自動車産業は、フランス国内の売上が 3 月に 70%以上低下し、4 月に 84%低下したと発表した。5 月上旬、航空交通量の急減と注文延期の脅威を受け、エアバス社の社長が「航空機産業は歴史上最も深刻な危機に直面している」と表明し、従業員に会社が存亡の危機に立たされていると知らせた。

原子力施設は技術資源を強く必要としている。監査法人 EY 社が行った 2019 年調査²⁰によると、大規模なエネルギー生産設備（原子力、ガス、洋上風力）における上流の労働力需要は、プロジェクトの複雑さに応じて増加している。原子力部門は、継続訓練への投資を活かすことができる。年間に従業員 1 人あたり平均 9 日程度の訓練に投資しており、これはフランス平均の 3 倍に相当する。さらに、新規原子力プロジェクトは、業務の見通しと長期的安定性によって、工業設備への投資を支える。

1.1.3. 技能を集約し、原子力新規建設の競争力を強化するには、2021 年に決定を下す必要がある

原子炉の建設には、保修と廃止措置に必要なものとは異なる固有の技能と能力が必要となる。2019 年 10 月にジーン・マーティン・フォルツが作成した報告書²¹で詳細に分析されているとおり、フラマンビル発電所が直面した課題により、欧州で 20 年間にわたって新規原子力建設が行われていないことで技能に悪影響が生じていることが明らかになった。原子力産業界は、大規模プロジェクトの管理、安全試験、品質保証、材料特性、照射時の機器挙動など、非常に厳格な要件を遵守している。その結果、オルキルオト OL3 とフラマンビル FLA3 に EPR を建設するため、原子力サプライチェーン全体を再構築する必要が生じた。

SFEN のために BCG 社が実施した調査²²では、2018 年中期中に原子力部門に属する企業各社に聞き取り調査を行った。原子力部門はフラマンビルのために建設技術を刷新していることが分かった。しかし、原子力新規建設に関する決定が下されていない状態にあって、これらの企業は石油・ガスなどの他部門にチームを振り分けようとした。これらの部門は現在、困難に直面しており、このことからフランスの産業界がさらされている課題が浮き彫りになった。

そのため、危機が発生する以前にも、SFEN は、産業界への投資と必要な資源（特に人員補充と訓練）の投入を促し、予定どおりに期待される実施レベルで建設を進めるため、原子力新規建設プログラムに関する決定を下す必要があることを強調していた。また、期待される一連の効果（競争力の獲得）の利益を完全に享受し、フランスに低炭素の長期的で手頃な電力供給を保証するためには、少なくとも三組の原子炉の建設を最適な時期に行わなければならないことも強調していた。

1.1.4. 新規建設プログラムは、いくつかの主要なマイルストーンをすでに達成している

¹⁹ ユジーヌ・ヌーヴェル (Usine Nouvelle)

²⁰ エネルギー転換支援:エンジニアリング企業の雇用とスキルニーズのインベントリ、OPIEC に代わって EY が社調査 - 2019 年 9 月

²¹ 「フラマンビル EPR の建設」、Jean-Martin Folz の報告書 (Bruno Le Maire と Jean-Bernard Lévy に提出) - 2019 年 10 月 28 日

²² SFEN 報告書「フランス原子力産業の再生をいつ決定すべきか?」 - 2019 年 4 月

復興計画の重要な条件の一つは、短期的な景気刺激を支えられることである。これは、フランスの原子力新規建設プログラムにも当てはまり、既にいくつかの主要なマイルストーンを達成している。

以下に述べるとおり、原子力新規建設プログラムは、いくつかの主要なマイルストーンですでに重要な進展を遂げている。

- **フランスは独自の技術を保有している**：原子力部門は、第 3 世代原子炉モデルを保有し、現在、産業界でその性能を実証している。2 基の台山 EPR が中国で商業運転しており（2018 年 12 月から稼働）、フラマンビル発電所はホット試験を問題なく完了した。初期のプロジェクトから得られた教訓を活かすため、フランスの産業界は単純化され最適化された EPR として EPR2 に取り組んでいる。この原子炉では、比較可能かつ追加的な安全要件により、設計段階で産業界での制約を集約し、より簡易的かつ経済的に建設することが可能となる。EPR2 はすでにフランス原子力安全庁（ASN）による初回審査を受け²³、2019 年 7 月に初期評価が発行された。
- **原子力サプライチェーンの準備が整っている**：フランスとフィンランドの EPR プロジェクトを背景として、EDF と Framatome 社は、「原子力品質」レベルの機器とサービスを提供する 600 社以上のサプライヤーを認定した。原子力産業界は、大規模プロジェクトの管理、安全試験、品質保証、材料特性、放射線下における機器の挙動など、非常に厳格な要件を遵守している。多くの企業が人員募集や社内訓練プログラムを通じて技能に投資している。
- **原子力部門は品質基準と性能に投資している**：フラマンビル EPR の建設時に直面した課題は、複数の監査の対象となった（ジーン・マーティン・フォルツによる 2019 年 10 月の報告書を参照）。GIFEN でグループ分けされた産業部門が産業品質、技能、主要プロジェクトの管理からなる、特定された 3 つの主な問題にひとつずつ対処できるよう、2019 年 12 月より 1 億ユーロ規模の 2020-2021 年「Excell」計画が実施されている。

上記の各要点と並行して、またそれらに追加して、将来の原子炉の費用を低減するために多くの対応が講じられている。最近の SFEN 報告書²⁴は、この件を重点的に取り上げている。各種のリスクが最適なステークホルダーによって分担されるよう、教訓を要約した上で、安全規制の安定性と予見可能性、サプライチェーンの再編成、最近のプロジェクトの教訓の集約、コンセプトを再度最適化するための新技術および手法の導入、契約を取り仕切る新組織の設立など、新しい視点に基づく対応を強調している。同報告書は、過去のプロジェクトと同様、他のコスト削減要因が重要な役割を果たすとも強調している。オルキルオト 3 号機とフラマンビル 3 号機の 1 基ごとのプロジェクトとは異なる 2 基のプロジェクトや、新規建設プログラムの可視性と進捗の速度から得られる一連の効果などの要因が挙げられる。同報告書は、30%のコスト削減目標を達成できると解説している。この場合、1 kWh あたりのコストに関しては、発電コストが約 70 ユーロ/MWh となり、他の発電手段と比較して系統コストが非常に低くなる。

²³ 意見書番号 2019-AV-0329、フランス原子力安全局-2019 年 7 月 16 日

²⁴ SFEN 報告書「フランスにおける新たな原子力のコスト」-2018 年 3 月

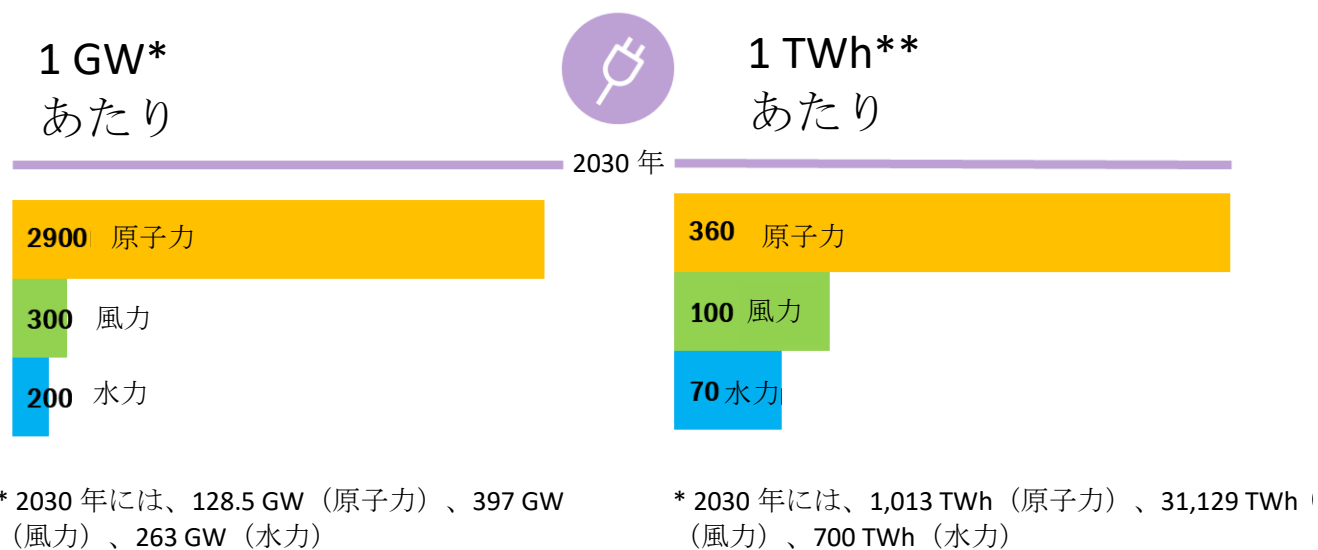
1.2 他部門への経済的な波及効果

1.2.1 全国レベル

Deloitte 社²⁵の最近の調査によると、フランスでは、原子力に1ユーロ投資するごとに他部門に2.5ユーロが創出されると報告している。2019年、フランスの原子力産業界がGDPに占めるシェアは480億ユーロと推定される。約1,750億ユーロ、すなわちGDPの7%以上の経済に（直接および間接の）影響を及ぼした。このマクロ経済的影響は、以下の要因の組み合わせによって生じる。

- フランスでは、原子力サプライチェーンの現地化レベルが高い。
- 原子力フリートが水力発電と共に、産業用電力と家庭用電力の価格の競争力に寄与している。念のために記すと、2019年のドイツの家庭用電力価格は、フランスより70%以上高かった²⁶。
- 資格認定のレベルが高いため、他の電力部門（および産業全般）と比較して収入が高い。原子力産業界での資格認定レベルは、産業全般平均の2倍ほどであると推定される。

新規原子炉への投資プログラムにより、近い将来にマクロ経済的影響がさらに強化される。Deloitte 社の調査では、欧州の原子力フリートで再生が進み、それと並行して風力発電産業が発展するシナリオの場合、2030年までに欧州の原子力部門における1TWhあたりの波及効果が風力の3.6倍になると予想されている。この時点までに、原子力のTWhはGDPに3億6,000万ユーロ寄与するが、風力では1億ドルにとどまる²⁷。この結果も、EU域内の原子力サプライチェーンの現地化レベルが高いことで説明がつく。



原子力、風力、水力の欧州GDPへの寄与（単位：100万ユーロ）
（1GWまたは1TWhあたり）

1.2.2 地域レベル

全般的に、原子力発電所と原子力部門に属する各社の事業はフランス全土に分散しており、施設は経済的課題を抱える地域に立地することが多い。原子力発電所は、地域で間接雇用および雇用誘発も創出する。フェッセンハイム（オー＝ラン県）発電所で実施された調査によると、稼働中に5,000人分以上の雇用が誘

²⁵ 「低炭素電源の原子力への投資は欧州における雇用と経済成長を生み出す」、FORATOM（欧州原子力産業会議）、2019年4月

²⁶ ユーロスタット 2019

²⁷ 新たなダムの建設計画（もしくは既存のものの置き換え）がないため、水力発電への影響はより限定的である。

発された。

新規建設ということになると、原子力発電所の地域的影響はさらに大きなものとなる。

- 2017 年にノルマンディー商工会議所によって実施された調査²⁸によると、フラマンビル EPR の建設現場作業員は、2016 年のピーク時には **4,600 人**に達した。金融危機のあった 2008 年夏に開始された主要「Grand chantier（グラン・シャンティエ）」現場作業プログラムでは、地域の 1,000 人の失業者に訓練を実施し、現地作業員を募集して訓練することができた。
- この危機の後、2008 年～2015 年には、全国レベルで求職者が 200 万人から 350 万人へと増加し、雇用契約が減少したが、**シェルブール（マンシュ県）地域は期間中に安定した雇用数を確保した**。特に、2008 年～2013 年には産業関連雇用が地域および全国レベルで 10%の減少を記録したが、シェルブール地域では、総雇用の 20%近くに相当する産業関連雇用が維持された。
- ノルマンディー商工会議所が行ったコタンタン半島の企業への聞き取り調査によると、平均で取引高の 10%以上を占めるフラマンビル・サイトのおかげで、半数の企業が他のサイトでの業務減少の悪影響を受けた際に財務構造を強化できたことが明らかになった。また、60%の企業が新たな市場機会を創出することができた。

2. 原子力フリートの再生は、長期的な転換目標の一部である

「復興」の必要性のほかに、多くの経済専門家と機関は、景気刺激パッケージに関して、長期的な転換条件を取り入れることの重要性を強調している。「健康、社会、あるいは気候にかかわる他の危機が単独または複数で起こる世界にあって、社会経済システムを再検討する²⁹」ことである。

これらの提言は全般的に、気候目標への取り組み、技術的レジリエンスの必要性、産業主権の原則という三つの主要な問題を網羅する。**原子力は、これら三つの問題のすべてに有利に働く。**

2.1. 2050 年までにフランスと欧州のカーボンニュートラル目標を達成するには、原子力フリートの再生が不可欠である

2020 年 4 月、フランス気候高等評議会³⁰は、「迫り来る経済、社会、金融ショックに対応するためには、危機の終結と復興に気候非常事態への対策を組み入れなければならない」と述べた。評議会は、「低炭素使用に有利なレジリエンスを備えるインフラ」に投資を振り向け、「長期的な移行作業に不可欠な部門と事業者を優先しなければならない」ことも明らかにした。

フランスでは、発電インフラがすでに低炭素化されている：フランスの平均 CO2 排出量は 50g/kWh 未満であり³¹、近隣諸国を下回る（ドイツの 400g/kWh やイタリアの 260g/kWh）。この実績は主に、原子力フリートでの発電と再生可能エネルギー（水力、太陽光、風力）によるものである。

原子力エネルギーは、経済成長を CO2 排出から切り離す（デカップリング）ために役立つエネルギー技術

²⁸経済影響調査「大規模 EPR」プロジェクト（2017 年ノルマンディー商工会議所が実施）

²⁹継続性、レジリエンス、冷静さ：「危機の世界の地平線」、Patrice Geoffron と Benoite Thiron、La Tribune（ラ・トリビュン）-2020 年 4 月 6 日

³⁰気候、健康：より良い予防、より良い治療、フランス気候高等評議会-2020 年 4 月

³¹欧州電力セクター 2019 アゴラ・エネルギーヴェンデ

の1つである：1980年～1985年に、フランスはGDPが定常的に8%成長したにもかかわらず、CO₂³²排出量の20%削減を成し遂げた。フェッセンハイム原子力発電所の試運転以降の10年間で、フランスは原子力プログラムのおかげで、発電における化石燃料の比率を55%から10%へと低下させることに成功した。IEA事務局長³³は2019年³⁴、3%の成長にもかかわらず世界のCO₂排出量が安定したとも強調した。これは、電力部門が主な寄与要因であった。排出量の減少は、再生可能エネルギー（主に風力と太陽光）の開発、石炭からガスへの置き換え、原子力発電の増加（日本、韓国、中国）による。

化石燃料（石油、ガス、石炭）の消費量を低減する電力ソリューションの開発は、経済成長とCO₂排出をさらに切り離す手段である。フランス国家低炭素戦略（SNBC）は、2050年までのフランスのエネルギー構成の長期的な道筋を示し、電力消費量が現在のレベルから約30%増加することをすでに予測している。それまでに、家庭での使用と個人輸送手段を電力ベースにしなければならない。現時点で、復興計画で提案された多くの手段は、新たな暖房手段（ヒートポンプ）、移動（電車、都市輸送、電気自動車）、水素開発（現在は化石燃料から作られている）など、すでにカーボンフリーの電力をベースにしている。この問題は最も重要であり、再生可能エネルギーに大きく頼ることになる。再生可能エネルギーの役割は著しく増すことになる。同時に、原子力との相乗効果を極大化していかなければならない。

低炭素電力が脱炭素化で長期的に役割を果たしていけるよう、フランスは、原子力新規建設プログラムの開始をこれ以上遅れることなく決定しなければならない。2050年までに、既存の原子力フリートの大半は稼働60年に達する。1980年代に原子力フリートの建設が急速に進んだことに関連して、2040年代初期に「クリフェッジ効果」（ある状態から別の状態へ急激に移行する現象）が生じると考えられる。原子力発電能力と共に、新しい低炭素技術と再生可能エネルギーによって、原子力を再生しなければならない。2030年から2050年までに技術・経済進歩が予想されとしても、現時点では、変動性再生可能エネルギー、新しい貯蔵技術、バイオガス、および/または化石燃料を炭素回収・貯留（CCS）と排他的または大量に組み合わせるシステムの実現可能性、堅牢性、コスト、正確な限界は分かっていない。現在のところ、主要国際機関（OECD/IEA、EU、IPCC）は、2050年までに電力部門の大規模な脱炭素化を達成するには、あらゆる低炭素技術（再生可能エネルギー、原子力、CCS）を導入しなければならないと考えている。この技術の利用と実績の世界基準となっているフランスがそのような導入を進めない理由は見当たらない。

原子力新規建設プログラムの開始に関する決定を遅らせる（または決定を下さない）と、フランスは温室効果ガスへの重大な影響を伴うガス火力発電所の新規建設を急遽開始せざるを得なくなる。このような状態は、原子力発電所の再稼働が遅れている日本や、米国のニュージャージー州とニューヨーク州³⁵に見られ、まもなくベルギー³⁶でも生じらるだろう。

2.2. 将来的なショックに対する電力システムのレジリエンスを保証するには、原子力フリートの再生が必要である

このような複数の新たな不確実性に直面して、予期しないショックに直面したときのレジリエンス、特に外的ショックに抵抗する堅牢性と組織を適応させる柔軟性という2つの重要な条件を重点的に取り上げることが妥当である。また、特定の発電インフラのレジリエンスと電力システム全体のレジリエンスへの寄

³² 世界銀行:CO₂ 輩出量は 1980 年の 505 Mt から 1985 年の 401 Mt へ、同期間の GDP は 1.48 兆ドルから 1.60 兆ドルに増加（2010 年のドル価格で）

³³ 「今こそ世界が必要とする経済回復を計画する時である」、IEA-2020 年 4 月 27 日

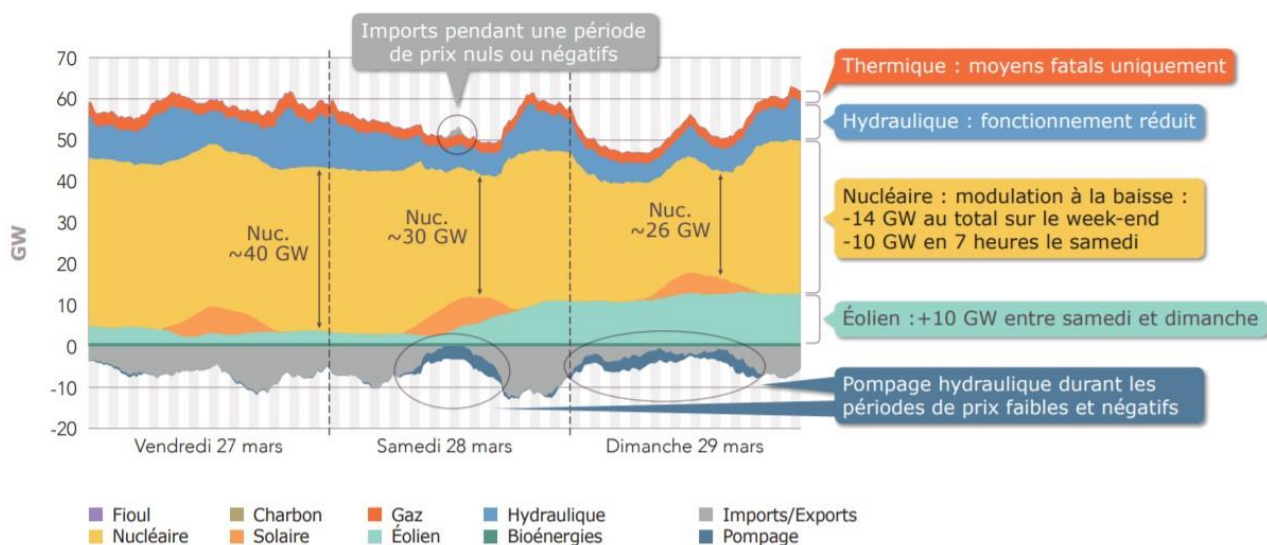
³⁴ IEA-2019 年の世界の CO₂ 排出量-2020 年 2 月

³⁵ RGN 誌 2020 年 4 月 27 日 -コロナウィルスの真ん中で、インディアンポイント原子力発電所を閉じるのは間違い

³⁶ Les Echos（レゼコー）：エンジ社とエネコ社が脱原発時代に備える-2020 年 4 月 17 日

与度を区別する必要がある。後者において重要な要因となるのは、このインフラがシステム全体のレジリエンスにどの程度貢献するかである。

COVID-19 危機を通じて、原子力フリートは、新たな状況にすみやかに適応し、電力の安定供給を維持するための堅牢性と高度な柔軟性を実証することができた。産業界は、フランス原子力安全局（ANS）の管理下で、原子力フリートの非常に高い稼働率を保証しつつ、組織とプロセスを迅速に適応させ（現場に勤務する従業員数の制限、在宅勤務の優先順設定）、プラントのスケジュールを修正した。原子力フリートは、電力消費量が減少するという前例のない状況に適応し、グリッドへの優先接続が与えられた変動性再生可能エネルギー（風力と太陽光）の比率が高く、マイナス価格がたびたび発生する電力システムでも運営することができた。期間中、原子力フリートは、需要の変動と再生可能エネルギーの発電量に応じて、発電量を常に調整することができた。たとえば、フランスでは、2020 年 3 月の最終週末に、主にフランスと近隣諸国での太陽光と風力の変動に対応して、原子力フリートは（その時点で使用可能であった原子力設備容量の 40GWe のうち）14GWe の負荷追従を行った。IEA は、この期間中、欧州では原子力エネルギーが柔軟性をもたらす主要な供給源の 1 つであったと強調した³⁷。この注目すべき（そして見過ごされがちな）設備能力は、再生可能エネルギーと結びつく。水力と共に、他の低炭素エネルギーの開発を可能にするという新しい原子炉供給の考え方そのものである。



2020 年 3 月 27 日（金）～3 月 29 日（日）のフランスの発電構成（出典：RTE）

2050 年までに、電力システムは、重大な課題と先例のない不確実性に直面する。脱炭素化の課題以外に、変動性再生可能エネルギーの比率が高まりつつあり、電力の安定供給を常に保証してきた調整可能な発電手段の比率が減少し始めている。グリッドは本当のパラダイムシフトに直面することになる。同時に、フランスは以下の 3 段階で、不確実性の大幅な増加に直面することになる。

- フランスの近隣諸国の戦略と相互接続設備の開発にかかわる不確実性。これは、フランスはもとより、広く欧州でも電力の安定供給に多大な影響を及ぼしている。コンサルティング会社の FTI- Compass Lexecon 社によると、石炭の使用を取り止める欧州の決定により、使用可能な調整能力が 110GW 減少する。いくつかの近隣諸国は、原子力設備を閉鎖することも発表している。

³⁷IEA 世界エネルギーレビュー2020

- **電力需要と市民の期待にかかわる不確実性。**フランスの低炭素戦略では、主に自動車と家庭/第三次部門が電化され、さらに他のエネルギーベクトル（特に電気分解による水素）の開発が支援されることに伴い、2050年までに電力消費量が30%増加すると予想されている。社会変化に関しては、生活様式の変化や市民の期待にかかわる重大な不確実性が残っている。また、他の低炭素ソリューション、特にバイオマスに関して重大な不確実性があることから、電気ソリューションがいつそう必要とされる可能性もある。
- **技術・産業にかかわる不確実性：**フランスの再生可能エネルギーの長期的可能性、当日および週間の電力貯蔵の開発、パワーツーガスによる季節間のエネルギー貯蔵、相互接続能力の開発に関する不確実性がある。

FTI Compass-Lexecon 社が SFEN のために行ったシナリオ作業により、原子力フリートを適時に再生する決定を下さなければ、電力の安定供給に関して、フランスが非常に重大なリスクにさらされる可能性があることが判明した。

- **風力と太陽光が限界に達する：**今後数十年で使用可能な用地が飽和し、近年の傾向から見て、ドイツと同様にフランスでも、これらのプロジェクトが受け入れの制約により制限される可能性がある。
- 柔軟性への対応が必要となる管理は、**技術的に、また工業規模で実証されていない技術への大きな賭け**になる。これは特に、長期貯蔵ソリューションを提供するものの、現在は技術実証段階にあるパワーツーガス技術に当てはまる。

さらに、電力システムのリスクは、欧州レベルでの国家電力構成が集中することによって増大する。モデル化を通じた調査により、原子力オプションを放棄すると、この状況が悪化することが分かっている。フランスの原子力フリートの再生は、2035年以降、フランスの電力の安定供給に向けた産業的に成熟した解決策と言える。フランスの新規建設プログラムでは、今世紀半ばまでに原子力設備容量の30%で（エネルギーの）電力構成の50%を賄うオプションを提案している。したがって、「すべて原子力」の政策を支持するわけではない。むしろ、その目的は、産業的規模でのパフォーマンスが実証されており、今後も電力システムのレジリエンスを支えていく低炭素技術による選択肢を維持しておくことである。

2.3. 欧州の原子力フリートの再生は、フランスのエネルギーおよび技術主権を維持する上で不可欠である

原子力エネルギーは、フランスのエネルギー主権の屋台骨を構成する。

- これまでも、そして現在も、フランスは、**世界のエネルギー市場の不確実性および関連する地政学的リスクから自国を守っている**：オイルショックとカウンターショック、ガスの増産、また最近ではシェールオイルの増産がある。1970年、フランスの電力の3分の2は石油燃料（石炭、石油、ガス）を使用して生産されていた。原子力によって、このシェアは現在ではわずかに7%となっている。フランスは、消費するほぼすべての炭化水素を輸入しており、2016年には石油とガスの輸入額が320億ユーロに上った。
- ウラン価格の影響は小さなものであり、**総発電コストの5%**でしかないため、原子力発電のコストはきわめて予測しやすい。また、ウラン市場は他の原料の市場とは異なり、地政学的リスクが低く（海中の未確認の資源を除き、現在のウラン埋蔵量の40%以上はOECD域内にある）、大半の取引は数十年間の長期契約でカバーされる。

- フランスはきわめて堅牢なウランサプライチェーンを保有している：短期的には、EDF は、フランス国内に 2 年間の発電に相当するウラン在庫を保有している。比較して、炭化水素の備蓄量は、フランスの年間消費量の半年分未満である。フランスは、使用済燃料をリサイクルして天然ウランへの依存を軽減しており、フランスの原子力の電力の 10%はリサイクル燃料から作られる。また、フランスは、最新の国内転換・濃縮の能力を利用して、天然ウラン消費量の 5 年分をいつでも置換できる劣化ウランの戦略的在庫を保有している。中期的には、Orano 社を通じて、年間消費量の 30 年分に相当するウラン備蓄量のポートフォリオを有している。長期的には、確認済みのウラン資源は世界消費量の 130 年分、期待資源も合わせれば最高 250 年分となる。

原子力エネルギーは、フランスのエネルギー主権、さらには欧州の産業主権の屋台骨を構成する。

- フランスには、発電、ウラン濃縮、リサイクルを含む燃料加工に使用する独自の施設の設計および建設の専門技術を開発できる完全に統合された原子力産業部門がある。
- 原子力は、フランスが国際競争優位性を持った低炭素エネルギー部門である。この分野での世界的リーダーであることを考えると、フランスが原子力の競争優位性を高めることに関心を持っているのは、いっそう重要なことである。世界有数の原子力発電事業者である EDF は、その運営と安全性における経験を認められ、各国（中国、南アフリカ、アラブ首長国連邦など）にそれを求められている。燃料サイクル分野の Orano 社と主要機器製造分野の Framatome 社にも同じことが言える。部門の 50%以上の企業が輸出に従事し、部門全体で毎年、商品とサービスで約 50 億ユーロを輸出している。
- 新規の原子炉を建設する工業力は、フランスの技術主権だけでなく、欧州の主権にかかわる戦略的資産でもある。欧州委員会の EUCO30 脱炭素シナリオによると、EU が目標を達成するには、2050 年にフランス国外の 70GW の新規原子力を含め、110GW の原子力を必要とする。フランスは、統合サプライチェーンを有する欧州最後の国である。しかしながら、フランスは、産業プログラムが不足しているため、第 3 世代原子炉の連続建設能力をまだ利用できていない。対照的に、ロシアの Rosatom 社は過去 14 年間に 15 基の新規原子炉を試運転し、30 件程度のプロジェクトが国際的に進行中である。
- 原子力部門以外でも、原子力エネルギーは、フランスの産業復興と「産業主権」のための重要インフラである。原子力エネルギーは、将来のインダストリー4.0 に低コストの電力供給を保証する。他の部門との大規模な波及効果により、専門技術とイノベーションの重要な発生源にもなる。

フランスのシンクタンク、IFRI 社は、2019 年のエネルギー転換に関する報告書の中で、「原子力産業界は主権、バリューチェーンの管理、雇用、価値創成の面で莫大な資産となっている」と指摘した³⁸。

³⁸ エネルギー転換の戦略的側面:フランス、ドイツ、EU の課題と対応（Marc Antoine Eyl-Mazzega、Carole Mathieu 共著、IFRI、2019 年 4 月）



本文書について

本ポジションペーパーは、2020 年 4 月および 5 月の SFEN「経済・エネルギー戦略」専門家グループ（ST8）での議論の成果として作成された。

お問い合わせ先—sfen@sfen.org