A Mycle Schneider Consulting Project
Paris, September 2021

The World Nuclear Industry
Status Report 2021 概要と結論 （仮訳：日本語）

MacArthur Foundation | NRDC | HEINRICH BÖLL STIFTUNG | EWS Elektrizitätswerke Schönau | THE GREENS/EFA in the European Parliament | SES energiestiftung.ch

概要と結論

*『世界原子力産業現状報告2021（WNISR2021）』*は、原子力発電所データの包括的な概観を提供する（原子炉の「年齢」、運転状況、発電量、建設など）。2021年は、日本の福島事故が始まってから10周年に当たるので、今年の報告では、敷地内外の状況を、より詳細に分析している（汚染水、廃棄物管理、環境に与える影響、費用推定、裁判など）。またウクライナのチェルノブイリ事故から35年を経た現在、どのような影響が続いているかについても、一つの章を設けて評価している。

世界が、世界的パンデミック、記録的気温、森林火災、洪水その他の異常気象現象との闘いを続けるなか、WNISR2021は、初めて、「原子力と気候変動に対する強靭性（レジリエンス）」について検討する（フランスについてのケース・スタディーなど）。

WNISRは、長年、原子力部門における不祥事、詐欺行為、偽造、汚職などの不法行為について報告してきたが、WNISR2021では、初めて、「原子力と犯罪的エネルギー」について一つの章を設け、多くの国における原子力に関連した数々の犯罪行為について詳細に論じる。

WNISR2021は、原子力発電を行っている33カ国（2021年半ば現在）、それに、潜在的な新規参入国における新規建設プログラムの状況について評価する。WNISR2021には、「注目国」10カ国のそれぞれについてのセクションがある。これらの国々は、合わせると、世界の原子力発電所の約3分の2を保有しており、原子力発電量でトップ4に入る国々が含まれている。「廃炉現状報告2021」は、永久閉鎖となった原子炉の現状の概観を提供している。「原子力 vs 再生可能エネルギーの施設設置」は、世界の原子力、風力、太陽エネルギーその他の再生可能エネルギーの投資、容量、発電について比較したデータを提供している。最後に、アネックス1は、「注目国」の各セクションで扱っていない国々の原子力についての概観を提供している。

原子炉の運転開始及び閉鎖

運転開始　WNISR2019では、2020年に運転開始予定の原子炉を13基としていた。このうち、実際に運転開始したのは3基だけだった。他の10基の運転開始は、少なくとも2021年までずれ込んだ。ほかに、元のリストになかった2基が運転開始となった。そして、2021年の前半に4基が運転開始となった。

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)のパンデミックが、一部の運転開始スケジュールに影響を及ぼしている。

閉鎖[1]　2020年には、6基が閉鎖となった。フランスと米国で2基ずつ、ロシアとスウェーデンで1基ずつだった。2021年前半に2基が閉鎖となった。台湾と米国で1基ずつだ。

2001年から2020年にかけての20年間に、世界で運転開始となったのが95基、閉鎖となったのが98基だった。この期間、中国で運転開始が47基、閉鎖がゼロだった。つまり、中国以外で見ると、98基の運転停止に対抗したのは48基だけで、この期間に50基という急激な減少があったということだ。

[1] WNISRは、最後の発電の年を「閉鎖」年として報告している。検討対象の年にそれまで発電していない原子炉があれば、遡及的に統計を修正する。

運転・建設データ[2]

原子炉の運転と発電　2021年7月1日現在、33カ国が415基の原子炉を運転していた（「長期運転停止（LTO）」を除く）。WNISR2020[3]と比べると7基増だが、2019年半ばより2基減、1989年より3基減、2002年のピークの438基より23基減だ。ベラルーシとアラブ首長国連邦の2国が、それぞれ、初めての原子力発電所の運転を開始した。

26基が「長期運転停止（LTO）」状態にあった。WNISR2020に比べ5基減だ。26基のうち24基が日本に、インドと韓国に1基ずつあった。国際原子力機関（IAEA）はこれらすべてを運転中とみなしている。

2021年半ば現在の総発電容量は、1年前と比べ、1.9%伸びて史上最高の369ギガワット（GW）（3億6900万キロワット）に達した。2006年に記録したこれまでの最高の367GWをわずかに上回った。[4]

2020年には、原子力発電量は、2012年以来、初めての減少となった。減少幅は104テラワット時（TWh＝10億キロワット時）、3.9%だった。2020年の年間原子力発電量は、ネット［所内電力を差し引いた値］で2553TWhだった。前年と比べ3.9%減だ。中国以外では、原子力発電量は、5.1%減少し、1995年以来最低のレベルとなった。

初めて、中国の原子力発電量がフランスより多くなった。

原子力発電量における「5大国」（多い順で米国、中国、フランス、ロシア、韓国）は、2020年の世界の総原子力発電量の72%を、トップ3だけで58%を占めた。

電力及びエネルギー・ミックスに占める割合　世界のグロス発電量［所内電力を差し引く前の値］は、2020年、前年の2019年に記録した0.2パーセンテージ・ポイント増を失い、1996年のピークの17.5%からの緩やかな、しかし、着実な減少傾向に戻り、そのシェアは10.1%となった。

世界の商業的一次エネルギー消費に占める原子力の割合は、2014年以来、4.3%付近で安定したままだ。

原子炉の「年齢」　中国以外では大規模な新規建設計画がないため、世界の運転中の原子力炉の平均年齢は上昇を続けており、2021年半ばには、30.9年に達した。世界の原子炉の平均年齢は、1984年以来、上昇し続けている。

合計278基の原子炉――世界の運転中の原子炉の3分の2――は、31年以上運転されている。41年以上運転のものが89基（5基に1基以上）あり、6基は51年以上運転されている。

[2] 運転中及び建設中の原子炉と、発電における原子力のシェアーについては「注目国」と「アネックス」を参照。

[3] 特段の記載がない限り、数字はすべて2021年7月1日のものを表している。

[4] すべての数字は、ネットの公称発電容量を示している。GWはギガワット（1000メガワット）を表す。

寿命予測　現在運転中の原子炉がすべて――すでに寿命延長（PLEX）許可を得ている多くの原子炉（PLEX予測）や運転開始する予定となっている建設中のすべての炉を含む――許可されている寿命を全うしたとして、現状を維持するには、2030年末までに123基（95GW）、言い換えると毎月1基（0.8GW）の運転開始または再稼働が必要となる。これは、「現在の10年間（2021年～2030年）」に年間建設率を、これまでの10年における6基から12基へと倍増しなければならないことを意味する。建設開始基数は、減少傾向にある。必要な新規建設基数はもっと多いのかもしれない。なぜなら、多くの原子炉が、許可年限に達するずっと前に閉鎖となっているからだ。2016年から2020年の間に送電網から外された23基の平均年齢は42.6年だった。

建設　現在、17カ国が原子力発電所を建設中だ。2021年7月1日現在、53基が建設中だった。WNISR2020が2020年半ば現在として報告した数より1基多いが、2013年より16基少ない。53基中、18基は中国のもので、その総発電量は17GWだ。

世界全体で建設中の原子力発電所の総発電容量は、0.5GW増えて54GWとなった。建設中の53基の平均建設期間は7年だった。これに対し、1年前は7.3年、2017年半ばは6.2年だった。

- 17カ国中、少なくとも12カ国では、建設中の*すべて*の原子炉で、遅延が生じていた（ほとんどは年単位の遅延）。少なくとも31の建設プロジェクトが遅延に見舞われていた。
- 遅延のはっきりしている31基の原子炉のうち、この1年内に遅延期間の延長を報告したものが少なくとも13基、新たな遅延を報告したものが4基あった。
- 13基は、2020年中に運転開始予定だったが、実際に運転開始になったのは5基だけだった。
- 2つのプロジェクトの原子炉の建設開始は36年以上前に遡るものだった。まず、スロバキアのモホフチェ3・4号機で運転開始がさらに延期され、現在では、それぞれ、2021年末、2023年となっている。また、イランのブシェール2号炉の建設は、元々は、45年前の1976年に開始されたものだが、40年間の停止期間を経て、2019年に再開された。送電開始は現在2024年に予定されている。
- 10年以上「建設中」となっているものが他に5基ある。インドの高速増殖原型炉（PFBR）とカクラパール4号、フィンランドのオルキルオト3号（ＯＬ3）、日本の島根3号、それに、フランスのフラマンビル3号（FL3）だ。フィンランドのプロジェクトは今年また遅延となり、フランスとインドの原子炉は、また遅延となると見られており、日本の原子炉は暫定的運転開始時期も示されていない。
- この10年の間に、10カ国が63基の建設を終えた。うち、37基が中国のものだ。建設開始から送電開始までの平均期間は10年だった。

建設開始と新規原子炉問題

建設　2020年、5基の原子炉の建設が始まった。4基が中国で、1基がトルコだった。2021年の前半には6基の建設が始まった――うち3基が中国のものだった。これに対し、2010年の建設開始数は15基だった。建設開始のピークは、1976年の44基だった。

2011年から2020年までの10年間、世界で57基の建設が始まった。うち、3基が放棄された。2021年半ば現在、運転開始となっているのは15基だけだ。39基は建設中のままだ。

建設キャンセル　1970年から2021年半ばまでの間に、93基が19カ国において、建設の様々な段階で建設放棄または一時停止となった。合計783基の8基に1基だ。

注目国

この報告書において詳細に検討した以下の注目国10カ国は、世界の原子力発電所保有国のほぼ3分の1に該当し、世界の原子炉の約3分の2を擁する。2020年の主要事実：

ベラルーシ　2020年11月3日、同国初の原子力発電所、オストロベツのベラルシアン1号を送電線に繋ぎ、世界で33番目の原子力発電所運転国となった。同原子力発電所は、周辺国の間で論争を呼び、欧州委員会（EC）は安全性向上を要求している。

中国　2020年の原子力発電の伸びは4.4%だった。これは、2009年以来最小の年間伸び率だ。しかし、中国は、それでも、フランスを追い越し、世界で2番目の原子力発電大国となった。

フィンランド　オルキルオト3号「欧州加圧水型炉（EPR）」プロジェクトは、また遅延となった。今回は、「タービン総点検の延長のため」だった。2021年8月の発表によると、「本格的な発電」は、2022年6月以前には行われないという。元々の運転開始予定から数えると13年後となる。[5]

フランス　原子力発電量は、2019年と比べ12%近く減少し、同国の発電量の67%となった。1985年以来、最低のシェアだ。運転停止は、6475原子炉・日に達した。平均して、原子炉当たり、3分の1年に相当する。フラマンビル3号機プロジェクトは、またしても、延期となり、2023年半ばの運転開始の予定だ。一方、2020年末現在、国有のフランス電力（EDF）の競争相手の各社は、商業部門の顧客の半分、一般家庭顧客の26%を勝ち取っている。

インド　フカクラパール3号機は、2021年1月、10年以上の建設期間の末、遂に運転を開始した。原子力発電量は、発電量全体の3%だ。太陽電力発電所と風力タービンは、それぞれ、原子力発電所より多くの量を発電している。これら二つのテクノロジーを合わせた発電量は、原子力発電所の3倍となる。

日本　原子力発電所が発電したのは、総発電量の5%で、2019年の7.5%より下がった。2021年半ば現在、10基が再稼働しているが、全基が同時に運転中となったことはほとんどない。
1基は、「長期運転停止（LTO）」状態に戻った。2020年の11月から12月にかけての6週間、運転中の原子炉は1基だけという状態となった。

韓国　2015年以後、相当低下していた原子力発電量が、2年連続で10%近く伸び、総発電量の29.6%に達した。第9次エネルギー基本計画によると、原子力の役割を減らし、2034年までにその発電量を総発電量の10%にすることになっている。しかし、この政策は、次回選挙の後、覆されることになるかもしれない。

台湾　2021年7月に、さらに1基が閉鎖となった。残りの3基は2025年までに閉鎖されることになっている。2020年の蔡英文総統の再選によって、段階的脱原発政策が維持されている。原子力発電のシェアは、すでに1988年の41%から2020年の13%に低下している。

[5] TVO, "The regular electricity production of OL3 EPR will be postponed due to extension of turbine overhaul", 20 August 2021, 以下を参照 https://www.tvo.fi/en/index/news/pressreleasesstockexchangereleases/2021/theregularelectricityproductionofol3eprwillbepostponedduetoextensionofturbineoverhaul.html, 2021年8月23日アクセス。1年前と同じく、この最新の発表は、本報告書の本文の編集締め切りの後に出された。

英国　原子力発電量がさらに11%低下する一方、再生可能エネルギーの発電量は11%増えた。LTO状態にあった原子炉2基が閉鎖となった。さらに4基が2022年7月半ばまでに閉鎖予定となっている。老朽化している原子炉（平均37年以上）は、多くの技術的問題を抱えている。とりわけ、改良型ガス冷却炉（AGR）が、中性子減速材の黒鉛ブロックで生じている修復不能の損傷のため、長期的運転中止に陥っている。ヒンクリー・ポイントC1号機の運転開始予定は、2026年半ばに延期され、そのコスト見積もりはまた上昇した。

米国　運転中の原子炉の老朽化が続いており、2021年半ば現在、平均年齢40.7年で、初めて40年を超えた。原子力発電所は、市場での競争力の問題が悪化を続けている。4基の非経済的な原子力発電所が「早期閉鎖」を避けるために州の補助金を得ている。オハイオ州における前代未聞の汚職の企みが明るみ出たため、4基に対する「救済策」は撤回されることになりそうだ。ほかにも、多くの原子力発電所が経済的な理由のために早期閉鎖の危機に晒されている。スキャナ（SCANA）電力の元CEOは、放棄されることになったVCサマー原子力発電所建設プロジェクトに関する財政的問題の隠蔽に関わる共謀罪で有罪を認めた。プロジェクトに関わっていたウェスティング・ハウス社の最上級管理者は、この事件における自己の関りについてFBIに嘘をついたとの重罪で告発された。

福島現状報告――10年後

2011年3月11日の東日本大震災（3・11）とそれに続く出来事によって引き起こされた福島第一原子力発電所の事故（福島事故）が始まってから10年が経った。

この10周年版は、敷地内外の問題に関する従来の概観様式を超えて、健康面での影響、費用評価、惨事に関する運転者と国の責任に関する判決、それに、原子炉の再稼働の状況などの複雑な問題について、それぞれを扱うセクションを設けてある。

敷地内外の課題の概観

敷地内の課題

使用済み燃料の取り出し　3号機では2021年2月に終了した。1号及び2号機で準備段階を超えている。

燃料デブリ除去　2号機で2021年までに始まる予定だったが「COVID-19の拡がりのために約1年」遅れている。

汚染水管理　1～3号機の燃料デブリの冷却のため水の注入が続いている。亀裂の入った格納容器から高濃度の汚染水が地下に流れ出し、そこで、流入してきた地下水と混ざり合っている。バイパス・システムの稼働と地下水の汲み上げによって、流入量は約400 m^3/日から約170 m^3/日へと減少した。しかし、2019年度は、汲み上げられる汚染水の量はまた増えて180 m^3/日に達し、2021年半ば現在では、228 m^3/日となっている。同量の水が部分的に除染され、容量1000m^3のタンクに入れて保管されている。このため、4.5日に1基の割合で新しいタンクが必要となる。敷地内の140万m^3の貯蔵容量が2022年末までに満杯となると予測されている。汚染水を海に放出する計画については、海外も含め、各方面から反対の声が上がっている。計画の実施となれば、この汚染水の少なくとも70%は、再度処理し、また、全量を100倍に希釈することが必要となる。この計画の完遂には、少なくとも30年間かかる。

労働者の健康　2021年2月現在、敷地での廃炉の仕事に携わっている労働者が7000人近くいた。その86%が下請けの労働者だった。残りの14%だけが東京電力の従業員だった。

敷地外の課題

敷地外の問題の中には、何万人もの避難者の将来、食品汚染、除染廃棄物の管理などがある。福島の惨事の健康への影響、法的問題、費用推定などに関しては、それぞれ、別のセクションを設けてある。

避難者 2021年4月現在、約3万3500人の福島県住民――「自主避難者」は除く――がいまだ、公式の避難者となっていた。福島県によると、その数は、2012年5月に16万5000人というピークに達した。政府は、影響を受けた市町村における避難指示の解除を続ける方針だ。しかし、最近の調査によると、大熊町に戻った住民はわずか2.5%、富岡町では9.2%だった。

食品汚染　公式の統計によると、2021年度の最初の11カ月の間に取られた5万4412のサンプル（2019年度の5分の1）のうち、法的限度以上に汚染されていると確認されたのは127品目だけだった。2021年3月現在、3・11後の輸入規制が、ＥＵを含む14カ国／地域（1年前より6カ国／地域少ない）で継続されていた。

除染　福島県の仮置き場にある汚染土壌は、現在、8つの地域の中間貯蔵施設に移送されつつある。2021年4月現在、合計1400万m^3の汚染土壌の約76%の輸送が終わっていた。汚染土壌は、様々な減容段階を経て処理された後、最終処分場に再輸送されることになっている。

健康面の影響

3・11の直後、日本政府は、公衆の被ばく線量限度を、年間1ミリシーベルトから20ミリシーベルトへと20倍に増やした。政府は、2017年3月、「避難指示区域」以外からの避難者に対する住宅支援を打ち切った。住民の故郷（の残骸）への帰還を奨励するためだ。

福島事故は、被ばくで生じる急性障害による死亡はもたらさなかったが、多数の人々の低レベルの被ばくと、避難後の間接的影響による数千人の死者をもたらした。

甲状腺被ばく線量測定とヨウ化カリウム　体表面スクリーニングの結果によると、少なくとも、1000人の避難者が甲状腺に100ミリシーベルトを超える線量を被ばくした。これは除染とヨウ化カリウムの服用が必要だったことを意味する。

しかし、これは実施されなかった。原子力安全委員会（NSC）によるヨウ素剤配布の指示は届かず、四つの町の首長の主導によって約1万人がヨウ素剤を服用したに過ぎない。

甲状腺検査プログラム　事故時に18歳以下だった子供たち（胎児を含む）約38万人がこのプログラムの対象だ。2021年7月現在、260件の悪性あるいはその疑いのあるケースが見つかっている。219件で手術が実施され、218件でガンと診断された。この件数は、通常の数十倍だ。さらにNGOの調査によると、このほかに少なくとも19件の報告されていないケースがあり、この数字はその倍である可能性があるという。つまり、8件に1件は、公式の検査結果に含まれていないことになる。

甲状腺被ばくとガン罹患率の因果関係　子供たちの甲状腺被ばく線量の測定が始まったのは、放出から2週間たってのことで（ヨウ素131の半減期は8日）、しかも、30キロメートルを超えた地域の約1000人の子供が環境汚染レベルの高いところで測定されただけだ。甲状腺ガンの罹患率は、明らかに環境汚染レベルの上昇とともに高くなっている。被ばくレベルは、「県民健康調査検討委員会（検討委員会）」によって、航空機計測に基づく汚染度に従い、避難区域とその外の三つの地域に区分された。だが、汚染地域を被ばく線量によって区分した場合に明らかに見られる因果関係は、線量を、二つの年齢群の外部及び内部被ばくの合計に基づく国連科学委員会（UNSCAER）の推定に従って区分し直すと消えてしまった。

他のガンと他の震災関連死　他の9県では死亡率が下がり、罹患率は横ばいだったが、福島県における甲状腺、子宮頸、直腸、乳房のガン罹患率は2012年以来上昇しているように見える。先天性疾患の増加は報告されていない。急性心筋梗塞による死亡は、福島県においては、2011年に男女とも、40歳から69歳及び70歳以上のグループで、10～20%増加した。全体として、福島、岩手、宮城の3県における避難後の「震災関連死」[6]として公式に認められている数は、3717人に達している。この3分の2が福島県のものだ。これは、地震と津波による死亡において福島県が占める割合がわずか10%であることを考えると、非常に高い。

原子力発電所労働者の健康問題　3・11後の6カ月間、敷地内で働いた2万5000人近くの労働者の中で記録された最大の被ばく線量は679mSvで、174人（0.7%）は100mSvを超える被ばくをしていたことが記録されている。平均被ばく線量は12.4mSvだった。これらの値の信頼性は極めて疑わしい。なぜなら、線量は、少なくとも2カ月間はグループごとに計測されていたからだ。個人線量計が足りなかったためだ。進行中の廃炉作業に加えて、労働者らは、何百万立方メートルもの汚染土の取り扱い、輸送、貯蔵などの作業で被ばくしている。この10年間、どのグループの労働者についても、健康調査結果は発表されていない。

[6] これらには、自殺のほか、医療の利用可能性が低減したことによる持病の悪化（病院の機能の喪失、病院訪問の困難など）や、長期的で深刻な避難環境や生計手段の喪失に起因する健康障害などによる死亡が含まれる。

費用推定

3・11から10年経っても、「惨事対応」は、最低限の除染や影響緩和作業の完了までまだ何十年もかかるという状態のままだ。したがって、費用推定は、基本的に仮説的なものだ。しかし、政府は最近、推定の見直しを提示しており、これを日本経済研究センター（JCER）――定評のある経済シンクタンク――による独立の推定と比較することができる。

政府の推定　3・11の惨事に関連した費用推定（廃炉、除染、補償費用）は、2012年の743億ドル（2021年米ドル、以下本段落内同）から2021年の2231億ドルへと上昇した。廃炉費用は、5倍の750億ドルに、補償費用は26%増え、740億ドルとなった。廃炉は、最初の推定には入ってさえいなかったが、525億ドルとなり、新しい項目の「その他」が216億ドルとなっている。

JCERの推定　2019年発表の推定は、3つのシナリオに従い、3220億米ドルから7580億米ドルと幅がある。除染が1860億米ドル、補償が960億米ドルで、廃炉費用は、400億米ドル（2050年まで延期された場合で、2050年以降の費用は含まない）から4760億米ドルまで幅がある。廃炉費用の幅は、主として、汚染水処理の量と方式によるもので、最大値はトリチウムの除去を含む。

政府の推定とJCERの推定の最大の違いは、公式の推定が廃炉措置と除染によって生み出された放射性廃棄物の最終処分費用を含んでいないという事実から来る。

福島原子力事故の損害賠償と刑事責任に関する判決

この10年間、原子力問題をめぐり、多くの訴訟を市民が起こしてきた。最も重要な意味を持つ訴訟の中に、惨事の責任と、東京電力及び日本政府に対する告訴のリンクを確立しようとの試みがある。また、一カ所（東通原発）を除き、すべての運転中の原子炉と運転者による再稼働の試みに対して訴訟が起こされてきた。

政府の責任　判決は分かれている。2020年9月の仙台高等裁判所による判決と2021年2月の東京高等裁判所による判決は政府の責任を認めたが、別の2021年2月の東京高等裁判所による決定は、国の責任を認めなかった。どの件も、上告されており、最高裁判所による判決は、向こう1年の間に下される予定だ。

東電刑事事件　2019年9月、東京地方裁判所は、東電の旧経営陣3人に、福島の惨事による殺人の刑事責任に関し、無罪を言い渡した。

東電民事責任訴訟　福島の惨事に関する東電の旧経営陣の民事責任を明らかにするための東電株主代表訴訟は、まだ、進行中だ。

原子炉の運転及び再稼働に対する訴訟　2021年4月現在、原告側の主張を認め、f の運転を差し止めた判決が8件ある。これには、以下が含まれる。

- 2015年4月、福井地方裁判所は、高浜3号機及び4号機の運転を差し止める仮処分命令を下し、実際に運転されている原子炉の運転停止を強制した。
- 2017年12月、広島高等裁判所（野々上友之裁判長）は、伊方原子力発電所3号機の運転を9カ月間の期限付きで差し止める仮処分決定をした。
- 2020年1月、広島高等裁判所は、伊方原子力発電所の運転差し止め命令の決定を下した。
- 2020年12月、大阪地方裁判所は、大飯原子力発電所3号機及び4号機の設置変更許可取り消しの決定を下した。これは、3・11以来、行政訴訟において住民側の主張が受け入れられた初めてのケースだった。
- 2021年3月、水戸地方裁判所は、東海第二原子力発電所――3・11の直接の影響を受けた発電所――の再稼働に関し、差し止めを命じる判決を言い渡した。これは、信憑性のある避難計画の不備を理由にした初めてのものだ。

チェルノブイリ――惨事が始まってから35年

35年前の1986年4月26日、世界は、その最悪の原子力発電所事故を目撃した。チェルノブイリ原子力発電所4号機が、臨界暴走事故を起こしたのだ。数秒のうちに、炉心の出力は定格出力の100倍以上になった。続いて、蒸気爆発、そして、水素爆発が起き、原子炉建屋の屋根を吹き飛ばした。ヨーロッパの約40%が汚染され、その結果、4000万人以上に影響が出る恐れがある。今日でも、一部の地域では、様々な食材の放射能レベルは、法的限度を超えたままになっている。それでも、この35年の間に多くの変化が見られた。

敷地外の課題

- **惨事の死者数**　今も論争を呼んでいる。2005年までは、50人ほどの死者だけが直接事故に関連するものとされていた。2006年、世界保健機関（WHO）－国際原子力機関（IAEA）の研究が追加的ガン死を9000件と推定した。米国の物理学者リチャード・ガーウィンは、向こう50年間の追加的ガン死を2万4000件と推定、他の独立の専門家らは4万件と推定した。ロシアとベラルーシの科学者らは、放射線関連の疾患はヨーロッパで20万件を超え、世界のその他の地域では2万件に迫ると主張した。
- **健康阻害**　もちろんすべてが死をもたらすわけではない。事故後の最初の20年間に現れた甲状腺ガンの患者6800人のほとんどは、生き残ったが、心身に有害な影響を被った。世代間の影響については相互に矛盾する研究結果が出ている。
- **流産**　事故後、急上昇した。IAEAは、西ヨーロッパだけでもチェルノブイリの放射能についての懸念と関連した流産が事故後の1年間で10万～20万件発生と推定した。
- **心理的トラウマ**　事故、移住、コミュニティー及び生計手段の喪失によるトラウマの結果、うつ病を含む精神疾患、不安、薬物乱用のケースが相当に増えた。また、脳に対する電離放射線が直接もたらす神経精神的影響に関する証拠がある。2018年、ウクライナ政府は、チェルノブイリの事故処理に当たった「リクビダートル」の間では、精神疾患が一般の人の約2倍に達しており、また、一部の推定では、自殺率が20倍になっていると発表した。ウクライナでは、チェルノブイリの惨事が始まってから20年後、事故の影響を受けた人口の約83%が何らかの健康への悪影響を経験していた。「リクビダートル」の間では92%だった。

- **今も続く食品汚染**　ヨーロッパでは広い地域で見られる。例えば、ドイツ南部では、野生の獲物やキノコが今でも、販売用の法的限度の数倍に達するセシウム137に汚染されている。

敷地内の課題

- **「新安全閉じ込め構造物（NSC）」**　2016年11月からアーチ型構造物が4号機を覆っている。この構造物は、地上用の移動可能構造物としてはこれまで建造された中で最大のものだ。NSCは、4号機を環境から密封するためのもので、少なくとも100年の予想耐久寿命を持つ。
- **1〜3号機の解体**　少なくとも2065年までかかると推定されている。
- **使用済み燃料**　チェルノブイリの4基の原子炉のプールから約2万1000体の燃料集合体（2500トン）を、5つのプールからなる集中中間貯蔵施設に移送する作業が終了している。この使用済み燃料は、そこから、集中乾式貯蔵施設に輸送されることになっている。同施設は、2021年4月に運転許可を得た。
- **チェルノブイリ立ち入り禁止区域への訪問者**　ウクライナ政府が国連の世界文化遺産の地位を求めているこの区域への訪問者数は2004年の1000人から2019年の20万人に増えた。
- **野生動物保護区？**　立ち入り禁止区域から人がいなくなった後、野生動物が戻っていることについて、相当の報道がなされてきた。しかし、多くなったという個体数は、放射線の影響によって相当抑えられているだろう。約30種に関する研究の結果、放射線に関連した遺伝子変異が異常に高い率で発生していることが分かっていて、放射能汚染の継代的な集団全体に及ぶ影響が相当であることを示唆している。
- **森林火災**　以前は稀だったが、立ち入り禁止区域では、より頻繁に起きるようになっている。しばしば、放火が原因で、放射性核種を再活性化させ、環境中の放射能を相当増大させる。

原子力と犯罪的エネルギー

様々な国での原子力産業における驚くべき数の不祥事、詐欺、偽造、賄賂、腐敗、妨害行為、窃盗その他の犯罪行為の発覚が、この部門における「犯罪的エネルギー」という組織的問題の存在を示唆した。

WNISRは、何年にも亘って、不法・犯罪行為について報告してきている。例えば、WNISR2020は、4つの大陸における9カ国に関連した不正事件との関係で「腐敗した」という言葉を14回使っている。

だが、ここでは、この年次報告書の枠組みの中でこの問題について体系的な国際的分析を初めて行う。この分析は、包括的なものではないが、これを見るといくつかの特筆すべき実態が浮かび上がってくる。

- 原子力部門における犯罪行為は新しいものではない。重大な不祥事のいくつかは、何十年も前に遡るか、何十年も継続している。
- 10年ほど前から犯罪者集団が原子力サイトに労働者を提供してきている。例えば日本のヤクザだ。

- 近年、主要原子力国が深刻な部内者妨害行為――例えばベルギーの原子力発電所――に見舞われていているが、逮捕に至っていない。
- この問題に関する体系的・包括的な公開されたデータベースが存在しない。
- 2019年にIAEAが、少なくとも1990年代以降、少なくとも7カ国で起きた偽造品・不正品のケースに関する報告書を出した。
- 「トランスペアレンシー・インターナショナル（TI）」の「腐敗認識指数（CPI）」において、領土内に原子力発電所を運転中あるいは建設中の35カ国の約半数が、満点100ポイントの評価基準で50ポイント未満となっている。
- 「贈賄指数（BPI：最後の発表は2011年）」では、最悪ランクの10カ国のうち7カ国が領土内で原子力発電所を運転中あるいは建設中となっている。
- 前半は、2010～2020年の期間に裁判にかけられた14の深刻な意味合い（安全性、公的支配）を持つ14のケースに焦点を当てる。これらは、2020年トップ8の原子力発電国（運転容量）7の企業が関わったものか、これらの国々で生じたものだ。以下のケースが含まれる。
  - **複数国（ウクライナ／チェコ共和国）、エネルゴアトム／ショコダ、2020年10月**　スイスの裁判所が、ミコラ・マルティネンコ（元ウクライナ国会議員・エネルギー委員会議長）に対し、28カ月の刑期を科した。スイス銀行を通じた悪質なマネー・ロンダリングに関するものだ。
  - **日本、関電、2019年9月**　関西電力の内部調査により、同社の社長と他の19人の幹部が、300万米ドル（約3億2000万円）相当の金品を森山栄治元高浜町助役から受領したことが判明した。元助役は、自身が関係を持つ地元業者を使うよう関電に働きかけていた。
  - **フランス、アレバ、2016年**　アレバ社は、仏「原子力安全局（ASN）」に対し、傘下のクリュソ・フォルジュ社で「製造検査の不規則事象」があったと報告した。1969年から製造されてきた約400の部品の「製造ファイルにおける製造、パラメーター、テスト結果に関連した矛盾、修正、漏れ」が含まれる。フランス電力（EDF）は、後に、フランスの58基の原子炉にすでに設置されている部品に関連した製造記録において2982件の「異常」を特定した。
  - **複数国（ロシア／米国）、2015年**　米国に本拠をおくロスアトムの子会社TENAM社の元社長バジム・ミケリンが、米国の数社とロスアトムの役員らの関わった贈収賄計画への関与について4年の懲役刑を言い渡された。
  - **複数国（中国、韓国、米国）、2012年**米国のバルブ製造企業コントロール・コンポーネント社（CCI）のCEOと5人の重役が、それぞれ、最高5年の懲役刑の判決を受けた。「36カ国の国営企業及び私企業の役員及び従業員に対し、236件、合計約685万米ドルの賄賂を支払い、それらの賄賂に関連した売り上げから約4650万米ドルの純益を得た」ためだ。
  - **韓国、2012 年 11 月**　韓国水力・原子力会社（KHNP）は、7682 件の品目に関連した 60 件の調達契約において機器検定に関わる偽造書類について報告した。

[7] 米国、フランス、中国、韓国、カナダ、ウクライナ、日本

→ 後半は、日本、ロシア、米国の原子力発電所サイトに対する妨害行為や犯罪集団の絡んだ事象の国際比較を提供している。以下を含む。

- **福島第一原子力発電所、日本、2014年10月**　松葉会系暴力団員佐川勇気が、2014年、福島の除染作業に労働者を無許可で派遣したとして逮捕された。**2012年5月**、住吉会（日本の2番目に大きなヤクザ組織）系組幹部大和田誠が同様の犯罪で逮捕された。
- **セント・ルーシー原子力発電所、米国、1996年8月**　労働条件を巡るストライキ中に労働者がセキュリティー・レベルの高いエリアにおいてバックアップ・スイッチを接着剤で固定した。前月には、パドロック（南京錠）やドアも接着剤で固定されているのが発見されていた。

廃炉措置現状報告

事前に決められていた運転寿命の終わりに達したり、経済的状況の悪化により閉鎖されたりする原子力施設が段々と増えていくに従い、その廃止措置は重要課題となってきている。なお、廃棄物管理は、この廃止措置分析の対象でないことに注意されたい。

→ 2021年半ば現在、196基の原子炉が閉鎖となっていた。1年前より7基増えている。これらのうち、176基は、廃炉措置を待っているか、その様々な段階にある。74基は、［実際の廃炉措置開始を延期する］「長期的囲い込み（LTE＝ロング・ターム・エンクロージャー）」状態にある。

→ 技術的に完全に廃炉措置が終わっているのは30基だけだ。この状況は1年前と変っていない。米国が14基、ドイツが5基、日本が1基だ。これらのうち、使用制限のない「グリーンフィールド・サイト（未建設地）」に戻されているのは、10基だけだ。

→ 平均廃炉措置期間は約20年だが、その幅は大きく6～42年となっている。最短・最長を記録しているのは、どちらも非常に小さな原子炉で、その出力はそれぞれ22MW（2万2000ｋW）と17MW（1万7000kW）だ。

→ 11カ国の主要原子力国の分析は、廃炉プロジェクトの進展はゆっくりとしたままであることを示している。169基のうち、57基は「ウォーム・アップ段階」で、10基は「ホット・ゾーン段階」だ。

→ 初期の原子力国（英国、フランス、ロシア、カナダ）のどこも、未だ、ただの1基も完全な廃炉措置を終了させていない。

小型モジュール炉（SMR）

以前のWNISR報告書における小型モジュール炉（SMR）の開発状況と将来の見通しに関する分析を受けて、今年のアップデートは、大きな進展を明らかにするというものではなく、ささやかな進展を報告する。

アルゼンチン　2014年から建設状態にあるCAREM-25は、進捗率58%と報じられている。COVID-19は暫定的な完全建設中断をもたらした。完成にはあと3年かかる予定だ。

カナダ　SMR推進という考えは、連邦政府及び州政府から強い支持を得ている。連邦政府の天然資源大臣は、「2020年代後半までに最初の複数基の運転開始」を目指すアクション・プランを発表した。様々な型が検討されている。二つの設計（モルテックス社のSSR-W300及びホルテック社のSMR－160）は、安全当局のフェーズ1審査過程を終えたが、多くの問題が未解決となっている。

中国　2基の100MWの高温モジュール炉が同一サイトで2012年から建設中となっている。運転開始予定は数回延期され、現在も当初予定より4年遅れの2021年となっている。モジュール規模は、二つ目のプロジェクトでは600MW（60万kW）に増大予定だ。これは、SMRという分類の最大出力値300MW（30万kW）の2倍となる。ACP100というもう一つの設計の炉が1基、建設開始となったと見られているが、公式な報告はこれまでのところない。建設者の中国核工業集団公司（CNNC）によると、キロワット当たりのコストは、大型原子炉の2倍だという。

インド　改良型重水炉（AHWR）が1990年代から開発中となっているが、その建設開始は延期され続けている。WNISR2019以来、大きなニュースはない。

ロシア　2基の「浮体式炉」が予定より4倍の建設期間を経て、2019年に送電網に繋がれた。発電容量当たりのコストは、第3世代炉の中で最も高いケースの約2倍と推定されている。2020年のパフォーマンスは、設備利用率29%と16%と芳しくない。300MW鉛冷却高速炉の建設が始まった。

韓国　SMART炉(System-integrated Modular Advanced Reactor)の開発が1997年から続けられている。2012年に、その設計が安全性当局から許可を得たが、発注はない。コスト競争力がないからだ。サウジアラビアのエンジニアらが、もっと大きなモデルの再設計に協力している。

英国　政府が、「改良型原子力ファンド」の一環として、SMR開発に最大5億米ドルの提供を申し出ている。関心を示した唯一の企業、ロールスロイスは、最近、その「プレ・デザイン」の容量を470MWに増大している。つまり、SMR規模を超えたということだ。一般設計は、2021年後半に規制当局に提出されることになっている。

米国　エネルギー省（DOE）は、SMRを推進している企業に資金提供をしている。ニュースケール社の一つの設計が規制当局による最終安全性評価報告を得ている。だが、この設計の容量は、25%増大されており、この変更は規制当局の認証を得る必要がある。一方、8つの市町村が計画から撤退したため、現在の暫定的契約にある典型的な12モジュールの発電所の出力の9分の1しかない状態になっている。

全体として、米国では、開発・建設にはさらに遅延があり、すでに古くなってしまったニュースケールの設計に続く新しい設計の認証はない。このように、SMRの大きなブレークスルーの兆候は、技術的にも商業的にもない。

原子力 vs 再生可能エネルギーの施設設置

再生可能エネルギーの施設設置と発電は、世界的なCOVID-19の大流行の影響に対して、原子力よりずっとうまく対応してきている。2020年、原子力はネットで0.4GW増えた（＋発電開始、－閉鎖）。一方、再生可能エネルギーの容量は、記録的な256GWの増加となった（＋30%）。原子力発電量が4%減少する一方で、水力以外の再生可能エネルギーは、13%増大となった。

コスト　均等化発電原価（LCOE）分析は、2009年から2020年の間に、電力会社規模の太陽エネルギー・コストは90%低下、風力は70%低下する一方、新規の原子力コストは33%上昇したことを示している。2019年から2020年にかけて、ギャップは広がり続けている。

投資　2020年には、水力以外の再生可能エネルギーの発電容量に対する投資総額が、2回連続で――2015年及び2017年の記録から数えると4度目――3000億米ドルを超えた。5GWの原子力建設に対する世界全体の投資として報告されている約180億米ドルの17倍に近い。原子力に対する投資は、風力（1420億米ドル）と太陽エネルギー（1490億米ドル）のそれぞれの8分の1程度にしか過ぎない。

設置された容量　2020年、風力の年間拡大量は前年のそれの2倍近くの111GWだった。太陽電池は125GW増加（＋22.5%）だった。どちらも新記録のレベルで、世界の送電網に追加された水力以外の再生可能エネルギーの256GWという新記録に大きく貢献した。これらの数字に比較して、原子力発電容量のネットの追加分は0.5GWだった。

発電量　2020年、太陽エネルギーからの世界の発電量の年間増大量は21%、風力は12%だったが、原子力の発電量は4%低下した。水力以外の再生可能エネルギーの発電量は、原子力発電量を16.5%上回った。

低炭素発電　京都議定書が署名された1997年と比べると、2020年には、世界で1580TWh（1兆5800億kWh）の風力発電量が追加されており、太陽電池発電は855TWhだった。これに対し、原子力発電の追加分は289TWh（ネット）だった。2010年、すなわち、3・11の前と比べると、水力以外の再生可能エネルギーの発電量の追加分2386TWh、水力が861TWhだったのに対し、原子力発電は68TWhの減少だった。

発電ミックスにおけるシェア　これまでで最大の年間増加量を記録した後、新規再生可能エネルギー（水力を除く）の発電量のシェアは10.7%に達し、縮小を続ける原子力のシェア10.1%とのギャップを広げた。

中国　風力だけで466TWhという発電量は、またしても原子力の366TWhをはるかに上回った。太陽エネルギー発電は、すでに261TWhに達している。太陽エネルギーと風力を合わせた発電量は、すべての原子力発電所の合計の2倍に達している。

インド　風力と太陽エネルギーの発電量は、それぞれ、原子力の発電量を50%上回った。合計するとその発電量は、原子力の発電量の3倍に達した。

欧州連合（EU）　水力を含む再生可能エネルギーは、2020年、初めて化石燃料を追い越し、主要電力源となった。その電力ミックスへの貢献度は38%だった。これに対し、化石燃料は37%、原子力は25%だった。2020年は、また、水力以外の再生可能エネルギーが初めて原子炉よりも多くの電力を生み出した年だった。

米国　原子力発電量は3.6%減少し、2012年以来の最低のレベルに下がった。COVID-19の大流行と他の電力源との競争のためだ。一方、再生可能エネルギーは、2020年に記録的な量の発電を達成し、その発電量は全体の12%に及んだ。原子力は20%だった。風力発電量は、2020年に14%増大し、太陽エネルギーの発電量は22%増大した。

原子力と気候変動に対する強靭性（レジリエンス）

最近の諸研究は、気候変動がエネルギー生産及びサービスに混乱を生じさせることが多くなっている証拠を提供している。気候変動がもたらしている気象条件の変動性と厳しさの増大のためだ。電力システムの強靭性（レジリエンス）は、大雑把に言って、潜在的に混乱を生じさせる様々なタイプの事態・事象の影響に対処し、それから回復し、それを最小限に留める能力と定義することができるだろう。「原子力と気候変動に対する強靭性（レジリエンス）」という問題に関する「スペシャル・フォーカス」の章は、すべての発電技術と送電網が直面している問題についての概観とフランスに関するケース・スタディーを提供する。

- 熱を利用するすべての発電所は気温と水温の変化の影響を受けることが多い。原子力発電所はとりわけ、干ばつの影響を受けやすい。
- 気候変動の影響を最も受けやすい再生可能エネルギー源は水力発電だ。水力は水の利用に頼るのだから、容易に推測できることだ。風力発電の出力は、風力タービンの設置された場所の空気密度に大きく依存する。太陽エネルギーの出力は、曇り具合と気温に左右される。ソーラー・パネルの効率は、気温の上昇とともに下がる。
- 気温が高いと、送電・配電ロスが大きくなる。気温が摂氏5度上昇するごとに、最大容量の負荷のかかった送電線の容量は平均7.5%減少するとの研究結果が出ている。森林火災もまた送電網に深刻な影響を及ぼし得る。

原子力施設の具体的な課題の概観　二つの主要な経路（パスウェイ）がある。

- **熱経路**　干害や熱波によって生じるもので、原子炉の中で発生した熱の排出が制限されることから生じる完全な運転停止を含む。
    - ヨーロッパでは、極端な気温が、気候変動によって起きる混乱の主要因となっている。過去20年間に亘って、熱波が頻繁に発電用原子炉の運転停止・制限をもたらしてきた。その最も大きなものは、2003年、2006年、2015年、2018年に見られた。
- **暴風雨経路**　ハリケーンや台風などのような暴風雨――しばしば、洪水や雷を伴い、とりわけ発電所の電気供給システムに影響を及ぼし得る――によって起きる運転停止を含む。
    - 北アメリカや東アジアの原子力発電所は、特に、熱帯性低気圧の影響を受けやすい。

気候変動のもたらす非直接的影響、そして、原子炉以外の原子力施設：

- **気候変動のもたらす非直接的影響**　原子力発電所に対する非直接的影響には、クラゲの大量発生（冷却水用の取水口を詰まらせてしまう可能性）、森林火災（原子力発電所からの避難を必要とする可能性）、洪水（電力供給・道路連絡の遮断の可能性）、海面上昇（大しけを悪化させる可能性）などが含まれる。
- WNISR は、ウラン採掘や、核燃料製造、使用済み燃料再処理、核廃棄物管理・処分などの燃料サイクル関連施設は扱っていない。だが、これらすべては、気候変動が巻き起こす事象の影響を受けるリスクがあるということに留意する必要がある。

ケース・スタディー　フランス――歴史的及び最近の事象

- 気象に関連した原子力発電の制限・停止の初期の例についての報告は、1976年に遡る。2003年8月には、10～15GW（当時の原子力発電容量の16～24%）が、気温の高さのために使えなくなった。
- 最近では、例えば、2021年3月にボルドー地域のブレイエ原子力発電所の90万キロワットの原子炉4基のうち3基が使えなくなったケースがある。異物の蓄積（付着）によりポンプ施設が作動不能になったためだ。また、ベルギーとの国境にあるショー原子力発電所の145万キロワットの原子炉2基が1カ月運転停止となった。2020年8月～9月、ムーズ川（オランダ語：マース川）の水位が下がったためだ。

ケース・スタディー　フランス――原子力発電への影響　2015～2020年

フランスの送電系統管理会社RTEによる研究が、2015年から2020年の間に天候が原子力発電に与えた影響について分析している。その結果が次のようなことを示している。

- 2015年から2020年の間、天候が原因で4000時間の運転停止――166炉・日の発電喪失――と、さらに4000時間の出力制限が生じた。
- 気候変動による運転制限・停止は、この期間、毎年起きている。2016年は最も影響の少なかった年で、出力制限が18件だった。一方、2018年は最悪の年で、運転停止が23件、出力制限が103件だった。
- 6年の期間中、26基（フェッセンアイムの2基の両方を含む）が少なくとも1回は影響を受け、12基（フェッセンアイムの1基を含む）がいずれかの時点で運転停止となった。
- 累積発電ロスは、8.5TWh、年平均にすると1.4TWhだ。これは、フランスの年間原子力発電量と比較すると、0.4%にすぎない。
- 発電ロスは、上昇傾向にあるようで、最大ロスは、2020年の3TWhだった。
- 発電ロスの絶対量は無視できるレベルのように見えるが、これらのケースは予測するのが難しく、一年のうちの比較的短い期間に集中することが多い。例えば、2019年の熱波は、9基の原子炉に影響を与え、原子力発電容量の10%の喪失をもたらした。そして、これが電力のスポット市場の価格の高騰をもたらした。
- この期間の気候変動による運転制限・停止問題は、7月から11月に集中していて、発電ロスの半分は9月に起きている。ショー原子力発電所は、2020年9月に28日間完全な停止となった。9月はローヌ川とムーズ川の水位が一番下がる月で、残暑の熱波の影響を受けることが多くなっている。
- 内陸部にある14の原子力発電サイトのうち、9カ所がこの時期に気候変動による発電ロスに見舞われている。3カ所の原子力発電所は、1TWhを超える発電ロスを経験した――ショー（4.4TWh）、サンタルバン（2TWh）、ビュジェ（1.1TWh）。
- 運転制限・停止は、三つの大まかなカテゴリーに分類できる。夏タイプ（温度による）、秋タイプ（低水位による）、そして、冬タイプ（洪水または暴風雨）だ。

- **夏の運転制限・停止**　通常短期間だが、複数の発電所に同時に影響を与え得る。そして、ほぼ確実に、より頻繁に起きる。
- **秋の運転制限・停止**　より長期に亘るが、地域的に限定される。これらは流量の低い時期に起きる。川が、発電所から放出される高温の水を効率よく希釈することができず、温度に関連した規制に対処するのが難しくなるのだ。
- **冬の運転制限・停止**　頻度は低いが高いリスクを伴い得る事象によるものだ（例えば、1999年12月のブレイエ原子力発電所での浸水被害）。

→ 既存の発電所に関する対応オプションは限られている。また、ほとんどの対応オプションは、気候変動予測に基づくものだが、EDFは、外挿法を使う。極大温度は、過去10年間の歴史的観測値を延長することで計算する。これは、内在的に将来の温度変化を過小評価するリスクを伴う。

→ 原子力と気候変動の相互関係が安全性にとって持つ意味合いはよく理解されていない。とりわけ、中東やバングラデシュのような過酷な気象環境のある所に導入されつつある場合はそうだ。予想外の極端な気象事象は、進行中の原子力事故と重なった場合、特に有害な影響を持ち得る。