報告

米国原子力発電所の最近のパフォーマンス —既存炉を最大限に有効活用—

日本原子力産業協会 大野 薫

世界最大の原子力発電国である米国は、1957年の原子力発電開始以来、発電炉の基数が増加し、1990年には111基とピークに達した。その後、運転中の基数は減少しているものの、原子力発電設備容量はあまり変わらず、原子力発電量は過去10年間、8,000億kWh前後を維持している。こうしたなか、2018年の原子力発電量は8,071億kWh、設備利用率も92.6%と共に過去最高を記録した。本報告では、近年の好調な運転実績向上に貢献している主な取組である設備利用率の向上と出力向上、運転認可更新(運転期間延長)の3点について紹介する。

KEYWORDS: Capacity Factor, Nuclear Power Generation, Emissions-Free Electricity, (Subsequent) License Renewal, Power Uprate, Outage Time

I. 米国の原子力発電開発の経緯

米国では2019年7月現在、97基・約1億kWの原子力発電所が運転中である。米国では近年、原子力発電の新規建設(発電)開始はほとんどなく、原子力開発は停滞状態にある。IAEA/PRIS(発電炉情報サービス)のデータに基づき、これまでの米国の原子力発電所の発電開始と閉鎖の推移を概観する(図1)。

米国では1957年、WH社製炉の SHIPPINGPORT、GE社製炉の GE バレシトスの運転開始以降、PWRとBWRを中心に建設してきた。開発初期は年間1~2基(多い時には4~5基)が発電開始し、1970年代に入ると石油ショックや電力需要の増大等の影響により急拡大し、多い時には年間12基が運転開始した。

しかし、反対運動の高まりやブラウンズフェリー1号機の火災事故(1975年)、そしてTMI2号機の事故(1978年3月)等の影響により、原子力開発は減速し、1978年の8基を最後におよそ35年間、新規着工がゼロの状況が続いた。と言っても、1980年代は、事故以前に着工していた多くの原子力発電所が発電開始し、1990年まで毎年複数基が継続して発電開始、1990年には111基と最大基数となった。ピークに達した1990年以降、発電開始した原子炉は、1993年と1996年に各1基、2000年代に入ってから2016年に1基のみという閑散とした状況が続いている。なおIAEA/PRISのデータでは、最大基数を迎える1990年は111基となっているが、米エネルギー省エネルギー情報局(DOE/EIA)のデータでは112

基となっている。

一方、1990年以降、電力市場自由化・規制緩和に伴う競争激化や安価な天然ガス火力の台頭、補助金を受けた再生可能エネルギーの拡大により、原子力発電所の採算性が悪化、原子炉の閉鎖(退役)数が増加し、米国の運転中原子炉の基数は減少の一途を辿る。具体的には、1990年代に9基、2000~2019年7月までに8基、計17基が退役している。この結果、米国の運転中原子炉の基数はピーク時の1990年に比べて、差し引き(正味)14基減少し、現在の97基となった。

なお新規発電開始ではないが、長期停止していたブラウンズフェリー原子力発電所について、2号機が1991年、3号機が1995年、1号機が2007年にそれぞれ運転再開を果たしている。

新規着工については、1985年に建設中断したワッツバー2号機(PWR, 120.0万kW)が2007年に建設再開したことを除くと、1978年以降新規着工はゼロが続く、ようやく2013年に4基が新規着工した。これは実に、35年ぶりの着工となる。しかし、これら4基(ボーグル3,4号機とサマー2,3号機、いずれもAP1000)のうち、サマー2,3号機については2013年のWH社破綻の影響を受け、スカナ電力が2017年7月、両機の建設を断念したため、現在建設中は、ボーグル3,4号機の2基のみである。

II. 2018年の米国の原子力発電量が過去最高 —8,071億kWhを記録

このように米国の原子力発電を取り巻く状況が厳しいなか、米国の原子力発電所の運転実績(パフォーマンス)は、優れた成果を挙げている。DOE/EIAが2019年3

Current Performance of the U.S. Nuclear Fleets ; Excellent Use of the Existing Reactors : Kaoru Ohno.

(2019年10月7日 受理)

図1 米国の原子力発電所送開始/閉鎖の年別推移
出典：IAEA/PRIS のデータをもとに作成

図2 米国の原子力発電設備容量と原子力発電量の推移
出典：DOE/EIA ウェブサイト資料に一部追記

月に発表した2018年の米国の原子力発電量は、2010年のピーク時(8,070億kWh)を若干上回る8,071億kWhとなり、設備利用率も92.6%と過去最高を記録した(図2)。米国原子力エネルギー協会(NEI)によると、米国の原子力発電は全電力の19.3%を供給し、カーボンフリー電力のシェアは55.2%と他電源のなかでも最大の割合を占めている。これは、CO₂排出量に換算すると、5億2,800万tのCO₂排出回避に相当する。

このように、2018年は、米国にとって記念すべき原子力発電の記録樹立の年となったが、これらは原子力産業界を中心とした関係者の統一した努力の賜物であり、既存資産の有効活用成果と言える。米国の運転実績向上に向けた具体的な主な取組として挙げられるのは、設備利用率の向上と出力の向上、運転認可更新(運転期間延長)の3点である。

Ⅲ. 既存炉活用の動き

1. 設備利用率の向上

米国では、1970年代および1980年代にトラブルを始めとする様々な要因により、原子力発電所の平均設備利用率が50%台と低迷していたが、プラントの改造や定期検査・燃料交換作業の効率化により、運転実績の改善を

図3 米国の原子力発電所の平均設備利用率の推移
出典：NEI ウェブサイト資料に一部追記

図4 米国の原子力発電所の平均停止期間
出典：DOE/EIA ウェブサイト資料に一部追記

果たしている。2000年代に入ると、平均設備利用率は90%前後と高い水準で推移しており、良好な設備利用率を誇っている(図3)。

また過去3年間における米国の原子力発電所の平均停止期間の平均を見ると、25日程度であり、単純計算すると時間稼働率はおおよそ93%と高い稼働率となっている(図4)。

米国の原子力発電所は通常、18~24ヵ月のサイクルで運転しており、多くの場合、電力需要の低い春と秋に燃料交換を実施し、原子炉の運転期間中に施設の更新や修理、その他のメンテナンス作業を完了させ、停止期間を最適化している。なお米国では一般的に、リスク評価を実施後、停止期間の短縮等を目的に、運転中保守の実施

が認められている。DOE/EIA によれば、2017 年の実績ではあるが、次の 6 基の燃料交換停止時間が 20 日未満であった。ピーチボトム 3 号機(15 日)、ボーグル 1 号機(16 日)、ナインマイルポイント(17 日)、クアド・シティーズ(18 日)、ドレスデン(18 日)、TMI1 号機(19 日)。1970 年代および 1980 年代には、燃料交換に伴う運転停止期間が平均して 3 ヶ月以上にも及んだことを考えると、隔世の感がある。

過去を振り返ると、1960 年代から 70 年代前半にかけて、米国の原子力発電所は、4～5 年の工期で、1 基あたり 5 億ドルの建設費で完成した。しかし 70 年代後半から 80 年代前半になると、工期は 10～12 年、建設費は 50 億ドルにまで跳ね上がった。その主な要因として挙げられるのは、①早急な原子力発電開発(わずか数年のうちに、20 万 kW 級原子炉を 100 万 kW 級に拡大)、②原子炉技術の高度化やブラウンズフェリー 1 号機の火災事故および TMI2 号機の事故に伴う規制要件の増加、である。特に、TMI 事故の影響は大きく、建設中のプラントは新たに追加された規制要件を満たすことが要求されたため、再設計や追加工事を余儀なくされ、建設スケジュールは遅滞し、建設費の高騰を招いた。また事業者自身の原子力発電プロジェクトに対するマネジメント不足や電力需要自体の鈍化、さらに反対運動の影響も加わり、建設プロジェクトは全般的に低迷。金利は 2 桁に上昇した(1980 年代前半には 20%に達した)。IAEA/PRIS によると、1977 年～1990 年にかけて建設途中で中止・取消となった原子力発電所は、30 基以上に上る。

しかし、事業者は過去の経験(多くは日本からの教訓と良好事例)から学び、また業界を挙げての取組、具体的には INPO(1979 年)や NEI(1994 年)の設立等を通じて、技術や運転管理、情報共有・管理、社会とのコミュニケーション、規制や政治等々、原子力を巡る様々な問題に関して専門情報や知識を結集し、業界全体で一元的な取組を行うことによって、現在、運転実績は好調を極め、規制当局による許認可手続きも大幅に合理化されるに至っている。とりわけ、NEI を介して諸問題に対して組織化した取組を行ったことが、情報の積極的な共有や誤りに対して公正に対応することと相まって、原子力産業の優秀な運転実績をもたらした要因の一つであると言われている。

2. 出力向上

米国では 2019 年 7 月現在、164 件の出力向上(熱出力増強合計：2,376 万 4,000 kWt)が認可されており、これによる電気出力の合計増加分は、792 万 1,300 kWe と 100 万 kW 級の原子力発電所で約 8 基相当になる。出力向上は、1977 年からストレッチ型(計装設定値の変更)による 2 件の出力向上が実施され、1990 年以降で約 700 万 kW 分の出力向上が行われた(図 5)。

単位: 電気出力(MWe)=1,000kWe

図 5 米国の原子力発電所における出力向上の推移(累積)

出典：NEI ウェブサイト資料

表 1 出力向上の種類とこれまでの実施件数

出力向上の種類	これまでの実施件数
測定精度改善型 MU	66件
ストレッチ型 S	64件
設備拡張型 E	34件

出典：NEI の資料をもとに作成

1990 年以降は新規発電開始が殆どなく、米国の原子力発電所の基数が減少(10 基以上)した時期にあたることから、発電設備容量の減少分を出力向上が補填したとも言える。この出力向上と過去最高を記録した設備利用率により、2018 年の原子力発電量が過去最大となった。

しかし、一方、今後の出力増強の申請見通しは、2020 年までにわずか 6 万 kWe と縮小している。昨今の卸売電力価格の低迷や電力需要の伸びの鈍化により、プラント所有者は、既存炉の出力増強に対する投資を鈍らせている。

米国の出力向上には次の 3 種類があり、そのうち、測定精度改善型 MU と呼ばれるタイプが最も多く実施されている(表 1)。また同一炉で複数タイプの出力向上が実施されている。①測定精度改善型 MU(Measurement Uncertainty Recapture)：測定誤差の修正による出力向上(熱出力の増加率～2%増加)、②ストレッチ型 S(Stretch)：計装設定値の変更による出力向上(同：～7%増加)、③設備拡張型 E(Extended)：高压タービン、復水ポンプ、モーター、発電機、変圧器等のバランス・オブ・プラント(BOP)の大規模改修による出力向上(同：～20%増加)。

3. 運転認可更新(運転期間延長)

また米国では原子力発電所の運転期間延長(20 年)が一般的に行われている。2019 年 7 月現在、94 基(合計出力：9,517.1 万 kW)の原子力発電所で運転認可が更新されており、3 基(同 356.8 万 kW)で運転期間延長の申請が予定されている(図 6)。さらに、米国では 2 度目の運転期間延長も可能となっており、このうち 6 基(同 563.4 万 kW)が 80 年運転をめざしている(表 2)。一方、20 年の運転期間延長を申請し、認可されたものの、経済性等を理由に閉鎖に追い込まれている原子炉もある(図 6)。

図6 運転期間延長(60年運転)をした米国の原子力発電所
出典：NRC ウェブサイト、JAIF「世界の原子力発電開発の動向 2019」をもとに作成

表2 2度目の運転期間延長(80年)を申請中/申請予定の原子力発電所

発電所名	炉型	gross出力(万kW)	所有者	運転開始年	申請年月
ターキーポイント3	PWR	76.0	FPL	1972	2018年1月
ターキーポイント4	PWR	76.0	FPL	1973	2018年1月
ビーチボトム2	BWR	118.2	エクセロン/PSEG	1974	2018年7月
ビーチボトム3	BWR	118.2	エクセロン/PSEG	1974	2018年7月
サリー1	PWR	87.5	ドミニオン	1972	2018年10月
サリー2	PWR	87.5	ドミニオン	1973	2018年10月
ノースアナ1	PWR	99.8	ドミニオン	1978	2020年10～12月(予定)
ノースアナ2	PWR	99.4	ドミニオン	1980	2020年10～12月(予定)

出典：NRC ウェブサイト、JAIF「世界の原子力発電開発の動向 2019」をもとに作成

米国の原子力発電所の最初の運転認可は40年と設定されているが、これは技術的な制約に基づくものではなく、主に経済性を考慮して設定されたものである。運転期間延長の申請は、あくまで自発的なものであり、プラント所有者が規制当局の原子力規制委員会(NRC)の要件や費用対効果等を勘案し、判断する。またNRCのウェブサイトによれば、運転認可の更新を適時に行うことは、それらが適切と判断された場合、21世紀前半における米国のエネルギー供給を確保するためには、重要であるとしている。実際、現時点で約半数の原子炉が40年超運転を実施中であり、そのうち3基が間もなく50年の運転期間を迎えようとしている(図7)。

米国では今後、2040年までに約半数の原子力発電所の運転年数が60年を迎えるが、NEIが2016年5月に14

図7 米国の運転中原子力発電所(97基)の運転年数
出典：IAEA/PRIS のデータをもとに作成

図8 米国の既存原子力発電所の運転状況
出典：NEI「Nuclear by the Numbers」(2018年4月)に一部追記

の電力会社を対象に2度目の運転期間延長の申請に行った調査によれば、2047年までに21のプラント/サイトが申請見込みで、その多くは2030年までに申請が行われる見通しである(図8)。

著者紹介

大野 薫 (おおの・かおる)
日本原子力産業協会 情報・コミュニケーション部
(専門分野/関心分野) 海外の原子力動向