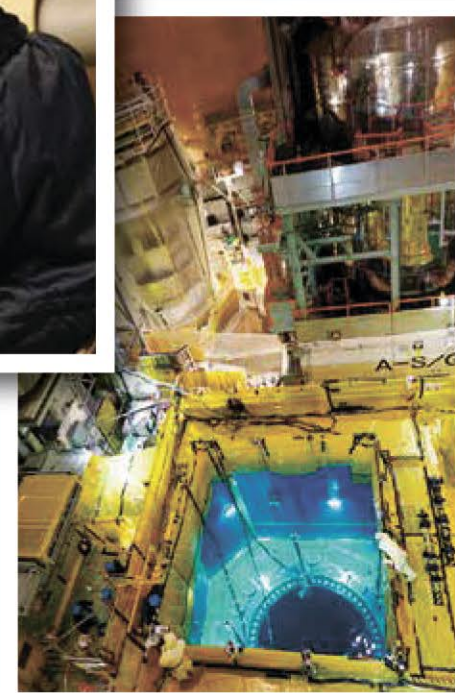
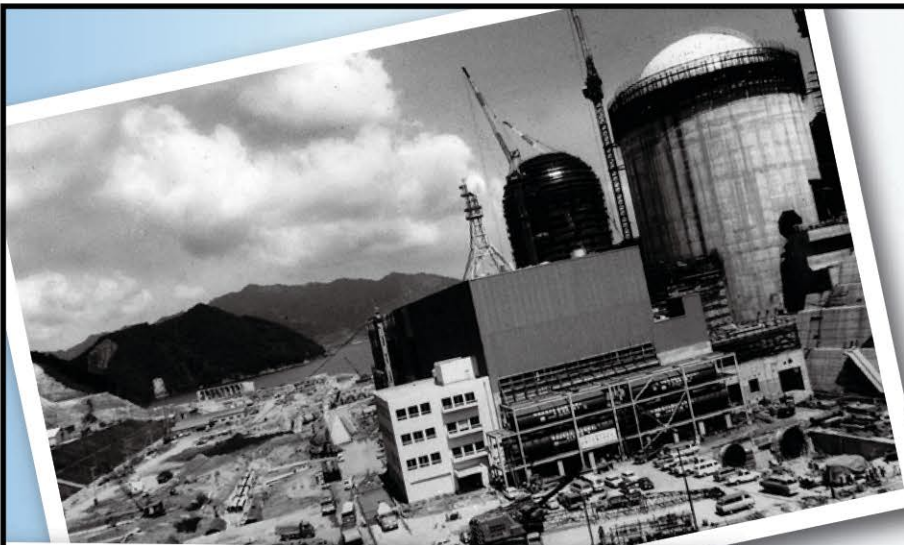


40年超運転を考える

運転開始から40年が経過した関西電力高浜発電所1、2号機、美浜発電所3号機が2016年に相次いで運転期間延長認可を取得した。新規制基準への適合性や経年劣化の状況など、原子力規制委員会による厳格な審査を経ての認可だが、再稼働には不安の声もある。「40年超運転」はなぜ必要で、安全性はどう確保されているのか。これまでの経緯や背景を振り返りながら考えてみたい。



CONTENTS

- [2面] 日本のエネルギー事情
- [3面] 原子力発電所の運転期間延長認可制度
- [4~6面] 40年超運転、本当に「大丈夫」?
- [7面] 海外の動向
- [8面] 有識者に聞く 宮崎慶次・大阪大学名誉教授

待ったなし、日本のエネルギー事情

「なぜ運転開始から40年を超える原子力発電所を動かさねばならないのか?」この問いに対する答えは、日本のエネルギー事情にある。現状は電力不足による停電こそ起きていないものの、電力の8割以上を火力発電に依存している。温室効果ガスの排出増加や燃料価格の上昇、輸入の途絶などは依然大きなリスクだ。こうしたリスクの低減に寄与できるのは環境性、経済性、燃料調達安定性に優れた原子力発電であり、運転開始から40年を超えるプラントを含む原子力発電所の有効活用が避けて通れない。

東日本大震災以降、国内の原子力発電所は順次稼働を停止した。電力会社は火力発電設備をフル活用し、電力需給の逼迫を乗り切ってきた。この状況を示すのが下の3つの円グラフだ。

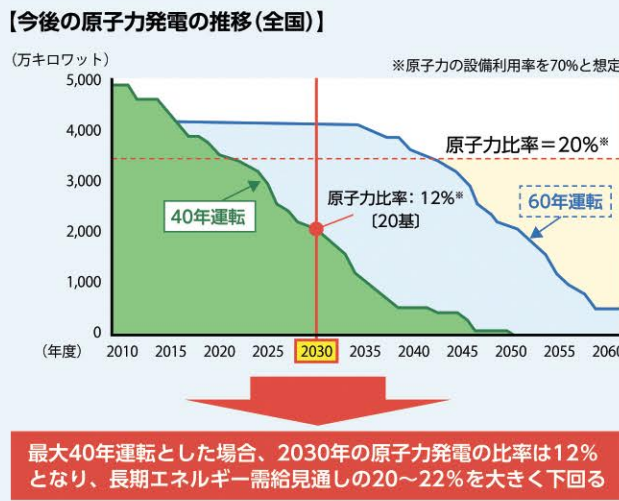
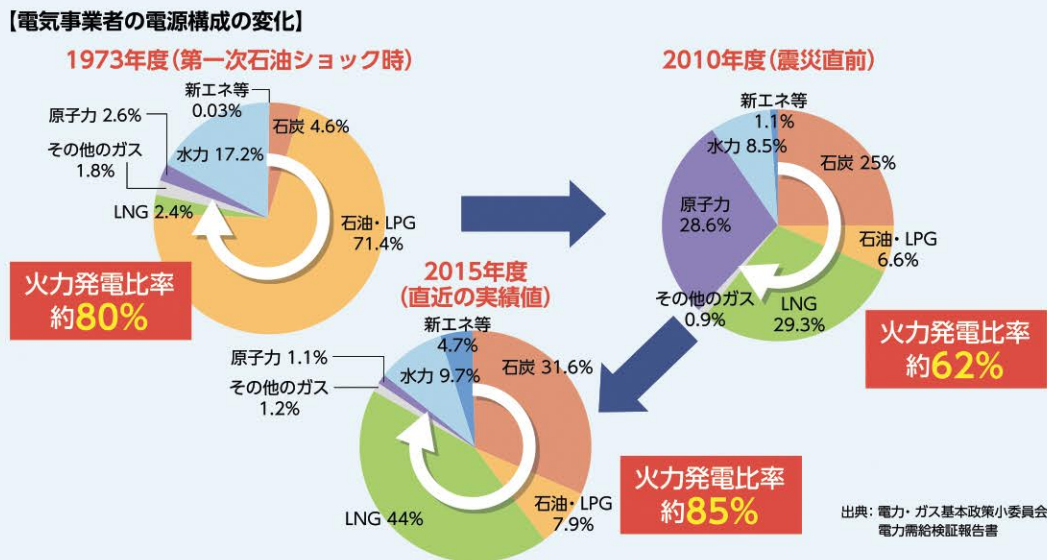
エネルギー調査会(経済産業相の諮問機関)電力・ガス基本政策小委員会は16年10月、原子力停止に伴う燃料費の増分は15年度に1.8兆円と試算した。13年度の3.6兆円から半減しているが、その大きな理由は燃料価格の低下。別の見方をすれば、燃料価格や為替の動向次第で今後負担が大幅に増す可能性がある。

また、電力会社(旧一般電気事業者)の温室効果ガス排出量は、14年度に10年度比で約14%増となった。発電部門の排出増が国全体の排出増へとつながっており、地球温暖化対策の観点でも困難が生じている。

火力発電比率は8割超 「依存リスク」変わらず

2010年度は電源構成(発電電力量)に占める火力の比率が約62%だったが、2015年度には約85%まで上昇。再生可能エネルギーも急拡大したものの、現実には原子力を代替した主役は火力と言える。電力会社は70年代のオイルショックを契機に、石油火力依存から脱却し電源を多様化してきた。その当時と比較しても現在の火力比率は高い水準にある。日本は火力燃料の大部分を海外からの輸入に依存している。火力燃料の産出国には政治情が不安定な国も多く、万が一、日本までの海上輸送路が封鎖されるなどの支障が生じれば、たちまち供給不安に陥るリスクが存在する。

燃料費の増加も続いている。総合資源工



政府は2014年4月に策定したエネルギー基本計画に基づき、15年7月に長期エネルギー需給見通し(エネルギーミックス)を示した。「2030年時点の電源構成に占める原子力比率20~22%」というのは、日本のエネルギーリスクへの対応を視野に入れた目標。この達成には、運転開始から40年を超えるプラントも含む原子力発電所の活用が必要となる。このため、40年超運転は国のエネルギー政策上も欠かせない要素となっている。

2030年の原子力比率20~22%
40年超プラント含む活用不可欠

原子力発電所の

「運転期間延長」とは――

東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて、2012年に当時の民主党政権は原子炉等規制法(炉規法)を改正した。この時に原子力規制委員会の設置を決めるとともに、発電用原子炉の運転期間を40年とした。運転期間満了日までに規制委へ申請して認可を受ければ、1回に限り20年を限度に運転期間延長を認める仕組みだ。

この時点で既に運転開始40年を超えるプラントもあったが、経過措置として、法律が施行された13年7月時点で運転開始37年を超えるプラントは、16年7月を運転期間満了日と設定。この満了日の1年~1年3カ月前には、設備・機器の経年劣化状況などを詳細に調べる「特別点検」を実施した上で、その結果とともに規制委に対し運転期間延長認可の申請をすることが求められた。

原子力プラントが運転期間を延長し再稼働するためには、規制委が定めた新規制基準に適合していることも前提となる。規制委は延長認可までに、新規制基準適合性審査を終え、原子炉設置変更許可、

工事計画認可を受ける必要があることを認可基準として定めた。

経過措置の対象となった全国4社・7基の原子力プラントの中では、40年超の継続運転を目指したのは関西電力高浜発電所1、2号機の2基のみ。関電は14年12月から約5カ月かけて高浜1、2号機の特別点検を進め、15年3月には高浜1~4号機の原子炉設置変更許可を申請。運転

新規制基準への適合も含めた二連の審査を終え、関電が高浜1、2号機の運転期間延長認可を受けたのが16年6月。約1年2カ月に及ぶ厳格な審査をクリアしての「第1号」認可となった。これに続き、関電は美浜発電所3号機についても同年11月に運転期間延長認可を取得している。

期間延長認可は点検終了後の同4月に申請している。

■ 運転期間延長認可までの経緯

年月	出来事	注釈
2011年3月	東日本大震災・福島第一事故	運転期間延長認可制度を法制化
2012年6月	原子炉等規制法改正	
2012年9月	原子力規制委員会・規制庁が発足	
2013年7月	新規制基準が施行	約5カ月に及ぶ詳細な点検
2014年12月	高浜1、2号機の特別点検開始	
2015年3月	高浜1~4号機、美浜3号機の原子炉設置変更許可申請(新規制基準適合性審査の開始)	
4月	高浜1、2号機の運転期間延長認可申請	
5月	美浜3号機の特別点検開始	
7月	高浜1、2号機の工事計画認可申請	
11月	美浜3号機の工事計画認可・運転期間延長認可申請	新規制基準への適合性を確認
2016年4月	高浜1~4号機の原子炉設置変更許可	
6月	高浜1、2号機の工事計画認可	
	高浜1、2号機の運転期間延長認可	
10月	美浜3号機の原子炉設置変更許可	約1年2カ月にわたる厳格な審査に合格
	美浜3号機の工事計画認可	※高浜1、2号機の場合
11月	美浜3号機の運転期間延長認可	



高浜1、2号機の認可証を受け取る関電の森中郁雄・常務執行役員(16年6月、原子力規制庁)



原子力規制委員会がある東京六本木のビル

原子力の40年超運転 本当に「大丈夫」なの？

国内の原子力発電所では、東京電力福島第一原子力発電所の事故以前から高い安全性と信頼性が求められてきた。放射線や放射性物質を取り扱う場所であり、長期間にわたり安定的に電力を供給するベース電源という役割に不可欠なものだからだ。プラントの高経年化についても運転開始40年となる前からさまざまな対策が進められており、「老朽化」を防いできた。40年超運転は本当に「大丈夫」なのか——？ その実態を見てみよう。



余裕をもたせた設計に加え、実際の設備・機器の状況を確認している(写真は07年4月、美浜3号機の定期検査)

長期運転に余裕をもった設計
高い品質で製作・施工・据え付け

原子力発電所は長期間の運転が可能になるよう、材料や強度、寸法などに十分な余裕をもたせて設計し、高い品質で製作・施工・据え付けが行われている。

それを示す一例が、原子炉容器の金属疲労に関する評価だ。機器の設計にあたっては起動・停止といった運転操作で蓄積し、強度低下につながる金属疲労を予め評価するが、起動・停止回数は極めて保守的に評価されている。例えば関西電力の高浜発電所1号機では、建設時からプラントの起動・停止回数を200回と想定し、金属疲労に対し十分問題ないことを確認している。しかし、実際には疲労評価の実施対象となった2010年3月末までの回数は、64回にとどまっており、かなり余裕をもった設計となっていることが分かる。

原子力プラントの運転期間についても、もともと「40年」と設定していたわけではない。運転中に経年劣化に関するデータを蓄積して評価を精緻なものにし、実際の設備・機器の状況を確認して判断する。運転開始40年で突然劣化が進むわけではないことを考えれば、合理的な発想と言える。

大型設備・機器取り換え
安全性・信頼性が向上

40年超プラントが「老朽化」していないという根拠の一つが、大型機器やポンプ、配管などの取り換えが計画的に実施されてきたことだ。

例えば関西電力高浜発電所1、2号機では1990年代に低圧タービンや蒸気発生器、原子炉容器の上ぶたを交換。2000年代に入ってから復水器や低圧給水加熱器の一部、燃料取替用水タンクも取り換えた。こうした機器の取り換えに当たっては、当然ながら運転開始当時にはなかった新技術や新材料も数多く導入されている。そうした観点では、「老朽化」しているのではなく安全性や信頼性が40年前より向上している。

一方、高経年化技術評価では、原子炉容器のように運転開始時から取り換えが行われない設備についても最新の知見を活用した評価を行う。

例えば原子炉容器の炉心領域では、長期間にわたる中性子の照射で材料がもろくなる「中性子照射脆化(ぜいか)」を予測・評価することが求められる。高経年化技術評価では最新のモデルに基づいてこの予測を行い、運転開始から60年が経過した時点で、事故時の厳しい条件や実際には確認されていない大きな亀裂を保守的に仮定したとしても原子炉容器の健全性が

10年ごとに詳細な高経年化技術評価 福島第一事故前から着実に対策

福島第一事故の前から、国内の原子力プラントは法律(実用炉規則)に基づいて運転開始から30年目以降、10年ごとに「高経年化技術評価」が義務づけられてきた。これは安全上重要となる全ての機器・設備について、経年劣化に関する技術的な評価を行うもの。この評価は60年の運転を想定して実施され、それに基づく10年先までに実施すべき「長期保守管理方針」を策定する。この方針は国が学識者の専門的な意見も聞きながら、審査を行ってきた。

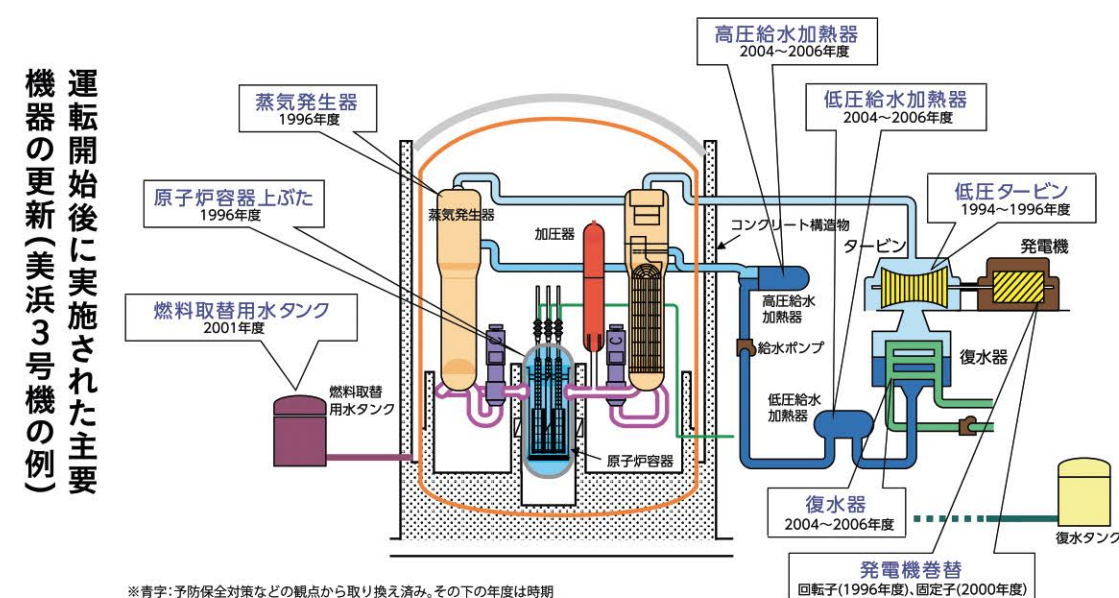
こうした長期的な方針も取り入れ、電力会社は設備の特性に応じて毎日、1年ごと、10年ごとといったように、計画的・網羅的な点検や検査、評価により発電所全体の安全性を確認している。例えば、



大型機器の取り換えなども計画的に進められてきた(①蒸気発生器取り換え②配管取り換え)



日々の状態を監視するために、設備の発熱や振動といった目に見えない小さな「劣化のシグナル」を逃さないことが大事であり、目視だけでなく赤外線など最新の診断技術を駆使して異常の早期発見とメンテナンスに努めている。



※青字:予防保全対策などの観点から取り換え済み。その下の年度は時期

運転開始後に実施された主要機器の更新(美浜3号機の例)

が保たれることを確認している。新規制基準の施行とともに新たな運転期間延長の仕組みが導入され、原子力プラントの「40年超運転」が注目を浴びることになった。ただ、60年運転を視野に入れた原子力発電所の高経年化対策の取り組みは過去長年にわたって実施され、膨大かつ緻密な評価データの蓄積があることも認識しておく必要がある。

One Point!

福島第一事故の
教訓踏まえる

2011年3月、東日本大震災とともに未曾有の災害として記憶される福島第一事故。事故の詳細な進展過程は今も調査・分析が継続されているが、直接的な原因は津波と考える専門家も多い。地震発生で原子炉は自動停止し、外部電源は喪失したものの、非常用ディーゼル発電機など緊急時の電源は起動した。ただ、地震に伴う津波で浸水したため緊急時の電源も機能を失い、原子炉が停止した後には炉心を冷やす設備などが使用できなくなった。その後、原子炉内の燃料が溶融する事態に発展。水素爆発、格納容器の破損などに至った。この事故の教訓を踏まえ、13年7月に施行された新規制基準では、自然災害への備えや過酷事故対策が大幅に強化された。新規制基準適合性審査を通じて事業者は地震や津波を保守的に大きく見積もり、それに合わせた浸水対策や耐震補強工事、過酷事故対策を実施している。これは40年超プラントも同様に適用されるため、「古い原発は事故が起りやすい」というわけではない。

地震・津波対策は
国内全プラントで
大幅強化

取り換え困難な設備は

「特別点検」で健全性確認

運転開始40年を迎えた原子力プラントの運転期間延長認可申請の前提として必要になるのが、特別点検だ。基本的には取り換えを行わない施設や設備について、健全性を損なうような欠陥などがないかどうかを確かめる内容となる。

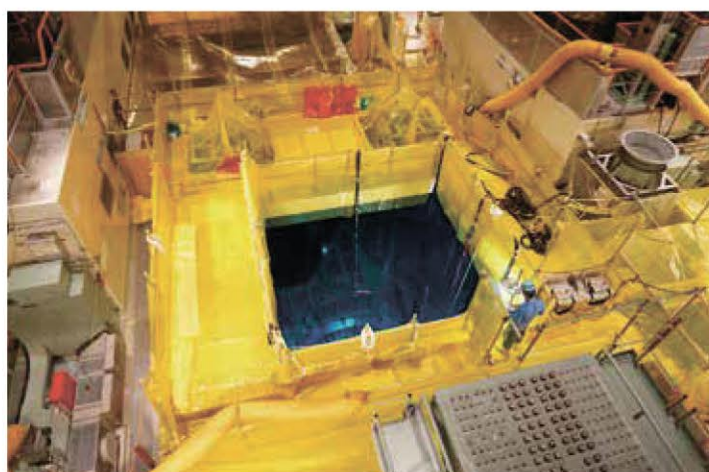
原子炉容器の内部では、広い範囲で超音波や渦電流を用いて傷の有無を確かめる探傷試験を実施。これらの試験では、遠隔操作で水中での作業を行うことができる検査ロボットも活躍する。原子炉容器の底に設置され様々なデータを取得する炉内計装筒も全てが点検の対象となっている。

原子炉格納容器では内面・外面ともに目視によつて鋼板の塗膜状態を確認。人が接近できない箇所ではカメラも使いながら、腐食などにつながる塗膜の劣化が生じていないかを点検する。

コンクリート構造物は原子炉格納施設や原子炉補助建屋、タービン建屋、取水槽など多岐にわたる構造物が点検の対象（加圧水型軽水炉の場合）となる。コンクリートの一部を円柱状に採取したコアサンプルによつて、コンクリートの強度、遮蔽能力、中性化深さ、塩分浸透、アルカリ骨材

反応の確認をするが、例えば関西電力高浜発電所1、2号機と美浜発電所3号機では、1基あたり約150本のコアサンプルを採取して確認した。

いずれも点検手法自体は従来から存在し、既に実施してきたものもあるが、炉心領域の一部など初めて試験した箇所もある。40年超運転を目指す設備の状況については、入念なチェックが実施される。



原子炉容器内部を確かめる探傷試験



格納容器鋼板の目視点検



コンクリート構造物のコアサンプルの採取

関西電力高浜1、2号機、美浜3号機
さらなる安全性向上に向けた対策工事

運転延長認可を取得した高浜1、2号機、美浜3号機では今後、安全性・信頼性向上に向けた対策工事が進む。高浜1、2号機の格納容器上部にドーム状の遮蔽を設置する工事や、高浜2号機の海水を取水する管を強固な岩盤上に移設する工事などを実施。美浜3号機の防潮堤設置工事や使用済み燃料を収納するラックの取り換え工事、格納容器の補強工事なども行う。

3基共通しては非難燃性ケーブルの防火対策や中央制御盤の取り換え、耐震構造で事故時に現場の指揮所となる緊急時対策所の設置も進めていく。関電ではこうした二連の工事が完了するまでに、今後3年程度の時間がかかると想定している。まずは地元をはじめとする社会の理解を得ながら、安全に対策工事を進めることが重要となる。

原子炉容器、原子炉格納容器、コンクリート構造物

米国 原子力プラント、約8割が40年超認可

世界で最も多くの原子力発電所が立地する米国では、原子力発電所の運転に40年間のライセンス制を導入している。40年という期間は技術的な観点で決められたものではなく、原子力発電所の減価償却という会計上の観点から設定されたものだ。

運転ライセンスの更新も活発に行われている。米国内では2016年末までに、稼働中の99基の原子力プラントのうち、8割を超える84基が原子力規制委員会（NRC）による更新認可を受けた。実際に40基が40年を超える運転に入っており、平均設備利用率も15年実績で約9割に達するという。原子力発電所の「高経年化先進国」である米国では、既に40年超運転は珍しいことではない。

この背景にはNRCが原子力プラントの稼働の可否を判断するに当たり、運転開始からの経過年数ではなく、適切な高経年化対策によつて安全機能が維持されるかどうかを重視していることがある。米国では現在運転期間60年を超える2度目のライセンス更新についても、NRCが専門家や原子力事業者の団体などに意見を聴取しながら検討を進めている。



1～3号機がライセンス更新認可を受けた
テネシー峡谷開発会社（TVA）のブラウンスフェリー原子力発電所

シェールガスの生産増加で天然ガス火力発電所の競争力が増し、一部原子力プラントの閉鎖も報じられる米国だが、なお100基近いプラントが稼働し、長期運転に向けた動きも続く。豊富な天然資源にアクセスできる国であっても、バランスの取れたエネルギーミックスを重視している表れだろう。

適切な経年化対策、安全機能に重点

欧州 期限定めず、10年ごとに確認

欧州では法律で運転期限を設ける代わりに、10年ごとに安全性・信頼性を評価する「定期安全レビュー」を課す国が多い。このレビューをクリアすれば、次の10年間の運転が認められる仕組みだ。

フランスでは09年、事業者のフランス電力（EDF）が原子力安全規制局（ASN）に対して40年を超える運転を要望。それを受けて13年にASNが安全機能確保や機器交換などの基本的な考え方を示し、長期運転に関する協議が進められている。スペインでも14年、事業者のヌクレオールが運転開始から43年が経過したサンタ・マリア・デ・ガローニヤ発電所の運転延長申請を産業エネルギー・観光省に提出した。16年2月10日には原子力安全委員会（CSN）より、60年運転の条件付き承認を得ており、60年運転への道筋が見えてきている。

東京電力福島第二原子力発電所事故以降も、欧米各国では原子力プラントの長期運転という選択肢を放棄していない



10年ごとの定期安全レビューが課されているフランスの原子力発電所

海外の原子力発電所

長期運転に向けた動き

【有識者に聞く】原子力発電所の高経年化対策と長期運転

「40年」はチェックポイント 運転期間は総合的判断を

2012年の原子炉等規制法（炉規法）改正で運転期間延長認可制度が導入されて以来、16年に関西電力高浜発電所1、2号機、美浜発電所3号機がそれぞれ40年を超えた運転を認められた。宮崎慶次・大阪大学名誉教授は、長年にわたり蓄積したデータに基づく原子力プラントの高経年化対策を評価。同時に40年を原子炉の寿命と捉えるのではなく、経年劣化、運転履歴、内外の最新知見などを踏まえた総合的な評価を行う「チェックポイント」と見るべきと指摘する。

——高浜1、2号機、美浜3号機が昨年運転期間延長認可を受けたが、受け止めは。

「厳しい条件の中で事業者としても苦勞したと思うが、遅ればせながら認可されたことは評価できる。原子力規制委員会は新規制基準に適合したとっただけでなく、『State of the Art（現在最先端の技術水準）』に照らして十分な安全性を確認したということ、明確に発信すべきだろう」

——原子力プラントにおける高経年化対策は、これまでどう進められてきたか。

「日本では旧通商産業省時代から総合予防保全の一環で、一定の年数が経過した原子力プラントは事業者の自主的保安措置として定期検査とは別に10年ごとに定期安全レビュー（PSR）を実施してきた。その後、原子力安全・保安院ができてからは事業者に対し、

プラントが30年を超える前に、PSRに加えて60年までの運転を想定した長期保全計画の提出を求めている」

——高経年化対策におけるポイントは。

「東京電力福島第一原子力発電所事故の以前から、高経年化対策に関連してチェックすべき項目は整理されていた。大別して配管の減肉、応力腐食割れ、絶縁劣化、中性子照射脆化、疲労割れ、コンクリートの中性化の6項目ほどうち、最も重要なのは加圧水型軽水炉（PWR）では原子炉容器内部が高速中性子の照射によって脆くなる中性子照射脆化と考えられる。また、沸騰水型軽水炉（BWR）では再循環ループ配管などの粒界型応力腐食割れだ。炉型によらず共通の項目も多い」

「PWRでは、原子炉容器内部に取り付けられた試験片の強度試験結果や脆

化の原因となる不純物成分の量、60年時点を見越した中性子照射量を全て考慮した評価が行われる。BWRでも点検箇所や点検期間の短縮で追加保全したり、ABWRでは再循環ポンプを炉内蔵型にしている。いずれも過去から蓄積してきたデータに基づく評価で、健全性を確認している」

——12年の炉規法改正でプラントに40年の運転期間が設定され、一部に延長を疑問視する声もある。

「報道でよく言われる『原則40年』『例外的に延長』というような文言は、改正炉規法のどこにもない。40年は寿命というより、運転継続の重要なチェックポイントと見るべきだ。経年劣化する設備は適切に対処すべきだが、多くのプラントでは過去のデータを基に改良を加えてきている。例えば蒸気発生器なども取り換え、新しい知見も取り入れるといった手当てがなされてきた」

——高経年炉は実態を踏まえて活用すべきということか。

「単なる運転開始からの経過年数以外に、プラントをどれほどの出力で何年間運転したかを示す『定格出力運転年数（Effective Full Power Years）』という概念も取り入れた総合的な評価、判断が必要と考える。同時に安全性や経済性を向上させた次世代軽水炉の開発なども着実に進め、今後に備えていくべきだろう」



宮崎 慶次氏
大阪大学名誉教授