

老朽化する原発と次世代の原子炉

深野 照日

ワンダーニュース

2017年9月



目次

はじめに	1
根拠のない安全神話	2
事故後の諸外国の動向	4
原発への不信感	4
米国	5
シビアアクシデント対策	6
円滑な情報共有と意思疎通	6
米国	6
フランス	7
再稼働	8
廃炉	11
廃炉か運転延長か	11
廃炉にむけて	14
廃炉方法	14
廃炉にかかるコスト	15
将来の見通し	16
イノベーションの波	16
国民の生命と安全を守る	17
参考文献・資料	18

老朽化する原発と次世代の原子炉

2017年9月11日

はじめに

未曾有の原子力災害をもたらした福島第一原子力発電所の事故は日本だけでなく、世界の人々にも強い衝撃と不安を与えた。2011年3月に原発事故を起こした日本では、国会と政府が各々事故調査委員会を設置し、それぞれの調査方針に沿って事故の調査と検証が進められた。事故から1年あまりが経った2012年7月に最終報告書は公表された。2015年には国際原子力機関（以下、「IAEA」）が「福島第一原子力発電所事故」の報告書を発表している。これらの報告書によると自然災害と人災が複合的に重なり合い原発事故は起きたとある。福島沖で自然災害が発生する可能性は以前から専門家によって指摘されていた。想定を超える巨大地震と大津波に備える対策が不十分だったことが結果として未曾有の原発事故につながった。

事故直後、各国の原子力規制当局は自国の原子力発電事業者に対しストレステストの即時実施と原発内の脆弱性を洗い出し必要な対策を講じるよう要請した。本書では福島第一原発の事故がもたらした衝撃が原発を抱える他の欧米諸国のエネルギー政策におよぼした影響、老朽化する原発の課題と次世代の原子炉開発について言及する。

許可なく転載することを禁じます。

ワンダーニュース

根拠のない安全神話

原子力発電はきわめてエネルギー密度が高く、元来危険な物であるにもかかわらず、日本では社会の不安を払拭するために危険がないものとして原子力利用の推進が図られてきた。1986 年にチェルノブイリ原発事故が発生した際も日本の原子炉とは炉型が異なるため日本の原子炉では大量の放射線物質の飛散、炉心溶融（以下、「メルトダウン」）のような重大な事故（シビアアクシデント）は発生しないという強い思い込みがあった。電気事業者だけでなく規制当局もチェルノブイリ原発事故の教訓を国内にある原発の安全対策に生かそうとはしなかった。だが東京電力福島第一原発事故はチェルノブイリ原発事故と並び IAEA の原子力事故・故障尺度（INES¹）のなかで最も深刻な重大事故（レベル 7）に分類されている。

チェルノブイリ原発事故後、欧州大陸の主要国では電力会社が 1990 年前後に相次いで原発施設内にフィルターベント設備²を設置した。日本の電気事業者が同設備を導入したのは福島第一原発事故後のこと、チェルノブイリ原発事故からすでに 25 年が経過していた。

原発プラントに致命的な打撃を与える大津波への対策が不十分だった。2002 年に国内で開発された津波評価技術を用いて想定津波の最大波高を計算したところ福島第一原発で 5.4m～5.7m という値を得て、東京電力は対策を立てた。さらに 2008 年には地震調査研究推進本部が福島県沖で従来考えられていたものよりも大規模な地震と津波が発生する可能性を指摘した。このとき想定された津波の波高は福島第一原発の敷地内で 9.3m～15.7m（2011 年 3 月に福島第一原発を襲った実際の津波の高さは 15m と推定される）。設計上の想定を超える津波波高の数値を得たあとの東京電力の幹部の反応は鈍く、単に可能性を示しているだけで実際にはそのような津波は来ないだろうと判断し、具体的な大津波対策の着手にはいたらなかった³。

¹ INES : International Nuclear Event Scale

² フィルターベント設備は放射線物質の放出を伴う重大な事故が発生した際、格納容器ベント操作時に放射線物質の放出量を低減する設備。粒子状の放射線物質およびガス状の放射線物質である無機よう素を約 1,000 分の 1 に低減する性能がある。さらによく素フィルタにより、有機よう素（ガス状の放射線物質）の 98%以上を取り除くことが可能。

³ 「最終報告書」東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会（内閣府）および“The Fukushima Daiichi Accident”, IAEA, 2015

福島第一原発事故の直接的原因は「長時間の全電源喪失はおこらない」との前提のもとにすべてが構築・運営されていたことにある。水素爆発により 1 号機から 4 号機の原子炉建屋が破損し大量の放射線物質が飛散し、1 号機から 3 号機ではメルトダウンが起きた。2011 年 3 月 11 日に発生した地震で福島第一原発では外部電源の供給が停止し、バックアップ電源である非常用 DG (ディーゼル発電機)、電源盤および蓄電池が津波による浸水で静止または使用できなくなるなど全交流電源を喪失した。さらに津波により冷却水を供給する海水ポンプが冠水したため炉心除熱機能が失われた。日本の電気事業会社や規制当局が抱いた原発の安全神話はあっけなく崩れた。

事故後の諸外国の動向

原子力発電の是非に関する問題は最終的に国民の選択により判断される。福島第一原発事故によりその計り知れないリスクがあらわになり、各国のエネルギー政策に及ぼした影響はきわめて大きい。原発への不信感が高まり原発政策を見直す国がある一方で、引き続き原発を主要な電源の一つと位置付ける国(日本を含む)もある。なかでも中国、ロシアおよびインドなどを中心に原発の需要はかならずしも衰えていない。

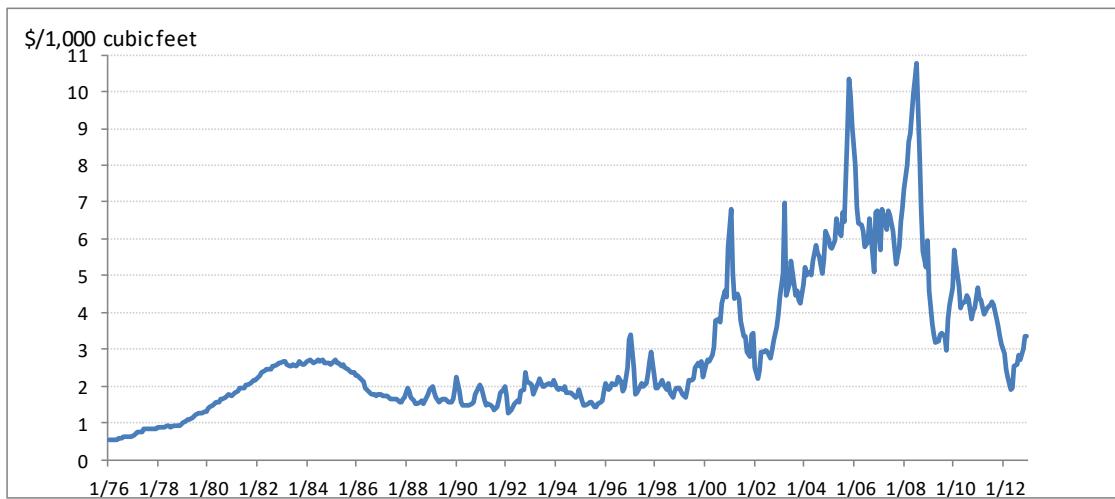
原発への不信感

福島第一原発事故後の 2011 年 7 月、ドイツは 2022 年までに原子力発電所稼動を完全に停止する計画を決定した。1990 年には 21 基の原子炉がドイツで稼働し、電源構成に占める原発の割合は 33% だった。2016 年末では 8 基の原子炉が稼働しており、全電源に占める割合は 13% にまで減少している。稼働中の 8 基は 1984 年から 1989 年にかけて運転を開始した原子炉で 2022 年までにはドイツが設けた運転寿命の上限 32 年に達する。スイスも 2017 年に実施した国民投票の結果を受けて 2050 年までに脱原発を実現する。スイスおよびドイツとも原発に代わり再生可能エネルギーの利用を増やす方針だ。

リトアニアは 2012 年 10 月に実施された国民投票の結果を受けて原発の新設を中止した。2016 年 11 月にはベトナム政府も原発の建設計画を白紙にした。いったんメルトダウンのような重大事故が起きると、もはや人間には制御不能な状態に陥る原発のリスクと巨額の建設費用が計画中止の主な要因と考えられる。

米国

図1 米国天然ガス井戸元価格の推移



出所 : U.S. Energy Information Administration

1979年に発生したスリーマイル島原発事故後、米国で計画されていた原発の新規受注や新規プロジェクトの多くは中止もしくは中断された。それ以降20年あまりにわたり原子力発電所の新設はほぼ止まった。新設が停止した背景には1)原発の建設中止運動の高まり、2)天然ガスの価格が安く安定して推移していたこと(図1)、3)原子力発電所に関わる規制が強化されコストの上昇につながったことなどがある。1977年以前に建設が承認されていた原発47基の建設は進められ、1970年代末から80年代に工事が完了し運転を開始した。これ以降、原発の新設や建て替えは止まり原発関連産業の業績は低迷する。2000年代に入ると天然ガスの価格が高騰し、地球温暖化防止の観点などから原子力発電が再評価されるようになった。その矢先の2011年3月に福島第一原発事故が起きた。

同原発事故後、米国では厳しい規制がさらに強化され建設中の原発で工期の遅れに伴う建設コストの上昇、さらに既存の原発施設では安全対策費が膨らむなど原発事業者に逆風が吹いている。現在進行中の工事は2017年3月に経営破綻した東芝の元子会社ウェスチグハウス(WH)が原子炉を納入する4基のみだ。

シビアアクシデント対策

円滑な情報共有と意思疎通

プラントの設計、各国の規制さらに発電所施設の置かれた自然環境特性によってシビアアクシデント対策は変わってくる。そのため IAEA にも画一的なシビアアクシデント対策のマニュアルはない。東京電力の福島第一原発事故では全交流電源を喪失し想定もしない過酷な状況で運転員と作業員が刻々と悪化する事態に対応するよう迫られた。発電所の現場（オンサイトセンター）、オフサイトセンター（緊急事態応急対策拠点施設）、東京電力、官邸と規制当局の間の情報共有や連携が円滑に進まず、かえって混乱に拍車をかけた。意思疎通が大きな課題としてクローズアップされた。

現地で関係機関が一堂に会し、事故の対応や住民の避難に当たるはずの「オフサイトセンター」が地震による停電や事故後の放射線量の上昇で機能せず、大きな痛手となつた⁴。オフサイトセンターは福島第一原発から 5 キロ離れた場所にある。本来であれば 20 余りの機関が集まるはずだが、実際には 3 機関 15 人だけだった。これは東京電力だけでなく規制当局、政府および自治体による過酷な事態を想定した訓練が不十分だったこと、関係機関の役割と責任を明確にしていなかつたことなどが露呈した。

米国

原発事業者はみずからが策定した緊急防災計画と手順どおりに防災訓練が実行できるか NRC（原子力規制委員会）の前で実際にやって見せなくてはならない。IAEA の資料によると米国は 2016 年末時点で稼働する原子力炉の数が 99 基と世界で最も多い。州政府および自治体職員が緊急防災計画や手順を習熟しているかを確認するため少なくとも 2 年おきに行政機関および自治体を含めた防災計画と手順に則った訓練の実施が各原発事業者には義務づけられている。その防災訓練には NRC と FEMA（連邦緊急事態管理庁）による査察が行われる。

FEMA がオフサイト、NRC がオンサイトセンターの防災計画と対応の検証および評価を行う。両機関の指摘事項を NRC は放射線管理や安全性の監督とライ

⁴ 「オフサイトセンターが機能せず」 NHK, 2011 年 6 月 6 日

センス認可などに役立てる。住民の健康や安全が守られていないと NRC 判断した場合には原子力発電所の事業者に対し廃止措置を含む権限を行使する⁵。

フランス

緊急時に投入する特殊部隊の創設、選抜されたメンバーへの任務内容の明示、十分な訓練と出動する際には隊員の安全を確保する必要がある。2016 年末現在フランスでは 58 基の原発が稼働し、米国に次ぐ原発大国だ。

福島第一原発事故の教訓を踏まえ、EDF (フランス電力公社) は 2012 年に緊急原子力タスクフォース (以下、FARN) を政府機関と合同で編成した⁶。FARN のミッションは原発で重大事故が発生すると 24 時間以内に原子炉建屋に入り水、電力供給さらに給気を復旧させ、建屋内にいる運転員および作業員を被ばくから保護することだ。FARN のメンバーは放射線防護および緊急時のストレス管理の訓練を受けたスタッフ、放射線防護のスペシャリスト、ALARP アプローチの専門家および医師などで構成される。事故発生から 24 時間以内に緊急事態に対処する専門部隊の投入により早期に事態收拾または改善が図れる可能性が高まる。

⁵ “Backgrounder on Emergency Preparedness at Nuclear Power Plants”, U.S. NRC

⁶ “EDF FARN (Fast Action Force in case of nuclear accident) – Focus on radiation protection of workers”, IAEA

再稼働

日本国内の再稼働の審査を行っている原子力規制委員会（NRA）は新規性基準について、「新規制基準は原子力施設の設置や運転等の可否を判断するためのものだ。しかし、これを満たすことによって『絶対的な安全性が確保できるわけではない』。原子力の安全には終わりはなく、常により高いレベルのものを目指し続けていく必要がある」と述べている⁷。福島第一原発事故直後、日本ではすべての原発の運転を停止した。

事故の反省を踏まえ、2012 年に独立性を高めた原子力規制委員会が発足し新規制基準が設置された。各電気事業者は新規制基準のもと電源および給水の多重化・多様化、さらに浸水対策など原子力発電所の設備の改善・強化に取り組んでいる。2015 年 8 月には九州電力の川内原発 1 号機の再稼働を皮切りに、他の原発でも再稼働にむけた審査が進められている。単に高価な機器を設置しただけでは何の役にも立たない。重大事故が発生した時にそれらを実際に運用する技能が求められる。

自然災害が発生する確率が高い日本でこれまで数多くの原発が建設されてきた（表 1）。日本は地震の発生回数、活火山の数が欧米と比べ圧倒的に多い。国土地理院によると日本及びその周辺では、世界で起こっている地震の約 1/10 にあたる数の地震が発生しているとされる。原子炉の保有数では日本は米国、フランスに次ぐ世界第 3 位だ。今後も大型の原発の新設または建て替えが計画されているようだ（表 2、3）。国内では電力小売りの自由化で競争が激化し電力の販売競争がますます厳しくなるなか、電気事業会社には老朽化する原発の安全性確保に向けた投資がこれまで以上に増える可能性が高い。

⁷「新規性基準について」原子力規制委員会

表1 日本の実用発電用原子炉（2016年12月末）

発電所	号機	炉型	出力 (MW)	設置者	NSSS		再稼働中	認可	運転延長
					サプライヤー	運転開始			
1 福島第二	1号	BWR	1067	東京電力	TOSHIBA	1982/04			
2 福島第二	2号	BWR	1067	東京電力	HITACHI	1984/02			
3 福島第二	3号	BWR	1067	東京電力	TOSHIBA	1985/06			
4 福島第二	4号	BWR	1067	東京電力	HITACHI	1987/08			
5 玄海	2号	PWR	529	九州電力	MHI	1981/03			
6 玄海	3号	PWR	1127	九州電力	MHI	1994/03			
7 玄海	4号	PWR	1127	九州電力	MHI	1997/07			
8 浜岡	3号	BWR	1056	中部電力	TOSHIBA	1987/08			
9 浜岡	4号	BWR	1092	中部電力	TOSHIBA	1993/09			
10 浜岡	5号	BWR (ABWR)	1325	中部電力	TOSHIBA	2005/01			
11 東通	1号	BWR	1067	東北電力	TOSHIBA	2005/12			
12 伊方	2号	PWR	538	四国電力	MHI	1982/03			
13 伊方	3号	PWR	846	四国電力	MHI	1994/12	○		
14 柏崎刈羽	1号	BWR	1067	東京電力	TOSHIBA	1985/09			
15 柏崎刈羽	5号	BWR	1067	東京電力	TOSHIBA	1990/09			
16 柏崎刈羽	2号	BWR	1067	東京電力	TOSHIBA	1993/08			
17 柏崎刈羽	3号	BWR	1067	東京電力	HITACHI	1994/08			
18 柏崎刈羽	4号	BWR	1067	東京電力	HITACHI	1990/04			
19 柏崎刈羽	6号	BWR (ABWR)	1315	東京電力	TOSHIBA	1996/11			
20 柏崎刈羽	7号	BWR (ABWR)	1315	東京電力	HITACHI	1997/07			
21 美浜	3号	PWR	780	関西電力	MHI	1976/12	○		
22 大飯	1号	PWR	1120	関西電力	WH	1979/03			
23 大飯	2号	PWR	1120	関西電力	WH	1979/12			
24 大飯	3号	PWR	1127	関西電力	MHI	1991/12			
25 大飯	4号	PWR	1127	関西電力	MHI	1993/02			
26 女川	1号	BWR	498	東北電力	TOSHIBA	1984/06			
27 女川	2号	BWR	796	東北電力	TOSHIBA	1995/07			
28 女川	3号	BWR	796	東北電力	TOSHIBA	2002/01			
29 川内	1号	PWR	846	九州電力	MHI	1984/07	○		
30 川内	2号	PWR	846	九州電力	MHI	1985/11	○		
31 志賀	1号	BWR	505	北陸電力	HITACHI	1993/07			
32 志賀	2号	BWR (ABWR)	1108	北陸電力	HITACHI	2006/03			
33 島根	2号	BWR	789	中国電力	HITACHI	1989/02			
34 高浜	1号	PWR	780	関西電力,	WH/MHI	1974/11	○		
35 高浜	2号	PWR	780	関西電力	MHI	1975/11	○		
36 高浜	3号	PWR	830	関西電力	MHI	1985/01	○		
37 高浜	4号	PWR	830	関西電力	MHI	1985/06	○		
38 東海第二	—	BWR	1060	日本原子力発電	GE	1978/11			
39 泊	1号	PWR	550	北海道電力	MHI	1989/06			
40 泊	2号	PWR	550	北海道電力	MHI	1991/04			
41 泊	3号	PWR	866	北海道電力	MHI	2009/12			
42 敦賀	2号	PWR	1108	日本原子力発電	MHI	1987/02			

出所：“Nuclear Power Reactors in the World”, IAEA, 2017 Edition と「我が国における原子力発電所の現状」経済産業省・資源エネルギー庁

注) 再稼働および運転延長認可については2017年7月末現在のデータを使用

表2 建設中の実用発電用原子炉（2016年12月末）

発電所	号機	炉型	出力 (MW)	設置者	NSSS		工事
					サプライヤー	着工	運転開始
1 大間	—	BWR (ABWR)	1328	電源開発	H/G	2010/05	未定
2 島根	3号	BWR (ABWR)	1325	中国電力	HITACHI	2007/10	未定

出所： "Nuclear Power Reactors in the World", IAEA, 2017 Edition

NSSS サプライヤー： 発電プラントメーカーおよび重電メーカー

H/G=日立 GE

表3 建設が計画されている原子炉（2016年12月末）

発電所	号機	炉型	出力 (MW)	設置者	NSSS		工事
					サプライヤー	着工	着工
1 浜岡	6号	BWR (ABWR)	1350	中部電力	—	未定	
2 東通	1号	BWR (ABWR)	1343	東京電力	H/G	未定	
3 東通	2号	BWR (ABWR)	1343	東京電力		未定	
4 東通	1号	BWR (ABWR)	1067	東北電力		未定	
5 上関	1号	BWR (ABWR)	1325	中国電力	—	未定	
6 上関	2号	BWR (ABWR)	1325	中国電力	—	未定	
7 川内	3号	BWR (ABWR)	1590	KYUSHU	—	未定	
8 敦賀	3号	BWR (ABWR)	1538	日本原子力発電	MHI	未定	
9 敦賀	4号	BWR (ABWR)	1538	日本原子力発電	MHI	未定	

出所： "Nuclear Power Reactors in the World", IAEA, 2017 Edition

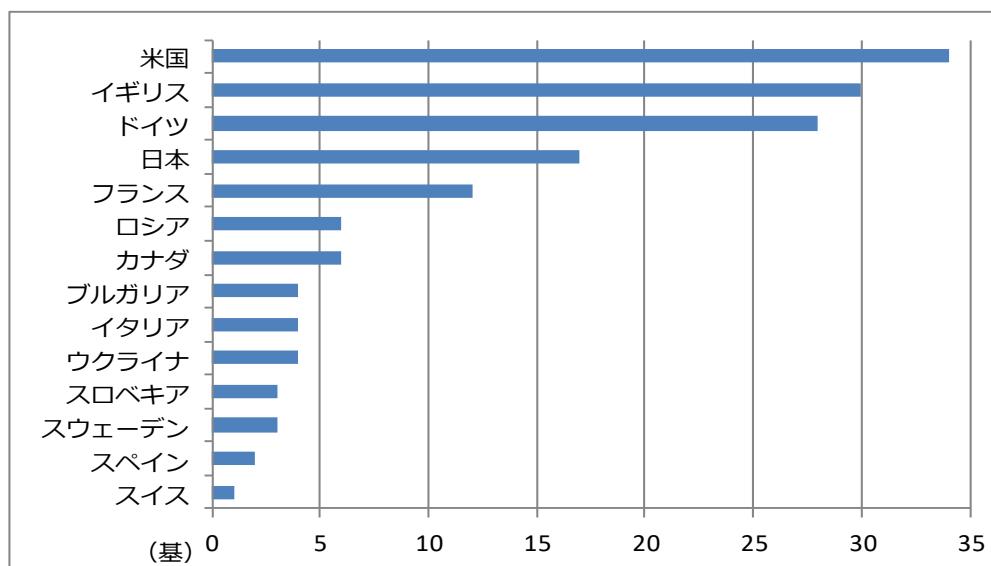
MHI=三菱重工、GE=ゼネラルエレクトリック、WH=ウェスティングハウス

PWR=加圧水型原子炉 BWR=沸騰水型原子炉 ABWR=改良型 BWR

廃炉

廃炉か運転延長か

図2 国別の廃炉予定原子炉（2016年12月末）



出所： "Nuclear Power Reactors in the World", IAEA, 2017 Edition

比較的新しい原子力発電所の設計寿命は最大 60 年とされる。一方、古い原発の多くは 30 年から 40 年間稼働することを前提に設計されている。IAEA によると 2016 年末で稼働する原発の数は世界全体で 446 基ある。原発の設計時に想定された寿命を迎えるもしくは終えた原発の数が先進国で増えている（図 2）。日本でも廃炉が予定されている原子炉が 17 基ある（表 4）。福島第一原発事故以降、前述のとおりドイツは 2022 年までにすべての原発の廃炉を決断した。一方、フランスは 2017 年 7 月に環境相が稼働中の 58 基の原発のうち最大 17 基を 2025 年までに廃炉することになりそうだと発表した。廃炉が実現すれば電源構成比に占める原発の割合はフランス政府がかねてから目標にかかげていた 72% から 50% に削減される。

表4 廃炉が予定されている原子炉（2016年12月末）

発電所	号機	炉型	出力 (MW)	設置者	NSSS		
					サプライヤー	運転開始	廃止
1 ふげん ATR		HWLWR	148		HITACHI	1979/03	2003/03
2 福島第一	1号	BWR	439	東京電力	GE/GETSC	1971/03	2011/05
3 福島第一	2号	BWR	760	東京電力	GE/T	1974/07	2011/05
4 福島第一	3号	BWR	760	東京電力	TOSHIBA	1976/03	2011/05
5 福島第一	4号	BWR	760	東京電力	HITACHI	1978/10	2011/05
6 福島第一	5号	BWR	760	東京電力	TOSHIBA	1978/04	2013/12
7 福島第一	6号	BWR	1067	東京電力	GE/T	1979/10	2013/12
8 玄海	1号	PWR	529	九州電力	MHI	1975/10	2015/04
9 浜岡	1号	BWR	515	中部電力	TOSHIBA	1976/03	2009/01
10 浜岡	2号	BWR	806	中部電力	TOSHIBA	1978/11	2009/01
11 伊方	1号	PWR	538	四国電力	MHI	1977/09	2016/05
12 JPDR	一	BWR	12	JAEA	GE	1965/03	1976/03
13 美浜	1号	PWR	320	関西電力	WH	1970/11	2015/04
14 美浜	2号	PWR	470	関西電力	MHI	1972/07	2015/04
15 島根	1号	BWR	439	中国電力	HITACHI	1974/03	2015/04
16 東海	一	GCR	137	日本原子力発電	GEC	1966/07	1998/03
17 敦賀	1号	BWR	340	日本原子力電	GE	1970/03	2015/04

出所：“Nuclear Power Reactors in the World”，IAEA, 2017 Edition

JPDR=動力試験炉 JAEA=日本原子力研究開発機構

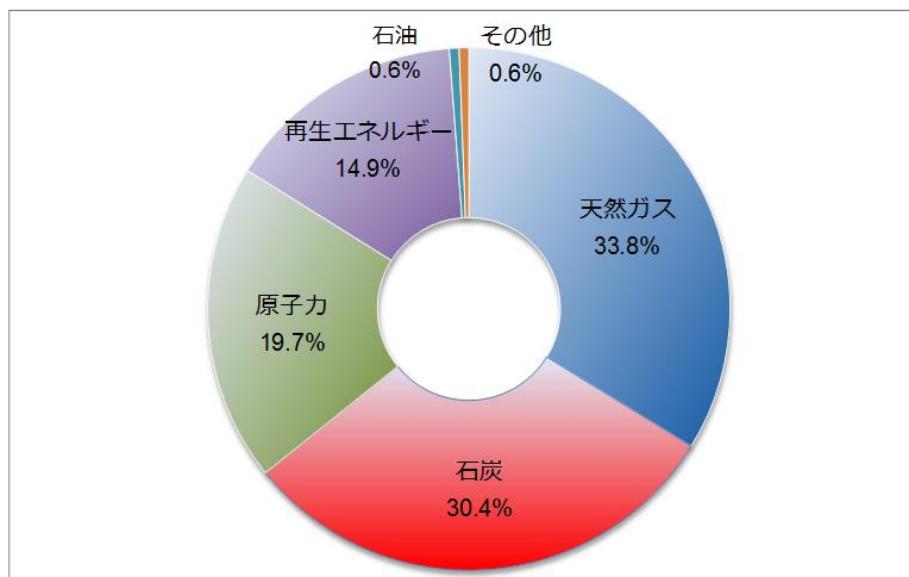
廃炉以外に既存の原発の運転寿命を延長するという選択肢もある。EDF（フランス電力公社）は運転延長した場合の維持費が550億ユーロ（7兆1,500億円）にのぼると試算した。日本は2012年の原子炉規制改正で原発運転期間は原則40年間とした。ただし原子力規制委員会の認可を受けければ一回に限り最長20年延長できる。2016年に関西電力の高浜1、2号機と美浜3号機の運転延長が認められている。いずれも国内の発電用原子炉のなかでは最も古く1970年代中ごろに運転を開始し、すでに40年が経過している（表1）。

経済産業省によると、米国NRCが原発に与える運転認可期間は最長40年だが、延長する期間において安全性が確保されていれば更新が可能であり20年の延長が認められていることを運転延長の根拠としている⁸。米国NRCは長年にわたる調査・研究を通じて得られた分析データをもとに各原発の運転延長の期間を設定していると思われる。「信頼せよ、しかし検証せよ」といったレーガン元大統領の格言のとおり、原発の安全性を確保し説明責任を果たすためには

⁸ 「原発の40年ルールとその課題」経済産業省 2016年10月

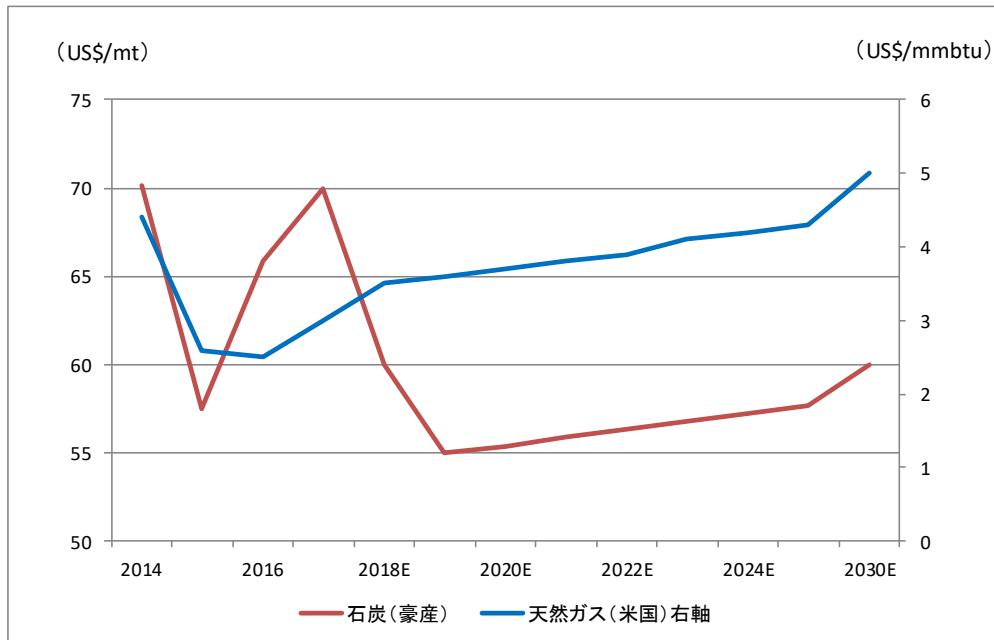
日本の規制当局もきちんとした分析データによる裏付けを得なければならない。

図3 電源構成比（米国）



出所：U.S. Energy Information Administration

図4 石炭と天然ガスの価格動向の見通し



出所：世界銀行 E=世界銀行予想

NRC は 2016 年末までに 87 基の原子炉の運転延長を認可した。米国のデービス・ベッセ原子力発電所 1 号機（出力 894MW）は 2015 年に 2037 年までの延長が認可されたが、老朽化した設備の更新に約 10 億ドルを要したとされる。NRC による運転延長の審査には通常 4~6 年かかる。

老朽化した原発の維持費や更新費用が膨らみ、電気事業会社に財務負担が重くのしかかる。米国のエネルギー政策は化石燃料を使った火力発電に大きく依存する（図 3）。運転延長か廃炉かをめぐっては発電コストを考慮すると燃料価格、特に天然ガスの国際市況の見通しが経営判断を大きく左右する（図 4）。

廃炉にむけて

日本の原発の多くは 1970 年代に建設されており運転延長したとしても向こう 30 年以内に運転寿命を迎える。福島第一原発事故以降の各国の規制当局の動向をみると、発電事業者は原発を新設する際、廃炉を想定し設計や資金計画を新設計画の初期段階から織り込むよう求めている。すでに稼働している原発施設で廃炉計画を策定していない事業者に対しては早期に適切な計画を作成するよう要求している。両ケースとも規制当局による廃炉認可がおりるまで事業者は廃炉計画や予算を定期的に見直し必要なデータを更新するなど現実に即した廃炉計画の策定が求められる。そこには作業費用の見積もり精度を上げるという狙いがある。

廃炉には短くて 20 年、最長で 60 年と長期にわたるため米国では原発事業者が新設の原発を稼働する前に、原子炉の廃炉を終えるまでに必要な十分な資金（親会社の保証など）が確保されていることを証明する必要がある。さらに原子炉ごとの廃炉資金の状況について 2 年おきに NRC に報告することが義務付けられている。

廃炉方法

米国では DECON（即時解体撤去）、SAFSTOR（廃炉の繰り延べ）および ENTOMB（石棺）のなかから原発事業者は廃炉方法を選べる。SAFSTOR は原発事業者が原発施設を閉鎖したあと放射線量が低下するのを待ってから廃炉作業に入るというものだ。その間、廃炉準備金の受取金利が想定通り積みあがれば廃炉に必要な資金を確保できる。電気事業会社は最初の二つを併用する方法を採用することも可能だ。原発施設の一部の解体もしくは除染を行ってから廃炉

(DECON)、残りの廃炉作業は放射線量が下がるのを待ってから廃炉作業に取りかかる (SAFSTOR)。放射線崩壊以外に放射性廃棄物処分場が整備されるのを待つ必要がある状況下で採用されるケースが多い。DECON もしくは SAFSTOR を採用した場合、電気事業者は最長 60 年以内に廃炉を完了しなければならない。ENTOMB (石棺は) はチェルノブイリ原発事故の廃炉方法として用いられたことで知られる。コンクリートなど構造的に堅固な材料を用いて原発施設全体をすっぽり覆うという手法だが、NRC が監督する原発施設で ENTOMB を選択した事業者はまだ一社もない⁹。

廃炉にかかるコスト

廃炉にかかる実際の費用は原子炉のタイプ、規模、設計および廃炉方法によって金額が大きく変わってくる。米国の事例をみると即時解体撤去 (immediate cleanup/DECON) 方式を採用した原発の廃炉にかかる費用は一基当たり 300 百万ドルから 820 百万ドルと金額に幅がある。一般的には一基当たりの廃炉費用は 500 百万ドル前後だ¹⁰。しかし、汚染濃度が想定よりも高いと除染費用が増え、スケジュールが伸びるため電気事業者の廃炉負担は増える。

日本では電気事業会社は 1 基あたり約 30 年間かけて廃炉を実施する計画だが、それまでに放射性廃棄物処分場が決まり整備されていなくてはならない。処分場が確保できなければ廃炉作業は完了しない。放射性廃棄物を地上で保管することになれば津波や地震などの自然災害、気候変動、テロ攻撃もしくは人為的ミスにさらすことになりかねずリスクが高い。

⁹ "Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants", U.S. NRC

¹⁰ "Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants", OECD 2016

将来の見通し

イノベーションの波

全く新しい技術革新として小型モジュラー原子炉（small modular reactor、以下「SMR」）という小規模で簡素な構造をもつタイプの原子炉の実現に向けた国際的な開発競争が激しくなっている。出力300MW前後の原子炉が「小型」と一般的に定義されている。「モジュラー」とあるように原子炉建屋に設置する主要なコンポーネントと蒸気供給設備系統（NSSS）を工場内で組み立てた後、原子力施設の予定地まで輸送し、完成した建屋に原子炉と設備を搬入し設置する。

「大型」原子力発電所の新設でも工場で組み立てた原子炉モジュールを搬入し設置する設計になってはいるが、基本的にすべてオーダーメイドだ。またSMRとの大きな違いは原子炉を設置する前の工程、つまりコンポーネントの組立作業や原子炉をおおう格納容器や建屋の建設工事など作業の大半が原発の建設予定地で行われるため工期が長く建設費がかさむ。

SMRでは原子炉および原子炉建屋の構造が全面的に刷新され簡素な設計になっている。工場で主要なモジュールの部品やコンポーネントの量産化が可能になるのでコストが抑えられ、かつ施工期間も短縮できる。SMRの設計の多くはSMR施設全体が地下（一部の案では水中）に設置されるので津波や地震などの自然災害やテロ攻撃に対しより高い安全性が確保できるとされる。また大型原子炉の新設と比べSMRの初期投資が大幅に抑えられる。

SMRの建設予定地には石炭火力発電所の跡地のように環境汚染などで利用されなくなった業務用地が想定される。特に米国では2025年までに石炭火力発電所の多くが運転寿命を迎えるため、石炭火力の代替案としてSMRが注目されている。

SMRは主に米国、ロシア、フランスおよび中国などが激しい開発競争を行っている。IAEAの2009年予測では2030年までには世界中で96基のSMRの稼働が見込まれる。米エネルギー省と民間のベンチャー企業はSMRの開発にすでに10億ドルを投じており、2020年代半ばの実用化に向け官民連携によるSMR投資はさらに増える見通しだ。コンピュータがより早く、より良いものを、より安く（FBC、faster, better, cheaper）進化したように原子炉および原子力施設

にもイノベーションの波は押し寄せている。

国民の生命と安全を守る

福島第一原発事故は世界を震撼させた。チェルノブイリ原発事故以来、過去最悪の原発事故となった福島第一原発事故は時がたてば忘れ去られるようなものでは決してない。原子力発電が安全だという幻想を抱く国はもはや存在しないだろう。同原発事故後、原発を保有する欧米諸国はシビアアクシデントの発生を想定し、迅速に行動に移せるよう原発事故対策を入念に確認し備えている。

廃炉もしくは運転延長を含む原発のコスト競争力をあらためて検証する必要がある。日本をはじめ先進国は多くは環境にやさしく発電コストも安い原子力発電を重視し、これまで数多くの原発を建設してきた。商業炉が稼働してから半世紀あまりが経ち先進国では多くの原発が運転寿命を迎えている。運転を終えた原発には廃炉という高いハードルが待っている。欧米の規制当局は廃炉をみすえた原発の新設審査へとかじをきった。また廃炉から出る放射性廃棄物処理は各国が直面する共通の課題だ。日本もこの潮流を踏まえ、エネルギー政策の将来像を描きなおす時がきているのではないだろうか。

許可なく転載することを禁じます。
ワンダーニュース

参考文献・資料

- ・ 「最終報告書」東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会（内閣府）
2012年7月23日
- ・ “The Fukushima Daiichi Accident”, IAEA, 2015
- ・ 「福島第一原発事故と4つの事故調査委員会」経済産業省調査室 2012年8月23日
- ・ 「オフサイトセンターが機能せず」 NHK, 2011年6月6日
- ・ 「新規性基準について」原子力規制委委員会
- ・ 「原発の40年ルールとその課題」経済産業省 2016年10月
- ・ 「我が国における原子力発電所の現状」経済産業省・資源エネルギー庁
- ・ “Nuclear Power in the USA” The World Nuclear Association, June 14, 2017
- ・ “EDF FARN (Fast Action Force in case of Nuclear Accident) — Focus on Radiation Protection of Workers”, IAEA
- ・ “Backgrounder on Emergency Preparedness at Nuclear Power Plants”, U. S. NRC
- ・ “Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants”, U.S. NRC
- ・ “Backgrounder on Reactor License Renewal”, U.S. NRC
- ・ “Status of the Decommissioning of Nuclear Facilities around the World”, IAEA, 2004
- ・ “Costs of Decommissioning Nuclear Power Plants”, OECD, 2016
- ・ “Nuclear Power Reactors in the World”, IAEA, 2017 Edition
- ・ “Electricity generation by energy source”, U.S. Energy Information Administration
- ・ “World Bank Commodities Price Forecast”, released April 2017
- ・ “Benefits of Small Modular Reactors (SMRs)”, Office of Nuclear Energy, US Department of Energy
- ・ “Small Nuclear Power Reactors”, World Nuclear Organization, updated July 2017
- ・ “Advances in Small Modular Reactor Technology Developments”, IAEA ARIS, September 2014