



## 第6章

# 技術的災害としての原発危機

## 福島第一原発事故からの教訓

齊藤誠

- 本章では「なぜ、運転開始後40年を経過しようとしていた福島第一原発が2011年3月11日に“働き盛りの炉”として運転されていたのか」を明らかにするとともに、原発事業者や規制当局が津波被災当時に「当該原発施設の耐用年数が十分に残っている」と認識していたことが、即時廃炉を前提とした迅速な過酷事故対応を妨げた可能性を示す。
- 1970年代前半に運転を開始した福島第一原発施設は、新しい技術体系や安全基準の観点から見ると、数多くの深刻な問題を有していた。それにもかかわらず、2000年代半ばに規制方針が変更された結果、運転開始時に設定された耐用年数40年を超えて最長20年間の運転延長が認められた。運転延長申請の審査においては、当初技術を前提として顕著な経年劣化が生じていないかどうかだけが対象とされた。一方、同時進行して導入された新耐震基準への対応は、原発事業者の自主的な判断に委ねられた。
- 本章では、原発施設の運転延長認可が新耐震基準の遵守を前提としていれば、「当初技術の下で安全性を維持すること」と「新しい技術へ対応することで安全性を向上させること」を両立させ、過酷事故の当座も合理的な意思決定を行えた可能性があることを示す。

## 1 なぜ、40歳の福島第一原発は3.11に運転されていたのか

本章では「なぜ、運転開始後40年を経過しようとしていた福島第一原発が2011年3月11日に“働き盛りの炉”として運転されていたのか」を明らかにする。さらには、原発事業者や規制当局が津波被災当時に「当該原発施設の耐用年数が十分に残っている」と認識していたことが、即時廃炉を前提とした機動的な過酷事故対応を妨げた可能性を示していく。

まずは、規制当局（経済産業省原子力安全・保安院）が2005年に安全審査を前提に原発の耐用年数を40年から最長60年に延長する方針を打ち出したことに着目しよう。規制当局は、運転開始当初に用いられていた技術を前提として、顕著な経年劣化が原発施設に生じていなければ、最長20年の運転延長を認めるように規制方針を変更した。

通常、原発施設の減価償却や廃炉費用引当は運転開始から40年で完了するので、40年を超えてさらに最長20年間、原発の運転を継続できることは、原発事業者にとって資本コスト節約の面でメリットがきわめて大きい。事実、運転開始後40年を迎えようとしている原発を有していた電力会社は、原発の運転延長の申請の準備に入った。東京電力（東電）も、福島第一原発1号炉（1971年3月運転開始）について運転延長を申請し、2011年2月、すなわち、大震災到来の前月には、2011年3月から10年間の運転延長が認められていた。

規制当局による原発施設の運転延長方針は、耐用年数が間近に迫っている「引退寸前の老朽原子炉」を、耐用年数の3分の1を残す「まだまだ使える原子炉」に変身させたことになる。過酷事故状況に陥ることになる福島第一原発の1号炉から3号炉が、当事者たちの間で原発事故まで「まだまだ使える原子炉」と位置づけられていた結果、原発事故直後には「運転延長申請で安全性が事前に審査された福島第一原発がこのような過酷状況に陥るはずがない」と認識された。その裏返しとしては、「安全なはずの原発施設が過酷状況に陥ったのは、“想定外”の状況が起きたからである」と受け止められた。

さらに状況を複雑にしたのは、3月11日の津波被害が新たな対応を必要とする“想定外”の出来事であったにもかかわらず、新たな対応が即座に展開され

なかったことである。原発施設において過酷な状況が急速に進行する中であっても、「まだまだ使える原子炉」という建前が当事者の間で生き続けた結果、過酷事故への対応を大きく誤らせてしまった。政府や国会の事故調査報告が明らかにしているように、規制当局や東電の事故対応では、事故状況がかなり深刻化するまで、将来に向けて原発施設を継続して利用することが依然として想定されており、即時廃炉を前提とした効果的な過酷事故対応が速やかに実行されなかった。

客観的にみれば、原発事故以前の時点にあっても、6つの原子炉を有する福島第一原発の1号炉から5号炉は<sup>1)</sup>、運転延長の対象とすべき状態にはなかった。第一に、1960年代の萌芽期の原発技術に基づいていたことから、その後には間断なく進歩してきた技術的知見からみると改善すべき点が多く、運転開始後も、改修・補修が繰り返されてきた。第二に、当該原発施設は、2006年に導入された新耐震基準（以下、2006年基準）が求める高い安全基準を満たしていなかった。第三に、運転開始後、パッチワークのように修繕・改修が繰り返されてきたが、時間が経過するとともに、そうした複雑な修繕・改修の経緯を正確に理解し、当該原発施設に固有の“癖”を熟知した技術者が極端に少なくなっていた。

本章では、「東電が福島第一原発施設の運転延長を申請する際にも、規制当局が、2006年基準の遵守を義務づけておけば、今般の過酷事故の進行も大きく変わっていたのではないか」という論点を提起していく。通常原発規制行政では、既存原発施設に遡及して新規制基準を適用することが困難である。しかし、当初の安全審査が既存技術を40年間利用することを前提になされていたので、40年間を超えて運転延長をさせる意向の既存原発施設に対して、新規制基準をあらためて求めるのは合理的なことであろう。

運転延長の申請では「運転開始当初の技術を前提として安全性が維持されているかどうか」が審査される一方、新規制基準の遵守では「新しい技術に対応することで安全性が向上しているかどうか」が求められる。現実の原発規制行

<sup>1)</sup> 後述するように、6号炉は発電能力も高い、より新しいタイプ（米国GE社Mark II）の原子炉であった。

政における既存原発施設への対応は、両者が完全に切り離され、前者の安全性維持だけが法的に強制され、後者の安全性向上は原発事業者の自主的な判断に委ねられてきた。その結果、資本コストの節約を指向する原発事業者は、前者の観点だけで原発施設の安全性を判断する傾向が著しく強かった。

上述の二つの側面で安全性が厳格に求められていたとすれば、東電の経営者は、「福島第一原発施設が2006年基準を満たすために必要となってくる追加的な修繕・改修費用」と、「運転延長によって得られる追加的な便益」を慎重に比較することによって、運転延長申請に関する意思決定を行っていたであろう。福島第一原発の原子炉（少なくとも、1号炉から5号炉まで）は、①限定的な発電能力や、②設備修繕・改修の経緯を熟知するベテラン技術者の不足も合わせて考えると、耐用年数40年が経過したところで廃炉にする決定も十分に検討された蓋然性が高い。

また、大地震が到来した時点において、福島第一原発の原子炉施設が「向こう数年間で引退すべき老朽原子炉」という認識が当事者の間にあれば、あるいは、そのような老朽原発施設の技術的な限界が当事者の間で十分に共有されていれば、「福島第一原発の技術状態を前提とすると、過酷事故に陥ることも十分に考えられる」として、過酷事故が急速に進行する事態を“想定外”と受け取ることもなかった。また、規制当局や原発事業者は、事故直後から即時廃炉を前提とした過酷事故への効果的な対応を速やかに決定できたのではないだろうか。

## 2 産業技術としての軽水炉発電技術<sup>2)</sup>

### (1) 軽水炉とは

2011年3月11日に私たちの社会が福島第一原発の深刻な事故に接して、当然ながら原発技術自体が産業技術としての適格性を著しく欠いているという見方が強まってきている。そこで以下では、本論を展開する前に、世界の商用原発

<sup>2)</sup> 産業技術としての軽水炉発電技術の可能性については、齊藤（2011、2012a）を参照してほしい。

の標準的な技術である軽水炉発電が産業技術として成り立つのかどうかを、若干、技術的な議論を織り込みながら、あらためて検討していきたい。

軽水炉発電とは、冷却材と減速材の両方に純水（軽水）を用いている原発である。冷却材とは、炉心にある核燃料で発生した莫大なエネルギーを受け取り、それを発電タービンに伝える媒体である。福島第一原発タイプの軽水炉発電は沸騰水型と呼ばれ、加圧されて沸点が280度程度になった水が核燃料に触れて蒸気となって発電タービンを直接回すタイプである。

軽水炉発電のもう一つのタイプである加圧水型の場合は、核燃料に触れる水がさらに加圧されていて、沸騰することなく水のままでエネルギーを運ぶ。そうして運ばれたエネルギーで普通の水を沸騰させ、発電タービンを回す。

一方、減速材とは、炉心においてウラン235の核分裂反応の連鎖（臨界と呼ばれている）を促す媒体である。ウランを燃料とする核分裂反応とは、ウラン235が外部から1個の中性子を取り込んで複数の放射性物質に分解するとともに、外部に2個から3個の中性子を放出する化学反応である。核分裂の際にエネルギーを発するが、莫大なエネルギーを得るためには、核分裂反応の連鎖、すなわち、臨界状態を生じさせる必要がある。

臨界とは、ある核分裂から放出された中性子がウラン235に取り込まれて新たな核分裂が次々と引き起こされる状態を指している。ただし、核分裂で飛び出してくる中性子は、速すぎてウラン燃料にまばらに存在するウラン235に出会いにくい。そこで、原子炉内の水が、中性子の速度を減速させる役割を担うことになる。

## （2）一次冷却系の仕組み

非常に乱暴に言ってしまうと、軽水炉発電とは、炉心にある核燃料（ウラン燃料）を通過する水の量と速度をコントロールしつつ、中性子の速度を調整しながら核分裂反応を制御するとともに、核分裂反応で生じた莫大なエネルギーを発電タービンに伝達する発電技術である。以下、福島第一原発と同じ沸騰水型に議論を絞って、一次冷却系と呼ばれている炉心を巡る水の循環を説明していこう。

原発施設の主要建造物は、原子炉建屋とタービン建屋である。原子炉建屋内

には、炉心（核燃料の束）を収める圧力容器、さらに圧力容器をすっぽりと収めている格納容器がある。一方、タービン建屋には、発電タービンが設置されている。

圧力容器の中では、核燃料の束がすっぽりと水に浸かっている。圧力容器の注水口から入ってきた（270度と沸点より低い温度の）水は、炉心の核分裂反応で生じたエネルギーで蒸気となって蒸気口から出ていく。蒸気口から出てきた蒸気（290度）は、原子炉建屋からタービン建屋にわたって発電タービンを回転させる。発電タービンを回した蒸気は、復水器と呼ばれる場所において大量の海水を用いた熱交換で冷却される。冷却された水は、タービン建屋から原子炉建屋に送られ、注水口を通じて圧力容器に戻ってくる。

沸騰水型軽水炉の自然な姿とは、①一次冷却系で水が順調に循環しており、②圧力容器内の核燃料の束が常に比較的低い温度（270度）の水に完全に浸かっている状態を思い浮かべておけば、大枠のところでは間違いがない。

一次冷却系の稼働に欠かせないのは、一次冷却系の水を循環させるポンプ（以下、循環ポンプ）と復水器で冷却に用いられる大量の海水を海から引き込み、再び海に放ち出すポンプ（以下、海水取水ポンプ）である。もう一つ欠かせないのは、循環ポンプと海水取水ポンプの動力源となる交流電源である。

ここで、産業技術として軽水炉発電をみた場合、いくつかの優れた特性があることを指摘しておきたい。

1. 冷却材と減速材の両方が軽水であるために、技術的に取り扱いやすい媒体である軽水の循環を調節することで、臨界状態（核分裂反応の連鎖）をコントロールすることができる。
2. 何らかの理由で水が著しく高温となって冷却材機能が失われると、減速材機能も同時に低下して核分裂反応が抑制される点で、軽水炉発電には核分裂反応を自動安定化させる性質が備わっている。
3. 循環ポンプや海水取水ポンプの維持や交流電源の確保など、沸騰水型軽水炉発電の根幹となる一次冷却系の安全性を保つために必要となってくる措置を比較的少数の対象に絞り込むことができる。

### (3) 過酷事故時の原子炉

軽水炉原発は、過酷事故時においても機動的な対応をとりやすい。交流電源喪失や海水取水ポンプ損傷などの理由で一次冷却系が機能しなくなると、圧力容器の蒸気口が遮断され、原子炉が発電タービンから隔離された状態となる。

原子炉が隔離された上で、バッテリーなどの直流電源でも稼働する非常用炉心冷却装置（emergency core cooling systemの略でECCSと呼ばれている）が起動して、応急的に炉心の冷却を維持することができる。図6-1に示すように、ECCSの水源としては、最初、原子炉建屋上部にある復水貯蔵槽の水が、それが枯渇すると、格納容器下部の圧力抑制室プールの水がそれぞれ用いられる。

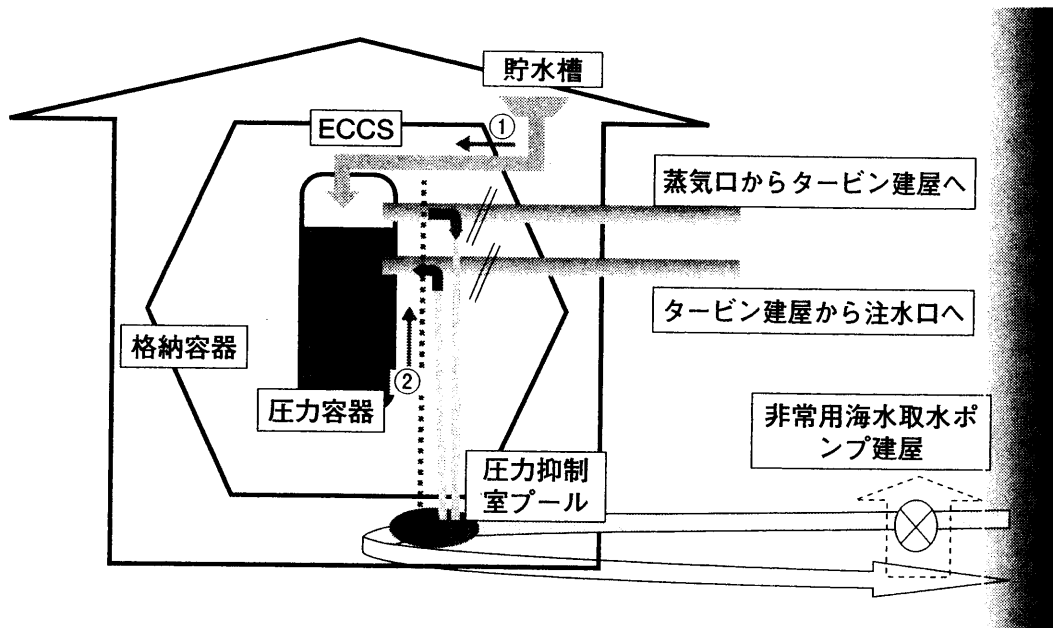
ただし、ECCSによって原子炉を冷温停止状態（圧力容器内で核燃料を満たしている水の温度が100度以下になる状態）にまでもってくるためには、ECCSの最終的な水源となっている圧力抑制室プール（格納容器の底部に位置している）の水（加圧していないので、沸点は100度）を冷却する補助的な冷却系が機能している必要がある。こうした補助的な冷却系も、非常用ポンプで取水した海水で熱交換が行われる。

仮に、電源喪失や非常用海水取水ポンプ損傷で補助的な冷却系が復旧できない場合、ECCSの最終的な水源となっている圧力抑制室プールの水が沸騰し、ECCSの冷却機能は数日間で失われてしまう。

ECCSが機能不全に陥ると、圧力容器内の水が蒸発し、炉心が露出し、さらには、溶融する可能性がある。こうした炉心溶融のプロセスでは、圧力容器内に大量の水素や水蒸気が発生するので、水素爆発や水蒸気爆発の可能性も出てくる。水素爆発や水蒸気爆発を未然に防ぐためには、ベントと呼ばれる措置で圧力容器内の水蒸気を原子炉建屋外部に放出するとともに、原子炉建屋外部から圧力容器内に向けて大量の水を注入し続けなければならない。

冷却材（水）が圧力容器から喪失するような万が一の場合でも、冷却材が水であることは、産業技術としての適性にかなっている。いざとなれば、原発が立地する海側から海水を汲み上げて、原子炉に注水をすればよい。ただし、いったん海水を注入した原子炉は使い物にならなくなるので、海水注入は廃炉を前提としなければならない。

図 6-1 ECCSの仕組み



- 注) 1 ECCSの水源は、当初、①貯水槽に貯えられた水、それが枯渇すると、②圧力抑制室プールに貯えられた水が用いられる。
- 2 交流電源の喪失や海水取水ポンプの損傷で一次冷却系が機能不全に陥ると、原子炉がタービンから隔離されるとともに、圧力容器の蒸気口から出てくる蒸気は圧力抑制室プールに逃がされ、その水で冷やされる。冷やされて水に復すると、圧力容器の注水口からふたたび原子炉に戻される。
- 3 圧力抑制室プールの水は、蒸気口から逃がされた蒸気で温められるが、非常用海水取水ポンプからの海水を用いた熱交換で冷却される。
- 4 仮に非常用海水取水ポンプが損傷し補助的な冷却系が機能不全に陥ると、圧力抑制室プールの水が高温となり、ついには沸騰する。プールの水の温度が上昇するにつれて、ECCSの冷却能力は失われていく。

#### (4) 福島第一原発事故の簡単な経緯

2011年3月11日に福島第一原発事故で起きたことを簡単に振り返ってみよう。まず、午後2時46分の地震直後、運転中だった1号炉から3号炉の原子炉は、速やかに制御棒が挿入され自動停止した。しかし、原発施設外部から供給されていた交流電源が失われたために一次冷却系が停止した。3つの原子炉が発電タービンから隔離されるとともに、ECCSが起動した。この間、タービン建屋にあった非常用ディーゼル発電機によって交流電源が確保できた。

午後3時41分に津波の襲来を受けると、タービン建屋にあった非常用ディーゼル発電機は冠水し、交流電源を完全に失った。原発施設は、わずかな直流電源しか確保できない状態に陥った。また、一次冷却系の稼働に必要な海水取水