



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¹⁾、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

¹⁾ 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²⁾

(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

²⁾ 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。

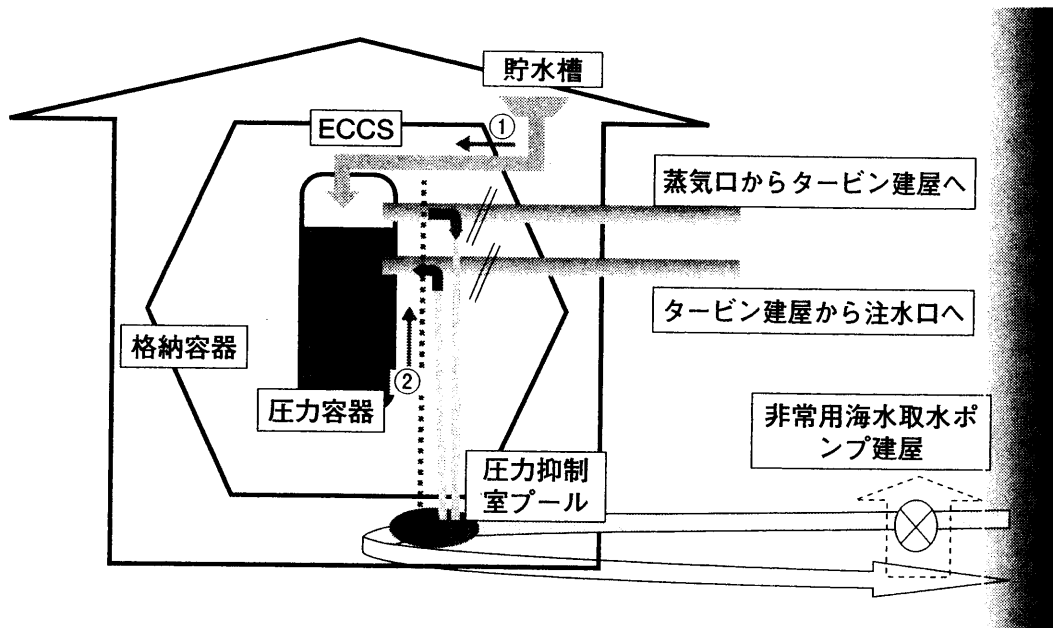
ただし、ECCSによって原子炉を冷温停止状態（圧力容器内で核燃料を満たしている水の温度が100度以下になる状態）にまでもってくるためには、ECCSの最終的な水源となっている圧力抑制室プール（格納容器の底部に位置している）の水（加圧していないので、沸点は100度）を冷却する補助的な冷却系が機能している必要がある。こうした補助的な冷却系も、非常用ポンプで取水した海水で熱交換が行われる。

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

ポンプばかりでなく、ECCSの最終的な水源となる圧力抑制室プールの水を冷却するのに必要な非常用海水取水ポンプも津波によって致命的な損傷を受けた。

4節(4)項で詳しくみていくように、圧力抑制室プールの水を冷却するシステムの復旧の見通しが無いままに、ECCSの冷却機能に徒らに依拠する状態が続いた結果、炉心溶融、炉心貫通、格納容器損傷と事態が深刻化した。その過程で大量の水素が発生したために、1号炉と3号炉では水素爆発が生じ、2号炉でも格納容器が爆発で破損した。

深刻な事態が急速に進行する間、原発施設の厳しい技術的制約と事前の過酷事故訓練不足からベント操作に手間取るとともに、東電や規制当局の側で2号炉と3号炉の即時廃炉を前提とした海水注入の意思決定がなかなかできなかった。そのために、機動的な事故対応を速やかに実施に移すことができなかった。

3 原発施設の新陳代謝の困難さについて

(1) 原発施設の運転延長方針の深刻な影響

民間電力会社(原発事業者)が軽水炉発電を開始した1970年代初頭は、原発施設の耐用年数は40年と設定されていた。減価償却や廃炉費用引当の期間も、運転開始後40年間と決められていた。より正確には、運転開始後30年が経過する前に、規制当局から原発設備の点検を受け、40年間のうちの最終10年間の運転が認められるという段取りであった。

規制当局は、2000年代の米国政府の方針変更に従って、原発施設の耐用年数を延長する方針を決定した。具体的な手続きとしては、対象原発施設について高経年化対策報告書の提出を前提として、10年間の運転延長が二度まで可能となった。すなわち、事実上、原発施設の耐用年数が、40年から60年に延長されたわけである。

運転開始からの40年間で償却や引当が完了した後にも、原発施設の運転が継続できる事態は、電力会社にとって資本コストの大幅な節約になる。上述の方針変更は、原発事業者が既存原発施設の運転を延長するインセンティブを著しく強める結果となった。

表 6-1 福島第一原発の運転の歴史

1号炉 (46.0万kW)	1971年3月
2号炉 (78.4万kW)	1974年7月
3号炉 (78.4万kW)	1976年3月
4号炉 (78.4万kW)	1978年10月
5号炉 (78.4万kW)	1978年4月
6号炉 (110.0万kW)	1979年10月

福島第一原発は、表6-1に示すように、1971年3月より運転が開始された。特に、1971年3月に運転が開始された1号炉は、1970年3月から運転が開始された敦賀原発1号炉（35.7万kW、沸騰水型）、1970年11月から運転が開始された美浜原発1号炉（34.0万kW、加圧水型）とともに、日本の商用原発施設として最も古い世代に属している。

東電は、上述の政府の方針転換を受けて、福島第一原発1号炉の運転延長を申請した。2010年3月には、20年間の運転延長に向けて技術評価書が東電から原子力安全委員会に提出された。その結果、2011年2月には、2011年3月25日に運転開始後40年を経過する1号炉について、10年間の運転継続が認可された。すなわち、1号炉は、東日本大震災が襲った前月に10年間の運転延長申請が認められたばかりだった。

原発施設にとって40年の耐用年数が短すぎるとは一概にいけない。しかし、次節で詳述するように、1970年代前半に運転が開始された原発施設については、技術面、安全面、人的資源面において、できるだけ早いタイミングで施設を抜本的に更新する必要があった。一方、運転延長申請における審査では、運転当初の技術を前提として、顕著な経年劣化が生じていないかが対象となった。その結果、最先端の技術や最新の安全基準の観点からは深刻な技術的な問題を抱えていた原発施設であっても、運転延長申請が認可されたのである。

政府による原発施設の運転延長方針は、最先端の技術や最新の安全基準の観点からすれば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。

本節と次節では、こうした政府の方針転換が、以下の二点で、原発事業者の原発リスク管理においてインセンティブを著しく歪めてしまったことを明らかにしたい。

1. 1970年代前半に運転が開始された原発施設は、技術面、安全面、人的資源面で大規模な更新投資の必要性に迫られていたにもかかわらず、原発事業者は、運転延長の経営上のメリットを積極的に活かすために原発施設の抜本的な更新を先延ばしにした。
2. 原発施設で過酷事故が進行している最中であっても、原発事業者や規制当局は、「まだまだ使える原子炉」を継続的に使う方針を堅持し、廃炉を前提とした機動的な事故対応を先送りにした。

すなわち、様々な事情から抜本的な設備更新の必要性が高かった老朽原子炉について政府が安易に運転延長を認めたことが、原発事故が起きる事前には、原発事業者の抜本的な施設更新のインセンティブを大きく歪めるとともに、過酷事故が起きた事後には、原発事業者や規制当局の機動的な事故対応のインセンティブを著しく歪めたことを明らかにしたい。

(2) 古い原発施設の新陳代謝の必要性

① 原発技術の進歩

1970年代初頭に運転が開始された福島第一原発施設を支えていた技術体系は、そもそも商用原発の萌芽期のものであった。また、その技術体系は米国の技術開発に大きく依存していて、日本の厳しい自然環境を十分に考慮した自主技術とは言い難かった。特に、福島第一原発の1号炉から5号炉は、米国GE社が開発したMark I型と呼ばれる最初期の商用原発施設であった³⁾。以下では、経年劣化や老朽化という観点ではなく、設備設計の背後にある安全思想の“古さ”も含めて、原発施設を支える技術体系の“古さ”を考えていく。

地震・津波被災を考慮していなかった施設配置

第一に、福島第一原発の施設配置は、地震や津波の被災が考慮されていなかった。繰り返すが、こうした不適切な設備配置の背景には、福島第一原発の基本設計を当初担当した米国GE社が津波被災をまったく想定していなかった事情

³⁾ 6号炉については、Mark II型と呼ばれる新しい世代の原子炉が用いられていた。

がある。

具体的には、一次冷却系を根本から支える交流電源と海水取水ポンプ、補助冷却系を支える非常用海水取水ポンプは、地震や津波に対してあまりに無防備であった。耐震性に劣る送電施設は地震で壊滅的なダメージを受け、外部から供給される電源を失った。福島第一原発のいずれの原子炉においても、非常用ディーゼル発電機は、原子炉建屋に比べて海側に近く、強度も劣るタービン建屋に配置されていたために冠水して、交流電源を完全に失ってしまった。

一次冷却系の中核的な装備である海水取水ポンプも壊滅的な被害を受けた。さらには、圧力抑制室プールの冷却系を支える非常用海水取水ポンプも、海側に防備が十分でないままに設置されていたために、早期修復不能なほどの深刻なダメージを受けた。

福島第一原発から南方10キロの所に位置する福島第二原発の4つの炉と比較すると、彼我の違いは歴然である。1980年代に運転を開始した福島第二原発では、施設外部から供給される外部電源が確保されるとともに、非常用ディーゼル発電機も原子炉建屋に設置されていたことから、冠水を免れた。また、補助的な冷却系を稼働させる非常用海水取水ポンプも、比較的頑丈な建屋に守られており、大津波によるダメージが修復可能な範囲にとどまった。

古い非常用冷却装置

第二に、福島第一原発で最も古い1号炉は、非常用復水器（Isolation Condenserの略でIC、あるいは、イソコンと呼ばれることも多い）という非常に古いタイプのECCSに頼っていた⁴⁾。非常用復水器は電源を喪失しても稼働し、圧力容器からの蒸気を原子炉建屋内の空気だけで冷却した水を再び圧力容器に戻すシンプルな装置である。非常用復水器は、そうした簡易な仕組みのために冷却能力も弱く、冷却持続時間も6時間程度と、非常に短い。

1号炉では、地震発生後3時間半で炉心が露出し始めた(11日午後6時10分)。炉心溶融プロセスがそこまで早かったのは、1号炉に備えられていた非常用復水器をうまく起動できなかった事情を無視できない。実のところ、1号炉の非常用復水器は、1971年の運転開始後、一度も起動したことがなく、原発施設の運転員も稼働マニュアルに習熟していなかった⁵⁾。

ただし、冷却能力が著しく劣る非常用復水器を稼働できたとしても、炉心溶融を食い止めることができたかどうかは疑わしい。『政府事故調・中間報告』では、1号炉で非常用復水器の操作を誤ったことが急速な炉心溶融プロセスの引き金になったと結論している。しかし、たとえ非常用復水器が正常に稼働できたとしても、その冷却能力の低さを考えると、事態の進行がどれほど変わったのかにわかに判断できない。より根本的には、非常用復水器のように古いタイプのECCSに依拠した1号炉を稼働させていたこと自体が問題だったのであろう。

古い設計思想

第三に、1号炉から4号炉までの施設配置がまったく同じであった。4つの炉が南北に配置され、原子炉建屋やタービン建屋の配管の具合、非常用ディーゼル発電機、非常用海水取水ポンプの設置個所も基本的に同じであった。このような施設状態であれば、東方の海側からの負荷に対して、4つの施設が同様のダメージを被るのは当然であろう。その結果、地震発生時に運転中だった1号炉から3号炉は、溶融プロセスの速度に違いがあったとはいえ、同じようなプロセスを経過した。

さらに問題だったのは、4つの原子炉が狭い敷地に窮屈に立地していたこと

- 4) 若干新しい原子炉である2号炉や3号炉に設置されたECCSでは、ある程度の電源で稼働する高圧炉心注水系と、電源がなくても稼働する原子炉隔離時冷却系が設置されていた。1号炉には高圧炉心注水系が備えられていたが、津波到来以降、いっさいの電源が失われて高圧炉心注水系を活用できなかった。一方、2号炉では、原子炉隔離時冷却系が稼働した。3号炉では、当初、原子炉隔離時冷却系を稼働した上で、後に高圧炉心注水系に切り替えられた。なお、高圧炉心注水系も、原子炉隔離時冷却系も、それらの水源としては、最初は原子炉建屋上部にある復水貯蔵槽の水が、そしてそれが枯渇すると、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。高圧炉心注水系や原子炉隔離時冷却系は、非常用復水器に比べて冷却能力や冷却持続時間がはるかに優れている。
- 5) 『政府事故調・中間報告』(IV章3節)では、停電のために中央制御室の計器で非常用復水器の動作確認ができなかったことを問題視している。しかし、非常用復水器は起動すれば、非常に大きな騒音を発生する装置なので、計器で作動を確認するまでもない。現場の運転員たちが非常用復水器の操作に習熟していなかったことのほうが問題だったのであろう。

である。仮に隣り合った原子炉と原子炉の間に十分なスペースの余裕があれば、事故対応の機動性がもっと確保されたであろう。

このように画一的な施設配置になっていたのも、福島第一原発の“古さ”に起因して時代遅れとなった安全思想に基づいて設計されていたからである。より新しい安全思想では、一方向の負荷に対して同様のダメージを受けないように配置に多様性を持たせるとともに、柔軟な対応がとれるように作業スペースが確保されている。

低い発電能力

最後に、1970年代前半に運転開始をした原発の発電能力が低いという点も指摘したい。定格電気出力でみると、福島第一原発の1号炉は46.0万kW、2号炉から5号炉でそれぞれ78.4万kWにすぎない。1号炉と同時期に運転を開始した敦賀原発1号炉（1970年3月運転開始）も35.7万kW、美浜原発1号炉（1970年11月運転開始）は34.0万kWである。現在、運転可能な原発で発電能力が一番高いのは、2005年1月に運転開始をした浜岡原発5号炉で、138.0万kWの定格電気出力を有している。

福島第一原発の5号炉までの原子炉は、発電能力の低さに比例して、原子炉建屋の容積が小さかった。その結果、原子炉建屋内の各フロアは、空きスペースが限定され、ベントの手動操作などに必要な作業域を確保することが非常に難しかった。このような原発施設の“古さ”も、過酷事故における起動的な対応の厳しい制約になった。

② 規制環境の変化

耐震基準強化の経緯

原発施設に対する規制環境は、福島第一原発が1971年に運転を開始して以降、大きく変貌してきた。原発施設について、耐震基準を含めて公的な建築基準が初めて導入されたのは、1981年であった。1981年の耐震基準は現在の規制水準と比較すると緩やかな基準だった。1981年より以前に建設された原発施設は、公的な建築基準がまったくないままに、電力会社が自主的に定めた建築基準の下で設計されていた。

原発施設について本格的な建築基準が導入されたのは、最初の基準が導入された1981年から四半世紀経過した2006年であった。2006年の耐震基準は、現在の最先端の考え方に照らしてみても優れたものだった。限定的なかたちではあったが、津波への対策も求めている。

しかし、規制当局は、2006年以前に運転開始された原発施設に対して、遡及して2006年規制基準の遵守を法的に強制することができなかった。すなわち、規制当局は原発事業者に対して2006年基準に従うように指導はするが、規制遵守を法的に強制することはできなかった。したがって、2006年規制に従うかどうかは、原発事業者の自主的な判断に委ねられていた。

福島第一原発は、1981年基準に対応するために補修、改修を徐々に進めてきた。しかし、たとえば1985年の時点に立って、その時の最新技術と比べると、補修、改修のパッチワークでやっていた施設は安全性が劣っていたといわれている。それでも、1981年基準はどうかこうにかクリアしていたが、2006年基準に対してはほとんど対応がなされていなかった。

『国会事故調・報告』（492ページ）によると、規制当局は、東電に対して2006年基準を目安に安全性を高めるように要請していたが、東電は、福島第一原発施設全体について2016年までに補修、改修すると回答していた。しかし、実際には、2006年から2011年3月の原発事故までの5年間、2006年基準遵守に向けての補修、改修はほとんどなされていなかった。なお、東電は、2006年基準に適應するのに必要な費用は、当初800億円と見込んでいた。

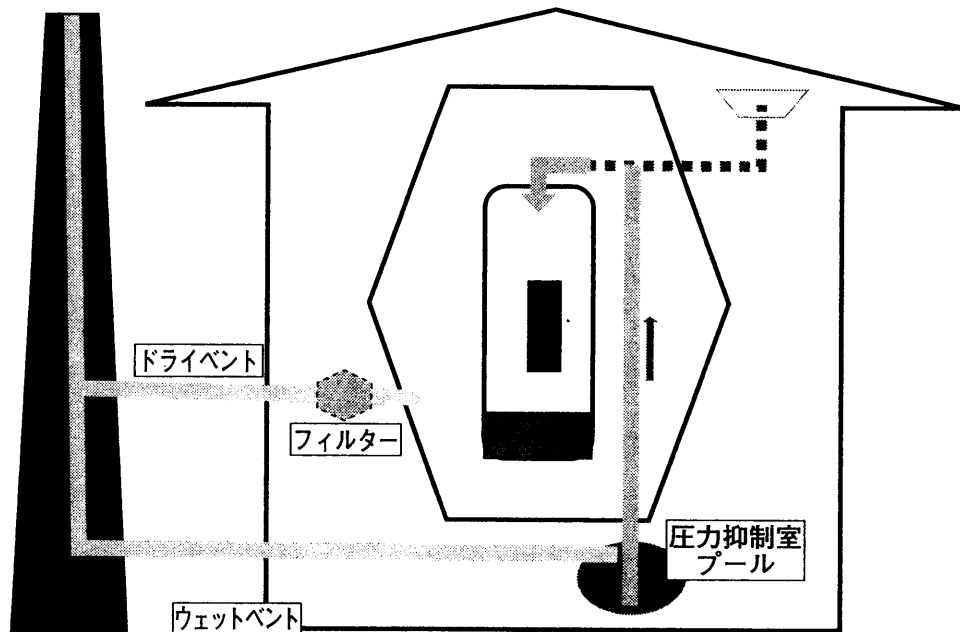
耐圧強化ベント設置の経緯⁶⁾

福島第一原発は、規制基準の強化とは別に、その原発施設に固有の技術的な事情からも、抜本的な設備更新を求められてきた。なお、以下の説明においては、図6-2を参照してほしい。

第一に、福島第一原発1号炉から5号炉の沸騰水型原子炉の原型となった米国GE社Mark Iは、設計当初から深刻な技術的問題を抱えていることが指摘

⁶⁾ 『国会事故調・報告』の97ページ、100ページから101ページ、190ページから191ページ、245ページから246ページに耐圧強化ベント設置の経緯について詳細な記述がある。

図6-2 ウェットベントとドライベント



- 注) 1 ベントラインには、圧力抑制室プールの水で濾過された蒸気を放出するウェットベント用排気管と、格納容器内の蒸気を直接放出するドライベント用排気管がある。
- 2 米国GE社のMark I型原発は、これらの2つの排気管が建築後に追設されたために、他の設備と配管を共用していた。
- 3 日本では、ドライベント用排気管にフィルターが設けられていなかったため、ドライベントは大量の放射性物質を原子炉建屋外部に放出せざるを得ない状態にあった。そもそも、ドライベントを用いる事態を想定していなかったといわれている。

されてきた。今般の原発事故との関連で特に問題となってくるのは、**耐圧強化ベント**の設置とその経緯であった。

Mark Iは、設計当初、圧力容器内が冷却材不足で高圧になったとしても、圧力容器内の蒸気を格納容器底部の圧力抑制室プールに逃がして、そこに貯えられた水に吸収させれば、圧力を引き下げられると考えられていた。しかし、圧力抑制室プールの水が高温になれば、蒸気が水に吸収される程度は低下し、炉心溶融の過程で発生する水素ガスはそもそも水で凝縮することはできない。

そこで、1980年代に入って、圧力容器で発生した蒸気を原子炉建屋外部に排出する耐圧強化ベントの設置が検討され始めた。福島第一原発の5つの炉については、1999年から2000年に耐圧強化ベントが設置された。

新たに設置された耐圧強化ベントは、圧力抑制室プールの水に濾過された蒸気を排出する管（ウェットベント用排気管）と、格納容器内に充満した蒸気を

排出する管（ドライベント用排気管）である。前者は、水に濾過される分だけ外部に放出される放射線量も縮小できる。一方、後者は、直接排出される分だけ外部に放出される放射線量も多くなる。

二種類の耐圧強化ベントは、すでに設備がぎっしりと詰め込まれた原子炉建屋内に追加的に設置せざるを得なかったことから、いくつもの既存設備の配管と兼用するかたちで増設された。その結果、耐圧強化ベントを含む配管が過度に複雑になった。また、ベントを実施する際には、何か所もの弁で他の既存設備から耐圧強化ベントを隔離する必要が生じ、ベントの操作が複雑になり、その操作性も著しく低くなった。

なお、欧州の原発では、ドライベントであっても外部に放出される放射線量を少なくするために、原子炉建屋内で耐圧強化ベントにフィルターを設置した。しかし、日本では、フィルターは設けられなかった。

非常用海水取水ポンプの水密化の断念⁷⁾

第二に、福島第一原発の非常用海水取水ポンプが無防備なままになっていた背景には、規制当局が東電に対応を促していたにもかかわらず、東電がそれにまったく応じていなかった事情がある。

今般の原発事故を深刻化させた重要な要因としては、2号炉と3号炉のECCSの最終的な水源である圧力抑制室プールの水を冷却するシステムに必要な非常用海水取水ポンプが壊滅的なダメージを受けたことが挙げられる。

実は、規制当局と原子力安全基盤機構は、2006年、「いっすい溢水勉強会」と呼ばれる研究会において、津波被災によって非常用海水取水ポンプが機能喪失に陥る可能性を検討していた。研究会は、福島第一原発施設を明示的に対象にしていたわけではないが、研究会で取り扱われていた事例は、福島第一原発の施設配置に酷似していた。

規制当局は、研究会に参加していた東電に対して非常用海水取水ポンプの水密化などで対応するように指示していた。しかし、東電は、そうした対策を真剣に検討することはなかった。

⁷⁾ 『国会事故調・報告』の494ページから497ページを参照のこと。

③ 人的資源の制約

福島第一原発の安全な運転を支える人的資源にも大きな制約があった。古い原発施設をよりいっそう経済的に運営する意向が優先されて、事故当時の福島第一原発の運転体制は、他の原発施設と比べても貧弱なものとなっていた。『国会事故調・報告』（104ページから107ページ）によると、原子炉等規制法では原子炉ごとに原子炉主任技術者（炉主任）を配することが原則だったのに、事故当時、福島第一原発では二人の炉主任で6つの原子炉を兼担し、たった一人の炉主任が1号炉から4号炉を担当していた。

また、福島第一原発のように萌芽期の民生技術で設計されたものについては、先述のように、運転開始以降に技術や規制の要請から様々な補修や改修が求められてきた。しかし、運転開始当初からの経緯を正確に把握している技術者は、当然ながら時間が経過するに従って少なくなっていく。実際問題として、運転開始以降の技術的な補修・改修に関するメモリーが原発施設現場に保持されるのは、二、三世代の技術継承でせいぜい40年が限度であろうといわれている。

福島第一原発の場合、運転開始以降に求められた技術的な補修・改修は、3節（2）項①で詳しく述べてきたように、複雑多岐にわたった。特に、以下の三点は重要である。

1. 当初の設計をした米国GE社が技術的なアップグレードをした。特に、ベント用排気管については、設計当初は装備されていなかったものが、1980年以降にその必要性が認識されて、後から追加的に備え付けられた。その結果、ベント用排気管がアドホックで複雑なものになり、運転操作性も高くなかった。
2. 1970年代、80年代は、米国GE社の沸騰水型軽水炉技術を土台に、東芝などの日本メーカーが日本の自然環境を考慮しながら自主技術化を推し進めてきた時期でもあり、自主技術化の過程で補修・改修が求められた。
3. 1981年基準などの規制上の要請でも、補修・改修が求められた。

『国会事故調・報告』（190ページから191ページ）で報告されているように、福島第一原発の現場では、補修・改修の経緯が詳細に記録されていなかった。

特に、当初設計図への追記がずさんであった。そのように組織内での記録が不十分な状況にあると、運転開始以降、40年あまりの時間が経過し、当該原発施設に固有の技術に習熟し、補修・改修の経緯を理解した技術者が少なくなれば、原発施設を安全に運転することは非常に難しくなるであろう。

(3) 公的規制の遡及の限界と経営の自主的な判断

運転延長と規制強化の経緯

以下では、本来であれば抜本的な設備更新を必要とする老朽原発施設が、当初に想定されていた40年の耐用年数を超えてほぼ現状のまま、規制当局と原発事業者の間で運転延長が合意されるという事態に至った背景・理由を改めて考えてみたい。

もう一度、老朽原発施設の運転延長を巡る経緯を規制基準の強化の経緯と合わせて、振り返ってみよう。

1. 2005年12月：原子力安全・保安院は、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイドライン」と「実用発電用原子炉施設における高経年化対策標準審査要領」を公表し、老朽原発施設の運転延長を認めるように方針を転換した。
2. 2006年9月：原子力安全委員会は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（いわゆる2006年基準）を公表した。
3. 2010年3月：東電は、原子力安全委員会に対して、福島第一原発の20年間の運転延長に向けて技術評価書を提出した。
4. 2011年2月：福島第一原発1号炉について、10年間の運転継続が認可された。

先に述べたように、規制当局（原子力安全・保安院）は、東電に対して福島第一原発の施設状況が2006年基準を満たすように要請をしている。しかし、上の経緯が示すように、1号炉の運転延長の決定と2006年基準の遵守要請が同時期に進んでいたにもかかわらず、両者はまったくリンクしていなかった。仮に、両者が相互にリンクするように規制を実施していたら、どのようになっていた

だろうか。

静学的な技術的適応と動学的な技術的適応のリンク

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、意思決定の時間整合性を保つことができ、今般の過酷事故の進行も大きく変わっていたのでないか。

運転延長申請の審査では、静学的な技術適応がその対象となり、既存技術において安全性が維持されているかどうか審査される。具体的には、運転当初の技術を前提として、著しい経年劣化が当該原発施設に生じていなければ、申請は基本的に認可される。

一方、新規制基準の遵守では、動学的な技術適応がその対象となり、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審査される。新規制基準への適応においては、抜本的な設備更新が求められることが多く、その費用がかさめば、廃炉の決定に至る可能性もある。

実際原発規制行政では、二つの技術対応が完全に切り離され、当初技術の下での安全性維持だけが既存原発施設に法的に強制され、新技術への適応による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、コスト節約を主眼とする原発事業者は、前者の観点だけで原発施設の安全性を判断する傾向が強かった。

仮に規制当局が東電に対して上述の二つの側面で安全性を厳格に求めていたとすれば、どのようなことが起きたであろうか。おそらく東電の経営者は、「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安全な運転体制を支える人的資源の制約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。

より具体的に議論してみよう。規制当局が、2006年基準の公表を契機に、運転延長については、2006年基準の遵守が前提である旨を原発事業者に伝えたとしよう。その場合、原発事業者は、2006年基準遵守に要する追加的補修・修繕

費用と、継続運転がもたらす収益を注意深く比較するであろう。特に、1970年代前半に運転を開始した原発は、発電能力が決して高くないので、発電1単位あたりに必要な補修・修繕費用がかさむ可能性もある。

仮に、継続運転の費用が補修・修繕の費用を上回れば、2010年3月に東電が原子力委員会に申請したように、運転延長を決定し、規制当局にその意向を伝えるであろう。

しかし、

2006年基準遵守の追加的補修・修繕費用 > 継続運転がもたらす収益

のように、逆方向の不等号が成り立てば、廃炉の意思決定を下したであろう。

原発事業者が既存原発施設の継続使用の意思決定を下した場合であっても、既存施設の技術的な限界を的確に認識する契機となる。

耐震基準の遡及適用を実現する仕組みづくり

いくら厳しい規制基準をつくっても、原発事業者がそれを遵守するように規制の仕組みを展開しなければ、結局は、厳しい規制基準も、「絵に描いた餅」になってしまう。

原則的には、原発施設であっても、通常の建築物と同じく、法で定められている耐震基準は新基準導入前に建設された施設には遡及して適用されない。最新の耐震基準を満たしていない古い原発施設も、依然として既存不適格として合法的に認められる。

先述のように、福島第一原発が1960年代後半に設計されたときには、原発施設に対する耐震基準は公的に設けられていなかった。規制当局による耐震基準は、1981年に初めて設けられた。2006年には、さらに厳しい耐震基準・対津波対策が設けられたが、事故前の福島第一原発施設状態は、その基準が求める水準にはるかに及ばなかった。東電が規制遵守に必要な費用を節約して福島第一原発施設が既存不適格だったにもかかわらず、既存施設において顕著な経年劣化が進んでいないということで運転延長申請が認められた。

そうした事態を回避するためには、運転延長の認可と規制基準の遵守をリンクさせて、費用対効果の観点から原発事業者の適切な意思決定、すなわち抜本

的な設備更新か、設備廃棄かの決定、を引き出す必要があった。原則的な原発規制行政では、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あれば、原発事業者が40年間を超えて運転延長をさせたいと考える既存原発施設に対して、新規制基準をあらためて求めることは合理的でないだろうか。

4 事故前の施設状態と過酷事故への対応⁸⁾

(1) 問題の所在

1号炉の論点

本節では、福島第一原発の過酷事故において有効な対応がなされないままに、炉心溶融・貫通ばかりでなく、水素爆発や格納容器損傷の事態を招いてしまった背景を考察していく。同じく事故当時運転中であったが、1号炉と2・3号炉では、地震・津波被災直後からかなり異なった状況にあったので、それぞれ分けて考えてみたい。

3節(2)項①で議論したように、1号炉は、ECCSの機能を有する非常用復水器の操作に深刻な錯誤があったために、3月11日午後2時46分の地震発生から3時間半あまりで炉心(核燃料棒)が露出し、午後6時50分には炉心が溶融し始めた。その後、11日中に炉心貫通に至った。そうした事態の急速な展開のために、11日中には、ベント実施の準備に着手したが、実際にベントが実施されたのは、12日午後2時半だった。その間、炉心溶融・貫通の進行で大量の水素が発生し、12日午後3時36分に1号炉原子炉建屋で水素爆発が起きた。12日午後7時4分には、1号炉への海水注入が開始された。

そこで本節の前半では、1号炉のベント実施がなぜ遅れたのかを考察していく。

⁸⁾ 原発事故の経緯については、齊藤(2011、2012b)を参照してほしい。

2号炉・3号炉の論点

2号炉と3号炉では、原子炉隔離時冷却系か高圧炉心注水系かいずれかのECCSが津波到達後も機能したことから、事態の進行は1号炉ほど早くなかった。3号炉では、13日午前9時10分には炉心が露出し、午前10時40分には炉心溶融が起き始めた。2号炉でも、14日午後5時には炉心が露出し、午後7時20分には炉心溶融が起きた。しかし、2号炉と3号炉については、ベント実施を前提に海水注入を実施する意思決定が大幅に遅れた。

いずれの炉でも、海水注入開始は炉心溶融が始まった後だった（3号炉が13日午後1時12分海水注入開始、2号炉が14日午後7時54分海水注入開始）。その間、炉心溶融・貫通の進行で大量の水素が発生し、14日午前11時1分に3号炉原子炉建屋で水素爆発が起きた。15日午前6時頃には2号炉の格納容器底部の圧力抑制室が水素爆発で破損した。

そこで本節の後半では、2号炉、3号炉の海水注入がなぜ遅れたのかを考察していく。

(2) なぜ1号炉のベント実施が遅れたのか

『政府事故調・中間報告』（139ページから158ページ）では、1号炉のベント実施が遅れた理由として、12日早朝に首相の現地視察が重なったことと、福島第一原発半径10キロ圏内で住民が避難するのが遅れたことを指摘している。

また、『政府事故調・中間報告』（156ページから158ページ）や『国会事故調・報告』（153ページから154ページ、259ページ）では、以下のような理由から現場作業員が1号炉のベント操作にかなり手間取ったことも指摘している。

1. 原子炉建屋内の線量が非常に高く、作業員が長く作業を行うことができなかった。
2. 直流電源喪失で空気圧によって作動する弁動力が失われたために、原子炉建屋外部から土木用エアコンプレッサーを持ち込む必要があったが、施設のぎっしりと詰まった原子炉建屋内でエアコンプレッサーを設置するスペースを確保することが難しかった。
3. 1999年から2000年にかけて追設されたベント管が他の設備と兼用されて

いるために他の設備から隔離しなければならず、いくつもの弁を開閉する必要があった。

上述のベント操作を困難にした要因のうち2番目と3番目のものは、1号炉が老朽化した原発施設であったことが大きく影響している。

ベント実施が遅れた原因には、ドライベント用とウェットベント用の二つの排気管が備え付けられていたにもかかわらず、事実上、ウェットベントによる排気しかできなかった事情もあるだろう。3節(2)項②で述べたように、フィルター(濾過装置)が排気管の側に設置されていなかった。圧力抑制室プールの水で濾過されて外部に排気されるウェットベントと違って、格納容器からフィルターなしで直接排気されるドライベントは、大量の放射線が原子炉建屋外部に放出される。東電側は、大量の放射線が放出されるドライベントを強く躊躇していた。仮にフィルターが備え付けられたドライベントによる排気も可能であれば、現場の選択肢も広がり、より機動的な対応が可能であっただろう。

(3) 2号炉、3号炉への海水注入に対する躊躇

3号炉の場合

『政府事故調・中間報告』や『国会事故調・報告』では、政府、規制当局、東電が、3号炉に対して、即時廃炉につながる海水注入に強い躊躇を示していたことが記録されている。

3号炉では、津波到来直後から稼働していたECCSである原子炉隔離時冷却系が12日昼前(午前11時36分)には停止し、午後12時35分に高圧炉心注水系に切り替わっていた。その高圧炉心注水系も13日午前2時42分に停止した。その時点で、現場はようやく海水注入に向けて準備に入ったが、官邸や東電本社は、現場に対して海水注入の再考を促している。『政府事故調・中間報告』(179ページから180ページ)には、13日未明における官邸での意見交換が、以下のよう

3月13日未明以降、官邸5階の総理大臣応接室では、海江田経産大臣、平岡保安院次長、斑目委員長、東京電力部長らが、時折、吉田所長に電話をかけ

るなどして情報を得ながら、福島第一原発のプラント状況や今後の対応等に関する意見交換をしていた。

このとき、福島第一原発において、3号機原子炉への海水注入に向けた作業を実施しているとの情報が得られ、「海水を入れるともう廃炉につながる。」「発電所に使える淡水があるなら、それを使えばいいのではないか。」「発電所内の防火水槽やろ過水タンク、純粋タンクなどに淡水がまだ残っていないのだろうか。」「新潟県中越沖地震後、防火水槽をたくさん作ったのではないか。」などといった意見が出た。

さらには、以下のような記述がある。

同日早朝、東京電力部長は、吉田所長に電話をかけ、「他の防火水槽とろ過水タンクとかに淡水があるのではないか。淡水が残っているなら極力淡水を使ったほうがよいのではないか。官邸でそのような意見が出ている」旨伝えた。

東京電力部長は、官邸5階の会合で出た意見を伝えたにすぎなかったが、吉田所長は、これを重く受け止め、海水注入の前に極力ろ過水タンク等に残る淡水を注入すべきというのが、菅総理を含めた官邸の意向と理解した。

その後、官邸や東電本社の意向を受けた現場は、淡水注入の可能性を追求した。しかし、結局は首尾よくいかずに、13日午後1時12分によりやく海水注入に踏み切った。

以上の記録が示すように、現場は、海水注入の準備に入ったにもかかわらず、官邸から現場へ伝達された意見が淡水注入への指示と解釈され、早朝に行われるはずの海水注入がさらに6時間ほど遅れた。

海水注入は廃炉を直ちに帰結とするので、海水注入よりも淡水注入を優先するように官邸が現場に指示したことは、官邸において廃炉が強く忌避されたことを示唆している。『政府事故調・中間報告』が伝える官邸での意見交換には、発言の主語が省略されているが、東電経営者も原発施設の継続使用に強い関心を抱いていたと解してよいであろう。

『国会事故調・報告』（262ページから263ページ）でも、13日未明に福島第一原発において、3号炉の海水注入を巡って次のような会話が取り交わされていたことを記録している。

福島第一原発吉田所長：「ええとね。官邸から、あの、ちょっと海水を使うっていう判断をするのが早すぎるんじゃないか、というコメントがきました。で、海水使うということは、もう廃炉にするというようなことにつながるだろうと、こういう話で、極力ろ過水なり、真水を使うことを考えてくれと」
福島第一原発：「じゃあ、ちょっとその指示に従って、ろ過水だけで入れられるところからということだと、給水は遅れますけど、それで順次いきます」

補助的な冷却系が機能不全のまま冷却に必要になってくる水量の膨大さを考えると、近隣ダム（坂下ダム）からの取水管が破断した状況であっても、十分な淡水を確保できる可能性や、淡水と海水を切り替えながらの注水の可能性が、現場で依然として検討されていたとすれば、現場責任者もあまりに悠長な見通しに立っていたことになる。

2号炉の場合

2号炉の海水注入については、政府や国会の事故調報告には明示的な記述がない。しかし、2012年8月に東電が公開したテレビ会議の映像には、3月13日夜に2号炉への海水注入についても、次のようなやり取りが録画されていた⁹⁾。

東電本社：（2号炉への海水注入を準備していた吉田所長に対して）…いきなり海水っていうのはそのまま材料が腐っちゃったりしてもったいないので、なるべく粘って真水を待つという選択肢もあると理解していいでしょうか。

吉田所長：今から真水というのはないんです。…今みたいに（冷却水の）供

⁹⁾ 当該ニュースは、2012年8月8日に時事通信社などが配信した。

給量が圧倒的に多量必要な時に、真水にこだわっているとえらい大変なんですよ。海水でいかざるを得ないと考えている。

東電本社：いかにももったいないなという感じがするんですけどもね。(苦笑)

先述のように、13日夜といえは、同日午前には3号炉ですでに、翌日夕方には2号炉でこれから炉心溶融が始まろうとしているという緊迫した状況にあった。2号炉や3号炉において深刻な事態が進行していく中、事ここに至っても淡水注入の可能性が東電本社で検討されていたのは、東電本社が海水注入による廃炉の事態を是が非でも回避したかったと解してよいであろう。

(4) なぜ海水注入が躊躇されたのか

以下では、官邸や東電本社が海水注入を躊躇し、福島第一原発の現場もそうした躊躇に一定の理解を示した背景を考えてみたい。

官邸や東電本社が海水注入によって廃炉になってしまうことを躊躇したのは、2号炉や3号炉は、運転延長措置で今後20年以上にわたって活用できる施設という認識があったからであろう。3節(1)項で詳しく論じてきたように、福島第一原発の1号炉から5号炉は、客観的に見れば、様々な技術的問題を抱えた「40年の耐用年数に近づいた老朽原子炉」であったが、規制当局と東電(少なくとも経営サイド)の間では、最長20年の運転延長措置で60年の耐用年数の3分の1を残す「働き盛りの原子炉」として認識されていた。

それでは、少なくとも12日早朝の段階では、福島第一原発の現場も、官邸や東電本社の海水注入への躊躇に対して、なぜ一定の理解を示したのであるか。『政府事故調・中間報告』(90ページ)によると、現場は、ECCSの冷却能力と、ECCS水源の冷却系復旧を過度に楽観していたことをいくつかの個所で報告している。たとえば、以下のような記述がある。

しかし、吉田所長は、この時点(引用者注: 大津波到来前)ではまだ、複数号機が同時的に全交流電源を喪失し、しかもそれが長時間継続する事態になるとは想像しておらず、仮に非常用海水系ポンプ設備が破損したとしても、1

号機のIC（引用者注：非常用復水機）や2号機及び3号機のRCIC（引用者注：原子炉隔離時冷却系）で原子炉を冷却し、又は電源融通を図っている間に同設備（引用者注：非常用海水系ポンプ設備）を復旧すれば、冷却機能を回復できると考えていた。

もちろん、ECCSの冷却能力やECCS水源の冷却系復旧を楽観視する傾向は、官邸や東電本社にいつそう強かったであろう。いったん炉心溶融が開始すれば、原子炉の継続使用は不可能になる。そうした炉心溶融の可能性が間近に迫っている状況においても、官邸や東電本社が、海水注入を回避して継続使用の可能性を追求したのは、ECCSによる原子炉の冷温停止の可能性を強く信じていたからであろう。

福島第一原発の現場が事故直後2号炉と3号炉について直面していた現実には、以下のとおりであった。

1. 近隣ダム（坂下ダム）からの給水管が地震で破断されていて、大量の淡水を確保することが困難であった。
2. 非常用海水取水ポンプが致命的なダメージを受けていたことから、ECCSの最終的な水源となっている圧力抑制室プールを冷却するシステムを早期に復旧する見込みがなかった。したがって、ECCSの冷却能力には限界があった。
3. 炉心溶融プロセスの開始が寸前に迫っていた。

上述のような状況を前提とすれば、ECCSにいたずらに依拠するのではなく、できるだけ早い段階で、事故後の継続使用の可能性を断念し、廃炉を前提に「ベント⇒海水注入」を決定すべきであった。そのように機動的に対応することでしか、2号炉や3号炉における炉心溶融・貫通、水素爆発、格納容器損傷へと急速に展開していく事態を、できるだけ初期の段階で食い止めることはできなかった。逆にいえば、臨機応変の対応によって、事態の進行を食い止めることができた。

一方、1号炉では、非常に古いECCS（非常用復水器）が炉心の冷却に失敗し、

炉心溶融のプロセスを著しく早めた。また、原子炉施設の技術的な“古さ”がベント操作の遅れをもたらした。地震・津波被災前の施設状況の制約を前提とすると、臨機応変の対応であっても事故の進行を食い止めることはほとんど不可能であったろう。したがって、1号炉と2・3号炉では、事故から得られるインプリケーションは大きく異なっている。

5 おわりに：福島第一原発の廃炉について

最後に、過酷事故に対して臨機応変の対応ができなかったことによって、いかに深刻な帰結がもたらされたのかを簡単に述べておきたい。

福島第一原発の事故状況については、事故当時運転していなかった4号炉の原子炉建屋上部にあるプールに貯えられた核燃料¹⁰⁾の危険性ばかりが注目されがちであった。しかし、プール内の核燃料は損傷しているわけではなく、非損傷の核燃料をプールから取り出す作業は決して難しくなかった。

4号炉の状況に比べると、事故当座、運転中であった1号炉から3号炉の状況のほうがはるかに深刻である（図6-3を参照）。これらの原子炉では、圧力容器内の核燃料が溶融しただけではなく、圧力容器の底にできた溶融核燃料の塊によって底部が破損し、炉心貫通が生じてしまった。さらには、圧力容器底部から落ちた溶融核燃料が、格納容器底部にも深刻なダメージを与えた。その結果、一部の溶融核燃料が、格納容器の外側にも漏れ出てしまった。米国のスリーマイル島原発事故でも炉心溶融が起きたが、溶融核燃料は圧力容器の中にとどまった。その点では、福島第一原発事故は、スリーマイル島原発事故よりはるかに深刻だった。

仮に、炉心貫通が起きても、格納容器に損傷がなく、溶融核燃料が格納容器内にとどまれば、格納容器を五分目、六分目まで水冠して、その水を循環させながら、溶融核燃料を冷却することができる。そのような水冠が可能だとしても、冷却には数年かかるといわれている。

しかし、福島第一原発の1号炉から3号炉の場合、格納容器も損傷し、底部

¹⁰⁾ 4号炉のプールには、使用済核燃料ばかりでなく、使用中核燃料も含まれていた。

に亀裂が生じているために、2011年5月半ばには、ただちに水冠を行える状態にないことが明らかになった。現在は、格納容器を水に満たすことができないままに、ECCSの水系を用いて圧力容器の上部から水を吹きかけている状態が継続している。

将来的には、格納容器をすっぽり覆うコンテナを構築し、そこで水を循環させながら冷却をする必要があるが、溶融核燃料が格納容器から外に漏れ出て格納容器周辺で高レベルの放射線が出ている。現状では、格納容器底部の毀損部分を修復する作業さえも困難を極めている。いずれにしても、現在行われているような応急的な冷却方法では、原子炉を安定した状態にもっていくことができないであろう。

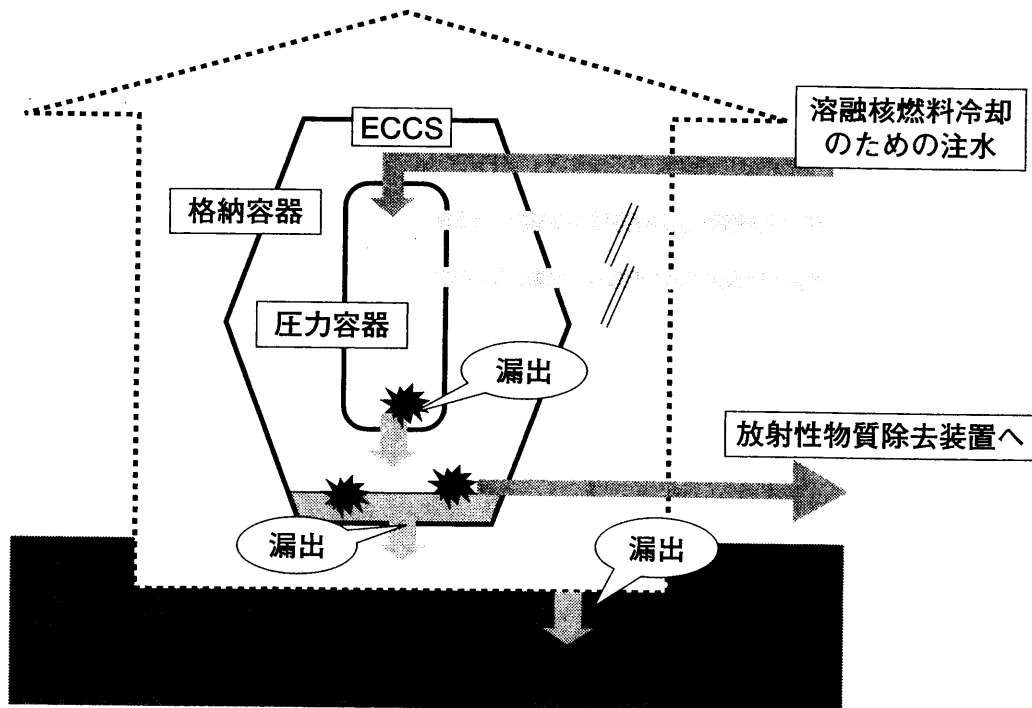
このように見えてくると、これらの原子炉において炉心貫通どころか、格納容器破損まで生じたことは、原発事業者や規制当局にきわめて重い責任がある。廃炉作業に必要な期間に関しては、政府の見込みでも40年、より悲観的な見込みとしては1世紀以上かかるとされている。廃炉作業に必要な資金については、ラフな推定値さえ、いまだに公表されていない。

過酷事故対応は、本来であれば、「事故による損失の縮小化」を収束点とすべきであった。とりわけ、事故の影響が及ぶ範囲は、できれば圧力容器に、それが可能でなかったとしても、何としても格納容器の中に封じ込めるべきであった。しかし、現実の事故対応では、ベント操作の致命的な遅れ、廃炉を帰結する海水注入への躊躇、ECCSの冷却能力に対する過信の結果、上述のように、溶融した核燃料は圧力容器底部を突き破り（炉心貫通）、さらに格納容器も破損させ、格納容器の外部に漏れ出てしまった。炉心溶融が進行する過程では、大量の水素が発生し、水素爆発が起きた。

3節(1)項で詳しく見てきたように、福島第一原発の1号炉から5号炉は、運転開始当初の目論見からいえば、40年の耐用年数に近づき、多くの技術的な問題を抱えた「引退寸前の老朽原子炉」だった。しかし、それが2000年代半ばに実施された運転延長措置によって、60年の耐用年数の3分の1以上を残している「まだまだ使える原子炉」、あるいは「働き盛りの原子炉」に変身してしまった。

このような運転延長の背景を考慮すれば、過酷事故状況においても2号炉や

図6-3 压力容器と格納容器の損傷



- 注) 1 1号炉から3号炉について、ベントと海水注入が大幅に遅れたために、溶融した核燃料が压力容器底部から漏れ出て（炉心貫通）、格納容器の底部に落ちて、いくつもの塊を形成した。
- 2 溶融核燃料が発する熱や水素爆発のために格納容器底部や圧力抑制室も損傷を受けて、一部の溶融核燃料は格納容器外部に漏れ出た。
- 3 現在（2013年6月時点）は、ECCSの冷却系を通じて压力容器内部に注水をしている。注入した水は、溶融核燃料からの放射性物質を含んでいるために、放射性物質除去装置のほうへ送られている。しかし、放射性物質に汚染された水の一部は、原子炉建屋やタービン建屋の地下などにも漏れ出ている。

3号炉の廃炉の決断がなかなか下せず、そもそも40歳を迎えようとしていた老朽原子炉（1号炉）が2011年3月11日時点で運転中であった事情も明らかである。原発事業者にとっては、原発危機に直面している真最中であっても「まだまだ使える原子炉」を速やかに廃炉にすることも、あるいは、老朽原子炉に様々な技術的問題が指摘されていたとしても「働き盛りの原子炉」をあらかじめ引退させることも、簡単には決断できなかつたのであろう。

運転延長申請において、当初技術を前提とした経年劣化の度合いだけでなく、新しい技術への根本的な適応も審査対象とするような原発規制行政を展開していれば、上述のような悲劇的な結末は回避することができたであろう。

福島第一原発の事故は、民間経済主体が運営する巨大技術に対して、経済社会がどのように新陳代謝を促していくのかについて、大きな課題を投げかけた。

今般の原発事故に至る歴史的な経緯を詳しく振り返っていくことは、その課題を解決することに資するのではないかと考える。

参考文献

- 齊藤誠 (2011) 『原発危機の経済学：社会学者として考えたこと』日本評論社。
- (2012a) 「普通の産業技術として見た軽水炉発電技術」『一橋ビジネスレビュー』第59巻第4号、pp.22-32。
- (2012b) 「原発危機の経済学：政府・国会事故調の調査報告を踏まえて」『エコノミア』第63巻第2号、pp.1-16。
- 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 (2012) 『調査報告書 (本編)』。
- 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 (2011) 『中間報告 (本文編)』。