

## 特集

## 福島原発事故とその教訓

## 第1回 福島第一原発で何が起こったのか

早川 光俊 (CASA 専務理事)

福島原発事故から2年以上が経過しましたが、まったく収束の目処はたっていません。事故原因も含めて正確なことはわかっておらず、最近も、ネズミが配電盤に入り込んだだけで電源喪失したり、地下貯水槽の汚染水漏れなどの問題が起っています。また、メルトダウンしている原子炉や4号機の使用済み燃料プールなどは、今後も長期にわたって冷却を継続せざるを得ません。さらに、除染、膨大な放射性廃棄物の管理・処理、廃炉、住民の健康管理や健康被害への対処、被害補償、崩壊した地域社会の復興など、膨大な費用と時間がかかる問題が残されています。

今号から、「福島原発事故とその教訓」を特集します。1回目は「福島原発で何が起こったのか」とのテーマで、事故の概要、事故の原因、未解明の問題などについて考えます。2回目以降は、安全神話や官民の原子力ムラ、今後の課題などについてとりあげたいと思います。

## 1 福島原発事故の概要

東北地方太平洋沖地震(以下、「地震」という)が起こったとき、福島第一原発は、6基の原子炉のうち1～3号機が運転中で、4～6号機は定期点検中でした。

原発の緊急時の対応措置の原則は、①「止める」、②「冷やす」、③「閉じ込める」とされます。①の「止める」とは、制御棒を挿入して核反応を止めること、②の「冷やす」とは崩壊熱でペレットが入った鞘管(ジルコニウム製)が溶け、水蒸気と反応して水素が発生し爆発の恐れがあるので、冷やし続ける必要があること、③の「閉じ込める」とは原子炉の中の膨大な放射性物質(死の灰)を外に出さないようにすることです。

今回の地震が起こった際、福島第一原発の6基を含め地震域にあった14基の原発はすべて「止める」ことには成功しました。しかし、福島第一原発の1～4号機では、電源を失い「冷やす」ことに失敗し、運転中の1～3号機が炉心溶融(メルトダウン)を起こし、また、1、3、4号機が水素爆発を起こして建屋の上部が吹き飛んでしまいました。

原発は、通常運転中は自ら発電した電力を所

内の電力として使用していますが、発電が止まったときには、原子炉を冷やす冷却水を循環する電源も含めて外部電力を使用します。さらに外部電力も喪失したときには非常用ディーゼル発電機に頼ることになります。

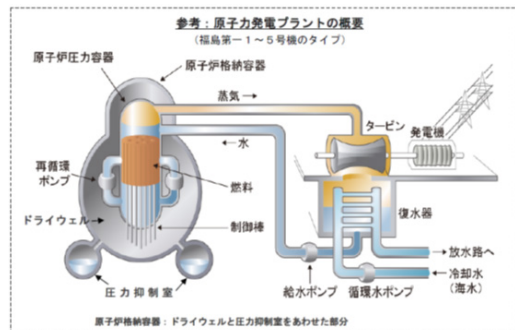


図1 原子力プラントの概要(東電「福島原発事故調査報告書」3頁より)

福島第一原発では、3月11日14時46分に発生した地震動により外部電力の送電塔や開閉所、変電所等が損傷し、外部電力を失ってしまいました。こうした事態に備えて、13機の非常用ディーゼル発電機が準備されており、すぐにこれらが起動しましたが、15時27分頃から襲来した津波により非常用ディーゼル発電機や配電盤が浸水して停止し、1～5号機は全電源を喪失したとされています。わずかに残った1機の非常用ディーゼル発電機が空冷式で、6号

機の建屋の中にあり津波の被害を免れたため、これで5号機と6号機は冷却機能を失わずにすんだとされています。

## 2 1～4号機で何が起きたか

1号機～4号機で起こった事象については、まだ多くのことがわかっていません。原子炉建屋の放射線量が高く、調査に入れないためです。事故後、東電、政府、国会、民間の4つの事故調査委員会の報告書\*1が公表されていますが、事故の原因や評価については重要な違いがあります。ここでは、政府事故調の報告書をもとに、1～4号機で何が起こったことを概観したいと思います。

### (1) 1号機の経過

1号機では、地震後、1号機のみを設置されていた非常用復水器(IC)\*2が自動起動し、炉心の冷却が行われていましたが、非常用復水器

の8つの弁のうち2つは当直の運転員によって手動で閉鎖され、残る6つの弁も津波により全電源を喪失したことでフェールセーフ機能\*3で自動的に弁が閉まり、冷却機能が失われてしまいました。しかし、陣頭指揮をとっていた吉田昌郎所長をはじめ誰も、ICの弁が閉じられ、冷却機能が失われたことに気づきませんでした。そのため、半日以上、炉心への注水がほぼゼロという状態が続き、11日の夕方には炉心が露出して、炉心の損傷が始まり、当日の深夜には炉心溶融していた可能性が高いと考えられています。

12日に日付が変わる頃、1号機の格納容器内の圧力が異常に高まったため、格納容器内の水蒸気を外に抜くベント(換気)や消防車による注水が必要となり、吉田所長は12日0時過ぎにベントの準備を指示したとされます\*4。ところが、ベント作業が大幅に遅れ、ベントが確認

表1 1～4号機の概要

ユニット	1号機	2号機	3号機	4号機
出力(万kw)	46	78.4	78.4	78.4
運転開始年	1971	1974	1976	1978
メーカー	GE	GE/東芝	東芝	日立
炉型	沸騰水型 Mark I	沸騰水型 Mark I	沸騰水型 Mark I	沸騰水型 Mark I
運転	運転中	運転中	運転中 (プルサーマル)	定期点検中
炉心損傷開始(津波後の時間)	3時間	76時間	41時間	—
水素爆発(津波後の時間)	24時間	—	67時間	87時間
原子炉燃料集合体数	400本	548本	548本	(548本)
使用済み燃料プール燃料集合体数	392本	615本	566本	1535本

\*1 4つの事故調報告書については、CASA レター 78号「東京電力福島第一原発の事故調査委員会報告書を検証する」を参照してください。

\*2 非常時の代替冷却システム。A系、B系の2式装備されており、それぞれ4つの弁があり、すべてが開状態でない限りICは作動しない。動力は必要なく、高温の蒸気を復水用タンクで冷して水に戻して原子炉に戻す自然循環で冷却できる。

\*3 「フェール=異常時」には、放射能の漏れを防ぐため、弁を閉め圧力容器を「閉じ込める」ことが「セーフ=安全」であるとして設けられた機能。

\*4 『メルトダウンドキュメント福島第一原発事故』(大鹿靖明：講談社文庫)

できたのは12日14時30分頃で、その1時間後には建屋が水素爆発しています。炉心熔融により、相当量の核燃料が圧力容器から格納容器内に落下していると考えられています。

## (2) 2号機の経過

2号機では、全電源喪失後も炉心冷却設備(RCIC<sup>\*5</sup>)が手動で起動され、70時間にわたって運転をしていましたが、14日13時頃に自動停止してしまいました。この前には、ベントの準備もし、消防車による注水ラインもできていましたが、14日11時1分に起こった3号機の水素爆発により、準備していたベント弁を動かす仮の電気回路が外れて、弁が閉まってしまい、圧力容器内の蒸気などを格納容器に逃がす弁(SR弁)の操作にも手間取り海水の注水がうまくいかず、炉心損傷が進行したと考えられています。また、2号機の炉では14～15日にかけて格納容器の圧力が設計圧力の4気圧を超えて8気圧近くに上昇し格納容器の爆発する可能性が高まり、東電社長が官邸に第一原発からの撤退を打診しています。15日6時頃に格納容器底部で衝撃音がし、格納容器の圧力は下がりましたが、このとき大量の放射性物質が放出されたと考えられています。最終的に2号機の炉心も熔融し、一部の核燃料は圧力容器から格納容器内に落下し、格納容器にも破損が生じていると考えられています。2号機が水素爆発しなかった理由は、12日の1号機の水素爆発で建屋のプロアウトパネル<sup>\*6</sup>が脱落し、窓が開いた状態になって水素が充満しなかったためと考えられています。

## (3) 3号機の経過

3号機では、全電源喪失後、炉心冷却設備(RCIC)が起動し約20時間運転した後自動停止し、まもなく高圧系注水系(HPCI<sup>\*7</sup>)が自動起動し、13日2時42分まで炉心の冷却ができていました。しかし、運転員がHPCIの長時間運転に不安を抱き遠隔操作で停止してしまい、圧力容器から格納容器に高温の水蒸気などを抜くSR弁も電力がなく開かず、圧力容器の圧力が高まり、注水もできなくなって、炉心損傷が進行したと考えられています。13日9時頃までには圧力容器が大きく損傷し、9時10分頃には炉心のメルトダウンや圧力容器のメルトスルー(圧力容器の底が抜ける状態)が起こったと考えられています。13日9時20分頃には格納容器のベントが一応成功したと判断されましたが、減圧は不安定な状態が続き、14日11時1分には大規模な水素爆発を起こしています。

## (4) 4号機の経過

4号機は、定期点検中で、シュラウド(炉心を囲む構造物)の交換という大規模工事のため、全燃料の1535本の集合体在使用済み燃料プールに保管されていました。事故直後には、覆いのない燃料プールに大量の燃料があったことから、余震などで燃料プールが崩壊し、水が無くなることもっとも危険だと心配されましたが、16日にヘリコプターから4号機の燃料プールは満水に近いことが確認されています。しかし、15日6時頃に4号機建屋の爆発が起き、建屋上部で火災が発生しました。この水素爆発は3号機でベントされた水素が4号機に流入し

\*5 1号機のICの代わりに、2～4号機に設置されている高圧系炉心冷却システム。蒸気でポンプを駆動するため、交流電源を喪失しても作動するが、起動操作や制御には直流電源が必要である。今回の事故では、直流電源を失った2号機で制御不能となった。

\*6 破裂板式安全装置。タービン建屋の壁にあらかじめ空けられた穴をふだんは塞いでいる板。一定の圧力がかかると破裂して内部の圧力を外部に逃がす。水素など圧力が弱いガスの場合、破裂せず、かえって爆発を助長するとされる。

\*7 全機に設備されている非常用炉心冷却装置。原子炉が高圧状態でも注水でき、RCICと同様、蒸気でポンプを駆動する。今回の事故では3号機のみで稼働した。

たことによると見られています。

### 3 冷却機能喪失の原因は地震か、津波か？

4つの事故調の報告書でも、事故の原因や状況については、一致していません。もっとも大きな違いは、事故の原因を津波に求めるのか、地震動も関係していたと考えるかです。

国会事故調は、「事故の直接的原因について、『安全上重要な機器の地震による損傷はないとは確定的には言えない』、特に『1号機においては小規模のLOCA\*<sup>8</sup>が起きた可能性を否定できない』との結論に達した。しかし未解明の部分が残っており、これについて引き続き第三者による検証が行われることを期待する」としています。

これに対し、政府事故調は、地震による小さなクラックの発生の可能性までは否定しないとしながら、「津波到来以前の圧力容器や格納容器などの重要設備において、閉じ込め機能を損なうような損傷がなかった可能性が高い」としています。

仮に地震動により冷却水を喪失するような重大な破損などが起りうるとすれば、原発の安全性を根底から揺るがす問題で、津波対策と電源対策を原発の運転再開・継続の条件としている現在の安全対策の根本的な見直しが必要となります。

国会事故調報告書が地震による損傷の可能性を考える根拠は以下の点です。

- ① 津波が到達する前に1号機の非常用交流電源喪失が起っている可能性があること。
- ② 地震発生当時、1号機原子炉建屋4階で作業していた東電の協力企業社員数人が、地

震直後に同階で起きた出水を目撃しており、これは4階に設置されていた非常用復水器(IC)の配管が破損したことによる出水の可能性があること

この②の点を強く主張していたのが国会事故調の委員であった田中三彦氏です。田中三彦氏は2012年3月初めに予定されていた現地調査の際に、1号機の4階の調査を東電に申し入れました。ところが、東電の部長が2011年10月18日に1号機の4階を撮影したビデオを見せながら、このビデオを撮影した時には建屋のカバーがついてなかったのに4階には明かりが差しているが、今はカバーがかかっている、照明もついていないので真っ暗だとし、床面にはいくつもの開口部があって、柵もないので転落する恐れがあり、転落すると21m落下することになる。初めて行く者は自力で帰ってこれるかどうかわからない。事故調が調査することは拒否しないが、東電は建屋の入口までは案内するが、その後は自力で行って欲しいと言ったとのことです。結局、田中氏らは1号機4階の調査を断念しました。

しかし、実際には1号機の建屋のカバーは透明で建屋4階には陽が差し込んで明るく、照明も付けられていました。このことを今年2月7日付け朝日新聞が、東電が虚偽の説明をして国会事故調の調査を妨害したと報じ、大きな問題になりました\*<sup>9</sup>。国会に参考人招致された東電社長は、「担当部長が思い込みで間違った説明をしたが、意図的なものではない。上司は一切関与していない。」と釈明しましたが、到底信じられません。1号機の4階には東電が国会事故調によほど見せたくないものがあると勘ぐりたくありません。

\*<sup>8</sup> 配管などに破断が生じた場合に起きる冷却水の喪失

\*<sup>9</sup> この経過は、国会事故調の協力調査員をしており、当事者としてこの問題に対応していた伊藤良徳弁護士「庶民の弁護士伊藤良徳のサイト (<http://www.shomin-law.com>)」に詳しく記述されています。



いずれにしても、事故の原因に地震動が関わっているのかどうかについては、早急に解明する必要があります。

## 4 未解明の問題点

### (1) 大量の放射性物質の放出源

福島原発事故では、チェルノブイリ事故の6分の1程度の90万テラベクレル\*10の放射性物質が放出されたとされます。第一原発敷地内では地震4日後の15～16日にかけて放射線量が急上昇しました。日本原子力研究開発機構の解析では、この大量の放射性物質の放出源は2号機で、15日7～11時と13～15時の2回、大量の放射性物質が放出され、とくに2回目はガス状の放射性雲が第一原発から北西方向に流れ、原発から北西方向に位置する飯館村、浪江町、川俣町などの帯状の高濃度汚染地帯が形成されたとされています。

ところが、この大量の放射性物質が2号機からどのようなメカニズムで放出されたのかはわかっていません。2号機では、压力容器が破損していると考えられ、当初、原子力安全・保安院は格納容器の圧力抑制室付近で水素爆発が起これ、压力容器が破損して大量の放射性物質が放出されたと見ていましたが、東電は2号機では水素爆発はなかったとしています。

2号機では15日の7時20分に格納容器の圧力が7.3気圧という高い圧力を記録した後、4時間以上記録が中断し、11時25分に1.5気圧という大気圧に近い数値まで急落したことが確認されています。このことは、この間に2号機の格納容器に大きな破損が生じたことを意味しますが、何が起こったのか、その原因などはわかっていません。

### (2) ベントが遅れた理由

ベントは格納容器内の放射性物質を外部に放出するもので、本来はあってはならないもので、福島原発事故までベントを実施した例はありません。しかし、今回のような緊急時には、格納容器の圧力を下げないと、原子炉に冷却用の水などを注入できないことから、ベントはやむを得ない処置です。実際に1号機では、11日の深夜に格納容器内の圧力が異常に高まったため、ベントが必要となり、吉田所長は12日午前0時過ぎにベントの準備を指示したとされます。ところが、ベント作業が大幅に遅れ、ベントができたのは準備が始められてから14時間後の12日14時30分頃です。

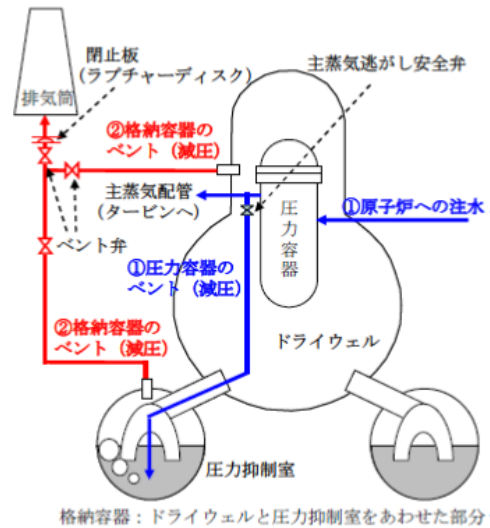


図2 ベント図(東電「福島原発事故調査報告書」113頁より)

民間事故調は、「格納容器のベントが11日(地震当日)夜までのあいだに速やかに行われなかったことが事態を決定的に悪化させた」としています。官邸で事故処理にあっていた福山官房副長官はその著書\*11で、11日22時44分の原子力安全・保安院からの「福島第一2号

\*10 1テラベクレル(TBq) = 1兆ベクレル

\*11 『原発危機—官邸からの証言』(福山哲郎:ちくま新書)

機の今後の進展について」と題するペーパーに、12日3時20分には、2号機の格納容器の圧力が5.27気圧に達し、ベントにより放射性物質を放出すると書かれていたと記述しています。この段階では2号機の格納容器が危ないと考えられていたことがわかります。それが、12日1時前に東電から、1号機の格納容器の圧力が異常上昇しており、2時間後をメドにベントを実施するとの連絡があり、官邸に詰っていた東電の武黒フェローからも2時間くらいでベントができるとの説明を受けたとされています。3時12分には、枝野官房長官がベントの実施を記者会見で発表しています。その約40分後の3時59分に長野と新潟の県境で震度6強の地震が発生してその処理に追われ、落ち着いた5時頃にベントについて武黒フェローに聞いたところ、まだベントはできていないと聞き、驚愕したと記述しています。

『マルチタスクドキュメント福島第一原発事故』では、吉田所長が1号機の手動のベントを指示したのは、菅首相が第一原発の視察を終えた直後の12日8時3分だとしています。真っ暗な建屋内での作業になるので、二人一組の3班の決死隊を作り作業を開始しようとしたが、まだ避難が終わっていない住民がいるとの連絡が入り、実際に決死隊が出発したのは9時4分、しかし建屋内の線量が高く作業を断念し、遠隔操作や仮設の空気圧縮機などを試し、14時30分にやっとベントに成功したとされています。2号機の場合は、ベントの準備が指示されたのは12日17時30分頃とされ、13日11時には準備ができていたが、14日11時1分の3号機の水素爆発でベント弁がしまってしまったとされています。結果的には、理由は不明ですが15日11時25分に格納容器の減圧が確認され、ベントは不要になっています。

3号機では、2号機と同時にベント準備の指示が出され、13日9時20分にはベントが成功

したと判断されましたが、圧縮空気ボンベの圧力が下がって弁が閉じてしまい、ボンベの交換などしましたが圧力は不安定のまま、14日11時1分に水素爆発が起きています。

何故、ベントがこれほど遅れたのか、東電の意思決定の経過、緊急時のベントの準備態勢も含めて検証が必要です。

### (3) 建屋の水素爆発のメカニズム

今回の事故では、1、3、4号機の建屋が水素爆発で吹き飛んでいます。この建屋の水素爆発が放射性物質をまき散らす原因となっただけでなく、爆発による瓦礫などが事故の処理作業に重大な支障となりました。

しかし、原発の建屋が水素爆発することは専門家も予想していなかったといわれます。専門家の関心は格納容器の水素爆発に向いており、菅首相が斑目春樹原子力安全委員長に水素爆発の可能性を尋ねた際に、「窒素で満たされているので大丈夫」と答えたとされるのは、格納容器の水素爆発しか念頭になかったからだと考えられます。東電も水素が建屋に漏れることは「認識にはいたらなかった」としています。

燃料の被覆管の温度が高くなると、被覆管はジルコニウム合金で作られており、このジルコニウムが水や水蒸気と反応し、酸化して水素が発生します。政府事故調は、タービン建屋には水素が備蓄されていたり、他の水素発生の可能性もあるが、いずれも大爆発を起こすような水素の発生源になる可能性は考えられないとしています。

爆発の原因が炉心で発生した水素だとしても、それがどのような経路で建屋に漏れ、圧力容器や格納容器ではなく、建屋の爆発を起こしたのか、爆発を引き起こした直接の要因(金属摩擦や漏電など)は何か、とりわけ運転していなかった4号機の建屋が水素爆発を起こした原因やメカニズムなど、解明が必要な事項は多くあります。