

## 石橋克彦

1944年神奈川県に生まれる  
1968年東京大学理学部地球物理学科卒業  
1973年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了  
東京大学理学部助手、建設省建築研究所国際地震工学  
部室長、神戸大学都市安全研究センター教授を経て、  
現在一橋大学名誉教授  
専攻—地震テクトニクス  
著書—『大地動乱の時代—地震学者は警告する』(岩波新書)  
『阪神・淡路大震災の教訓』(岩波ブックレット)  
『地震の事典』(共著、朝日書店)  
『南の海からきた丹沢—プレートテクトニクスの  
不思議』(共著、有斐堂)など

## 執筆者紹介(執筆順)

石橋克彦(いしばし・かつひこ) 奥付参照  
田中三彦(たなか・みつひこ) 1943年生。バブコック日立で原子炉  
圧力容器の設計に携わる。1977年退社。以後、科学に関わる翻  
訳・執筆に従事。『原発はなぜ危険か』(岩波新書)など。

後藤政志(こうとう・まさし) 1949年生。博士(工学)。芝浦工業大学

非常勤講師、東芝で相模刈羽原発3、6号機、浜岡原発3、4号機、  
女川原発3号機の原子炉格納容器の設計に携わり、2009年退社。

鎌田 遼(かまた・じゅん) 1972年生。大学非常勤講師、都市計  
画・アメリカ先住民研究。『ネイティブ・アメリカン』(岩波新書),  
『「辺境」の抵抗』(御茶の水書房)など。

上澤千尋(かみさわ・ちひろ) 1966年生。原子力資料情報室  
『MOX 標合評価』(共著、七つ森書館),『老朽化する原発(決著、原子  
力資料情報室),『検証 東電原発トラブル態し』(共著、岩波書店)など。

井野博満(いの・ひろみつ) 1938年生。東京大学名誉教授。金属材  
料学。『徹底検証 21世紀の金技術』(佐伯康治との責任編集、藤原書店),  
『循環型社会』を問う』(藤田誠幸との責任編集、藤原書店)など。  
今中哲二(いまなか・てつじ) 1950年生。京都大学原子炉実験所助  
教。原子力工学。『チエルノブイリ事故による放射能災害』(編、技  
術と人間),『原発の安全上欠陥』(共著、第三新書)など。

吉岡 肇(よしおか・ひとし) 1953年生。九州大学副学長・同大学  
大学院比較社会文化研究院教授。科学技術史。『原子力の社会史』  
(朝日新聞社),『通史 日本の科学技術』(共編著、学陽書房)など。

原発を終わらせる 岩波新書(新赤版)1315

2011年7月20日 第1刷発行

編 著 石橋克彦

発行者 山口昭男

発行所 株式会社 岩波書店

〒10-800 東京都千代田区一ツ橋2-5-5  
案内 03-5210-4000 開行部 03-5210-4111

<http://www.iwanami.co.jp/>

新書編集部 03-5210-4054  
<http://www.iwanamishinsho.com/>

印刷・理想社 カバー・半七印刷 製本・中永製本

© Katsuhiro Ishibashi 2011  
ISBN 978-4-00-431315-1 Printed in Japan

## 1 原発で何が起きたのか

田中二彦

想定外の大津波の襲来や地震による福島第一原発事故は想定外だった——これが今日、社会に形成されつつある基本認識であるかも知れない。しかしすでに堅苦しい認識になってしまっているのがおそれなり。しかし本当にそうなのか。この先、地震と日本と原発とどう大それな問題を議論していくにはもちろんのこと、われわれが注意を向けるべきは大津波だけなのか。『想定外』とどうりとしてすべて片が付くのが。たぶん、そうではある。

### 1 原発で何が起きたのか

#### 一号機の“異常な”原子炉水位低下

三月一一日午後11時四六分の地震発生の翌日、一一日の午後11時11分、福島第一原発一号機の原子炉建屋の最上部にあるオペレーシヨンフロア(エレベスフロアとも呼ばれる)が、水素爆

音で吹き飛んだ。その翌々日の一四日の晩前、今度は二号機でも同様の、しかしより激しい水素爆発が起きた。ハリのいわば、官房長官のいわば安全宣言付との爆発が重なるつた。さらに翌日の一五日の早朝には四号機で火災が起き、まだそれとは同時刻に一号機の圧力抑制室付近で水素爆発らしきものが起きた。

これら一連の爆発や火災の中でも最も気になつたのは、地震発生から一五時間足らず、早々に水素爆発を起こした一号機だった。全交流電源を喪失した原発が水素爆発を起すまでのプロセスはある程度想ひ掛けたが、それにしても速すぎた。爆発までのあの速さはうつたいく何を物語るのが? 少なくとも一号機には何か特別なことが起きたがつたか?

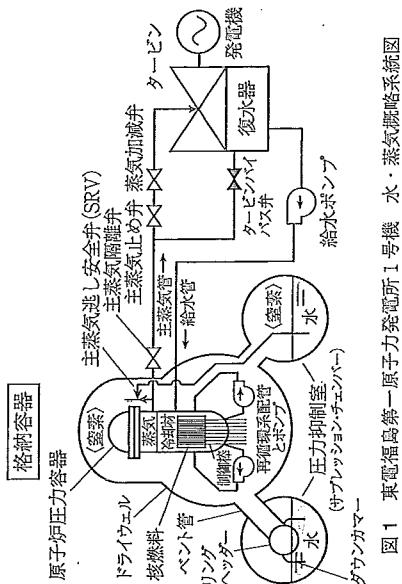
私の記憶達いでなければ、ある程度まじめた形で各号機の圧力や水位などが示されるものがになつたのは、原子力災害対策本部が二月二〇日週をあたりから首相官邸ウェブサイトにアップはじめた「平成二二年(二〇一二年)福島第一・第二原子力発電所事故について」という事故日報のような文書に附帯する「別添一」においてではなかつたかと思つ。その別添一に列記されていた一号機の「運転パラメータ」(原子炉水位、原子炉圧力、格納容器圧力など)を見て私は驚愕した。たゞいまは原子炉水位。地震が起きて一一日間しか経っていない二二日深夜二時四十五分に、原子炉水位がなんと核燃料棒最上部まで「わずか」一メートル三〇センチのところまで

下がつていた。

原発技術者たちは核燃料最上部を「有効燃料頂部」と呼ぶ。あるいは、それに対する英語の略記「T A P」を使う。通常、原子炉水位はT A Pより約五メートルも上にあるから、一号機の場合、地震が起きて一一日間のうちに、直ちにして約一メートル七〇センチほどの水(冷却材)が原子炉外へ漏れだりにならる。原子炉内部にはけりんからくろこな物が入っているから、水位の変化だけで漏れだる水の量を正確に算り出すことは難しく。しかし原子炉の直径は約四・八メートルもある。おそらく一メートル八センチの水が、じりじりと漏れだはすだ。

それがかりではなし。その後も原子炉水位は下がりつづけ、二二日の朝の八時には約二メートルから四〇センチ下まで降下し、水素爆発が起る約一時間前の二二日午後一時半測定には、なんとT A Pから一メートル七〇センチも下になつた。燃料棒の長さは約四メートルだから、そのとき燃料棒の全長の四〇%強が水面から上に出てしまつたことになる。なぜ一号機はこれほど速く原子炉水位が降下したのか。

別添一には一号機、二号機の運転パラメータも記されていた。一号機、二号機の水位の変化も付けて「正常。ではなかつた。しかし二号機のそれはかなり異常だつた。しかし一号機も二号機も、少なくとも二二日に原子炉水位がT A Pを切るといはなかつた。



### 原発の基本的な仕組み

図1は福島第一原発1～5号機の、運転中の水と蒸気の流れの概略を示している(6号機もほぼ同じだが、格納容器の形が大きく異なる)。この種の概略系統図は新聞やテレビでも頻繁に登場していくが、見るときに一つ注意がいる。以下した図は実際の配管の本数をあらわしていないし、配管や弁や機器の正確な位置関係をあらわしているわけでもない。ただし(1)の図には主蒸気管が一本しか描かれていないが、実際には四本ある。再循環系配管にいたってはタコの足のように多くの配管で構成されている。また原子炉圧力容器の上部から出た蒸気がそのまま水平にタービンに向かうように思えるが、実際には、原子炉圧力容器を出した水蒸気は原子炉圧力容器の壁に沿いつまづく、まず真下に降りる。

原発の原理そのものは比較的単純だ。沸騰水型の場合は、原子炉圧力容器の下方に取められている核燃料が連鎖的に核分裂反応を起りし、その際に発せられる莫大な熱エネルギーによって原子炉圧力容器内の水(冷却材)の一部が沸騰して蒸気になる。その蒸気がタービンを回し、タービンと連結している発電機が回転し、電気が生み出される。一方、仕事をした蒸気は循水器の中で海水によって冷却されて水に姿を変え、給水泵の力を借りてまたび原子炉圧力容器へ戻る。

運転中の冷却材圧力は約七〇メガパスカル(約七〇気圧)、原子炉圧力容器の中で生み出される蒸気の温度は二八五度である。原子炉圧力容器の大きさやは原発の出力などによって異なる。電気出力四六万キロワットの一号機の原子炉圧力容器の内径は約四・八メートル、高さは約一一〇メートル、七八・四万キロワットの一二・三号機のそれは内径が約五・六メートル、高さが約一一一メートルだ。なお、似た言葉に「原子炉」がある。原子炉は厳密には容器ではなく「装置」を意味している。しかし実際には、原子炉圧力容器といつ容器の意味で使われるところを少なくない。

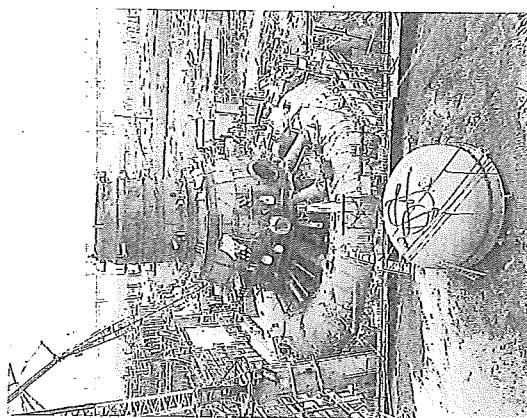
## Mark I型格納容器とその圧力抑制機構

後の重要な議論のために、図1に描かれているかつ一つの重要な容器、「格納容器」について少し詳しく説明しておきたい。格納容器は大抵は1つの部分からなる。一つは、巨大なプラスコのような形の「ドライウェル」、もう一つは、そのドライウェルの底部をぐるりと取り囲んでいる巨大なドーナツのような形の「圧力抑制室」である。圧力抑制室には多数の呼称があり、「カエシットウェル」「サブレシジョン・チエンバー」と呼ばれたり、その形から「トーラス」(円環体)と呼ばれたりもする。しかし厳密には円環状構造物ではない。一大個の円筒を、互いに少しづつ角度を付けて環境内に組み立てた構造物で、上から眺めると全体として正十六角形になっている。ドライウェルと圧力抑制室とは、「ベローズ」という蛇腹状の柔らかい構造を介して、八本の大い「ベント管」で結合されている。ベローズを使うのは、ドライウェルと圧力抑制室の温度差に伴う相対的な変位(動き)を吸収するためだ。

格納容器は、原子炉圧力容器を出入りする配管(以後これを「原子炉系配管」と呼ぶ)が破断したり破損したりして冷却材が漏出してしまった事故——冷却材喪失事故(それに対する英語 Loss of Coolant Accident の頭文字をとつて LOCA といふ記される)——が起きたときに、放射性物質が外環境に撒き散らされないようにするために存在する。まだ、そのような事故時に内部で水素

爆発などが起きないよう、原発の運転中、格納容器には不燃ガスである窒素が封入されている。なお、原発が正常に運転されているとき、格納容器の圧力は、われわれの生活空間とほぼ同じ一気圧(厳密に言えば、一気圧よりほんのわずかに少ない圧力)である。

格納容器は、大小さまざまな原子炉系配管のうち最大径の配管が完全破断した場合——すな



福島第一原発1～5号機で使われているのと同じMark I型格納容器(米ブルックスエリーア原子力発電所建設中)、手前の格納容器の上蓋  
出所: Tennessee Valley Authority ホームページ(<http://www.tva.com/>)

わち、冷却材が最大流量で放出されるような冷却材喪失事故——を想定し、そのときの最大過渡圧力と過渡温度に耐えられるように構造設計される。福島第一原発の一～五号機で使われている格納容器は、Mark I型と呼ばれる古い格納容器で、設計圧力は〇・四メガパスカル(約四気圧)前後、

設計温度は一四〇度前後だ。

仮に最大径の配管が完全破断した場合、ドライウェルには一気に大量の蒸気が噴出するだろう。その蒸気は猛烈な勢いでベント管を通り抜け最終的に圧力抑制室内の大量の冷水——サブレシジョン・プール——の中に導かれて水になり、体積縮減が起る。従つて、ドライウェルの圧力は四気圧以下に抑制される。格納容器の設計圧力が〇・四メガパスカルとはそういう意味だ。

しかし、後述するように、福島第一原発一号機においてはドライウェルの圧力が短時間のうちに設計圧力を大きく超え、一気に〇・七四メガパスカル(約七・四気圧)まで上昇した。それはいつたいなぜか？ 最大径の原子炉系配管が完全破断しても四気圧を超えないはずなのに、七・四気圧まで上昇したとはどういついか？ 圧力抑制機構が少しも期待どおりには機能しなかつた（もう私には見える（れはついては））の先の一号機事故経過分析の中で再度取り上げる）。確かにこれだけ圧力が高くなると巨大な格納容器全体が一瞬で大破壊して飛散する可能性が出てくるから、国は「ぐんぐ」（ガス放出）を強行した。新聞やテレビがいのベントに伴う放射性物質の大気放出に注意を向けたのは当然のことだが、なぜ設計圧力を大幅に超える圧力が格納容器に生じたかに目を向けるメディアは皆無だった。

#### ステーションハラシカウト、またはSBO

東電の公表資料にしだがつながら、二月一日午後二時四六分、福島第一原発は東北地方太平洋沖地震による激しい揺れに襲われた。それにより、運転中だった一・二号機はただちに自動的に緊急停止した。つまり、燃料棒を何本も束ねた燃料集合体の間に制御棒が自動的に挿入され、各号機の核分裂反応が停止した。

一方、同じ午後二時四六分に「外部電源」が喪失した。緊急時に使われるいくつのポンプ類は発電所の外部から供給される電力に頼っている。福島第一原発の場合、一・四号機は東電・新福島変電所からの「大熊線」経由で供給される電力に、五・六号機は「夜ノ森線」経由で供給される電力に、それぞれ頼っているが、地震発生同時に大熊線からの所内受電設備が損傷したり、夜ノ森線からの受電鉄塔が倒壊したりするなどして、結局、福島第一原発全体として外部電源喪失に陥った。しかし、外部電源喪失に備えとして、正確には午後二時四七分に——一・二号機にそれぞれ一一台ずつ設置されている非常用ディーゼル発電機が自動的に起動した（地震時に定期検査中だった四・六号機の非常用発電機も自動起動しているが、詳しい説明は省略する）。

1 原発で何が起きたのか

しかしその約五〇分後、あの「想定外」の出来事が起きた。福島第一原発に大津波が襲来し、東電の報告書によれば、非常用ディーゼル発電設備または関連機器が「被水または水没」により使用不可になつた。かくして一一日午後二時三七分に一号機が、同三八分には二号機が、そして同四一分には一号機が、すべての交流電源の使用不可を意味する「全交流電源喪失」(ステーションブリッカアウト、SBO)という危機的状態に陥つたことであつる。

#### 冷却材喪失事故は起らなかつたか

あくまで福島第一原発事故はSBOからはじまりだとしてするなら、それは「すべては大津波による」といつて表明である。しかしSBOより前に何が重大なことが起きてしまつたかといふ考え方もある、当然ある。いや、あるいはどちらか、なければならない。

なるほど、東電が五月一六日に公表した一連のデータ(後述)からは、地震発生直後に原発は正常に緊急停止し、外部電源喪失直後には非常用ディーゼル発電機が正常に起動したもつて読み取れる。やがて、そなへどそのものがわからぬ。しかしそうだとして、それによって、あの長時間の激しい揺れ(II-4章参照)の中で原子炉系配管の一つ(またはいくつか)が破断したり破損したりした可能性が否定されるわけではない。一つはまつたく別の話である。福島第一原発事故

の開始点をSBOとするが、それともそれより前とするかで、原発の安全性(あるいは危険性)に対する見方は根本的に違つてくる。

すでに書いたように、原子力災害対策本部は三月一〇日過ぎあたりから福島第一原発の「運転パラメータ」を首相官邸ウェブサイトにアップするもつになつた。私は、そのパラメータ(原子炉水位、原子炉圧力、格納容器圧力など)を「エクセル」に入力し、いろいろなグラフをつくりながら、なぜ一号機の原子炉水位が船底に陛下したかをおれんが考えた。そして最終的には、一号機では原子炉系配管が長時間の激しい揺れに耐えられずには損傷し、原発事故の中でも恐れられてきた仮想事故——配管の破断や破損による冷却材喪失事故(LOCA)——が起きた可能性が高いと推論した。そしてそれをまず月刊誌『世界』五月号に、ついで『科学』五月号に書いた。それぞれの原稿締切時点で公表されていた運転パラメータや関連情報がちわめて限定的だから、じつににおいても科学的に十分説得力をもつた推論を展開できたわけではなかつた。しかしその推論の重要な柱の一つである「格納容器最上部のフランジ部からの蒸気漏出」(後述)を、最近東電も想定しているし、いまでは誰もが疑わない一号機のマルトダウンや、それに伴つ制御棒貫通孔溶接部分の破損などを推測しており、論述の方向そのものに大きな誤謬はなかつた。

改めて、LOCA仮説を検証する

私が提起している原子炉系配管破損による冷却材喪失仮説について不可欠とも言つべき基本的な情報は、地震が起きた直前から地震発生後五、六時間までのわれわれがな運転パラメータだが、どうにそれらはしめかといふとどうな表されていなし(そういうデータが存在するのがしないのか、東電はその点を明確に説明してもらら)。

とは言え、関連する情報に関する大きな前進があつた。福島第一原発事故発生から一ヶ月以上過ぎた五月一六日、東電は、地震発生直前から大津波襲来の前後あたりまでの「過渡現象データ」や「地震発生記録等データ」、中央制御室内のホワイトボードのメモ、運転日誌、各種の弁や機器類の操作実績などを公開した。またそれらと合わせて第一原発一・二号機の「運転パラメータ」の『改訂版』を公開した。

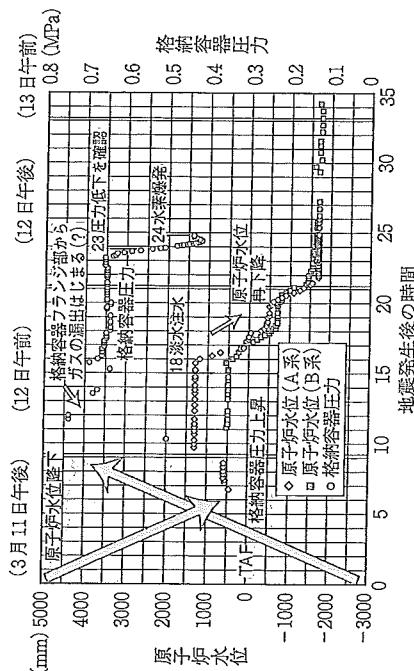
そこで、公開されたそれらの情報をもとに1号機で原子炉系配管の破断または破損によるLOCAが起きたかを検証し直してみる。されば、私が以前に「破断」は配管が完全に断ち切られた状態を、「破損」は配管に部分的に貫通亀裂や開口部が生じている状態を、それぞれ意味している。

#### (一) 原因はLOCAか、SRV開閉か

さて、図2は地震発生後の「原子炉水位」と「格納容器の圧力」の変化である。そのうち原子炉水位に関してまず目に付くのは、地震発生後約六・七時間(正確には三月一日午後九時三〇分)での水位の低れだ。七八五まで四五センチしかない。すでに述べたように、通常は約五メートルだから、六時間四四分で約四・五メートルも水位が降下したりむりだ。なぜいわば早く水位が低下したのか? 考えられるのは、大概は約0.1mである。

一つは、長く激しい地震動による原子炉系配管破損によるLOCAが起きたからだ。具体的には、主蒸気管、再循環系配管、そして後述する非常用復水系配管などの破損が頭に浮かぶが、特定するには不可能だ。まつたく別の配管かもしれない。

まだLOCAと言つても、はじめのつか、その程度はそれほど大きくはなかつたがもしれない。しかしセロメガバタル(約70気圧)という高圧の冷却材が破損部から流出(噴出)しつづけるうちに破損部が「ぬられて」次第に大きく口を開け、それに伴つて流出量も増える。これは、火力発電や化学プラントの圧力配管の破損でもよく見られる。つまり、はじめのうちは小規模LOCAで、時の経過とともに中規模LOCAへと移行したがもしれない。



注: MPaはメガパスカル、図中の数字はイベント番号(表参照)。真實容器の格納容器圧力データは「絶対圧」だが、本図及び図4では「ゲージ圧」(大気圧分を引いた相対的な圧力)に直して表記している。東電資料に基づき作成

図2 原子炉水位と格納容器の圧力

いずれにしても、原子炉系配管の破損によつて、図2中の大きい矢印のような原子炉水位の急速な降下が起きたかもしれないといふに、大きな妨げはないだろう。

二つ目は、地震発生直後から約六時間の間に、「主蒸気遮し安全弁」(以下、SRV)が「自動的に」、そしてしかすることなく頻繁に、開閉動作をしたかもしれないということ(付け加えれば、原子炉水位がかなり低い状態では「自動減圧」装置としてSRVが作動した可能性もある)。

地震発生直後の緊急停止で核分裂反応が停止しても、よく知られているように

核分裂生成物による「崩壊熱」によって原子炉圧力容器の中では蒸気の発生が継続する。しかし緊急停止後すぐに主蒸気遮離弁が作動し、タービンへ向かう蒸気ラインを開じてしまつ。その結果、行き場を失った蒸気のために原子炉圧力が上昇していく。したがつてそのまま放置すると、原子炉圧力容器そのものが大破壊を起す危険性が出てくる。その危険性を回避するために、SRVがある。SRVは四本の主蒸気管それぞれについている。一号機の場合、公的資料を調べるとSRVは原子炉圧力が約七・五メガパスカル(約七五気圧)に達すると自動的に開き、ある値(筆者の推定では約六・九メガパスカル=約六九気圧)まで下がると自動的に閉じるようになつている。

もしもSRVが自動的に作動していたなら、ひつひつと作動したりしないがいい。まず緊急停止後しばらくして崩壊熱により原子炉圧力が高まり、やがて七・五メガパスカルに達すると、すこしにして圧力抑制室の水中まで導かれる。その結果、体積縮縮によって原子炉圧力が低下し、やがて六・九メガパスカルになり、四個のSRVが閉じる。しかしSRVが閉じるとやたらび崩壊熱により原子炉圧力が高まり、七・五メガパスカルまで上昇し、SRVが開き、大量の蒸気が圧力抑制室の水の中まで導かれ……と、同じパターンが何度も繰り返される。その結果、最

1. 原発で何が起きたのか

終的に大量の冷却水が原子炉から圧力抑制室に「流出」し、そのぶん原子炉水位は低下する。もし地震発生直後あたりから約六時間半の間に、(1)のやうなSRV自動開閉動作が何度か繰り返されたのであれば、六時間半後、原子炉水位がTA丘の上四五センチまで低下していても不思議ではない。しかし、東電が五月一六日に公開した過渡現象記録をはじめとする一連のデータは、(1)のやうなSRV自動開閉動作が「起きたなかった」ことを強く示唆している。つまにそれについて述べる。

### (2) 一号機原子炉圧力が上昇した形跡がない

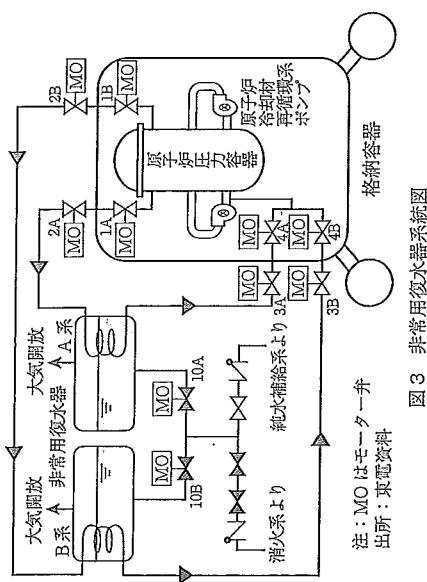
以上に掲げた表は、一号機に何が起きたかを推測する上で重要なと思われるイベントを、東電公開データから私が主観的に選んでまとめたものである。(1)の表のイベント6、7、12、13、15、17は、一号機にだけ備えられている「非常用復水器」(Isolation Condenser 以下、IC)と呼ばれる、かなり原始的な「崩壊熱除去」装置の動作あるいは操作状況だ。そして図3はそのICによる崩壊熱除去の仕組みを説明したものである。

ICにはA、B二系列ある。どちらの系にも合計四個の弁(1A~4A、1B~4B)がある。そのうち3Aと3Bを除くすべての弁が「常時」開いている。そして今回のやうに原発が緊急

表 地震発生から海水注入までの重要イベント(福島第一原発1号機)

日時分	地震発生からの時間(Hh)	イベント番号	イベント
3.11 14:46	0.00	1	地震発生 自動スクラム成功
14:46	0.00	2	格納容器の温度、圧力、上昇開始
14:46	0.00	3	主蒸気隔離弁開放
14:47	0.02	4	非常用ディーゼル発電 A、B 起動 (※1)
14:52	0.02	5	非常用復水器(CC) A 系、B 系、自動起動
15:03	0.28	6	IC 3A、3B 弁閉
15:04	0.30	7	格納容器スプレイ B 系起動(※2)
15:11	0.42	8	格納容器スプレイ A 系起動(※2)
15:37	0.85	9	注液喪失、交流電源喪失(SEO)
17:50	3.07	10	IC 作業撤収、放射線モニタ指示燈、上昇のため
18:10	3.40	11	IC 2A、3A 弁開／蒸気発生確認
18:25	3.65	12	IC 3A 弁閉
21:19	6.55	13	ディーゼル駆動消防ポンプ(D/D-FP)のランナップ実施
21:30	6.73	14	IC 3A 弁開
21:35	6.82	15	D/D-FP から水を供給中(※3)
3.12 1:48	11.03	16	D/D-FP を確認したところ、燃料切れてなくポンプ不具合により堆積停止(※4)
5:46	15.00	17	消防ポンプによる海水注水開始。同日 14 時 53 分まで断続的に 80 トン注水
9:15	18.48	18	現場にてベンチライン MO 弁手動開(25%)
9:30	18.73	19	当該 AO 弁現場操作を読み込みも許可せず
10:17	19.52	20	中壇にて圧力抑制室側 AO 弁操作。失敗
14:00	23.23	21	AO 手動用原盤空気圧縮機を設置
14:30	23.73	22	格納容器圧力を低下を確認
15:36	24.83	23	原子炉延滞注入部付近水温発
20:20	23.57	24	海水および海水による注水開始
		25	(※1) A 系、B 系とも自動起動したことがアームダライバに記録されているが、東電は 5 月 24 日の会見で、「B 系はいつ起き工作動しなかった」とことを強調している。(※2) 起動時刻は東電公表のグラフから読み取ったものなので、「分」には多少の誤差がある。また、IC 操作の項目にこう記述されているので、D/D-FP から水の供給先は IC 用のタンクと思われる。(※3) これにより、IC はこのあとほどんど機能しなかったと思われる。実際、3 月 12 午前 1 時発表の東電プレスリリースにも、「非常用復水器で原子炉蒸気を冷やしておりましたが、現在は停止しております」との記述がある。

(※1) A 系、B 系とも自動起動したことがアームダライバに記録されているが、東電は 5 月 24 日の会見で、「B 系はいつ起き工作動しなかった」とことを強調している。(※2) 起動時刻は東電公表のグラフから読み取ったものなので、「分」には多少の誤差がある。また、IC 操作の項目にこう記述されているので、D/D-FP から水の供給先は IC 用のタンクと思われる。(※3) これにより、IC はこのあとほどんど機能しなかったと思われる。実際、3 月 12 午前 1 時発表の東電プレスリリースにも、「非常用復水器で原子炉蒸気を冷やしておりましたが、現在は停止しております」との記述がある。



停止し、駆機熱で原子炉圧力が上がりはじめると、それを感知して弁3A、3Bが自動的に開き、水と蒸気の自然循環がはじまる。原子炉圧力容器から放出した蒸気はICのタンクに向かい、そこで冷却されて水になつて体積縮縮し、原子炉圧力が下がる。ついでにその水は、原子炉圧力容器の下部の再循環系配管を経由して原子炉圧力容器に戻る。このように、ICが起動すると駆機熱で高まつた原子炉圧力が減じられるだけでなく、温度の低い水が原子炉に戻ってくるので、冷却材の温度も下がる。

さて、表を見ると、地震発生から六分後にA、B二系列のICが自動起動していることがわかる(イベント6)。ところがその一分後、なぜか運転員は手動で3A、3Bの弁を開じ(イベント7)、ICを二系列とも停止した。

### 1 原発で何が起きたのか

核反応の緊急停止直後で駆機熱があつてしまへく、それによる原子炉圧力の急激な上昇があつてしまふ心配される時間帯に、運転員がICを二系列とも手動で停止してしまつ——この事実は何を意味するだらうか。なぜ止めたのかについて、東電は「ICの冷却効果が大きかつたので運転員は「一時間につき五五度以上の温度変化を限りしてはならない」という運転規則にしたがつて停止させた」などといふいろいろな場で説明しているが、おひからい出題日の説明と言わざるを得ない。一時間に五五度(七氏)から温度変化率は、100年以前から今日まで世界中のボイラードで使われ、原発の通常運転時や運転の起動停止時にも使われている、機器の熱疲労防止のための経験則であるカ氏100度/時を、日本用に七氏に変換したものでしかない。したがつて、外部電源喪失といつ「緊急事態」に従つてやる運転規則などではない。もし緊急時にもそんな懲戒な規則を謙らねばならないといつていいにがつたら、ECCSの(緊急炉心冷却装置)も作動させられなくなる。

ではなぜ止めたのか。圧力の高まりがほんとうにかつたのでICを「止める」作動させる必要はないとした判断し、停止させたと考えるのが自然だらう。ICを長時間作動すると復水器の水温が上がり、やがて冷却機能が失われる。ICは八時間以上作動しならじめ感知している運転員が、「その後に起らるかもしけない非常事態に備えてよりあえずICを止めたと考える

のが妥当だ。

その後、運転員は午後六時一〇分じてJCを再起動するが(イグナル)、起動してわざか一五分後にふたたびJCを停止し(イグナル)、午後九時三〇分まで、一度も起動させてしない。結局、地震発生の午後一時四六分から午後九時三〇分までの六時間四四分で、JCが動作した時間の合計はわざか一六分だ。それだけではない。B系列のJCは地震直後に自動起動しがちの、一一分後に停止され、その後はまつたく動いてしない。

いつもしたらいは、地震発生から午後九時三〇分まで、JCを作動させねばならぬうな原子炉圧力の大きさ高まり(上昇)はせじどういかりだといを意味するだらう。そしておしゃべであるなら、七五気圧で自動的に作動するもいかつてゐるSRVが繰り返し作動するもいかりとはなかつたと考えられるだらう。

「いや、SRVを運転員が手動で操作してはいなかが?」と問われる読者のために付言しておけば、東電の公表資料「各種操作実績取り纏め」には、一号機のSRVを手動で操作した実績は「なし」と明記されている。

では、なぜ大量の崩壊熱が発生してしながら圧力がそれほど上がらなかつたのが、どうい

となるが、いまやその答えは自明に思える。地震直後に原子炉系配管のうちのいずれか一本(または複数本)が破損し、そこから圧力が抜けていたことだらう。大口径の配管が破断したのであれば(つまり、大規模のLOCAであれば)原子炉圧力は急激に下がるが、中規模あるいは小規模のLOCAなら、崩壊熱による圧力上昇分があるので、ただちに目に見えるほど原子炉圧力が低下するわけがないだらう。だだい、すでに書いたようにはじめは小LOCAでも、徐々に破損部位が拡大して、圧力と水位の低下が顕著になつてくる可能性はある。

### (3) JCの再起動が原子炉圧力を急激に低下させた?

原子炉圧力と格納容器(ドライウェル)の圧力の変化を図4に示す。地震発生後五時間を少し過ぎた時点の原子炉圧力六・九メガパスカル(約六九気圧)と、地震発生後一二時間の原子炉圧力〇・八メガパスカル(約八気圧)の落差が目立つ。比較的短い時間のうちになぜかのような圧力低下が生じたのか。おそらくそれはJCの操作と深く関係していよう。

運転員は午後九時三〇分(地震発生後約六・七時間)、三時間以上停止していたJCを再起動した(イグナル)。いつもは下がらない圧力を気にしたのか。それとも圧力が少しずつに向きになりはじめたのか。しかしりの頃にはすでに水位がTA圧のすぐ近くまで下がっていたから

1 原発で何が起きたのか

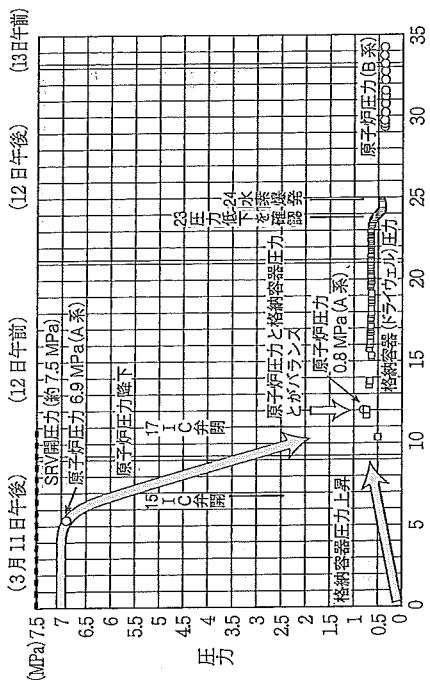


図4 原子炉圧力と格納容器(ドライヴエル)圧力  
注: 図中の数字はイベント番号(表参照)、東電資料を基に筆者作成

(図2)、原子炉圧力容器の上半分以上が高温高压の蒸気で満たされていた。そのような状態でICを起動はじめたから、圧力が効果的に除去されはじめた。ディーゼル駆動の消防用ポンプ(D/D-FP)の不具合によりICが停止したのは一二日未明の午前一時四八分(イベント17)。ICは連続四時間以上動作していただことになる。記録が欠如しているので原子炉圧力が正確にはいつ○・八メガパスカル(約八気圧)まで低下したかは不明だが、図4から、それは地震発生後一二二時間以前だったことがわかる。

さて、図4にはもう一つ注目すべき点がある。それは同じ頃(地震発生後約一二時間)格納容器の圧力が○・七四メガパスカル

(約七・四気圧)まで上升していることだ。言い換えると、この頃に原子炉圧力と格納容器圧力がほぼ等しくなりはじめている。両者の圧力がバランスするといふ、原子炉系配管の破損部からの冷却材漏出はどうやらはじまらない。実際、図2にあるように、このあたりから原子炉水位は約五時間、ほとんど変化していない。

#### (4) 格納容器上部フランジからのガスの漏出

その変化したかつた原子炉水位が、一六時間後頃からやがて急速に低下はじめめる。原因は何だろうか。私が注目するのは格納容器の圧力だ。前述のように、格納容器圧力は一二時間後あたりで○・七四メガパスカル(約七・四気圧)まで上升しておいでいる。設計圧力(約四気圧)を大きく超える異常な圧力だ。そしてそのために、格納容器上部にある巨大な上蓋(前掲の写真とその説明文を参照)と格納容器本体とを多数のボルトで結合しているフランジが高い圧力に耐えられず、微少ながら変形し、そのためフランジ部に隙間が生じ、そこから格納容器内のガスが漏れはじめたと思われる。図4において、一二時間後あたりから一五時間後にかけて格納容器圧力が突然低下傾向に入っているのは、そのためだろう。

ところで、原子炉圧力と格納容器の圧力バランスが崩れる。そしてそのためには、ふたたび原

原子炉系配管の破損部から冷却材が漏出しあじめだと推測される。

26

#### (5)なぜ格納容器の圧力が異常に昇したか

すでに何度も書いたように、福島第一原発一～五号機で使われているマークI型格納容器の設計圧力は約四気圧である。この設計圧力は、最大口径の原子炉系配管が完全破断した場合を想起し、それをもとに設定されている。では、その設計圧力を大幅に超え、最大七・四気圧まで上昇してしまつたのはなぜか？

そもそも格納容器の圧力が上昇した原因が何かと言えば、「時間的に長く激しい地震による原子炉系配管の破損による冷却材喪失事故」にあつたと私は考えている。実際、その傍証とも言える事実がある。それは、前出の表に記したイベンツの「格納容器スプレイ系起動」である。どちらも「地震発生後 半時間以内」つまり、津波襲来以前のことだが、この格納容器スプレイ系こそ、「冷却材喪失事故」が発生したときに格納容器の温度と圧力を減じるために自動的に起動する設備なのだ。

地震発生から約一八分後に、A、B系列ある「格納容器スプレー」のうちまずB系列が、ついでその十分後にA系列が、それぞれ起動していることがわかる。そして以後、A、B両系

列合わせて毎秒四〇〇リットルという猛烈な量の水が格納容器内に噴霧されつづけている（記録がないので、いつまで噴霧されたかは不明である）。

これに関する東電は、「東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について」という文書（五月二三日公表）の中で、格納容器スプレーは「圧力抑制室アル水の冷却を行うために起動したものと推定される」と、自動起動ではなく運転員が意図的に手動で起動したかの二つの説明をしている。しかし運転記録をよく調べてみると、そのときの圧力抑制室の水の温度は110度だ。110度の水を冷却するにはいつらいじついついとか？ 東電の説明は意味不明である。

さらに、地震直後から一号機の格納容器の温度と圧力が突然上昇しあじめているが、この事実を東電は、外部電源喪失による「格納容器空調停止による温度上昇」と説明する。ただし、はじめの一七分間はそうだとしても、その後、格納容器スプレーが二基起動し、大量の水を格納容器内にまわしていたのだから、空調停止で温度が上昇したといつ東電の説明はとても受け入れられないのではないか。大量の水を噴霧してもなお、格納容器の温度が上昇していく理由を別に探す必要がある。

問題を元に戻して、なぜ格納容器の圧力は七・四気圧まで上昇したのか。格納容器について

の説明のところですでに詳しく述べたように、冷却材喪失事故が起きた場合、噴出した冷却材は蒸気となって圧力抑制室内の水(サブリッシュ・プール)の中に入り、そのため格納容器の圧力の上昇が抑制されることがあります。しかし、もし蒸気がサブリッシュ・プールまでうまく導かれなかつたらどうなるか。蒸気が水にならないうから、体積縮減が起ります、そのため格納容器の圧力がどんどん上昇してしまつる。

長く激しい地震動により、圧力抑制室の中にあるリンクベッシャー(以後図1参照)やリンクベッシャーとベント管との接合部などが破損し、その結果、抑制機構がほとんど機能しなくなつたのかもしれません。

別の重要な指摘もある。元東芝の格納容器設計技術者で、福島第一原発の二号機、五号機、東北電力・女川一号機、中部電力・浜岡一二号機などの格納容器の設計に関わった渡辺敦雄氏(現・沼津高事特任教授)は、余震の際に、サブリッシュ・プール(水)が激しく揺れ動き(スロッシング現象)、そのため、ドライウェルからベント管を通り抜け圧力抑制室に入つてきただ量の蒸気を水の中でまで誘導するためのダッシュカマーの先端が水面から上に出てしまい、そりながら蒸気が圧力抑制室上部に噴出して漏出し、その結果、格納容器の圧力が異常に高くなつたのではないかとみてゐる。ハリのひとつに指摘する渡辺氏はまた、一号機では配管破断が起きたの

ではないか、と述べている(渡辺氏の真解の詳細は、11011年6月10日の原子力資料情報室配信のUstreamで見るといいかも)。

ゆえもどり、福島第一原発の一～五号機で使用されているMärk I型格納容器の圧力抑制機構は、冷却材喪失時に猛烈な勢いでドライウェルから流れ込んでくる蒸気(すでに述べたが格納容器の中には海水等が注入されてゐる)と蒸気の動的な荷重に耐えられるのか、地震時のスロッシングにはじつか、といった「未解決問題」を抱えていた。一九八〇年、米原子力規制委員会(NRC)はハリの未解決問題に対する安全計画報告書をまとめた(NUREG 0061/Mark I Containment Long Term Program)。そしてハリした米国の動きを受け、日本の原子力安全委員会も運営ながら一九八七年一月に「BWR・Märk I型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」なる原子力安全委員会決定を出した。東電はハリの指針を、六〇年代半ばから七〇年代前半にかけて設立された福島第一原発の古い格納容器に具体的にどう反映したのか、とくに地震時に付していつ評価していただけ、ハリのハリが徹底的に調査される必要がある。

東電は、「格納容器の圧力が異常に高くなつたのは、圧力抑制室の水を海水で冷却するシステムが津波で使えなくなり、水温が上昇したから」などと記者会見などで説明しているが、それが、ナンセンスである。原子炉から圧力抑制室に回つた冷却材の流量はせいぜい数十トン、そ

れに対して圧力抑制室内の水の総量は一七五〇トンもある。大雑把な計算だが、崩壊熱を考慮しながら圧力抑制室の水温上昇を試算してみると、せいぜい五十一度である。その時点では、冷却がまだ必要がない程度の温度上昇だ。一方、これも大雑把な計算だが、圧力抑制機構が動かなかつたとしてドライウェルの圧力は八・四気圧になり、記録された圧力とだいたい一致する。

#### (6) 水素爆発

最後に、水素爆発についても簡単に触れておきたい。図2によると、皮肉なりに、淡水注入(イベント18)直後から原子炉水位が再下降し、TACFを横切った。そのため燃料棒表面(燃料被覆管)のジルコニア合金が高温になり、炉内の水蒸気と反応して水素が継続的に発生した。その水素は、原子炉系配管の破裂部から蒸気とともに漏出した。水素は軽いので格納容器最上部へ向かう。そして、すでに蒸気の漏出がはじまっていたフランジ部から、オペレーションフロアに入る。三月のオペレーションフロアの室温は低い。オペレーションフロアに入った蒸気はそこで水になる。こうして湿度が下がり、水素爆発の環境が整う。そして大爆発が起きだす。

紙幅の関係で詳しく述べ難いが、二号機の水素爆発も、基本的には同じようにして起きたのだろう。ところが、一号機は圧力抑制室の「外」で水素爆発が起きたと考えられている。では、なぜ「外」での爆発なのか。一号機の場合、たぶん主蒸気逃し安全弁経由で水素が圧力抑制室に回ったと思われる。ところが、たぶん圧力抑制室とドライウェルとの結合部のベローズが、あるいはトーラスの現地接合部が、地震発生直後に、長くて激しい地震動で破損してしまったため、そこから水素が外に漏出し、爆発したものと推定される。

本章では、東電が公表した最新の文書やデータにもとづき、東電・福島第一原発一号機が、津波によってではなく地震動によって原子炉系配管が破損し、冷却材喪失事故を起こした可能性について論じた。また一号機の格納容器の圧力が設計圧力を大幅に超えて異常に上昇した現象、ならびに一号機の水素爆発が圧力抑制室の外で起きたことについてもひとと検討した。結論として、

- 一号機においては、地震発生直後に、なにかしらの原子炉系配管で小規模ないし中規模の冷却材喪失事故が起きた可能性がさわめて高い。
- 一号機の圧力抑制室の一部が地震発生直後に破損したか、激しいスロッシングが起き

たために圧力抑制機構が有效地に作用しなかつた可能性が高い。

- ・一号機において、圧力抑制室の外で水素爆発が起きたのは、地震直後に圧力抑制室が損傷したためと推測される。

なお、本章では「一号機についてはほとんど触れなかつたが、それはあくまで概要によるもので、「地震による問題はなかつた」という意味ではない。本章はあくまで一号機をじおしての「震震脆弱性」の指摘である。

#### 追記 悪しもハシメトヨヒロハシについて

福島原発事故に対する原子力災害対策本部は、11011年6月のはじめに、同月10日から開かれるIAEA監査会議に提出する事故報告書(『東京電力福島原発事故について』)を提出した。すでに本章の概要を書か上げたまゝなので十分なスペースをもつて議論するにはまだないが、その報告書に記されている福島第一原発一号機に関するハシメトヨヒロハシについて、ひく簡単に触れておきたい。

ハシメトヨヒロハシはMAPPと呼ばれる事故解析コードを使って作られてる。そのハシメトヨヒロハシ結果が衝撃的だからか、ひとたびそれがテレビや新聞で報道されるや、多くの

人が仰天しながら、耳もそれを「事実」として受け入れはじめてしまうつむじ田舎者。報告書に記されているハシメトヨヒロハシ結果の要点を記すと、地震発生後約三時間で炉心露出、同約四時間で炉心損傷開始、同約一五時間で原子炉圧力容器破損、である。いわば超特急マルトダウンである。

じぶんハシメトヨヒロハシであれ、その結果は、ひんべんじのうつなデータを入力したがにがかつてじる。ハシメトヨヒロハシの担当者は、おそらく、じつすれば格納容器の圧力を設計圧力より高ら七・四気圧以上昇させるとともに、炉心露出を防ぐつもりがいる。彼らは、私が本章で論じたまゝ、地震動による圧力抑制機構の破壊や機器喪失といったストーリーを入力条件として選択しなかつた。それを選択すると、原発の震震脆弱性という問題を提起してしまつからだ。同じ意味で、配管破断という条件も除外された。そつらへるのはすべて排除し、あくまで、長く激しい地震動によるじめじめしさに健全な原子炉圧力容器、健全な格納容器、健全な配管、健全な弁を初期状態とする健全な原発が、津波で全交流電源を喪失した場合に、格納容器の圧力が必然的に、しかも早期に、七・四気圧まで上昇するうつな入力条件を探し求めたといふことである。具体的には、できるだけ早期にマルトダウンを起らせて原子炉圧力容器に穴を開け、そこから高温高圧のガスを噴出されやることで、格納容器の圧力を異常に高くするモテ

1 原発で何が起きたのか

ふた種類のものと測定した。

しかし、今回のふたつとも水位計は度々難しく問題を抱えている。それは、ふたつともふたつによる水位変化が、実測された水位変化よりも一致しないからだ。これに関する報告書は、「格納容器内が高温になると水位計内の水が蒸発し、正確な水位を示してはいけない可能性がある」と、実測された水位データを信用してはいけないとしてバシサリ切り捨てる。では、水位計の水が蒸発してしまったから、図2で、A、B1、C1系列の水位計のデータが同じ下降傾向を示してしまっているのかもしれないと思われる。

ふたつともふたつで問題であるが、場合の悪いデータはすべて誤りとして取扱って、都合のいいデータだけをいじらせる問題である。これは、実測値が悪いふたつともふたつとも正確ではない。

文部省から「原爆被爆者会議」、「相模刈羽原発の開鎖を訴える被爆者・技術者の会」の中間だからの難しさは理解力がない、本音を書かれてはいけないのがいた。御様に感謝。