

福島原発

黒田光太郎・井野博満・山口幸夫 編

地震による損傷は？

何が起きたか――

放射能汚染の広がりとは？

なぜ原子力は推進されたのか？

安全神話の崩壊

田中三彦

アーニー・ガンダーセン

石橋克彦

今中哲二

吉岡 斉

フィリップ・ホワイト

高橋哲哉

ミランダ・シュラース

池内 了

核をめぐる科学・技術のあり方は？

福島原発事故における地震による 機器損傷の真相に迫る

田中三彦

たなか みつひこ
サイエンスライター／元国会福島原発事故調査委員会委員

● 国会事故調の取り組み

国会福島原発事故調査委員会(国会事故調)が昨年の12月8日に発足しました。

物理的な(という表現がいいかわかりませんが、技術が関わるという意味での)事故原因についての調査は大きくは二つあります。一つは、3.11を迎えるまでの原発の基本的な耐力／体力、つまり古い原発が激しい地震動、長い地震動に耐えられるだけの性能をもっていたかどうかを検証する部分です。もう一つは、3.11の地震の地震動にさらされ、さらに津波が襲来し、水素爆発をおこし、最終的にメルトダウンをおこしたプロセスの部分です。つまり、3.11以前と、3.11以後の二つに分けて調査を行いました。

前半の部分は石橋克彦先生が集中的に調べられて、私のほうは、3.11以降の部分について調べました。

国会事故調の委員は全部で10人ですが、物理的事故原因については、石橋先生と私が一つのワーキング・グループをつくって担当しました。委員2人だけで可能になる話ではないので、原発に詳しい方たちに協力調査員として参加していただきました。われわれのワーキング・グループでは、総勢15人ぐらいで調査の議論をすることが多かったかと思います。

この人数で事故原因調査をするので、非常に大変な仕事でした。12月8日の発足後、スタッフの態勢を整えるのに1カ月はかかりました。実際に現地に出向いて運転員の方たちからヒアリングなどができるようになったのは、2012年1月

半ばを過ぎてからでした。

最終的に、報告書を書かなければいけない。事故調のミッションは約半年間と限られており、報告書の原稿書きは4月頃から始まるので、5月には調査はほとんどできなくなります。したがって、実際の調査・分析に当てられた時間は、3カ月とすこしでした。

私たちには、ツールがありませんでした。つまり、コンピュータを動かして強度解析やシミュレーションはできなかったということです。たとえ必要なプログラムが手に入ったとしても、その使い方を考え、巨大なシステムをモデル化し、東京電力から莫大な量のデータを手に入れないといけないので、それはとてもできない。このような方法は、最初から放棄しました。

そうではなくて、実際に運転員の方がどのように運転したのか、どんな状況判断をされたのかといったことを、集中的に調査しました。したがって、東京電力や原子力安全・保安院(保安院)の出したシミュレーション結果に対して、私たちにはいろいろ考えはありましたが、報告書ではそうした理論解析にはコメントしませんでした。

ただし、特に次のことはお話ししておきたいと思います。報告書には保安院が解析したFTA(Fault Tree Analysis、故障の木解析)という事故解析手法の結果を載せていますが、そのことが誤解を与えている可能性があります。自分たちに都合のよい保安院の解析結果だけを、われわれがいわばつまみ食いして報告書に載せて使っているのではないかと声をいただいているからです。しかしそうではなく、あの解析は国会事故調が発足する

2,3カ月前に、つまり事故調とは無関係に、以下のような経緯で「FTA解析をしないのはおかしい、やってほしい」と保安院に言ってやってもらったものです。保安院には協力していただいて感謝しておりますが、そういう関係でその解析結果を報告書に載せたものです(巻末資料参照)。

じつは、当時、衆議院の科学技術・イノベーション推進特別委員会の委員長をされていた川内博史議員(民主党)が、2011年7月頃から10月頃まで、東京電力や保安院に対してヒアリングをされていました。そこに私や、後藤政志さん、渡辺敦雄さん(いずれも元原子炉格納容器の設計技師)、上澤千尋さん(原子力資料情報室)が、技術的なアドバイザーとして呼ばれて、同席しておりました。そのときに、私たちの側から保安院に、FTAをぜひやってもらいたいと要求したのです。解析に関しては、入力データを修正してもらったりもしました。その結果が事故調報告書に載っているものです。

以降では、二つの問題をお話したいと思います。一つは、事故原因としての津波の問題です。もう一つは、われわれも想像していなかったことですが、1号機のSR弁(逃し安全弁)が作動していなかった可能性についてです。

● 津波の襲来時刻は2分強遅かった：津波襲来前に異常は起こらなかったのか

一つ目の議論は、津波の襲来がSBO(原子力発電所の全交流電源喪失)を引き起こしたのかどうかです。これについては、多くの方がほとんど直感的に、それでいいだろうと考えていらっしゃると思います。私たちも、それはそうだと思っていたところもあります。そのこと自体は、そう不思議に思えないことでした。

東京電力は事故後インターネット上で津波襲来の写真を何枚か公開していました。ところがその撮影時刻が、どうも実態と合わない。そのことに関して、伊東良徳さんという弁護士の方が、去年の夏にある集会で発表されています*1。当時は、明確な証拠があったわけではなかったけれども、

問題意識として、本当に津波によって非常用設備がやられてしまったのかと、疑問を呈しておられました。伊東弁護士は、非常に原発のことに詳しいので、事故調の協力調査員になっていただいて、特にこの点に関して徹底的に東京電力に資料提出を求めて、調べてくださいました。

東京電力は昨年12月2日に事故に関する中間報告書を出し、今年6月20日に最終報告書を出しています。そのどちらにおいても、津波の第1波は3月11日15時27分に福島第一原子力発電所をおそって、それから、第1波よりも大きく十数mの高さのある第2波がおそったのが15時35分だったとしています。政府事故調も、これに異を唱えないで、同じ時刻を津波の襲来時間として認定しているようです。

昨年6月20日にIAEAの会議があり、それに向けて日本政府は福島原発事故に関するレポートを出しました。そのなかでも、福島第一原子力発電所をおそった津波の第1波は15時27分、第2波は15時35分だったと書かれています。そして、その結果、すべての非常用ディーゼル発電機、配電盤などが被水して、機能を停止したと書かれています。

ところが、よく調べてみたところ、東京電力の事故報告書、政府事故調の報告書、IAEAへの報告書のすべてに書かれている、この15時27分と15時35分という時刻は、実は第一原子力発電所から1.5km沖合に置かれている波高計に第1波、第2波が到達した時刻であることがわかりました(図1)。そうであるなら、第一原子力発電所の海岸線に津波が到達するまでにはさらに何分か時間がかかり、その後実際に非常用ディーゼル発電機や配電盤が被水して機能喪失した時刻は、さらにもうすこし後のことだったはずですが。

津波到達時刻を正確に割り出すのは非常に大変だと思われていますが、重力と海の深さから大まかに計算していく式*2がよく使われています。それを

*1—公開フォーラム「福島原発事故の真実」(2011年7月10日、柏崎刈羽原発の閉鎖を訴える科学者・技術者の会)。

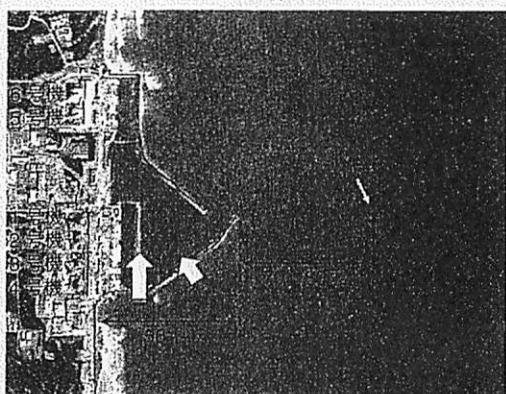
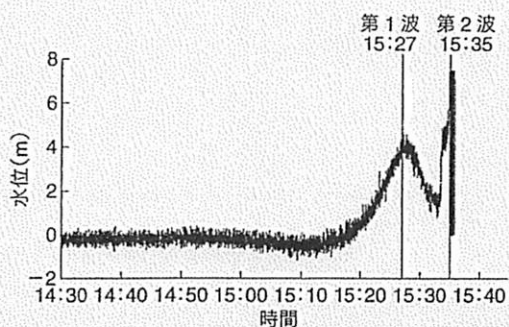


図1—1.5 km 沖合の波高計の記録(上)と、波高計の位置および波高計から突堤、突堤から第一原発までの津波の推定所要時間(下)

使ってざっと計算しますと、平均的に9～13 m ぐらいの深さがあるとして、波高計から防波堤の突端までの約0.8 kmの距離に対して、だいたい70～80秒かかります。防波堤突端から敷地海岸線までは、かなり正確にわかっており56秒です。なぜ正確にわかるかという、デジタルカメラの連続写真を東京電力から提供してもらっており、それらのデジタルデータから割り出せるのです。合計して2分強の時間がかかっていることになります。したがって、15時35分から2分強後の15時37分以降が敷地海岸線への到達時間と考えられます。

第2波はどうやら海岸線沿いに南から北へ向かう流れが優勢であったことが、4号機のあたりから撮られた写真(図2)からわかります。

また第1波に関してですが、第1波襲来のこ

*2—津波の速度(m/sec) = (水深(m) × 重力加速度(m/sec²)) の平方根

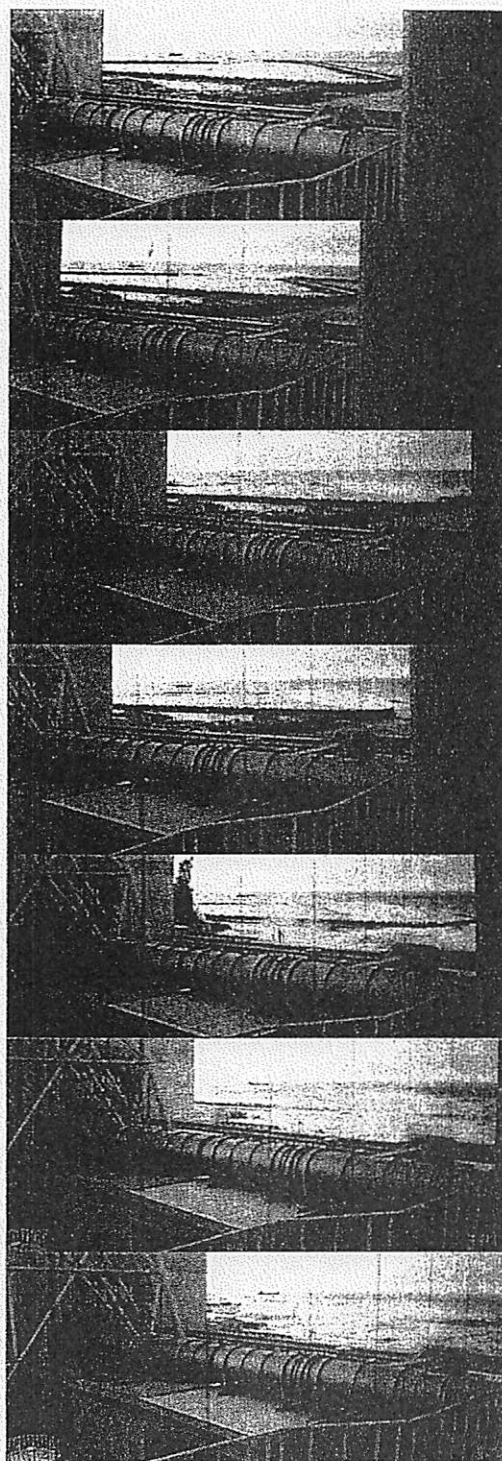


図2—4号機付近から撮影された津波第2波の連続写真
国会事故調への東京電力提供資料から。

表一非常用ディーゼル発電機トリップ時刻

発電機	運転日誌	コンピュータ記録
1号機-A	15:36 以前	—
1号機-B	15:37	—
2号機-A	15:37	15:37:40
2号機-B	15:41	15:40:38
3号機-A	15:38	15:38:11
3号機-B	15:38	15:38:57
4号機-B	15:38	—
5号機-A	15:36	15:40:02
5号機-B	15:36	15:40:13
6号機-A	15:36	15:40:07
6号機-H	15:36	15:40:18

ろ防波堤内に船がいて、その乗員の方によれば、第1波には遭遇していないとのこと。つまり、第1波は、防波堤を乗り越えて海水ポンプが設置されている第一原発の4m盤^{*3}をおそうほどのものではなかった可能性があります。

海水ポンプがダメになると水冷のディーゼル発電機はトリップ(停止)するので、4m盤が第1波におそわれたかどうかはひじょうに重要なポイントになります。そこで、第1波襲来の際の写真を画素レベルで細かく分析し、第1波が海水ポンプの置かれている4m盤をおそったかどうかを調べました。その結果、第1波は4m盤をおそっていないと判断しました。

まとめますと、15時35分からだいたい2分強後に、津波は敷地に、南側から北側へと浸入していきました。しかしもっとも南寄りの4号機からもっとも北寄りの1号機に達するまでには数百mあるので、さらに時間がかかり、1~2分、場合によっては2~3分かかるとおもいます。つまり、ディーゼル発電機がトリップするまでには、第二波の津波着岸後まだかなりの時間が必要であるということです。

東京電力が公表している記録のなかに、各号機の一つのディーゼル発電機の系統(A系、B系)がいつトリップしたのか、運転員の日誌に書き込まれた記録とコンピュータの記録が残っています(表)。両者には若干ずれがあって、特に5号機、6号機に関しては大きくずれています。たとえば5A(5

号機A系)では、日誌には15時36分と書かれているけれども、コンピュータは15時40分と記録しています。運転員の方に、日誌記載の時刻がどのくらい正確かと聞きますと、直前の正午に電波時計と合せているのでそうとう自信をもっている、原災法の宣言が頭にあったので時刻には神経を払っている、と証言されています。しかし、一方でコンピュータはこういう別の時間を記録している。このずれも気になります。

それから、1号機のA系は、実はいつトリップしたかわからないのです。B系がトリップした直後に、「1Aはいつ?」という言葉が日誌に書かれています。つまり、B系よりも前にトリップはしているのですが、それがいつかははっきりせず、運転員どうして「いつトリップしたか」を確認し合っているのです。これについて話をうかがったところ、A系とB系のトリップは少なくとも1~2分は離れていたということなので、われわれとしては遅くとも36分にはトリップしていたと認定しました。

以上についてまとめますと、津波が第一原発の海岸に到達した時刻は、いろいろな報告書に書かれている15時35分ではなく、少なくとも15時37分である。実際は、これよりももう少し後だろうと思っていますが、控えめに見ても15時37分だと思っています。

5月に報告書原稿を書き始めるにあたり、最終的にこのようなことを書きますよと東京電力に文書で通知しました。15時35分というのは嘘で、15時37分だったという点について、東京電力に確認を取ったのです。すると東京電力は、35分が波高計の時間であることを認めました。それから、敷地から1.5km沖合にありますから、海岸に到達するまでには時間がかかること、海岸に到達するまでの時間は約2.5分とみていること(したがって津波がおそったのは15時37分以降となること)が文書で回答されました。

国会事故調が指摘したこの時間のずれに対して、東京電力からは特に異論はなかったのです。にもかかわらず、その約1カ月後に出てきた6月20

*3—小名浜港工事基準面(小名浜ポイント)より4m高い地盤。

日付の東京電力の最終報告書には、相変わらず「15時35分に第2波が到達した。第1波は15時27分」と記述されていて、それらが波高計への到達時刻であることは一切触れていません。二枚舌を使っていると言わざるを得ません。

結論を申しますと、1号機の非常用ディーゼル発電機Aについては、日誌にもコンピュータにもいつトリップしたかの記録がありません。運転員の方が、次々と暗くなっていくなか、15時37分前に、これがいつトリップしたかわからないという会話をしています。ヒアリングをした結果、15時35分からすくなくとも1分は離れていたという証言が得られたので、われわれとしては15時36分にトリップしたと認定しています。これは、37分ないし37.5分に津波が襲ったということとは合わないことになり、1号機の発電機1A、津波とはまったく別な理由で止まったと判断せざるを得ないということになります。

これについて東京電力は、「再度運転員に聴取をした結果、全員が37分頃に停止したと言うので訂正したい」と言ってきたのですが、それは後出しの「禁じ手」であり、私たちのヒアリングの結果とは違います*4。

3号機のトリップ時刻の15時38分も、ギリギリという感じがしないでもありません。5号機、6号機に関しては、日誌とコンピュータ記録が大きく違います。早いほうの時刻だとすると、これもまた問題になります。

津波でないとすると、ほかにどのような原因が考えられるのか。たとえばタンクから軽油もってくる細い配管が地震で破損するとか、タンクがやられるとか、空冷・水冷の関係設備が部分的にダメになって熱をもち始めて、ちょうど津波がきた頃によれよれになって止まってしまったとか、いろいろなことが考えられると思います。けれどもそれは、タービン建屋内を含めた現場に立ち入ることができなければ調査はできませんし、事故

調としてできる話ではありませんでしたから、東京電力に調査・検討してもらわなければならないと思います。

1号機のSR弁は働かなかった？：配管漏えいの可能性

次の話に入ります。1号機は、1966年に設置許可が下りて、営業運転に入ったのが1971年で、GEが全責任をもってつくったものです。この1号機のメルトダウンしていくスピードが、2号機、3号機よりも圧倒的に速かった。このことに関して、私は、地震によって重要設備(原子炉系配管)がやられたのではないかということを書いたり、話したりしてきました。それから、1号機だけについている非常用復水器(IC)というものがあります。同様のものは敦賀発電所がありますが、この非常用復水器が壊れていないかということも重要な事項としてあります。(ICに関して重要なことがいろいろわかっていますが、ここで述べる余裕がありません。) きのうの話は、1号機のSR弁(SRV、逃がし安全弁、あるいは逃し安全弁とも)についてです。

私は、1号機のSR弁がきちんと作動したかどうか疑いをもっています。疑いをもったのは事故調に入ってからであって、それまでは、そういうことを考えもしませんでした。と言っても、弁の「開固着」といった一般的事象は考えましたが、それはなかっただろうと思っていました。しかし、弁にどうも何か不備が起きているらしいということが、運転員へのヒアリングのなかではっきりしてきました。

図3は1号機の水位がどのように変化していったかを、東京電力のデータをもとにして描いたものです。原子炉は通常運転中は水位がだいたい4500mmよりすこし下にあります。O(TAF)より下になると燃料の一部が顔を出して、水素を発生するような燃料損傷に至る可能性がありますので、Oより上になければならないということです。

地震が起きた直後の水位データはありますが、SBO直後からかなりの時間、データはなく、次にデータが出てくるのは7時間を過ぎてからで

*4—この件に関しては、国会事故調報告書の「参考資料」の64～65頁の脚注15に詳しく書かれている。

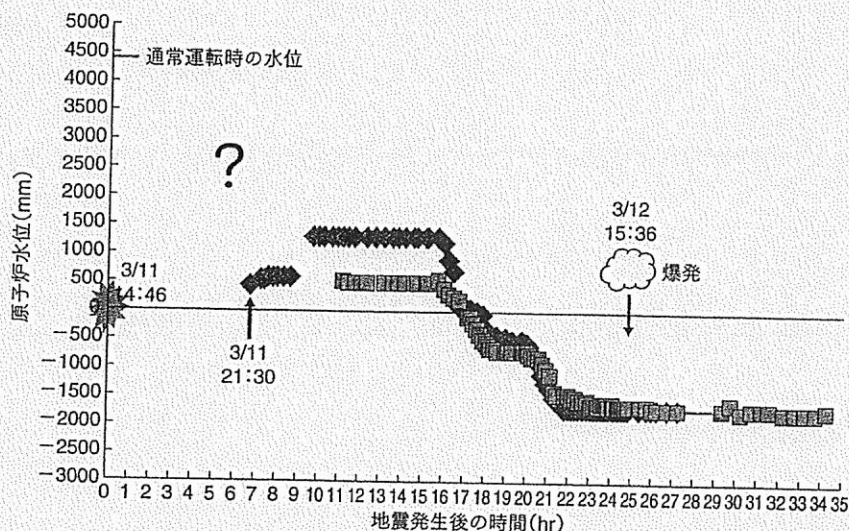


図3—地震発生後の1号機の原子炉水位の変化
横軸は地震発生からの時間、縦軸は燃料棒の有効頂部(TAF)を基準にした水位(mm)。通常運転中の水位は約4.4 mなので、異常な速さで水位が低下したことがわかる。濃い四角が原子炉水位(A)、うすい四角は原子炉水位(B)。

すが、水位はこんなに落ちています。これがどうやって落ちていったのか、なぜ水位がなくなるのかが問題になります。幼稚なたとえを使うなら、ヤカンの水がどうしてこんなに短時間でなくなったか、ということです。

ヤカンの場合は水蒸気になって外へ出ていくので、減るのは当然としても、原発の場合はそうはいきません。原子炉内の水位が下がっていく場合のシナリオは、二つ考えられます。

通常運転時には、蒸気はタービンに向かいます。しかし、今回の地震の直後、主蒸気隔離弁が閉じてタービンに向かうラインは閉じられ、原子炉は隔離状態になります。隔離状態になると、崩壊熱によって発生した水蒸気により原子炉圧力がどんどん上がってきます。

この水蒸気を何とか取り除かないと、炉が破裂してしまいますので、SR弁という非常時に開く弁があります(図4上)。普段は閉じているSR弁が開くと、タービンに行けなかった水蒸気は、格納容器の圧力抑制室(サブプレッション・チェンバー)という、ドーナツ形の構造に向かって流れていきます。圧力抑制室には2700tぐらいの水が蓄えられています。ここに流れ込んだ蒸気は水に変わり、原子

炉内の圧力は下がります。

しかし、炉から圧力抑制室へ蒸気を流れっぱなしにすると、炉の冷却水がみな圧力抑制室へ流れ込んでしまうので、それではまずい。そこで、ある程度原子炉の圧力が下がると、SR弁は閉まるようになっていきます。しかし、しばらくすると崩壊熱で生まれた蒸気により、また原子炉圧力が上がるので、またSR弁が開く。このようにSR弁の開閉が繰り返されます(図4上)。SR弁は原子炉圧力を上げすぎないために開けるのですが、一方で、水位を失いもする危険な面もあって、あまり開けておくこともできません。そこで、自動的に開いたり閉まったりするようになっていきます。しかし、このように、SR弁が自動開閉することによって、原子炉水位は徐々に下がっていきます。

実際にSR弁の開閉動作がデータとして取られているものに、たとえば2号機があります(図4下)。地震が起きてから10分も経たないうちにSR弁が動作を始めており、開閉信号の記録もあります。津波が来たあとも、頻繁にSR弁は動作しています。これが一つめのシナリオです。

もう一つ別のシナリオが考えられます。原子炉につながっている配管が地震動で破損したという

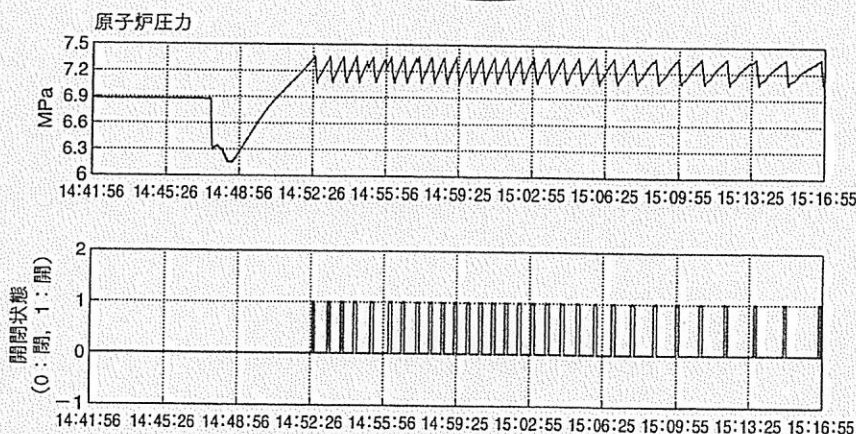
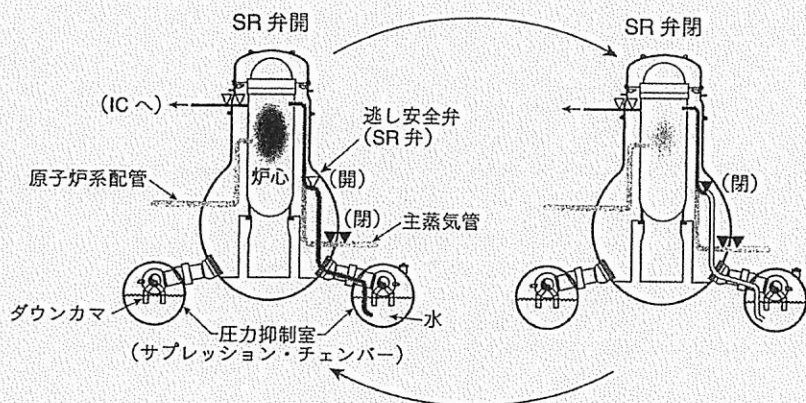


図4—SR弁の開閉

(上)原子炉圧力(炉圧)が上がりすぎると自動的にSR弁が開いて压力抑制室に蒸気を逃がし、炉圧が一定程度下がればSR弁が閉じる。これをくり返す。

(下)2号機の実測のデータ。SR弁の開閉動作に伴って、炉圧はコギリ波のような変動を呈する。

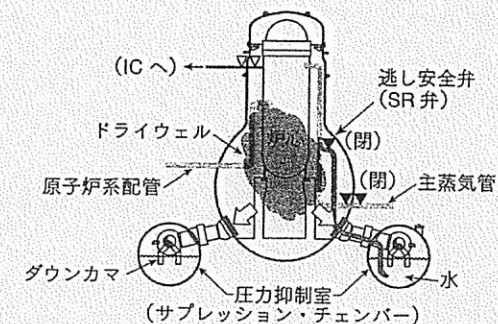


図5—原子炉系配管(原子炉を出入りしている配管)小破損のシナリオ

この場合も、蒸気は最終的に压力抑制室に向かうが、SR弁を経由しないことが大きなちがひ。

シナリオです(図5)。といっても、ギロチン破断のようにバンと管全体が破損するのではない。そうではないことは、水位の変化から見ても明らかなのですが、より小さな破損が起こるとどうなるか。すると、そこから蒸気が漏れしていく。この場合には、ドライウェルに蒸気が漏れ出ていき、そ

こからダウンカマというクジラの骨のような形をした配管を通じて压力抑制室に蒸気が出ていきます。この配管は合計80本ぐらいあって、ぐるりと压力抑制室の中を1周しています。このようなタイプの格納容器はMark I型といわれますが、Mark Iは、水力学的動荷重というものによる振動に対して弱点があることが、当初から知られています。

私たちは、SBOが起きたあと、1号機は非常に静かだったという証言に注目しています。SBOで中央操作室が真っ暗になると同時に、何も音がしなくなった。事故は、異常なほどの静けさのなかで進行していったと、運転員の方たちは言っています。

そのなかで注目しなければいけないのは、2号機の運転員の方が、SR弁が作動するたびにズドン、ズドンという非常に大きな音がしていたと言っていることです。事故調の報告書にも書い

てありますが、中央操作室に聞こえてくるその音は2号機からのもので、1号機のほうからは何も聞こえてこなかった。1号機の運転員の方も、水素爆発までにSR弁に関する音は聞いたことがないと明言しています。

どうしてSR弁が開くと音がするのかと言いますと、圧力抑制室に入る蒸気の衝撃が非常に大きいからです。これは水力学的動荷重と言われていいます。タービンに行くはずの蒸気が圧力抑制室に勢いよく吐き出されるわけですから、相当な力をもっています。設計当初は、この衝撃によって圧力抑制室が壊れる可能性もあったために、蒸気を吐き出す管の先端はクエンチャー^Iといって衝撃力を弱める工夫がなされています。しかし圧力抑制室の板厚は20mmぐらいで、非常にやわい構造に衝撃力が作用するので、大きな振動が起こり音を発する可能性がある、私は思っています。

これに関して、国会事故調の意見投書に専門家の方から反論が来しました。SR弁の開閉で音がしなかった理由は、メルトダウンで原子炉が高い温度になって、フランジ(配管接続)部分から水蒸気やガスが漏れたと考えられるからだという意見です。しかし、私たちが考えているのは、そういう話ではありません。原子炉の温度が異常に高くなればフランジ部分から漏れるということは当然起きたらと思うのですが、問題はSBO直後のこと、水蒸気の温度がまだ通常運転温度程度のときのことです。非常用復水器を運転員が止めてしまっ、その後SBOに陥り、原子炉圧力がどんどん上がっていきましました。それなのにSR弁の作動に伴う音が聞こえなかったということを、われわれは問題にしているのです。

残念ながら、1号機に関しては客観的なSR弁の作動記録は存在しません。SR弁の開閉動作を自動的に記録するシステムが存在しなかったのです。準備中だったとされていますが、四つのSR弁の動作記録が存在しないのです。

SR弁と音の関係について確かめたいと思い、東海第二原発、福島第二原発、女川原発に、音がしたかどうかをアンケートで聞きました。これら

の原発でも、3月11日にSR弁が頻繁に作動しています。結果は、東海第二原発からは回答がありませんでした。福島第二原発からは、「SR弁は作動したが音は一切聞こえなかった」という回答がありました。女川原発からは、「1号機と3号機でSR弁の作動音は聞こえていた」との回答でした^{*5}。

福島第二原発ではなぜ音がしないのかが気になりますが、福島第二原発はMark IIという別のタイプの格納容器を使っています。それに対して女川原発1~3号機は、福島第一と同じMark I型でした。Mark Iの圧力抑制室はドーナツ構造ですが、Mark IIの圧力抑制室はドーナツ構造ではありません。Mark Iの場合、ドーナツ構造の圧力抑制室が水力学的動荷重で振動して音を発しているのではないかと。断定はできませんが、問題を提起しておきたいと思います。

もしSR弁が作動しなかったのだとすれば、それは圧力が十分に上がらなかったことを意味します。つまり、どこから圧力が抜けていたということが考えられます。すなわち、地震直後に配管が破損して漏洩が始まり、その後、破損箇所がだんだん拡大していった可能性があります。国会事故調の報告では、そのような問題提起をいたしました。

(本稿は講演をもとに編集されたものである)

*5—作動音は中央操作室では聞こえなかったとしている。推測だが、その理由は、SBOによってほとんど何も音がしない「静寂さ」に包まれた福島第一原発とちがって、女川原発の場合はそれほど静寂ではなかったからかもしれない。なお、2号機は地震発生時、起動直後だったのでまだ常温常圧状態にあり、SR弁は作動しなかった。

原発と震災 「科学」編集部編 B5判 142頁
—この国に建てる場所はあるのか 定価 2310円

インフォグラフィクス 原 発 E.ゴンスター
—放射性廃棄物と隠れた原子爆弾 今泉みね子訳 A4変 120頁
定価 2310円

【叢書 震災と社会】

低線量放射線被曝 今中哲二 B6判 236頁
—チェルノブイリから福島へ 定価 1890円

脱原子力国家への道 吉岡 斉 B6判 238頁
定価 1890円

【岩波新書】

原発を終わらせる 石橋克彦編 定価 262頁
840円

原発はなぜ危険か 田中三彦 定価 200頁
—元設計技師の証言 735円

原発訴訟 海渡雄一 定価 278頁
861円

【岩波ジュニア新書】

ハンドブック 原発事故と放射能 山口 幸夫 定価 224頁
861円

【岩波ブックレット】

ドイツは脱原発を選んだ ミンダ・A.シュレーズ 定価 64頁
525円

【岩波現代文庫】

高木仁三郎セレクション 佐高 信 定価 394頁
中里 英章 編 1428円

岩波書店刊

定価は消費税5%込です
2012年10月現在