

福島第一原発は地震では壊れなかったのか？ —機器配管等の、地震動による直接的損傷の可能性を探る—

岡本良治

(九州工業大学・名誉教授)

1. 福島第一原発事故の原因は巨大津波だけか？
2. 異質の危険性を内包する巨大複合技術システムとしての原発システム
3. 福島第一原発事故における地震動による直接的損傷の可能性
4. 地震予知神話と地震前兆幻想
5. まとめ

日本科学者会議福岡支部主催・第2回原発シンポジウム

福島第一原発事故の警鐘と玄海原発

時:2011年7月24日(日曜日)午後2時~4時半

九州大学 筑紫キャンパス総合研究棟C-CUBE 一階大講堂

1. 福島第一原発事故の原因は巨大津波だけか？

巨大津波主因説：内閣、通産省、同原子力安全・保安院など
NHK・TVで津波の映像を反復して放映

技術評論家の桜井 淳氏も地震動による損傷の可能性については明示的には指摘していない
[桜井11]

巨大津波及び地震動複数原因説；地震動による直接の損傷の可能性の指摘
田中三彦氏(福島第一原発4号機の元設計者) [田中11a]
小出裕章氏(京大原子炉)
福井県知事
少数回の報道{朝日新聞、毎日新聞、産経新聞、日経新聞、共同通信、時事通信}

2007年中越沖地震と柏崎刈羽原発事故

2007.7.16 中越沖地震、マグニチュード(M) 6.8

いつでもどこでも起こる中地震。
日本列島では、中地震は年間十数回発生している。

東京電力・柏崎刈羽原発事故(新潟県)

- ・1号機原子炉建屋地下5階の東西方向が680 ガル、
- ・地下250メートルの地震計が993 ガル
- ・地殻変動で原子炉建屋、タービン建屋が傾き、壁はひび割れた。
- ・変圧器の火災

想定をはるかに超える揺れの強さ

揺れの長さは？

(ガルは加速度の単位
1 gal=1cm/s²、
重力加速度=980ガル)

幸いだった小さな余震と余震の少なさ

[原発老朽08]

地震規模は揺れの大きさと揺れの継続時間に関する。

中越沖地震は、地震規模が小さかったことが
幸いして、原発は破局的被害にならなかった。

個別分野の専門家だけにまかせるべきか？

ファインマン: 米国チャレンジャー号事故調査のいきさつ[Feyn88]

ファインマン(Richard Phillips Feynman, 1918-1988) 米国、理論物理学者。
第二次世界大戦中、原爆製造のためのロス・アラモス研究所で、長崎原爆の起爆装置(爆縮)の理論計算。
1965年ノーベル物理学賞受賞。1959年、ナノテクノロジーを提唱。
1985年、量子コンピュータを予言した論文。
1986年、チャレンジャー号事故調査委員会にて、事故原因を究明。
1988年、腎臓周辺組織の癌で死去。(ロス・アラモスの原爆開発の研究に携わった人は、腎臓周辺組織の癌が多いといわれている。)



...部分ごとに横にして積み込まれたロケットは、運送中中味の軟らかい推進剤の重みで、少しゆがむことになる。その歪みは総体的には1インチの何十分の1というわずかなものであるが、いざロケットの接合部をはめ合わせたとき、**どんなに小さい隙間があっても、熱いガス漏れの原因には充分なり得る。**Oリングの大きさはたったの4分の1インチ、しかもこれがほんの1インチの200分の1圧縮してあるだけときているのだ。

「...原発を造る専門家だからといって、事故・災害の専門家ではないこと...」

2007年2月中部電力の浜岡原発をめぐる訴訟で、当時、東大教授であった斑目春樹氏(現原子安全委員長)は中電側証人として出廷し、原発の非常用電源がすべてダウンした場合の想定の有無を原告側から問われて、「ちょっと可能性がある、そういうものを全部組み合わせていったら、ものなんて絶対造れません」などと証言した。

2011年3月23日の記者会見で「(原発の状態は)想像よりどんどん先にいっちゃっている」と語った。

名大教授、福和伸夫氏(耐震工学、地域防災)。朝日新聞、2011. 4.14

3.11、東日本大震災が起きたときは、東京の高層ビルで講演中だった。
(中略) 震源から離れた東京で体験した混乱は、・・・想定してきた事態だった。

・・・

ただ、原発事故は想定外。・・・原発は耐震性が高く、津波にも耐えると思っていた。

建屋の耐震性はわかるが、原子炉や配管などすべての安全性は知らなかった。

2. 異質の危険性を内包する巨大複合技術システムとしての原発システム

異質の潜在的または顕在的な危険性

比較: 飛行機事故、高速鉄道事故など

- 1) 莫大な放射能の蓄積
- 2) 運転停止後、数か月以上人為的に制御できない巨大な崩壊熱
- 3) 事故の被害領域が空間的に限定できない。
- 4) 放射性廃棄物の処理処分の未確定(居住圏からの超長期隔離保管)

異なる強度、耐性を要請される構成建築物と機器類

原子炉建屋: 原子炉容器(圧力容器)

燃料棒、燃料被覆管、制御棒

格納容器

再循環ポンプ

緊急炉心冷却装置

使用済燃料(とそのプール)

ノズル、バルブ、配管(総延長、数10キロ以上)

測定機器

クレーンなど

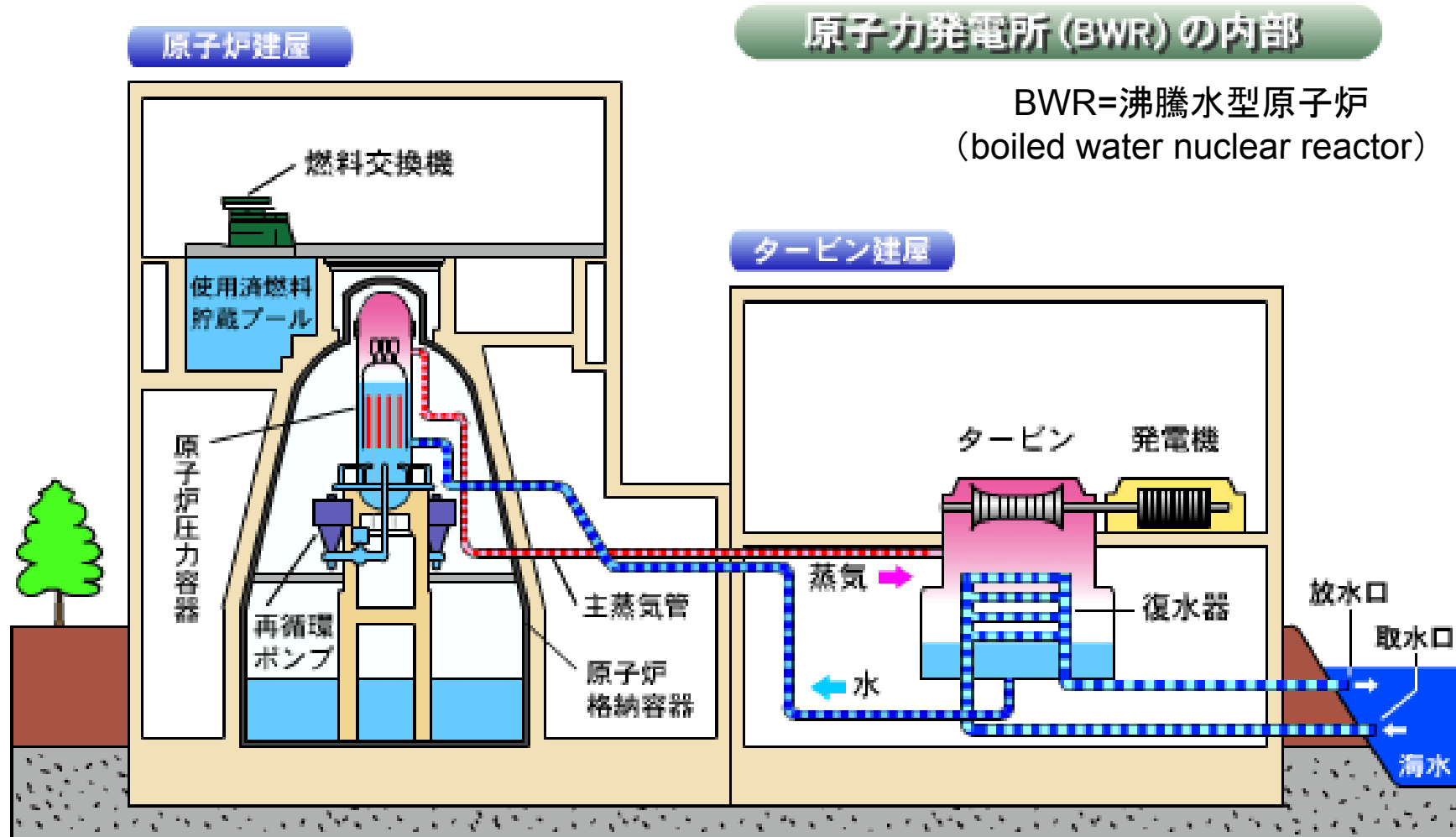
タービン建屋: タービン

復水機(熱交換機)

各種配管

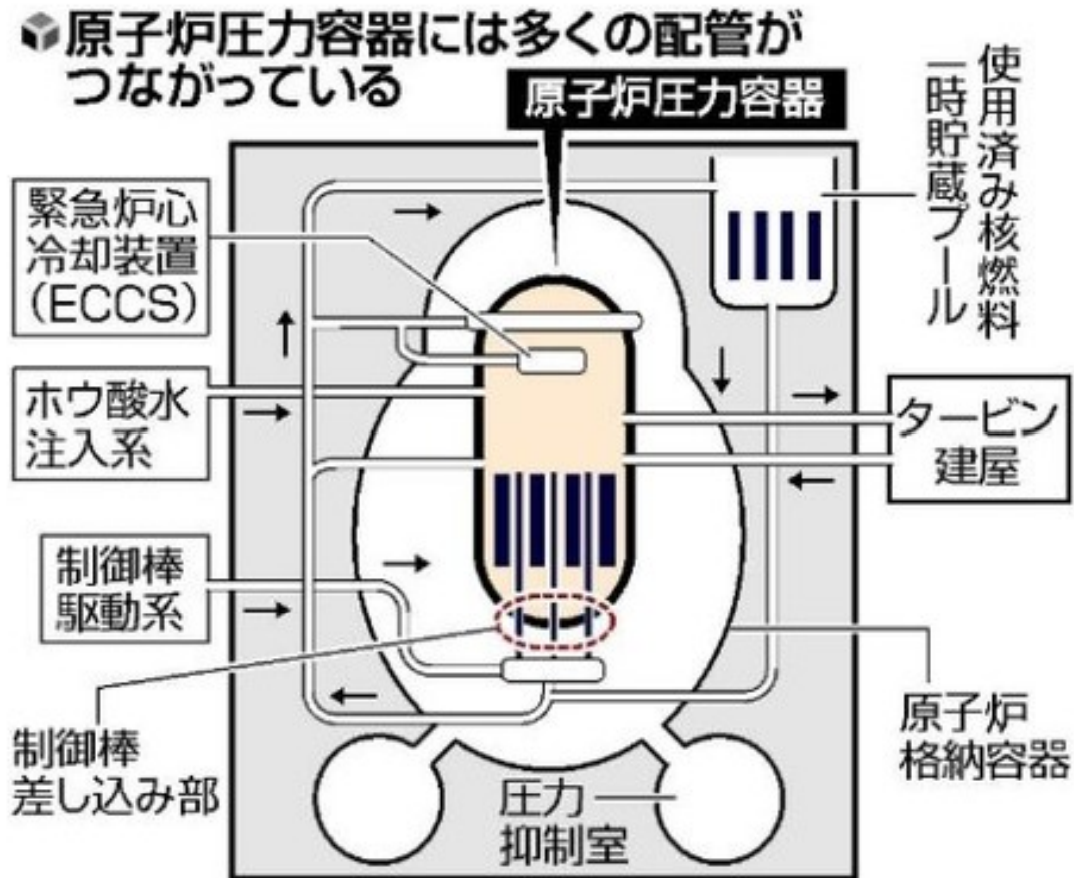
関与する専門分野: 原子核(物理学・工学)、伝熱工学、材料工学、
流体力学、放射線科学

原子力発電のしくみと構造



<http://www.tepco.co.jp.cache.yimg.jp/nu/knowledge/system/index-j.html>

原子炉压力容器には多くの配管がつながっている



金属材料の劣化原因と原発事故例

表2-1 金属材料の劣化原因と原発事故例

劣化原因	現象・メカニズム	事故例
疲労 (降伏応力以下の小さい力が繰り返しかかり破損する)		
○機械的力によるもの	繰り返し外力や共振	○蒸気発生器細管の破断 (美浜2号、1991年2月) ○熱電対さや管の共振破断 (もんじゅ、1995年12月)
○熱的力によるもの (熱疲労)	熱膨張・収縮の繰り返し	○再生熱交換器のL字配管のひび割れ (敦賀2号、1999年7月)
腐食 (金属は酸化物に遷りたがる。例外は金)		
○全面腐食	全面にさびが生じ減肉する。	
エロージョン・コロージョン	機械的侵食と化学的腐食が重なる	○2次系配管の破裂による死傷事故 (美浜3号、2004年8月)
○局部腐食	ひび割れが内部へ進展し、破断に至る	
ステンレス鋼の応力腐食割れ	炉水中の溶存酸素・溶接部の残存引張応力・材料の鋭敏化または加工組織の存在	○シュラウド・再循環系配管のひび割れ隠し (東電の全原発ほか、2002年8月～)
照射脆化 (炉心からの中性子照射によりもろくなる)		
○鋼材の照射脆化	脆性遷移温度の上昇	○圧力容器の高経年化
○ステンレス鋼の照射誘起応力腐食割れ	照射誘起偏析・硬化	○シュラウドの脆化

共振

原発老朽化問題研究会編
「まるで原発などないかの
ように一地震列島、原発の真実」、
現代書館、2008年。

巨大技術システムの大事故は 専門境界領域、システム周縁で起こりやすい？

＜高速増殖炉もんじゅの2次系ナトリウム漏洩に関して＞ [小林96]

・・・構造設計に関与している技術者は、材料・強度、熱流体と振動の3つの領域の専門家(スペシャリスト)である。これらの専門家は、自分の仕事と責任を自分の領域内に限定し、他の領域と相互認識し、情報伝達する努力を怠っている。この技術者の専門領域のミスマッチングが事故の原因となる。具体的な事例は、流体振動による疲労破壊と、熱応力による疲労破壊である。・・・

＜材料の破壊事故に学ぶ＞について[時政96]

...破壊事故は専門境界領域に潜む→異分野間の有機的交流・共同研究が必要である・・・

システム周縁事故とは、航空機、鉄道、石油化学工場、化学工場、原発など、複雑で高度な技術を駆使した機械システムや装置産業では、システムを中心部は安全確保に万全の配慮をした設計にしてあるのだが、システムのいわば縁とも言うべきところで、まさかと思うような人間のミスや工事ミスや設計上の手落ちなどが生じやすく、それが引き金になって、システム全体を破局に陥れるような大事故を指している。 [柳田11]

原発システムの耐震脆弱性をめぐる論点

米国ラスムッセン報告[1974年)の功罪

武谷三男編「原子力発電」、岩波新書、1976年、
p.139

- ・確率の相対値はある信頼度得られるが、その絶対値は信用できないとされている。
- ・得られた事故の確率の値そのものは信用できないが、事故の経過や安全性の要因分析は、これまで知られていないいろいろのことを教えてくれた。つまり、空焚き、炉心溶融にいたる事故経過が、今までよりも系統的にしらみつぶしに明らかにされた。

pp.140-141

- ・これまでの考えでは、一次冷却水の大きなメインパイプが破断するのがもっとも空焚きにつながりやすい事故とされて、それが基本設計事故とされていた。

・ところが計算の

結果によると、直径2—6インチの中パイプ、あるいは0.5—2インチの小パイプの破断も同様に空焚き事故を引き起こすことが明らかになった。

- ・**確率の相対値を信用すると、中・小パイプの破断がより恐ろしい原因となる。**

E. E. ルイス、「原子炉の安全工学(下)」、1986年

- ・地震動は原子力プラント内のすべてのシステムおよび機器に影響を与えるので、破損の機構や基準は多種多様であり、複雑である。
- ・配管系への震動効果は1次系および非常用配管の両者について慎重に解析する必要がある。
- ・配管の質量は他の機器(例えば圧力容器、蒸気発生器、格納容器)に比べて軽いので、他のより重いシステムの運動に多点接続の付加物として応答する傾向をもつ。
- ・この状況は配管が相互に独立に動ける基礎を有する建屋に固定されていると、悪化する可能性。
- ・プラント内の種々のシステムの相互作用を考慮することも大切である。
- ・1次系の基本周波数が格納容器の値より高いと、格納容器の運動は一次系の運動に大きく影響。
- ・1次系と格納容器の固有周波数が非常に近いと、両者に共鳴(共振)による増幅が生じて最悪となる。

柴田 碧他「原子力発電の地震時危険度の確率論的評価」、原子力学会誌、1986年。

- ・著者は配管系の応答を研究している際、その応答ゆらぎが大変大きいことに気づいた。
- ・1次配管系の地震時破断の可能性と結びつけ、その発生確率が決して低くないことを1975年に示した。

←確率論的方法は、リスク要因等の絶対的な評価には曖昧さが残るかもしれないが、異なるリスク間の応対的危険度の推定には有効ではないかと考えられる。
「確率の相対値はある信頼度得られるが、その絶対値は信用できないとされている。」
武谷三男編「原子力発電」、岩波新書、1976年、p.139

高木仁三郎1996年「核施設と非常事態—地震対策を中心に—」 [高木96]

- ・仮に、原子炉容器や1次冷却材の主配管を直撃するような破損が生じなくても、**給水配管の破断と緊急炉心冷却系の破壊、非常用ディーゼル発電機の起動失敗といった故障が重なれば、メルトダウンから放射能放出に至るだろう。**
- ・もっと穏やかな、**小さな破断口からの冷却材喪失という事態でも、地震によって長時間外部からの電力や水の供給が断たれ場合には、大事故に発展しよう。**

藤井陽一郎編「地震と原子力発電所」、1997年。

- ・機器、配管の間の種々の**共振による損傷の可能性**を指摘
p.59,
p.108;地面から建屋、建屋から付属部品への二重に共振増幅、

「時代おくれ」と指摘されていた日本の原発地震対策

[wikileaks110315]

IAEA(国際原子力機関),2008年12月、日本政府に

- ・「日本の原発の地震対策は時代遅れのものになっており、重大な問題を引き起こす」と警告
- ・「日本の原発は過去35年間に、地震対策を3回しかおこなっていない」と指摘

M8以上の巨大地震の本当の怖さは揺れの長さである

小山真人教授(静岡大)2007.5.10静岡新聞

「・・・M8級の地震は、さいわい百キロメートルにおよぶ長大な筈言断層が破壊して生じるため、静岡県内が破壊的な揺れに襲われる時間は1分半から、場合によっては二分を超える。M8以上の巨大地震の本当の怖さは揺れの長さである。しかも、M8級特有の長周期震動をたっぷり含むから、超高層ビルや石油タンクなどの巨大建築物はさらに長い時間揺れ続けるとなる。阪神・淡路大震災を起こした地震(M7.3)の揺れが、たった十数秒で終わったことを思えば、永遠にも思われる恐怖の時間であろう。・・・」

東日本巨大地震(マグニチュード=M=9.0)で震度5強以上を記録した気象庁の14観測点では、震度4以上の強い揺れが2~3分間も続いていたことが同庁の解析で分かった。

過去の大きな地震と比べて倍以上も長い。震源域が長さ450キロ、幅200キロと極めて広く、プレート境界の岩盤の大きな破壊が約3分間にわたり、連続して起きたためとみられる。

震度4以上の揺れが約3分10秒と最も長かったのは、福島県いわき市小名浜の観測点(震度6弱)。青森県五戸町古館(同5強)が約3分、仙台市宮城野区五輪(同6弱)が約2分50秒で続いた。宮城県沖の震源から約400キロ離れた東京都千代田区の気象庁(同5強)でも約2分10秒だった。

(2011年3月25日19時51分 読売新聞)

3. 地震動による直接的損傷の可能性

3.1 今回の地震動の特徴

- 1) 最大加速度 = 448 ガル ←→ 想定予想値 = 600 ガル 想定内！
- 2) 継続時間 = 数分 非常に長い

地震動による**原子炉外部**の損傷

- ① 地震動により、外部送電線を支える原発西側の鉄塔が倒壊して、1-4号機の外部電源が喪失した。
- ② 5-6号機が受電していた夜の森線の鉄塔が倒壊して、外部電源が喪失した。

4月27日の衆院経済産業委員会で、吉井英勝議員(日本共産党)が「1/2/3/4号機を受電設備は地震による損傷で受電できなくなった。もし、原発西側の夜ノ森線の鉄塔が倒壊しなければ、5、6号機用の外部電源を1-4号機に送電でき、全電源喪失に至らなかったはず」

という指摘を行ない、政府側はこのことを認めた回答をしました。
(2011/4/30、赤旗)

「想定外の巨大津波」でもなく、「想定外の巨大地震」でもなく、
想定内の地震で、安全系のための電気設備が破壊された。

——→ 外部電源喪失後、非常用ディーゼル発電機が作動したものの、約50分後に来た津波により、機器の水没や海水側設備の破壊等により全交流電源を喪失した。

3.2 1号機の地震直後の推移

3月11日

- 14:46 地震発生、外部電源喪失(地震で受電設備損傷)
- 14:47 スクラム(制御棒挿入による原子炉緊急停止)成功。非常用DG 起動
- 14:52 非常用復水器が自動起動
- 15:03 非常用復水器を手動停止(温度低下制限(毎時55度)維持のため)。
※その後、15:10～15:30、再起動させた模様。
- 15:41 津波により全交流電源喪失(ステーションブラックアウト,SBO)
直流電源(バッテリー)も喪失(水没?)
- 18:10 作業員が手動で弁を開き、復水器起動
- 18:25 手動で弁閉じ、復水器停止 (この後も何度か再起動した可能性がある)
- 21:30 頃 手動で弁開け、復水器起動
- 21:51 原子炉建屋で放射線が検出され立入禁止。毎時290ミリシーベルト(朝日5/18他)
(この時点で燃料被覆管が破損し、気体状の放射能が放出された)

3月12日

- 01:00 格納容器圧力が6.0気圧となる。
- 01:48 復水器に給水するポンプの故障を確認。復水器停止(非常用復水器は約5時間、動した可能性があり、復水器の水が蒸発して停止した?)
(炉心は無冷却となり炉心損傷⇒燃料ペレット落下⇒圧力容器底部が過熱)
- 02:30 格納容器許容圧力(約4気圧)の2倍の8.4気圧となる。
- 02:45 圧力容器の圧力が70気圧から9.5気圧に低下。
同時に格納容器の圧力が9.5気圧に上がり設計圧を越えたあと、急に下がった。
(圧力容器底部(中性子計装管?)が破損して、格納容器と相通した?)
- 05:14 格納容器圧力が突如低下傾向。(格納容器の破損?)

1号機:

圧力容器内の圧力:約70気圧(通常)→約8気圧(3月12日午前2時45分)

格納容器内の圧力:約1気圧(通常)→約8.4気圧(3月12日午前2時45分)

地震発生後早い時機に原子炉(圧力容器)の水位が大きく低下したこと:
6時間で450cm水位低下(燃料棒露出)

[田中11a,11b]

1号機、津波前に重要設備損傷か 原子炉建屋で高線量蒸気

共同通信 2011/05/15 02:02

<http://www.47news.jp/CN/201105/CN2011051401000953.html>

1号機では、津波による電源喪失によって冷却ができなくなり、原子炉圧力容器から高濃度の放射性物質を含む蒸気が漏れたとされていたが、原子炉内の圧力が高まって配管などが破損したと仮定するには、あまりに短時間で建屋内に充満したことになる。東電関係者は「地震の揺れで圧力容器や配管に損傷があったかもしれない」と、津波より前に重要設備が被害を受けていた可能性を認めた。

第1原発の事故で東電と経済産業省原子力安全・保安院はこれまで、原子炉は揺れに耐えたが、想定外の大さの津波に襲われたことで電源が失われ、爆発事故に至ったとの見方を示していた。

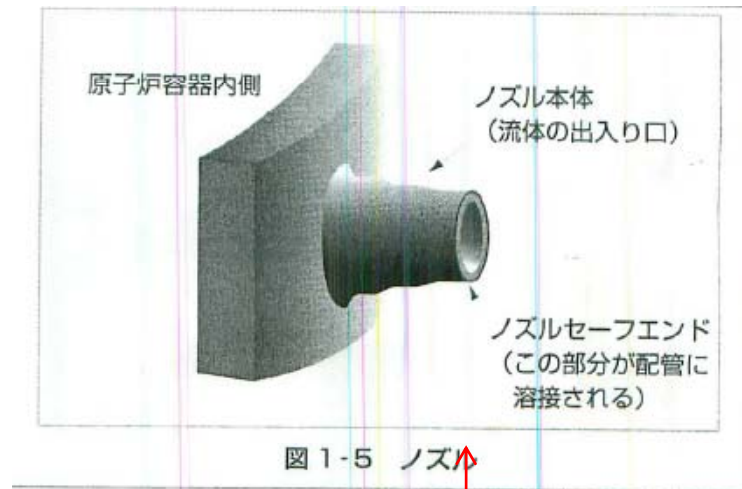
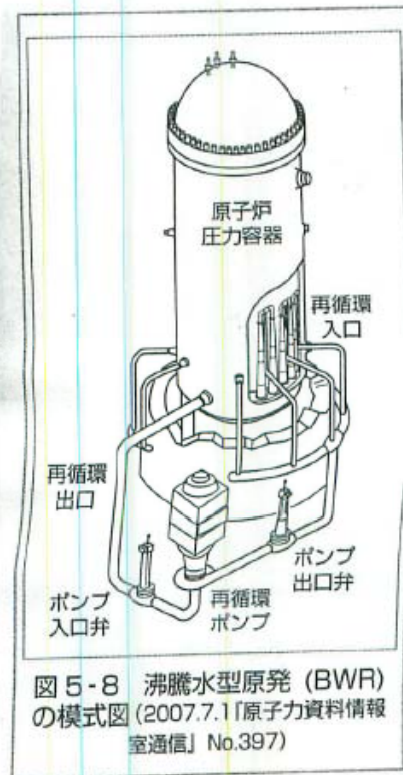
地震による重要設備への被害がなかったことを前提に、第1原発の事故後、各地の原発では予備電源確保や防波堤設置など津波対策を強化する動きが広がっているが、**原発の耐震指針についても再検討を迫られそう**だ。

関係者によると、**3月11日夜、1号機の状態を確認するため作業員が原子炉建屋に入ったところ、線量計のアラームが数秒で鳴った。建屋内には高線量の蒸気が充満していたとみられ、作業員は退避。線量計の数値から放射線量は毎時300ミリシーベルト程度**だったと推定される。

この時点ではまだ、格納容器の弁を開けて内部圧力を下げる「ベント」措置は取られていなかった。1号機の炉内では11日夜から水位が低下、東電は大量注水を続けたが水位は回復せず、燃料が露出してメルトダウン(全炉心溶融)につながったとみられる。

さらに炉心溶融により、燃料を覆う被覆管のジルコニウムという金属が水蒸気と化学反応して水素が発生、3月12日午後3時36分の原子炉建屋爆発の原因となった。

(巨大津波ではなく、地震により直接的に)
どこかの配管に破損が起こり、
そこから冷却材(水)が大量かつ継続的に噴出し、
原子炉の空焚きが起きた可能性。
経過時間の長さから小口径配管の損傷



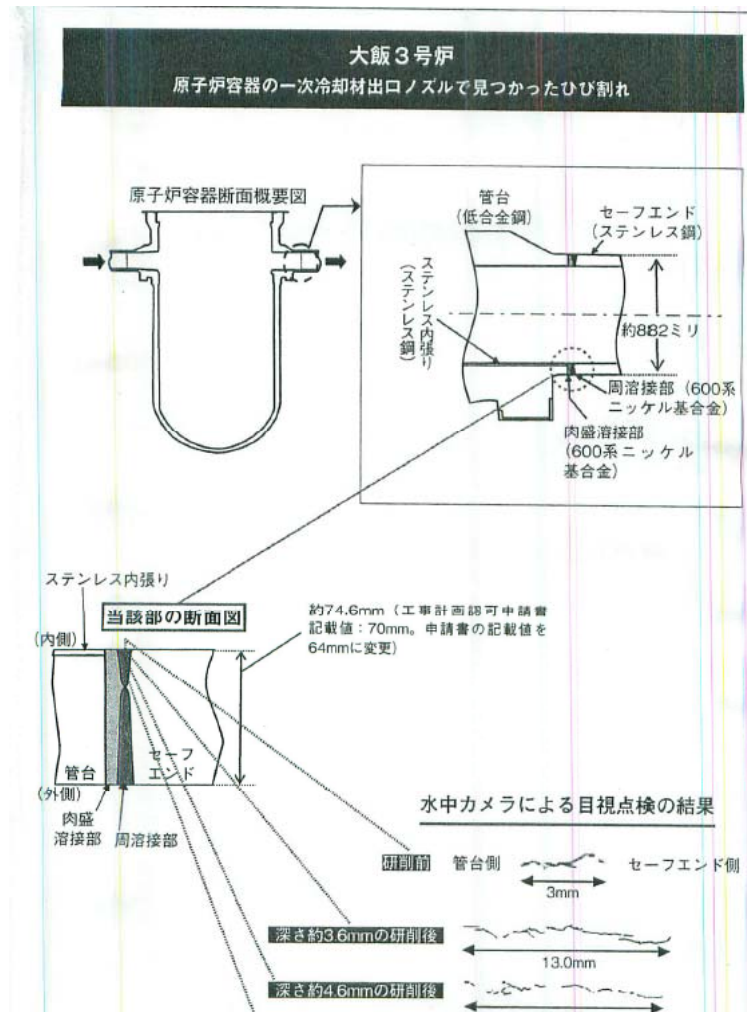
相対的に脆弱な部分は配管の溶接部ではないか？

[原発老朽08]、pp.55-56,p.90, p.93,pp.114-115.

溶接部分には熱応力が残存し、異種の金属

原発老朽化問題研究会編

「まるで原発などないかのように一地震列島、原発の真実」、
現代書館、2008年。



原発老朽化問題研究会編
「まるで原発などないかのように一地震列島、原発の真実」、
現代書館、2008年。

3.4 3号機の地震直後の推移

3月13日

02:42 HPCI (高圧注入系) 停止 (バッテリー切れによる模様)。

07 時頃 炉心露出

09 時頃 炉心損傷 (解析による推定) ⇒ 燃料崩落開始

格納容器圧力6 気圧 (制限値オーバー)

09:10 安全弁開放、およびベント開始 (サブプレッションチェンバーからのベント)

10 時頃 淡水注入 (約7時間冷却なし)

12 時頃 海水注入

3月14日

06:10 格納容器ドライウェル5 気圧

11:01 水素爆発/5F損傷 (ベント後26 時間)

3号機には、蒸気駆動タービンで作動する注水系が、RCIC (原子炉隔離時冷却系) と、HPCI (高圧注入系) の2 系統あり、全交流電源喪失 (ステーションブラックアウト) の後も、約1.5 日、作動しました。3号機ではバッテリーが水没しなかった模様で、そのため、これらの機器の制御が可能だった？。

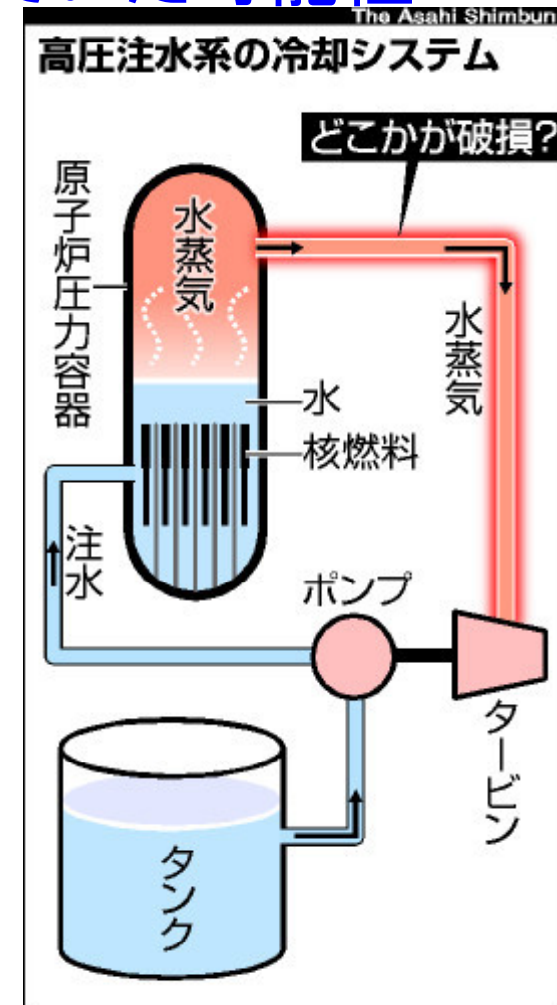
3号機のECCS 配管が地震で破損していた可能性

[朝日110525]

3月12日に、3号機・HPCI(高圧注水系)の作動時に、それまで75気圧ほどだった原子炉压力容器内の圧力が、6時間程度で10気圧程度まで下がった。東電は水蒸気を送る配管のどこかに損傷があり圧力が下がったと仮定して解析した。津波の到達前に地震で壊れていた可能性がある。

下のデータを見ると、確かに、HPCI 配管の弁を開いて作動開始したと同時に、原子炉圧力は75気圧からゆっくりと10気圧へ低下し、格納容器圧力も4気圧から3気圧へ下がっています。その後、HPCIを停止した時(配管の弁を閉鎖した時)に、原子炉圧力が75気圧まで回復している点からも、配管破断や弁からの蒸気漏れを疑う理由はある。(しかし、配管破断等なら勝手に塞がることはありえないので、HPCI作動後に、原子炉圧力は1気圧になるまで低下するはずです。また、急激な圧力低下にも係わらず、水位変動が見られないことから、計器の故障の可能性もある。)さらに、実際に配管破断等があったとしても、HPCIはある程度、作動していた模様で、その後の燃料損傷に至るシナリオには余り影響はなかった？

想定内の揺れで、ECCS(緊急炉心冷却装置)のような重要なシステムが破損したのであれば、他の原子炉にも影響する重大な問題。



冷却系破損の可能性 耐震設計見直しにも影響か

産経新聞 2011/05/25 20:12更新

<http://www.iza.ne.jp/news/newsarticle/event/disaster/508666/>

東京電力福島第1原発で、津波ではなく地震の揺れによって破損の可能性が浮上した。緊急時の炉心冷却系の配管は、最も高レベルの耐震性が求められている重要機器の一つだ。東電はこれまで「津波到達まで主要機器に破断など異常はなく、地震の揺れによる損傷はない」との見解を示してきた。しかし、実際に地震で重要配管が傷んだとすれば、全国の原発の耐震設計の見直しにも影響する事態となりかねない。

揺れは0.2～0.3秒の比較的短い周期で強く、燃料集合体が揺れやすい周期とほぼ同じだった。炉心冷却系の配管損傷の疑いが浮上した3号機では、周期0.31秒で1460ガルという最大値を記録している。

東電は、解析結果について「計測機器の故障も考えられる」としているが、同原発1号機では、地震発生当夜に原子炉建屋内で極めて高い放射線が計測され、揺れによる機器や配管の破損が疑われた。

こうした経緯から、大阪大の宮崎慶次名誉教授(原子力工学)は「(配管の)損傷は地震によるものと推測できる。老朽化していた可能性もあるが、他原発の安全確保のためにも、本当に地震による損傷なのかを徹底的に検証する必要がある」と話す。東日本大震災でも福島第1原発に関して、経産省や東電は「安全性に十分な余裕があるので、想定を上回っても問題ない」と強調してきた。

京都大原子炉実験所の小出裕章助教(原子核工学)は「東電は計器の信頼性の問題を挙げるが、これまでも都合の悪いデータはそういった説明をしており、信用できない。実際に揺れによって損傷していれば、日本中の原発が当然問題となる。耐震指針の見直しが必要で、影響は計り知れない」としている

共振または共鳴

振動体に周期的に変動する外力が加わる場合、振動体の固有振動数と外力の振動数が一致すると、振動体の振幅が大きくなり、破壊につながる。

ばね定数 k 、質量 m の粒子による単振動に、強さが周期的に変化する強制力が加わる場合の運動方程式

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx + m f_0 \cos pt$$

一般解(p と ω が等しくない場合)

$$x = A \cos(\omega t + \theta_0) + \left(\frac{f_0}{\omega^2 - p^2} \right) \cos pt$$

単振動

強制振動

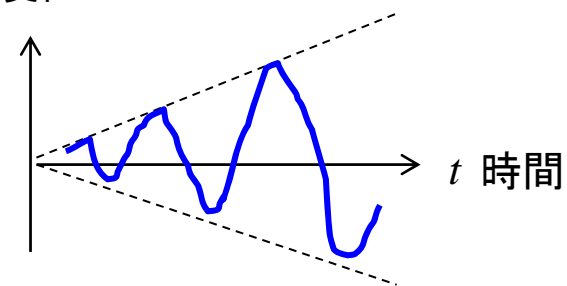
一般解(p と ω が等しい場合)

$$x = \lim_{p \rightarrow \omega} \left(\frac{f_0}{\omega + p} \right) \frac{\sin\left(\frac{\omega - p}{2} t\right)}{\left(\frac{\omega - p}{2}\right)} \cdot t \cdot \sin\left(\frac{\omega + p}{2} t\right)$$

$$= \left(\frac{f_0}{2\omega} \right) t \cdot \sin(\omega t)$$

時間とともに
拡大する振幅

つり合いから
の変位 x



初代タコマナローズ橋は1940年7月1日に開通した有料道路橋であり、全長1600m、吊径間853m、幅員11.9mを有していた。当時の最新理論に基づいて設計されており、架橋当時は世界で第3位の長さだった。



当初、余裕を取って幅広に設計されるはずであったが、コストの制約から自動車の対面通行に一応支障ない程度の、比較的狭い幅員で建設された。モイセイフはコストと構造合理化の両面を考慮し、橋本体について、橋桁の寸法をごく薄くした野心的な軽量設計を採用した。当時最新の架橋理論によれば、これでも必要な強度は確保でき、強風にも耐えられると判断されていたが、専門家の一部にはこれを不安視する声もあった。

果たして建設中から、タコマナローズ橋は風のある日に大きく揺れ、たわみ、ねじれることを露呈した。橋桁は上下方向に揺れ、路面はあるところでは高くなり、あるところは低くなるのが、橋上にいてもはっきりわかるほどで、工事関係者を気味悪がらせた。

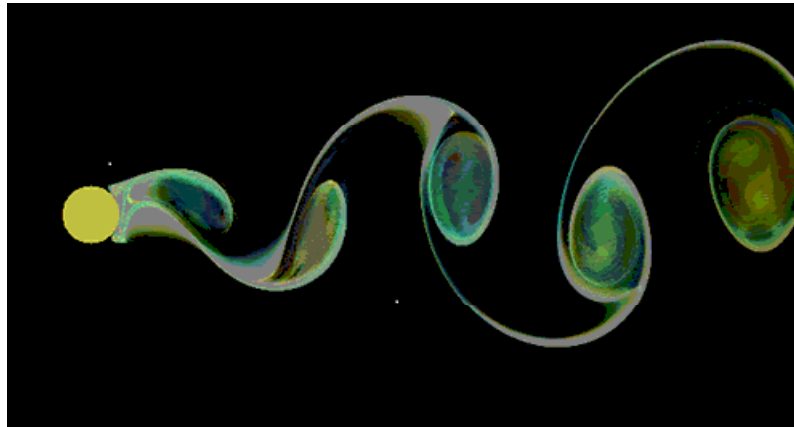


1940年11月7日、早朝より風による振動が続いていたが、風速が19m/sに達した途端、それまでの上下方向の振動から大きくねじれる揺れに変わった。このような揺れが1時間ほど続いた後、主径間の4分の1点で桁が座屈し、橋床が落下した。この直後に最終的な崩壊が始まり、結果として主径間では橋桁がケーブルからちぎれて崩落した。このため塔は側径間側に傾き、側径間は10メートルあまり下方にたわんだ。

カルマン渦と温度棒の共振

— 1995年高速増殖炉もんじゅの事故—

[小林96]



運転停止後の原子炉冷却には {外部電源、モーター、配管類}のセットが必要

- たとえ外部電源が喪失しなくても、モーターが稼働しても、地震動により、配管類が直接的に損傷したら、高濃度放射能が漏れるだけでなく、原子炉の冷却は不可能！

4. 地震予知神話と地震前兆幻想

地震の物理入門

(ガルは加速度の単位 $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$ 、重力加速度 = 980ガル)

地震の規模とエネルギー

1) リヒター式マグニチュード (M_s) (1970年代まで、地震の規模を見積もるための標準的な指標)

マグニチュード M が 1.0 大きくなると、地震が解放するエネルギー E は約 30 倍大きくなる。
 $E = 10^{4.9+1.5M}$

$$M = 9.0 \rightarrow E = 1.995 \times 10^{18} \text{ J}$$

東日本大震災の地震エネルギー

$$\Leftrightarrow 480 \text{ Mt TNT} = 2.0 \times 10^{18} \text{ J}$$

広島原爆 32,000 発分, 史上最大核兵器 50 Mt TNT の 10 発分

1 Mt TNT = 1 メガトン (百万トン) の TNT 火薬の爆発エネルギーに相当するエネルギーの大きさ

2) 地震モーメント (M_o); 1960年代以降、理論地震学、計算科学的研究において使用開始。

地震モーメント = (断層付近の剛性率) \times (断層の面積) \times (平均すべり量)

単位: $\text{dyn} \cdot \text{cm}$, $\text{N} \cdot \text{m}$

「地震予知は困難だ」というのが世界の地震学の常識？

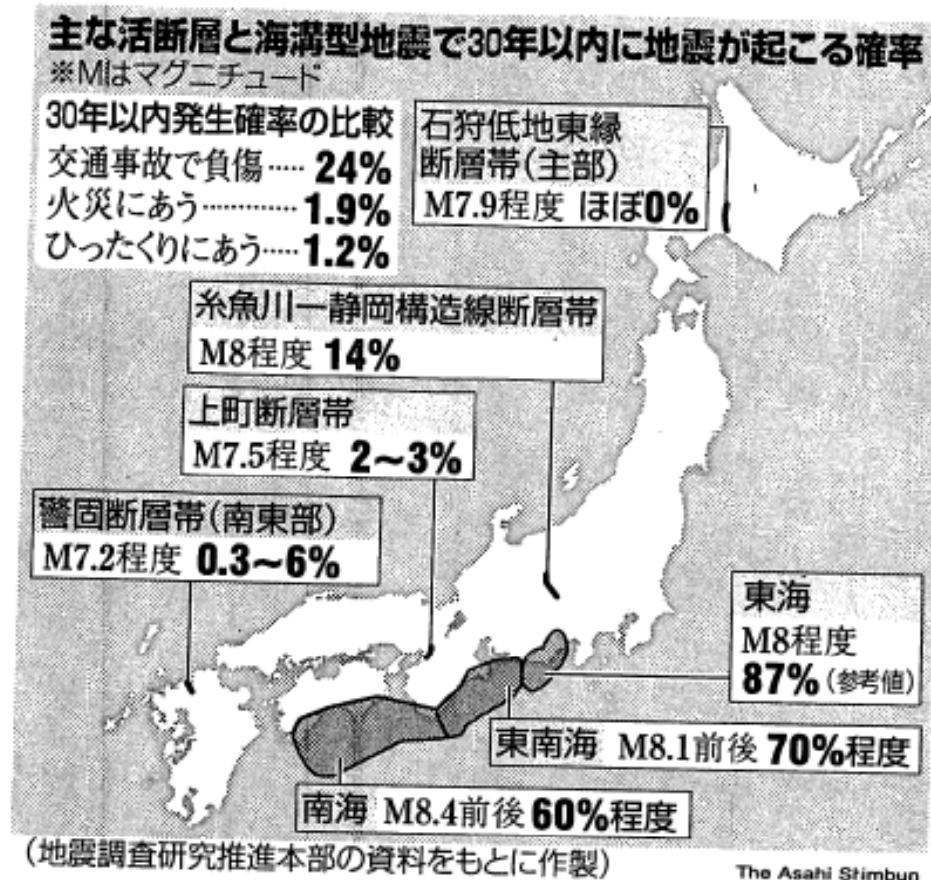
R. ゲラー(東大理) 経験主義的地震予知は暗礁に乗り上げている；
…できもしない地震予知にうつつをぬかす一方で、東日本で起きた震災に対してほとんど何もできなかったという事実を、(日本の)地震学者は重く受け止めねばなるまい。

ナマズ、地震雲、電磁波、…と、この国では地震の前兆現象にこと欠かない。
だが、予知研究を半世紀近くやってきて、前兆だと科学的に裏付けられたものは皆無。
すべてが「前兆幻想」というのが私の結論だ。
地震予知を信じ、それを期待する心理の背景には、「地震は同じ場所で、周期的に繰り返す」という思い込みがある。しかし、全く同一の地震断層が一定間隔で同じように「滑る」という考え方は明らかに間違っている。[Geller11b]

大木聖子氏、瀬瀬一起氏(東大地震研)：

「地震予知の科学」[地震予知検07]がいうように科学的根拠があるものだとしたら、
筆者も含めた地震の研究者コミュニティにとってさらに重い意味がある。
東北地方太平洋沖地震は、その場所も規模も全く想定できていなかったのである。
[大木・瀬瀬11]

地震の発生確率は分かるか？



朝日新聞2011.5.15

マグニチュード9クラスの地震はどこでも起こりうる？

R. ゲラー(東大理)[Geller11b]

- ・大地震は、「東海」「東南海」など区切られたエリアで周期的に起こるといふ、思い込みをすてよ。
- ・ありもしない「前兆」幻想の呪縛から逃れるべきである。
- ・日本において、大地震はいつどこで起きてもおかしくない。
- ・「想定外」の地震など、ないのである。
- ・にもかかわらず、差し迫った機器を「東海」に想定し、予知を行おうとするデメリットは、「国費の無駄使い」に留まらない。

大木聖子氏、瀬瀬一起氏(東大地震研):提供される情報の不確定性

5月8日NHK「日曜討論」において、仙谷由人官房副長官が「現時点では30年以内に大きな地震が起きる確率が低いところがほとんどだ。特に、日本海側などの原発はまず心配ないという結論が科学的にも出ており」と発言されていて驚いた。科学の世界から発信される情報は、ものごとの判断結果ではない。そもそも未解明の事象を解明する営みこそが科学の役割であって、その科学の世界から提供される不完全な情報を参考にして、ものごとを判断するのが政治の役割であろう。そしてそこに民意が反映されるというのが民主主義のあり方だと、私は理解している。「まず心配ないという結論が科学的にも出て」いるというのは、どう考えてみてもおかしい。官房副長官のこの発言は、科学の世界が「目安」として出した情報が、社旗に出た瞬間に「科学的根拠」と名を変えることを表している。

[大木・瀬瀬11] pp.199-200

今後想定すべき、地震および津波対策について

[大木・瀨瀨11]、p. 121 :

全国地震活動予測地図でも既設原子力発電所の耐震安全性評価でも、貞観の地震(西暦869年)が想定されていれば大丈夫だったとはとてもいうことは出来ない。

[大木・瀨瀨11]、pp135-136 :

…今後どのくらいの津波や揺れに備えたらよいか…

東北地方太平洋沖地震を踏まえた新たな地震発生 of 長期評価方法の策定にはかなりの時間がかかることが予想されるので、それまでは当面、既往最大の津波や揺れに備えるように検討してほしい。

どんな既往最大に備えるかは、検討対象の重要度による。

検討対象が真に重要ならば、日本全体の既往最大、つまり津波なら東北地方太平洋沖地震の最大津波に備えてもらう。

さらに、ほんのわずかな想定外も許されないという状況なら、世界中の既往最大、つまり津波ならスマトラ島沖地震の最大津波に備えてもらうことになるであろう。

日本の原発の検討対象としての重要度はどう見るべきか？

5. まとめ

- ・本報告では、他の技術システムとは異質の危険性をもつ巨大複合技術システムとして原発を位置づけた。
- ・原発システムの地震に対する脆弱性がどのような理由で、主としてどこの部分に現われる可能性が高いかについて、過去の関連する論考と物理学的考察と技術的構造も考慮して議論した。

- ・老朽化と地震動のダブルパンチを(同時に)受ける可能性
- ・耐震審査指針の再検討、
- ・改訂された耐震審査指針による運転中及び停止中の既設原発を仕分けすべきである: 廃炉か、修理すべきか、当面運転許可か。

今後、想定すべき地震や津波対策については、原発の重要性をどう考えるかにより、少なくとも日本国内で原発が設置可能かどうかの判断の分かれ目となる。

引用・参考文献

[武谷76] 武谷三男編「原子力発電」、岩波新書、1976年

[柴田86] 柴田 碧 他、「原子力発電の地震時危険度の確率論的評価」、原子力学会誌、
Vol.28, No. 1(1986), 2-40.

[ルイス86] E. E. ルイス、「原子炉の安全工学(下)」、現代工学社、1986年。

[藤井97] 藤井陽一郎編「地震と原子力発電所」新日本出版社、1997年。有意義な論考多数。

[船瀬07] 船瀬俊介、「巨大地震が原発を襲う」、地湧社、2007年、

[原発老朽05] 原発老朽化問題研究会編「老朽化する原発—技術を問う」、原子力資料室、2005年。

[原発老朽08] 原発老朽化問題研究会編「まるで原発などないかのように—地震列島、原発の真実」、
現代書館、2008年。有意義な論考多数。

[新潟日報09] 新潟日報社特別取材班「原発と地震—柏崎刈羽「震度7」の警告」講談社、2009年。

[広瀬10] 広瀬 隆、「原子炉時限爆弾—大地震におびえる日本列島」ダイヤモンド社、2010年。

[田中11a] 田中三彦、「世界」2011年、5月号、p.134。(福島第一原発4号炉設計者)

「福島原発事故はけっして想定外ではない—議論されない原発中枢部の耐震脆弱性」

[田中11b] 田中三彦「科学」2011年、5月号、p.420; 福島第一原発の「耐震脆弱性」を注視する

[桜井11] 桜井 淳、「安全を根底から吹き飛ばした福島原発の爆風」、中央公論、2011年5月号、
pp.88-95.

[wikileaks110315]

<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/wikileaks/8384059/Japan-earthquake-Japan-warned-over-nuclear-plants-WikiLeaks-cables-show.html> 大沼安史「世界が見た福島原発災害」緑風出版、2011年に引用あり。

[福和11] 名大教授、福和伸夫氏(耐震工学、地域防災)。朝日新聞、2011. 4.14

[時政96] 時政勝行、「材料の破壊事故に学ぶ—知っておきたい基礎知識—」

www.waka.kindai.ac.jp/tea/tokimasa/kouza.pdf

[小林96] 小林英男「高速増殖炉もんじゅの2次系ナトリウム漏洩」、

www.sozogaku.com/fkd/hf/HB0011005.pdf

- [Feyn88] R. P. ファインマン「困ります、ファインマンさん」、岩波書店、1988年。Pp. 147-299.
- [柳田11] 柳田邦男、「『想定外』か？－問われる日本人の想像力」、文芸春秋、2011年、5月号、pp.126-130.
- [読売110319] 津波は想定以上、揺れは想定内...福島原発、2011年3月19日07時50分 読売新聞
<http://www.yomiuri.co.jp/science/news/20110319-OYT1T00154.htm>
- [共同110515] 1号機、津波前に重要設備損傷か 原子炉建屋で高線量蒸気
共同通信 2011/05/15 02:02
<http://www.47news.jp/CN/201105/CN2011051401000953.html>
- [朝日110525] 3号機の冷却配管、地震で破損か 津波前に
朝日新聞2011年5月25日
<http://www.asahi.com/special/10005/TKY201105240733.html>
- [産経110525] 冷却系破損の可能性 耐震設計見直しにも影響？
産経新聞 2011年5月25日(水)20時9分配信
<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20110525-00000604-san-soci>
- [時事110525] 圧力容器、地震当日破損か＝配管部に蒸気漏れの可能性―福島第1原発1号機・東電
時事通信 2011年5月25日(水)22時9分配信
<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20110525-00000190-jij-soci>
- [朝日産経北海道110531] 女川原発の非常用発電機故障は地震の揺れ遠因か；
朝日新聞、産経新聞、北海道新聞2011年5月31日
<http://www.hokkaido-np.co.jp/cont/nuclear0521-31/132595.html>
- [日経110602] 原子炉で「何が」残る謎 地震後100時間、炉心溶融3基で次々
津波前に損傷はなかったのか？ 耐震性、万全とは言えず
- [西日本110526] 原発安全めぐり攻防 臨時県議会、西日本新聞朝刊 2011年5月26日
<http://www.nishinippon.co.jp/nnp/item/244050>

[酒井11] 酒井達雄「よくわかる最新 金属疲労の基本と仕組み」、秀和システム、2011年。
[菊池和田04] 菊池正紀、和田義孝「よくわかる材料力学の基本」、秀和システム、2007年。

[Geller11a] ロバート・ゲラー、世界、2011年、7月号、75ページ。
(あえて「想定」しなかった東電と政府当局)

同氏による関連する論文:

Shake-up for earthquake prediction, NATURE, vol.352, 25 July 1991, p.275

Unpredictable earthquake, NATURE, vol.353, 17 Oct 1991, p.611

Shake-up time for Japanese seismology, NATURE, vol.472, 28 April 2011, p.407

[Geller11b] ロバート・ゲラー、中央公論、2011年、7月号、104ページ。

(地震予知は不可能だ「想定外」という三文芝居)

[大木・瀬瀬11] 大木聖子、瀬瀬一起「超巨大地震に迫る」、NHK出版新書、2011年

[地震予知検07] 地震予知検討委員会編「地震予知の科学」

、東京大学出版会、2007年。

[耐震設計審査指針1978] 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針、1978年。

[耐震設計審査指針2006] 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針、2006年。

<http://www.nsc.go.jp/shinsashishin/pdf/1/si004.pdf>

[耐震設計審査指針改定] http://www.nsc.go.jp/taishinkojo/pdf/all_pamph.pdf