

平成29年（ネ）第5558号 福島第一原発事故損害賠償請求控訴事件
被控訴人兼控訴人（一審原告） 遠藤 行雄 外
控訴人兼被控訴人（一審被告） 東京電力ホールディングス株式会社
被控訴人（一審被告） 国

第15準備書面

（構造物・系統・機器の損傷確率（フラジリティ）は浸水高に対してクリフエッジ効果を示す）

～一審被告国の令和元年6月11日第8準備書面中、「第3 一審原告ら第2及び第6準備書面で述べられた確率論的安全評価に関する主張に対する反論」に対する反論～

2019（令和元）年8月8日

東京高等裁判所第22民事部ロろ係 御中

一審原告ら訴訟代理人弁護士 福 武 公 子

同 滝 沢 信

同 内 藤 潤

同 藤 岡 拓 郎
外

第1 初めに ～ 一審被告国の主張の要旨とそれへの反論の要旨

1 一審被告国の主張の要旨

一審被告国は、令和元年6月11日第8準備書面中、「第3 一審原告ら第2及び第6準備書面で述べられた確率論的安全評価に関する主張に対する反論」（18～29頁）において、次のように主張する。

- ① 確率論的津波ハザード解析は、これを一構成要素とする津波P S Aの開発に資することはもとより、決定論的津波評価及びこれに基づく工学的判断と、確率論的津波ハザード解析結果と対照することにより、決定論に基づく判断の妥当性を確認し、ひいては従来の判断の見直しの要否に関する参考資料を得ることに資するという重要な意義を有しているが、一審原告らはその意義を正しく評価できていない。
- ② 決定論に基づく規制上想定すべきことが要求される施設の設計上の想定津波と、当時の規制要求を超えた想定外の津波との区別をしていない。
- ③ 設計上の想定津波であるか想定外の津波であるかにより対策の要否や内容等に違いが生じるという工学的な考え方を理解していない
- ④ （「J N E Sは想定津波水位（5.7 m）を超える津波の到来頻度を約300年に1回と報告しており、それは東電計算の5000年に1回という計算の10倍以上となっていること」に対して）J N E Sが評価地点を東電計算と同じように防波堤内にした計算では、2000年に1回となっている。10倍以上の差異などありはしない。

2 一審原告らの反論の要旨は下記のとおりである。

① に対して

津波P S A（Probabilistic Safety Assessment）は、**①**「確率論的津波ハザード解析」、**②**「S S C（Structure. System. Component、構造物・系統・機器）の機能損傷確率（フラジリティ（fragility）、脆弱性）」、**③**「事故シナシエンス評価」の3つの項目を組み込んで積分を求めて作るものである。「決定論的津波評価及びこれに基づく工学的判断」と対照するのは、**①**「確率論的津波ハザード解析」ではなく、**①②③**のすべてを組み込んで積分を求めた

結果である。なぜなら、⑤「構造物・系統・機器のフラジリティ」については、非常用ディーゼル発電機や補機冷却用海水ポンプなどの重要な安全機器は浸水高さが一定値を超えると直ちに機能停止となるので、これらの機器の浸水高に対するフラジリティ曲線はステップ状になっており、「クリフエッジ効果」と呼ばれている、⑥の「事故シーケンス評価」については、全電源が喪失すると、炉停止系、残留熱除去系が働かず、更に、非常用炉心冷却系、放射能除去系等も作動せず、格納容器内圧が上昇して破損に至ることが分かっているという、原子力安全に関わる特異な性質を持っているからである。

決定論的安全評価は「規制のルール」であり、リスクに対して対策を立てることを命ずるものである。これに対して、確率論的安全評価は、「知識ベース」、つまり、知識を集約する「お勉強」に過ぎず、対策を立てることを命じないものである。④「の確率論的津波ハザード解析」や「計算上の津波高さ」には極めて大きな誤差が存在することを考慮すると、根拠をもって計算された津波高が、原子炉建屋とタービン建屋の敷地高を超えることとなった場合には、決定論的に考えて、⑤と⑥の特性を考慮した津波対策を行うことが原子力安全のために不可欠となるからである。

⑤と⑥の特性を考えずに、④のみを考えて、それを「確率論で評価する」ということは、対策をとらなくてよいということであるから、実質、「何も評価しない」ということになるのである。

② に対して

「施設の設計上の想定津波」の計算の根拠が問題である。2006年に改定された新耐震設計審査指針によって、基準地震動の策定にあたっては、12万6000年前までの活断層を考慮しなければならないとされた。津波は「地震随件事象」である。津波は地震よりもさらに発生頻度は低く、津波の痕跡も残りにくく、歴史記録もせいぜい500年程度しかない。それにも関わらず、土木学会の津波評価技術では判明している既往津波を基にしてパラメータスタディを行い、津波高を出したにすぎない。しかも、土木学会の津波評価技術は規制側がエンドースした「民間基準」ではない（一審原告第1審第14準備書面27～33頁）。したがって、津波評価技術によって計算された数値は「基準津波」として評価されるべきものではなかった。それな

のに、それを「想定津波」とし、それ以外を「想定外の津波」としてしまったところに決定的な誤りがある。

③ に対して

SSC（構造物・系統・機器）、とりわけ非常用電源設備と非常用炉心冷却系が、敷地高さを超える津波の襲来により水に浸かれば直ちに機能喪失するという「クリフエッジ効果」があることは分かっていたのであるから、「計算された津波水位の不確実性」を考慮して、現実に被災して対策を立てたフランスやインドの実例に習って、防潮堤を設置して水が敷地に入らないようにしたり、建屋や設備の被水・防水・耐水策を講じたり、予備の非常用電源を高台に設置したりする対策を講ずるべきであった。

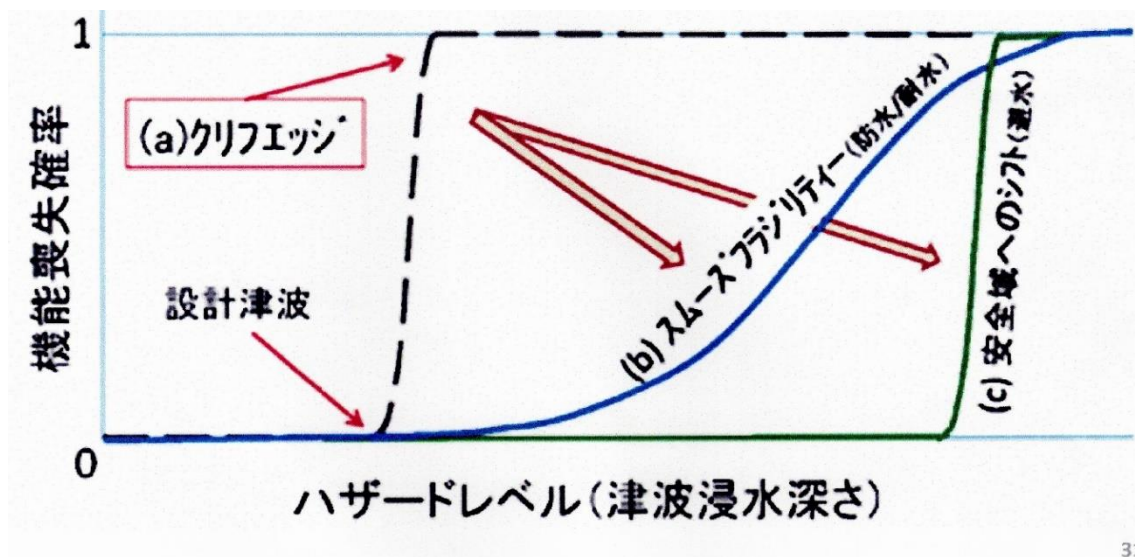
④ に対して

JNES（日本原子力安全基盤機構）は敷地南側を評価点として計算している。津波は、防波堤の外部である敷地南側からも遡上するのであるから、敷地南側を評価点として計算したJNESの設定が間違っていたわけではない。なお、同じ防波堤の中で評価しても、JNESの計算（2000年に1回）は東電の計算（5000年に1回）の2.5倍である。これは確率論的津波ハザード解析にとって無視できない大きな差異である。

以下、①②③について詳述する。なお、すでに一審原告準備書面で詳述している場合には、その箇所を示すだけにとどめ、再述はしない。

第2 総論～福島第一原発においてはSSC（構造物・系統・機器）の浸水深さに対する機能喪失確率は、「クリフエッジ効果」を示すことが判明していた

1 「クリフエッジ効果」の意味



31

(出典：「原子力発電所の安全に対する地震工学の課題」 亀田弘行
日本地震工学会誌、2011.10 東日本大震災特集号)

(1) 上図は、横軸をハザードレベル（津波浸水深さ）、縦軸を機能喪失確率とすると、フラジリティカーブが、ハザードレベルがある1点を越えた途端、急激に立ち上がる様子を示したものである。

クリフエッジ効果とは、「外力等のパラメータがある閾値を超えることによってプラントの状態が急峻に変化し、厳しい異常な状態に進展すること、あるいはそのようなプラントの特性」をいう。

日本原子力学会事故調・最終報告書の用語集には、「東京電力福島第一原子力発電所事故での設計上の想定を大きく上回る津波のように、ある大きさ以上の負荷が加わったときに、共通の要因によって安全機能の広範な喪失が同時に生じて、致命的な状態になるような状況」と記載されている。

(2) なお、クリフエッジ効果については、1999年には、国際原子力機関（IAEA）が定めた原子力利用における基本安全原則（SF-1「Fundamental Safety Principle」）に基づく「原子力発電所基本安全原則」で言及されていた。

INSAG-12（Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev.1）においては、原子力発電所の設計要件として、設計条件とすべき外的事象を求めることを要求しており、炉心及び原子炉容器内にある内部機器は、設計基準の外的事象に対して想定される静的及び動的荷重に耐えら

れるよう設計・設置されることを求められているところ、わずかの偏差(ずれ)が極端に異常なプラントの挙動をもたらす損傷を引き起こす「クリフエッジ効果」を考慮してシステム設計を行うことが示されているのである。

決して、2011年の福島第一原発事故が起きたから判明した概念ではない。

2 福島第一原発の安全上重要な機器設置等が、浸水深さに対して「クリフエッジ効果」となる状況にあった理由は、プラント全体の配置位置や安全上重要な機器の設置位置等にある

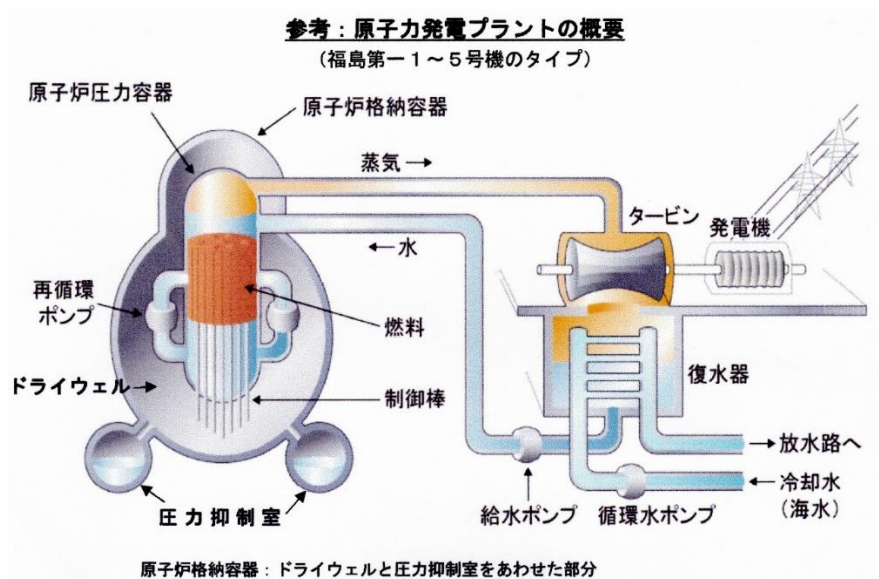
(1) はじめに

福島第一原発において、津波が建物敷地の高さを超えて建物内に浸入した場合は、全電源喪失(SBO, Station Black Out)を引き起こす等、脆弱性に大きな問題を抱えていたことは、本件原発事故前において広く知られていた。

以下、まず簡単に、原子力発電の仕組み、タービン建屋内の非常用ディーゼル発電機・配電盤等の位置関係、主な冷却設備、施設の配置について述べる。

(2) 原子力発電の仕組み

原子炉压力容器の中にある核燃料が核分裂を起こすことによって発生した膨大なエネルギーは軽水(普通の水)を蒸気に変える。蒸気はタービンを回して発電した後、復水器において海水によって冷却されて水になり、压力容器に戻る。蒸気を冷やす海水は循環水ポンプによって海から引き込まれ、温水となって海に返される。この循環水ポンプは、運転時にはプラントで発電された電気によって動かされる。



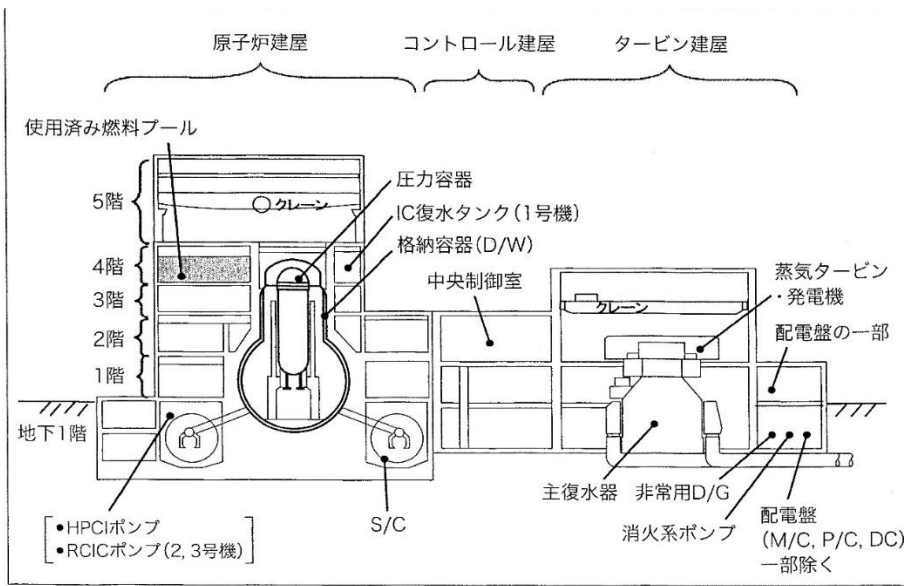
(出典：福島原子力事故調査報告書・平成24年6月20日・東京電力株式会社)

(3) タービン建屋内の非常用ディーゼル発電機・配電盤等の位置関係

原子炉建屋には、だるまのような形状の格納容器 (D/W、ドライウエル) があり、圧力容器を内蔵している。格納容器はパイプで圧力抑制室 (S/C、サプレッション・チェンバー) と結ばれている。

タービン建屋には、発電機と復水器が置かれている。非常用 D/G (ディーゼル発電機) は地下1階に置かれ、配電盤は地下1階と地上1階に分散して置かれている。この位置関係が、津波に対する脆弱性の大きな理由となっていた。

【一審原告1審第25準備書面19～29頁と別紙1～3、第31準備書面4～10頁】

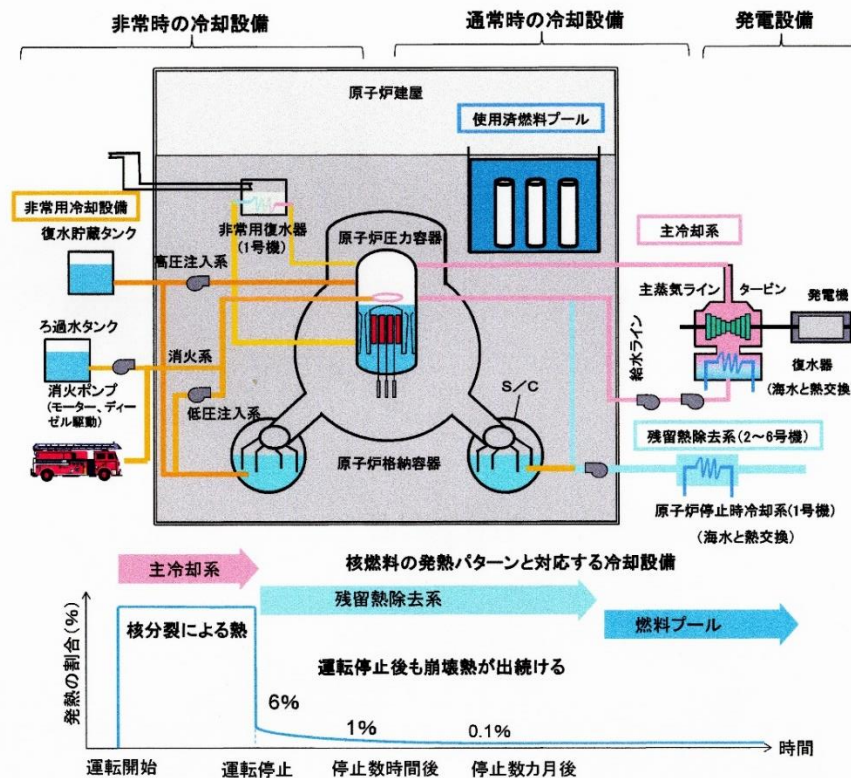


原子炉建屋・タービン建屋断面図

(出典：「福島原発で何が起こったか」政府事故調技術解説)

(4) 正常に停止している場合の冷却系と非常事態における冷却系

原子力発電所の主な冷却設備と核燃料の発熱パターン



ア 正常停止時の冷却系

核燃料棒の間に制御棒が挿入されて原子炉が停止すると、核分裂反応は収束し、タービンは原子炉から切り離される。運転停止後にも、核燃料棒内に溜った核分裂生成物から崩壊熱が発生するので、圧力容器から引き出された蒸気/水は配管を通過して残留熱除去系(2～6号機。1号機では原子炉停止時冷却系)に行き、補助海水ポンプによって海から引き込まれる海水によって冷却される。熱は最終的には海に捨てられる(最終ヒートシンク)。補助海水ポンプを稼働させる電気はプラントの外部から引き入れられる電気によってもたらされる。外部電源が供給されない場合は、非常用ディーゼル発電機が起動して電気を供給する。

イ 冷却に異常が発生した場合の冷却系

配管が破断したり残留熱(崩壊熱)除去ができなくなったりして圧力容器内の水がなくなって「燃料の空焚き」が起きる恐れがある等の非常時には、高圧注水系・低圧注水系などの非常用冷却設備が働く。自然循環で働く設備や蒸気圧で働く設備もあるが、交流電気が必要な設備もある。モニターやバルブ操作に直流電源を必要とする設備もある。

ウ 本件事故時の経過

原子炉は地震を感知して緊急停止し、外部からの送電・受電設備が地震により損傷して外部電源喪失となったため非常用ディーゼル発電機が起動したが、津波により海水ポンプが水没し、更に非常用ディーゼル発電機と配電盤が水没して全交流電源喪失となった。非常用冷却設備の一部が稼働したが、結局それも停止して、炉心溶融と圧力容器破損が起こり、その後、格納容器が機能を喪失して、放射性物質が大量に放出されたのである。

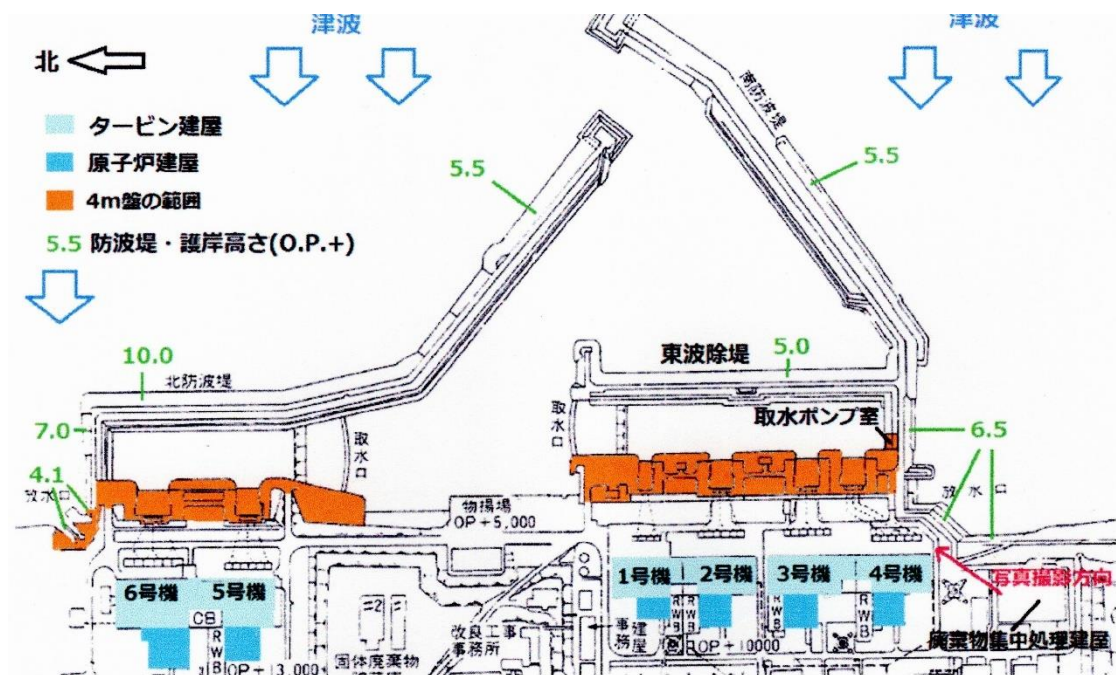
(5) 施設の配置

福島第一原発の6基の原子炉は、東にある海に面して設置されている。図では、上が東、左が北、右が南である。

福島第一原発では、海拔10m(OP+10m)の地盤上に、南から4号機、3号機、2号機、1号機が並び、OP+13mの地盤上に5号機、6号機が並んでいる。各号機では、山側に原子炉建屋(濃い青色の小さな四角形の建物)、海側がタービン建屋(薄い水色の長方形の建物)が設置され、さらに海側(東側)

には OP+4 mの地盤があつて、そこに各号機ごとに海水を取り入れるためのポンプ（茶色の施設）が設置されている。

防波堤は、6号機の北側から北防波堤、4号機の東側から南防波堤が海に突き出している。4号機の南半分は防波堤の外である。



福島第一原子力発電所位置関係図（出典：国会事故調・参考資料）

第3 事故シーケンス評価 ～全電源喪失事象は炉心溶融に直結する

- 1 基礎的なイベントツリーでは「全電源喪失は直ちに炉心溶融につながる」とされている。

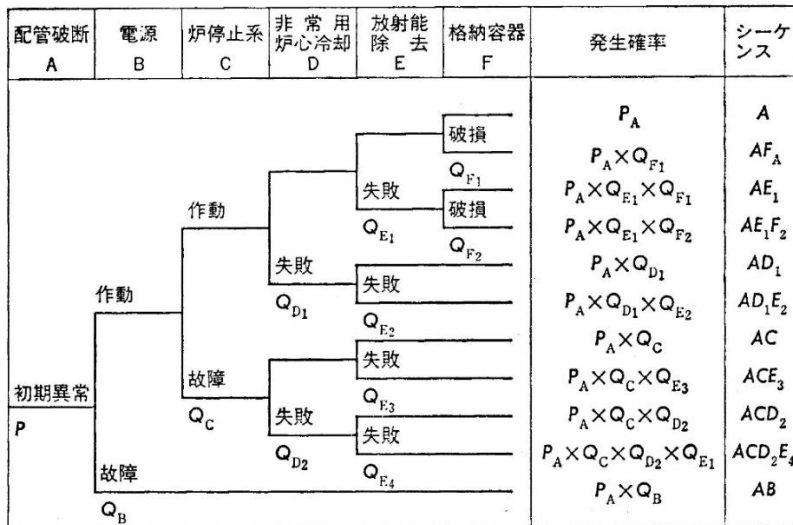


図 9.9 冷却材配管破断異常に関するイベントツリー

(出典：「原子力の安全性」 近藤駿介 同文書院)

図は、冷却材配管が何らかの原因で破断した場合、放射性物質が施設外部に放出される確率を、電源が作動するか否か、炉停止系が作動するか否か、非常用炉心冷却系が作動するか否か、放射能除去系が作動するか否か、格納容器が破損するか否か、というように、分岐ごとに「作動するか・故障するか」の確率を考慮して、発生確率を計算する、最も簡単なイベントツリーである。

電源が最初に分岐点となる理由は、炉停止系・非常用炉心冷却系が電気によって作動するからである。つまり、電源が喪失（故障）した場合には、他の分岐に関係なく、放射能流出事故に至る。これは、安全保護系を動かすのに電源がなくてはならないということを示しているのである。なお、実際の施設について事故シーケンス評価を行う場合には、非常用冷却装置などの各設備ごとに詳細な計算を行っている。

イベントツリーに示された「事故シーケンス」や「設計基準事故」「安全審査指針」については、原告第1審第6準備書面61～63頁に記載した。

2 全電源喪失事象の研究と対策

全交流電源喪失事象（SBO、Station Black Out）とは「外部交流電源がすべて喪失し、かつ、非常用ディーゼル発電機の全数の起動に失敗すること」であ

る。

アメリカは1975年に公表された WASH-1400 を受けて全交流電源喪失規則を制定した。日本でも原子力安全委員会の全交流電源喪失事象検討ワーキンググループが調査検討した。日本では、経験上交流電源は喪失しても短時間で復旧できるとされたが、なお「短時間で交流電源が復旧できず、全交流電源喪失が長時間に及ぶ場合には……. 炉心損傷等の重大な結果に至る可能性が生ずる」ことが指摘された。そのため安全委員会はこの報告書を原則非公開とした。

【一審原告1審第6準備書面71～75頁】

3 原子力安全委員会の指針は「短時間の電源喪失」のみを規定していた

ところが、原子力安全委員会の安全設計審査指針では「指針27. 電源喪失に対する設計上の考慮」において、「原子力施設は、短時間の全交流電源喪失に対して、原子炉を安全に停止し、かつ、停止後の冷却を確保できる設計であること」を要求している。なぜ「短時間」とされたかといえば、外部からの送電線の復旧や非常用ディーゼル発電機の修復は短時間でできたという従来経験に基づいたものであり、大地震や津波などの大規模かつ広範囲の災害による同時故障を想定しなかったからである。

【一審原告1審第7準備書面23～29頁、第25準備書面91～105頁】

第4 世界各国において現実に発生した被水事故の発生状況と実行された対策

1 日本・福島第一原発1号機の被水事故

1991年福島第一原発1号機は、補機冷却系配管からの海水漏洩により原子炉が停止するという事故を起こした。

補機冷却系配管から漏洩海水が認められたので運転員が原子炉を手動停止し点検したところ、タービン建屋地下1階に設置された1・2号機共通非常用ディーゼル発電機が被水していたことが判明した。修理等のために発電を停止した時間は1635時間20分（約68日）であった。福島第一原発事故当時の所長であった吉田昌郎氏は、「あれで冷却系統はほとんど死んでしまって、デ

イーゼル発電機も水につかって動かなかったんです。あれはものすごく大きなトラブルだといまだにおもっているんです」とのべるように、安全にかかわる大きな事故であった。

しかしとられた対策は、配管を「直埋め」からダクト内を通すようにしただけであった。 【一審原告1審第31準備書面10～19頁】

2 フランス・ルブレイエ原発の被水事故の状況と実行された対策

(1) ルブレイエ原子力発電所(加圧水型、4基)は、フランス・ジロンド州、ボルドーの北西50kmにあり、施設はジロンド河の湿地帯の川岸に建設されている。ジロンド河の潮のさす河口のサイトの位置は図の赤丸で示されている。

【一審原告1審第53準備書面13～18頁】



プラント防護壁は、外部洪水ハザードを考慮して、サイト全体を取り囲む形で建設された。プラントとジロンド河の間の防護壁の高さは5.2m、防護壁の他の側の高さは4.75mであった。

しかし、90年代の終わり頃にフランス電力公社によって行われた再評価により、防護壁の高さはジロンドの最悪条件ケースに対しては、プラントを防護するには不十分であることが判明し、防護壁の高さを5.7m等に増加させることとしたが、完成予定は、2002年であった。

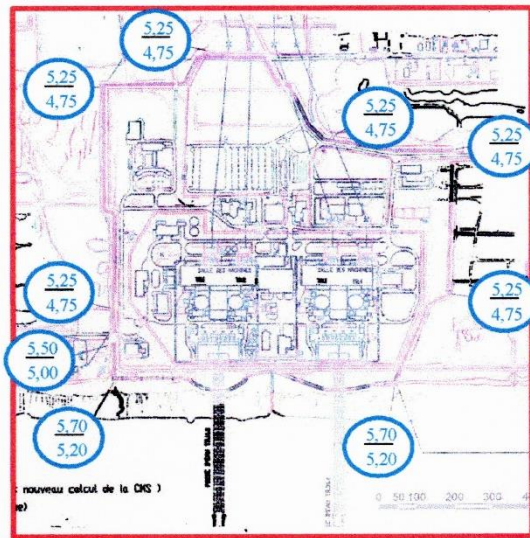


Figure 2 – Dyke height (below numbers: height the 27th of December 1999; above numbers: foreseen height)

図は防護壁の高さを示す。青い丸の中の数字は、下の数字は1999年12月27日時点の高さであり、上の数字は予見されていた高さである。

(2) 1999年12月27日、大西洋の巨大な嵐がフランス南西部に到達した。当時、ルブレイエでは、1号機、2号機と4号機がフル稼働しており、3号機は燃料再装荷後の再稼働準備中であった。

嵐と風により引き起こされた高レベルの水は、午後9時30分頃、防護壁の北側を乗り越え、1号機と2号機を襲った。サイトの北西部では、浸水高は30cm程度となり、道路が洪水に覆われたり、樹木が倒れたりしたために、サイトへは数時間接近できなくなった。ようやく接近できるようになったのは、翌28日午前2時ころだった。

サイトに浸入した大量の水は、水密性のない電気ケーブルと補助蒸気供給溝に浸入し、地下回廊に流れこんだ。



【水密性のない金属蓋】 【水密性のないコンクリート羽目板】
(出典：ICTP 2007年ワークショップ資料)

1号機においては、回廊を通った水が電気建物内へ浸入し、回廊と建物との防火扉を破壊し、安全注入系と収納されたスプレイ系パイプ貫通部を通してLHS I（低水圧安全注水系）とCSS（格納容器スプレイ系）ポンプを収容している燃料建物地下室に至った。更に、主要冷却供給システムの回廊は洪水となり、水は、燃料建物と主要冷却供給システムのA列を収容した区画の貫通部を破壊して浸入した。

BLAYAIS (1999) : Examples of damages



Door deformation



Failure of Cable opening

NRC – Regulatory Information Conference – 11 March 2010 - Page 6



(出典：アメリカ原子力規制委員会 2010. 3. 11 カンファレンス資料)

1号機の電気建物に浸入した水は接続した2号機の電気建物に広がった。2号機においては、水は、他の異なる浸入路からも浸入し、主要冷却供給システム回廊、燃料建物地下室、ケーブルを収納した負荷を与えられた回廊を洪水にした。

1号機と2号機の主要冷却供給システムは、独立したA列とB列の4つのポンプから成り立っており、それぞれのポンプは、単独で必要な量を完全に供給できるところ、1号機では、A列のポンプはモーターが被水したことによって機能喪失した。また、外に出る電気支線を収容したいくつかの部屋に水が入り、電気配電盤を使用不能とした。

更に、1号機と2号機の燃料建物の地下には、2つのLHS Iポンプと2つのCSSポンプがあり、これらのポンプが所属しているシステムは工学的安全設備であり、主として一次系システムの故障を補完するものとして設計されていたが、使用不能となった。

(3) 実行された対策の例

すべての原子力発電所プラントについて、下部構造（地下構造）の被水の可

能性がある領域が特定され、この領域における貫通部は被水構造となった。



NRC – Regulatory Information Conference – 11 March 2010 - Page 10

(出典：アメリカ原子力規制委員会 2010. 3. 11 カンファレンス資料)

また、プラントの基礎盤を防護し、かつ、プラントを安全状態に持ち込み維持するために必要な機器とシステムを収容する建物の上部構造を防護する設備として、防潮壁と被水壁等が設置された。



NRC – Regulatory Information Conference – 11 March 2010 - Page 11

(出典：アメリカ原子力規制委員会 2010. 3. 11 カンファレンス資料)

3 インド・マドラス原発の津波による非常用海水ポンプの機能停止と対策

(1) 2004(平成16)年12月26日、インドネシア共和国スマトラ島アチェ州沖でマグニチュード9.1と推定される海溝型巨大地震が発生した。インド東海岸に押し寄せた津波はマドラス原発を襲った。海水は取水ポンプを通過して浸入し、水位は復水器冷却ポンプの途中まで上昇してポンプは停止した。運転員は海水の異常を知らせる警報によりタービンを停止し、それによって原子炉も停止した。敷地は海面から約6メートルの高さ、主要施設等は更に20メートル以上高いところがあり、外部電源は利用可能であったこと等により、それ以上の被害は出なかった。

(2) インド政府はすべての原発について津波ハザード解析を行い、マドラス原発では、追加ディーゼル発電機が高所に設置され、津波防護壁が建設される等の措置が取られた。

【一審原告1審第6準備書面38～40頁、76～77頁、第53準備書面4～13頁】

第5 津波襲来を仮定した場合のSSC(構造物・システム・機器)の機能損傷・炉心損傷(フラジリティ)の検討

1 アメリカ・キウオーニー原発における内部被水による機能喪失の指摘

アメリカの原子力規制委員会は2005年、キウオーニー原発(加圧水型原子炉)について、「タービン建屋で低耐震クラスの循環水系配管が破断した場合を想定すると、タービン建屋が浸水し、水位の上昇したタービン建屋から、非水密扉や逆止弁が付いていない床ドレン配管を通過して水が逆流し、工学的安全設備が配置された室内に水が流入し、補助給水系、非常用ディーゼル発電機、交流開閉器が浸水して安全機能が失われる可能性を指摘し、対策を命じた。その後策定された溢水防護審査指針は、内部溢水と外部溢水の双方を対象としたものであった。【一審原告第1審第6準備書面75頁、第31準備書面23～24頁】

2 「溢水勉強会」における「敷地高+1m」の津波が到来した場合の非常用

電気設備等のフラジリティの検討

(1) 保安院とJNESは2003年に立ち上げた「安全情報検討会」で国内外の情報を収集し、2006年に立ち上げた「溢水勉強会」で、原発で敷地高を1m超える津波が到来するとタービン建屋の大物搬入口等から津波が建屋内に浸入し、非常用電気機器系統は水没して電源機能を喪失する可能性があることが示された。

【一審原告1審第6準備書面40～43頁、第14準備書面46～55頁、第31準備書面19～22頁、第36準備書面15～22頁、第46準備書面28～35頁、第47準備書面9～30頁、訴審第3準備書面6～8頁】

これは、津波PSAとは本来、④「確率論的津波ハザード解析」、⑤「SSC（構造物・系統・機器）の機能損傷確率（フラジリティ、脆弱性）」、⑥「事故シーケンス評価」の3つの項目を組み込んで積分を求めて作るものであるところ、④「確率論的津波ハザード解析」を行わず「津波ハザード」は来るものとして、⑤「SSC（構造物・系統・機器）の機能損傷確率（フラジリティ、脆弱性）」を調査検討したものである。

(2) この結論については、一審被告東電自身、「建屋敷地が浸水すると、建屋開口部から水が浸入し、電源設備などが水没し機能を喪失するという結果が得られています」「ただし、この結果は保安院から指摘されて気付くような知見ではなく、設計上想定していない場所に浸水を仮定すれば、当然の結果として機能を失うものと認識しておりました」としている。

つまり、津波浸水は全電源喪失等に関して「クリフエッジ効果」をもたらすことは認識されていたのである。

3 フランス・ルブレイエ原発事故を前兆事象としたとき、福島第一原発の炉心損傷確率は、異常に高くなることが判明していた

(1) 原子力発電所分野においては、施設を設計する段階で見過ごされた事項、および、運転に際して考慮すべき事項を明らかにするために、実際に発生した事例の原因を分析し、教訓や知見を得て、施設の改造・運転・管理に反映させることが必要である。こうした活動は「運転経験フィードバック」として世界

各国で行われている。前兆事象 (ASP, Accident Sequence Precursor) 評価は、アメリカ原子力規制委員会 (NRC) に置いて開発された手法であり、過去に発生した類似の事象やシーケンスをもとに、他の原子力発電所での類似事象の再発防止を目的とするものである。

(2) JNESは、実際に系統・設備等の安全機能が失われた事例であること、炉心損傷の観点から重要であると考えられる (懸念のある) 事象であること等の観点から、16事例を選定して評価した。福島第一原発のようなBWRに適用した事象は、1991年福島第一原発1号機の海水漏洩事故、1999年ルブレイエ原発の洪水事故など9事例であった。

表 3.8 他プラントへの影響評価結果 (BWR)

事例	プラント	件名	運転状態	事象継続時間条件	評価プラント	評価プラント状態	故障機器	条件付炉心損傷確率(CCDP)	備考
2	ルブレイエ1号 (PWR)	外部溢水	出力運転中	-	BWR5	出力運転時 (外部電源喪失)	原子炉建屋最下層設置機器 (建屋外側;DG-A,B,HPCS,HPCS バッテリ,RCW-A,B,C)	2.4×10^{-2}	ベースケース
					BWR3		原子炉建屋最下層設置機器 (CS-A,B,CCS-A,B,CRD-A,B,HP CI)	1.5×10^{-3}	
					BWR4		原子炉建屋最下層設置機器 (CS-A,B,RHRA,B,RCIC,HPCI)	3.5×10^{-2}	
					ABWR		原子炉建屋最下層設置機器 (RHR-A,B,C,RCIC,HPCF-B,C, ADS)	5.0×10^{-3}	
3	福島第一1号 (BWR3)	格納容器冷却用海水系から海水の漏えい	出力運転中	17時間50分	BWR3	出力運転時	補機冷却系(CCWS) A系統	7.7×10^{-10}	ベースケース
					BWR4		残留熱除去海水系(RHRS) A系統	1.9×10^{-10}	
					BWR5		残留熱除去冷却系(RHRWS) A系統	3.5×10^{-10}	
					ABWR		原子炉補機冷却系(RCW) A系統	5.2×10^{-12}	

そして、ルブレイエ原発で起きた洪水のような前兆事象が福島第一原発のようなBWRで起きた場合の条件付炉心損傷確率が他の前兆事象と比して極端に高く、建物内部への浸水を防ぐ水密扉設置等の安全性向上対策をとればリスクを軽減できることをJNESは2007年に公表した。

これは、津波PSAの、④確率論的津波ハザードについては、確率を1としたとき、つまり、起こるという条件を付けて、⑤施設のフラジリティ、⑥シーケンスを考慮して計算したものである。

(3) 日本学術会議は、2017年8月1日のシンポジウムにおいて、「ルブレイエ溢水事象(地下が浸水し、外部電源は8~24時間に回復すると仮定)は、BWRの炉心損傷リスクが極端に高いとされ、相変わらず浸水防止対策が

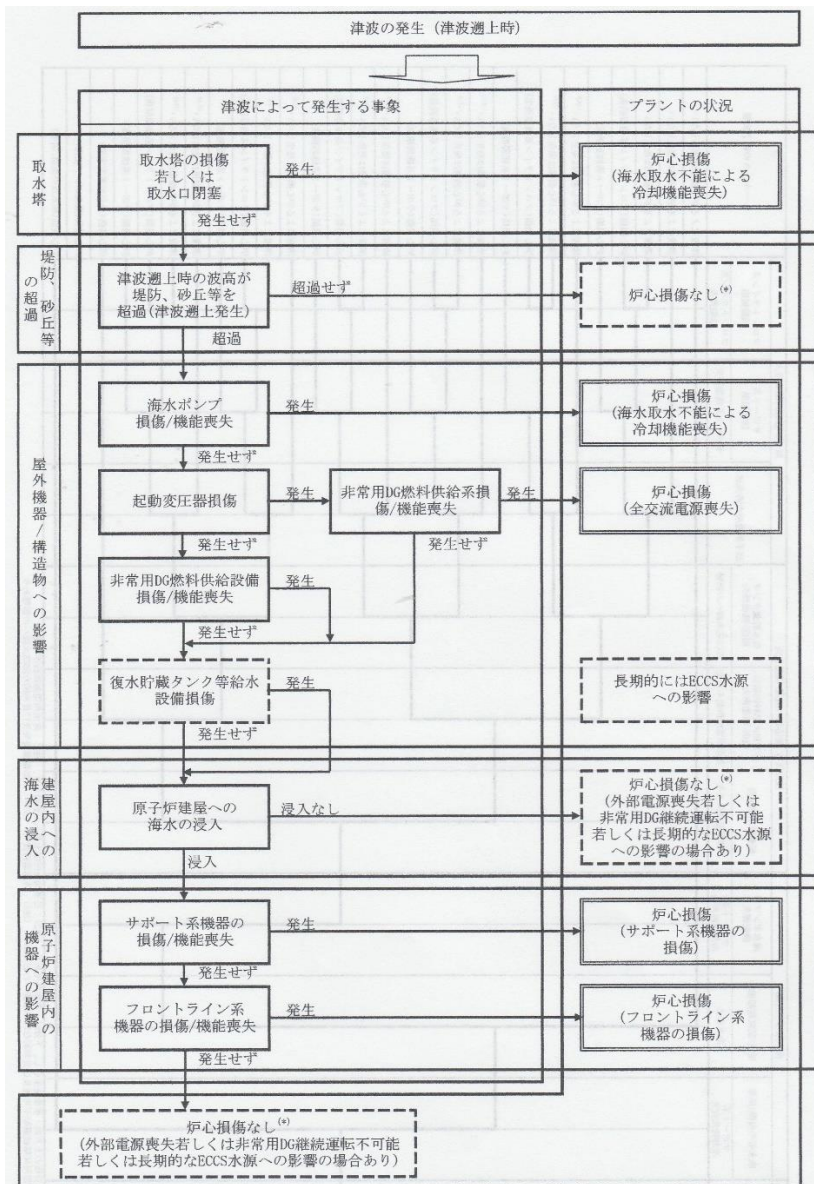
有効とされていた」「規制機関と東京電力は、溢水（洪水）事象によるリスクの大きさを認識しながら、浸水した場合の対応策（浸水防止対策ではない）の検討を怠っていたと認められる」と鋭く指摘した。

【一審原告控訴審第3準備書面4～16頁】

4 JNESによる津波遡上時のシナリオ検討と対策の提示

（1）JNESは、2007年から、津波遡上時のシナリオを検討した。取水塔・堤防・海水ポンプなどの屋外設備、建物、建屋内機器等について、津波によって発生する事象を分類したのである。

【一審原告第1審第6準備書面78～79頁】



(*) 炉心損傷防止のために長期の炉心冷却及び崩壊熱除去は必要

図 3.4 津波遡上時のシナリオ

(2) 次に、JNESは、防潮堤の高さや建物の防水の程度について条件を変えて、炉心損傷頻度（相対値）がどの程度異なるか検討した。

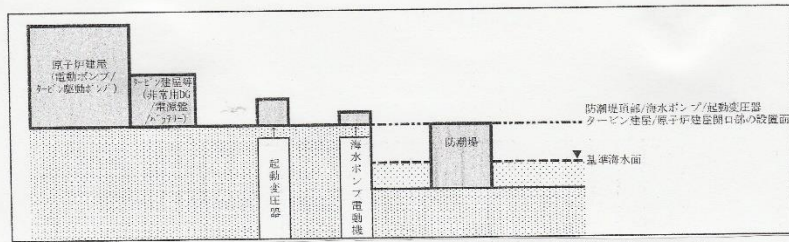


図 3.2 仮想プラントの海岸線近傍から原子炉建屋までの模式図（ケース 1）

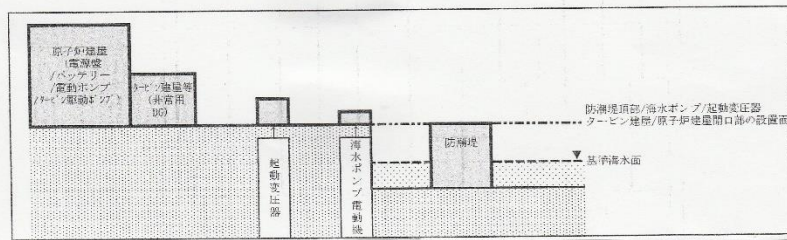


図 3.3 仮想プラントの海岸線近傍から原子炉建屋までの模式図（ケース 2）

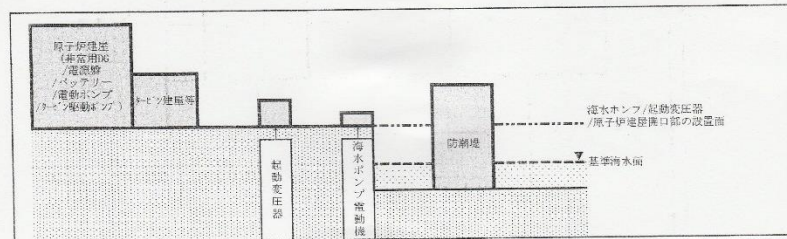


図 3.4 仮想プラントの海岸線近傍から原子炉建屋までの模式図（ケース 3）

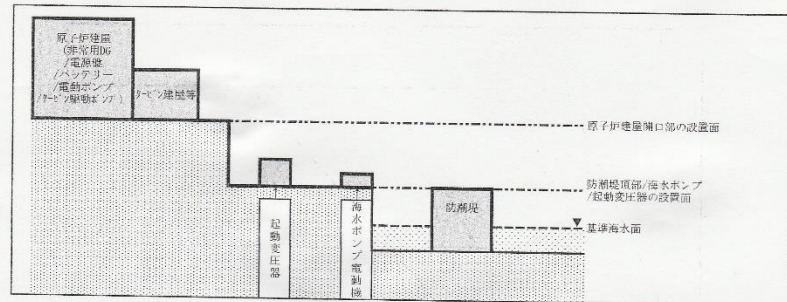


図 3.5 仮想プラントの海岸線近傍から原子炉建屋までの模式図（ケース 4）

この結果、ケース 1（防潮堤の高さは敷地と同じ高さで、非常用電源などが屋外に設置されている）は、ケース 3（防潮堤の高さを高くし、非常用電源などが水密性の高い原子炉建屋に設置されている）と比較して、炉心損傷頻度（相対値）が 4 倍となることが判明した。

なお、津波ハザードは発生頻度を 1 としている。構造物・系統・機器のフラジリティを仮定し、事故シーケンスを考慮して解析しているので、建物や機

器の設置状況を変えた場合の、「相対的炉心損傷確率」がでるのである。これは津波 PSA の一部分にすぎない。【一審原告控訴審第 3 準備書面 19～28 頁】

4 日本原子力技術協会の「風水害対策の考え方について」

日本原子力技術協会は、2005年8月のハリケーン・カトリーナがアメリカ南東部を襲った際に対応したウォーターフォード原発の訪問調査結果を踏まえ、2007年、津波を含めた風水害対策を記載した「風水害対策の考え方について」を発表した。津波に対しては、サイト内では「設備の水没、浮遊物による設備破損、取水設備の破損、電気火災、屋外開閉所塩害」、サイト外では「水没による道路遮断、橋などの通行止め、通信設備の破壊・故障、港湾設備の破壊」が想定されるとしている。また、想定を超える風水害への対応として「原子力施設の内部及び外部の電源設備及び通信設備がすべて使用不能になる場合などの最悪のケースを想定し、ケーススタディを行っておく」とされている。

【一審原告控訴審第 3 準備書面 17～19 頁】

第 6 「ドライサイトであること」と「クリフエッジ効果」との関係

1 ドライサイトという考え方

(1) IAEAは「事務局長報告書」および「技術文書 2」において、ドライサイトについて次のように述べる。

「ドライサイトの考え方とは、設計基準浸水時の基準水位に影響する可能性のある風波効果、及び任意の随伴事象（高潮、海面上昇、地殻変動、瓦礫の蓄積、土砂の流入、氷など）を考慮に入れた上で、安全上重要な物件はすべて、設計基準の水位よりも高くに設計するという意味である。このことは、発電所を十分な

高標高に立地させることによって、または必要に応じ敷地内の地盤面を推定最大浸水水位よりも高くまでかさ上げするような建設体制をとることによって達成可能である。」

「ドライサイトの考え方は、安全性に影響しかねない敷地内浸水ハザードへ

の対策の要点と考えられる。発電所の当初レイアウトはこれをもとに定めるべきであり、また発電所の供用寿命中にもこれを再評価することによって、こうした状況を確認する必要がある。」

(2) 問題はその後である。「再評価で否定的な結果が出た場合には、適切な防護策及び減災措置を、適時に実施しなければならない」「上記条件（ドライサイトの条件）が満たされない場合、サイトは『ウェットサイト』すなわち設計基準浸水の水位がプラント主地盤高よりも高いと決定されたものとみなされる。したがって、建設・供用の各段階中、恒久的なサイト防護策を取る必要があり、また、上述のように、こうした人工的なプラント防護策は、安全上重要な物件とみなすべきであり、したがって適切に設計保守する必要がある」とされている。

【一番原告1審第43準備書面7～16頁、第45準備書面3～8頁、
第50準備書面14～16頁】

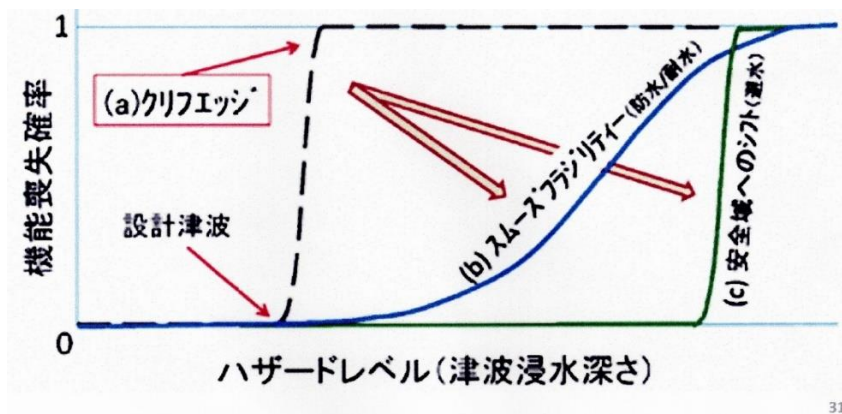
(3) 非常用ディーゼル発電機や補機冷却用海水ポンプなどの重要な安全機器は津波浸水高さがある一定値を超えると直ちに機能停止となるので、これらの機器の津波に対するフラジリティ曲線はステップ状になっており、「クリフエッジ効果」であることが判明した。ドライサイトが維持できないのであれば、クリフエッジ効果に対する対策を立てなければならないのである。

2 クリフエッジ効果を減少させるための二つの対策方法

対策は2種類ある。前掲の図を再掲する。

ひとつは、ドライサイトを維持することである。つまり、施設全体をかさ上げするか、防潮堤を設置して、敷地に津波が浸入しないようにすることである。図では「(c) 安全域へのシフト（避水）」とされている。

他は、建物や設備に防水設備をつけ、フラジリティを直立ではなく、スムーズに寝かせるのである。図では「(b) スムーズフラジリティ（防水/耐水）」とされている。



31

第8 結論

1 自然現象には極めて大きな不確実性がある

自然現象には、地震・津波・台風・竜巻などがある。地震について、瀨瀨一起東京大学地震研究所教授は、「①地震という自然現象は本質的に複雑系の問題で、理論的に完全に予測することは原理的に不可能、②実験ができないので、過去の事象に学ぶことしかない、③地震は低頻度の現象で学ぶべき過去のデータが少ない」と述べ、『三重苦』と呼んでいる。」と述べる。

津波についてはさらに頻度が低く、データも少ない。「確立した科学的知見」を求めることは不可能である。津波に関する解析には極めて大きな誤差があることが認識されなくてはならない。

【一審原告第1審第25準備書面64～69頁】

2 津波対策と地震対策は異なる。

地震が起こると「地盤が揺れることによる建物の被害」と「直接に機器が振動を受けることによる被害」の両方が起きるから、建物の耐震設計と機器の耐震設計の両方が必要となる。これに対して、津波が起きた場合には、「外部から水が衝突することによる建物の被害」が起こるが、非常用ディーゼル発電機や配電盤などの電気設備は、水が衝突して設備が損傷するというよりも、水を被ることによって、機能を完全に喪失するのである。電気設備がある部屋を水密化して水を入れなければ機能は維持できる。このように、津波による被害は

地震による被害と性質を異にする。従って、同じ自然現象といっても、地震と津波では対応策は異なる。

3 津波評価技術の考え方では、設計基準津波を算出しえない

一審被告東電が津波設計技術の方法を採用し、一審被告国がそれを認めたことにつき、IAEA は次のように述べる。

「土木学会の手法では近場の津波については有史データを基に基準震源モデルを用い、福島第一・第二の各原発サイト沖の日本海溝には津波発生源がないものと想定された。この想定が、この標準慣行を用いて実施されたすべての評価作業においてカギとなった」

「日本国内の手法と国際慣行との齟齬を指摘しておきたい。……安全シリーズ No. 50-SG-S1 に詳述されているように、歴史記録のある最大の震度または規模に上乘せし、そのような事象がサイトから最短の距離で起こることを想定することにより、安全余裕を大きめにとることで、年間発生頻度の非常に低い、未実測の激甚事象に関する情報の欠如を補うのが国際慣行であった。比較的短い実測期間では、最大値が得られていない可能性があることを割り引いて考えるためであるが、日本ではこれが行われていなかった」。

【一審原告第1審第45準備書面3～17頁、第50準備書面17～30頁】

4 「津波を確率論で評価する」ことは「対策をとらない」ことと同義である

SSC（構造物・系統・機器）のフラジリティを考えると、浸水高に対してクリフエッジ効果を示すのであるから、ある高さの津波が来る可能性があると思われた場合には、それに対する対策をとるか取らないか、という判断が必須となる。確率論的安全評価を行うということは、「知識ベース」に逃げ込むことであり、決定論的安全評価を行わないこと、つまり対策を取らないことである。

一審被告東電の津波担当者である高尾誠氏は、一審被告東電と日本原子力発電株式会社が2008（平成16）年11月19日に耐震バックチェックについて協議した情報連絡会において一審被告東電の「確率論で扱う」との一審被告東電の対応について、「これまで推本の震源領域（注：長期評価の津波地震の

想定のこと)は、確率論で議論するということで説明してきているが、この扱いをどうするかが非常に悩ましい(確率論で評価することは実質評価しないということ)」と率直に報告しているとおりである。この指摘は全く正しい。

【一審原告第2準備書面40～43頁】

5 結論

一審被告国は、一審原告らが津波確率論的安全評価を「誤解している」などと主張するが、SSC(構造物・系統・機器)の浸水高に対する機能喪失確率が「クリフエッジ効果」を示していることを知悉しながらも一切それについては言及せず、いつ出来上がるのかもわからない「津波確率論的安全評価」の意義を強調するのみである。

津波確率論的安全評価は、既に何回も述べた通り、①「確率論的津波ハザード解析」、②「SSC(構造物・系統・機器)の機能損傷確率(フラジリティ、脆弱性)」、③「事故シーケンス評価」の3つの項目を組み込んで積分を求めて作るものである。②を無視しては確率論的安全評価にもならない。津波確率論的安全評価を正解していないのは、一審原告ではなく、一審被告国である。

以上