原発の火災安全（２）

（新しい記事をトップから書き足しています。溜まれば日付順に）

2021.7.7　続いて、古い話です

書棚を整理していたら、日本原子力学会「1992 年秋の大会」プログラム、名古屋大学工学部開催が出てきた。

全部で、759 題の発表が行われ、そのうち 40 題が原子力安全工学の項目で発表されている。阿部清治氏はそのうちの 4 題の発表の座長を務めている。小生は参加していない。

発表題目で、小生の興味を引いた論文は「高速炉用機器信頼性データベースの開発、栗坂健一、可児吉男（動燃)」でネット検索すると、JAEA（日本原子力研究開発機構）が運営する JOPSS（研究開発成果検索・閲覧システム）にヒットし、数多くの高速炉の信頼性に関する論文が閲覧可能である。内容について言及する能力は無いが、口頭発表の論文が、その概要だけで収録されているのには若干の違和感がある。海外の学会では発表登録のために、先ず梗概での審査があるものもあるが、本体抜きの論文が紹介されていて、高速炉の安全性が確認された、と言われても簡単には納得できない。

別に、「原発、信頼性」で検索すると、電中研が運営する原子力発電所信頼性データシステムがヒットする。　https://nrrc.denken.or.jp/kisnrr/

このデータベースに 2011 年以降のデータが一切、記述されていないのが気になるが（運転は停止していても、原発のほとんどの機器はメンテされ、運転試験されているはず)、この頁を利用し、東日本大震災以前のデータから、前稿で紹介した、津波時の引き波発生時でも海水を取水する「原子炉補機冷却海水ポンプ」の故障率を出せるか、挑戦してみた。以下の条件で入力すると

故障の種類	デマンド故障確率
機種	電動ポンプ
故障モード	起動失敗
運転時間	原子炉運転時間
年度	1982 年から 2010 年

結果が以下のように示される。

	点検回数	故障件数
BWR 合計	459	3
PWR 合計	423	4
合計	882	7

素人が理解せずにデータをいじっている※ので、何とも言えないが、仮にデマンドが起動点検であれば、100 回に 1 回弱故障することになって、建築の世界ならこのぐらいの数値だと思うが、原発でこの値？というのが感想である。一方、28 年間の故障がデータ

化されて蓄積され、公開されているのは素晴らしいことで、他の分野でもこのデータを積極的に利用するべきだろう。
問題は上記のように、東日本震災以降のデータが示されていないことである。震災時並びに直後の故障がどのようだったかが明確にされてこそ、再開手続きがあり得る（それでも辻本は反対）と考えるがどうだろう。

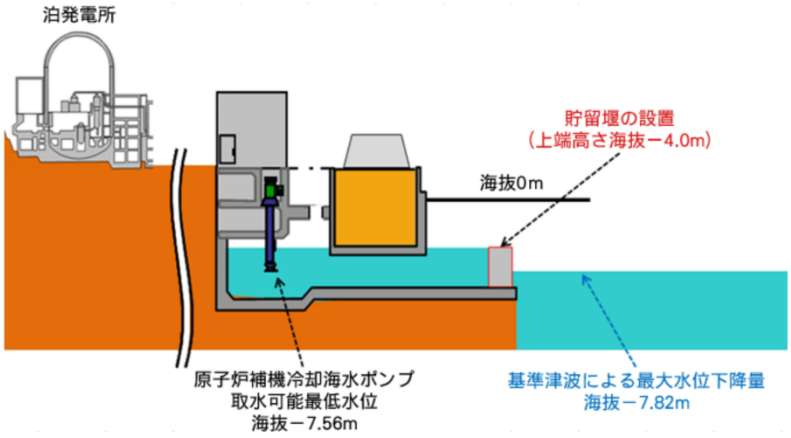
※データベースに付随している、「原子力発電所の PRA と故障率」の 24 頁に説明があるが、ポンプ、ファン／ブロアの故障率として「起動失敗は安全系待機機器を対象として故障率を算出」とある。

（このところ、自宅の南側で理不尽な宅地開発が始まり、まるで土石流を起こした熱海のような盛り土が繰り返されています。これに反対する対応で、このテーマに割ける時間が激減しております。コメントの間隔が延びることをお許し下さい。）

2021.6.26　さらに反省

東日本大震災（2011）以後の研究室の作業を紹介する段階に入ったつもりだったが、過去の文献などを整理し始めると、更に猛省すべき点が。
小生の所属する火災学会の機関誌「火災」で、2008 年に「原子力施設の火災安全」が特集されている。これは中越沖地震時の柏崎刈羽原発での火災（2007）に対して組まれたもので、著者 5 名のうち、2 名が 2021.4.3 で取り上げているブラウンズフェリー原発火災を取り上げ、この火災事故が日本にも影響を与え、「発電用軽水型原子炉施設の火災防護に関する審査指針（1980）」が策定された点に言及している。しかし、前にも書いたが、柏崎原発の火災は、地震対策が日本（東アジア）にある原発の特殊な課題で、欧米では余り取り扱われておらず、単純な耐震技術だけでは押さえられない危険を内在していることを示していた。この特集でも、日本は柔構造で超高層ビルをたくさん作り、耐震技術に優れていて、ここで培われた技術で耐震措置をすれば大丈夫、という認識が見え隠れしている。問題は、実際に運転している状況で、地震による大きな振動が例えば、大電流にどう影響するかであって、実は超高層建築でも、設置されているエレベータの運転中の耐震安全性については、いまだに経験的な技術の範囲である。なのに、火災屋全体としては「原発の安全は、まぁ他人事だ」と見過ごしたために結局のところ、東日本の大惨事が起こってしまったのでは無いだろうか。

※「津波時の引き波発生時でも海水の取水を継続できる仕組み」を 2021.6.3 で紹介したより、分かり易く示したものがあったので引用する。川から取水する TMI 原発などでは全く不要の配慮である。
https://www.hepco.co.jp/energy/atomic/safety_improve/protect_tsunami.html



貯留堰の設置イメージ（3号機）

2021.6.3　東日本大震災

せっかく柏崎原発の火災（2007）で、危険の兆しが見えていたのに、まぁ他人事だ、と見過ごしたために結局のところ、大惨事が起こってしまった。

この事故で、見過ごせないのは 2 点。ともに、東北電力女川原発の例で指摘したい。

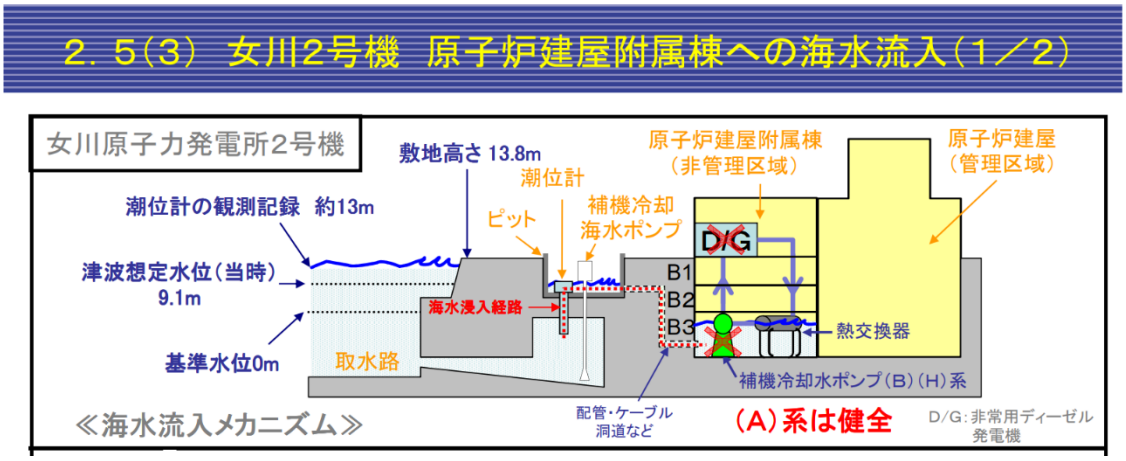
第一は、ここまで何度も確認しているように、結構、心配なはずの津波が 2000 年頃、設計条件の重い部分から外されている点。後追いの情報で申し訳ないが、YouTube https://youtu.be/pyKx43oDLpo　の最後の 2 分間で説明しているように、海に接して原発のある国は東アジアに集中していて、津波は欧米では配慮の外だったのだろう。（釈迦に説法の人もいるとは思うが、原発を海岸沿いに作る理由として、冷却水の確保に日本の河川の水では安定的な水量を確保できないため、海水を利用すると説明される。TMI に 2 度行った辻本としては、サスケハナ川の水量で十分なら、日本の河川にも十分な水量のものが無いのだろうか）

加えて、2021.4.21 のコラムでも指摘しているように、原子炉を高い所に置き、海水で冷却しようとすると、ポンプだとか電源だとかの設計が面倒、という他に、津波が来る前の引き潮の時にも対応しようとすると、給水口はどうしているのかという疑問が生じる。

女川原子力発電所の概要および東日本大震災時の対応状況

https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/282467.pdf

の 15 頁には下図があり、取水口が随分深いところに設定されているのが分かり、遠浅の海では大変なことが分かる。海水を冷却水に使うなら、結局、津波の高くなりやすい地形に原発が作られることが分かる。



第二は、運転中に強い地震が起こった際、高電圧部で何か不都合が起こらないのか、を十分に検討しているかという点。東日本大震災の際、川内原発 1 号機で強烈なショートが起こって火災が生じたのが具体例。この火災については、7 時間も続いた燃焼を※のように「発煙」と結論付けている点も気にかかるが、指摘したいのは、何万ボルトもの電流を流した状態で、設備の耐震性を実際に（振動台などで）試験しているかどうかである。推測ではあるが、設備の機械的性能としては、地震入力による変形を吸収できるかどうか、ショートするかどうかは、その変形を多目に想定して、計算値での判断によっているのではないだろうか。

新幹線が、運転中に強い揺れを受けたらどうなるかも暫く前までは、実験装置が無く、経験で判断されていた。鉄道総研の振動試験装置については、以下を参照。

https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd43/rd4330/rd43300206.html

火災分野でも、阪神大震災でスプリンクラー配管が随分破壊され、問題になった。振動台での実験を経て、今は地震後にも働くべき場所のスプリンクラーについては免震措置が講じられている。それぞれの分野での知識が集約されるべきだろう。

※東北電力の HP

http://www.tohoku-epco.co.jp/emergency/8/index.html

によれば、【1 号機の状況】について、（第一報）では

・タービン建屋地下 1 階において、火災と思われる煙が発生し、現在確認中です。

という記述があるのに対して、（第二報）では

・タービン建屋地下 1 階において 15 時 30 分、発煙を発見したことから、消火活動を行い、22 時 55 分に消火を確認しました。原因については、現在、調査中です。

（第三報） 3/12 7 時では

・タービン建屋地下 1 階において 3 月 11 日 15 時 30 分、発煙を発見したことから、消火活動を行い、 3 月 11 日 22 時 55 分に消火を確認しました。原因は、高圧電源盤からの発煙であることを確認しました。

と変化し、「火災」ではなくて「発煙」現象として扱われている。消火作業に 7 時間以上かかった現象が「発煙」というのは、誰も炎を見ていない？もしくはケーブルが難燃性だから？とまぁ、火災屋としては扱いの常識を疑うわけで、少なくとも言葉の定義は合わせておきたい。

2021.5.25　柏崎から東日本まで

柏崎の火災が、原子力施設のいわゆるホットな部分からのものではなかったので、余り本気で対応していなかった。反省するところ、大である。しかし、さすがに原発でどんな火災が起きているのかには興味があったので、学生をけしかけて統計分析などをしている。

2009 年度卒論　日米の原子力発電所における火災傾向に関する研究
http://tsujimoto.sub.jp/TUS-SOTSU/INAGAKI2009.pdf

2009 年度修論　原子力発電所における火災安全のあり方に関する考察
http://tsujimoto.sub.jp/pdfNagoya-Add/09NAGAKI.pdf

修士論文は、東日本大震災前に書かれたものとしては、原発の火災安全を考察する嚆矢の作と言えよう。米国では 1975 年の Browns Ferry 原発火災で、設計としては二重系にしていたはずの配線が、並べて設置してあることで、火災が起これば共に燃えてしまうことが明らかになり、当時、58 基の既設の原子炉が既存不適格問題を抱えることになる。さらに、その既存施設の改修過程で、火災によるいわゆるショートで、信号系に誤作動が起こる可能性も指摘され（1997 年)、この対応にも迫られることになった。修士論文は、この一連の過程を、建築火災の視点で分析している。(指導教員としては、もっとしっかり論文を読む込むべきだったと猛省している。20 人の卒論、修論の全てを理解することは、正直に言えば不可能だと思う。)

卒論で分析している日米の火災情報についても、火災安全の視点から、もう少し踏み込んだ分析が可能だったのではないかと（遅ればせながら）考える。

卒論を参考に、原発の構造とそこでの火災安全を考えてみると、原発はざっくり、危険な核燃料から高温高圧の水蒸気を取り出す原子炉と格納容器の部分(A)と水蒸気でタービンを回して電気を作る部分(B)の二つの部分に分けられ、どちらかと言えば、原子炉の制御と安全のために(A)に大量の電線と設備が設置されている。(B)も運転中は実質的には（電気を作って他に供給することで）原子炉の冷却装置としての役割を担っているわけで、急に止まったりすれば、(A)に大きく影響することは明らかだが、原子炉の暴走を火災安全の視点から考える立場からは、後回しにしてよかろう。

つまらない付記だが、卒論にもあるように、溶接の工事中の火花が出火原因になること

が多く、対策として「難燃シートで現場を覆うことを義務付ける」という話が、柏崎の火災の後にあった。「難燃シートとはどんな試験で評価されたもので、何が防げるのか」と委員会で質問したら誰も答えられなかった。この辺が、このブログ風「原発の火災安全（その 1)」の最後についている「難燃という言葉のあいまいさ」を書かせた動機である。

2021.5.15 柏崎原発の火災

防災安全計画の授業を続けて 20 年、その間、一回のシンポジウム（※）と授業ネタ以外には原子力分野との関係はほぼ無かったと言える。専門の建築分野における防火規定の性能規定化なり、大深度地下のリスク問題など、研究すべき課題はそこそこあったので、自分から原子力分野へという気持ちは全くなかったのである。そして 2007 年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震で、柏崎刈羽原発の変圧器に火災が発生した。原発のいわゆるホットな施設ではないところからの火災にも拘らず、黒煙を上げる原発がマスコミで大々的に報道されたこともあって、委員会（※※）が組織され、現場に出掛けることになった。原発に着く前の田んぼで、電信柱が皆、一方向に傾いているのが、阪神淡路大震災でランダムに壊れている電柱を見ている身としては、物理的には当然なのに不思議な印象を受けた記憶がある。現場での感想としては「超高層ビルで火災があれば、小火でも大ニュースになるわけで、たとえホットでない部分でも、もう少し質の高い空間にすべき」であった。実際、火災を出したホットでない変圧器の部分はその周辺も含め、質の高い建築物を見慣れている身としては、雑な建物・設備である感じがした。先日、先輩である東大の建築設備の名誉教授に柏崎原発への訪問の有無を聞いたところ、有りの答のあと、施設について全く同じ感想だったことに驚いた。

もう一つ。現場で火災後に結成された消防隊の訓練を見た。消防士の眼が全員、暗かったのが気にかかる。消防士は公務員として、24 時間体制で消火にあたるのが近代的であると思われているが、ドイツでは現在でも半分の州で消防士はボラティアである。なぜなら、様子の分かっている近所の施設、熟知した工場などでは、それぞれの関係者が消防活動を行うのが効果的と判断されているためである（消防士としての訓練、施設、死亡時の保障などは州が用意する)。原発でも、どこの火災を誰が消すのかは十分に検討されるべきだろう。この時の、ホットでない変圧器のような火災であれば、サラリーマンの消防隊で対応できるだろうが、仕組みを熟知しているわけではない格納容器内のホットな部分の火災で果たして対応できるのだろうか。

さらに火災とは無関係だが、当時のマスコミ記事をみると、所内で 1.2m の段差が生じたとあり、この点を公式にどう処理したのかは知りたい。同じ頃、大深度地下利用の報告書で、委員長として「トンネルに断層による大きな段差が生じたら、大事故が起こることを想定せざるを得ない」の記述を入れようとしたら、国交省系の委員から「不

調」との発言が出て、記述を削除せざるを得なくなったことを思い出している。

※2021.5.5　の文章で紹介している「1980 年代、機械学会もしくは原子力学会のシンポジウムで要請を受けて、建築分野の防火で信頼性の話をした記憶がある」ですが、抜き刷りのコピーが出てきました。第 6 回確率論的安全評価に関する国内シンポジウム、（財）エネルギー総合工学研究所、1993.12 で、「死亡リスクの経年変化と認識される危険―建築火災の分野から―」という発表をしています。防災設備の信頼性とか、アクセプタブル・リスクは成立するか、なんて話です。

※※経済産業省原子力防災小委員会火災防護ＷＧの委員として、2009 年 6 月 9 日に柏崎刈羽原発を訪問している。もう一度、訪問している記憶があるが、恥ずかしいことに記録が残っていない。

2021.5.5　改訂「原子力安全の論理」

21 世紀の話に入る予定であったが、（１）で取り上げた「原子力安全の論理」1983 年の改訂版が、2005 年に出ていたのでざっと目を通した。ほとんど同じ内容に思えるが、一点。（１）の 2021.4.21　「原子力安全の論理」を読み解く（2）で取り上げている原版の 73 頁　事故の原因として挙げられている自然現象のうち、例２　津波が、改訂版では削除され、以下の構成で、対象とする自然現象が２つになっている。

原版(1984 年)：　例１　地震と耐震設計　　例２　津波　　例３　台風

改訂版(2005 年)：例１　地震と耐震設計　　例２　台風

『地域によって津波の影響は大きく変る。たとえば、三陸海岸は昔から津波の被害が大きいことで知られているが、私の住んでいる茨城県の沿岸では、大きな津波の被害の記録はほとんどない。』(原版 73 頁)の表現が消えてしまっているのが悔しい。

ちなみに、偶々手元に残っている「改訂版これから起こる原発事故、別冊宝島 1469、宝島社、2007.10」の８頁、図３（岩波新書「大地動乱の時代」から引用した図）には地震発生時の図に、津波の絵が記述されているにもかかわらず、この本全体で津波を危惧する記事内容は無かった点を付記しておく。

21 世紀に入る前にあと２つ。

1981 年名古屋大学工学部に共通講座として設置された防災安全工学講座の助教授にしてもらい、翌年から防災安全計画の授業を立ち上げた。過去の講義資料をみると、３週で「事故の予測と解析」でラスムッセン報告を紹介し、Event Tree、Fault Tree、FMECA などを説明。「原子力発電とその安全」で、PWR の構造、ECCS、LOCA に加えて、世界の原発の設置状況、エネルギー供給割合、ウラン埋蔵量の世界分布まで説明している。残念なことに、せっかく工学部共通講座の講義なのに、受講の仕組みを工夫して全学で聴いてもらえるようにする能力が無く、所属する建築学科の学生だけにしか聴いて

もらえなかった。

1980 年代、機械学会もしくは原子力学会のシンポジウムで要請を受けて、建築分野の防火で信頼性の話をした記憶がある（予稿集も見つからないので、不確かです）。近藤駿介氏に緊張しながら挨拶をしたのは確かであり、この時、「〇〇の出す故障率のデータは信用できない」（〇〇が何であるか当時は認識できなかった）という発言があり、会場全体が緊張した覚えだけが残っている。まぁ、このお陰というか、建築防災設備（防火戸、防火シャッター、排煙設備など）の故障率を 40 年間、追い続けているわけで感謝すべきなのだろう。