

廃炉の決定と認可更新について

佐藤 暁

さとう さとし
原子力情報コンサルタント

1 引退と現役続行の岐路

紙芝居、そして映画にもなった『きかんしゃやえもん』（岩波書店）という絵本があります。古い蒸気機関車を擬人化した物語です。急速に普及が進む若い電気機関車たちに日常的に馬鹿にされ、ある日、憤怒のあまり煙突から火の粉を吹いて走り、それが沿線の田んぼのわらに燃え移って火事になったことで住民が激怒します。鉄道職員たちがかばっても収拾がつかず、とうとう引退を強いられ、解体場送りが決定します。しかし、すんでのところで、ある博物館の責任者にやえもんの稀少さが目に留まり、そこで展示されることで、笑顔の余生を送る機会が与えられます。

人も機械も技術そのものも、いつか引退の時期を迎えるわけですが、その時期の決定や過渡期の在り方については、いろいろ考えさせられる問題があります。やえもんがそうだったように、当事者は「まだ頑張れる」とまずは抵抗しますが、いつかは受け入れなければなりません。

敦賀1号機の永久停止の決定が発表されました。立場によりさまざまな思いで受け止められていると思います。米国で現役最年長の沸騰水型原子炉(BWR)は、BWR/2と称される炉型のオイスター・クリークとナイン・マイル・ポイント1号機で、両基とも1969年12月1日に商用運転を開始していますが、敦賀1号機はこれらに次ぐ古いBWR/2の原子炉で、約3年間の工期を経て、1970年3月14日に日本で最初の商用原発として運転を開始しています。

大型炉を見慣れた人たちには、真上から見下ろしたとき、一跨ぎできるのではないかと思うほど

の炉心の小ささが驚きでしょう。それだけに、それでも国内では巨大な水力発電所に負けない35万7000kWの発電をすれば、改めて原子力エネルギーの凄さを感じることでしょう。一方、2014年末までの平均稼働率62.8%という記録は、世界的にはかなり低調と言わざるを得ません。積算発電量80.05TWhという記録も、1987年2月から運転を開始した同発電所2号機が、10年もしないで楽々突破したほどのものです。したがって、発電設備の重要性として、それほど高いわけではありませんでした。

1988年の夏、当時GE社の社員であった私は上司に連れられて同発電所に行きました。目的を詳しく告げられず、とにかく同行するよう言われて顧客との打合せに参加しました。そして、2時間くらいたっぷり顧客の小言を聞かされた末、上司は初めて私を連れてきた理由を顧客と私に対し同時に説明しました。

敦賀1号機の建設は、米国、日本、スペイン、スイスでの受注が花盛りの頃に完了し、当時のGEは、完成図面や個々の機器、設備の操作マニュアル、系統の運転手順などの資料の山を顧客に引き渡すや否や、次の建設プロジェクトに人員を振り向けるため、早々に現地を引き払っていました。そのため日本原電の職員は、以来ずっと並々ならぬ苦勞をさせられてきたようです。困って相談をしても丁寧な回答を得ることができず、懸命に自力で勉強し、克服しなければならなかったことも多かったとのことで、私の上司はそのことを真摯に詫言、大型プロジェクトを受注するに当たり、まずはこの「歴史問題」を認め、そのことに対する和解と、今後繰り返さないことの約束とし

て、私を現地に駐在させるということでした。私もこの重大な使命を誇らしく受け入れました。

それから1年半の敦賀での生活は、とても充実したものでした。発電所内には多くの熱血の技術者がいて、動作は機敏で、緊張感が漲っていました。今から思えば、私が提供した役務よりも圧倒的に多くのことを私に熱心に教えてくれました。

そのような技術者魂を代々受け継いできたと自負しているはずの彼らの後輩が、遂にその最期に立ち会わなければならなくなった時の思いがいかにばかりかは、私にもわかる気がします。彼らの原子炉は、機械設備ではなく、やえもんのような擬人化された存在になっているはずです。

当然、それは敦賀1号機の職員だけでなく、美浜1・2号機、玄海1号機、島根1号機の職員にも同じでありましょう。しかし、いつかは受け入れなければならない出来事なのであり、それを大過なく迎えることができたと言うのは、原子力の擁護派にも反対派にも、等しく祝福されてよいことだと思います。

40余年間、お疲れ様でした。いろいろ教えて下さり、ありがとうございました。

◇

70歳を過ぎた私の大先輩の一人、Yさんが、昨年の年末旅行で語り、皆で大笑いした話です。運転免許証の更新手続きに行ったところ、これを希望する同年配の人たちがグループに集められ、「講習」を受けさせられたそうです。まず始めに、なぜか受講者たちは、腕時計を外させられるのだそうです。

実技では、教官が隣の席、他の受講者が後部座席に乗って発進。腕力が低下していて急なクラックに合わせてハンドル捌きができずに脱輪すると、教官がおもしろおかしい冗談を言い、それを聞いて後部座席の受講者たちがけらけらと笑う。停止した状態からアクセルを踏んで段差を乗り越え、直ちにブレーキを踏んで車を停めるべきところ、ブレーキが遅れて模擬壁がベリベリと音を立てて割れると、またしても教官が、「あーあ、やっちゃった。壁の修理代30万円」と冗談を言う。後

部座席で再び笑いが起こる。このように、失敗、教官の冗談、後部座席の哄笑が、この先も何度か繰り返される。運転手が次の講習者と交代して同じことが繰り返される。こうして愉快な実技の部を終えてから教室に戻ると、白紙を渡され、時計の文字盤を描き、それに現在の予想時刻を長針と短針で示すように言われる。腕時計がないため受講者は、それを勘だけで予想する。ところが、ここで再び面白いことが起こる。きれいな円を描くことができず、短針と長針の位置はめちゃくちゃ。勘もまるっきり外れている。受講者たちは互いに見比べ、ひどさを笑い合う。

Yさんによれば、このような一連の講習を施す教官のテクニックがとても優れていて、決して受講者に屈辱や不快感を与えたりせず、常に和やかな雰囲気を保ち、しかし、実に効果的に体力や、思考力、判断力、記憶力の低下を本人に悟らせるのだそうです。そして、仕上げに交通事故による被害者、加害者、それぞれの家族が経験しなければならぬ苦悩についての生々しいビデオを観てもらえば、相当高い率で更新を断念し、運転免許証を放棄しようとするのだそうです。

もちろん背景にあるのは、最近増加し、かなりの比率を占めるようになってきている高齢者による交通事故対策なのですが、その戦略が、「講習」と称して実は、第一に現役引退の勧奨、第二に技能低下を自覚させることである点が、興味深いところです。

さあ、それでは日本の原子力発電プラントに対して、廃炉か認可更新かの判断の仕方について考えていきましょう。

② ふるいプラントの弱点

2.1 「古い」より「旧い」のほうが問題

アラサー、アラフォーの原子力発電所の弱点について、多くの人たちが勘違いをしています。設備が古くなっているから、つまり老朽化しているからではなく、そもそも原子炉そのものを含む設備全体の型式や設計思想、設計基準、材料の仕様などが旧いことが問題なのです。

たとえば、日本で唯一 BWR/2 の炉型が採用された敦賀 1 号機では、原子炉再循環系の配管が破断した場合 (LOCA)、その後が開発された炉型の原子炉とは異なり、炉心が極めて短時間で丸裸になってしまい、しかも緊急炉心冷却系 (ECCS) が働いても、底部からの漏出が多過ぎていつまでたっても再冠水ができません。そのため、炉心の冷却はスプレー水のみ依存します。もし、スプレー水が止まってしまった場合には、裸の炉心はたちまち高温になって損傷を起こし、さらに回復までの時間が長引けば、炉心溶融に至ります。この短所は、システムを構成する部品や材料の古い新しいとは無関係で、型の旧さによる宿命です。

敦賀 1 号機が建設された頃には、ステンレス鋼の応力腐食割れ現象がよく理解されていませんでした。その後、炭素含有量を低く抑えることで、割れの発生や進展速度を遅らせることができるようになりますが、敦賀 1 号機の原子炉再循環系の配管には、炭素含有量の高いステンレス鋼の材料仕様が適用されていました。これも古い新しいという問題ではない旧さの問題です。ただし、配管の割れは、検査によって監視を行い、修理や交換が可能です。

配管破断に伴う冷却材喪失事故は、設計上想定済みの事象、すなわち設計基準事故の一形態です。そして、上述のように、敦賀 1 号機の原子炉再循環系の配管には、これに至らしめる確率の比較的高い材料仕様が使われていました。実際に起こった場合、格納容器の環境は瞬時に激変します。破断した配管からは、高温・高圧の蒸気と水が高速で噴射され、それが配管の保温材を粉碎し、格納容器の塗装を剝離させ、サプレッション・プールに流れていきます。

しかし、このような配管破断が格納容器に及ぼす動的荷重については、敦賀 1 号機が運転を開始したのちにもしばらくの間未解明だったため、不十分な強度のまま 1989 年まで放置され続けました。また、配管の保温材や格納容器の鋼板に塗布される塗料の種類も低質だったため、粉碎、あるいは剝離されやすく、それらが ECCS の水源

でもあるサプレッション・プールに流れてきた場合には、ポンプの取水口を閉塞させてしまい、ECCS が止まります。つまり、短時間でも止まるとは困る炉心スプレーが、停止してしまうということです。

単一故障を想定した多重化設計は、もちろん敦賀 1 号機にも反映されています。しかし、実はこれにも様々な考え方があります。たとえば ECCS ポンプの場合、必要容量に対し、100% のものを 2 基設置する、50% のものを 3 基設置するという選択肢があります。前者の場合 2 基中 2 基、後者の場合 3 基中 2 基が故障することによって機能がまっとうできなくなり、その確率は後者が前者よりも高くなります (後出の表 1 参照)。その後、100% のものを 3 基、50% のものを 4 基設置するというより高度な多重化も採用されるようになっていきます。しかし、当然のことながら、敦賀 1 号機に採用されたのは、これらのうちで機能喪失の発生確率が最高 (安全レベルが最低) のものでした。

議論を一旦ここで区切り、上述した数項目の特徴が、原子炉事故リスクと総合的にどのような関わりがあるのかを振り返って考えてみましょう。まず、配管の材料には、より割れやすいステンレス鋼が選ばれていました。このことは、相対的に冷却材喪失事故 (LOCA) の発生頻度を引き上げます。そして LOCA の発生により、より大量のデブリ (破砕された保温材や剝離した塗装など) が発生します。強度不足のサプレッション・プールは破損の確率が高く、破損を免れたとしても、その中に蓄えられている ECCS 用の水には、大量のデブリが運搬されてくるため、やがて炉心スプレーのポンプの取水ストレーナを閉塞させてしまいます。そして、炉心スプレーが停止、または性能が顕著に低下すれば、炉心損傷へと事態が転落していきます。

以上に述べた弱点のうちあるものに対しては、克服したり、軽減したりすることも可能です。割れやすい配管材料は、割れにくい低炭素含有量のステンレス鋼と交換され、その際、最新の自動溶接技術が取り入れられ、材料の特性を低下させな

表 1—50%×3 から 100%×2 に変更することによる安全性の向上

A	50%	○	○	○	×	○	×	×	×	D	100%	○	○	×	×
B	50%	○	○	×	○	×	○	×	×	E	100%	○	×	○	×
C	50%	○	×	○	○	×	×	○	×	判定		○	○	○	×
判定		○	○	○	○	×	×	×	×						

A～E 各機器の故障率を 1% とすると、50%×3 の多重系においては系統全体の信頼性が約 99.97% であるのに対し、100%×2 の多重系においては約 99.99% となる。

いように入熱量の抑制が管理されます。割れの発生や進展を促す水質も改善されます。LOCA が発生した際に発生するデブリの量を減らすため、保温材は、可能な範囲に対しては、熱や衝撃に強い金属製の反射式のものなどに交換され、塗料も、熱や放射線で劣化しない特別に開発された銘柄のものに塗り替えられます。強度不足のサブプレッション・プールには、補強材が追加されます。ポンプの取水ストレーナは、閉塞し難い形状とサイズにアップグレードされます。

実際、これらは実行されてきました。しかし、それらのうちの何一つにおいて日本が先取的、主導的だったことはなく、常に米国の動向に促されて追従してきたものでした。そして、実行には 15～30 年もの期間を要しました。しかし、それでも改善が困難な問題は残っています。配管破断で炉心が丸裸になってしまうというこの場合の特有な原子炉の構造は、猫を生きたまま犬にすることができないのと同じように宿命的な性質です。冗長系の構成を 50%×3 から 100%×2 に変更し、故障に対する耐久性を向上させること(表 1)も、通常は極めて困難です。機器の設置スペースの確保、配管系や、電源の容量アップに対応するための電源ケーブルの変更、制御ケーブル・計器・ブレーカーの変更などなど、仮に可能であったとしても、かなり大規模な改造工事となってしまうからです。

2.2 旧さの弱点

以上、敦賀 1 号機の耐 LOCA 性能に着目した旧さの問題点について大雑把にまとめてみましたが、以下、さらにもう少し詳しく、体系的に整理してみましょう。

(1) 基本設計の進化に伴う世代間の優劣差

BWR/2 という炉型の劣等性は上述した通り (LOCA になると炉心が丸裸) ですが、この後日本に導入された BWR/3 から BWR/5 の炉型に対しても同様に優劣の順位があります。新設炉に対する欧米基準に照らすならば、日本の ABWR(改良型 BWR)もすでに旧く、適合していません。

BWR プラントの場合、設備の主要な特徴は、原子炉の型と格納容器の型によってほぼ特定されますが、格納容器の型には、マーク I、マーク II、マーク III、RCCV があります。(マーク III 型格納容器は、BWR/6 の炉型との組合せとしてのみ採用され、日本にはありません。逆に RCCV 型格納容器は、ABWR とのみ組み合わせられ、日本以外にはありません。) この格納容器の型も、一旦選定され、建設されてからでは変更不可能で、生涯にわたって基本的な優劣の序列から脱することができません。

このような基本設計の進化に伴う世代間の優劣差は、PWR プラントにも当てはまります。

つまり、古い型のプラントには、一生涯どうすることもできない、生まれながらにしてのハンデがあるということです。

(2) 規格、基準が緩かったこと、なかったこと

建設当時、著しく低く設定されていた設計基準地震動はこの代表です。その後、たとえば基準を 3 倍に引き上げ、補強工事を施工するなどのバックフィットをしたとは言え、主に安全系機器だけに限られ、躯体そのものや非安全系機器の大部分には処置されておらず、現に、震源地が近かった東日本の原子力発電所では、これまでの地震で壁にひび割れが生じ、非安全系機器の多くが重大な損傷を受けています。壁のひび割れは、福島第一

原子力発電所の場合、事故直後から現在まで続いている建屋内への地下水流入の原因となっている可能性もあります。地震による損傷を受けた非安全系機器の中には、所外電源を受電するための変圧器など、安全性を脅かすものも少なからず含まれていました。

原子炉設備に適用されたかつての設計規格の中には、たとえば設計疲労曲線など、穏和な室内環境で採取された実験データをもとにしたものも含まれ、米国ではより厳しいものが制定されています。燃料被覆管の強度についても、未照射材料に対するデータをもとにしているなどの問題があり、欧米では見直しが議論されています。

原子炉圧力容器の溶接部に対するかつての検査要件は、周方向と縦方向に対し、それぞれ5%と10%が検査対象となっただけで、大部分の範囲が干渉物のためにアクセスできない状況です。米国ではその後、検査規格が改訂され、検査範囲が100%に引き上げられたことで、これに適合するための努力が重ねられてきました。

原子力発電設備のための火災防護の規格や基準は、かつては存在していませんでした。

これらの例のように、初期の原子力発電プラントは、古い(=緩い)規格、基準に従って、あるいはそもそも該当するそれがないままで建設されていたため、後年に制定、または改訂された規格、基準に適合したものと比べて、安全性が劣っています。

(3) 標準設計が確立される以前だったこと

「フェイルセーフ」、「多重性」、「単一故障対策」、「独立性」など、安全設計の概念は、かなり初期の段階から存在していましたが、それらを実務上どのように展開するのかについての十分に詳細な指針がありませんでした。そのため、初期に建設されたプラントの設計には、膨大な欠陥や脆弱性が埋没しています。それらは、部屋の扉や壁の貫通部、換気ダクトのダンパーなどの個々に対してである場合もありますが、床ドレン系統の設計、ケーブル布設ルートなどの設計、非常用ディーゼル発

電機や配電盤などの配置設計などにも広範に及びます。

ところが、そのような欠陥や脆弱性は、通常運転時にはまったく目立ちません。火災や溢水などのトラブルが発生したときになって、初めて実害として現れます。たとえば、電気設計における過電流保護のためのブレーカーやフューズの機種選定、配置のミス、回路設計の脆弱性などは、運転開始後30年が過ぎて初めて発覚するという例さえまったく珍しくはありません。

古いプラントには、このような潜在的な欠陥や脆弱性が、多く眠っている可能性があります。私が本誌において、これまで「レガシー・イシュー」と記し、度々指摘してきた問題でもあります。

(4) 選定材料の仕様

金属材料は、種類(低合金鋼、ステンレス鋼、ニッケル基合金)によって、照射脆化、応力腐食割れ、熱脆化など、既知、未知の現象による思わぬ劣化を運転中に呈してきました。電気ケーブル、塗料などに使われる非金属材料も、熱と放射線の相乗効果によって劣化します。初期に建設されたプラントには、可燃性、熱可塑性の絶縁材、被覆材のケーブルも多用されていました。火災になれば火災を上げ、有毒ガスを発生させ、誤動作を起こさせます。後に改良品が開発されますが、それらのどれも容易に交換可能なわけではありません。古い仕様で手配された材料が今でも残っているのです。

高温の配管に取り付ける保温材の種類(ガラス繊維、珪酸カルシウムなど)や、コンクリートの骨材として使う砂利の種類(玄武岩質、石灰岩質など)が、設計事故や過酷事故の際の応答を左右する重要なパラメータになるとは、建設当時、まったく思いもしないことでした。ドライウエル内の配管に取り付けられた珪酸カルシウムの保温材は、LOCAの衝撃によって粉碎され、サブプレッション・プールに流された後、ECCSポンプの入口ストレーナに粘着して閉塞させます。石灰岩は、原子炉圧力容器の底部から落下(メルトスルー)した溶融炉心と化学反応して、可燃性気体である一酸化炭素を発生

させます。とは言え、配管の保温材はともかく、いまさらコンクリートの砂利を交換することは不可能です。

(5) 施工技術、検査記録

初期に建設されたプラントの場合、たとえば、配管の現地溶接は、すべて職人の手によるものでした。施工手順書には1分間あたり10cm以上と溶接速度が規定され、1cmあたりの熱量制限が規定されてはいても、実際には目もくれず、長年培った職人としての勘と経験でやっていく。そのくせ記録には、要領書の記載と一切たがわず施工したことにして署名。溶接部をグラインダーで滑らかに仕上げ、グリセリンを塗って超音波探傷検査を行う。3本指で探触子を抑えて走査しながらオシロスコープに現れる波形を観察。しかし、検査記録には合格か不合格かが記されているだけ。

今でこそ、施工にも検査にもロボット化、自動化が普及し、記録もデジタル情報として保管されるようになりましたが、かつては大部分がこのように行われ、日本では、その移り変わりにかなりの長い期間を要しています。2000年代以降の人々にとっては、1990年代の品質保証体制は「ザル」に思えるかもしれませんが、1990年代に現役だった人々にとっては、80年代、70年代の技術や記録が、とても原始的に思っていたはずで

(6) 技術情報の伝承

実際、1970年代の図面や図書は大部分が手書きで、複写にはジアゾ式複写機が使われていました。劣化が早く、すでに変色し始めたものをマイクロフィッシュ(マイクロフィルム的一种)にして保管するも、後日その画像を再現すると、折り目付近に記された数字が読めず苦勞することがよくありました。その後、急速にIT技術が進歩し、「古文書」は、その都度新しい媒体(マイクロフィッシュ、光ディスク、ハードドライブ)に変換されますが、このような記録の維持は大変な作業でした。

私が1980年代に関わったことのある原子炉圧

力容器の溶接部に対する超音波探傷検査には、自動化ロボットが導入されていました。日本の検査会社が、その後何年も手動のままだった中でこれは、突出した先端技術でした。とは言え、今ならラップトップ1台で十分なところ、3台の巨大なコンソールで制御され、記録の媒体は、何と「カセットテープ」でした。まだ、フロッピーディスクさえ使われていなかった時代です。

原子力発電プラントが40年間運転を続けていく歴史の中では、このような変化があり、メーカー、電力会社の担当者がそれぞれ何代も交代し、その間に行われる検査や改造工事の記録が維持され、最新状況と過去の履歴がいつでも検索できなければなりません。

福島第一原子力発電所では、今も予期しないところから汚染水が湧出し、現地の東京電力の社員が当惑する事態が続いています。皆さんは、なぜそのような失態が改まらないのかと思われていたかもしれませんが、その理由の背景がわかっていただけたのではないのでしょうか。

運転認可の更新の意味は、この視点からも考えてみる必要があるでしょう。

③ 認可更新の落とし穴

現役のプラントに対する運転認可を更新したい理由は単純です。

すでに建設コストの回収を終え、操業コスト(燃料費+運転・保守コスト)だけで比較した場合の発電コストが安価。運転を延長することで、使用済燃料の最終処分問題を先送りできる。代替りのプラントを新たに建設する場合、現在運転中のものよりも格段に高い安全基準が要求され、巨額の資金が必要。

このような理由はどの国にも共通しますが、米国では、だいたい前から二回目の認可更新(40年+20年+20年)の議論も始まっています。今や、大型軽水炉の建設コストは1基1兆円の時代となり、推進組織がいくらロビー活動に熱を入れても、肝心の事業者が笛吹けども踊らずの状況で、原子力発電の設備容量を維持していく上では、認可更新

が唯一の方策です。

とは言え、そのような米国においてさえ、昨今は、せっかく NRC からの承認を取得した認可更新を放棄する事業者が現れてきています。確かにウラン燃料のコストは、石炭の3分の1、天然ガスの5分の1ですが、これが十分に有利にならないほど、他の支出が大きいからです。それでも公表されている2013年の操業コスト(セント/kWh)を見てみると、石炭3.24、天然ガス4.09、原子力2.30となっており、依然原子力が優勢であるかに見えます。しかし、これには設備投資が含まれておらず、実際、新しい規制要件への対応が次々と求められる原子力の場合、この支出が膨大です。結局、これも加算した原子力の発電コストは、天然ガスと接戦です。

そこで米国の多くの事業者は、認可更新に先立ち、プラントに改造を加え、発電出力の引き上げ(パワー・アップレート)も併せて実施するようになりました。仮に20%のパワー・アップレートを行い、それで20年間の認可更新を行えば、実質、24年間分の発電を稼ぐことが可能となります。しかし、……。

2009年秋、フロリダ州にあるクリスタル・リバー原子力発電所(電気出力83万8000kWのPWR)で、蒸気発生器の交換が行われることになりました。内部の細管が応力腐食割れで劣化していたからです。そこで、細管をより高い耐性の材料に変更し、ついでに容量を20%引き上げた蒸気発生器が製作されました。しかし、その設置の前に、既設の蒸気発生器を切り出し、格納容器から搬出するところで大問題に直面しました。

格納容器に設けた搬出用の開口部の周辺に、広範囲にわたるコンクリートの剝離が発見されたのです。たちまちその範囲を特定するための検査と修理が優先されました。修理は難航し、結局、運良く完了するとしても34億ドル(4000億円!)を要すると評価され、その間、代替電力を他の発電事業者から購入するのに年間3億ドルがかかるとの試算が示されました。

事業者は、3年が経過した時点までに13億ド

ル以上(1600億円以上)を投じていました。(交換用の蒸気発生器の製作に4億300万ドル。パワー・アップレートのための改造に4億5700万ドル。3年間の維持コストとして4億5800万ドル。年900万ドルの固定資産税4年間分。)

事業者は、格納容器の修理の続行を断念し、認可更新とパワー・アップレートのための巨額の投資が水泡に帰してしまいました。

三菱重工が巻き込まれたことで日本でも話題になったカリフォルニア州のサン・オノフレ原子力発電所2,3号機(電気出力107万kW、108万kWのPWR)においても、時期を同じくして似た問題が発生しました。この場合、新品の蒸気発生器は無事に据え付けられ運転されました。ところが、いくらかも運転しないうちに例の細管が損傷しました。

サン・オノフレでも小規模なパワー・アップレートが計画され、高圧タービンが交換されていました。そして、三菱重工が納めた蒸気発生器には、やはり応力腐食割れに対して耐久性の高い材料が細管として使われていましたが、逆に熱伝達特性が低下するため、本数を増やし稠密に配列したことが災いし、その影響によって増大した水流の振動で破損したということです。

事業者が無駄にしてしまった投資には、元の蒸気発生器の除却コスト1億1100万ドル、新品の調達と取り付け工事に要した5億6900万ドルが含まれると伝えられていますが、検討を進めていた認可更新ばかりか、2023年と2024年まで10年以上も有効期限が残っていた運転認可証も放棄することになりました。少し欲を出しただけで、「取らぬ狸の皮算用」どころか、たちまち重大な経営問題になる可能性もあるということなのです。日本の電力会社の経営者にも、認可更新にはうまい話ばかりではなく、そのような落とし穴があるかもしれないことを認識してほしいものです。

④ 認可更新に反映されるべき福島事故の教訓:地下汚染水対策

フランスの提出した「ストレス・テスト報告書」によれば、同国は、福島事故の後、地下水汚染対策を認可更新の条件に加えています。過酷事

故が長引いた場合であっても、福島事故でのような重大な汚染水問題に進展させないためということで、具体的には、炉心溶融物に対する格納容器ベースマットの耐久性強化と、地下構造の水理学的把握にもとづく地下水脈への汚染の拡散を遅らせる対策などが含まれています。

しかし、実はこれらは、日本の認可更新手続きにおいてこそ、否、本来であれば、認可更新を待たず、どの原子力発電所においても速やかに実行されるべき要件のほうです。建屋の最地階のレベルが地下水面よりも低く、これまでの地震で建屋にひび割れが生じている可能性のある日本の原子力発電所においては、特にそうすべき理由があるからです。

地下構造の水理学的把握に関しては、すでに福島事故以前から、米国の原子力発電所においては運用されていました。敷地内には数十から100以上のサンプリング井戸が設置され、定期的に地下水汚染が監視されています。ただしこれは、過酷事故対策としてではありません。地下に埋設された配管やタンクが劣化し放射性物質が地中に漏出した場合、そのまま周辺環境に流出してしまう可能性があること、土壌の汚染によって将来の廃炉を困難にしてしまう可能性があることからの監視と、埋設機器そのものの経年劣化監視が目的でした。

今のところ日本の原子力規制委員会は、その新規規制基準の中には含めてはませんが、本来、以上のような米国やフランスの動向を考慮するまでもなく、積極的に以下の要件も審査項目として追加すべきだったと思います。

- 事業者は、敷地内の水理学的な地質構造を詳細に把握し、建屋の水密性が損なわれ、排水不能となった場合、最高どのレベルまで水没するか、最大どれほどの流量で建屋への流入が生じるか評価すること。また、そのような流入を速やかに遮断するための手段を備えること。
- 事業者は、過去に建設された地下の埋設機器、構造物などの記録を可能な限り回収すると共

に、必要に応じて再調査を実施し、敷地内の配置、布設ルートを詳細に把握すること。

- 事業者は、地下水の浸入に対する建屋の水密性を維持するための監視、保守を計画的に実施し、長期的な傾向の変化を把握すること。
- 事業者は、放射性物質による敷地内の土壌、地下水の汚染を監視するため、地下の埋設機器、構造物などの配置と、水理学的な地質構造の特徴を考慮して、サンプリング井戸を設置し、定期的に採取と分析を実施すること。

⑤ 経年劣化

5.1 「古さ」の問題もないわけではない

そもそも、米国で発電用原子炉の運転認可の期限を40年と定めた根拠は何だったのでしょうか。これを調べてみると、実は、別に40年でなければならぬ技術的根拠はなかったという答えに行き着きます。どうやら、保険会社が減価償却の年数を設定する上で必要となり、他の設備の期待寿命との相対的な比較で大雑把に決めたのが定着しただけのようです。

もちろん、原子力発電所のすべての部材が40年間の耐久性を有するわけではなく、逆に、楽々それ以上の耐久性を有する部材も多くあります。しかし、どのみち、コストさえ気にしなければ、原子炉圧力容器も含めほとんどの機器が交換可能ですので、原子力発電所の延命は、理論的には何回でも可能になります。

私が、認可更新の問題で、「古さ」、「老朽化」、「劣化」の議論を避け、その前に「旧さ」の弊害を掲げたのは、老朽化の議論が、以上のような理屈で矮小化されてしまうからです。それによって、前述した諸々の他の問題点に光が当たらなくなってしまうからです。しかし……。

現実には、老朽化の問題は、確かに存在します。それがどのようにして問題を引き起こすのか。そのヒントとなるような事例を紹介しましょう。

5.2 「旧さ」と「古さ」の共謀

これは、米国イリノイ州にあるクオドゥ・シテ

イズ原子力発電所2号機(BWR)で、2014年4月2日に発生したできごとです。外見上は小規模なボヤに過ぎませんでしたので、米国においてさえもそれほど大きくは取り上げられておらず、まして日本では、この問題に注目した原子力関係者はほとんどいなかったと思われます。

まず、2号機のタービン建屋にある蒸気配管の逃し弁が漏れます。漏れた蒸気は、コンクリートの天井で冷やされ、結露が滴下します。滴下した結露が配管を伝い、それが再び滴下します。そこに梯子状のケーブル・トレイがあり、その上に布かれた1本のケーブルを濡らします。これがたまたま、鋼材のきつい角に押し付けられるように自重で吊り下がっていたため、42年間のストレスで被覆材と絶縁材に細かいひびが生じ、そこに水が浸み込みます。地絡し過電流によって発熱し、火災が発生。ケーブルの先は、原子炉建屋内にある安全系の電源盤(MCC)。過電流を遮断して保護するためのフューズが電気回路になく、電源盤の中の変圧器が過熱し発煙。

事態の悪化は、この報告にもとづき、運転員が問題の安全系の電源盤の元電源を遮断したことで食い止められていますが、元々大したことのないはずの問題が、どのように増幅されて大きな問題へと進展していくのかを示唆する教訓です。いくつかの旧さと古さの問題、それらに偶然が重なって事故につながるという事例です。旧さと古さが共謀すると、まったく予想のつかないシナリオのトラブルが起こるものだと教えられた思いがします。

⑥ 原子力を取り巻く社会環境の変化

最後に、廃炉や認可更新の判断が、単なる安全性を巡る事業者と規制者の議論だけによるものではなく、なっていることにも言及しておきたいと思えます。

米国では、経済性と環境問題が重要な影響要因となっています。たとえば、米国世論の原子力発電に対する支持率は、天然ガスの単価の変動に連動し、これが、電力会社の経営判断にも大きく影

響いています。そして、環境問題としては、生態系に対する温排水の影響にも関心が注がれ、特に海洋生物への影響に関しては厳しさが増えています。実は、前述のサン・オノフレ原子力発電所に対しても、海への放水をやめ、冷却塔を建てるよう求める運動が活発化していました。

他方、欧州においては、科学技術と同等に、思想と倫理学が、原子力のあり方に強い影響を及ぼしているように感じられます。まず、運転のために設置した設備はいつか事故を起こすものであり、排除する以外に絶対的な回避法はないという思想。したがって、原子力安全については、過酷事故の発生頻度よりも、発生した場合の影響を軽減することに注力していること。最後に、目先の便利さや快適さ、経済的利益の追求に誘惑されないことです。米国流の費用対効果やリスクの概念は、欧州においては存在していないかのようです。

発電技術が、それだけで独立して社会に存在しているものでないことは明らかです。変化する社会環境に適合できなければ、自然環境の変化に適應できずに滅亡した恐竜と同じ運命を辿ります。テロ活動や地域紛争、国際情勢の悪化。IT技術の進歩とそれを悪用したサイバー・テロ。気象変化。経済力、政治力のバランス変化。原子力がそれ自体変わらなくても、これらの変化が、突然、あるいは徐々に、原子力や発電技術の将来を変えていく可能性があります。

⑦ 結論

ふるくなっていく原子力発電所。

心配するなと言う根拠の視点が、老朽化に伴う安全性低下に限定され、型の旧さの問題に十分な注意が払われていないことが、私には不安です。「ふるさ」について、老朽化や経年劣化だけを議論の対象とする限り、それらが適切に対処されているかのような外見上のデータを示すことは比較的容易です。むしろそれらによって、ティーンエイジャーのときよりも、アラサー、アラフォーに達した今のほうがより安全性が増したと説くことさえできるでしょう。

10月26日の原子力の日。かつて、福島第一原子力発電所の構内では、地元の人たちを招いた催しが開かれていました。夕方にはカラオケのステージが建てられ歌う人。うちわ、風船を手にした子どもたち。縁日さながらの恒例行事でした。

わざとそうしている理由を本当に知らなかったのか、正門に備えられている来訪者受付用の書式が、自社の発電所ごとに異なっていて「面倒」と不平を漏らす東京電力の若い社員。

何とも平和で、牧歌的な原子カムラ。

ピカピカの床と壁。塵一つないポンプや配管、タンク、消火ホース格納箱などの表面には、一つ一つにきれいな文字で名称が書いてあり、布設されている細いステンレス鋼配管に何気なく目をやれば、その溶接ビードは芸術作品のよう。様々な不祥事が世間に知られず、福島事故さえなかったならば、今でも小旗を持った広報担当の女性職員が、正門から続く庭園のような美しい敷地を通り、原子炉建屋の最上階まで、連日訪れる人たちを案内していたことでしょう。

私自身も含め、このような光景が思い浮かぶ人たちは、今では世間が気になり滅多に口に出しては言いませんが、心の中では当時を、「古き良き時代」と思っています。

だからこそ、過酷な事故に遭わず今日まで乗り切ってきた原子力発電所とその職員の皆さんには、その幸運に感謝し、古き良き思い出が悪夢に変わらないうちに締め括ってほしいと願います。原子力発電所の定年制の必要性やその年数に、明確な科学的根拠を付属させる努力をする必要はないと思います。仮に、ただそれを祝福して終わらせてあげるためだけとしても、決められたゴールがあったほうがよいように、私は思います。

7月号予告

7月1日発行(6月25日出
版・販売開始予定)*

特集 大陸移動説からプレートテクトニクスへ
——「大陸と海洋の起源」100年

* 6月25日は小社出庫日で店頭でご覧いただけるまでに数日かかります。店頭での在庫はお近くの書店にご確認ください。

「科学」バックナンバー

(2015年)

5月号 過酷事故への備え
——今の日本でそれは可能か

4月号 原子力発電をめぐる対話：
本来の設計・本音のコスト

3月号 〈安全〉をめぐる問い

2月号 研究不正と大学の現在

1月号 光をつくる

(2014年)

12月号 御嶽山噴火

11月号 エボラウイルスの教訓

10月号 地球の水、宇宙の水

9月号 原発再稼働：論点は何か

8月号 汚染水：溶け出した炉心のゆくえ

7月号 愛と性の科学

6月号 科学エッセイの楽しみ

5月号 核燃料サイクルの正体

4月号 日本の予算と研究費

3月号 震災・原発事故3年

2月号 科学的助言：科学と行政のあいだ

1月号 日本をおそった巨大噴火

(2013年)

12月号 甲状腺がんをどう考えるか

11月号 “科学的”とは何か

10月号 原発解体イノベーション

9月号 どうなる・どうする再生可能エネルギー

8月号 南方熊楠——森の巨人がまいた孢子^{タネ}

7月号 沖繩の自然

6月号 エネルギー転換の合理性

5月号 原子力防災の条件

4月号 越境する大気汚染：
PM_{2.5}問題の見つめ方

(価格はいずれも本体1333円+税です。)