

原子力発電って何だ

——しくみから考える原発の安全性——

後藤政志

はじめに

福島原発事故（以下福島事故とする）から5年半になるが、福島第一原発周辺の汚染は一部半減期により減ったものの、線量が全く問題のないレベルまで下がるには数十年を要すると考えられる。事故を起こした原発の中は、非常に高線量のため人が立ち入れないことから、融け落ちた溶融デブリがどこにあるのかどのような状態になっているか分からず、事故の詳細が厳密には確認できていない。福島原発事故は地震と津波がそのきっかけであることは確かであるが、それは事故の入り口にすぎない。地震、津波で電源喪失が起きたが、その後冷却系統の装置が正しく働かなかった可能性があり、事故収束にもっとも重要な計器や働くべき安全装置が機能しなかったと考える。この講演ではまず地震や津波などの自然現象の特徴とそれを条件につくられる原子力発電所の仕組みについて考えてみる。その上で、福島原発事故で起きた技術的な問題とそれを踏まえて作られたとされている原子力規制委員会の新規規制基準の性格と問題点について説明する。後半でそもそも事故はどのようにして起きるのか、技術の持つ性格と安全性の考え方を交えながら原発の基本的な安全性について考察する。

熊本地震および津波と火山

地震には、地球の表面のプレートが地球の内部の熱で移動し、他のプレートに衝突して沈み込む時に起こるプレート境界型地震と、プレート内の比較的浅い所で起こる活断層型地震がある（図1参照）。地震は、地盤の破壊による地震動が伝播していく現象で、力を受けて、摩擦、ひずみの蓄積、ズレの大きさ、発生する振動の周期と次々と起こる地震波の重なり、屈折、反射等、様々な振動現象を生じるため、極めて多様性が大きい現象である。

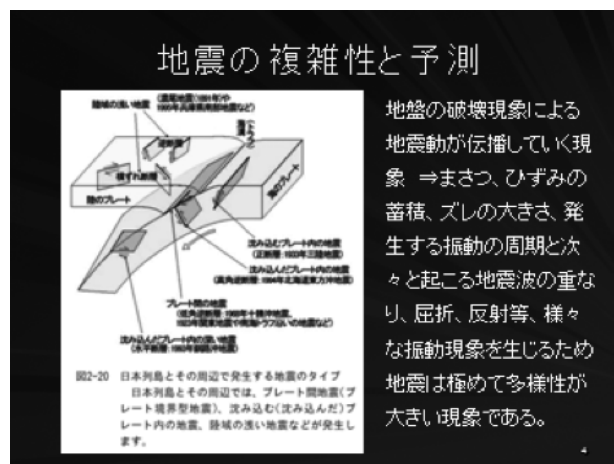


図1

2016年4月14日以降たて続きに起きた熊本地震は、従来の地震とは大きく異なる揺れ方をした。

震度7の地震が2回、震度6強が2回、震度6弱が3回発生し、地震発生以降11月30日までに震度1以上の有感地震は4165回、内震度4以上の地震が140回発生した。しかも、当初本震と見られた地震が実は前震であり、その後発生した地震が本震であるとの情報が流され、地震学者の間でも諸説が出された。地震の広がりや従来にない遠方までおよび予測が困難な地震とされ、震源が日にちと共に阿蘇地方から大分方面まで広がっていった。この地震の影響は阿蘇の噴火や場合によっては中央構造線まで影響する可能性が一部の学者から指摘された。中央構造線まで影響するかどうかは必ずしもはっきりしないが、この地震帯の先にある中央構造線の近くに伊方原発があることから、震源の移動次第で伊方原発への影響が懸念される事態となった（図2参照）。



図2

また地震発生後、震源が移動し始めた頃、熊本から活断層に沿って南西方面に震源が移動した場合には、川内原発への影響も懸念され、川内原発を止めて安全性を確認すべきとの声が上がった。さらにこの熊本地震では、地震動の成分波にゆっくりした揺れを起こす長周期地震動が含まれており、2013年に制定された長周期地震動階級で最大の階級4を記録した。つまり、高い構造物や大きな水面を有するプールなど長周期の地震動に共振して揺れが大きくなることが懸念される。

こうした、今までにない様々な地震動のあり方を考えると、従来の経験にしたがって策定した設計基準地震動が果たして十分大きめの設定であると言い切れるか重大な懸念が生じた。以前の地震動ではその継続時間が1分以内であったものが、東北地方太平洋沖地震では、継続時間は2倍から3倍近くであり、余震も相当数あったことが原発の設計に与える影響が議論になっていた。そこへ熊本地震が起き、物凄い回数余震が発生したこと、地震動の継続時間、繰り返し数が非常に大きくなった場合の原発の構造強度に与える影響が懸念されるようになった。しかし、最も大きな問題はやはり、2016年6月頃顕在化した、地震動の予測に使われている「入倉・三宅式」（地震の規模の大きさを断層の面積から推定するチャート）が過小評価になるということ、元原子力規制

員会委員長代理・地震学者の島崎 邦彦氏が指摘したことである。島崎氏は熊本地震で「入倉・三宅式」を用いて地震モーメントを用いると図3に示すように地震の規模を小さくなる可能性を指摘した。

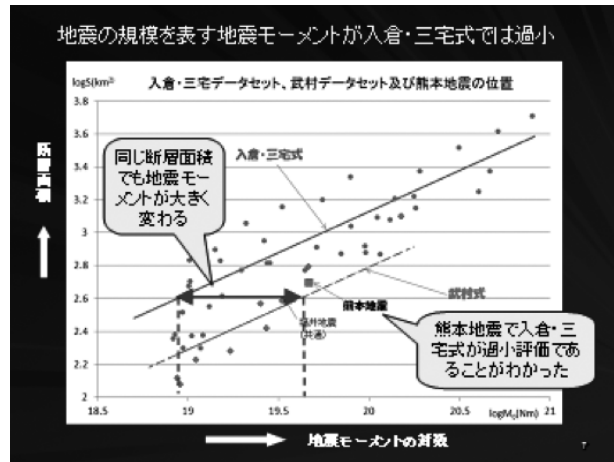


図3

断層面積の対数 (log) が一定 (2.6) の時、入倉・三宅式では地震の規模を表す地震モーメント (log) が約18.9だが、武村式を用いると地震モーメントは約19.7となる。これは、同じ断層面積に対して武村式は入倉・三宅式に比べて、0.8程度大きい。地震モーメントが0.8大きくなると地震のエネルギー (N・m) は約6.3倍ほど大きくなる。(地震モーメントが1.0大きくなると地震のエネルギーは約32倍になるが、地震モーメントが2.0大きくなると地震のエネルギーは1000倍になる。) この入倉三宅式と武村式を比較した図3に示すように、熊本地震の地震モーメント19.5程度で、武村式に近く入倉・三宅式に比べて0.6大きい。つまり、入倉・三宅式で予測した熊本地震のエネルギーは約4倍程度大きかったことになる。このことから、島崎 邦彦氏は、入倉・三宅式は過小評価の可能性があると判断した。なお、厳密には、活断層の傾きが地面に垂直に近い角度の場合にこの誤差が大きくなると指摘していた。

このように、現在も原子力規制委員会で使われている地震動の予測式に過小評価する傾向があることが重要な問題であり今も解消されていない。また、2007年新潟沖地震で柏崎刈羽原発で計測された地震動は、設計基準地震動450ガル (980ガルが重力加速度。450ガルは自重の約半分の力を生じる加速度) に対して最大1699ガルと約3.8倍の加速度が計測された。通常は、震源で発生した地震動が地中を伝わる時に、距離と共に減衰していき振動が小さくなるはずだが、大きく増幅することがあることが分かった。

設計基準地震動というものは、過去の地震データや活断層の大きさ等から、将来発生する可能性のある最大規模の地震動を推定したもので、これ以上の地震動が発生することはほとんどあり得ないとして設定したものであるが、それを2, 3割どころか4倍近くも大きな揺れが発生してしまった。

それに対して、東京電力はその原因を地下構造の調査に基づき、図4に示すように震源で約1.5倍程度、深部地盤における不整形性で2倍程度、古い褶曲構造で1～2倍程度の増幅あるいは評価間違があったとした。本来は減衰するところで逆に増幅するという事実は、従来の地震動設定に致命的な欠陥があったことを意味している。図4の説明も大幅に大きくなった観測データがあったので、地中を調べた結果増幅のメカニズムが解釈できたとするのであるが、全く観測データがない状態で、地中の三次元的な構造を調べて、何倍増幅するかは正確に求まるはずがない。せいぜい減衰するか、あるいは増幅するか、増幅するとしたら何倍程度増幅する可能性が高いかといった程度のこと、定量化した予測が可能だとすること自体が非科学的である。相当な幅があるとみるべきだ。

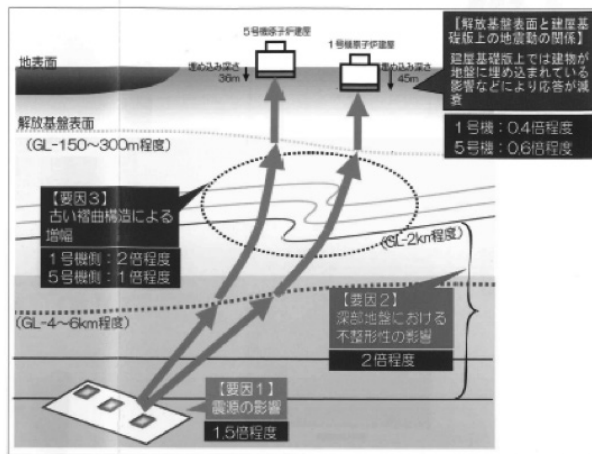


図4

こうしたことは、津波や火山に関しても言えることで、自然現象による規模の最大値を理論的に求めることはほぼ不可能であり、過去のデータで最大値を推定することも限界がある。地震では、兵庫県南部沖地震以来、新潟沖地震、熊本地震など過去のデータからは説明の付かない規模の揺れや、パルス状の衝撃的な揺れおよび長周期動揺などの特殊な揺れと、余震や複数の地震による繰り返し回数的大幅な増大が増発している。原子力規制の基準も福島事故以降改訂してきたとは言え、実際に生じた地震の多様性と規模に追いついていないことが明らかになっている。津波についても、各原発サイトの設計基準津波の設定が、十分大きな値になっていて、それ以上の津波は来ないと言うレベルまで引き上げられてはいない。津波の規模の大きさは、東北地方太平洋沖地震であったように、船を建物の屋上に載せてしまったり、川を遡上して行き大きな被害を出ただけでなく、気仙沼では、タンクから流出した油が流された瓦礫と共に燃え広がり、周囲の海を何日にもわたって火の海にしてしまった。油だけではこうした火災は起きにくい、瓦礫と一緒に燃える大規模な火災となるいわゆる津波火災も無視できない。

津波は、その予測精度から考えて、防潮堤を超えることも否定できないため、建屋の入り口には、

津波に耐えられる分厚い水密扉が設置されている。これらの扉が開いている時に地震が発生したら、担当者が数名で閉めに行くことになっている。大地震があった直後に、津波が来る前に人が行って扉を閉めるという事が果たして現実的な考え方であろうか。地震から津波までの時間が福島原発事故のように30～40分あればまだいいが、奥尻島津波のように、地震から津波まで5～10分以内の場合には閉める時間などない。東北地方太平洋沖地震でも、防潮堤の水門を閉めに行った消防団員が殉職している。なお、津波は地震だけが原因ではなく、海底地すべりや火山の崩壊などによっても発生する。国内でも、雲仙の噴火で大量の火山噴出物や山腹崩壊で、対岸に大きな津波を生じたとの記録がある。インドネシア周辺は火山が多く、歴史的に大規模山腹崩壊により30～40mもの津波が発生したとの歴史がある。世界最大の津波は、アラスカ太平洋岸のリツヤ湾で、1858年に山腹崩壊で520mの巨大津波が記録されている。しかも、大規模な津波は120年間に5回も発生している。これほど大きな津波が日本で発生することは考え難いが、現在各原発で、設計基準津波として5、6m程度を設定しているところが多くあるが、津波という不確定な現象を扱うことを前提に考えれば過小評価であると言わざるを得ない。

火山にいたっては、規制基準を作ったものの、火山学者の提言を無視した内容で進めてきており、大規模な噴火はその前兆現象があった段階で対処（核燃料取り出しなど）する事としており、特に桜島や周囲の大規模なカルデラ火山の可能性を現実的な問題として考慮していない。大量の火山灰の発生に関しても、非常用ディーゼル発電機の空気取り入れ口のフィルターの目詰まりなど深刻な問題である。

原子力発電の仕組み

日本の原子力発電の仕組みは2つあり、福島で事故を起こした沸騰水型(BWR)と加圧水型(PWR)に分かれる。BWR(Boiling Water Reactor)は、米国のゼネラルエレクトリック社(GE)が開発したもので、それを東芝、日立がメーカーとして技術を引き継いできた。主として東日本で使われており、東京電力をはじめ、東北電力、中部電力、北陸電力、中国電力、日本原電等が使用している。原子炉に直径10mm程度、長さ4m程度の燃料棒を束ねて(燃料集合体という)置き、周囲に水を循環させて、中性子の速度を落とし、核反応により熱を発生させる。原子炉は、燃料集合体の間に挿入した、中性子を吸収する制御棒で核反応の発生を抑えているが、制御棒を抜くことで中性子の量が増え、燃料棒の中のウラン235が核反応を起こす。天然にあるウランは核反応を起こさないウラン238が約99.3%で核反応を起こすウラン235は約0.7%に過ぎない。そこで、この天然イランからウラン235を2～5%程度まで濃縮させて核燃料をつくる工程が必要になる。ウラン238とウラン235は同じウランであり化学的性質は同じであるため、薬品による化学的分離はできず、わずかに違う重量の差、つまり重さ238対235のごく小さい重さの違いを利用した遠心分離装置などで、何回も何回も分離作業を続けて、ウラン235の濃度を上げていく。ウラン235の濃度を90%以上に濃縮

した核物質が核爆弾の材料になる。

BWRの特徴は、制御棒を下から挿入することと、原子炉内で核反応による熱で水を蒸発させて、発生した蒸気でタービンを回し、その回転運動で発電機を回し発電する（図5参照）。原子炉の蒸気の温度は約280℃、圧力は約70気圧程度である。

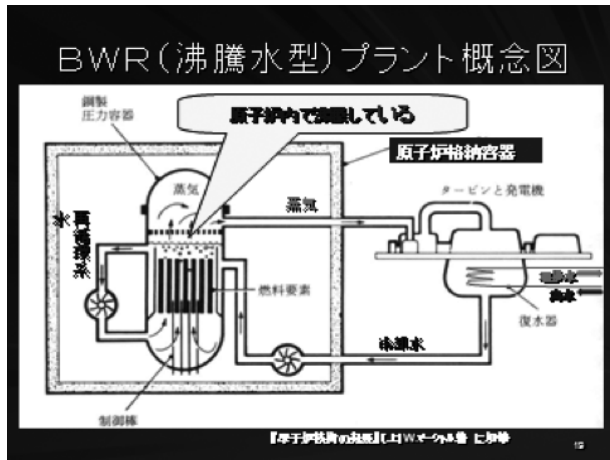


図5

制御棒を上から入れないのは、原子炉上部に蒸気を発生させる装置があるためだが、どんなに精巧に制御棒駆動装置を作っても、機械が故障したり、人のミス等が重なると制御棒が抜け落ちることがある。つまり、制御棒は通常は間違っても重力で落ちてしまうことのないよう、落下防止用のツメを付けているが、制御棒を出し入れする場合には、落下防止用のツメを外すことになる。この時、タイミング悪く誤って制御棒が抜ける方向に力が働くと制御棒は抜けてしまうことになる。実際に東電、東北電や北陸電力等で予期せぬ制御棒の引抜き事故や誤挿入が10回以上起きており、その内2回は臨界に達している。この制御棒引き抜く事故の全貌は10年以上に渡って電力会社によって隠されていた。

他方、加圧水型PWR (Pressurized Water Reactor) は、米国ウェスチングハウス社 (WEC) 製で日本では三菱重工が技術導入し、北海道電力と西日本の関西電力、四国電力、九州電力、日本原電等が使用している。燃料棒の間に中性子を吸収する制御棒クラスター（制御棒が少しずつ離れた位置にある）を上から挿入する仕組みになっている。そのため、BWRのように重力で制御棒が抜け出すことはない。ただし、大きな地震があると、重力で制御棒を落下するようになっているため、ひっかかって制御棒挿入が遅れる危険性はある。また、最も重要な点は、原子炉内の冷却水は温度約325℃、加圧器で圧力を約157気圧程度まで上げ、原子炉内で蒸発させない仕組みになっている（図6参照）。

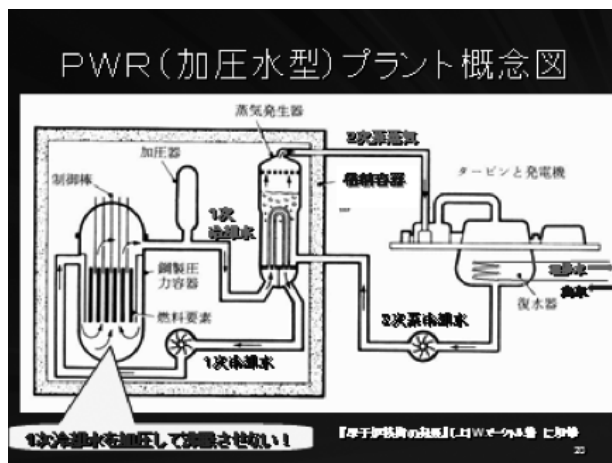


図6

通常1気圧では100℃以上になると蒸発して蒸気になるが、圧力をかけると沸騰せずに熱いお湯の状態になる。その熱いお湯を1次冷却材ポンプで蒸気発生器の逆U字型細管に送り、蒸気発生器内で細管の外側に流れる2次系冷却水に熱を渡し蒸気を発生させる。その2次系の蒸気をタービンの回転翼に吹き付けてタービンを回転させ発電する。つまり、PWRは、1次系は全く蒸気が無い熱いお湯が循環しているため、核反応の制御がし易い。また、蒸気発生器で配管破断事故が起きない限り2次系の冷却水は放射能による汚染の心配がない。

福島原発事故の概要

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震が東日本を襲い、福島第一原子力発電所の外部電源が喪失した。原発は機械装置など電気でも動く装置が多く、外部つまり別の発電所から送電線を使って電気を受電している。福島第一原発の1号機から3号機は運転中で4号機から6号機は停止中であったが、運転中のプラントは地震の揺れを感知して数秒内に自動的に制御棒が入り核反応を停止した。しかし、地震で送電線の鉄塔が倒れたり、変電所の機器類が地震で壊れたりしたため、外部電源喪失が喪失した。直ちにタービン建屋地下にある非常用ディーゼル発電機が起動して電源を確保した。原発は停止しても、核燃料は熱を出し続ける（これを崩壊熱という）ため、相当長時間にわたって炉心を冷却する必要がある。

地震から約40分後、津波が来て建物の外にある冷却用水や軽油のタンクおよび海水冷却系のポンプ等を破壊し、建屋のドアや空調の空気取り入れ口などから浸水して電気系統の配電盤や非常用ディーゼル発電機システムを水没させ機能を喪失した。この段階で、どの機器類が機能を失っていたかは必ずしも良く分からないが、少なくとも交流電源だけでなく直流電源まで失う全電源喪失という極めて危機的な状況になった。中央操作室の電気は消え、計器類もすべて見えなくなった。機

器類が動いているかどうか分からない最悪の状況になった。1号機には非常用復水器（IC）という交流電源がなくても、原子炉の蒸気で駆動できる冷却システムがあったが、いくつかの原因で機能しなかった。ICの蒸気配管は、原子炉から出て格納容器の鋼板を貫通してICの冷却水プールを通り、冷却された蒸気が水にもどり、再び格納容器を貫通して原子炉にもどるようになっている。格納容器の鋼板の内外に一つずつ隔離弁があり、その弁が電源を喪失した時に自動的に閉まってしまった可能性がある。そもそも炉心冷却が出来なくなると、燃料の被覆管が水蒸気と反応して大量の水素が発生し、ICが機能しなかったのではないかと見られている。2号機、3号機は高压で蒸気駆動により冷却する隔離時冷却系（RCIC）や高压注水系（HPCI）などが一部機能したが、やがて冷却ができなくなった。

結果として、1号機、2号機、3号機とも炉心溶融という最悪の過酷事故（シビアアクシデント：新規制基準では、重大事故とよぶ）を起こしてしまった。炉心溶融を防ぐためには、まず高压系の緊急炉心冷却系（ECCS）で冷却をし、だめであれば主蒸気逃がし安全弁（SR弁）で原子炉を減圧し、低压系のECCSで冷却するはずである。しかし、電源が無く、計器やバルブ操作に必要なバッテリーもなく、車のバッテリーまで調達して極一部のバルブ操作しかできず、冷却が困難を極めた。減圧に必要なSR弁もなかなか作動できず、やっと減圧しても、低压系のECCSは電源が無いため使えず、過酷事故対策として外部から消火系配管に繋ぎ込んで消防車を使って注水した。しかし、注水したつもりが、通常使うシステムではなく系統の機能確認もできていなかったことから、接続された他の配管から復水器に大量に流れてしまい、原子炉に入った水は半分以下だったとみられている。

なお、事故の進展を食い止められなかった原因はいくつもあるが、格納容器の温度が設計条件よりも大幅に上がったため、原子炉の水位系が正しい値を示さなくなっていたことが非常に重要である。また、核燃料から大量の水素が発生したが、原子炉から格納容器内に充満した。BWR型格納容器では、水素爆発を防止するため、運転前に格納容器内に窒素ガスを注入して空気を追い出している。したがって、少なくとも事故の初期の段階では格納容器内で水素爆発を起こすことはない。しかし、立て続けに水素爆発を起こしたのは、格納容器内の圧力が設計圧力より上昇し、格納容器のトップフランジ（格納容器上部の蓋で、ゴムのガスケットをボルトで締めつけた構造）などから水素が漏れて原子炉建屋内で爆発したとみられている（図7参照）。

炉心溶融を起こしてしまうと、水素爆発だけでなく、冷却材である水と溶融デブリ（融け落ちた核燃料と周囲の金属の溶融物）が接触して水蒸気爆発を起こす可能性がある。

しかし、福島第一原発の格納容器は、原子炉の真下ではなく下部の周囲に圧力抑制プールがあるため、溶融デブリが水プールに落ちて大規模な水蒸気爆発を起こさなかったとみられる（図8参照）。

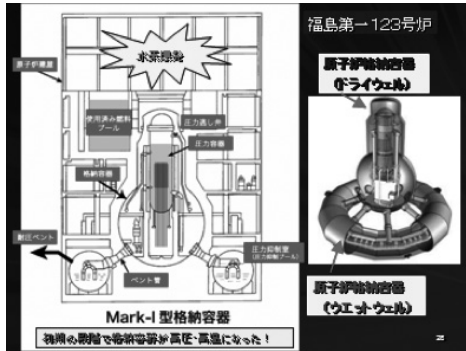


図7

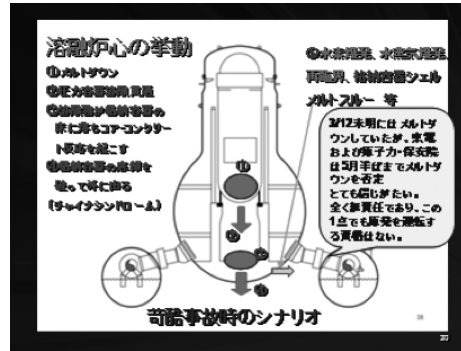


図8

過酷事故対策は有効か

融けた燃料が原子炉を融かして格納容器の床に落ちてそのまま冷却ができないと、溶融デブリはコンクリートと反応して大量のガスをだす。この反応をコア・コンクリート反応 (MCCI) というが、事故の収束をさらに難しくする。

PWRでは、最短事故発生から19分程度で炉心溶融が始まり、1時間半以内には圧力容器を融かして原子炉キャビティに落下してしまう。川内原発や伊方原発、玄海原発等すべてのPWR原発では、溶融デブリが落下する前に、原子炉キャビティに水を張り、溶融デブリを水中に落として冷却しコア・コンクリート反応を防ぐとしている。しかし、その手順は本来水蒸気爆発を防ぐため、水と溶融デブリの接触をさせないという従来からある原則を全く無視するものであり、長年、水蒸気爆発の研究をしてきた研究者から見ると自殺行為以外のなにものでもない (図9参照)。PWR原子炉は、炉心溶融を起こすと、事故の進展によっては原子炉の冷却ができなくなるので、原子炉の冷却はあらかじめ、格納容器スプレイで格納容器を冷却し同時に格納容器下部に水をはって事故を収束させようとするこのやり方は、火山や金属工場でよく起きる水蒸気爆発の破壊力を的確に判断しているのか極めて疑わしい (図10参照)。

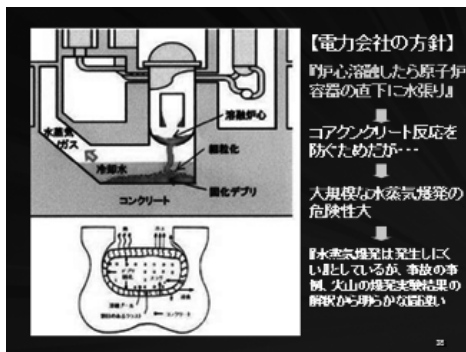


図9



図10

「格納容器ベント」という考え方

福島事故でもうひとつ大事な話は、格納容器ベントである。格納容器は本来、事故があっても放射性物質を閉じ込めるためだけに設置したもので、福島事故以前は安全の最後の砦であるとし、「チェルノブイリ原発事故では格納容器がなかったからいけなかった。日本の原発は格納容器があるから安全だ」としてきた。しかしながら福島事故では、冷却系が機能せず、格納容器の圧力・温度が大幅に上がってしまい、このままでは格納容器が破壊されてしまうということで、格納容器ベント（図11参照）を実施して、格納容器の破壊を防ごうとした。

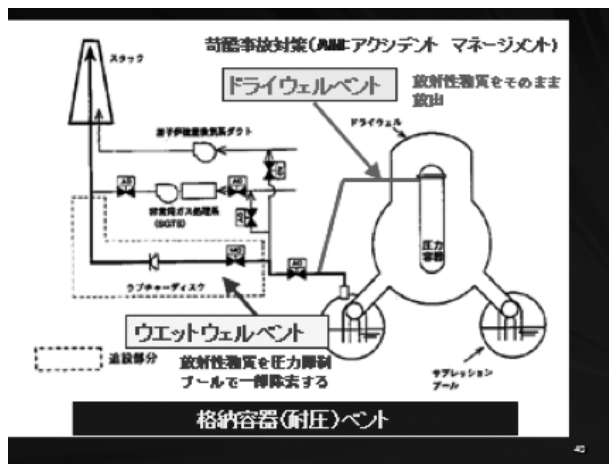


図11

実際には、格納容器ベント用のバルブが上手く開かず、ベントしようとしてから8時間もかかってやっとベントできた。しかも、実際にベントがうまくいったかどうかも疑わしい状況である。そもそも、格納容器ベントは、本来閉じ込めるべき放射性物質を意図的に放出してしまうことになる。BWRでは、圧力抑制プール水をくぐらせて格納容器ベントするから放射性物質を多少捕れるとしているが、実際にはプール水の温度が上がり過ぎて放射性物質をそれほど減らせない事態が起きていた。さらに、格納容器ベントの前に、フランジは電気配線の貫通部が温度で損傷してすでに漏れていた可能性が高い。新規基準では、フィルターベントといって格納容器ベントに大型のフィルター装置を付けることにしたが、これも水素対策や水量の制御など非常に複雑な装置になるため、事故の時にどれだけ機能するか保証の限りではない。万一機能しなければ、格納容器から直接放射性物質を放出することになる。「フィルターベントを付けたから安全だ」という考え方は、かつて六本木ヒルズの回転ドア事故であった「回転ドアは、赤外線センサーがあるから安全だ」とした考え方と酷似している。赤外線センサーは検出機能に限界があり、さらにセンサーが故障していたらどうにもならないこと、機能しても検出してから勢いで25センチメートルほど動いてしまうことが後から分かった。安全上重要な装置はフェールセーフ設計にすべきだが、フィルターベントはそう

なっていない。複雑すぎて、まともな安全設計になっていない。

また、過酷事故対策というものは、本来働くべき安全装置が働かないため、人の手で電源を用意したり、ホースをつないで冷却したりするが、大規模な地震による地割れや津波による瓦礫の散乱、事故の進展に伴う水素爆発や放射性物質の漏えいなど、福島事故のように様々な想定外の事態が起きるので、成功する可能性は極めて限られてくる。

不確かな発生確率をどうみるか

事故は、地震や津波、火山などの外部事象と、機器の故障や配管などの破損による内部事象と人のミス等が複雑にからんだ形で起こる。原発の場合、地震や津波、火山などは、はじめに議論したように、自然現象であるためその最大値を理論的あるいは経験的に求めることはできない。1万年に一度とか十万年に一度あるいは百万年に一度という非常に頻度の小さい確率を検証するには、データを集める期間はそれらよりはるかに長期にわたるものとなり、十万年、百万年あるいは一千万年といったとても長い期間データを蓄積しなければならないが、人類が地震に関してどれだけのデータを検証できているのだろうか。少なくとも、地震学者が1万年に一度とか十万年に一度といった発生頻度の少ない地震（設計基準地震動）が全国約50基の原発で過去10年間に5回も起きているが、想定した確率と実際に発生した確率が100倍も違うのは、明らかに想定上の確率が間違っていたことになる。

航空機落下に関しても、原発サイト毎に航空機の落下確率を計算し、10⁻⁷/炉年以下であるから評価不要としている。しかしながら、航空機事故においては想定外のような事故があり、特に新型機の導入による大型化や高速化、便数の増加もあり、無視できるものではない。無意味な確率計算をするよりも、直接航空機が原子炉建屋へ衝突した場合の強度評価をまずすべきであろう。ヨーロッパでは強度評価をして、強度が足りない場合、二重格納容器にする等具体的な対策をしている。例えばPWRの場合には、大型航空機が衝突すると厚さ1m内外のコンクリート建屋や厚さ40mm程度の鋼製格納容器を突き破り、格納容器内で主要設備が破壊し、航空機燃料から大規模な火災が発生することが危惧される。物理的にこうした深刻な事態が想定される場合、発生確率が小さいとして無視することは、福島原発事故を全く反省していないことになる。（図12参照）

安全性の考え方

原発事故における事故の収束がいかに困難であるか、いくつかの事例を基に解説したが、そもそも安全性とは何かということを考えてみる。機械の安全性における「安全な状態」というものは、「その機械を使用することで、取り返しのつかないつまり修復不可能な怪我や危険な事態が発生するリスクがない」ことである。例えば、ある機械を設計する時、部品が故障したり、人がミスをしたり、不適切な使い方をしても指や手を切断してしまったり、機械に巻き込まれて死んだり、有毒な物質



図12

が漏れて後遺症が残るような「危険性がない」ようにものをつくることが求められる。そもそも物をつくることは、人に対し利便性とか快適性などをできるだけ安く提供することが求められているが、その有用性を提供した時に「当事者にとって受容できないリスク」が予め分かっている危険な物を世の中に出すことは許されるはずがない。

安全か危険かという判断において、はっきりしない「グレーゾーン」が存在する。安全性の問題は、このグレーゾーンにおいてどのように判断するかが重要である。グレーゾーンで、はっきりしないまま危険がないと思って運転してしまうことが事故につながる。『危険を見つければ止める』だけでは、安全は確保できない。これを【危険検出型】という。では、グレーゾーンにおいては、『安全が確認できたら運転』とする【安全確認型】が重要である。この考え方は、元明治大学教授の杉本旭氏が提唱した考え方である。例として、霧の高速道路で起きた250台以上の自動車の追突事故を掲げる。霧の高速道路で視界が悪い中、前の車のテールランプだけを頼りにノロノロ運転をしていた。前の車が何らかの危険が生じ車を止めようとする、その車のブレーキランプが付きそれを見た後続の車は「危険が検出された」として、ブレーキをかけて車を止める。その後続車も前の車のブレーキランプを見てブレーキを踏む。こうして、すべての後続車は前の車のブレーキランプを見てブレーキを踏み、止まることができ事故は起きないはずだ。しかし、ここでもし不注意な人がいて前の車のブレーキを見落とせば、ブレーキを踏まずにそのまま突っ込んで追突してしまう。追突した車はブレーキを踏んでいないから後続車は唯一の危険信号であるブレーキランプがないため何も疑わず追突する。この車もブレーキを踏むこともないままぶつかるので、後続車はすべて次々と衝突し、250台でも多重衝突を起こしてしまう。これが【危険検出型】の限界である（図13）。

杉本氏によると、【安全確認型】という考え方によれば、「霧の高速道路では安全を確認することができないから運転すべきではない」という結論になる。

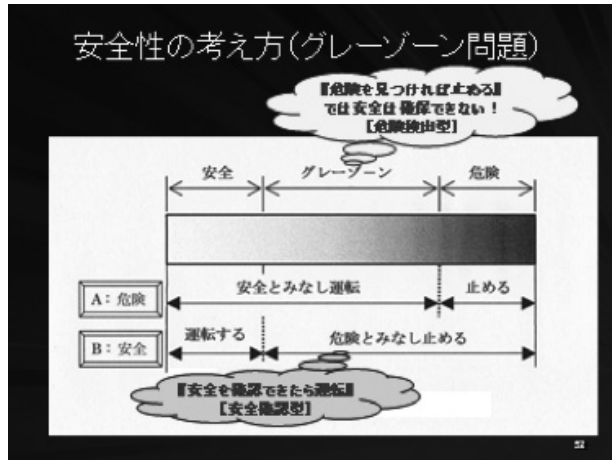


図13

こうした議論は、一見原発のような複雑なシステムで社会的にも様々な見方があるような場合には、簡単には適用できないと思われがちだが、決してそのようなことはない。むしろ、電力会社や原子力規制委員会で議論している安全の議論は、この安全性の考え方を無視または軽視していることが問題であり、地震や津波の外部事象、機械の故障や人のミス、人の力にしか頼ることのできない過酷事故対策などあらゆる議論に共通している。

また、技術における安全には、『確率的安全』と『確定的安全』があり、前者は図14のようなスイッチを入れて電気を流し電磁石でブレーキをかけるシステムである。

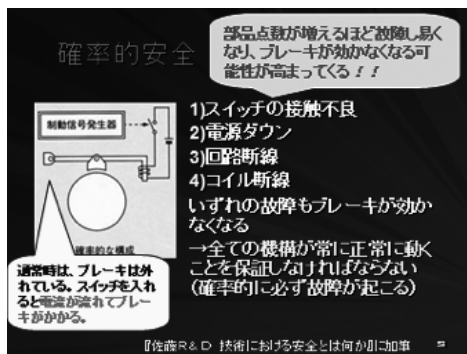


図14

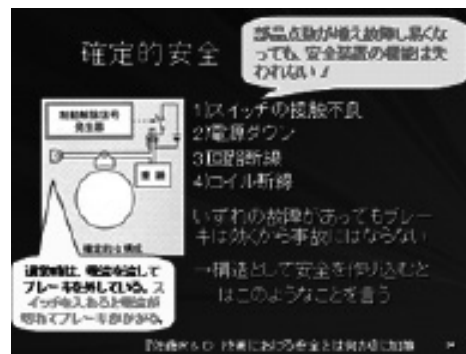


図15

このシステムでは、スイッチ、電源、回線、コイルなどすべての部品が正常に作動した時にはじめて機能するブレーキである。どれかひとつの部品が壊れただけでブレーキは効かなくなる。しかも、部品点数が増えれば増えるだけ、故障する確率が増えていき安全ではなくなる。つまり、部品の故障率に依存して安全が左右されるため、『確率的安全』と言われる。先に説明した回転ドアは赤外線センサーに依存した安全性であり、典型的な『確率的安全』である。こうしたシステムは、

すべての部品が正常に作動することが求められるが、装置全体は多くの部品から構成されており、部品の故障がいずれ必ず起こるので、いずれかの部品が故障するたびに安全機能が阻害される。

これに対して、図15のようなシステムを考える。ブレーキ装置に重りをつけて何もしないとブレーキがかかる仕組みにする。そしてスイッチが入っていない状態で、常時電気回路に電流を流して電磁石で重りを吊り上げてブレーキをはずしておき、走行できるようにする。止めたい時には、スイッチを入れる(流れていた電流を切る)と磁石が働かなくなり、重りの重さでブレーキがかかり車輪を止めることができる。このようにすると、回路を構成するある部品が故障して電流が切れても自動的にブレーキがかかる。部品点数が増えても、故障はし易くなるがブレーキの機能つまり安全機能が失われることはない。このように、いずれかの部品が故障してもブレーキは機能するように、構造として安全をつくりこむことが安全設計の基本である。このように、部品の故障率に依存しない安全系を確定的安全という。原発も、本来こうした確定的安全設計を目指すべきものですが、実際にはこうした違いを理解していないか無視して確率的安全に依存したものになっている。

原発の安全性と代替エネルギー

改めて原発の安全性を考えてみると、①想定した地震・津波・火山等の最大値を超えることが有り得る。②核反応は急激なので制御が難しい。③保有するエネルギーの大きさから制御に失敗した時には、工学的には無限大の出力となる。(科学的には無限大などあり得ないが、工学的には出力の上昇が大きく、材料の強度レベルをはるかに超えてしまうと言う意味である。)④核反応を止めても崩壊熱が出るので冷やし続ける必要がある。⑤配管が切れたりバルブ等が開固着する(開きっぱなしになる)と冷却材喪失事故になる。⑥電源が失われると冷却が困難になる。⑦炉心冷却ができないと炉心溶融が起こる。⑧大量の水素が出る。⑨溶融デブリが圧力容器から溶け出して格納容器に落下し水と接触すると水蒸気爆発を起こす危険がある。⑩格納容器床に出た溶融デブリの冷却ができないと、コア・コンクリート反応をおこしどこまでもコンクリートを侵食する。⑪格納容器も冷却に失敗すると、格納容器ベントをする必要がある。⑫過酷事故対策は、設計条件を超えた環境になるため、装置が確実に動くとは限らず信頼性がない、などの特徴がある。しかし、ここで示したシナリオは代表的なシナリオに過ぎず、もっと様々な事故の形態が有り得る。

原発は、一旦事故を起こすと収束が難しく、被害の規模は計り知れない。国の存続を脅かすこともあり得るし、後世まで影響を残す。発生する放射性物質は安全に処理する技術を持たない。技術というものは失敗を繰り返して発展するものだが、失敗が許されない原発は技術として成立していない。そうした不完全な原発は、発電コストの面でも放射性物質の処理や事故の損害費用などを考慮すると高いものにつく。省エネ住宅や機器の省エネ化の推進によりエネルギー消費を抑え、リアモーターカーのようなエネルギー多消費型の技術をやめ、環境の代替エネルギーとして、有力な自然エネルギーが普及できる環境を整備して、当面は効率の良いLNG火力などと組み合わせて行け

ば十分エネルギーは確保できる。化石燃料も核燃料もやがて枯渇するエネルギーであり、人類は必然的に自然エネルギーの利用に向かわざるを得ない。自然エネルギー以外のエネルギーが淘汰されていくのは、歴史の必然であると言っても過言ではない。そもそもエネルギーの安定供給を目標にしてきた原発だが、大規模な地震で多数の原発が長期にわたって止まってしまふ。例え事故に至らなくても、大きな地震に襲われた原発は、火力発電などとは違って、健全性の確認のために調査が必要なため、長期にわたって止まることがある。日本のような地震国では、いつ多くの原発が地震で止まってしまうかわからないリスクを持っている。日本では原発は決して安定したエネルギー源とは言えない。

そして、さらに重要なことは、原発の事故のリスクを負う当事者に、具体的な説明もなく、選択権や拒否権を与えていないことである。すでに述べたように、原発事故の被害を受ける可能性のある住民は単に30kmといったレベルではなく、事故の多様性を考慮すると、少なくとも250kmかそれ以上の距離まで原発事故の影響を受ける当事者として発言の資格がある。少なくとも、こうしたリスクを一方的に押し付けられた当事者の意見を無視したまま進める原発政策は民主主義と相いれない。事故が無くても、原子力発電所の作業員を犠牲にする被曝労働は残り、運転することで生じる核のゴミは向こう10万年もの期間管理を必要とする。

福島事故を真摯に反省すれば、事故を確実に抑え込める状況にないことが分かっているのに、原子力規制委員会が規制基準に適合していればそれで良しとして、安易に再稼働や原発輸出などに向かうことは正気の沙汰とは思われない。