

# 深層防護の考え方とフィルター・ベントの設計

佐藤 暁

さとう さとし  
原子力情報コンサルタント

過酷事故対策の一つとして、フィルター・ベントの設置が、ようやく日本の原子力発電所にも取り入れられることになりました。これ自体は必要なことだと思います。ところが、地域の原子力防災計画の前提として、この新設される設備に期待してよいものかどうかという議論が次にあり、この点に関するガイドラインがないことから、自治体関係者は悩まされているようです。

事故を起こした原子炉から放出される放射性物質のうち、残留しない貴ガスを除く成分に関しては、フィルター・ベントを通過するかしないかによって、周辺環境への放出量が3桁か4桁くらい違いますので、たとえばどの範囲の住民が、どのくらい迅速に、どこまで避難すればよいのかが大幅に変わってきます。フィルター・ベントが働かず、避難してくる人々を助けてくれる役割を果たすはずの人々までもが一緒に避難することになったのでは、その外側にさらに大きな受入体制を確保しなければならなくなり、避難のための交通手段、臨時避難場所、そこでの食糧、飲料水、寝具、冷暖房設備、日用品の調達計画、傷病者、心身障害者や高齢者のケア、家畜やペットの世話、防犯、そして長期的な仮設住宅の用意等々の規模が、文字通り桁違いに違ってきます。(フィルター・ベントの有無とは関係ありませんが、事故直後に福島第一の周辺から避難してきた人々を村民総出の炊き出しで迎えた川内村の人々も、すぐに避難を指示され、大混乱が生じています。)

したがって、自治体関係者にとっても、フィルター・ベントの効能は期待したいところでありましょう。国にとっても同じ事情のはずです。自治体が自力で対応できないことになったのでは、国が次の受け皿にならなければなりませんから。そして、その場合の国の支援が具体性のある計画として描かれないときには、当然、「それで原子力発電所を運転してもよいものなのか？」という問題が、電力会社に突き付けられます。その結果、電力会社は、フィルター・ベントの効能が期待できることを懸命にアピールしなければならなくなります。

原子力防災計画におけるフィルター・ベントのクレジットは、このような政治力学の下で議論されるというデリケートさを含みます。その場合、どのようにこのクレジットの可否を決定するのが公正なのか。

## 1 深層防護の考え方

周知のとおり、原子力防災計画とは、国際原子力機関(IAEA)が定義する「五層」の深層防護の概念のうち、最も外側(第五層)に相当するものです。そして、フィルター・ベントは、そのすぐ内側(第四層)、すなわち過酷事故対策の一設備として新たに追加されたものと位置づけられます。したがって、これから私たちが議論する問題は、「『第四

層』をより充実させることのメリットを『第五層』の緩和として反映するのは妥当か?』と言い換えることができます。

時代を戦国時代にまで遡らせ、城を取り囲む五重の城壁をイメージし、外側から「第一の壁」、「第二の壁」と数え、最も内側に「第五の壁」があり、それぞれの壁に守備隊が配置され、「第四の壁」を50人の兵士が守っていたとしましょう。そして、これを100人に増やしたことで「第四

の壁」の守備力はより堅牢になったのだからと、「第五の壁」の守備力を半減することを守備隊長が提案してきたとします。城主があなたで、以前、敵軍に第五の壁まで破られ、危うく殺されかけた苦い経験があるとき、あなたはこれを承認するでしょうか？「ちょっと待て。「第五の壁」は、「第四の壁」が破られる場合に備えたものだ。お前の提案では、「第五の壁」はないも同然だ。却下だ。」と答えませんか？

答えを急がず、まずは、「深層防護」の思想について一から整理してみましょう。

### 1.1 常識としての深層防護

「深層防護」は、原子力の世界だけの特殊な概念ではありません。そのような言葉こそわざわざ使いませんが、私たちは、日常にそれらを取り入れて生活しています。貯金や健康保険、生命保険から、インターネット・ショッピングのパスワードまで、様々な種類があります。しかし、大事なことは、それらが本当に役に立つのかという点です。電池が切れて灯らなくなった懐中電灯、使用期限が過ぎた消火器、物で塞がれた非常口など、しばしば役に立っていない深層防護もあつたりします。滅多に使われることがないものほどそうなりがちです。

深層防護は設備や機械の設計にも反映されます。火災報知器のケーブルが火災で断線して火災を知らせなくなったのでは意味がありませんので、特殊な耐火ケーブルが使われます。これは当然のことですが、次の場合はどうでしょう。

日本の高速道路では、自動車の制限速度が時速100 kmなのだから、120 kmでタイヤがバーストして事故が起こっても、タイヤ・メーカーの責任ではない。最大積載量を2割オーバーしたトラックが、下り坂でブレーキが利かず事故が起こっても、メーカーは悪くない。最大積載量の2倍を積んだ大型トラックが、時速150 kmでガードレールを破って民家に激突する事故が起こっても、ガードレールの設計が悪いわけではない。

いずれも責任が運転手にあるのは間違いありま

せん。しかし、時速150 kmを出せる自動車に、時速120 kmでバーストしてしまうタイヤが装着されている設計は正しいでしょうか。最大積載量の2倍が積めてしまうトラックのブレーキが、1.2倍で利きが悪くなってしまうのは問題ないのでしょうか。想定し得る違反運転に耐えられないガードレールの設計も適切と言えるでしょうか。まずは、このような例題をいろいろ考え、頭の準備体操をしてみましょう。

### 1.2 原子力の深層防護

では、原子力の深層防護について考えましょう。原子力に対しては、一般産業よりもさらに高度な深層防護が組み込まれているべきですが、まずは実際にそうである実例を示します。

#### 1.2.1 火災防護

米国の原子力発電所における火災防護の深層防護は、次の3層で構成されています。一見してわかるように、第一層が成功しない場合のために第二層、その第二層も成功しなかった場合に備えて第三層があります。

第一層：火災を発生させない。

第二層：発生した火災を速やかに検知し消火する。

第三層：消火できない火災の延焼を防ぎ、原子炉の安全停止機能を維持する。

火災を発生させないためには、厳重な可燃物・発火源管理が運用されますが、それでも火災はどこでも発生すると想定します。そして、その場合に備えて火災検知器と自動消火装置(スプリンクラー、消火ガス噴射設備など)を設置し、自動消火の失敗に備えては、自衛消防隊が24時間体制で待機し、建屋内の各所に消火栓と消火器が設置されています。しかし、自衛消防隊の消火も成功しない可能性はありますので、あらかじめ建屋内を耐火性の壁、床、天井で仕切り、火災をその空間内に封じることによって、最悪の場合でも、安全に原子炉を停止できる機能の維持を図ります。

第三層の安全停止機能の維持というのは、実際

には難しい問題を含みます。たとえば中央制御室での火災に対しては、猛火や黒煙に包まれて滞り続けることが困難になる場合に備え、遠隔停止操作盤が中央制御室外に設置されています。この操作盤には、原子炉を安全停止させるのに必要な最低限の操作機能があります。そこで、とりあえずスクラム停止ボタンを押して原子炉を止め、急いで中央制御室を脱出した運転員は、この操作盤に辿り着くや否や真っ先に操作機能の切替えを行います。これで落ち着いて、スクラム停止させた原子炉を、中央制御室の外からでも安全停止に導く運転ができるようになります。

ところが1991年、厄介な問題が発覚しました。運転員が中央制御室から遠隔停止操作盤に辿り着く前に、安全停止に必要な電動弁の制御ケーブルが焼けて誤動作を引き起こし、弁を固着させ、そのままモーターを焼損させる可能性が指摘されたのです。この問題は、多くの原子力発電所に共通して潜在するものの、その摘出が難しく、最近まで類似事例の報告が散発し、その都度、制御回路の改造などで是正されています。

運転員が常駐し、火災を自動的に検知してハロン消火設備が自動的に作動する中央制御室において、なお運転員が脱出しなければならない規模の火災を想定し、その際、運転員が遠隔停止操作盤に辿り着いて操作機能の切替えを行うまでの間、たまたま原子炉の安全停止に必要な電動弁が誤動作した上、致命的な故障に至るというこのシナリオは、他の産業界においてであれば、まともに取り上げられることはないでしょう。原子力だからここまで議論されなければならないのです。(ただし、以上は、あくまで安全基準の厳しい米国においてであり、後述するように、日本の場合についてではありません。)

### 1.2.2 臨界安全

核燃料(新燃料、使用済燃料)が、原子炉外で臨界になる事故(臨界事故)を防止する対策は特に万全でなければならず、「ダブル・コンティンジェンシーの原則(安全性の担保に、二重の静的防御があること)」が適用されます。たとえば、BWRの原子炉建屋の

最上階に、新燃料貯蔵庫という設備がありますが、これに対するダブル・コンティンジェンシーは次の通りです。

- ・貯蔵庫が、臨界になり得ない幾何学的形状であること。
- ・貯蔵庫には、減速材である水が入らない構造であること。

そのため、新燃料貯蔵庫で新燃料が臨界になることは、貯蔵庫を变形させ、わざわざ重水を持ち込んでこれを注入することも含め、私の想像の及ぶ範囲では不可能です。この原則を担保に、新燃料貯蔵庫の臨界事故は、安全解析の範囲から除外されています。

しかし、このダブル・コンティンジェンシーの原則が維持できなくなる可能性もないわけではないことを、福島事故のときに知りました。あの時、地震によって使用済燃料プールの水が大量に溢れ出しました。その後、水素爆発で原子炉建屋の最上階が吹き飛んでから、警視庁と消防庁は下から、自衛隊はヘリコプターを使って上空から放水しました。これらの現象と作戦に対しては、本来は、新燃料貯蔵庫に水(減速材)が入り込むことで臨界安全を脅かす可能性と程度をきちんと評価し、判断がなされるべきだったと思います。「ダブル・コンティンジェンシーの原則があるから臨界は起こらないはず」ではあっても、ダブル・コンティンジェンシーが維持できなくなる事態がそもそも原則からの逸脱だからです。

使用済燃料を収納するキャスクの場合のダブル・コンティンジェンシーは次の通りです。

- ・実際には使用済燃料であるにもかかわらず、臨界解析上は(相対的に臨界にいたりやすい)新燃料とみなす。
- ・収納バスケットに中性子吸収板を張り付ける。

したがって、使用済燃料キャスクを臨界にするためには、プールに保管されている使用済燃料をこっそり新燃料に入れ替え、収納バスケットに張り付けられた中性子吸収板を剥がしておかなければなりません。実質どちらも不可能ですが、使用済燃料キャスクに対する解析は、構造解析、臨界

解析、熱解析、放射線解析を含み、熱解析と放射線解析に対してはキャスクに装荷される燃料を（熱や放射線の放出量の多い）使用済として扱いますが、臨界解析においては新燃料として扱います。このあえて矛盾した条件設定が、使用済燃料キャスクに対する臨界安全の担保になっているわけです。

以上が、臨界安全における深層防護の考え方です。一見簡単そうですが、核燃料施設における実務などでは、厳しいNRCによる検査によって、しばしば「原則」からの逸脱が指摘され、罰金の伴う行政処分の執行例も珍しくありません。燃料ペレットを研磨仕上げするときに発生するウラン燃料の粉塵を回収する換気フィルターやダクトに付着、沈積したものに対しての臨界管理に手落ちがあったと指摘された事例も最近発生しています。1999年の東海村JCO臨界事故は、直接的には事業者の杜撰な管理体制が原因でしたが、臨界安全について精通した検査官が不在の規制側の問題でもありました。あのときの当事者の頭の中からは、鉄則である「ダブル・コンティンジェンシーの原則」が完全に消えていたように思われます。

◇

もちろん、原子力における深層防護の考え方がこの世で最高というわけではありません。バイオハザード対応者は、原子炉事故対応者よりも厳重な装備をまといまいます。旅客機のパイロットに対しては、機長と副操縦士に別々に手配した食事が用意され、別々の時間に摂ることになっているようですが、原子炉運転員に対しては、そこまでの厳格さは運用されていません。とはいえ、原子力の深層防護はかなり深く考え抜かれたものです。

原子力の深層防護には、原子力であるがゆえの大きな欠陥もあります。十分な損害賠償制度が確立できないことです。米国には、原子力発電事業者による互助制度のようなものがあり、約100億ドルが用意できますが、福島事故のスケールでは、このような巨額の準備があったとしても、応急手当てにしかありません。交通安全や火災防護の場合もそうですが、損害賠償は究極の深層防護のはずなのですが、原子力の場合にはこれを保険

制度によって確立することができず、第五層の原子力防災計画が、実質的な最後の砦になっています。

——“フィルター・ベントが設置されれば、環境への放射性物質の放出量が3桁か4桁減少する。これで、実効性のある原子力防災計画が立案できる。”——フィルター・ベントのことだけで考えると、このような思考の短絡に陥る可能性があります。

その前に、深層防護とは一般にどのような理念にもとづくものか、特に原子力の深層防護の場合にはどうあるべきかを慎重に思索し、考え方の整理と合意を図っておくことが重要だと思います。

### 1.3 深層防護の国際比較

深層防護の実践は、安全文化と並び、その国や企業の危機対応能力の熟度を左右しますが、日本の原子力の場合、米国や欧州に後れをとっていると認めざるを得ない事実が多々見受けられます。今回取り上げるフィルター・ベントが、西欧諸国では1980年代すでにほとんどの原子力発電所に設置されていたこともその一例に過ぎません。

前掲の火災防護の例では、日本の場合、中央制御室から運転員が脱出しなければならないほどの大火災は発生しないことになっています。「もし発生したら？」と尋ねても、「いいえ発生しません！」と議論に乗ってきません。せいぜい、炭酸ガスの消火器を噴射してすぐに消せる火災しか想定しないのですから、自動ハロン消火設備も設置されておらず、ケーブル火災による電動弁の誤動作も心配していません。そのため、米国でのように、消火設備の故障や、新たに発覚した誤動作のシナリオを規制要件に対する不適合として報告する必要もありません。しかし、これでは不適合報告のないことが、安全性の裏づけにはならないわけです。

同様に、日本の臨界安全の審査や検査がどの程度入念に行われているのかも不明で、米国のように比較的頻繁な不適合報告がないことが、実際に問題がないからなのか潜在的な問題を見つけ出そ

うとする安全文化と検査制度がないからなのかがわかりません。

逆説的ですが、深層防護の範囲を広げ深さを深くするほど、細かいことが一々不適合報告の対象になります。技術支援センター(TSC)の換気空調系が故障した、ある部屋の排気ダクトにある防火ダンパーに欠陥が発見された、改造工事のために安全パラメータ表示システム(SPDS)が一時的に使えなくなった、防護区域内のゴミ箱からビールの空き缶が発見されたといったことが、米国ではしばしば、あるいは時々報告され、まるで年中トラブルだらけの印象があります。一方そのような報告が上がらない日本の原子力発電所は、トラブルの少ない安全な施設であるかのようですが、実は単に報告義務がなく、放置されているだけかもしれません。

なお、ハロン消火ガスにちなんで、興味深い日欧の深層防護に対する考え方の違いがあります。ハロン 1301(CF<sub>3</sub>Br)という物質は、消火ガスとして超優良です。炭酸ガスの3倍も消火能力が高いのに人体に対する毒性が少なく、電気的絶縁性も高いため電気火災にも使え、消火ガスを噴射した後に汚れを残しません。ところが、地球温暖化には炭酸ガスの6900倍、オゾン層破壊にはフロン・ガスの10倍も寄与し、一旦気中に放出されてしまうと400年も残留し続けることが知られ、1990年代に国際的に製造禁止になっています。そして欧州では、2004年から原子力発電所を含む一般の消火設備としても使用が禁止されています。ところが日本はこのところ、ハロン1301の消火設備をどんどん普及させる運動を国の方針として推進しており、原子力規制委員会が規制基準を制定して火災防護を強化した結果、日本の原子力発電所においても、設置が促進されています。

欧州の考え方はこうです。消火設備とは火災のときに使用されるのが前提で、使用されれば環境に放出され害をもたらず。だから設置を禁止。一方、日本の考え方はこうです。ハロン1301は消火ガスとして卓越しており、消火設備に使われないうのは惜しい。そもそも火災が起こり、実際に使

用されるのは稀なのだから環境への負担は小さい。だから設置拡大を推奨。(米国の原子力発電所では、新規設置を禁止しフェーズアウト。)日本の考え方が、国際的に批判されているわけではありません。しかし、火災は稀にしか発生しないという過去の経験則を出発点にしてしまっているところに、日本の深層防護の考え方における一つの象徴的な特徴が表われており、そのような考え方が、津波は来ない、テロは起きない、中央制御室で大きな火災は起こらないとする、日本の原子力発電所に対する深層防護の浅さ、甘さとして及んでいるようにも感じられます。

福島事故後、汚染水問題の対応になかなか解決策を見いだせない日本の様子を見たフランスは、過酷事故対応の要件として地下水汚染対策の強化を図ることを認可更新(40年を超えての運転継続)の条件として追加しています。また、過酷事故が進展し、環境の悪化によって原子力発電所の職員がどうしても撤退しなければならない事態に備えては、総勢300人からなるFARN(緊急対応部隊 Force d'Action Rapide Nucléaire)が新たに設置されます。(4基の同時発生事故への対応は2014年までに完了し、6基の同時発生への対応は2016年までの完了を目指して現在整備中。)運転員に対するシミュレーター訓練では、あえて未経験の過酷なシナリオがぶつけられ、融通性が鍛えられます。

事故直後は、「世界最高水準」を目指していたわけではありますが、現実にはこのように、いつまでも日本と欧米の差が縮まりません。フィルター・ベントのクレジット問題は、深層防護に対するより厳しい米国や欧州の考え方も参考に、慎重な検討が必要です。

## ② 福島事故からの教訓

フィルター・ベントを設置することにより、環境に放出される放射性物質の量が3桁から4桁も減少する。私は、これを受け入れるべきでないとは主張しません。しかし、福島事故が発生するまでに日本で受け入れられていた「仮想事故」の考え方をめぐる問題について、もう一度振り返っ

てみる必要があると思います。

そもそも「仮想事故」とは、米国が1962年の文書(TID-14844)で、「考えられ得る最大の事故」と呼んでいたものを、日本では「技術的見地からは起こり得ない」との句を冠して定義したものでした。しかし、事故の瞬間に原子炉内にある放射性ヨウ素の50%が格納容器内に放出されるとの仮定こそ技術的には起こり得ないものの、その先は、一連の楽観的な仮定で組み立てられたシナリオでした。たとえば、柏崎刈羽原子力発電所(ABWR)に対する評価は、次のように行われていました。

運転中の原子炉内にある放射性ヨウ素は703万TBq。その半分が格納容器内に放出されるも、そのうちの半分は格納容器の内面に付着し、残りの大部分はスプレーによって除去。それでも漂っている放射性ヨウ素が、格納容器から漏洩。その量は、最初の1時間は毎時0.6%だが、その後は毎時0.3%に減少。そうしてチビチビと格納容器から漏れてきた放射性ヨウ素は、非常用ガス処理系によって99%が吸着され、1日当たり原子炉建屋の気積の50%が、排気筒の上端から外に放出。これだと放出される放射能量は67TBqとなり、仮にこの事故に気づかない人が、敷地境界にずっと居続けたとしても0.83mSvの全身被曝しか受けません。

しかし、福島事故で実際に起こったことはこうでした。格納容器からはダダ漏れとなり、非常用ガス処理系は働かず、水素爆発で原子炉建屋の密閉性は失われ、放射性物質は、排気筒からではなくそのまま外気に放出され、その量は、柏崎刈羽原子力発電所に対して評価された量の1万倍近い値になりました。三十数km離れた飯館村では、3月15日だけで5mSvを超える地点もあったと推定されています。

フィルター・ベントを設置したとはいえ、このようなリスクがなくなったわけではありません。せっかく設置したフィルター・ベントがバイパスされてしまう事故、格納容器が損傷する事故、原子炉を停止して燃料移動を行っている最中に発生

する事故、燃料プールの事故など、多くの不都合なシナリオがあり、その中には、福島事故よりもさらに過酷な事態を引き起こすものさえあります(たとえば本誌2014年9月号の本連載参照)。ここで、そういった不都合なシナリオは想定しない、と再びビシヤリと議論を閉ざしてしまったのでは、私たちは、私たち自身の過去からも世界からも、何も学んでいないことになってしまいます。

## ③ フィルター・ベントの信頼性

せっかく設置したフィルター・ベントを迂回して事故が進展し、その効能が得られなくなってしまう場合にも目配りが必要であると述べましたが、それが活かせる機会にありながら、ここぞというときに使えないか、あるいは逆に別の事故を誘発するリスクがないのかについては、慎重な評価を要します。そして、この点にもやはり懸念があります。

### 3.1 批判を仄めかす米国

福島事故当時の日本の格納容器ベントの設計概念には、米国の原子力産業界も規制当局(NRC)も、批判的視線を送っているようです。

2012年8月に米国原子力発電運転協会(INPO)が発行した特別報告書(INPO 11-005の追補版)「福島第一原子力発電所における原子炉事故からの教訓」において、以下の教訓に絡めた指摘が述べられています。

#### 4.5 手順書

教訓：適切な事故対策方針とそれに付属した手順書(異常時操作手順書(EOP)や事故対策指針(AMG))を制定するにおいては、運転事業者と原子炉メーカーの関係者間で、十分な情報交換と議論を行うこと。特に、そのように制定された既存のものから逸脱する場合には、十分慎重な技術的審査と独立した安全評価が不可欠であり、元々の基準の根拠や変更に伴う意図せぬ悪影響がないかについても考慮し、議論を尽くした上で決定したものであること。

手順書の制定には、国際的な協力と情報交換が必要である。

1980年代以降、日本の電力会社とプラント・メーカーは、米国のBWRオーナーズ・グループが策定した過酷事故対応方針から逸脱する決定をしている。その決定は、技術評価とリスクに対する異なった考え方にもとづくものであった。そのような決定の例として、格納容器ベントに関するアプローチがあり、それは、米国のBWRオーナーズ・グループの定めた指針と比べた場合、燃料破損が生じた際においても、格納容器のベントを、最大運転圧力(設計圧力)の2倍に達するまで行わないという点において異なっている。ベントは早期に実施するものとのオーナーズ・グループのアプローチから逸脱した理由は、貴ガスを含む放射性物質の早期放出を避けたいからであった。そして、ベント系の配管には、この考え方に沿って、ラプチャー・ディスクが取付けられ、それは、格納容器の圧力が最大運転圧力に達する前には開かないものであった。(米国のBWRの場合、そのようなラプチャー・ディスクはなく、早期のベント操作が妨げられることもなく、EOPにおいてもベント操作は、格納容器の圧力が設計圧力に達する前に実施するよう求めている。)

その場合、水素の爆発を防止するための手段としては、可燃性ガス制御系(FCS:加熱した触媒を使って水素を酸素と再結合させる装置)を使うことであったが、電源を喪失した場合にこれは使えない。しかし、そうした場合に水素を格納容器から排出させる手順がEOPにもAMGにも規定されてはいなかった。この点、他の国々のBWRでは、格納容器の圧力が低いうちにベントを行い、水素を大気に排出することを認めている。

日本の手順書では、格納容器内での水素爆発の可能性が増すことに加え、高い内圧では漏洩の可能性のあるドライウエルのガスケットから原子炉建屋内に漏出してしまうおそれもあり、さらに、定圧のポンプによって行う原子炉への注水量も減少し、崩壊熱が大気に放出されるまでに格納容器内に蓄積する量も多くなり、その過程で格納容器の損傷状態が悪化して、漏洩が増加する可能性もある。

一方NRCは、2013年11月、「福島事故発生時点で米国と日本において運用されていた規制要件の比較に関する報告書(Report: A comparison of U.S. and Japanese regulatory requirements in effect at the time of Fukushima accident)」をまとめており、この中では、以

上のINPOの報告書にある文言をほとんどそのまま繰り返しており、日本が「原典」から逸脱して不適切なベント操作の手順を策定したこと、それによって事故対応が滞り、水素爆発につながった可能性を示唆しています。

日本の電力会社は、以上のINPOとNRCの指摘を自らに向けられたものと受け止め、今度こそ「国際的な協力と情報交換」を実践し、新しいフィルター・ベントの設計に反映させてほしいとこころです。

### 3.2 最新の米国の取組みから

米国は、チェルノブイリ事故の直後、暫時フィルター・ベントの導入を検討しましたが、費用対効果の点から事業者への要求が正当化できないと判定してこれを見送り、福島事故の後もやはり一旦は同じ結論を下しました。しかしその後、フィルター・ベントの導入も含め、格納容器ベントの信頼性向上についてじっくりと検討が行われています。

すなわち、過酷事故の環境下でもより確実に働かせることのできる格納容器ベントの確立を大きなテーマとして捉え、2018年6月30日までにウェットウェル・ベントに対し(フェーズ1)、2019年6月30日までにはドライウエル・ベントに対し(フェーズ2)、段階的な完了目標を設定して取り組みを続けています。前者は、サプレッション・プール水による濾過作用を利用するものですが、後者ではこれが得られないため、ここにフィルターの必要性が認識されています。現在、すでにフェーズ1に沿って検討と計画が進んでおり、各電力会社が、NRCに対して概念系統図などを提出するところまで進捗しています。

そのような米国の腰を落着けた取り組み内容に比べると、日本のフィルター・ベントの系統設計における潜在的な問題点にいろいろ気づかされます。ただしその前に、まずは基本的な深層防護の問題として、格納容器内の圧力上昇と放射性物質濃度の予想において、格納容器スプレーの不作動や著しい性能低下のケースを評価していないこ

と、そして、原子炉圧力容器底部のメルトスルー後に炉心溶融物とコンクリートが反応することによる水素、一酸化炭素、エアロゾルの発生が考慮されていないことを指摘しておく必要もあるでしょう。この問題は、やがて米国がフェーズ2へと進んでいく段階で、より顕著になっていくものと思われます。しかし、それでも日本では、「中央制御室での大火災なんてあり得ない」と言うのと同じように、「格納容器スプレーに注水できないなんてあり得ない」と主張し続けていくのかもしれない。

さて、米国の電力会社がこれまでに提出した格納容器ベントの改善計画をいくつか見てみると、特に次の3点に関して慎重であることがわかります。

- ①格納容器ベントを行った後に系統内に空気が流入し、爆発条件ができてしまう可能性。
- ②ベント弁の遠隔操作ができなくなった上に、現場の放射線環境が劣悪になりアクセス不可能となってしまう可能性。
- ③既設の非常用ガス処理系とベント系との切替を担う弁の気密性が不十分であるために、事故時に既設側にも高濃度の放射性物質と水素が漏洩してしまう可能性。

一点目の、ベント系内部での爆発の可能性に対しては、系統の下流に逆止弁を取り付け、その先は仮に爆発があっても、そのまま外部に爆圧が抜けていく設計を取り入れているプラントもあります。また、この系統配管には、結露水が大量に溜まると予想されるため、それによる閉塞やウォーター・ハンマー現象が起こらないよう、その排出ラインも付けられています。ラブチャー・ディスクが使われているプラントもあります。しかし、強制破壊が可能ないように、アルゴンガス(空気に対する比重が1.38で重く、ラブチャー・ディスク破壊後の空気の流入を防ぎ、その後のベント操作で水素が流れてきても爆発環境にならないのがポイント)の注入ラインが設けられています。なお、福島第一でのベント操作では、操作をしたつもりだが実際に働いたかどうかはわからなかったと述べている運転員もいました。そこ

で、ベント・ラインには、温度計と放射線モニターを付け、ベント操作が成功した場合、これらの指示値の上昇によって確認できるようにしています。

二点目のベント弁が遠隔操作不能となる問題への対処法についても、さまざまな創意工夫が見受けられます。これは、命懸けで遂行するようプレッシャーを掛けられ、高温、高線量、暗黒の、時折轟音が響くトラス室に向かわされた福島第一1号機での悲壮な運転員の対応を知り、あのような事態を確実に回避することを目的とした改造です。それでも、「英雄的行動を以って臨む」と呆れた回答を提出している米国の電力会社もあるように、当該ベント弁を駆動する高圧窒素ガスの切替え電磁弁の故障を想定した対処というのは難題で、多くの電力会社は「白紙答案」です。しかし、追加の電磁弁を下流に設置、電気を必要としない三方切替え弁の設置、電磁弁をすべてケーブル処理室に移設、といった名案を捻りだした米国の電力会社もあります。

三点目の水素ガスも含んだ危険な高濃度放射性ガスが既設系統に漏洩する可能性への対応(クロス・フロー対策)は、漏洩率の低い(リークタイトな)弁への交換によって実施を計画しています。これが適切に行われない場合には、クロス・フローによって、原子炉建屋が危険な状態となる可能性があります。

一点目と三点目は、INPOが指摘した「意図せぬ悪影響」についてであり、二点目は、追加の深層防護です。急ぐ余りに欠陥設計としてしまわないよう、どれも、日本の電力会社にもぜひ検討してほしいと思う内容です。

## 4 結論

深層防護についての表現と実践には、日常生活や産業の性質に応じていろいろあります。IAEAによる「五層」の定義もその一つです。それが、不確定さと不可知性に備えた叡智であるという点では同じであるものの、どこまで広さと深さを追求するかにおいては、文化や価値観によって、日



本、米国、欧州で違いがあります。日本の原子力における深層防護の考え方は、国民が思っているほど(あるいは、思わされているほど)実際には高くはなく、本稿では、まずそれを説明しました。その認識が重要だと思ったからです。

フィルター・ベントは、それが正しく設計され、正しい手順で使用される時、その効能を発揮できる事故に対しては、とても有効な過酷事故対策設備の一つとなります。その必要性について疑念の余地はありません。しかし、原子力防災計画におけるそのクレジットの可否については別問題です。福島事故では、技術的には起こり得ないと言いつつ切っていた仮想事故の場合を4桁も上回る量の放射性物質が放出されました。この事実は、日本の原子力における不十分な深層防護の実例、実害として、将来にわたって決して忘れられるべきではありません。

現状、日本の原子力発電所のフィルター・ベントの系統設計とその運用方法が、適切な深層防護の思想に則り、かつ十分入念に検討されたとは思われません。かつての格納容器ベントの運用手順

についてINPOが指摘した、「国際的な協力と情報交換」、「意図せぬ悪影響についての議論」が、今回も今のところまだ十分とは見受けられないからです。現に米国では、いくつかのアイデアが提示され、今後も出てくるはずですが、それらが将来適切にフォローされるとしても、原子力防災計画へのクレジットは、依然、軽々に認められるべきではありません。そのときにも、「国際的な協力と情報交換」をふまえてほしいものです。

最後に、日本の原子力規制委員会が原子力防災計画の審査に関わらないのは、(米国を除けば)国際的にも特別とは言えません。しかし、原子力における深層防護の基本的、共通的な考え方などについて、もし意見交換を求める自治体がある場合には、積極的にこれに応じる責任はあるでしょう。そうしないことで、各所轄自治体の関係者の余分な負担が増し、不統一な考え方をしてしまうのを放置する機関であってはならないはずですが。

## 50年前には

巻頭 医薬品の安全性と科学者の責任

富山小太郎：科学教育における根本問題

川那部浩哉：生態学の立場

金森博雄：地球の内部構造

対談 日本の生理学のあゆみ 本川弘一・伊藤正男

尹賛助他：中国における古生物学の進歩

梶田昭彦：成人ヘモグロビンと胎児ヘモグロビン——ヘモグロビンのF-A転換とその遺伝的制御

寺島由之介：プラズマ研究所の現状II

資料 科学の悪用—軍事研究の側面—生物兵器研究から拾う

海外論説紹介 A. M. WEINBERG：研究計画の選択

生物科学者への呼びかけ

フォーラム

軍事機密になったウラン気体遠心分離の研究

日本大学の退職強要事件

【科学】第35巻第5号(1965)目次より