

## 原発設計技術者から見た福島原発の現状—原発の安全性を問う<sup>1</sup>

### An Analysis on the Current State of the Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Questions of Safety from the Viewpoint of a Nuclear Engineer.

後藤 政志

Masashi Goto

みなさんこんにちは。後藤政志といます。私自身はもともと原子力ではなく船舶の技術者だったのですが、故あって、東芝で原子炉格納容器と原子力プラントの設計に携わりました。その経験をふまえて、福島第一原発(福島第一)で何が起こったのか、そして、そもそも原子力発電所の何が問題なのか、安全性が現在どのように論じられているのかをお話します。

2011年3月11日、私は東京におりました。茅ヶ崎の自宅に帰れませんでしたので11日の夜は東京に泊まりましたが、福島の様子はわかりませんでした。12日の朝になって二つのことがわかりました。一つは原子炉の冷却ができていないこと。もう一つは、もっと重要なことに、原子炉格納容器の圧力が設計圧力の2倍近くになっていることでした。格納容器の設計を担当していた人間

として、私はもう気が気ではありませんでした。

原子炉格納容器は厚さ2~3cmの鉄板で作られ、直径が30m以上もある大きな容器です。格納容器は原発事故が起こった時に放射性物質を中に閉じ込めるもので、たとえ事故が起こっても放射能を外に出さないように設計されています。事故を想定して大きな圧力がかかっても大丈夫のように設計されているのですが、それが設計圧力の2倍になっているということは、とんでもなく危険な話です。私はいてもたってもいられなくて、話すことには慣れていなかったのですが、3月12日以降は、私の知っている限りのことをUstreamでお伝えしました。

今日は2013年7月5日ですが、最近話題になっているのは、原子力規制委員会の決めた新しい規制基準<sup>2</sup>です。新基準は7月8日に施行されることになっています。これを満たせば原発の再稼働が許可されるわけで、今まさにその直前です。そこで、規制基準のどこに問題があるのか、何が大切なのかをお話したいと思います。

止める！ 冷やし続ける！ 閉じ込める！

原子力の安全性や事故を考える時、三つのことが重要です。まず核反応を止めることです。原子炉内の核反応では、ウラン235の原子核に中性子が当たって原子が分裂し、同時に中性子が出ます。その中性子が次の原子に当たって次々と連鎖反応が起こり、ダダダダダッと一気に核反応が起こるわけです。原爆はそのままボンと爆発させ

1 本稿は、2013年7月5日(金)本学神戸三田キャンパスで行なわれた講演録に加筆・修正したものである。

2 新規規制基準の内容は、事故時に原子炉を冷却するための電源車・消防車を配備、フィルター付きベントの設置、燃えにくい電源ケーブルの使用、免震機能を持つ緊急時対策所、活断層の真上における原子炉建屋などの設置の禁止、最大級の「基準津波」を想定、航空機テロ対策として緊急時制御室の設置などである。(朝日新聞デジタル「原発の新規制基準、正式決定 規制委、7月8日施行」より。2013/06/19 13:48)

るのですが、発電所ではそれより若干ゆっくりと反応が起こるように制御しています。原子爆弾よりゆっくりといっても、核反応は瞬時に起こります。安全を確保するためには、事故が起こった時に核反応を止めることが大切です。

次に、核反応が止まっても原子炉は崩壊熱を出し続けますから、それを冷やすことです。福島第一では、核反応を制御することには何とか成功したようですが、今でも1号機、2号機、3号機の原子炉だけでなく、4号機の使用済み燃料プールにある使用済み燃料が膨大な崩壊熱を出し続けています。現状を考えると、少なくとも数年間冷やし続けなければ燃料が融け出します。

三つ目は、放射性物質を閉じ込めることです。万一放射性物質が飛び散る事態になっても、原子炉格納容器という入れ物があって放射性物質を閉じ込める機能を果たすため、事故を阻止できることになっています。福島第一の1号機から3号機にはそれぞれ格納容器があります。しかし、それらの格納容器は全て閉じ込めに失敗し、放射性物質が漏れてしまいました。格納容器は圧力が上がりすぎると爆発してしまいます。それを防ぐために、格納容器ベントを行い、中の放射性物質を外に出します。本来、格納容器は放射性物質を外に出さないためにあるものですから、格納容器が壊れないように放射性物質を外に出すというのは大変な矛盾です。しかし、格納容器の爆発による壊滅的な被害を防ぐためにベントが行われました。

この事故が起こった直後、原子力委員会委員長の近藤俊介氏は、「使用済み燃料プールを含めて、中の放射性物質が放出されると東日本は壊滅状態になる。少なくとも数

千万規模の人が避難しなければならなくなる」と言いました。1億2千万人のうち3千万や4千万の人に逃げろと言って逃げられると思いますか？ そのような危機的状態、国家レベルの危機的状態があったことは事実です。近藤氏は日本の原子力を最も推進していた人々のひとりで、私から見れば一番責任が重い人です。このような人がこう言っていたのです。

原子力プラントの安全にとって、冷やすこと、閉じ込めることは必須条件ですが、福島第一ではそのことに完全に失敗しています。私は今ある日本の原発全てに大きな危機感を持っています。私は東芝に属していましたが、このような設計では全くダメだったというのが技術者としての私の意見です。いろいろな意見があると思いますが、なぜ私がこう考えるかを説明します。

#### 原子力プラントのしくみ

福島の事故は何だったのでしょうか。事故の直接的な原因は、地震が起こってその後津波が来たことです。これは間違いありません。ただ、地震によってどこが壊れたのかは明らかになっていません。プラントの中は立ち入れず覗けないのですから、いまだに論争になっています。事故原因や事故の進展の様子についてはまだ明らかにされていません。特に1号機については、さまざまな議論があります。

福島原発事故の直接的な原因は地震と津波ですが、実はその見方だけでは足りません。原子力プラントがどのような特性を持っていて、実際にどのように稼働しているのかを考えないと、事故の意味がわからないからです。ここで、原子力プラントのしくみをできるだけコンパクトに説明します。

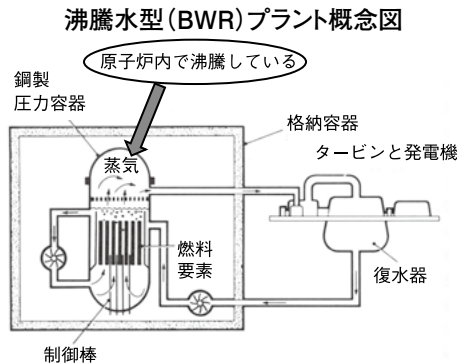
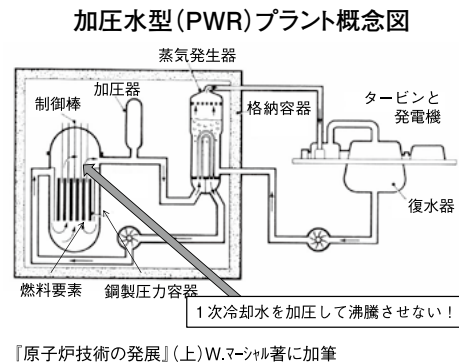


図1

はじめに沸騰水型(BWR)プラントについて説明します(図1)。まず、核燃料はウラン235です。これは自然界にはまれにしか存在しません。それを3%から5%ぐらいまで濃縮したものを圧力容器内に置きますと、核反応が進み熱が発生します。核反応を起こさせるために、周囲に水があります。水は減速材として働く重要なもので、中性子の速度を落とすことで核反応を起こさせます。核反応が起こると熱が発生して原子炉内で水が蒸気になり、その蒸気でタービンを回して発電します。復水器というのは、水の入った配管の間に水蒸気を通し冷却する装置です。水蒸気は冷却されると水に戻ります。このように循環が行われます。制御棒は下から挿入されます。福島第一もこのタイプです。

もう一つは、若狭湾の高浜原発や美浜原発などの加圧水型(PWR)プラントです(図2)。このプラントは、圧力容器の水が沸騰しないように加圧器で水に圧力をかけます。水は熱いお湯の状態のままになり蒸気を発生しません。蒸気が発生しないとタービンが回せません。そのため、これとは別に蒸気発生器があり、その中で水を蒸気に変えます。水の循環は圧力容器の1次系と



『原子炉技術の発展』(上)W.マッセル著に加筆

図2

タービンの2次系に分かれていて、2つの系統はつながっていません。蒸気発生器の2次系のところではじめて蒸気が発生します。沸騰水型との違いは、放射性物質が出て1次系の中にとどまり、2次系には出てこないことです。また制御棒は上から挿入されます。ちなみに、スリーマイル島の事故の原発はこのタイプです。

#### 隠されてきた制御棒の脱落事故

##### 一止める！の失敗

地震などが起こった時に原子炉に制御棒が入らないと、核反応が停止せず、非常に短時間で破局的事故へと発展します。特に沸騰水型(BWR)では、制御棒が重力に逆らって下から挿入されます。制御棒が上から挿入される加圧水型(PWR)であっても、大地震の時に確実に制御棒が挿入されるとは限りません。また、安全設計上は、一組の制御棒が入らない場合のみを想定しています。安全審査時には、複数組の制御棒が同時に引き抜かれる事態については想定外として審査していません。

原発のブレーキが緩むのは、車のブレーキが緩むのとは比較にならないほど危険です。にもかかわらず、1978年から2007年ま

での30年足らずの間に十数件にわたって、制御棒の脱落あるいは無挿入事故が発生しています。なかでも、運転時ではないのに原子炉が勝手に稼働する臨界とよばれる現象が、1978年に福島第一の3号機、1990年に志賀原発の1号機で実際に起こりました。しかもこの事実は2007年まで隠し続けられていました。核反応の制御に失敗するというのは、原子力プラントにおいては最悪の事態です。

今回の福島事故は、非常に大変な事故でしたが、核反応の制御に失敗したわけではありません。核反応の制御に失敗すると時間的な猶予はありません。福島の場合は、何日にもわたって冷却に失敗しているわけですが、もし核反応の制御に失敗していたら、チェルノブイリの事故のように分単位で事態が進行し、逃げる暇もなかったことでしょう。そのようなことは日本では起こらないという人もいますが、私は疑っています。実際、事故は何度も起こっています。

制御棒の脱落事故は原子力が持つ重要な問題の一つです。臨界事故を起こした2件は沸騰水型(BWR)でした。そしてその両方とも運転中ではありませんでした。運転していない時に勝手に制御棒が脱落したのです。また運転している時は脱落しないと言われますが、それは間違いです。制御棒を動かす時は制御棒が引っ掛けられているところから外して動かします。制御棒を引っかかりから外した時に逆側(上側)から圧力がかかると制御棒が脱落することになります。運転中でも停止中でも制御棒の脱落事故は起こり得るといえることです。

福島第一で起こった水素爆発と、偶然免れた水蒸気爆発 —冷やし続ける！の失敗

福島の事故をおさらいしてみるとこうなります。最初に地震が来しました。それから40～50分後の間に大きな津波が来しました。1、2、3号機が運転中で、4、5、6号機が定期点検中で止まっていました。問題は、1、2、3号機の原子炉がだめになり格納容器まで損傷したことです。また、停止中の4号機でしたが、原子炉建屋の上部にある使用済み燃料プールが、おそらく水素が流入したために爆発しました。これらの4機が大きなダメージを受けました(図3)。

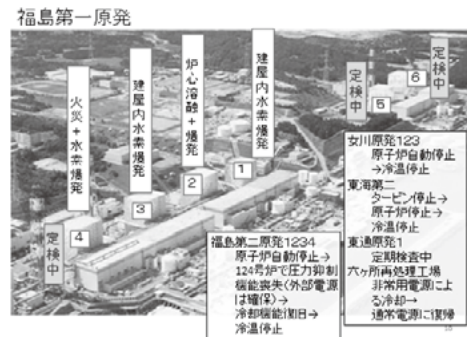


図3

福島第二、女川、東海第二、東通、六ヶ所再処理工場も決して安全に停止したのではなく、ぎりぎりのところで停止したというのが事実です。非常用炉心冷却装置が一部壊れなかったから助かった、電源が一部残っていたので助かったといったことでした。女川原発は津波があと1～2m高く河口堰まで到達していたら水没するところでした。つまり、もし堰が突破されていたのなら、他の発電所も福島第一と同じ状態になる可能性があったということです。ということは、ちょっとしたきっかけで、東日本にある原発が地震と津波に襲われ全滅してもおかしくないということです。そう

ならなかったのは全くの偶然です。

電源の話をしてしまおう。原子力プラントを運転するには電気が必要です。プラントにはさまざまな機器がありますが、電気がないと動きません。そのため、送電線を通して発電所の中に外から電気が届くようにします。これを外部電源といいます。そこに地震が来るとどうなるでしょうか？ 地震によって送電線の鉄塔の基礎は地すべりして倒壊し、碍子も損傷を受けます。送電線は長く、地震や強風で一箇所でも切れてしまえば送電できなくなります(図4)。変電所の遮断機も地震で倒壊します。

#### 地震による送電線の損傷

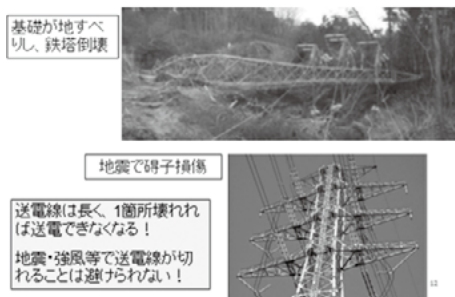


図4

こういう事態が起こると外部電源が失われますが、原子力プラントはそれだけでだめになるほど脆弱ではありません。非常用ディーゼル発電機を備えていてそれによって電気をまかさないです。今回の福島第一の事故では、地震後にかなりの部分は作動していましたが、その後に来た津波でそれが全滅したのです。外部電源が失われ、発電所内で用意した非常用ディーゼル発電機も失われ、さらにバッテリーも水没してしまい、結果としてほとんど電気が供給されない状態になりました。

プラントの中がどうなっていたのかを説明します。停止中の原子炉でも核燃料の崩

壊熱があるため、継続的に冷却する必要があるにもかかわらず、冷却できない事態が次々に発生しました。崩壊熱を冷却できなくなると、炉の中の水がどんどん蒸発して、原子炉の燃料が水から露出します。核燃料の中心温度は約1850度ですが、表面温度は500～600度かあるいはそれ以下に抑えるようにしてあります。核燃料が空気中にさらされ水で冷やされなくなると表面のジルコニウムという金属が融けはじめます。核燃料の融点は約2800度です。融けはじめると周囲にある水蒸気と反応して、水素が大量に発生します。この水素が圧力容器から格納容器の中に大量に放出されます。さらにこの水素が酸素と結合すると水素爆発が起こる心配があります。

あの時、原子力安全委員会委員長の斑目春樹氏は「水素爆発は起こりません」と言いましたが、その直後に目の前で水素爆発の映像が流れました。それで彼は頭を抱えたのですが、水素爆発は起こらないというのは原子力関係者の中では常識でした。もし尋ねられたら、私も同じように答えたと思います。なぜかという、事故の時に水素が大量に出るというのはわかっているため格納容器は運転前に窒素で満たされているからです。つまり、格納容器の中には酸素がありません。水素の燃焼である水素爆発は水素と酸素が結合して起こるのですから、格納容器が窒素で満たされていれば防げるはずなんです。

ところが、結果として爆発が起こりました。なぜでしょうか？ 燃料は圧力容器の中にあります。圧力容器は厚さが十数センチの鉄板でできています。それを囲うように格納容器があります。格納容器は、ドライウエルと、水が入っているウエットウエ

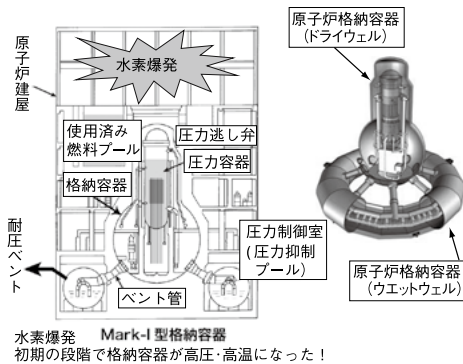


図5

ルの二つに分かれています(図5)。格納容器は窒素で満たされているから爆発は起こさないとされていたのですが、実は事故の初期の段階で格納容器の圧力が設計圧力よりも上がっていました。温度も上がっていました。温度が上がってさまざまな部分に使われている樹脂のシール機能が失われてしまったため、そこから水素が漏れてしまい原子炉建屋内に水素がたまりました。そこには酸素がありますから、爆発してしまいました。重要なことは格納容器の中で水素爆発が起きなかったことです。もし格納容器の中で水素爆発が起こっていたらもっと壊滅的な事態になっています。

話を戻します。燃料がどんどん融け出しにくると周囲にある金属も一緒に融かし、融けたものが全て圧力容器の底にたまっていきます。本来ならそこで非常用のディーゼル発電機が動いてポンプが回るようになっているのですが、ディーゼル発電機が動かなかったため電源がなく、ポンプが動きませんでした。

それでも1号機については、電源がなくても冷却できる非常用復水器(アイソレーションコンデンサ)が2基あります。原子炉の蒸気によってバルブが開いてタンクの中で蒸

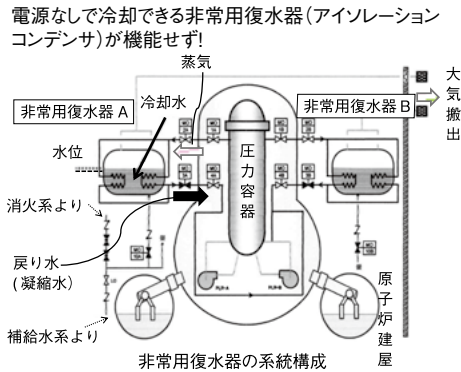


図6

気が冷やされ、水が原子炉の中に戻ることで動力はなくても水が循環するはずでした(図6)。これが働くはずだから1号機は大丈夫だろうと言われていました。ところが実際は、せいぜい20分～30分程度しか働かなかった。しかも、電源喪失後は2基あるうちの1基しか働かなかった。これがまともに機能していたら、原子炉がメルトダウンするまでもっと時間の猶予があったことでしょう。機能しなかった理由についてはさまざまな議論がありますが、いずれにしても働くべきものが働かなかったというのは深刻です。

圧力容器内で燃料が溶融して内部の金属も融けました。ここで冷却できていれば良いのですが、それがうまくいかなくなると圧力容器の底が抜けて溶融物が格納容器の床に落ちます。それが横に流れて鉄板に接触すると、鉄板が融け出します。今回2号機ではそれが起こったのではないかとされています(図7)。

先ほど申しましたように、格納容器は窒素で満たされているため水素爆発は起こりにくいのですが、爆発の可能性は水素爆発だけではなくありません。高温の溶融物が水と接触すると水蒸気爆発が起こる可能性があ

### 溶融炉心の挙動

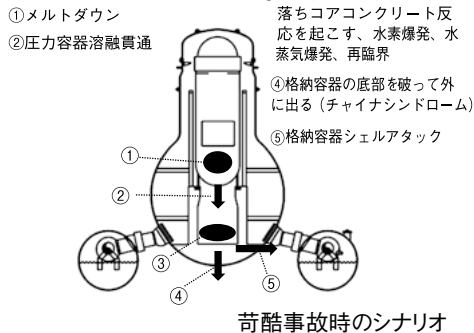


図7

### 沸騰水型炉(BWR)の格納容器

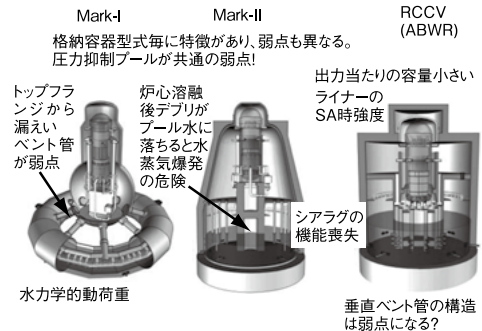


図8

ります。水素が爆発するのは燃焼であって化学反応ですが、水蒸気爆発は物理的な反応です。高温の溶融物が水と接触するとその溶融物の周囲の水が急激に蒸発し、体積が膨張して爆発を引き起こします。これが水蒸気爆発です。融けた金属を扱う工場では、それが水と接触すると爆発するため、たとえば水たまりなどはとんでもないというのが常識です。

ところが、原子力の世界で「水があると溶融物と接触して爆発するでしょう?」という常識は通用しません。なぜかという、大量の水で冷やさない限り溶融がどこまでも進んでしまうからです。それを引き起こさないためには、水が必要です。けれども、水が入れたら水蒸気爆発の危険性は高まります。炉心溶融を起こしてしまったら、どうしますか、みなさん? たいいてい場合は水を入れます。けれども、水蒸気爆発を起こして全て吹き飛んでしまったらどうしますか? どうしようもありません。原子力の怖さの一つはここにあります。炉心溶融を起こした後にそれをどうするのか? どんどん生成される溶融物を放っておけば何が起るのか誰にもわかりません。ですから、原子力では水蒸気爆発の可能性

に目をつぶって水を入れます。爆発してもしょうがないという考え方です。とんでもない考え方だと思いませんか? これが私が一番心配していることの一つです。

さて、福島第一の1~3号機の原子炉形式は沸騰水型(BWR)で、格納容器の型式はいずれもマークI型です。このタイプは圧力抑制プールとよばれるプールが外側にあり、中に水が入っています(図8)。今回のように原子炉冷却材の喪失事故が起こった場合、高温の蒸気が発生し、格納容器の圧力が上昇します。すると、プールの水の中に蒸気が吹き込んで、そこで蒸気が冷却されて凝縮され、蒸気が水に戻ります。水になると体積が小さくなるので、格納容器の圧力が下がるという仕組みです。

マークI型では水のタンクが横にあって、原子炉の真下にはありません。外から冷却水を入れればその水が溶融物と接触しますが、炉心が融けて落ちた時に、そこには水たまりはありません。ところが、柏崎刈羽原発などのマークII型は、原子炉があってその下にコンクリートの壁があり、その下はプールです(図8)。溶融物がそこに落ちると水蒸気爆発を起こします。この型は水蒸気爆発に関して危険性が非常に高いのです。

プールの中に溶融物が落ちれば、溶融物に水をかけるよりも爆発の危険性ははるかに高まります。大規模な爆発が起こればとんでもないことになります。これだけに関して言えば、福島第一の1~3号機がマークⅠ型で良かったと思います。マークⅡ型であったなら、大規模な水蒸気爆発が起こる可能性が極めて高かったでしょう。

放射性物質の放出 -閉じ込める！の失敗

今回の事故では、もう一つ非常に恐れられていたことがあります。それは、格納容器の圧力が上がって容器が爆発し、原子炉の中に閉じ込められている放射性物質が外にばらまかれることでした。そこで格納容器ベントが必要になりました。ベントは、格納容器下方のプール側と上方のドライウエル側に配管を通してバルブを付け、圧力を抜くというものです(図9)。

苛酷事故対策(AM:アクシデント マネージメント) 格納容器ベント(1F-1)

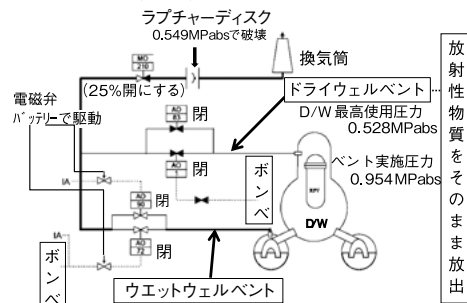


図9

しかし、これは非常におかしな話です。私が1989年に東芝に入社して格納容器の担当になった時、ベント装置は全くありませんでした。ボイラーの例でわかるように、通常、中の圧力が上がると構造物は爆発します。ですから、ボイラーには安全弁がたくさん付いています。1個だけだと失敗する

かもしれないので、通常5~6個付けます。圧力の上昇にはそれぐらい気を使います。

けれども、格納容器の目的は放射能を閉じ込めることです。「原子力発電所は大丈夫です。事故の対策をきちんと行っています。核反応を制御できるし、冷却もできます。それでも事故が起こった時には格納容器があります。チェルノブイリは格納容器がなかったために、あのようなひどい事故になりました」という説明があります。この説明に従って格納容器をきちんと働かせるには、外に放射能を出してはいけないわけです。ということは、勝手にバルブなどを付けてはいけないわけです。

また原子炉にはいろんな緊急炉心冷却系が付いていて、通常はそれが働くようになっています(図10)。原子炉を冷やすポンプが付いていて、低压系と高压系があるのですが、事故が起こった時にこれが働いて炉心を冷却できるようになっています。さらに格納容器も冷却できるようになっており、格納容器の中に最終的に放射能を閉じ込めて事故がプラントの中で収まるという設計です。それで、これまで「格納容器があるから安全です」という説明がされてきました。私も半分ぐらいはそれを信じてきました

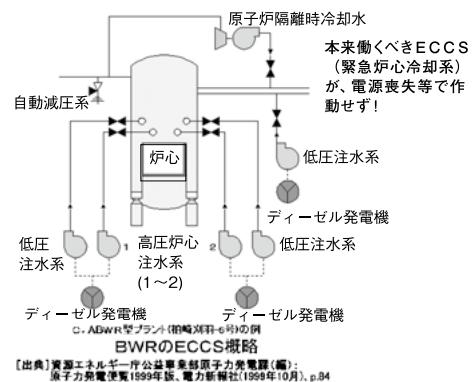


図10

【出典】資源エネルギー庁公益事業部原子力発電課(編)：原子力発電便覧1999年版、電力新報社(1999年10月)、p.84



た。ところが、私が1989年に格納容器担当になって数年後、多重故障が起こってさまざまなおとろが壊れてくると、「最終的に格納容器の圧力が上がると大変だからベントするのだ」という理屈が生まれました。

福島第一で実際どうなったかという、一生バルブなど使うことはないと思っていた人たちがベント作業に行き、電源がない真っ暗な状態でバルブがどこにあるかもわかりませんでした。懐中電灯で照らしながら「どこにあるんだよ、ああここか。あんな高いところにあるなんて冗談じゃない」と言いながら、必死でバルブを開けに行きました。そして実際にバルブを一つ開けました。ですが完全には開かず、25%ぐらい開いただけでした。同時に下のバルブも開けなければいけないのですが、これが人間の力では開けられませんでした。そのためコンプレッサーを持って行きました。圧力が上がってきて早くベントしなければならないという時に、何時間もかかってしまいました。

圧力を逃がさないといけないと言ってシステムを作ったのに、それがしっかり動作していませんでした。ラプチャーディスク(破裂板)というものがあって、本来なら手で開けなくても圧力が高くなってくるとそれ自体が破れて圧力が抜けるようになっています。ところがバルブが開いたのはいいものの自動的に開くはずのラプチャーディスクが動かないためベントができませんでした。バルブはうまく開けられないしラプチャーディスクもあやしい。その間にどんどん圧力が上がる。今回「ベントができた」と言われていますが、ほとんどは失敗しています。ベントしたつもりだけれども、実は格納容器から外に放射性物質が漏れていた。つま

り、ベントシステムを付けばうまくいくというわけではないということです。

また、ベントは放射性物質を環境に放出するわけですから、フィルターがなければなりません。チェルノブイリの事故の後、ヨーロッパでは格納容器のベントに大型フィルターを付けています。ところが日本ではそれを行っていませんでした。東芝は苛酷事故の研究の一つとして、ヨーロッパで使われているフィルターのタイプを調べて電力会社に提案しましたが、電力会社はフィルターなど必要ないと言って付けなかったのです。そして福島の事故が起きました。

ウエットウェルベントでは、水がフィルターになって放射能が少し減るかもしれませんが、ウエットウェル側が使えなくなってドライウェル側からベントすれば放射能が出ることになるし、ここにきちんとした大容量のフィルターを付けなければ危険です。新しい規制基準では、沸騰水型(BWR)についてはベント用フィルターを義務化していますが、原子力プラントに通常時に付いているフィルターは放射性物質を大量に処理できる能力がないので全く役に立ちません。

では、大容量のフィルターを付ければそれで良いのでしょうか。フィルターは放射能を100分の1から1000分の1にします。しかし、放射性物質が希ガスとして出ると、フィルターでは全く取り除かれず、そのまま空気中に出てしまいます。希ガス以外の粒子状のヨウ素やセシウムなどは水フィルターで除去できるかもしれませんが、水温が上がると除去できません。金属フィルターは細かいメッシュなので、圧力が上がってきた時にそのフィルターが抜けてし

まったら、結局は放射性物質がそのまま出てしまうことになります。あるいは、構造によってそういう壊れ方をしないとしても、フィルターの性能には限界がありますから、フィルターで取り切れなかった放射性物質はそのまま出てきます。

しかも、そのフィルターを付けたベントラインそのものが本当に機能するのかわかりません。万一バルブが故障したらどうしますか？ 一個のバルブラインが開かなくなれば永久にベントはできないわけです。では、もう一つベントラインを作ればどうか。このように安全装置を複数用意し、事故の発生あるいは事故の拡大を防ぐというのが多重防護の考え方です。しかし、フィルターベントについては二つ同時に故障することは考えられていません。多重防護で安全は確保されるのでしょうか？

最初に戻って考えましょう。そもそも事故が起こった時に放射性物質を外に出さないように格納容器を作ったわけです。どんな事故があっても格納容器の中に放射能を閉じ込めることができるから、それで時間を稼ぐことができていると大丈夫だと言っていたのが、いつのまにか格納容器が圧力上昇に耐えられなくなるからベントして放射性物質を出しましょう、フィルターを付けましょうという話にすりかわりました。

全体のシステムを考えた時、放射性物質を格納容器の中に確実にためるということと、確実に働くかわからないシステムに頼って濃度を低くした放射性物質を外に出すということは、機能的な意味で信頼性・安全性のレベルが全く違います。放っておいても格納容器の中に放射能を閉じ込めることができなければ、安全だとは言えません。福島第一事故の国会事故調の報告

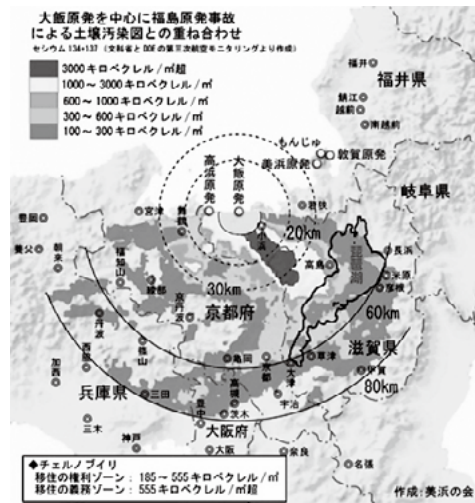


図11

の中に、次のような一説があります。「わが国では、従来も、そして今回のような大事故を経ても対症療法的な対策が行われているにすぎない。このような小手先の対策を集積しても、今回のような事故の根本的な問題は解決しない。」まさにこのとおりです。原子炉プラントの性能自体は基本的に何も変わっていないのです。

原発の事故は普通の事故とは異なり、万一起った時には壊滅的です。国が亡びるレベルです。事故によっては100キロ圏あるいはそれ以上汚染が広がる可能性があります。この大学がある兵庫県のこちら側でも、若狭湾から十分な距離はありません(図11)。原発事故が起これば、居住不能になる可能性がないとはいえません。チェルノブイリは爆発した時に大量の放射性物質が数百キロにおよぶところまでばらまかれました。ホットスポットができれば、そこは居住不能になります。福島第一の事故でもわかるように、原発事故は長期間にわたり壊滅的な被害を広範囲におよぼします。絶対起こってはならない事故です。

しかし原子力規制委員会の新規制基準(注2参照)で絶対に事故が起こらないと言えるのでしょうか? たとえば、津波が来る可能性がある、だから、浜岡に防潮堤を作る。福島の津波が13~14mでしたから、18mの防潮堤を作りましょうとする。中部電力はこれで大丈夫だと言っていました。その後地震のシミュレーションを行ったところ、津波は20mを超えるということがわかりました。すると、設計変更をして22mにしました。それではみなさん、22mを超える津波が絶対に来ないと思いますか? 「本当にそれを超えないと保証できますか?」と質問すると、「保証することは無理でしょう」という返事が必ず返ってきます。にもかかわらず、22mで良いと誰が決めているのでしょうか?

そして「いや、防潮堤を超える津波が来るかもしれない」という議論になります。すると今度は、原子炉建屋の外に防潮扉を設置して、建屋内への浸水を防止しようという話になります。ストレステストの意見聴取会で私は「防潮扉はどうやって閉めるのですか?」と聞きました。地震が来てから津波が来るまでどれぐらいの時間があるのでしょうか。奥尻島の地震の際には、5~10分で津波が来ました。その場合、原子力プラントで扉を閉める時間はありますか? 扉の表には「常時閉めてください」と書いてありますが、ここから出入りするのですから開いていてもおかしくはないのです。「もし扉が開いていた場合、地震が来てから閉めに行けるのですか?」と尋ねると、「担当が決まっています」という返事が返ってきます。担当が決まっているからといって扉が確実に閉められると保証できますか?

新規制基準の最後には、格納容器が破損



図12

に至った場合などを想定して、屋外放水設備を設置することと記されています(図12)。原子炉の安全対策として、みなさんはこれをどう思われますか? 格納容器が破損して大量に放射性物質が出てくる時に、「放水車があるから安全です」などと言えるでしょうか。こういうことが公式な形で「対策の一環」として出てくること自体に対して、私たちは「人をバカにするな」と怒るべきです。現状を考えてみてください。実際に起こった原発事故で、炉心溶融(メルトダウン)の把握すらできなかった。現在も溶融デブリの状態すら把握できていない。冷却できているかどうかははっきり把握できていない。これは単に対応がまずいというわけではなく、原子力事故の特徴なのです。このような事態が現実に行っているのに、安全性を保証できない、効果の不確実な対策の議論に時間を費やしているわけです。

#### 安全哲学(フェールセーフ化)の欠如

安全の哲学は、危険がはっきりしないグレーゾーンの時にどうするかという問題です。たとえば、活断層があるかどうかわからない時にどうしますか? 活断層があるのに活断層はないと思って運転していた場合、事故が起きたら最悪でしょう? だか

ら、はっきりしない時は、活断層とみなして、まず原発を止めるべきです。安全を考慮する時に、こういった態度はあたりまえだと思いませんか？ 私たちは日常的にそうしています。たとえば、車を運転していて、歩行者が来るかもしれないと思えばどうしますか？ 歩行者が来るか来ないかわからないから運転し続けますか？ 普通は一度車を止めて、歩行者が来ないことを確認してから発進します。それがグレーゾーン問題です。原発に関しては、あたりまえのことがなされていないのです。

技術屋は、トラブルがあっても構造的に安全を保証できるフェールセーフ設計をモットーとしています。フェールセーフは、物が故障した時にそれがどういう風に動くかに注目します。たとえば、ブレーキの故障を考えましょう。故障の原因は、スイッチの接触不良、電源ダウン、回路断線、コイル断線などがあり、ブレーキシステムの部品点数が増えるほど故障し易くなり、ブレーキが効かなくなる可能性が高まります。

もし、スイッチを入れた時に電流が流れてブレーキがかかるように設計されているとすれば、安全を保証するには全ての機構が常に正常に動くことが保証されなければなりません。それは不可能ですから、確率的に必ずどこかに故障が起こることになります。そこで逆に、通常時に電流を流してブレーキを外し、スイッチを入れた時に電流が切れてブレーキがかかるように構成すると、故障があっても自動的にブレーキがかかり、事故は起こりません。つまり、構造の中に安全が作り込まれているのです。鉄道は多くの部分でこういうシステムになっており、トラブルが起こっても止まるようになっています。

ところが、原発は一部を除いてそうなっていません。そういう風に設計することが不可能なのです。安全な状態が簡単に作れないからです。そのため原発の安全対策は重大事故対策として策定されているのですが、その対策は安全装置を複数用意して事故の発生あるいは事故の拡大を防ごうとするもので、多重防護でしかありません。実際の事故は外部の自然環境、機器の故障、そして人為的ミスの重なり合いで起こるのですが、先ほど具体的に示したようにいくら対策を重ねても多重防護には限界があります。事故の発生確率を減らすことはできますが、事故をなくすことはできません。したがって、原発事故のような空間的にも時間的にも取り返しのつかない破壊的被害をもたらす事故には適用できないはずで、多重防護の考え方を「許されない事故」の対策として採用するのは非常に危険です。

福島事故の時には本当に危機的な状況になりました。福島第一の吉田昌郎所長は当時を回想して、「3月11日から1週間で死ぬだろうと思ったことは数度あった。……最悪、格納容器が爆発して……コントロール不能になってくれば、これで終わりだという感じがした」と言っています。この言葉は、多重防護を突破された現実の厳しさを物語っています。この気持ちは私も本当に共有していました。万一格納容器が爆発したらどうなるのだろうと日々恐れていました。

原子力は、単なる比喩ではなく、事故の多発が地球の破滅につながりかねません。汚染がどこまで広がるかは誰にもわかりません。福島は水蒸気爆発や核爆発のような大規模な爆発がたまたま起こらなかったため、熱の冷却に時間はかかりましたが、今のような経緯をたどっています。放射能

の被害は現実にあります。事故の形態によってはもっと厳しい被害が発生する可能性があるということを知っておいていただきたいと思います。

最近では、今年(2013年)の5月23日にJ-PARCという原子力研究機関で事故が起きました。金属に粒子ビームを当ててその変化を見る実験をしていたのですが、ビームの強度が推定400倍にもなってしまいました。その結果、金属が融けて放射性物質が外部へ出たという事故です。6月13日には横須賀の核燃料工場で事故が起きました。ウランが入っている容器同士が30cm以内に近づくと臨界に達する可能性があるため、ウランの容器はインターロックと呼ばれる安全装置によって30cm離されていますが、このシステムが作動しませんでした。ベルトコンベアの上でウラン容器同士が接触しているところを発見しあわてて離しましたが、もし臨界になっていたらおしまいです(図13)。たまたま臨界にならなかったから大事故にならなかったのです。こうした事例を見ると、原子力関連の安全はどうかやって担保されているのか心配になりますか？

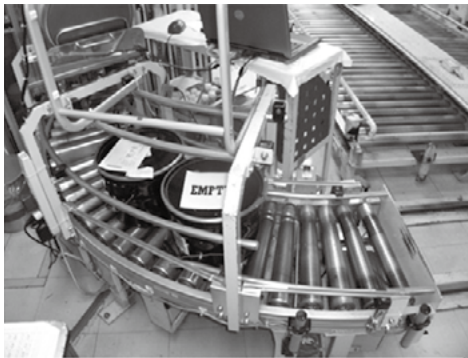


図13 ウラン容器がベルトコンベア上で接触事故

あつてはならないことが起こってしまうのは、システムの設計自体がおかしいのです。先ほど説明しましたフェールセーフ、つまり、たとえ機械が故障しても安全を確保できる設計になっていない技術が原子力関連施設のいたるところで使用されている可能性があります。原子力規制委員会はこうした設備の基本設計の問題点を抜本的に見直すことが急務ではないでしょうか。

原発においては特に専門家が安全対策を考える時には、最悪の状況を設定して、格納容器が破損した時にどうなるのかを被害を受ける人々にきちんと説明する責任があります。そしてどの程度の被害であれば我慢できるのかどうかを判断するのは被害を受ける人々であり、専門家が判断するものではありません。これが公共性の高い技術における判断の最も重要なポイントです。

私は今のままで原発の安全性が確保できるとは思っていません。放射性物質の処理の見通しが無いということだけとっても、原発を運転し続けるのは非常に野蛮な行為です。少なくとも原発を凍結すべきで、我々はやってはいけないことを行っているのです。原発の負の遺産を後世の人たちに押し付けるのはとんでもない話だと思います。

原発を放棄するとエネルギーが足りなくなるとよく言われます。しかし、エネルギーが足りるかどうかが、どういうエネルギーにするかというのは別の議論であって、その問題を原子力の問題に絡めてしまっただけだと思っています。再生可能エネルギーの技術はまだまだ発展する可能性があります。生活スタイルや産業構造の転換でさらなる省エネも可能ですし、原発に頼らずにエネルギーを確保することは十分可能だと思います。

原発の安全性は脆弱で、多重防御をいくら講じてみても事故の確率を減らすことしかできません。それがわかっていて原発を動かすのは、我々みんなでロシアンルーレットをやっているのと同じです。事故は100万年に一回しか起こらないと言われていましたが、1954年にはじめて原子力発電所が作られてから今までの間に、チェルノブイリ、スリーマイル、福島と、大きな事故が3回も起こっています。運が良かったためにたまたま大事故に至らなかった事故はもっともっと頻繁に起こっています。その頻度を考えれば「ああ、今回は大丈夫だった」という恐怖の選択を繰り返し行っているのと同じです。道義的にも、精神的にも原発の存続は本当に良くないと私は思います。

仮に原発事故が一基あたり100万年に1回の確率でしか起こらないと想定しても、安全性は確率の問題ではありません。たとえば、原発に航空機が墜落すればどうなるでしょうか？ 格納容器は航空機の衝突に耐えるだけの強度を持っているのかどうか確認する必要があります。加圧水型(PWR)原子炉(図2)では、航空機が墜落すると格納容器が破壊され、さらに内部で火災が起きる可能性が指摘されています。原発は想定される苛酷事故を確実に回避する術を持ちません。確率や多重防御で安全性を判断するのは非常に危険です。

なぜ原発に損害保険がかけられないか考えてみてください。起こってしまえば桁違いに大きな被害が起こるからです。事故の性質上被害は後世にもおよびます。私たちの子どもや孫が生涯にわたって放射線を測りながら生活することを考えてみてください。「除染」を行っても、放射性物質を移動させるだけで、根本的な解決にはなりません。

加えて、核燃料サイクル(再処理・高速増殖炉)はより危険で技術的に無理があることは今や明らかになっていますから、放射性物質(核のゴミ)の処理も全く見通しが立っていません。

原発についてみなさんはどのようにお考えですか？ ぜひ理解していただきたいことの一つは、基本的に放射性物質はどういうものであるのか、それは制御可能なものなのか、人間や環境とどういう関係にあるのか、ということです。それを考えたうえで原発の是非を判断していただければ良いと思います。私は3.11以降、非常に危機的な思いを持っています。事故当時はみな心配していましたが、今また再稼働や原発輸出について経済が優先されようとしている節があります。今一度立ち止まって考えないと、本当に取り返しのつかないことになるという危機感を私は持っています。

ご清聴ありがとうございました。

#### 質疑応答

質問： 貴重な講演をありがとうございました。途中でフィルターベントの話がありましたが、少し難しかったので再度詳しく説明をお願いいたします。

後藤： 原子力プラントには、もともと通常時にフィルターが付いています。事故が起こらなくても燃料から若干放射性物質が漏れているからです。それを環境に出さないために、中の気体はフィルターを介して長い経路を通して外へ出ていくようになっています。その途中でかなり放射性物質が取り除けます。希ガスはフィルターでは取れませんが原子炉内にとどめておく時間を稼ぐと、少なくとも半減期の短い放射性物

質は時間とともに減っていきます。放射性物質には、半減期がとても短いものと長いものがありますが、短い放射性物質は原子炉内にとどめておくだけで減衰します。ですからできるだけ放射性物質を閉じ込めておいて、時間を作って減衰させてから外に出すのです。これが普通のフィルターです。

ところが、事故の時にはそういう風にはいきません。格納容器の圧力が上がっていますから、早く外に出すことが重要で、容器内にためてはられません。一気に出さねばならないため、通常のフィルターの何万倍もの大きなフィルターが必要です。それが今言った格納容器のフィルターです。このようなフィルターはまだ日本にはなく、ヨーロッパで作ったものを輸入しようとしています。どういう性能のものをどうやって装着すれば良いのかが議論になっています。それさえ明らかにならないままに、「フィルターを付ければ良い」、「出てきた放射性物質に対して何分の一になるから良い」と言っているのみで、どれだけの量の放射性物質が出てくるのかは明確ではありません。

普通の状態の何百万倍もの放射性物質の量を千分の一にしたからといって「安全性が確保された」と言えるのでしょうか？ フィルターを通せば放射性物質の量が減るのは事実ですが、絶対量が問題です。フィルターについては、そういう議論が必要です。また先ほど言いましたように、希ガスはフィルターでは全く取れません。

なお、フィルターのメカニズムとしては、普通の家庭で使う換気用フィルターの大規模なものや水を使ったものなどいくつかのタイプがあります。

質問： 原発の規制が不十分だとおっしゃ

いましたが、どういうところが不十分なのかもう一度説明をお願いいたします。

後藤： 基本的なことは、福島事故の原因をどう見るかということです。あそこが壊れていた、これが機能しなかった、とさまざまなことが言われています。

事故が起こり、電気がなくなって冷却できないため、どんどん水が蒸発して燃料が出始めました。だから原子炉に水を入れた。中は70気圧ぐらいですから、外から水を入れるには特殊な高圧ポンプを使うしかないが、高圧ポンプが使えないから、中の圧力を減らしたい。そこで、逃がし安全弁を開いて圧力を落とす。圧力を落としてやっと外から水を入れることができるのですが、逃がし安全弁がうまく作動しなかった。格納容器内の圧力が設計圧力を超えたことが原因とされていますが、それだけではありません。

圧力が落ちて、原子炉に普通のポンプは使えません。苛酷事故が起こった時のために、原子炉には外から水を入れて冷却できる防火用ポンプが付けてあります。それを使って水を入れました。ところが今いろんなことを見てみると、水がきちんと入っていなかったことがわかってきた。今日お見せしている原子炉の図は単純化してありますが、実際はもっと複雑な配管があるので、水は途中でどこかに漏れた可能性がある。結局、原子炉の圧力を下げることはいかない、下げた後も水を入れようとしたら入らない、電気がなくても動くはずの非常用復水器は機能しなかった。こう並べてみると、個々の機器のトラブルのオンパレードです。これだけでも、めちゃくちゃなのわかります。

当時原子炉の中の水位が一番のポイントだったのですが、私は3月12日かその1～2日後には確実にメルトダウンしていると思っていました。東電は5月初旬まで、「メルトダウンはしていない。一部炉心が損傷しているが、水位はある」と言っていました。それから半年か1年たってから、「実は水位計が全滅していました」と言いました。圧力と温度が上がったので、水位計が機能していなかったのです。原子炉を運転していた人たち、それにかかわった人たちには、3月12日から5月初旬まで全く原子炉の中の状態がわかっていませんでした。このような事態が起っていたのに、事故後プラントは何も変わっていないのです。水位計をこれから開発すると言っています。そんな状態で再稼働するのですか？ 本当に私には考えられません。

私が「規制がおかしい」と言っているのは、まず事故原因を解明して、そこから見える問題をきちんと処理したうえで、これで安全だということまで到底達していないからです。実験結果を見ると、地震が来た時に格納容器の圧力抑制プールは大丈夫なのかと私は今でも心配しています。起こり得ることを全部議論して、徹底的に対策を講じるのが規制の意味です。今は確実な対策がなされないまま、結論としての規制が決められました。それはおかしいというのが私のスタンスです。

それからもう一つは、安全装置の付け足しをするのはやめてほしい。安全装置をいくら付け足しても安全が保証されるわけではありません。安全装置が作動することが確実でなければなりません。壊れた時に自動的に安全になるように設計すべきです。しかし難しいのは、原発事故では、事故が

起こった時にどうすれば安全なのかがわからない。先ほど説明した水蒸気爆発もバルブもそうです。

バルブ(格納容器の隔離弁)に関して言えば、原子炉を冷却するには水を入れなければならない。水を入れるには、バルブを開けねばならない。しかし、事故の際に放射能を閉じ込める機能を考えれば、配管のバルブは閉じないといけない。水を入れるにはどこかを開けなければならない。どちらを優先するのですか？ 冷却ですか、隔離ですか？ 設計者としてはそれが一番気になります。本来、水位がきちんとわかっていれば、この時は水を入れたほうが良いとか、閉じ込めたほうが良いとかわかります。しかし、計測データもはっきりしない中では状況がきちんと把握できないため、どちらが安全か判断できないのです。フェールセーフはトラブルがあった時に安全側に持っていくわけですから、閉じるのが安全なのか開くのが安全なのか、どちらが安全なのかがわからなかったらフェールセーフを設計しようと思ってもできません。

飛行機で言えば、飛んでいる時にジェットエンジンが故障したとします。その時にジェットエンジンを止めるべきかどうかは非常に大切です。離陸している途中で火災が発生した時は、エンジンを止めると出力を失って墜落する危険があるので止めません。ですから、火災を放っておいて離陸し、ある一定の高さで安定状態になり、万一エンジンが止まっても大丈夫という状態になってから消火します。その時の状況によってどの方法で安全を確保するのかを一つ一つ判断していきます。原子力においては、その判断がなかなかできないのが現実です。これは原子力の本質的な問題です。



どちらが安全かわからない状態で安全確保をするのは無理です。これは、今の規制に対して私が一番言いたいことです。安全哲学は技術者の常識だと思っていたのですが、その常識のない人が非常に多いということが気になります。

質問： 貴重なお話をありがとうございます。安全性に関するお話の中で、フェールセーフという言葉がでてきましたが、具体的にどういったものかも一度教えてください。

後藤： 今の話にもつながりますが、フェールセーフは設計の考え方です。フェールセーフと口で言うのは簡単ですが、実際は難しい話です。

鉄道で列車がつながっているとします。ブレーキが付いています。走っている時はブレーキにホースをつないで空気を流し、ブレーキがかからないようにしておきます。ブレーキをかけると空気がシュッと漏れてブレーキがかかります。万一脱線してどこかが壊れたら、空気が抜けて一斉にブレーキがかかり、列車が止まるような設計です。これがフェールセーフです。

一般に、ブレーキが効かないことで重大事故が起こる可能性がない場合は、スイッチを押した時にブレーキが効くようにしてありますが、この設計ですと、ブレーキ系統のどこか一箇所でも破損したら、スイッチを押してもブレーキがかかりません。これはフェールセーフではありません。

フェールセーフとは、フェールつまりトラブルがあつて事故になった時に、それでも安全側になる、機械が壊れたり人がミスをしたりした時に、それでも安全な状態に

持っていくような設計です。原発はそうはなっていません。どちらが安全か判断できないのが一つと、安全とわかっていてもそれが確実にできないという、制御が非常に難しいのが原発です。

(文責：後藤)

## 謝 辞

本稿の執筆・校正にあたり国学院大学の同僚である佐々木恵理氏ならびに編集御担当の方に大変お世話になりました。謹んで御礼申し上げます。