

原子力発電の安全性

藤家洋一

(東京工業大学教授)

はじめに

我が国が原子力開発に着手して、既に三十有余年経過しています。発電当時の目標が、日本型原子力発電の早期実用化というところにあったことは、皆さんご承知のとおりです。この日本型原子力発電の早期実用化は、原子力発電の安全性、技術性、経済性、という三つの視点でとらえてきました。ともすれば、現在、特に安全に關しての議論が錯綜していますけれども、当時、目指したこの三つの視点が満足されれば、社会は原子力を認めるであろうと考えてこれに着手しました。現在、当初目標とした経済性、技術性、安全性はいずれも達成されたと理解するのが普通の認識ではないかと思っております。

ところが、今の段階になって、当時の

が、果たして原子力の安全を社会に訴える明確な論理を持っているのかというと、いささかそこに混乱があるような感じを持っています。そういう意味で本稿では、原子力発電の安全性に關する物の見方について述べていくことにします。

原子力安全確保の基本

ここで述べることを、まず結論から先に述べますと、原子力発電は一般の方々と考えられているよりは、はるかに安全につくられていますよ、ということですが、それからもう一点は、原子力の安全を考えるのはそんな難しいことではないということですが、基本的な性質だけをたどっていくとすれば、そんなに難しい考え方をしなくても、原子力の安全性は語れます。この二点についてこれから述べていきたいと思えます。

原子力の安全の基本というのは何なのかというのをまず正確にとらえておく必要があります。いろんな議論がありますが、安全の基本というのは、原子力発電による放射性物質を環境から隔離して、放射線災害から人々を防護することである。これが原子力安全の基本だろうと思えます。必ずしもこれだけの認識で今の安全問題が語られていないのは事実ですが、原子力の特性をとらえた安全問題を議論するスタート点はここになる

見込みが少しずれてきているのはどこに理由があるのか。それは明らかに時代が変革しているところに見出す以外にないかと思えます。日本型の原子力発電は非常に良好な実績を上げていながら、安全問題に關しては特に錯綜した議論が出てきているというのは、世の中が変わりつつあることに起因しているのではないかと思えます。戦後四十年の非常に忙しい技術開発、あるいは社会の変転の中に世紀末を迎えて、二十一世紀に向けて、社会が別のものを求め始めたのではないか。いわゆる量的拡大から質的向上を求めているのではないか。その中であって、巨大技術という性質を持っている原子力が実績だけでは必ずしも評価されていないということになるのだろうかと思えます。

と同時に、この三十有余年、原子力の推進側の人たちが、当初、安全に關しては少なくとも絶対論を背景にした議論を

だろうと思えます。それと、私も原子力を考えますときに、あるいは原子力開発に着手するときはどうしても考えておかなければいけないのは、我々は原子核反応を使ってエネルギーを取り出そうとしているんだということですが、原子核反応を使いますと、ほとんどの場合、放射性物質が生まれます。したがって、放射性物質のない原子力開発をやるということとは最初から見込めない話であって、原子力に着手するからには、少なくともこの放射性物質が生成されるということを大前提にしてとらえておく必要があります。そうしますと、原子力の安全の基本である放射性物質から、あるいは放射線から人間を守ろうとしたら何を考えればいいのかというのは、三つの点に絞られてきます。

一つは放射性物質を施設の中に格納して、時間をかけてその減衰を待つということですが、放射能は時間と共に減っていきます。地球の歴史が示すように、地球上でも、最初は非常に強い放射能があったのが、今は我々人類が十分生活できるほど減衰している事実を見ても、放射能が減衰することは簡単に理解できると思えます。

この放射性物質の格納、あるいは閉じ込めという考え方は何も原子力に限りませんで、かつて公害という言葉が一六六〇年代に日本でも騒がれたわけですが、大気汚染、水質汚染、いろんな言

自ら最初に行ってきたと理解していません。原子力は絶対安全に近いような言い方をしてきたのは、これは事実として認めざるを得ない。放射能は全く漏れさせんとするようなことで、立地点を中心にいろんな活動をやってきたことは事実です。

ところが、米国スリーマイル発電所の事故などでこの絶対論が否定されるという段階になって、原子力の安全に關する明確な論理を推進側はしなくなってしまうのではないかと。どちらかと言えば、原子力に批判的な人々の質問にいかにか答えようかというところに精力がほとんど集中されてしまっていて、原子力の安全は次第に守りの色彩を強くしていった。「五重の壁」というような表現を使ってきたり、いろんな形で守りの色彩を強くしていった。

したがって、今、原子力を進める側があるいは原子力を真正面からとらえる側が公害問題と解決する大きな方向が、有害物質を施設の中に閉じ込めて外に出さないことです。硫酸酸化物のようなものはまさにこういって対応してきたわけで、何も物を閉じ込めて外へ出さないというのは原子力に限ったことではありません。

二つめは、放射性物質に更なる核反応を生じさせ、半減期の短い他の放射性物質に変え、格納時間を短くするという考え方です。つまり、早く有害性をなくしてしまう、さらに核反応を起こさせ放射性物質が別の物質に変わって、あるいはもっと早く減衰してしまうような物質に変えてしまうという方策です。さらに、この考え方を進め、最終的には放射能をなくしてしまうという考え方もあり、これが三つめの方策です。

この辺は非常にネガティブな話を、マイナスの話をいかにゼロに近づけるかという話です。本来、原子力をやるからには、このマイナスは持って生まれたものだというところで、これをいかに減らし、ゼロに近づけるかという話ですけれども、先ほど申しました物質の変換・創成を行う原子核反応を使うという観点から見れば、これはさらに中世の錬金術の人たちが望んだ世界が今、この世に実現しているんだという非常にポジティブな世界として見ることもできます。

二十世紀、人類は原子の中までは何とか制御できるようになりました。レー

ザーであるとか、メーザーであるとか、こういった今言われるハイテクの世界は、原子の中をうまく制御する技術ですが、残念ながら原子核の中はまだ十分に制御できる段階になっていません。二十世紀に向けてこういった分野が進んでくると思います。人類が原子核の中を完全に制御できるようにすれば、放射能問題もなくなることは事実です。と同時に、金などの希少金属をつくったり、全く新しい元素をこの中で求めていくことも可能になってくるだろうと思います。そういう目でこの放射性物質というものをとらえておくことも可能です。

しかし今、社会に対して放射性物質を環境から隔離する方策を説明するには、最初の方法、つまり放射性物質を施設内に格納して、時間をかけてその減衰を待つということを中心にした話をせざるを得ません。二つめ、三つめの方策についての研究開発は既に始まっていますけれども、これを前提に今、原子力の安全問題を語るには、原子力に携わる者の誠実さを疑われることになるかもしれません。

安全の 考え方

この放射性物質の問題は、今、非常に大きな焦点であります燃料サイクル問題、下北半島の六ヶ所村を中心にして議論が進んでいますけれども、その話とそれから、原子力発電所での放射性物質

の話と二つに分けて考えることができず。ここでは後者のほうに焦点を置いて話を進めていくことにします。

一般の原子力発電に対する理解と申しますと、まさに巨大技術であって、むちゃくちゃにでかい、日常性から遠いものがそこに存在しているんだという認識があるようです。したがって、これに対するアプローチは、経済性、技術性、安全性だけではつかまえない。いかに日常性に近いかという一種の社会受容性の観点を抜くわけにはいかないだろうと思います。

この巨大技術という目で原子力の安全を話している限りにおいては、とても一般社会の了解は得られないと思われます。むしろ原子力発電が本来的に要求している必須機能との関連で、あるいはシステムの特徴との関連で安全をお話するほうがわかりやすいであろうと思います。

軽水炉に代表される原子力発電というのは、集中型のシステムです。いろいろなもの、例えば原子燃料やこれを制御する装置などが一カ所に集中しています。ばらばらに分かれたものでなくて、一カ所に集中した集中型のシステムとして考えることができます。その必須機能もそんなに難しいものではなくて、ウランを燃やして熱を出すということ、その熱を運び出して電気に変えるという、この二つの機能が原子炉に要求されているわけです。火力発電であれば石油を燃やして

熱に変えて、熱を運び出して電気に変える。そういう二つの機能との関連で原子力の特徴をとらえることができる。この機能は原子炉の中に集中しています。

核分裂の結果出てくる放射能も燃料の中、つまり原子炉の中にあります。したがって炉心と呼ばれる原子炉の中だけを中心に考えていくことで原子力発電所の安全の論理は成り立ちますし、説明がしやすくなると思います。

普通、原子炉の運転をしておりますときには、核分裂で放射性物質ができて、燃料の中でじっとしています。今の日本の高品質技術でつくられた国産の原子力発電所においては、通常時にその放射能が環境に漏れ出で、その環境に対してなにかの災害を招くということは全く考える必要はない。通常運転時の安全問題は、既に原子力発電所に関しては十分解決されている。年間五ミリレムという放射性物質の通常時放出量に関する目安値がありますが、それを今さら考える必要はないほど、通常時の安全は達成されているということが言えると思います。

すると、原子力発電の安全とは何かというと、これは事故に関する安全をどう考えるかということです。いろいろな考え方がありますが、原子力発電の安全というのは、簡潔に言って、燃料が溶けるような状況が起こったときに初めて問題になるというように理解いただければいいかと思えます。

原子力発電ではウランを燃やして熱に

変え、この熱を運び出して電気に変える。この二つが原子力発電の必須機能です。燃料が溶けるといことはどういうことかという点、核分裂つまりウランを燃やして熱に変える時に、異常に熱が過過ぎ、燃料の温度が上がってしまつて溶けるか、あるいは熱を運び出して電気に変える時に、この運び出し方が十分でなくて熱が取れないものだから、燃料温度が上がって溶けてしまつか、という二つに限られます。いわゆる出力と冷却とがうまく整合しないために起こる問題だというように局限して考えることが可能です。

これを「出力と冷却の不整合問題」と呼んでいます。これまでの世界の原子力発電の資料をいろいろ調べても、この辺で話を整理することが可能です。「熱が出る」。それなら出さなきゃいいじゃないか。そのためには原子炉を止めればいいわけです。そして、原子炉を冷やす。冷やすためには充分水を用意してやればいいわけです。止めるということと冷やすということ、これが確実にできれば、燃料が高温になって溶けることはありません。

止める、 冷やす

原子力発電の安全をもう少し整理しますと、先ほど述べました、放射性物質を閉じ込めることが目標です。そのためには、燃料が溶けないようにすればいい。

燃料が溶けないようにするにはどうすればいいか。必要に応じて原子炉を止めて冷やせばよい。そういうことで説明が可能だと思います。原子炉を冷やすという場合、崩壊熱などと難しいことも普通書いてあります。これは、原子炉が止まる、つまり核分裂連鎖反応が止まっても、核分裂性物質は熱を出しながら別の物質へ変換していくために生ずる熱で、時間とともに減っていきます。炉停止直後には、運転時の炉心燃料からの発熱量の六、七パーセント程度ですが、一日後には約〇・五パーセントになるのですが、ここでは、特に崩壊熱に関する詳しい知識を必要としません。

原子力発電の安全性を整理して述べますと、ウランが溶けなければ問題は無いというようにご理解いただくのが一番わかりやすい考え方です。百万キロワットの原子力発電所では燃料が四万本くらい入っているし、いろんな複雑な計器だとか、設備がついているから、その一つがつぶれたらどうなるだろうかというようにどこから原子力の安全問題を論議していたのでは、なかなか安全の本質というのはいくらもわかりにくくなります。したがって、そういう話はこれまで述べてきた、止めるということ、冷やすということに関しても影響を持つのかということによって整理することによって、話がわかりやすくなると思います。必要に応じて原子炉を停止・冷却できるということがはつきりしますと、ウランは高温に

なって溶けることはなく、放射性物質を炉心内に安全に格納できると言えるわけです。この高温と言っていますのも、別に二、三百度の話をしているわけではなく、三千度という非常に高い温度の議論をしています。

さて、今、巷間原子力の安全の議論の一つの焦点というか、お互い聞き直った議論の焦点に存在しているのは絶対論です。燃料が溶けないというのは、絶対なのかという問いです。本来、技術の中には絶対という言葉が存在しません。したがって、そういうものが存在しない世界で絶対という言葉を持ち込むところに、そもそも本質的に議論が噛み合わないところがあります。巨大技術の一つである原子力は人間がつくるものであるという前提に立つたときに、絶対論の入り込む余地がないのは明らかです。したがって、止める、冷やすという話と、絶対論という言葉はどこで整理して考えていけばいいかというのが、これからお話しするところとします。

止める、冷やすということは一つの動作です。したがって、原子力発電を運転している側から見れば、必要に応じて原子炉を止めます、冷やしますという言い方、一つの他動詞的な言い方でお話をすることになるわけです。

しかし、一般社会の人たちは、あるいは周辺環境の人たちは、これがイコール止まる、冷えるでなければ意味がない。止める、冷やすと言っても、止まらなかつ

たり、冷えなかつたりしたらどうするかというのが必ず問題として提起されてくるからです。まさに絶対論はそこにあるんだろうと思います。明らかに止まるであり、冷えるでなければ納得しないというのが今の議論の焦点になっているということです。止める、冷やすという行為ではなくて、止まる、冷えるというその状態が要求されているんだということになるかと思えます。

さて、ここでスリーマイルの事故とか、チェルノブイリの事故が日本では起こらないということの論拠を明確にしながらお話をしなければいけなくなってきました。

原子炉を止める、冷やす。それに加えて、われわれは日本の原子力発電に何を要求してきたか。それは止めやすい性質を持った原子炉、冷やししやすい性質を持った原子炉しかつくってはだめなんだというのが、日本の安全に対する基本的な考え方です。止めやすいとは何か、冷やししやすいとは何か。これは人間が外から何か操作することだけによって原子炉

止める 止めやすさ 止まる
冷やす 冷やしやすさ 冷える

自己制御性
安全機能+ 固有の安全性 安全確保

非常に止めにくい原子炉でした。ほんとうは何か異常が起こったら、それを原子炉そのものが押さえる能力を持っていないればだめなんだ、というのが日本の考え方です。チェルノブイリはそういう性質においては逆の性質を持って、異常が起こったらますますそれを大きくするよ

うな性質を持っていた。私は、原子力の発電を、止める、冷やすという二つの言語で表現しようとした。世界の大きな事故と言われているチェルノブイリ、スリーマイル。チェルノブイリは止めることに失敗し、スリーマイルは冷やすことに失敗した。これらはいずれも、先ほど述べたような、止めやすい性質、冷やししやすい性質をつけ加えるのに問題があった。したがって、止める、冷やすを、止まる、冷えるにいか

に近づけるかは原子炉本来の持っている止めやすい性質、冷やししやすい性質、これを原子炉に持たせることによって達成されます。日本の原子力発電はそういうものでない限り、設置許可をもらえませ

ん。この辺まで話を整理しておけば、原子力の安全問題というのは一つの論理展開の中で話もできますし、これまでの世界の、数少ないですけれども、発生した事故の経験に照らしてみても、原子力の安全の考え方というのがそれほど複雑でないということが理解できるのではないかと思います。

最後に述べておきたいのは、原子力に

が止めやすくなったり、冷やしやすくなったりするわけではなく、原子炉が本来、自分自身でそういう性質を持っていなければならないということです。これを自己制御性であるとか、固有の安全性とかという言葉で表現しています。そうでなければいけない、そういう性質を持つていなければ原子炉は設置を許可しませんと言っている意味は、まさに自己制御性、固有の安全性を持った原子炉でなければつくってはだめだと言っているわけです。原子力基本法に言っている安全性最優先性の思想は、まさにそこにちゃんと生かされております。別図には、これまで述べてきました、止める、冷やすの概念と、安全確保の関連についてまとめてあります。

ここで、止めやすい、冷えやすい性質について説明します。止めやすい性質とは、「ドブラー効果」とか、あるいは「ポイド効果」とか言っていますが、いろいろ複雑な表現をとって説明することは、ここでこの話に合わないと思えますから、省略します。一方、冷やししやすい性質は、お話ししやすいので、少し具体的に説明しましょう。私どもの家庭には、だいたいがガス風呂があります。ガス風呂の焚き口で火をつけたら、なぜ湯船全体の温度が勝手に上がってくるかという話をしますと、この固有の安全性というものがわかるかと思えます。地球上では水は四℃で一番重いものですから、火をつけて温めると、温かくなれば上へ上がり、冷た

好意的な人でも、スリーマイルとチェルノブイリを同列に議論されます。しかし、これは明らかに私どもにとっては非常に大きな違いがあります。原子力発電の安全上の究極の目的というのは、放射線の災害を与えないということにあります。したがって、スリーマイルが起こったときに、私もこの事故は原子力発電の安全に対する考え方を実証するものとしてとらえたいということを申しました。

当時、反論もありましたが、事実、結果を見てみますと、確かにそうであったと私自身は理解しています。したがって、スリーマイル事故というのは許されないけれども、耐えられるか、耐えられないかという次元で考えたときには、明らかにこれはチェルノブイリとは変わった議論をせざるを得ないであろう。チェルノブイリは許されるか、許されないかという話をしますと、明らかに許されません。耐えられるか、耐えられないかということになれば、明らかにこれは耐えられないでしょう。何十人かの犠牲者を出したという意味においても。

しかし、スリーマイルも耐えられないというのかどうか、これはまさにエネルギー問題を、いいところだけで悪いところは全くないという議論を成立させない限りは、成り立たない議論でありますので、それはやはり議論をして社会に訴えかける話が必要なんだろうと思えます。

もう一点は、原子力に好意的な人でも、原子力を必要悪以上に受けとめようとし

いのが下へ下りてくるというので勝手にぐるぐる回っている。自然に水が循環しますから、自然循環と呼んでおりますけれども、日本の軽水炉は全部、この自然循環能力に期待しています。

例えば浜岡の一号炉でポンプが止まりましたけれども、原子炉の状態は出力と冷却のバランスがとれて安定した状態に落ち着きました。今、私は安全の性質の話をしておりまして、あれがよかったか、悪かったかという話をしていくわけではありません。勝手に湯がぐるぐる回り始め、自然に水が循環して冷やすことができます。これは人間が外から操作しているわけでもなんでもない。家庭のお風呂も、ポンプをつけなくても湯船の温度は全体的に勝手に上がっていきます。同じようなことを期待して原子炉もつくられている。

ただ、スリーマイルのように、焚き口のほうを湯船より高くしますと、自然に水が回ってくれません。これは、高校あるいは中学の物理という浮力の話です。この簡単な物理を知っている人は、湯船を必ず焚き口より上に置いています。それだと勝手に循環して、自然にお湯が温まってきます。スリーマイルはそうはなっていませんでした。一方、日本の原子炉はすべてこれを上にしております。一方、チェルノブイリは、止めることに失敗した事故です。チェルノブイリでは出力が異常に高くなり始めると、ますますそれを助長するような性質を持ち、

ていないところがあります。エネルギーが重要なんだから、原子力も使わざるを得ないという必要悪を越えた議論がないのが残念です。

私は、原子力はクリーンなエネルギーになり得るからやっているつもりでありますし、同時に、原子力の利用は人類がその歴史上、当然行き着く必然的な帰結ではないかという考え方を持っています。そこまで原子力をポジティブにとらえない限り、二十一世紀に向けて原子力というのは成り立ち得ないのではないかと思います。

(本稿については、電力中央研究所の小竹庄司氏の協力を得たことを付記する)