

第15回エネルギー政策検討会 会議議事録(要約)

1 会議の概要

(1) 日時：平成14年3月25日(月)午後2時30分～午後4時30分

(2) 場所：ホテルサンルートプラザ福島 芙蓉の間

(3) 講師：東京大学名誉教授 朝田 泰英(あさだ やすひで)氏

略歴 東京大学工学部卒

三菱重工業(株)長崎研究所

東京大学講師、助教授、教授

現職 (財)発電設備技術検査協会顧問

(財)電力中央研究所研究顧問

(社)火力原子力発電技術協会顧問

審議会等 経済産業省総合資源エネルギー調査会原子力安全保安部会委員

//

故障防災小委員会委員長

経済産業省産業機械技術調査会委員

日本電気技術規格委員会委員

(社)日本機械学会発電用設備規格委員会委員

(財)高経年化技術検討委員会委員長

国際標準化機構(ISO)第11技術委員会委員、第10作業会主査

米国機械学会(ASME)規格評議会、原子力規格理事会

//

原子力設計規格委員会委員

等

専門分野 機械工学、応用力学

特に、構造材料の非弾性変形及び破損機構、高温構造物の設計理論

原子力配管の耐震設計理論 等

(4) 次第

ア 開会

イ 知事あいさつ

ウ 講義 「原子力政策について」～高経年化対策について～

エ 意見交換

オ 閉会

2 講義(要約)

- 今日は私の専門である材料の経年劣化と、それをどうやって防げばいいかについて、技術的な立場からお話をしようと思います。原子力発電所の高経年化とは一体どういう問題なのか、何に注意をすればいいのかについて、まず始めにお話しします。
- 機械は、長い間使っていると次第に悪くなり、例えば、故障率が増えていくことは皆さんもよく経験してご存知だと思います。原子力発電所の高経年化という課題は、原子力発電設備について、運転時間の経過に伴う健全性の変化をどのように捉えればよいかについて、主に国が定期安全レビューの一環として始めた作業であると理解しています。

- ところで、もう一つ問題があります。原子力発電所の場合は12カ月運転後に定期検査をするように法令で義務づけられており、この定期検査の際に、検査をして悪い点があれば、その部品を交換するなり、直すなり、あるいはもっと性能がよくなるように改造したりします。そうすると、改造したり交換したりしたものが高経年化とどう結びつくのか、こういう問題が生じます。
- そこで、この問題を考える前に、あるデータをお目につけてみます。4年ほど前に私どもは、日本機械学会で、原子力発電所の保全の問題について研究するための分科会を作りました。保全をいかに上手にやっていくか、どういうふうにやっていけば信頼性の高い運転ができるか、同時にどうやれば保全のコストを減らすことができるか、こういうことを考える勉強会です。
- その時に、原子力発電所だけを考えるのでは、限界があると考え、他の産業の実態を調査しました。これはその調査で得られたひとつの結果です。これはアメリカのユナイテッド航空の資料で、自社の飛行機の機体、部品等の故障の状況の調査結果を整理し、結果をこの故障率曲線というものにまとめてあります。
- 故障率曲線というのは、横の軸は時間で、使い始めてから終わるまでの時間であり、縦の軸は、使い始めてからある時間が経ったときに、その瞬間にどれくらいの数の故障が起きるかを表していますが、それを故障の件数そのものでは一般性がなく分かりにくいため、故障率に置き換えてあります。
- このユナイテッド航空の報告書によると、この故障率曲線は、調べた限りこの6つの形に分かれるとされています。一番上のこの曲線は、信頼性工学という分野では非常に有名な曲線です。まず使い始めた直後は故障率が多い。使っているうちに次第に故障が減っていきます。その後しばらくの間、これは何年かは分からないが、ある期間は安定して使うことができます。さらにずっと使い続けると再び故障率が増え、どんどん増え続けるようになり、この辺になると、この部品は使えないということになって、ここで使用が終わるわけです。初めの故障率が高いところを初期故障、後のところを末期故障と呼びます。
- 私どもは、若いころから物は必ずこうなる、故障率曲線はこうなると教わりましたが、このユナイテッドの報告書ですと、こういう故障率曲線を示すものは確かにあるが、調査した部品のうちの4%であるということになっています。かつ、こういう故障率曲線を示すものは、例えばネジなどの単純な部品であるということです。
- 次の例は、初期故障はないけれども末期故障はあるという曲線です。これは調査した部品の全体の2%であり、同時に単純な部品であるということです。では残りの90%はどうかですが、他にこのような4つぐらいの曲線が出てくると言われています。
- 1つは、わずかながら故障率が増加し続けるが、急激な増加はないという曲線です。これが全体の5%。残りの3つは、いずれもこういう曲線になるとされています。要するに、末期故障が見られないのです。それが全体の89%になり、かつ、複雑な部品なのだそうです。複雑な部品というのは、いくつかの単純な部品を組み合わせで作ったもので、例えば、エンジンのガスタービンのディスクなどです。
- 申し上げたいことは、このユナイテッド航空の調査報告書のデータは、これまで信じられてきた、故障率曲線がバスタブ曲線を示すという常識が当てはまらないということなのです。結論を申し上げますと、部品点数の多い設備では、故障率の時間推移を示す

故障率曲線は、信頼性工学が教えるバスタブ曲線にはならないと言ってよいかと思いません。

- 我々も、なぜこうなるのかいろいろと考えてみました。ユナイテッドの方も調べたようなのですが、というのは私は直接調べていないので申し訳ないのですけれども、なぜこうなるのか分からないのです。1つはこういう解釈ができます。たくさん部品を寄せ集めた複雑な部品では、それを構成する1つ1つの単純な部品には確かにこういう末期故障を示す傾向があるかもしれません。けれども個々の部品の寿命はまちまちであって、寄せ集めた部品を使っている全体としては使用期間中いつでも同じ確率で故障が起きるという考え方が1つです。
- もう1つは、例えば、飛行機分野ですとある飛行時間ごとに検査するとか、部品を交換するとか、検査をして悪ければ部品を交換したりします。そうすると結局故障の出そうなものがどんどんなくなっていきます。結果として故障率曲線は平らになってしまふ、という解釈もできます。しかし、真実のところはわからないというのが現状です。
- それでは原子力についてどうでしょうか。平成8年に国が出した高経年化対策の第一次検討報告書の図を見ていただきたい。横軸は経年、要するに原子力発電所を使い始めてからの年数、いわば年齢である。この棒グラフは、使い始めてからある年数たったとき、例えば6年目に何件事故、故障が起きたかという件数です。
- この当時、一番古かった発電所が敦賀の一号炉で26年でした。このように統計データを処理するときの母数が違いますと比較できないので、この事故、故障の件数も、事故、故障の件数そのものではなくて、トラブルの報告件数となっています。
- 国が全国の発電所に指示し、何かトラブルがあると、国に報告するように法律で決まっています。このトラブルの件数は、その報告の件数をとっています。実は日本の場合はこの統計は非常に少ない。日本の原子力発電所の場合、大体トラブルの件数が非常に少ないので、ある種類の故障に限定すると統計処理ができなくなります。そこでトラブルの報告件数全部をもってきております。これは統計学的に見れば厳密ではないかもしれないが、大体のことは分かると思います。今の例のように、2年目のところで故障の件数が一番多くなっていますが、それはちょうど2年を経過したプラントの数が一番多かったということです。
- この棒グラフで表されているトラブルの報告件数を、そのときに存在したプラントの数で割り、1プラント当たりどの位のトラブルが起きたかというものに直したものが、この折れ線のグラフです。この折れ線グラフは、先ほどの故障率曲線にほぼ相当すると私は思います。これを原子力発電所全体として見たときの大体の故障率曲線だとみなすというわけですが、そうするとこれはいったいどう見ればよいのでしょうか。
- 先ほどの6つの曲線がありました。そのどの段階にきているのでしょうか。少し右下がりになっていると言う方がいけば、これは初期故障の段階にあるということが言えます。私は、これは大体平らだなと見ます。ということは、先ほどの例の図に直すと、少なくとも初期故障の段階ではなくて、今のところはどこか安定状態にいるだろうと見ることができると思います。
- 私個人はこう考えています。原子力発電所の高経年化とは一体何か。まず1つ、こういう誤解をしてはいけない。よく機械も人も同じで、人は年をとれば身体が悪くなり、病気がちになる。機械も同じであるという例えがよく出ますが、一面は確かにその通り

なのですが、そういう論理はよくよく考えて検討しないといけないと思っております。一部分が似ているから全体も同じだと言ってしまうと誤解を生むということです。そこは注意をしなければいけない。人と機械ではどこが違うのかと言うと、現象と時間の尺度が違うのです。人間の寿命は脳細胞の寿命で決まり、脳細胞の寿命は140年位だと言われています。しかし、機械の場合は、我々の感じだと、何千年ももつかもしれないものもあるので、全く同じ物として類推してしまうと間違ってくると思います。

- 先ほどのデータが示すように、1つ1つの部品では、物理現象としての寿命があります。これを私は物理寿命と言っております。けれども、その集合体である設備になると、物理寿命というものはなくなるでしょう。
- では、それは我々の経験に反するのではないか。例えば古い火力発電所がもうなくなっているが、あれは寿命が来たからでしょうと皆さん思うかもしれませんが、実際はそうではなくて、古い火力発電所が消えていったのは、発電コストが高すぎたからなのです。新鋭の火力に太刀打ちできなかった、あるいは原子力発電に対抗できなかった。そういうコスト競争に負けてなくなっていったというのが事実だと思います。
- こういうふうに物理寿命がない大型の設備に対して、どういう点で寿命を考えていくか。おそらくそれは経済寿命というもので考えたらいいだろうと思います。経済寿命というのは、代替の方法とのコスト競争に負けることだと理解すればよいでしょう。あるいは社会が変化しそれが必要なくなった、それを維持するには非常に大きなお金がかかるということも経済寿命の原因になると思います。
- では原子力発電所には寿命はないのか、経済寿命だけでよいのか、という御質問が出ると思います。私はそうではないと思う。今申し上げたのはプラント全体としての話であり、プラントを構成する1つ1つの部品をとってみると、先ほどのユナイテッドの報告にもあるように寿命があります。しかも物理寿命がある。それを考える必要があるのです。逆に言えば、プラントに対する信頼性とか安全性を維持するために、1つ1つの部品の寿命というものを考えて、それに必要な手当てをすればよい。つまり、長時間の運転を経た後に不具合が発生するのですが、それは1つ1つの部品の問題であり、そこは我々は既に30年も40年も前から学問の対象として研究しております。それは材料の経年劣化という現象です。それにはいろいろな側面があります。経年劣化と言っても、疲労によって劣化する場合もあるし、腐食によって劣化する場合もあります。いずれにしても1つ1つの部品に対しては、こういう材料の経年劣化という問題で把握していく。それによって学問的なあるいは技術的な対応をすればよいと、私は思います。
- では、この経年劣化というものを定量的につかまえ、劣化の程度あるいはその寿命を定量的にどのように予測すればいいのか、これが結局、我々がやってきた学問の対象であります。そこで分かっていることは、経年劣化とは、材料そのものの問題だけではなく、環境のなせる技であるということ、つまり、同じ材料を使っている、使い方によって、あるいは使う場所によって寿命が違うということです。
- 経年劣化現象とは、同じ材料でも使われる環境によってみな違うのです。原子力設備に使う部品について考えると、力学環境、どれくらいの力が何回位かかるか、高い温度で使われるのか、あるいは腐食性のある化学環境で使われるとか、あるいは、原子力特有の問題ですが、放射性的環境の中で使われます。それによって普通の環境の中で使われれば全く問題がなかったのが悪くなっていくのです。これが経年劣化という問題であ

り、材料の問題だけではなく使われる環境によって出てくるのです。

- 話が専門的になりますが、この経年劣化現象の典型的な例としてクリープという問題を紹介します。この現象は、高い温度、特に火力発電で使う位の高い温度で使うと、長い時間経った後に材料が悪くなってくる、割れが出て使えなくなるという現象です。この現象は今から100年以上前に見つけられて、こういう現象があるから火力設備の、例えば蒸気タービンの設計などは注意しなければならないということで学問が発達してきました。これは1つのクリープ破壊の例で、外国の文献から引用しました。日本ではこういう損傷事例を、どの会社もあるいは国といえども出したがらないので、外国の文献から持ってきました。これは蒸気タービンの、高圧の部分に割れが入った例です。非常に圧力が高く力がたくさんかかりますので、その結果として割れが入ってくるのです。これは同じく火力のボイラーチューブで、これはやはりクリープによる結果で、そこに割れが入って蒸気が漏れてしまったという例です。高温で使う設備には、こういう検討は絶対に必要だということで研究されてきています。
- クリープという現象による機械の破壊をどうやれば防げるのかということが問題になります。これは、ボイラーのチューブに使う材料から、小さな試験片をサンプルとして取り、これにおもりをぶら下げ、電気炉で加熱して置いておくと、いつかそれがブツンと切れます。これが1つの実験のデータであり、横軸に試験を始めてから試験片が切れるまでの時間をとってあります。ここは1万時間で、ここは10万時間です。1万時間と言うと13カ月位になります。縦軸には試験片にかけたおもりの重さをとってあります。いろいろな種類の材料のデータが入っていますので、バラツキがありますが、おもりを軽くすると寿命が伸びていくことが分かります。
- ここに2つのデータがありますが、試験温度が違い、こちらが900° Fだから470°C位。下の方は950° Fだから、500°C位になります。温度によって強さが違います。スケールが違いまして、下のデータのおもりの重さは右の目盛りで、上のデータ群のおもりの重さは左の目盛りで読んでください。
- 問題はどこにあるかと言いますと、こういう実験を行って取れるデータの寿命は、この場合で4万時間位、要するに4～5年でしかありません。これだと1万時間だから1年位です。ところが火力発電設備といえども、実際には10年から20年使います。長時間使用後の状態を一体どうやって予測すればいいのかということが問題になります。そこで私どもは、温度と時間の間に、寿命と実験をする温度との間に、互換性があるという性質を使います。これは理論的に出てくるものです。
- ここではその理論に基づいて得られたパラメータを使っています。ここに寿命と温度が入っています。このパラメータを使うと、違う温度で実験をした結果が1つの傾向に収まってきます。いろいろな温度で試験をした結果が1つの傾向に入ってきます。バラツキは大きいけれどもこうなるのです。こういう傾向が分かると、では500°Cで30年使おうとしたら、その前に550°Cで6年の実験をやっておけばよいということが分かるのです。
- 軽水炉の経年劣化問題の原因となる物理現象の多くが、この温度と時間というパラメータを使うと、短時間の実験室での試験をもとに将来を予測することができる1つの例としてお話をしました。
- もう1つこの図で話をしたいのは、このデータのバラツキの処置です。私どももこの

データのバラツキを何とか減らしたいと書いていろいろと苦労するのですが、材料の壊れ方が確率現象なのでやむを得ないのです。そこで我々はどうするかというと、こういうデータをとってきたら、このデータの分布の下限線を引きます。この下限の線は、統計学的な意味で申し上げますと大体5%の破壊確率に相当します。5%はまだ大きいのですが、材料の性質の下限はここであると考えます。それに対してさらに余裕を見込むということをしていただきます。大体この下限の線の80%をもって設計の限界としようとするのです。ただその値は物事によって変わります。

- これまでの話を整理します。高経年化問題とは何か、技術的には何を意味しているかと言うと、材料の経年化現象が問題なのです。そういうものがあるから高経年化問題というものを考えなければならないという訳です。さらには、長期間継続して作用する外的な要因、例えば温度や力、腐食の影響などを把握しておく必要がある。実験や理論を使って明らかにしていく目標は、なぜこういう経年劣化現象が起きるのか、その発生機構をはっきりさせるといふことに主眼があります。この機構がはっきりすると経年劣化現象と予知することが可能になり、どこをどの位の頻度で見たらいいのかということも分かってきます。それに基づいて検査装置や監視装置、あるいは技術をつくることができますし、同時に、補修とか交換とか改造とか、こういった技術も開発することができます。高経年化検討会あるいは委員会の技術的目標というのはこういうところにあるのです。
- さらに、原子力発電というのは工業製品としては非常に特殊な立場にある、あるいはあった、ということがいえます。これはある本に書いてあった事ですが、軽水炉というのは、もともとは潜水艦のエンジンとして開発され、開発された当時は、アメリカとソビエトのいわゆる東西冷戦が非常に厳しい時代でした。どうしてもアメリカとしての国の安全を保障するためにそういうエンジンが必要であり、そのために開発されたのです。
- 私はエンジニアですから、こういうことを申し上げるとだらしがないと言われるかもしれませんが、およそすべての工業製品は、失敗の歴史の上に成り立っている。失敗を繰り返して、経験を繰り返して、現在の状態があります。現在でもやはり失敗を続けています。工業製品は失敗の歴史の上に立つ経験の産物であると言えるのです。
- ところが先ほどのように東西冷戦の最中、何とかしていい潜水艦のエンジンが欲しいという軍の要求があったために、軽水炉、特に加圧水型炉というのは、過去の経験がないのに作らざるを得なかったのです。これは工業製品としては異例のことでした。
- その本の著者は「だから運転しながら経験し、これを技術の向上に反映させ技術を向上させるのだ。そういう体制がなければいけないし必要なのだ。」こういうことを言っています。私もその通りだと思います。
- これまで原子力発電所に寿命があるかという話をいたしました。これからは原子力発電所の寿命の考え方についての、これまでのいろいろな説を整理してご説明したいと思います。原子力発電所、特に軽水炉発電所の寿命は30年あるいは40年位と思われている方が多いのではないかと思います。こういう寿命の年数が実は物理寿命ではないということは先ほどの説明でお分かりいただけたかと思いますが、具体的な30年、40年という数字の根拠は何かということ。これはアメリカにおける運転許可の年数なのです。
- 今から10年位前にアメリカの学会で、多分電力会社の若いエンジニアでしょう、そ

の人が「大体何で国は発電所の運転期間を40年にしたのだ。」という質問をしたのです。そこに出てきていたNRC（米国原子力規制局）の人が「それは電力会社が40年使いたいと言ったからだ。」と答えました。

- アメリカで最初に原子力発電所をつくった電力会社が国に運転許可の申請書を出した際、国の担当官が「あなたの会社はこの発電所を一体何年使いたいのだ。」と聞いたところ、電力会社の担当者は「とりあえず40年使いたい。」と答えたのだそうです。それで国の担当官が40年の運転許可を与えた、というのが真実のようです。
- ところが、そういう事情がどこまで伝わったか伝わらなかったのか、あるいは時間が経つうちに変質したのかもしれませんが、40年という年数が発電所の物理寿命であると誤解されたようです。
- なぜ電力側が40年使いたいと言ったのか、この根拠は分かりません。私の体験では、1つの発電所を40年間使い続けるということは、世界中でそれまでありませんでした。おそらくその電力会社にしても、40年も使う前に新しい設備ができて、あるいは新しいプラントができて、もっと経済的なプラントができるだろうから40年も使うことはないだろうと考え決めたのではないかと思います。
- 40年という数字が物理寿命でない証拠に、今NRCは各電力に対して運転許可期間の更新を受け付けています。NRC自身が各電力にしきりに出せ出せと言っています。許可された延長期間は20年であり、既に一昨年2月段階で、5プラントに許可されております。
- 次に、この寿命、あるいは運転可期間が、技術基準でどのように扱われているのか説明します。原子力発電所を建設するときの技術基準は、世界で最初に1962年に制定されたアメリカ機械学会の規格があります。私どもは俗にASMEのセクションⅢと呼んでいます。これが世界で初めて原子力発電所の設計に技術的な根拠を与えました。日本はこれを翻訳し、通産省の告示第501号というものを作り、以後時々改訂しながら使用しています。
- この技術基準の中で、経年劣化問題がどのように扱われているのか、あるいは寿命がどのように扱われているかですが、アメリカ機械学会の論文では、軽水炉は、長時間運転をしなければいけないだけではなく、他の機械に比べて安全性を特に必要とする。だから火力で問題になるようなクリープが起きないようにしようと考えたと書いてあります。具体的に言うと、材料にもよりますが、425℃とか375℃よりも低い温度で使うということがこの規格で決まっています。この温度が一体どの程度の温度なのかといえますと、「クリープの影響を少なくとも3000年は無視できる位の温度である。」と書いてあります。ここで非常に安全に配慮をして、特にクリープという経年劣化現象を防ぐようにしたかったということがおわかりいただけるかと思います。
- ところがこの規格では、セクションⅢにせよ、告示にせよ、いま申し上げた以外の経年劣化現象は必ずあるが、それは環境効果として扱おうと考えた。この環境効果が結果として、今いろいろとプラントに出ている経年劣化現象になっている訳です。ところが規格を作るときに、この環境効果は発電所ごとに違うだろう、それから例えば材料が同じでも設備によって違うだろう、それを規格基準というもので一律に制限してはまずいと考えたのです。
- アメリカには規格にはなるべく一般性をもたせようという発想があります。そういう

お国柄もあり、発電所ごとに違うあるいは機器ごとに違うというものは、共通規制項目とすべきではないと考えたのです。そこでそういう項目については、発注者と受注者が、具体的に言えば電力とメーカーが、協議して決めるべき問題としました。それを設計仕様事項と我々は言っています。

- ところが結果として、これが長年伝わっている間に、軽水炉には環境効果はない、経年劣化はない、こういう発想に変わってきました。それは時代が変わると人が変わり、初期の頃の苦勞が忘れられていくという、まさにひとつの典型であります。結局規格に書いていないから環境効果はないのだと考えた。そういう人が増えてきたのです。けれども、その後、実態を見ると、それはいいのではなく、むしろそういうことを知らなかったエンジニアに責任があるという認識が生まれました。
- そういう経験に基づき、アメリカの機械学会では、セクションⅢという規格に環境効果に関する項目を追加しました。ノン・マンドトリー＝Non-Mandatory、日本にはこういう制度はありませんが「非強制の規格」と言います。要するに推奨事項なのです。アメリカの規格にはマンドトリーとノン・マンドトリーとがあり、マンドトリーというのは必ずそれを守らなければならない。ノン・マンドトリーというのは推奨であるので、それを守らなくてもいいけれども、その代わりに何かあったときに自分が責任を取れというものです。そこでそのセクションⅢの中に、設備の環境効果という非強制の規格を作って入れた。これが1999年版から載っています。私も委員をやっており、担当して一部を書きましたが、これを見ると、今後我々がどういう点に注意をすればいいかという問題、すなわち経年劣化現象としてどのようなものを考えればいいか、それがずっと載っています。例えば腐食。腐食にもいろいろなタイプの腐食があります。それから原子力特有の問題になると照射による問題があります。これを作った私を含めた委員は、要するにこういうものを規格に入れておくから、若いエンジニアはこれを読んできちんと勉強をしてください、それでこういうことを防げるような設計をしてくださいということを考えている訳なのです。
- まだ、お話し申し上げたいと思って用意した資料がたくさんありますが、時間ですので、打ち切らせていただきたいと思います。ありがとうございました。

3 意見交換

【福島県】

- 個々の部品は物理現象としての寿命はあるが、集合体である設備には物理寿命はないという話だが、例えば、原子炉圧力容器は1つの部品ではないのかと感ずるが、その場合、寿命というのが出てくるのかどうか、出てくるとすればどの程度のことが見込まれるのか、1つ伺いたい。
- 最近の原子力の様々な規制の動きの中で、国が検査制度を変えるなどの動きがあるが、我々からすると、安全面での規制の見直しには不安がある。そういう国の方向性は、今の検査等に余分なものがあるという判断にたっているのか、先生の考えを伺いたい。

【講師】

- まず、圧力容器の寿命は何年位かという御質問ですが、これは非常に難しい。私も詳細には知りませんが、今の高経年化の評価では60年は保つと考えられています。設計

基準の中でどの位の余裕を保たせるかと言うと、例えば60年保たそうと思ったらその20倍、これは疲労設計の場合ですが、20倍は保つように造る、というのが技術基準で決められています。

- それに対して問題になるのは、圧力容器の壁が中性子照射によって脆化してその遷移温度が上がっていくのではないかという問題があります。これについては、現在も試験を続けています。いまから15、6年前に圧力容器の照射が進み遷移温度が上がりすぎているのではないかという疑問が出たことがありました。日本でもアメリカでも、先ほどのクリープの問題と同様に、将来のことを見通すために、加速試験をします。クリープの場合は温度をちょっと上げると加速できます、照射脆化の場合は照射速度量を増やして、将来の予測をします。
- この加速試験が妥当なのかどうかという点がいま問題になっています。と言うのは、加速試験をやると、例えば温度が上がる等、いろいろな影響が出てきて、実際の圧力容器の使用状態と違う状態が出てきます。そういう加速試験をやると、少し悪い面が出てくるのではないかという疑問が出てきているのです。いま日本でもヨーロッパでもアメリカでも照射の試験を継続してやっているのです。
- 今までの監視試験結果をみると、加速試験でやってきたよりも、照射による脆化の進行は大体この辺でもう飽和しているようです。使い始めて10年か20年位で、大体飽和してこれ以上悪くはないだろうという感触を持っています。しかし、これはデータがきちっと出てみないと分かりません。
- 次の問題は、規制緩和ですが、これは私の世界観、歴史観になりますが、日本は非常に規制が強く、明治以来あるいは明治以前からの日本の伝統であると思います。つまり、民が自由に動こうとしても、官がそれを許さない、そういうことで日本は統一が保たれてきたと思います。
- なぜ規制緩和が必要かと言うと、発電設備というのは工業製品であり、要するに安くしなければいけない。その時にいろいろ規制がかかって結局高いものになってしまう。それは結果として日本全体のためにならないということなのです。必要のない規制を緩めることで、日本全体の利益になる、日本の製品が海外に行って外国の製品と競争しようという時にプラスになる、と私は思っています。
- 例えば、日本の電力料金は高いのです。アメリカの倍、韓国に比べても高い。対馬海峡を渡って韓国との間に送電線が出来たとしたら、多分日本の電力会社は全て潰れてしまうでしょう。電力料金が高いということは日本の工業製品を高価格に押し上げてしまうので、これはどうしても安くしなければならないのです。これが必要のない規制を緩和する動機でしょう。
- 何が必要で何が必要でないかですが、保安院の中でもこれから議論しますが、いま私どもが考えているのは、国の規制をどこまで許すか、その限界を決める事です。その規制の限界よりも強い規制は緩和し、国がしなくても良いものは、全て民間に移そうということです。例えば、技術基準の問題ですが、技術的には全く同じ内容のものが、アメリカでは学会の基準である。ところが日本は同じものを翻訳してそれが国の基準になっています。国の基準になると言うことは、要するに法律の一部である訳で、技術基準に違反すれば罪に問われる事になります。これは1つの例ですが、国が嚴重に過度に保守的になりすぎているということではないかと思えます。

【福島県】

- 福島第二3号機の再循環ポンプの損傷事故の直後に原子力行政を担当したが、当時としては大きな事故であり、止めたのは1月頃だが、運転再開するまで1年11ヶ月かかった。その間、県民への理解に大変な手間暇がかかったという強い印象を持っている。それで、講師のレジュメの中に、工業製品は失敗の歴史にある、原子力は過去の経験がないということについて、商業炉になって40年以上、50年の歴史を持ちながら、経験が浅いというのは極めて説得力に欠けるのではないかと思う。それで一番問題なのは一番最後の文章で、運転しながら経験し技術向上に反映させる、つまり、走りながら考えますよという、これは原子力発電所にはこういう考え方が根底にあった場合、特にチェルノブイリの事故の後、国民の理解はなかなか得られないのではないかと思うが講師の考えを伺いたいのが1点。
- 圧力容器は交換できず、高速中性子も浴び、一番過酷な負荷がかかっているところで、講師は十分な余裕があるとおっしゃられているが、ここがプラント全体の寿命を決めるところだと思うが、先ほどの講師のお話で十分な余裕を取っているし、中性子についても加速試験をやっているから大丈夫だというお話があった。それはそれとして分かるが、圧力容器の中には、テストピース、試験片を入れているが、これは定検の度に取り出して物理的な科学的な検査をやっているが、そういうものを具体的にデータを出して、運転開始から30年たった福島第一の発電所の状況はこうなっていると、そのような情報公開をやらないと、専門の先生方が大丈夫と言っているだけでは説得力に欠けると思っている。なぜ具体的にデータを出し、説明をしないのか、その辺についてお聞かせいただきたい。

【講師】

- 運転をしながら経験しということですが、その前に伏線があり、先ほど申し上げた論文とか本とか見ていただければお分かり頂けると思いますが、要するに経験がない。だから分からないところはなるべく控えめに控えめに造る、使う、それが原則になっているのです。
- 例えば、火力に比べて非常に大きな余裕をとっている。安全率という言葉を使いますが、はっきり言えば、火力設備と、原子力の中でも3種、4種機器という設備は全く同じように扱おうとしています。その中で原子力設備では、原子炉を通った水が流れている、一次系というところは実は設計上の安全率は火力よりも小さくとっています。
- なぜそれができるのかと言うと、検査の方法、頻度が違うのです。例えば火力の場合放射線検査は要求されません。また定期検査では、耐圧試験の圧力が違います。設計安全率には、見えない出てこないところで余裕を見ているのです。
- これで安全性が保てるのかという疑問が出てくるでしょうが、安全率には表れない検査とか溶接の方法、材料等で安全を確保しています。それからもう1つ、私どもは解析による設計と言っていますが、一次系を設計するときには非常に詳細に設計をします。
- 火力の場合、まず運転圧力と運転温度が決まりますと、これに基づいて容器の肉厚を与えられた公式を使って計算します。これに対して、軽水炉の場合には、まず火力の経験を生かそうということで、同じ方法で容器の肉厚を決めます。次に容器や配管にどん

な力がどれだけかかるかということを経験的に予測し、そこにまた余裕を見ます、次にその力がかかったら压力容器のどの部分がどの位辛いかという事をコンピュータ使って全部計算していくのです。そういうことを全体通してやっていくと余裕が出てくるのです。

- こういうことをやっているのです、結果として安全性と信頼性が保てるのです。だから、全て経験の産物であるとしているが、その前に周到な準備をしています。それと同時に、原子力特有だと思いますが、何かトラブルがあれば、それをすぐに技術基準に反映させていく、同じ事が2度起きないようにしようというのです。
- そういう点で、規制緩和をしていく、技術基準を民間の基準にしていく、例えば学会基準のようにして、そこで迅速に対応していく。いろいろなトラブルの経験が反映できるようにしていく、それもひとつの規制緩和だと思っています。
- 次は情報公開ですが、全く御質問に同感です。これまでは国のプロジェクトで出てきた成果は、国が所有していました。例えば、私どもが学会で発表したいと考えた場合、まず国にお伺いをたてる、できあがった原稿を全部出して審査を受け問題がないとなった時に、やっと発表できました。それはなぜか、私の考えですが、かつての東西冷戦の名残がまだ残っているのではないかと、ご存じのように原子力というのはすぐ兵器に転用される可能性があり、国の安全保障に密接に関係しているので、原子力の情報は国が管理してなるべく外部に出さない。もう一つは外国とのいろいろな情報交換の時の材料に使われる。こういう姿勢があったのでしょう。
- 国民の金でやったから、軽々に外国に売り渡すようなことはできないという発想だったのです。それが私は東西冷戦の名残だと思うのです。最近は大分緩和されてきているように思っており、国のプロジェクトが終了して報告書が出ると、報告書は公開の対象になっています。多分、国の報告書は国会図書館に行っていると思うので、見る事ができるでしょう。
- 2年程前に国の指示で発電設備技術検査協会の中に高経年化技術センターというのができ、このセンターの業務のひとつとして国のプロジェクトが終わるとそれをまとめてインターネットに載せて公開する業務があります。こういう制度になったのが昨年です。センターのホームページに接続すれば情報が手に入ります。

【福島県】

- あれほど巨大な原子力発電所のシステムをずっとメンテナンスをしながら使えばかなり恒久的に使うことができるのか、伺いたい。
- 高経年化で疲労が起こっているシステムについて、事業者の立場からすると、経済性から考えて十分な形では行われぬ可能性があることも考えられるが、高経年化した原子力発電所のメンテナンスの在り方は、どんな形が一番妥当なのか。また、可能であれば他の国はどういう工夫をされているのか、伺いたい。

【講師】

- メンテナンスをすればかなり恒久的に使えるのかどうかですが、私は基本的には、出来ると思います。ただし、古くなり、経済性が落ちてくると、そこでストップになってしまうでしょう。だから、メンテナンスをやり悪い部品は替えたり、改造したりすれば、

理論的には使えるだろうと思います。

- 2つ目の質問は、検査を行う領域の問題だと理解すれば、質問の通りだと思います。日本の検査は、元はアメリカから検査の思想を入れています。配管、容器の定期検査の際、溶接部を見るという体制になっています。なぜかという、いまから3、40年昔は、溶接は信用できず、まず溶接部を見るというのがエンジニアの頭にあった。
- ところが最近の損傷の例では溶接部でないところ、これを我々母材と言いますが、母材で割れてくるという例が出ているのです。2、3年前の日本原子力発電の敦賀第二発電所で熱交換機器を連絡する配管が熱疲労という現象で割れたのも、溶接部ではなくて母材のところでした。なぜあそこを見なかったのかといいますと、あそこは3種機器であり、定期検査を基準で要求されていないのです。
- 検査でどこをどの位の頻度で見るべきかについて、今後再検討していかなければいけないと思います。

【福島県】

- 故障率の話で、様々な部品等で構成されるシステムは全体では安定しているという話があったが、浜岡原子力発電所の場合は、一部改造され、その改造した箇所が、事故が起きた。安全性の確率の問題で一部改造して良いのかどうか。
- 浜岡の漏水があったが、原子力の故障事故の統計等にはそういうものが入ってこないのではないか。これは国の情報公開の不備が、電力会社の情報公開しない体質につながっているのではないか。漏水が7ヶ月も分からなかった、そういうことが往々に起きる。その辺りの講師の意見を伺いたい。
- 工業製品は失敗の歴史との話があったが、工業製品の事故が起きた場合と、原子力発電所の事故とでは、放射線の影響等、全然別の影響がある。私ども地元から見ると、失敗しながらということは絶対に許されないと考える。講師の見解を伺いたい。
- ひとつひとつの起きている事象を見ると、講師のコストあるいは規制緩和の問題もよく分かるが、JCOの事故なんかを見るとコストの影響ではと感ずることがある。そういう意味ではなかなか講師のおっしゃるようなことをそのまま受け入れる訳にはいかないような地元の立場がある。
- 情報公開にも絡むが、原子力行政について、いままでの10年間の経験等からすると、どこか分からないところで政策が決められているような感じがしている。例えば、技術基準を策定する場合、ヨーロッパのコンセンサス会議のように、国民の意思を取り込む形での政策決定が可能かどうか、あるいは技術者だけに任せれば良い問題なのか、見解を伺いたい。

【講師】

- 浜岡原子力発電所の余熱除去配管の爆発について、現在調査中だが、調査結果はおそらく毎月原子力安全保安院が公表していると思います。
- 私どもの今の認識では、配管を改造したことが原因ではないと思います。というのはあの配管を改造しようが、改造する前であろうが運転していくと、ある時間が経てばあそこに水素が溜まる、そういう元々の構造になっているのです。本来ならばあの配管は元々いらなかった配管だったのです。

- なぜ、浜岡で起きたかという、浜岡1号と2号はシュラウドの応力腐食割れ対策ということで白金を中に入れてコーティングをやっています。シュラウドに対して、白金を入れていった際、その水が余熱除去系の熱交換器の方に流れていき、更に漏れた量が余熱除去配管の方に流れていき、少し溜まっていたようなのです。このことは調査の結果が出ています。これが触媒として働き、ある量、水素と酸素が溜まったときに、たまたま弁を開ける操作があり、その時の蒸気の乱れで白金の触媒反応が起きて爆発したと推定されています。
- 私はこの件は特異な、多分浜岡特有の問題であり、もし、浜岡でもシュラウド交換をしていたら起こらなかつたらと個人的には思っています。
- 次に、浜岡原子力発電所で制御棒駆動用の装置を入れる案内管に応力腐食割れが起きて漏れたという件ですが、これは経産省に報告されており、トラブルの件数に入っています。
- コストの問題ですが、JCOの例で言うと、詭弁と取られるかもしれないが、私の考えているコストとは全てを含むものなのです。例えば保険会社が保険の掛け金を決める時に綿密に計算する。同じ事であり、例えばJCOの場合、あのようなことが起こると予測しなかった。そこにかかるコストというものを考えないで、ただ短期的な目先だけのコストで物事を判断していたという問題があると私は考えています。
- コスト評価の範囲をどこまで広げるか、それは非常に難しい問題があるが、私が概念的に申し上げているコストというのはそういった将来あり得る危険、そういったもの全てを含むべきだと思っています。そういう点でコストが安くなるということを目指すべきだと思っています。皆さんとしてもコストを計算するときにもっと広い範囲で考えろということ、事業者なり国におっしゃっていただくことが必要だと思います。
- 工業製品でありながら事故が起きた場合は放射線の影響があることについて、全くおっしゃる通りであり、答えは先程も申し上げた通りで、分からないところはなるべく控えめに造るという基本思想でこれまでできており、告示501号、セクションⅢ等の規格基準としては、あまり大きな間違いをしてこなかったと思っています。むしろそこで検討されていなかったところで、大きな問題が出ていると私は思っています。経験というのはそういうことであり、これまで十分に検討されていなかった事を、経験として規格に入れるなり、検討項目に入れるなりしていくというのが私の言う経験ということなのです。
- 技術基準については、全くおっしゃる通りであると思います。4年前に私どもは日本機械学会に発電用設備規格委員会というものを作りました。諸々の技術基準を学会として作っていかうという活動をしております。
- 日本機械学会の場合の原則は「中立」、「公平」、「公開」である。「中立」とは、委員の所属あるいは専門が特定のところに偏らないこと。「公平」、「公正」とは、規則による運営を行うことです。「公開」とは、まず、いつ、どこで、何時からやりますということインターネットで公開するのです。誰が出て結構です。オブザーバーとして参加でき、発言することも出来る。議事録も作り、インターネットで公開しています。更には規格の原案が出来ると公示します。私どもは公衆審査と呼んでいるのですが、こういう規格の案が出来たとインターネットで公開して一般の方から意見をいただくのです。意見をいただいたら委員会を開き、その意見が妥当か、妥当ならばどのように原案を変えるのかを審議する。その結果も全部公開している。私どもはこれが公開だろうと

思っており、これを続けていけば、発言者がご心配される問題は段々消えていくのではないかと考えています。

【福島県】

- 日本機械学会の運営については非常に私どもの考えていることに近いと思う。原子力発電そのものの原理あるいはコンセプト、原子力の場合はどういうふうにご考えるかということをしっかり皆さんに認識していただくと同時に、学者・学会の考え方と、国民の意見なり考え方をどのように吸収していくのか。学会があり、政府があり、国民がどのようにするかというシステムについて、講師のお考えをお聴かせいただきたい。

【講師】

- その件については、最近動きがあります。昨年暮れに原子力保安院の保安部会が開かれ、そこで私に民間規格化について、意見を述べよと指示があり、日本機械学会はこのように運営していると話しました。国の基準と言っているものも技術的なものは全部民間規格に移し、この方法で公正・中立・公開の原則でやった方がいいと申し上げました。
- 国の方でも、今年の1月から基準戦略ワーキンググループという委員会を保安部会の下に作り、私も主査を依頼されました。良い方向に持っていきたいと思っておりますので御支援をいただければ幸いです。

以上