

柏崎刈羽原子力発電所の透明性を確保する地域の会
第 188 回定例会・会議録

日 時 平成 31 年 2 月 6 日(水) 18:30~20:50
場 所 柏崎原子力広報センター 2F 研修室
出席委員 石川、石坂、石田、桑原、三宮、須田、高桑、高橋、竹内、
田中、千原、町田、三井田、宮崎、山崎、吉田
以上 16 名
欠席委員 相澤、入澤、西巻
以上 3 名
(敬称略、五十音順)

その他出席者 長岡技術科学大学 大塚雄市准教授
原子力規制委員会原子力規制庁柏崎刈羽原子力規制事務所
水野所長 瀬下原子力防災専門官
資源エネルギー庁柏崎刈羽地域担当官事務所 渡邊所長
新潟県 原子力安全対策課 今井主任(安全対策係)
柏崎市 防災・原子力課 小菅危機管理監 宮竹係長
杵淵主任 田村主事
刈羽村 総務課 太田課長 野口主事 中川主事
東京電力ホールディングス(株) 設楽発電所長 森田副所長
佐藤リスクコミュニケーター
太田原子力安全センター所長
武田土木・建築担当 山本地域共生総括 GM
徳増地域共生総括 G 永田地域共生総括 G
(本社) 栗田立地地域部長代理 今井リスクコミュニケーター
(新潟本部) 中野新潟本部副本部長

ライター 吉川
柏崎原子力広報センター 竹内事務局長 石黒主査 坂田主事

◎事務局

それでは定刻になりましたので、ただ今より「柏崎刈羽原子力発電所の透明性を確保する地域の会」第188回例会を開催をいたします。

本日の欠席委員でございますが、相澤委員、西巻委員の2名でございます。

それでは、本日お配りをしました資料の確認をさせていただきます。事務局からは「会議次第」、「座席表」「委員からの質問・意見書」、本日の勉強会の資料でございます。

続きましてオブザーバーからの資料になります。原子力規制庁から1部。資源エネルギー庁から1部。新潟県から2部。柏崎市から1部。東京電力ホールディングスから3部でございます。皆様お揃いでしょうか。

それではこれから、議事進行につきましては議長からお願いをいたします。桑原会長よろしくお願ひいたします。

◎桑原議長

はい、皆様こんばんは。お疲れ様でございます。それでは第188回の定例会を始めさせていただきます。

議事の(1)といたし、いたしまして、「前回定例会以降の動き」でございますが、本日は勉強会ということですね、資料配布のみということで質疑応答につきましては、次回以降というふうにさせていただきたいと思ひます。まずあの勉強会の前にですね、委員からの意見に対応、意見に対する対応ということで、東京電力から説明をさせていただきます。

◎森田副所長（東京電力ホールディングス（株）・柏崎刈羽原子力発電所）

東京電力の森田でございます。

各委員からの質問につきましては、お手元に配布、回答を配布させていただいておりますが、お願ひは宮崎委員からいただきましたご質問に関して、になります。

今回宮崎委員より、昨年12月に柏崎刈羽原発市民研究会及び活断層問題研究会に対して実施した、寺尾トレンチの見学会に関するご質問をいただきました。この寺尾トレンチを含めた地質地盤の問題については、市民研究会から当社と活断層問題研究会での意見交換会を求められており、それに向けて、同研究会と論点整理を始め調整を行っているところでございます。

そのような中、市民研究会のメンバーでもいらっしゃる宮崎委員からご質問をいただき、同じテーマを別々の場でお答えする可能性もあり、議論が錯綜する恐れがございます。両研究会との調整が落ち着きましたら改めて回答させていただきますので、それまでしばらくお待ちいただきたいとのお願ひでございます。よろしくお願ひいたします。

最後に別件でございますが、1点お知らせさせていただきます。

昨年12月の定例会で説明いたしました、洞道でのケーブル火災について、原因と対策が取りまとめられましたので、1月28日に公表しております。前回以降の動きの中に報告書の概要版を添付しておりますので、後ほどご覧いただければと思ひます。

私のほうから以上でございます。

◎桑原議長

はい、ありがとうございました。

それでは、議事の(2)に入りたいと思います。今日は勉強会ということで「ものはなぜ壊れるのか」というような題材ですね、長岡技術科学大学准教授の大塚雄市様からご講話をいただきます。大塚先生におかれましては、大変お忙しい中おいでいただきまして感謝申し上げます。本日はよろしく願いを申し上げます。

それでは、先生のですね、ご紹介は事務局のほうからさしていただきたいと思います。

◎事務局

それでは、講師のご紹介をさせていただきます。

長岡技術科学大学准教授、大塚雄市様でございます。大塚先生は九州大学大学院を御卒業後、平成19年に長岡技術科学大学産学融合トップランナー養成センターの特任講師として着任をされまして、平成26年4月からは、原子力システム安全系准教授としてご活躍されております。機械材料、材料力学、生体材料学、社会安全システム科学が研究分野であります。幅広い分野に見識をお持ちでございます。特にリスクコミュニケーションにおきましては、原子炉システム系安全工学の中、技術コミュニケーション論の講義におきまして、実践的な取り組みを学生に指導されております。

以上、簡単であります但し講師のご紹介とさせていただきます。

◎大塚准教授

どうもありがとうございました。長岡技術科学大学の長岡でございます。非常に、「幅広い見識を持つてる」というふうな過分なご紹介をいただきましてありがとうございました。今回のお話しなんですけども、事前に会長ともご相談しまして、なんかリスクコミュニケーションの話を3回するのもどうかなあ、っていうことですね、じゃあ何を話そうかとした時に、はたと思ひまして、私の元々の専門がこういうふうな「モノがなんで壊れるのか」っていう材料力学っていう分野をやってまして、あの機械工学のですね。で、その中で、あの、なんでモノが壊れるのか、っていう当たり前のことを考えた時に、実はこれよくわかってないんですよ、って話ですね。で、何がよくわかってないんですか、っていう話をした時に、こういう話をするとよくいわれるんですね。材料力学ってモノが壊れる学問ですよって。で、そんな壊れるとかもう数百年前からやってるから簡単に計算とかできるんじゃないですか、と。で、簡単に計算できます。あの、学部時代の計算とかでふつうにできます。で、計算できるんですね。じゃあなんで壊れるのか、ということですね。

で、なんで壊れるのかって話を、学生とかに。あのじゃあ、それを実際に議論すると、はたと困る、ことがあるわけですね。

で、簡単にできる計算がなんで困るのかっていうお話を含めてですね、1時間とちょっと長丁場になりますが、うちの大学で使っている講義内容を踏まえてですね、なんでモノが壊れるのか、っていうことと、なんでそれを事前に防げないのか、っていうことをですね、お話していきたいと思います。よろしくお願ひします。

で、すいませんちょっと。ふだん大学の講義だと立ってるほうが話易いんで、すいませ

んが立ってお話しさしていただきます。失礼します。

あの、材料力学っていう分野がありまして、力学の話があるんですが。あの、なんでモノが壊れるのかっていうのはすごくわかりやすくて。あの、この1枚ものの資料に配ってあるヤツにまとめが書いてあります。あります。今からなんか、いろんな数式とかが出てきますけど、ほとんど覚える必要ないんで無視してください。あの、考え方だけ理解していただければ結構です。

で、なんでモノが壊れるのかっていう話はもう、この式一つで表現できます。できます。いろんなことを言う方がいらっしゃいますが、もうこの式だけです。で、負荷があって強度を超えたら壊れます。で、負荷が強度を超えたらモノが壊れる。ただ単純なんですね。本当にこの単純な式があって、で、一応なんかレオナ。材料力学の歴史っていう本があって、それを見るとなんか最初にこんなことを考えたのはなんか、有名人にあやかってダ・ヴィンチだって言ってるんですが、本当かどうかはわかりません。あの、教科書にはそう書いてあるよというだけです。

これ、重要なのは不等式で壊れるってことなんですね。不等式を満たしたら壊れると。で、新聞報道とかいろんなところにも、例えば過大荷重でモノが壊れるとか、材料が弱くて壊れるとか、いろんなことで断片的に書いてあるヤツがある時によくそういうのを題材にして学生にいうのが、不等式で壊れる時に天秤の片側だけ議論しても仕方ないでしょ、っていう話をします。材料が弱いから壊れるんじゃないんですね。負荷が高いから壊れるんじゃないんです。負荷が強度を超えたら壊れます。ただそれだけです。で、もう一度言いますが、負荷が強度を超えたら壊れます。簡単でしょ、っていうことなんですね。

で、これをよくいう時に、これまあマキャベリっていう有名な人が言う時に、材料力学の考え方として、なんでモノを壊すんですかっていう考え方として、それを避けようとするためにそういう、なんでモノが壊れるのか限界を探るっていうことで言ってます。

で、この天秤の片側。で、こっちですね。例えば機械工学とかで、死ぬほど、本当に面白くないんですね。教えてる人間がいうのもなんですけど、あんまり面白くなくてひたすらなんか公式とかでカリカリカリ計算とかさせられてですね。この時こうやったらこんな値が出ますよ、みたいな感じで計算とかさせられる、ってやつですね。

で、学生時代、なんでそんな計算させられるかもよくわかんないままやっています。やっています。だいたい負荷、計算する時のこの、計算のやり方として3つのパターンがあるってことがわかってるんですね。あの、引っ張りとかねじりと曲げっていう3つがあって、で、学生に試験問題とか出した時に必ずもう、すごくめんどくさいっていうのは曲げなんですね。曲げ。で、計算させるとほとんど間違ってくれて、ヨッシャーと思いながら採点してるんですけども。で、この、なんで曲げをそんなにやるんですか、って学生に聞くとポカンとしますね。ポカンとしますね。なんでやるんですかって。

教科書にいっぱい書いてあるからですか。試験が、問題が難しいからですか、って。違います。ほとんどの実際の構造物は曲げで壊れてるからです。でわかっている、っていわれると、ああそうなんですねえ、って思って解くんですけども。そうなんですねえ、っ

て思って解くんですけども、学生時代こういうことを計算してる時はただ覚えるのに精いっぱいです。そういうことはわかんない。ってことになってます。

で、ですからこういう考え方自体はですね、学部時代では面白くないやつの筆頭に入ってくるんですけども、機械学会とかの調査とかで見た時に、学生時代もうちょっとやっつきゃよかったやつの第1位にこういう学問がくると、いうことになってます。

まあリスクは早めに知っといたほうがいいよ、っていう典型例なんですけども、まあわかんないからそうやってなかなか勉強できないってことですよ。

で、この天秤の両側に乗せるものをどうやってやっていくかっていう話で、応力ってのは計算して求めるっていうふうに話、言いました。あの、だいたい教科書とかハンドブックとかで計算して求めます。なんか、すごい複雑なシミュレータとか使って計算させようが何しようが、なんか計算して求めます。求めます。

で、こっちの、もう一方の片側の強度ってあるんですね。ある負荷があった時に、ある限界値を超えたら壊れるっていうのを強度って呼んでるんですけど、じゃあこれどうやって求めるんですかね。ってことなんですよ。で、どうやって求めるんですかね、っていうのはこれあの、例えばめっちゃ古いあの、百年前くらいの。私が学生時代使ってた時に既に百年って言うたからもう120年くらいですかね。それでも動くんですよ。で、そういう機械とか使って引っ張ってる。引っ張って求めるんですが、ここで重要なのは実験的に求めるってことなんですよ。あれって、天秤の片側に乗せるやつで、右側に乗せる負荷とかは計算して求めるっていったのに、左側に乗せて比べる強度っていうやつは計算しないの、って疑問して思うんですね。で、計算できます。はい。計算できますけど計算結果なんて使えません。で、計算結果使うっていったら馬鹿か、っていわれますね。理由は簡単で、あのこれ実際、理論的な予測式があるんですけども、理論的な予測式と実際の計算した強度っていうのは数千倍の違いがあるってことがわかってます。あの、数十パーセントとかそんなレベルじゃないです。数千倍の違いです。数千倍の違いです。もう桁違いに違います。ですからそんなのは使えないってことがわかってるんですね。ですから実験的に求めなきゃいけない、っていうことになってます。

で、これに対して、この天秤のこの両側に乗せるものですね、経験的安全率なものをかけて、バランスをとってどれくらいの余裕を採って設計するっていうのがモノが壊れないようにする基本的な考え方ですね。ですから繰り返しになりますけど、モノがなんで壊れるかっていうとこの天秤のバランスがあって負荷が強度を超えたら壊れる、ということになるわけです。

で、最初から壊すような考え方もあります。例えば、飛行機の一部の構造とかで、最初から塑性変形っていう負荷を受けない、負荷をある程度高く受けないと設計できないような構造もあります。ですが、基本的にはこのバランスを保って設計されていますし、これは、このバランスを保って設計されてるっていうのは、皆さんが今お座りの椅子とか見てもわかるんですけども、この椅子に1回座って立つと。で、そうして次に座ったら椅子のかたちが変わってたら困りますよね。で、形が変わらないっていうことが、そういうかた

ちが変わらない、変形のある範囲内で設計されているってことの証拠でもあるわけです。

で、このバランスを、逆に言えばこの天秤を口を酸っぱくして言うってことは、モノが壊れないようにするためにはこの天秤のバランスが崩れないようにすればいい、っていうことになります。じゃあどうやって崩れるんでしょかっていうことなんですけども、崩れるパターンはもう2通りしかないんですね。2通りしかない。

設計者は元々この条件で設計してるはずですよ。マージンを取って。ですからもう2通りしかない。で、その2通りはなにかっていうのがこっちです。で、この天秤のバランスが時間的な効果とかを含めた時に、この天秤のバランスが例えば負荷が時間的な効果とかを含めてどんどん想定よりもあがってって壊れるか、強度が想定よりも低下して、設計者が想定よりも低下して設計者が想定よりも低下して壊れるか、っていうの2パターンしかない。もう2つしかないんですね。この天秤のバランスの崩し方は。設計者が元々この条件で設計しているにも関わらず、何らかの理由でその天秤のバランスが自然の中で崩れていって壊れる。で、それを防ぐことができなかつた時にモノが壊れるっていうことです。で、様々な余裕があって、幸運にもこのバランスが維持されていればモノは壊れずに済むと、いうことになります。

繰り返しになりますが、このショウカ式っていうのは物理的なものですから、誰が何と言おうが壊れるものは壊れます。っていうことですね。

で、この天秤のバランスの崩し方を考える時に、あの、教科書的な考え方で使っているのが、この3つの因子を考えようと。材料と環境と応力っていうの3つの因子を考えよう、っていうふうに言ってます。で、それにちょっともうひとつ構造っていうのを付け加えようっていうことを言ってますけども。例えば、材料の素材とかです、加工とか。あの、材料ってひと口に言ってもですね、持ってくるよことかですね、あの、材料こう、かたちを作ったりとかいろんなことをする中で、想定してるよりも強度が下がったりするっちゃうこともあります。

例えば、鉄鋼材料っていう典型的な例を持ってきた時に、ふつうに使ってればOKなんですけども、海水とかにつけてやると溶ける、とか、錆びたりとかして強度が下がるっていうふうにあの、環境で強度を低下するってことがあって、まあ真空を環境というならば、強度が増強される例として真空というのがあります。

あの、大気中で試験するのに比べて真空中で試験した場合、強度が増えるっていう例は、あの、実験的にも報告されています。

で、こっこの応力を上げる因子って何があるかっていうと、例えば材料の加工とかです。あの、典型的な例がこれ、残留応力っていまして、あの言葉を覚える必要はないんですけども、溶接とかでビーツてくっ付けたりすると材料が温められて溶けてくっ付いた時に、外から負荷を受けなくてもそういうふうな負荷が残っちゃう現象のことを残留応力っていってます。で、そういうものの影響とかがあって、その設計者が設計時に係る外部的な負荷とかを元にして、負荷がこれくらいかかるよって思ってるんですけども、それを超える負荷が起り得るっていうことがあります。

で、ここまでがだいたい教科書的な話なんですけども、よくあの、話をするときには構造の重要さとか加工の大事さっていうのは実践的な設計をする時に大事だっていう、あのよく言ってるんですけども、なんでそれが大事かっていうのはですね、これ実際ものを作ってみないとわからないんですね。で、私は自分もあの、機械工学で教えてる人間で、自分もそういうことを経験した人間として、あの、図面とかを作った時に一番よくわからないのは、そもそも交差なんですね。交差。なんかあるんです、記号とか。例えばまあ、学生によくいうんですけども、これ機械設計やってる人だったら当たり前なんですけども。1ミリの穴に1ミリの棒が入りますかって質問すると、ふつう習った人は、アホか、っていうんです。あり得ないんです。1ミリの穴に1ミリの棒が入ることはありません。っていうことをまず教えた上で、じゃあ交差はどっち。穴のほう若干大きくなきゃいけないし、棒のほう若干小さくなきゃいけないし、そういうふうに入るようなものを交差ってって、はめ合い交差とかいろんなものがあるんですよ、っていう話をして。図面っていうのが実際に。設計者が図面で作ったものとかたちでできたものの間にはどういう違いがあって、その違いがモノの壊れ方に影響しないかどうかをきちんと考えないと、図面で作ったからそのとおりにいって、と、思っていると大問題になりますよっていうことは教えるわけです。で、それがこの典型的な例で話して、交差っていうのが学生が設計するのは自分で大変、しつこい難しいんですけどもそういうことを考えさせるっていうのは、そこにあります。もう交差の重要さっていうのは、皆様ですね。例えばホームセンターとかに行けばすぐわかる話で、ホームセンターで、DIYとかやるとこ、やるところで本棚買ってくと。で、自分で買ったほうが安いから、あの、買ってきこう組み立てて、底版やっけこう、ネジぽんぽんぽんぽんぽんって打って、側面立ててネジ打って、最終的にほいってやったら説明書通りでやれば天板はちゃんとネジ通りぴったりはまって、よっしゃ、きれいなかたちができたっていうふうに、なるはずなんですけれども。そういうふううまくいく人のほうが少ないですよ。だいたい私みたいな不器用な人間がやると、片っぽうまくいって、よっしゃーうまくいった、と思ったらなんか一方ですね、なんかピサの斜塔みたいな感じでこうなって。さて、どうしたものかと。で、ここでだいたい2通りの選択肢があります。で、馬鹿正直に言って敢えて言いますが、全部ネジを外して、もう1回ちゃんとピサの斜塔を元々の垂直なやつに直してくっ付けるってやり方です。もう一つは、見なかったことにして無理やりこう、曲げちゃうってやつです。

なんかちょっと呼んでくるわけですね、奥さんとか。ちょっと来て、とかいって、抑えといて、って。で、ガーッとネジ打つ。で、そうするとなんか、かたちっぽいのは本棚になるんでできると。で、かくして、図面にはない応力が発生するわけです。

で、構造っていうこれ自体で応力が発生するっていうのは、自分で経験しているにもかかわらず、図面からそれを予測することは非常に難しいわけです。図面から予測することは非常に難しい。で、今の話っていうのは、言われてみれば当たり前なんですけど、じゃあ図面通りモノができてるかチェックするっていう、ただそれだけをやるにしても非常に難しいことなんですね。

だいたいあの、学生とかに作らせた図面とかで見ても、こんな図面でモノ作れるか、みたいなことを言われることから、あの、習うわけですね。

で、そこを考えて、いろんな経験を乗り越えて、このバランスがどうやって崩れるか、っていうのを体の中で経験的に覚えてくわけなんですけれども。あの、設計をやっている中でですね、非常に重要なことがありますて、壊れ方は一つではないってことなんです。で、この天秤、今一つだけ表示してます。工業設計とかでやる中で、だいたいこの天秤 1 個で通じます。で、この天秤 1 個でやって壊れたら終わり、というふうなやり方なんですけれども。あの、モノの壊れ方の分類っていうのを見てやると、例えばですけども、負荷のかけ方を考えても 1 回の負荷、まあ一回の負荷っていうのは、ぎゅーっと引っ張って壊れるまで負荷をかけるっていうやつをやった時には、あの、壊れ方っていうのが材料の特性によって変わったりします。でも 1 回の負荷によって変わる。で、例えば機械構造物とか橋とか考えた時に、負荷をゴンゴンゴンゴンって繰り返して受けるようなやつだと壊れ方が違うんですね。これは疲労破壊っていうふうに言います。例えば、応力腐食割れって、これ皆様のほうがご存じの言葉でありますと、これはまあ負荷が持続的にかかっている状態で。持続的に負荷がかかっているだけだったら壊れないんですけども、腐食の影響との相互作用があった時に壊れるっていうことなんですけど、これあの負荷の形態によっても壊れ方はこうやって変わるわけですね。で、持続的な負荷を考えた時に、高温との相互作用とか、腐食環境との相互作用を考えると壊れ方が違う、っていうことなんです。で、壊れ方が違うってことが重要なことです。

壊れ方が、例えばですけど、まあ、いろんな形がバアーツといっぱいあって、こんなにいっぱいあってもわけわかんない、とかいうことになるんですけども。この壊れ方っていうことをですね、きちんと理解しておかないと、あの、なんで壊れたんですか、っていうことを理解しないとモノが設計できませんよ、っていうことなんです。

で、なんでそんなことをいうかって言いますと、例えばここにもあの、スライドのまとめにも書いてあって。信頼性解析をする場合にですね、故障モード影響解析っていうことをやるんですよ。故障モードあの、聞かれたことがある方もいらっしゃるかも知れませんが。なんでモノが壊れるのかと。で、じゃあ故障モードって何ですか、っていわれると故障モードって、あの、ここに書いてあるんですけど、よくわかんないっておっしゃる方もいらっしゃるんですが。

で、専門用語の JIS の規格とかみると故障モードと故障状態は違うんですね。はい。え、何言ってるのって言われる顔されたんですけど。故障状態と故障モードってのは明確に違うって書いてあるんです。で、故障状態解析はする必要もないんです。故障状態では、レーザーポイントがピシっていった時に、あああ、あのレーザーポイントの機能でこう、光が出るんですけども。あれ光出ないじゃん。あれ、あれなんか出ないぞと。で、故障してるってことはわかるんですね。さて、故障したと。なんで故障したんだと。あれ、ボタンがへたったのかなと。電池が切れたのかなと。実はあのランプの寿命かもしれない。どっかずれてるかも知んない。で、いろんなパターンによって、例えば電池が切れて故障す

る。レーザーのポインタが出ないとか。LEDの素子が壊れても出ないとか。まあいろいろなことが考えられるんですけど。そっちのところを考えると、その故障モードっていうのが出てこないで、このモードっていうのが出てこないと対策はとれないですし、なんかよくわからないけどレーザーポインタが出ないから直してくださいって電気屋さんにも直せないですよ。でも電池が切れたから直してくださいって言われたら、それは直せますね、っていうかたちで、要因にいくためには具体的なモードが必要なんです。そのモードっていうのは壊れ方によっていろいろ違いますよ、ってことです。

で、例えば脆性破壊と延性破壊っていうのも電子顕微鏡で見るとなんか全然違います。はん面が違うとか。もうこのへん覚える必要はないです。で、繰り返しの負荷っていうことを考えてやると、1回の負荷で考えた時には、こういうふうにドーンと壊れ。これ、応力とひずみっていう、材料に係る平均的な負荷と材料の平均的な伸びをですね、こういうふうなグラフで表した時に、鉄鋼材料はこうやってピーツで壊れますよっていうんですけども、これがさっき言った強度の限界値です。で、それ以下で繰り返し、何回か繰り返しても壊れるってのが疲労破壊です。

これで壊れ、これでやったら壊れるって言うって、これで、これより下だったら壊れないっていうのに何回か繰り返すと壊れるっていう訳の分からんことが起こる、ってことなんですけども。これは当たり前で。こっちは1回の負荷で壊れるんですけども、こっちは何回か負荷を繰り返したら壊れるっていう別の壊れ方をしてるだけなんです。別の壊れ方をしてるっていう事実が重要です。

で、この疲労とかの教科書とかでは、もうほとんどの場合ですね、既存事故の80%は疲労で壊れてるっていうふうに言われてますけれども、なんでそうかっていうと。例えばあの、原子力発電所とかですね、安全上重要な機器は、あの例え、こういう地域の会とかでもですね、疲労の、例えば環境疲労線図とかですね、そういうふうなことをやってますとかですね。応力腐食割れの進展速度線図評価してます、とかいう話が紹介されたことが過去にはあるんですけども。じゃあ、この疲労設計ですね、実際の構造物でどれくらいやっていますか、っていうとほとんどやってません。ほとんどやってません。もう断言できます。なんでかっていうと、私あの、学生をですね、毎年ですね、研究室旅行とかで、企業とかの見学に行くんですね。で、いろんな工作機械とか農作、農業機械とか、いろんなそういうプラントとかそういうところに含めて行って、そういう実際の機械とかに、こう使われていますよ、みたいな取り組みを紹介させるんですけど、その時に学生がやっぱり、自分がこういう疲労とかの研究とかをしてるので、御社ではどういうふうな設計をされてるんですか、っていう質問をやっぱり期待して聞くんですね。あの外国人とかが。で、その結果、いやあんまり考えてないし壊れたら換えればいいですよ、って言われてガクツとして終わるっていうパターンが多いですね。はい。大抵もう壊れたら換えればいいでしょ、っていう答えが返ってきます。壊れれば、壊れたら換えればいいでしょ、っていう答えがかえってくるわけです。が、いつ壊れるかはわかりません。わかりません。

で、これ重要なのは壊れ方違ったら、当然ながら評価の仕方も違いますよねっていうこ

とですね。で、クリープ現象っていうのもありますし、これはあの温度の影響とかで。まあ原子力発電所とかではクリープっていうのはあんまり。まあ起こらないわけではないですけど、比較的火力発電所とかに比べれば温度が低いので、どっちかっていうとジェットエンジンとかですね、ああいう高温材料でよくやっってるっていう試験なんですけども、クリープっていう現象も起こりますし、おなじみの応力腐食割れですね、あのロックキャンディー型の模様で、こういうボコボコボコボコ粒界が起こって亀裂が進むっていう、こういう腐食の現象とかも起こって、こんな壊れ方もしますよ、とかいろんな壊れ方が出てくるわけです。

で、こんな壊れ方とかをやった時に、過去の疲労の例とかを見てみましてもほとんどの場合ですね、疲労でも最近のやつ壊れてるっていうことがわかってまして、で、おかげさまでっていうか、なんていうか。最近その疲労とかをちゃんとやんなきゃいけないですよ、っていうデータが出てきた結果として、あの、過去ですね、リコールの。あの、自動車のリコール事例とかでも、あんまりそういうことをきちんと書かなかったんですね。なんか知らないけど部品が悪いから交換しましたっていうのがですね。ほんとにここ数年です。消費生活安全法とかいろんな影響があるんだと個人的には思ってるんですけども。あの、製品のですね、安全情報にきちんとそういうことを書くようになってきました。で、典型的な例は、これはもう車の名前書いちゃいますけれども。ある会社の樹脂パイプ製の耐久性が腐食してパイプに亀裂が入って火災に至る恐れがあるとかですね。で、過去は、壊れる恐れがあるので、過去はですね、この劣化が進行して、最悪の場合火災に至る恐れがあるので交換しますっていうのを、書き方があったんですけども、それがこういうふうに、パイプに亀裂が入り、っていう具体的な破壊モードが載るようになってきたんですね。ということは、どこの設計がどういうふうになってたかっていうことがですね、類推することが可能になってきてるわけです。で、これ樹脂です。で、例えばおなじみ。この冬、特に問題になってくるのがこういうふうなボイラーとかのところでもですね、燃焼部の溶接強度っていう接合部で一部あのそういうふうなトラブルがあって、くっ付けたところで問題が起こりますよ、っていうことを報告されてますし。で、機能性材料とかを見た時にも、これですね、人工心肺の例ですね。補助人工システムで、こういうふうな線を出して、ここがこう繋いで、ケーブルで埋め込み型のとこ、コネクタのとこ計ってモニタリングするっていう、ここのモニタリングしてるとこのコネクタの内部で、接続不良を起こしかねない不具合が確認されていて交換になった、っていう例とかも報告されていて、いろんなところのですね、こういうあの材料の破壊によるトラブルっていうのが起こってきているってことがわかるわけです。

で、これどうやって防止すればいいんですか、っていう話になってくるんですけども。まあ簡単に言えばですね、この式覚える必要はないんですけども、あの壊れ方が。まず壊れ方が複数あるんだったら複数考えなきゃいかんですね。あたり前ですけど。壊れ方が複数あるんだったら複数考えないかんわけです。そりゃそうですよね。どういう壊れ方をし、その天秤がどうやって評価されて、その天秤から壊れないような応力っていうのが出

てきて、ある壊れ方とある壊れ方を考えた時に、この壊れ方を全部防止できるような条件の範囲っていうのはこれくらいだろうね、っていうのがわかってくるので、じゃあそれをもとにして設計しましょう、っていうのをこれ教科書的には限界状態設計法っていうてます。教科書的にはですね。

まあ複数の壊れ方を考えて、それを防止するような設計範囲で設計しなさいっていうふうに言ってるんですけども。言ってるんですね。じゃあ。例えばですけども。あのこれ、一般的に使われている条件ですよ。組成不安定条件っていう条件で。このへん、このへんとかを使われてるやつですね。で、この式なんですかね、って聞くと企業の人とかだと、なんですかね、っていう人とかも出てきます。これあの、亀裂がある材料の破壊に対する条件式で、原子力とかの人はお手の物です。圧力容器とかの照射脆化とかでも使います。が、一般的な機械構造物の設計でこんなことはほとんど使いません。使いません。

で、この天秤で。今の話で故障モード。モノが故障するっていう。機械。こういう機能が故障するっていう影には大抵の場合モノが壊れるっていう現象が潜んでいて、その損傷と破壊を防止するためには、複数の破壊モードがあって、それをどうやって防止するかっていう考え方を明示的にやってかなきゃいけないんですけど、機械設計の立場からあえて弱点をさらしますと、機械構造物の設計っていうのは、こういうことを考えなくてもモノが壊れずに設計できてたってのが実情なんです。

で、それはなんでかっていいますと、私、材料、材料っていう言葉をずーっと何の定義もなしにってたんですが、機械工学の人間が材料っていうと基本的には金属材料のことなんです。基本的には金属材料のことです。

で、例えば材料の応力ひずみ線図っていう機械的製図書きなさい。モノが壊れる性質の応力、変形特性のことをですね、専門用語で機械的性質っていうんですね。で、それでやった時にどういうふうな評価をしますか、っていうのが出てくると、もうこの図描きますね。ほとんどの学生、ちょっと覚えてるかとか、やってみろやっかって書いて書かせるとこの図バァーって書いて。こんな変形して、こんな変形してこのへんがバネとかの永久変形に至るまでの特性で、ダダダダダーって降伏っていう現象を起こして、こうやって壊れるっていうふうなものをかけて、っていうのが学部時代のやつなんですけども。逆に言えばこれ何の材料かも言っていないんですけど。これ鉄鋼材料、しかも炭素鋼っていう一部の材料の特徴的な特性に過ぎないわけです。同じ鉄鋼材料なんですけどもステンレス鋼とか別のやつはこんな曲線示しません。示しません。全然違う特性示します。アルミニウム合金とかなんて、全然違う特性示します。で、材料を、って言ってるんですけど、それは暗黙のうちにですね、鉄鋼金属材料、鉄鋼材料を基にして設計が行われてきたっていう事実があるんですね、歴史的に。歴史的に。で、それでちょっとリコールとかを振り返ってみると、あとからもこれ、出てくるんですけども。大抵の場合ですね、軽量化とか温度の影響が出てきます。あの、出てきてます。あの、例えば樹脂とか。に置き換えるとか。あの樹脂とかに置き換えるっていうと、軽量化できていいでしょ、っていう話によくなりますね。樹脂とかだとあの、150度とかで成形できるんでコストとかも安いし。あの、形も作りや

すい。で、強度も比較的出る。おお、これはいいな、と思って置き換えるんですね、だいたい。

で、よくあの、私もあの自動車会社とかと何回かこういう樹脂の耐久性とかの研究したことあるんですけど、やってみればみるほど怖い材料ですね。樹脂って。やってみればみるほど怖い材料ですね。だって、樹脂って材料がないんですから。樹脂、ってひとつ言っても、その樹脂の中に入れるちょっとした塗料とかで入れ方とかで強度が変わっちゃうんですね。変わっちゃうんです。ですから、金属材料よりよっぽど恐ろしいんですね、樹脂ってのは。モノが壊れないっていうことを考えた時にはです。

で、この事例とかを見てみると、なんか樹脂とかの軽量化とかが出てきて、接合部とか、モノをくっ付けるところがですね、そういう機能性材料とか、鉄鋼材料を想定してないようなところでトラブルが起こってるっていう事実は増えてきてますよ、っていうお話があります。

しかも、鉄鋼材料ですらですね、これ鉄鋼材料の。縦軸が繰り返しの応力っていう、何回繰り返すかっていう例えば、1、2、3、4、っていうふうに何回か繰り返してありまして、それで何回で壊れますかって数えるんですね。で、自分で試験すると死ぬほど大変なんで機械とかにやらせるんですけども。学生がよく間違うのが、試験点数が少ないからどんどんどんどん、10本20本増やそうっていうんですけどね、点数を増やせば増やすほどわけわかんなくなります。わけわかんなくなります。もう見たらわかるんですけど、バラツキがどんどんどんどん増えるだけなんですね。で、こういうふうな繰り返しの特性に限らず強度特性っていうのは本質的にばらつくんです。本質的に。で、中央値を見てるだけなんですね。こういうふうな特性。で、ここで、例えば何回、何個壊れて何個もつか、みたいなことで統計解析をして、この強度がどれくらいか、って求める方法とかもありますけれども、本質的に大事なのは履歴とかそういうふうな方法によってばらつくってことはわかっていて、実験室ですらばらつくんですね。実験室ですら。実験室ですらばらつく。だから。じゃあそれを、実験室でばらつくから、方法は2つですね。もう実験室でやっても仕方ないでしょって。どうせばらつくんでしょって。じゃあもう実際に測ってやればいいじゃない。っていう考え方ですね。で、もうひとつは、いやいやそうじゃなくて、実験室でとったデータと現実がどうやって違うんですかっていうのを考えなさいと。で、それが設計とかで教えてる考え方で、実験室でとったデータに対して、現実の差をどうやって表現するかって、これくらいのばらつきがあって現実とはだいぶ差があるはずだから、その補正をやって、且ついろんな不確実性とかを考えた上でマージンを取りましょうっていうマージンを付けて許容SN線図っていう耐久性に関するものを出すっていうふうな、これ疲労の例で挙げてますけれども。まあこれ、いろんな壊れ方でも一緒です。

で、安全率っていう言葉が出てくるんですね。で、これ安全率っていう言葉、部分安全係数法とかいろんなところでも出てきてますけども、そもそも安全率っていう言葉、安全性とはなんの関係もありませんということなんです。ああ、それ安全性の定義によるんですけども。そもそも、ここの係数を考え方っていうのは、実験室と現実は違うんだと。何

がどう違うかわかってるものとわかってないものがあると。で、わかってないものも含めてその不確実性を、あっても尚且つモノが壊れないように余裕を見て、安全に設計しましょうということから安全率っていう考え方が生まれてきて。わけです。ですから、この安全率の値っていうことに対して、根強い問題があるのがそもそもどういう値だったらいいのって。なんか、学生とかが設計する時に教科書的には3、ってしなさいっていうんで3ってやるんですね。じゃああの、ちょっと3でやると重いから適当に2に替えましたっていうと殺されますね。あの、それは起こられます。なんでかっていうとその、そういうふうな不確実性とか、自分で本当にわかってるんですか。一人の人がわかるんですか。で、そうすると企画とかいろんな人の過去の知見とか、経験とかを含めて、これくらいの余裕を撮ったほうがいいんじゃないかな、っていう考え方で個々の値が決まってくるわけですが。じゃあこの値っていうのは、どっちだったら不確実性が高いのか低いのか、っていうことなんですね。で、例えば、データが多ければ多いほど、このへんの値っていうのは、1.1とかでもやればいいていうことですし、よくわかんなければ2採れっていうふうに、えーと、不確実性が高いほどこの数字は一般的に増えます。増えます。不確実性が高いほどこの数字は増えるっていう事実ですね。余裕を多くとりたいから増える。あの余裕をいっぱい取りたいっていうのはそれは当たり前なんですけども、コスト的なことを考えたら余裕なんてないほうがいいですよ。だってそれくらい取らなくても壊れないってわかってるんだもん。経験的には。でも余裕は取らなきゃいけない。不確実なものがあるとか、そういうことがわかってるわけ。この前もえーと。いつだったかな。2週間前ですね。柏崎に行きまして。柏崎はあの原発見学してた時にですね、ちょっとこれも、なんでかわかんなかったんですけども。同じエレベーターに乗って3階に行ったんですけども。2回は同じ人がいったにもかかわらず2回は重量オーバーで乗れなくて一人降りたのに3回目はなぜか乗れたと。あれって。人が変わってるんですかと思ったとか、汗がかいたんですかって思ったんですけど違うんですね。あの重量のバランスの問題かたぶんそういうことの問題だと思うんですけども。あの不確実性っていうところがあって、このどれくらいのずれ方を持ってるんですかっていうことからですね、この安全率っていうのが決まってる、で、これをですね、安全率っていう安全性が高いか低いかっていうことを表すってよりか、元々、設計者が実験と現実との差がどれくらいあって、その不確実性の大きさがあつたとしても、それが、モノが壊れないっていうような状態にしたいから、これくらいの余裕を取りたいですよ、っていうことを皆さんの合意のもとに決めてきた値で、この値っていうのは当然ながらですね、あの科学技術の進歩が進めば、いやもっとこんな余裕取らなくてもいいんじゃないのっていうこともできるわけですし、あの、これくらい余裕を取らなきゃいけないかなかったんだけど、実は亀裂とか損傷とかをもっとつかめるようになって、あの試験の精度とかもあがってきたのでもうちょっと減らしましょうとかですね、そういうふうな取り組みっていうのは当然認められるものなんですね。

ですからこれは別に神様から与えられたものでもなんでもなくて、余裕の取り方を一人の人が勝手に決めるんじゃないで、技術的な議論を進めながら規格とかで決めてやりまし

ようね、っていう話で決まってるものなんですよ、っていうことです。で、この余裕をとって、じゃあこれくらいやったらいいかなっていうことで考えたりとかするんですけども、あの、じゃあこれどれくらい余裕取るんですか、っていう時にですね、私あの、ある中小企業的设计者の人が安全率 1.0 で設計してますっていう、胸張って言われたことあるんですけど、すごいなあって思いましたね。いや、1.0 はねえなあ、いくらなんでも。つまり自分は全部わかってるっていうんですね。まあ案の定壊れましたけど。うん。まあ、壊れたから私のところに相談にきてるわけですよ。で、それで安全率 1.0 って言われてもなあっていうふうにちょっと思ったんですけども。不確実性。自分で決められるものじゃないってことです。どれくらいの不確実性があるかっていうことをきちんと経験で分かった上で、これくらいのもを取らなきゃいけないって、そこには当然こういうふうなですね、不確実性があった時に、こっちに比べてコストが増えるってことあったとしてもそういうことをやんなきゃいけないってことがあるわけです。で、これで、天秤があって、その天秤は壊れ方によっていろいろ違いがあって、その天秤のそれぞれの一つひとつに乗せる値にも当然不確実性があるので、その余裕をもって設計すれば壊れないだろう、というのが材料力学の基本的な考え方なんですけども。じゃあなんでそれがうまくいのか、っていうことをですね、いろんな人に話を聞いて。例えば自動車の品質管理とかで考えた時に、よく起こる問題として、ここにも書いてあるんですけども。例えばチェックゲートが弱いとか。なんかよくある話ですね。チェックしといてって言ったらお互いチェックしてもらったつもりになるっていう典型的なパターンとかですね。とかあるヤツですね。

で、未然防止とかで、再発防止問題が多いとかですね。これあのちょっと私、過去そういう、品質管理の人と研究してたことがあって、それでそういう設計変更とか化学的变化に対する感度が弱いってことがよく報告されていまして、要は設計者は全然変わってないと思ってても、環境が変わってることとかあっていくらでもあるんですね。いくらでもありますね、それは。例えば同じ材料だと思って買ってきたんだけど、実は納入業者が元々の材、原料のペレットを別の会社から買ってた。ああ、でも出てきたものは一緒だからいいんだよねって言ってやってみると、あれ壊れ方が違うぞ、とかいうこともあったりとかするわけですよ。で、それ設計者の人知ってるんですか、っていうと、いや出てきたやつはみんな一緒ですからね。まあスペックにあってればいいでしょう、って思って納めますよね。ということですね。

で、壊れるとわかるんですね。で、あと、この市場実績のある部品との比較は十分、ってこれはトヨタ自動車の人とかがよく言ってる品質管理のやつで、どういう基準だったら壊れないのか、っていう技術的な要件がよく把握されてないってことは言われてるんですね。あとこれですね、いろんなところで必ずトラブルになっていくのが樹脂ですね。樹脂の経年品質問題っていうのは絶対トラブルもっと増えます。別にあの、電力会社だからどうだとか、そういうことをいってるわけじゃなくて、機械構造物全般で必ず樹脂のトラブルはもっと増えます。もっと増えます。あのこれ、燃費向上させようとした時に、軽量化するための第一選択として鉄鋼材料を樹脂に替えるっていうのが行われていて、しかも、

お話ししたように、機械構造物を設計する人ってのは材料は鉄鋼材料のことだと思っていて、自分の設計がうまいかと思ってやっていたら、それは鉄鋼材料がただ強かったっていうだけなんです。ただなんです。鉄鋼材料が強かっただけなんです。

その証拠に鉄鋼材料から樹脂に置き換えたならトラブルなんて続出します。で、具体的にどこがどう違うのかっていうのは、これは後からお話が出てくるんですけども。その、自分はこの材料でこうやって今まで設計してたからこうだって思ってるんだとしても、実は変わったことに気づかないと、その影響によってモノが壊れちゃうっていうことが起こったりして、その結果として、破壊する現象自体はわかってるんです。疲労破壊とか、劣化とか、摩耗とか。破壊する形状自体は既に未知のものはないといわれてます。物理的に。疲労破壊とか。にもかかわらず、壊れることを防止できない。知ってるのに壊れることを防止できない。だからこそ苦しむわけですね。なんで防げないんだろうと。起こってみたらやっぱり疲労だったとか。あ、ここで摩耗してる、材料が劣化してる。あ、ここでちょっと接合部が壊れてる、なんでだろう、っていうふうになるんです。やっぱりこれだったのかと。

でもなんでそれが事前に防げなかったのかっていうことに関して。未知だったらそれは仕方ないか、で済むんですけども、わかってるからこそ苦しむわけですね、ここでこうしておけばよかったと。で、そういう問題をむしろ見つけていかないといけなくて、その結果として、例えばこれ、品質管理部門とかです、そういうふうなデータをとった時に、元々ですね、あとから見てみると、そういう設計変更とか、環境変化とかの見逃しによってそういうトラブルが増えて、起こってましたっていう例とかが多いんですよ、っていう話がですね、データとして出てきて。リコールとかでもそうですね。あの、亀裂が入ったっていうのは要は耐熱性とか考えた時に、亀裂入れたりする強度が想定よりも低かったんでしょうね。耐久性とかの問題も含めて。で、そういうデータが確かに出てきてるんです。実際にも。いろんなところでどんどん増えてくると思います。で、これは数年前に作った資料なんですけど、例えば部品を樹脂に置き換えた時にトラブルが起こって、評価時に問題が起こったにもかかわらず先送りして、やっぱりその問題が市場でも起こったとかですね。あとは樹脂に置き換わった時に摩耗が起こって、やった時に、実はですね、これ良くある例なんですけど、標準な試験方法でやってますっていうんですけども、じゃあその試験方法って本当に仕向地にあってるんですか。ていうと、あとから見ると違ったのに、ああここでちょっと別の条件でやっとならばよかったなあってことはあるわけです。

だから、よく学生とかでも言います。現実と事件室は違うんですよ、と。じゃあ実験室が違ってダメだから、じゃあ全部現実で評価すればいいんですか、っていうと、そんなこというとこんなことになるわけですね。現実の条件で、実際の条件で評価すればいいじゃないっていうんですけど、じゃあそれなんなんですかね。その条件のばバラつきをきちんとわかった上で現実が、これが実際の条件ですってやってるんですか。それとも単なる特徴的なフィールド試験のものを取り出して、それが現実ですよっていうふうに言い張っているだけなのか。その違いは重要なんです。で、そうすると結局わかったつも

りがわかってないっていうことに気づいてもらわないと、どこに設計者が天秤のバランスはこうだ、って思ってるにも関わらず崩れる因子っていうひとつのリスクがあって、それに対して事前にどうやって評価すればいいかっていう、未然防止の考え方に至らないってことです。

で、そういうことをやっていく中で、背景因子として単純にものが壊れるだけじゃなくて例えば作業内容とか、システム設計とか、背景要因とか、こういうところを考えて、特に設計診断とかでは、どういうことをやんなきゃいけないですか、っていうのを考えていかなきゃいけないですよ、っていうお話です。

で、これですね、よく使う例で、スライドでいうんですけれども。設計する時に、これ、過去私の指導教員だった人のスライドをそのまま持ってきてたんですけれど、よい設計って何なんですかね、ってことを言うと、実はですね、なかなか答えられない、ですね。あの、過去の図面、こうだったですよ、ってそりゃ出てきますね。それよい設計なんですかね。

あの、失敗したら壊れたらわかるんですよ。あの、壊れるから。悪いことはわかるんですよ。壊れなかった、イコール良い設計なんでしょうかと。壊れなかった、イコール良い設計なんでしょうかと。

で、例えばある部品があって、この図面のとおり作っていったら今までうまくいったんだけど、ちょっとこの材料換えたいんだよね、っていった時に、じゃあ変えた時に壊れるか、壊れないんですか、っていう議論なんですね。わかんないです。で、わかんないから基本的に変えたくないんですね。壊れない、っていうことだけを考えれば。ですから、基準を作成した時に、現実に対して謙虚に考えるならば、最大の試練を受けたのは実際に、過去壊れずに生きてきたものなんですね。で、その条件を。その設計条件と使用条件を明確にして、その条件を守ってやれば壊れないだろうと思って基準を作るってことがデザインレビューとかの考え方なん、だったんです。

但し、そうはいうんだけど、じゃあ数十年前の車のかたちで、そのまま乗っているところなんてないですよ。ないですよ。あの、数十年前のあの、車とか見ると。あの車ですけど、今では加工技術の精度とかで、流線型のあの、そういう変形した車とかも作れるようになってきてるわけです。で、じゃあ昔の材料にそういうふうな流線型の加工を施すようなですね、プレスとかやるとすぐ割れてたでしょうね。バリっとね。でも今ではできるようになってる。じゃあそういうものを使った時に、どう変わるかと。技術の進歩によってどんどんどんどん。市場の要求とかによってどんどんどんどん、変わらざるを得ない中で、モノが壊れないという観点から壊したくないから変えたくない。で、そうするとじゃあ、モノが壊れるっていう観点だけを考えた時に、壊れてこなかったような条件と同等であるかっていう妥当性を考えるってのが、リスクアセスメントの基本的な考え方です。

で、リスクアセスメントっていうのは、例えばこれ、リスクマトリックスとか、そういうふうな話が出てきますけれども、まあ障害の力量とか頻度とかこの辺はどうでもいいんですけれど、そういうふうな評価をしてあくまでも論理で説明していくっていった時に、こ

ういうふうな誤使用とか故障とか起こした道解でも障害を受ける程度、許容できる範囲に抑えらる。例えば、リスクマトリックスがあった時に対策をしてないものを、対策をとることでここまで落ちますよ、リスクが下がりますよってことを評価するわけです。この数字が定量的に妥当ですか、どうですか、っていう話はまた置いといて。少なくとも安全性は論理ですね。元々持ってるハザードによって、ハザードっていう人を傷つけるものによって、モノがドローンと飛ぶと人を傷つけるっていう危険事象を総じて、そのリスクはこれくらいの大きさだっていうことがわかっていて、それをこういうふうな対策をとることに、事前に採ることによってここまで下げましょうと。で、これで十分かどうかは議論して決めなきゃいけないですよ、っていうことを論理で説明すると。いうことになります。

で、リスクアセスメントとかをやってく中で、じゃあ信頼性って何なんですか、っていうことなんですけれども。安全機能の信頼性っていう言葉が示す通り、例えばカバーを付けて、何かモノがドローンと飛んだ時に受け止めようということ考えた時に、それは安全性ではないですね。例えば、カバーが貫通するかどうかってのは、これ、モノが壊れるかどうかの物理的な事象であって、先ほどお話したようにモノが飛んでくるものの大きさとかのバラツキとかを考えて、負荷がだいたいこれくらいにばらつくのかな、っていうものと破壊する壊れ方のモードとして、こういうふうな壊れ方に対して、じゃあこれくらいの余裕をとってやったらモノが壊れませんよね、っていう天秤のバランスをとることで信頼性が確保できるということになるわけですから、安全性と信頼性っていうのは相互に関連をされていて、明確に区別できるもの、っていうことになります。

で、リスクアセスメントとかをやって対策をとって、どれくらい減るかっていうことをやってくんですけども、あのこれですね、リスクアセスメントの流れっていうのはあの、そういうふうな未然。設計、機械設計とかでやっている未然防止の考え方で、元々モノがどうやって壊れるかっていう考え方をですね、ちょっと私、過去研究していたことがあって、その中でですね、トヨタ自動車の人ですね。なんか、まあ別にトヨタの悪口言うんじゃないんですけども、何かトヨタ自動車がやるっていうと、なんかですね、なんかすごい方法だ、みたいな感じでみんな言うんですね。なんかトヨタ式とかですね、なんかいろんなあの、売れるんだそうです。だからちょっとそれに便乗してってわけじゃないんですけど、あの、トヨタ自動車で開発されたっていうことをよく宣伝に使わせていただいています。すいません。

で、この考え方ですね、デザインレビューベースオンフェラーモードの略で通常、DRBFMって言うんですけど、別のあの、なんかすごい複雑なことでリスクアセスメントとかモノがどう壊れるかでやってみるような感じで、ポストイッシュョでなんかデータ作ってる用にみえるんですけど、難しいことなんともないんですね。で、これすごい方法です、とかいうとトヨタ自動車の人とかで、トヨタグループの品質管理で採用するとかいうことでやって、あの私あの、グループ会社で2、3回講演させられたことあるんですけども。あの、言われたのがあの、やっぱりやっててうまくいかないんですけど、どうしたらいいですか、って言われて。いや、あなたたちがつくったんでしょ、っていったん

ですけども。やっぱりですね、その理由ってのがですね、そうでも。あの、やってこうやって徹底的にやれば、故障を防げるんだ防げるんだっていうんですけども、そもそもこの考え方が出てきたベースってなんだったんだろうかってことがなかなか理解されていなくて、あの、例えばこういうふうな構造があって、元々うまくいってるところに対して、あの、うまくいってるところに対して、なんかこれ、こういうふうなかたちで、かたちを勝手に変えるんですね。コストダウンとかでかたちを変えたい時に、この違いが生み出すリスクってなんですかって、どうやって壊れるんだって考えていくのがデザインレビューの習慣ですよって何回も説明してるんですけども、この考え方がですね、なかなか理解されていない、っていうことがあります。なんで、それ何の意味があるの、ってことなんですけども。まずこの考え方は、トヨタ自動車の人が開発したからすごいっていうわけではなくて、実はリスクアセスメントとかを考える時の基本的な考え方そのものなんです。で、ISOとかのリスクアセスメントで考えた時に、元々こういうふうな対象システムっていうのがあって、モノをどういうふうにするか、どういうところで使われているかっていうのを考えて、で、ふつうに使ってればこわれないんだけど、じゃあふつうに使って。まあHATOとかいう言葉があるんですけど、例えばより高温になったらどうなるか、とかそういうふうなことを考えた時に、正常状態との違いから生まれる危険なり、ハザード、ハザードってのがあって、それからどういうふうなトラブルが起こりますかっていうことを見つけて対策をとってっていうのが、リスクアセスメントの基本的な考え方なんですけども。故障モード解析とかで、トヨタ自動車とかのその、DRBFM のことからやっている方法っていうのは、そういうふうな元々いい条件ってのはこういうふうによく使ってたよ、っていう条件を明確にしたうえで、そこから設計仕様からのズレっていうのはこういうものがあるよ、っていうことをあの、設計の、例えば図面のかたちを変えるとか、材の作り方を変えるとか、使ってる環境を変えるとかっていうのをきちんと決めて、じゃあその違いがどういうことを、トラブルを起こし得るかっていうのを考えてやりましょうと。

で、その違いが起こすトラブルっていうことが分かれば、そういうふうな対策をとった結果として、元々うまくいってたものと同じような状態でモノをだせるんじゃないですか、ってことがデザインレビューの考え方で、実はこれってですね。彼らはシステム安全っていう、そういう安全の考え方自体を、実は労働安全の分野でも最初、国内で最初に取り上げた会社の一つでもあるんですけども。それがきちんと合致してるんですね。あの、これ偶然の一致じゃないと思います。あの、そういうことを勉強してたからだと思います。で、これ比較することの効果っていうのがどういうふうな意味を持っているのかっていうことはですね。あの、例えば故障モード解析とかをする時に、あの通常の教科書で、このへんのですね、なんか故障モードリストを整備してとか、故障モードって何かって考えて、フロチャートで影響しようとかですかですね、なんかFTAとか、あのなんかこうツリーを書いてとか、いろんな評価があるんですけども、それやったださいってのは書いてあるんですけど、このへんの前のこときちんと書いてあるやつほとんどないです。で、ほとんどここですね。ここ、ここで決まります。で、その例をちょっとお示ししたいと思います。

これあのテキストにも出てくるんですけど、フランジっていうやつで自動車の足回りのところですね。なんか重いものが上に乗ってて物を支えるんですね。

で、ここにですね、まあなんか。ボルトを入れてガスッと固定して、やってるんだっていうふうに思ってくださいと。で、そうした時にあの、じゃあこの構造の故障モード、あのこの構造っていうのは自動車の車体の足回り部品なので、受ける振動とかって、こういうふうな環境とかって、こうやって使うでしょうね、っていうことがあった時に、えっとじゃあどうやって壊れますかね、って考えるのが故障モード解析ですよ、っていうことなんです。

というわけで、じゃあどうやって壊れるかっていうことを考えてみましょう、っていうことです。で、これ一般的にある話ですね。あの、図面とか見て。例えば、どこでどう壊れるか考えてみましょうとか、ディスクッションやって、ああここでこう壊れますね、て。ではこうやってやりますね、とか。やって壊れます、とかいうことをやるっていうやり方です。で、ちなみにあの、この部品どこで壊れるかっていうのが、お分かりになる方いらっしゃいますか。まあ、あてずっぽうでも結構ですけども。壊れます、まあどっかで壊れるでしょうね。まあどっかっていうのはナシにして。例えば設計者の人とかディスクッションする中でこういうふうになって、ここでこう壊れるよ、とかそういうふうな話が出てきて。まあふつうに考えると、あのこれですね、ボルト締結体ですから。これのボルトがあつてこの下に図面があつて、この負荷を対して、ガタガタガタガタガタガタってやられるので、まあたぶん折れるとしたらここだろうな、と思うんですよ、ふつうは。まあ折れるとしたらここだろうなって思つて。まあそれはわかつて、じゃあそうするとこういうふうな対策をとっていかなきゃいけないねえ、とかですね、そういうふうなことがわかるんですけども。そういうことが言いたいんじゃないんです。そういうことが言いたいんじゃないんです。

で、この部品ですね、その比較することの重要さっていうのを示すために言ってるものであつて、実際この部品がどう違うかっていった時に、私あの、じゃあこの部品の図面を敢えてお示ししてなかったんですね。図面とどう違うんですかねって、この部品のかたちって。ほんとに設計者を想定したかたちだったんでしょうか。これ。

で、ああこういうふうに、なんか穴があつて、こうやって、こういうふうに厚さがあつて、こうやって、こういうふうなかたちになつてるね、っていうことなんですけども、実は設計者が想定してたかたちはこっちだったんですね。

で、そうすると元々の試作品に評価した時にうまくいったので、耐久性もちゃんと出てOKだと思つて量産試作品で金型つくつたんですね。で、それでプレスして作つてみた時に、うんこれでいいだろうって思つてやったんですけども、最終確認時の耐久性試験で寿命不足が判明したよ、っていう例として教科書に載つてるやつです。で、ここで重要なのは、誰もこの写真だけで見た時にうーん、って言わなかったんですけども、比べてみるとこれ薄いつつすぐわかりますよね。こっちに比べてこっちが薄いとか、あれ、ここ尖つてるのにここ凹んでるじゃん。で、ここがスムーズになつてるのに対して、このアール部

のかたちが、あれなんかここ違くなってわかりますよね。

で、リスクアセスメントってのはこうやってやってくんですよっていう考え方です。こっちじゃないんです。どこでなんか問題が起こるんだろうね、っていうことをなんかみんな議論して過去の知識とか経験からやってくっていう話ではないんです。元々、こういうふうなかたちで使って。あの、制限使用っていうこういうふうな条件の中で使えばうまくいくものが、例えば、ここが薄くなったりしたらどうなるとか、ここのかたちが変わっていたらどうなるとか、比較した時にそれが許容できるかどうか。で、許容できないとしたらどんな壊れ方が起こって、その結果としてどんなリスクを生じるのかっていうことをですね、予見して、事前に対策をとって、じゃあこの形状が変わったとしてもこんな使い方をしたら OK だろうとか。別にこのかたちが悪いとかいってるわけじゃないんです。仮にこのかたちでやって耐久性が低いっていうことが事前にわかっているのであれば、負荷を下げればいいんですね。事前にわかれば対策が取れるんです。事前にわからないから対策が取れない。あたり前のことなんですけども。じゃあそれがなんで気付けないのかっていった時にそもそも比較。そもそもどこにどう着目していいかっていった時にこういうふうな制限使用っていうものがあって、そこからどういうふうにすることによって危険事象が生じて、その結果、それが許容できるできないかっていうのをリスクアセスメントによって評価をしていかなきゃいけないよ、っていう流れでやらずに、どこでどう壊れるかなあ、とかいうことをやってても、そりゃ見つからんですよ、っていう話です。

で、この時に例えば、ここが薄くなった時に壊れ方も、ああ過去こんな壊れ方下よね、だけではなくて、最初にお話ししたように。ああ、例えば疲労破壊ってあるよねとか。ここで疲労破壊起こるんですかね。別に起こなくてもいいんです。起こらないなら起こらないでそのリスクは低いから対策取らなくていいと。でも、想定してないものを対策をとることはできません。できません。これがリスクアセスメントの考え方です。ですから、リスクアセスメントをやる中で一番重要なのは、どんな危険事象があるかって、何個か当てはめた時に、ここで手を挟みませんか、とか、ここで電氣的な漏れがありませんか、とか、放射線の影響があって、ほとんどはないんですね。ほとんどそんなものはない。でも、こんなものも見逃しがないですかっていうことを見方をみてく、わけです。

ですから、ここでこういうものが起こるっていうだけではなくて、見逃しがないですかっていう視点で考えた時、必然的にどんな壊れ方があって、想定される、こういうふうななんか不具合の原因になりそうところが、そういうふうなリスクにどうつながっていくのかっていうことを一つひとつ考えていって、ほとんどは対策取らなくていいわけです。ああもう、対策取ってますよ、って設計者の人は言うわけです。でも、対策が抜けてるところがあったとしたらそれがチャンスですね。例えばここ、こう凹んでる時に、これ力学的に見るとですね、実はあの、こことここで考えると。これもうすぐわかるんですけど、こなんかここ、つながりそうな気がするんですね。バキッてやった時に亀裂がつながりそうな気がするんです。おっと、これやばいになってみたらわかるんです。みたらわかるんです。あの、機械設計とかやってた人だったら。でも、それがこっちの時に出てくるか、なんで

す。こっちの時に出てくるかなんです。それが。で、そうすると、ほとんどの方の場合は、出てこない。もしくは、出てきたとしてもその人の知識とか経験によって大きくばらつきが出るわけです。それは手法ではありません。それは手法ではありません。でも、リスクアセスメントっていう、国際的には基準とかに則ってこういうことを考えてくださいっていうことをやってって、例えば元々の制限使用に対してどういうふうにずれるんですか、とか、ここに着目してやってみましょうとか、こういうふうなシワがあった時、いやこれ別に問題起こさないからいいよ、っていうふうにリスクを計って行って、見逃しがないようにするっていうことが少なくとも既知のリスクを、こういうふうな影響がある。現象自体は既知なのに、実は設計者自身は対策をとってなかったかもしれない。ある人にとっては既知であっても他の人にとっては未知だったかもしれない。そういうことに対しても対策をどうやって取っていくかっていうことを考えていく中で、このリスクアセスメントっていう考え方をやる時に、本質的に設計者の人が、どこが危険の源であるハザードっていうのがあって、それはどういうふうな種類があって、それに対してどういうふうな対策をとらなければいけないかっていうことを第三者の人と共有できるかたちで議論していかないと、モノを破壊するっていう既知の事象を未然に防止することはできまけんよ、っていうお話です。

で、こういうふうなシート作ってデータとか作って、まあいろいろやってくんですけども。まああの、対策とかをとっていく中で、どういうふうな問題がわかったらデータベースとかを更新していけばいいんですけれども、その元々なんで未然防止の基本的な考え方がうまくいかないのかってことはあの、最初にお話した通りで。その、リスクアセスメントっていう方法一つとっても、なんか過去の知識とか経験に基づいてこれがこう壊れるからやる、ではなくて、どういう壊れ方があるんですか。どういう危険事象があって、その一つ一つをちゃんとチェックしてますかって。対策をとってないってわかってれば取ってないってわかってればいいんです。それは自分が打ち切っているリスクなわけですから。でも、モノが壊れるってことはこれ、先ほども。最初にお話しましたとおり、あの特にですね、別に原子力に特定していったるわけじゃなくて、モノが壊れるリスクっていうのは、どんどんどんどん増してます。理由は2つあります。一つはモノが壊れることに関して経験が少ない。設計者の人がほとんど設計している。まあ壊れたらもう換えればいいじゃん。まあそれはそれでいいんですけど、じゃあ壊れて、人が亡くなるような安全上重要な機器も同じように設計していいのか、って話なんです。

で、もう一つは、これは先ほどもお話したように、設計者は無意識、機械設計の人は無意識的に史上最強の材料を使ってきて設計できてきたから、その材料の強さによってある程度の不確実性を吸収してくれてたんですね。くれてたんですね。これは学生にも強く教えてます。強く教えてます。これは。鉄鋼材料というのは、モノが壊れないっていうことを考えた時に対して引っ張り強度とかの、あらゆる壊れ方に対してバランスよく抵抗を示す最強の材料だっていうことを話してます。で、なんで樹脂がダメかっていうと、樹脂は一つの強度に対して同じような。鉄鋼材料に近いような強度を示していたとして繰り返し

に対してまったく抵抗力が低いし、ましてやキズが入った時の抵抗力なんて鉄鋼材料の誤差みたいなもんしかないからです。で、これデータからも出てるんですけども。データからも出てるんですけども、じゃあ樹脂に置き換えますっていった時、ふつうに使うわけですね。だって軽くなるからいいじゃないですか。で、その結果として樹脂のどこをかきめしてバキッてやると、あの、ボルト自体は変えないでふつうの鉄製ボルト使うんですね。そうするとそこでバキッと割れて。なんか座金、あのボルトのですね、ボルトナットのその下のところで亀裂が入ってるとここでキズが見えなくて、そこから繰り返しで壊れるとかですね。言われてみればそうなんです。起こるのはわかってるんです。でも、それを後から見た時に、ほらわかってるんでしょって。後出しじゃんけんでいっても意味ないんですよ。何とかして防ぎたいわけですから。防ぎたいためにはどうしたらいいかっていうと、それはもう、このリスクアセスメントの前提であるシステム安全の考え方を理解していただく必要があって、単純にある方法とかで故障モードとかいろんなそういう用法を覚えるだけではなくて、元々危険っていうものを生み出し得るエネルギーあるものっていうハザードがあって、それが具体的に何種類かあって、その影響度を評価するリスクアセスメントがあって、それを事前にこういうふうに対策をとるよ、っていうことをやると。で、モノが壊れるっていうことに対しても壊れ方が複数あって、それに対して事前にどういうふうな対策をとって、対策をとっていないのかも含めて、これでこのリスクでいいですよっていうことを第三者と共有して、特に世代間を超えて共有出来るようにしておかないと、どんどんどんどん壊れて、ああ、同じような壊れ方をするね、っていうことがまた出てくると。で、それを繰り返すことになりますよ、っていうことになるわけですので。それをですね、まあ私自身も、なんかこんな偉そうなこと言ってますけれども、自分自身も同じような失敗は何度も繰り返してますし、そうした時にリスクアセスメントっていうのはこういう考え方だからっていうことをですね、ひとつずつやることを通じて、あの、リスクをあの、少しでも下げていければな、ということを考えています。っていうお話です。すいませんあの、以上になります。どうもありがとうございました。

◎桑原議長

はい。先生、長時間にわたりましてありがとうございます。それではですね、このあとあの、意見交換、質疑応答になるんですが、その前に休憩を取りたいと思います。10分ほど休憩を取りまして。今、40分ですので、50分から再開をしたいと思いますので休憩いたします。

－ 休憩 －

◎桑原議長

再開をさせていただきます。よろしいでしょうか。

それではですね、大塚先生より、モノはなぜ壊れるのか、というようなことで1時間ちょっどご講演いただきましたけれども、これから委員の皆様からですね、意見交換・質疑応答に入らしていただきたいと思いますので、ご意見、質問のある方はですね、挙手の上、

名前を名乗ってから発言をお願いしたいと思います。それではいかがでしょうか、えーとじゃあ竹内さん、それからじゃあ町田さんということでお願いします。

◎竹内委員

すいませんあの、講義ありがとうございました。竹内英子です。質問なんですけれども。先生のお話で強度っていうのは本質的にばらつくというのと、図面にはない応力が残ってしまうことがあって、それをこう、そういう不確実性があっても壊れないようにするために安全率があるということで、新しいものを作る時、設計する時に、その、より壊れないものを作っていくっていうのはすごくよくわかったんですけれども、もうできて。原発では結構できてしまってるものを、例えば地震。基準地震動が変わって、また安全だと証明しなきゃいけないとか、地震、中越沖地震でかなりの力がかかったものを使い、中古のものをまた、それでも安全だと、地震経たけど安全だって計算しなきゃならないとか。例えば40年使用で造ったものを60年に延ばすのだけでも安全だと証明しなきゃいけないっていうあたりを、多分、計算しながらやってると思うんですけれども、新しい設計で新しいものを作る場合じゃなくて、既に使っているような負荷を受けちゃったものを安全だっていう時って計算だけで大丈夫なのかなっていうのがすごく不安で、そのあたりをどう考えればいいのか。中古のものの安全性みたいな。壊れないようにするためにはどうするのか、あたりの話をちょっと教えていただきたいんですが。

◎大塚准教授

たぶんあの、個別の話と、まあ一般的な話と両方入っている話だと思うんですね。例えば、よく誤解される話として。あえて誤解されるというふうに言いますけど。材料が負荷を受けたら弱くなるのかっていう話があるんですね。で、これ負荷を受けたら弱くなるのかっていう話があって。つまり負荷を受ければ受けるほどダメージがどんどんどんどん蓄積して行って、その結果そのダメージの蓄積が不確実だからそれが予測できないでしょっていう考え方がありますね。ひとつ。で、そうするとじゃあ、専門用語としては破壊に至らないんだけど材料がまっさらな状態よりかは、何らかの損傷を受けて、その損傷の程度によって破壊がどの程度進行するかっていう評価をしてるっていうのがいわゆる高経年化とかでもそうですよね。で、そうした時にその、損傷っていうものの定義はなんなんでしょう、っていうことになるわけですよ。例えば、材料をまっさらな状態から叩く。がながんがんと叩く。あのこれかたちを作る時によく使われている方法です。あの、鍛造とかいう方法がありますね。じゃあこれ、鍛造っていう負荷をかけることにより、材料は永久変形、塑性変形を受けてるんですけれども。かたちは変わってるんですよ。じゃあこれは損傷を受けてるのか、ってことになるわけです。で、鍛造を使っている方はこれはもうすぐわかるんですけれども、ある程度のそういうふうな負荷を与えて材料の表面を硬化させたほうが強度は上がります。という例もあつたりします。例えばあの、不確実なっていう時に、まあよく実験する例として、私も取り上げる例が。例えば、亀裂を含む材料があると。で、亀裂を含む材料があるんで、じゃあその亀裂を含め材料に対して繰り返し負荷を与えた時に、あの繰り返しの負荷を与えてやると。そうすると、どんどん

んどんこの亀裂が進んでいって、じゃあこの亀裂の進み方を評価するっていうのがジュウムヨウ？評価ですね。で、ある程度の。で、こればらつきがある程度あったとしてもまあ進み方があって、じゃあ進み方に不確実性があるんだったら、確率論的リスク評価とか、安全性評価とかで、その亀裂の進み方は一定じゃなくてある程度ばらつき方を持っていて、それでもまあこれくらいの寿命を持ってるなっていう評価をします。で、そうした時に、じゃあ仮に途中で、ガスっと負荷を入れたらその進展の寿命にどう影響を与えるかっていうことは実験的にも解析的にも評価をする必要はあると思います。で、但し、じゃあその損傷の定義。損傷っていうのは、破壊に至らないんだけど、その構造物の荷重に対する抵抗力である強度を下げる効果を持つものだとするならば。例えばキズとかを入れることによって強度が下がるのであればそれは損傷と呼んでいいと思います。ですが、例えば地震とかで与えて、強制的な負荷を与えた場合に、亀裂に強制的な負荷を与えて亀裂先端をガスっと塑性変形させると。これ典型的な例なんですけど寿命伸びます。寿命伸びます。じゃあこれを、単純に塑性変形させるっていうふうな行為自体は永久変形しているので強度を下げるのか上げるのかっていうのは、その材料が置かれている破壊のモードによって変わるわけですね。だから、その影響の出方っていうのを見なきゃいけない、と私自身は思っています。ですから、破壊に至らなくても損傷の影響っていうのは、損傷っていうのを定義することはできて、例えば、鋳物とかを作った時に、中にあの、うまく固まってないとか、す、とか穴とかがあって、そこが弱くなるっていうことはよくある話ですよ。これは損傷と呼んでいいだろうと。じゃあ一方で今金属材料とかに、カンカンカンカンって表面を硬くすると、じゃあそれは損傷なのか、っていった時に、耐久性。繰り返しに対する抵抗力である疲労強度を見た時には、むしろ上がることもあるわけですね。むしろ上がることもあります。これも典型的な効果なんですけども。例えば一千万回使った、一千万回もった材料を一千万回負荷を与えると。そうすると弱くなると、ふつう考えるわけです。ですから、じゃあもう一回、一千万回試験するとたぶんどっか壊れるだろうなって思って試験するんですけど、これがまた不思議なところで、負荷を上げて一千万回もったりするんですね。ある負荷を受けて、損傷を受けているはずなのに、またそれよりも高い負荷を与えても壊れないっていう、摩訶不思議な現象が起こるってことは実験的にも確かめられています。

ですから、あのそうです。一千万回で壊れないからちょっと負荷あげてみる、っていつてもう一回試験すると二千万回でも壊れないからどうするの、っていうことになったりすることがよくあって。ああ、壊れることもありますけれども。例えば今の現象っていうのはコーキング効果っていう鉄鋼材料では有名なもので、だんだんだんだん階段をずーっと上げていっても何千万回も持つこともあるくらいです。まあ常に、持つわけじゃないです。おっしゃるとおりです。ですから、あのちょっと話が長くなりましたけども。単純なその、損傷ってことを考えた時にそれが寿命に対してどう影響を与えるかっていうのは、そのものが受けている破壊のプロセスに対してどういうふうな影響を与えるかっていうのを評価していかないと、あの常に悪さを示すわけでもなくて、常に良い効果を示すわけで

もないと。で、それをきちんと見ないと、どちらの効果を持っているかっていうことを含めて不確実性を評価していくことで、新しいものではなくて、例えば既存の設計された構造物に損傷を受けて時に、その余寿命評価がどういうふうになっているのかっていうことにも当然こういう評価は適用可能ですし、その時に、損傷っていうものが強度を下げる因子として働いているのかどうかってのは、どういう壊れ方を、その材料がどういうプロセスをたどっていて、そこに対してどういうふうな効果を示すのかっていうことを議論した上で評価ができると思います。で、あの、なんでこの亀裂に対して負荷をガスって与えた時に寿命が延びますよっていうことを取り上げたかっていうと、実はこの現象を見誤ったために過去、人類は失敗してるんですね。これ教科書でも典型的に取り上げてるんですけども、あの、コメット号の事故っていうのが1950年代にありまして。あの、飛行機のイギリス製のデハビラント社の飛行機の設計でまさに、同じ議論になったんです。同じ議論になったんです。あの、飛行機の油圧とかを水圧試験でやった時に、この飛行機は窓枠で、窓枠からの亀裂によってあの、機体が疲労破壊して落ちたっていう典型的な例なんですけども。あの、途中で、油圧試験とかをやる時にもっと過大な負荷を与えたんですね。ガストと、通常かかる負荷よりも過大な負荷を与えたと。で、そうすると、腑かと損傷の考え方からすると、もっと損傷してるはずですよ。だから、弱くなると思ったんですね。通常の飛行機が昇って降りる負荷の、負荷をこういうふうにしてやる時に、あの何回もつかっていう水圧による油圧試験をやる時に、もっと高い負荷を与えたらどうなるだろうか。いやむしろ弱くなるはずだから、そういうふうな高い負荷の水密性、気密性試験とかも兼ねて高い負荷を与えるっていう試験を繰り返してやってたんですよ。あとから見ると実はこの過大な負荷を与えることによって、そういうふうな窓枠から入った亀裂のところの先端の損傷だと思っていたものが、実は寿命を延ばして、実験でやっていたものよりも寿命が、実際には実験の数分の一で飛行機が落ちちゃったっていう事例があるんです。事例があるんです。ですがこれは、亀裂っていうふうな疲労破壊っていうプロセスを考えた時には小さな亀裂がどんどんどんどん進展して伸びてく中で、そこに対して過大負荷がかかったらどうなるかっていう、これは非常に難しい現象であって、あの、鉄鋼材料においては。あの私は実験的にも経験してますけど、寿命が伸びることが多いです。だから、常に延びるかっていうとそうではない。もう、過大すぎる負荷を与えれば当然ながら、そこで亀裂が発生して壊れるっていうことも起こって。但し、それはあくまでもそのプロセスの中でそういう過大な。例えば、地震とかの過大な負荷の損傷とかがあった時に、それが自分が想定している破壊モード、破壊プロセスにどういうふうな影響を与えるかっていうことを評価するっていうことが必要なんですよ、っていうことを端的に示していると思います。

◎竹内委員

すいません。もうちょっと、今のことで。はいはい。

◎桑原議長

えー、それじゃあ、もう一度。

◎竹内委員

そうするとあの、損傷があると、その、ばらつきが広がって予測しづらくなるっていう、今、意味のお話なのかなって。私、素人なんで、ちょっとそう思ったんですけども。強くなるから計算しなくていいってわけでは、多分なくて。正しい評価をしなければならないということ。

◎大塚准教授

それは、強くなるから評価しなくていいとかそういうわけではないです。はい。

◎竹内委員

そういうことじゃないですよ。すると予測はちょっと難しくなるって考えていいんじゃないかなって今思っただけで受け止めたのと。あと、最初質問した中で、基準地震動とか、そのリスク、負荷自体の予測する負荷があがった場合、やっぱ計算とか評価だけで安全と言っただけのいいのかっていうのと、40年設計だったところを60年に延ばすみたいな時も計算だけで、もう使っていて中まで開けられないものの時に計算だけで、安全だっただけというふうに見て、壊れないって見ていいのかなどうか、のあたりもちょっと教えていただきたいんですけど。

◎大塚准教授

すみませんあの、機械設計の立場から端的にいいますと。サンプルを取り出してサンプルの試験によって、それがうまくいって、それが磁気との差をこういうふうに表示するっていうところで、あの、これは磁気との差を表現できているので、磁気に対して不確実性を持ちつつ適応可能であるとするのが機械設計者の使命であって、それができないっていうふうには言いたくはない。っていうのが個人的な感想であって、それをできるようにするために、その例えば試験体をとってきたのばらつきはどうであるとか、少なくとも予測が。自分が予測したものよりも、想定よりも危険側にならないような条件っていうのは何か。っていうことをリスクアセスメントを基に考えるのであって、不確実性がどうであるからもう、試験体でとってこないって評価できないとか、あのそういうふうなことではない。むしろ、そういうふうなサンプルを取り出した中で現実の条件に対してどの程度のばらつきを持っていて、そのバラツキの影響をどうやって評価するのか、っていった時に当然ながら長時間の時間評価ですから不確実性は大きくなりますけれども、それでも不確実性っていうのは保守的な評価を含めて且つその期間内に点検とかの観測を加えることによって、どのばらつきがどう効くのかっていうことを分断することはできます。そうした時に、じゃあ、そういうふうな寿命がどんどんどんどん延びた、延ばしたいっていつてる中で、材料を使えないからもう評価できないと。で、過去の不確実性のバラつきの中で、どの程度の余裕をもっているのかわからない、っていった時に、むしろ取り出した材料の余裕はこの程度であって、そうすると負荷とかの知見も最新のものにしつつ、じゃあどれくらいの余裕をまた見ていくのか、っていう議論をやっていくことっていうのは私は可能なんじゃないかなっていうふうに思います。

◎竹内委員

すみませんあの。じゃあその、40年から60年に延ばすのと負荷自身が上がったって

うあたりはまあいいとして、先生のその、技術者として設計者として、その、できないとはいいたくない、ってのは、すごいああカッコイイなって思ったんですけども。原発に、こと原発に関しては絶対に壊れてもらっちゃ困るものなんで。なんかちょっとそこは原発に関して納得はいかないですけども。その、できないとは言えないっていう姿勢はカッコいいなって思いました。以上です。

◎大塚准教授

あの、ありがとうございます。少なくとも技術者としてやっていく中で、絶対がないのは事実ですので。じゃあどこまでのリスクを持つてるのかっていうことを明確にするっていう意味で、できないとは言いたくないっていうことです。はい。

◎桑原議長

それではですね、町田さん、お願いします。

◎町田委員

町田です。お願いします。

今、先生の説明の中に僕が聞こうと思ったことも一部出てるので、あれなんですけど。そこに書いてある負荷応力と強度、で、一番最初の説明の時に負荷応力が計算をして出すもので、強度側が実験で得たものを比べるんですよ、っていう話でテストサンプル、ピースを出してきて強度を出す、ということですよ。

◎大塚准教授

そうですね。はい。

◎町田委員

で、形状によって当然応力がらみは全部、強度的には変わってくるわけですけども、だから車もぶつけて実験は当然してるんでしょね。おそらく。あのさっきの。ボルトの穴があいてもへこみがあっても、ただ一枚の板とは違いますから、サンプルを取り出したものとは必ず違うわけでたぶん実験してるんですよ。そうした場合に計算をするのはまあ、やって。正しいと。その、元になるその強度というものは、今の話だとテストしか、ピースしか出てこないわけだから。例えばスカイツリーもつぶせないし、原子力の圧力容器も実際には壊してみることはまあできないわけですよ。そういう場合の評価はどういうかたちでその強度っていう側をこた、っていうふうに見極めるんでしょうか。

◎大塚准教授

強度自身はそもそも、サンプルから取ってきた値として、例えば一定のばらつきを持つてるものとして評価はしますね。じゃあ、この値がひとつのものなのかっていった時に、当然ながらご指摘の通り。私たちが強度って呼んでるものは材料の強度です。材料の強度です。で、そうすると例えば、材料の強度っていってくると、ある材料があると、その材料の強度は例えば小っちゃかろうが、大きかろうが同程度のばらつきを持つてるものだというふうに考えます。ですが、かたちを作った時にそうではないと。で、それはあの、寸法効果っていう言い方で考えたりとかします。

で、材料の強度自体も小さなサンプルで評価する時に、サンプルの寸法に依存せず同じよ

うな強度を示すものとサンプルの寸法が変わることによって、その材料自体の強度も変わるものっていうのはあります。で、そうした時に、じゃあその強度っていうものがどちらの影響が大きく出るのかと。で、構造っていうかたちを変えたものに依存するものが全くなければそれは材料の強度っていうものをもってきて、ある程度のばらつきを持つものとして評価の天秤の側に入れてやることはできます。で、一方でその。例えば鋳物一つとっても、鋳物を小さいテストピースで作った時に鋳物っていうのは、もう寸法効果の典型として取り上げられるものとして、壊れるのは中のヒケスの一番大きなヒケスの部分から壊れると。じゃあその、鋳物自体はちっちゃな鋳物で作った場合とおっきな鋳物で作った場合で、その最大欠陥寸法自体のあの、最大欠陥寸法自体の大きさが大きくすればするほどより粗大なものが含まれる確率が増えます。その意味で構造にした時にかたちが変わって強度が変わり得るものっていうのはありますし、一方で、かたちが構造が変わったとしても強度っていうのはそれほど変わらないものもあります。そうするとじゃあ、強度っていうものを考えた時に、それをどちらに入れるのかっていうと強度側に入れるのではなくて一般的にはこちらの応力側の評価として応力のばらつきがこうなるとか、そういうふうなかたちで入れることが多いということです。

材料のばらつきとしてその、個別のばらつきを見た時にあの、例えばこの材料のばらつきはこうで、構造にしたらこういうふう違うっていうふうなとり方をせずに、むしろこちらの応力側のばらつきとして、そのばらつきを持っていた時にじゃあ、どれくらいの余裕をとったらいいかっていうことを考えるっていうやり方が一般的だと思います。

◎桑原議長

町田さん、よろしいですか。

◎町田委員

わかりました。じゃああの強度側で、元々の素材の強度で、他のファクターは負荷側の、今の負荷応力側で考慮するということですね。それと、ちょっと違いますけども、さっきの溶接の時にまあ応力がかかって、内部応力が残留するとか、まあいろいろあるわけですが、応力を除去する方法もいろいろあるわけだし、今先生がおっしゃった、応力がかかっていることを利用して強度アップしたり、まあコンクリートなんかもわざとボルトで締めたりとか、応力を利用する方法で活用してるっていう場面もあるわけですね。ですんでまあなんか、応力がすべて悪者みたいな感じにもあるけど、その悪者も利用して善人にするという、工法もあるんですよね。一部には。例えば最初から反対方向にストレスかけておいて、それでまあ、その、要は緩和、中和するというか。という使い方もあったりするんでしょう。

◎大塚准教授

あの、私自身があの、ちょっと誤解されたくないのは、応力がかかっているから悪いとか言ってるわけじゃないです。それは。例えばプリテンションとかかけて、寸法とかを出してかたちが維持できるっていうものもありますし、当然ながらあの、はめ合い軸一つとってもですね、プレスヒットとかではあの、焼き嵌めとかで残留応力をかけて、構造を維持

してやるとかですね。あの、利用してやっていることは事実であって、その応力がかかっているから悪いとか、応力がこういうふうに入りますよ。その時にすべて悪い、あの破壊を促進する方向に進むとかそういうふうな話ではなくて、じゃあ、そのバランスをどうなっているかっていう不等式の中で考えてくださいよ、っていうことを言いたい、ということです。決して応力がゼロの状態を維持しなきゃいけないとか、そういうふうな話ではなくて、あくまでも不等式の中でモノが壊れていくので、じゃあ、かかっているものを忘れ。自分がかけてるってことがわかって使ってればいいんですけども、一方でそれがわからないものもあるわけですね。じゃあそういうことが、抜けてないかっていうことを考えてくださいっていう意味で、その因子を考えてくださいっていうことをいってるわけで、その応力がゼロじゃなきゃいけないとか、必ずしもそれを使うことに対して否定するわけでは全くないということをご承知おきいただきたいと思います。

◎町田委員

竹内さんが質問してましたけど、応力がかかったらもうそのものが、まあダメになるとは言わないですけど、悪くなるんでしょ、と。先生がさっきそこへ示したザイリョクの、材料のあの引っ張り試験の線がありましたけど、あそこの縦に立ち上がっている弾性限度内だったら、また応力がかかって使ってもよろしんですか。

◎大塚准教授

それは…でモノを設計するっていう壊れ方を考えた時にはそうだと思います。

◎町田委員

…の応力でかかれば、まあどどん力の上限が落ちてくわけですけど、その範囲内であればある線、さっきそこに出てきた線でもそうですけど、応力のラインの疲れ限度の線を越えないあたりだったら、そこですよ。その今の水平になった部分以下だったら何回ストレスがかかってもよろしいっていう図なんですよね。応力が何回かかってもその繰り返しの平らのラインを越えなければずーっと使っても材料が破壊しないっていうことをしめてるんでしょ。

◎大塚准教授

そういうふうなラインとして無限寿命設計されてます。設計としては。

◎町田委員

…ところに、力がかかってもその原子力の機器はずーと健全性が保たれているという判断になるんですね。その以下の力しか原子力にもかからなかったら、例えば地震の時とか云々ですよ。その機器は、健全性はまだずーと永遠にあるという評価を結局その、審査とかではやられるということになるんでしょかね。

◎大塚准教授

無限寿命設計の考え方だとそうだと思います。はい。無限寿命設計の考え方だとそうだと思います。

◎町田委員

わかりました。ありがとうございました。

◎大塚准教授

で、一方で、そのSN線図っていう、この一つとっても例えばこれが無限に延長できるっていうふうに、言っていました。で、落ちるやつもあります。真っすぐいくやつもあります。で、通常は真っすぐいきます。これで、例えば10の8乗、9乗いってもこういきます。で、そうするとあくまでもその材料の使用範囲の破壊するメカニズムに対応して、そういうふうな評価を使ってくださいということですね。はい。

◎桑原議長

よろしいでしょうか。それでは高橋さん、どうぞ。

◎大塚准教授

えっと、大塚先生のお話を聞かしていただきまして、正直言ってほとんどわかりませんでした。専門家じゃないもんですから、お許し願いたいと思いますが。あの、ちょっと質問になるかどうかわかりませんが、大塚先生のような科学者、技術者が設計をして物を作るとそれはそれなりに安全。いいものができると思うんですよ。私の周りにいろんな方、そういう専門家の方がいらっしゃるんですが、設計屋さんはもう、その計算式に則ってきちっとした設計をしよう、ものを作ろうとするんだけど、企業側の大塚先生に設計をやらせる人、それからモノを作らせる人、売る人、で、早い話が企業にとっては「大塚くん、そんなに頑丈に作らなくてもいいよ。危なくない程度にもうちょっと薄くしろよ、とか、そういう。その、企業側のその、要望というか、言いますかね、そういうものがすごくあるんだそうですね。この世界には。あの、原子力なんかの世界には。まああの、もう亡くなられたんで名前出したらいいかどうかわかりませんが、高木ジンザブロウさん。あの生前、もうとてもじゃないけど僕は責任取れないよ、だから会社辞めたんだよ、ということで、あの、資料情報室を作られたか方なんです。まあ私の周りにはいろんな専門の方がおられますけれども、大半が40歳とか50歳の定年になる前に、とてもじゃないけど責任取れないよっていうんで、あの、辞めて、科学ジャーナリストとかいろんな方がおられますけれども。その、設計屋さんとか技術屋さん、いわゆるあの、職人。計算通りに俺は作りたいんだ、と思ってもなかなかその会社がそういうふうには作らせてくれない。コスト、コストコストでこられるともう、僕のその、責任の範囲を超えちゃうよ、という人があの、日立の圧力容器の設計屋さんとか、東芝だとか、送ったところにおられたGEだとか、そういうところにおられた先生方が、私の周りの大勢いらっしゃるという人たちから私いろいろ講義を聴いたりするんですけど。まあ大塚先生のような人ばかりなら、ものなんかそんなに壊れやすいものは生まれてこないと思うんですけども。そのへんのところが、コストっていうものがあるがゆえに、危険な部分、あるいは壊れやすい部分、あるいはあの、安全性が保たれない。で、車のあの、性能なんかではまああの、リコールだとかそういったものも、そういうところから生まれてきているというふうに言われているんですけど。まあ、質問になるかどうかわかりませんが、そのへんのところコメントがありましたらあの、お聞かせを願いたいと思いますけど。

◎大塚准教授

まずあのちょっと、ご指摘はまあ面映ゆいっていうか。ご指摘いただいた点なんですけど、私はそんなに大した技術者でもなんでもありません。はい。あくまでも、こういうふうな知識をもってその、リスクアセスメントっていうのをどうやったらいいですか、っていうことをお話してるだけであって。あの、じゃあ自分がその立場になった時に。あの例えば、「君、この会社で今後考えた時にどうやるかわかってるよね」っていわれて付度しない人間ではない。と思います、おそらく。

で、じゃあこれは専門家の話とは外れても倫理の話になりますけれども。例えばじゃあ、そういう弱い自分がおそらく、私だけではなくて。まあ私だけかも知れませんが、いろんなところにいらっしゃるんだと思います。で、ただ技術者としてはあの、安全なものを作りたいという思いで設計してる中で、まあそれがあの、自分のあの自分一人の意思では認められないと、いう中で、例えば安全上重要な機器においては、そういう第三者に説明可能かたちで、そういうふうな設計を残していくと。そういう規格っていう考え方ですとか。例えば、原子力の性能とかもそうですけども。記録を第三者が検証可能なかたちで残して。残していく中で、規格基準っていうものがあって。少なくとも規格基準っていうものが最高レベルかどうかといわれると、それは最高レベルではないかも知れませんが。あの、国際規格っていうものになるものでシステム安全の授業の中では当然それは最高レベルのものではなくて、少なくともこれくらいは満たさなきゃいけないものですよっていうふうな教え方もしたりもします。ただ、規格によってこういう規定を満たさなきゃいけないっていうことは決まってる、且つそれに対して適合しているかどうかっていうものを第三者の人が検証可能なかたちで残すためには、それなりの準備を技術者もしなければいけないと。で、その中でこういうふうな自分の頭の中で考えてることってのは、じゃあ基準の中ではこういうふうな位置付けをもってるんだとかですね。じゃあ原子力でのそういうふうなあの、規制基準とかの中で設計していく中で、この規制基準の意味ってのはこういうふうな意味を持ってるんだと。こういうふうなリスクに対応してるんだと。そういうふうなことを学生にも教育していきたいなあというふうには考えています。その規格っていうものがその規格基準っていうのは、とかく。例えば私自身も ISO とか、基準みるともうすごく面倒くさいなあ、とか思ったりとか正直しますし、規制基準の基準とか見てもなんか文章よくわかんないし、こんな長いのもよく読むなあとか思いながらも読んでたりとかしますけれども。あの、少なくともそういうふうな明文化された規定で安全性っていうものを設計するものが、第三者に検証可能なかたちで文章が残っていれば、それを残すための努力ってのは、まず規制する側にも必要ですし、で、それを設計する側にもそれに応える義務がありますし、で、それは柏崎の例でも一般市民にも公開されていますし、その中でじゃあこういうふうな規定が残っている。で、その意味っていうのは自分が安全に対してどう考えたのかっていうことを少なくともその基準を考えるっていう中で第三者に検証可能なかたちで残していくんだよっていうことが規格基準の意味ですよ、ってことをですね、まず。そういう安全の概論とかでも、こういうふうな話をしたりしています。

◎高橋委員

ありがとうございました。あのう、お門違いな質問だっていうのはわかって質問させていただいたんですが。やっぱり世の中は、ほんとの職人さんの思うとおりにない、っていうそういう事例がいっぱいあるということだけ皆さんにわかっていただきたいという思いで質問させていただきました。ありがとうございました。

◎桑原議長

高橋さん、よろしいでしょうか。それでは高桑さん、どうぞ。

◎高桑委員

高桑です。ちょっと筋違いな質問かも知れませんが、応力は計算で求めると、計算で簡単に求められるとおっしゃいましたけれども、計算は式があって初めて計算できるわけで、その式を作る時のその、式の作られ方。それから当てはめる式の信頼性というのはどんなふうになってるのでしょうか。

◎大塚准教授

式の求め方、なんですけども。式は偉い人が既に計算して求めているので、じゃあ自分がどうやって選ぶかっていうことになるんですけど、どの式を選ぶか、っていうことですね。

どの式を選ぶかっていった時に、じゃあ計算した時に例えば、何がばらつくかっていいますと、応力っていうのはその、計算式を分解してみますと荷重を断面積で割っていると。受ける負荷と、受ける負荷を断面積で割ってますので。じゃあ計算のばらつきで考えますと、寸法のバラツキですとか荷重の不確実性とかによって応力自体もばらつくということになります。で、そうすると、応力はばらつくんですけども、モノが壊れる時には一番高いやつを見ればいいので、どの方向で壊れるかっていうのを見ることができます。で、これは主要力っていうふうにいるんですけども。じゃあその方向を見て、じゃあそこでこんな壊れ方を使用とかいうふうな評価を使ったりするっていうやり方でやっています。

で、もう一つ重要なのはどの式を選ぶかなんですね。むしろおっしゃるとおりで、どの式を選ぶかってことに関しては、少なくとも。これはリスクアセスメント、一緒に。どの式があるかっていうことを知っておかなきゃいけませんし、それに基づいてどういうふうな負荷がかかっているかっていうことに基づいて。負荷形態に基づいた計算式を選ばなきゃいけませんし、それに基づいてじゃあ、応力が実際の値と確かに同じような値が出てくるっていう、検証するっていう作業自体も、あの応力測定自体も行うことにはなると思います。

まあわかりやすい例として取り上げるのが、あの。他にも使われている、こういうふうな。モノが動いても典型的な例で片持ち梁っていうのがありまして、なんかこう、ピンとかいろんなものでやるんですけども、これってこの固定の仕方を単純に置くだけと壁に埋め込むだけで応力状態が変わります。同じ負荷を与えても。で、そうすると、学生自身は、学生の覚え方として、じゃあ壁に埋め込まれた時と単純に乗ってる時でここ違う式を使えばいいんですね、っていうふうに覚えるんですけど。むしろ重要なのは、まさにご指摘された通りで、じゃあどっちの式なんですかね。少なくとも、検証可能な式で考えた時に、じゃあ応力を測定する方法として、まあ例えばですけども、変形した時にそこにて

すね、センサーとかを貼って、これくらいの応力が発生しているねっていうことを検証するっていうこともできますし。あの、非接触でも測定する方法はないわけではないですが、少なくともバラツキっていった時に2つのばらつきがあるんだと。で、前者のその、荷重と寸法のばらつきってのは、これは信頼性です。信頼性です。ですから荷重が。自分が1だと思っていたのが実は1.5だったりすると。でそうすると、その信頼荷重と、応力のばらつき自体は、断面積のばらつきの分布と荷重のばらつきの分布によって決まって、でそれはどれくらいのばらつきを有する物かっていうのは統計的にも計算することが可能です。で、一方で重要なのは、どっちの式なんですかね、と。で、どっちの式を使うんですか、っていった時にこっちの式だったらこの値になって、こっちの式だったらこの値になった時に自分が現実で。これはこれこれこういう理由でこの式を使うことが妥当であるというふうに判断できればそれでいいですし、いやそれでも、やっぱり検証したほうがいいよね、っていうふうにして実際に測定とかして、検証することもやられてますし、その応力っていう因子一つとってもその値の式計算するっていう。行為は実際に簡単なんですけれども、破壊を防止するっていう観点から、今まさにご指摘された通りで値がどれくらいばらつくか、っていう信頼性の問題と、そもそも自分が応力を評価する時に、妥当なモデルを使って評価してますかっていう妥当性の評価の両方しなければいけなくて、これを区別して議論するっていうことは非常に重要だというふうにあの、講義とかでも教えています。そうしないと、この式をつかえばいいって書いてあった時にむしろ企画とかでも、なんでこの式なんですかねっていうことは解説の中に書いてあるわけですよ。これこれこういう理由でこの式を選択しました、とかです。例えばあの、シミュレーションとか実験とかの結果としてこの式で実験的な評価をすることで安全的、保守的な評価ができるっていうふうな判定がされた結果としてこの式を使うことにしましたとかということが、あの。例えば規格とかの解説にも書かれているので、学生とかにも。例えばそういうふうな計算とかする一つとっても、そういう規格基準のですね解説をよく読んでくださいということは今まさにご指摘されたようなことを理解して使ってほしいなという思いでも言ってます。

◎桑原議長

よろしいでしょうか。はい、それじゃあ他の方。えーじゃあ石田さん、どうぞ。

◎石田委員

石田と申します。いろいろありがとうございました。聞きたいことと不思議に思うことっていうのはたくさんあるんですけど、私の頭の中ではどうもどういうふうに質問しているのかどうか、整理がつかないんですけど。ただ、先生のおっしゃる計算とか、ものの考え方というのと、私たち一般市民が考える安全性の考え方、全く違うんだなあっていうのを思いまし。話を聞いててそう。かえってこう、なんだろう。じゃあ私たちの考える安全性っていうのは、先生たちの考え方の中にはないんだろうか。私なんかはそんな膨大なことを考えてるわけじゃなく、日々、学校いく孫やら仕事行く家族なんかを見送っても、帰ってくるのを待ってて、というようなそんな日々の単純な生活の中での安全性みたいなのを思うんですけど。壊れるまでわからないっていう、その考え方は私の求める安全性とは

全く違うな、と。私たちが鍋なんかが。ああこれダメになったね、じゃあこれもうそろそろ買い替えなきゃいけないね、という類のものではなくって、私たちの求める安全性っていうのは例えば原子力発電所とこれから先もこうやって共存していくんであれば、やっぱり安全性っていうのはそういう考えでは、私たちは受け入れられないなっていう思いがこう、するんですけど。どっかで先生と考えがずれてるのでしょうか。

◎大塚准教授

少なくともですね、今のお話はリスク評価されてますよね。…今のお話はリスク評価されていて、それは一般の方とも。別に私はその意味でも全く差はないと思います。あの、鍋が壊れたと。で、壊れたからなんなんでしょうか。壊れましたと。で壊れたからといって料理ができないと。そうするとちょっと買い替えてこようかと。でもこれも立派なリスクアセスメントだと思います。それは少なくとも壊れたことによる影響っていうのが自分に対して許容可能なものであるっていう判断はされているわけです。その意味では、モノが壊れてはいけないとは、壊れないようにしなきゃいけないっていうのは事実ではありますけれども。壊れたからといって致命的な影響を常に持っているわけではないっていうことは、安全性の考え方をすると皆さんは感覚的にお分かりかと思います。で、そうする時に、じゃあ鍋は絶対壊れてはいけないんでしょうか。

◎石田委員

でも先生、例えば今、私が鍋って出したのは、鍋は壊れても。なんだろう。人様に迷惑をかけるようなことはないですし、人の命にかかわることでもないですよ。そういう面では、ただ私の財布がいたむだけで。それと、例えば原子力発電所の圧力容器が云々となったのとでは、安全。私の財布なんていう世界の話ではないわけですし。そこいらへんを数字だけでは。私は言い表せられないものなんじゃないかなというふうに考えてるんですけど。

◎大塚准教授

はい、はい。あのモノが壊れるっていう現象では、たとえ鍋であろうと原子力発電所であろうと壊れてるものは壊れてます。壊れているものは壊れてますし壊れてないものは壊れてないと。で、その壊れることによる影響が許容可能であるかどうか、っていうことを判断しているのがリスクアセスメント、だと私自身は思いますし。で、そのリスクアセスメントで考えた時に、モノが壊れることが許容できるかできないかってのは、このが壊れることによるリスクがまさに自分の財布がいたむ程度で済むのか、地域に壊滅的な影響をもたらし得るのか、影響の度合いによってリスクの大小を評価して許容できるか許容できないかっていうご判断をされてるんだと思います。その意味では、リスクアセスメントっていうことを考えた時に、このが壊れるっていう現象自体を防がなきゃいけないっていうのは、その、モノが壊れることによるリスクが許容不可能である場合はそうだと思います。一方でそのリスクが許容可能であるというふうに判断している例っていうのは、今鍋の例でも挙げたようにあるわけですね。それが個人のレベルなのか地域住民のレベルなのか、国住民、国レベルなのかっていうのは、それは許容する判断基準とかは違いますけれども、

リスクアセスメントをスケールを変えてやってるっていう意味では、私自身は何ら変わるものはないと思います。

◎桑原議長

石田さん、よろしいでしょうか。はい、それじゃあ宮崎さん。

◎宮崎委員

はい、すいません、宮崎です。先生のお話聞いてたんですが、このポケ頭にはちょっとね、理解なかなかできませんでした。ですが、ちょっと私がいろいろ皆さんの話を聞いていてひらめいたことが出たんで聞きたいと思います。先生の学問というのは応用化学に属するわけですよね。そうすると実際の社会、あるいはこの私たちの生活の中で、ここはやっちゃいけないとか、こう進みなさいとかっていう、当然提言とかされる分野の学問だと思っております。それで、今、いろいろな話を聞いた中で、たとえば原子力発電に対してですね、そういう提言。いや、ここは止めたほうがいいよ、と。じゃあここ、こういうふうにやんなさい、つという提言というのはあったのかな、とちょっと思ったものですから、ひとつ事例をあげて聞きたいと思います。何を言うのかっていうと。応力ではなくて実は压力容器、原子炉にある压力容器の強さは中性子を照射されるとだんだん弱くなる。だから、脆性遷移温度っていうのを測定する。だからこれはリスクアセスメントじゃなくて、実際に弱ってくものを実物を調べなきゃ、このアセスメントにならないっていいですかね、そういうことですよね。計算式は多分ないと思われませんか。で、この脆性遷移温度がどうなっているか、これを調べるために、中に試験片を。材料を同じものを何枚も入れてあるという、聞きました。で、それを時々出して、実際に割ってみる。その時に温度、何度か温度の時にこれが割れたか。ということで脆性遷移温度。いわゆる壊れる時の温度がこの出てくると、こういうことですよね。計算ではないんですね。そうしますと、私がこの東電の、柏崎の原発について遷移、その試験がありますか、ありますよ。どれくらいの温度で割れるんですかっていうとだいたいマイナス何度なんですかね。マイナス何度だったかな。10度だか20度だかだと思います。そうするとこれ。まあ、この压力容器というのはいざ何かあった時に水で冷やしてますよね。水で冷やしている。私はかって、この压力容器を冷やすんだったら、ドライアイスを使って冷やせばいいじゃないかなーと思ったことがあります。だけどドライアイスを使うと、あれはマイナス、ものすごい温度低いから。ね、ガラスにお湯をかけたと同じように压力容器がパンと割れるんだっていうふうに教えてもらいました。ですから非常にこの脆性遷移温度っていうのを、非常に重要ですよ。ところが日本国内にある、いろんな原子力発電所がありますけども、その試験片を出して調べていくとだんだんだんだん上がっていくんだそうですよ。

ある、ちょっと今どこの原子力発電所か忘れてしまったんですが、もう、マイナスではない、平熱。多分何かの記録では20度近い温度だったと覚えているんですが、20度にもなってしまった原子炉があると。いうふうに聞いたことがあります。こういう場合ですね、20度に近いかはふつうの水をかけても危険だということですよ。そう思うんですが。こういう場合ですね、先生の応用化学でいってこういう事例が出たら、リスクアセ

スメント計算できないんですが、事実、試験を出したら割れる状態だったらやめなさいと。これは廃炉ですよ、と過去の圧力容器じゃ使えない。そういう提言っていうのは先生の科学でいったら、することができるんですか。しておられるんですか、そういう応用化学のこの本当に生きたところを聞かしていただけないか、という質問です。

◎大塚准教授

そういうご指摘があるってことは十分理解した上で。これはもう、私の個人的な見解だと思って聞いていただきたいんですけども。

例えば、今言われた延性脆性遷移温度っていうのは通常こういうふうにと金属材料が伸びるんですね。あの破綻した面を電子顕微鏡っていうので観測してやると、伸びた証拠としてこういう。ホイップクリームみたいに角ができると。それはディンプル模様っていったりします。で、こういうとこであの伸びてるっていう。こういう材料が脆性破壊っていうふうになるとそれが伸びなくて、例えば特徴的な割れ、リバーパターンとかもいったりしますが、特徴的な割れの破壊を起こして、そういうふうな壊れ方をすると。壊れ方は変わりますよ、と。で、その壊れ方が変わるとこの遷移温度のことを脆性延性遷移温度、あの DBTT とかいったりして。じゃあその温度に関して、じゃあどうやってそれを予測すればいいかっていうことについては、例えばイギリスでもアメリカでも日本でもサンプルを用いて、こういうふうな照射の影響に応じて評価をすればいいっていう実験式が定められていて、それを基に評価をしていると。いうことになりますね。で、その評価を基にしてやった中で、じゃあその評価に基づいて、やった結果として、もう誰が。その評価結果からその危険性っていうのが出てきて、じゃあ使えないって判断する基準が決まっています、使えないっていうふうな判断が技術的にできるのであれば、それは使わないっていう判断になるんだと思います。

ですが、実験的な評価一つとっても。例えばばらつきがあったりして。どういうふうな因子によってその実験点から外れているのかとか。必ずしもそのサンプルが傾向を外れているからといって、じゃあそれが、チッキン？を傾向を反映してるかどうかっていうことに関しては、先ほどの寸法交換を含めて慎重に判断しなければいけないということはあると思います。ですから、そのためにこそ、サンプルを取り出せばすべてが解決できるっていう問題でもない。むしろ、基礎的なデータをとっていく中で複数のサンプルに対して同程度の照射を受けた材料はこういうふうなマスターカーブで整理できるってことで DBTT、ああすいません。脆性延性遷移温度に対しても参照温度法とかで評価する基準が定まっています。じゃあそれに対する信頼性、信頼性の議論をしたいっていうことであれば、そういうふうなデータをしっかり取った上で、個人として議論するのではなく。これはこれを理由でこのマスターカーブが適用できない技術的な根拠があるよ、っていうことを戦わせた上で、基準を改定するっていうことになっていくんだと思います。その中で、少なくとも、今現行の基準において、こういうふうなマスターカーブ法とかいろんな方法で予測する方法があり、且つ、それからずれた状態に関して、一定の技術的な根拠をもって、こういうふうな理由でこの材料、この材料を使うことに対して、性能上の判断ができるっ

ていうことをやった時に技術的な信頼性と妥当性の議論をしていくことは当然必要だと思います。で、今のお話はちょっと2つのことが混じっていて、少なくとも、その出てきた値が基準から見ても妥当ではないと判断された場合か、じゃあ基準からずれていたとしても、じゃあそれに対してこういうふうな技術的な根拠をもって、そのずれた理由のメカニズムを説明出来ていて、こういう理由で性能を満たすというふうな妥当性を論拠出来るのであれば、そここのところで技術的な妥当性を議論していくべきであって、少なくとも個人の見解において、じゃあこの材料はこういうふうにはずれるからもう使えません、ということはあるの、むしろ、じゃあなぜそれが起こったのかってということと、そのデータをとるために、もっと他のデータとかもみた上で、じゃあなぜそれが過去マスターカーブとかデータをとりながら膨大な量の照射した試験片を使って評価されてるにも関わらず、ずれるメカニズムっていうのはなんなんだろうかっていうことをやってるのが純技術的な立場だと私自身は思っていて、で、そこに関して、じゃあ修正が必要だ。という見解を安全研究の中で出てくれば、それはそういうものを規制に提言して行って、そういうふうなものがこういうふうには、式の修正をしなきゃいけないとか。例えばそれに、必ずしも合わないはずれ値の問題が出た時には、こういうふうな処理をしなければいけないですよっていうふうな技術的な判断っていうのを、どうやって合意できますか、っていうことを議論していきたい、というふうには思っています。ちょっとあえて抽象的な答え方をしましたけども、少なくとも、個人的な見解において、過去の膨大なデータを覆すっていうことをやるからには、自分もそれなりのメカニズムを理解しておく必要があるとは思っています。

◎桑原議長

よろしいですか。はい。

◎宮崎委員

ちょっと、理論的で。わからないなあと思って。ただ、もう一つね。今度は、ケンシュ？先ほどした話だったように。40年、60年と延ばそうという話がありますよね。そういう時にその今の試験片がもうないという原発が出てきているんですね。そういう場合は、今の先生が言ったように膨大な量を調べるどころか、もう調べる手掛かりもなくなっているものについては、先生のこの応用化学でいったら、辞めなさいっていうようなことがあるんですか、ないんですか。

◎大塚准教授

それは、無いっていう状態。ということは、これはあの、実験的にいいますと先ほどの。たとえば疲労の話でも出てきましたけども、このデータを外挿していいんですか、っていうことになって。これは必ずしも検証は必要な話になると思います。ですから。ですが、外挿していいの悪いのかっていうことは、メカニズムを議論していく中で明らかになることであって、外挿することができないっていうことを、実験とか解析をする前から言う必要もないとは思っています。ですから、サンプルが用意できないっていうのであれば、じゃあそのサンプルを部分的にでも再現できるようなものっていうのはどういうふうにして作りだせるのかと。もしくは既存のデータのメカニズムが変化しないっていうことが既存の

データの議論によってであれば、それをどこまで外挿できるのかと。で、外挿っていうのは非常に危険な行為でもあります。それは実験点がないところに対して延長する。ですからこそ、メカニズムの議論が重要だと思います。その実験点がないから、もう外挿ができない。そうであると、じゃあ経験したことの無いリスクに対しては対処が出来ないことになってしまいます。ですが、破壊するメカニズム自体を探っていくことで、じゃあ、この時間になって、不確実性が確かにあるにしても同じような破壊メカニズムをたどっていくのであれば、これを、こうやって外挿することで、未経験の事象に対してリスク評価をやっていって、破壊を防止しようっていう考え方をとっていきなというふうに、私自身は思っています。実験点がないから外挿できない、ってことには必ずしもならない、と思っています。

◎桑原議長

よろしいでしょうか。それではですね、大塚先生、これからまた長岡にお帰りになるということで、定刻になりましたんで、これであの勉強会は閉じさせていただきますが、長時間にわたりまして大塚先生、ありがとうございました。

◎桑原議長

それではですね、委員の皆様にご報告をさせていただきたいと思います。

現在の地域の会、第8期委員は本年4月末をもって任期満了を迎えることから、この2年間の活動を踏まえ、意見書を作成をいたします。今後、運営委員会の中で作成をし、委員の皆様には3月下旬頃、原案をお示しさせていただきます。そして、4月の定例会にはオブザーバーの皆様へ提出したいと考えておりますので、よろしく願いをいたしたいと思います。

それでは最後に事務局から連絡事項、お願いします。

◎事務局

それでは、事務局から次回定例会についてご案内をさせていただきます。次回、第189回定例会は、3月6日水曜日、午後6時半から当センターにおいて開催となります。

それでは以上を持ちまして、第188回定例会を終了させていただきます。大変どうもお疲れ様でした。

— 終了 —