

2023 年 10 月 17 日
早稲田大学ふくしま浜通り未来創造リサーチセンター

第 26 回 1F 廃炉の先研究会 議事録

日時： 2023 年 7 月 24 日（月） 18:00-20:10

方法： オンライン（Zoom）

出席者： 19 名

講演者：

溝上伸也（東京電力・廃炉推進カンパニー・福島第一原子力発電所・燃料デブリ取り出しプログラム部・部長）

研究会代表

松岡俊二：早稲田大学大学院アジア太平洋研究科・教授

研究会副代表

崎田裕子：NPO 法人・持続可能な社会をつくる元気ネット・前理事長

森口祐一：国立環境研究所・理事

井上 正：電力中央研究所・名誉研究アドバイザー

研究会メンバー

黒川哲志：早稲田大学社会科学総合学術院・教授

柳川玄永：三菱総合研究所原子力安全事業本部復興・再生グループ・主任研究員

高橋洋充：福島県立福島東高等学校・教諭、福島県浪江町

小林正明：中間貯蔵・環境安全事業株式会社・前社長

永井祐二：早稲田大学環境総合研究センター・研究院教授

（欠席）

佐藤重紀：HAMADOORI 13・事務局長、福島県大熊町

遠藤秀文：株式会社ふたば・社長

鈴木知洋：福島県立ふたば未来学園中学校・高等学校教諭

菅波香織：未来会議・事務局長

吉田恵美子：NPO 法人・ザ・ピープル理事長、いわきおてんと SUN 企業組合・代表理事

小野田弘士：早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科・教授

宮野 廣：日本原子力学会・福島第一原子力発電所廃炉検討委員会・委員長

笠井智貴：早稲田大学法学部・1 年、福島県いわき市

オブザーバー：

藤原広行：防災科学技術研究所

島田 剛：明治大学情報コミュニケーション学部・教授

岡崎 誠：東京電力

千田大介：東京電力

宇野朗子：1F 地域塾、U.Lab Japan

力丸祥子：朝日新聞

藤川正浩：NHK

山田美香：福島大学地域未来デザインセンター

事務局

任 羽佳：早稲田大学大学院アジア太平洋研究科・博士課程

司会：森口祐一（研究会副代表）

議題：

1. 講演

溝上伸也：1F・1号機の内部調査結果の見方：1号機の耐震評価を考える
（報告内容は報告資料をご参考ください）

【質疑・総合討論】（研究会は研究会メンバーの発言、オブザーバーはオブザーバー出席者の発言です）

研究会：格納容器全体を示す4ページのスライドを見ると、圧力容器は何らかの周辺構造部材で横から吊り下げられているのかなと思った。圧力容器が倒れないための強度は、本来どこで確保されているのか。下からしか支えていないのであれば、下のコンクリートが崩れれば建物は上から倒れるのが普通だが、どうやって倒れずに持ちこたえているのか気になった。

溝上：鉄筋が露出しているあたりの荷重はもともとインナースカートが支えている。IRIDの過去の評価はインナースカートを考慮せずにすべて鉄筋コンクリートであるとの仮定で評価したもの。現実を反映した評価は現在検討中であるが、インナースカートと鉄筋コンクリートの結合部の評価が難しい課題となっている。そのため、それぞれを単独で扱う別々の評価が進行中で、特にインナースカート単体の評価が先行している。鉄筋コンクリートは圧縮には弱いので、問題がある場合、鉄筋自体が座屈している可能性が考えられるが、現在の内部調査では座屈の状況は見られないという結果も確認されている。

何が支えているかという話について、設計上ではRP原子炉はここに置かれ、その上にペDESTALのコンクリートが乗っている。ペDESTALの重量は最終的にはインナースカートで支えられている。インナースカート、鉄筋の喪失範囲は、ほぼインナースカートの上端レベルである。したがって、鉄筋が圧縮の力で座屈する前に、ペDESTALとRPVの重量はインナースカートにかかり、インナースカートは非常に強いので、インナースカートは座屈しない。ということは、鉄筋に荷重がかからないので鉄筋も座屈しないということになる。

もう一つは横で支えるものがあるかという話だが、設計上は期待していない。ただ、実際問題として、主蒸気配管が底部まで4本あるので、主蒸気配管が間接的に原子炉を支える構造になっている。ただし、その配管だけで原子炉を支えるのは難しい。その他の配管も貫通孔（ペネトレーション）を通じて外部とつながっているので、それらの配管が貫通孔位置で固定される形で間接的に原子炉を支えている。

研究会：インナースカートの高さはどれくらいか？3Dプリンターを見せてもらったが、ペDESTALを取るところまで見えているから、インナースカートは途中までの高さしかないはず。

溝上：床から上の高さという意味では床から1メートルくらいまでだ。

研究会：そこから圧力容器の下の方まで1メートル。ペDESTAL本体の高さはかなりある。その部分の

コンクリートはかなり流れているという状態で、ただし、丸ごとではない。

溝上:コンクリートが失われているのは、底からおよそ1メートル、ちょうどインナースカートの上端までである。その上には表面が少し荒れたような部分があり、数10センチになる。その上が本来のコンクリート表面の箇所である。しかし、多少の劣化はありそうな状況だった。

研究会:そうすると、圧縮に耐える健全な鉄筋コンクリートは、圧縮に比較的強いインナースカートの上に置かれているという理解すればいいのだろうか？

溝上:事故前の耐力がどこまで維持されているかの疑問(数10%程度の劣化がある可能性がある)があるが、インナースカートの上には鉄筋コンクリート自体は残っている。しかし、どの程度劣化しているかは議論の余地がある。

研究会:インナースカート自体は本来、そのような状態で荷重を支えるためのものではなく、ペDESTアルと床面をどうにか接合するための繋ぎ役みたいなところであったものだが、上にその高さまであったところの鉄筋コンクリートは荷重を支えられないものと、上にある荷重を支えられるものと、インナースカートが協力し合って上を支えているといったところか。

溝上:本来、このフラスコ自体はこのようにすり鉢状に置かれているだけ。その床で支えるのではなく、インナースカートとPCVスカートで支えている。今回はインナースカートの上端とコンクリートの消失部分が大体一致していたため、インナースカートが支えるべき荷重は事故前とさほど変わらない。むしろ、原子炉压力容器の中から燃料や原子炉構造物が落下委していることで、燃料や原子炉構造物の重量に相当する荷重が若干楽になったこと、しかし熱的な影響を受けて弱くなったこと。この両方の効果がある。一瞬見ただけだと、この状況で地震では安全なのかと心配になるが、構造をよく見るとそこまでの状況ではなく、実際かなり強い地震でも倒れなかった。

研究会:ペDESTアルがどのようになっているのか、図解があった方がわかりやすいと感じた。インナースカートの部分は3Dプリンターで模式化され、これにより、ペDESTアルの健全な部分と損傷した部分のリアリティがわかる。左側のモデルでは、健全なペDESTアルが書かれているが、健全ではないペDESTアルと健全なインナースカートがどのようになっているのか。インナースカートは残っているが、下部のペDESTアル鉄筋コンクリートはかなりの部分が損傷しているリアルな3Dモデルがあると視覚的に理解するのに役立つと考える。

溝上:そういう努力が必要であることは認識しており、現在そのような議論をしているが、一番の問題は、BWRで燃料が床に落ちたときにどうなったのかがわからないことであり、書ききれないのが現状である。

研究会:ペDESTアルが破損した場合、格納容器内の構造物の位置関係が変わるという過程で、被ばくの0.03、0.04というのを出されたと思うが、この場合、具体的に何を想定して予測したのか？

溝上:原子炉が下に平行移動する場合、本来座屈しないはずのインナースカートが座屈したという仮定のケースだが、その動きによって引っかかれたり、動きそのものによって舞い上がったたりする可能性を評価している。しかし、それがどの程度起こるのか、どのような時に起こるのかというデータベースを持っているが、被ばく評価を実施するとの目的から、(過小評価よりは過大評価の方が良いので)結果が厳しくなる条件であれば何を使ってもいいという話になって、そこにも実際との乖離はあるかもしれないと思う。そこまでやってもこの程度の評価ということでご理解いただければと思う。

研究会: これを見ると、ペDESTALの損傷により圧力容器が 1.3m 沈下した場合、格納容器の配管などに影響が及び、格納容器の開口部が広がり、放射性物質が外部に放出される可能性があることを想定しているのだろうか。

溝上: 開口については、「このくらいの力がかれば、このくらい開く」という考え方で評価すると、開かないという結論になってしまう。そこで、評価にあたっては、これ以上開いても結果が変わらないくらいの大きな穴を開け、そこから扇風機で空気の中に吹き込み、放射性物質がそのまま気体とともに出てくるような評価条件を設定した。

研究会: 圧力容器が下に落ちるという可能性は全く想定できないのか？

溝上: 事故後、ペDESTALが原子炉を支えていない可能性に懸念があったが、ミュオンの測定により、予測図と実測値が完全に一致し、原子炉とペDESTALが元の位置にあることが確認された。さきに話があった主蒸気配管だけで支えられている可能性があるという議論もあったので、配管系が追加的に結構な支持力を提供しており、これによってペDESTALも支えられていると思っていた。2022 年度 2023 年度に実施された実際の現地調査の結果が追加されることで、今すぐ倒れるような状況ではないとの結論に至り、個人的には安心できる状態になったと思う。

研究会: 実際にインナースカートの評価のときに腐食とか、そういうものはどこまで考慮されたか。1 号機において、いわゆる下の方まで落っこちて、かなり鉄筋も高温にさらされているので、その場合今のような評価だけでいいのか。

溝上: 今のインナースカートの評価では、劣化などはほとんど考慮されていない状態で、余裕があることが確認されている。一方で、劣化を無視することは問題だとの議論が存在する。しかし、機械的な劣化の程度については不確かさが大きく、厳密な評価が難しい。実物があるため、条件設定が過度に緩くならないように注意が必要で、条件を過度に厳しく設定すると最終的にはインナースカートが破損せずに残ることが不自然（評価が現実を否定する状態）となる可能性がある。そのため、現場の状況と機械的な劣化の評価には不確かさが大きいがゆえに、困難な課題となっている。現場からの情報によれば、鉄筋は高温（といっても程度の問題）にさらされている可能性が高いが、同時に鉄筋の表面には模様が残し、インナースカートには細い針金のようなフックが断面に残っているなど、あまり劣化しているようには見えない。一つには、事故後ずっと窒素を注入し、腐食しづらい環境で管理してきたことが効いていると思う。

研究会: しかし、1 号機、特に下部は、やはりそれなりの時間、高温にさらされている。このため、おそらく評価中にすべてを見て評価することはできなかったと思うので、その辺に弱いところがあるかどうかというのは問題になると思う。だから、体制として、例えばスカートが 10%、20%、30%弱くなったら、その弱くなったところまで耐えられるか評価する必要があると思う。

溝上: それは当然、評価していくことになると思う。何かが起こったとすると、現場での対応と将来の廃炉作業がより大変になるという点で非常に問題であり、最終的な廃炉遂行に向けてどの程度の評価と備えが必要かを検討する必要がある。現時点の評価では、劣化のない状態を 1 とした場合、地震などによる応力は 0.55 で、20%から 30%の劣化があっても評価上は問題ないというのは今の状況だ。

研究会: 1 号から 3 号で、条件が違うので、その評価も必要な気がする。

溝上: 1 号機と 2 号機、3 号機の事故進展を比較すると、最大の違いは 1 号機が長期間にわたって冷却水を供給できなかったことだ。1 号機は、津波による電源喪失から給水系の使用（3/23）に至るまで、

おそらく 10 日以上も冷却できない非常に厳しい熱的な状況に置かれた。このため、1 号機のペデスタル内には元々あった大きな構造物がほとんど存在しないと考えられ、これはその厳しい熱的な状況を反映していると思われる。一方、2 号機と 3 号機については、そこまで厳しい状況にはなかったと考えられる。堆積物の上にあるペデスタルの内壁の状況を見ると、2 号機と 3 号機は 1 号機とは異なる状況である可能性があり、各号機の特徴に合わせて工法などを考える必要があると思う。

研究会: デブリを取り出すときに外の作業員や中にいる人の被ばく防止が大事であるため、水の中で取り出すことをせざるを得ないと思うが、その辺はどう考えられたのか。

溝上: 水の中での取り出しが最も望ましい方法であることは議論の余地がないと思うが、具体的な方法を決定するには現実的な制約も考慮しなければならない。その点で、私はその決定を行う立場ではないため、原理的には水中での取り出しが望ましいとする立場だが、必ずしもそれが唯一の選択肢であるわけではないと思う。いずれにせよ散水を行うかどうかによってリスクが異なることも理解されており、リスクを考慮した上での判断が今後行われる。リスク性向によって、どの程度許容出来るか、出来ないか議論していければ良い。

研究会: リスクの強度や放射線の強さの図で、結構な量のプルトニウム 241 がある。これはアメリシウム 241 に変わり、半減期が 14 年ぐらいで、それより熱とか放射線が出て、それを考慮してあるかどうか気になる。

溝上: 全体的に、放射線量は単調に減少していることを確認している。ただし、アメリシウムの存在により、プールからの熱放射がわずかに上昇する現象がある。このグラフはベクレル単位で表現されており、放出エネルギーとの直接的な関係が明確でないことから、一部誤解を招く可能性があるかもしれない。

(注: 1 ベクレルは 1 秒間に 1 回崩壊するという単位だが、崩壊により発生する放射線の種類・エネルギー、そして放射性物質の状態(内部被ばく、外部被ばく、遮蔽の効果)によって健康影響は異なるので、その観点での比較には適さない。)

研究会: 最終的には安全宣言が出るのかどうかと、また、以前に 1F の一部の部材をそのまま保存するという提案に対して東電からそのような崩れやすいものを残すのかという逆質問があったが、今回の調査で保存の可能性も再び出てきているのかについて、不確かな話が進んでいるように感じた。したがって、これらの点について詳細を知りたいと思う。

溝上: 安全宣言というのは安全神話と一対一対応となりやすい。それを考えると発言がかなり難しいかもしれないが、現時点では倒壊や崩壊の兆候は見られなく、住民の方々は、もう 1 回避難する必要はないと思う。ただし、すべて見えているわけではなく、私たちがすべきことや評価の条件には限界がある。1F の事故を防げなかったことを認めるということは、「安全宣言があればその後は何もなくても良い」とは考えないということ、すなわち、今後の対策についても考えるべきだと考えている。

一方で、ずっと酸化しにくい状態のまま管理する可能性も考えられる。基本的に、私たちの考えは、廃炉作業によってリスクを軽減すること。そのまま放置すると、長期的には許容できないリスクが存在する可能性があるため、数年以内には崩壊しないと言っているが、200 年、300 年、500 年、または 1000 年のような長期的な視点で見ると、廃炉作業を行わない場合、リスクを軽減する観点からは異なる印象を持つかもしれない。

研究会: リスク管理のアプローチについて異なる関係者の方々との議論を促す場を作ることの重要性

が印象的だった。内部のことをおわかりになっている方として、どういう形でこの場を作ったらいいいと思われるか？

溝上:これまで事が決まってから一般の人に知らせるということがあったことも否めない。最初の一步としてはリスクとは何か、なぜ廃炉作業がリスクを増大させる可能性があるのかについて、一般の人々に理解を促す必要があるかもしれない。リスクの概念を理解し、トレードオフの議論をするためのプラットフォームがどこにあるかという点についての問いも出てくる。廃炉の先研究会がその役割を果たす可能性があるかもしれないが、未来像はまだ抽象的な概念であり、何かをすればどうなるのか、何かをしなければどのようなリスクが残るのかといったリスクトレードオフの議論は、ハードルが高いこともあって、なかなか難しいのではないと思う。

オブザーバー:リスクがどのぐらいの範囲にあるか、ALPS 処理水のように外交的な影響を及ぼすものなのか、それともあまり気にしなくてもいい程度なのか、そして何年ほどの猶予があるかについて、具体的な数字や指標はあるか？もう一つは何故コンクリートがもっと深くまで溶けなかったのか？

研究会:18 ページ目の図ではこの 1 号機のリスクは青い線で考えていたと思うが、今はオレンジの線が少し広がっている。そう考えると、確かにこれは廃炉作業で新たに手を加えることによるリスクだが、仮に手を加えないとしても、例えば地震が起きて 1 号機が何らかの形でずれた場合、リスクの大きさはどの程度になるのだろうか。

溝上:1 号機の確認後、青い線がこれまで考えていたよりも上にシフトしているのかについては、個人的にはほとんど変化がないと感じており、リスクはまだ十分に低減していないと考えている。制御されていない放射性物質が依然として主に格納容器内に存在しているので、現在の間接レベルである格納容器内には、まだ放射性物質が残存しており、その存在がリスクの主要因であるとされている。縦軸が人や環境への悪影響の程度や頻度というグラフに似つかわしくない定量的でないタイトルがついている通り定量的な評価は難しい。また、人的要因もリスク評価に大きな影響を与える。人的要因が増加するとリスクが上昇する可能性があることから、冷静に対処することが重要だと思う。

二番目の質問について、一つの可能性としては、TMI-2 号機の事故が過去に発生しており、その事故を中心に過酷事故の研究が実施されているが、BWR は PWR に比べると金属成分が他の成分に比べて多いという特徴がある。さらに熔融燃料が落下する際に途中で冷やされながら落ちる可能性がある。また、融点は混ざり具合によって変化するため、温度が比較的低く、燃料が大きく浸食されなかった可能性もある。しかし、これだけでは説明がつかないので、さらなる調査が必要であると思う。

オブザーバー:18 頁の図で説明されたことは大変重要。リスクは思ったより大きい面もあると感じる。そうしたことが十分社会に伝わっていないことは問題。もっと早い段階からそうしたことについて国民に説明があれば良かったと思う。

質問は頑丈な基礎マットコンクリートがあって、その上に圧力容器があるが、その間がどういう感じになっているのか。その下の基礎マットは、もっと強い材料でできていくのか。

溝上:間は鉄筋コンクリートで埋まっており、基礎マットは岩盤と一体化するような形で敷設されるコンクリートになっている。原子力発電所を建設する場合、基礎マット固めは岩盤の位置が問題となる。1F の場合、それが悪い方に出てしまった面がある。岩盤が露出するところまで、岩盤に向かって深く幌掘り進めなければならなかった。その結果、本来 30 数メートルの高さがあった 1F の敷地であるが、基礎の床固めのために掘削され、原子炉の 1 階の床があるところでは、10 メートルほどの高さしかなくなってしまった。

オブザーバー: インナースカートにかかる荷重がほとんど変わらないと述べられているが、インナースカートは通常、その上にあるペデスタルと連動して鉄筋コンクリートの荷重を伝える構造になっているとのことだが、コンクリートがなくなり、荷重が均等に伝わらない状況で何故荷重が変わらないと言われるのが理解できない、との疑問がある。

研究会: 鉄筋が通常の鉄筋コンクリートよりも高い密度であり、縦方向だけでなく横方向にも配置されており、土木技術者の視点から、これらの要素が適切に評価されているかどうかについて気になっている。特に、インナースカートとその周囲の鉄筋やコンクリートが、元々は面というか体積で支えていたが、現在は一部が失われている可能性があるため、その部分の荷重について十分な説明が提供されていないと、上部からの圧力によって崩壊する可能性があるとの懸念が示されている。

溝上: ペデスタルの開口部周辺では、明らかに空いた空間があるわけで、乗っている重さは同じだが、乗っている面積が減っているということは事実であると認識している。

研究会: インナースカートの上に鉄筋が乗っかっているというよりは、そのペデスタルの鉄筋の上の方で、コンクリートとしっかり接合していることかもあると思う。そのため、鉄筋コンクリートの専門家に、この部分の荷重がどのように支えられているかについて明確な説明を提供してもらう必要があるという感じがある。

溝上: 実は、インナースカートの下部と上部において鉄筋の配置が図面上で異なることがあり、両方を一体化することは非常に難しいようだ。現在、この問題について評価がバラバラのところがあるため、説明を聞いている側としてはストレスを感じる可能性があると思う。

オブザーバー: この下のベースマットから上まで、突き抜ける形でできているのか？ペデスタルの上に乗っかっている部分の材質の強度は検討されたのか。

溝上: 荷重としては、突き抜ける形で伝わるが、施工としては、格納容器に穴を開けるのではなく溶接でくっつけて、ただ荷重としては上から下までつなげる構造になっている。

その材質は、RPV スカートや鉄でできているものではある。もちろん、熱の影響があるかどうかという議論もあるが、今はそのデータを持っていない。

オブザーバー: 今日の資料は非常に勉強になったが、全部公開して見られるものとなっているのか。

オブザーバー: この資料は、6 月中旬に行われた福島県民会議において使用されたもので、参加者は一般の県民だった。しかし、この資料は一般の県民にとっても理解しにくいもので、不評だったので、資料をわかりやすくするためにイラストを使用し、県の事務局と相談した上で、次回の県民会議で説明し直す。また、一部の自治体には既にこの資料を使用して説明が行われて、資料はオープンで公開されている。

オブザーバー: 当事者以外も批判する、監視するだけではなくて、具体的な将来像を一緒に考えたいという話があったことは嬉しく感じる。ただその際の前提としては、知識量の差が重要であり、選んだり考えたりするには、材料がなければいけないので、説明責任は東電の側だったり専門家の側にあり、それをわかりやすく橋渡しするのはメディアの仕事と思う。

一つの質問は、例えば具体的な将来像を一緒に考える場合、政治家をもっと巻き込む必要があるのか、それともこの廃炉の先研究会が政策提言を出す必要があると思うのかなど、どのようなことをやったらよいのか。

溝上:科学は材料を出すことは出来るが、それで答えが出るわけではないという問題。現状では、我々は現場で懸命に頑張って提供すべき検討のための材料を作ってきたと思う。ただどのタイミングでそれを協議の俎上に乗せるのかという話も非常に難しい問題。規制庁の関係者は私たちの地方事務所を含め、すべての事務所に自由に出入りできる。私どもも、誰でもどこにでも行けるのであれば、そこまでの情報しか提供できませんと言う必要はないので、提供する情報を選別する必要はない。それができればとてももっとやりやすくなると思うが、現状ではなかなか難しい。具体的な提案をする前に、そこまでできればいいのだが。

オブザーバー:現場での作業の安全・安心を確保するために、モニタリングが必要になると思って、例えば格納容器の外側に地震計のような機器を設置し、格納容器の固有振動数を常時監視できるようにする。このような振動の実測作業が現場で行われているのかどうか、お聞かせ願いたい。

溝上:地震計を設置し、データを収集していることは知っているが、どのようにデータを収集しているのかは把握できない。

オブザーバー:多分大きな地震のときだけ見ようという感じだと思うが。それより、微妙な変化を検知するなど、さまざまなタイプのモニタリングができれば、状況が変化したときに現場での対応に役立つのではないかと考えた。最近、通常の地震計は、放射線の影響が大きい原子炉の中であまり機能しない場合があるが、最近光のセンシング技術などが進歩していて、こうした技術を活用して安全性を向上させるのがいいと思う。

研究会代表・松岡のお礼と感想メール(2023/7/25)

1. 溝上さんから大変詳しくかつとても分かりやすい「1F・1号機の内部調査結果の見方」の説明があり、1号機の耐震評価のポイントがよく分かりました。当然ながら、まだ不明な点は多々あるのですが、溝上さんらしい大変バランスの取れた（でも、ちょっとだけ溝上さんなりに妙にこだわった）説明で、とても良い議論ができました。溝上さんには心より感謝申し上げます。

なお、概略資料のスライド3「原子炉压力容器を支える構造」は、元早大競走部・岡崎さんの渾身の力作で、とても分かりやすい資料でした（岡崎さん、good job!）。

2. 昨日は、スライド18の「廃炉管理におけるリスク管理のイメージ」をめぐって、溝上さん、森口さん、宇野さん、島田さんから議論がありました。この図は、1F廃炉事業の現状と将来像を考える際の基本となる図です。

この図をイメージ図に留めるのではなく、2号機・3号機のシールドプラグの高濃度汚染や1号機のペDESTAL調査などの事故調査および廃炉作業の進捗を踏まえ、（1）リスク特定とリスク評価の基準、（2）リスク管理の手法とその評価、（3）リスク・コミュニケーションの方法と実践、というリスク・マネジメントの3つの要素について、技術的側面だけでなく、社会的側面（費用評価なども含め）も含め、地域社会と議論をし、具体化することが必要です。

どのように具体的で分かりやすい1F廃炉事業のリスク管理図を作成するのかについては、1F廃炉の先研究会でも引き続き議論していきますが、地域社会、国・東電、専門家が集う1F地域塾でも、是非、議論したいと考えています。

以上