

令和元年度 第2回福島第一原子力発電所廃止措置に向けた地盤工学的新技术と  
人材育成に関する検討委員会  
(略称：廃炉地盤工学委員会)

議事録

日時 : 2019年10月28日(月) 15:00~17:15

場所 : 地盤工学会・JGS会館 地下一階会議室

配布資料 :

配布資料 01\_議事次第

配布資料 02-1\_前回議事録確認

配布資料 02-2\_令和元年度 第1回 廃炉地盤工学委員会 議事録(案)

配布資料 03\_国際廃炉研究開発機構(IRID)における1F廃炉技術開発の状況

配布資料 05-1\_「福島委第一原子力発電所の廃止措置への貢献を目指す『廃炉地盤工学』」に  
関する講習会プログラム

配布資料 05-2\_現場実験から把握する地下水の実流速(その3)報告

議事内容:(敬称略)

#### 1. 委員長挨拶(委員長代理/小峯座長)

挨拶では、アジア会議(台湾)でのエナジージオテクニクス(地中熱関連)に関する話題、各国の1Fや放射性廃棄物処分に関する関心度などに関する状況報告のほか、学術分野としての技術開発や当該プロジェクトの研究開発成果の発信などの必要性が訴えられた。また、本日の講演からできる事を考えるのではなく、全体を見て土木・地盤工学の観点からやるべき事項を考えるきっかけにして頂きたい旨、話があった。

#### 2. 前回議事録確認

前回の議事内容の概略について説明が行われ、了承を得た。

#### 3. 国際廃炉研究開発機構(IRID)における1F廃炉技術開発の状況

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID) / 奥住 開発計画部長(専門:機械工学)より、「国際廃炉研究開発機構(IRID)における1F廃炉技術開発の状況」と題した講演が行われた。

講演では、最初にIRIDについての紹介(ビデオ上映)や日本で主に使用されている軽水炉に分類される沸騰水型・加圧水型の原子力発電所それぞれの構造や原理、沸騰型原子炉のタイプの違い等が説明された後、これまでの研究開発状況(研究開発マップ)の概要が紹介された。

その後、本題となる格納容器(PCV)内の内部調査により明らかとなってきた燃料デブリの状況について、これまでの調査・研究開発の経緯も混じえながら説明されると共に、研究・開発が進められている様々な機器を使用した格納容器内の内部調査計画、圧力容器内の調査計画、デブリ取り出しに関わる機構的な開発の状況、取り出したデブリの収納缶などについて、詳細な説明が

行われた。(本講演の詳細については、配布資料を参照のこと。)

以下に主な質疑応答を取りまとめる。(以下、敬称略)

- ・計測機械等で使用している基盤・チップの耐放射線性について、何か特別なものを使用しているのか。(末岡／キタック)

⇒使用しているチップは、普通の CCD や CMOS センサなどで使用されているもので、スマホで使用されているものと大差ないものである。これは、今の調査は長くても 1 週間程度であり、これくらいであれば従来品でも数 100Gy は保つので問題となっていない。(IRID／奥住)

⇒問題はこれから長期間を要することが想定される取り出しであり、それなりの画像がないと作業ができない。工業的に入手可能なものに適したものはないが、一方で費用を出せば宇宙用に使用するチップなどがあるほか、浜松ホトニクス(株)が国の補助金を使用して耐放射線性の高い撮像装置(但し、チップではなく真空管方式のコンパクトなテレビカメラのようなもの)の開発を進めているといった情報もある。このような耐放射線性に優れたものが手に入れば使用したいが、現状は 1 週間程度で交換することを想定した設計としている。また、計測機械は 3 社がそれぞれ開発を進めているが、カメラの部分を通仕様とするなどの議論も進めている。(IRID／奥住)

- ・ハンマ打音法や加速度計など、簡単な仕組みで代替特性から強度特性を求めるような調査方法の検討はしているのか。(山田／安藤ハザマ)

⇒近いものとして超音波を使用した装置(ボート型アクセス装置:ROV-C)についてモックアップ試験を進めている。また、ペDESTALについて、映像からは損傷等は認められないが、燃料デブリの熱影響・熱的浸食等は全く分かっていないので、健全性を把握するために加速度計や音(超音波)を使用した調査を行うかもしれない。(IRID／奥住)

- ・我々が懸念しているのは燃料デブリ(放射性廃棄物)の量である。仕分けの話があったが、土木工事で鉄板に付着したコンクリートをケレン作業で分離するように、鋼材に付着したデブリを分離・仕分けするようなことはできないのか。(後藤／早稲田大学)

⇒仕分けはやりたいと考えている。ただ、格納容器内の金属のグレーチングには何かが付着しているが、その何かが判明していない。この何かが再臨界を起こすかどうかは我々の最大の関心事であり、再臨界しないことが確認できれば高レベル放射性廃棄物として処分できるのだが、その証明が困難なので全てデブリとして評価している。TMI では仕分けが行われたが 1F のような状況に陥っておらず、また、取り出したデブリも 100 数十トンであった。1F ではこの 7~8 倍の量を扱うことになるため、JAEA などでも仕分けに関する研究開発が進められているが、難しい状況である。(IRID／奥住)

- ・収納・移送・保管技術は、それまで説明のあったデブリ取り出し技術等と比べてレベルが異なっている。これは燃料デブリを動かすことの困難さに起因したもので、現在はできることから技術開発を進めている状況と理解している。TMI でも燃料デブリ取り出しに 30 年を要したのに、今の技術開発レベルにおいて 50 年程度で完了させるのは難しく、このような状況を踏まえると、チェルノブイリの石棺のように原位置で保管することが正解ではないかとも考えている。地元の問題はあるが、どうすれば安全かという発想から技術開発を進めた方が現実

的であるように思うが、このような動きはもう一切できないのか。(嘉門)

⇒これは技術の問題というよりも社会的な問題になると思う。現在は工学的に管理された状態にあるとは言い難いと認識しているため、我々はデブリを取り出して工学的に管理できる状態に持っていきたいと考えている。但し、全てできるかという点、個人的な意見ではあるが、確かに難しい部分もあり、指摘された方法も選択肢としてはあり得ると思うが、今は工学的に安定状態にもっていくことを至上命題と捉え、技術開発を進めている。(IRID/奥住)

・安定した状態にもっていくのは重要だが、収納缶に収めることで放射性廃棄物を分散させるリスクもある。何が最適かという方向性から、組織全体が協力して、このような考え方を醸成していくことが、将来の安定的な廃炉の技術開発につながるような気がしている。(嘉門)

⇒資料で述べている保管とは一時的なもので、この先の処分については全く手が付けられていない。使用済燃料については、六ヶ所で再処理し、ガラス固化体にして地層処分というストーリーが定まっているが、処分場については何も決まっていない。さらに、使用済燃料とは異なって、燃料デブリには塩分や不純物などが混入しているが、処理に際して何が起こるか等については、全くの手つかずであるのが現状である。(IRID/奥住)

・デブリを取り出した時の大きさについて、そのまま保管できない理由を教えてください。(渡邊/電中研)

⇒デブリ取出し時に気を付けるべき事項として、臨界(含まれる核分裂物質：ウラン・プルトニウム等による再臨界)と水素の問題(放射線分解に伴い発生)がある。後者については、可能な限りで燃料デブリを乾燥させて水分をとばした状態で保管する計画としている。臨界については内径を22cm<sup>\*</sup>とすることで物理的に臨界が生じないことが分かっているため、形状的に安全性を担保しようとしている。(IRID/奥住)

・今、再臨界が生じていない状況で、この環境を収納・保管段階でも維持できれば再臨界しないのではないかと。(渡邊/電中研)

⇒仰るとおりだが、切断せずに収納缶に入れることは、収納効率の問題(収納管の数が大幅に増加)がある。(IRID/奥住)

・石棺が許されないのであれば、レイアウトはほぼそのままの状態での別の場所で保管することはできないのか。(渡邊/電中研)

⇒ペDESTALの底をそのまま何処かへ移送するイメージを例にとると、発想としてあり得ないが、直感的に大変であるように感じる。高線量環境下で、人間界と隔離した状態を保ちつつ取り出し作業を行い、大きな容器等に保管するような方法は考えたことはない。(IRID/奥住)

※TMIにおける方法(高濃縮度ペレットでも未臨界の維持が可能であることを確認)に準じて、収納缶の内径を220mmと設定。出典：燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発(平成29年3月)

・収納缶の内径の話があったが、長さは幾らでもよいのか。(阿部/オリエンタル白石)

⇒物理的に球体として直径20cm以下であれば臨界は起きないので、縦方向にいくら積んでも大丈夫である。但し、横方向に詰めて配置すると問題になるので、一定の間隔で保管するイメージとなる。(IRID/奥住)

・長さが問題ないのであれば、径20cmのボーリングによりコアリングするのが一番効率的では

ないか。ボーリング作業におけるケーシングそのものをパッケージングするような方法等もあるのではないか。(阿部／オリエンタル白石・小峯／早稲田大)

⇒面白いアイデアであるが、正直そこまで考えが及んでいない。(IRID／奥住)

- ・1号機で一部燃料デブリがペDESTAL開口部から流れ出し高放射線環境となっているとの話があったが、そのような隙間があるのであれば放射線の遮蔽性を有する超重泥水を流入するようなアプローチによって、多少は線量を低減させることができるのではないか。(小峯／早稲田大)

⇒ペDESTAL底部にはCRD※メンテナンス時の水を回収するためのサンプルピットがあり、燃料デブリが流入しているものと考えられるが、完全に密閉されている訳ではない。(IRID／奥住)

※CRD (Control Rod Drive) : 制御棒駆動機構

- ・トンネルを送り出す技術や密閉された函(セル)を構築する話があったが、類似した技術としてケーソン技術もある。また、デブリ取り出し時の安全確保のための2次バウンダリ構築に際して、ダストの飛散防止として覆土する方法もある。このように躯体の周りを覆土しながら作業することで、安全性を更に高めることができる。45m×45mであれば技術的にも可能である。(小峯／早稲田大)

⇒(そのような方法も)確かにあるかも知れない。但し、暫くは周りでの作業が続くという話もある。(IRID／奥住)

- ・最初からの話ではなく、土はコンクリートと異なり運び出しも可能である。水防(河川堤防)で使用する土嚢になぜ優位性があるのかというと、土(粒状体)は袋に入れ、拘束することで固くなり、用済みになるとそこから出せばよいので、作業性に優れている。廃炉地盤工学に地盤材料学という言葉があるのは、土は材料としても使用することができるためである。このような観点から、引き続き情報交換を進めれば、我々がやるべき事項を考えることもでき、施工に精通した技術者も多数いることから協働できるのではないかと思う。(小峯／早稲田大)

⇒IRIDが設立された理由のひとつに、原子力分野だけの人間で進めてきた事が1Fの事故を引き起こしたのかもしれないという反省がある。また、これだけの事態を収束するには我々の知恵だけでは無理で、ミュオンのようにいろいろな方からの知見を得て進めていく必要がある。これからも引き続きお願いしたい。(IRID／奥住)

- ・私自身は高レベル放射性廃棄物など色々関わってきたが、炉物理は専門でないことから遠ざけていたが、本プロジェクトをきっかけとして勉強していくと、我々がやるべき事にはこのような炉物理に関連した事もあるのではないかと思うようになってきた。学問的にも意味があることなので、引き続きお願いしたい。(小峯／早稲田大)

#### 4. 地盤工学会誌・廃炉地盤工学特集号の紹介

地盤工学会誌10月号の廃炉地盤工学特集号に関する紹介が行われた。(会誌については会場内で回覧。)

## 5. その他関連事業

廃炉地盤工学委員会の活動予定・報告として、次回の廃炉地盤工学委員会が2020年3月開催予定であること、12月開催予定の廃炉地盤工学講習会のプログラム紹介並びに参加要請、及び10月に開催された地下水講習会の報告が行われた。

以上

### <補足事項>

- ・ 原子力発電の基本的な原理は、ウランに中性子（3つ）がぶつかって核分裂が生じ、熱と中性子が出てくる。
- ・ この中性子を次の核分裂に使用する（連鎖反応）。
- ・ 中性子を次の核分裂に導くためには減速させる必要がある。
- ・ この減速材に使用する材料で原子炉のタイプが異なり、チェルノブイリでは黒鉛を使用（火災に難あり）していたが、軽水炉では発生した熱の輸送にも減速にも水（中性子が水にぶつかり、エネルギーを消費することで減速。）を使用している。
- ・ 沸騰水型の場合、泡（ボイド）が生じるがボイドが発生する箇所は水の密度が小さくなるため中性子が減速しない。
- ・ 設計にはこの沸騰現象の解明が必要であったが、これを解明し、原子炉を設計・開発したのが GE である。
- ・ BWR のタイプ（BWR1～6、ABWR）の変遷は循環系の仕組みの違い（出力制御に影響）、格納容器（PCV：マーク1～2）の違いである。
- ・ 沸騰水型（GE 開発）：東芝、日立 GE  
格納容器内（S/C）に水を入れている（GE 特許）が、これは格納容器内での再循環装置につながるパイプのギロチン破断事故（DBM：Design Basis Accident 設計基準事故）を想定。格納容器をコンパクト化。
- ・ 加圧水型（Westing House 開発／世界の軽水炉のうち7割）：三菱重工  
水じゃなく氷を使用しているらしい。
- ・ CRD（Control Rod Drive）：制御棒駆動機構
- ・ X6 ペネトレーション（貫通部：内径 50）：ペDESTALへ続く CRD のメンテナンス用レールの貫通部
- ・ 1号機：一部は X6 ペネ周辺に燃料デブリが広がっている恐れがあり、線量が高いため、ここを使用せず反対側のガイドパイプを経由して、グレーチング上を走行するロボットを使用し、ウインチより下部を調査。
- ・ エアロックに貫通孔製作中、ウォータージェット使用。ダストが舞い上がることが問題（基準の 1/10 を超過した時点で一度中断）
- ・ 設計が古いため、2～3号機と比べて耐荷重が劣る。
- ・ 2号機：燃料集合体の吊り下げようハンドルが、格納容器底部で確認。  
アーム型のアクセス装置を製作中、ベースは英国製。
- ・ 3号機：堆積物の中に、制御棒駆動機構に設置された落下傘（落下速度の抑制）を確認。これは、圧力容器このサイズが通過できるような穴が開いているものと想定される。
- ・ 戦略プラン 2019 では、初号機として 2号機を推奨。
- ・ ペDESTAL内にはサンプルピットが設置されており、ここにも燃料デブリが流れ込んでいるものと推察。
- ・ 収納缶（薄いステンレス）の内径 20cm → 直径 20cm の球体は物理的に核分裂が行わないとのこと。  
⇒ TMI2 の方法に準じた手法（高濃縮度ペレットでも未臨界維持可能）／内径 220mm：燃料デブリ  
収納・移送・保管技術の開発（平成 29 年 3 月）より