

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発計画と
基盤研究に関するワークショップ第4回（東北・北海道地域）の概要について（案）

1. 開催日時 2013年11月20日（水）
2. 場所 東北大学青葉山キャンパス 工学研究科・工学部 中央棟2階大会議室
3. テーマ 燃料デブリ取出に向けた格納容器・建屋等の健全性・信頼性確保、
および 放射性廃棄物の性状と処分に向けての基盤研究

4. ワークショップの概要

(1) 挨拶

- (ア) 文部科学省研究開発局原子力課放射性廃棄物企画室 室長 西田 亮三
(イ) 国際廃炉研究開発機構 副理事長 劔田 裕史

(2) 文科省平成26年度以降の事業説明

文部科学省放射性廃棄物企画室 笠島 宗憲

(3) ワークショップの主旨説明

東京大学大学院工学系研究科教授田中知氏（原安協 廃炉対策検討専門委員会委員長）
廃炉をしっかり進めていくには様々なやるべきことがある。それは現在行っている研究だけでは済まない。基礎研究と研究開発とをマッチングさせていく必要もある。今日は具体的な議論を実施したい。それをまとめて専門委員会において議論し、それを受けて平成26年度以降の文科省の事業に繋げていきたい。

(4) セッション1「中長期ロードマップ/研究開発計画における具体的課題」

モデレータ 東北大学理事(震災復興推進担当) 原 信義氏

①廃炉に向けた中長期ロードマップについて

資源エネルギー庁原子力政策課原子力政策担当企画官 杉本 孝信氏

②研究開発における具体的課題

国際廃炉研究開発機構 理事 及川 清志氏

各分野における研究開発課題と基礎研究ニーズ例の紹介が行われた。

③質疑応答

Q 地域住民の合意を得ることは重要である。リスコミは日本国民にはなじまない面がある。

A: リスコミはこれから取り組むつもりである。なおリスコミ自体が研究テーマかもしれない。

A: これからリスコミも重要テーマとして進めていく必要がある。

Q: コンクリ建屋はあと何年くらい持たす必要があるのか。

A: デブリ取り出しまでとなる。また今後、地震や津波の新基準を福島にどうするかも課題。

Q: 遠隔装置を活用しないと被曝は莫大になる可能性がある。今後30-40年となると現在あるものの老朽化や修繕も遠隔が必要かもしれない。そのことと遠隔とのコラボは念頭におかなくてはいけない。またそういうシナリオ・体制を検討する必要がある。

A: 専門部会の合流を考えている（1月ころ）。作業員数の限界もありいろいろ考えていきたい。

A: 文科省も平成26年度以降のテーマのひとつと考えている。また、エネ庁予算で JAEA がモックアップ施設を計画中でありその利用を考える必要がある。

Q：現場での遠隔装置は主要メーカーが種々研究開発、また実用化を進めている。しかし大学の基盤研究はうまくコミットできていない。単なる物作りでは対応できないので、今後30-40年を考えると大学をどう組み入れいくか、研究所をどう組み入れていくかを考える必要がある。

A：大学生に対していいモチベーションがわくような今後の展開を期待したい。

A：平成26年度からの「人材育成プログラム」は将来的な就職や社会人として繋げられるように検討し、そのような制度設計を実施していく。

O：研究のマッチングは本質的に難しい。初めからマッチングを念頭におくというよりかは、もしかしたら廃炉に関係してくるかなという考えで進めることが良いかもしれない。

(5) セッション2「燃料取り出し・廃炉に向けた格納容器・建屋等の健全性・信頼性確保」

東北大学大学院工学研究科教授 渡邊 豊氏

①研究開発課題と基盤研究への具体的ニーズ

国際廃炉研究開発機構研究推進部部长 鈴木 俊一氏

デブリ取り出しまでの長期期間中にわたって建屋等が健全であることの重要性、課題、さらに海水注入やダム水注入による腐食、今後想定される地震の影響（構造物の変形まで許すかどうか）、PCV止水後PCV内水張りによる水荷重の影響、検査・補修が高線量で困難なこと、などが紹介・説明された。

・SFP（使用済み燃料冷却プール）

当初ダムから注水したため微生物の繁殖などを懸念した。TMIも同様のことがありサスケハナ川から入れたためRVの中に藻がいっぱい存在し撤去に1年くらいかかった。また燃料ラックにアルミを使用していることからアルカリは避ける必要がある。コンクリ瓦礫がプール内に落下し3号炉などはPH11.1までになった（2011年5月8日）が、ボロンを入れてPHを下げた。現在時間をかけて脱酸素作業をすすめており、腐食対策ができている。

・RB

コンクリート強度はシュミット・ハンマーで確認できることを4号炉で確認したが、線量の高い1, 2, 3号炉で遠隔で可能かどうかは課題である。PCVやRPVのスタビライザー、サプレッションのコラム・サポート、RPVのスカートやボルト、ペDESTAL、建屋間の漏洩などは検討事項。

RPVペDESTALは高温にさらされ海水にさらされたがその後の水没で再水和反応が起きかなり強度が戻っていると考えられる。いずれにしても加熱された後に水で急冷されたコンクリの評価は必要である。

まとめとして、全体として遠隔の非破壊検査技術が必要である。

また、いずれの廃炉作業においても

・遠隔化

・投入した機材などは全て廃棄物になる

という観点から全体的に検討していくことが必要である。

②関連基盤研究紹介

1) 鉄鋼材料の腐食寿命予測のための基礎研究

東北大学大学院工学研究科准教授 武藤泉氏

すきま腐食の分布の可視化について説明がなされた。海水中における金属の隙間部分には濃い塩酸が発生しすきま腐食を起こす。このため、すきま腐食を停止させることを研究中である。ただし深いすきまについてはその進行を停止させるのは困難であると見られるため、最大の予測深さを推定する方法を検討している。

また、極値統計を用いて孔食の成長挙動の解析を行っており、全面腐食とピッチングの進行とを見分けられる期待がある。

2) 建築構造体の性能評価とコンクリートのひび割れ幅

北海道大学大学院工学研究院准教授 西村 康志郎氏

劣化診断によりひび割れ巾と、実際の被災度の判定との関係について説明がなされた。またガンマ線を用いた遮蔽実験（コバルト-60を線源）による透過率比較からの評価について、また、中性子透過試験について説明された（日本建築学会に発表）。コンクリ・鉄筋間の付着力は重要なデータであるが、張力をかける鉄筋表面にひずみゲージを貼付するとその部分の付着が利かなくなるため、中性子回析法による検査を実施したデータが示された。

3) 未踏テラヘルツ波による構造物の非破壊欠陥探傷

東北大学大学院工学研究科教授 小山裕氏

本来は半導体デバイスの研究であるが、それを非破壊検査に適用した例が紹介された。未踏テラヘルツとは数100から数1000GHz帯の電磁波で、光の直進性を持ちつつコンクリートの透過性もでてくる帯域波である。この波動で判定できるものとしては、コンクリート内へ浸入する水、コンクリート内の空洞・異物、かぶりが30cm程度までのコンクリート内の鉄筋の腐食などがあり、透過法だけでなく反射法も可能である。

また、高分子材料で包まれた金属も内部の金属の腐食も判断可能で、絶縁被覆のなかの銅線・吊り橋のケーブルなどに応用されている。

③パネルディスカッションおよび質疑応答

モデレータ 東北大学大学院工学研究科教授 渡邊豊氏

<パネリスト>

- | | |
|-----------------------|--------|
| ・東北大学工学研究科准教授 | 武藤 泉 |
| ・日本原子力研究開発機構副部門長 | 山本 正弘 |
| ・北海道大学大学院工学研究院准教授 | 西村 康志郎 |
| ・東北大学工学研究科教授 | 小山 裕 |
| ・東北大学未来科学技術共同研究センター教授 | 庄子 哲雄 |
| ・国際廃炉研究開発機構研究推進部部長 | 鈴木 俊一 |

1. 確保すべき健全性

Q: 2の矢がだせるような巾ひろい検討が必要で、例えば、水張りの場合と水無しの場合などである。

A: 妥協型だけでなく、理想型があればそれを示す必要がある。

○: エンドステートを考える、ということが大切。プラントをどういう状態にもっていくのがいいか、それから遡って現在どうあるべきかを考えることが必要である。

英国での経験からの示唆では、第一に廃棄物を減らすこと、それからそのためにはどういう作業をすればいいのか、そう考えると壊しすぎないことが重要になる（建屋を遮蔽に使っていくなど）。

また、水は最小限の量で健全性を保ち、そして将来的には空冷を視野に入れる必要がある。しかし線量が高く気中での技術はハードルが高い。

想定される今後の姿から現状を考える、ということと、今までの経験から考える、ということとを合わせて実施するべきである。

2. 長期健全性を保証するためのキー事象と必要な技術

Q: 腐食に係る今後のシミュレーションはどうか？

A: 腐食寿命予測は10年までがせいぜいである。見ることができ比較できて初めて予測が確認される。これまで腐食は主に発生に注目していた。今回のような、発生した腐食をどうするかとか、腐食を停止させる技術は経験したことがなく発想の転換が必要である。

また、ホウ素を添加したことで局部腐食が加速する懸念がある。

A: コンクリートは目視が基本だった。それができないとハードルは高い。目視においては地震時の最大変形が注目点だが、それをひび割れで間接的に見ている。

タイムスパンが30年40年となると今使っている補修材の劣化も考えるべきである。このように、どのくらいのタイムスパンかは検討を進める上で大切な指標である。

A: 予測の難しさが存在する。実験室レベルでは実機を推定できない。

○: 腐食の程度・進行度を定量的に示すことが重要である。

○: 一番必要なことは線量の高いなかでの作業である。

○: ニーズに関しオンサイトラボである程度選別した後で、研究者に提示するというワンクッションがあるとうまく進むと考えられる。

○: 他産業から多くの技術提案をもらっている。一番よかったのは「災害用ロボット」で、大学のロボットを多く現場に投入した。更に大学の先生・学生が改良を進めることでモチベーションが上がった。JAEAが2拠点を作りつつあるが、分析センターは正にオンサイトラボである。

3. 長期健全性のための重要なコンセプト—予見的対応とか総合的リスク管理

○: 「サプライズ」を無くするのが基本的なコンセプトである。いかに予見するか。そのためには英知をあつめ構造的に、また系統的に気づくことにより網羅性を高める必要がある。シーケンシャルな劣化もあり、劣化が劣化をよぶというようなことが生じる。

4. 成功させるための連携と人材育成

○: 広範囲な知識が要求される。学生にはそういう教育が必要である。

(6) セッション3 「放射性廃棄物処理処分 放射性廃棄物の性状と処分に向けての基盤研究」

モデレータ 東北大学大学院工学研究科教授 新堀 雄一氏

①研究開発課題と基盤研究への具体的ニーズ

国際廃炉研究開発機構研究推進部副部長 石川 真澄氏

従来の廃炉の考えでは、主蒸気管は内側除染できるのでPCVの中、約1万立方mが放射性廃棄物で、原子炉建屋のほとんどは放射性廃棄物とは扱われないものだった。通常の1号炉から6号炉までの廃炉時の放射性廃棄物総量が既に今あるガレキ6.5万立方mと同じくらいである。また、炉心燃料が燃料集合体としては取り出せないためインベントリとなってしまった。燃料デブリ取り出し後の廃炉のシナリオをどうするかで総廃棄物量は変化する。社会の受容にかかわる長期的事業であり、合意形成が必須である。

大學での研究活動から実業界や、研究機関に至る人材育成の仕組みの構築が重要である。

②関連基盤研究紹介

1) 燃料デブリの性状評価と処理に関する基礎研究

東北大学多元物質科学研究所教授 佐藤 修彰氏

ウランは酸化しやすく酸化が進むことで体積が膨張しその結果粉体化しやすく、微粉化する強い傾向がある。

2) 汚染水中での核分裂生成物やMAの挙動に関する基礎研究

東北大学多元物質科学研究所准教授 桐島 陽氏

汚染水中での各種挙動について、海水注入時に起こりえた溶出挙動、福島港内のストロンチウムの挙動などが説明された。

港内ではイオンかコロイド、おそらく微粒子、ナノコロイドにストロンチウムは付着しているように推測される。

3) 新たな廃棄物の保管と処分に関する基礎的研究

北海道大学大学院工学研究院教授 佐藤 努氏

いままで経験のない新たな廃棄物が作られている。水処理は下流工程の処理や処分を考えつつ実施することが必要である。シアン化物、プルシアンブルーは地中に普通にいる微生物で容易に分解されるので注意が必要である（実験して確認されている）。

共沈現象では何でもとれ、取りたい対象以外の核種（様々な放射線を出す長半減期や短半減期の核種）もとれてしまうが、処分の安全評価上非常に取り扱いにくい廃棄物を作ってしまうことになる。また自然にも鉄共沈過程は様々なところで観察され、1万8千年経過してもヒ素が取り込まれたままである等の知見もある。言わば自然は非常にうまくやっており、そのような地球化学的な知見や鉱山廃水処理の経験は、今回の廃棄物の処理・処分に貢献するであろう。

③パネルディスカッションおよび質疑応答

モデレータ 東北大学大学院工学研究科教授 新堀 雄一氏

<パネリスト>

- ・東北大学大学院工学研究科教授 高橋 信
- ・北海道大学大学院工学研究院教授 佐藤 努

- | | |
|-------------------|-------|
| ・東北大学多元物質科学研究所教授 | 佐藤 修彰 |
| ・東北大学多元物質科学研究所准教授 | 桐島 陽 |
| ・国際廃炉研究開発機構 | 石川 真澄 |
| ・国際廃炉研究開発機構 | 宮本 泰明 |

○：大規模システムの合意形成なので、もう少し包括的な視野から進めるといいと思われる。

Q：廃棄物ではかなりの課題が挙げられており、全て検討してからではうまくいかない。総合戦略を早めに策定する必要がある。

A：総合戦略は2017年に概略をまとめる予定である。水処理は早めに2014年までに策定される。

Q：とにかく量が多いので、ロバストな研究開発が必要になるとと思われる。

A：2014年より具体的なまとめて計画を立て、2017-2018に減容できるようなものにしていく方針である。

Q：これまでにないような廃棄物がでているので、積極的に提案していくべきと考える。

A：方針は体系的にまず骨格を作成し、その後規制に提案していくこととなる。2017-2018という時期も早めるべきと思われる。

Q：外からみていると、一般の人にどう伝えていくかについて正直他人事に見える。

自分みずからがどう伝えるかを考えるべきで、自分の言葉で説明できることが大切と思われる。

A：使っている言葉もわかりづらいことは承知している。

○：努力のポジティブ面が伝わらず、ネガティブ面のみ伝わっている。

○：処分はどのような形なら受け入れてくれるのか、をまず考えるべきで、ものの進め方は技術面だけからでは明らかに不十分と考えられる。

○：FPやMAがどこにどのくらいあるかが従来と一番異なっている。

- ・ガンマ線で調べるとある程度わかる
- ・MAはアルファ線で調べるといいが分析施設は少ない
- ・ベータ線は補完的な方法である

○：制度的な問題が存在しており、デブリは外へ出すともう戻せない。従って分析できる所に輸送することができないでいる。

○：問題は2つ存在する。計量管理上・・MBA物質収支区域の問題で、戻すとき原子炉に戻せないのどうするか。2つめは輸送そのもの・・容器（B型）の取り合いが微妙な点である。

A：分析研究施設は1F内もしくは隣接地での建設を計画している。

Q：分析は使いやすい仕組みにする必要がある。

Q：アレバ製作のセシウム吸着装置の情報が不明で公開してくれると研究も進む。

Q：「分析の内容の説明」だけでなく「なぜ分析をする必要があるのか」の説明が必要である。

要は言葉の説明で、例えば「デブリ」でなく「渾然一体としたもの」というような説明があげられる。

Q：今後は既存の処分形態以外も考えていかないといけない。いずれにせよ処理・処分には課題が多い。人材育成も含め、段階的な課題解決が必要となる。

- ：放射化学分野の人が育っていない。もはや存続の危機である。
- ：アルファ線を教える人がいない。設備もなく、これから先は深刻な問題である。
- ：JAEAの職員は高齢化しており、今後10年のオーダーで激減の可能性がある。
- ：大学レベルの人材でなく、それ以前に入学志望者の減少が問題である。また小中高で非常にネガティブな教科書が使われているのが現状で、もっと中高でしっかり教育を行う必要がある。
- ：「資源工学」のカリキュラムをトータルに学ぶ学生を輩出できるのは、全国的にもいまや4大学のみとなってしまった。日本の鉱山が休廃止鉱山となってしまったために国策として減らされていった経緯がある。「原子力工学」も現状を鑑みるとそうならないとは言えない状況である。廃炉に際しては様々な分野から若い人の参入が必要と考える。人材が欲しいと考えている人たちが、もっと熱意をもって若人に訴えていかなければ、志の高い若人が集まらないことになってしまう。それが廃炉作業にとって最も深刻なことと考える。
- ：核種かRIかによって扱いがちがう。しかし、核種を扱うところはRIを実施しておらず、その逆もまた同じである。扱えるところは本当に減ってきた。
- A：平成26年度において中長期でどのような人材が必要か考えていく。人材育成のためには、継続的に事業を続けられるようにしていく必要がある。

(7) セッション4 まとめ

総括および挨拶 が東京大学大学院工学系研究科教授 田中知氏

以下の指摘がなされた。

- ①多くの専門家の先生がいるのでうまく予感がする。廃炉を進めていくなかでチェックしていくことも大事。
- ②腐食については、機械、材料、化学の専門家も参加することが必要である。
- ③廃棄物関係のワークショップは3回実施し、かなりの進歩をみた。遠隔操作・分析関係をもっと進める必要がある。日本化学会や放射化学会との連携も考えていく必要がある。
- ④分析セ研究施設、モックアップ施設のように必要なものは建設し、今後の人材育成に生かすことが重要である。
- ⑤研究課題提案のアンケートは多く期待し、平成26年度のプロジェクトに反映させていくことになる。

以上

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発計画と
基盤研究に関するワークショップ第5回（関東地域－2）の概要について（案）

1. 開催日時 2013年11月26日
2. 開催場所 東京大学武田先端知ビル
3. テーマ 燃料デブリ取りだしに向けた遠隔操作等機器・装置開発、情報可視化
4. ワークショップの概要

(1) 挨拶

(ア) 文部科学省研究開発局原子力課放射性廃棄物企画室 室長補佐 臼井 暁子氏

文部科学省より、本ワークショップの主旨は、来年度から開始予定の事業に向けた、廃炉現場のニーズと大学側が提供できるシーズのマッチングの場であるとの説明が挨拶と共にあった。

(イ) 国際廃炉研究開発機構 副理事長 新井 民夫氏

福島は未知の領域が多くその中で遠隔は必須の技術との説明があった。厳しいリアルタイムでの作業が要求される複雑なもので、ロボット工学にとってきわめてチャレンジングな分野であるとされた。

(2) 本ワークショップの主旨 東京大学大学院工学系研究科教授 田中知氏（原安協 廃炉対策検討専門委員会委員長）

研究開発と大学の基礎基盤研究をどうマッチングさせるか。その準備段階としてWSを開催してマッチングに向けて議論を行うことが主旨である。マッチングは簡単にはいかないもので、WSでのニーズの議論をうけ、マッチングにむけて努力したい。デブリ取りだしは非常に難しい技術であり遠隔は必須で、また廃棄物の分析などデブリ以外のところにも広範囲に使用される。研究の提案・提言を多く期待する。

(3) 文科省平成26年度以降の事業説明

文部科学省放射性廃棄物企画室室長補佐 臼井暁子氏

文部科学省が平成26年度の概算要求を行っている「廃止措置等基礎基盤研究・人材育成プログラム」について説明があった。

(4) セッション1「中長期ロードマップ/研究開発計画における具体的課題」

モデレーター：東京大学大学院工学系研究科教授 田中 知氏

① 廃炉に向けた中長期ロードマップ

資源エネルギー庁 原子力政策課原子力政策担当企画官 杉本 孝信氏

中長期ロードマップの概要が説明された。

② 研究開発における課題と具体的ニーズ 国際廃炉研究開発機構 副理事長 新井民夫氏

廃止措置の代替案として水張り以外の方法も検討課題である。廃止措置は30-40年かかり様々な技術開発が必要であり、そのためには若い人の参加が必須である。可能なら産業として残して行きたい、などが紹介された。

従来のロボットより厳しい条件（2－3 cmといった狭隘部、水中、高所）なども説明された。

③ 質疑応答

Q：2－3 cmの狭隘部の意味は。

A：特別な場所を想定しているわけではない。

Q：20 cm程度の穴を外から開ける技術があるのではないか？

A：もっと大きい穴を開けたいが開けた後どうふさぐかを含め総合的に考えていきたい。

Q：国際協力について具体的に説明して欲しい。

A：国際顧問や国際エキスパートグループとともに広くシーズ募集が残る課題である。水張り工法に代わる工法を国際募集する予定である。

Q：実施機関の枠を超えていくことについて。今後の文科省とIRIDの関わり合いは？

A：共同で利用できる枠組みを考えたい。現在は未調整である。

IRIDは研究組合という枠組みは保持することで進めていきたい。

A：文部科学省の来年度事業では、研究拠点は大学等の研究機関を想定しているが、連携する研究機関については可能な限り多様な機関に参画してもらえるようにしたい。

A：各種学会などにも入ってほしい。そういった枠組みももたせたい。

(5) セッション2－1「燃料デブリ取り出しに向けた技術開発」

モデレーター：国際廃炉研究開発機構 技術企画室長 横井 一氏

① 燃料デブリ取りだしに向けた研究開発課題と基盤研究への具体的ニーズについて

国際廃炉研究開発機構研究推進部 部長 鈴木俊一氏

国際公募は汚染水、そのあとデブリ取りだしを予定し、更にMETIからの委託でPCV内部調査を12月から予定している。デブリの分布の把握が取り出し手法に大きく左右する。

現状では利用できるペネは大きくなく、大きな穴を開けることも考えているが、水漏れ対策、放射性物質の飛散防止など検討すべきことがある。

デブリ取り出し前のPCV下部漏洩箇所調査は気中のみならず水中でも必要である。サブプレッションチェンバー内外が水—水状態での漏洩を見つけるのは困難である。

デブリの位置の特定が早期の課題で、シビアアクシデントコードで評価しているが、実際には直接把握が重要である。ミューオン利用手法については検討課題である。（密度の差で屈折角が違うのを利用）

PCVペネは100以上あり（数10は補修が必要か？）、そうになると気中取りだしも選択枝のひとつかもしれない。デブリの空冷可否判断には、デブリの形状把握がまず必要である。

② 質疑応答

Q：グラウトして止水すると案は隙間が出来てもれるのでは？ポリマー入るとか接着性のものを考えないといけないのではないか？

A：10年くらいは止水を続けられる必要がある。

Q：汚染水について、シール技術は必要ではないか

A：要素技術もあわせ提案してほしい。

A：海外は実際の作業経験が豊富で、その知恵、経験が有効である。例えば上部からのデブリ取りだしは困難とロシアから指摘されたが、ハンガリーパクシュの燃料破損のときの経験からである。パクシュではエレベータで下がり極力近いところまで接近して取りだし作業を行った。

Q：公募での提案課題の情報セキュリティ面の管理方法はどうか。

A：公募のときは公開ベースである。

(6) セッション2-2 パネル討論1 「ニーズ駆動型研究開発と人材育成」

① 関連基盤研究紹介 モデレーターの東京大学大学院教授 浅間一氏

1) 福島第一原子力発電所における遠隔操作・ロボットの課題

国際廃炉研究開発機構 技術企画室マネージャー 吉野 伸氏

- ・ 鹿島は建築関係の工事車両を無人化を実施。
- ・ クインスは成功例。実績を積んできたことが背景にある。
- ・ 高所（7m）作業ロボは2年で開発導入した。
- ・ 最近千葉大と東北大とで室内用小形ヘリ開発を実施。

2) 4足歩行ロボットによるベント管下部周辺調査

東芝 原子力福島復旧・サイクル技術部主幹 湯口 康弘氏

- ・ 災害現場向け遠隔操作ロボットを改良。
- ・ ハシゴを登ったり、狭い所を横に移動できるものがないと考え4足歩行ロボットを開発。階段の上り下りが課題。
- ・ 小形走行車はトラス外部に乗っての走行を考え、50mm隙間に余裕を加味し高さ47mmとした。

3) S/C内水位測定ロボット

アトックス技術開発センター忠海 俊也氏

- ・ 定位型・操作型などのロボットにより鋼板を介して内部水の水位を測定することを可能とした。

4) トラス室遊泳調査ロボット

日立GEニュークリア・エナジー（株）原子力設計部主任技師 大谷 健一氏

- ・ 複雑で狭隘かつ水の透明度が低いことからロボットが自分の位置を確認する必要がある。
- ・ また、ケーブル処理は作業員の操作によった。従って、長尺ケーブル処理、自己位置確認が課題である。

③ パネルディスカッションおよび質疑応答

モデレーター：東京大学大学院 教授 浅間 一氏

パネリスト

- ・ 東京大学大学院 教授 浅間 一
- ・ 先端建設技術センター 森下 博之
- ・ 国際廃炉研究開発機構 技術企画室マネージャー 吉野 伸
- ・ 東芝 原子力福島復旧・サイクル技術部主幹 湯口 康弘
- ・ アトックス技術開発センター 高橋 剛史

・日立GEニュークリア・エナジー（株）原子力設計部主任技師 大谷 健一
説明（１）「産業競争力懇談会提言における研究開発の考え方」東京大学大学院 教授 浅間一氏
COCN（産業競争力懇談会）において災害対策ロボットのニーズを示し、ニーズ駆動型の開発をやるべきと提言された。

以下の項目については評価方法が重要で、また、有事活用のために平時利用が大切である。（例えば、訓練、社会インフラの点検に使用など）このため「災害対応ロボットセンター」を作り支援するという提案を行った。

- ・アクセス技術
- ・通信
- ・遠隔運転できる空間認識
- ・ある程度の自律化
- ・計測技術といっしょのロボット開発

説明（２）「産業競争力懇談会提言における技術データベースの考え方」

先端建設技術センター 森下 博之氏

いい先例は建設分野でNTIS（New Technology Information System）としてすでに10年以上稼働し4500件のデータがある。ニーズ把握が大切だが、その場にならないとはっきりしない性格で、それをどう掴むかが大切である。

パネル討論

Q：モックアップの重要性と課題は何か。4足歩行はモックアップしたにもかかわらず現地
でうまく行かなかった訳は何か。

A：モックアップとしては5号機を使用したかやはり実際とは異なっていた。具体的には階段が1F—2がグレーチング、1F—5が鉄板で、より滑りやすい鉄板で確認すれば良い
と思っただが、返ってグレーチング上の方が滑りやすいことが問題だった。

A：また、階段幅が90cmと置いていたら70cmだったのも効いた。

A：階段巾は製作図より小さくできていた。また、段差も小さかった。

A：モックアップの問題だけでなく、ロボット自体も動きが変わるということもある。

ケーブルを新しいのに変えたとき新品だからいいかと思っただが、ケーブルの摩擦係数が低
くなりうまくいかなかったことがある。

Q：放射性廃棄物の発生をいかに少なくするかがポイントで、その点ロボットはどうか？長
く大切に使えるようにするには。①遠隔保守（除染・メンテ・バッテリー取り替え・改造な
ど）もいるのではないか、②補修修理はまた別にいるのではないか、③操作については事
前確認モックアップが必要、④各社別でなく共通化して保守を共通にする。など。

A：改造はサイト内で実施した。表面線量の高い消耗品は廃棄した。

A：除染しやすくする工夫や、取り替え易くするためにモジュール化も検討する必要がある。

Q：時間との戦いはどうか。急ぎすぎて開発した時の課題とか。また、①開発中にニーズが
変わってしまう、②技術カタログで十分か、などはどうであったか？

A：8ヶ月かかった。モックアップは外せない項目である。

A：同感で、モックアップを初めから作るべきだった。

A：技術カタログに関して、埋もれている重要な大学での過去の研究データがあると考えら

れる。

A：時間との戦いは妥協しないことが重要である。妥協のレベルを前もって決めておく事が重要かもしれない。

O：年度内予算としての執行も念頭におくべき問題である。

(7) セッション2-3 パネル討論2 「遠隔操作と実証試験」

① 関連基盤研究紹介

モデレータ 東京大学フューチャーセンター推進機構 特任教授 佐藤 知正氏

1) 福島県楢葉町における遠隔操作機器等の開発・実証施設整備構想

日本原子力研究開発機構 福島技術本部福島廃炉技術安全研究所 所長 河村 弘氏

・平成26年度早々から建設開始との紹介があった。

2) 遠隔操作ヒューマンインターフェース

東京大学大学院 工学研究科 准教授 山下 淳氏

・画像のノイズを消す技術、および自分のいるところが判る俯瞰画像技術が紹介された。

3) 汚染状況データの三次元可視化

千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 研究員 吉田 智章氏

・ガンマカメラと可視光カメラの組み合わせで表示され、多点線源がわかるようにいくつかのデータを重畳させて図示できる。

4) ロボットシミュレータを用いた災害対応ロボット操縦訓練システム

千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 副所長 平井 成興氏

・NEDOプロジェクト(一年)終了後3ヶ月で作ったシミュレータで、階段走行が一番難しいと紹介された。

④ パネルディスカッションおよび質疑応答

モデレータ 東京大学フューチャーセンター推進機構 特任教授 佐藤 知正氏

パネリスト

・東北大学 田所 諭

・日本原子力研究開発機構 福島技術本部福島廃炉技術安全研究所 所長 河村 弘

・千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 副所長 平井 成興

・東芝 原子力福島復旧・サイクル技術部 主幹 湯口 康弘

・日立 GE ニュークリア・エナジー 原子力設計部 主任技師 米谷 豊

・三菱重工業 エネルギー・環境ドメイン 原子力事業部 主席技師 大西 献

(説明)

「産業競争力懇談会提言における評価の考え方」 東北大学 田所 諭氏

様々な形状のロボットを実用化すべきであり、フィールドの評価が大事である。そのためには誰でもわかる試験を行う必要がある。NIST/ASTMの要素性能評価の手法がある。

なお、競技会・使用の訓練・試験フィールドの3つが必要な施策である。

(パネル討論)

O：基盤研究と人材育成は大学と一緒に進める必要がある。

- ：基盤研究と人材育成は技術伝承していくことが大切で、」その意味でモックアップは有用である。
- ：基盤研究と人材育成に関して、遠隔技術はセオリーがない。勘と経験が大切になってくる。やってみないとわからないということをどう伝えていくかが課題である。
- ：ベースの技術と個別の適用技術、その両方を発展させていかないといけない。40年かかる長期間の事業のため、若い人がどんどん入るようにすることが必要である。目標を立て若い人がトライしてもらえようようにすること、個別の問題（福島モックアップ）への対応とは組み合わせられると思う。
- ：今までの学生の教育は、方法論を教え試作機ができチャンピオンデータができればOKで終わりとしていた。今後はそうでなくその先のプロセスが大切で、モックアップで実証してから実機とやってみて初めて意味がある。その双方の割合は後半が重要である。そこまで学ばせるべきか、外部で積極的に学ばせることが必要かもしれない。（フィールドで役立つようなものを作るよう教えるというような今までとは異なった手法で）
- ：裾野の広い技術の結集が必要なので、中小企業の視点をぜひ入れる必要がある。そういう施策を構築することが必要である。

（8）セッション3 まとめ

総括および挨拶

東京大学大学院工学系研究科教授 田中知氏

- ① マッチングは難しくそこにはギャップがある。また、現場での使い方にもギャップがある。その2つの溝をよく理解し乗り越えていくことが大切である。
- ② これまでワークショップを5回実施してきて、ニーズ側シーズ側は心情的にはかみ合うが、もう少し現場状況を把握し検討すべきである。関係者（IRIDや東電）からのより具体的なニーズの説明が更に必要である。その辺努力して欲しい。
- ③ アンケートは今後の文科省事業に大きく寄与するので可能な範囲で記述してほしい。
- ④ 平成26年度の文科省事業は効果的な仕組みを構築していく必要がある。

以上

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発計画と基盤研究に
するワークショップ第6回（関西・西日本関東地域－2）の概要について（案）

1. 開催日時 2013年12月20日（金）
2. 場所 神戸国際会議場 国際会議室
3. テーマ 燃料デブリ取りだしに向けた遠隔操作等機器・装置開発

4. ワークショップの概要

(1) 挨拶

(ア) 文部科学省研究開発局原子力課放射性廃棄物企画室 室長補佐 臼井 暁子

(イ) 国際廃炉研究開発機構 副理事長 及川 清志

(2) 本ワークショップの主旨説明および文科省平成26年度以降の事業説明

文部科学省研究開発局原子力課放射性廃棄物企画室 室長補佐 臼井 暁子

(3) セッション1「中長期ロードマップ/研究開発計画における具体的課題」

モデレーター：独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門
副研究部門長 横井 一仁

① 東京電力福島第一原子力発電所1～4号機の廃炉に向けた中長期ロードマップについて
資源エネルギー庁原子力政策課 原子力政策担当企画官 杉本 孝信

② 国際廃炉研究開発機構と研究開発における課題と具体的ニーズ
国際廃炉研究開発機構 理事 及川 清志

③ 質疑応答

Q：調査やセンシングの話が主であるが、取りだし作業からのニーズはないのか。

A：まだどうしたらいいか判らない状態である。止水までの工程でも困難がある。

A：まずデブリがどこにあるのか調べるのが優先している。

Q：大学中核拠点において学生がどこまで関われるのか。

A：放射線下であるので、それなりの設備を持った機関との連携が必要である。

A：5年先の基盤研究であれば現場でなく、コールドのモックアップを使うということも考えられる。

(4) セッション2「遠隔操作技術」

モデレーター：神戸大学大学院 工学研究科・工学部 教授 横小路 泰義

① 高所調査用ロボット

(独)産業技術総合研究所 主任研究員 山野辺 夏樹

② 小型双腕重機型ロボット ASTACO-SoRa の開発

(株)日立 GE ニュークリア・エナジー-原子力設計部 主任技師 米谷 豊

③ 遠隔操作技術者の育成

三菱重工業(株)エネルギー・環境トメイン原子力事業部 主席技師 大西 献

④ 環境構造の3次元計測

九州大学大学院 システム情報科学研究院 教授 倉爪 亮

⑤ 遠隔操作機器のためのインターフェイス

京都大学大学院 工学研究科

教授 松野 文俊

⑥ 遠隔操作技術に関する基盤研究とは

神戸大学大学院 工学研究科

教授 横小路 泰義

⑦ パネルディスカッション

モデレーター：神戸大学大学院 工学研究科

教授 横小路 泰義

パネリスト

- ・ (独)産業技術総合研究所 主任研究員 山野辺 夏樹
- ・ (株)日立 GE ニュークリア・エナジー-原子力設計部 主任技師 米谷 豊
- ・ 三菱重工業(株)エレクトリック・環境ドメイン原子力事業部 主席技師 大西 献
- ・ 九州大学大学院 システム情報科学研究院 教授 倉爪 亮
- ・ 京都大学大学院 工学研究科 教授 松野 文俊

Q：コンクリの溶融温度はわかっているのだから、ペDESTALに落下したデブリについて挙動がわからないのは何故か。

A：PRVの下にある構造物の変化・挙動がわからないため。

Q：問題としては、まず目標が明確でないこと、そして遠隔技術がまだ学問になっていないこと。目標が分からないなら、分からないなりにある程度想定して作る技術も大事である。遠隔操作技術を何とか学問にして人材育成していきたい。

A：目標が明確であれば、それを実現するように技術開発をしていけば良いが、目標が不明確な場合は今ある技術でどこまでできるかという試行錯誤的なアプローチも同時に必要ではないか。また実用化研究と並行して、うまく行った理由を学術的に説明し整理していくという研究活動も同時に行うことが大事ではないか。そういった二重の意味でのコンカレントなアプローチが重要であるとのこととご意見と承りました。

Q：点群データの処理の問題点は？幾何データの構築の先の見通しは？

A：いかに自動化するかである。それには自動判別が重要。レーザー反射強度を見れば幾何形状だけでなく、材質まである程度分かるので福島に活用ができるのではないかと。

Q：目的がはっきりしない時に、操縦ロボットのエンドツールの数をどうやって落とし込んでいったか。

A：できる範囲で仕様をきめた。

Q：インターフェースは専用であるべきか汎用であるべきか？

A：そもそも操作方法は作業対象で決まるべきもので、操作方法が機器によって変わるべきではない。その意味で究極は汎用インターフェースとなるべきであるが、その実現のためには機器側にある程度の自律性が必要となる。

Q：仕様が不確定の条件下ではモジュール構成にして、状況に応じて適宜モジュールを組み合わせることで対処するのが妥当であると考えられるが、これまでの機器開発でのモジュール化の苦労は？

A：モジュール間のインターフェースに苦労した。

Q：人材育成の観点から、学生に意欲を出させる方法はあるか。

A：(3次元計測の分野の立場から)ここはこれから人が増えてくる業界である。点群を点群として使える人は少ない。膨大な点群からうまく情報を取り出せるような人が少ない。今後アプリケーションに興味がある人が増え、安価で普及するような機器開発をする人も増えると思う。

A：夢を提示するのが若い人をひきつける。夢のなるテーマ設定にする必要がある。

A：メカトロは機械・電気・制御などいろいろやる必要があるおかげで学科の垣根意識がなく、社内で重宝される。

A：うまく行ったことをしっかりと評価する(例えばシステムインテグレーションでは論文ではなくそのシステム自体を評価するなど)ことが大事。また成果を広く社会に示して、使えること、役に立つことをしっかりとアピールすることも大事。公開でコンペをやり優秀者には賞を授与する。要は自分のやったことが社会的に認知され評価されるならば、若い人もやる気が起こるのではないかと。

まとめ：判っている場合はそれに向けて開発する技術とともに、判らないながらある程度想定して作る技術も必要。また実用的開発と同時に、うまく行った技術を体系化し、何故うまくいたのかを説明できる学術基礎研究も重要。また、人材育成の観点では、現場で使って役に立つということをいかに広く社会にアピールするか、という側面で研究と人材育成の関係を考えたい。また、成果をしっかりと評価したり、コンテストをやったり、そこでの優秀者に賞を与えたりして若い人を勇気づけたい。

(5) 閉会挨拶

文部科学省研究開発局原子力課放射性廃棄物企画室

室長補佐 臼井 暁子

以上