

部門共通技術

VR 技術を応用した福島第一原子力発電所の廃止措置への挑戦

Challenge to decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station by applying VR technology

堀口 賢一
Horiguchi Kenichi

福島第一原子力発電所の廃止措置では、事前検証や操作訓練が他の原子力発電所の廃止措置に比べ、重要である。日本原子力研究開発機構 楢葉遠隔技術開発センターでは、実測データを基に事故後の建屋内部状況を模擬した VR システムや各種実規模大のモックアップ設備を応用して廃止措置に適用するための技術開発が行われている。これらを活用することにより確実かつ効率的な現地での作業への貢献が期待できる。

The verification activity and training of operation in the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Station are more important than other Nuclear Power Station. At the JAEA Naraha Remote Technology Development Center, it is being carried out the development work to be applied to the decommissioning work by using the full sized mock up and VR system which is built based on location surveying data of inside the reactor building. It is able to contribute to the decommissioning more reliably and efficiently.

キーワード：福島第一原子力発電所、廃止措置、遠隔操作機器、VR システム、楢葉遠隔技術開発センター

1 はじめに

福島第一原子力発電所の廃止措置における最大の難題は、燃料集合体、制御棒、その他の構造材が溶融して固まった、いわゆる「燃料デブリ」の取出しである。この作業に取り掛かるまでには、①現地の状況調査、②必要な箇所の除染、③原子炉格納容器下部の冷却水漏れい個所の補修等の作業が必要となる。これらの作業の支障となるのが、極めて高い放射線量である。このような環境での作業は、遠隔操作機器による作業となり、作業計画の立案・事前検証や操作訓練など、これまでの原子力発電所での作業における検討よりはるかに高い精度が求められる。

この要求に応えるべく設置されたのが、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という）福島研究開発部門 楢葉遠隔技術開発センター（以下「楢葉遠隔技術開発センター」という）である（写真 1）。この施設は、作業者の訓練を行うためのバーチャルリアリティ（VR）システムを備えた研究管理棟と、原子炉格納容器下部の止水作業の実物大での実証試験や遠隔操作機器の開発・実証試験を行うための試験棟からなり、2016年4月より本格運用が開始された。



写真 1 楢葉遠隔技術開発センター

本報では、これまでの原子力発電所での廃止措置における VR システムの活用例を紹介し、VR システムを活用することで廃止措置を進める上でどのような利点が得られたかをまとめる。また、福島第一原子力発電所の廃止措置に貢献することが期待されている楢葉遠隔技術開発センターの VR システムについて、2017年1月の原子力・放射線部会での視察を踏まえ、その概要について報告する。

2 これまでの VR システムの応用例

運転を停止した原子力発電所は、①核燃料の搬出、放射性物質の除去（除染）、周辺設備の解体、②原子炉などの解体、③建屋等の解体を経て撤去されるが、運転中に中性子線を受け放射能を帯び

た（放射化）構造物や冷却水が直接接触した機器配管等には、放射性物質が残存している。これらの機器、構造物を安全に解体し、生じる廃棄物を適切に処理する必要がある。そのため、廃止措置を行うには、計画段階において、作業員の被ばくの低減、コストの最小化等を考慮した作業計画の立案が重要である。

JAEA が所掌している新型転換炉ふげん発電所（以下「ふげん」）は、2003年3月29日運転を終了し、2010年2月20日に廃止措置計画の認可を受け、廃止措置を開始した。ふげんの廃止措置において、事前の作業計画の立案を効率的かつ精度良く行うため、運転中の1999年から、3次元形状データ（3D-CAD）及びVRシステム等の技術を利用した廃止措置エンジニアリングシステム（DEXUS）が開発整備された。廃止措置エンジニアリングシステムは以下のシステムから構成される¹⁾。

- ① 3D-CAD データ（設計データ）、物量データ、放射能インベントリデータなどの「データベースシステム」
- ② コスト、被ばく線量、廃棄物量等を評価する「計画評価システム」
- ③ 放射エネルギー及び分布の可視化、解体工程のシミュレーション等を行い、計画評価に反映する「VR・可視化システム」
- ④ 解体時の廃棄物や工程などのデータを収集管理する「情報管理システム」

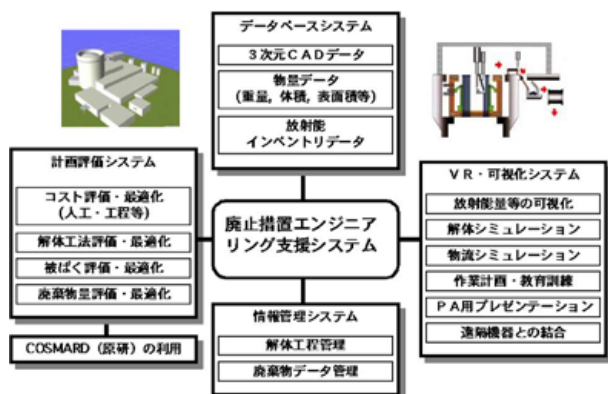


図1 廃止措置エンジニアリングシステムの構成

DEXUSの活用として、ふげんの3D-CADデータから作成されたVR空間上で、作業員の動作を考慮した作業シナリオを作成し、コンピュータ上

で解体作業や作業時間をシミュレーションできる。さらに、VR空間上に線量当量率のデータを統合することにより、被ばく線量を算出し作業の妥当性が評価できる。また、このシステムを活用した作業員の事前訓練により、現地での作業時間の短縮や、直接的な被ばく量の低減、安全な作業計画の立案に活用されている。実際のシミュレーション例を写真2、写真3に示す。

この事例から、3D-CAD データを活用し、VR上で実プラントの状況を精緻に再現し、そこに放射線量とその分布や機器情報を重畳させることで、より具体的かつ正確な作業計画を策定することが可能となる。

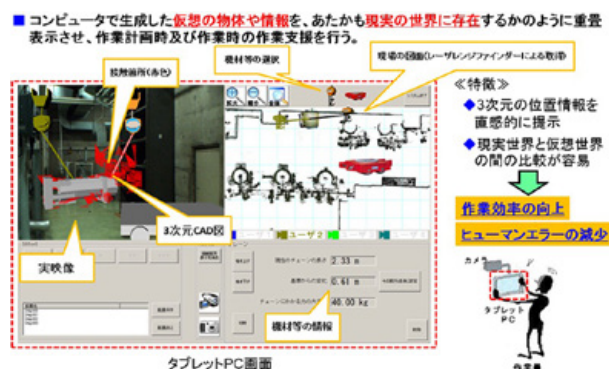


写真2 解体作業シミュレーションの一例²⁾

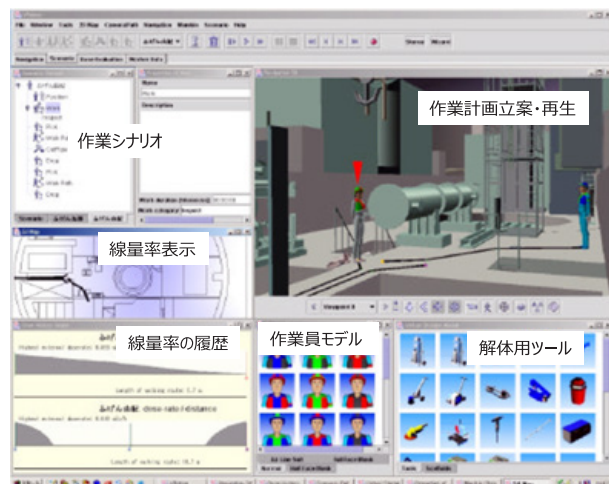


写真3 解体作業の現場支援の一例³⁾

3 福島第一原子力発電所廃止措置へのVR技術の展開

福島第一原子力発電所の廃止措置が、これまでの廃止措置と大きく異なる点は、核燃料物質由来の高線量箇所が広範囲にわたっており内部調査が困難な状況にあるにも関わらず、破損状況や線量分布などの建屋内の状況をより詳細に把握し、そ

の後の作業を確実に進められるようにしなければならない点である。ゆえに、建屋内部の状況や放射線量状況等、現地で確認、測定が可能な限られたデータを VR 空間に反映して作業計画立案に寄与するだけでなく、現地での作業によって新たに情報を取得し、システムへ反映するアプローチを繰り返すことが重要である。

これまで、福島第一原子力発電所では、比較的線量の低い 2 号機から順次、調査用のロボットを現地に投入し線量率測定や干渉物調査等のデータ収集を実施した。また、作業エリアやアクセスルートの設定に必要な建屋内構造物の情報については、3D レーザー計測装置を搭載した遠隔操作台車を実走させることで点群データを採取し、システムに反映させている。楢葉遠隔技術開発センターの VR システムでは、このようにして得られた実測データと建屋及び設備の設計データを重畳させることにより、建屋の内部状況を詳細に模擬している。

ここでは、原子力・放射線部会で行った 2017 年 1 月楢葉遠隔技術開発センターの視察を踏まえ、導入されている VR システムの概要、整備状況と期待される成果の反映についてまとめる。

楢葉遠隔技術開発センターに設置されている VR システムは、左右、前面及び床面のスクリーンに映像を投影し、三次元を再現するメガネをかけることで、あたかも原子炉建屋内部に滞在し、間近に見える配管やタンクなどの機器に触れられるのではないかという没入感が得られる。本システムは、幅 3.6 m、奥行き 2.25 m、高さ 3.6 m の広さがあり、メガネを装着すれば複数人で同じ情報を共有し理解を深めることができる。実際の作業では、些細な誤解や認識の違いが重大なトラブルや事故を引き起こす場合があるが、その誤解や認識違いを事前にある程度排除することができる。この点が、VR システムを作業計画策定時に応用することの大きな利点といえる。2017 年 1 月の視察当時は、福島第一原子力発電所 2 号機の情報のみが VR システムに実装されていたが、現在は、1 号機及び 3 号機のデータについてもシステムに実装され、同様のシミュレーショ

ンが開始されている。

本システムを用いて、原子炉建屋内の状況を模擬した環境下で、作業員の訓練や作業手順確認を事前に実施することによって、作業員の安全確保と確実な作業実施への貢献が期待できる。我々の視察当日には、ロボット操作訓練のデモンストレーションを見ることができた。VR システム上では、原寸大で建屋内部が再現されているため、例えば、指定された通路上をロボットが走行できるかなどを確認することができる。通路の狭隘箇所は、VR システム上で再現されているため、ロボットの通過に支障があることが事前に把握できれば、経路の再検討など事前対策を行うことによって、貴重な装置を現場で失うリスクを少なくすることができる。

本 VR システムは、現場の状況確認や、作業計画の検討のため以下の機能が備えられている⁴⁾。

○距離計測

環境中の構造物間の距離を測定する。

○仮想の物体の設置・移動と干渉判定

機材の持ち込みの検討のため、仮想の物体を環境内に設置し、移動できる。また、移動の際に他の物体との干渉を判定できる。

○照明による視覚のシミュレーション

ハンドライト等で照らした視界を提示する。

○放射線線量のシミュレーション

放射線測定データから遠隔装置等の吸収線量をシミュレーションにより評価する。



写真 4 楢葉遠隔技術開発センターの VR システム⁵⁾

また、楢葉遠隔技術開発センターは、VR システムと連携させ遠隔技術の開発を推進するため

に、実際の現場を模擬した要素試験設備として、水中環境での試験を行うためのロボット試験用水槽、建屋内部の階段の状況を実規模大で模擬したモックアップ階段等を備えている。モックアップ階段では、階段の幅、角度及びステップの材質等を変更できるように工夫されており、原子炉建屋内にある様々な階段を模擬できるようになっている。この設備を利用して例えば、踊り場で旋回できない場合や、床材のすき間に装置の脚部が嵌ってしまった時の対処など、実際に現地でなければ把握できない事象への対策について、ある程度事前に検討することができる。

通常の遠隔操作装置の開発では、現地での操作訓練が可能ながある。しかし、福島第一原子力発電所の現場では、高線量下で長時間稼働させることが難しいこと、装置が操作不能になり取り残されるとその装置自体が以降の作業に支障をきたすことを考慮し開発を行う必要がある。この課題に対処するため VR システムと要素試験設備での実証試験を連携させ、訓練により操作者の熟練度を高めて現地作業に臨むことが考えられている。



写真5 モックアップ階段を使った試験⁵⁾

その一例として、冒頭に紹介した「燃料デブリ」の取出しに係る作業計画の検討の例を紹介する。燃料デブリの取出しは、「放射線の遮へい」「放射性物質を含むダストの飛散防止」「燃料デブリの冷却」のために原子炉格納容器内に水張りした状態で行うことが重要であり、そのために原子炉格納容器下部からの水の漏えいを防ぐ補修・止水の技術の確立が必要とされる。

試験棟には、原子炉格納容器下部を八等分して切り出した形を模した実規模試験体（幅 20 m

×奥行 18 m ×高さ 18 m）が設置されている。実証試験では実際に水を流し漏えいしている状況を模擬し、自己充填性のあるグラウト（水中不分離セメント）を流し込んで止水する試験を行うことが計画され、2017年6月と7月に実証試験の一部が実施された。これらの作業に対する操作訓練や事前検証に VR システムを応用することが、現在検討されている。

4 おわりに

福島第一原子力発電所の廃止措置の推進のために設置された楢葉遠隔技術開発センターでは、最新鋭の VR システム上に、福島第一原子力発電所の建屋内の状況が精緻に再現され、事前検証や操作訓練ツールとして着実に整備されていることを現地の視察を通して確認することができた。楢葉遠隔技術開発センターは、2016年4月より運用開始された新しい施設であり、今後数十年に及び福島第一原子力発電所の廃止措置に如何に貢献していくのかは、如何に多くの研究者・技術者に利活用されるかに掛かっている。楢葉遠隔技術開発センターでは、VR システムの見学を含めた施設見学の受入を実施しているので、ぜひ多くの日本技術士会会員の皆様に足を運んで頂きたい。

<参考文献>

- 1) 井口幸弘, 兼平宜紀: 廃止措置エンジニアリング支援システムの構築, サイクル機構技報, No.10, 2001年3月
- 2) ふげんデコミニュース, 2004年1月
- 3) 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん) HP
- 4) 山田大地: 廃止措置に挑む JAEA 楢葉遠隔技術開発センター, 日本原子力学会誌, Vol.59, No.7, 2017
- 5) 明日に向けて, 日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門, No.9, 2016年6月

堀口 賢一 (ほりぐち けんいち)
修習技術者 (原子力・放射線部門)

日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所
e-mail : horiguchi.kenichi@jaea.go.jp

