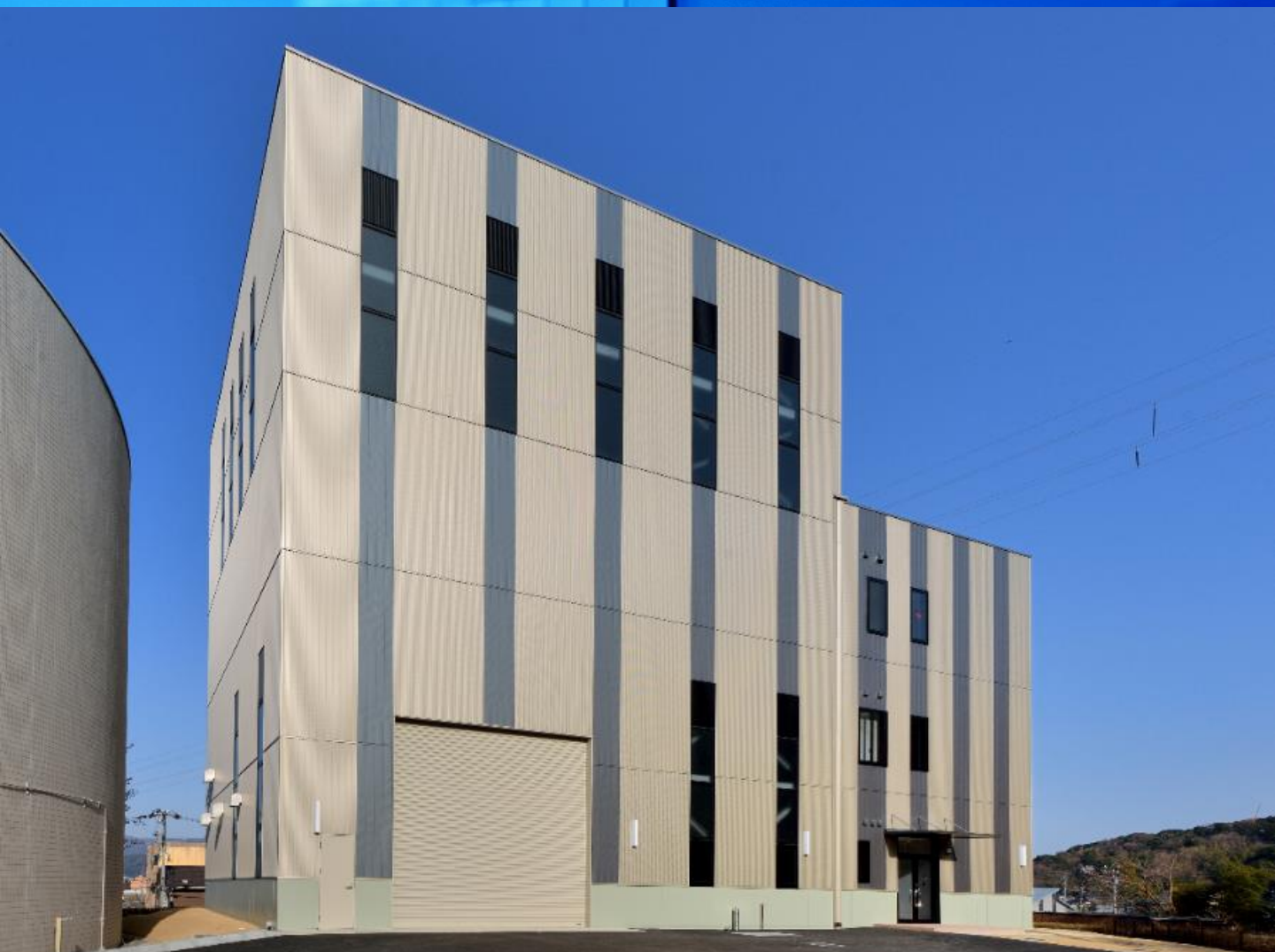


ふくいスマートデコミッショニング 技術実証拠点



はじめに

Introduction

「ふくいスマートデコミッションング技術実証拠点」（以下、「スマデコ」と略す）は、文部科学省の支援施策である平成28年度補正「地域科学技術実証拠点整備事業」で採択され、平成29年5月より建設を開始し、翌年6月より運用を開始しました。

この施設は、原子力発電所の廃止措置に関する技術について地元企業の成長を支援し、産学官が一つ屋根の下で地域経済の発展と廃止措置の課題解決に貢献するための拠点で、以下の3つのフィールドから構成されます。

廃止措置
解体技術検証
フィールド

レーザー
加工高度化
フィールド

廃止措置
モックアップ
試験フィールド

廃止措置への取り組み

「廃止措置」とは、運転の終了した原子力発電所などの原子力施設から放射性物質を取り除き、安全に解体・撤去することをいいます。「ふげん」の廃止措置は、原子炉等規制法に従って、運転終了後も維持管理が必要な設備について考慮しながら、安全かつ合理的に施設の解体を進めてきています。

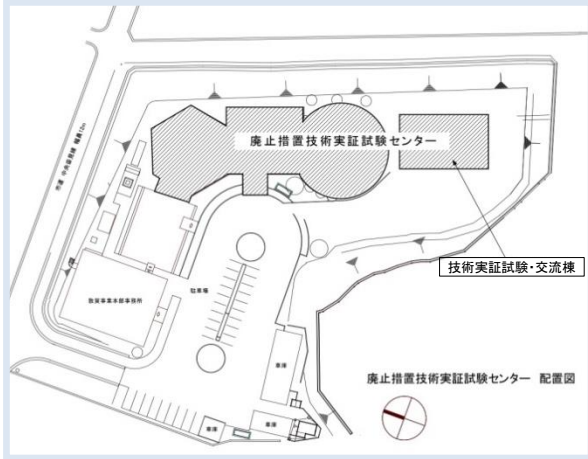
また、廃止措置のための技術開発や廃止措置を通じて得られる成果などについては、わが国における他の原子力施設の廃止措置においても有効に活用していただけるよう、関係機関との連携や技術協力を行いつつ、積極的に公開してきています。

スマデコが目指すもの

スマデコは、福井県の強み（15基の様々なタイプの原子炉が存在、原子力関連産業に携わっている企業が多い、原子力関連の教育・研究インフラが多く立地等）を活かし、地元企業の成長を支援する拠点として整備し、廃止措置技術の基礎研究から実証までを一貫して取り組めるように整備するものです。ここでは、技術力の強化により地元企業の廃止措置事業への参画を容易にし、廃止措置ビジネスの確立と関連企業群の育成を目指しています。

施設の概要

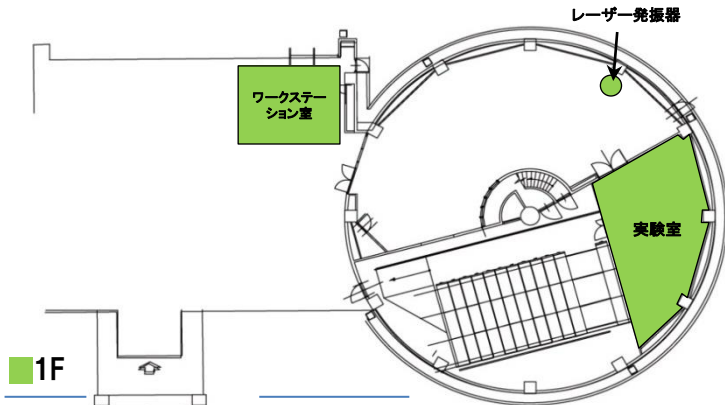
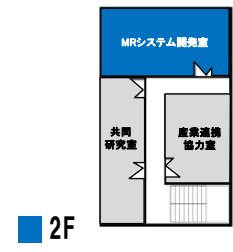
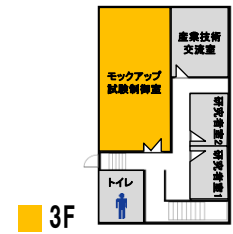
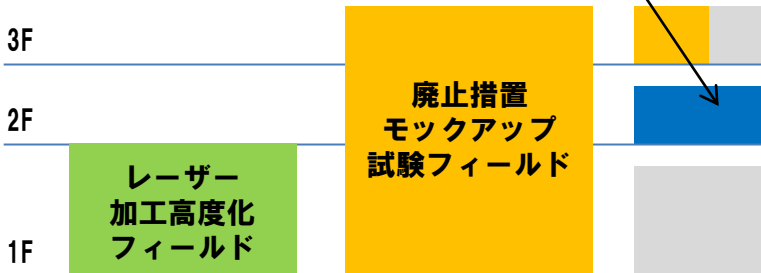
Outline of facilities



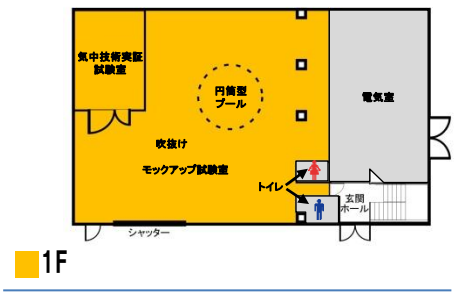
施設名	スマデコ
開設	平成30年6月
所在地	福井県敦賀市木崎65-20
敷地面積	11,674.37㎡
建物構造	鉄骨構造3階建て（技術実証試験・交流棟）
建設床総面積	645㎡（技術実証試験・交流棟）
主要施設（フィールド）	廃止措置解体技術検証フィールド レーザー加工高度化フィールド 廃止措置モックアップ試験フィールド 企業等利用者交流スペース、他

建物配置図

廃止措置解体技術検証フィールド



アトムプラザ



技術実証試験・交流棟

廃止措置解体技術検証フィールド

廃止措置解体技術検証フィールドでは、複合現実感（Mixed Reality：MR）システムを利用してふげんのプラント内を実寸の臨場感で仮想体験できる設備を整備しています。ここでは、廃止措置作業で必要となる現場の事前確認・検討、機材の操作性確認、作業者の被ばく予測などを可能とします。

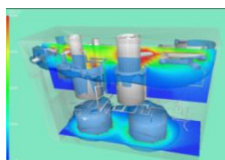


複合現実感（MR）システムの活用

廃止措置作業を安全かつ合理的に実施するためには、作業手順などを事前に十分検討する必要があります。この方法の一つとして、複合現実感（MR）システムを活用することにより現場に入域することなく、実寸大で臨場感ある現場を仮想体験するという方法があります。

MRシステムでは、現場の線量当量率(mSv/h)の可視化、解体設備の解体手順の検討、仮設機材（足場、養生、遮蔽）の設置場所や大きさの検討、解体作業に必要な設備の搬入ルートや干渉確認が可能です。

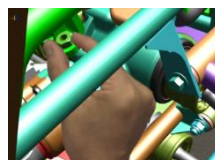
MRシステムは、MRシステム開発室に設置され、HMD（頭部装着ディスプレイ）、MR用PC、光学センサー、50インチディスプレイなどから構成されています。（P4図-1、表-1）



線量当量率(mSv/h)可視化



解体手順の合理化検証



作業性の検証

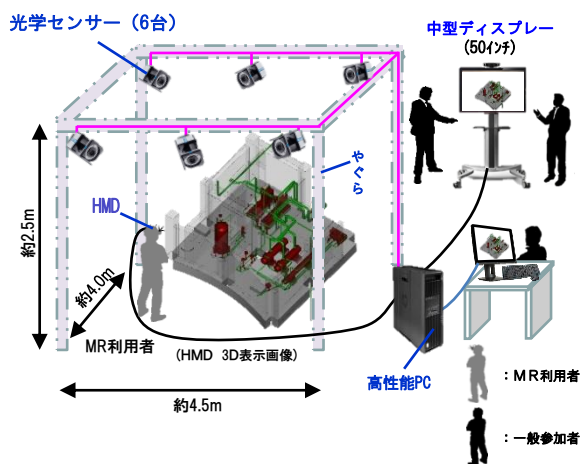


配置検討

「複合現実感（MR）システム」とは

光学センサーによりHMDやハンドツールの位置・姿勢を検出することで、MR体験者に正しい表示画像（3D）を見せることができます。MRの稼働領域は約幅4.5m×奥行4.0m×高さ2.5mの範囲で、この中を動きながら現場体験をすることが可能です。MR体験者は1名で、MR体験者以外の人はMR体験者の見ている映像を2D映像としてディスプレイで確認することができます。

このMRシステムは廃止措置作業に参入したい県内企業を支援し、人材育成、技術力の向上を図るとともに大学生などの実習体験などに活用していただくことを想定しています。



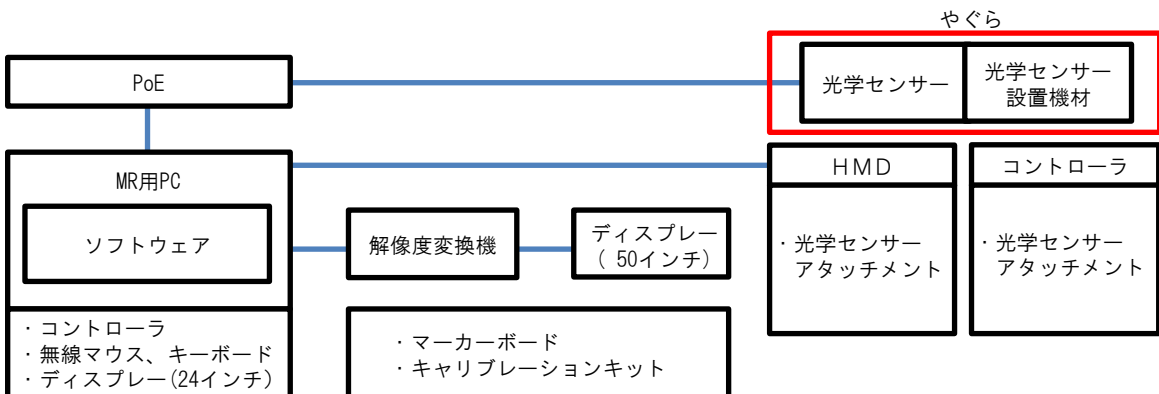
MRシステム構成

装置の仕様

表一 MRシステム主要仕様

機器名	仕様	備考
HMD	 <p>メーカー/型式：キャノン/MD-10 表示系：表示画角：約60°（水平）×40°（垂直）、68°（対角） 表示解像度：1920×1200（WUXGA） 表示モード：3D表示 映像系：撮影画角：約66°（水平）×40°（垂直）、73°（対角） 撮影解像度：1920×1080（FULL HD） 重量：約1,040g 台数：2台</p>	その他MD-10専用デバイス ・振動デバイス ・オブジェクト操作用コントローラ
MR用パソコン	 <p>メーカー/型式：HP/Z840 CPU：Xeon® E5-2643v4 3.40GHz x 2 GPU：NVIDIA Quadro P6000 メモリ：64GB ストレージ：256GB SSD/512GB SSD/1T HDD 台数：2台*（*1台目は上記スペック、2台目は相当）</p>	MR用ソフト ・MRプラットフォーム ・MR Visualizer ・InfiPoints for MR
ディスプレイ	 <p>メーカー/型式：NEC/LCD-E505 サイズ：50型（127cm） 表示画素数：1,920×1,080 画素ピッチ：0.0570mm 表示色：約1677万色 台数：1台</p>	
光学センサー	 <p>メーカー/型式：Vicon/Vero v2.2 解像度：2,048×1,088 最大フレームレート：330Hz 台数：6台</p>	光学センサーソフト ・Vicon Tracker
3Dレーザ計測システム	 <p>定置型3Dレーザ計測器： メーカー/型式：PENTAX/S-3180V 台数：1台 ハンディ型3Dレーザ計測器： メーカー/型式：(株)富士テクニカルリサーチ/F6 SMART 台数：1台 レーザ計測データ処理用パソコン メーカー/型式：DELL/Precision 5510 台数：1台</p>	大規模点群処理ソフト ・InfiPoints ・Z+F LaserControl ・ECHO
VR用パソコン/HMD	 <p>VR用HMD メーカー/型式：Oculus/Rift S 台数：2台 VR用パソコン メーカー/型式：マウスコンピュータ/DAIV-NG5810S1-S5 台数：2台</p>	VR用ソフト ・InfiPoints for VR

図一 MRシステム構成図（MRシステム開発室）



装置の能力

複合現実感（MR）システムを用いた訓練

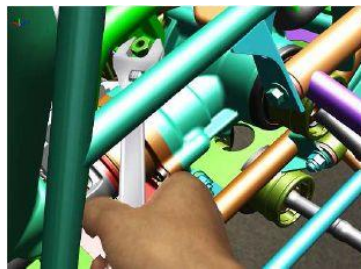
●MRシステムを廃止措置作業に適用し、プラント内部を実寸大で作業員目線で観察したり、廃止措置作業の進捗の各段階での現況に合った最適な作業手順（搬入、設置、解体、搬出など）等の教育・訓練に用います。



作業現場の確認（実寸大の臨場感、作業員目線で確認）



作業性の確認
（作業空間の確認）



作業性の確認
（工具類の干渉）



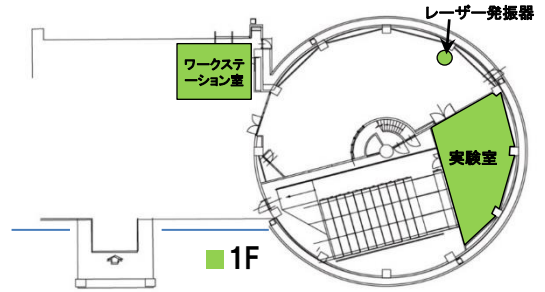
作業性の確認
（作業姿勢の確認）

<主な機能>

- ①最適な工事手順の検討
- ②作業被ばく線量の検討
- ③作業性の確認（工具類の干渉、作業姿勢等）

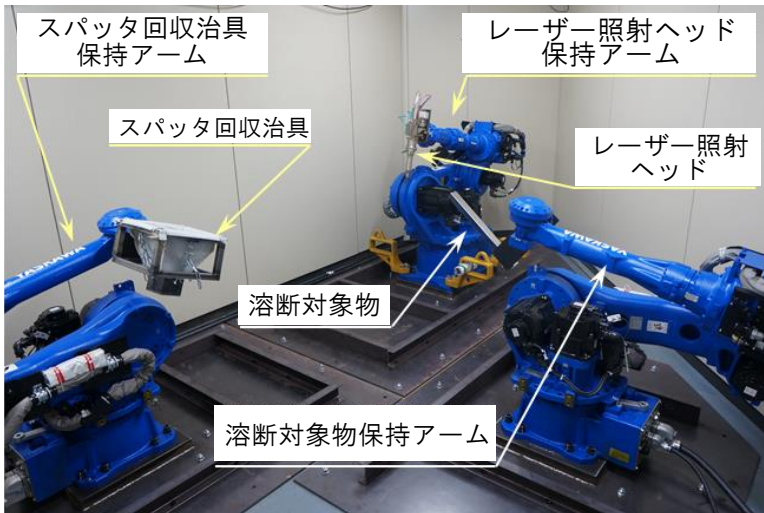
レーザー加工高度化フィールド

レーザー加工高度化フィールドでは、レーザー光を熱源として廃止措置に適用する技術開発を行うための試験装置と計算コードを装備しています。試験装置では、3つの多関節アームを用いて溶断や溶接などの加工試験が可能です。また、計算コードでは、レーザー光の熱源により構造物への入熱、溶融、凝固を予測し、レーザー加工条件を検討できます。



多関節レーザー加工アームシステム

実験室には3つの多関節アームが設置されており、それぞれのアームにはレーザー照射ヘッド、溶断対象物保持装置、およびスパッタ回収治具が備えられています。別室にある10KWレーザー発振器から、照射ヘッドまで光ファイバーでレーザー光が導かれます。本試験装置により、レーザー加工や作業手順の実験、検討を行うことができます。



多関節アーム試験装置



10KWレーザー発振機 (CW)

レーザー溶融・凝固解析システム

本解析システムは、レーザービーム方向と走査方向の2方向の2次元モデルで計算するコードを採用しており、レーザー入熱、ビーム径、スweep速度、材料の熱的物性値に基づき、伝熱、溶融及び凝固を解くことができます。

計算結果はレーザー加工条件の検討に資することができ、また、材料の加熱・溶融領域で発生している物理現象の理解・把握にも役立ちます。



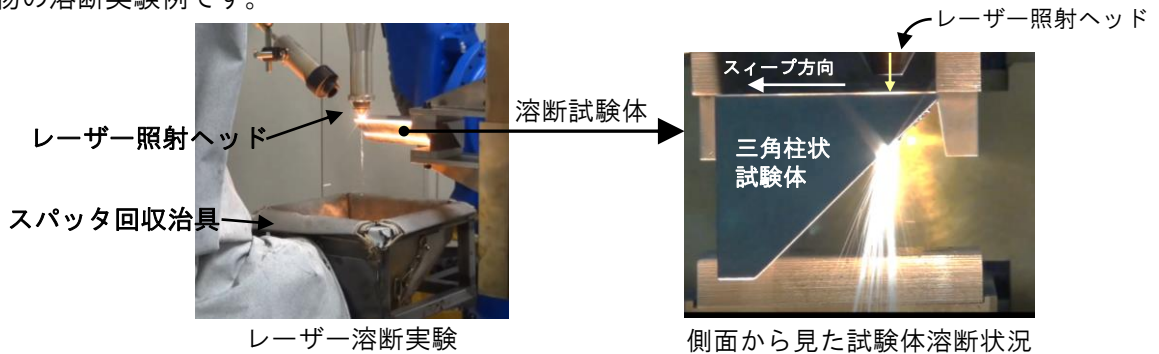
解析コード用計算機 (ワークステーション)

装置の仕様・能力

多関節レーザー加工アームシステム

- レーザー発振器：10KWファイバーレーザー（CW）
- 多関節レーザー加工アーム：
 - (1) レーザー照射ヘッド搭載アーム
 - (2) 対象物保持装置搭載アーム（最大積載重量15kg）
 - (3) スパッタ回収治具搭載アーム

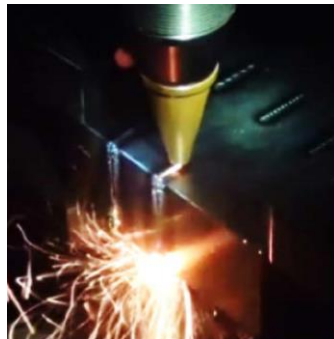
3本のアームを駆使して、対象とする構造物を保持し、溶断スパッタを回収しながら溶断、溶接、表面加熱などのレーザー加工実験を行うことができます。下図は三角柱状構造物の溶断実験例です。



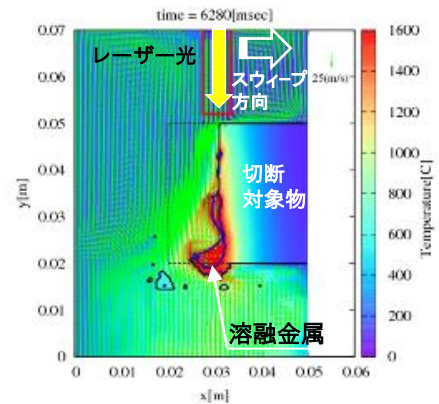
レーザー溶融・凝固解析システム

- エンジニアリングワークステーション
型式：Dell Precision T7910
CPU：Dual Intel Xeon プロセッサー E5-2637 v4
メモリ：64GB 2400MHz DDR4 RDIMM ECC
- レーザー溶融・凝固計算コード（2次元コード）
物理モデル：レーザー移動熱源による入熱、熱伝導、溶融、凝固、アシストガス流動
レーザー加工対象：溶断、溶接、表面加熱

厚さ30mmのSS400鋼材を4KWレーザー光で150mm/分のスweep速度にて、溶断した実験とその計算結果です。計算結果により、温度分布、及びアシストガスや重力の影響を受けた溶融金属の挙動が明らかになっています。



レーザー溶断実験

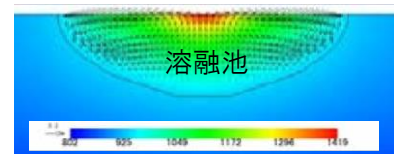


溶断計算結果（2D）

上から300Wレーザーをアルミニウム板に照射した際の溶融池の形成過程を示しています。X線で可視化した観察と計算結果の比較です。



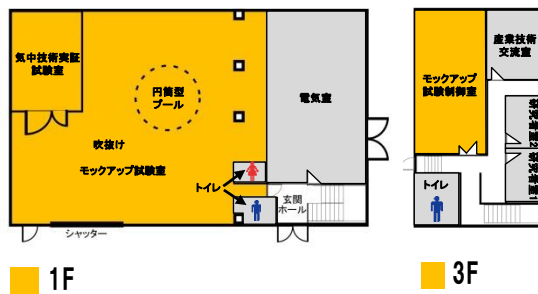
X線による溶融池生成観察 (SPRing-8)



溶融池生成計算結果（2D）

廃止措置モックアップ試験フィールド

廃止措置モックアップ試験フィールドは、廃止措置解体技術検証フィールドとレーザー加工高度化フィールドで得た研究成果や地元企業が自社開発した切断技術等をふげんで使用した実機材やモックアップ部材による検証・実証、さらに解体作業の事前確認、体験・習得等の場としてご利用いただこうと考えています。



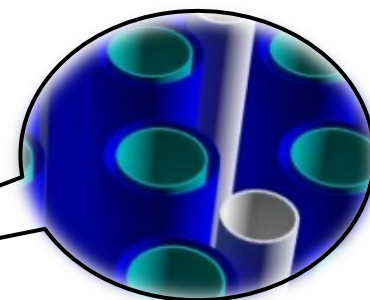
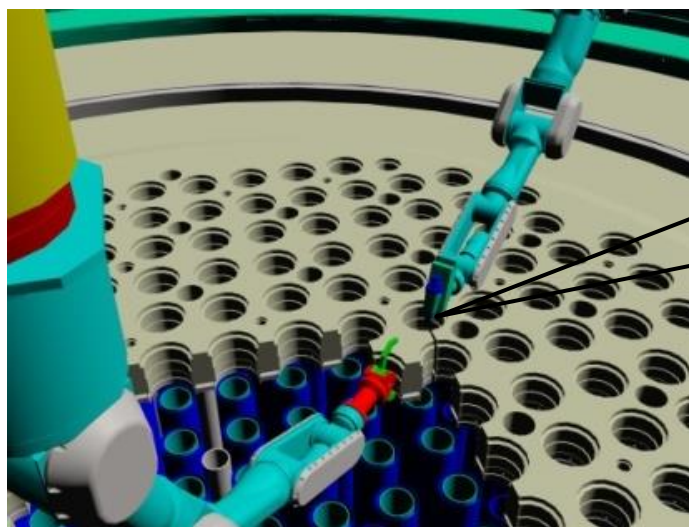
水中技術実証試験エリア

本試験フィールド（モックアップ試験室）には、「水中技術実証試験エリア」と「気中技術実証試験エリア」があります。

水中技術実証試験エリアには、高さ約10.5mの円筒型プールが設置されており、円筒型プールには、7軸遠隔水中ロボットを常設してあります。円筒型プールの水位は、試験条件に合わせて10m以下で任意に調整ができ、プール内の水については循環及び浄化システムが備えられています。

これら整備された装置を使用して、例えば、遠隔多関節水中ロボットの先端に、レーザー切断ヘッドを取り付けて、放射線量が高くなる原子炉構造材の模擬材を円筒型プール内に設置して切断実証試験を行うことで、各種データの取得や解体手順の構築・確認をすることができます。

他にも、原子炉施設には同様の多くの貯蔵タンク等が存在しており、これらの解体や溶接作業等の作業環境を模擬でき、安全かつ効率的な作業方法を事前に確認・習得することができます。



監視カメラによる
監視イメージ

気中技術実証試験エリア

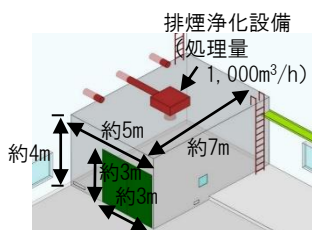
気中技術実証試験エリア（気中技術実証試験室）は、天井高さ約4m×幅5m×奥行7mの規模があります。気中技術実証試験室には、排煙浄化装置を常設しており、切断等で発生するヒュームや粉じん等を処理し、室内の清浄度を維持できるように作業環境にも配慮しています。

ここでは、6軸遠隔気中ロボットによる遠隔での切断実証や汎用のダイヤモンドワイヤソー等の切断工具や研磨工具等を使用して、「ふげん」で実際に使用していた実機材や模擬材を使用して切断作業や除染作業等を体験することができます。また、地元の各企業が独自に開発した切断等の工具や各種装置等の実証をすることも可能です。さらに、実際に管理区域で使用しているグリーンハウスや防護具等を用いて解体現場を再現し、作業管理の体験・実習等に利用することも可能です。

廃止措置作業では、供用中と同様の安全管理や作業管理が求められることから、これから廃止措置ビジネスに参入を計画している地元企業には、これらの廃止措置モックアップ試験フィールドを活用して頂き、解体作業（切断・分解）や除染作業等を事前に確認できることは大きなメリットになります。また、自社開発した装置や工具等が実際の現場において、使用可能かどうか等を検証するにも大いに役立つと考えられます。

【気中技術実証試験エリアの用途】

- 切断等で発生するヒュームや粉じん等の回収及び粒径分布等のデータ取得・検証
- 6軸遠隔気中ロボットによる遠隔切断技術の実証
- 地元企業が独自開発した切断等の工具や各種装置等の検証
- 汎用のダイヤモンドワイヤソー等の切断・研磨工具を使用した解体作業（切断・解体）や除染作業等の事前確認・習得
- 解体現場で実際に使用しているグリーンハウス等を用いた作業管理の体験・実習など



気中技術実証試験室



グリーンハウス等



6軸遠隔気中ロボット



局所排気装置

気中技術実証試験エリアの主要設備



ガソリン切断



ダイヤモンドワイヤソー切断



遠隔レーザー切断

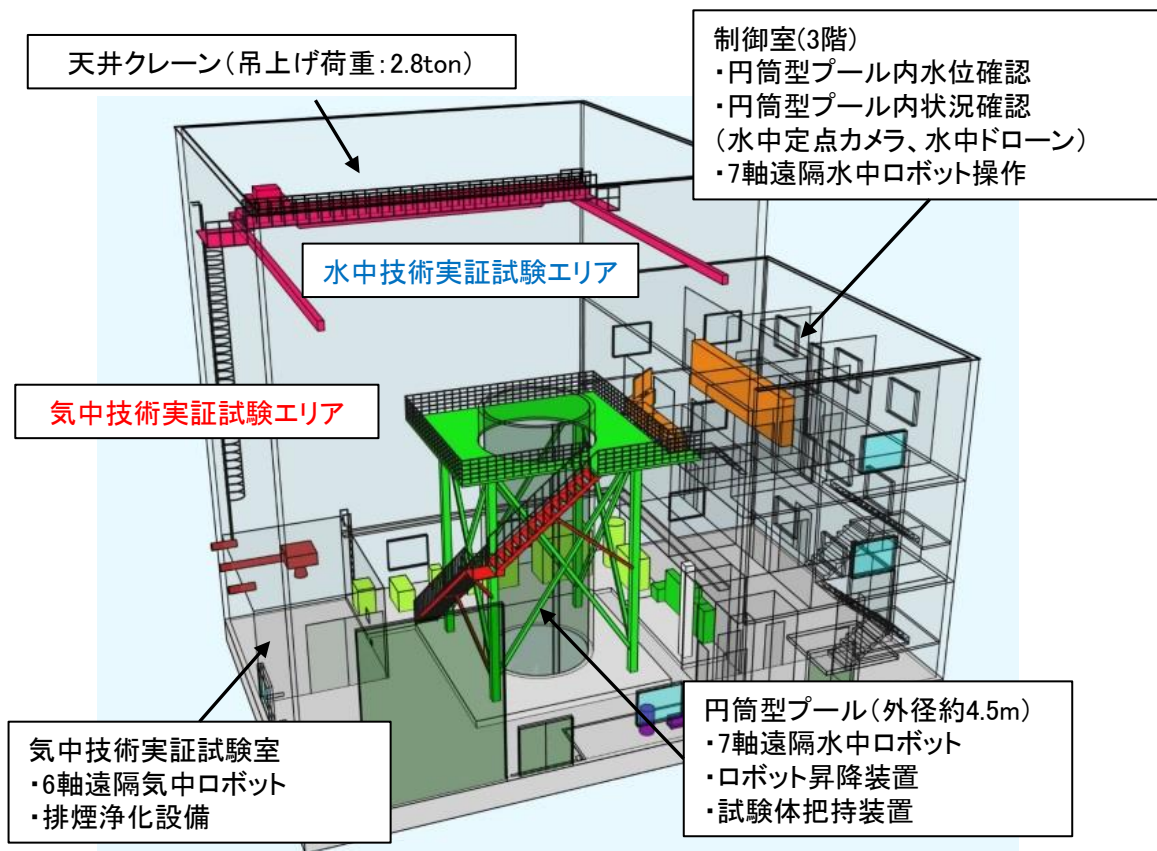


実機材解体検証

各種切断試験（イメージ）

装置の仕様・能力

仕様の説明



(1) 水中技術実証試験エリア

- 円筒型プール
(高さ:約10.5m、外径約4.5m)
- 7軸遠隔水中ロボット
- 水中監視カメラ等

(2) 気中技術実証試験エリア

- 6軸遠隔気中ロボット
- 排煙浄化設備等

(3) 共用装置

- 高出力レーザー切断装置(出力30kW)
- 圧縮空気設備
- ブラスト除染装置
- 各種切断工具等

円筒型プール

- ・外径約4.5m
 - ・高さ約10.5m（水深最大10m）
 - ・材質ステンレス製
- （主な機能）
- ・7軸遠隔水中ロボット及び昇降装置
 - ・循環・浄化設備（ろ過精度 $2\mu\text{m}$ ）
 - ・水位計
 - ・水中監視カメラ、水中照明
 - ・内部確認窓
 - ・内部アクセス用ラダー
 - ・プラットフォーム（床耐荷重 $200\text{kg}/\text{m}^2$ ）



円筒型プール上部から
見下ろした様子



7軸遠隔水中ロボット

- ・型番：PA-25-UW
- （三菱重工業製）
- ・軸数：7軸
- ・可搬重量：25kg
- ・動作温度範囲： $0\sim 50^{\circ}\text{C}$
- ・使用環境：水中（水深10m以上）
気中でも使用可能



6軸遠隔気中ロボット

- ・型番：MOTOMAN-MH50
- （安川電機製）
- ・軸数：6軸
- ・可搬重量：50kg
- ・動作温度範囲： $0\sim 45^{\circ}\text{C}$
- ・使用環境：気中

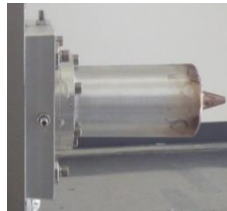


高出力レーザー切断装置

- ・型番：YLS-30000
- （IPG Photonics社製）
- ・定格出力：30kW
- ・発振波長：1070-1080nm
- ・発振形態：連続発振（CW）



レーザー発振器



レーザー切断ヘッド



レーザー伝送用ファイバー（HLC-16）

小型手動式ウェットブラスト 除染装置

- ・サイズ：(W)1,000×(D)1,100×(H)1,570mm
- ・消費電力：max 1.0kW
- ・有効処理範囲： $\phi 600\times(H)250\text{mm}$
- ・重量：150kg
- ・対応研磨剤：セラミックス球形
（ガラスビーズ、ジルコニアビーズ）



ふくいスマートデコミッショニング 技術実証拠点の整備

FUKUI Smart Decommissioning

国内外で原子力発電所の廃止措置ニーズが高まりつつある中、福井県の強みを活かし、若狭地区の電気事業者と連携を図りつつ、技術力強化等により廃止措置ビジネスをリードする地元企業を支援し、地域経済の発展と廃止措置の課題解決に貢献

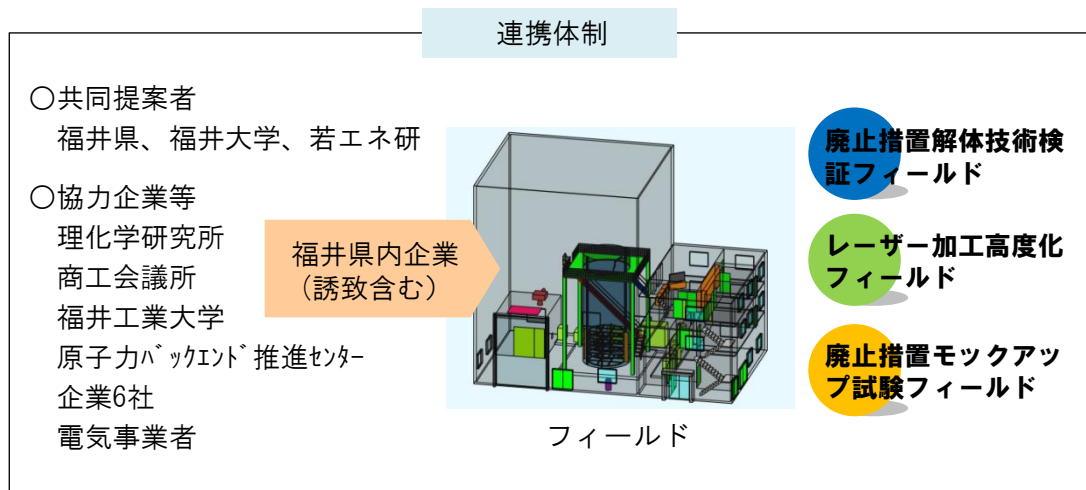
福井県の強み

- ★我が国初の商用軽水炉をはじめ、我が国の約1/4の原子力発電所が存在
- ★県内企業は、長年に亘り県内の原子力発電所の建設、保修、運転、点検等に参入し原子力発電所を熟知
- ★敦賀市には原子力機構、福井大学附属国際原子力工学研究所、若狭湾エネルギー研究センター、福井県国際原子力人材育成センター等の教育・研究インフラが多く立地
- ★福井県エネルギー研究開発拠点化計画の下で連携基盤が存在



全国・世界の市場へ展開

技術力強化により県内企業の廃止措置事業への参画を容易にし、廃止措置ビジネスの確立と関連企業群の形成を図る。



全国・世界の市場へ展開

アクセス

Access



- 敦賀駅よりタクシーで約15分
- 北陸自動車道 敦賀I.C. より車で約20分




国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構
敦賀総合研究開発センター

〒914-8585 福井県敦賀市木崎65-20
TEL : 0770-21-5033 FAX : 0770-25-5782
<https://www.jaea.go.jp/04/tsk/fsd/index.html>