



苛酷環境下での長期遠隔操作 を支援するモックアップ

ロブ・バッキンガム博士（**Dr Rob Buckingham**）、英国王立工学アカデミーフェロー
英国原子力公社（**UKAEA**）ディレクター兼、苛酷環境下での遠隔適用業務センター
（**RACE**）所長

2018年8月6日 福島第一廃炉国際フォーラム

この数分間は...

目的

長期に渡る燃料デブリ取り出しのための遠隔操作におけるリスクを回避するために、いかにモックアップを活用できるかを検討する

トピックス

- JETの遠隔運転を支えるUKAEA/RACEのモックアップ利用
- RACEのモックアップ利用を支える方法と原理
- 1Fの廃止措置に関連する可能性のある所見

UKAEAの任務

『核融合発電とそれに関連する技術の商業的開発をリードし、持続可能な核エネルギーにおけるリーダーとして英国を位置づけること』

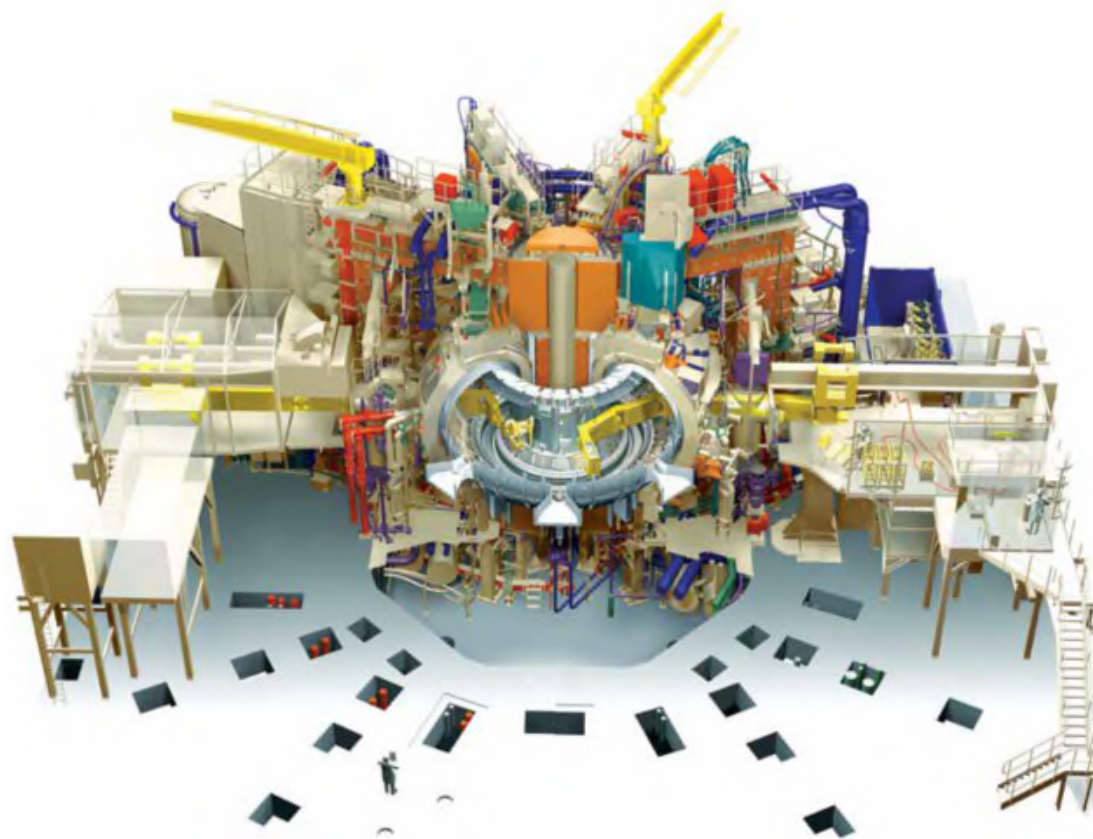
UKAEAは、欧州共同トーラス型核融合実験施設（Joint European Torus : JET）を運営

英国オックスフォードシャー・ カラムにある**RACE**



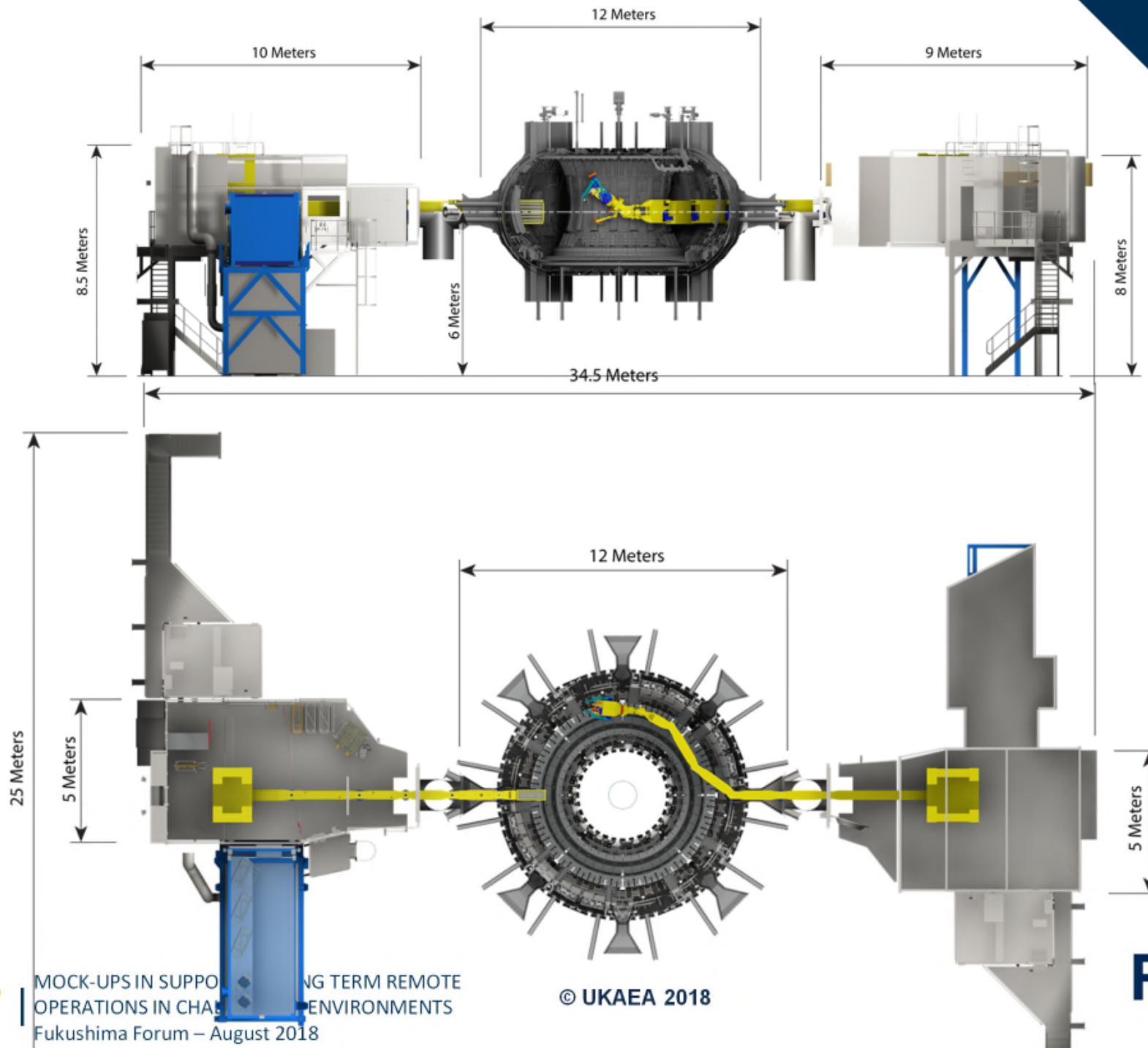
RACEは『苛酷環境下での遠隔適用（ロボティクス）』のUKAEAの拠点

JET遠隔操作システム



UKAEAは過去20年に渡り、長期間のモックアップにより実証された最新の遠隔操作システムとロボットシステムを活用および改良しながら、遠隔操作システム技術の最前線に立ち続けてきた





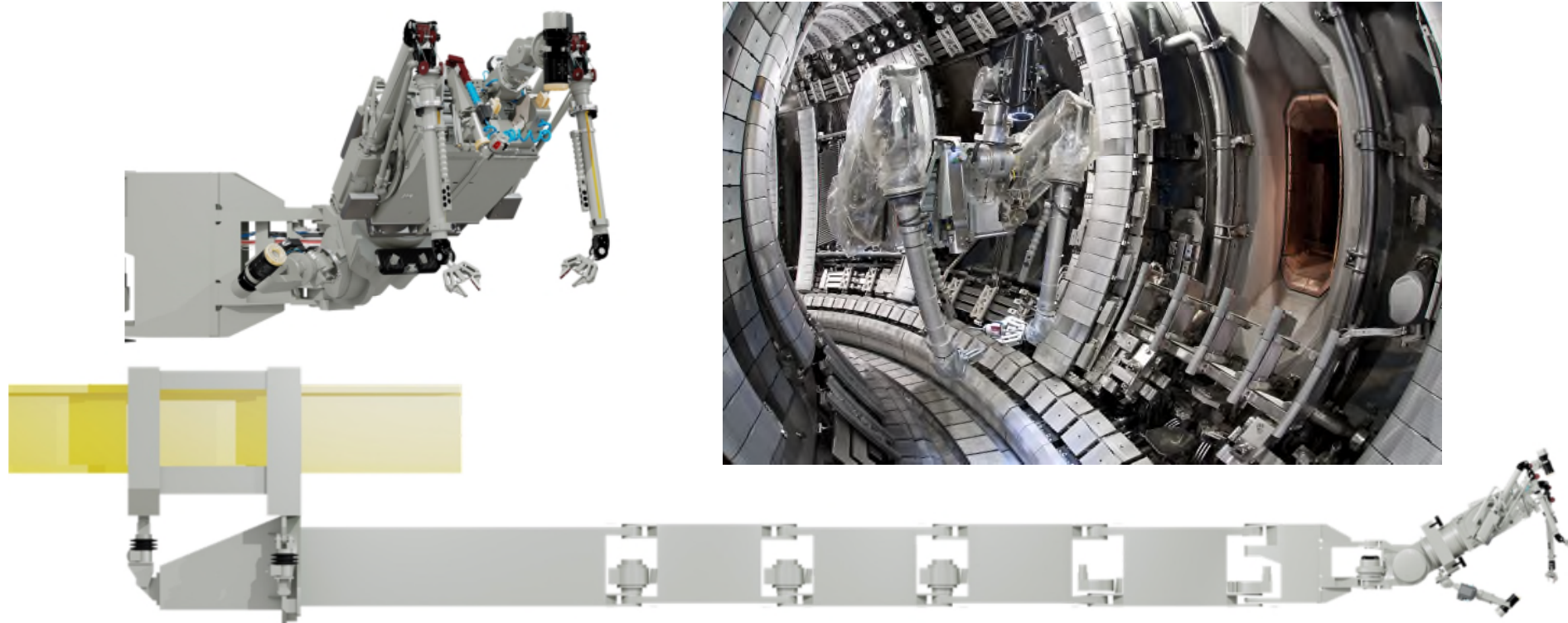
7

MOCK-UPS IN SUPPORT OF LONG TERM REMOTE OPERATIONS IN CHALLENGING ENVIRONMENTS
Fukushima Forum – August 2018

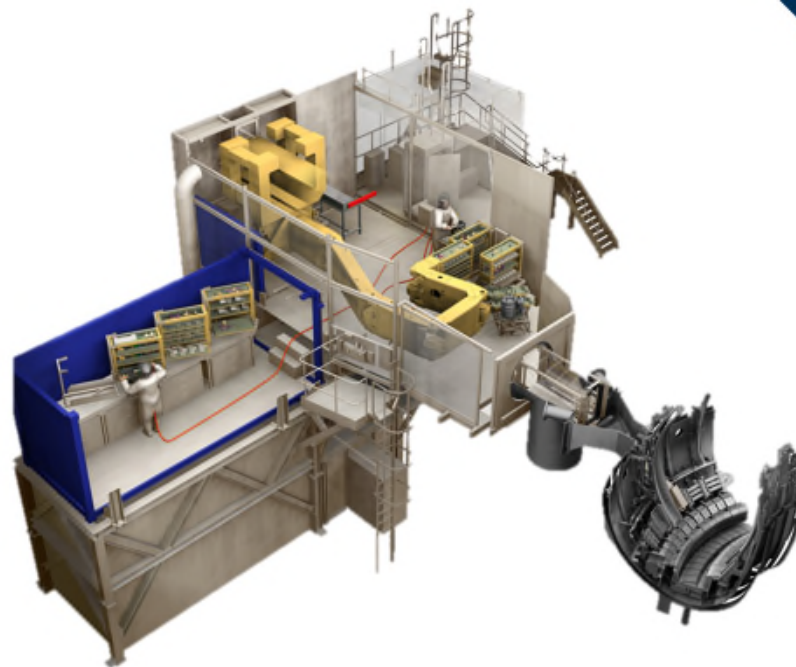
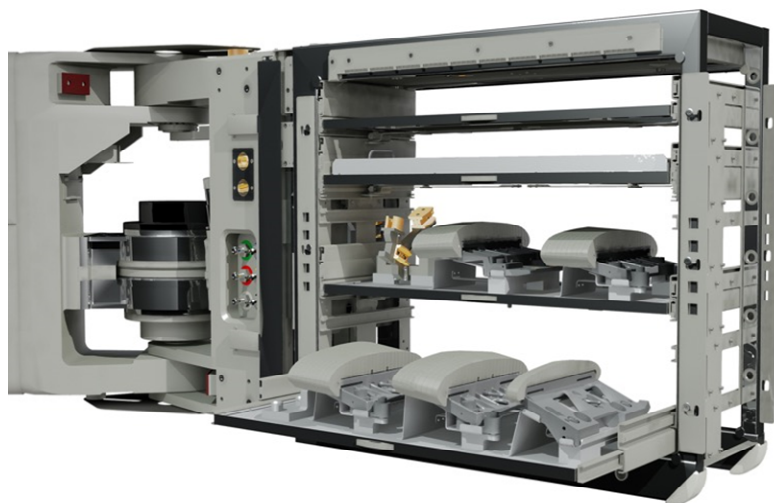
© UKAEA 2018



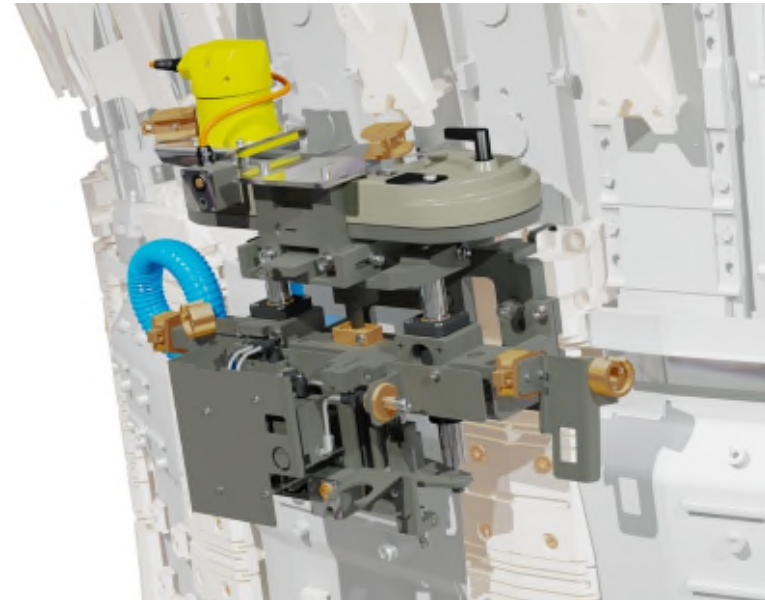
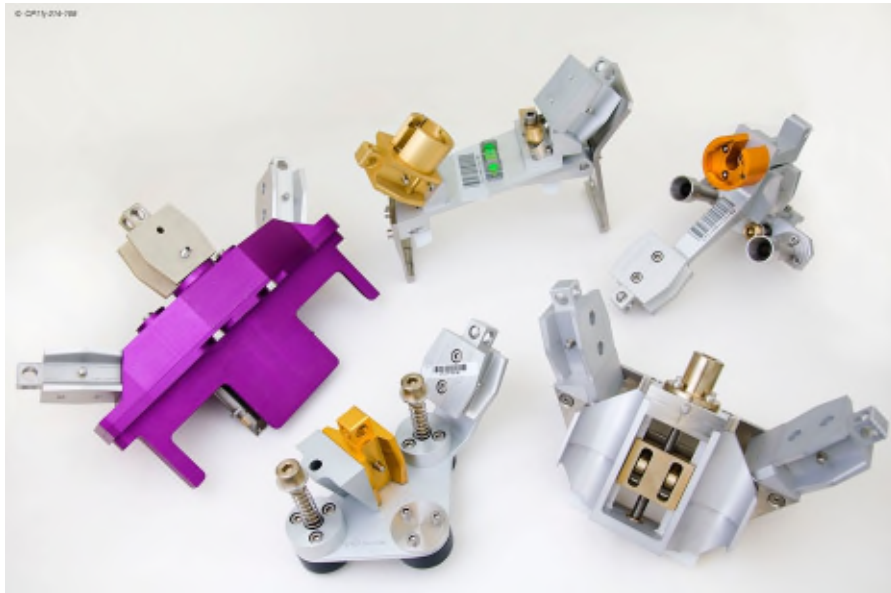
Octant 5 Boom and MASCOT



Octant 1 Boom

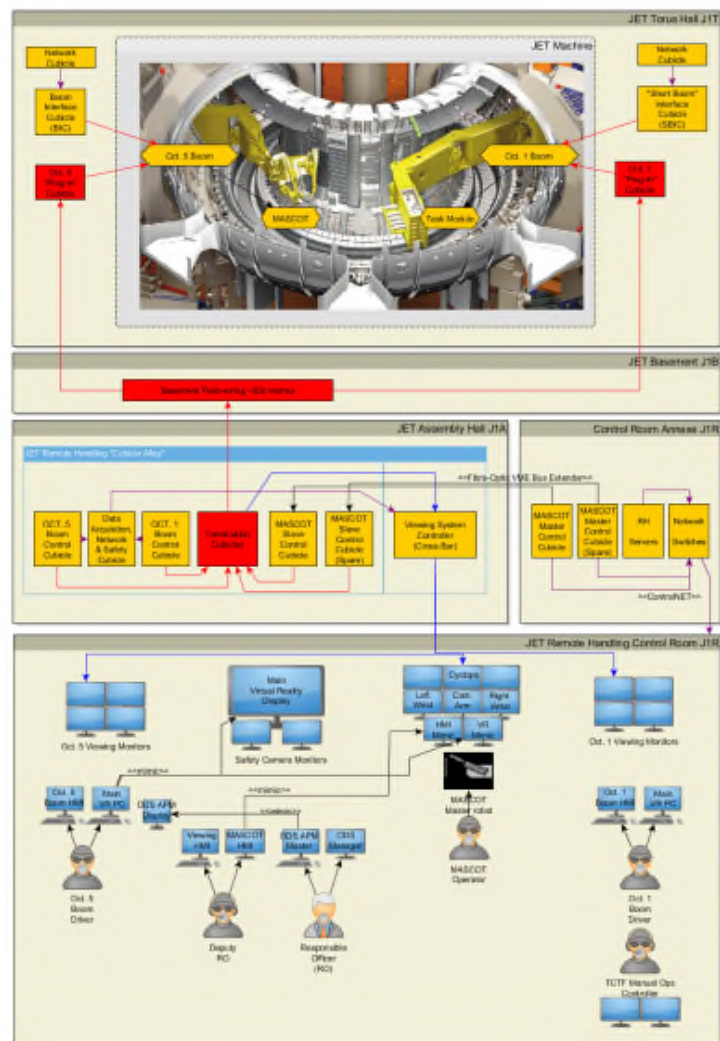


ツール



操作室

- 運転員 5名
 - Mascot運転 1名
 - カメラとMascotサポート 1名
 - Boom運転 2名
 - 責任者 1名
- マスターマニピュレータ
- 制御HMI
- カメラ機材一式
- VRシステム
- 運転管理システム



注意!

JETは1Fではない

JETは高度に管理されている

JETはきれいである

JETは低放射線場である

JETはより小型である

JET遠隔操作システムは依然として独自性を保つ

JET遠隔操作システムは20年に渡り、使われ、

維持され、改良されてきた

モックアップは重要

なぜ？

信頼感の構築

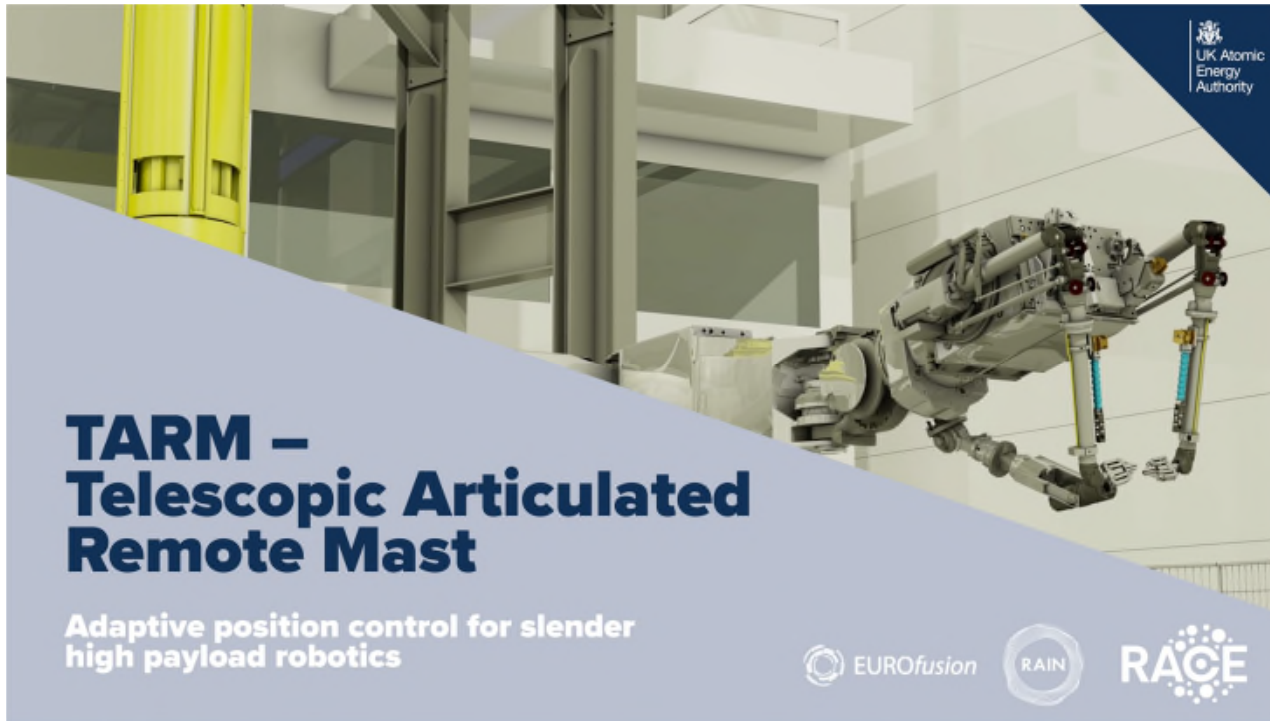
炉内訓練施設（IVTF）は、20年に渡り、JETにおける遠隔操作をサポートしてきた。

伸縮式多関節遠隔マニピュレータ（TARM）は、比類のない超冗長かつスマートな高ペイロードロボットシステムで、ソフトウェアや制御システムの試験を行うための物理的モックアップである。

伸縮式多関節遠隔 マニピュレータ




- 大きな荷重を約10mm精度までの低い剛性比で操作可能な、能動位置制御システムの開発
- 2台の試験用エフェクター
 - 動きに対する受動低周波応答
 - 能動制御可能な振動運動
- 多重冗長検出試験
- 汎用試験プラットフォームとして長期使用



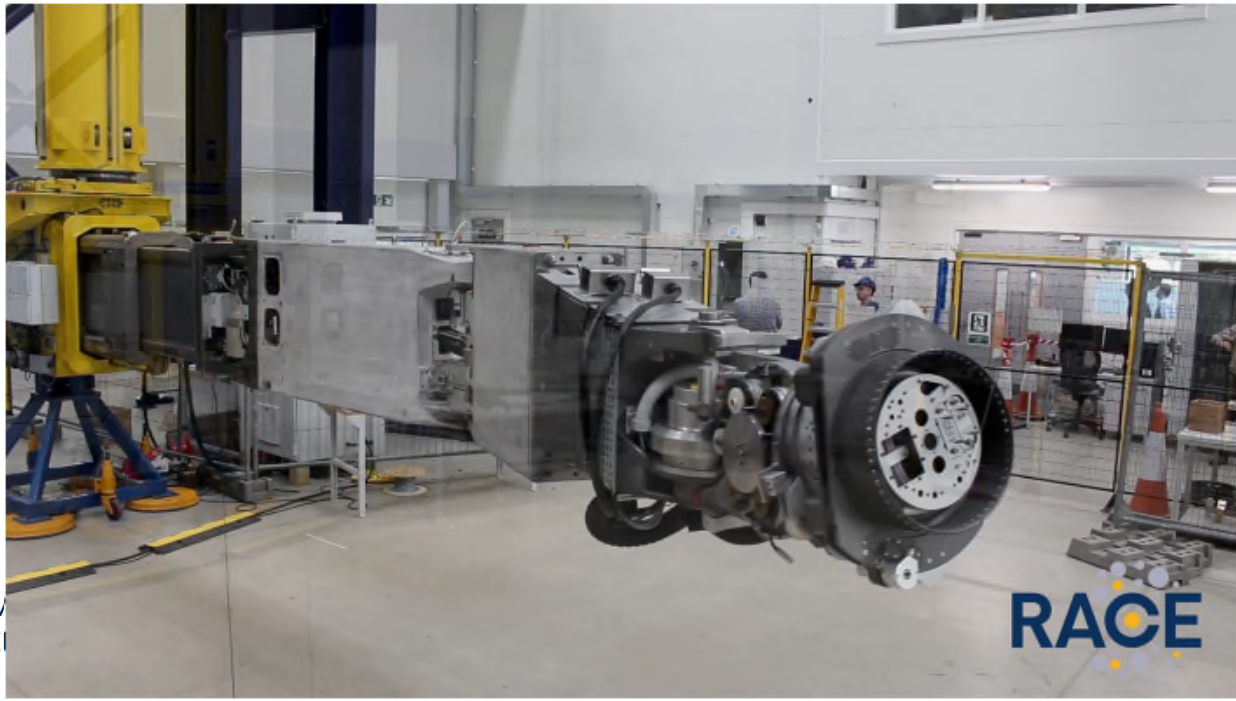
UK Atomic Energy Authority

TARM – Telescopic Articulated Remote Mast

Adaptive position control for slender high payload robotics



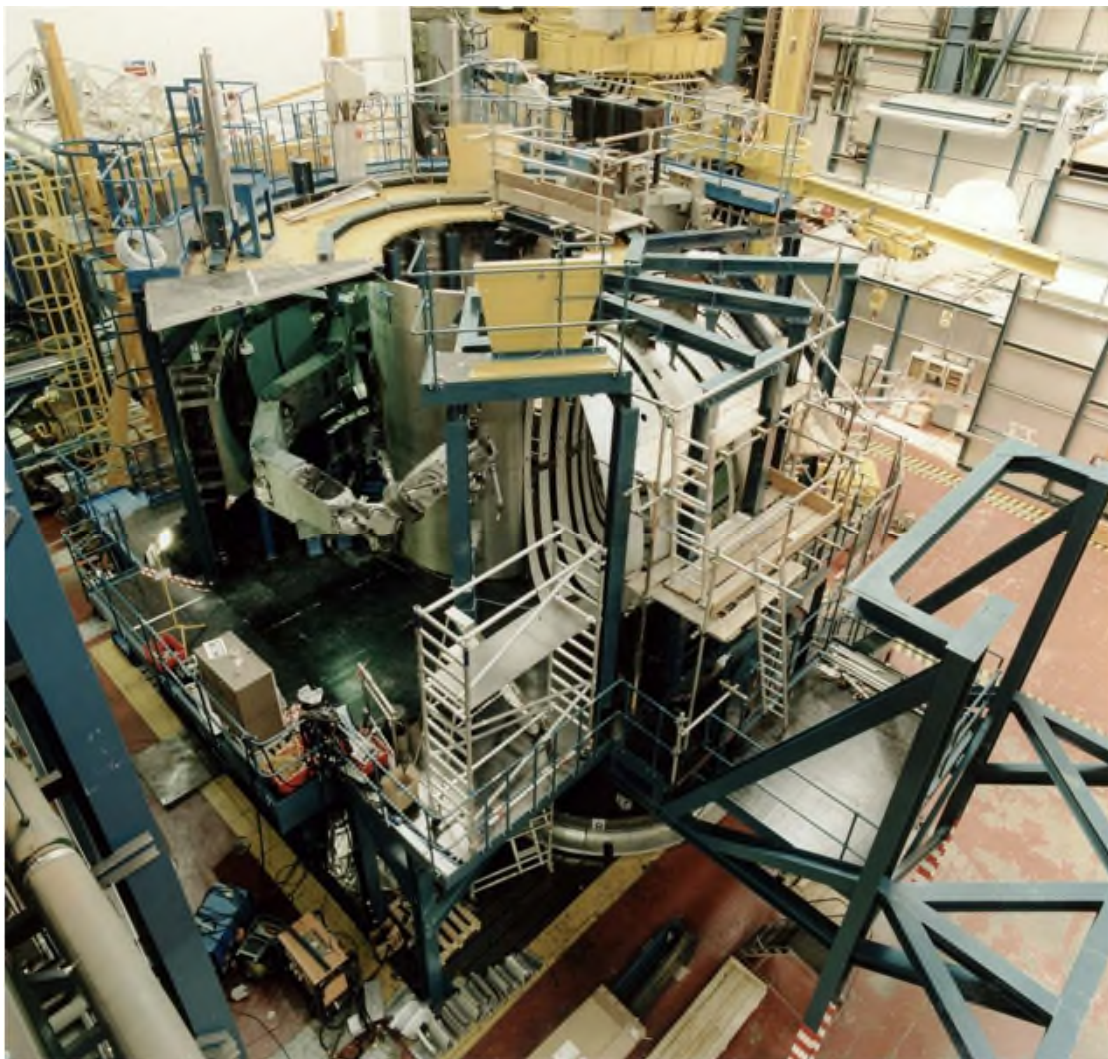




15

MOCK-UPS IN SUPPORT OF LONG TERM REM
OPERATIONS IN CHALLENGING ENVIRONME
Fukushima Forum – August 2018

炉内訓練施設



IVTFは、20年に渡りJET遠隔操作システムの不可欠な要素としての役割を果たしている。

徐々に開発を重ねながら変化に対応し続けてきた。

遠隔操作システムおよびプロセスの開発にとって重要かつ貴重な施設:

- 安全
- 証明済み
- 効率が良い（対コスト）
- 適時
- 現場志向

炉内訓練施設

機材／装置の開発

- RHSツールの開発および妥当性確認／実証
- コンポーネント実現可能性調査、開発の検証および妥当性確認

作業開発

- コンポーネントの操作および取扱い試験
- 作業の作成、検証および妥当性確認
- 故障および復旧のシナリオ検証
- ブーム教育ファイルの検証

訓練

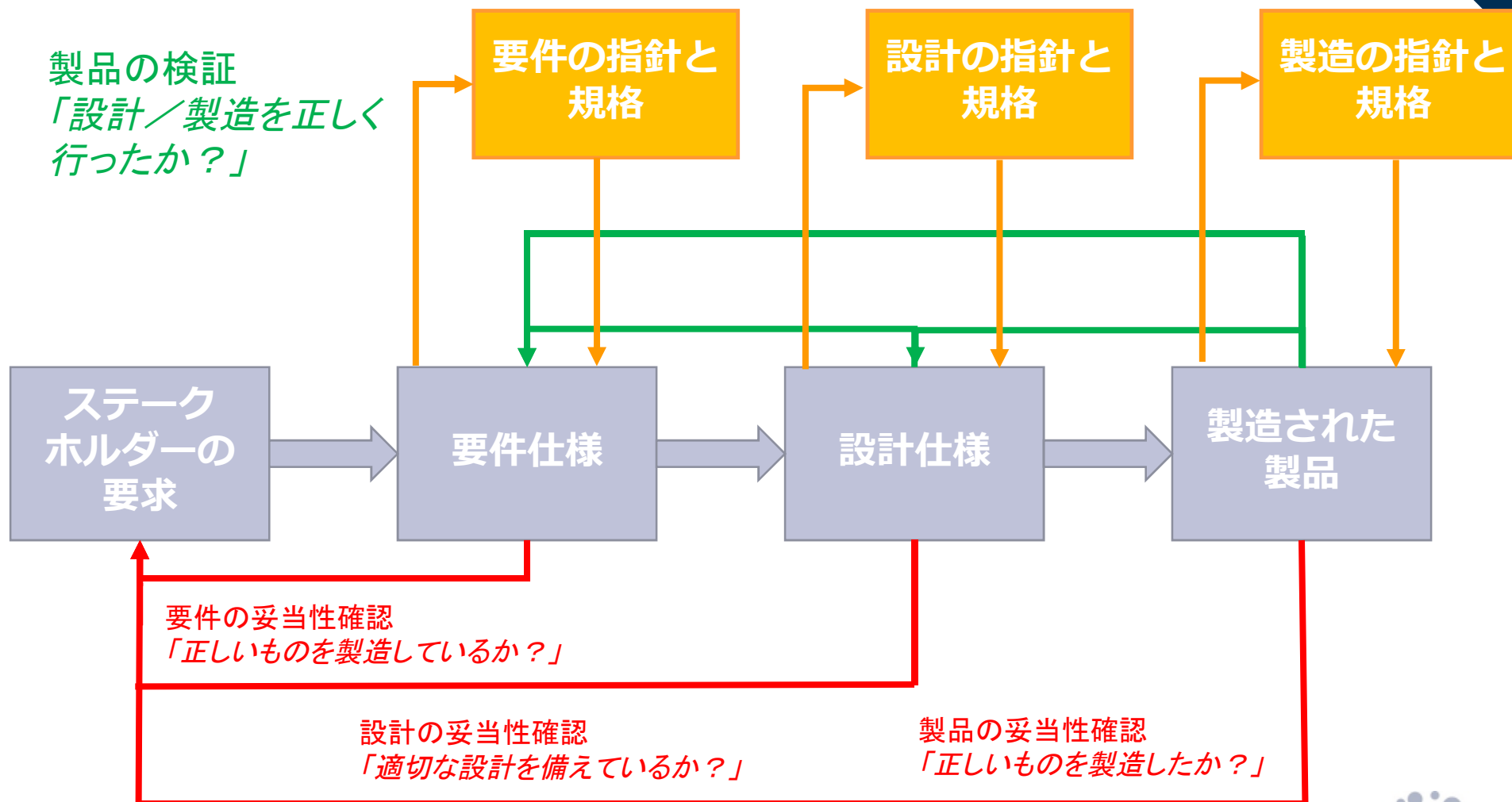
- 運転員の選抜面接
- 運転員の訓練
- 運転員の技能維持
- 運転員の評価

運転

- 異常の把握および調査



妥当性確認および検証



ステークホルダーの参加

出資オブザーバー この用語の対象には、活動自体に関心を有するものの、特定の計画やハードウェア、特定の運転手順の詳細な知識を持たない人が含まれる。出資オブザーバーが最も関心を寄せるのは活動の成果。

規制者 このグループは出資オブザーバーおよび承認者とは区別されており、各々個別の規制機能を示す。

承認者 ここでは、独立した承認者グループが存在していることを前提とする。このグループは、運転計画に対して情報に基づく独立した評価が行えるよう、特定のハードウェアや運転手順に関する詳細な知識を有している必要がある。

運転管理者 運転管理者は、適切に資格を認められた経験豊富な職員(SQEP)のグループで、特定のハードウェアおよび運転手順に関する詳細な知識を有することが期待されると共に、運転の監視を行う。

運転員 SQEPのグループに属し、特定のハードウェアおよび運転手順に関する詳細な知識を有すると共に、ハードウェアの運転が行えることを期待されている。

開発者 初期の機材／装置設計チームのみならず、修正、改良、および補助システム開発に加わる開発者が含まれる。

モックアップの目的

ステークホルダーの参加

- 1Fの燃料デブリ取り出しなどの複雑かつハイリスクなプロジェクトの承認には、財政、政策、および規制関係のステークホルダーによる高いレベルの権限が必要。
- 机上の検討で照合が困難な場合に、物理的な実証を行うことで、解決策の完全性および徹底性を簡潔かつ分かりやすく伝えることができる。



モックアップタイプ

機能面でのモックアップでは、システムやサブシステムの機能試験が行われる

- 通常は短期間での実施
- 直接的なインターフェースのみを再現
- 通常はプロジェクトの初期段階で活用
- 集中した技術および設計の開発を行うための開発チームが活用

環境・運転面でのモックアップでは、システムが稼働する環境の再現が求められる

- 通常は長期間での実施
- 広範な環境を再現
- 運転をサポートできるように、通常はプロジェクトの後期段階で活用
- 実証、妥当性確認、および訓練が行えるよう、幅広いステークホルダーが活用
- 不測の結果や人的要因など、広範な調査が可能



モックアップの目的

運転員の統合

- 不確実な環境における信頼感の構築
- 運転員の疑念が生じた箇所の特定および軽減策のテスト
- 固有の利用性の特定および改善
- 運転員の「持ち場回避」の特定および防止



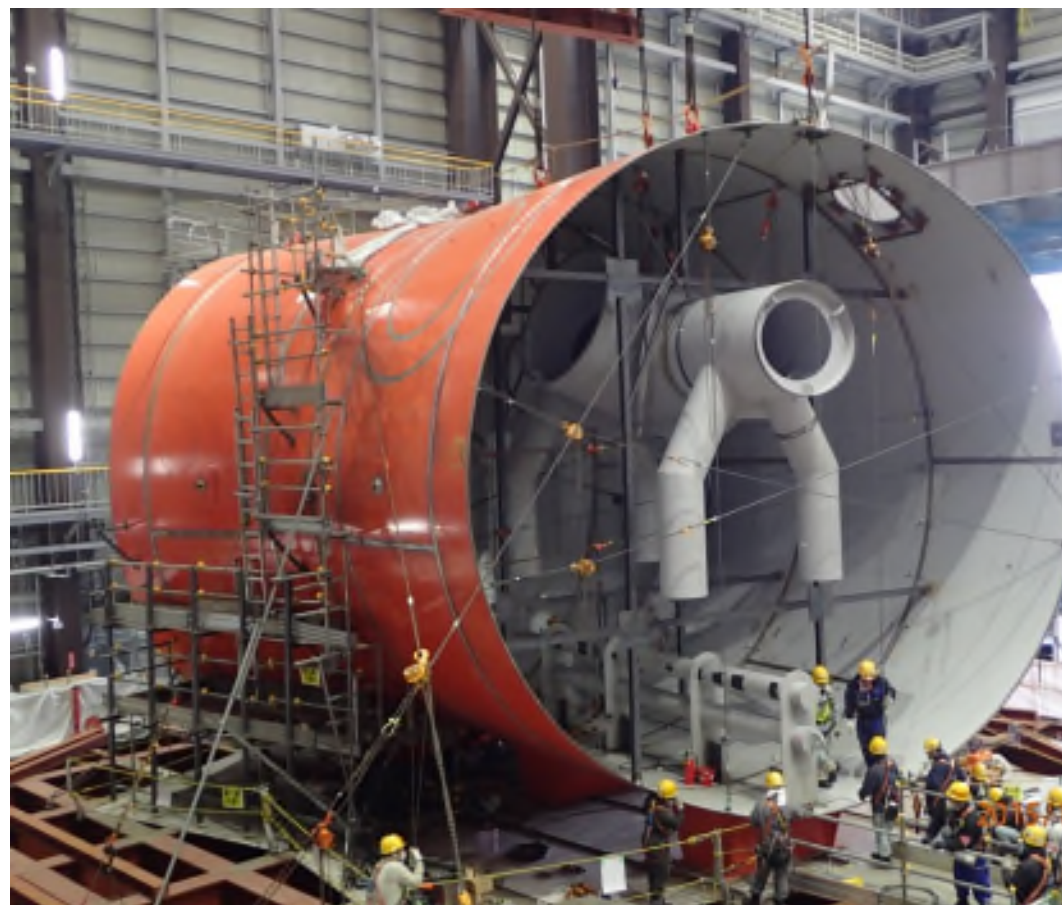
モックアップの目的

未知の不確実性

1FのPCVIには、数多くの未知と不確実性がある

モックアップは、これらを減じるのみならず、人員全体の反応や対応状況を把握し、改善する重要な役割を果たす

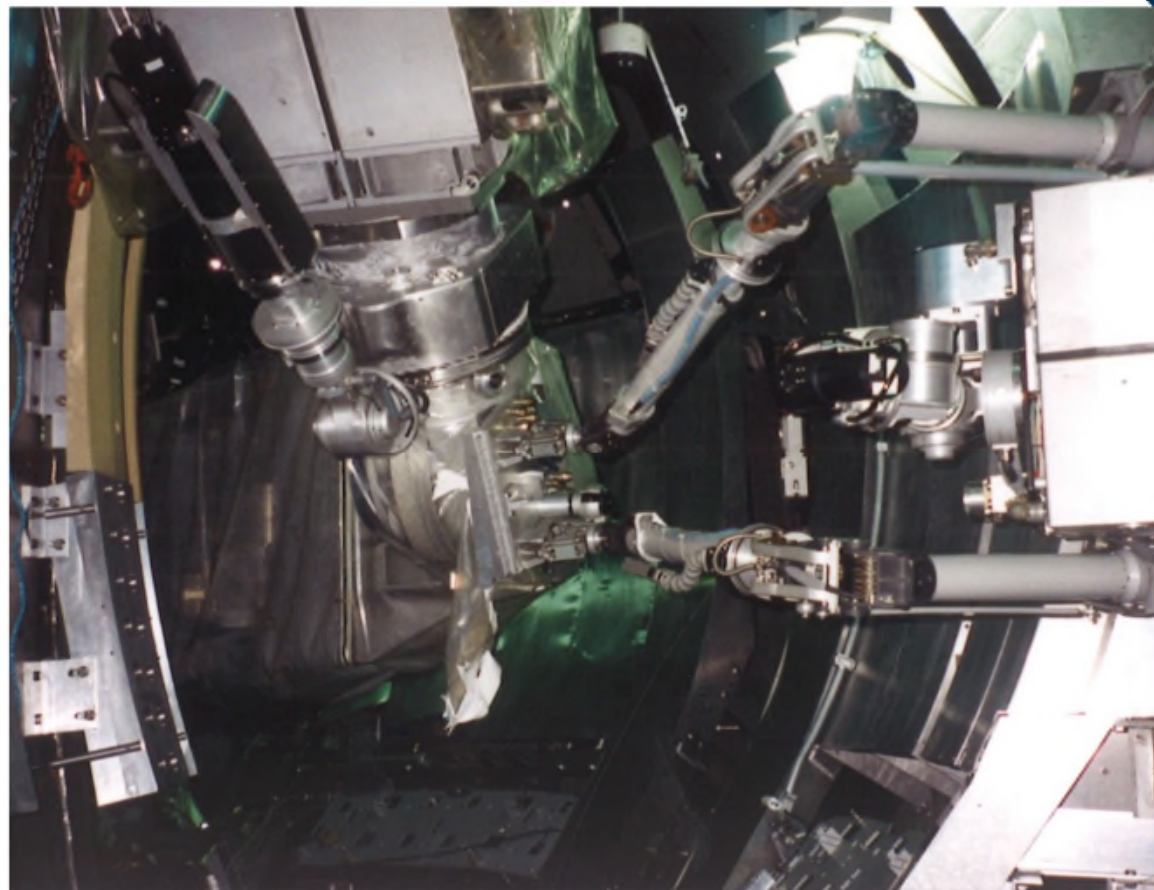
- 既知の不確実性
 - ・ 故障モードの特定
 - ・ 復旧および救済シーケンスの実践および作成
- 未知の不確実性
 - ・ 異常事態を意図的に導入することで、異常事態に対する運転員の対応を試験する
 - ・ 初試行での「故障」を把握
 - ・ 分からない未知のプロセス



モックアップの目的

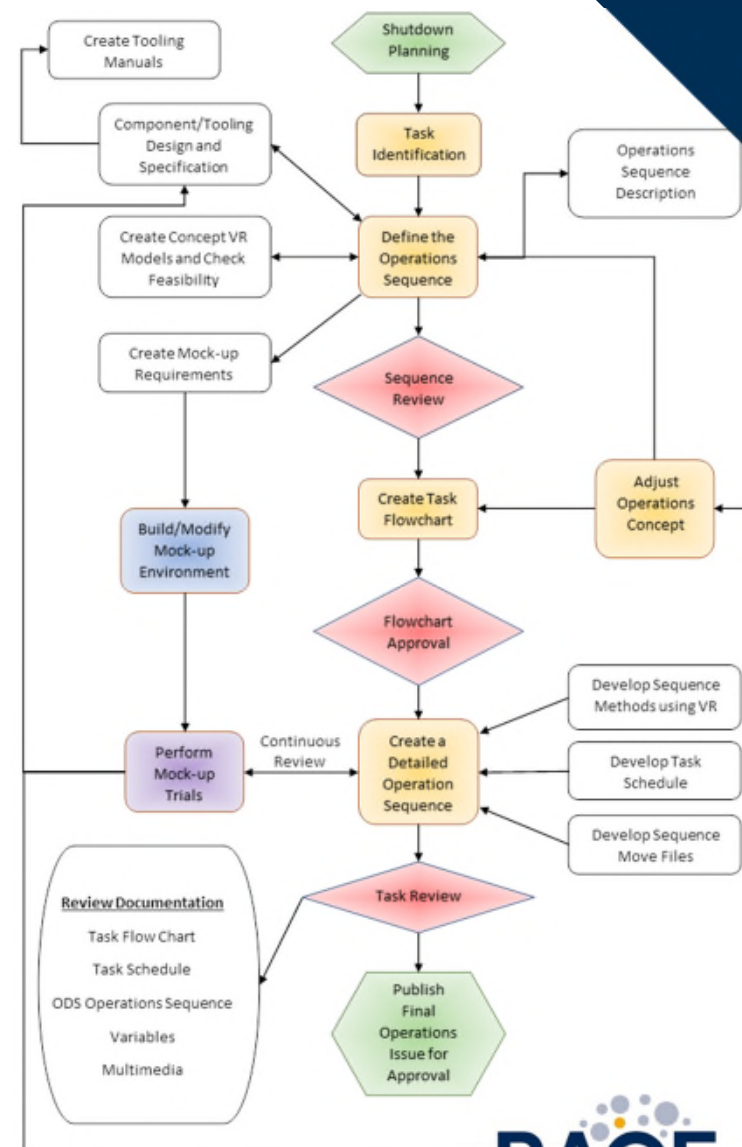
故障からの復旧

- IVTF内で、あらゆる故障シナリオの広範な試験を実施
- 環境に依存し、または取り残されるリスクがあるツールの試験は不可欠
- 1Fの原子炉は既に運転不能であっても、復旧できない機材や装置により、廃棄物保有量が増加し、コストが増し、今後の運転を妨げる可能性がある
- 「持ち込むことよりも、取り出すことがより重要」



モックアップの活用

- 明確な方針を設け、維持する**
 - 体系的なリスクベースの手法を用いて、方針を決定する
 - 中間結果により、変更が必要になる可能性があるため、モックアップの活用は、結果主導で、柔軟かつ迅速に行う
 - 実際の運転スケジュールおよび施設スケジュールに沿う
 - 最善策を得るために時間をかけ過ぎるよりも、たとえ最善では無い解決策であっても適時に解決策を得る方が好ましい場合がある
 - 目的に遑って、構造、行動の深さ、材料を決める
- 場所**
 - 信頼感を構築共有するには、特定のステークホルダーへのアクセシビリティが重要となることがある
 - 機能試験は開発者の近くで行う
 - 長期運転試験および開発は運転員の近くで行う

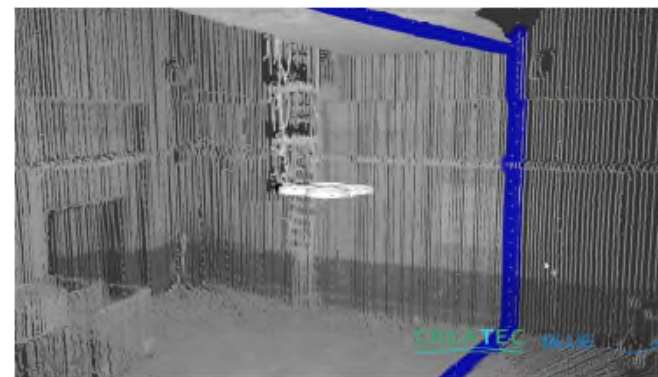


きれいなシステムと 汚染されたシステム

- JETでは、汚染レベルが低いため、実際の機材／装置を用いてIVTFモックアップの訓練を行える
- 福島では、機材／装置の汚染レベルが高くなりがち
 - 機材／装置は維持、確認および妥当性の再確認が必要となり、その際に機材／装置は原子炉から別の施設へ移される
 - 訓練用に運転機材／装置が利用できない場合、追加システムが必要となる
 - 訓練の要素の中には、シミュレータで代用できるものがある
- 最低限として、以下の4つの作業が必要となる
 - 貯蔵庫および作業場を含め、きれいな機器の組立および試験
 - モックアップ内での、きれいな機器の試験
 - 貯蔵庫および作業場を含め、汚染された機器の保全／保守
 - 汚染された機器の試験
- これらの各空間は管理および維持が必要。できれば同一チームが理想的

モックアップ例

サイトでのモックアップーアクティブ(おそらく)



工場でのモックアップーノン・アクティブ



27

MOCK-UPS IN SUPPORT OF LONG TERM REMOTE OPERATIONS IN CHALLENGING ENVIRONMENTS
Fukushima Forum – August 2018

まとめ

長期に渡るモックアップを実施することで、実作業の全期間に渡って起こりうる作業要求事項の変更へ効率的に対応できるようになる。モックアップを通じて、ハードウェアを改善し、作業員の技量を向上させることができる。

1Fの炉内への最初の立ち入りは、分からない未知が多く、あらゆるリスクを低減することは不可能という意味で、これを容認することは難しいだろう。その意味では、初期の物理的モックアップの大きな目的は、関係者間で信頼感を醸成し、スタートするための全員の合意を打ち立てることにあるだろう。



ご清聴ありがとうございました!

質問は?