

FROM RESEARCH TO INDUSTRY

cea

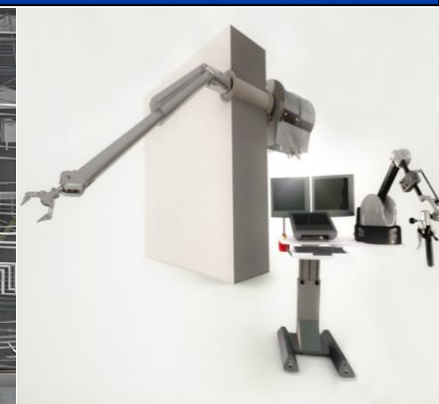
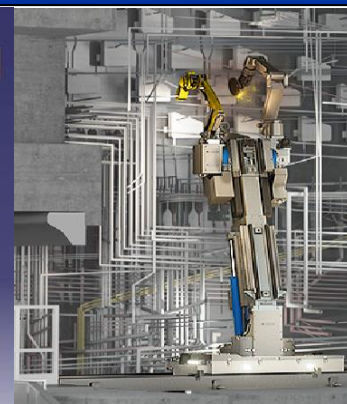
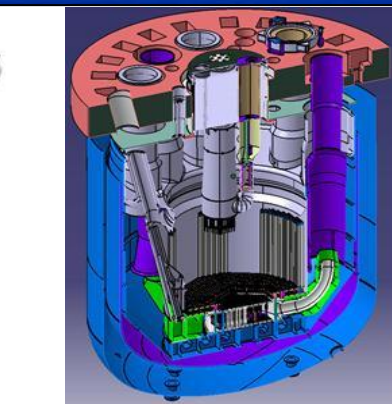
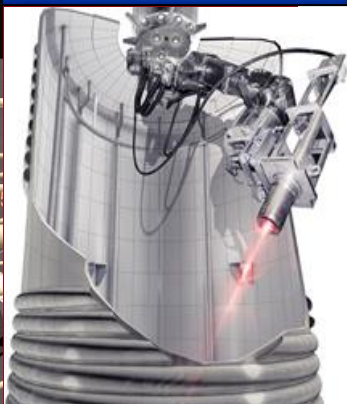


廃炉のための遠隔制御システムについての フランスの専門的技術

2018年8月6日 福島県いわき市
(第3回福島第1廃炉国際フォーラム)

Christine GEORGES (クリスティーヌ・ジョルジュ)
CEA (フランス原子力・代替エネルギー庁)
DEN (原子力エネルギー部門)
DDCC (廃止措置事業本部)
christine.georges@cea.fr

oints chauds





フランスの廃止措置：3つの事業者と多様な施設



□ ~ 135億ユーロ
(約1兆7550
億円)

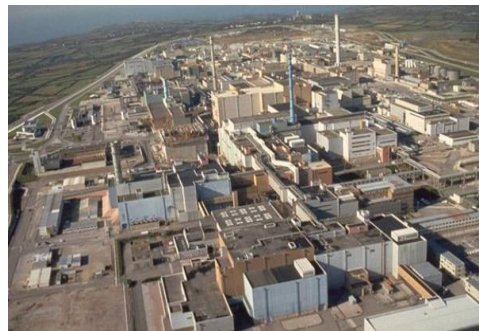
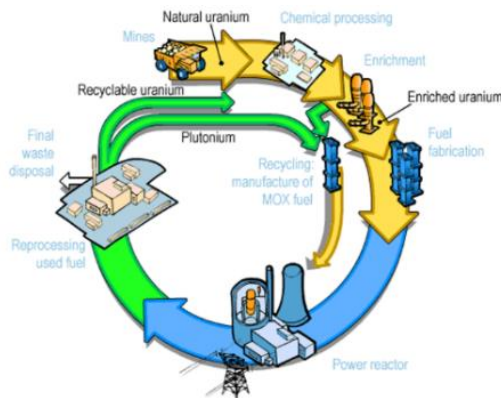
□ 実験炉（ガス冷却式/加圧水型（PWR）/高速増殖炉（FBR））の濃縮核燃料と燃料サイクル施設（UP1、APMなど）のD&D（除染と廃止）

□ ~ 75億ユーロ
(約9750億円)

□ 濃縮核燃料と燃料サイクル施設のD&D

□ ~ 244億ユーロ
(約3兆1720億円)

□ NPP（原子力発電所）のD&D



CEAとORANOの燃料サイクル施設での、1F（福島第1原発）に類似した課題：

- 予期せぬ状況
- 廃棄物の多様性
- 高線量率と汚染（ウラン（U）、プルトニウム（Pu）、核分裂生成物）



Chinon A



St Laurent A



Bugey 1



Chooz A



Creys Malville



Brennilis



プルトニウム、ウラン、核分裂生成物が混在したタンク内のスラッジの空間線量率は最大300Gy/h

- 予期せぬ事後洗浄
- 回収の困難さ
- 廃棄物管理

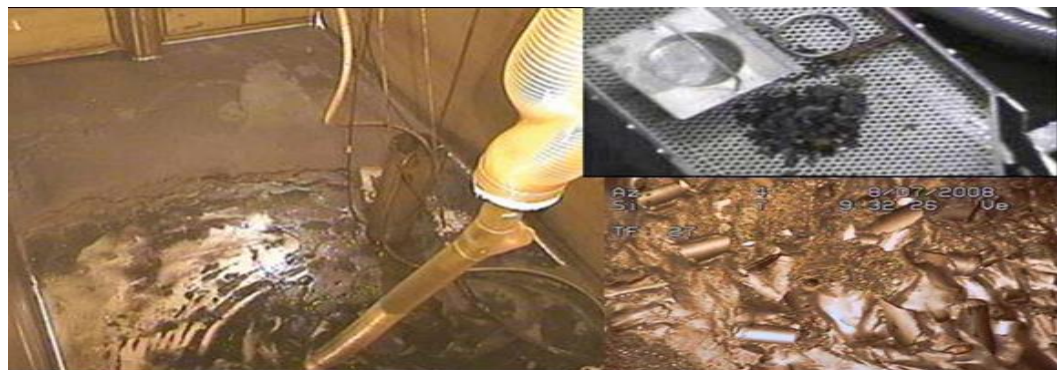
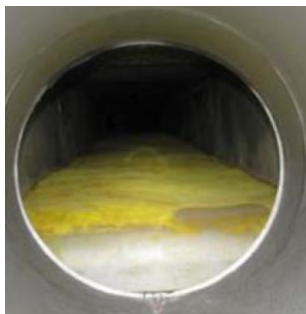


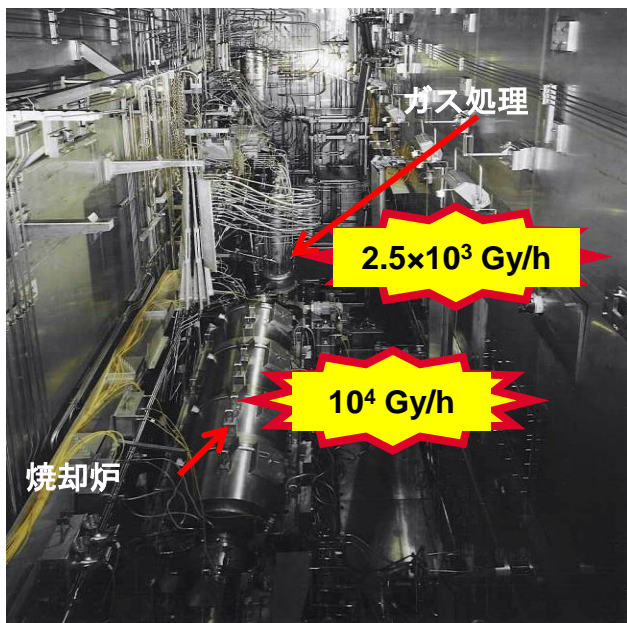
燃料デブリを含むレガシー廃棄物の例

- 非常に多様な化学物質と放射性核種；長寿命

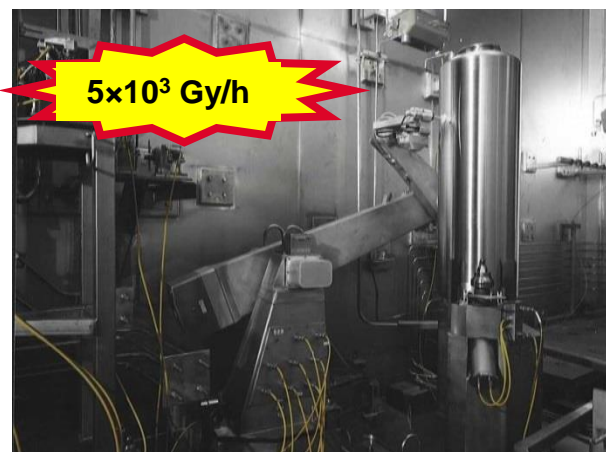


使用済み核燃料の溶液によって汚染されたベント管と通路の例





ガラス固化セル

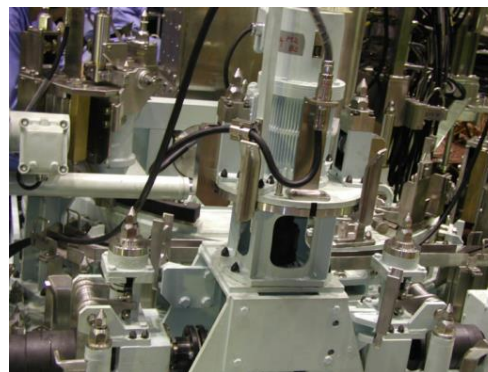


自動汚染コントロール

- 確実な閉じ込めを行うための配置とツール、保守操作の簡易化、除染の円滑化、汚染拡散の回避、放射線耐性をもつ設備
- ホットセル内のハンドリング操作と明瞭な視界



ガラス固化施設のホットセル



遠隔操作で取り外し可能な部品



セル内ハンドリング用クレーン (LH ACQ)

90年代からの教訓

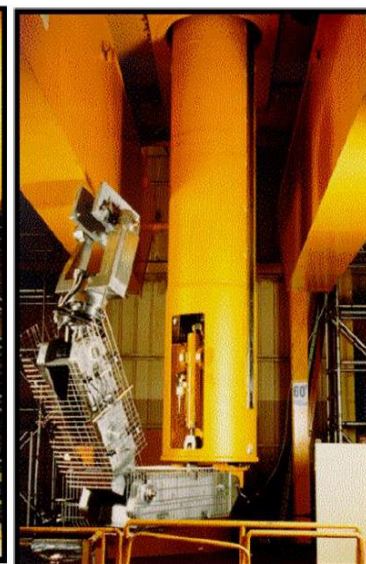
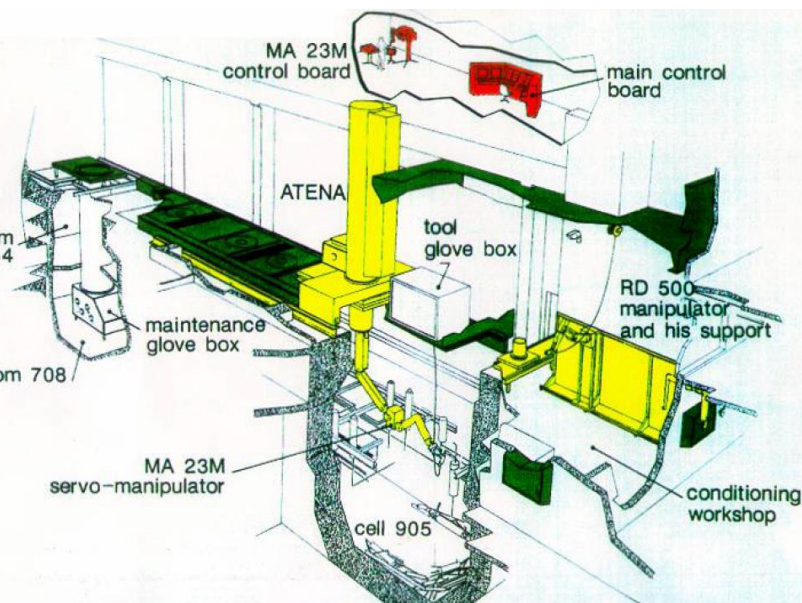


1970's

1990's computer assisted
remote handling

AT1再処理パイロットプラントーCEAラ・アーク

- 1979年にAT1閉鎖：除染期間2.5年
- 機械的ホットブラインドセルのATENAを使用した解体に1990年から4年間

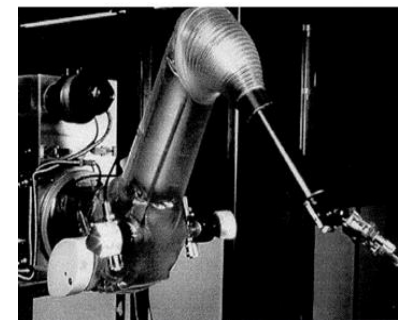


ATENA-RD500タイプの遠隔マニピュレータを備える多関節ホルダー

- 設備とコンクリート壁の除染と切削に適した工程
- 極めて近代的な伸縮式アームの概念
- 力のフィードバック、直交座標モード、グラフィック表示による監視機能を備えたコンピュータを使用した新しいTAO2000制御コマンドの最初の実証例

問題点：

- 機械の重量が大きい
- 廃止措置のための能力（500N）がない
- 設備への到達可能距離はセルの入口から13メートルまでしかない
- 信頼性が低い
- いくつかのツールに問題がある
- 再利用が不可能で非常に高額



CEAがCybernetixと共同で80年代に開発したRS500

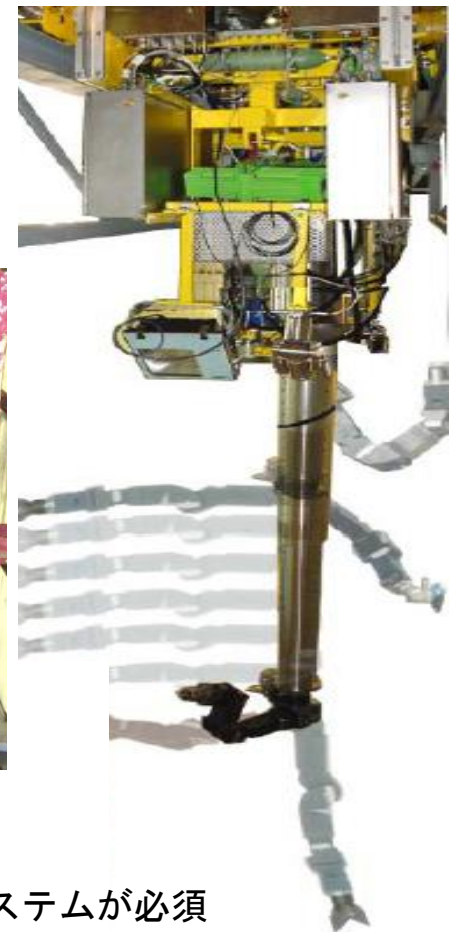
例：液/液抽出ユニットの廃止措置（U/PUと核分裂生成物）

除染後の作業は遠隔制御ではなく、2ステップ。

- 1) プロセスラインを通した十分な試薬による除染
- 2) 泡除染剤を使用したミキサーセトラの除染



例：使用済み燃料貯蔵庫の廃止措置

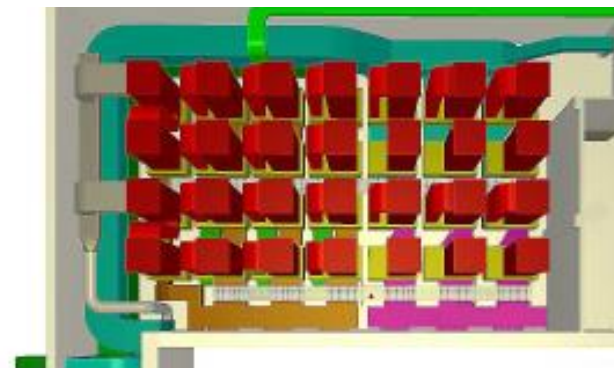


この場合は、遠隔制御システムが必須

従来の手法：市販システムをできるだけ多用し、遠隔制御システムの選択の責任は下請け業者に負わせる。

2000年：プロジェクト全体の下請け契約をその時点で最良のD&D企業の共同体と、費用目標に合わせて締結。しかし、次のような問題点があった。

- 遠隔操作の経験の欠如
- 操作上の制約に対して最低限しか考慮しない
- 切削の進捗の予測が甘く、**当初の契約が破綻し、工期は4倍、線量は2倍になった**



高放射性と高汚染



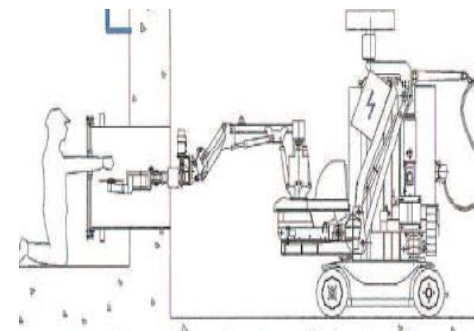
フィルタ底部



フィルタ頂部



切削片の搬出



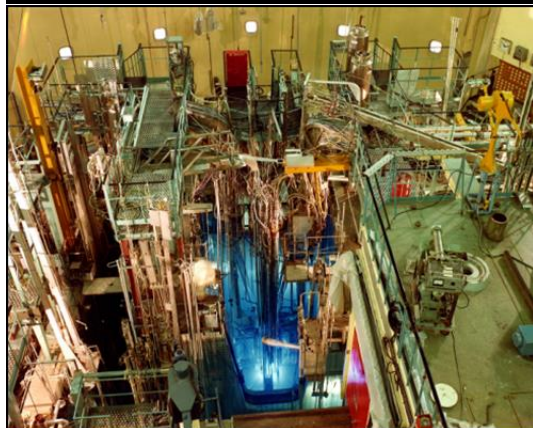
廃棄物と設備の回収が困難になる原因となった不具合と放射性沈積物

- 1982年と1985年に使用済み燃料溶解施設で発生した不具合：2011年に460kgの乾燥スラッジを発見
- システムは単純だが、認定のために膨大な非放射性試験が必要で、また、処理設備と廃棄物管理のための貯蔵場所が必要になった。



グルノーブルのSILOE研究炉の廃止措置

1997年：停止



2005年



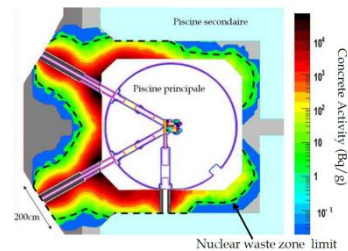
2007年：遠隔切削



2008年



排水後のメインプール底部の線量率は、予想よりはるかに高かった（放射化）=>遠隔制御による操作



2009年：放射化された壁の切削



2010年：内部構造物の除去

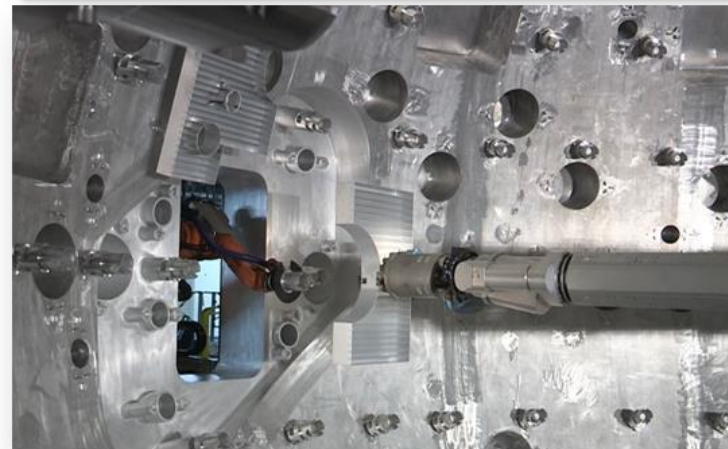
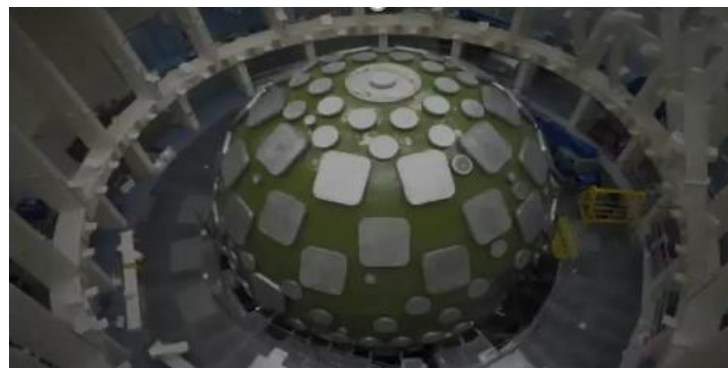


ロングリーチ構造アーム Cea List (システム統合技術応用研究所) が設計&開発 (2004-2008) し、CYBERNETIXがCEA Listと共同で製品化

⇒2008年、**TORE SUPRA** トカマク装置に初めて導入
(200°C、 10^{-5} Pa)

⇒ **CEA DAM LMJ (レーザメガジュール)** で**2012年**から運用中：保護パネル (250枚/50kg) を2cmの精度で自動交換

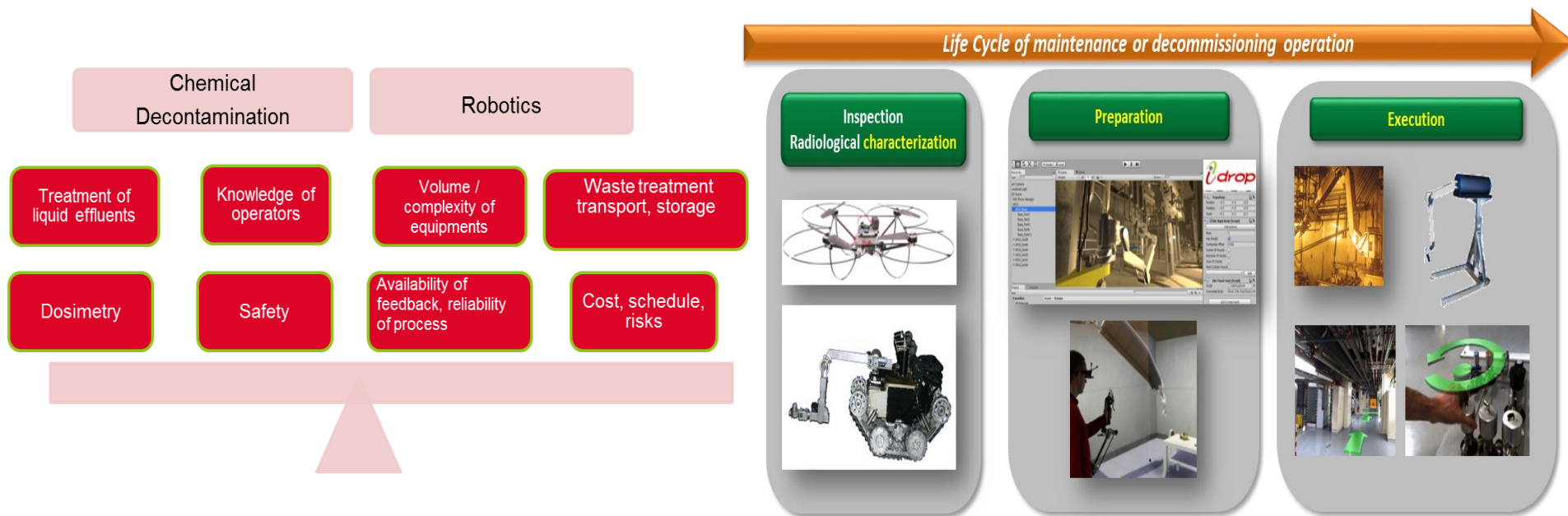
- 8自由度、リーチ17m、ペイロード100 kg、水平伸張12m、6mの可搬式ケーシングに格納可能
- 完全な室内壁面径方向アクセスのために、連結直径630mm



集大成/学んだ教訓

1.方法について

- 知識/初期状態と、最終状態の定義づけ（放射線的な状態だけではなく、物理的、化学的な状態/廃棄物管理も含めて）
 - 遠隔システム = 長期のプロセスで、多くの場合はD&D事業のための重要な岐路にある
 - プロセスと方法を認定するための実物大模型の必要性
- 調査活動のための専用ツール
- 調査から廃棄までの全体的なプロセスについて、複数の基準を使用して、いくつかのシナリオを比較
- «製品のライフサイクル管理» シミュレーションツールとハザード分析によってプロセスを評価し、リスクを軽減



線量のために遠隔制御と手動操作の選択の判断に迷うような時、遠隔操作は価値ある利点を提供するに足る信頼性をもつべき

集大成/学んだ教訓

2.遠隔操作のシステムについて

•生産性と安全性を高めた産業システムを開発する必要性:

- より軽量、安価で汎用性の高い運搬装置
- よりペイロードが大きく、信頼性と保守性が高く、高度の除染要求にも対応するマニピュレーターム

•区分用ツールの改善（スピードと廃棄）、ツールの交換、導管とケーブルの管理の必要性



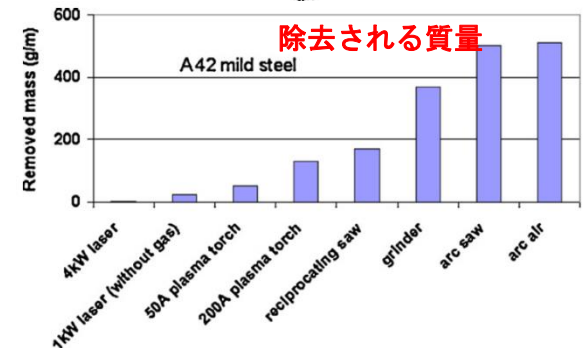
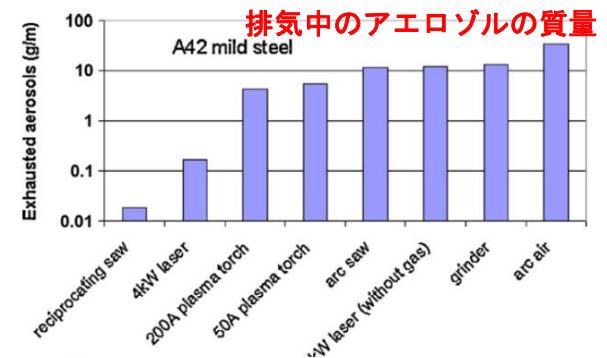
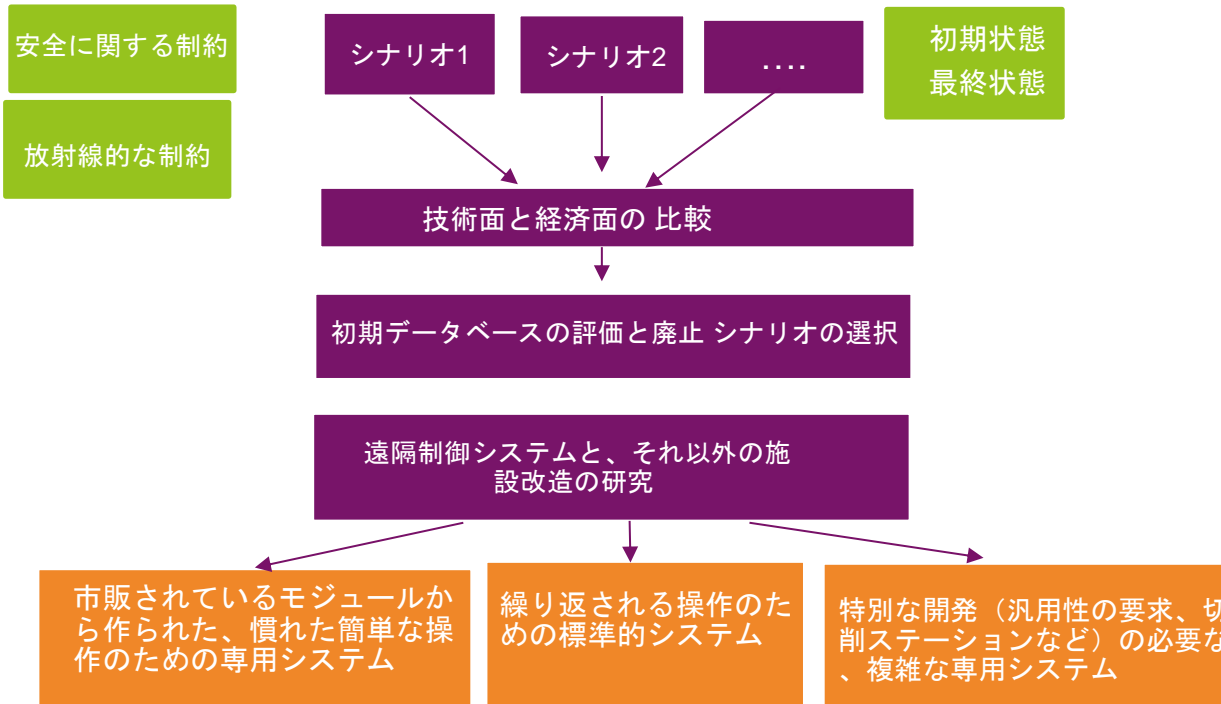
非常に繰り返しの多い操作のみを対象としてプロトタイプを作成し、その他の操作については実証済みの技術や資材を原子力仕様化する



廃棄物の調査、除染、区分、回収のすべてに対応して簡単に装備を交換できる、多様な設定が可能な多機能ロボットプラットフォーム



予期せぬ状況に備えたツールボックス/レーザ切削の開発

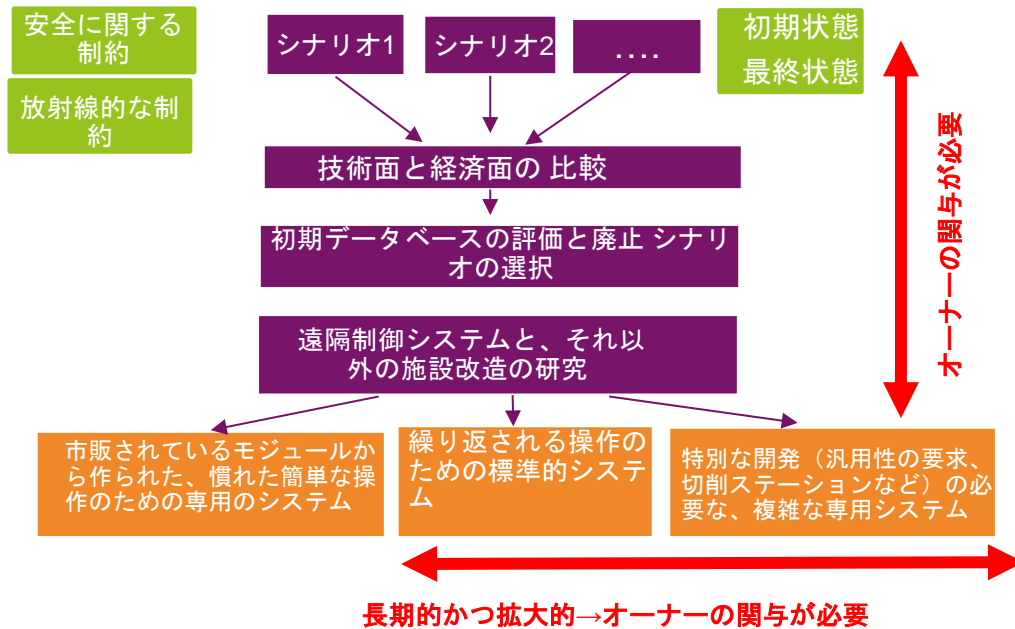


集大成/学んだ教訓

3.組織について

- 材料の経済性の問題は、長年の遅延による人員配置費用の問題に比べるとはるかに小さい
- 各社の業務の同時進行→フィードバックの有効利用と相互の協力による最適化は困難
- 新しいスキル：施設の運用制約に技術を適合させながら、廃炉措置と建設の両方を行う

- エンジニアリング研究の段階からオーナーが関与する
- さまざまな標準に適合する契約と互換性
- オペレータ、プロジェクトマネージャ、遠隔制御の専門家と研究開発チームからなる統合チーム



リスクを最小化するために、革新的な技術の使用を避け、立証済みの技術を探す

簡素さを保つ必要はあるが、より効果的/効率的な技術を使用するように下請け業者に推奨する

開発されたソリューション

力のフィードバックと直交座標位置指定を備える標準の遠隔操作式マスタースレーブ型アーム / «TAO»



1970's



1990's computer assisted remote handling



2000's Industrial transfer

- 力のフィードバック・マスタースレーブ制御：**生産性を向上**
- ロボット工学による軌道制御、仮想メカニズム
- 直交座標/関節座標の位置制御：**制御の有効性を向上**
- 位置/力の相似拡大設定、カメラによるグリッパ追跡
- 3Dグラフィカル監視画面



SEIV
ELCEM



cybernetix
A TechnipFMC Company

MAESTRO



Master arm and standard controller



GETINGE
La Calhène

MT200 TAO と Terman TAO

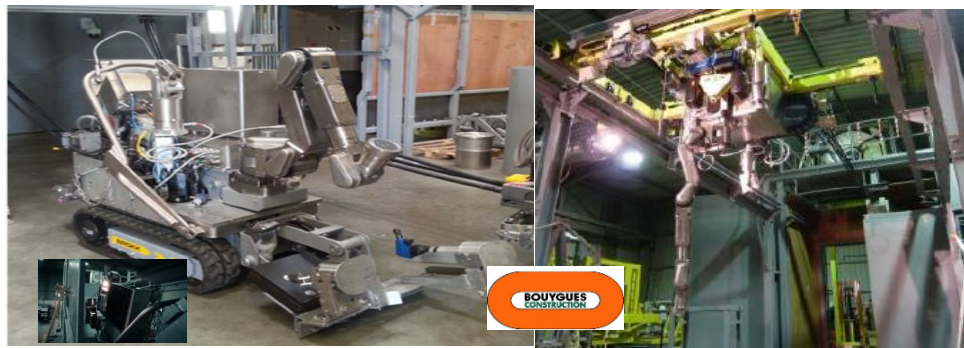


TEMIS
orano

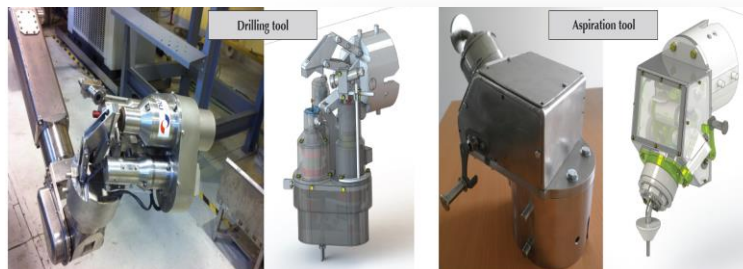
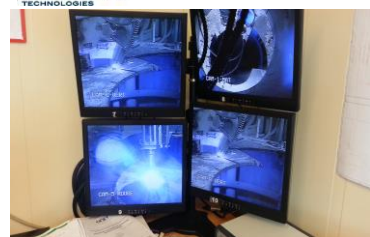
TEQ600



遠隔解体 R&D（研究開発）からCEAワークショップでの実装へ



- 4つのワークショップ
- 3つの主要なD&D会社
- 4つの構成（マスト、Brokk、クレーン、レール）



苛酷環境での調査のためのツール類

目視による検査またはサンプリング用



コンクリート構造内



脱被覆プール内



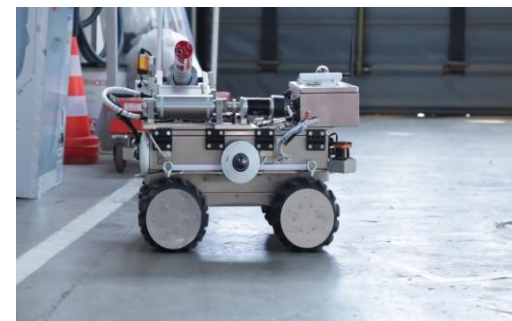
放射線耐性の高いCMOS



サンプリング用

放射線検査用

NANOPIX 現時点で最小のガンマカメラ268g、80x51x43mm



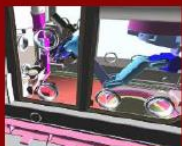


対話型シミュレーションツール (CEAでの15年にわたるR&D)

STUDIES



New equipment design



Remote handling simulation



Dose rate simulation



Human operation simulation

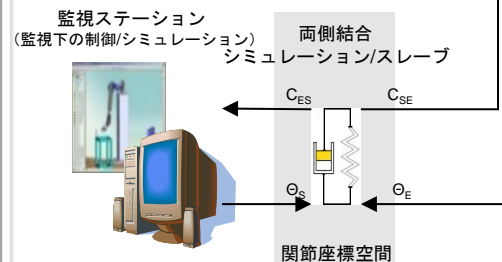
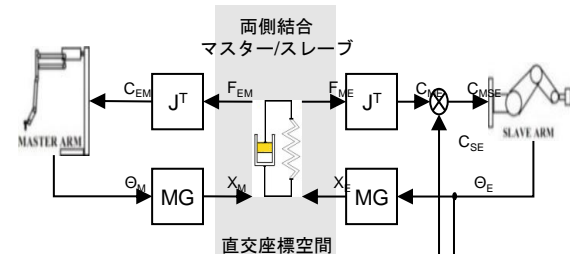
IMPLEMENTATION



Operator training and assistance



結合機構の原理



先進の対話型シミュレーションモジュール

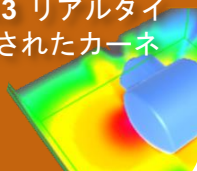
動力学シミュレーション

- マルチボディ マルチコンタクト
- 正確な衝突検出
- ケーブル (ソフトパーツ)
- ロボットとツールのライブラリ
- 人間のシミュレーション



線量率シミュレーション

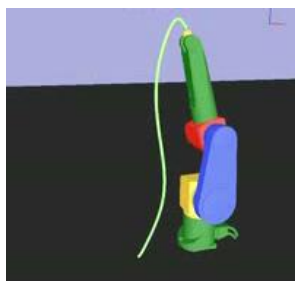
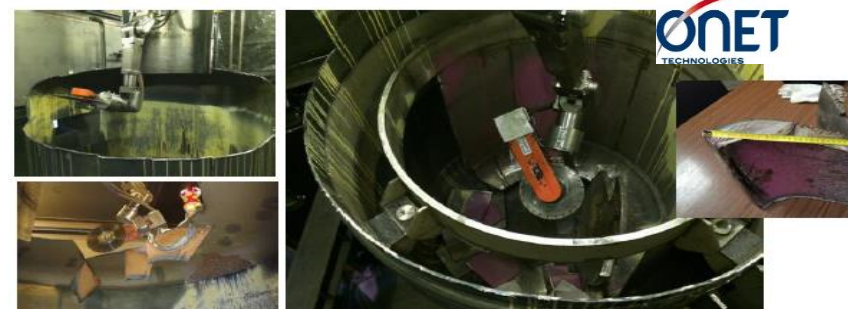
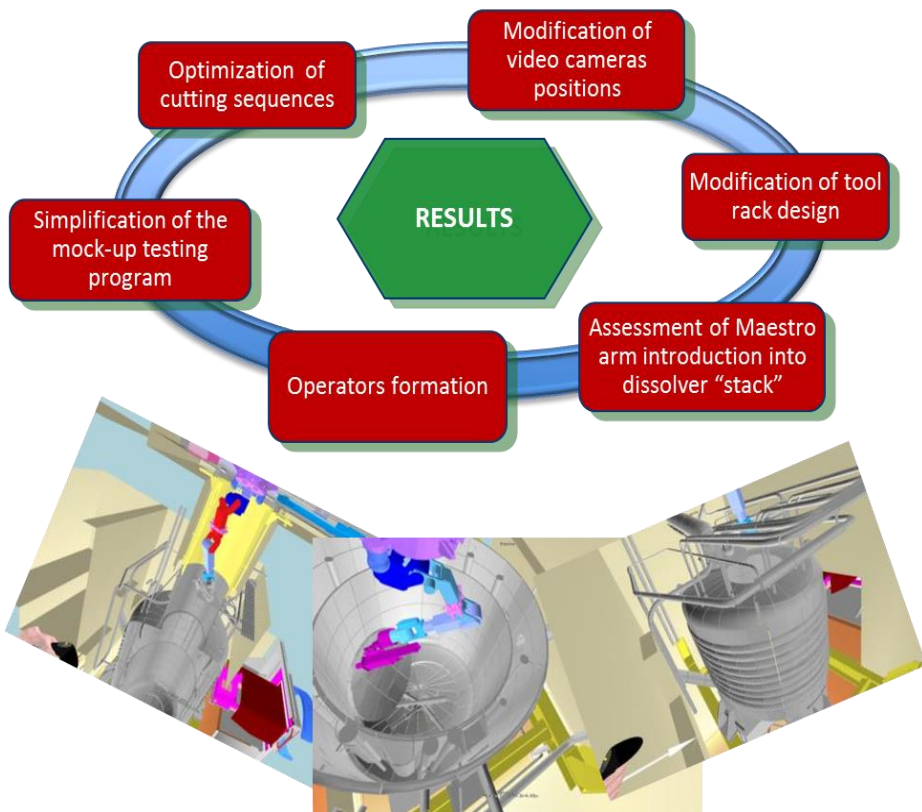
- ビルドアップを用いた対話型線量率計算
- MERCURE 6.3 リアルタイム用に最適化されたカーネル
- ALARA 研究



没入型デバイスの接続
触覚デバイス、MoCap、3Dシステムなど



プロジェクトの安全を確保するための、仮想的な模型と物理的な実物大模型の相補性 UP1溶解槽ワークショップの例



核物質の分類と分別のためのロボット工学的マニピュレーション



精巧なマスターハンド

Master-slave coupling hardware
Integration of haptic glove and CEA slave hand for bilateral teleoperation

Position-based coupling controller
in free space



MEETING ROMANS | 02 JUNE 2015 | PAGE

ビジュアルSLAM（自己位置推定と環境構築を同時に行うこと）+ 制約：オペレータの支援



無線ネットワーク



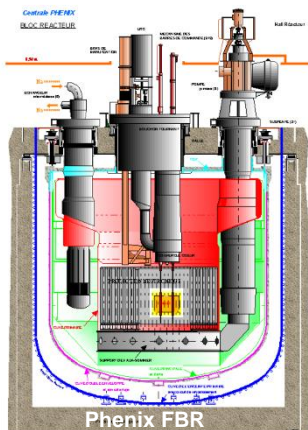
おわりに

- 重大事故後の廃止措置の課題には多くの類似点：燃料サイクル施設の運用とD&Dの経験の福島との関係
- 多数の基準（線量、廃棄物、費用、スケジュールなど）に基づき、初期の特性評価から廃棄物処分までのプロセスの各ステップを考慮したシナリオの研究
- オペレータ、プロジェクトマネージャ、遠隔制御の専門家と研究開発チームのシナジー効果
- ここ15年のロボット工学（ロボティクス）/共同ロボット工学（コボティクス）の進歩：しかし、放射線への耐性を強化する必要と、信頼性・柔軟性・性能の向上と廃棄物の最少化の認定が残っており、原子力コミュニティ内の共同の機会となる。

- 成功と失敗の例から学び、すでに立証されている技術への再投資を回避する。
- R&I（格付け投資）、安全レポートの研究、互換性の標準、パイロット運転などを共有する。



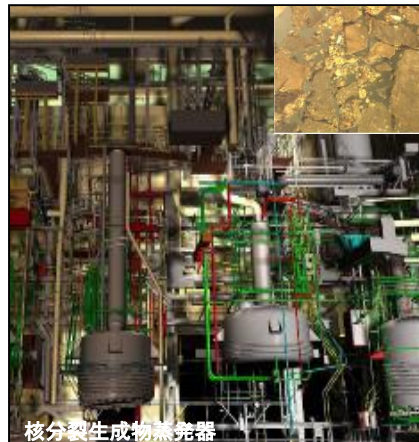
水中レーザー切削/深索ガウジング



Phenix FBR



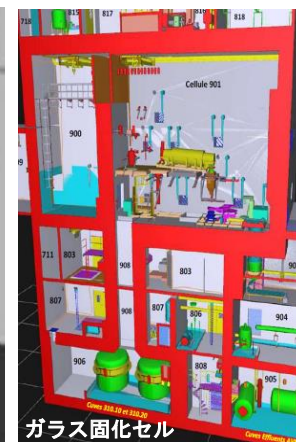
Rapsodie FBR



核分裂生成物蒸発器



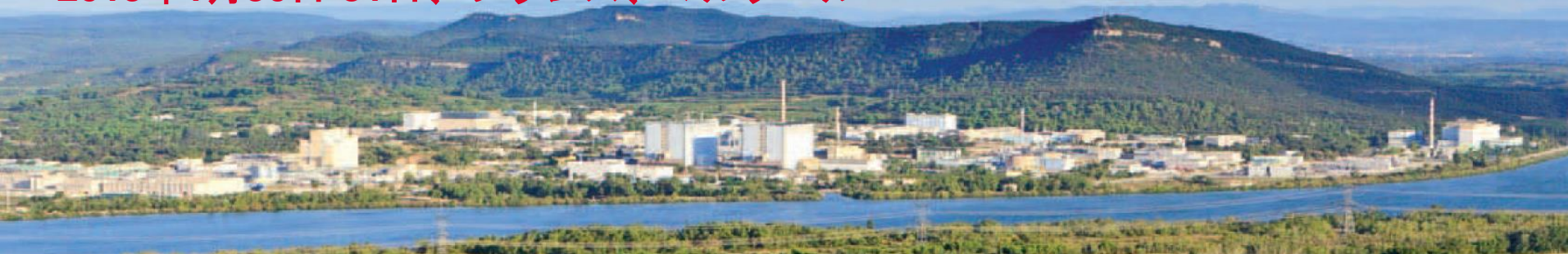
核分裂生成物貯蔵タンク



ガラス固化セル

例 = CEAでは次の20年間に20以上の「高放射性プロジェクト」を予定

2019年1月30日-31日、フランス、マルクール



研究開発機関、廃棄物管理と廃止措置のオペレータ、国の意思決定者、規制当局、その他の関係者が既存の国家的経験や意見を交換する：

- 最終ユーザの主要な要求にどのように対処するか
- 開発と実行に影響を与える要因を判断する：実行を支援するための戦略的決定
- 国際レベルの会話によって、さらなる実行を支援・促進し、理解・用語・手法の統一を促す

DEM2018 – 10月22～24日、アビニヨン D&ER（廃止と環境修復）に特化した国際会議



HOME PRESENTATION COMMITTEES TOPICS CALL FOR PAPERS AUTHORS ACCESS SPONSORING / EXHIBITION ... HOW TO COME

DEM 2018
22 | 24 OCTOBER

Palais
des
Papes
AVIGNON,
FRANCE

INTERNATIONAL CONFERENCE ON

Dismantling Challenges: Industrial Reality, Prospects and Feedback Experience



© QUEYRIL GEMO - EEP

KEY DATES / DEADLINES / MILESTONES

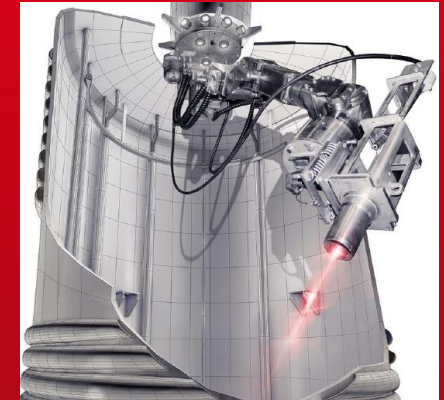
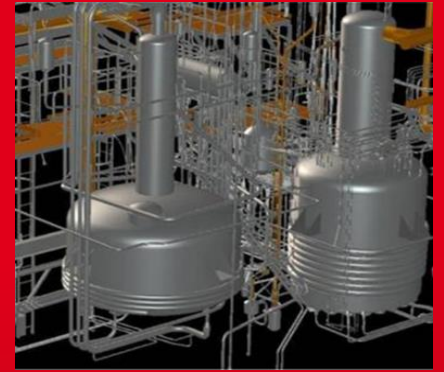
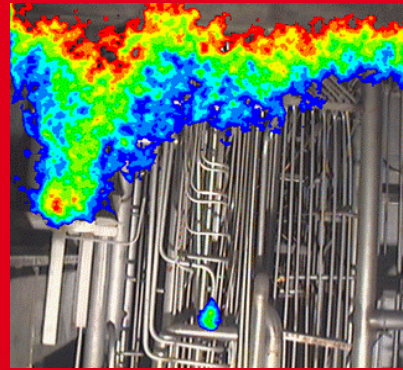


- 5つの版：
1992、1998、2003、2008、2013年版
- 2013年：115の口頭論文発表、22か国から355人が参加
- DEM2018に209の論文が登録

- 解体戦略とプログラム開発
- 規制の進化
- 初期放射線状態の特性評価
- プロジェクトフィードバック経験
- 建物とサイトの再建
- 材料と放射性廃棄物の管理
- 経済的・財政的な側面
- 利害関係者の関与とパブリック・アクセプタンス
- 新しいD&D技術の開発
- 解体事業へのデジタル技術の貢献
- 福島・フィードバックと進行中の事業

ご清聴ありがとうございました

10月にアビニヨンで、
お会いしましょう



French Alternative Energies and Atomic Energy Commission
Centre of Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Public industrial and commercial institution | R.C.S Paris B 775 685 019

付録

事故後の介入： GIE INTRA（原子力事故ロボット工学的介入経済利益団体）

- 1988に、CEA、EDF(フランス電力公社)、Orano社により結成
- 人間にとって有害な放射性環境内での調査のために遠隔制御された設備隊を設置、運用、保守する。



原子力環境下の遠隔制御の国際標準化委員会を2016年に結成



空中ガンマ線の分光測定

