



**IAEA**

International Atomic Energy Agency  
*Atoms for Peace and Development*

「原子力人材育成ネットワーク」報告会  
2018年2月16日（金）

# IAEA廃止措置e-learning教材

国際原子力機関(IAEA)廃棄物技術課

渡邊 英一郎

# 廃止措置を巡る世界の状況 (1/5)



Status	Nuclear Power Reactors	Research Reactors	Nuclear Fuel Cycle Facilities
Operational	447	225	328 (+ 5 in commissioning phase)
Under Construction	58	9	25
Long-term / temporary Shutdown	1	27	28
Permanent Shutdown	~164	132	96
Under Decommissioning		~50	58
Fully Decommissioned	~20	~310	127

Small industrial and research facilities using radioactive material : several '000s

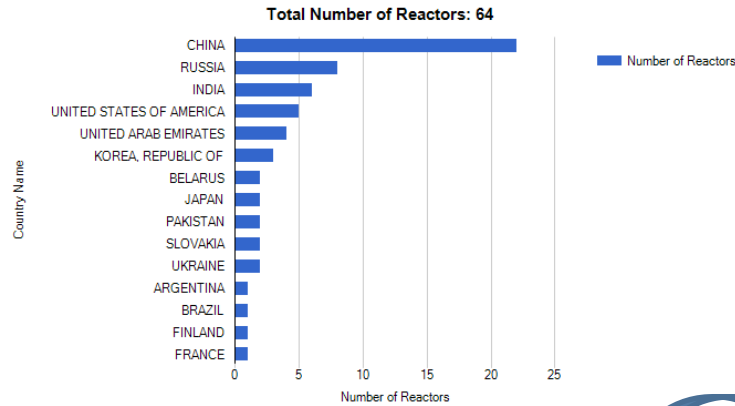
[Sources: IAEA PRIS; Research Reactor & NFCIS Databases]

# 廃止措置を巡る世界の状況 (2/5)

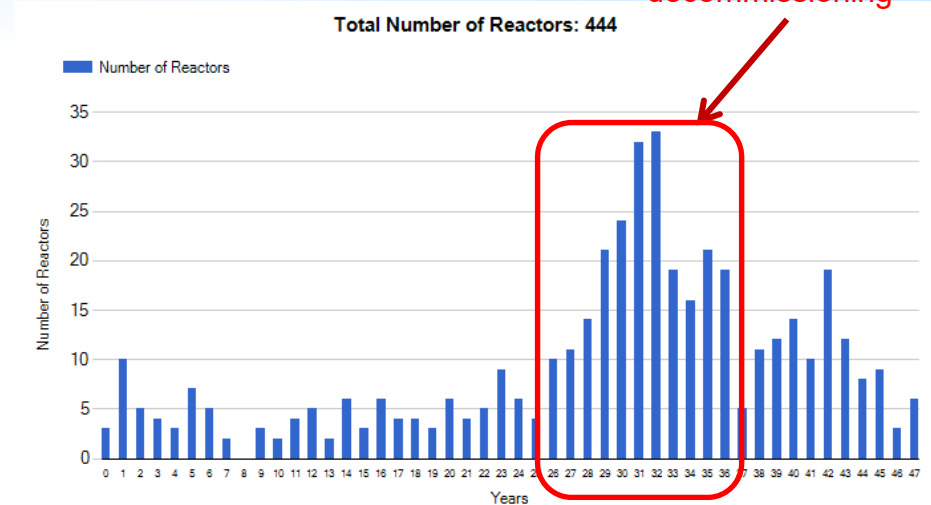


Growing needs of decommissioning

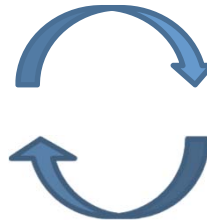
## Power Reactors Worldwide : Life Cycle View



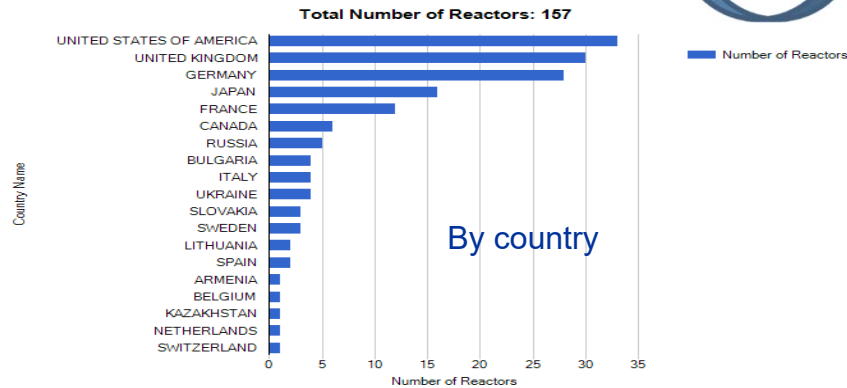
The total Number of Reactors includes also 2 reactors in Taiwan, China



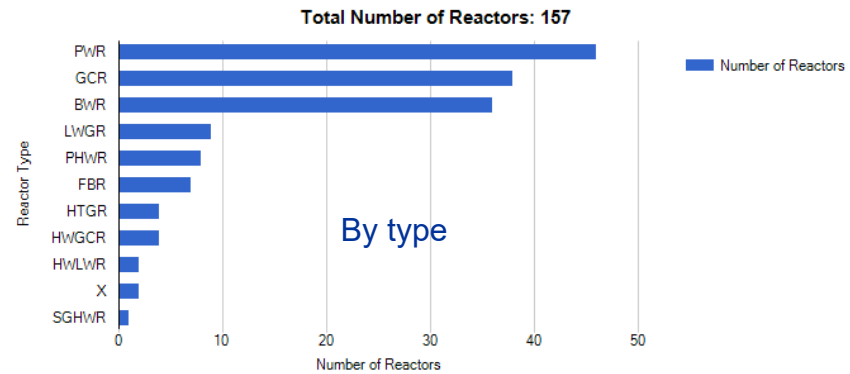
60 reactors under construction



449 reactors in operation - ~ 50% > 30 years old



By country



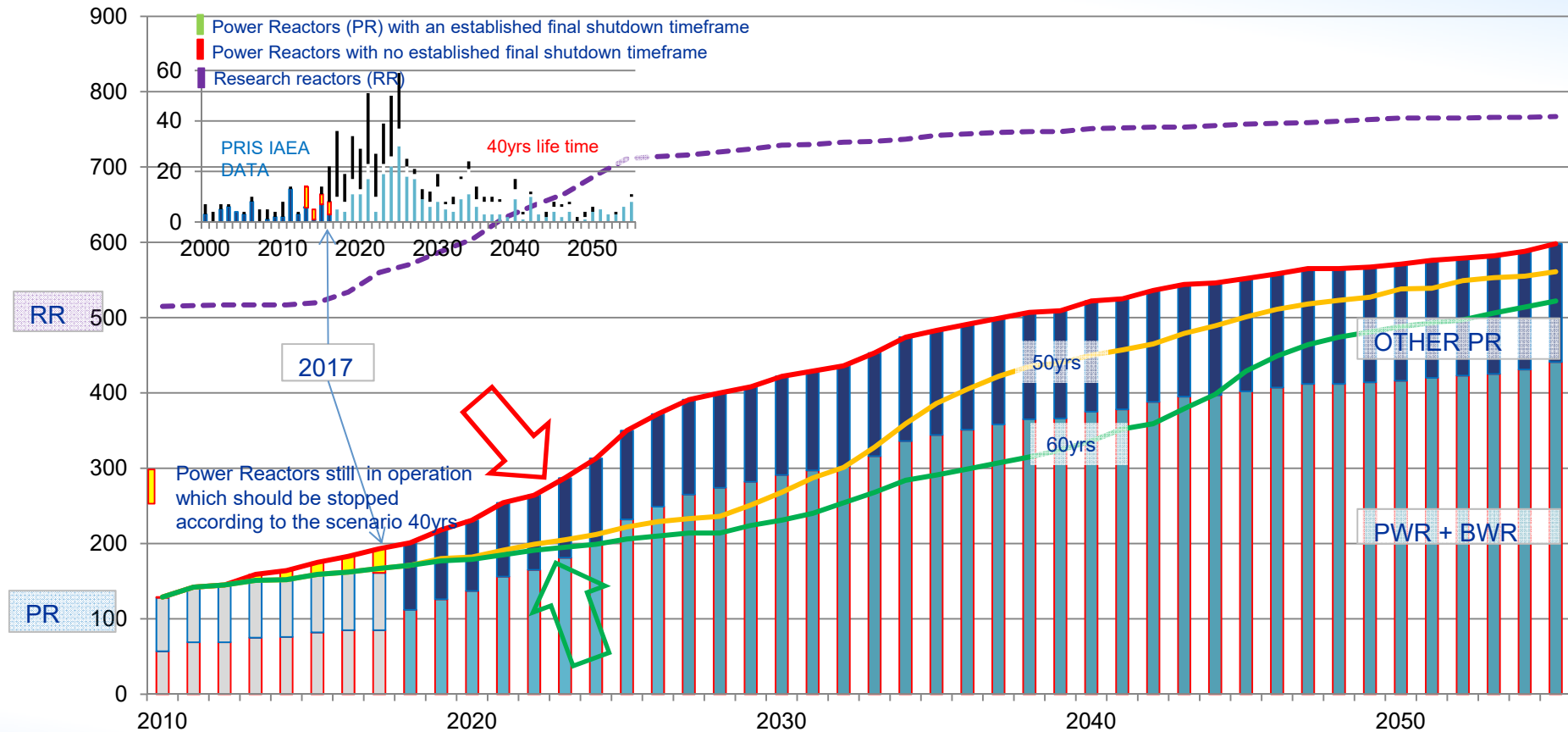
By type

~ 160 power reactors permanently shutdown

# 廃止措置を巡る世界の状況 (3/5)



## Worldwide outlook for decommissioning of power and research reactors – estimates

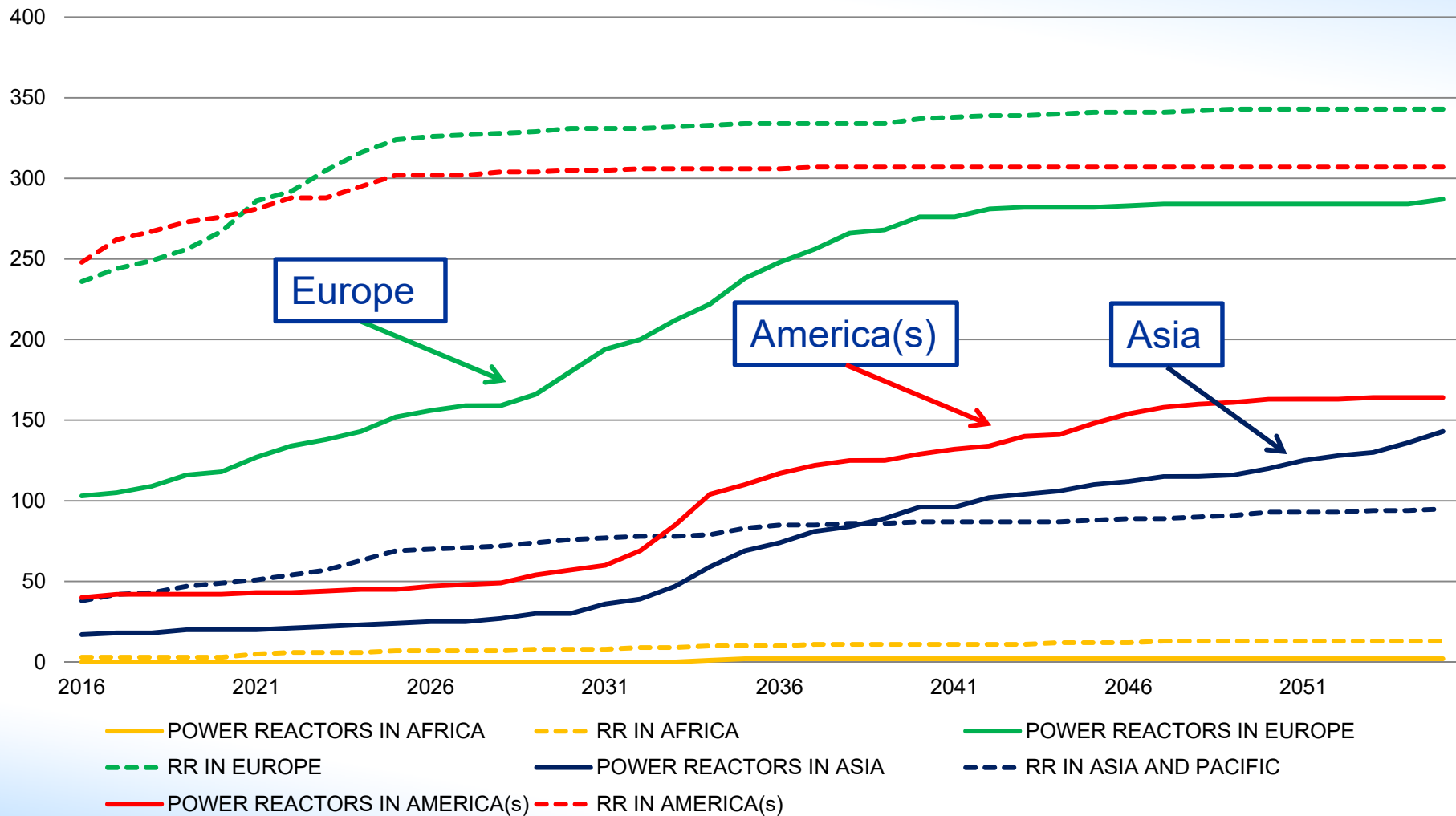


- Other non-reactor nuclear facilities will have to be also decommissioned and their sites remediated, especially fuel cycle facilities – industry and research.

# 廃止措置を巡る世界の状況（4/5）



EUROPE : a leading region for decommissioning power and research reactors – regional distribution



# 廃止措置を巡る世界の状況（5/5）



## International Conference on Advancing the Global Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation Programmes

23–27 May 2016, Madrid, Spain



廃止措置及び環境修復に係る世界中の関係者が一同に  
会する国際会議

開催日: 2016.5.23-27

開催場所: マドリード

参加者: 54カ国及び2国際機関より500名を超える参加者

主催: IAEA (OECD/NEA等が協力)

人材に係る議論（“President’s Reports”より）

- 廃止措置に必要な人材は発電所運転に必要な人材と大きく異なる。
- 廃止措置においてルーティンの業務はあまりなく、現場の状況や作業内容は刻々と変化するため、それに対応できる人材の育成が必要
- 既存技術者の再訓練とともに、将来の人材確保に向けた大学等との協力が必要

## IAEA 廃止措置e-learning教材とは

- ・ 原子力施設の廃止措置について初学者でも容易に学習できるよう、IAEAが各国専門家の協力を得て作成した教材。
- ・ 講義(Lecture)と呼ばれるプログラムをPC上で動かし、スライドをめくるように閲覧することで学習していく。インターネット接続は不要。
- ・ 現場の廃止措置作業について、写真、動画、アニメーションを活用することで実作業のイメージが湧きやすいよう工夫している。
- ・ 「廃止措置の基礎」、「廃止措置の費用計算」といったひとかたまりの内容毎に講義(Lecture)が用意されている。各講義に20枚程度の説明スライドを用意。



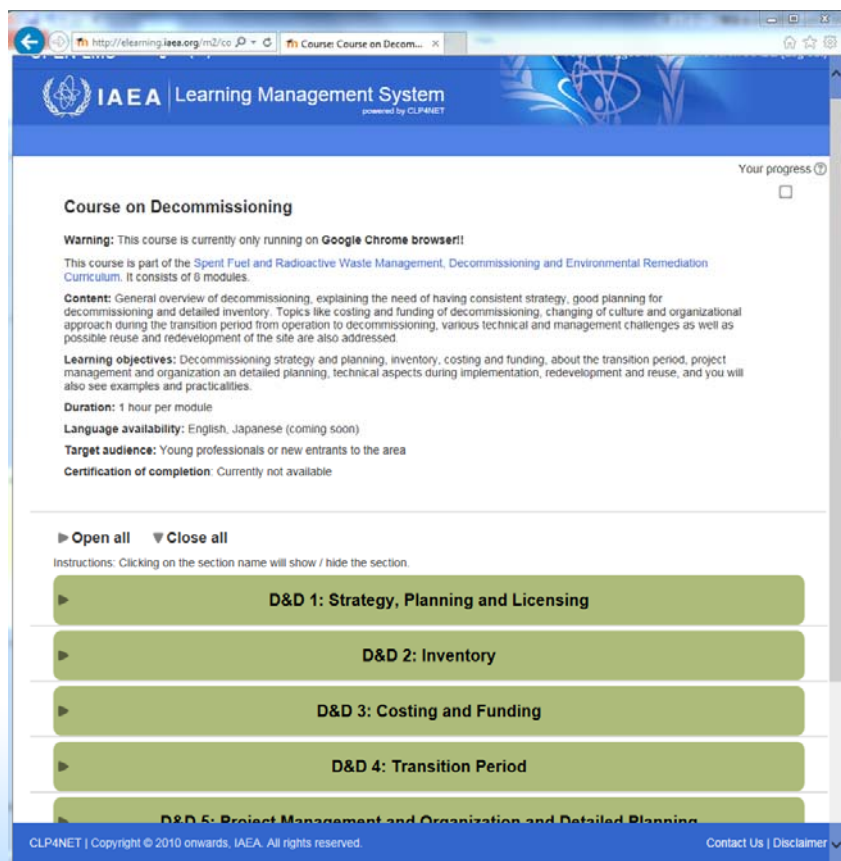


# 今回、開発したものの



## 【従来】

- ・ IAEAホームページ上で動作
- ・ 英語のみ
- ・ 回線速度が遅い場合、動画再生がスムーズでない



## 【今回】

- 左のホームページ版に加えて、
- ・ 単独で動作するアプリケーションソフトとして提供（インターネット接続不要、Win&Mac両用）
  - ・ 日本語版および英語版
  - ・ ホームページ版より高解像度
  - ・ 付録としてドキュメンタリー動画を収録

**（注）本教材は現在、USBメモリ媒体にて無償頒布。  
非商用利用である限り無制限に複製、再頒布が可能。**



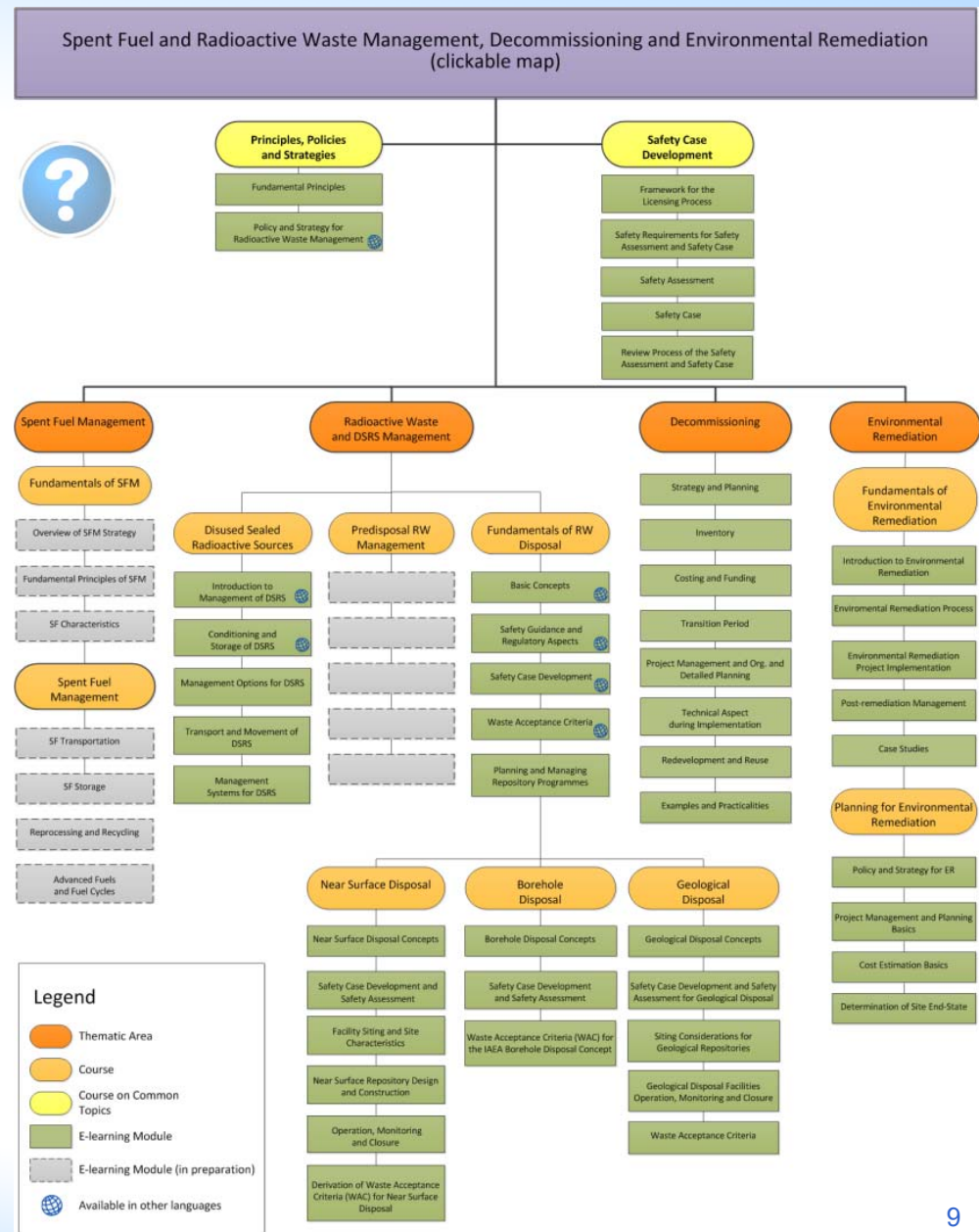
立ち上がり画面



# e-learning教材の全体像



- IAEAはホームページ上でe-learning教材を無償提供（要インターネット接続、要アカウント作成）
- 使用済燃料、放射性廃棄物管理、廃止措置および環境修復について合計93の講義を提供
- 全てのモジュールを英語で提供。現在、多言語化を進めており、16講義がロシア語、8講義がフランス語、8講義がスペイン語でも提供されている。
- この度、廃止措置に係る16講義を日本語で提供開始。容量が大きいため当面はオフラインのみの使用。



## IAEA 廃止措置e-learning教材の講義

・ 本教材では以下のとおり、15の講義を提供。

- 1: 戦略、計画、および許認可
  - 講義 1.1: 廃止措置の基礎
  - 講義 1.2: 廃止措置戦略
  - 講義 1.3: 廃止措置計画の立案
  - 講義 1.4: 廃止措置の許認可取得手続き
- 2: インベントリ
  - 講義 2: 廃止措置に向けたインベントリ
- 3: 廃止措置の費用計算および資金調達
  - 講義 3.1: 廃止措置の費用計算
  - 講義 3.2: 廃止措置の資金調達
- 4: 移行期間
  - 講義 4: 移行期間
- 5: プロジェクト管理、組織、計画立案
  - 講義 5: プロジェクト管理、組織、計画立案
- 6: 廃止措置における技術的側面
  - 講義 6.1: 構造物、系統、機器（SSC）の除染
  - 講義 6.2: 解体および取り壊し
  - 講義 6.3: 廃止措置における資材管理
- 7: サイトの再開発および再利用
  - 講義 7.1: 技術的および規制的側面
  - 講義 7.2: 社会的側面
- 8: 廃止措置の事例研究
  - 講義 8: 廃止措置の事例研究

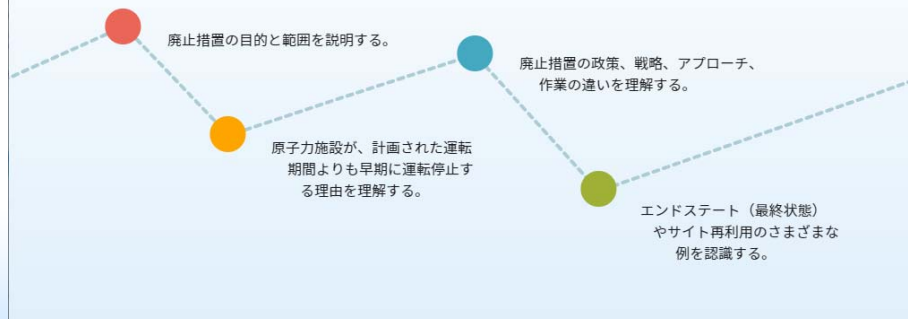
## 講義(Lecture)とは？(1/2)

- ・ PowerPointのスライドのようなものであるが、随時、音声によるナレーションが流れるとともに、説明文や写真が徐々に現れるといったアニメーションが施されている。
- ・ 「読む」ことよりも、「見る」「聴く」ことに主眼を置き、写真、動画、アニメーション、音声を活用したマルチメディアコンテンツとなっている。
- ・ スライド下部に操作部分があり、途中で止める、初めから再生する等の操作が可能。

IAEA 戦略、計画、および許認可  
廃止措置の基礎

### 学習目標

このセグメントでは廃止措置の基礎を取り扱います。  
セグメント終了時には以下のことができるようになります。



- 廃止措置の目的と範囲を説明する。
- 原子力施設が、計画された運転期間よりも早期に運転停止する理由を理解する。
- 廃止措置の政策、戦略、アプローチ、作業の違いを理解する。
- エンドステート（最終状態）やサイト再利用のさまざまな例を認識する。

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生

IAEA 戦略、計画、および許認可  
廃止措置の基礎

### 廃止措置とは何か？



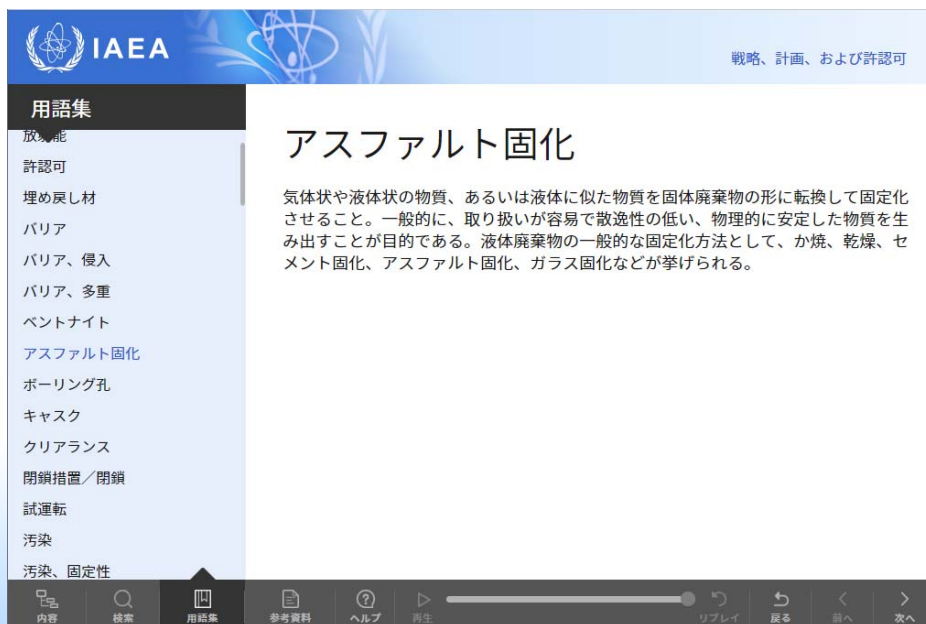
原子力の廃止措置はサイトからすべての放射性物質が撤去され、サイトの許認可を取り消すことができ、規制管理を撤廃できる状態になったときを完了とします。サイト跡地は条件付でもしくは無条件で利用可能となります。

簡単に言うと、**原子力の廃止措置**とは、原子力施設、もしくは放射性物質を取り扱う施設の最終的な運転停止後に行われる除染、解体、ならびに取り壊しのプロセスを指します。運転停止は計画的なものであるか、もしくは計画的なものではないかを問いません。エンドステートを望ましいものにするため、サイトの修復が行われることもあります。

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生

## 講義(Lecture)とは？(2/2)

- ・ スライド下部の「用語集」をクリックすることで、いつでも技術用語の意味を確認できる。
- ・ スライド下部の「参考資料」をクリックすることで、いつでもIAEAの関連文書を閲覧できる。
- ・ スライドによる講義終了後、10問程度の小テストを実施。択一もしくは複数の選択肢から選ぶ。
- ・ 大抵の場合、紛らわしい選択肢が混ぜてあり、正答することは容易ではない。



IAEA 戦略、計画、および許認可

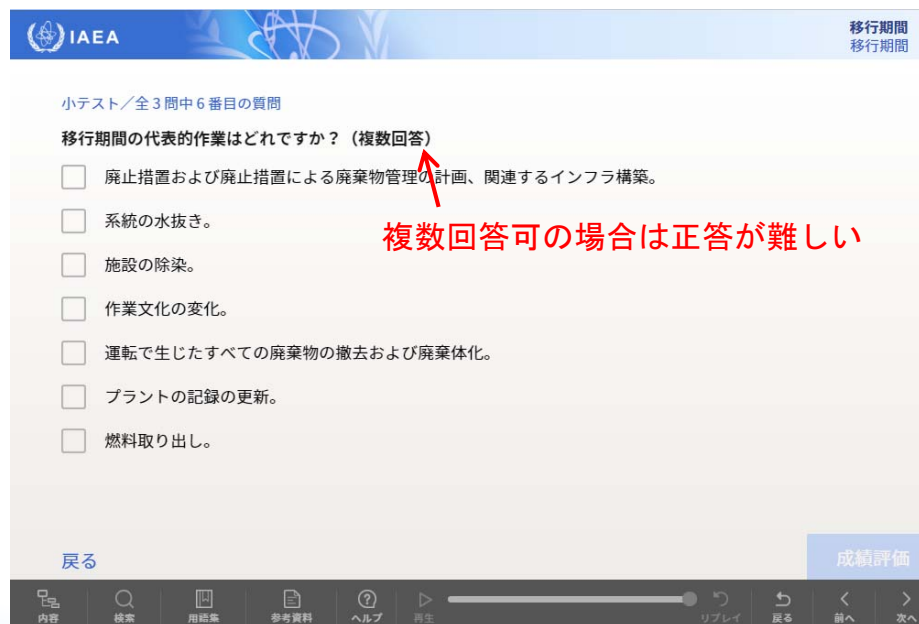
**用語集**

放射能  
許認可  
埋め戻し材  
バリア  
バリア、侵入  
バリア、多重  
ベントナイト  
アスファルト固化  
ボーリング孔  
キャスク  
クリアランス  
閉鎖措置／閉鎖  
試運転  
汚染  
汚染、固定性

### アスファルト固化

気体状や液体状の物質、あるいは液体に似た物質を固体廃棄物の形に転換して固定化させること。一般的に、取り扱いが容易で散逸性の低い、物理的に安定した物質を生み出すことが目的である。液体廃棄物の一般的な固定化方法として、か焼、乾燥、セメント固化、アスファルト固化、ガラス固化などが挙げられる。

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生



IAEA 移行期間 移行期間

小テスト／全3問中6番目の質問

移行期間の代表的作業はどれですか？（複数回答）

- 廃止措置および廃止措置による廃棄物管理の計画、関連するインフラ構築。
- 系統の水抜き。
- 施設の除染。
- 作業文化の変化。
- 運転で生じたすべての廃棄物の撤去および廃棄体化。
- プラントの記録の更新。
- 燃料取り出し。

戻る 成績評価

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生

複数回答可の場合は正答が難しい



# 実際の廃止措置作業を踏まえた実務寄りの内容（1/6）

## 講義モジュールの内容に係る全体的特徴

- ・ 科学的、学術的説明は省かれており、実務的な内容に重点。
- ・ 廃止措置技術の内容を説明する記載は少なく、全体像の把握、計画立案、予算、計画から実施への詳細化といったマネジメント的視点での記載に重点。

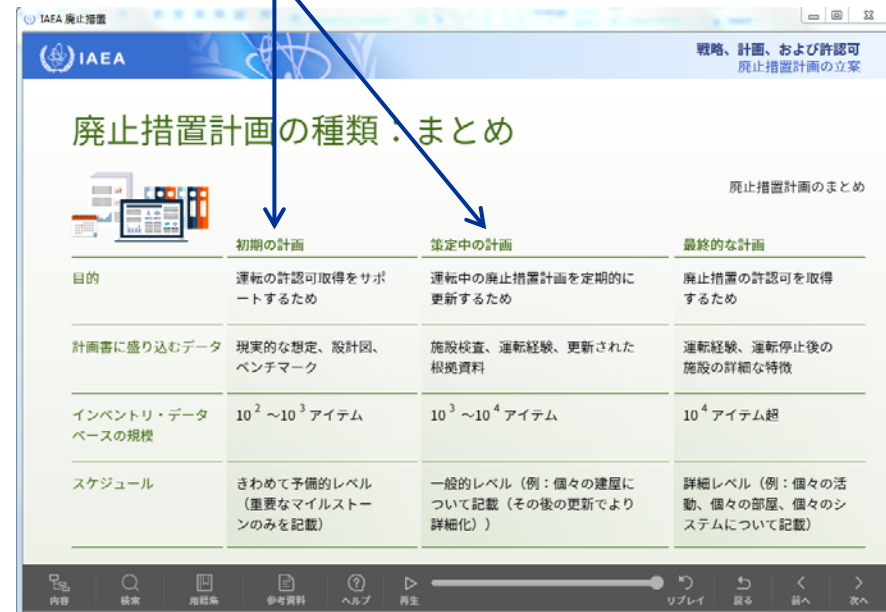
## 廃止措置戦略の構造

即時解体や遅延解体など、廃止措置の種類ごとに戦略の構造が異なることを示す



## 廃止措置計画の詳細化

計画はフェーズの進展に伴い詳細化していく。各フェーズでどのような項目がどの程度詳細化されるかを説明



**廃止措置計画の種類：まとめ**

	初期の計画	策定中の計画	最終的な計画
目的	運転の許認可取得をサポートするため	運転中の廃止措置計画を定期的に更新するため	廃止措置の許認可を取得するため
計画書に盛り込むデータ	現実的な想定、設計図、ベンチマーク	施設検査、運転経験、更新された根拠資料	運転経験、運転停止後の施設の詳細な特徴
インベントリ・データベースの規模	10 <sup>2</sup> ~ 10 <sup>3</sup> アイテム	10 <sup>3</sup> ~ 10 <sup>4</sup> アイテム	10 <sup>4</sup> アイテム超
スケジュール	きわめて予備的レベル (重要なマイルストーンのみを記載)	一般的レベル (例：個々の建屋について記載 (その後の更新でより詳細化))	詳細レベル (例：個々の活動、個々の部屋、個々のシステムについて記載)

## 実際の廃止措置作業を踏まえた実務寄りの内容（2/6）

廃止措置費用見積は廃止措置作業の大きな部分を占めること、計画や工期に直接影響を与えることから、特に重点的に説明されている。

### 費用見積の手法

一つ一つ原価を積み上げていく方法、類似の作業にかかった費用から推計する方法等について説明

### International Structure for Decommissioning Costing (ISDC)

費用構造の国際標準であるISDCは、大括りの費用単位（Level 1）から詳細な費用単位（Level 3）にまでブレイクダウンされる。

IAEA 廃止措置の費用計算および資金調達 廃止措置の費用計算

### 費用計算方法の概要

廃止措置費用の見積もり方法にはさまざまなものがあります。

- ボトムアップ法**  
廃止措置プロジェクト全体を個別の測定可能な作業に分割し、それぞれを見積もりまたは評価します。
- 個別の類推法**  
過去に見積もった項目の実績費用を元に、類似項目の費用を新しく見積もります。
- パラメトリック法**  
類似の系統における過去のデータベースが必要になります。統計分析によりコスト要因とその他の変数の相関関係を導き出し、これを費用方程式や費用見積り関係式に結びつけます。
- 費用のレビューや更新**  
過去の同種、または類似のプロジェクトの見積もりを調査します。
- 専門家の判断**  
他の方法やデータが利用できない場合に実施します。複数の専門家が繰り返し協議し、意見を一致させます。

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生 リプレイ 戻る 前へ 次へ

IAEA 廃止措置の費用計算および資金調達 廃止措置の費用計算

### ISDCの主な階層構造の概要

ISDCの主な階層構造

レベル1	主要な作業
レベル2	作業グループ
レベル3	典型的な作業
費用区分	人件費 投資費用 経費 予備費

レベル1およびレベル2は集合レベルです。典型的な作業とは、基本的な廃止措置作業とされるもので、その費用枠組みの中で費用を算出します。

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生 リプレイ 戻る 前へ 次へ



# 実際の廃止措置作業を踏まえた実務寄りの内容 (3/6)

**運転から廃止措置への移行**  
 施設の運転から廃止措置への移行に伴い  
 作業形態、組織、作業上の留意点などに大  
 きな変化が発生する

**解体シナリオ**  
 機器の解体工法は当該エリアの線量の多寡、  
 周辺スペースの多少などにより、最適なもの  
 が選ばれるべきである。工法の違いは、工程  
 や工期の違いとなり、計画全体を大きく異なる  
 ものにするため、シナリオという概念で説明さ  
 れている。



IAEA 廃止措置

IAEA

移行期間  
移行期間

## 運転文化と廃止措置文化の比較

「移行」は原子力施設のライフサイクルにおいて重要な期間であり、運転と廃止措置の間を指します。移行期間には、運転文化から廃止措置文化への変化があり、この変化を受け入れることは容易ではないため、管理者と作業員の両方にとって難しい期間です。

この変化を許認可取得者の組織体制に適切に反映させ、廃止措置プロジェクトチームを立ち上げる必要があります。

移行期間中の役割を果たせるようスタッフを適切に教育しなくてはなりません。またステークホルダーが、廃止措置のプロセスに対して信頼を置き受け入れられるよう、彼らとの接点を構築しておくべきです。

文化の比較 ⓘ  
文化の比較 - 規制の焦点 ⓘ

運転文化 - 周知の労働環境

廃止措置文化 - 廃止措置作業に基づいた安全性

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生

リプレイ 戻る 前へ 次へ



IAEA 廃止措置

IAEA

廃止措置実施における技術的側面  
解体および取り壊し

## PWR原子炉解体シナリオの例

原子炉が放射化し、金属機器が汚染されたとします。  
この事例で考えられる解体シナリオは以下の通りです。

### 検討する解体の仕組み

- ① 水中または空気中解体
- ① 放射化機器を細かく切断
- ① 貯蔵場所や処分場所に搬出する原子炉容器の一括撤去、もしくは代案として切断後にパッケージ化
- ① モックアップ施設で実証された切断プロセス
- ① コンピュータモデリングおよびシミュレーション

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生

リプレイ 戻る 前へ 次へ

## 実際の廃止措置作業を踏まえた実務寄りの内容（4/6）

発生廃棄物の管理は長期に亘る様々な工程に大きな影響を及ぼすため、極力体系立って実施されるべきもの。廃止措置作業の大きな部分を占めること、計画や工期に直接影響を与えることから、特に重点的に説明されている。

### 廃棄物の追跡管理

廃棄物データはコンピュータにより一元管理される前提。廃棄物管理は非常に長期に亘るため、持続可能な状態でデータが引き継がれていくことが必要。

### 強力なデータ管理支援

廃棄物は時間とともに、貯蔵、輸送、処理というように、処理内容が変わっていくが、一貫して同じデータベースで管理し続けることが必要。

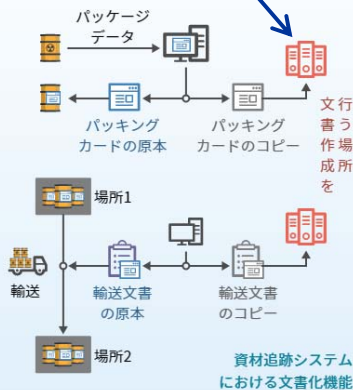
### 廃棄物および資材の追跡：検討すべきデータ

解体した資材および廃棄物の数量管理および追跡のために以下のデータを検討します。



- 発生源、物理的、幾何学形、化学的および放射能の特性
- 処理、廃棄体化、貯蔵による性質変化（除染、切断、減容、減衰などの結果）
- 処理、廃棄体化、輸送、特性把握、貯蔵の履歴

以下のスライドで説明するような廃棄物追跡システムを実施するには、上記のすべてのデータに対する常時概観が必要な場合があります。



### 廃棄物および資材の追跡：管理支援

廃止措置管理を支援するソフトウェア（データベース）を導入および活用することで廃止措置プロジェクトをリアルタイムで効果的に監視することができます。

#### 追跡システムのモジュール

総合的システムは中央データベースに基づいて運用されるべきであり、モジュールには以下が含まれる場合があります。





# 実際の廃止措置作業を踏まえた実務寄りの内容 (5/6)

パブリックエンゲージメントは、IAEAにおいて近年重要度が高まっている分野であり、モジュールにおいてもかなりの分量が割かれている。

## サイト跡地の再利用

サイト跡地を原子力もしくは非原子力の産業施設として再利用している例を説明

## ステークホルダーの関心

地元住民や関連団体とのコミュニケーションが重要という点は、国を問わず同じであるが、国情の違いもあり同じ方法が何時でも有効とは限らない。

IAEA サイトの再開発および再利用 技術的および規制の側面

### 建屋の再開発や再利用

廃止措置作業を実施する際には、サイトの再利用方法だけでなく、建屋そのものを必ず取り壊す必要があるかどうかについても検討します。

除染後に改築された原子力施設が有効活用されている例はたくさんあります。

これは既存のサイト資産管理プログラムに含めることができます。例として、暫定的な廃棄物貯蔵所や、開放時に再利用できるようにしておく方法があります。

NPP内にある緊急時対応センター建屋。

さまざまな種類の貯蔵キャスクを持つ廃棄物貯蔵施設に改築されたドイツのヴュルガッセン (Würgassen)

海上クレーンの部品製造所として再利用されているドイツのグライフスヴァルト。

廃止措置後に放射性廃棄物貯蔵所として再開発された南アフリカのNecsaサイトのウラン濃縮施設。



内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生 リプレイ 戻る 前へ 次へ

IAEA サイトの再開発および再利用 社会的側面

### ステークホルダーの関心

地域社会およびその他のステークホルダーはエンドステートと将来の利用に係る議論に強い関心がありますが、この2つのテーマをめぐっては意見が食い違う可能性があることも認識しておくべきです。

地域社会

- 再開発は雇用を創出し、地域経済を支える
- サイトでの雇用減少を緩和するために将来的な産業利用を最優先する場合がある
- 地域経済がサイトに依存している場合がある

環境保全団体

- 産業的再開発に関する意見はコミュニティとは異なる場合がある
- サイトは産業化以前の利用状態に戻すべき



内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生 リプレイ 戻る 前へ 次へ

# 実際の廃止措置作業を踏まえた実務寄りの内容（6/6）

個別具体的な情報が得られるという意味で、ケーススタディを含める意義は大きい。日、独、米、スペイン、韓国、ウクライナの廃止措置事例を解説。

ドイツのグライフスヴァルト原子力発電所は沿岸に立地していたことを活かし、タービン建屋を造船工場として再利用

発電所以外の廃止措置として韓国のウラン転換工場の事例を紹介

IAEA 廃止措置の事例研究 廃止措置の事例研究

## ドイツのグライフスヴァルト

グライフスヴァルト原子力発電所<sup>①</sup>は、8基の原子炉を有するドイツ最大の原子力施設です。ドイツの再統一後に運転停止が決定した際には、このうちの3基は建設中で5基は稼働中でした。短期間の試験運転のみを経験した5号機は放射化および汚染の程度が低かったため、1号機～4号機に適用される前に原子炉解体手順が試行されました。①タービン建屋の二次および補助系統の設備は解体して撤去されました。このタービン建屋は新会社が再利用できるよう整えられ、現在はこの会社の製造施設が置かれています。




グライフスヴァルトのビデオも参照してください。

内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生 リプレイ 戻る 前へ 次へ

IAEA 廃止措置の事例研究 廃止措置の事例研究

## 韓国テジョンのウラン転換工場

このウラン転換工場（UCP）の廃止措置プロジェクトは、原子力発電所以外で実施されたプロジェクトの例であり、修復作業に多くを割いています。除去した土壌は大容量の容器に貯蔵されています。柱脚下の部分の土壌も除去したことで、建屋の補強が必要になりました。このプロジェクトでは、関連技術の開発により大型原子力施設の廃止措置に備えるという経験が得られ、廃止措置の知識・経験・技術を廃止措置産業に移転することができました。①




内容 検索 用語集 参考資料 ヘルプ 再生 リプレイ 戻る 前へ 次へ



## 廃止措置に係るドキュメンタリー動画(1/2)

講義(Lecture)に加え、廃止措置の事例を物語的に説明する、ドキュメンタリー動画を提供。



- ・ 旧東ドイツのグライフスヴァルト原子力発電所は、ドイツ再統一後に予期せず廃止措置が決まった。
- ・ 地域雇用を考慮して、発電所跡地を他の産業に再利用したことで、廃止措置の好事例とみなされている。



## 廃止措置に係るドキュメンタリー動画(2/2)



- ・カナダのピカリング原子力発電所は遅延解体により廃止措置が進行中。
- ・時間的余裕があることもあり、地域社会と密なコミュニケーションを取りつつ再利用方策を検討している。





# IAEA – 3rd IAEA HRD Conference May 28<sup>th</sup> to 31<sup>st</sup> 2018 Gyeongju in Korea

## Meeting Challenges to Ensure the Future Nuclear Workforce Capability

- Attract, Recruit and Retain a high quality nuclear workforce
- Development of Individuals and Teams within the Organisations
- Education, Training and Qualification of a nuclear workforce
- Organisational Culture & the Impact on the Workforce



## EXHIBITION

A limited amount of space will be available for commercial vendors' displays/exhibits during the conference. Further information will be posted soon on the conference web site.

## CONFERENCE SECRETARIAT:

### Scientific Secretariat

#### Mr David Drury

Technical Head (HRD & TO)  
Nuclear Power Engineering Section  
Division of Nuclear Power  
Department of Nuclear Energy  
Tel.: +43 1 2600 22793  
Fax: +43 1 2600 29598  
Email: HRDconference2018@iaea.org

#### Mr Shahid Mallick

Section Head  
Programme and Strategy Coordination Section  
Office of Safety and Security Coordination  
Department of Nuclear Safety and Security  
Tel.: +43 1 2600 25673  
Fax: +43 1 2600 7  
Email: HRDconference2018@iaea.org

### Administration and Organization

#### Ms Martina Neuhold

Conference Services Section  
IAEA-CN-260  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre, PO Box 100  
1400 Vienna, Austria  
Tel.: +43 1 2600 21314  
Fax: +43 1 2600 7  
Email: M.Neuhold@iaea.org

## CONFERENCE WEB PAGE

Detailed information on administrative matters, including registration, paper submission and grants, is provided on the conference web page

<https://www.iaea.org/events/human-resource-development-conference-2018>

Please include reference number **IAEA-CN-260** in all communications.

**#nuclearcareers**

## Third International Conference on Human Resource Development for Nuclear Power Programmes: *Meeting Challenges to Ensure the Future Nuclear Workforce Capability*

28–31 May 2018  
Gyeongju, Republic of Korea



Organized by the  
 **IAEA**  
International Atomic Energy Agency

In cooperation with the  
 **KOREA HYDRO &  
NUCLEAR POWER CO., LTD**

148391



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

*Atoms for Peace and Development*

ご清聴ありがとうございました