

# RANDEC

Dec. 2021 No.116

ニュース

(公財) 原子力バックエンド推進センター



## 安全確保を最優先に合理的な廃止措置のために

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 敦賀廃止措置実証部門  
新型転換炉原型炉ふげん所長 櫻井 直人

新型転換炉原型炉「ふげん」(以下「ふげん」という。)は、2008年に廃止措置計画の認可を頂きました。安全第一に環境への負荷をできる限り軽減して廃止措置を進める等の方針のもと、国内初の大規模水炉の廃止措置として、先駆的に取組み、合理的な廃止措置を目指しています。以下に、現在の主な取組みをご紹介します。

解体によって発生した解体撤去物をリサイクルできるよう、2018年12月にクリアランス測定・評価方法の認可を経て運用を開始し、現在までに約300トンについて国による確認が終了しています。今後はクリアランス金属リサイクルに向けた取組みを進めていきます。

現在は原子炉周辺設備の解体撤去を進めており、解体撤去物が発生します。しかし、原子炉建屋は廃止措置を考慮した設備・機器の空間領域がないことから、施設解体の順序や解体物の搬送は大きな課題となっていました。このため、原子炉建屋と隣接配置するタービン建屋の両建屋間の壁に貫通口を設置し、解

体撤去物の搬送ルートを構築しました。本貫通口の設置により作業効率を飛躍的に改善しました。

「ふげん」の原子炉本体は圧力管型構造のため、狭隘で稠密な構造であることから、海外等で先行している解体工法は適用できないため、レーザー技術を活用した水中遠隔解体技術の開発を進めており、実規模でのモックアップ試験を行っています。

更に、原子炉本体解体に備えて、放射化量を評価するため、遠隔試料採取装置を開発し、圧力管内部の試料を採取・分析し、評価値とほぼ同等の値であることを確認しています。今後は、炉心タンク等の試料採取・分析を計画しています。

「ふげん」では、地元企業や大学等の研究機関、電気事業者、海外関係機関とも連携・協力し、安全確保を最優先に合理的な廃止措置を進めるとともに、得られた知見は今後の軽水炉等の廃止措置に役立てて頂けるよう、情報の発信・共有にも努めていきます。

# RANDEC ニュース 目次

第 116 号 (令和 3 年 1 2 月)

巻頭言 安全確保を最優先に合理的な廃止措置のために

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 敦賀廃止措置実証部門  
新型転換炉原型炉ふげん所長 櫻井 直人

評議員会及び理事会の開催について.....	1
	総務部
原子力科学技術委員会・原子力バックエンド 作業部会.....	2
	廃棄物処理事業推進部
RANDEC の事業・活動に関する近況報告	
1. 第 16 回廃棄体検討 WG 会合.....	6
	廃棄物処理事業推進部
外部機関の活動状況の紹介	
1. 株式会社アトックスの事業紹介.....	7
	株式会社アトックス 事業開発部 プロジェクトマネージャー 長谷川 信
バックエンド技術情報	
1. 原子炉デコミッショニングに対する最良の戦略.....	1 1
	理事長 泉田 龍男
2. 原子力発電プラントの設計、建設、運転段階で考慮すべき廃止措置に 関わる物理的課題.....	1 5
	フェロー 澁谷 進
3. 廃止措置中の原子力施設の安全防護の課題.....	2 2
	廃棄物処理事業推進部 秋山 武康
世界の原子力発電所の廃止措置最新情報.....	2 6
	フェロー 澁谷 進
その他	
・委員会参加報告.....	3 5

# 評議員会及び理事会の開催について

総務部

令和 3 年度の評議員会及び理事会の開催状況については新型コロナウイルス感染症の拡大防止の観点から「TV 会議」及び「決議省略」にて当該提案が審議されました。

令和 2 年度事業報告及び決算報告について第 36 回理事会（令和 3 年 6 月 4 日開催）及び第 25 回評議員会（令和 3 年 6 月 21 日開催）にて承認可決されました。また、今回の評議員の任期が終了することもあり、新理事・新評議員・新監事の選任が審議事項となり、次のとお

り選任されました。なお、理事長については第 37 回理事会（令和 3 年 6 月 21 日決議省略）にて泉田代表理事（理事長）が選任されました。

（評議員）以下敬称略 池田泰久 石村 毅  
今塚善勝 植竹明人 大越 実 佐藤 勇  
早田 敦 谷口 優 松野芳夫  
（理 事）泉田龍男 小澤 隆 川瀬正嗣  
中熊哲弘 長峰春夫 吉田拓真  
（監事） 柳澤信一郎

その他、理事会及び評議員会が以下の通りに決議省略にて開催され、審議・承認されました。

（理事会開催状況）

第 35 回 理事会（書面による）

- (1) 決議の日：令和 3 年 4 月 20 日
- (2) 議題  
①第 24 回評議員会召集の件

第 36 回 理事会（TV 会議）

- (1) 決議の日：令和 2 年 6 月 4 日
- (2) 議題  
①令和 2 年度事業報告について  
②令和 2 年度決算報告について  
③令和 2 年度内閣府定期報告について  
④第 25 回評議員会召集の件

第 37 回 理事会（書面による）

- (1) 決議の日：令和 3 年 6 月 21 日
- (2) 議題  
①代表理事（理事長）選定の件  
②役員報酬

（評議員会開催状況）

第 24 回 評議員会（書面による）

- (1) 決議の日：令和 3 年 4 月 30 日
- (2) 議題  
①評議員の選任

第 25 回 評議員会(TV 会議)

- (1) 決議の日：令和 3 年 6 月 21 日
- (2) 議題  
①令和 2 年度事業報告について  
②令和 2 年度決算報告について  
③新理事、新評議員及び新監事の選任について

# 原子力科学技術委員会・原子力バックエンド作業部会

廃棄物処理事業推進部

## 1. はじめに

文部科学省主催の「原子力バックエンド作業部会」（以下、当作業部会）の第3回会合が、令和3年7月5日に開催された。<sup>1)</sup> 今回の作業部会の主なテーマは、原子力研究開発機構（以下、JAEA）が令和4年度に行う中長期目標・計画の改定（第4期中長期目標期間）である。

この改定に関しては、これまで「原子力研究開発・基盤・人材育成作業部会」において、原子力規制委員会や原子力関係の民間団体・機関などのステークホルダーから意見が聴取され、以下の5つの重点分野ごとに提言・要望として取りまとめられている。

【重点分野1】安全性向上等の革新的技術開発によるカーボンニュートラルへの貢献

【重点分野2】原子力科学技術に係る多様な研究開発の推進による、イノベーションの創出

【重点分野3】産業界や大学等と連携して我が国全体の研究開発や人材育成に貢献するために必要なプラットフォーム機能の充実

【重点分野4】東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた基礎基盤研究

【重点分野5】保有する施設の廃止措置及び研究施設等廃棄物の埋設処分等バックエンド対策に係る取組の着実な推進

今回、当作業部会においては、原子力バックエンドに係る「重点分野4、5」について課題や対策・施策等を議論し、提言等を取りまとめ、最終的に両作業部会の連名で「国立研究開発法人原子力研究開発機構の次期中長期・計画の策定に向けた提言」として公表した。<sup>2)</sup>

JAEAは、2028年度までの施設中長期計画における施設の集約化・重点化方針のもと、約半数の既存施設を廃止する計画であり、それらのバックエンド対策としては、約70年間1.9兆円の「バックエンドロードマップ」を策定している。今年度はその中の第3期中長期目標期間（平成27年～令和3年）の最終年度であり、JAEAは期間中の実績や顕在化した課題などを次の第4期中長期目標期間に反映するとしている。一方で、これらのバックエンド対策やその費用試算の精度向上などに資するため、IAEAのARTEMISレビュー（Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Nuclear Management, Decommissioning and Remediation Programmes）を受けることが令和元年に決定され、今年4月にレビューが実施され、6月に報告書が公表された。<sup>3)</sup>

JAEAは、このような取組みで抽出された課題や指摘、提言を踏まえ、第4期中長期目標期間の計画・具体的実施項目を策定するとしている。（図1）



図1 第4期中長期目標期間の計画策定スキーム

KPI (Key Performance Indicators : 重要業績評価指標)

以下では、JAEAのバックエンド活動の中で、特にRANDECの事業に係わる研究施設等廃棄物の埋設処分事業に関して、第3期の実績、ARTEMISレビューや作業部会で抽出された第4期目標・計画に反映すべき課題、要望等を記す。

## 2. 第3期中長期目標期間 (JAEA 評価)

### 【実績】

- ・規制基準の整備状況、社会情勢等を考慮し、具体的な工程等を策定
- ・埋設施設の設置に必要な取組み
- ・埋設施設の基本設計に向けた技術検討
- ・廃棄物の輸送等の関連：廃棄物発生者へ主要な廃棄体に係る受入基準を提示

### 【第4 中長期目標期間に向けた課題】

- ・埋設事業の実現に向けた立地推進
- ・廃棄物発生者の着実な廃棄体製作の推進への支援及び調整
- ・埋設事業の許可申請に向け、成果の体系的な整理及びそれに基づく必要な技術的検討の推進 (ARTEMISでも指摘)

- ・廃棄物中の有害物質の基準と管理方法
- ・中深度処分対象廃棄物への対応等

## 3. IAEA ARTEMIS レビュー

### 3.1 保管と処分の相互依存性

#### 【所見】

- ・LLWの貯蔵容量は2028年までに飽和する可能性が高い。一方、埋設施設がこの間で利用可能になる可能性は低い
- ・最小限の遅延で、サイトの概念設計からサイト固有段階（及び関連する「安全文書」：safety cases<sup>注)</sup>）の基本設計に進む必要がある

#### 【提言】

- ・大幅な遅延の可能性を考慮して、貯蔵容量と埋設施設の利用可能性をあわせて評価した明確な戦略を示す

#### 【助言】

- ・埋設施設整備のプロセスを適時に進めるため、一般的なサイトの概念設計に向けて、また、継続的な率先改善の一貫として、「安全文書」の更なる改善

注) IAEA 安全用語集 (IAEA safety glossary) によれば、「safety cases」とは、ある施設または活動の安全を裏付ける論拠および証拠の総体で、これには安全評価の結果及びこれらの結果に対する信頼性に関する表明が含まれる。日本語訳としては「安全文書」が当てられている。

### 3.2 放射性廃棄物に関するコストの見積りと不確実性の分析の範囲

#### 【所見】

- ・現在のコスト評価プロセスでは、処理と処分ルートに係る選択肢と不確かさが包括的に考慮されていない

#### 【提言】

- ・現場での処理、中間貯蔵、最終処分の選択肢に関連する不確かさをリストアップし評価、対処する

#### 【助言】

- ・不確かさへの対処；短期的な計画決定を、プログラム全体をカバーする統一的な放射性廃棄物に関する管理方針に沿って実施
- ・統合された方針では、廃棄物の階層（削減、再利用、リサイクル）とライフサイクル（各施設からの廃棄物インベントリと廃棄体化の方法）の両方を考慮
- ・国際的な廃棄物マネジメントプログラムを選定し、費用のベンチマークとする（関連するコスト見積りのより良い基盤の確立と管理プロセスの最適化）
- ・コスト見積りプロセスの一環として、不測の事態に関する見通しを得るため、不確かさとリスク分析の良好事例検討

### 4. 第3回作業部会

#### 【委員からの指摘・要望等】

- ・ウラン廃棄物の規制が具体化した中、ウラン廃棄物に係る処理処分費用の算定と全体へのインパクトの評価
- ・次期バックエンド対策の計画案（図2）では、埋設事業の推進のための具体的施策が見えない；例えば、事業推進や跡地の管理、利用等について検討するため地元企業と合弁企業を設立
- ・バックエンドにおいては埋設事業が極めて重要、立地をしっかりと前に進める具体的施策がないと、7年後にも状況が変わっていないのではないかと危惧
- ・埋設事業が進展すれば、様々な課題の半分は解決する
- ・重大なボトルネックやリスクを同定し、重点的に資源を投入
- ・利害関係者とは、ステークホルダー分析に基づく対話が必要
- ・国際的な良好事例に基づくバックエンド技術情報やプロジェクトマネージングに関する情報の知識資源化
- ・バックキャスト的な発想でのプロジェクトの検討



図2 JAEA バックエンド計画の概要（抜粋）

- ・廃棄体の基準整備のため、立地場所の早期決定と安全評価結果の基準へのフィードバック
- ・逆に、立地が決まってから技術基準の整備では遅いのでは。技術基準があつての立地要請もあり

#### 5. 原子力バックエンド作業部会としての提言

上記の議論・討議を踏まえ、当作業部会として、以下の提言を取りまとめた(重

点分野4についてはここでは省略)。

#### 【重点分野5】

- ・廃止措置に係る組織・資源配分責任の明確化のための体制整備
- ・長期間にわたる廃止措置マネジメントに必要な情報(リスクの把握・対応策、予算、人材育成・知識継承等)を含む具体的計画の策定
- ・研究施設等廃棄物の埋設実現に向けた具体的対策(立地対策、廃棄体受入基準等)の推進

#### 関連の文部科学省ホームページ

- 1) 原子力バックエンド作業部会第3回, 文部科学省 ;  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/099/index.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/099/index.htm)
- 2) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の次期中長期目標・計画の策定に向けた提言, 文部科学省 ;  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/mext\\_00007.html](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/mext_00007.html)
- 3) 日本原子力研究開発機構のバックエンド対策に関する国際的なレビューの実施結果について, 文部科学省 ; [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/mext\\_00627.html](https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/mext_00627.html)

## 第16回廃棄体検討WG会合

廃棄物処理事業推進部

廃棄体検討ワーキンググループ（以下、廃棄体検討WG）は、平成25年度以降、三者協（JAEA、RI協会、RANDECの三者で構成）の下に設置され、研究施設等廃棄物の廃棄体化処理を円滑に行い、埋設処分事業を着実に進めるため検討を行っている。

第16回廃棄体検討WGが、令和3年3月26日に開催された（オンライン会議）。議題は、①廃棄体の受入基準の検討状況、②埋設処分に係る安全規制制度の整備状況、であり、以下にその概要を示す。

### (1) 廃棄体の受入基準の検討状況

#### 1) 廃棄体落下時の放射性物質の飛散率

「落下により飛散・漏洩する放射性物質の量が極めて少ない」という追加条件への対応のための評価検討結果の報告と対応策の検討があった。

#### 2) 砂充填に関する検討

「角型容器に収納した模擬廃棄物への砂の充填性試験の計画」の説明があった。

#### 3) 重要核種選定時に必要な基準線量相当濃度の試算

廃棄体の平均放射能濃度、最大放射能濃

度や重要核種に対する受入基準を検討するため、放射能濃度上限値を検討した線量モデルを用いて基準線量（ $10\mu\text{Sv/y}$ ）相当濃度の評価等をしてきた。今回、「ピット施設の基準線量相当濃度について、地下水流動解析による評価モデル及び条件の見直し」、「RI廃棄物から作製した廃棄体のトレンチ処分時の核種毎の総放射能量の試算」、結果の報告があった。

### 4) Th廃棄物の非破壊外部測定方法の検討

非破壊外部測定によるトリウム（Th）廃棄物の放射能評価方法として、これまでウラン廃棄物に対し実績のある等価モデル法の適用可能性を検討してきた。更に測定の誤差要因を考慮した誤差低減方策を継続検討していく。

### (2) 埋設処分に係る安全規制制度の整備状況

埋設処分に係る安全規制制度に関して、炉規法の低レベル放射性廃棄物の埋設処分に係る安全規制制度整備等状況、ウラン廃棄物等の安全規制制度、等について取り纏めた結果の説明があった。



## 外部機関の活動状況の紹介

### 1. 株式会社アトックスの事業紹介

株式会社アトックス 事業開発部  
プロジェクトマネージャー 長谷川 信

#### 1. はじめに

当社は日本の原子力産業の草創期より半世紀以上にわたり、原子力関連施設のメンテナンスを手掛けてまいりました。我が国の原子力産業は、福島第一原子力発電所（以下、「福島第一」という。）事故以降、大きな試練に直面していますが、当社は事故直後から福島第一の現場にとどまり、長年蓄積してきた経験・ノウハウに基づき、事故炉の安定化や廃炉に向けた取り組みに全力を尽くしております。福島の復興と全国の原子力発電所の再稼働に最大限貢献するとともに、原子力の諸課題解決に向けた提案・実践力を高め、一段レベルの高い仕事を受注・完遂できる企業に成長することを目指しております。

以下に、当社で現在進めております主要業務につきまして、ご紹介いたします。

#### 2. 福島復興業務

福島第一事故以降、福島復興を当社の最優先課題と位置付け、当初から発電所内の汚染水処理設備の運転・保守、放射線管理業務などに従事するとともに、周辺地域の除染活動にも、除染試験・実験段階から勢力的に取り組んできています。また、技能訓練センターを設置し、当社グループの技術力、安全・品質を一層高めています。今後も電力会社、自治体、メーカーをはじめとする関係者と協力して、発電所内外の諸課題解決に最大限の努力をしてまいります。

以下に、具体例を紹介いたします。

- (1) 廃炉工事では、フランジ型タンク解体に向けたタンク内の汚染水の移送、クラッド回収業務、原子炉建屋内の線量低減に向けた線量調査・除染を実施しています。また、ドローンを用いた高線量箇所の線量調査、空撮を行った実績もあります(図1参照)。
- (2) 設備工事では、汚染水に含まれるセシウム及びストロンチウム濃度を低減するため、吸着装置（KURION）及び第二セシウム吸着装置（SARRY）の運転・保守管理を実施しています。また、トリチウム以外の大半の放射性物質を取り除くことを目的として、既設及び増設の多核種除去設備（ALPS）の運転・保守管理、薬品供給、付帯設備の保守も行っています。
- (3) 環境施設では、福島第一の廃炉作業に従事する作業員に対して、適切な防護措置を図ることを目的として、構内の放射線及び放射能測定を実施しています。



図1 小型遠隔除染装置(RACCOON II)

### 3. 原子力発電所関連業務

原子力発電所の関連業務として、汚染防護、除染・洗浄、放射線管理、廃棄物処理、作業性・安全性向上等を実施しています。

(1) 設備・機器に対して放射性物質が付着することを防止するとともに、建物・設備・機器などに付着した放射性物質を種々の除染機器、(壁面除染機、水底クリーナー、電解除染、化学除染、プラズマ除染、マスク除染装置)を活用し除去します(図2、3参照)。

(2) 放射線管理業務においては、多くの放射線取扱主任者資格者を有するとともに、原子力発電所、他関連施設等において、放射線管理(個人管理、教育、放射線作業管理、環境測定、放射線計測機器点検)のエキスパートとして業務を行っております。



図2 壁面除染機



図3 マスク除染装置

(3) 放射性廃棄物関連では、処理施設の運転から減容処理、情報管理(粉碎減容処理、廃棄物情報管理)を行います。

(4) 作業性・安全性向上のため、機器・装置(循環水配管内作業足場、キャスク作業用足場、ROVシステム、異物混入防止手摺)を用いた作業を実施しています(図4参照)。

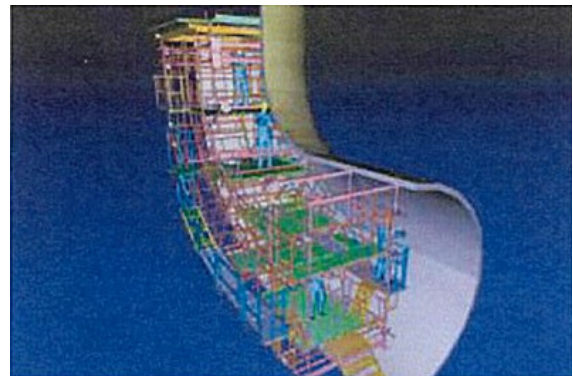


図4 循環水配管内作業足場

(5) 原子力施設の廃止措置を進めるために、2015年8月に「廃止措置室」を設置し、お客様のご要望に迅速に対応できる体制を整備しました。これにより、当社の持つ豊富な経験を生かして、各種廃止措置業務(放射能インベントリー調査、エンジニアリング、放射性廃棄物クリアランス、最適技術の提案)に対応しています。

### 4. 原子燃料サイクル施設関連業務

原子燃料サイクル施設の関連業務として、再処理施設メンテナンス、ウラン濃縮施設メンテナンス、放射性廃棄物埋設施設の維持管理などを行っております。

(1) 再処理施設メンテナンスとして、施設運転・点検・補修(マニピュレーター遠隔補修、マニピュレーターの移設と保守点検、低レベル廃棄物の処理設備点検等)を行います。

(2) ウラン濃縮施設メンテナンスとして、施設の運転・点検・補修(ウラン濃縮工場設備管理補助、廃水処理設備点検、廃品回収槽内点検)を行います。

(3) 放射性廃棄物埋設施設の維持管理として、必要な種々の業務(放射線管理、容器点検)を行っています。

(4) 放射性同位元素の販売の他、放射性物質取扱施設での機器メンテナンス、廃棄物処理

作業、放射線管理業務及び指導、放射線教育を行っています。その他、ホットセル及びマニピュレーターの点検・保守作業も実施しています(図5参照)。



図5 マニピュレーター操作訓練状況

## 5. 技術開発関連業務

当社は、技術開発センター（千葉県柏市）を拠点として、福島第一の廃炉、周辺地域の環境修復などで必要とされている技術開発に取り組んでいます。また、全国の原子力発電所、原子力研究施設、原子燃料サイクル施設、RI施設などの安全で安定した運転、点検・保守保全に関する測定、分析、評価などの業務も行っています。

以下に、技術開発の代表例を紹介します。

(1) 福島の復興・再生に向けた技術開発として、遠隔操作技術と除染・調査技術を融合して、小型遠隔除染装置など、福島第一の廃止措置を見据えて、高線量環境下での作業性を考慮した遠隔操作技術と除染・調査技術の融合による新しい機器開発に取り組んでいます。

(2) 廃棄物処理技術の開発として、福島第一の事故対応、及び原子力施設において発生する放射性廃棄物の処理方法並びに金属廃棄物の切断工法、減容工法の開発を行っています。特に、廃止措置業務で必要とされる除染、切断等の廃棄物処理技術や福島第一の環境修復に繋がる技術への取り組みを積極的に推し進めています。

(3) 環境を考慮したエンジニアリングとして、福島第一の原子炉建屋内の線量計算及び環境修復のための汚染土壌による周辺線量計算で、遮へい計算モデルを設定し汚染源が撤去された場合の線量評価を行っています。また、作業環境・使用環境を考慮した種々の機器・工法・システムの設計も行っています。

(4) 研究・試験設備を活用した各種サービスを提供するため、 $\gamma$ 線照射施設および非密封RI使用施設などを利用して、新しい装置の開発やお客様ニーズに合った放射線環境下での試験研究を行っています。特に、技術開発センターが保有している $\gamma$ 線照射施設は、国内有数の放射線強度を備えていることから、照射利用が増加しています。福島第一事故の後処理に関連して、電子機器、化学材料などの対放射線性試験や材料の遮蔽性能確認試験なども行っています。

(5) 物性分析・化学分析・放射能濃度測定について、専用の分析機器を用いて、材料の分析や作業環境測定など、分析及び評価に関する業務を行っています。福島第一事故の直後は、自治体、企業からの依頼で、水や土壌などの環境試料及び農産物・食品・井戸水中の放射能定量分析や環境放射能の測定を実施してきています。

(6) 実規模ウェル・キャビティに代表される現場を模擬したモックアップ施設では、開発した機器及び工法の試験運転などを行い、作業や安全性の確認、運転訓練などにより作業の安全性向上に努めています。また、お客様のご要望に応じて、各種研修を実施しており、原子力施設の現場で必要とされる技術者の育成の場として技術開発センターの施設を活用しています(図6参照)。





図6 水中作業訓練

## 6. RI及び医療事業関連業務

当社は、SPECT 検査薬製造用中規模サイクロトロン加速器の運転及び保守点検作業、PET 診断薬製造用小規模サイクロトロンの運転・保守も各種病院に常駐して実施しています。脳 PET カメラや前立腺癌診断薬<sup>68</sup>Ga-PSMAの開発をはじめとした核医学を中心に医療事業へ挑戦しています(図7参照)。



図7 加速器の点検

## 7. 次の展開に向けた取り組み

当社は、川崎重工業と原子力事業の事業譲受について、基本合意を昨年11月に締結し、本年3月に原子力事業を譲受する正式契約を締結しました。川崎重工業は原子力事業に参画以来、約半世紀に亘り商用原子力発電所や廃炉・廃棄物処理、新型炉の国家プロジェクトに参画し、多数の開発・納入実績を有してきました。川崎重工業の「エネルギー・環境ソリューション」の中核事業である水素エネルギー関連事業に経営資源を集中するという経営方針と、エンジニアリング部門の強化を目指す当社の経営方針とが合致したため、原子力事業を継承することになりました。

当社では、エンジニアリングサービスセンター(ESCA)を大型案件のプロジェクト、設工認を伴う設計等を担う組織として昨年9月に新設しました。このセンター組織が川崎重工の原子力事業を引き継ぐとともに、同社が培った原子力事業の経験とノウハウをベースにEPC事業(Engineering, Procurement & Construction)を推進することとしております。これにより、当社の最大の強みであるOM事業(Operation & Maintenance)に加え、原子力事業分野で一段高い高品質なエンジニアリング業務を展開することで、これまで以上にお客様のご要望にお応えできる企業へとステップアップを目指しています。

## バックエンド技術情報

### 1. 原子炉デコミッショニングに対する最良の戦略

理事長 泉田龍男

ウエスチングハウス社は、欧州を中心に原子炉のデコミッショニング事業を数多く展開している。これらの経験を踏まえて、最良のデコミッショニング戦略について述べているので紹介する。自社の PR が大部分とも思われるが、参考になることも多い。

#### 1. はじめに

デコミッショニングと除染のニーズが世界的に高まっている。欧州で約 90 の原子炉が種々の理由で停止している（例えば機器の損傷、政治的及び経済的決定）。北米に於いても停止する原子炉が増加しており、稼働中原子炉（2012 年時点の商業炉 104 基を基準）が 2013 年から 2019 年の間に約 8%が運転停止した。さらに、2025 年までに残る原子炉の約 13%が運転停止する予定である。カナダでは約半数の 10 原子炉が 2025 年までに運転停止する見込みである。このトレンドは、アジア諸国（日本、韓国及び台湾）でも同様である。

本論文によれば、デコミッショニングの最良の戦略は以下の観点を考慮することにある。

- デコミッショニングの計画と戦略を明確化すること。
- 廃棄物物量とそれに関わる処理費用を最小化すること。
- 施設内スペースを最大限に有効活用する技術戦略を計画すること。
- 戦略最適化のために 3-D モデルを使用すること。
- 一次システムの全系統除染を実施すること。これにより、手動解体を容易にし、廃棄物処分費用を低減する。

- 移動可能な廃棄物処理機器を採用すること。他のプランで再使用するだけでなく、通常運転時にプラントでも使用できる。

費用と工程を最適化するためには、詳細なデコミッショニング計画と戦略を明確にすることが重要である。デコミッショニングの計画立案と戦略は、デコミッショニング全体の根幹となるものであり、プラント停止前の 2-3 年前には開始していなくてはならない。全体の計画立案には多くのデータ入力が必要となる。例えば第一段階となる正しいプラントデータがあるが、正しいデータ取得にはプラントの職員と共に業務を進める必要がある。

ウエスチングハウス社は、プラントの従事者の方々と共にスペインのホセ・カブレラ炉の詳細なデコミッショニング計画を立案した。その計画立案には、最適な解体シナリオを見つけるためにオプションリング（選択工学）が使われた。それは、工学的な技術を用いて様々な選択肢を評価することの繰り返しを行うのである。検討に際しては、プラントデータやその他のインプット情報を取り入れる。このような検討は、デコミッショニングの過程で生じる複雑な問題に対して、最良の道筋をもたらす。

## 2. プラントの特性調査

デコミッショニング計画策定にあたって最も重要な入力情報の一つは、プラントの放射能情報と環境情報である。確かな放射能情報と有害物の物量情報を準備することが、最も適切な技術の選定を容易にする。

この調査はプラントがまだ運転中に開始され、移行期間と呼ばれている運転停止とデコミッショニング開始の隙間の期間に主に実施される。プラントの特性データは、除染や解体前に放射能汚染の種類やその広がり进行评估するために収集されねばならない。この情報はALARA精神に基づく行動計画策定に不可欠であり、調査範囲は、原子力設備だけでなく施設の敷地も含む。

廃棄物の正確な性状把握により、クラスCレベルを超える(GTCC)高放射化物と低放射能レベルのクラスA,B,C廃棄物を分別する戦略が必要である。この分別により、全ての廃棄物を最も低コストで処分できる。

国が異なれば規制も異なり、廃棄物のクラス分けや取り扱いも異なる。USAでは、GTCC廃棄物は発電所サイト外に移送することはできず、そのため使用済み燃料貯蔵施設内にドライ状態で保管せねばならない。クラスA,B,C廃棄物は施設外の処分施設にて処分できる。今日までに解体したUSAのいくつかのプラントでは、NRCの承認に基づいてクラスA,B,Cの廃棄物を原子炉反応容器(クラスA)内に収納し、それを処分場にそのまま移送して処分を行っている。これを実施するに際しては、多くの要素を検討する必要がある。たとえば、処分コスト、輸送計画及び許認可費用などである。

ホセ・カブレラ原子炉の場合は、中性子束の計算評価を実施し、その結果が炉内に設置した監視カプセルを計測することで検証され

た。検証部位は、炉内機器、原子炉容器、隔離壁、コンクリート製の生体遮蔽壁である。

## 3. 技術戦略の策定

対象となる原子力施設を解体するための最良の技術戦略を立案するためには、多くの要因を検討する必要がある。その中でも、施設の解体に際して現実のプラント内のスペースを最も有効に使える計画が最も効率的でありスケジュール管理も容易になる。この検討では、並行作業が可能かどうかも検討される。

燃料取り出し後に実施される作業の一つが一次系統の化学除染であり、これにより解体現場の線量率を迅速・簡単に低下させることができる。化学除染実施後に炉内機器と圧力容器本体を撤去する手順が、デコミッショニングプロジェクトの最適経路になる。

原子炉内機器の解体は、過酷な放射線環境下であるので、水中切断を行うのが無難である。水が有効な放射線遮蔽材となる。

炉内機器が撤去されると、原子炉建屋内で異なるタスクの業務を並行して実施できる。汚染機器が撤去された後に、通常のプラント解体(屋外のオープンエア解体)の規制体制にするために表面除染を実施する。

場合によっては重要な基盤設備が存在しないことがあり、それがのちに重大な問題を引き起こす。ホセ・カブレラ発電所では、多くの作業が解体前に実施せねばならなかった。例えば、原子炉容器の水深が切断作業時に必要な遮蔽には不十分なため、原子炉と使用済み燃料プールとの間の壁を切り取り、より深い使用済み燃料プールへアクセスできるようにした。この改造により、図1に示すように原子炉容器を1ピースのまま、燃料プールに移送することが可能となった。

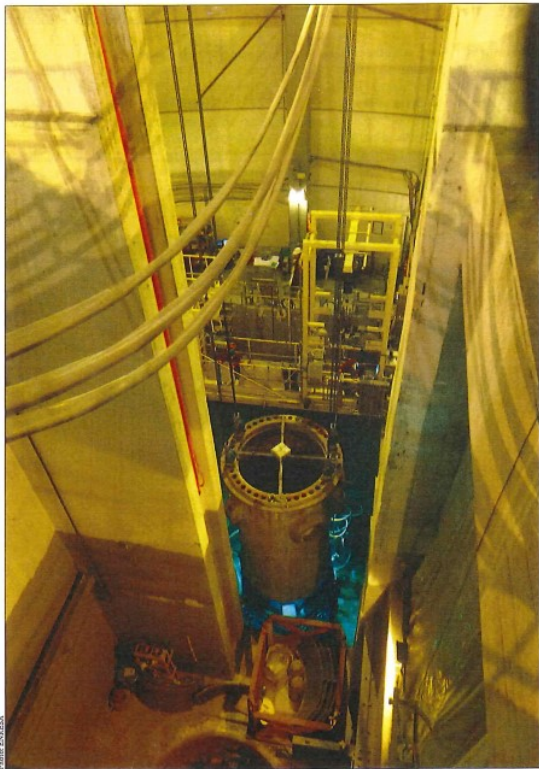


図1 原子炉キャビテイと燃料プール間壁の撤去後の様子

#### 4. 3Dモデルの使用

3Dモデルが詳細な計画づくりに貢献する。プラント全てを可視化するためにレーザ走査法を使用する3Dモデルが使われるようになってきた。

高放射化した切断片の移動、計測、収納は、作業用ブリッジから遠隔で操作される。原子炉キャビテイでは、切断作業のたびに原子炉容器からキャビテイに切断片が取り出されるため、切断片が混雑するので3Dモデルでの正確な検討が重要となる。

スウェーデンのバーセベック原子炉の炉内機器の切断作業に際しては、プロジェクトの最初の1年間はエンジニアリング検討、設計作業、そして必要な機器の製作に費やされた。

#### 5. 一次系統の除染

一次系統(蒸気発生器、原子炉冷却ポンプ、加圧器及びこれらとの連結パイプ等)の強力な化学除染が、EPRIなどにより推奨されている。除染によるメリットは以下。

- ・一次系機器からの放射能除去
- ・作業者の被ばく低減
- ・原子炉機器へのアクセス容易化。高価なロボットや遠隔操作不要となる。
- ・作業中の汚染拡大の危険防止
- ・処分コスト低減

一次系統のフル除染による効果とメリットを示すには、スロバキアのボフニチェV1発電所の例が好適である。ボフニチェV1発電所は、VVER-440型原子炉2基からなり、1基あたり6系統がある。除染に際しては、原子炉を迂回して2系統を同時に除染した。除染方法は、NITROX-E除染を3サイクル行い酸化被膜の除去を、その後にDFD除染を2サイクル行い表面層のマイクロクラックに残存する放射能を除去した。これにより最終的な除染ファクター(DF)55.7を得た。この除染の結果、一次系統の解体を手動でできるようになり大幅なコスト削減が可能となった。

#### 6. 廃棄物の減容

デコミッションングにより発生する放射性廃棄物の管理は極めて重要なミッションであるが、第一の目的は中間貯蔵や最終処分に適合する廃棄体を製作することである。第2の目的は、除染により廃棄物のクラスを下げることで、種々の手段を用いて廃棄物を減容することである。減容プロセスには以下の手段がある。

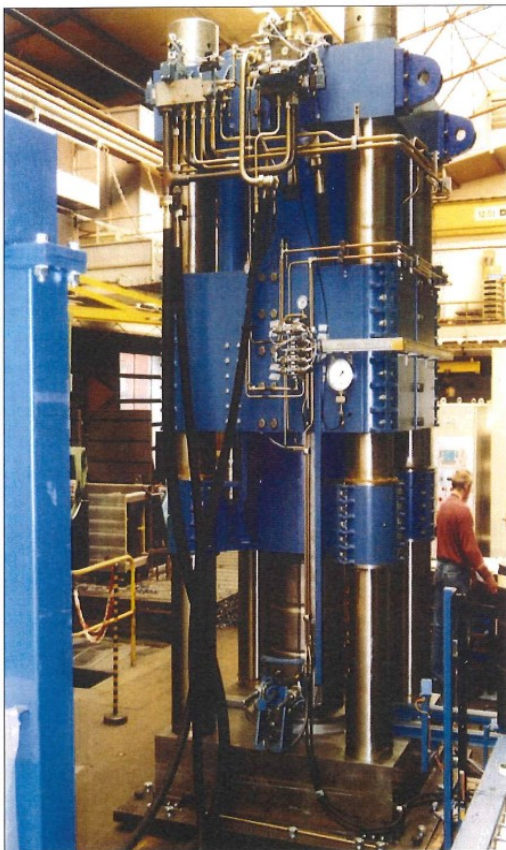
- ・熱処理：焼却、水熱分解、プラズマ加熱
- ・溶融：金属対象の溶融
- ・圧縮：固体廃棄物(金属、ガラス、



フィルター、パイプ、等)

上記の中で、圧縮は機械的な操作によるものであり取り扱いが容易な手段である。圧縮減容は、廃棄物内部の空気層の容積により減容率が影響を受けるが、最近のスーパーコンパクター（図2）では従来に比較して6・7倍の減容比を実現している。圧縮減容のメリットは以下である・

- ・ 既存技術であり世界的に使用
- ・ 技術がシンプルでトラブル少
- ・ 低コスト
- ・ 運転操作容易
- ・ 廃棄物の高密度化で遮蔽能力増



Super Compactor with 2,000-ton operating force.

図2 スーパーコンパクターの例

#### 参考文献

1. Joseph Boucau and Keith Mahosky , “Best practices for strategic nuclear plant decommissioning” ,Nuclear News , july 2019 p36

#### 7. まとめ

原子力プラントのデコミッショニング作業は、多くの安全対策や要求事項のために多大な費用と複雑な管理が必要である。そのため、運転停止の数年前からプラントデータの取得や規制対応などの計画を進めておくのが肝要である。

計画策定には、今回の①特性調査、②技術戦略、③3Dモデル、④系統除染、⑤廃棄物減容に対する検討が不可欠である



## 2. 原子力発電プラントの設計、建設、運転段階で

### 考慮すべき廃止措置に関わる物理的課題

フェロー 澁谷 進

今日、原子力発電プラントの廃止措置は、プラントのライフサイクルにおいて設計、建設、運転段階に続く不可欠なプロセスであることは自明である。しかしながら、過去の事例では、廃止措置プロセスがしばしば無視され、不必要な多大な労力とコストが発生していた。これは、廃止措置が、放射能特性評価や除染、解体撤去、放射性廃棄物管理など、安全性はもちろんのこと経済性や環境保全を確保しながらの、複雑なプロセスからなるためである。ここには、放射能・放射線に関わるいくつかの物理的課題があり、プラントの無制限の解放または再利用の達成に支障をもたらす可能性がある。現在までに、完了したプロジェクトも含め、多くの廃止措置プロジェクトが実施され、上記の課題の回避に有用かつ実践的な知見経験が蓄積されてきている。それらは廃止措置の計画段階で反映されている必要がある。本稿では、原子力発電プラントの設計、建設、運転段階で考慮されるべき廃止措置の物理的課題を項目別に紹介する。<sup>1)</sup>

#### 1. 中性子による放射化

原子力発電プラントの通常の運転中、核分裂の連鎖反応過程で発生した中性子により原子炉内構造物（RVI：Reactor Vessel Internals）や原子炉圧力容器（RPV：Reactor Pressure Vessel）をはじめ、その周辺のコンクリート構造物、機器配管やサポートなどが放射化される。特に、炉心部からのプラント固有の様々な中性子ストリーミングパスが存在する可能性があり、それらを特定する必要がある。中性子放射化による放射能は、数十年運転された商用原子炉の場合、 $10^{16}$ Bq に達する可能性がある。放射化された資器材や解体物は、各国の廃棄物分類基準に従って分類される。過大評価による廃棄物処理コストの増加に注意する必要があるが、過小評価は規制、環境保全、安全に影響を及ぼす。放射化量の推定は、検証済みの中性子放射化計算によって行われる。設計と建設段階で、放射化を最

小限に抑えるよう対策が重要である。放射化による放射性核種の生成は、プラントの放射能インベントリに占める主要因であり、廃止措置の複数の側面で課題の原因となる。

#### 2. 二次汚染

原子力発電プラントのもう1つの重要な放射エネルギーは汚染である。汚染は、機器配管等の内表面の腐食（コロージョン）や摩耗（エロージョン）による生成物の放射化および燃料被覆管の破損箇所あるいはピンホールから漏洩する照射された燃料および核分裂生成物から発生する。原子炉の運転中、ほとんどの金属表面は酸化して腐食膜の層を形成し、高圧と高温にさらされ侵食され、腐食生成物は冷却材などの熱伝達媒体とともに、炉心内の高中性子束の領域に輸送される。ここで、燃料被覆管や炉心構造物の表面に付着し、中性子によって放射化されて放射化生成物を生成する。続いて、侵食

等により表面から剥がれ、原子炉系統全体を循環し、系統内面に二次的に堆積する(二次汚染)。さらに、二次汚染は、一次系統からの漏洩や放射性廃液および廃棄物の処理と保管、保守および補修作業、燃料取り出し作業、および作業事故から生じ得る。空气中の汚染放射能は、壁、天井、および換気システムにも付着する可能性がある。二次汚染の放射能インベントリは、放射化計算では計算されない。プラント設計では、二次汚染の発生を可能な限り防止または軽減する必要がある。二次汚染は、適切な除染手順によって廃止措置時に処理される。

### 3. 放射能特性評価

廃止措置プロジェクトでは、放射能インベントリの特性評価が最も重要である。プラントのあらゆる場所で各構成設備機器の放射能を測定することは現実的ではないため、コンピュータコードを用いた放射能インベントリの正確な計算が不可欠である。放射能の種類と量の適切な推定は、廃止措置を開始する時期の選択や廃止措置の各段階間の適切な間隔期間の設定など、廃止措置へのアプローチ全体に直接影響するため重要であるとともに、計画段階ではプラントが安全で経済的かつタイムリーに廃止されることを保証するための大きな資産になる。例えば、機器配管等の除染の必要性、遮へいまたは遠隔操作による解体、廃棄物管理および処分などの要因の決定に不可欠である。また、放射化計算によって得られ

た知識は、作業員の放射線被ばくを最小限に効果的に減らすのに役立つ。結果的に、大きな節約の可能性を秘めた信頼性の高い廃止措置計画を策定することが可能となる。

専門家のレビューや規制当局が要求する精度を達成するためには、最先端の3次元の放射化計算が必要である。近年、国際的に検証されたモンテカルロ計算ツールMCNP(米国、ロスアラモス)をプログラムSCALE/ORIGEN(米国、オークリッジ)と組み合わせた革新的な3Dシミュレーション手法が開発された。<sup>2)</sup> これらの3D中性子放射化計算は、プラントの幾何構造の非常に詳細な3Dモデルと発電プラントの数十年にわたる運転履歴を含むため、原子炉圧力容器や炉内構造物だけでなくすべての構成設備機器(冷却材配管、原子炉格納容器、外部コンクリート構造物など)の、任意の位置と時間の放射能の情報を(長期予測でも)前例のない精度で得ることができる。さらに特筆に値するのは、最新のモンテカルロ計算手法では、従来の決定論的計算手法では計算できない中性子ストリーミングパスを識別し、ストリーミング効果の影響を受ける周辺の構成設備機器の放射能を正確に計算することができることである。

図1は、原子炉圧力容器のヘッドが、生体遮へいとPRVの間のストリーミング中性子によって外部から放射化される例を示している。

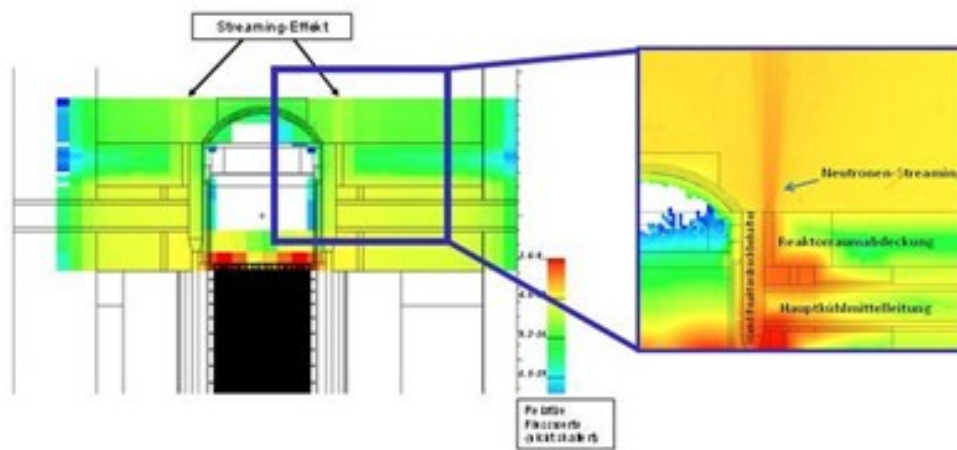


図 1. MCNP 使用の最新 3D 放射化評価手法<sup>1)</sup>による中性子ストリーミングの計算  
 (原子炉圧力容器のヘッドは、生体遮へいと PRV の間をストリーミングする中性子によって外部から放射化される。)

最終的に検証済み結果を取得するには、理論計算の結果を測定によって得られたデータと比較して、計算精度を検証し、使用する理論モデルに必要な応じて調整を加えなければならない。必要な精度で検証された放射化計算によって放射能特性評価を達成するためには、設計、建設および運転段階において以下の措置や測定を講じる必要がある。

- 燃料特性とプラントの運転履歴
- 核データ
- 設備・機器・配管等の形状と質量
- 材料組成と微量元素
- 検証／測定
- 文書化とデータ管理
- 廃止措置と廃棄において重要となる放射性同位元素に対する十分な知識

#### 4. 燃料特性とプラント運転履歴

燃料要素の設計（形状、濃縮度、燃焼度など）は、廃止措置においても重要な役割を果たす。通常、運転中の炉心管理は、境界条件内で炉出力を最大化しようとする。この際、燃料集合体を RVI（バ

ッフルプレート、コアバレルなど）に近づけると非常に高いレベルの放射化が発生し、これら構造物には、停止時のプラントの総放射能の最大 95%が含まれる可能性がある。したがって、廃止措置の観点から、原子炉設計では、高線量率と輸送および保管キャスクのコスト高に起因する複雑な遠隔操作による解体撤去を回避するために、RVI および RPV の中性子放射化が最小限に抑えられることを保証する必要がある。必要な精度で正確な放射能インベントリ評価推を達成するためには、運転履歴（運転中の燃料集合体の炉心配置とプラントの停止期間）も同様に重要な役割を果たすため、文書化やデータ化して適切に管理しなければならない。最新の 3D 放射化計算には、燃料集合体の炉心配置や履歴だけでなく、配置された燃料集合体のピンごとのモデリングも含まれる場合がある。<sup>2)</sup>

#### 5. 核データ

複雑なプラント幾何構造を通過する中性子ストリーミングと、それに続く放射

能特性評価に必要な精度での放射化プロセスを計算するには、計算に最新の放射化断面積データ（核データ）を使用する必要がある。評価済み核データファイルとしては、JENDL(日本)や ENDF(米)、JEFF(欧)などが公開されており利用可能である<sup>3)</sup>。廃止措置においては、最新の核データファイルが放射能特性評価に適用されていることを確認する必要がある。

## 6. プラント構成設備機器の形状と質量

プラントとその構成設備機器に関する正確な知識は、廃止措置段階で主要な役割を果たす。複雑な構成設備機器の形状は、複雑な中性子多重散乱パターンを引き起こす可能性があり、したがって、中性子ストリーミングパスに、そして結果として放射化インベントリに強い影響を及ぼす。RPV、RVI、生体遮へいなど、中性子束に晒される構成設備機器の正確な形状と質量に関する情報は、直接、3D計算コード内でそのままモデル化されるため、放射化インベントリを正しく評価するための前提条件である。形状や仕様の小さな変動（例えば、RPVの半径、壁の小さなギャップなど）は、中性子束の評価に大きな変動を引き起こす可能性があり、計算結果に大きな変動をもたらす可能性がある。同様に、実際の形状と想定される形状の相違は、中性子ストリーミングパスの見落としまたは無視につながる可能性がある。したがって、幾何構造に関する文書は実際の構造に対応していなければならないが、構造上の変更がある場合は更新されなければならないことは明確である。プラントの設計、建設段階では中性子ストリーミングを最小限に抑

える対策が必要である。

## 7. 材料組成と不純物元素

構成設備機器の材料組成も非常に重要である。放射化の計算は、詳細な材料仕様に基づいており、実際の含有量レベルを決定するための化学分析または溶融分析によって補足される。したがって、正確な放射化インベントリ評価を得るためには、中性子束の影響下で使用される材料の組成の正確な情報が必要である。材料組成が不明確な場合は、組成サンプリング計画により、廃止措置時に情報を取得しなければならない。これには、アーカイブ目的で保持されている放射化物質または非放射性物質のサンプリングが含まれる場合がある。実行可能性のある1つの方法は、特性評価される構成設備機器材料と同じ組成の非放射性サンプルの放射化分析である。これらの情報が入手できない場合は、文献4) 5) から推測できる仮定を立てる必要がある。文献では、さまざまな元素のいわゆる範囲係数（測定された最高濃度と最低濃度の比率）がまとめられている。原子炉内部のCo含有量の一般的な範囲係数は約11であるが、コンクリートなどではBaで353、Sbで81、Coで28、Euで11まで高くなる可能性がある。同様に注目すべきは、生体遮へいコンクリートの含水量の放射化に対する大きな影響であり、水素の含有量の知識が非常に重要である。これは、水素が高速中性子を効率的に減速するため、計算における水素含有量のわずかな変動は、1桁を超える放射能の増加／減少をもたらす可能性がある。これらは放射化における構造材料中の微量元素濃度の重要性を強調している。さらに、プ

ラントの建設において避けるべき材料がある。冶金学的理由で Nb を含む合金鋼などの多くの材料は、長寿命の  $^{94}\text{Nb}$  を生成するため、高中性子束領域での使用には適していない。同様に、強力な  $\gamma$  線を放出する放射性核種  $^{60}\text{Co}$  の発生源となる Co 含有量の少ない鉄鋼を使用することが推奨される。一般に、強力な  $\gamma$  線放出核種の生成は可能な限り回避する必要がある。

## 8. 実証評価

原子力発電プラントの設計または建設段階では、前もって放射化計算の検証を考えておくべきである。放射化計算の結果は、必要に応じて較正するとともに測定データと比較し、検証する必要がある。放射化計算は原子炉の特性情報を提供する費用対効果の高い方法であるため、検証は他の廃止措置プロジェクトに計算コードを適用する際の信頼性を高めることができる。このためには、以下の各種測定が活用できる。

- ・線量率の測定
- ・汚染測定
- ・サンプル／スペクトル測定

放射性核種の種類と放射線場がよく知られている場合は、線量率測定は放射能の満足できる推定値を提供できるが、測定は測定対象から一定の距離で行われなければならない。汚染については、対象表面のスミア・拭き取りテスト（緩い汚染の場合）または固定またはスキャン検出器の利用（固定汚染の場合）によって測定できる。放射線源の構成が不明な場合には、サンプル／（ $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  線）スペクトル測定により放射性核種の最も詳細な分析を得ることができる。プラント

の建設中、材料サンプルと金属箔は、照射寿命研究と放射能評価検証の両方の目的で、原子炉施設内に配置する必要がある。これらの材料サンプルと金属箔を取り出して分析に利用し、材料の中性子誘導放射能を実験的に決定することが可能であるはずである。この目的のためには、研究用または発電用原子炉の既知の環境で、選択された金属箔と一緒に材料サンプルを照射することも可能であり、この照射条件で試験サンプルに誘発された放射能を計算し、測定値との比較により、最終的に計算コードからの結果の検証が可能になる。正確な特性評価には、放射化されたプラントの構成設備機器から代表的な調査用サンプルを採取し、分析することも必要である。これらのプロセスにより、すべての構成設備機器の放射性核種の組成、量、および場所に関する情報を含む実際のデータベースが得られる。上記の分析方法では、一般に、線量率計（サーベイメータ）、Ge 検出器、スペクトル分析装置、液体シンチレーションシステムなどの特別な装置を使用し、資格のある作業員と資格のある研究所が必要である。経済的な観点からは、測定と分析の少なくとも一部がプラントの担当者自身によって行われることが有用であり、オンサイトのスペクトル分析ラボの存在と活用は有益である。

## 9. 文書とデータ管理

廃止措置計画では、建設、運転、および運転後／特性評価の段階で作成されたすべての情報が完全であり、十分に文書化された形式で利用できることが重要である。適切な記録保持は、廃止措置プロセス全体において重要な役割を果たすた

め、建設段階ですでに検討する必要があることを認識しておかなければならない。複雑な廃止措置作業を慎重に計画できるようにするには、プラントの設計に関連する情報を収集するだけでなく、ユニットの運転履歴に関する適切な情報を収集し、定期的に、また特に非日常的な事象や事故事象の発生時には、情報を更新しなければならない。プラント内の多数の構成設備機器を考慮すると、適切なコンピュータ化されたデータ管理および文書化/データベースシステムの導入は、必要なすべての情報の保存と更新の問題を容易にすることができる。したがって、設計段階では、適切なデータ管理および文書化システムを予測し、建設段階で実

装する必要がある。

## 10. 重要な放射性核種

廃止措置に関連する最も重要な放射性核種を表1に要約する(文献4)および6)を参照)。原子力発電プラントの設計および建設段階では、これらの放射性核種の生成に特別な注意を払う必要がある。可能であれば、建設段階において放射線影響の大きい放射性核種の生成を極力避けるよう対処すべきである。不可能な場合は、前の章で述べたように、プラント構成設備機器中の放射化放射性核種の含有量をよく知っておく必要がある。

表1 原子力発電プラントの廃止措置において重要な放射性核種(4,6)

放射性核種	主な生成過程	半減期	主な放射線エネルギー	主な存在場所	
γ線核種	$^{54}\text{Mn}$	$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	312 d	835 keV	鉄鋼材
	$^{60}\text{Co}$	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	5.27 a	1.17 MeV, 1.33 MeV	ステンレス鋼材、インコネル
	$^{94}\text{Nb}$	$^{93}\text{Nb}(n,\gamma)^{94}\text{Nb}$	20,300 a	703 keV, 871 keV	ステンレス鋼材、インコネル
	$^{108m}\text{Ag}$	$^{107}\text{Ag}(n,\gamma)^{108m}\text{Ag}$	130 a	614 keV, 723 keV, 他	PWR制御棒
	$^{133}\text{Ba}$	$^{132}\text{Ba}(n,\gamma)^{133}\text{Ba}$	10.5 a	356 keV, 他	コンクリート(特に重コンクリート)
	$^{152,154}\text{Eu}$	$^{151}\text{Eu}(n,\gamma)^{152}\text{Eu}$	13.5 a	842 keV, 963 keV, 他	コンクリート(特に生体遮へい)
$^{153}\text{Eu}(n,\gamma)^{154}\text{Eu}$		8.6 a	723 keV, 1,005 MeV, 1,237 MeV, 他		
β線核種	$^3\text{H}$	$^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$ $^2\text{H}(n,\gamma)^3\text{H}$	12.3 a	max: 19 keV	生体遮へいコンクリート 重水減速材
	$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ $^{13}\text{C}(n,\gamma)^{14}\text{C}$	5,730 a	max: 156 keV	コンクリート 黒鉛減速材
	$^{63}\text{Ni}$	$^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$	100 a	max: 67 keV	ステンレス鋼材
	$^{99}\text{Tc}$	核分裂生成物 $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$	213,000 a	max: 292 keV	モリブデン鋼材、二次汚染
α線核種	$^{146}\text{Sm}$ , $^{233}\text{U}$ , $^{236}\text{U}$ $^{237}\text{Np}$ , $^{239}\text{Pu}$ , 他	核分裂生成物	—	—	二次汚染
電子捕獲核種	$^{41}\text{Ca}$	$^{40}\text{Ca}(n,\gamma)^{41}\text{Ca}$	103,000 a	K <sub>x</sub> 線(3.31, 3.59 keV)	生体遮へいコンクリート
	$^{59}\text{Ni}$	$^{58}\text{Ni}(n,\gamma)^{59}\text{Ni}$	76,000 a	制動放射X線 (max: 1.07 MeV)	ステンレス鋼材

## 参考文献

- 1) Physical issues in decommissioning in the design, construction and operational phase of nuclear power plants, KONTEC 2019, March 27~29 2019, Dresden
- 2) Fabry, I. Dr.: The Biblis Activity Atlas Nuclear Engineering International, May

2014 edition.

- 3) JENDL : [https://www.ndc.jaea.go.jp/index\\_J.html](https://www.ndc.jaea.go.jp/index_J.html),  
ENDF : <https://www.nds.iaea.org/exfor/endl.htm>,  
JEFF : <https://www.oecd-nea.org/dbdata/>
- 4) Long-Lived Activation Products in Reactor Materials Pacific Northwest  
Laboratory, NUREG/CR-3474, August 1984
- 5) Trace Elements with Large Activation Cross Section in Concrete Materials in  
Japan Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 38, p.542-550 (July 2001)
- 6) Radiological characterization of shut down nuclear reactors for decommissioning  
purposes, Technical report series no. 389, IAEA, Vienna, 1998

### 3. 廃止措置中の原子力施設の安全防護の課題

廃棄物処理事業推進部 秋山武康

この報告<sup>1)</sup>の目的は、ドイツの段階的廃止措置から学んだ課題と教訓に基づいて、廃止措置中に発生する可能性のある安全防護上の課題を指摘することである。

安全防護設計の更に重要な点は、廃止措置中のプラントが稼働中のプラントの通常の運用手順とは大きく異なることであり、適切なレベルの安全防護と効率的な廃止措置を確保するには最適化された柔軟性の高い安全防護概念が必要である。ドイツの廃炉プロジェクトについてのレビュー<sup>2)</sup>もあるが、国の規制は国ごとに異なる場合があっても基本的な問題は同じであり、示された解決策は他国にも適用できる。

#### 1. はじめに

原子力発電所(NPP)の廃止措置には許可が必要であり、この一部に安全防護の概念がある。この概念は、もはや稼働していないが各種形態の放射性物質をまだ含んでいる、プラントの潜在的なリスクの変化に関して開発されなければならない。客観的な目標は、廃止措置プロセスの全段階に適切な安全防護概念を確保することである。まず残存放射性物質の潜在的なリスクであり、進行中の廃止措置活動に伴って減少し、それぞれの規制要件も同様である。更に廃止措置作業、必要な空間、プラントでの人員、防護対象システムなど、全ての運用上の周辺条件を考慮して分析する必要がある。

#### 2. 一般的な安全防護の概念

安全防護の概念には、悪意のある行為からNPPを防護するために必要な全てのもが含まれる。安全目標は次のとおり。

- ① プラントサイトからの核物質・放射性物質の無許可の抜き取りを避ける
- ② 許容できない量の放射性物質を環境にさらさない

安全防護の概念の不可欠な部分は、安全防護戦略、技術的対策、管理上および人的要因である。周辺条件は、とりわけ潜在的なリスク、設計ベースの脅威、宣言された目標セット、および規制要件である。

主な安全防護機能は次のとおり（図1参照）。

- ・物理的な障壁
- ・防護区域への人員と車両のアクセス制御
- ・検出、照明、監視、評価、警報システム
- ・中央警報所（CAS）
- ・通信と電力系統

これらの機能の特徴は国によって異なるが、基本は同じである。重要な機器（安全目標を達成するために必要と考えられる全てのシステム）は、いわゆる重要防護区画内にもみ配置する必要がある。重要な機器へのアクセスには少なくとも2つの物理的障壁を通過するように、重要防護区画は防護区域内に配置する必要がある。

隔離区域は、防護区域の周囲にある物理的障壁に隣接する屋外区域に維持する必要があり、プラントを観察するのに十分な大きさである必要がある。



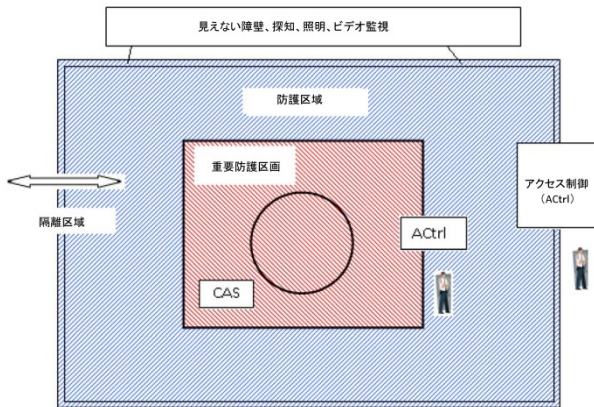


図1 NPPの安全防護設計の例

### 3. 廃止措置の一般的な段階

「IAEA 安全基準」によれば、廃止措置は準備段階と実施段階に分けることができる。廃止措置の準備には、廃止措置戦略の策定、初期廃止措置計画、および施設の放射線学的特性評価が含まれる。廃止措置の実施には、最終的な廃止措置計画の作成、承認もしくは承認のための規制機関への提出、プロジェクトの管理と計画の実施、廃棄物の管理、および計画の最終状態の基準を満たしている宣言を含む。

### 4. 廃止措置および解体時の変更

#### (1) リスクの低減

原子力発電所の場合の「原子力施設および放射線施設の廃止措置に関する IAEA の方針および戦略」によると、原子炉更に可能であれば施設からの燃料、プロセス流体、運転廃棄物の除去は、主な放射線および安全防護リスクを取り除く。残りの残留放射性物質は、廃止措置中の労働者、一般市民、および環境に対してより小さな、しかしそれでも重大なリスクをもたらす。リスクの減少は、安全防護対策の緩和につながる。特にプラントから全ての燃料を取り除いた後、前述の安全目標②は廃止された。

#### (2) 重要機器

原子炉から燃料が除去されるため、安全目標を確実に達成するシステムが必要となる。プラントの運転中に重要な機器と見なされた機器・システム等も変わり、安全防護対象の機器は少なくなる。

#### (3) 重要防護区画

重要防護区画は、重要な機器が配置されている区域である。重要な機器・システム等に変更があった場合、重要防護区画にも変更が生じる。これにより防護対象の建物が減り、アクセス制御、監視などを減らすことができる。

#### (4) 運転条件

廃止措置が始まると、プラントは「操業施設」から「建設現場」に変わる。操業時、プラントでの主な作業は電力の発生やメンテナンスだった。廃止措置中は、システムと構成機器の取り外し、細分化、除染、取り壊しなどが行われる。運転条件の変更時には、安全防護を確保すると同時に、作業を効率的に実行できるように安全防護対策の変更が必要である。たとえば、新しいアクセスポイントの設置、より柔軟で一時的な安全防護装置への置き換え、等である。

#### (5) 現場作業者の増加

廃止措置作業は、おそらく稼働期間中よりも多くの人々がプラントで作業する。安全防護上の理由から、より多くの安全防護担当者や追加のアクセスポイントが必要になる場合がある。

#### (6) 廃止措置でより多くの空間が必要

特に大きな機器の細分化、切断、ミーリング加工などの廃止措置活動には、放射線防護下での追加の作業空間が必要になる。更に放射性および非放射性廃棄物を保管する場所が必要になる。放射性物質

が処理または保管されている全ての建物と部屋が安全防護要件に準拠していることの確認をお勧めする。

(7) 廃棄物処理施設と中間保管庫

廃止措置作業では大量の様々な放射性廃棄物が発生し、廃棄物処理施設と中間貯蔵施設を敷地内に建設する必要がある。これらの建物にも合理的なレベルの安全防護対策が必要である。

5. 安全防護に関する廃止措置の段階

- ① プラントの最終的なシャットダウン
- ② 燃料の使用済み燃料プールへの移動

- ③ 廃止措置作業の開始
- ④ 使用済み燃料貯蔵所への燃料除去
- ⑤ さらなる廃止措置活動
- ⑥ 燃料および廃棄物貯蔵庫の運営

廃止措置段階に応じて潜在的なリスクが減少することを図2に示す。プラントからの燃料の除去が、必ずしも廃止措置の許可および廃止措置の開始と相関しているわけではない。使用済燃料がプラントに残っていても、廃止措置が許可され、開始される場合がある。これは、ドイツに限定的な話だが、他国でも発生する可能性がある。

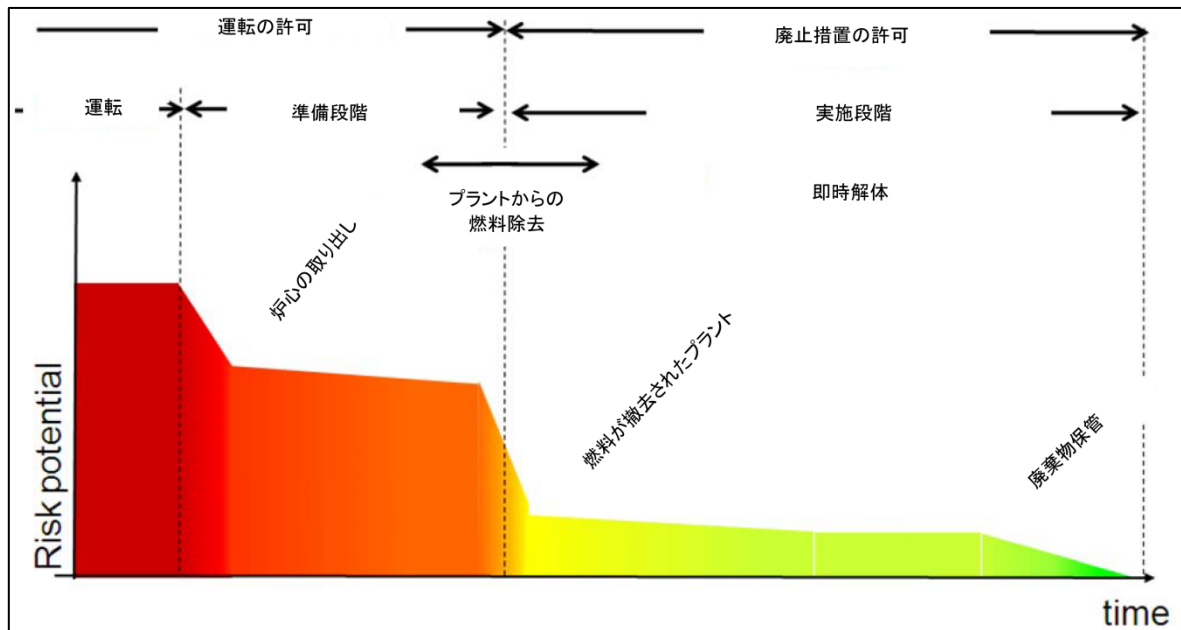


図2 放射性物質と潜在的なリスクの関係

6. ドイツでの課題と解決策

(1) ドイツでの課題

- ① 運転条件の変更により、運転中のプラントで使用を想定しているシナリオと異なるシナリオになる。
- ② 使用済燃料は使用済燃料プールに長期間留まり、その間プラントの潜在的リスクが高止まりであり、高レベルの安全防

護対策が必要なままである。

- ③ 廃止措置の許可か、使用済み燃料の除去がない限り、既存の運転許可に従った安全防護対策が変更されない。

(2) 学んだ解決策と教訓

- ① 運転条件変更によるシナリオの不一致  
プラントの運転中に安全防護に関連すると見なされるシステムは、燃料が炉心

から使用済み燃料プールに排出後、安全防護に関連しなくなる可能性がある。使用済燃料がプラントサイトから使用済燃料貯蔵庫または最終処分場に完全に輸送されると、安全防護の観点から次の重要な段階に到達する。この両方のポイントで、安全目標を達成するためにどのシステムが必要かを分析することを勧める。

上記の安全システムの分析は、悪意のある行為から防護されなければならないシステム、建物、およびプラント区分の決定につながる。

#### ②使用済燃料の長期間滞留

プラントの潜在的なリスクが高いままであり、高レベルの安全防護対策が必要になる。これは廃止措置作業開始後も、稼働中のプラントと同じ高レベルの潜在的なリスク下で実行するという問題につながる。廃止措置作業は運転条件での作業とは異なり、より多くの作業空間が必要になり、たとえば追加のアクセスポイントが必要になる場合がある。その場合、補償安全システムを実装し安全関連システムをできるだけ少なくするか、できるだけ近くに結合して、重要防護区画として防護できる安全の孤島をプラントに設置することを勧める。

#### ③運転許可条件の安全防護対策の継続

本件は、使用済み燃料をプラントから除去した後は必要ないが、更に数年間稼働し続けるプラントに焦点を合わせて安全

防護対策の改善を行う必要があるかどうかという議論にさえつながった。

安全関連システムの分析と小さな重要防護区画の設置が、必要なレベルの安全防護を維持するために、計画および改善措置のどちらがまだ必要であるかを決定する基礎となる。どちらの対策が必要であるかを決定するとき、(a)予定通りに行われるか、(b)人事その他の補償措置またはより短期的な関連技術的手段に置き換えられないか、を決めなければならない。意思決定のためには、その局面の終わりまでに、経済的に合理的な方法で対策を実施できるかどうかを検討する必要がある。

## 7. 結論

廃止措置プロセスでは安全防護対策が必須である。運用要件の変更により潜在的なリスクを低減する場合は、廃止措置プロセスに安全防護概念を適合させる必要がある。

政治的または技術的な理由による原子力施設の予期せぬ閉鎖および廃止措置は、安全防護の概念に関する課題につながる。これらは、時間、必要な空間、推定労働力、潜在的なリスクなど、安全防護に影響を与える全ての要因の完全な分析でカバーできる。この分析の結果として、最適化された安全防護の概念を開発できる。この概念は廃止措置中の周辺条件の変化に随時適合させることにより、効率的で適切な安全防護の概念の設計が保証される。

## 参考文献

- 1) Christian Spatz, "THE CHALLENGES OF PLANT SECURITY DURING DECOMMISSIONING OF A NUCLEAR FACILITY," KONTEC 2019, March 27-29, 2019
- 2) 宮坂 靖彦、榎戸 裕二、「諸外国の発電炉の廃止措置戦略及び実績第2回 ドイツの主要な廃炉プロジェクトの概況と特徴」, デコミッションング技報, 59, 51-65 (2019)

## 世界の原子力発電所の廃止措置最新情報（2021年11月末現在）

現在、我が国における発電用原子炉施設の廃止措置基数は、廃止措置が終了した動力試験炉（JPDR）、廃止措置中の新型転換炉原型炉ふげん、高速増殖原型炉もんじゅ及び商業用原子力発電炉 24 基で、計 27 基を数える。海外では、去就が注目されていた韓国の月城 1 号機（CANDU：出力 68.3 万 kW）は 2019 年 12 月 24 日に正式に運転を終了したが、その後、早期閉鎖の根拠となった経済性評価について、過小評価があったとされ、現在捜査中である。米国ではニューヨーク州のインディアンポイント 2 号機（PWR：出力 106.7 万 kW）、3 号機（PWR：出力 108.5 万 kW）が、2017 年 1 月の州との協議に基づき、それぞれ、2020 年 4 月 30 日及び 2021 年 4 月 30 日に、また、アイオワ州デュアン・アーノルド原子力発電所 1 号機（BWR、62.4 万 kW）が 2020 年 10 月 12 日に恒久停止された。2021 年に入ってからは、英国のダンジネス B 原子力発電所（GCR×2 基：出力 61.5 万 kW×2）が 6 月 7 日、ハンターストン B 1 号機（GCR：64.4 万 kW）が 11 月 26 日に、台湾の國聖（第二）発電所 1 号機（BWR、102.7 万 kW）が 7 月 1 日、パキスタンのカラチ 1 号機（PHWR：10 万 kW）が 8 月 1 日に運転終了に至っている。

この結果、世界の恒久運転停止した原子炉総数は 2021 年 11 月末で 200 基（台湾含む）となった。主要国の廃止措置中（完了含む）では、米国 42 基（EBR-II、ハンフォード N 原子炉含む）、ドイツ 30 基、英国 33 基、日本 27 基、フランス 14 基、ロシア 9 基、スウェーデン 7 基である。

	国	施設名	運転期間	電気出力 (グロス)	炉型	廃止措置 方式	廃止措置現状	廃止措置完了 (予定) 時期
1	アルメニア	アルメニア-1	1977/10/06～1989/02/25	408 MW	PWR	未定	計画検討中	2048 年
2	ベルギー	BR-3	1962/10/10～1987/06/30	12 MW	PWR	即時解体	解体中	2023 年
3	ブルガリア	コズロドイ-1	1974/10/28～2002/12/31	440 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵(20 年)解体中	2035 年
4		コズロドイ-2	1975/11/10～2002/12/31	440 MW	PWR			
5		コズロドイ-3	1981/01/20～2006/12/31	440 MW	PWR			
6		コズロドイ-4	1982/06/20～2006/12/31	440 MW	PWR			
7	カナダ (6 基)	ダグラスポイント	1968/09/26～1984/05/04	218 MW	PHWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	未定
8		ジェンティリ-1	1972/05/01～1977/06/01	266 MW	HWLWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	
9		ジェンティリ-2	1982/12/04～2012/12/14	675 MW	PHWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	
10		ロルフトン NDP-2	1962/10/01～1987/08/01	20 MW	PHWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	
11		ピッカリング-A2	1971/10/06～2007/05/28	542 MW	PHWR	安全貯蔵	停止中	
12		ピッカリング-A3	1972/05/03～2008/10/31	542 MW	PHWR	安全貯蔵	停止中	

13	フランス (14基)	ビュージェイ-1	1972/07/01～1994/05/27	540 MW	GCR	安全貯蔵	解体計画作成中	2028年
14		ショー-A	1967/04/15～1991/10/30	320 MW	PWR	安全貯蔵	解体中(2014年～)	2019年
15		シノン-A1	1964/02/01～1973/04/16	80 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2027年
16		シノン-A2	1965/02/24～1985/06/14	230 MW	GCR		部分解放済(ステージII)	2026年
17		シノン-A3	1966/08/04～1990/06/15	480 MW	GCR		安全貯蔵中から解体中	2033年
18		マルクール-G2	1959/04/22～1980/02/02	43 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵中(Cの処分場開設待)	未定
19		マルクール-G3	1960/04/04～1984/06/20	43 MW	GCR			
20		モンドレ-EL4	1968/06/01～1985/07/31	75 MW	HWGCR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2025年
21		サンローラン-A1	1969/06/01～1990/04/18	500 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2032年
22		サンローラン-A2	1971/11/01～1992/05/27	530 MW	GCR			2028年
23		スーパフェニックス	1986/12/01～1998/12/31	1241 MW	FBR	即時解体	解体中(Na処理継続)	2026年
24		フェニックス	1974/07/14～2010/02/01	142 MW	FBR	即時解体	「最終運転停止段階」で燃料撤去	2045年以前
25		フッセンハイム-1	1977/04/26～2020/02/22	920MW	PWR	即時解体	燃料撤去+解体で18年	2038年
26		フッセンハイム-2	1977/10/07～2020/06/29	920MW	PWR			
27	ドイツ (30基)	グライフスバルト-1	1974/07/02～1990/02/14	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年
28		グライフスバルト-2	1975/04/14～1990/02/14	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年
29		グライフスバルト-3	1978/05/01～1990/02/28	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年
30		グライフスバルト-4	1979/11/01～1990/07/22	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年
31		グライフスバルト-5	1989/11/01～1989/11/24	440 MW	PWR	即時解体	廃止措置終了(建屋CL待ち)	2016年
32		グロスヴェルツハイム(HDR)	1970/07/02～1971/04/20	25 MW	BWR	即時解体	廃止措置終了	1998年
33		グンドレミンゲン(KRB-A)	1967/04/12～1977/01/13	250 MW	BWR	即時解体	設備・機器の解体撤去(建家残存)	2006年完了
34		グンドレミンゲン(KRB-B)	1984/07/19～2017/12/31	1344 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	未定
35		AVR 実験炉	1969/05/09～1988/12/31	15 MW	HTGR	即時解体	設備・設備の解体撤去済	2013年
36		カール VAK	1962/02/01～1985/11/25	16 MW	BWR	安全貯蔵	廃止措置終了	2010年
37		カールスルーエ KNK - II	1979/03/03～1991/08/23	20 MW	LMFBR	即時解体	解体中	2019年
38		カールスルーエ MZFR	1966/12/19～1984/05/03	57 MW	PHWR	即時解体	解体中	2016年

39	ドイツ (30基)	リンゲン(KWL)	1968/10/01～1979/01/05	268 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中(2013年迄の25年間)	解体予定	
40		ミュルハイム・ケールリッヒ	1987/08/01～1988/09/09	1302 MW	PWR	即時解体	解体中	2015年	
41		ニダーアイヒバッハ (KKN)	1973/01/01～1974/07/21	106 MW	HWGCR	即時解体	廃止措置終了	1995年完了	
42		ラインスベルグ	1966/10/11～1990/06/01	70 MW	PWR	即時解体	解体中	2016年	
43		シュターデ	1972/05/19～2003/11/14	672 MW	PWR	即時解体	解体中	2015年	
44		THTR-300	1987/06/01～1988/04/20	308 MW	HTGR	安全貯蔵	安全貯蔵中(2027年迄の30年間)	2015年	
45		ヴェルガッセン	1975/11/11～1994/08/26	670 MW	BWR	即時解体	廃止措置済(廃棄物貯蔵中)	2015年	
46		オビリッヒハイム	1969/03/31～2005/05/11	357 MW	PWR	即時解体	解体中	2020年	
47		ビブリス A	1974/08/25～2011/08/06	1167 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	2032年	
48		ビブリス B	1976/04/25～2011/08/06	1240 MW	PWR				
49		ブルンスビュッテル	1976/07/13～2011/08/06	771 MW	BWR	即時解体	廃止措置計画認可	2028年	
50		イザール1	1977/12/03～2011/08/06	878 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	未定	
51		クリュンメル	1983/09/28～2011/08/06	1346 MW	BWR	即時解体	廃止措置計画認可	未定	
52		ネッカーヴェストハイム1	1976/06/03～2011/08/06	785 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	未定	
53		フィリップスブルグ-1	1979/05/05～2011/08/06	890 MW	BWR	即時解体	廃止措置中	未定	
54		フィリップスブルグ-2	1985/04/ ～2019/12/31	1468MW	PWR	即時解体	廃止措置中		
55		ウンターヴェーザー	1978/09/29～2011/08/06	1345 MW	PWR	即時解体	廃止措置中	2031年	
56		グラーフエンラインフェルト	1981/12/30～2015/06/27	1345 MW	PWR	即時解体	廃止措置中		
57		イタリア	カオルソ	1981/12/01～1990/07/01	882 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2016年
58			ガリリアーノ	1964/06/01～1982/03/01	160 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2022年
59			ラティーナ	1964/01/01～1987/12/01	160 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体中	2035年
60			トリノ・ヴェルチェッレ	1965/01/01～1990/07/01	270 MW	PWR	即時解体	安全貯蔵から解体中	2014年
61		日本 (27基)	動力試験炉(JPDR)	1963/10/26～1976/03/18	13 MW	BWR	即時解体	廃止措置完了	1996年完了
62			東海発電所	1966/07/25～1998/03/31	166 MW	GCR	即時解体	廃止措置第二段階	2030年
63			「ふげん」	1979/03/20～2003/03/29	165 MW	HWLWR	即時解体	廃止措置第二段階	2033年
64			浜岡発電所1号機	1976/03/17～2009/01/30	540 MW	BWR	即時解体	廃止措置第二段階	2036年

65	日本 (27基)	浜岡発電所2号機	1987/11/29～2009/01/30	840 MW	BWR	即時解体	廃止措置第二段階	2036年	
66		福島第一1号機	1970/11/17～2011/05/20	460 MW	BWR	未定	ロードマップに基づき事前準備	2040年～50年目標	
67		福島第一2号機	1973/12/24～2011/05/20	784 MW	BWR	未定	ロードマップに基づき事前準備	2040年～50年目標	
68		福島第一3号機	1974/10/26～2011/05/20	784 MW	BWR	未定	ロードマップに基づき事前準備	2040年～50年目標	
69		福島第一4号機	1978/02/24～2011/05/20	784 MW	BWR	未定	ロードマップに基づき事前準備	2040年～50年目標	
70		福島第一5号機	1977/09/22～2014/01/31	784 MW	BWR	未定	事故炉の廃止措置技術実証用	未定	
71		福島第一6号機	1979/05/04～2014/01/31	1100 MW	BWR	未定		未定	
72		福島第二1号機	1979/05/04～2019/09/30	1100MW	BWR	未定	事故炉の廃止措置技術実証用		
73		福島第二2号機	1984/02/03～2019/09/30	1101MW	BWR	未定			
74		福島第二3号機	1985/06/21～2019/09/30	1102MW	BWR	未定			
75		福島第二4号機	1987/08/25～2019/09/30	1103MW	BWR	未定			
76		敦賀発電所1号機	1969/11/16～2015/04/27	357 MW	BWR	即時解体		廃止措置第一段階	2016～2039頃
77		美浜発電所1号機	1970/08/08～2015/04/27	340 MW	PWR	即時解体	廃止措置第一段階	2016～2045頃	
78		美浜発電所2号機	1972/04/21～2015/04/27	500 MW	PWR	即時解体	廃止措置第一段階	2016～2045頃	
79		大飯発電所1号機	1979/03/27～2017/12/22	117.5MW	PWR	即時解体	廃止措置計画書第一段階	～2048年頃	
80		大飯発電所2号機	1979/12/05～2017/12/22	117.5MW	PWR	即時解体	廃止措置計画書第一段階	～2048年頃	
81		玄海発電所1号機	1975/02/14～2015/04/27	559 MW	PWR	即時解体	廃止措置第一段階	2016～2044頃	
82		玄海発電所2号機	1981/03/30～2019/04/09	559 MW	PWR	即時解体	廃止措置計画認可・開始	～2054年頃	
83		島根発電所1号機	1973/12/02～2015/04/30	460 MW	BWR	即時解体	廃止措置第一段階	～2045年頃	
84		伊方発電所1号機	1977/09/30～2016/05/10	566 MW	PWR	即時解体	廃止措置第一段階	～2045年頃	
85		伊方発電所2号機	1982/03/19～2018/05/23	566 MW	PWR	即時解体	廃止措置計画認可・開始	～2058年頃	
86		もんじゅ	1994/04/～2016/12/21	280 MW	FBR	即時解体	廃止措置第一段階	～2047年頃	
87		女川発電所1号機	1984/06/01～2018/12/21	524 MW	BWR	未定	廃止措置計画認可	～2052年頃	
88		カザフスタン	BN-350	1973/07/16～1999/04/22	90 MW	FBR	安全貯蔵	廃止措置計画準備	～2075年頃
89		韓国	古里1号機	1978/04/29～2017/06/18	607 MW	PWR	即時解体	2022年頃から解体予定	2033年完了
90			月城1号機	1983/04/22～2019/12/24	683MW	PHWR	即時解体	廃止措置準備中	未定

91	リトアニア	イグナリア-1	1983/12/31～2004/12/31	1300 MW	LWGR	即時解体	最終状態(Brown State)	2038年
92		イグナリナ-2	1987/08/20～2009/12/31	1300 MW	LWGR			
93	オランダ	ドーテバルト	1969/03/26～1997/03/26	60 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2045年以降
94	パキスタン	カラチ-1	1972/12/07～2021/08/01	100 MW	PHWR	未定	未定	
95	ロシア (9基)	ベロヤルスク-1	1964/04/26～1983/01/01	108 MW	LWGR	安全貯蔵	安全貯蔵後解体中	不明
96		ベロヤルスク-2	1969/12/01～1990/01/01	160 MW	LWGR			
97		ノボボロネジ-1	1964/12/31～1984/02/16	210 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	不明
98		ノボボロネジ-2	1970/04/14～1990/08/29	365 MW	PWR			
99		ノボボロネジ-3	1972/06/29～2016/12/25	385 MW	PWR	不明	不明	不明
100		オブニンスク APS-1	1954/12/01～2002/04/29	6 MW	LWGR	安全貯蔵	燃料撤去後博物館化された	不明
101		ビルビノ-1	1974/01/12～2019/01/14	12 MW	LWGR	不明	不明	
102		レニングラード-1	1970/03/01～2018/12/21	925 MW	RBMK	不明	不明	
103		レニングラード-2	1970/06/01～2020/11/10	925 MW	RBMK	不明	運転停止予定	
104	スロバキア	ボフニチェ-A1	1972/12/25～1977/02/22	143 MW	HWGCR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2033年
105		ボフニチェ-V1-1	1980/04/01～2006/12/31	440 MW	PWR	即時解体	解体中	2025年
106		ボフニチェ-V1-2	1981/01/01～2008/12/31	440 MW	PWR			
107	スペイン	バンデロス-1	1972/05/06～1989/10/19	500 MW	GCR:	安全貯蔵	安全貯蔵中	2035年
108		ホセ・カブレラ-1	1968/07/14～2006/04/30	150 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵後解体中	2016年
109		サンタマリアデルガロニャ	1971/03/02～2013/07/31	466 MW	BWR	未定	未定	未定
110	スウェーデン (7基)	オゲスタ	1964/05/01～1974/06/02	10 MW	PHWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2040年頃
111		オスカーシャム-1	1971/08/19～2017/06/19	492 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	未定
112		オスカーシャム-2	1974/10/02～2016/12/22	661 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	未定
113		バーセベック-1	1975/07/01～1999/11/30	615 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵から解体へ移行	2029年
114		バーセベック-2	1977/03/21～2005/05/31	615 MW	BWR			
115		リングハルス-1	1974/10/～2020/12/30	916 MW	BWR	即時解体		
116		リングハルス-2	1975/08・17～2019/12/31	900 MW	BWR	即時解体	未定	未定



117	スイス	ルーセン	1968/01/29～1969/12/20	6 MW	HWGCR	安全貯蔵	廃止措置終了	1994年完了
118		ミューレベルグ	1971/01/01～2019/12/30	380 MW	BWR	不明		
119	ウクライナ	チェルノブイル-1	1978/05/27～1996/11/30	1000 MW	LWGR	安全貯蔵	安全貯蔵中(2045年まで)	解体、敷地除染修復 (2046～2065年)
120		チェルノブイル-2	1978/05/28～1991/10/11	1000 MW	LWGR			
121		チェルノブイル-3	1982/08/27～2000/12/15	1000 MW	LWGR			
122		チェルノブイル-4	1984/03/26～1986/04/26	1000 MW	LWGR			
123	イギリス (33基)	バークレ-1	1962/06/12～1989/03/31	166 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2006年～2021年)	2070年まで安全貯蔵、79年解体完了
124		バークレ-2	1962/10/20～1988/10/26	166 MW	GCR			
125		ブラッドウェル-1	1962/07/01～2002/03/31	146 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵 (2018年～2085年)	2085年まで安全貯蔵、95年解体完了
126		ブラッドウェル-2	1962/11/12～2002/03/30	146 MW	GCR			
127		コールダーホール-1	1956/10/01～2003/03/31	60 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2006年～2026年)	80年の安全貯蔵期間後解体
128		コールダーホール-2	1957/02/01～2003/03/31	60 MW	GCR			
129		コールダーホール-3	1958/05/01～2003/03/31	60 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2006年～2026年)	80年の安全貯蔵期間後解体
130		コールダーホール-4	1959/04/01～2003/03/31	60 MW	GCR			
131		ハンターストン-A1	1964/02/05～1990/03/30	173 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(1995年～2022年)	2071年まで安全貯蔵、80年解体完了
132		ハンターストン-A2	1964/07/01～1989/12/31	173 Mw	GCR			
133		ハンターストン-B1	1976/02/06～2021/11/26	644 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備 (燃料取り出し)	未定
134		ヒンクレーポイント-A1	1965/03/30～2000/05/23	267 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2004年～2027年)	2081年まで安全貯蔵、90年解体完了
135		ヒンクレーポイント-A2	1965/05/05～2000/05/23	267 MW	GCR			
136		オールドベリー-A1	1967/11/07～2012/02/29	230 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2013年～2027年)	2092年まで安全貯蔵、2101年解体完了
137		オールドベリー-A2	1968/04/06～2011/06/30	230 MW	GCR			
138		トロースフィニッド-1	1965/03/24～1991/02/06	236 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(1995年～2027年)	2074年まで安全貯蔵、83年解体完了
139		トロースフィニッド-2	1965/03/24～1991/02/04	236 MW	GCR			
140		サイズウェル-A1	1966/03/25～2006/12/31	245 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2009年～2027年)	2088年まで安全貯蔵、97年解体完了
141	サイズウェル-A2	1966/09/15～2006/12/31	245 MW	GCR				
142	ダンジネス-A1	1965/10/28～2006/12/31	230 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2009年～2025年)	2081年まで安全貯蔵	

143	イギリス (33基)	ダンジネス-A2	1965/12/30～2006/12/31	230 MW	GCR			蔵、90年解体完了	
144		ダンジネス-B1	1985/04/01～2021/06/07	615 MW	GCR	安全貯蔵			
145		ダンジネス-B2	1989/04/01～2021/06/07	615 MW	GCR				
146		チャペルクロス-1	1959/03/01～2004/06/29	60 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2011年～2028年)	2085年まで安全貯蔵、95年解体完了	
147		チャペルクロス-2	1959/03/01～2004/06/29	60 MW	GCR				
148		チャペルクロス-3	1959/03/01～2004/06/29	60 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2011年～2028年)	2085年まで安全貯蔵、95年解体完了	
149		チャペルクロス-4	1959/03/01～2004/06/29	60 MW	GCR				
150		ウイルファー-1	1971/01/24～2015/12/30	530 MW	GCR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(2015～2026)	2096年まで安全貯蔵 2105年解体完了	
151		ウイルファー-2	1971/06/21～2012/04/25	550 MW	GCR				
152		ドンレーDFR	1962/10/01～1977/03/01	14 MW	FBR	即時解体	解体中	2022年	
153		ドンレーPFR	1976/07/01～1994/03/31	250 MW	FBR	即時解体	解体中	2026年	
154		ウインズケール WAGR	1963/02/01～1981/04/03	36 MW	GCR	即時解体	解体中	2023年	
155		ウインフリス SGHWR	1968/01/01～1990/09/11	100 MW	HWLWR	安全貯蔵	安全貯蔵後解体中	2042年	
156		アメリカ (42基)	ビッグロックポイント	1965/11/01～1997/08/29	71 MW	BWR	即時解体	サイト解放済(ISFSIのみ)	2007年完了
157			GE バレシトス	1957/10/19～1963/12/09	24 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2019年完了
158	クリスタルリバー-3		1977/03/13～2013/02/20	890 MW	PWR	即時解体	安全貯蔵⇒(2019)即時解体	2076年⇒2027年	
159	CVTR		1963/12/18～1967/01/01	19 MW	HWLWR	安全貯蔵	サイト解放済	2009年完了	
160	ドレスデン-1		1960/07/04～1978/10/31	207 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中(2007年～2027年)	2036年	
161	エルクリバー		1964/07/01～1968/02/01	24 MW	BWR	即時解体	サイト解放済	1974年完了	
162	エンリコ・フェルミ-1		1966/08/05～1972/09/22	65 MW	FBR	安全貯蔵	解体中		
163	EBR-II		1965/01/01～1994/09/01	20 MW	FBR	安全貯蔵	安全貯蔵中	未定	
164	ハンフォードN原子炉		1966/04/01～1988/02/01	860 MW	LWGR	安全貯蔵	ISS(蘭化)方式の安全貯蔵準備中	75年間ISS後解体	
165	フォート・セント・ブレイン		1979/07/01～1989/08/29	342 MW	HTGR	即時解体	サイト解放済(ISFSIのみ)	1997年完了	
166	ハダムネック (C・Y)		1968/01/01～1996/12/09	603 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSIのみ)	2007年完了	
167	ハラム		1963/11/01～1964/09/01	84 MW	その他	遮蔽隔離	隔離中(100年以上)	1969年完了	
168	フンボルト・ベイ-3		1963/08/01～1976/07/02	65 MW	BWR	即時解体	サイト解放	2021年11月完了	

169	アメリカ (42基)	インディアン・ポイント-1	1962/10/01～1974/10/31	277 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵中(～2013年)	2026年
170		インディアン・ポイント-2	1974/08/01～2020/04/30	1067 MW	PWR	即時解体	廃止措置準備中	2033年
171		インディアン・ポイント-3	1976/08/30～2021/04/30	1085 MW	PWR	即時解体	廃止措置準備中	2030年代半ば
172		ラクロス	1969/11/07～1987/04/30	53 MW	BWR	即時解体	解体予定	2026年
173		メインヤンキー	1972/12/28～1996/12/06	900 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSIのみ)	2005年完了
174		ミルストン-1	1971/03/01～1988/07/21	684 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵中	未定
175		オイスタークリーク	1969/09/23～2018/10/31	680 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備(～2020)	2073年
176		パスファインダー	1966/07/02～1967/10/01	66 MW	BWR	安全貯蔵	サイト解放済	2007年完了
177		ピーチボトム-1	1967/06/01～1974/11/01	42 MW	HTGR	安全貯蔵	安全貯蔵中	2034年以降
178		ピカー	1963/11/01～1966/01/01	12 MW	その他	遮蔽隔離	隔離中(放射能減衰120年以上)	1969年完了
179		プエルトリコ ボーナス	1965/09/01～1968/06/01	18 MW	BWR	遮蔽隔離	隔離中(放射能減衰120年以上)	1970年完了
180		ランチョセコー-1	1975/04/17～1989/06/07	917 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSとLLW貯蔵のみ)	2009年完了
181		サンオノフレ-1	1968/01/01～1992/11/30	456 MW	PWR	即時解体	解体完了(2,3号機と同時に許可終了)	2030年
182		サンオノフレ-2	1982/09/20～2013/06/12	1127 MW	PWR	即時解体	PSDAR(廃止措置計画書)提出	2034年
183		サンオノフレ-3	1983/09/25～2013/06/13	1128 MW	PWR	即時解体	PSDAR(廃止措置計画書)提出	2034年
184		SHIPPINGポート	1957/12/02～1982/10/01	60 MW	PWR	即時解体	サイト解放済	1989年完了
185		ショーハム	運転せずに閉鎖	880 MW	BWR	即時解体	サイト解放済	1995年完了
186		スリーマイルアイランド-1	1974/09/02～2019/09.30	926 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	2074年頃解体開始
187		スリーマイルアイランド-2	1978/12/30～1979/03/28	959 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵中(1号機同時解体)	2036年
188		トロージャン	1976/05/20～1992/11/09	1155 MW	PWR	即時解体	サイト解放済 (ISFSIのみ)	2005年完了
189		ヤンキーロー	1961/07/01～1991/10/01	180 MW	PWR	即時解体	サイト解放済(ISFSIのみ)	2007年完了
190		ザイオン-1	1973/12/31～1997/02/21	1085 MW	PWR	即時解体	サイト一部解放	2022年完了予定
191		ザイオン-2	1973/12/31～1996/09/19	1085 MW	PWR			
192		サクストン	1967/03/01～1972/05/01	3 MW	PWR	安全貯蔵	サイト解放済	2005年完了
193	キウォーニー	1974/6/16～2013/05/07	595 MW	PWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	2073年	
194	バーモントヤンキー	1972/09/20～2014/12/29	635 MW	BWR	即時解体	即時解体	2026年	

195	アメリカ (42基)	フォートカルホーン	1973/09/26～2016/10/24	512 MW	PWR	安全貯蔵	2017年初頭廃止措置計画書提出	2076年頃
196		ピルグリム	1972/07/19～2019/05/31	711 MW	BWR	即時解体	廃止措置準備中	2027年頃
197		デュアン・アーノルド	1975/02/01～2020/10/12	624 MW	BWR	安全貯蔵	安全貯蔵準備	2080年
198	台湾	金山-1	1978/12/10～2018/12/05	630 MW	BWR	即時解体	解体中	2043年
199		金山-2	1979/07/15～2019/7/16	630 MW	BWR	即時解体	解体中	2044年
200		國聖-1	1981/12/28～2021/07/02	1027 MW	BWR	即時解体	廃止措置計画申請中	2046年



台湾 國聖(第二)原子力原子力発電所  
(WNN, 1 July 2021 より)



韓国 月城原子力発電所  
(WNN, 17 January 2019 より)



パキスタン カラチ原子力発電所(カラチ-1)  
(DAWN NEWS, 20 October 2011 より)

## 委員会等参加報告

令和2年7月から令和3年11月末までの間

外部機関名	委員会等の名称	参加者氏名	開催日時
原子力デコミッション ング研究会	令和2、3年度 主査会	澁谷 進	R3年4月7日 R3年5月14日
	令和2年度 第2～11回研究会		R2年7月8日～ R3年3月12日
	令和3年度 第1～7回研究会		R3年4月21日 ～11月24日
文部科学省・原子力科学技 術委員会	原子力バックエンド作業部会 (第3回)	澁谷 進	R3年7月5日
経産省・資源エネルギー庁	基盤研究事業 第三者委員会	澁谷 進	R3年6月30日
日本原子力学会	LLW 放射能評価分科会	泉田 龍男	R3年5月6日 R3年8月3日

©RANDEC ニュース 第 116 号

発 行 日：令和 3 年 12 月 20 日

編集・発行者：公益財団法人 原子力バックエンド推進センター  
〒135-0033 東京都江東区深川 1 丁目 1 番 5 号  
和倉ビル 4 階

Tel：03-6240-3531

Fax：03-6240-3537

ホームページ： <http://www.randec.or.jp/>

E-mail : [randecnews@randec.or.jp](mailto:randecnews@randec.or.jp)

本誌からの引用・複写は、当センターの許諾を受けて下さい。