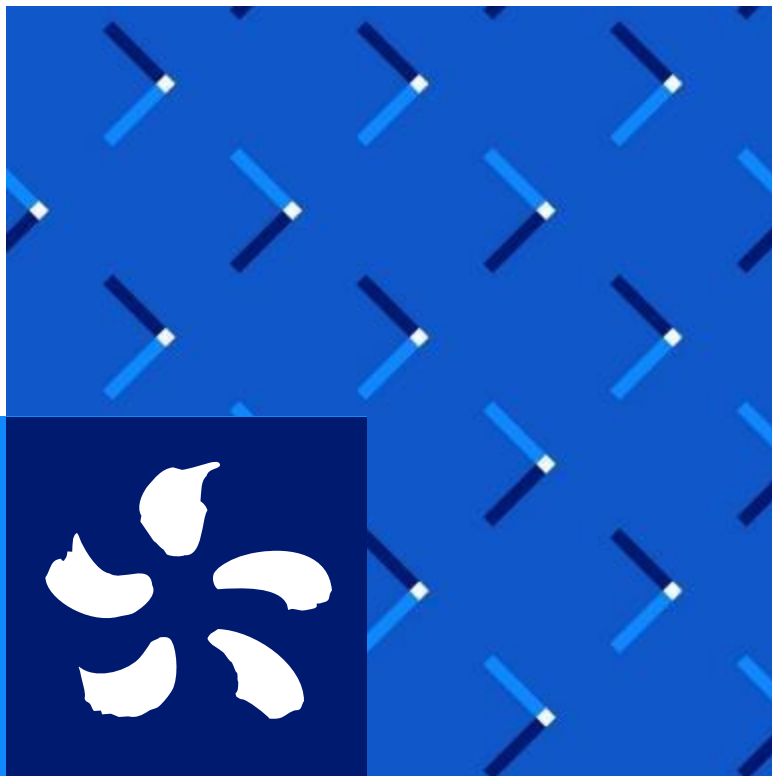




フランスにおける廃止措置 とクリアランス制度

つるが国際シンポジウム2025 — 海外の先進的取り組み

11月14日

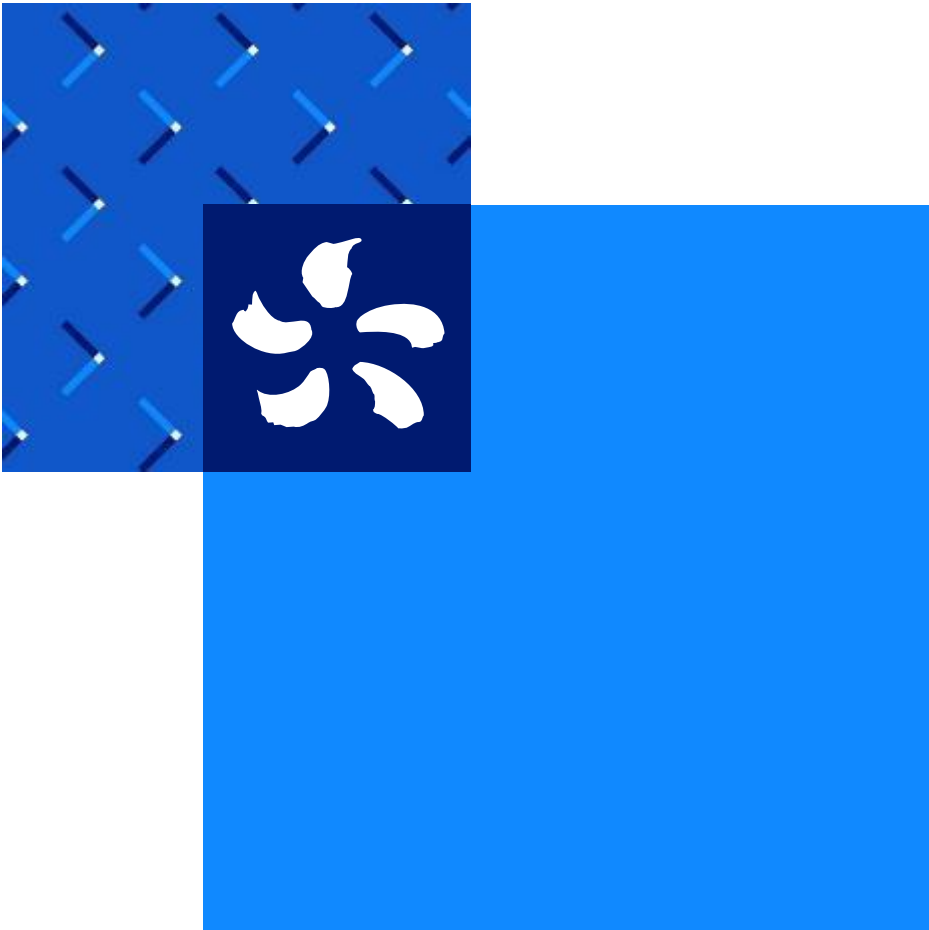
Patrick Dupeyrat

EDFグループ 日本担当代表(原子力廃止措置・廃棄物管理)
サイクルライフ・ジャパン株式会社 代表取締役



アジェンダ

1. フランスの廃止措置・解体の状況
2. EDFグループの廃止措置・解体戦略
3. フランスにおける廃止措置・解体プロジェクト
4. 廃棄物ソリューションおよびクリアランス
5. 金属廃棄物ストリームの最適化
6. 結論と重要なメッセージ



1. フランスの状況

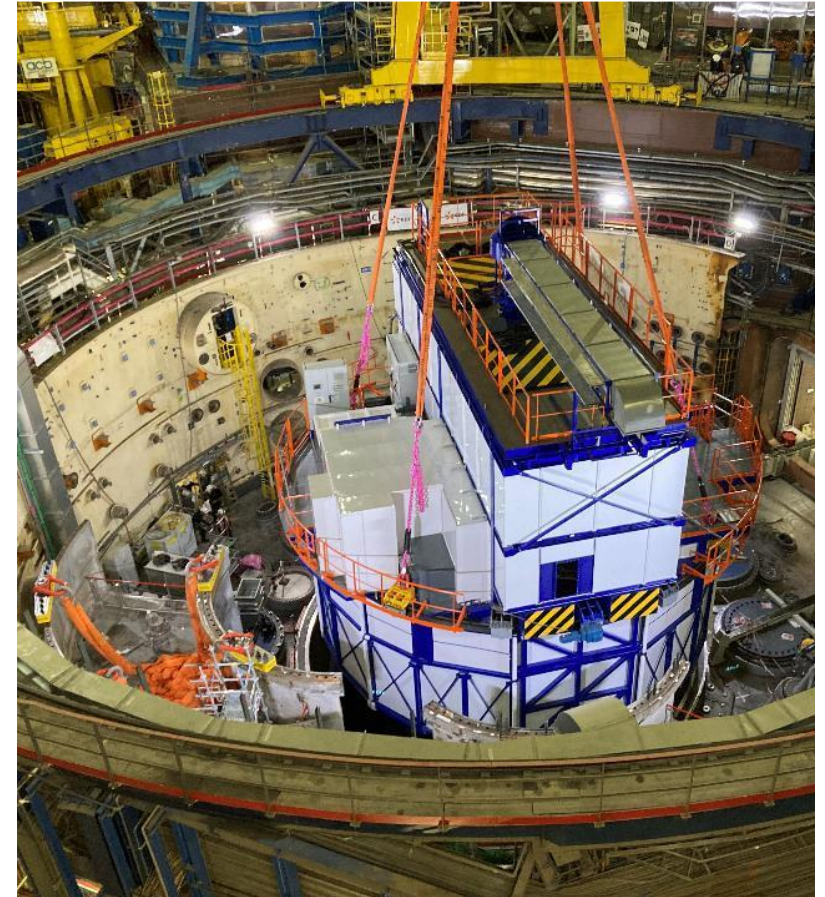
ガバナンス、戦略、および廃止措置への
国家的コミットメント

運転から廃止措置へ: フランスの原子力へのコミットメント



原子力の背景

- フランスは世界最大級の原子力発電所群を運用しており、単一の事業者であるEDFが管理しています。
- ほとんどの原子炉は1980年代に建設され、現在では設計寿命である40年に達しているか、超えています。
- 政府は新しいEPRおよびSMRへの投資を行っており、原子力エネルギーへの長期的なコミットメントを示しています。



廃止措置・解体戦略

- フランスでは、廃止措置・解体は国家的な戦略的優先事項であり、原子力分野の信頼性と持続可能性に不可欠です。
- 現在の傾向は、フランスの法律と運用準備によって支えられた即時解体を重視しています。
- 解体は、施設に応じてEDF、ORANO、またはCEAといった歴史的事業者の責任の下で実施されます。

フランスの廃止措置・解体ガバナンス：役割と責任



規制当局

*Autorité de Sûreté Nucléaire
et de Radioprotection*

- 原子力安全と放射線防護のための独立規制機関。
- 廃止措置計画を承認し、クリアランスレベルを設定し、公共の透明性を確保します。



国家当局

*French Government –
Ministries for Ecological
Transition and Economy*

- 国家のエネルギーおよび原子力政策を定義し、解体や廃棄物管理における投資とイノベーションを支援する。
- 公的資産を監督し、公共の対話を促進する。



事業者

EDF, Orano, CEA

- それぞれの施設の解体および廃棄物管理に直接責任を持つ。
- 廃止措置(D&D)サービス、廃棄物処理、関連技術を提供する企業を含む専門的なサプライチェーンによって支援されている。



廃棄物管理

*Agence Nationale pour la
Gestion des Déchets
Radioactifs*

- 放射性廃棄物を管理する公的機関。
- 処分施設の設計と運用を行う。
- 国家レベルの在庫管理を維持し、長期的な廃棄物管理計画を支援する。



2. EDFグループの 廃止措置・解体戦略

フランスの原子力運転と解体活動を主導

EDFグループについて

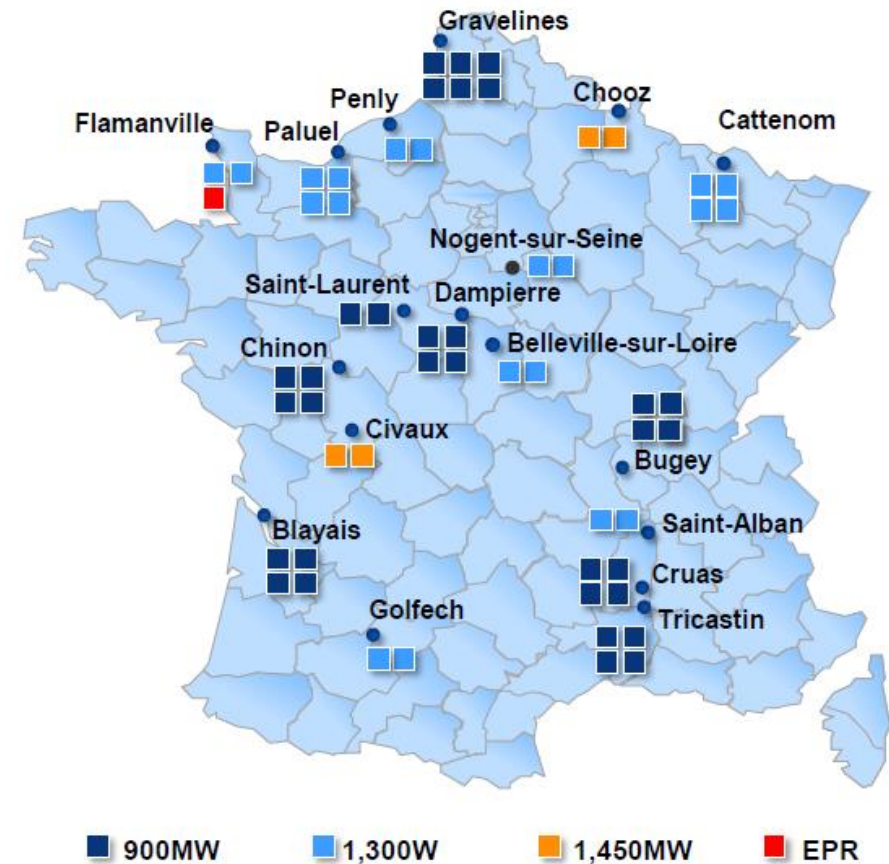


EDFグループについて

- EDFは低炭素エネルギーの世界的リーダーであり、ネットゼロのエネルギー未来の構築に取り組んでいます。グループは世界中で4,150万の顧客にサービスを提供し、11万9,000人以上を雇用、発電の94%をCO₂排出なしで行っています。
- EDFの事業は、発電（原子力、火力、水力、再生可能エネルギー）、送電、配電、エネルギーサービスにわたり、持続可能なエネルギーソリューションの重要なプレーヤーとなっています。

フランスにおけるEDFの原子力発電設備

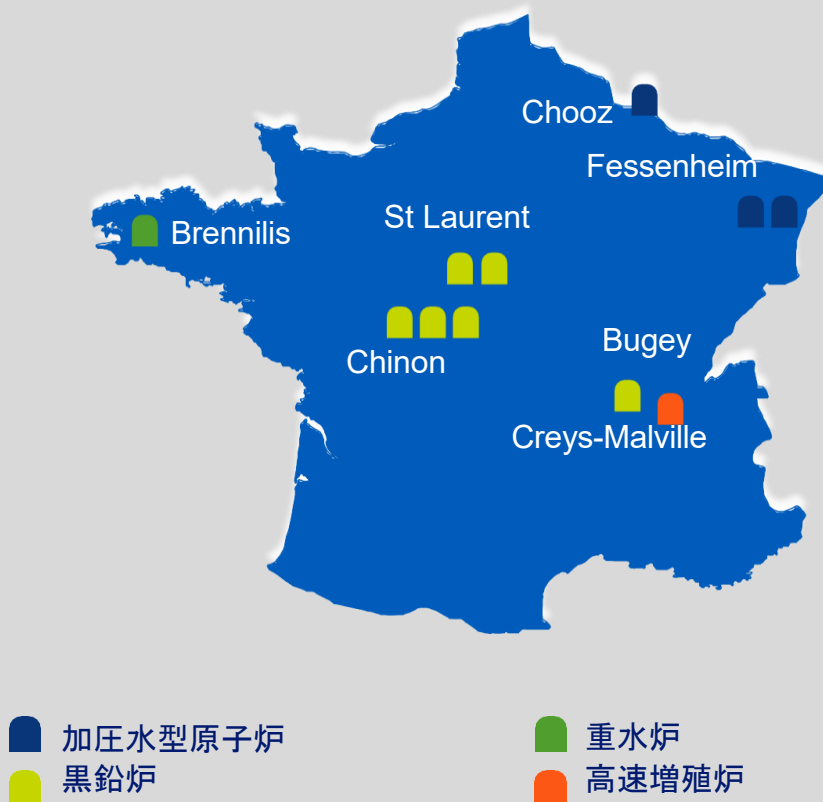
- EDFは18サイトで57基の原子炉を運用しており、すべて加圧水型原子炉（PWR）で、フラマンヴィル3号機のEPRが起動準備中です。
- EDFの56基の原子炉は年間350～370TWhを発電し、フランスの電力需要の70%をカバーしており、以下のように分類されます：
 - 900MW: 32基
 - 1,300MW: 20基
 - 1,450MW: 4基
 - 1,600MW: 1基



EDFにおける廃止措置と放射性廃棄物管理



フランスにおけるEDFの廃止措置プロジェクト



EDFの法的責任

- EDFはフランス国内の自社原子炉の解体に対して法的責任を負っており、次のことを約束しています。
「国際的な視野を持ち、解体および放射性廃棄物管理のための高性能な産業分野を開発・推進することで、原子力事業者としての全責任を果たす。」

現在の解体範囲

- 解体中の原子炉: 11基。4種類の炉型: PWR(加圧水型炉)、HWR(重水炉)、黒鉛炉、FBR(高速増殖炉)。
- 追加施設: 黒鉛サイロ、研究所。

組織とリソース

- 2015年にDP2D(EDFの廃止措置・廃棄物管理専任組織)を設立
EDFの解体プロジェクトの事業主として活動し、グループ全体の放射性廃棄物(運転中および解体中)を管理。
- 主な数値: 約1,200名の従業員が解体および廃棄物管理に専従。

サイクリフ – EDFの国際子会社(廃止措置および廃棄物管理)

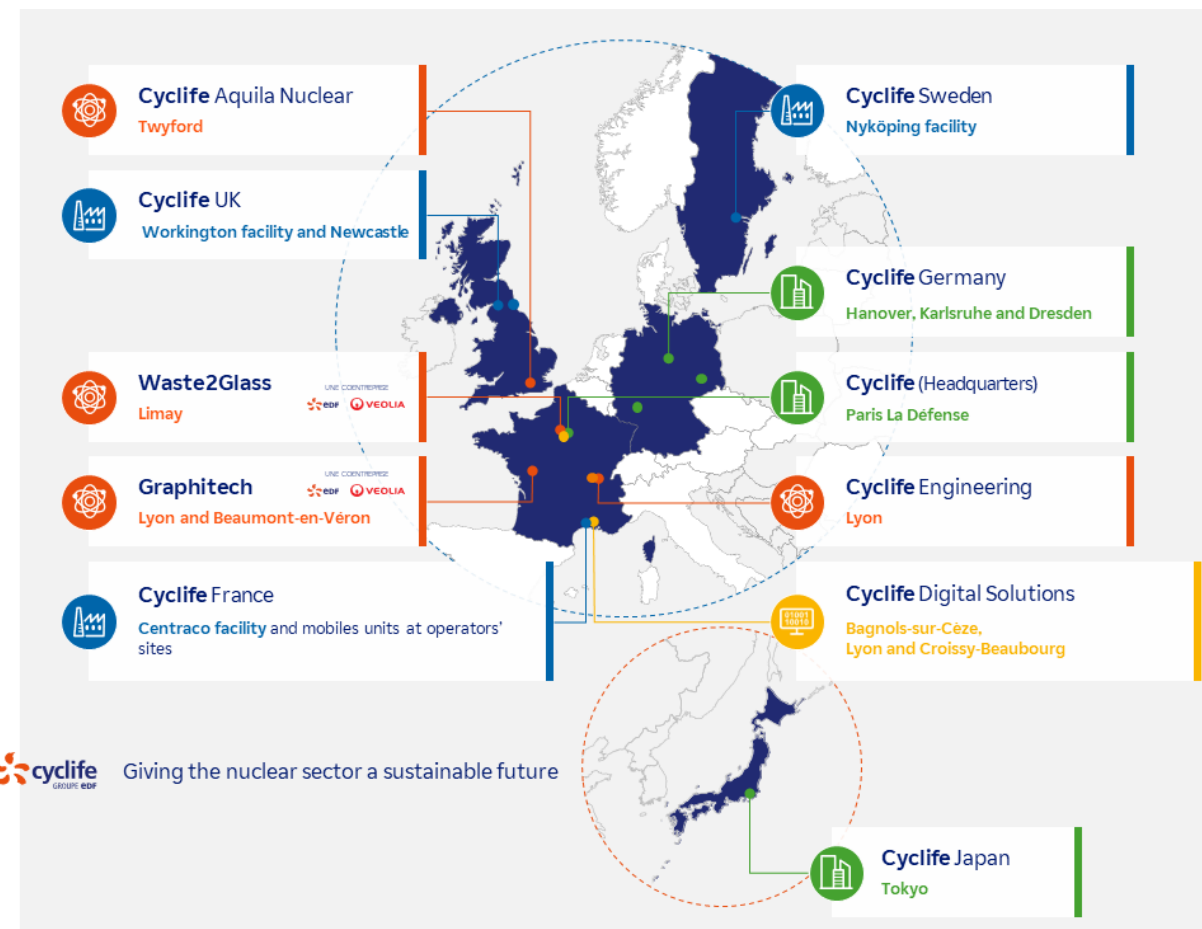


- DP2Dを補完するため、EDFは原子力施設の廃止措置および放射性廃棄物管理に特化した完全子会社「Cyclife」を設立し、次の2つの主要な使命を担っています:
 - フランス国内のEDFプロジェクトを支援する
 - 国際市場に実証済みのソリューションを提供する

活動内容

-  年間約90,000トンの放射性廃棄物を処理する3つの産業施設
-  設計から実行まで、遠隔操作ツールやロボットを活用した解体のエンドツーエンドの専門技術
-  サイクリフの統合ソリューションを強化するための補完的な専門知識を提供する地域の専門組織
-  解体作業の効率を最大化するためのシミュレーション、計画、最適化を行うデジタルプラットフォーム

リソース: フランス、英国、ドイツ、スウェーデン、日本で事業を展開する約1,400名の従業員





3. フランスにおける 廃止措置プロジェクト

フランスにおけるEDFの廃止措置プロジェクト



Brennilis
HWR
1967-1985
廃止措置命令: 2011年



Saint Laurent
2 基 UNGG
1969-1990 et 1971-1992
廃止措置命令: 2010年



Chinon
3 基 UNGG
1963-1973, 1965-1985
1966-1990
廃止措置命令 (A3) : 2010年



Chooz A
PWR
1967-1991
廃止措置命令:
2007年



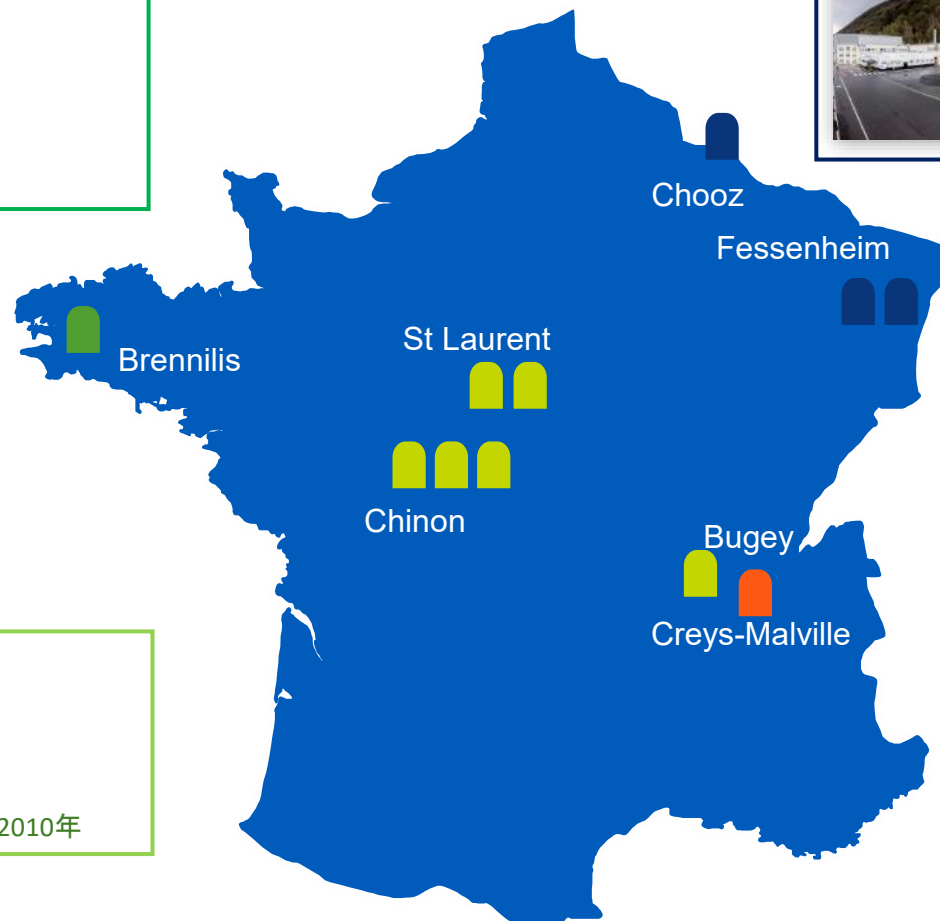
Fessenheim
2 基 PWR
1978-2020
廃止措置命令: 2026年予定



Bugey
UNGG
1972-1994
廃止措置命令: 2008年



Creys-Malville
FBR
1986-1998
廃止措置命令: 2006年



■ 加圧水型原子炉

■ 黒鉛炉

■ 重水炉

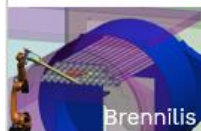
■ 高速増殖炉

解体プログラムのさまざまな段階と課題に対して提供されるソリューションを示す4つのユースケース



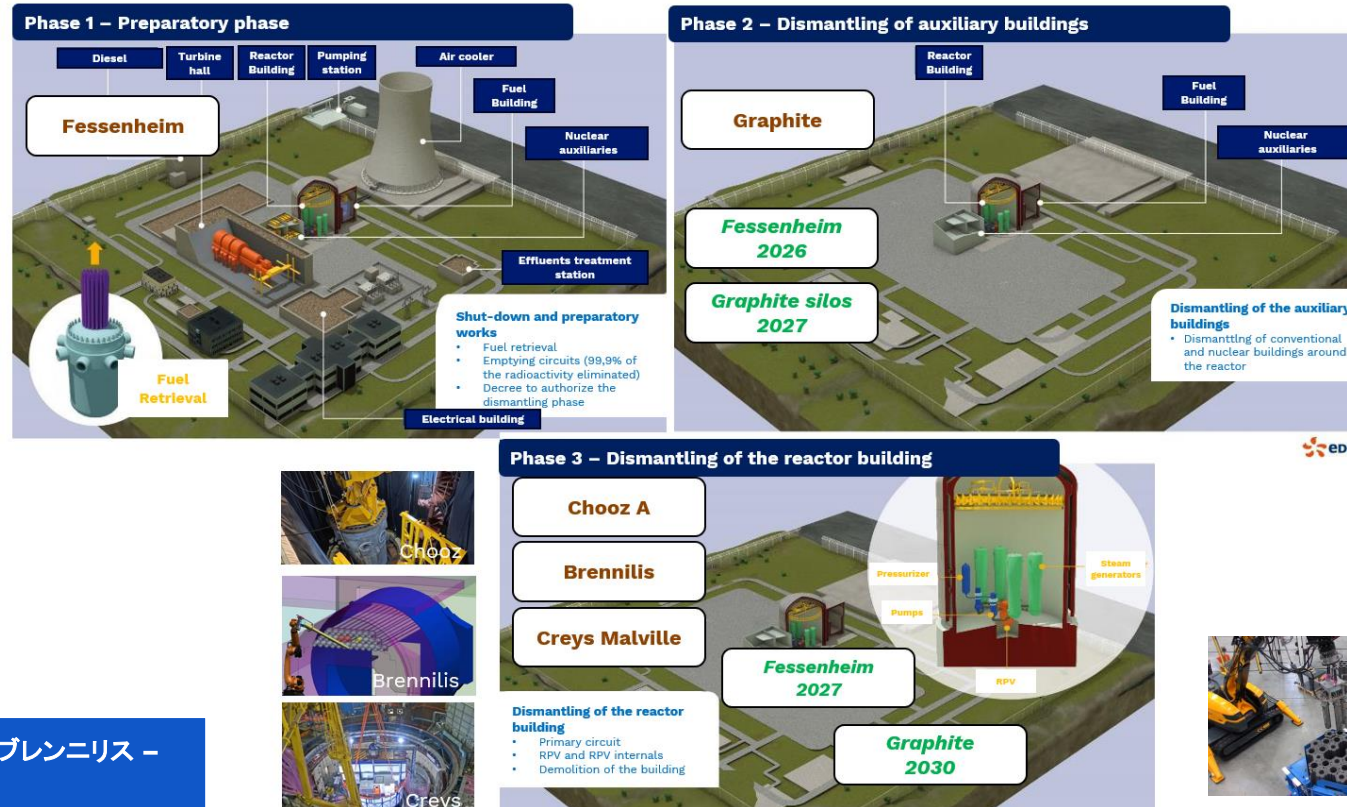
ケーススタディ1: フェッセンハイム - 加圧水型原子炉の解体

主要な準備作業
ツールの設計と調達 — 相互利用
効果
廃棄物ルート



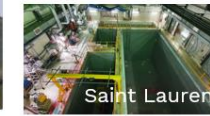
ケーススタディ3: プレンニリス - 重水炉

非常に制約の多い環境に対応する
ためロボットを使用
解体作業および現場での廃棄物
管理の最適化



ケーススタディ4: サン・ローラン - 黒鉛スリーブサイロの解体

未知の環境での既存廃棄物の回収
廃棄物ルートの最適化



ケーススタディ2: シノン - 黒鉛炉の 解体

非常に複雑な炉への対応／初号
機対応
専用の遠隔操作ツールおよびロ
ボットの設計
リスク低減キャンペーン



ケース スタディ1

FESSENHEIM PWR 解体

2020年に2基の加圧水型原子炉が停止
廃止措置命令は2025年末に予定

主要課題:

1. 将来の解体作業を円滑にするため、予備作業フェーズの活用
 2. 大型部品の解体に向けて、シナリオ、ツール設計および供給を最適化
 3. 廃棄物処理ルートを選定・確保
- グローバルな原子炉群に対して、スケール効果やソリューションの共通化に関する課題に取り組む

1 使用済燃料の搬出や系統の除染に加え、
キャラクターゼーション(特性評価)キャンペ
ーンや既存廃棄物の搬出は、廃棄物主導型の
廃止措置を進めるうえで不可欠な要素。



軽水炉用サンプリング装
置の開発



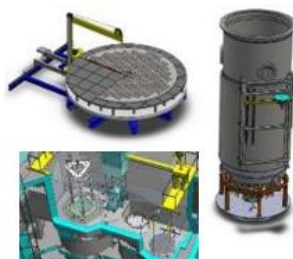
サイトに保管されている使用済蒸
気発生器の搬出 - サイクリフ
スウェーデン施設での処理



スラッジ、ホウ素、樹脂などの
既存廃棄物・物質を調整する
ための可搬式装置の展開

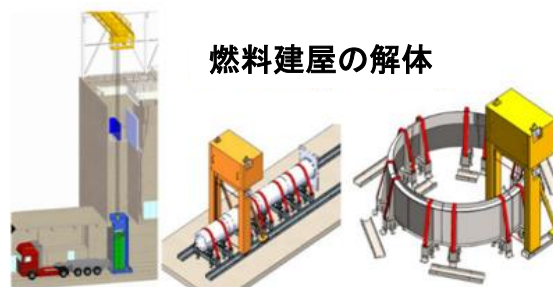
2 軽水炉の解体は実現可能であることが実証さ
れており、現在の主要な検討課題は、シナリ
オ設定、作業動作の解析、ツール設計の最適
化に集中しています。さらに重要な課題は、同
一原子炉内での複数作業、複数原子炉間、さ
らには原子炉群全体でのツール再利用を可能
にすることです。これはスケール効果の観点
からも重要。

設計検討および
初期供給の例

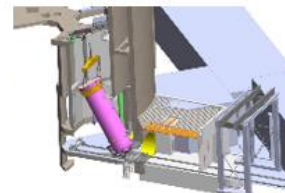


原子炉圧力容器内
部の解体用ツール

燃料建屋の解体



蒸気発生器の取
り外しシナリオお
よびツール設計



蒸気発生器(SG)取り
外し用の主要な補助
ハンドリングシステ
ムの供給および設置



ケース スタディ1

FESSENHEIM PWR 解体

2020年に2基の加圧水型原子炉が停止
廃止措置命令は2025年末に予定

主要課題:

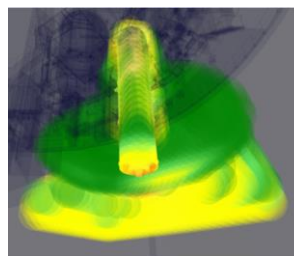
1. 将来の解体作業を円滑にするため、予備作業フェーズを活用
 2. 大型部品の解体に向けて、シナリオ、ツール設計および供給を最適化
 3. 廃棄物処理ルートを選定・確保
- グローバルな原子炉群に対して、スケール効果やソリューションの共通化に関する課題に取り組む

3

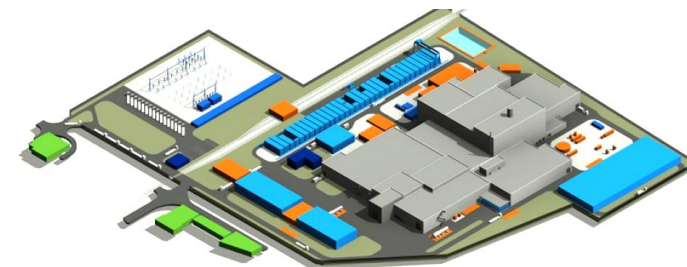
以下の主要な課題に基づく廃棄物ルートの最適化:
→VLL金属廃棄物の最終処分を回避
→金属LLWについて、オンサイト／オフサイトの最適化



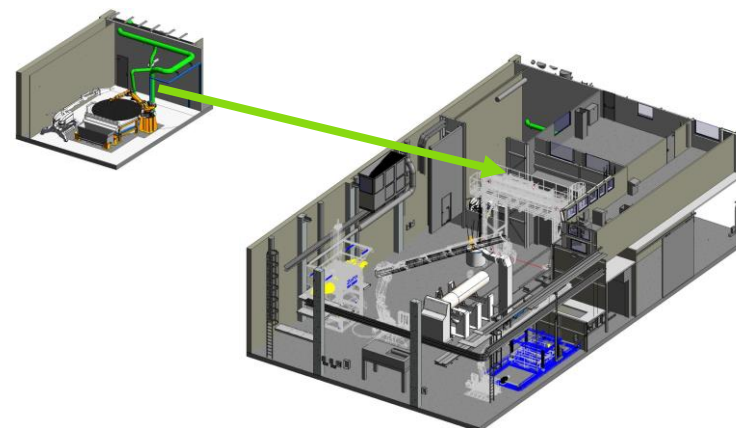
フェッセンハイム発電所で使用済み蒸気発生器 (SG) の上部構造の処理およびリサイクルに関する実現可能性の実証



DEMplus®によるシミュレーションで、大型機器(加圧器)の処理に関する複数のシナリオを比較検討。
現場での切断・処理と、オフサイトでの処理を対象に、線量、廃棄物量、工程、コストなどの観点から比較評価を実施。



「テクノセンター」施設の概念設計 - 2031年稼働予定 - 年間15,000トンの金属廃棄物



サイクライフフランス
既存施設における
大型部品集中切断
ワークショップ改修
の詳細設計検討

ケーススタ ディ 2

CHINON A2 GRAPHITE 解体

1980～1990年代に停止した6基の黒鉛炉 – 非常に大型かつ複雑な炉 段階的アプローチ – フランス初の炉心解体は2030年代に開始予定

主要課題:

1. 非常に複雑な原子炉およびFOAK(初号機)に対応するための条件整備
2. 専用の遠隔操作ツールおよびロボットの設計
3. 高所での大規模作業、反復的な遠隔操作作業、偶発的な状況への対応に関する課題を解決するためリスク低減キャンペーンを実施

1

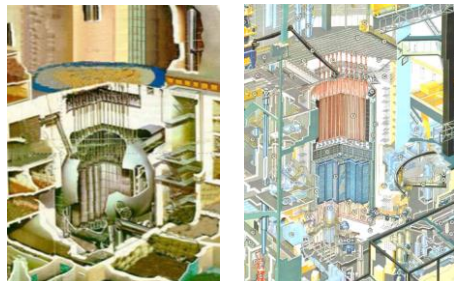
「黒鉛炉の設計は非常に複雑で、取り出す材料の量はPWRの10～30倍に達します。さらに、世界的に見ても大型原子炉の解体に関する経験はありません。
→専用の『デモンストレーター』でリスク低減期間を経たうえで、初号機の解体を段階的に進めるアプローチが必要です。

2

多数の作業を並行して実施: 専用の最先端組織(Graphitech)が担当
解体プラットフォームの設計、製造、試験

3

ツール展開システムおよび遠隔操作機器(切断ツール、黒鉛取扱ツールなど)→ 安定したシナリオとプラットフォーム設計を提案するため



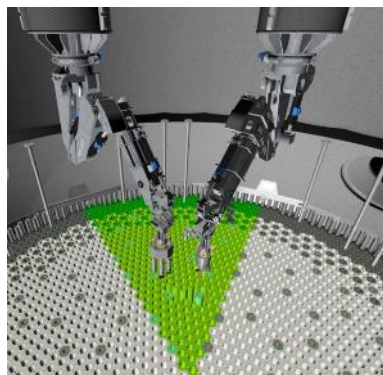
フランスUNGG炉(Chinon A2
およびSaint Laurent炉)の
複雑な設計



グローバルな解体シナリオを検証するため、デジタル／物理ツイン試験の採用決定(黒鉛除去の例)



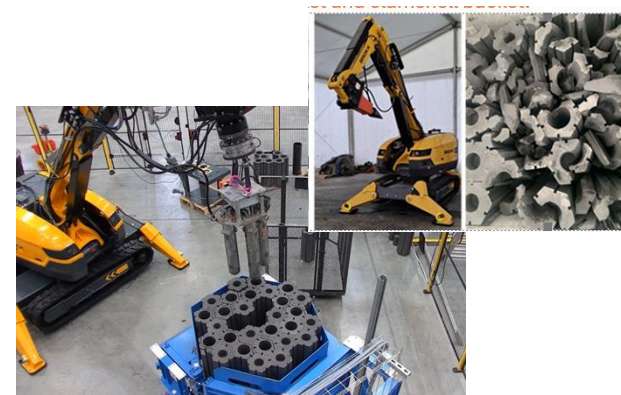
2022年にフランス・シノンで稼働開始した産業用デモンストレーター。廃止措置シナリオの実現可能性を検証し、作業員の訓練を行うための施設。



製造中の展開システムの設計



複数の遠隔操作切断技術の試験



黒鉛回収技術

CASE STUDIES 3 & 4

BRENNILIS HWR DISMANTLING

SAINT LAURENT GRAPHITE SLEEVES RETRIEVAL

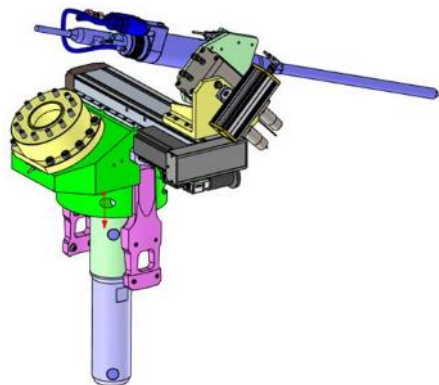
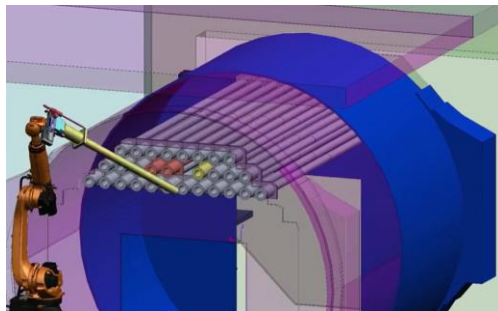
1

Brennilis重水炉は非常にコンパクトなため、
材料の取り扱いが困難
→ 高度なロボティクスソリューションを使用し、
部品（例：圧力管）を取り出すための軌道を
自動計算

Brennilis重水炉-1985年に停止-炉解体最終段階

主要課題：

- 非常に制約の多い環境に対応するため、高度なロボティクス技術を使用
- 解体作業および現場での廃棄物管理の最適化



2

現場切断ツールの開発（廃棄物処理専用セルの
機能を最小化するための特殊レーザーヘッド）



SAINT LAURENT 黒鉛サイロ - 数千本の黒鉛スリーブを回収し、新しい施設に保管

主要課題：

- 非常に不確実な環境に対応するため、ロボットと遠隔操作ツールを使用
- 廃棄物管理の最適化

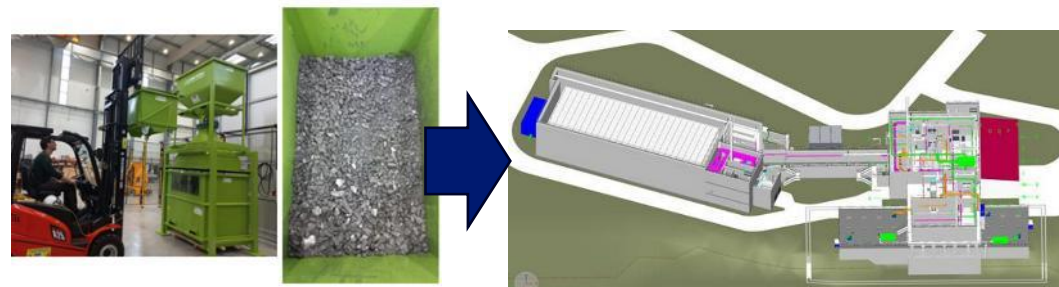
1

黒鉛スリーブを回収するための
専用遠隔操作車両の開発・試験



2

産業用デモンストレーターにおけるスリーブ破碎試験
- 粉塵管理 - 新処分施設に保管する容積削減

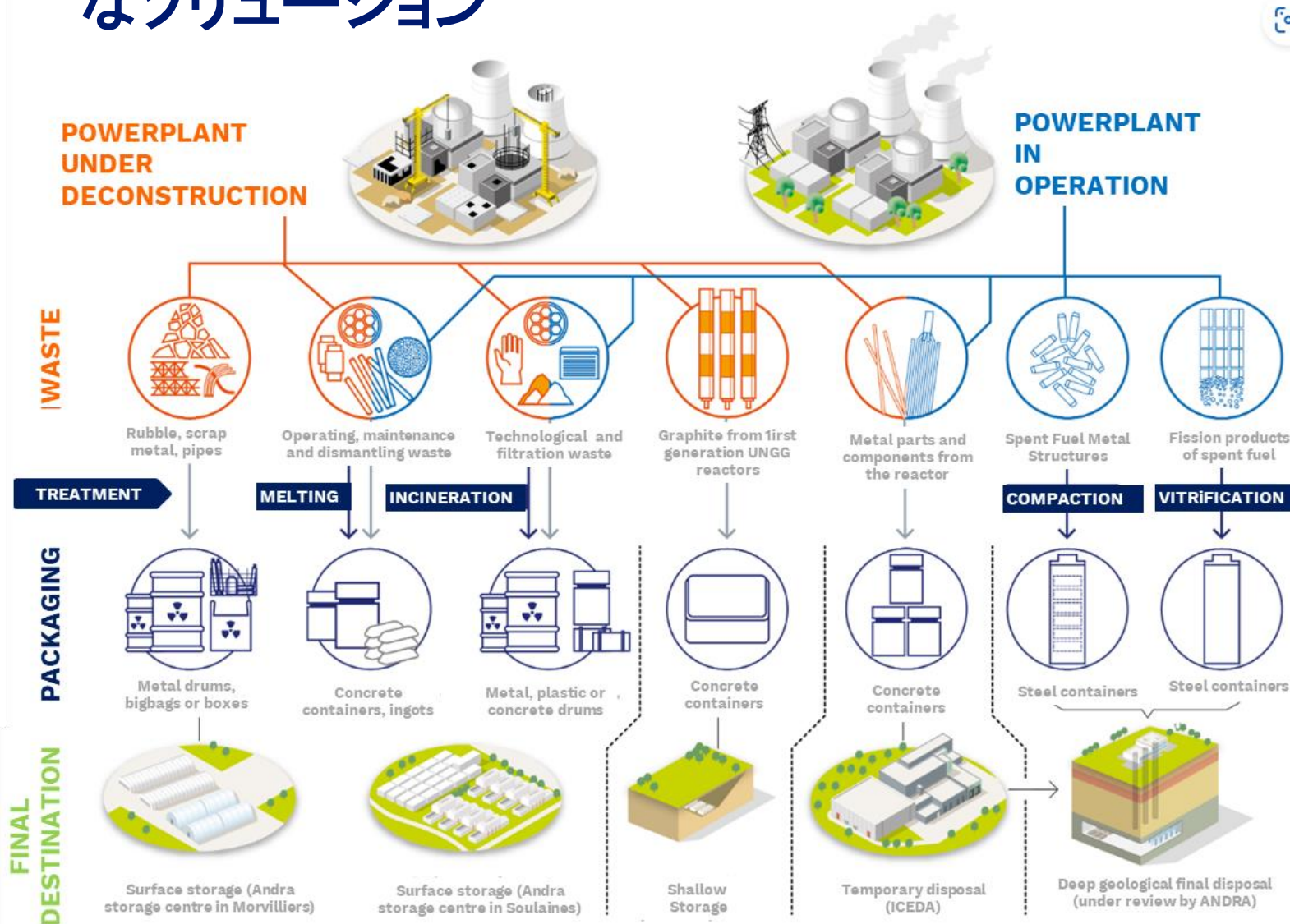




4. フランスにおける 廃棄物ソリューションと クリアランス

廃棄物の分類、処理ルート、および
インフラの概要

運転および解体・廃止措置で発生する廃棄物に対する多様なソリューション



重要なメッセージ

- 運転および解体・廃止措置で発生する廃棄物に対する多様なソリューション
- 最終的なソリューションは既に存在、または開発中
- 廃棄物のキャラクタリゼーション（特性評価）、調整、処理（アスベスト、スラッジなど）に関する効率的なプロセス・装置
- 再利用・リサイクル（金属部品、コンクリートなど）を最大化するためのソリューションおよび規制の進化

フランスのインフラのマッピング

- EDF/Cyclife
- Andra

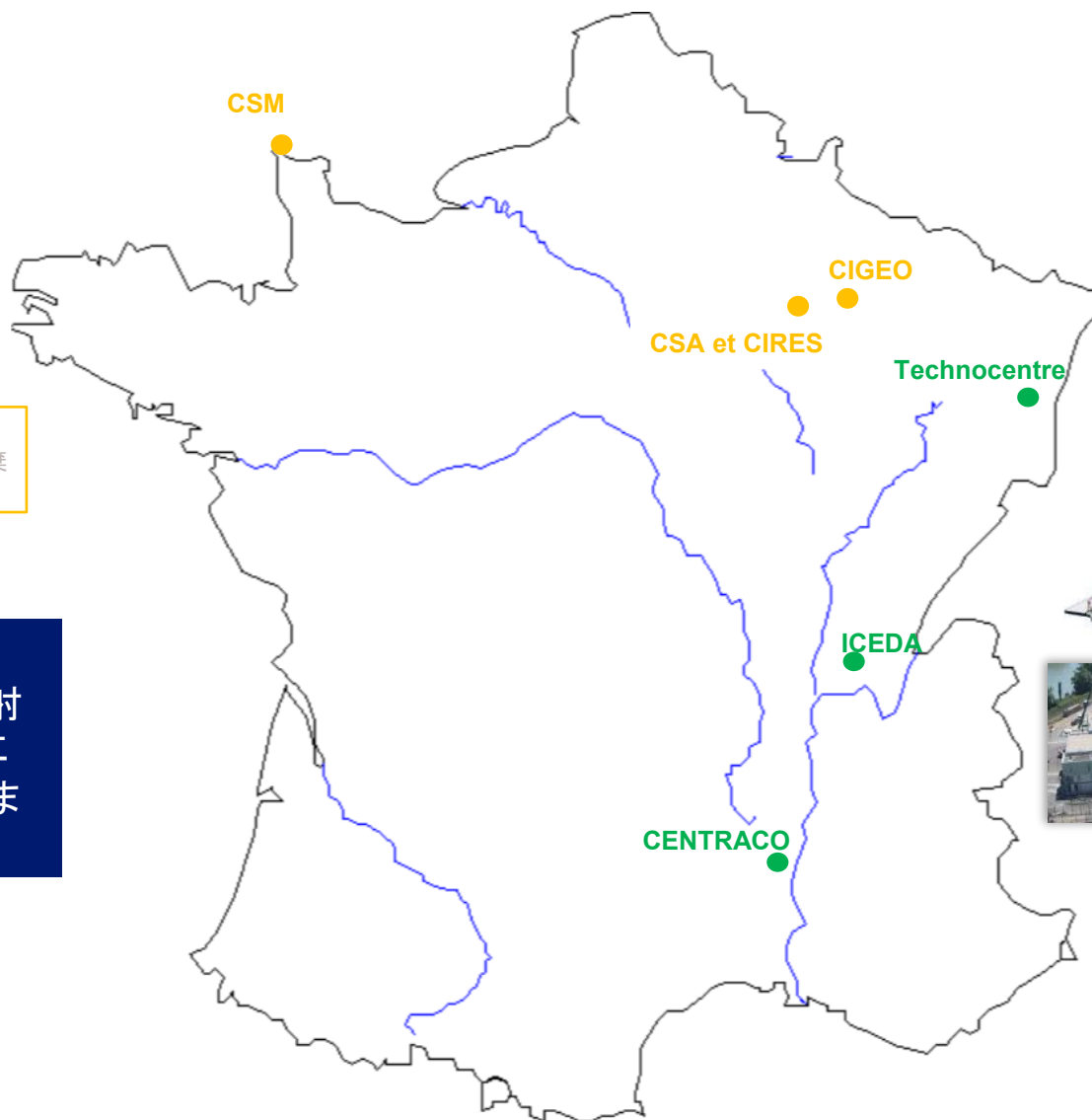


CSM

廃棄物貯蔵施設(低・中レベル廃棄物) 1969年 - 1994年

重要なメッセージ

フランスでは、放射性廃棄物の100%に処理ルートがあります。



CIGEO (Bure)

地層処分施設(プロジェクト)
高レベル/中レベル長寿命
廃棄物向け
2050年に操業開始予定



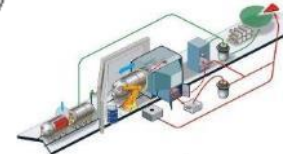
CSA

廃棄物貯蔵施設(低・中レベル廃棄物)
操業開始: 1992年



CIREs

廃棄物貯蔵施設 (VLL廃棄物)
操業開始: 2003年



Technocentre

金属処理施設(LLWのリサイクルを目的)
試運転開始予定: 2031年



ICEDA

IL廃棄物(長寿命)のための調整および中間
貯蔵施設
操業開始: 2020年



CENTRACO

廃棄物処理施設(溶融・焼却)
運営: Cyclife France
操業開始: 1990年



5. 金属廃棄物フロー の最適化

EDFテクノセンタープロジェクト

プロジェクトの根拠と目的



廃棄物の課題

短寿命の極低レベル放射性廃棄物の量は、廃止措置中の施設の増加に伴い増加すると予想されています。

現行の解決策がないため、再利用可能な金属の大量が放射性廃棄物貯蔵施設(CIRES)に送られており、その量は450,000 m³に相当します。

規制の進化

第5次放射性物質および廃棄物管理国家計画(PNGMDR 2022-2026)に関する公開討論:原子力施設からの金属リサイクルの可能性についての議論。

2022年2月の公衆衛生法の改正により、価値化が可能となり、フランスの規制が他のEU加盟国の規制と調和しました。

EDFの戦略的対応

EDFは、長期的な持続可能性目標に沿って、極低レベル放射性金属廃棄物(VLLW)について、処分からリサイクルへの転換に取り組んでいます。

これは、原子力分野における循環型経済モデルの構築を支援し、環境への影響と資源消費を削減します。



テクノセンターは、管理された拡張可能なプロセスを通じて、リサイクル可能な金属を価値ある資源に変換することで、この戦略を実現するためのEDFの旗艦産業イニシアチブです。

施設のコンセプトと立地

- **循環型経済アプローチ**: テクノセンターは、極低レベル放射性金属(VLLW)のリサイクルを目的とした産業施設として設計されており、資源の保全とCO₂削減に貢献します。
- **環境分類**: 本施設は環境保護のための分類施設(ICPE)として認定され、環境および安全基準への適合を確保します。
- **生産出力**: 溶解後、施設は鋳造所や製鉄所で使用可能な従来型金属インゴット(約20kg)を製造します。
- **実証済みの運用モデル**: フランスでは初のユニットですが、このコンセプトはCyclifeスウェーデンの長年にわたる金属溶解および除染の経験に基づいています。
- **戦略的立地 - フェッセンハイム**: 旧フェッセンハイム原子力発電所近くに位置し、以下の利点を提供します:
 - 鋳造所などの下流ユーザーへの近接性
 - EDF所有の産業用地
 - マルチモーダルアクセス(道路、鉄道、河川)



主要数値

450 M€ 2020

投資

200

操業段階における雇用

85 %

これは、極低レベル放射性金属をリサイクルする目的です。

40 %

鉱山からの鉄鋼ではなく、リサイクルによる鉄鋼生産で節約されるエネルギー

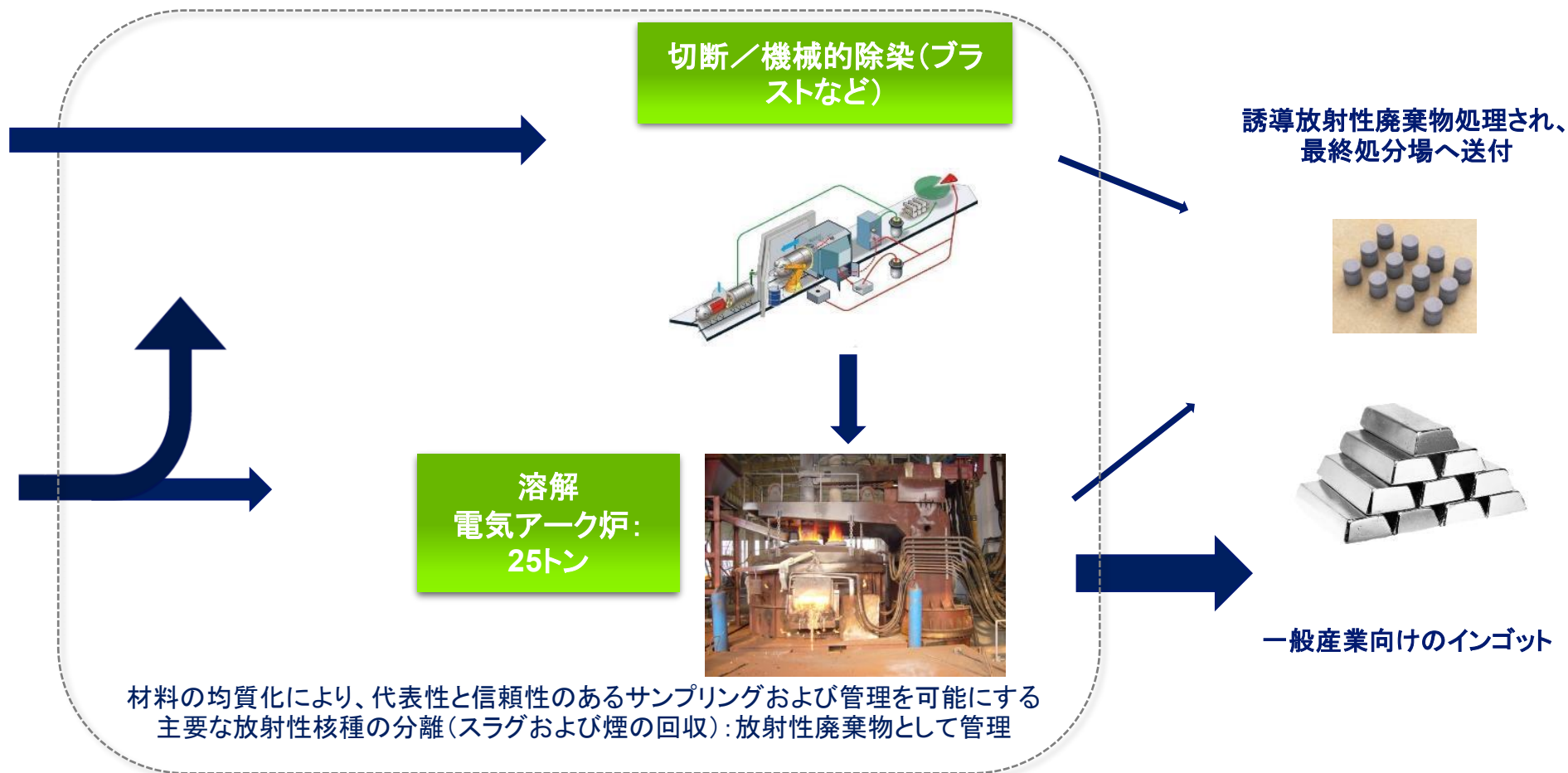
リサイクルプロセスと技術的範囲



大型部品

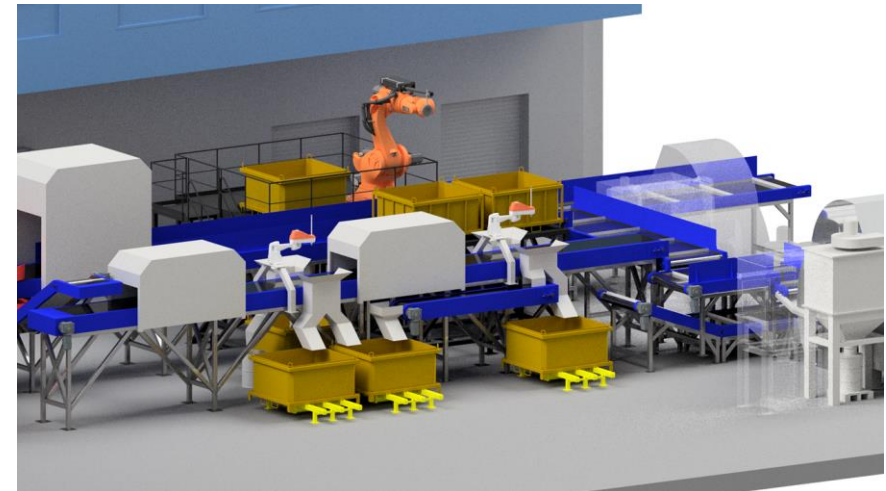


金属切断
(GB1ディフューザー、その他)

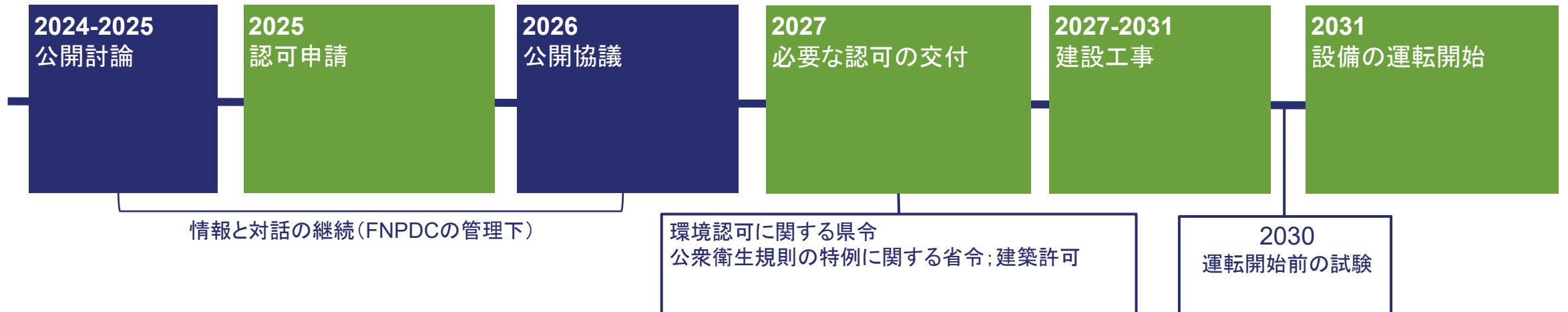


進捗状況とパートナーのネットワーク

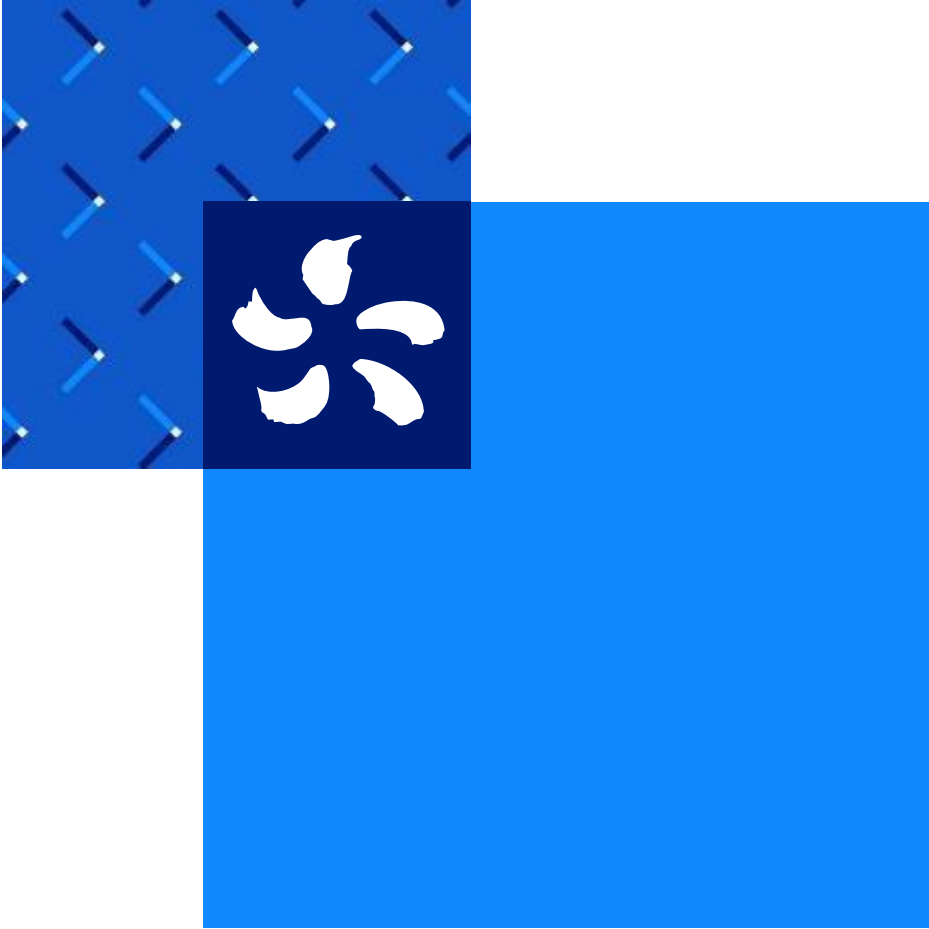
- **現在のフェーズ：**プロジェクトは現在、エンジニアリングおよび規制準備段階にあります。認可申請は、2025年初頭に終了した公開討論に基づいて作成されています。
- **プロジェクト調整：**EDFグループの子会社であるCyclifeが、専用のプロジェクト組織を通じてこの取り組みを推進しています。この組織は、技術的範囲、規制遵守、すべての関係者の調整を監督します。
- **ステークホルダー・エコシステム：**テクノセンタープロジェクトは、幅広いパートナーのネットワークを結集しています：
 - 設計および機器納入を支援する産業サプライヤー
 - サイト開発および経済活性化に関与する地域当局
 - 安全性、プロセス統合、環境遵守に貢献する技術専門家



実施スケジュールと市場



- **市場の潜在性:** フランスでは、原子力施設の廃止措置活動を通じて、約50万トンの極低レベル放射性金属(VLLW)が発生すると予測されています。テクノセンターは、この国内需要に対応するために設計されており、国際的な量を処理する能力も提供します。
- **戦略的展望:** テクノセンターは、Cyclifeが主導するEDFの広範な廃棄物管理戦略を支援し、金属廃棄物の循環型経済モデルの開発に貢献します。産業革新と環境責任を組み合わせることで、このプロジェクトは長期的な貯蔵ニーズを削減し、二酸化炭素排出量を低減し、一般産業向けにリサイクル金属の安定供給を提供することを目指しています。



6. 結論

重要なメッセージと協力の展望

結論 / 重要なメッセージ



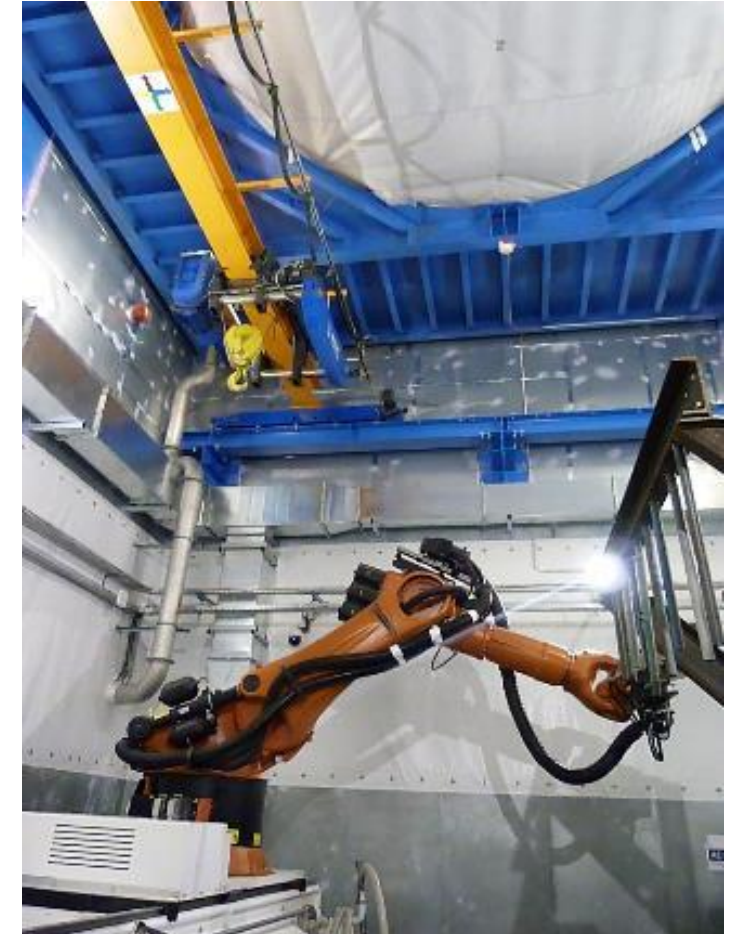
- 原子力産業の持続可能な未来にとって、廃止措置と廃棄物管理は重要な課題です。施設のライフサイクル全体にわたってこれらの課題を統合することが不可欠です（設備の設計段階から、運転中、廃止措置準備段階、そして廃止措置そのものまで）。
- 廃止措置は廃棄物主導のプロセスです。言い換えれば、発生する廃棄物（種類と量）およびその管理能力が、効率的な廃止措置に対する制約となり得ます。廃棄物を処理するためのインフラは、廃止措置にとって重要なリソースです。これは、多くの国で廃止措置プロジェクトが直面する最大の課題である可能性があります。
- フランスでは、集中化された構造的アプローチが大規模な廃止措置を支えています。クリアランス規制の最近の進展や、テクノセンターのような産業イニシアチブは、持続可能でスケーラブルな廃止措置および廃棄物管理において、フランスのリファレンスとしての地位を強化しています。



廃止措置および廃棄物管理における日仏協力



- 国際的な協力は不可欠です。技術革新から規制の進化、そして社会的受容に至るまで、原子力施設の廃止措置における共通の課題に対応するために必要です。
- EDFと福井県の協力協定の締結は、二国間パートナーシップの重要性を示す強力な事例であり、知識交換、共同開発、廃止措置および廃棄物管理における相互支援を可能にします。
- EDFは、日本における長期的な協力に全面的に取り組んでおり、運用面での交流、技術ワークショップ、Cyclifeを通じた日本の関係者との臨時協定を通じて、D&D(廃止措置と廃棄物管理)の卓越性を目指す強固で相互に有益な枠組みを構築します。
- 類似した原子炉技術、廃棄物ソリューションの開発(金属廃棄物処理、中間貯蔵)、安全かつ経済的な廃止措置に向けた共通の目標など、フランスと日本の間には強い共通点があります。





Merci

連絡先

Patrick Dupeyrat

- > +81 (0)90 5403 8291
- > patrick.dupeyrat@cyclife.com