



サーマルスリーブの摩耗

Framatome社の経験と解決策により
お客様に最も効果的な保守戦略で
定検時間と全体コストを節約



課題

至近の事象により、サーマルスリーブの摩耗は流体誘起振動の結果であることが判明しました。サーマルスリーブフランジの摩耗は、上蓋の方向にサーマルスリーブが降下していることの証しです。摩耗によりサーマルスリーブフランジが制御棒駆動装置(CRDM)の動きを妨げ、最悪の場合サーマルスリーブの破損につながる場合もあります。

サーマルスリーブの事象



Framatome社のアプローチ: 適切な時に適切な訂正を

Framatome社のサーマルスリーブに関する暫定的及び長期的な保守解決策により、プラントが摩耗問題を管理し、補修や取替のために組み合わせ可能な選択肢をカスタマイズすることが可能になります。それにより、定検工程が予測可能となり及び大幅なコスト低減が可能となります。

唯一の恒久的な解決策 の利用が可能です

独自のグローバルな総合的支援

エンジニアリング 安全・安心

- ・ 摩耗基準の定義
- ・ 緩和策の提案
- ・ Framatome社およびEDFの安全性に関する調査を基にした安全当局への対応に関する支援

検査

- ・ 高さ計測（ボアスコープ、フォトグラメトリ、レーザスキャナ）
- ・ 厚さ測定のための超音波試験（UT）
- ・ アダプタとサーマルスリーブの表面状態を確認するためのボアスコープ検査

恒久的 解決策

- ・ Framatome社のスペーサ設置で摩耗を停止
- ・ CRDMのない貫通部場合、サーマルスリーブを取替えずに切除

補修及び 取替

- ・ VHの下からサーマルスリーブを補修・取替
- ・ VHの上からサーマルスリーブを補修・取替

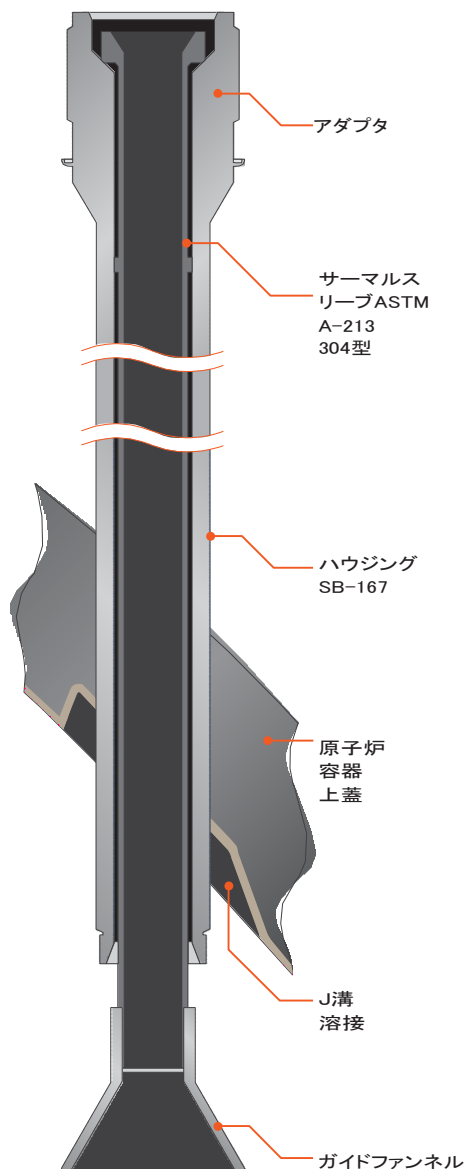
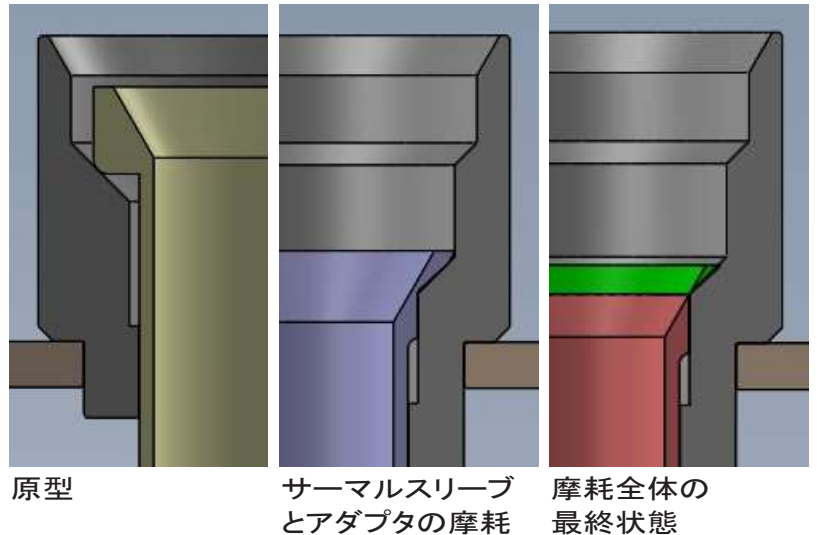
プラント起動の管理・認可

電力事業者のメリット



Framatome社は、サーマルスリーブフランジとアダプタ両方の摩耗に対処することが可能

深刻な場合、アダプタとサーマルスリーブストップ両方の摩耗が原因で部品に緩みが発生し、制御棒の動作不良が発生する可能性があります。右側に示される摩耗プロファイルは、フランスのプラントにおいて摩耗したアダプタの詳細な試験によって確認されました。



サーマルスリーブ設計機能

- ・サーマルスリーブはステンレス鋼製です。
- ・制御棒の動作がないプラントの通常運転中、サーマルスリーブにより原子炉容器上蓋からCRDMへの温水の流れが制限されます。
- ・ガイドファンネルは、原子炉容器上蓋を閉める際に、駆動軸を案内する機能を有しています。また、サーマルスリーブチューブは、アダプタを介してCRDM内で制御棒駆動(CRD)を案内します。
- ・制御棒が落下した場合、CRDMの下部から上部への水が流れサーマルスリーブを持ち上げ、これが流れ面積を増加させて落下時間を改善します。
- ・制御棒が持ち上がると、アダプタ上部の冷水がサーマルスリーブチューブを通じて下降し、貫通部の溶接部を防護します。

Framatome社の補修技術により、すべてのサーマルスリーブ設計機能を維持

エンジニアリングと安全性

Framatome社およびEDFは、包括的な経験を活用し、プラント運転員に予知保全の戦略を提供し、機器の摩耗寿命が延長され、効率の良い長期的な運転が可能となります。

サーマルスリーブの保守戦略は、問題に応じた検査や特性評価及び予防保全で管理することができます。

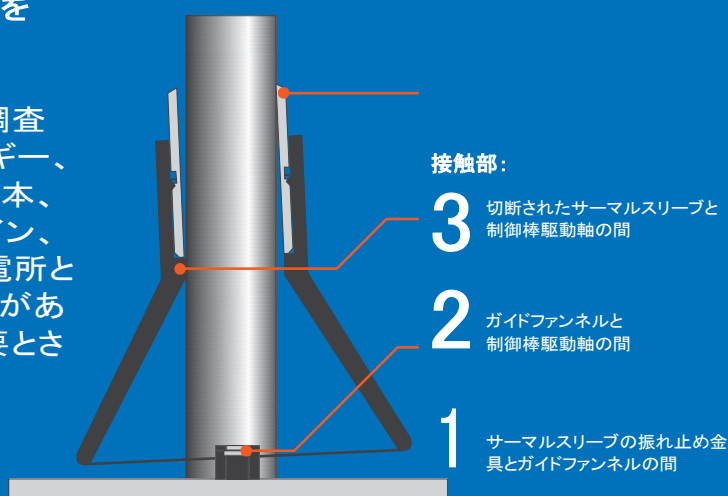
損傷検出の一次評価は、定検期間中のデータを比較することで可能となります。摩耗基準は、損傷したサーマルスリーブの検査に基づいて定義され、固有のプラント設計に適應されます。摩耗基準は、ベルギー、中国、フランス、日本、南アフリカ共和国、韓国、スペイン及び英国におけるいくつかの型式のプラントで既に定義されています。摩耗基準には、許容可能な最小肉厚(必要に応じてフランスRCC-Mまたは米国ASME規格を使用)や対応するサーマルスリーブの降下量の決定が含まれます。

今後のプラント運転のための推奨事項の提供が可能等（現状のまま運転継続が可能、追加検査および/または取替が可能）

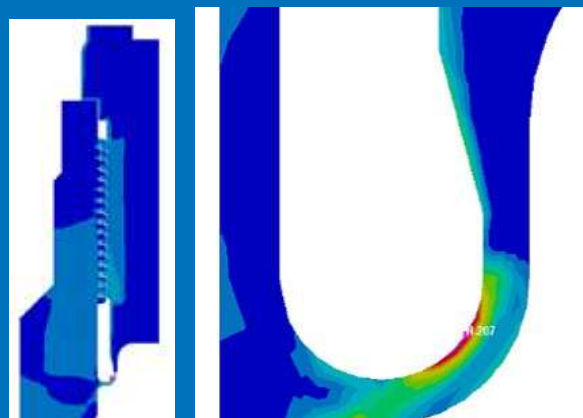
プラント再起動のための正当性及び予防的補修解決策に関する論理的根拠の策定

地域の安全要件に
準じた許認可取得を
支援

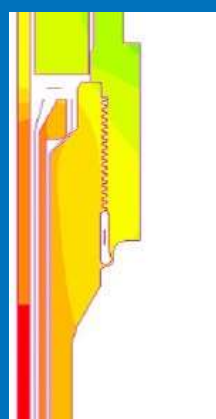
エンジニアリング調査は、世界中（ベルギー、中国、フランス、日本、RSA、韓国、スペイン、および英国）の発電所と既に実施した実績がある、及び/又は必要とされています。



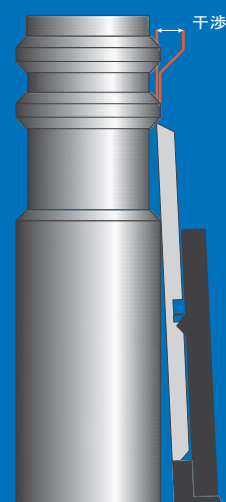
RVアダプタ底部におけるサーマルスリーブ破断時のルースパーツ解析



キャノピージョイントを含むRV管台アダプタ摩耗の機械解析



RV管台アダプタ及びサーマルスリーブの熱解析



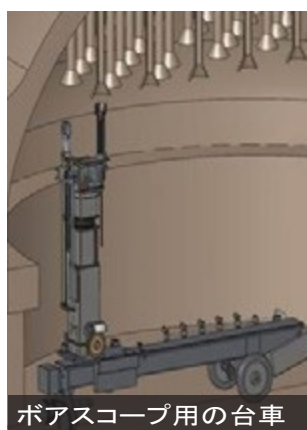
高さ計測と専門知識

誤差 $\pm 0.3 \sim 2\text{mm}$ 以内の精密な測定方法(3種類)



レーザスキャン

- レーザスキャン技術を使用して、起こりうる摩耗箇所を特定するための間接測定
- RV上蓋フランジの合わせ面に対するサーマルスリーブファンネルの底部の高さを測定
- 測定データと設計データを比較し、フランジの摩耗を特定
- 原子炉容器上蓋(RVH)を仮置スタンド上に設置し、その後装置を配備可能となる
- 実績: 2018～2019年の実績は15件以上。2020年に検討中又は計画中の件数は14件。更に、加えて米国及び南アフリカ共和国でも計画中。



ボアスコープ検査

- 各スリーブの原型の設計高さと比較したサーマルスリーブの高さを測定
- 実績: 2018～2019年の実施完了件数は45件以上

フォトグラメトリ

- 仮置スタンドの外側にある原子炉容器上蓋のシール面上の基準点をレーザトラッカーで測定
- 原子炉容器上蓋の下基準点を特定のターゲットを用いて測定
- 原子炉容器上蓋の下にあるサーマルスリーブの写真をカメラで撮影
- 上蓋の基準点の3Dクラウドをデータを用いて作成することで、外側を分析
- 特定のソフトウェア及び手法を用いて、基準点のクラウド上のサーマルスリーブの高さを測定
- 実績: 2018～2019年のフランスでの実績は30件以上



UTとNDEの専門知識

- 厚さ測定を決定するためにUTの専門知識を活用して実行可能
- 表面状態(アダプタ及び/又はサーマルスリーブ)を確認する必要がある場合にボアスコープ検査で実行可能

CRDMサーマルスリーブ磨耗 に対する恒久的な解決策

Framatome社は、レベル1の事象に対応するサーマルスリーブフランジとアダプタの両方の摩耗問題を解決するための革新的な測定、検査、補修技術の解決策を提供することで原子力業界をリードしています。

フランスの現状

- ・ EDFは2018年2月14日にレベル1事象を発表しました。
 - － ベルビル2号機の起動時に制御クラスタの動作不良が発生しました。
 - － 解析により、サーマルスリーブの磨耗が原因で動作不良が発生することが検証されました。
 - － その他、サンタアルバン1/2号機、ノジャン1号機、パリュエル3/4号機の原子炉容器上蓋でも同様の事象が認められました。
- ・ ベルビルは、VHR取替後、約18年間、全出力運転を実施していました。
- ・ EDFは、すべての原子炉を対象に、次に予定されている定検中に影響を受ける可能性のある原子炉を特定するための検査を実施することを決定しました。
- ・ 58基すべての初期検査が完了し、供用中検査が開始されました。
 - － 摩耗の規模は、サーマルスリーブの測定によって決定されます。

Framatome社は、2018年以降フランスで、 30件以上のサーマルスリーブの取替を 成功裏に完了している

ベルビル2号機（1定検で完了）

- ・ 上部から中央に位置するサーマルスリーブを取替(CRDMの撤去/据付を含む)
- ・ 作業は成功裏に完了し、EDFは満足する結果となった

フランスの12基のプラントで上蓋の上から 補修及び取替を実施:

- ・ 広範囲の磨耗を把握し、各ユニットに適切な保守戦略を定義するため、2基で20本のサーマルスリーブを取替
- ・ 著しい摩耗のサーマルスリーブ7本の内1本もしくは2本を取替

- ・ 予期せぬ事象が発生した後にサーマルスリーブを1本取替

RCCAの入っていない位置については、上蓋の下からサーマルスリーブを撤去します。
2019年5月にフランスのプラントで作業が完了し、新たな作業の計画もしています。

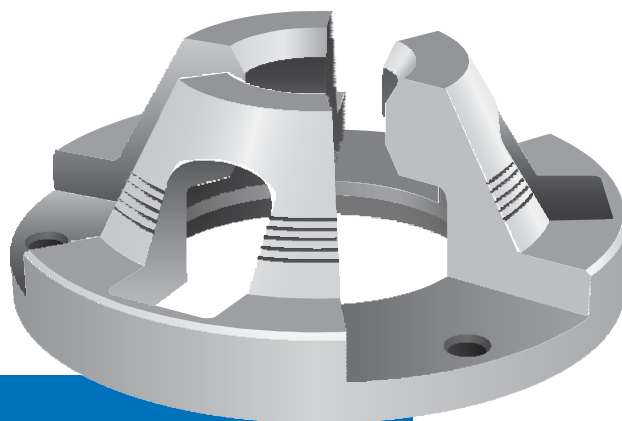
オプション1: 摩耗を抑止するための スペーサを取り付け

Framatome社製 スペーサの機能

以下の機能により、サーマルスリーブ
の広範囲な損傷を回避、予防

- 設置が容易
- フランスでは既にスペーサを設置しており、2020年には多くのEDFプラントで計画中
- RCC-M規格認定、ASME規格適合
- 予防及び予測のための解決策

卓越した サーマルスリーブ補修



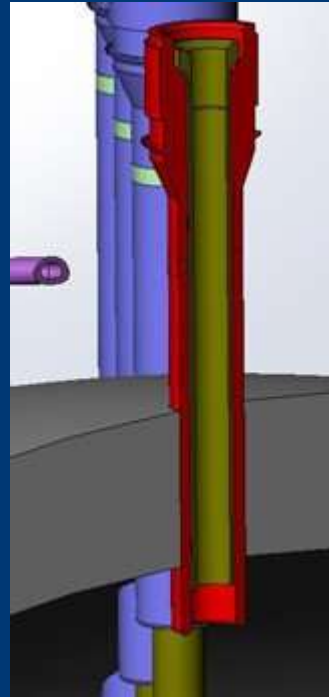
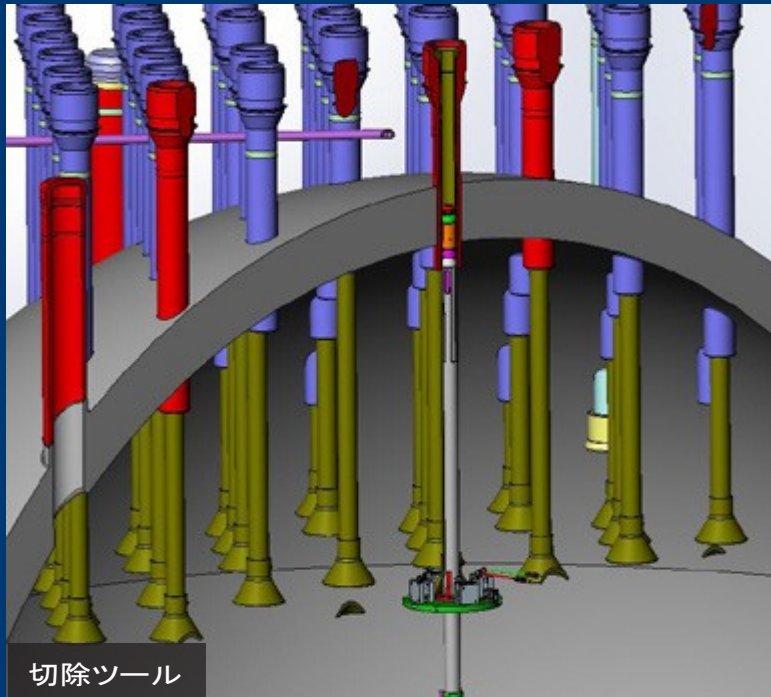
最も効率的な解決策

- 初期設計の機能を維持
- 不要な取替を回避
- 定検工程への影響が少ない : 1スペーサにつき数時間(クリティカルパス)
- 非破壊検査、圧力容器境界への影響なし
- 作業被ばくを最低限に抑える



Cattenom 原子力発電所のスペーサ

オプション2: 制御棒の入っていない位置ではサーマルスリーブを取替えずに切除



プロセス

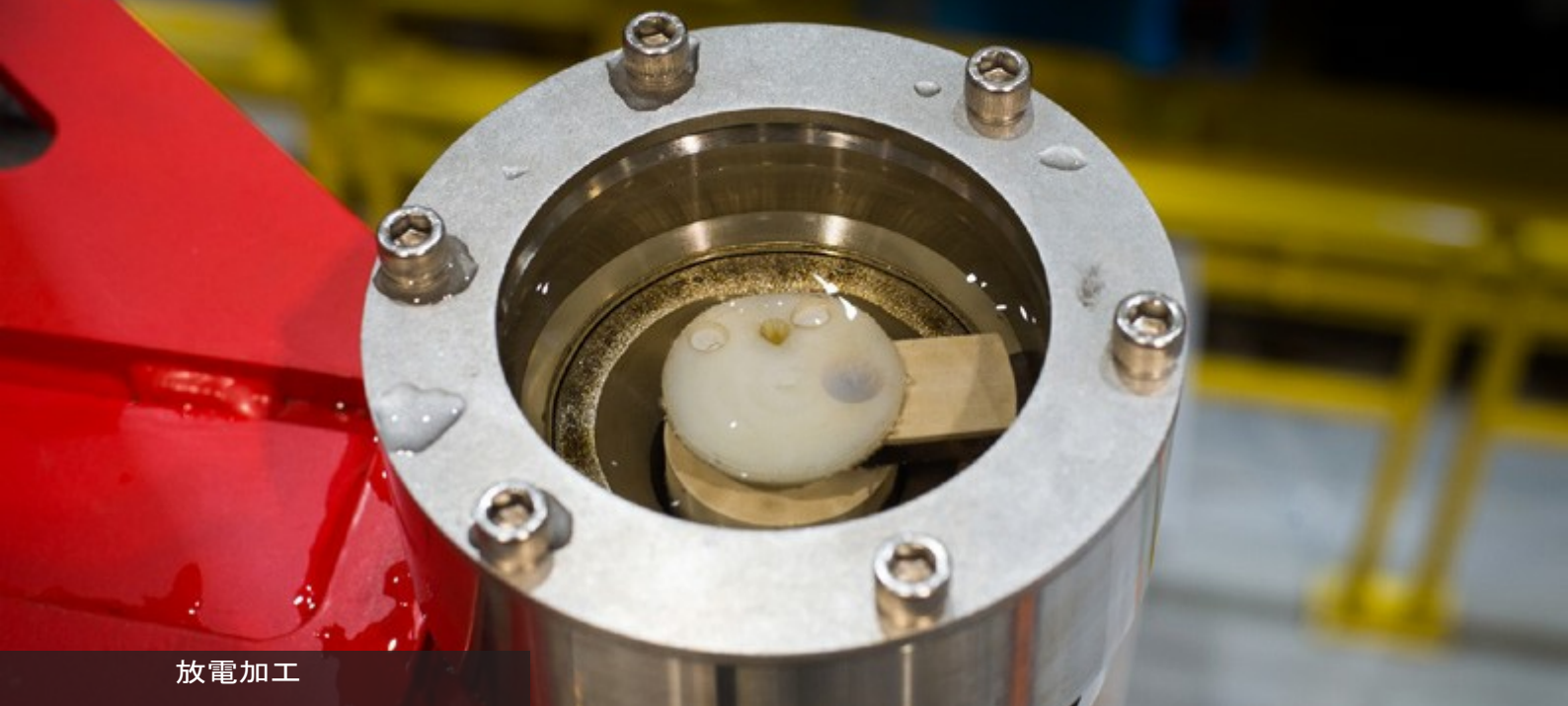
- ・サーマルスリーブフランジの放電加工機(EDM)
- ・サーマルスリーブと残片を取り出す
- ・実証済みのツールを使用して多数のサーマルスリーブを取り出す

制御棒の入っていない場所での最も簡単な解決策

- ・既に利用可能な迅速な作業調整と位置調整
- ・定検工程への影響が小さい: 1カ所につき1日未満 (クリティカルパス)



オプション3:上蓋の下から サーマルスリーブを取替



放電加工

プロセス

- ・ フランジを加工(放電加工)して既設スリーブを取り出し
- ・ CRDMノズルに新たな合わせ面を加工(EDM)
- ・ 新たな合わせ面の目視検査を実施
- ・ 新規のサーマルスリーブ2本を上蓋の下から取り付け、ID溶接で固定

特徴

- ・ すべての熱防護策を維持した同一条件の設計
- ・ サーマルスリーブ摩耗のすべてのカテゴリーに対応

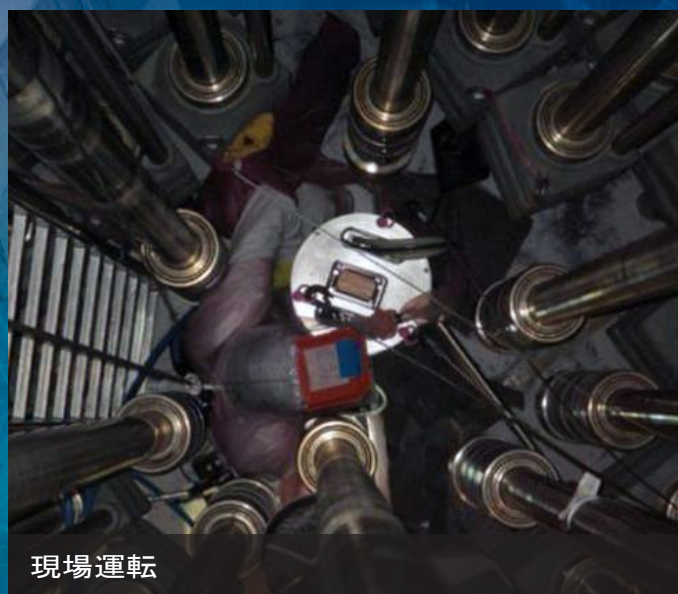
最も費用対効果の高い 補修及び取替解決策

- ・ 上蓋上で分解せずにサーマルスリーブを交換
- ・ 定検工程への影響を緩和: 推定時間: 1カ所につき2日間(クリティカルパス)

オプション4:上蓋の上から サーマルスリーブを取替

プロセス

- ・ CRDMの取り出し
- ・ 既設サーマルスリーブを持ち上げて切除
- ・ マシンアダプタを使用して元より下の位置に復旧
- ・ 新規サーマルスリーブを上部から取り付け、摩耗と加工代を補正するためのシムを設置



現場運転

認定済みで信頼性のある 解決策

- ・ 遠隔操作ツール
- ・ 定検工程への影響を緩和 :CRDM撤去後、1カ所につき2日間(クリティカルパス)
- ・ 予期せぬ事象に対応するためのバックアップとしての解決策
- ・ 実績:フランスの原子炉12基においてアダプタとサーマルスリーブの補修及び取替を実施:30件以上

Framatome社は、世界中の原子力発電所の革新的な解決策と付加価値技術で認められた原子力の国際的なリーダーである。世界的な専門知識と信頼性や性能に関する実証された実績を持ち、原子力発電所の機器、燃料及び計装制御系統の設計、サービス及び設置を行っている。毎日14,000人以上の従業員が働いており、Framatome社のお客様がよりクリーンでより安全な及びより経済的な低炭素エネルギーを供給できるよう支援している。URL: www.framatome.com Twitter: @Framatome_ and LinkedIn: Framatome.

Framatome社の株式は、EDFグループ(75.5%)、三菱重工(MHI-19.5%)、Assystem (5%)が保有している。

お客様の成功が
framatomeの日々の使命です

framatome

Framatome
Tour AREVA, 1 Place Jean Millier
92400 Courbevoie, France

component-repair-replacement@framatome.com
www.framatome.com