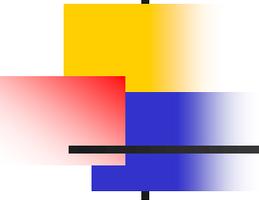


# 女川原子力発電所の状況について

---

平成28年11月18日

東北電力株式会社



# 1. 今期発生事象

---

- (1) 女川原子力発電所3号機  
非常用ディーゼル発電機B号機の不調について

# (1) 女川原子力発電所3号機非常用ディーゼル発電機B号機の不調について (1/2)

## (a) 事象の概要

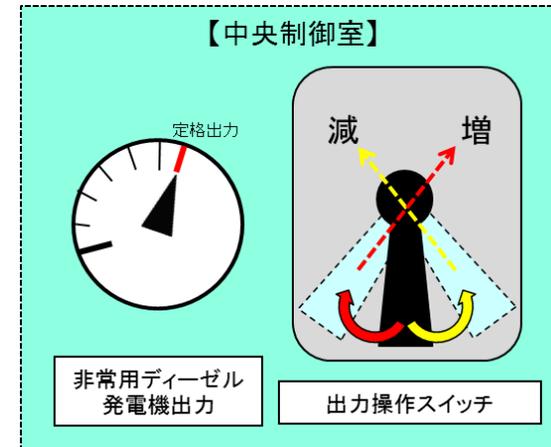
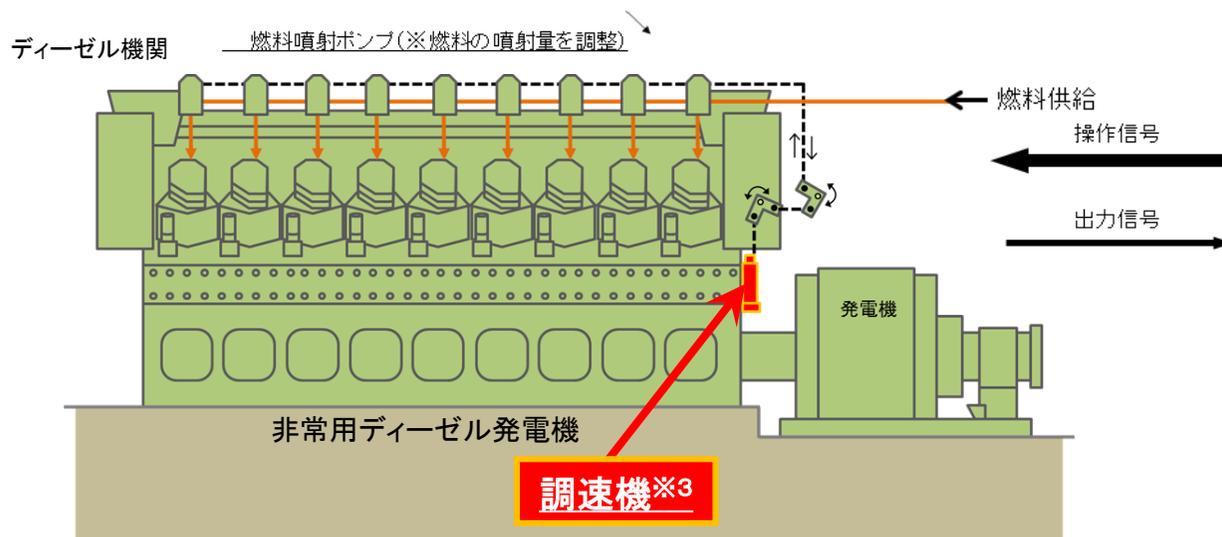
- ▶ 平成28年8月5日、非常用ディーゼル発電機B号機の定期試験※<sup>1</sup>を行っていたところ、定格出力到達後の出力調整※<sup>2</sup>を行った際に、操作に対する発電機出力の応答が通常よりも遅れることを確認したため、出力を降下させ、当該発電機を手動で停止した。
- ▶ 当該発電機の调速機※<sup>3</sup>に異常が生じている可能性があるかと判断し、予備品と交換し、平成28年8月12日に定期試験を行い、出力調整時の操作に対し、発電機出力が適切に応答することを確認したことから、待機状態※<sup>4</sup>となり復旧した。

※1 設備の機能を満足していることを確認するため定期的に行う試験。

※2 外部システムの負荷変動にあわせて、発電機の定格出力を維持するよう調整する。

※3 ディーゼル機関への燃料の供給量を調整し、発電機回転速度を一定に保つための制御装置。

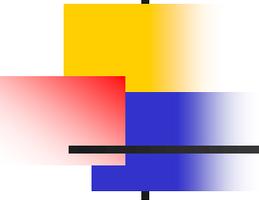
※4 保安規定に基づき、常時、運転が可能な状態にしておくこと。



# (1) 女川原子力発電所3号機非常用ディーゼル発電機B号機の不調について (2/2)

## (b) 原因等

- 取り外した当該発電機の调速機について、工場にて作動確認および分解点検を実施した結果、異常は認められなかったことから、调速機の不調は一過性のものであると判断した。
- 引き続き、設備の適切な点検・補修等を通じて、原子力発電所の安全確保に万全を期していく。



# 1. 今期発生事象

---

(2) 当社原子力発電所における原子炉圧力容器の製造方法および製造メーカーの調査結果について

## (2) 当社原子力発電所における原子炉圧力容器の製造方法および製造メーカーの調査結果について (1 / 3)

### (a) 事象の概要

- 当社は、平成28年8月24日、原子力規制委員会より、「仏国原子力安全局で確認された原子炉容器等における炭素偏析※<sup>1</sup>の可能性に係る調査について（指示）」を受領した。
- 本件は、仏国内で運転中の加圧水型原子力プラントの蒸気発生器※<sup>2</sup>の水室（日本鑄鍛鋼製）において、機械的強度を低下させる炭素濃度の高い領域をもつ鍛造鋼※<sup>3</sup>が使われた可能性があることを受け、原子力規制委員会から以下の対応が求められたもの。
  - ① 沸騰水型原子炉においては、原子炉圧力容器※<sup>4</sup>について、製造方法および製造メーカーを調査し、その結果を平成28年9月2日までに報告すること。
  - ② ①の調査の結果、鍛造鋼の使用が確認された場合は、当該鍛造鋼が規格（JIS等）を上回る炭素濃度領域を含む可能性について評価し、その結果を平成28年10月31日までに報告すること。

※1 鋼材中に含まれる炭素の濃度が局所的に高い部分。炭素濃度が高くなると、材料が硬くなる一方、脆くなる性質を持つ（機械的強度が低下するおそれがある）。

※2 加圧水型原子炉においてタービンを回す蒸気を発生させる装置。なお、当社の原子力発電所は、女川・東通のいずれも沸騰水型原子炉であるため、蒸気発生器は設置されていない。

※3 プレス機により、金属に圧力を加えて成形された鋼材。

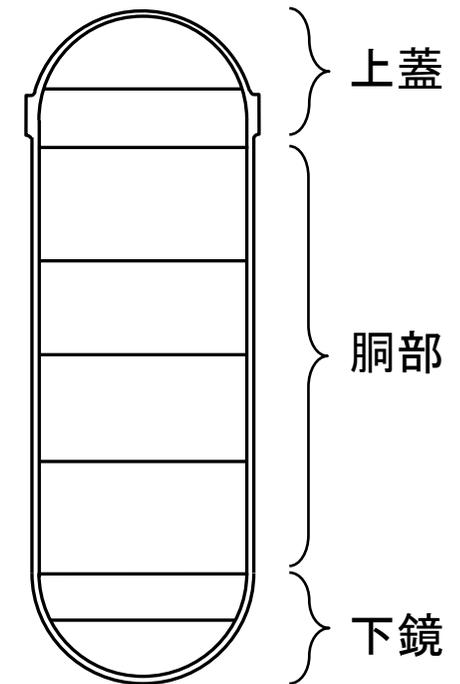
※4 原子炉の炉心をおさめる円筒状の鋼鉄の構造物。

## (2) 当社原子力発電所における原子炉圧力容器の製造方法および製造メーカーの調査結果について (2/3)

### (b) 調査結果 (その1)

- 指示①に基づき、製造メーカーを調査した結果、女川原子力発電所の全ての原子炉圧力容器において、鍛造鋼が使用されていることを確認した。(平成28年9月2日原子力規制委員会へ報告)

プラント	原子炉圧力容器					
	上蓋		下鏡		胴部	
	製造方法	製造メーカー	製造方法	製造メーカー	製造方法	製造メーカー
女川1号機	鋼板	日本製鋼所	鋼板	日本製鋼所	鋼板	日本製鋼所
	鍛造					
女川2号機	鋼板	川崎製鉄	鍛造	日本製鋼所	鋼板	川崎製鉄
	鍛造	日本製鋼所			鍛造	日本製鋼所
女川3号機	鋼板	川崎製鉄	鍛造	日本製鋼所	鋼板	川崎製鉄
	鍛造	日本製鋼所			鍛造	日本製鋼所
東通1号機 (参考)	鋼板	川崎製鉄	鍛造	日本製鋼所	鋼板	川崎製鉄
	鍛造	日本製鋼所			鍛造	日本製鋼所



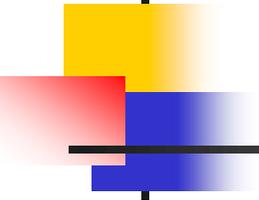
原子炉圧力容器

## (2) 当社原子力発電所における原子炉圧力容器の製造方法および製造メーカーの調査結果について (3 / 3)

### (c) 調査結果 (その2)

- 指示②に基づき、当該鍛造鋼が規格 (J I S 等) を上回る炭素濃度領域を含む可能性について、評価を行った。
- 評価の結果、いずれの鍛造鋼も、炭素濃度が規格 (J I S 等) を満足する製造工程で製作された製品であることを確認した。(平成28年10月31日原子力規制委員会へ報告)
- なお、原子炉圧力容器に使用されている鋼板※<sup>1</sup>についても、製造方法が鍛造鋼と類似していることから評価を行い、炭素濃度が規格 (J I S 等) を満足する製造工程で製作された製品であることを確認し、あわせて報告した。

※1 金属を圧延(ロールで延ばす)して板状に成形された鋼材。



## 2. 過去発生事象に対する追加報告

---

- (1) 女川原子力発電所における火災発生情報の誤発信事象に係る原因と対策について

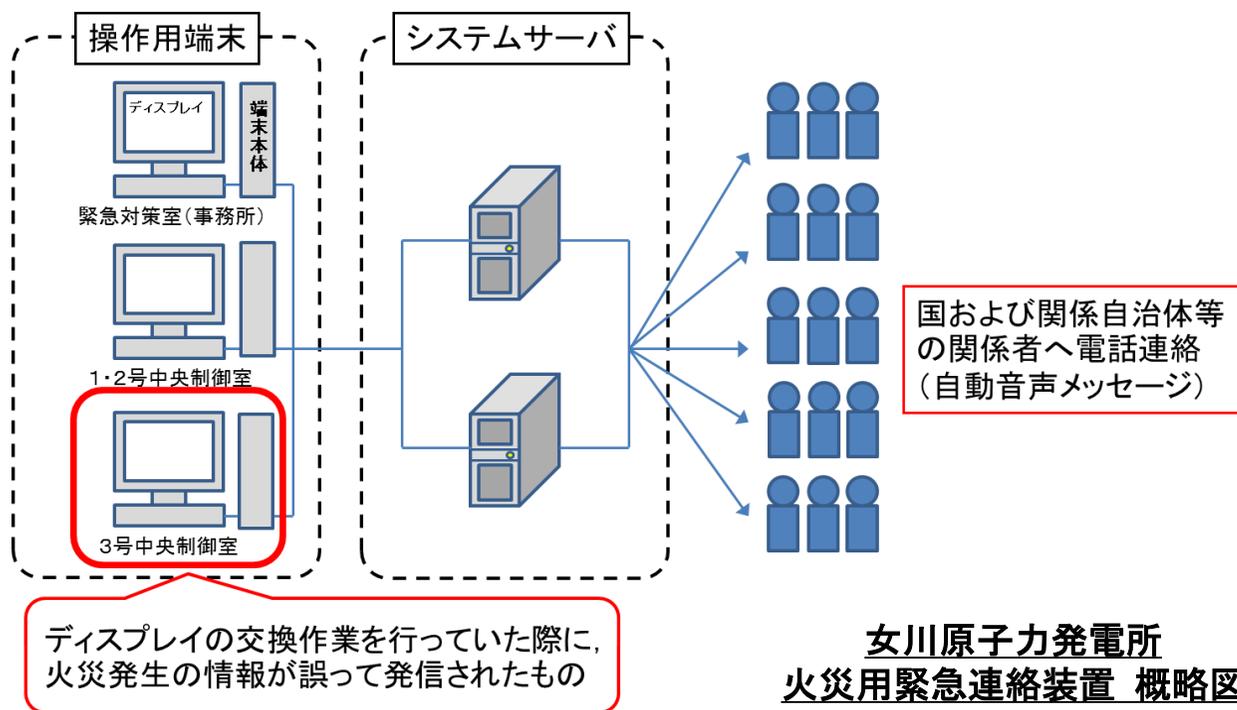
# (1) 女川原子力発電所における火災発生情報の誤発信事象に係る原因と対策について (1/3)

(第138回女川原子力発電所環境調査測定技術会報告済み)

## (a) 事象の概要

- 平成28年7月27日、女川原子力発電所3号機中央制御室に設置されている火災用緊急連絡装置※1の定期的な時刻調整を実施しようとしたところ、当該装置ディスプレイの画面が表示されなかったことから、ディスプレイの交換作業を行っていた。
- 同日19時5分頃、当該装置から、実際に火災が発生していないにもかかわらず、国および関係自治体等の関係者に対し、火災発生情報が誤って発信される事象が発生した。

※1 火災が発生した際、ディスプレイの画面を操作することにより、国および関係自治体等の関係者に対し情報を発信する装置。



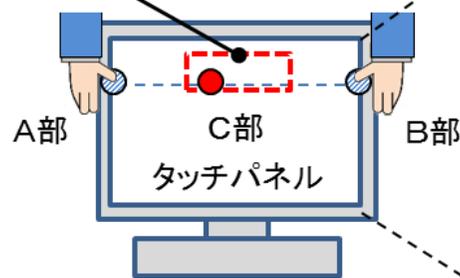
# (1) 女川原子力発電所における火災発生情報の誤発信事象に係る原因と対策について (2/3)

## (b) 推定原因

- ▶ ディスプレイ交換時、当該装置の誤作動を防止する観点から、ディスプレイの背面に接続されている電源ケーブルをディスプレイ本体から外すため、ディスプレイの向きを変えようとした際、タッチパネル式画面の縁（下図A部およびB部）に両手で複数回触れた。
- ▶ 火災発生情報を発信する画面上のボタンには直接触れなかったものの、タッチパネル機能の特性（下図※参照）により、火災発生情報が誤って発信された。

【ディスプレイイメージ】

火災発生情報を発信するボタン



※当該ディスプレイに採用しているタッチパネルは、画面の2箇所(A部、B部)を同時に触れた場合、2箇所を結んだ直線上にあるボタン(C部)が作動することがある

【画面遷移イメージ】

(画面1)



画面の縁に同時に触れたため、「本番」ボタンが作動（画面2に遷移）

(画面2)



その状態で、画面1の「本番」と同じ位置の「火災発生一斉通報」ボタンが作動（画面3に遷移）

(画面3)



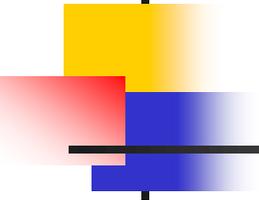
再び、画面の縁を同時に触れた際、「送信」ボタンが作動し、誤発信に至った

- : 意図せず触れた箇所
- : 画面上のボタンが作動した箇所

## (1) 女川原子力発電所における火災発生情報の誤発信事象に係る原因と対策について (3 / 3)

### (c) 再発防止対策

- 当該装置の点検時における誤操作を防止するため、電源を予め切ったうえで点検作業を行う。また、電源を入れたまま作業を行う必要がある場合（時刻調整等）は、通信用のケーブルを予め引き抜くなど、外部との通信ができない状態で行う。
- 当該装置の平時（待機状態）における誤操作を防止するため、当該装置の改造（カードキーによる認証機能追加、画面内ボタン位置の変更等）を実施する。



## 2. 過去発生事象に対する追加報告

---

(2) ヒューマンエラーに係る事象に対する対策について

## (2) ヒューマンエラーに係る事象に対する対策について

当社は、女川1号停電事象以降の一連の事象を重く受け止め、再発防止対策を確実に実施することで、原子力発電所の安全確保に万全を期してまいります。

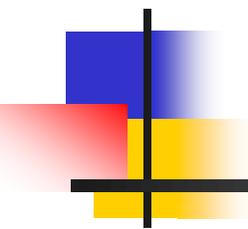
- これまでも意識の高揚を図るための教育・訓練、講演会や情報の共有などのヒューマンエラー防止活動を行ってきましたが、今回の事象を鑑み、以下の緊急対策を実施しております。
  - 作業開始前に立ち止まり、リスク想定を実施し、関係者でリスクの共有を図る「リスク想定ドリル」の徹底およびヒューマンエラー防止に係る決起集会を開催
  - 主な対策
    - ◆ 協力企業が作業前に実施するミーティング（TBM）に当社社員も参加
    - ◆ 当社社員が実施する機器の試運転などの途中において、手順の抜けがないか、その後注意すべき点はどこかについてホールドポイント（立ち止まるポイント）を設定し、確認し合う
- 今後は上記の緊急対策に加え、教育・訓練を含めた本格対策を実施していく予定です。



ヒューマンエラー防止に係る決起集会(8/19)  
(社員および協力企業員：約1,400人参加)



協力会社のTBMへの参加



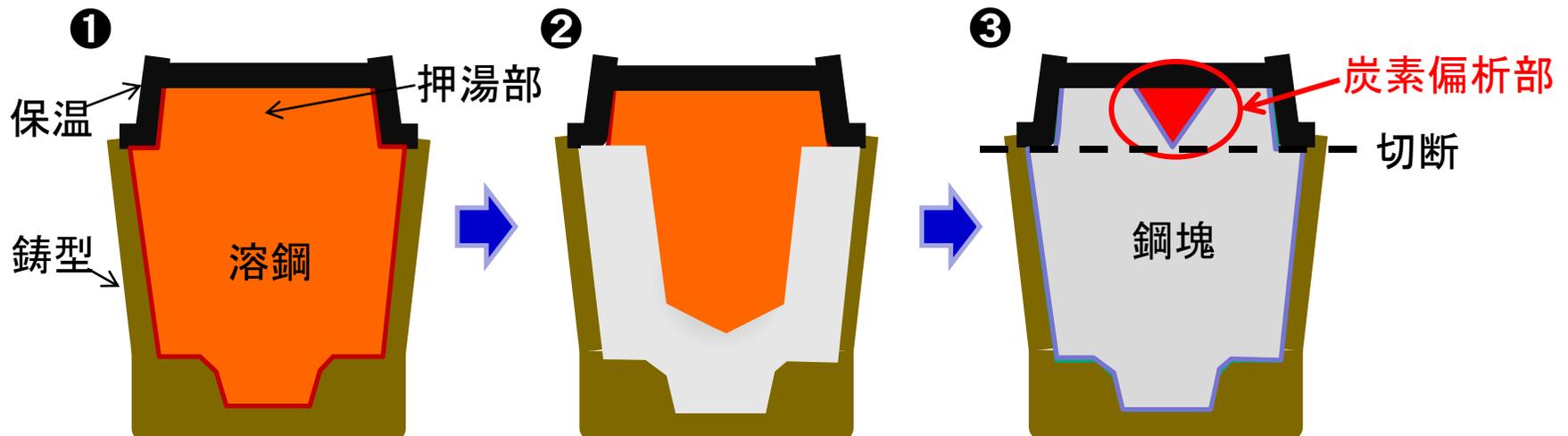
以下，参考

---

# 参考 1. 当社原子力発電所における原子炉圧力容器の製造方法および製造メーカーの調査結果について

## 炭素偏析について

- 鍛造品は、鋳型に溶鋼を流し込み凝固してできた鋼塊から製造されるが、溶鋼が凝固する際に炭素偏析部ができる。炭素偏析部の形成過程は、以下のとおり。
  - ①溶鋼を鋳型に入れ頂部（押湯部）を保温し、押湯部が最後に凝固するよう管理する。
  - ②鋳型の外側より凝固が始まり、軸心部の炭素濃度が徐々に高くなる。
  - ③溶鋼は、最終的に押湯部が凝固し、炭素濃度の高い炭素偏析部が形成される。
- 炭素偏析部が製品表面に残存すれば、強度に影響を与えるリスクがある。
- 一般的に、炭素偏析部は凝固速度が遅い鋼塊サイズが大きいものほど生じやすく、また、凝固速度が速い鋼塊形状（鋼塊サイズが小さい、厚くない）は生じにくい。

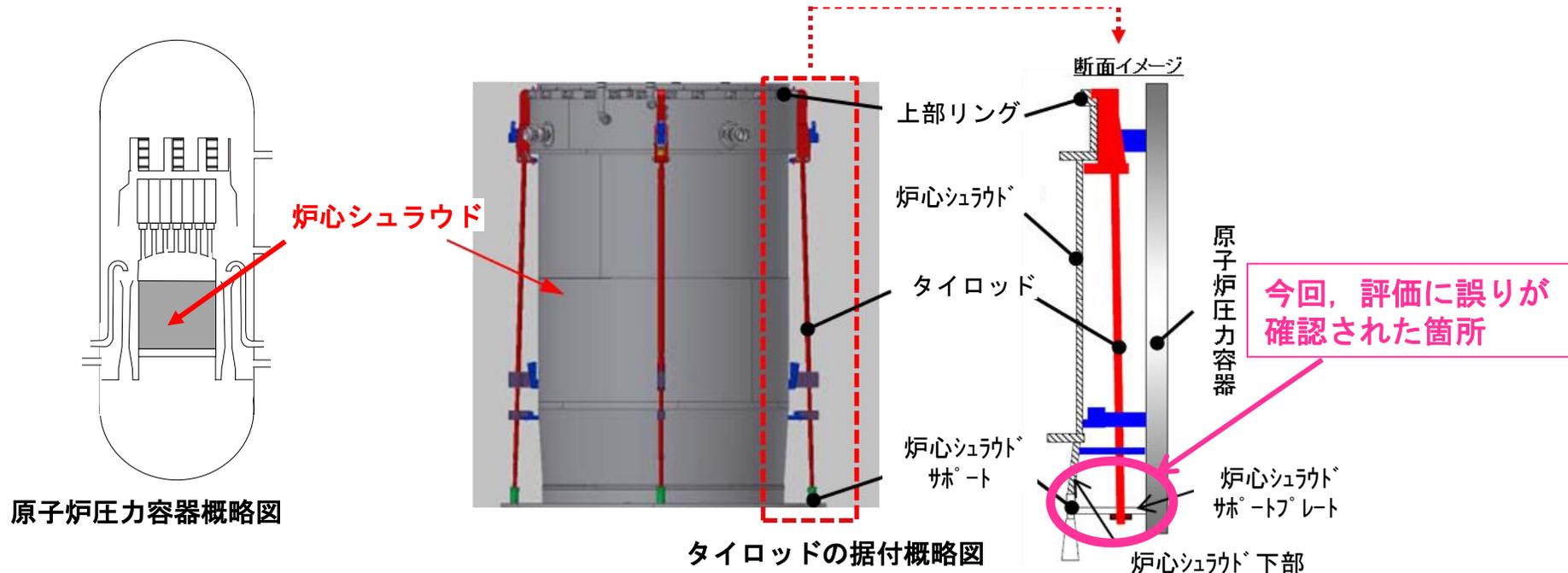


# 参考 2. 女川原子力発電所 2号機炉心シュラウドサポートの応力評価誤りに係る調査結果について (1 / 3)

(第 1 3 7 回女川原子力発電所環境調査測定技術会報告済み)

## (a) 事象概要

- 女川 2号機の定期安全レビュー※<sup>1</sup>の準備過程において、平成 17 年に実施した炉心シュラウド※<sup>2</sup>サポート評価における、炉心シュラウドサポートの応力評価に用いる計算プログラムの一部に誤りがあることを確認。



原子炉圧力容器概略図

タイロッドの据付概略図

炉心シュラウド下部

今回、評価に誤りが確認された箇所

※ 1 「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」および「女川原子力発電所原子炉施設保安規定」に基づき、原子炉設置者が運転開始以降 10 年を超えない期間ごとに、保安活動の実施状況、保安活動への最新の技術的知見の反映状況等により、原子力発電所の安全性・信頼性を総合的に評価するもの。

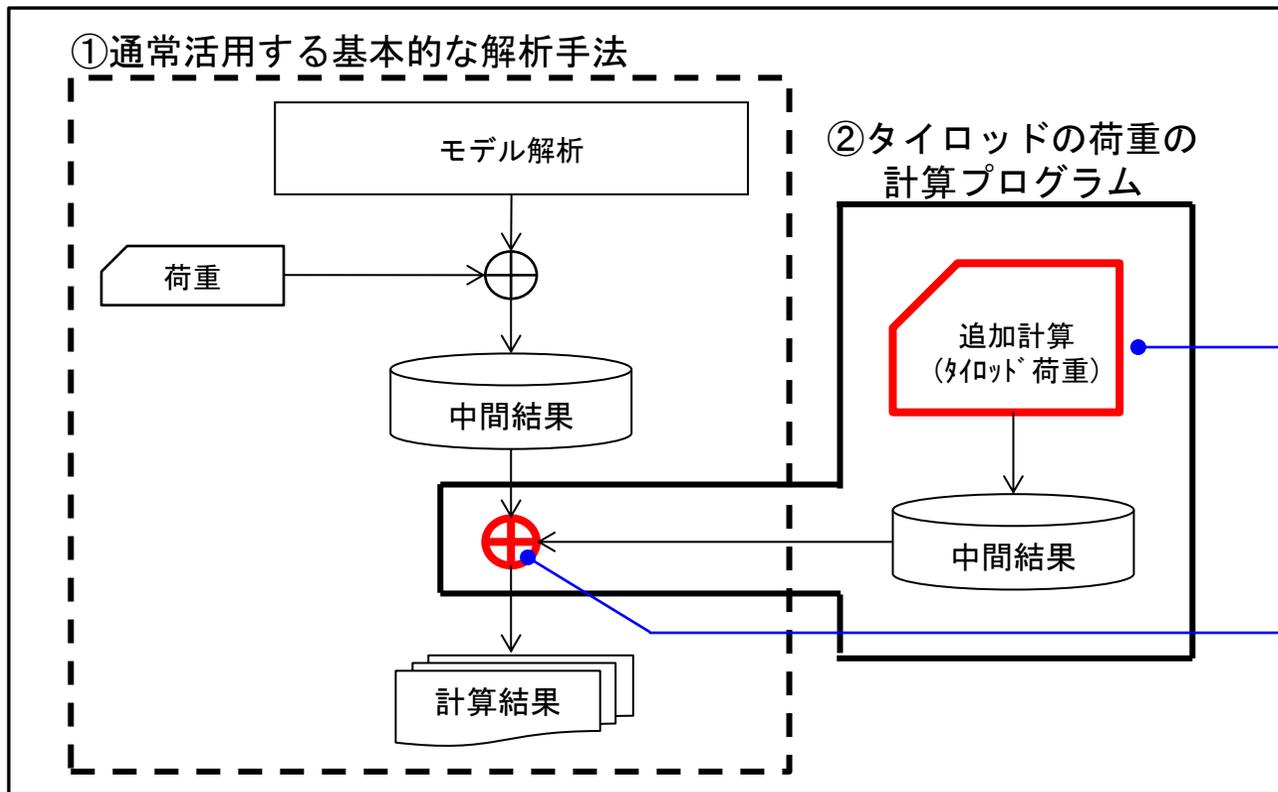
※ 2 原子炉圧力容器内に取り付けられている燃料集合体（炉心）を囲むように設置されている円筒状の機器。原子炉内の冷却水が一定方向に流れるように仕切板の役割をするもの。

# 参考3. 女川原子力発電所2号機炉心シュラウドサポートの応力評価誤りに係る調査結果について (2/3)

(第137回女川原子力発電所環境調査測定技術会報告済み)

## (b) 炉心シュラウドサポートの応力評価手法

- 炉心シュラウドの解析に通常活用する基本的な解析手法 (①) に、タイロッド※<sup>1</sup>の荷重の追加計算プログラム (②) を追加し、基本的な解析手法へ加算処理を実施。



**【誤り箇所①】**  
計算プログラムの一部に  
符号 (+と-) の誤りがあった

**【誤り箇所②】**  
追加計算プログラムによる  
計算と通常活用する解析の  
結果を足し合わせる際の処理  
に誤りがあった

※1 炉心シュラウドの上部リングとシュラウドサポートプレートを拘束し、炉心シュラウド全体を挟み込むように固定する長尺の支柱。女川2号機の原子炉圧力容器と炉心シュラウドの間に、90度間隔で4カ所に取り付けている。

## 参考 4. 女川原子力発電所 2号機炉心シュラウドサポートの応力評価誤りに係る調査結果について (3 / 3)

### (c) 原因等

- 原因は、当社およびメーカーともに、組み合わせた計算プログラムの特殊性を踏まえた検証が不十分であったことによるものと推定。
- 同様の誤りが発生する可能性のある評価について、過去に国へ提出した女川 1～3号、東通 1号の工事計画書等について調査した結果、当該炉心シュラウドサポートの応力評価以外にないことを確認した。

### (d) 対策

- 応力評価を行った当時は、解析業務に関わる計算プログラムの検証方法が、当社およびメーカーともに社内文書に明文化されていなかった。現在は社内文書に明文化されている。
- なお、今回の事象を受け、風化防止および技術継承の観点から、当社ならびにメーカーにおいて、以下の対策に取り組み再発防止に努めていく。
  - [当社] 調達・解析業務に関わる社内資料に、今回の具体的な誤りの内容や原因を反映し、解析業務に関わる社員に対して周知や教育を継続的に実施する。
  - [メーカー] 解析業務上の留意点や今回の事象について、周知や教育を継続的に実施する。

## 参考5. 女川原子力発電所2号機 炉心シュラウドサポートの応力評価誤りについて

(第137回女川原子力発電所環境調査測定技術会報告済み)

### ➤ 平成17年に実施した炉心シュラウドサポート評価の経緯

- 東京電力福島第二原子力発電所3号機の炉心シュラウドにおいて確認されたひび割れ事象を踏まえて、規制当局より発出された指示文書に基づき、点検を実施した結果、原子炉圧力容器内の炉心シュラウド溶接部にひびを確認。  
(第6回定期検査時(平成15年))
- 第7回定期検査(平成17年)において、ひびの進展状況を確認するとともに、タイロッド工法による補修工事を実施。  
(このタイロッド工法は、シュラウドサポートプレートに改造を伴うことから、規制当局へ工事計画届出書を提出し、工事を実施。)
  - この際の評価のために、従来からの評価プログラムにタイロッドの荷重計算プログラムを追加。

## 参考6. 女川原子力発電所2号機 炉心シュラウドサポートの応力評価誤りについて

(第137回女川原子力発電所環境調査測定技術会報告済み)

### ➤ 炉心シュラウドサポートの再評価結果

- 誤りのあった応力評価について、計算プログラムを正しく修正し、再評価した結果、炉心シュラウドサポートの応力評価は、全ての評価場所で許容値を満足しており、炉心シュラウドの健全性に影響を及ぼすものではないことを確認。

再評価の結果，許容値に対し，最も厳しい評価となった例

評価場所	単位	許容値	届出書の記載 (A)	今回再確認 (B)	差 (B) - (A)
炉心シュラウド下部 (応力)	N/mm <sup>2</sup>	<u>94</u>	<u>71</u>	<u>63</u>	- 8
	(%)	(100.0)	(75.5)	(67.0)	(-8.5)
シュラウドサポートプレート (疲れ累積係数)	-	<u>1</u>	<u>0.2601</u>	<u>0.2217</u>	- 0.0384

(参考) 再評価の結果，届出書記載値よりも数値が大きくなった例

評価場所	単位	許容値	届出書の記載 (A)	今回再確認 (B)	差 (B) - (A)
シュラウドサポートプレート (応力)	N/mm <sup>2</sup>	<u>221</u>	<u>71</u>	<u>83</u>	12
	(%)	(100.0)	(32.1)	(37.6)	(5.5)

## 参考7. 炉心シュラウドで確認されたひびの状況

### ■ 第6回定期検査（平成15年）で確認されたひび

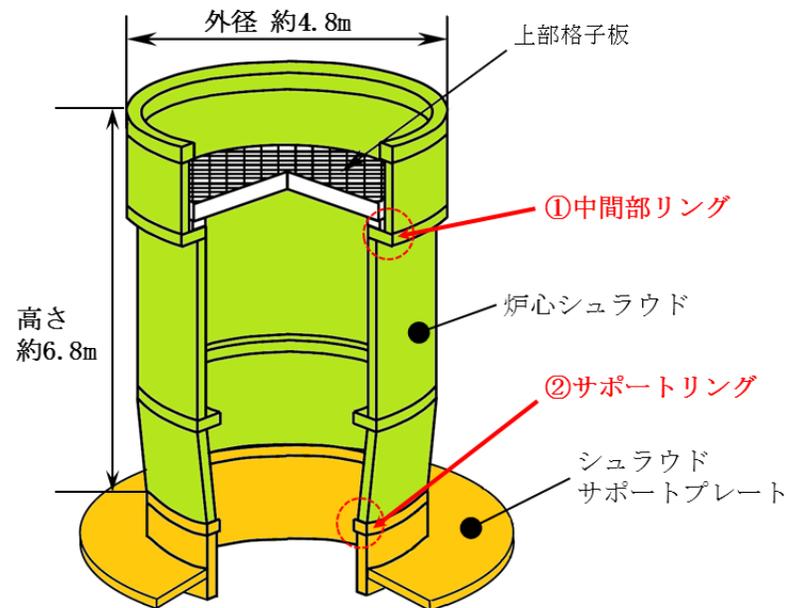
部 位	個 数	最大長さ	最大深さ	評価結果
① 中間部リング 溶接線近傍	28個	約60mm	約22mm (約200mm※)	微細かつ部分的なものであり、 <u>構造健全性に及ぼす影響はなく、運転継続に支障がない</u> と評価
② サポートリング の溶接線	47個	約165mm	約8.8mm (約60mm※)	<u>き裂進展評価</u> を行い、 <u>5年後において十分な構造強度を有するとの結果</u> が得られたことから、直ちに補修を必要とするものではないと評価

※ 各リングの初期厚さ

### ■ 第7回定期検査（平成17年）における点検結果

#### ○ サポートリングの溶接線近傍のひびの進展状況

	平均深さ	最大深さ
第6回定期検査時	約5.9mm	約8.8mm
第7回定期検査時	約7.5mm	約11.4mm
評価結果	進展は予測の範囲内であり、健全性を確認	



炉心シュラウド構造図

## 参考8. 炉心シュラウドで確認されたひびの状況

### ■ 第6回定期検査（平成15年）で確認されたひび

※ 各リングの初期厚さ

部 位	個 数	最大長さ	最大深さ	評価結果
①中間部リング 溶接線近傍	28個	約60mm	約22mm (約200mm※)	微細かつ部分的なものであるため、当該溶接部の全周にわたってひびが成長し、当該部がシュラウドから切り離されることは考え難く、その後の点検も補修も不要であり、 <u>運転継続に支障がないと評価</u>
②サポートリング の溶接線近傍	47個	約165mm	約8.8mm (約60mm※)	<u>き裂進展評価</u> を行い、 <u>5年後において十分な構造強度を有するとの結果が得られた</u>

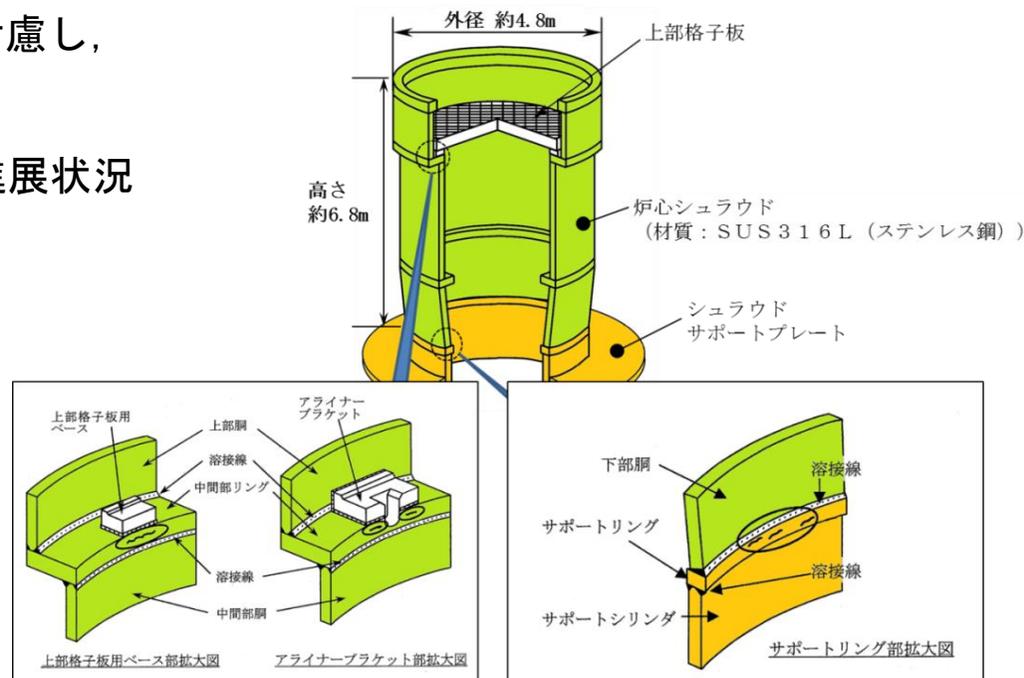
■ この結果を受け、ひびが進展し続ける可能性を考慮し、第7回定期検査におけるタイロッド工法を計画

### ■ 第7回定期検査（平成17年）におけるひびの進展状況

#### ○ サポートリングの溶接線近傍

	平均深さ	最大深さ
第6回定期検査時	約5.9mm	約8.8mm
第7回定期検査時	約7.5mm	約11.4mm

- 進展は予測の範囲内であり、健全性を確認
- 計画していたタイロッドを施工  
⇒これにより、仮に炉心シュラウドのひび割れが全周で貫通した場合でも機能が維持される



炉心シュラウド構造図

## 参考9. 炉心シュラウドで確認されたひびの状況

### ■ 第6回定期検査と第7回定期検査で確認されたひびの比較

			第6回定検	第7回定検
UT	深さ	平均深さ	5.9mm	7.5mm
		最大深さ	8.8mm	11.4mm
VT	最大長さ※		約165mm	約155mm
	個数※		47本	43本

※：VT（目視検査）においては、点検者の違いや視認性の違いもあり、数や長さには誤差が生じる。第6回と第7回で異なる結果となっているが、UT（超音波探傷検査）の結果をふまえると、有意な差はないものと判断している。

また、健全性評価は、UT結果に基づき、ひびの深さの平均が全周にわたっていると仮定し評価しており、VTによるひびの数や長さは評価結果に影響を及ぼすものではない。

### ■ タイロッド工法について

タイロッド工法は、ひび割れが確認された炉心シュラウドに対する、機械的な拘束による補修工法のひとつ。

国内外の原子力発電所で採用の実績がある。