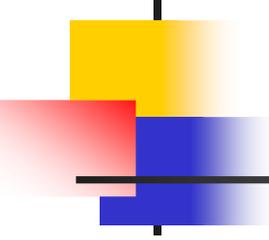


女川原子力発電所の状況について

平成28年5月25日

東北電力株式会社



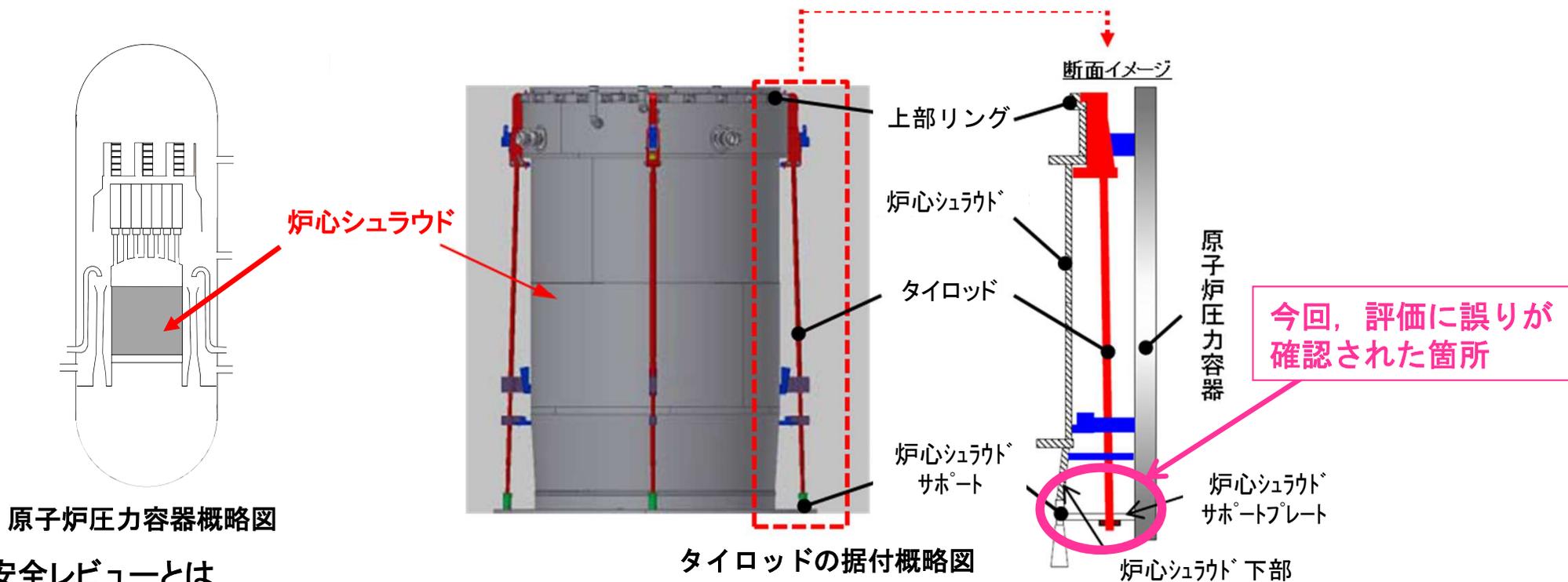
報告内容(1／3)

1. 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

1. 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 (1/4)

1. 事象概要

- 女川2号機の定期安全レビュー※1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※2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。



※1 定期安全レビューとは

「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 シュラウドとは

- ・ 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。

1. 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 (2/4)

2. 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※³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。

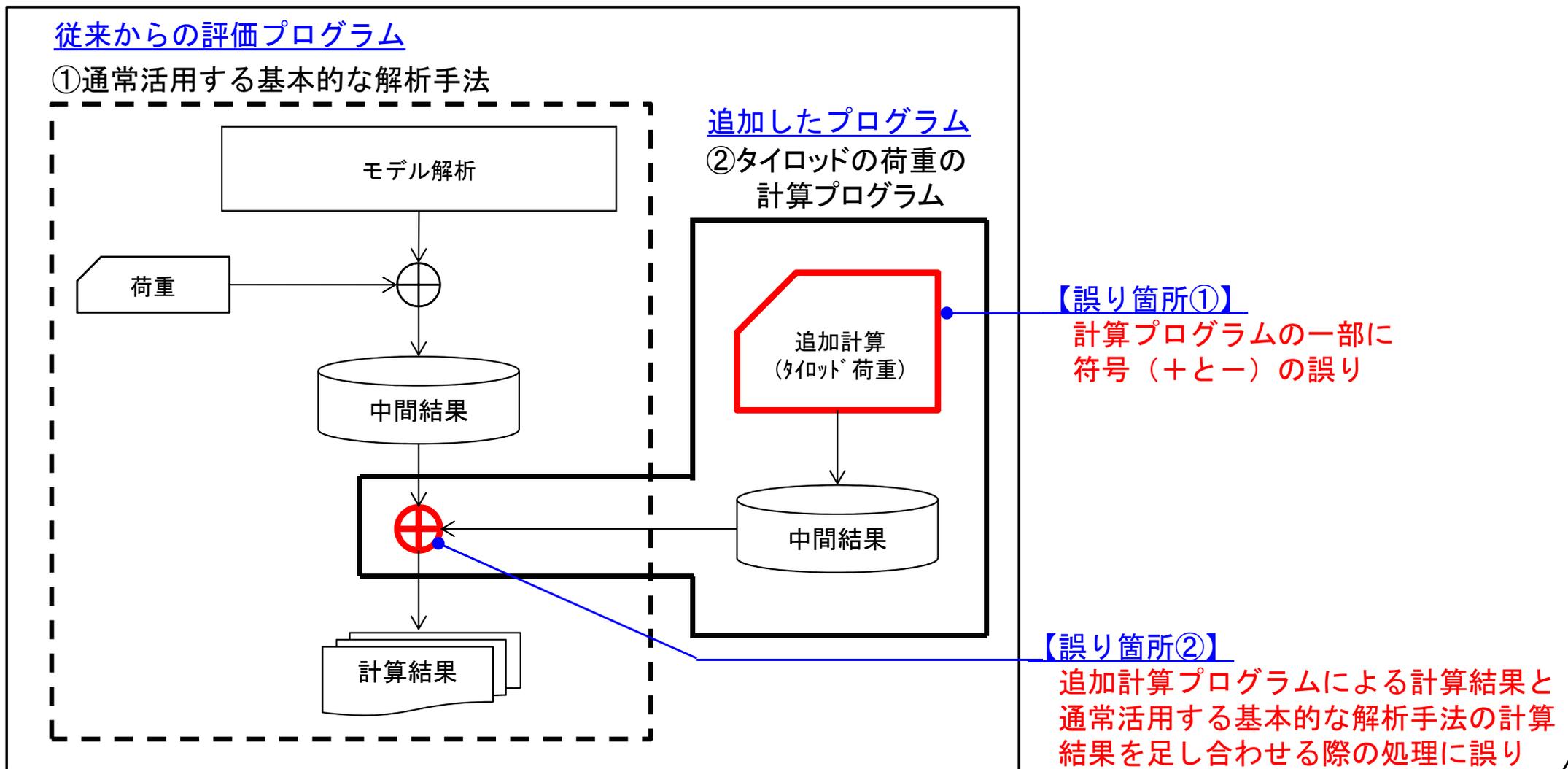
※3 タイロッドとは

- ・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。

1. 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 (3/4)

3. 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。



1. 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 (4/4)

4. 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（合計44評価）は、全ての評価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場所

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 ²	<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場所

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 ²	<u>221</u>	<u>71</u>	<u>83</u>	12
	(%)	(100.0)	(32.1)	(37.6)	(5.5)

- 当社としては、今後、再発防止を図り、原子力発電所の品質管理の向上に努めていく。

参考. 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

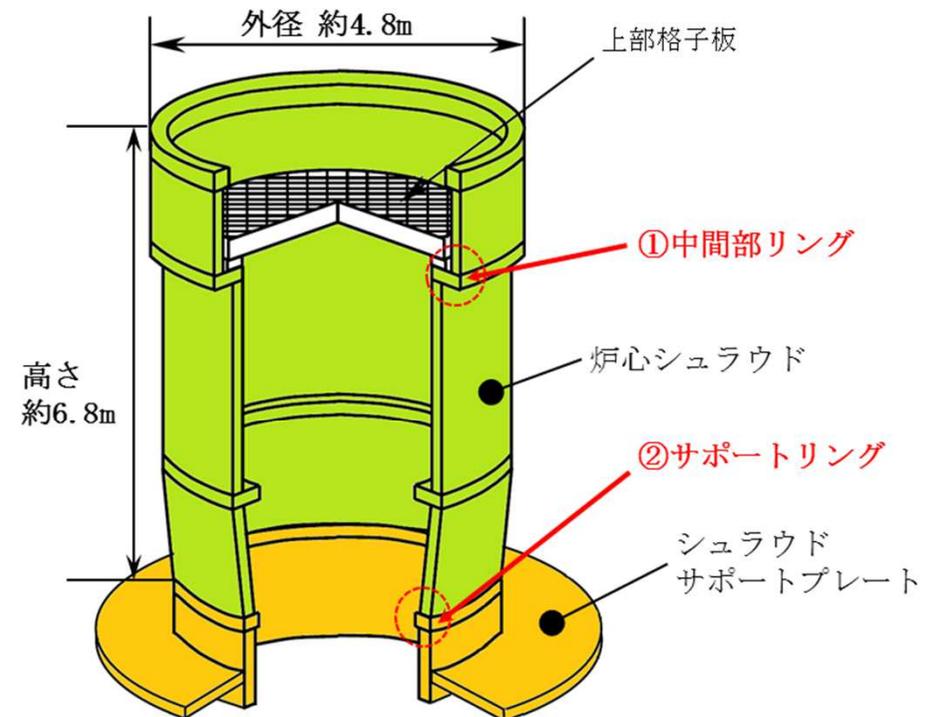
部 位	個 数	最大長さ	最大深さ	評価結果
① 中間部リング 溶接線近傍	28個	約60mm	約22mm (約200mm※)	微細かつ部分的なものであり、 <u>構造健全性に及ぼす影響はなく、運転継続に支障がないと評価</u>
② サポートリング の溶接線	47個	約165mm	約8.8mm (約60mm※)	<u>き裂進展評価を行い、5年後において十分な構造強度を有するとの結果が得られたことから、直ちに補修を必要とするものではないと評価</u>

※ 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	<u>進展は予測の範囲内であり、健全性を確認</u>	



炉心シュラウド構造図

参考. 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>き裂進展評価を行い、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>

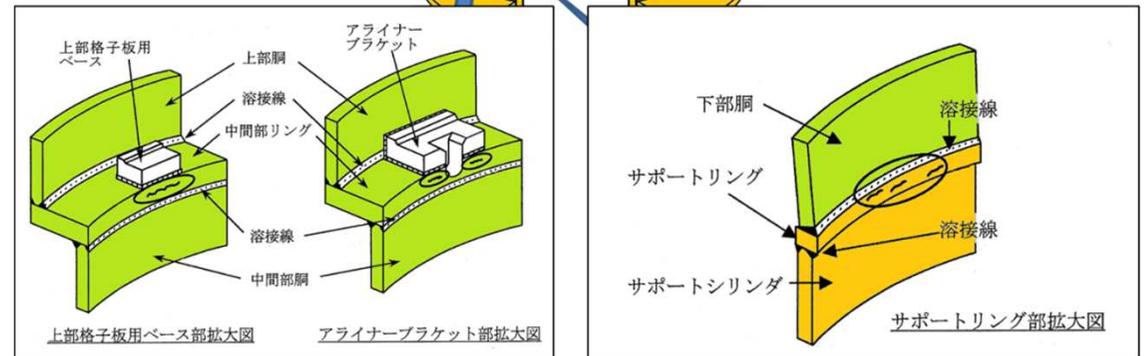
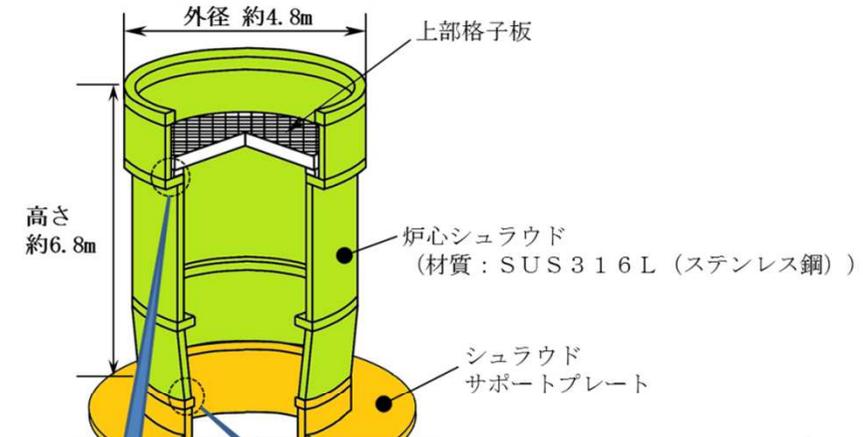
■ この結果を受け、ひびが進展し続ける可能性を考慮し、 第7回定期検査におけるタイロッド工法を計画

■ 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. 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

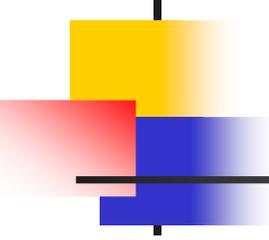
※：VT（目視検査）においては、点検者の違いや視認性の違いもあり、数や長さには誤差が生じる。第6回と第7回で異なる結果となっているが、UT（超音波探傷検査）の結果をふまえると、有意な差はないものと判断している。

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。



報告内容(2/3)

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について

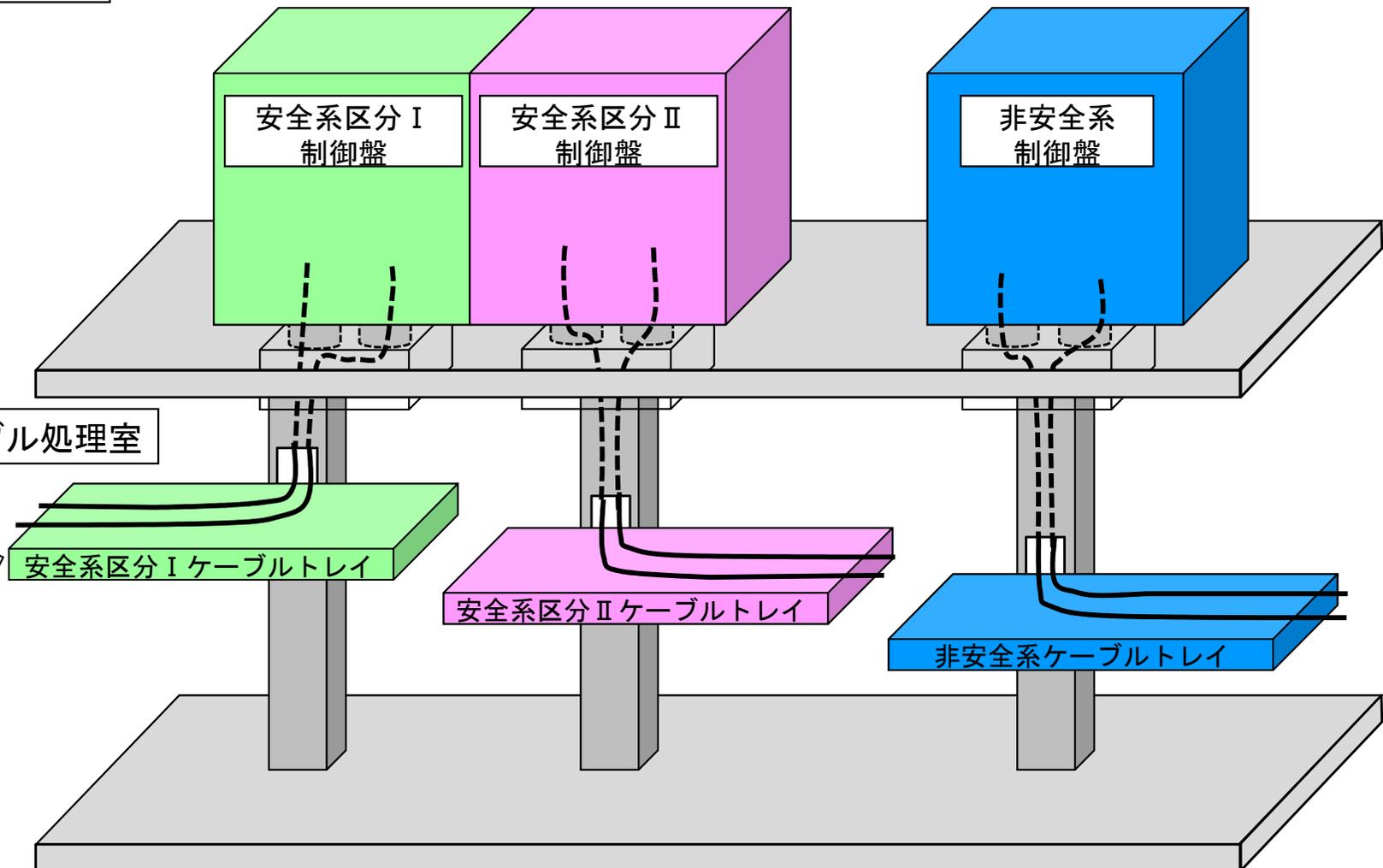
2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について (1 / 13)

1. 女川原子力発電所におけるケーブル敷設の状況

ケーブル敷設の状況は、女川1号機と2, 3号機で異なっている。

《1号機の場合》

中央制御室

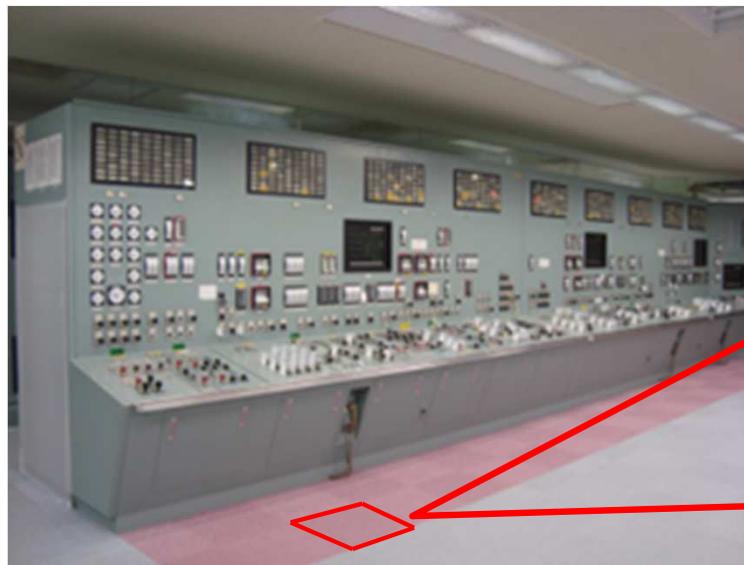


ケーブル処理室

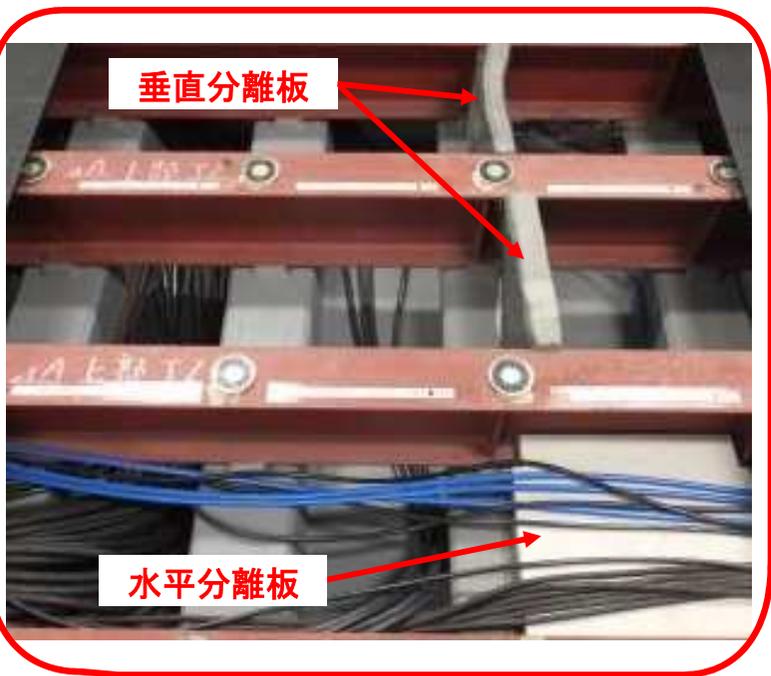


2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について (2 / 13)

《2, 3号機の場合》



中央制御室 (例: 女川2号)



女川2, 3号中央制御室床下構造 (例)



現場ケーブルトレイ (例)

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（3 / 13）

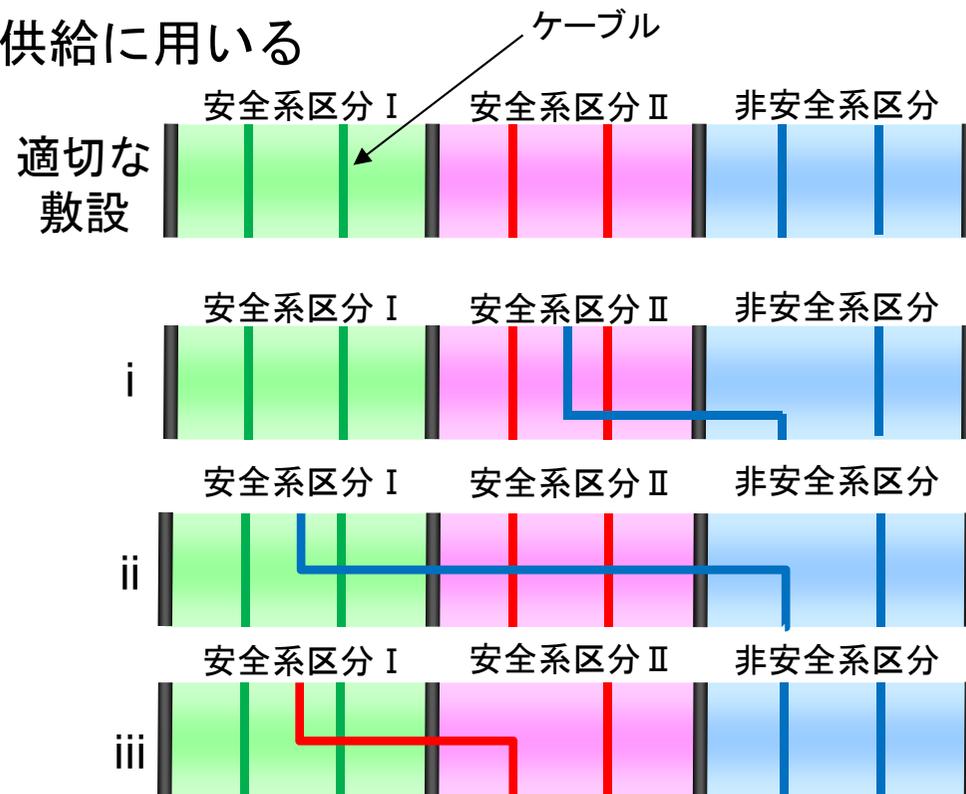
2. ケーブルの区分と種類

ケーブルの区分や種類に応じ適切に分離し，敷設することとしている。

- 区分
 - ・ 安全系：原子炉の停止や冷却等に係る設備のケーブル（安全系区分Ⅰ～Ⅲ）
 - ・ 非安全系：上記以外のケーブル（タービン系等）
- 種類
 - ・ 制御・計装ケーブル：機器の制御監視等に用いる
 - ・ 電力ケーブル：機器への電気供給に用いる

3. 不適切なケーブルの敷設事例（右図参照）

- 非安全系の電力ケーブルが，1つの安全系区分に跨いで敷設。
- 非安全系ケーブルが，複数の安全系区分に跨いで敷設。
- 安全系ケーブルが，異なる安全系区分に跨いで敷設。



4. 調査の概要

中央制御室床下に敷設している分離板・ケーブルおよび現場のケーブルトレイに敷設されているケーブルの敷設状況を調査。

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（4 / 13）

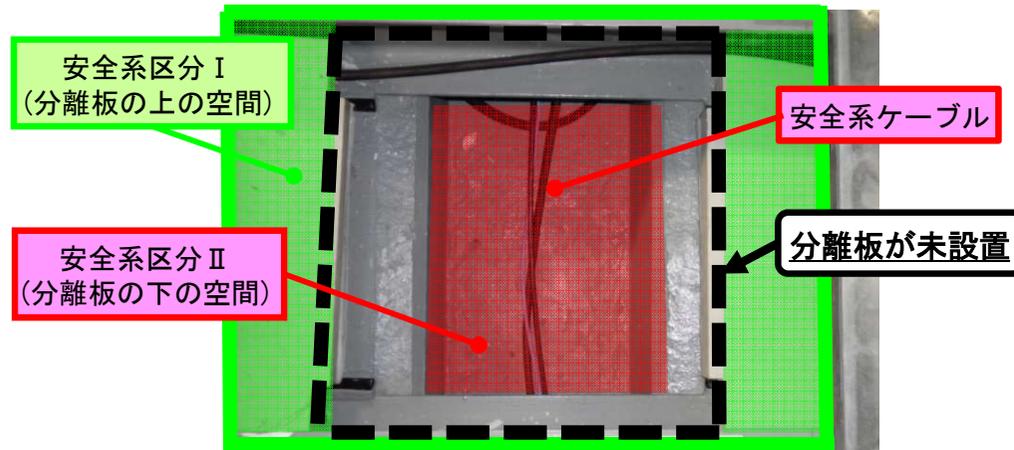
5. 調査結果（確認された事例）

《中央制御室の床下》

【事例①】 分離板が適切に設置されていなかった事例

分離板が未設置

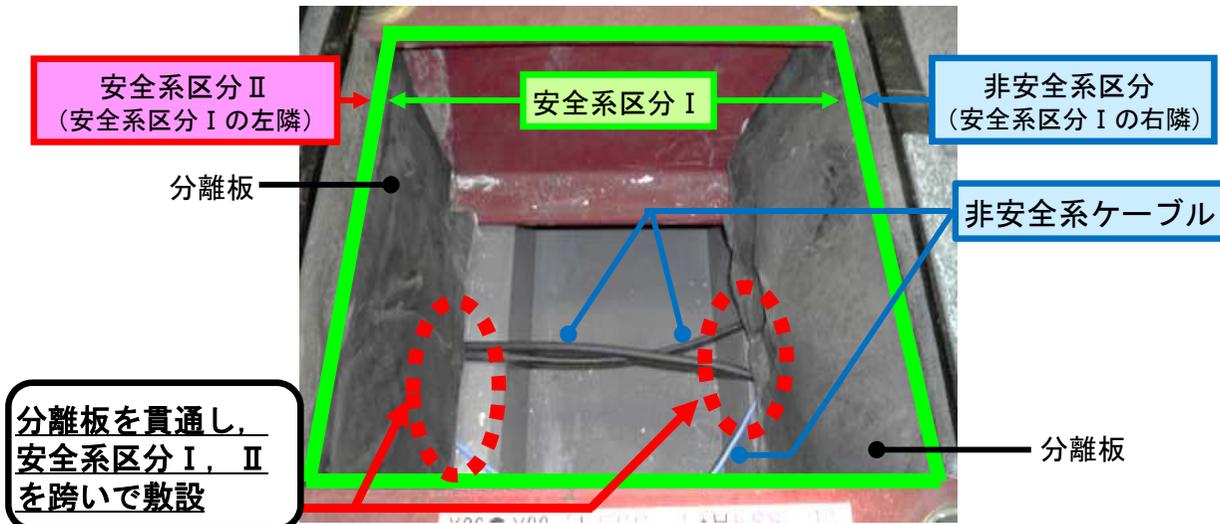
- 隣接する区分間の火災防護上の分離がなされていない。



【事例②】 非安全系ケーブルが複数の安全系区分に跨いで敷設されていた事例

非安全系ケーブルが複数の安全系区分に跨いで敷設

- 安全系区分間の火災防護上の分離がなされていない。



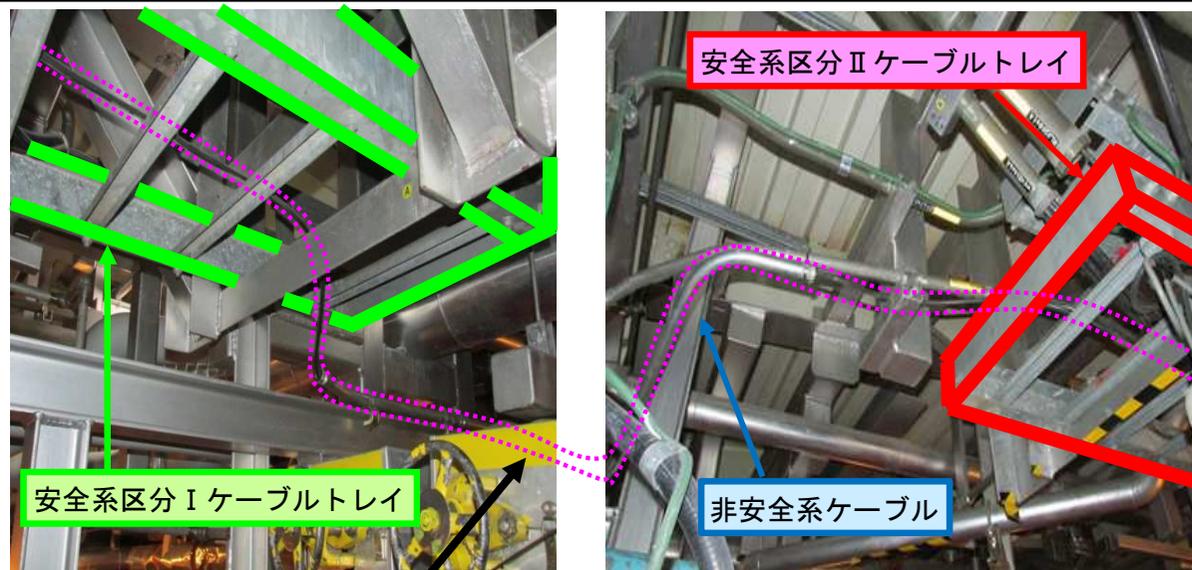
2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（5 / 13）

《現場ケーブルトレイ》

【事例③】 非安全系ケーブルが複数の安全系区分に跨いで敷設されていた事例

非安全系ケーブルが複数の安全系区分に跨いで敷設

- 安全系区分間の火災防護上の分離がなされていない。



非安全系ケーブルが、安全系区分 I、II を跨いで敷設

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（6 / 13）

5. 調査結果（不適切な状態の箇所数）

発電所	号機	中央制御室床下		現場ケーブルトレイ
		①分離板の損傷等(枚)	②異区分跨ぎのケーブル(本)	③異区分跨ぎのケーブル(本)
女川	1	—※1	—※1	15
	2	125	14	0
	3	38	3	0
合計		163	17※2	15※2
東通1号機(参考)		14	0	9

※1：女川1号機の中央制御室床下は、他号機と床下の構造が異なることから、現場ケーブルトレイに含め調査を実施。

※2：異区分跨ぎのケーブルについては、中央制御室床下で確認されたものは、全て制御・計装ケーブル。女川1号機の現場ケーブルトレイにおいて確認された15本のうち14本は電力ケーブル（非安全系電力ケーブルが、1つの安全系区分に跨いで敷設）、1本が制御・計装ケーブル。

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（7 / 13）

6. 旧技術基準への適合性

- 旧技術基準※において、下表 a～c 項を適切に組み合わせた措置が要求されている。

（中央制御室床下）

- ・ 今回の事象は、c 項が満足していないものであったが、a および b 項は満足しており、旧技術基準に適合しているものと考えていた。
- ・ その後、原子力規制委員会が他社事象に対し出した、「床下に火災感知器は設置されておらず、運転員が直ちに火源を特定し、消火を行うことが困難」との見解を踏まえ、当社も b 項は満足しないと認識し、旧技術基準に適合していたとは言えないと判断。
- ・ 今後、新規制基準（a～c 項すべてを要求）への適合に向けた対応の中で設備面の対策（床下への火災感知器の設置等）を強化していく。

（現場ケーブルトレイ）

- ・ 現場には消防法に基づき火災感知器および消火設備を設置しており、a および b 項を満足していることから、旧技術基準に適合している。

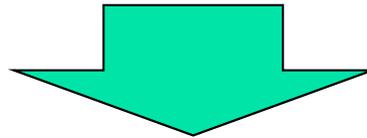
旧技術基準の要求事項	当社原子力発電所における措置状況
a. 火災の発生防止	・ 難燃性のケーブルを使用。
b. 火災の検出・消火	・ 中央制御室には運転員が常駐し、同室天井に火災感知器を設置していることから、床下での火災の検知・消火が可能。 ・ 現場には、火災感知器および消火設備を設置。
c. 火災の影響軽減	・ 安全系のケーブルは区分に応じ物理的に分離。

※ 平成25年7月8日の新規制基準施行前の技術基準（「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」）を指す。

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（8 / 13）

7. 安全上の影響評価

複数の安全系の区分を跨いでいるケーブルが発火・延焼した場合、安全系機能を同時に複数損なうことがないかという観点から、当社において安全上の影響評価を実施。



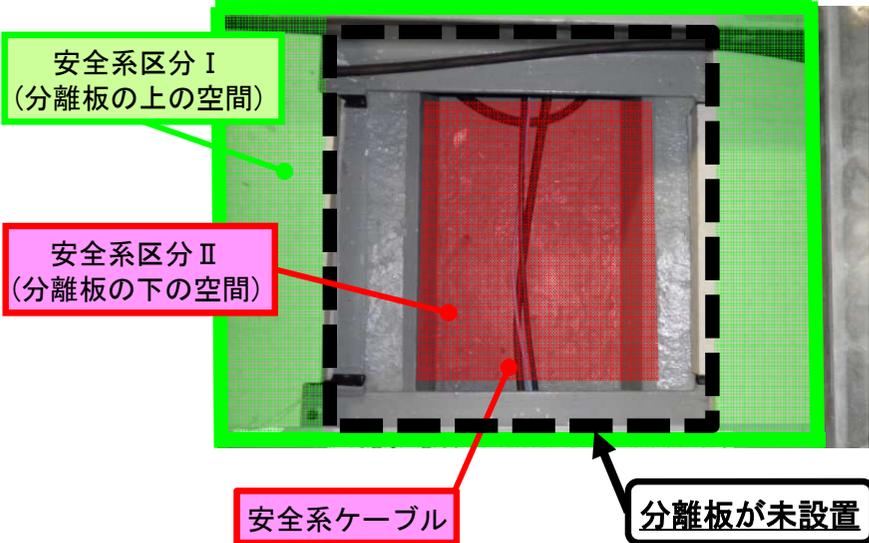
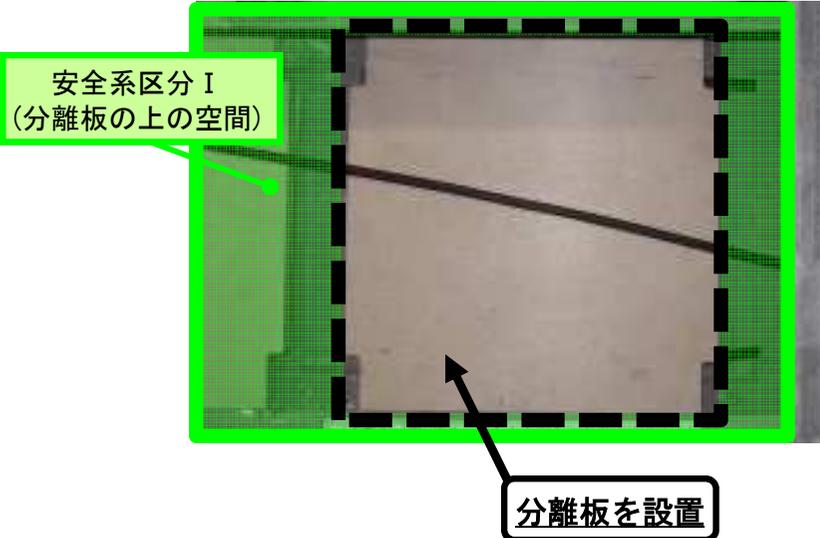
- 複数の安全系の区分を跨いでいるケーブルは全て制御・計装ケーブルであり、以下のことから、想定される延焼範囲は限定的であり、安全系の機能を損なうことはないとの評価。
 - ・ 難燃性素材の使用や保護装置の設置により、過電流に伴う火災の発生を防止。
 - ・ 万が一、火災が発生しても、周囲に延焼する前に自ら断線する。

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（9 / 13）

8. 是正措置

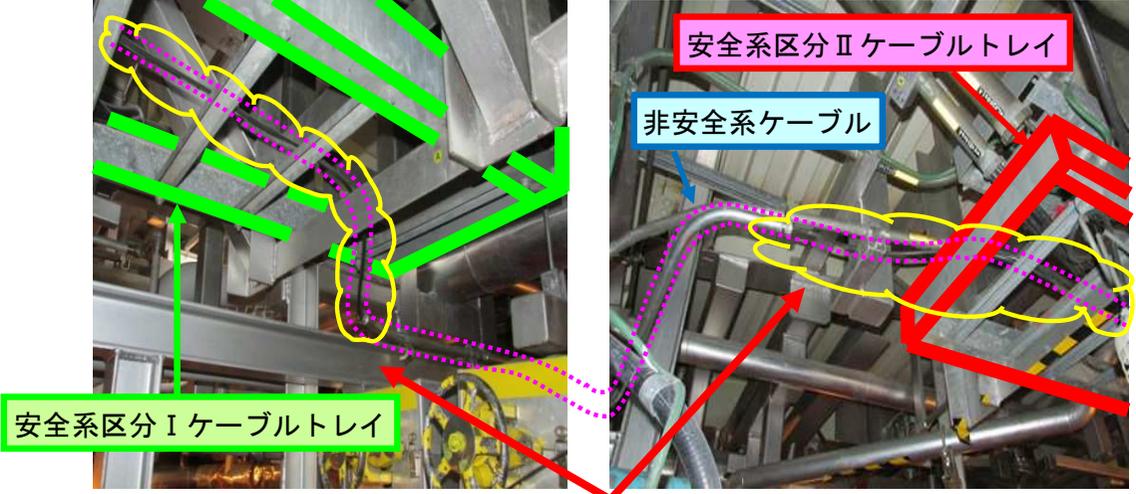
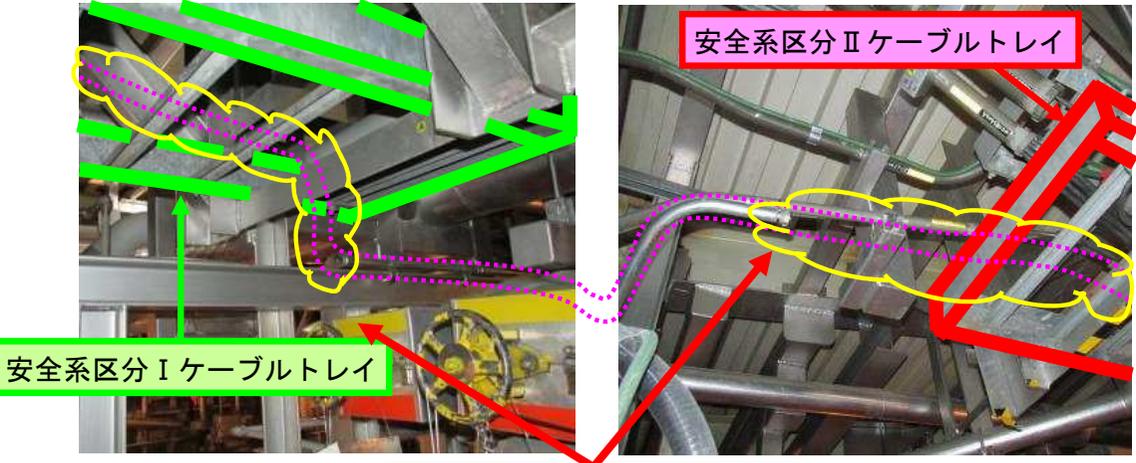
複数の安全系の区分を跨いでいるケーブルは、安全系の機能を損なうことはないとは評価されるが、女川で不適切な敷設が確認された箇所については、適切な方法により是正を完了している。（平成28年3月26日は正完了）

《中央制御室の床下》

事例①	是正前	是正後
分離板が未設置	 <p>安全系区分Ⅰ (分離板の上の空間)</p> <p>安全系区分Ⅱ (分離板の下の空間)</p> <p>安全系ケーブル</p> <p>分離板が未設置</p>	 <p>安全系区分Ⅰ (分離板の上の空間)</p> <p>分離板を設置</p>

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（11/13）

《現場ケーブルトレイ》

事例③	是正前
非安全系ケーブルが複数の安全系区分に跨いで敷設	 <p>安全系区分 I ケーブルトレイ</p> <p>安全系区分 II ケーブルトレイ</p> <p>非安全系ケーブル</p> <p>非安全系ケーブルが、安全系区分 I, II を跨いで敷設</p>
	<p>是正後</p>  <p>安全系区分 I ケーブルトレイ</p> <p>安全系区分 II ケーブルトレイ</p> <p>非安全系ケーブルを撤去</p>

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（12/13）

9. 原因分析と再発防止対策

《原因分析》

【根本原因】

- 系統間の分離を考慮した設計・施工を行うことを、プラントメーカー・施工会社へ要求。
- その上で、ケーブル敷設後の「設備全体としての機能確認」に重点を置いた工事管理を実施しており、分離板・ケーブルの敷設状態の確認については管理していなかった。

【直接原因】

[プラントメーカー・施工会社に対し]

- 分離板・ケーブルの「敷設状態の確認」のルールを定めていなかった。

[当社とプラントメーカー・施工会社ともに]

- 分離板・ケーブルの「敷設状態」に関する工事管理において、「敷設計画の確認」をしていない。

- 分離板・ケーブルの「敷設状態」に関する工事管理において、「敷設結果の確認」をしていない。

分離板・ケーブルの不適切な敷設

[注] 発電所建設時やその後の改良工事の段階で発生

《再発防止対策》

【根本対策】

- ケーブル敷設に伴う「設備全体の機能確認」や「敷設状態の確認」など、統合的な管理を行うルールを明確にする。

【直接対策】

[プラントメーカー・施工会社に対し]

- 分離板・ケーブル工事後の「敷設状態の確認」を要求。

[当社とプラントメーカー・施工会社が]

- 工事前に分離板・ケーブル敷設に関わる工事内容の事前確認。
 - ・ 分離板の脱着・加工の有無
 - ・ ケーブルの敷設ルート

[当社とプラントメーカー・施工会社が]

- 工事後に分離板・ケーブルの「敷設状態を確認」（記録や現場立会いによる確認）。

計画

調達

実施

結果確認

2. 女川原子力発電所におけるケーブルの不適切な敷設に係る調査結果等について（13／13）

9. 品質マネジメントシステムの検証結果

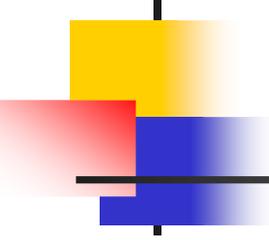
指示文書に基づき、当社の品質マネジメントシステムの不備により、本事象のように安全性に影響を与える事例が起きる可能性がないか検証した。

■ 検証結果

- ・「分離板設置状況の確認」および「ケーブル敷設ルートの確認」に一部改善が必要
- ・ケーブル以外の機器や配管等の設置工事については、当社社内要領書に定める「安全機能を有する設備に対して、安全機能に影響を与えるような工事を防止する仕組み」が有効に機能していることを確認

10. おわりに

- このたびの分離板の損傷等やケーブルの不適切な敷設は、当社の工事管理ルールが不十分だったことが原因で、発電所の建設時およびその後に実施した改良工事において発生させたものである。
- 長期間にわたりこのような不適切な敷設状態が続いていたことについて、当社として深く反省している。
- 今後、原因分析を踏まえた再発防止対策を確実に実施していく。



報告内容 (3 / 3)

3. 女川原子力発電所の275kV母線保護装置更新工事における1号機所内電源の停電に係る原因と対策について
(補足)

1. 女川原子力発電所 1号機所内電源停電に係る原因と対策（追加説明）

追加説明に至った経緯

- 第136回女川原子力発電所環境保全監視協議会（平成28年2月19日開催）において、以下のご意見を頂いたことから、追加説明資料を作成したものの。

【ご意見の内容】

事象フロー図について、各事象の時間と、その際の現場での判断や、会社としてどのようなマネジメントが行われたのか。

2. 女川原子力発電所 1号機所内電源停電に係る事象フロー図（1回目）

時間	事象フロー	対応状況	対策
9月29日	セルフアイソレのとりやめ	・ 保守作業担当グループの試験担当者は、複数ある回路図面のつながりを一部見間違い、準備していたアイソレ※1の一部を必要ないと誤認し、セルフアイソレ※2の実施を取りやめた。	・ 電気制御回路についても重要度に応じて検討過程を残すこととし、QMS文書に反映。 ・ セルフアイソレ実施の取りやめを含め、アイソレ変更の管理プロセスを明確にし、QMS文書に反映。 ・ 再発防止を含めた教育の実施。
14:39	試験のため発電機しゃ断器「入」操作（しゃ断器①）	・ 試験担当者は、アイソレ変更（取りやめたこと）を運転管理担当グループへ報告せず、確認試験を開始。	
14:40	2号機からの受電しゃ断器「切」（しゃ断器②） 所内電源（常用電源・非常用電源）停電 使用済燃料プールを冷却するポンプ停止 非常用ディーゼル発電機自動起動（非常用電源復旧）	・ しゃ断機①を入れたことにより、発電機を保護する信号が発信され、2号機から電源融通していたしゃ断器②が「切」となったため、1号機所内電源（常用・非常用電源）が停電した。 ・ 1号機所内電源停電に伴い、使用済燃料プールを冷却するポンプが停止した。 ・ 発電機を保護する信号により、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、非常用電源は確保された。	—
15:16	使用済燃料プールを冷却するポンプ起動	・ 停電に伴って停止した使用済燃料プールを冷却するポンプ系統に異常がないことを確認し、再起動を実施。	—

※1 アイソレとは、別のしゃ断器等を動作させないために実施する電氣的な処置をいう。

※2 セルフアイソレとは、保守作業担当グループが現場の状況（作業の進捗状況や作業内容）に応じて自ら行うアイソレをいう。

凡例 : 問題となった事象 : 操作または起きた事象 : 停電事象

3. 女川原子力発電所 1号機所内電源停電に係る事象フロー図（2回目）

時間	事象フロー	対応状況	対策
9月29日	復旧作業手順検討(計画外作業)	<ul style="list-style-type: none"> ・復旧手順(計画外作業)の手順書検討, アイスレ検討を保守作業担当G・運転管理担当グループ合同チームで実施。 ➢ アイスレ検討において, しゃ断器②の自動「切」条件に関する回路図面の記号が示す内容を見間違え, 必要なアイスレを見逃した。 ➢ 手順書検討側で必要なアイスレが不足していることに気付かなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・計画外作業手順検討の役割・責任分担を明確にするプロセスを定め, QMS文書に反映。 ・計画外作業時, 必要に応じて検討作業プロセスの管理者を指名し, 支援体制を構築することとし, QMS文書に反映。
	発電所の会議体による審議	<ul style="list-style-type: none"> ・復旧作業中の非常用ディーゼル発電機の停止リスク, 復電時に機器が動作するリスク等について審議。 	<ul style="list-style-type: none"> ・計画外作業手順書を審議する際, 作成プロセスの妥当性を含めて確認することとし, QMS文書に反映。
23:57	2号機を受電しゃ断器「入」操作(しゃ断器②)	<ul style="list-style-type: none"> ・復旧作業として, 2号機からの電源融通による受電を再開。 	—
9月30日 0:33	常用電源復旧	<ul style="list-style-type: none"> ・常用系しゃ断器②を「入」とし, 2号機からの電源融通による常用電源を復旧。 	—
1:29	常用-非常用連絡しゃ断器「入」操作(しゃ断器③) 2号機からの受電しゃ断器「切」(しゃ断器②) 常用電源停電	<ul style="list-style-type: none"> ・必要なアイスレが不足していたため, しゃ断器③「入」操作により, しゃ断器②が自動で「切」し, 常用電源が停電した。 ・非常用電源は, 非常用ディーゼル発電機により給電されており, 停電しなかった。 	—

参考. 女川原子力発電所 1号機所内電源停電に係る原因と対策

事象	原因	再発防止対策
1回目の停電	<p>【直接原因】 <u>試験担当者による回路図面(つながり)の見誤り</u> ▶ 本来必要だったアイソレを不要と判断しセルフアイソレの実施をとりやめた。</p> <p>【組織要因】 <u>セルフアイソレ取り止めのルールが不明確</u> ▶ 担当者がセルフアイソレを不要として取り止めることを単独で判断し、上長への報告および運転管理グループへその内容を連絡しなかった。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・電気制御回路について、重要度に応じてアイソレ検討過程を残すルールを明確にし、その内容をQMS文書に反映する。(例:回路図面へのマーキング等) ・従来の教育に加え、アイソレ検討についても、今回の再発防止対策を含めた教育を継続的に実施していく。 ・セルフアイソレ実施の取り止めを含め、セルフアイソレの変更にかかる管理プロセスを明確にし、その内容をQMS文書に反映する。(例:アイソレの重要度分類、取り止める際のルール等) ・従来の教育に加え、試験担当者と運転管理グループとの連携によるアイソレ管理について、今回の再発防止対策を含めた教育を継続的に実施していく。
2回目の停電	<p>【直接原因】 <u>復旧作業担当者の回路図面(記号)の見誤り</u> ▶ 復旧作業のためのアイソレ検討段階で必要なアイソレを抽出できなかった。 ▶ アイソレ検討結果のダブルチェック段階で、アイソレが不足していることに気付かなかった。</p> <p>【組織要因】 <u>計画外作業手順作成過程における役割・責任者が不明確</u> ▶ 今回のような計画外作業手順の作成過程において、役割分担・責任者を明確にした体制がとられていなかった。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・計画外作業におけるアイソレ検討について、図面を用いた検討結果を残し、その検討内容を再確認および管理するルールを定め、その内容をQMS文書に反映する。(例:回路図面、配管計装線図へのマーキング等) ・計画外作業手順の検討を実施する場合の役割・責任分担を明確にするプロセス(作業プロセスの管理者の指名含む)を定め、その内容をQMS文書に反映する。 ・発電所の会議体において、計画外作業手順を審議する際、その作成プロセスの妥当性を確認することとし、その内容をQMS文書に反映する。