

福島第一原子力発電所3号機 燃料取扱設備クレーン不具合原因調査結果について

2018年7月6日



東京電力ホールディングス株式会社

1-1 クレーン不具合状況(1/2)

■ 試運転中にクレーンの不具合が発生。

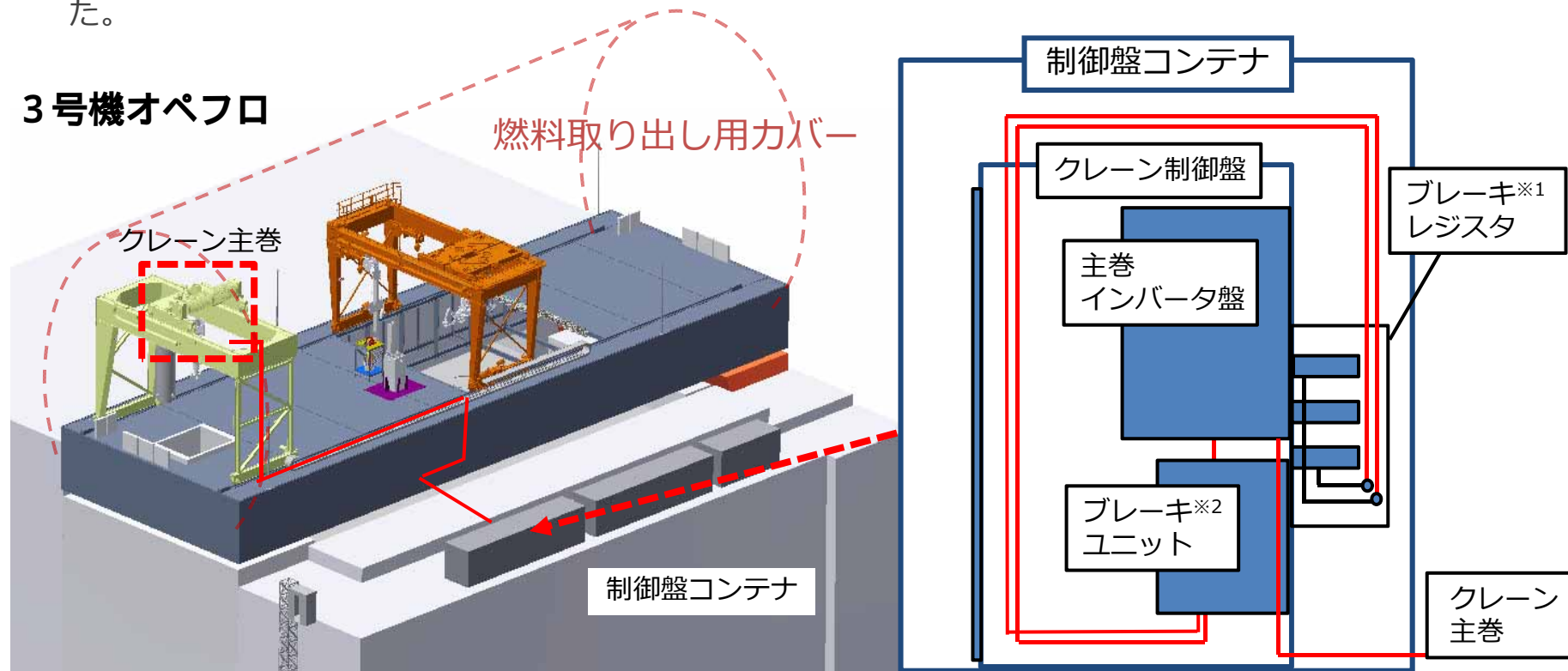
● 発生事象

2018年5月11日 クレーンの試運転において、主巻の巻き下げ停止操作をしていたところ、R/Bオペフロに設置してある制御盤コンテナ内のクレーン主巻インバータから異音が発生し、クレーンが停止した。クレーン主巻インバータの内部を確認した結果内部にすすが付着していた。（消防署より非火災と判断）

● 調査状況

2018年5月12日 クレーン主巻インバータ異常の調査の為、R/Bオペフロに設置してある制御盤コンテナ内機器の外観確認を行っていたところ、クレーン制御盤背面にあるブレーキレジスタ※1に損傷を確認した。

3号機オペフロ



※1 ブレーキレジスタ：ブレーキユニットから回生電流を受けて熱に変換し、インバータの電圧上昇を抑える素子

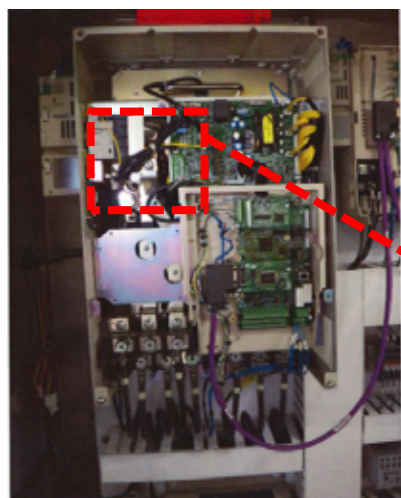
※2 ブレーキユニット：クレーン主巻動作により発生する回生電流が一定値を超えたとき、ブレーキレジスタ側に逃がす回路

1-1 クレーン不具合状況(2/2)

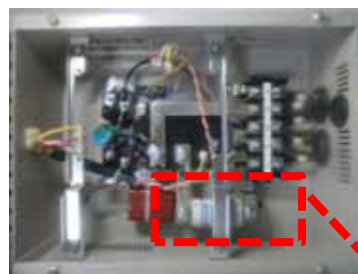
■ クレーン不具合（主巻インバータ異常）発生状況は以下の通り。

- 3月16日：電源投入。主巻インバータ異常の他，複数の警報を確認。
- 3月28日：通信異常やケーブルの一部断線の復旧を実施したが主巻インバータ異常の警報のみクリアせず。
- 4月 5日：インバータ内整流器の損傷を確認。
- 4月21日：主巻インバータ異常は機器単体の故障と考え，主巻インバータの交換を実施。
動作確認の中で主巻の巻き下げ速度を上昇させた際，主巻インバータ異常の警報を確認。
- 4月25日：ブレーキユニットのヒューズに損傷を確認。
- 5月11日：ブレーキユニットの交換を実施し，動作確認の中で主巻の巻き下げ停止操作をした際，
主巻インバータ異常の警報を確認。インバータ内部に煤を確認。
- 5月12日：ブレーキユニットに付随のブレーキレジスタに損傷があることを確認。

クレーン制御盤 (3号機南側構台上)



主巻インバータ内部写真



ブレーキユニット内部写真



ブレーキレジスタ内部写真



主巻インバータ内部の煤
(5月11日)



損傷の確認された整流器
(4月5日)



損傷の確認されたヒューズ
(4月25日)



ブレーキレジスタ内の損傷
(5月12日)

1-2 クレーン不具合調査(1/2)

■ 事実関係整理

- 動作確認を行った工場と発電所では電源電圧が異なっている。
(米国工場：380V, 国内工場420V, 発電所480V)
- 米国出荷時において、電源電圧の違いをインバータのパラメータ設定に反映していたが、ブレーキユニットの設定は低いままとなっていた。

■ 現場調査

- 制御盤内及び電源ケーブルについて外観確認を実施し、接続に問題のないこと、ボルトに緩みのないこと、地絡発生の痕跡がないことを確認。
- 制御盤内の絶縁抵抗測定を実施し、絶縁が保たれていることを確認。

⇒制御盤内の機器及び電源ケーブルに短絡・地絡の発生がないことを確認。

制御盤内機器及び電源ケーブルの外観確認結果



現場調査実施項目

【外観確認】

- ・電源ケーブル (20本)
- ・制御盤内機器 (37種類)

【絶縁抵抗測定】

- ・制御盤内 (11箇所)

【導通確認】※

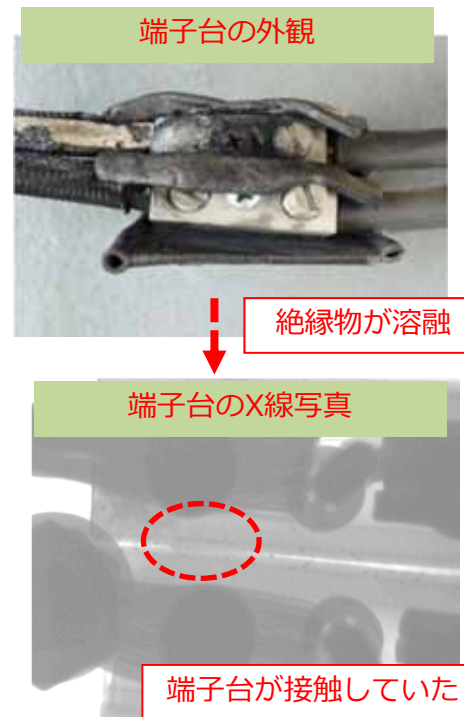
- ・電源ケーブル(20本)
- ・制御盤内機器 (2種類)
- ※機器の健全性確認の為実施

1-2 クレーン不具合調査(2/2)

■ 機器調査

- ブレーキレジスタの外観確認において、端子台の絶縁物が溶けていること、ボルト頭部も溶融していることを確認。盤扉の溶融と盤内配線の被覆が溶けている状況を確認。
- ブレーキレジスタの分解調査を実施し、端子台、盤扉以外に地絡の痕跡がないことを確認。レジスタ本体（抵抗器）の外観、抵抗値に異常の無いことを確認。端子台と盤扉の機械的な接触が無いことを確認。
- 端子台をX線撮影で確認した結果、端子が接近していることを確認。

⇒絶縁物の溶融により端子部が接触したことで短絡が発生。端子台と盤扉の機械的な接触が無いことから、短絡時の放電によって盤扉と端子台間で地絡が発生したと考えられる。



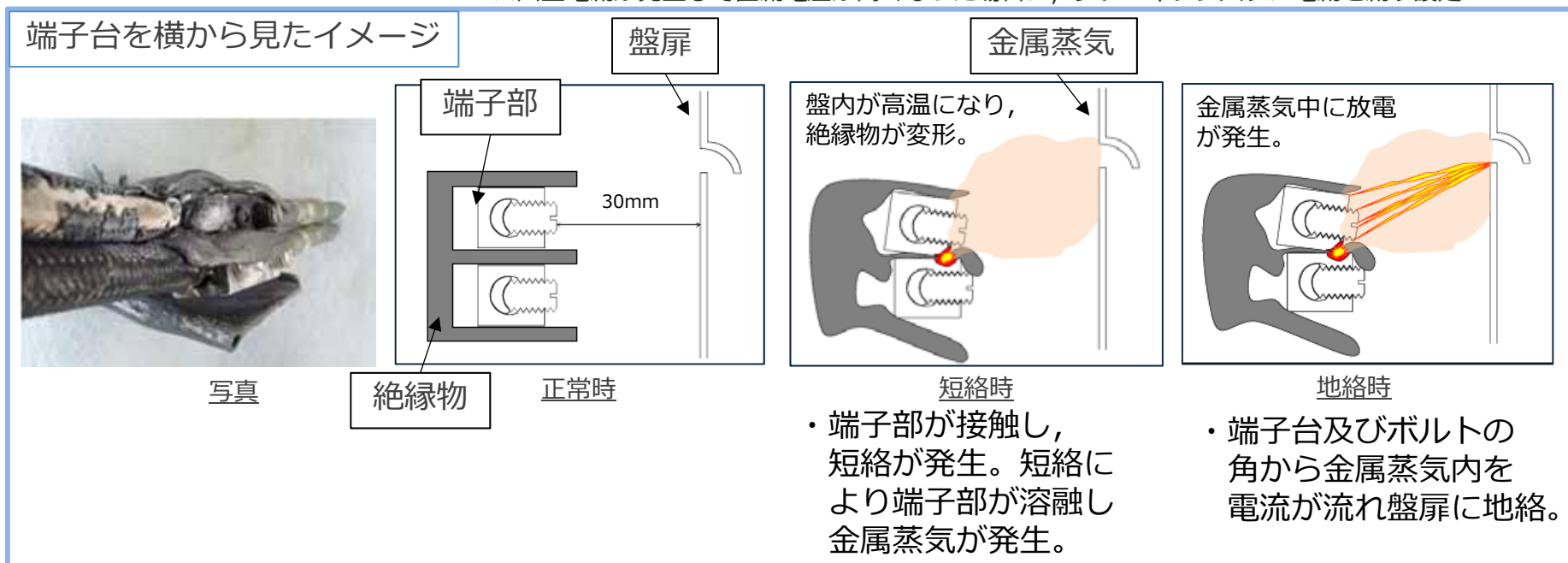
機器調査実施項目

- 【目視確認】
 - ・ケーブル、盤、扉、抵抗器
 - 端子台
- 【抵抗測定】
 - ・抵抗器
- 【導通確認】
 - ・端子台
- 【材料調査】
 - ・ケーブル、盤、扉、端子台

1 - 3 原因と対策

- 調査結果より不具合原因を以下と推定。
 - ブレーキユニットのパラメータ設定※が、米国出荷時の低い設定のままとなっていたことから、電源投入時よりブレーキレジスタに連続して電流が流れる状態となった。
 - ブレーキレジスタ盤内が高温になり、端子台の絶縁物が変形し、端子部で短絡が発生。
 - 短絡時の放電により、ブレーキレジスタ盤扉と端子台間で地絡が発生。
 - ブレーキレジスタから主巻インバータへ短絡・地絡電流が流れ、インバータが損傷した。

※回生電流が発生して直流電圧が高くなった場合に、ブレーキレジスタに電流を流す設定



- 以下の対策を実施しクレーンを復旧する。
 - 発電所の電源電圧をブレーキユニットのパラメータ設定に反映。
 - 損傷した部品の交換。
 - ブレーキレジスタ端子台の接続部の改良。

2 品質管理上の問題点に対する対応

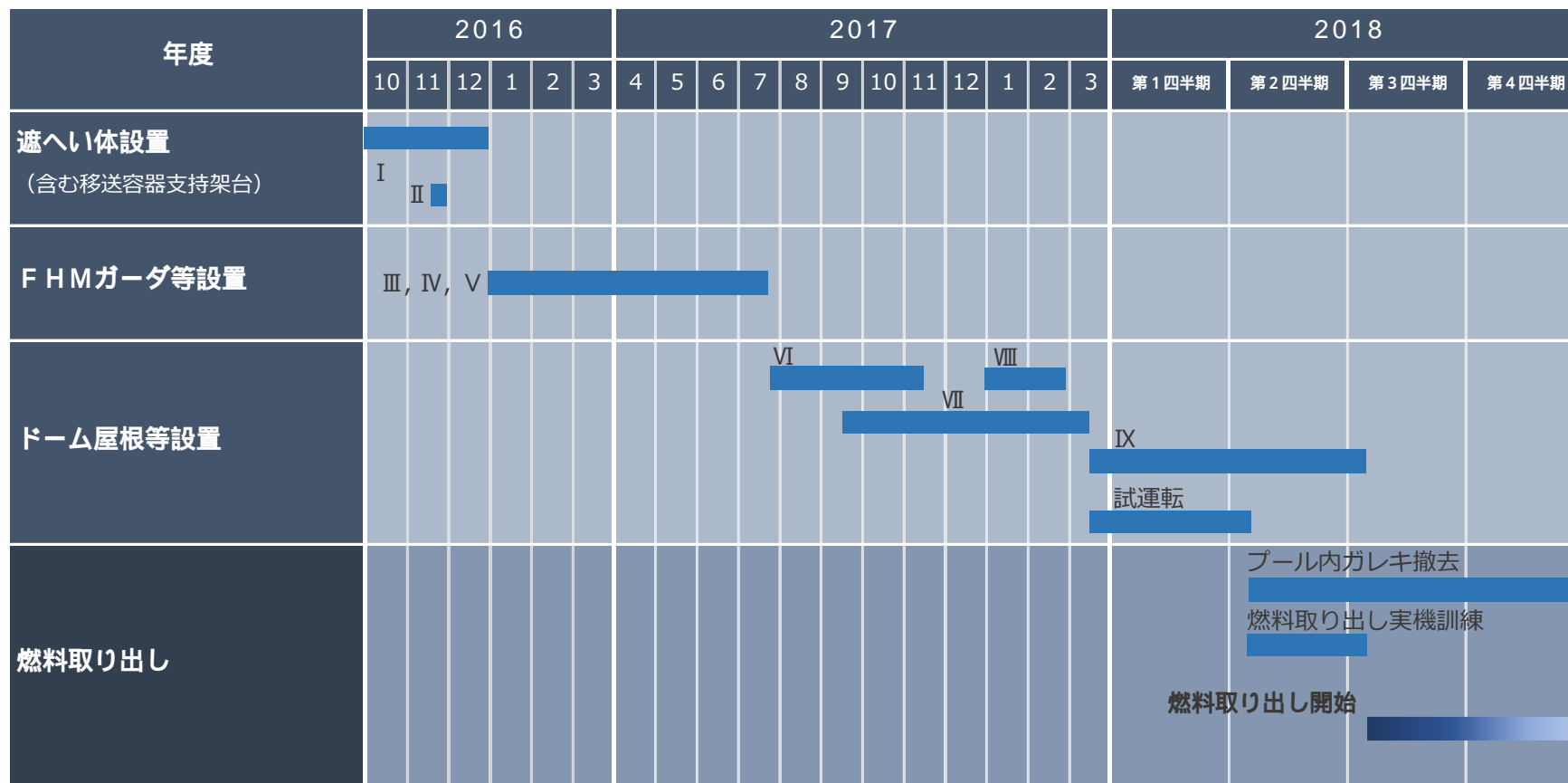
- 当該クレーンについては、工場で動作確認、荷重試験等を実施して問題ないことを確認した上で発電所に設置したが、発電所で動作不良が発生している。工場で確認したにも関わらず発電所で動作不良が発生したのは、工場と発電所の試験条件が異なっていて、その確認が出来ていなかったことが主な要因であることから、他の燃料取扱設備についても試験条件の違いの有無を確認し、問題ないことを確認する。

- また、今回の不具合対応において初期段階で原因を突き止められなかったことに対して、以下の対策を実施する。
 - 絶縁抵抗測定を行っても故障の有無について判断が困難な箇所は、抵抗測定のための判断で安易に断定せず、適切な範囲で絶縁抵抗測定や外観目視点検を組み合わせることで故障範囲の切り分けを確実に実施する。

3 スケジュール

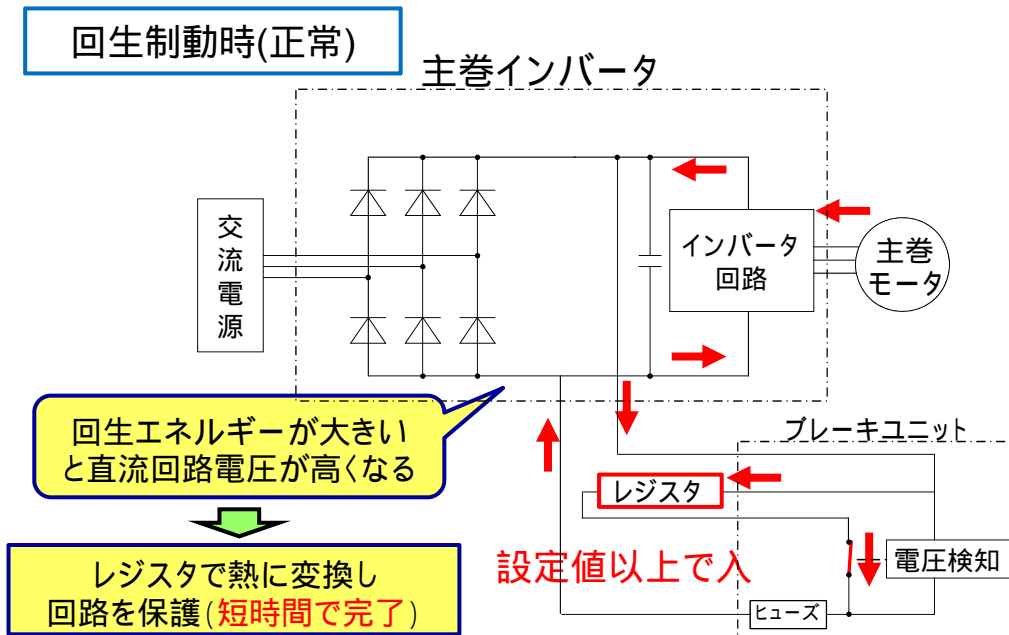
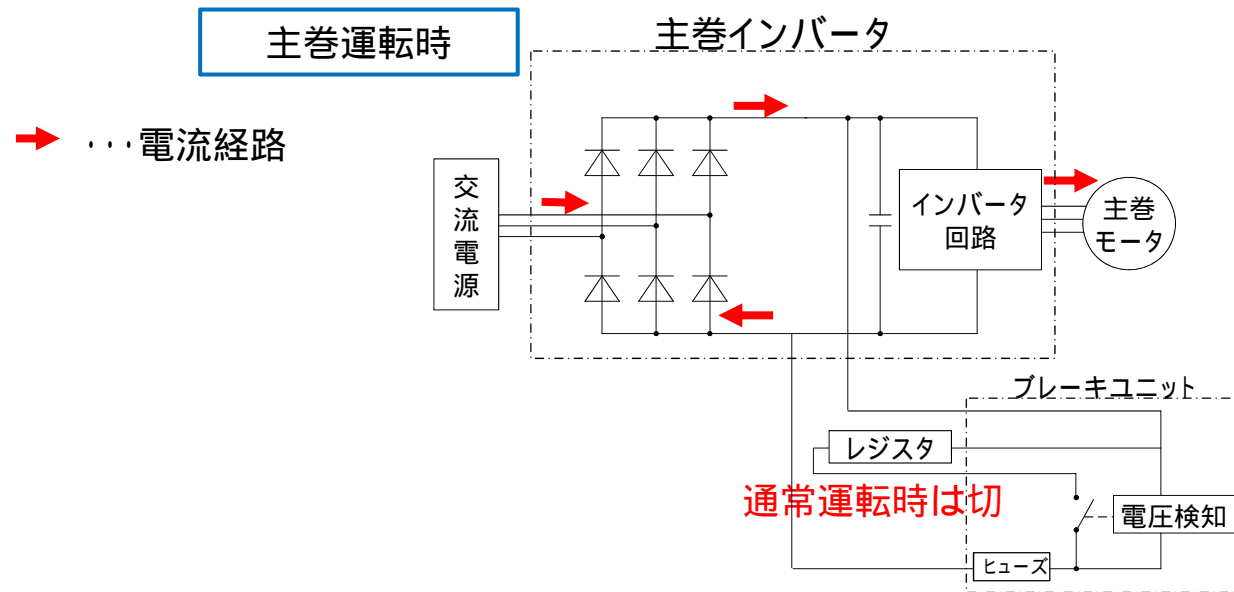


- FHM・クレーンの試運転を3月15日に開始。主巻以外の機器については順調に進捗。クレーン復旧後、クレーン主巻の試運転を実施。
- クレーン不具合により1~2ヶ月程度影響はあるが、引き続き工程精査を行い、安全を最優先に作業を進めていく。
- 燃料取り出し開始時期は、2018年度中頃の予定。



参 考 资 料

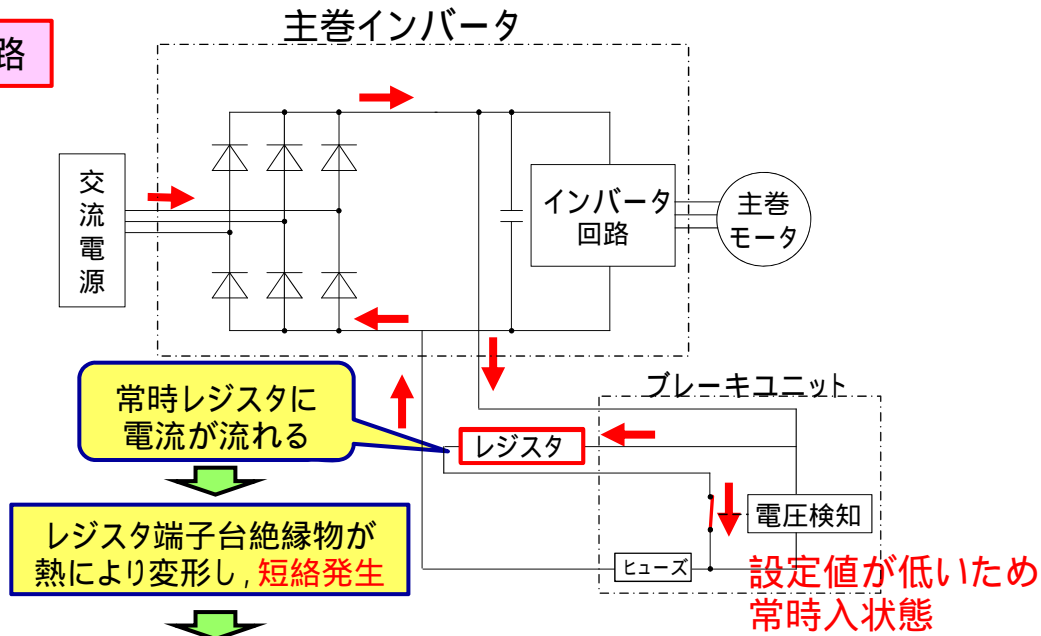
【参考】主巻インバータ損傷に至るメカニズム (1/4) TEPCO



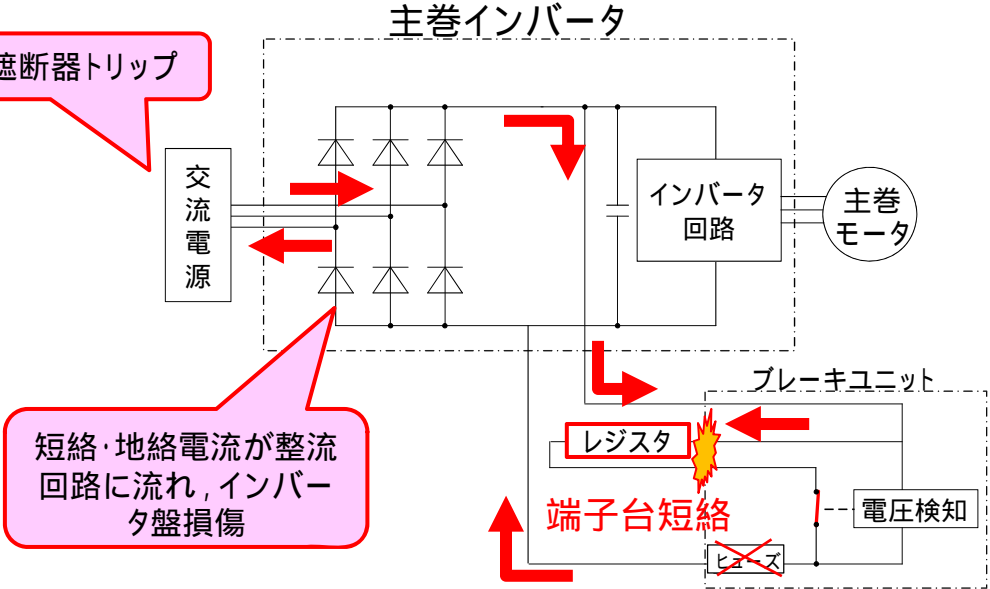
【参考】主巻インバータ損傷に至るメカニズム (2/4) TEPCO

当該事象発生時回路

3 / 16



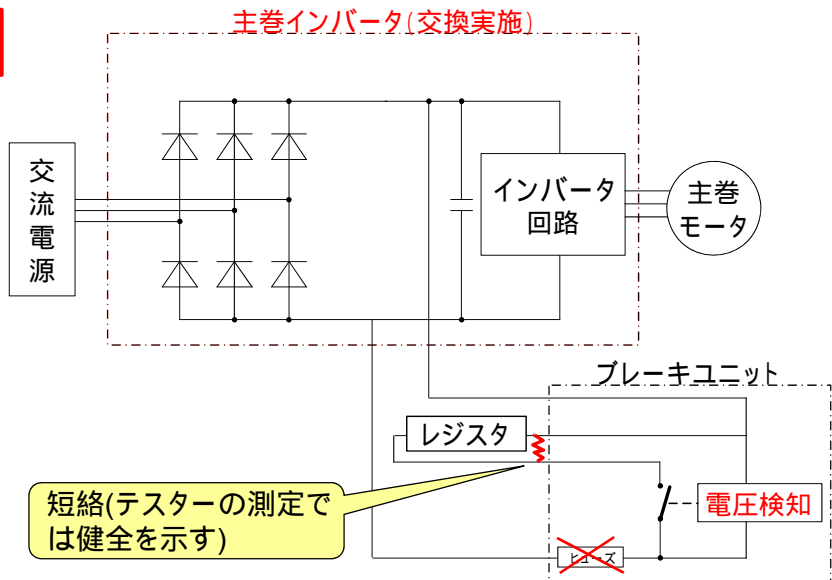
上流電源遮断器トリップ



【参考】主巻インバータ損傷に至るメカニズム (3/4) TEPCO

当該事象発生時回路

4 / 21



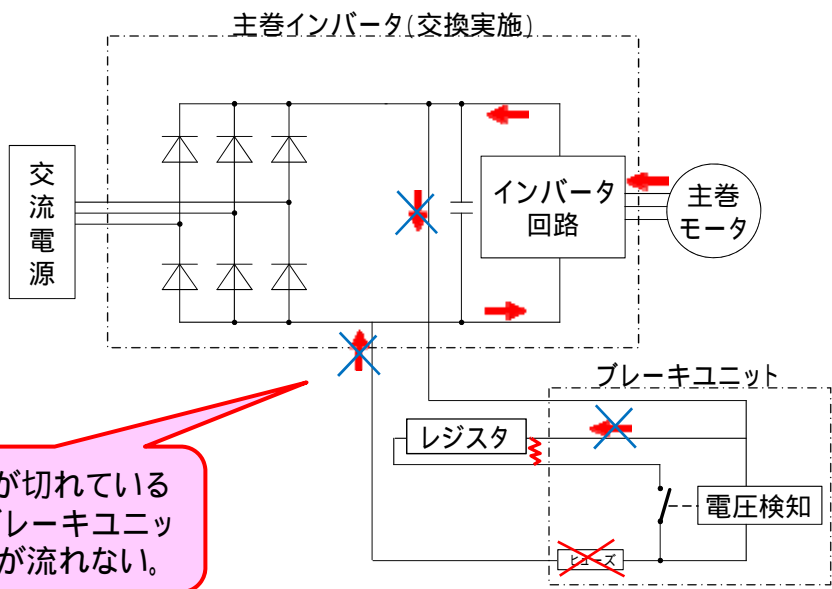
【対応処置】
 ・主巻インバータの交換
 ・ブレーキユニットの電圧設定見直し

【故障継続箇所】
 ・レジスターの短絡
 ・ヒューズ断

設定値見直し



回生制動時



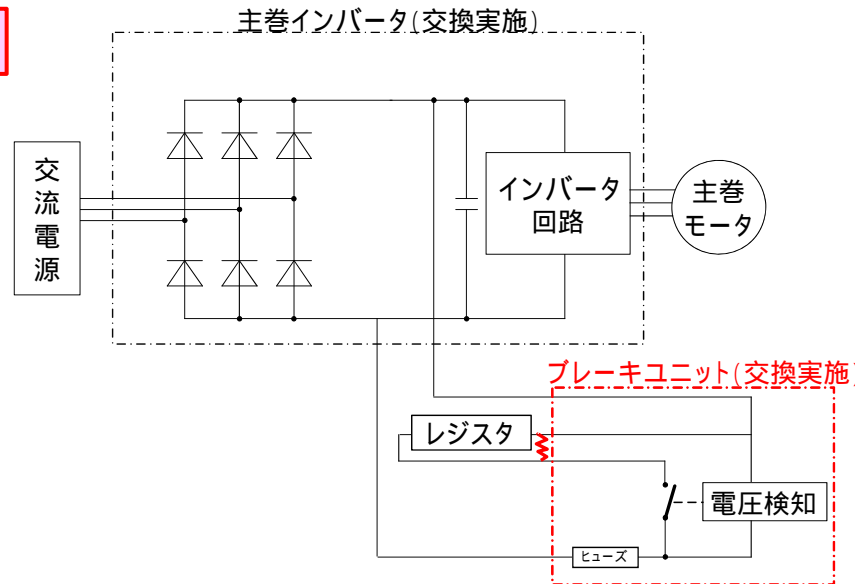
ヒューズが切れていることで、ブレーキユニットへ電流が流れない。

回生電流の抑制回路が形成出来ず、内部の電圧が上昇してインバータトリップとなった。

【参考】主巻インバータ損傷に至るメカニズム (4/4) TEPCO

当該事象発生時回路

5 / 11

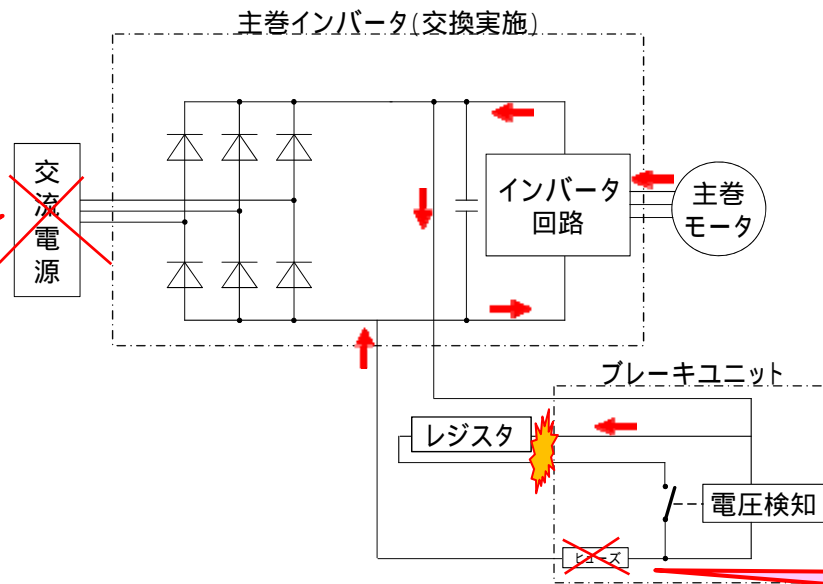


【対応処置】
・ブレーキユニット交換

【故障継続箇所】
・レジスターの短絡

回生制動時

上流電源遮断器トリップ



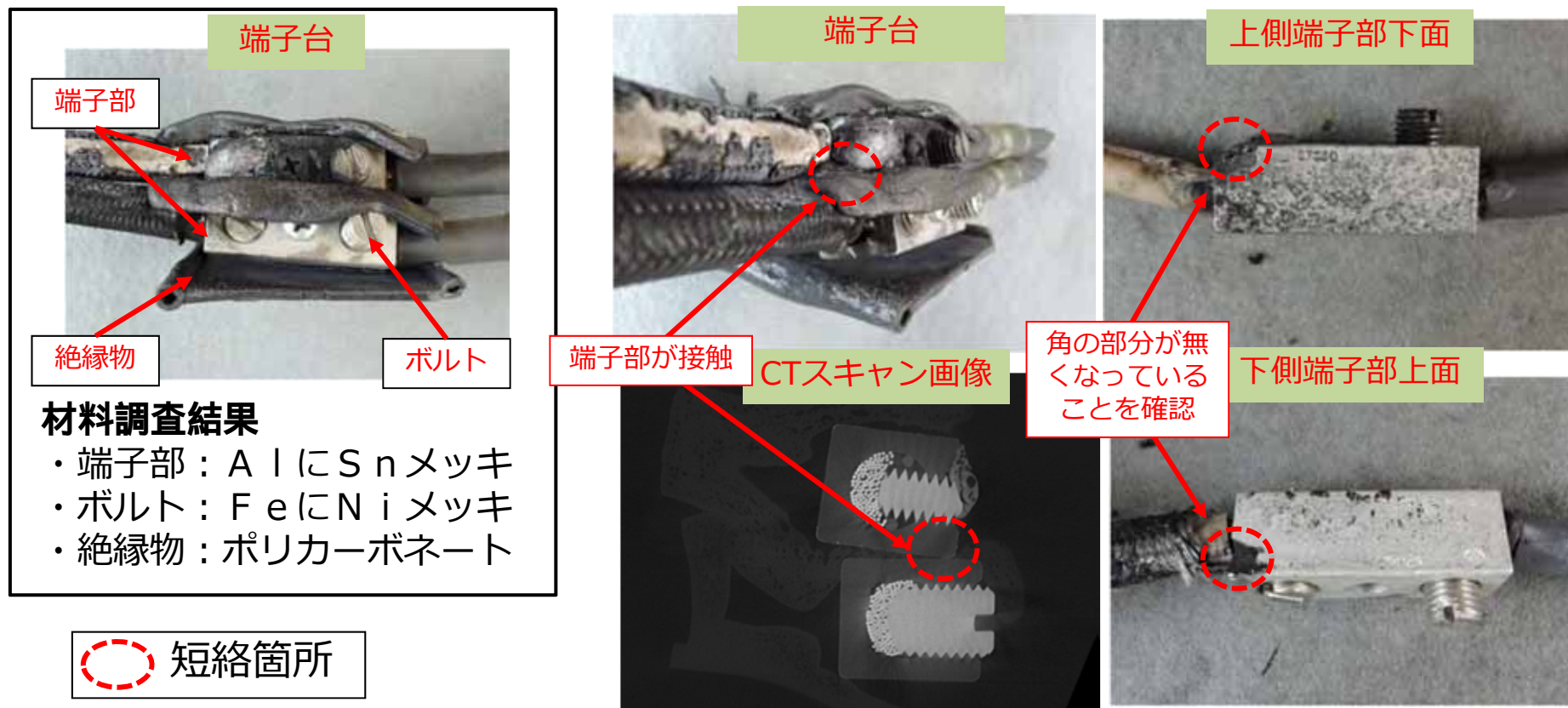
回生電流がレジスタへ流れて再短絡。その後、短絡電流にてヒューズ断及び上流電源トリップした。

ヒューズ断

【参考】原因調査の詳細(1/2)

■ 機器調査

- 端子台の絶縁物はポリカーボネートであり、250～320℃で柔軟性が高くなり変形しやすい性質を持つ。
⇒熱により絶縁物が変形。
- 外観確認, CTスキャンの結果から, 端子部の接触及び端子部の角が無くなっていることを確認。
⇒端子部が接触し短絡が発生。短絡が発生した部分が溶融し, 金属蒸気が発生したと推定。



【参考】原因調査の詳細(2/2)

■ 機器調査

- ブレーキレジスタ盤扉の付着物から端子部とボルトの材料を検出。
- 端子部及びボルトの損傷を確認。
⇒端子台及びボルトの角から金属蒸気内を電流が流れ盤扉に地絡。

ブレーキレジスタ盤扉 (内側)

端子台

上側端子部上面

端子部に損傷を確認

ボルトに損傷を確認

CTスキャン画像

材料調査結果

- ・ 盤扉の付着物： Al と Fe (端子部とボルトの材料)

地絡箇所

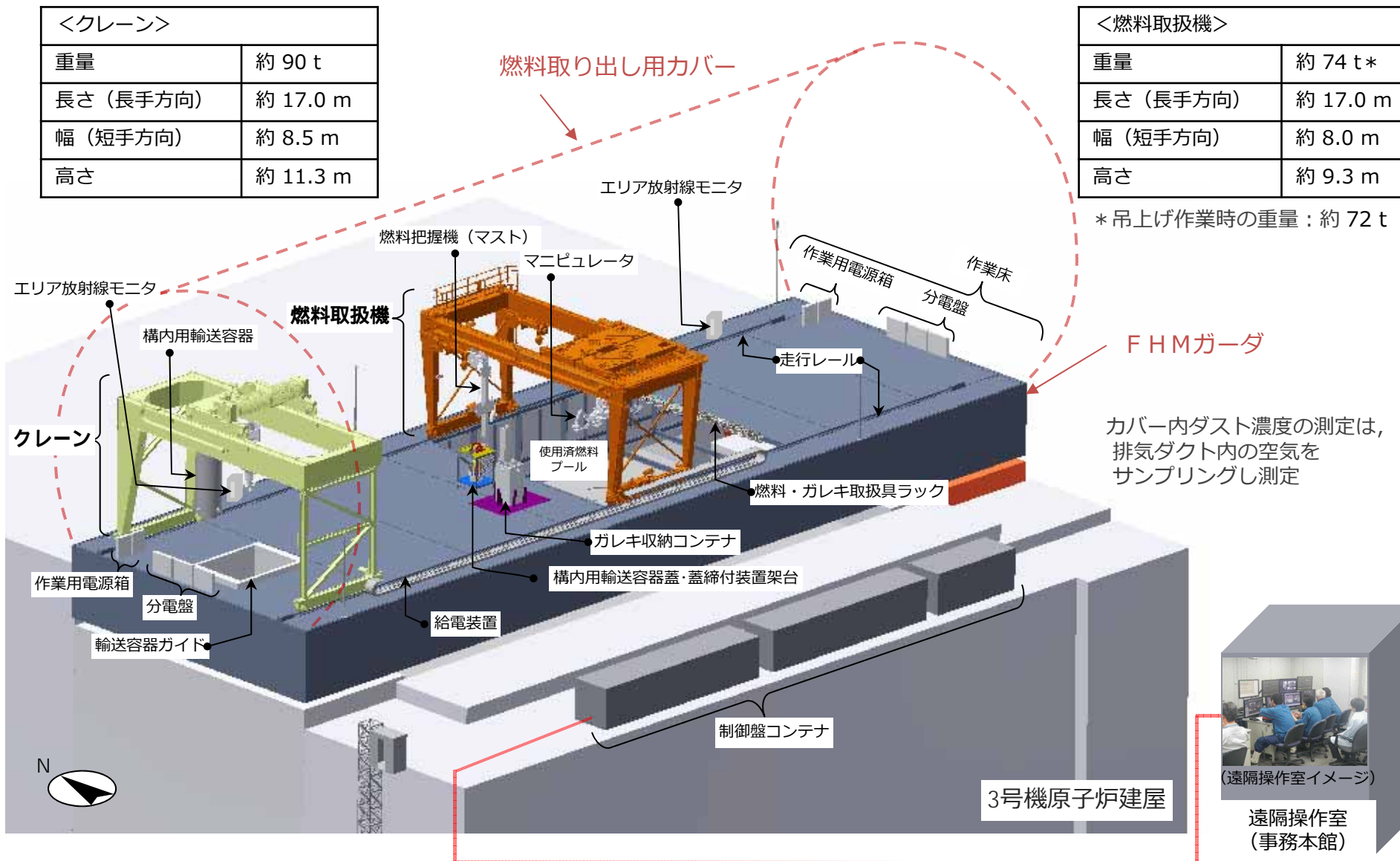
Detailed description: The image is a composite of several photographs and a CT scan. On the left, a photo of a green metal cabinet with a circular callout pointing to a small object. Next to it is a close-up of a dark, charred metal component with a blue dashed circle around a specific area. To the right is a photo of a metal terminal block with a blue dashed circle around a bolt head. Further right is a photo of the top surface of the terminal block with a blue dashed circle around a terminal. Below these are two CT scan images showing the internal structure of the terminal block and bolt, with blue dashed circles highlighting areas of damage or material presence. A legend at the bottom left shows a blue dashed circle icon labeled '地絡箇所' (grounding point).

【参考】燃料取扱設備等全体配置

＜クレーン＞	
重量	約 90 t
長さ（長手方向）	約 17.0 m
幅（短手方向）	約 8.5 m
高さ	約 11.3 m

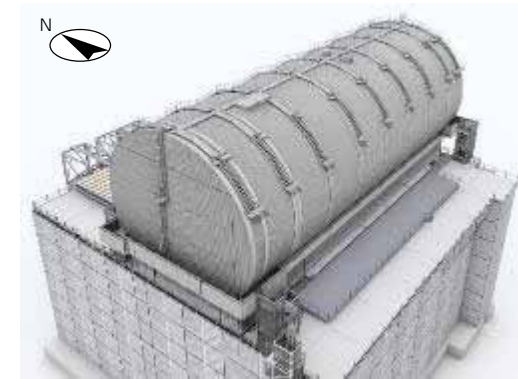
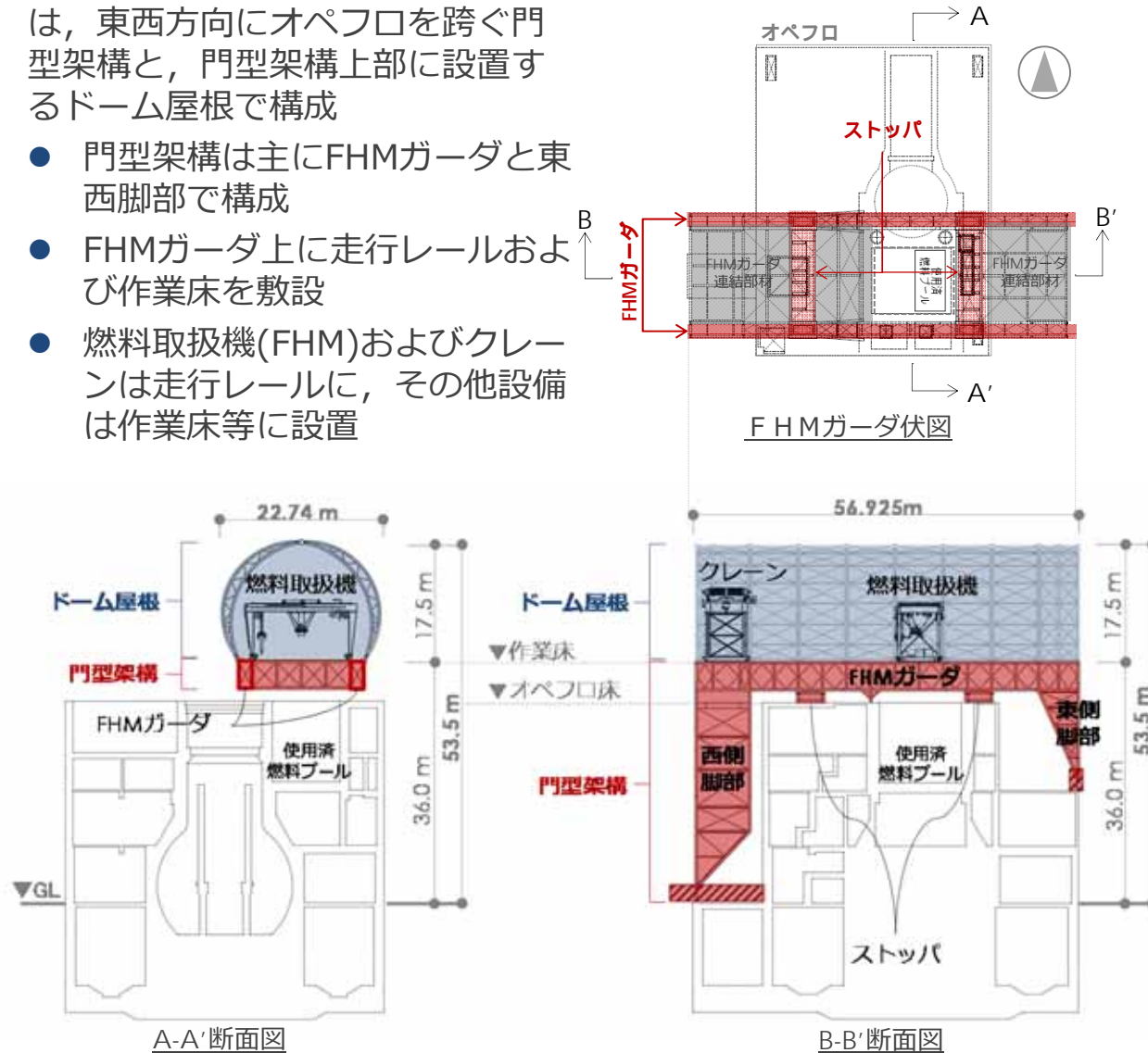
＜燃料取扱機＞	
重量	約 74 t*
長さ（長手方向）	約 17.0 m
幅（短手方向）	約 8.0 m
高さ	約 9.3 m

*吊上げ作業時の重量：約 72 t

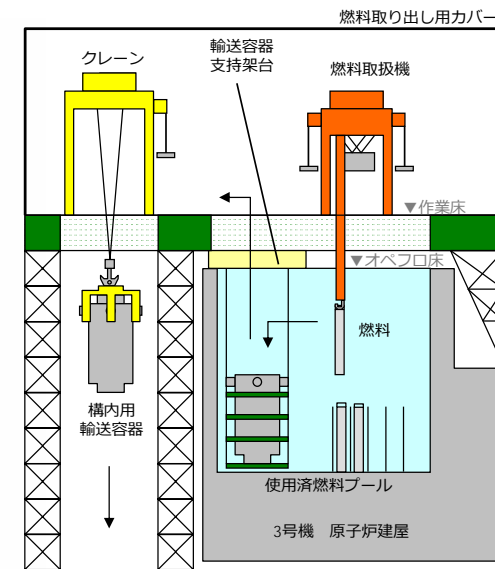


【参考】燃料取り出し用カバーの概要

- 燃料取り出し用カバー（鉄骨造）は、東西方向にオペフロを跨ぐ門型架構と、門型架構上部に設置するドーム屋根で構成
 - 門型架構は主にFHMガーダと東西脚部で構成
 - FHMガーダ上に走行レールおよび作業床を敷設
 - 燃料取扱機(FHM)およびクレーンは走行レールに、その他設備は作業床等に設置



3号機燃料取り出し用カバーイメージ



3号機燃料取り出し作業イメージ