

福島第一原子力発電所 3号機
燃料取扱設備に係わる不具合の原因と対策について

2018年11月

東京電力ホールディングス株式会社

福島第一廃炉推進カンパニー

福島第一原子力発電所

目 次

I. 試運転中に発生したクレーンの不具合について	1
I-1. 事象概要	1
I-2. 状況調査結果	1
I-3. 原因調査結果	2
I-4. 推定要因	4
I-5. 再発防止対策	4
II. 使用前検査中における燃料取扱機の不具合について	6
II-1. 事象概要	6
II-2. 状況調査結果	6
II-3. 原因調査結果	7
II-4. 推定要因	9
II-5. 類似箇所の調査結果	10
II-6. 再発防止対策	11
III. 添付資料	12

I. 試運転中に発生したクレーンの不具合について

I-1. 事象概要

2018年5月11日8時51分頃、福島第一原子力発電所3号機において、クレーンの試運転で主巻の巻き下げ停止操作を行っていたところ、燃料取扱機の遠隔操作室にある操作卓にて主巻インバータ異常を示す警報が発生するとともに、原子炉建屋（以下、「R/B」という。）5階オペレーティングフロア（以下、「オペフロ」という。）に設置してある制御盤コンテナ内のクレーン制御盤内にて、主巻インバータ盤から異音が発生し、クレーンが停止した。

また、主巻インバータ盤の内部を確認したところ、内部にすすが付着していることを確認した。（その後、公設消防により「非火災」と判断された。）

5月12日に制御盤コンテナ内にある機器の外観確認を行ったところ、ブレーキユニット^{※1}の一部で、クレーン制御盤背面にあるブレーキレジスタ^{※2}内部に損傷があることを確認した。

なお、本事象が発生する以前にも、クレーンの主巻インバータに関する不具合が複数発生していた。

※1：ブレーキユニットは、クレーン主巻の動作により主巻インバータ回路内に発生する回生電流が設定電圧値を超えたとき、ブレーキレジスタ側に電流を逃がす回路

※2：ブレーキレジスタは、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

（添付資料 I-1, 2, 3）

I-2. 状況調査結果

(1) クレーン制御盤内の損傷状況

クレーン制御盤内にある機器及びケーブルの状況を調査した結果、以下のことを確認した。

- a. クレーン制御盤内の機器及びケーブルの外観確認において、主巻インバータ盤の内部にすすが付着していた。なお、ケーブルと端子台の接続箇所にボルトの緩みや誤接続、地絡発生の痕跡等の異常はなかった。
- b. クレーン制御盤内の絶縁抵抗測定において、絶縁抵抗に異常はなかった。
- c. クレーン制御盤内の機器及びケーブルの導通確認において、異常はなかった。

（添付資料 I-4）

(2) ブレーキレジスタ内部の損傷状況

ブレーキレジスタ内部の損傷状況を調査した結果、以下のことを確認した。

- a. ブレーキレジスタ内部の外観確認において、端子台の絶縁物、端子台に取り付けられたケーブルの被覆及びボルト頭部の一部が溶融していた。また、ブレーキレジスタ盤扉の内側が一部溶融しており、溶融箇所に付着物があった。なお、端子台とブレーキレジスタ盤扉に機械的な接触はなかった。
- b. レジスタ本体（抵抗器）の外観及び抵抗測定において、異常はなかった。
- c. ブレーキレジスタ内部の端子台の導通確認において、端子台PN間に300Ω程度の抵抗があった。
- d. ブレーキレジスタ内部の端子台のX線撮影において、通常は絶縁物で仕切られている二つの端子部同士が接触していた。

（添付資料 I-5）

(3) 本事象発生までのクレーンに関する不具合発生状況

燃料取扱設備が3号機R/Bオペフロに設置されて以降のクレーンに関する不具合発生状況を調査した結果、以下のことを確認した。

- a. 2018年3月16日にクレーン制御盤の電源を初めて投入した際、主巻インバータ異常を含む複数の警報が発生した。
- b. 上記の発生原因を調査したところ、2018年3月28日に通信異常やケーブルの一部断線を確認したことから、ケーブル交換等の復旧作業を行ったが、主巻インバータ異常警報のみクリアしなかった。
- c. 主巻インバータ異常警報がクリアしない原因を調査したところ、2018年4月5日に主巻インバータ内の整流器が損傷しているのを確認した。
- d. 主巻インバータ異常警報がクリアしない原因について機器単体の故障と考え、2018年4月21日に主巻インバータの交換を行った。
その後、クレーンの動作確認にて主巻の巻き下げ速度を上昇させたところ、主巻インバータ異常警報が再び発生した。
- f. 主巻インバータ異常警報の再発生原因を調査したところ、2018年4月25日にブレーキユニット内にあるヒューズが損傷していることを確認した。
- g. 2018年5月11日にブレーキユニットの交換を行った。その後、クレーンの試運転にて主巻の巻き下げ停止操作を行ったところ、本事象が発生した。

(添付資料I-1, 3)

I-3. 原因調査結果

状況調査の結果から、ブレーキレジスタ内部で何らかの不具合が発生したと考え、その原因を調査した結果、以下のことを確認した。

(1) ブレーキレジスタ内部の溶融

- a. 端子台の絶縁物が溶融していたことから、絶縁物の材料調査を行ったところ、絶縁物はポリカーボネートという素材であり、250℃~320℃で柔軟性が高くなって変形しやすい性質を持つことから、熱により絶縁物が変形したと推定した。
- b. 端子台のボルト頭部の溶融及び端子部同士の接触が確認されたことから、CTスキャン画像による端子台の詳細調査を行ったところ、端子部同士が接触していること、接触している箇所の各端子部及びボルト頭部の角が欠けていることを確認した。
- c. ブレーキレジスタ盤扉の内側が一部溶融し、付着物が確認されたことから、付着物の材質調査を行ったところ、付着物から端子台とボルトに使われている材料を検出した。

以上の調査結果から、何らかの要因によりブレーキレジスタ内部が高温状態となったことで、絶縁物が熱変形を起こして端子部同士が接触し、接触箇所での短絡やブレーキレジスタ盤扉での地絡が発生したものと推定した。

(添付資料I-6)

(2) 主巻インバータ回路のパラメータ設定

ブレーキレジスタは、クレーン主巻の動作により主巻インバータ回路内に発生する回生電流が設定電圧値を超えた^{*3}とき、ブレーキユニットから回生電流を受けて熱に変換することから、ブレーキレジスタへ回生電流を流すためのパラメータ設定を調査したところ、クレーンの電源電圧460V~470Vに対して、ブレーキレジスタへ

回生電流を流すためのブレーキユニットの設定値が380Vに設定されていることを確認した。

※3：主巻インバータの回生動作は、クレーン主巻（モータ）を減速させた際に誘導発電機として動作させることで、余剰電気エネルギー（電流）を電源側へ戻す。その際、主巻インバータ回路に過剰な電圧がかかることを防止するため、ブレーキユニットの設定値以上の電圧が荷電された場合にブレーキレジスタへ回生電流を流し、熱エネルギーに変換する仕組みとなっている。

（添付資料 I-7）

(3) 主巻インバータ回路の要求仕様及びパラメータ設定履歴

ブレーキユニットの設定値がクレーンの電源電圧よりも低い値に設定されていたことから、主巻インバータ回路の要求仕様及びパラメータの設定履歴を調査した結果、以下のことを確認した。

なお、燃料取扱設備は、当社が受注者（国内メーカー）に発注し、受注者が海外の一次調達先（米国）に発注している。

a. 要求仕様

主巻インバータ回路の要求仕様を確認したところ、受注者では、福島第一原子力発電所（以下、「現地」という。）での所内定格電圧480Vに対して、電圧降下を考慮して440V±10%に設計し、当社のご了解を得た上で機器設計仕様書に記載していた。

また、受注者から海外一次調達先にも要求仕様を掲示し、海外一次調達先の設計図書にも記載していた。

なお、受注者は、機器を製作する前に日本と米国の電源構成の違いや接地線の取り方を海外一次調達先に説明し、海外一次調達先の設計にも反映していた。

b. 海外一次調達先でのパラメータ設定（海外工場試験時）

海外一次調達先における工場試験時のパラメータ設定を確認したところ、受注者に提出した工場試験要領書では、クレーンの電源電圧を440Vと記載していたが、実際の工場試験では、クレーンの電源電圧を380Vに設定して試験を行っていた。

また、工場試験要領書と異なる設定で工場試験を行ったことについて、海外一次調達先から受注者への連絡はなかった。

海外一次調達先にて、工場試験後にクレーン制御盤内にある主巻インバータ以外のインバータ回路の設定値は440Vに変更したものの、主巻インバータ用ブレーキユニットの設定値は変更しなかったため、ブレーキユニットの設定値のみ380Vのままとなった。なお、海外一次調達先は、ブレーキユニットに電圧設定箇所があることを受注者へ連絡していなかった。

c. 受注者でのパラメータ設定（国内工場試験時）

燃料取扱設備を海外一次調達先から輸送し、受注者の工場にて動作試験した際のパラメータ設定を確認したところ、海外一次調達先にてクレーンの電源電圧を380Vに設定して海外工場試験を行ったとの情報がなかったことから、クレーン制御盤内のインバータ回路のパラメータは440Vに設定されていると思い、受注者はパラメータ設定を確認（変更）しないまま動作試験を行っていた。

なお、クレーンの電源電圧は410～420Vに設定していた。

d. 現地でのパラメータ設定（福島第一原子力発電所）

燃料取扱設備を受注者の工場から現地へ搬入・設置した後の動作確認や試運転については、国内工場試験時と同様のパラメータ設定で行っていた。

なお、クレーンの電源電圧は460～470Vに設定していた。

（添付資料 I - 8）

I - 4. 推定原因

状況調査及び原因調査の結果から、本事象が発生した原因は以下の通りと推定した。

- ①海外一次調達先の工場試験時において、ブレーキユニットの設定値を設計仕様（440V）より低い値（380V）に設定した。
- ②ブレーキユニットの設定値が低い値に設定されたままの状態、現地へ搬入・設置して試運転を行ったため、クレーンの電源投入時からブレーキレジスタへ回生電流が流れ続ける状態となった。
- ③ブレーキレジスタへ回生電流が流れ続けたことで、ブレーキレジスタ内部が高温状態となり、端子台の絶縁物が熱変形により溶融し、端子部同士が接触して短絡が発生した。
- ④端子部で短絡が発生したことにより、接触していた端子台の角部及びボルト頭部が溶融し、金属蒸気が発生した。
- ⑤金属蒸気が発生したことにより、接触していた端子台の角部及びボルト頭部から蒸気内に放電電流が流れ、ブレーキレジスタ盤扉の内側と端子台間で地絡が発生し、ブレーキレジスタ盤扉の内側が溶融した。
- ⑥ブレーキレジスタ内部で短絡・地絡が発生したことにより、主巻インバータ回路に短絡・地絡電流が流れ、主巻インバータが損傷した。

なお、2018年3月16日の主巻インバータ異常を含めた複数の警報発生（その後の調査で主巻インバータ内の整流器の損傷を確認）についても、クレーンの電源投入によりブレーキレジスタへ回生電流が流れ続ける状態となったことで発生したものと推定した。

また、2018年4月21日の主巻インバータ異常警報発生（その後の調査でブレーキユニット内のヒューズの損傷を確認）については、2018年3月16日の事象によって、ブレーキレジスタ内のヒューズが損傷したことにより発生したものと推定した。

（添付資料 I - 9）

I - 5. 再発防止対策

原因調査結果等を踏まえ、本事象に対して以下の再発防止対策を行う。

（1）設備上の対策

- a. 損傷した主巻インバータ、ブレーキユニット、ブレーキレジスタについて、新品に交換した。（2018年7月14日までに完了済み）
- b. 現地でのクレーンの電源電圧に合わせて、ブレーキユニットの設定値を440Vに変更した。（2018年7月14日までに完了済み）
- c. ブレーキレジスタ内部が高温状態となった場合でも端子台が損傷しないよう、ブレーキレジスタの端子台をブレーキレジスタ盤の外側に設置した。（2018年7月14日までに完了済み）

（添付資料 I - 10）

(2) 調達上の対策

本事象が発生した要因として、要求仕様と異なる条件で工場試験していたことから、今後、調達に係わる以下の再発防止対策を行う。

- a. 要求仕様と試験条件の差異を明確にし、その差異による影響について問題ないことを確認する。
- b. 工場試験と現地で設定変更が必要となるものについては、納入時に設定記録を提出させる。
- c. 現地で設定変更が必要なものについては、取扱説明書等の設備図書に設定変更方法を記載する。

以下余白

II. 使用前検査中における燃料取扱機の不具合について

II-1. 事象概要

2018年8月8日15時11分頃、福島第一原子力発電所3号機において、燃料取扱機（以下、「FHM」という。）の使用前検査（機能検査）でFHMの燃料把握機（以下、「マスト」という。）^{*1}を使用済燃料プールに降下させたところ、FHM遠隔操作室の操作卓にて「マストホイスト simotion 異常」、「マストホイスト#2 モータ・イコライザー異常」の警報が発生し、マスト及びFHMが停止した。また、正常状態で点灯している「ロープ破断なし(2)」^{*2}の状態表示ランプが消灯した。

このため、FHMの使用前検査（機能検査）を中断した。

その後、16時30分頃にFHM遠隔操作室の操作卓にて、マストホイストモータ1・2の「モーター回転量」及び「ロープ引出し長さ」の情報表示画面が、数値を検出できないことを示す「####」となっていることを確認した。

※1：マストは、使用済燃料を吊り上げる際に燃料ハンドルを掴む機械を上下に移動させるもので、マストホイストモータでマストロープ^{*3}を出し入れすることで、上下に伸縮する仕組みとなっている。

※2：マストロープの破断を検出するリミットスイッチが動作すると、「ロープ破断なし」の状態表示ランプが消灯し、それに関連して「マストホイスト simotion 異常」、「マストホイスト#2 モータ・イコライザー異常」の警報が発生する。

※3：マストロープは、マスト両側に2本（マストホイストモータも2台）取り付けられており、片方のマストロープが破断しても、もう片方のマストロープで使用済燃料の保持が可能となっている。また、片方のマストロープが破断した際には、マストホイストイコライザー（平衡器）が傾き、マストロープの破断を検知する仕組みとなっている。

（添付資料II-1, 2, 3）

II-2. 状況調査結果

(1) マストの外観確認

マストの外観確認を行った結果、以下のことを確認した。

- a. マストホイストイコライザーは傾いておらず、マストロープにも切断や乱巻は等の異常はなかった。
- b. マストロープ破断検出用リミットスイッチ（以下、「LS」という。）のレバーや取付部に変形やゆるみ等の異常はなかった。
- c. LSレバーとLS作動検知用バーの間隔に問題はなかった。

(2) LSの動作確認

LSを手動操作して動作確認を行った結果、正常動作でマストロープ破断検出信号が出ることを確認した。

(3) FHM制御盤内の表示状態確認

FHM制御盤内の表示状態を確認した結果、制御盤内にある制御ユニット3箇所エラー表示ランプが点灯していたことから、制御ユニットに何らかの不具合があることを確認した。

（添付資料II-4）

(4) 制御ユニット不具合箇所の特定調査

エラー表示ランプが点灯していた制御ユニットについて、不具合箇所を特定するための調査を行った結果、以下のことを確認した。

- a. 2 系列あるモータ速度検出器と制御ユニットを繋ぐケーブルについて、エラー表示ランプが点灯していた制御ユニット（以下、「当該制御ユニット」という。）と正常な制御ユニットのケーブルを繋ぎ替えた結果、当該制御ユニットのエラー表示ランプが消灯し、正常な制御ユニットでエラー表示ランプが点灯したことから、当該制御ユニットに繋がっているケーブルまたはモータ速度検出器（1）で不具合の可能性があったことが分かった。
- b. 当該制御ユニットに繋がっているケーブル及びモータ速度検出器（1）について、絶縁抵抗及び導体抵抗測定を行った結果、直列に1ラインで繋いでいるケーブル6本のうち、ケーブル1本に断線と地絡傾向があった。また、ケーブル同士を繋ぐコネクタ1箇所に短絡傾向があった。なお、モータ速度検出器に異常はなかった。
(添付資料Ⅱ-5)

なお、FHM遠隔操作室の操作卓にて、マストホイストモータ1・2の「モーター回転量」及び「ロープ引出し長さ」の情報表示画面が「####」となっていたことについては、情報表示画面に数値を表示するためのソフトウェア上の桁数不足が原因であったことから、今後ソフトウェアを修正する予定である。

Ⅱ-3. 原因調査結果

状況調査の結果から、当該制御ユニットに繋がっているケーブル1本に断線と地絡傾向、コネクタ1箇所に短絡傾向の不具合が確認されたことから、その原因を調査した結果、以下のことを確認した。

(1) 断線及び地絡傾向が確認されたケーブルの分解調査（分解調査箇所A）

a. 制御ユニット側コネクタの目視確認

制御ユニット側コネクタを分解して内部を目視確認した結果、コネクタと繋がっているリード線9本のうち1本が断線しており、コネクタ内には異物が付着していた。

また、コネクタと繋がっているシールド線^{※4}が折損しており、シールド線が折損するとコネクタ内に脱落する可能性があることを確認した。

コネクタを覆っているブーツ^{※5}を剥がして内部を目視確認した結果、ブーツ用滑り止め^{※6}がずれていた。また、ブーツ内は湿った状態であった。

なお、コネクタ内には、本来組み込まれているべきグロメット^{※7}がなかった。

※4：シールド線は、外部からのノイズを防止するためのアース線（金属製の導線）であり、のコネクタ（金属製）と電氣的に接続されている

※5：ブーツは、コネクタからケーブルが抜けたり、コネクタ内に雨水が浸入するのを防止するために覆っている塩化ビニール製の筒

※6：ブーツ用滑り止めは、ケーブルの直径が小さい場合にブーツ内径に合わせるために取り付ける治具

※7：グロメットは、コネクタにシールド線の混入を防止するために組み込む防塵対策用のパーツ

b. モータ速度検出器側コネクタの目視確認

モータ速度検出器側コネクタを分解して内部を目視確認した結果、異常はなかった。また、コネクタを覆っているブーツを剥がして内部を目視確認した結果、異常はなかった。

なお、コネクタ内には、本来組み込まれているべきグロメットがなかった。

c. 制御ユニット側コネクタの詳細観察及び成分分析

断線が確認されたリード線及び異物が確認されたコネクタを目視により詳細観察した結果、リード線が断線しており、リード線とコネクタピンの形状が判別できないほど腐食していた。

コネクタに付着していた異物を成分分析した結果、異物は銅、亜鉛、酸素を成分とする腐食生成物であったことから、コネクタピンの素材である黄銅が腐食して生じたものであると推定した。

また、断線したリード線の破断面にも異物が付着していたため成分分析した結果、異物は銅、酸素を成分とする腐食生成物であったことから、リード線の素材である銅が腐食して生じたものであると推定した。

なお、コネクタに付着していた異物を除去したところ、断線したリード線の素線が確認できた。

(添付資料Ⅱ－5, 6)

(2) 短絡傾向が確認されたコネクタの分解調査 (分解調査箇所B)

a. 制御ユニット側コネクタの目視確認

制御ユニット側のコネクタを分解して内部を目視確認した結果、異常はなかった。また、コネクタを覆っているブーツを剥がして内部を目視確認した結果、異常はなかった。

なお、コネクタ内にはグロメットが組み込まれていた。

b. モータ速度検出器側コネクタの目視確認

モータ速度検出器側コネクタを分解して内部を目視確認した結果、シールド線の一部は短かったが、シールド線の折損やコネクタ内への脱落はなかった。また、シールド線付近にあるリード線の被覆が一部損傷していた。

コネクタを覆っているブーツを剥がして内部を目視確認した結果、異常はなかった。なお、コネクタ内にはグロメットが組み込まれていた。

(添付資料Ⅱ－5, 7)

(3) 屋外ケーブルダクトの設置状況調査

これまでの原因調査において、コネクタを覆っているブーツ内が湿った状態であることが確認されており、コネクタ内に雨水が侵入した可能性が考えられたことから、ケーブルを敷設している屋外のケーブルダクトの設置状況を調査した結果、ケーブルダクトの一部に隙間があり、そこから雨水が浸入する可能性があることを確認した。

なお、燃料取扱設備本体は3号機R/Bオペフロにあり、燃料取り出し用カバーで覆われているが、FHM制御盤等が収納されている制御盤コンテナは、3号機R/Bオペフロの外側にある構台の上に設置されており、燃料取扱設備本体と各制御盤はケーブルダクト内を敷設しているケーブルで繋がっている。

(添付資料Ⅱ－8)

(4) ケーブル製作及び検査状況調査

これまでの原因調査において、ケーブルのシールド線の折損やブーツのずれ、グロメットが組み込まれていない状態が確認されたことから、ケーブルの製作及び検査状況を調査した結果、以下のことを確認した。

a. 要求仕様

燃料取扱設備を設置する燃料取り出し用カバー内について、当初は線量が高いと想定していたため、燃料取扱設備の制御盤を収納する制御盤コンテナを3号機R/Bオペフロ外側の構台上に設置することとし、受注者へ発注した。

当社から発注を受けた受注者では、燃料取扱設備の各機器と各制御盤を繋ぐケーブルについて、「外気流入、結露影響あり、湿度100%、動作温度0～40℃、塩害・雨・風等の外部環境影響考慮」という設計仕様で、海外一次調達先に追加発注した。

b. ケーブル製作

ケーブル及びコネクタの製作については、2017年に海外一次調達先の下請け企業であるケーブルメーカとコネクタメーカが製造していたが、ケーブルとコネクタの組立は、コネクタメーカが認定した社外のコネクタ組立会社に委託していた。

ケーブルメーカやコネクタメーカ等への聞き取り調査から、コネクタの部品をコネクタ組立会社に支給したコネクタメーカが、FHM向けの部品パッケージにグロメットを入れなかった可能性があることを確認した。

また、コネクタ組立会社によるケーブルとコネクタの組立時において、ブーツの取付不良やグロメット未取付によるコネクタ内へのシールド線混入が発生した可能性があることを確認した。

c. コネクタ組立会社における工場検査

コネクタ組立会社では、ケーブルとコネクタの組立後に寸法、絶縁抵抗測定、導通試験、材料確認を行っていた。また、ケーブルメーカでは、コネクタ組立会社の記録確認に加えて、ケーブル外観、ケーブル長さ確認を行っていたが、いずれの検査においても、コネクタの組立不良は確認されなかった。

d. 受注者による受入検査

受注者では、追加発注したケーブルを海外一次調達先から輸送する前の段階で、海外一次調達先の記録確認を行っていた。また、受注者の工場に受入した後、ケーブルの導通試験を行っていたが、コネクタの組立不良は確認されなかった。

e. 受注者による現地検査

受注者では、追加発注したケーブルを現地の燃料取扱設備の各機器及び制御盤に接続後、社内検査として絶縁抵抗測定、導通試験を行っており、その中で絶縁抵抗に不良が確認されたケーブル3本を交換していたが、その時点でコネクタの組立不良は確認されなかった。(その後、交換したケーブルを工場に持ち出してコネクタの分解調査を行ったところ、コネクタの組立不良が原因であることを確認した。)

(添付資料Ⅱ-9)

Ⅱ-4. 推定原因

状況調査及び原因調査の結果から、本事象が発生した原因は以下の通りと推定した。

(1) リード線断線の推定原因

- ①コネクタ組立会社にて、ケーブルとコネクタを組立した際、ブーツの取付不良によりケーブルとブーツの間に隙間ができた。

- ②屋外に設置したケーブルダクトの一部に隙間があり、そこから雨水がケーブルダクト内に浸入した。
- ③ケーブルダクト内に侵入した雨水が、コネクタを覆っているブーツとケーブルの隙間からコネクタ内に侵入した。
- ④コネクタ内に雨水が浸入して溜まり、リード線とコネクタピンの腐食が進んで、リード線が断線した。

(2) マスト停止の推定原因

- ①リード線が断線したことにより、モータ速度検出器(1)の信号異常が発生し、マストホイストモータ(1)が停止した。
- ②マストホイストモータ(1)の停止により、マストホイストモータ(2)も停止したが、マストホイストモータの回転数が一時的に非同期となった。
- ③マストホイストモータの回転数が非同期となったことで、マストロープ(1)が張り方向、マストロープ(2)が緩み方向となり、ロープの長さ差が生じて、マストホイストイコライザーに傾きが発生した。
- ④マストホイストイコライザーが傾いたことで、マストロープ破断検出用のLSが動作し、ロープ断線を検知して警報が発生したため、マストが停止した。

(添付資料Ⅱ-10)

Ⅱ-5. 類似箇所の調査結果

(1) リード線の断線に関する類似調査

マストホイストモータのモータ速度検出器と制御ユニットを繋ぐケーブルのリード線に断線が確認されたことから、燃料取扱設備の制御系に使用しているケーブル及び同様な構造となっている電源系のケーブルについて調査した結果、以下のことを確認した。

- a. 燃料取扱設備の制御系に使用しているケーブル76ライン(本事象で断線が確認された1ラインを除く)について、絶縁抵抗及び導体抵抗測定を行った結果、ケーブル11ラインの抵抗値に異常があった。
- b. 制御用のケーブルと同様な構造の燃料取扱設備の電源系に使用しているケーブル37ラインについて、ケーブルの絶縁抵抗及び導体抵抗測定を行った結果、異常はなかった。

(2) グロメットの未組み込みに関する類似調査

コネクタ内に防塵対策用のグロメットが組み込まれていないことが確認され、シールド線が折損した場合にコネクタ内に脱落し、地絡や短絡が発生する可能性があることから、燃料取扱設備に使用しているケーブルのコネクタ約1500個のうち、サンプルとして使用しているコネクタ20個(本事象で分解調査した3個を除く)及び予備ケーブルのコネクタ8個について分解調査した結果、以下のことを確認した。

- a. コネクタ11個にグロメットが組み込まれていなかった。なお、グロメットが組み込まれていなかったコネクタは、2017年に追加製作したコネクタの一部で確認された。
- b. コネクタ1個でシールド線の折損及びコネクタ内への脱落があった。
- c. コネクタ28個でブーツの取付不良はなかった。なお、ブーツの取付状態については、分解調査したコネクタ28個のほかに、コネクタ108個についても目視確認したが、異常はなかった。

Ⅱ－６．再発防止対策

原因調査結果等を踏まえ、本事象に対して以下の再発防止対策を行う。

(1) ケーブル及びコネクタの対策

- a. 本事象及び類似箇所の調査結果で不具合が確認されたケーブル及びコネクタについて、健全な予備ケーブルへの交換又は修理による仮復旧を行った。
(2018年9月29日完了済み)
- b. コネクタ内にグロメットが組み込まれていない可能性のある2017年に追加製作されたコネクタについては、全数交換又は修理する。
また、その他のケーブル及びコネクタについても、安全点検で不具合が確認された場合は交換や修理を行う。なお、交換や修理にあたっては品質を確保して施工する。

(2) 雨水の侵入防止対策

隙間が確認された屋外ケーブルダクトについて、雨水の侵入を防止するため閉止養生する。

なお、本事象との因果関係はないが、強風時などに燃料取り出し用カバー内に雨水が浸入することがあったため、燃料取扱設備に対する雨水侵入防止対策の一環として、雨水浸入経路と考えられる部材の隙間を塞ぐ工事を実施している。

(添付資料Ⅱ－１１)

(3) 調達上の対策

本事象が発生した要因として、ケーブルの製作段階において、ブーツの取付不良等が確認されていることから、ケーブルの復旧にあたって新たに調達するケーブルについては、防水・防滴性等の要求仕様を当社と受注者で協議した上で、国内メーカー工場にてコネクタを製作し、要求した品質が保たれているか当社が確実に確認する。

以下余白

Ⅲ. 添付資料

- 添付資料Ⅰ－１ クレーン不具合に係わる時系列
- 添付資料Ⅰ－２ 燃料取扱設備及び制御盤コンテナ概略図
- 添付資料Ⅰ－３ 主巻インバータの不具合状況
- 添付資料Ⅰ－４ クレーン制御盤内の損傷状況調査結果
- 添付資料Ⅰ－５ ブレーキレジスタ内部の損傷状況調査結果
- 添付資料Ⅰ－６ ブレーキレジスタ内部の詳細調査結果
- 添付資料Ⅰ－７ 主巻インバータ回路図
- 添付資料Ⅰ－８ ３号機燃料取扱設備の調達に係わる時系列
- 添付資料Ⅰ－９ ブレーキレジスタ内部及び主巻インバータ損傷の発生メカニズム
- 添付資料Ⅰ－１０ 設備上の対策実施状況

- 添付資料Ⅱ－１ FHM不具合に係わる時系列
- 添付資料Ⅱ－２ FHM及びマスト概略図
- 添付資料Ⅱ－３ マストホイスト警報発生状況図
- 添付資料Ⅱ－４ 状況調査結果
- 添付資料Ⅱ－５ 制御ユニット不具合箇所の特定期間調査
- 添付資料Ⅱ－６ 断線及び地絡傾向が確認されたケーブルの分解調査結果
- 添付資料Ⅱ－７ 短絡傾向が確認されたコネクタの分解調査結果
- 添付資料Ⅱ－８ 屋外ケーブルダクトの設置状況調査結果調査結果
- 添付資料Ⅱ－９ ケーブル敷設概略図
- 添付資料Ⅱ－１０ リード線断線及びマスト停止の発生メカニズム
- 添付資料Ⅱ－１１ 雨水の侵入防止対策実施状況

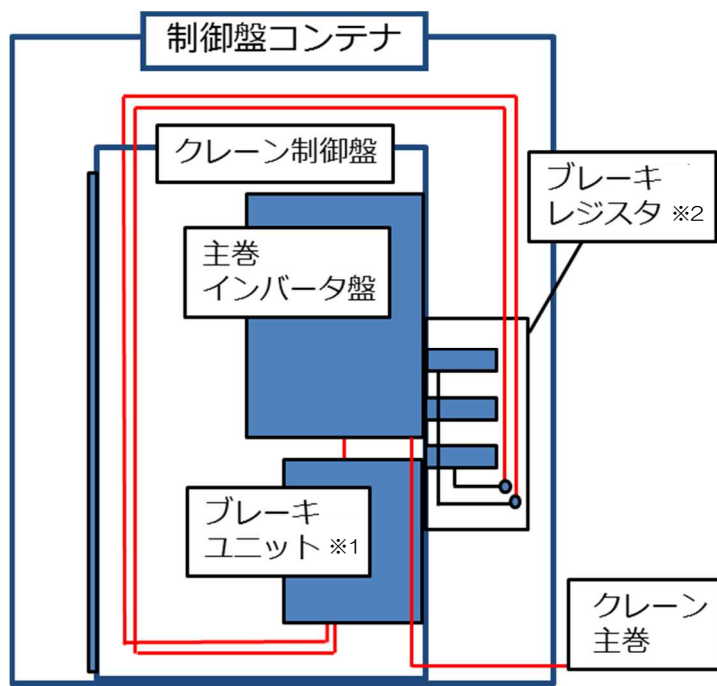
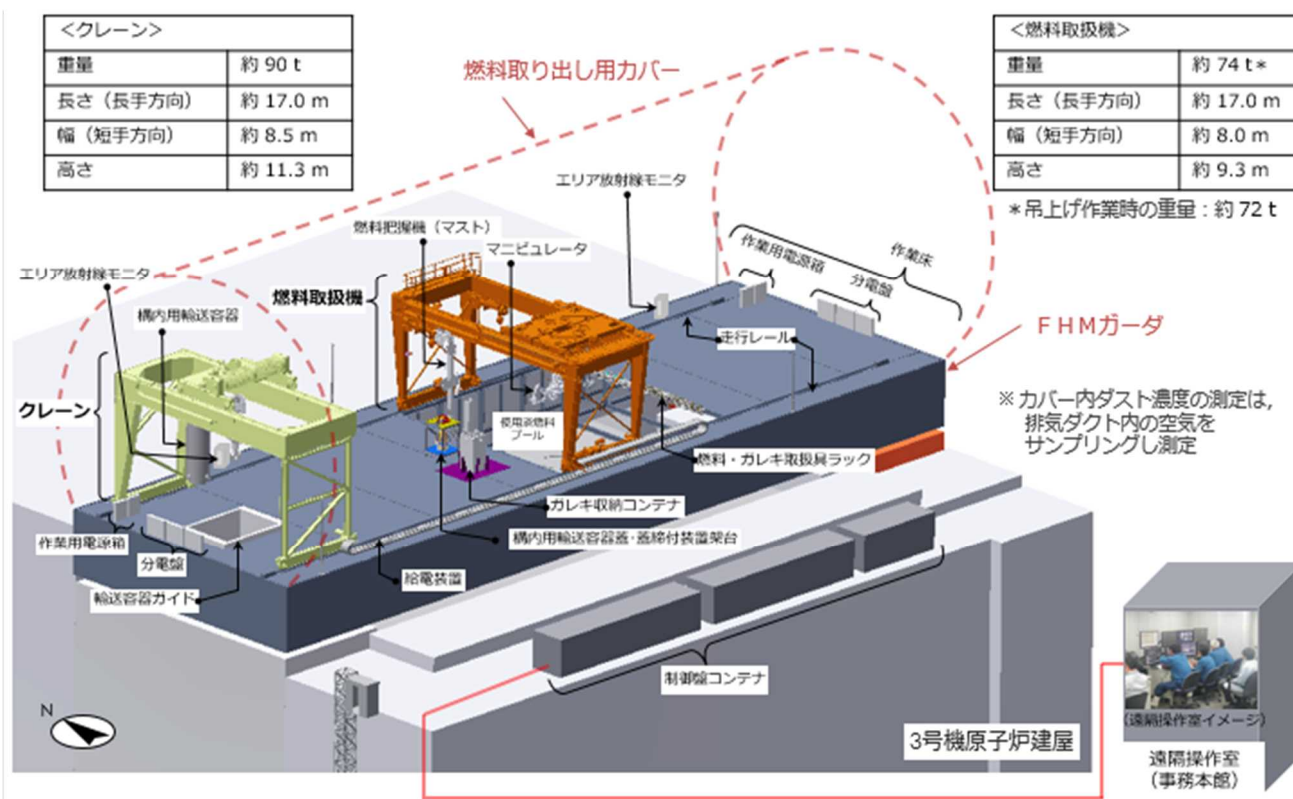
以 上

クレーン不具合に係わる時系列

2018年

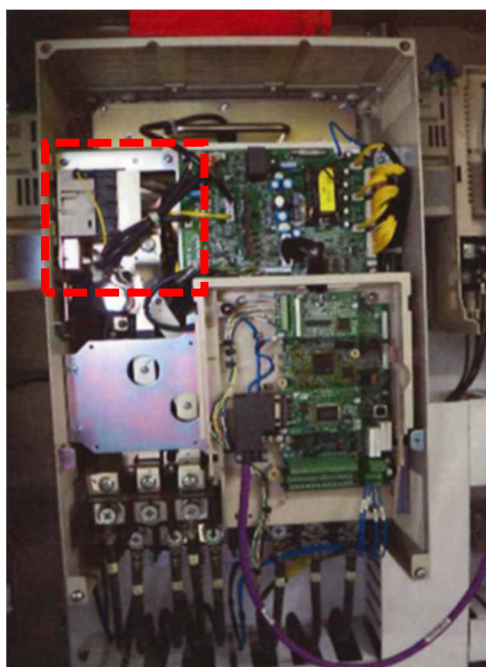
- 3月16日 クレーン制御盤の電源を初めて投入した際、主巻インバータ異常を含む複数の警報が発生した。
- 3月28日 通信異常やケーブルの一部断線を確認したことから、ケーブル交換等の復旧作業を行ったが、主巻インバータ異常警報のみクリアしなかった。
- 4月 5日 主巻インバータ異常警報がクリアしない原因を調査したところ、インバータ内の整流器が損傷しているのを確認した。
- 4月21日 主巻インバータ異常警報がクリアしない原因について機器単体の故障と考え、主巻インバータの交換を行った。
その後、クレーンの動作確認にて主巻の巻き下げ速度を上昇させたところ、主巻インバータ異常警報が再び発生した。
- 4月25日 主巻インバータ異常警報の再発生原因を調査したところ、ブレーキユニット内のヒューズが損傷していることを確認した。
- 5月11日 ブレーキユニットの交換を行った後、クレーンの試運転にて主巻の巻き下げ停止操作をしたところ、主巻インバータ異常警報が発生するとともに、主巻インバータ盤から異音が発生し、クレーンが停止した。
主巻インバータ盤の内部を確認したところ、内部にすすが付着していることを確認した。
- 5月12日 制御盤コンテナ内にある機器の外観確認を行ったところ、ブレーキユニットの一部で、クレーン制御盤背面にあるブレーキレジスタ内部に損傷があることを確認した。

燃料取扱設備及び制御盤コンテナ概略図

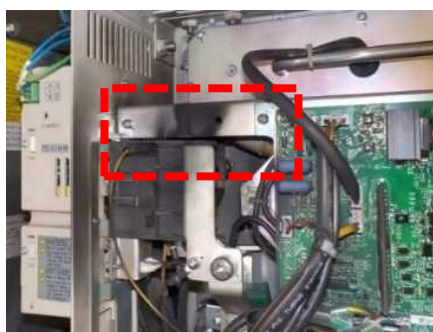


- ※1：ブレーキユニットは、クレーン主巻の動作により主巻インバータ回路内に発生する回生電流が設定電圧値を超えたとき、ブレーキレジスタ側に電流を逃がす回路
- ※2：ブレーキレジスタは、ブレーキユニットから回生電流を受けて熱に変換し、インバータの電圧上昇を抑える素子

主巻インバータの不具合状況



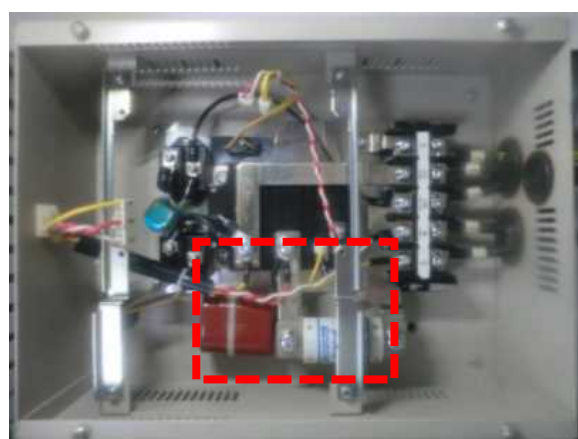
主巻インバータ盤内部



主巻インバータ内部のすす
(5月11日)



整流器の損傷
(4月5日)



ブレーキユニット内部



ヒューズの損傷 (4月25日)



ブレーキレジスタ内部

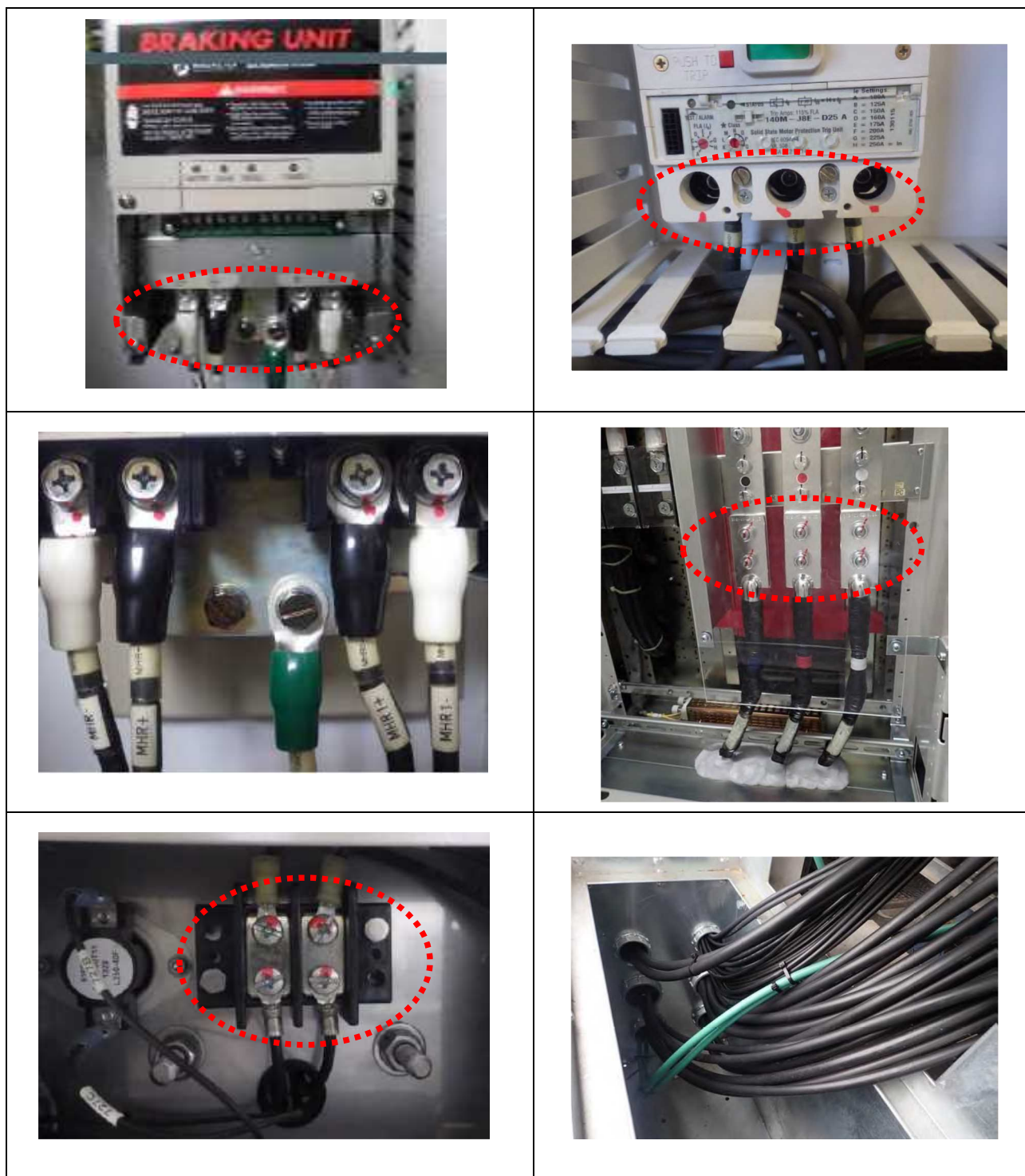


ブレーキレジスタ内の損傷 (5月12日)

クレーン制御盤内の損傷状況調査結果

クレーン制御盤内の機器及び電源ケーブルの損傷状況

- 外観確認 : 制御盤内機器 (37種類)、電源ケーブル (20本) → 【異常なし】
- 絶縁抵抗測定 : 制御盤内 (11箇所) → 【異常なし】
- 導通確認 : 制御盤内機器 (2種類)、電源ケーブル (20本) → 【異常なし】

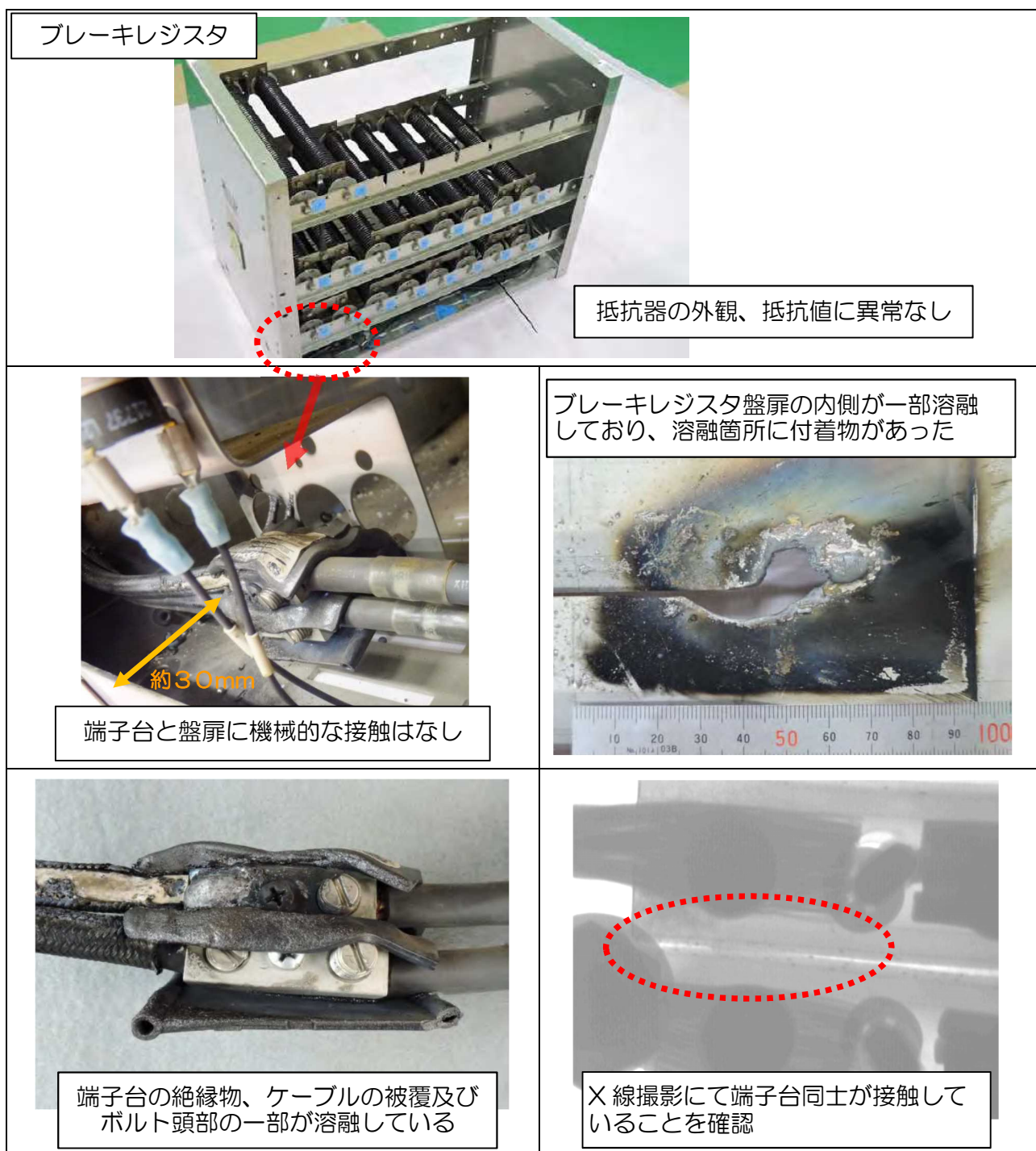


誤接続なし、ボルトの緩みなし、地絡発生の痕跡なし

ブレーキレジスタ内部の状況調査結果

ブレーキレジスタ内部の損傷状況

- 外観確認：ケーブル、盤、扉、抵抗器、端子台 → 【異常あり】
- 抵抗測定：抵抗器 → 【異常なし】
- 導通確認：端子台 → 【異常あり】
※PN間に300Ω程度の抵抗あり
- 材料調査：ケーブル、盤、扉、端子台 → 【異常なし】



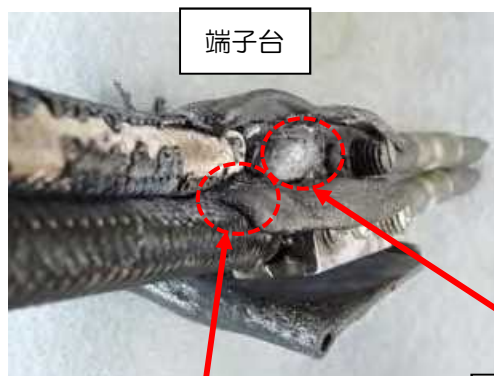
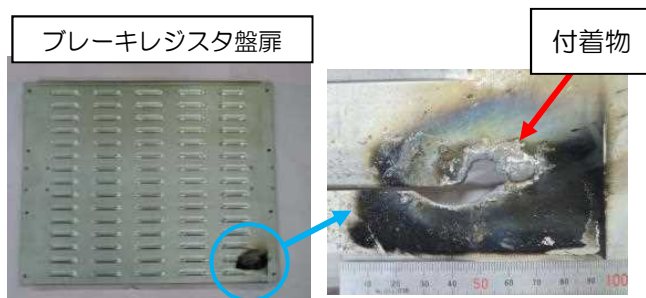
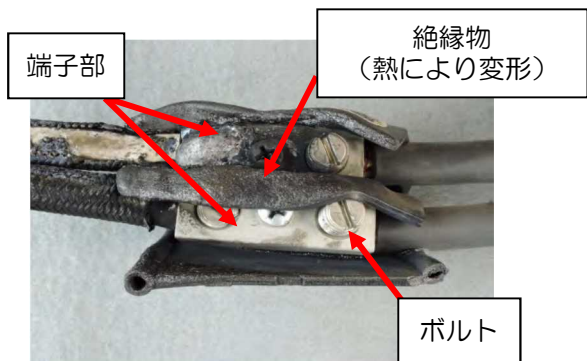
ブレーキレジスタ内部の詳細調査結果

●端子台の材料調査結果

- ・端子部：アルミ (Al) にスズ (Sn) メッキ
- ・ボルト：鉄 (Fe) にニッケル (Ni) メッキ
- ・絶縁物：ポリカーボネート

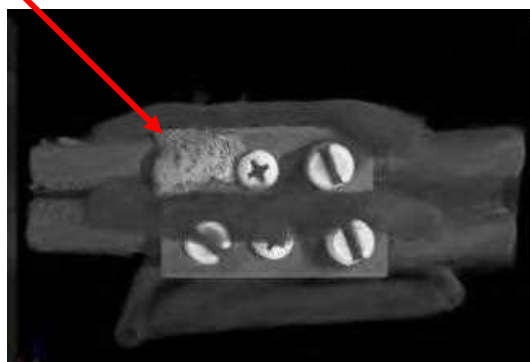
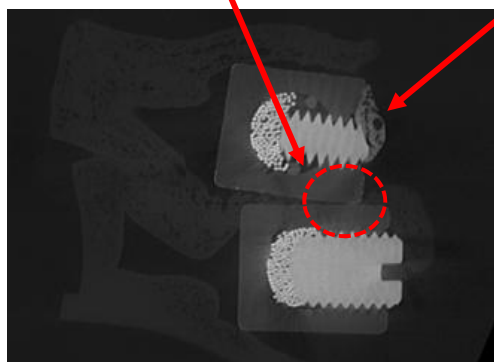
●ブレーキレジスタ盤扉に付着した付着物の材料調査結果

- ・付着物：アルミ (Al) と鉄 (Fe)
(端子部とボルトに使われている材料)



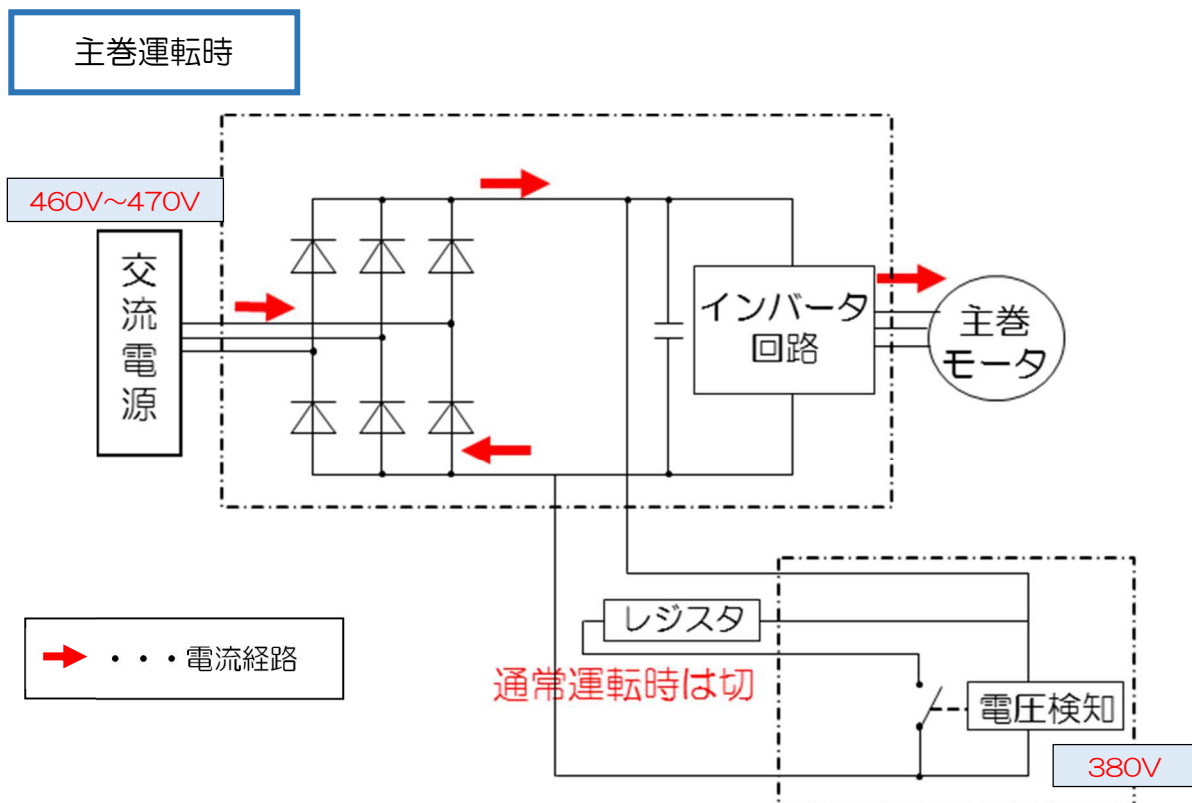
端子部同士が接触している

接触している各端子部
及びボルト頭部の角が
欠けている

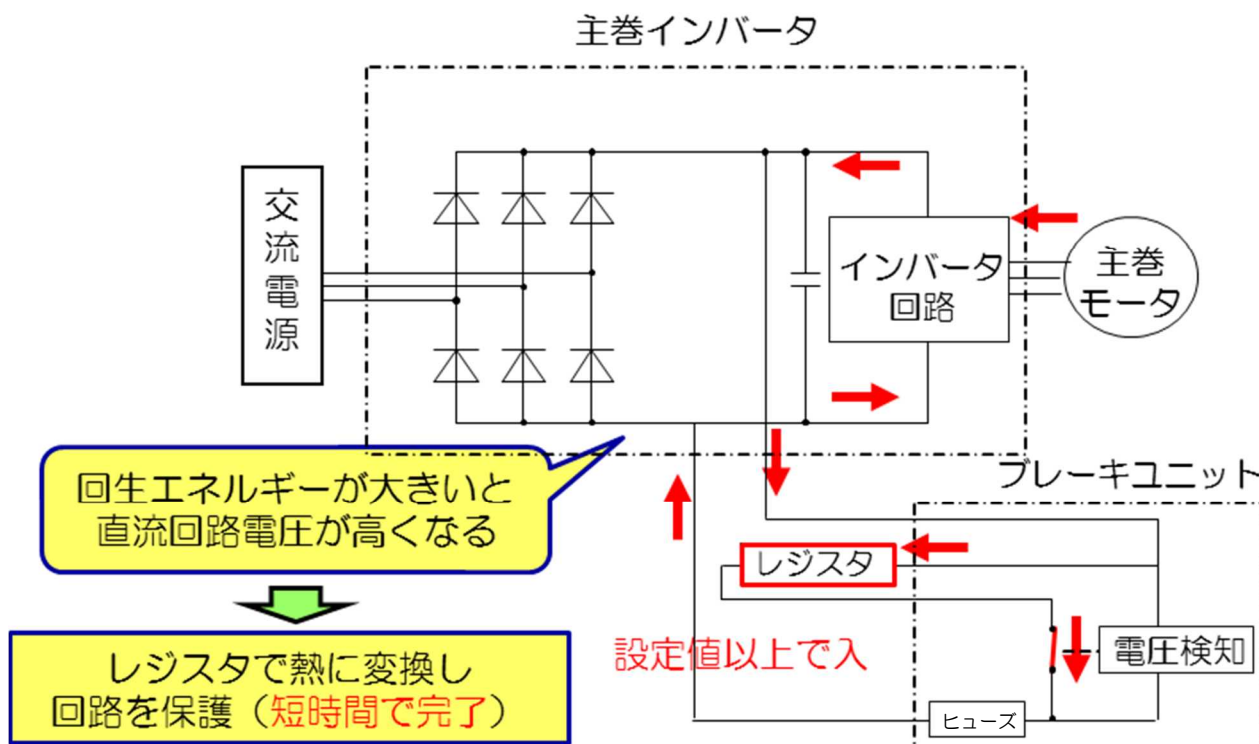


CTスキャン画像

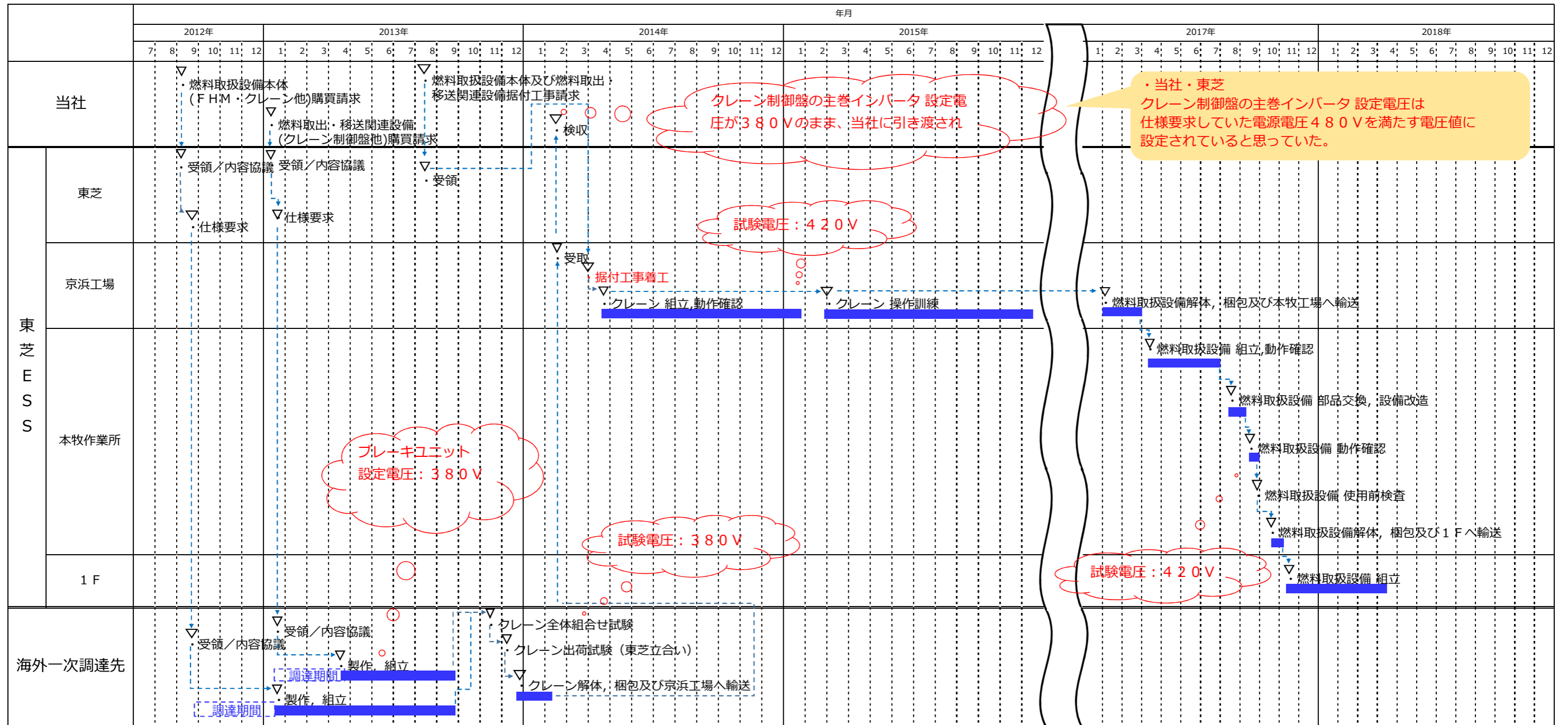
主巻インバータ回路図



回生制動時（正常）



3号機燃料取扱設備の調達に係わる時系列



ブレーキレジスタ内部及び主巻インバータ損傷の発生メカニズム

端子部を横から見たイメージ

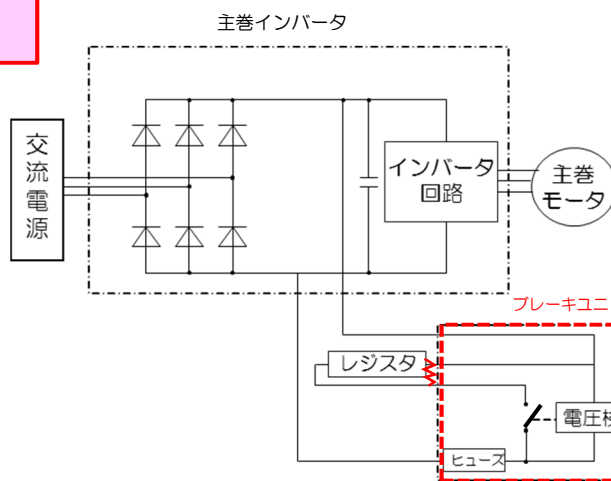
端子部 ブレーキレジスタ盤扉 金属蒸気 放電による電流

絶縁物 正常時 ボルト 短絡時 地絡時

- ブレーキレジスタ盤内が高温になり、端子部の絶縁物が変形し、端子部が接触したことにより短絡が発生。
- 短絡により、端子部が溶融して金属蒸気が発生。
- 金属蒸気中に放電が発生。
- 短絡時の放電により、端子台およびボルトの角から金属蒸気中に電流が流れ、ブレーキレジスタ盤扉と端子部間で地絡が発生。

本事象発生時回路

5 / 11



【対応処置】

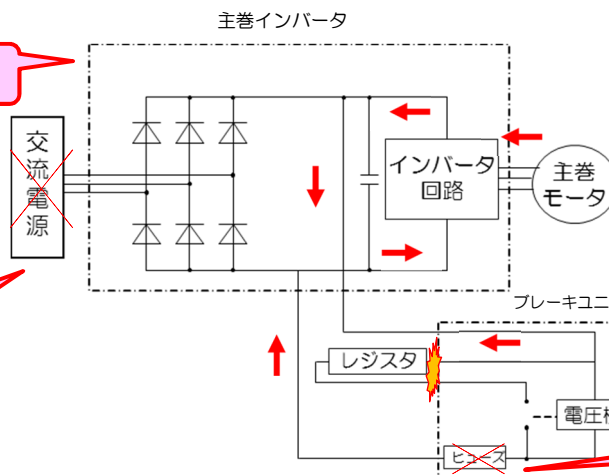
- ブレーキユニット交換
- 【故障継続箇所】
- ブレーキレジスタの短絡



回生制動時

主巻インバータ損傷

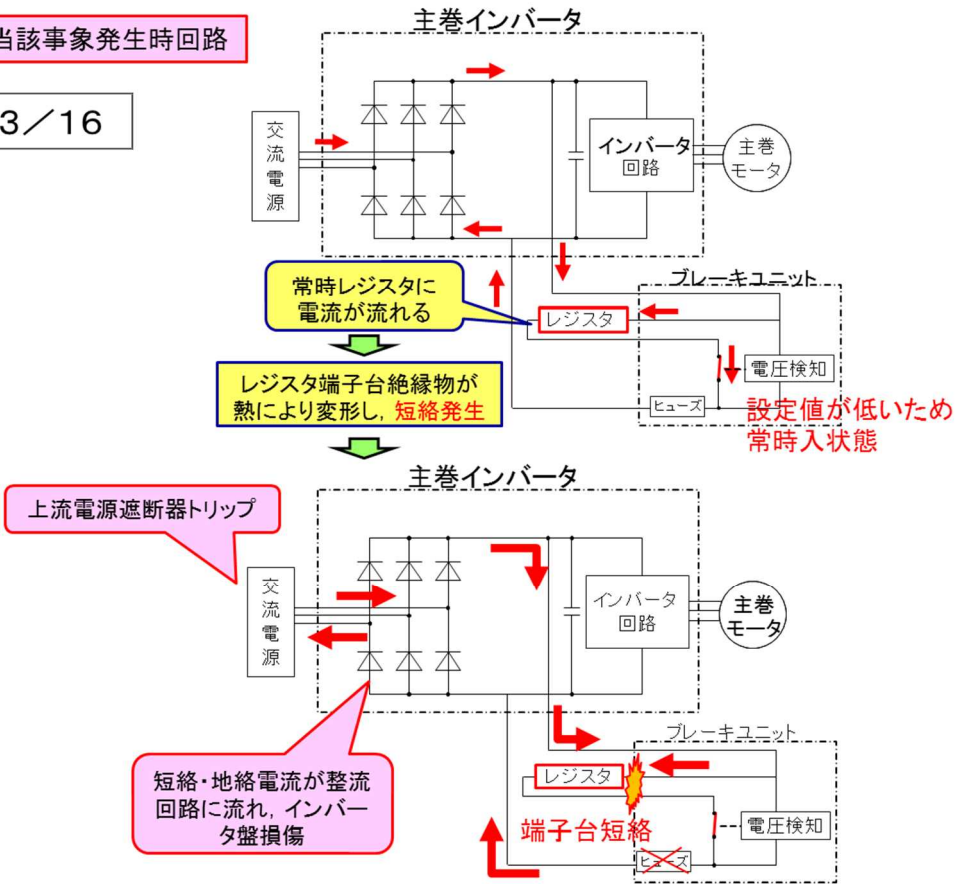
上流電源遮断器トリップ



回生電流がブレーキ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がトリップした。

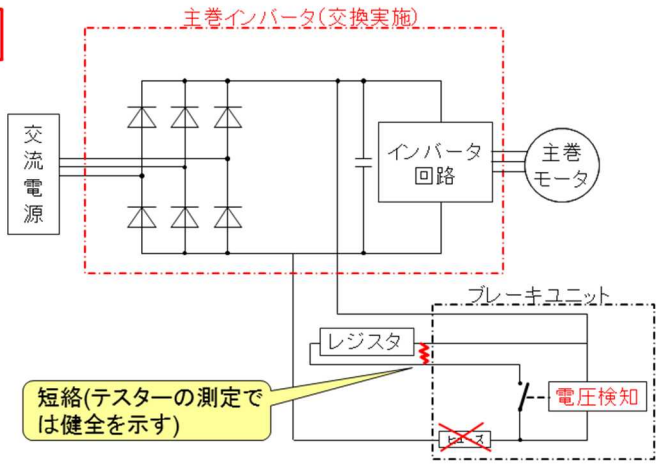
当該事象発生時回路

3/16



当該事象発生時回路

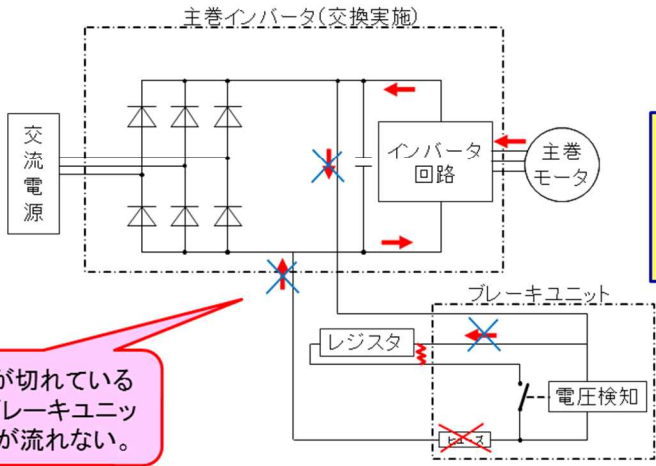
4/21



- 【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



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。

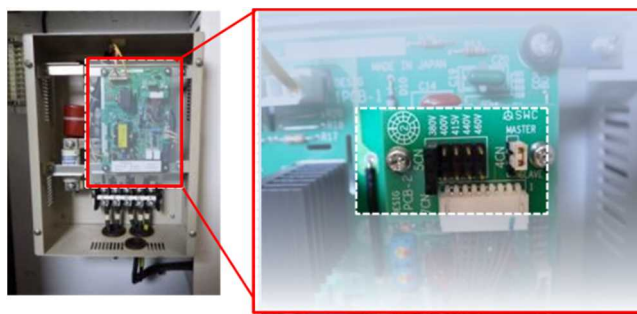
設備上の対策実施状況

部品	処置内容
主巻インバータ	<ul style="list-style-type: none"> • 新品に交換（部品廃番のため同仕様の部品に交換）
ブレーキユニット	<ul style="list-style-type: none"> • 新品に交換（部品廃番のため同仕様の部品に交換） • 設定値を現地でのクレーン電源電圧に合わせ440Vに設定変更
ブレーキレジスタ	<ul style="list-style-type: none"> • 新品に交換 • 端子台の改良（ブレーキレジスタ内部が高温状態となった場合でも端子台が損傷しないよう、端子台をブレーキレジスタ盤の外側に設置）

＜ブレーキユニットの外観＞

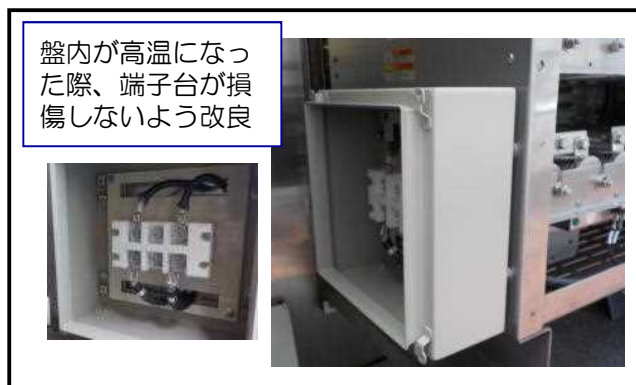


ブレーキユニット



ブレーキユニットの表蓋を外した状態

＜端子台をブレーキレジスタ盤の外側に設置＞



FHM不具合に係わる時系列

2014年2月

燃料取扱設備を受注者の国内工場へ納入（当社検収）

2014年6月～2015年1月

受注者の国内工場にて燃料取扱設備の動作確認を実施（訓練指導員の育成含む）

2015年2月下旬～12月中旬

受注者の国内工場にて燃料取扱設備の操作訓練を実施

2017年9月

受注者の国内作業所にて燃料取扱設備の動作確認を実施（現地輸送前）

2017年11月

燃料取扱設備を現地へ輸送し、ガーダ上に据付

2018年5月～8月

FHMの試運転を実施（マストホイストの制御に異常がないことを確認）

2018年8月8日

15時08分 FHMの使用前検査開始

マスト降下開始

「マストホイスト simotion 異常」警報発生

リセット操作をして警報クリア

15時11分 「マストホイスト simotion 異常」警報発生

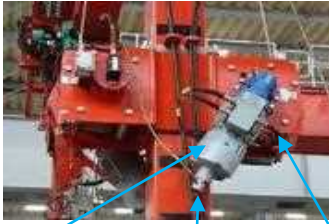
「マストホイスト#2 モータ・イコライザー異常」警報発生

「ロープ破断なし(2)」消灯発生

15時35分 FHMの使用前検査中断

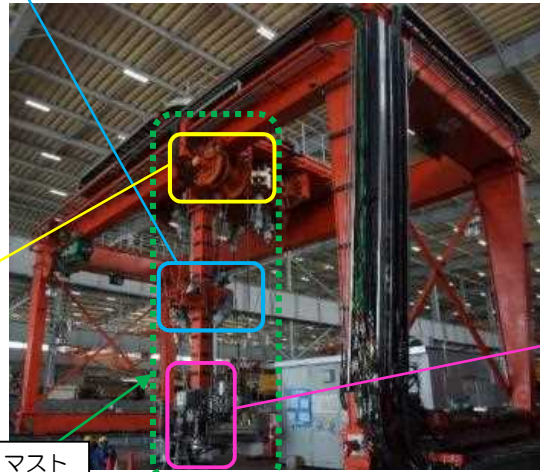
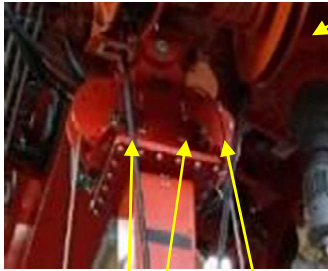
16時30分 マストホイストモータ 1・2 の「モータ回転量」「ロープ引出し長さ」
情報表示が「####」であることを確認

FHM及びマスト概略図



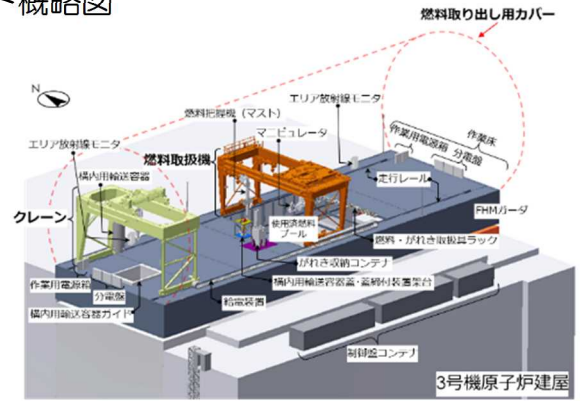
マストホイストモータ

モータ速度検出器



マスト

FHM



3号機原子炉建屋



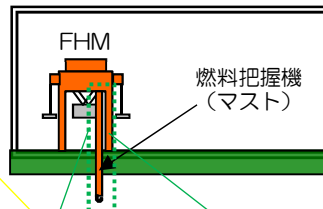
グラップル
(マスト先端据付状態)

<仕様>

重量	約74 t※
長さ(長手方向)	約17.0m
幅(短手方向)	約8.0m
高さ	約9.3m

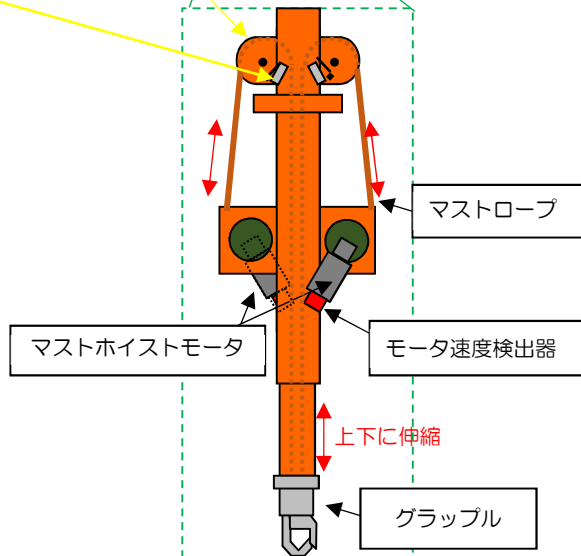
※吊り上げ作業時の重量：約72 t

マストホイストイコライザ
(平衡器)



3号原子炉建屋オベフロ上

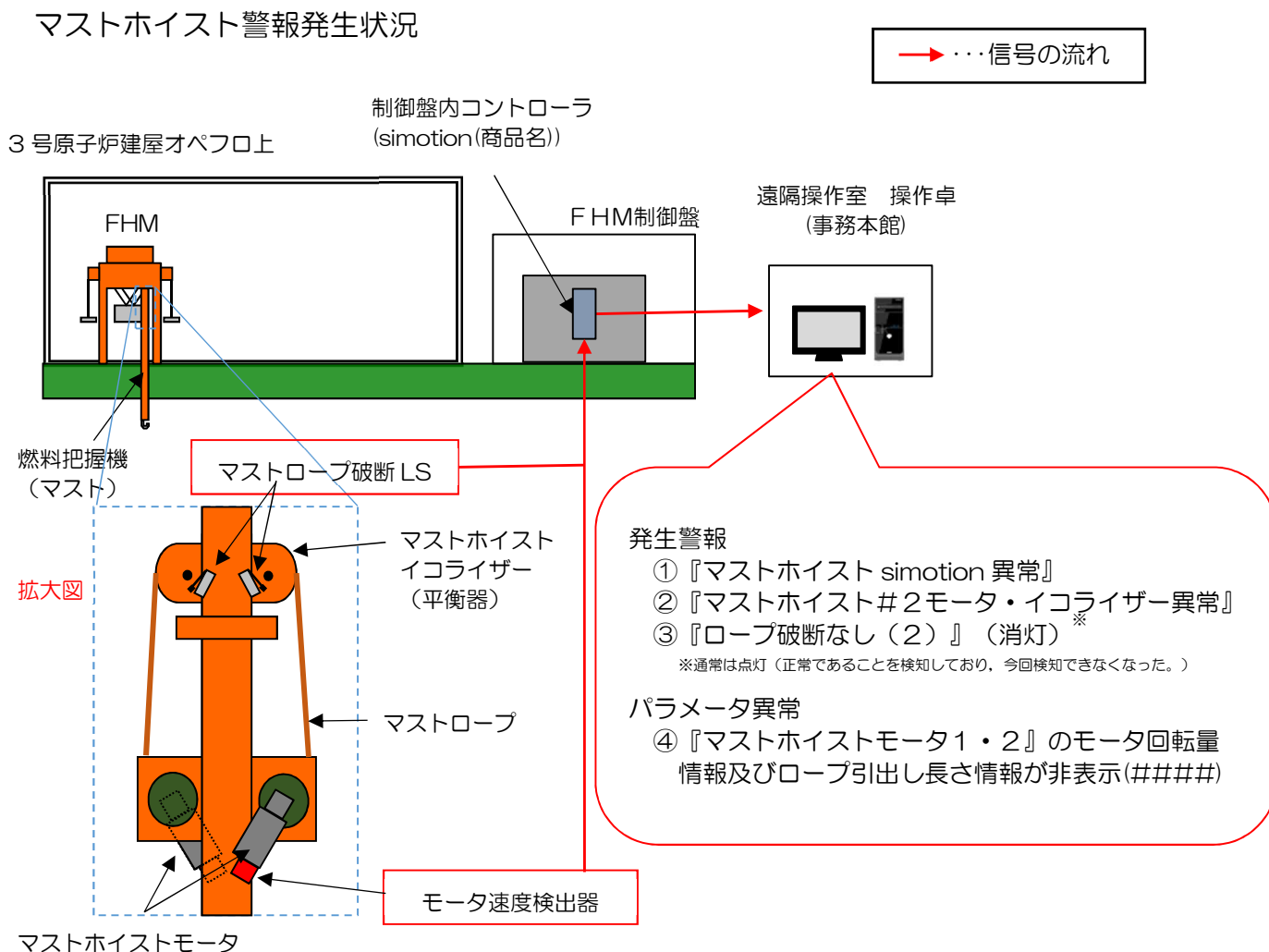
マストロープ
破断LS



上下に伸縮

マスト概略図

マストホイスト警報発生状況図



各警報の発生要素について

【①～③発生警報】

- ロープ破断を検出するリミットスイッチ(LS)の信号により警報③が発生し、①②はその関連警報として同時に発生する。
- ロープ破断、LS 単品、信号ケーブル等に不具合のある可能性が考えられる。
- 調査の結果、ロープの破断、LS の故障は確認されていない。

【④パラメータ異常】

- ④のモータ回転数、ロープ引出し長さ情報の表示が非表示(####)となる可能性は、モータ速度検出器の単品故障、信号ケーブルの不具合、接続部の異常が考えられる。
- 調査の結果、接続部の異常は確認されていない。

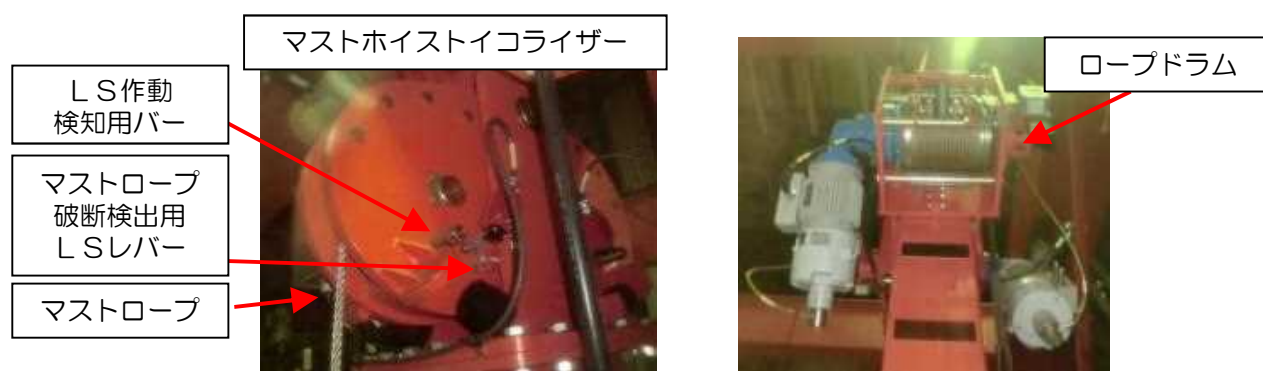
状況調査結果

(1) マストの外観確認

- ・マストホイストイコライザーは傾いておらず、マストロープにも切断や乱巻は等の異常なし
- ・マストロープ破断検出用LSのレバーや取付部に変形やゆるみ等の異常なし
- ・LSレバーとLS作動検知用バーの間隔に問題なし

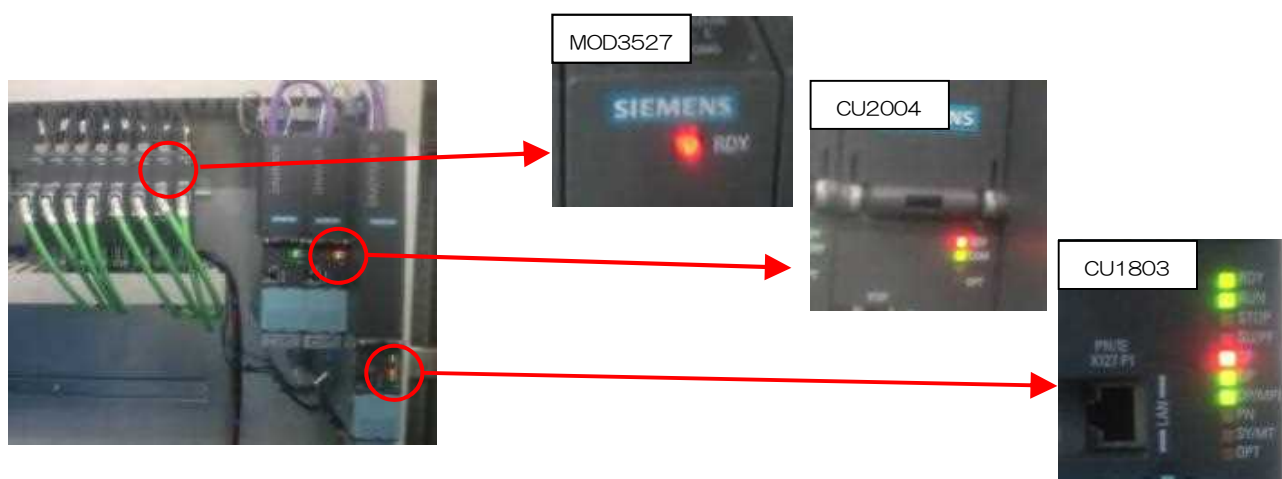
(2) LSの動作確認

LSを手動操作にて正常動作でマストロープ破断検出信号が出ることを確認

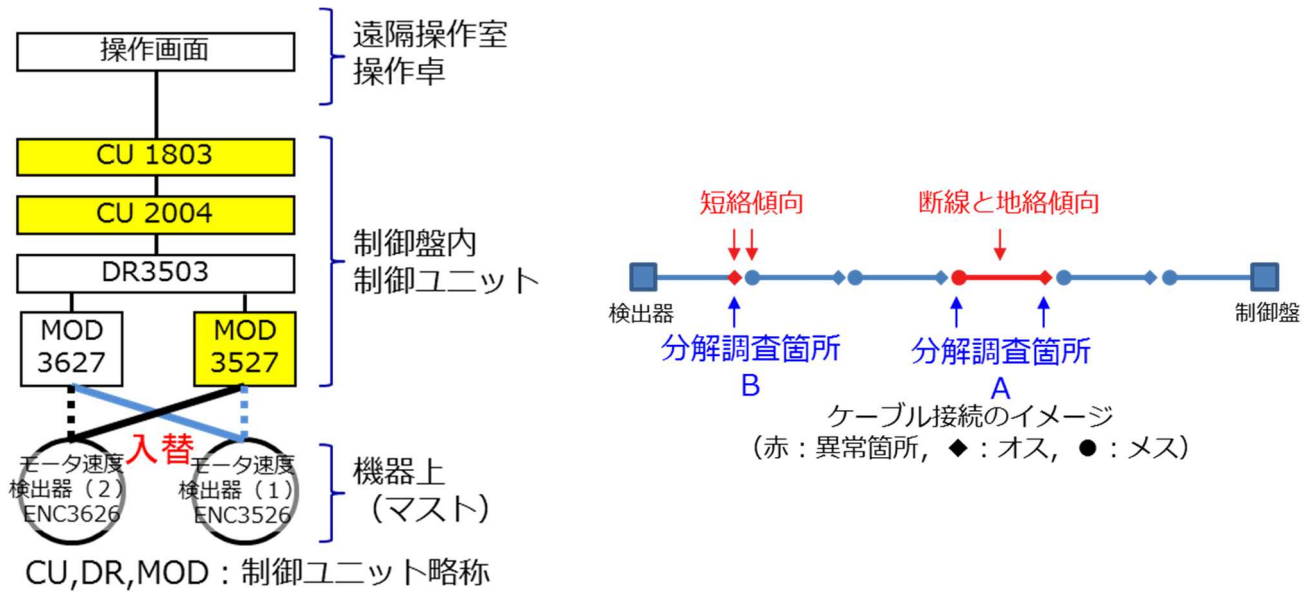


(3) FHM制御盤内の表示状態確認

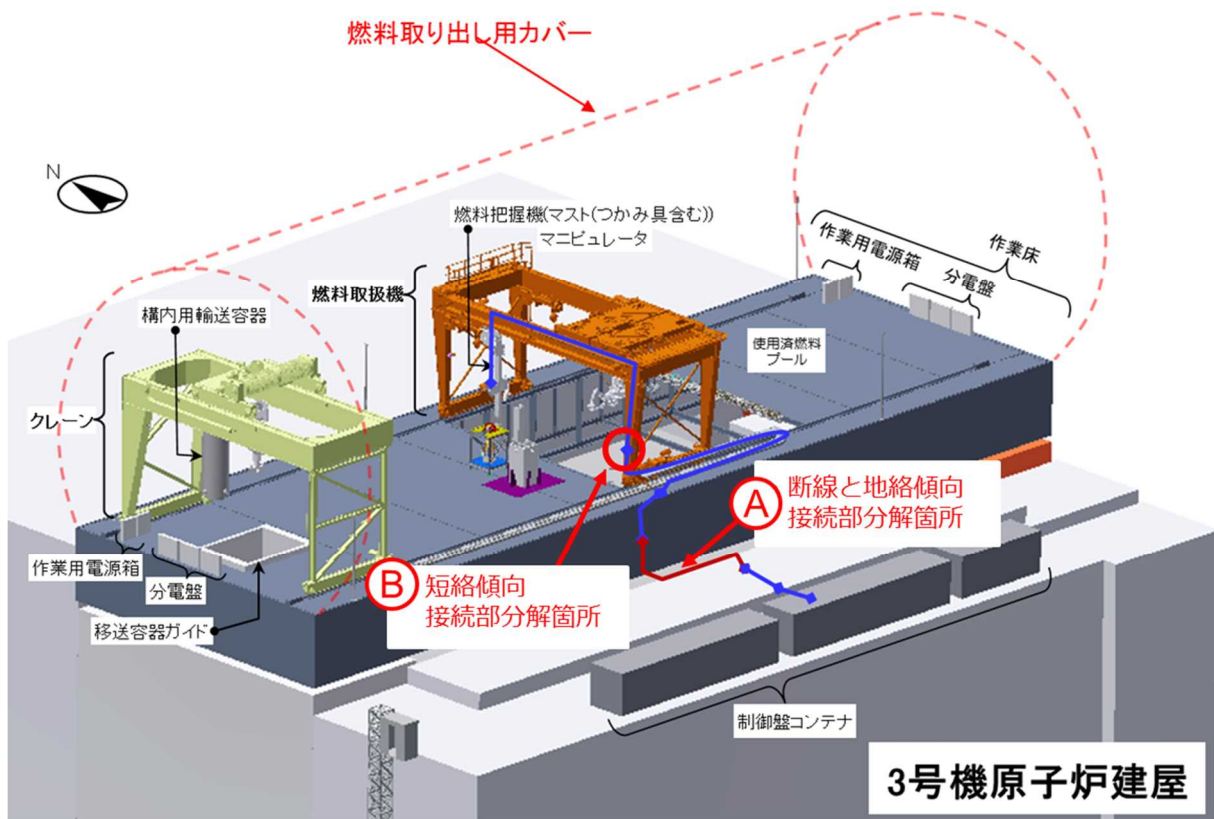
制御盤内にある制御ユニット3箇所エラー表示ランプが点灯
(制御ユニットに何らかの不具合あり)



制御ユニット不具合箇所の特定調査結果

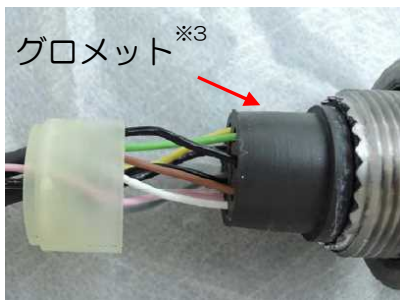
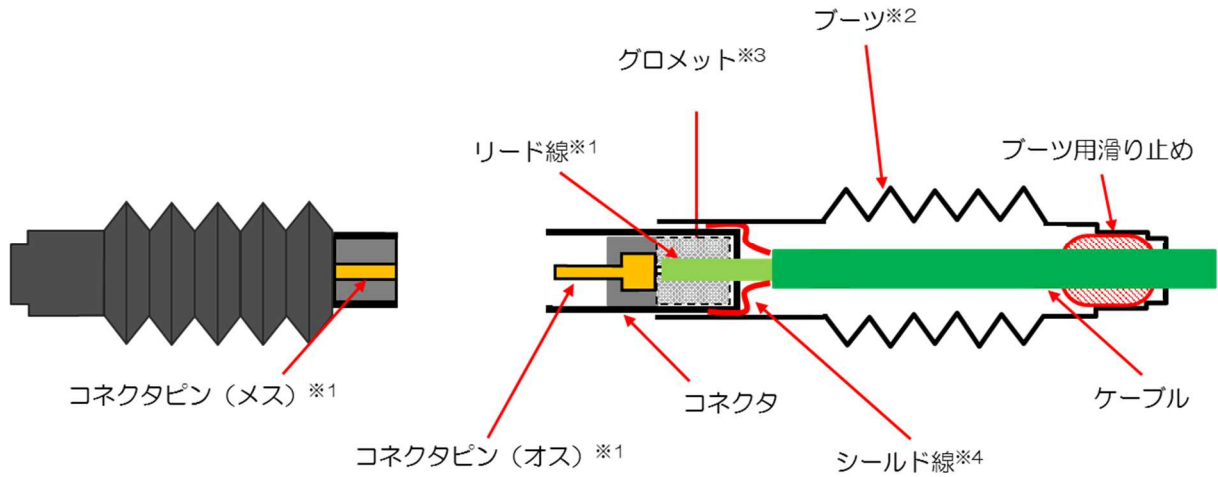


黄色：エラー信号発生箇所
点線：本来の接続箇所



断線及び地絡傾向が確認されたケーブルの分解調査結果
(分解調査箇所A)

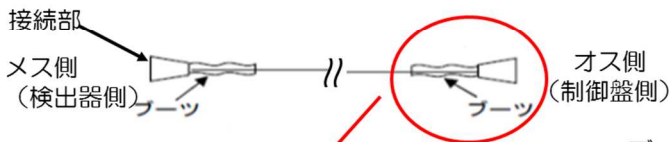
●コネクタ概略図



- ※1：コネクタピン，リード線については，ケーブル仕様によって本数（個数）が異なる。
- ※2：ブーツはコネクタからケーブルの抜け防止及び雨水浸入防止のため。
- ※3：グロメットは，防塵対策のため。
- ※4：シールド線は外部からのノイズ防止のためのアース線であり金属コネクタと電氣的に接続されている。

●コネクタの目視確認

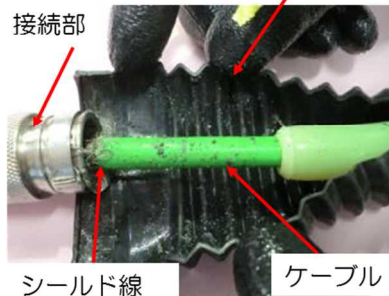
- 不具合が確認されたケーブルの接続部を分解し内部を確認
 - 片側（オス側）の接続部内部に断線と異物を確認。
 - オス側のブーツ内が湿っていることを確認。
 - シールド線の折損を確認し，折損したシールド線が接続部内部に脱落することにより，リード線間で短絡が発生する可能性を確認。



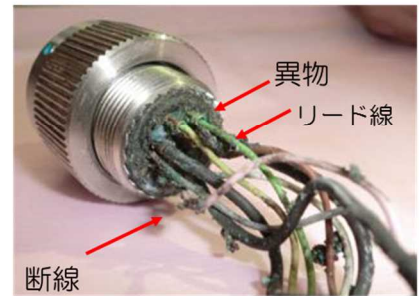
分解後
(メス側，異常なし)



ケーブルと接続部
(オス側)



ブーツ剥がし
(オス側)



分解後
(オス側，断線・異物確認)



①ブーツ用滑り止めのずれ

※ブーツ用滑り止め：ケーブル径が小さいため
ブーツに合わせるための治具



②ブーツの熱収縮状況

●コネクタの詳細観察及び成分分析

■ オス側接続部内部の詳細観察を実施

- 断線が確認されたリード線について、リード線、コネクタピンが確認できないほど腐食が進行していた。
- 異物の成分分析の結果、異物は銅・亜鉛・酸素を成分とする腐食生成物であり、リード線、コネクタピンが腐食して生じたものであることを確認した。
- 異物を除去した結果、断線した素線を確認できた。



①接続部外観



③断線部拡大



⑤接続部内部
(清掃後)



②接続部内部
(リード線切断後)



④断線部拡大
(異物除去後)



⑥断線部拡大
(清掃後)

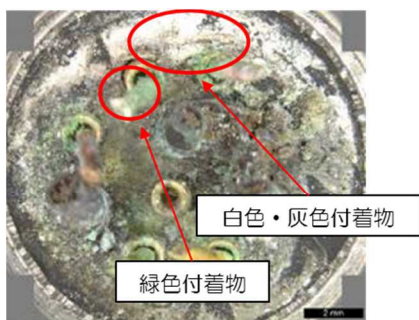


図1 異物調査箇所

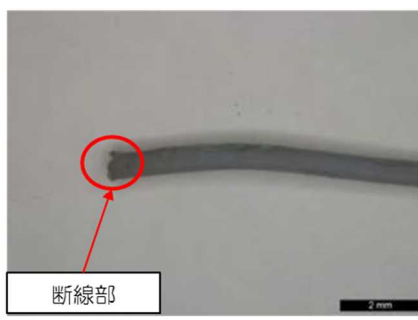


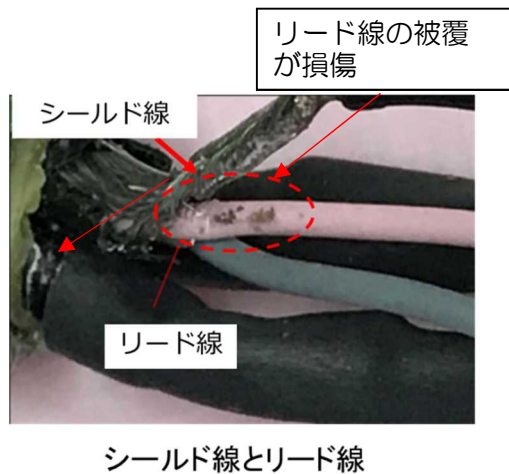
図2 リード線断面



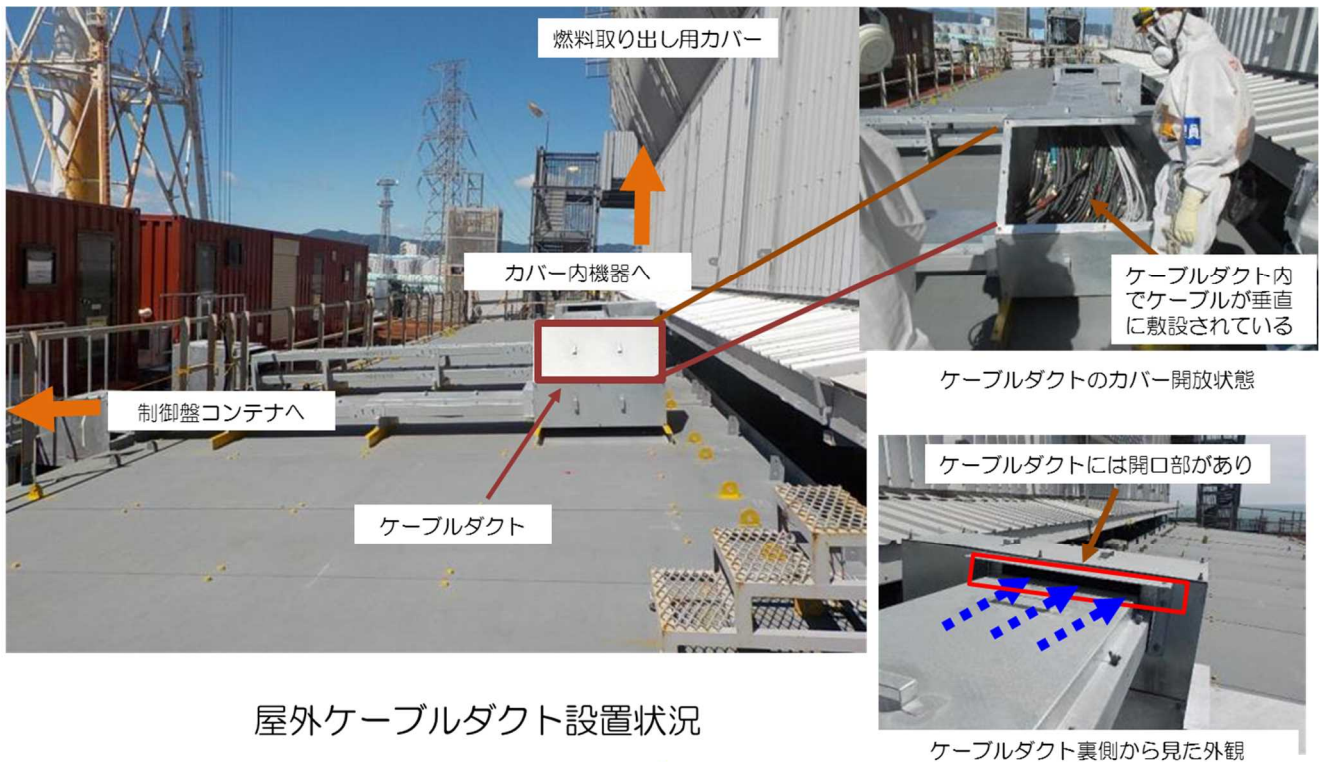
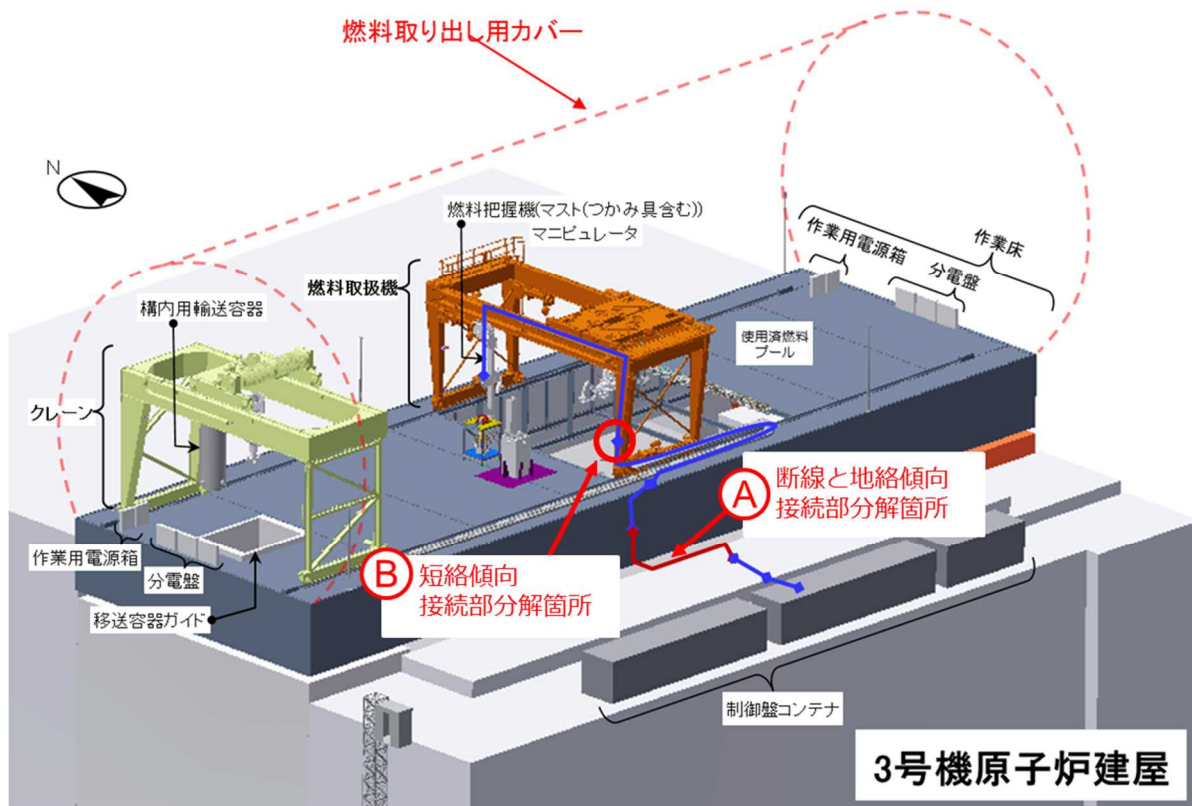
短絡傾向が確認されたコネクタの分解調査結果
(分解調査箇所B)

●短絡傾向が確認されたコネクタの目視確認

- 短絡傾向が確認された接続部のFHM側接続部について内部確認を実施
 - リード線の断線は無く、ブーツ内も濡れていなかった。
 - シールド線に一部短いものが確認された。
 - シールド線が折損し、折損したシールド線が接続部内部に脱落することにより、リード線間で短絡及び地絡が発生する可能性があることを確認した。



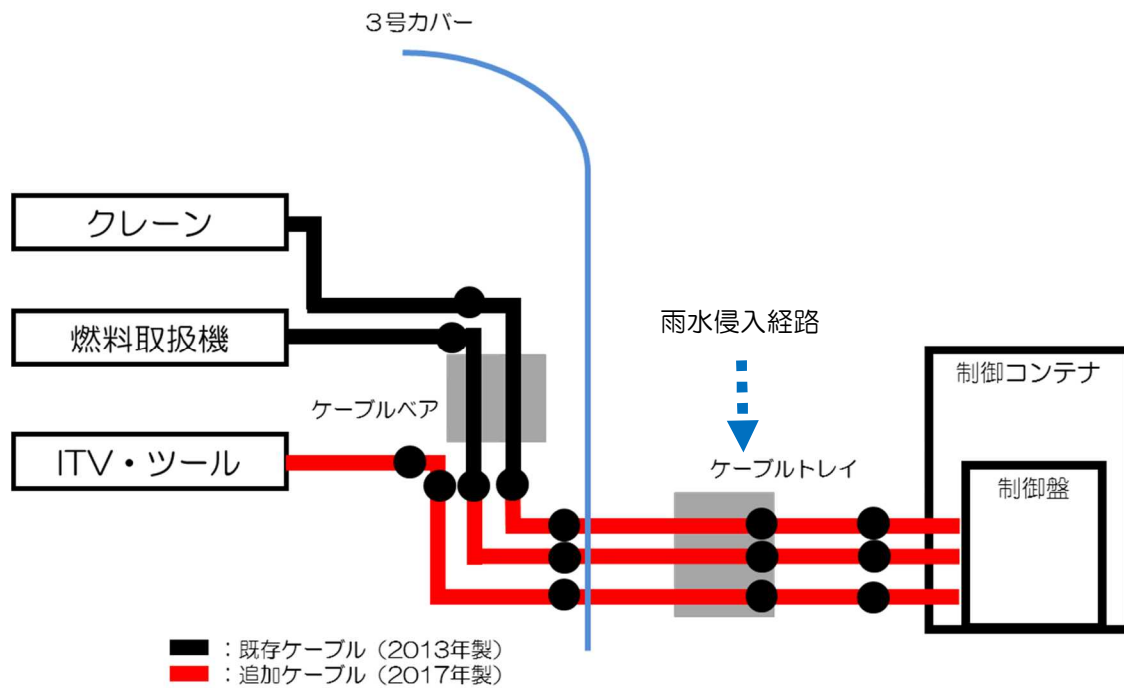
屋外ケーブルダクトの設置状況調査結果



屋外ケーブルダクト設置状況

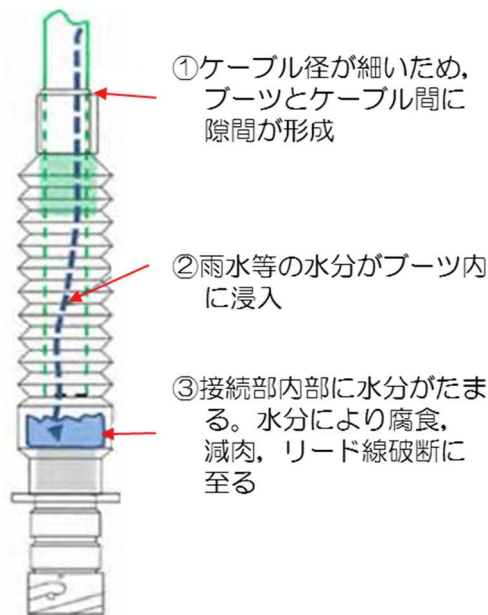
■▶ : 雨水浸入経路

ケーブル敷設概略図

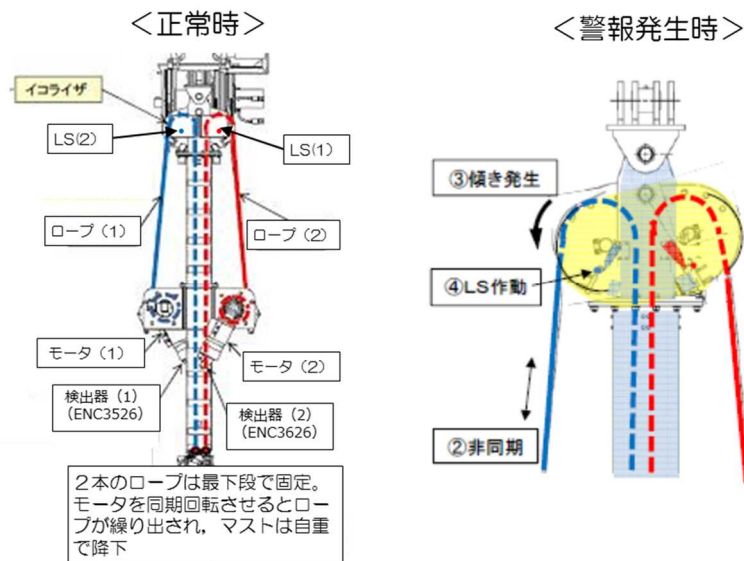


リード線断線及びマスト停止の発生メカニズム

●リード線断線の発生メカニズム



●マスト停止の発生メカニズム



警報発生時の事象

- ①検出器(1)の制御用ケーブル断線が発生したことで警報が発生
 - ・『マストホイスト simotion 異常』発生
- ②モータ(1)が停止するとモータ(2)も続けて停止このとき、モータの回転数が一時的に非同期
 - ロープ(1)が張りロープ(2)が弛み、ロープ(1)、(2)の長さに差が発生
- ③イコライザーに傾きが発生
 - 左側に傾く
- ④リミットスイッチ(2)が作動しロープ断線検知となり警報が発生
 - ロープ断線検知
 - ・『ロープ破断なし(2)』(消灯)
 - ・『マストホイスト#2モータ・イコライザー異常』発生

雨水の侵入防止対策実施状況

