

# 福島第一原子力発電所3号機 燃料取扱設備の不具合について

2018年9月14日

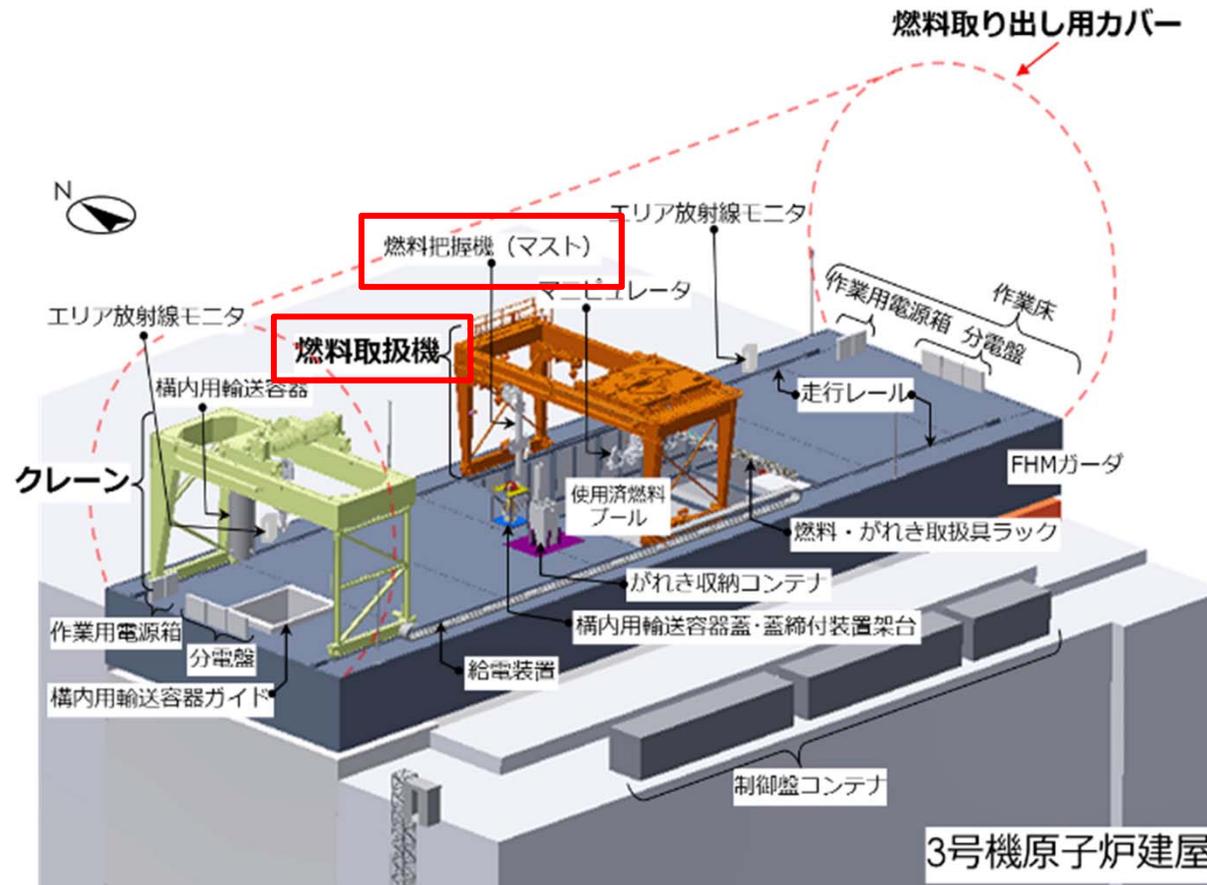


東京電力ホールディングス株式会社

# 1. 不具合状況(1/2)

## ■ 発生事象

2018年8月8日 原子力規制委員会による使用前検査中、機能検査のために燃料取扱機（以下、FHMという）の燃料把握機（マスト）を使用済燃料プールに降下させていたところ、制御系に関する異常を示す警報が発報しFHMが停止した。そのため、使用前検査を中断した。燃料把握機の構造・概要を次頁に示す。



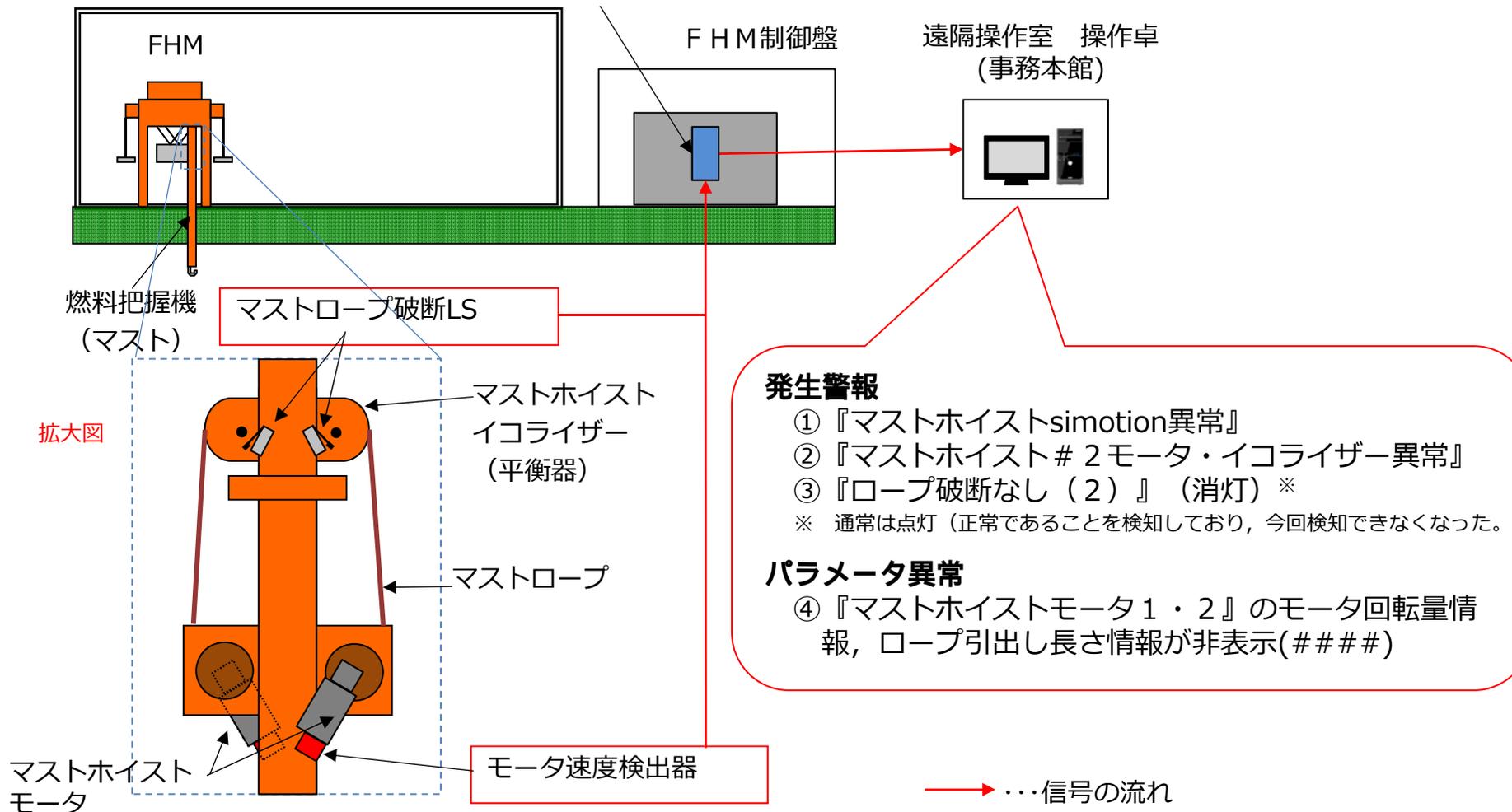


# 1. 不具合状況(2/2)

## ■ 警報発生状況

3号原子炉建屋  
オペフロ上

制御盤内コントローラ  
(simotion(商品名))



## 2. 調査内容

- 不具合状況を踏まえ、これまで実施した調査内容について以下に示す。
- 調査結果については次頁以降に示す。

項目	対象	箇所数	結果頁
外観確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>● マストホイストイコライザ</li> <li>● ロープ</li> <li>● LSLレバー周辺</li> </ul>	1 箇所 2 本 2 箇所	P5
動作確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>● マストロープ破断LS</li> </ul>	2 箇所	
表示確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 制御盤内制御ユニット</li> <li>● 遠隔操作室操作卓</li> </ul>	5 箇所 —	
不具合箇所特定 の為の調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ケーブル入替試験</li> <li>● 抵抗測定</li> </ul>	2 ライン 1 ライン（6 本繋ぎ）	P6
ケーブル調査 (検出器（1） 側ケーブル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 接続部分解調査</li> <li>● 異物調査（成分分析）</li> </ul>	2 箇所（オス側・メス側） 1 箇所（オス側）	P8～ P10
ケーブル調査 (類似箇所調査)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 抵抗測定</li> </ul>	制御ケーブル 7 6 ライン (FHM・クレーン等)	データ 評価中

### 3. 調査結果[外観確認・動作確認・表示確認]

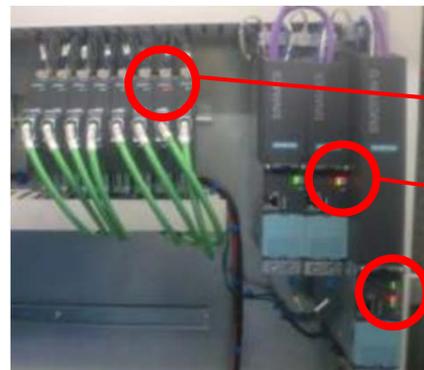
- 外観確認の結果, 以下を確認
  - マストホイストイコライザーが傾いていないことを確認
  - ロープの切断・乱巻がないことを確認 【写真1】
  - LSレバー及び取付け部のゆるみがないことを確認 【写真2】
  - LSレバーとLS作動検知用バーのクリアランスに問題ないことを確認 【写真2】
- マストロープ破断LS動作確認
  - LSを手動操作し, マストロープ破断信号が出ることを確認
- 制御盤の表示確認
  - 3つの制御ユニットにエラー表示を確認 【写真3】 【写真4】



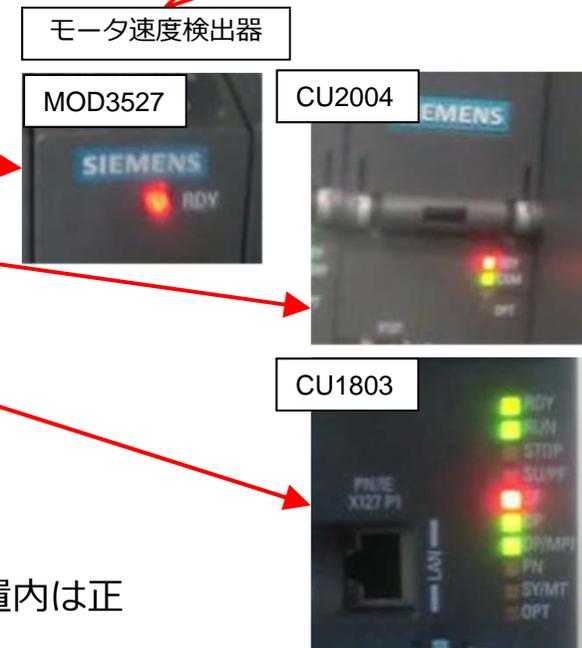
【写真1】



【写真2】



【写真3】



【写真4】

- パラメータ異常
  - 調査の結果, 接続部の異常は確認されていない。
  - また, 非表示(####)となった理由は, 表示の桁数不足であり, 制御装置内は正しい値で制御されていることを確認。警報発生への影響はない。
  - ソフト改造を実施し, 修正予定。

## 4. 調査結果[不具合箇所特定の為の調査]

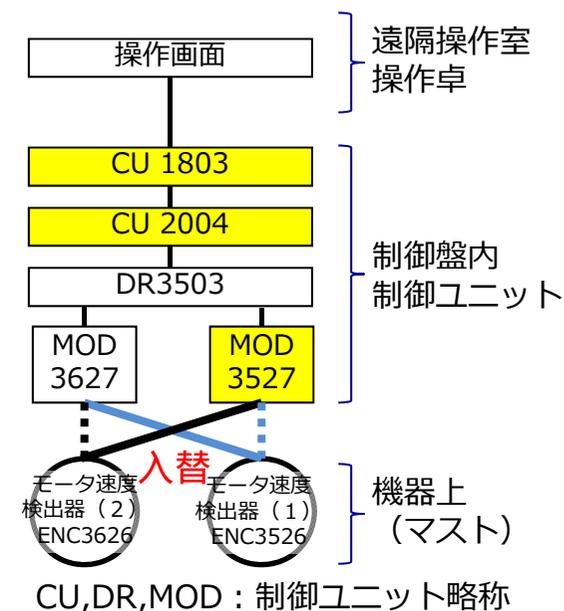
### ■ ケーブル入替確認

#### ● 目的

エラー表示のある制御ユニット（黄色箇所）から，異常箇所を特定するために，エラー表示のない制御ユニットとケーブルの入替を実施。

#### ● 結果

ケーブルを入れ替えた結果，当初エラー表示のなかった検出器（2）側に同様のエラー表示が出たことから，検出器（1）のケーブル／検出器に異常の可能性があることを確認。



### ■ 抵抗測定

#### ● 目的

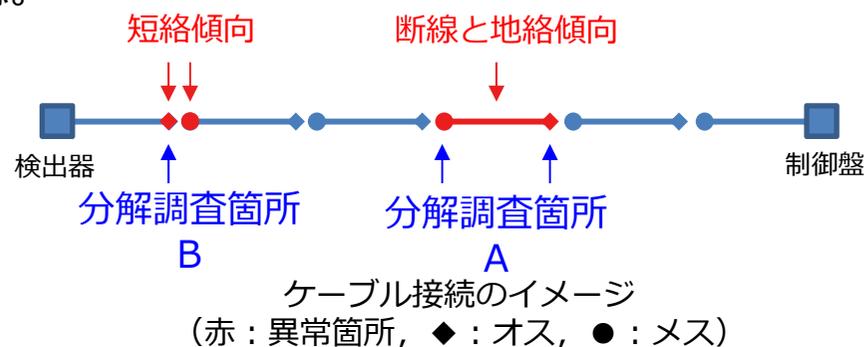
検出器（1）側のケーブル／検出器の健全性を確認するために絶縁抵抗／導体抵抗を確認。

#### ● 結果

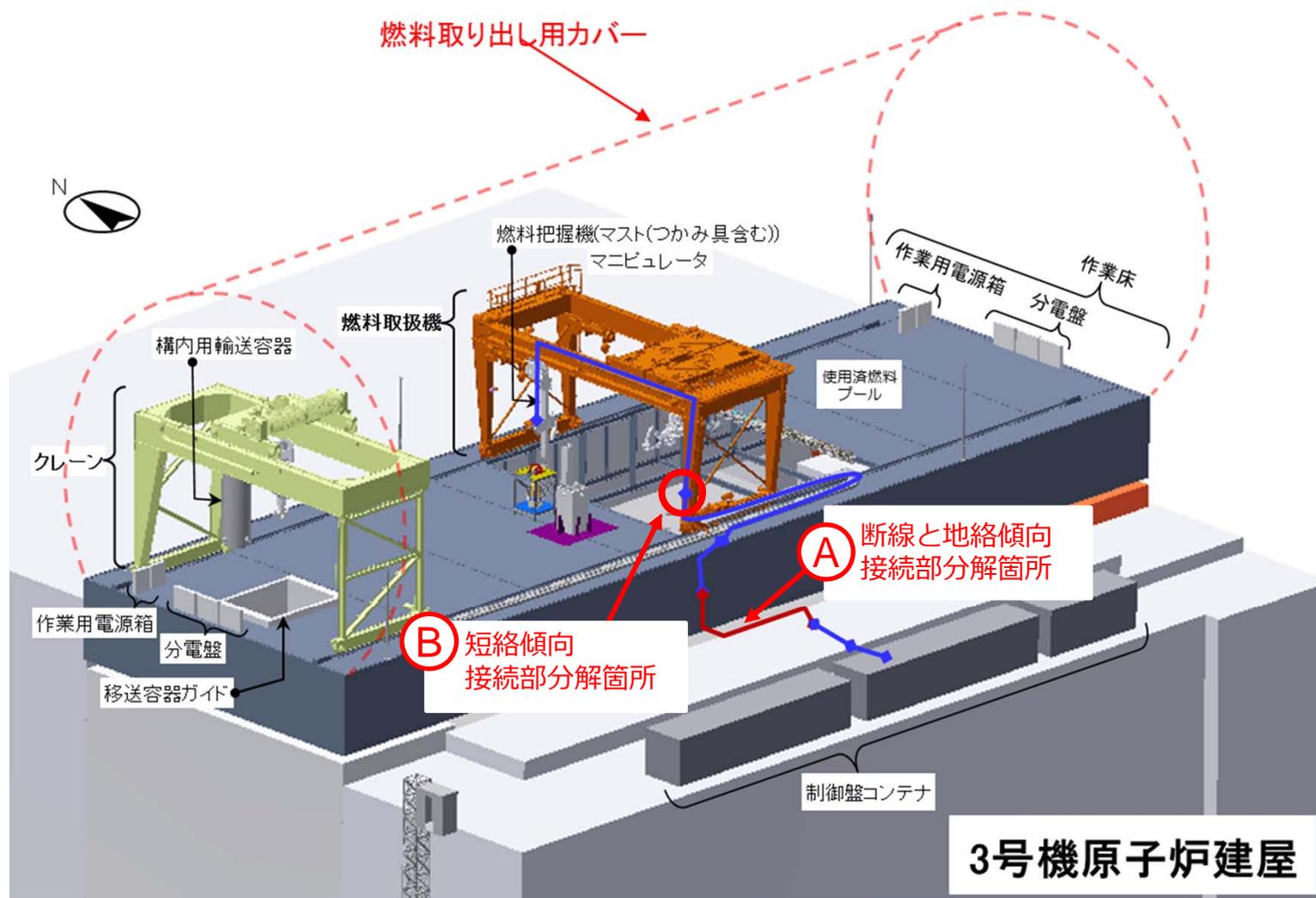
検出器(1)は異常なし  
6本でつながれているケーブルのうち，

- ・ケーブル1本に断線と地絡傾向
- ・接続部1か所に短絡傾向

を確認。

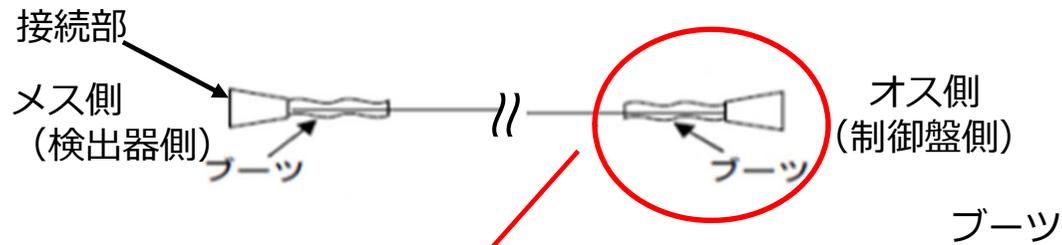


# 【参考】FHM不具合調査 (ケーブル等不具合箇所)



## 5. 調査結果[ケーブル調査 (分解調査箇所 A) ]

- 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)

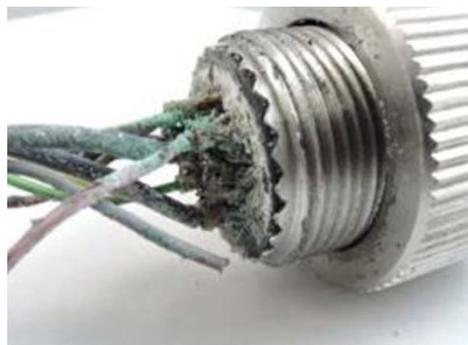


分解後  
(オス側, 断線・異物確認)

## 6. 調査結果[ケーブル調査 (異物調査(成分分析), 分解調査箇所 A) ]

### ■ オス側接続部内部の詳細観察を実施

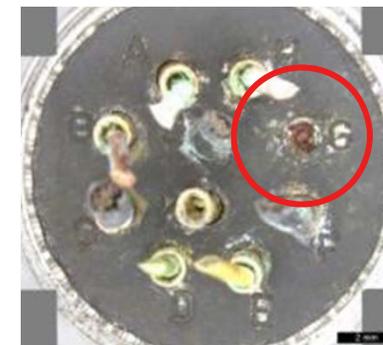
- 断線が確認されたリード線について、リード線、コネクタピンが確認できないほど腐食が進行していた。
- 異物の成分分析の結果、異物は銅・亜鉛・酸素を成分とする腐食生成物であり、リード線、コネクタピンが腐食して生じたものであることを確認した。
- 異物を除去した結果、断線した素線を確認できた。



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)

## 7. 調査結果[ケーブル調査（分解調査箇所B）, 類似箇所調査]

- 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。



①内部全体



②シールド線状況



③接続部内部確認

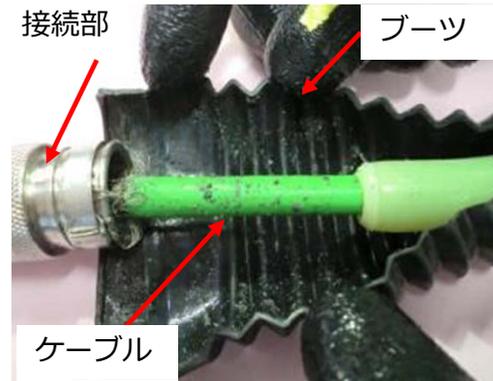
- 類似箇所調査
  - FHM, クレーンの制御系ケーブル76ラインに対し, 制御盤—機器間での抵抗測定（絶縁抵抗／導体抵抗）を実施。現在データを評価中。

## 8. リード線断線の推定メカニズム

- 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した結果、内部に断線と異物を確認。またブーツ用滑り止め※にずれや熱収縮の痕跡が少ないこと、内部が湿っていることを確認。
- リード線の断線は、ブーツの隙間から接続部内部に雨水等が浸入したため、水分により腐食し、破断に至ったと推定。



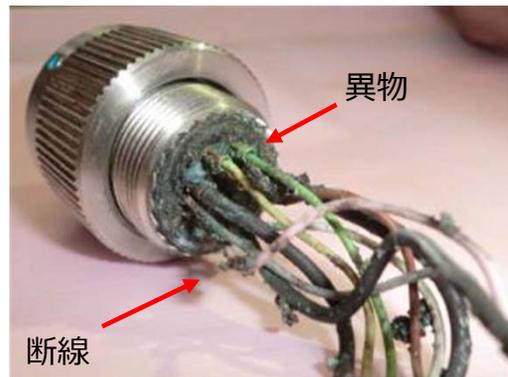
①ブーツ用滑り止めのずれ



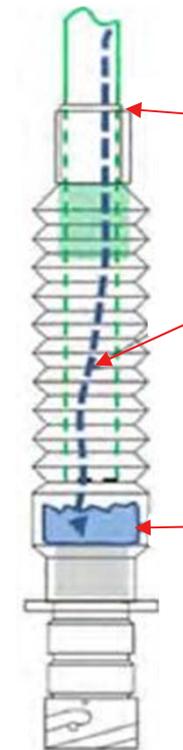
③ブーツ開放状況



②ブーツの熱収縮状況



④ブーツ等取外し後



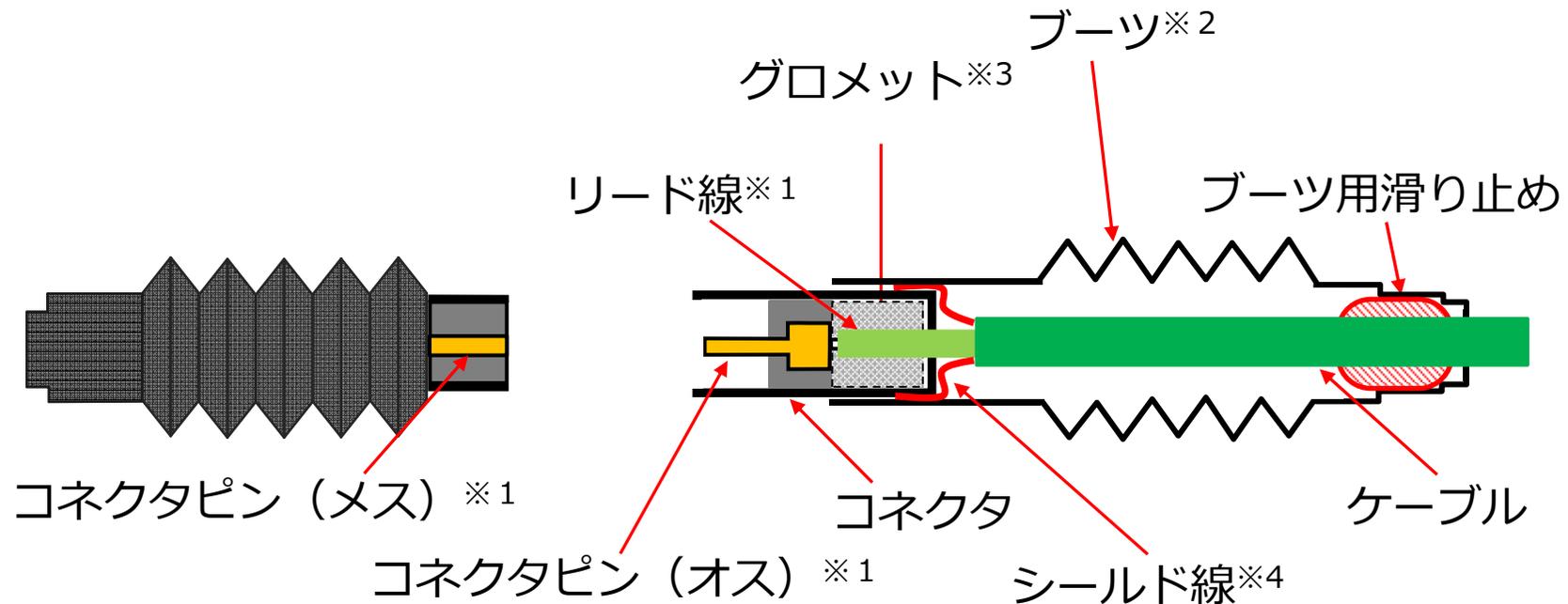
①ケーブル径が細いため、ブーツとケーブル間に隙間が形成

②雨水等の水分がブーツ内に浸入

③接続部内部に水分がたまる。水分により腐食、減肉、リード線破断に至る

損傷メカニズム (推定)

※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



※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。

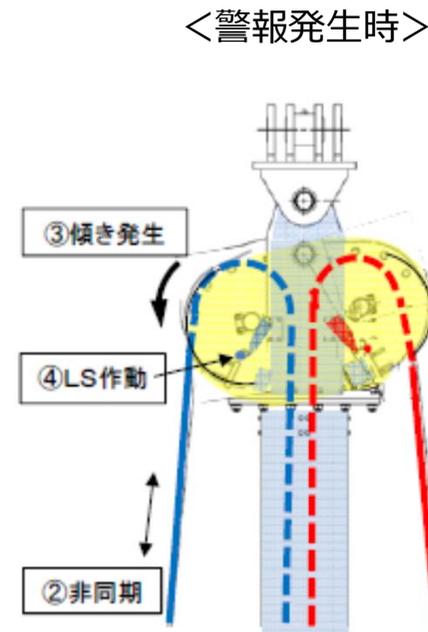
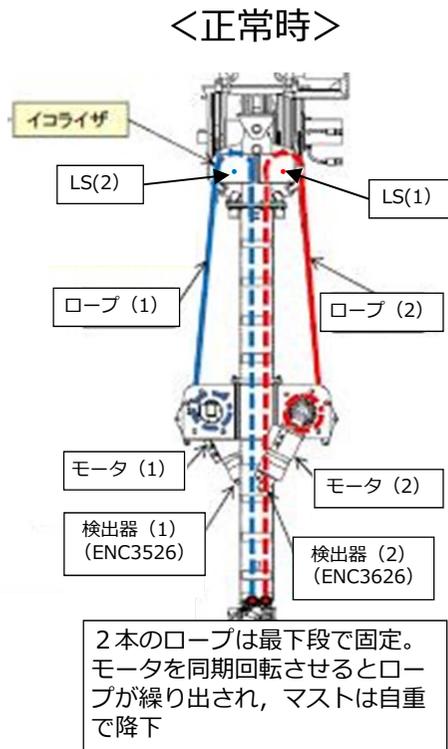
※2：ブーツはコネクタからケーブルの抜け防止及び雨水浸入防止のため。

※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。

## 9. ロープ破断警報発生 の 推定メカニズム

- 不具合が確認されたケーブルの断線を起点に、検出器の信号異常が発生、マストホイストモータの停止、モータの停止特性の差によるアンバランス発生によりイコライザーが傾き、リミットスイッチが動作。



### 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

### ■ 調査結果

- 外観確認の結果、ロープの破断、制御系部品の損傷等は確認されなかった。また、制御ユニットにエラー表示を確認した。
- マストホイストモータのモータ速度検出器からエラー表示のある制御ユニットにつながる制御ケーブルを、エラー表示のない制御ユニットに接続した結果、同様のエラー表示が出たため、ケーブル/検出器の故障の可能性を確認した。
- 故障の可能性のあるケーブル/検出器に対して抵抗測定をした結果、ケーブルに断線・地絡傾向、及びケーブル同士の接続部に短絡傾向を確認した。
- 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した結果、片側（オス側）の接続部内部に断線と異物を確認した。また、構造的にシールド線が切れて接続部内で異物となり短絡する可能性があることを確認した。
- 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。
- 『マストホイストモータ1・2』のモータ回転量情報、ロープ引出し長さ情報が非表示(####)となった理由は、表示の桁数不足であるが、制御装置内は正しい値で制御されているため問題ないことを確認した。

### ■ 発生メカニズム（推定）

- リード線の破断は、接続部内部に雨水等が浸入したため、水分により腐食し、破断に至ったと推定される。
- ロープ破断警報は、不具合が確認されたケーブルの断線を起点に、検出器の信号異常が発生、マストホイストモータの停止、モータの停止特性の差によるアンバランス発生によりイコライザーが傾き、LSが動作し警報が発生したと推定される。

## 11. 燃料取扱設備クレーンの停止について

### ■概要

2018年8月15日、3号機燃料取扱設備の試運転中に、オペレーティングフロア（以下、オペフロ）に設置してあるクレーンを用いて資機材を片付けていたところ、エラーメッセージが発生しクレーンが停止した。

### ■発生したエラーメッセージ【BE2】の目的

主巻の巻き上げ操作実施時に主巻ブレーキの健全性を確認するもの。

巻き上げ開始時に主巻ブレーキが掛かった状態で主巻ブレーキの電動機に規定トルク相当の電流が設定時間以内に到達することの確認。ブレーキに滑りが発生した場合は、設定された電流が流れないため、ブレーキ不良とみなし、巻き上げ動作ができないインターロックとなっている。

なお、今回のクレーン停止後、吊り荷の降下は発生していない。

### ■調査結果

外観確認 : 異常なし

動作確認

- ▶主巻動作時：ブレーキが開放していることを確認（異常なし）
- ▶主巻停止時：ブレーキが閉となり、ガタつきが無いことを確認（異常なし）
- ▶オシロスコープによる主巻電動機電流及び主巻ブレーキ電圧値の確認（異常なし）
- ▶その他要因を含めて、詳細調査中

## 12. FHM・クレーン試運転時における不具合の対応について

- FHM・クレーンについては、2018年3月15日の試運転開始以降、複数の不具合が連続して発生している。これら不具合の共通要因として、FHM・クレーンに組み込まれている機器について、当社及び東芝エネルギーシステムズ（元請メーカ）の品質管理上の問題があると考えている。
- FHM・クレーンについては多くの機器から構成されており、調達先も多岐に渡っている。これまで、東芝エネルギーシステムズはFHM・クレーンの機能確認及び主要な機器の品質記録の確認等をもって、これら機器が品質上問題ないと判断していたが、複数の不具合を受け、1Fでの使用環境を考慮した機器仕様の確認と品質管理が不十分であることが分かった。
- また、FHM・クレーンの不具合については、現在原因究明を継続中であり、引き続き品質管理上の問題及び水平展開について検討し、FHM・クレーンを構成する機器やケーブルについてメーカの品質管理データ、目視確認またはテスト等により健全性を確認する。今後の調達に際しても、①使用条件を満たしているか、②品質上問題はないのか等、東芝エネルギーシステムズにおける管理について改善を図っていくこととする。また、これをチェックする当社の管理についても改善を図っていくこととする。

### 【クレーン主巻インバータ異常の原因と問題点】

#### 《事象》

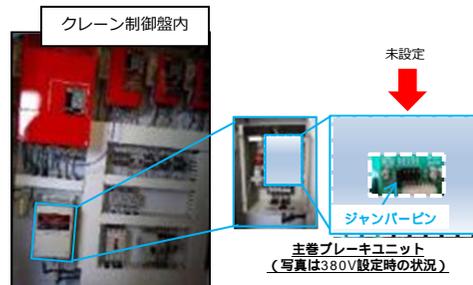
クレーン主巻ブレーキユニットの電圧設定が発電所仕様に設定されず、試運転時に損傷。

#### <原因>

・メーカは、工場試験後、電圧設定1箇所について、発電所仕様に変更されていないことに気づけなかった。

#### <問題点>

・メーカは、発電所仕様で設定されていることの確認不足。



### 【ケーブル不具合の原因と問題点】

#### 《事象》

ケーブルを確認したところ、リード線の一本が断線していることを確認

#### <原因>

・防滴仕様だったが、接続部内部に雨水等が侵入し腐食で断線。なお、シールド線が折損した場合、短絡しやすい構造であることも確認された。  
⇒工場製作時の製造不良によるものである。

#### <問題点>

・メーカは、部品の品質を機能確認により判断したため、部品製造メーカの品質管理が不十分であった可能性を見抜けなかった。



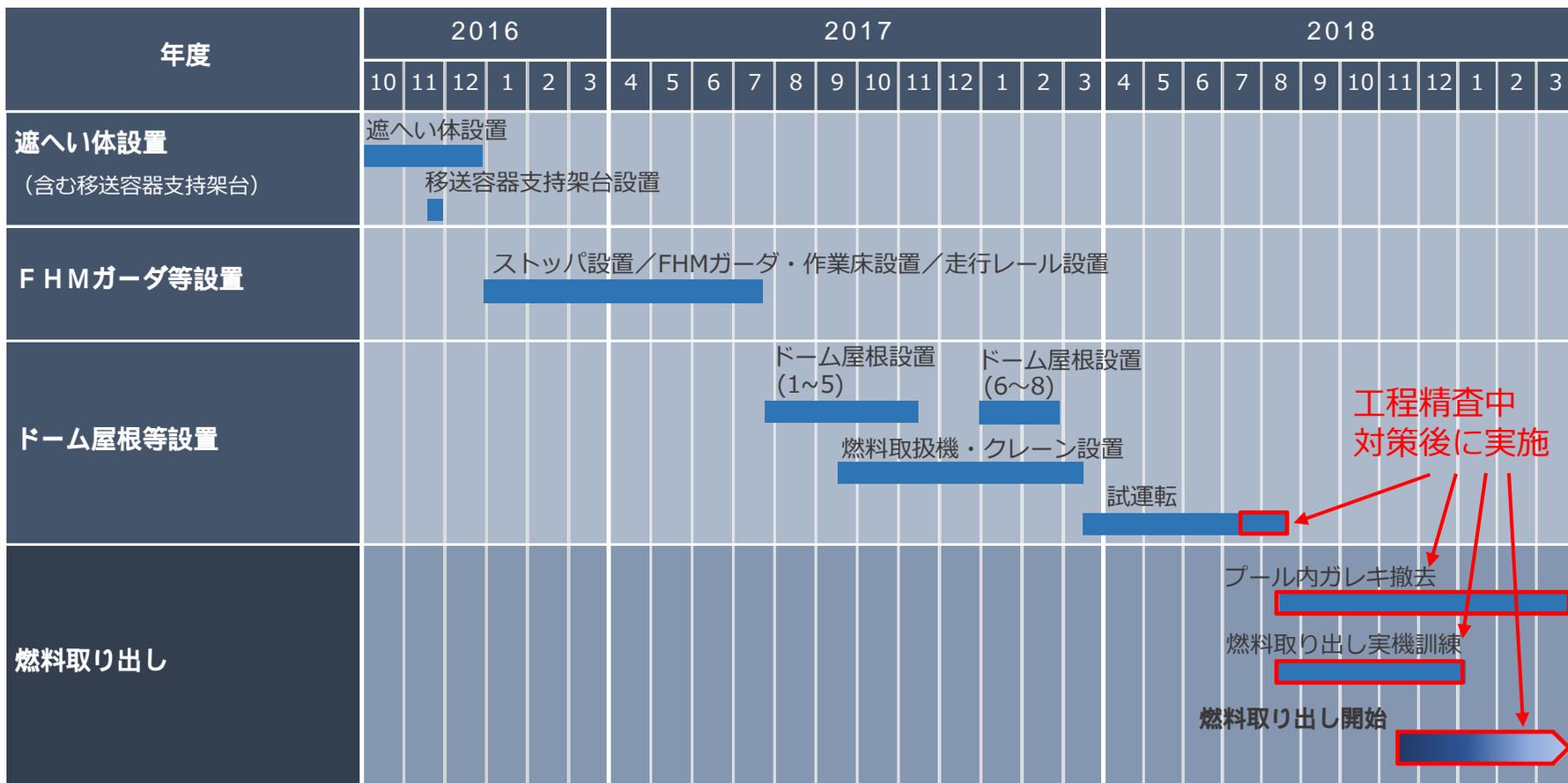
### 13. 品質・健全性確認の方針について（案）

- F H M・クレーンについては、要求仕様に適合する一般産業品も使用しているが、主要な機器の品質記録確認及び全体の機能・性能試験等をもって、品質上問題ないと判断していた。
- 品質管理項目について当社原子力プラント設備である震災前の F H M と概略比較（現在、詳細確認中）をした場合、概ね同等ではあるものの、部材レベルでは要求仕様の展開を品質管理項目含めて海外メーカーが実施し、東芝エネルギーシステムズから特段の要求を行っていない点が、これまでの国内調達とは異なる。
- 上記を踏まえ、今後の品質確認・健全性確認の方針を以下に記す。
  - ・ 設計要求仕様の展開状況及び適用設計規格の確認  
使用条件、環境を考慮した設計要求仕様のベンダーへの指示状況を確認するとともに、適用設計規格について確認する。
  - ・ 製品品質記録、製造記録の収集と確認  
使用している部材の中には、一般産業品としてトレーサビリティを要求していないものもあるため、改めて上記設計要求仕様の実現に関する製造記録、製品品質記録を収集、確認する。
  - ・ 記録収集や詳細仕様の確認が困難な場合には、目視確認または動作試験等により、健全性の確認を行う。

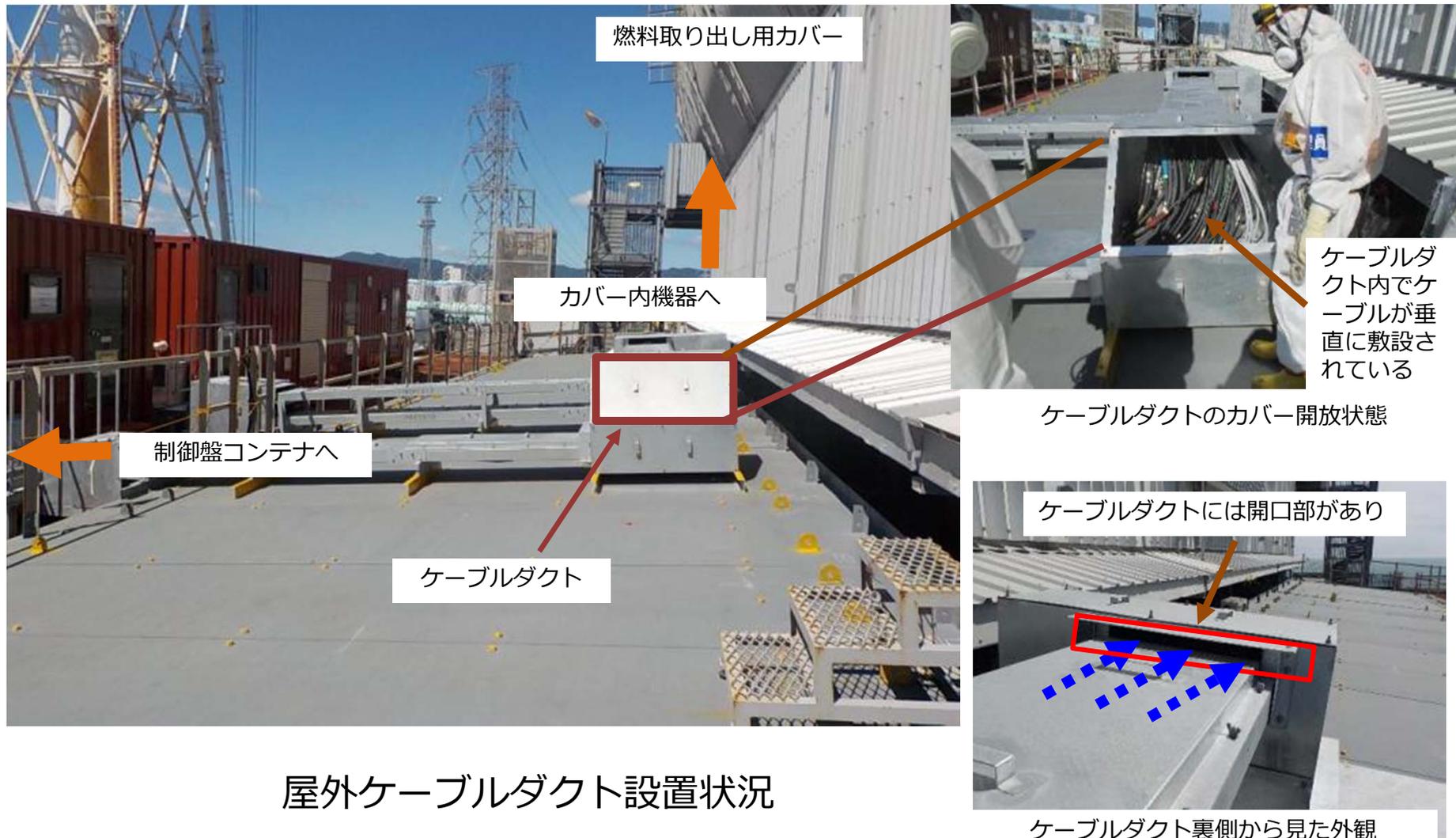
# 14. 3号機燃料取り出しのスケジュール



- 2018年3月15日の試運転開始以降発生している複数の不具合について、それぞれの原因究明・対策を実施するとともに、共通要因として考えられる品質管理上の問題を改善後、試運転作業を再開する
- 2018年11月中としていた燃料取り出し開始時期については、改めて精査・見直しを行う。
- 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



# 【参考1】屋外ケーブルダクト設置状況



## 屋外ケーブルダクト設置状況

■▶ : 雨水浸入経路

■コネクタ周辺異物調査結果 (図1)

- 白色・灰色の箇所の成分は, 銅, 亜鉛, 酸素であり, 黄銅 (ピンの素材) の腐食生成物であると推定。
- 緑色の箇所は, 銅の比率が高いことを確認。

■ リード線周辺の異物調査結果 (図2)

- 断線したリード線の破面は, 異物で覆われており, 成分は銅, 酸素であったため, 銅 (リード線の素材) の腐食生成物であると推定。

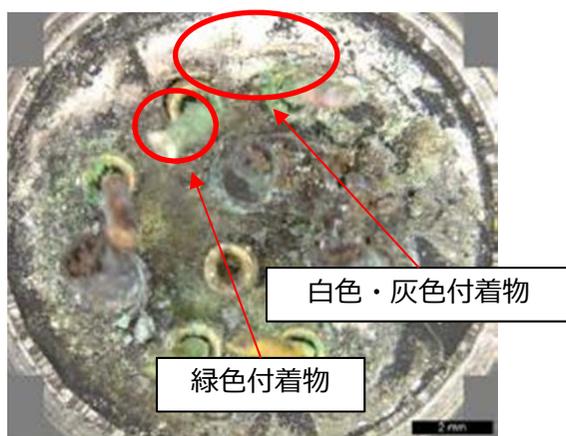


図1 異物調査箇所



図2 リード線断面