

< 別 添 >

再処理工場敷地内 第2 一般排水処理建屋内（現場制御盤内のケーブル）

における焦げ痕の発見について

## 目 次

1. 事象概要	1
2. 時系列	1
3. 発見時の状況	2
4. 復旧措置	3
5. 原因	3
6. 再発防止対策	1 1
7. 水平展開	1 1

## 1. 事象概要

平成25年2月6日、再処理工場敷地内の第2一般排水処理建屋<sup>※1</sup>（図-1 参照）内において電動機<sup>※2</sup>の点検中に、電動機を操作するための「GF<sup>※3</sup>現場制御盤2」（図-2 参照）を確認したところ、10時35分頃、ケーブルの一部に焦げ痕を発見したため、直ちに公設消防に通報した。

その後、公設消防による現場確認の結果、11時10分に鎮火が確認された。本事象による周辺環境への影響はなく、負傷者もなかった。

※1：再処理工場敷地内の事務棟などから発生した生活排水を処理する建屋

※2：一般排水を処理するための薬品を移送するポンプのモータ

※3：GF 一般排水処理建屋

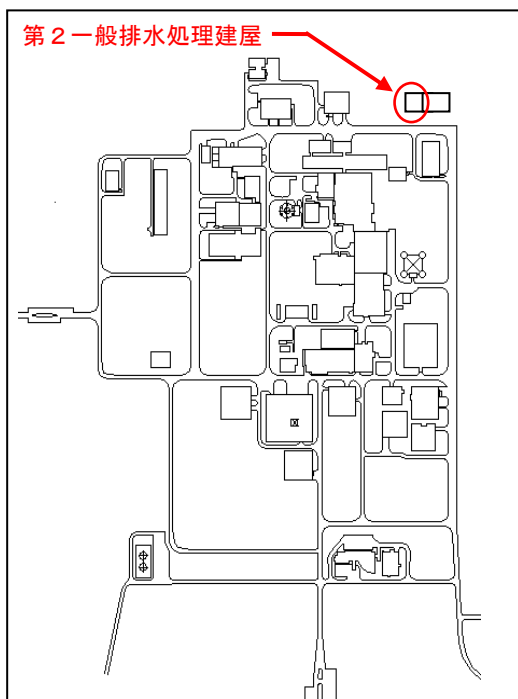


図-1 再処理事業所構内

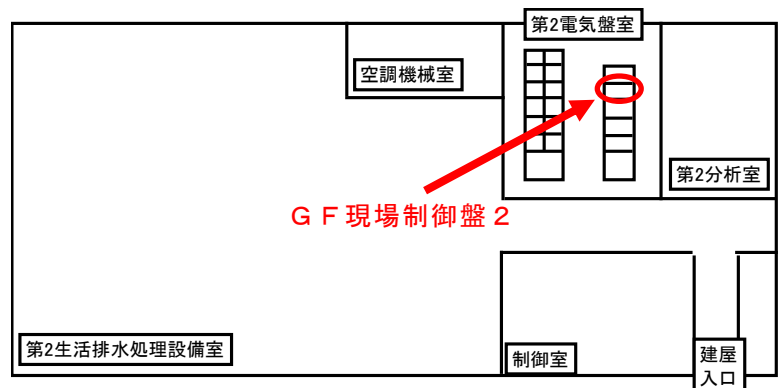


図-2 現場制御盤の配置

## 2. 時系列

2月6日	10:00	現場において点検作業の開始
	10:35頃	協力会社作業員が「GF現場制御盤2」内のケーブルの一部に焦げ痕を発見
	10:49	協力会社工事監理員より公設消防へ通報 協力会社工事監理員より統括当直長へ連絡
	10:50	六ヶ所対応会議立ち上げ
	11:00	第1報発信（A情報）
	11:06	公設消防が火災現場へ到着
	11:10	公設消防 火災と判断、同時刻に鎮火を確認
	12:00	第2報発信（最終報）

### 3. 発見時の状況

第2一般排水処理建屋において、電動機の点検中に、1階の第2電気盤室に設置している「GF現場制御盤2」の扉を開けたところ、点検対象の電動機とは別の稼働中の電動機の電磁開閉器（以下、「当該電磁開閉器」という。）のケーブルの一部に焦げ痕を発見した（図-3 参照）。

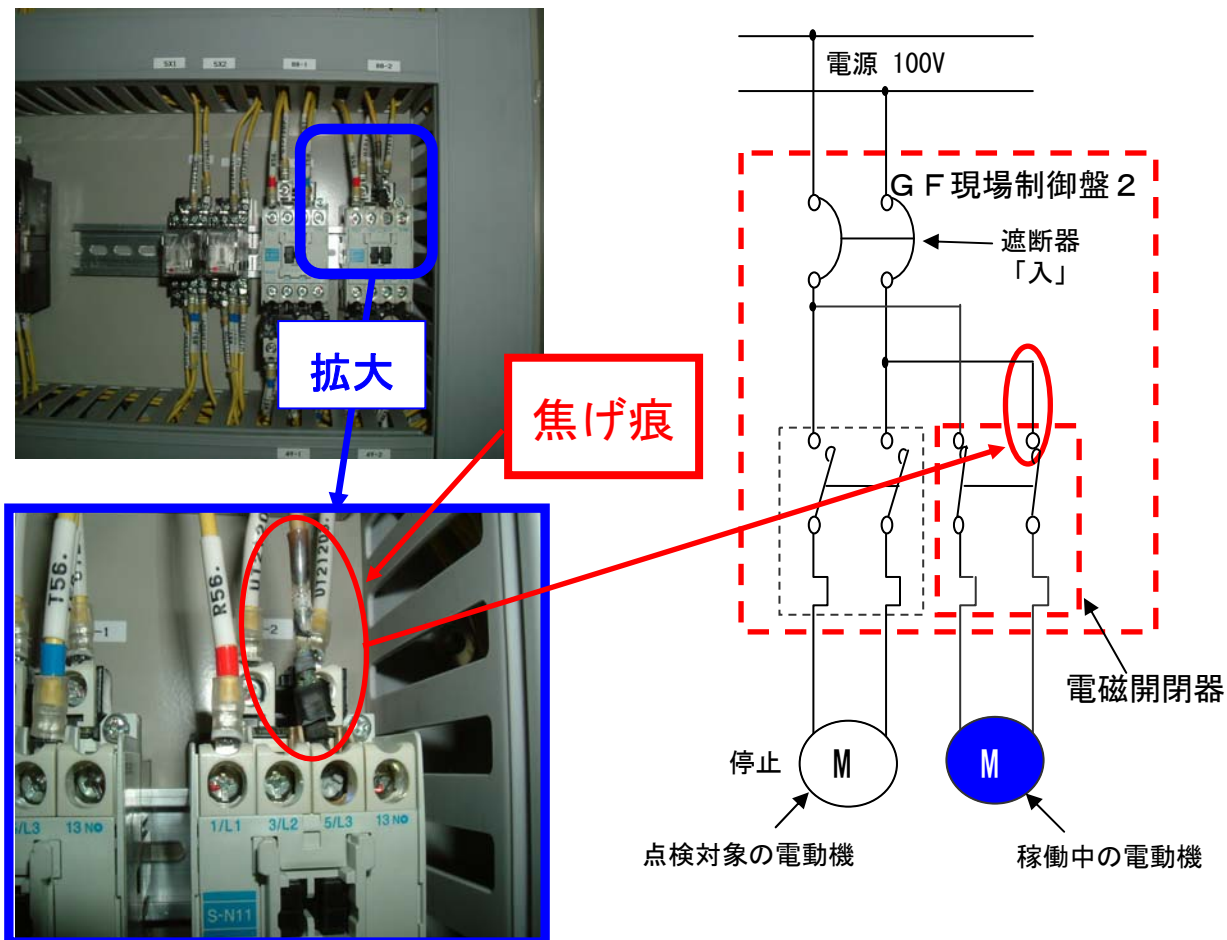


図-3 発見時の状況

焦げ痕が確認されたケーブル（以下、「当該ケーブル」という）に繋がっている電動機は稼働中であった（当該ケーブルは通電状態であった）ため、10時57分に停止し、経路上の遮断器を開放（スイッチを「入」から「切」へ）して当該ケーブルに通電しないよう電源から切り離れた状態とした。

#### 4. 復旧措置

原因調査のため、当該電磁開閉器と当該ケーブルを取り外した後、同仕様の新品に交換して、「GF現場制御盤2」を復旧した（2013年2月実施済）。

#### 5. 原因

##### 5. 1 原因調査

###### (1) 現品調査（当該電磁開閉器と当該ケーブル（端子含む）の調査）

本事象の発生原因を調査するため、以下の現品調査を行った。

- ① 端子の結線状態
- ② 絶縁抵抗の確認
- ③ 当該電磁開閉器及び当該ケーブル（端子含む）の外観観察
- ④ 当該ケーブルの端子表面の成分分析

以下に各調査の結果を示す

###### ① 端子の結線状態

端子の結線状態を確認したところ、当該電磁開閉器に当該ケーブルを結線するためのビス（以下、「当該ビス」という。）に緩み（しっかり固定されていない状態）を確認した。これまでの盤内の目視点検において異常は確認されず（目視点検では盤内部品の錆・変色・亀裂・損傷を確認しており、当該ビスの緩みは点検すべき項目ではなかった）、今回の調査時において当該電磁開閉器から端子を取り外す際に既に緩んでいたことを確認した（図-4 参照）。



図-4 ビスの緩み

###### ② 絶縁抵抗の確認

地絡<sup>※5</sup>による過電流が焦げ痕の原因であるかを調査するために、当該電磁開閉器の電源側及び電動機側の絶縁抵抗を測定した結果、大地（アース）とケーブル間で地絡していないことを確認した（図-5 参照）。

※5 電気回路から大地に電気が流れること

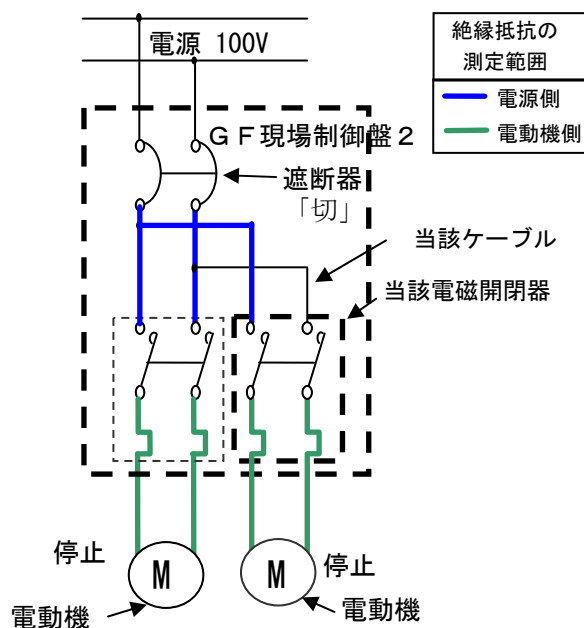


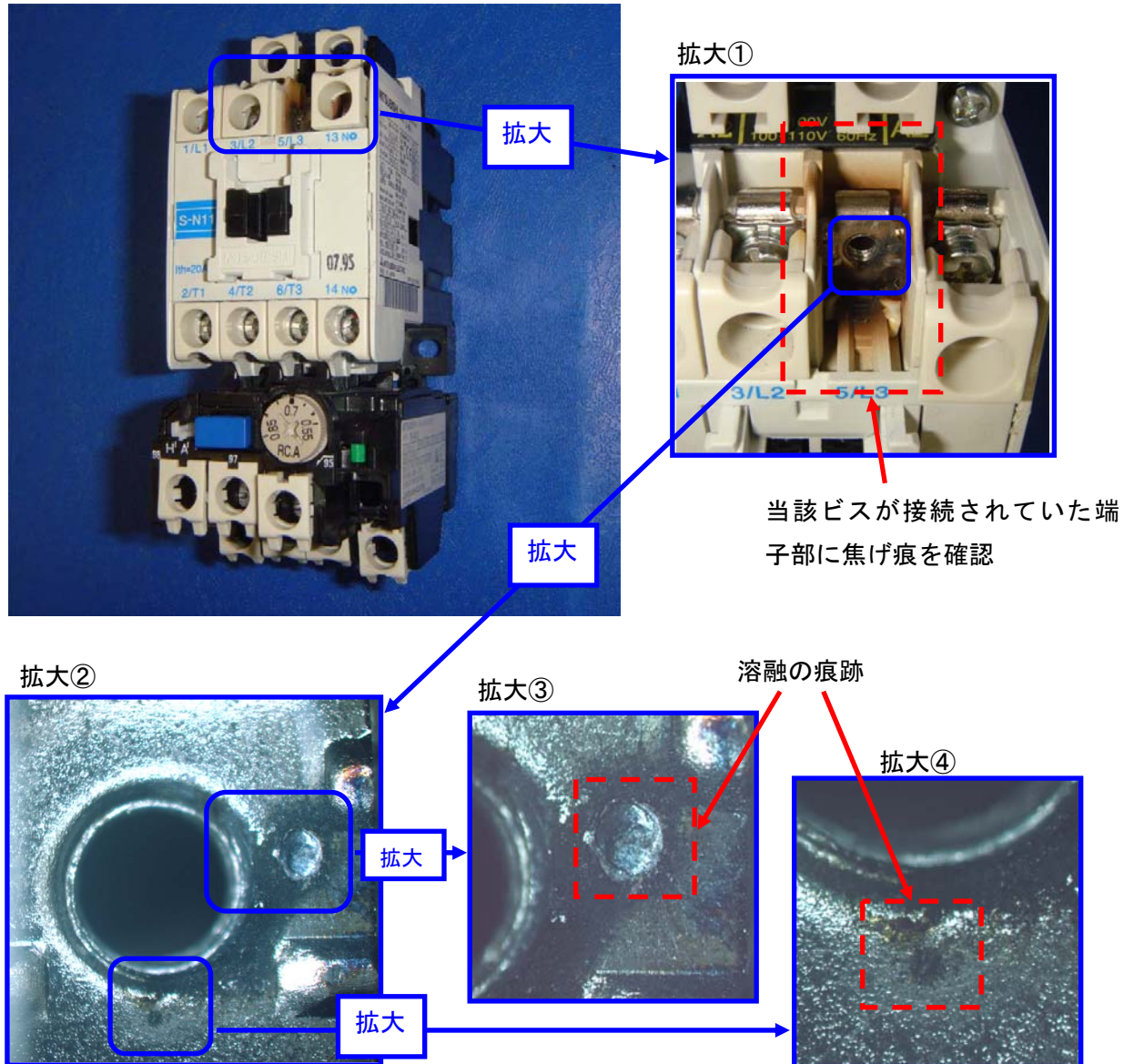
図-5 絶縁抵抗の測定

③ 当該電磁開閉器及び当該ケーブル（端子含む）の外観観察の結果

1) 当該電磁開閉器の外観観察結果

当該電磁開閉器の外観観察結果は以下のとおりである。

- ・ 当該ビスが接続されていた端子部に焦げ痕が見られた（図－6 拡大① 参照）。
- ・ 当該電磁開閉器の端子部を拡大観察したところ、電気火花によるものと考えられる溶融の痕跡が見られた（図－6 拡大②、③、④ 参照）



図－6 当該電磁開閉器の外観観察

2) 当該ケーブル（端子含む）の外観観察結果

当該ケーブル（端子含む）の外観観察結果は以下のとおりである。

- ・ 端子表面のメッキが全体に、はがれた状態であった
- ・ 端子表面が部分的に赤色（端子表面-1 と称す）と黒色（端子表面-2 と称す）を呈していた。
- ・ ケーブルは被覆が剥離し、ケーブルの芯線（銅線）が見えており、一部、銅錆と思われる緑色物の付着があった。



図ー7 当該ケーブル（端子含む）の外観観察

④ 当該ケーブルの端子表面の成分分析結果

非破壊分析装置を用いて、端子表面の成分について元素を分析した。分析の結果、端子表面-1 及び端子表面-2 の部位では、銅と酸素の割合が正常な端子に比べ高い値を示した（表ー1 参照）。

表ー1 分析結果 (wt%)

	<b>Cu</b>	<b>O</b>	Cl	C	Cs	S	Sn	Al	K	Na	Si
端子表面-1	<b>54.2</b>	<b>19.7</b>	1.9	7.1	0.5	8.8	4.0	-	0.8	2.7	0.3
端子表面-2	<b>71.9</b>	<b>12.9</b>	11.0	3.1	0.6	0.3	-	0.2	-	-	-
端子正常部	26.5	5.0	0.5	3.5	1.4	0.2	62.0	-	0.2	0.7	-

「当該ケーブル（端子含む）の外観観察結果」及び「端子表面の成分分析結果」から以下を推定した。

- ・端子表面-1 について、成分分析で得られた銅と酸素の高い割合を示したことから素材の銅が酸化されたものと考えられ、外観観察から赤色であったことから、亜酸化銅（酸化銅(I)<sup>1)</sup>）が発生していると推定する。
- ・端子表面-2 について、成分分析で得られた銅と酸素の高い割合を示したことから素材の銅が酸化されたものと考えられ、外観観察から黒色であったことから、酸化第二銅（酸化銅(II)<sup>1)</sup>）が発生していると推定する。

#### 1) 第三版 化学用語辞典

#### (2) 現品調査結果に基づく原因の推定

現品調査の結果から、ビスの緩みを起因とした接触不良によって、亜酸化銅増殖発熱現象<sup>※6</sup>が発生することで、端子部に高熱を生じ、当該電磁開閉器及びケーブルに焦げ痕が発生した可能性が高いと推定した。

##### ※6 亜酸化銅増殖発熱現象<sup>2)</sup>：

接触不良などによりジュール熱<sup>※7</sup>や電気火花が発生し発熱することで、銅製部品が酸化し、亜酸化銅が生成する。そこに電流が流れることにより高熱（600℃を超える）を発生させ、さらに亜酸化銅が増殖する現象。

※7 ジュール熱：抵抗体に電流が流れると発熱する現象で、接触不良部は抵抗体となり通電すると発熱する。

#### 2) 平成23年度 製品安全業務報告会 「亜酸化銅増殖発熱現象」 独立行政法人 製品評価技術基盤機構 製品安全センター

#### (3) その他原因の調査

原因分析を行い、設計不良、製作不良、輸送による不良、据付不良、試験調整時不良、外的要因（腐食、気温、ほこり等）による不良の観点から、ビスの緩み以外の原因についても検討したが、本事象を引き起こしたその他原因は確認できなかった。



#### (4) 再現確認試験

上記「(2) 現品調査結果に基づく原因の推定」の検証のため、端子部の焦げ痕の原因と考えられる亜酸化銅増殖発熱現象の発端となるジュール熱や電気火花、その結果生じる高熱を確認することを目的として、再現確認試験を実施した。

再現確認試験を行うにあたり、実機での運転状態を模擬するために、実機の電動機を起動/停止した際の電流、電圧を測定した。

測定結果等を以下に示す(表-2 参照)。

- ・測定値と電動機の定格値の比較では有意な差がなかった。
- ・最大電流は電動機の停止時における0.75Aであった。

表-2 実機での測定値と電動機の定格値

	電源電圧	電流 (静定電流)	最大電流
測定値	100V	0.28A	0.75 A (停止時)
電動機の定格値	100V	0.25A	規程なし

なお、調査時において電動機の動作に異常が無いことを確認した。

上記の実機測定結果をもとに、再現確認試験を行った。

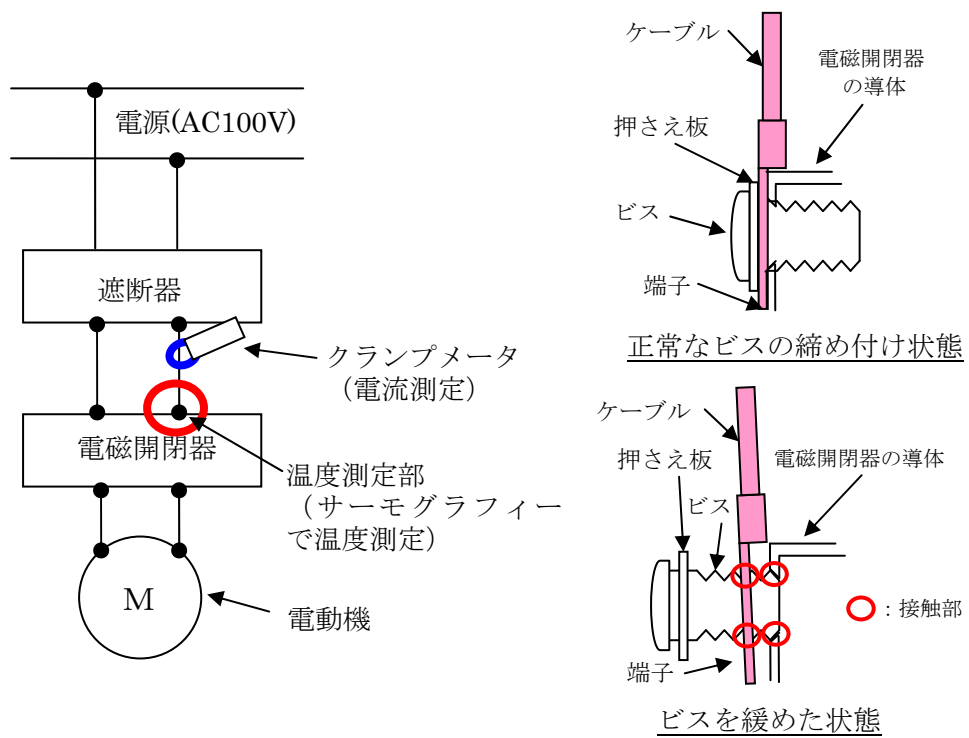
##### 1) 試験方法

実機と同仕様の機器(電動機、電磁開閉器、遮断器、ケーブル、ビス及び端子)を用い、実機を模擬して試験を行った。(図-8 参照)。

試験は、実機の状態をもとに以下を設定し、連続稼働させる等の試験条件を変更することにより行った。

- ・ビスを緩めた状態: 当該のビスにあたる部分はしっかり固定していない状態を模擬
- ・接触抵抗が測定できる状態<sup>\*7</sup>: 電動機は稼働していた(「3. 発見時の状況」)ことから、接触部を通電できる接触不良の状態に模擬

※7 完全に接触している場合では接触抵抗がゼロとなり、離れた場合には絶縁状態となるので、それらの中間の状態



図－ 8 試験装置

2) 試験条件

以下の条件にて試験を行うこととした。

A. 電動機の連続稼動試験

電動機を稼動状態とし、当該ケーブルの端子にあたる部分での温度測定や外観の変化を観察する。

B. 電動機の起動・停止繰返し試験

電動機の起動・停止を繰返し、当該ケーブルの端子にあたる部分での温度測定や外観の変化を観察する。

3) 試験結果

再現確認試験結果を表－ 3 に示す。

表－ 3 再現確認試験結果

試験条件	発熱の有無	電気火花発生	高熱の発生	外観の変化
A. 電動機の連続稼動試験 電流値：0.26-0.27A 接触抵抗：2.6Ω 室温：19.5℃	発熱 有 ※開始時温度 28℃、30分経過後 41℃（その後も約40℃）	電気火花発生	高熱を示す温度上昇なし	変化なし
B. 電動機の起動・停止繰返し試験 電流値：約0.3A（平均） 接触抵抗：3.7Ω 室温：16℃	発熱 有 ※開始時温度 20℃、1時間経過後 24℃（その後も約25℃）	電気火花発生なし	高熱を示す温度上昇なし	変化なし

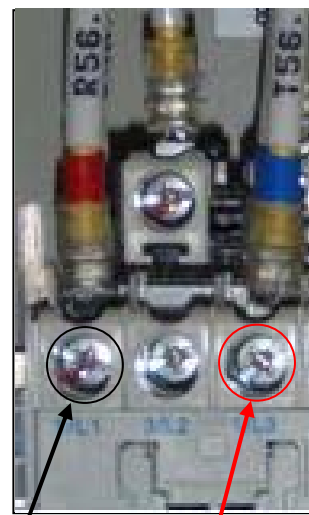
## 5. 2 当該電磁開閉器を含むケーブルの一部に焦げ跡が発生した推定原因

「5. 1 (1) 現品調査」の結果及び「5. 1 (4) 再現確認試験」の結果から、当該電磁開閉器を含むケーブルの一部に焦げ跡が発生した推定原因は、ビスの緩みによる端子部での接触不良であり、そのメカニズムを以下のとおり推定した。

- ① ビスに緩みがあり、端子と電磁開閉器の導体間において通電できる程度の接触不良が生じていた。
- ② その接触不良によりジュール熱及び電気火花が発生し発熱して、端子部に亜酸化銅が生成され、さらに通電状態が継続し発熱したことにより、亜酸化銅が増殖し、端子部の温度が高熱を発生したため、周辺の当該ケーブルや当該電磁開閉器に焦げ痕が発生した。

### 5. 3 当該ビスの緩みに係る推定原因

現品調査を行った際、当該電磁開閉器に隣接する開閉器のビス（1本）の頭部に増し締めしたことを示すマーキングがされておらず（図-10 参照）、そのビスは若干緩んでいることを確認した（当該ビスについては「すす」でマーキングの有無を確認できなかった）。



マーキングあり    マーキングなし

図-10 マーキングがなかったビス

上記状況を踏まえ、「GF現場制御盤2」の手順や記録により、以下を確認した。なお、「GF現場制御盤2」の製作は、当社が元請会社に第2一般排水処理建屋の機電工事を発注し、元請会社の下請けとして盤製作メーカーが行った。

（図-11 参照）

- ・ 当該ビスは、盤据付段階以後、ビスを緩めることが必要な作業を実施していない。
- ・ この盤製作メーカーの手順では、盤内を配線する作業者はケーブルを配線しビスを締め付け、その後、作業者とは別のチェック者がビスの増し締めを行った後、ビスの頭部にマーキングをすることとしていた。

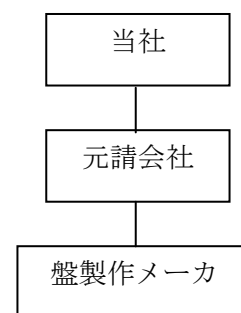


図-11 体制図

これらのことから、盤製作時において、盤内を配線する作業者は当該ビスの締め付けが甘く緩んだ状態のまま終了とし、また、チェック者は当該ビスの増し締めを行わず、マーキングをしなかったものと推定した。

## 6. 再発防止対策

本事象はビスの緩みに起因して発生したと推定していることから、「4. 復旧」に記載のとおり、当該電磁開閉器や当該ケーブルを新品に交換し、「GF現場制御盤2」内の全てのビスやナットに緩みがないことを確認した（2013年2月実施済）。

また、「5. 3 当該ビスの緩みに係る推定原因」に対して、当社は本事象の原因と対策を当該保守部門での教育資料として作成し、当該保守部門において教育を行い、事象の周知と注意喚起を行った（2013年4月実施済）。さらに、元請会社（体制図：図-11 参照）による当該盤製作メーカーの管理強化（元請会社によるチェックの徹底）を以下のとおり行った。

- (1) 元請会社の社内検査時に盤内の全てのビスやナットにマーキングの確認、抜き取りにより締め付け状態の確認を行うこと及び組立て後に死角で見えないビスやナットのマーキングを写真で確認することを元請会社の工場検査基準に反映した（2013年3月実施済）。
- (2) 当該盤製作メーカーへの購入仕様書で盤内の端子における全てのビスやナットに対して、盤内を配線する作業者とチェック者によるダブル増し締め及びダブルマーキングをすること、さらに組立て後に死角となってマーキングが確認できないビスやナットは元請会社の確認用に組み立て時の写真を記録として残すことを要求することとした（2013年3月実施済）。

## 7. 水平展開

当該盤製作メーカーはメーカー手順どおりに当該ビスを締め付けず、マーキングを怠ったものと推定したことから、当該盤製作メーカーが当社に納入した全ての盤を水平展開の対象とした。調査の結果、第2一般排水処理建屋と企業棟（事務所）以外には納入実績がないため、第2一般排水処理建屋と企業棟について以下の対応を実施した。

- (1) 第2一般排水処理建屋において、当該盤製作メーカーが納入した制御盤及び端子箱（「GF現場制御盤2」を含む計4面）の全てのビスやナット（約3,000ヶ所）に緩みはなかった（マーキングがなかったビス（1ヶ所）を除く）（2013年2月実施済）。

なお、当初調査において、第2一般排水処理建屋および一般排水処理建屋における当該元請メーカーが納入した制御盤、電気盤及び端子箱（計24面）も対象とし、全てのビスやナット（約1万7千ヶ所）の緩みの状態を確認したところ、ビス7ヶ所に若干の緩み（それらのビスは固定されていた）があることが確認され、増し締めを実施した（2013年2月実施済）。

- (2) 企業棟において、当該盤製作メーカーが納入した制御盤と電気盤（計6面）の全てのビスやナット（約1,200ヶ所）に緩みがないことを確認した（2013年3月実施済）。

以上