

美浜発電所3号機 A海水ポンプ潤滑水流量計工場調査結果について

はじめに

2020年4月10日(金)に発生した美浜発電所3号機 A海水ポンプの自動停止に伴うディーゼル発電機の運転上の制限の逸脱事象について、A海水ポンプが自動停止した原因を発電所にて調査した結果、A海水ポンプ運転中に、海水ポンプ軸受へ供給される潤滑水流量に問題はなかったが、A海水ポンプ潤滑水流量計(FI-2073)の指示値が偶発的に低下し、A海水ポンプが自動停止に至ったものと推定した。

この潤滑水流量計に関連した発電所での原因調査では、潤滑水流量計に異常は認められず、潤滑水流量計の偶発事象と推定し、当該流量計を予備品に取り換えるとともに、A海水ポンプの巡回点検回数を増やす等監視を強化した。また、当該流量計について、念のためメーカ工場にて詳細な原因調査を実施することについて、4月16日にご報告済みである。

今般、工場調査結果をとりまとめたことからご報告するものである。

1. 点検場所、点検期間

横河電機(株)三鷹工場(以下、「三鷹工場」という。)にて詳細点検を実施した。なお、新型コロナウイルス感染症拡大防止対策のため、三鷹工場の操業を停止している間は、横河マニュファクチャリング(株)甲府工場(以下、「甲府工場」という。)にて簡略点検を実施した。

(1) 甲府工場

点検期間：2020年4月17日～4月29日

(2) 三鷹工場

点検期間：2020年5月29日～8月4日

2. 工場点検内容

添付資料-1「A海水ポンプ潤滑水流量 電磁流量計 指示低下 要因分析(F T)図」に基づき簡略点検^{*1}および詳細点検^{*2}を実施した。

※1 製品出荷時と同等の確認を行う点検

※2 今回の事象に着目して確認する点検

(1) 点検対象機器

a. 電磁流量計検出器(3FT-2073)

b. 電磁流量計変換器(3FM-2073)

3. 甲府工場における点検結果

(添付資料-2～7、18)

(1) 電磁流量計検出器(3FT-2073)

a. 外観検査

ライニング部および電極部を目視確認した結果、外観に異常は認められなかった。

なお、当該検出器の内面は通常の点検時に見受けられる黒い付着物（汚れや錆※³）で覆われており、通常の清掃手順（ウエスで拭き取り）にて容易に拭き取れたことを確認した。

※3 類似箇所（D海水ポンプ潤滑水流量計検出器内部）の付着物を当社にて分析した結果、鉄分酸化物（Fe）が検出されたことから、付着物は電極部（材質：チタン）が錆びたものではない。

b. 絶縁抵抗試験

電極部およびコイル部の絶縁抵抗を測定した結果、判定基準の100MΩ以上であり異常は認められなかった。

また、コイルの断線も認められなかった。

(2) 電磁流量計変換器（3FM-2073）

a. 外観検査

変換器の外観を目視確認した結果、外観に異常は認められなかった。

b. 絶縁抵抗試験

電源回路および信号回路の絶縁抵抗を測定した結果、電源回路において判定基準の100MΩ以上であり異常は認められなかった。また、信号回路においても判定基準の20MΩ以上であり異常は認められなかった。

c. 耐電圧試験

電源回路および信号回路の耐電圧試験を実施した結果、電源回路において1400VACの印加に対し電氣的破壊等の異常は認められなかった。また、信号回路においても160VAC（コイル端子-接地端子間）、350VAC（コイル端子-入出力端子間）の印加に対し電氣的破壊等の異常は認められなかった。

d. 入出力検査

変換器の入出力を確認した結果、基準値に対して-0.02%（判定基準±0.2%）であり異常は認められなかった。

e. 表示器検査

変換器内部にあるデータ選択や設定キーを操作し、表示部により意図したデータが正常に選択・表示されることを確認した結果、異常は認められなかった。

f. 通信検査

変換器の出力部である電流出力端子に専用通信設備を接続し、変換器の型式が専用通信設備に表示され通信されることを確認した結果、異常は認められなかった。

g. 設定データの確認

変換器内部に設定された各パラメータが意図した値であることを確認した結果、異常は認められなかった。

なお、専用ケーブルおよび外的要因に対する調査結果については、4月10日に実施した発電所での点検結果から、異常等は認められなかった。

(3) 実流量検査

電磁流量計検出器(3FT-2073)と電磁流量計変換器(3FM-2073)とを接続し、実流量検査^{*4}を行った結果、流量の検出は問題なく行われることを確認した。

なお、検出器の精度は基準値に対して-0.59%と工場の管理精度(基準値:±0.5%)を僅かに外れていたが、この精度の逸脱が計測値を低下させる要因ではないこと、また、計測値以外に影響を与えるものではないことを確認した。

※4 実際に検出器へ水を流し流量を計測する検査

(4) 甲府工場における点検結果まとめ

甲府工場での点検の結果、検出器および変換器とも異常は認められなかった。

なお、電磁流量計検出器の内面は通常の点検時に見受けられる黒い付着物(汚れや錆)で覆われている状態であったことを確認した。この付着物は、通常の清掃手順(ウエスで拭き取り)にて容易に拭き取れたことを確認した。

4. 三鷹工場における点検結果

(添付資料-8~18)

(1) 電磁流量計検出器(3FT-2073)

a. 外観検査

(a) 検出器本体

検出器本体への付着物および筐体の腐食を確認した結果、検出器本体への付着物および筐体の腐食は認められなかった。

(b) 検出器内部

ア. 接液部

電極部および検出器ライニングを目視およびボアスコープにて確認した結果、測定誤差や出力変動に繋がるような腐食や傷は認められなかった。

イ. 電気回路部

端子台、端子台内部を目視および拡大鏡にて確認した結果、異常は認められなかった。また、端子台の座面(信号線接続部、励磁線接続部)、ネジ部およびネジ部座面を目視および拡大鏡にて確認した結果、皮膜や腐食等は認められなかった。

端子台に接続する信号線端子部および励磁線端子部について現地にて確認した結果、皮膜や腐食等は認められなかった。

従って、検出器端子箱内の密閉性は確保されていたと考えられる。

b. 検出器ライニング部の内径寸法検査

検出器のライニング部に於ける内径寸法を測定した結果、測定値に影響を及ぼす程の歪みがないことを確認した。

c. 電極部の接液抵抗検査

電極部の接液抵抗を水道水を通じて測定した結果、各電極およびアース間でバランスの取れた状態であり、異物付着や腐食がなく計測結果に影響はないことを確認した。

d. 絶縁抵抗試験

電極部の絶縁抵抗を測定した結果、判定基準の $100\text{M}\Omega$ 以上（励磁電流端子ーコモン間については $1\text{M}\Omega$ 以上）であり異常は認められなかった。

また、コイル抵抗および導通を測定した結果、判定基準の 2Ω 以下（励磁電流端子（EX1）ー励磁電流端子（EX2）間については $70\Omega \pm 10\% \text{ at } 25^\circ\text{C}$ ）であり異常は認められなかった。

また、導通状態に異常は認められなかった。

(2) 電磁流量計変換器（3FM-2073）

a. 外観検査

(a) 変換器内部

変換器の内部を目視確認した結果、浸水跡や腐食痕および異物等の異常は認められなかった。また、端子台、ネジ部およびネジ部座面に皮膜や腐食等は認められなかった。

端子台に接続する信号線端子部についても現地にて確認した結果、皮膜や腐食等は認められなかった。

(b) 各コネクタ部

各コネクタ部が確実に接触し緩み等のないことを確認した結果、異常は認められなかった。

(c) プリント基板

表示器、CPUボードおよび電源ボードのプリント基板に腐食や搭載部品の損傷、焼損ならびに半田不良等のないことを確認した結果、異常は認められなかった。

b. 絶縁抵抗試験

電源回路および信号回路の絶縁抵抗を測定した結果、電源回路において判定基準の $100\text{M}\Omega$ 以上であり異常は認められなかった。また、信号回路においても

判定基準の20MΩ以上であり異常は認められなかった。

c. 入出力検査

変換器の入出力を確認した結果、流速の模擬信号（0 m/s、0.2 m/s、0.5 m/s、1 m/s）に対し、指示値の変動もなく正常に出力されることを確認した。

d. 安定性試験

電磁流量計キャリブレーターから流速の模擬信号（0.75 m/s）を入力し、約72時間連続稼働した結果、指示値が安定していることを確認した。

e. 設定データの確認

変換器内部に設定された各パラメータが意図した値であることを確認した結果、異常は認められなかった。

(3) 実流量検査

電磁流量計検出器（3FT-2073）と電磁流量計変換器（3FM-2073）とを接続し、検出部へ水道水を設定流量（6 m³/h）を一定にした状態で約2時間連続通水した結果、指示値の低下および変動がなく比較用流量計とも同様の推移を示すことを確認した。

(4) 検証試験

実験用設備の検出器を使用し、A、Bの両電極部を絶縁性付着物（グリス）で覆った状態での指示値の挙動を検証した結果、絶縁性付着物の影響により、指示値の低下および指示値が不安定となることを確認した。

また、メーカーへの聞き取り調査の結果、突発的に異物が付着し指示低下に繋がる知見およびこれまで実施した点検時に、A、Bの両電極部全面が指示低下に繋がる程度の絶縁性付着物で覆われていた実績は確認されなかった。

(5) 三鷹工場における点検結果まとめ

三鷹工場での点検の結果、検出器および変換器とも異常は認められなかった。

なお、検証試験の結果、A、Bの両電極部が絶縁性付着物（グリス）で覆われた場合、絶縁性付着物の影響により、指示値の低下および指示値が不安定となることを確認した。

5. 工場点検結果まとめ

甲府工場および三鷹工場にて、A海水ポンプ潤滑水流量計の点検を行った結果、潤滑水流量計の指示値を低下させる要因となる異常は認められなかったものの、検出器の内面は通常の点検時に見受けられる黒い付着物（汚れや錆）で覆われていたことが

認められたこと、および検証試験の結果、A、Bの両電極部に同時に絶縁性付着物を付着させた場合、今回認められた潤滑水流量計の指示値が低下したような事象が再現されたことから、事象発生当時、A、Bの両電極部に黒い付着物（汚れや錆）に加え何らかの絶縁性付着物がA、Bの両電極部に一時的に同時に付着したことにより、偶発的に潤滑水流量計の指示値低下に繋がった可能性があるかと推定した。

なお、事象発生当時、海水ポンプが全台停止したことから、原子炉補機冷却水系統が停止し使用済燃料ピット冷却系の機能が停止したものの、使用済燃料ピット（以下、「SFP」という。）の冷却機能については、ラック取替工事の一環として、事前にSFPの温度上昇評価を実施したうえで、SFPの冷却を計画的に停止した状態であり、SFP冷却機能の喪失に対して十分な裕度を有していることを確認していたことから、使用済燃料の冷却に影響を与えなかった。

6. 更なる信頼性向上対策

- (1) 電磁流量計検出器は、点検計画に基づき1Fの頻度で検出器本体の内部清掃を実施しているが、電極部への付着物を確実に取り除くため、内部清掃実施時の手順に「内部清掃実施時は、特に電極部及びその周辺を入念に清掃すること」、注意事項として、「絶縁性の付着物は指示に影響を与えることから、絶縁性付着物の拭き残しが無いよう注意すること」を作業手順書に追記する。
- (2) 海水ポンプの信頼性を向上させるため、ポンプの軸受を現在のゴム製軸受からテフロン製軸受に交換し、ポンプ潤滑水系統を不要とする工事を次回定期事業者検査以降に順次計画する。

以 上

添付資料

1. A海水ポンプ潤滑水流量 電磁流量計 指示低下 要因分析 (F T) 図
2. 付着物分析結果
3. 甲府工場における電磁流量計検出器 絶縁抵抗試験結果
4. 甲府工場における電磁流量計変換器 絶縁抵抗試験結果
5. 甲府工場における電磁流量計変換器 耐電圧試験結果
6. 甲府工場における電磁流量計変換器 入出力検査結果
7. 甲府工場における実流量検査結果
8. 三鷹工場における電磁流量計検出器 外観検査結果
9. 三鷹工場における電磁流量計検出器 検出器ライニング部の内径寸法検査結果
10. 三鷹工場における電磁流量計検出器 電極部の接液抵抗検査結果
11. 三鷹工場における電磁流量計検出器 絶縁抵抗試験結果
12. 三鷹工場における電磁流量計変換器 外観検査結果
13. 三鷹工場における電磁流量計変換器 絶縁抵抗試験結果
14. 三鷹工場における電磁流量計変換器 入出力検査結果
15. 三鷹工場における電磁流量計変換器 安定性試験結果
16. 三鷹工場における実流量検査結果
17. 三鷹工場における検証試験結果
18. A海水ポンプ潤滑水流量計 工場調査工程
19. 電磁流量計の構造

別 紙

美浜発電所3号機 A海水ポンプの自動停止に伴うディーゼル発電機の運転上の制限の逸脱について

A海水ポンプ潤滑水流量 電磁流量計 指示低下 要因分析 (FT) 図

要因1	要因2	調査内容	調査結果	評価	甲府工場	三鷹工場
検出器	外観異常	外観検査	検出器本体への付着物確認 異常なし	X	-	◎
			筐体の腐食確認 異常なし			
	ライニングの劣形	ライニング部の確認	外観確認 異常なし	X	◎	
			拡大鏡による確認 異常なし 内径寸法測定 変なし	X		
	電極部の損傷・異物付着	電極部の確認	目視による外観異常なし	X	◎	
			ホアスコープによる確認 異常なし 電極回路抵抗値確認 異常なし	X		
	電極の絶縁劣化	水道水による接液抵抗確認	電極部の接液抵抗を水道水を通じて測定し異物付着等を確認 異常なし	X	◎	
			検証試験			
			検出器(異物)の電極(A, B)を同時にリリースで濃い指示値の挙動を検証 指示値の低下および指示値が不安定となることを確認	△		
			絶縁抵抗測定 異常なし	X	◎	
	コイルの絶縁低下	電極部の絶縁抵抗確認	絶縁抵抗測定(再確認) 異常なし	X	◎	
			絶縁抵抗測定 異常なし	X		
	コイルの断線	コイル部の絶縁抵抗確認	絶縁抵抗測定(再確認) 異常なし	X	◎	
			絶縁抵抗測定 異常なし	X		
検出器端子部とケーブルの接続不良	コイルの断線	断線の確認 断線なし	X	◎		
		コイル抵抗値の確認 異常なし 導線の確認 異常なし	X			
変換器	外観異常	実流量測定試験	端子台(後面含む)、端子台内部、ネジ部(後面含む)への皮膜付着および腐食等の有無確認 異常なし	X	-	◎
			変流量試験問題なし(但し最大誤差-0.59%)(甲府工場)	X	◎	
	電源回路異常	外観検査	変流量試験(変換器内部信号線測定、安定性確認含む) 異常なし	X	◎	
			外観確認 異常なし	X		
	信号回路異常	電気回路の絶縁抵抗、耐電圧試験	外観確認(内部基板含む) 異常なし	X	◎	
			絶縁抵抗測定、耐電圧試験 異常なし	X		
	データ線設定	単体試験 (入出力検査、表示器検査、通信検査)	絶縁抵抗測定 異常なし、耐電圧試験(再確認) 実施せず※	X	◎	
			単体試験、絶縁抵抗測定、耐電圧試験 異常なし (入出力検査、表示器検査、通信検査) ・単体試験(入出力検査再確認) 異常なし ・安定性確認 異常なし	X		
	変換器端子部とケーブルの接続不良	端子部の確認	変換器内部設定データの確認 異常なし	X	◎	
			変換器内部設定データの確認(再確認) 異常なし	X		
	専用ケーブル	絶縁不良	ケーブルと接続する端子部への腐食等の有無確認 異常なし	X	◎	
			専用ケーブルの振動による影響	X		
	外的要因	流水なし	4/100の絶縁抵抗確認において異常は認められなかった	X	-	
			4/100の現場作業状況を確認した結果、近辺で振動を伴う作業等は実施していなかった	X		
流体の導電率が低下		流水状態の聞き取り確認	4/100の通水確認において流水が認められたことから要因とは考えにくい	X	-	
		流水状態の聞き取り確認	海水ヘッダから潤滑水を供給する系統であり流体(海水)の導電率が変化することは考えにくい	X		
ノイズ	作業環境等のノイズ発生確認	4/100の現場作業状況を確認した結果、近辺で溶接作業等は実施していなかった	X	-		

◎ 該当なし
○ 要因の可能性あり
△ 追加点検
△ 詳細点検
◎ 詳細点検

◎ 要因である
○ 要因の可能性あり
△ 追加点検
△ 詳細点検
◎ 詳細点検

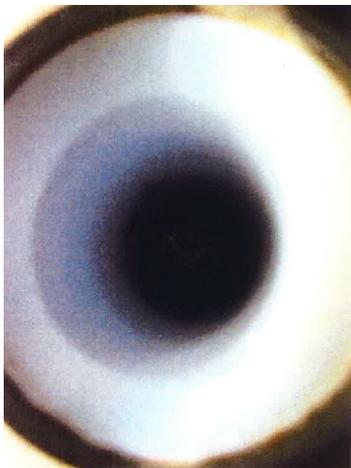
※変換器への影響を考慮し、甲府工場での点検結果にて評価

A海水ポンプ潤滑水流量計の指示低下事象

付着物分析結果

【分析結果】

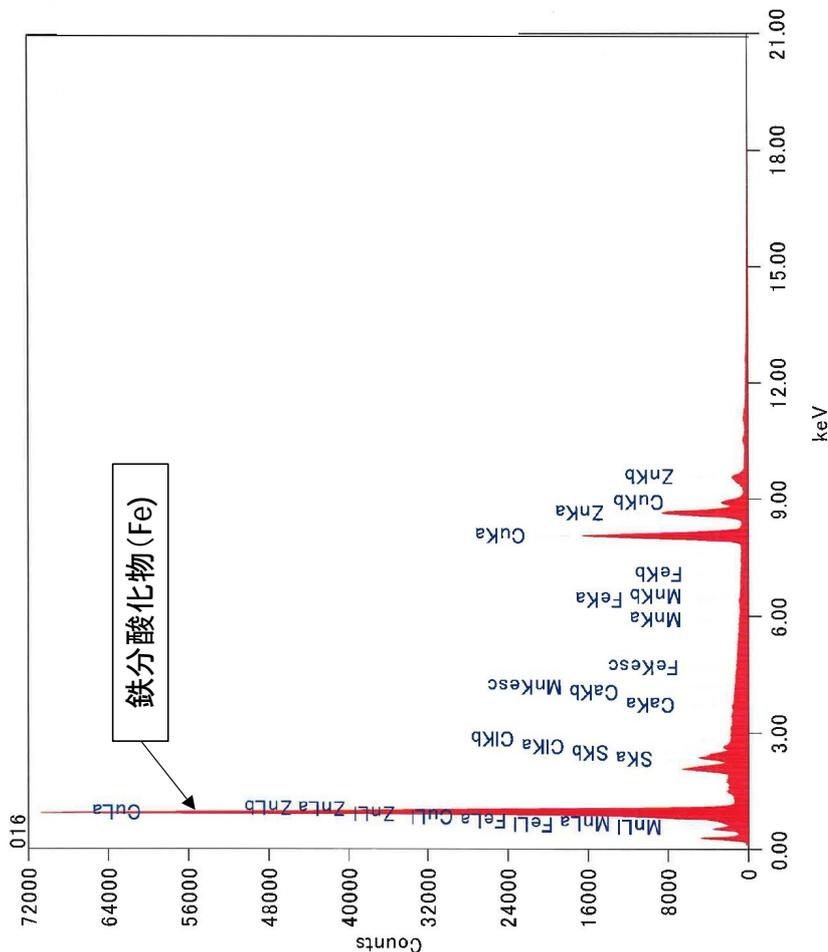
類似箇所 (D海水ポンプ潤滑水流量計検出器内部) の付着物を採取し、当社にてSEM分析を行った結果、鉄分酸化物 (Fe) が検出され、電極部 (材質：チタン) が錆びたものではないことが確認された。



D-SWP潤滑水流量計検出器内部付着物採取



付着物3,500倍拡大写真



考察: 鉄分酸化物(Fe)が目立って検出されており、チタン(Ti)は検出されていない。

甲府工場における電磁流量計検出器 絶縁抵抗試験結果

【点検内容】

電極部およびコイル部の絶縁抵抗を測定する。

測定箇所	試験電圧	判定基準	測定値	判定
信号端子 - 信号端子	500VDC	100MΩ 以上	100MΩ 以上	良
信号端子 - コモン			100MΩ 以上	良
励磁端子 - 信号端子 / コモン			100MΩ 以上	良

【点検結果】

電極部およびコイル部の絶縁抵抗を測定した結果、判定基準を満足しており異常は認められなかった。

甲府工場における電磁流量計変換器 絶縁抵抗試験結果

【点検内容】

電源回路および信号回路の絶縁抵抗を測定する。

測定箇所	試験電圧	判定基準	測定値	判定
電源端子 - 接地端子	500VDC	100MΩ 以上	1000MΩ 以上	良
電源端子 - 信号端子 / 励磁端子			1000MΩ 以上	良
接地端子 - 信号端子 / 励磁端子	100VDC	20MΩ 以上	1000MΩ 以上	良
信号端子 - 信号端子 / 励磁端子			1000MΩ 以上	良

【点検結果】

電源回路および信号回路の絶縁抵抗を測定した結果、電源回路において判定基準の100MΩ以上であり異常は認められなかった。
また、信号回路においても判定基準の20MΩ以上であり異常は認められなかった。

甲府工場における電磁流量計変換器 耐電圧試験結果

【点検内容】

電源回路および信号回路の耐電圧試験を実施する。

試験箇所	試験電圧		判定
	試験電圧	印加時間	
電源端子－接地端子	1400VAC	2秒	良
電源端子－信号端子			良
接地端子－励磁端子	160VAC		良
信号端子－励磁端子	350VAC		良

【点検結果】

電源回路および信号回路の耐電圧試験を実施した結果、電源回路において1400VACの印可に対し電氣的破壊等の異常は認められなかった。
 また、信号回路においても160VAC（コイル端子－接地端子間）、350VAC（コイル端子－入出力端子間）の印可に対し電氣的破壊等の異常は認められなかった。

甲府工場における電磁流量計変換器 入出力検査結果

【点検内容】

変換器に模擬信号を入力し、入力値に対する出力値が正常に出力されることを確認する。

校正点 (%)	出力		誤差 (%)
	基準値 (m/s)	実測値 (m/s)	
0	0.0000	0.0000	0.00
20	0.2000	0.2000	0.00
50	0.5000	0.4999	-0.02
100	1.0000	1.0001	0.01

【点検結果】

変換器の入出力を確認した結果、基準値に対して -0.02% (判定基準 $\pm 0.2\%$)であり異常は認められなかった。

甲府工場における実流量検査結果

【点検内容】

電磁流量計検出器（3FT-2073）と電磁流量計変換器（3FM-2073）とを接続し、実流量検査を行う。

設定値 Q (%) [V(m/s)]	出力		誤差 (%)	液体温度 (°C)
	基準値 (m³/h)	実測値 (m³/h)		
0.0[0.00]	0.0000	0.0000	0.00	23.5
26.5[1.20]	2.1161	2.1037	-0.59	23.4
50.6[2.29]	4.0463	4.0241	-0.55	23.5
77.9[3.53]	6.2356	6.1993	-0.58	23.5
95.1[4.31]	7.6047	7.5662	-0.51	23.5

【点検結果】

電磁流量計検出器（3FT-2073）と電磁流量計変換器（3FM-2073）とを接続し、実流量検査を行った結果、流量の検出は問題なく行われることを確認した。
 なお、検出器の精度は基準値に対して-0.59%と工場の管理精度（基準：±0.5%）を僅かに外れていたが、この精度の逸脱が計測値を低下させる要因ではないこと、また、計測値以外に影響を与えないことを確認した。

三鷹工場における電磁流量計検出器 外観検査結果 (検出器本体)

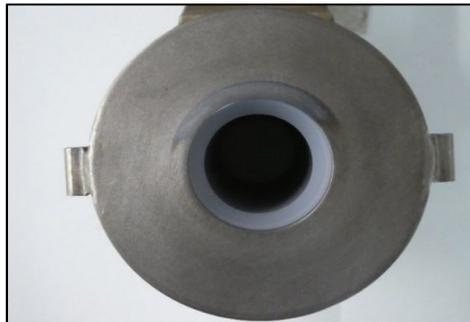
【点検内容】

検出器本体への付着物および筐体の腐食の有無を確認する。

【検出器本体】



【アースリング(上流側)】



【アースリング(下流側)】



【点検結果】

検出器本体への付着物および筐体の腐食を確認した結果、検出器本体への付着物および筐体の腐食は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計検出器 外観検査結果 (検出器内部：接液部)

【点検内容】

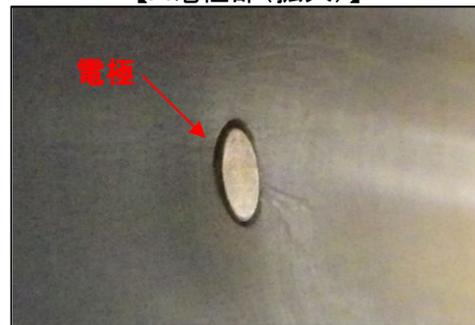
電極部および検出器ライニングを目視等にて確認する。

【A電極部】



※ 実流量校正後(清掃後)の状態

【A電極部(拡大)】



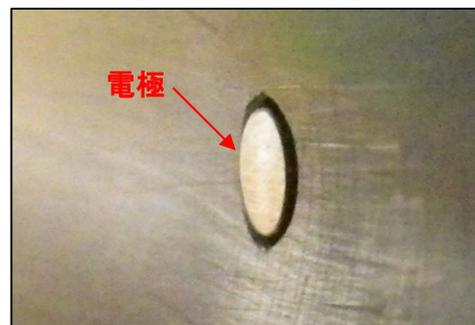
※ 実流量校正後(清掃後)の状態

【B電極部】



※ 実流量校正後(清掃後)の状態

【B電極部(拡大)】



※ 実流量校正後(清掃後)の状態

【点検結果】

電極部および検出器ライニングを目視およびボアスコープにて確認した結果、測定誤差や出力変動に繋がるような腐食や傷は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計検出器 外観検査結果 （検出器内部：電気回路 1／2）

【点検内容】

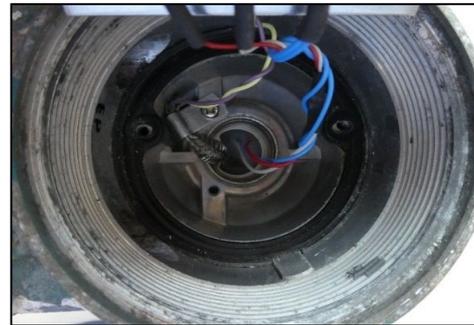
端子台、端子台内部、端子台の座面（信号線接続部、励磁線接続部）を目視等にて確認する。

【端子台】



（浸水跡は認められない）

【端子台内部】



【端子台座面(信号線接続部)】



【端子台座面(励磁線接続部)】



【点検結果】

端子台、端子台内部を目視および拡大鏡にて確認した結果、異常は認められなかった。また、端子台の座面（信号線接続部、励磁線接続部）を目視および拡大鏡にて確認した結果、皮膜や腐食等は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計検出器 外観検査結果 (検出器内部：電気回路 2／2)

【点検内容】

ネジ部、ネジ部座面、端子台に接続する信号線端子部および励磁線端子部を目視等にて確認する。

【ネジ部(信号線A部)】



【ネジ部座面(信号線A部)】



【信号線端子部】



《現場確認分》

【励磁線端子部】



【点検結果】

ネジ部およびネジ部座面を目視および拡大鏡にて確認した結果、皮膜や腐食等は認められなかった。

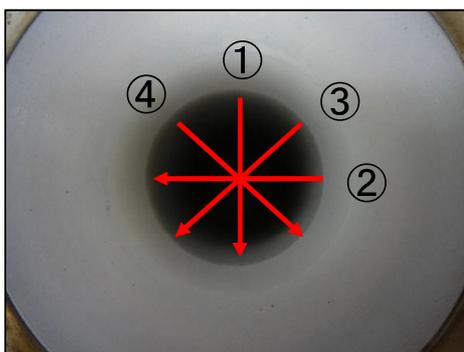
また、端子台に接続する信号線端子部および励磁線端子部についても現地にて確認した結果、皮膜や腐食等は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計検出器 検出器ライニング部の内径寸法検査結果

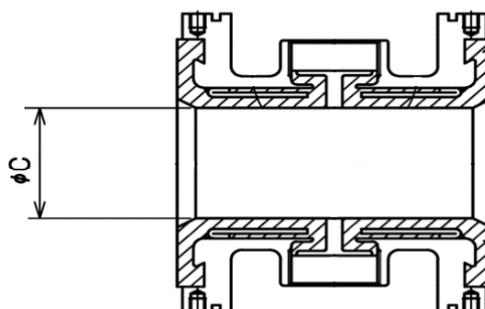
【点検内容】

検出器のライニング部に於ける内径寸法（以下の①、②、③、④）が、指示値に影響を及ぼす程の歪みがないことを確認する。

測定箇所（φC）	上流側	下流側
①	22.5mm	22.8mm
②	22.5mm	22.7mm
③	22.5mm	22.7mm
④	22.5mm	22.7mm



ライニング部の測定箇所



【点検結果】

検出器のライニング部に於ける内径寸法を測定した結果、測定値に影響を及ぼす程の歪みがないことを確認した。

三鷹工場における電磁流量計検出器 電極部の接液抵抗検査結果

【点検内容】

水道水を電極部に充填した状態で、各電極およびアース間の接液抵抗値を測定する。

測定箇所	測定結果
A (+)、B (-)	17 k Ω
A (-)、B (+)	18 k Ω
A (+)、C (-)	18 k Ω
A (-)、C (+)	18 k Ω
B (+)、C (-)	17 k Ω
B (-)、C (+)	17 k Ω

【測定条件】

使用流体＝水道水（導電率＝200 μ S/cm）

水道水の測定導電率(200 μ S/cm)から導いた接液抵抗：16.7k Ω

【点検結果】

電極部の接液抵抗を水道水を通じて測定した結果、各電極およびアース間でバランスの取れた状態であり、異物付着や腐食がなく計測結果に影響はないことを確認した。

三鷹工場における電磁流量計検出器 絶縁抵抗試験結果

【点検内容】

電極部の絶縁抵抗を測定する。

測定箇所	試験電圧	判定基準	測定値	判定
信号端子 (A) - 信号端子 (B)	500VDC	100MΩ 以上	1000MΩ 以上	良
信号端子 (A) - コモン (C)				
信号端子 (B) - コモン (C)			1000MΩ 以上	良
励磁電流端子 (EX1) - 信号端子 (A)				
励磁電流端子 (EX1) - 信号端子 (B)			1000MΩ 以上	良
励磁電流端子 (EX1) - コモン (C)				

【点検結果】

電極部の絶縁抵抗を測定した結果、判定基準を満足しており異常は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計検出器 コイル抵抗および導通検査結果

【点検内容】

検出器のコイル抵抗を測定する。
また、コイルの導通を確認する。

測定箇所	判定基準	測定結果	判定
励磁電流端子 (EX1) - 励磁電流端子 (EX2)	$70.0 \Omega \pm 10\%$ at 25°C	68.82Ω at 25°C	良
信号端子 (A) - A 電極	2 Ω 以下	0.04 Ω	良
信号端子 (B) - B 電極	2 Ω 以下	0.06 Ω	良
コモン (C) - アースリング	2 Ω 以下	0.04 Ω	良

【点検結果】

コイル抵抗を測定した結果、判定基準を満足しており異常は認められなかった。
また、導通状態に異常は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計変換器 外観検査結果 (変換器内部)

【点検内容】

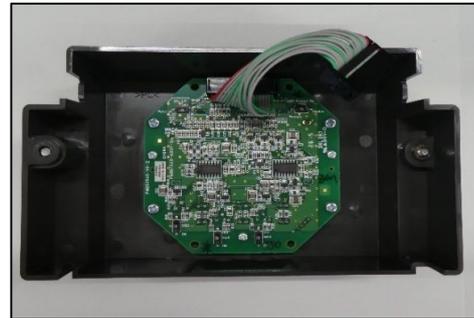
変換器の内部を目視確認し、浸水跡や腐食痕および異物等の有無を確認する。

【変換器内部(全体像)】



(浸水跡は認められない)

【表示器裏側】



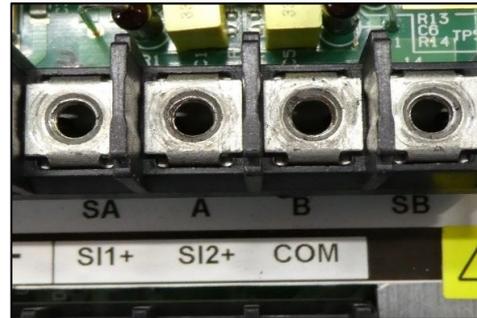
(腐食痕や異物等は認められない)

【端子台座面(全体)】



(座面に皮膜や腐食等は認められない)

【端子台座面(信号線部拡大)】



(座面に皮膜や腐食等は認められない)

【ネジ部(信号線A側)】



(皮膜や腐食等は認められない)

【ネジ部座面(信号線A側)】



(座面に被膜や腐食等は認められない)

《現場確認分》
【信号線端子部】



(端子部に異常は認められない)

【点検結果】

変換器の内部を目視確認した結果、浸水跡や腐食痕および異物等の異常は認められなかった。

端子台、ネジ部およびネジ部座面に皮膜や腐食等は認められなかった。

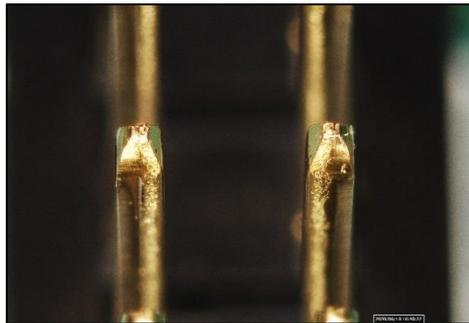
また、端子台に接続する信号線端子部についても現地にて確認した結果、皮膜や腐食等は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計変換器 外観検査結果 (各コネクタ部)

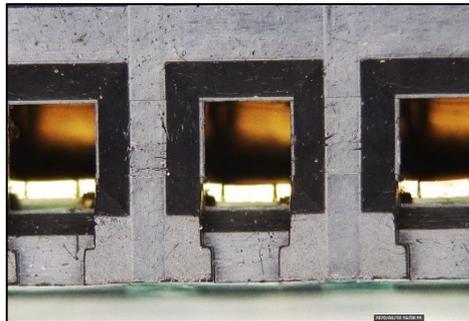
【点検内容】

各コネクタ部が確実に接触し緩み等のないことを確認する。

【CPUボード側コネクタ部】



【電源ボード側コネクタ部】



【点検結果】

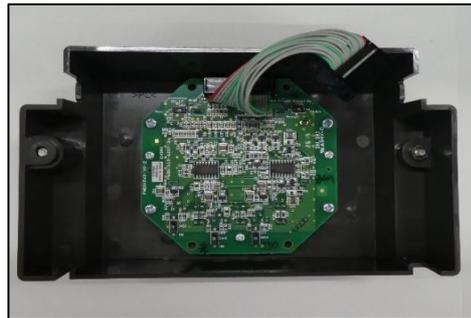
各コネクタ部が確実に接触し緩み等のないことを確認した結果、異常は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計変換器 外観検査結果 (プリント基板)

【点検内容】

表示器、CPUボードおよび電源ボードのプリント基板に腐食や搭載部品の損傷、焼損ならびに半田不良等のないことを確認する。

【表示器裏側】



【CPUボード】



【電源ボード】



【点検結果】

表示器、CPUボードおよび電源ボードのプリント基板に腐食や搭載部品の損傷、焼損ならびに半田不良等のないことを確認した結果、異常は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計変換器 絶縁抵抗試験結果

【点検内容】

電源回路および信号回路の絶縁抵抗を測定する。

測定箇所	試験電圧	判定基準	測定値	判定	
LN(L+, L-) ⇄	500VDC	100MΩ 以上	I (I+, I-)	100MΩ 以上	良
			P (P+, P-)	100MΩ 以上	良
			AL (AL+, AL-)	100MΩ 以上	良
			EX (EX1, EX2)	100MΩ 以上	良
			SI (SI1, SI2, COM)	100MΩ 以上	良
			S0 (S01, S02, COM)	100MΩ 以上	良
			PE (筐体)	100MΩ 以上	良
			I (I+, I-)	100MΩ 以上	良
			P (P+, P-)	100MΩ 以上	良
			AL (AL+, AL-)	100MΩ 以上	良
EX(EX+, EX-) ⇄	125VDC	20MΩ 以上	SI SI1, SI2, COM	100MΩ 以上	良
			S0 (S01, S02, COM)	100MΩ 以上	良
			PE (筐体)	100MΩ 以上	良
			I (I+, I-)	100MΩ 以上	良
			P (P+, P-)	100MΩ 以上	良

【点検結果】

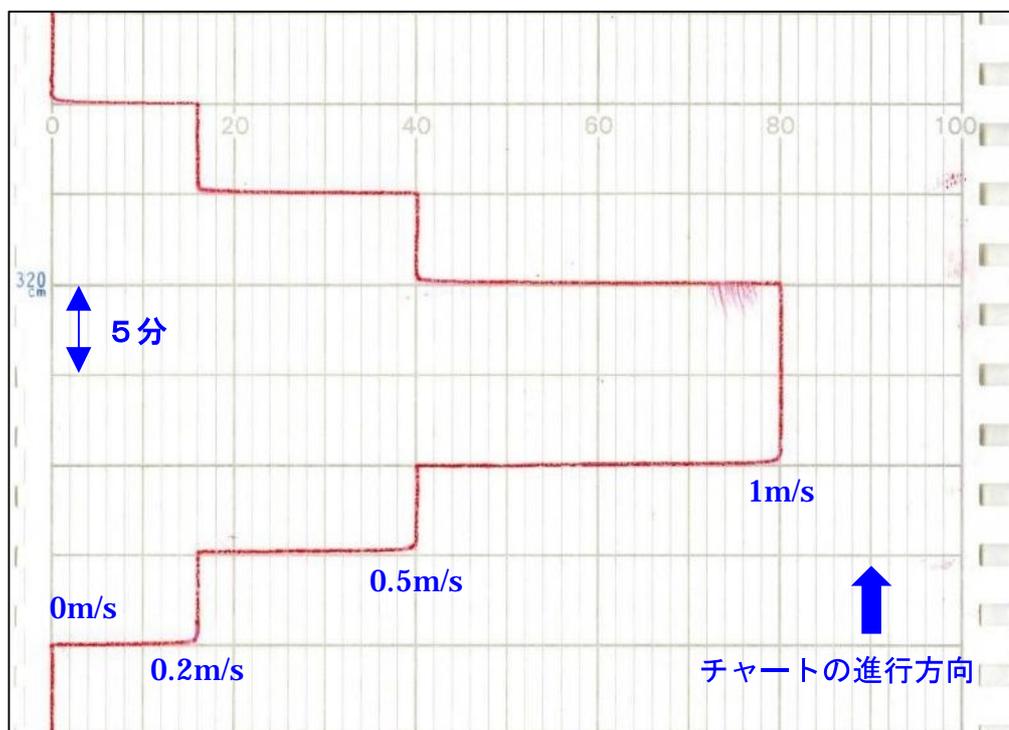
電源回路および信号回路の絶縁抵抗を測定した結果、電源回路において判定基準の100MΩ以上であり異常は認められなかった。また、信号回路においても判定基準の20MΩ以上であり異常は認められなかった。

三鷹工場における電磁流量計変換器 入出力検査結果

【点検内容】

変換器に模擬信号を入力し、入力値に対する出力値が正常に出力されることを確認する。

【変換器 入出力試験データ】



【点検結果】

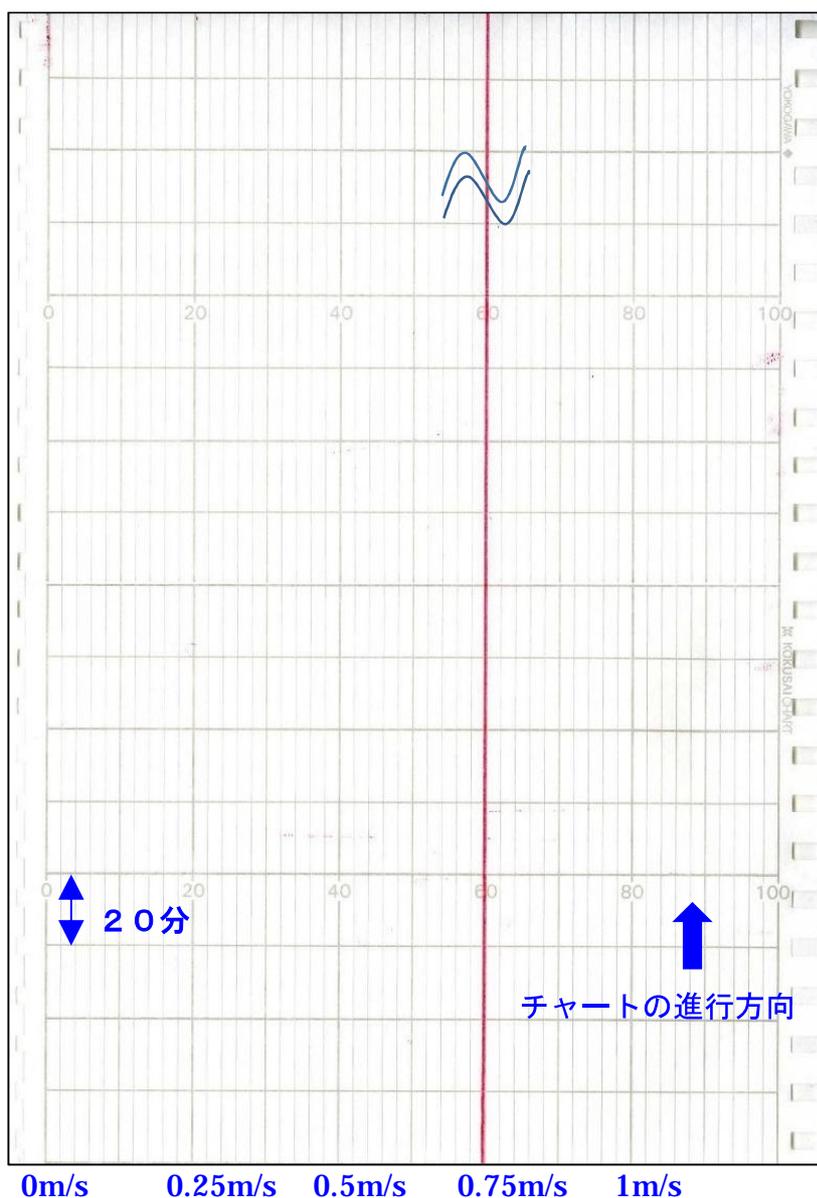
変換器の入出力を確認した結果、流速の模擬信号（0m/s、0.2m/s、0.5m/s、1m/s）に対し、指示値の変動もなく正常に出力されることを確認した。

三鷹工場における電磁流量計変換器 安定性試験結果

【点検内容】

電磁流量計キャリブレーターから流速の模擬信号（0.75 m/s）を入力し、指示値の状態を確認する。

【変換器 安定性試験データ】



【点検結果】

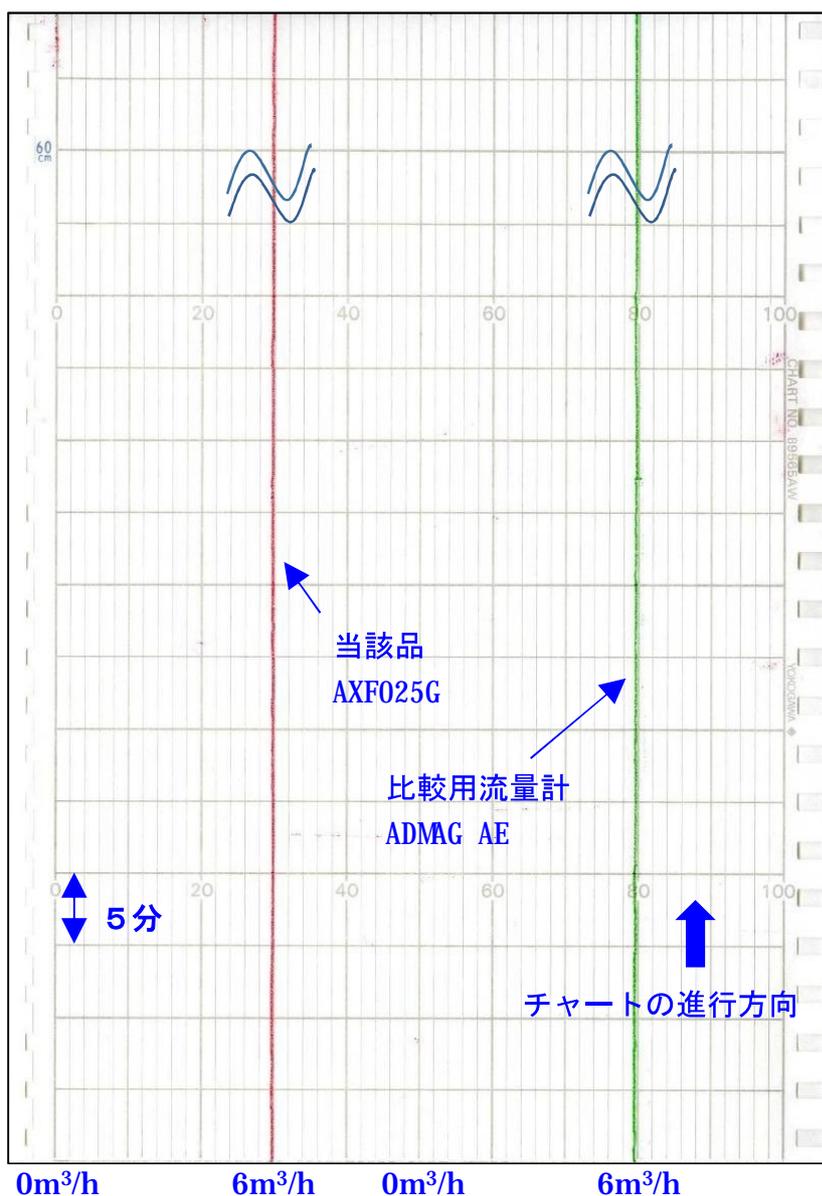
電磁流量計キャリブレーターから流速の模擬信号（0.75 m/s）を入力し、約72時間連続稼働した結果、指示値が安定していることを確認した。

三鷹工場における実流量検査結果

【点検内容】

電磁流量計検出器（3FT-2073）と電磁流量計変換器（3FM-2073）とを接続し、検出部へ水道水を設定流量（ $6\text{m}^3/\text{h}$ ）通水し、指示値の低下および変動がないことを確認する。

【実流量検査データ】



【点検結果】

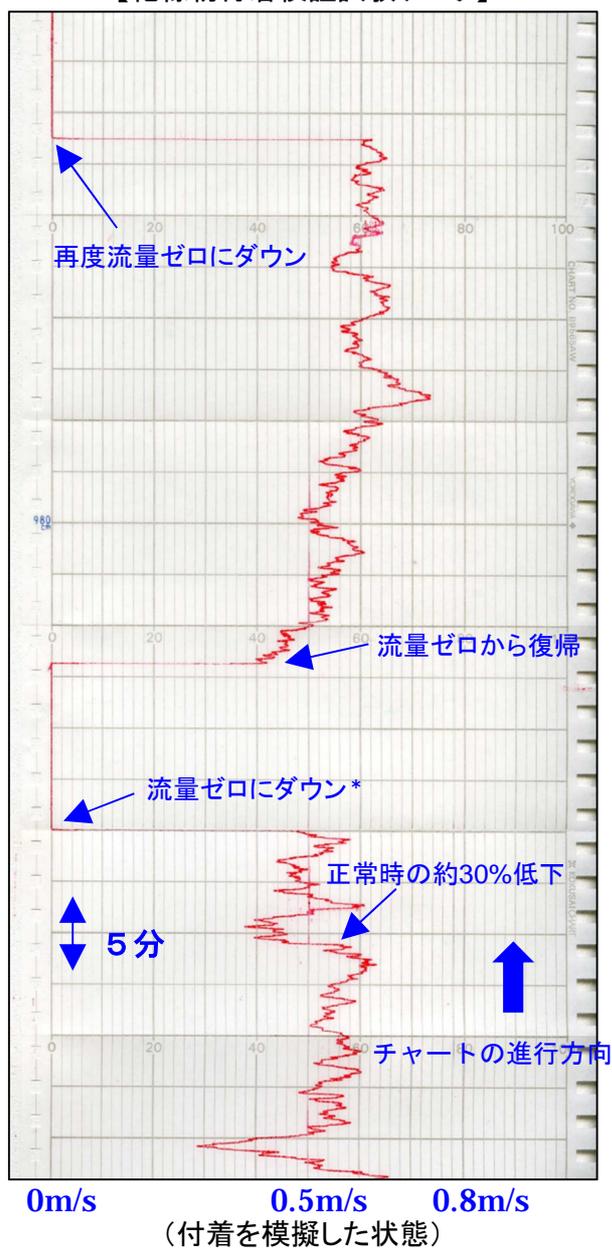
電磁流量計検出器（3FT-2073）と電磁流量計変換器（3FM-2073）とを接続し、検出部へ水道水を設定流量（ $6\text{m}^3/\text{h}$ ）を一定にした状態で約2時間連続通水した結果、指示値の低下および変動がなく比較用流量計とも同様の推移を示すことを確認した。

三鷹工場における検証試験結果

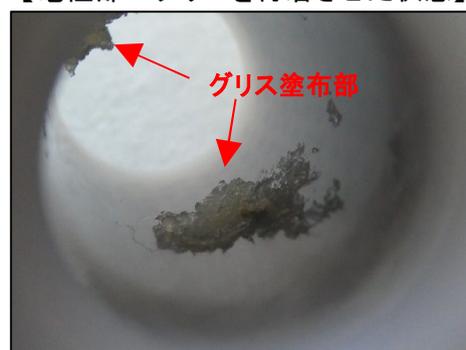
【点検内容】

実験用設備の検出器を使用し、A, Bの電極部を絶縁性付着物（グリス）で覆った状態での指示値の挙動を検証する。

【絶縁物付着検証試験データ】

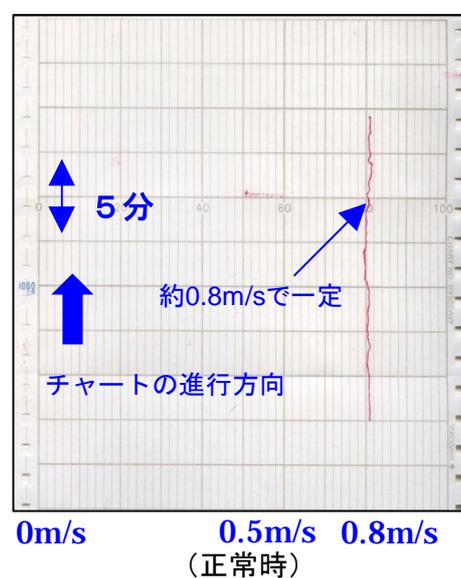


【電極部へグリスを付着させた状態】



使用グリス: 信越シリコーン
 形名: KE-4898-T
 主成分: ケイ素と酸素が交互に結びついたシロキサン結合(Si-O-Si)

【正常値の試験データ(付着物なし)】



* 出力ゼロは電極と測定流体が絶縁された状態であり、一定値以下で出力をゼロに落とす閾値はない。

【点検結果】

実験用設備の検出器を使用し、A, Bの電極部を絶縁性付着物（グリス）で覆った状態での指示値の挙動を検証した結果、絶縁性付着物の影響により、指示値の低下および指示値が不安定となることを確認した。

A海水ポンプ潤滑水流量計 工場調査工程

調査内容	4月		5月		6月		7月		8月	
	17日	20日	27日	30日	5日	8日	10日	19日	30日	4日
工場発送	▲ 甲府工場着				▲ 三鷹工場着					
検出器 単体試験 ・外觀検査 ・絶縁抵抗試験		■ 注1				■ 6/5	■ 6/10			
変換器 単体試験 ・外觀検査 ・絶縁抵抗試験 ・耐電圧試験 ・入出力検査 ・表示器検査 ・通信検査 ・設定データの確認		■ 注1				■ 6/8	■ 6/19			
実流量検査		■ 注1					■ 6/16	■ 6/30		
点検結果まとめ 点検結果報告						▽ 中間報告	▽ 7/1	▽ 7/1	▽ 8/4	
備考	新型コロナウイルス感染症拡大防止対策により三鷹工場停止									

※工場点検の結果、不具合詳細調査以降の点検工程見直しの可能性あり

注1:簡略点検(甲府工場) 簡略点検とは、製品出荷時と同等の確認を行う点検

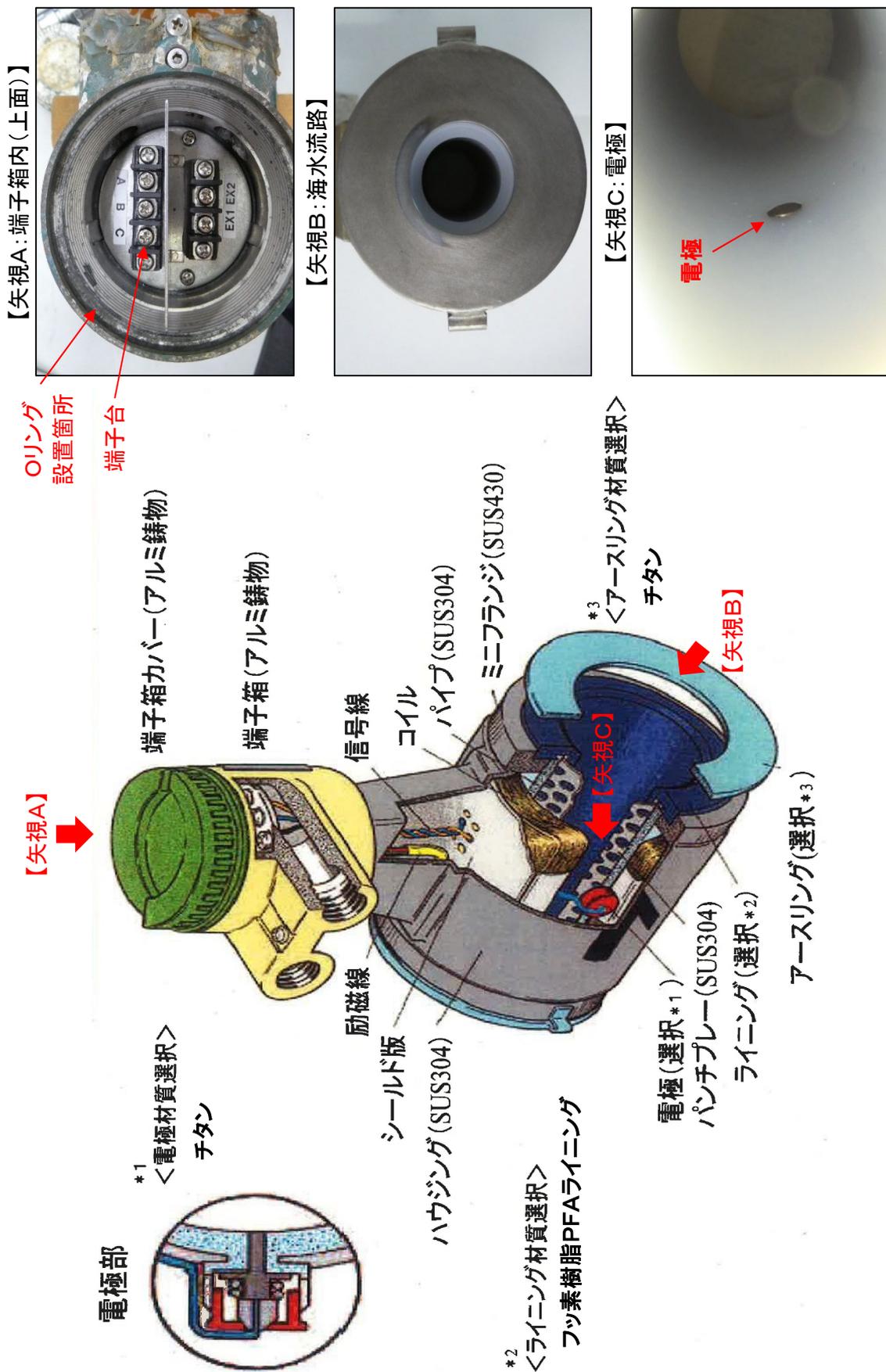
注2:詳細点検(三鷹工場) 詳細点検とは、今回の事象に着目して確認する点検

凡例 □:当初の予定

---:三鷹工場における点検工程見直し後の予定(新型コロナウイルス感染症拡大防止対策に伴う対応)

■:実績

電磁流量計の構造



美浜発電所 3 号機

A海水ポンプの自動停止に伴うディーゼル発電機の
運転上の制限の逸脱について

1. 件名

美浜発電所3号機 A海水ポンプの自動停止に伴うディーゼル発電機の運転上の制限の逸脱について

2. 事象発生日時

2020年4月10日（金） 09時47分
（運転上の制限を満足していないと判断）

3. 事象発生前の状況

第25回定期事業者検査中（モード外）

4. 事象発生の状況

（添付資料－1～3）

美浜発電所3号機は第25回定期事業者検査中のところ、2020年4月10日（金）09時46分 中央制御室に「A海水ポンプ注意」警報が発信した後、09時47分に「A海水ポンプトリップ」警報が発信し、A海水ポンプが自動停止した。

A海水ポンプの自動停止に伴いAディーゼル発電機への冷却水（海水）の供給ができなくなったことからAディーゼル発電機は動作不能となった。その結果、動作可能なディーゼル発電機は非常用発電機のみ（Bディーゼル発電機は定期点検中）となったことから、原子炉施設保安規定（以下、「保安規定という。」）に定める運転上の制限（第75条：ディーゼル発電機2基が動作可能であること）を満足していないと09時47分に当直課長が判断した。

その後、09時59分に待機中であったB海水ポンプを手動起動し、B海水ポンプの運転状態に問題がなく、Aディーゼル発電機への冷却水（海水）の供給も問題ないことが確認できたことから、10時30分に運転上の制限を満足していると当直課長が判断した。

なお、本事象による周辺環境への影響はなかった。

5. 主要時系列

4月10日（金）

09時46分 「A海水ポンプ注意」警報発信

09時47分 「A海水ポンプトリップ」警報発信（3 A海水ポンプ自動停止）

「Aディーゼル発電機注意」警報（海水流量低）発信

運転上の制限を満足していないと当直課長が判断

09時55分 A海水ポンプ潤滑水流量が低下していることを現場流量計にて発電室員が確認

- B海水ポンプ起動準備開始
- 09時59分 B海水ポンプ手動起動
- 10時15分 「Aディーゼル発電機注意」警報リセット
- 10時30分 Aディーゼル発電機待機状態「異常なし」を確認
 運転上の制限を満足していることを当直課長が判断
- 13時00分 A海水ポンプ潤滑水系統点検開始
- 14時30分 潤滑水配管の点検に向け保温材を取り外していた際に潤滑水流量
 が自然復帰
- 18時55分 A海水ポンプ潤滑水系統点検終了（異常なし）
- 19時10分 A海水ポンプ試運転準備開始
- 21時30分 A海水ポンプ試運転準備完了
- 21時37分 A海水ポンプ試運転開始（待機除外復帰）
- 21時45分 B海水ポンプ手動停止（通常待機状態）
- 23時00分 A海水ポンプ試運転終了（試運転結果「良好」）
- 23時00分
 ～4月11日（土） 07時00分 監視強化（結果良好。再現性なし。）

6. 原因調査 (添付資料-4～8、11)

A海水ポンプが自動停止した原因について、要因分析図に基づき原因調査を実施した。

(1) 現場調査結果

海水ポンプの自動停止要素の4要素について状況を確認した結果、次のとおりであった。

a. 過電流リレー動作確認

過電流リレーについて、現地表示灯にて動作状況を確認した結果、リレーが動作していないことを確認した。

b. 低電圧リレー動作確認

低電圧リレーについて、現地表示灯にて動作状況を確認した結果、リレーが動作していないことを確認した。

c. 海水ポンプ軸受潤滑水喪失 ()

A海水ポンプ自動停止後、速やかに発電室員がA海水ポンプ潤滑水流量計（FI-2073）にてA海水ポンプの潤滑水流量を確認した結果、約 $0.5\text{ m}^3/\text{h}$ （通常値： $3.0\text{ m}^3/\text{h}\sim 4.0\text{ m}^3/\text{h}$ ）であったことを確認した。また、潤滑水流量が低下した際に「開」動作するバックアップ電磁弁が動作 ()

) していることを確認した。なお、A海水ポンプモータ冷却水流量計 (F I - 2 0 7 7) にてA海水ポンプモータ冷却水の流量を確認した結果、約 5 0 L / m i n (標準値 : 4 0 ~ 4 5 L / m i n) であり異常はなかった。

d. 現地停止操作の有無確認

現地にて停止操作は実施していないことを発電室員に聞き取りにて確認した。

現場調査の結果から、「過電流リレー」や「低電圧リレー」は動作しておらず、現地でのA海水ポンプ停止操作も行っていないことが確認されたことから、潤滑水流量が低下した原因を詳細に点検することとした。

(2) A海水ポンプ潤滑水系統の詳細点検結果

A海水ポンプ潤滑水系統の詳細点検を行った結果、以下の通りであった。

a. 潤滑水配管の点検

潤滑水配管の詰まりや損傷の有無等について確認した結果、以下のとおり異常のないことを確認した。

1) 通水確認

A海水ポンプ潤滑水流量検出器 (F T - 2 0 7 3) の下流にあるA海水ポンプ潤滑水管ベント弁 (以下「SW-411A」という。) を開放し通水状況を確認した結果、SW-411Aの開放と共に出口配管 (口径 : 3 / 4 B) から流水が認められ、SW-411Aの弁開度が微開の状態でも出口配管の口径と同様の太さで流水が認められたことから、潤滑水配管の通水状況に異常は認められなかった。また、SW-411A開放時には出口配管にフィルタを取り付けたが異物は確認されなかった。

なお、通水確認後、潤滑水配管の点検に向けた保温材取外し作業を行っていたところ、潤滑水流量が約 6 m³ / h に自然復帰していることを発電室員が確認した。

2) 配管内面点検

潤滑水配管を取り外し、目視およびファイバースコープにて配管内面を点検した結果、海生生物などの付着物や異物が通過した痕跡は認められなかった。

なお、配管内面点検の範囲については、(1) 現場調査結果にてバックアップ電磁弁が動作した際にA海水ポンプモータ冷却水の流量が正常であったことから、潤滑水バックアップ系統からの潤滑水の供給に異常は認められなかったこと、また、1) 通水確認において、SW-411Aから問題なく流水が確認できたことから潤滑水バックアップ系統から潤滑水系統への供給についても異常は認められなかったことを踏まえ、A海水ポンプ潤滑水ストレーナ出口潤滑

水ライン逆止弁（SW-019A）からA海水ポンプまでの配管について点検を実施した。

3) 損傷有無点検

潤滑水配管の外観を目視にて確認した結果、変形等の異常は認められなかった。

b. 潤滑水バックアップ配管の点検

a. 潤滑水配管の点検結果を踏まえ、潤滑水バックアップ配管を点検した結果、以下のとおり異常のないことを確認した。

1) 通水確認

潤滑水バックアップ配管が詰まっていないことを、A海水ポンプモータ冷却水流量計（FI-2077）の指示値にて確認した結果、流量は50L/min（標準値：40～45L/min）であり通水されていることを確認した。

2) 損傷有無点検

潤滑水バックアップ配管の外観を目視にて確認した結果、変形等の異常は認められなかった。

c. 弁の点検

潤滑水系統の弁を点検した結果、以下のとおり異常のないことを確認した。

1) 弁開閉確認

潤滑水の通水を停止したうえで、潤滑水系統の流量計の前後にあるA海水ポンプ潤滑水流量発信器入口弁（SW-020A）、A海水ポンプ潤滑水流量発信器出口弁（SW-021A）の開閉操作を実施した結果、開閉状態に異常はなく、弁体の脱落は発生していないことを確認した。

2) 通水確認

SW-411Aを開放した結果、潤滑水の流れが確認できたことから、弁に閉塞が発生していないことを確認した。

d. 流量計の点検

A海水ポンプ潤滑水流量計を取り外し、流量計の検出器および変換器について点検を行った結果、以下のとおり異常のないことを確認した。

1) 検出器の点検

検出器について導通試験および各線間の絶縁抵抗測定を実施した結果、管理基準値の範囲内であり異常のないことを確認した。

また、目視により検出器の内部および外観についても異常のないことを確認した。

2) 変換器の点検

変換器について入出力試験を実施した結果、入力に対する出力は管理基準値の範囲内であり異常のないことを確認した。

また、目視により変換器の内部および外観についても異常のないことを確認した。

なお、a. 1) の通水確認において、SW-411Aを開放し通水状況を確認した際、通水できていることが確認されたが、その状況においてもA海水ポンプ潤滑水流量計(FI-2073)の指示値に変化が認められなかった。

以上のことから、潤滑水系統の配管、弁に詰まり等の異常は認められなかった。また、流量計の単体点検においても異常は認められなかったが、潤滑水系統の通水状況を確認した際、通水できている状態にもかかわらずA海水ポンプ潤滑水流量計(FI-2073)の指示値が約 $0.5\text{ m}^3/\text{h}$ から変化が認められなかったことから、流量計の指示値が偶発的に低下したものと考えられる。

7. 推定原因

A海水ポンプ運転中に、海水ポンプ軸受へ供給される潤滑水流量に問題はなかったが、A海水ポンプ潤滑水流量計(FI-2073)の指示値が偶発的に低下し、A海水ポンプ自動停止要素以下となったことから、A海水ポンプが自動停止に至ったものと推定した。

8. 対 策

(添付資料-9~11)

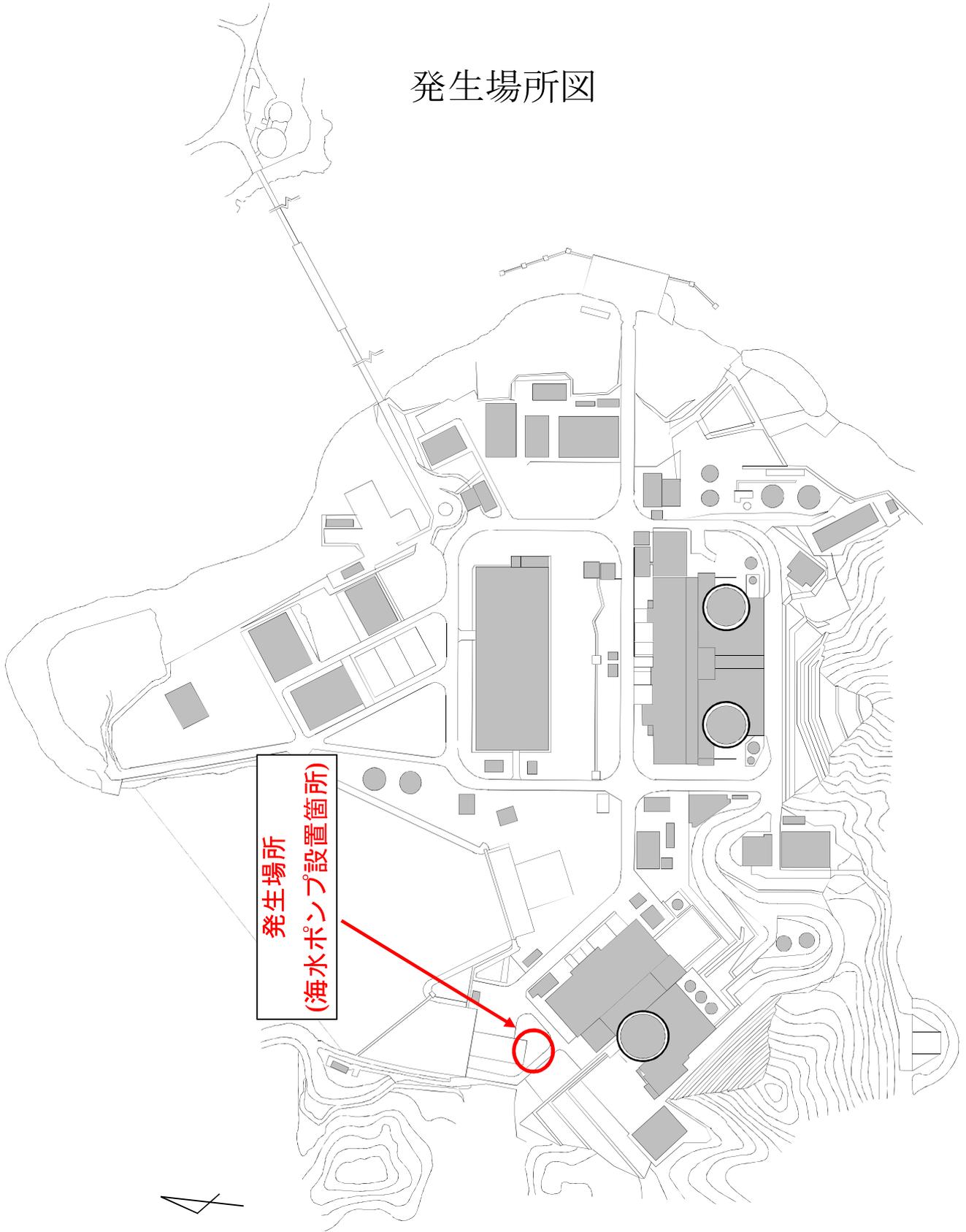
- (1) 当該A海水ポンプ潤滑水流量検出器(FT-2073)および変換器について、予備品に取り換えを行った。(4月10日実施済み)
- (2) A海水ポンプ試運転後、巡回点検の頻度を1回/日から3回/日に変更するとともに、巡回点検時に潤滑水圧力(中央制御室にて監視)および潤滑水流量(現場仮設計器にて監視)の監視を強化した。(4月10日から4月11日実施済み)

以 上

添付資料

1. 発生場所図
2. 保安規定（抜粋）
3. 海水系統図
4. A海水ポンプ潤滑水流量低下要因分析（F T）図
5. 過電流リレー・低電圧リレー動作状況確認結果
6. A海水ポンプ潤滑水配管内面点検結果
7. A海水ポンプ潤滑水流量計検出器点検結果（導通試験）
8. A海水ポンプ潤滑水流量計変換器点検結果（入出力試験）
9. A海水ポンプ試運転データ（潤滑水流量）
10. A海水ポンプ試運転データ（潤滑水圧力）
11. A海水ポンプ潤滑水流量低によるトリップ調査実績工程

発生場所図



保安規定（抜粋）

（ディーゼル発電機－モード1、2、3および4以外－）

第75条 モード1、2、3および4以外において、ディーゼル発電機は、表75-1で定める事項を運転上の制限とする。

2. ディーゼル発電機が前項で定める運転上の制限を満足していることを確認するため、次号を実施する。
 - (1) 当直課長は、モード1、2、3および4以外において、1ヶ月に1回、ディーゼル発電機について以下の事項を実施する。
 - (a) ディーゼル発電機を待機状態から起動し、無負荷運転時の電圧が $6,900 \pm 345$ V および周波数が 60 ± 3 Hz であることを確認する。
 - (b) 燃料油サービスタンクの貯油量を確認する。
3. 当直課長は、ディーゼル発電機が第1項で定める運転上の制限を満足していないと判断した場合、表75-3の措置を講じるとともに、照射済燃料の移動を中止する必要がある場合は、原子燃料課長に通知する。通知を受けた原子燃料課長は、同表の措置を講じる。

表75-1

項 目	運 転 上 の 制 限
ディーゼル発電機 ^{※1}	(1) ディーゼル発電機2基が動作可能であること ^{※2※3} (2) (1)のディーゼル発電機に対応する燃料油サービスタンクの貯油量が表75-2に定める制限値内にあること ^{※4}

※1：ディーゼル発電機は、重大事故等対処設備を兼ねる。

※2：ディーゼル発電機の予備潤滑運転（ターニング、エアラン）を行う場合、運転上の制限を適用しない。

※3：ディーゼル発電機には、非常用発電機1基を含めることができる。非常用発電機とは、所要の電力供給が可能なものをいう。なお、非常用発電機は複数の号炉で共用することができる。

※4：ディーゼル発電機が運転中および運転終了後の24時間は、運転上の制限を適用しない。

75-2

項 目	制 限 値
燃料油サービスタンク貯油量 (保有油量)	0.66 m ³ 以上

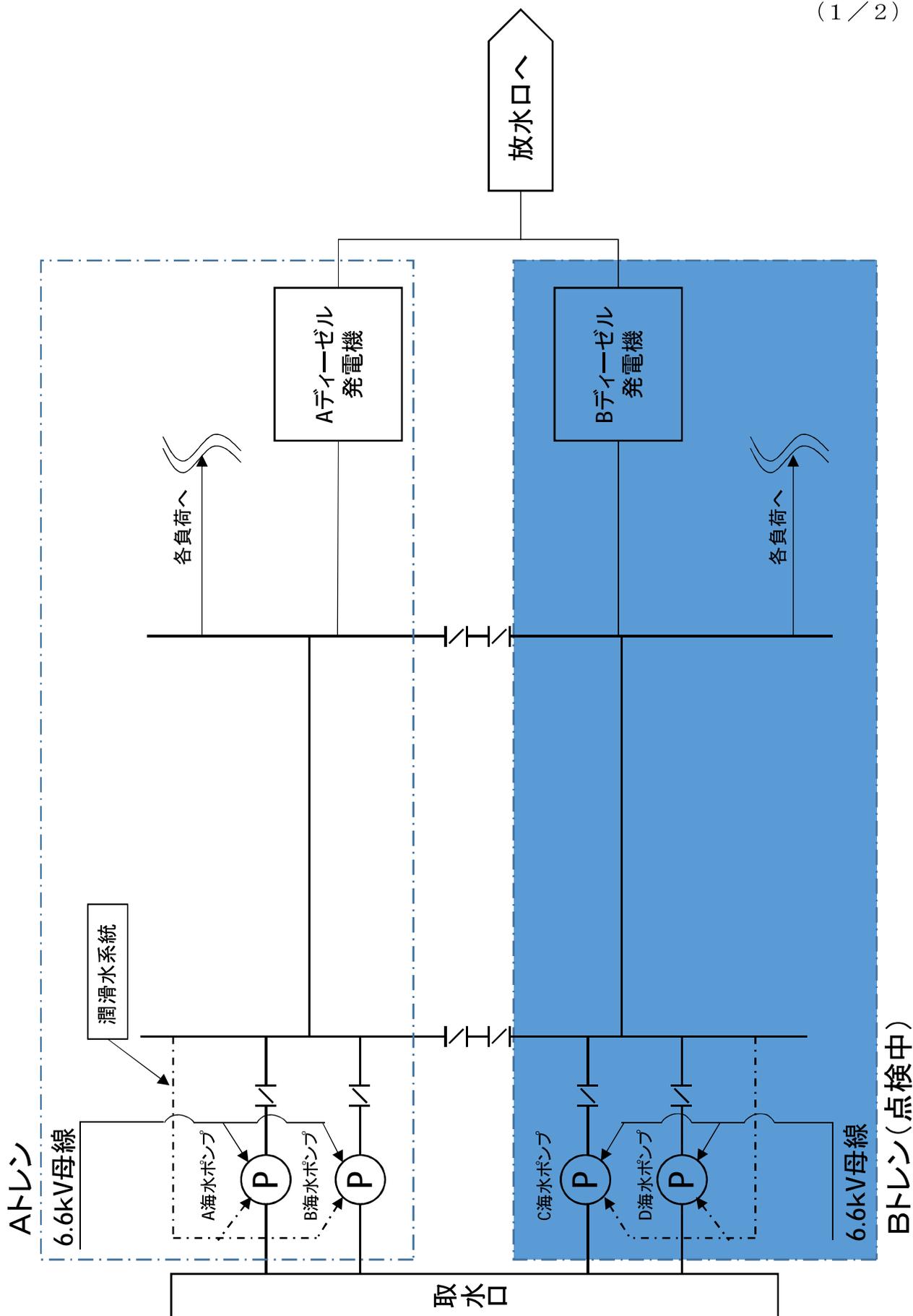
表75-3

条 件	要求される措置	完了時間
A. ディーゼル発電機2基および非常用発電機1基のうち、2基以上が動作不能 ^{※5} である場合	A.1 原子燃料課長は、照射済燃料の移動を中止する ^{※6} 。 および A.2 当直課長は、1次冷却材中のほう素濃度が低下する操作を全て中止する。 および A.3 当直課長は、ディーゼル発電機2基および非常用発電機1基のうち、少なくとも2基を動作可能な状態に復旧する措置を開始する。	速やかに 速やかに 速やかに

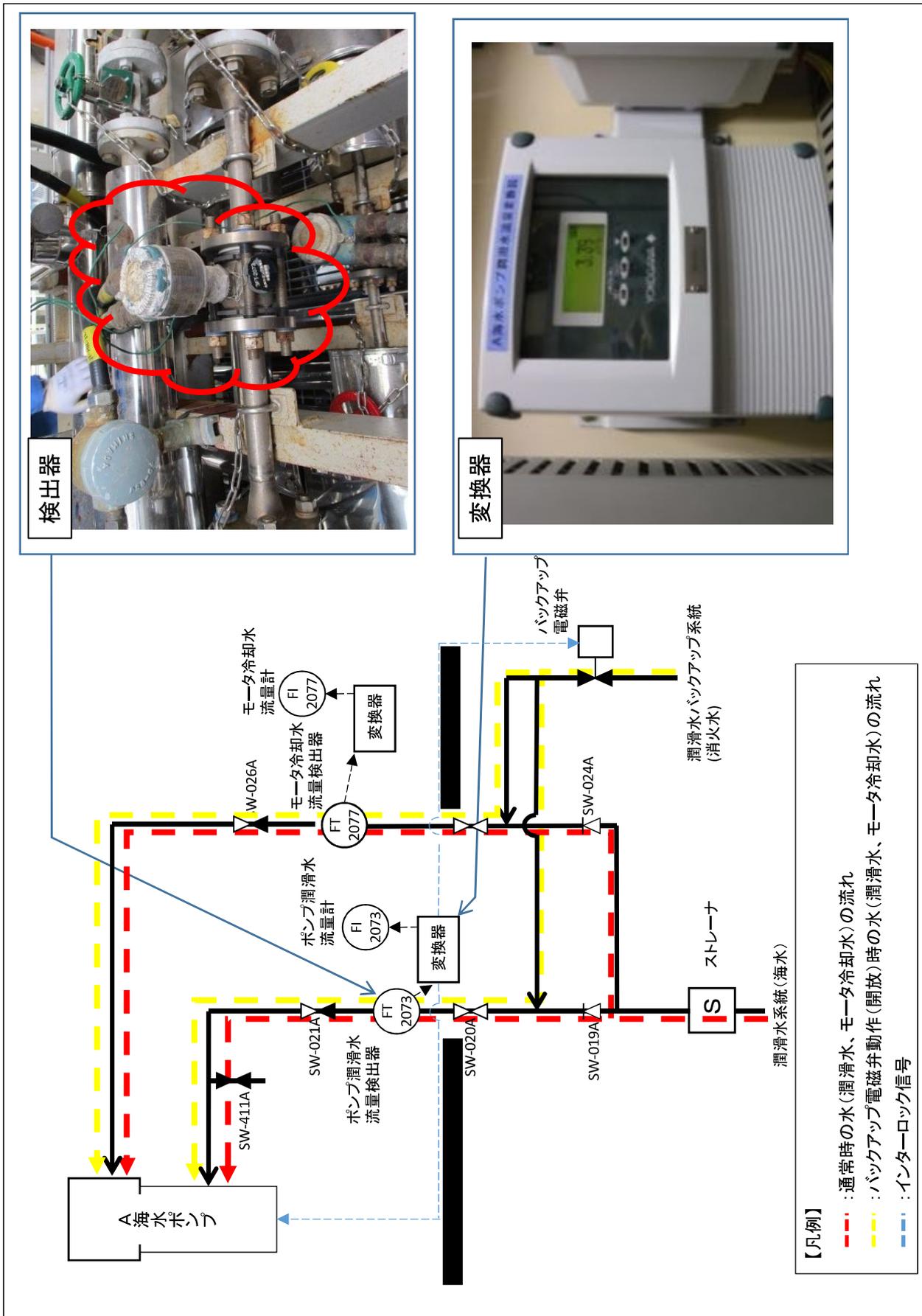
※5：ディーゼル発電機の燃料油サービスタンクの貯油量（保有油量）が制限値を満足していない場合を含む。

※6：移動中の燃料を所定の位置に移動することを妨げるものではない。

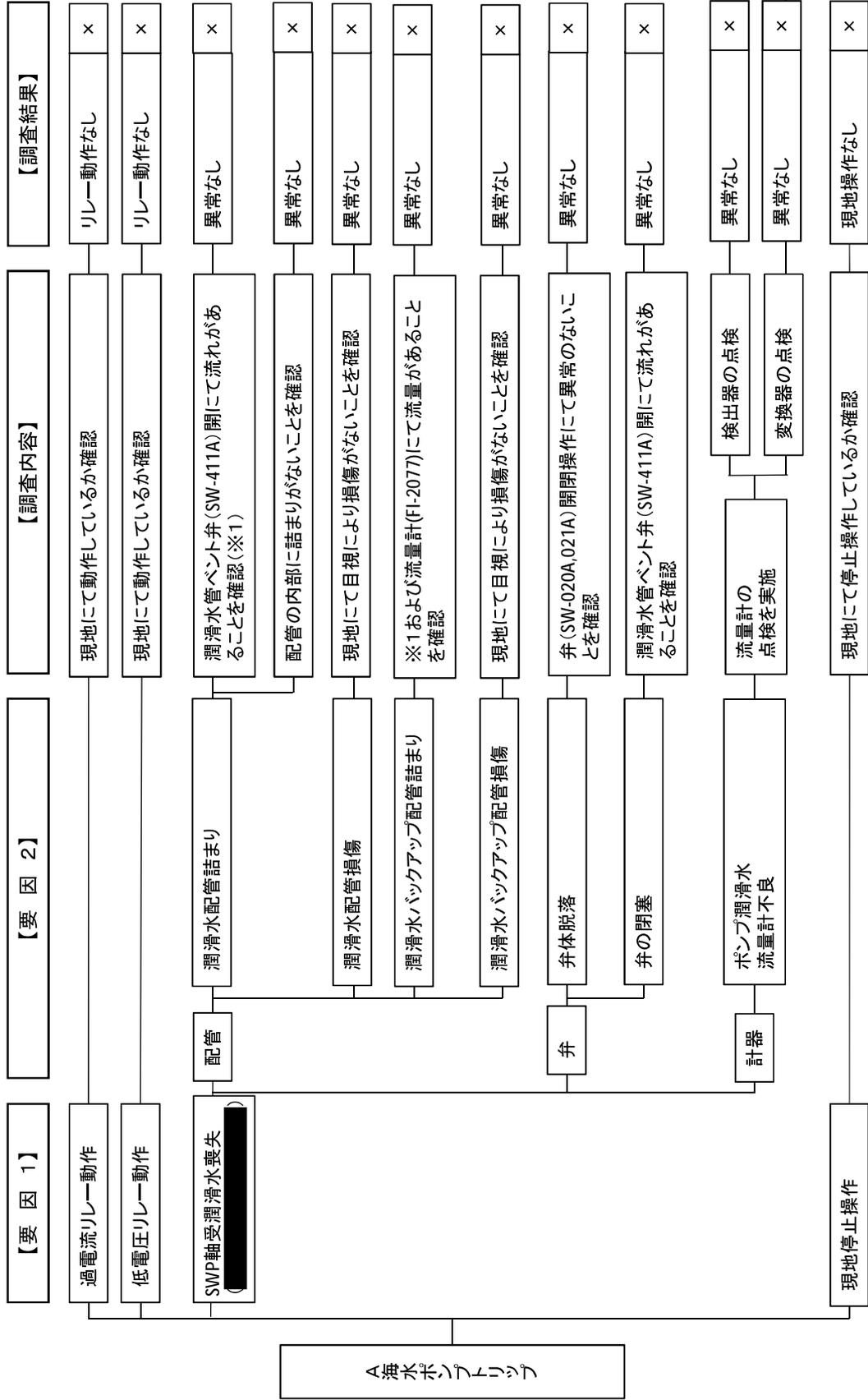
海水系統図



海水系統図
(A-海水ポンプ潤滑水系統)



A海水ポンプ潤滑水流量低下要因分析(FT)図



○: 要因である △: 要因として考えられる ×: 要因でない

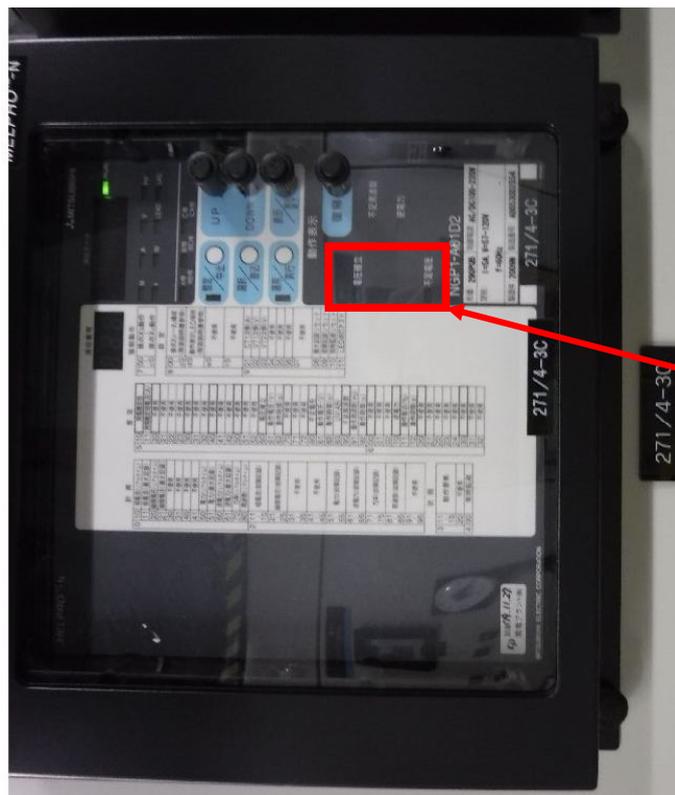
過電流リレー・低電圧リレー動作状況確認結果

過電流リレー



表示灯にてリレーが動作していないことを確認した

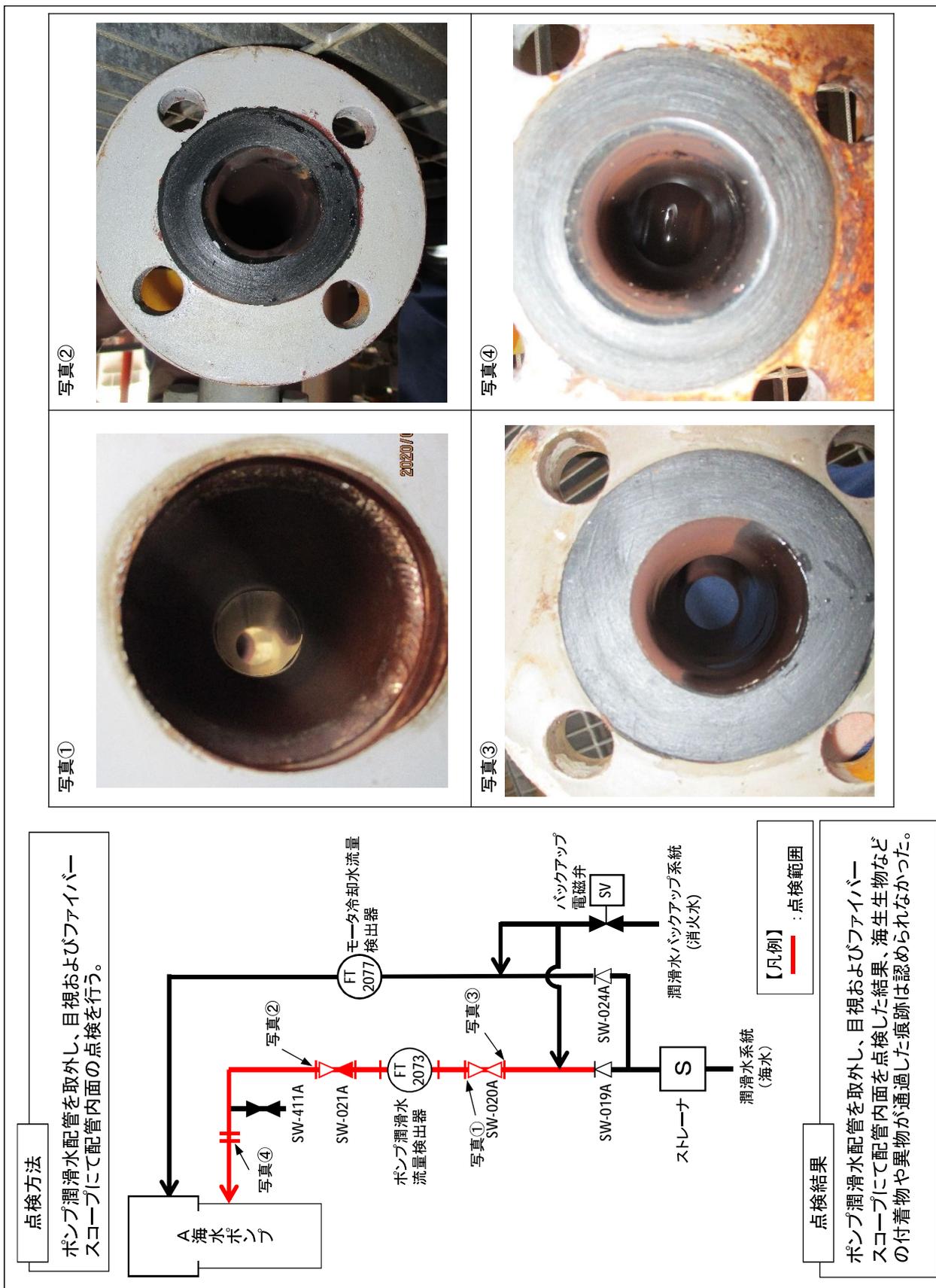
低電圧リレー



表示灯にてリレーが動作していないことを確認した

※リレー動作時は赤枠部の表示灯(レッドランプ)が点灯する。

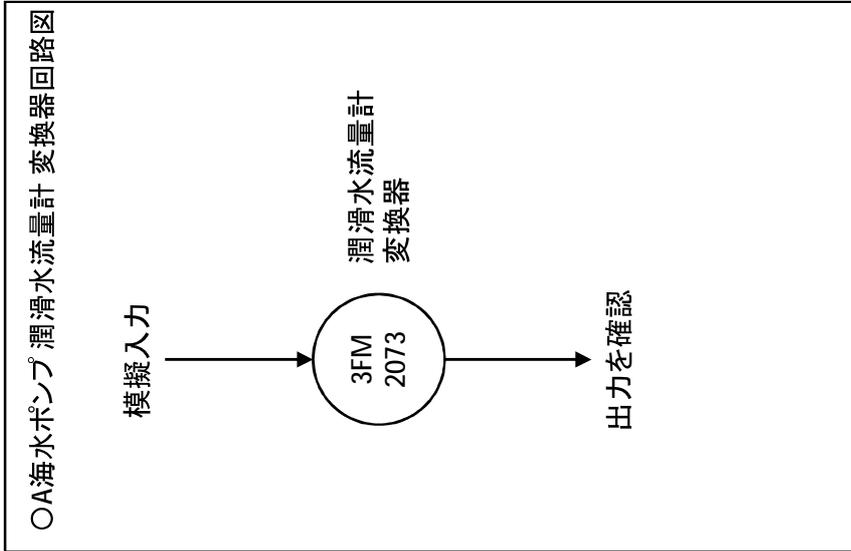
A海水ポンプ潤滑水配管内面点検結果



A海水ポンプ 潤滑水流量計 変換器点検結果(入出力試験)

点検方法

潤滑水流量計の変換器について、外観点検、内部点検および模擬入力による出力を確認し、異常がないかを確認する。

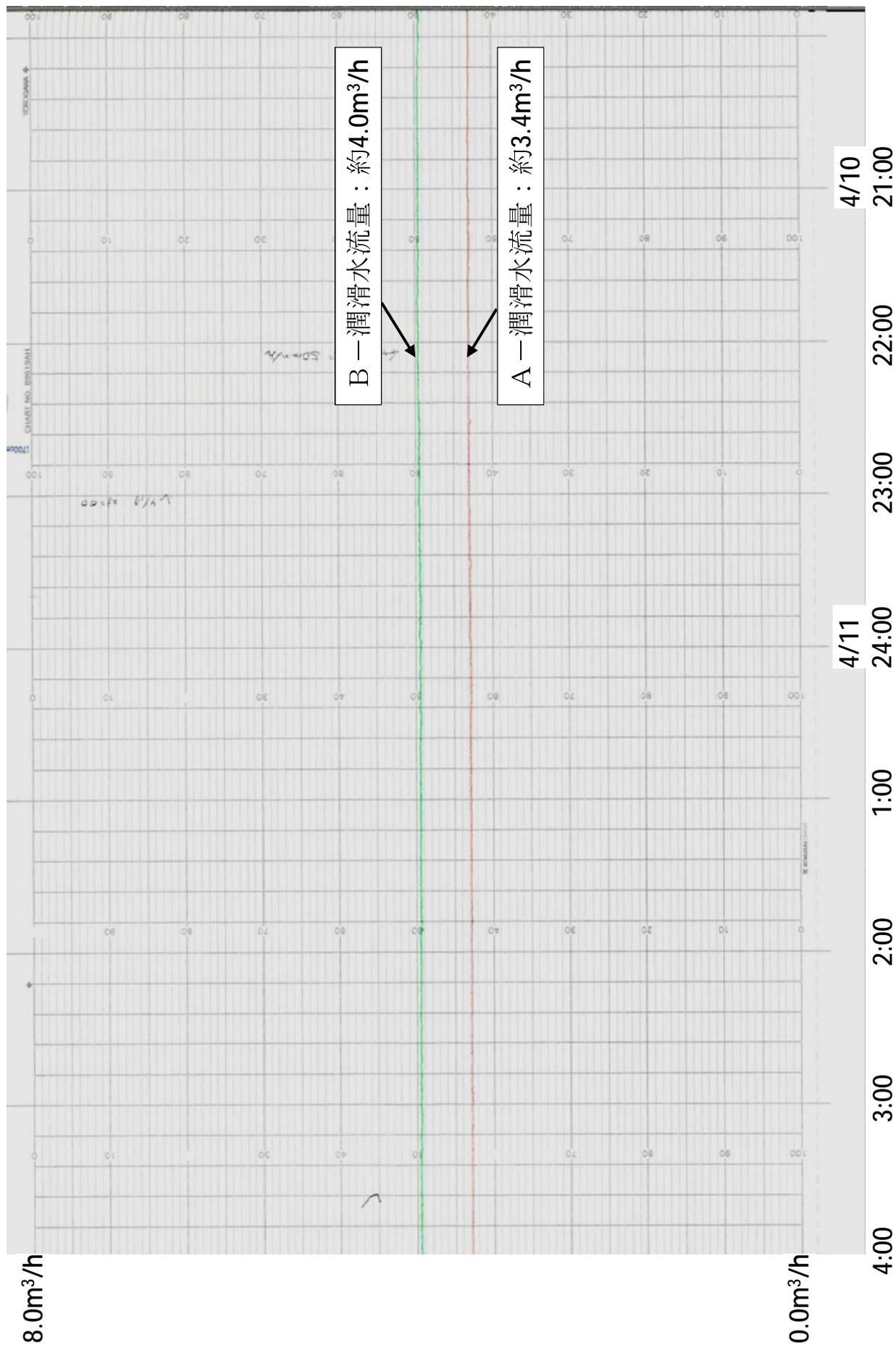


試験日：2020.4.10		計器名称：A海水ポンプ潤滑水流量変換器	
計器番号：3FM-2073		試験者：[REDACTED]	
判定：	良		
標準入力	3FM-2073 (LED参考値)		
TAG No.	3FM-2073		
機能	(LED参考値)		
標準	標準	標準	標準
単位	m A	m 3 / h	m 3 / h
%	%	m 3 / h	m 3 / h
0	4.00	0.00	0.00
25	8.00	2.00	2.00
50	12.00	4.00	4.00
75	16.00	6.00	6.00
100	20.00	8.00	8.00
管理基準値	-0.08 mA ~ +0.08 mA		
器差(十側)	0.01 mA		
器差(一側)	-0.01 mA		
判定	良		
計器仕様	使用試験器		
横河電機	備考		
		・外観点検	良
		・内部点検	良

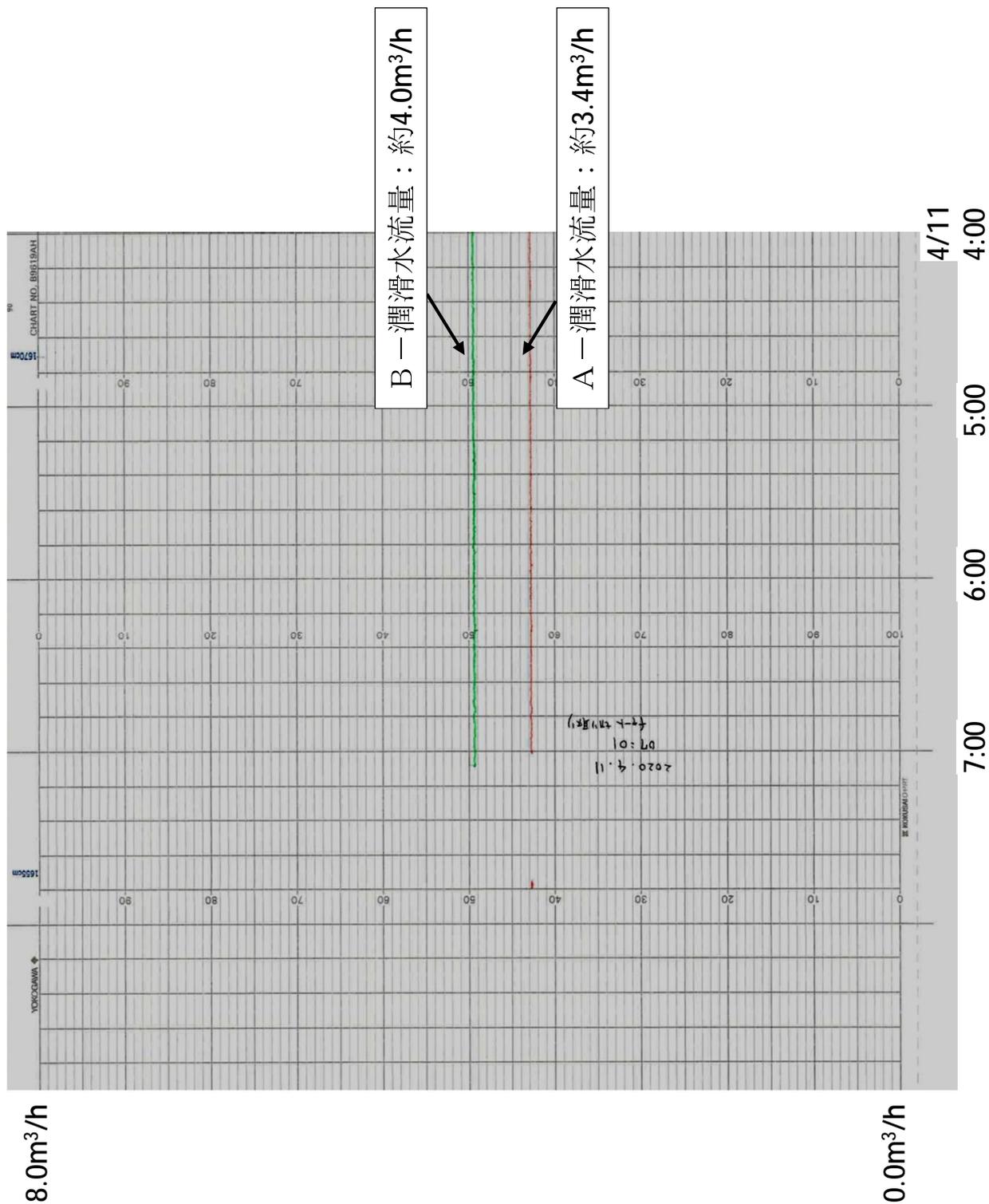
点検結果

外観点検、内部点検の結果、異常のないことを確認した。
 変換器の入出力を確認した結果、模擬入力に対する出力は管理基準値の範囲内であり、異常がないことを確認した。
 また、参考に現場の表示計器(LED)にて模擬入力に対する各段階の流量値を確認した結果、適切な流量値であることを確認した。

A海水ポンプ試運転データ(潤滑水流量):【仮設計器】(1/2)



A海水ポンプ試運転データ(潤滑水流量) : 【仮設計器】 (2/2)

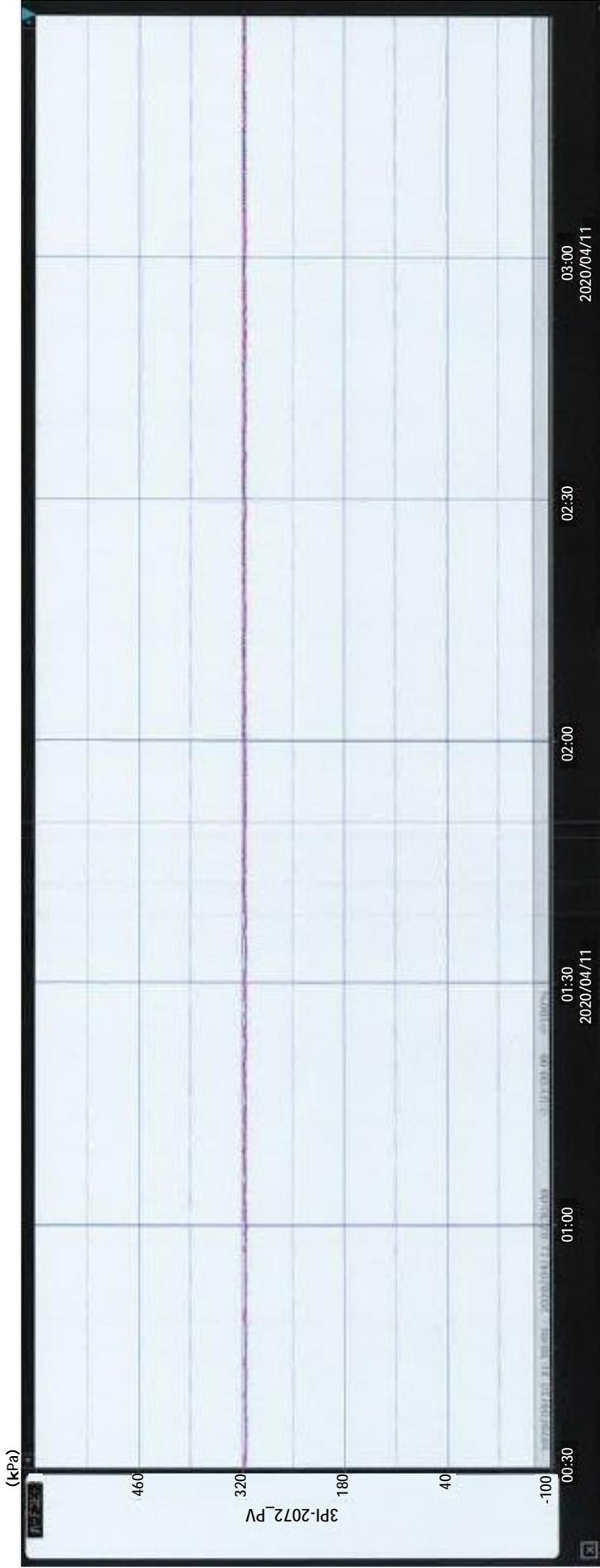


A海水ポンプ試運転データ(潤滑水圧力)(1/4)



青:A-海水ポンプ潤滑水圧力
赤:B-海水ポンプ潤滑水圧力

A海水ポンプ試運転データ(潤滑水圧力) (2/4)



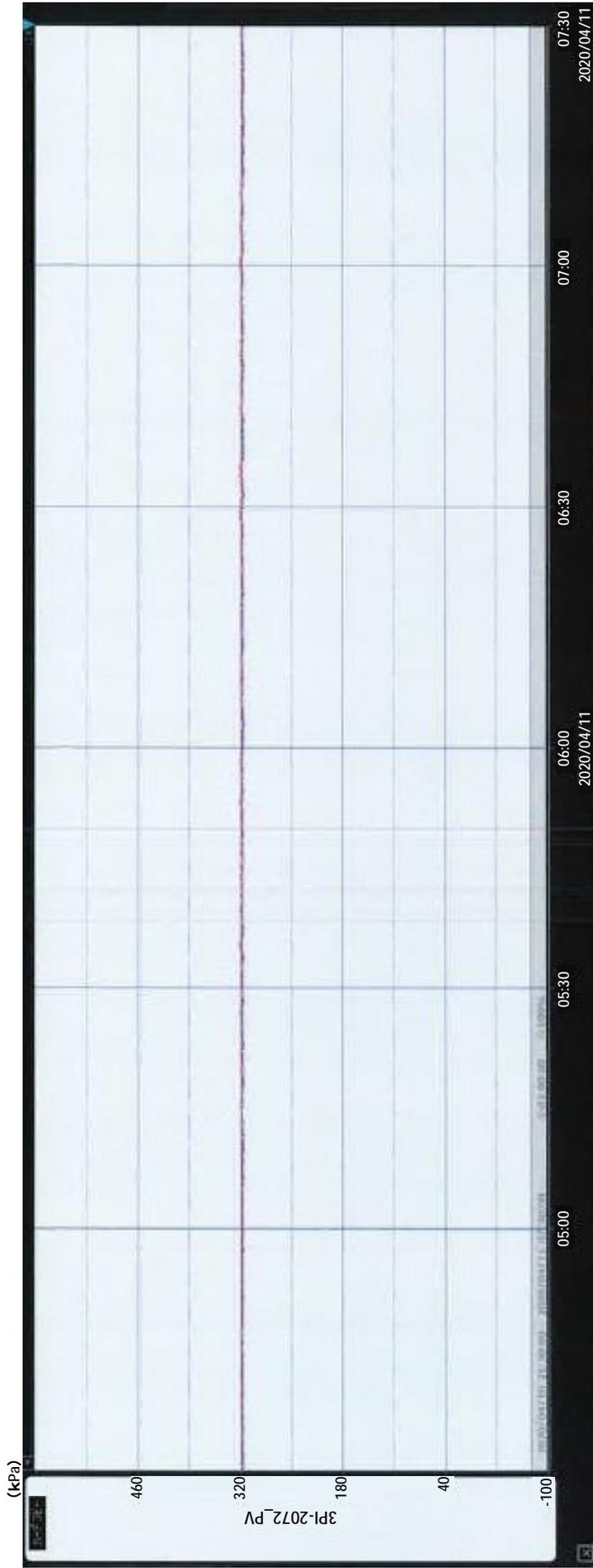
青:A-海水ポンプ潤滑水圧力
赤:B-海水ポンプ潤滑水圧力

A海水ポンプ試運転データ(潤滑水圧力) (3/4)



青: A-海水ポンプ潤滑水圧力
赤: B-海水ポンプ潤滑水圧力

A海水ポンプ試運転データ(潤滑水圧力) (4/4)



青:A-海水ポンプ潤滑水圧力
赤:B-海水ポンプ潤滑水圧力

A海水ポンプ潤滑水流量低によるトリップ調査実績工程

