



平成21年 8月18日
日本原子力発電株式会社

東海第二発電所 タービン油関連機器の点検に伴う原子炉停止について (原因・対策)

1. 経緯

当社、東海第二発電所（沸騰水型軽水炉、定格電気出力110万キロワット）は定格熱出力一定運転中のところ、タービン駆動原子炉給水ポンプ(A)の制御用油フィルタ差圧の上昇が継続していることが確認されたため、7月12日14時00分から電気出力を約90万キロワットまで低下し、予備の電動機駆動原子炉給水ポンプに切り替え、同日、21時00分に電気出力を元の状態に戻すとともに、当該フィルタの取替えを実施しました。

また、当該フィルタの差圧上昇に係る調査の結果、タービン駆動原子炉給水ポンプの制御油は、タービン駆動原子炉給水ポンプ軸受潤滑用と主タービン（タービン発電機）と共用の油であり、運転中に一部（全循環油量の約2.5%）を油清浄機に通し、浄化していますが、油清浄機が処理可能な容量以上に劣化生成物が発生していることが確認されました。このため、劣化生成物がフィルタに捕捉されて差圧を上昇させたものと考えています。

しかしながら、タービン油系統の油面変動も発生しており、タービン油関連機器の故障についても否定できないことから、原子炉を停止して点検を行うこととし、7月18日0時から原子炉停止操作を行いました。

今後、当該フィルタの差圧が上昇した原因について調査してまいります。

この事象による外部への放射能の影響はありません。

なお、本事象は、実用炉規則第19条の17第2号の報告事項に該当しております。

(7月13日、7月17日お知らせ済み)

その後、発生した原因について点検調査を行い、推定原因・対策を取りまとめ、本日、国へ報告いたしました。

点検調査、推定原因および対策は、以下のとおりです。

2. 点検調査

原子炉停止（7月18日14時9分）後、主タービン油関連機器の点検の結果、主油タンク内に設置されている主タービン油を冷却している油冷却器（B）伝熱管1本に貫通孔（タービン補機冷却水の漏えい）が確認されました。また、各油フィルタの差圧上昇、主油タンク油面の低下（変動）との関連性を含め、運転パラメータ等の調査を行いました。

【添付資料1】

(1) 運転パラメータ等の調査結果

【今サイクル初期から平成21年7月12日まで】

- 1) タービン駆動原子炉給水ポンプ制御油フィルタの差圧上昇は、過去に経験のある上昇率と同程度でありました。
- 2) 主タービン油清浄機カートリッジフィルタも差圧が上昇していることを平成20年11月に確認し、約6ヶ月後の平成21年5月にフィルタ交換を行なっていました。
- 3) 主タービン油を冷却しているタービン補機冷却水のサージタンクのレベル低下が、平成21年2月上旬から進んでおり、7月上旬よりさらに低下していることを確認しました。
- 4) 発電機密封油真空ポンプのドレン水量が、6月中旬から増加していたことを確認しました。

【平成21年7月12日以降】

各フィルタの交換を実施した後、再度フィルタの差圧が上昇しましたが、この上昇率は過去に経験したものに比べ高いものでした。

また、このころから主油タンクの現場油面計（フロート式）指示値に低下が見られたため、適宜油面調整操作を実施していたところ、平成21年7月16日に油面低警報が発報しました。

なお、主油タンクマンホールから油面を見たところ、7月12日油サンプリング時に少々の泡立ちと、7月17日に初めて大量の泡立ちを確認しました。

(2) 主油冷却器の調査結果

- 1) 主タービン油を冷却している主油冷却器（B）の点検を行った結果、伝熱管1本にバッフル板（支持板）との接触部で開孔（幅約1.3mm、長さ約2.7mm）を確認し、開孔部周辺を観察した結果、摩耗により減肉、開孔していることを確認しました。
また、主油冷却器（A）の点検を行った結果、摩耗などによる開孔はありませんでした。
なお、当該主油冷却器の点検実績を調査した結果、2定期検査毎に外観点検、漏えい検査等を実施していましたが、伝熱管のバッフル部の摩耗に着目した点検は行っていませんでした。
- 2) 主油冷却器の運転実績を調査した結果、主油冷却器（B）のみを平成17年の定期検査以降に継続して使用していました。

(3) 主タービン油の調査結果

主タービン油は、平成14年に全量交換後、潤滑油性能を維持するため適宜、新油を補給しながら継続して使用しており、運転中の分析結果から微細な劣化生成物（0.1μm以下のプレカーサー^{*1}等）が増加したことを確認しました。

その後、7月上旬頃から粘度の高いスラッジ^{*2}の増加を確認しました。また、7月14日の分析結果では、発生した泡が消えにくい状況となっていました。

主タービン油にタービン補機冷却水が漏えいしていたことから、タービン補機冷却水が混入した場合の影響について確認試験を実施した結果、多量のスラッジが生成されるとともに、消泡機能も低下し、空気の巻き込みによって発生した泡が消えにくいことを確認しました。

^{*1}プレカーサーとは、スラッジの元になる前兆物質をいう。

^{*2}スラッジとは、プレカーサーが重合した粘着性のある固形物をいう。

3. 推定原因

点検調査により、主タービン油系^{※3}で確認された、油フィルタ差圧上昇、主油タンク油面変動、主油冷却器（B）伝熱管漏えいの原因は、以下のとおりと推定しました。

（1）主油冷却器（B）の伝熱管から漏えい

主油冷却器は、伝熱管下部のU字部分に潤滑油が流れ込む構造のため、流れによって伝熱管に僅かな振動が発生しました。

主油冷却器（B）は運転開始から使用されており、伝熱管がバッフル（管支持板）との接触摩擦によって徐々に減肉し貫通に至ったものと推定しました。

なお、伝熱管からの微少漏えいは、2月上旬から発生し、7月上旬に増加したものと推定しました。 【添付資料2】

（2）油フィルタの差圧上昇

平成21年2月上旬までの各フィルタの差圧上昇は、主タービン油の劣化によるスラッジ（プレカーサーの重合により生成）の増加が原因であるが、平成21年7月以降については、主油冷却器の伝熱管からのタービン補機冷却水の混入が増加したことで、主タービン油に添加されている添加剤^{※4}とタービン補機冷却水の化学反応により、スラッジが急激に生成されたことによるものと推定しました。 【添付資料3】

（3）主油タンク油面変動

タービン補機冷却水が混入して劣化した油が、主タービン軸受から軸受ケースへの流下時および主油タンクへの流下時等に、空気を巻き込むことによって泡が生成され、その泡が主油タンク内に流れ込み、消滅せずに蓄積したことで、現場油面計（フロート式）の油面指示が変動したものと推定しました。

なお、中央制御室の油面計（差圧式）は、泡の影響を受けず油全体の重量に依存した指示を示すため、変化しておりません。 【添付資料4】

※3主タービン油系とは、主タービン軸受油、発電機密封油およびタービン駆動原子炉給水ポンプ制御油・軸受油に共用している油を総称した呼び名。

※4添加剤とは、ベースオイル（基油）に化学的安定性のため効果的な薬剤として添加するもの。

4. 運転管理、設備管理上の問題点

本事象の調査等において、各事象が発生した時点では、タービン設備の運転パラメータの確認と運転継続については問題ないことを確認しましたが、運転管理、設備管理上の問題として、以下の点を抽出しました。

- （1）油冷却器からの漏えいの兆候事象に対する横断的な検討と、機器故障を考慮することができなかったこと。
- （2）油中に存在する微小な物質およびフィルタ差圧の管理基準の不足があったこと。
- （3）中央制御室には、差圧式油面計の指示値は表示されるが、現場のフロート式油面計の指示値は、中央制御室には表示されていなかったこと。
- （4）主油冷却器の計画的な切替え等の運用が定まっていなかったこと。

5. 対策

上記の原因および問題点に対する対策を以下のとおり策定し、実施してまいります。

(1) プラントの起動前に行なう対策

- 1) 主油冷却器（B）の伝熱管6本^{※5}において施栓を実施します。

※5 漏えいした伝熱管1本、検証のために使用した伝熱管2本、渦流探傷検査^{※6}により傷が検出された伝熱管3本。

※6 渦流探傷検査とは、材料表面に渦電流を流して、材料に発生する電磁誘導の変化から検査対象の傷とその深さを検出する検査法。

- 2) 劣化している主タービン油は全量取替えを行いません。また、主タービン油系統の各種フィルタについて取替えおよび清掃を行います。

- 3) 今回の事象を踏まえ、主タービン油系へのタービン補機冷却水の漏えい時の早期対応手順の検討、フィルタ差圧が規定値に達した場合の作業手順、油冷却器の交互使用の運転計画等について社内規程の改正を行います。

さらに、原因が特定できず通常と異なる不具合事象が発生した場合は、機器の故障を考慮した点検を行うよう社内規程を定めます。

- 4) 泡立ちにより、中央制御室の油面計指示値（差圧式）と現場の油面指示値（フロート式）で指示値に差異が生じたことから、現場油面指示値を中央制御室で監視できるようにします。

(2) 次回定期検査等において中長期的に行なう対策

- 1) 定期検査時の主タービン油フラッシング終了判定において、微小な劣化生成物（プレカーサー）の生成量を考慮した油性状の管理を行います。

- 2) 各油冷却器について、保守管理の点検計画に伝熱管の摩耗に着目した外観点検と伝熱管の渦流探傷検査を計画的に実施し、必要な処置を行います。

また、次回定期検査以降に同様な伝熱管摩耗が見られた主油冷却器（A）も含めて、冷却器の取替を計画的に実施します。

今後、プラントの起動前に行なう対策を実施後、準備が整い次第、原子炉を起動する予定です。

（経済産業省によるINESの暫定評価）

基準1	基準2	基準3	評価レベル
—	—	0—	0—

以上

添付資料1 東海第二発電所 タービン油系統図および事象の経緯

添付資料2 主油冷却器(B)点検結果

添付資料3 事象発生メカニズム

添付資料4 タービン補機冷却水（TCW）漏えいメカニズム

東海第二発電所 タービン油系統図および事象の経緯

7月13日プレス公表
タービン駆動原子炉給水ポンプ(A)切替えに伴う出力の変更。

7月17日プレス公表
主タービン油関連機器の点検に伴う原子炉停止。
タービン油(*)系統のフィルタ差圧上昇現象および主油タンク油面の変動等の発生

*タービン油
主タービン、タービン駆動原子炉給水ポンプおよびタービン発電機との共用油

写真
タービン駆動原子炉給水ポンプ(A)制御油フィルタ



写真
主油タンク油面(泡)
(添付資料5参照)

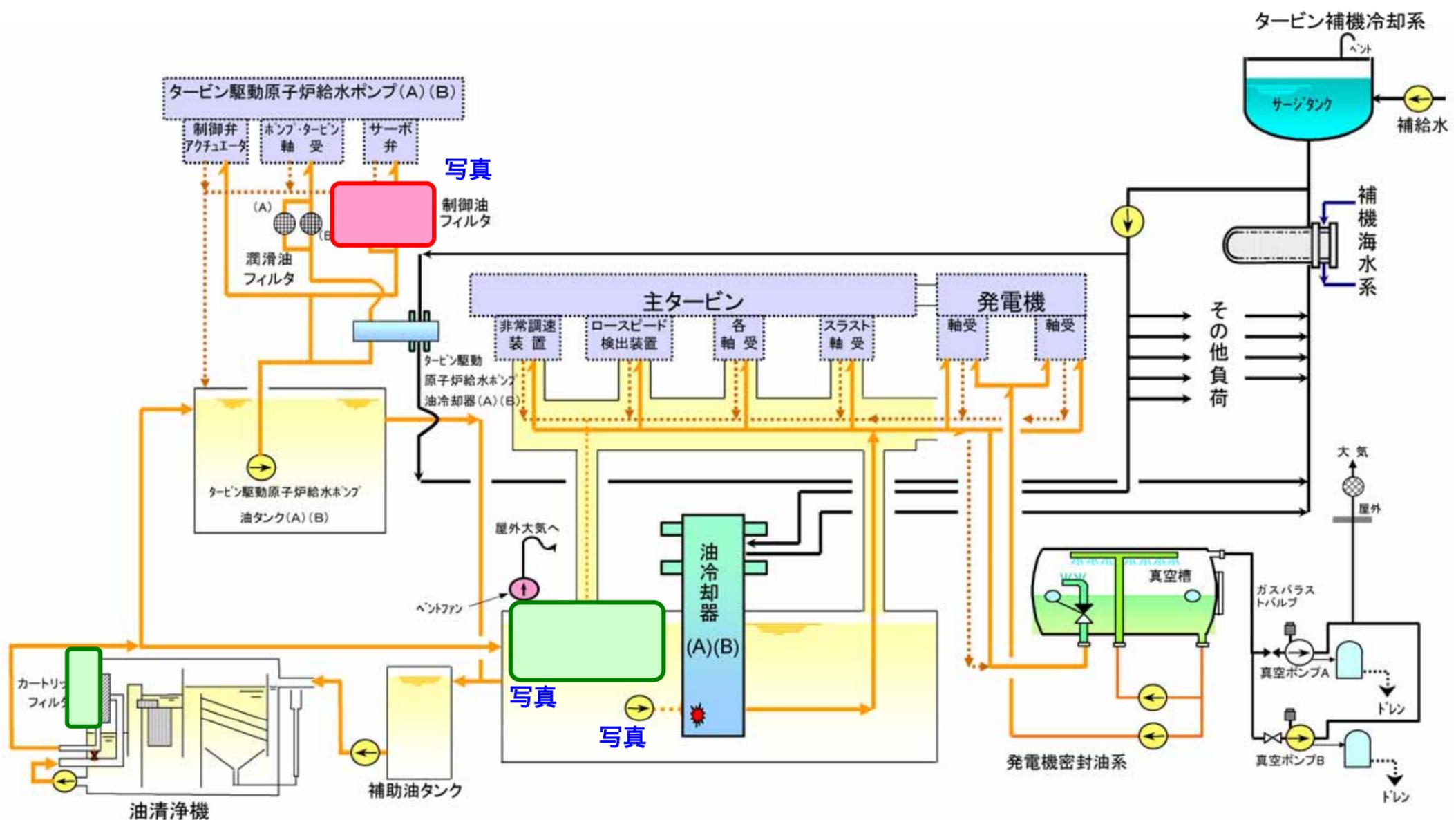


7月17日 泡確認
(7月18日撮影)

写真
主油冷却器(B)伝熱管(1本)漏れい孔(添付資料2参照)



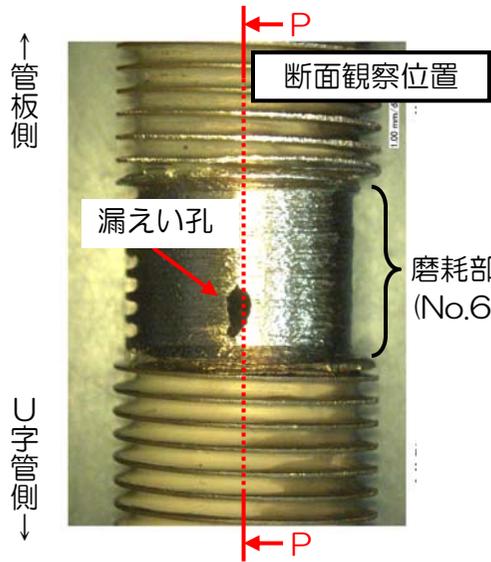
7月22日 漏れい孔確認



事象の経緯

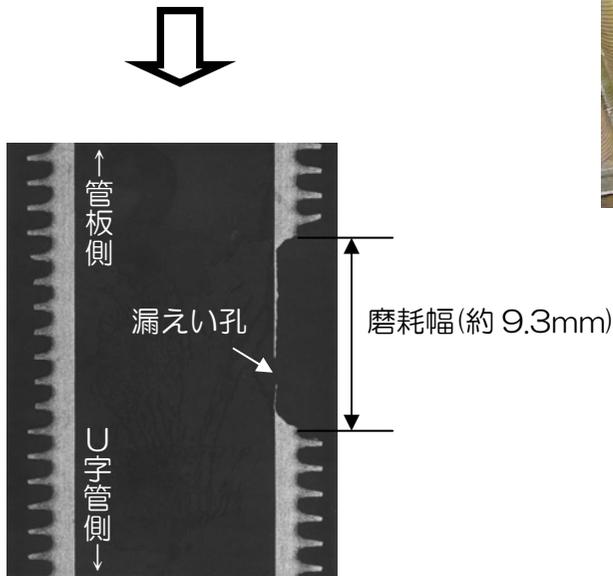
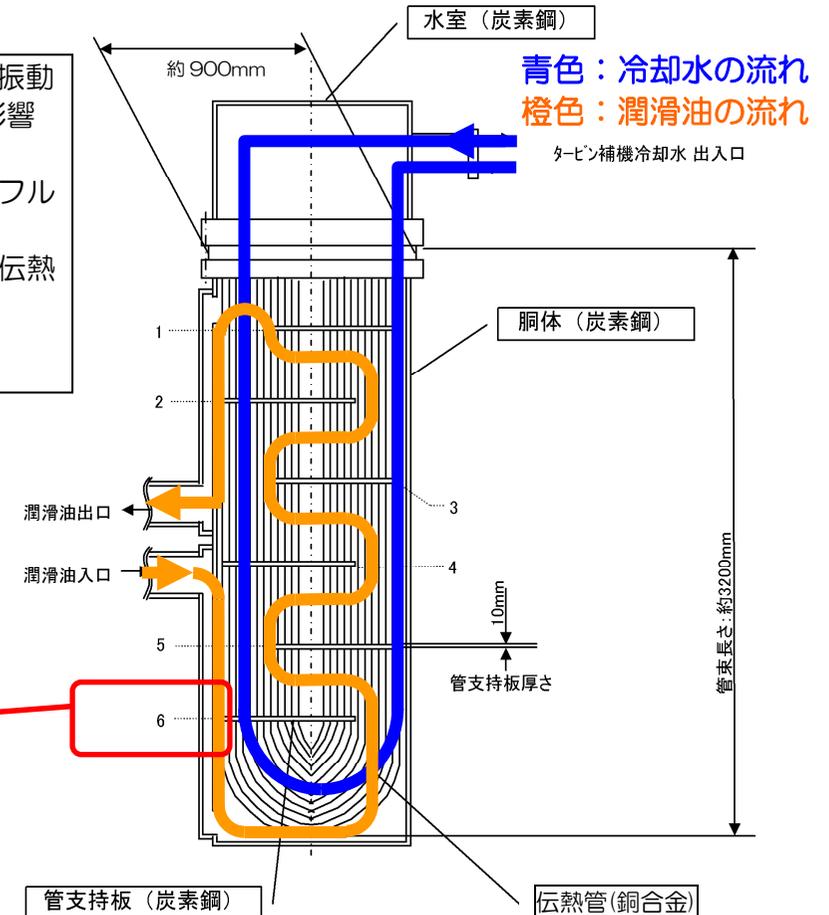
時期	主な事象	備考
09' /2 月上旬~	タービン補機冷却水系サージタンク補給量増加	第 22, 23 サイクルに比べ約 2 倍 09' 7 月上旬以降急増
09' /2/20	タービン駆動原子炉給水ポンプ(A)制御油フィルタ(A)差圧上昇	フィルタ切替え(A)→(B) (詰まったフィルタ(A)のカートリッジは取替えなかったため予備フィルタなし)
09' /6 中旬~	主発電機密封油真空ポンプドレン水量増加	7月8日頃より急増
09' /7/12	・タービン駆動原子炉給水ポンプ(A)制御油フィルタ(B)差圧上昇 ・油清浄機カートリッジフィルタ差圧上昇	関連パラメータの監視強化開始 7月13日プレス公表 主発電機出力を 900MWe まで降下し、電動駆動原子炉給水ポンプに切り替え
09' /7/13	タービン駆動原子炉給水ポンプ(B)制御油フィルタ差圧上昇によりフィルタ切替え(A)→(B)	7/16日フィルタ切替え(B)→(A)
09' /7/16~ 09' /7/17	・油清浄機カートリッジフィルタ差圧急上昇 ・主油タンク油面低下警報	主油タンク油面調整: カートリッジフィルタ手動でバイパス 7月17日プレス公表 主タービン油関連機器の点検に伴う原子炉停止(7/18日0時 停止操作開始)

主油冷却器 (B) 点検結果



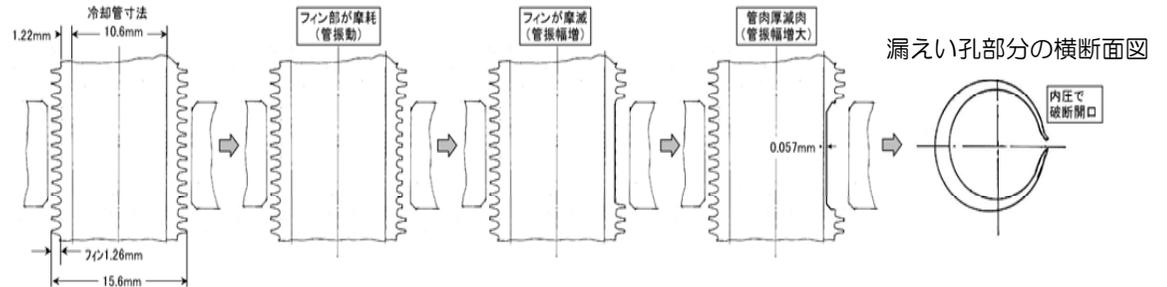
↑管板側
↓U字管側

- ・冷却器内の油の流れにより伝熱管が振動 (下部はU字構造であり油の流れに影響を受け易い)
- ・伝熱管の振動により、伝熱管とバッフル (管支持板) が接触
- ・伝熱管の接触部が磨耗し、最終的に伝熱管内圧により貫通孔の発生 (幅 約 1.3mm、長さ 約 2.7mm)



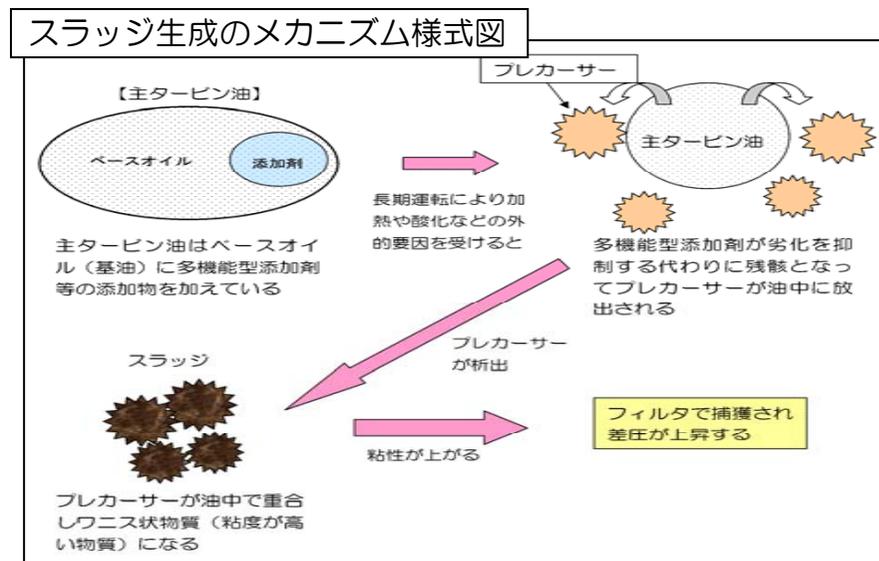
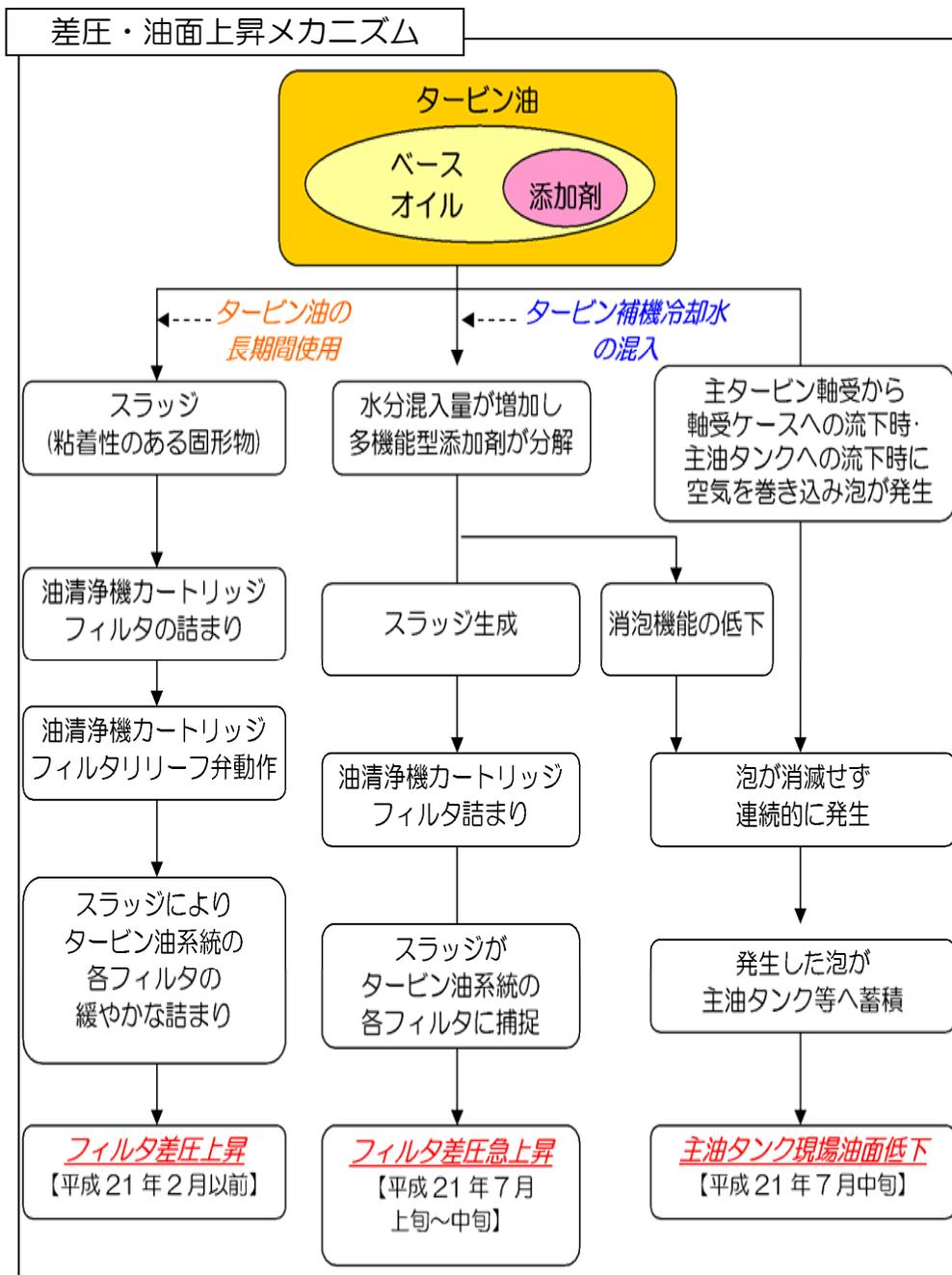
P-P 断面マクロ写真

【伝熱管漏えい発生メカニズム】



漏えい孔部分の横断面図

事象発生メカニズム



スラッジ生成確認試験

主タービン油に水が混入した場合にスラッジが発生するか確認する試験を実施した。

図1 新油 150ml + TCW 150ml

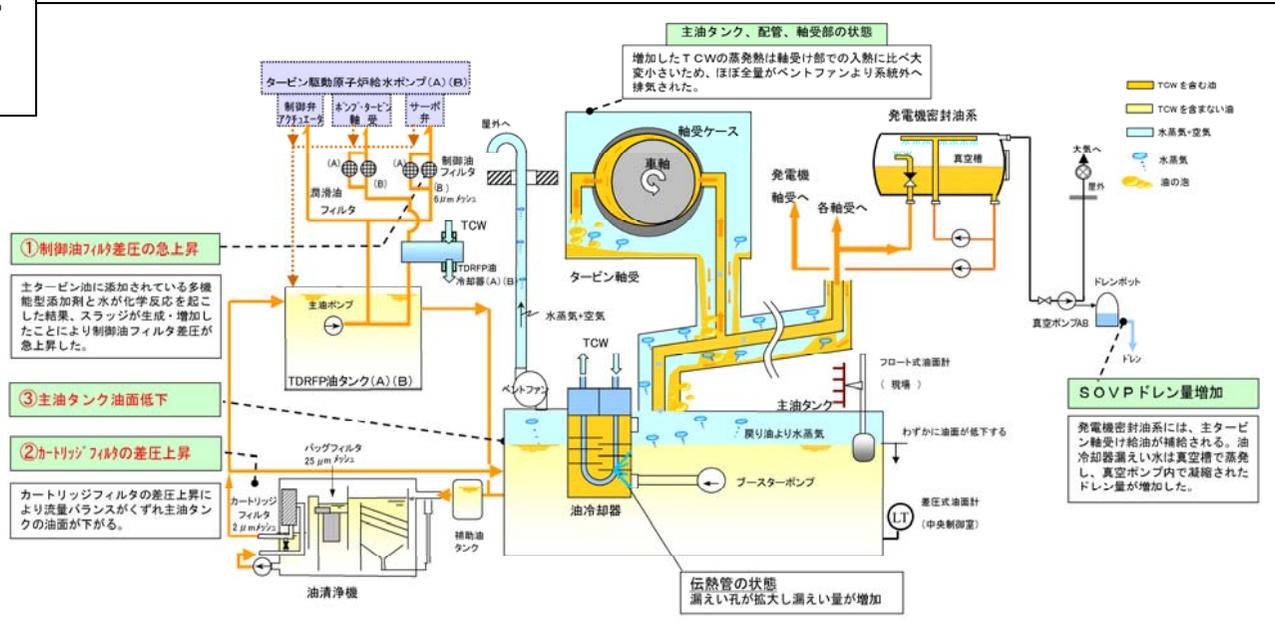
多機能型添加剤が含まれる新油にタービン補機冷却水 (TCW) を添加した結果、図1のとおり白色のスラッジが生成した。

図2 回収油 100ml + TCW 100ml

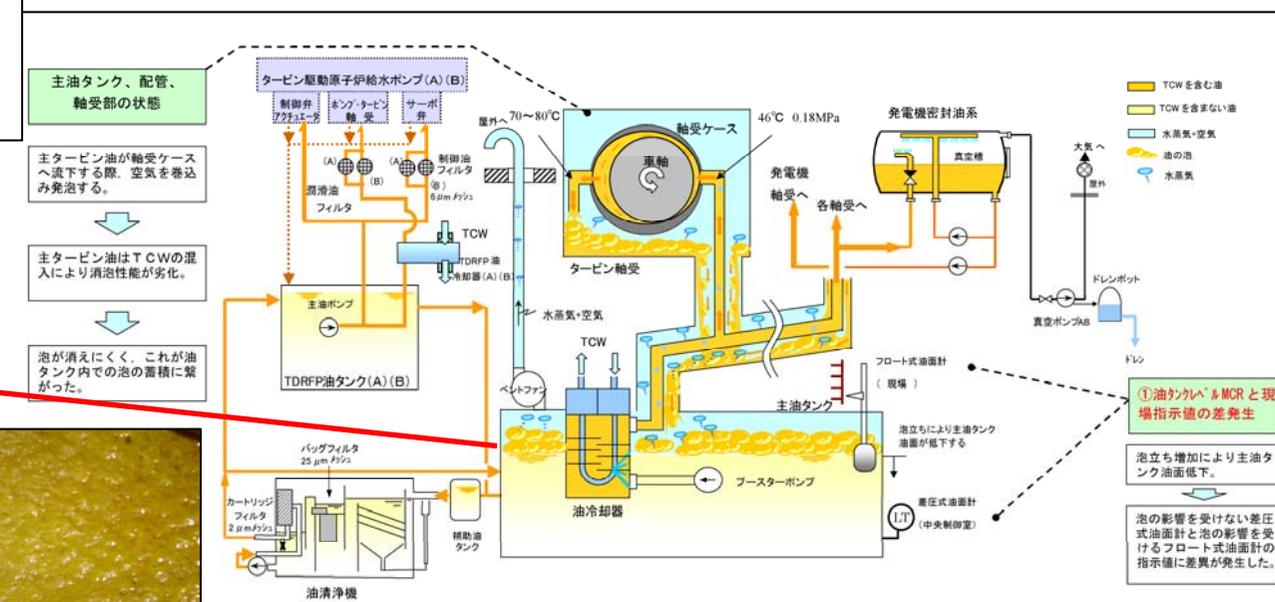
また、7月17日に採取した主タービン油にTCWを添加した場合でも、図2のとおり乳白色のスラッジが生成することが確認された。

タービン補機冷却水 (TCW) 漏えいメカニズム

(1) 主油冷却器 (B) 伝熱管からの漏えい量の増加
【平成21年7月上旬から中旬】



(2) 主油タンク油面での異常な泡立ち確認以降
【平成21年7月17日以降】



(参考)

- ・【平成21年2月上旬以前】 主油冷却器 (B) 伝熱管からの漏えい開始前
- ・【平成21年2月上旬頃】 主油冷却器 (B) 伝熱管(1本)からの微小漏えい開始