

再処理事業所内（非管理区域）における重油の漏えいについて
（原因と対策）

1. 事象概要

2014年7月25日10時55分、当社社員（当直員）が再処理事業所内（非管理区域）の安全冷却水系冷却塔A付近の電源車への重油供給ラインのフランジ部（配管の接続部）から重油が漏えいしていることを巡視点検中に発見した。漏えい発見時の概略系統図を図-1に示す。

漏えい確認後、初動対応として燃料油タンクから漏えい箇所への重油流入を停止させるため、当社社員（日勤者）がフランジ上流側の手動弁を閉操作※1するとともにフランジの増締め、フランジの下部および同系統にあるドレンに受皿を設置し重油の抜取り措置を開始した。なお、本事象による環境への影響はなかった。

※1：ユーティリティ課長の指示により、燃料油タンクから漏えい箇所への重油流入を停止させるため、フランジ上流側にある手動弁を閉操作したが、電動弁は漏えい発生前から閉であったため、結果として重油の漏えいの停止措置とはならなかった。

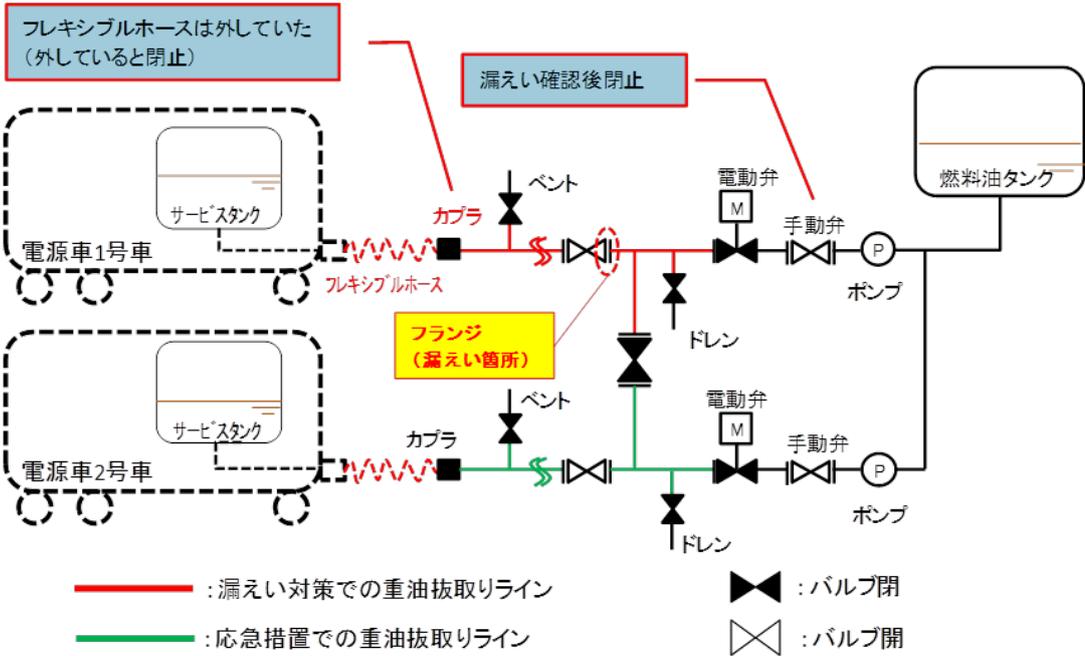


図-1 漏えい発見時の概略系統図

2. 時系列

2014年7月25日（金曜日）

- 10：55 当社社員（当直員）が巡視点検中に電源車への重油供給ラインのフランジ部から、重油が連続的に漏えいしているのを発見
- 10：57 当社社員（当直員）が当直長およびユーティリティ課長（当該設備の保修部署）に連絡
ユーティリティ課長から当社社員（日勤者）に手動弁の閉止およびフラン

- ジ増締めを指示
- 11：10 頃 当社社員（日勤者）が漏えい箇所に受皿を設置
手動弁の閉止およびフランジの増締めによる漏えい停止措置を実施（毎秒1滴程度の漏えい継続）
- 11：15 六ヶ所対応会議設置
- 11：15 頃 当社社員（日勤者）が公設消防へ通報
- 11：21 A情報であることを連絡責任者が確認
- 11：25 当社社員（日勤者）が重油漏えいの範囲を確認
（約1.5m×1mの広がり、周囲への飛び散りを確認）
- 11：32 第1報発信（A情報）
- 12：00 公設消防 現場到着
- 12：30 頃 公設消防より当社社員（日勤者）に重油の染込んだ土の除去、重油吸着回収作業を指示（油水分離槽とつながる排水溝^{※2}に極微量の重油があったため）
- 12：44 公設消防 退域
- 13：24 第2報発信（A情報）
- 13：45 核物質防護課長（当該設備の所掌部署）から、電源車は常時使用可能な状態で管理し、当該系統構成を速やかに復旧する必要があるとの要請を受け、ユーティリティ課長が当社社員（日勤者）に、重油抜き取り作業および漏えい停止後に漏えいしたフランジ部を含む弁のガスケット交換を指示
- 13：50 頃 重油供給ラインからの重油抜き取り作業およびガスケット交換作業準備開始
- 14：33 フランジ部からの漏えい停止
- 14：43 第3報発信（A情報：最終報）
- 14：45 頃 ガスケット交換作業開始
- 15：10 第3報発信（A情報：最終報訂正版）
- 15：13 ガスケット交換終了
- 15：14 重油浸透箇所の土壌入れ替え、排水溝の重油吸着回収作業開始
- 16：00 頃 重油浸透箇所の土壌入れ替え、排水溝の重油吸着回収作業完了

※2：漏えいした重油を回収するための油水分離槽（比重差で油と水を分離する槽）につながっている排水溝

3. 重油の漏えい状況

(1) 重油の漏えいの状況

重油の漏えいの状況は図-2に示すとおりである。

図-2の写真①および②から、燃料ポンプ小屋の東側の外壁に付着している黒い痕跡は、フランジ部から斜め下方向に噴出した重油がローリー受け口北側の基礎近傍の土を巻き込みながら小屋外壁に飛び散ったものと推定する。

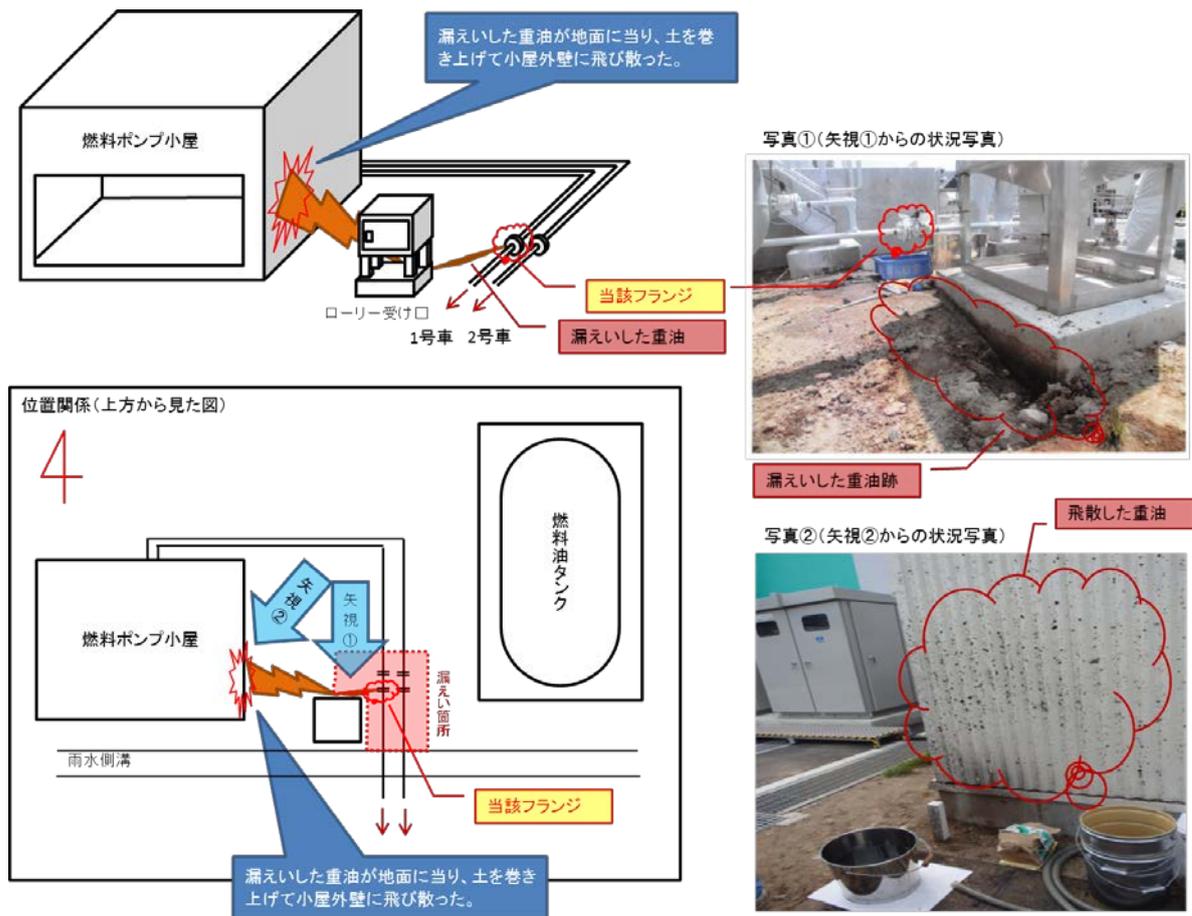


図-2 重油の漏えい状況

(2) 重油漏えい発生時の配管系統の状態

図-1 に示すとおり、事象発生時、当該配管系統は、電源車のサービスタンクにつながるフレキシブルホースを接続していなかったため、弁およびカプラにより閉じられた配管系統が構成された状態であった。

(3) 重油漏えい量

重油の回収措置として、漏えい箇所に受皿を設置して回収した重油および重油供給ラインのドレンからの重油抜き取り作業によって回収した重油量は、約 20 リットルであった。

また、漏えいのあった配管系統は弁やカプラにより仕切られており、その閉じられた配管系統の配管容積（配管サイズ 25A（内径 27.2mm）、配管長 約 41m）から配管系統内には約 25 リットルの重油が充填されていたものと考えられる。このため、配管系統内に充填されていた重油量と回収した重油量から、漏えいした重油量は約 5 リットルと推定する。

(4) 重油漏えいの発生した時間帯

電源車への重油供給ライン周辺の巡視点検は、1回/日の頻度で実施しており、漏えいの発生した7月25日の前日も午前11時頃に巡視を行い、異常のないことを確認している。また、7月25日の漏えい発見時においては重油が連続的に漏えいしていたこと、さらに、漏えい確認後、配管容積約25リットルに対して、回収措置として約20リットル（約80%）の重油を回収していることから、漏えいの起点は7月25日の漏えい発見時間10時55分の直前に近い時間帯で発生したものと推定する。

4. 原因調査

4. 1 漏えい箇所の分解時の状況

漏えいしていたフランジ部を分解した結果、ガスケットが図-3のとおり一部破損していることを確認した。



図-3 破損したガスケット写真

4. 2 要因分析に基づく調査

重油漏えいが閉じられた配管系統内のフランジ部から発生しており、ガスケットの一部が破損していることから、重油漏えいの発生要因について、要因分析図（添付資料-1）に基づき調査を実施した。主な調査内容を以下に示す。

(1) ガスケットの選定に係る調査：仕様確認

破損したガスケットの仕様を確認した結果、配管の設計仕様に係る温度、圧力、流体種類の各設計仕様条件に対しガスケットは適切に選定されており、ガスケット強度不足によるものではないと判断した。

ガスケット仕様判定表

	配管の設計仕様	ガスケットの仕様	判定
温度	-19℃～40℃	-29℃～100℃	良
圧力	0.5MPa	3.0MPa	良
流体種類	A 重油	油系流体	良

(2) 製造不良に係る調査：設置時の耐圧試験結果

破損したガスケットは、配管の施工時に設計仕様圧力 0.5MPa の 1.5 倍^{※3}となる 0.75MPa による耐圧・気密試験を行い問題ないことを確認していることから、製造不良によるものではないと判断した。

※3：原子力設備の技術基準 第19章 耐圧試験 第104条に準拠

(3) 外的要因（落下物、地盤面変化等）に係る調査：外観観察

ガスケットの破損に至るような落下物による衝撃、地震等による外力が作用した痕跡やボルト緩み、地盤面変化による局部的な変形は確認されていないことから、外的要因によるものではないと判断した。

(4) 内圧上昇に係る調査：加重計算による評価

配管に閉じられた配管系統があったこと、事象が発生した日は晴天で外気温が 27.1℃まで上昇したこと、配管は太陽光の直射を受けていたこと等から、配管内圧力がガスケットの仕様を超えて上昇し、ガスケットが破損した可能性が高いと考えられる。

4. 3 内圧上昇要因に係る調査

要因分析に基づく調査の結果、ガスケットが破損した直接原因は配管内圧力の上昇である可能性が高いと考え、以下の調査を行った。

(1) 配管内に重油が充填されていた期間

過去の作業実績を調査した結果、3月10日に行った燃料油ポンプの試運転において、電源車へ給油後、フレキシブルホースを取外し、給油作業を終了した。それ以降、事象が発生した7月25日まで電源車への給油作業およびフレキシブルホースの接続は実施しておらず、配管内の重油抜き取り作業も実施していない。よって、3月10日から漏えいが発生した7月25日まで系統内は重油が充填されていたことを確認した。

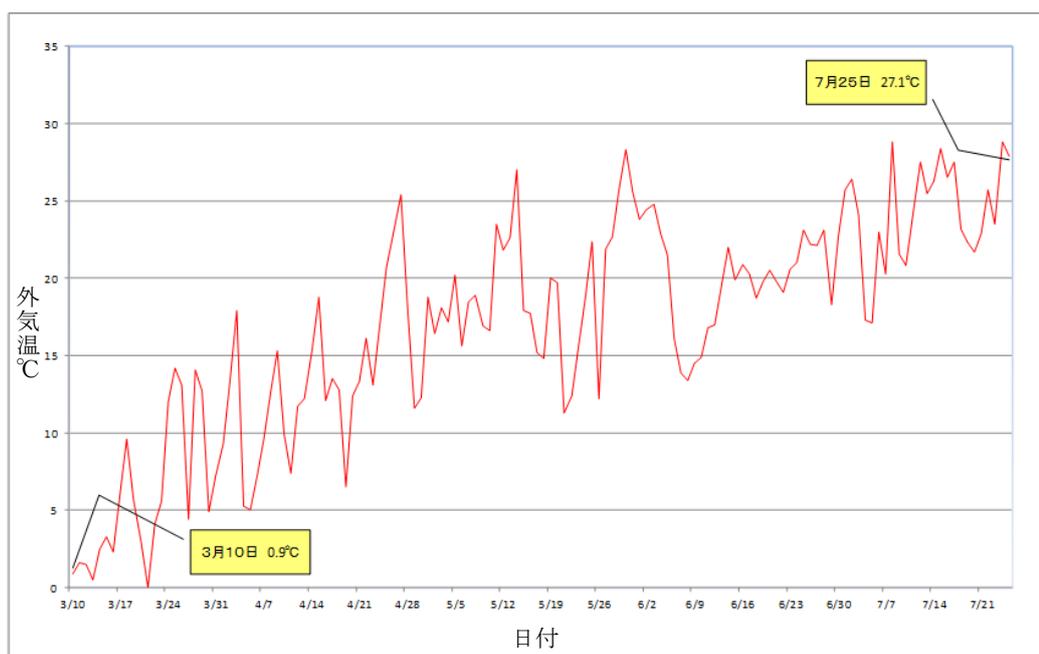
(2) 重油が配管内に充填されていた期間における外気温の変化

燃料油ポンプの試運転をした3月10日の外気温は約1℃、漏えいが発生した7月25日の外気温は約27℃と、その温度差は約26℃あり、重油が配管内に充填されていた期間において大きな温度変化があったことを確認した。

重油が配管内に充填されていた期間の外気温の推移を図-4に示す。

約26℃の上昇：3月10日 約1℃^{※4} ⇒ 7月25日 約27℃^{※4}

※4：3月10日の外気温は燃料油ポンプの試運転を日中に行っているため日中の最高気温を採用した。一方、7月25日の外気温は、漏えい事象が確認された時刻に最も近い11:00の外気温を採用した。



図－4 3月から7月にかけての外気温の推移（六ヶ所村）

(3) 配管内の重油温度上昇評価

配管内の重油温度上昇に影響を及ぼす要因は、外気温の他、直射日光、地面・アスファルトからの照り返し等が挙げられる。

3月10日に重油充填した際の重油温度は、同日に実施したサービスタンクへの重油の供給以前には配管内に重油はなかったことから、外気温の1.0℃と仮定し、7月25日に漏えいが発生した際の重油温度は、配管内に重油が留まっていたことから、外気温、直射日光、地面・アスファルトの照り返しを考慮し、配管外表面における熱平衡計算とエネルギー保存式を用いて38.8℃であると仮定した。

4. 4 配管内圧力上昇およびガスケットへの影響に係る検証試験

重油は温度に比例し体積が膨張する性質（重油膨張率 0.082（JISK2249-4））があることから、充填されていた重油温度の上昇に伴う膨張により、配管内圧力は上昇していたと考える。

そこで、閉じられた配管系統内において配管内温度（重油温度）の上昇に伴う配管内の圧力上昇傾向を検証するための試験および閉じられた配管系統内の圧力を上昇させることにより、ガスケットにどのような影響が生じるのかを検証するための試験を実施した。

(1) 重油温度上昇に伴う配管内圧力確認試験（温度影響試験）

閉じられた配管系統内に重油を充填し、重油温度を上昇させることにより、配管内圧力がどのような圧力上昇傾向を示すかを検証するために温度影響試験を実施した。試験装置概要を図-5に示す。

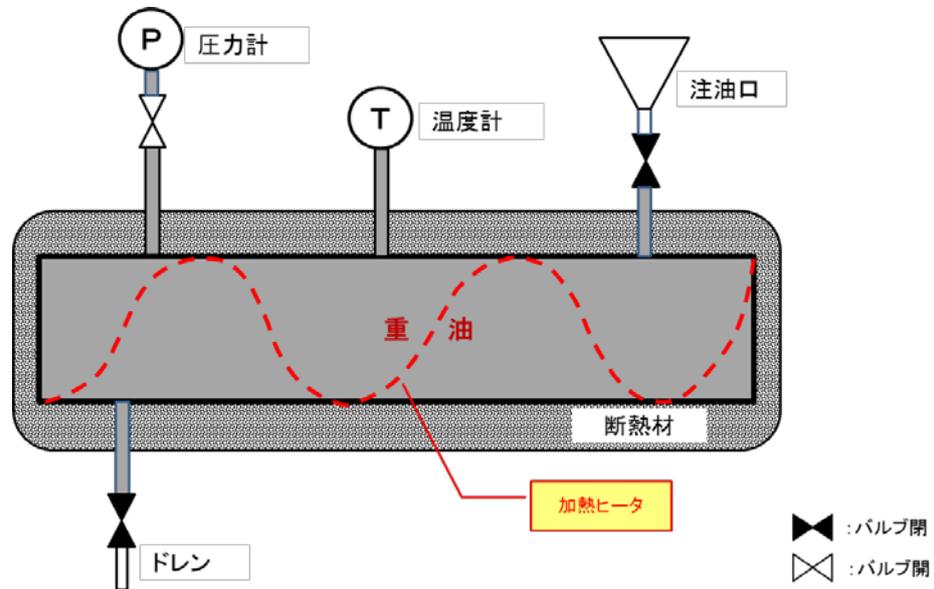


図-5 重油温度上昇による温度影響試験装置概要

【試験方法】

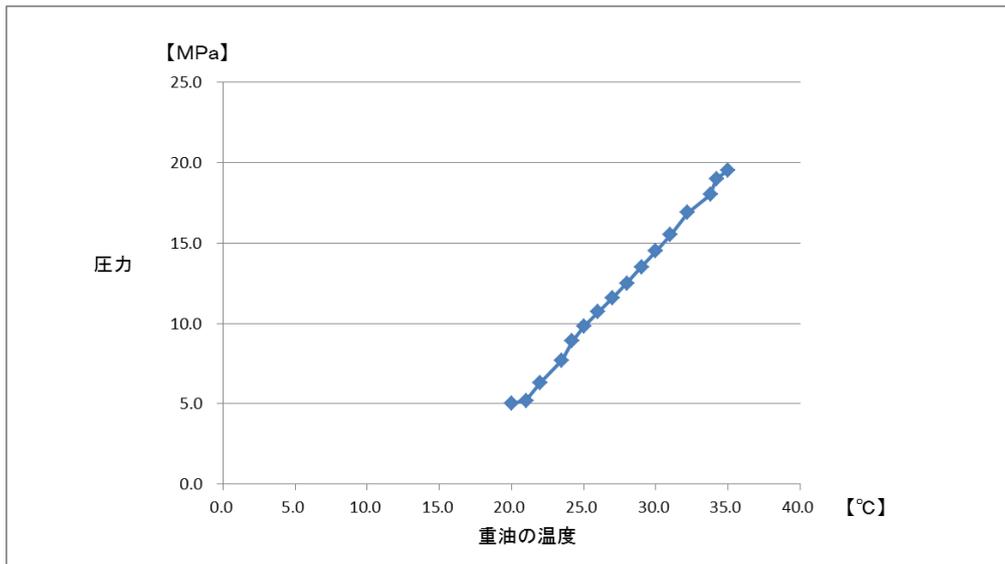
配管に加熱ヒータを巻き、その上から断熱材で覆うことにより、外気との熱の出入りを極力遮断した試験装置を製作した。この配管内に重油を充填し、圧力の上昇傾向を確認するため、20℃から35℃まで10分間に1℃のペースで温度を上昇させ、圧力の変化を確認した。

【試験結果】

試験結果を図-6に示す。

この試験結果から配管内圧力は、温度上昇に伴い直線的に上昇し、20℃から35℃間の圧力上昇率は0.967MPa/℃となった。

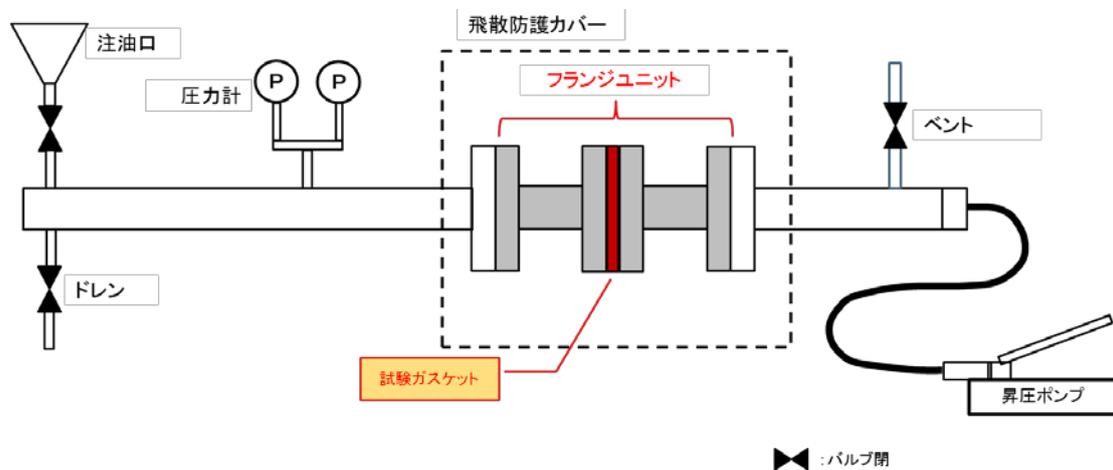
安全上これ以上重油温度を上昇させなかったが、圧力上昇は直線的であることから、3月10日に重油充填した際の重油温度（1.0℃）から7月25日に漏えいが発生した際の重油温度（38.8℃）の温度差（37.8℃）においては、配管内圧力が36.5MPa程度上昇したものと考えられる。



図－6 重油温度上昇に伴う圧力変化のグラフ

(2) 配管内圧力上昇に伴うガスケットへの影響確認試験（圧力上昇試験）

閉じられた配管系統内に重油を充填し配管内圧力を上昇させることにより、フランジ間のガスケットにどのような影響が生じるのかを検証するための試験を実施した。試験装置概要を図－7に示す。



図－7 配管内圧力上昇に伴う圧力上昇試験装置概要

【試験方法】

漏えいした重油供給ラインを模擬した長さ 40m の配管に昇圧ポンプを接続し、配管内圧力を上昇させガスケットへの影響を確認する試験装置を製作した。

この試験装置に、ガスケットの締付けトルクの異なる以下に示す 3 種類のフランジユニットを用意し、配管内に重油を充填後、フランジユニット毎にフランジ部から漏

えいが発生するまで 5.0MPa から徐々に配管内を加圧して、試験ガスケットから漏えいが発生する圧力および試験ガスケット破損時の状況を検証した。

フランジユニットのガスケット取付けパターン

①試験ガスケットの締付けトルク：19.5N・m^{※5}

②試験ガスケットの締付けトルク：45.0N・m^{※6}

③試験ガスケットの締付けトルク：40.0N・m^{※7}および70.0N・m^{※7}

※5：ガスケットをボルト4本で締付けた際に、重油が浸透漏れしない最小締付けトルク（30.1 N・m）の約2/3の力で締付け

※6：ガスケットをボルト4本で締付けた際に、重油が浸透漏れしない最小締付けトルク（30.1 N・m）の約1.5倍の力で締付け

※7：ガスケットのボルト4本のうち、2本は②の締付けトルク（45.0 N・m）より低いトルク（40.0 N・m）と、残り2本は高いトルク（70.0 N・m）で締付け

【試験結果】

①19.5N・mの締付けトルクで取付けたケースでは、配管内圧力が17.5MPaになった時にフランジ部から重油の漏えいが発生した。

漏えい状況は、重油が連続して滴下する状態でこれ以上加圧できなかった。

フランジユニットを開放したところ、試験ガスケットは破損に至ることはなかった。

②45.0N・mの締付けトルクで取付けたケースでは、配管内圧力が35.0MPaになった時に、フランジ部からの破裂音とともに重油の漏えいが発生した。

漏えい状況は、重油が勢いよく噴出する状態であった。

フランジユニットを開放したところ、試験ガスケットが破損していることを確認した。（図－8 左側の写真参照）

③4本ある取付けボルトのうち、上部2本を70.0N・m、下部2本を40.0N・mの締付けトルクで取付けたケースでは、配管内圧力が32.5MPaになった時にフランジ部からの破裂音とともに重油の漏えいが発生した。

漏えい状況は、重油が勢いよく噴出する状態であった。

フランジユニットを開放したところ、試験ガスケットが破損していることを確認した。（図－8 右側の写真参照）



図ー 8 配管内圧力上昇に伴う圧力上昇試験結果

このことから、配管内圧力が上昇することにより、ガスケットの仕様圧力である 3.0MPa を大きく上回る圧力条件で、フランジ部からの重油漏えいおよびガスケットの破損を確認した。

5. 直接原因

検証試験の結果より、配管内圧力は 36.5MPa 程度上昇したと考えられ、35.0MPa および 32.5MPa でガスケットが破損することが確認できた。

また、事象発生当時に破損したガスケットの破損状態（図ー 3）と検証試験における試験ガスケットの破損状態（図ー 8）が類似していることから、重油漏えいに至った直接の原因は、閉じられた配管系統内で配管内圧力が上昇したことにより、ガスケットの一部が破損したためと推定した。

6. 今回の事象と過去に発生した類似事象の関連性

今回の事象の直接原因である配管内圧力上昇が原因で重油が漏えいした事例は、過去に 2 回発生している。過去に発生した事象で採られた再発防止対策や水平展開が、今回の事象とどのような関連があるかを整理した。

以下に、2009年6月と2012年8月に発生した事象の概要を示す。

6. 1 ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所における配管からの重油漏えい（2009年6月）

(1) 概要

漏えい箇所のフランジ部のガスケットが経年的に面圧低下したと考えられる状態で、連絡弁（通常「常時開」）を閉止状態としたため、系統が締め切り状態となり、外気温の上昇に伴う重油の熱膨張により当該配管内圧力が上昇した結果、漏えいに至ったと推定した。

(2) 再発防止対策

- a. 社内マニュアルを改正し、当該連絡弁について、開放状態でチェーン等を取付け、施錠管理を実施することで当該連絡弁の閉止による系統内圧力上昇を防止する。
- b. フランジ部の締付け確認を年1回定期的に実施する。

(3) 水平展開

ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の屋外にある重油配管フランジ部（連絡弁等により圧力上昇が考えられる系統を含む）について、漏えいおよびボルト緩みを調査した結果、漏えいおよびボルト緩みがないことを確認した。

2009年6月に発生した重油漏えいの水平展開については、ボイラ用燃料受入れ・貯蔵所の屋外にある重油配管フランジ部のみを対象としたことから、今回の事象の発生防止にはつながらなかった。

6. 2 技術開発研究所屋外におけるボイラ用重油配管からの漏えい（2012年8月）

(1) 概要

フレキシブルホースが、外気温の上昇に伴う重油の熱膨張により内圧が上昇した結果、破断したものと推定した。

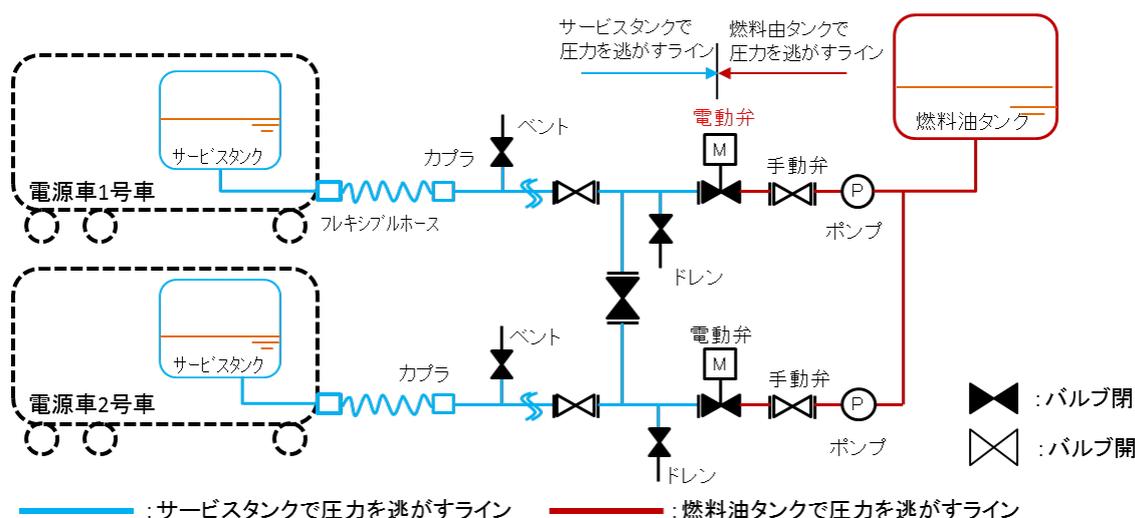
(2) 再発防止対策

外気温の変動により発生する内圧を逃がすために、逃がしラインを設置した。また、「技術開発研究所 パトロール実施業務文書」（点検マニュアル）のチェックシートに点検項目としてフレキシブルホースの記載を追加した。

(3) 水平展開

再処理事業所、濃縮・埋設事業所における内部流体が液体で常設のフレキシブルホースを含む配管系統すべてに対し、配管内圧力を逃がす対策が施されていることを確認した。

2012年8月に発生した重油漏えいの水平展開については、配管内圧力を逃がす対策を講じることとしたことから、今回の設備は、温度変化による圧力上昇を防止するために、電動弁より上流は燃料油タンクで、下流はサービスタンクでそれぞれ圧力を逃がす設計となっていた。（図－9参照）



図－9 重油供給ラインにおける圧力を逃がす設計の概要図

7. 電源車への重油供給ラインが閉じられた配管系統となった要因

設計図書「燃料供給設備の取合方針書」において、「温度変化による圧力上昇を防止するために、配管部に油が満たされた閉塞区間を作らない」と明記しており、当該設備は、重油が充填された状態で閉じられた配管系統を作らないよう、電動弁より上流は燃料油タンクで、下流はサービスタンクでそれぞれ圧力を逃がす設計となっていることを確認した。

一方、当該設備を運用する際は、フレキシブルホースは路面上に敷設することから、重量物の落下や近傍を通過する車両による変形や破損の可能性およびフレキシブルホース自体の劣化等による接続部からの滲み等のリスクを考慮し、燃料供給中以外はフレキシブルホースを取外す運用としてマニュアルを作成・制定した。

しかしながら、当該マニュアルの作成段階において、年間を通した長期間の使用を想定したリスク評価が十分でなく、結果として外気温の上昇に伴う配管内圧力上昇に対する対策が採られないまま設備の運用を開始したことが要因である。

8. 再発防止対策及び水平展開

8. 1 再発防止対策

重油が漏えいした直接原因は、配管内圧力上昇に伴うガスケットの破損である。そのため、当初の設計のとおり、配管内に重油が充填されている時には常時フレキシブルホースを電源車に接続し、配管内の圧力上昇時に圧力をサービスタンク側に逃がす運用とするため、マニュアルを改正した。（2014年12月16日実施済み）

また、フレキシブルホース自体の変形、破損、劣化等に伴う重油漏えいに対する対策として、配管内の重油抜き取りを実施した。（2014年11月28日実施済み）

8. 2 水平展開

現状の設置してある設備においては、当該の重油配管の系統のように配管系統の一部を取外した際に、配管系統内が閉じられた状態となるものがないことを確認した。(2014年11月17日実施済み)

今後設置する設備においては、配管系統の一部を取外した際にも、配管内圧力が上昇しない設計とするよう設計管理基準を改正(2014年12月26日完了予定)し、閉じられた配管系統内の圧力上昇については、圧力逃がし配管を設置し防止する設計とする。

本件については、本報告書に記載した再発防止対策および水平展開を行うとともに改正したマニュアルの趣旨を理解し、今後も引き続き安全に作業を行うこととする。

以 上

再処理事業所内における重油の漏えいに係る要因分析図

