

2012年11月7日

日本原燃株式会社

再処理事業所 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について
(原因と対策)

1. 事象概要

8月6日(月) 17時25分頃、再処理事業所技術開発研究所(非管理区域)において、巡視点検中の当社社員がボイラ用重油貯槽の重油配管(フレキシブルホース)から重油が漏えいしているのを発見した。ただちに、ボイラ用重油貯槽の出口弁を閉止し、17時26分頃に漏えいが停止したことを確認した。漏えいした重油の量は、ボイラ用重油貯槽の液量計から重油残量を確認し、約1,500Lと推定した。

なお、本事象による作業員の負傷等はなく、また環境等への放射線の影響はない。

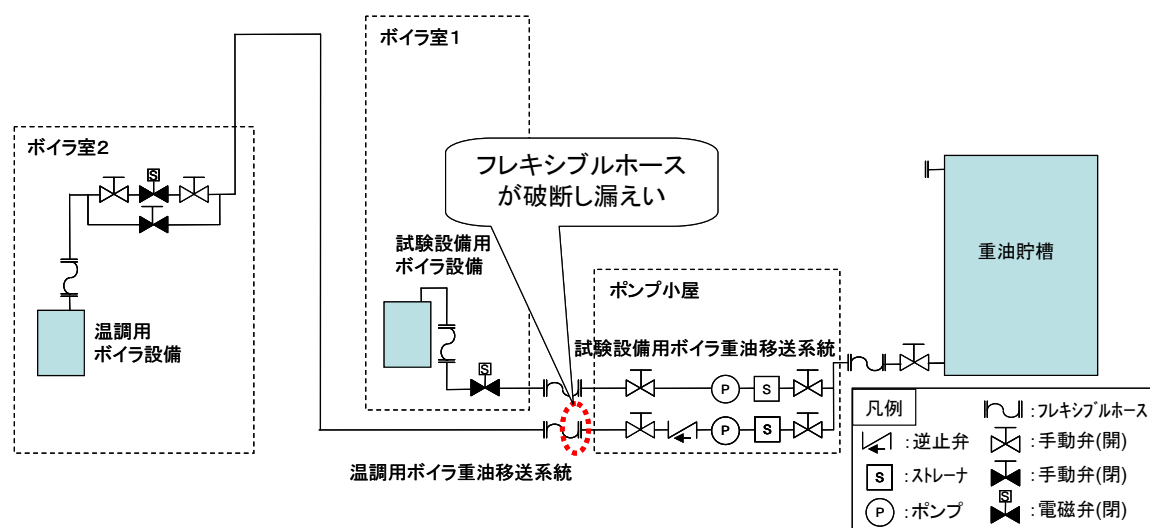


図1 漏えい発見時の概要図

2. 主な時系列

8月 6日	17時25分頃	巡視点検でフレキシブルホース保護カバー付近の砂利ににじみを発見 保護カバーを開けフレキシブルホースが破断し、油が漏えいしているのを発見
	17時26分	破断部上流側(重油貯槽側)出口弁閉止 ボイラ重油貯槽重油残量 1,900Lを液量計で確認
	18時16分	連絡責任者がA情報(事業所内の消防法に基づく危険物の流出等)に該当すると判断
	18時27分	第一報(A情報)発信
	18時33分	六ヶ所消防に連絡

3. 漏えいの状況の評価

(1) 重油漏えい量

漏えい確認後に重油貯槽内の目視確認を行い、残重油が貯槽出口配管及び液量計配管より高いレベルにあり、漏えい確認後も重油液量が液量計の測定範囲内にあることを確認した上で、漏えい前において最後に試験設備用ボイラの運転（重油貯槽から重油を送油）を行った6月18日の重油貯槽液量3,400Lと事象発生時の重油残量1,900Lの差から、漏えい量を1,500L程度と推定した。

(2) 漏えいが発生した時期

漏えい発見時の漏えい速度を確認するため、8月6日 17時26分に閉止した弁を開放し、フレキシブルホースの破断した部分から出る重油を容器で受け、容器内の液量変化を計測したところ、約8L/hであった。

計測により確認した漏えい速度と重油漏えい前の重油量に相当する水頭圧から、漏えい発生時の漏えい速度を評価した結果、約9L/h程度であった。

これらの結果から、漏えい当初の速度を約9L/h、発見時の速度を約8L/hとした場合、約1,500Lの重油漏えいに必要な時間は8日程度であり、漏えい発生時期は7月下旬頃であると推定した。

(3) 点検状況

当該のフレキシブルホースを含む重油設備については、技術開発研究所に所属する当社社員が、平日に1日1回点検することとなっていた。点検に用いるチェックシートには、重油貯槽周り、ポンプ小屋及びボイラ室にある機器（貯槽、ポンプ及び計器等）や配管等を点検箇所として、損傷や漏えいの有無等を確認する記載になっていたが、当該のフレキシブルホースを確認するという記載がなかったこと及び当該フレキシブルホースは2010年より落雪対策の保護カバーを設置しており、当該フレキシブルホースが直接見えない状態であったことから当該フレキシブルホースの確認が行われておらず、8月6日に当該カバー付近で砂利のにじみを発見し、当該カバーを開けるまで漏えいに気がつかなかった。

なお、温調用ボイラ重油移送系統及び試験設備用ボイラ重油移送系統において、破断したフレキシブルホース以外の箇所での漏えいは確認されなかった。

4. 原因

4.1 原因調査

4.1.1 要因分析に基づく調査

重油漏えいがフレキシブルホースの破断部から発生しており、フレキシブルホースが伸長して破断していることから、フレキシブルホース破断の発生要因につ

いて、要因分析図(添付資料—1)に基づき調査を行った。主な調査内容を以下に示す。

(1) 腐食、疲労破壊に係る調査：破面調査

- ・破断したフレキシブルホース破面の外観観察及びマイクロ観察を行った結果、当該のフレキシブルホースに腐食や疲労破壊が発生している状況は確認されなかった。(添付資料—2)

上記の結果から、フレキシブルホースの破断は腐食や疲労破壊によるものではないと判断した。

(2) 製造不良、内圧(強度不足)に係る調査：設置時の耐圧試験結果

- ・当該フレキシブルホース設置時(2010年6月)に消防法に基づく耐圧試験(1MPa)を実施しており、設計通りの強度が確保されていることを記録により確認した。

上記の結果から、フレキシブルホースの破断は製造不良や強度不足によるものではないと判断した。

(3) 落下物等による荷重に係る調査：外観観察及び再現試験

- ・フレキシブルホースの保護カバーの外観観察を行った結果、外観に落下物の痕跡等の異常は確認されなかった。
- ・フレキシブルホースを人力により踏みつける試験を実施した結果、破断フレキシブルホースと同様な変形は起こらなかった。(添付資料—3)

上記の結果から、フレキシブルホースの破断は落下物等による荷重によるものではないと判断した。

(4) 内圧に係る調査：再現試験

- ・配管およびフレキシブルホースを模擬した試験装置を用いて、10MPaまで内圧を上昇させた結果、当該のフレキシブルホースと同様な変形が見られた。(添付資料—4)
- ・メーカーにおける、フレキシブルホースの破断試験(当該フレキシブルホースに水を張った状態でポンプにより加圧操作を行い、水が漏れ出すときの圧力を測定する試験)の結果から、当該フレキシブルホースの破壊圧力は、11MPa程度であることを確認した。

上記の結果から、内圧が上昇することによりフレキシブルホースが変形し、液漏れに至る可能性があることを確認した。

以上の調査結果(延性破面の観察を含む)から、当該のフレキシブルホースは、内圧の上昇により破断した可能性が高いと考える。

4. 1. 2 要因分析結果に基づく調査（内圧上昇要因に係る調査）

要因分析に基づく各種調査の結果、フレキシブルホース破断の直接原因は内圧上昇による可能性が高いと考えられることから、さらに内圧上昇が発生した要因について調査を行うこととした。

当該フレキシブルホースを含む温調用ボイラ設備は冬季のみ運転しており、それ以外の時期は運転を行っておらず、重油が逆止弁と電磁弁の間で閉じ込められた状態であった。閉じ込められていた重油量は、逆止弁と電磁弁の間の配管長と配管径から約28リットルと推定した。（図2参照）そこで、外気温の変化に伴う配管内重油の膨張した可能性やその程度についての調査や、ポンプの誤作動による内圧上昇の可能性についての調査を行った。

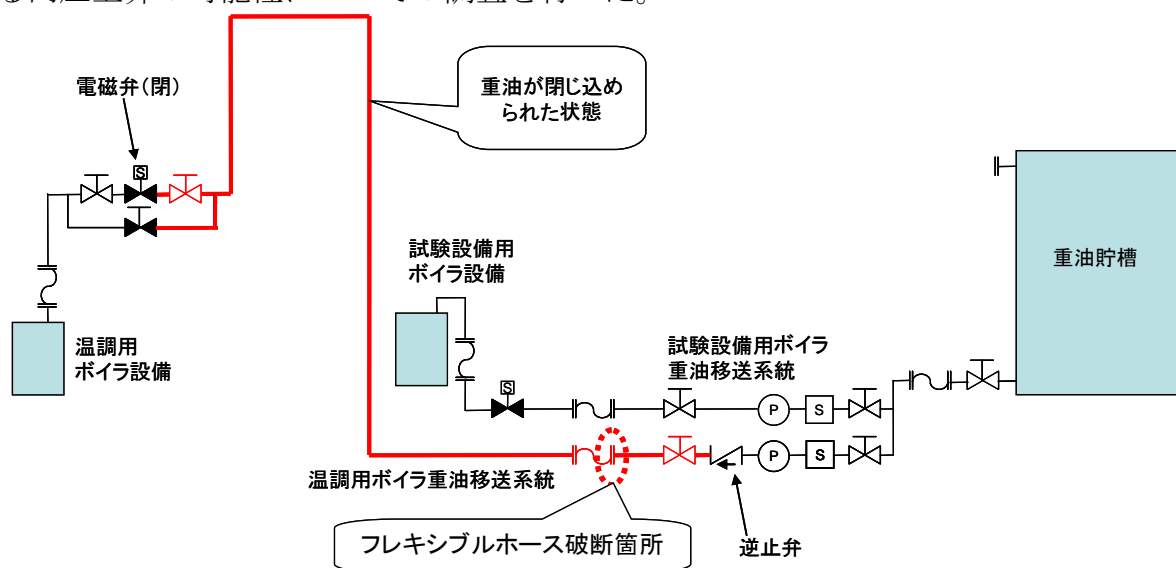


図2 重油の閉じ込め状況

(1) ポンプの誤作動による加圧

ポンプの誤作動により、内圧が上昇した可能性について調査した結果、当該ポンプの安全弁が規定の圧力（0.4MPa）で動作したため、ポンプにより過度の内圧上昇が発生する可能性がないことを確認した。（添付資料—5）

(2) 外気温の影響による配管内部の重油の膨張

1) 1日の外気温変動が配管内の重油温度へ与える影響

1日の外気温変動が配管内の重油温度へ与える影響について、試験装置（図3参照）を製作し、外気温、建屋（試験棟）内温度、試験用の模擬配管内重油温度を同時に測定することにより確認した。その結果から、1日の外気温変化が1.3℃程度の場合、建屋内温度変化は6℃程度、配管内重油温度変化は4℃程度であった（図4参照）。

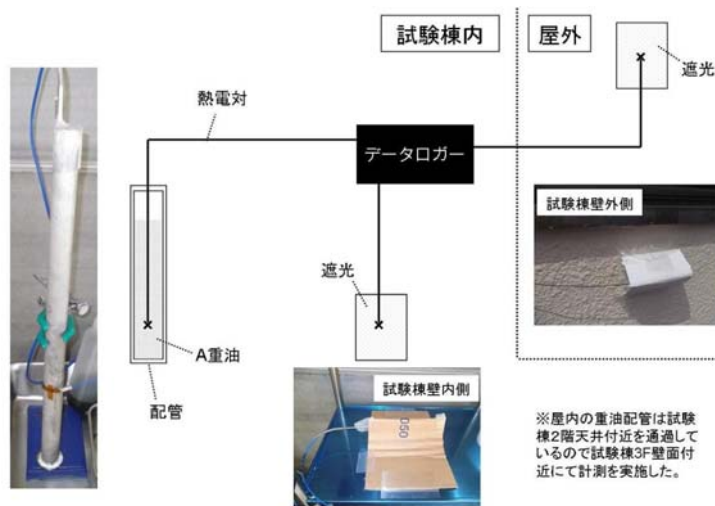


図3 温度測定方法

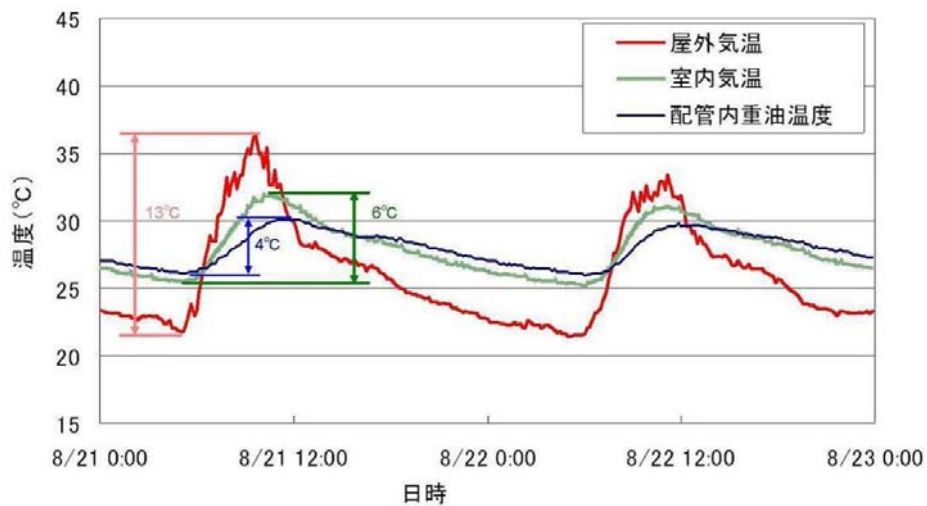


図4 短期的な各温度の変化

逆止弁と電磁弁の間で閉じ込められた状態であった重油（約28L）（図2参照）の温度が4℃上昇した場合の熱膨張による体積増加分が、90m³程度であり、圧力増加分で2MPa相当となることを理論式により算出した。

2) 実気象における長期間での温度変化及びその影響

外気温の測定記録（再処理気象観測データ）をもとに、2012年2月から8月6日までの長期的な外気温の変化を確認した（図5参照）。その結果、外気温は1日あたりで最大15℃程度の温度変化を繰り返しながら、5月18日（当該フレキシブルホースによる重油移送を、破断する前の最後におこなった日）と7月下旬では、平均気温が13℃程度上昇していた。

この平均温度の上昇は、時間をかけて温度が上昇した場合に加熱される物質は周囲温度と等しくなるという関係から、同様に重油温度上昇に繋がる（約2ヶ月かけて重油温度も13℃程度上昇）ものと考えられる。

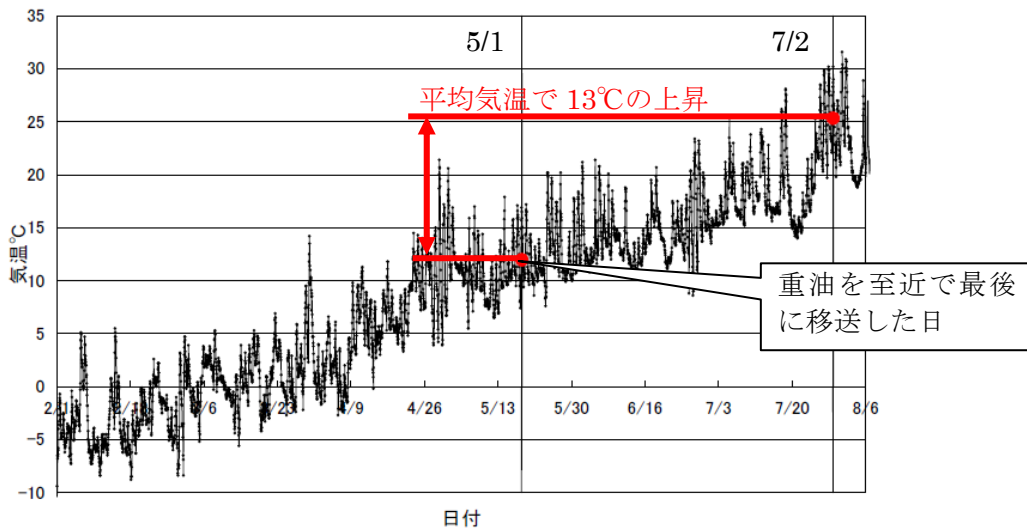


図5 長期的な外気温変化

逆止弁と電磁弁の間に閉じ込められた状態であった重油（約28L）（図2参照）の温度が13℃上昇した場合の熱膨張による体積増加分は、300ml程度であり、圧力増加分で1.3MPa相当となることを理論式により算出した。この圧力増加の値は、前述の製造メーカーの実験によるフレキシブルホースの破壊圧力（1.1MPa）を上回るものである。

3) フレキシブルホースの塑性変形圧力の調査

配管内部の重油の膨張がフレキシブルホースに与える影響を評価するため、フレキシブルホースが塑性変形^{*1}し始める圧力を調査した。調査は、内圧試験装置（図6参照）を用いて、1MPa刻みでフレキシブルホースの内圧を上昇させ（水圧）、塑性変形が始まる圧力を確認する方法で行った。

*1 塑性変形：材料に力を加えて発生した変形が、力を抜いても戻らない状態となること

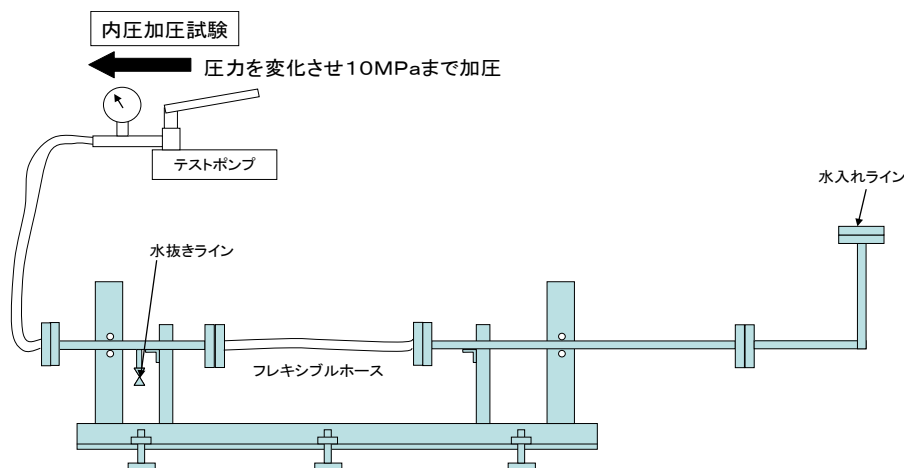


図6 内圧試験装置

調査の結果、内圧が2MPa程度の上昇で塑性変形が発生（約5mmの伸び、

約1.5m lの体積増加)することが確認された。(図7参照)

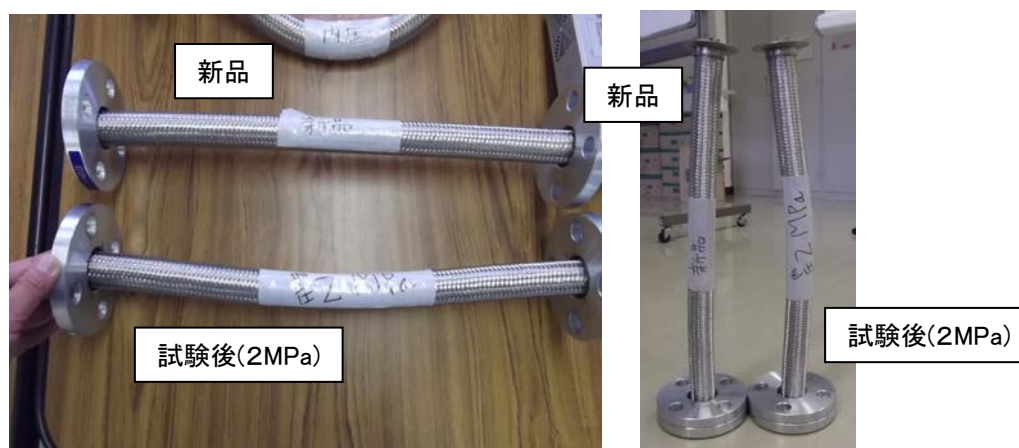


図7 内圧試験後のフレキシブルホース

この調査結果から、1日の外気温変動が配管内の重油温度へ与える影響に係る確認結果から評価した重油の熱膨張によりフレキシブルホースが塑性変形する可能性があると考えられる。また、実気象における長期間での温度変化の確認およびその影響において示したように、塑性変形が発生する程度の温度変化を繰り返していることや、フレキシブルホースの破壊圧力(1.1MPa)を上回る程度の外気温の平均温度上昇により、当該フレキシブルホースの破断に至った可能性が考えられる。

4) 当該設備使用開始以降の状況に対する評価

これまでの調査結果に基づき、外気温変化に伴う配管内重油の配管内の圧力上昇によりフレキシブルホースが破断に至ったものと推測したが、同施設は約17年の使用実績があり、その間同様の事象が発生せず今回事象が発生したことについて評価を行った。

当該系統の環境の変化等について事実関係を確認した結果、以下のとおりであった。

2010年6月	設備修繕工事(配管交換)
2012年5月18日	電磁弁の交換

設備修繕工事(配管交換)の際に配管内の油の抜き取り作業を行っていること、および電磁弁の交換を行っていることから、当該フレキシブルホースの系統に対して、配管内の圧力上昇に関係する以下の変化があった可能性が考えられる。

- ①配管内の空気混入量が減少
- ②電磁弁を交換したことによりシートリーク量が減少

①については、配管工事に伴い配管内の重油を抜き取る以前は、重油配管系

統内に空気が残存しており、空気混入の影響により破断するほどの内圧上昇に至らなかったのに対して、配管交換後に油を再度入れる際に空気の混入量が減少し、内圧上昇が発生しやすい環境になったことが考えられる。

空気混入した場合の圧力上昇について計算による評価を行った結果、約400 ml以上の空気混入で重油の温度が15℃変化してもフレキシブルホースの塑性変形も起こらない程度まで内圧が小さくなることが確認された(図8参照)。

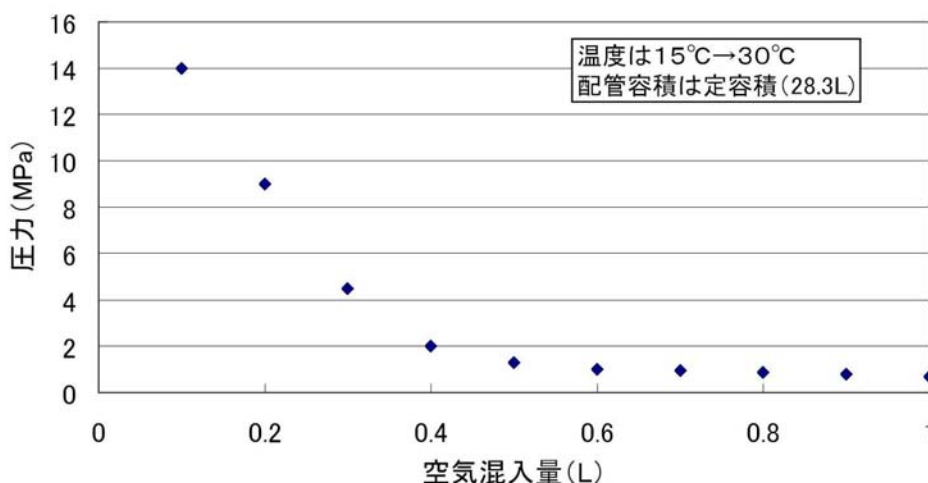


図8 空気混入の内圧上昇への影響

②については、電磁弁交換以前は、電磁弁に内圧の上昇を緩和するある程度の量のシートリークがあり、破断するほどの内圧上昇に至らなかったのに対して、電磁弁を交換することによりシートリークが減少し、内圧上昇が発生しやすい環境になったことが考えられる。

上記の結果から、設備修繕工事(配管交換)や電磁弁の交換により当該設備の状態が変化し、使用開始以降発生していなかった事象が今回発生したものと評価した。

4. 2 推定原因

漏えいの発生したフレキシブルホースの破断について、破面観察や再現試験による調査を行った結果、フレキシブルホースの破断は内圧の上昇によるものと判断した。

当該重油配管は冬季のみ使用しており、それ以外の時期は使用していないことから、使用していない期間は逆止弁と電磁弁の間で重油が閉じ込められた状態となることが確認された。そのため、外気温の上昇に伴い、配管内重油が膨張し内圧が上昇したものと推定した。

当該配管設備は17年の使用実績があるが、今までに膨張による重油の漏えいは発生していない。外気温の変動はこれまでもあったが、2010年6月に設

備修繕工事（配管交換）、2012年5月に電磁弁の交換を行ったことにより、配管内のシートリークや空気混入の状態が変化し、重油の膨張を吸収できなくなったことによりフレキシブルホースが破断し、漏えいに至ったものと推定した。

5. 再発防止策

推定原因を踏まえ、外気温の変動により発生する内圧を逃がすため、逃がしラインを11月中に設置することとし、消防法に基づく変更届提出などの手続きを進めている。（図9参照）

なお、現在は破断したフレキシブルホースの撤去、配管内の重油を抜き取り及び重油貯槽の出口弁を閉止していることから更なる漏えいが発生する可能性はない。

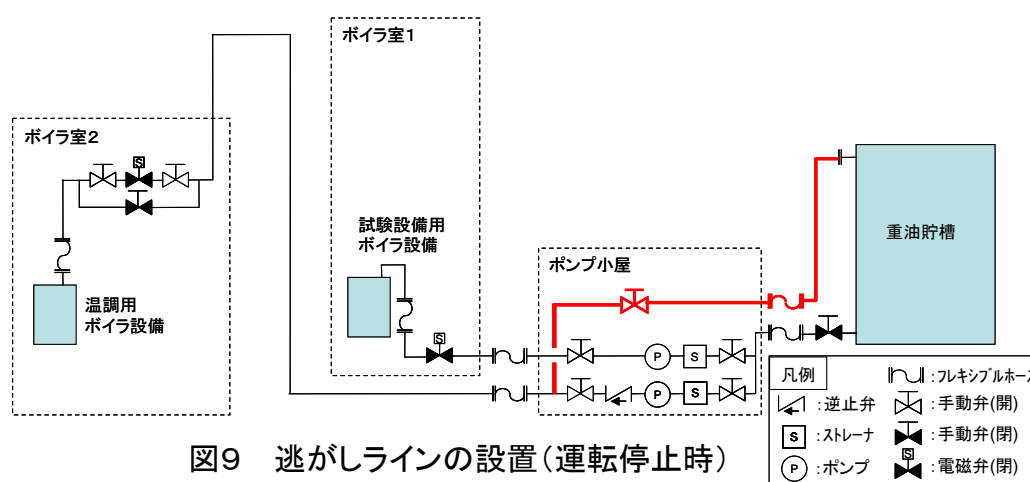


図9 逃がしラインの設置（運転停止時）

また、「3. 漏えいの状況の評価」に示した当該設備の点検に用いるチェックシートに当該のフレキシブルホースを確認するという記載が無かった点に対する改善として、点検マニュアルである「技術開発研究所 パトロール実施業務文書」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。さらに、当該フレキシブルホースに設置していた落雪対策の保護カバーについては、落下物等による荷重に係る調査においてフレキシブルホースの外力に対する耐久性が高いことが確認されたことから、フレキシブルホースの点検に対する改善（点検のしやすさの確保）として、撤去した。（9月28日完了）

6. 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287箇所に対し、内圧上昇対策が施されていることを確認した。その結果、今回の事象のように液体が閉じ込められ内圧が上昇する箇所はないことを確認した。（9月10日完了）

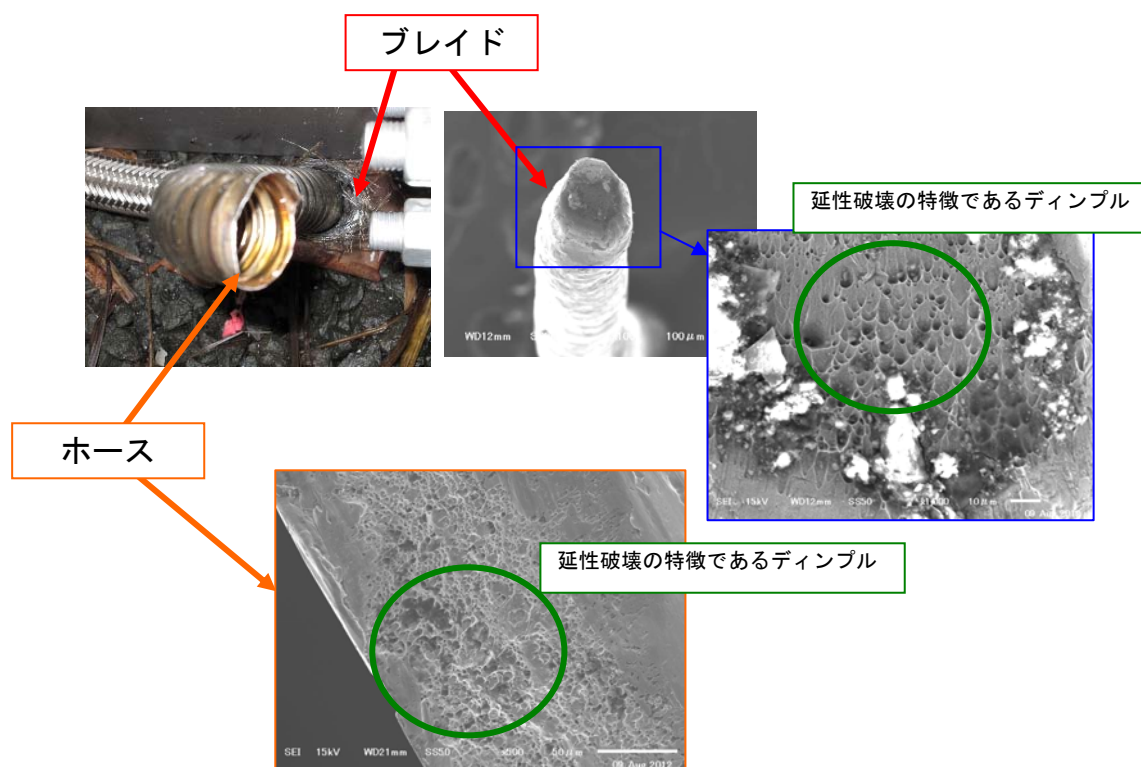
以上

事象	要因	要因	調査内容	調査結果	評価	
ボイラ用重油配管フレキシブルホース部破断	材料要因	腐食	全面腐食	・現品調査 外観観察	破断部近傍の外観観察から腐食痕はみられなかった	×
			応力腐食割れ	・現品調査 破面ミクロ観察	破面の電子顕微鏡(SEM)観察から割れはみられなかった	×
			溶接部の鋭敏化による耐食性劣化	・現品調査 外観観察	溶接部近傍の外観観察から腐食痕はみられなかった	×
			塩害	・現品調査 外観観察	破断部近傍の外観観察から塩害特有の点食痕はみられなかった	×
		製造不良	欠陥	・耐圧試験の記録	設置時に耐圧試験により健全性を確認している	×
	力学的要因	横荷重	落下物	・状況調査	発見当事、落下物は無く、ホース上部に設置されている保護カバーも健全であった	×
			外力の付与	・再現試験	人間の踏みつけによる外力付与を行った程度では破断に至るような損傷は見られなかった	×
		内圧	ポンプ不良	・ポンプ試験	ポンプに付属している安全弁の動作確認を行った結果、設定圧力(0.4MPa)で作動することを確認した	×
			温度上昇	・計算による評価	机上概略評価($\Delta T=15^{\circ}\text{C}$)を実施した結果、圧力上昇は最大約13MPaであり、メーカーが実施したフレキシブルホースの破断圧力と同程度であった。また、再現試験でも同様の変形がみられた	○
			強度不足	・耐圧試験の記録	設置時に耐圧試験により健全性を確認している	×
		強制変位	ひずみ(地震の時など)	・運転記録確認	2012年6月18日に液位確認を行って以降、大きな地震は発生していない	×
		疲労破壊	ポンプによる脈動	・現品確認 破面ミクロ観察	破面の電子顕微鏡(SEM)観察結果から疲労破壊に特有な縞模様(ビーチマークやストライエーション)は見られなかった	×

要因分析図

○腐食、疲労破壊に係る調査：破面調査

- ・破断したフレキシブルホースの断面に対する外観観察及び破面ミクロ観察から腐食は見られなかった。
- ・破面ミクロ観察では、疲労破壊に特有な縞模様は見られなかった。
- ・なお、破面ミクロ観察では、ブレード部（加圧によるホース部の伸びを防ぐとともに、外部から保護するためのホース部の外装材）、ホース部のいずれにおいても、延性破壊の特徴であるディンプルと呼ばれる穴ぼこ状の様子が観察された。



添図—2—1 破面ミクロ観察結果

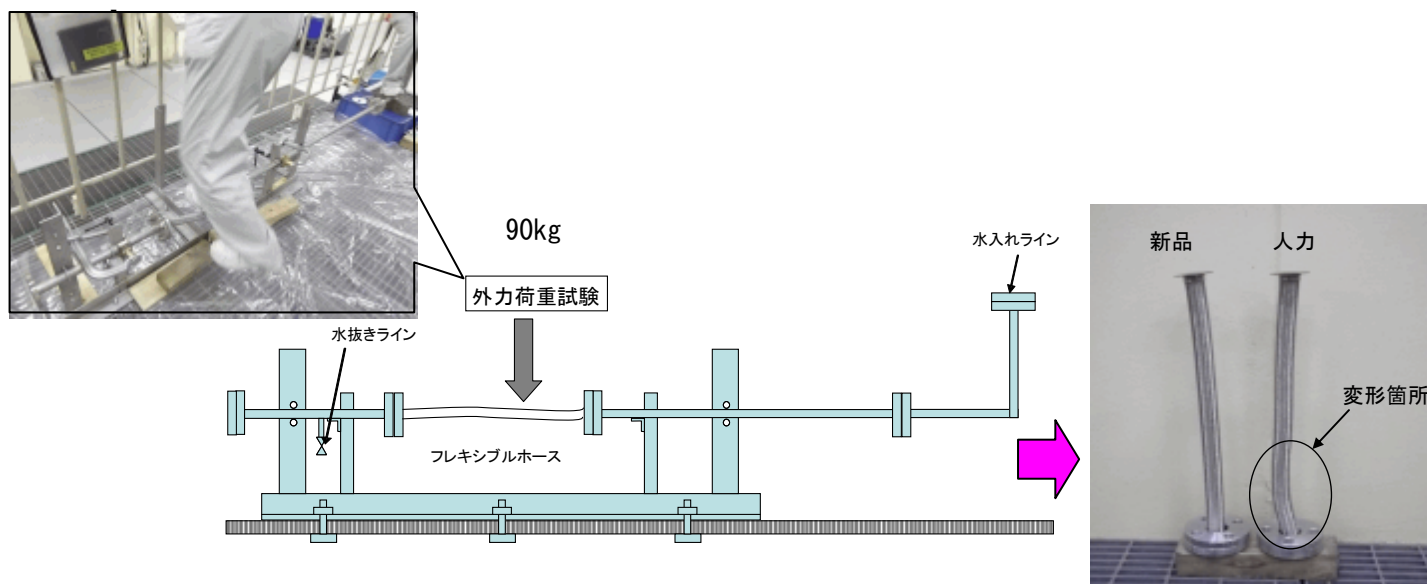
○落下物等による荷重に係る調査：外観観察及び再現試験

- ・破断したフレキシブルホースの保護カバーの外観観察の結果、保護カバーは健全であり、落下物等外力が加わった形跡はなかった。



添図—3—1 保護カバーの外観

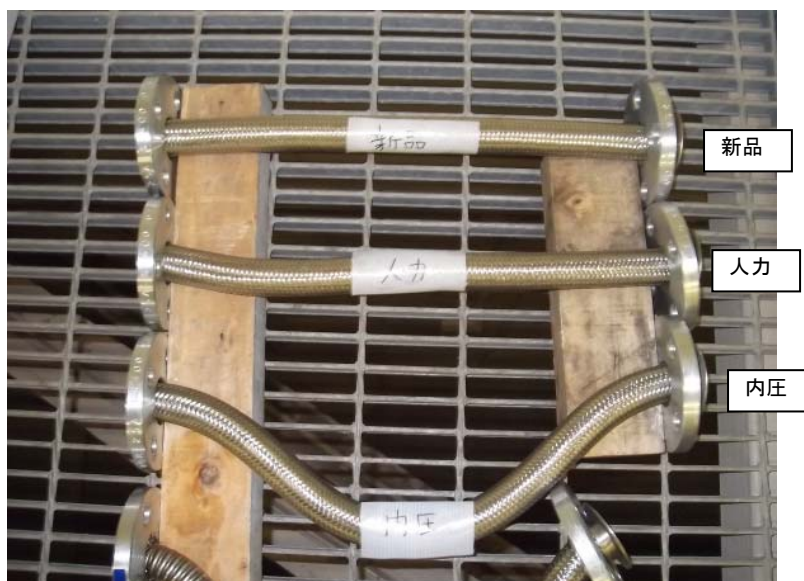
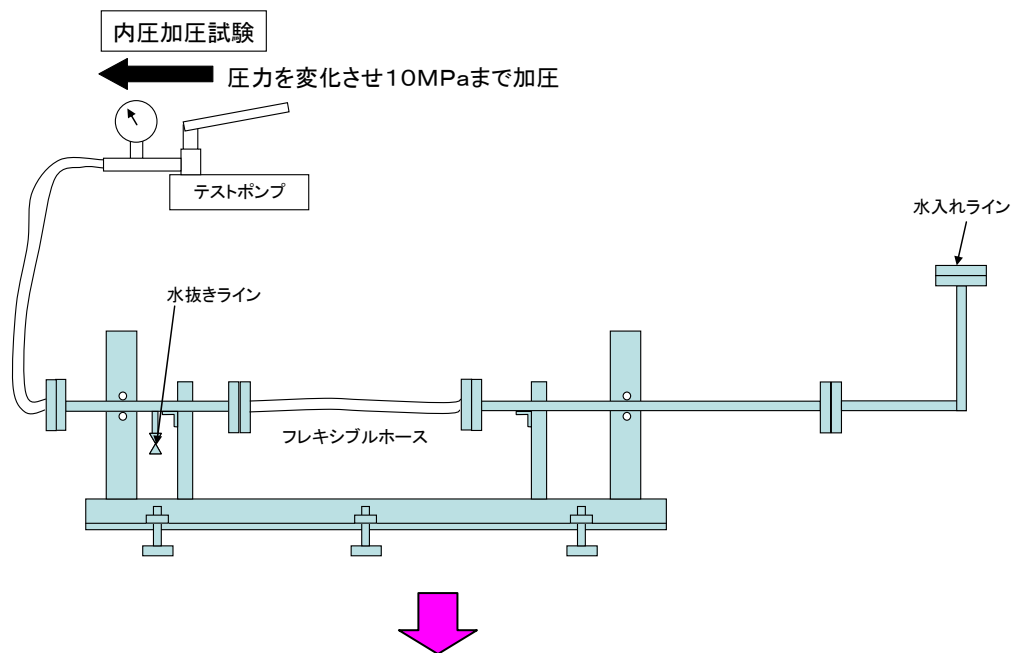
- ・破断したフレキシブルホースレイアウトを模擬し、人間がフレキシブルホースを踏みつけることにより外力を付与する試験を実施したが、破断フレキシブルホースと同様な変形は起こらなかった。



添図—3—2 外力荷重試験の概要

○内圧（温度上昇）に係る調査：再現試験

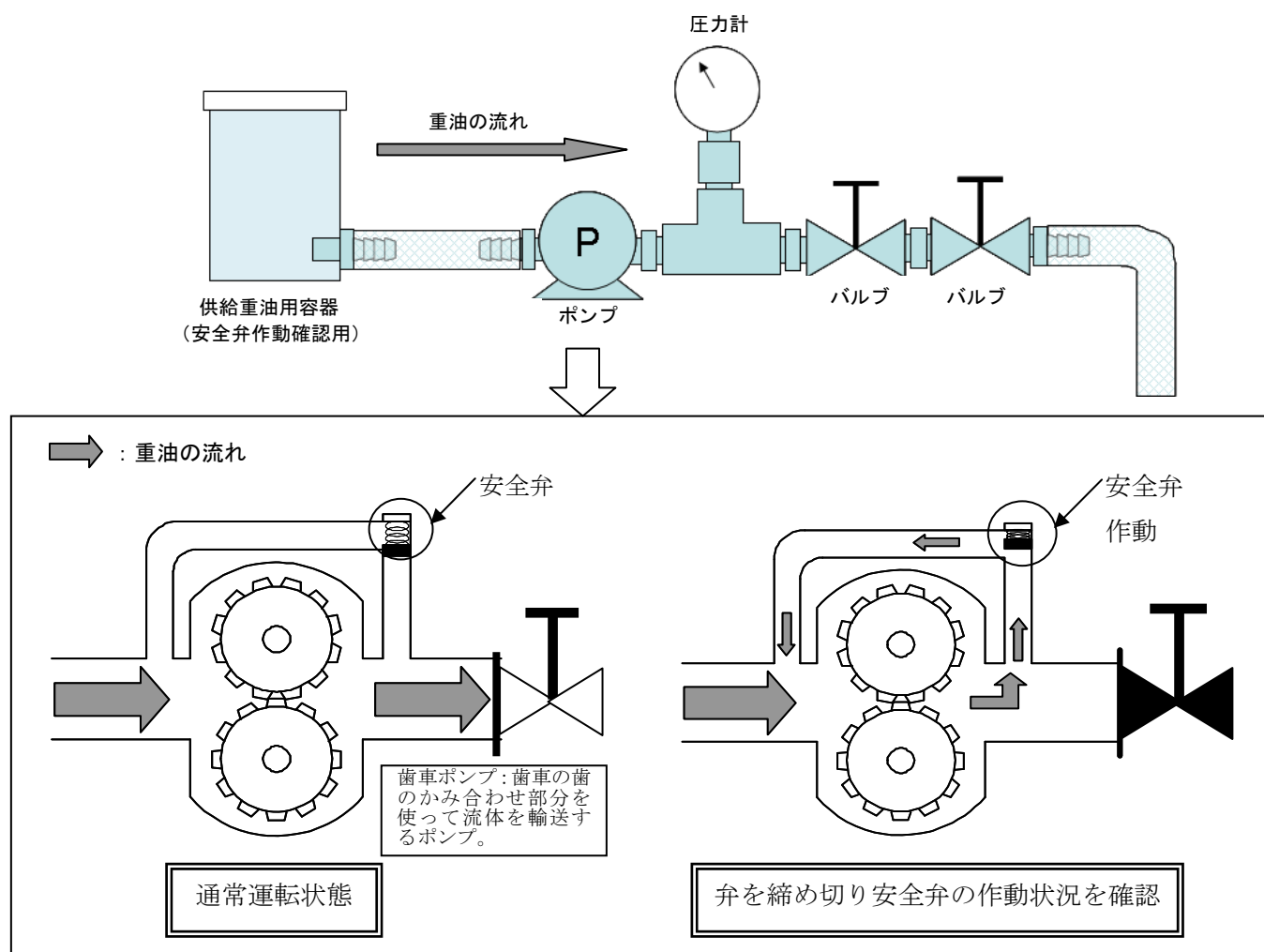
- ・当該ポンプの安全弁が規定の圧力で動作することを確認した（安全弁不作動であると異常昇圧の可能性がある）。
- ・配管およびフレキシブルホースを模擬した試験装置を用いて、10MPaまで内圧を上昇させた結果、当該のフレキシブルホースと同様な変形が見られた。



添図—4—1 内圧加圧試験の概要

○重油移送ポンプ付属安全弁作動確認

既設の重油移送ポンプを使用し、安全弁が規定の圧力（0.4MPa）で作動するかを確認した結果、吐出圧力が0.4MPa以上上昇することがなかったため、安全弁は正常に機能しているため、ポンプにより過度の内圧上昇が発生する可能性がないことを確認した。



添図—5—1 重油移送ポンプ付属安全弁作動確認の概要