

<別 添>

再処理施設前処理建屋における油漏れについて
(発生状況、原因及び再発防止対策)

【公開版】

平成20年1月11日
日本原燃株式会社

本書は記載内容のうち、内の記載事項は公開制限情報に属するものであり公開できませんので削除しております。

日本原燃株式会社

目 次

1. 事象概要	1
2. 時系列	1
3. 現場の状況	2
4. 事象発生後の処置	2
5. 漏えいした油の性質について	3
6. 油の噴き出しによる影響	3
7. 点検・調査	3
8. 推定原因	7
9. 対策及び再発防止対策	7
10. 今後のせん断処理について	8

添付資料－1	再処理事業所 構内配置図
添付資料－2	前処理建屋 3階 平面図
添付資料－3	せん断機B油圧制御ユニット油漏えい事象概要図
添付資料－4	せん断機B油圧制御ユニット油漏えい箇所概要図
添付資料－5	せん断機B油圧制御ユニット周辺油漏えい状況
添付資料－6	せん断機油圧装置B室の放射線環境測定結果
添付資料－7	破損した継手部部品の成分分析結果
添付資料－8	破損した継手部部品及びサポートの観察結果
添付資料－9	破損した継手部部品の破面観察結果
添付資料－10	油圧制御ユニット パイロット圧ライン振動計測結果
添付資料－11	電磁油圧切換弁の切換回数
添付資料－12	破損した継手部部品及び配管サポート破損に関する疲労破壊評価
添付資料－13	継手部部品の非破壊検査（PT）結果
添付資料－14	せん断機B油圧制御ユニット継手部部品破損による油漏れ事象の想定 FT 図
添付資料－15	事象進展のメカニズム

1. 事象概要

平成20年1月1日 18時頃、当直員が巡視点検を行っていたところ、前処理建屋3階せん断機油圧装置B室にて煙が発生していると判断したことから、当直長から消防署へ連絡した（煙感知器の発報はなかった）。その後、当直員の現場確認により油圧ポンプ付近から油が漏えい（噴き出し）していることを確認した。また、自衛消防隊員及び公設消防隊員により火災ではなく、油の漏えいであることが確認された。その後、現場の状況を調査したところ、漏えい箇所はせん断機B油圧制御ユニットの油圧供給配管継手部であった。漏えいした油の回収を行った結果、漏えい量は約750リットルであった（添付資料-1～3参照）。

2. 時系列

1月1日	17:30頃	巡視点検開始
	17:58	当直員が巡視点検中に前処理建屋せん断機油圧装置B室にて煙が発生していると判断
	18:01	せん断機を手動で停止
	18:05	当直長から消防署へ連絡（煙感知器は発報しなかったが、これは漏えい（噴き出し）した油が煙感知器まで到達しなかったものと推定した。）
	18:08	原子力安全・保安院 原子力防災課、保安検査官事務所等に第1報 FAX 発信（煙の発生：A情報）
	18:17	当直員が、火の気がなく、油圧ポンプ付近から油が漏えい（噴き出し）していることを確認
	18:18	油タンク油量低発報（油圧ポンプ自動停止）
	18:29	自衛消防隊員が火災ではなく、油の漏えいであることを確認
	19:20	原子力安全・保安院 原子力防災課、保安検査官事務所等に第2報 FAX 発信 （煙の発生から油漏れに変更：A情報からB情報に変更）
	19:50	原子力安全・保安院 原子力防災課、保安検査官事務所等に第2報（修正） FAX 発信 （B情報に該当する根拠を追加）
	20:47	公設消防署員が火災ではないことを確認
	21:19	漏えいが止まっていることを確認 （漏えい量は油タンク残量より約800リットルと推定）
	21:30	原子力安全・保安院 原子力防災課、保安検査官事務所等に第3報 FAX 発信（漏えいが止まっていること及び推定漏えい量を明記し、これ以上事象の進展がないことから連絡終了）
1月2日	2:30頃	溶解工程を常温に移行開始

1月2日	2:00頃～ 15:00頃	漏えいした油の回収を行った結果、漏えい量は約750リットルであった（堰内：約720リットル、堰外：約30リットル）
	18:00頃	油圧制御ユニットBの電磁油圧切換弁に接続している油圧供給配管のサポートが破損し外れていることを確認
	21:20頃	油漏れ箇所特定（油圧制御ユニットBの電磁油圧切換弁と油圧供給配管との継手部と特定）（添付資料－4参照）
1月3日	15:00頃	油漏れ特定個所の点検を実施し、油圧供給配管継手部部品が破損していること、当該継手部が漏えい箇所であることを確認
1月4日	1:30頃 13:45頃～ 17:00頃	溶解工程の液抜き後に硝酸を供給し、安定な状態へ移行 油圧制御ユニットAにおける振動計測（振幅の計測）の実施 油圧制御ユニットAについて油圧制御ユニットBで発生した油漏れ箇所と同一箇所の継手部部品の外観検査及び非破壊検査（PT）による健全性を確認（有意な傷は確認されなかった）
1月5日	10:00頃～ 12:00頃 14:00頃～ 16:00頃	新規の油圧供給配管継手部を取り付け 油圧制御ユニットBにおける振動計測（振幅の計測）の実施及び当該箇所及びその他の継手部に油漏れのないことを確認

3. 現場の状況

せん断機B油圧制御ユニットから漏れた油は、約720リットルが堰内に滞留し、約30リットルが堰外へ漏えいしていた（添付資料－5参照）。

事象発生当時の現場の線量当量率は平常値であり、表面密度及び空气中放射性物質濃度は全て検出限界値未満であることから、放射性物質による汚染等がないことを確認した（添付資料－6参照）。

4. 事象発生後の処置

せん断機は使用済燃料の約1/3を保持したまません断機を手動で停止するとともに、油圧ポンプを停止状態とした。また、溶解工程を加熱状態から常温に移行し、溶解工程の液抜き後に硝酸を供給し、せん断・溶解工程を安定な状態に移行した。

なお、せん断中に油圧制御ユニットが停止した場合は、使用済燃料のせん断が停止し、安全な状態に移行するため、他の機器に影響を及ぼすことはない。

5. 漏えいした油の性質について

本事象において漏えいした油は、第4類第4石油類の一般鉱物油^{*}であり、主に油圧ポンプ等の作動油に使用され、引火点は220℃であり、揮発性はない。

※前処理建屋における貯蔵量は消防法上の危険物の指定数量（6000リットル）未満であり、少量危険物等貯蔵取扱いとして届出を行っている。

6. 油の噴き出しによる影響

(1) 火災に至る可能性

今回の漏えいで噴き出した油は、引火点が200℃以上の第4石油類であり、揮発性が低い流体である。このような油が着火するためには、噴き出した油が大きな熱量を持つ着火源に直接接触する必要がある。

一方、当該油圧制御ユニットB周辺に裸火はなく、また、スパーク等の発生源となりうるモータ及び電気品は箱などに囲われているため、スパーク等が発生したとしても噴き出した油と触れることはない。

以上より、今回の油漏れが火災に至る可能性は低いと評価したが、今後更に詳細を評価して報告する。

(2) 建屋換気系への油の移行

今回噴き出した油は一部建屋換気系に移行した可能性があるが、移行した場合であっても、フィルタユニットにて捕集される。フィルタユニットは不燃材料又は難燃材料で構成されている。また、摩擦熱などによる発熱はなく、発火する可能性は低いと評価できる。

なお、漏えいが発生した時点の前後において、フィルタ差圧を現場で確認したところ日常管理範囲の「0.5 kPa以下」にあり、顕著な変化は確認されていないことから、フィルタの目詰まりによる負圧低下の可能性はなく、目視点検の結果においても異常はなかった。

(3) その他の影響

今回油が漏えいした前処理建屋3階せん断機油圧装置B室には、油圧制御ユニットB以外にエンドピース酸洗浄槽及びエンドピース水洗浄槽の水圧ジャッキユニットが設置されており、両装置の外表面に油が付着していたものの、油の拭き取りを行い動作確認し問題ないことを確認した。

7. 点検・調査

7. 1 材料分析

材料分析を実施した結果、破損した継手部部品の材料は炭素鋼(S25C)であることを確認した。また、破損した継手部部品に付いていた付着物はシールテープ(テフロン素材)であることを確認した(添付資料-7参照)。

なお、シールテープの一部が茶色くなっているのは、油の汚れや塗料の付着によるものと推定した。

7. 2 外観観察

破損した継手部部品の破面及び破損したサポートの破面の外観観察を実施した。

破損した継手部部品は、破損部材同士が噛合い、部分的に欠落した箇所は確認されなかった。また、破損したサポートは、2つの破損部材を確認した。

ただし、継手部部品は、事象発生時は一部はつながっていて調査のための取り外し作業において完全に破断した可能性もある。

なお、油圧制御ユニットAは固定性のよいUバンドのサポートを使用しており、油圧制御ユニットBでは片サドル型の配管サポートを使用していた。

(添付資料－8参照)

7. 3 破面観察

破損した継手部部品の破面及び破損したサポートの破面を走査型電子顕微鏡により観察を実施した。その結果、破損した継手部部品及び破損したサポートの両方の破面において、材料欠陥(巣、介在物)は観察されず、金属疲労特有のストライエーションが確認された。

また、破面観察の結果、継手部部品の亀裂起点は、ネジ谷部付近の複数の箇所から発生し、ネジ谷部の複数の箇所(220°付近)から対面方向に亀裂が進展し、亀裂起点と対面側(0°付近)に最終破断部が確認された。

サポートはネジ穴を横切る形(水平方向)で破断しており2箇所の破断面がある。破損継手部に近い側の破面は、サポートの表裏の両側にそれぞれ亀裂起点がありそれぞれの起点から亀裂が進行し、中間付近に最終破断部が確認された。一方、破損継手部に遠い側の破面は、サポートの裏側に亀裂起点があり、表側に向かって亀裂が進展し、表側で最終破断部が確認された(添付資料－9参照)。

7. 4 振動計測(振幅の計測)

油漏れが発生した油圧制御ユニットBの電磁油圧切換弁への油供給ライン及び油圧制御ユニットAの電磁油圧切換弁への油供給ラインについて振動計測を実施した。油圧制御ユニットBの電磁油圧切換弁への油供給ラインの振動計測は、油圧供給配管のサポートが破損していたことから、サポート有り(振動計測のためにサポートを設置したものであり、破損したサポートより配管の固定性がよい)の場合とサポートなしの場合の2ケースについて実施した(添付資料－10参照)。

なお、振動計測を実施するにあたり、計測位置として以下の3点を選定した。

- ・ A点：燃料補助押さえ用の電磁油圧切換弁位置
- ・ B点：破損した継手部付近(破損した継手部位置は狭隘部であり、測定が困難であるため)
- ・ C点：破損したサポート位置

主な計測結果は以下のとおり。

(1) 継手部部品

① 油圧制御ユニットA

継手部部品付近での振幅は、水平方向で下表のとおりであった。

	作動対象	A点	B点
サポート有り	燃料補助押さえ	0.005 mm	0.028 mm

② 油圧制御ユニットB

継手部部品付近での振幅は水平方向で下表のとおりであった。

	作動対象	A点	B点
サポート有り	燃料補助押さえ	0.013 mm	0.021 mm
サポートなし	燃料補助押さえ	0.016 mm	0.056 mm

(2) サポート（油圧制御ユニットB）

サポート付近での振幅は、水平方向で下表のとおりであった。

	作動対象	C点
サポート有り	燃料補助押さえ	0.014 mm
サポートなし	せん断刃ホルダ	0.128 mm

7. 5 運転実績

油漏れが発生した油圧制御ユニットBの電磁油圧切換弁のこれまでの切換回数は約 2×10^5 回であり、また、油圧制御ユニットAの切換回数は約 2×10^5 回である（添付資料－11参照）。

7. 6 解析評価

「7. 4 振動計測の結果」及び「7. 5 運転実績」をもとに破損した継手部部品及び破損したサポートについて疲労強度評価を実施した。

振動計測より得た変位から片持ち梁モデルを用いて繰り返しピーク応力を算出し、繰り返し回数約 2×10^5 に対する疲労破壊応力と比較し評価を実施した（添付資料－12参照）。

(1) 継手部部品（油圧制御ユニットB）

① 破損した継手部位置において、サポートなしの場合の振動計測結果から得た変異に対する応力値が、繰り返し回数約 2×10^5 に対する疲労破壊応力値を上回っているため、疲労破壊する可能性がある。

② 破損した継手部位置において、サポート有りの場合の振動計測結果から得た変異に対する応力値が、繰り返し回数約 2×10^5 に対する疲労破壊応力値を下回っているため、疲労破壊する可能性は低い。

継手部部品の疲労強度評価結果は下表のとおりである。

		計測変位 (A点とB点の変位の差) から算出した 繰り返しピーク応力	繰り返し回数約 2×10^5 回に 対する疲労破壊 応力	評価
①	サポートなしの場合	314 MPa	220 MPa	疲労破壊する可能性 がある
②	サポート有りの場合	63 MPa		疲労破壊する可能性 は低い

(2) サポート (油圧制御ユニット B)

①破損したサポート位置において、サポートなしの場合の振動計測結果から得た変異に対する応力値が、繰り返し回数約 2×10^5 に対する疲労破壊応力値を上回っているため、疲労破壊する可能性がある。

②破損したサポート位置において、サポート有りの場合の振動計測結果から得た変異に対する応力値が、繰り返し回数約 2×10^5 に対する疲労破壊応力値を下回っているため、疲労破壊する可能性は低い。

サポートの疲労強度評価結果は下表のとおりである。

		計測変位から算出した 繰り返しピーク応力	繰り返し回数約 2×10^5 回に 対する疲労破壊 応力	評価
①	サポートなしの場合※ ¹	593 MPa	220 MPa	疲労破壊する可能性 がある
②	サポート有りの場合※ ²	65 MPa		疲労破壊する可能性 は低い

※¹ : 固定性の悪い片サドル型のサポートを設置した場合を想定

※² : 固定性の良い片サドル型のサポートを設置した場合を想定

7. 7 類似箇所の健全性確認結果

油圧制御ユニットには、今回油漏れの発生した電磁油圧切換弁への油圧供給配管は3箇所ある。

油圧制御ユニット Bにおいて、今回破損した継手部部品以外の電磁油圧切換弁と油圧供給配管との2箇所の継手部部品について外観検査及び非破壊検査 (PT) を実施したが、有意な傷は確認されなかった。

また、油圧制御ユニット Aにおいて、電磁油圧切換弁と油圧供給配管との3箇所の継手部部品について外観検査及び非破壊検査 (PT) を実施したが、有意な傷は確認されなかった (添付資料-13参照)。

7. 8 油圧制御ユニットの点検

今回、サポート及び継手部部品の破損により油圧制御ユニットにおいて油漏えい事象が発生した。このことから、A及びB系列の油圧制御ユニット内の全てのサポート及び継手部部品について外観や取り付けに問題ないことを確認した。また、系統に運転圧力を加えた状態で、全ての継手部部品から油の漏えいがないことを確認した。

8. 推定原因

原因は、配管サポートの固定性が十分でなかったため、電磁油圧切換弁の作動時の振動によって、継手部と配管サポートに金属疲労が発生し、破損したものと推定した（添付資料－14参照）。

サポート部と継手部に関して計算により求められた繰り返しピーク応力を比較すると、サポート部のピーク応力の方が継手部より大きいことがわかった。また、事象発生後の現場確認時には、サポートは破損しており、継手部部品は継手部に残っていた。このことより、先にサポート部が破断し、サポート部の保持機能がなくなったため、継手部に大きな応力がかかり継手部の破損に至ったと推定した。

サポート部においては、破損継手部に遠い側と近い側が破損した。破損継手部に遠い側は、亀裂が裏側から起こり表側に至って破断していることから先に破断したと推定した。破損継手部から近い側は、ネジ穴側と外側の両方から亀裂が進行して中間付近に至って破断していることから後で破断したと推定した。（添付資料－9（2/2）参照）。

本件の進展メカニズムを添付資料－15のとおりと推定した。

9. 再発防止対策

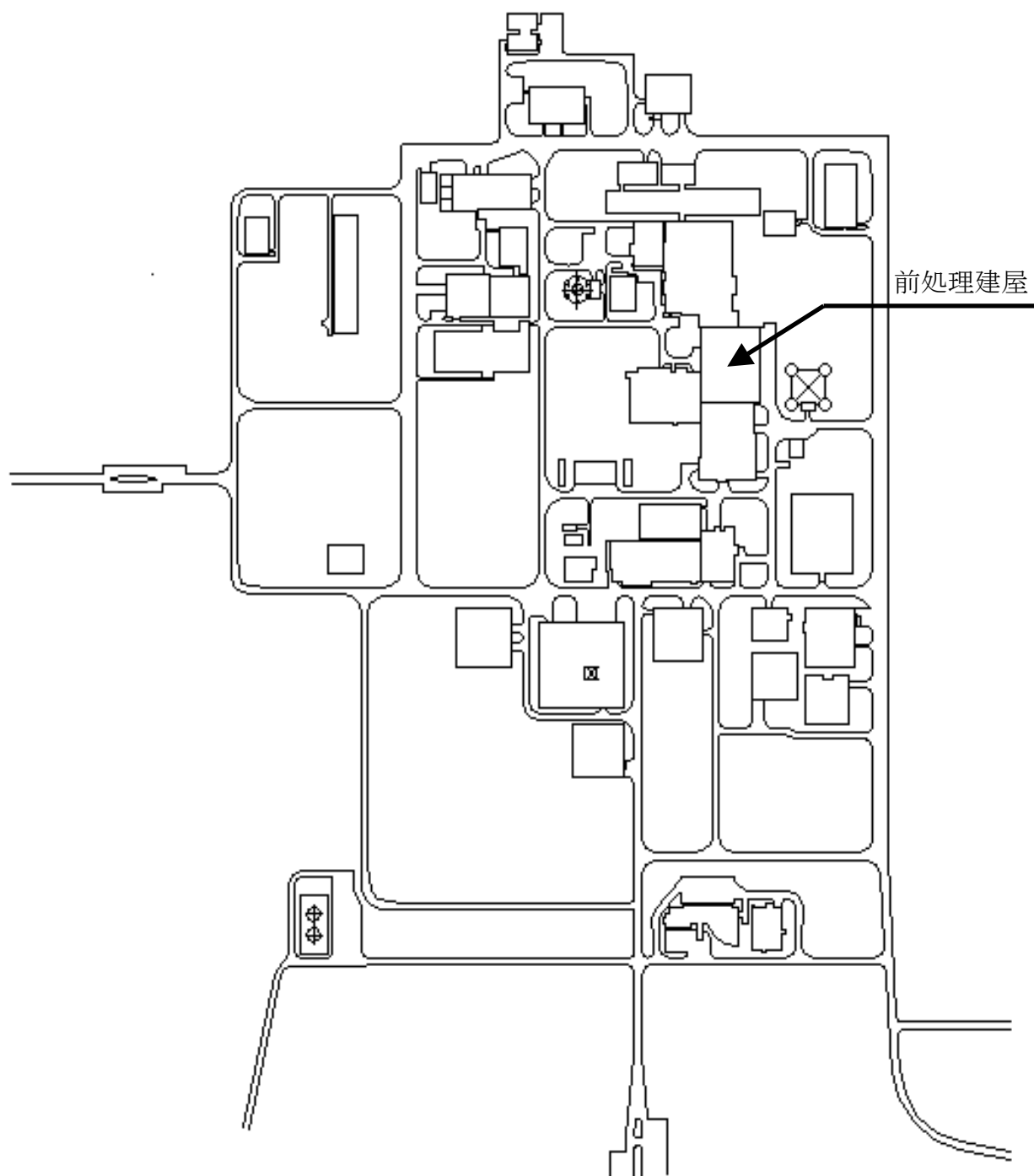
- (1) 破損した継手部部品及び配管サポートを新規品と交換する。配管サポートの交換にあたり、解析評価の結果より、破損したサポートは固定性が十分ではなく振動に伴う金属疲労により破断したのに対し、振動計測のために片サドル型のサポートを確実に固定した場合は、疲労破壊する可能性は低いことが確認された。このため、破損したサポートの型式を片サドル型から、より固定性に優れたUバンド型に変更する。
- (2) 油圧制御ユニットの配管から油が漏れた場合の措置として、油圧ポンプを止める操作を手順書に定める。
- (3) 多量の油の漏えいを防止するため、油圧ポンプを自動停止させるための措置を検討し、計画的に実施する。
- (4) 過去に実施した定期設備点検（年1回程度）において、当該部位の目視確認を行っていなかったことから、A系及びB系列の油圧制御ユニットのサポート及び継手部部品について、外観を含む据付状態の確認及び運転圧力による継手部部品からの油の漏えいの有無の確認を念のため年1回実施する計画とする。

なお、本事象に係るその他の設備に対する水平展開については、推定原因を踏まえ検討し今後報告する。

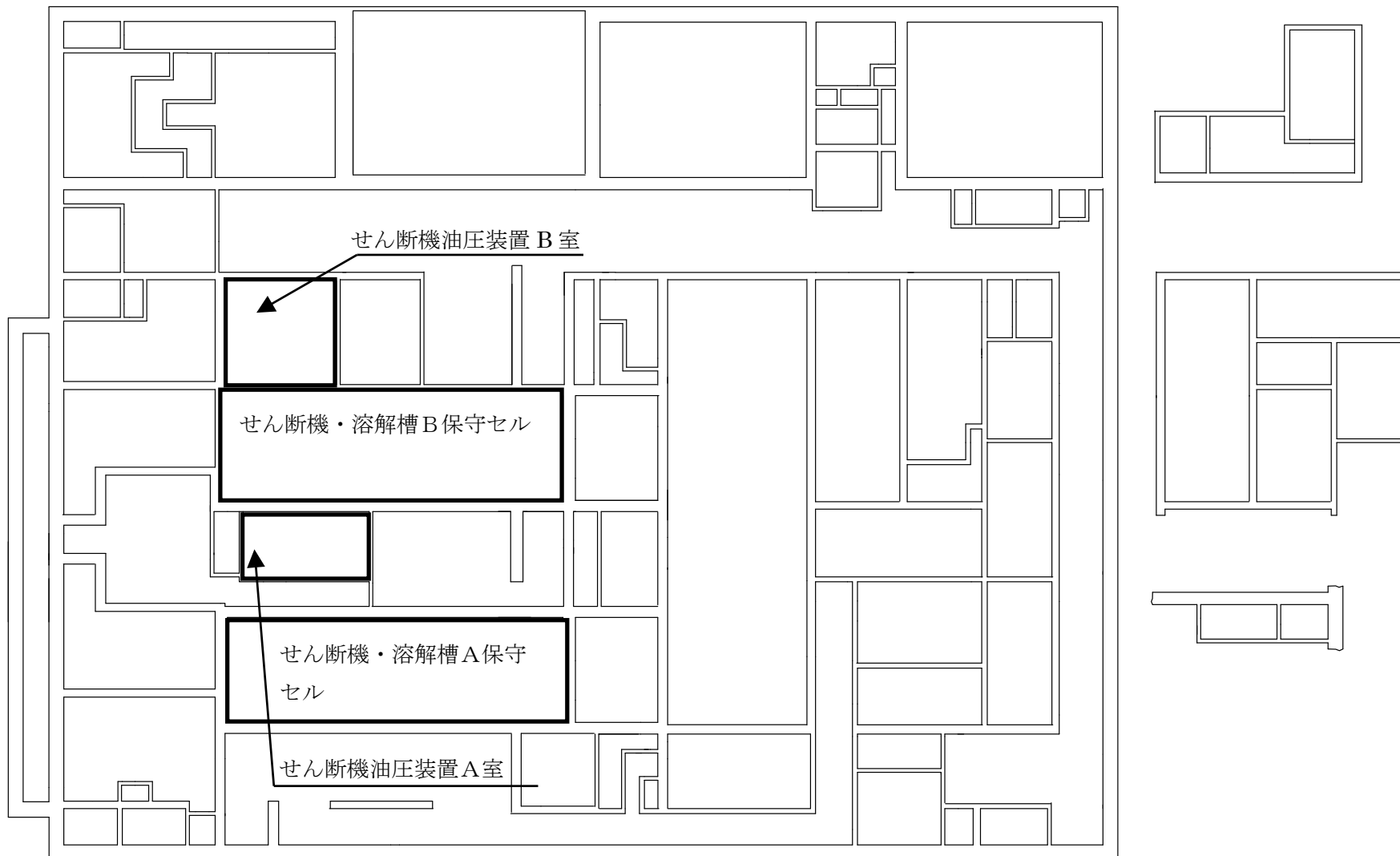
10. 今後のせん断処理について

今回発生した事象については、「9. 再発防止対策(1)、(2)」に示す油圧制御ユニットに対する対策を実施する。本対策を実施することにより当該設備の健全性は確保できることから、現在、せん断機内に保持している約1／3体の使用済燃料を処理し、引き続き高レベル廃液ガラス固化建屋のガラス固化試験に必要な廃液を確保するためのせん断処理を行うこととする。

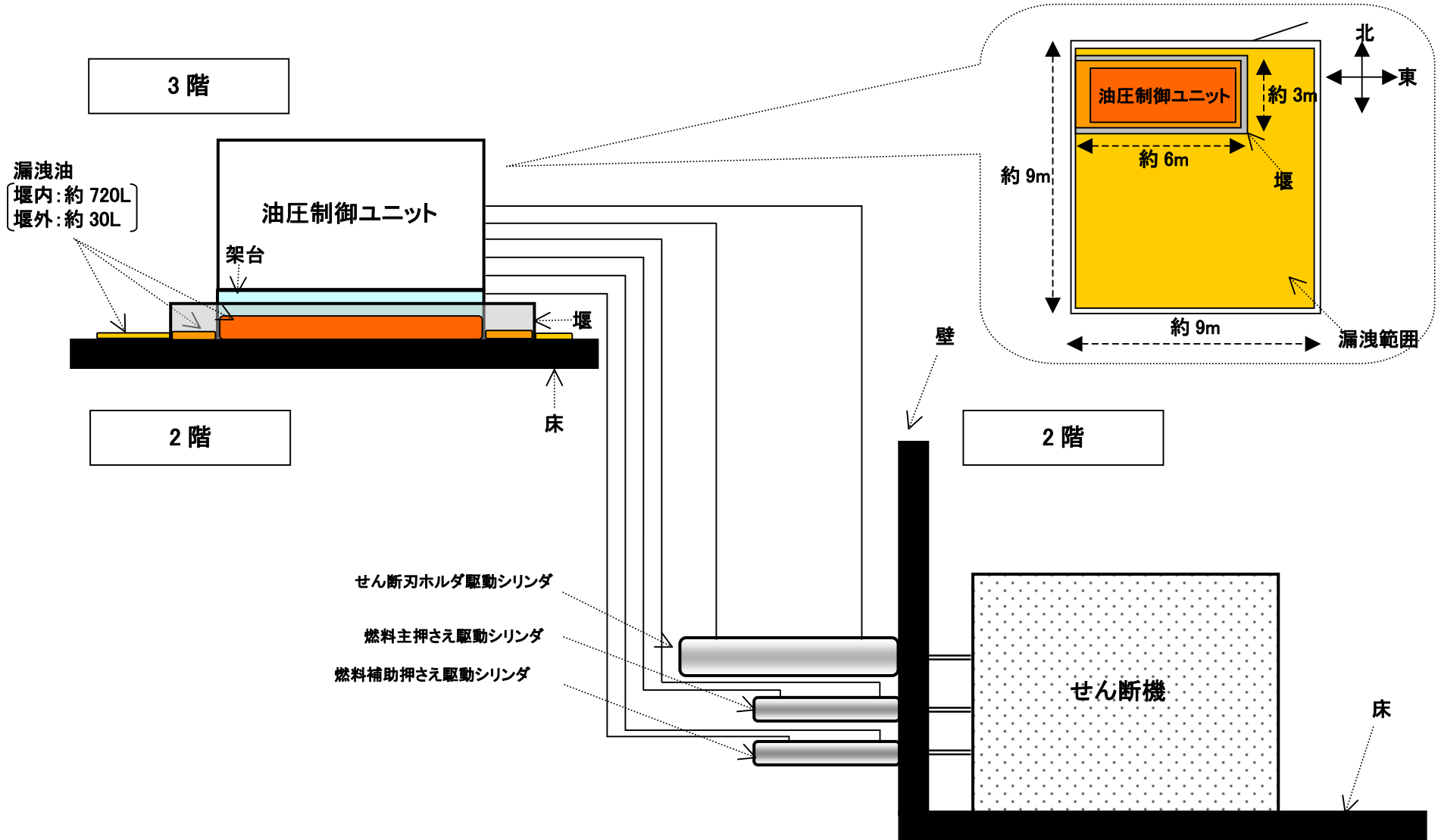
以 上



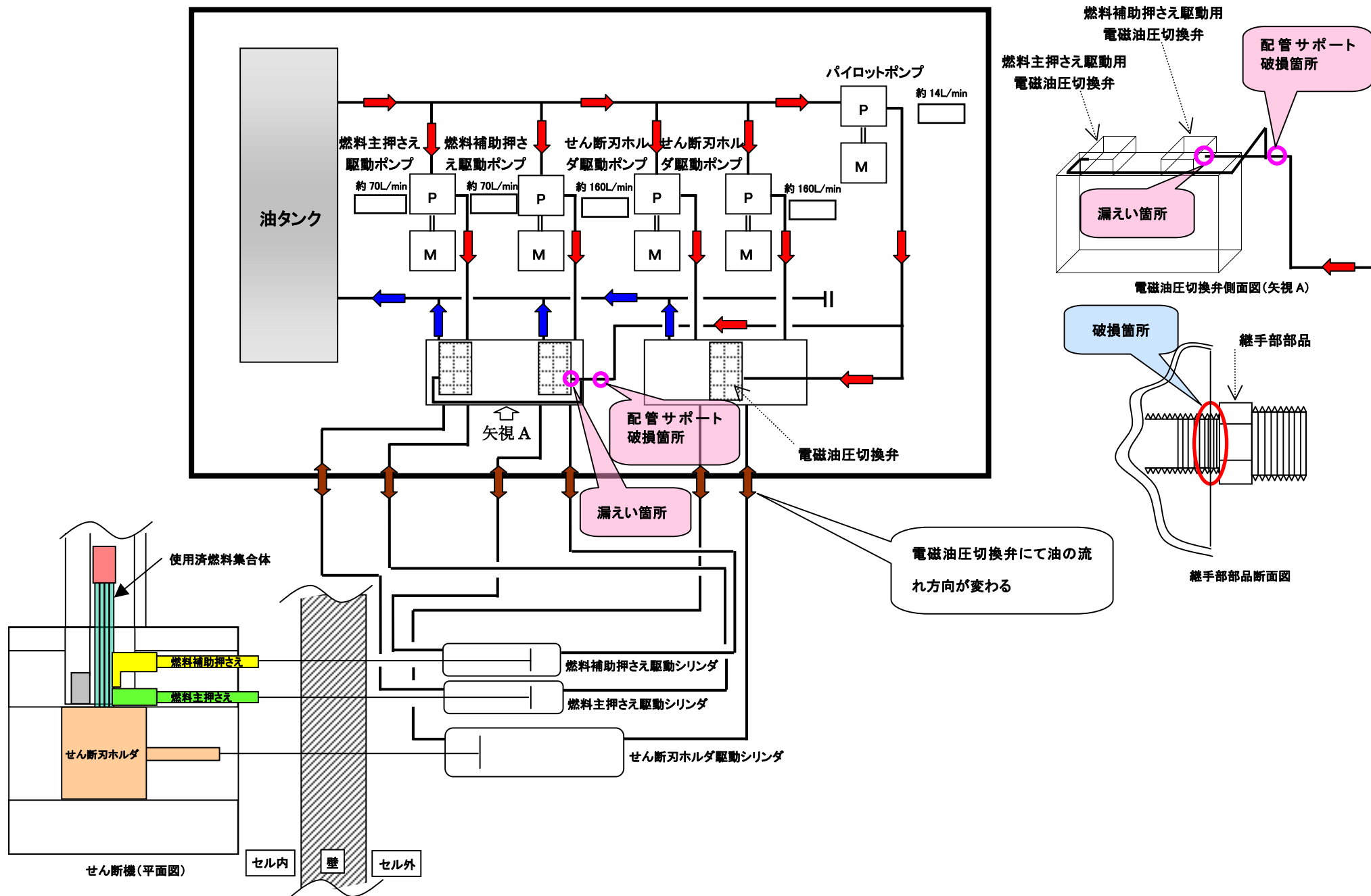
再処理事業所 構内配置図



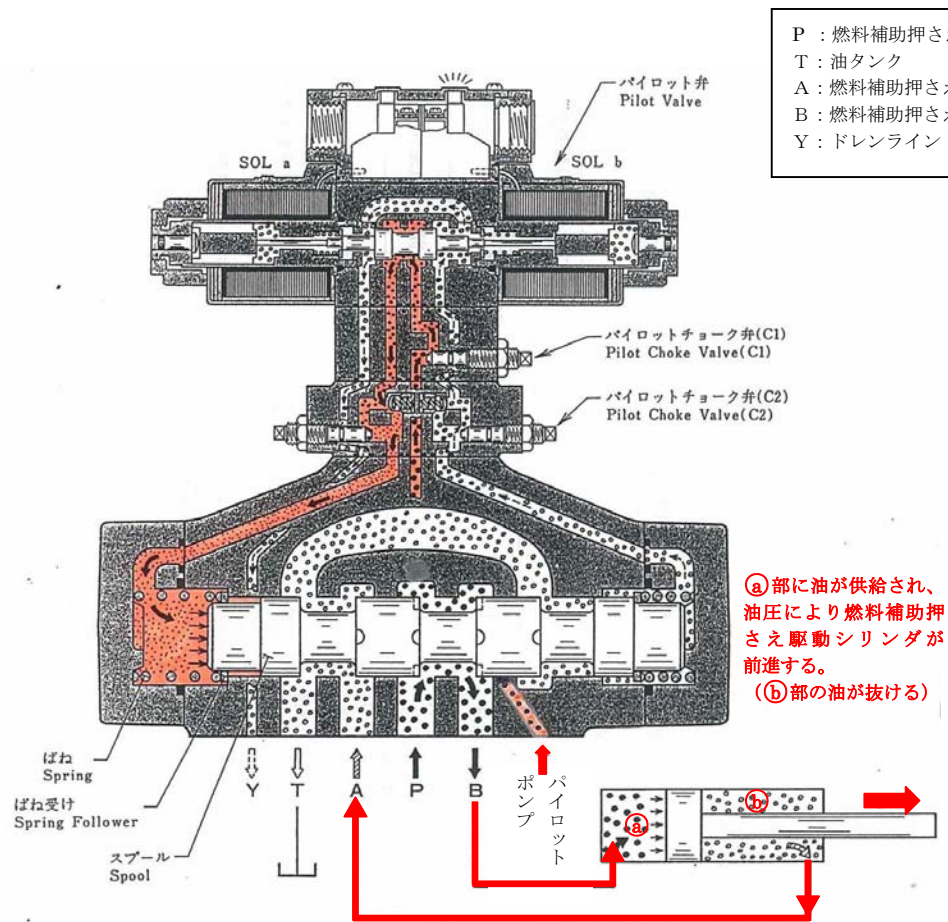
前処理建屋 3階 平面図



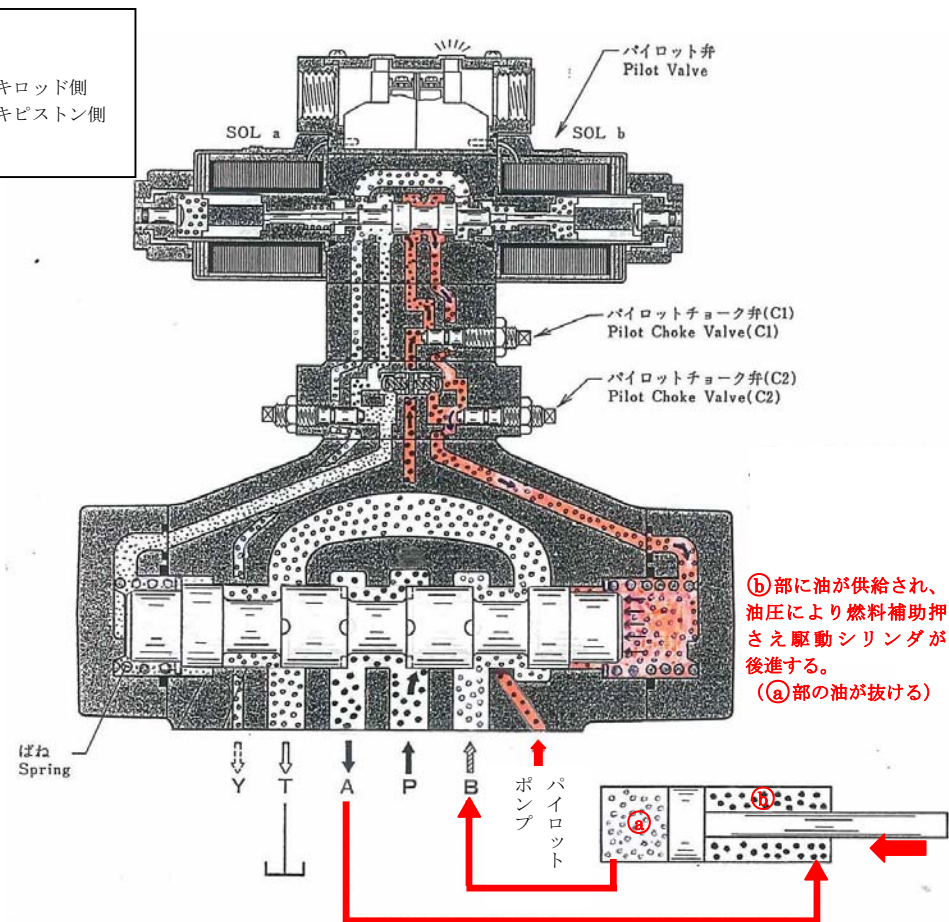
せん断機 B 油圧制御ユニット油漏えい事象概要図



せん断機 B 油圧制御ユニット油漏えい箇所概要図

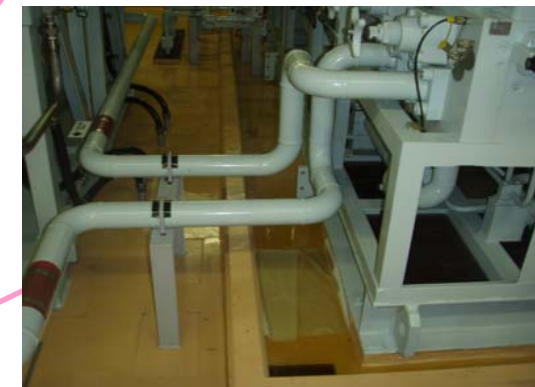
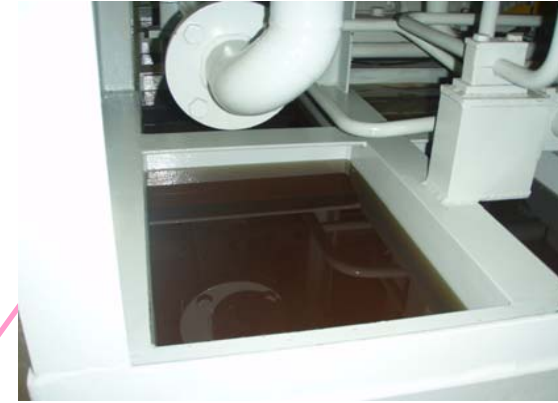
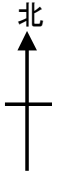


燃料補助押さえ前進（燃料押さえ動作）時



燃料補助押さえ後進（燃料離し動作）時

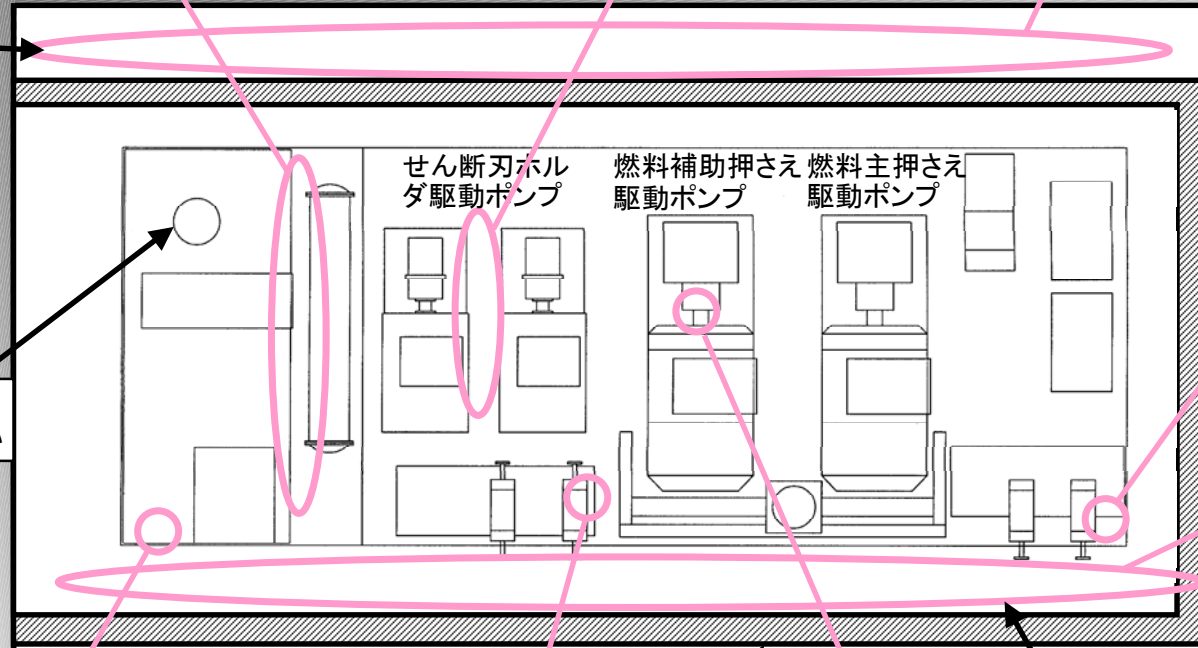
電磁油圧切替弁の動きについて



堰外に約30リットル

壁

油圧制御ユニット架台
底部に全体的に漏えい



堰

堰内に約720リットル

矢視A

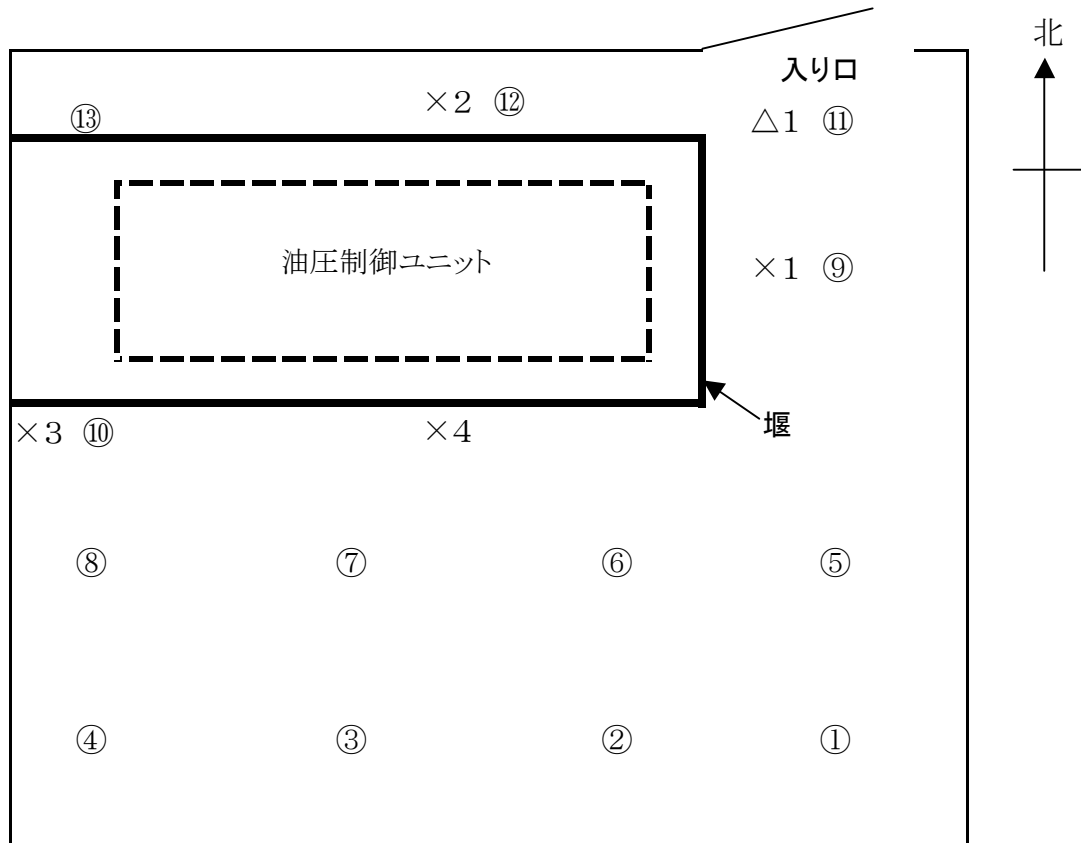


破損部位



油圧制御ユニット全景(矢視A)

せん断機B油圧制御ユニット周辺油漏えい状況



◎測定年月日：2008年1月1日 20:15～20:30

○線量当量率

- ・測定結果：全て検出限界値未満
 γ 線： $<1.0 \mu\text{Sv/h}$
 n 線： $<1.0 \mu\text{Sv/h}$
- ・測定ポイント：×1～×4（床上 1.2 m）

○表面密度

- ・測定結果：全て検出限界値未満
 α ： $<1.7\text{E-}02 \text{ Bq/cm}^2$
 β ： $<3.3\text{E-}02 \text{ Bq/cm}^2$
- ・測定ポイント：①～⑬

○空气中放射性物質濃度

- ・測定結果：検出限界値未満
 α ： $<1.6\text{E-}09 \text{ Bq/cm}^3$
 β ： $<3.1\text{E-}09 \text{ Bq/cm}^3$
- ・測定ポイント：△1（床上 1mで試料採取）

せん断機油圧装置B室の放射線環境測定結果

破損した継手部部品の成分分析結果

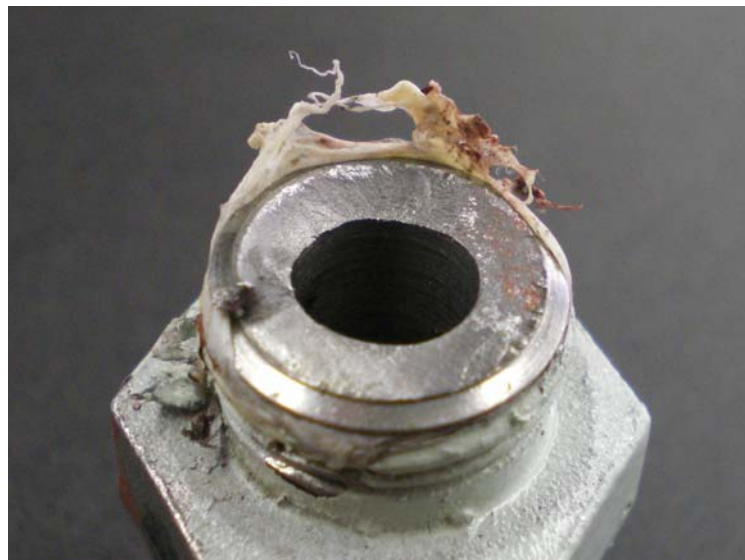
破損した継手部部品の組成分析を行い、材質を確認した結果、以下のとおりであり、炭素鋼（S25C）であることを確認した。

	C	S i	M n	P	S	N i	C r	C u	N i + C r
損傷品	0.24	0.18	0.34	0.009	0.009	0.03	0.04	0.015	0.07
JIS 規定 (S25C)	0.22～ 0.28	0.15～ 0.35	0.30～ 0.60	≤0.030	≤0.035	≤0.20	≤0.20	≤0.30	≤0.35

破損した継手部部品の付着物の成分分析結果

破損した継手部部品に付着していた白色（一部茶色）の付着物の組成分析を行った結果、付着物はテフロン素材のシールテープであると判断した。

（以下写真参照）



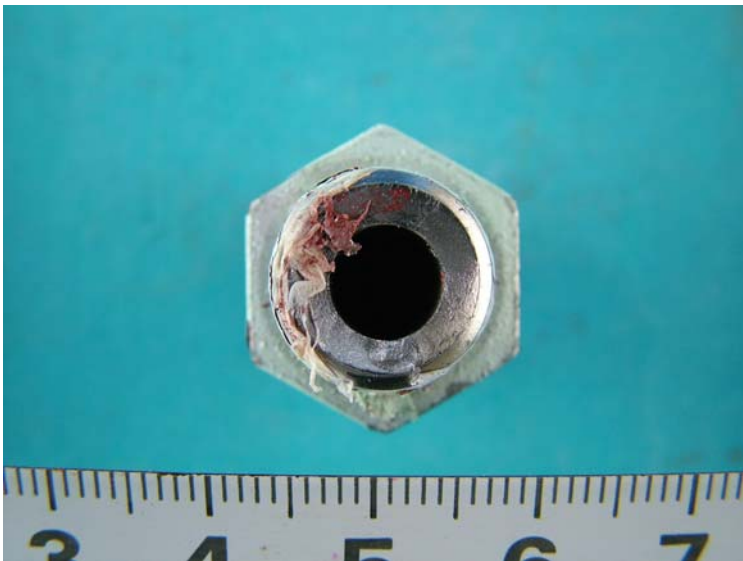
破損した継手部部品及び付着物の成分分析結果



破損した継手部部品
(小) + (大)

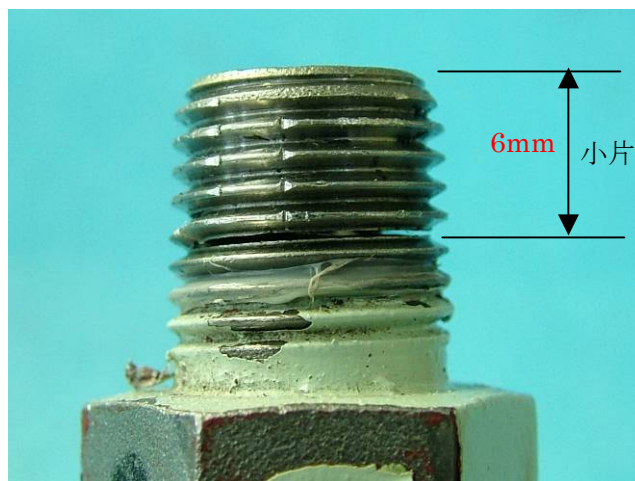


破損した継手部部品 (小)
破断面

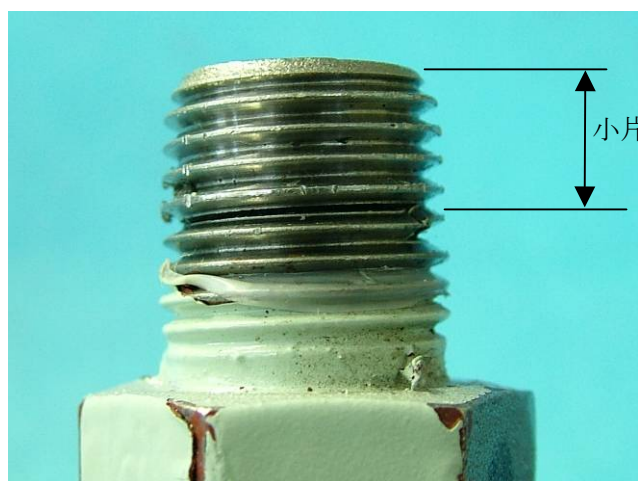


破損した継手部部品 (大)
破断面

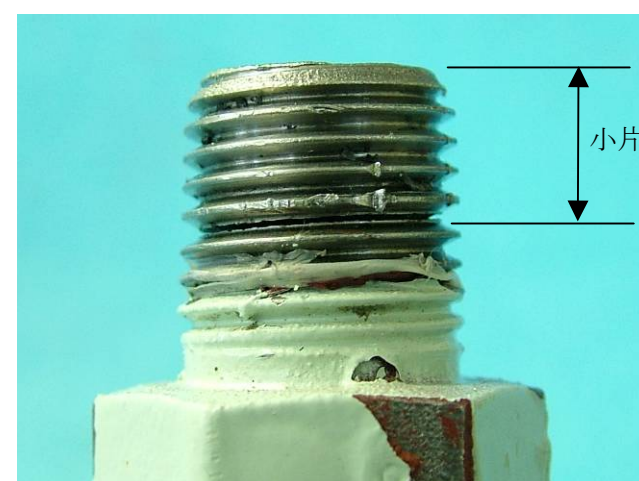
破損した継手部部品及びサポートの詳細確認結果



60°

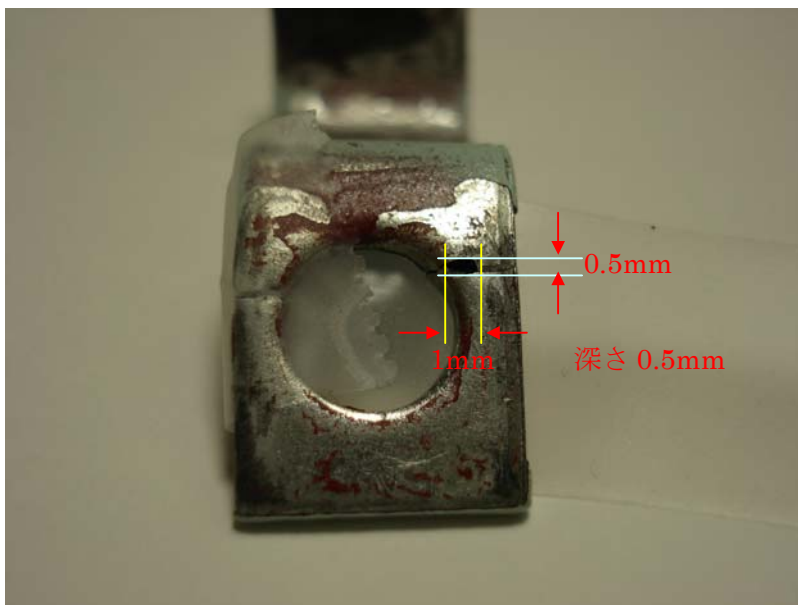
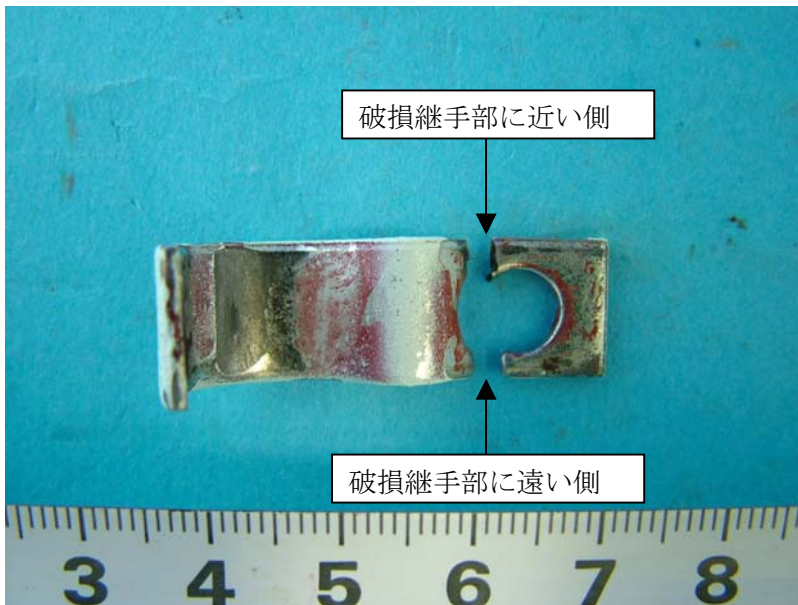
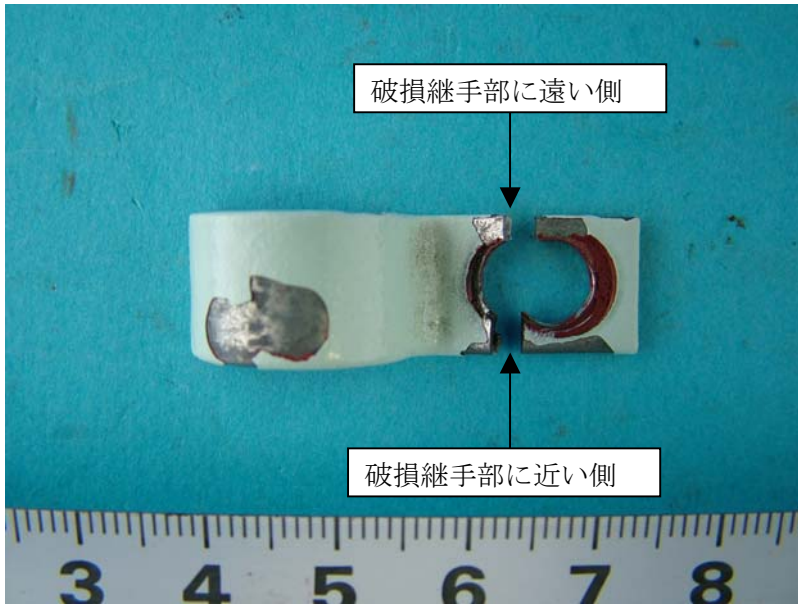


180°

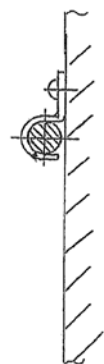
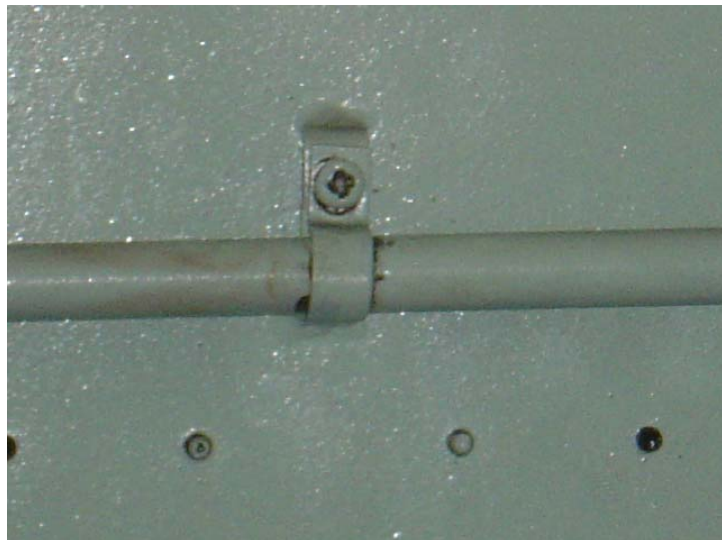


300°

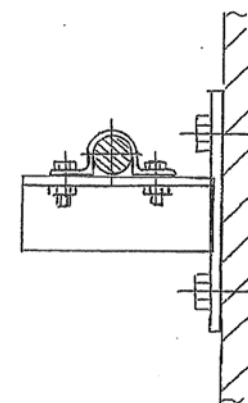
継手部 (大) (小) の破損品破面を合わせたところ、相互に嵌り合い、部分的な欠落は認められなかった。



破損したサポートは 2 つの破損部材を確認 (一部欠損を確認)



片サドル型サポート
(油圧制御ユニットB)

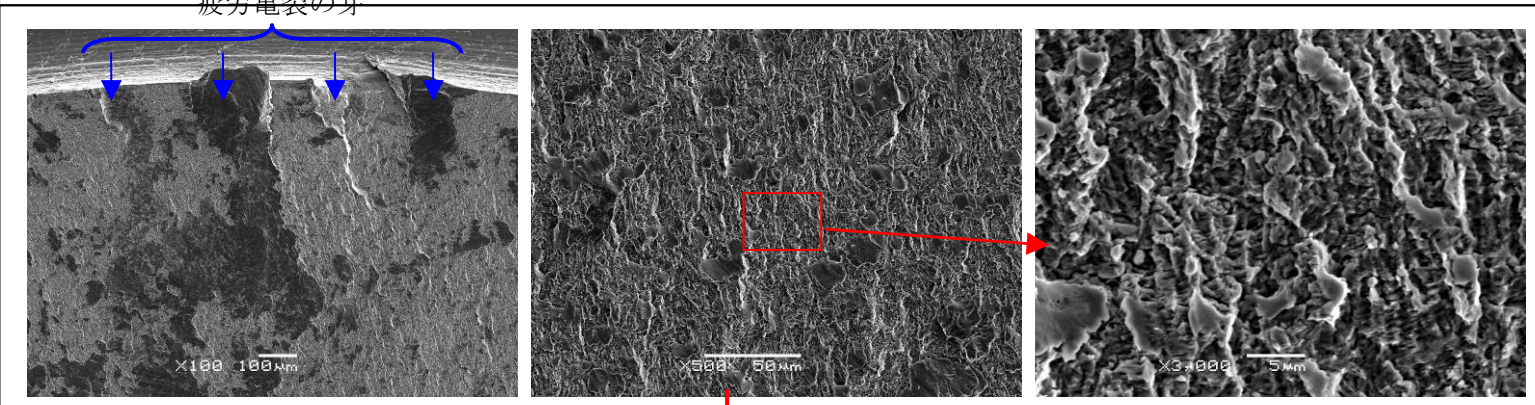


Uバンド型サポート
(油圧制御ユニットA)

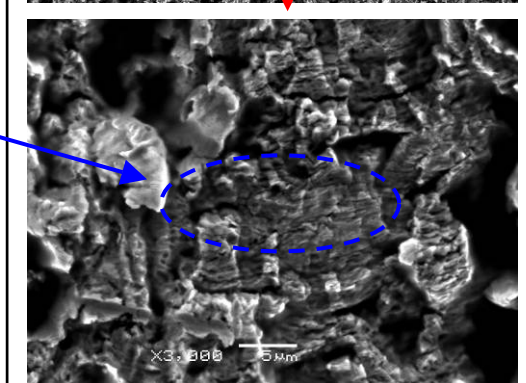
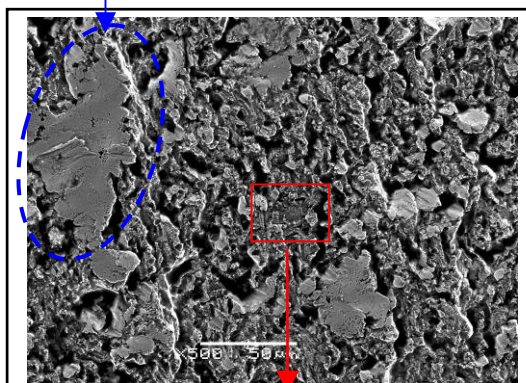
配管サポートの比較

破損した継手部部品の破面観察結果

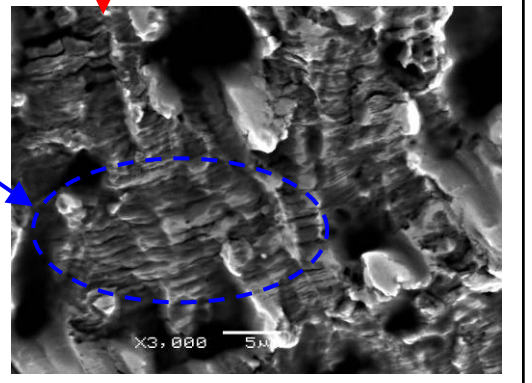
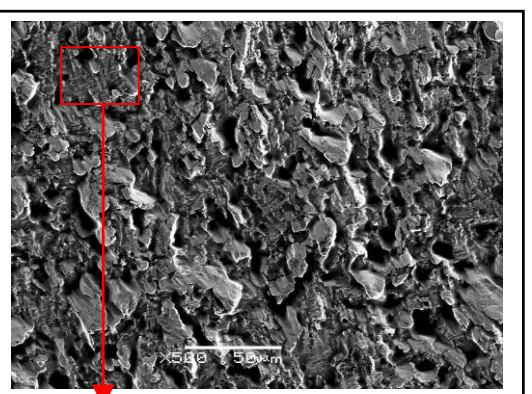
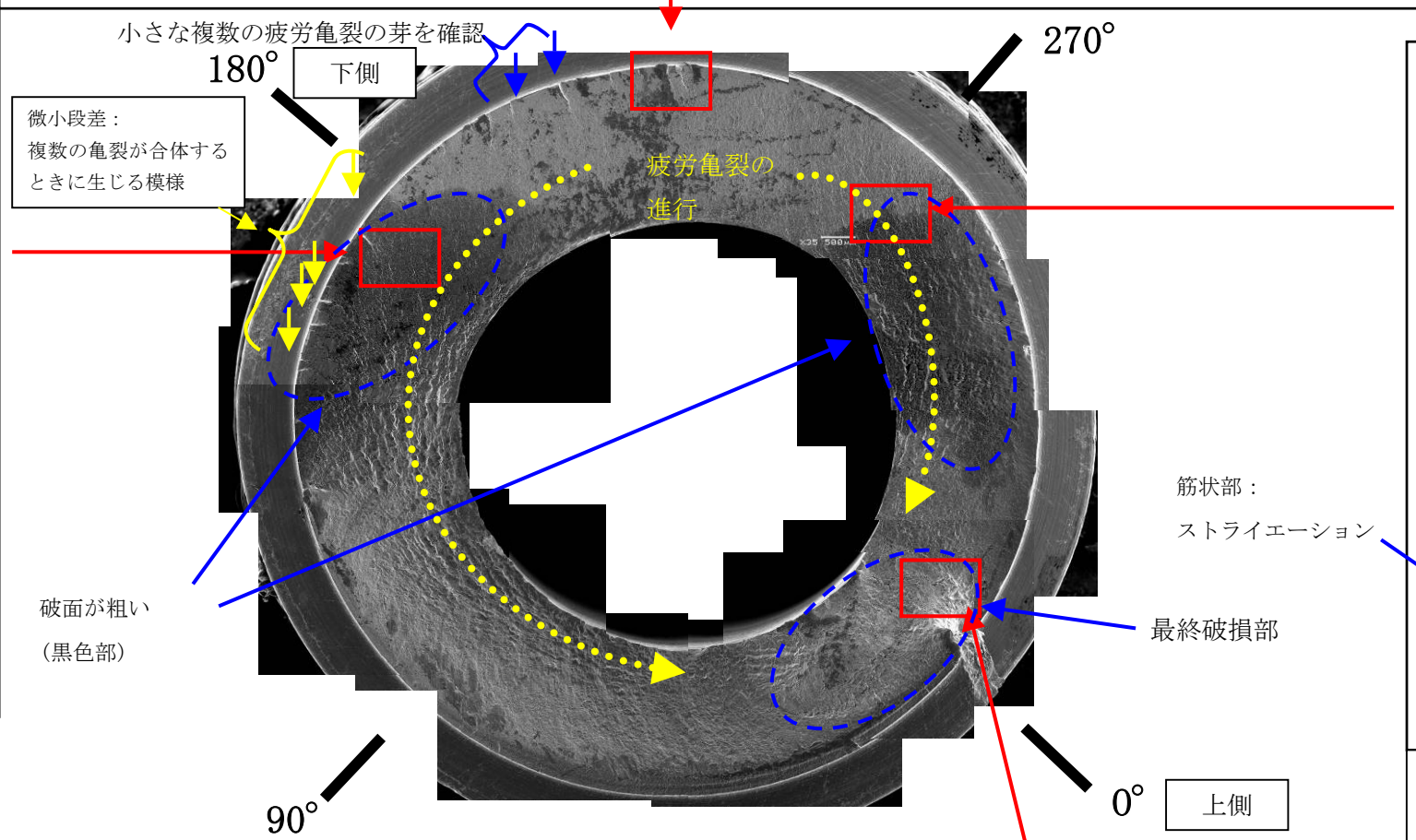
<起点部>
 起点が1箇所ではなく、隣接した複数の疲労亀裂の芽が発生し疲労亀裂が進展している。材料欠陥（介在物や巣）が認められないことから、材料欠陥を起点とした疲労亀裂ではなく、応力集中部等において繰返し応力により疲労亀裂が発生したものと見える。



表面の潰れ：
 破損後、破面がぶつかり合い、潰れた跡
 （疲労亀裂の進展は、潰れがない部分で観察）

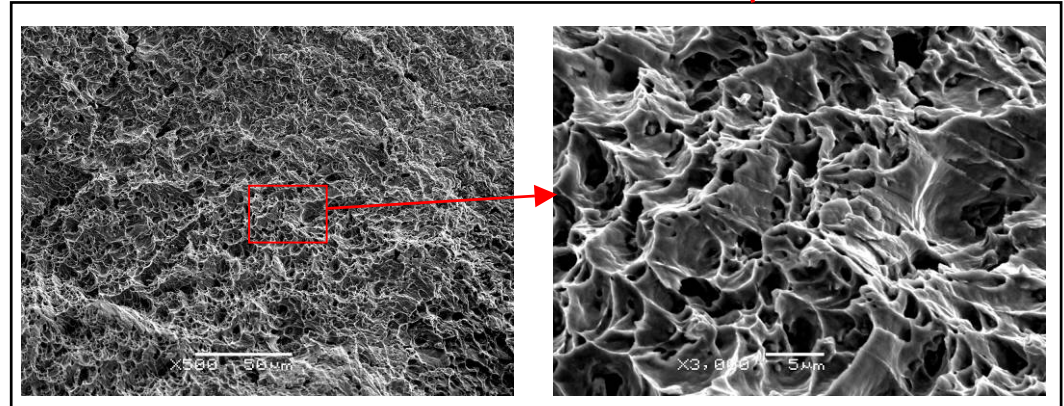


<疲労亀裂進展部>
 高倍率の写真（下段）において疲労亀裂の特有のストライエーションが観察される。



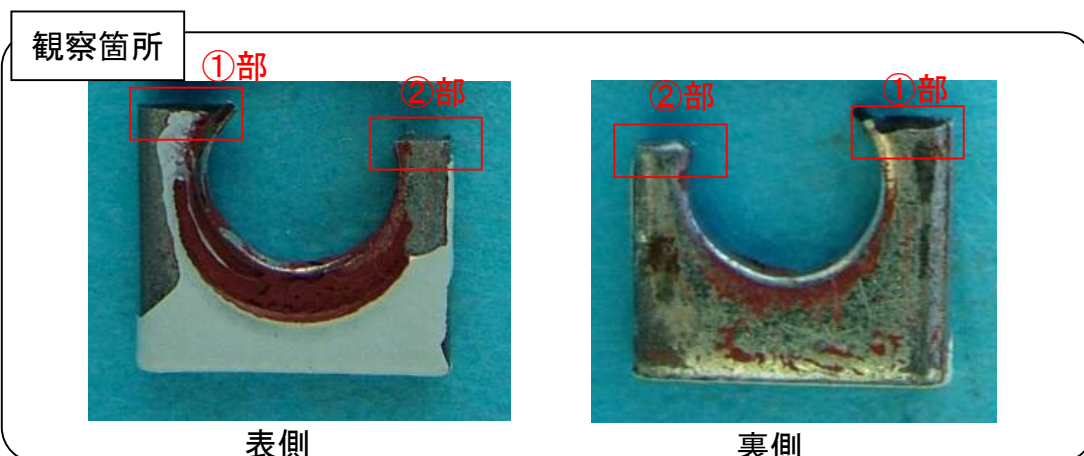
<疲労亀裂進展部>
 高倍率の写真（下段）において疲労亀裂の特有のストライエーションが観察される。

- <まとめ>**
- 1) 低倍率走査型電子顕微鏡写真（中央のリング状の写真）の上部（外周のねじ底部）から疲労亀裂が発生している。
 - 2) 破面上には問題となるような材料欠陥は認められず、欠陥を起点とした疲労ではない事が分かる。
 - 3) 亀裂はねじ底に沿う形で左右に進展。進展部には疲労破面の特徴であるストライエーションが確認された。
 - 4) 左右の亀裂が一周した位置で、ねじ山1ピッチ分の段差をつなぐように亀裂が合体。この部分はディンプルパターンが観察され、ここで破断した事を示している。



<最終破損部>
 大きな力が作用してここで破断した際に現れる「ディンプルパターン」が確認される。
 （油漏えい時ではなく、継手部部品取外し時に破損した（引きちぎった）可能性も有る）

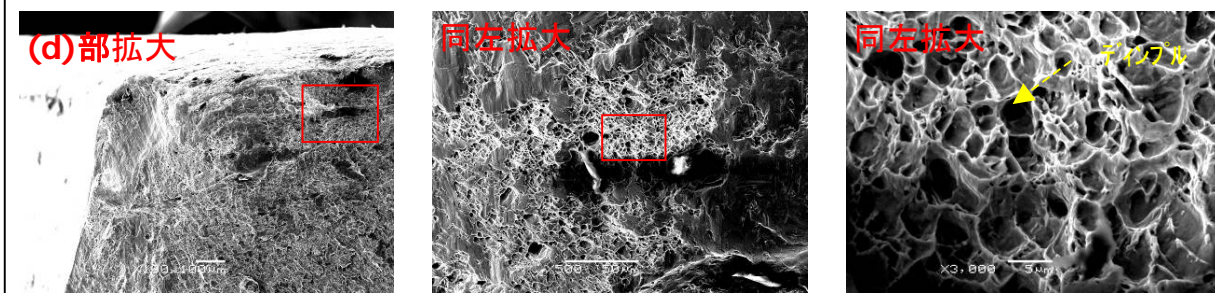
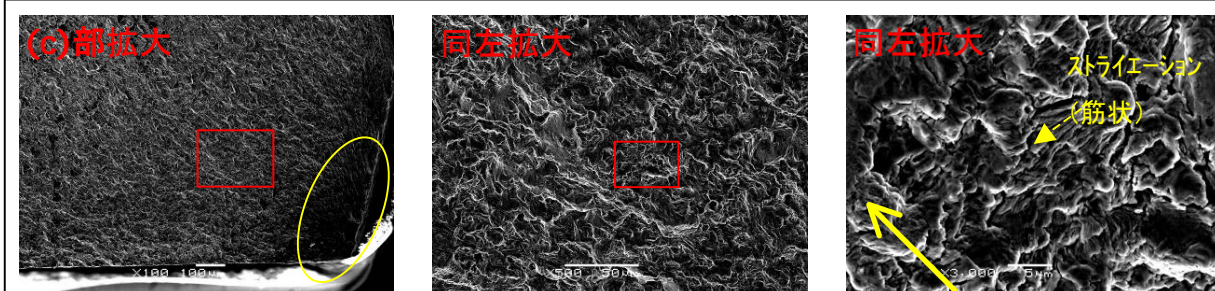
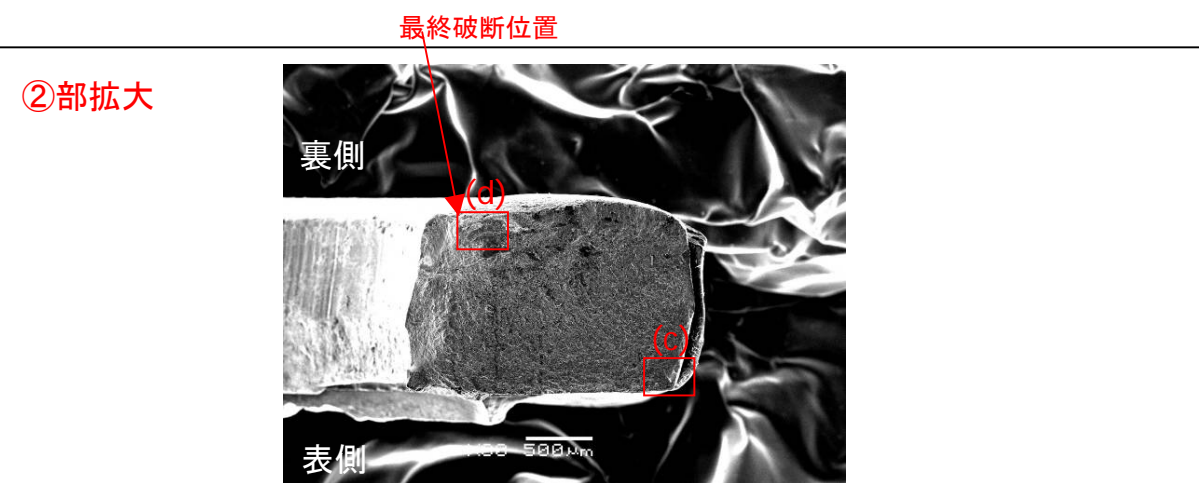
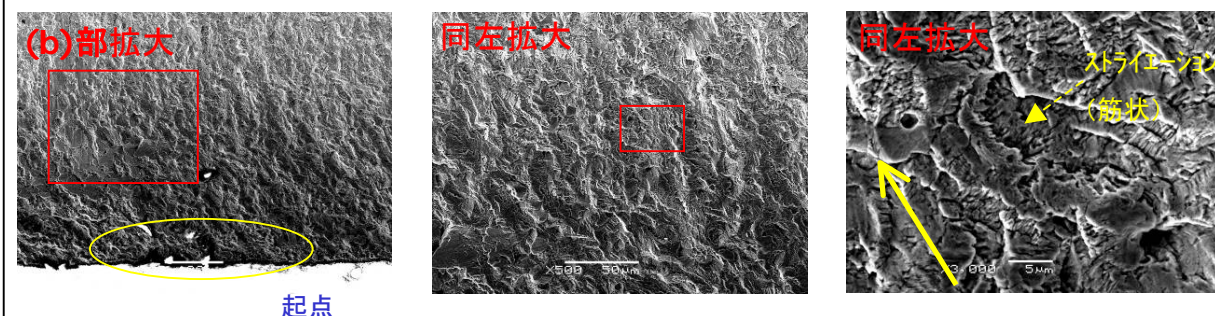
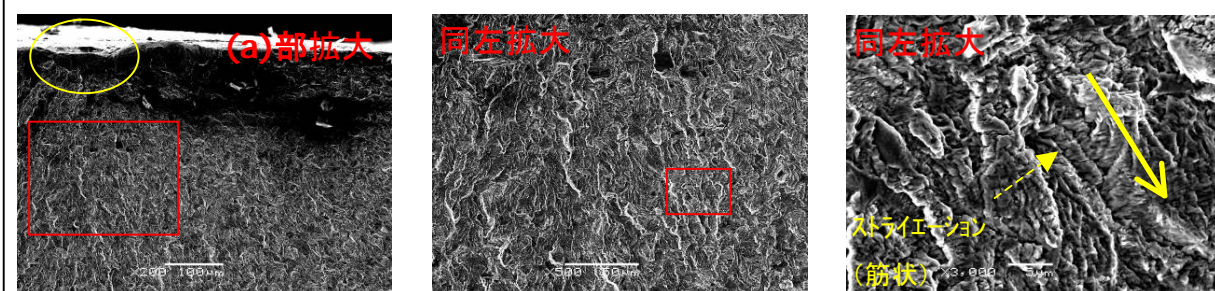
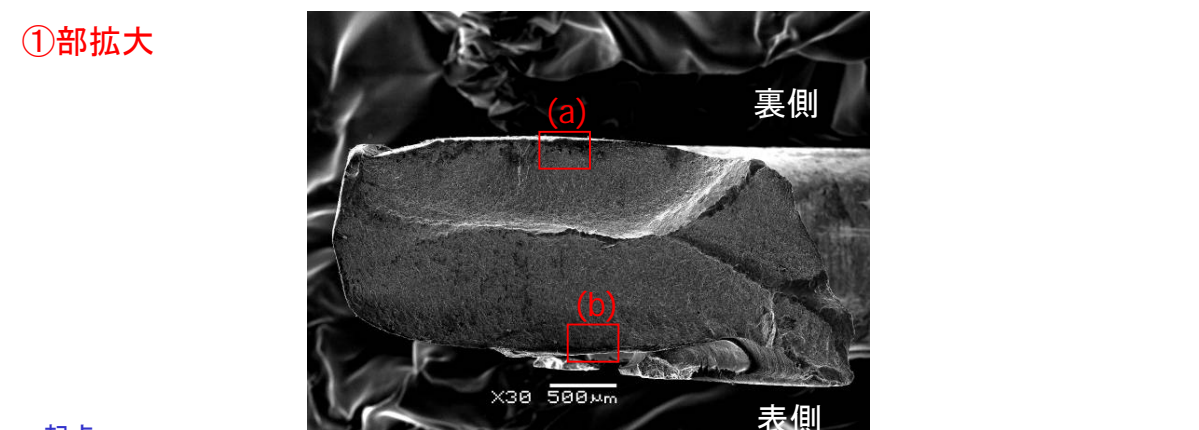
破損した配管サポート破面観察結果

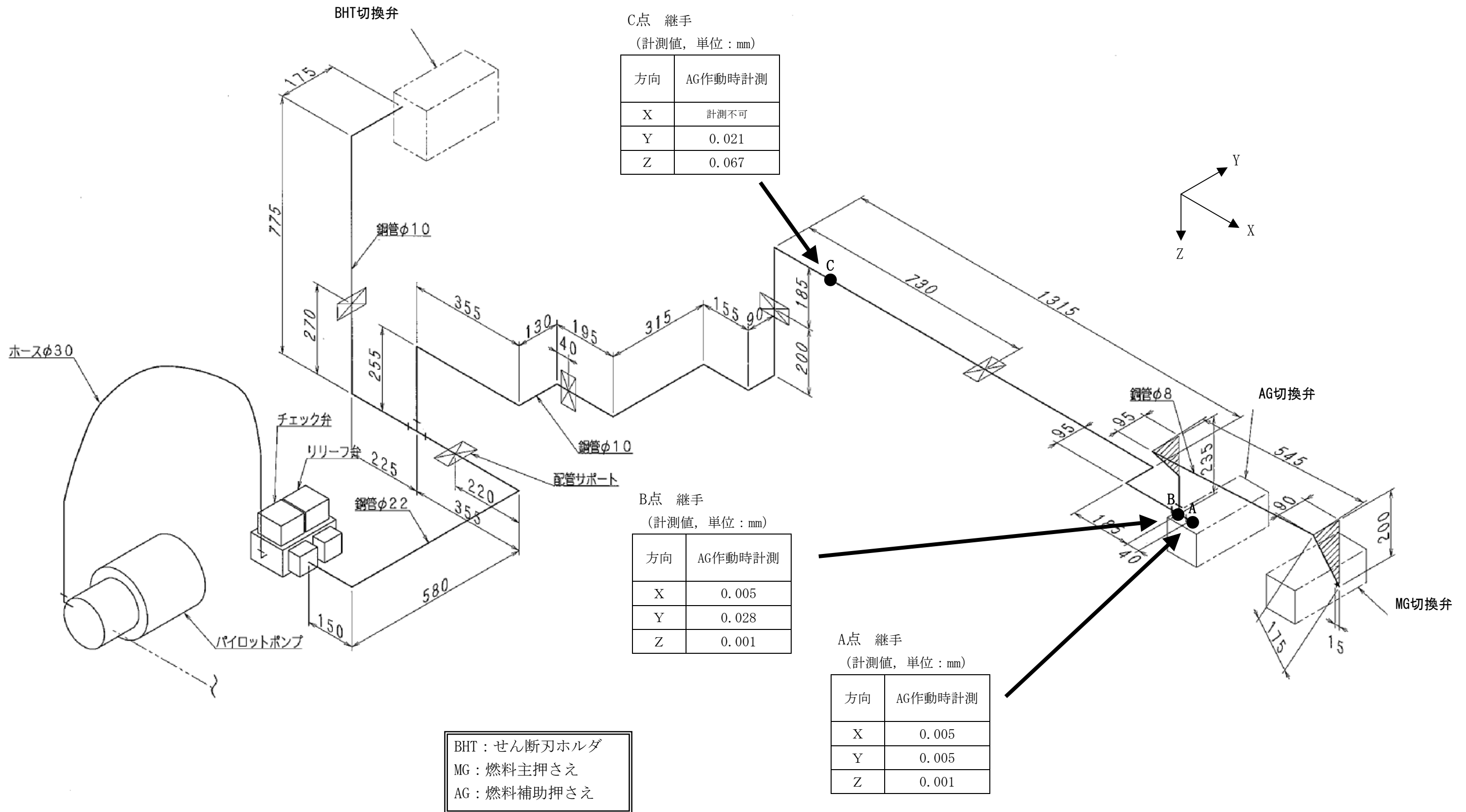


<まとめ>

- ・配管サポートの破壊の起点と考えられる(a)部, (b)および(c)部に顕著な材料欠陥は認められない
- ・(a), (b)および(c)部拡大写真に疲労破面の特徴であるストライエーション(筋状部)が認められる
- ・(a), (b)および(c)部における亀裂の進展方向は図中矢印(実線)で示す方向である
- ・(d)部において延性破壊の特徴であるディンプルパターンが認められることから最終破断部と判断する
- ・(a),(b)部においては、両断面からほぼ同時に発生したような様相を示しており、(c)(d)側が先に破損したことにより(a)(b)面に荷重が集中したように見受けられる。
- ・以上の結果から、サポートは疲労による亀裂の進展により破断に至ったと考える

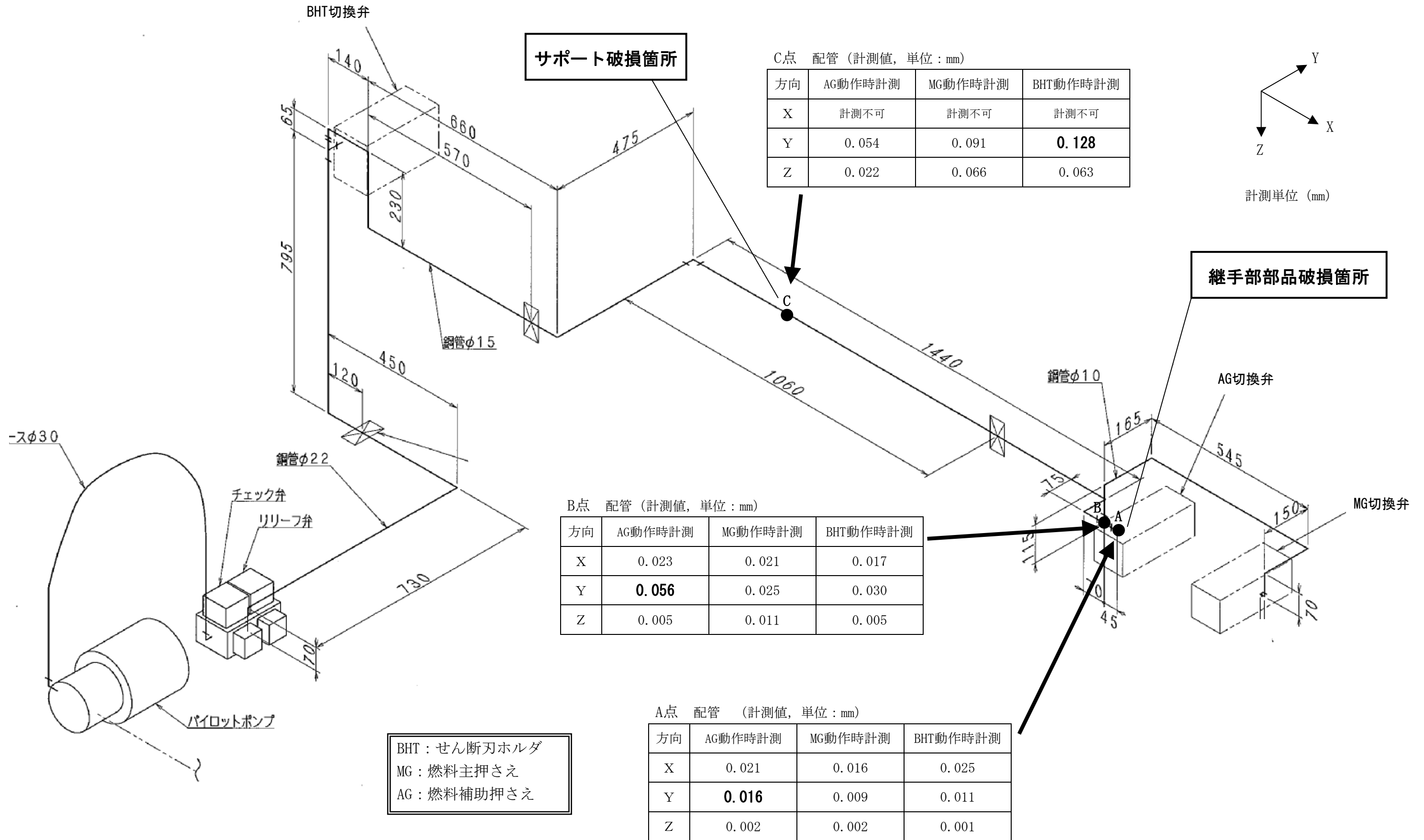
破面観察結果



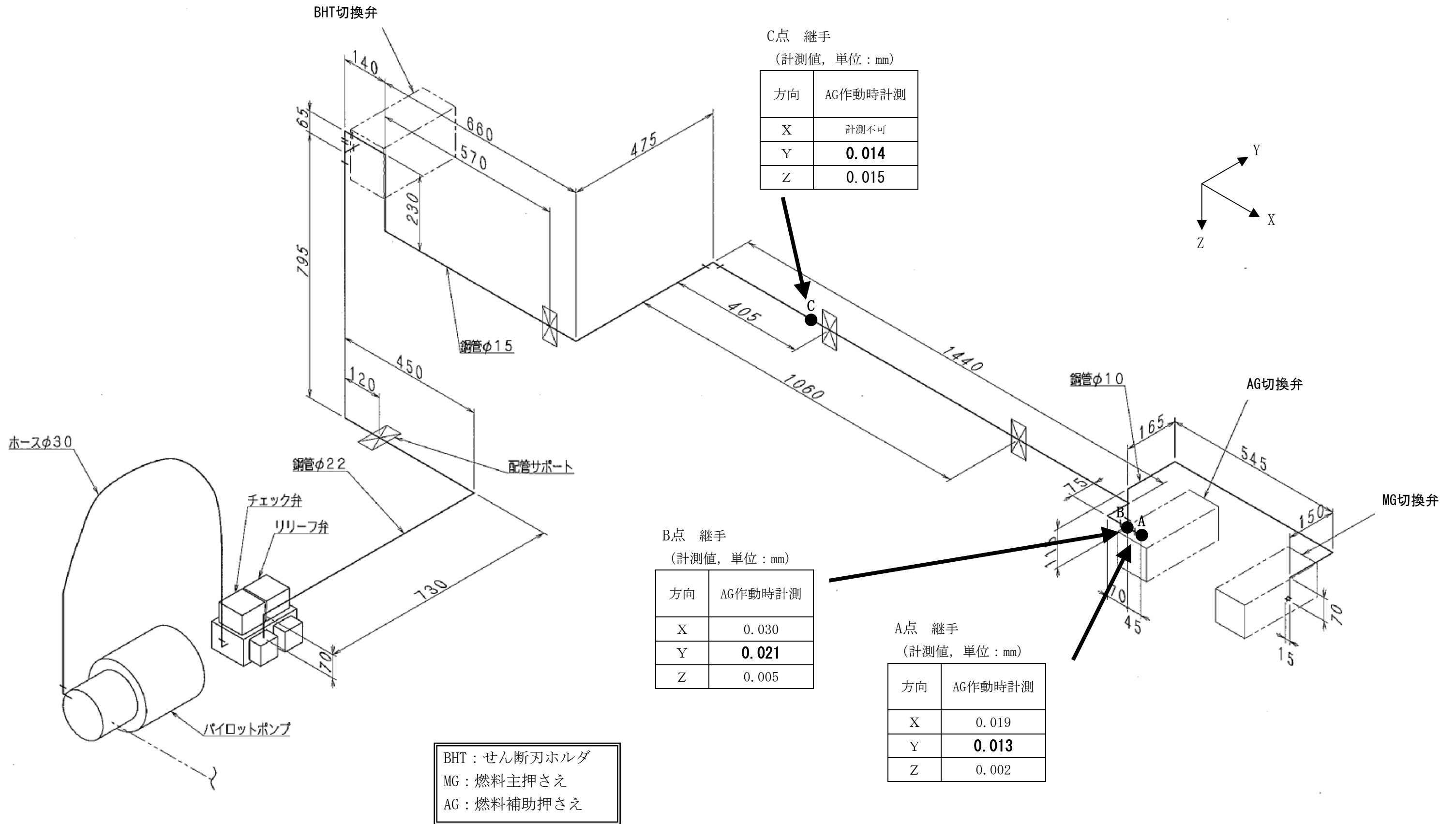


A系油圧制御ユニット パイロット圧ライン振動計測結果

24



B系油圧制御ユニット パイロット圧ライン振動計測結果
(C点サポートなし)



B系油圧制御ユニット パイロット圧ライン振動計測結果

(C点サポート設置の場合)

電磁油圧切換弁の切換回数

1. 運転回数（せん断処理体数、ブランクサイクル回数）

	A系列		B系列	
	PWR	BWR	PWR	BWR
ウラン試験	4 4	4	4	4 0
アクティブ試験	4 1 2	5 7	4 4	5 5 0 (H20.1.4 現在)
ブランクサイクル	2 2 7		2 1 0	
計	7 4 4		8 4 8	

ブランクサイクル：使用済燃料集合体が無い状態で、せん断機の作動を行う運転モード

2. 切換回数

(全回数)

$$\text{回数} = \boxed{\quad} (1 \text{ カットでの切換回数}) \times \boxed{\quad} \text{ カット/体} \times \text{運転回数}$$

$$\text{回数 (A系)} = \boxed{\quad} \times 7 4 4 \div 2 \times 1 0^5 \text{回}$$

$$\text{回数 (B系)} = \boxed{\quad} \times 8 4 8 \div 2 \times 1 0^5 \text{回}$$

破損した継手部部品及び配管サポート損傷に関する疲労破壊評価

1.概要

せん断機 B 油圧制御ユニット油漏れにおいて破損した継手部部品及び配管サポート破損に関する疲労破壊評価を行った。

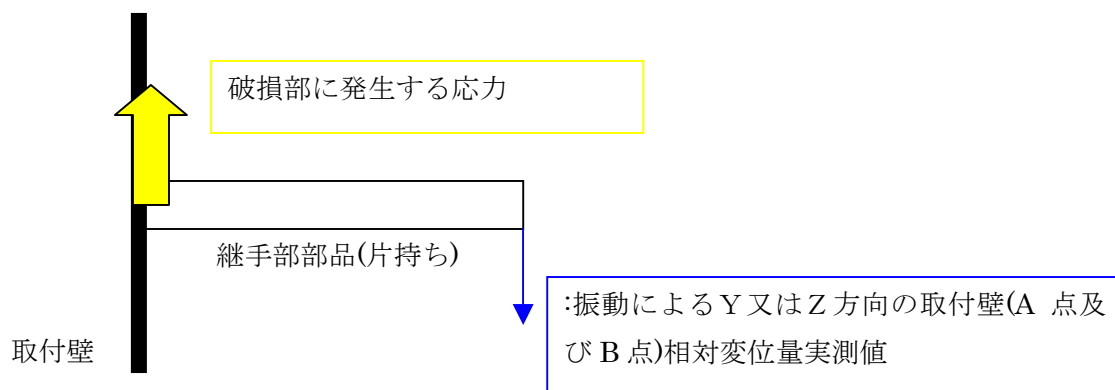
2.継手部部品の破損評価

2.1 計算条件

せん断機 B 油圧制御ユニット油漏れにおいて破損した継手部部品は、せん断機油圧ユニット内の電磁油圧切換弁用のパイロットラインに取り付けられている。

2.2 計算方法

継手部部品を下記のように片持ち梁としてモデル化する。



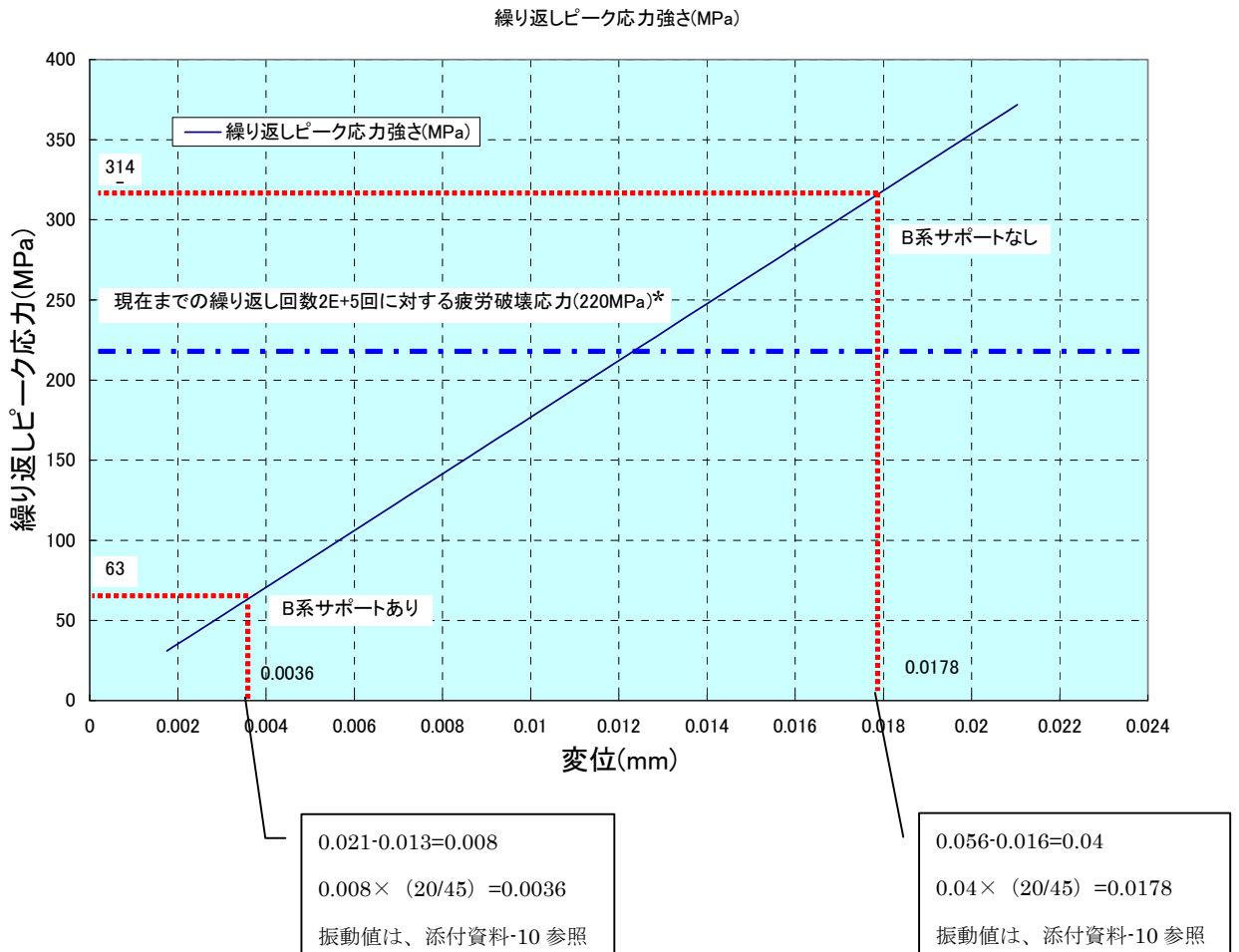
2.3 計算結果

継手部部品の疲労評価強度計算は、以下について行った。結果を図1にまとめる。

- ①B系サポートあり
- ②B系サポートなし

- (1) サポートなしのほうがサポートありよりも発生応力は大きく、サポートの破損により疲労寿命が低下することが推定される。
- (2) B系サポートなしでは累積繰り返し荷重負荷数 2×10^5 回以下で破損する可能性有

図1 継手部部品の疲労強度計算結果



*: 許容繰り返し回数を 2×10^5 回とした場合の繰り返しピーク応力強さを設計疲労線図**から読取ると 110MPa である。この設計疲労線図は、応力に対して 2 倍の安全率、繰り返し回数に対して 20 倍の安全率を考慮しているが、ここでは応力に対して 2 倍の安全率を考慮して、疲労破壊応力を $110 \times 2 = 220\text{MPa}$ とした。

** : 日本機械学会 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版)」 I-付録図表-119

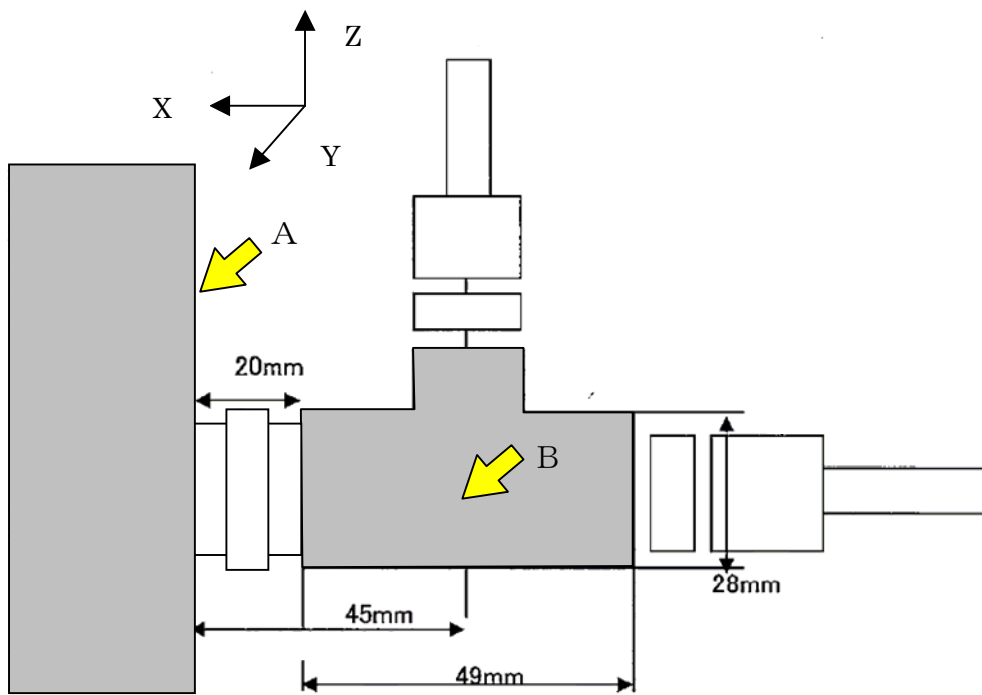


図 2 計測位置 (A点・B点)

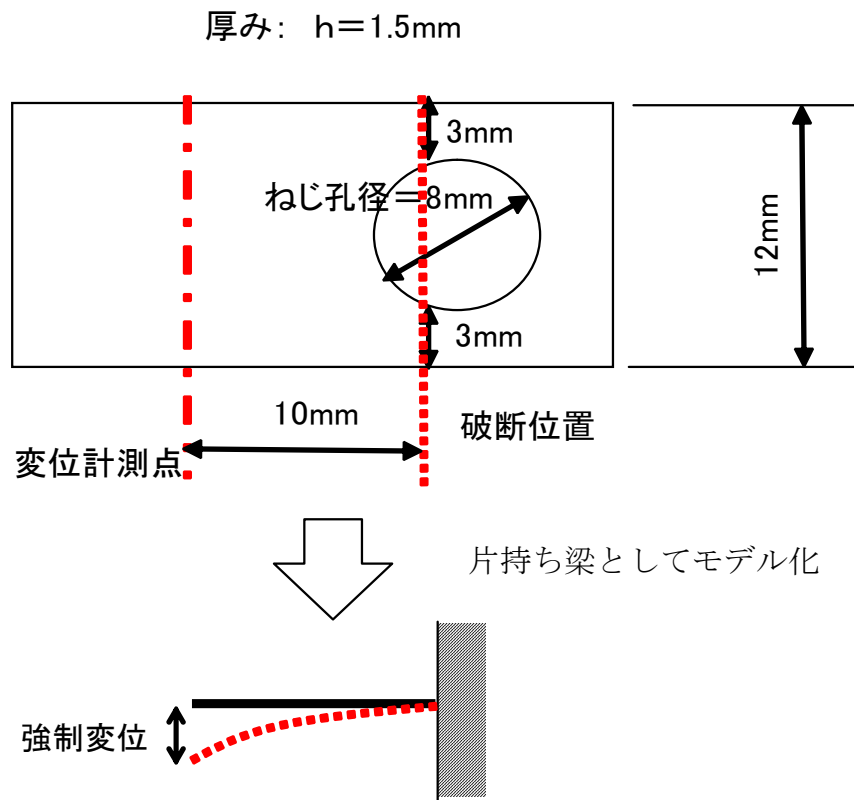
3. 配管サポート破損評価

3.1 計算条件

破損継手部が接続されている配管のサポートが破損しており、その破損によって、継手部に過大な荷重がかかり破損に至った可能性がある。サポート部が変形することを仮定し、疲労強度の評価を行った。

3.2 計算方法

サポート部を下記のように片持ち梁としてモデル化する。

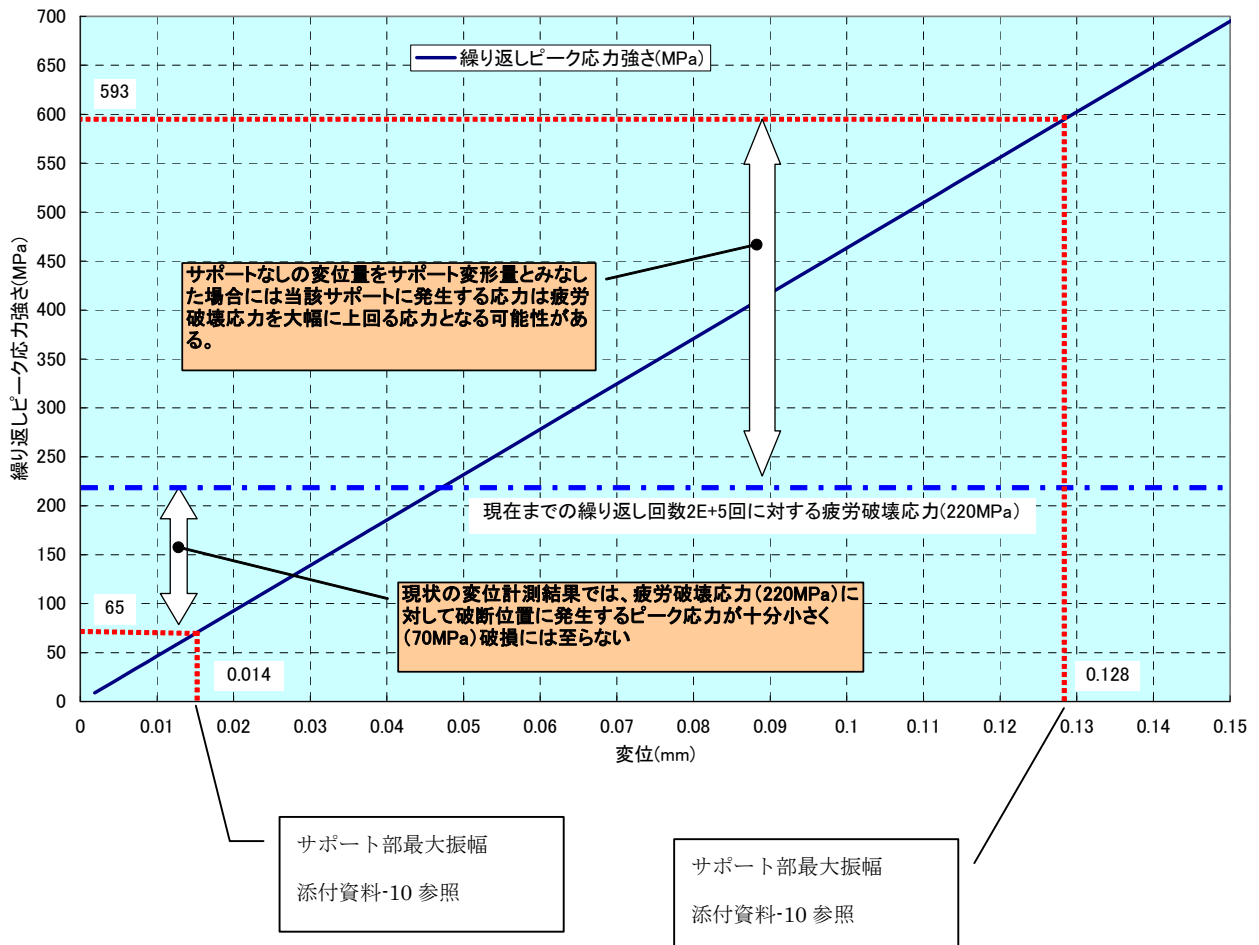


3.3 計算結果

サポート部の疲労評価強度計算結果を図3にまとめる。 結論は以下のとおり

- (1) サポート有りの場合、累積繰り返し荷重負荷数 2×10^5 回以下で破損する可能性が少ないことが分かった。

図3 配管サポートの疲労強度計算結果





せん断刃ホルダ

燃料主押さえ

B系 継手部部品の非破壊検査 (PT) 結果



せん断刃ホルダ



燃料主押さえ



燃料補助押さえ

A系 継手部部品の非破壊検査 (PT) 結果

継手部部品の破損	材料不良		×	材料は炭素鋼であり、内圧()によるネジの破断は考えがたい 材料確認の結果、継手部部品の材料選定としては、問題なし 破面確認により素材組織に異常は見られなかった	
	施工不良		×	組み付け後長期間運転後に破損(リーク)が発生している事から、組付け時の施工不良による破損とは考えがたい また、破面観察から疲労破損の起点となった異常は認められない	
	外力による破損		×	漏洩前に外力を加えたような作業を実施しておらず、外力による破損とは考えがたい。また、破面観察から疲労による破損の起点となった異常は認められない	
	クリープによる破損		×	長期間運転後の破損としては考えられるが、当該部温度は約50℃以下に保たれており、クリープの発生する可能性はほとんどない	
	腐食による破損		×	内部流体が鉱物油であり、腐食が発生することは考えがたい 破面観察においても、腐食の発生形跡は見当たらない	
	疲労による破損	内圧変動による振動		×	パイロットポンプ圧力は で一定にキープされており、内圧が疲労に影響することは考えがたい。
		熱伸び等による振動		×	設備内温度は50℃以下に保たれており、温度変動による影響はきわめて小さい
		切換弁作動による振動		×	振動計測の結果、接続配管サポートが健全の状態での振動はわずかであり、疲労源応力としては比較的小さいと考えられる
		モータ起動による振動		×	振動計測の結果、モータ起動による振動はわずかであり、疲労源応力としては比較的小さいと考えられる。
		接続配管の振動	配管からの共振		×
配管サポートの破損			△	現場確認の結果、接続配管のサポートが破損していたことが判明。また振動計測の結果、接続配管サポートが外れた状態での振動は比較的大きく、疲労源応力としての影響が考えられる	

⇒その2へ

配管サポートの破損	材料不良		×	材料確認の結果、炭素鋼系であり配管サポートの材料選定としては、問題なし 破面確認により材料欠陥は観察されなかった	
	サポート施工不良		×	平成17年8月の点検時にはサポートの脱落はなかったことから、サポートの施工不良とは考えがたい。	
	サポート強度不足		△	B系列配管サポートはA系列配管サポートと異なる位置/方法となっており、かつ大きな配管反力を受け難い構造となっていた。	
	外力による破損		×	破損前に外力を加えたような作業を実施しておらず、外力による破損とは考えがたい。また、破面観察から疲労による破損の起点となった異常は認められない	
	クリープによる破損		×	長期間運転後の破損としては考えられるが、当該部温度は室温であり、クリープの発生する可能性はほとんどない	
	腐食による破損		×	設置場所が室内であり、腐食が発生することは考えがたい。破断面観察においても、腐食の発生形跡は見当たらない。	
	疲労による破損	熱伸び等による振動		×	設置場所は室温であり、温度変動による影響はきわめて小さい
		切換弁作動による振動		△	破面観察の結果、サポート破損部に疲労破壊の状況が確認された。また振動計測の結果、当該接続配管サポート位置で大きな振動が発生するモードがありうる事が判明した。
		モータ起動による振動		×	振動計測の結果、モータ起動による振動はわずかであり、疲労源応力としては比較的小さいと考えられる。
		配管からの共振		×	振動計測の結果、接続配管サポートが健全の状態での振動はわずかであり、発生する応力は比較的小さいと考えられる

時期	油圧ユニット模式図	状況
1 平成17年8月の定期点検以降		パイロットポンプからAG用電磁油圧切換弁へ供給している配管の配管サポートの固定性が十分ではなかったため、継手部と配管サポートに、振動による大きな応力が発生
2		配管サポートの片側が破損したため、配管の振動がさらに大きくなり、継手部にさらに大きな繰り返し応力が発生
3 平成20年1月1日 17:20頃		繰り返し応力による金属疲労により継手部が破損し漏えい開始、この際のパイロットポンプ吐出圧力は [] 未満と推定される。
4 17:58 巡視点検中に前処理建屋せん断機油圧装置B室にて煙が発生しているものと判断		パイロットポンプ吐出圧は完全に低下しておらず、せん断機動作は正常
5 18:00		ここまで約462Lの油が漏えい 継手部が完全に破損し、漏えい量がさらに増加 パイロットポンプ吐出圧力は1MPa以下に低下しBHTの流量制御ができなくなりBHTポンプ流量が最低流量となる。 BHTの動作速度は正常時の約1/10に低下

BHT: せん断刃ホルダ
MG: 燃料主押さえ
AG: 燃料補助押さえ

<p>6</p> <p>18:01 せん断機手動停止</p>	<p>AG用電磁油圧切換弁 (~16L/min)</p> <p>配管サポート</p> <p>MG用電磁油圧切換弁</p> <p>BHT用油圧ジャッキ</p> <p>パイロットポンプ (~16L/min)</p> <p>油タンク</p> <p>BHTポンプ</p>	
<p>7</p> <p>18:09~18:17 当直にて油圧ポンプ付近より油が漏えい(噴き出し)していることを確認</p>	<p>AG用電磁油圧切換弁 (~16L/min)</p> <p>配管サポート</p> <p>MG用電磁油圧切換弁</p> <p>BHT用油圧ジャッキ</p> <p>パイロットポンプ (~16L/min)</p> <p>油タンク</p> <p>BHTポンプ</p>	
<p>8</p> <p>18:18 油タンク油量低発報 (油圧ポンプ停止)</p>	<p>AG用電磁油圧切換弁</p> <p>配管サポート</p> <p>MG用電磁油圧切換弁</p> <p>BHT用油圧ジャッキ</p> <p>パイロットポンプ (~16L/min)</p> <p>油タンク</p> <p>BHTポンプ</p>	<p>パイロットポンプ自動停止 BHTポンプ自動停止</p> <p>漏洩停止</p> <p>合計で750Lの油が漏えい</p>

BHT:せん断刃ホルダ
MG:燃料主押さえ
AG:燃料補助押さえ