

伊方発電所第3号機

蓄圧タンクのサンプリング隔離弁の不具合について

令和3年11月

四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第3号機 蓄圧タンクのサンプリング隔離弁の不具合について

2. 事象発生の日時

令和3年10月8日 8時55分

3. 事象発生の設備

伊方発電所第3号機 蓄圧タンク3Aサンプリング隔離弁

4. 事象発生時の運転状況

伊方発電所第3号機 第15回定期事業者検査中

5. 事象の発生状況

伊方発電所3号機第15回定期事業者検査中のところ、蓄圧タンク^{※1}3Aの器内水を分析するため、蓄圧タンク3Aサンプリング^{※2}隔離弁を開とし、器内水を採取した。採取後、当該弁を閉としたが、シートリーク^{※3}によりサンプル水が完全に止まらないことを確認した。その後、サンプリングラインからの水は当該弁の下流の弁を閉じて停止した。

このため、保修員により同弁のシート面^{※4}の調整等を実施したが、改善が見られなかったことから、10月8日8時55分、当該弁の分解点検を実施することとした。

その後、当該弁の分解点検および部品取替えを実施し、当該系統に通水した後、シートリークがないことを確認し、10月11日15時10分、通常状態に復帰した。

なお、同ラインから出た水はすべてサンプルシンク内に回収しており、系統外への漏えいはなかった。また、本事象によるプラントへの影響および周辺環境への放射能の影響はなかった。

(添付資料-1)

※1 蓄圧タンク

1次冷却材喪失事故時に、ほう酸水を自動的に炉心注入するため、通常時、ほう酸水および加圧窒素が満たされているタンク。原子炉内の冷却水が漏出して1次冷却系統の圧力が低くなると、タンクから炉内にほう酸水が注水される。

※2 サンプリング

蓄圧タンクのほう素濃度および水質を確認するために、蓄圧タンクのサンプリングラインから直接試料をサンプル水として採取すること。

※3 シートリーク

弁が全閉状態であるにもかかわらず、少量の内部流体が弁の下流側に流れている状態。

※4 シート面

内部流体が下流に流れないようにシールしている弁体と弁座の接触部分。

6. 事象の時系列

10月7日

13時50分 蓄圧タンク3A、3B、3Cサンプリング実施
～14時10分

15時00分頃 関係会社の作業員から中央制御室へ蓄圧タンクサンプリングラインにてシートリークの可能性があることを連絡

16時00分頃 シートリークの可能性がある箇所を特定（蓄圧タンク3Aサンプリング隔離弁）およびフラッシング^{*5}を実施

16時27分 3号中央制御室より保修員へ蓄圧タンク3A器内水のサンプル水が止まらないことを連絡

17時30分頃 保修員が現場を確認し、蓄圧タンク3Aサンプリング隔離弁がシートリークしていることを確認

18時00分頃 当該弁の簡易なシート面の調整開始

22時30分頃 当該弁のフラッシングを実施

10月8日

3時05分 当該弁のフラッシングを実施

4時52分 当該弁のフラッシングを実施

6時18分 当該弁のフラッシングを実施

8時55分 シートリークが改善しないことから分解点検が必要と判断

9時55分 当該弁の分解・点検作業開始（内弁^{*6}取替実施）

10月10日

19時30分 当該弁の分解・点検作業終了

10月11日

15時10分 当該弁の機能確認終了（通常状態復帰）

※5 フラッシング

内部流体を流すことにより、弁シート面に付着している微小な異物などの残留物を除去すること。

※6 内弁

一体物である弁棒^{※7}および弁体^{※8}をまとめた呼称

※7 弁棒

弁構成部品の一部で、駆動部と弁体を連結し、弁体を上下に動かせる棒状のもの。

※8 弁体

弁構成部品の一部で、配管の中に設置し、配管内を流れる流体（蒸気や液体）の流量調整をしたり流れを止めたりするもの。

7. 調査結果

蓄圧タンクのサンプリング隔離弁の不具合について、以下の調査を実施した。

(1) シートリークの原因調査

a. 弁閉止力不足に関する調査

当該弁は駆動部のバネ力によって弁下方に押し付けられることで、弁体と弁座^{※9}はシート状態を保っており、弁下方に加わる力が、何らかの理由で不足した場合、弁座に対して弁体が浮き上がることとなり、シートリークの原因となる可能性があることから、弁閉止力に影響を与える当該弁の構成品について調査を実施した。

(添付資料－2)

※9 弁座

弁構成部品の一部で、流量調整するための弁体を受ける側の部分。

(a) 弁棒に起因する要因

弁棒の長さについて、現地調査時に弁体を含む全長の寸法測定を実施した結果、必要な長さがあることを確認した。また、弁棒の曲がりについても異常はなかった。

(b) 弁蓋^{※10}に起因する要因

グランドパッキンの施工状態については、至近で点検したグランドパッキンの取替記録を確認した結果、締付けトルク等に異常はなかった。

※10 弁蓋

弁構成部品の一部で、弁座との接続部分を持ち、流路を構成する部分。

(c) 駆動部に起因する要因

駆動部のバネ力については、至近の点検記録を確認した結果、バネ力に異常はなかった。また、駆動部の弁閉止力が弁体に適切に伝わるように、駆動部、弁棒、弁体の接続が調整されていることを確認した。

b. シート面の当たり不足に関する調査

当該弁の弁体と弁座はシート面で完全に合わさった状態を保ち、シートすることで、閉止機能を実現している。このシート面の当たり方（合わせり方）が何らかの理由で不完全になった場合、弁体と弁座間に隙間が生じることとなり、シートリークの原因となる可能性があることから、シート面の当たりに影響する当該弁の構成部品について調査を実施した。

(添付資料－2)

(a) 弁棒に起因する要因

弁棒については、現地調査時に弁棒の寸法測定を実施し、変更（曲がり）の異常はなかった。また、駆動部との固定不良については、至近の点検記録にて異常がなかった。

(b) 弁体に起因する要因

弁体については、現地調査時の外観確認および浸透探傷試験^{※11}を実施し、変形およびシート面に傷がないことを確認した。

詳細調査での拡大観察において、弁体先端部の側面に微小な傷があることを確認した。傷は、弁体先端部の270°の位置に、幅約20 μ m×長さ約2.7mmの縦傷2本、弁体のほぼ全周にわたって幅約20 μ mの横傷1本と幅約20 μ mの短い横傷1本を確認した。

当該弁は、弁体先端部に流路をもつ特殊な構造であり、弁体と弁座との間に微小な隙間をもって組み立てられている。確認された傷は、弁の開閉動作および調整作業時における弁体の動きと一致していることから、弁体と弁座の微小な隙間に微小な異物が挟まり、弁体が動くことで傷がつくことが考えられる。

(添付資料－3 (1) (2) (4)、4)

※11 浸透探傷試験

材料表面に浸透液を塗布し、現像液を用いて目視では確認できないような微細な傷を検出する試験

弁体先端部の寸法については、現地調査時に弁体先端部の寸法が弁座側と干渉しないことを確認した。また、施工角度の不良については、弁体の施工角度にも問題がなかったことを確認した。

シート面の状態については、現地調査時の外観確認でシート面に有意な粗さがないことを確認した。また、弁座とのシート面の当たり位置については、当たり方が全周均等であり、問題ないことを確認した。

(添付資料－ 3 (1) (3))

また、現地調査時の外観確認において異物付着がないことを確認した。

(添付資料－ 3 (1))

(c) 弁蓋に起因する要因

弁蓋については、現地調査時の外観確認を実施した結果、変形等の異常がないことを確認した。

(添付資料－ 3 (1))

弁蓋の締付またはグランドパッキンの施工状態については、弁蓋締付の隙間管理が適正であること、また、グランドパッキンが規定トルクにより締付されていること、締付寸法が均等であることを至近の点検記録で確認した。

(d) 弁座に起因する要因

弁座については、現地調査時に外観確認および浸透探傷試験を実施し、異常がないことを確認した。

(添付資料－ 3 (1)、(2))

弁座下部の寸法または施工角度については、現地調査時に弁座下部の寸法測定を実施し、弁体側と干渉しないことを確認した。また、弁座の施工角度にも問題がなかった。

シート面の状態については、現地調査時の外観確認でシート面に有意な粗さがないこと、また、弁体とのシート面の当たり位置については、当たり方が全周均等であり、問題ないことを確認した。

(添付資料－ 3 (1) (3))

また、現地調査時の外観確認において異物付着がないことを確認した。

(添付資料－ 3 (1))

(e) 駆動部に起因する要因

駆動部の作動については、至近の点検記録にて正常に作動することを確認した。

(2) 作業手順妥当性の調査

当該弁の点検作業は、作業要領書に基づいて実施されている。作業要領書には、組立不良を防止するために作業段階別に寸法測定等を実施する手順となっていること、また、弁および駆動部の組立時における異物混入を防止するために目視により異物の有無を確認する手順となっていることを確認した。

また、至近の点検については、作業要領書が順守され、記録に問題ないことを工事記録により確認した。

(3) 保守状況調査

当該弁の主な点検内容としては、弁体分解点検（8定検毎）、駆動部分解点検（6定検毎）、作動試験（1定検毎）、計装品点検（4～12定検毎）、内弁取替（8定検毎）がある。

至近の点検は、伊方3号機第15回定期事業者検査中の点検作業（令和3年8月実施）にて、弁体分解点検、駆動部分解点検、作動試験および内弁取替を実施しており、点検結果に異常はなかった。

なお、上記内弁取替に使用した内弁については、平成9年に購入後、当該弁を含む同型式弁に共用で使用しており、これまで不具合は生じていないことを確認した。

(4) 使用状況調査

当該弁の使用状況（温度、圧力、流量）および周囲環境について調査したところ、設計条件を満たしており、事象発生時も過去の使用状況と異なる要因はなく、問題ないことを確認した。

当該弁は通常閉運用であり、至近の点検実施以降（伊方3号機第15回定期事業者検査中の点検作業（令和3年8月実施））、今回のサンプリングが初めての開操作であった。

なお、通常運転中の場合、3カ月に1回の頻度で実施するサンプリング時に開操作される。

(5) 異物混入経路の調査

(1)の調査にて、微小異物によるものと思われる傷が確認されたことから、異物混入経路について調査した。

蓄圧タンクは燃料取替用水タンク^{※12}を水源としており、燃料取替用水タンク水はフィルタ等を通して放射性物質や不純物を除去しているため、当該系統から蓄圧タンクやサンプル配管等への異物の混入はないと考える。

また、当該弁の点検作業では、組立て時に目視により異物の有無を確認する手順となっているが、今回のような微小な異物は目視では確認できなかったと考える。なお、今回の現地調査では、微小異物については確認できていなかった。

※12 燃料取替用水タンク

原子炉の燃料取替時に、核分裂反応を引き起す中性子を吸収するほう酸

水を貯蔵しているタンク。緊急時には炉心や使用済燃料ピットへ注水するためにも使用する。

(6) 類似設備の調査

当該弁と類似型式の弁のうち、伊方3号機第15回定期事業者検査において分解点検を実施した弁は9台（当該弁を除く）であり、シートリークの有無を確認し、いずれも問題ないことを確認した。

なお、その他の類似型式の弁については、使用時に不具合がないことを確認している。

8. 推定原因

弁体の拡大観察において、微小異物付着によるものと思われる横傷および縦傷が複数確認されたことから、当該弁の分解点検の際に微小異物が付着したことによりシート面の当たり不足が生じ、シートリークが発生したと推定する。

当該弁は、弁体側面と弁座側面の隙間が片側あたり $20\mu\text{m}$ であり、微小異物の影響を受けやすい構造である。現地調査においてシート面に傷は確認されず、弁体側面に傷が確認されたことから、微小異物は弁体側面と弁座側面の隙間に挟まっていた可能性が高いと考える。

また、当該弁の点検作業では、組立時における異物混入防止として目に見える範囲の異物の有無について確認しているため、今回の微小異物については確認できていなかったと推定する。

なお、フラッシングによりシートリークが改善しなかった理由は、開状態において弁体先端部と弁座との間に微小異物が挟まった状態だったことから、フラッシングにて除去することができなかったためと推定する。

(添付資料-5)

9. 対策

- (1) 当該弁について、保有していた予備の内弁へ取替えを行い、復旧した。今後も引き続き予備品を確保する。
- (2) 当該弁と類似型式の弁について、組立時における目視の異物混入防止の確認に加えて、目視で確認できない微小異物の付着を防止するために、拭き取り作業の手順を作業要領書に追加する。

以上

添 付 資 料

添付資料－1 伊方発電所第3号機 蓄圧タンクサンプリング概略系統図
(事象発生時)

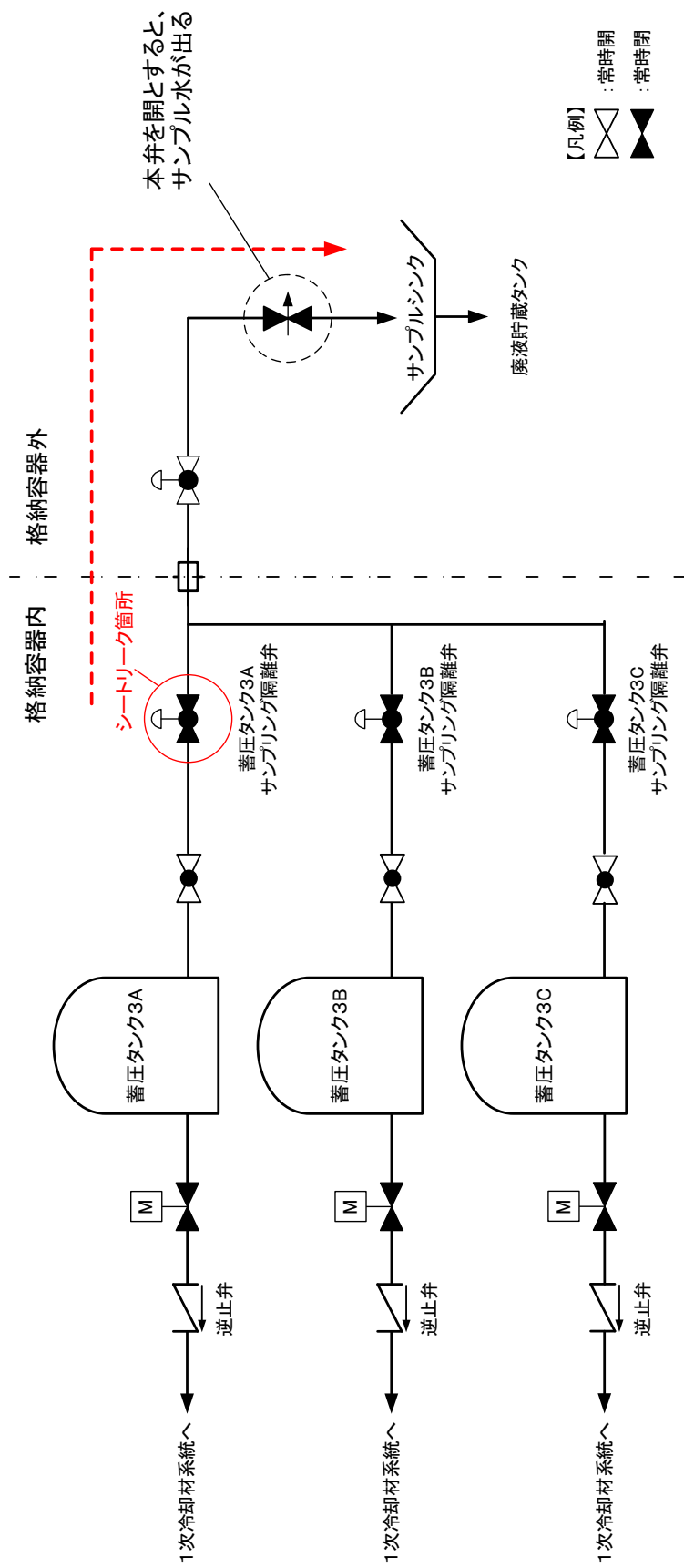
添付資料－2 蓄圧タンク3Aサンプリング隔離弁の構造図

添付資料－3 調査結果

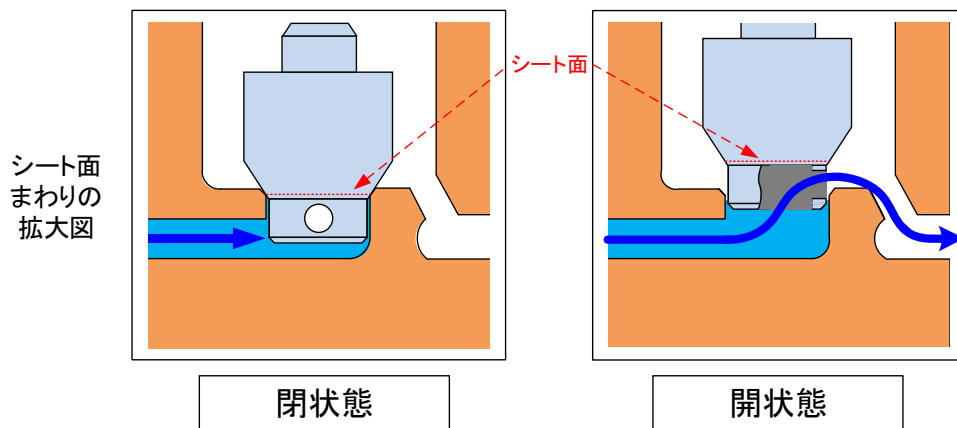
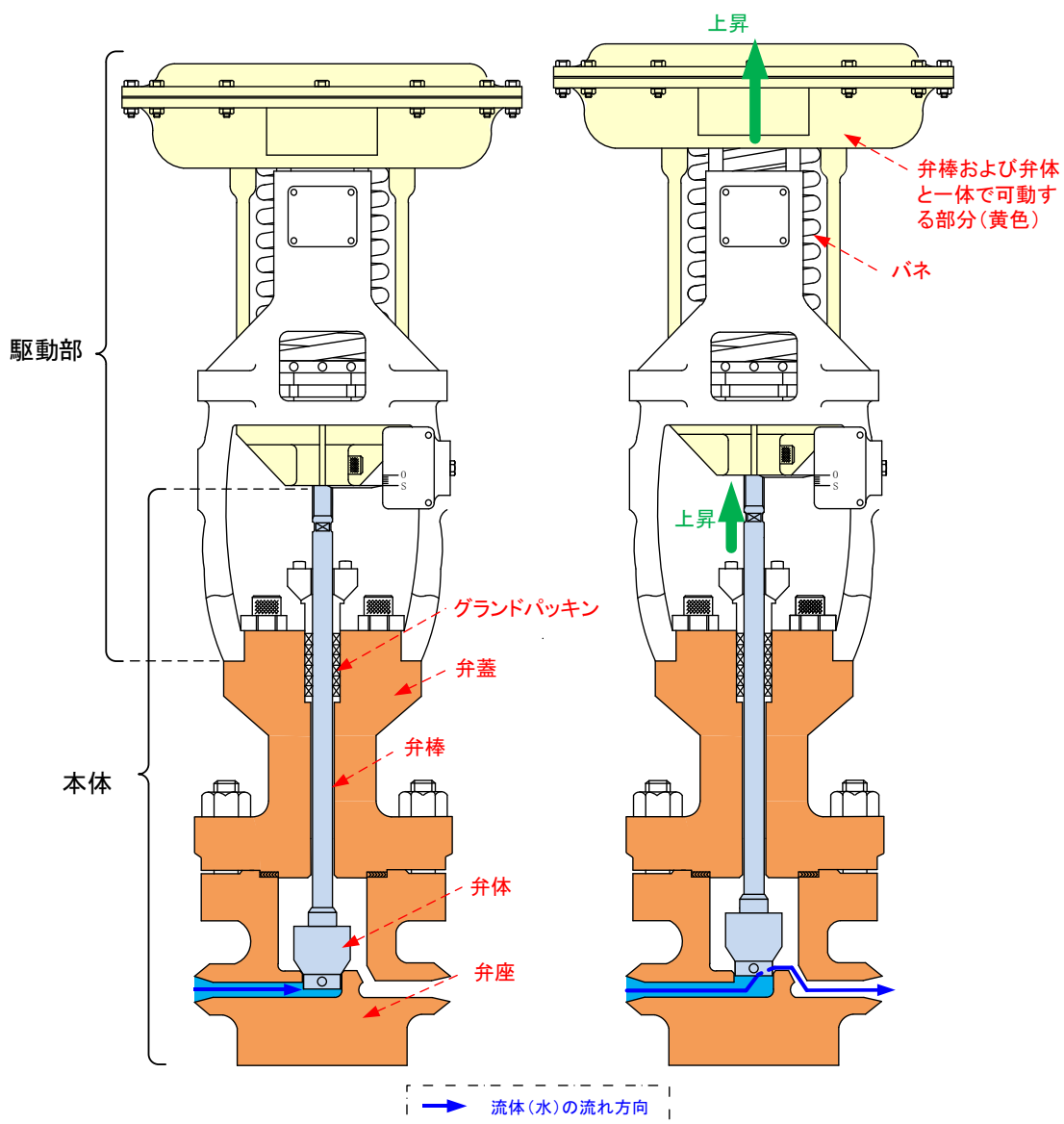
添付資料－4 弁体傷の様相

添付資料－5 シートリークの推定メカニズム

伊方発電所第3号機 蓄圧タンクサンプリング概略系統図 (事象発生時)



蓄圧タンク 3 A サンプルング隔離弁の構造図



調査結果

(1) 外観確認



弁座



弁体



弁蓋



弁棒

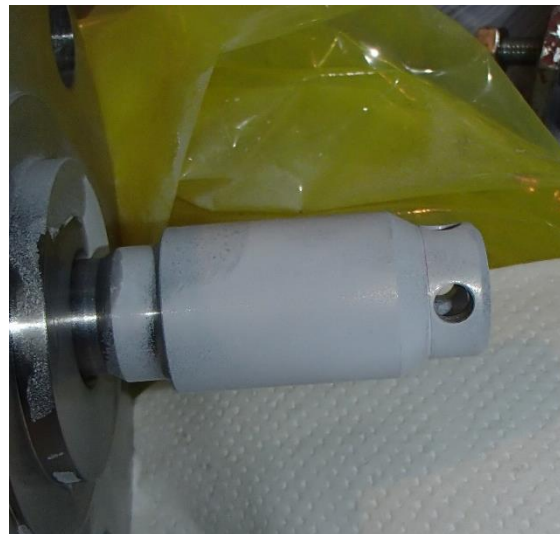
(確認結果) 変形、シート面の傷等の異常はなかった

(2) 浸透探傷試験 (PT)

白く見えるものは現像剤



弁座

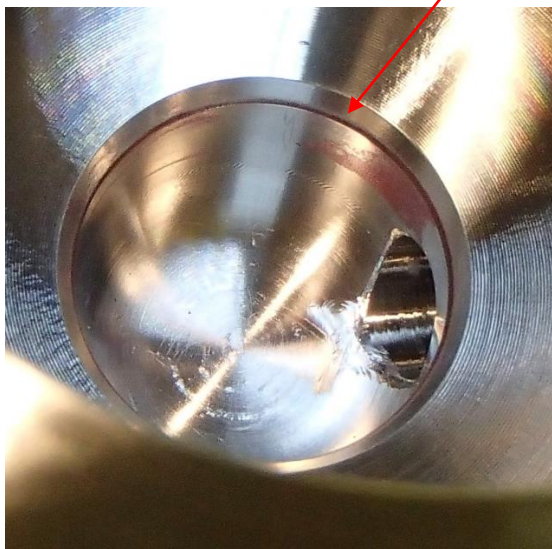


弁体

(確認結果) 浸透探傷試験における現像時に、シート面の傷等の指示は確認されなかった

(3) シート面の当たり確認

当たり確認用着色塗料(転写側)



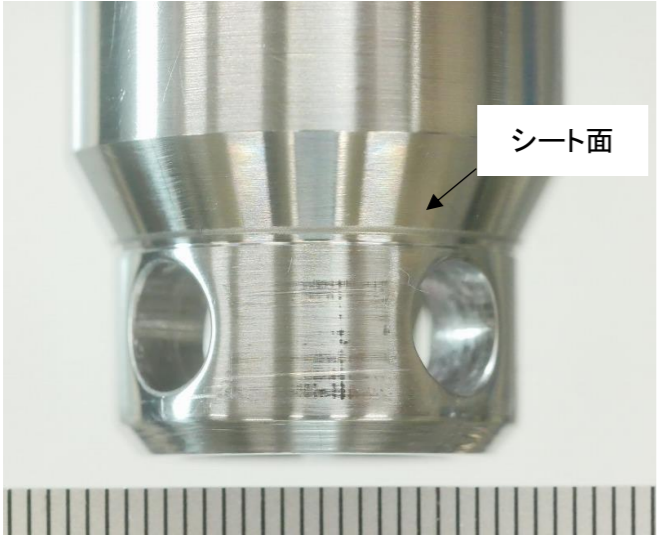
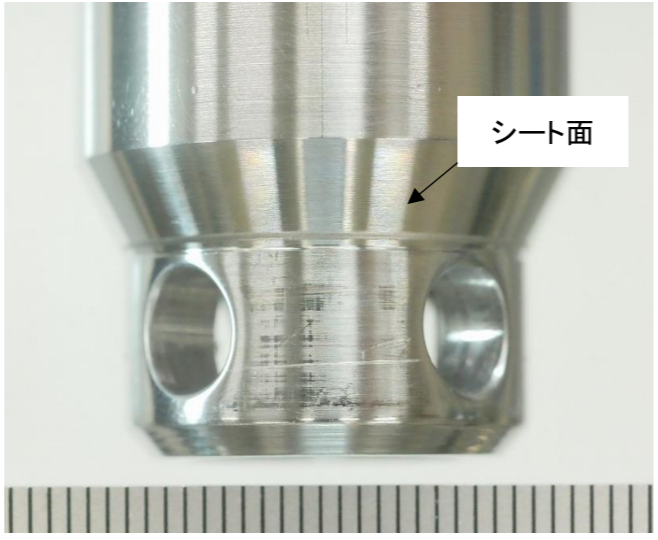
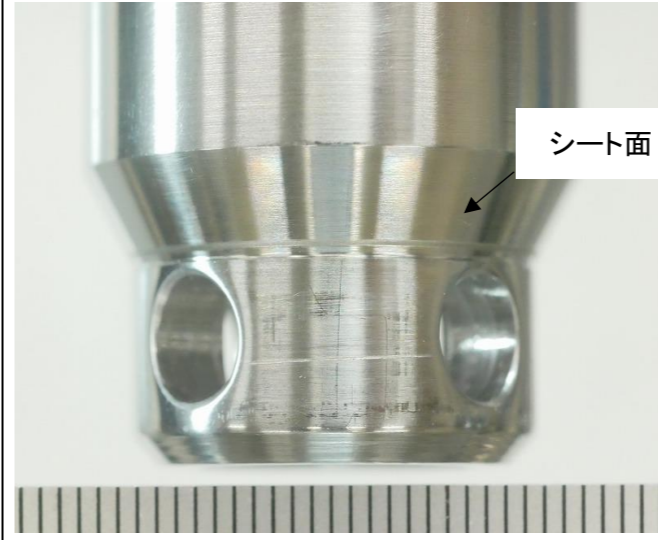
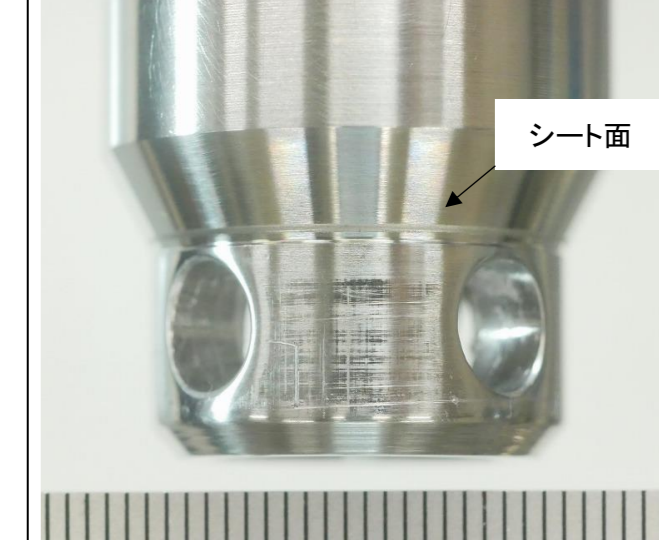
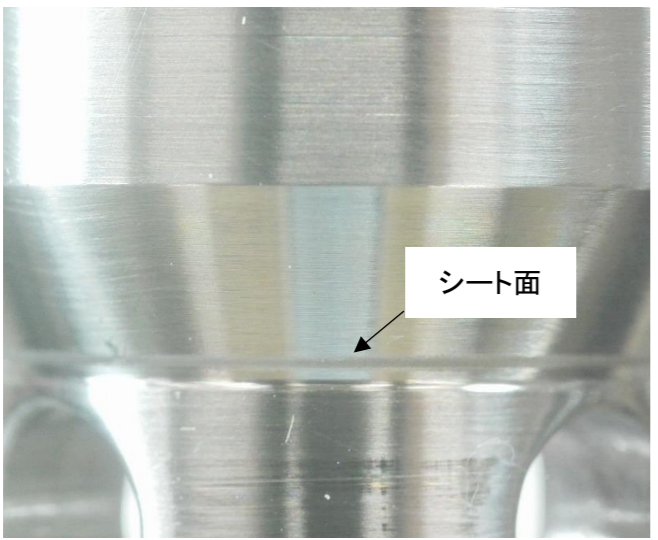
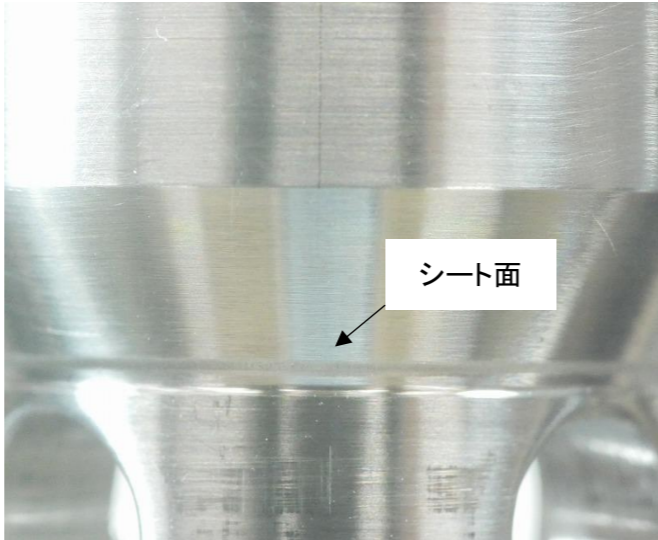
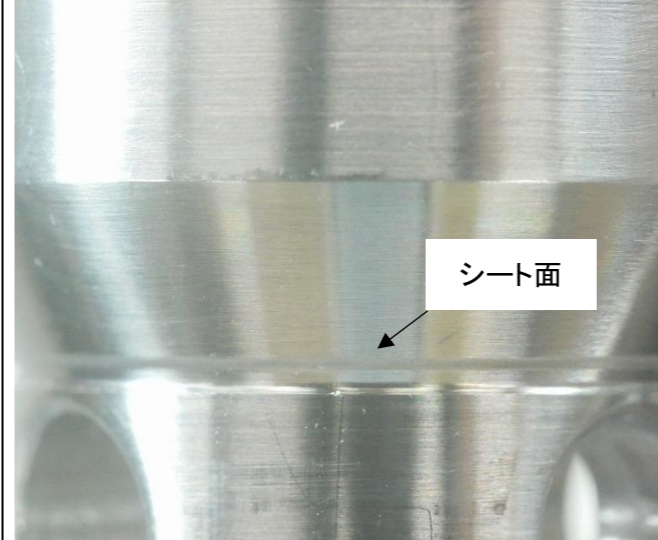
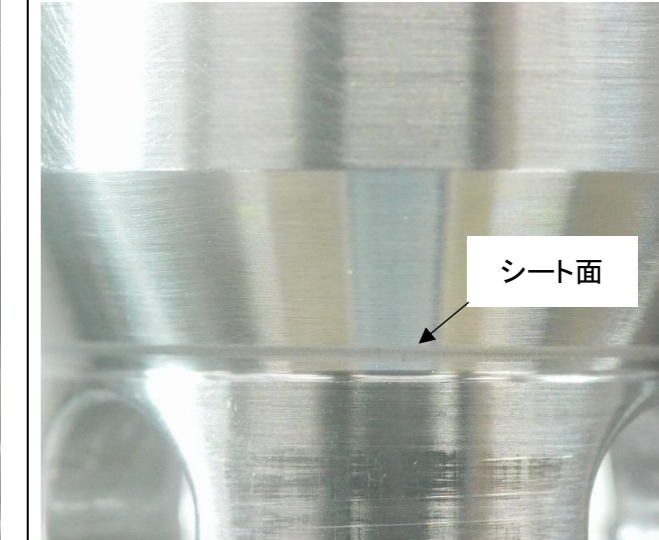


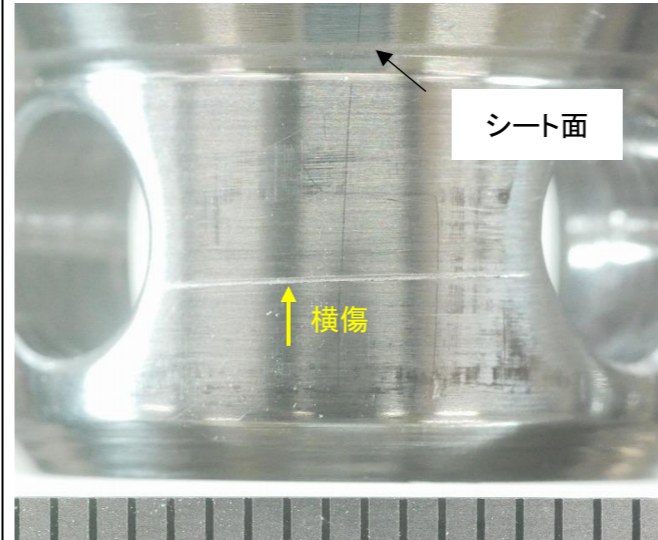
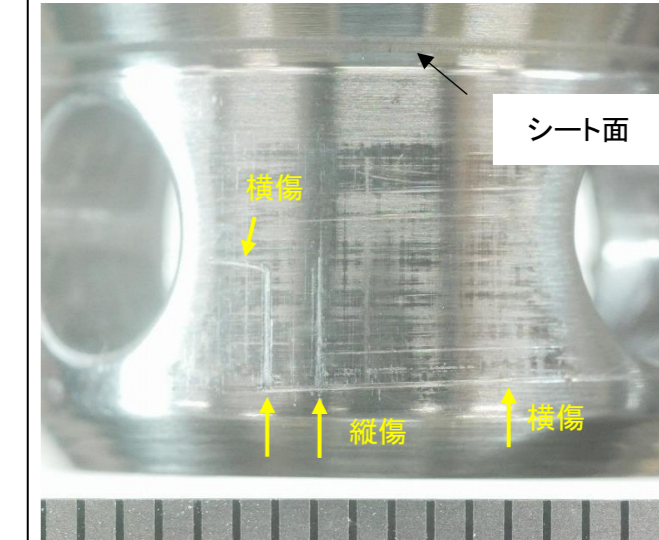
弁座



弁体

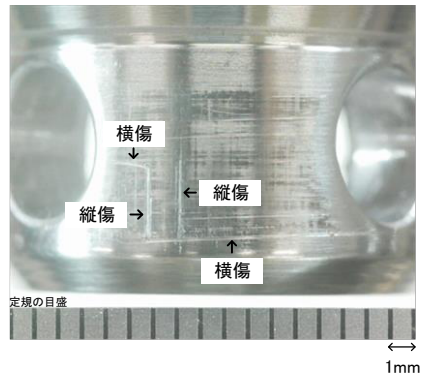
(確認結果) 弁体側に塗布した当たり確認用着色塗料が、弁座のシート面全周に切れ目なく付着しており、シート面の不良(当たり不足)はなかった

(4) 拡大写真

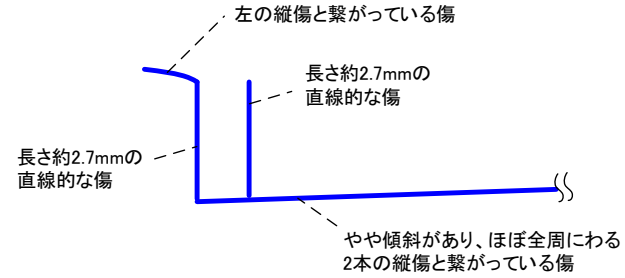
	0°	90°	180°	270°
拡大1				
拡大2 上部				
拡大2 下部				

弁体傷の様相

○弁体先端部 (270° 位置) <再掲>



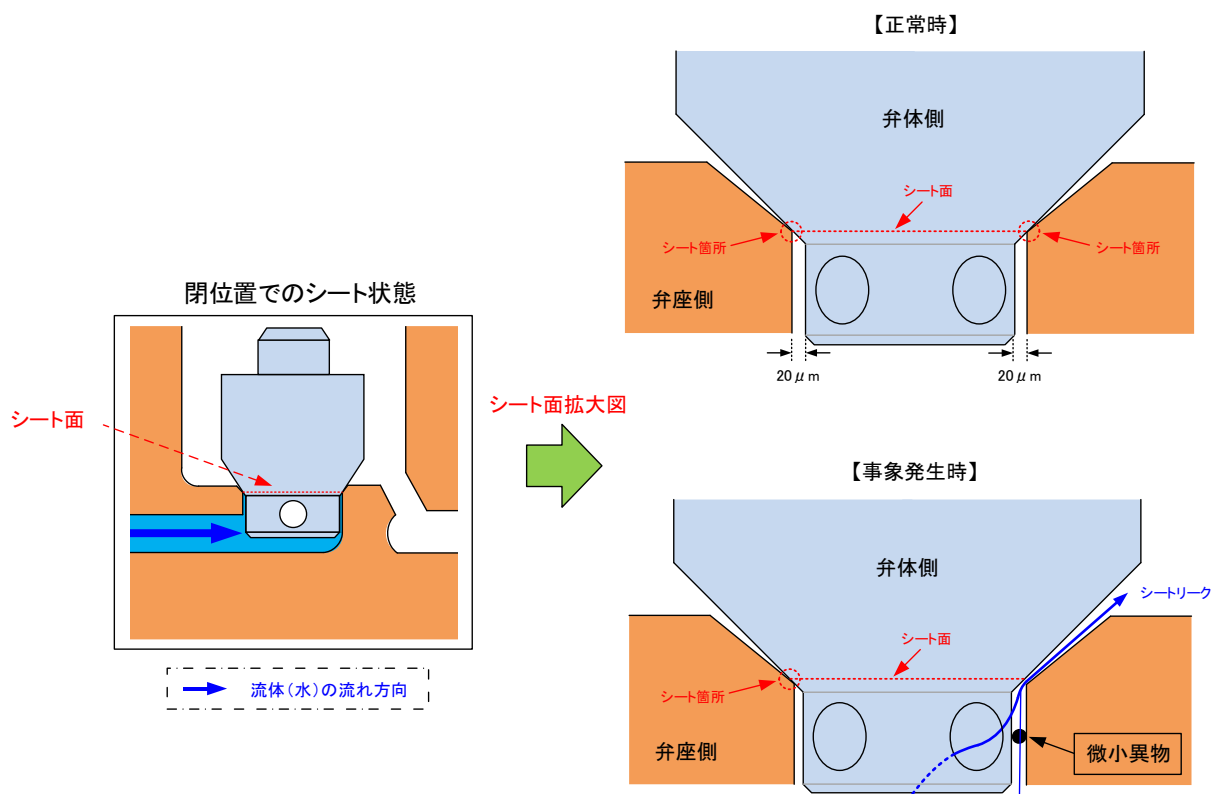
傷幅は一律、約20 μ m



○傷の考察

時系列	時系列 1	時系列 2	時系列 3
操作	フラッシング操作の弁開操作	シート面調整の弁開操作	シート面調整での内弁回転操作
傷変遷			
考察	<p>この傷が確認された位置での弁体と弁座の隙間は、実測寸法から片側あたり 20μm であるため、この隙間に直径 20μm 超の微小異物が挟まった状態で弁体が上下に動作したときに線状に傷が付く。</p>		<p>シート面の調整作業において、弁体が弁座から離れた状態で、弁棒および弁体を円周方向に 360° 回転させることで、連続的な傷が付くことが考えられる。横傷の傾斜は、弁棒および弁体が弁棒のねじ山に沿って移動したためと考えられる。</p>

シートリークの推定メカニズム



上記図のように、弁体側面と弁座側面の隙間に異物が挟まることによって、シート面の片当たりが生じる。

弁体と弁座の隙間は片側あたり $20\ \mu\text{m}$ であるため、直径 $20\ \mu\text{m}$ 超の異物が弁体と弁座の隙間に挟まることで、弁体と弁座とのシート面に、シートリーク量 $190\text{cc}/\text{min}$ に相当する約 $1.2\ \mu\text{m}$ の隙間が生じたと推定する。