



平成15年7月15日
日本原子力発電株式会社

敦賀発電所1号機 第28回定期検査の状況について

(主給水逆止弁等の構成部品脱落の原因と対策について)

当社、敦賀発電所1号機（沸騰水型軽水炉：定格電気出力35万7千kW）は、平成15年6月14日より第28回定期検査を実施しておりますが、格納容器内に設置されている主給水逆止弁*1の分解点検で、弁体を支える弁軸の両端に取り付けられている2個のワッシャー（外径56mm、内径32.5mmのリング状、ステンレス製）のうち、片方が紛失していることを確認し、7月9日までに原子炉圧力容器内の給水スパーチャフローノズル内側から回収しました。

また、類似弁（9弁）について点検した結果、原子炉給水ポンプ出口逆止弁の2弁でそれぞれ片方のワッシャー（外径56mm、内径32.5mmのリング状、ニッケル銅合金製）がなくなっていることを確認し、これらを下流側に設置されている第4給水加熱器（B）水室内から7月9日までに回収しました。

*1 主給水逆止弁

原子炉圧力容器に送られる冷却材（給水）が流れる配管に取り付けられた弁で、給水の逆流を防ぐ機能を持つ。

（6月24日、7月2日、7月7日、7月10日発表済み）

これまでの調査結果（弁分解点検、点検履歴調査、モックアップ試験）を踏まえ、判明した弁構成部品脱落の推定原因とその対策は以下のとおりです。

1. 調査結果

(1) 弁分解点検結果

主給水逆止弁の弁体開き角度は、通常、設計角度約45°に調整されますが、ワッシャーが脱落した主給水逆止弁（V-220-58A）の弁体開き角度は、約35°になっていることが確認され、点検履歴を調査した結果、弁体取替えの際、弁体開き角度の調整が行われていませんでした。

(2) 模擬試験装置による確認結果

逆止弁内の水流を模擬し、ワッシャーの挙動を調査した結果、弁体開き角度が設計角度の約 45° の場合、ワッシャーは自重により弁軸上側に接触しながら、ワッシャー周囲の水流により一定方向に回転することが判明しました。

弁体開き角度が約 35° の場合、ワッシャーは下からの水流に押されて弁軸下側で接触し、さらにワッシャー両側で下から上への水流が発生して、ワッシャーの揺動が大きくなります。また弁軸とワッシャーの接触点に僅かな偏摩耗を与えた場合には、ワッシャーの回転は止まり、この位置で弁軸とワッシャーの偏摩耗が進行することが判明しました。

2. 推定原因

(1) 主給水逆止弁 (V-220-58A)

弁体開き角度が約 35° の主給水逆止弁のワッシャーは、弁軸下側に接触しながらワッシャー内側の一箇所に偏った摩耗が発生し、この箇所でワッシャーと弁軸が揺動・接触し、偏摩耗がさらに進展、脱落に至ったものと推定されます。

なお、脱落したワッシャーについては、その摩耗状況から、運転・停止等により偏摩耗する箇所が反対側に移ったため、偏摩耗が2箇所で進展したものと推定されます。

(2) 原子炉給水ポンプ出口逆止弁 (V-605-101A, B)

原子炉給水ポンプ出口逆止弁のワッシャーは、回転により全周の摩耗が進展していましたが、その後、一箇所に偏った摩耗が発生し、開口・脱落したものと推定されます。

なお、比較的柔らかい銅合金材料が使われていたことや主給水配管の設置状況から流速が速い環境下にあったことが、当該のワッシャーの摩耗減肉の進展を助長したと推定されます。

3. 対策

主給水逆止弁 (4弁) については、弁軸およびワッシャーを同材質の新品と交換します。

原子炉給水ポンプ出口逆止弁 (3弁) については、弁軸およびワッシャーを耐摩耗性の高いステンレス製に取替えます。

また、弁体開き角度が小さかった主給水逆止弁については、設計角度 (45°) に調整するとともに、弁体取替え時の弁体開き角度の調整について、作業手順書に明記します。さらに、次回定期検査において、これら7弁については、保守性を勘案してワッシャーのない構造の弁体を取替えます。

4. 定期検査の今後の工程

今回の原因調査および対策の実施により定期検査の延長が必要となりましたが、今後

の工程については、8月上旬に調整運転を開始する予定です。

以 上

添付資料

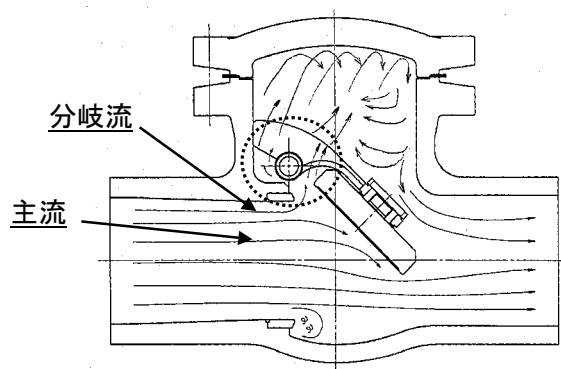
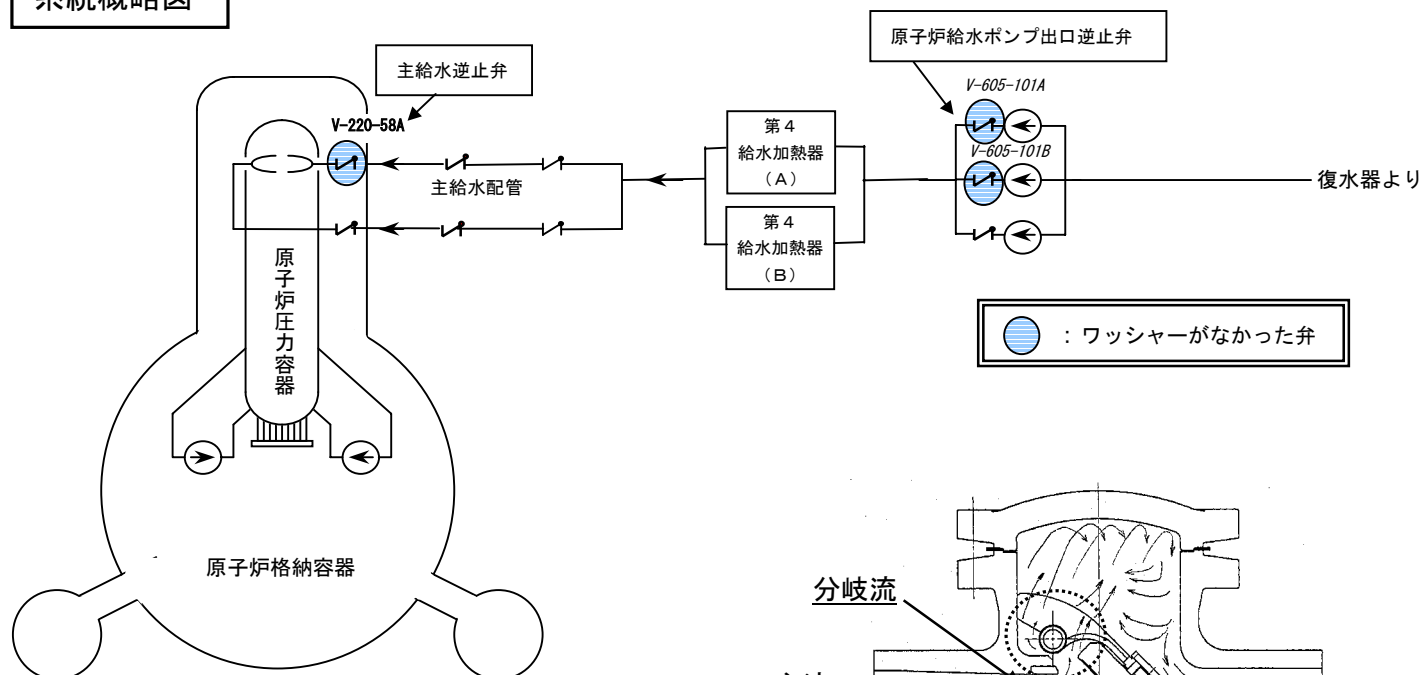
1. 主給水逆止弁等の点検結果
2. ワッシャーの脱落推定原因

参考資料

弁分解点検結果と再発防止対策一覧

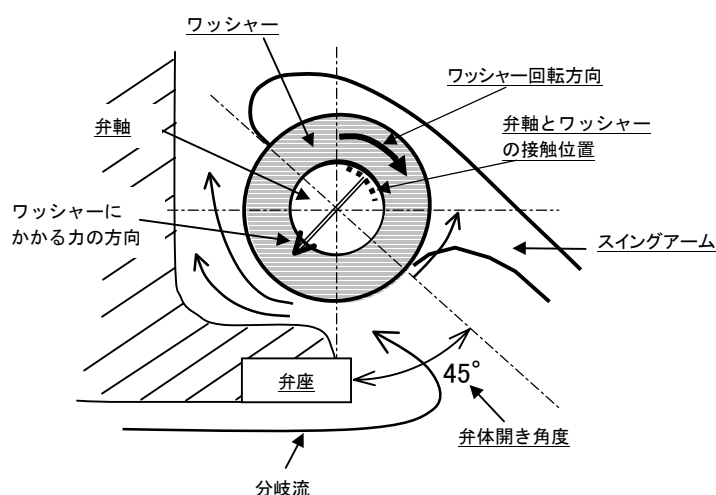
主給水逆止弁等の点検結果

系統概略図



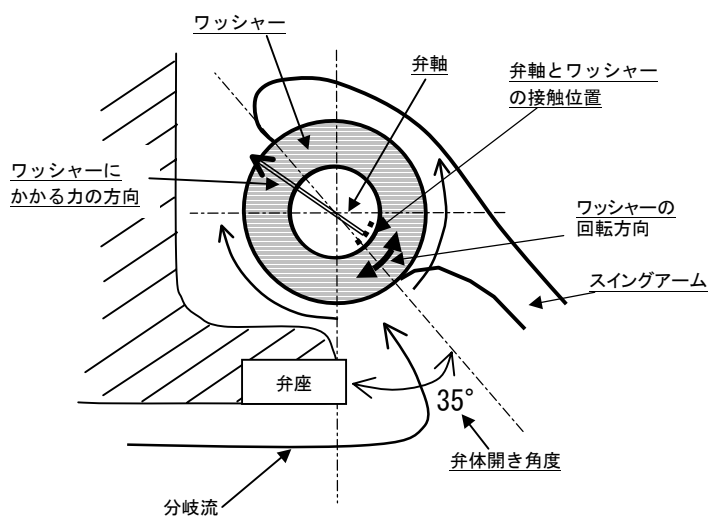
モックアップ試験の概要

弁体開き角度が設計角度の場合の流れ



- 分岐流は主としてワッシャーの左側を下から上へ主流に対して逆向きに流れる。
- ワッシャーには、自重、流体力により左下向きの力が加わり、ワッシャーは弁軸と右上で接触する。

弁体開き角度が設計角度以下の場合の流れ



- 分岐流はほぼワッシャー正面に当たる。
- ワッシャーは流れにより上方に押し上げられ、弁軸右下で接触する。
- 分岐流はワッシャーの左右に分かれ、弁体角度が約35°ではワッシャーは時計回り/反時計回りの揺動を繰り返す。

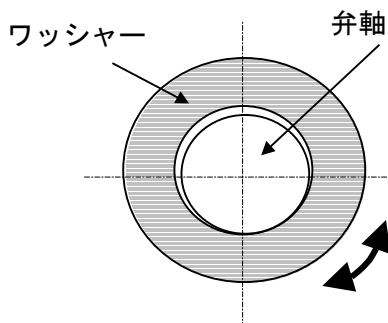
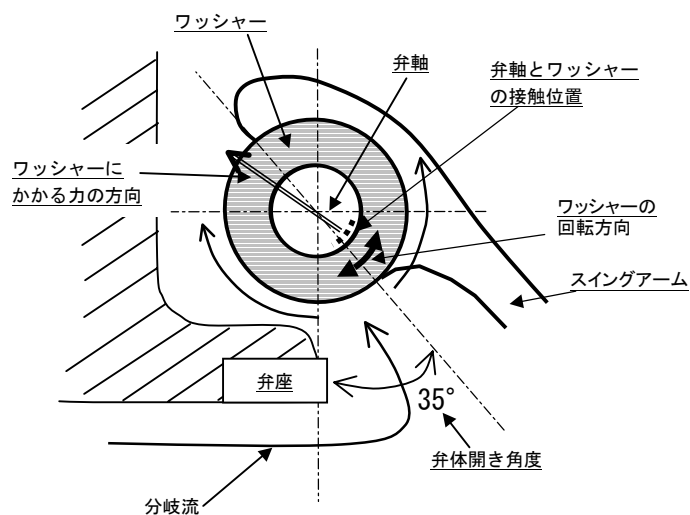
ワッシャーの脱落推定原因

主給水逆止弁V-220-58A ワッシャー摩耗・脱落推定メカニズム

回収した主給水逆止弁のワッシャー

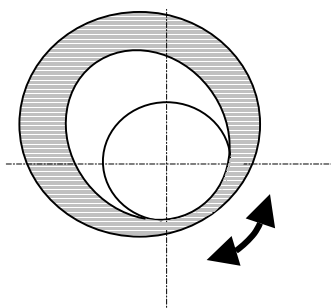


弁体開き角度が設計角度以下の場合の流れ



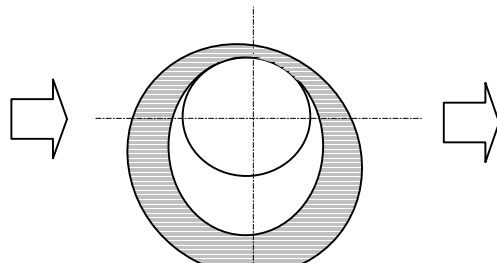
1. 初期段階

- 弁軸の回りをワッシャーが時計回り/反時計回りに揺動しながら回転する。
- 弁軸は当り位置(下側)が偏摩耗する。
- ワッシャーは全周に渡り若干摩耗する。



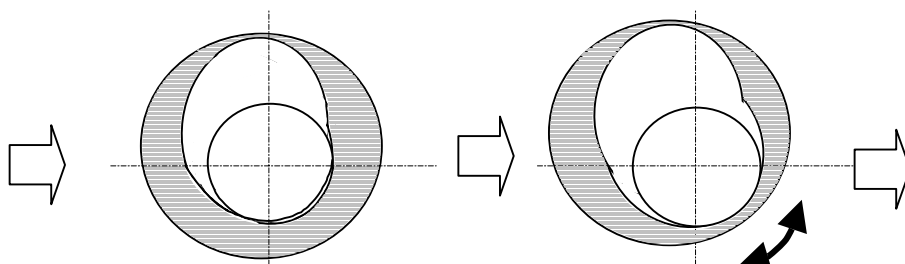
2. ワッシャー偏摩耗状態

- 弁軸の偏摩耗が進みワッシャーが回転しにくくなり、ワッシャーが当り位置で偏摩耗する。



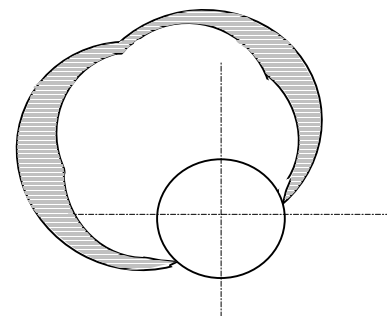
3. プラント停止時

- プラント停止時に自重により、ワッシャーの偏摩耗部が上方になって弁軸にぶら下がった状態になる。



4. プラント再起動時

- プラント起動とともに、ワッシャーが上方に押上げられる。(左図)
- 弁軸が偏摩耗している位置でワッシャーの偏摩耗が進行する。(右図)

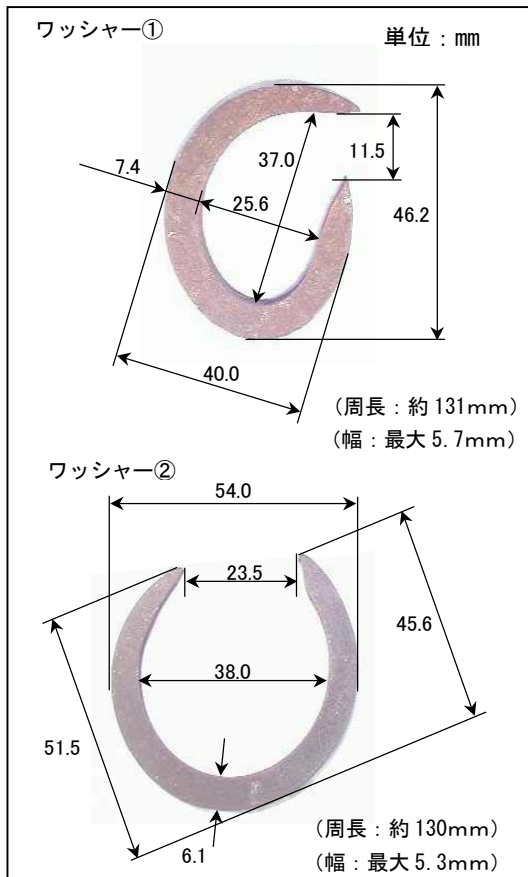


5. ワッシャー脱落時

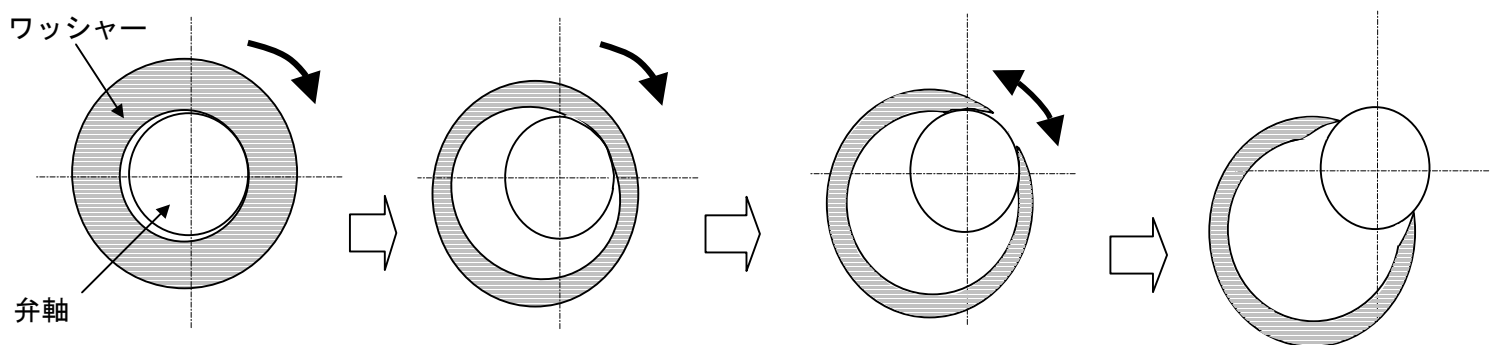
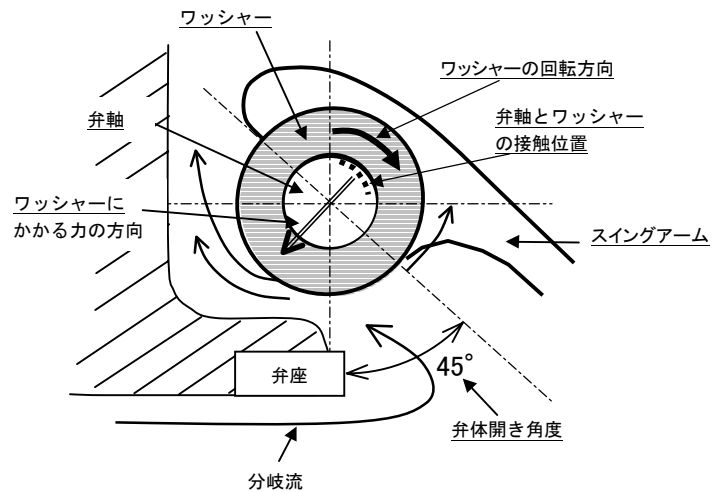
- ワッシャーの偏摩耗部分で分断・開口し、弁軸から外れる。
- その後、外れたワッシャーは下流の給水配管内、給水スパー ज्याで流れにより分裂した。

原子炉給水ポンプ出口逆止弁 V-605-101 A 及び 101B ワッシャー摩耗・脱落推定メカニズム

回収した原子炉給水ポンプ
出口逆止弁のワッシャー



弁体開き角度が設計角度の場合の流れ



1. 初期状態

- 弁軸の回りをワッシャーが回転する。
- 弁軸の当りは上側および下側。
- ワッシャーの当りは全周。

2. ワッシャー全周摩耗状態

- 弁軸の偏摩耗が進むがワッシャーの回転力が大きくワッシャー全周摩耗が進む。
- 同時にワッシャーの側面摩耗が進む。

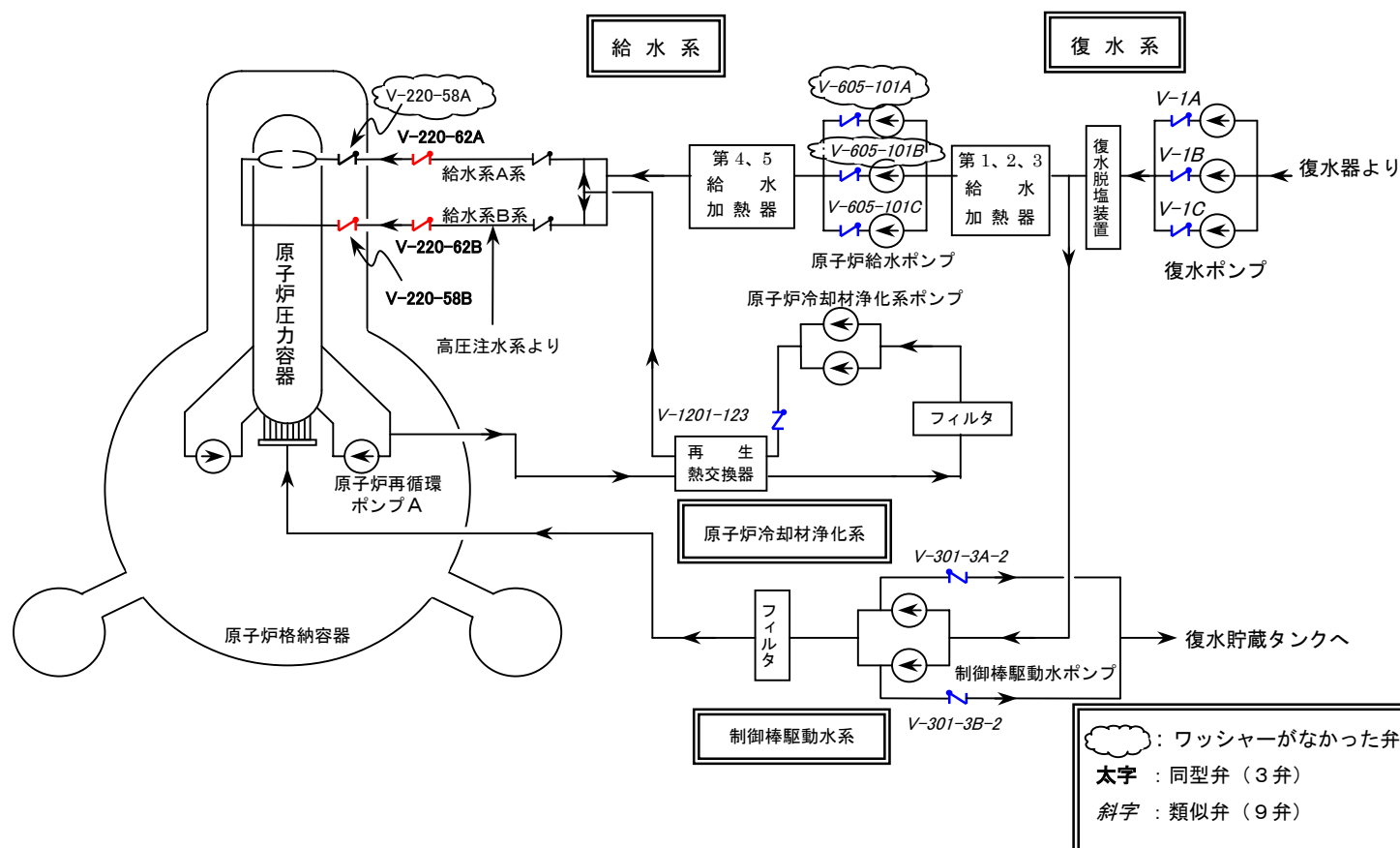
3. ワッシャー偏摩耗状態

- 弁軸とワッシャーの摩耗が進み、ワッシャーの一部に偏摩耗が生じる。

4. ワッシャー脱落時

- ワッシャーの偏摩耗部分で分断・開口し、弁軸から外れる。

系統概略図



弁分解点検結果と再発防止対策一覧

弁番号	材質	点検結果	対策
主給水逆止弁 V-220-58A 58B 62A 62B	ワッシャー： SUS403 弁軸： SUS431	・ワッシャーおよび弁軸に著しい摩耗または偏摩耗が確認された物があった。 ・58A のワッシャーは片側が脱落していた。 ・58A の弁体については第 20 回、62B の弁体については第 25 回定検で取り替えた際、弁体開き角度が調整されておらず、それぞれ 35°、37° であった。	・ワッシャーおよび弁軸を同材質の新品に取り替える。 ・58A および 62B の弁体開き角度の調整を実施する。 ・作業手順書に弁体開き角度調整の実施を明記する。 ・次回定検で、ワッシャーを必要としない弁体構造に変更する。
原子炉給水ポンプ出口逆止弁 V-605-101A 101B 101C	ワッシャー： 101A, B ニッケル銅合金 101C BC3 弁軸： SUS403	・ワッシャーおよび弁軸に著しい摩耗または偏摩耗が確認された物があった。 ・101A および 101B のワッシャーは片側が脱落していた。	・ワッシャーの材質を SUS403、弁軸の材質を SUS431 として新品に取り替える。 ・作業手順書に、弁体開き角度調整の実施を明記する。（水平展開事項） ・次回定検で、ワッシャーを必要としない弁体構造に変更する。
復水ポンプ出口逆止弁 V-1A 1B 1C	ワッシャー： BC3 弁軸： SUS403	・ワッシャーおよび弁軸に著しい摩耗は確認されなかった。	・材質および構造に関する対策は不要。 ・作業手順書に、弁体開き角度調整の実施を明記する。（水平展開事項）
C U W再生熱交換器シェル側逆止弁 V-1201-123	ワッシャー： スライト 弁軸： SUS630	・ワッシャーおよび弁軸に著しい摩耗は確認されなかった。	・材質および構造に関する対策は不要。 ・作業手順書に、弁体開き角度調整の実施を明記する。（水平展開事項）
C R Dポンプ出口戻り逆止弁 V-301-3A-2 3B-2	ワッシャー： SUS304 弁軸： SUS403	・ワッシャーおよび弁軸に著しい摩耗は確認されなかった。	・材質および構造に関する対策は不要。 ・作業手順書に、弁体開き角度調整の実施を明記する。（水平展開事項）