



平成20年8月14日
日本原子力発電株式会社

**東海第二発電所
原子炉隔離時冷却系における蒸気系排気ライン逆止弁の損傷について
(原因と対策)**

1. 経緯

当社、東海第二発電所（沸騰水型軽水炉、定格電気出力110万キロワット）は、7月9日より調整運転中のところ、8月4日20時50分頃、原子炉格納容器内に封入された窒素の圧力が低下傾向を示していることを確認しました。

この低下傾向は、原子炉隔離時冷却系定期試験後に確認されたことから、調査箇所を絞り込み、8月5日20時05分保安規定に基づき必要な措置を講じた上で原子炉隔離時冷却系を隔離し調査した結果、当該蒸気系排気ラインの逆止弁に不具合があることが判明しました。

このため、点検調査を行っておりましたが、本日、当該逆止弁の弁体が外れて落下しているのを確認いたしました。

本件は、法令に基づく報告対象に該当するものと判断しております。

なお、プラントは調整運転を継続*しております。

また、この事象による主排気筒モニター並びにモニタリングポストの指示値の変化はなく、外部への放射能の影響はありません。（平成20年8月7日 発表済）

*：弁体が脱落していることを確認したため、保安規定に定める運転上の制限を満足していないと判断し、運転上の制限逸脱を宣言し、必要な措置を講じた上で調整運転を継続しているものです。

2. 調査結果

（1）製品（寸法、材料、製造）および設計（強度）の不良に関わる調査において、異常は確認されませんでした。

（2）破面観察結果

折損した当該弁の弁体側ネジ部破面について、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて観察した結果、疲労破面に特有のストライエーション状模様、応力集中部に特徴的なラチェットマーク、及び延性破面特有のディンプル模様が確認されました。

（3）運転履歴の調査

破面観察の結果、疲労破面に特有のストライエーション状模様が確認されたため、運転履歴から弁体ネジ部に繰り返し荷重のかかる運転が行なわれていたかを確認しました。

当該弁については、運転員への聞き取り調査によって、原子炉隔離時冷却系（以下、RCICという）定期試験時のタービン低速回転時やRCICタービン無負荷

単体試験時の排気蒸気量が少ない時（以下、「タービン低速回転時」という。）において、従来から約2秒間隔で開閉音が繰り返されていたことが確認されました。

今回のR C I C定期試験時のデータから、タービン起動時の低速回転時において、約2秒周期でタービン回転速度が一定の振幅で変動することが確認されています。このタービン回転速度の変動原因は、タービン排気のサプレッションプール水中における蒸気凝縮状態変化による背圧変動で生じるものと考えられます。これらの状況から、当該弁の開閉が繰り返されると考えた場合、発電所運転開始からのR C I Cタービン累積運転時間約6 4 2時間に対し、低速回転で運転した時間の累積は概ね6 1時間と推定され、当該弁の総動作回数は約110,000回となります。

（４）メンテナンス不良

R C I Cタービン低速回転時に当該弁が開閉動作を繰り返していることについては運転経験として知っていましたが、この運転経験を踏まえて、当該弁の点検計画（弁の機能劣化に着目した主要部品の目視検査、非破壊検査）に対して、疲労を想定した点検内容の見直しが検討されませんでした。

3. 推定原因

前項の調査結果から、今回の原因は以下のとおりと推定されます。

（１）弁体への繰り返し荷重の発生

弁体の開閉動作によるアームとストッパーとの衝突の繰り返しにより、弁体ネジ部に疲労限を超える応力が発生しました。

（２）き裂の発生・進展

弁体の開閉動作による繰り返し応力によって、応力が集中する弁体ネジ部で疲労き裂が発生・進展しました。また、運転経験を踏まえた点検内容の見直し（疲労を想定した点検）が当該弁の点検計画に反映されなかったため、疲労き裂の発生を発見することができませんでした。

（３）最終破断

き裂の進展により健全な残存部が縮小し、8月4日のR C I C定期試験時に、アームがストッパーに衝突した際に発生する力により、弁体ネジ部で延性破壊が発生しました。

4. 脱落部品の探索及び残留物影響評価

（１）弁体ネジ部損傷に伴い脱落した部品については、当該弁の開放後、当該弁と上流側・下流側の内部を可能な範囲で目視、ファイバースコープや放射線透過撮影により確認しましたが、発見できませんでした。

（２）脱落した部品は、タービン排気の蒸気流によって下流側に移動し、サプレッションプール内にあるスパージャ（多数の穴を持つカゴ状の配管）内へ落下し滞留している可能性が高いと考えられます。このため、最大の質量であるナット他組品（約1.3kg）について、最大流速（R C I Cタービン定格運転時）によって移動し、エルボ背側またはスパージャ底部に衝突したときの影響評価を行なった結果、構造物に与える影響は極めて小さく、問題とはなりません。

なお、割りピン（断面半径 約8mm）はスパージャからサプレッションプールに流出する可能性があります。非常用炉心冷却系（以下、「E C C S」という）及びR C I C作動時にストレーナに吸引されたとしても、ストレーナ（穴径約2mm及び約3mm）を通過することはなく、E C C S及びR C I Cの機能には影響しません。

5. 対策

【設備面】

(1) 当該弁の復旧

- ① 弁体については、既設同等の強度が確認された現在のメーカー標準品である鍛造品の新品に交換します。あわせてナット、座金、割リピン等についても既設同等の新品に交換します。
- ② アーム及び弁箱については、工場及び現地点検結果に異常が認められなかったことから、再使用します。

(2) 当該弁の恒久対策

- ① 次回定期検査で、弁体のストッパーへの衝突による衝撃を緩和する目的で、衝撃緩和機構付きの弁に交換します。また、メーカー推奨や先行プラントの保全実績を勘案し点検周期を定め、その最初の分解点検時に、弁体ネジ部の非破壊検査を行ない健全性を確認します。その結果や運転状況を踏まえて、以降の点検周期および点検内容を見直していきます。
- ② 次回定期検査で、R C I Cタービン低速回転時にサプレッションプール内で生じる蒸気凝縮状態の変動を抑制し、当該弁の開閉回数を減らすため、蒸気凝縮性能に優れたスパージャに交換します。

【管理面】

- (1) 当該弁の点検計画に運転経験を踏まえた点検内容の見直しが反映されなかったことから、これまでも保全担当部門が入手した保全情報や運転情報に基づき点検計画の見直しを行っているが、これに加えて品質マネジメントシステム規程で定められた技術検討の場である「工事等に係る技術検討会」をより積極的に活用し、定期的に運転情報の報告や検討を行い、これらを適切に点検計画に反映します。

【水平展開】

- (1) 水平展開対象として抽出した逆止弁は、以下の点検を行います。

- ① 定期試験、運転切替操作などに合わせて開閉動作が繰り返されていないことを聴音確認します。開閉動作が繰り返されている場合は、速やかに分解点検を実施します。分解点検にあたっては、疲労に着目した非破壊検査を追加して実施します。
- ② 開閉動作が繰り返されていない場合は、至近の定検で分解点検を行います。分解にあたっては、疲労に着目した非破壊検査を追加して実施します。
- ③ 当該弁と構造および使用状態が異なる蒸気系のスイング式逆止弁は、点検計画に基づいた点検周期で分解点検を行ないます。また、分解点検にあたっては、疲労に着目した非破壊検査を追加して実施します。

今後、当該弁体の機能の健全性を確認し、通常状態に復帰する予定です。

以 上

添付図ー１ 東海第二発電所 原子炉隔離時冷却系タービン排気弁分解点検状況

添付図ー２ 東海第二発電所 原子炉隔離時冷却系タービン排気ライン逆止弁原因調査・対策(1/2)

添付図ー３ 東海第二発電所 原子炉隔離時冷却系タービン排気ライン逆止弁原因調査・対策(2/2)

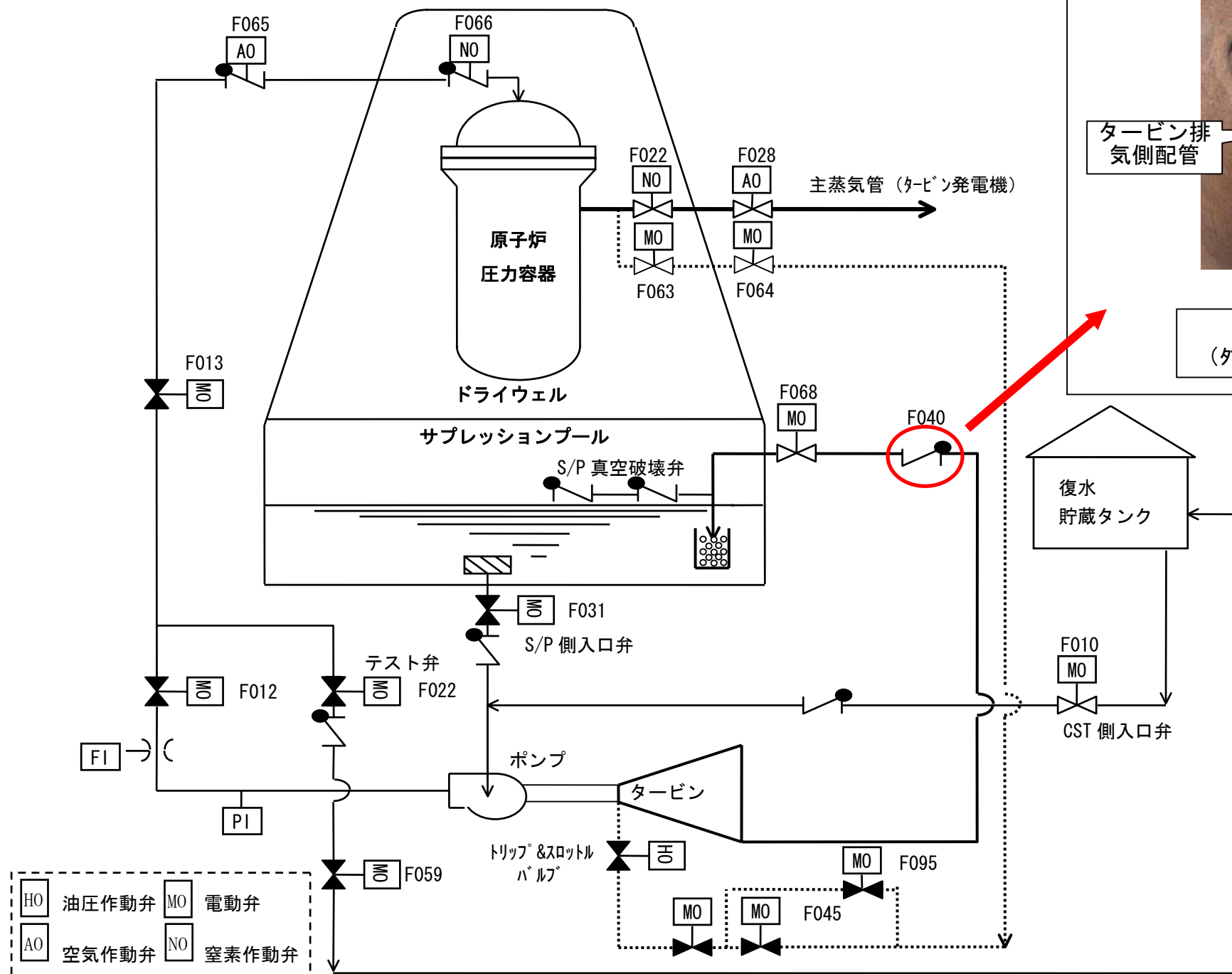
(経済産業省による I N E S の暫定評価)

基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
－	－	0－	0－

東海第二発電所 原子炉隔離時冷却系 タービン排気ライン逆止弁分解点検状況

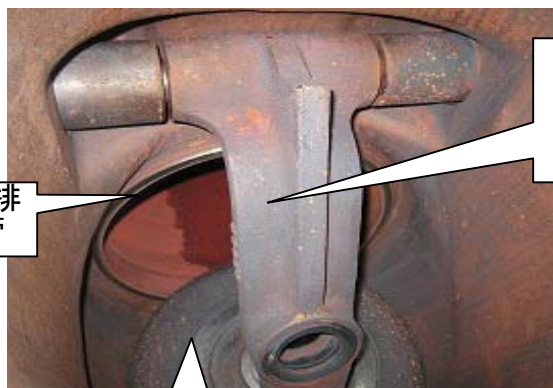
添付図 1

原子炉隔離時冷却系概要図



逆止弁

(状況写真 1 : 原子炉隔離時冷却系タービン排気逆止弁)



アーム
(長さ
約 40 cm)

タービン排
気側配管

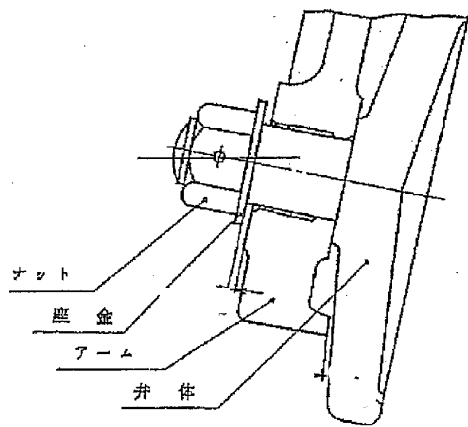
弁 体
(外形約 36cm)

弁体がアームより外れ、落下

(状況写真 2 : 弁体拡大図)



破断面



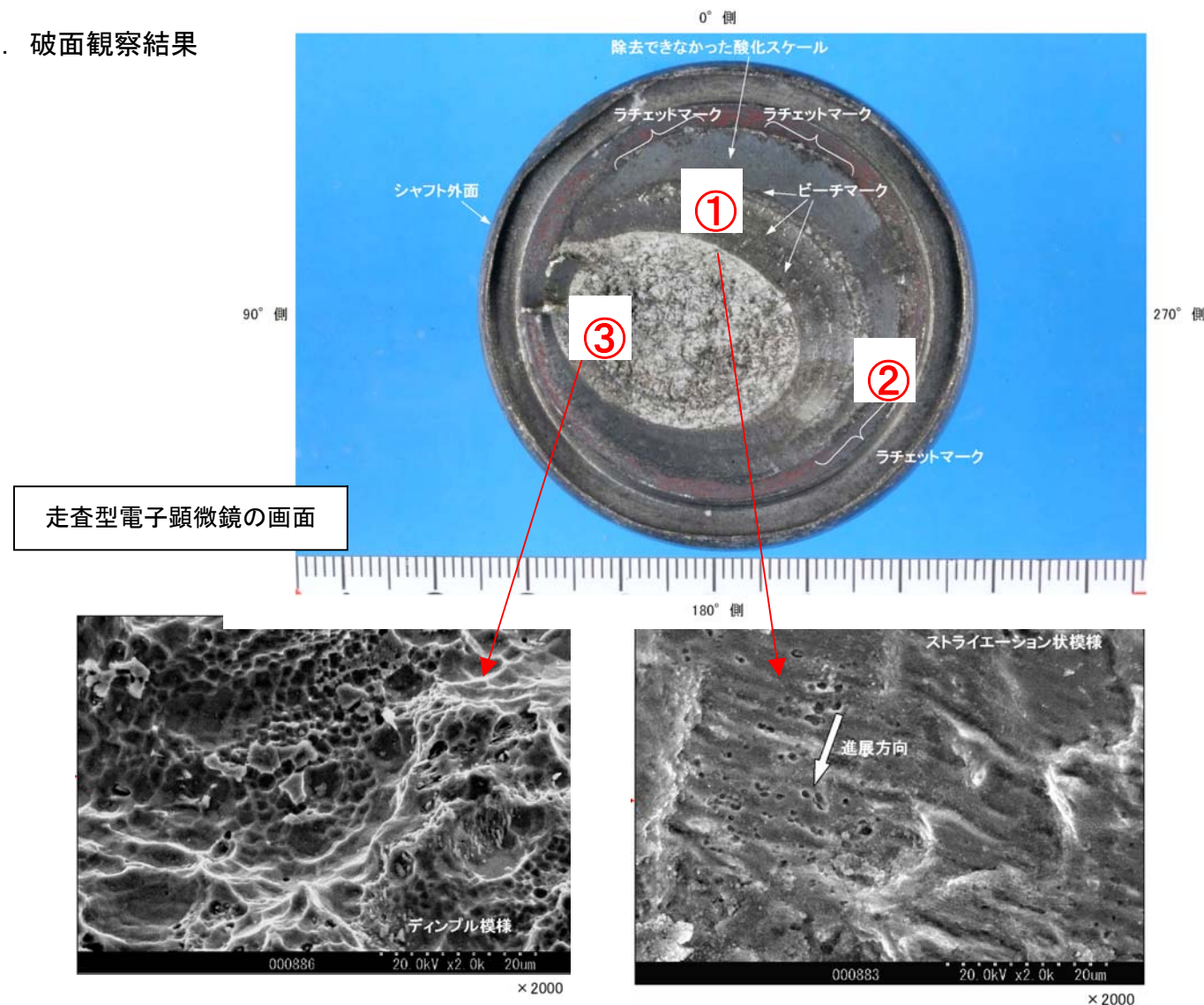
[逆止弁の弁体仕様]

- ・ 形式 : スイング式逆止弁
- ・ 材質 : 高温高圧用炭素鋼鋳鋼品 (SCPH2)
- ・ 外径 : 約 36cm
- ・ 重量 : 約 30kg

東海第二発電所 原子炉隔離時冷却系 タービン排気ライン逆止弁 原因調査・対策 (1/2)

〔原因調査・結果〕

1. 破面観察結果



折損した当該弁の弁体ネジ部について、走査型電子顕微鏡（SEM）（＊１）を用いて観察した結果は次のとおり。

- ① マクロ観察にて灰色に見えた部分にてビーチマーク（＊２）が確認された部位については、ほぼ全周にわたり、疲労破面に特有のストライエーション状模様（＊３）が観察された。
- ② 応力集中部に特徴的なラチェットマーク（＊４）が外周から内面に向けて観察された。また一部に酸化被膜と思われる付着物が確認された。
- ③ 粗さが粗い領域には、ほぼ全面に延性破面に特有のディンプル模様（＊５）が確認された。

＊１：走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope)

電子線を絞って電子ビームとして対象に照射し、対象物から放出される二次電子等を検出する事で対象を観察する電子顕微鏡

＊２：ビーチマーク

繰り返し力がかかって出来るさざなみ模様。

＊３：ストライエーション状模様(striation)

繰返し荷重による疲労破面に特徴的に現れる縞模様。

＊４：ラチェットマーク

疲労破面の応力集中部に現れる、のこぎり状(ひだ状)の模様で、応力が疲労限より相対的に高い場合に現われる。

＊５：ディンプル模様

金属が引きちぎられた時にできるくぼみ状の模様。

2. 運転履歴調査

今回の原子炉隔離時冷却系（以下、「RCIC」という）定期試験時のデータから、タービン起動時の低速回転時において、約２秒周期でタービン回転速度が一定の振幅で変動することが確認されている。このタービン回転速度の変動原因は、タービン排気のサプレッションプール水中における蒸気凝縮状態変化による背圧変動で生じるものと考えられる。

当該弁の開閉が繰り返されると考えた場合、発電所運転開始からのRCICタービン累積運転時間約６４２時間に対し、低速回転で運転した時間の累積は概ね６１時間と推定され、当該弁の総動作回数は約１１０，０００回となる。

3. メンテナンス不良

RCICタービン低速回転時に当該弁が開閉動作を繰り返していることについては運転経験として知っていた。この運転経験を踏まえて、当該弁の点検計画（弁の機能劣化に着目した主要部品の目視検査、非破壊検査）に対して、疲労を想定した点検内容の見直しが検討されなかった。

東海第二発電所 原子炉隔離時冷却系 タービン排気ライン逆止弁 原因調査・対策 (2/2)

〔推定原因〕

調査結果から、以下の経緯にて破断に到ったものと推定できる。

(1) 弁体への繰り返し荷重の発生

当該弁は、原子炉隔離時冷却系（以下、RCIC）タービン起動時の低速回転時に、サプレッションプールに排出されたタービン排気が蒸気凝縮され背圧が変動することで、弁体が開閉動作を行う。（*）この動作によるアームとストッパーとの衝突が繰返されることで弁体ネジ部に疲労限を越える応力が発生した。

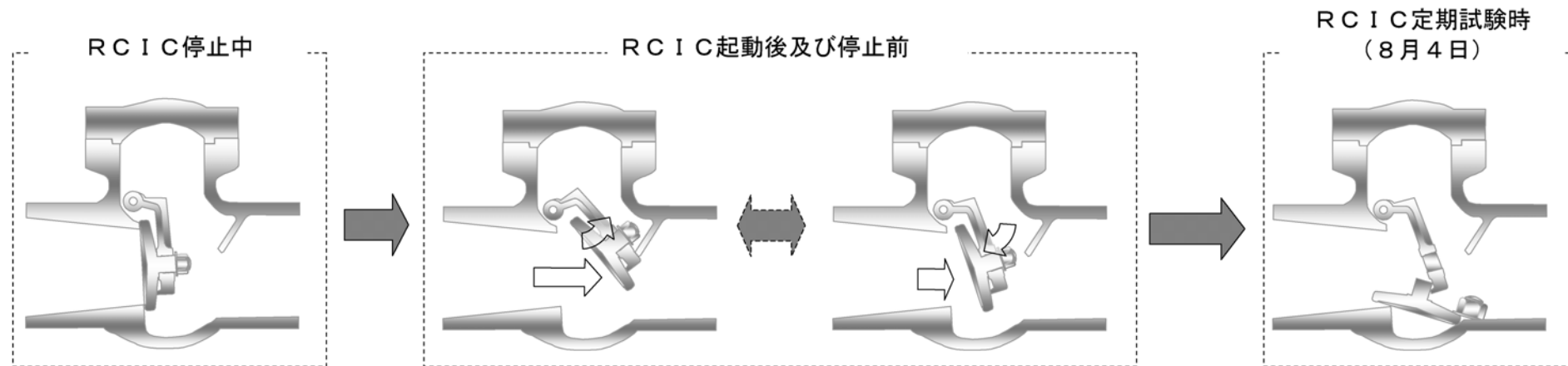
(2) き裂の発生・進展

この開閉動作は、約2秒の周期で繰返されることが確認されており、発電所運転開始から積算すると、約110,000回に達することとなる。この開閉動作による繰返し応力によって、応力が集中する弁体ネジ部で疲労き裂が発生・進展した。また、運転経験を踏まえた点検内容の見直し（疲労を想定した点検）が当該弁の点検計画に反映されなかったため、疲労き裂の発生を発見することができなかった。

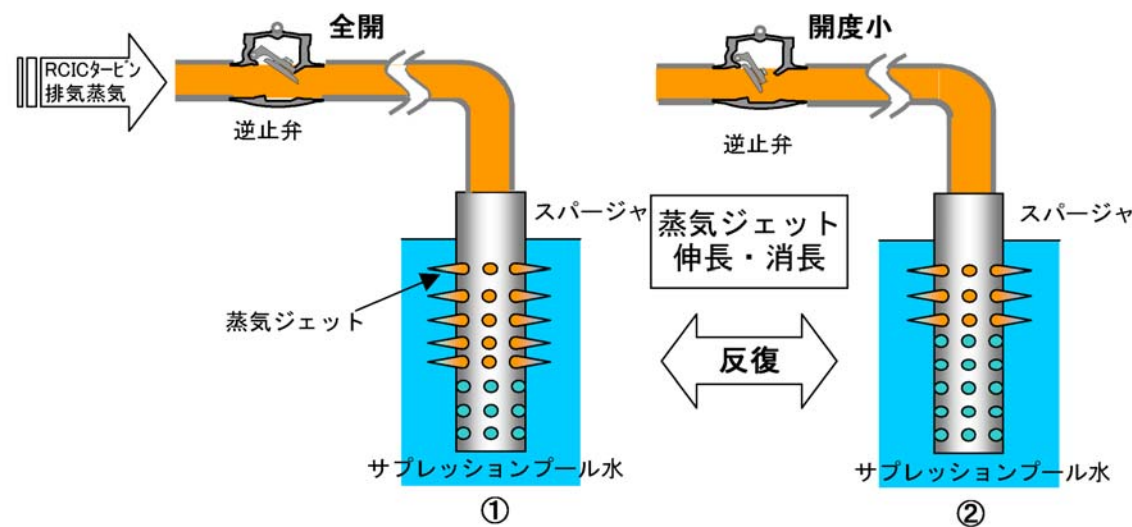
(3) 最終破断

き裂の進展により健全な残存部が縮小し、8月4日のRCIC定期試験時に、アームがストッパーに衝突した際に発生する力により、弁体ネジ部で延性破壊した。

発生メカニズム



(*) 逆止弁動作メカニズム



<蒸気ジェットと蒸気凝縮>

蒸気ジェットは、スパージャ孔からサプレッションプール水中に蒸気を噴出・凝縮する。蒸気ジェットの噴出形状は、蒸気流量に依存するが、低流量では十分に発達した蒸気ジェットを形成できないため、蒸気ジェットの伸長・消長を繰り返すことになる。この蒸気ジェットの伸長・消長による蒸気凝縮状態の変動が、蒸気流量・圧力の変動を生じさせ、当該弁を開閉させることになる。

〔対 策〕

1. 設備面

(1) 当該弁の復旧

- ① 弁体については、既設同等の強度が確認された現在のメーカ標準品である鍛造品の新品に交換します。あわせてナット、座金、割りピン等についても既設同等の新品に交換します。
- ② アーム及び弁箱については、工場及び現地点検結果に異常が認められなかったことから、再使用します。

(2) 当該弁の恒久対策

- ① 次回定期検査で、弁体のストッパーへの衝突による衝撃を緩和する目的で、衝撃緩和機構付きの弁に交換します。また、メーカ推奨や先行プラントの保全実績を勘案し点検周期を定め、その最初の分解点検時に、弁体ネジ部の非破壊検査を行い健全性を確認します。その結果や運転状況を踏まえて、以降の点検周期および点検内容を見直していきます。
- ② 次回定期検査で、RCICタービン低速回転時にサプレッションプール内で生じる蒸気凝縮状態の変動を抑制し、当該弁の開閉回数を減らすため、蒸気凝縮性能に優れたスパージャに交換します。

2. 管理面

- (1) 当該弁の点検計画に運転経験を踏まえた点検内容の見直しが反映されなかったことから、これまでも保全担当部門が入手した保全情報や運転情報に基づき点検計画の見直しを行っているが、これに加えて品質マネジメントシステム規程で定められた技術検討の場である「工事等に係る技術検討会」をより積極的に活用し、定期的に運転情報の報告や検討を行い、これらを適切に点検計画に反映します。

3. 水平展開

- (1) 水平展開対象として抽出した逆止弁は、以下の点検を行います。

- ① 定期試験、運転切替操作などに合わせて開閉動作が繰返されていないことを聴音確認します。開閉動作が繰返されている場合は、速やかに分解点検を実施します。（疲労評価で適切な時期を定めても良い）。分解点検にあたっては、疲労に着目した非破壊検査を追加して実施します。
- ② 開閉動作が繰返されていない場合は、至近の定検で分解点検を行います。分解にあたっては、疲労に着目した非破壊検査を追加して実施します。
- ③ 当該弁と構造および使用状態が異なる蒸気弁のスイング式逆止弁は、点検計画に基づいた点検周期で分解点検を行いません。また、分解点検にあたっては、疲労に着目した非破壊検査を追加して実施します。