



平成17年 9月 9日
日本原子力発電株式会社

東海第二発電所

電動機駆動原子炉給水ポンプ（B）出口弁の点検に伴う原子炉手動停止について （原因と対策）

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、第21回定期検査での所定の点検終了後、原子炉起動中の圧力上昇に伴う操作において、8月10日に電動機駆動原子炉給水ポンプ（B）出口弁（B系出口弁）が正常に動作しない事象が発生しました。これにより、調査のため原子炉を停止しました。

なお、本事象による周辺環境への放射能の影響はありません。

その後、B系出口弁の内部を点検したところ、弁棒の下部が破断していることを確認しました。また、A系出口弁についても点検したところ、B系出口弁の破断部と同じような箇所に浸透探傷試験^{*1}で指示模様が確認され、原因の詳細調査を行うこととしました。

^{*1}：浸透探傷剤を用いて傷や表面のひび割れ等の欠陥を調べる試験方法

（平成17年8月10日、16日発表済）

1. 調査結果

（1）破面観察結果

B系出口弁の弁棒破面を詳細に観察した結果、破面は結晶粒の境界（粒界）に沿った割れが主で、粒界型の応力腐食割れ（SCC）^{*2}あるいは脆性破壊^{*3}の特徴を示していました。なお、疲労破面に特有な模様は確認されませんでした。

また、A系出口弁の弁棒に破断はなかったものの、ほぼ全周にわたり確認されたひびは、破面観察の結果、B系出口弁と同様に粒界に沿った割れが主でした。

^{*2}：ステンレス鋼において材質的要因（熱影響等による耐食性の変化）、応力要因（材料に負荷される引張応力等）、環境要因（高温水等）の3要因が特定の条件となり、かつ、これらが重複した場合に発生することがあるひびのこと

^{*3}：延性破面を伴わない破壊

（2）弁棒スラスト荷重^{*4}調査結果

弁駆動部試験の結果、高速の電動弁のため、トルクスイッチ^{*5}による電動弁停止信号が入力されても慣性による惰走が大きく、弁棒に加わる荷重が増加し、最終的にはトルクスイッチ作動時の2倍を超える荷重になることが判りました。

なお、プラント運転中のA、B系出口弁は「開」で保持されるため、このスラスト荷重と弁体及び弁棒の自重による引張応力が常に弁棒に加わっていました。

^{*4}：弁棒の軸方向に働く荷重

^{*5}：弁棒に加わる力を検出して電動機を停止させる装置

(3) SCC発生要因の調査結果

SCC発生の条件を材料、環境、応力の面から調査した結果、A、B系出口弁の弁棒のくびれ部は、以下のとおり、材料・環境・応力の状況からSCC発生の可能性が高い状況にあることが確認されました。

[材料面] 文献調査や確認試験の結果、弁棒（マルテンサイト^{*6}系ステンレス鋼）は、製造時の熱処理によりSCCの感受性が高くなっていたことが判りました。

[環境面] 高温水(約 190℃)と接しており、SCCの発生する環境にありました。

[応力面] プラント運転中「開」状態であることから、上述のとおり弁棒には常に引張応力が加わっており、特に応力が集中していた弁棒のくびれ部の外周部ではSCCが発生する可能性がある応力を上回っていました。

* 6：鉄鋼材を急激に冷却して生成される組織

2. 推定原因

以上のことから、原因は次のとおりと推定されます。

(1) 初期き裂の発生

プラント運転中、弁棒のくびれ部は、材料・環境・応力の要因がSCCの発生条件を満足していたため、当該部に粒界型SCCが発生しました。

(2) き裂の進展と最終破断

弁棒は運転開始（昭和 53 年）以降の使用期間を経てB系出口弁のくびれ部で発生したSCCが深さ最大 20mm 程度まで進展し、今回の定期検査での開操作によって弁棒に加わったスラスト荷重により、弁棒のくびれ部が破断しました。

(3) A、B系出口弁の分解点検

A、B系出口弁の分解点検については、作動試験で異常が認められたときのみ実施することとしていたが、これまでの作動試験で異常が確認されたことはなく、分解点検の実績はありませんでした。このため、き裂を見つけられませんでした。

3. 対 策

(1) A、B系出口弁の弁棒くびれ部の形状を変更し、新品に取り替えました。

(2) A、B系出口弁を含め、起動・停止時並びに運転中に開閉する主要系統で用いられ、かつ、分解点検の周期が定まっていない電動弁について、定期的に分解点検を実施することとします。

(3) B系出口弁を含め、今回の事象のような弁棒破断の可能性が否定できない状況にある同様な電動弁（計 4 弁）については、プラント運転中、弁棒に過大な応力が加わらないように、トルクスイッチによる停止信号が働く前にリミットスイッチ^{*7}による停止信号が働くようリミットスイッチ停止回路の追加を行いました。

* 7：弁棒の位置や弁の開度を検出して電動機を停止させる装置

以 上

(添付図)

添付図 1 東海第二発電所 電動機駆動原子炉給水ポンプ出口弁

添付図 2 東海第二発電所 電動機駆動原子炉給水ポンプ出口弁 原因調査・対策（1／2）

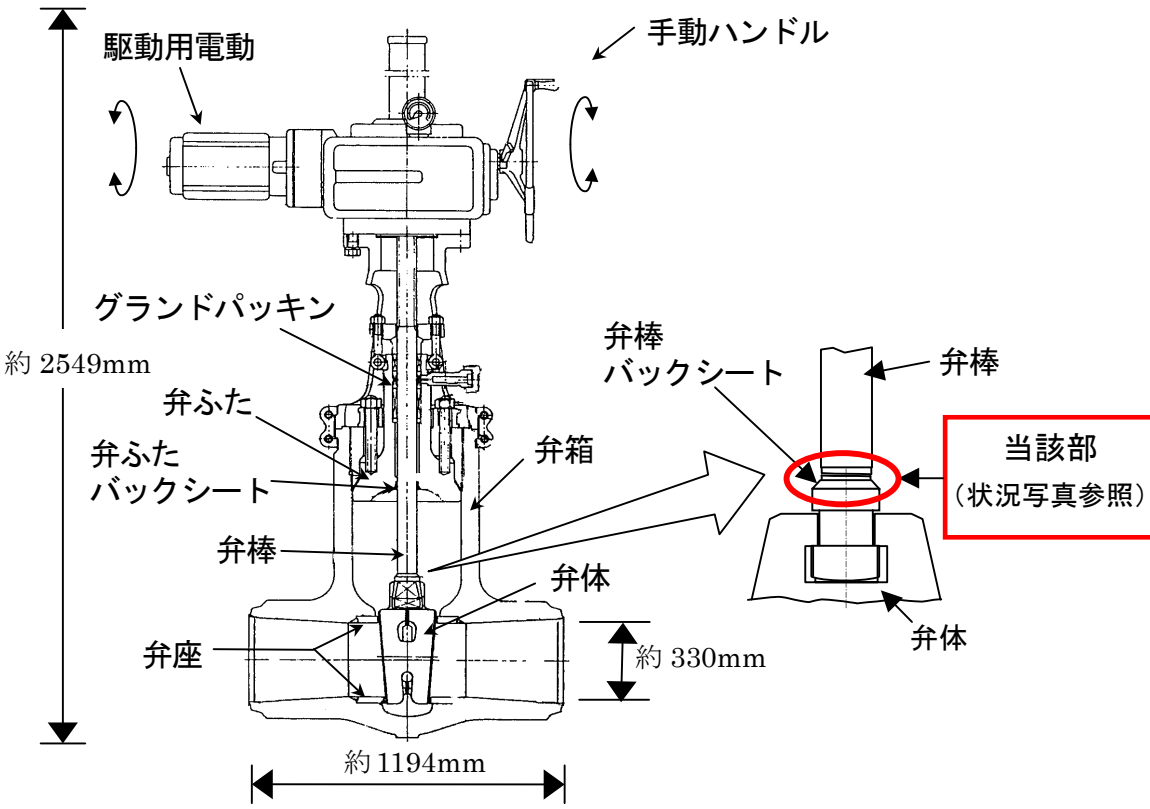
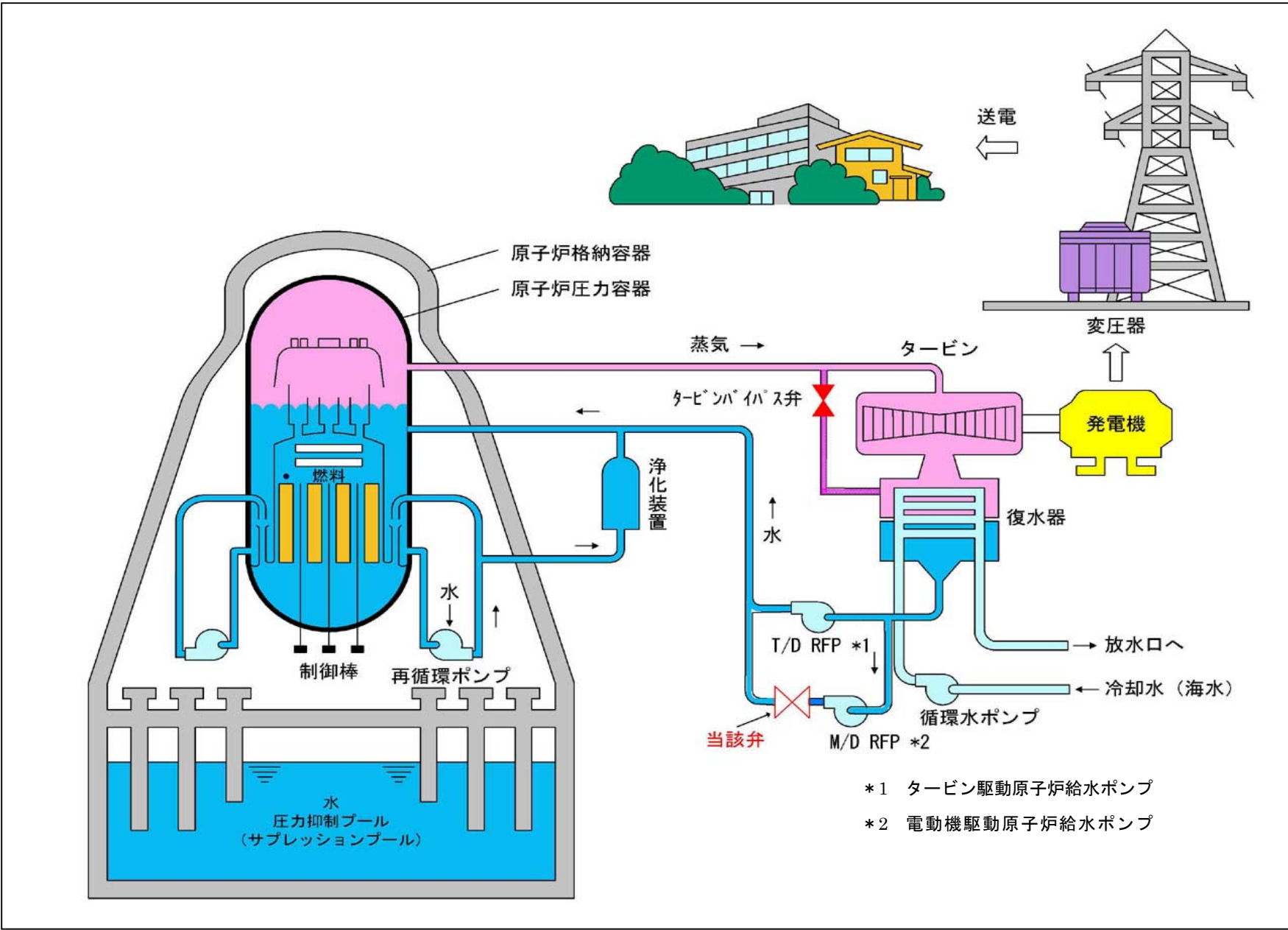
添付図 3 東海第二発電所 電動機駆動原子炉給水ポンプ出口弁 原因調査・対策（2／2）

(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 電動機駆動原子炉給水ポンプ出口弁

添付図 1



【A、B系出口弁の仕様及び開放点検結果】

(1) 仕様

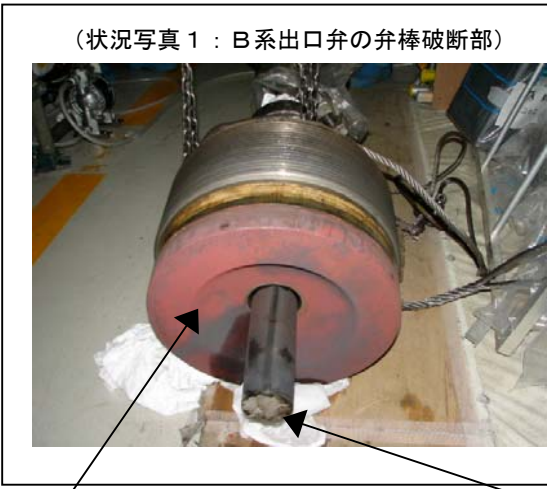
- ・ 弁形式：ウェッジゲート弁
- ・ 弁棒材質：SUS403 (H) *3
- ・ 弁棒外径：φ75mm
- ・ 弁棒速度：686mm/min (設計値)
- ・ 重量 弁棒：62kg 弁体：160kg

(2) B系出口弁開放点検結果

- ・ 弁棒はバックシート※4直上部で破断していた。
- ・ 弁体、弁座については弁の動作の異常に繋がる状況は認められなかった。
- ・ 弁体の弁棒接合部に、摩耗、変形等の異常はなかった。
- ・ 弁ふたのバックシート部の浸透探傷試験の結果、指示は認められなかった。

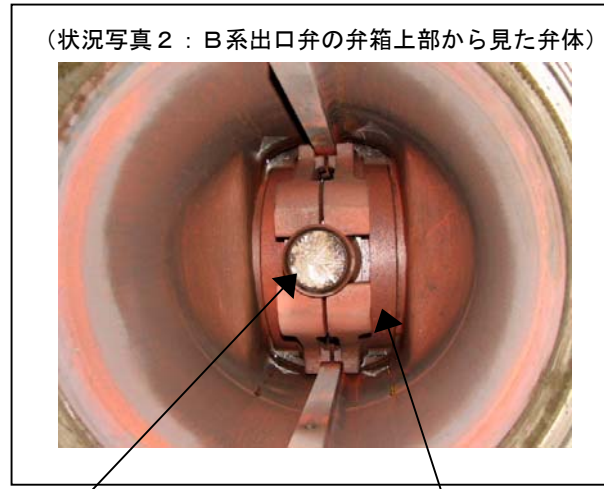
*3 SUS403(H)：マルテンサイト系ステンレス鋼、弁棒の引張強さを上げるため、JIS材のSUS403に熱処理を施したもの。

*4 バックシート：弁全開時に、弁ふたの弁棒貫通部から内部の流体が漏れないようにするためのもの。

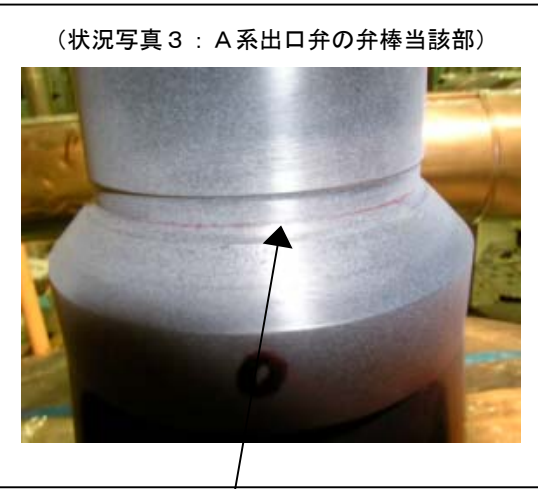


弁ふた

弁棒の破断部



弁体



指示模様

東海第二発電所 電動機駆動原子炉給水ポンプ出口弁 原因調査・対策 (1/2)

〔原因調査・結果〕

1. B系出口弁の弁棒破断面の詳細観察結果

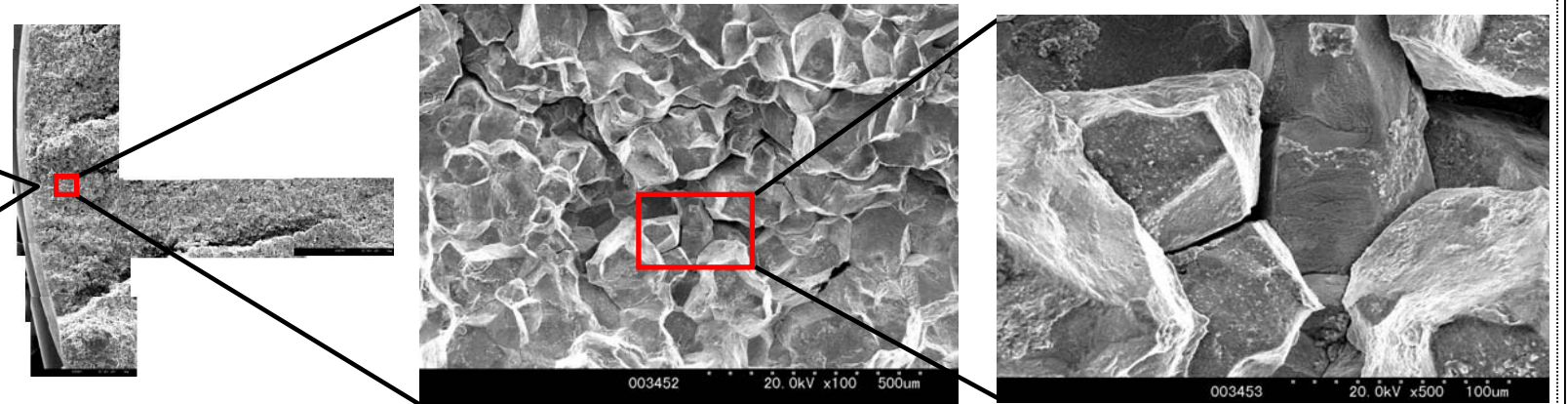
(1) 破面マクロ等観察結果

金属光沢部、黒色部及び薄黒色部の3領域が確認された。黒色部及び薄黒色部は、破面形成後比較的長時間高温の水に接していたことによる酸化皮膜と考えられ、金属光沢部はほとんどの部分に変色がないことから、最終的な破断により、形成されたと考えられる。



(2) 破面ミクロ等観察結果

破面は、結晶粒の境界（粒界）に沿った割れが主であり、粒界型の応力腐食割れ（SCC）あるいは脆性破壊^{*1}の特徴を示していた。なお、疲労破面に特有な模様は確認されなかった。



* 1 脆性破壊 : 延性破面を伴わない破壊

2. 弁棒スラスト荷重^{*2}調査結果

A、B系出口弁は高速の電動弁のため、トルクスイッチ^{*3}による電動弁停止信号が入力されても慣性による惰走が大きく、弁棒に加わるスラスト荷重が増加し、最終的にはトルクスイッチ作動時の2倍を超える荷重になる。

なお、プラント運転中のA、B系出口弁は「開」で保持されるため、バックシートが効いた状態で常時約183MPaのスラスト荷重と弁体及び弁棒の自重による引張応力が作用しているが、特に応力が集中するバックシート直上のくびれ部の外周部では、500MPaを超える引張応力となる。

3. SCC発生要因の調査結果

〔材料面〕 A、B系出口弁の弁棒は、マルテンサイト^{*4}系のステンレス鋼であり、所要の引張強度を得るために550℃で焼き戻しを行っている。文献調査等の結果から、550℃付近の温度で焼き戻しを行うとSCCの感受性が高くなることが判った。また、SCC感受性を確認するため、当該弁の弁棒の破断部近傍から採取した試験片を希硝酸溶液に一定時間浸漬した後、その断面観察を行い粒界の浸食深さを測定した結果、SCCの感受性を有するとされる目安（浸食深さ50μm）を超える浸食が確認された。

〔環境面〕 A、B系出口弁の弁棒は、プラント運転中に高温水(約190℃)と接しており、文献調査等の結果から、同様の材料では150℃～200℃の高温水中においてSCC感受性が最も高くなることが判った。

〔応力面〕 A、B系出口弁は、プラント運転中「開」状態で、スラスト荷重等による引張応力が常に弁棒に加わっており、特に応力が集中するバックシート直上のくびれ部の外周部では、引張応力が500MPaを越え、SCCが発生する可能性がある応力(約490MPa)を上回っていた。

* 2 スラスト荷重 : 弁棒の軸方向に働く荷重。

* 3 トルクスイッチ : 弁棒に加わる力を検出して電動機を停止させる装置。

* 4 マルテンサイト : 鋼材を急激に冷却して生成される組織

〔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）初期き裂の発生

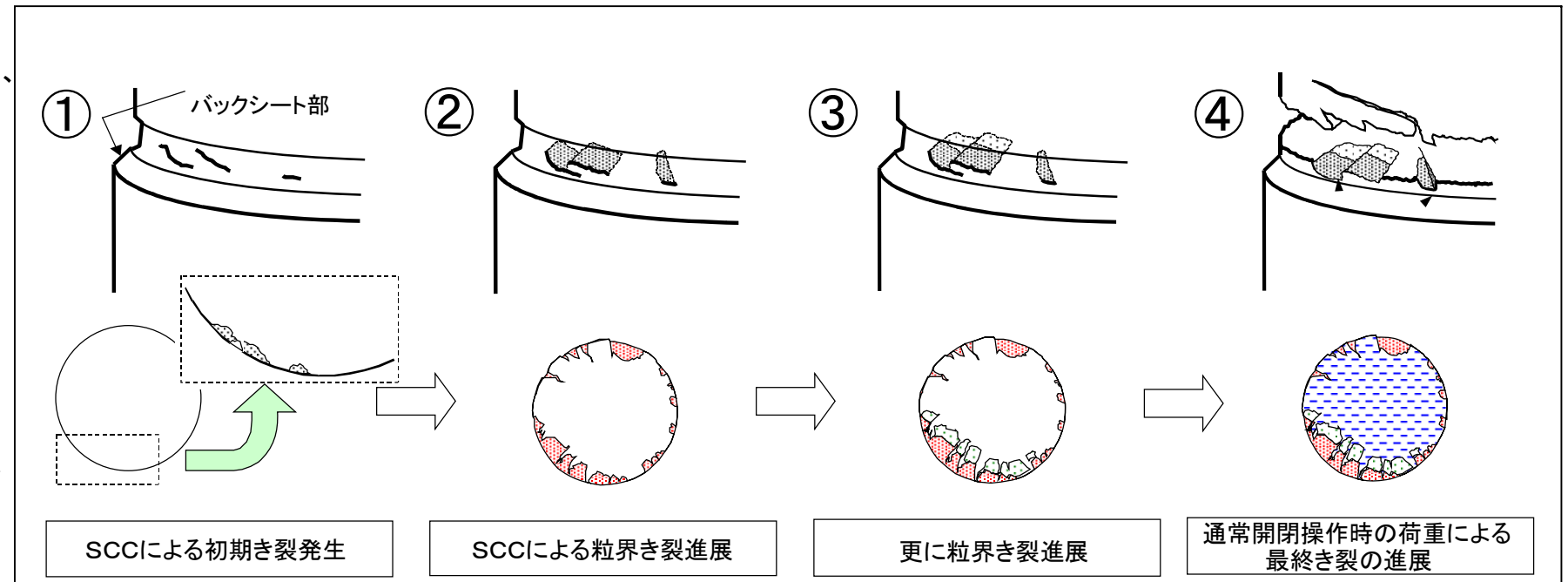
プラント運転中、B系出口弁の弁棒くびれ部は、材料・環境・応力の要因がSCCの発生条件を満足していたため、当該部に粒界型SCCが発生した。

（２）き裂の進展と最終破断

B系出口弁のくびれ部で発生したSCCが、運転開始（昭和53年）以降の使用期間を経て、深さ最大20mm程度まで進展し、今回の定期検査での開操作によって弁棒に加わったスラスト荷重により、弁棒のくびれ部が破断した。

（３）A、B系出口弁の分解点検

A、B系出口弁の分解点検については、作動試験で異常が認められた場合に実施することとしていたが、これまでの作動試験で異常が確認されたことはなく、分解点検の実績はなかった。このため、き裂を見つけることができなかった。



〔対 策〕

- （１） A、B系出口弁の弁棒くびれ部の形状を変更し、新品に取り替えた。なお、弁棒くびれ部の曲率は引張応力を低減させるために、緩やかなものに変更するとともにくびれ部の径を太いものにした。
- （２） A、B系出口弁は、今後、定期的に分解点検を実施するよう点検計画を見直すこととする。また、当該弁以外で起動・停止時及び運転中に開閉する主要系統で用いられ、かつ、分解点検の周期が定まっていない電動弁についても、定期的に分解点検を実施することとする。
- （３） B系出口弁を含め、今回の事象のような弁棒破断の可能性が否定できない状況にある同様な電動弁（計4弁）については、プラント運転中、弁棒に過大な応力が加わらないように、トルクスイッチ*¹による停止信号が働く前にリミットスイッチ*²による停止信号が働くようリミットスイッチ停止回路の追加を行った。

* 1 トルクスイッチ：弁棒に加わる力を検出して電動機を停止させる装置

* 2 リミットスイッチ：弁棒の位置や弁の開度を検出して電動機を停止させる装置

原子炉再循環ポンプ（B）流量制御弁の弁蓋部のガスケット取替等について

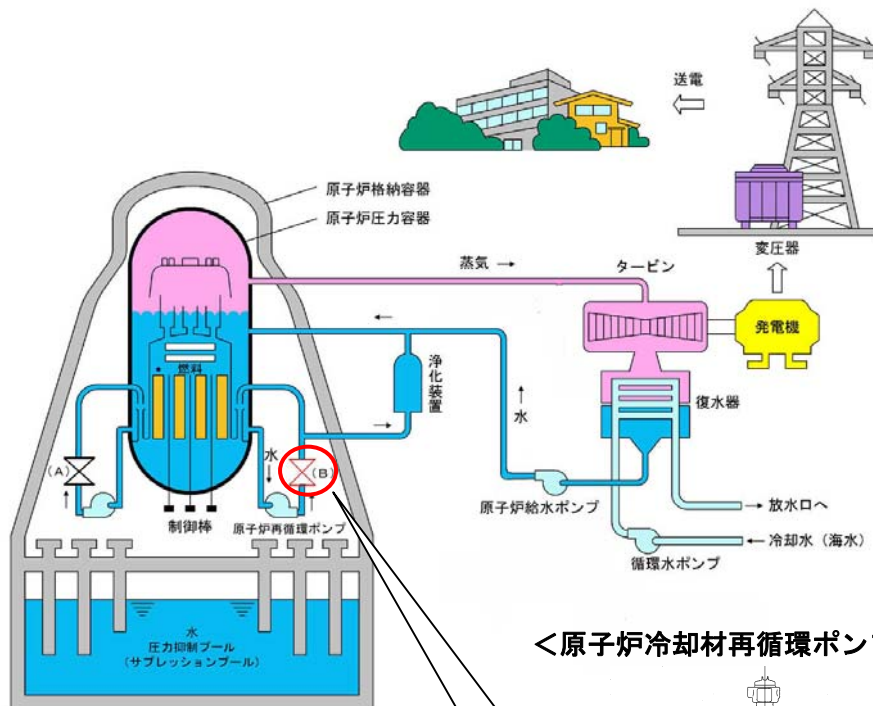
東海第二発電所では、起動時に万全を期すため、機器の健全性確認・評価等の総点検を実施しています。平成17年9月6日、制御棒駆動機構（全185本）中の1本に動作不良があり、予備品に取替えました。これに伴い、原子炉压力容器の漏えい検査を行ったところ、原子炉再循環ポンプ（B）流量制御弁*¹弁蓋部の締付ボルトから水のにじみが確認されました。

このため、弁蓋部のガスケット*²の交換を実施することとしました。

* 1：原子炉再循環ポンプにより、原子炉に供給される冷却水の流量を調整する弁。

* 2：金属のインコネルと黒鉛を多層に挟みこんだパッキン材

<東海第二発電所 主要系統概略>



<原子炉冷却材再循環ポンプ流量制御弁の断面図>

