

伊方発電所第3号機  
スチームコンバータの加熱蒸気2次圧力制御弁の異常

平成31年 3月  
四国電力株式会社

1. 件名  
伊方発電所第3号機 スチームコンバータの加熱蒸気2次圧力制御弁の異常

2. 事象発生の日時  
平成31年 1月 7日 9時 2分

3. 事象発生の設備  
3号機 スチームコンバータ加熱蒸気2次圧力制御弁(管理区域外)

4. 事象発生時の運転状況  
3号機 通常運転中(電気出力918MW)

5. 事象発生の状況  
伊方発電所3号機は通常運転中のところ、1月7日7時15分、運転員がスチームコンバータ<sup>※1</sup>(以下、「S/C」という。)の加熱蒸気2次圧力制御弁(3PCV-6784)<sup>※2</sup>(以下、「当該弁」という。)から異音が発生していることを確認したことから、保守員が状況を確認したところ、1月7日9時2分、当該弁が動作不良であることからS/Cを停止して当該弁を点検することを判断した。その後、補助ボイラ<sup>※3</sup>を起動し、補助蒸気の供給をS/Cから補助ボイラに切り換え、S/Cを停止し、当該弁の点検を開始した。

当該弁を分解点検したところ、弁体<sup>※4</sup>と弁棒<sup>※5</sup>の接続部を固定するピンが折損していることを確認した。弁体と弁棒のねじ構造の接続部が緩んでピンが折損し、弁体が回転したことにより弁体の位置が下がったため、正常な開度調整ができなくなったものと推定した。

1月23日、弁体と弁棒が緩まない対策を実施したうえで当該弁を復旧し、1月24日、S/Cの起動および補助ボイラの停止を実施し、1月25日13時23分、当該弁制御状態に異常がないことを確認し通常状態へ復旧した。

なお、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 スチームコンバータ(S/C)

プラント運転中に純水を2次系の蒸気で加熱し、周辺機器に供給するための補助蒸気が発生させる装置。補助蒸気は、純水装置、海水淡水化装置、ほう酸回収装置、廃液蒸発装置、空調設備、タンク等の加温用に使用される。

#### ※2 スチームコンバータ加熱蒸気2次圧力制御弁(3PCV-6784)

スチームコンバータから発生させる蒸気(補助蒸気)圧力を制御するためにスチームコンバータを加熱する蒸気量を調整する空気式作動弁。

### ※3 補助ボイラ

周辺機器に供給するための補助蒸気を発生させる装置。スチームコンバータが使用できないプラント停止時等に補助蒸気を供給する。

### ※4 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。

### ※5 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。

## 6. 事象の時系列

1月7日

- 7時15分 当該弁より異音が発生していることを確認
- 7時28分 当該弁を「自動制御」から「手動制御」に切換
- 8時40分 保修員現場確認開始(外観目視点検および弁動作確認)
- 9時02分 当該弁の不具合判断  
(当該弁を系統から隔離し、バイパス弁(手動弁)により圧力制御)
- 16時03分 補助ボイラ起動
- 18時45分 補助ボイラ送気開始
- 19時05分 補助蒸気系統切換(S/C から補助ボイラに切換)
- 19時08分 S/C 停止
- 19時48分 当該弁分解点検開始
- 20時20分 当該弁分解点検終了

1月9日～1月22日

メーカーによる原因調査および修理

1月23日

- 9時15分 当該弁復旧作業開始
- 16時47分 当該弁復旧作業終了

1月24日

- 13時27分 S/C 起動
- 14時44分 補助蒸気系統切換(補助ボイラから S/C に切換)
- 15時34分 補助ボイラ停止

1月25日

13時23分 当該弁の制御状態に異常がないことを確認(通常状態に復旧)

## 7. 調査結果

当該弁の不具合原因について、以下の調査を行い要因の検討を実施した。

### (1) 外観目視点検および弁動作確認結果

当該弁を外観目視点検したところ、外観上に変形等の異常は認められなかったが、弁動作がスムーズでなく動作時に異音がしていることを確認した。また弁動作確認のため、制御信号により全開および全閉信号を入力したところ、全開動作については問題なく動作したが、全閉動作については開度約30%以下より閉まらず動作不良であることを確認した。

### (2) 分解点検結果

当該弁を分解点検したところ、弁体と弁棒の接続部(ねじ締め込みによる接続)が緩み、弁体の位置が下がっていることを確認した。また、弁体と弁棒の接続部を固定するピンが折損していることおよび折損したピンが弁体および弁棒内に残っていることを確認した。このことから、弁体の位置が下がったことで弁体の駆動範囲が狭くなり、動作不良に至ったと推測した。なお、その他構成部品について異常は認められなかった。

(添付資料-2)

### (3) 工場等調査

分解点検時に取り出した弁体と弁棒について、以下のメーカ工場等調査を実施した。

#### a. 外観観察

ピンの折損は弁棒と弁体の境目で発生しており、折損したピンは3つに分断され、それぞれ弁体、弁棒内に残っていた。弁体に残っていたピンの位置を確認したところ、ピンは所定の位置である弁体中央部にあり、ピン位置に異常は認められなかった。

弁棒および弁体については、弁棒の接続部に緩んだときについたと思われる円周方向の傷が見られたが、弁棒および弁体の機能を損なうような異常は認められなかった。

(添付資料-3(1/2))

#### b. 弁体と弁棒の接続部接触状態の確認

弁棒の接続部に着色剤を塗布し、手締めにて弁体と接続させ、弁体と弁棒の接触状態を確認したところ、弁体側接続部ほぼ全面に着色剤が付着したことから、弁体と弁棒の接続部に異常は認められなかった。

(添付資料-3(2/2))

#### c. 破断面観察

折損したピンの破断面を光学顕微鏡および電子顕微鏡により観察した。その結果、破断面には疲労破壊の特徴である縞模様が確認されたことから、ピンにせん断力が繰り返し加わったことで亀裂が生じ、徐々に進展して折損に至ったと推測される。

(添付資料-3(2/2))

#### d. 寸法測定

弁体、弁棒および折損したピンの寸法計測を行った結果、設計寸法どおり加工されており問題ないことを確認した。

#### e. 検査等記録の調査

納入時の検査成績書を確認したところ、弁体および弁棒は設計上要求している材質で設計寸法どおりに加工されており、問題ないことを確認した。また、ピンの材質については、メーカー設計要求どおりであることをメーカー聞き取りにより確認した。

メーカーが弁体と弁棒を組立する際に使用するチェックシートを確認したところ、設計上要求している組立が実施されており、問題ないことを確認した。しかし、チェックシートにはエアブローの項目がなく、エアブローによる異物除去が確実に実施されたことを確認できなかった。

### (4) 保守状況の調査

当該弁の点検作業は伊方3号機定検中に実施しており、主な点検内容としては弁体分解点検(2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(3~6定検毎)、弁体取替(周期なし)がある。

直近の点検は、伊方3号機第14回定検中の点検作業(平成29年10月実施)にて、弁体分解点検、作動試験、計装品点検および弁体取替を実施しており、点検結果に異常はなかった。

なお弁体および弁棒については、上記3号機第14回定検点検作業にてそれまでの点検結果に基づき新品に取り替えており、3号機起動(平成30年10月)に伴い使用を開始していた。

また、弁体と弁棒の接続部締め込みおよびピンによる固定は工場にて実施されるため、現地取替作業により接続部に異物が混入する可能性はないことを確認した。

### (5) 使用状況の調査

当該弁の使用状況(温度、圧力、流量、振動等)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。

## (6)過去の類似事象

伊方発電所1、2、3号機における過去の類似事象を調査したところ、類似事象がないことを確認した。

## (7)類似弁の調査

伊方3号機における当該弁と同じ製造メーカーの弁(251台(当該弁は除く))について、定期的な外観点検等により動作状況、異音、振動等を確認し、異常がないことを確認した。

## 8. 推定原因

当該弁の弁体と弁棒の接続部が緩みピンが折損した原因について、組立時にエアブローによる異物除去を確実に実施したことを確認できなかったことを除き問題がなかったことから、工場にて弁体と弁棒を組み立てる際、異物が接続部に混入したことで微視的に接続部の緩みが内在していた可能性が否定できず、初期不良の可能性が高いものと推定した。

また当該弁は、フローオーバーシート<sup>※6</sup>構造でバランス型の弁体<sup>※7</sup>を使用しており、プラント運転中は低开度で使用する場合がある。このとき、流体は弁体上部から弁体下部へ差圧が大きい状態で継続的に流れるため、弁体には強い回転力が継続的に加わる。設計上は接続部の摩擦力にピンの強度が加わった抗回転力<sup>※8</sup>が弁体の回転力を上回っているが、異物が接続部に混入した場合、接続部の摩擦力は減少し、弁体の抗回転力がピンの強度に大きく依存する状態になるため、流体から弁体に加わる回転力が抗回転力を上回って接続部が緩み、弁体と弁棒を貫通しているピンは弁体の回転力によって繰り返しせん断力を受け折損に至ったと推定される。

(添付資料-4)

### ※6 フローオーバーシート

流体が弁体上部(側面)から下部へ流れる構造となっている弁のこと。

### ※7 バランス型の弁体

弁体を縦に貫く穴により、弁体上部と下部の圧力が均衡するように設計されている弁。弁前後の差圧が大きい系統に設置している。

### ※8 抗回転力

流体からの回転力に勝るように弁体と弁棒を固定する力で、弁体と弁棒の接続部における摩擦力とピンの強度の和。

## 9. 類似設備の調査

推定原因より、伊方3号機について当該弁と同様に使用実績が1サイクル未満(伊方3号機第14回定検以降に取替した弁)であり、初期不良の可能性が否定できない弁は24台(当該弁除く)ある。このうち当該弁と類似構造の弁(フローオーバーシート構造でバランス型弁体を使用されている弁)は2台抽出され、以下の通り同様の事象発生の可能性がないことを確認した。また、伊方1、2号機については同様の初期不良の可能性がある弁はないことを確認した。

### (1) 湿分分離加熱器の出口蒸気温度制御弁

通常運転中は開度が全開の状態で使用しており、流体による回転力は殆ど生じない。また、停止中は流体がなく回転力は生じない。

### (2) 主給水ポンプの流量調整弁

当該弁と別メーカーにより製造されており、当該メーカーは弁体、弁棒組立時にはエアブローを確実に実施していることを確認した。

## 10. 対策

(1) 当該弁については、弁棒及び固定ピンの取替を行い、工場でエアブローを確実に実施した上で弁体と弁棒を組み立てたものを納入し、復旧した。また、これまでの当該弁の使用実績に問題がなかったことから、現状の抗回転力でも十分であると考えられるが、念のため弁体と弁棒の接続部の更なる抗回転力の向上を目的として、弁棒の弁体へ挿入する部位の直径を19mmから32mmへ変更し、ピンの直径を5mmから8mmに変更したうえで所定の締め付け力で組み立てた。これにより、弁体の抗回転力は変更前の約220Nmから約4倍の約920Nmとなり、弁体はより緩みにくくなった。

(添付資料-5)

(2) 異物混入対策として、当該弁の弁体と弁棒の組立時にエアブローを実施したことをチェックシートに記録として残した。また、今後の継続的な再発防止策として、メーカーの弁体チェックシートに「エアブローの実施」を明記した。

以上

## 添 付 資 料

添付資料－1 伊方3号機 スチームコンバータ概略系統図

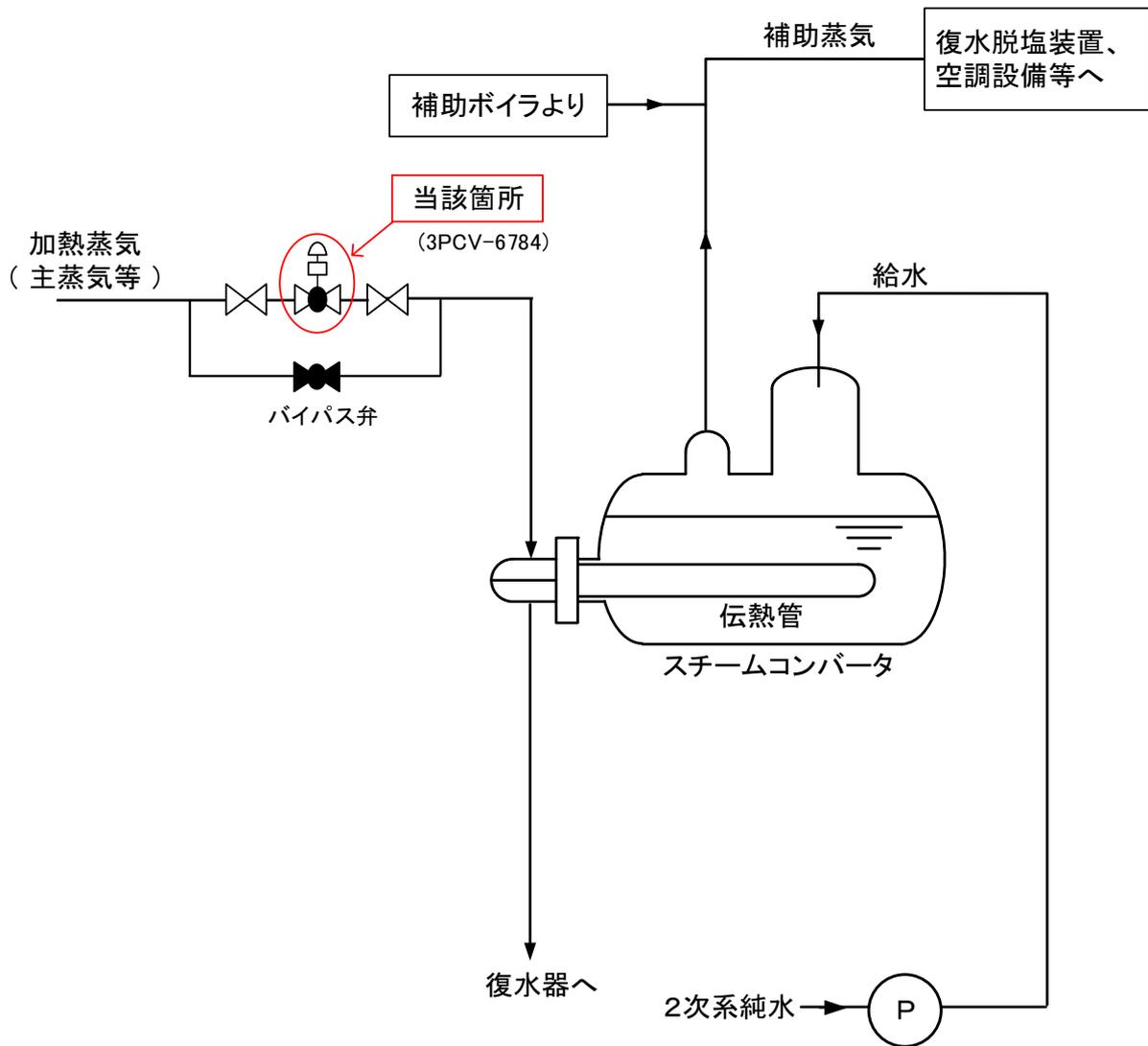
添付資料－2 3PCV-6784 分解点検結果

添付資料－3 工場等調査結果

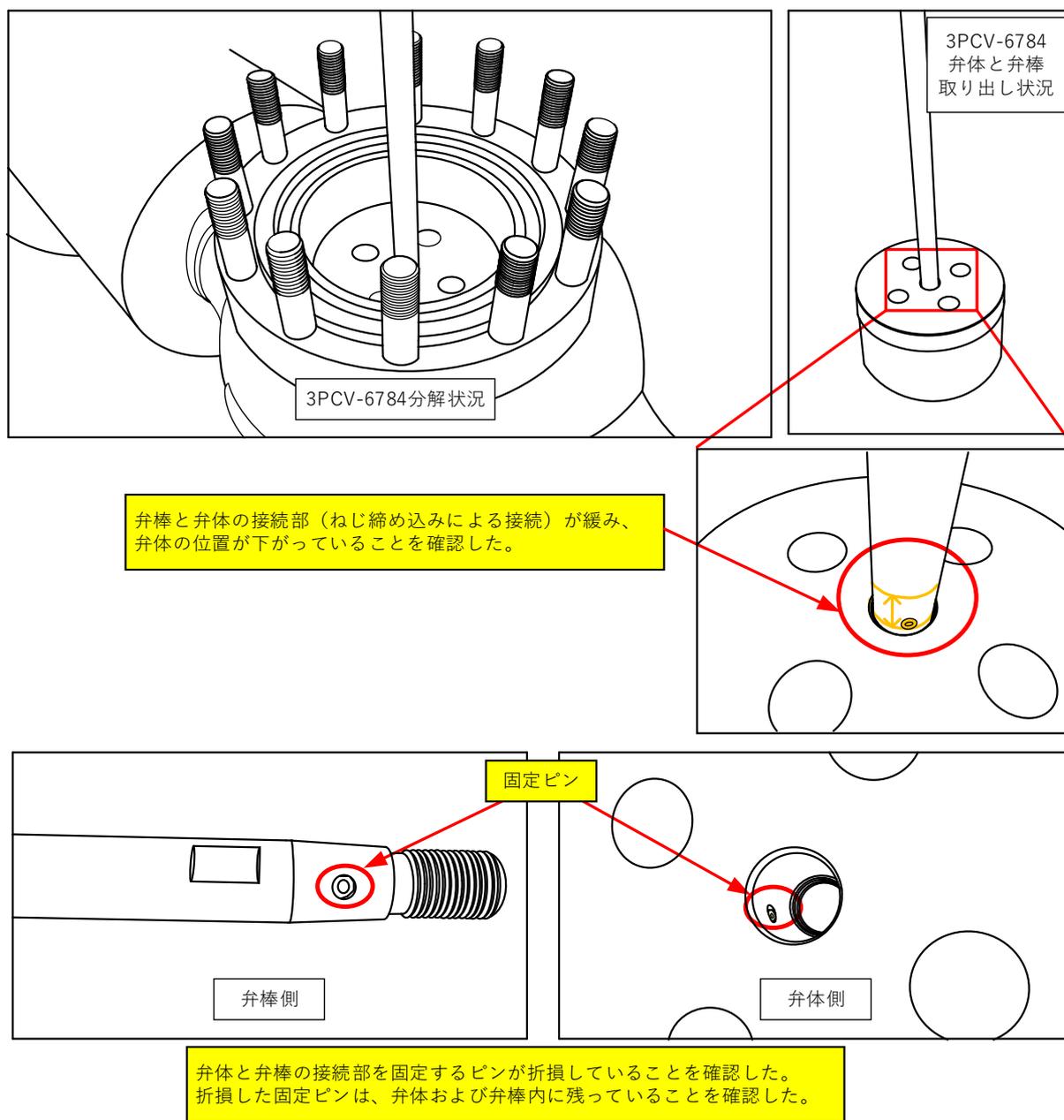
添付資料－4 弁体に回転力が加わるメカニズム

添付資料－5 対策概要

### 伊方3号機 スチームコンバータ概略系統図

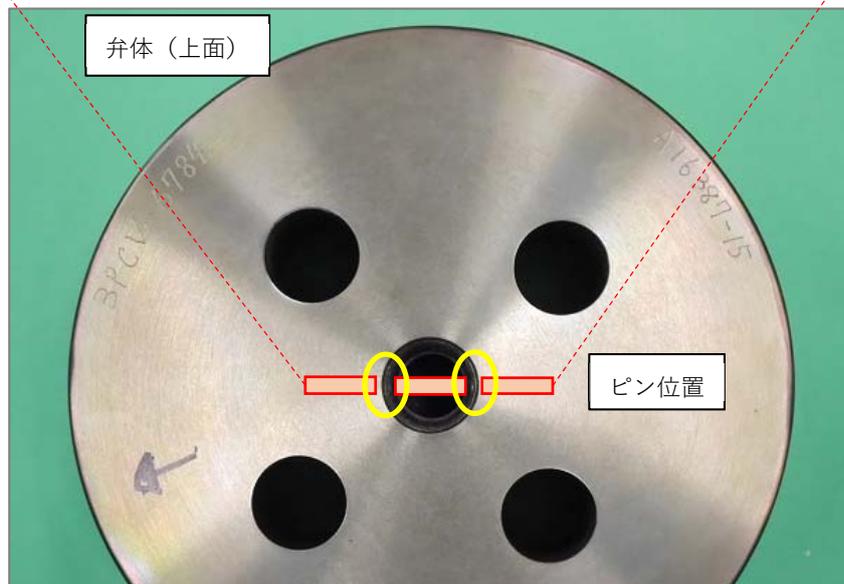
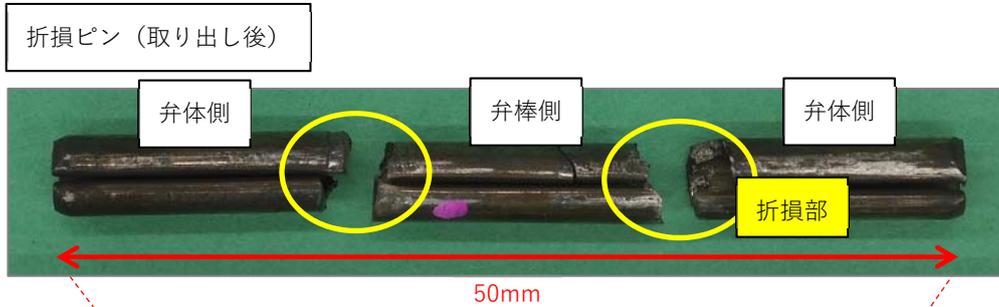


### 3PCV-6784 分解点検結果



工場等調査結果

a. 外観観察結果



ピンの折損は弁棒と弁体の境目で発生し、折損したピンは3つに分断されていた。弁体に残っているピン位置を確認したところ、ピンは弁体中央に位置しており、ピン位置に異常は認められなかった。

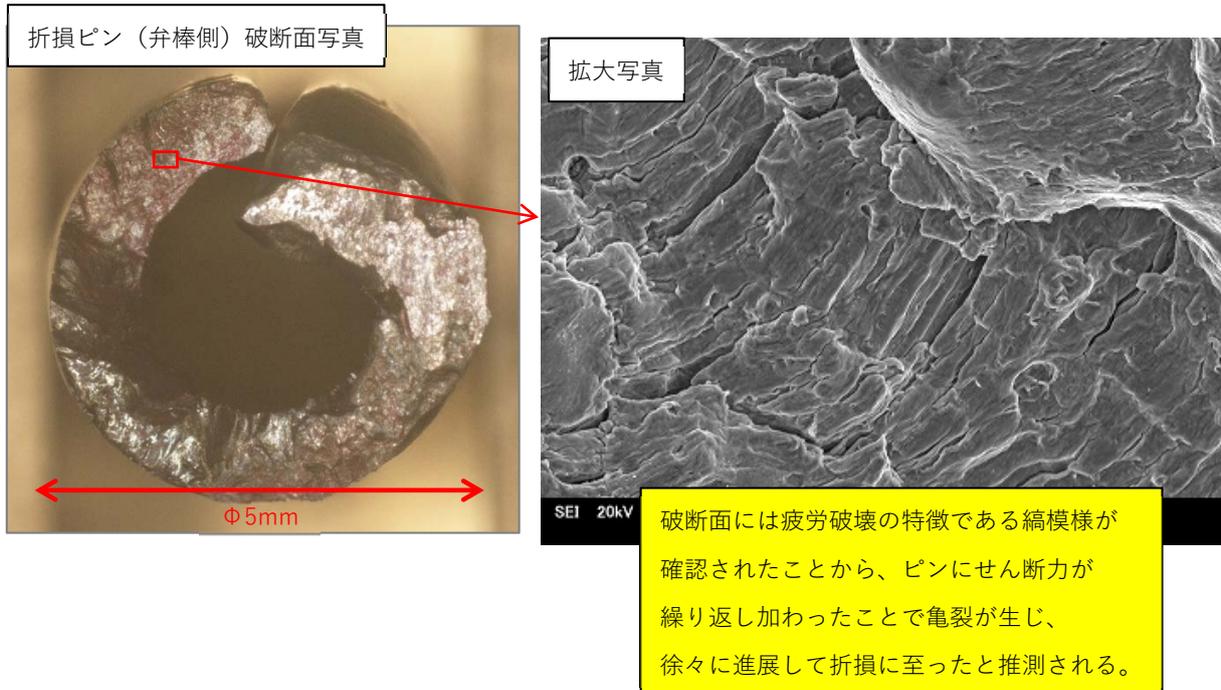


弁棒接続部に円周方向の傷が見られたが、弁棒や弁体の機能を損なうような異常は認められなかった。

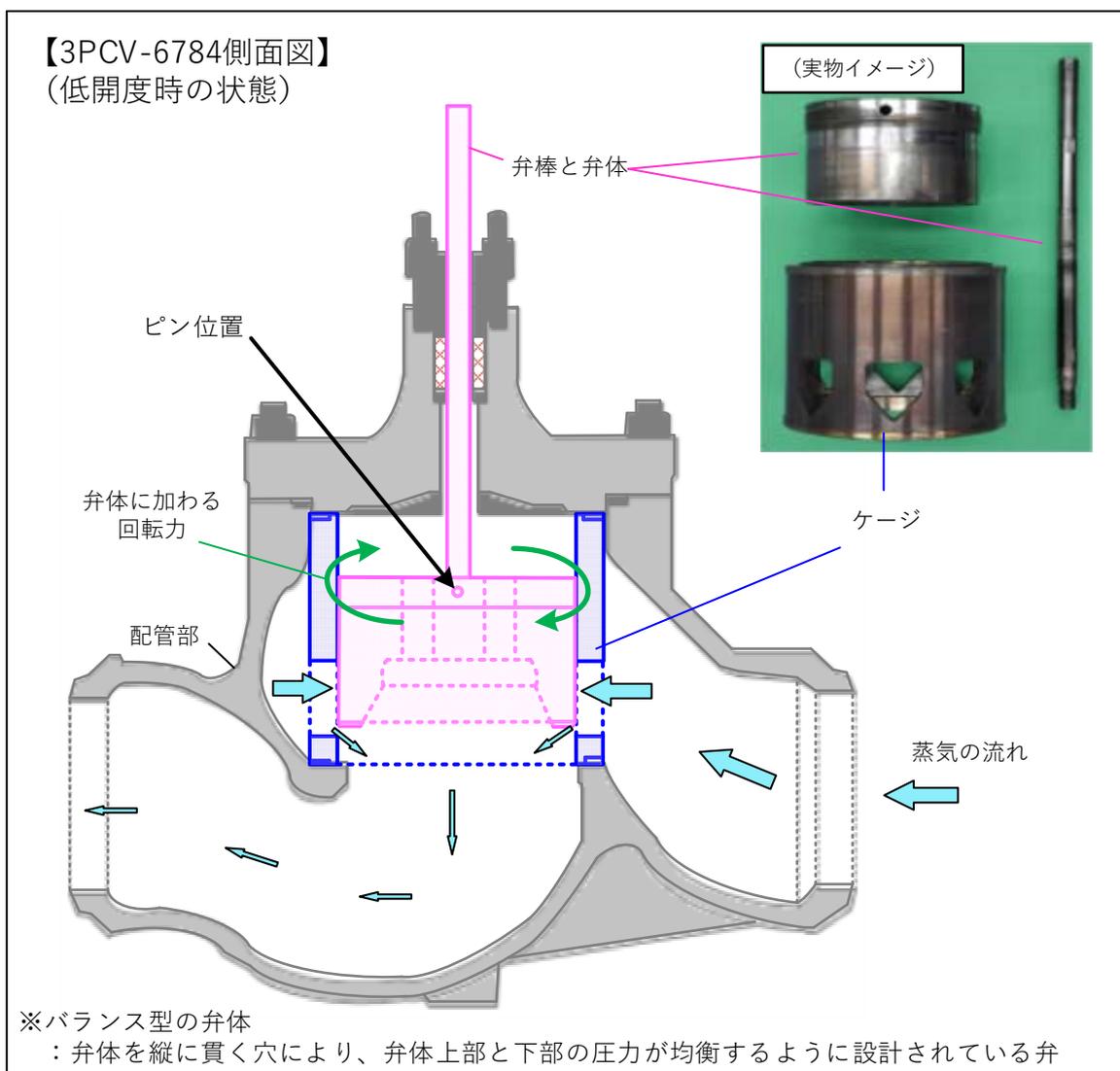
b. 弁体と弁棒の接続部接触状態の確認結果



c. 破断面観察



### 弁体に回転力が加わるメカニズム

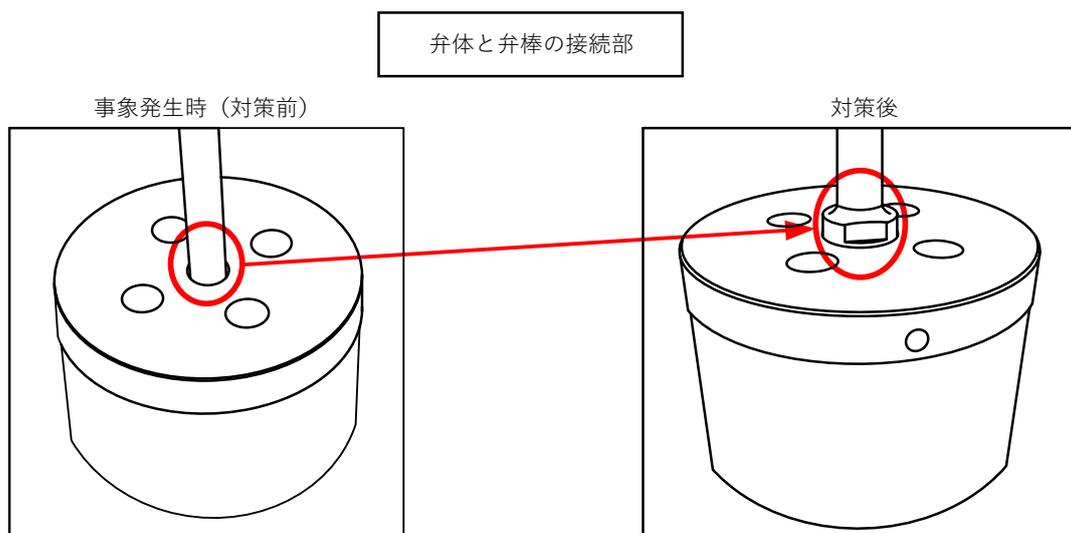


流体（蒸気）の流れの非対称性から弁体が微かに偏心し、ケージと機械的接触を起こすことで、回転力が発生する。  
低開度時、弁体はケージ下方に位置しているため、弁体側面部が蒸気と触れる面積は大きく回転力の影響は大きい。弁開度が大きくなるにつれ、弁体はケージ上方に位置するため、回転力の影響は小さくなる。

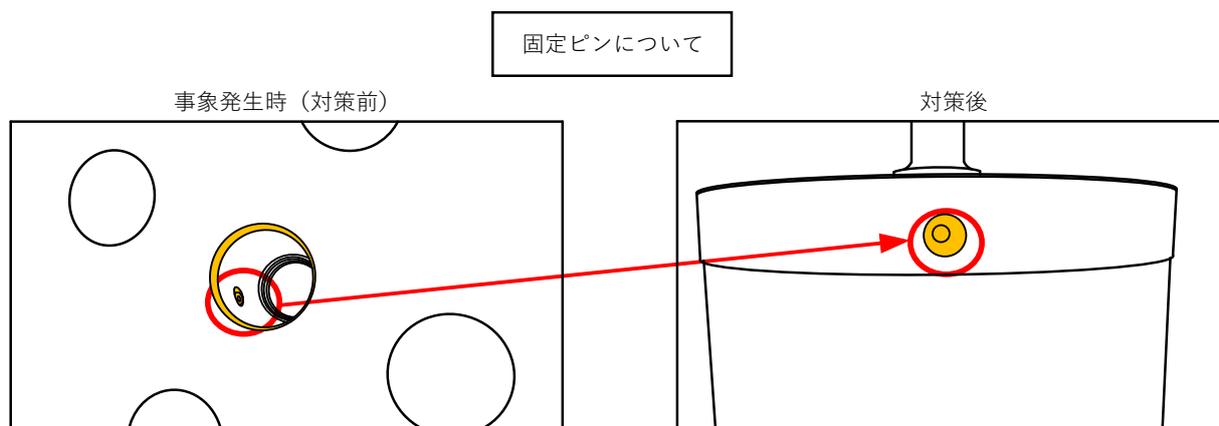
## 対策概要

## 抗回転力の向上

弁体と弁棒の接続部のサイズ変更およびピン径の変更により、抗回転力を変更前の約4倍とした。(抗回転力変更前:約 220Nm、変更後:約 920Nm)



弁棒の弁体へ挿入する部位の直径を19mmから32mmへ変更した。(新品取替)



ピン直径を5mmから8mmに変更した。(新品取替)