

東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所 6号機残留熱除去ポンプ（B）圧力抑制室吸込弁駆動部シャフト折損に係る同社からの報告に対する評価及び今後の対応について

令和2年6月3日
原子力規制委員会

1. 経緯

令和元年10月5日、東京電力ホールディングス株式会社（以下「東京電力」という。）福島第一原子力発電所6号機において、残留熱除去系（以下「RHR」という。）(B)系のポンプ（B）圧力抑制室吸込弁（以下「当該電動弁」という。）が全閉状態にも関わらず、当該電動弁にシートリークがあることが確認された。

5・6号機中央操作室の運転員（運転部門）は、当該電動弁の修理を保全部門に依頼した。当該電動弁のシートリークを改善するため、10月17日に当該電動弁の手動操作ハンドルを使用して閉側に増締めしたが改善されなかった。11月19日に再度、当該電動弁の増締めを実施したところ、手動操作ハンドルのシャフト部（軸部）（以下「シャフト部」という。）を折損させた。

折損により、当該電動弁は全閉状態で開閉操作が不可能となったため、RHR（B）系は圧力抑制室を水源とする運転ができない状態になった。

RHR（B）系は、法令の規定に基づく「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく安全上重要な機器等を定める告示（経済産業省告示327号）」（以下「告示」という。）に定める安全上重要な機器等に該当することから、11月26日15時00分、東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則第18条第4号「安全上重要な機器等の点検を行った場合において、発電用原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していないと認められたとき。」に該当すると判断した。

令和元年12月5日、原子力規制委員会は、東京電力より核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第62条の3の規定に基づく事故故障等に関する報告を受けた。その後、令和2年2月3日、規制委員会は、東京電力から当該事故故障等に関する原因と対策に係る報告書を受領し、特定原子力施設監視・評価検討会における確認を経て、その内容を精査するとともに評価を行った。

東京電力からの報告書；

令和元年12月5日：<https://www.nsr.go.jp/data/000292991.pdf>

令和2年2月3日：<https://www.nsr.go.jp/data/000300326.pdf>

特定原子力施設監視・評価検討会での確認；

令和2年4月27日：<https://www.nsr.go.jp/data/000309392.pdf>

2. 東京電力から提出された報告書の概要

(1) 環境への影響等

外部への放射性物質の放出等の影響はなかった。

また、当該弁の操作ができなくなり、RHR(B)系において圧力抑制室を水源とする運転ができない状態となったが、補給水系を使用した使用済燃料プールへの水位維持は可能であること、RHR(A)を優先的に使用すること等、RHRの系統の機能には影響はない。

(2) 事象の原因

当該電動弁のシャフト部が折損した原因

本事象は、シャフト部の強度低下等がなかったため機械的要因ではなく、保全部門の担当者に対し以下を確認したこと及びシャフト部の破面にせん断応力等が作用した痕跡が確認されたことから人為的要因で発生したものと推定した。

- a. 増締め代のない電動弁であることを認識せずにシートリークを改善しようとする意識から、予め設定した増締め代（約 6.2mm）まで締め込もうと補助工具（以下「ウィルキー」という。）を使用してしまったこと。
- b. 当該電動弁の手動操作ハンドルに対してウィルキーを使用することによる、シャフト部が折損するリスクを想定しなかったこと。

本事象の共有が遅れ、所内で事象を把握するのに時間を要した原因

- a. 保全部門は、6号機は原子炉内に燃料がないこと、RHRの非常時熱負荷モード時は当該電動弁を「全閉状態」で使用するため運転は可能であること、現状の6号機の状態では、実施計画第 2 章第 2 編の運転上の制限に要求がないことから、保全部門内だけの情報共有で十分と考えた。

そのため本事象は、不適合として扱うこととし、11月22日に不適合処理票を起票したが、本事象の不適合処理票を確認していたパフォーマンス向上会議¹事務局が、当該電動弁は法令の規定に基づく告示に定める安全上重要な機器等に該当する可能性があることに気がつき、不適合処理票を発行した保全部門にその旨を連絡した。

1：不適合の管理方針を公正な立場で決定するとともに不適合処置、是正処置及び予防処置を確実に実施するために指導助言を行う東京電力の会議体

- b. 保全部門及び運転部門は、シャフト部が折損したことに対して告示に定める安全上重要な機器等に該当するRHRに求められる機能要求の認識不足があったため、軽微な設備の不具合と判断し、緊急時対策本部に共有する事象ではないと考えた。

(3) 対策

当該電動弁のシャフト部が折損した対策

- a. ウィルキーの使用方法に対する対策

ア．ウィルキーは、弁保護の観点から、弁の増締めには使用しないこととし、社内ルールに反映するとともに、事例紹介資料にて周知を行う。

イ．弁操作の過程において、弁の手動操作ハンドルが固く手動で動かない場合にはウィルキーの使用を可能とするが、弁が全閉位置に到達するまでは、ウィルキーでの追加操作は実施しないこととし、事例紹介資料にて所員周知を行う。

b. シートリーク起因による増締めを実施する場合の対策

シートリークの発生により弁の増締めが必要と判断した場合には、弁製造企業に増締めの実施可否及び実施方法について確認するなど、必要な検討を行った上で実施することとし、事例紹介資料にて所員へ周知を行う。

本事象の共有が遅れた事象の対策

a. 報告の徹底

告示に基づき、安全上重要な機器リストを作成し、このリストに該当する設備で不具合等があった場合には、遅滞なく緊急時対策本部に報告することを所員に教育する。

b. 認識させる・気付かせるプロセスを設ける

作業許可申請書及び作業依頼票作成²の際は、作業対象機器が「安全上重要な機器等」に該当するか確認を行うプロセスを社内マニュアルに反映する。

2 運転部門から保全部門に対して機器の修理を依頼する文書

弁の復旧対策

同型の弁駆動部から取り外したシャフト部を当該電動弁に取り替えて、弁の増し締め解除を実施した。

また、若干のシートリークはあるものの、RHR(B)系非常時熱負荷モードの運転には支障がない。

3．東京電力から提出された報告書に対する原子力規制委員会の評価について

(1) 環境への影響等についての評価

電動弁のシートリークにより RHR 系統水の圧力抑制室への流れ込みがあったものの、外部への漏えいはなかったことが確認されており、環境への影響はなかったものと評価する。

(2) 安全機能への影響評価

6号機は原子炉からすべての燃料が使用済燃料プールに取り出され、今後再装荷しないとしていることから、必要とされる主な安全機能は、使用済燃料プールの冷却と水補給機能である。

使用済燃料プールへの水補給機能

当該電動弁の作動ができなくなったことから、圧力抑制室を水源とする RHR(B)系による使用済燃料プール等への補給ができない状態となった。しかしながら、使用済燃料プールへの水の補給機能は本来補給水系が担うものであり、系統としての多重性又は多様性は要求されないことから、必要とされるプール水の補給機能は確保されていたものと評価する。

さらに、RHR(A)系による使用済燃料プール水の補給機能は喪失していなかったことから、バックアップの観点においても機能は維持されていたものと評価する。

RHR の機能

RHR は安全上重要な機器に該当し、当該電動弁の故障により事故故障の報告がなされたものであるが、原子炉から燃料が取り出された状態においては、RHR の機能は要求されないことから、RHR の一部の機能が喪失しても安全上の影響はなかったものと評価する。

以上のとおり、当該電動弁の故障は、6号機原子力施設の安全に影響を及ぼすものではなかったと評価する。

なお、令和2年4月より、5、6号機は1～4号機と同様に、実施計画において必要な安全機能を記載する仕組みに移行しており、現在は安全上重要な機器としての位置付けは適用されないため、今後同様の事象が発生したとしても事故故障等報告の対象とはならない。

(3) 原因調査結果についての評価

当該電動弁のシャフト部が折損した原因

当該電動弁のシャフト部が折損した原因については、機械的要因、人為的要因について検討されており、機械的要因については設計不良、強度低下、疲労亀裂が確認されなかったこと、人為的要因については増締め代のない弁であることを確認せずに増締めを行ったこと、シャフト部の破面観察の結果、せん断応力や引き裂きの応力が作用した痕跡が確認されたことから、人為的要因により過大なねじり方向への荷重がかかったことにより発生したものとすると推定しており、原因を特定する上で必要な調査が行われたものと評価する。

本事象の関係箇所への共有が遅れた事象の原因

所内で事象を把握するのに時間を要した原因は、事象発生当時、法令で求められる RHR に求められる機能要求の認識不足により、保全部門のみの情報共有を行うことで十分と考えたことから、緊急時対策本部へ共有する事象でないと判断したことが原因であるとしている。これについては上記(2) で述べたとおり、必要な安全機能は確保されていたため、保全部門が報告対象ではないと判断したとする調査結果は首肯できるものと評価する。

(4) 対策についての評価

今回の事象は、「シャフトを折損した事象」と「シャフト部を折損させた際の関係箇所への共有が遅れた事象」の2つの対策が含まれる。

これらの対策は、社内マニュアルや社内ルールに本事象の対策を記載し事例紹介資料で所員通知や教育が実施されていることを確認しており、再発を防止する上で十分なものと評価する。

なお、現在 RHR 系に必要とされる機能については実施計画により整理されており、今回の事象のような部門間における事故報告に対する認識の相違は再発しないものと考えられる。

4. 今後の対応について

規制委員会としては、本件を含めた改善に係る教育の継続的な実施状況を、保安検査等を通じて確認していく。

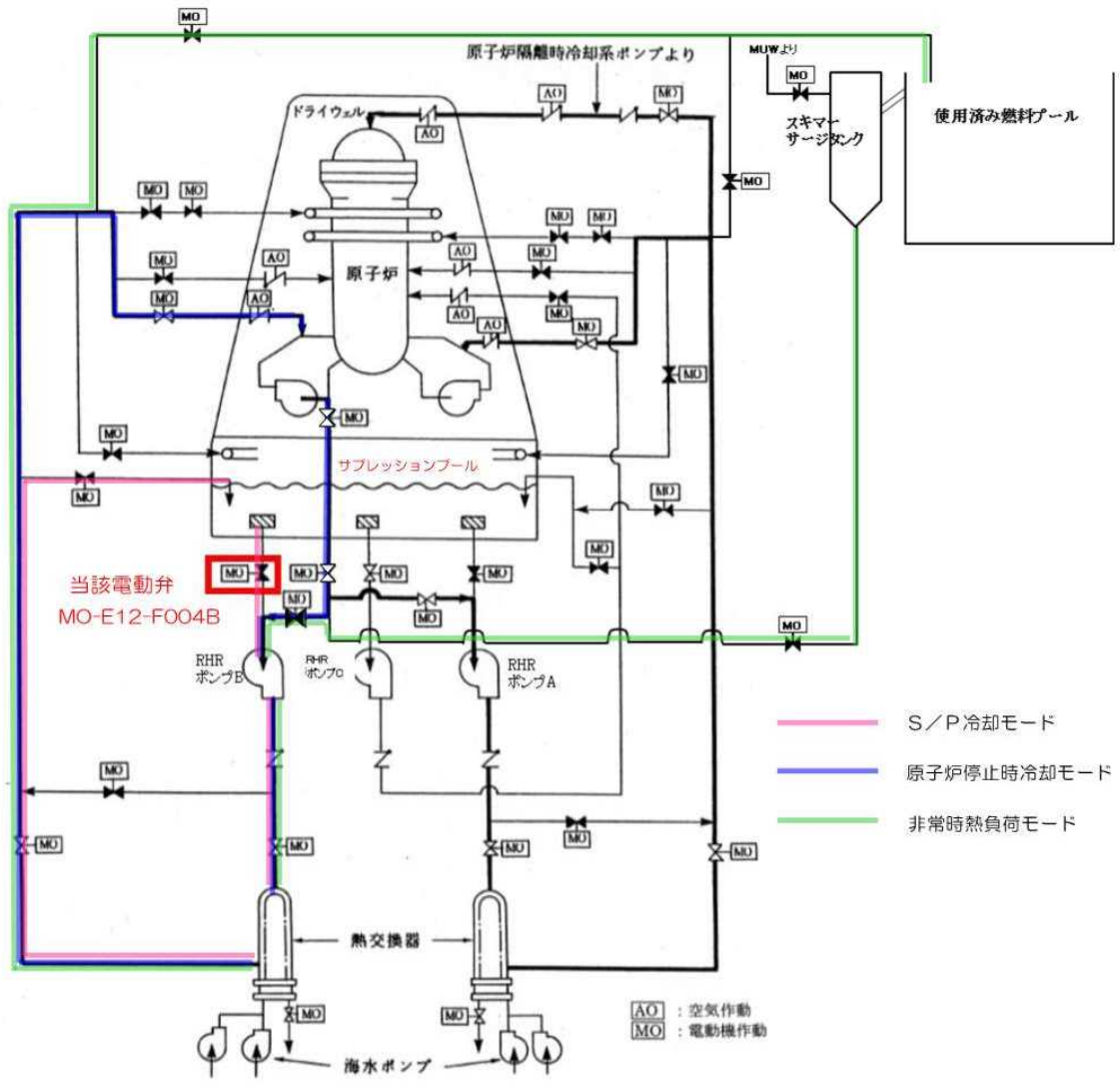
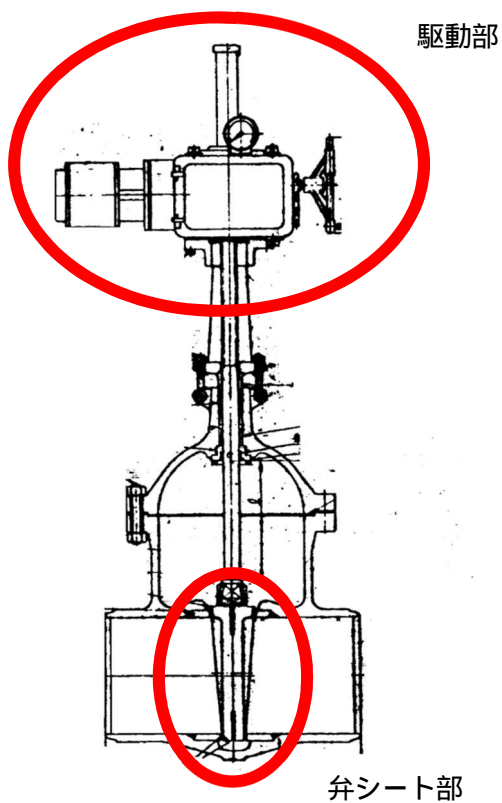


図1 系統概要図 (東京電力報告書より抜粋)

当該電動弁外形図



当該電動弁駆動部図

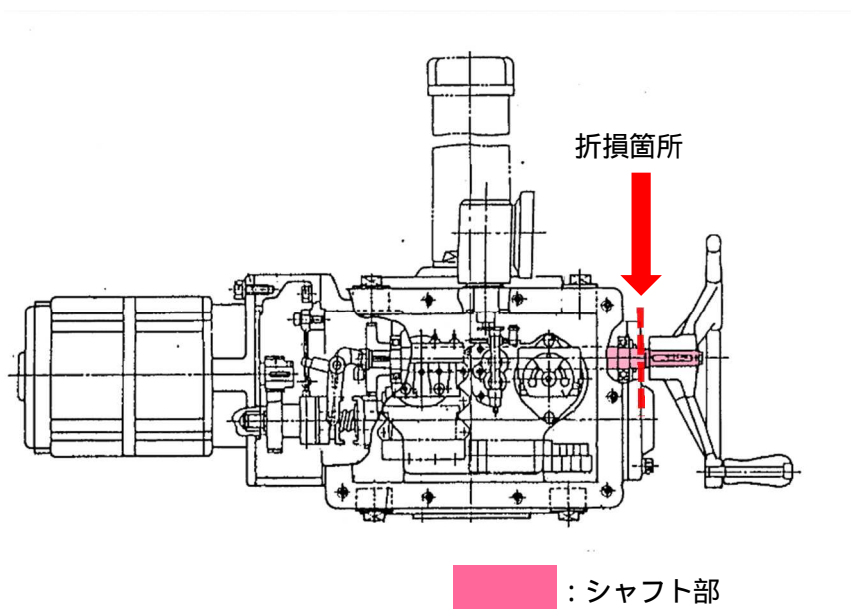
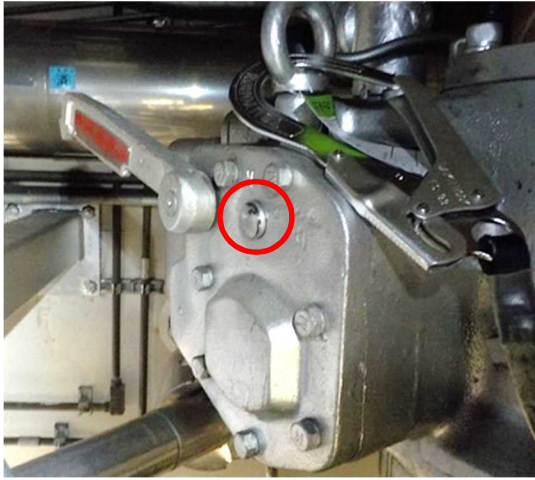


図2 当該電動弁外形図及び当該電動弁駆動部図（東京電力報告書より抜粋）

当該電動弁
MO - E 1 2 - F 0 0 4 B



折損したシャフト部（駆動部側）

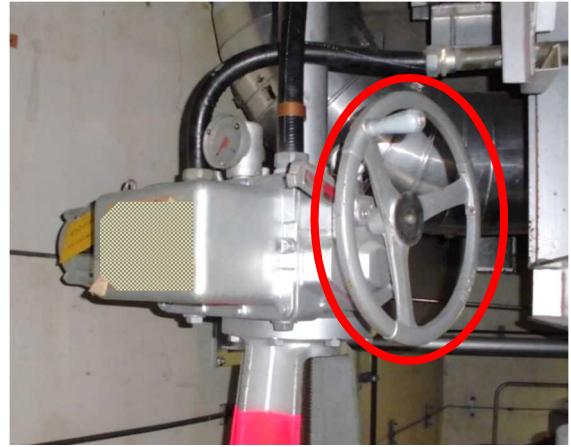


折損した手動操作ハンドル

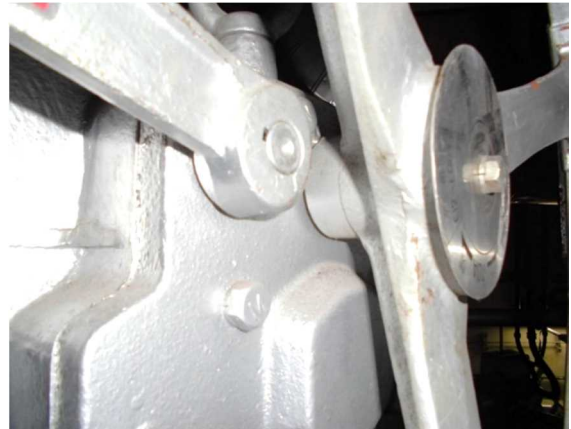


折損断面（駆動部側）

折損前の状態
MO - E 1 2 - F 0 0 4 A



手動操作ハンドル



シャフト部

図3 当該電動弁の折損状況（東京電力報告書より抜粋）

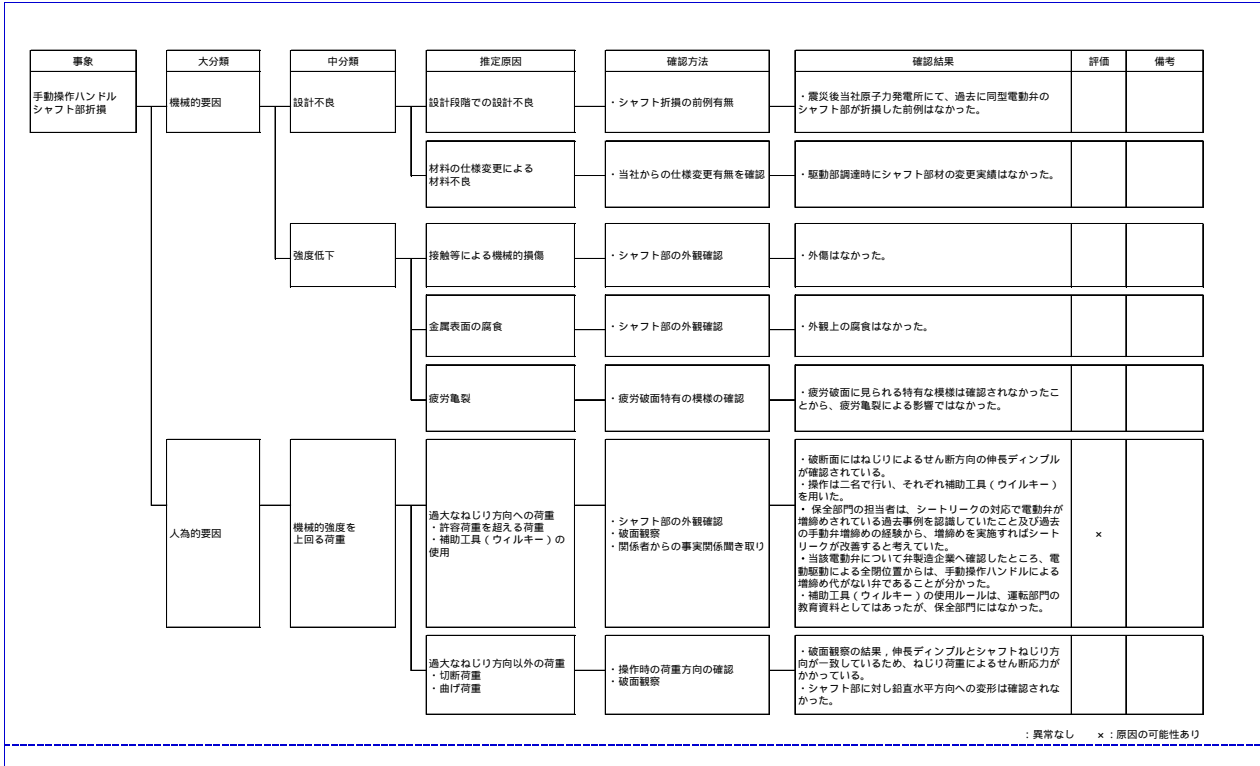
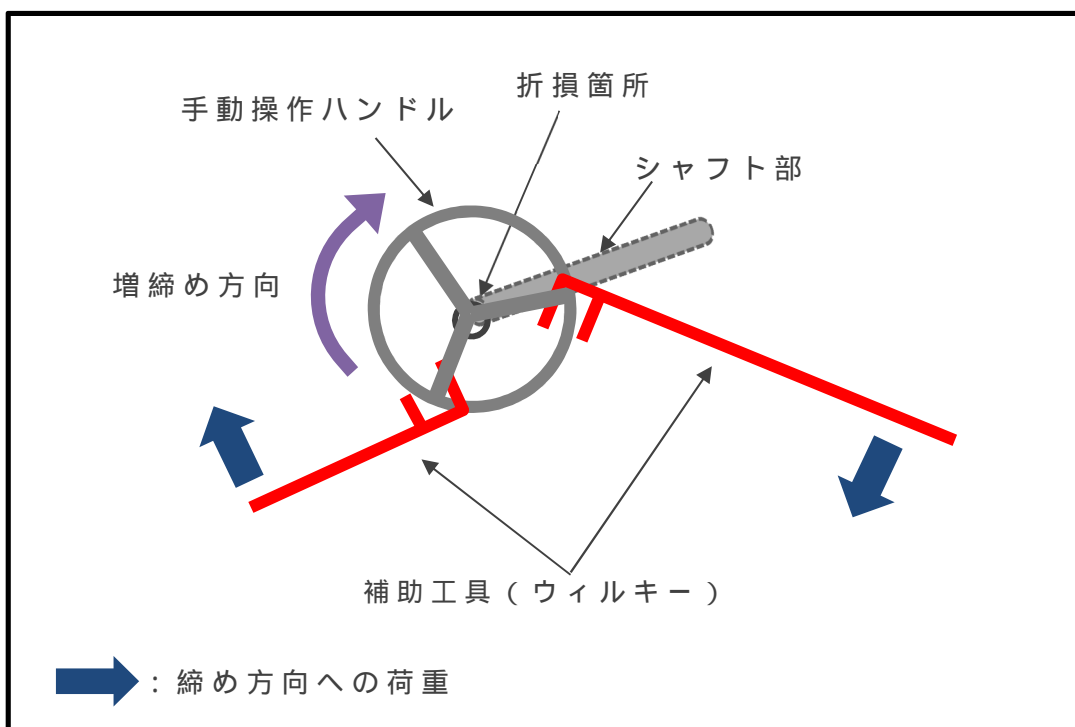


図4 シャフト折損に関する要因分析図（東京電力報告書より抜粋）



手動操作ハンドルによる増締め代のない電動弁に対して、二人がかりでそれぞれ補助工具(ウィルキー)を掛けて閉側に増締め操作を行った。このため、シャフト部に許容荷重を超える過大なねじりによるせん断応力がかかったことから折損に至った。

図5 事象発生メカニズム(東京電力報告書より抜粋)

⚡ : 対策箇所

⬜ : 改善が必要な箇所

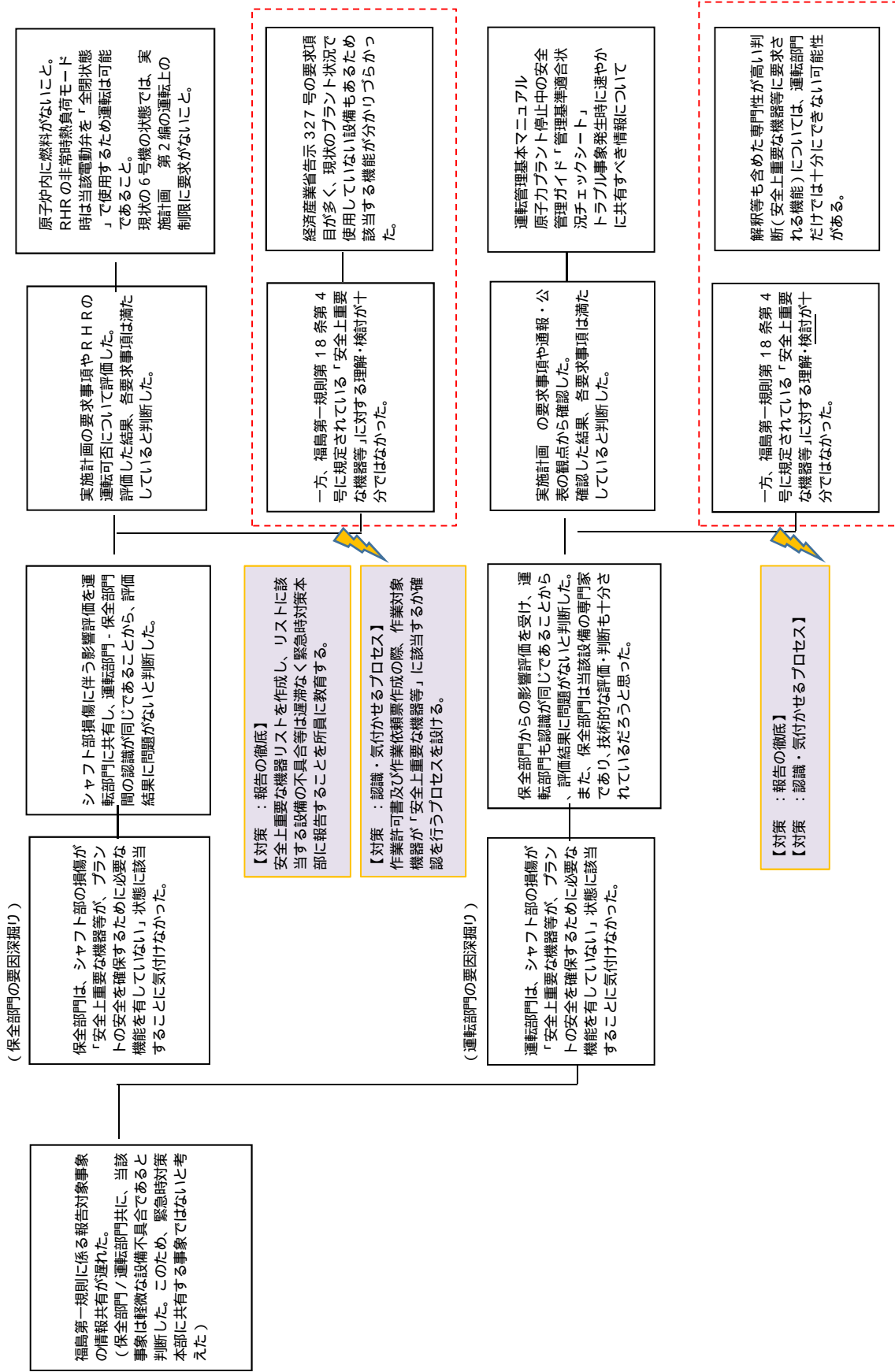


図6 共有遅れに対する要因分析図（東京電力報告書より抜粋）

当該電動弁のシャフト部が折損した原因

a. 機械的要因

ア. 設計不良

) 設計段階での設計不良

過去に同型電動弁で折損した前例がないことから、設計段階での設計不良が起因するものではない。

) 材料の仕様変更による材料不良

当該電動弁駆動部のシャフト部材の仕様変更実績を確認した結果、調達時にシャフト部材を変更した実績はなかったことから、材料不良ではない。

イ. 強度低下

) 接触等による機械的損傷

シャフト部の外観確認の結果、シャフト部表面に破断面につながる外傷はなかったことから、機械的損傷による強度低下はない。

) 金属表面の腐食

折損したシャフトと破断面の外観確認の結果、金属表面に変色等はなく、腐食はなかった。

ウ. 疲労亀裂

シャフト部の破面観察の結果、疲労破面に特有な模様は確認されなかったことから、疲労亀裂はない。

b. 人為的要因

a 品質上の問題

弁製造企業でない、弁の保守を行っている企業からの増し締めの情報に対して、技術的根拠がないまま増し締めを実施したこと。

イ. 機械的強度を上回る荷重

) 過大なねじり方向への荷重

シャフト部の破面観察の結果、せん断応力や引き裂きの応力が作用した場合に見られる伸長ディンプルが確認され、応力の作用方向とシャフト部のねじり方向が一致しているため、ねじり荷重によるせん断応力が作用したことが確認された。

また、シャフト部が折損した際、手動操作ハンドルの操作に当たっては、保全部門担当者2名で行い、それぞれが補助工具（ウィルキー）を使用したため、許容荷重を超える力（荷重）が加えられたと考えられる。

その他聞き取り調査から、以下のことを確認した。

- ✓ 保全部門の担当者は、シートリークの対応で電動弁が増締めされている過去事例

を認識していたこと及び過去の手動弁増締めを経験から、増締めを実施すればシートリークが改善すると考えていた。

- ✓ しかし、どの程度の増し締めが可能であるかの技術的根拠の確認がないまま、増し締め作業を実施した。
- ✓ 原因調査の段階で、当該電動弁の増締めについて弁製造企業へ確認したところ、電動駆動による全閉位置からは、手動操作ハンドルによる増締め代がない弁であることが分かった。
- ✓ また、補助工具（ウィルキー）の使用ルールについては、運転部門には教育資料があったが、保全部門にはなかった。

) 過大なねじり方向以外の荷重

破面観察の結果、ねじり荷重によるせん断応力のみであったこと、また、折損したシャフト部の軸に対し、鉛直水平方向への変形は確認されなかったことから、切断荷重や曲げ荷重はなかった。