

再処理施設 前処理建屋における
安全蒸気ボイラ 2 台の故障について
(報告)

平成 2 3 年 1 2 月 2 2 日

日本原燃株式会社

目次

1. はじめに	1
2. 件名	1
3. 発生日時	1
4. 発生場所	1
5. 発生事象の概要	1
5. 1 安全蒸気ボイラ設備の概要及び運用	1
5. 2 事象発生当時の状況	2
5. 3 設備の復旧	3
6. 発生原因	3
6. 1 安全蒸気ボイラ2台が不着火となり、2台故障となった直接原因	3
6. 1. 1 調査	3
6. 1. 2 安全蒸気ボイラが不着火になった直接原因	5
6. 1. 3 安全蒸気ボイラが2台故障となった直接原因	6
6. 1. 4 直接原因	6
6. 2 安全蒸気ボイラ2台が不着火となり、2台故障となった間接原因	7
6. 2. 1 調査	7
6. 2. 2 要因分析	9
6. 2. 3 間接原因	10
6. 3 発生原因のまとめ	13
7. 対策	13
8. 類似機器での類似事象の発生防止	16

添付資料

添付資料1	安全蒸気ボイラ配置図
添付資料2	安全蒸気ボイラ系統図
添付資料3	再処理工場 前処理建屋における安全蒸気ボイラ2台の故障の 詳細時系列
添付資料4	安全蒸気ボイラA号機及びB号機の時系列
添付資料5	7月21日の弁交換時の隔離状況
添付資料6	安全蒸気ボイラが不着火になった原因に対する要因分析図
添付資料7	安全蒸気ボイラ不着火及び復旧操作の事象概要図
添付資料8	過去の弁交換時の燃料ガス抜き作業
添付資料9	出来事流れ図

- 添付資料 1 0 安全蒸気ボイラが不着火になり 2 系統が故障に至った原因に対する要因分析図
- 添付資料 1 1 対策一覧表
- 添付資料 1 2 安全蒸気ボイラ 燃料ガスへの置換（空気→燃料ガス）方法
- 添付資料 1 3 多重化している設備に対する類似事象の発生防止に係る調査フロー

1. はじめに

7月22日（金）7時14分頃、前処理建屋（管理区域外）において、安全蒸気ボイラA号機のサーベランス運転^{*1}のため起動作業を行ったところ、同ボイラの故障警報が発報し起動できなかった。

このため、別系統の安全蒸気ボイラB号機の起動作業を行ったが、警報が発報し起動できず、再起動操作を試みていたが、8時45分に安全蒸気ボイラ2台の故障の可能性があり、「使用済燃料の再処理の事業に関する規則」第19条の16第3号「使用済燃料等を限定された区域に閉じ込める機能の喪失又は喪失のおそれ」に該当すると判断し、国に報告した。

本報告書は、安全蒸気ボイラ2台が起動できなかった原因調査の結果及び再発防止対策等について取り纏めたものである。

※1 設備の動作を定期的に確認するために毎月1回実施する運転

2. 件名

再処理施設 前処理建屋における安全蒸気ボイラ2台の故障について

3. 発生日時

平成23年7月22日（金） 8時45分

4. 発生場所

再処理工場 前処理建屋 安全蒸気A室、安全蒸気B室（添付資料1）

5. 発生事象の概要

5. 1 安全蒸気ボイラ設備の概要及び運用

安全蒸気ボイラは、使用済燃料の溶解液や高レベル廃液のように崩壊熱により沸騰のおそれがあるか、又はノルマルドデカンの引火点に達するおそれのある漏えい液を安全に回収するためのスチームジェットポンプ^{*2}の駆動源である蒸気を製造するための設備であり、安全上重要な設備^{*3}であることから多重化として2台が設置されている。（添付資料2）

当該ボイラの燃料はプロパンガスであり、蒸気製造能力は約1 t / h / 台である。

当該ボイラは、通常は停止状態であるが、セル等の内部に設置された機器から液体状の放射性物質の漏えいが生じた場合に起動し、一般蒸気設備が使用できない場合に蒸気を供給する。

また、機器の健全性を確認するため、サーベランス運転を実施している。

- ※2 蒸気を駆動源として液を移送する機器
- ※3 その機能喪失により、一般公衆及び放射線業務従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのある系統及び機器並びに事故時に一般公衆及び放射線業務従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを緩和するために設けられた系統及び機器

5. 2 事象発生当時の状況

安全蒸気ボイラA号機において、7月22日5時50分頃からサーベランス運転を開始したところ、故障警報（不着火）が発報し、起動できなかった。

当該サーベランス運転は、安全蒸気ボイラB号機の点検を始める前に安全蒸気ボイラA号機が運転可能であることを確認する目的を兼ねて実施した。

その後も再起動を試みたが、4回目の再起動操作でも故障警報が発報し起動できなかったため、7時14分に安全蒸気ボイラA号機の故障と判断した（手順として、故障警報発報に伴う再起動操作を4回実施しても安全蒸気ボイラが起動できない場合に故障と判断することとしている）。

その後、保安規定に基づき、安全蒸気ボイラB号機が運転可能であることを確認するために、起動操作を8時01分から開始したが、安全蒸気ボイラA号機と同様に故障警報が発報し起動できなかった。

安全蒸気ボイラB号機についても、再起動を試みたが、8時22分に実施した3回目の起動操作でも起動できず、安全蒸気ボイラ2台の故障の可能性があることから、8時45分に、「使用済燃料の再処理の事業に関する規則」第19条の16第3号「使用済燃料等を限定された区域に閉じ込める機能の喪失又は喪失のおそれ」に該当すると判断し、国に報告した。

その後、原因調査を行う中で安全蒸気ボイラB号機が起動できないのは、安全蒸気ボイラA号機の故障原因と共通的な要因の可能性が高いことがわかったことから、10時03分に、安全蒸気ボイラが2台故障したと判断し、保安規定に基づき、安全蒸気ボイラが使用できない場合の措置として、前処理建屋、分離建屋、高レベル廃液ガラス固化建屋での安全上重要な機器間における高レベル濃縮廃液等の溶液の移送を禁止する措置を行った。なお、事象発生時、一般蒸気設備が運転状態であることを当該設備の巡視点検記録から確認しており、漏えいが発生した場合でも漏えい液の回収が可能な状態であった。

前日に安全蒸気ボイラの燃料ガス供給配管に設置されている弁を交換しており、その際に燃料ガス供給配管内に空気が残留した可能性があると考えたこ

とから、安全蒸気ボイラA号機は通常の起動操作を繰り返し実施し、22回目の起動操作により、11時53分に起動を確認した。安全蒸気ボイラB号機については通常の起動操作を26回繰り返し実施した後、燃料ガス供給配管内の空気を追い出し燃料ガスへの置換を行い、15時35分に起動を確認した。(添付資料3)

5.3 設備の復旧

安全蒸気ボイラA号機及びB号機について、現場にて機器、系統が正常であることを確認するとともに、起動できることを確認した後、試運転を行い、正常に作動することを確認した。

このことから、安全蒸気ボイラA号機については、7月22日17時21分に、安全蒸気ボイラB号機については、7月22日18時09分に復旧したと判断した。

なお、安全蒸気ボイラが使用できない場合の措置として実施した溶液の移送禁止措置については、7月27日に解除した。

6. 発生原因

6.1 安全蒸気ボイラ2台が不着火となり、2台故障となった直接原因

6.1.1 調査

今回の事象において、安全蒸気ボイラが不着火となり、2台故障となった直接原因について調査を実施した。

(1) 事象発生前の運転・保守の実績

事象発生前における安全蒸気ボイラA号機及びB号機の運転・保守実績について確認を行った。

a. 安全蒸気ボイラA号機

平成23年6月24日～7月14日：年次点検

平成23年7月14日：年次点検後の試運転実施、起動できることを確認

平成23年7月21日：安全蒸気ボイラA号機及びB号機の燃料ガス供給配管に設置された手動弁の交換作業実施

平成23年7月22日：サーバランス運転実施、起動できず故障と判断

b. 安全蒸気ボイラB号機

平成23年6月24日：サーバランス運転実施、起動できることを確認

平成23年7月14日：サーベランス運転実施、起動できることを確認
平成23年7月21日：安全蒸気ボイラA号機及びB号機の燃料ガス
供給配管に設置された手動弁の交換作業実施
平成23年7月22日：安全蒸気ボイラA号機を故障と判断したため
起動確認を実施、起動できず故障と判断

上記から、安全蒸気ボイラA号機及びB号機ともに7月14日の時点
では問題なく起動できていた。(添付資料4)

(2) 手動弁交換作業に係る状況

「(1) 事象発生前の運転・保守の実績」に示したように7月21日に
燃料ガス供給配管に設置されている7台の手動弁の交換を実施している。

今回交換を行った弁が設置されている燃料ガス供給配管は、2つある
ガスボンベユニットのどちらからでも安全蒸気ボイラA号機及びB号機
に燃料ガスが供給可能なようにするため、両系統を配管により接続して
いるが、両系統を接続する配管上には仕切りをするための弁を設置して
いないことから、弁交換作業においては、安全蒸気ボイラA号機、B号
機の2台を同時に動作不能として、系統に設置されている弁を保守した。

弁交換作業は保守部門が行っており、保守作業開始前に運転部門が、
燃料ガス供給配管上にある電磁弁を閉止することで弁交換作業を行う範
囲を隔離し、運転部門から保守部門に対して当該範囲を操作移管^{※4}する
手続きを行っている。

※4 系統のある範囲を系統の機能に影響が生じないように隔離すること
により、隔離された範囲内での弁操作等の権限を運転部門から保守部門
に移管すること。今回の弁交換においては、保守作業で行う行為によ
る影響が安全蒸気ボイラ側に波及しないように安全蒸気ボイラ側にあ
る電磁弁を閉止し、操作移管を行った。

弁交換作業は、以下の手順で実施した。

- ① 交換対象弁を含む作業対象配管を燃料ガス供給配管から隔離
- ② 作業対象配管内の燃料ガスの抜き出し
- ③ 弁の取り外し
- ④ 新しい弁の設置
- ⑤ 弁設置後の系統確認（燃料ガスを燃料ガス供給配管に供給し、交

換部から漏えいのないことを圧力で確認) (添付資料5)

弁交換作業では、協力会社は、作業安全の観点から、作業対象配管を隔離した後に配管内に残留している燃料ガスを抜き出し、屋外に排出する作業(②の作業)を実施していた。なお、過去の弁交換では、交換対象の弁近傍で隔離しガスを抜いていたが、今回交換した弁は、交換することを前提とした設備構成ではなかったことからガスを抜く範囲が広がった。

また、弁交換作業は、弁設置後の系統確認(⑤の作業)で終了した。

6. 1. 2 安全蒸気ボイラが不着火になった直接原因

安全蒸気ボイラが不着火になった原因について、燃料系での異常、ボイラ本体での異常、制御系での異常、系統状態の異常の観点で分析を行った。(添付資料6)

① 燃料系での異常

燃料系での異常として、燃料供給圧力の異常、燃料ガスの不足、電磁弁の動作不良、燃料ガス供給配管の不良に細分化し分析を行った。

この結果、燃料供給圧力の異常、電磁弁の動作不良、燃料ガス供給配管の不良については、運転記録の確認、7月22日の安全蒸気ボイラの着火の確認(後述のガス置換後の着火の確認)、7月22日の復旧確認で異常は確認されなかった。

燃料ガスの不足については、「燃料ガスボンベ内のガスが不足していた」と「ガス濃度不足」が考えられた。

「燃料ガスボンベ内のガスが不足していた」に関しては、7月22日に安全蒸気ボイラの着火が確認できた際に、系統内の各圧力計指示値が通常の値を示しており、異常はないことが確認できている。

「ガス濃度不足」に関しては、弁交換作業に当たり広い範囲の燃料ガスを抜いたこと、作業後に配管内の空気を燃料ガスに置換していないこと及び7月22日における安全蒸気ボイラの再起動の状況を踏まえると、安全蒸気ボイラA号機及びB号機の燃料ガス供給配管内に空気が残留し、「ガス濃度不足」になっていたと考える。(添付資料7)

② ボイラ本体での異常

ボイラ本体での異常として、ボイラ燃焼装置の異常と送風機の異常に細分化して分析を行った。ボイラ燃焼装置及び送風機については7月2

2日の時点で各装置が正常に動作することを目視にて確認しており、結果として異常は確認されなかった。

③ 制御系での異常

制御系での異常として、誤警報の発報による停止と電源系統の異常に細分化して分析を行った。誤警報の発報による停止については、7月22日の警報が発報した際にボイラ側で実際に不着火であることを確認しており、電源系統については起動操作時に各機器が作動していることを確認しており、結果として異常は確認されなかった。

④ 系統状態の異常

系統状態の異常として、系統構成の不備、運転操作ミスに細分化して分析を行った。系統構成の不備については、7月22日に目視にて系統構成に異常がないことを確認しており、運転操作については運転手順書に従って運転が行われていること、運転員が技術・技能認定を受けた者であることを確認している。

6. 1. 3 安全蒸気ボイラが2台故障となった直接原因

「6. 1. 1 調査 (2) 手動弁交換作業に係る状況」に示したとおり、安全蒸気ボイラの燃料ガス供給配管は、2つのボンベユニットと2系統の安全蒸気ボイラに共通的な系統として接続されているが、当該系統の配管上には仕切りをするための弁が設置されていなかったことから安全蒸気ボイラ2台を同時に動作不能として弁交換作業を行う必要があり、また、仕切りをするための弁が設置されていなかったために7月21日の弁交換作業時は両系統内の燃料ガスがほとんど抜かれた状態であったことから、その後、安全蒸気ボイラの運転確認を行った際には、「6. 1. 2 安全蒸気ボイラが不着火になった直接原因」に示した原因により、安全蒸気ボイラが不着火となる状況に至ったものと考ええる。

上記の理由から、燃料ガス供給配管が、安全蒸気ボイラ2系統に対して仕切りをするための弁がなく、共通的な系統となっていたことが、安全蒸気ボイラが2台故障となった直接原因であると考ええる。

6. 1. 4 直接原因

安全蒸気ボイラA号機及びB号機が故障に至った直接原因は、下記の2点と考えられる。

① 弁交換前に燃料ガス供給配管内の燃料ガスを抜き出したが、交換後に

燃料ガスに置換しなかったため、ガス濃度不足になった。

- ② 燃料ガス供給配管が、安全蒸気ボイラ 2 系統に対して仕切りをするための弁がなく共通的な系統となっていた。

なお、これまでの弁交換では、隔離した範囲の燃料ガスの抜き出しは行われていた（弁を固定しているフランジ部のボルトを徐々に緩めながらフランジの隙間から燃料ガスを抜く（添付資料 8））ものの、弁交換後に空気の燃料ガスへの置換を行わなくても安全蒸気ボイラの着火で問題になることはなかった。これは、これまで交換していた弁が、元々交換することを考慮していたことから、交換対象弁の近傍の弁で隔離できる構造となっており、隔離範囲が狭かったこと及び配管口径が小さいことから、配管内に残留している空気が少なく、着火に対する影響が小さかったものとする。一方、今回交換した弁は、交換することを考慮した設備構成ではなく、交換した弁近傍での隔離ができず、燃料ガスを抜く範囲が広くなり、抜き出した燃料ガスの量が多くなったため、着火に対する影響が大きかった。

6. 2 安全蒸気ボイラ 2 台が不着火となり、2 台故障となった間接原因

安全蒸気ボイラ 2 台が故障となった直接原因は「6. 1. 3 安全蒸気ボイラが 2 台故障となった直接原因」に記載したとおりであるが、このような状態に至った背景にある間接原因について調査、分析を行った。

6. 2. 1 調査

(1) 弁交換作業に係る社内手続き実績調査

1) 当初計画

当初、弁交換作業については、安全蒸気ボイラの点検に併せて行い、また、2 系統ある安全蒸気ボイラを 1 系統ずつ点検する計画で社内手続きを行った。

当該弁は、設計段階では定期的に交換等を行わない事後保全対象であったが、過去に発生した安全蒸気ボイラの不適合の対策として定期的に交換等を行う予防保全対象に見直しており、今回初めて交換することを計画した。

社内手続きとして、以下を作成した。

① 保守作業実施計画書

作業内容、保安上必要な措置等を記載した書類で、実施する保守作業が安全上重要な設備の安全機能に係る作業である場合に、保安規定に基づき作成する。

また、保守作業実施計画書の作成手順等を定めた保安規定の下部規定として保守計画策定細則がある。

今回の保守作業対象である安全蒸気ボイラは、安全上重要な設備であり、ボイラ点検を行うために安全蒸気ボイラを動作不能とする必要があることから、保守作業実施計画書を作成した。

保守部門は、実際に保守作業を行う協力会社から契約に基づき受領する業務要領書等をもとに保守作業実施計画書を作成し、運転部門に確認を得るとともに工場長、核燃料取扱主任者の審査を受け、事業部長の承認を得た。

保守作業実施計画書に記載すべき事項である保守作業の内容（保守範囲等がわかる程度の作業項目）や作業期間については、ボイラ点検作業を委託している協力会社が作成した業務要領書（点検の内容、手順、スケジュール、安全上の要求事項等が記載された図書）の記載内容に基づき作成している。

② 作業票

作業内容、作業期間、操作移管の有無、系統隔離等の安全処理事項等を記載した書類で、保安規定の下部規定である作業実施細則に基づき作成する。作業票には、添付資料として隔離表や業務要領書が付けられており、保守作業の詳細な内容は業務要領書により確認できるようになっている。

保守部門は、作業票作成後、運転部門との協議、核燃料取扱主任者への報告を行った後、運転部門の承認を得た。なお、作業票の手続きは、「2）計画変更」に示す保守作業実施計画書の改正作業と並行して行った。

2) 計画変更

作業票に関する社内手続きの実施中に、弁交換作業を行う対象の範囲が当初の計画のように安全蒸気ボイラ1台ずつで保守を行うことができない系統構成であることに気が付き、当該弁交換作業について安全蒸気ボイラ2台を同時に保守するというを前提とした作業内容等で保守作業実施計画書を修正し、上記の確認・審査を行った。この際、安全蒸気ボイラを2台同時に動作不能とすることを考慮し、保安上の措置として、保安規定に定められた移送禁止等の措置を講じることについての記載は追加した。しかし、2台同時に動作不能として保守作業を実施する場合に想定されるリスクについての評価やその対応策についての記載はなかった。また、弁交換作業に当たって動作不能

とした安全蒸気ボイラについて、作業終了後に、所定の性能を維持できていることを確認する方策についての記載はなかった。

上記審査の過程において、核燃料取扱主任者から、当該弁交換を安全蒸気ボイラA号機の本体点検期間初期に実施するという計画に対して、保守作業中に安全蒸気ボイラが必要となった際の迅速な復旧が行えるよう安全蒸気ボイラA号機の本体点検（試運転実施）後に、弁交換作業の実施時期を変更するようコメントを受けたことから、保守作業実施計画書の一部を修正した後、事業部長の承認を得た。

なお、上記のとおり、保守作業実施計画書は改正を行っているが、当該計画書作成の際に使用した業務要領書では、ボイラ本体点検の一部として弁交換を扱っており、弁交換については弁取り外し、弁取り付けという項目が記載されている程度であり、作業時期の変更はあるものの、作業内容が変わるものではないと考え、変更は行っていない。作業票についても、作業内容や作業期間等の記載内容に変更はなく、作業票に添付されている隔離表についても、弁交換作業の実施時期を変更した場合でも同じ隔離表が使えるため、変更は行わなかった。

（2）事実関係の整理

「6. 2. 1 （1）弁交換作業に係る社内手続き実績調査」で得られた情報や弁交換作業に関係した部署への聞き取り等の結果をもとに、作業計画の段階、保守作業実施計画書の作成・改正の段階、作業票に係る運転部門と保守部門の確認の段階、現場での作業確認の段階等において、何を行い、どのような問題があったのかを整理し、出来事流れ図を作成した。（添付資料9）

6. 2. 2 要因分析

「6. 2. 1 調査 （2）事実関係の整理」において作成した出来事流れ図により各種の問題点が抽出され、その中から今回の事象の分析の起点となる問題点として、安全蒸気ボイラが2系統同時にガス濃度不足になったこと、ガス濃度不足のまま系統除外を解除したことが抽出された。この2つの問題点の背景にある間接原因を導き出すため要因分析を行った。（添付資料10）

○ 安全蒸気ボイラが2系統同時にガス濃度不足となったこと

安全蒸気ボイラのような安全上重要な設備は、通常は、安全蒸気ボイラの今回の保守作業に係る当初計画のように1系統ずつ動作不能状態と

して保修を実施しているが、当該弁の交換作業については、多重化している系統が配管でつながっており、仕切りをするための弁が設置されていないことから、安全蒸気ボイラを2系統とも動作不能とした作業を初めて行った。

安全蒸気ボイラの場合、保安規定で2系統とも動作不能となった場合に講じる措置について規定はしているものの、2系統とも動作不能として作業を行うことは、非常に特殊な作業である。

特殊な作業を行っているということを踏まえ、「なぜ2系統同時に保修を行ったのか」「2系統同時に保修作業を行うためにどのような評価を行ったのか」「なぜ保修作業を行う中でガス濃度不足になったのか」という点について分析を行った。

○ ガス濃度不足のまま系統除外を解除したこと

安全上重要な設備の保修作業で設備が動作不能状態になる場合には、運転している系統から外すための「系統除外」、保修作業が終了した時点で系統に戻すための「系統除外解除」という手続きを行うこととしている。「系統除外解除」を行う際には、設備の機能が動作可能な状態になっていることが求められるが、今回の弁交換作業の際には、「系統除外解除」の時点で、実際はガス濃度不足で安全蒸気ボイラの機能は動作可能な状態になっていなかった。これらの手続きの中での判断の経緯を踏まえ、「運転部門、保修部門において、なぜ系統除外の解除が可能な状態であると考えたのか」という点について分析を行った。

6. 2. 3 間接原因

要因分析の結果、安全蒸気ボイラが不着火になり2系統が故障に至った間接原因は、

- ① 安全上重要な設備の保修作業に対するリスク評価不足
- ② 保修後の設備の引渡し状態に対する確認不足
- ③ 隔離範囲の把握不足
- ④ 作業手順の把握不足
- ⑤ 燃料ガス供給系統の保修に関する知見・経験及び工事監理員の役割に対する理解の不足

の5つに分類された。

各々の分類において、主要な原因が洗い出された流れを以下に示す。

- ① 安全上重要な設備の保修作業に対するリスク評価不足

安全蒸気ボイラを2系統動作不能として弁交換作業を行う計画を立て

た際に、安全上重要な設備が動作不能となる状態を可能な限り回避すること、代替措置の必要性を検討することに思いが至らず、安全上重要な設備が2系統動作不能となることが特殊な作業であり可能な限り避ける必要があるという認識がなかった。

また、保守作業実施計画書の審査過程で核燃料取扱主任者の指摘により、保守作業中に発生するリスクに対する評価として、2系統動作不能な時間を可能な限り短くするという対応は行っているものの、今回の保守作業が、減圧弁のような調整機能を持っていない手動弁の交換であり、安全上重要な設備を2系統動作不能として保守を行うことをこれまでに実績のある1系統動作不能として保守を行うことの延長として考えたことなどにより、保守作業中に安全蒸気ボイラの起動が必要となった場合に2系統とも速やかに起動できないといったリスクや保守作業後に安全蒸気ボイラが起動できないといったリスクについての評価までは実施できていなかった。

核燃料取扱主任者の指摘により実施した保守作業中に発生するリスクに対する評価についても、短時間で設備を復旧させる必要があると考え、作業時間の確認等は行っていたが、確認方法が十分ではなかったことから作業準備、復旧等の時間が考慮されておらず、結果として十分な評価ではなかった。

また、保安規定に記載された措置はリスクを低減するための最低限の措置であり、更なるリスク低減に対する検討を行う必要があるということに思いが至らなかったことや、過去の弁交換と同様と考えたこと等により、保安規定で定めている2系統動作不能の場合に採るべき措置が実施できれば、2系統を動作不能として保守を行っても問題ないと考えた。

保安規定で保守作業実施計画書の作成を要求している等、安全上重要な設備の保守作業の計画は重要であるにもかかわらず、安全上重要な設備の保守作業に対するリスク評価に足りない部分があったため、安全蒸気ボイラ2台が故障する事態に至ったことから、「安全上重要な設備の保守作業に対するリスク評価不足」が最も重要な原因であると考えられる。

② 保守後の設備の引渡し状態に対する確認不足

安全蒸気ボイラを2系統動作不能として弁交換作業を行う計画を立てた際に、これまでの保守作業において、保守作業終了後は設備に求められる状態を満足した状態で設備が引き渡されていたという経験等により、保守終了後の設備の状態について確認していなかった。

③ 隔離範囲の把握不足

当該弁を事後保全対象から予防保全対象に変更した以降、最初の点検を協力会社に委託することを計画した委託仕様書検討段階及び業務要領書作成段階において設計図書・現場を確認していなかったこと、作業方法・作業範囲の検討等を協力会社に任せていたこと等により、弁交換作業時に隔離が必要な範囲が過去の弁交換よりも広いことを把握していなかった。

これらは、今回の弁交換作業が特殊な作業と認識できなかった要因であり、①及び②の背景にある原因と考えられる。

④ 作業手順の把握不足

協力会社が作成し提出した業務要領書を確認する際に、作業方法・作業範囲の検討等を協力会社に任せていたことから作業手順が記載された業務要領書の確認が十分ではなく、作業手順の把握が不足していた。

また、作業項目の記載程度などを示した当社の業務要領書の作成に係るマニュアルに従って業務要領書を作成することを協力会社に対して徹底していなかったこと、また、当該マニュアルに従った内容になっているかの確認を行っていなかったことから、交換対象を含む作業対象配管を隔離した後に配管内に残留している燃料ガスを抜き出すという作業が行われることを把握できなかった。

これらは、弁交換作業におけるリスクを正しく認識できず、過去の弁交換と同様の作業と考えた要因であり、①及び②の背景にある原因と考えられる。更に、作業手順の把握が不足していたことに加え、交換対象が調整機能を持っていない手動弁であるということが重なり、弁交換終了後における安全蒸気ボイラの機能確認（試運転）は不要と考えたことは、②の背景にある原因と考えられる。

また、上記③に示したように、業務要領書の確認を行う際に、設計図書・現場の確認を行っていなかったために、弁交換作業時に燃料ガスを抜き出す必要のある範囲が広いことが認識できていない等、結果として作業手順の把握が不足したと考えられ、③は本項目の背景にある原因と考えられる。

⑤ 燃料ガス供給系統の保守に関する知見・経験及び工事監理員の役割に対する理解の不足

弁交換作業時において、弁交換後の漏えい確認時に燃料ガスの供給を行った際に、実際は配管内に安全蒸気ボイラを着火するために必要なガ

ス濃度が確保されていない状態であったが、配管内の圧力が通常の圧力になったことで運転可能な状態であると考えており、ガス系統の保守に関する知見・経験が不足していた。

また、工事監理員は、現場で行われる作業の内容を把握した上で、行われている作業が計画どおり実施されているか、計画外の作業が行われていないか等を確認することが役割であるが、現場経験が浅かったこともあり、現場で確認した作業がその後の運転に対してどのような影響を与えるかについて認識できておらず、工事監理員の役割に対する理解が不足していた。

6. 3 発生原因のまとめ

安全蒸気ボイラ 2 台が故障に至った直接原因及び間接原因については以下のとおりであった。

【直接原因】

- ① 弁交換終了時のガス置換の未実施によるガス濃度不足
- ② 両系統の燃料ガス供給配管を接続する配管上への仕切りをするための弁の未設置

【間接原因】

- ① 安全上重要な設備の保守作業に対するリスク評価不足
- ② 保守後の設備の引渡し状態に対する確認不足
- ③ 隔離範囲の把握不足
- ④ 作業手順の把握不足
- ⑤ 燃料ガス供給系統の保守に関する知見・経験及び工事監理員の役割に対する理解の不足

7. 対策

本事象の原因に対する対策を検討した。(添付資料 1 1)

なお、10月14日に実施した当社再処理事業部における組織改正により、運転部門の各施設の運転を行う要員と設備管理や運転計画の検討等を行う要員をそれぞれ運転部と新たに組織した各施設部に分けるとともに、保守部門の各施設の機械設備の保守を行っている要員を各施設部に統合した。対策については、この点を踏まえた記載としている。

(1) 直接原因

- ① 弁交換終了時のガス置換の未実施によるガス濃度不足への対策
弁交換作業において配管内に多量の空気が残留する場合には、保守作

業の最終確認として着火確認を行うこととする。また、着火操作を繰り返す状況にならないよう、弁交換作業後に燃料ガスへの置換を行うとともに、ガス検知器を用いてガス濃度が所定の濃度であることを確認する（添付資料 1 2）。これらの手順を標準施工手順として定める。

② 両系統の燃料ガス供給配管を接続する配管上への仕切りをするための弁の未設置への対策

今回実施した弁等の交換作業等において、安全蒸気ボイラ 1 系統ずつ単独系統で保修できるように仕切りをするための弁を設置する。

(2) 間接原因

① 安全上重要な設備の保修作業に対するリスク評価不足への対策

安全上重要な設備の保修作業を計画する際には、保修時に設備を 2 系統動作不能な状態にすることは極力避けることとし、回避困難な場合には代替措置について必要性・実現性を検討する。また、代替措置が実施できず 2 系統を動作不能とした保修作業を行う場合に、保修作業中に安全蒸気ボイラの起動が必要となった場合に 2 系統とも速やかに起動できないといったリスクや、保修作業後に安全蒸気ボイラが起動できないといったリスクを評価する。

上記の評価結果についての担当部門における審査が確実に行われるよう、これらの結果を保修作業実施計画書に記載する。

上記を保修作業実施計画書の作成に関連するルールに記載する。

また、保安規定で定めている 2 系統動作不能の場合に採るべき措置が実施できれば 2 系統を停止して保修を行っても問題ないと考えたことに対しては、安全上重要な設備の機能が損なわれた場合の影響とそれを踏まえた保安規定要求の内容について、保安規定に関する教育の中での説明を実施している。

② 保修後の設備の引渡し状態に対する確認不足への対策

保修作業を計画する際に、保修終了後に当該設備が設備に求められる状態になるよう作業方法を検討することとし、この結果及び設備に求められる状態となっていることの確認方法（引渡し条件）について保修作業実施計画書に記載する。

上記を保修作業実施計画書の作成に関連するルールに記載する。

なお、当該設備に対しては、組織改正後、本報告の要因分析等で示した当該弁交換作業等を担当していた保修部門と運転部門が一つの組織となったことから、保修作業実施計画に係るルールにある協議が手続き上

は必要なくなるため、当該組織の中で記載事項の確認を行い、担当課長がこれを審査することとする。

③ 隔離範囲の把握不足への対策

業務要領書の確認を行う際、自ら設計図書・現場の確認を行い、作業方法や隔離範囲の検討を行うこととする。この点を含めた業務要領書確認のポイントに記載したチェックシートを新たに作成し運用する。

上記を保修作業に関連するルールに記載する。

また、委託仕様の検討を行う際、現場の状況を可能な限り確認することや設計図書により点検対象の確認を実施することを関係者に周知した。

④ 作業手順の把握不足への対策

業務要領書の確認段階において、業務要領書が当該要領書作成に係るマニュアルに従って作成されており、作業手順・作業内容が適切であることを自ら確認する。この点を含めた業務要領書確認のポイントに記載したチェックシートを新たに作成し運用する。

上記を保修作業に関連するルールに記載する。

また、協力会社に対して、業務要領書作成方法を示したマニュアルが、契約に基づき遵守すべき当社規定類であることを明確に示す。

⑤ 燃料ガス供給系統の保修に関する知見・経験及び工事監理員の役割に対する理解の不足への対策

ガス系統の保修に対する経験不足を補うため、安全蒸気ボイラの燃料ガス取扱いに関する注意点及びガスを広範囲で抜き出す可能性がある燃料ガス系機器の標準施工手順を定めたマニュアルを作成し、当該設備関係者に教育する。

また、保修作業に携わる要員に対して、工事監理員としての役割（作業安全の確保、手順書の遵守、作業内容及び現場状況の把握）を再教育する。特に、現場経験の少ない工事監理員に対しては、指導員が現場において、工事監理員としての役割に関する指導を徹底する。

今回の事象の発生原因の調査の過程では、自ら現場を確認することや自ら考えることが不足していたことも抽出されたことから、保修作業に携わる要員に対して、作業計画段階におけるリスク評価の重要性や、上記③及び④の対策としてチェックシートによる確認を行うこととした自ら設計図書・現場を確認し作業内容・作業手順が妥当であることの確認を行う必要性について教育を実施する。

また、上記の教育については、実施結果の確認を行う。

8. 類似機器での類似事象の発生防止

類似事象の再発防止のための対応を考える上で、「7. 対策」に示した各対策を、対策を講じる対象に応じて分類することにより、実施すべき内容及び対象が整理できると考え、以下のとおり分類した。(各対策分類と原因との関係については添付資料1 1 参照)

- (1) 燃料ガスを取り扱う設備に対する保修手順の作成に係る対策
(7. (1) ①)
- (2) 設備の改善に係る対策 (7. (1) ②)
- (3) 保修作業による影響評価に係る対策 (7. (2) ①及び②)
- (4) 保修に関する運用に係る対策 (7. (2) ③及び④)
- (5) 保修業務、設備に対する知識向上等に係る対策 (7. (2) ⑤)

分類毎に類似事象の発生防止を整理した。

- (1) 燃料ガスを取り扱う設備に対する保修手順の作成に係る対策

安全蒸気ボイラが不着火になった原因に対する対策については、安全蒸気ボイラのように、燃料としてガスを用いた着火設備を有している設備、不着火等の故障により保安規定上機能喪失として取扱う対象という観点で、類似機器での類似事象の発生の可能性について調査を行った結果、対象となる設備はなかった。

なお、安全上重要な設備以外の設備には燃料としてガスを用いた着火設備を有している設備があるため、燃料ガス系の設備の保修作業における燃料ガスの抜き出し作業、燃料ガスへの置換作業等の確認を隔離作業実施マニュアルのチェックシートに追加し、作業前の検討段階で確認・調整を行うこととする。

- (2) 設備の改善に係る対策

多重化している設備を対象として、保修作業時に複数系統ある設備を全て停止する必要がある設備の有無を調査し、必要な設備対応を計画的に講じる。(添付資料1 3)

なお、対策が必要な設備については、設備対応工事や不具合により複数系統ある設備を全て停止する場合のリスク評価を行い、リスクを低減するための対策をあらかじめ講じておくことにより、同様の事象の発生防止や早急な復旧を可能とする。

(3) 保守作業による影響評価に係る対策

保守作業実施計画書の作成に関連するルールについては、再処理施設共通で使用するため、類似事象の発生防止を図ることができる。

(4) 保守に関する運用に係る対策

現場施工を伴う保守・改造工事の協力会社への委託を実施する他部門（他の施設の運転・保守を担当する箇所及び放射線管理部門）に対して、設計図書・現場を確認し、作業手順・作業内容が適切であることを自ら確認するためのチェックシートを運用する。なお、業務要領書作成に係るマニュアルを運用していない部門においては、類似マニュアルの新規作成又は既に運用している「業務実施（又は工事）要領書の運用及び作成マニュアル」の準用にて対応する。

(5) 保守業務、設備に対する知識向上等に係る対策

安全蒸気ボイラが不着火になった原因に対する対策については、安全蒸気ボイラのように、燃料としてガスを用いた着火設備を有している設備、不着火等の故障により保安規定上機能喪失として取扱う対象という観点で、類似機器での類似事象の発生の可能性について調査を行った結果、対象となる設備はなかった。ただし、他のガス系統を運転・保守する部門における知識の向上のため、これら部門に対して今回の事例を周知する。

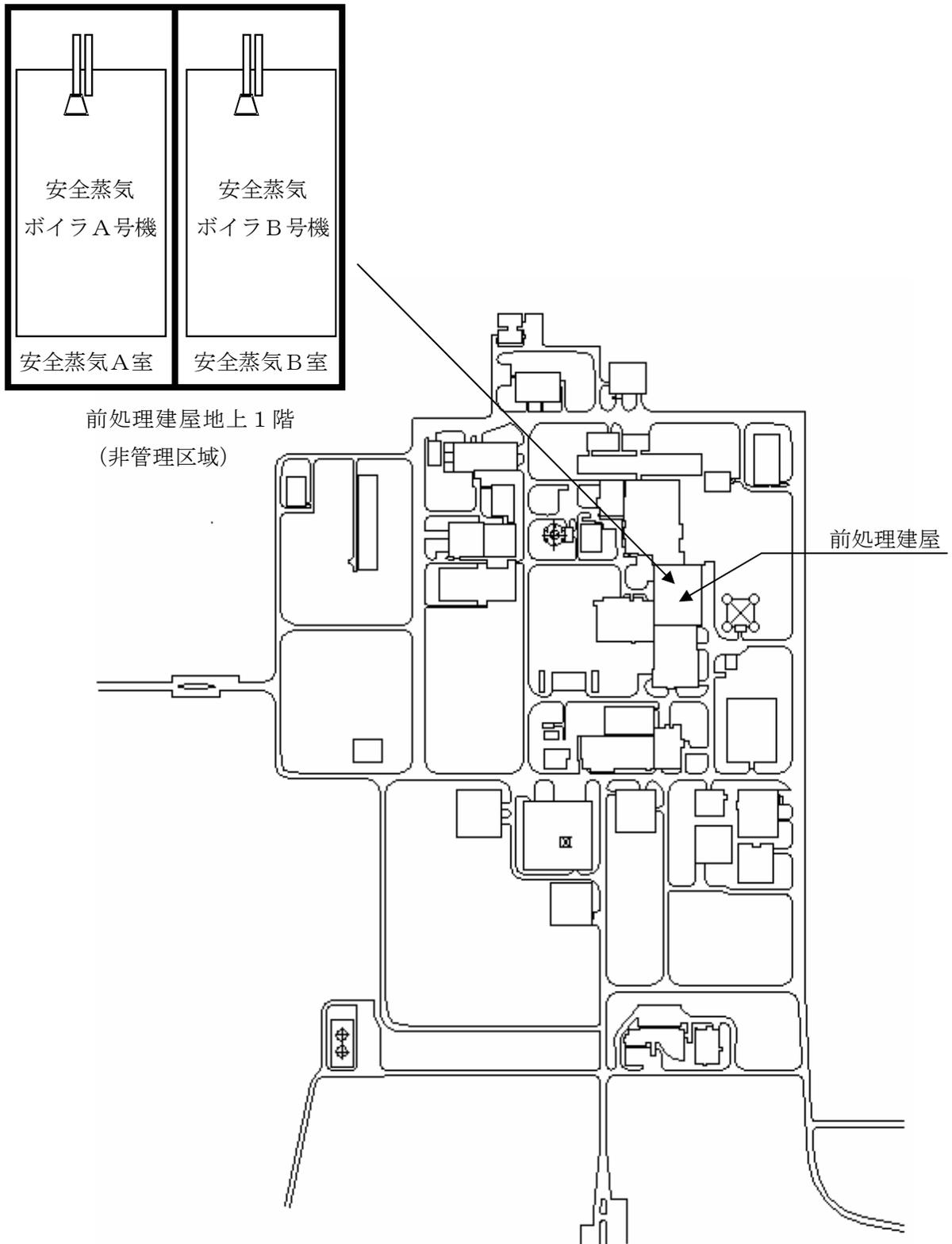
また、現場施工を伴う保守・改造工事を実施する他部門（他の施設の運転・保守を担当する箇所及び放射線管理部門）の保守作業に携わる要員に対して、工事監理員としての役割（作業安全の確保、手順書の遵守、作業内容及び現場状況の把握）を再教育する。

さらに、現場施工を伴う保守・改造工事を実施する他部門（他の施設の運転・保守を担当する箇所及び放射線管理部門）に対して、作業計画段階におけるリスク評価の重要性や上記（4）の対応としてチェックシートによる確認を行うこととした自ら設計図書・現場を確認し作業内容・作業手順が妥当であることの確認を行うことの必要性について教育を実施する。

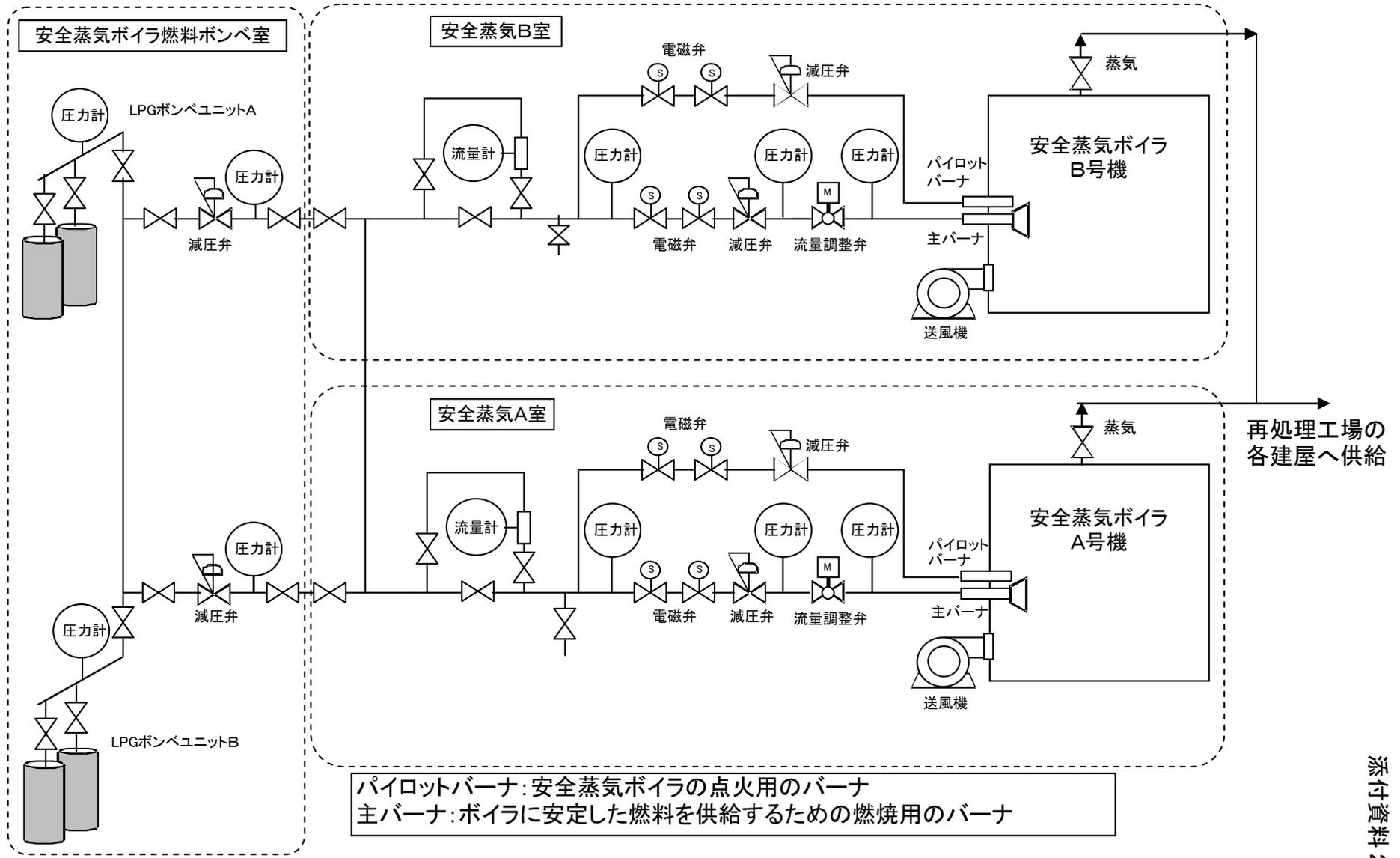
上記の教育については、実施結果の確認を行う。

なお、上記の対策により改正を行うルールについては、改正箇所及び改正理由について、当該ルールを使用する部署に対して周知を行う。

以上



安全蒸気ボイラ配置図



安全蒸気ボイラ 系統図

再処理工場 前処理建屋における安全蒸気ボイラ2台の故障の詳細時系列

- 5月24日
 - ・ 保守部門にて安全蒸気ボイラ年次点検の保守作業実施計画書作成（初版）（5月31日事業部長承認）→ 弁交換の実施日は6月27日（試運転前）
- 6月13日
 - ・ 保守部門にて安全蒸気ボイラ年次点検の保守作業実施計画書修正（改正1）（6月15日事業部長承認）→ 弁交換の実施日を7月14日の試運転後に変更
- 6月24日
 - ・ 安全蒸気ボイラB号機 サーバランス運転（A号機の系統除外前の確認を兼ねて実施）※1、2 → 異常なし
 - ・ 安全蒸気ボイラA号機 系統除外及び隔離実施
 - ・ 安全蒸気ボイラA号機の点検開始
 - ・ 保安規定第37条に基づく措置実施（溶液の移送を必要とする工程停止及び保安上必要な場合を除き当該移送の禁止措置）
- 7月1日
 - ・ 保守部門にて安全蒸気ボイラ年次点検の保守作業実施計画書修正（改正2）（7月13日事業部長承認）→ 弁交換の実施日を7月20日～21日に変更
- 7月14日
 - ・ 安全蒸気ボイラA号機 隔離解除
 - ・ 安全蒸気ボイラA号機 点検後の試運転※3 → 異常なし
 - ・ 安全蒸気ボイラA号機 系統除外解除
 - ・ 安全蒸気ボイラB号機 サーバランス運転※1 → 異常なし
- 7月21日
 - ・ 弁交換のため、安全蒸気ボイラA号機、B号機を系統除外
 - ・ 安全蒸気ボイラ設備の燃料ガス供給配管に配置された手動弁（7箇所）交換実施
 - ・ 弁交換終了のため、安全蒸気ボイラA号機、B号機を系統除外解除
- 7月22日
 - 5：49～
 - ・ 安全蒸気ボイラA号機 サーバランス運転（B号機の系統除外前の確認を兼ねて実施）※1、2 → 5回目不着火（故障と判断）
 - 7：14
 - ・ 安全蒸気ボイラB号機 A号機の故障のためのB号機の起動確認※4
 - 8：01～
 - 8：22
 - 3回目不着火
 - 8：05
 - ・ 六ヶ所対応会議立ち上げ
 - 8：45
 - ・ 安全蒸気ボイラの2台故障の可能性があり、「使用済燃料等を限定された区域に閉じ込める機能の喪失又は喪失のおそれ」に該当すると六ヶ所対応会議にて判断
 - 8：53
 - ・ 第1報FAX発信
 - 9：53～
 - ・ 安全蒸気ボイラA号機 起動確認（この間、連続的に起動操作を実施したが着火しなかった）
 - 11：46

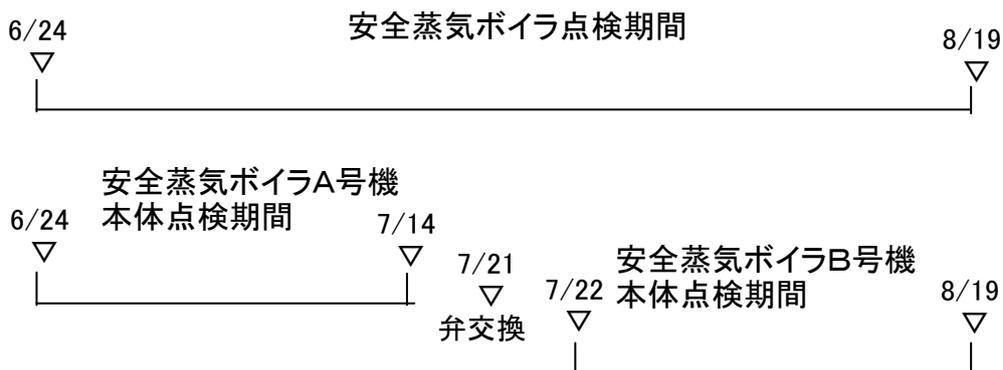
- 10 : 03 ・安全蒸気ボイラの2台故障と判断し、統括当直長が前処理建屋、分離建屋、高レベル廃液ガラス固化建屋の安全上重要な機器間における高レベル濃縮廃液等の溶液の移送を禁止する措置を実施
- 11 : 53 ・安全蒸気ボイラA号機 起動（再起動操作22回目）
- 15 : 14～ ・安全蒸気ボイラB号機 燃料ガスの供給調整作業（燃料ガスへの置換）実施
- 15 : 19
- 15 : 35 ・安全蒸気ボイラB号機 起動（燃料ガスの供給調整作業後の再起動操作2回目）

- ※1 安全蒸気ボイラA号機又はB号機が要求される機能を満足していることの定期確認（確認頻度：1回/月）のため、運転を実施。
- ※2 安全蒸気ボイラA号機又はB号機が系統除外（保安規定上の設備に求められる状態外）に移行する際に、保安規定で要求されている措置として他のボイラを起動し、運転可能であることを確認する必要があるため、運転を実施。
- ※3 安全蒸気ボイラ本体の点検終了後、安全蒸気ボイラA号機を起動し、要求される機能を満足していることを確認するため、運転を実施。
- ※4 安全蒸気ボイラA号機が、要求される機能を満足していないことが確認された（保安規定上の設備に求められる状態外となった）ことから、保安規定で要求されている措置として他のボイラを起動し、運転可能であることを確認するため、運転を実施。

安全蒸気ボイラA号機及びB号機の時系列

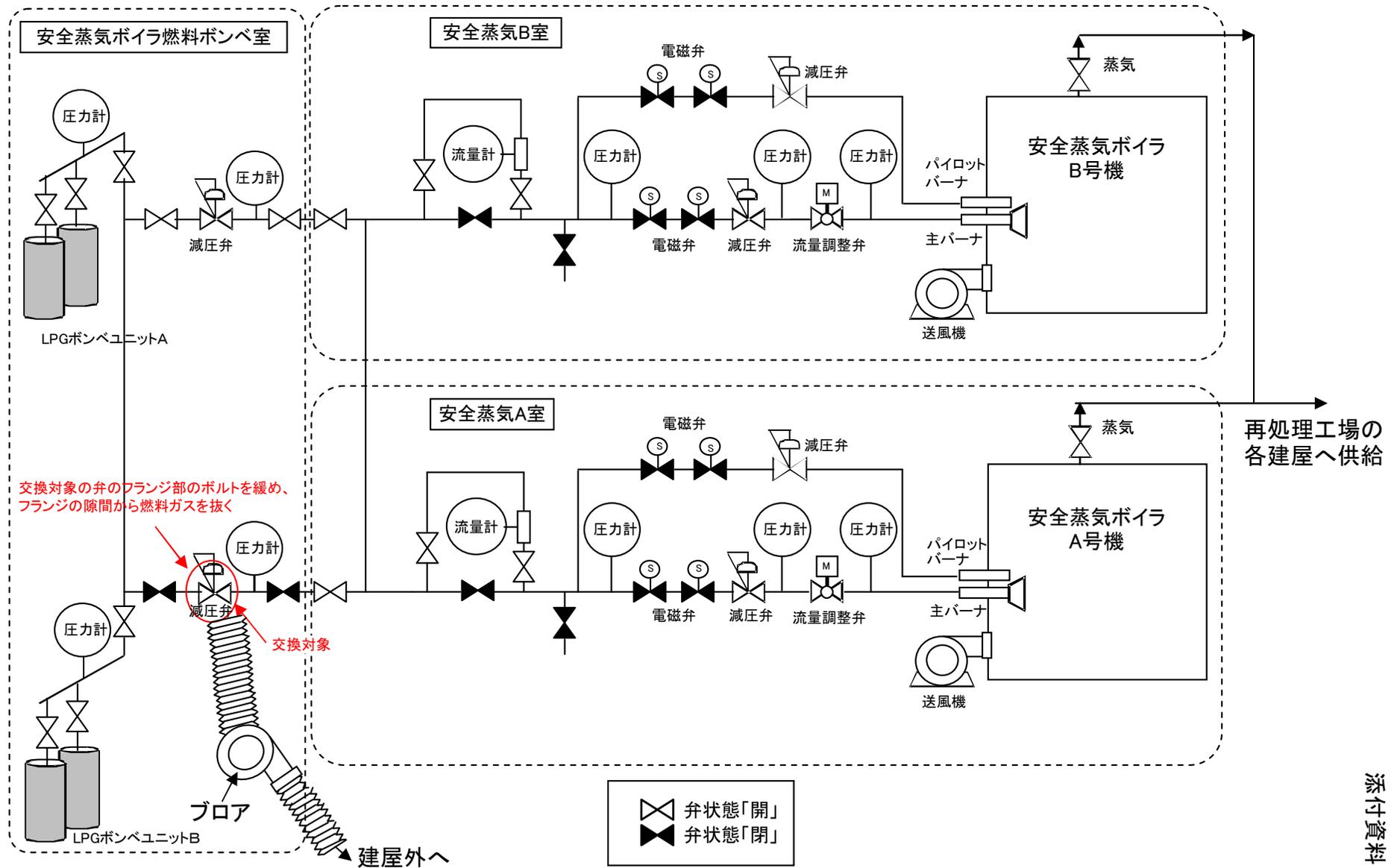
時系列		安全蒸気ボイラA号機	安全蒸気ボイラB号機
2011年 5月	6日	サーベランス運転 →異常なし	
	30日		サーベランス運転 →異常なし
2011年 6月	6日	サーベランス運転 →異常なし	
	24日	系統除外 隔離実施 安全蒸気ボイラ点検開始 (安全蒸気ボイラA号機本体点検開始)	サーベランス運転(A号機の系統除外前の確認を兼ねて実施) →異常なし
2011年 7月	14日	隔離解除 点検後の試運転→異常なし 安全蒸気ボイラA号機本体点検終了 系統除外の解除	サーベランス運転 →異常なし
	21日	移送禁止措置の実施(保安上必要な場合を除く) 系統除外 隔離実施 弁交換 隔離解除 系統除外の解除 移送禁止措置の解除	
	22日	サーベランス運転(B号機の系統除外前の確認を兼ねて実施) →不着火発生	A号機の故障のためのB号機の起動確認 →不着火発生

【点検の予定】

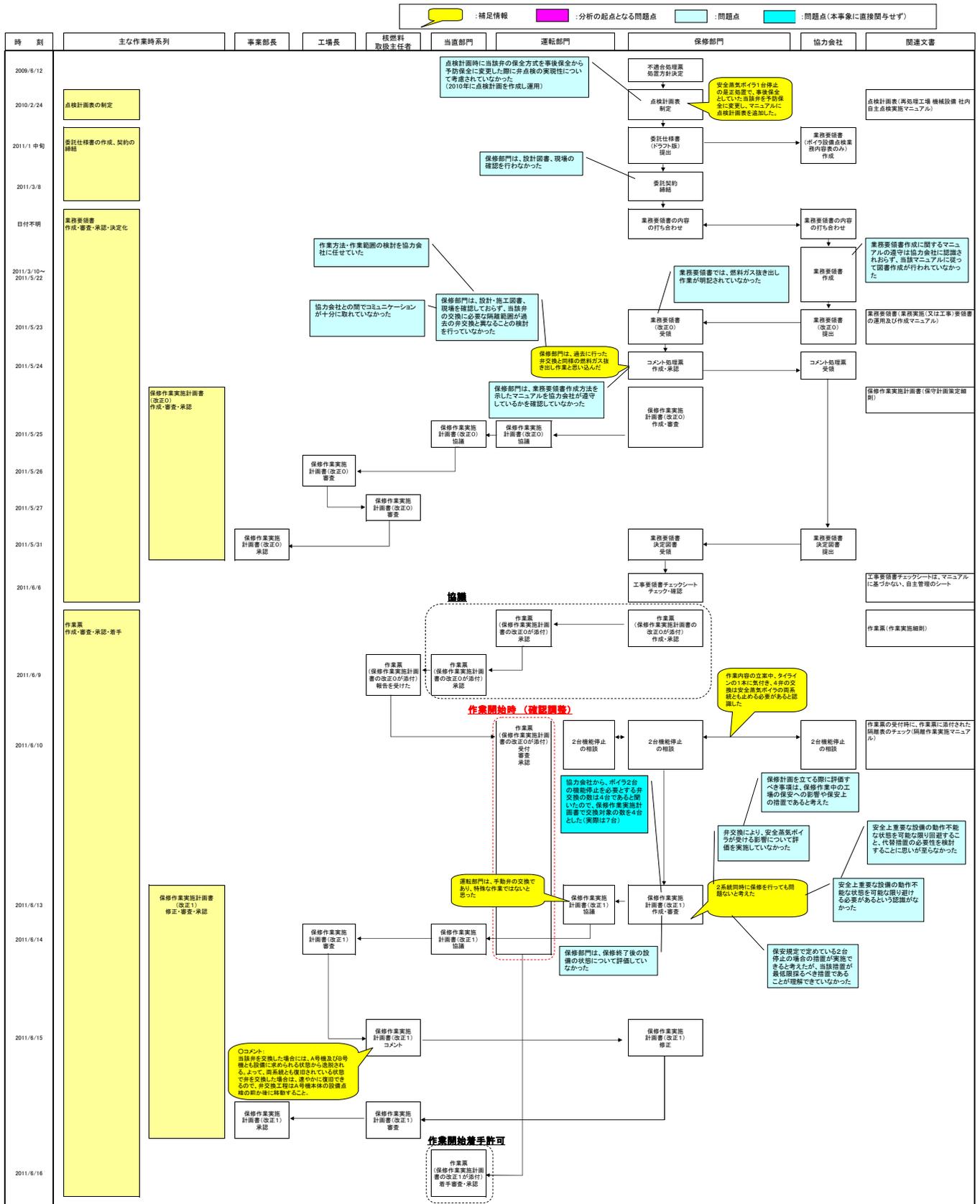


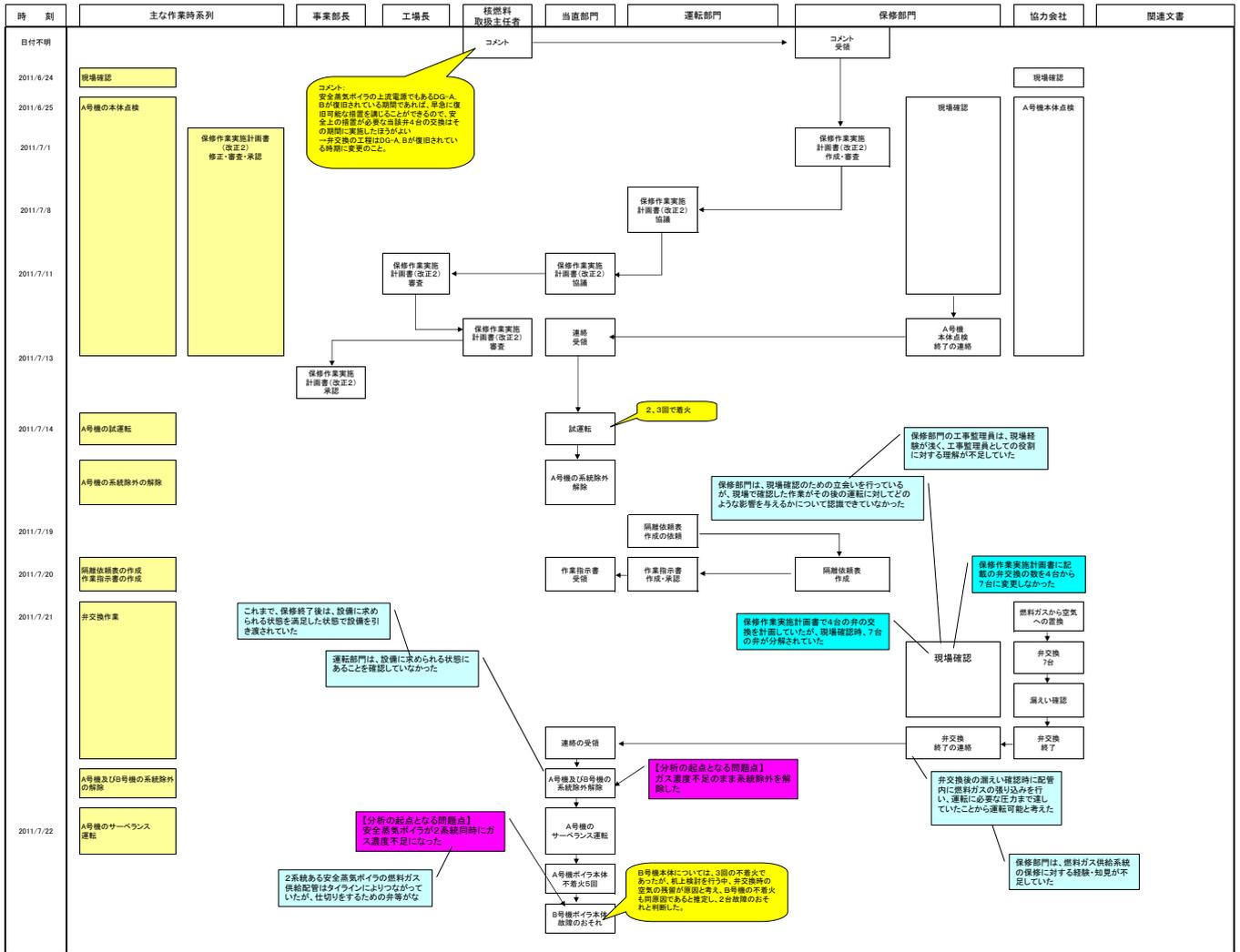
安全蒸気ボイラが不着火になった原因に対する要因分析図

事実	要因1	要因2	要因3	要因4	要因5	評価									
安全蒸気ボイラA号機及びB号機が不着火となった	燃料系での異常	燃料供給圧力の異常	減圧弁故障	減圧弁の動作が不良であった		<p>(運転記録の確認)</p> <p>2011年7月14日1直帯に安全蒸気ボイラA号機の試運転を実施し、現場計器にて蒸気圧力が1.2MPa(基準値:1.18MPa以上)であること及び蒸気流量が1100kg/h(基準値:1000kg/h以上)であり要求されている機能を満足していることを確認した。同日3直帯に安全蒸気ボイラB号機のサーベランス運転を実施し、現場計器にて蒸気圧力が1.24MPa(基準値:1.18MPa以上)であること及び蒸気流量が1090kg/h(基準値:1000kg/h以上)であり要求されている機能を満足していることを確認した。</p> <p>その後、保守及び調整作業は実施していない。</p> <p>(2011/7/22現場確認)</p> <p>LPGボンベユニットBの減圧弁については、減圧弁入口の圧力計指示値が0.71MPa(基準値:0.25~1.56MPa)であり、減圧弁出口の圧力計指示値が安全蒸気ボイラA号機で0.081MPa、安全蒸気ボイラB号機で0.086MPa(基準値:0.048~0.170MPa)となっていたことから基準値まで減圧していることを確認している。</p> <p>安全蒸気ボイラA号機の主バーナの減圧弁については、ボイラ着火後の減圧弁入口の圧力計指示値が0.078MPa(基準値:0.048~0.170MPa)であり、減圧弁出口の圧力計指示値が1.2MPa(基準値:15kPa以下)となっていたことから基準値まで減圧していることを確認している。</p> <p>安全蒸気ボイラB号機の主バーナの減圧弁については、ボイラ着火後の減圧弁入口の圧力計指示値が0.078MPa(基準値:0.048~0.170MPa)であり、減圧弁出口の圧力計指示値が1.2MPa(基準値:15kPa以下)となっていたことから基準値まで減圧していることを確認している。</p> <p>(2011/7/22復旧確認)</p> <p>設備復旧後に安全蒸気ボイラA号機のサーベランス運転を実施し、現場計器にて蒸気圧力が1.24MPa(基準値:1.18MPa以上)であること及び蒸気流量が1100kg/h(基準値:1000kg/h以上)であり要求されている機能を満足していることから、設備機能に影響を与えるような減圧弁の動作不良はない。</p> <p>また、安全蒸気ボイラB号機についてもサーベランス運転を実施し、現場計器にて蒸気圧力が1.25MPa(基準値:1.18MPa以上)であること及び蒸気流量が1100kg/h(基準値:1000kg/h以上)であり要求されている機能を満足していることから、設備機能に影響を与えるような減圧弁の動作不良はない。</p>									
						燃料ガスの不足	燃料ガスボンベ内のガスが不足していた				<p>(運転記録)</p> <p>2011年7月14日の安全蒸気ボイラA号機及びB号機のサーベランス運転終了後の積算流量計の指示値と2011年7月22日の事故発生時の指示値を比較すると差はな(燃料は消費されていなかった)。</p> <p>2011年7月15日に燃料ガスボンベを1ユニット(18本/ユニット)充填済みにより替えており、ボイラ運転時間約8時間に相当(約15時間)する燃料ガスを保有していた。</p> <p>(2011/7/22現場確認)</p> <p>LPGボンベユニットの圧力計指示値は0.71MPa(基準値:0.25~1.56MPa)であり、基準値範囲内で十分に圧力があることを確認した。</p>				
											ガス濃度不足	接続部からの空気の流入			<p>(2011/7/22現場確認)</p> <p>安全蒸気ボイラの燃料ガス供給系統内の各圧力計指示値は下記の通り正圧の値を示していたことから接続部からの空気の流入はない。</p> <p>【LPGボンベユニットB】</p> <ul style="list-style-type: none"> 減圧弁前圧力計指示値:0.71MPa(基準値:0.25~1.56MPa) 減圧弁後圧力計指示値:0.198MPa(基準値:0.16~0.24MPa) 【安全蒸気ボイラA号機】 流量計出口圧力計指示値:0.081MPa(基準値:0.01~0.98MPa) 【安全蒸気ボイラB号機】 流量計出口圧力計指示値:0.086MPa(基準値:0.01~0.98MPa)
															燃料ガス供給系統の弁交換後の空気の残留
											電磁弁の動作不良	電磁弁が開動作しない			
		燃料ガス供給配管の不良	燃料ガスの漏えい	燃料ガス供給配管が破損している	燃料ガス供給配管が破損している			<p>(2011/7/22現場確認)</p> <p>目視により燃料ガス供給配管に破損がないこと及びガス漏れの異臭・異音がないことを確認した。</p> <p>また、室内に設置しているガス検知器(設定値0.45vol%)は発報してなかった。</p> <p>安全蒸気ボイラの燃料ガス供給系統内の圧力計指示値についても、下記の通り基準値の範囲内を示していた。</p> <p>【LPGボンベユニットB】</p> <ul style="list-style-type: none"> 減圧弁前圧力計指示値:0.71MPa(基準値:0.25~1.56MPa) 減圧弁後圧力計指示値:0.198MPa(基準値:0.16~0.24MPa) 【安全蒸気ボイラA号機】 流量計出口圧力計指示値:0.081MPa(基準値:0.01~0.98MPa) 【安全蒸気ボイラB号機】 流量計出口圧力計指示値:0.086MPa(基準値:0.01~0.98MPa) 							
								燃料ガス供給配管の閉塞	燃料ガス供給配管が異物により閉塞していた				<p>(2011/7/22火確認)</p> <p>燃料ガス供給系統上の積算流量計の指示値が増加したことから、閉塞により燃料ガスが遮断されている状態ではなかった。</p> <p>(2011/7/22復旧確認)</p> <p>設備復旧後に安全蒸気ボイラA号機のサーベランス運転を実施し、現場計器にて蒸気圧力が1.24MPa(基準値:1.18MPa以上)であること及び蒸気流量が1100kg/h(基準値:1000kg/h以上)であり要求されている機能を満足していることから、設備機能に影響を与えるような閉塞はない。</p> <p>また、安全蒸気ボイラB号機についてもサーベランス運転を実施し、現場計器にて蒸気圧力が1.25MPa(基準値:1.18MPa以上)であること及び蒸気流量が1100kg/h(基準値:1000kg/h以上)であり要求されている機能を満足していることから、設備機能に影響を与えるような閉塞はない。</p>		
													燃料ガス供給配管への空気の混入	接続部からの空気の流入	
		ボイラ本体での異常	ボイラ燃焼装置の異常	点火装置(イグナイター)が劣化していた				<p>(2011/7/22応急処置)</p> <p>ボイラ起動時にボイラ本体に設置されている覗き窓からイグナイターが正常に動作(スパーク)していることを目視にて確認した。</p> <p>※点火のために火花を出す装置</p>							
								着火装置(パイロットバーナ)の故障					<p>(2011/7/22火確認)</p> <p>ボイラ着火時にボイラ本体に設置されている覗き窓からパイロットバーナが着火することを目視にて確認した。</p>		
				送風機の異常	送風機が起動しなかった										<p>(2011/7/22応急処置)</p> <p>ボイラ起動時に、送風機が起動することを目視にて確認した。</p>
			制御系での異常	誤警報の発報により停止した	警報装置が故障していた					<p>(2011/7/22応急処置)</p> <p>ボイラ起動時にアラームテストを実施し、警報装置に異常がないことを確認した。</p> <p>また、7月22日の警報が発報した際にボイラ側で実際に不着火であることを確認しており、「不着火・失火」警報発報後、リセット操作により警報が復旧したことから警報装置に異常はなかった。</p>					
										電源系統の異常					
		系統状態の異常	系統構成の不備(系統上の弁等の状態間違い)						<p>(2011/7/22現場確認)</p> <p>系統構成に異常がないことを、系統図をもとに弁開閉リストを用いて目視確認した。</p>						
									運転操作ミス						<p>(操作手順確認)</p> <p>今回のサーベランス運転は、運転手順書に従い操作を実施し、同手順書はサーベランス運転でも使用して、問題はなかった。また、運転員は社内の産学と実技による試験に合格し、社内規定で定める技術・技能認定試験に合格している。</p>



過去の弁交換時の燃料ガス抜き作業





安全上重要な設備の保守作業に対するリスク評価不足

設備の不具合による保守作業を行う際に、保守作業中に安全高気圧ボイラの故障が発生した場合には、システムと連動して自動的に停止するリスクを、保守作業中に安全高気圧ボイラが故障できないというリスクを評価すること。上記の認識から、保守作業中のリスク評価を保守計画策定時に追加する。

設備に関する要因 (直接原因)
2系統ある安全高気圧ボイラの燃料ガス供給配管はタウリンにより交換されたが、仕切りをするための弁等がなかった
両系統をつなぐ配管内に動的機器がなく、設置されている弁等についても動作する可能性が低いと考えられていた

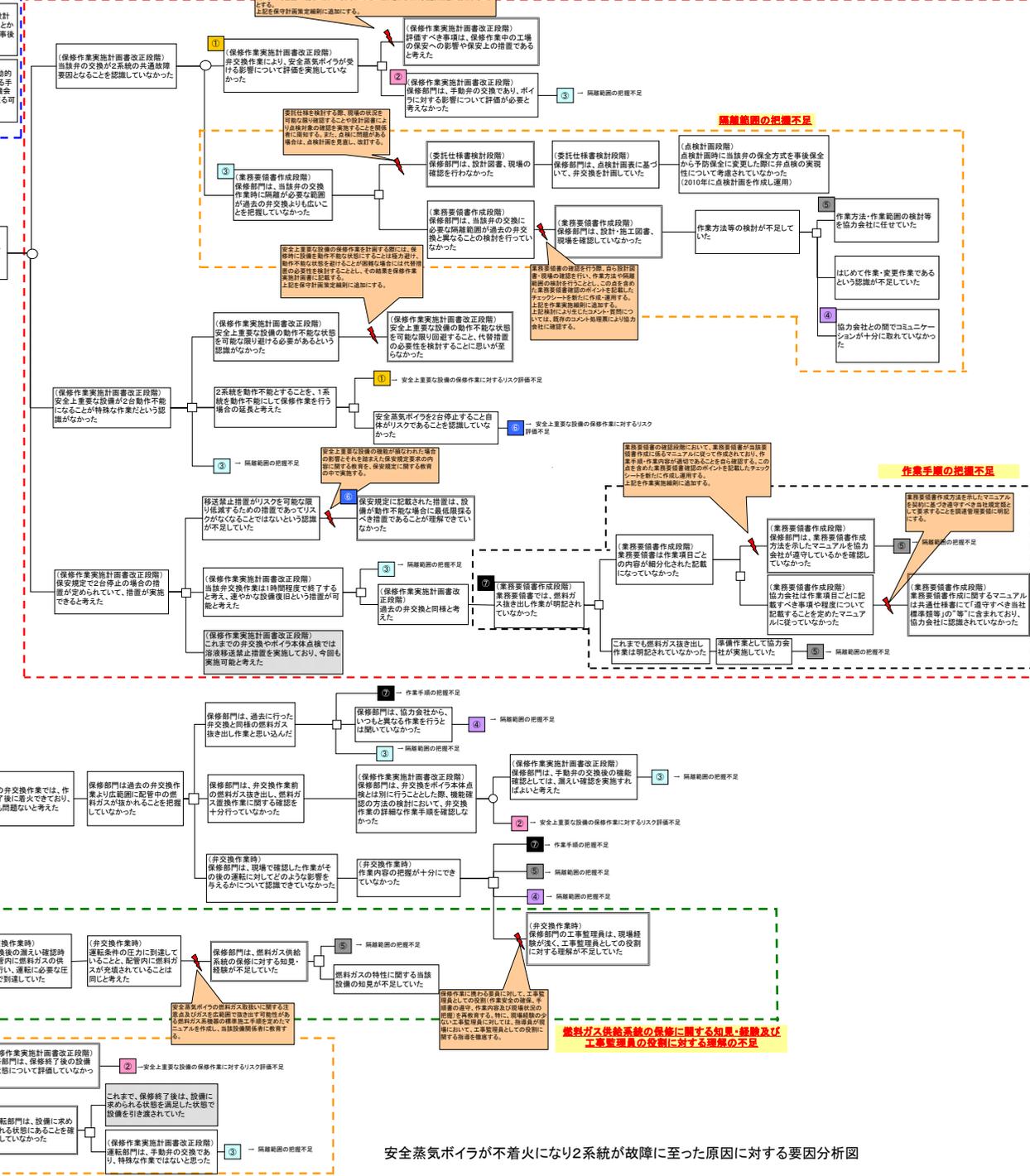
ガスが抜ける弁交換作業を2系統同時に実施した
保守部門は、2系統同時に作業を行って問題はないと考えた

安全高気圧ボイラが2系統同時にガス漏れ不足になった

燃料ガス供給配管に空気が混入したまま、保守を終了した
保守部門は、弁交換時にガス漏れ不足に気が付かなかった

ガス漏れ不足のまま系統断外を断外した

保守後の設備の引渡し状態に対する確認不足



【凡例】
□ AND
○ OR
: 要因
: 原因
: 深掘りが不要な事実
: 対策

安全蒸気ボイラが不着火になり2系統が故障に至った原因に対する要因分析図

対策一覧表

1. 直接原因

分類	原因	対策	8章における対策分類
① 弁交換終了時のガス置換の未実施によるガス濃度不足	弁交換前に燃料ガス供給配管内の燃料ガスを空気に置換したが、交換後に燃料ガスに置換しなかったため、ガス濃度不足になった。	弁交換作業時に配管内に多量の空気が残留する場合には、保守作業の最終確認として着火確認を行うこととする。 また、着火操作を繰り返す状況にならないよう、弁交換作業後に燃料ガスへの置換を行うとともに、ガス検知器を用いてガス濃度が所定の濃度であることを確認することとする。これらの手順を標準施工手順として定める。	(1) 燃料ガスを取り扱う設備に対する保守手順の作成に係る対策
② 両系統の燃料ガス供給配管を接続する配管上への仕切りをするための弁の未設置	燃料ガス供給配管が、安全蒸気ボイラ 2 系統に対して、仕切りをするための弁がなく共通的な系統となっていた。	今回実施した弁の交換作業において、安全蒸気ボイラ 1 系統ずつ単独系統で保守できるよう、計画的に仕切りをするための弁を設置する。	(2) 設備の改善に係る対策

2. 間接原因

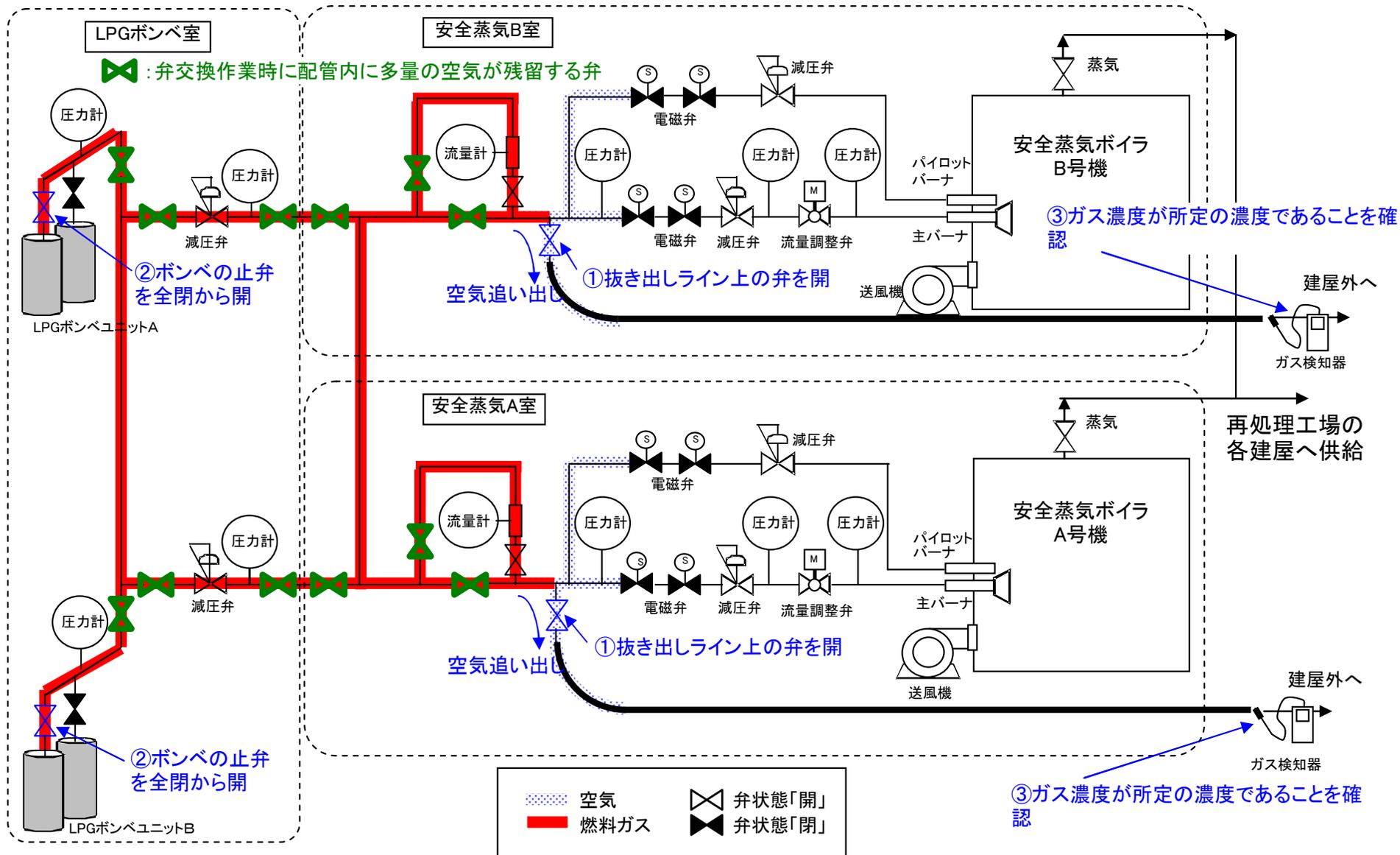
分類	原因	対策	8章における対策分類
① 安全上重要な設備の保守作業に対するリスク評価不足	安全蒸気ボイラを 2 系統動作不能として弁交換作業を行う計画を立てた際に、安全上重要な設備が動作不能となる状態を可能な限り回避すること、代替措置の必要性を検討することに思いが至らず、安全上重要な設備が 2 系統動作不能となることが特殊な作業であり可能な限り避ける必要があるという認識がなかった。	安全上重要な設備の保守作業を計画する際には、保守時に設備を 2 系統動作不能な状態にすることは極力避けることとし、回避困難な場合には代替措置の必要性を検討する。 その結果について、担当部門における審査が確実に行われるよう保守作業実施計画書に記載する。 また、上記を保守計画策定細則に追加する。	(3) 保守作業による影響評価に係る対策

分類	原因	対策	8章における対策分類
①安全上重要な設備の保守作業に対するリスク評価不足	<p>保守作業中に安全蒸気ボイラの起動が必要となった場合に2系統とも速やかに起動できないといったリスクや保守作業後に安全蒸気ボイラが起動できないといったリスクについての評価までは実施できていなかった。</p>	<p>2系統を動作不能とした保守作業を行う場合に、保守作業中に安全蒸気ボイラの起動が必要となった場合に2系統とも速やかに起動できないといったリスクや、保守作業後に安全蒸気ボイラが起動できないといったリスクを評価する。上記の評価結果についての担当部門における審査が確実に行われるよう、これらの結果を保守作業実施計画書に記載する。上記を保守計画策定細則に追加する。</p>	<p>(3) 保守作業による影響評価に係る対策</p>
	<p>保安規定に記載された措置はリスクを低減するための最低限の措置であり、更なるリスク低減に対する検討を行う必要があるということに思いが至らなかったことや、過去の弁交換と同様と考えたこと等により、保安規定で定めている2系統動作不能の場合に採るべき措置が実施できれば、2系統を停止して保守を行っても問題ないと考えた。</p>	<p>安全上重要な設備の機能が損なわれた場合の影響と、それを踏まえた保安規定要求の内容について、保安規定に関する教育の中で説明を実施している。</p>	<p>(3) 保守作業による影響評価に係る対策</p>

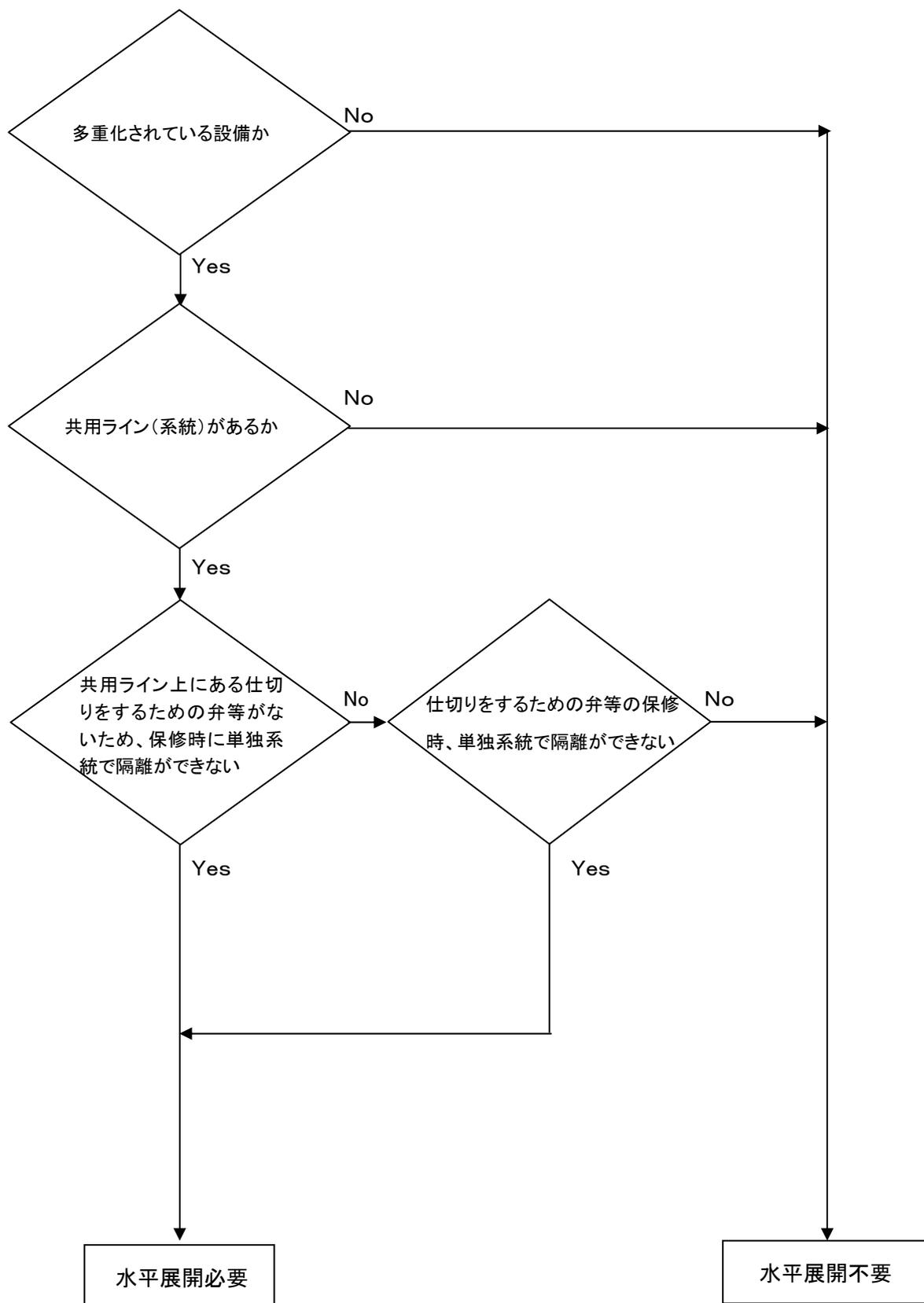
分類	原因	対策	8章における対策分類
② 保守後の設備の引渡し状態に対する確認不足	<p>運転部門は、これまでの保守作業において、保守作業終了後は設備に求められる状態を満足した状態で設備が引き渡されていたという経験等により、設備に求められる状態にあることを確認していなかった。</p>	<p>保守作業を計画する際に、保守終了後に当該設備が設備に求められる状態になるよう作業方法を検討することとし、この結果及び設備に求められる状態となっていることの確認方法（引渡し条件）について保守作業実施計画書に記載する。 上記を保守計画策定細則に追加する。</p>	<p>(3) 保守作業による影響評価に係る対策</p>
		<p>当該設備に対しては、組織改正後、当該弁交換作業等を担当していた保守部門と運転部門が一つの組織となったことから、保守作業実施計画に係るルールにある協議が手続き上は必要なくなるため、当該組織の中で記載事項の確認を行い、担当課長がこれを審査する。</p>	<p>(3) 保守作業による影響評価に係る対策</p>
③ 隔離範囲の把握不足	<p>委託仕様書検討段階において、保守部門は、設計図書・現場の確認を行わなかったために、弁交換作業時に隔離が必要な範囲が過去の弁交換よりも広いことを把握していなかった。</p>	<p>委託仕様の検討を行う際、現場の状況を可能な限り確認することや設計図書により点検対象の確認を実施することを関係者に周知する。</p>	<p>(4) 保守に関する運用に係る対策</p>
	<p>業務要領書作成段階において、保守部門は、設計図書・現場を確認していなかったこと、作業方法・作業範囲等の検討を協力会社に任せていたこと等により、弁交換作業時に隔離が必要な範囲が過去の弁交換よりも広いことを把握していなかった。</p>	<p>業務要領書の確認を行う際、自ら設計図書・現場の確認を行い、作業方法や隔離範囲の検討を行うこととし、この点を含めた業務要領書確認のポイントを記載したチェックシートを新たに作成し運用する。 上記を作業実施細則に追加する。</p>	<p>(4) 保守に関する運用に係る対策</p>

分類	原因	対策	8章における対策分類
④ 作業手順の把握不足	<p>作業方法・作業範囲の検討等を協力会社に任せていたことから、作業手順が記載された業務要領書の確認が十分ではなく、作業手順の把握が不足していた。</p>	<p>業務要領書の確認段階において、業務要領書が当該要領書作成に係るマニュアルに従って作成されており、作業手順・作業内容が適切であることを自ら確認する。この点を含めた業務要領書確認のポイントを記載したチェックシートを新たに作成し運用する。上記を作業実施細則に追加する。</p>	(4) 保修に関する運用に係る対策
	<p>業務要領書作成段階において、保修部門は、業務要領書が、作業項目の記載方法を示した当社の業務要領書の作成に係るマニュアルに従った内容になっているかの確認を行っていなかった。</p>		
	<p>作業項目の記載方法を示した当社の業務要領書の作成に係るマニュアルに従って業務要領書を作成することを、協力会社に対して徹底していなかった。</p>		
⑤ 燃料ガス供給システムの保修に関する知見・経験及び工事監理員の役割に対する理解の不足	<p>保修部門は、弁交換作業時において、弁交換後の漏えい確認時に燃料ガスの供給を行った際に、実際は配管内に安全蒸気ボイラを着火するために必要なガス濃度が確保されていない状態であったが、配管内の圧力が通常圧力になったことで運転可能な状態であると考えており、燃料ガス供給システムの保修に関する知見・経験が不足していた。</p>	<p>安全蒸気ボイラの燃料ガス取扱いに関する注意点及びガスを広範囲で抜き出す可能性がある燃料ガス系機器の標準施工手順を定めたマニュアルを作成し、当該設備関係者に教育する。教育の実施結果を確認する。</p>	(5) 保修業務、設備に対する知識向上等に係る対策

分類	原因	対策	8章における対策分類
⑤燃料ガス供給システムの保守に関する知見・経験及び工事監理員の役割に対する理解の不足	弁交換作業時において、保守部門の工事監理員は、現場経験が浅かったこともあり現場で確認した作業がその後の運転に対してどのような影響を与えるかについて認識できておらず、工事監理員の役割に対する理解が不足していた。	保守作業に携わる要員に対して、工事監理員としての役割（作業安全の確保、手順書の遵守、作業内容及び現場状況の把握）を再教育する。 特に、現場経験の少ない工事監理員に対しては、指導員が現場において、工事監理員としての役割に関する指導を徹底する。 教育の実施結果を確認する。	(5) 保守業務、設備に対する知識向上等に係る対策
	(③隔離範囲の把握不足及び④作業手順の把握不足に関連して) 今回の事象の発生原因の調査の過程では、自ら現場を確認することや自ら考えることが不足していた。	保守作業に携わる要員に対して、作業計画段階におけるリスク評価の重要性や上記③及び④の対策としてチェックシートによる確認を行うこととした自ら設計図書・現場を確認し作業内容・作業手順が妥当であることの確認を行う必要性について教育を実施する。 教育の実施結果を確認する。	(5) 保守業務、設備に対する知識向上等に係る対策



安全蒸気ボイラ 燃料ガスへの置換(空気→燃料ガス)方法
(配管内に大量の空気が残留する弁を交換した場合の一例)



多重化している設備に対する類似事象の発生防止に係る調査フロー