

再処理工場 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋のプール補給水の漏えいについて

1. 事象概要

2011年9月6日13時35分頃、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の燃料貯蔵プール近傍の点検ピット（管理区域内）において、補給水設備の弁*1）（以下、「当該弁」という。）の点検作業中に補給水が漏えいしているのを作業員が確認した。漏えい確認後、13時41分に運転中であった補給水設備ポンプBを停止させ、漏えいは停止した。

補給水設備の点検作業は、補給水設備ポンプBを運転した状態で、当該弁の前後に液化炭酸ガスを用いて配管内の補給水を凍結させて栓（以下、「凍結栓」という。）を作り、当該弁の弁蓋を取り外して点検を行っていたが、点検作業中に凍結栓をしていた部分から補給水が漏えいした。補給水の漏えい箇所は、点検ピット、燃料貯蔵プールエリアの床面及び地下2階南第2配管室の床面であり、漏えい量は約4,000リットルであった。

なお、燃料貯蔵プールの水位の変動及び温度の変化はなく、純水供給設備により、燃料貯蔵プールへの水の供給機能は維持されているため、燃料貯蔵プールの冷却機能に異常はなかった。

また、周辺環境及び作業員への影響はなかった。

*1) 燃料貯蔵プールの水位が低下した場合、常時閉止している当該弁が自動的に開き、燃料貯蔵プールへ補給水を供給する。

2. 時系列

9月6日	10:20頃	当該弁の前後の配管において、凍結作業開始
	11:55頃	凍結確認後、弁蓋の取外し開始
	13:35頃	作業員が当該弁からの補給水の漏えいを確認 (作業員5名が被水)
	13:41	補給水設備ポンプBを手動停止 漏えいが停止
	14:07	六ヶ所対応会議立ち上げ
	14:11	第一報(A情報)発信
	14:19	漏えいした補給水のサンプリングを六ヶ所対応会議議長が指示

	15:01	被水した作業員5名の身体サーベイを実施し、汚染がないことを確認（体内取り込みに関しては、身体に汚染がなかったこと、漏えい箇所の表面密度測定の結果に汚染がなかったこと、空气中放射性物質のダストモニタの結果に異常がなかったことから、問題ないと判断した）
	15:40	第二報発信
	15:49	補給水の分析結果確認（全γ放射エネルギーについて検出限界未満であることを確認）
	16:00	プール補給水代替設備（純水供給設備）が稼動することを確認
	18:00頃	燃料貯蔵プールエリアの床面での漏えい水回収及び清掃作業の開始
	20:42	第三報発信（最終報）
	20:50頃	ピット内漏えい水回収及び清掃作業開始
	22:30頃	ピット内漏えい水回収及び清掃作業終了
	22:30頃	弁の復旧作業開始
	23:10頃	燃料貯蔵プールエリアの床面での漏えい水回収及び清掃作業終了
9月7日	1:36	当該弁を復旧し、補給水設備ポンプBを運転し健全性を確認（補給水設備ポンプBは運転状態）
	7:00頃	漏えいした補給水のトリチウム濃度検出限界未満（0.121 Bq/cm ³ ）であることを確認
9月8日	10:30頃 ～16:30頃	地下2階南第2配管室内床面漏えい水回収及び清掃作業
9月9日	10:30頃 ～15:30頃	地下2階南第2配管室内上部滴下水回収及び清掃作業
9月12日	10:30頃 ～15:40頃	地下2階南第2配管室内清掃作業

3. 応急措置

本事象に伴い、運転中であった補給水設備ポンプBを停止させ、漏えいを停止させるとともに、当該弁の復旧を実施したのち、補給水設備ポンプBを運転状態とした。

4. 漏えいの状況

補給水は、当該弁から点検ピットに漏えいし、点検ピットから燃料貯蔵プールエリアの床面に溢水するとともに、点検ピット内の床を貫通している予備の電線管を通じて、点検ピットの直下にある地下2階南第2配管室に漏えいした。漏えい量は、

点検ピット内： $1.6\text{ m} \times 1.2\text{ m} \times 1.625\text{ m} = 3,120\text{ l}$

燃料貯蔵プールエリアの床面： $8\text{ m} \times 30\text{ m} \times 2\text{ mm}$ （推定液高さ） $= 4800\text{ l}$

地下2階南第2配管室の床面： $2\text{ m} \times 30\text{ m} \times 2\text{ mm}$ （推定液高さ） $= 1200\text{ l}$

の合計約4,000lと推定した。

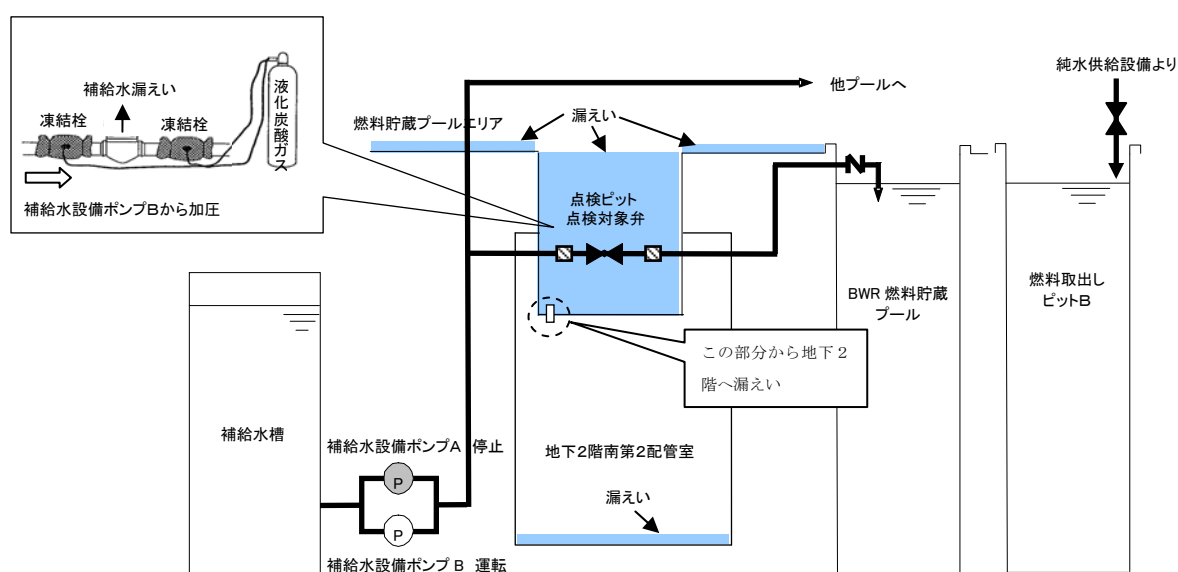


図1 漏えいの状況

5. 原因

5.1 原因調査

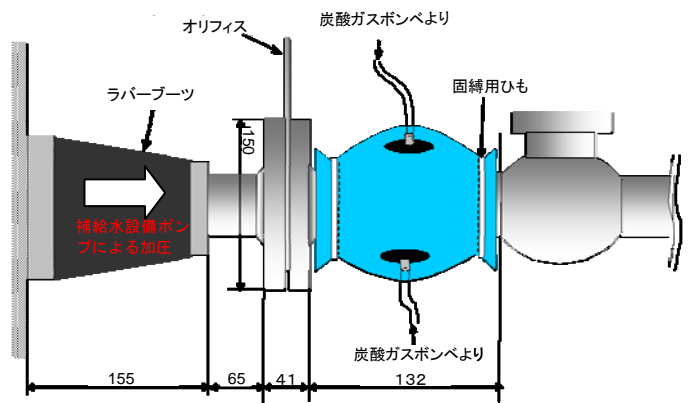
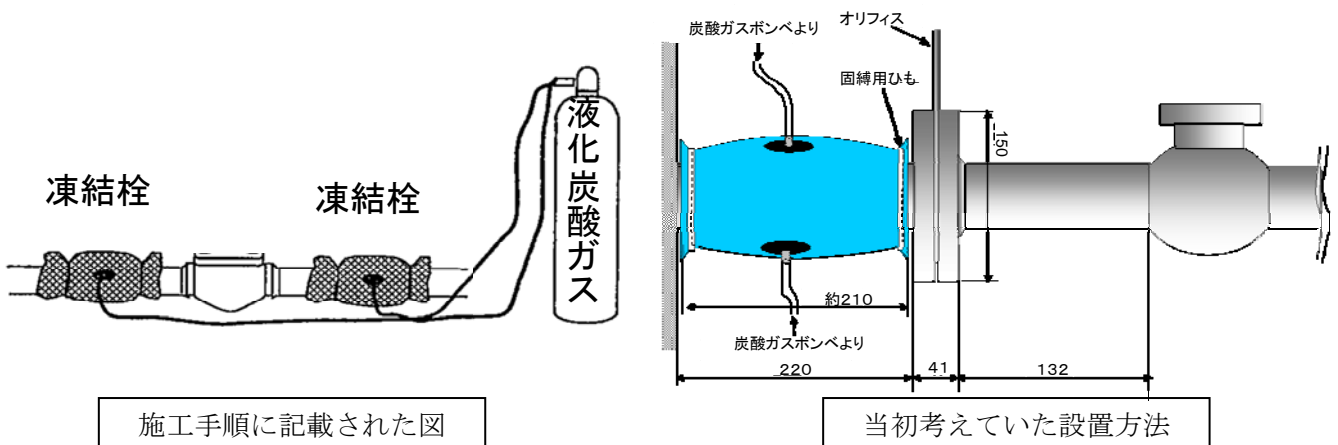
(1) 実機で実施した作業状況

①フリージングジャケットの設置及び凍結作業

・協力会社が作成し、当社が承認した作業要領の施工手順（以下、「施工手順」という。）に基づき、当該弁の前後にフリージングジャケットを設置した。施工手順には、当該弁の前後に設置するとの記載のみで、設置方法に係る具体的な記載はなかった。今回使用したフリージングジャケットは、通常、配管の直管部に設置し、設置長さは約210mmで使用するが、弁の前後に装着するフリージングジャケットのうち補給水設備ポンプBから加圧される側に設置するフリージングジャケットについては、フリージングジャケットを設置する予定の位置にラバーブーツ（図2参照）が設置されていたため、当該弁とフランジ間に設置した。その結果、設置長さは当該弁とフランジの間隔分で約13

0 mmとなった。

- ・フリージングジャケット設置後、施工手順に従い、フリージングジャケットと液化炭酸ガスポンペをホースで繋ぎ、フリージングジャケットと配管の間にドライアイスを形成させるためにフリージングジャケット内に液化炭酸ガス（約 -50°C ）を供給した。
- ・配管（50A）内が凍結していることの確認は、施工手順に基づき、配管に結露水の発生量が増加しているのを確認すること及び配管表面の温度を測定することにより行った。（ -9°C であった）
- ・施工手順には記載されていなかったが、過去の作業実績を踏まえ、上記の状態が30分間程度継続していることを確認し、弁蓋のボルトを緩めて、補給水の漏れがないことを確認した後に、弁蓋の取り外し作業を開始した。
- ・これらの作業を行っている間、凍結栓形成後も補給水設備ポンプBからの補給水により、凍結栓が加圧（約 1.0MPaG ）されていた。



実際の設置状況

図2 フリージングジャケットの設置状態

②凍結状態の維持管理

- ・施工手順で、凍結状態の維持管理として、「フリージングジャケット内のドライアイスを監視し、ドライアイスが溶けてきた場合は炭酸ガスを注入する」となっていたことを受け、過去の作業実績を踏まえ、5分から10分程度の間隔でフリージングジャケットの触診を行い、ドライアイスが溶けていないことを確認した。触診後、液化炭酸ガスを1分から2分程度を供給していた。
- ・凍結確認後から、約90分で補給水が漏えいした。

(2) 模擬試験

補給水設備ポンプBを運転し凍結栓が補給水により加圧されている状態で弁を分解した際に、補給水のリークがなかったこと（凍結栓により閉止ができていた）、及び作業開始約90分後に漏えいしたことから、漏えいは凍結栓が溶け出したことにより発生したものと考え、凍結栓の溶け出しを確認するために模擬試験を実施した。

1) 実機での状態を模擬した試験

補給水で加圧される側のフリージングジャケットを装着した際の設置長さ約130mmを模擬して凍結確認を行った。

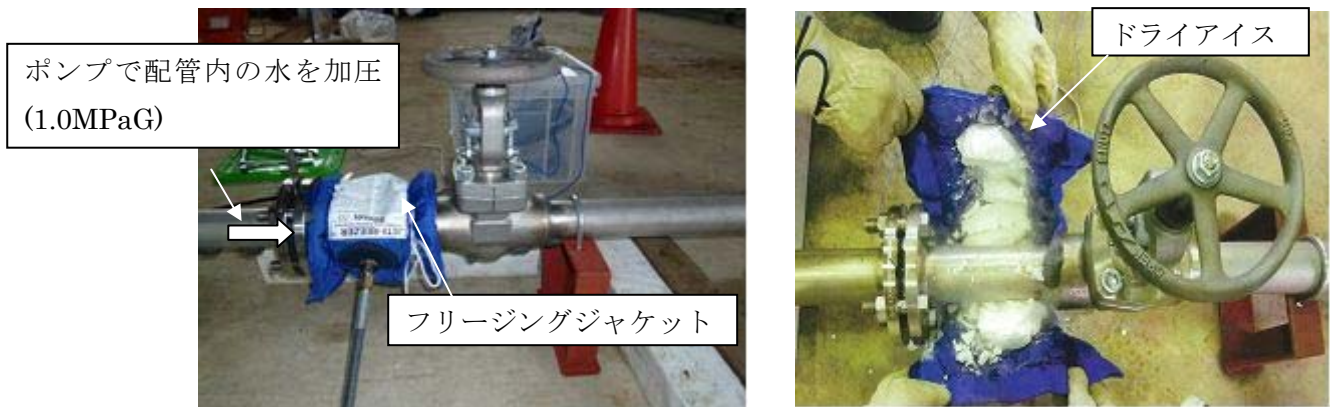


図3 模擬試験設備

その結果、フリージングジャケットの設置長さ130mmに対して、形成される凍結栓の長さは約135mmであった。



図4 凍結栓

また、フリージングジャケットへの液化炭酸ガスの供給タイミング（触診頻度）を10分間隔、供給時間を30秒間として、凍結状態を確認した結果、凍結確認後から約120分で漏えいした。

漏えいしたときの凍結栓の状態は、水圧が負荷されている側の上部から解氷が進み凍結栓の先端側まで配管との間に隙間が出来ている状態であった。フリージングジャケット内のドライアイスの状態は、フリージングジャケットの下部にドライアイスが溜まっており、上部のドライアイスは少なくなっていた。

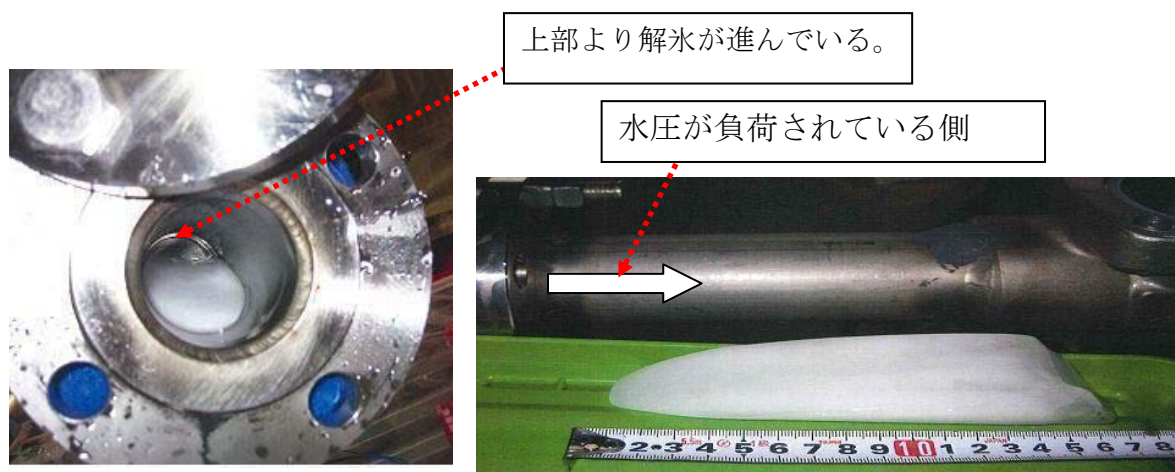


図5 凍結栓の解氷状態（フリージングジャケット設置長さ130mm）

2) 協力会社が当初計画していたフリージングジャケットの設置長さを模擬した試験

協力会社が当初計画していたフリージングジャケットの設置長さである210mmを想定した模擬試験を実施した。フリージングジャケットへの液化炭酸ガスの供給タイミングを10分間隔、供給時間を30秒間として凍結状態を確認した結果、凍結確認後から約240分経過しても漏えいは確認されなかった。

試験後に凍結栓の状態を確認したところ、水圧が負荷されている側の上部が解氷していたが、解氷している部分以外は、配管との間に隙間がない状態であった。水圧が負荷されている側が一定の長さ分は解氷された状態になることを確認した。

また、フリージングジャケット内のドライアイスの状態は、フリージングジャケットの下部にドライアイスが溜まっており、上部のドライアイスは少なくなっていた。これも時間経過によるものであり、フリージングジャケットの設置長さの違いにより変わるものではないことを確認した。

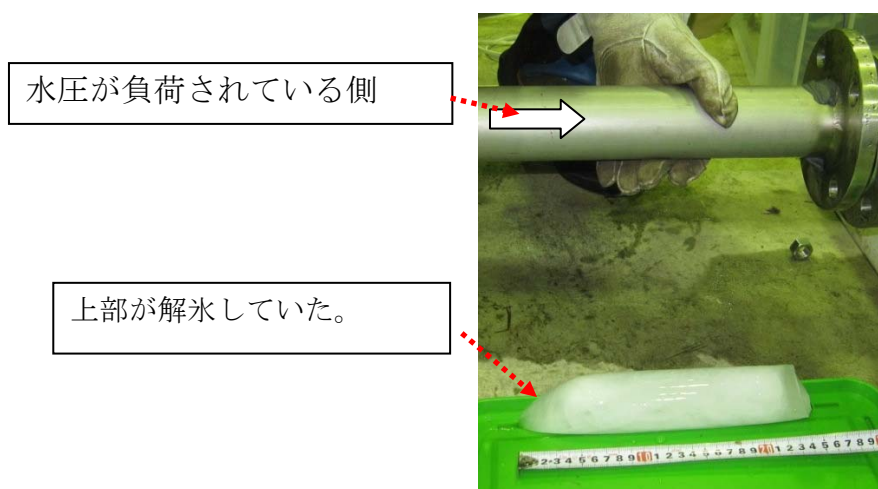


図6 凍結栓の解氷状態（フリージングジャケット設置長さ210mm）

上記の実機で実施した作業状況及び模擬試験の結果に基づき、図6に凍結栓の溶け出し（イメージ図）を示す。

フリージングジャケットの設置長さが通常の設定長さよりも短い長さで凍結状態は形成できたものの、補給水で加圧されている側は水が接触しており、反対側の空気接触に比べて、凍結栓の解氷は速いことに加え、定期的な炭酸ガスを供給していたものの、時間経過とともにドライアイスは下部に落下し、配管の上部においてドライアイスが少なく十分冷却できなくなったことから、凍結栓の上部において解氷が進んだ。それら解氷の結果、凍結栓が

短くなり、加圧に耐えられず、配管に密着していた凍結栓が外れ、弁部までずれたことで、凍結栓と配管との間に僅かな隙間が発生した。その隙間に水が浸透し、水が接触した部位で更に解氷が進み、隙間が大きくなった結果、漏えいに至ったものと推定した。

なお、作業員からは「弁内に循環水のしたたりが確認された直後に漏えいした」との聞き取りの結果があり、水の浸透から漏えいに至るまでは短時間であったと考える。

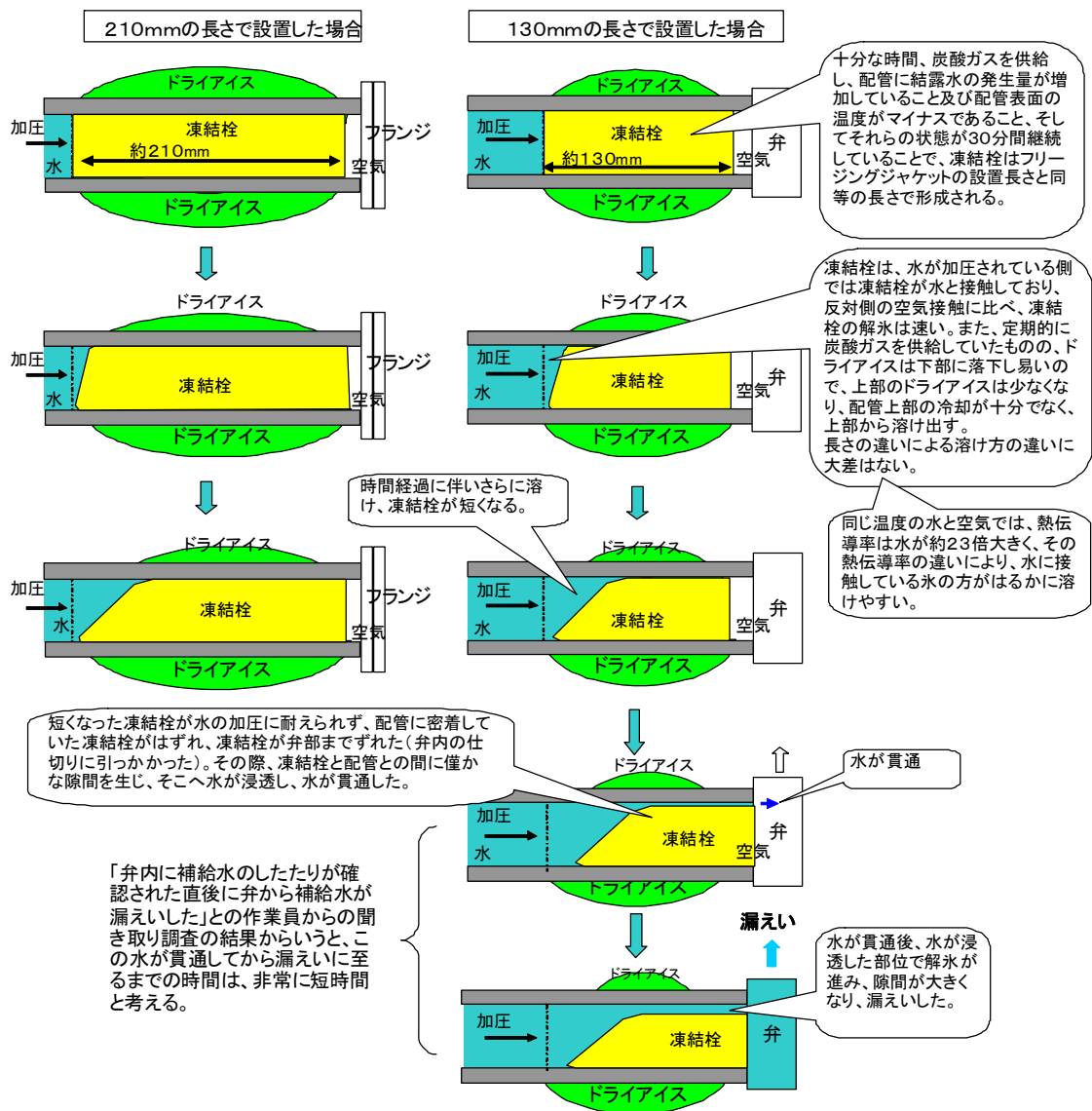


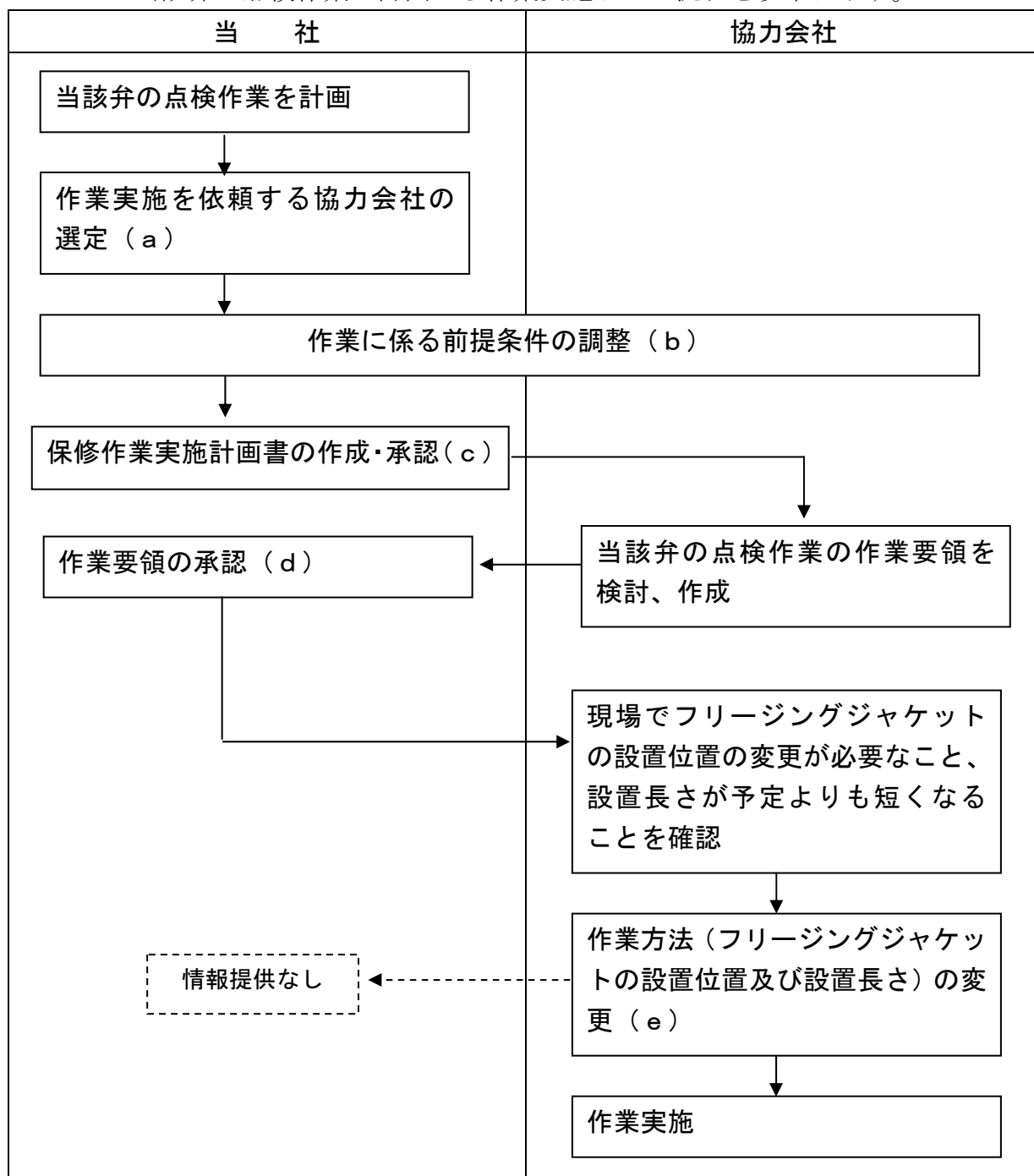
図6. 凍結栓の溶け出し (イメージ図)

上記調査の過程で、凍結栓の長さが短くなったことの要因であるフリージングジ

ジャケットの長さが短くなったことを当社が把握できていなかったことが確認されたことから、フリージングジャケットによる弁点検作業に係る作業計画の検討、作業管理における問題点について調査を行うこととした。また、フリージングジャケットを通常よりも短い長さで使用することに対する検討経緯についても併せて調査を行うこととした。

(3) 作業計画の検討、作業管理における問題点の調査

当該弁の点検作業の計画から作業実施までの流れを以下に示す。



- a. 補給水設備の保修実績がある協力会社を選定した。当該の協力会社は類似の弁（他の補給水ライン上の弁）に対して補給水設備ポンプを運転した状態で通常の設置長さのフリージングジャケットによる作業実績があった。協力会社は、通常の設置長さ以外の状態でフリージングジャケットを使用した経験はなかった。
- b. 前提条件の調整において、当初は補給水設備ポンプを停止した状態でフリージングジャケットによる作業を行う予定であったが、安全蒸気ボイラ2台停止事象が発生したことを受けて（安全蒸気ボイラ2台停止発生後の原因調査の過程で、「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」ことが間接原因の分析で抽出された）、安全上重要な設備である補給水設備ポンプを運転した状態で作業を実施することとした。
- c. 安全上重要な設備の安全機能に係る保修作業を行う上で作成する保修作業実施計画書においては、当該弁の保修作業を行う上で安全上重要な設備である補給水設備ポンプを運転した状態であれば、他の供給ラインが確保されており、安全機能に影響を及ぼすことはないと評価した。
- d. 作業要領にはフリージングジャケットによる作業の流れは記載されているが、詳細な条件は協力会社のノウハウで実施してもらうこととし承認対象としていなかった。プロセス設備の隔離作業など当社が管理すべきと考える作業項目については、作業条件の確認及び現場での作業への当社の立会いを行っている。
- e. 詳細な条件は当社の承認対象となっていなかったことから、現場の状況を踏まえて協力会社が条件変更の検討を行った。設置長さが予定より短くなったとしてもフリージングジャケット内にドライアイスが形成されていれば作業上問題ないと協力会社は考えた。ラバーブーツは取り外し可能であり、その位置にはフリージングジャケットを設置することが可能であることを当社は認識していたが、協力会社は認識していなかった。当社が現場確認状況等の情報を把握できていなかったこともあり、ラバーブーツは取り外し可能であるという情報が協力会社には伝わらなかった。

上記の調査から、作業計画の検討、作業管理において、

- ・類似の弁の点検作業の実績のある業者の選定
- ・作業要領の承認

- ・プロセス設備の隔離作業など当社が管理すべきと考える作業項目に対する作業条件の確認や現場立会い

については当社が対応していたものの、当該のフリージングジャケットを用いた作業については、協力会社に作業実績があるということもあり、作業条件の検討を協力会社のノウハウに任せ、当社の関与がなかった。(凍結栓による保修作業に対する当社の関与不足)

そのため、フリージングジャケットの設置位置や設置長さが現場確認の結果、変更された状況を当社が把握できず、ラバーブーツ取り外しにより適切な作業条件を確保することができなかったことに繋がったものとする。

また、協力会社は、フリージングジャケット内にドライアイスが出来れば凍結できると考え、データを評価して検討をしておらず、130mmの長さで凍結状態が維持できることをデータの裏付けなく判断した。(作業条件変更時の検討不足)

その結果、凍結栓の保持力が弱く、補給水による加圧状態に耐えられなくなり、補給水が漏えいに繋がったものとする。

さらに、保修作業実施計画書を作成し、当該弁の保修作業を行う上で安全上重要な設備である補給水設備ポンプを運転した状態であれば、他の供給ラインが確保されており、安全機能に影響を及ぼすことはないとして評価していたが、今回の作業において凍結栓が溶けた場合には結果的に補給水設備ポンプを止める必要が生じるため、凍結栓の作業に対するリスク評価が重要な項目として検討されるべきであった。(安全上重要な設備のリスク評価不足)

5. 2 推定原因

原因調査の結果から、プール補給水の漏えいが発生した原因は、フリージングジャケットの設置位置の変更によりフリージングジャケットの設置長さが短くなり、その結果、凍結栓の保持力が弱くなったためであると推定した。

(原因①)

作業時には、凍結栓の維持作業として液化炭酸ガスを定期的に供給していたが、凍結栓の保持力が弱い状態で、フリージングジャケット内で形成されたドライアイスが上部において少なくなり、凍結栓が溶け出し、漏えいにつながったと考える。

また、フリージングジャケットの設置長さが通常よりも短い状態で作業が実施された原因は、

- ・当社が、過去の作業実績があることをもって協力会社の選定を行ったが、模擬試験結果などによりフリージングジャケットを用いた作業に対する協力会社の知識、経験を確認せず、作業条件の検討を協力会社に任せた

- ・当社が、作業条件の検討を協力会社に任せ、フリージングジャケットの設置位置や設置長さが変更された状況を把握していなかった
- ・協力会社が、フリージングジャケット内にドライアイスが出来れば凍結できると考え、設置長さが短い状態での凍結作業の妥当性に対する検討が実施されなかった

ためであると推定した。(原因②)

さらに、今回漏えいが発生した直接的な原因ではないが、作業計画時のリスク管理の不足として、今回の作業において凍結栓が溶けた場合には結果的に補給水設備ポンプを止める必要が生じることに對して、凍結栓の作業に對するリスク評価が十分に検討されなかった問題点がある。(原因③)

なお、点検ピット内の床を貫通している予備の電線管を通じて、点検ピットの直下にある地下2階南第2配管室に漏えいした原因は、予備の電線管に蓋をしていたもののシール性が確保されていなかったためであった。(原因④)

6. 再発防止対策

推定原因に對して以下の対策を講じる

①フリージングジャケットの設置方法に係る対応 (原因①の対策)

- ・フリージングジャケットを用いた作業を行う場合は、原則、通常の設定長さで作業を行うこととし、作業要領においてその旨が考慮されていることを作業要領承認段階で当社が確認することとする。

なお、今後の凍結栓を用いた保修作業のリスクを低減する観点で、ポンプを運転したまま、凍結栓による保修作業を実施しないことを併せて社内ルール(再処理事業部 作業要領(手順)書・報告書作成および運用マニュアル)として定めた。

弁点検作業等において、補給水設備ポンプを短時間停止させた場合(保修作業に係る停止時間の想定として4日程度)でも、以下に示す評価のとおり、安全上の問題はないことを確認している。

- ・燃料貯蔵プール等の自然蒸発による水位の低下は約4mm/日程度であり、通常の水位からプール水冷却ポンプが停止する水位までは167mmあるため、約40日(=167mm/4mm)の時間余裕がある
- ・純水供給設備により、燃料貯蔵プール等への純水の補給は可能であり。その時間余裕をさらに伸ばすことが可能である

②フリージングジャケットを用いた作業の計画時の評価、検討に係る対応（原因②の対策）

- ・凍結栓による保守作業を実施する場合には、凍結栓利用により想定されるリスクを洗い出し、その結果から作業要領に当社立会項目として手順と条件を設定することを社内ルール（再処理事業部 作業要領（手順）書・報告書作成および運用マニュアル）として定めた。
- ・凍結栓による保守作業を行う場合に、配管内部の流体の温度条件などが変わることも想定されることから、フリージングジャケットを用いた作業方法について、これまでの知見や模擬試験の結果をもとに評価し、作業方法の妥当性を当社作業主管部署が確認することを社内ルール（再処理事業部 作業要領（手順）書・報告書作成および運用マニュアル）として定めた。フリージングジャケット設置位置、設置長さ、配管口径、外気温度、管内圧力、内部流体の温度、液化炭酸ガス供給頻度、触診頻度等をこれまでの知見や模擬試験結果と比較することにより妥当性を当社作業主管部署が確認する。なお、これまでの知見や模擬試験結果との比較による妥当性確認を行うことにより、フリージングジャケットを用いた作業に対する協力会社の知識、経験についても併せて確認することができる。

③フリージングジャケットを用いた作業の安全上重要な設備に与えるリスク評価に対する対応（原因③の対策）

- ・安全上重要な設備のポンプを運転したまま凍結栓による保守作業を行う必要がある場合には、溶け出した場合を含めてリスク評価を行い、保守作業実施計画書に溶け出さないための安全上の措置及び溶け出した場合の保安上の措置を記載することを社内ルール（再処理事業部 保守計画策定細則）として定めた。

④漏えいの拡大（地下2階南第2配管室への漏えい）に対する対応（原因④の対策）

- ・電線管に充てん剤を注入して止水対策を講じた。さらに、当該建屋の他の点検ピット内の貫通部を調査した結果、12箇所処置が必要であることを確認し、それらについても止水対策を講じた。

7. 水平展開

本事象について再処理工場の関係各課に周知を行った。

また、「6. 再発防止対策」として定める社内ルールは、再処理工場共通で使用するため、当該ルールを定めること及びルールの周知を行うことにより、類似事象の発生防止を図ることができる。

以上