

高圧ガス事故概要報告

整理番号 2012-318	事故名称 反応器のメカニカルシールからの漏えい			
事故発生日時 2012-10-28(日) 16時26分頃		事故発生場所 岡山県倉敷市		
施設名称 CMプラント	機器名 反応器(RE-101Cm、RE-102Cm)、攪拌機	主な材料 メカニカルシール	概略の寸法(型式) LJERABB 100 (KTVKS)	
内容物 ノルボルネン、TCD、キシレン	高圧ガス製造能力 856,183m ³ /日	常用圧力 11MPa	常用温度 280℃	
被害状況 中国電力の送電線に落雷が発生した。事業所で瞬時電圧降下が生じたため、緊急停止操作を行った。さらに、計装空気供給用コンプレッサーが停止したことにより、反応器攪拌機のメカニカルシール用の圧力制御が異常となり、反応器(RE-101Cm、102Cm)の反応液がメカニカルシールからシールオイル側に漏れ、大気中に漏えいした。その後、反応器の保温材から白煙が発生した(人的被害なし)。				
事故概要 15:57 中国電力送電線への落雷により、事業所構内で瞬時電圧低下が発生した。構内の多くの回転機が停止したため、全プラントの緊急停止操作を開始した。計装用エアー(A2エアー)コンプレッサー停止。 16:03 定常運転中であったCMプラントは、原料供給を停止して反応器内を溶剤キシレンで置換する緊急停止操作を開始した。 16:09 副防災管理者である宿日直者(正)は、緊急事態に対応すべく災害対策本部を設置し、自衛防災隊員への緊急招集を行なって、各プラントの停止状況を確認していた。 16:31 現場オペレーターが、CMプラントの第二段目の反応器RE-102Cmから、高圧ガス(反応器内のモノマー)と危険物(シールオイル)が漏れいしていることを発見した。漏えいは、攪拌機軸シール部であるメカニカルシールの潤滑油のオイルポットとシールオイルを加圧するオイルプレッシャーユニット(OPU)のオイルタンクのフタ部からであった。直ちに攪拌機とOPUの運転を停止し、吸着マットによる回収を開始した。 16:32 反応器RE-102Cm付近のガス検知器が作動した。 16:35 攪拌機とOPUの停止により、漏えい停止を確認した。 16:55 冷却のため、RE-102Cmメカニカルシール部と保温材のすきまに窒素ガス(以下N ₂)をホース2本で吹きかけ開始。 17:30 全プラントが安全に停止したことを確認。 17:59 漏えいした反応器RE-102Cmの保温材より白煙が発生していることを応援者が発見した。直ちに、コントロール室へ電話(PHS)連絡し、災害対策本部に連絡した。以後、N ₂ 吹きかけホースを6本に増加。 18:01 災害対策本部から119番へ通報した。白煙発生部位への窒素ガス吹き付けを継続した。 18:13 キシレン置換が完了した。 20:28 消防吏員と事業所職員により漏えい箇所の現場確認を行い、漏えいが停止し、白煙が収まっていることを確認した(人的被害なし)。				
事故原因(直接的要因) ① 定常運転では、RE-102Cmの内圧に対して、シールオイル圧力は+2MPaになるようにシールオイル圧力コントロール弁により制御されている。 ② 15:57 瞬時電圧低下の発生以降、計装用エアー圧力(A2圧力)が低下した。 ③ A2圧力が低下したことから、シールオイル圧力コントロール弁(以下、「圧力コント				

ロール弁」という)が全閉となる(A2 圧力が 200kPa 以下でエアレスシャット)。

- ④ 16:08 圧力コントロール弁が全閉となったことから、シールオイル圧力が上昇を開始した。
- ⑤ 16:10 OPU に付属のリリーフ弁が作動して、圧力が一定(16.5MPa)となる。
- ⑥ 16:12 手動にて、小型計装用エア圧縮機を起動したため、A2 圧力が上昇しはじめる。
- ⑦ 16:22 A2 圧力が 200kPa まで回復したので、圧力コントロール弁が「開」動作しはじめる。このため、シールオイル圧力が急降下を開始している。
- ⑧ 16:26 応答特性を鈍くしている圧力コントロール弁が開き過ぎとなり RE-102Cm の内圧より、シールオイル内圧が低い状態となった(以下、「圧力逆転」という)。
- ⑨ 16:26~16:35 圧力逆転となる。
- ⑩ このため、接液側からメカニカルシール漏れが発生し、反応器内の反応液(高压ガス+危険物、220℃)がシールオイル(40℃)に混入した。これにより、OPU のオイルタンクのフタ部から漏えいした。
- ⑪ シールオイル温度が上昇して、メカニカルシールの固定環に熱ひずみが発生した。このため、大気側にメカニカルシール漏れが発生したことから、反応液がベアリングボックスに侵入し、ベアリングのオイルシールが破損、潤滑油のオイルポットが破損して、大気中に漏えいした。
- ⑫ 反応器 RE-102Cm は、保温のため保温材(珪酸カルシウム、ロックウール)と板金外装が施工されている。このため、漏えいしたシールオイルおよび反応液が、板金の継ぎ目から保温材に浸透したと推定している。
- ⑬ 浸透したシールオイル等は、反応器の熱により加熱され、酸化劣化、蓄熱が進行して、くすぶり(不完全燃焼)状態に至り白煙が発生したと推定した。
- ⑭ 保温材を解体した結果、保温材に浸透していたシールオイルの一部が、炭化し保温材が黒色になっている状態を確認した。

事故原因(管理的要因)

- ① 明確な指示がない中で、個々のオペレーターは、それぞれ、訓練、運転経験に従って緊急処置が実施されていた。
- ② N2 元圧は 400kPa 以上保持していたにもかかわらず、CM プラントでは降圧した A2 エアのバックアップとして、N2 への切替え措置が実施されていなかった。
- ③ 今回の瞬時電圧低下の事象を想定した緊急処置カードがなく、関連する停電時緊急処置カードも判断に迷う記載内容であった。
- ④ 事故が発生した CM プラントは、通常運転中は安定度の高いプラントであり、アラームは少ないプラントであった。事故時は一度に大量のアラームが発報し、オペレーターの判断の迷いを生じさせ、緊急時の対応遅れにつながった。
- ⑤ 一度に大量発報したアラームの中に高重要度アラームが発報されていた。重要アラームは、10 分後に繰り返し発報される仕組みとなっているが、大量発報の中に埋もれる形となって、気付かなかった。
- ⑥ 停電や漏えいなどの緊急事態を想定した訓練は実施しているが、何が起こったか判断に迷う場合の緊急処置が定められていなかった。さらに、判断に迷う場合の緊急処置訓練が実施されていなかった。

事故原因(まとめ)

(1)人の操作に起因する原因

- ①現状の緊急処置手順、緊急処置カードは、最悪の事態を想定し、その対応を第一義に置いたものではなく、個別のトラブルへの対処方法を中心として想定していた。

- ②このため、CMプラントでは適切な緊急処置が実施されなかった。
- ③この手順を使用し訓練していたことで、先ずは停止という意識が希薄となり、先を見越した判断を伴う処置の実施、緊急事態においても指示がなければ処置に移行できないオペレーター体質を生んでいたと推定。
- (2)漏えいに至る設備上の原因
- ④CMプラントでは、緊急停止操作の一つであるN2によるA2エアーのバックアップが自動化されておらず、オペレーターの判断と操作に頼っていた。
- ⑤N2への切替えは実施されなかったため、CMプラントでは、RE-101、102CmのOPUシールオイル圧力コントロール弁が全閉となり、通常運転時の圧力12MPaが16.5MPaに上昇した。
- ⑥圧力コントロール弁は、反応器内圧に対して+2MPaとなるように制御していたが、応答性は低感度に設定していた。
- ⑦A2圧力が復帰する過程で、圧力コントロール弁が開き、反応器内圧(10MPa)に対して差圧が大であったためオーバーシュートして反応器内圧よりOPUシールオイル圧力が低くなった。
- ⑧この圧力逆転によりメカニカルシールの機能が失われ、高圧ガスなど(反応器内液)がメカニカルシール漏れによって反応器外に漏れ出した。
- ⑨反応器内圧とOPU圧力の差圧が大きい場合でも、オーバーシュートして圧力逆転を起こすことがないようなコントロール弁開度制御は考慮されていなかった。

再発防止対策(ハード対策)

(1)OPU圧力コントロール弁制御改善(オーバーシュート防止)

- ①コントロール弁の応答性の感度は、運転条件に合わせて適切な設定を行う必要がある。事故原因となった圧力コントロール弁の応答性は低感度に設定していた。しかし、応答性を低感度に設定すると、今回の事故のケースのように設定値と実際値の差が大きい場合には、弁の開閉命令が遅れ設定値よりオーバーシュートしてしまう。
- ②設定値と実際値の乖離(かいり)幅の大小によって高感度と低感度を使い分けるように変更した。
- ③反応器内圧とシールオイル圧力の逆転を防止する二重の対策として、反応器内圧に対してシールオイル圧力が+1.5MPaになった時点で強制的に圧力コントロール弁を閉じる制御項目を追加した。
- ④制御方法の改善を検証するため、事故発生時の再現実験を実施した。この結果、OPUシールオイルの圧力は反応器内圧に対して+1.5MPaを維持し、圧力逆転を防止することを確認した。

(2)A2圧力低下時のバックアップ自動切り替え

- ⑤A2圧力が下限値(400kPa)の信号を受けたら、DCSにより自動的にN2によりバックアップさせるバルブ切り替えを行わせる制御シーケンス(以下SEQ)を追加した。
- ⑥バルブの固着による作動不良を防止するため、定期的に作動テストも実施していく。

再発防止対策(ソフト対策)

(3)緊急処置カードの見直し。

- ⑦緊急処置カードをシンプルにし、誰もが迅速にアクションできるものに変更する。
- ⑧明らかに緊急停止操作が必要な事態が発生した場合はもちろん、今回のように何が起こったか判らない事態に陥った場合においても、指示がなくても停止操作に移行できる緊急処置カードに変更する。

(4)緊急処置訓練の変更

- ⑨ 上記の見直した緊急処置カードを使った緊急処置訓練を訓練計画に取り入れ、実施していく。
- ⑩ 現状の模擬訓練ではアラームが多発するパニック状態は再現できていないので、IPC シミュレーション室の訓練用 DCS にて、アラーム多発環境を再現し、パニック状態でも確実に緊急処置カードの対応ができるような疑似体験訓練を取り入れ、毎年 1 回は実施していく。

教訓

- ① 定常運転中の CM プラントは、最も安定したプラントの一つであった。落雷を発端として、重要アラームを含むアラームが次々に発報したことで、オペレーターは緊急時の適切な対応がとれなかった。緊急時、冷静、確実に対応できるよう、日頃から様々なケースに応じた緊急時想定訓練を積み重ねる必要がある。
- ② 特に、オペレーターには、突然、アラームが大量発報するような場合でも、確実に対応できることが求められる。アラーム一つ一つについて、閾値の見直し、DCS 画面表示の工夫、パネル表示の検討など、緊急時、異常時に備え、アラームの設定を見直すとともに、安定している連続運転のプラントでは、緊急時、異常時、非定常時の経験不足を補う訓練方法を検討し、実施していく必要がある。
- ③ 今回の A2 エアーの異常時、DCS から N2 バックアップ切替を行なったプラントでは、一部のコントロール弁が固着して作動しなかったことから、緊急時、異常時に作動させるコントロール弁、遮断弁などの動作確認を行う必要がある。
- ④ 落雷による瞬間停電、瞬時電圧降下などの対応をあらかじめ定めて、徹底することが重要である。何が起こったか判らない事態に陥った場合でも、安全に停止させるなど、緊急時の対応は、いつでも誰でも確実に実施できることが重要である。
- ⑤ この事故では、消防への通報遅れがあった。休日、夜間にかかわらず、異常発生時の緊急通報を確実に実施する必要がある。
- ⑥ この反応器のメカニカルシールは、反応器の圧力変化に対応するため、シールオイル圧力を反応器内圧との差圧で管理し、小型化、最適化を図っていた。差圧バランスが崩れ圧力の逆転が起こると、内容物が漏れいすることから、安全優先で計装システムの設計、製作を行なう必要がある。

備考

事故調査解析委員会

関係図面

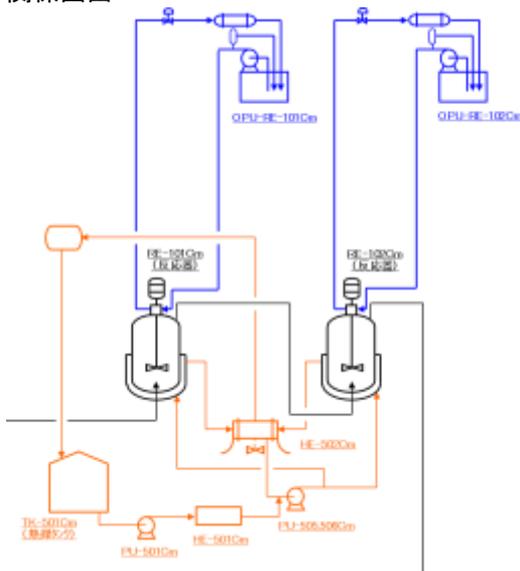


図 1 フローの概要

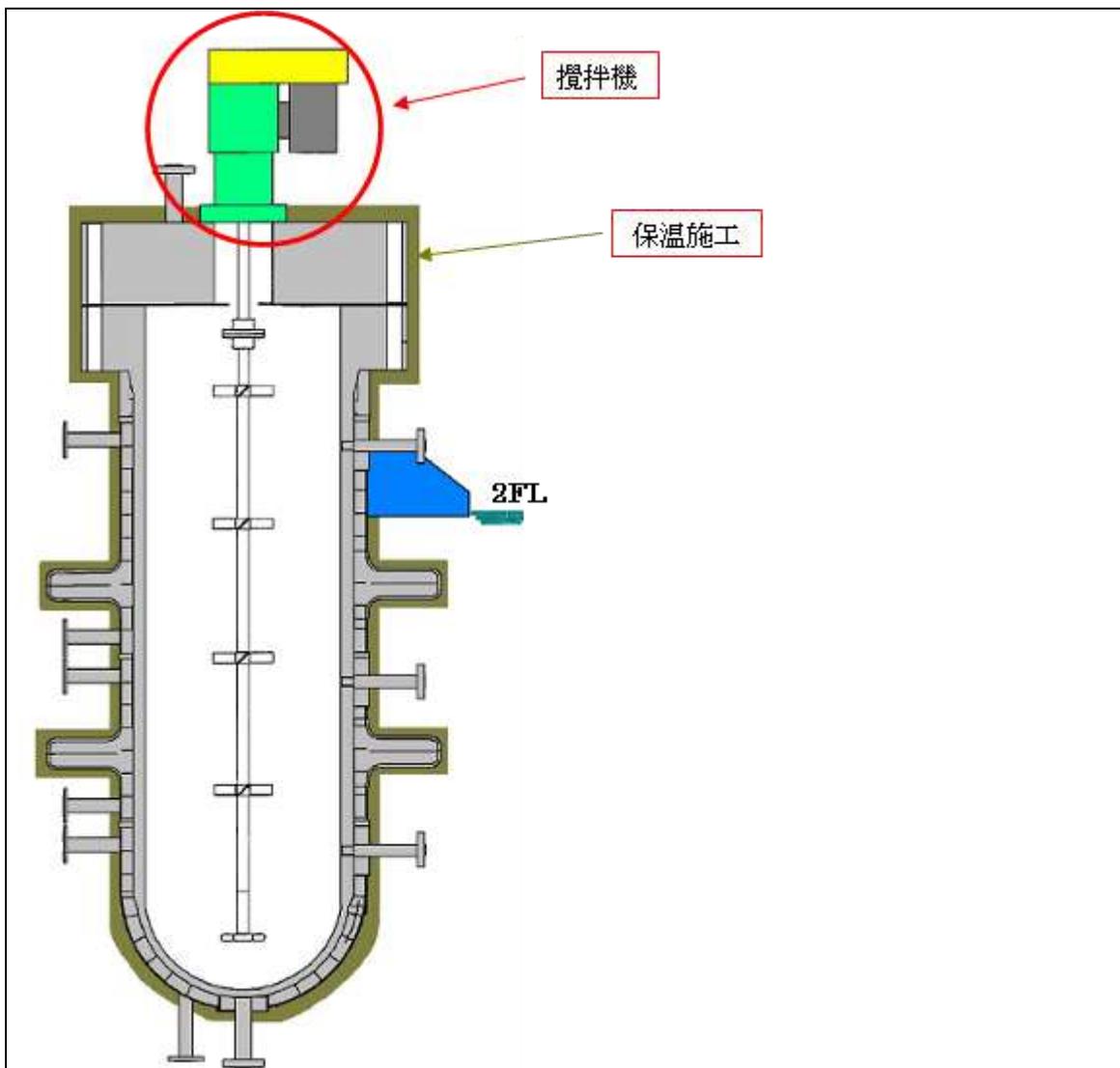


図 2 反応器の概要(容量 1.61m³)



写真 1 RE-102Cm オイルシールの破損状況



写真2 破損したオイルポット

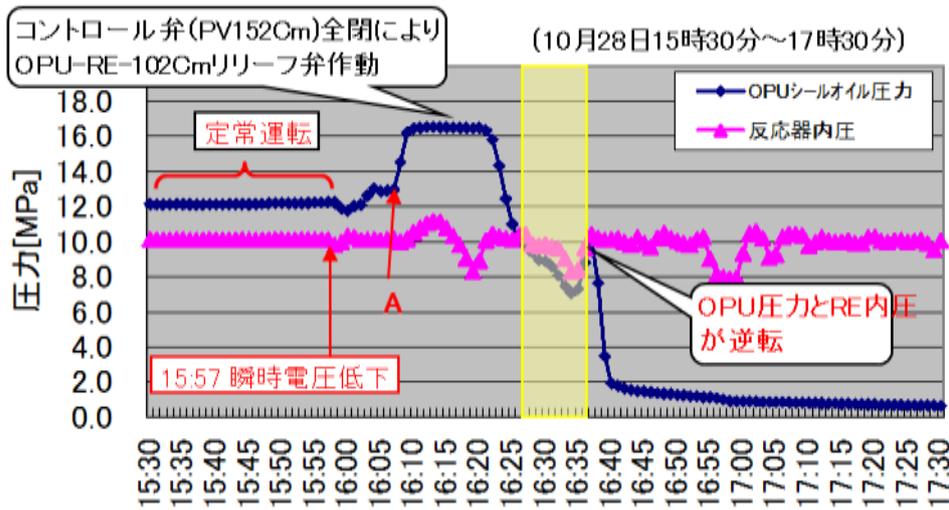


図3 反応器内圧とシールオイル圧力の推移

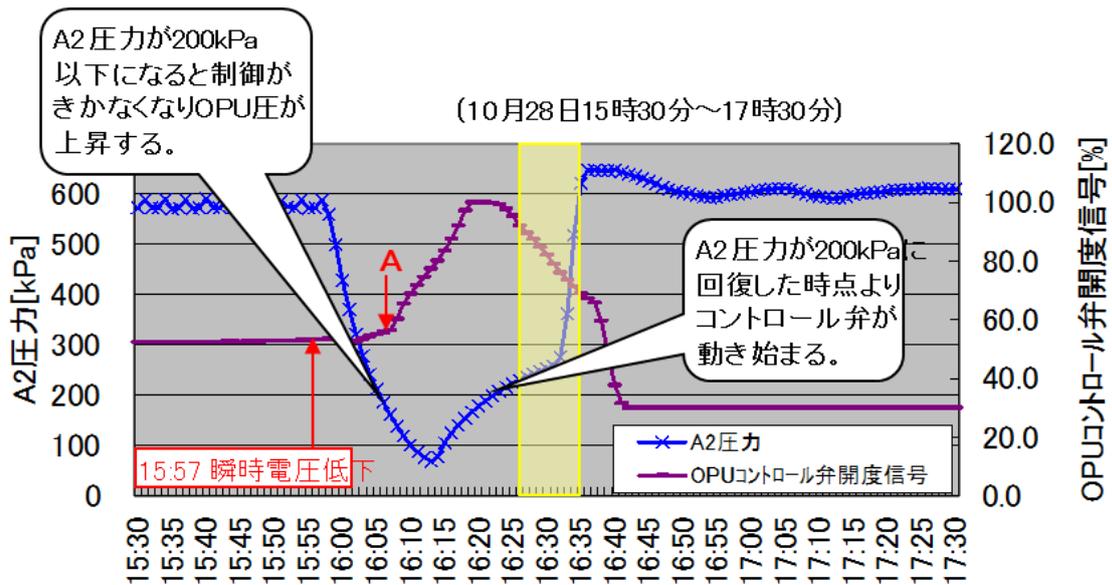


図4 計装用エア圧力(A2圧力)と圧力コントロール弁の開度信号の推移

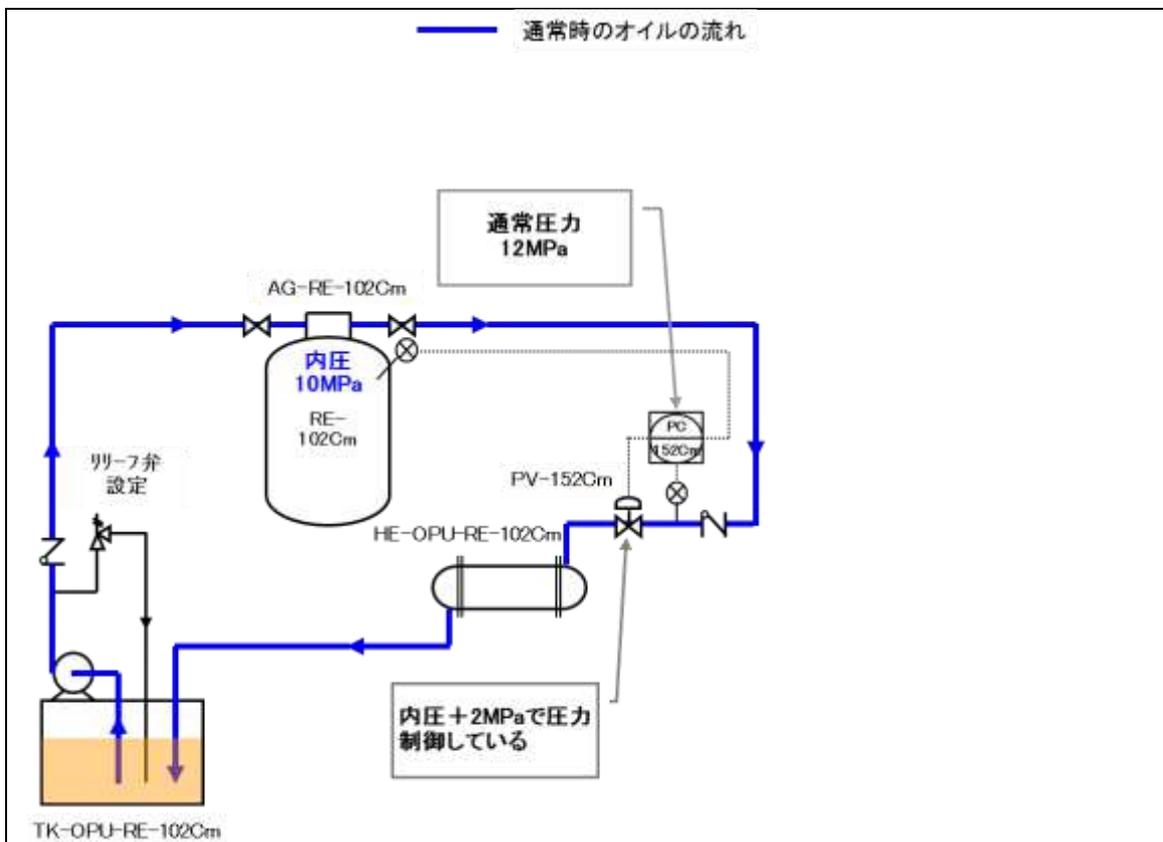


図 5 OPU の運転状況 (通常運転時)

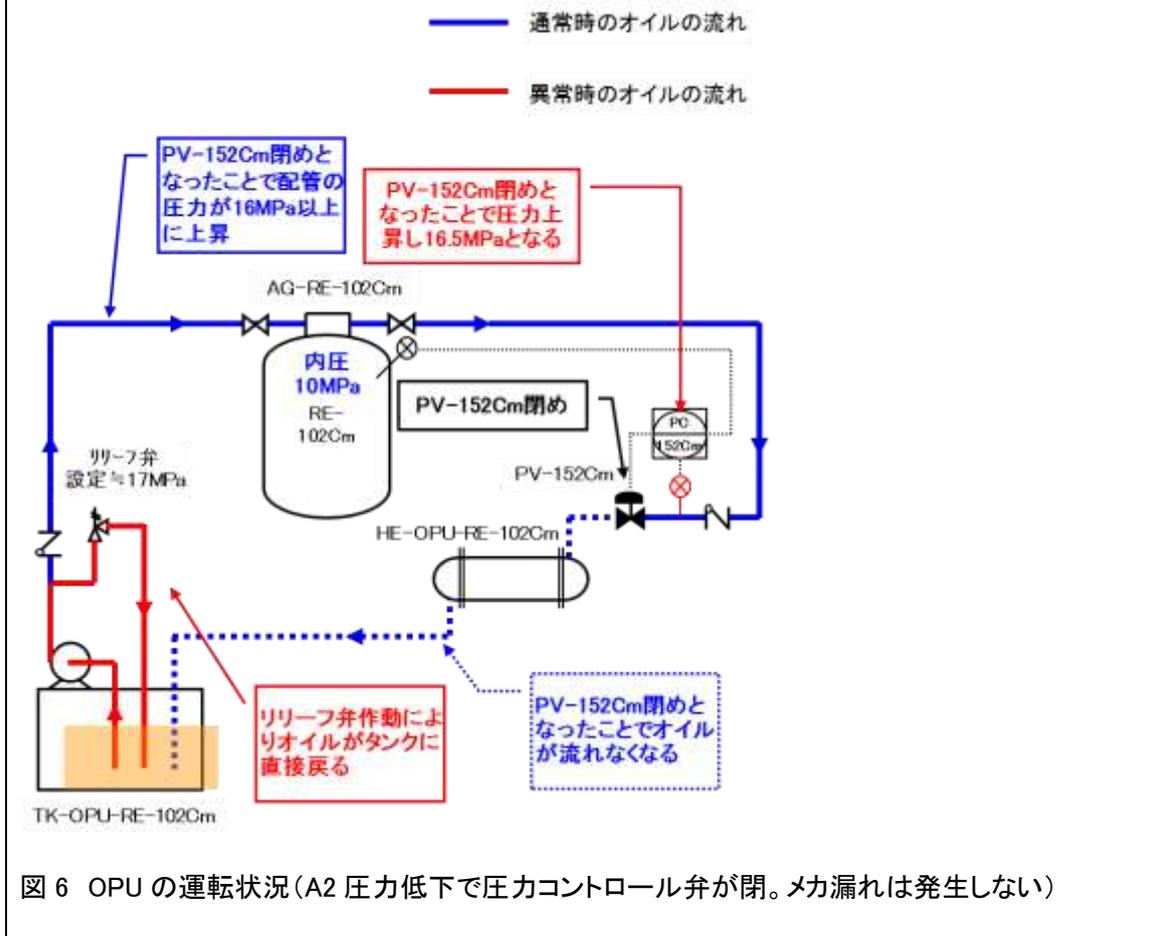


図 6 OPU の運転状況 (A2 圧力低下で圧力コントロール弁が閉。メカ漏れは発生しない)

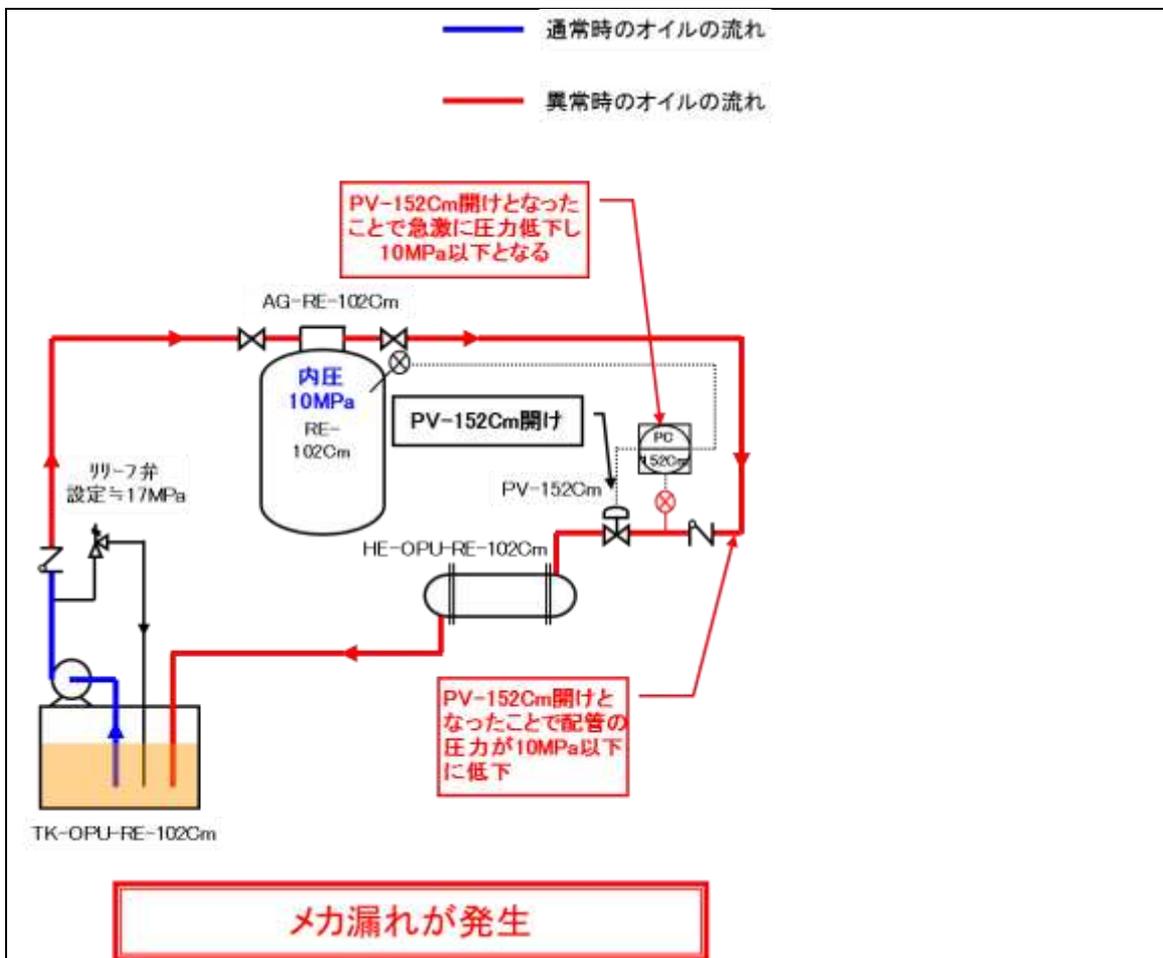


図 7 OPU の運転状況 (A2 圧力が復帰し、圧力コントロール弁が開)

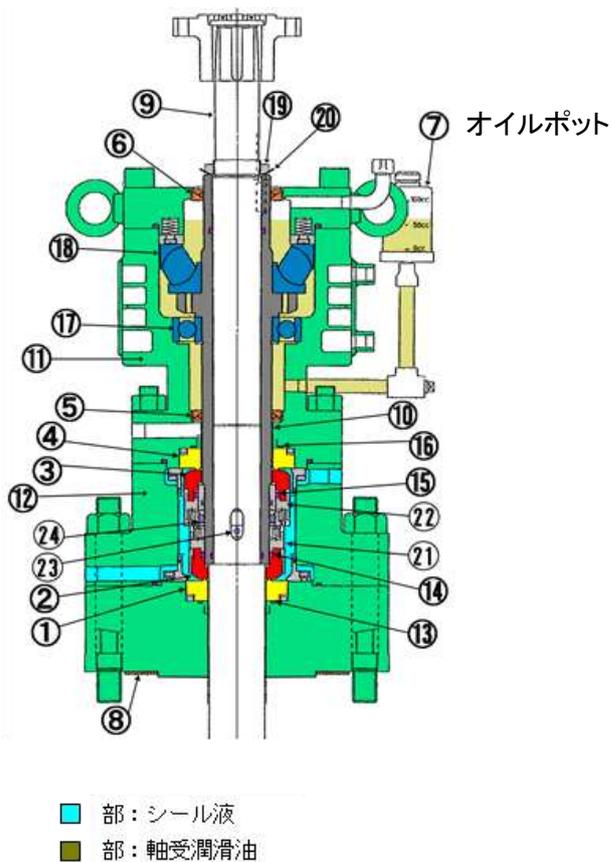


図 8 メカニカルシールユニットの概要

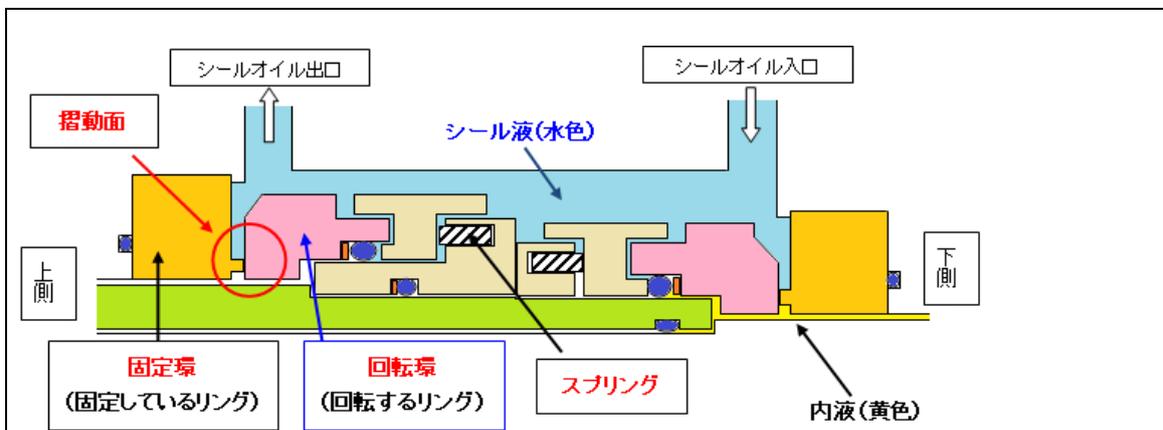


図 9 メカニカルシールの構造

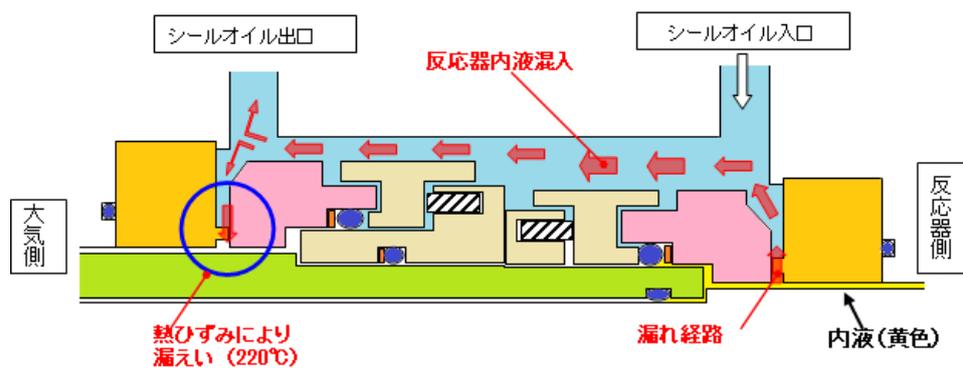


図 10 メカニカルシールの漏えい経路(推定)

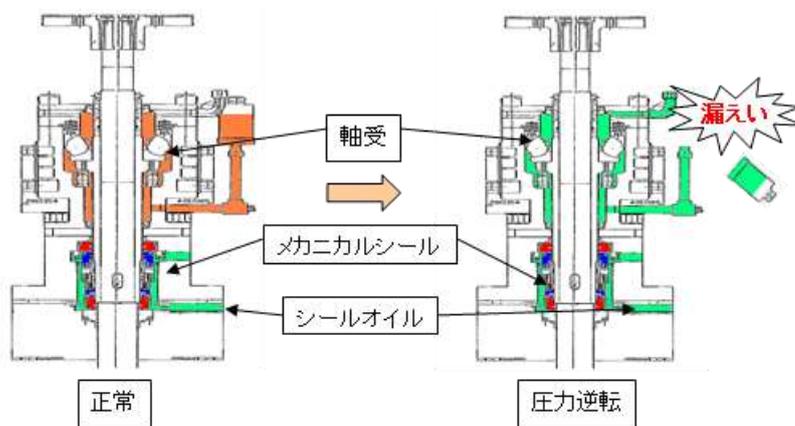


図 11 ベアリングボックスからの漏えい状況