

伊方発電所第2号機
復水脱塩装置建家での塩酸の漏えいについて

平成24年11月
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第2号機 復水脱塩装置建家での塩酸の漏えいについて

2. 事象発生の日時

平成24年 5月11日 16時29分

3. 事象発生の設備

復水脱塩装置塩酸系統

4. 事象発生時の運転状況

第23回定期検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所第2号機は第23回定期検査中のところ、5月11日16時29分、中央制御室において、復水脱塩装置の異常を示す信号が発信したため、現地確認を実施したところ、復水脱塩装置建家で塩酸が漏えいしていることを確認した。このため、当該エリアの立ち入り制限を実施した。

復水脱塩装置の異常を示す信号発信時、復水脱塩装置建家内では、中和用塩酸供給ポンプが運転中であったことから、運転員が直ちに当該ポンプを停止した。その後、現場に立ち入り、塩酸の飛散している状況確認の為、目視により配管などの漏えい状況の調査をしたところ、漏えいの継続が確認されないことから、17時35分に漏えいが停止していることを保修員が確認した。また、漏えい量は約20リットルであり、全量を回収した。

また、建家周辺の塩酸ガス濃度を測定した結果、検出限界濃度未満（0.1ppm未満）であり、塩酸ガスによる周辺環境および作業員への影響はなかった。

その後、漏えい箇所の特定制調査を実施した結果、中和用塩酸供給ポンプの出口側の弁上流側フランジからの漏えいであり、その他の箇所からは漏えいがないことを確認した。当該フランジ部を調査したところ変形が確認されたことから、当該部を修正し、漏えいがないことを確認し、5月21日14時35分に通常状態に復旧した。

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)

6. 事象の時系列

5月11日

16時29分

中央制御室において、復水脱塩装置の異常を示す信号発信。
中和用塩酸供給ポンプの運転を停止。

16時31分

運転員が、復水脱塩装置建家で塩酸が漏えいしていることを確認。

17時35分 保修員が目視により漏えいの停止を確認。
21時00分 中和用塩酸供給配管内を塩酸から純水に置換し通水させることにより漏えい箇所の特定制を行った結果、中和用塩酸供給ポンプの出口側の弁（中和用塩酸供給ポンプ出口背圧弁※¹）の上流側フランジ部のボルト取り付け部からの漏えいを確認した。

5月21日
14時35分 当該弁フランジ部を調査した結果、変形が確認されたため、当該部を修正し、漏えいがないことを確認し、通常状態に復旧した。

7月19日 念のため、当該弁の取替えを実施した。

※1 背圧弁

上流側と下流側で圧力差を生じさせるタイプの弁

7. 影響調査

漏えいした塩酸は、漏えい箇所から周囲に飛散したが、ほとんど復水脱塩装置建家内に留まっており、一部建家外に漏えいしたものも含めて、ウェスでふき取った。建家周辺で塩化水素濃度を測定した結果、何れも検出限界未満（ $< 0.1 \text{ ppm}$ ）であることを確認した。

8. 原因調査

(1) 漏えい箇所の調査

塩酸が漏えいした箇所は、中和用塩酸供給ポンプ出口背圧弁の上流側フランジ部（以下「当該フランジ部」）の1箇所であり、純水を用いた漏えい箇所確認の結果、当該フランジ部から漏えいすることを確認した。

（添付資料－1）

このため、当該フランジ部（ポリ塩化ビニル製）を外観調査した結果、フランジの平面部にたわみが生じ、内輪部が外輪部よりへこんだ変形状態であることを確認した。

フランジシート面は、腐食による肌荒れ、局所的な割れ等の異常はないことを確認したが、薬品（塩酸）が滞留したと考えられる変色が見られた。

なお、下流側フランジ部についても調査した結果、同様に変形していることを確認した。

（添付資料－2）

外観調査より、当該フランジ部のフランジ面の変形を確認したことから、変形量について計測を行った。その結果、外輪部に比べ、内輪部が最大1.1mmへこんでいることを確認した。また、当該弁の下流側フランジ部についても計測した結果、同様の変形が確認された。

当該部のガスケットの圧縮量は約0.5mmであるため、フランジが1.1mm変形し

た場合は、ガスケットの圧縮ではシート力を維持できないことを確認した。

なお、下流側フランジ部は漏えい箇所確認試験では漏えいはしなかった。

(添付資料－3)

(2) 漏えい要因の調査

当該部から漏えいする要因として、以下の4つが挙げられる。

- ①ガスケットの異常
- ②配管側フランジ部の変形
- ③フランジ締め付け管理の異常
- ④弁側フランジ部の変形

このうち、これまで判明している④弁側フランジ部の変形を除く①～③について、調査を実施した。

(3) ガスケットの調査

フランジガスケット(材質:フッ素ゴム 厚さ3mm、内径32mm)を外観目視点検した結果、変形、割れ等の異常は認められなかった。フランジガスケットの材質であるフッ素ゴムは耐塩酸性に優れた材質であり、第18回、第21回定検のフランジ復旧時には、同仕様のガスケットを使用していたことを、工事記録により確認した。

(添付資料－2)

(4) 配管側フランジ部の変形調査

配管側フランジ部(内面ゴムライニング炭素鋼製)を外観目視点検した結果、変形等の異常は認められなかった。

(添付資料－2)

(5) フランジ締め付け管理の調査

フランジ取り外し、取り付け作業時において、ゴム系ガスケットを使用する場合は、トルク管理で締め付けを行うとゴムの弾性等により、締め付け不足による漏えいや締めすぎによるガスケット損傷の恐れがあるため、経験のある作業員の手作業による締め付け管理を行っている。このため、以下の調査を実施した。

a. フランジ取り外し時の状況調査

今回、状況調査として、フランジ取り外し前に、フランジ取り付けボルトの緩み状況を確認したが、緩み等の異常は認められなかった。

b. フランジ取り付け時の締め付け状況調査

4人の作業員により当該部と同様のフランジの締め付けをモックアップによる再現性試験を行い、そのトルク値を測定した結果、4人の締め付けトルク値は、26～35N・m(平均30N・m)であり、その締め付け後の分解状況にも異常は認められなかった。

(添付資料－4)

以上から、フランジの締め付け管理に異常はないことを確認した。

(6) 弁側フランジ部の変形原因調査

ガスケットの異常、配管側フランジ部の変形、フランジ締め付け管理の異常が無いことから、弁側フランジ部の変形により漏えいが発生したと考えられるため、変形が発生した原因を調査した。

a. 弁点検状況調査

当該弁については、メーカーによる取替え頻度の指定はなく、第9回定検（平成5年）で取替を実施して以降、取替え実績はなかった。なお、第9回定検の取替理由を調査したが不明であった。

点検については、当社が自主的に1回/5定検の頻度で分解点検をしており、至近では第21回定検（平成21年）に実施していた。なお、当該弁の分解点検時は当該フランジの取り外しは実施していない。

b. 運転状況調査

当該部は、上流側にある中和用塩酸供給ポンプの運転により内圧等が変化するが、ポンプの運転は、定検時のプラント立ち上げ時や試運転により十数回/1定検程度、通常運転時には数回運転する程度である。聞き取りの結果、これまでの試運転時および通常運転時に、当該箇所のにじみ等の漏えいはなかったこと、および第21回定検以降、当該弁に増し締め等の調整をした実績はなかったことを確認した。

c. フランジ部保守管理状況調査

当該フランジ部ガスケットについては、1回/4定検の頻度で取替えを実施しており、当初はリング状ガスケット^{※2}であったが、第18回定検（平成17年）の配管取替え時に全面形ガスケット^{※3}に変更していた。至近では、第21回定検の弁分解点検に合わせてフランジガスケット取替作業を実施していたが、全面形ガスケットで復旧しており、以降フランジ部の保守実績はなく、漏えいも確認されなかった。

なお、フランジ部の形状について、作業員はフランジ部が変形するといった認識がなかったため、復旧時には確認していなかったことを、関係者への聞き取りにより確認した。

※2 リング状ガスケット

ガスケット外径が、フランジ締め付け用ボルトの内側に入るガスケット。

※3 全面形ガスケット

ガスケット外径がフランジ外径と等しく、ボルト穴があいているガスケット。

d. 再現性試験

当該フランジ部の変形量の確認のため、今回漏えいが確認された部位の材料と同様の再現試験材を用い、再現性試験を実施した。その結果、リン

グ状ガスケットを使用してポリ塩化ビニル製フランジと炭素鋼製フランジをボルトで締め付けると、ポリ塩化ビニル製フランジの外輪部がたわむことを確認した(たわみ量:1.03mm)。たわみ量は漏えいが発生した当該部とほぼ同じであった。なお、炭素鋼製フランジは、変形がないことを確認した。

なお、全面形ガスケットを使用して同様の再現性試験を実施した結果、ポリ塩化ビニル製フランジ、炭素鋼製フランジとも変形は認められなかった。

(添付資料-4)

また、塩化ビニルはクリープ特性^{*4}を持ち、長期間たわみを生じさせるとその形状が維持されることを確認した。

※4 クリープ特性

製品において、常温でも荷重がかかった状態で放置すると時間の経過とともに製品の変形が進行していく現象。ポリ塩化ビニルにおいてもこの現象が生ずる。

(7) 調査結果のまとめと推定

以上の調査の結果、漏えいの原因として考えられる要因となるガスケットの変形、フランジ部の締め付け状況、弁を含めた保修状況等について調査を実施したが問題はなく、弁側フランジ部の変形が本事象の漏えいの原因であると確認した。

なお、フランジ部シート面の変色は、フランジ面の変形によりシート力が弱まっていたことにより、漏えいが発生する以前の一定の期間、フランジとガスケットの隙間に薬品が滞留したことによるものと推定される。

フランジ部が変形した原因については、当該フランジ部はポリ塩化ビニル製であり、配管側フランジ部および取り付けボルト(炭素鋼製)より柔らかいことから、リング状ガスケットを取り付けた場合、当該フランジ部が変形することを確認した。リング状ガスケットを使用している間は、ガスケットとフランジシート面にのみ締め付け面圧がかかりシート力は維持される。全面形ガスケットに変更した以降は、ガスケット取替え時にはフランジ面全体に締め付け面圧がかかるが、クリープ特性によりフランジ部の変形が維持され、シート面より外側に面圧がかかりやすい状態にあった。

第21回定検以降、当該弁に増し締め等の調整をした実績はなかったことから、取り付け初期はシート面へのシート力が維持できても、その後、定検時のプラント立ち上げ時や試運転による中和用塩酸供給ポンプの起動等の繰り返しによる当該系統の内圧の変化により、徐々にシート力が弱まり、フランジ内輪部側のガスケットとフランジシート面に塩酸がしみこみ、滞留していったことがフランジ部シート面の変色からも推定される。

(添付資料-5)

9. 類似箇所調査

(1) リング状ガスケットを継続使用しているフランジ部の調査

リング状ガスケットを継続使用しているフランジ部（45箇所）について、現地を確認したところ、にじみ等の漏えい箇所はなかった。

(2) リング状ガスケットから全面形ガスケットに変更した箇所の調査

リング状ガスケットから全面形ガスケットに変更したフランジ部（46箇所）について現地を確認したところ、にじみ等の漏えい箇所はなかった。

このうち、今回漏えいした箇所と同様な箇所である、1号機の当該部（中和用塩酸供給ポンプの出口側の弁）についても外観を確認したが、にじみ等の漏えいはなかった。

10. 推定原因

当該弁のフランジは、ポリ塩化ビニル製であり、2号機第18回定検（平成17年）までは、フランジガスケットはリング状ガスケットを使用していたため、ボルト締め付けにより、外輪部がたわんだ状態であった。長期間のたわみ状態により、ポリ塩化ビニル製フランジ側がクリープ特性により変形した。

その後、フランジシート面のフランジ内輪側が外輪側よりへこんだ変形状態であったことを認識せず、全面形ガスケットを使用したことにより、フランジシート部のシート力が弱くなった状態のまま復旧した。

取り付け当初は漏えいしない程度のシート力を保っていたが、定検時のプラント立ち上げ時や試運転による中和用塩酸供給ポンプの起動等の繰り返しによる当該系統の内圧の変化により、シート力が徐々に弱まり、今回の試運転に伴うポンプの起動に伴い、塩酸がガスケットシート部を通り抜けボルト穴から漏えいし、周囲に飛散したものと推定される。

(添付資料-5)

11. 対策

(1) 当該弁の上流側、下流側フランジとも、変形を切削により修正し、復旧した。

なお、念のため、新品の背圧弁に取替えを実施した。

(2) 類似のフランジ（薬品を内包する系統に使用する配管のポリ塩化ビニル製フランジで、過去にリング状ガスケットを使用し、その後全面形ガスケットに変更したもの）46箇所については、1, 2号機復水脱塩装置薬品系統にあり、定検中は停止している系統であるため、系統の運転までに点検を実施する。

(3) 今後、ポリ塩化ビニル製フランジを使用している箇所は、全面形ガスケットでの復旧時、フランジ面の変形等異常の有無を確認し、変形があった場合は、修正等の対応を実施したのち、取り付けるよう、作業要領書に追加反映する。

以上

添 付 資 料

添付資料－ 1 伊方発電所 2 号機 復水脱塩装置中和槽まわり概略図

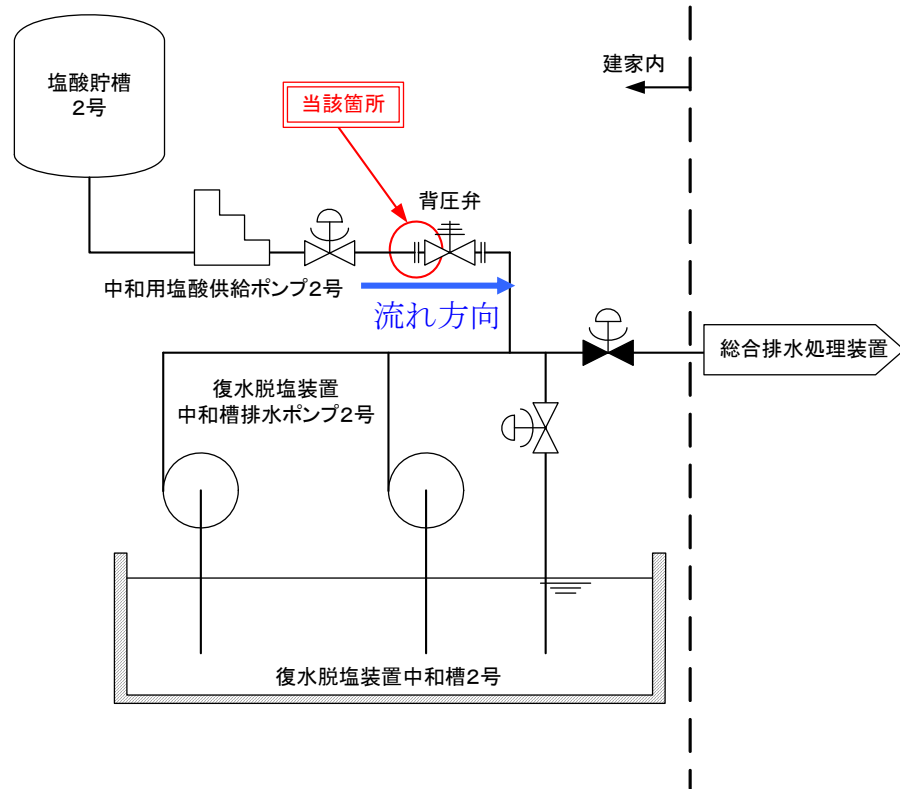
添付資料－ 2 塩酸供給ライン背圧弁フランジ部外観点検結果

添付資料－ 3 塩酸供給ライン背圧弁フランジ面調査結果

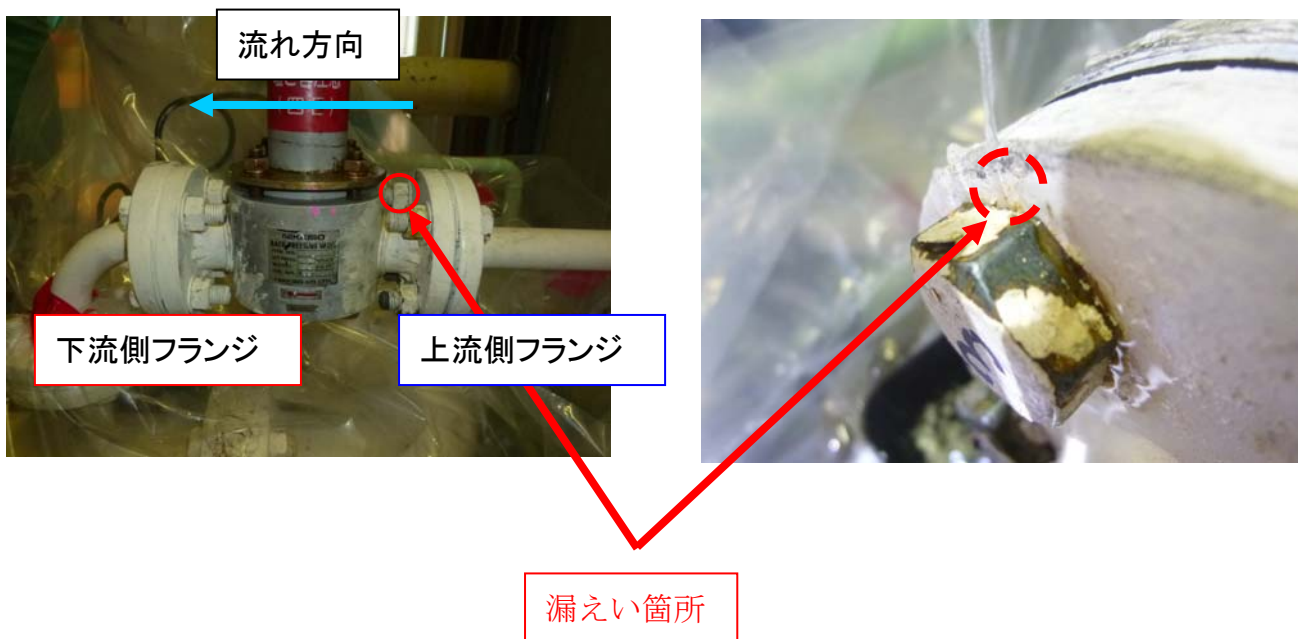
添付資料－ 4 再現性試験結果

添付資料－ 5 塩酸供給ライン背圧弁フランジ部からの塩酸漏えい状況
(推定)

伊方発電所2号機 復水脱塩装置中和槽まわり概略図



純水置換後の漏えい箇所確認時の写真



塩酸供給ライン背圧弁フランジ部外観点検結果

弁側フランジ(材質:ポリ塩化ビニル製)

配管側フランジ
(材質:内面ゴムライニング炭素鋼製)

流れ方向



弁側フランジ(材質:ポリ塩化ビニル製)
シート部に变色を確認
フランジ平面にたわみを確認

ガスケット(材質:フッ素ゴム)
特に異常なし

配管側フランジ
(材質:
内面ゴムライニング炭素鋼製)
特に異常なし

上流側(漏えい側)フランジ部の状況



弁側フランジ(材質:ポリ塩化ビニル製)
フランジ平面にたわみを確認

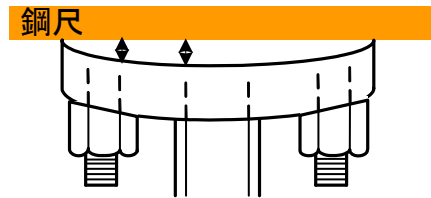
ガスケット(材質:フッ素ゴム)
特に異常なし

下流側フランジ部の状況

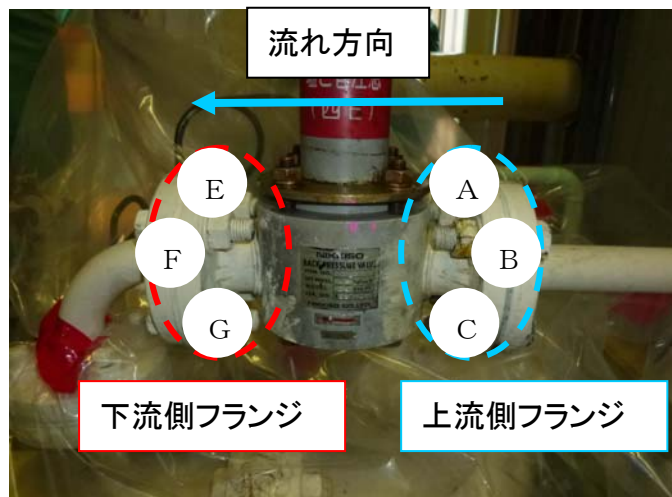
塩酸供給ライン背圧弁フランジ面調査結果(1/2)

変形量計測結果

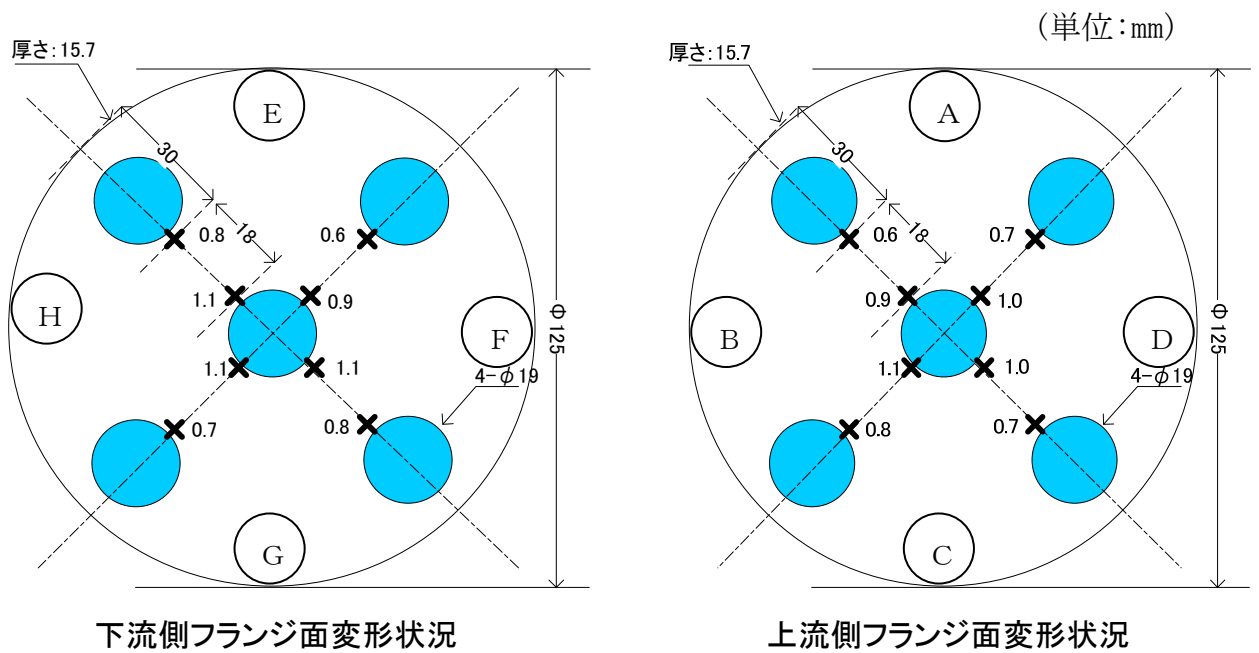
計測試験要領：
 右の図の様に、鋼尺をフランジ面に当てて鋼尺とフランジ面の隙間距離を計測した。



フランジ面変形量計測要領図

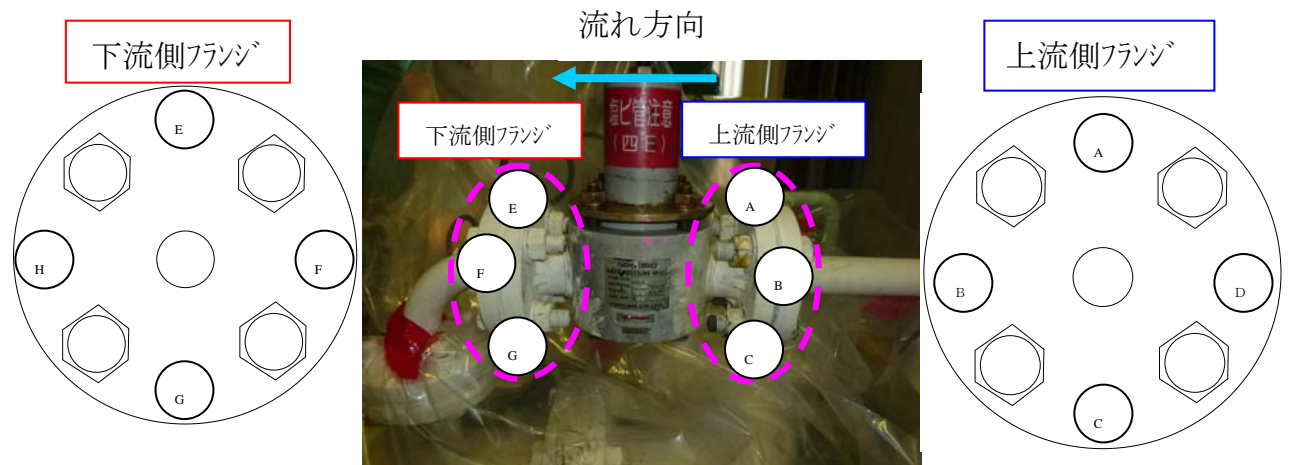


◎ 上流側フランジ面と下流側フランジ面の変形量計測結果



塩酸供給ライン背圧弁フランジ面調査結果(2/2)

フランジ面間計測結果(点検前)



上流側フランジ

(mm)

	面間 (点検前)	パッキン厚	フランジ厚 (弁側)	フランジ厚 (配管側)	フランジ厚 (合計)	取付時 パッキン厚	パッキン 圧縮量
A	35.8	3.0	15.5	17.7	33.2	2.6	0.4
B	36.0	3.0	15.5	17.8	33.3	2.7	0.3
C	36.0	3.0	15.5	17.8	33.3	2.7	0.3
D	35.8	3.0	15.5	17.6	33.1	2.7	0.3

下流側フランジ

(mm)

	面間 (点検前)	パッキン厚	フランジ厚 (弁側)	フランジ厚 (配管側)	フランジ厚 (合計)	取付時 パッキン厚	パッキン 圧縮量
E	36.0	3.0	15.5	18.0	33.5	2.5	0.5
F	35.8	3.0	15.5	17.8	33.3	2.5	0.5
G	36.0	3.0	15.4	17.9	33.3	2.7	0.3
H	36.1	3.0	15.7	17.9	33.6	2.5	0.5

パッキン圧縮量: 約 0.5mm

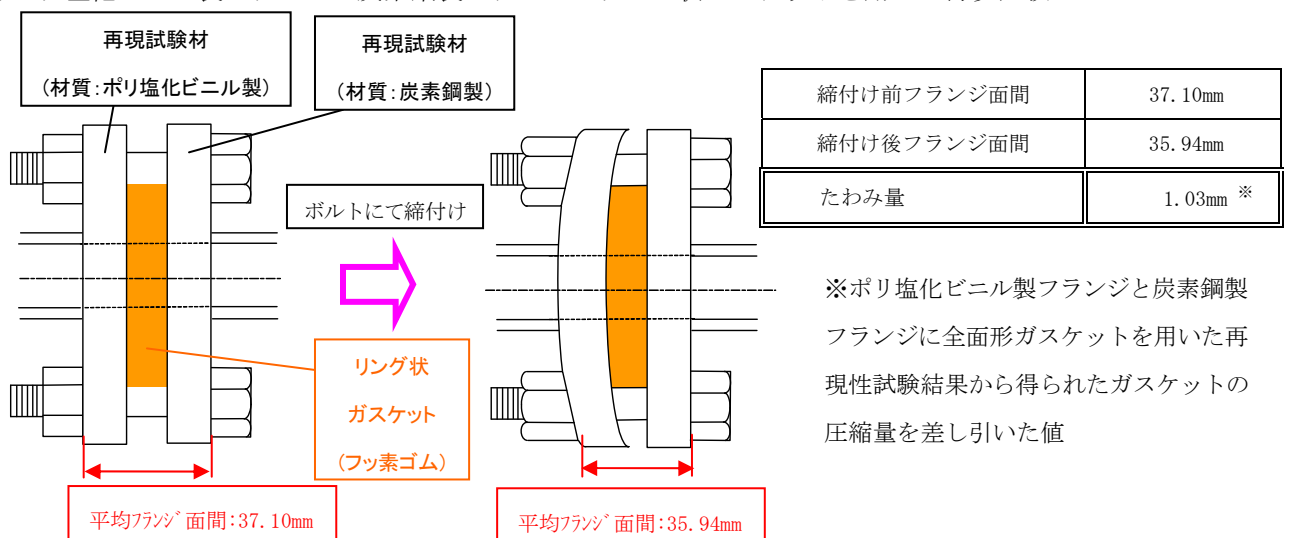
再現性試験

◎作業員の締め付けトルク再現確認試験

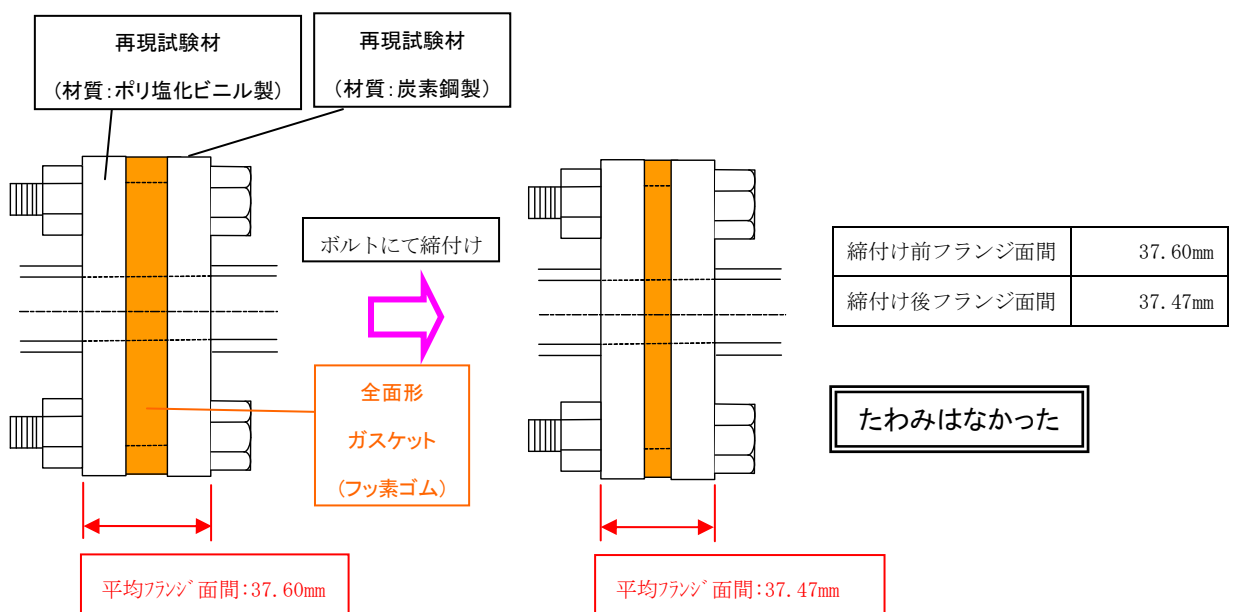
4人の作業員にて4回フランジの締め付けを行い、その値を確認した。その結果、右図のように4人の締め付けトルク値は、26～35 N・m（平均30 N・m）であった。

作業員	締め付けトルク(単位:N・m)			
	A(4回測定を実施)	26	30	31
B(4回測定を実施)	30	30	33	32
C(4回測定を実施)	30	33	27	30
D(4回測定を実施)	35	33	26	30
4人の平均値	30			

◎ポリ塩化ビニル製フランジと炭素鋼製フランジにリング状ガスケットを用いた再現試験



◎ポリ塩化ビニル製フランジと炭素鋼製フランジに全面形ガスケットを用いた再現試験



※平均フランジ面間は、フランジ面4箇所での測定値の平均より求めた。

塩酸供給ライン背圧弁フランジ部からの塩酸漏えい状況(推定)

