

伊方発電所 3 号機
発電機用窒素ガス封入装置からの
窒素ガス漏えいについて

令和 5 年 1 1 月
四国電力株式会社

1. 件 名

伊方発電所 3 号機 発電機用窒素ガス封入装置からの窒素ガス漏えいについて

2. 事象発生の日時

令和 5 年 5 月 2 6 日 1 3 時 5 0 分

3. 事象発生の設備

3 号機 発電機用窒素ガス封入装置

4. 事象発生時の運転状況

3 号機 第 1 6 回定期事業者検査中

5. 事象の発生状況

伊方発電所 3 号機は第 1 6 回定期事業者検査（以下「3－1 6 定検」という。）中のところ、5 月 2 6 日 1 3 時 5 0 分、発電機用窒素ガス封入装置^{※1}にて窒素ガスの漏えいを確認し、詳細な点検が必要と判断した。

点検の結果、3－1 6 定検で取り替えた発電機用窒素ガス封入装置の接続継手^{※2}の O（オー）リング^{※3}が適正に装着されていないことを確認した。

このため、当該 O リングを新品に交換し、漏えいがないことを確認して、1 8 時 2 3 分、正常状態に復帰した。

本事象によるプラントへの影響および環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料－ 1， 2）

※ 1 発電機用窒素ガス封入装置

発電機の運転中は、発電機内部に水素ガスを封入し、その水素ガスを冷却しながら循環することで発電機を冷却している。発電機用窒素ガス封入装置は、運転中に水素ガスが発電機外部に漏えいした場合に備え、緊急に窒素ガスを発電機内に封入して水素ガスを窒素ガスに置換する設備。

※ 2 接続継手

装置を構成する弁等の配管部と、別の配管を接続するための部品。

窒素ガスが漏えいした箇所は、圧力調整器^{※4}とその上流にある入口弁を繋ぐ配管（以下、「L 字配管」という。）の接続部に O リングを取り付け、接続継手を締めつけて密封させる構造となっている。

（添付資料－ 3）

※3 O（オー）リング

配管内の窒素ガスが、接続継手の接続部から漏えいしないように密封するための、断面が円形で環型の合成ゴム製のシール部品。

※4 圧力調整器

窒素ガスボンベからの高圧ガスを、使用に適した圧力まで減圧し調整するもの。

6. 事象の時系列

5月26日

- | | |
|--------|--|
| 12時54分 | 3号機中央制御室に「発電機ガス系」警報発信
現地水素ガス制御盤にて「機内封入窒素ガスボンベ圧力低」
警報発信 |
| 13時08分 | 運転員が、発電機用窒素ガス封入装置の圧力調整器とL字
配管の接続継手部（以下、「当該箇所」という。）から窒素ガ
スが漏えいしていることを確認 |
| 13時13分 | 運転員が、当該箇所の上流（窒素ボンベ側）と下流（発電機
側）に設置している弁をそれぞれ閉とし、窒素ガスボンベか
らの漏えいを停止 |
| 13時40分 | 保修員による現場調査開始 |
| 13時50分 | 保修員が、当該箇所のOリングが適正に装着されていない
ことを確認し、詳細点検が必要と判断 |
| 16時01分 | 当該箇所の詳細点検およびOリングの取り替え開始 |
| 16時21分 | 当該箇所の詳細点検およびOリングの取り替え完了 |
| 16時45分 | 当該箇所の漏えい確認を実施し、問題ないことを確認 |
| 18時23分 | 窒素ガスボンベの取り替えおよび窒素ガスの漏えいを停止
するために閉とした弁を開とし、正常状態に復旧 |

7. 調査結果

発電機用窒素ガス封入装置からの窒素ガス漏えいについて、以下の調査を実施した。

（1）事象発生時の現地調査結果

a. 当該箇所の接続継手の状況

当該箇所の接続継手を確認すると、Oリングの一部が押し出され、適正に装着されていないことを確認した。

（添付資料－2）

b. Oリング取り替え作業時の気づき

Oリング取り替えのため、当該箇所の接続継手を緩める際、接続継手が固くスムーズに緩めることができなかったことから、圧力調整器とL字配管の接続部に若干のズレが生じていると考えた。

圧力調整器と入口弁は、発電機用窒素ガス封入装置全体を据え付ける架台の固定板^{※5}にボルトで取り付けられており、Oリング取り替え後に同じ状態でL字配管を接続すると、接続部に同様のズレが生じると考えられるため、固定板に取り付けている入口弁のボルトを取り外して入口弁の位置を調整し、接続部にズレがない状態で接続継手を締め付けた。

なお、圧力調整器、L字配管および入口弁に変形等の異常は確認されなかった。

その後、入口弁を固定板に取り付けようとしたところ、固定板に対して入口弁の位置が上方向にズレており、ボルトで入口弁を固定板に固定することができなかった。

以上のことから、入口弁の固定位置は、固定板のボルト穴より上方向が適正な位置であると考えられるため、この位置で固定できるようにボルトではなく、別にメーカーが推奨する固定金具を用いて、入口弁を固定板に取り付けた。

(添付資料－3、4)

※5 固定板

圧力調整器や入口弁、配管など、発電機用窒素ガス封入装置を構成する部品を固定するための板。ボルトやU字バンドで取り付けられている。

固定板は発電機用窒素ガス封入装置の架台に溶接されており、架台はタービン建屋内の床と壁に取り付けられ、発電機用窒素ガス封入装置一式を据え付けている。

(2) 保守状況の調査結果

発電機用窒素ガス封入装置は、3－16定検で装置一式を取り替えており、工場での製作段階から発電所据え付けに至るまで、以下の通り発電機用窒素ガス封入装置の健全性に関する試験を実施し、ガスの漏えい等の異常がないことを確認している。

- a. 漏えい箇所を含む発電機用窒素ガス封入装置は、メーカー工場にて組み立て（溶接を含む）および固定板への取り付けを実施し、高圧ガス保安法に基づく試験^{※6}を行い、ガスの漏えい等の異常がないことを確認した。

- b. 発電機用窒素ガス封入装置を発電所に納入し、当社による受け入れ検査として外観確認を実施して異常がないことを確認後、装置の据え付けおよび既設配管との接続を実施した。
- c. その後、当社にて高圧ガス保安法に基づく試験を行い、ガスの漏えい等の異常がないことを確認した。

(添付資料－５)

※６ 高圧ガス保安法に基づく試験

以下の試験を実施し、ガスの漏えい等の異常がないことを確認する。

○耐圧試験

最高使用圧力の１．２５倍以上（気体の場合）の圧力を加圧して１０分間保持し、ふくらみ、伸び、ガスの漏えい等の異常がないことを確認する試験。

○気密試験

最高使用圧力以上の圧力を加圧して１０分間以上保持し、ガスの漏えい等の異常がないことを確認する試験。

（３）運転状況の調査結果

３－１６定検にて発電機用窒素ガス封入装置一式を取り替えた後、５月２０日に発電機用窒素ガス封入装置に窒素ガスボンベを接続し、窒素ガスで充圧して、発電機に窒素ガスを封入できる状態とした。

なお、作業当時、窒素ガスの漏えいは確認されておらず、漏えいが発生した５月２６日までの７日間、巡視点検（１回／日）において窒素ガスの漏えいは確認されていない。

（４）メーカ調査結果

a. Oリングの仕様

Oリングの仕様は、設計通りであることを確認した。

b. 発電機用窒素ガス封入装置の製作

発電機用窒素ガス封入装置を構成する配管、弁等の部品は設計通り製作されていることを確認した。

c. 発電機用窒素ガス封入装置の組み立て

窒素ガスが漏えいした箇所を構成する、圧力調整器、入口弁、L字配管の組み立て手順を確認したところ、以下のとおりであった。

- ① 圧力調整器と入口弁を固定板に取り付け
- ② 圧力調整器とL字配管の接続継手を仮締め
(漏えい箇所である接続継手部のOリング取り付け状態に問題がないことを確認)
- ③ 入口弁とL字配管の接続継手を仮締め
- ④ 圧力調整器とL字配管の接続継手を最終締め付け
- ⑤ 入口弁とL字配管の接続継手を最終締め付け

なお、組み立て作業を実施した作業員は、入口弁とL字配管との間の隙間に気づかず、接続継手の締め付けを行っており、隙間を確認する手順もなかった。

d. 再現性確認

これまでの調査結果において、

- 入口弁の適正な固定位置が、固定板のボルト穴よりも上方向であること
- 組み立て手順は、圧力調整器と入口弁を最初に固定板に取り付け、圧力調整器側の接続継手、入口弁側の接続継手の順で仮締めを行い、最終締め付けを行っていること

を確認したことから、圧力調整器側の接続継手を仮締めした時点で入口弁とL字配管との間に若干の隙間があり、その後、入口弁側の接続継手を仮締めしたことで圧力調整器側の接続継手にズレが生じ、その状態で最終締め付けを行ったと推測できる。

以上を踏まえ、メーカ工場にて、入口弁とL字配管との間に数mm程度の隙間を設けた状態で入口弁側の接続継手を仮締めし、最終締め付けを行って窒素ガスで加圧したところ、圧力調整器側の接続継手部のOリングが押し出され窒素ガスが漏えいすることを確認した。

また、ガスが漏えいした時点の接続継手の締め付け状態を確認したところ、事前に確認した適正な締め付け状態と比べて、圧力調整器と接続継手の間隔が広く、かつ上部と下部の間隔に差異が生じていたことから、接続継手が若干傾いた状態で締め付けられ、締め付けが不足していることを確認した。

(添付資料－6)

(5) 当社の調達要求

発電機用窒素ガス封入装置の取り替えに際し、メーカーに対して既設設備と同様の機能であること、高圧ガス保安法に基づく試験で異常がないことを要求しており、工場試験および当社納入後の現地試験で異常がないことを確認した。

(6) 過去の類似事象の調査

伊方発電所における発電機用窒素ガス封入装置について過去事象の調査を行い、類似事象がないことを確認した。

また、メーカーにて今回と同様な接続継手部からの漏えい事象がないことを確認した。

(7) 類似設備の調査

3-16 定検にて取り替えを実施した、発電機にガスを供給する他の装置（水素ガス封入装置、窒素ガス封入装置）について、装置全体としてガスの圧力が低下していないことを確認した。

また、当該箇所と同構造の圧力調整器と接続継手の間隔と、メーカー工場にて確認した適正な締め付け状態時の間隔に差異はなく、適正な締め付け状態であることを確認した。

8. 推定原因

調査の結果、入口弁が適正な位置よりも若干下方向に固定されていたことにより、仮締めの段階で入口弁とL字配管との間に隙間ができ、その隙間に気づかず組み立て作業を継続したことで、圧力調整器側の接続継手部にズレが生じ、その状態で最終締め付けを行った。また、製作時に発生し得る誤差を調整できるような設計となっていなかったことも一因と考えられる。

その結果、圧力調整器側の接続継手部の締め付けが不足するとともに、圧力調整器側の接続継手部を起点としてL字配管を下方向に引っ張る力が働き、Oリングの接触面の当たりが不均等になったことで内圧を受けたOリングの一部が押し出され、窒素ガスを密封することができなくなり、漏えいに至ったものと推定した。

入口弁が適正な位置よりも下方向に取り付けられた原因は、以下のことが重畳したことによるものと推定した。

○入口弁の固定板と架台とを溶接にて取り付ける際に生じた取り付け誤差

○入口弁の固定板のボルト穴位置の施工誤差

なお、各種試験および運用開始時においては、かろうじて窒素ガスの密封状態を維持できていたが、何らかの要因（現地の気圧、温度、湿度の変化など）により、7日後にガスが漏えいしたものと推定した。

(添付資料-7)

9. 対策

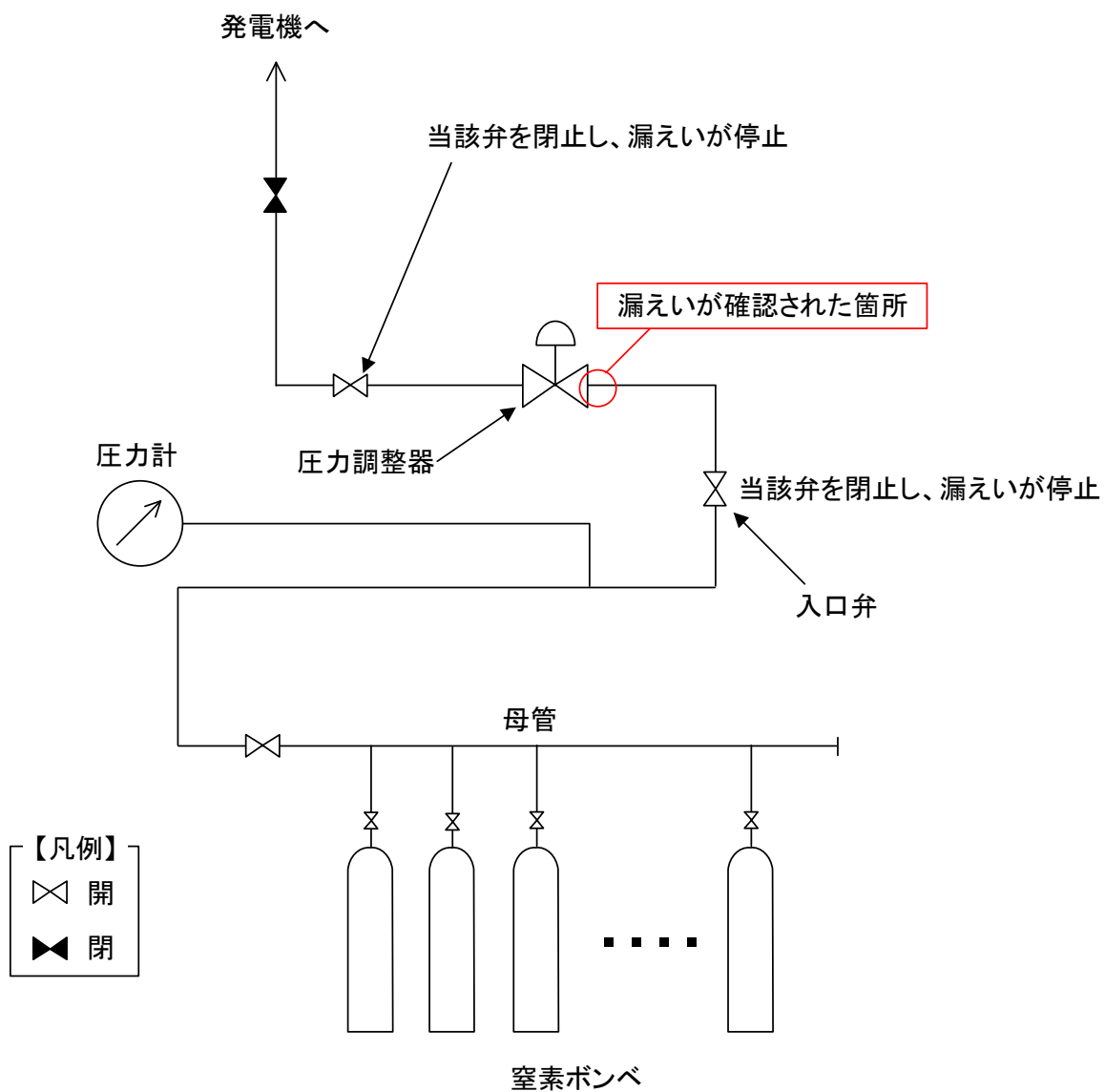
- (1) 入口弁の固定位置を調整し、圧力調整器－L字配管－入口弁のズレを解消するとともに、Oリングを新品に取り替えた。
- (2) 入口弁は、現状メーカ推奨の固定金具にて固定しているが、当初の設計通りボルトによる固定とすることでより強固に固定できることから、次回定期事業者検査時に現在の位置でボルトにより入口弁を固定できるよう、固定板のボルト穴の位置を調整する。
- (3) 今後、同様な装置を製作する際は、製作時に発生し得る誤差を調整できる設計とすること、また接続継手を締めつける前に、接続継手部に隙間がないことを確認することを標準発注仕様書に反映する。また、製作時において接続継手部に隙間がないことを確認するようメーカへ要請した。
- (4) 圧力調整器点検時などに接続継手の分解・組立を行う際は、接続継手の締め付け前に接続継手部に隙間がないこと、および締め付け状態を確認する手順を標準作業要領書に記載する。

以 上

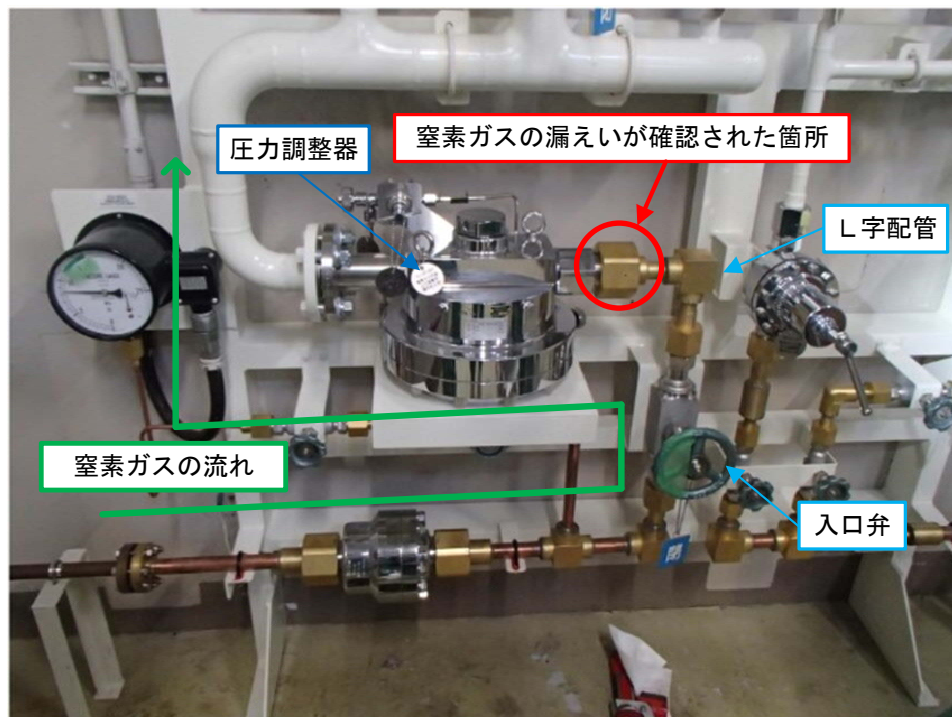
添 付 資 料

- 添付資料－ 1 伊方発電所 3 号機 発電機用窒素ガス封入装置概略系統図
- 添付資料－ 2 伊方発電所 3 号機 発電機用窒素ガス封入装置の不具合発生
および復旧状況
- 添付資料－ 3 圧力調整器側の接続継手の構造
- 添付資料－ 4 発電機用窒素ガス封入装置の入口弁固定状態
- 添付資料－ 5 工場・現地施工範囲図
- 添付資料－ 6 再現性確認試験
- 添付資料－ 7 窒素ガスの漏えいに至る流れ

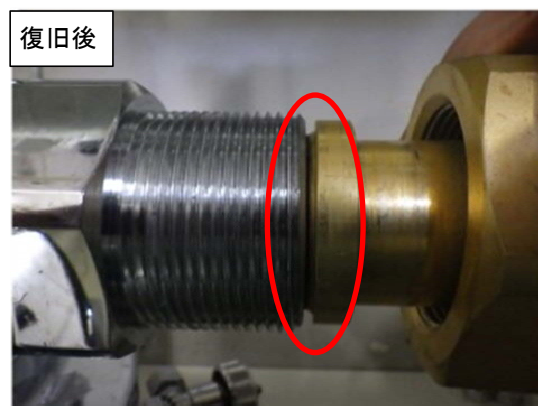
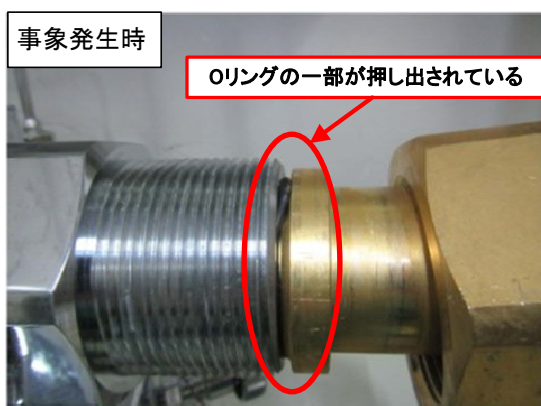
伊方発電所 3 号機 発電機用窒素ガス封入装置概略系統図



伊方発電所 3 号機 発電機用窒素ガス封入装置の不具合発生および復旧状況

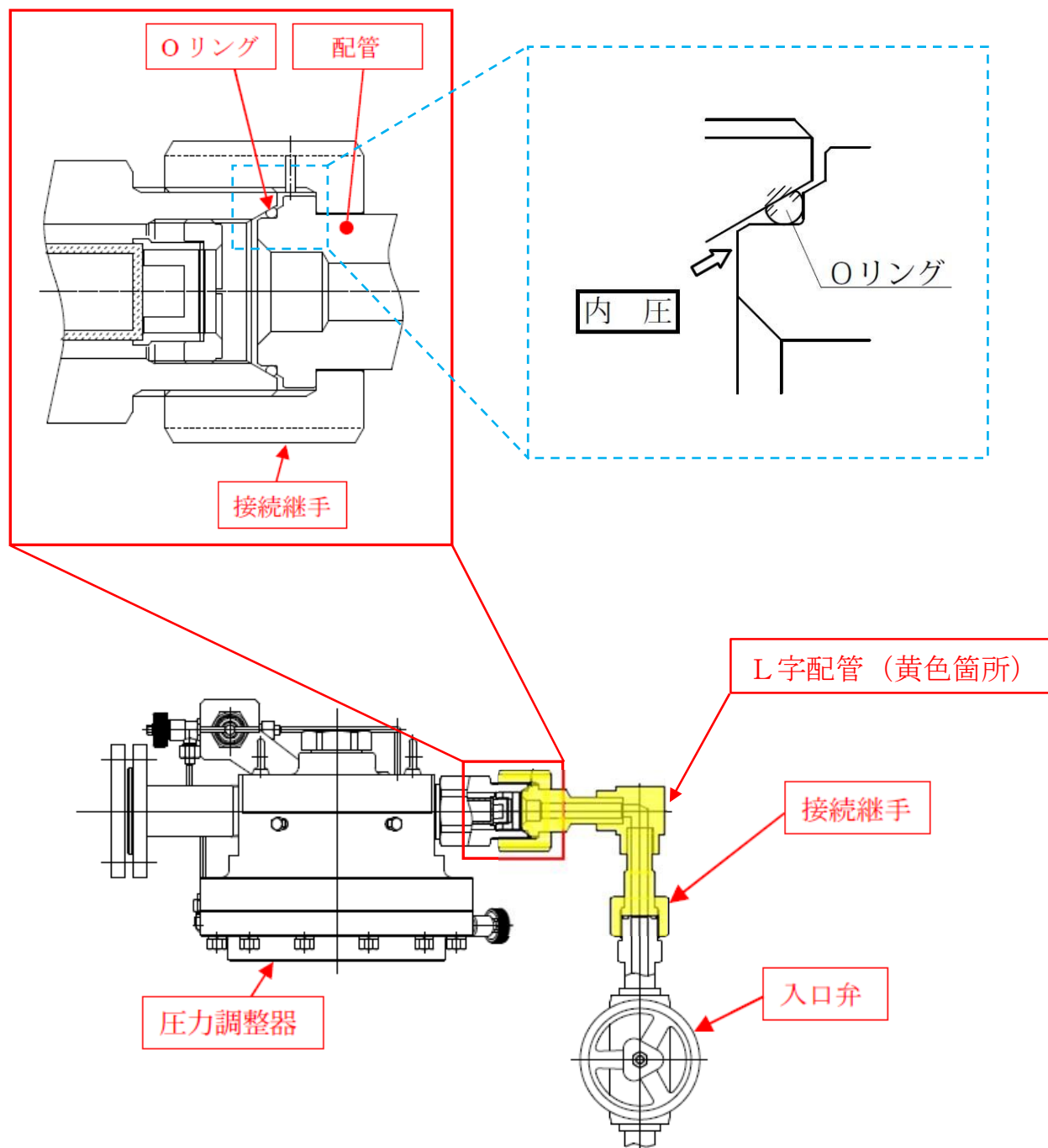


発電機用窒素ガス封入装置



窒素ガス漏えい箇所の状況

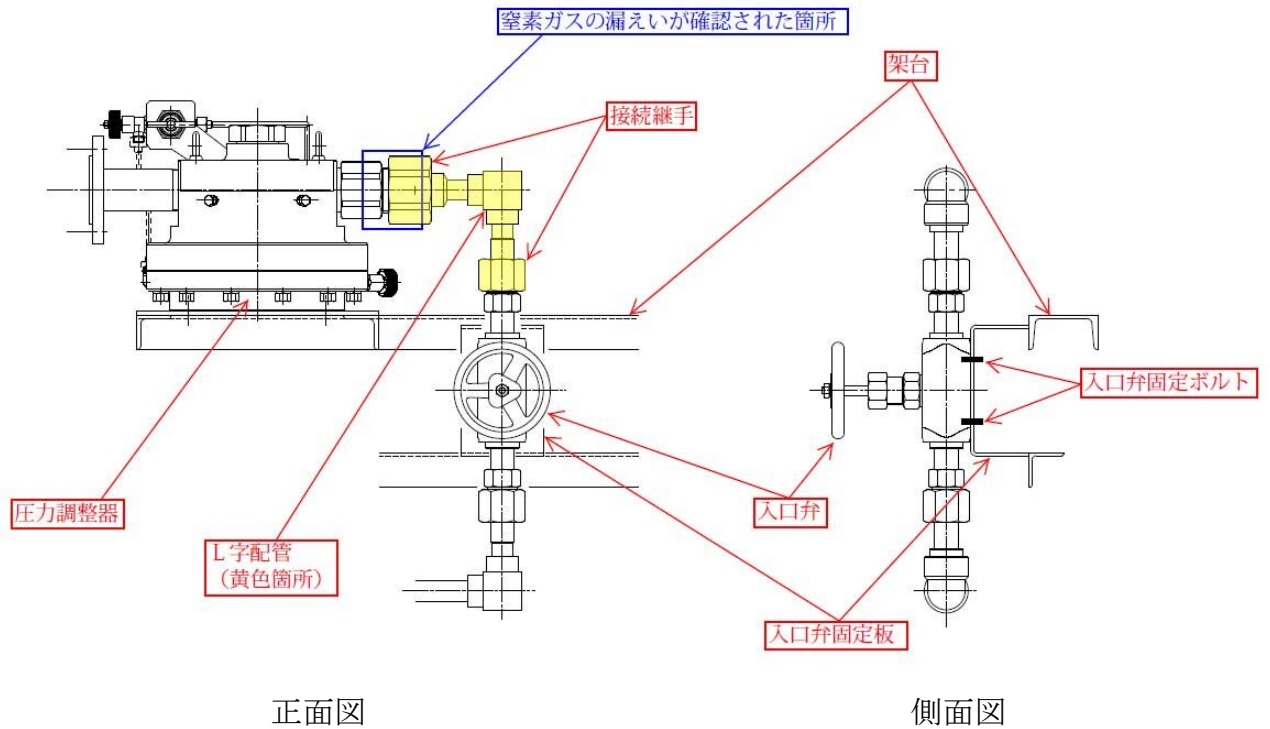
圧力調整器側の接続継手の構造



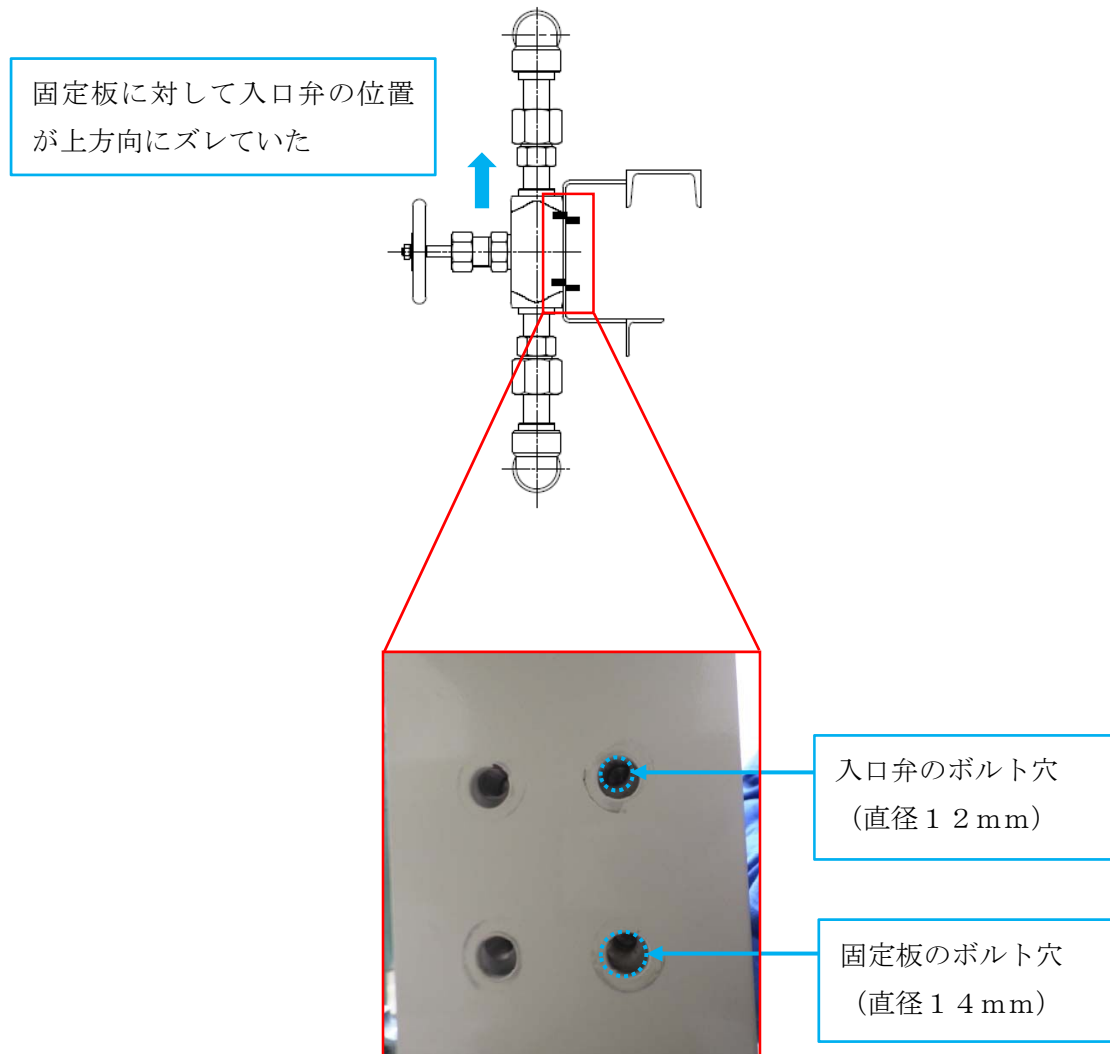
正面図

入口弁と固定板の取り付け状態

（１）事象発生時の入口弁と固定板の取り付け状態



（２） 入口弁と固定板のボルト穴のズレ

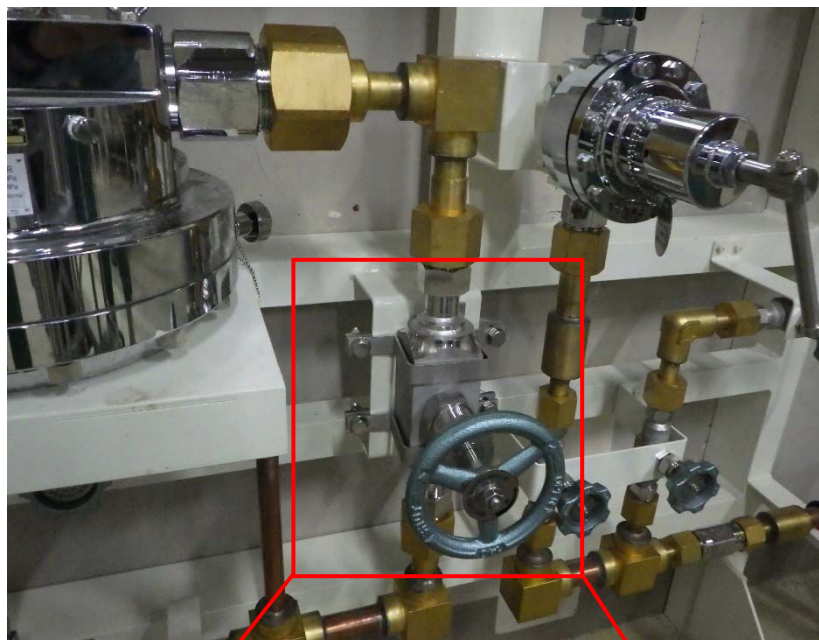


固定板側からみた状態

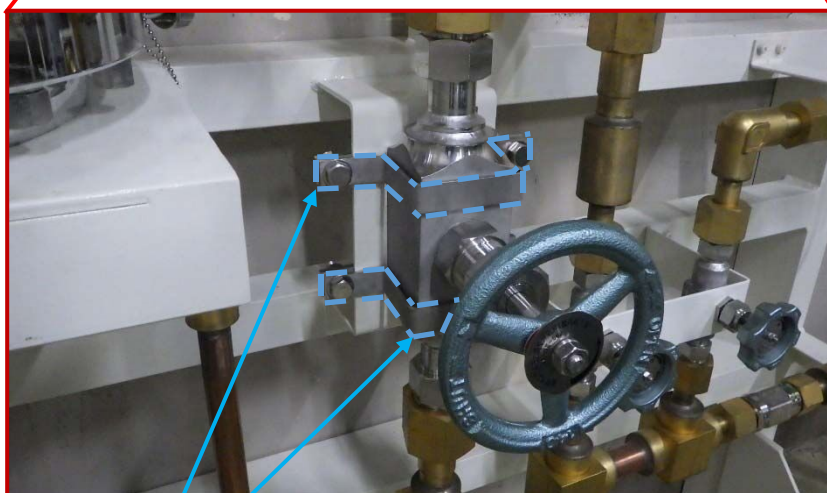


【参考】 類似設備の弁の取り付け状態

（３）適正な位置で入口弁を固定した状態



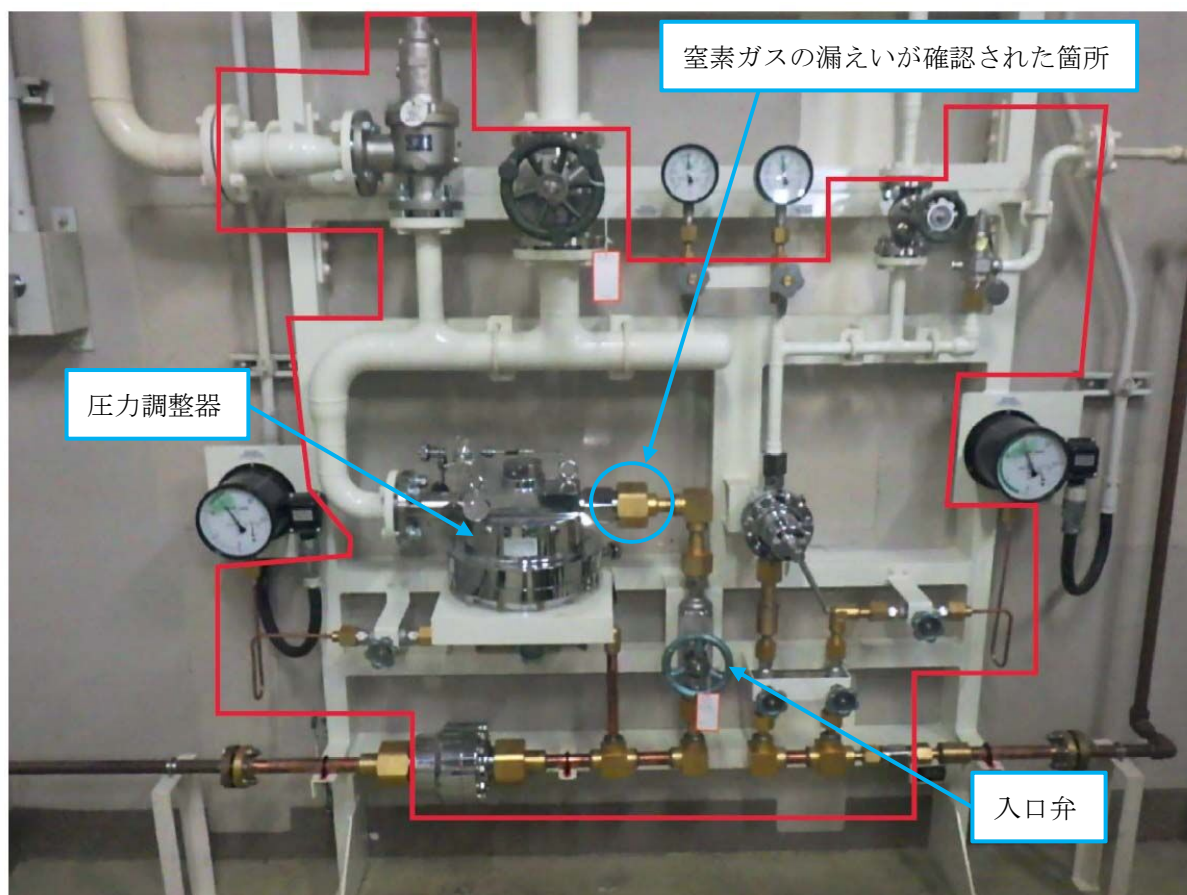
【全体写真】



【拡大写真】

メーカーが推奨する固定金具を用いて入口弁を固定板に取り付け

工場・現地施工範囲図

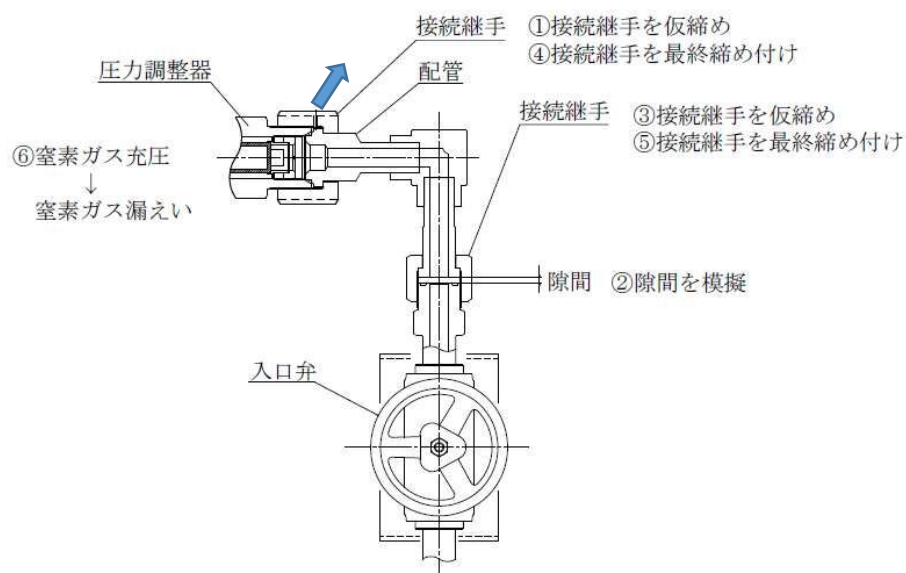


赤枠内：工場施工範囲

赤枠外：工場施工範囲外（既設設備）

再現性確認試験

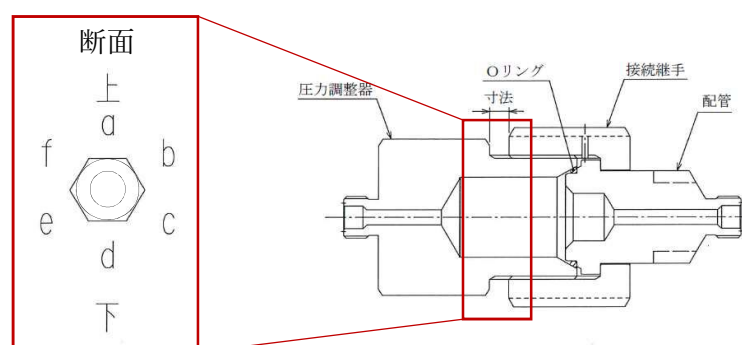
(1) 窒素ガス漏えい試験



以下の手順で再現性確認試験を実施し、窒素ガスが漏えいすることを確認した。

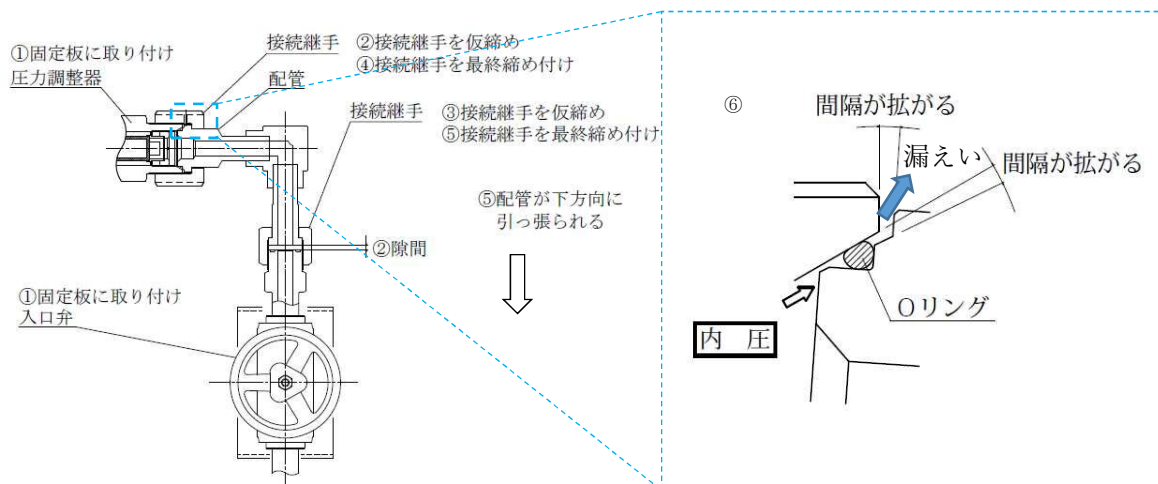
- ① 圧力調整器とL字配管の接続継手を仮締め
- ② 入口弁と接続継手の間に隙間を模擬
- ③ 入口弁とL字配管の接続継手を仮締め
- ④ 圧力調整器とL字配管の接続継手を最終締め付け
- ⑤ 入口弁とL字配管の接続継手を最終締め付け
- ⑥ 窒素ガスを充圧したところ、圧力調整器側の接続継手のOリングの一部が押し出され、窒素ガスが漏えい

(2) 窒素ガス漏えい時の接続継手の締め付け状態確認



事前に確認した適正な締め付け状態と比べて、圧力調整器と接続継手の間隔が広く、かつ上部と下部で差異 ($a > d$) が生じていたことを確認した。

窒素ガスの漏えいに至る流れ



- ① 圧力調整器および入口弁を固定板に取り付け
(入口弁の固定板への取り付け位置が若干下側にズレている状態)
- ② 圧力調整器と L 字配管の接続継手を仮締め
(入口弁と L 字配管の接続部に隙間が生じた)
- ③ 入口弁と L 字配管の接続継手を仮締め
(圧力調整器と L 字配管の接続部に若干のズレが生じた)
- ④ 圧力調整器と L 字配管の接続継手を最終締め付け
(圧力調整器と L 字配管の接続部に若干のズレが状態で締め付けたため、締め付けが不足した)
- ⑤ 入口弁と L 字配管の接続継手を最終締め付け
(圧力調整器側の接続接手部に下方方向に引っ張る力が働いた)
- ⑥ 圧力調整器と L 字配管の接続継手の上部の間隔が広がることで O リングのシール面の当たりが不均等になり、内圧を受けた O リングの一部が押し出され、窒素ガスをシールすることができなくなり、窒素ガスの漏えいに至った。
なお、各種試験および運用開始時においては、かろうじて窒素ガスを密封できる維持できる状態であったが、何らかの要因（現地の気圧、温度、湿度の変化など）により、7 日後にガスが漏えいしたものと推定した。