

保護管の調査結果

1. 目的

保護管内の液量、保護管内への液の浸入状態や保護管内の損傷箇所等を評価するため、保護管に係る調査を行った。

2. 調査項目

保護管に対する現品調査項目、調査方法及び確認内容を以下に示す。

調査項目	調査方法	確認内容
保護管内の液量	液位測定治具表面の線量当量率測定による液位確認	保護管内に浸入した液の高さ（液位）を測定し、その液位から保護管内の液量を算出
保護管内への液の浸入状態	保護管の内部観察	ビデオスコープを用いて、保護管内への液の浸入状態を確認する。
保護管内の損傷箇所及び損傷の大きさ、残肉厚	圧力降下確認（保護管内に液がある状態、保護管内に液がない状態）	保護管内部に圧力をかけ、損傷箇所からの気体の排出による圧力降下と液体の流出による液位低下を確認することで、損傷箇所の位置、概略の大きさを把握する。
	減圧による液浸入確認	保護管内を減圧することで保護管内へ液を浸入させ、損傷箇所を特定する。
	気泡による損傷箇所確認	保護管内に少量の水を張った状態で保護管内を減圧し、ビデオスコープで発生する気泡の観察を行うことで、損傷箇所を確認する。
	保護管底部の残肉厚確認	超音波探傷器で保護管底部の肉厚を測定し、保護管底部の残肉厚を確認する。

3. 調査結果

3. 1 保護管内の液量に関する調査

(1) 調査方法

保護管内に浸入した液の高さ（液位）を測定し、その液位から保護管内の液量を算出した。

液位の測定には、図1に示すように、ノッチ（刻み）加工（5 mm間隔で15目盛）した液位測定治具を保護管底部に着床するまで挿入し、引き抜いた後に各ノッチ部分をスミヤロ紙でふき取り、スミヤロ紙の線量当量率を測定する方法を用いた。これは、廃液が付着することにより液位測定治具表面の線量当量率が上昇することを利用し、液位の測定を行うものである。

なお、保護管内への高レベル廃液の漏えい事象に係る一連の原因究明（現品調査）における液量確認（圧力降下試験における加圧前の液量確認等）はいずれもこの方法により実施しており、合計5回実施した。

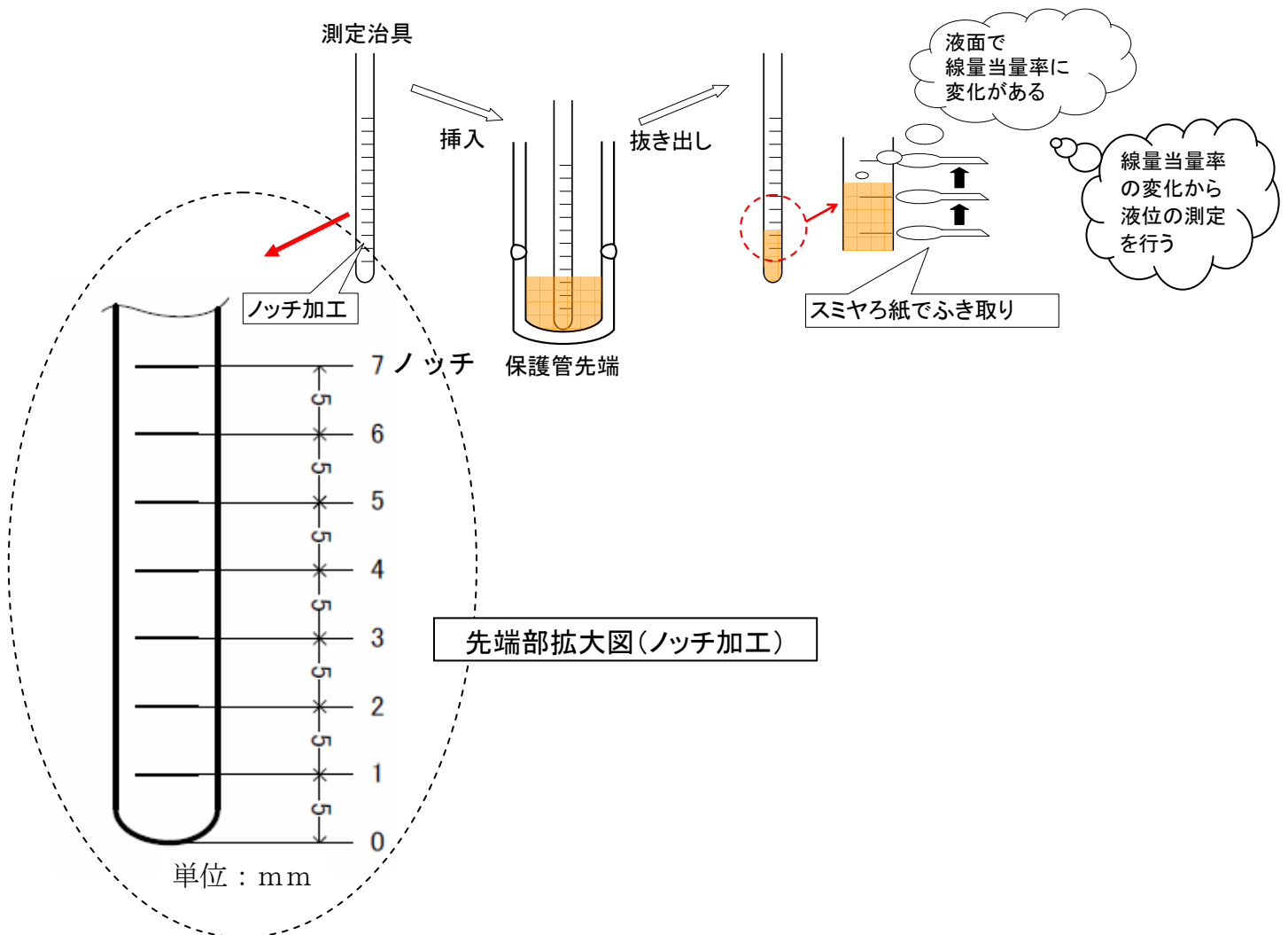


図1 調査方法概要図

(2) 調査結果

1回目の液位測定結果を表1に示す。

ノッチ番号3と4をふき取ったスミヤろ紙の線量当量率に大きな差異があり、ノッチ番号4以降は $30 \mu\text{Sv/h}$ 以下で推移していることから、保護管内の液位は、測定治具先端から $15 \sim 20 \text{ mm}$ の間にあると推定した。(図2参照)

表1 液位測定結果

ノッチ番号	採取スミヤろ紙の線量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	先端からの距離 (mm)
15	—	75
14	—	70
13	—	65
12	—	60
11	—	55
10	—	50
9	—	45
8	—	40
7	22	35
6	20	30
5	24	25
4	28	20
3	660	15
2	370	10
1	300	5
0	1400	(先端部)

採取スミヤの線量当量率に変化がないため、8ノッチ以降は測定を行わなかった。

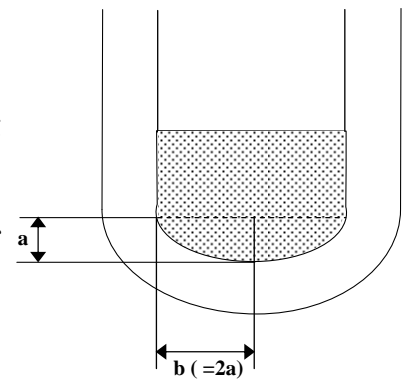
各液位における保護管内の液体の容積は以下のとおり求められる。

保護管の底部の実形状は、長半径 b が短半径 a の2倍となる正半楕円体形である。

当該保護管の内径は 21.2 mm であるため、液位が、 15 mm 及び 20 mm の場合の容積は以下のとおりとなる。

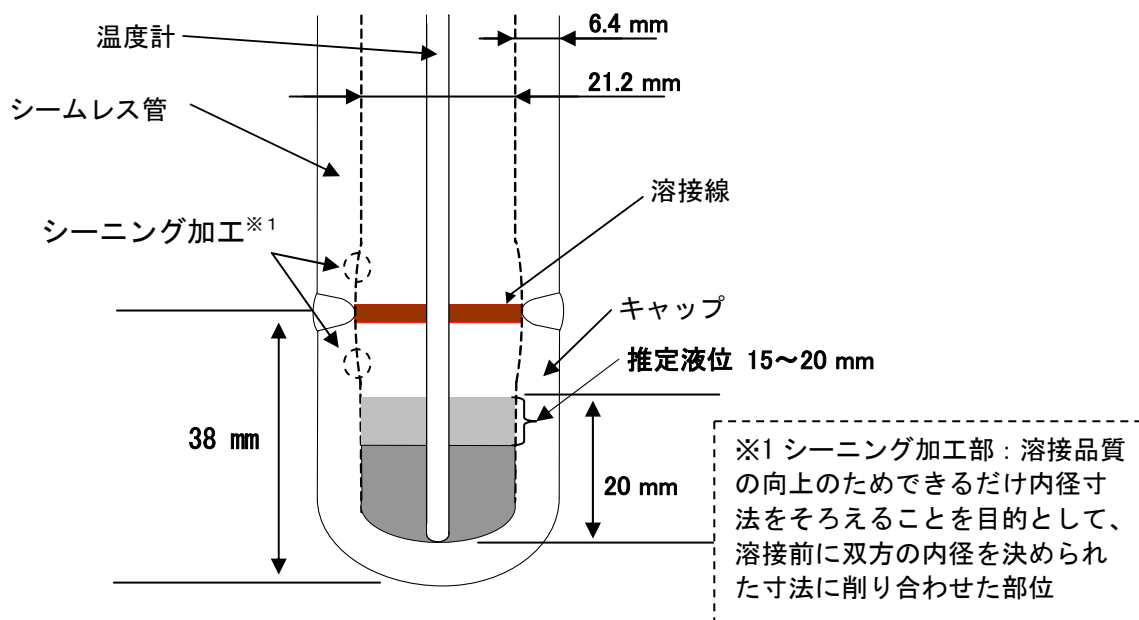
液位 15 mm の場合：約 4.7 cm^3

液位 20 mm の場合：約 6.5 cm^3



求められた保護管の容積から、挿入した測定治具（外径3.2mmの円柱体）の各液位における容積（液位15mmの場合：0.12cm³、液位20mmの場合：0.16cm³）を減じた値が、測定治具を挿入した場合の各液位における液量であり、液位15mmの場合は約4.5cm³、液位20mmの場合は約6.4cm³となる。

以上より、1回目の液位測定の結果、保護管内の液量は約4.5～約6.4cm³の間と推定された。



今回採用した調査方法は、単純な方法であるものの、測定治具が保護管先端で斜めに接液してしまう可能性があること、また、セル外からの遠隔作業であるためにそれを確認する手段がないことを考慮すると、測定に誤差が生じている可能性がある。

そこで、一連の原因究明で実施した5回の測定結果を比較し、測定値のばらつきを確認することとした。（表2 参照）

表2 測定治具による液位の測定及び液量の推定結果

測定日	液位 (mm) ^{※2}	液量 (cm ³) ^{※3}	備考
8/12 (1回目の結果)	15～20	約4.5～約6.4	ノッチ5mm間隔治具、外径3.2mmの円柱体
8/25	15～18	約4.4～約5.4	ノッチ3mm間隔治具、外径4.8mmの円柱体
8/26	15～18	約4.4～約5.4	ノッチ3mm間隔治具、外径4.8mmの円柱体
8/29	12～15	約3.5～約4.6	ノッチ3mm間隔治具、外径3.2mmの円柱体
9/2	18～21	約5.6～約6.7	ノッチ3mm間隔治具、外径3.2mmの円柱体

※2 測定治具のノッチにおいて線量当量率に大きな差異があった高さから推定した液位（測定治具挿入した状態）

※3 液位から算出した液量。算出方法はいずれも上記と同様の方法

測定結果を比較したところ、ノッチの間隔、治具の外径の違いにも係らず、5回の液位の測定結果に大きな差異はないことから、今回の測定方法は妥当であったと判断した。

以上の結果から、保護管内に浸入した液量は約3.5～約6.7 cm³で、液面は12～21 mmの範囲内にあると考えられる。溶接線高さは38 mmであることから、溶接線よりも下に液面があると推定した。実機の温度計も測定治具とほぼ同等の容積であることから、実機の温度計が挿入された状態においても、液面は溶接線よりも下であったと考える。

3. 2 保護管内への液の浸入状態に関する調査（内部観察）

（1）調査方法

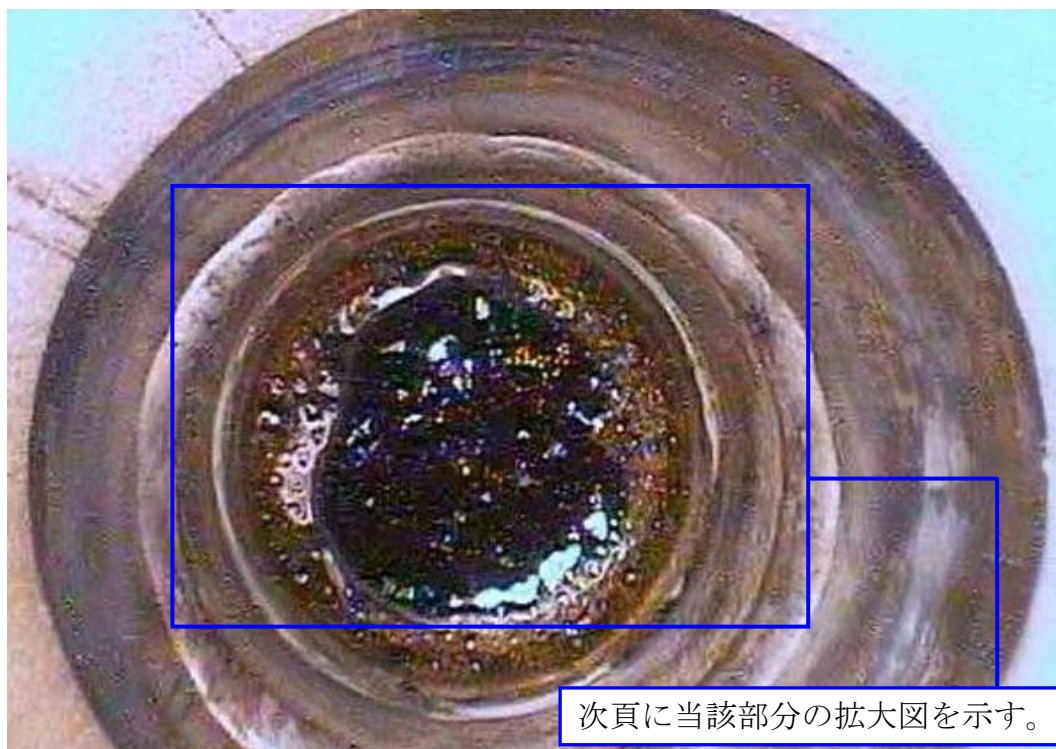
ビデオスコープで保護管内の内部観察を行い、保護管内への液の浸入状態を確認する。なお、ファイバースコープによる保護管内の内部観察も行ったが、ビデオスコープと比べ画質が劣るため、観察結果については記載しない。

（2）調査結果

ビデオスコープを用いて保護管内の観察を行い、以下の状況を確認した。（図3、4参照）

- ・液は、黒ずんだものであり、液外周部は茶褐色で泡立ったものであった。
- ・液外周部の泡立ちは、外部からのかくはん（液位測定治具の抜き挿し）により泡ができた可能性が考えられるが、保護管内面の濡れ状態によって液の見え方が異なり、視認結果によって液の粘性等の物性に係る情報を推察することは困難であった。
- ・液面はキャップ溶接線の下方にあり、上記の保護管内の液位測定結果と整合していた。
- ・キャップ溶接線付近及び上下のシーニング加工部には液垂れの痕跡は確認されなかった。

<ビデオスコープ画像>



<画像からの読み取り図>

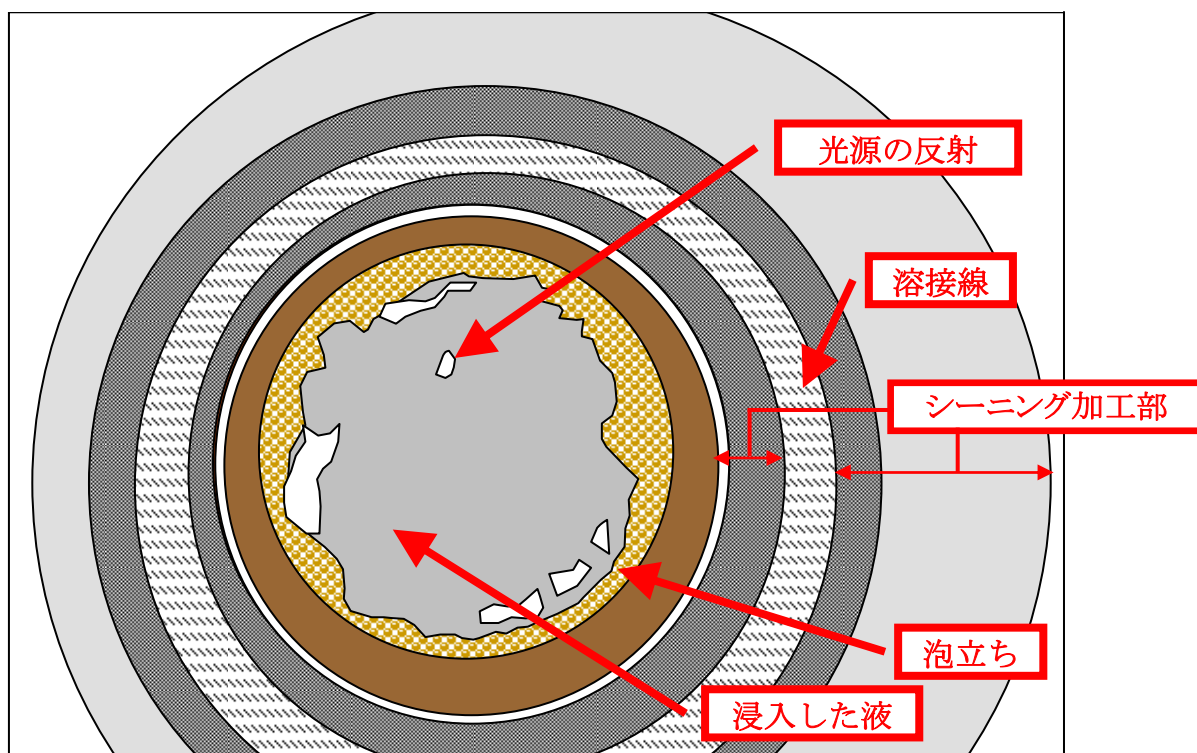


図3 内部観察結果（保護管内に液がある状態：平成22年9月4日撮影）

<ビデオスコープ画像（拡大図）>



<画像からの読み取り図>

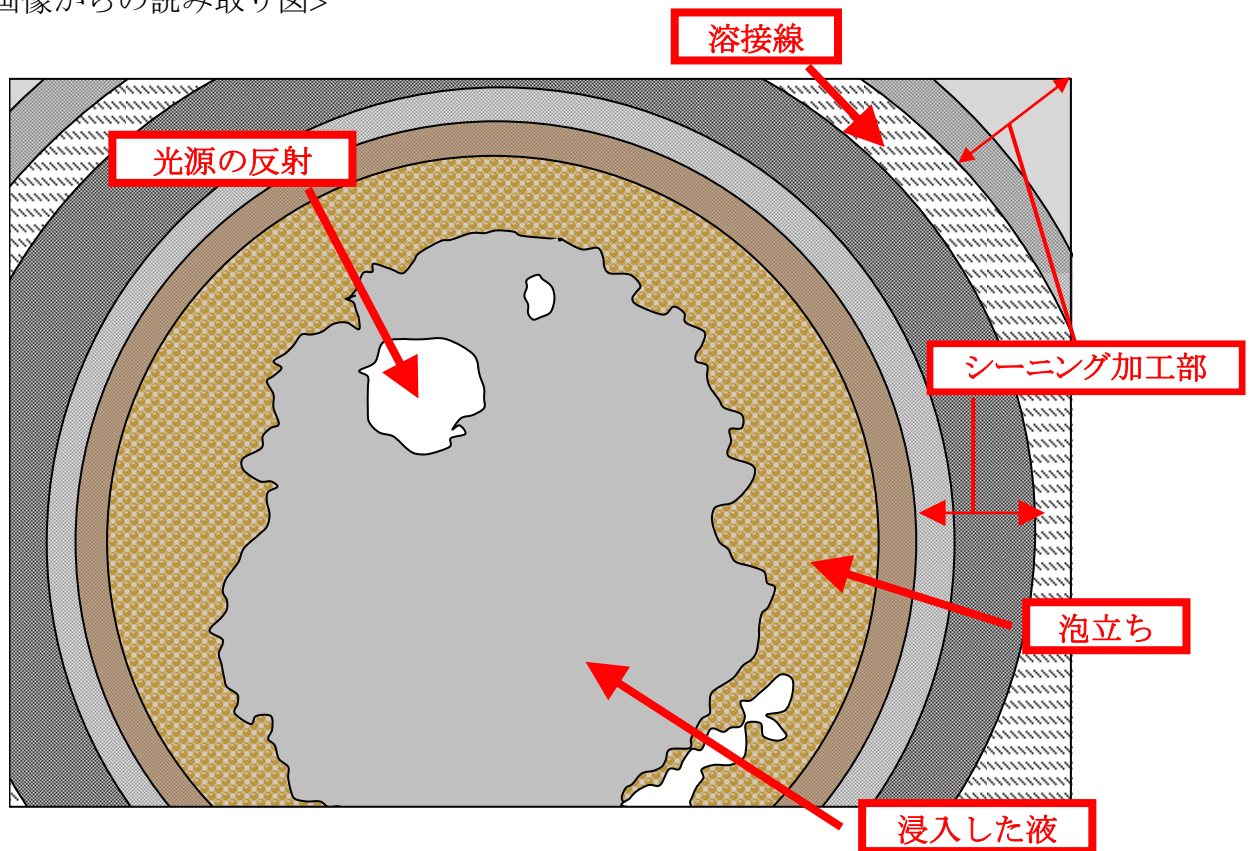


図4 内部観察結果（保護管内に液がある状態）拡大図

3. 3 圧力降下確認

(1) 調査方法

保護管内部に圧力をかけ、損傷箇所からの気体の排出による圧力降下と液体の流出による液位低下を確認することで、損傷箇所の位置、概略の大きさを把握する。

「添付資料－1 2 現品調査方法の検討整理表」に示したように、圧力降下確認では、保護管内の液位の異なる状態で圧力降下確認を行うことにより、損傷箇所の評価が可能であることから、まずは保護管内に液がある状態で確認を行い、その後保護管内に液がない状態で確認した。

【圧力降下確認装置】（図5 参照）

- ① 加圧用の窒素ガスボンベ
- ② 圧力計（上部保護管圧力②-1、下部保護管圧力②-2）
- ③ 差圧計（上部保護管圧力－下部保護管圧力）
- ④ 圧力を抜くためのベント弁
- ⑤ 局所排風機（下部保護管に汚染の恐れがあるため）

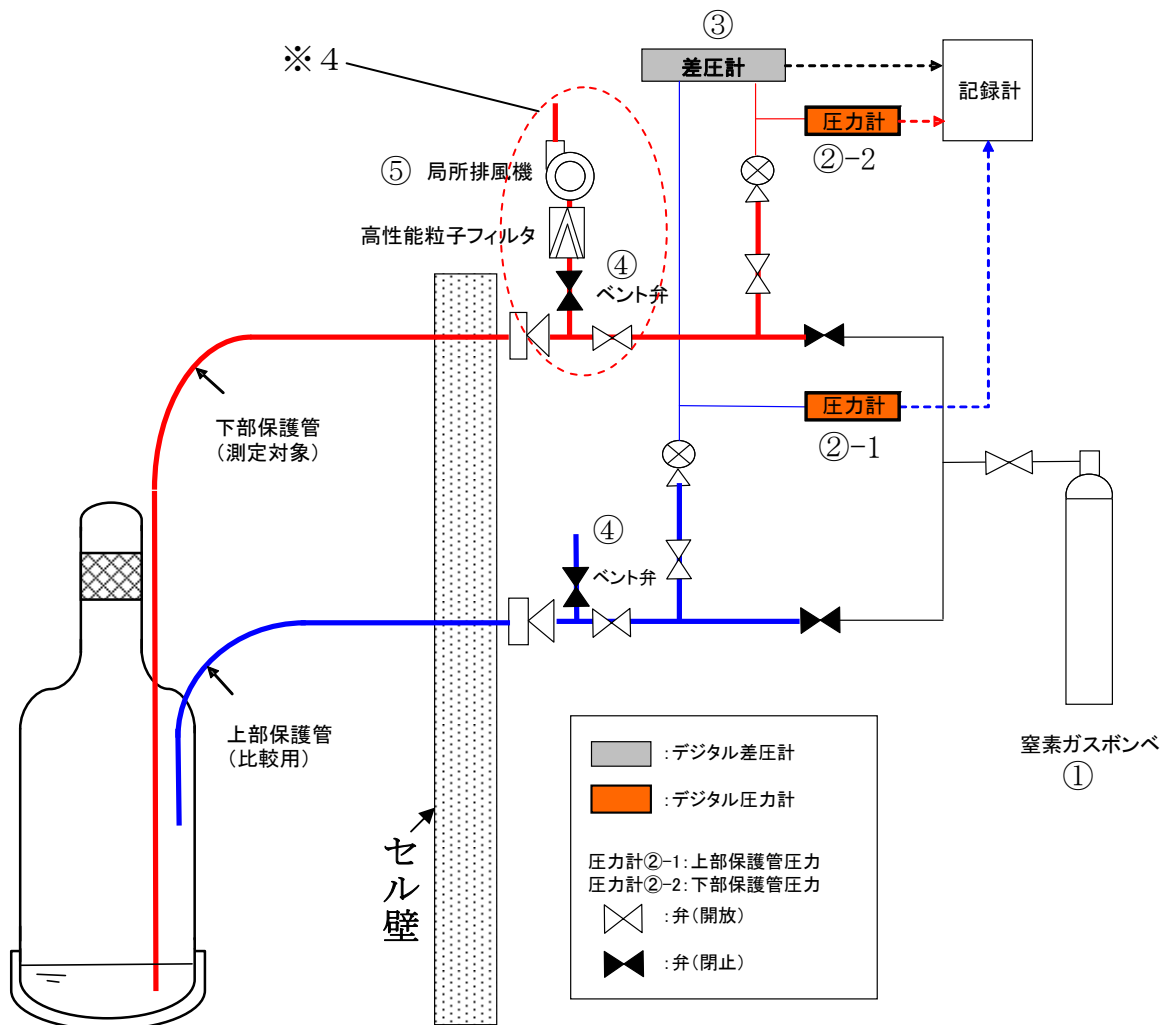


図5 圧力降下確認装置概要図

※4 汚染拡大防止のために、圧力降下確認終了後加圧した窒素ガスは、高性能粒子フィルタを通して、局所排風機を通じて建屋換気設備のダクトに排気し、グリーン区域に流さない処置をしている。

【確認方法概要】（図6 参照）

（装置気密試験）

- ① 窒素ガスを配管へ通気させ、下部保護管及び比較用として設置した上部保護管を約100kPaに加圧
- ② 8時間程度装置気密確認実施（保護管入口バルブは閉）

（圧力降下確認実施）

- ③ 保護管入口バルブを開とし、再度装置全体を100kPaに加圧
- ④ 加圧後、上部保護管及び下部保護管の配管を切り離す
- ⑤ 24時間保持（差圧は記録計で記録すると共に、定期的に圧力及び装置の外観・漏えい等の確認）

（期待される確認結果）

- ⑥ 損傷箇所が液面よりも上：損傷箇所から空気が排出されることで圧力降下が確認され、その圧力降下量で損傷箇所の大きさが評価可能。
- ⑦ 損傷箇所が液面よりも下：損傷箇所から空気が排出されないため、圧力降下が確認されないか又は損傷箇所が大きい場合には損傷箇所から液が流出することによる液面低下で損傷箇所が評価可能。

（評価）

- ⑧ 24時間保持後の差圧計の測定値^{※5}から損傷箇所の大きさを推定
- ⑨ 「3.1 保護管内の液量に関する調査」に示した方法にて液位を測定し、圧力をかける前後の保護管内の液位の変化から、損傷箇所の位置を推定

※5 保護管内の温度変化、微小リークの影響を極力排除するため、上部保護管及び下部保護管の圧力の差（差圧）を取り、差圧量により圧力降下量进行评估する。

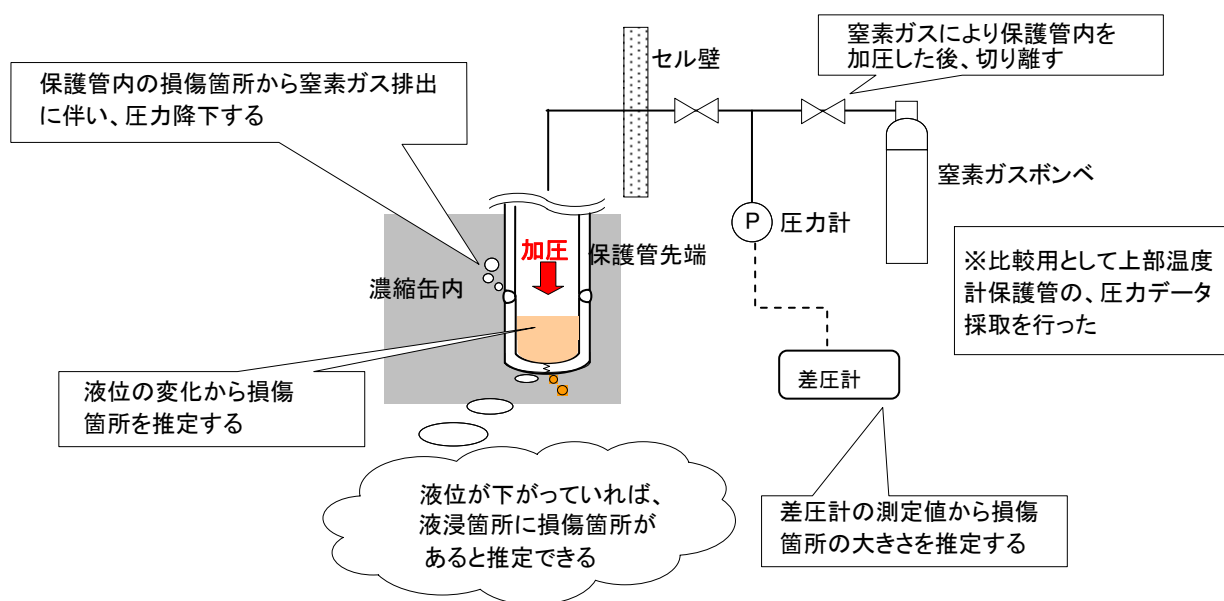


図6 確認方法概要図

【適用範囲】

圧力降下確認装置には、弁、配管の接続部等から0.06 kPa/h程度のリークがあり、このオーダーの圧力降下は誤差範囲と考える。

これを踏まえて、有意な圧力降下の範囲として、0.4 kPa/h（約10 kPa/24 h）を圧力降下確認の適用範囲とした。この圧力降下量にて判別できる損傷箇所の大さは粘性流れの式及び先細ノズルの式（添付資料-17 参照）から算出した結果、約20 μm ^{*6}以下となる。

※6：加圧装置を含む系統全体の容量が4300 cm^3 であり、24時間で100 kPaから90 kPaに圧力が減少するための排出量を粘性流れの式及び先細ノズルの式にあてはめ損傷箇所の大さを算出。なお、ここでは空気の粘性を $1.8 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}$ とする。

(2) 調査結果

1) 保護管内に液がある状態

圧力降下による有意な差圧の変化はなく（図7 参照）、また液位測定結果においても有意な液位変化は確認できなかった（表2 8月29日（加圧前）、9月2日（加圧後）のデータ参照）。この結果、液面よりも下に損傷があり、損傷箇所が小さいことが考えられる。

なお、保持中の圧力が濃縮缶内の温度変化^{*7}に伴い変化しているが、上部保護管と下部保護管は同調して変化しており、この圧力変化は誤差範囲内であると考えられる。（図8 参照）。

※7：濃縮缶の加熱コイル及び加熱ジャケットに通水している冷却水の温度が変化することで、濃縮缶内の空気温度が変化するため、その影響により保護管内の空気温度が変動した。

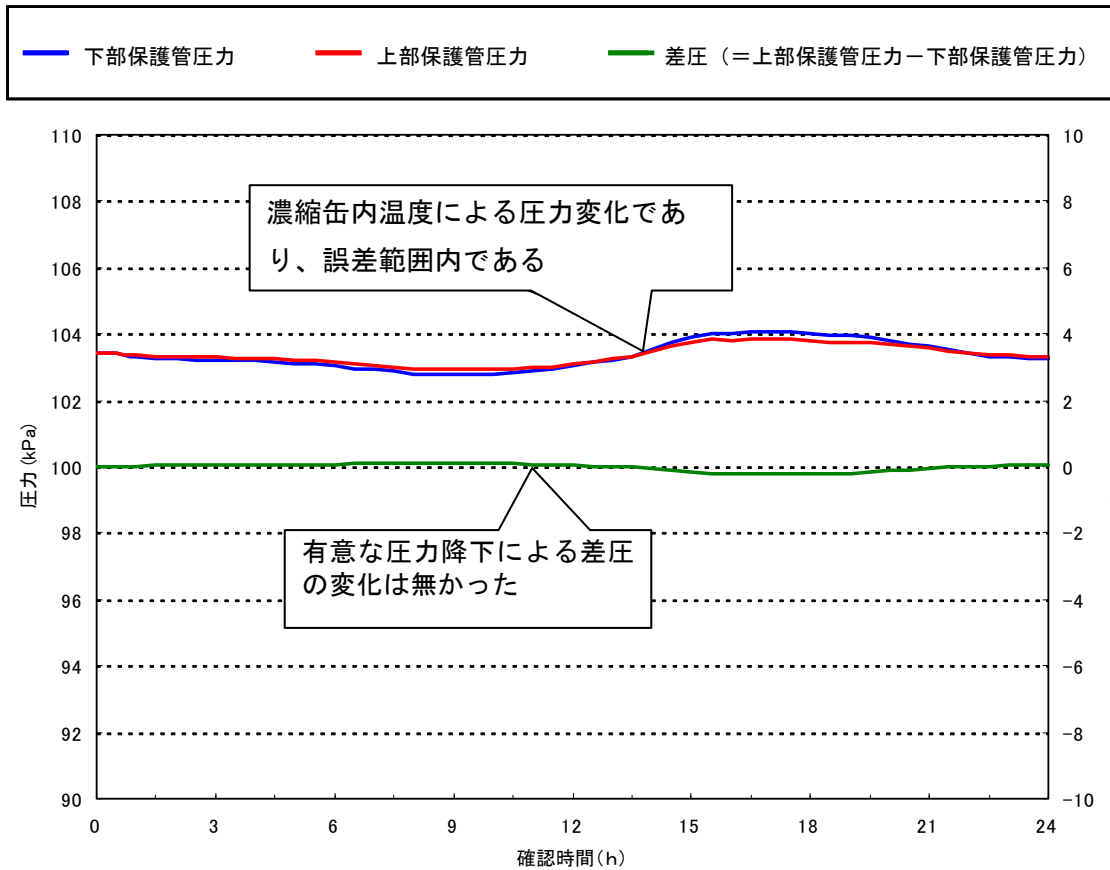


図7 圧力降下傾向

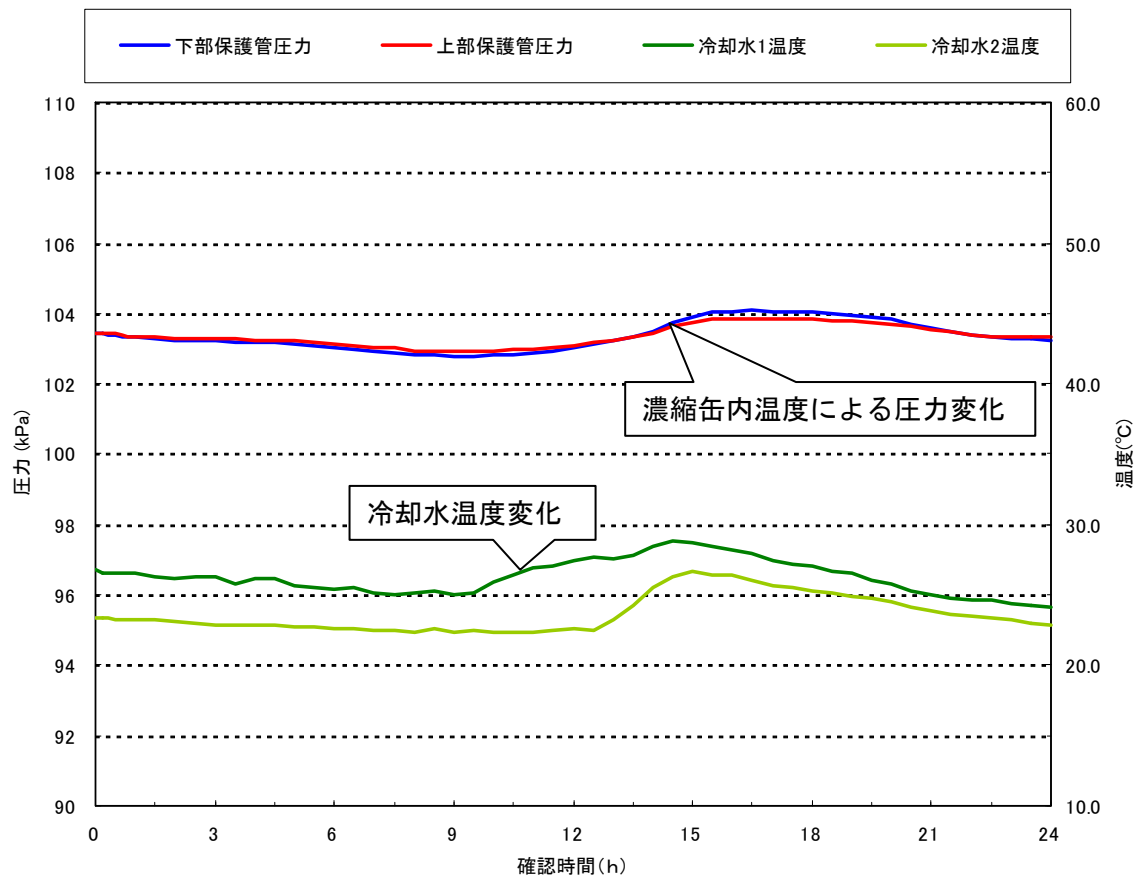


図8 温度変化と圧力の関係

2) 保護管内に液がない状態

液がある状態での圧力降下確認の結果から、液面よりも下に損傷があり、損傷箇所が小さいことが考えられるため、保護管内の液抜き・拭取り作業を実施し、保護管内に液がない状態での圧力降下確認を実施した。

圧力降下確認の方法としては、「1) 保護管内に液がある状態」での圧力降下確認と同様に窒素による加圧（100 kPa）を行い、上部温度計の保護管を基準として、当該保護管との圧力変化の差により圧力降下を評価した。

その結果、圧力降下による有意な差圧の変化はなかった。（図9 参照）

このことにより、保護管の底面から約20 mm（液抜き前約7 cm³入っていたと推定される液位）の範囲でも、損傷箇所は極小さいと考えられる。

なお、保護管内に液がある状態と同様に、濃縮缶内の温度変化によるわずかな圧力の変化が見られるが、上部保護管と下部保護管は同調して変化しており差圧判定には影響しない。

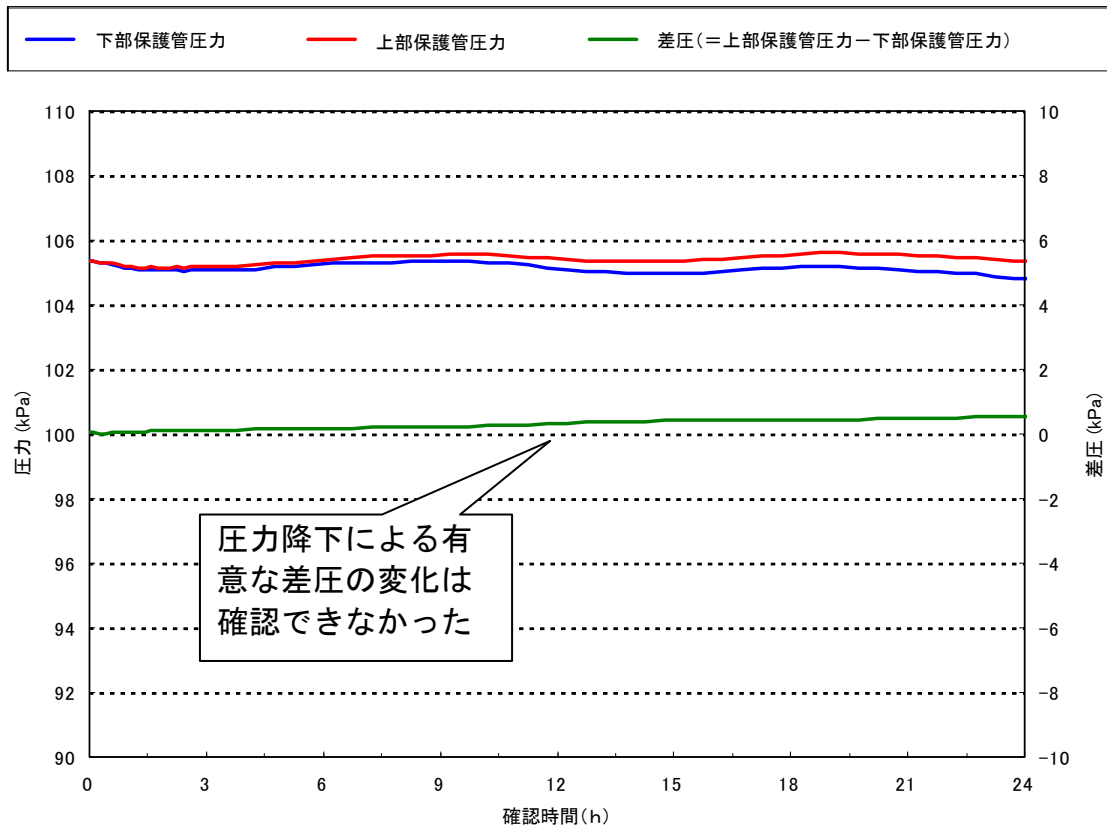


図9 圧力降下傾向（保護管液抜き後）

3) 保護管内液抜き、拭取り後の内部観察

保護管内に液がない状態での圧力降下確認の準備のため、液抜き・拭取り作業を実施した。液抜き・拭取り作業の結果、保護管底面の金属加工面が視認可能となったことから、損傷箇所が視認できる可能性があると考え、保護管底面の観察を行った。また、液抜き作業中において、液の再浸入が見られたため、その液量を評価した。

【液抜き作業】

(保護管内の液抜き治具)

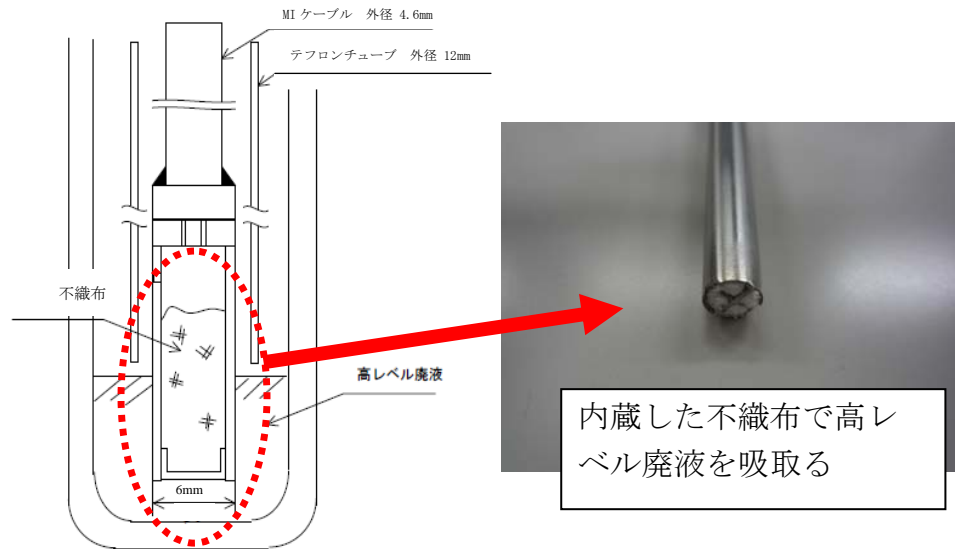
保護管内の液抜きに使用した治具を図10に示す。

保護管内にある液体を液抜き治具にて吸取る。この作業における追加的な安全上のリスク(全体のリスクについては添付資料-13 参照)と対応方法は以下のとおり。

- ① 高線量廃液の液抜き作業における作業員の被ばくリスク
- ② 高線量廃液の飛散によるグリーンハウス内の汚染拡大リスク

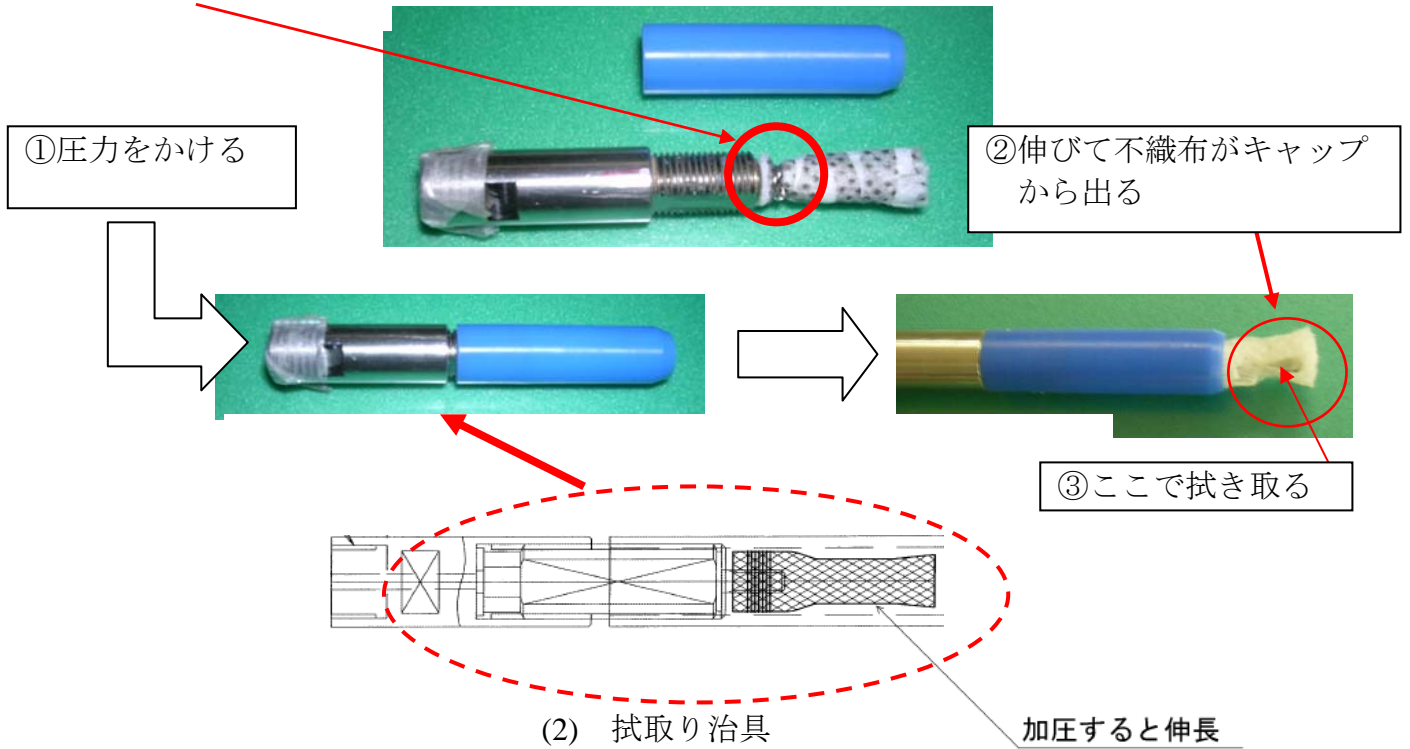
これらのリスクに対して、以下の対策を講じた。

- ① 十分なしゃへい性能を持つしゃへい容器(23 kgのステンレス鋼製の容器及び300 kgの鉄製の容器)を準備
- ② 液抜き治具としては、液面近くまで伸ばしたテフロンチューブ内を通すことで、保護管内への汚染拡大を防止すると共に、治具先端に液体保持能力の高い不織布を内蔵した治具を使用



(1) 液抜き治具

圧縮空気にて加圧すると
伸びる構造



(2) 拭取り治具

図10 液抜き、拭取りに用いた治具

(保護管内液抜き、拭取り後の内部観察及び液の再浸入)

① 高線量廃液の液抜き

9月4日より開始した液抜き、拭取りの際、9月7日に高線量(23kgしゃへい容器表面での線量率約80mSv/h)の拭取り物を回収した。被ばくの恐れがあることから、回収した液抜き治具を保護管内に一度戻し、300kgしゃへい容器に入れ替えた上で再度しゃへい容器に収納し、過度の被ばくが無い状態で作業を継続した。

なお、液抜き、拭取り作業における回収物の表面線量当量率及び濃縮缶内液の放射エネルギー(添付資料-5 参照)から推定される液量を参考として表3に示す。保護管内の液量調査によって確認された量(約7cm³)と今回の液量評価(計21cm³)に差が生じた要因としては、表面線量当量率から放射エネルギーを評価する際の誤差(評価モデルは点線源を用いているが実際の線源は広がりを持つことから実際の放射エネルギーより大きくなる)及び放射能濃度の分析誤差の他、高線量物質(運転中にわずかに発生した析出物等)の影響により、回収放射エネルギーが大きくなったことから、評価した液量が大きくなった可能性がある。

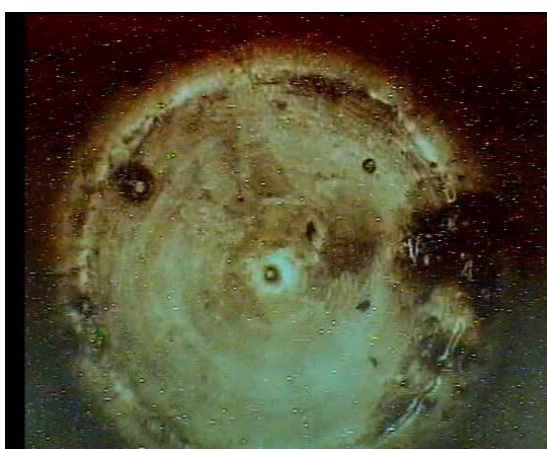
表3 拭取り作業時の表面線量当量率及び液量評価

実施日	拭取り回数	表面線量率 [mSv/h]	回収放射エネルギー [Bq]	液量 ^{※8} [cm ³]
9/4	1	1.8	2.1E+08	0.20
9/4	2	25	2.9E+09	2.30
9/5	3	6.5	7.4E+08	0.60
9/5	4	12	1.4E+09	1.10
9/5	5	3.5	4.0E+08	0.30
9/5	6	3.3	3.8E+08	0.30
9/6	7	6.5	7.4E+08	0.60
9/6	8	0.25	2.9E+07	0.02
9/7	9	24	2.7E+09	2.20
9/7	10	80	9.2E+09	7.30
9/11	11	0.126	3.7E+09	3.00
9/12	12	0.025	7.4E+08	0.60
9/12	13	0.03	8.8E+08	0.70
9/14	14	0.04	1.2E+09	0.90
9/15	15	0.04	1.2E+09	0.90
		計	2.6E+10	21.0

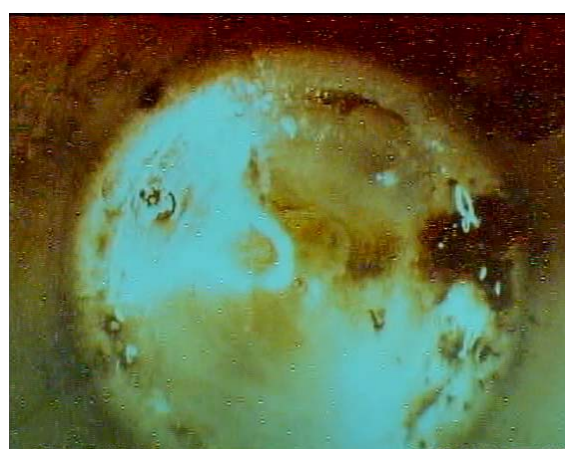
※8: 1.3×10^9 Bq/cm³ (漏えい時に濃縮缶にあった液のCs-137の放射能濃度の推定値)を用いて液量換算

② 液抜き・拭取り後の内部観察

- ・液抜き・拭取り後の内部観察において、保護管内の液はほぼなくなったが、取りきれなかったゴミがあった。また、損傷箇所は確認できなかった。（図1-1 拭取り後写真 参照）
- ・圧力降下確認前の保護管の内部観察において、ビデオスコープのライトの反射状況により、保護管内への極少量の液の浸入を確認した。（拭取りから液の浸入確認までの時間は20時間程度であった）なお、キャップ溶接線付近からの液浸入の痕跡は確認できなかった。（図1-1 圧力降下試験確認前写真 参照）
- ・再度拭取りを行った後の内部観察では、保護管内への液の浸入を確認できなかった。液浸入を確認できなかった要因として、損傷部内が閉塞した可能性が考えられる。



拭取り後:平成22年9月15日撮影



圧力降下確認前:平成22年9月16日撮影

図1-1 ビデオスコープによる保護管内の観察結果

③ 拭取り後に保護管内に浸入した液量の評価

拭取り後の内部観察において確認された極少量の保護管内への浸入液の液量について、ビデオスコープによる観察結果及び保護管先端部の実形状（容積）から、以下のとおり評価した。

保護管の底部の実形状は、長半径 b が短半径 a の 2 倍となる正半楕円体形である。

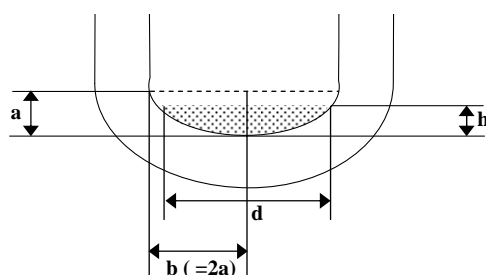


図 1 2 保護管先端部の断面形状

この形状から、直径と量を深さ方向で算出すると表 4 のとおりになる。

表 4 液体の深さ h に対する液面の直径 d と体積 V の整理

h (mm)	d (mm)	V (cm^3)	色
1	12.4	0.06	青
2	16.6	0.23	緑
3	19.1	0.49	赤
4	20.6	0.80	黄
5	21.2	1.14	黄

ビデオスコープによる観察結果に、表 4 で求めた液面の直径及び実際の液面の縁を重ねたものを図 13 に示す。

液面の外縁の位置推定は、動画による観察で、液の有無による反射の具合の変化をもとにおおよその液面の境界を判定し^{※9}、線で結ぶことにより行った。

※9：液面と金属加工面の境界における、光の反射の具合の変化をビデオスコープで観察した。

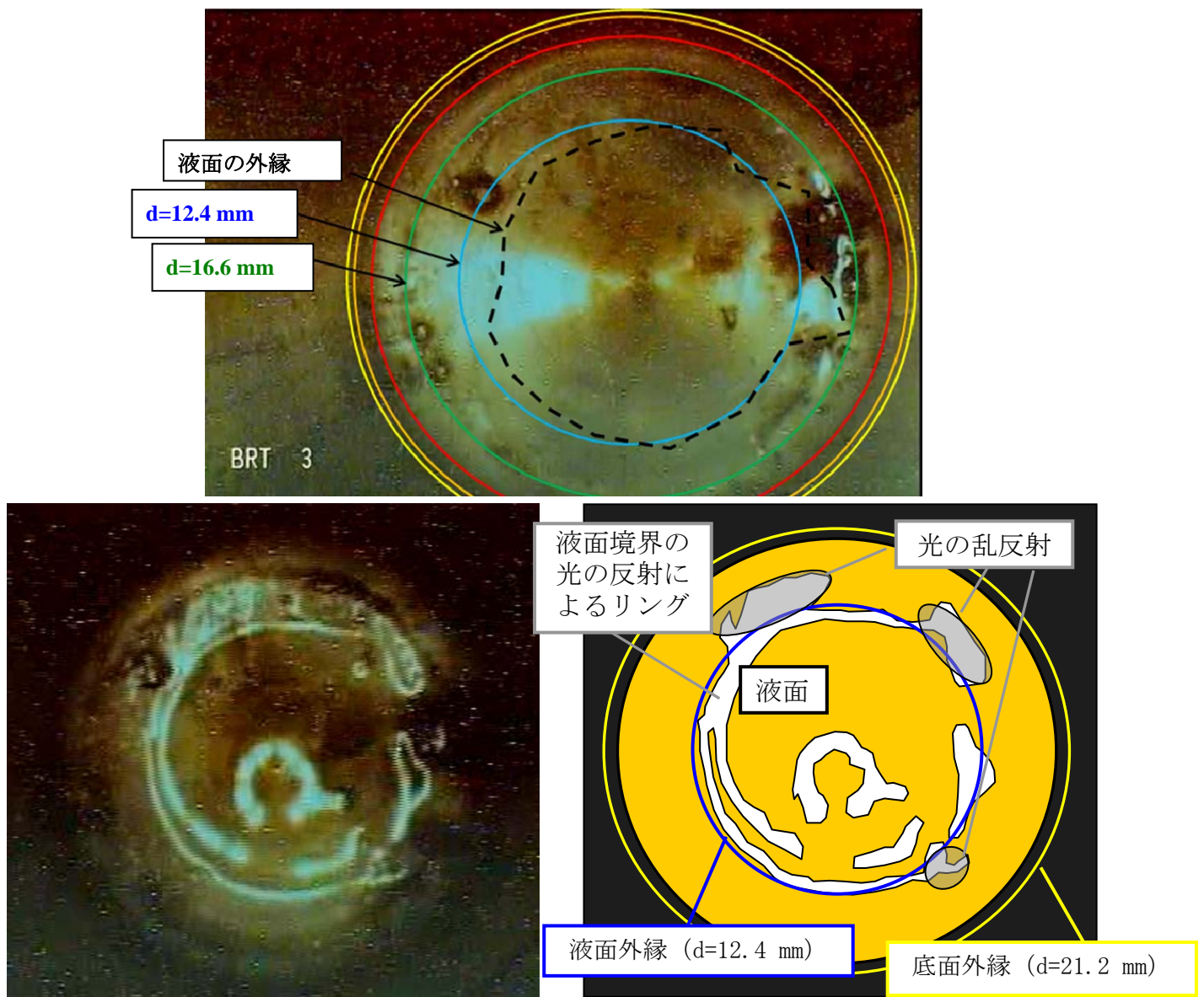


図 1 3 保護管内の液面の位置

図 4 より、液面の縁の大部分が $d = 12.4 \text{ mm}$ (青の実線、 $V = 0.06 \text{ cm}^3$ に相当) の線と概ね一致することから、液面が水平であると仮定し、液の体積は 0.06 cm^3 程度と評価した。

(保護管内の観察結果)

保護管内に液が浸入していた箇所を観察を行うために、治具を用いて保護管内の液抜き並びに拭取り及び洗浄（保護管内に硝酸を供給し、一定時間漬けおいた後に硝酸を抜き出し）を実施した後に、ビデオスコープを用いて保護管内の観察を行った。その結果、以下の状況を確認した。（図14 参照）

- ・ 保護管底面の状況や金属加工面が観察できた。
- ・ 損傷箇所については、微細なゴミとの判別が困難であり特定できなかった。
- ・ 保護管底面には、拭取り等実施したが取りきれなかったゴミが散在していた。このゴミは、セル内の保護管溶接部の裏波突起に、拭取り・洗浄治具及びビデオスコープ等を挿入・引き抜きする際、ケーブル等が引っかかり削れることにより発生したと思われる。（図15 参照）

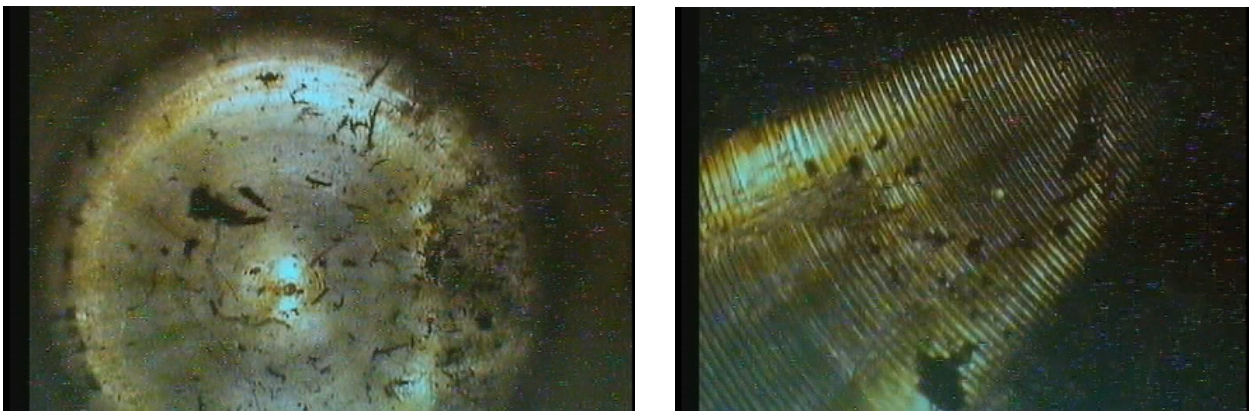


図14 拭取り・洗浄後の底面の様子

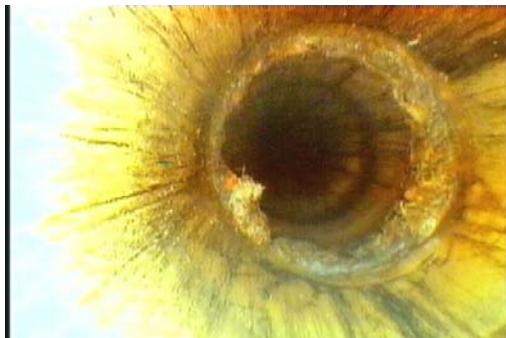


図15 溶接部裏波の状況

- ・ 溶接部裏波の突起部等にケーブル等が当り削れることでゴミが発生し、そのゴミがビデオスコープ等と共に先端部に運ばれる。
- ・ 回収装置の挿入・引き抜き時にも発生するため、なくなることはない。

3. 4 減圧による液浸入確認

(1) 調査方法

保護管内を減圧することで保護管内へ液を浸入させ、損傷箇所を特定する。

【実施概要】

減圧による液浸入確認は以下のステップで実施した。

- ① 保護管内液浸入確認装置を保護管挿入口に取り付け（図16 参照）
- ② 真空ポンプを起動し、保護管内を -24 kPa （保護管外圧として濃縮缶濃縮運転時水頭圧に相当）まで減圧し、15分間保持し、液の浸入があるかビデオスコープにて確認
液浸入がない場合は、さらに -40 kPa （保護管外圧として濃縮缶希釈運転時水頭圧に相当）まで減圧し、45分間保持した後、ビデオスコープにて液の浸入の有無を確認
- ③ ②項で液浸入が確認されない場合は、損傷箇所に詰まりが発生している可能性が考えられることから、詰まりを除去するために、 -40 kPa まで減圧した後、大気圧まで戻すことを5回繰り返して圧力の脈動を与え、再度 -40 kPa まで減圧し、60分間保持した後、ビデオスコープを挿入して液の浸入有無を確認
- ④ ③項で液浸入が確認されない場合は、 -40 kPa で180分間保持した後（ $10\text{ }\mu\text{m}$ 程度の損傷であっても、180分間保持後では十分に視認可能な液量となる^{*10}）、ビデオスコープを挿入して液の浸入の有無を確認

これらの作業の安全上の管理事項として、負圧の管理を行なった。負圧を最大 -40 kPa とすることで、万が一大量に濃縮缶内の液が浸入した場合でも濃縮缶の管台を超えることはなく、作業員への被ばくや汚染は防止できる。

※10：ハーゲン・ポアズイユの式による流量評価から、損傷の大きさを $10\text{ }\mu\text{m}$ とした場合、180分間で 0.016 cm^3 程度の液が浸入し、保護管底部に液面が水平な状態で溜まるとした場合、高さ 0.25 mm 、直径 6.4 mm の液溜まりとなる。観察に用いたビデオスコープは、事前の性能確認において、 0.03 mm の穴径（発泡試験用試験片）の視認が可能であることを確認していることから、ビデオスコープによる保護管内に浸入した 0.016 cm^3 程度の液の視認は十分に可能であると考えられる。

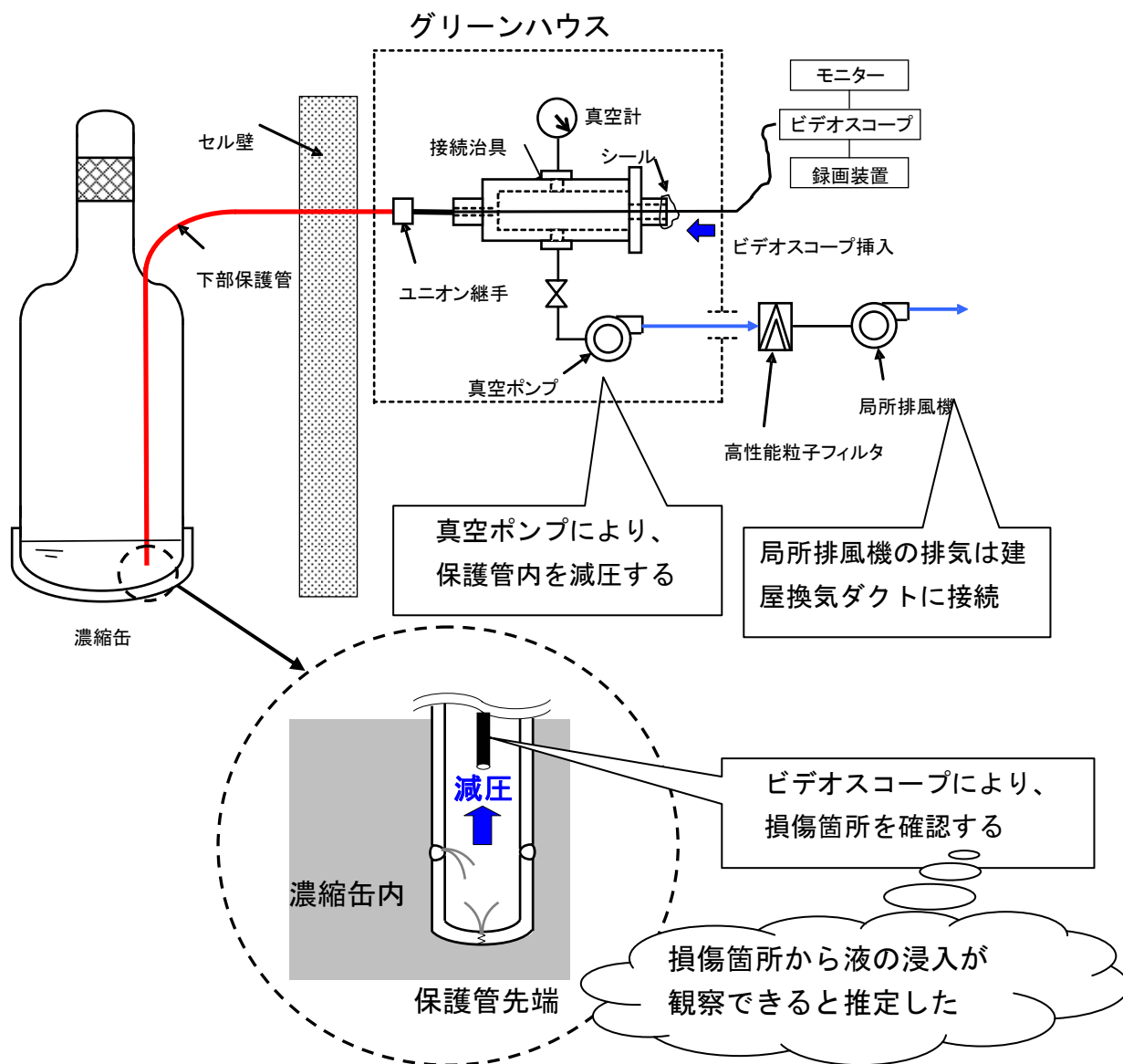


図16 保護管内液浸入確認装置の概要図

(2) 調査結果

保護管内を -24 kPa まで減圧し、15分間保持した後、ビデオスコープで観察したところ、液浸入は確認されなかった。また、 -40 kPa まで減圧し、45分間保持した後、ビデオスコープで観察したところ、液浸入は確認されなかった。

そのため、詰まりを除去する目的で圧力の脈動を5回与えた後、再度-40 kPaまで減圧し、60分間保持した後、ビデオスコープで観察したが、液浸入は確認されなかった。

さらに、-40 kPaの減圧状態で180分間保持し、ビデオスコープで観察したが、液浸入は確認されなかった。（図17、18、19 参照）



図17 ビデオスコープによる液浸入確認（60分保持後）



図18 ビデオスコープによる液浸入確認結果（180分保持後）

- ・底面に水滴なし
- ・散在している黒い物体は、内部清掃で取りきれなかったゴミ

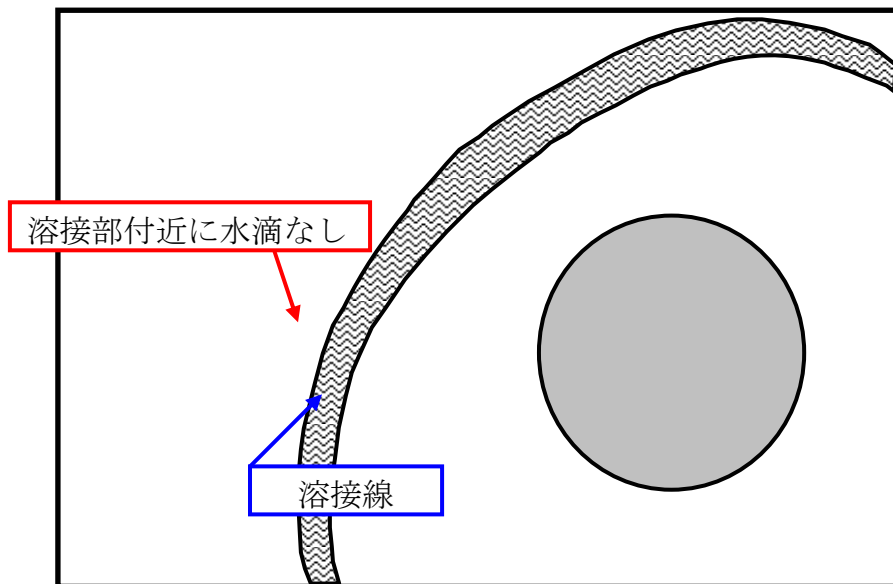


図19 ビデオスコープによる液浸入確認結果(溶接部確認)

3. 5 気泡による損傷箇所確認

(1) 調査方法

保護管内に少量の水（約 20 cm^3 ）を張った状態で保護管内を減圧し、損傷箇所より濃縮缶内部の気体を保護管内に流入させ、ビデオスコープで、気泡発生場所を観察することで、損傷箇所を確認する。（図 20 参照）

【実施概要】

- ① 保護管内に少量の水（約 20 cm^3 ）の張り込み
- ② 真空ポンプを保護管挿入口に取り付け、ビデオスコープをセット
- ③ 真空ポンプを起動し、保護管内を -24 kPa まで減圧した後、ビデオスコープで気泡発生状況を観察
- ④ 気泡の発生が見られない場合、 -40 kPa まで減圧したうえで観察を継続
- ⑤ 1 時間程度で気泡発生が見られない場合、一度ビデオスコープを外し 3 時間程度真空引き
- ⑥ ビデオスコープを再度挿入し、負圧を維持したまま観察

これらの作業の安全上の管理事項として、真空ポンプにより引かれる濃縮缶内の雰囲気、高性能粒子フィルタを通した局所排風機により排気し、建屋換気系のダクトに接続することによりグリーン区域に放出しない処置を講じた。

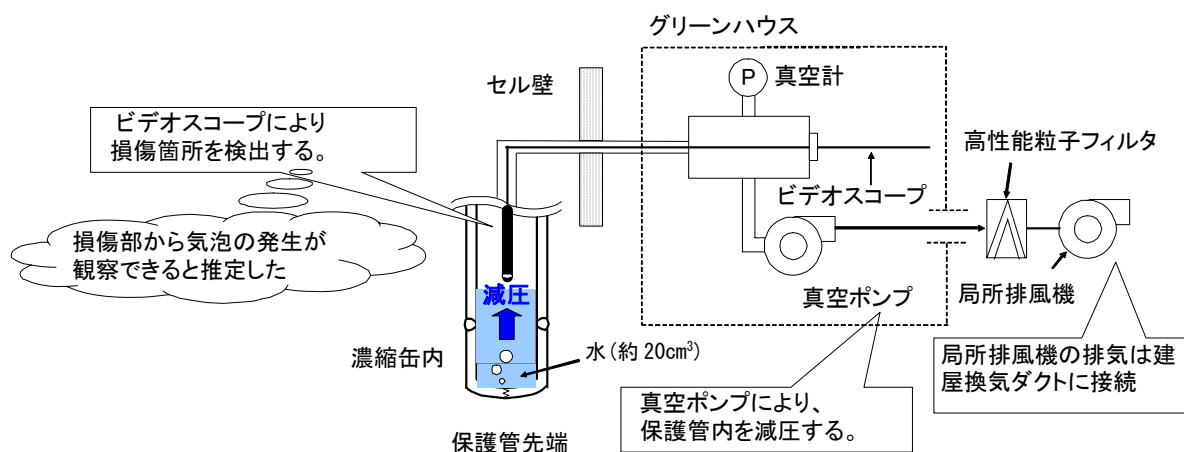


図 20 気泡による損傷箇所確認概要図

(2) 調査結果

保護管内を減圧した結果、水の溶存空気による気泡の発生^{※11}が見られたが、同一場所からの気泡の発生がないことから、損傷箇所からの気泡の発生ではないと考えた。従って、損傷箇所の特定には至らなかった。(図2-1 参照)

また、溶存空気の影響を確認するため、中部保護管を使用し同様の操作を実施したところ、同じく気泡の発生が確認された。(図2-2 参照)

なお、保護管内への水張りは遠隔操作で行っており、空気を巻き込まずに水張りを行うことができないため、水の溶存空気を完全に除去することは困難である。

※11 気泡は、以下の理由から、水の溶存空気と推定された。

- ・ビデオスコープによる観察で気泡の発生が見られたが、2回目の観察では前回と比較して気泡の発生は少なくなり発生場所も異なっていたこと。
- ・保護管内を減圧した場合には、気相圧力に比例して溶解度が下がるため、その分が気体となって発生する(ヘンリーの法則)。



気泡がランダムに発生

図2-1 下部保護管試験時の映像



気泡多数

図2-2 中部保護管試験時の映像

3. 6 保護管底部の残肉厚確認

(1) 調査方法

保護管底部の残肉厚を確認するために、超音波探傷器により、保護管底部の肉厚を測定した。

【測定方法及び範囲】

測定方法を図 2 3 に示す。測定は、漏えいが発生した下部保護管の底部、及び比較対象として上部保護管、中部保護管の底部について行った。なお、測定誤差を確認するために、各部位に対して 6 回の測定を行った。

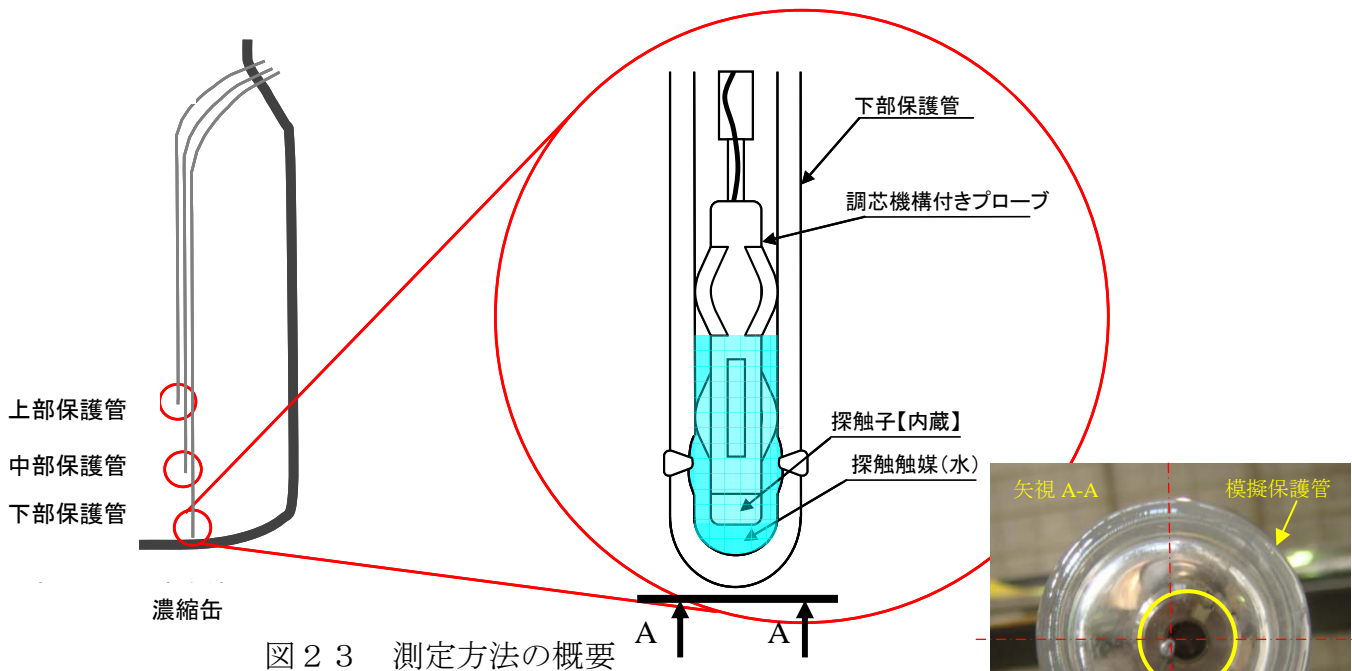
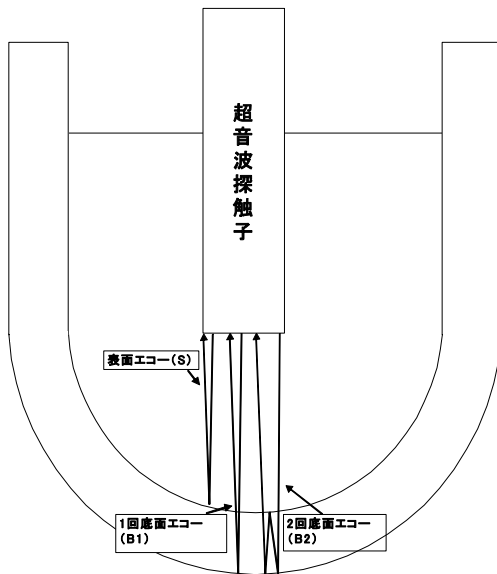


図 2 3 測定方法の概要

<参考> 超音波肉厚測定の方法



模擬保護管をアクリルで製作し、下部から観察した。調芯機構によりプローブが保護管のほぼ中心に来ていることを確認した。

○保護管先端部の肉厚測定方法

超音波パルス反射法 (JIS Z 2355) は、超音波が対象物を通過し伝搬する時間を計測し、計測値と音速から厚さを算出する方法。今回は、超音波探触子を用いて超音波測定し、B1-B2 間の間隔から厚さを求める多重エコー方式により保護管先端部の肉厚を評価した。

(2) 調査結果

測定結果を、表 5 及び図 2 4 に示す。

表 5 測定結果

測定対象	測定結果 (mm)
上部保護管	6.83±0.12
中部保護管	6.85±0.15
下部保護管	6.35

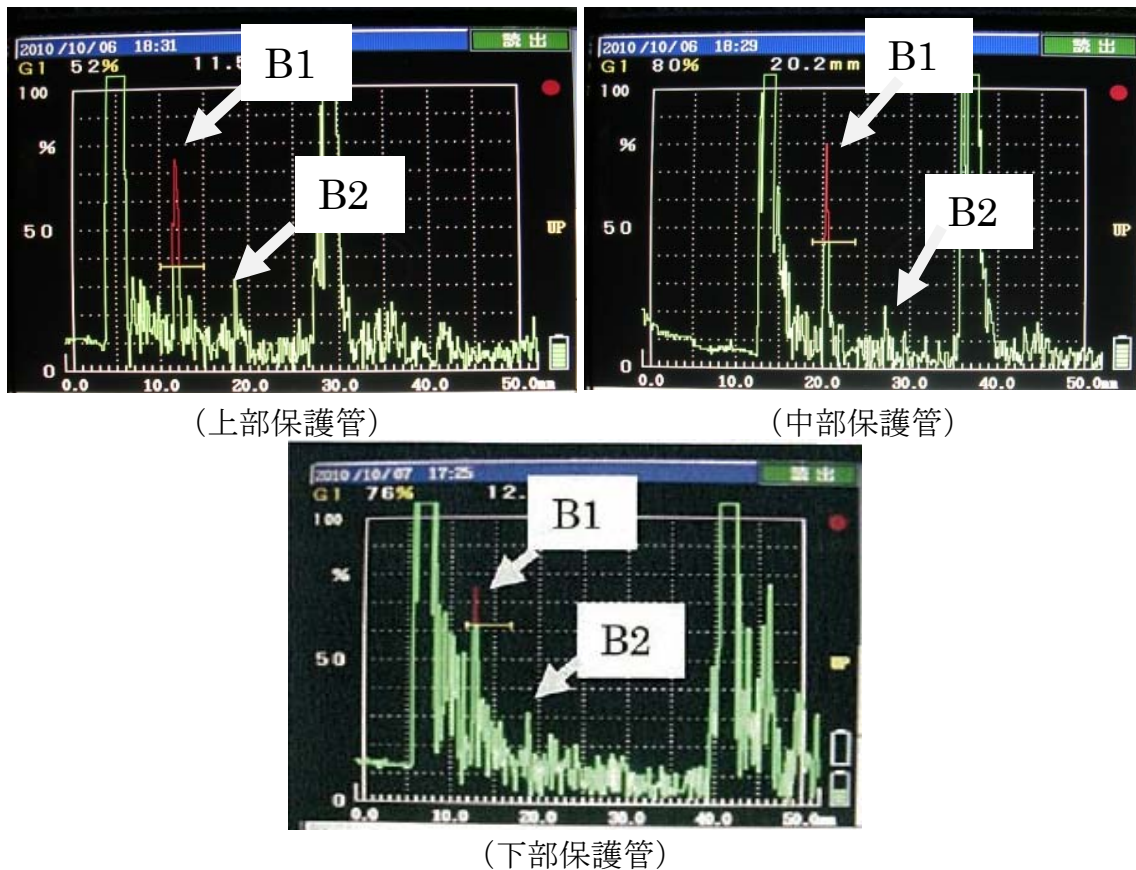


図 2 4 保護管の超音波測定のエコー

上部及び中部保護管の肉厚測定結果では残肉厚は設計値以上の 6.4 mm であったのに対し、下部保護管では僅かに設計値を下回っていた。また、下部保護管では B 2 のエコーが検出されにくく、2 回しかデータが得られなかったため、測定誤差の評価ができなかった。

図 2 5 に粒界腐食が生じた腐食部を有する試験片を用いた超音波肉厚測定の結果を示す。腐食部では肉厚の評価に必要な B 2 のエコーが検出できず、健全部に比べてノイズが増えていた。これは、腐食が進行して表面が荒れた

状態になると、散乱によるノイズが増え、B2エコーの検出ができなくなるためと考えられる。

下部保護管の測定結果ではノイズが大きくなりB2エコーが検出されにくくなっていたが、上部、中部保護管においてもノイズが見られた。これより、下部保護管は粒界腐食が生じた表面状態にあり、上部、中部の保護管でも脱粒には至らないが軽度の腐食が生じているものと推測した。

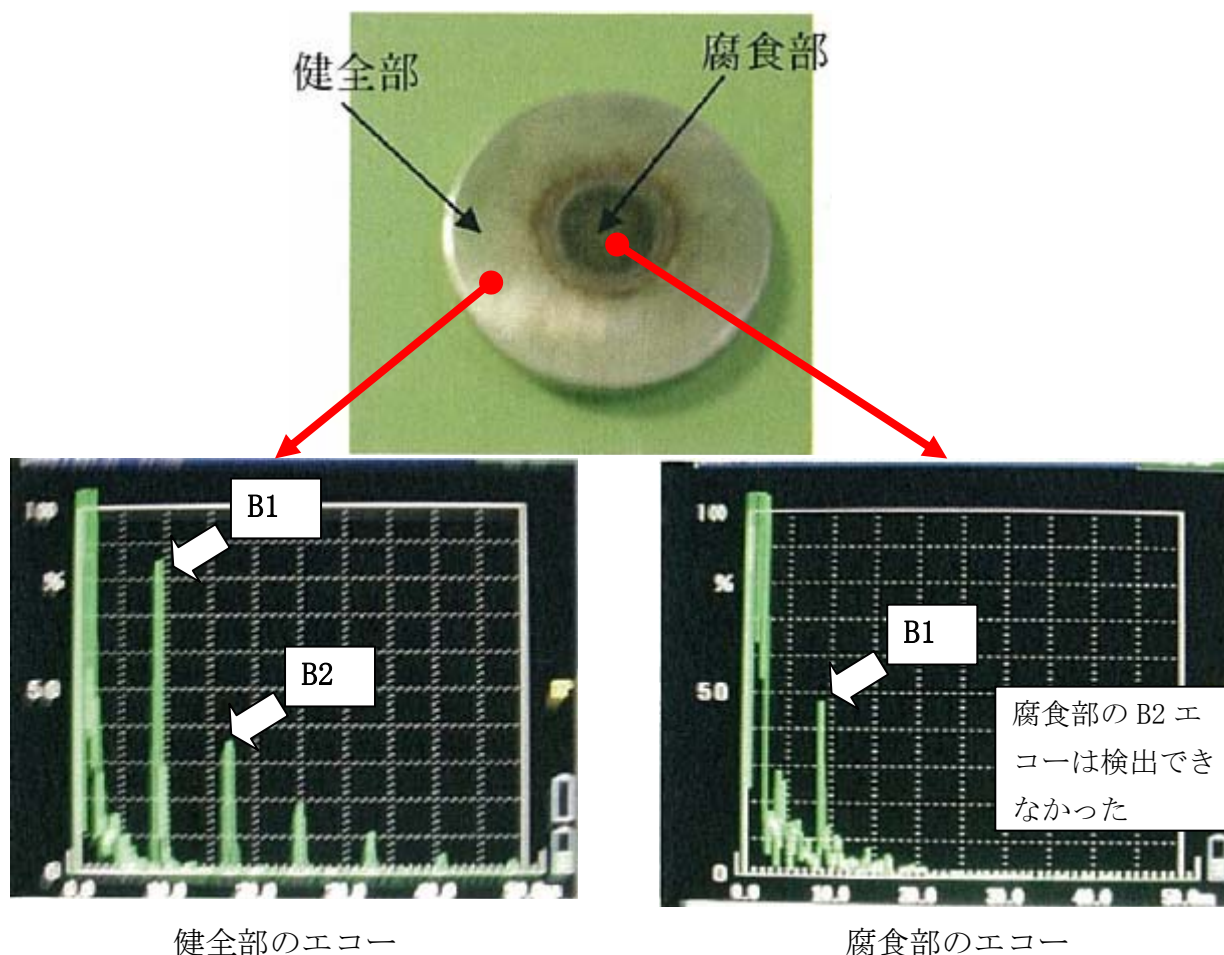


図 2 5 粒界腐食試験片による超音波肉厚測定結果

(3) 評価

超音波肉厚測定結果から、保護管底部の肉厚に関して以下の通り評価した。

- 下部保護管では設計値を下回っていた。上部、中部保護管共に底部の残肉厚は設計値以上あった。
- 下部保護管に対する超音波肉厚測定のエコーと粒界腐食が生じた試験体の超音波肉厚測定のエコーとを比較した結果として、下部保護管は粒界腐食が生じた表面状態にあると考える。また、上部、中部の保護管でも脱粒には至らないが軽度の腐食が生じているものと推測された。
- 上記から、当該保護管の底部では上部、中部と比較して腐食が進行していることが推測されるものの、全面腐食により損傷に至るような状態ではな

いと考えられる。

4. 調査結果のまとめ

保護管の調査結果は、以下のとおりであった。

- 保護管内の液は、液面はキャップ溶接線の下にあった。また、液は黒ずんだものであり、液外周部は茶褐色であった。
- キャップ溶接線付近及び上下のシーニング加工部には液垂れの痕跡は確認されなかった。
- 保護管内を加圧した圧力降下確認において、圧力降下は確認されなかった。
- 減圧による液浸入確認において、液の浸入は確認されなかった。
- 保護管底部の残肉厚確認において、下部保護管の底部の残肉厚は設計値を下回っていた。