

ピンホールによる高圧ガス事故の注意事項について

高圧ガス保安協会

1. 目的

高圧ガス事故（喪失、盗難を除く災害）の統計と解析の結果、高圧ガス事故の90%が漏えい事象である（文献1）。

漏えい事象が発生する損傷メカニズムは、腐食、疲労、応力腐食割れ、エロージョン／コロージョン、摩耗などの他、高圧ガス事故等調査報告書では、溶接部、母材などにピンホールが発生して漏えいする事象が報告されている。

ところが、高圧ガス事故で出現しているピンホールは、必ずしも損傷メカニズムとして明確とはなっていないことから、ピンホールがどのような状況下で発生し、どのような特徴を有し、事故に至るのか分析を試みた。

ここでは、ピンホールの事故について、高圧ガス事故統計の中から抽出整理して、ピンホールが発生する事象の特徴、発生部位、原因を解析し、高圧ガス事故の再発防止、未然防止を図るための注意事項を示すことを目的とする。

2. ピンホールの事故の抽出結果

高圧ガス事故データベースを用いて、平成19年から平成24年までの高圧ガス事故のうち、「ピンホール」をキーワードとして検索し、整理、解析した。この結果、121件のピンホールの事故が発生している（図1参照）。

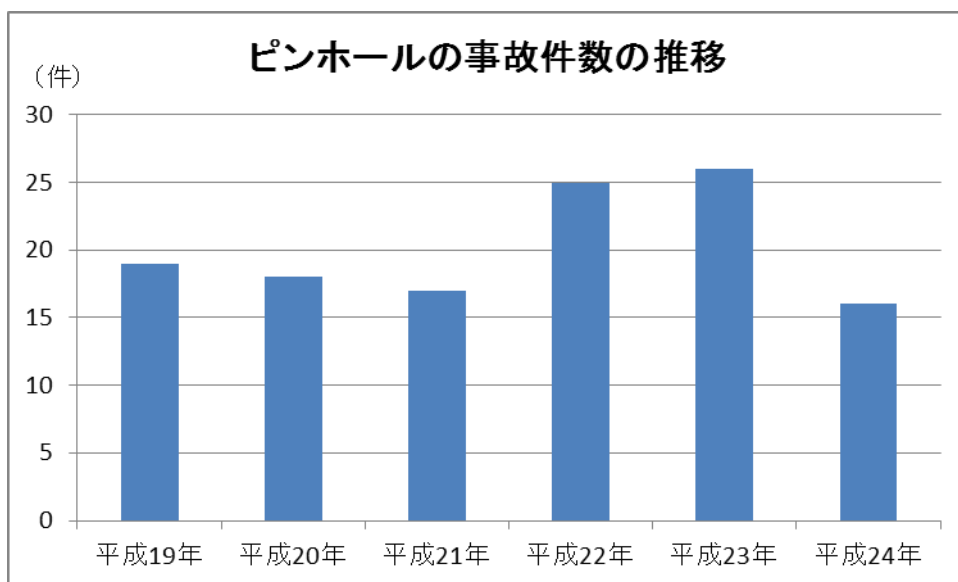


図1 ピンホールの事故件数の推移

高圧ガス事故データベースから抽出したピンホールの多くは、直径がごく小さい穴状の損傷（記録では、直径φ0.1mm以下からφ3mm程度まで記載）を指している。そして、ピンホールは、設備、配管、溶接部などで、内面から表面（表面から内面）へ貫通する針穴（もしくは空洞）のような経路が確立することで内部流体が漏えいし、事故となる。

ピンホールの事故のうち、データベースから1次分類した腐食事象によるピンホールの事故（72件、表1参照）と腐食事象以外によるピンホールの事故（49件、表3参照）に別けて、以下に示す。

2.1 腐食事象によるピンホールの事故

腐食事象によるピンホールの事故（72件）は、すべて漏えい事象である。全面腐食、局部腐食、腐食ピットなどに起因して発生したピンホールにより漏えいした事象、配管支持金具が腐食損傷して、配管母材のフレットング摩耗に起因して発生したピンホールにより漏えいした事象などがある。

次に、事故区分ごとの事故件数を表2に示す。

表1 腐食事象によるピンホールの事故件数（件）

年	溶接部	ろう付部	母材			合計
			配管	機器	その他	
平成19年	2		8	4		14
平成20年	5	1	5	2		13
平成21年		1	7		1	9
平成22年	1		6	7	1	15
平成23年	5		5	1		11
平成24年		2	2	5	1	10
合計	13	4	33	19	3	72
	18%	6%	46%	26%	4%	100%

表 2 事故区分ごとの事故件数（腐食事象）

事故区分	事故件数	
製造事業所	68	94%
一般則適用	15	21%
冷凍則適用	43	60%
コンビ則適用	7	10%
LP則適用	3	4%
消費	3	4%
その他	1	2%
合計	72	100%

- ① 腐食事象によるピンホールの事故は、配管（46%）、機器（26%）、溶接部（18%）、ろう付部（6%）などで発生している。
- ② 事故区分は、冷凍則適用事業所（60%）、一般則適用事業所（21%）、コンビ則適用事業所（10%）、LP則適用事業所（4%）、消費（4%）などである。
- ③ 冷凍則適用事業所（43件）の冷凍設備のうち、ガス別の内訳は、22件がフルオロカーボン22、7件がアンモニアとフルオロカーボン（番号なし）、1件がフルオロカーボン134aである。
- ④ 一般則適用事業所の事故（15件）のうち、11件がコールドエバポレーター（CE）の蒸発器、気化器（8件）、配管（3件）などのピンホールの事故であった。
- ⑤ コンビ則適用事業所は、配管が3件、機器が4件であった。
- ⑥ LP則適用事業所は、配管が3件であった。
- ⑦ 腐食事象によるピンホールの事故では、ピンホールは、漏れに至った損傷の形状を示しており、腐食事象が漏れに至る原因となっている。
- ⑧ 72件のピンホールの事故のうち、早期発見、早期対応に努めた結果、少量漏えいで収束している事故もあるが、冷凍設備では、発見が遅れた場合、ピンホールからの漏えいであっても、650kgの冷媒が漏えいしている。
- ⑨ 事故防止、拡大防止のためには、腐食（防食）管理、検査管理、施工管理のスパイラルアップとともに、異常の早期発見、早期対応のため、点検、パトロールの充実、漏えいセンサーの適正配置なども重要である。

2.2 腐食事象以外によるピンホールの事故

49件の事故のうち、冷凍設備において摩耗による破裂、破損等が2件カウントされたが、いずれも、ピンホールからの漏えい事象が先行して発生して

いることから、抽出されたピンホールの事故は、すべて漏えい事象である。
次に、事故区分ごとの事故件数を表 4 に示す。

表 3 腐食事象以外によるピンホールの事故件数 (件)

年	溶接部	ろう付部	母材			合計
			配管	機器	その他	
平成 19 年	5	0	0	0	0	5
平成 20 年	1	2	1	0	1	5
平成 21 年	5	2	1	0	0	8
平成 22 年	7	0	2	0	1	10
平成 23 年	7	2	3	2	1	15
平成 24 年	2	1	1	2	0	6
合計	27	7	8	4	3	49
	55%	14%	16%	8%	7%	100%

表 4 事故区分ごとの事故件数 (腐食事象以外)

事故区分	事故件数	
製造事業所	48	98%
一般則適用	10	21%
冷凍則適用	30	61%
コンビ則適用	4	8%
LP則適用	4	8%
移動	1	2%
合計	49	100%

- ① 腐食事象以外によるピンホールの事故は、溶接部 (55%)、ろう付部 (14%)、配管 (16%) などで発生している。
- ② 事故区分は、冷凍則適用事業所 (61%)、一般則適用事業所 (21%) が多く、コンビ則適用事業所と LP 則適用事業所は少ない (ともに 8%)。
- ③ 冷凍則適用事業所 (30 件) の冷凍設備のうち、ガス別の内訳は、11 件がフルオロカーボン 22、9 件がフルオロカーボン (番号なし)、4 件がアンモニアとフルオロカーボン 134a、2 件がフルオロカーボン 404A である。
- ④ 一般則適用事業所の事故 (10 件) のうち、9 件がコールドエバポレーター (CE) の配管、蒸発器などであった。
- ⑤ 移動 (1 件) は、移動式製造設備 (超低温窒素タンクローリー) であった。

- ⑥ コンビ則適用事業所は、配管が2件、CEが2件であった。
- ⑦ LP則適用事業所は、配管が3件、LPガス容器が1件であった。

3. ピンホールの事故の精査解析

表1から表4に基づき、事故事例1件ごとについて精査した結果を表5（腐食事象）、表6（腐食事象以外）に示す。

表5 腐食事象によるピンホールの事故件数（精査後）

事象	溶接部		ろう付部	母材	合計	
	隅肉	突合せ				
腐食	9	4	4	51	68	95%
疲労(注1)				1	1	1%
摩耗				3	3	4%
合計	9	4	4	55	72	100%
	12%	6%	6%	76%	100%	
	うち、溶接不良		うち、ろう付不良 (注2)			
	1	0	0			

- ① 表1で腐食事象として抽出した事故のうち、精査後の表5では、1件が割れ（漏えいはピンホールからで、原因は、疲労または応力腐食割れ（SCC）による割れと報告）、3件が摩耗事象による漏えい事故であった。このうち、摩耗事象は、配管の支持金具が腐食により損傷し、その後、振動などにより配管母材がフレットング摩耗により減肉した結果、ピンホールが貫通して漏えいした事象である。
- ② 溶接部のうち、溶接不良があると報告されている事例は1件であった。
- ③ 腐食事象によるピンホールの事故では、ピンホールとして、直径がごく小さい穴状の損傷（記録では、直径φ0.1mm以下からφ3mm程度まで記載）を示している。設備、配管、溶接部などで腐食（外面腐食、内面腐食）の経過としてピンホールが発生し、針状の穴が貫通して、内部流体が漏えいし事故となっている。
- ④ 腐食によるピンホールの事故は、腐食の結果、表（内）面へ貫通する針穴のような経路が確立して内部流体が漏えいすることで、高圧ガス事故となっている。
- ⑤ ピンホールの事故は、早期の発見により、少量漏えいで影響範囲が拡大することなく、局所に留めている。ただし、発見が遅れた場合、少量で

も長期に漏えいして、冷凍設備の冷媒の全量が漏えいした事例もある。

表 6 腐食事象以外によるピンホールの事故件数（精査後）

事象	溶接部		ろう付部	母材	合計	
	隅肉	突合せ				
疲労(注 1)	14	1	8	1	24	49%
腐食	5	2	2	6	15	31%
摩耗	0	0	0	6	6	12%
不明	0	0	2	2	4	8%
合計	19	3	12	15	49	100%
	39%	6%	24%	31%	100%	
	うち、溶接不良		うち、ろう付不良 (注 2)			
	18	2	9			

- ① 表 3 で溶接部としてカウントされた 27 件のうち、ろう付部の事故が 5 事例あった。
- ② 49 件の事故のうち、24 件（49%）が CE などの温度変動、圧縮機配管などの振動を受ける部位で疲労により発生している。
- ③ 精査した結果、15 件（31%）の腐食事象が含まれていることが判明した。
- ④ 6 件（12%）が摩耗事象による漏えい事故である。
- ⑤ 溶接部（22 件、100%）のうち、隅肉溶接が 19 件（86%）である。
- ⑥ 溶接部のうち、20 件（91%）が溶接部になんらかの溶接不良（ブローホール、融合不良など）が内在していたと報告されている。
- ⑦ ろう付部（12 件、100%）のうち、9 件（75%）がろう付部になんらかのろう付不良（ブローホール、ボイドなど）が内在していたと報告されている。
- ⑧ 溶接部、ろう付部に内在するブローホール、ボイドなどが、内部で合体し、外面腐食、摩耗などにより外（内）表面に貫通して、内部流体が漏えいしている。
- ⑨ ピンホールからの漏えい量は、微小漏えいと表記されている。ただし、冷凍設備で、漏えいの発見が遅れるなどして 2,400kg の冷媒が漏えいした事例もある。
- ⑩ 漏えい部が針穴状、点状の損傷であることからピンホールと判断できると推定できる。
- ⑪ 割れの止端部が表面に貫通し、ピンホール様の穴と判断して、ピンホー

ルの事故と報告している事例がある。ただし、割れは、ピンホールと区別する必要がある。

- ⑫ 配管、機器（蒸発器コイル）などの母材で腐食事象（6件）が発生している。腐食は、保温材下、水質劣化などに起因する外面腐食による事象と腐食性流体に起因する内面腐食による事象がある。
- ⑬ 摩耗事象（6件）は、冷凍設備の配管、伝熱管などで発生している。

注1：ここでは、劣化・腐食が原因と報告されている事故事例は、事故の発生状況、設備状況などに鑑み、疲労事象、腐食事象、摩耗事象などを判別、推定した。

注2：ろう付不良

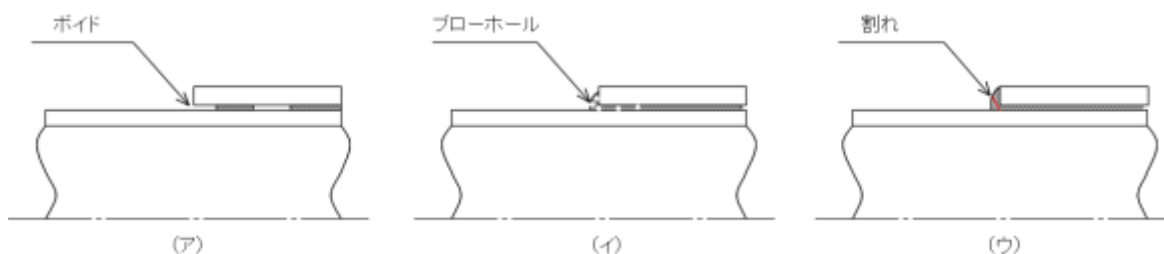


図 ろう付不良の一例

ろう付部に内在するボイド（ろうの行き渡っていない部分）、ブローホール、割れなどの欠陥（上図参照）。

4. 事故事例

①ピンホールの概念



写真 配管表面に貫通したピンホールの例

1) 浸透探傷試験 (PT) の結果、小さな点状の指示模様を確認、2) 目視の結果、小さな針状の穴を確認、3) 発泡液により、小径の穴からカニ泡状の漏えいを確認など、小径である開口部の形状から、ピンホールと報告している。

②腐食に起因するピンホールの例



写真 内面腐食に起因した溶接部のピンホール

設備の母材、配管、溶接部などの腐食に起因して、外（内）表面に貫通した針穴をピンホールと称している。内外面を貫通する流路が形成されて、内部流体が漏えいすると、ピンホールの事故と報告されている。

③隅肉溶接部のピンホールの例

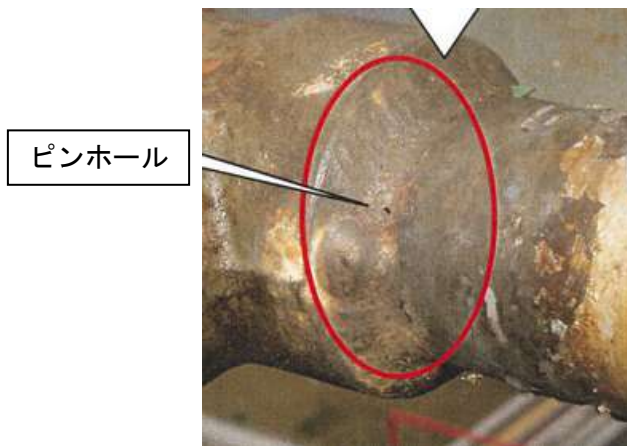


写真 内面腐食に起因した隅肉溶接部のピンホール

隅肉溶接部に内在するブローホール、融合不良または、腐食による減肉などに起因して、減肉により外表面に貫通した針穴をピンホールと称している。内外面を貫通する流路が形成されて、内部流体が漏えいすると、ピンホールの事故と報告されている。

④摩耗からの漏えいの例

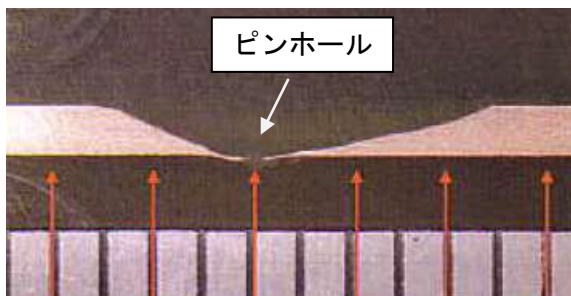


写真 摩耗に起因した配管のピンホール

配管、導圧管などが摩耗により減肉を起因して、外表面に貫通した針穴をピンホールと称している。内外面を貫通する流路が形成されて、内部流体が漏えいすると、ピンホールの事故と報告されている。

⑤ろう付に起因するピンホールの例



写真 ろう付不良に起因したピンホール

ろう付部に内在するボイド、ブローホールなどに起因して、外表面に貫通した針穴をピンホールと称している。内外面を貫通する流路が形成されて、内部流体が漏えいすると、ピンホールの事故と報告されている。

⑥ 隅肉溶接部の割れ（割れとピンホールは区別する必要がある）

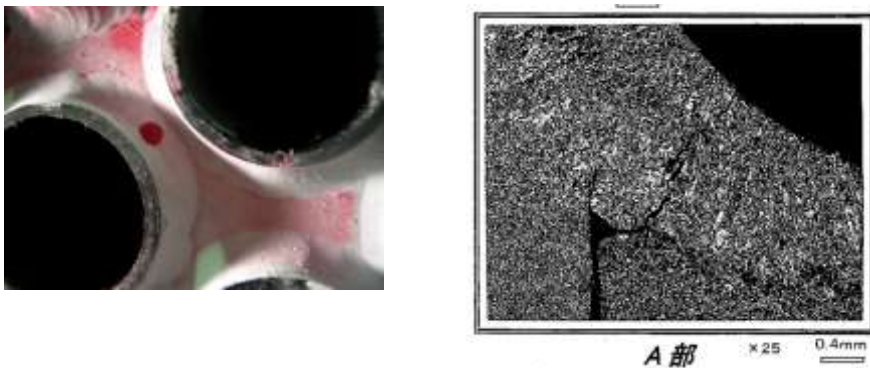


写真 隅肉溶接部に発生した割れ

この事例は、チューブと管板のシール溶接部（隅肉溶接）に融合不良（溶け込み不足）が存在しており、融合不良を起点に割れが発生し貫通に至り、高圧ガスが漏えいした。この事象は割れであり、腐食、摩耗などによるピンホールとは区別する必要がある。

⑦ ピンホールの事故事例（内面腐食から外面に貫通して漏えい）

1. 事故区分 製造事業所（コンビ）
2. 発生日月 平成 19 年 3 月 8 日
3. 発生場所 製油所
4. 負傷者 なし
5. 物質名 液化石油ガス、ナフサ
6. 事象 漏えい
7. 設備区分 接触改質装置、配管
8. 事故原因 製作不良、腐食管理不良
9. 事故概要

接触改質装置のシェル側上流配管（8B×STPG370、Sch40）において、溶接部にピンホールが確認され、少量の可燃性ガス（ガソリンと液化石油ガスの混合ガス）が漏えいした（推定漏えい量：1リットル）。

検査の結果、漏えい部から上流側 1800mm に渡り、幅約 30mm の帯状の減肉が確認された。原因は、当該溶接部に初期不良（溶込不足）があったため、溶接不良部が腐食により貫通し、内部流体が漏えいしたと考えられる。

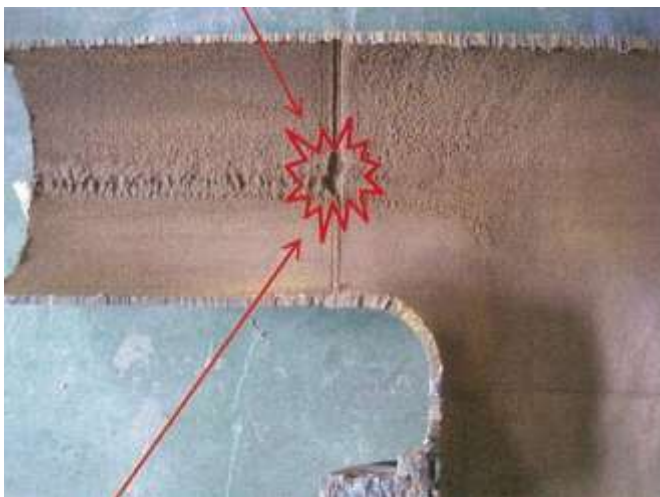


写真1 ピンホール発生部位

⑧ ピンホールの事故事例（ろう付不良から外部に貫通して漏えい）

1. 事故区分 製造事業所（一般）
2. 発生日月 平成 20 年 5 月 2 日
3. 発生場所 一般化学
4. 負傷者 なし

5. 物質名 酸素
6. 事象 漏えい
7. 設備区分 CE、配管
8. 事故原因 製作不良
9. 事故概要

液化酸素CEの保安検査を実施していたところ、液送ポンプガス戻り配管および戻りベント弁接続部分のろう付部より酸素ガスの漏えいが発見された。

調査の結果、製作時のろう付不良が原因と思われるピンホールが確認された。塗装等の劣化などにより顕在化したものと推定される。

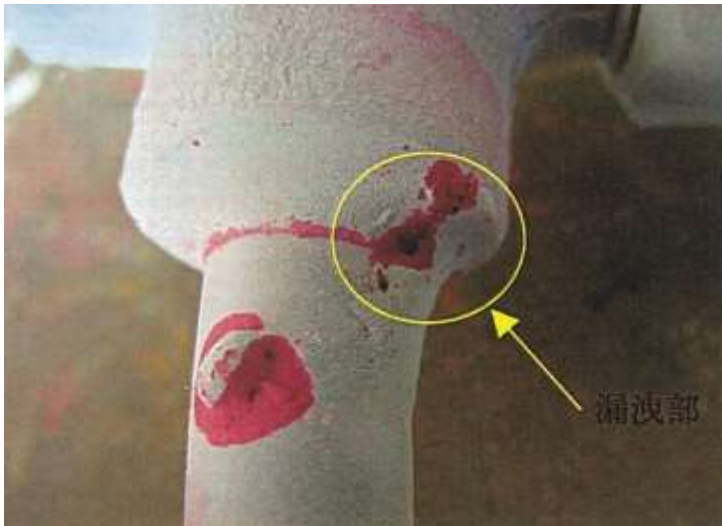


写真2 ピンホールの状況（漏えい部）

⑨ ピンホールの事故事例（溶接不良から外部に貫通して漏えい）

1. 事故区分 製造事業所（コンビ）
2. 発生日月日 平成24年5月27日
3. 発生場所 製油所
4. 負傷者 なし
5. 物質名 水素
6. 事象 漏えい
7. 設備区分 アルキレーション施設、反応器
8. 事故原因 製作不良
9. 事故概要

アルキレーション施設においてパトロール中の作業員が、反応器より内容液が漏えいしているのを発見した。

詳細点検を行ったところ、シールオイルドレンボス溶接部のピンホールからの漏えいであることが判明した。原因は、この反応器は1972年に製作した機器であり、製作時のバルブのボスと配管の隅肉溶接に溶着金属の溶接融合不良があったためと推定される。



写真3 隅肉溶接部のピンホール（矢印）

5. ピンホールのまとめ

- ① 事故事例から抽出したピンホールは、約70%が腐食、摩耗などで母材、溶接部が減肉し、腐食ピット、孔食などから、外（内）表面に、小径の針穴様の開口部が貫通して、漏えいに至っている。
- ② ピンホールの特徴として、材料の内部にある欠陥（鋳造欠陥、鍛造欠陥）、溶接欠陥、ろう付不良などの製造欠陥（内部欠陥）が使用前の検査で検出されず、気密試験の判定基準も満足する。しかし、使用中の内外表面の減肉により、内部欠陥が内外表面に開口し、内面から外面へ貫通すると、漏えいに至る。この事象を、ピンホールという。
- ③ ②のピンホールが発生する減肉のメカニズムは、腐食、エロージョン／コロージョン、摩耗などである。また、内部で欠陥が合体することもあり、合体のメカニズムは、腐食、エロージョン／コロージョン、疲労などである。
- ④ 内部欠陥が貫通して発生するピンホールは、内部で複雑な形状をしており、漏えい経路も単純な円筒形状ではない。
- ⑤ ピンホールは、割れ、き裂と明確に区別する。

6. 注意事項

ピンホールの事故（121 件）を抽出、解析した結果、69%（83 件）が腐食事象であり、21%（25 件）が疲労事象、7%（9 件）が摩耗事象に起因する事故である。

ピンホールの特徴として、溶接部、ろう付部では、製作時の溶接不良、ろう付不良などの内部欠陥に起因して漏えい事象が発生していることが明らかとなった。また、母材に欠陥を有する場合もある。

これらを踏まえ、ピンホールの漏えい事故を防止するための注意事項を次に示す。

- ① ピンホールから漏えいする高圧ガス事故は、ピンホールの発生メカニズムを正確に把握する必要がある。腐食、摩耗などの損傷メカニズムを確認し、内部欠陥の有無を踏まえ、事故状況と発生原因を解析、記録し、再発防止対策を検討することが重要である。
- ② 疲労、SCCなどで発生する割れ、き裂などと、ピンホールは明確に区別する必要がある。
- ③ 溶接部の溶接不良と銅配管、バルブなどのろう付不良は、稼働後の腐食、摩耗などにより内部欠陥が表面化するので、溶接部、ろう付部の製作、施工管理の向上、非破壊検査の実施など、接合部の健全性を確保する必要がある。
- ④ 設備、配管が溶接で製作されているのか、ろう付なのか、取扱う設備の実況を把握し維持管理することが重要である。
- ⑤ 摩耗による漏えい事象を防止するためには、配管、導圧管などを支持金具、サポートなどで確実に固定し、定期的を確認、維持していくことが重要である。特に、計装配管、導圧管など小口径配管の摩耗損傷に注意する必要がある。
- ⑥ 腐食による漏えい事象を防止するためには、材料、装置、流体、操業に応じた設計、製作、運転、維持において対策を講ずることが重要である。
- ⑦ 腐食、摩耗などによるピンホールからの漏えい事象は、パトロール、日常点検、定期検査、保安検査などによる早期発見、早期対処が重要である。

文献 1)

小林英男、“高圧ガス事故の統計と解析”、高圧ガス保安協会、(2014 年 2 月)