

回転機器の事故の注意事項について

高圧ガス保安協会

1. 目的

高圧ガス設備において、回転機器は高圧ガスを運ぶ重要な機器である。回転機器に関する事故は、昨今から継続的に発生しており、平成19年から平成24年の6年間で74件発生し、対策が課題となっている。このため、回転機器に関する事故の再発防止、未然防止に向け問題点を抽出し、今後の対策を図るための注意事項をまとめた。

なお、ここでは回転機器の事故として、高圧ガス事故データベースから「圧縮機、ポンプなどの回転機器」を対象として抽出し、回転機器を圧縮機、ポンプ、ファン別に、回転式、往復式及びその他で区分して事故の傾向を解析した。すなわち回転機器は、往復機器を含む動機器の総称である。部位ごとには、回転機器本体、クーラ、熱交換器、回転機器を稼働させるための付属品、配管及びその他に区分した。主要回転機器には攪拌機もあるが、漏えいに至らないことが多く、事故にカウントされないために除外した。

2. 事故の統計

平成19年から平成24年の6年間の高圧ガス設備における回転機器に関する事故(以下回転機器の事故という)の件数の推移を図1に示す。回転機器の事故は74件発生しており、その内訳は漏えい、爆発、火災、破裂・破損などである。事故は、平均すると年間10件を超える高い水準で発生しており、平成21年には20件の事故が発生している。

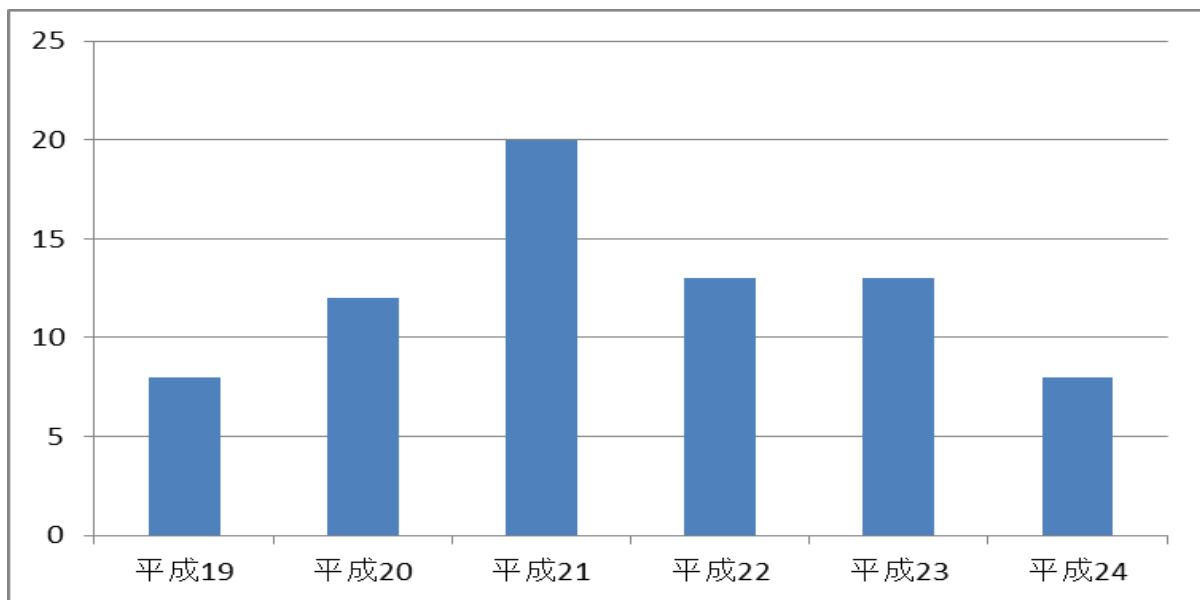


図1 回転機器の事故件数の推移

規制対象ごとでは、製造事業所が96%、消費が3%、その他が1%となっていた。

製造事業所の内訳では、一般高圧ガス保安規則適用製造事業所が58%、コンビナート等保安規則適用製造事業所が20%、冷凍保安規則適用製造事業所が16%、液化石油ガス保安規則適用製造事業所が3%であった。消費中は3%、移動中は発生していなかつ

た。一般高圧ガス保安規則適用製造事業所が最も多く、クーラ、熱交換器と配管で多く発生していた。コンビナート等保安規則適用製造事業所と冷凍保安規則適用製造事業所では、本体と付属品が多めになっていた。

3. 事故の解析

次に、事象(漏えいなど)で分類した結果を図2に示す。漏えい事象が事故件数に占める割合は76%である。また、爆発、火災に至った事象は9%、破裂・破損は14%である。

漏えい事象における内訳では、漏えい①(機器、配管などの本体の損傷、破壊による漏えい)が62%と多く、漏洩②(フランジなどの締結部、バルブなどの開閉部と取付部、可動シール部からの比較的微少な漏えい)は10%、漏えい③(誤開閉、開閉忘れ、液封などによる漏えい)は4%であった。

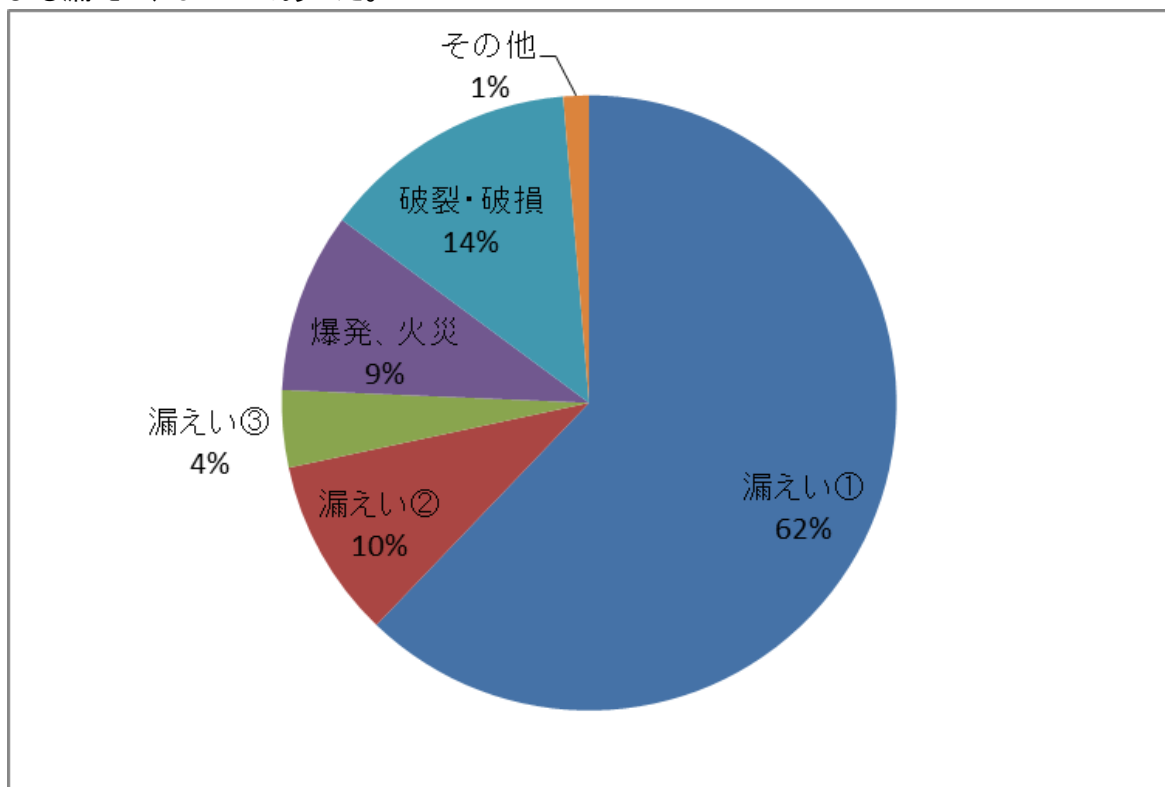


図2 回転機器の事故の事象ごとの分類

漏えい①の事象のメカニズムごとの分類を図3に示す。疲労が72%と圧倒的に多く、摩耗は11%、腐食が6%、その他が11%であった。

漏えい②の場合は、締結部が86%、その他が14%であった。

漏えい③の場合は、誤操作、開閉忘れが多かった。

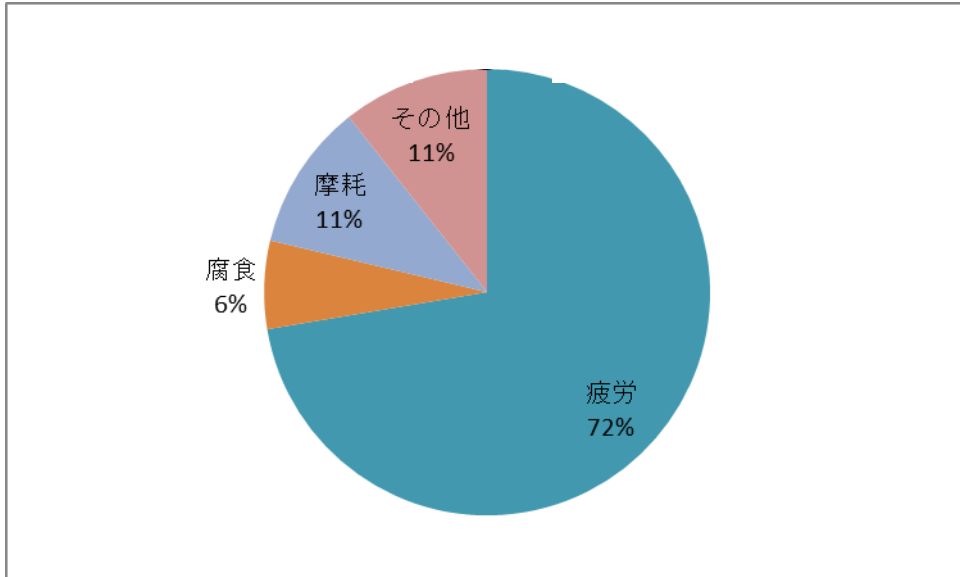


図3 漏えい①の事象のメカニズムごとの分類

回転機器の事故原因の分類を図4に示す。点検不良が最も多く32%を占める。次いで、設計不良、製作不良が27%、誤操作など(誤操作、誤判断、認知確認ミス)が12%、施工管理不良が7%、締結管理不良が4%、不明が12%であった。

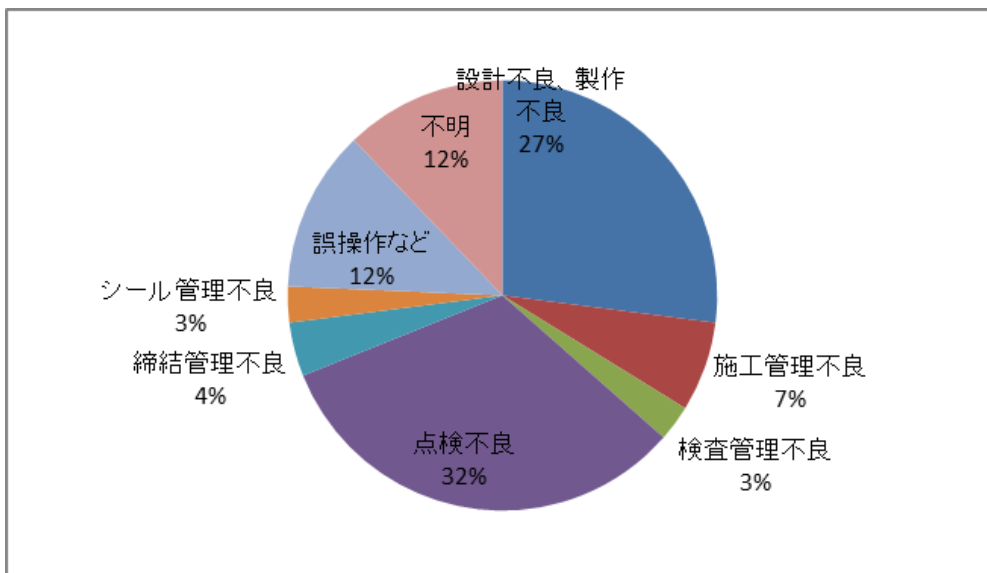


図4 回転機器の事故原因の分類

漏えい①で最も多い疲労の事故原因の分類を図5に示す。ここでは、設計不良、製作不良が53%を占める。次いで点検不良が28%、施工管理不良が13%、検査管理不良が6%であった。

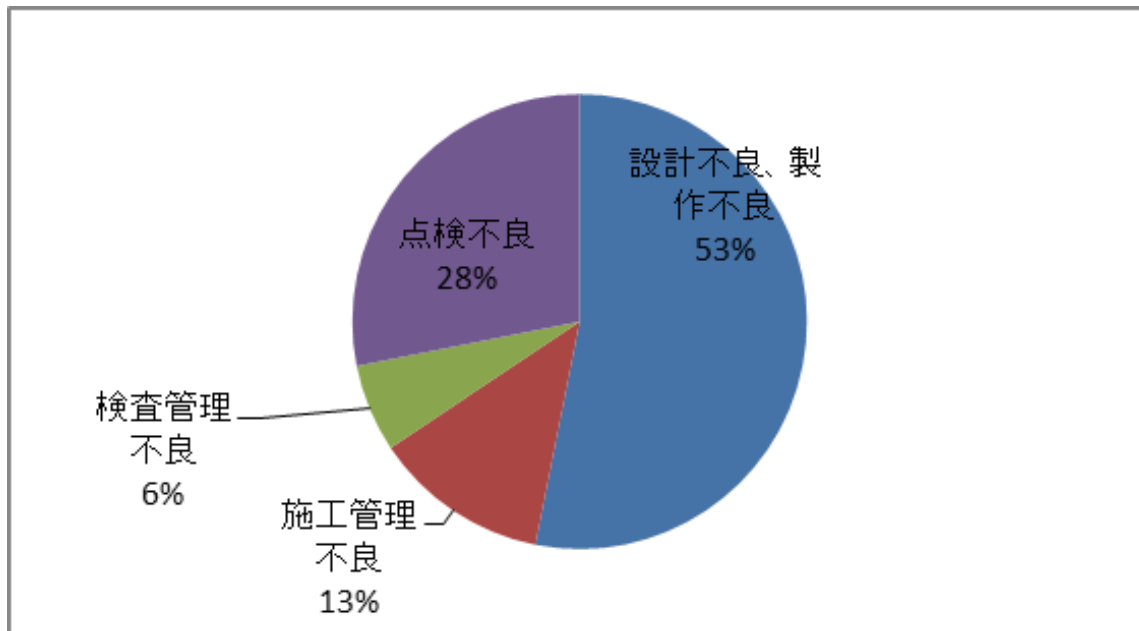


図5 漏えい①の疲労の事故原因の分類

4. 機器及び部位の分類での統計

機器及び部位の分類を以下に示す。機器(100%)の内訳は、圧縮機が74%、ポンプが23%、ファンが3%である。圧縮機の統計を表1に、ポンプ及びファンの統計を表2に示す。機器はさらに、回転式、往復式、その他に分類している。

圧縮機の部位では、クーラ、熱交換器が23%、付属品18%、本体17%、配管16%である。クーラ、熱交換器では、溶接部が最も多く、次いでろう付け部、本体、ガスケットの順である。付属品では、ドレン系、電動機、安全弁、油圧分離器、逆止弁の順である。本体では、メカニカルシールが多く、次いでシリンダ、クランク室、シャフト、基礎ボルト、ベルト、パッキンなどである。配管では、配管フランジ、配管本体、計装配管、フレキなどで発生している。

圧縮機のうちで、往復式は回転式よりも事故件数は約2倍近くであり、その主要部位はクーラ、熱交換器である。圧縮機の事故の主要な場所はCNGスタンドであり、文献によると、CNGスタンドでは圧力の高い能力の大きな圧縮機を使用しているため振動の影響が大きいこと、またガス温度を下げるためクーラを設置しており、クーラで大きな熱勾配が発生し疲労が生じやすくなっていること、があげられる。

ポンプの主要部位は、本体9%、付属品5%、配管3%である。本体では、シャフト、軸受け、ポンプ本体、シリンダ、ベルトなどで発生している。付属品では、ストレーナ、電動機、安全弁で発生している。配管では、溶接部、吸い込み配管、サポートなどで発生している。

ポンプは圧縮機とは逆に、回転式が往復式に比べて事故件数が3倍以上である。回転式の方が設備数の多いことが、原因の一つにあげられる。

ファンの部位は、本体1%、付属品1%である。室外機と電動機で発生している。

表1 回転機器の事故の統計(平成19~24年)

平成 年	事故 件数	圧縮機(回転式)					圧縮機(往復式)					圧縮機(その他)							
		本体	クーラ、 熱交換器	付属品	配管	その他	本体	クーラ、 熱交換器	付属品	配管	その他	本体	クーラ、 熱交換器	付属品	配管	その他			
19	8	3	1	1	1	0	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	12	2	1	0	0	1	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	21	4	2	0	1	1	0	11	2	6	1	2	0	0	0	0	0	0	0
22	12	4	1	0	2	1	0	7	1	3	0	3	0	1	0	0	1	0	0
23	13	4	1	0	2	1	0	6	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
24	8	1	0	0	0	1	0	4	1	0	2	1	0	1	0	0	1	0	0
合計	74	18	6	1	6	5	0	35	7	16	5	7	0	2	0	0	2	0	0
(%)	(100)	(24)	(8)	(1)	(8)	(7)	(0)	(47)	(9)	(22)	(7)	(9)	(0)	(3)	(0)	(0)	(3)	(0)	(0)

表2 ポンプ及びファンの事故の統計(平成19~24年)

平成 年	ポンプ(回転式)					ポンプ(往復式)					ポンプ(その他)					ファン			
	本体	付属品	配管	その他		本体	付属品	配管	その他		本体	付属品	配管	その他		本体部	付属品	その他	
19	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	3	3	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
21	5	2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
合計	10	6	2	1	1	3	1	1	1	0	4	1	0	1	1	2	1	1	0
(%)	(14)	(8)	(3)	(1)	(1)	(4)	(1)	(1)	(1)	(0)	(5)	(1)	(0)	(1)	(1)	(3)	(1)	(1)	(0)

5. 事故原因ごとの事例

事故原因ごとの事例を、表3に示す。

原因	事例	分野	機器	事故概要
点検不良	①	製造一般	圧縮機	CNGスタンド圧縮機のシリンダヘッドのOリングが摩耗
	②	製造一般	圧縮機	CNGスタンド圧縮機のクーラ部サポートの緩みにより振動
	③	製造一般	圧縮機	運転中の振動及び熱応力(間欠運転による熱サイクル)により引張り応力が発生し、その繰り返しにより伝熱管ろう付け部で破損
	④	製造冷凍	圧縮機	ガスケットの交換期限の管理ミス
	⑤	製造冷凍	圧縮機	電動機の配線が接続される結線ボックス内のゴム製パッキンが劣化
	⑥	製造冷凍	圧縮機	電動機コイルの絶縁不良
	⑦	製造コンビ	圧縮機	フレキシブル管を寿命時期を超えて長期間使用していたため、繰返し応力により疲労破壊
	⑧	製造コンビ	圧縮機	オイルシール配管の一部が外面腐食で損傷(写真1参照)
	⑨	製造冷凍	ポンプ	運転時間3000時間ごとのエアコン点検を、実際には3年に1回程度の点検頻度
	⑩	製造一般	ポンプ	ピストン部分のパッキンが、通常より速く摩耗してガタつきが発生
	⑪	製造一般	ポンプ	Vベルトの張りが緩め
	⑫	製造コンビ	ポンプ	電動機軸受部が摩耗し、摩擦熱により高温となって、電動機及びポンプの軸が破断
	⑬	製造一般	ポンプ	日常のポンプ起動、運転を行う際の振動により、安全弁の設定圧力が徐々に変化
製作不良 設計不良	①	製造一般	圧縮機	ろう付け肉盛量の偏りで応力集中によりき裂
	②	製造一般	圧縮機	クーラ入口部分の溶接不良によりき裂(写真2参照)
	③	製造一般	圧縮機	新設後57時間での運転でクーラ入口溶接継手と短管の溶接部からのエア漏れ
	④	製造一般	圧縮機	冷却器入口継手と伝熱管の溶接不良(②と類似)
	⑤	製造一般	圧縮機	フレキシブルホースの変位を考慮せず
	⑥	製造一般	圧縮機	振動により圧力計導管とサポートアングルが摩擦により損傷
	⑦	製造一般	ポンプ	配管のサポートが不足
誤操作など	①	製造コンビ	圧縮機	装置起動時の寸動を実施しなかったため、装置構成部品に熱ひずみが発生
	②	製造コンビ	圧縮機	パージ配管の縁切りが未実施で水素が逆流
	③	製造一般	ポンプ	LNGポンプへの液相充てんが急速
	④	製造冷凍	ポンプ	手動運転ではインターロックが作動しないということを、理解しないまま連続運転
施工不良	①	製造コンビ	圧縮機	クランプ締付けボルトが緩んだことによる、プランジャーの取付け不良
	②	製造冷凍	圧縮機	電動機コイルを固定するステータ固定ボルトを取り付けた際の締付けトルク不足
	③	製造一般	圧縮機	現地での配管取付け作業不良(過剰締付け)
火災	①	製造一般	ポンプ	Vベルトが摩擦で高温となり着火
	②	製造コンビ	ポンプ	噴出したプロセス流体に、ポンプ高温部の衝撃火花、または静電気により着火
	③	製造コンビ	ポンプ	メカニカルシールが破損し、内部の原油が漏えいし、摩擦熱により軸受部が着火
	④	その他	ファン	電動機が加熱し、近くにあった原料が発火

事例の代表的写真を、写真1及び写真2に示す。

潤滑油漏洩位置

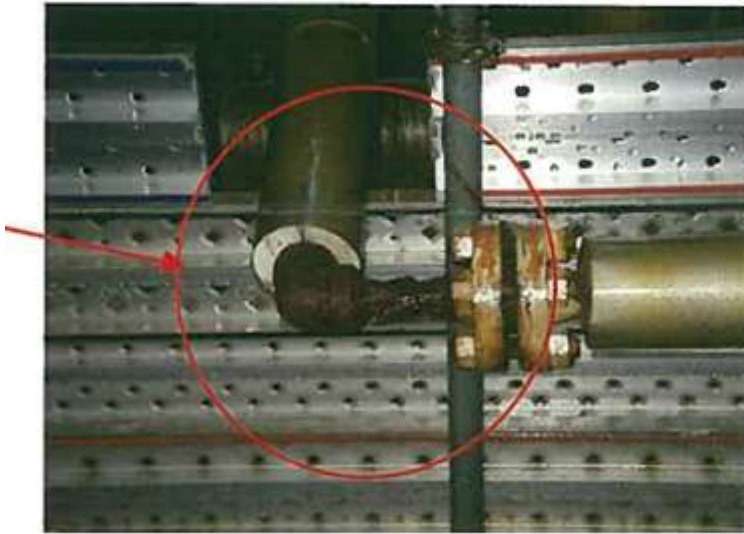
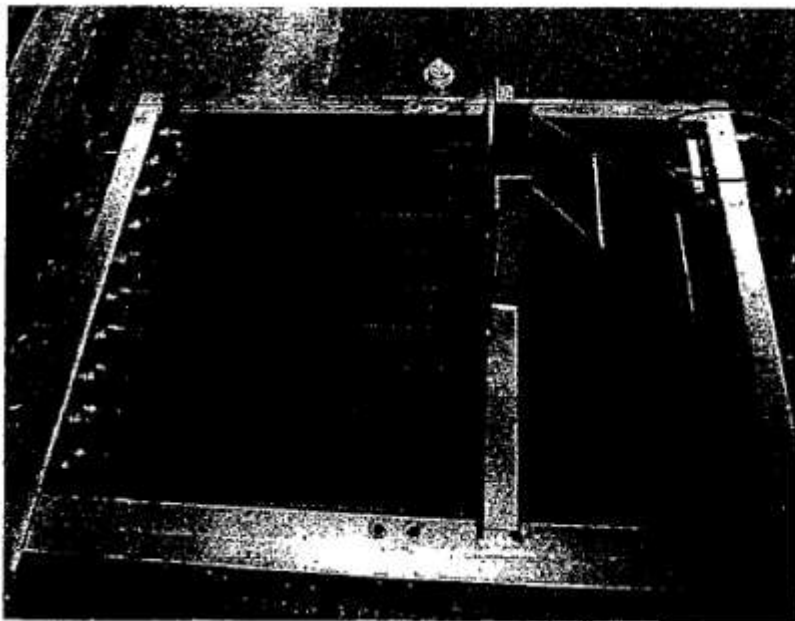
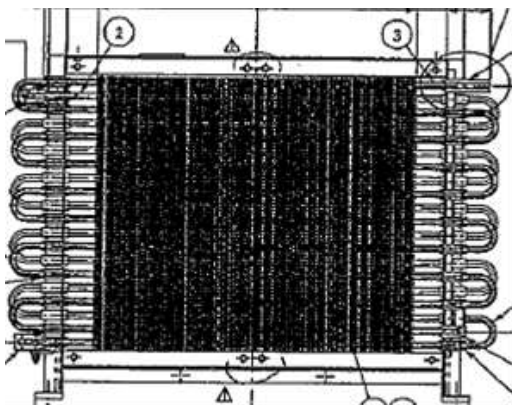


写真1 オイルシール配管の一部が外面腐食により損傷



ガス漏れ箇所



ガス漏れ箇所

写真2(上、左)
圧縮機の熱交換器の溶接部が損傷

6. 注意事項

回転機器の事故では振動による疲労がかなりのウェイトを占める。振動により、本体とともにクーラ、熱交換器、配管及び付属品の損傷も多く発生している。機器別には圧縮機が大半を占め、次いでポンプ、ファンの順になっている。さらに、異常が継続すると火災に至る傾向も高くなっている。

回転機器の事故に関する注意事項を以下に示す。

- ①振動が発生する場所に着目して十分に監視し、クーラ、熱交換器、配管と溶接部を含めて機器の管理を行うことが大切である。
- ②設計不良と製作不良も往復式圧縮機のクーラ、熱交換器に多いので、製作時の対策が重要である。
- ③回転機器の事故を放置すると火災に至る例も多く、異常時は早期の処置が必要である。
- ④点検不良に対しては、丁寧な保守管理が必要である。特に、一般高圧ガス保安規則適用製造事業所でも保守管理技術を習得し、保守管理を丁寧に行う必要がある。
- ⑤メカニカルシールでは、装置起動時の寸動を実施しなかったため軸シール部内でフィン破損した事例がある。配管の破損によるシール切れ、油量の減少によるシール切れについても注意する。
- ⑥ベルトの張り過ぎと緩みに気を付ける。適正な張力管理が必要である。
- ⑦ドレン系でも配管の割れ、プラグの締め付け不足、ノズルの脱落などを日常から注意する。
- ⑧誤操作などについては、大型機器の起動手順を遵守する、急速充てんを防止する、インターロックの意味を理解するなど注意が必要である。
- ⑨機器、配管などだけでなく、駆動する側(電動機と配線)と計装品の点検も的確に行う必要がある。

参考文献

- 1) 小林英男編著、高圧ガス事故の統計と解析、11章スタンドにおける事故の解析、高圧ガス保安協会、平成 26 年