

酸素などの断熱圧縮と摩擦熱による  
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%が漏えい事象であり、8%が漏えいの先行なしの爆発、火災、破裂・破損事象（以下「爆発、火災事象など」という）である<sup>1)</sup>。なかでも、酸素、支燃性ガスの場合に、主にバルブを急に開く操作（以下「急開き操作」という）に起因する断熱圧縮と摩擦熱により圧力調整器、バルブなどの爆発、火災事象などが発生している。酸素、支燃性ガスは、具体的に溶接・溶断用酸素、工業用酸素、医療用酸素、高圧空気、三フッ化窒素など（以下「酸素など」という）である。なかでも、医療用酸素の事故は、家庭、病院などの身近な場所で発生している。

高圧ガス保安協会（KHK）発行の保安管理技術テキストでは、断熱圧縮による事故防止のため、バルブは徐々に操作することなどが示されている。一方、酸素などでは、断熱圧縮以外に摩擦熱による爆発、火災事象などが発生している。しかし、摩擦熱による事故防止について具体的な注意事項などは示されていない。このため、KHKの事故調査解析委員会において、過去に発生した酸素などの断熱圧縮と摩擦熱による高圧ガス事故の内容を改めて精査し、事故の未然防止に向けた注意事項について検討することとした。

この資料は、酸素などの断熱圧縮と摩擦熱による事故について、高圧ガス事故データベースを用いて抽出し、事故を解析して、事故防止のための注意事項を示すことを目的とする。

2. 事故の抽出

(1) 事故の抽出方法

高圧ガス事故データベースを用いて、昭和40年から平成25年までの高圧ガス事故のうち、「断熱」、「圧縮熱」、「摩擦」をキーワードとして検索し、高圧ガス容器、圧力調整器、バルブ、配管、安全弁などで発生した酸素などの爆発、火災事象などを対象とした。この結果、断熱圧縮と摩擦熱をキーワードとする事故は、37件を抽出した。

さらに、断熱圧縮と摩擦熱による事故として「温度上昇」をキーワードとして検索し、爆発、火災事象などの38件を抽出した。

なお、摩擦熱による事故としては、流体の流動摩擦に伴い発生する熱による事故と、固体同士の動摩擦によって発生する熱による事故がある。ただし、この資料では、ポンプ、圧縮機などの動機器は対象外で、後者の摩擦熱による事故は除いた。

断熱圧縮、摩擦熱および温度上昇の事故件数の推移を図1に示す。

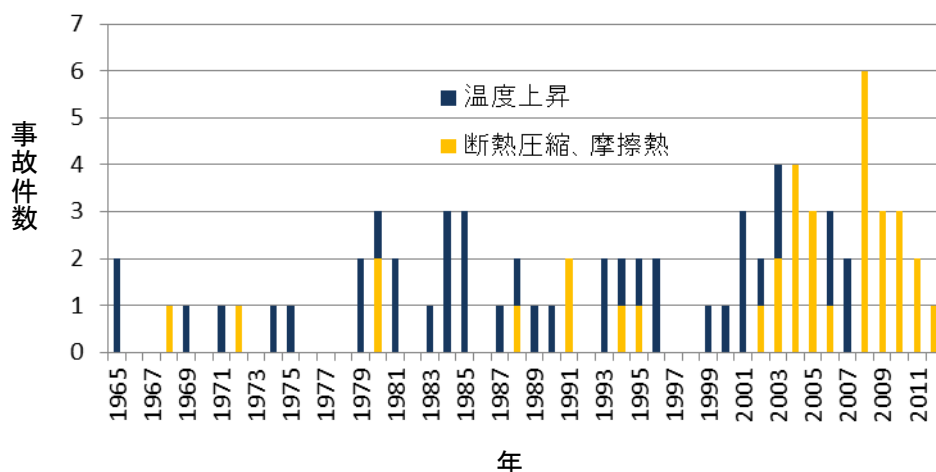


図1 断熱圧縮、摩擦熱および温度上昇の事故件数の推移

断熱圧縮と摩擦熱をキーワードとする事故（37件）と、温度上昇をキーワードとする事故（38件）に分類して、以下に示す。

(2) 断熱圧縮と摩擦熱をキーワードとして抽出した事故

- ① 事象ごとの事故件数を、表1に示す。37件の事故のうち、8件が爆発事象、22件が火災事象、7件が破裂・破損事象である。ただし、漏えい事象はなかった。
- ② 物質ごとの事故件数を、表2に示す。31件が酸素、2件がそれぞれ空気と三フッ化窒素、残り2件が水素またはフルオロカーボンに酸素が混入した事故である。
- ③ 設備区分ごとの事故件数を、表3に示す。圧力調整器、バルブ、ホース、配管、ストレナーなどで事故が発生している。
- ④ 圧力調整器とバルブの事故の合計は18件であり、事故全体（37件）に占める比率は49%である。また、ホースの事故も、6件と多い。
- ⑤ 上記の事故は、断熱圧縮と摩擦熱により酸素などの温度が上昇し、可燃物が発火温度以上となり、爆発、火災事象などが発生したと考えられる。

表1 事象ごとの事故件数  
(断熱圧縮と摩擦熱)

事象	事故件数
爆発	8
火災	22
破裂・破損など	7
合計	37

表2 物質ごとの事故件数  
(断熱圧縮と摩擦熱)

物質	事故件数
酸素	31
空気	2
三フッ化窒素	2
酸素、水素	1
酸素、フルオロカーボン	1
合計	37

表 3 設備区分ごとの事故件数  
(断熱圧縮と摩擦熱)

設備区分	事故件数
バルブ	10
圧力調整器	8
ホース	6
配管	4
ストレナー	2
容器	1
アキュムレーター	1
空調設備	1
圧力計	1
ストレナー、加温器	1
集合装置連結管	1
安全弁、放出管	1
合計	37

表 4 事象ごとの事故件数  
(温度上昇)

事象	事故件数
爆発	2
火災	28
破裂・破損など	8
合計	38

表 5 物質ごとの事故件数  
(温度上昇)

物質	事故件数
酸素	38
合計	38

表 6 設備区分ごとの事故件数  
(温度上昇)

設備区分	事故件数
圧力調整器	19
バルブ	12
圧力計	2
流量設定器	1
容器、充てん枝管	1
充てん枝管	1
LPガス配管	1
安全弁	1
合計	38

(3) 温度上昇をキーワードとして抽出した事故

- ① 事象ごとの事故件数を、表 4 に示す。38 件の事故のうち、2 件が爆発事象、28 件が火災事象、8 件が破裂・破損事象である。ただし、漏えい事象はなかった。
- ② 物質ごとの事故件数を、表 5 に示す。すべて酸素である。
- ③ 設備区分ごとの事故件数を、表 6 に示す。圧力調整器、バルブ、圧力

計、配管などで事故が発生している。20 件が圧力調整器（流量設定器を含む）の事故で、事故全体（38 件）に占める比率は 53%である。

- ④ 圧力調整器（流量設定器を含む）とバルブの事故の合計は 32 件で、事故全体（38 件）に占める比率は 84%である。
- ⑤ 上記の事故は、断熱圧縮と摩擦熱により酸素の温度が上昇し、可燃物が発火温度以上となり、爆発、火災事象などが発生したと考えられる。

### 3. 事故の解析

断熱圧縮、摩擦熱および温度上昇をキーワードとして抽出した事故は、いずれも断熱圧縮と摩擦熱（主に流動摩擦に伴う熱）により酸素などの温度が上昇し、可燃物が発火温度以上となり、爆発、火災事象などが発生したと考えられる。ただし、温度上昇は断熱圧縮と摩擦熱の結果であるが、断熱圧縮と摩擦熱の寄与は明確に区別することはできなかった。一般的に、可燃物は、空気中に比較して高濃度の酸素中では、発火温度が低下する。

事故の解析結果を、以下に示す。

#### (1) 物質

75 件の事故のうち、71 件が酸素である。ただし、高圧空気と三フッ化窒素という特殊な物質が、それぞれ 2 件ある。

#### (2) 設備区分

75 件の事故のうち、圧力調整器が 26 件、バルブが 22 件、ホースが 6 件、配管が 7 件で、これらの合計 61 件が全 75 件の 81%を占める。

#### (3) バルブ操作

- ① 75 件の事故のうち、74 件がバルブ操作、圧力調整器のハンドル操作で事故が発生している。バルブ操作は、圧力計、安全弁の元バルブの操作を含む。残り 1 件の取扱い状況は不明である。
- ② 主にバルブの急開き操作の直後に事故が発生している。ただし、バルブの急開き操作から時間を置いて発生している事故もある。
- ③ バルブを開操作した後、漏えいを確認したので、バルブを閉止した際に、事故が発生している。また、締結部の増し締め操作を行った際に、事故が発生している。

#### (4) 可燃物

- ① 油分、ごみ、金属粉などの可燃物の混入、付着が事故の要因となっている。75 件の事故のうち、60 件の事故で可燃物が特定されている。
- ② 圧力調整器の場合は、内部のフィルター、ストレーナーの油分、ごみ、金属粉、シールテープが可燃物となっている。

#### (5) 誤使用

- ① 水素、フルオロカーボン、窒素の設備に誤って酸素を使用して、4 件の事故が発生している。

- ② 窒素容器群に酸素容器が混在し、気密試験で誤って酸素容器を使用して、1件の事故が発生している。
  - ③ 酸素用ではない圧力調整器、ホース、圧力計などを酸素容器に使用して、3件の事故が発生している。また、締結部のシール材に生ゴム、ゴムテープ、ポリエチレン、キャップ材など、酸素用として不適切なパッキンの代用品を使用して、8件の事故が発生している。
- (6) 断熱圧縮と摩擦熱

高圧ガス事故データベースに記載されている事故原因は、詳細な事故調査報告書の添付がなく、実験などで事故原因を特定している訳ではない。したがって、断熱圧縮か摩擦熱かという真の事故原因は、不明な場合が多い。

#### 4. 事故のメカニズムの検討と課題

##### (1) 断熱圧縮

###### ① 定義

外部から熱の供給がない状態（断熱状態）でガスを圧縮すると（断熱圧縮）、ガスの温度は上昇する。ガスを急激に圧縮すると、ガスの温度は急上昇する。この現象を、断熱圧縮という。

###### ② 事故のメカニズム

断熱圧縮は、主にバルブの急開き操作に起因して、圧力調整器、バルブ、配管などの閉空間に酸素などの高圧ガスが急激に（瞬時に）流入し、ガスの圧力と同時にガスの温度が急上昇する。このとき、内部に油分、ごみ、金属粉、シール材などの可燃物があれば、容易に発火し、爆発、火災事象などが発生する。

##### (2) 摩擦熱

###### ① 定義

摩擦によって発生する熱を、摩擦熱という。摩擦熱には、1) 流体の流動摩擦（flow-friction）に伴い発生する熱と、2) 固体同士の動摩擦による熱がある。

1) は、バルブ、調整器などの静機器で、高圧ガスの流動摩擦に伴い発生する熱である。2) は、ポンプ、圧縮機などの動機器で、回転、往復動に伴う動摩擦によって発生する熱である（この資料では、動機器の事故は対象外）。

###### ② 事故のメカニズム

バルブの弁座と弁シート（シートパッキン）の間、調整器のフィルターなどの狭い空隙を酸素などの高圧ガスが流動すると、流動摩擦に伴い発生する熱によってガスの温度と空隙を形成する材料の温度が急上昇する。このとき、内部に可燃物があれば、容易に発火し、爆発、火

災害などが発生する。ただし、流動に伴う熱の発生、発火に至るメカニズムは、解明されている訳ではない。

### (3) 可燃物

一般的に、可燃物は高濃度の酸素中で発火温度が低下するから、ガスの温度の急上昇により容易に発火する。可燃物は、油分、ごみ、金属粉、シール材などである。油分は酸化し、経年的に可燃性が高くなる。バルブの開閉部はねじ構造であり、開閉操作に伴うねじの摩耗により、金属粉（摩耗粉）が必ず生成する。酸素中では、潤滑油が使用できないので、金属粉の生成が助長される。金属粉の表面は新生面で酸化性が強く、表面積／体積の比が大きいので可燃性が高い。

### (4) 事故のメカニズム

- ① 75 件の事故は、事故原因として断熱圧縮と摩擦熱を明確に区別することはできず、断熱圧縮と摩擦熱の複合効果と考えられる。いずれにしても、可燃物が爆発、火災事象などの必要条件となる。
- ② 断熱圧縮、摩擦熱に加えて、金属粉に注目する必要がある。ガス中に金属粉を含む場合、金属粉の流動と接触に伴い発生する熱によって金属粉が発火する。特に、酸素中の場合は、金属粉の蓄熱、赤熱という事象がある。
- ③ 高圧ガス容器、圧力調整器、バルブ、ホース、配管などを構成する金属材料（銅合金、ステンレス鋼など）は、火災によって溶融する。内部で爆発、火災事象などが発生した場合、金属材料の溶融によって外部への噴出口が拡大し、人的被害を伴う大規模火災事象となることがある。
- ④ 液滴、金属粉、ごみなどを含むガスは、流動摩擦に伴い発生する静電気の放電が可燃物の発火の原因とされることがある。このため、断熱圧縮と摩擦熱に静電気を加えた複合効果を考える必要があり、今後の課題である。

### (5) 従来の研究結果

酸素の断熱圧縮の実験結果は、ガス事業者により公開されている。一方、酸素の摩擦熱は再現実験が難しく、実施されていない。ただし、数値解析により、断熱圧縮による熱で高温となったガスが、シートパッキンなどの狭い空隙を通過する際に、流動摩擦による熱が付加されてさらに温度が高くなり、シートパッキンなどの発火温度までに達するという結果が、事業者により公開されている。

## 5. 事故防止の注意事項

### (1) バルブ操作

- ① 高圧ガス保安法では、バルブは静かに開閉することが定められている。

(一般高圧ガス保安規則第6条第2項第1号へ、第18条第1号ト、第60条第1項第1号、第62条第7号、他省略)

- ② KHK高圧ガス保安管理技術テキストでは、バルブは徐々に操作することが明記されている(バルブ操作)。また、バルブ取扱指針では、バルブの開閉はゆっくりと行い、振動、異常音、漏れなどのないことを確認しながら行うと記載されている(手動バルブの操作)。
- ③ ソフト対策として、酸素などを取扱う者は、断熱圧縮と摩擦熱による爆発、火災事象などの危険性を念頭に置いて、充てん容器などのバルブは徐々に(静かに、ゆっくり、段階的に)操作することを徹底する。
- ④ ハード対策として、酸素の充てん設備などの比較的大口径のバルブは、与圧ラインを設けて、圧力差を少なくしてから、主バルブを操作している。

## (2) 維持管理

- ① バルブの取扱いとともに、容器、バルブ、調整器などの維持管理が重要である。可燃物(油分、ごみ、金属粉、シール材など)が事故の必要条件であることから、油分、ごみなどの混入防止と点検、清掃を心がける。酸素中での油分の使用は、厳禁である。さらに、酸素などに適合するパッキンの使用を厳守するとともに、古いパッキン、損傷パッキンの交換を図る。
- ② バルブの開閉部の摩耗防止を図り、金属粉(摩耗粉)の生成を軽減する。

## (3) 締結管理

バルブと調整器の締結部からガスが漏えいして、その対応中に事故が発生している。漏えいしている状況では、直ちにバルブを閉止して、漏えいを止めることが最優先である。漏えい部位は、ガス通過による流動摩擦で温度が高くなっている可能性があり、締結部の増し締め、締め直しなどの対応は、ガスを止めてから実施する。この場合、落ちて、バルブの開閉方向を間違えることなく、確実に閉止する。

## (4) その他

- ① 水素、フルオロカーボン、窒素の設備に誤って酸素を使用して、事故が発生している。酸素と可燃性ガス、酸素と油分が混合することがないように、ガス種を十分確認するとともに、気密試験は不活性ガスで行い、酸素は使用しない。
- ② 高圧空気は酸素分圧が高く、断熱圧縮と摩擦熱の事故が発生している。高圧空気は酸素などと同様と見なす必要がある。



写真 圧力調整器の事故例（事業所提供）

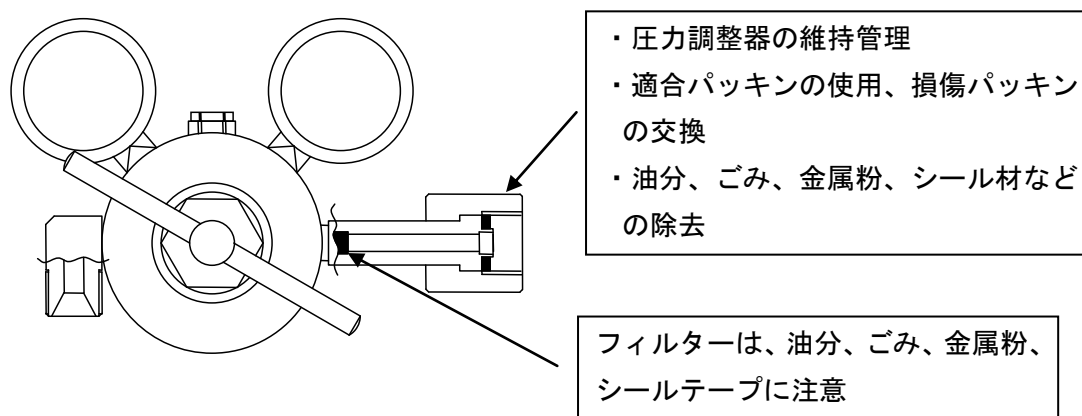


図 圧力調整器の維持管理（図は KHK 作成）

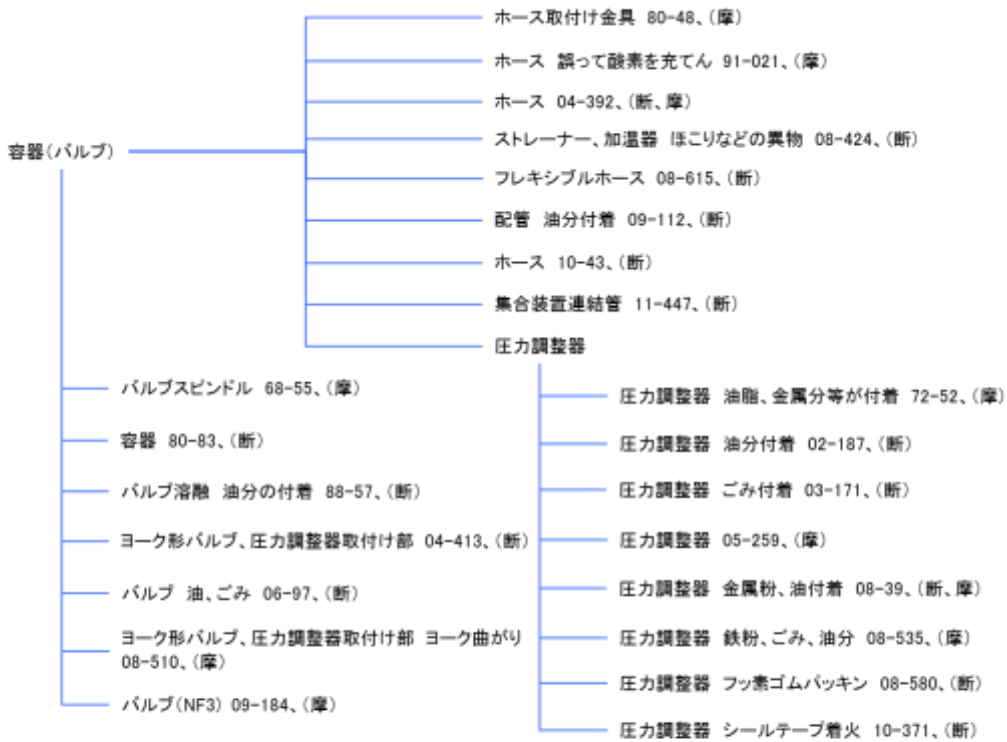
文献 1) 小林英男編著、“高圧ガス事故の統計と解析”、高圧ガス保安協会（2014年2月）



注

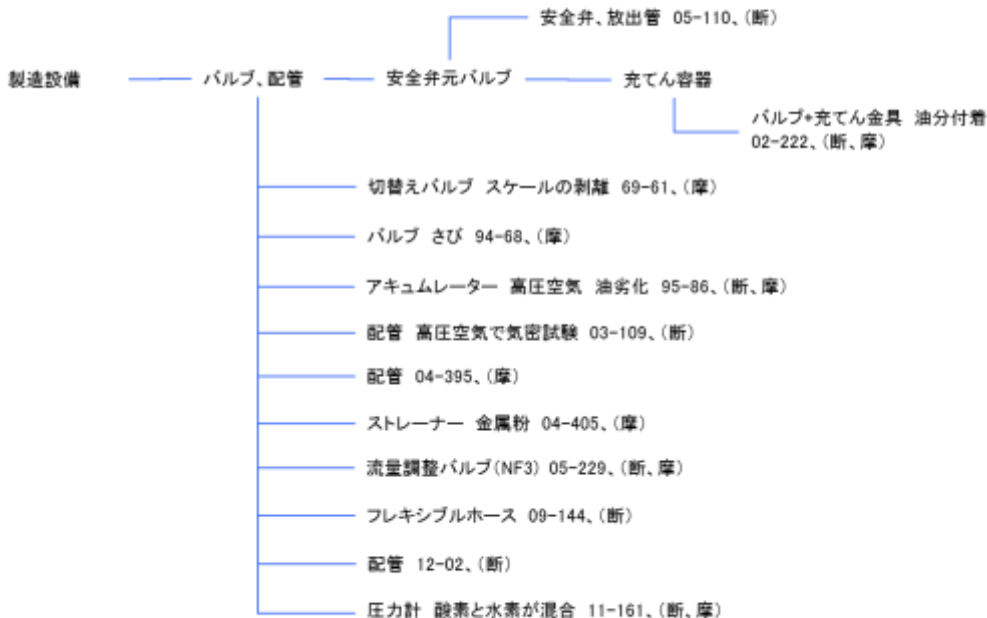
(断):断熱圧縮、(摩):摩擦熱

80-48 → 事故データベースcode1980-048



空調設備

酸素で濡れ確認 潤滑油存在 91-08, (断)

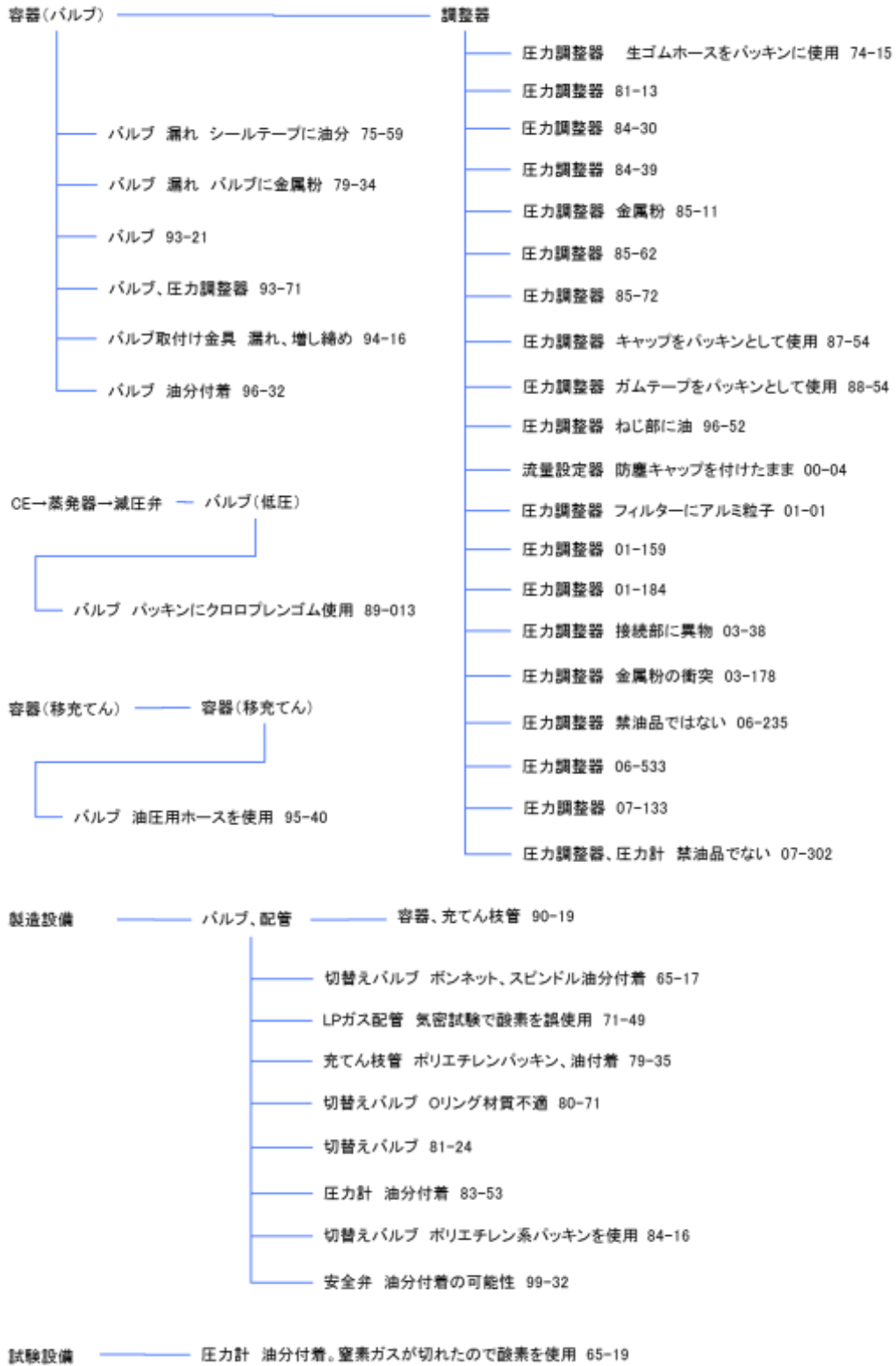


消費設備 ———— 流量調整弁, 配管 ———— ストレーナー 鉄粉等 10-39, (摩)

添付図1 事故発生状況(キーワード:断熱圧縮、摩擦熱 合計37件)

注

75-59 → 事故データベースcode1975-059



添付図2 事故発生状況(キーワード: 温度上昇 合計38件)