

冷凍事業所におけるプレート形熱交換器の高圧ガス事故に関する注意事項

高圧ガス保安協会

1. 目的

製造事業所における規制対象別の高圧ガス事故件数を、図 1¹⁾に示す。令和 3 年の高圧ガス事故(製造事業所)の件数は 491 件であった。そのうち冷凍保安規則適用製造事業所(以下、「冷凍事業所」という)の件数は 252 件(51%)と最も多い。この傾向は平成 23 年から続いている。

このため、これまでに冷凍事業所の高圧ガス事故について、「アンモニア冷凍空調設備の事故防止の注意事項」²⁾、「冷凍機器の機器製造者の注意事項について」³⁾、「冷凍保安規則適用事業所の高圧ガス事故の注意事項について」⁴⁾、「冷凍事業所における腐食管理の注意事項」⁵⁾を注意事項としてまとめた。これまでの調査で、冷凍事業所に特有の高圧ガス事故の 1 つに、プレート形熱交換器の高圧ガス事故があることが確認されている。

そこで、冷凍事業所のプレート形熱交換器の高圧ガス事故に焦点を当て、事故の未然防止、再発防止に役立つ注意事項をまとめた。

製造事業所の“種類別”の事故件数推移

- 近年の製造事業所における事故は、半数以上が冷凍事業所で発生。
- 令和 3 年は、冷凍事業所、LP事業所、一般事業所の事故件数が減少。

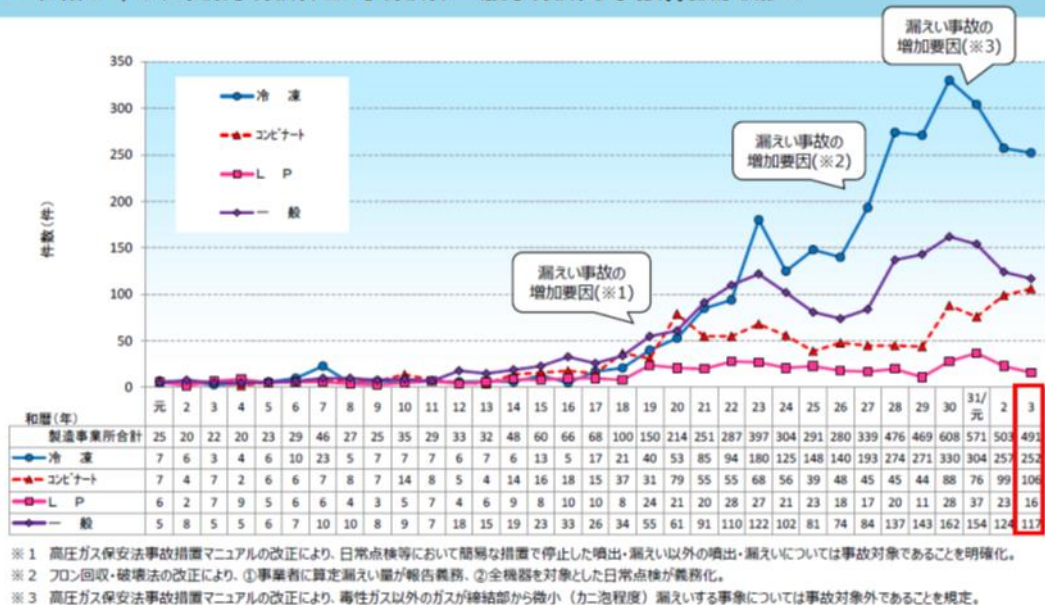


図 1 製造事業所における規制対象別の高圧ガス事故件数

2. プレート形熱交換器

本調査では、次をプレート形熱交換器という。

- ① 平板と波板を積層または伝熱部に複雑なプレス形状をした薄板を積層した熱交換器である。

- ② シール構造は、ガスケットをセットしてボルト締結する構造、ろう付けする構造、溶接する構造、その組み合わせの構造がある。
- ③ 熱交換の方式は、流体間(高温のガスと低温のガス、高温のガスと冷却水など)であり、大気と行う方式は含めない。
- ④ 商品名、呼称などは、プレート式熱交換器、プレートフィン熱交換器など、様々である。

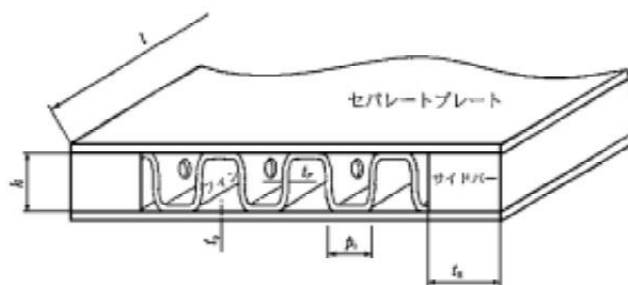
プレート形熱交換器の例を図2および図3に示す。なお、一部でプレートフィン熱交換器と認識されているフィンチューブ熱交換器は、本調査においては含めない。フィンチューブ熱交換器の例を図4に示す。

プレート形熱交換器は、複数のプレートを重ね合わせ、プレート間を1枚おきに高温流体と低温流体を流し、プレートを介して熱交換をする構造となっている。プレートには、プレス加工により波型模様を刻んだプレート、エッチング加工により緻密な溝加工したプレート、波板をセパレートプレートとサイドバープレートで囲み接合したプレートなどがある。いずれのプレートも流体の流路が狭いため、プレート形熱交換器は多管式熱交換器よりも小型化することが可能である。

プレート間のシール構造は、ガスケット、ロウ付け、溶接などがある。ロウ付け、溶接でプレートが接合されている場合には、分解することができない。

プレート形熱交換器は日本産業規格(JIS B8240(2015)冷凍用圧力容器の構造)で使用されている。一方、特定設備検査規則例示基準ではプレートフィン熱交換器(別添4、図2参照)、プレート式熱交換器(別添7、図3参照)が使用され、商品名としてはフィンチューブ熱交換器にプレートフィン熱交換器が使用されているなど、呼称、定義が統一されていない。フィンチューブ熱交換器は、等間隔に並んだ金属板に冷媒管を垂直に圧入し、金属板と冷媒管を介して空気と熱交換を行っており、金属板をプレートとみなしプレートフィン熱交換器とも呼ばれているものと推測される。

別図第1



別図第2

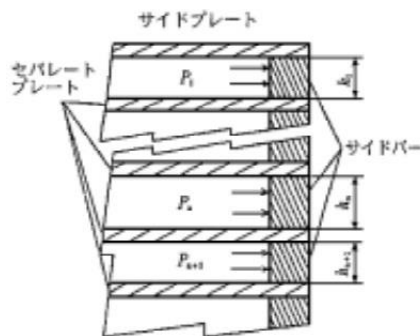


図2 プレート形熱交換器の例(その1)
(特定設備検査規則例示基準 別添4 別図第1、別図第2)



構造



ブレイジングプレート式熱交換器は、V型波状(ヘリンボーン)状にプレスしたステンレス製プレートとその前後に取り付ける2枚のカバープレート、および配管接続用のコネクション等の全部品を、真空加熱炉でブレイジング(ろう付け)し、一体化した熱交換器です。

下部プレートと接する箇所 (着色面)
上部プレートと接する箇所 (着色面)

図3 プレート形熱交換器の例(その2)

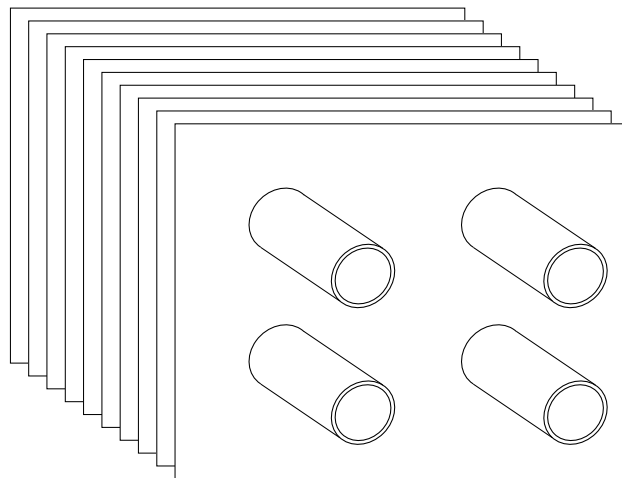


図4 フィンチューブ熱交換器の例

3. 冷凍事業所のプレート形熱交換器の事故の抽出

高圧ガス事故事例データベース⁶⁾を用いて、冷凍事業所のプレート形熱交換器の事故 78 件を抽出した。抽出の条件は、次のとおりである。

- ① 平成 29 年(2017 年)から令和 3 年(2021 年)までの過去 5 年間の高圧ガス事故 3,127 件(喪失、盗難を除く)うち、冷凍事業所の高圧ガス事故 1,416 件を対象
- ② KHK が見直し機関誌「高圧ガス」に発表している(令和 3 年のデータは、本年 11 月に発表予定)データにおいて、設備区分に「プレート」が含まれる事故

なお、抽出にあたっては、高圧ガス事故事例データベースの内容をそのまま使用するのではなく、精査して、必要に応じて見直した⁷⁾。

4. 冷凍事業所のプレート形熱交換器の事故の統計と解析

冷凍事業所のプレート形熱交換器の事故 78 件について、次の統計と解析を行った。

(1) 冷媒ガスの解析

冷凍事業所の事業所全体とプレート形熱交換器における高圧ガス事故の冷媒ガスの種類について、表 1 に示す。事業所全体の高圧ガス事故(1,416 件)のうち、フルオロカーボン(1,301 件)が 92%を占め、その他のアンモニア(104 件)、炭酸ガス(8 件)、ヘリウム(3 件)は少ない。プレート形熱交換器の高圧ガス事故(78 件)では、フルオロカーボン(66 件)が 85%を占め、アンモニア(12 件)が 15%となっており、事業所全体よりもアンモニアの比率が大きい。

表 1 冷凍事業所の事業所全体とプレート形熱交換器における
高圧ガス事故の冷媒ガスの種類

| 冷媒ガスの種類 | 事業所全体 | プレート形熱交換器 |
|----------|--------------|-----------|
| フルオロカーボン | 1,301 (92%) | 66 (85%) |
| アンモニア | 104 (7%) | 12 (15%) |
| 炭酸ガス | 8 (0.6%) | - |
| ヘリウム | 3 (0.2%) | - |
| 合計 | 1,416 (100%) | 78 (100%) |

(2) 事故事象の解析

冷凍事業所の事業所全体とプレート形熱交換器における高圧ガス事故の事故事象について、表 2 に示す。事業所全体の高圧ガス事故(1,416 件)は、全事故件数が漏えい事象であり、漏えい事象の分類では、漏えい①が 68%で過半数を占め、漏えい②が 20%、漏えい③が 9%、分類ができなかった漏えい(不明、調査中)が 3%である。プレート形熱交換器の高圧ガス事故(78 件)の漏えい事象の分類では、漏えい①が 62%で過半数を占め、漏えい③が 29%、漏えい②が 8%、分類ができなかった漏えい(不明、調査中)が 1%であり、漏えい②よりも漏えい③の比率が大きく事業所全体と傾向が異なる。また、漏えい③はすべて凍結により発生しており、事業所全体の凍結による漏えい③の半数以上(23/44)がプレート形熱交換器で発生している。

表2 冷凍事業所の事業所全体とプレート形熱交換器における
高圧ガス事故の事故事象

| 事故事象 | 事業所全体 | プレート形熱交換器 |
|--------|-------------|-----------|
| 漏えい① | 964(68%) | 48(62%) |
| 漏えい② | 278(20%) | 6(8%) |
| 漏えい③ | 134(9%) | 23(29%) |
| 漏えい不明* | 40(3%) | 1(1%) |
| 合計 | 1,416(100%) | 78(100%) |

※漏えい不明は、漏えい①、漏えい②、漏えい③に詳細不明などから分類できない漏えい。

(3) 事故原因の統計と解析

冷凍事業所の事業所全体とプレート形熱交換器における高圧ガス事故の事故原因について、表3に示す。事業所全体の高圧ガス事故(1,416件)では、腐食管理不良32%、設計不良28%、シール管理不良10%、締結管理不良8%によりそれぞれ100件以上の事故が発生している。プレート形熱交換器の高圧ガス事故(78件)では、腐食管理不良49%、検査管理不良21%、設計不良11%、シール管理不良7%で事故が発生している。事業所全体の検査管理不良の比率(3%)と比較してプレート形熱交換器の事故では検査管理不良の比率が大きい。プレート形熱交換器の検査管理不良は、適切な水質管理を行っていないため、すべて漏えい③(凍結)が発生している。また、腐食管理不良でもプレート形熱交換器は、事業所全体よりも比率が高い。プレート形熱交換器の腐食管理不良(40件)のうち、フルオロカーボン(38件)が大半を占め、アンモニア(2件)は少ない。フルオロカーボン(38件)のうち6件は、冷却側の流体が水であり、スケールが発生している。スケールとプレート間で冷却水が滞留、濃縮することで塩素イオン濃度が上昇し、金属材料(ステンレス鋼5件、不明1件)の不動態被膜を破壊し、腐食が促進されたことが報告されている。

表3 冷凍事業所の事業所全体とプレート形熱交換器における
高圧ガス事故の事故原因

| 事故原因 | 事業所全体 | プレート形熱交換器 |
|--------------|-------------|-----------|
| 腐食管理不良 | 457(32%) | 38(49%) |
| 設計不良 | 402(28%) | 8(10%) |
| シール管理不良 | 143(10%) | 6(8%) |
| 締結管理不良 | 113(8%) | - |
| 検査管理不良 | 45(3%) | 17(22%) |
| その他(上記の原因以外) | 256(18%) | 9(12%) |
| 合計 | 1,416(100%) | 78(100%) |

5. 注意事項

冷凍事業所のプレート形熱交換器の高圧ガス事故について、注意事項を示す。

- ① プレート形熱交換器は、商品名、呼称などは、プレート式熱交換器、プレートフィン熱交換器など、様々であり、明確な定義が存在していない。フィンチューブ熱交換器をプレート形熱交換器としているメーカーも存在する。プレート形熱交換器の注意喚起を正しく認識してもら

うためには、プレート形熱交換器の定義を統一することが必要である。

- ② プレート形熱交換器は流体の流路が狭いため、熱交換器を小型化できる。一方、流路が狭いため、スケールの発生に伴う腐食の促進、閉塞による凍結が発生することが多い。水質管理によるスケールの発生の防止、定期的なスケールの確認と除去が必要である。
- ③ 水質管理は、メーカーから推奨する水質基準、日本冷凍空調工業会の水質基準「冷凍空調機器用水質ガイドライン JRAGL02:1994」を遵守する必要がある。水質が基準値内の場合であっても、冷却水および冷水は、循環しながら使っているうちに水が濃縮し、カルシウム、シリカなどがスケールになるため、その除去清掃が必要である。特に、工業用水または地下水を使用している場合には、水中に有害な成分が多く溶け込んでいるため、水質管理とスケールの除去清掃を疎かにしてはならない。
- ④ プレート形熱交換器のシール構造が溶接またはろう付けの場合、熱交換器を分解できないため、スケールの除去清掃には洗浄剤を使用する。洗浄剤は、プレートを腐食させることなくスケール除去に有効な洗浄剤を選定し、使用することが重要である。シール構造がガスケットの場合には、分解後のガスケットの再利用条件または交換周期の設定、締結管理が必要である。

参考文献

- 1) 経済産業省、第 21 回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 高圧ガス小委員会 資料 1(1)令和 3 年の高圧ガス事故、https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/koatsu_gas/pdf/021_01_00.pdf
- 2) 事例ごとの注意事項(経済産業省委託事業)「アンモニア冷凍空調設備の事故防止の注意事項」、https://www.khk.or.jp/Portals/0/resources/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/ammonia_ruikei.pdf
- 3) 事例ごとの注意事項(経済産業省委託事業)「冷凍機器の機器製造者の注意事項について(2019/03/12)」、https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2018/2018_02_Reitou.pdf
- 4) 事例ごとの注意事項(経済産業省委託事業)「冷凍保安規則適用事業所の高圧ガス事故の注意事項について(2018/03/30)」、https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2018/2017_02_reitou.pdf
- 5) 事例ごとの注意事項(経済産業省委託事業)「冷凍事業所における腐食管理の注意事項(2021/03/12)」、https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/2020/2020_reitou.pdf
- 6) 令和 3 年度高圧ガス事故事例データベース
- 7) 藤井亮、小林英男、山田敏弘、高圧ガス事故の統計と解析(全体)、高圧ガス、vol.59、No.11、p833-839(2022)