

特集① 配管製品トラブル事例

蒸気プラントにおけるスチームトラップの トラブル事例

＜スチームトラップ前後のトラブルを回避し、長期に渡る安定操業の実現＞

*岸本 直文

1. はじめに

一般的に、気体の中に発生する液体（ドレン）を排出する自動弁は、総称として「ドレントラップ」と呼ばれているが、使用される流体や用途により、製品の呼び名が使い分けられている。

蒸気配管系で使用されるドレントラップは「スチームトラップ」、圧縮空気（エア）配管系に使用されるドレントラップは「エアトラップ」、また、可燃性、毒性等の特殊なガス体を使用されるドレントラップは「ガストラップ」とそれぞれ呼ばれている。

従って、使用される流体の圧力・温度帯やその流体の特性により、同じドレントラップでも構造や構成部材などが異なっているが、今回はその中でも、化学、石油精製、食品、電力・発電施設の業界を始めとして、一般産業界に多く使用されている蒸気配管系の製品「スチームトラップ」について、その前後の配管への関わりも含めたトラブル事例を紹介する。

2. 蒸気配管系でのトラブル

蒸気とは、元々、水という液体に熱を与えて、温水から気体へと蒸発させたものであり、その蒸気が持っている熱エネルギーが加熱源として多く産業界で使用されている。熱を被加熱物に与えた蒸気は、凝縮して元の温水へとドレン化する。その液体であるドレンが蒸気雰囲気内に居座った場合、多くのトラブルを引き起こすことがあり得る。

ドレンによるトラブル例を表1に示す。

いずれも、蒸気システムに重大な事故、突発的な運転停止事故に直結しているが、今回は、その中でも特に多く発生している、「エロージョン等による配管穴あき」や「ドレンの滞留によるウォーターハ

ンマー」のトラブルについて、スチームトラップの作動不良との因果関係を述べる。

表1 蒸気配管系でのトラブル例

事象	要因
下流側でのドレンアタックによる配管エロージョン、穴あき等	ドレン・水滴の高速流
ウォーターハンマーの発生から機器の損傷	ウォーターハンマーの衝撃力
熱交換機等の効率低下	ドレン滞留による加熱面積の減少
配管や機器の腐食	液体と気体の共存

3. スチームトラップに起因するトラブル事例

スチームトラップの作動不良の現象は、「蒸気漏れ」と「閉塞／ドレン滞留」に大別される。いずれも長期の使用に伴う経年劣化やスケール及び異物混入等の外的要因に起因することが多いのだが、それらに起因するトラブル事例を以下に述べる。

3.1 配管穴あきトラブル事例

配管等のエロージョン減肉・穴あき現象については、その原因の代表的なものにスチームトラップからの蒸気漏れがある。スチームトラップは、半永久的に使用できる製品ではなく、蒸気の温度と圧力下でドレン排出時の高速流等に絶えずさらされていることから、内部には消耗部位が存在することになり、長期間、解放点検や摩耗部品の取替え等をせずに使用していると、経年劣化でシール性が悪くなり、蒸気漏れのまま使用されていることになりかねない。

その状態で何年も放置された場合、スチームトラップの出口配管でのスピードが上がり、ドレンの水滴が高速流に乗って、配管の曲がり部に激突するこ

* (株)ティエルプイ

とにより、内壁を削り取るドレンアタックによる減肉、穴あきに発展することがある。(写真1)

また、下流側のドレンヘッダー等の集合管においても、同じ現象が発生することがある。

この現象は経年劣化に寄らずとも、その作動形態が間欠的に排出するタイプや、常時漏れ状態を起しているタイプにおいても、出口配管でのスピードが上がっていることから、同じ現象に繋がるおそれがあるのでスチームトラップの初期選定・設置段階で注意が必要である。

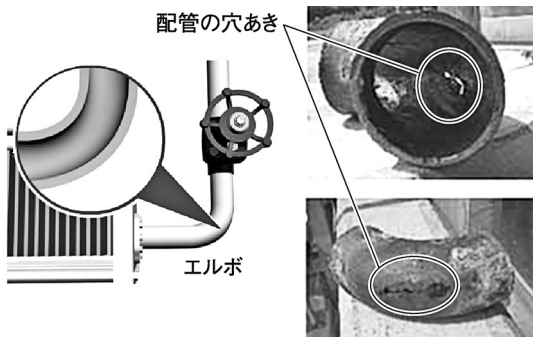


写真1 ドレンによる配管減肉

3.2 ウォーターハンマートラブル事例

ウォーターハンマー現象には、大きく分類して、図1の3種類ある。但し、事象の多くは、

- ・配管内の高速ドレンが衝突して起こるウォーターハンマー
- ・滞留しているドレン内に蒸気が混入し、閉じ込められた蒸気が急激に凝縮することでドレン同士が衝突し起こるウォーターハンマー

の主に2つパターンがあると考えられており、蒸気配管や蒸気機器内及びドレン回収配管に「滞留するドレン」が原因となっている。

ドレン滞留の原因としては、経年劣化による重要箇所への摩耗や長期に渡るスケール等の異物混入、堆積等の外的要因などでスチームトラップが閉塞してドレンを排出できなくなった場合や配管レイアウトによるドレン滞留が考えられる。

特に、スチームトラップの出口配管内においては、配管レイアウトが原因でドレンが滞留し、そこへスチームトラップからの蒸気漏れにより、ハンマーが発生したという事例が多い。

以上の事から、蒸気配管系で発生するトラブルの問題を解決させるには、

- ① ドレンを溜めない、蒸気を漏らさないこと。
『ドレンが発生する都度、迅速に排出し、蒸気を漏らさない信頼性の高いスチームトラップ』を設置する。
- ② 『スチームトラップとして機能しているのかの作動診断』と『定期的な部品交換含めた保守開放点検』を実施することが必要である。

4. スチームトラップの役割

スチームトラップを判り易く説明すると、「蒸気を漏らすことなく、蒸気配管系に発生したドレンを速やかに排出する機能を持った一種の自動弁」であり、前項のドレンによるトラブルを解決すべく、定期的なドレン排出を必要とする箇所やドレンの滞留しやすい箇所に設置されている。つまり、スチームトラップに要求されている最重要機能は、「蒸気を漏らさずに、迅速・確実なドレン排出をする」ことである。

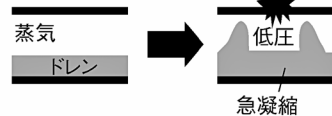
スチームトラップの設置箇所において、なぜ「迅速・確実なドレン排出」が最重要かと言うと、蒸気

① 蒸気とドレンの流速の違い



ドレンの流速は2~3m/s。
そこに速い蒸気流(30m/s)が加わり、ドレンが巻き込まれて発生する。

② 蒸気の急凝縮



蒸気が高温から低温の雰囲気流れ込むと、体積が1/1600のドレンへと急凝縮をおこし、発生した低圧域で発生する。

③ 水の流れの変化



バルブの開閉、ポンプの起動、停止など、急激な流れの変化によって、水塊が発生する。

図1 ウォーターハンマーの発生

によって加熱・保温する配管・装置等の蒸気システムは、その蒸気システム系内が全て飽和蒸気で満たされている時に、最も大きなパフォーマンスを発揮し、かつ蒸気の有効利用が実現できるからである。

しかし、実際のプラントでは蒸気配管等で発生したドレンの一部が適切に排出されずに蒸気配管内や設備内に残存し、多くの問題を引き起こしている。例えば、前項で紹介した配管穴あきやウォーターハンマーの発生、それ以外にもリボイラ等の熱交換器の温度不良、加熱不良による母管内部流体の凝固等々の不具合が日常的に発生している。また、これらによってプラントの突発停止リスクが増大するとともに、品質・生産性・メンテナンス等の多くの生産機会損失も発生している。

即ち、「迅速・確実なドレン排出」こそが、蒸気配管・設備内を飽和蒸気で満たすために必要であり、この迅速・確実なドレン排出は、適正なスチームトラップの選定と配管設置によって初めて可能となる。

5. スチームトラップの分類

前述の通り、『ドレンが発生する都度、迅速に排出し、蒸気を漏らさない信頼性の高いスチームトラップ』が必要であるが、どのようなタイプのスチームトラップを設置すべきなのかを述べる。

スチームトラップは作動原理により、その種類は大きく3つに分けられる。

表2 スチームトラップの分類

大分類	作動原理	中分類
① メカニカル	蒸気とドレンの比重差	・フロート式 ・バケット式
② サーマスタティック	蒸気とドレンの温度差	・バイメタル式 ・エレメント式
③ サーマダイナミック	蒸気とドレンの熱力学特性差	・ディスク式 ・インパルス式(オリフィス式)

それら、各スチームトラップの作動形態には以下のものである。

- ① 蒸気（気体）とドレン（液体）の比重差等、力学的に作動するメカニカル型

- ・フロート式…ボールフロート：連続排出
…レバーフロート：連続・間欠（脈動）

- ・バケット式：間欠排出

- ② 蒸気とドレンの温度差を感知して作動するサーモスタティック型

- ・バイメタル式：連続（脈動）、設定温度までドレン滞留

- ・エレメント式：間欠（少量時連続）、作動温度までドレン滞留

- ③ 熱力学特性差、ドレンと蒸気の持つ特性差で作動するサーモダイナミック式

- ・ディスク式：間欠排出

- ・インパルス式（オリフィス式）

：間欠排出、常時漏れ

このように作動形態の観点から分類してみると、連続排出、間欠排出、手前にドレン滞留、常時漏れ等と多種存在していることから、それぞれの特徴を理解した上で選定をすることが重要である。

6. スチームトラップの作動形態とトラブルとの因果関係

スチームトラップの作動原理から、ドレンの作動形態が、間欠的に排出するタイプと連続的に排出するタイプとに大きく分かれているが、スチームトラップの入口配管での問題点を述べる。

間欠排出するタイプでは、開弁、閉弁を繰り返してドレンを排出するので、閉弁時にはドレンが滞留し、ドレンの取出し口からの長さにもよるが、本管まで達して、ドレンを本管の下流側に先送りしていることがある。

次に、スチームトラップの出口配管でのトラブルを述べる。

間欠排出タイプは、溜まったドレンを一気に吐き出すので、出口配管内は、ドレン噴流のスピードが一気に上がり、ドレンの水滴が高速流に乗って、曲がり部に激突する。このような排出作動を繰り返すことにより、ドレンアタックによる減肉、穴あきに発展することがある。

ドレンアタックは、ドレンの水滴の大きさと管内のスピードが大きいほど、衝撃力が大きくなり、よ

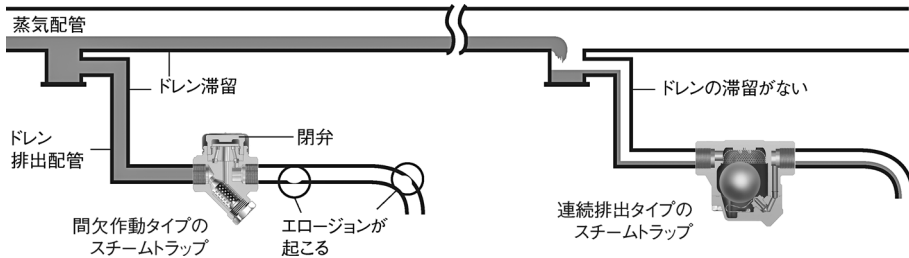


図2 スチームトラップの作動形態による比較

り減肉現象が促進されることになる。

それに比べて、連続排出タイプは、流れ込んできたドレンの量のみ連続的に排出していくので、入口側にドレンの滞留はなく、且つ、出口配管内のスピードが遅く、減肉を起こし難い流れになっている。すなわち、入口側を絶えず蒸気雰囲気には保ちながら、出口配管にはやさしい排出の仕方になっており、減肉リスクも少なくなることから、延命処置が計れることになる。

万一、スチームトラップの出口配管内に、ドレン溜まりがあった場合でも、間欠排出であれば大量のドレンとフラッシュ蒸気が流入すると大きなウォーターハンマー発生の起因となるが、連続排出の場合には、ドレン排出量が少量のため、小さいハンマー発生となり、損傷を最小限に抑えることができる。

よってドレンは連続的に発生していることから、溜めずに連続的に排出するタイプが理想のタイプと言える。

最も信頼性を重視する原子力発電所にて使用されているスチームトラップも、建設が1960年代の後半から行われている関係上、当時の評価基準でさまざまなタイプが使用されていたが、現在に至るまでに様々なトラブルを経験し、特に近年においては、耐エロージョン対策として、材質の変更も含め、①間欠排出型から連続排出型へ、②蒸気漏れの無いタイプへ移行されており、その多くに「連続排出型のボールフロートタイプで故障の少ないシンプルな構造の製品（例えばTLVフリーフロート®スチームトラップ）」に切り替え採用されていることから、同タイプが、より信頼性の高いスチームトラップと言える。

7. ドレン排出箇所の遠隔常時監視の技術

トラブル回避のもう一つの要因として、「ドレン

を排出すべき箇所を管理する」、すなわち、『ドレン排出のために設置しているスチームトラップが機能しているか否かの作動診断』を実施することが不可欠である。それを実現するための機器として、スチームトラップ作動の良否を判定して文字情報で知らせる自動診断器がある。

また、すでに実用化されているが、最新のスチームトラップ診断技術では、スチームトラップから発せられる超音波と表面温度によって、作動の良否の自動判定をするとともに、蒸気漏洩量を推定することもできる。

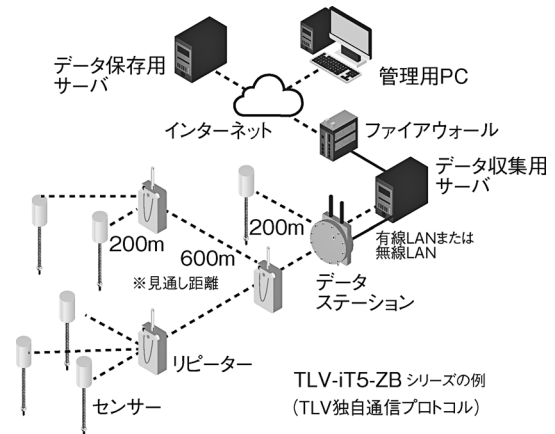


図3 常時監視システムの例

図3はこの技術を使って、スチームトラップの作動を遠隔で常時監視しているシステムの構成である。状態を常に監視することで、問題があればすぐに対策を講じることができる。

8. おわりに

スチームトラップ個別のトラブル要因は、共通性に乏しく個々の製品により特定され、異なるので、

今回は、スチームトラップのトラブル現象から蒸気配管系に影響する内容をまとめてみた。

前後の配管へのトラブルリスクを最小限に抑えるためには、より作動信頼性の高い連続排出型のスチームトラップを採用することと共に、設置後において、診断ツールを活用して『蒸気を漏らすことなく、適切にドレン排出されている状態を維持しているか否かの作動診断』及び、内部部品に消耗品があることから『定期的な解放保守点検』の重要性を忘れてはならない。

【筆者紹介】

岸本 直文（きしもと なおふみ）
株式会社ティエルプイ
PGS（パワージェネレーションソリューション）部
顧問