

特集① 配管装置類の仕様と設計

スチームトラップの仕様と設計

*今井 翔太

1. はじめに

スチームトラップは蒸気を利用するほぼ全てのプラント・工場で利用されており、蒸気配管や蒸気使用装置から蒸気が凝縮して生じる水（蒸気ドレン、以下ドレンと記載）を排水するための機器である。配管部材の一部、バルブの一種と捉えられて軽視されがちなものではあるが、実は蒸気設備の生産効率や安全性に大きく関わっている。本稿ではスチームトラップの重要性を再確認するとともに、どのようにしてプラントの設計仕様やコンセプトに即したスチームトラップを入手するのか、選定や設計という視点で述べる。

2. スチームトラップの機能と必要性

本題に入る前に、そもそもスチームトラップとは何のためのものか確認しておきたい。

スチームトラップに求められる機能は大きく以下に述べる三つである。

2.1 ドレンの迅速な排除

ドレンが装置内・配管内に滞留すると、加熱効率の低下や加熱ムラ、腐食やドレンアタック、ウォーターハンマーによる配管・機器の破損など、生産性や安全性において様々な問題が発生する。これらを回避するために発生したドレンを迅速に除去することが不可欠である。

2.2 蒸気を逃がさない

ドレンを排出するだけならブローバルブを設けて開閉するだけでも達成できるが、ドレンだけでなく蒸気を流してしまうと蒸気圧力が低下して加熱温度が低下するだけでなく、エネルギーロスにもなるため生産性や省エネルギーの面で問題である。そんな

らないようにするには、排出箇所ごとに人員を配置して、運転時間中付きっきりでバルブ操作を行わなければならない。これは事実上不可能であろう。そのためスチームトラップを用いてドレンを排出しながらも蒸気はトラップし漏らさないようにしなければならない。

2.3 不凝縮ガスを排出する

空気をはじめとした不凝縮ガスが蒸気配管・機器内に存在すると、内部の圧力が蒸気だけの時と同じであっても蒸気の分圧は低くなる。そのため蒸気の温度が低くなり加熱不良の原因となる。また、不凝縮ガスが介在することによる実質的な伝熱面積の減少や熱伝達率の低下など加熱能力そのものが低下するリスクを生む。そして不凝縮ガスがスチームトラップ内部にとどまることでドレンが流入できず、ドレン滞留につながることもある。これらの生産性・安全性の問題を避けるためにも、不凝縮ガスは除去しなければならない。

これらの機能を併せ持つスチームトラップから、

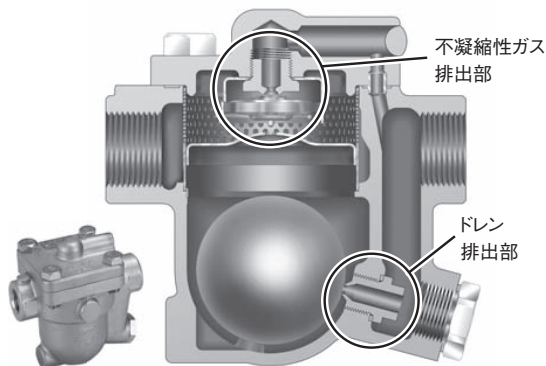


図1 不凝縮ガス排出機能を持つスチームトラップの例

*株式会社エルビイ

用途に合った型式・スペックのものを適切に選定し、必要な箇所に設置することがプラント設計・蒸気設備管理において求められる。

3. スチームトラップの分類

スチームトラップには様々な型式があるが、作動原理によって大きく三つに分類できる。

① メカニカル・スチームトラップ

蒸気とドレンの比重差により生じる浮力を利用して弁を開閉させるスチームトラップ。フロート式スチームトラップ、レバーフロート式スチームトラップ、バケット式スチームトラップがここに分類される。外気温や降雨などの外的要因に左右されにくくドレンの有無に連動して正確な作動を行う。フロート式はドレンを連続して排出するためドレンを滞留させる瞬間がないことがメリットとして挙げられる。一方重力と浮力の方向が重要になるため、水平配管用、垂直配管用と設置姿勢が限られる点に注意が必要である。

② サーマスタティック・スチームトラップ

蒸気とドレンの温度差を利用して弁を開閉させるスチームトラップ。エレメント式スチームトラップ、バイメタル式スチームトラップがここに分類される。飽和温度では蒸気とドレンが共存しているため、サーモスタティック・スチームトラップを蒸気漏れさせずに使用するためには必ず飽和温度よりも低い温度で弁が開閉するようにならなければならない。その結果、スチームトラップの上流側に必ずドレンが滞留している状態で運転されることが最大の特徴となる。

エレメント式スチームトラップについては蒸気通気初期すなわち低温時に開弁しているため初期ドレンや空気を排出しやすいことや、使用蒸気圧力に応じて開閉弁温度が自動的に変化すること、そして前

述のように上流側にドレンが滞留していることによって蒸気を漏らしにくいことがメリットである。欠点としては内部に封入する液体の性質との兼ね合いで超高温条件下では使用できなくなることが挙げられる。

バイメタル式も同じく初期ドレンや空気の排出に関しては有利なスチームトラップであるが、エレメント式スチームトラップとは異なり、開閉弁する温度は、ある決まった温度一点である。そのため、使用する蒸気圧力に応じて開閉弁温度を設定し直さなければならない。これを怠ると多量のドレンの滞留が発生してしまうか、逆に蒸気漏れを起こしてしまう。そのため、温度制御などの結果蒸気圧力が常に変化する蒸気設備で使用するのは好ましくない。一方でドレンがスチームトラップの上流側に滞留することを逆手に取り、滞留ドレンの顕熱を利用して60℃～80℃程度の低温トレース用途に用いることができる。

③ サーマダイナミック・スチームトラップ

蒸気とドレンの熱力学的特性差を利用して弁を開閉させるスチームトラップ。

ディスク式スチームトラップ、インパルス式スチームトラップがここに分類されるが、後者は異物による詰まり故障を起こしやすいことから今日ではあまり使用されていない。

ディスク式スチームトラップについては、軽量かつコンパクトであり水平配管・垂直配管どちらにも対応できるため設置が容易、内部の保水空間が比較的小さく水が残りにくいいため凍結に強い、過熱蒸気や超臨界水にも使用できる、イニシャルコストが低いという利点がある。一方、蒸気ロスが大きい、降雨や外気温の影響を受けやすい、短寿命であるなどの欠点もある。

作動原理や作動特性が大きく異なるため、用途に

表1 スチームトラップの分類

作動原理による分類	内部構造による分類	作動原理
メカニカル・スチームトラップ	フロート式 バケット式	蒸気とドレンの比重差
サーモスタティック・スチームトラップ	エレメント式 バイメタル式	蒸気とドレンの温度差
サーモダイナミック・スチームトラップ	ディスク式 インパルス式	蒸気とドレンの熱力学的特性差

あわせた型式選定が重要となる。

4. スチームトラップの選定に必要な項目

スチームトラップの選定に必要な項目のうち、代表的なものを紹介する。

• 用途

スチームトラップの作動特性や特徴とスチームトラップを設置する箇所の特性とのマッチングを図らねばならない。不適切なスチームトラップを使用すると、ドレンが抜けない、または蒸気が漏れ出るといった問題が生じうる。

例えば一般的な熱交換器に使用する場合には、ドレン発生量と排出量が連動して蒸気ロスの少ないフロート式が最適である場合が多い。シリンダードライヤーや加熱プレス機など蒸気やエアが配管中にとどまってしまう、スチームトラップへのドレンの流入が阻害される現象が頻繁に起こる用途においては、あえて作動に少量の蒸気漏れを伴うバケット式を選定することがある。

• 排出流量

型式選定において、スチームトラップの容量と配管取り合い口径(呼径)を判断するために必要となる。同じ配管取り合い口径でもスチームトラップのドレン排出流量はオリフィス口径等によって異なる場合がある。また、容量と口径が決まっても排出流量は前後の圧力差によって変化するため、実運転圧力変動範囲も考慮した判断が必要である。

さらに、最大ドレン流量が不明確な場合やスチームトラップの機器としての余裕率そしてスチームトラップの作動形態を考慮して安全率を加味した排出流量で選定することも重要である。

• 運転時の蒸気圧力

型式選定において、排出流量と合わせてスチームトラップの容量などを決定するために必要となる。前述のように作動圧力差で排出流量が変化の上、メカニカル・スチームトラップでは同じ型式でも最高使用圧力が異なる仕様が用意されていることが多い。これは同じ型式内で「使用圧力を制限する代わりに排出流量を大きく確保する」か「排出流量を制限する代わりに高圧まで使用できるようにする」かの選択が可能となるよう工夫されたものである。

• 最大許容圧力および最大許容温度

大まかには「耐圧」と「耐温」と考えてよい。スチームトラップの型式選定および材質選定に必要なものとなる。加えて仕向け先が海外である場合は、輸出先の法律に準じた申請が必要になることもある。必要な耐圧性能を維持して破裂、漏れに至らないように耐圧部の設計に反映される。

なお、スチームトラップとして正常に作動して機能するかどうかは、最高使用圧力や最大作動圧力差、最高使用温度など別の指標によって示されていることが多いため注意が必要である。

• スチームトラップの二次側圧力

型式選定に必要なものとなる。スチームトラップの排出流量を左右する作動圧力差は一次側圧力と二次側圧力の差であるから、二次側圧力の値を明らかにする必要がある。スチームトラップの二次側圧力を推定するために必要なドレン配管の圧力、立ち上がり配管の有無とその高さが特に重要となる。立ち上がり配管の高さ分の水頭圧をドレン配管の圧力に加えたものがスチームトラップの二次側圧力となる。

スチームトラップの作動圧力差が確保できず、そもそもドレンを排出できないこともある。これを避けるにはわずかな圧力差でも作動できるメカニカルタイプを用いるのがよい。

選定において注意したいことの一つは「大は小を兼ねる」という考えである。これは、ある場面においては正しく、ある場面においては正しくないということになる。必要以上に排出能力が大きいスチームトラップを選定した場合でもそれがドレン滞留の原因になることはない。つまり、蒸気使用装置などにスチームトラップを設置する場合は「大は小を兼ねる」と考えても問題がない。しかし、例えば過熱蒸気を輸送する配管など、定常時にドレンが少量しか流れないような場所に排出能力が大きいスチームトラップを設置した場合、排出能力が大きい＝弁が大きいことを意味するため、弁漏れ量が大きくなってしまい省エネルギーの観点で不利である。放熱面積が大きくなることも不利となる。

そのため、どんな場面でも排水能力が大きければ安全と考えるのではなく、型式ごとの内部構造と作動原理を理解し、ドレン量や圧力条件と照らし合わせて適切な型式や排水能力を選定することが重要である。

排出能力とは別に、スチームトラップの構造によっては蒸気漏れを起こす原因となることにも留意しなければならない。定常時にドレンが少量しか流れないような場所に内部にドレンがほとんど無い時には開弁して蒸気が素通りしてしまうバケット式や、ドレンの有無とは直接の関係なく、本体の一部分の温度が下がると開弁するディスク式を設置すると、蒸気ロスが大きくなってしまう。

このような場合も、ドレンが無くても閉弁力を維持できるシール性の高いフロート式を用いるのが好ましいであろう。

このように選定に際しては最大値だけでなく定常時の値も考慮したい。

「用途・目的に応じて機能をどのように発揮させるか」が選定のキーポイントである。

5. スチームトラップに関わるトラブル事例

スチームトラップに関するトラブル事例として2000年にイギリスで起きた蒸気配管の破裂事故を紹介したい。石油精製プラントで起きたこの事故では蒸気圧力1.4MPaG、450mm径の蒸気配管が破裂したことで、下流のプラントへの蒸気供給が停止し、4週間の生産停止を引き起こした。

非常に大口径の蒸気配管が破裂した事故であるが、その原因はウォーターハンマーであり、スチームトラップの入口バルブが閉じられており機能していなかったために起きたと考えられている。ウォーターハンマーによるトラブルの多くはこうした人為的なミスやスチームトラップが必要な箇所にも正しく設置されていないこと、選定・使用が適切でないこ

とによる。当該事例では、破裂した箇所の近くのスチームトラップが機能しておらず、配管中にドレンが滞留したことがウォーターハンマーの要因となったと考えられている。

もしこのスチームトラップが機能していたとしても、選定・仕様が誤っていてドレンを排出できていなければ、同じことになってしまう。適切にスチームトラップを選定することの重要性を感じていただければ幸いである。

また、蒸気配管中にドレンが滞留することによるトラブルはウォーターハンマー以外にも存在する。トラブル例とその要因を、下記の表に示す。これらを回避するためにもスチームトラップの選定には十二分に注意をしていただきたい。

6. スチームトラップの設計と要求事項

「設計」という言葉をあらためて定義しておきたい。設計とは、広義では

1. 新規設計（新製品開発）
2. 要求仕様に対応するための設計（仕様変更、個別の要求に対する追加開発）
3. 既存製品の選定（プラント全体設計の一環）

の3つ全てを含む言葉であるが、本稿においてはそのうち2.の意味で用いる。

設計が必要となる場合は、案件ごとの仕様に合わせて標準設計から変更していくことになる。新製品開発を行うことも全くないわけではないが、莫大な時間と費用が掛かるため、通常は実施しない。変更対象となる項目、すなわちプラント会社から要求される項目には、例えば以下のようなものがある。

表2 ドレン滞留によるトラブル例

トラブル	要因
熱交換器の効率低下 (生産性低下)	ドレン滞留による伝熱面積の低下 伝熱面にドレン膜が生じることによる伝熱係数の低下
熱交換器での加熱ムラの発生 (品質低下)	滞留するドレンによる飽和温度以下の顕熱加熱
ウォーターハンマーによる機器の損傷 (不安全、設備コスト増)	蒸気に押し飛ばされたドレン塊の管内壁への衝突 蒸気輸送配管中の滞留ドレンによって生じた蒸気塊の急凝縮やドレン回収管に侵入した蒸気が急凝縮する際のドレンどうしの衝突
配管・機器の腐食による穴あき、詰まり (不安全、設備コスト増)	酸素や二酸化炭素の溶解度が高まる温度域のドレンと金属の接触
ドレンアタックによる配管の穴あき、エロージョン (不安全、設備コスト増)	ドレン水滴の管内壁への衝突

スチームトラップの仕様と設計…(5)

- 面間寸法
- 全体の寸法
- 接続規格（フランジ・ねじ込み等と適用規格）
- 材質
- 腐れ代
- ハードフェーシング
- 熱処理
- 塗装
- 洗浄・禁油処理
- 検査方法
- 梱包輸送
- 要求図書
- 適用規格
- 使用流体（蒸気/水 以外）

これらの要求と製品とを一致させる橋渡しをするものが「設計」である。

スチームトラップメーカーは様々な用途・使用条件を想定して標準仕様とそのラインアップを設定している。対応の幅を広げすぎると製作コストが上がって販売価格も上昇してしまうため網羅することはできないが、この範囲内で対応できるものが多いと考えている。もちろん既存のラインアップで満たせない要求がある場合にはそれに合わせて設計を行うが、発注サイドとメーカーサイドの両者にとって追加のコストや工数がかかってしまうため、可能な限り要求を既存のスチームトラップにあわせていくことが好ましいであろう。

ここからは上述の要求のうち、注目しておきたいトレンドをいくつか紹介する。

• 設計基準・規格

現状、スチームトラップの設計基準を明確にした規格はない。そのため設計に際しては压力容器や配管機器、あるいは配管の一部として見なしてそれぞれの法律・規格を参照することが多い。この選び方は各メーカー独自の判断による。

用いられる規格の例として、日本国内の規格としては压力容器の設計要件を記すJIS B8265が、米国では同じく压力容器の設計要件を記すASME BPVC Sec. VIIIや配管の規格であるASME B31.3が挙げられる。

ただしここで挙げた压力容器の設計規格はいずれもタンクなどの大型の容器を想定して書かれたもので、スチームトラップのような小さく大量生産で製

造されるものにはそぐわない条項も含まれる。必要な項目だけをピックアップして要求仕様に盛り込むのが価格・納期・入手容易性を考えると好ましいと考える。

適合が求められるのは規格だけでなく各国の法律も同様である。日本の労働安全衛生法や欧州連合(EU)のPED (Pressure Equipment Directive) など、圧力機器に対する扱いを定めた法律が各国にあり、それぞれ要求内容が異なる。輸入するためにも第三者機関による認証が必要になる国もあるが、そのための設計基準や検査基準はそれぞれの法律が定める規格に準拠することとなる。

また先進国に追従するように、発展途上国で法整備と厳格化が進んでいる。昨今特に、インドのボイラーおよび周辺機器について設計基準まで言及したIndian Boiler Regulationや、ロシア、アルメニア等5カ国が加盟するユーラシア経済連合が定めるEAC認証、中国の特種設備安全法に関する問い合わせを多く受けている。

• 材料の原産地指定、試験要求

近年のコスト競争の激化や海外規格対応の必要性を受けて、メーカーは材料調達グローバル化を進めている。一方で、ミルシートの改ざんをはじめとした海外調達材料の信頼性が問われる技術的・モラル的な問題が生じている。このような状況の中で製品の安全・信頼を担保するため、耐圧部については材料の原産地指定や、PMI検査（成分分析）の要求が多くなっている。

原産地指定要求としては具体的な国名や地域名を挙げてそれ以外の地域から調達するような指示となる。結果として、コスト削減のために材料の調達先を海外に変更したのに他の地域から割高で購入することになり、追加の検査費用がかかったために従来よりもコスト高になってしまう皮肉な状況も起きている。

• 低温対応

蒸気配管で用いられるスチームトラップは使用時には高温になるため、最高使用温度は当然重要なスペックの一つである。

ところが近年は最高許容温度だけでなく、極寒地での使用を見越した最低許容温度の要求が増えてきた。

この最低許容温度は材質のスペックによるものであるため、指定される温度や試験要求によっては調達の難度・コストが激変し、製品価格へも影響する。

例えば低温材として一番よく用いられるASTM A352 Grade LCBは、ASME B31.3によると -46°C 以上ではシャルピー衝撃試験を行わずに使用することが可能である。逆に、 -46°C 未満での使用を想定する場合はその温度帯でのシャルピー衝撃試験が要求されるため、材料の調達が困難になり、制作不可と判断せざるを得ない場合もある。

ステンレス材は最低許容温度が -198°C や -254°C など非常に低いものが多く、極寒地での使用にも耐えられるが、材料の価格が高くなってしまふ。

現状は低温材として市場性があるのはLCBのみだが、今後LCB以外の低温材が広まれば、状況は変わるであろう。ロシア・ウクライナ情勢次第では低温対応の要求自体がなくなっていく可能性もあるが、ひとまずは今後の低温材の市場性向上に期待したい。

7. 要求仕様書を明確にすべき理由

プラント会社とメーカーとの間で、仕様に対する見解の相違があった事例を紹介する。

ある案件で、プラント会社がスチームトラップの塗装について要求仕様書と一致していない旨をメーカー側に指摘してきた。

このスチームトラップは大部分が炭素鋼製であったが、一部の部品のみエロージョン対策のためステンレス材を用いていた。要求仕様書には炭素鋼材料のみ塗装することが記載されていたが、ステンレス材を使用する部品の締結ボルトやナットが炭素鋼製でありステンレス部のみをマスキングして塗装することが困難なため、以前からこのプラント会社と合意の上で全面塗装しており、当該案件ではジンク系塗料を用いた。

しかし、選定したジンク系塗料は、ステンレス材に使用した場合、高温条件下 (420°C 以上) においてジンクアタック (亜鉛脆性割れ) を起こす可能性があった。本件のスチームトラップは仕様上そこまでの高温になることはないが、ジンクアタックのリスクがある塗料を選定する場合は注意が必要である。

本件は、ステンレス部への塗装について仕様を明確にしなかったことが主たる原因であった。要求仕

様からジンクアタックが問題となる温度で使用されることがなく、リスクはないと判断してジンク系塗料を選定したメーカーと、そもそもジンク系塗料とステンレス材の組み合わせをリスクと認識していたプラント会社との間に見解の相違があった点を鑑みると、デビエーションリストなどで明らかにすべきであった。このような見解の相違を減らすために、要求仕様書を書く側は明確に記述することが、読む側は想定する範囲と別の考え方もあり得ることを認識しておくことが重要だろう。

また、熱処理要求について注意すべき点を紹介しておきたい。

低合金鋼や一部の炭素鋼などでは、熱処理の要項が要求仕様書にうたわれている場合とうたわれていない場合がある。記載のある要求仕様書においても「材料規格に適合すること」といった記述がなされており、熱処理時間に余裕を見た要求が無いことが多い。しかし、実際のものづくりや、現場の配管に溶接で接続する際の手直しなどで、本来より過大な熱をかけてしまうおそれがある。このリスクを回避するためには、製作時の補修溶接や溶接による配管接続が見込まれる製品について、機械試験に使用する試験片の熱処理時間を長くする「2SR (規定時間の2倍の保持時間を行い、追加で熱がかかっても材料を保証できるようにする)」などの要求を含めておくのが好ましいであろう。

8. おわりに

コスト面について、プラント設計の段階ではインシャルコストを優先してしまいがちだが、ランニングコストや生産性など実際に運転し使用する段階を見越した検討が重要である。時にはプラント会社だけでなくオーナー (エンドユーザー) の理解を得て、設計・プラント立ち上げ・メンテナンスといった中長期にわたるプラントのライフサイクルの視点で検討することが求められるのではないだろうか。

安全性について、ウォーターハンマーによる事故事例を挙げたが、ウォーターハンマーが発生したからといって必ず事故に結びつくわけではない。実際、筆者も多くのプラントを訪問したがウォーターハンマーが発生していない現場はまれである一方、実際にウォーターハンマーを原因とする事故に至った現

スチームトラップの仕様と設計…(7)

場は幸いにもまだ訪れたことがない。大抵はそれ以上何も起こらずに済むのだが、ごくまれに操業停止や労働災害を引き起こすような大きなトラブルに至る。こうしたリスクを取り除くことが安全安定操業の必要条件となるであろう。

とはいえ、実際の運用を踏まえた上でリスクまで鑑みて最適設計を行うというのは容易ではない。序盤でも述べたが、スチームトラップを導入する際には製品のスペック・選定はもちろん、どこに設置するか、どのように設置するか、どんな用途に使用さ

れるかについても重要なポイントとなる。少しでも不安があれば、蒸気の専門家に相談してほしい。

【筆者紹介】

今井 翔太
株式会社ティエルブイ
〒675-8511
兵庫県加古川市野口町長砂881