

# 蒸気乾き度計測機能を搭載した渦流量計

(株)ティエルピー 高田 一平

## はじめに

蒸気はプラント操業において最も重要な熱エネルギーの一つであり、使い方によって蒸気使用量や生産性、生産物の品質が大きく左右される。

蒸気はその使い方として、できるだけ乾き度が高い状態で蒸気使用装置へ供給することが重要である。しかし、蒸気を使用するプラントでは配管の断熱保温の劣化やボイラでのキャリーオーバー、さらにトラッピングの不備等によって蒸気の乾き度の低下が日常的に発生している。

蒸気の乾き度の低下は、蒸気使用設備の省エネルギー、生産性、生産物の品質、メンテナンス等の阻害要因の一つとなっている。一方で、蒸気を生産物に直接吹きかける使い方では、蒸気に湿りを求めるような用途もある。このように、蒸気を使用する上で、蒸気の乾き度は重要な管理テーマでなければならない。

省エネの推進が求められている中で、現状を把握するために蒸気使用量を計測する流量計が各所に設置されている。

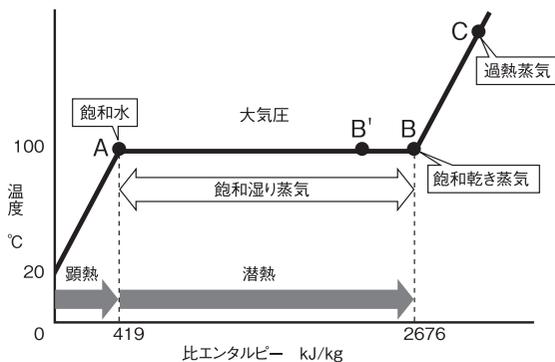
本稿では、蒸気用流量計として広く用いられている渦流量計について、省エネ促進を目的とした流量の計測に加え、蒸気の乾き度計測による安定操業、ならびに品質の安定化の実現に寄与する方法を紹介する。

## 1. 蒸気の乾き度とは

蒸気の乾き度とは、飽和蒸気中の気体部分と液体分の比率を表したものである。蒸気を加熱

源として使用するプラントにおいて、理想は飽和乾き蒸気（乾き度100%）である。しかし、実際には蒸気はボイラで作られたのち延々と長い蒸気配管を経て各蒸気使用設備に供給されるので、配管等からの放熱、凝縮した蒸気ドレンを排出するためのトラッピングの不備等によって乾き度はかなり低下している。ボイラ缶水のキャリーオーバーで元々湿っていることもある。また、過熱蒸気においても減温システムがうまく機能していないようなケースでは過熱度が設定以上に低下し、時には湿り蒸気になっているようなこともある。

第1図は、蒸気の温度と比エンタルピーとの関係を示したもので、乾き度100%の、加熱源として理想的な飽和乾き蒸気はBの位置である。しかし、現実に蒸気プラントで使用されている蒸気は、乾き度がいくらか低下した飽和湿り蒸気であり、B'の位置になる。



第1図 蒸気の温度と比エンタルピー（大気圧力の例）

また、蒸気の乾き度の定義は、水と蒸気を含む蒸気中の蒸気の質量割合を指すもので、以下の式で表すことができる。

$$\text{乾き度 (\%)} = \frac{\text{蒸気の質量流量}}{\text{蒸気の質量流量} + \text{水の質量流量}} \times 100$$

そのため、乾き度 $x$ の飽和蒸気の比体積 $v$ 、比エンタルピー $h$ は次の式の通りとなり、乾き飽和蒸気の乾き度が低下すると比体積、比エンタルピーともに減少することが分かる。

- 比体積  $v = v' + x(v'' - v')$
  - 比エンタルピー  $h = h' + xr = h' + x(h'' - h')$
- $v''$ : 蒸気の比体積  
 $v'$ : ドレンの比体積  
 $h''$ : 蒸気の比エンタルピー  
 $h'$ : 顕熱  
 $r$ : 潜熱

## 2. 蒸気の乾き度低下による問題

蒸気の乾き度の低下が蒸気を使用する設備や工程にどのような影響をもたらすのかを説明する。

最初に、蒸気タービンを例に挙げる。蒸気タービンでは過熱蒸気が使用されるが、過熱度が低下して飽和蒸気となりさらには乾き度が低下してドレン水滴が発生した場合には、ドレン水滴が高速で回転するタービンの羽根に衝突し、短期間でエロージョンを発生させるドレンアタックとなる。

次に、蒸気輸送配管での乾き度の低下は、蒸気中のドレン水滴が蒸気配管に設置されたバルブや流量計、減圧弁や制御弁などの機器、配管エルボ等のエロージョンを促進し、これらの機器の寿命を著しく短命にすることもある。また、発生したドレンがウォーターハンマーの原因となることもある。

そして、蒸気を間接的に使用する一般的な加熱用途では、蒸気の乾き度の低下によって発生するドレンが、熱交換器等の伝熱面の伝熱効率

を阻害し生産性を悪化させる。

このように蒸気の乾き度の低下によって様々な問題が起こるが、多くの現場では顕在化した問題現象の処置のみに追われ、真の原因である蒸気の乾き度低下に対する有効な対策が取られていないケースが多い。

## 3. 蒸気の乾き度計測機能搭載\*の渦流量計

これまでに説明してきた蒸気の乾き度低下が引き起こす問題を解決するためには、まず現状の乾き度を知る必要がある。そこで、蒸気の乾き度を計測することができる渦流量計EF200F-C (写真1) を紹介する。

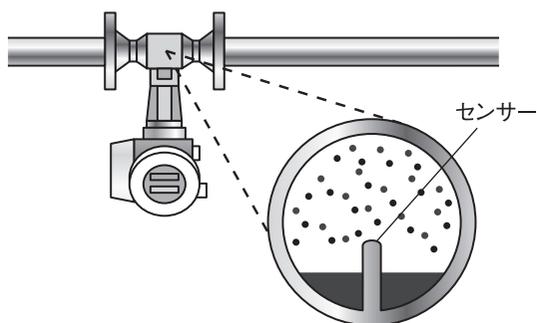


写真1 TLV渦流量計EF200F-C

EF200F-Cで乾き度が測定できる原理を簡単に説明する。蒸気の乾き度が悪くなり測定配管にドレンが混在してくると、配管の底部にドレンの層ができる。このとき、第2図のように流量計を水平下向きに設置すると、流量センサーの根元部分にも、ドレンの層があたる。ドレンが流量センサーに与える影響と乾き度との間に相関があることをあらかじめ実験で確認しているため、乾き度を特定することができる。

また、乾き度は外部出力でき、乾き度を考慮した蒸気流量やエネルギーの補正も可能である。

\*乾き度計測機能はEF200F-Cのオプションである。



第2図 センサーとドレンの層

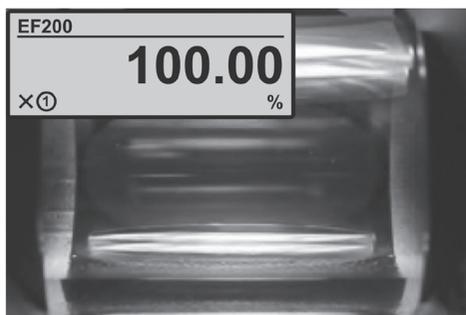


写真2 乾き度100% (飽和蒸気)

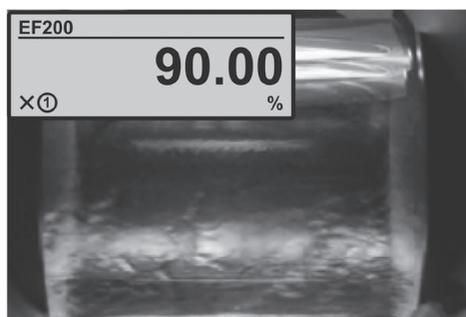


写真3 乾き度90%、水分10% (波状の流れを伴う)

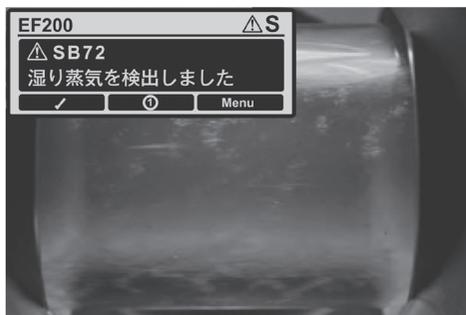


写真4 乾き度80%、水分20% (環状流)

#### 4. 蒸気の乾き度計測機能の活用事例

蒸気の乾き度の計測機能を活用した事例について3例紹介する。

一つ目は、化学工場において、蒸気用の電磁弁が頻繁に故障するという課題があった。蒸気の乾き度計測機能搭載の流量計を設置し、蒸気の乾き度を計測、管理を行ったことで、蒸気の乾き度が低下してくると、蒸気用電磁弁がドレンによるエロージョンで故障に繋がっていることが判明した。配管保温やスチームトラップの劣化を予知保全し、放熱ロスやドレンの滞留の対策が可能になり、結果として蒸気用電磁弁の長寿命化が可能になった。

二つ目は、食品工場における餃子の蒸し工程などで生産物に直接蒸気を吹きかけており、季節ごとにおける、製品重量のばらつきが課題であった。蒸気の乾き度計測機能搭載の流量計を設置し、蒸気の乾き度を計測、管理を行ったことで、製品品質の安定化、歩留まり向上などにも貢献した。

三つ目は、食用油工場において、原料の乾燥工程で、直接蒸気を吹きかけており、原料の含水率が安定しないという事例があった。蒸気の乾き度を計測することで、冬季の放熱による乾き度の低下が原因であることが判明し、ドレンセパレーターを設置することで、乾き度の向上を図り、原料含水率の安定化に寄与した。

#### 5. 蒸気の特徴を踏まえた渦流量計

もちろん蒸気の乾き度に見える化だけでなく、蒸気使用量の見える化のためにも、蒸気流量計は使用される。

一般的に蒸気流量計に求められる要件には、測定可能な流量範囲が広い、高精度で圧力損失が小さい、配管取り付けが容易、などがある。現存する蒸気流量計の中では渦流量計が最も要件をみたしているため、現在主流のタイプとなっている。

当社の渦流量計は蒸気・エア・水等のほぼすべての流体が計測できるが、特に蒸気流量計測

にフォーカスした機能として、以下の特徴がある。

(1) 測定範囲が広く全域で

高精度な計測が可能

レンジアビリティ（最小流量と最大流量の比）は平均1：26と大きく、また測定精度は指示値、つまり実際の計測値に対して、 $\pm 2\%$ であるため、広範囲な流量計に対して常に高精度で計測できる。

レンジアビリティは流量計の計測範囲を示す指数であるが、その最大流量値と合わせて評価することが重要である。

例えば、サイズ50の製品で実際に比較してみると、渦流量計EF200F-Cは、蒸気圧力が1.0 MPaGの場合、0.098～2.9 t/hまで計測できるのに対して、市場に存在する同じサイズでレンジアビリティがもっと大きな商品の中には、最大1.3 t/h程度までしか計測できないものもある。最大流量値が小さいにもかかわらずレンジアビリティが大きいということは計測可能な最小値が小さいといことであり、この場合、約0.03 t/hまで計測が可能である。このようにレンジアビリティは計算上最小値が小さいほど大きくなるので注意が必要である。また、測定原理によっては、指示値に対する精度ではなく、フルスケールに対する精度となるものがあるのでこの点も注意が必要である。

したがって、選定時には単にレンジアビリティのみを比較するのではなく、計測可能な実流量範囲がいくらなのか、また精度、つまり計測誤差は実際の計測値に対してどれだけあるのかをよく確認する必要がある。

(2) 飽和蒸気では圧力が変動する場合でも

単体で自動的に質量流量補正ができる

通常、蒸気の流量を計測し、表示する場合、体積流量ではなく質量流量で表現される。流量計の測定原理は体積流量を計測するものであるため、その時の蒸気圧力により蒸気表から蒸気の比重量を求め、質量流量に換算する。飽和蒸気では圧力もしくは温度の一方が決まると蒸気

の比重量が定まるため、流量計と合わせて圧力もしくは温度センサーを設置し、負荷変動による蒸気圧力の変化に対して正確に補正計算を追従させる必要がある。EF200-Cは温度センサーを内蔵しているため、流量計単独でリアルタイムに補正することができ、補正済みの質量流量を表示したり出力したりすることが可能である。

(3) 圧力損失が小さい

飽和蒸気は圧力が下がると温度も低下する性質を持っているので、蒸気を使用する工程への蒸気供給配管に設置する流量計は圧力損失ができるだけ小さいことが求められる。渦流量計は内部構造がシンプルなため圧力損失が非常に小さい。

例えば、サイズ50のEF200-Cの圧力損失は蒸気圧力2.0 MPaG、流量1.9 t/h時にわずか0.007 MPaである。

(4) 可動部がなく構造が簡単で長寿命

流量センサーとして、検出素子には可動部がなく、耐久性を約2～3倍（当社従来比）に向上させたバランシング静電容量式DSCセンサーを採用している。急激な温度変化や振動等のノイズにも強く安定して測定が可能である。



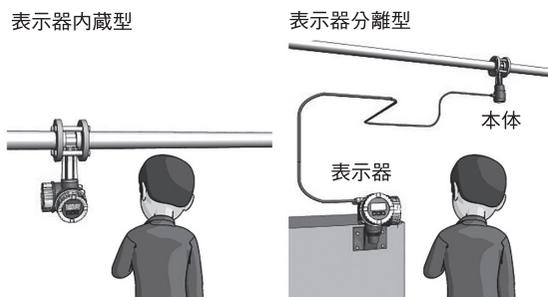
写真5 静電容量式DSCセンサー

(5) 配管設置が簡単

本体は配管取り合い部がウェハタイプとフランジタイプの2種類がある。また、オリフィス式や差圧式と異なり、シールポットや導圧管も

不要、更にウェハタイプは全サイズともに面間寸法が共通のため配管設置が非常に簡単である。表示器内蔵でありながら保護構造がIP66/IP67で屋外での設置も可能である。また表示器部分は簡単に設置角度（表示部が45度刻みでセット）や方向を変更可能等設置が容易である。表示器分離型流量計は本体発信器と表示器を30m以内の離れた場所に設置することが可能である。

ただし、渦流量計は安定した流れが必要なため、入口側に一定の直管部が求められることを忘れてはいけない。



第3図 表示器内蔵型と表示器分離型

## おわりに

産業分野の多くの事業所では、蒸気分野に限ってみてもまだまだ大きな省エネ改善のポテンシャルを有していると当社は考えている。また、そのことは当社による多くの工場診断・改善の実績からもいえる。

本稿で紹介した蒸気の乾き度機能を搭載した渦流量計は、蒸気のコンディションモニタリングならびにエネルギーモニタリングに活用できるものである。今後の更なる省エネ改善、そして工場の安定操業、生産物の品質安定化等、幅広く役立てれば幸いである。

当社はスチームスペシャリストとして、1950年の創業以来70年以上にわたり、一貫して蒸気分野にこだわり続けている企業である。今後も省エネルギー、プラント操業に関する課題を抱えておられる皆様のニーズに広く応えていけるよう日々研鑽していく所存である。

## 【筆者紹介】

高田一平  
(株)ティエルパイ CESセンター