

6. エネルギーの有効利用

(6. 11 蒸気の有効利用による省エネルギー)

(株)ティエルプイ

本 庄 真 啓

1. 概要

蒸気は、多くの産業で熱源や動力源として大量に使用されている。蒸気は正しく使用されることで、高い生産性、高品質なものづくりを安全に実現できる、利用価値の高い熱エネルギーである。ただし、それは蒸気システムが最適な状態に維持・管理されていることが前提となる。

本稿では、蒸気を正しく使用し、無駄なロスを省き、排熱の回収による省エネルギーを実現する方策など、蒸気の価値を最大限発揮するための手法について紹介したい。

2. 蒸気の性質

はじめに蒸気の価値を最大限発揮するためには、蒸気の性質とその利点を把握しておく必要がある。

①均一な加熱により、生産物の品質が向上

飽和蒸気は、圧力が一定であれば温度が一義的に決まる。すなわち、装置内の圧力を一定に保ちさえすれば、一定の温度での加熱が可能になり、均一な加熱による生産物の品質の向上に繋がる。

②加熱速度が速く、生産性が高い

蒸気による加熱は凝縮により生産物へ熱を与える潜熱による加熱である。これは、他の熱媒にはない特徴である。

一方、温水で加熱をする場合は、被加熱物へ熱を与えて温水自体の温度が下がる顕熱による加熱であり、対流伝熱である。この場合、蒸気が持つ潜熱は利用できないため、同じ質量の温水が与えるエネルギーは蒸気より明らかに小さい。

例えば、水をステンレス製の熱交換器で加熱した場合、熱源を温水と蒸気における総括伝熱係数U値を比較してみる。

加熱側の熱伝達率が温水の場合 $\alpha_1=2000\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 、蒸気の場合 $\alpha_1=10000\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ (凝縮時の熱伝達率)、被加熱側の熱伝達率の温水 $\alpha_2=2000\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 、SUS製の熱交換器の熱伝導率 $\lambda=16\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 、厚さ $\delta=5\text{mm}$ とするとUは次式で求められる。

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

温水で水を加熱する場合

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2000} + \frac{0.005}{16} + \frac{1}{2000}$$

$$U=761.9\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$$

蒸気で水を加熱する場合

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{10000} + \frac{0.005}{16} + \frac{1}{2000}$$

$$U=1095.9\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$$

その結果、蒸気を使用した場合の総括伝熱係数U値は温水の約1.4倍となり、伝熱量もこれに比例する。

③蒸気ドレンは再利用が可能

蒸気輸送配管では放熱により、また、熱交換器、空調設備では被加熱物への伝熱により蒸気は凝縮しドレンとなる。このドレンは蒸気の保有している全エネルギーの約30%にもなるため、回収・再利用することにより、ボイラー燃料の低減や、水・熱資源の再利用が実現できる。

さらに蒸気は元々水からできているので、万が一漏れ出たとしても有害性が低いエネルギーと言える。

3. 蒸気の正しい使い方

(1) 高压で送気、低压で使用

蒸気は圧力が高いほど比体積が小さくなる。そ

のため、ボイラーで発生した蒸気は装置まで送気する際に、減圧するのではなく、高圧のまま送気した方が比体積は小さいため、送気配管の小口径化が可能になる。これは、配管施工のイニシャルコスト削減や放熱ロス低減によるランニングコスト削減に繋がる。

次に、高圧蒸気で生産物を加熱することを考えてみる。高圧の蒸気は温度も高いので生産物の目標とする温度が低いと、供給蒸気温度との差が大きくなり、制御性が悪化し、生産物の品質に影響することが考えられる。よって、装置に供給する蒸気圧力はできる限り下げた方が制御性が向上する。さらに、蒸気の圧力が低い方が潜熱は大きくなるため、消費される蒸気の使用量削減、ひいてはドレン量の削減にも繋がる。

(2) 減圧による蒸気削減量の試算

例えば、水を加熱するために蒸気を使用したとする。改善前は1.0MPaG、改善後は0.2MPaGに減圧した場合の蒸気削減量を試算する。

蒸気の年間削減量

$$A = W \times C \times (T_1 - T_2) \times \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \times t$$

- ・ A : 蒸気の削減量 kg/h
- ・ W : 生産物の量 1 000 kg/h
- ・ C : 生産物の比熱 4.186 kJ/kg・K
- ・ T : 生産物温度 T₁ 20°C (初期) → T₂ 80°C (完了)
- ・ r₁ : 1.0MPaGの潜熱 1 999.28 kJ/kg
- ・ r₂ : 0.2MPaGの潜熱 2 163.0 kJ/kg
- ・ t : 年間の稼働時間 8 000 h
- ・ y : 蒸気単価 ¥3 000/ton

$$A = 1\,000 \times 4.186 \times (80 - 20) \times \left(\frac{1}{1\,999.28} - \frac{1}{2\,163.0} \right) \times 8\,000$$

$$= 76\,070 \text{ kg}$$

$$\text{削減率} = \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right) \times 100 (\%) \text{ から}$$

$$\text{削減率} = \left(1 - \frac{1\,999.28}{2\,163.0} \right) \times 100 = 7.57 \%$$

$$\text{削減メリット} = A \times \frac{y}{1\,000} \text{ (千円) から}$$

$$\text{削減メリット} = 76\,070 \times \frac{3\,000}{1\,000} = 228.2 \text{ 千円}$$

蒸気を減圧して使用すると上記のような効果を

得ることが可能である。しかし、すでにドレンを回収している場合は、減圧後に回収するドレン温度が低下するため回収タンク水温が低下し、燃料使用量が増加する場合、エネルギーバランスの検討が必要である。

また、減圧弁の設置についても、いくつか考慮すべきポイントがある。

① 減圧弁の選定

減圧弁の目的は、一次側の圧力変動や、蒸気の流量が変動しても二次側の圧力を安定させ一定の値を維持することである。併せて蒸気の乾き度の向上を行うことができれば、蒸気使用設備の生産性、減圧弁自体の寿命向上に繋がる。図40.1は蒸気プロセス用減圧弁（セパレーター・スチームトラップ内蔵）で、圧力の安定と蒸気の乾き度向上の機能を併せ持つ。

② 送気圧力損失による、供給圧力低下

減圧することにより蒸気の比体積は大きくなる。流量、配管の長さによっては減圧弁二次側の送気圧力損失が大きくなり、必要な蒸気圧力、温度が装置に供給できない場合がある。また、昇温時間が必要以上に長くなる可能性がある。そのような事態とならないよう減圧弁二次側の配管は一時間よりも口径をアップするなどの検討が必要である。

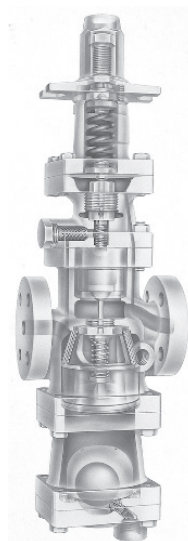


図40.1 蒸気プロセス用減圧弁
(セパレーター・トラップ内蔵)

キ
リ
ト
リ
線

4. ロス改善による省エネ

(1) 保温の見直しで配管放熱ロスを低減

蒸気輸送配管の保温外装板および保温材の劣化、場合によっては脱落により、ムダな放熱ロスが発生している場合がある。触診にて温度が高いところは保温の劣化等が考えられるが、その手法では非効率であり、定量化できないばかりか不安全である。図40.2で示すように、調査を行う手法としてサーモスキャンがある。非接触で広範囲に効率よく保温劣化箇所の特定を診断することができる。また、保温材の選定については、配管温度、配管径によって適正保温材厚さをJIS A 9501等を参考に決定されたい。

(2) 配管見直しで放熱ロスの低減

設備使用状況の変更により、設備が休止しているにもかかわらず蒸気が供給されたままになっていないだろうか。あるいは、配管経路が複雑になっており、気が付かないうちに不要な配管にまで蒸気が供給され続けていないだろうか。また、高負荷時に合わせた設計で配管径が過大になっていないだろうか。

未使用設備への蒸気供給を遮断し、配管経路はできるだけ短く、簡潔にする。また、負荷は準準化を行い、配管サイズの適正化を図ることで小さくすることができれば放熱ロスを減らすことができ、ランニングコストの削減に繋がる。

(3) スチームトラップの蒸気漏れ対策

スチームトラップは、蒸気使用箇所ですべて発生するドレンを排出し、生産設備を安全かつ効率よ

く運転するためにはなくてはならない機器である。

ドレンを蒸気使用装置から排出しなければ、生産物の昇温不良や、ウォータハンマーによる設備・機器の破損等を引き起こすリスクが高まる。スチームトラップは装置で発生したドレンを都度排出しつつ、蒸気を漏らさないことが求められる。ただし使用とともにいつかは故障する。

故障により蒸気漏れが発生すれば、直ちに損失となる。そのため定期的に診断を行い、不良箇所を改善することで蒸気ロスの最小化が可能になる。当社の実績では、初めてトラップ診断を実施した事業場におけるスチームトラップ1箇所あたりの平均漏れ量は、1時間あたり4.7kgである。仮に100箇所の漏れ不良があると(蒸気単価3000円/ton, 稼働時間8000h/年), 年間11280千円にもなる。

また、スチームトラップが正常であったとしても作動に伴う蒸気ロスが発生するが、スチームトラップの種類によってこのロス量に差があることはご存知だろうか。

図40.3は正常なディスク式とボールフロート(フリーフロート®)式の作動蒸気ロスの比較であるが、適切な種類のスチームトラップを選定することで、作動蒸気ロスが90%削減可能となる場合もある。

(4) バルブの外部漏れ対策

蒸気システムでは多くのバルブが使用される。蒸気を供給するための主蒸気弁や遮断弁、減圧弁、制御弁、スチームトラップの前後バルブ、そのバ

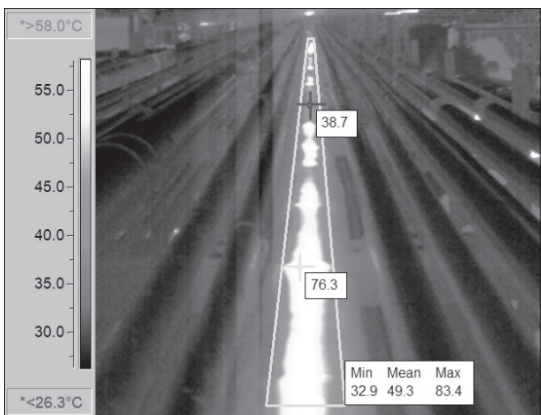


図40.2 サーモスキャンによる保温材劣化有無の診断

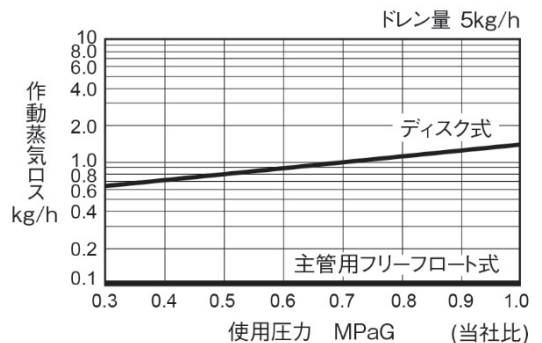


図40.3 スチームトラップの作動蒸気ロス比較

イババルブ等が設置される。その目的は、蒸気の通路を開閉したり、流量を調整したりすることであるが、そのグランドパッキン部から蒸気の外部漏れが発生しているのを現場でよく見かける。これは、危険を伴うと同時に蒸気ロスそのものである。定期的にスチームトラップの点検を行うと同時にバルブの外部漏れについても調査を行い、不良箇所については改善されることが望ましい。バルブからの外部漏れは、**図40.4**に漏洩量とその吹き出し高さを記載しているので、指標として活用いただきたい。

外部漏れの対策としては、**図40.5**のようなベローズバルブがある。ベローズバルブはベローズでバルブシステムを覆うことによって、通常のグランドパッキンとともに二重にシールするため、グランド漏れが発生しにくい構造となっている。また、保護ベローズを備えた機種は外部からの異物の侵入を防ぐため、バルブ固着の問題も軽減される。

5. ドレン回収の最適化

写真1のベントから排出されている湯気量はどれくらいに見えるだろうか。皆様の現場にこのような場所はないだろうか。

この例ではベントから排出されている蒸気量は、1時間あたり300kgであり、年間7 200千円（蒸気単価3 000円/ton，稼働時間8 000h/年）もの損失が発生している。

このように廃棄されている再蒸発蒸気や、ドレンなどの廃熱を再利用しない手はない。そう思い、直ぐに廃蒸気の回収に着手したいところだが、まずは、全体像を把握し熱バランスを確認する必要がある。例えばドレン回収をしているならば給水タンク内の水温を推定する必要がある。回収ドレン量、圧力、温度と必要給水量から、予想される再蒸発蒸気量、給水量の熱バランスを計算し、本当に湯気が発生する熱バランスかどうかを確認する。これは湯気の原因が未回収の廃熱であることを特定するためである。

(1) 給水タンク内の水温が100℃未満の場合

オープン回収（大気開放給水タンクへ回収）でも再蒸発蒸気を発生することなく、全熱量回収が

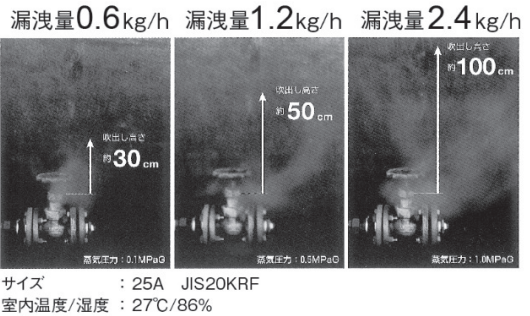


図40.4 バルブのグランド漏れ

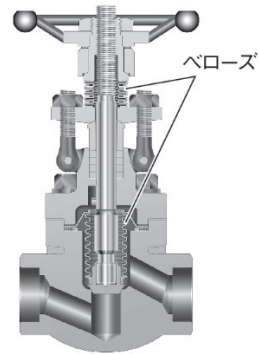


図40.5 ベローズバルブ



写真1 ベントから排出される湯気

可能である。

図40.6の事例で、給水タンク温度を求める。

給水タンクへの単位重量あたりの回収熱量をQとすると、

$$Q_{kJ/kg} = \frac{(562.1kJ/kg \times 2\,000kg + 83.9kJ/kg \times 3\,000kg)}{5\,000kg} = 275.2kJ/kg$$

水の顕熱275.2kJ/kgは水温換算すると、66℃（タンク温度）となり、計算上開放タンク上部か

キ
リ
ト
リ
線

があるのか把握しておく必要がある。

そのためには、蒸気の発生・輸送から使用・ドレン回収まで、蒸気システム全体の総合的な診断を行い、どの分野で、どの装置で、どのような改善によってどの程度のメリットが得られるのかを把握して、改善の見通しをつけることが重要である。

7. 最後に

蒸気は、工場で生産するうえでなくてはならない熱エネルギーである。ただし、繰り返しになるが正しく蒸気を使わなければ蒸気使用量のみならずプラント全体で最大限のパフォーマンスが得られない。

蒸気を正しく使用し、ムダなエネルギーロスを省き、エネルギー使用効率を高め、燃料使用量を少なくすることができれば、「蒸気システムの最適化」の実現に近づく。低炭素化社会が求められる昨今、その実現に直結する蒸気システムの課題

解決のために少しでも本稿の内容が活用いただければと考える。

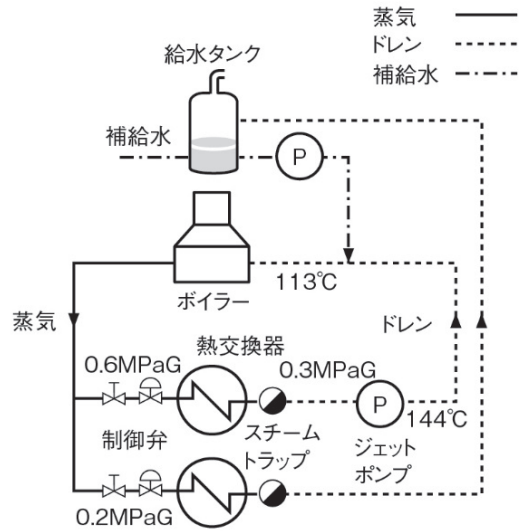


図40.9 回収システム例

◆好評発売中◆



- ★ボイラー設備における、様々な省エネのヒントがこの一冊に！
- ★豊富な省エネ事例を収録し、わかりやすく解説！

ボイラーシステムの省エネルギー

B5判 / 206頁 定価 2,916円 (本体 2,700円 + 税)

ボイラーは、熱や蒸気の供給源として幅広く利用されていますが、大きなエネルギーを消費する設備であり、効率的な運転、省エネルギーの取組みを欠かすことができません。

本書は、ボイラー設備の省エネについて、豊富な事例を収録し、削減できる費用等を示しながら初歩から実践までをわかりやすく解説した、現場で役立つ実務書です。

※お求めはお近くの当協会支部、または図書オンラインショップで！

キ
リ
ト
リ
線