

5. 蒸気の省エネルギー —蒸気ロスの徹底した削減, ドレン・廃熱回収の方法—

Steam Energy Savings : Achieving a Thorough Reduction of Steam Loss and Recovering Condensate & Waste Heat

キーワード：蒸気の省エネルギー, 廃熱回収, ドレン回収, ポンプ機能内蔵スチームトラップ, メカニカルポンプ, ストール現象
Steam energy savings, Waste heat recovery, Condensate recovery, Steam trap with pumping feature, Mechanical pump, Stall phenomenon

鎌田 正輝 Masaki KAMATA

1. はじめに

まず最初に、蒸気システム全体のイメージを持っていただきやすくするため、ビルを例にして話を進めたい。ビルでは蒸気を熱源とした空調設備のほか、吸収式冷凍機や温水加熱機器、加湿機器といった蒸気利用設備が存在する。

ビルのエネルギー消費量は年々大幅に増加している一方、『エネルギーの使用の合理化に関する法律』、『地球温暖化対策の推進に関する法律』の施行により、社会的責任としての省エネルギーや温室効果ガス削減の対応も求められている。このような中で、これまでは主に照明や空調など、電気の省エネルギー対策が取られてきた。しかし一方、熱・蒸気の省エネルギーは、一般的に専門技術者の仕事という固定概念もあり、電気と比べて明らかに遅れているのが実情である。

ビルのエネルギー使用量は、一般的に延べ床面積に比例して増加し、またその使用量の内訳（熱量換算）は、照明・コンセント・エレベーターなどの電気が概ね50～60%、熱・蒸気が40～50%と言われており、主に熱源として使用されている。蒸気の用途は、上記にも記載しているが、空調設備のほか、吸収式冷凍機、空調用熱交換器、加湿機器、給湯設備などの設備があり、加湿といった生蒸気を吹き込む「直接蒸気使用」の用途と、空調設備や吸収式冷凍機などの伝熱面を介して間接的に被加熱物を加熱する「間接蒸気使用」の用途に大別される。

本稿では、ビルにおけるエネルギー・コストの削減、地球環境保全、法規制対応のために重要な省エネルギー対策のうち、『蒸気』にスポットを当て、どのような点に着目すれば蒸気ロスの削減につながるのかを蒸気システムの上流側から順に紹介したい。また、蒸気の省エネルギーにおいて重要な蒸気ドレンおよび廃熱の回収方法についても紹介する。

2. 蒸気発生（ボイラ）における省エネルギー

2.1 ボイラ排ガス熱回収

ボイラの排ガスの廃熱は、燃料の発熱量の約10%にも及ぶため、有効な廃熱回収の対象である。排ガスの廃熱回収装置が備わっていないボイラなどではエコノマイザやレキュペレータを設置し、ボイラ給水の予熱や燃焼用空気の加熱を行うのが一般的な廃熱回収の手法である。

2.2 ボイラ缶水ブロー廃熱回収

ボイラの運転においては、缶水中の不純物の過剰な濃縮を避ける目的で、缶水ブローが行われる。このブロー水はボイラ運転圧力の飽和温度であり、大きな顕熱を保有しているにも関わらず、まだ廃熱回収されていないことも多い。回収の手法は熱交換器を設置し、間接的にボイラ給水や空調・給湯用の温水などを加熱する。この手法を検討する上での重要なポイントは、熱交換器の選定、設置に際してボイラ側に背圧をかけないことである。近年は大気開放型で高効率な廃熱回収器（図1）が商品化されている。

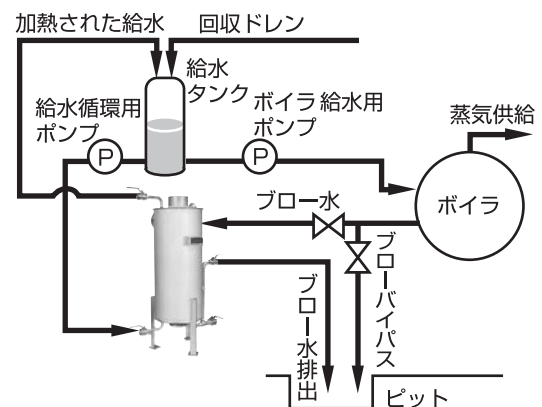


図1 ボイラブロー水からの廃熱回収器（大気開放型）

3. 蒸気輸送における省エネルギー

3.1 蒸気配管からの放熱ロスの削減

ビルにおける蒸気使用設備では、通年運転する設備もあれば、夏場もしくは冬場のみ運転する設備もあるが、運用として、通年、蒸気を配管に通気している現場が多いのではないだろうか。いったん蒸気の供給を停止すると、配管は冷えドレンが滞留し錆が発生しやすくなるため、ストレーナやスチームトラップの詰りの要因となる。また、蒸気を再度通気させた際に、配管の膨張・伸縮やウォーターハンマが原因となり、配管接続部から蒸気漏れが発生するリスクもあり、その場合、復旧までに時間・工数を要する。このため、季節に関わらず、通年、蒸気配管に蒸気を通気している現場は多い。

しかし、省エネルギーの観点で見れば、蒸気配管に蒸気を通気しているだけで放熱により蒸気は消費され、エネルギーロスとなる。ではどの程度の蒸気ロスとなるのか、某ビルの事例を交えて紹介したい。この事例は、夏場の期間(103日)に蒸気を使用しない空調設備の系統のバルブを閉じ蒸気の供給を停止させ、配管からの放熱ロスの削減がどの程度になるのかを試験運用したものである。ビルの規模としては、地上22階、地下4階のビルが3棟あり、それぞれの延床面積は約30,000 m²、40,000 m²、60,000 m²である。蒸気は貫流ボイラ6缶より供給し、蒸気を熱源とする吸収式冷凍機、空調設備、温水熱交換器で主に使用している。試験運用の結果、24時間/日、103日の蒸気停止により、559tの蒸気量の削減が達成されている。なお、当社で実施した理論蒸気削減量は488tとなり、比較的近い値となっている。ちなみにこの差異は、配管放熱によるロス以外の、機器やバルブからの放熱やスチームトラップからの蒸気漏れによるロスと考えられる。蒸気停止後の復旧に時間・工数を要するのは事実だが、夏場における蒸気の供給停止について、費用対効果を考慮し、検討すべきである。

3.2 スチームトラップからの蒸気ロスの削減

ボイラから蒸気を送気する際、送気の開始時は蒸気配管や設備が冷えているため、蒸気は凝縮しドレンとなる。このドレンを迅速に排除しないとウォーターハンマが発生する。ウォーターハンマは、蒸気配管や設備の破裂という重大事故になることもあり、軽視できない問題である。このため、蒸気配管にはスチームトラップを設置し、ドレンを配管内に滞留させずに迅速・確実に排出することが必要となる。

しかし、スチームトラップは正常作動時においても微量の蒸気を消費し、蒸気ロスが発生する。また、蒸気配管に蒸気が通気され配管が温まると、配管が保温されていけば蒸気はほとんど凝縮しなくなり、ドレン発生量も

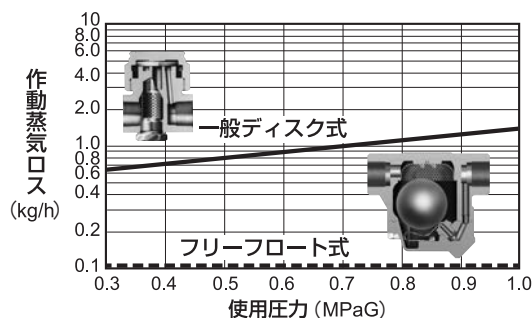


図2 ディスク式とフリーフロート式の正常作動時における蒸気ロスの比較

減少するのだが、この時、スチームトラップの種類によってはドレン発生量が少ないにもかかわらず作動をしてしまい蒸気をロスする。

図2は、一般ディスク式のスチームトラップと蒸気配管用にシール性を高くした蒸気主管用フリーフロート式のスチームトラップとの正常作動時における蒸気ロス(作動蒸気ロス)の比較である(ドレン量5 kg/h)。蒸気圧力0.5 MPaGでは、一般ディスク式スチームトラップは1台あたり約1.0 kg/hの蒸気をロスするが、これが仮に100台の数になれば100 kg/hの蒸気ロスになり、蒸気通気時間を24時間×365日と想定すると、年間では876tもの蒸気ロスになる。

空調設備に限らず、蒸気使用設備には蒸気配管で蒸気が通気されるが、その中間・管末に設置されているスチームトラップを省エネ型の蒸気主管用フリーフロート式へ変更するだけでも蒸気ロスの削減につながる。

4. ドレン・廃熱回収

4.1 ドレン回収

蒸気を使用する各種設備で発生するドレンは、省エネルギーならびに水資源の有効利用のためにも回収し、再利用すべきである。しかし、スチームトラップの出口にドレン回収配管からの背圧を作用させると、ドレンが円滑に排出されなくなる危険性があるので、スチームトラップの選定やドレン回収システムの設計は慎重に進めなければならない。

ドレン回収において特に注意が必要となるのは、空調設備をはじめとする100℃以下で温度を自動制御している設備である。空調設備以外にも、給湯設備(給湯器、貯湯槽)や温水用の熱交換器などが該当する。

空調機のエロフィンヒータは、被加熱物である空気の温度をコントロールするために、蒸気入口に自動温度制御弁を設置し、空気の温度に応じて蒸気の供給量を調節する。しかし、この自動温度制御弁は、被加熱物である空気の温度を設定温度に維持しようと、自動的に閉弁もしくは弁開度が絞られるので、その結果、ヒータや加熱

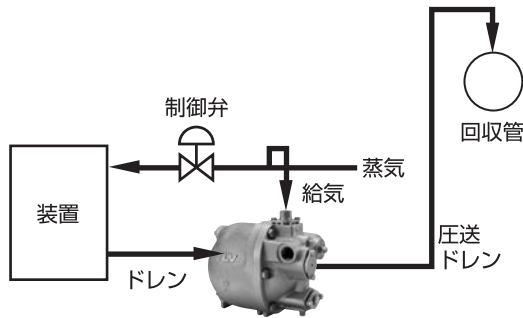


図3 ポンプ機能内蔵スチームトラップ

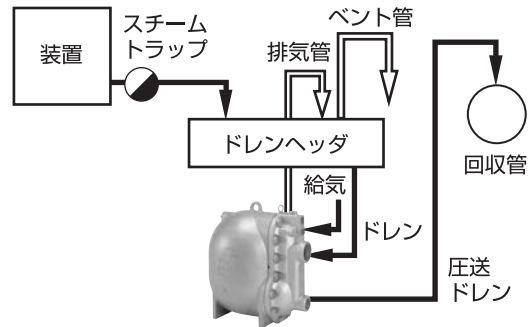


図4 メカニカルポンプ

コイル内の蒸気圧力が微圧、時には大気圧以下まで下がり、スチームトラップがドレンを排出できなくなることがある。この現象を「ストール現象」と呼んでいるが、低温に温度コントロールされる設備によく見られ、ヒータの能力が大きい場合や負荷が減少した場合、スチームトラップの出口に背圧が掛かっている場合などには、避けることのできない現象である。ストール現象によりヒータ内にドレンが滞留すると、腐食やウォーターハンマ、蒸気との温度差による金属膨張の歪みなどにより、空調設備が故障するリスクがある。

空調設備をはじめ、このようなストール現象の起こる設備の改善において重要なことは、①ストール現象が発生するメカニズムと、②ストール現象は通常のスチームトラップでは解消できずドレン滞留が避けられないことを理解すること、そして、③ストール現象を防止するには特殊な「ポンプ機能内蔵スチームトラップ」が必要であるという点である。

ポンプ機能内蔵スチームトラップとは、蒸気や圧縮空気などの気体の圧力を用いてドレンの排出と圧送を行うポンプの機能を有するスチームトラップのことで、図3に示す。

ポンプ機能内蔵スチームトラップは、空調機の下部に設置してドレンを自然流下させ、通常はスチームトラップとして作動し、ストール発生時には、本体内のドレン水位が所定以上に達すると、外部からの操作気体の圧力を利用してドレンを圧送しポンプとして作動する。したがって、ストール現象によるドレン滞留、温度ムラを解消し、ヒータ内で発生するウォーターハンマを防止する。また、排出したドレンを移送する機能もあるので、ドレンをボイラ給水などとして再利用し、ドレン回収による省エネルギー・省資源の効果を上げることも可能である。

ストールを起こさない装置において、スチームトラップから排出されるドレンを効率よく回収するために有効なのが、図4の「メカニカルポンプ」ならびに図5の「真空用ドレン回収ポンプ」である。特にメカニカルポンプは動力として電気を必要とせず、蒸気や圧縮空気などの

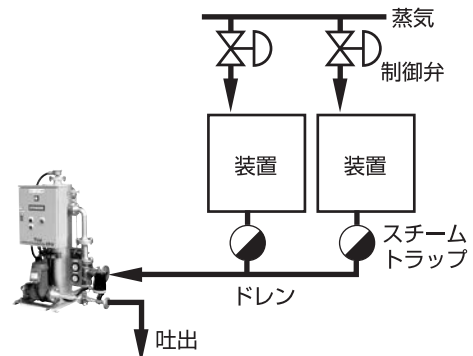


図5 真空用ドレン回収ポンプ（エゼクタ方式）

操作気体の圧力を利用してドレンが圧送できるので最近よく用いられている。

4.2 排蒸気（湯気）からの廃熱の回収

ビルには温水槽、ドレンタンクなど、湯気の発生を伴う設備が多く使用されているが、これらの設備で発生する湯気まで回収・再利用している例は少ない。これは湯気を回収すると湯気の発生源である設備に圧力が作用し、操業上・安全上の問題が発生する、またこれまでは効果的な回収手段が無かったためである。このような湯気を回収・再利用する場合に重要なことは、①湯気の発生源に圧力が掛からないシステムであること、②湯気を持っている熱エネルギーを効率よく回収でき、かつ③再利用できる用途があることである。こうした現場で発生する湯気を回収し、同時に省エネルギーを促進するため

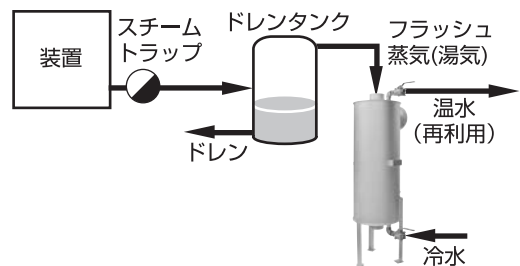


図6 排蒸気（湯気）からの廃熱回収器（大気開放型）

に有効なのが図6の熱交換器である。湯気の発生源に背圧の掛からない大気開放型で、熱回収率が高いという特長を持つ。

5. おわりに

蒸気は、ビルにおけるエネルギー消費のウェイトとしてはかなり大きいにも関わらず、これまで改善のテーマとしては電気に比べて後回しにされてきた例が多い。省エネルギーや地球温暖化防止への関心の高まり、原油価格の高騰など、ビル経営には益々厳しいものがあるが、蒸気分野の改善が市場競争力の強化に必ずつながるものと確信している。誌面の制約上、蒸気使用上の改善技術に限定して紹介したが、もっとも重要なことは蒸気を単なる熱源と捉えるのではなく、蒸気の発生・輸送・使用・廃熱回収までのシステム全体としての効率化を図ること、そして実際に蒸気を使用する個々の設備において蒸気使用の目的と課題を明確にし、本稿で紹介した蒸気有効利用技術を活用して改善を実現することである。最後

に、今後も蒸気使用に関する課題を抱えておられる読者の皆様のニーズに広く応えていく所存であり、お問い合わせやご意見は、下記までご連絡頂ければ幸いである。

http://www.tlv.com の『お問い合わせ』コーナーから
または、TLV技術110番 TEL 079-422-8833まで直通電話

文 献

- 1) 藤井照重 監修：「トラッピング・エンジニアリング」, (財)省エネルギーセンター, (2005).



鎌田 正輝 Masaki KAMATA

(株)ティエルプイ
TLV Co., Ltd.
営業技術本部 技術オーガナイザー

原稿受理 2017年3月31日

年次大会講演論文集

2008年度版

特別講演：「空調メーカーにおける環境技術とグローバル展開の取組み」講師：岡野幸義氏（ダイキン工業代表取締役社長）
*CD-ROMでの販売のみとなります。 2,000円 ㊦510円

2009年度版

特別講演：「日本型食生活の再考と食育プログラム」講師：的場輝佳氏（関西福祉科学大学）
*CD-ROMでの販売のみとなります。 2,000円 ㊦510円

2010年度版

特別講演：「凝固におけるマクロ・ミクロ速度論」講師：林 勇二郎氏（国立高等専門学校機構 理事長）
〈A4判冊子〉（CD-ROM付） 6,000円 ㊦460円

2012年度版

特別講演：「生命体における巨視的構造の力学的構築」講師：川端和重氏（北海道大学大学院 先端生命科学研究院 院長）
〈A4判冊子〉（CD-ROM付） 6,000円 ㊦540円

2013年度版

特別講演：「食品の微生物危害について」講師：小崎俊司氏（大阪府立大学大学院）
〈A4判冊子〉（CD-ROM付） 9,000円 ㊦460円

2014年度版

特別講演：「色鍋島と今右衛門：十四代今右衛門を襲名して」講師：今泉 今右衛門氏
*CD-ROMでの販売のみとなります。 3,000円 ㊦510円

2015年度版

特別講演：「中国における空気調和機の特許出願の現状」講師：仲村 靖氏（特許庁）
*CD-ROMでの販売のみとなります。 3,000円 ㊦510円

2016年度版

特別講演：「電力システム改革の概要」講師：大熊直哉氏（経済産業省資源エネルギー庁）
*CD-ROMでの販売のみとなります。 3,000円 ㊦510円