

# 蒸気プラントの保守・点検のポイント

蒸気プラントのパフォーマンスを最大化するためには、保守・点検が重要である。ここでは、その中で静機器に限定し、省エネや突発停止リスクの低減に繋がられた4つの技術について、解説していただいた。(編集部)

株式会社ティエルブイ 技術顧問 高田 敏則

## 1. はじめに

蒸気プラントはその立地がコンビナートであれば『石油コンビナート等災害防止法』が適用され、また熱媒体として高温・高圧の蒸気を使用し、生産物に発火性のあるものを取り扱うケースもあるため『消防法』や『労働安全衛生法』、『高圧ガス保安法』等々の法令による保守・点検の内容が規定され、それに基づいて定期的実施されている。また、一方で事業者の自己責任による日常ならびに定期的な点検・保守も行なわれており、これら全体が事業所の保全業務として組み込まれ、計画的に遂行されている。

これら保守・点検の最終目的は、『蒸気プラントのパフォーマンスの最大化と“安全・安心”の実現』である。しかし、多くのプラントでは保全技術やコスト・人的な課題のため適切な点検・保守ができていない場合もあり、そのためにエネルギー損失やプラントの劣化兆候の発見遅れによる突発停止リスクの増大に繋がっているようなケースも見られる。

本稿では、蒸気スペシャリストである(株)ティエルブイのグループ会社として蒸気プラントの静・動機器の点検・診断作業を専門に行なっているTTSの多くの実績の中から、蒸気プラントの代表的な機器の効果的な点検・保守の事例を紹介する。また、今回は誌面の関係上から静機器に限定し、省エネや突発停止リス

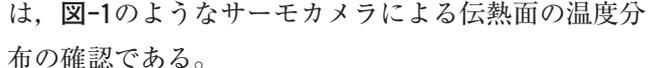
クの低減に繋がられた4つの技術を紹介する。

## 2. 熱交換器のドレン滞留の点検・改善の技術

### 2-1 熱交換器の点検の重要性

蒸気を熱源とする熱交換器は蒸気プラントの重要な加熱工程で数多く使用されている。よって、この熱交換器の点検や保守は生産物の生産性・品質・エネルギー使用量・メンテナンスコストなどを大きく左右する要因となる。しかし、熱交換器本体の点検が最も重要であるにもかかわらず、周辺機器である制御弁や温度・圧力計の点検程度しかできていないケースも見受けられる。

熱交換器の保守・点検では、熱交換器の性能を最大化するために伝熱面の伝熱効率が維持されているかどうかの確認が最も重要であり、また点検によってドレン滞留などが確認された場合には適切な保守を行なう必要がある。

この目的から見て熱交換器の最も効果的な点検手法は、-1のようなサーモカメラによる伝熱面の温度分布の確認である。

サーモカメラを使用することでドレン滞留の有無、伝熱面の温度バラツキも一目で点検ができ、かつその結果を画像データで保存できるため、長期使用による伝熱面の経年変化についても管理できるというメリットもある。

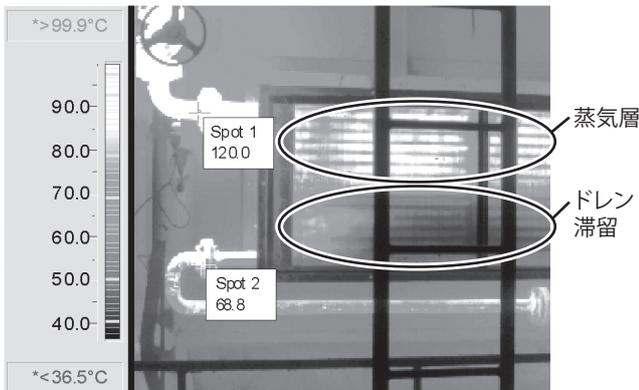


図-1 サーマカメラによる熱交換器の点検

## 2-2 熱交換器のストール現象

熱交換器は被加熱物を所定の温度で加熱する目的から、一般的に蒸気入口に温度制御弁を設置し、被加熱物の温度を検出した温度センサからの信号によってコントローラを介して温度制御弁の開度を制御する、いわゆる温度制御システムが組み込まれる。よって、被加熱部の温度が次第に上昇すると温度制御弁の開度が絞られるため、熱交換器内の蒸気圧力が低下し、そのためにスチームトラップがドレンを排出するための作動圧力差がなくなり、一時的にドレンが排出されなくなることがある。この現象をストール現象という。ストール現象が発生してドレンが滞留すると被加熱物の温度が降下するため温度制御弁の開度が大きくなるので、スチームトラップの作動圧力差が増加し、一時的なストール現象は解消される。このようにストール現象とドレン排出を繰り返しながら運転される。

ストール現象は熱交換器内にドレンが滞留している状態であり、これが原因となって加熱ムラ、ヒーターの腐食、穴明き、ウォーターハンマーの発生など、多くの問題を引き起こす。また、ストール現象が発生している熱交換器は上記のような問題が潜在化しているケースも多く、突如として問題が顕在化し、それによって蒸気プラントの突発停止に至ることもある。

従って、熱交換器の点検時にはこのストール現象が発生していないかどうかの確認が重要であり、そのためにもサーモカメラによる伝熱面の点検が有効である。

## 2-3 ストールの解消方法

熱交換器の点検によって伝熱面の温度バラツキやドレン滞留が確認された場合には、速やかにその対策を取らなければならない。ドレン滞留についてはスチームトラップの故障によるものか、ストール現象なのかを見極めることが重要である。また、もしストール現象が起きている場合は、問題が顕在化していても、いずれはヒーターの穴明きなどが発生することになるので、根本的な対策を取るべきである。

ストール現象を解消する手段は2通りあり、1つはスチームトラップの入口圧力を高くする方法と、もう1つはスチームトラップの出口圧力を低くする方法である。入口圧力を高くする方法とは、図-2のように通常のスチームトラップに代り、パワートラップと呼ばれるメカニカルポンプを使用して、外部からトラップの出口圧力よりも高い圧力の操作用気体を使ってドレンを排出するもので、ストール現象の最も一般的な解消手段である。

もう1つのスチームトラップの出口圧力を低くする方法は、スチームトラップの出口側に真空ポンプを設置してドレンを強制的に吸引することでスチームトラップの作動圧力差を確保する。この方法は複数の熱交換器のストール現象を解消する時に有効な手段である。

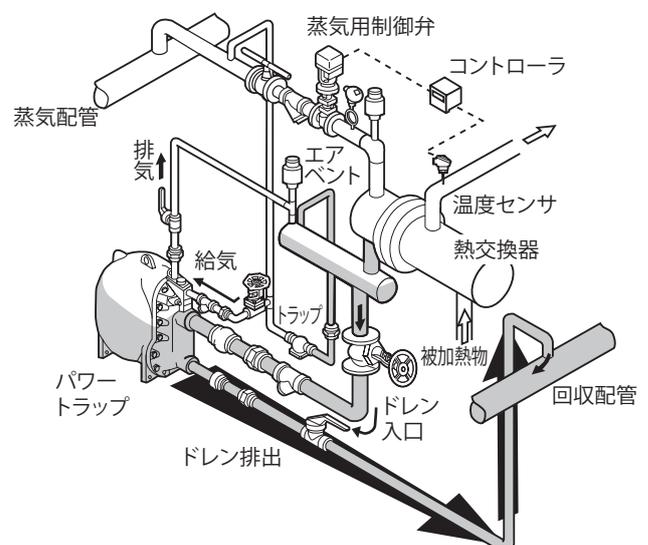


図-2 パワートラップによるストール現象の解消

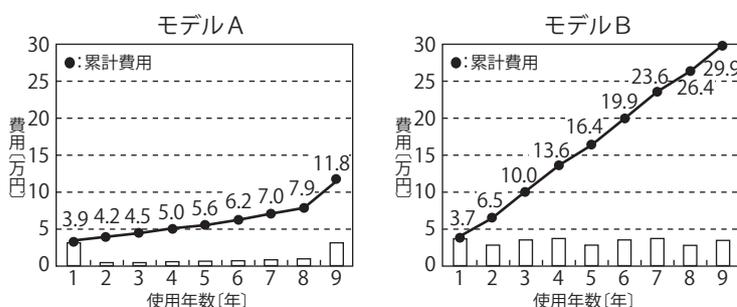
### 3. ドレン排出箇所（スチームトラップ）の点検・管理の技術

#### 3-1 スチームトラップのライフサイクルコスト（LCC）管理の必要性

LCCとはプラント操業におけるスチームトラップ管理にかかわるすべての費用であり、トラップの購入費や交換費用などの保守費用とトラップの劣化などによる蒸気漏洩や生産機会損失による費用などの損失費を合わせたものである。

従って、個々のドレン排出箇所のLCCが最小となるトラップを選定することでドレン排出箇所全体を維持するためのコストを最小にすることができる。例えば、高価であるが故障し難い製品（モデルA）と、安価であるが故障し易い製品（モデルB）を比較する。各々のトラップの特性を図-3の表の通りとし、年間8,760時間稼働、蒸気単価2,000円/tで、各トラップのLCCを求めるとグラフの通りとなる。モデルAの寿命の8年間で比較すると、モデルAの総費用は7.9万円であり、それに対してモデルBの総費用は26.4万円、モデルAの約3.3倍にもなることが分かる。

このようにスチームトラップを選定する場合に、イニシャルコストとともに正常作動時の蒸気ロス量、平均寿命も加味してLCCという考え方をを用いることで最も経済的なトラップの管理方法と製品選定が明確になる。



	購入費用	交換費用	作動蒸気ロス	蒸気損失増加量	寿命	総費用（8年）
モデルA	30,000円	8,000円	0.05kg/h	0.06kg/h・年	8年	7.9万円
モデルB	7,500円	8,000円	1.0kg/h	0.4kg/h・年	3年	26.4万円

※ Aは省エネ・長寿命モデル。Bは汎用的な簡欠作動のモデル。

図-3 スチームトラップのLCCの比較例

#### 3-2 ドレン排出箇所管理のベストプラクティス

スチームトラップ管理の原則は、LCCが最小となる最も省エネタイプで、かつ長寿命のトラップを設置し、不良発生の都度、遅延なく正常品に交換していくことである。

これからのトラップ管理は、単なるスチームトラップの管理ではなく、蒸気システムを最適化（安全かつ高い生産性）し、その最適状態をいかにして維持するかという観点を織り込んだ仕組みとして継続して管理できるシステムを構築することが重要である。

この仕組みは、『ドレン排出箇所管理BPSTMプログラム（特許）』として、2004年から国内外の多くの蒸気プラントで実践され、大きな効果を上げている。

以下にその仕組みとポイントを説明する。

##### 1) ドレン排出箇所管理のインフラ整備（データベース化）

継続できる仕組みの構築の第一ステップは“管理対象の明確化”であり、まず「どのような型式・仕様のトラップが、どのような用途、場所に、何台」という情報をデータベース化することが、その後の最適化アクションを計画することに繋がる。

また、ドレン排出箇所管理の観点から、その設置状態や周辺にかかわる付帯情報（配管形状・ドレン回収・周辺バルブを含む過去の不良発生・メンテナンス内容等）も併せてデータベースに取り込んでおくことも肝要である。

##### 2) ドレン排出箇所の継続的状态監視

データベース構築が完了した後は、回転機など動機器における管理方法である「継続的状态監視」をドレン排出箇所管理にも適用することが有効である。とは言っても通常「年1回の全数点検」が行なわれれば十分である。

この全数点検時には、ド

レン排出箇所管理の視点から、トラップだけでなく設置にかかわる情報も同時に点検することでより有効な管理が実現できる

「年1回の全数点検」といえば簡単に実効できるような響きであるが、毎年これを継続することは現実的には難しい。そこで、少ない工数で正確なスチームトラップ診断ができる診断器と、診断結果をデータベースに自動的に登録して活用できる管理ソフトの使用が有効である。

### 3) ロケーション分析と適正選定

点検で得られた多くのデータは蓄積するだけでなく分析、活用させることが重要となる。

例えば、年間50台の不良トラップ交換が5年間続いているという履歴が確認できたとしても、それが250カ所、1回ずつ異なった場所で不良を起こしている場合と毎年同じ50カ所が5年間続けて不良を起こしているのでは対策が根本的に異なる。このような場合に最適な解決策を実施するには、各設置箇所の圧力や配管形状などの情報と診断結果の統計的分析を含むロケーション管理が必要となる。

### 4) メンテナンス・プログラムの選定

設置するトラップ型式によって、どのような手法でメンテナンスしていくかは変わる。初期投資が多少高くなっても製品寿命が長ければ、点検周期を2年に延ばすことも可能であろうし、寿命の短い製品では短い周期で頻繁に交換していくことが最適な手法になることもある。

このように使用するトラップ型式とメンテナンス手法は表裏一体である。そしてこの2つを同時に評価することが、トラップのLCCの最小化に繋がる。

### 5) 不良ゼロへのリセット

点検を行ない不良箇所が明らかになっても、それらの不良箇所を正常に戻さなければ、管理のメリットを享受できない。

診断の都度、蒸気漏洩量の大きいものから順に交換していくという基準を設けて運営しているユーザーもおられるが、安全・操業リスクなどを加味した上で判断するのであれば、詰まり不良も含めて不良箇所を全数交換するのが基本である。

### 6) 着実なデータ更新

全数点検結果に基づいて、適切なメンテナンスが施された後、その結果をデータベースに反映させ、次回以降の定期診断で即時活用できるようにしておく必要がある。

このデータ更新は、スチームトラップ交換という仕事を挟んだ後に行なうため、往々にして忘れられがちであるが、次回以降の継続性を考えれば着実に実施完了しておくことが望ましい。

以上の1) から6) のプロセスを初年度に完了した後は、2) から6) のプロセスを毎年実行することにより、スチームトラップを継続的に点検・管理する仕組みが構築できる。

## 4. 蒸気配管保温の劣化の点検・保守の技術

### 4-1 蒸気配管保温の劣化点検の方法

蒸気プラントの多くが建設後30年以上を経過し老朽化が進んでいる。一方、蒸気輸送配管は蒸気プラント内で網の目のように張り巡り、その総延長距離は膨大な長さである。このことから蒸気プラントにおいて蒸気配管の保温劣化の点検・保守は省エネルギーの観点からその重要性は高いにもかかわらず、その点検に要する工数や点検方法に多くの課題を抱えている。

つまり、これまで蒸気配管の保温劣化の一般的な点検は外装材の変形のみを目視で確認するか、または一部の外装材の表面温度を接触式の表面温度計や触診で確認し、時には一部の外装材を剥がして保温材の厚みの変化や雨水の浸入などを確認する方法などが取られている。しかし、目視点検では肝心の保温材の劣化状態の確認ができておらず、単に外装材の変形などから保守の可否を判断することになり、保温材の劣化状態の合理的な点検、保守とは言えない。また表面温度の計測や外装材を剥がす方法は一見合理的と思えるが、実際は配管の極一部が点検できているだけで、保温材の劣化箇所の発見と効果的な保守という目的からは見落とし箇所が多く発生し、また保守も特定の配管の保温全体を更新するといったオーバーメンテナンスになっているケースも多く見られ、これも合理的な方法ではなかった。

蒸気配管の保温劣化の点検・保守として最も合理的な方法は、サーモカメラによってスクリーニングを行ない、それに基づいて劣化箇所だけの局所的な保守を行なうことである（図-4参照）。

この方法では遠方から長距離、広範囲、また高所・危険箇所であっても離れた場所で蒸気配管を一気に点検でき、短期間でプラント全体の点検を終えることが可能になり、かつ保守すべき箇所の特定ができる。しかもその箇所からの放熱ロス量や年間の損失金額などの定量化も可能となり、投資採算性の高い点検・保守が実現できるというメリットがある。

#### 4-2 経済的な保守の方法

サーモカメラを使った蒸気配管の保温の点検・保守の事例を紹介する。

B社は近隣の会社から蒸気を購入しており、そのコスト低減のためにこれまでは毎年目視による点検と定期的に保温全体の更新を行っていた。そこでサーモカメラによる診断サービスが有効と判断し、約2kmの蒸気配管をサーモカメラで点検した結果、これまでは発見できてなかった多くの箇所から全体で年間700万円もの放熱ロスがあることが判明した。また、保守についても配管全体の保温の更新ではなく、部分的な劣化箇所の修理で充分と判断でき、経済性からも合理的な保温劣化の点検と保守が実現できた。

また、診断専門の会社による診断サービスを活用できたため、高価なサーモカメラも購入する必要もなか

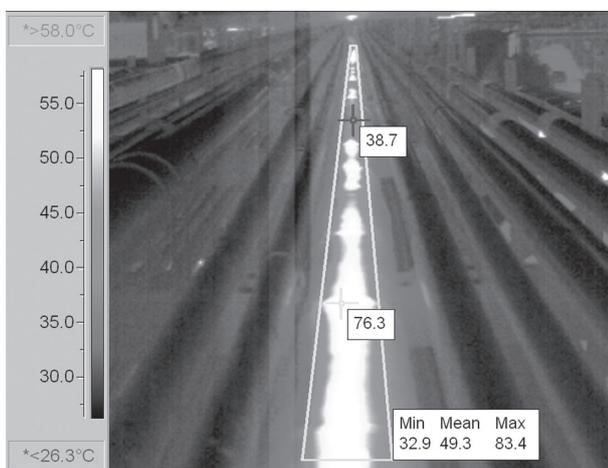


図-4 サーモカメラによる蒸気配管の点検

った。

## 5. ガス配管からのリークの点検・保守の技術

### 5-1 ガス配管のリーク箇所の点検方法

蒸気プラントでは蒸気配管以外にも燃料や原料のガス配管、動力用の圧縮空気配管などがあるが、これらも広範囲かつ長距離なため、これまでの点検方法では膨大な工数を必要とし、かつリーク箇所の発見漏れがあるなどの多くの課題があった。

従来の点検方法は石鹼水を使った発泡点検もしくは耳によるリーク音の確認が一般的であるが、前者については僅かなリークも発見できるが膨大な時間、労力を要し、また手の届かない高所や狭い場所の点検はできない。一方、後者はそもそも人間の可聴音、つまり大量に漏れている箇所しか発見できない、また騒音のある箇所では点検ができないという問題がある。またいずれの点検方法も漏れ量の定量化ができないため、保守の要否を合理的に判断することができなかった。

最新のリーク点検の方法は超音波リーク診断器を使う。この診断器は気体が小穴を通過する際に発する人間の耳には聞こえないような超音波を拾うことができるもので、微量な漏れ箇所であっても、離れた場所から、また周囲に大きな騒音のある場所でも点検が可能である。よって、プラントの操業中の点検、高所や危険なために人が近くに行けない場所の点検も可能となり、広範囲な配管を効率的に点検することが可能になった。

また、この診断器を使いこなすためには経験や技術が必要なため、診断サービスを利用する方法がベターである。

### 5-2 継続による経済的効果の最大化の方法

配管などからのリークはプラントの劣化に伴い増加、拡大していくため、1回の点検・保守では不十分で、必ず定期的かつ継続して実施しなければならない。

C社は毎年、超音波リーク診断器を用いたリーク診断サービスを活用して広範囲な工場全域の各種配管からのリーク点検を実施し、漏れ箇所を保守するという仕組みを構築し、6年が経過している。その結果、初

年度は約1,500カ所ものリークがあったが、6年経過後は漏れ箇所は数百カ所まで低減でき、この間で約8千万円のコスト削減を実現している。また、同様の点検・保守を6年間継続して実施しているD社ではリーク量の68%削減を実現している。

このようにリーク点検と保守は定期的な実施し、それを継続する仕組みを構築することで効果を最大化できる(図-5参照)。

## 6. おわりに

多くの蒸気プラントでは建設後の老朽化が進み、劣化箇所の早期発見による突発停止リスクの低減が大きな課題である。また、効果的な点検・保守の実施によりエネルギー損失の最小化とメンテナンスコストの低減を図ることも実現させなければならない。

本稿で紹介した保守・点検の技術が読者の『蒸気プラントのパフォーマンスの最大化と“安全・安心”の実現』に少しでもお役に立てれば幸いである。また、

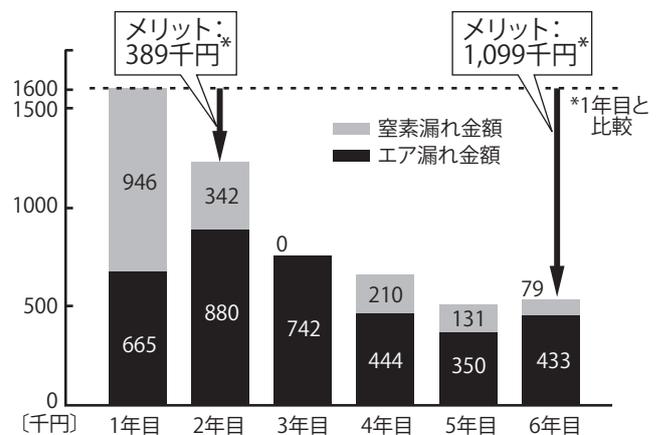


図-5 ガス配管のリーク箇所点検の効果

今後も蒸気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る。

### 〈参考文献〉

- 1) 藤井照重監修『トラッピング・エンジニアリング』省エネルギーセンター (2005年)

## 省エネルギーセンターの本

### ESCO推進協会による日本で初めての案内書 ESCO導入ガイド

本格的導入事例126

ESCO推進協会 編著  
B5版 216頁 定価2,940円(税5%含)

分野別 (公共施設/工場/ホテル/店舗/病院/オフィス)

#### 具体例がひとめでわかる

省エネによるコストダウンと温暖化防止を同時に実現するESCO。自治体への浸透度も増し、条件整備も進み、ビジネスとして成立するまでになった。

本書では、ESCOとは何か、省エネルギーを企業戦略として有効に取り込むためには何ができるのかをわかりやすく解説。さらに、使用機材から削減エネルギー量、削減額まで、具体的なデータと図版を配した126の導入事例と、実施したエンドユーザーの声も紹介し、実用性のあるガイドとなっている。導入を検討するユーザー、ESCO事業者必携の1冊。

#### 本書の主な内容

##### 第1章 ESCOとは

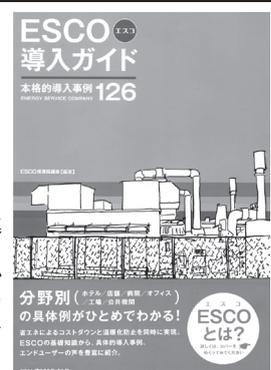
ESCOとは/ESCO事業 市場の推移/ESCO事業の契約方式/一般的な省エネルギー改修工事との違い/ESCO事業を導入するための業務ステップ/エネルギー診断時に準備するもの/公共施設へ広がりつつあるESCO事業/ESCO事業を進める上で利用できる支援策

##### 第2章 ESCO事業導入事例126

ホテル/店舗/病院/オフィス/工場/公的部門

##### 第3章 エンドユーザーに聞く

ESCO事業導入で成果を上げた優良事業場・工場の責任者9名の取材記事  
資料編  
分野別導入事例リスト/ESCO事業者リスト/ESCO推進協会会員企業リスト/ESCO推進協会の歩みと活動



お申込み・お問合せは 一般財団法人省エネルギーセンター

〒104-0032 東京都中央区八丁堀3-19-9 ジオ八丁堀  
電話 03-5543-3015 FAX 03-5543-4120 <http://www.eccj.or.jp/book/>