

# 製紙業界における蒸気システムの最適化と改善事例

株式会社ティエルブイ\*<sup>1</sup> CES センター 竹中 俊喜, 町野 勝彦

## Optimizing Steam Systems for the Paper Industry and Case Studies

*Toshiki Takenaka and Katsuhiko Machino*

CES Center, TLV CO., LTD. \*<sup>1</sup>

### Abstract

In recent years the paper industry has also felt the urgent need more than ever before to work towards global warming countermeasures and the actualization of energy conservation. In addition, mills that have been in operation for decades since construction are not uncommon, and the loss of production opportunities together with increased maintenance costs that result from plant age-related trouble are becoming issues. As an effort to promote energy conservation and improve safety and reliability at the customer's plant through steam, TLV has provided, and together with customers, put in practice strategies to enable the reduction of boiler fuel costs and the mitigation of production risks such as water hammer and pipe erosion, by treating the boiler, paper machines and steam piping as a single steam system.

Here we will explain the overview and actual case studies of the “Steam System Optimization Program (SSOP)”, which has been developed and implemented primarily in the oil refining, petrochemical and paper industries, where it has been greatly appreciated. At plants which have adopted the “condensate discharge location management program (BPSTM)”, which is the first program of SSOP, the steam trap failure rate has dropped from 18.6% to 3.6% by the fourth year after introduction. Steam loss has been reduced annually by approximately 13 million JPY, and temperature control-related trouble in production equipment due to blocked steam traps has been resolved. Also, in the explanation of the “comprehensive steam system analysis (CES Survey)”, which is the second program of SSOP, we introduce case studies of the reduction of steam consumption by hot water tanks through the use of waste steam recovery in digesters, and of the improvements made with problems such as air temperature fluctuations and heater coil damage caused by condensate pooling in the paper machine air system.

### 1. はじめに

近年、製紙業界においても地球の温暖化対策、省エネルギーの実現がこれまで以上に急務となっている。また、建設から数十年経過した工場も少なくなく、トラブルによる生産機会損失や補修費用の増加も課題となっている。当社(TLV)はボイラや抄紙機、蒸気輸送配管を一つの蒸気システムと捉えており、その蒸気システムの最適化を提案し、お客様に実行いただくことにより、ボイラ燃料の削減、ウォーターハンマーの発生や配管の穴あき防止などの生産リスクの軽減を行ってきた。

本稿では、これまで製紙業界で取組んできた『蒸気システム最適化プログラム(SSOP: Steam System Optimization Program)』の説明と、それを導入いただいたお客様の改善事例を紹介する。

---

\*<sup>1</sup> 〒675-8511 兵庫県加古川市野口町長砂 881/881 Nagasuna, Noguchi, Kakogawa, Hyogo 675-8511

## 2. 製紙業界における蒸気システムとその課題

### 2.1 製紙工場と蒸気システム

製紙工場において蒸気は、生産品目により使用量に大小はあるものの、運転する上で必要不可欠なエネルギーである。図1は大型の製紙工場の蒸気システムの一部である。蒸気はボイラで発生し、圧力の異なる蒸気ラインへタービンを介して減圧し、供給されている。タービンでは蒸気を持つエネルギーを動力源として発電し、工場内の電力の大部分を賄っている。各蒸気ラインの蒸気は生産条件や機器の耐圧・耐温などにより設定され、製造部門や動力部門内の必要な装置に供給される。多くの蒸気使用装置では、供給された蒸気を熱エネルギーとして製品やユーティリティー等の加熱に使用しており、使用後の凝縮した蒸気ドレンは動力プラントへと回収されている。このように工場内における蒸気は、人間の血液のように工場内に行き渡っており、一連の連携されたシステムと考えることができる。

しかし、蒸気システムは非常に複雑であり、電力の需給状態や生産品目の変更、天候により、蒸気の圧力や量、温度は変更されることも多く、設計・運転の条件を決定しにくいいため、製紙工場の方々より「蒸気は苦手で改善を進めることが難しい」との声を多くお聞きする。

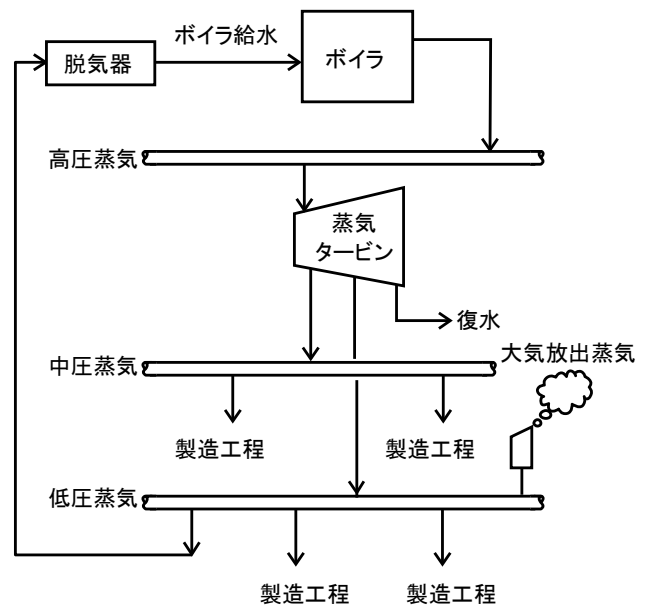


図1 製紙工場の蒸気システム例

### 2.2 蒸気システム最適化プログラム(SSOP)

TLVは工場の省エネルギーの推進、安全性・信頼性を高める『蒸気システム最適化プログラム(SSOP)』を展開しており、導入いただいた多くの工場から評価を得ている。ある石油精製工場においては2005年からSSOPを導入いただき、蒸気総発生量760t/hの内、4.6%に相当する35t/hの蒸気削減を提案した。その後、着実に改善案を実行され2012年時での確認では、ご提案した改善効果の約90%に相当する31.4t/hの省蒸気を実現されている。

『SSOP』は、蒸気システムの最適化を3つの段階(Phaseフェーズ)で捉え、それぞれのフェーズにおいて現状をまず「見える化」し、問題点の解決策を提案し、お客さまと共に最適な状態を維持し、継続していく「仕組み」である。

フェーズ1は、「蒸気系内に発生したドレンを、蒸気を漏らすことなく、適切かつ速やかに排出させ、蒸気使用装置や蒸気系内を常に乾き蒸気で満たす」という「蒸気利用の原理原則」に則り「ドレン排出箇所: CDL(Condensate Discharge Location)」全てを最適化する。このフェーズは本来の蒸気システムを機能させるための必要条件である。

フェーズ2は、この「蒸気利用の原理原則」に則り、「蒸気供給側」と「ドレン排出側」も含め、広義にアセット(資産)として定義付けした蒸気使用装置や、蒸気トレースといった全てのスチームアプリケーションを

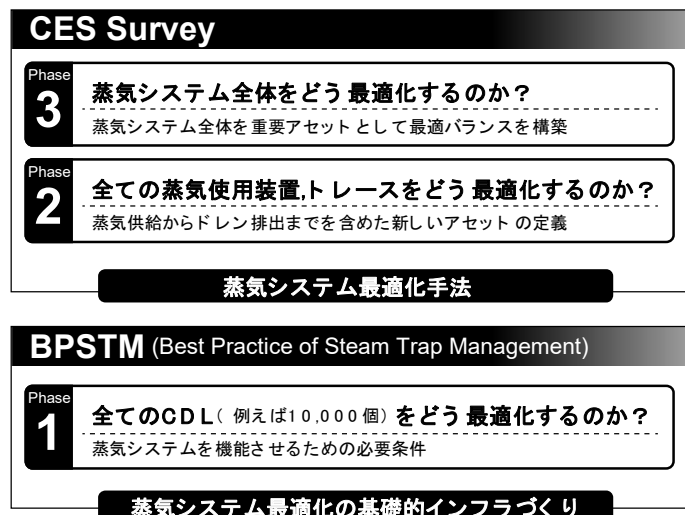


図2 『SSOP』の構成

最適化する。

フェーズ3は、アセットとして定義した蒸気システム全体の最適バランスを構築する。

『SSOP』には、それぞれのフェーズの目的を実現するために2つのプログラムがある。フェーズ1に対しては『ドレン排出箇所管理プログラム(BPSTM: Best Practice of Steam Trap Management)』。『BPSTM』とは、スチームトラップを取り付けてドレンを排出すべき箇所(ドレン排出箇所)を管理するプログラムである。フェーズ2、フェーズ3に対しては『蒸気システム総合診断(CES Survey)』。『CES Survey』は工場内の全ての蒸気関連装置を調査し、蒸気使用方法の最適化の観点から工場の省エネルギー、安定操業に関わる改善策を提案する。次項からは『BPSTM』および『CES Survey』を採用いただいた製紙工場での改善事例を紹介する。

### 3. ドレン排出箇所管理プログラム(BPSTM)とその改善事例

#### 3.1 ドレン排出箇所管理プログラム(BPSTM)

『BPSTM』は、工場を安全かつ生産性の高い最適状態で操業するために、蒸気配管、蒸気使用装置のドレンを排出すべき箇所(ドレン排出箇所)において、蒸気を漏らすことなく、確実にドレンを排除するための管理プログラムである。単なるスチームトラップ点検およびその不良交換ではなく、ドレン排出箇所を最適な状態として、最小の管理コストで維持するという観点を織り込み、継続して実施可能な仕組みを構築する。

ドレン排出管理プログラムの実施プロセスを以下に示す(図3参照)。実際にはこれらのステップをTLVヘアウトソーシングする形で遂行していく。

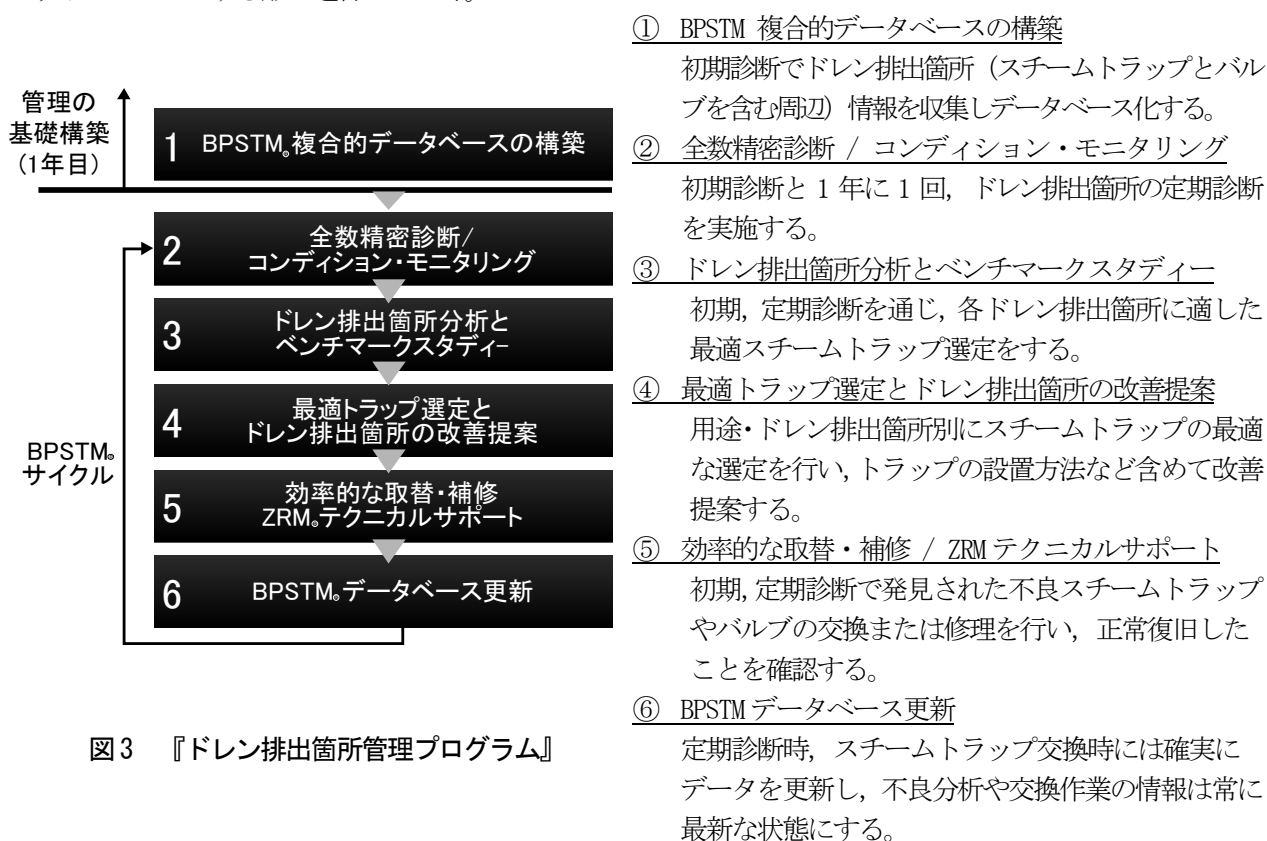


図3 『ドレン排出箇所管理プログラム』

#### 3.2 製紙業界におけるドレン排出箇所管理の効果

既にいくつかの製紙工場では『ドレン排出箇所管理プログラム(BPSTM)』を採用いただいております。ある工場では、4年間でスチームトラップの不良率が18.6%から3.6%に低下し、蒸気ロス1,300万円/年の省エネ効果をあげられた(図4参照)。スチームトラップからの蒸気ロスを改善することで工場内の不明蒸気量も大幅に改善され、今では不明蒸気量は約1%と低い状態をキープでき、工場全体のエネルギーの見える化ができています。

また、蒸気ロス削減以外の効果としても閉塞したスチームトラップの更新・修理、既設品の型式見直し、設置状態の改善を行うことで、蒸気配管、蒸気使用装置でのドレン滞留による障害(ウォーターハンマーの発生や配管エロージョン、スチームトラップ寿命の低下)リスクを軽減させた。

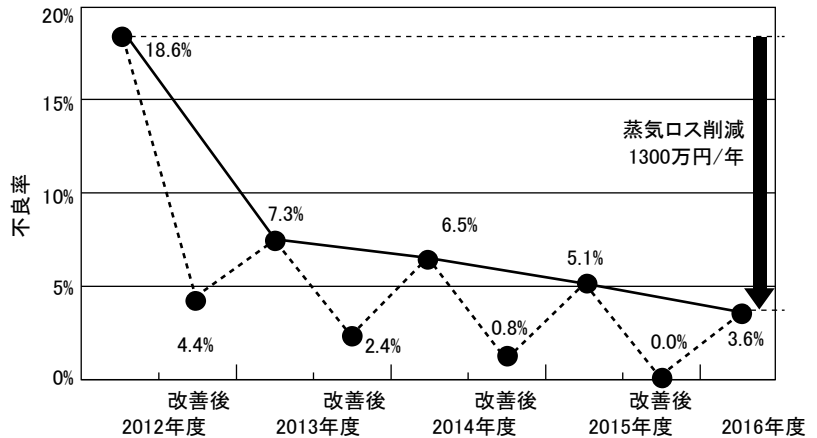


図4 『ドレン排出箇所管理プログラム』の効果

#### 4. 蒸気システム総合診断 (CES Survey) と改善事例

##### 4.1 蒸気システム総合診断 (CES Survey)

『CES Survey』は、およそ1~3週間かけて蒸気発生源から蒸気輸送、蒸気使用装置、ドレン・廃熱回収までに至る蒸気システム全体を診断し、ユーザー視点に立った蒸気システムの改善テーマを企画・提案するプログラムである。工場の蒸気システムは、長年に渡り開発・改善が繰り返され、既に完成された技術のように考えられることが多いが、「蒸気利用の原理原則」を基に全ての蒸気システムを確実に調査すると、省エネルギーだけでなく安全や環境面においても大きな課題が見つかる。この課題を解決する1つの手法が『CES Survey』である。

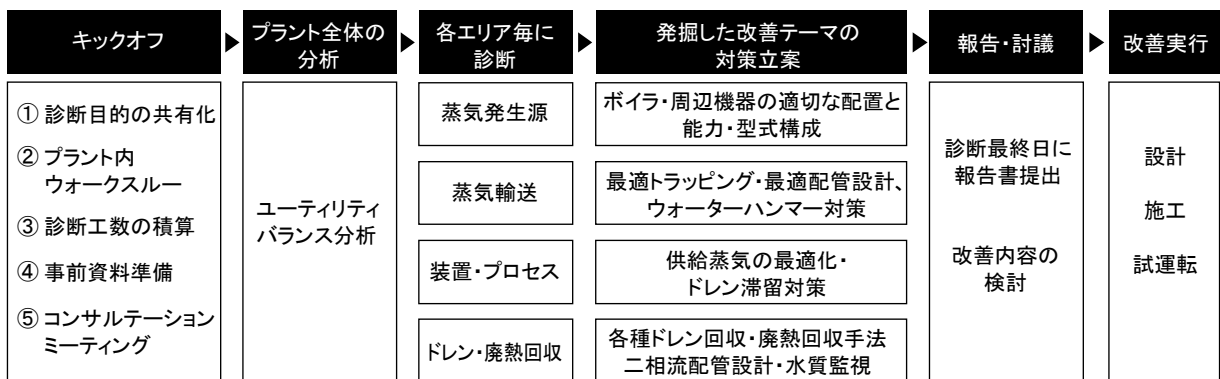


図5 『CES Survey』実施フロー

また、『CES Survey』の改善テーマの実行の容易性であるが、製紙業界における過去の実績から、投資をほとんど必要としない即実行可能なテーマが約20~30%、投資採算性2年未満が約40~50%、2年以上が約20~30%であり、診断後の改善も比較的実行に移しやすいことも特徴である(図6参照)。

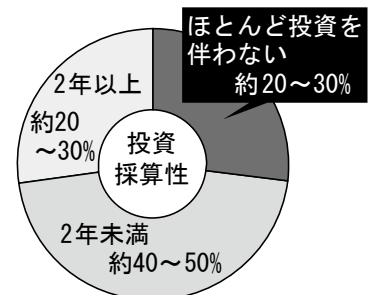


図6 『CES Survey』によって発掘された改善テーマの投資採算性

##### 4.2 蒸解釜での排蒸気回収

『CES Survey』を採用いただいた製紙工場の一例であるが、約1週間の調査で蒸気削減量14t/h、30テーマの改善ポテンシャルを見つけ出し、投資をほとんど必要としない改善テーマについては即実行していただき、既に蒸気削減量10t/hの改善効果を得られている。残りの改善についても実行計画を立てて、着実に工場の蒸気システム改善を進めておられる。

以下に、実行計画を立てて進められた、蒸解釜から排出されるフラッシュ蒸気を有効利用し、温水タンクでの蒸気使用量を削減した改善事例を紹介する。

蒸解釜では木材から製紙原料となるパルプを取り出すために、薬液を加えて多量の高温蒸気を使用する。蒸解釜から排出される蒸気ドレンはドレンタンクに集め動力プラントに回収するが、ドレンタンクより排出される多量のフラッシュ蒸気に関しては大気へ放出しており、回収していないことが多い。フラッシュ蒸気(排熱)は大気圧力の蒸気と同等のエネルギーを有しており、有効利用することで大きな熱回収を見込むことが可能である。今回は熱回収利用先として、蒸気を用いて清水を加温している洗浄用温水タンクへの活用を検討した。

大気放出していたフラッシュ蒸気を『廃蒸気熱交換器』により清水を加温し、温水タンクへ供給する。温水タンクでは常温の清水を蒸気により加温していたが、温水の補給により加温用の蒸気が削減できた(図7参照)。温水タンクで使用していた蒸気量よりも放出されていたフラッシュ蒸気量が多いため、全ての蒸気を活用できたわけではないが、温水タンクで使用する蒸気を670kg/h削減でき、パルプ化工程設備での原単位改善に繋がった。

改善のポイントとして、従来の熱交換器を使用すると熱交換器・ドレンタンクが密閉になり、压力容器に該当するが、『廃蒸気熱交換器』は大気開放型の熱交換器であり、熱交換器本体・ドレンタンクが压力容器に該当しないため法規制を受けない。また、今回採用いただいた工場では、蒸解釜からのフラッシュ蒸気はまだ余剰しているため、『廃蒸気熱交換器』をもう1台増設してフラッシュ蒸気の排熱を回収することを検討されている。

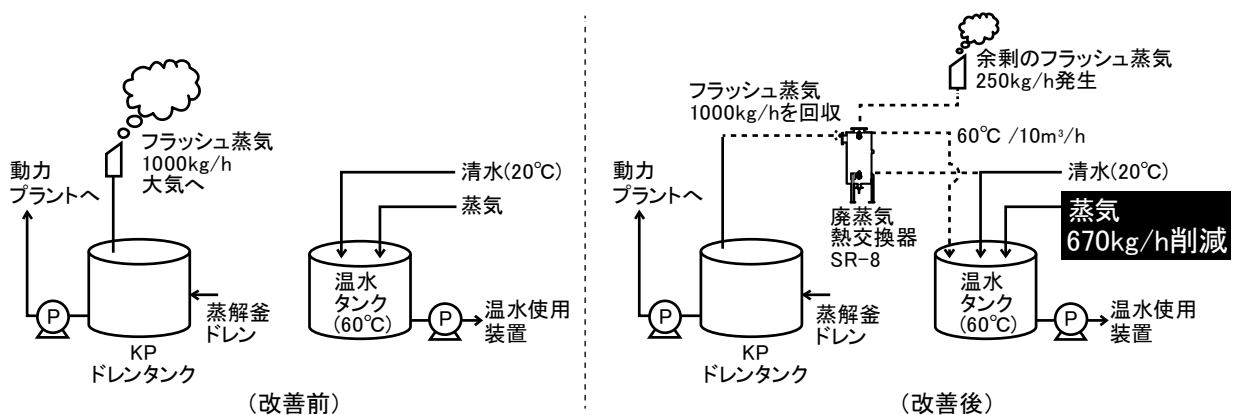


図7 改善前後のフロー

#### 4.3 抄紙機 エアシステムでのドレン滞留解消

別の製紙工場の抄紙工程のエアシステムの例では、スチームエアヒーター内でのドレン滞留によるエアの温度むら、ヒーターコイルの穴あきについて改善した事例を紹介する。

スチームエアヒーターでは蒸気を用いて高温エアを作り、フード内の露点を高めてドライヤーパートでの均一な乾燥を促すことが目的である。しかし蒸気供給中にもかかわらず、コイル内にドレンが滞留することがある。このような現象をストール現象と呼び、高温エアに温度むらが生じたり、コイルがパンクすると乾燥条件が悪化するため、生産への影響が大きい。

以下にストール現象のメカニズムについて図8を用いて説明する。

- ①運転初期は制御弁が大きく開き、ヒーター内部に圧力の高い蒸気が供給され(スチームトラップの作動圧力差が確保)、ドレンが排出される。
- ②フード内から排気エアが高温になると、蒸気負荷が減少し、制御弁は弁開度を絞るため、ヒーター内部の圧力が低下する。スチームトラップの作動圧力差が確保されている場合はドレンが排除される。
- ③更に蒸気負荷が減少すると、制御弁は弁開度を絞り続け、圧力が低下するため、条件によっては大気圧力以下になる。スチームトラップの作動圧力差が確保できず、ヒーター内にドレンが滞留する。
- ④ヒーター内にドレンが滞留し続けると、伝熱面積が減少して加熱能力が不足するため、高温エアの温度が設

定温度以下になる。その後、高温エアの温度を再昇温するために蒸気が供給され、スチームトラップの作動圧力差が確保されると、ヒーター内部よりドレンが排出される。その際に低温の滞留ドレンと蒸気が接触し、ウォーターハンマーが発生することがある。

ストール現象を持つ装置ではこの①～④の動作を繰り返し、ウォーターハンマーのみならず、滞留ドレンに起因した腐食・ヒートサイクルによるコイルの穴あきのリスクが高くなる。

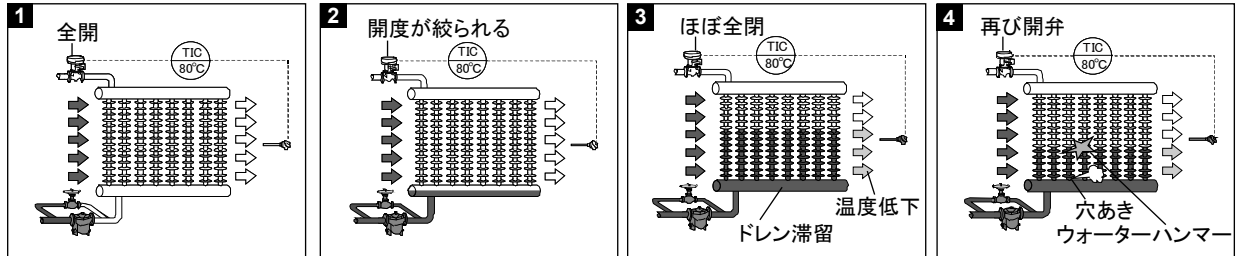


図8 ストール現象発生メカニズム

対策としてはポンプ機能内蔵スチームトラップ(メカニカルポンプ)もしくは真空ポンプを用いたドレンの排出が有効であり、今回はポンプ機能内蔵スチームトラップを紹介する。この機器はスチームトラップとドレンを圧送するポンプと異なる二つの機能を同時に有している。(図9)

スチームトラップの作動圧力差が確保されていない場合は、ポンプ機能によりスチームエアヒーター内のドレンを確実に排出し、高温エアの温度むらや腐食、ウォーターハンマーによりヒーターが破損するリスクを軽減する。実際に導入いただいたこの工場では、ヒーター内にドレンの滞留が無くなり、高温エアの温度むらが解消し、バイパスバルブの操作が不要になった。

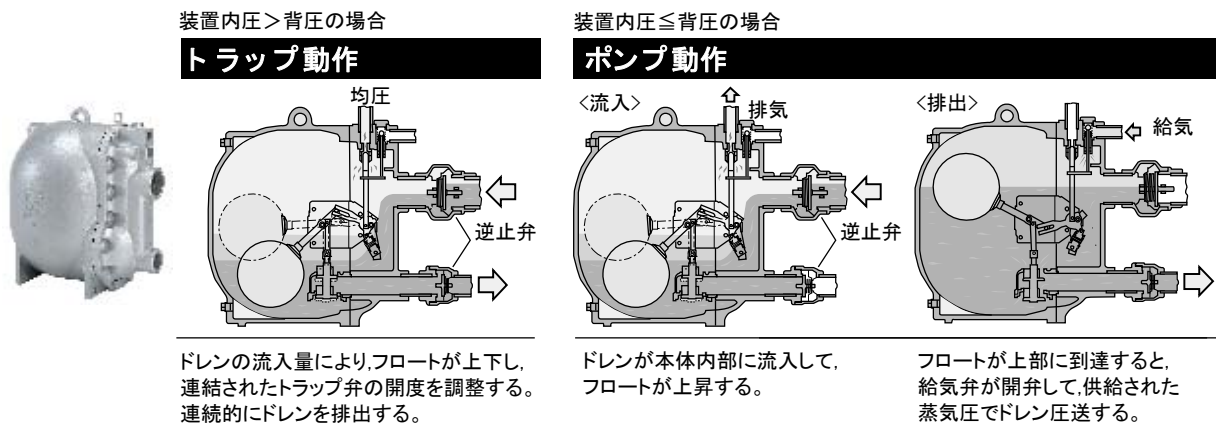


図9 ポンプ機能内蔵スチームトラップ写真と作動メカニズム

## 5. おわりに

『蒸気システム最適化プログラム(SSOP)』は製紙業界の工場で多く採用いただいている。特に『ドレン排出箇所管理プログラム(BPSTM)』の採用による省エネルギーとドレン障害の解消、フラッシュ蒸気回収による省エネルギー、またウォーターハンマー対策による工場の安全、安定操業の実現に関しては高い評価を得ている。

本稿で紹介したSSOPは、製紙工場のドレン障害・エネルギーロス・CO<sub>2</sub>排出量を削減し、蒸気システム全体の最適化を継続的に実現し、お客様の工場の安全性、信頼性、そして経済性の改善に寄与するものと確信している。

本稿に記載しているTLV、SSOP、BPSTM、ZRMおよびCESは、株式会社ティエルブイの登録商標である。