

カーボンニュートラルに向けて、 蒸気システムの最適化と製紙業界での改善事例

株式会社ティエルブイ*¹ CES 本部 恩田 英*²

Steam System Optimization and Case Studies in the Paper Industry for Carbon Neutrality

*Suguru Onda**²

TLV CO., LTD.*¹

Abstract

Steam System Optimization Program (SSOP®) is a sustainable asset management program that continuously optimizes the performance of the entire steam system through visualization. SSOP® consists of optimizing all condensate discharge locations (Best Practice of Steam Trap Management, BPSTM®) and optimizing all steam applications and the entire steam system (CES® Survey).

CES® Survey identifies the potential from reducing the overall plant energy consumption, analyzes the balance between steam and electricity using Steam System Balance Simulator which is developed by TLV, proposes the potential improvement for each opportunity, and identifies risks in the steam system. Optimization through the CES® Survey progresses in the following four steps. 1st: consultation and on-site survey, 2nd: identifying and tailoring the potential solutions, 3rd: engineering and design, 4th: confirmation of the improvement effect. This survey puts importance on the investment profitability of each opportunity. On average, 69% of the opportunities proposed have a payback period of less than two years.

5 example proposals made for paper industry plants are shown in this paper. The first example is the reduction of vented steam from the deaerator. The vent valve is sometimes not adjusted according to the steam production rate. If the vented steam flow is larger than the appropriate amount, adjusting the valve can reduce energy loss without requiring any investment costs.

The second example is for flash steam recovery from a boiler blow-down. Boilers in the paper industry generate a lot of high pressure steam. This means that there is a huge heat loss if blow-down water is not utilized. In this example, the solution was a flash vessel to recover flash steam from blow-down water as low pressure steam.

The third example is for flash steam recovery from a digester which uses a lot of high pressure steam. The steam condensate is usually recovered to the boiler, however flash steam is not utilized. In this example, flash steam is recovered to heat water using a heat exchanger that is open to the atmosphere. Using this specific heat exchanger, no additional back pressure is exerted on the digester. This is an important point when designing heat recovery systems.

The fourth example optimizes heat recovery in the drainage system of a paper machine. There are significant heat losses in the condenser due to the flash steam amount exceeding the demand. This example proposes using an ejector to recover additional flash steam and reduce heat loss to the cooling water.

The last example is the self-circulating system for a Yankee dryer. A Yankee dryer

*¹ 〒272-0115 千葉県市川市富浜 2-2-9/2-2-9 Tomihama, Ichikawa, Chiba

*² E-mail: onda11@tlv.co.jp

is one of the steam applications where condensate can be difficult to be discharged. The user had opened the bypass valve of the steam trap to discharge condensate, resulting in steam losses. In this example, the introduction of the self-circulating system has allowed the user to keep the bypass valve closed during production.

1. はじめに

プラントの安全性・信頼性・生産性を高い水準に維持して運転するうえで蒸気システムの最適化は欠くことのできないものである。しかし、プラント建設当初に最適化されていた蒸気システムであっても、長い年月を経ると、生産現場の現状にそぐわないものとなっていることが多い。

当社では蒸気システム全体の最適化の必要性を痛感し、ご理解いただいたお客様のご協力を得て、蒸気システム最適化プログラム（以下、SSOP[®]）を開発した。SSOP[®]では、従来ブラックボックスと認識されていた蒸気システムを「見える化」し、蒸気システムをアセットとして捉えることで、本来のパフォーマンスが発揮できるよう最適化し維持する継続可能なマネジメントの「仕組み」を提供する。

SSOP[®]は、ドレン排出箇所管理(以下、BPSTM_o)と蒸気システム総合診断（以下、CES_o Survey）から構成されている。

BPSTM_oは、蒸気システムの省エネルギーと、信頼性・安全性などに重要なドレンの迅速かつ確実な排出を実現することで、蒸気システム最適化のための土台となるインフラを構築する。CES_o Surveyは、国内の製紙工場はもちろん、国内外の石油精製・石油化学・食品・ゴム・化学工場などで、これまでに合計134件の実績がある。CES_o Surveyは、カーボンニュートラル実現に向けて特に重要な省エネルギーに大きく貢献しており、本報告では、CES_o Surveyの手法と製紙業界における事例を紹介する。

2. 蒸気システム総合診断(CES_o Survey)の特徴

蒸気システム総合診断(CES_o Survey)の対象は、プラント内の蒸気に関わる設備すべてである。データを調べるだけでなく、実際に技術者が現場を歩いて、設備の実態を正確に把握し、生産現場の効率・安全性・省エネルギー性を高めるアイデアを提案・実行支援する。結果と改善案は以下の項目で整理し、診断最終日に報告する。

① プラント全体の省エネルギーポテンシャル

蒸気使用設備の改善提案を数十件作成し、それらをどう組み合わせれば、プラント全体としてどれだけ省エネルギーを実現できるのかを、投資採算性も含めて報告する。

② 蒸気と電気のバランス分析結果

発電用蒸気タービンで使用している蒸気と、高圧の過熱蒸気を低圧の熱源用飽和蒸気へ減圧減温するステーションの運転状況などを調査し、現在の熱エネルギーと電気エネルギーのバランスの把握と、その改善策の報告をする。

③ 個別の省エネルギー改善案の詳細

数十件の提案のひとつひとつについて、正確な運転状態を把握するためになるべく現場オペレーターも同席いただいて説明し、報告する。これによってマネジメント層だけではなく、現場オペレーターの理解も得て、両者間の情報共有を図り、ミスコミュニケーションを防ぐ。

④ リスク箇所のピックアップと改善効果

蒸気使用の原理原則に照らし合わせて、現状では問題が無くても近い将来に問題が発生しうる箇所については安全性・信頼性テーマとしてピックアップして報告する。特に重要な箇所について、問題発生確率と発生した場合の損害から改善効果を定量化する。

3. CES_o Survey における改善のステップ

3.1 ヒアリング・現場診断

診断の正確性と効率を向上させるため、事前にプラント内の蒸気に関わるすべての設備の資料（系統図、サイズ、圧力、流量など）をお客様から入手する。診断初日に、それらの資料に基づき、各設備と蒸気システムの現状をお客様から説明していただく。引き続き、蒸気使用設備すべてを現場で診断し、事前の情報と照らし合わせて問題点を洗い出す。また、プラント全体の熱エネルギーと電気エネルギーのバランスを調べ、改善点のポイントを絞り込む。

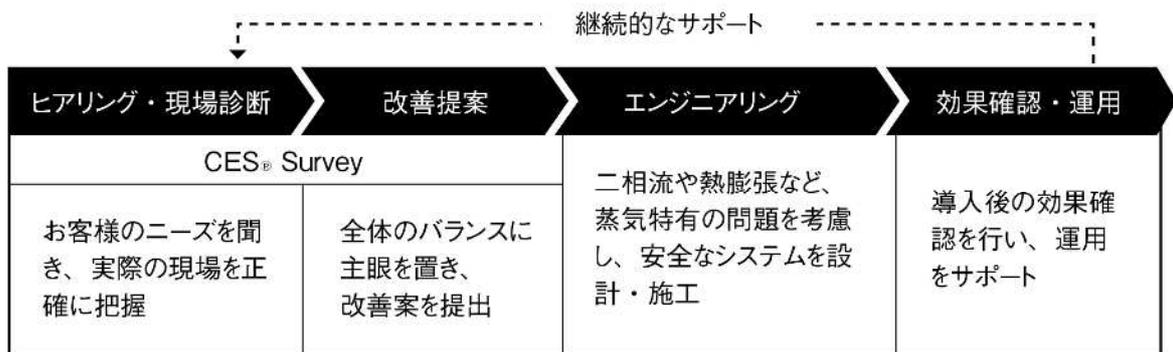


図1 CES[®] Survey による改善のステップ

3. 2 改善提案

設備ごとの改善提案、全体バランスを見た改善提案を順次作り込んでいき、それらを組み合わせたときのバランスをシミュレートして、最適なソリューションを作り上げる。お客様にそれらの提案を説明し、実施のためのサポートを行う。

3. 3 エンジニアリング

改善提案を実施するにあたり工事などが必要な場合は、二相流や熱膨張など蒸気特有の問題を考慮し、安全なシステムを設計・施工する。

3. 4 効果確認・運用

導入後の効果確認を行い、運用を続けるサポートをする。

4. 提案テーマの投資採算性

改善提案は投資採算性を考慮し、大型投資を伴わないものを優先している。過去 134 件の診断実績では、投資回収期間が 2 年以内のものが 69% を占め、投資が全く不要なもの（設定変更や弁操作だけの改善提案）も 27% ある。そのため、診断中に即採用になる提案も多々ある。

5. 診断に用いるツール

CES[®] Survey では、多くの診断ツールを使用する。診断器は、熱画像診断器、超音波リーク診断器、表面温度／超音波測定器、放射温度計などを現場状況に応じて使い分ける。分析ツールとしてエネルギーの全体バランス解析ソフト“Steam System Balance Simulator”、リスク定量化のための解析ソフト“Steam System Risk Mitigation”を自社開発した。

“Steam System Balance Simulator”により、熱エネルギーと電気エネルギーのバランスを計算して、提案の優先順位を明確にできる。“Steam System Risk Mitigation”は、米国石油協会 API 580/581 の RBI (Risk-Based Inspection) コンセプトに準拠し、蒸気システムを資産すなわちアセットとしてとらえて、そのアセットの故障発生確率と損失額を計算しリスク改善を実施した際のメリットを定量化することができる。

6. 提案の具体例

6. 1 脱気器ベント蒸気の削減

投資が不要な事例として、脱気器のバルブ調整を紹介する。ボイラ給水用の脱気器は、蒸気を吹き込んで水を沸騰させることで、水中に溶け込んでいる酸素などのガスを大気に放出（＝ベント）するための装置である。その際、ガスとともに蒸気の一部も大気に放出されてしまう。通常この放出蒸気は流量計で計測しないため、必要量以上の蒸気が放出されていても気付いていないことが多い。たとえば、図 2 に示すように生産量の変化に伴う蒸気発生量の変化に対して、絞り弁

の開度を調整していない場合、現場診断で絞り弁の開度を確認し、過剰な場合は再調整することで大きな省エネルギー効果を得られることになる。

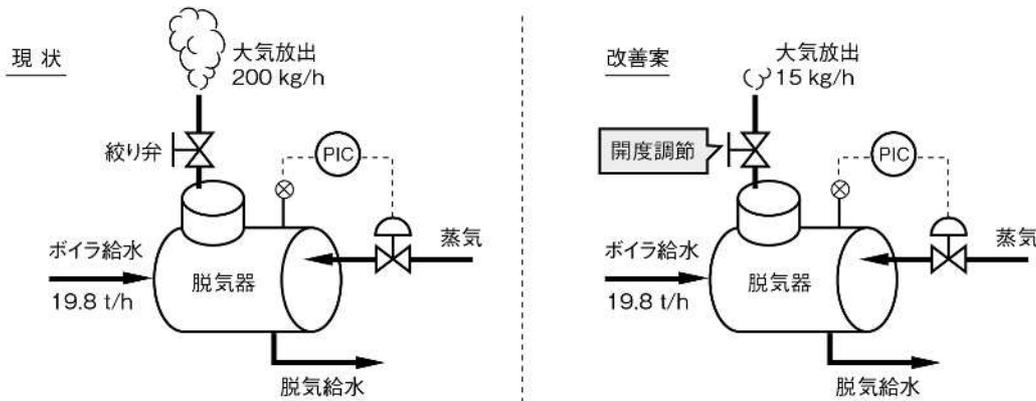


図 2. 脱気器蒸気の削減

6. 2 ボイラブローダウンの廃熱利用

投資を伴ったが、大きなメリットが得られた事例として、図 3 に示すボイラブローダウンの廃熱利用を紹介する。9MPaG の高圧ボイラから 1,250 kg/h のボイラブローが常時排出されていたが、有効利用されておらず、ボイラブロー水から再蒸発する 500 kg/h 以上の蒸気が大気に放出されていた。

一方、この工場には 0.35MPa の蒸気ラインもあった。そこでフラッシュタンクを新設し、0.35MPa 蒸気ラインにフラッシュ蒸気を回収するための配管を新たに敷設した。試運転の結果、フラッシュ蒸気は正常に回収され、1,000 万円/年のコスト低減と省エネルギーになった。

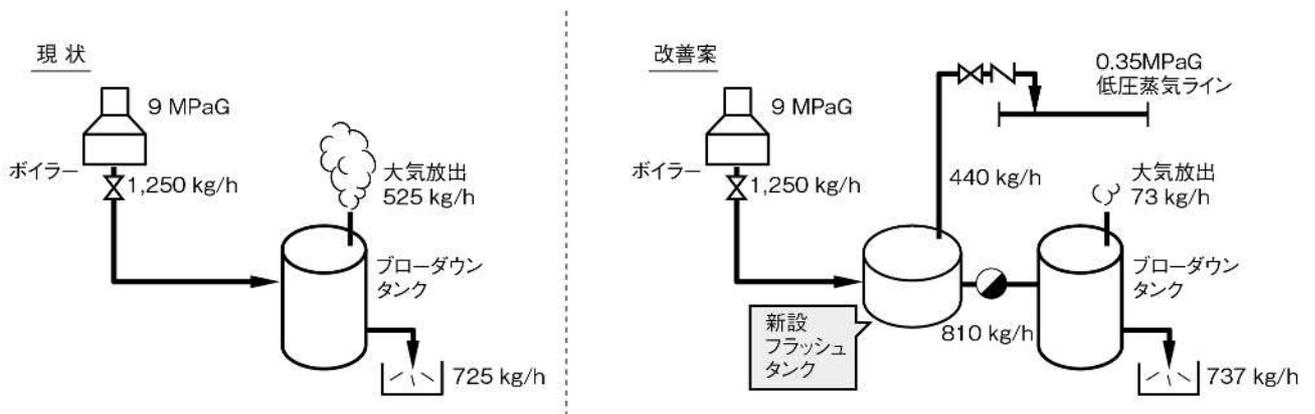


図 3. ボイラブローダウンの廃熱利用

6. 3 蒸解釜のドレンタンクから発生するフラッシュ蒸気回収

製紙工場特有の設備として図 4 に示す蒸解釜の事例を紹介する。蒸解釜で使用する蒸気は、圧力が高く、使用量が大きいため、ドレン回収先のタンクで大量のフラッシュ蒸気が大気放出されているケースがある。この事例でも、蒸解釜からのドレンのフラッシュ蒸気が有効利用されておらず、800kg/h のフラッシュ蒸気が有効利用されずに大気放出されていたが、蒸気で 60℃に温度制御している温水タンクが付近にあったため、フラッシュ蒸気による温水タンクの加温を検討した。

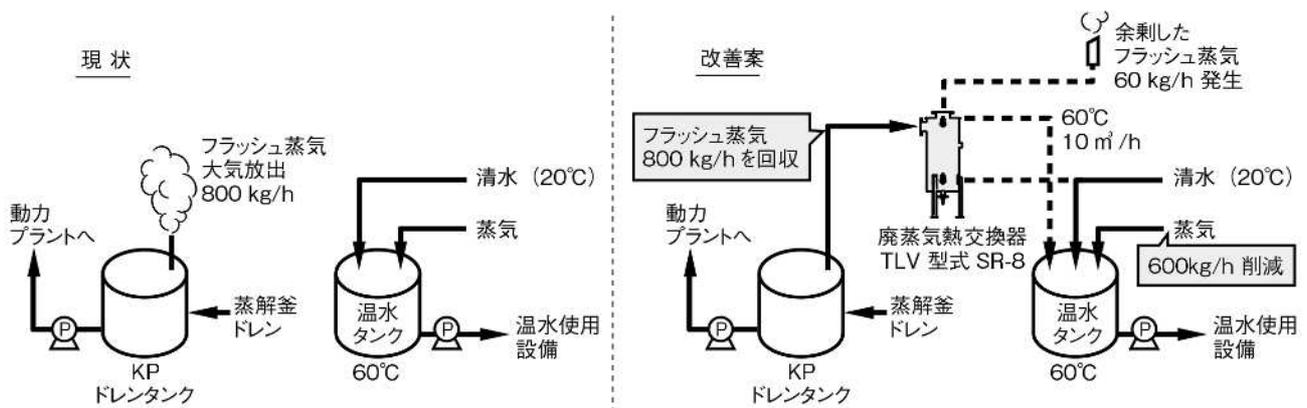


図 4. 蒸解釜ドレンのフラッシュ蒸気利用

具体的には、廃蒸気熱交換器(TLV型式 SR-8)を設置し、約 800 kg/h のフラッシュ蒸気によって温水タンクへの給水(清水 20℃)を加熱する。温度制御システムと組み合わせることによって、10m³/h 程度の温水(60℃)を発生させることができるため、約 600 kg/h の蒸気削減と約 7,000 千円/年のコスト削減に繋がっている。

なお、廃蒸気熱交換器は、回収元のタンクに背圧をかけることがない構造として設計されている。そのため、蒸解釜自体の運用には影響を与えることなく、熱回収を行なうことが可能である。仮に、フラッシュ蒸気の発生量が増加、あるいは給水量が低下し、処理しきれなくなると、大気開放ベント配管から蒸気が排出されることで大気圧が保たれる。一旦、ベントが発生しても、蒸気の処理量が低下すればベント配管からの蒸気排出はなくなる仕組みとなっている。

6. 4 抄紙機における蒸気削減

製紙工場において最大の蒸気ユーザーである抄紙機のドライヤーにおけるフラッシュ蒸気回収について紹介する。多くの抄紙機では、ドレネージシステムによってロール群のドレンを排出しつつ、フラッシュ蒸気を別のロール群で利用している。このとき、利用先のないフラッシュ蒸気はコンデンサーによって凝縮させるが、温水が大量に発生するため、有効利用できていない場合に熱ロスとなってしまう。

この事例では、図 5 に示すように比較的圧力の高いロール群のドレンをフラッシュタンクに流入させ、給気予熱などに蒸気を再利用するシステムが従来から設置されていた。しかし、最終段のフラッシュタンクから発生するフラッシュ蒸気を使い切ることができず、未利用蒸気約 300 kg/h をコンデンサーで凝縮させていた。しかし、このプラントでは、コンデンサーで発生した温水の使用先がなかったため、最終段のフラッシュタンクから発生するフラッシュ蒸気は熱ロスとなっていた。

そこで、エゼクターを新たに設けて回収再利用することにした。最終段のフラッシュタンクから発生している使い道のなかった 0.1MPaG 蒸気は、エゼクターを用いて 0.4MPaG 蒸気と混合し、0.2MPaG 蒸気として吐出する。低圧で運用されているロール群に供給した。この時、0.1MPaG の低圧蒸気をおよそ 300 kg/h 吸引し、0.2MPaG 蒸気を約 1500kg/h 吐出することができたため、結果として、300 kg/h の蒸気削減に繋がり、約 5,000 千円/年のコスト低減となった。

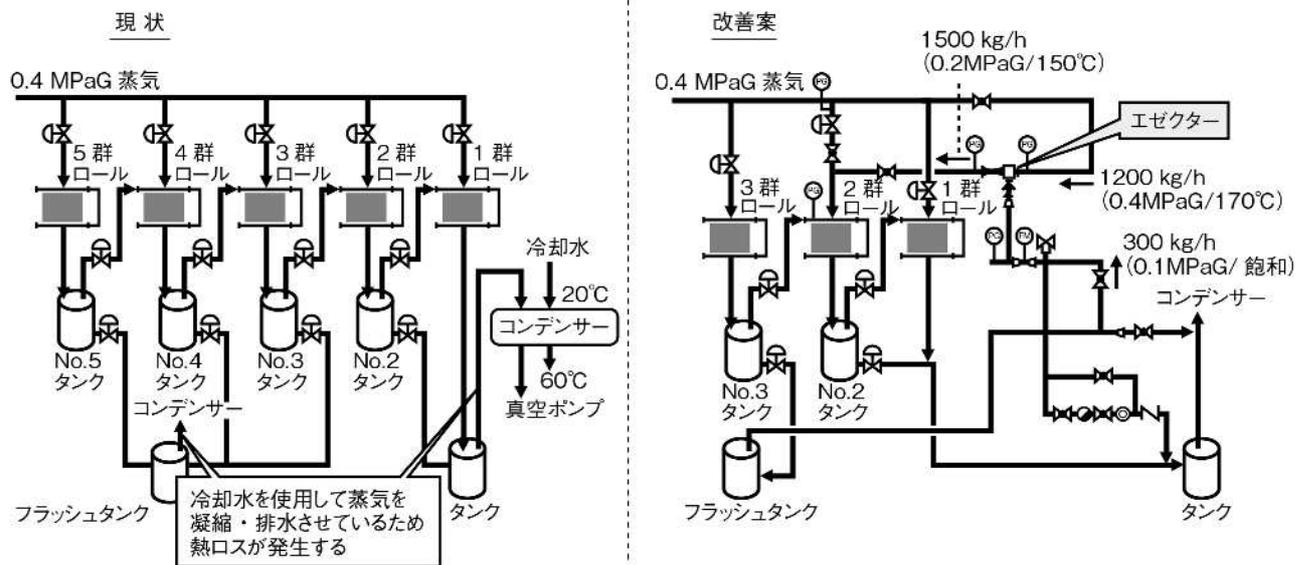


図 5. ドレネージシステムにおけるフラッシュ蒸気利用

6. 5 ヤンキードライヤーにおける生産と省エネルギーの両立

主に家庭紙などの生産に利用されるヤンキードライヤーにおける事例を紹介する。この事例では、ドライヤー内部に蒸気ドレンが滞留することで起こる表面温度の低下や駆動トルクあるいは電流値の増加を防ぐ目的で、スチームトラップのバイパス弁を常時開けて運転していた。常時流れを作ることによってドレン抜けを良くしてドライヤー内部の滞留を軽減できるのだが、熱計算と蒸気量計測によって定量化すると、バイパスからはドレンだけでなく約 200 kg/h もの蒸気がブローされており、回収先タンクから湯気として放出されていた。生産を優先するために、省エネルギーを犠牲にせざるを得ない状況ではあったが、以下で説明する自己循環システムによって改善した。

自己循環システムとは、図 6 に示すようにドライヤーから排出された蒸気をエゼクターによって吸引圧縮し、自身で再利用するシステムである。まず、ドレンと蒸気が混合された状態でドライヤーからセパレータータンクへと排出される。次にセパレータータンクでドレンと蒸気に分離される。最後は蒸気がエゼクターで吸引圧縮されて、ドライヤー入口に戻され、一定量の蒸気が常時ドライヤーを循環している状態となる。この時、ドライヤーに供給されている蒸気によってエゼクターが駆動されるため、外部からのエネルギー供給は不要である。

また、通常時はエゼクターによる循環蒸気によってドライヤー入口と出口の差圧はほぼ一定に保

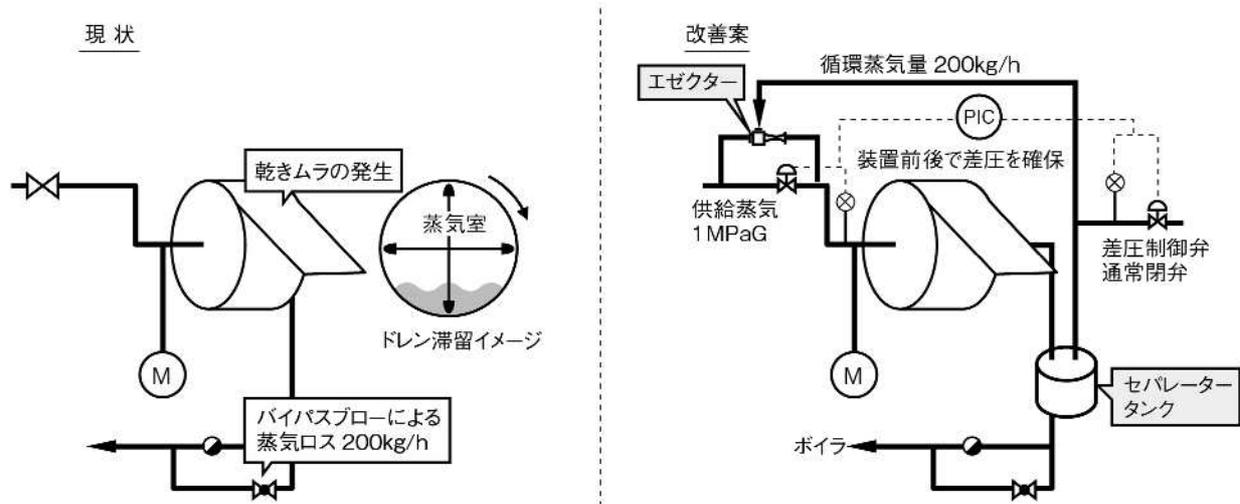


図 6. 自己循環システムによるヤンキードライヤー改善

たれるが、生産条件や気候によって変動する場合もある。その場合、所定の差圧となるように差圧制御弁から一部蒸気をブローすることで、生産を継続することが可能である。

最終的には、自己循環システムの導入によって、バイパス弁から蒸気をブローする操作は不要となり、約 200kg/h の蒸気削減と 10,000 千円/年程度のコスト削減に成功した。

7. 終わりに

蒸気システム最適化プログラム SSOP を構成する CES Survey について、特徴や手法を説明し、製紙工場における省エネルギー提案および改善事例を示した。製紙工場において、蒸気は規模の差はあるものの、必ず使用されている。当社は、CES Survey などの活動を通して、実際に数多くの現場に足を運んでいるが、蒸気に関する問題課題は現場ごとに異なる。その解決策となると、さらに数多くのバリエーションがあり、一概にまとめることは困難である。今回、代表的な事例を紹介しているが、説明の為に簡略化した部分もあるため、そのまま適用するのではなく、各現場の実態に即してアレンジして欲しい。

CES Survey では、現場ごとに最適解が異なることを前提として、全ての蒸気使用設備やボイラを確認し、総合的に診断することで、各現場に合わせたテーマを立案する。それゆえに、現状の生産現場にそぐわない構成になっている蒸気システムを、最適なものに作り替えることができる。また、今回は割愛したが、CES Survey は、安全性・信頼性向上など、省エネルギー以外の面での改善テーマも増やし進化を続けている。