

6. エネルギーの有効利用

(6.16 ドレン回収による蒸気システムの省エネ)

省エネルギー委員会委員

林 数 郎

(テイエルブイインターナショナル株)

1. はじめに

前号(第50回)では蒸気システムの省エネルギーを考察し、蒸気輸送系と消費プロセス設備のロスについて解説したが、本稿ではその解決手段のひとつであるスチームトラップからのドレン回収を取り上げる。

ドレン回収は既に多くの工場で採用されているが、まだドレンを回収していない工場も少なくな。こうした工場ではドレン回収を採用することで、大きな省エネを達成することができる。

また、既にドレン回収導入済の工場でもこの記事を参考に、さらに高効率のドレン回収方法を検討していただければ幸甚である。

2. ドレン回収方法の種類

ドレン回収方法として、大きく分けるとオープン回収とクローズド回収がある。

表51.1にオープン回収とクローズド回収の比較を示す。

2. 1 オープン回収

オープン回収とは、大気開放の給水タンクにドレンを直接回収する方法である。図51.1にオープン回収の例を示す。

スチームトラップの排出口から給水タンクに配管を引いておき、蒸気圧力が大気圧より十分高ければ自圧でドレンを押し出して回収できるので、ポンプなどの必要はなく、低コストで設置が可能である。一方、蒸気圧力が大気圧と比べてあまり高くなく、かつ給水タンクの高さが高い場合、自圧での回収はできない。そのような場合には、オープン回収システムであってもポンプの設置が必要となる。

オープン回収システムでは、スチームトラップは基本的に既設のものがそのまま使用できるが、新しく設置した配管の圧損が背圧として加わるので、スチームトラップの排出能力に余裕がない場合にはドレン排出障害が起こることがある。普段からドレン排出障害が疑われるような装置とス

表51.1 オープン回収とクローズド回収の比較

	オープン回収	クローズド回収
回収温度	100℃が上限	機器仕様による
システム構成	簡単	複雑
イニシャルコスト	クローズド回収より低い	オープン回収より高い
ランニングコスト	クローズド回収より低い	オープン回収より高い
回収メリット	クローズド回収より低い	オープン回収より高い
配管腐食	空気と接触するため多い	空気と接触しないので少ない
湯 気	クローズド回収より多い	少ないあるいは皆無
回 収 先	給水タンクなど	ボイラに直接給水

チムトラップについては、排出能力の大きいものに交換したほうがよい。オープン回収システムの場合には、スチームトラップの形式に制限はない。

オープン回収システムで回収率がある程度高くなると、給水タンク内の温度が100℃に達し沸騰し始める。沸騰した水蒸気は大気に放出されるので、その分は有効利用ができない。また、給水タンクから勢いよく水蒸気が放出されるのは、環境面から望ましくない。タンク内沸騰の騒音や振動も環境問題となる。さらに給水タンクから放出された蒸気が凝縮して、雨のように降りかかる可能性もある。オープン回収システムの設置に当たっては、それらの安全対策をとらねばならない。

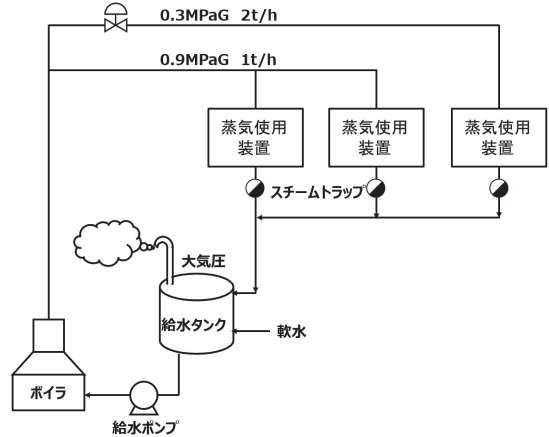


図51.1 オープン回収の例

2.2 クローズド回収

クローズド回収とは、オープン回収のように大気開放することなく、圧力を有したままボイラーに直接回収する方法である。回収するドレンが高圧なので、その回収圧力に応じたドレンのエンタルピで回収ができるが、ドレンヘッダ、ドレン回収ポンプなどの設備が必要となる。図51.2にクローズド回収システムの例を示す。ドレンヘッダの圧力が回収圧力（背圧）になる。

クローズド回収システムを導入する際に注意すべき点がある。

- ①スチームトラップの構造・作動形態と排出能力
- ②ボイラーの改造
- ③低NPSHのドレン回収ポンプの採用
- ④ポンプ機能付スチームトラップの採用

これらの注意点については、次号にて紹介する。

3. ドレン回収のメリットと投資回収年数

ドレン回収のメリットと投資回収年数は、蒸気使用量、工場の稼働時間、蒸気単価、工事対象の配管径や配管長さで大きく変わる。実際のメリットと投資回収年数を計算するには、工場ごとに運転状態の調査が必要である。

ここでは工場の運転状態を仮定して、先に挙げたシステムの具体的なメリット計算を試みる。

3.1 オープン回収の例

図51.1の例で、工場の運転状態が下記の通りとする。

工場稼働時間	: 年間4 000時間
蒸気コスト	: 4 000円/t (1.44円/MJ)
蒸気圧力	: 0.9MPa (比エンタルピ: 蒸気 2 777kJ/kg, ドレン763kJ/kg)
	: 0.3MPa (比エンタルピ: 蒸気 2 738kJ/kg, ドレン605kJ/kg)
蒸気使用量	: 0.9MPa平均1t/h
	: 0.3MPa平均2t/h
ドレン回収導入前給水タンク温度	: 20℃ (比エンタルピ84kJ/kg)
ドレン回収導入後給水タンク温度	: 90℃ (比エンタルピ377kJ/kg)
ドレン回収率	: 100%

オープン回収でドレン回収率100%の場合、給水タンクは沸騰し、一部のエネルギーはフラッシュ蒸気として給水タンクから放出される。その量を計算する。ここでは計算し易くするため、ボイラブローは無視する。

ドレン回収率は100%なので、ドレン回収量は3 [t/h]である。0.9MPaと0.3MPa、2つの蒸気圧力があるので、ドレンのエンタルピは次のようになる。

$$1\,000\text{kg/h} \times 763\text{kJ/kg} + 2\,000\text{kg/h} \times 605\text{kJ/kg} = 1\,973\,000\text{kJ/h} = 1\,973\text{MJ/h}$$

一方、実際に回収できるのは100℃ (比エンタル

キ
リ
ト
リ
線

ピ419kJ/kg)の給水なので、回収前の温度20℃(比エンタルピ84kJ/kg)との差が回収できるエンタルピになる。

$$3\,000\text{kg/h} \times (419 - 84)\text{kJ/kg} = 1\,005\,000\text{kJ/h} = 1\,005\text{MJ/h}$$

従って、その差である1973-1005=968MJ/hの熱量が放出される。蒸気量に換算すると、約362kg/hに当たる。

オープン回収導入前には、20℃の給水を0.9MPaの蒸気にするので、必要な熱量は次の通りとなる。

$$3\,000\text{kg/h} \times (2\,777 - 84)\text{kJ/kg} = 8\,079\,000\text{kJ/h} = 8\,079\text{MJ/h}$$

オープン回収導入後には、100℃の給水を0.9MPaの蒸気にするので、必要な熱量は次の通りとなる。

$$3\,000\text{kg/h} \times (2\,777 - 419)\text{kJ/kg} = 7\,074\,000\text{kJ/h} = 7\,074\text{MJ/h}$$

従って、

$$1 - 7\,074 / 8\,079 = 0.124 = 12.4\%$$

$$(8\,079 - 7\,074)\text{MJ/h} \times 4\,000\text{h/年} \times 1.44\text{円/MJ} = 5\,788\,800\text{円/年}$$

省エネ率は12.4%であり、メリット金額は年間約579万円になる。

既設の給水タンクとしてパネルタンクを使用している場合、オープン回収を導入すると内部の水が沸騰し、その振動でパネルタンクの接合部から水漏れが発生することがある。パネルタンクを使用している場合には、そのタンクの性能を確認し、必要なら給水タンクを交換する。既設の給水タンクが温度、振動に耐えられる性能の場合は、工事費としては配管だけになる。配管の長さによって違うが、バルブ類やサポートなどを考えても数十万円程度で工事可能なケースが多い。従って投資回収年数は1年以下である。このオープン回収については工事も簡単なので、すでに多くの工場で導入済と思われる。

3. 2 クローズド回収の例

それでは、そこから進んでクローズド回収を導入した場合のメリットを考える。

クローズド回収の検討をされる工場は、既にオープン回収は導入済のケースが多いので、オープン回収からクローズド回収に改造した場合のメ

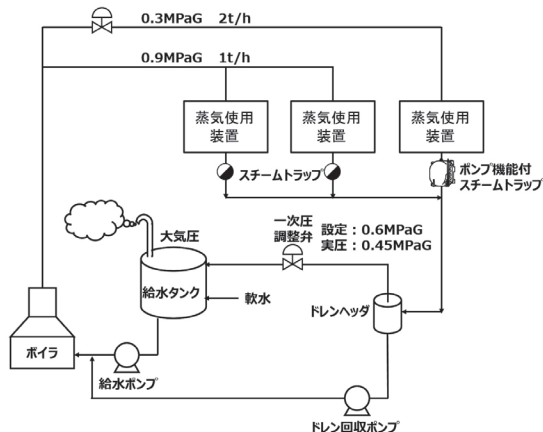


図51.2 クローズド回収の例

リットを計算する。

図52.2の例で、工場の運転状態が下記の通りと仮定する。

- 工場稼働時間：年間4 000時間
- 蒸気コスト：4 000円/t(1.44円/MJ)
- 蒸気圧力：0.9MPa(比エンタルピ：蒸気2 777kJ/kg, ドレン763kJ/kg)
- ：0.3MPa(比エンタルピ：蒸気2 738kJ/kg, ドレン605kJ/kg)
- 蒸気使用量：0.9MPa平均1t/h
- ：0.3MPa平均2t/h
- クローズド導入前給水タンク温度：100℃(比エンタルピ419kJ/kg)
- ドレン回収率：100%
- ドレンヘッダ設定圧力：0.6MPa(比エンタルピ蒸気2 762kJ/kg, ドレン697kJ/kg)

オープン回収と同様に、ドレンブローは無視する。

ドレンヘッダの設定圧力は0.6MPaとしたが、実際にどのくらいの圧力になるか、またどのくらいのフラッシュ蒸気が給水タンクに放出されるかを計算する。

0.9MPa蒸気のドレンと0.3MPa蒸気のドレンが両方ドレンヘッダに導入されるので、ドレン全体の質量は3 000kg/hとなる。一方エンタルピも合計されるので、次のようになる。

$$1\,000\text{kg/h} \times 763\text{kJ/kg} + 2\,000\text{kg/h} \times 605\text{kJ/kg}$$

$$=1\,973\,000\text{kJ/h}=1\,973\text{MJ/h}$$

従って混合したドレンの比エンタルピは次のようになる。

$$1\,973\,000\text{kJ/h} \div 3\,000\text{kg/h} = 658\text{kJ/kg}$$

この値は約0.45MPaの飽和ドレンの比エンタルピに相当する。従って、ドレンヘッド圧力は0.6MPaに設定されているが、実際の圧力は0.45MPaまでしか上がらない。ドレンヘッドからはフラッシュ蒸気は放出されず、給水タンクの温度は20℃のまま上昇しない。

クローズド回収導入前後のメリットを計算する。

クローズド回収導入前の給水タンク温度は100℃だったので、給水の比エンタルピは419kJ/kg、0.9MPa蒸気の比エンタルピは2777kJ/kgなので、燃料燃焼によって与えられるべきエンタルピは、次の通りとなる。

$$(2\,777 - 419)\text{kJ/kg} \times 3\,000\text{kg/h} = 7\,074\,000\text{kJ/h} \\ = 7\,074\text{MJ/h}$$

クローズド回収導入後は、ドレンヘッドから直接ボイラーに給水されるドレンの比エンタルピは658kJ/kgとなる。

燃料燃焼によって与えられるべきエンタルピは、次の通りとなる。

$$(2\,777 - 658)\text{kJ/kg} \times 3\,000\text{kg/h} = 6\,357\,000\text{kJ/h} \\ = 6\,357\text{MJ/h}$$

従って、

$$1 - (6\,357 / 7\,074) = 0.101 = 10.1\%$$

$$(7\,074 - 6\,357)\text{MJ/h} \times 4\,000\text{h/年} \times 1.44\text{円/MJ} \\ = 4\,129\,920\text{円/年}$$

省エネ率は10.1%であり、メリット金額は年間約413万円になる。

この省エネ率とメリットは、既にオープン回収を導入済の工場にクローズド回収を導入した場合のものである。オープン回収を導入前の工場にクローズド回収を導入すると、両者合計のメリットが期待できる。

具体的には、

$$1 - (6\,357 / 8\,079) = 0.213 = 21.3\%$$

$$(8\,079 - 6\,357)\text{MJ/h} \times 4\,000\text{h/年} \times 1.44\text{円/MJ} \\ = 9\,918\,720\text{円/年}$$

省エネ率は21.3%であり、メリット金額は年間約992万円になる。

しかし、クローズド回収はオープン回収より使用する機器が多く、導入コストが高い。ドレン回収ポンプとその周辺機器が300~500万円程度、ポンプ機能付スチームトラップが約30万円、配管工事、据付工事、試運転など、合計で1000万円程度かかる。

オープン回収を導入済の工場にクローズド回収を導入した場合の投資回収は約2年、オープン回収未実施の工場にクローズド回収を導入した場合の投資回収は約1年となる。このことから、工場新設時からクローズドドレン回収の導入を検討することをお勧めしたい。

4. まとめ

ドレン回収による蒸気システムの省エネについて、具体例でのメリット計算を含めて解説した。オープン回収は既に一般的になっており、かなりの割合で導入されている。一方、クローズド回収を導入している工場の数は、オープン回収に比べるとかなり少ない。

省エネ法による年1%原単位削減目標などにより省エネ意識は高まっているが、未だに給水タンクからフラッシュ蒸気を出している工場が多いのは、今回紹介したようにポンプ機能付きスチームトラップを併用して、より高い回収圧力を実現している工場がまだ少ないことを表している。

給水タンクから蒸気が放出されている工場では、一度ドレン回収システムについて見直すことをお勧めする。

ただ、クローズド回収の導入には、単にコストが高いだけではなく、技術的に注意しなければならない点がある。次号では、その注意点について解説する。