「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

3.3.3.2　蒸気システム

1．蒸気システムと設備の概要

A 重油および都市ガス等の燃焼熱を利用し発生させた蒸気を加熱乾燥および発電設備へ供給する機器であり、電気を利用した電気ボイラーおよび電気温水器を除くボイラーとする。

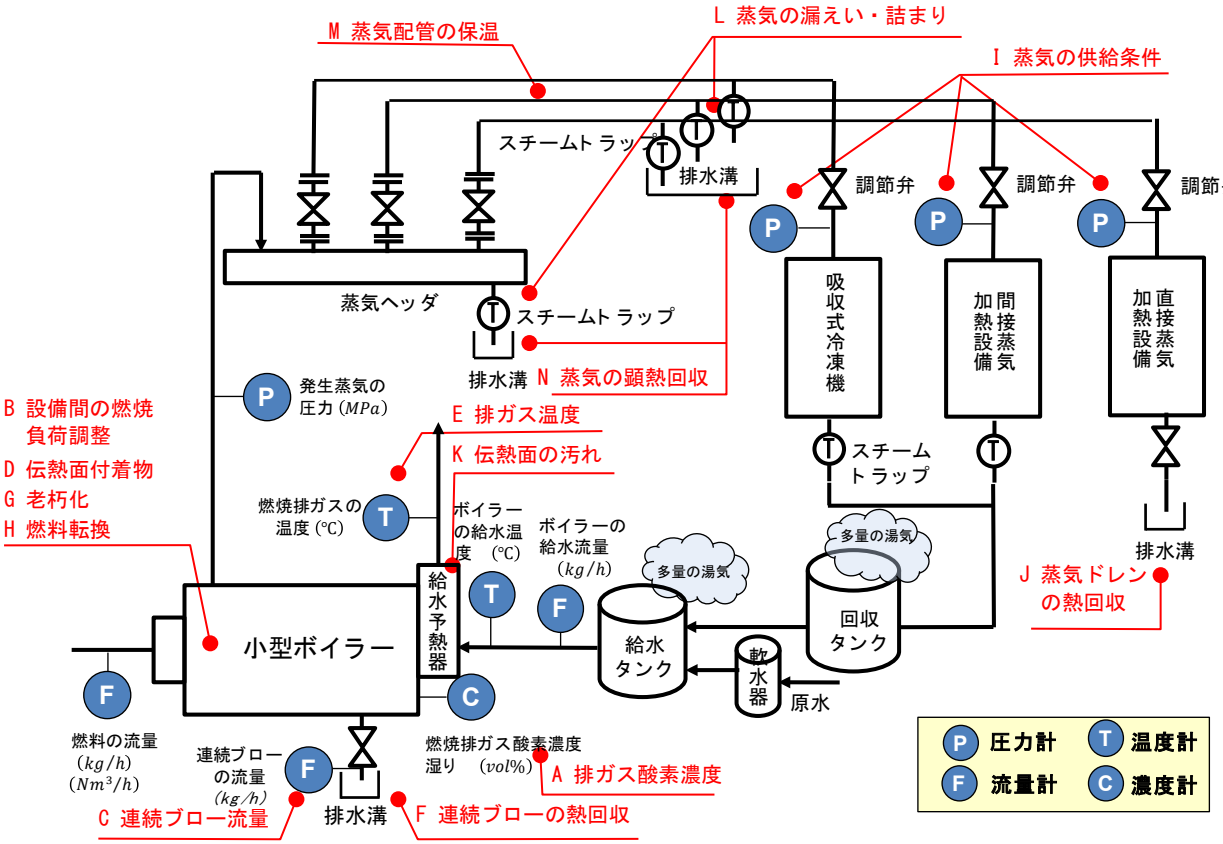


図 3.3.3.2-1　蒸気システムの機器構成と計測箇所の例

蒸気システムの概念図を図 3.3.3.2-1 に示す。蒸気ボイラーで製造された蒸気は輸送設備である蒸気ヘッダーから配管を通り、制御弁等で適切な圧力に調整され吸収式冷凍機、間接加熱設備および直接加熱設備に供給される。加熱に利用され凝縮した蒸気ドレンはスチームトラップから排出される。間接加熱設備から排出された汚染の少ない蒸気ドレンは回収タンクを経由して給水タンクに供給され、軟水器で処理された給水と給水タンクで混合され、ボイラー給水として再利用される。

蒸気を利用する設備には吸収式冷凍機、ジャケット式蒸気釜、コイルチューブ式やプレート式熱交換器等の加熱熱交換器等を内蔵した間接加熱設備と、蒸気を直接製品に吹付けまたは水に吹い込むことにより、食材を茹で蒸し、製品の殺菌滅菌やゴムの加硫等を行なう直接加熱設備がある。蒸気利用設備に必要な蒸気圧力および流量に基づき蒸気ボイラーの飽和蒸気圧力および蒸発量と台数が決定される。間接加熱設備で発生する蒸気ドレンは汚染が少なくボイラー給水として利用できる場合が多いが、直

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

接加熱設備で発生する蒸気ドレンには被加熱物の残渣が含まれているためボイラー給水としての再利用は難しい。

排ガスおよび連続ブローの顕熱回収を行なっていない小型蒸気ボイラーの熱収支を図 3.3.3.2-2 に示す。燃料の低位発熱量、燃料の顕熱および空気の顕熱が蒸気ボイラーへの入熱であり、エコノマイザーおよび蒸発部で吸収された発生蒸気の吸収熱が蒸気輸送設備に供給される。燃焼排ガスの顕熱、連続ブローの顕熱およびボイラー炉体からの放熱が熱損失となる。

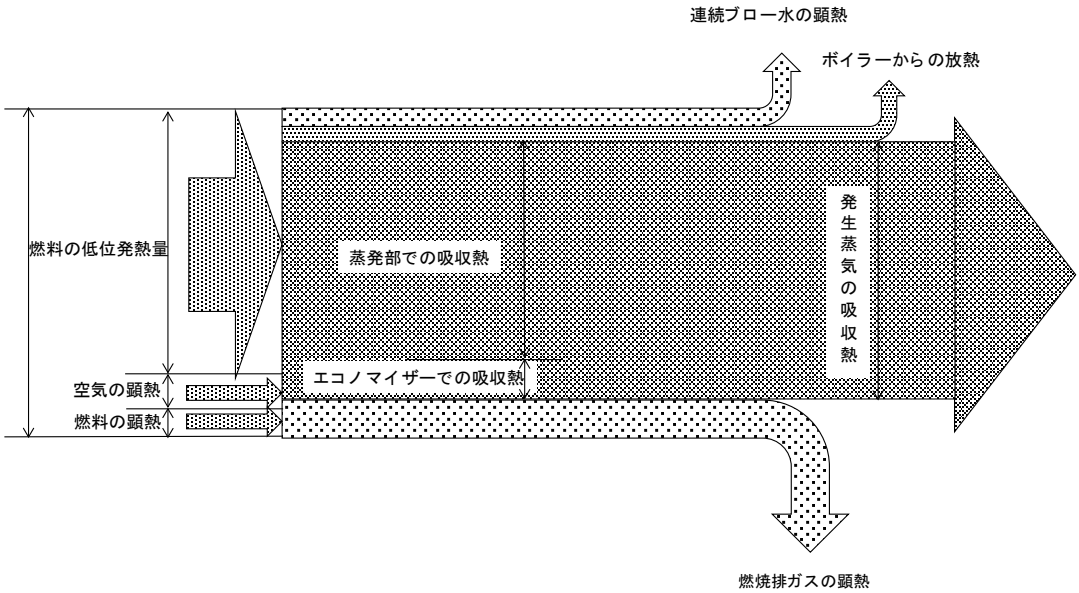


図 3.3.3.2-2　蒸気ボイラーの熱収支

2．蒸気システムにおけるエネルギー損失の事例

●蒸気ボイラーにおける損失

圧力 0.9MPa、飽和温度 175.3℃の蒸気 2,500kg/h を発生させる効率 87%の蒸気ボイラーを使用している蒸気システムにおける各損失の比率の例を以下に示す。

排ガスの顕熱　11.5%

連続ブローの顕熱 1.0%（連続ブロー率 5%の場合）

炉体からの放熱損失 0.5%

蒸気吸収熱　87%

となり、排ガスの顕熱が最も大きな熱損失である。また、地下水をボイラー給水に利用し硬度成分による障害を防ぐために給水の 15%を連続ブローしていた事例および水質管理基準として採用している電気伝導度 400mS/m に対し、最高 320mS/m にて運転するために給水の 11%を連続ブローしていた事例も報告されている。

memo

ボイラー水水質を十分管理しないまま、ブロー量が多い例が散見されます。

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

●輸送回収設備における損失

蒸気システムの搬送設備を構成する蒸気バルブ、フランジ、回収タンクおよび給水タンクが、保守点検の容易さを確保するために保温されていないことがある。例えば圧力 0.9MPa 飽和蒸気の温度は 175.3℃であるため、高温の蒸気が接する蒸気バルブ、フランジの外表面からの放熱は、大きな熱損失である。

また、輸送設備で発生する蒸気ドレンは配管や弁等の浸食の原因となる。

memo

蒸気が接する金属部に、外気に露出する場所があってはいけません。すべてに断熱措置を講じるべきです。

●蒸気利用設備における損失

各蒸気利用設備に設定された圧力で蒸気を供給する必要がある。必要以上に高い圧力の蒸気では加熱ムラが起こりやすく、圧力が上昇すると蒸発潜熱が小さくなり間接加熱に必要な蒸気使用量が増加する。

蒸気利用設備で発生する滞留蒸気ドレンは、加熱を阻害する。また、輸送設備および各蒸気利用設備のスチームトラップから排出される蒸気ドレンの顕熱は大きな熱損失の要因である。

memo

ドレンは不純物を含まない水ですので、そのまま給水としても利用でき、給水予熱と同様の効果があります。

3．エネルギーロス把握のための計測方法

1）計測記録に関する基本的な注意事項

●計測機器の精度

計測機器の測定値はドリフト[*1]および経年変化[*2]により変動し測定誤差の要因となるため、計測に使用する機器類の校正記録および取扱要領書を入手し、精度および計測における注意点を反映した計測記録を行なう。なお、必要な場合には清掃および校正を行ない正確な計測に心がける。

＊1 ドリフト
一定の環境条件の下で測定量以外の影響によって計測機器の特性が緩やかに継続して変動する現象のこと。

＊2 経年変化
長期の時間経過に伴って計測器またはその要素の特性に変化が生ずる現象のこと。

●計測期間および頻度

蒸気システムの負荷が大きく変動する運転がなされている場合、過去の操業データから変動の時間変化を把握し、必要な計測期間および頻度を設定する。

2）発生段階のロス把握

蒸気ボイラーにおいて発生しているロスを定量的に評価するために、蒸気ボイラーの燃料流量、発生蒸気流量、熱効率および過剰空気率を求める。

発生蒸気量 Ws はボイラー給水流量 Wb と連続ブロー比 Rb（ボイラー給水基準）から次式で求める。

$$Ws=Wb（1－Rb）$$

蒸気の吸収熱量（Qs）および連続ブロー水の加熱に利用された熱量（Qb）を発生蒸気の圧力における飽和蒸気のエンタルピー（hs）、飽和水のエンタルピー（hb）およびボイラー給水のエンタルピー（hw）を用いて次式から決定する。

$$Qs=Ws×(hs－hw)$$

$$Qb=Wb×Rb×(hb－hw)$$

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

使用している燃料の種類および組成を用いて燃焼計算を行ない、排ガス温度および残存酸素濃度から空気比（α）および排ガス温度基準の熱効率（ηg）求め、ボイラー本体からの妥当な放散熱損失率（β）を用いてボイラーの効率（η=ηg－β）を決定する。

空気温度および燃料温度が常温（25℃）に近く持ち込む熱量が無視できる場合、ボイラーに供給された熱量（Qi）および低位発熱量*3（LHV）基準の燃料流量（Vf）は

$$Qi=(Qs+Qb)／\eta \quad Vf=Qi／LHV$$

となる。

なお、燃料流量が連続測定され、そのデータを利用できる場合、上記の蒸気の吸収熱量および燃料の低位発熱量を用いて熱効率を決定できる。

$$\eta=(Qs+Qb)／(Vf×LHV)$$

memo

蒸気ボイラーの熱効率は、燃料の低位発熱量を用いて表されます。
省エネルギー法では高位発熱量が使用されているので注意が必要です。

*3 **低位発熱量と高位発熱量**
燃焼ガスには燃料中の水素が燃えて生成される水蒸気が含まれている。
生成水蒸気が有する潜熱を含めない発熱量を低位発熱量、含める発熱量を高位発熱量という。

●排ガス温度の測定

熱効率を決定する排ガス温度の測定位置はエコノマイザーの出口（エコノマイザーがない場合は，ボイラー本体または過熱器の出口）とする。

ダクトの縮流、拡大、曲りおよびダンパーなどの下流では流れが乱れ、よどみ領域が形成されるため、正確な排ガス温度および酸素濃度を測定できない。よどみ領域を避け、空気のダクト内への漏れ込みおよびダストの堆積が認められない排ガスの流れが比較的一様に整流された位置にて、温度計のセンサー部分を可能な限りダクトの中心線に近い位置まで突出させて温度を測定する。

複数の蒸気ボイラーが集合煙突にダクトにて接続されている場合、個々の蒸気ボイラーの運転データを分析するため、合流前の分岐ダクト内にて測定する。

●排ガス酸素濃度の測定

空気比の決定に必要な燃焼排ガスの酸素濃度（vol%）は、測定に使用する計器および方法により酸素濃度の測定値が異なるため、湿り燃焼排ガス基準の酸素濃度か乾き燃焼排ガス基準の酸素濃度であるか確認し分析評価へ反映する。

例えば、ジルコニア式酸素濃度計をダクト内へ挿入して排ガスの酸素濃度を連続測定する場合には水分が共存する状態で測定するため湿り排ガス基準の酸素濃度となるが、排ガス分析装置にジルコニア酸素濃度計を設置している場合、常温まで冷却され除湿した排ガス中の酸素濃度を測定するために乾き排ガス基準の酸素濃度が測定される。

測定位置は排ガス温度の測定と同じ基準にて決定する。

memo

排ガスの温度、酸素濃度は、排ガスの流れが比較的一様に整流された場所の、可能な限りダクトの中心線に近い位置で測定します。

なお、参考に燃料および廃棄物の燃焼、金属精錬、化学反応工程などに伴って、煙道、煙突、ダクトなど（以下、ダクトという）に排出される排ガス中の酸素を分析する方法について規定した JIS K0301：2016 排ガス中の酸素分析方法に記載された表 3.3.3.2-1 分析方法の種類および概要を添付する。

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

表 3.3.3.2-1 分析方法の種類および概要

分析方法	分析方法の概要		
種類	要旨	試料採取	定量範囲
ガス吸収法 （オルザット式）	試料ガス中の酸素を酸素吸収液によって吸収させ、試料ガスの体積の減少量から試料ガス中の酸素濃度を求める	直接採取 捕集バッグ	0.2～25 vol % 0.2～25 vol %
ガスクロマトグラフ法	熱伝導度検出器（TCD）または光イオン化検出器（PID)を備えたガスクロマトグラフを用い、絶対検量線法によって酸素濃度を求める	注射筒法、捕集バッグ法 または捕集瓶法による 試料ガス採取量： 100 mL～10 L 程度	TCD：0.1～20 vol % PID：0.1～20 vol %
自動計測法	a)磁気式 b)電気化学式	捕集バッグ法または連続測定	0～5 vol % 0～10 vol % 0～25 vol %

関連 JIS 規格

・JISB8222：1993 陸用ボイラー熱勘定 4.7.2 排ガスの試料採取および分析　排ガスの試料採取位置はエコノマイザーの出口（エコノマイザーがない場合は、ボイラー本体または過熱器の出口）とする。採取方法は JISZ0095 による。排ガス成分の分析には、一般にオルザットガス分析器を用いる。電気式または機械式分析器を用いる場合は、適宜オルザット分析器又は標準ガスによって校正を行なう。

・JISK0095:1999 排ガス試料採取方法

・JISB7983:2006 排ガス中の酸素自動計測器

●給水流量の測定

流量計の取扱説明書および流量測定における注意点に基づき、流量計測の精度を確認し計測記録する。

流量計が設置されていない場合、可搬型の超音波流量計を設置し流量を測定する。各社の取扱説明書に計器の設置方法および測定方法に関する詳細な手順が規定されているので熟読の上作業を行なうこと。

流量測定における注意点を挙げる。

①流量計等は十分な直管部を設けて不均一な流速分布や振動の影響を抑える位置に設置する。一般的に流量計の上流側に呼び径の 5 倍以上の直管部が必要である。

②流量計等は基本的に配管が満たされた状態で計測を行なう。流量計等は必ず下方から上方に液体が流れるように取り付ける。

③地面と水平な配管では配管よりも低い位置に流量計を設置し常に満水とする。

memo

一般的に、流量測定は上流側の呼び径の 5 倍以上の長さの直管部がある場所で、配管が満たされた状態で行ないます。

●給水温度の測定

温度計の取扱い説明書および温度測定における注意点に基づき温度計測の精度を確認し計測記録する。

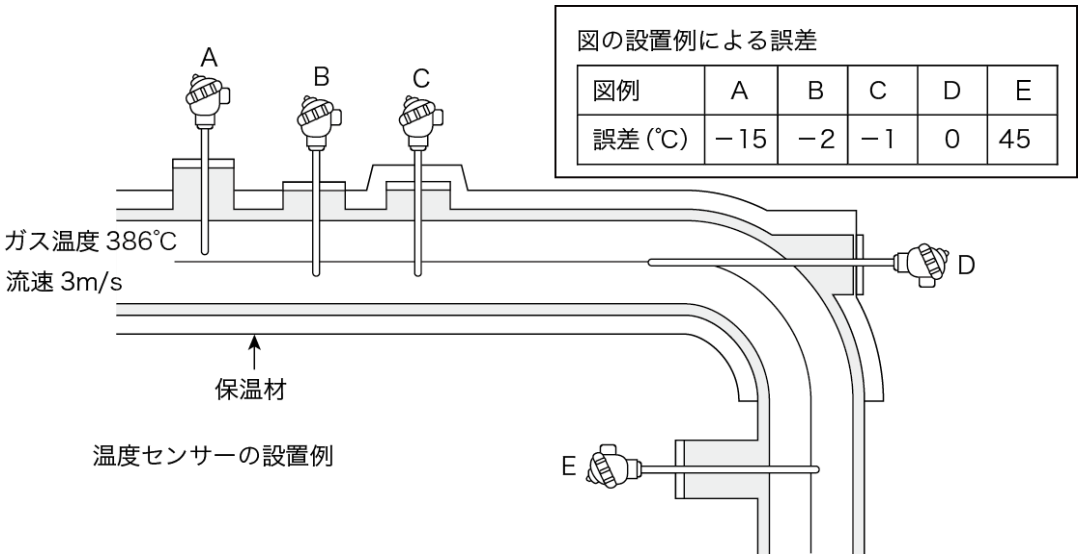
「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

温度計を測定対象に挿入して測定する場合、温度計の保護管は通常、測定対象と外界の両方共に接し、保護管の先端（測温部）温度が外界の影響を強く受け測定誤差を生じる。一般的に金属製保護管の場合、直径の 15～20 倍以上、測定対象に挿入することが必要である。

図 3.3.3.2-3 にガス温度の測定における誤差を示す。配管の保温材の有無、配管のセンサー取り付け部の大きさ、温度センサー保護管の挿入長によって、測定誤差が大きく違う。Dの設置方法が最適であり、 A では挿入長が短く、保温材で保温されていない部分が大きいため誤差が大きい。

memo

温度測定は、金属製保護管の場合、直径の 15～20 倍以上、測定対象に挿入することが必要です。



図の設置例による誤差

図例	A	B	C	D	E
誤差（℃）	−15	−2	−1	0	45

*参考文献：温度計測 100 の FAQ　（社）日本電気計測器工業会

図 3.3.3.2-3　ガス温度の測定における温度計設置方法による誤差の違い

●発生蒸気圧力の測定

ボイラー出口に設置されたブルドン管式圧力計の指示値を現場で確認記録する、または現場表示機能の無い圧力センサーを使用している場合は制御盤にて確認記録する。なお、圧力取り出し位置が発生蒸気圧力を正確に測定できる位置であることを確認する。

JISB8222：1993 陸用ボイラー熱勘定　4.6.3 蒸気圧力の測定　飽和蒸気の圧力はボイラー胴またはそれに相当する部分で測定する。燃料転換によるガス炊きボイラーの増加に伴い、排ガス温度は低下傾向にあり、潜熱回収ボイラーでは排ガス温度が 100℃を大幅に下回るものもでてきている。

3）移送段階および消費段階のロス把握

●放熱損失の測定

蒸気システムの輸送設備である蒸気用配管、バルブおよびフランジ等からの放熱損失の状況を把握するために、サーモカメラによる立体的な観察を行ない、主要な放熱損失部位を確認し計測した概略温度を分析へ反映する。

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

4．対策候補選定時に考慮すべき事項

1）蒸気ドレンの回収に関する事項

蒸気ドレンの回収は下記の 2 方法に大別される。

①オープン回収の特徴

オープン回収設備は系統が大気開放のため構成が簡潔となり、フラッシュ蒸気分離後の配管設計圧力を低く設定できる。ドレン回収設備への投資が比較的少ないが、スチームトラップ一次側の圧力が高く、高温の蒸気ドレンをオープン方式で回収する場合、大気へ多量の顕熱が放出され回収効率が低くなる。また、フラッシュ蒸気の白煙が発生して労働環境を悪化させる。

②クローズド回収の特徴

クローズド回収設備はドレンの圧力を維持し回収するため、系統の圧力を維持する必要がある。最小限のフラッシュ蒸気を大気側へ逃がす圧力調整弁を選定し、系統内の配管を二相流配管として設計する必要があり、より複雑な設備となる。回収可能な熱量が大きく CO_2 削減効果が高く、系外へ逃げるフラッシュ蒸気も最小限に抑えられ労働環境面を良好に保てる。

2）排ガスの排熱回収に関する事項

A 重油に含まれる硫黄含有量が平均値 0.74%の場合、過剰空気 25%にて燃焼させると SO2 濃度は 353ppm となる。転換率 1.5%にて燃焼排ガス中の SO_3 濃度は 5.3ppm となり、硫酸露点は 138℃と推定される。給水加熱器および空気予熱器の冷端部における硫酸腐食を防止するために、8℃から 14℃の温度余裕を考慮して硫酸露点（146℃から 152℃）以上に排ガス温度を保持する必要が生じる。液体燃料に含まれる硫黄の含有量および硫酸露点を確認し、出口排ガス温度を求め空気予熱器および給水予熱器の出口の排ガス温度を設定する必要がある。

3）連続ブローの顕熱回収に関する事項

●適切な連続ブロー率の設定

ボイラー給水の水質により湯垢障害および腐食障害を防ぐために必要な連続ブロー流量を確認し、JIS B 8223:2015 ボイラーの給水およびボイラー水の水質に規定された表 3 特殊単管式循環ボイラー給水の水質の管理項目および管理値を踏まえ適切な連続ブロー量を決定する。

●連続ブローの顕熱回収

ボイラー水の水質を維持し硬度成分による障害を避けるためにボイラー給水の 5%から 8%を連続ブローする場合、連続ブロー水は不純物を多く含むため熱交換器にて顕熱を回収する。

4）輸送設備および利用設備（配管と付属品、回収タンク、給水タンクおよび利用設備）の放熱損失低減に関する事項

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

保温施工していない蒸気バルブおよびフランジは、大きな放熱損失の原因となる。蒸気システムが屋内に設置されている場合には、雰囲気温度の上昇により作業環境を悪化させ、空調設備の負荷上昇の原因となる。一般財団法人機械振興協会技術研究所による接触による火傷防止の基準「一時的に接触する可能性がある場合、機械装置の表面温度を 49℃以下にする」という観点から、輸送設備および利用設備の保温断熱は災害の防止にも役立つ。
JISA9501：2019 保温保冷工事施工標準に従い、放熱損失量および保温仕様（保温の種類、厚さ）を決定する。

5）蒸気ドレンの顕熱回収

スチームトラップから排出される汚染された蒸気ドレンが多く回収利用の利点がある場合は、熱交換器にて蒸気ドレンの顕熱を回収する。

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

5. 診断ポイントと対策技術

機器設備	診断ポイント	対策種類	対策の例	シート番号
蒸気ボイラー	運転要領書に規定された空気比を維持しているか A 計測記録：排ガス中の残存酸素濃度	運用改善	空気比の最適化（運転要領書に規定された空気比の維持）	C12114
	複数の燃焼設備について、燃焼設備全体の熱効率を高く維持するように各設備の燃焼負荷を調整しているか B		台数制御など（燃焼設備全体の熱効率を高く維持するために、各設備の燃焼負荷を調整）	
	運転要領書に規定された燃料の供給条件を維持しているか 計測記録：燃料種類、圧力		燃料の供給条件の最適化（運転要領書に従って燃料および供給条件を調節）	
	バーナーの汚れの除去、損傷部品の交換がなされているか		バーナーの保守点検	
	ボイラー給水の水質を日本工業規格 B8223 に従って管理しているか		適切な水質管理（要求基準の確認、管理基準の設定）	
	必要な水質を満足する最適な連続ブロー率を設定しているか C 計測記録：連続ブローの流量		適切な連続ブロー（ボイラー水質を満足する連続ブロー率を確認調節）	
	ボイラーと熱交換器等の伝熱面に付着した煤塵、湯垢その他の付着物の除去をしているか D		伝熱面の清掃	
	出口排ガス温度が高過ぎないか E 計測記録：排ガスの温度		伝熱面の清掃（空気比が適正であるにもかかわらず排ガス温度が高い原因には、伝熱効率の低下がある）	
	出口排ガス温度が高く効率が 88%以下であるか E 計測記録：排ガスの温度	部分更新・機能付加	排ガスの顕熱の回収（エコノマイザーまたは空気予熱器の設置）	A12122 C12122
	連続ブロー水の顕熱回収を行なっているか F		顕熱の回収（熱交換器の導入）	
	ポンプ、ファン等の流体機械をインバータ制御しているか		負荷変動が大きい流体機械にインバータ制御の導入	A24022 C24022-1
	効率 95%以上の高効率ボイラーを使用しているか G	設備導入	効率が 95%以上の小型貫流ボイラーへの更新	A12131 C12131
	液体燃料焚きのボイラーを使用しているか H	燃料低炭素化	都市ガス焚きの小型貫流ボイラーへの更新	A12142 C12142
	加温・乾燥プロセスにおいて、低温度域（200℃以下）の熱の供給に蒸気を使用しているか	電化	ボイラーから高効率ヒートポンプ（廃熱回収型を含む）への更新	

「省エネルギーセンター」ダウンロードファイル（無断転載、翻訳を禁ず）

機器設備	診断ポイント	対策種類	対策の例	シート番号
蒸気利用設備	各蒸気利用設備に供給すべき蒸気の温度、圧力および流量を維持しているか I 計測記録：供給蒸気の圧力と流量	運用改善	適切な供給条件の蒸気の供給	
	運転要領書に従い、各蒸気利用設備において蒸気によって加熱される被加熱物の温度および流量を維持しているか 計測記録：被加熱物の温度と流量		適切な供給条件の蒸気の供給（被加熱物の温度および流量の調節、記録）	
	各蒸気利用設備の伝熱面に付着した湯垢その他の付着物の除去をしているか （保守点検記録）		熱交換器等の伝熱面の清掃	
	保温の損傷や未施工部分がないか （保守点検記録）	部分更新・機能付加	保温の修復、施工	
	各蒸気利用設備の蒸気ドレンの顕熱回収を行なっているか J		ドレンの顕熱を回収する熱交換器の導入	
移送設備	排熱回収用熱交換器の伝熱面等の汚れを除去しているか （保守点検記録） K	運用改善	熱交換器の伝熱面の清掃	
	スチームトラップで蒸気の漏えいまたは詰まりが発生していないか L （保守点検記録、現場確認）	部分更新・機能付加	スチームトラップの管理・更新	
	ポンプ、ファン等の流体機械をインバータ制御しているか		負荷変動が大きい流体機械へのインバータ制御の導入	A24022 C24022-1
	保温の損傷や未施工部分がないか M 保温の保守点検記録		保温の修復、施工	C12222
	スチームトラップの蒸気ドレンの顕熱回収を行なっているか N		ドレンの顕熱回収（スチームトラップの管理・更新）	