

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6201640号
(P6201640)

(45) 発行日 平成29年9月27日 (2017. 9. 27)

(24) 登録日 平成29年9月8日 (2017. 9. 8)

(51) Int. Cl.	F 1
F 2 2 B 37/38 (2006.01)	F 2 2 B 37/38 C
G O 1 L 7/00 (2006.01)	G O 1 L 7/00 D
G O 1 M 99/00 (2011.01)	G O 1 M 99/00 Z

請求項の数 6 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2013-224253 (P2013-224253)	(73) 特許権者	000003687
(22) 出願日	平成25年10月29日 (2013. 10. 29)		東京電力ホールディングス株式会社
(65) 公開番号	特開2015-87037 (P2015-87037A)		東京都千代田区内幸町一丁目1番3号
(43) 公開日	平成27年5月7日 (2015. 5. 7)	(74) 代理人	100064908
審査請求日	平成28年9月15日 (2016. 9. 15)		弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100089037
			弁理士 渡邊 隆
		(72) 発明者	梅沢 修一
			東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東
			京電力株式会社内
		(72) 発明者	加藤 陽一
			東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東
			京電力株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 蒸気管の損失計測システム及び計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

蒸気製造装置及び負荷設備につながった蒸気管の損失を計測するシステムであって、
前記蒸気管の少なくとも一部を含む、実質的な閉空間を作る第1装置と、
前記実質的な閉空間での圧力を測定する第2装置と、
前記第2装置の計測結果を用いて、前記蒸気管の損失を計測する第3装置と、
を備えることを特徴とする蒸気管の損失計測システム。

【請求項 2】

前記第2装置は、前記蒸気管に設けられたドレントラップからドレンの排出が開始される前に、或いは前記ドレントラップを閉にした状態で、前記実質的な閉空間における前記
圧力を測定することを特徴とする請求項1に記載の蒸気管の損失計測システム。

10

【請求項 3】

前記第1装置は、前記負荷設備を停止させる手段、及び前記負荷設備の入口付近において前記蒸気管に配置されたバルブを閉にする手段の少なくとも1つを含むことを特徴とする請求項1又は2に記載の蒸気管の損失計測システム。

【請求項 4】

蒸気製造装置及び負荷設備につながった蒸気管の損失を計測する方法であって、
前記蒸気管の少なくとも一部を含む、実質的な閉空間を作る第1工程と、
前記実質的な閉空間での圧力を測定する第2工程と、
前記圧力の測定結果を用いて、前記蒸気管の損失を計測する第3工程と、

20

を備えることを特徴とする蒸気管の損失計測方法。

【請求項 5】

前記第 2 工程は、前記蒸気管に設けられたドレントラップからドレンの排出が開始される前に、或いは前記ドレントラップを閉にした状態で、前記実質的な閉空間における前記圧力を測定することを特徴とする請求項 4 に記載の蒸気管の損失計測方法。

【請求項 6】

前記第 1 工程は、前記負荷設備を停止させる工程、及び前記負荷設備の入口付近において前記蒸気管に配置されたバルブを閉にする工程の少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の蒸気管の損失計測方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、蒸気管の損失計測システム及び計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

産業分野における工場において、蒸気は、生産工程での加熱や空調の加熱・加湿まで幅広い用途に用いられている。蒸気は、45℃程度の低温域から170℃程度の高温域まで幅広い温度帯をカバーすることが可能であり、いわば使い勝手の良い熱媒体である。そのため、工場の多くの場所に蒸気配管が敷設され、集中設置されたボイラーから各生産工程等に蒸気が送られるのが一般的である。

20

【0003】

図9は、工場に敷設される蒸気系統の一般的な概念図を示す。ボイラーなどの蒸気製造装置で製造された蒸気は蒸気ヘッドに送られ、生産工程における加熱や空調の加熱・加湿等の用途に用いられる。各種用途に用いられた蒸気はドレンとして回収され、還水槽等に集約された後、ボイラーに再度給水される。また、配管途中には、配管からの放熱に伴う蒸気の凝縮で生じたドレンを排出するスチームトラップが複数配置されている。

【0004】

図9に示す蒸気系統において、投入した燃料エネルギーに対して以下の4つの損失（ロス）の存在が考えられる。（1）ボイラーのロス：ボイラーの使用燃料流量に対するボイラーにて製造される熱量を算出することにより明らかとなるロス（いわゆるボイラー効率に伴うロス）、（2）送気時（配管）のロス：配管からの放熱等によって配管上のスチームトラップから排出されるロス、あるいはバルブや配管損傷部からのリーク蒸気によるロス、（3）負荷設備後のトラップのロス：ドレンを回収するためのスチームトラップからの漏洩によるロス、（4）回収のロス：ドレンを返送するための配管からのロスで、例えば還水槽が大気開放型である場合等にポンプキャビテーション発生防止のために補給する水等により温度低下することによるロス。これら（1）－（4）のロスを、ボイラーへの投入燃料から差し引いたエネルギーが生産工程や空調設備にて有効に活用されたエネルギーとなる。

30

【0005】

送気時（配管）のロス（以下「配管ロス」）は次の3種類のロスを含む。（1）ドレンロスは、配管からの放熱に伴い配管内蒸気が凝縮・ドレン化しスチームトラップから排出されるロスである。（2）トラップリークロスは、スチームトラップにて捕捉されたドレンが排出される際に配管内蒸気が同時に漏洩するロスである。（3）配管等リークロスは、蒸気配管、バルブ、フランジ等を含む配管系統に物理的損傷等があり、蒸気が漏洩するロスである。

40

【0006】

配管ロスの計測方法として以下がある。すなわち、配管入口側（ボイラー出口直後）及び配管出口側（各種負荷設備直前）のそれぞれに蒸気流量計を設置し、その計測結果の比較に基づきロスを算出する。しかしながら、この方法では、蒸気流量計を直接配管に設置することで計測可能となるから、配管出口側が複雑な構成であると、流量計を複数設置す

50

る必要が生じる。また、新規設置に際して既存の蒸気配管を切断する必要がある。さらに、湿り分（ドレン）がスチームトラップからすべて取り除かれるとは限らないために湿り度の評価が不十分となる可能性がある。

【0007】

配管ロスの他の計測方法としてサーモグラフィなどの特殊な装置を用いた方法がある。しかしながら、この方法は、装置が高価である、計測結果の分析・評価に専門技術を要する、配管表面温度の計測精度が不十分となる傾向にある、蒸気管又は保温材の熱伝導率の評価が比較的困難である、などの課題を有する。

これに対し、蒸気管の内部空間を実質的に閉空間とした無負荷状態とし、この状態において蒸気管内の蒸発量を計測することで蒸気配管ロスを計測する方法が提供されている（例えば、特許文献1参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特許第04924762号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記従来技術の計測方法では、蒸気管内の圧力を一定にするために蒸気供給を行う必要がある。蒸気供給の際、蒸気流量の調整や圧力・流速変動による調整を行う必要がある、などの課題を有する。

20

【0010】

本発明は、無負荷計測でありながら蒸気供給を行うことなく、蒸気管の損失、特に配管ロスを計測することが可能な計測システム及び計測方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の態様に従えば、蒸気製造装置及び負荷設備につながった蒸気管の損失を計測するシステムが提供される。このシステムは、前記蒸気管の少なくとも一部を含む、実質的な閉空間を作る第1装置と、前記実質的な閉空間での圧力を測定する第2装置と、前記第2装置の計測結果を用いて、前記蒸気管の損失を計測する第3装置と、を備える。

30

【0012】

本発明の別の態様に従えば、蒸気製造装置及び負荷設備につながった蒸気管の損失を計測する方法が提供される。この損失計測方法は、前記蒸気管の少なくとも一部を含む、実質的な閉空間を作る第1工程と、前記実質的な閉空間での圧力を測定する第2工程と、前記圧力の測定結果を用いて、前記蒸気管の損失を計測する第3工程と、を備える。

【0013】

この計測システム及び計測方法によれば、蒸気供給を行うことなく、実質的な閉空間への蒸気供給量に関する値の計測、すなわち無負荷計測の結果を用いて、配管ロスを精度良く計測することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0014】

【図1】損失計測システムを示す概略図である。

【図2】制御ユニットを示す模式図である。

【図3】蒸気管内における物理量を示した表である。

【図4】圧力およびエンタルピの関係を示すグラフである。

【図5】下向き環状流の平均液膜厚さに関するグラフである。

【図6】一般速度分布による無次元熱伝達率に関するグラフである。

【図7】温度およびエンタルピの関係を示すグラフである。

【図8】損失計測システムの変形例を示す概略図である。

【図9】一般的な蒸気システムを示す概念図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

図1は、損失計測システム1を示す概略図である。

図1に示すように、蒸気管10は、蒸気製造装置20（ボイラーなど）と負荷設備30との間に配設される。蒸気製造装置20からの蒸気が蒸気管10を流れ、負荷設備30に送られる。負荷設備30において、蒸気又は蒸気の熱が利用される。負荷設備30から排出された蒸気はドレンとして回収され、還水槽25に集約された後、蒸気製造装置20に再度給水される。蒸気管10は、不図示の保熱手段によって保熱されている。公知の様々な保熱手段が適用可能である。保熱手段は、例えば、蒸気管10の外面を覆う保温材を有する。

10

【0016】

蒸気管10には、配管等での放熱に伴う蒸気の凝縮で生じたドレンを排出する複数のスチームトラップ（ドレントラップ）ST1、ST2、ST3が配置されている。図1において、スチームトラップSTnの数は3である。スチームトラップSTnの数は、設備仕様に依りて様々である。蒸気管10内で凝縮して生じたドレンの少なくとも一部がスチームトラップST1、ST2、ST3に捕捉される。公知の様々なスチームトラップが適用可能である。通常、スチームトラップST1、ST2、ST3は、捕捉したドレンを適宜排出可能な構造を有する。

20

【0017】

蒸気管10における蒸気製造装置20とスチームトラップST1との間には、温度センサ42及び圧力センサ（第2装置）44が配設されている。少なくとも圧力センサ44の計測結果が制御ユニット40に送られる。蒸気製造装置20を含む蒸気供給システムにおいては、圧力センサ44の計測結果に基づいて、蒸気管10の内部圧力が一定となるように、蒸気の供給を制御可能である。

【0018】

蒸気管10における負荷設備30の入口付近（最終のスチームトラップST3と負荷設備30との間）には、バルブ（第1装置）27が配設されている。バルブ27を開とすることにより、蒸気製造装置20からの蒸気が負荷設備30に輸入可能となる。バルブ27を閉とすることにより、蒸気製造装置20からの蒸気の負荷設備30への輸入が遮断される。

30

【0019】

制御ユニット（第3装置）40は、後述のように圧力センサ44の計測結果を用いて、蒸気管10における配管ロス（損失）を計測することができる。

以上のように、本実施形態に係る損失計測システム1は、バルブ27、温度センサ42、圧力センサ44、及び制御ユニット40を含む。

【0020】

図2は、制御ユニット40を示す模式図である。図2において、計算装置50は、例えばコンピュータシステムである。制御ユニット40は、計算装置50に加え、入力装置127、及び表示装置（出力装置）128を有する。計算装置50は、A/D変換器等の変換器123、CPU（演算処理手段）124、及びメモリ125等を有する。損失計測システム1のセンサ（圧力センサ44等）などから送られる測定データが、必要に応じて変換器123等で変換され、CPU124に取り込まれる。また、初期設定値、及び仮データなどが入力装置127などを介して計算装置50に取り込まれる。表示装置128は、入力されたデータに関する情報、及び計算に関する情報などを表示することができる。

40

【0021】

CPU124は、測定データ、及びメモリ125に記憶された情報に基づき、蒸気管10の損失に関する計算を実行することができる。例えば、圧力センサ44の測定結果を用いて、蒸気管10の放熱損失（配管ロス）を算出することができる。以下、蒸気管10の損失に関する算出手法の一例を示す。

50

【0022】

本計測方法は、蒸気管内の圧力に着目したものである。本計測方法では、(1) 負荷設備30を停止する、(2) 負荷設備30の直前でバルブ27を閉じるなど、負荷設備30内に蒸気が流入しないようにする。すなわち、蒸気管10の内部空間を主とする実質的な閉空間を作る。以下、この状態を適宜に「無負荷」と呼ぶ。

【0023】

そして、無負荷状態において、圧力センサ44により蒸気管10の内部空間に形成された実質的な閉空間の圧力を測定する。閉空間内の圧力は、経時的に低下する(変化する)。これは、蒸気管10での放熱に伴う蒸気の凝縮でドレンが生じたこと、または配管・バルブよりリークしたことによって、エンタルピが変化(低下)したからである。すなわち、無負荷時における実質的な閉空間内での圧力変化を計測することで、蒸気管10における損失熱量(エンタルピ変化量)を把握することが可能であると考えられる。

10

【0024】

以下、圧力の計測値を用いることで無負荷計測において、蒸気管10における損失熱量、すなわち配管ロスを求める方法について説明する。

【0025】

本実施形態の評価方法では、まず、蒸気管10に形成された実質的な閉空間の圧力を圧力センサ44で測定する。圧力センサ44の測定データは、制御ユニット40に送られる。制御ユニット40は、圧力およびエンタルピ変化に関する情報と、単位時間の圧力変化量(圧力センサ44の測定結果)から蒸気管10の放熱を求める。なお、圧力およびエンタルピ変化に関する情報は、メモリ125に記憶されている。

20

【0026】

図3は、蒸気管10内における、乾き度、圧力(KPa)、エンタルピ(KJ/Kg)、エンタルピ差、温度(℃)、密度(Kg/m³)、密度差などの物理量を示した表である。圧力およびエンタルピは、蒸気およびドレンの平均値に基づくものである。図3の各物理量は、蒸気管10の設計値および蒸気表などから算出される。また、図3に示す密度とは、ドレンおよび蒸気が合わさったものである。図3において、乾き度が1の場合とは、圧力測定の対象となる実質的な閉空間内における蒸気に対するドレン割合がゼロの場合を意味し、乾き度が小さくなる順に、上記ドレン割合が10%、20%、30%、40%と増加する。また、図3において、エンタルピ差とは、各圧力600KPa～900KPaと圧力1000KPaとにおけるそれぞれのエンタルピ差である。また、図3において、密度差とは、各圧力600KPa～900KPaと圧力1000KPaとにおけるそれぞれの密度差である。

30

【0027】

図4は、図3に示した圧力およびエンタルピの関係を示すグラフである。図4に示されるように、圧力が低下するとエンタルピが低下する関係にある。

図3、4に示す圧力およびエンタルピの関係は予め計算によって作成された理論値に基づくものである。そのため、図4に示すグラフと、圧力センサ44の実際の計測結果との間にはズレが生じる。

【0028】

40

まず、圧力センサ44の計測値から蒸気管内の密度を求める。本実施形態では、蒸気管10に設けられたスチームトラップST1、ST2、ST3からドレンの排出が開始される前に圧力センサ44による圧力計測を行う。あるいは、制御ユニット40がスチームトラップST1、ST2、ST3を意図的に閉にすることで圧力センサ44による圧力計測を行うようにしてもよい。

これによれば、ドレン排出に伴ってドレン排出と同時にスチームトラップST1、ST2、ST3から蒸気が排出されることによる圧力変化による誤差を無くすることができ、より高精度な計測結果を得ることができる。

【0029】

ここで、蒸気管内の密度は、圧力および乾き度の関数で規定される。通常、蒸気管10

50

内で圧力変化が生じた場合でも、密度が変化することはない。そのため、密度が図 3 に示した 1000 KPa の場合と同じ値になるように図 3 の表の数値を逆算（ゴールシーク）することで正しい乾き度を求めることができる。

【0030】

また、蒸気管内のエンタルピは、密度および乾き度の関数で規定される。そのため、密度および逆算した乾き度の値を用いてエンタルピを求めることができる。そして、初期の圧力値と所定時間経過後の圧力値とにおけるエンタルピ差、すなわち圧力低下に伴う放熱（KW/Kg）を求める。

【0031】

続いて、圧力計測を行った実質的な閉空間における容積および密度と、上記放熱（KW/Kg）とから蒸気管 10 内で生じた圧力低下に伴う配管ロス（放熱量（KW））Q を求めることができる。

10

【0032】

ところで、無負荷時（流れのない状態）においては、蒸気流速が低くほぼゼロとみなすことができる。一方、通常運転時においては、蒸気流速が高く、管内にて流速が生じている。また、通常運転時の蒸気管 10 においては、放熱により凝縮したドレンが管壁に液膜となって付着した環状流となっている。管壁に付着した液膜の厚さは蒸気管 10 内の流速によって変動する。

【0033】

ここで、通常運転時における蒸気管 10 内の蒸気の流動状態（環状流）について説明する。

20

図 5 は、下向き環状流の平均液膜厚さに関するグラフである。図 6 は、一般速度分布による無次元熱伝達率に関するグラフである。図 5 において、横軸はレイノルズ数を示し、縦軸は液膜の厚さを示している。図 6 において、横軸はレイノルズ数を示し、縦軸は管内熱伝達率（W/m²/℃）を示しており、実線は乱流液膜の傾向を示し、点線は層流液膜の傾向を示している。なお、本実施形態における通常運転時では、図 6 における層流液膜の場合が適用される。また、図 5、6 において、 τ とは、蒸気管 10 を流れる蒸気流が管壁に付着した液膜表面に及ぼすせん断力である。なお、せん断力 τ は、下式（1）で示される。

【0034】

30

【数 1】

$$\tau = \frac{C_f}{4} \cdot \frac{\gamma_v}{2g} (u_v - u_l)^2 \quad \dots (1)$$

【0035】

ここで、

c_f : 気液境界における摩擦係数、

γ_v : 蒸気の比重量、

g : 重力加速度、

u_v : 蒸気流速、

u_l : 液膜流速、である。

40

【0036】

図 5 に示したように、液膜の厚さはレイノルズ数（すなわち、蒸気の流速）に比例して大きくなることが分かる。これはせん断力 τ の大きさによらず共通の傾向である。また、図 6 に示されるように、層流液膜の場合、レイノルズ数の増加に伴って管内熱伝達率が低下することが分かる。

【0037】

すなわち、通常運転時（流れのある状態）においては、レイノルズ数の増加（蒸気の流速の増加）に伴って液膜の厚さが増加する。管壁に付着した液膜は熱抵抗となるため、液

50

膜の厚さが増すと熱抵抗が大きくなる。その結果、管内熱伝達率は影響を受ける。すなわち、通常運転時（流れのある状態）においては、流速によって変動する放熱特性を考慮した管内熱伝達率を用いる必要がある。

【0038】

一方、本実施形態では、無負荷計測により配管ロス Q を求めている。そのため、負荷設備30内に蒸気を供給する時（以下、通常運転時と称す）の配管ロスに適用する場合、通常運転時の蒸气流速に応じて補正する必要がある。

【0039】

補正する場合、例えば、以下のような補正係数が用いることができる。

補正係数は、蒸気管10内における蒸気の流動状態に対応した放熱に関する情報に基づいて規定される。具体的に、後述のように、通常運転時における理論上の放熱量 q_r および無負荷状態における理論上の放熱量 q_m の比（ q_r / q_m ）によって規定される。

【0040】

放熱にかかる基本式を以下の式（2）に示す。

【0041】

【数2】

$$q = \frac{2\pi(T_0 - T_1)}{\frac{1}{a_1 r_0} + \frac{1}{a_2 r_2} + \frac{1}{\lambda_1} \times \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad \dots (2)$$

【0042】

ここで、

q ：単位配管長あたりの放散熱量（W/m）、

T_0 ：配管内部温度（管内蒸気温度）（℃）、

T_1 ：外気温度（大気温度）（℃）、

α_1 ：管内熱伝達率（W/m²/℃）、

α_2 ：保温材表面から大気への熱伝達率（W/m²/℃）、

λ_1 ：保温の熱伝導率（W/m/℃）

r_0 ：配管内径（m）、

r_1 ：配管外径（m）、

r_2 ：保温外径（断熱材外径）（m）、である。

【0043】

以下、上記補正係数の算出方法について説明する。

まず、通常運転時（流れのある状態）における理論上での蒸気管10の放熱量 q_r を規定する。この場合、蒸気の流動状態に関する情報としてレイノルズ数（蒸気の流速）を計算で求める。レイノルズ数は、例えば、配管径、蒸気の流速、密度、および粘度等から求まる。

【0044】

続いて、上述のように計算で求めたレイノルズ数と図5示したグラフとを用いて、管内熱伝達率を求める。ここで、図5に示したグラフは、せん断力によって管内熱伝達率が異なる。そこで、蒸气流速および液膜流速を計測し、上記の式（1）に基づいてせん断力 τ を算出する。そして、算出したせん断力 τ に対応した管内熱伝達率を図5に示したグラフから求め、求めた管内熱伝達率を上記式（2）の α_1 と置き換える。

【0045】

これにより、上記式（2）から通常運転時における理論上の放熱量 q_r が導きだれる。

【0046】

次に、無負荷状態（流れのない状態）における理論上での蒸気管10の放熱量 q_m を規定する。この場合、まず、蒸気管10における蒸気の流動状態に関する情報として、レイ

10

20

30

40

50

ノルズ数（蒸気の流速）を求める。無負荷状態においては、液膜の膜厚がほぼゼロとみなすことができる。図5に示したグラフから液膜がほぼゼロとなるレイノルズ数を外挿することができる。

【0047】

続いて、上述のように外挿したレイノルズ数と図6に示したグラフとを用いて、管内熱伝達率を求める。ここで、図6に示したグラフは、せん断力によって管内熱伝達率が異なる。無負荷状態は配管内の流れがないため、蒸気流速および液膜流速の差から算出されるせん断力 τ はほぼゼロとみなすことができる。そこで、図6に示したグラフからせん断力 $\tau = 0$ に対応した管内熱伝達率を求め、求めた管内熱伝達率を上記式(2)の α_1 と置き換える。

10

【0048】

これにより、上記式(2)から無負荷状態における理論上の放熱量 q_m が導き出される。

【0049】

本実施形態では、上述のようにして算出した、通常運転時における理論上の放熱量 q_r および無負荷状態における理論上の放熱量 q_m の比(q_r / q_m)を補正係数として用いる。

【0050】

続いて、上記補正係数(q_r / q_m)を掛けて、無負荷計測により求めた配管ロス Q を補正する。

20

【0051】

以上説明したように、本実施形態によれば、蒸気供給を行うことなく、無負荷時の圧力計測により、蒸気配管ロスを計測することができる。よって、蒸気供給に伴って生じる蒸気流量の調整や圧力・流速変動による調整を行う必要が無く、処理が簡素であることから設備の改造が不要になるといった利点を有する。また、本実施形態では、無負荷計測により求めた配管ロスを通常運転時の値に補正している。そのため、実用性の高い計測値を精度良く得ることができる。

【0052】

なお、蒸気管10内でエンタルピが変化すると、圧力とともに温度も変化する。図7は、図3に示した温度およびエンタルピの関係を示すグラフである。図7に示されるように、エンタルピの低下に伴って温度も低下することが分かる。

30

【0053】

上記式(2)に示したようにエンタルピ変化、すなわち蒸気管10の放熱は、配管内部温度 T_0 が関係する。そのため、蒸気管10内の圧力変化のみを考慮してエンタルピを求めた場合、温度変化分の誤差を含んでいる。そこで、蒸気管10内の温度変化を考慮して補正するようにしてもよい。蒸気管10内の温度測定には、温度センサ42が用いられる。

【0054】

例えば、圧力計測時に蒸気管10内の温度が180℃から150℃に低下した場合を例に挙げて説明する。すなわち、配管内部温度 T_0 が180℃から150℃に変化したものとする。なお、外気温度 T_1 は、20℃とする。

40

【0055】

配管ロス Q を補正する補正係数は、配管内部温度 T_0 (180℃)と外気温度 T_1 (20℃)との差($T_0 - T_1 = 160$)で規定される放熱量と、配管内部温度 T_0 (165℃)と外気温度 T_1 (20℃)との差($T_0 - T_1 = 145$)で規定される放熱量との比で規定される。ここで、165℃とは、圧力変動の前後における蒸気管10内の平均温度(すなわち、180℃と150℃との平均値)である。

【0056】

放熱量を示す上記式(2)では、温度変化($T_0 - T_1$)以外の項を定数とみなすことができる。そのため、温度変化分を補正した配管ロス Q は、補正前の配管ロス Q' との間

50

で下式（３）の関係を満たす。

【００５７】

$$Q = Q' \times (145 / 160) \quad \cdots (3)$$

【００５８】

このように温度変化分を補正することで配管ロス Q をより精度良く求めることができる。

【００５９】

また、上記説明では、算出した配管ロス全体に対して温度変動を考慮した補正を一括して行う場合を例に挙げたが、これに限定されない。すなわち、単位時間毎（例えば、１秒毎）の温度変動に基づいて放熱（配管ロス）を補正しても良い。なお、単位時間毎の温度は、温度センサで計測しても良いし、圧力センサ４４が測定した圧力から算出してもよい。

【００６０】

例えば、配管内部温度 T_0 の初期温度を 180°C とし、外気温度 T_1 は、 20°C とする。

単位時間毎の温度 T_0' およびエンタルピー変化（放熱量）を計算する。ここで、計算により求めた放熱量は、各温度 T_0' に対応した放熱量であるため、初期温度（ $T_0 = 180^\circ\text{C}$ ）の時の放熱量に変換する。

【００６１】

初期温度時の放熱量に変換する式は、下式（４）で示される。

【００６２】

$$q_{180^\circ\text{C}} = W_{T_0'} \times (T_0' / (180^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})) \quad \cdots (4)$$

【００６３】

ここで、

$q_{180^\circ\text{C}}$ ：初期温度 180°C における放熱量

$W_{T_0'}$ ：各温度 T_0' における放熱量、である。

【００６４】

そして、圧力計測に例えば１００秒かかった場合、１～１００秒間における各温度 T_0' の $q_{180^\circ\text{C}}$ を足し合わせることで積算放熱量を求めることができる。このようにして求められた積算放熱量は、１秒毎の温度を考慮した放熱量の合計で構成されるため、圧力測定中に温度が変動したことによる誤差成分が排除されている。したがって、配管ロスがより高精度に求められる。

【００６５】

また、上記説明では、補正係数を算出する際、通常運転時における理論上の放熱量 q_r を求める場合において、計算で求めたレイノルズ数を初期値として用いる場合を例に挙げたが、本発明はこれに限定されない。例えば、蒸気管１０の管壁に付着した液膜の膜厚を超音波センサ等により計測した値を初期値として利用しても良い。

【００６６】

この場合、測定した液膜の厚さと図５に示したグラフとからレイノルズ数が求まる。ここで、図５に示したグラフは、せん断力によってレイノルズ数が異なる。そこで、せん断力 τ の初期値をゼロとしてレイノルズ数を求める。

【００６７】

続いて、液膜の厚さから求めたレイノルズ数から図６に示したグラフを用いて管内熱伝達率を求める。ここで、図６に示したグラフにおいても、せん断力によって管内熱伝達率が異なるものの、レイノルズ数と同様に、せん断力 τ の初期値をゼロとして仮の管内熱伝達率を求める。

【００６８】

このようにして求めた仮の管内熱伝達率を上記式（２）の α_1 と置き換えることで、上記式（１）から仮の放熱量を求める（ステップＳ１）。続いて、仮の放熱量から蒸気配管内のドレン流量を算出する。ドレン流量を算出するには、下式（５）が用いられる。

【0069】

$$q' \times l = \Delta h \times G \quad \cdots (5)$$

【0070】

ここで、

 q' : 仮の放熱量 (W/m)、 l : 蒸気配管の長さ (m)、 Δh : 管内圧力における凝縮熱 (蒸発熱; J/Kg) G : ドレン流量 (Kg/s)

【0071】

すなわち、仮の放熱量 q' が求めれば、既知である l 、 Δh から、ドレン流量 G が求まる。

10

【0072】

続いて、仮の放熱量 q' から求めたドレン流量 G を用いて、無負荷状態における蒸気配管内のせん断力 τ を求めなおす。上記式 (1) に示したように、せん断力 τ は、蒸気流速および液膜流速の差から算出される。ここで、蒸気流速は、流量センサ (不図示) に基づいて算出した配管全体の流量を例えばスチームトラップ ST1, ST2, ST3 までの距離で比例配分することで求められる。また、液膜流速は、ドレン流量 G から算出可能である。すなわち、上記式 (1) を用いることでせん断力 τ を求め直すことができる (ステップ S2)。

【0073】

20

続いて、上述のようにして求め直したせん断力 τ および液膜の厚さを用いて、レイノルズ数、管内熱伝達率およびせん断力 τ を求め直す (ステップ S3)。すなわち、上記ステップ S1 からステップ S3 をせん断力 τ が一定値に収束するまで順次繰り返す。

【0074】

このようにして通常運転時における蒸気管 10 内のせん断力 τ を精度良く算出することができる。よって、精度良く算出されたせん断力 τ と、液膜厚さの測定値とを用いることで通常運転時における蒸気の流動状態における放熱特性 (液膜が存在することによる熱抵抗の増加) を考慮した管内熱伝達率を求める。このようにして求めた管内熱伝達率を上記式 (2) の α_1 と置き換えることで、上記式 (2) から通常運転時における理論上の放熱量 q_r を算出するようにしても良い。

30

【0075】

また、上記実施形態において、バルブの開閉制御は自動でもよく手動でもよい。定期的なロス計測を実行し、配管システムの損傷や保温性能の劣化の検証を実施することもできる。

【0076】

図8は、損失計測システムの変形例を示している。図8において、複数の負荷設備 30A、30B、30C に応じた複数の蒸気ライン 10A、10B、10C が設けられている。負荷設備 30A に対応する蒸気ライン 10A は、複数のスチームトラップ STA1、STA2、STA3 と、圧力センサ 44A と、バルブ 27A とを含む。同様に、負荷設備 30B に対応する蒸気ライン 10B は、複数のスチームトラップ STB1、STB2、STB3 と、圧力センサ 44B と、バルブ 27B とを含み、負荷設備 30C に対応する蒸気ライン 10C は、複数のスチームトラップ STC1、STC2、STC3 と、圧力センサ 44C と、バルブ 27C とを含む。バルブ 27A、27B、27C はそれぞれ、蒸気ライン 10A (10B、10C) における負荷設備 30A (30B、30C) の入口付近 (最終のスチームトラップ STA3 (STB3、STC3) と負荷設備 30A (30B、30C) との間) に配設されている。

40

【0077】

図8において、すべてのバルブ 27A、27B、27C を閉とすることにより、蒸気システム全体の損失を計算することができる。この場合、実質的な閉空間の圧力を圧力センサ 44A、44B、44C によって測定し、各蒸気ライン 10A、10B、10C での配管ロスを算出することができる。

50

【0078】

また、バルブ27Aを閉、バルブ27B、27Cを開とすることにより、負荷設備30B、30Cの稼動中に、負荷設備30Aに対応する蒸気ライン10Aの損失を計算することができる。この場合、実質的な閉空間での圧力変化を圧力センサ44Aによって直接的に測定することにより、その蒸気ライン10Aでのロスを算出することができる。

【0079】

なお、計測結果から求められた単位配管長あたりの放熱量 q (W/m)は計測地点での配管径や保温径の下での値であるため、配管径等が異なる場合には補正をかけてもよい。

【0080】

蒸気系統における蒸気管のサイズや保温厚さは、負荷設備の蒸気条件(使用蒸気量、圧力、温度)により異なる場合がある。このような場合にも、ある蒸気管の放熱量が既知であれば、配管サイズ、保温厚さ、配管内部温度、および外気温度の相違に基づく補正を施すことにより放熱量を求めることが可能である。既知の放熱量から、別の配管サイズ及び保温厚さに対応した放熱量を算出するための補正計算式(6)を以下に示す。この式(6)は上記の理論式(2)から導き出すことができる。

補正計算式(6)において、 q' ：別の配管における単位長さ当たりの放熱量(W/m)、 r_1' ：別の配管の配管外径(m)、 r_2' ：別の配管の保温外径(断熱材外径)(m)、 T_0' ：別の配管の配管内部温度(供給蒸気温度)(℃)、 T_1' ：別の配管の外気温度(大気温度)(℃)、である。

【0081】

【数3】

$$q'' = q \times \frac{(T_0' - T_1')}{(T_0 - T_1)} \times \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\ln\left(\frac{r_2'}{r_1'}\right)} \quad \dots (4)$$

【0082】

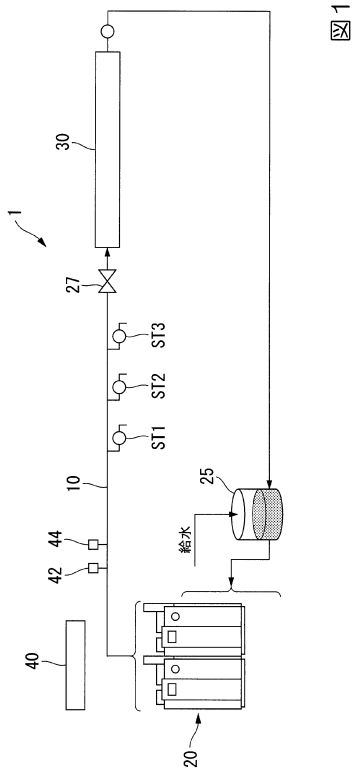
以上、本発明の実施形態を説明したが、本発明はこの実施形態に限定されることはない。上記説明において使用した数値は一例であって、本発明はこれに限定されない。本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、構成の付加、省略、置換、およびその他の変更が可能である。

【符号の説明】

【0083】

1…損失計測システム、10…蒸気管、20…蒸気製造装置、27…バルブ、30…負荷設備、40…制御ユニット、42…温度センサ、44…圧力センサ、50…計算装置、123…変換器、124…CPU、125…メモリ、127…入力装置、128…表示装置、ST1、ST2、ST3…スチームトラップ。

【図 1】



【図 2】

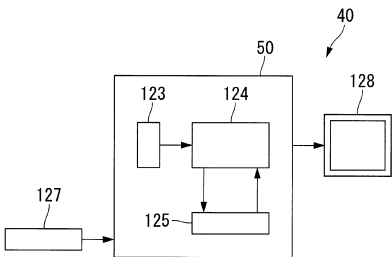


図 2

【図 3】

乾き度	1	0.903993	0.807806	0.711294	0.614536
圧力 (KPa)	1000	900	800	700	600
エンタルピー (kJ/kg)	2777.109	2578.093	2374.797	2166.359	1952.154
エンタルピー差		199.0154	402.3111	610.7498	824.9542
温度 (°C)	179.878	175.3505	170.4065	164.9462	158.8265
密度 (kg/cm³)	5.145	5.145	5.145	5.145	5.145
密度差		0	0	0	0

図 3

【図 4】

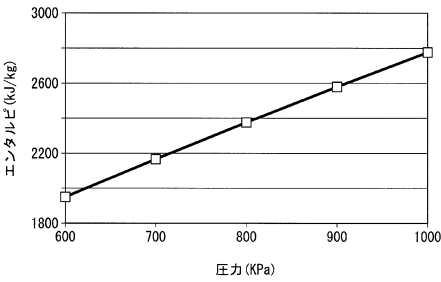


図 4

【図 5】

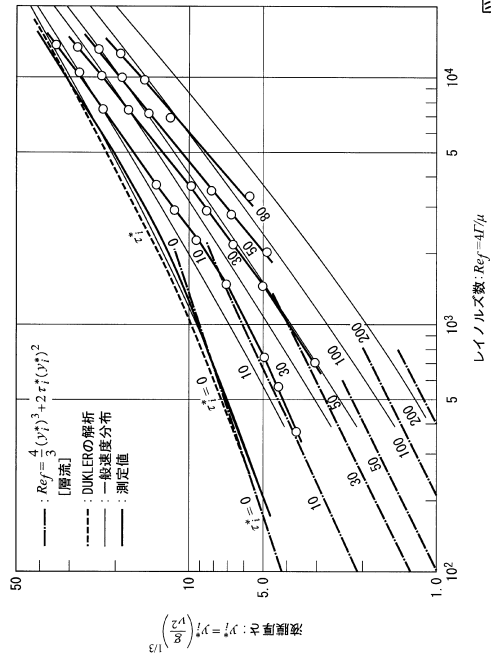
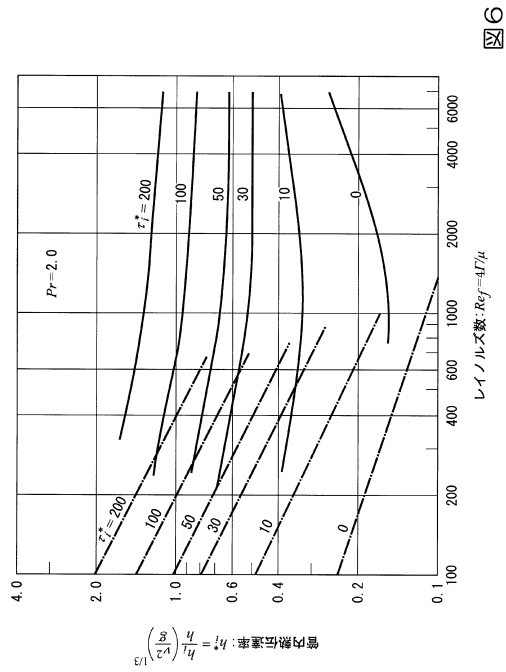
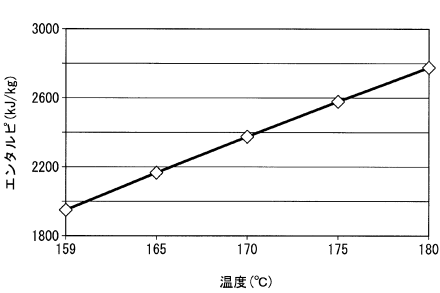


図 5

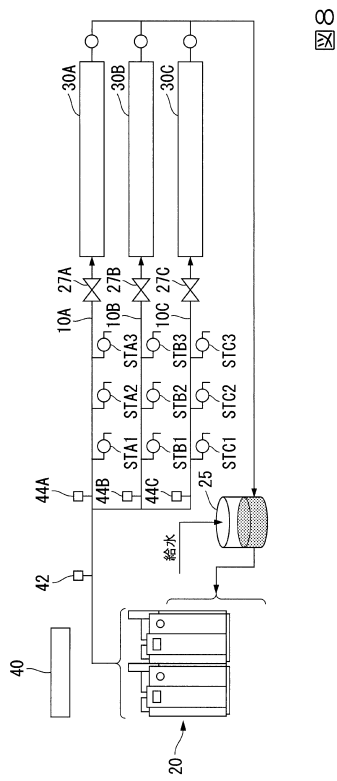
【図 6】



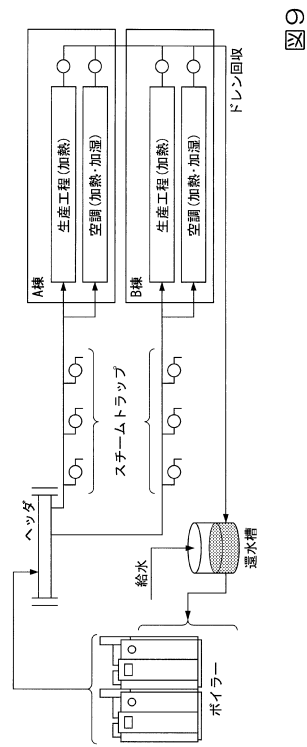
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 千田 仁
東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東京電力株式会社内

審査官 杉山 豊博

(56)参考文献 特開2011-196677 (JP, A)
米国特許第05233863 (US, A)
特表2011-517756 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F22B 37/38
G01L 7/00
G01M 99/00