

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-103254
(P2012-103254A)

(43) 公開日 平成24年5月31日(2012.5.31)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 9/24 (2006.01)	GO 1 N 9/24 A	2 G O 5 9
GO 1 N 21/27 (2006.01)	GO 1 N 21/27 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2011-246273 (P2011-246273)
 (22) 出願日 平成23年11月10日 (2011.11.10)
 (31) 優先権主張番号 12/945,680
 (32) 優先日 平成22年11月12日 (2010.11.12)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. フロッピー

(71) 出願人 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 蒸気重量率を監視するための方法およびシステム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 蒸気タービンの内部に位置する湿り蒸気の蒸気重量率を決定する方法を提供する。

【解決手段】 湿り蒸気を通して光学プローブ52から複数の波長を放射するステップと、光学プローブ54を用いて、湿り蒸気を通して放射された複数の波長の各々に対応する湿り蒸気の強度を測定するステップと、複数の波長の各々について湿り蒸気の強度を対応する乾燥蒸気の強度で除することにより強度比ベクトルを決定するステップと、スケーリングされた強度比を得るために、強度比ベクトルにスケーリングファクタを連続的に適用するステップと、複数の残差を得るためにスケーリングファクタの各々に対して適切な値を計算するステップと、複数の残差のうちの最小残差を決定するステップと、最小残差に対応する液滴の数密度を計算することにより液滴粒度分布を決定するステップと、液滴粒度分布に基づいて蒸気重量率を決定するステップとを含む。

【選択図】 図2

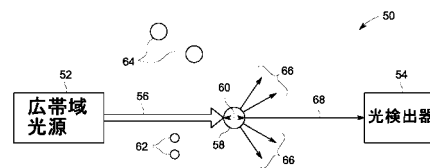


FIG. 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

蒸気タービン（10）の内部に位置する湿り蒸気の蒸気重量率を決定する方法であって、前記湿り蒸気を通して光学プローブ（52、54）から複数の波長を放射するステップ（162）と、

前記光学プローブ（52、54）を用いて、前記湿り蒸気を通して放射された前記複数の波長の各々に対応する湿り蒸気の強度を測定するステップ（164）と、

前記複数の波長の各々について前記湿り蒸気の強度に対応する乾燥蒸気の強度で除することにより強度比ベクトルを決定するステップ（168）と、

スケーリングされた強度比ベクトルを得るために、前記強度比ベクトルにスケーリングファクタを連続的に適用するステップ（170）と、

複数の残差を得るために前記スケーリングファクタの各々に対して適切な値を計算するステップ（172）と、

前記複数の残差のうちの最小残差を決定するステップ（174）と、

前記最小残差に対応する液滴の数密度を計算することにより液滴粒度分布を決定するステップ（176）と、

前記液滴粒度分布に基づいて前記蒸気重量率を決定するステップ（178）とを含む方法。

【請求項 2】

前記適切な値が関数

【数 1】

$$e(s) = \min_{N(D)} \left| R_s - \exp \left(\int_0^{D_{\max}} \frac{\pi D^2 l}{4} N(D) E_\lambda(D) dD \right) \right|$$

に基づいており、上式で、 $e(s)$ が前記複数の残差であり、 $N(D)$ が前記液滴の数密度であり、 R_s が前記スケーリングされた強度比ベクトルであり、 D_{\max} が最大液滴粒度であり、 D が直径であり、 l が経路長であり、 $E(D)$ が消衰係数である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記液滴の数密度 $N(D)$ が、2つの直径（60）の液滴（58）に限定される、請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記液滴の数密度 $N(D)$ が、3つ以上の直径（60）の液滴（58）に限定される、請求項 2 記載の方法。

【請求項 5】

前記最大液滴粒度 D_{\max} が約 5,000 ナノメートルより大きい、請求項 2 記載の方法。

【請求項 6】

前記複数の波長が白色光（56）として生成される、請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

前記複数の波長が約 15 個を超える波長を含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 8】

実行可能な命令を有する一時的でない有形の 1 つまたは複数の機械可読媒体であって、前記実行可能な命令がプロセッサによって実行されたとき、

湿り蒸気を通して放射された複数の波長の各々に対応する湿り蒸気の強度を光学プローブ（52、54）を用いて測定するステップ（164）と、

前記複数の波長の各々について前記湿り蒸気の強度に対応する乾燥蒸気の強度で除することにより強度比ベクトルを決定するステップ（168）と、

スケーリングされた強度比ベクトルを得るために前記強度比ベクトルにスケーリングファクタを連続的に適用するステップ（170）と、

10

20

30

40

50

複数の残差を得るために前記スケーリングファクタの各々に対して適切な値を計算するステップ(172)と、

前記複数の残差のうちの最小残差を決定するステップ(174)と、

前記最小残差に対応する液滴の数密度を計算することにより液滴粒度分布を決定するステップ(176)と、

前記液滴粒度分布に基づいて蒸気重量率を決定するステップ(178)と、
を含む処理を前記プロセッサに実行させる、機械可読媒体。

【請求項9】

前記適切な値が関数

【数2】

$$e(s) = \min_{N(D)} \left| R_s - \exp \left(\int_0^{D_{\max}} \frac{\pi D^2 l}{4} N(D) E_\lambda(D) dD \right) \right|$$

に基づいており、上式で、 $e(s)$ が前記複数の残差であり、 $N(D)$ が前記液滴の数密度であり、 R_s が前記スケーリングされた強度比ベクトルであり、 D_{\max} が最大液滴粒度であり、 D が直径であり、 l が経路長であり、 $E_\lambda(D)$ が消衰係数である、請求項8記載の機械可読媒体。

【請求項10】

前記液滴の数密度 $N(D)$ が、2つの直径の液滴(58)に限定される、請求項9記載の機械可読媒体。

【請求項11】

前記液滴の数密度 $N(D)$ が、3つ以上の直径の液滴(58)に限定される、請求項9記載の機械可読媒体。

【請求項12】

前記最大液滴粒度 D_{\max} が約5,000ナノメートルより大きい、請求項9記載の機械可読媒体。

【請求項13】

前記複数の波長が白色光(56)として生成される、請求項8記載の機械可読媒体。

【請求項14】

複数の波長の光を放射するように構成された光学エミッタ(52)と、

前記複数の波長の光を検出するように構成された光学検波器(54)と、

前記光学エミッタ(52)および前記光学検波器(54)に結合され、メモリまたは記憶装置に記憶された命令を実行するように構成されたプロセッサとを備え、前記命令が、前記プロセッサによって実行されたとき、

湿り蒸気を通して前記光学エミッタ(52)によって放射された前記複数の波長の各々に対応する湿り蒸気の強度を前記光学検波器(54)を用いて検出するステップ(164)と、

前記複数の波長の各々について前記湿り蒸気の強度に対応する乾燥蒸気の強度で除することにより強度比ベクトルを決定するステップ(168)と、

スケーリングされた強度比ベクトルを得るために前記強度比ベクトルにスケーリングファクタを連続的に適用するステップ(170)と、

複数の残差を得るために前記スケーリングファクタの各々に対して適切な値を計算するステップ(172)と、

前記複数の残差のうちの最小残差を決定するステップ(174)と、

前記最小残差に対応する液滴の数密度を計算することにより液滴粒度分布を決定するステップ(176)と、

前記液滴粒度分布に基づいて蒸気重量率を決定するステップ(178)と、
を含む処理を前記プロセッサに実行させる、

蒸気重量率監視システム(50)。

10

20

30

40

50

【請求項 15】

蒸気タービン(10)を有し、前記光学エミッタ(52)および前記光学検波器(54)が前記蒸気タービン(10)の内部に配置される、請求項14記載の蒸気重量率監視システム(50)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書に開示される主題は蒸気監視システムに関し、より詳細には、蒸気重量率(steam quality)を監視するためのおよび液滴粒度分布(droplet size distribution)を決定するためのシステムおよび方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

蒸気は、熱伝達、発電、輸送など、多くの産業にわたる広範な用途で使用される。例えば、蒸気を蒸気タービン内で原動力として使用し、熱エネルギーを回転エネルギーに変換することができる。蒸気の水分に対応し得る蒸気重量率の要件は、用途に応じて変化する。例えば、蒸気タービンでは高い蒸気重量率が必要となる可能性がある。というのは、低い蒸気重量率は効率の低下、および/または蒸気タービンの構成要素の侵食を引き起こす可能性がある。現行の蒸気重量率監視装置は、通常、光信号を使用する。残念ながら、現行の蒸気重量率監視装置の精度は、光信号に対する大きい水滴の作用のために悪影響を受ける可能性がある。したがって、上述した1つまたは複数の問題に対処するための改良された蒸気重量率監視システムが必要とされる。

20

【発明の概要】

【0003】

出願時に特許請求した発明と範囲が等しい特定の実施形態を以下で要約する。これらの実施形態は特許請求される本発明の範囲を限定することを意図せず、むしろ、これらの実施形態は、本発明の考えられる形態の簡単な概要を示すことのみを意図する。実際には、本発明は、以下に記載される実施形態と同様であってもそれらと異なってもよい様々な形態を包含することができる。

【0004】

第1の実施形態では、蒸気タービンの内部に位置する湿り蒸気の蒸気重量率を決定する方法が提供される。この方法は、湿り蒸気を通して光学プローブから複数の波長を放射するステップと、光学プローブを用いて、湿り蒸気を通して放射された複数の波長の各々に対応する湿り蒸気の強度(wet steam intensity)を測定するステップと、複数の波長の各々について湿り蒸気の強度に対応する乾燥蒸気の強度で除することにより強度比ベクトルを決定するステップと、スケールされた(scaled)強度比ベクトルを得るために、強度比ベクトルにスケールングファクタを連続的に適用するステップと、複数の残差(residual)を得るためにスケールングファクタの各々に対して適切な値を計算するステップと、複数の残差のうちの最小残差を決定するステップと、最小残差に対応する液滴の数密度を計算することにより液滴粒度分布を決定するステップと、液体粒度分布に基づいて蒸気重量率を決定するステップとを含む。

30

40

【0005】

第2の実施形態では、実行可能な命令を有する一時的でない有形の1つまたは複数の機械可読媒体が提供される。実行可能な命令がプロセッサによって実行されたとき、湿り蒸気を通して放射された複数の波長の各々に対応する湿り蒸気の強度を光学プローブを用いて測定するステップと、複数の波長の各々について湿り蒸気の強度に対応する乾燥蒸気の強度で除することにより強度比ベクトルを決定するステップと、スケールされた強度比ベクトルを得るために強度比ベクトルにスケールングファクタを連続的に適用するステップと、複数の残差を得るためにスケールングファクタの各々に対して適切な値を計算するステップと、複数の残差のうちの最小残差を決定するステップと、最小残差に対応する液滴の数密度を計算することにより液滴粒度分布を決定するステップと、液滴粒度分布に

50

基づいて蒸気重量率を決定するステップと、を含む処理をプロセッサに実行させる。

【0006】

第3の実施形態では、蒸気重量率監視システムが提供される。このシステムは、複数の波長の光を放射するように構成された光学エミッタと、複数の波長の光を検出するように構成された光学検波器と、光学エミッタおよび光学検波器に結合されたプロセッサとを有する。プロセッサは、メモリまたは記憶装置に記憶された命令を実行するように構成される。これらの命令がプロセッサによって実行されたとき、湿り蒸気を通して光学エミッタによって放射された複数の波長の各々に対応する湿り蒸気の強度を光学検波器を用いて検出するステップと、複数の波長の各々について湿り蒸気の強度に対応する乾燥蒸気の強度で除することにより強度比ベクトルを決定するステップと、スケーリングされた強度比ベクトルを得るために強度比ベクトルにスケーリングファクタを連続的に適用するステップと、複数の残差を得るためにスケーリングファクタの各々に対して適切な値を計算するステップと、複数の残差のうちの最小残差を決定するステップと、最小残差に対応する液滴の数密度を計算することにより液滴粒度分布を決定するステップと、液滴粒度分布に基づいて蒸気重量率を決定するステップと、を含む処理をプロセッサに実行させる。

10

【0007】

本発明のこれらのおよび他の特徴、態様および利点は、複数の図面を通して同様の参照符号は同様の部品を示している添付図面を参照して以下の詳細な記述を読むことにより良く理解される。

【図面の簡単な説明】

20

【0008】

【図1】複数のタービン段を有する蒸気タービンの実施形態を示す断面図である。

【図2】蒸気重量率監視システムの実施形態を示す概略図である。

【図3】波長の関数としての、大きい液滴の悪影響を受ける強度比を示すグラフである。

【図4】直径の関数としての、大きい液滴の悪影響を受ける数密度を示すグラフである。

【図5】本開示の一実施形態による、波長の関数としてのスケーリングされた強度比を示すグラフである。

【図6】本開示の一実施形態による、直径の関数としての数密度を示すグラフである。

【図7】本開示の一実施形態による、蒸気重量率を決定するためのプロセスのフローチャートである。

30

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下では本発明の1つまたは複数の特定の実施形態を説明する。これらの実施形態を簡潔に説明するために、実際の実施態様のすべての特徴が本明細書で説明され得るわけではない。任意の工学的計画または設計計画において、このような任意の実際の実施態様を開発する際には、システム関連の制限および事業関連の制限に適合させるといったような、実施態様ごとにより変り得る開発者ごとの目標を達成するために、実施態様特有の多くの決定がなされなければならないことを理解されたい。さらに、このような開発努力は、複雑で時間がかかるものであり得るが、本開示の利益を享受する当業者にとっては、設計、製作および製造における通常の仕事であることを理解されたい。

40

【0010】

本発明の種々の実施形態の要素を示す場合、冠詞「a」、「an」、「the」、および「said」は、1つまたは複数の要素が存在することを意味するものとする。「有する」、「含む」という用語は包括的であることを意図しており、記載される要素の他に追加の要素が存在してもよいことを意味する。

【0011】

図1は、高圧セクション12および低圧セクション14を有する蒸気タービン10の側断面図である。蒸気タービン10は、石炭プラント、ガス化プラント、天然ガスプラント、原子炉プラントなどの、発電のために蒸気を使用可能であるいかなる場所でも使用され得る。蒸気タービン10は、後で詳細に説明する蒸気重量率監視システムの一実施形態を

50

有することができる。運転中、高圧蒸気入口16が高圧蒸気を受け、高圧タービン段18を通して高圧蒸気を経路設定し、タービンブレードが駆動され、蒸気タービン10の共通のロータ軸が回転される。高圧蒸気の供給源の例には、限定しないが、統合ガス化複合サイクル(integrated gasification combined cycle (IGCC))発電所の熱回収蒸気発生(heat recovery steam generation (HRSG))システムが含まれる。高圧蒸気は、高圧蒸気出口20を通して蒸気タービン10の高圧セクション12から出る。特定の実施形態では、さらに過熱を行うためにおよび蒸気タービン10の低圧セクション14で最終的に使用するために、高圧蒸気はHRSGシステムに戻るよう誘導されてもよい。

【0012】

同様に、低圧蒸気入口22がHRSGシステムなどから低圧蒸気を受け、低圧タービン段24を通して低圧蒸気を経路設定し、それにより、タービンブレードが駆動され、蒸気タービン10の共通のロータ軸が回転される。低圧蒸気は、低圧蒸気出口26を通して蒸気タービン10の低圧セクション14から出る。特定の実施形態では、蒸気タービン10はさらに中間圧力セクションを有してもよい。

【0013】

蒸気タービン10は、後で詳細に説明するように、蒸気タービン10の内部に位置する湿り蒸気の蒸気重量率を決定するのに使用される1つまたは光学プローブを有することができる。種々の実施形態では、光学プローブは、蒸気タービン10の内部の全体にわたる位置に配置されてもよい。例えば、光学プローブは、高圧セクション12、低圧セクション14、または、中間圧力セクション(存在する場合)の中に配置されてもよい。別の実施形態では、光学プローブは、蒸気タービン10の内部において蒸気重量率の測定を行うことが所望されるいかなる場所に配置されてもよい。

【0014】

図2は、蒸気重量率監視システム50の概略図である。示される実施形態では、監視システム50は光学エミッタ52および光学検波器54を有し、これらをまとめて光学プローブと称することができる。光学エミッタ52および光学検波器54は両方とも、蒸気タービン10の内部固定表面に結合されてもよい。また、光学検波器54は、通常、光学エミッタ52に対向するように構成される。光学エミッタ52は、1つまたは複数の波長の光56を放射するように構成される。例えば、1つまたは複数の波長の光56は、白色光としてまたは特定の離散的な波長の光として生成されてもよい。特定の実施形態では、光学エミッタ52は、約500nmから650nmの間の複数の波長の光56を放射するように構成された広帯域光源であってもよい。このような実施形態では、光56の波長は、約5nmから10nmで互いに分離され得る。したがって、これらの実施形態では、広帯域光源52は、約15個から30個の異なる波長の光56を放射するように構成され得る。広帯域光源52によって放射された光56の波長の数を増加させることにより、蒸気重量率を測定する際のノイズの量を減少させることができる。別の実施形態では、光学エミッタ52はレーザ源であってもよい。

【0015】

広帯域光源52により光56が放射されると、光56は水滴58すなわち液滴に接触することができる。示されるように、水滴58は概して球形状を有していてもよいが、別の形状も考えられる。水滴58は、蒸気タービン10の内部を通る蒸気の流れにより光学エミッタ52と光学検波器54との間で運搬され、光56に入ることができる。低蒸気重量率の蒸気は、高蒸気重量率の蒸気より多数の水滴58を有することができる。すなわち、蒸気重量率は、飽和水/蒸気の混合物中の飽和蒸気の割合として定義される。したがって、0の蒸気重量率は100パーセントの水を意味し、1の蒸気重量率(または、100パーセント)は100パーセントの蒸気を意味する。水滴58は、約100nm、500nm、1000nm、2000nm、3000nm、4000nmまたは5000nmより大きくてもよい直径60を有していてもよい。通常の蒸気タービン10内での直径60の分布はN-モード(n-modal)であってもよく、ここで、N=1、2、3、4また

10

20

30

40

50

はそれ以上である。例えば、示される実施形態では、直径60の分布は、小さい一次水滴62および大きい二次水滴64を含むバイモデル(bi-model)であってもよい。例えば、一次水滴62の直径60は約200nmから1500nmの間であってもよい。二次水滴64の直径60は5000nmから10000nmの間であってもよい。一次水滴62は蒸気中に自然に存在する水滴に相当していてもよい。二次水滴64は、蒸気タービン10のノズルおよび動翼の後縁から落下することによって生成されてもよい。したがって、一次水滴62の数は二次水滴64の数より多くてもよい。したがって、通常の蒸気タービン10では、二次水滴64からの湿気への寄与率(moisture contribution)は、一次水滴62からの湿気への寄与率より低くてもよい。

【0016】

水滴58に入る光56は、1つまたは複数の散乱ビーム66として伝播される可能性がある。様々な散乱ビーム66が光学検波器54に到達しない可能性がある。しかし、検出されるビーム68は、光学検波器54によって検出されるように位置合わせされ得る。光学検波器54の一例としては、フォトダイオードアレイとして構成され得る光検出器がある。種々の実施形態では、光検出器54は検出されるビーム68に应答して電気信号を生成することができる。加えて、光検出器54は、広帯域光源52によって放射された同じ波長範囲の光56を検出するように構成され得る。検出されるビーム68は、散乱ビーム66のために、光56より強度が低い可能性がある。言い換えると、光56全体が光検出器54に到達するわけではないことから、検出されるビーム68は低い強度を有する可能性がある。したがって、特定の実施態様では、蒸気監視システム50の動作は、球粒子による電磁放射線の散乱性に対するMaxwell方程式の解析解を示す、Mie散乱理論に基づく。

【0017】

図3は、二次水滴64によって引き起こされる減衰効果を示す、強度比のグラフである。グラフ80では、横座標(x軸)82は、ナノメートルで表現される、広帯域光源52によって放射された光56の波長を示している。縦座標(y軸)84は、乾燥蒸気(例えば、1の、すなわち、100パーセントの蒸気重量率)中において光検出器54によって検出される光56の強度で除された検出されるビーム68の強度として定義される、強度比を示している。言い換えると、強度比が小さいと、蒸気重量率が低いことになる。通常の蒸気重量率監視システムを用いて測定した、種々の波長の光56の強度比86がグラフ80にプロットされている。測定された強度比86を通るベストフィットライン(best fit line)88に一致する点もグラフ80にプロットされている。示されるように、ベストフィットライン88に一致する点は約0.55から0.72の範囲であると言える。しかし、物理学的予測に基づいた実際のすなわち本当の強度比は、通常の蒸気重量率監視システムによって測定される強度比より大きくてもよい。測定される強度比86と本当の強度比との間の差異は、部分的に、二次水滴64の影響として説明され得る。具体的には、二次水滴64は一次水滴62より光56をより大幅に減衰させることができる。言い換えると、光56の減衰に対する二次水滴64の影響は、蒸気の全水分に対する一次水滴62の寄与率より比例的に大きい。したがって、通常の蒸気重量率監視システムの測定される強度比86は、物理学的予測に基づいて計算される強度比より小さくてもよい。さらに、通常の蒸気重量率監視システムの測定される強度比86に基づいて計算される蒸気重量率は実際の蒸気重量率より小さくてもよい。このような不正確な蒸気重量率では、蒸気タービン10の内部の状態が現実に即した形で示されない可能性があるため、蒸気タービン10の性能を改良するための予防ステップが設けられる。

【0018】

図4は、二次水滴64によって引き起こされる減衰効果を示す数密度のグラフ100である。グラフ100では、横座標102は、ナノメートルで表現される水滴58の直径60を示している。縦座標104は、単位体積当たりの水滴58の数として定義される、水滴58の数密度を示している。グラフ100では、数密度は、1立方メートル当たりの水滴58として表される。グラフ100にプロットされる結果は、図3に示される測定され

10

20

30

40

50

る強度比 86 に基づいている。具体的には、数密度は、M i e 散乱理論の方程式を用いて、測定される強度比 86 から計算され得る。一次水滴密度 (p r i m a r y d r o p d e n s i t y) 106 は一次水滴 62 の数密度を示しており、二次水滴密度 108 は二次水滴 64 の数密度を示している。図 4 を参照すると、一次水滴密度 106 は 1 m^3 当たり約 1.5×10^{15} であり、二次水滴密度 108 は 1 m^3 当たり約 9×10^{11} である。これらの値および M i e 散乱理論を用いると、一次水滴 62 および二次水滴 64 は、全水分のそれぞれ約 51 パーセントおよび 3 パーセントであると考えられる。したがって、全水分は約 54 パーセントと考えられ、これは、物理学的予測に基づく水分、すなわち約 9 パーセントより多い。

【0019】

図 5 は、後で詳細に説明される方法を使用して得られた、波長の関数としての、スケーリングされた強度比のグラフである。スケーリングされた強度比は、二次水滴 64 によって引き起こされる減衰を排除または軽減する。スケーリングされた強度比 122 がグラフ 120 にプロットされている。スケーリングされた強度比 122 を通るベストフィットライン 124 に一致する点もグラフ 120 にプロットされている。示されるように、ベストフィットライン 124 に一致する点は約 0.90 から 0.94 の範囲であると言える。したがって、図 5 に示されるスケーリングされた強度比 122 は図 3 に示される測定される強度比 86 より大きい。スケーリングされた強度比 122 は、物理予測に基づく本当の強度比にほぼ等しい。具体的には、二次水滴 64 によって引き起こされる減衰はスケーリングされた強度比 122 からは排除されている。スケーリングされた強度比 122 に基づく

10

20

【0020】

図 6 は、後で詳細に説明される方法を使用して得られた、直径 60 の関数としての数密度のグラフ 140 である。グラフ 140 にプロットされる結果は、図 5 に示されるスケーリングされた強度比 122 に基づいている。正確な一次水滴密度 142 は一次水滴 62 の正確な数密度を示しており、正確な二次水滴密度 144 は二次水滴 64 の正確な数密度を示している。上で考察したように、数密度は、M i e 散乱理論の方程式を使用して、スケーリングされた強度比 122 から計算され得る。図 6 を参照すると、正確な一次水滴密度 142 は 1 m^3 当たり約 1.5×10^{14} であり、正確な二次水滴密度 144 は 1 m^3 当たり約 5.5×10^{11} である。正確な一次水滴密度 142 および二次水滴密度 144 は共に、図 4 に示される一次水滴密度 106 および二次水滴密度 108 より小さい。これらの値および M i e 散乱理論を用いると、一次水滴 62 および二次水滴 64 は、全水分のそれぞれ約 6 パーセントおよび 3 パーセントであると考えられる。したがって、全水分は約 9 パーセントであると考えられ、これは、物理学的予測に基づく水分、すなわち約 9 パーセントにほぼ等しい。

30

【0021】

図 7 は、蒸気重量率監視システム 50 を使用して蒸気タービン 10 内の蒸気重量率を決定するためのプロセスのフローチャート 160 である。本発明の一実施形態は、コンピュータにより実施されるプロセスおよびそれらのプロセスを実行するための装置の形態で実施することができる。本発明の実施形態はまた、フロッピーディスク、CD-ROM、ハードドライブ、USB (u n i v e r s a l s e r i a l b u s) ドライブ、または、任意の別のコンピュータ可読記憶媒体などの、一時的でない有形の機械可読媒体によって具体化される実行可能な命令を含むコンピュータプログラムコードを有するコンピュータプログラム製品の形態で実施することができ、ここで、コンピュータプログラムコードがコンピュータ内にロードされてコンピュータによって実行される場合は、このコンピュータが本発明の実施形態を実行するための装置となる。本発明の実施形態はまた、例えば、記憶媒体に記憶されているか、コンピュータ内にロードされ、および/または、コンピュータによって実行されるか、それともファイバオプティクスを用いた電気配線または電気ケーブルなどを介してまたは無線伝送を介して、いくつかの伝送媒体を通して伝送され

40

50

るかにかかわらず、コンピュータプログラムコードの形態で実施することができ、ここで、コンピュータプログラムコードがコンピュータ内にロードされてコンピュータによって実行される場合は、このコンピュータが本発明の実施形態を実行するための装置となる。コンピュータプログラムコードセグメントは、汎用プロセッサ上で実施される場合、特定の論理回路を作成するようにプロセッサを構成する。

【0022】

具体的には、蒸気重量率監視システム50は、コンピュータ可読記憶媒体に、または、そのようなコンピュータ可読記憶媒体を有するプロセスコントローラに配置されるコンピュータコードを有することができる。このコンピュータコードは、感知されるレベルが蒸気重量率の閾値より低い場合に蒸気重量率を増加させるように、または蒸気重量率が不十分であることをオペレータに通知するように、制御機能を開始するための命令を有することができる。別の実施形態では、コンピュータコードは、プロセス計器を用いて運転変数を測定するためのまたは特定の命令を周期的に繰り返すための命令を有することができる。

10

【0023】

図7を再び参照すると、ステップ162では、最大でn個の波長の、1つまたは複数の波長 λ_i の光56が光学プローブから放射され、監視される湿り蒸気を通過する。光学プローブは広帯域光源52および光検出器54を有することができる。ステップ164では、光学プローブが、湿り蒸気を通して放射されたn個の波長の光56の各々に対応する湿り蒸気の強度 $I(\lambda_i)$ を測定する。上で詳細に説明したように、測定される湿り蒸気の強度は、湿り蒸気内に二次水滴64が存在することにより減衰される。ステップ166では、光学プローブが、乾燥蒸気を通して放射されたn個の波長の光56の各々に対応する乾燥蒸気の強度 $I_0(\lambda_i)$ を得ることができる。ステップ166は1回実行されればよく、乾燥蒸気の強度の値は次の計算でも再使用され得る。別法として、乾燥蒸気の強度の値は、物理モデルを使用して得られてもよく、あるいは、実験により得られるようなまたは物理モデルを使用して得られるような値を含むローカルデータベースまたはリモートデータベースから入手されてもよい。ステップ168では、各々の波長の光56に対して、湿り蒸気の強度 $I(\lambda_i)$ を対応する乾燥蒸気の強度 $I_0(\lambda_i)$ で除することにより、強度比ベクトルRが決定される。例えば、波長の関数としての強度比 $r(\lambda_i)$ は以下の方程式を用いて決定される。

20

30

【0024】

【数1】

$$r(\lambda_i) = I(\lambda_i) / I_0(\lambda_i) \quad (\text{式1})$$

以下の方程式を用いてn次元の強度比ベクトルRを形成することができる。

【0025】

【数2】

$$R = [r(\lambda_1), r(\lambda_2), \dots, r(\lambda_n)] \quad (\text{式2})$$

40

ステップ170では、以下の方程式を用いて示されるように、スケーリングされた強度比ベクトル R_s を得るためにスケーリングファクタsが強度比ベクトルRに連続的に適用される。

【0026】

【数3】

$$R_s = sR \quad (\text{式3})$$

スケーリングファクタsは0より大きく、1以下であってもよい。ステップ172では、

50

以下の方程式を用いて決定される得る 1 つまたは複数の残差 $e(s)$ を得るために、各々のスケールングファクタ s に対する適切な値が計算される。

【0027】

【数4】

$$e(s) = \min_{N(D)} \left| R_s - \exp \left(\int_0^{D_{\max}} \frac{\pi D^2 l}{4} N(D) E_\lambda(D) dD \right) \right| \quad (\text{式4})$$

上式で、 $N(D)$ は数密度であり、 D_{\max} は水滴 58 の最大直径であり、 D は直径 60 であり、 l は水滴 58 の経路長であり、 $E(D)$ は消衰係数である。特定の実施形態では、数密度 $N(D)$ は限定されてもよい。例えば、数密度 $N(D)$ は、2 つの直径の水滴に、すなわち、一次水滴 62 および二次水滴 64 に限定されてもよい。別の実施形態では、数密度 $N(D)$ は 3 つ以上の直径の水滴に限定されてもよい。

10

【0028】

特定の実施形態では、最大直径 D_{\max} は、約 1000 nm、2000 nm、3000 nm、4000 nm、または 5000 nm より大きくてもよい。経路長 l は、広帯域光源 52 と光検出器 54 との間の距離として定義される。さらに、約 5000 nm を超える直径 60 を有する水滴 58 に対する消衰係数 $E(D)$ は、波長 λ および直径 D と無関係である。したがって、二次水滴 64 などの、約 5000 nm を超える直径 60 を有する水滴 58 によって引き起こされる減衰はほぼ一定である。ステップ 174 では、ステップ 172 で決定される 1 つまたは複数の残差 $e(s)$ のうちの最小残差 e_{\min} が決定される。ステップ 176 では、ステップ 174 で得られた最小残差 e_{\min} に対応する数密度 $N(D)$ を計算することにより、液滴粒度分布が決定される。最後に、ステップ 178 では、以下の方程式を用いて蒸気重量率 Y (または、湿り度) が決定される。

20

【0029】

【数5】

$$Y = \frac{\pi \rho_{\text{water}}}{6 \rho_{\text{steam}}} \int_0^{D_{\max}} D^3 N(D) dD \quad (\text{式5})$$

上式で、 ρ_{water} は水滴 58 の密度であり、 ρ_{steam} は蒸気の密度である。

30

【0030】

本書は、最良の形態を含めて本発明を開示するために、さらには、任意のデバイスまたはシステムを作製し使用することおよび組み入れられる任意の方法を実施することを含めて、任意の当業者が本発明を実施するのを可能にするために、いくつかの例を使用している。さらに、本明細書に提示される例示の実施形態は、互いに組み合わせられてもよいまたは開示される別の実施形態の特徴に組み合わせられてもよい特徴を含む。本発明の特許可能な範囲は、特許請求の範囲によって定義され、当業者が思い付く別の例を含んでいてもよい。このような別の例は、それらが特許請求の範囲の文字通りの表現と異なる構造的要素を有する場合に、または、それらが特許請求の範囲の文字通りの表現と実質的に異なる均等の構造的要素を有する場合に特許請求の範囲の範囲内にあるものとする。

40

【符号の説明】

【0031】

- 10 蒸気タービン
- 12 高圧セクション
- 14 低圧セクション
- 16 高圧蒸気入口
- 18 高圧タービン段
- 20 高圧蒸気出口
- 22 低圧蒸気入口

50

2 4	低圧タービン段	
2 6	低圧蒸気出口	
5 0	蒸気重量率監視システム	
5 2	光学エミッタ	
5 4	光学検波器	
5 6	光	
5 8	水滴	
6 0	直径	
6 2	小さい一次水滴	
6 4	大きい二次水滴	10
6 6	散乱ビーム	
6 8	検出されるビーム	
8 0	二次水滴により引き起こされる減衰効果を示す強度比のグラフ	
8 2	光の波長	
8 4	強度比	
8 6	測定される強度比	
8 8	測定される強度比を通るベストフィットライン	
1 0 0	二次水滴による減衰効果を示す数密度のグラフ	
1 0 2	水滴の直径	
1 0 4	数密度	20
1 0 6	一次水滴密度	
1 0 8	二次水滴密度	
1 2 0	例示の方法を使用して得られるスケーリングされた強度比のグラフ	
1 2 2	スケーリングされた強度比	
1 2 4	スケーリングされた強度比を通るベストフィットライン	
1 4 0	例示の方法を使用して得られる数密度のグラフ	
1 4 2	正確な一次水滴密度	
1 4 4	正確な二次水滴密度	

【 図 1 】

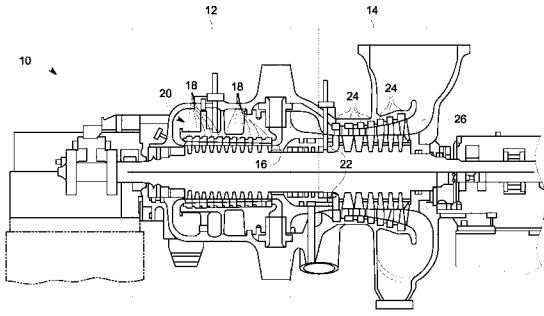


FIG. 1

【 図 3 】

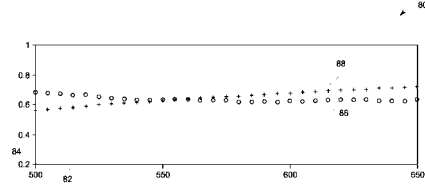


FIG. 3

【 図 2 】

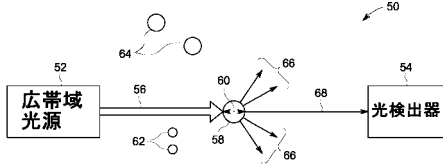


FIG. 2

【 図 4 】

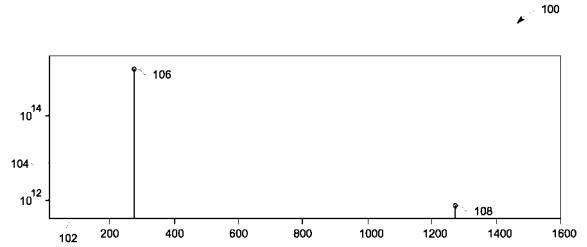


FIG. 4

【 図 5 】

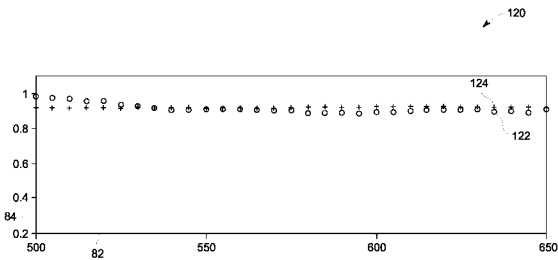


FIG. 5

【 図 7 】

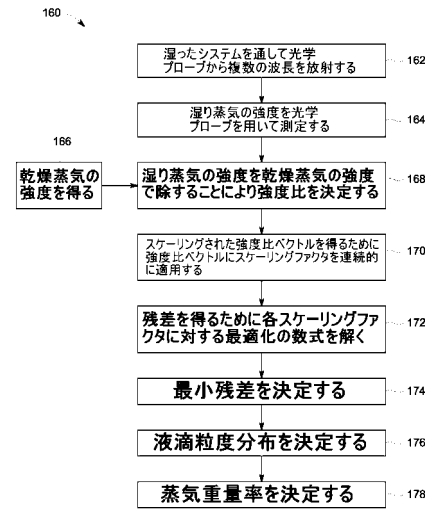


FIG. 7

【 図 6 】

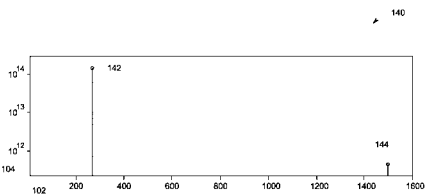


FIG. 6

フロントページの続き

(72)発明者 ビナヤック・ロイ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1 - 3エイ59、ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー・グローバ・リサーチ

(72)発明者 タオ・グオ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1 - 3エイ59、ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー・グローバ・リサーチ

Fターム(参考) 2G059 BB05 CC09 EE01 GG01 HH02 KK01

【外国語明細書】

2012103254000001.pdf