

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6308599号
(P6308599)

(45) 発行日 平成30年4月11日(2018.4.11)

(24) 登録日 平成30年3月23日(2018.3.23)

(51) Int.Cl.

F I

F 2 3 R 3/00 (2006.01)
F 0 2 C 7/00 (2006.01)
F 0 2 C 9/00 (2006.01)
G 0 1 K 13/02 (2006.01)
G 0 1 K 11/24 (2006.01)

F 2 3 R 3/00 E
F 0 2 C 7/00 A
F 0 2 C 9/00 B
G 0 1 K 13/02
G 0 1 K 11/24

請求項の数 12 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-517513 (P2016-517513)
(86) (22) 出願日 平成28年1月20日(2016.1.20)
(65) 公表番号 特表2018-507377 (P2018-507377A)
(43) 公表日 平成30年3月15日(2018.3.15)
(86) 国際出願番号 PCT/KR2016/000599
(87) 国際公開番号 W02017/094965
(87) 国際公開日 平成29年6月8日(2017.6.8)
審査請求日 平成28年3月23日(2016.3.23)
(31) 優先権主張番号 10-2015-0172675
(32) 優先日 平成27年12月4日(2015.12.4)
(33) 優先権主張国 韓国(KR)
(31) 優先権主張番号 10-2015-0172676
(32) 優先日 平成27年12月4日(2015.12.4)
(33) 優先権主張国 韓国(KR)

(73) 特許権者 516086510
インチョン ユニバーシティ インダスト
リー アカデミック コーポレーション
ファウンデーション
INCHEON UNIVERSITY
INDUSTRY ACADEMIC C
OOPERATION FOUNDATI
ON
大韓民国、インチョン、22012、ヨンス
スク、アカデミーロ、119 (ソンドン
)
(Songdo-dong) 119, Ac
ademy-ro, Yeonsu-gu,
Incheon, 22012, Repub
lic of Korea

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスタービン燃焼状態診断装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一端部に開口部が設けられてガスタービン用燃焼器内側空間と連通され、他端部は外側に突出形成されてなる燃焼診断チューブ；

上記燃焼診断チューブの一側と連通されるように備えられ、上記燃焼診断チューブ内部に向かって赤外線を発生させる赤外線発振器；

上記燃焼診断チューブ内に備えられ、上記赤外線の一部だけ上記燃焼器内側に第1反射させ、残りは透過させる二色光学ミラー；

上記二色光学ミラーを介して反射された第1反射光のうち上記燃焼器内側の反射面によって戻ってくる第2反射光の強さを測定するために上記燃焼診断チューブの他端部に備えられる光センサ；及び、

上記赤外線発振器及び上記光センサと連結されて制御し、測定された上記第2反射光の強さに基づいて上記燃焼器内の火炎に含まれる浮遊性固形物の多寡を判別する制御部；を含むことを特徴とするガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項 2】

上記ガスタービン燃焼状態診断装置は、

上記赤外線のうち上記二色光学ミラーを透過した透過光を吸収できるように、上記赤外線発振器と対向する上記燃焼診断チューブの一側にビームダンプを更に含むことを特徴とする

請求項 1 に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項 3】

上記ガスタービン燃焼状態診断装置は、

上記第 2 反射光が上記二色光学ミラーを透過した後、上記光センサに集光されることができるよう、上記光センサと上記二色光学ミラーの間に凸レンズを更に含むことを特徴とする

請求項 2 に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項 4】

上記燃焼診断チューブは、

上記開口部を通して上記燃焼器と連通される直線型のパイプ状に形成されたメインチューブと、上記メインチューブの一側に突出形成され上記燃焼器の方に傾いたサブチューブとから構成され、

上記赤外線発振器は、

上記サブチューブの内側に装着され、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の浮遊性固形物を円滑に検出できるように、波長が $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 乃至 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ である赤外線を発生させることを特徴とする

請求項 2 に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項 5】

上記二色光学ミラーは、

上記赤外線が上記燃焼器の方に向かって反射されることができる位置に設けられ、光透過率が 50% であることを特徴とする

請求項 4 に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項 6】

上記制御部は、

上記燃焼器で燃焼がなされていない状態で上記赤外線発振器を作動させた後、上記光センサを通して上記第 2 反射光の強さを測定して初期値情報を生成し、

上記燃焼器で燃焼がなされる間、火炎から発生する自発光の強さを上記光センサを通して測定して自発光強さ情報を生成し、

上記燃焼器で燃焼が進行される間、所定の時間間隔ごとに上記赤外線発振器を通して上記赤外線を発生させ、上記赤外線が上記第 1、2 反射光の形態で上記燃焼器にて上記浮遊性固形物によって散乱された状態で上記第 2 反射光の強さを上記光センサを通して測定して固形物測定情報を生成し、

上記初期値情報、上記自発光強さ情報及び上記固形物測定情報に基づいて火炎内の浮遊性固形物の量を定量的に算出することを特徴とする

請求項 1 ～ 5 のうちいずれか一項に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項 7】

上記ガスタービン燃焼状態診断装置は、

上記燃焼診断チューブの他端部に備えられ、上記燃焼診断チューブを通して上記燃焼器の方に送信超音波を発生させる超音波送信機；及び、

上記燃焼診断チューブ内部に備えられ、上記送信超音波を受信して第 1 受信信号を生成し、上記送信超音波のうち上記反射面によって戻ってくる反射波を受信して第 2 受信信号を生成する超音波受信機；を含んで構成される火炎温度測定モジュールを更に含み、

上記制御部は、上記火炎温度測定モジュールと連結されて制御し、上記第 1、2 受信信号及び上記超音波受信機と上記反射面との隔離距離（ L ）に基づいて上記燃焼器内の火炎温度を測定することを特徴とする

請求項 1 ～ 5 のうちいずれか一項に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項 8】

上記制御部は、

上記第 1、2 受信信号に基づいて上記送信超音波の受信から上記反射波の受信までの遅延時間 Δt を算出し、

速度式 $C_{\text{flame}} = 2L / \Delta t$ によって上記燃焼器内での超音波の速度（ C_{flame} ）を算出した後、

超音波速度と温度との関係式である式（１）によって上記火炎温度を算出することを特徴とする

請求項７に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【数１】

$$C_{flame} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad \dots (1)$$

【請求項９】

上記超音波受信機は、

上記燃焼診断チューブ内部の第１超音波受信機と、上記燃焼器側に離隔して備えられる第２超音波受信機とからなり、上記送信超音波を各々順次受信して第１－１受信信号及び第２－１受信信号を生成し、上記送信超音波のうち上記燃焼器内側の反射面によって戻ってくる上記反射波を各々順次受信して第２－２受信信号及び第１－２受信信号を生成し、上記制御部は、

上記第１－１受信信号、第２－１受信信号、第２－２受信信号、第１－２受信信号、上記第１、２超音波受信機間の隔離距離（Ｌ１）、上記第２超音波受信機と上記開口部との隔離距離（Ｌ２）及び上記開口部と上記燃焼器の反射面との隔離距離（Ｌ３）に基づいて上記燃焼器内の上記火炎温度Ｔを測定することを特徴とする

請求項７に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項１０】

上記制御部は、

上記第１－１、２－１受信信号に基づいて遅延時間 Δt_1 を、上記第２－１、２－２受信信号に基づいて遅延時間 Δt_2 を、上記第２－２、１－２受信信号に基づいて遅延時間 Δt_3 を各々算出し、

速度式 $C_1 = L1 / \Delta t_1$ によって上記送信超音波の速度（ C_1 ）を、速度式 $C_{flame} = 2(L2 + L3) / \Delta t_2$ によって上記燃焼器内での超音波の速度（ C_{flame} ）を、速度式 $C_2 = L1 / \Delta t_3$ によって上記反射波の速度（ C_2 ）を各々算出した後、

超音波速度と温度との関係式である式（１）により上記火炎温度Ｔを算出することを特徴とする

請求項９に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【数２】

$$C_{flame} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad \dots (1)$$

【請求項１１】

上記制御部は、上記火炎温度Ｔの正確性を増大するために、

上記第２超音波受信機から上記開口部までの隔離距離（Ｌ２）に対する上記送信超音波の遅延時間 Δt_4 を、上記送信超音波の速度（ C_1 ）を基に算出し、

上記開口部から上記第２超音波受信機までの隔離距離（Ｌ２）に対する上記反射波の遅延時間 Δt_5 を、上記反射波の速度（ C_2 ）を基に算出した後、

速度式 $C_{flame} = 2L3 / (\Delta t_2 - \Delta t_4 - \Delta t_5)$ によって上記燃焼器内での超音波の速度（ C_{flame} ）を算出することを特徴とする

請求項１０に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【請求項１２】

上記制御部は、

上記第１－１、２－１受信信号に基づいて算出された遅延時間 Δt_1 と、上記第２－２、１－２受信信号に基づいて算出された遅延時間 Δt_3 を相互比較して所定範囲以上の差があれば、計測エラー信号を生成することを特徴とする

請求項９に記載のガスタービン燃焼状態診断装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスタービン燃焼状態診断装置に関し、より詳しくは、ガスタービン燃焼器内部で燃焼状態によって発生する浮遊性固形物を赤外線を利用して感知し、火炎温度の変化を超音波を利用して測定することにより、ガスタービンの適切な制御がなされるようにするガスタービン燃焼状態診断装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービン発電システムは、ノズルから噴射されて燃焼される燃料の火炎状態に関する精密なモニタリングを通してガスタービン燃焼器内の不安定な燃焼による燃焼器の焼損事故などを効果的に防止するのはもちろんのこと、燃焼効率を増大する方向で持続的な開発がなされている。

10

【0003】

そのうち燃料の火炎状態を監視ないし制御するためにガスタービン燃焼器側に動圧センサを装着して動圧の大きさ及び周波数を分析し、所定範囲以上の動圧信号が感知されれば、その超過変化量の大きさによって適切な警報措置が段階別になされるようにしている。

【0004】

しかし、燃焼状態の不安定を引き起こす外的要素としては、燃料品質の不均衡、運転者の誤作動、大気温湿度の変化、設備の老朽化など多様な原因があり得ることから、燃焼動圧を監視するだけで燃焼状態の不安定を正確に診断することは難しいため、動圧センサを通した燃焼状態監視と共に多様なセンサがガスタービン燃焼状態診断装置に付加されて活用されている。

20

【0005】

また、石炭ガス化複合発電（Integrated Gasification Combined Cycle、I G C C）技術が浮き彫りになるにつれて、燃焼のために合成ガスがガスタービン発電システムに供給されるようになるが、この場合、せん断圧力の摂動が生じて燃焼の不安定を引き起こしているため、正確な燃焼診断の必要性が更に大きくなっている。

【0006】

更に、最近ではB i o g a s、D M E（Dimethyl Ether）、S N G（Synthetic Natural Gas）など多様な発電燃料及び新再生可能エネルギーをガスタービン発電システムに適用しており、各々の燃料の特性に応じて燃焼現象が大きく変わるため、これに合う精密な燃焼診断が必要となる。

30

【0007】

特に、ガスタービン燃焼器内で燃料が燃焼される時に生成される $1\mu\text{m}$ 以上の浮遊性固形物（Particulate Matter、PM）は、ガスタービン内のガス流路に沿って表面に粘着して排気ガスの排出を阻害したり、タービンプレードに付着して回転を阻害するなどの問題を引き起こすことにより、ガスタービンの燃料効率性などを低減させることになり、次のような場合に主に発生する。

【0008】

すなわち、 $1\mu\text{m}$ 以上のサイズを有する浮遊性固形物（PM）は、未燃焼炭化水素（UHC、または不完全燃焼生成物）が塊になる場合、燃料に金属成分が含有された場合、石炭ガス化から生成された燃料に含まれた飛散灰（flying ash）成分が十分に濾過できていない場合、燃料や空気供給配管の老朽化により飛散物質が燃焼器に注入される場合に、主に発生する。

40

【0009】

このように多様な原因に起因する浮遊性固形物（PM）の発生有無は、ガスタービンの燃料効率性、安定的な運用及び老朽化と直結する特性があるため、これを判別することができる技術的手段に対する要求が近頃徐々に大きくなっている。

【0010】

このような延長線上の先行技術のうち、韓国公開特許第2015-0071671号（

50

公開日：2015.06.26.) は、燃焼器で動圧センサと熱音響センサを利用して燃焼器の振動反応を測定する方法に関して提示している。より具体的には、ウェーブレットまたはフーリエ解析技術によって燃焼異常を識別し；基本モード周波数分析技術で燃焼器内のバルク温度特性を決定し；また、選択的に、音響高温測定送信及び伝播時間分析技術で燃焼器内の絶対アクティブ経路温度を決定するために、統合されたモニタリング及びシステム制御機がセンサ読取値を燃焼熱音響属性と相関させる段階を通して燃焼温度をリアルタイムでモニタリングすることができる」と説明している。

【0011】

しかし、このような先行技術は、実際の燃焼器内の火炎温度を直接算出するのではなく、燃焼器ハウジングの外側における火炎温度を間接的に算出するための動圧センサなどの活用または配置に関連する方法に対する説明があるだけであるため、火炎温度測定の正確性に劣り、多数のセンサが複雑に装着されることにより設置やメンテナンスが難しいとの問題がある。また、浮遊性固形物（PM）を感知することができる具体的な方案ないし技術的手段に関しては如何なる言及もなく、これに対して開発が必要であるのが実情である。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明の目的は、ガスタービン燃焼器内で燃料が燃焼される時に発生する所定サイズ以上の浮遊性固形物（PM）を感知することができる新しい技術的手段を提示すると共に、燃焼器内の火炎温度を従来技術とは異なり直接測定方式で算出して、より正確な火炎温度測定がなされることができ、高コストな燃焼器に対する別途の構造変更や交替なしに、既に装着されている従来の燃焼診断チューブに容易に追加適用できる少ない部品数と単純な構造からなるガスタービン燃焼状態診断装置を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記目的は、一端部に開口部が設けられてガスタービン用燃焼器内側空間と連通され、他端部は外側に突出形成されてなる燃焼診断チューブ；上記燃焼診断チューブの一侧と連通されるように備えられ、上記燃焼診断チューブ内部に向かって赤外線が発生させる赤外線発振器；上記燃焼診断チューブ内に備えられ、上記赤外線の一部だけ上記燃焼器内側に第1反射させ、残りは透過させる二色光学ミラー；上記二色光学ミラーを介して反射された第1反射光のうち上記燃焼器内側の反射面によって戻ってくる第2反射光の強さを測定するために上記燃焼診断チューブの他端部に備えられる光センサ；及び、上記赤外線発振器及び上記光センサと連結されて制御し、測定された上記第2反射光の強さに基づいて上記燃焼器内の火炎に含まれる浮遊性固形物の多寡を判別する制御部；を含むことを特徴とするガスタービン燃焼状態診断装置によって達成される。

30

【0014】

上記ガスタービン燃焼状態診断装置は、上記赤外線のうち上記二色光学ミラーを透過した透過光を吸収できるように、上記赤外線発振器と対向する上記燃焼診断チューブの一侧にビームダンプを更に含むことができる。

40

【0015】

上記ガスタービン燃焼状態診断装置は、上記第2反射光が上記二色光学ミラーを透過した後、上記光センサに集光されることができるよう、上記光センサと上記二色光学ミラーの間に凸レンズを更に含むことができる。

【0016】

上記燃焼診断チューブは、上記開口部を通して上記燃焼器と連通される直線型のパイプ状に形成されたメインチューブと、上記メインチューブの一侧に突出形成され上記燃焼器の方に傾いたサブチューブとから構成され、上記赤外線発振器は、上記サブチューブの内側に装着され、 $1\mu\text{m}$ 以上の浮遊性固形物を円滑に検出できるように、波長が $0.5\mu\text{m}$ 乃至 $1.5\mu\text{m}$ である赤外線が発生させることができる。

50

【0017】

上記二色光学ミラーは、上記赤外線が上記燃焼器の方に向かって反射されることができ
る位置に設けられ、光透過率が50%であり得る。

【0018】

上記制御部は、上記燃焼器で燃焼がなされていない状態で上記赤外線発振器を作動させ
た後、上記光センサを通して上記第2反射光の強さを測定して初期値情報を生成し、上記
燃焼器で燃焼がなされる間、火炎から発生する自発光の強さを上記光センサを通して測定
して自発光強さ情報を生成し、上記燃焼器で燃焼が進行される間、所定の時間間隔ごとに
上記赤外線発振器を通して上記赤外線を発生させ、上記赤外線が上記第1、2反射光の形
態で上記燃焼器にて上記浮遊性固形物によって散乱された状態で上記第2反射光の強さを
上記光センサを通して測定して固形物測定情報を生成し、上記初期値情報、上記自発光強
さ情報及び上記固形物測定情報に基づいて火炎内の浮遊性固形物の量を定量的に算出する
ことができる。

10

【0019】

上記ガスタービン燃焼状態診断装置は、上記燃焼診断チューブの他端部に備えられ、上
記燃焼診断チューブを通して上記燃焼器の方に送信超音波を発生させる超音波送信機；及
び、上記燃焼診断チューブ内部に備えられ、上記送信超音波を受信して第1受信信号を生
成し、上記送信超音波のうち上記反射面によって戻ってくる反射波を受信して第2受信信
号を生成する超音波受信機；を含んで構成される火炎温度測定モジュールを更に含み、上
記制御部は、上記火炎温度測定モジュールと連結されて制御し、上記第1、2受信信号及
び上記超音波受信機と上記反射面との隔離距離（L）に基づいて上記燃焼器内の火炎温度
を測定することができる。

20

【0020】

上記制御部は、上記第1、2受信信号に基づいて上記送信超音波の受信から上記反射波
の受信までの遅延時間 Δt を算出し、速度式 $C_{\text{flame}} = 2L / \Delta t$ によって上記燃焼器内
での超音波の速度（ C_{flame} ）を算出した後、超音波速度と温度との関係式である式（1）
によって上記火炎温度を算出することができる。

【数1】

$$C_{\text{flame}} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad \dots (1)$$

30

【0021】

上記超音波受信機は、上記燃焼診断チューブ内部の第1超音波受信機と、上記燃焼器側
に離隔して備えられる第2超音波受信機とからなり、上記送信超音波を各々順次受信して
第1-1受信信号及び第2-1受信信号を生成し、上記送信超音波のうち上記燃焼器内側
の反射面によって戻ってくる上記反射波を各々順次受信して第2-2受信信号及び第1-
2受信信号を生成し、上記制御部は、上記第1-1受信信号、第2-1受信信号、第2-
2受信信号、第1-2受信信号、上記第1、2超音波受信機間の隔離距離（L1）、上記
第2超音波受信機と上記開口部との隔離距離（L2）及び上記開口部と上記燃焼器の反射
面との隔離距離（L3）に基づいて上記燃焼器内の上記火炎温度Tを測定することができ
る。

40

【0022】

上記制御部は、上記第1-1、2-1受信信号に基づいて遅延時間 Δt_1 を、上記第2-
1、2-2受信信号に基づいて遅延時間 Δt_2 を、上記第2-2、1-2受信信号に基づ
いて遅延時間 Δt_3 を各々算出し、速度式 $C_1 = L1 / \Delta t_1$ によって上記送信超音波
の速度（ C_1 ）を、速度式 $C_{\text{flame}} = 2(L2 + L3) / \Delta t_2$ によって上記燃焼器内
での超音波の速度（ C_{flame} ）を、速度式 $C_2 = L1 / \Delta t_3$ によって上記反射波の速度（
 C_2 ）を各々算出した後、超音波速度と温度との関係式である式（1）により上記火炎温
度Tを算出することができる。

【数 2】

$$C_{flame} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad \dots (1)$$

【0023】

上記制御部は、上記火炎温度 T の正確性を増大するために、上記第 2 超音波受信機から上記開口部までの隔離距離 (L_2) に対する上記送信超音波の遅延時間 Δt_4 を、上記送信超音波の速度 (C_1) を基に算出し、上記開口部から上記第 2 超音波受信機までの隔離距離 (L_2) に対する上記反射波の遅延時間 Δt_5 を、上記反射波の速度 (C_2) を基に算出した後、速度式 $C_{flame} = 2L_3 / (\Delta t_2 - \Delta t_4 - \Delta t_5)$ によって上記燃焼器内での超音波の速度 (C_{flame}) を算出することができる。

10

【0024】

上記制御部は、上記第 1-1、2-1 受信信号に基づいて算出された遅延時間 Δt_1 と、上記第 2-2、1-2 受信信号に基づいて算出された遅延時間 Δt_3 を相互比較して所定範囲以上の差があれば、計測エラー信号を生成することができる。

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、赤外線発振器から発生された赤外線が二色光学ミラーによって燃焼器の方に反射されて燃焼器内の火炎を通過した後、燃焼器の反射面によって再び燃焼診断チューブ内に反射された後、光センサを通して該当赤外線の強さが測定されるようにすることにより、火炎内の所定サイズ以上の浮遊性固形物 (PM) の発生有無を判別できるガスタービン燃焼状態診断装置を提供することができる。

20

更に、燃料の種類を問わず浮遊性固形物 (PM) の発生有無をリアルタイムで判別し対処できるようにすることにより、ガスタービンの燃料効率性の増大及びガスタービンの安定的な運用を図ることができ、ガスタービンの老朽化を低減することができる。

【0026】

また、燃焼器内の火炎の方を直接指向して送信超音波を送出する一つの超音波送信機と、送信超音波及び燃焼器内の火炎を横切って通過した反射波を各々受信する最大 2 個の超音波受信機を活用するアルゴリズムを利用して燃焼器内の火炎温度をより直接的に測定できるようになることにより、温度測定の精密性ないし正確性を増大できるガスタービン燃焼状態診断装置を提供することができる。

30

【0027】

このように精密且つ正確に測定された火炎温度及び燃焼温度による燃料 (新燃料を含む) 別有害物質排出特性グラフに基づいて、燃料の不完全燃焼有無をリアルタイムで正確に判断し対処できるようになることにより、燃料の燃焼効率性を向上させることができ、有害排気ガスの低減などをなすことができる。

【0028】

また、浮遊性固形物 (PM) の発生有無及び燃焼器内の火炎温度を判別ないし測定するための装置の部品数や構造を単純化することにより、設置やメンテナンスの容易性を図ることができ、高コストな燃焼器に対する別途の構造変更や交替なしに、既に装着されている従来の燃焼診断チューブに容易に追加適用できるガスタービン燃焼状態診断装置を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図 1】本発明によるガスタービン燃焼状態診断装置が適用されるガスタービンの全体を示した斜視図である。

【図 2】図 1 に表示された領域を拡大して本発明の第 1 実施例による燃焼状態診断装置の作動を説明するための図面である。

【図 3】図 2 の作動による区間別の赤外線の強さを示すグラフである。

【図 4】火炎温度測定モジュールが追加された第 2 実施例による燃焼状態診断装置の作動

50

を説明するための図面である。

【図５】火炎温度測定モジュールが追加された第３実施例による燃焼状態診断装置の作動を説明するための図面である。

【図６】図５の作動による受信信号と隔離距離との関係を示すグラフである。

【図７】ガスタービン用燃焼器内の火炎温度によるＣＯ排出特性を示すグラフである。

【図８】ガスタービン用燃焼器内の火炎温度によるＮＯ_x排出特性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【００３０】

以下、添付図面を参照して本発明の望ましい実施例を詳しく説明すれば、次の通りである。但し、本発明を説明するにあたって、既に公知となっている機能あるいは構成に関する説明は、本発明の要旨を明瞭にするために省略する。

【００３１】

図１は本発明によるガスタービン燃焼状態診断装置が適用されるガスタービンの全体を示した斜視図であり、図２は図１に表示された領域を拡大して本発明の第１実施例による燃焼状態診断装置の作動を説明するための図面であり、図３は図２の作動による区間別の赤外線強度を示す図面であり、図４は火炎温度測定モジュールが追加された第２実施例による燃焼状態診断装置の作動を説明するための図面であり、図５は火炎温度測定モジュールが追加された第３実施例による燃焼状態診断装置の作動を説明するための図面であり、図６は図５の作動による受信信号と隔離距離との関係を示す図面であり、図７はガスタービン用燃焼器内の火炎温度によるＣＯ排出特性を示すグラフであり、図８はガスタービン用燃焼器内の火炎温度によるＮＯ_x排出特性を示すグラフである。

【００３２】

本発明の説明に先立って、先ず、ガスタービン１０について簡単に考察すると、図１に示されているように、圧縮機１２、燃焼器２０、タービン１４及び排気口１６などを含んで構成される。

【００３３】

ガスタービン１０の作動は、圧縮機１２を通して圧縮された空気が燃焼器２０に流入されて噴射された燃料と共に燃焼され、この時発生した高温高压のガスが速く流動してタービン１４を回転させた後、排気口１６から排気ガスが外部に排出される方式になっている。

【００３４】

このようなガスタービン１０に装着されて使用される本発明によるガスタービン燃焼状態診断装置１００は、ガスタービン用燃焼器２０内の浮遊性固形物（ＰＭ）の発生有無を判別するために燃焼器２０の一側に備えられる。

【００３５】

ガスタービン燃焼状態診断装置１００には本発明で扱う浮遊性固形物（ＰＭ）判別装置の他にも多様な診断装置、すなわち燃焼器２０内の圧力を測定する圧力センサ（動圧センサ、マイクロフォンなど）や燃焼診断チューブ１１０の方に伝播される火炎の自発光信号からラジカル信号を受信する装置などが装着され得る。

【００３６】

本発明によるガスタービン燃焼状態診断装置１００は、ガスタービンの燃焼器２０内の所定サイズ以上の浮遊性固形物（ＰＭ）を検知ないし判別するために、燃焼診断チューブ１１０、赤外線発振器１２０、二色光学ミラー１３０、光センサ１４０及び制御部１５０などを含んで構成され、追加的にビームダンプ１６０及び凸レンズ１７０を更に含むことができる。

【００３７】

以下では上述の燃焼状態診断装置１００の各構成について具体的に考察する。

【００３８】

燃焼診断チューブ１１０は、上述のような診断装置が装着される空間が設けられた構成要素であって、長いパイプ状に形成され、一端部に開口部１１０ａが設けられて燃焼器２

10

20

30

40

50

0の内側空間と連通され、他端部は外側に突出形成されてなる。

【0039】

このように燃焼診断チューブ110が燃焼器20から外側に長く突出形成されたパイプ状に製作されることにより、ここに装着された診断装置は燃焼器20で発生する高温高压の火炎にもかかわらず安定的に駆動されることができる。また、これにより、燃料燃焼時に発生する自発光信号や音響波信号のような火炎状態基礎情報及び後述する第2反射光RL2などが燃焼診断チューブ110の内側に円滑に伝播されることができる。

【0040】

より具体的には、本発明の第1実施例による燃焼診断チューブ110は、開口部110aを通して燃焼器20と連通される直線型のパイプ状に形成されたメインチューブ112と、メインチューブ112の一侧に突出形成され燃焼器20の方に傾いたサブチューブ114とから構成される。

10

【0041】

メインチューブ112は、その長手方向が後述する燃焼器の反射面20aと直角をなすように形成される。これは、二色光学ミラー130を介して反射された第1反射光RL1が燃焼器の反射面20aを介して180°反射された後、第2反射光RL2の形態で燃焼診断チューブ110の内側に向かって円滑に伝播されることができるようにするためである。ここで、燃焼器の反射面20aとは、燃焼器20の内側面のうち二色光学ミラー130を介して反射された第1反射光RL1が再び反射される面を特定したものであって、必ずしも反射のための特別な処理がなされた面を意味するものではない。

20

【0042】

また、サブチューブ114は、赤外線発振器120の装着空間を提供するためにメインチューブ112の一侧から外方に突出形成される。これは、赤外線発振器120がメインチューブ112の内側空間に設けられると、光センサ140に向かう第2反射光RL2の進行が赤外線発振器120によって干渉ないし回折されて正確な第2反射光RL2の強さ測定がなされ得ないためである。

【0043】

この時、サブチューブ114は燃焼器20の方に傾いて形成され、これは、二色光学ミラー130との入射角（または反射角）を狭めて円滑な反射がなされるようにするためである。

30

【0044】

一方、図面には示されていないが、燃焼診断チューブ110と燃焼器20が連結される部分には整備用バルブ（図示せず）が装着されることができる。これは、燃焼状態診断装置100の整備や交換が必要な場合、整備用バルブを閉めた後、燃焼状態診断装置100を燃焼器20から安全に分離できるようにするためである。

【0045】

赤外線発振器120は、可視光線よりも波長が長く電子レンジに利用されるマイクロ波よりは波長が短い光線である赤外線IL（infrared）を放出する装置であり、燃焼診断チューブ110の内部に赤外線ILを照射ないし発生させるために燃焼診断チューブ110の一侧と連通されるように備えられる。より具体的には、メインチューブ112の一侧から外方に突出形成され燃焼器20の方に傾斜をなすサブチューブ114の内側に設けられる。

40

【0046】

このような赤外線発振器120の具体的構造ないし構成および赤外線発生原理などは、既に公知となっている技術に該当するため具体的な説明は省略するが、本発明の理解に関連する部分ではこれを具体的に説明することにする。

【0047】

本発明で用いられる赤外線ILは、電磁波（光）のうちの一つで特有の性質、すなわち、直進性と屈折性を有するのはもちろんのこと、物体とぶつかると物体の性質によって反射または／および透過され、小さい粒子などと衝突すると色々な方向に散らばりながら散

50

乱 (scattering) され、粒子性と波動性の特徴を併せ持っている。

【0048】

本発明によるガスタービン燃焼状態診断装置100は、上述の赤外線ILの特徴を大部分利用することになるが、そのうち特に小さい粒子と衝突する時に発生する散乱現象を利用して浮遊性固形物 (PM) の発生有無を判別することになり、これはまさに本発明の技術的核心をなす。

【0049】

ここで、散乱現象は、赤外線ILの波長と粒子のサイズによって各々多様な形態の散乱がなされることになるが、そのうち選択的散乱であるレイリー散乱 (Rayleigh Scattering) 及びミー散乱 (MS) (Mie scattering、MS) と、非選択的散乱 (non-selective scattering) について簡単に考察する。

先ず、レイリー散乱 (Rayleigh scattering) は、粒子のサイズが非常に小さくて光の波長よりも小さい時に起きる散乱であり、粒子のサイズよりも光の波長が長くなると散乱される量が急激に減る特性を示す。ここで、散乱される量が急激に減るということは、照射された光の強さがほとんど減少しないまま直進性を維持するという意味で理解されることができる。

【0050】

また、ミー散乱 (MS) (Mie scattering、MS) は、粒子のサイズが光の波長と似ている場合に起きる散乱であり、光の進行方向である前方に散乱 (前方散乱) の量が集中し、反対側である後方には散乱 (後方散乱) の量が少ない特性を示す。ここで、前方散乱が集中し後方散乱が弱化するということは、照射された光の強さが後方散乱の発生分だけ弱化するが光の直進性を大きく阻害しないという意味で理解されることができる。

【0051】

また、非選択的散乱 (non-selective scattering) は、粒子のサイズが光の波長よりも大きい時に起きる散乱であり、ミー散乱 (MS) とは逆に、後方散乱の量が集中し屈折や回折が発生するという特性がある。ここで、後方散乱の量が集中するということは、ミー散乱 (MS) の場合よりも照射された光の強さ及び直進性がより弱化するという意味で理解されることができる。

【0052】

上述の光の強さ、すなわち、光度 (I) は、単位立体角当たりの光束 (F) を意味するものであり、光度公式 (式 (2)) (但し、 $d\omega$: 微小立体角 (sterad)、 dF : $d\omega$ 内の光束)

【数3】

$$I = \frac{dF}{d\omega} [cd, lm/sterad, candela] \quad \dots (2)$$

及び光束公式 (式 (3)) (但し、 P_λ : 分光放射束 [$W \cdot \mu^{-1}$]、 K_λ : 視感度 [lm/W]、 λ : 波長 [μ]、 K_m : 最大視感度 680 [lm/W]、 V_λ : 比視感度)

【数4】

$$F = \int K_\lambda P_\lambda d\lambda = \int K_m V_\lambda P_\lambda d\lambda [lm] = \int I d\omega [lm] \quad \dots (3)$$

により、散乱の強弱によって照射された光の強さが減少することが分かる。また、光の粒子性に照らして見るとき、空气中粒子による散乱が発生することになれば、照射された光が周辺に散らばることによりその強さが減少することを容易に理解することができる。

【0053】

本発明の第1実施例による赤外線発振器120は、波長が $0.5 \mu m$ 乃至 $1.5 \mu m$ である赤外線ILを発生するように製作される。

【0054】

10

20

30

40

50

上述の波長範囲の赤外線 I L を選択した理由は、ガスタービン 10 の作動に悪影響を及ぼす可能性があり、排気ガスに含まれた時に環境汚染の問題を誘発し得る略 1 μm 以上の浮遊性固形物を円滑に検出するためである。

【0055】

すなわち、より具体的にこれを説明すれば、波長が略 1 μm である赤外線 I L が燃焼器 20 内に照射される場合、燃焼器 20 内の 1 μm 波長より小さいサイズの浮遊性固形物 (PM) にはレイリー散乱が発生して、照射された赤外線 I L の強さ及び直進性は留意すべき水準に弱化しない。その反面、1 μm 波長と似たサイズの浮遊性固形物 (PM) にはミー散乱 (MS) が発生して、照射された赤外線 I L の強さが後方散乱分だけ多少弱化するが、赤外線 I L の直進性は大きく阻害されない。また、1 μm 波長より大きい浮遊性固形物 (PM) には非選択的散乱によって後方散乱が集中することにより、照射された赤外線 I L の強さ及び直進性は大きく弱化する。

10

【0056】

従って、燃焼器 20 内の火炎に含まれた浮遊性固形物 (PM) のサイズによって変化された赤外線 I L の強さが後述する光センサ 140 によって連続的に測定されることにより、制御部 150 は浮遊性固形物 (PM) の多寡を判別できるのである。このような判別過程に関する具体的な説明は、以下の制御部 150 に関連する説明で行うこととする。

【0057】

二色光学ミラー 130 は、燃焼診断チューブ 110 の側面から突出されたサブチューブ 114 に設けられた赤外線発振器 120 から発生された赤外線 I L を燃焼器 20 の方に反射すると共に、燃焼器の反射面 20a によって燃焼診断チューブ 110 の内側に戻ってくる第 2 反射光 RL2 を透過させて光センサ 140 に到達できるようにするために設けられる構成要素である。

20

【0058】

このような機能を行えるように二色光学ミラー 130 は、サブチューブ 114 が形成された側の燃焼診断チューブ 110 内で一定角度だけ傾くように備えられ、発生された赤外線 I L の一部を燃焼器 20 の内側に第 1 反射させ、残りの赤外線 I L は透過させるように構成される。

【0059】

この時、光反射率と光透過率は、赤外線発振器 120 から発生された赤外線 I L の強さの強弱によって可変となる。但し、光反射率と光透過率の変更は、燃焼器 20 を経て燃焼診断チューブ 110 の内側に戻ってきた後、二色光学ミラー 130 を透過した第 2 反射光 RL2 の強さ変化が光センサ 140 によって精密に感知されることが出来る限度内で多様になされ得る。

30

【0060】

本発明の第 1 実施例による二色光学ミラー 130 は、光反射率と光透過率が発生された赤外線 I L に対して各々 50 % になるように製作され、発生された赤外線 I L が燃焼器 20 の方を指向して反射されることが出来るようにする位置及び傾きで燃焼診断チューブ 110 内に設けられる。

【0061】

ここで光反射率及び光透過率を 50 % に設定した理由は、第一に、発生された赤外線 I L の円滑な反射を図り、第二に、燃焼器 20 を経ながら強さが弱化した第 2 反射光 RL2 が二色光学ミラー 130 を透過した後、光センサ 140 を通してその弱化した強さの程度を容易に把握できるようにするためである。

40

【0062】

もし光反射率が 50 % より大きく光透過率が低いと、光透過率により第 2 反射光 RL2 の強さが小さくなって光センサ 140 を通して第 2 反射光 RL2 の弱化した強さの程度を精密に測定することが難しいとの問題が発生する。また、光反射率が 50 % より小さく光透過率が高いと、光透過率により第 2 反射光 RL2 の強さが大きくなって浮遊性固形物 (PM) の散乱による赤外線 I L の微細な強さ変化を光センサ 140 によって感知すること

50

が難しいとの問題が発生することになる。従って、二色光学ミラー１３０の光反射率及び光透過率は５０％に設定することが、第２反射光ＲＬ２の微細な強さ変化を感知するために望ましい。

【００６３】

一方、本発明による燃焼状態診断装置１００に追加可能な構成であるビームダンプ１６０は、発生された赤外線ＩＬのうち二色光学ミラー１３０を透過した透過光ＴＬを吸収するために設けられる構成要素である。

【００６４】

ビームダンプ１６０は、略１μm以上の赤外線ＩＬの波長に対して８５％乃至９５％の吸収率を有する炭素すす、カーボングラファイト、石綿または鉄酸化面などが形成されたブロックで具現されることができる。

10

【００６５】

ビームダンプ１６０を設ける理由は、赤外線ＩＬのうち二色光学ミラー１３０を透過した透過光ＴＬによる影響を受けずに、燃焼器２０内の浮遊性固形物（ＰＭ）により散乱されてその強さが減少した第２反射光ＲＬ２の強さだけが完全に光センサ１４０を通して測定されるようにするためである。これを通して燃焼器２０内の浮遊性固形物（ＰＭ）の発生状態がより正確に判別できる。

【００６６】

上述のビームダンプ１６０の機能を忠実に遂行するために、本発明の第１実施例によるビームダンプ１６０は、二色光学ミラー１３０を中心に赤外線発振器１２０が設けられた位置と相互対向する燃焼診断チューブ１１０の一側に設けられる。この時、透過光ＴＬの吸収が効率的になされ得るように、ビームダンプ１６０は燃焼診断チューブ１１０の内側面が外方にくぼんでなるくぼみ部１１６の内側に設けられるのが望ましい。

20

【００６７】

光センサ１４０は、二色光学ミラー１３０を介して反射された第１反射光ＲＬ１のうち燃焼器内側の反射面２０aによって戻ってくる第２反射光ＲＬ２の強さを測定するために燃焼診断チューブの他端部（図面上、上端部）に備えられる構成要素である。

【００６８】

本発明の第１実施例による光センサ１４０は、感知された赤外線（特に、第２反射光ＲＬ２）の強さに比例して電圧ないし電流を生成する公知の装置（光ダイオード、ＰＭＴ）で具現される。このような光センサ１４０の具体的構造ないし構成および測定原理などは、既に公知の技術に当たるため、具体的な説明は省略する。

30

【００６９】

光センサ１４０は、赤外線発振器１２０から連続的に発生される赤外線ＩＬが反射されて第２反射光ＲＬ２の形態で光センサ１４０まで伝播されてくると、その強さを電圧ないし電流の形態に算出した後、制御部１５０に該当測定値を連続的に伝達する。

【００７０】

一方、本発明による燃焼状態診断装置１００に追加可能な構成である凸レンズ１７０は、二色光学ミラー１３０を透過した第２反射光ＲＬ２が光センサ１４０の受光部の方に集光ないし捕集されることができるようにするために設けられる構成要素である。

40

【００７１】

このような凸レンズ１７０は、光センサ１４０と二色光学ミラー１３０の間でレンズの焦点が光センサ１４０の受光部に置かれるようにする位置に設けられる。

【００７２】

凸レンズ１７０を通して第２反射光ＲＬ２が光センサ１４０の受光部の方に捕集されることにより、光センサ１４０はより精密且つ正確に第２反射光ＲＬ２の強さを一貫して測定できるようになる。よって、第２反射光ＲＬ２の強さが微差を示しても、これを有意意味な測定情報として活用できるようになる。

【００７３】

制御部１５０は、上述の赤外線発振器１２０及び光センサ１４０だけでなく、その他の

50

多様な診断装置と電氣的に相互連結されて、これらから生成された信号ないし情報を受信し、これらを制御するための制御信号を送出し、必要に応じて受信された信号ないし情報を保存するか表示装置を通して表示する構成要素に該当する。

【0074】

このような制御部150は、燃焼器20で発生する高温高圧による影響を受けずに安定的に作動できるように燃焼器20と離隔された一側に設けられ、MCU (micro controller unit)、マイコン (micro computer) などのような小型または常用コンピュータなどで具現される。

【0075】

MCU、マイコンのようなコンピュータ装置、すなわち、制御部150を通した赤外線発振器120及び光センサ140などのような診断装置の特定目的（浮遊性固形物（PM）の発生有無、火炎温度測定、圧力測定など）は、機械語（machine language）などのようなプログラミング言語にコーディングされることにより具現される。診断装置の制御のための機械語コーディングに関連する部分は、当業者の水準において多様な方式でなされ得るため、これに関する具体的な説明は省略する。

【0076】

但し、本発明の技術的核心である赤外線ILを利用した浮遊性固形物（PM）の発生有無判別に関連するアルゴリズムが、制御部150を通してどのように行われるかを中心に以下説明することにする。

【0077】

本発明による制御部150は、基本的に赤外線発振器120及び光センサ140と連結され、これらを制御するのはもちろんのこと、光センサ140を通して測定された第2反射光RL2の強さに基づいて燃焼器20内の火炎に含まれた浮遊性固形物（PM）の多寡を判別する。

【0078】

制御部150を通した浮遊性固形物（PM）の多寡を判別する原理を簡単に説明すると、次の通りである。

【0079】

すなわち、燃焼器20内で燃焼が全くなされていない時（浮遊性固形物（PM）が全くない時）に測定された第2反射光RL2の強さを測定する。そして、燃焼器20内で燃料の燃焼がなされている間に測定された第2反射光RL2の強さを測定する。そして、制御部150を通して各測定値を相互比較した後、強さの差が大きければ（散乱がたくさん発生することを意味）、火炎内の浮遊性固形物（PM）の量は多いと判別する。

【0080】

但し、本発明の第1実施例による制御部150は、赤外線発振器120及び光センサ140と連結された状態で初期値情報（IVI）、自発光強さ情報（SLI）及び固形物測定情報（PMI）に基づいて浮遊性固形物（PM）の量を定量的に算出する。

【0081】

これは、使用燃料によって変わる火炎温度の差に起因する自発光による影響を考慮して、浮遊性固形物（PM）の量をより定量的且つ精密に算出することができる基準を設けるためである。

【0082】

このような第1実施例による制御部150の浮遊性固形物（PM）判別アルゴリズムを図3を参照してより具体的に説明すれば、次の通りである。

【0083】

先ず、制御部150は、燃焼器20で燃焼がなされていない状態で赤外線発振器120を一時的に作動させた後、光センサ140を通して第2反射光RL2の強さを測定して、図3のような初期値情報（IVI）を生成する。これは、以後測定される固形物測定情報（PMI）との比較基準にするためである。

【0084】

10

20

30

40

50

次に、制御部 150 は、赤外線発振器 120 を作動させていない状態で、燃焼器 20 で燃焼がなされている間に火炎から発生する自発光の強さを光センサ 140 を通して測定して、図 3 のような自発光強さ情報 (SLI) を生成する。

【0085】

ここで自発光とは、燃焼時に火炎自体から放射される赤外線 IL を意味するものであり、プランクの法則によれば、火炎温度が高いほど強い自発光 (赤外線) が発生する。よって、制御部 150 は、このような自発光の強さによる影響値を考慮してより定量的且つ精密に浮遊性固形物 (PM) の量を算出できるように自発光強さ情報 (SLI) を生成する。

【0086】

次に、制御部 150 は、燃焼器 20 内で燃料の燃焼が進行される間、所定の時間間隔ごとに又は連続的に赤外線発振器 120 を通して赤外線 IL を発生させる。

【0087】

次に、制御部 150 は、発生された赤外線 IL が第 1、2 反射光 RL1、RL2 の形態で燃焼器 20 で浮遊性固形物 (PM) によって散乱された後、光センサ 140 を通して燃焼診断チューブ 110 内に反射されて戻ってきた第 2 反射光 RL2 の強さを測定して、図 3 のような固形物測定情報 (PMI) を生成する。このときの光センサ 140 は、赤外線発振器 120 に起因した第 2 反射光 RL2 だけでなく、燃焼器 20 内の火炎に起因した自発光自体の赤外線 IL に対する強さまでも共に測定する。

【0088】

最後に、制御部 150 は、赤外線 IL の強さ (電圧 (V) または電流 (A) で表示) に関する情報である初期値情報 (IVI)、自発光強さ情報 (SLI) 及び固形物測定情報 (PMI) に基づいて火炎内の浮遊性固形物 (PM) の量を定量的に算出する。

【0089】

ここで制御部 150 を通して浮遊性固形物 (PM) の量を定量的に算出する過程をより具体的に説明すれば、先ず上述の過程で獲得された 3 つの情報に基づいて純粋に浮遊性固形物 (PM) による散乱だけで減殺された赤外線の強さ (ΔD) を $\Delta D = IVI - (PMI - SLI) = (IVI + SLI) - PMI$ から算出 (自発光による影響値を各々考慮したものである) する。

【0090】

そして、このように算出された散乱減殺 (ΔD) が発生する間、ガスタービン 10 の排気口 16 から排出された排気ガスに含まれた浮遊性固形物 (PM) の全般的な粒子サイズ及び量を統計的に算出する。

【0091】

最後に、上述の 2 つの過程を数回ないし数十回繰り返して散乱減殺 (ΔD) の程度によってマッチングされる浮遊性固形物 (PM) の粒子サイズ及び量をデータ化すれば、一つの関数形態 (主に散乱減殺 (ΔD) 量に比例して粒子サイズ及び量も大きくなる) が導出され、このような関数関係に基づいて制御部 150 は散乱減殺 (ΔD) の量を演算した後、浮遊性固形物 (PM) のサイズ及び量を定量的に算出できるようになる。

【0092】

本発明によるガスタービン燃焼状態診断装置 100 は、ガスタービンの燃焼器 20 内の火炎温度 T を精密且つ正確に測定するために、第 1 実施例のような構成に超音波送信機 182 及び超音波受信機 184 からなる火炎温度測定モジュール 180 を更に含んで構成される。

【0093】

以下では、説明の便宜のために、燃焼器 20 内の火炎温度 T を精密且つ正確に測定するための火炎温度測定モジュール 180 を中心に説明する。

【0094】

超音波送信機 182 は、可聴周波数よりも大きい 20 kHz 以上の周波数を発生させる装置であって、燃焼診断チューブ 110 の他端部 (図面上、上端部側) に備えられ、燃焼

10

20

30

40

50

診断チューブ 110 を通して燃焼器 20 の方に送信超音波 S U を送出できるように超音波送信機 182 の方向は燃焼器の反射面 20 a を指向するように設けられる。

【0095】

これにより超音波送信機 182 から送出された送信超音波 S U は、燃焼診断チューブ 110 の内側空間に沿って伝播される途中で一部が後述の超音波受信機 184 によって受信される。そして、残りの送信超音波 S U は、燃焼器 20 内の火炎を横切って伝播された後、燃焼器の反射面 20 a によって戻ってくる反射波 R U の形態で再び燃焼診断チューブ 110 の内側空間に伝播される。

【0096】

このような超音波送信機 182 の具体的構造ないし構成および超音波発生原理は、既に公知の技術であるため、具体的な説明は省略する。

10

【0097】

但し、以下説明される内容の理解を助けるために、空気中での超音波速度 C (音波) は一般的に $C = 331.6 + 0.6 \times t \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (m/s)}$ の関係式で表現されることができ、温度 ($t \text{ } ^\circ\text{C}$) と比例関係をなすため、超音波速度 C が分かれば逆に温度 ($t \text{ } ^\circ\text{C}$) を概略的に判断することができるという程度のみ言及することにする。

【0098】

本発明の第 2、3 実施例による超音波送信機 182 は、略 30 kHz ~ 1000 kHz 帯域の送信超音波 S U を発生させる超音波送信機 182 が使用され得る。この時、使用される周波数帯域は、燃焼器 20 で燃焼される燃料の種類、ガスタービン 10 の種類や方式及び燃焼環境などを考慮して任意選択することができる。但し、高温、高圧の燃焼環境による影響を比較的少なく受け優れた分析能を有する高周波数帯域の超音波が燃焼器 20 内の火炎温度 T の測定に使用されるようにすることが望ましい。

20

【0099】

一方、本発明の第 2、3 実施例による超音波送信機 182 は、図 4 及び図 5 に示したように、燃焼診断チューブ 110 の側面の方に少し傾いて設けられる。これは、他の診断装置、すなわち圧力センサや自発光信号受信装置などとの干渉を回避するためである。

【0100】

この時、超音波送信機 182 が燃焼診断チューブ 110 の側面の方に少し傾いて設けられても、超音波送信機 182 から送出される送信超音波 S U は燃焼診断チューブ 110 に沿って伝播されながら直進性を有することになるため、火炎温度 T の測定に大きい影響を及ぼさない。

30

【0101】

但し、超音波送信機 182 は、他の診断装置との干渉がない限度内で燃焼器の反射面 20 a と直接対向するように燃焼診断チューブ 110 の中央の方に設けられれば、送信超音波 S U の反射によって生成された反射波 R U が燃焼診断チューブ 110 の方に円滑に伝播されることができ、火炎温度 T のより正確な測定がなされ得る。

【0102】

このような超音波送信機 182 は、燃焼状態診断装置 100 が所定時間毎にリアルタイムで火炎温度 T を測定できるように、後述の制御部 150 の制御を通して所定間隔をおいて送信超音波 S U を発生させる。

40

【0103】

超音波受信機 184 は、超音波を受信して受信信号すなわち、パルス波 (またはアナログ波) 形態の電氣的信号 (S) 及び受信した時の時刻情報 (t) を共に生成する装置であって、燃焼器 20 の方向に超音波送信機 182 と所定距離をおいて燃焼診断チューブ 110 内部に設けられる。

【0104】

本発明による超音波受信機 184 は、超音波送信機 182 側と燃焼器の反射面 20 a 側の両方を指向して各々送信超音波 S U と反射波 R U を両方とも受信できるように両方型受信機の形態に製作される。このような超音波受信機 184 の基本的な構造ないし構成及び

50

受信信号発生原理などは、既に公知の技術であるため、具体的な説明は省略する。

【0105】

本発明の第2実施例による超音波受信機184は、図4に示されているように、燃烧診断チューブ110内部に1個が備えられ、送信超音波SUを受信して第1受信信号($S1-t_1$)を生成し、送信超音波SUのうち燃烧器内側の反射面20aによって戻ってくる反射波RUを受信して第2受信信号($S1-t_2$)を生成する。

【0106】

すなわち、第2実施例による超音波受信機184は、両方向の超音波を受信するように形成され、超音波送信機182から送出された送信超音波SUを一面で受信してパルス波形態の電気的信号($S1$)とその時の時刻情報(t_1)を生成する。

10

【0107】

そして、第2実施例による超音波受信機184は、燃烧器の反射面20a側から伝播されて戻ってくる反射波RUを他面で受信してパルス波形態の電気的信号($S1$)とその時の時刻情報(t_2)を生成する。

【0108】

一方、本発明の第3実施例による超音波受信機184は、図5に示されているように、燃烧診断チューブ110内部に長手方向に沿って離隔された状態で2個が備えられ、超音波送信機182と隣接する第1超音波受信機184aと、燃烧器20側に隣接する第2超音波受信機184bとからなる。この時、第1、2超音波受信機184a、184bも、超音波送信機182側と燃烧器の反射面20a側を両方とも指向する両方型受信機の形態に製作される。

20

【0109】

このような第1超音波受信機184aと第2超音波受信機184bは、先ず超音波送信機182から送出された送信超音波SUを各々順次受信して第1-1受信信号($S11-t_1$) (第1超音波受信機184a)及び第2-1受信信号($S21-t_2$) (第2超音波受信機184b)を生成する。そして、第2超音波受信機184bと第1超音波受信機184aは、送信超音波SUのうち燃烧器内側の反射面20aによって戻ってくる反射波RUを各々順次受信して第2-2受信信号($S22-t_3$)及び第1-2受信信号($S12-t_4$)を生成する。

【0110】

30

この時、第1、2超音波受信機184a、184b間の離隔配置は、隔離距離がL1を維持する限度内で、図面に示されているように、相互一直線上に置かれるように配列されることができる。但し、第1、2超音波受信機184a、184b自体が伝播される送信超音波SU及び反射波RUの移動を干渉することなく各々が送信超音波SU及び反射波RUを円滑に受信することができるように燃烧診断チューブ110の内周面上で相互一直線上に置かれないように配置することが望ましい。

【0111】

制御部150は、上述の超音波送信機182及び超音波受信機184と電氣的に連結されて、これらから生成された信号ないし情報を受信し、これらを制御するための制御信号を送出することになり、一般的な内容は先に詳述した通りである。

40

【0112】

従って、以下では、火災温度測定モジュール180の火災温度Tの測定に関連するアルゴリズムが制御部150を通してどのように行われるかを中心に説明することにする。

【0113】

本発明の第2実施例による制御部150の場合、超音波送信機182及び超音波受信機184と連結された状態で第1、2受信信号($S1-t_1$ 、 $S1-t_2$)及び超音波受信機184と反射面20aとの隔離距離(L)に基づいて燃烧器20内の火災温度Tを測定する。

【0114】

より具体的には、図4を参照して説明すれば、先ず、制御部150が超音波送信機18

50

2を制御して所定時間間隔で送信超音波SUを発生させると、両方向超音波受信機184は送信超音波SU及び反射波RUを各々受信して第1、2受信信号(S1-t₁、S1-t₂)を生成する。

【0115】

次に、第1、2受信信号(S1-t₁、S1-t₂)を受信した制御部150は、第1、2受信信号(S1-t₁、S1-t₂)に基づいて送信超音波SUの受信から反射波RUの受信までの遅延時間Δt(t₂-t₁)を算出した後、速度式C_{flame}=2L/Δtによって燃焼器20内の超音波の速度(C_{flame})を算出する。

【0116】

最後に、制御部150は、算出された超音波の速度値(C_{flame})及び定数値である

10

及びR値を超音波速度と温度との関係式である式(1)に代入して火炎温度Tを算出する。

【数5】

$$C_{flame} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad \dots (1)$$

この時、γは比熱比(定積モル比熱に対する定圧モル比熱の比)、Rは気体定数値、Tは火炎温度(絶対温度)を意味し、比熱比と気体定数値は燃焼状態によって各々補正された値を持つ定数であり、データベースに保存された状態で制御部150に入力されて火炎温度Tの演算に利用される。

20

【0117】

上述の超音波速度と温度との関係式は、理想気体方程式に由来した実際の空気に対する気体方程式及び波動方程式から誘導される速度式を整理して得られたものであり、既に知られている式であるため具体的な誘導過程などに関する説明は省略する。

【0118】

以上考察した第2実施例によるガスタービン燃焼状態診断装置100は、従来のように燃焼器20の外側に設けられたセンサを通して間接的に火炎温度Tを測定する方式ではなく、燃焼器20内の火炎を横切って伝播される超音波を利用して測定する方式であるため、従来に比べて燃焼器20内部の火炎温度Tをより精密且つ正確に測定することができる

30

【0119】

また、1個の超音波送信機182と1個の両方向超音波受信機184のみを利用して燃焼器20の火炎温度を測定することができるため、従来に比べて部品数が飛躍的に減少するのはもちろんのこと、単純な構造で具現されることにより、メンテナンスの容易性を図ることができ、高コストな燃焼器20に対する別途の構造変更や交替なしに、既に運用されている燃焼器20及び燃焼診断チューブ110に容易に追加装着されて適用されることができる。

【0120】

その反面、本発明の第3実施例による制御部150は、第1-1受信信号(S11-t₁)、第2-1受信信号(S21-t₂)、第2-2受信信号(S22-t₃)及び第1-2受信信号(S12-t₄)と、第1、2超音波受信機184a、184b間の隔離距離(L1)、第2超音波受信機184bと開口部110aとの隔離距離(L2)及び開口部110aと燃焼器の反射面20aとの隔離距離(L3)に基づいて燃焼器20内の火炎温度Tを測定する。

40

【0121】

より具体的には、図5及び図6を参照して説明すれば、次の通りである。

【0122】

先ず、制御部150が超音波送信機120を制御して所定時間間隔で送信超音波SUを発生させると、両方向の第1、2超音波受信機184a、184bの一面は順次に送信超

50

音波SUを受信して第1-1受信信号(S11-t₁)、第2-1受信信号(S21-t₂)を生成する。そして、第2超音波受信機184bと第1超音波受信機184aは順次に反射波RUを受信して第2-2受信信号(S22-t₃)及び第1-2受信信号(S12-t₄)を生成する。

【0123】

次に、上記の4つの受信信号を順次に受信した制御部150は、第1-1、2-1受信信号(S11-t₁、S21-t₂)に基づいて遅延時間Δt₁(=t₂-t₁)を、第2-1、2-2受信信号(S21-t₂、S22-t₃)に基づいて遅延時間Δt₂(=t₃-t₂)を、上記第2-2、1-2受信信号(S22-t₃、S12-t₄)に基づいて遅延時間Δt₃(=t₄-t₃)を各々算出する。

10

【0124】

また、速度式C₁=L1/Δt₁によって送信超音波SUの速度(C₁)を、速度式C_{flame}=2(L2+L3)/Δt₂によって燃焼器20内での超音波の速度(C_{flame})を、速度式C₂=L1/Δt₃によって上記反射波RUの速度(C₂)を各々算出する。

最後に、制御部150は、定数である

r

値及びR値と算出された超音波の速度値(C₁、C₂、C_{flame})のうちC_{flame}値のみを超音波速度と温度との関係式である式(1)に代入して火炎温度Tを算出することができる。

【数6】

20

$$C_{flame} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad \dots (1)$$

但し、この時の火炎温度Tは、L2区間とL3区間にわたって伝播ないし反射される超音波の平均速度に基づくものであるため、純粋な燃焼器20の区間(L3)での超音波平均速度に基づいた場合よりも正確度が劣り得る。

【0125】

ここで、γは比熱比(定積モル比熱に対する定圧モル比熱の比)、Rは気体定数値、Tは火炎温度(絶対温度)を意味し、比熱比と気体定数値は燃焼状態によって各々補正された値を持つ定数であり、データベースに保存された状態で制御部150に入力されて火炎温度Tの演算に利用されることは、第1実施例と同じである。

30

【0126】

以上考察した第3実施例によるガスタービン燃焼状態診断装置100は、従来のように燃焼器20の外側に設けられたセンサを通して間接的に火炎温度Tを測定する方式ではなく、燃焼器20内の火炎を横切って伝播される超音波を利用して測定する方式である。従って、従来に比べて燃焼器20内部の火炎温度Tをより精密且つ正確に測定することができることは、第2実施例と同じである。

【0127】

また、第3実施例によるガスタービン燃焼状態診断装置100は、第2実施例と比較する時、両方向超音波受信機184がもう1個追加された形態であるが、従来に比べて部品数が減少し、単純な構造で具現された点は同じであるため、メンテナンスの容易性を図ることができる。そして、高コストな燃焼器20に対する別途の構造変更や交替なしに、既に運用されている燃焼器20及び燃焼診断チューブ110に容易に追加装着されて適用されることができる。

40

【0128】

一方、燃焼診断チューブ110の長手方向に沿って両方向超音波受信機184をもう1個追加すると共に開口部110aと第2超音波受信機184bとの離隔区間(L2)を追加で区切る形態で第3実施例を具現した理由は、より正確な火炎温度Tを測定し、超音波の回折、干渉、重畳や燃焼器20内の物理的要因による超音波受信機184の計測エラーなどを是正するためである。

50

【0129】

すなわち、火炎温度 T の測定の正確性をより増大するために、制御部 150 は既に算出された超音波の速度値である C_{flame} 値だけでなく、 C_1 及び C_2 値全てを次のように活用する。

【0130】

まず、制御部 150 は、第 2 超音波受信機 184b から開口部 110a までの隔離距離 (L_2) に対する送信超音波 SU の遅延時間 Δt_4 を、 L_1 区間での送信超音波 SU の速度である C_1 を基に速度式 $\Delta t_4 = L_2 / C_1$ によって算出する。

【0131】

ここで、 L_1 区間の速度値である C_1 値を L_2 区間の速度値として扱って速度式を適用した理由は、 L_1 区間と L_2 区間は燃焼診断チューブ 110 上で相互隣接した区間であるため温度差が大きくなり、同じ送信超音波 SU であるため伝播速度の連続性を認めても留意すべき水準の誤差が生じないからである。

10

【0132】

次に、制御部 150 は、開口部 110a から第 2 超音波受信機 184b までの隔離距離 (L_2) に対する反射波 RU の遅延時間 Δt_5 を、 L_1 区間での反射波 RU の速度である C_2 を基に速度式 $\Delta t_5 = L_2 / C_2$ によって算出する。ここでも L_1 区間の速度値である C_2 値を L_2 区間の速度値として扱って速度式を適用した理由は、 L_1 区間と L_2 区間は燃焼診断チューブ 110 上で相互隣接した区間であるため温度差が大きくなり、同じ反射波 RU であるため伝播速度の連続性を認めても留意すべき水準の誤差が生じないからである。

20

【0133】

最後に、制御部 150 は、算出された Δt_4 及び Δt_5 に基づいて速度式 $C_{flame} = 2L_3 / (\Delta t_2 - \Delta t_4 - \Delta t_5)$ によって純粋な燃焼器 20 の区間 (L_3) 内での超音波速度 (C_{flame}) を算出する (図 6 参照)。そして、制御部 150 は、超音波速度と温度との関係式である式 (1) に算出された C_{flame} を代入して先の場合よりも正確な火炎温度 T を算出する。

【数 7】

$$C_{flame} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad \dots (1)$$

30

【0134】

一方、制御部 150 は、超音波の回折、干渉、重畳や燃焼器 20 内の物理的要因による超音波受信機 184 の計測エラーなどを是正するために、次のようなアルゴリズムを行うことができる。

【0135】

制御部 150 は、送信超音波 SU に対する受信信号である第 1-1、2-1 受信信号 ($S11-t_1$ 、 $S21-t_2$) に基づいて算出された遅延時間 $\Delta t_1 (= t_2 - t_1)$ と、反射波 RU に対する受信信号である第 2-2、1-2 受信信号 ($S22-t_3$ 、 $S12-t_4$) に基づいて算出された遅延時間 $\Delta t_3 (= t_4 - t_3)$ を相互比較して所定範囲以上の差があれば計測エラー信号を生成する。

40

【0136】

すなわち、要約すれば、送信超音波 SU に対する L_1 区間の遅延時間 Δt_1 と反射波 RU に対する L_1 区間の遅延時間 Δt_3 を相互比較するのである (これは、先に算出された超音波の速度 C_1 と C_2 を相互比較することと同じである)。

【0137】

上述の方式で計測エラーを判断することができる理由は、次の通りである。

【0138】

もし超音波送信機 182 から送信超音波 SU が送出された後、反射波 RU として戻ってくる過程で回折、干渉やその他物理的要因による影響を全く受けない理想的な場合ならば

50

、同じ区間であるL1では送信超音波SUの速度(C_1)と反射波RUの速度(C_2)は相互同一になるはずであり、L1区間に対して各々算出された遅延時間 Δt_1 と Δt_3 も同一になるはずである。

【0139】

しかし、理想的ではない場合ならば、物理的要因などによる影響が大きくなるほど、L1区間での速度(C_1 、 C_2)はもちろん、遅延時間 Δt_1 と Δt_3 との差異も大きくなることを容易に予想することができる。よって、L1区間での速度 C_1 と C_2 との差異(または遅延時間 Δt_1 と Δt_3)が所定範囲以上になれば、このような状態で算出された火炎温度Tの測定値は信頼できなくなるため、制御部150は計測エラー信号を生成することになるのである。

10

【0140】

ここで所定範囲とは、使用者の必要に応じて適切に加減されて定められ得るものであり、火炎温度Tの測定の正確性をより追求するならば、該当範囲を狭く設定することが望ましい。

【0141】

結局、制御部150は、算出された Δt_1 と Δt_3 との差異が所定範囲以上になれば、使用者等に計測エラーの通知等がなされるようにすると共に、新しい火炎温度測定のために超音波送信機182から送信超音波SUを直ちに送出するように制御できる。

【0142】

また、図7に示されているように、ガスタービン用燃焼器20内の火炎温度Tが略1300℃以下でCO排出が飛躍的に増加する燃焼の特性を考慮して、制御部150は算出された火炎温度Tが略1300℃以下の場合、一酸化炭素(CO)発生危険信号を生成するように具現されることができる。

20

【0143】

その反面、図8に示されているように、ガスタービン用燃焼器20内の火炎温度Tが略1600℃以上でNO_x排出が飛躍的に増加する燃焼の特性を考慮して、制御部150は算出された上記火炎温度Tが略1600℃以上の場合、窒素酸化物(NO_x)発生危険信号を生成するように具現されることができる。

【0144】

図7及び図8に提示されているガスタービン10の燃焼特性グラフは、本発明の出願人がInternational Journal of Hydrogen Energyで発表した論文内容のうちFig 9及びFig 7に基づく資料である。

30

(<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03603199>参照)

【0145】

上述のように制御部150によって生成された発生危険信号(計測エラー信号など)は、ガスタービン10のコントロールパネル(図示せず)等に伝達されて作業員へ表示されるようになされ得る。

【0146】

このように本発明によって測定された火炎温度T及び燃焼温度による燃料別(新燃料、すなわち、IGCC、Bio gas、DME(Dimethyl Ether)、SNG(Synthetic Natural Gas)などを含む)有害物質排出特性グラフに基づいて、燃料の不完全燃焼有無をリアルタイムで正確に判断し対処できるようになることにより、燃料の燃焼効率性を向上させることができ、有害排気ガスの低減などを可能にする。

40

【0147】

以上考察した第2、3実施例によれば、浮遊性固形物(PM)の定量的測定及び火炎温度Tの測定が同時に可能になるため、温度と浮遊性固形物(PM)の発生との相関関係が分かるようになるのはもちろんのこと、一酸化炭素(CO)及び窒素酸化物(NO_x)のような有害ガスと浮遊性固形物(PM)との相関関係、燃焼不安定の増幅や減殺に対する予測などを総合的に判断することができるようになる。

50

【0148】

以上、本発明の特定の実施例を説明し図示したが、本発明は記載の実施例に限定されるものではなく、本発明の思想及び範囲を逸脱せずに多様な修正及び変形が可能であることは、当該技術分野で通常の知識を有する者にとって自明なことである。従って、かかる修正例または変更例は、本発明の技術的思想や観点から個別的に理解されてはならず、変形された実施例は本発明の特許請求の範囲に属するものとしなければならない。

【産業上の利用可能性】

【0149】

本発明によるガスタービン燃焼状態診断装置によれば、赤外線発振器から発生された赤外線が二色光学ミラーによって燃焼器の方に反射され、燃焼器内の火炎を通過してから、燃焼器の反射面によって燃焼診断チューブ内に戻ってくるようにした後、光センサを通して該当赤外線の強さが測定されるようにして、燃料の種類を問わず所定サイズ以上の浮遊性固形物（PM）の発生有無を判別できるようにすることにより、ガスタービンの燃料効率性の増大及びガスタービンの安定的な運用が図られ、ガスタービンの老朽化が低減されるという点で、既存技術の限界を飛び越えて関連技術に対する利用だけではなく、適用される装置の販売または営業の可能性が十分であるばかりか、現実的に明白に実施可能な程度であるため、産業上の利用可能性のある発明である。

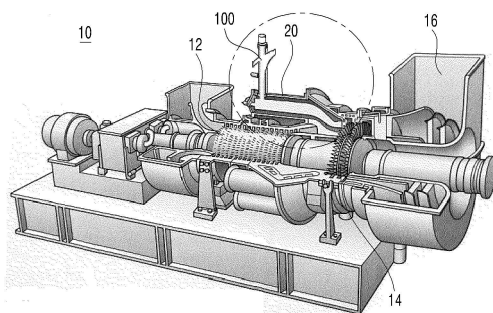
【符号の説明】

【0150】

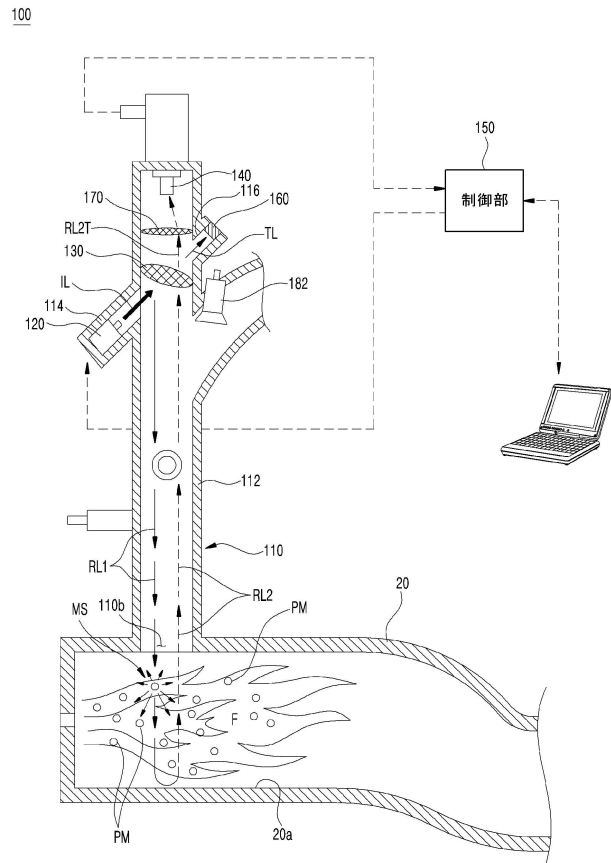
I L	： 赤外線	10
R L 1	： 第 1 反射光	
R L 2	： 第 2 反射光	
T L	： 透過光	
S U	： 送信超音波	
R U	： 反射波	
S 1 - t ₁	： 第 1 受信信号	
S 1 - t ₂	： 第 2 受信信号	
S 1 1 - t ₁	： 第 1 - 1 受信信号	
S 1 2 - t ₄	： 第 1 - 2 受信信号	
S 2 1 - t ₂	： 第 2 - 1 受信信号	30
S 2 2 - t ₃	： 第 2 - 2 受信信号	
1 0	： ガスタービン	
1 2	： 圧縮機	
1 4	： タービンブレード	
1 6	： 排気口	
2 0	： 燃焼器	
2 0 a	： 反射面	
1 0 0	： 本発明によるガスタービン燃焼状態診断装置	
1 1 0	： 燃焼診断チューブ	
1 1 0 a	： 開口部	40
1 1 2	： メインチューブ	
1 1 4	： サブチューブ	
1 1 6	： くぼみ部	
1 2 0	： 赤外線発振器	
1 3 0	： 二色光学ミラー	
1 4 0	： 光センサ	
1 5 0	： 制御部	
1 6 0	： ビームダンブ	
1 7 0	： 凸レンズ	
1 8 0	： 火炎温度測定モジュール	50

- 182：超音波送信機
- 184：超音波受信機
- 184a：第1超音波受信機
- 184b：第2超音波受信機

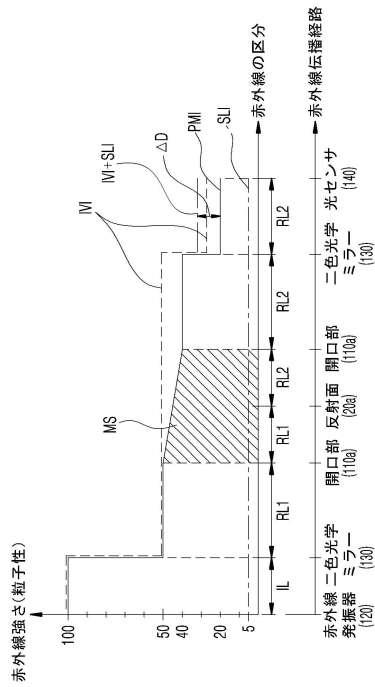
【図1】



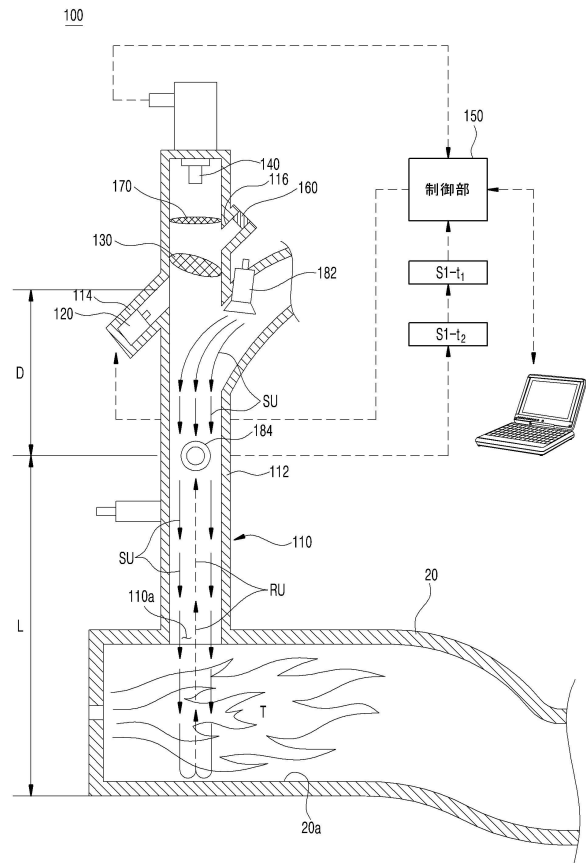
【図2】



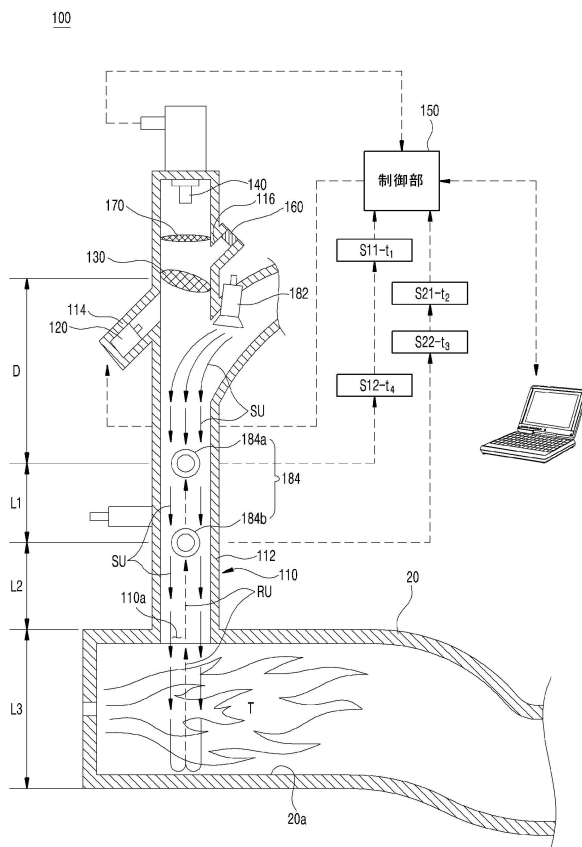
【図 3】



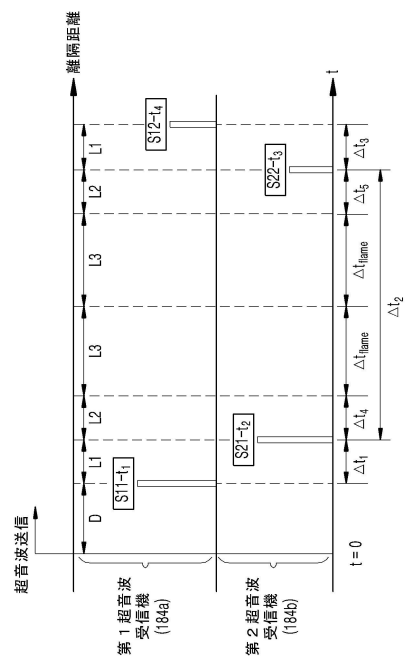
【図 4】



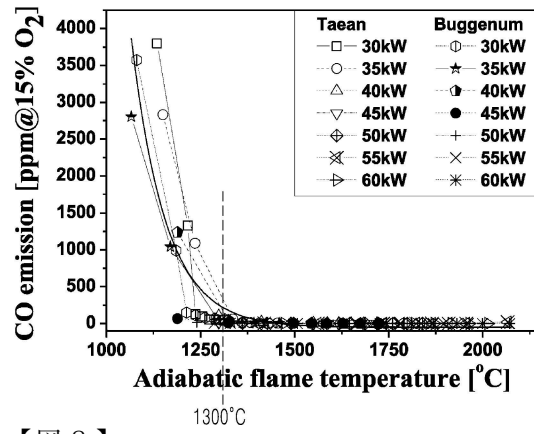
【図 5】



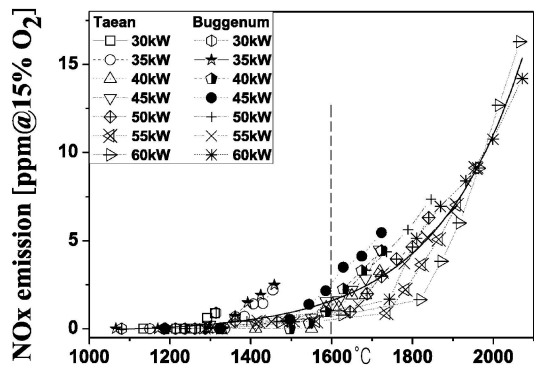
【图 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
<i>G 0 1 J</i>	<i>1/02</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>G 0 1 J</i>	<i>1/02</i>	<i>J</i>
<i>G 0 1 J</i>	<i>1/42</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>G 0 1 J</i>	<i>1/42</i>	<i>C</i>
<i>G 0 1 N</i>	<i>29/024</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>G 0 1 N</i>	<i>29/024</i>	

特許法第30条第2項適用 ウェブサイト アドレス <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319915015712>、掲載日 平成27年7月23日

(74)代理人 100125450
弁理士 河野 広明

(72)発明者 イ・ミン チョル
大韓民国、インチョン、22009、ヨンスク、コンベンシアデーロ 274ボンギル、15、2303-2904 (ソンドドン、ソンド ザ シャープ マスター ビュー)

審査官 瀬戸 康平

(56)参考文献 特開2013-72730 (JP, A)
米国特許出願公開第2015/0345791 (US, A1)
特表2009-515079 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F 0 2 C 7/00, 9/00
F 2 3 R 3/00
G 0 1 N 21/00
DWPI (Derwent Innovation)