

(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2016-186464

(P2016-186464A)

(43) 公開日 平成28年10月27日(2016.10.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1N 21/39 (2006.01)	GO1N 21/39	2F056
GO1N 21/3504 (2014.01)	GO1N 21/3504	2G059
GO1N 21/3554 (2014.01)	GO1N 21/3554	3K003
F23N 5/00 (2006.01)	F23N 5/00 G	3K005
F23N 1/02 (2006.01)	F23N 1/02 IO1	

審査請求 未請求 請求項の数 8 OL (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-66847 (P2015-66847)
 (22) 出願日 平成27年3月27日 (2015.3.27)

(71) 出願人 000006208
 三菱重工業株式会社
 東京都港区港南二丁目16番5号
 (74) 代理人 110000785
 誠真IP特許業務法人
 (72) 発明者 岡 裕貴
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
 (72) 発明者 西宮 立享
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
 (72) 発明者 川添 浩平
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
 Fターム(参考) 2F056 TZ07

最終頁に続く

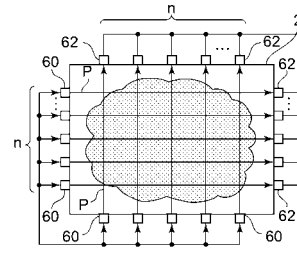
(54) 【発明の名称】 ガス分析装置、燃焼設備の制御システム及び制御支援システム、並びに、ガス分析方法

(57) 【要約】

【課題】 燃焼炉内の燃焼ガスが均一に緩和されていない系におけるガス濃度分布及び温度分布を精度よく分析する。

【解決手段】 ガス分析装置は、燃焼炉内の燃焼ガスに含まれる同一成分の少なくとも2つの電子準位遷移に対応する吸収波長を含むレーザ光の吸収量を複数の計測パス上で測定する測定部と、基準ガス濃度分布及び基準温度分布を設定する基準設定部と、実測された吸収量と基準吸収量との偏差が最小となるように、ガス濃度分布及び温度分布を変数として含む二次元分布関数を解くことにより、ガス濃度分布及び温度分布を求める解析部と、を備える。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

燃焼炉内の燃焼ガスの濃度分布及び温度分布を分析するガス分析装置であって、
前記燃焼ガスに含まれる同一成分の少なくとも 2 つの電子準位遷移に対応する吸収波長を含むレーザ光を、前記燃焼ガスを通過するように設けられた複数の計測パス上で照射することにより前記レーザ光の吸収量を測定する測定部と、
前記測定部の計測結果に基づいて基準ガス濃度分布及び基準温度分布を設定する基準設定部と、
前記計測部で計測された吸収量と、前記基準ガス濃度分布及び前記基準温度分布に基づいて求められる基準吸収量との偏差が最小となるように、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を変数として含む関数を解くことにより、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を求める解析部と、
を備えることを特徴とするガス分析装置。

10

【請求項 2】

前記関数は、前記燃焼炉の形状に対応するように設定されることを特徴とする請求項 1 に記載のガス分析装置。

【請求項 3】

前記関数は、円柱座標系に対し、中心軸位置、座標の楕円化率、周方向分布項の少なくとも 1 をパラメータとして含むように設定されることを特徴とする請求項 2 に記載のガス分析装置。

20

【請求項 4】

前記基準設定部は、前記複数の計測パスにおける前記レーザ光に含まれる異なる電子準位遷移に対応する波長における吸収量の比に基づいて求められた前記燃焼ガスの平均温度に基づいて、前記基準濃度分布及び前記基準温度分布を設定することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のガス分析装置。

【請求項 5】

前記同一成分は H_2O であることを特徴とする請求項 4 に記載のガス分析装置。

【請求項 6】

前記燃焼炉に燃料を供給するように構成された燃料供給手段と、
前記燃焼炉に空気を供給するように構成された空気供給手段と、
請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のガス分析装置と、
前記ガス分析装置によって分析された前記ガス濃度分布及び前記温度分布に基づいて、前記燃料供給手段及び前記空気供給手段を調整することにより、前記燃焼炉への前記燃料及び前記空気の供給量を制御する制御手段と、
を備えることを特徴とする燃焼設備の制御システム。

30

【請求項 7】

前記燃焼炉に燃料を供給するように構成された燃料供給手段と、
前記燃焼炉に空気を供給するように構成された空気供給手段と、
請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のガス分析装置と、
前記ガス分析装置によって分析された前記ガス濃度分布及び前記温度分布を表示するよう
に構成された表示手段と、
を備えることを特徴とする燃焼設備の制御支援システム。

40

【請求項 8】

燃焼炉内の燃焼ガスの濃度分布及び温度分布を分析するガス分析方法であって、
前記燃焼ガスに含まれる同一成分の少なくとも 2 つの電子準位遷移に対応する吸収は超を含むレーザ光を、前記燃焼ガスを通過するように設けられた複数の計測パス上で照射することにより前記レーザ光の吸収量を測定する測定工程と、
前記測定工程の計測結果に基づいて基準ガス濃度分布及び基準温度分布を設定する基準設定工程と、
前記計測工程で計測された吸収量と、前記基準ガス濃度分布及び前記基準温度分布に基

50

づいて求められる基準吸収量との偏差が最小となるように、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を変数として含む関数を解くことにより、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を求める解析工程と、

を備えることを特徴とするガス分析工程。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、燃焼炉内のガス濃度分布及び温度分布を分析するガス分析装置、該ガス分析装置を備える燃焼設備の制御システム及び制御支援システム、並びに、該ガス分析装置によって実施されるガス分析方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

燃料を燃焼させるボイラやゴミを燃焼させるゴミ焼却炉のような燃焼設備では、燃焼炉内で物質が燃焼されることで高温の燃焼空気（ガス）が生成される。燃焼設備では、燃焼状態を最適化又はモニタリングするために、燃焼炉内におけるガス濃度分布や温度分布を計測することが望まれている。このような燃焼炉内のガス濃度分布や温度分布は、一般的にガス濃度や温度が不均一であり、燃焼炉の規模が比較的小さい場合には、燃焼炉内のいくつかのポイントで実測することで、ある程度の精度で把握可能であるが、燃焼炉の規模が大きくなると計測手法は限られる。この種の計測手法の一つとして、燃焼炉に設けられた複数のレーザポートから燃焼炉内の燃焼空気を通過するようにレーザ光が照射される複数の計測パスにおいて、レーザ光の吸収量の積算値をコンピュータのような演算処理装置で解析することにより、ガス濃度及び温度を二次元分布として算出することが知られている。

20

【0003】

このような手法では、レーザ照射が行われる計測パス毎に解析パラメータが設定される。そのため解析精度を向上するためには、レーザポート数を十分多く設けることが必要である。しかしながら、ボイラのような実際の燃焼設備では、燃焼炉の内壁には燃焼炉内の燃焼空気によって加熱される液体（冷却水）が流れる配管が敷設されているため、設置可能なレーザポートの数が限られている。

【0004】

30

このような問題に対する解決策の一つが特許文献1に開示されている。特許文献1では、レーザ計測される燃焼炉内の二次元空間をメッシュ分割し、各メッシュにおけるレーザ吸収量に基づいてガス濃度値を算出する。そして、各メッシュにおけるガス濃度の分布が連続的なガウシアンプロセス（G P : G a u s s i a n P r o c e s s）であるとの仮定のもと、ベイジアン手法で解を探索することでガス濃度分布を求めることが開示されている。このように特許文献1では、連続性条件を満たすことを条件とすることで、解析パラメータ数が比較的少ない場合であっても信頼性のある解析結果を得られるとされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0005】

【特許文献1】特表2006-522938

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1のようなレーザ光を用いた濃度計測は、燃焼空気に含まれる成分に対応する電子準位遷移に依存する吸収量に基づくものであるが、このようなレーザ吸収量は濃度だけでなく燃焼空気の温度にも依存する特性を有する。特許文献1では、レーザ吸収量に基づいて求められる濃度分布に連続性条件を課すことによって実際に近い濃度分布を求められるとしている。しかしながら、レーザ吸収量から濃度を導き出す過程において、レーザ

50

吸収量の温度依存性が加味されておらず、十分な解析精度を実現できないおそれがある。

【0007】

本発明の少なくとも1実施形態は上述の問題点に鑑みたものであり、燃焼炉内の燃焼ガスが均一に緩和されていない系におけるガス濃度分布及び温度分布を精度よく分析可能なガス分析装置、燃焼設備の制御システム及び制御支援システム、並びに、ガス分析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】

【0008】

(1)本発明の少なくとも1実施形態に係るガス分析装置は上記課題を解決するために、燃焼炉内の燃焼ガスの濃度分布及び温度分布を分析するガス分析装置であって、前記燃焼ガスに含まれる同一成分の少なくとも2つの電子準位遷移に対応する吸収波長を含むレーザ光を、前記燃焼ガスを通過するように設けられた複数の計測パス上で照射することにより前記レーザ光の吸収量を測定する測定部と、前記測定部の計測結果に基づいて基準ガス濃度分布及び基準温度分布を設定する基準設定部と、前記計測部で計測された吸収量と、前記基準ガス濃度分布及び前記基準温度分布に基づいて求められる基準吸収量との偏差が最小となるように、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を変数として含む関数を解くことにより、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を求める解析部と、を備える。

10

【0009】

上記(1)の構成によれば、燃焼空気を通過する複数の計測パスにおけるレーザ光の吸収量に基づいてガス濃度分布及び温度分布を求める際に、基準設定部で設定された基準分布から求められる基準吸収量と計測部で計測された吸収量との偏差が最小になるように、ガス濃度分布及び温度分布を変数として含む関数を数値解析的に解くことによりガス濃度分布及び温度分布を求める。このような関数は濃度分布及び温度分布を共通の変数として含むため、濃度及び温度間に相関関係があるという実現象的背景を反映することができ、より実際の分布に近い解析解が得られると共に、ガス濃度と温度が吸収量に与える影響の切り分けが可能になる(例えば温度上昇による吸収量減少と、ガス濃度低下による吸収量減少の切り分けができる)。このように本実施形態によれば、燃焼炉に設置可能なレーザポート数が限られている状況下においても、レーザ光の吸収量の温度依存性が加味された、より実際の系に近いガス濃度分布及び温度分布を効率的に求めることができる。

20

30

【0010】

(2)幾つかの実施形態では、上記(1)の構成において、前記関数は前記燃焼炉の形状に対応するように設定される。

【0011】

上記(2)の構成によれば、分析対象である燃焼ガスのある燃焼炉の形状に応じた関数を採用することにより、解析時に関数を解く際により実際に近い解を効率的に探索できる。

【0012】

(3)幾つかの実施形態では、上記(2)の構成において、前記関数は、円柱座標系に対し、中心軸位置、座標の楕円化率、周方向分布項の少なくとも1をパラメータとして含むように設定される。

40

【0013】

上記(3)の構成によれば、これらのパラメータによって燃焼炉の形状を規定することで、より少ないパラメータ数でガス濃度分布及び温度分布を表現することができる。これにより、関数を解く際の演算負担が軽減されると共に、実際の系に近い解を効率的に探索することができる。

【0014】

(4)幾つかの実施形態では、上記(1)から(3)のいずれか1構成において、前記基準設定部は、前記複数の計測パスにおける前記レーザ光に含まれる異なる電子準位遷移に対応する波長における吸収量の比に基づいて求められた前記燃焼ガスの平均温度に基づい

50

て、前記基準濃度分布及び前記基準温度分布を設定する。

【0015】

上記(4)の構成によれば、複数の計測パスにおけるレーザ吸収量に基づいて燃焼炉内の平均温度を算出し、当該平均温度に基づいて基準濃度分布及び基準温度分布を設定する。このように設定された基準濃度分布及び基準温度分布は、関数を数値解析的に解く際に、最終的な解を効率的に探索するのに適切な初期値となる。例えば、基準温度分布は、燃焼炉内の温度分布が上記求めた平均温度で緩和している状態であると設定してもよいし、収束解析演算においてマルカート法等を用いる場合には当該分布に勾配を付加するように設定してもよい。

【0016】

(5)幾つかの実施形態では、上記(4)の構成において、前記同一成分は H_2O である。

【0017】

上記(5)の構成によれば、 H_2O は例えば O_2 、 CO_2 等と比べて隣り合う2つの電子準位遷移に対応する吸収波長域が比較的近い範囲に存在する。そのため、例えば波長走査型のレーザダイオードの駆動電流を制御することでレーザ光の波長を走査する場合に、単一のレーザダイオードの走査範囲内で隣り合う2つの電子準位遷移をカバーすることができるため、装置構成を単純にすることができる。

【0018】

(6)本発明の少なくとも1実施形態にかかる燃焼設備の制御システムは上記課題を解決するために、前記燃焼炉に燃料を供給するように構成された燃料供給手段と、前記燃焼炉に空気を供給するように構成された空気供給手段と、上記(1)から(5)のいずれか1構成のガス分析装置と、前記ガス分析装置によって分析された前記ガス濃度分布及び前記温度分布に基づいて、前記燃料供給手段及び前記空気供給手段を調整することにより、前記燃焼炉への前記燃料及び前記空気の供給量を制御する制御手段と、を備える。

【0019】

上記(6)の構成によれば、燃焼炉におけるガス分析によって得られたガス濃度分布及び温度分布に基づいて燃料供給手段及び空気供給手段を調整することにより、燃焼炉への燃料及び空気の供給量を制御できる。これにより、燃焼炉における燃焼ガスの温度アンバランスや酸素供給の過多・不足を解消した最適な運転を実現し、発電端効率の向上や、 O_2 過多による NO_x 生成の増加を抑えることができる。

【0020】

(7)本発明の少なくとも1実施形態にかかる燃焼設備の制御支援システムは上記課題を解決するために、前記燃焼炉に燃料を供給するように構成された燃料供給手段と、前記燃焼炉に空気を供給するように構成された空気供給手段と、請求項1から5のいずれか1項に記載のガス分析装置と、前記ガス分析装置によって分析された前記ガス濃度分布及び前記温度分布を表示するように構成された表示手段と、を備える。

【0021】

上記(7)の構成によれば、上記ガス分析装置の分析結果をディスプレイのような表示手段に表示して可視化することで、燃焼設備のオペレータが燃焼炉内の燃焼状態を容易に把握可能とすることで、オペレータによる燃料状態の調整作業を効率化することができる。

【0022】

(8)本発明の少なくとも1実施形態にかかるガス分析方法は上記課題を解決するために、燃焼炉内の燃焼ガスの濃度分布及び温度分布を分析するガス分析方法であって、前記燃焼ガスに含まれる同一成分の少なくとも2つの電子準位遷移に対応する吸収は超を含むレーザ光を、前記燃焼ガスを通過するように設けられた複数の計測パス上で照射することにより前記レーザ光の吸収量を測定する測定工程と、前記測定工程の計測結果に基づいて基準ガス濃度分布及び基準温度分布を設定する基準設定工程と、前記計測工程で計測された吸収量と、前記基準ガス濃度分布及び前記基準温度分布に基づいて求められる基準吸収量

10

20

30

40

50

との偏差が最小となるように、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を変数として含む関数を解くことにより、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を求める解析工程と、を備える。

【0023】

上記(8)の方法は、上述のガス分析装置(上記各種構成を含む)により好適に実施可能である。

【発明の効果】

【0024】

本発明の少なくとも1実施形態によれば、燃焼炉内の燃焼ガスが均一に緩和されていない系におけるガス濃度分布及び温度分布を精度よく分析可能なガス分析装置、燃焼設備の制御システム及び制御支援システム、並びに、ガス分析方法を提供できる。

10

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の少なくとも1実施形態に係るガス分析装置を備える燃焼設備の構成を示す模式図である。

【図2】図1の燃焼炉の各領域を説明するための模式図である。

【図3】図1のA-A線の断面図である。

【図4】図1の赤外線計測解析ユニットの構成を示すブロック図である。

【図5】図4の赤外線計測解析ユニットによって実施されるガス分析方法を工程毎に示すフローチャートである。

【図6】計測レーザ受光系で測定される吸収スペクトルの一例である。

20

【図7】図4の赤外線計測解析ユニットによって実施される配分制御手段の制御方法を工程毎に示すフローチャートである。

【図8】図8は本発明の他の実施形態に係る燃焼装置の構成を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

30

また例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

【0027】

まず図1乃至図3を参照して、本発明の少なくとも1実施形態に係るガス分析装置を備える燃焼設備1の全体構成について説明する。図1は本発明の少なくとも1実施形態に係るガス分析装置を備える燃焼設備1の構成を示す模式図であり、図2は図1の燃焼炉の各領域を説明するための模式図であり、図3は図1のA-A線の断面図である。

40

【0028】

燃焼設備1は、燃料を燃焼させる燃焼炉2と、該燃焼炉2で生成された燃焼空気を案内する煙道4と、燃焼空気から熱エネルギーを取得する再熱器ユニット6と、燃焼炉2内への燃料及び空気の供給を調整することで燃焼炉2内における燃焼状態を制御する燃焼制御装置8と、燃焼炉2内の燃焼空気(ガス)を分析するガス分析装置10と、を備える。

【0029】

燃焼炉2は、耐熱性材料が用いられた壁面で略箱形状に囲まれるように構成される。燃焼炉2では、後述する燃焼制御装置8から供給される燃料及び空気が燃焼されることで高

50

温の燃焼空気が生成される。燃焼炉 2 は鉛直方向上側が開放されており、当該開放された箇所が煙道 4 に接続されている。燃焼炉 2 で生成された高温の燃焼空気は、煙道 4 に案内されるように流路を形成する。

【0030】

再熱器ユニット 6 は複数の再熱器から構成されており、燃焼炉 2 及び煙道 4 における燃焼空気の流路上に配置されている。再熱器は内部に液体又は気体が封入された管状の部材からなる。再熱器に封入されている液体又は気体は、高温の燃焼空気と熱交換することにより熱エネルギーを取得し、蒸気となる。この蒸気は再加熱ユニット 6 から所定の経路を通り、不図示のタービンを回転駆動させることで、熱エネルギーを電気エネルギー又は機械的エネルギーに変換して出力可能に構成されている。

10

このように燃焼設備 1 は発電機、駆動機として機能するが、このような用途に限定されず、例えば、再熱器ユニット 6 で取得した熱エネルギーにより任意の物質を加熱する加熱機として用いられてもよい。

【0031】

燃焼制御装置 8 は、燃焼炉 2 内に供給される燃料及び空気を調整することにより、燃焼炉 2 内における燃焼状態を制御する。燃焼制御装置 8 は、燃焼炉 2 にそれぞれ燃料及び空気を供給する燃料供給手段 1 2 及び空気供給手段 1 4 を備える。

【0032】

燃料供給手段 1 2 は、燃料を燃焼させる微粉炭バーナ（以下、適宜「バーナ」と称する）1 6 と、燃料である微粉炭を供給する微粉炭供給部 1 8 と、燃料を搬送するための送風を発生させる送風機 2 0 と、燃料の流量を調整するための流量調整弁 2 2 と、これらを互いに接続する配管 2 4 と、を備える。

20

微粉炭供給部 1 8 は燃料を配管 2 4 に供給するように構成された機構である。配管 2 4 に供給された微粉炭は送風機 2 0 によって配管 2 4 中を搬送され、流量調整弁 2 2 を介して空気供給手段 1 4 の主配管 3 2 から導入された空気と混合された後、バーナ 1 8 に供給される。バーナ 1 8 は、噴射口が燃焼炉 2 の内側に露出するように設置された燃焼機であり、配管 2 4 を介して供給された燃料を噴射し、燃焼炉 2 内で燃焼させる。

【0033】

尚、バーナ 1 8 は、燃焼炉 2 内の複数箇所に配置されており、好ましくは各バーナ 1 8 から噴射される空気により燃焼炉 2 内に渦状の空気の流れることができるようにレイアウトされるとよい。

30

尚、微粉炭供給部 2 2 は、石炭を粉砕して微粉炭を生成し、該生成した微粉炭を配管 2 0 に供給する機構であってもよいし、予め生成された微粉炭を貯留しておき、該貯留された微粉炭を配管 2 0 に供給する機構であってもよい。

【0034】

空気供給手段 1 4 は、燃焼炉 2 に一次空気及び二次空気をそれぞれ供給する一次空気供給ユニット 2 6 及び二次空気供給ユニット 2 8 と、上述の燃料供給部 1 2 と共に一次空気供給ユニット 2 6 及び二次空気供給ユニット 2 8 に空気を送るプロア又はファンである送風機 3 0 と、これらを接続する主配管 3 2 とを備える。

一次空気供給ユニット 2 6 は、吹出口 3 4 が燃焼炉 2 に露出するように配置された第 1 配管 3 6 と、該第 1 配管 3 6 における空気の流量を調整に構成された流量調整弁 3 8 と、を備える。第 1 配管 3 6 は、流量調整弁 3 8 を介して主配管 3 2 に接続されており、送風機 3 0 によって主配管 3 2 に取り込まれた空気を吹出口 3 4 に導入可能に構成されている。吹出口 3 4 は、燃焼炉 2 内の燃焼空気の流路のうち、バーナ 1 6 より下流側に設けられている。流量調整弁 3 8 は、主配管 3 2 と第 1 配管 3 6 との接続部に配置されており、主配管 3 2 から第 1 配管 3 6 に供給される空気の量を調整する。

40

【0035】

二次空気供給ユニット 2 8 は、吹出口 4 0 が燃焼炉 2 に露出するように配置された第 2 配管 4 2 と、該第 2 配管 4 2 における空気の流量を調整可能に構成された流量調整弁 4 4 と、を備える。第 2 配管 4 2 は、流量調整弁 4 4 を介して主配管 3 2 に接続されており、

50

送風機 30 によって主配管 32 に取り込まれた空気を吹出口 40 に導入可能に構成されている。吹出口 40 は、燃焼炉 2 内の燃焼空気の流路のうち、吹出口 34 より下流側に設けられている。流量調整弁 44 は、主配管 32 と第 2 配管 42 との接続部に配置されており、主配管 32 から第 2 配管 42 に供給される空気の量を調整する。

【0036】

配分制御手段 46 は、流量調整弁 22, 38, 44 の開度を調整することにより、送風機 30 によって取り込まれた空気を燃料供給手段 12、一次空気供給ユニット 26 及び二次空気供給ユニット 28 に対して所定比率で振り分ける。本実施形態では、配分制御手段 46 は制御室に設置された赤外線計測解析ユニットからの制御信号に基づいて自動的に制御されるように構成されている。

10

【0037】

上記構成によって燃焼炉 2 の内部には、図 2 に示されるように、上流側から下流側に向けて、バーナ燃焼域 48、未燃燃料存在還元域 50、燃焼完結域 52 の領域が形成される。ここで、バーナ燃焼域 48 は、バーナ 16 から噴射される燃料が燃焼される領域であり、吹出口 34 より上流までの領域である。未燃燃料存在還元域 50 は、吹出口 34 及び吹出口 40 から空気が供給されることにより、未反応の燃料と吹出口 34 及び吹出口 40 から供給された空気とが反応する領域であり、吹出口 34 及び吹出口 40 間の領域、つまり、二次空気が供給される領域である。燃焼完結域 52 は、残っている燃料と空気とが反応する領域であり、吹出口 40 より下流側から、燃焼炉 2 及び煙道 4 の接続部までの領域である。

20

【0038】

再び図 1 に戻って、ガス分析装置 10 は、燃焼炉 2 の燃焼空気に計測用に照射されるレーザー光を制御する計測レーザー制御部 54 と、該照射されたレーザー光を受光することにより計測結果を解析するとともに解析結果に基づいて配分制御手段 46 を制御する赤外線計測解析ユニット 56 と、該解析結果を表示する二次元計測結果表示部 58 と、を備える。

【0039】

計測レーザー送光系 60 及び計測レーザー受光系 62 は、計測レーザー送光系 60 から照射されたレーザー光が、燃焼炉 2 内の燃焼空気を通過した後、計測レーザー受光系 62 にて受光されるように、燃焼炉 2 の互いに対向する位置に設置されている。本実施形態では特に、計測レーザー送光系 60 及び計測レーザー受光系 62 が吹出口 40 より下流側に略水平方向に沿った二次元平面上に設けられることにより、燃焼完結域 52 にある燃焼空気を分析可能に構成されている。

30

【0040】

計測レーザー送光系 60 には、赤外線領域の波長帯を有するレーザー光を発信可能なレーザーダイオードが含まれる。当該レーザーダイオードは、駆動電流によって出力されるレーザー光の波長を調整可能な波長走査型のレーザーダイオードであり、計測レーザー制御装置 54 からの指令に基づいて波長スイープ可能に構成されている。ここで計測レーザー送光系 60 の波長走査範囲は、燃焼空気に含まれる同一ガス種の少なくとも 2 つの電子準位遷移に対応する波長が含まれるように選択される。本実施形態では特に、燃焼空気に含まれるガスの一種である H_2O の 2 つの電子準位遷移に対応する波長が含まれるようにレーザーダイオードが選択されている。これは、 H_2O が同じく燃焼空気に含まれる O_2 、 CO_2 等に比べて、隣り合う 2 つの電子準位遷移に対応する波長域が比較的近い範囲に存在するためである。

40

【0041】

ここで図 3 に示されるように、計測レーザー送光系 60 及び計測レーザー受光系 62 は、燃焼炉 2 に複数設けられている。燃焼炉 2 は鉛直方向上方から見て、略矩形状の二次元断面を有する。本実施形態では、計測レーザー送光系 60 及び計測レーザー受光系 62 は、当該二次元断面において、互いに対向する辺上に設けられている。このような計測レーザー送光系 60 及び計測レーザー受光系 62 のペアは、互いの計測パスが垂直に交差するように紙面上において垂直方向と水平方向とに沿って、それぞれ n (n は 2 以上の自然数) 個設けられている。すなわち、本実施形態では、合計で $2n$ 個の計測レーザー送光系 60 及び計測レ

50

ザ受光系 6 2 のペアが設けられている。そして、このように配置された計測レーザ送光系 6 0 及び計測レーザ受光系 6 2 によって、合計 2 n 本の計測パス P が形成されている。

【 0 0 4 2 】

赤外線計測解析ユニット 5 6 は、計測レーザ受光系 6 2 における計測結果を取得し、当該計測結果に基づいて二次元解析手法（トモグラフィ）を利用したガス分析を実施する。ここで図 4 乃至図 7 を参照して、当該ガス分析の具体的に方法を工程毎に説明する。図 4 は図 1 の赤外線計測解析ユニット 5 6 の構成を示すブロック図であり、図 5 は図 4 の赤外線計測解析ユニット 5 6 によって実施されるガス分析方法を工程毎に示すフローチャートであり、図 6 は計測レーザ受光系 6 2 で測定される吸収スペクトルの一例であり、図 7 は図 4 の赤外線計測解析ユニット 5 6 によって実施される配分制御手段 4 6 の制御方法を工程毎に示すフローチャートである。

10

【 0 0 4 3 】

図 4 に示されるように、赤外線計測解析ユニット 5 6 は、計測レーザ受光系 6 2 の計測結果を取得する計測部 6 4 と、基準ガス濃度分布及び基準温度分布を二次元分布関数として設定する基準設定部 6 6 と、前記吸収量と前記基準吸収量との偏差が最小となるように、前記ガス濃度分布及び前記温度分布を収束計算により求める解析部 6 8 とを備える。

【 0 0 4 4 】

まず基準設定部 6 6 は、計測部 6 4 によって取得された計測結果に基づいて基準ガス濃度分布 D_{cr} 及び基準温度分布 D_{tr} を設定する（ステップ S 1 0 1）。基準ガス濃度分布 D_{cr} 及び基準温度分布 D_{tr} は、解析部 6 8 で実施される解析において、ガス濃度分布 D_c 及び温度分布 D_t を変数として収束演算する際の初期値として機能するものである。

20

【 0 0 4 5 】

ここで基準ガス濃度分布 D_{cr} 及び基準温度分布 D_{tr} は、計測レーザ送光系 6 0 によって燃烧空気に含まれる同一ガス種の少なくとも 2 つの電子準位遷移に対応する吸収波長を含むレーザ光を燃烧空気に照射し、計測レーザ受光系 6 2 で計測される吸収量（吸収スペクトル）に基づいて設定される。図 6 には、計測レーザ受光系 6 2 で計測された吸収スペクトルの一例が示されており、燃烧空気の温度が T_1 、 T_2 、 T_3 ($T_1 > T_2 > T_3$) の 3 パターンが表されている。このスペクトルには、燃烧空気に含まれる H_2O の隣り合う 2 つの電子準位遷移に対応する波長域において吸収スペクトル S_1 及び S_2 が現れている。 S_1 は第 1 準位遷移に対応する吸収スペクトルであり、 S_2 は第 2 準位に対応する吸収スペクトルである。

30

【 0 0 4 6 】

ここで吸収スペクトル S_2 に対する S_1 のピーク比は、燃烧空気の温度に依存して変化する性質を有する。すなわち、吸収スペクトル S_2 に対する S_1 のピーク比と燃烧空気の温度との相関を予め特定しておくことで、実測値に基づく吸収スペクトル S_2 に対する S_1 のピーク比に対応する燃烧空気の温度を求めることができる。このようにして求められる燃烧空気の温度は、当該吸収スペクトル測定が行われた計測パス上における平均温度に相当する。基準設定部 6 6 は、このようなピーク比の温度依存性を利用して、各計測パス P で計測される吸収波長スペクトル S_1 及び S_2 に基づいて各計測パスにおける平均温度を求める。そして、各計測パスにおける平均温度を更に平均化することにより、燃烧炉 2 における燃烧空気の平均温度を算出する。そして、基準設定部 6 6 は、複数の計測パス P が存在する平面上が、このように算出された平均温度で一定である温度分布として、基準ガス濃度分布 D_{cr} 及び基準温度分布 D_{tr} を設定する。

40

【 0 0 4 7 】

再び図 5 に戻って、続いて解析部 6 8 は、以下の解析を行う際に制御上用いられるインクリメント変数 k を用意し、その初期値を「1」に設定する（ステップ S 1 0 2）。そして計測レーザ制御装置 5 4 は、計測レーザ送光系 6 0 に対して指令を送ることで、燃烧空気に対してレーザ光を照射する（ステップ S 1 0 3）。一方で、計測レーザ受光系 6 2 は計測レーザ送光系 6 0 からのレーザ光を受信し、赤外線計測解析ユニット 5 6 によりその

50

計測結果から複数の計測パスにおける吸収スペクトル S を求める (ステップ S 1 0 4)。

尚、以下の説明において、 $2n$ 本の計測パス P に対応する吸収スペクトル S を個別に示す場合には、それぞれ「 S_1 、 S_2 、 \dots 、 S_{2n} 」で示すこととする。

【0048】

解析部 6 8 は、複数の計測パスに対応する吸収スペクトル S_1 、 S_2 、 S_3 、 \dots 、 S_{2n} に基づいて、二次元分布であるガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k を再構成することにより推定する (ステップ S 1 0 5)。ステップ S 1 0 5 の推定演算では、解析部 6 8 はガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k をそれぞれ共通する変数パラメータとして含む関数として規定する。当該関数は、解析対象となる燃焼空気が存在する燃焼炉 2 の形状に対応するように、例えば一般的な円柱座標系 (例えば径方向の低次のフーリエ級数展開や、ガウシアン分布など) を基本とし、これに円柱座標系の中心軸位置、座標の楕円化率、周方向分布項をパラメータとして含む二次元分布関数を適宜用いることによって設定される。

10

【0049】

本実施形態では特に、ガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k に相関があることに鑑み、少なくとも円柱座標系の中心軸位置、座標の楕円化率のパラメータをガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k を示す関数が共有するように関数が設定される。これにより、ガス濃度分布を算出される際に燃焼空気の温度分布による影響が加味され、より実際の分布に近い解析結果を得ることができる。以下は、このような技術的思想から導き出される関数の一例である。

20

$$(x, y) = \left[A + \sum_i \{ B_i \cos(iR') + C_i \sin(iR') \} \right] \cdot \left[1 + (1 - \exp(R' / \sqrt{wid_x^2 + wid_y^2})) \sum_k \{ D_k \cos(iR') + E_k \sin(iR') \} \right] \quad (1)$$

ここで (1) 式において、 x はガス濃度分布 Dc_k であり、 y は温度分布 Dt_k であり、

30

$$R' = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \pi(wid_x \quad wid_y) \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_c \\ y - y_c \end{pmatrix}$$

である。また (1) 式における各パラメータは、 A : 物理量中心値、 B 及び C : 径方向分布係数、 D_k 及び E_k : 周方向分布係数、 wid_x 及び wid_y : 座標の楕円化率、 x_c 及び y_c : 円柱座標系の中心軸位置である。

尚、繰り返し計算では例えばマルカート法を用いて、取得した吸収スペクトル S と、解析上の吸収スペクトル S_r との偏差が小さくなるように各パラメータ (A , B_i , C_i , D_k , E_k , wid_x , wid_y , x_c , y_c) の更新を行う。

40

【0050】

続いてステップ S 1 0 1 で設定された基準ガス濃度分布 Dc_r 及び基準温度分布 Dt_r に基づいて複数の計測パスにおける基準吸収スペクトル S_r を求め (ステップ S 1 0 6)、ステップ S 1 0 4 で取得した吸収スペクトル S との偏差 k を次式

$$k = |S - S_r|$$

により求める (ステップ S 1 0 7)。

【0051】

続いて解析部 6 8 は、ステップ S 1 0 7 で求められた k が k_{-1} 以上であるか否かを判定する (ステップ S 1 0 8)。 k が k_{-1} 未満である場合 (ステップ S 1 0 8 :

50

NO)、前回制御ループに比べて偏差が縮小しているため、ステップS105で推定されたガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k を基準ガス濃度分布 Dc_r 及び基準温度分布 Dt_r として更新する(ステップS109)。そして、インクリメント変数を加算し(ステップS110)、処理をステップS107に戻す。

【0052】

ステップS107～S110の処理が繰り返された結果、 k が $k-1$ 以上となると(ステップS108:NO)、解析部68は解が収束したと判断し、ステップS105で推定されたガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k を解析結果として出力する(ステップS111)。このように本実施形態では、ガス濃度の二次元分布を算出する際、ガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k を同時に変数として扱い、偏差 k が最小になるように解が探索される。

10

【0053】

このように導き出された解であるガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k は、解析結果として配分制御手段46及び二次元計測結果表示部58に送信される。配分制御手段46は、ガス分析装置10によって分析されたガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k に基づいて、流量調整弁22, 38, 44を調整することにより、燃料供給手段12、一次空気供給ユニット26、二次空気供給ユニット28を制御する。

【0054】

ここで図7を参照して、配分制御手段46の制御例について具体的に説明する。この例では、ガス濃度分布 Dc_k として燃焼空気に含まれる O_2 及び CO_2 の濃度分布が解析結果として得られる場合について説明する。

20

【0055】

まず配分制御手段46は、ガス濃度分布 Dc_k に基づいて、燃焼炉2における O_2 濃度の総量が上限目標値以下であるか否かを判定する(ステップS201)。 O_2 濃度の総量が上限目標値より大きい場合(ステップS201:NO)、配分制御手段46は、一次空気及び二次空気の総量を低下させるようにバーナ16、流量調整弁22、38、44を制御する(ステップS202)。

一方、 O_2 濃度の総量が上限目標値以下である場合(ステップS201:YES)、配分制御手段46は更に、 CO_2 濃度の総量が上限目標値以下であるか否かを判定する(ステップS203)。 CO_2 濃度の総量が上限目標値より大きい場合(ステップS203:NO)、一次空気及び二次空気の総量を低下させるようにバーナ16、流量調整弁22、38、44を制御する(ステップS204)。

30

【0056】

一方、 CO_2 濃度の総量が上限目標値以下である場合(ステップS203:YES)、配分制御手段46は、ガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k における偏りに基づいてバーナ16、流量調整弁22、38、44のバランスをフィードバック制御する(ステップS204)。このようなフィードバック制御中には、燃焼設備1が停止しているか否かが判定される(ステップS205)。燃焼設備1が稼働中である場合には(ステップS205:NO)、処理をステップS201に戻し、上記制御を繰り返す。一方、燃焼設備1が停止した場合(ステップS205:YES)、一連の処理は終了される(END)。

40

【0057】

このように配分制御手段46は、燃焼炉2への燃料、一次空気及び二次空気の供給量を制御することにより、燃焼炉2における温度アンバランスや酸素供給の過多・不足を解消した最適な運転を実現し、発電端効率の向上や、 O_2 過多による NO_x 生成の増加を抑制できる。また二次元計測結果表示部58では、ガス濃度分布 Dc_k 及び温度分布 Dt_k は、例えばディスプレイのような表示手段によってオペレータに対して可視化されることにより、燃焼炉2における燃焼状態の監視を容易にする。

【0058】

図8は本発明の他の実施形態に係る燃焼装置1の構成を示す模式図である。本実施形態は、制御室にオペレータが操作可能な制御盤70が設けられている。制御盤70は、入力

50

された操作内容に応じた制御信号を配分制御手段 4 6 に送信することにより、配分制御手段 4 6 を操作する。ここで、制御盤 7 0 から配分制御手段 4 6 に送信される制御信号は、図 1 において赤外線計測解析ユニット 5 6 が配分制御手段 4 6 に送信する制御信号と同等であり、燃料供給手段 1 2、一次空気供給ユニット 2 6、二次空気供給ユニット 2 8 を制御する。すなわち、本実施形態では、オペレータが制御盤 7 0 を操作することにより、配分制御手段 4 6 をマニュアル手動して燃焼状態を調整可能に構成されている。

【 0 0 5 9 】

制御室内には、赤外線計測解析ユニット 5 6 における解析結果が表示される二次元計測結果表示部 5 8 が設けられている。二次元計測結果表示部 5 8 は例えばディスプレイのような表示手段に解析結果を、制御室内にいるオペレータに対して可視化する手段である。制御盤 7 0 のオペレータは、例えばディスプレイのような表示手段である二次元計測結果表示部 5 8 に表示された解析結果を参照することにより、燃焼炉 2 内の燃焼状態を把握し、その結果に応じて制御盤 7 0 を操作する。このように本実施形態では、オペレータが燃焼炉 2 の燃焼状態を容易に把握しながら効率的に作業を行うことができる。

10

【 0 0 6 0 】

以上説明したように本実施形態によれば、燃焼炉内の燃焼ガスが均一に緩和されていない系におけるガス濃度分布及び温度分布を精度よく分析可能なガス分析装置、燃焼設備の制御システム及び制御支援システム、並びに、ガス分析方法を提供できる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 6 1 】

本開示は、燃焼炉内のガス濃度分布及び温度分布を分析するガス分析装置、該ガス分析装置を備える燃焼設備の制御システム及び制御支援システム、並びに、該ガス分析装置によって実施されるガス分析方法に利用可能である。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 6 2 】

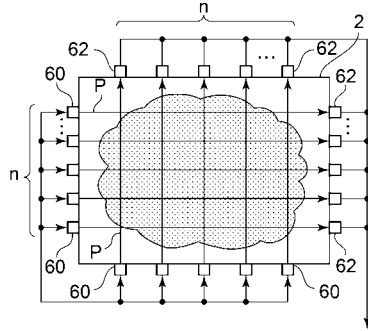
- 1 燃焼設備
- 2 燃焼炉
- 4 煙道
- 6 再熱器ユニット
- 8 燃焼制御装置
- 10 ガス分析装置
- 12 燃料供給手段
- 14 空気供給手段
- 16 微粉炭バーナ
- 18 微粉炭供給部
- 20, 30 送風機
- 22, 38, 44 流量調整弁
- 24 配管
- 26 一次空気供給ユニット
- 28 二次空気供給ユニット
- 32 主配管
- 34, 40 吹出口
- 36 第 1 配管
- 42 第 2 配管
- 46 配分制御手段
- 48 バーナ燃焼域
- 50 未燃燃料存在還元域
- 52 燃焼完結域
- 54 計測レーザ制御部
- 56 赤外線計測解析ユニット

30

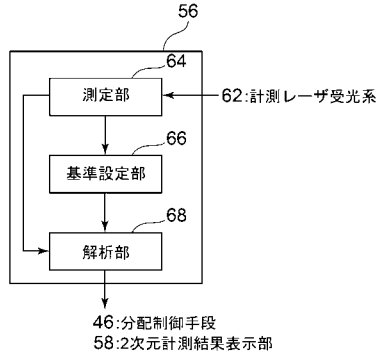
40

50

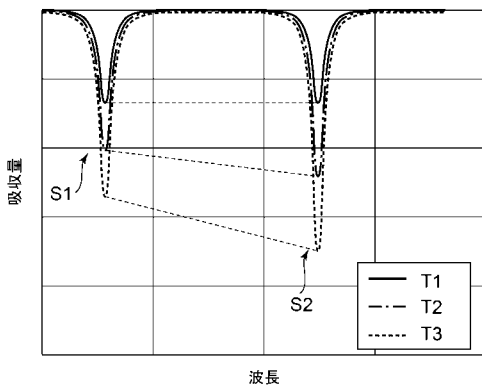
【 図 3 】



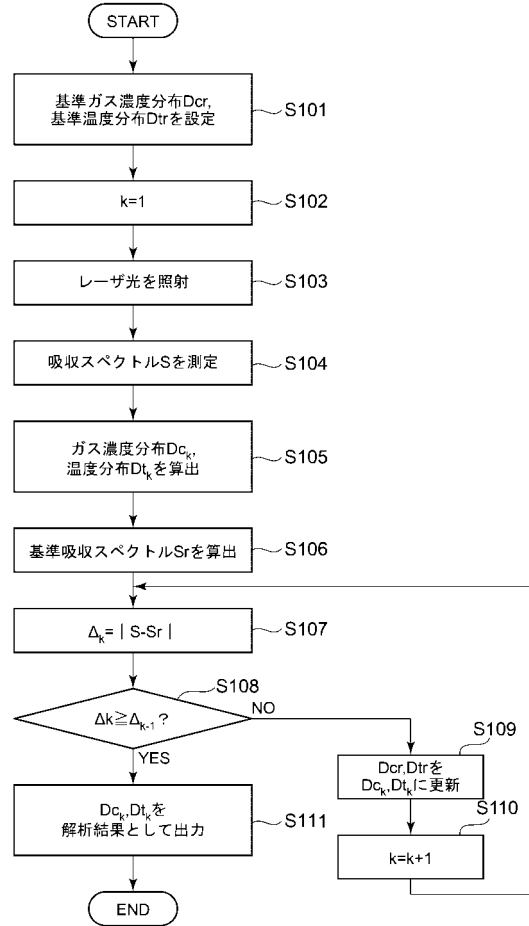
【 図 4 】



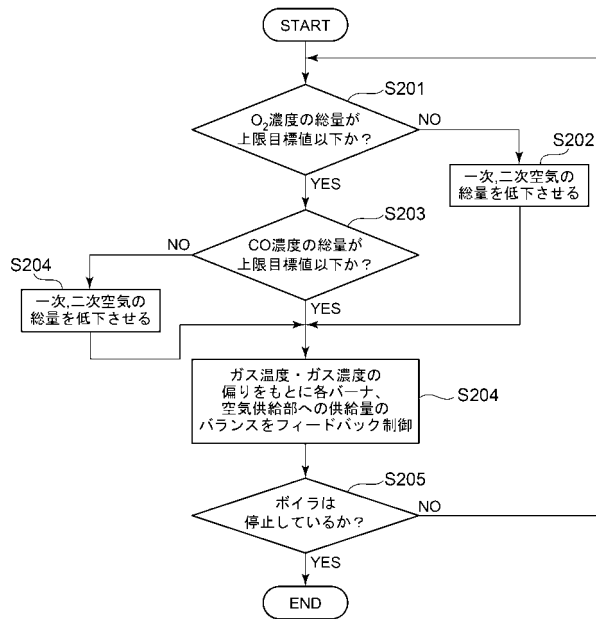
【 図 6 】



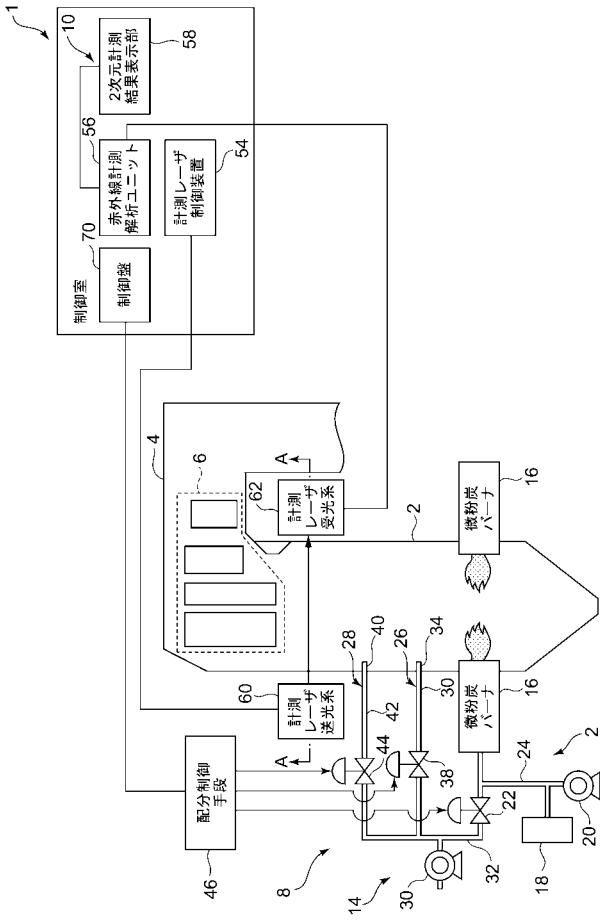
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 8 】



 フロントページの続き

(51)Int.Cl.				F I				テーマコード(参考)
F 2 3 N	5/08	(2006.01)		F 2 3 N	5/08		J	
G 0 1 K	11/00	(2006.01)		F 2 3 N	5/00		J	
				G 0 1 K	11/00		Z	

Fターム(参考)	2G059	AA01	AA05	BB01	CC04	CC07	CC09	EE01	EE12	FF01	FF06
		GG01	GG02	GG03	GG09	HH01	KK03	MM01			
	3K003	AA03	AB03	AC02	CA03	CA05	CB03	CC01	DA06	EA07	FA01
		FB04	FB05	FC07	GA06						
	3K005	QA01	QA06	QB03	RA11						