

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5680053号  
(P5680053)

(45) 発行日 平成27年3月4日(2015.3.4)

(24) 登録日 平成27年1月16日(2015.1.16)

|                      |            |
|----------------------|------------|
| (51) Int.Cl.         | F 1        |
| FO2C 9/54 (2006.01)  | FO2C 9/54  |
| FO2C 7/228 (2006.01) | FO2C 7/228 |
| F23R 3/28 (2006.01)  | F23R 3/28  |
| FO2C 3/14 (2006.01)  | FO2C 3/14  |

請求項の数 18 (全 21 頁)

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2012-502550 (P2012-502550)  |
| (86) (22) 出願日 | 平成22年3月12日 (2010.3.12)        |
| (65) 公表番号     | 特表2012-522922 (P2012-522922A) |
| (43) 公表日      | 平成24年9月27日 (2012.9.27)        |
| (86) 国際出願番号   | PCT/EP2010/053171             |
| (87) 国際公開番号   | W02010/112318                 |
| (87) 国際公開日    | 平成22年10月7日 (2010.10.7)        |
| 審査請求日         | 平成25年3月11日 (2013.3.11)        |
| (31) 優先権主張番号  | 00536/09                      |
| (32) 優先日      | 平成21年4月1日 (2009.4.1)          |
| (33) 優先権主張国   | スイス(CH)                       |

|           |   |
|-----------|---|
| (73) 特許権者 | 503416353<br>アルストム テクノロジー リミテッド<br>A L S T O M T e c h n o l o g y L<br>t d<br>スイス国 バーデン ブラウン ボヴェリ<br>シュトラーセ 7<br>B r o w n B o v e r i S t r a s s<br>e 7, C H - 5 4 0 0 B a d e n,<br>S w i t z e r l a n d |
| (74) 代理人  | 100099483<br>弁理士 久野 琢也  |
| (74) 代理人  | 100061815<br>弁理士 矢野 敏雄  |
| (74) 代理人  | 100112793<br>弁理士 高橋 佳大  |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 改善された部分負荷エミッション特性を備えたガスタービン

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

主として、少なくとも1つの圧縮機(1)と、該圧縮機(1)に後置された、第1のタービン(7)に衝突する高温ガスを有する第1の燃焼器(4)と、第1のタービン(7)に後置された、第2のタービン(12)に衝突する高温ガスを有する第2の燃焼器(15)とから成るシーケンシャル燃焼式のガスタービンを低COエミッション運転するための方法において、第2の燃焼器(15)の作動中のバーナ(9)の空気比( )を最大の空気比( $m_{a\max}$ )未満に保つことを特徴とする、シーケンシャル燃焼式のガスタービンを低COエミッション運転するための方法。

## 【請求項 2】

第2の燃焼器(15)内の燃料が自己着火され、最大の空気比( $m_{a\max}$ )がバーナ入口温度に左右される、請求項1記載の方法。

## 【請求項 3】

第2の燃焼器(15)の少なくとも1つのバーナ(9)への燃料供給(10)を部分負荷時に停止し、これによって、第2のタービン(12)のタービン入口温度(TIT2)を変えずに、運転中のバーナ(9)の空気比( )を減少させる、請求項1または2記載の方法。

## 【請求項 4】

まず、分離平面(38)に隣接した少なくとも1つのバーナ(9)への燃料供給(10)を停止する、請求項3記載の方法。

## 【請求項 5】

停止されるバーナ(9)の個数が、負荷に反比例している、請求項3または4記載の方法。

## 【請求項 6】

負荷増加時には、第2の燃焼器(15)の作動前に、まず、第1のタービン(7)のタービン入口温度(TIT1)を部分負荷限界値に上昇させて、調節可能な圧縮機案内羽根列(14)を開放し、第2の燃焼器(15)の作動のためにまたは第2の燃焼器(15)の作動時に、調節可能な圧縮機案内羽根列(14)を閉鎖して、燃料を第2の燃焼器(15)内に導入する、請求項1から5までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 7】

負荷減少時には、第2の燃焼器(15)の停止前に、まず、調節可能な圧縮機案内羽根列(14)を閉鎖し、第2の燃焼器(15)の停止時に、調節可能な圧縮機案内羽根列(14)を再び開放する、請求項1から6までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 8】

前記ガスタービンの負荷減少に際して、ヒステリシスを形成するために、第1のタービン(7)のタービン入口温度(TIT1)の部分負荷限界値および開放された調節可能な圧縮機案内羽根列(14)での第1の燃焼器(4)による運転時に達成される負荷未満である負荷時に初めて第2の燃焼器(15)を停止する、請求項6または7記載の方法。

## 【請求項 9】

第1のタービン(7)のタービン出口温度(TAT1)および/または第2のタービン(12)のタービン出口温度(TAT2)の部分負荷限界値を所定の部分負荷範囲の間に上昇させ、これによって、調節可能な圧縮機案内羽根列(14)の開放をより高い負荷にシフトする、請求項1から8までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 10】

圧縮されたかまたは部分圧縮された圧縮機空気の部分流を膨張させ、吸入空気(2)に混加する、請求項1から9までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 11】

前記負荷に関連して、少なくとも冷却空気温度および/または少なくとも冷却空気質量流量(22, 23, 24)を調整する、請求項1から10までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 12】

前記負荷に関連して、第1の燃焼器(4)の燃料温度および/または第2の燃焼器(15)の燃料温度を調整する、請求項1から11までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 13】

請求項1から12までのいずれか1項記載の方法を実施するためのガスタービンにおいて、該ガスタービンが、1つの圧縮機(1)と、該圧縮機(1)に後置された、第1のタービン(7)に衝突する高温ガスを有する第1の燃焼器(4)と、第1のタービン(7)に後置された、第2のタービン(12)に衝突する高温ガスを有する第2の燃焼器(15)とを有していることを特徴とする、ガスタービン。

## 【請求項 14】

第2の燃焼器(15)の少なくとも1つのバーナ(9)に通じる少なくとも1つの燃料管路(10)内に個別切換弁(37)が配置されている、請求項13記載のガスタービン。

## 【請求項 15】

第2の燃焼器(15)の少なくとも1つのバーナ(9)に通じる少なくとも1つの燃料管路(10)内に個別調整弁(27)が配置されている、請求項13または14記載のガスタービン。

## 【請求項 16】

燃料分配システムが、第1の燃料調整弁(33)と、燃料を第1のバーナ分割グループのバーナ(9)に分配するための第1の燃料環状管路(32)と、少なくとも1つの第2

10

20

30

40

50

の燃料調整弁（34）と、前記燃料を少なくとも1つの第2の分割グループのバーナ（9）に分配するための少なくとも1つの第2の燃料環状管路（31）とを有している、請求項13から15までのいずれか1項記載のガスタービン。

【請求項17】

高圧圧縮機が、全負荷時の確実な運転のために必要となる圧力比よりも高い圧力比に対して設計されている、請求項13から16までのいずれか1項記載のガスタービン。

【請求項18】

タービン出口と排ガス管路とが、最大の全負荷排ガス温度よりも高い第2のタービン（12）のタービン出口温度（TAT2）に対して設計されている、請求項13から17までのいずれか1項記載のガスタービン。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、主として、少なくとも1つの圧縮機と、該圧縮機に後置された、第1のタービンに衝突する高温ガスを有する第1の燃焼器と、第1のタービンに後置された、第2のタービンに衝突する高温ガスを有する第2の燃焼器とから成るシーケンシャル燃焼式のガスタービンを低COエミッション運転するための方法に関する。

【0002】

さらに、本発明は、このような方法を実施するためのガスタービンに関する。

【0003】

背景技術

シーケンシャル燃焼式のガスタービン、つまり、再熱式のガスタービンは、かなり以前から商業的に成果を上げて運転されている。シーケンシャル燃焼式のガスタービンでは、圧縮された空気が第1の燃焼器内で燃料と共に燃焼され、高圧タービンと呼ばれる第1のタービンに高温ガスが衝突させられる。高圧タービンから流出させられた高温ガスの温度は、第2の燃焼器において、燃料の再度の添加と燃焼とによって再び上昇させられ、低圧タービンと呼ばれる第2のタービンにこの高温ガスが衝突させられる。

【0004】

ただ1つの燃焼器を備えた従来のガスタービンに比べて、シーケンシャル燃焼式のガスタービンは、第1の燃焼器と第2の燃焼器とに対する別個の燃料調整の付加的な自由度の点で優れている。さらに、シーケンシャル燃焼式のガスタービンは、まず、第1の燃焼器だけを運転し、負荷がより高くなった場合に初めて第2の燃焼器を作動させる可能性を提供している。これによって、ガスタービンの幅広い運転範囲にわたって良好なエミッション特性を備えたフレキシブルな運転コンセプトが可能となる。 30

【0005】

過去、開発の主眼は、NOxエミッションの削減および高い部分負荷効率であった。たとえば欧州特許出願公開第0718470号明細書に記載されているような公知の方法により運転されるシーケンシャル燃焼式のガスタービンは、極めて低いNOxエミッションを有していて、卓越した部分負荷効率を実現することができる。

【0006】

しかし、上述した公知の運転コンセプトは、部分負荷が低い場合、特に相対的な負荷の約20%~50%の範囲において、高いCOエミッション（一酸化炭素エミッション）を招くことがある。 40

【0007】

この高いCOエミッションは、部分負荷が低い場合に典型的にシーケンシャル燃焼式のガスタービンの第2の燃焼器によって発生させられる。従来、低い部分負荷に際して、この第2の燃焼器は、調節可能な圧縮機案内羽根列が閉鎖されていて、高圧タービンの高温ガス温度またはタービン入口温度が上限値に達した場合に点火される。この点火のためには、第2の燃焼器に最小の燃料流量が供給される。この燃料流量は、典型的には、燃料調整弁の調整特性によって設定される。第1のタービンの高い出口温度に基づき、第2の燃 50

焼器に供給された燃料流量の自己着火が引き起こされる。燃料流量は、負荷にわたる負荷調整のために増加させられる。燃料流量が少ない限り、第2の燃焼器内の高温ガスの温度は著しく上昇させられない。相応して、反応速度が比較的低いままであり、燃焼器内での短い滞留時間に基づき、未燃焼の炭化水素とCOとが生じることがある。この未燃焼の炭化水素とCOとは、特に希薄燃焼時、すなわち、高い空気比での燃焼時に生じる。空気比とは、少なくとも必要となる化学量論的な空気質量に対する、実際に燃焼のために使用される空気質量の比である。空気比は、空気数、空気比数または空気過剰率とも呼ばれる。

【0008】

しかし、フレキシブルな発電プラント運転の範囲内では、低い部分負荷でのより長い運転期間を経過する可能性もますます要求される。より低い部分負荷でのより長い運転は、COエミッションも低いレベルにとどまっている場合にしか実現することができない。従来では、COエミッションの削減のために、CO触媒が使用される。このCO触媒は、高い仕入れコストのほかに、ガスタービンの排ガスシステムにおける圧力損失と、これに相俟った出力・効率損失とに繋がる。

【0009】

発明の開示

本発明の課題は、シーケンシャル燃焼式のガスタービンを運転するための方法ならびにシーケンシャル燃焼式のガスタービンを改良して、COエミッションが削減された運転が可能となるようにすることである。

【0010】

この課題を解決するために本発明に係る方法によれば、第2の燃焼器の作動中のバーナの空気比を最大の空気比未満に保つ。

【0011】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、負荷増加時には、第2の燃焼器の作動前に、まず、第1のタービンのタービン入口温度を部分負荷限界値に上昇させて、調節可能な圧縮機案内羽根列を開放し、第2の燃焼器の作動のためにまたは第2の燃焼器の作動時に、調節可能な圧縮機案内羽根列を閉鎖して、燃料を第2の燃焼器内に導入する。

【0012】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、負荷減少時には、第2の燃焼器の停止前に、まず、調節可能な圧縮機案内羽根列を閉鎖し、第2の燃焼器の停止時に、調節可能な圧縮機案内羽根列を再び開放する。

【0013】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、前記ガスタービンの負荷減少に際して、ヒステリシスを形成するために、第1のタービンのタービン入口温度の部分負荷限界値および開放された調節可能な圧縮機案内羽根列での第1の燃焼器による運転時に達成される負荷未満である負荷時に初めて第2の燃焼器を停止する。

【0014】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、第2の燃焼器の少なくとも1つのバーナへの燃料供給を前記部分負荷時に停止し、これによって、第2のタービンのタービン入口温度を変えずに、運転中のバーナの空気比を減少させる。

【0015】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、まず、分離平面に隣接した少なくとも1つのバーナへの燃料供給を停止する。

【0016】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、停止されるバーナの個数が、負荷に反比例している。

【0017】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、第1のタービンのタービン出口温度および/または第2のタービンのタービン出口温度の前記部分負荷限界値を所定の部分負荷範囲の

10

20

30

40

50

間に上昇させ、これによって、調節可能な圧縮機案内羽根列の開放をより高い負荷にシフトする。

【0018】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、圧縮されたかまたは部分圧縮された圧縮機空気の部分流を膨張させ、吸入空気に混加する。

【0019】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、前記負荷に関連して、少なくとも冷却空気温度および／または少なくとも冷却空気質量流量を調整する。

【0020】

本発明に係る方法の有利な態様によれば、前記負荷に関連して、第1の燃焼器の燃料温度および／または第2の燃焼器の燃料温度を調整する。 10

【0021】

さらに、前述した課題を解決するために本発明に係るガスタービンによれば、該ガスタービンが、1つの圧縮機と、該圧縮機に後置された、第1のタービンに衝突する高温ガスを有する第1の燃焼器と、第1のタービンに後置された、第2のタービンに衝突する高温ガスを有する第2の燃焼器とを有している。

【0022】

本発明に係るガスタービンの有利な態様によれば、第2の燃焼器の少なくとも1つのバーナに通じる少なくとも1つの燃料管路内に個別切換弁が配置されている。 20

【0023】

本発明に係るガスタービンの有利な態様によれば、第2の燃焼器の少なくとも1つのバーナに通じる少なくとも1つの燃料管路内に個別調整弁が配置されている。

【0024】

本発明に係るガスタービンの有利な態様によれば、燃料分配システムが、第1の燃料調整弁と、燃料を第1のバーナ分割グループのバーナに分配するための第1の燃料環状管路と、少なくとも1つの第2の燃料調整弁と、前記燃料を少なくとも1つの第2の分割グループのバーナに分配するための少なくとも1つの第2の燃料環状管路とを有している。 30

【0025】

本発明に係るガスタービンの有利な態様によれば、高圧圧縮機が、全負荷時の確実な運転のために必要となる圧力比よりも高い圧力比に対して設計されている。 30

【0026】

本発明に係るガスタービンの有利な態様によれば、タービン出口と排ガス管路とが、最大の全負荷排ガス温度よりも高い第2のタービンのタービン出口温度に対して設計されている。

【0027】

本発明の要部は、第2の燃焼器の運転されているバーナの空気比  $m_{a_x}$  を部分負荷運転中に最大の空気比  $m_{a_x}$  未満に保つ、ガスタービンを運転するための方法である。この方法は、主として、個々にまたは組み合わせて実施することができる新たな3つの要素ならびに補足的な手段の点で優れている。 40

【0028】

最大の空気比  $m_{a_x}$  は、維持したいCOエミッション限界値、バーナおよび燃焼器の設計ならびに運転条件、すなわち、特にバーナ入口温度に左右される。

【0029】

第1の要素は、調節可能な圧縮機案内羽根列の運転形式における変更である。この変更によって、第2の燃焼器をより高い部分負荷の場合に初めて運転することが可能となる。アイドリング運転から出発して、単に第1の燃焼器だけが運転されている間に、調節可能な圧縮機案内羽根列がすでに開放される。これによって、第2の燃焼器を運転することが必要となる前に、より高い相対的な負荷への負荷増加が可能となる。調節可能な圧縮機案内羽根列が開放されていて、高圧タービンの高温ガス温度またはタービン入口温度が限界値に達した場合に、第2の燃焼器に燃料が供給される。引き続き、調節可能な圧縮機案内

羽根列が迅速に閉鎖される。この調節可能な圧縮機案内羽根列が高圧タービンのコンスタントなタービン入口温度 TIT のまま閉鎖されることは、対抗策がないと、相対的な出力の著しい低下に繋がる恐れがある。この出力低下を回避するためには、第 2 の燃焼器内に導入される燃料質量流量が増加させられるようになっている。これによって、第 2 の燃焼器を運転する場合の最小の負荷と、第 2 の燃焼器内への最小の燃料流量とが著しく増加させられる。これによって、第 2 の燃焼器の最小の高温ガス温度が上昇させられ、空気比が減少させられ、ひいては、CO エミッションが削減される。

#### 【 0 0 3 0 】

均一な負荷増加、すなわち、ガスタービンの出力の増加を実際にコンスタントな勾配で可能にするためには、調節可能な圧縮機案内羽根列が開放されていて、高圧タービンの高温ガス温度またはタービン入口温度が限界値に達した場合に、高圧タービンのコンスタン 10 トなタービン入口温度 TIT のまま、調節可能な圧縮機案内羽根列の閉鎖が実施される。引き続き、この調節可能な圧縮機案内羽根列の閉鎖が第 2 の燃焼器への燃料供給に同期化される。すなわち、両動作が同時に実施されるかまたは互いに僅かな時間遅れを伴って実施される。

#### 【 0 0 3 1 】

調節可能な圧縮機案内羽根列とは、圧縮機の吸入空気質量流量を調整するために、圧縮機案内羽根列の取付け角を調節することができる少なくとも 1 つの案内羽根列のことである。近年の圧縮機では、典型的に少なくとも 1 つの圧縮機前段案内羽根列が調節可能である。一般的には、2 つまたはそれ以上の案内羽根列が調節可能である。 20

#### 【 0 0 3 2 】

高圧タービンのタービン入口温度 TIT の限界値は、部分負荷限界値とも呼ばれる。この部分負荷限界値は、一般的に全負荷限界値よりも小さいかまたは全負荷限界値に等しい。なお、この全負荷限界値とは、全負荷時の最大のタービン入口温度のことである。

#### 【 0 0 3 3 】

負荷減少時には、方法が逆転される。すなわち、相対的な負荷、低圧タービンのタービン入口温度 TIT、低圧タービンのタービン出口温度 TAT、第 2 の燃焼器の燃料質量流量または別の適切なパラメータの適切な限界値もしくは組み合わされたパラメータの適切な限界値が達成されるまで、調節可能な圧縮機案内羽根列の閉鎖時に、第 2 の燃焼器に供給される燃料質量流量の減少によって、負荷が減少させられる。前述した限界値が達成されると、第 2 の燃焼器への燃料供給が停止され、調節可能な圧縮機案内羽根列が迅速に開放される。 30

#### 【 0 0 3 4 】

第 2 の燃焼器の作動および停止の繰返しと、これに相俟った調節可能な圧縮機案内羽根列の開閉とを回避するためには、第 2 の燃焼器の停止を招く限界値がヒステリシスを備えてよい。すなわち、第 2 の燃焼器が停止される場合の相対的な負荷が、第 2 の燃焼器が作動させられる場合の相対的な負荷よりも低く設定されている。

#### 【 0 0 3 5 】

理想的には、第 1 の燃焼器のタービン入口温度 TIT が、調節可能な圧縮機案内羽根列の迅速な開閉時に調整器によってコンスタントに保たれる。しかし、実際には、調節可能な圧縮機案内羽根列の迅速な閉鎖と、第 2 の燃焼器の作動および停止とによって、高圧タービンのタービン入口温度 TIT の過昇が生じることがある。このことを回避するために、1 つの態様では、第 1 の燃焼器の燃料調整弁のパイロット制御が提案されている。調節可能な圧縮機案内羽根列の迅速な閉鎖時には、第 1 の燃焼器の燃料調整弁がパイロット制御によって相応に幾分閉鎖される。類似して、調節可能な圧縮機案内羽根列の迅速な開放時にも、燃料調整弁がパイロット制御によって相応に幾分開放される。 40

#### 【 0 0 3 6 】

空気比 を減少させるための第 2 の要素は、部分負荷運転中の高圧タービンのタービン出口温度 TAT 1 および / または低圧タービンのタービン出口温度 TAT 2 の上昇による運転形式における変更である。この上昇によって、調節可能な圧縮機案内羽根列の開放を 50

より高い負荷点にシフトする（ずらす）ことが可能となる。

【0037】

従来、第2のタービンの最大のタービン出口温度は全負荷に対して規定されており、この温度に相応して、ガスタービンと、場合により、後置された排熱回収ボイラとが設計されている。これによって、閉鎖された調節可能な圧縮機案内羽根列での部分負荷運転時には、第2のタービンの最大の高温ガス温度が、第2のタービンのタービン入口温度TIT2によって制限されるのではなく、第2のタービンのタービン出口温度TAT2によって制限されている。閉鎖された少なくとも1つの調節可能な圧縮機案内羽根列での部分負荷時には、タービンに関する質量流量ひいては圧力比が減少させられるので、タービン出口温度に対するタービン入口温度の比も減少させられる。相応して、コンスタントなタービン出口温度TAT2においてタービン入口温度TIT2も低下させられ、たいてい全負荷値を著しく下回っている。全負荷限界値を超える、典型的には、10～30のオーダ内でのタービン出口温度TAT2の提案された僅かな上昇は、確かに、タービン入口温度TIT2の上昇に繋がるもの、この上昇は全負荷値未満に保たれ、実際には寿命損失なしにまたは著しい寿命損失なしに実現することができる。設計または材料選択における適合は不要となるかまたは、典型的には、排ガス側に制限することができる。タービン入口温度TIT2を上昇させるためには、高温ガス温度が上昇させられる。このことは、燃料質量流量の増加と、これに相俟った空気比の減少とによって実現される。相応して、COエミッションが削減される。

【0038】

運転中のバーナの空気比を減少させるための更なる可能性は、コンスタントなタービン入口温度TIT2での個々のバーナの停止および燃料の分配変更である。

【0039】

タービン入口温度TIT2を平均的にコンスタントに保つためには、運転中のバーナが、停止されたバーナの個数に相応して、より高温で運転されなければならない。このためには、燃料供給が増加させられ、ひいては、局所的な空気比が減少させられる。

【0040】

タービン入口温度として、たとえば、ISO2314/1989に準じた、高温ガスと全ての冷却空気質量流量との理論上の混合温度が使用される。しかし、たとえば、タービンへの流入前の高温ガス温度が使用されてもよいし、いわゆる「燃焼温度」、つまり、第1のタービン案内羽根の下流側の混合温度が使用されてもよい。

【0041】

第2の燃焼器の全てのバーナが運転されている高い負荷から出発して、たとえば負荷に反比例してバーナが停止される種々異なる運転形式が可能である。

【0042】

COエミッションに対して最適化された運転のためには、分離平面を備えたガスタービンにおいて、典型的には、まず、分離平面に隣接したバーナが停止される。なお、分離平面とは、典型的には、ハウジングを上側の半部と下側の半部とに分割する平面のことである。各ハウジング半部は分離平面において、たとえばフランジで結合されている。

【0043】

その結果、この隣接バーナが停止されるかまたは燃焼器の反対の側で分離平面に隣接した1つのバーナが停止され、その結果、分離平面から出発して燃焼器の両側で隣接バーナが常に交互に順次停止される。

【0044】

ガスタービンの分離平面は、典型的には、絶対的に密でなく、たいてい、漏れ流によって、燃焼ガスの僅かな冷却および希釈ひいては局所的に高められたCOエミッションが生じるので、有利には、まず、分離平面に隣接した1つのバーナが停止される。この分離平面に隣接したバーナの停止によって、局所的なCOエミッションが回避される。

【0045】

しかし、妥協策として、個々のバーナの停止によって、運転されない低温の隣接バーナ

10

20

30

40

50

と共に少なくとも 2 つのバーナが作業することが甘受されなければならない。1 つの低温の隣接バーナに対する各境界は潜在的に CO エミッションの増加に繋がる。したがって、低温のバーナのグループの個数が最小限に抑えられなければならない。ガスタービンの設計、特に分離平面の領域における漏れに関して、停止されたバーナのただ 1 つのグループ、分離平面の両側に配置された停止されたバーナの 2 つのグループまたは停止されたバーナの多数のグループが有利である。

#### 【 0 0 4 6 】

空気比 を減少させるための別の可能性は、調整された「ステージング」である。環状燃焼器において、均質な燃焼過程は脈動を招くことがある。このことは、高い負荷の場合、典型的には、いわゆる「ステージング」によって回避される。「ステージング」とは、少なくとも 1 つのバーナへの燃料供給を次第に減らすことを意味している。このためには、次第に弱めたい少なくとも 1 つのバーナの燃料管路内にオリフィス絞りまたは別の絞りエレメントが不動に組み込まれる。次第に弱められた少なくとも 1 つのバーナの空気比は、減少させられた燃料量に相応して、全ての運転状態の間、より大きくなる。このことは、高い負荷の場合、環状燃焼器における所望の不均質性に繋がる。しかし、この不均質性は、低い負荷の場合、次第に弱められた少なくとも 1 つのバーナの CO 生成の過剰な増加を招く。ステージングによって回避したい燃焼不安定性は、通常、低い負荷時にもはや生じないかまたは無視することができるほど小さい。したがって、1 つの態様では、燃料供給を次第に減らすかもしくはバーナを次第に弱めることを不動のオリフィス絞りによって実施するのではなく、少なくとも 1 つの調整弁によって実施することが提案される。この少なくとも 1 つの調整弁は、低い負荷の場合、作動させられている全てのバーナを、いわば均質に低い空気比 で運転することができるよう開放される。高い負荷の場合には、少なくとも 1 つの調整弁が絞られ、これによって、ステージングが実現される。

10

20

#### 【 0 0 4 7 】

少なくとも 1 つの調整弁は、個別バーナの供給管路内に配置されていてよい。択一的には、バーナが、それぞれ 1 つの調整弁と、燃料を分配するためのそれぞれ 1 つの環状管路とを備えた少なくとも 2 つのグループにまとめられてもよい。

#### 【 0 0 4 8 】

別の態様では、部分負荷時に空気比 を減少させるために、圧縮機最終空気または圧縮機流出空気（抽出空気とも呼ばれる）が膨張させられ、吸入空気に混加される。このことは、たとえば、空気を圧縮機プレナムから吸入空気内に混加して、吸入空気温度を上昇させる、いわゆる「凍結防止システム」の作動によって実現することができる。圧縮機空気の分岐は、燃焼器を通流する空気量の減少に繋がる。さらに、ガスタービンの総出力に関連した圧縮機仕事が増加させられる。圧縮機の出力消費の増加を補償するためには、タービン出力ひいては燃料量が増加させられなければならない。両者は空気比 の減少ひいては CO エミッションの削減に繋がる。

30

#### 【 0 0 4 9 】

CO エミッションを削減するための別の可能性は、冷却空気質量流量および / または冷却空気温度の調整によって見い出される。

#### 【 0 0 5 0 】

部分負荷時には、たとえば第 1 のタービンのタービン入口温度 TIT 1 が低下させられてよい。低下させられた高温ガス温度に相応して、高温ガス部分がより低温になり、冷却空気冷却器の下流側の高压側冷却空気質量流量の減少および / または高压側冷却空気温度の上昇によって、冷却出力を減少させることができる。この減少させられた冷却出力に相応して、冷却空気と冷却空気漏れとによって生じる低温の筋または流域が減少させられる。したがって、第 2 の燃焼器内への流入時の温度分布がより均質になる。均質な流入分布によって、火炎の局所的な冷却が回避され、ひいては、CO エミッションが削減される。

40

#### 【 0 0 5 1 】

相応して、部分負荷時には、低下させられた第 2 のタービンのタービン入口温度 TIT 2 により、冷却空気冷却器の下流側の低压側冷却空気質量流量の減少および / または低压

50

側冷却空気温度の上昇によって、低圧側冷却出力を減少させることができる。この冷却出力の減少によって、燃焼器内の低温の領域が直接軽減される、すなわち、高温ガス温度に対して相対的に中温のかつ低温の筋が減少させられ、相応して、COエミッションが削減される。

【0052】

択一的には、冷却空気システムに応じて、低圧側冷却空気量が増加させられてよい。低圧側冷却空気の大部分が第2のタービン内に導入されると、これによって、バーナと燃焼器とを通る空気質量流量を減少させることができる。これによって、空気比が減少させられ、COエミッションの削減を達成することができる。

【0053】

低圧側冷却空気システムをバイパスとして両燃焼器、特に第2の燃焼器に対して効率よく使用することができるようにするために、本発明の1つの態様では、第2の燃焼器と第2のタービンとに対して、低圧側冷却空気システムの分割が提案されている。冷却空気流は少なくとも一方の部分システムに対して調整可能に形成されている。理想的には、両部分システムが調整可能であり、これによって、部分負荷時にバーナと燃焼器との冷却空気質量流量が減少させられるのに対して、同時に第2のタービンへの冷却空気質量流量は増加させられる。

【0054】

冷却空気システムのこの調整は、典型的には、負荷または相対的な負荷に関連して実施される。圧縮機前段案内羽根列の位置、圧縮機出口圧、第1のタービンのタービン入口温度TIT1、第2のタービンのタービン入口温度TIT2または別の適切なパラメータと、組み合わされたパラメータとに関連した調整も同じく可能である。

【0055】

冷却空気質量流量および/または冷却空気温度の調整の代わりに、たとえば同じパラメータまたはパラメータ組合せに関連した制御が使用されてもよい。

【0056】

別の態様では、予熱器内で上昇させられる燃料温度が、負荷に関連して調整される。CO部分負荷エミッションを削減するためには、部分負荷時に燃料温度が上昇させられる。この燃料温度の上昇によって、反応速度が高まり、火炎が上流側に移動する。このことは、より安定した火炎を発生させ、より良好な完全燃焼と、相応して、削減されたCOエミッションとに繋がる。

【0057】

燃料温度のこの調整は、典型的には、負荷または相対的な負荷に関連して実施される。圧縮機前段案内羽根列の位置、圧縮機出口圧、第1のタービンのタービン入口温度TIT1、第2のタービンのタービン入口温度TIT2または別の適切なパラメータと、組み合わされたパラメータとに関連した調整も同じく可能である。

【0058】

燃料温度の調整の代わりに、たとえば同じパラメータまたはパラメータ組合せに関連した制御が使用されてもよい。

【0059】

本発明の対象は、方法のほかに、この方法を実施するためのガスタービンである。選択された方法または方法の組合せに応じて、ガスタービンの設計が適合されなければならず、かつ/または燃料分配システムおよび/または冷却空気システムが適合されなければならず、これによって、方法の実施可能性が保証される。

【0060】

部分負荷時の個々のバーナの停止を可能にするためには、第2の燃焼器の少なくとも1つのバーナに通じる少なくとも1つの燃料管路内に個別切換弁が設けられていてよい。

【0061】

負荷に関連したステージングを実現するためには、第2の燃焼器の少なくとも1つのバーナに通じる少なくとも1つの燃料管路内に調整弁が設けられていてよい。択一的には、

10

20

30

40

50

燃料分配システムが、対応する燃料分配部を備えたバーナの少なくとも2つの分割グループに分割されてよい。各分割グループは、1つの燃料調整弁と、燃料を各分割グループのバーナに分配するための1つの燃料環状管路とを有している。

【0062】

調節可能な圧縮機案内羽根列の開放を可能にするためには、たとえば翼配列をずらすことによって、高圧圧縮機の圧送間隔の検査と、場合により、圧縮機内の増圧の適合とが実施されなければならない。

【0063】

部分負荷タービン出口温度の上昇を実現するためには、少なくともタービン出口と排ガス管路とが、最大の全負荷排ガス温度よりも高いタービン出口温度に対して設計されなければならない。

10

【0064】

冷却空気質量流量および温度の調整を実現するためには、1つまたはそれ以上の冷却空気冷却器が調整可能に形成されなければならず、冷却空気システムに対する調整弁が設けられていなければならない。さらに、システムが、拡張された運転範囲内で、冷却器の下流側の冷却空気流量の増加および最高温度の上昇に対して設計されなければならない。

【0065】

本発明の更なる利点および態様は従属請求項に記載してあり、明細書および添付の図面から明らかである。説明した全ての利点は、それぞれ記載した組合せだけでなく、本発明の範囲を逸脱することなしに、別の組合せでも、単独でも使用可能である。

20

【0066】

1つの態様は、たとえば、局所的に生じる空気比  $\phi$  を減少させるための種々異なる構成要素の調整の点で優れている。ガスタービンの全ての構成部材は、許容可能な誤差の範囲内にある。この誤差は、各構成要素に対して、僅かに異なるジオメトリおよび特性に繋がる。このことは、運転中に、特にそれぞれ異なる圧力損失および流量にも繋がる。誤差は、通常運転中、特に高い部分負荷および全負荷に際して、実際に運転特性に影響を与えないように選択されている。しかし、高い空気比  $\phi$  での部分負荷時には、すでに小さな障害がCOエミッションに著しい影響を与えることがある条件下で燃焼器が運転される。たとえば、低い流量係数を備えたバーナランスが、大きな横断面を備えたバーナ内に組み込まれる場合には、この組合せが、局所的に高められたCO生成を招く局所的な空気比  $\phi$  の増加に繋がることがある。このことを回避するためには、局所的に生じる空気比  $\phi$  を減少させるための構成要素の調整が提案される。このためには、種々異なる構成部材のジオメトリおよび/または流量係数が測定され、高い流量を備えた部材と、低い流量を備えた部材とが、第2の燃焼器の内部で組み合わされる。

30

【0067】

バーナランスは、第2の燃焼器のバーナへの燃料供給部材に対する1つの例である。このバーナランスは、この態様でも、別の態様でも、一例として形成されている。別の種類の燃料供給、たとえば燃料ノズルを備えた管または異形材の態様も同じく有効である。

【0068】

40

典型的な例は、大きな横断面と、相応に低い圧力損失とを備えたバーナへの、高い流量を備えたバーナランスの組込みである。

【0069】

更なる最適化可能性は、第1の燃焼器に対する第2の燃焼器の調整によって提供される。この態様では、通常、第1の燃焼器に設けられた高い流量を備えた構成部材が、第2の燃焼器に設けられた低い流量を備えた構成部材に組み合わされる。

【0070】

たとえば、第1の燃焼器の、高い燃料流量を有するバーナの下流側に、低い流量を備えたバーナランスが配置される。第1の燃焼器内の局所的に高い流量は、第1の燃焼器からの局所的に高い出口温度ひいては下流側に位置する第2の燃焼器のバーナへの局所的に高

50

められた入口温度を招く。このバーナに対する上昇させられた入口温度に相応して、このバーナ内に噴射された燃料の反応速度が、全てのバーナの平均よりも高くなる。したがって、このバーナを局所的により高い最大の空気比  $m_{ax}$  で運転することができる。この位置には、第 1 の燃焼器に対する調整のために、小さな流量係数を備えたランスを組み込むことができる。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図 1】シーケンシャル燃焼式のガスタービンを示す図である。

【図 2】シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の断面図ならびに 1 つの燃料環状管路と、8 つのバーナを次第に弱めるための 8 つの個別切換弁とを備えた燃料分配システムの断面図である。

10

【図 3】シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の断面図ならびに 1 つの燃料環状管路と、4 つのバーナの燃料流量を調整するための 4 つの個別調整弁とを備えた燃料分配システムの断面図である。

【図 4】シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の断面図ならびに互いに別個に調整可能な 2 つの分割グループと、2 つの燃料環状管路とを備えた燃料分配システムの断面図である。

【図 5】シーケンシャル燃焼式のガスタービンを調整するための従来の方法を示す図である。

【図 6】負荷増加に際して、第 1 の燃焼器だけでの運転の間、調節可能な圧縮機案内羽根列が開放され、その後、この調節可能な圧縮機案内羽根列が第 2 の燃焼器の作動時に急激に閉鎖される、シーケンシャル燃焼式のガスタービンを調整するための方法を示す図である。

20

【図 7】負荷増加に際して、第 2 の燃焼器の作動後、TAT 2 限界値が全負荷限界値を上回って増加させられる、シーケンシャル燃焼式のガスタービンを調整するための方法を示す図である。

【図 8】全てのバーナが運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の横断面図である。

【図 8 a】左右において、それぞれ分離平面に隣接したバーナが停止されていて、残りのバーナが運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の横断面図である。

30

【図 8 b】左右において、分離平面に隣接したそれぞれ 2 つのバーナが停止されていて、残りのバーナが運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の横断面図である。

【図 9 a】右側において、分離平面に隣接した 1 つのバーナが停止されていて、残りのバーナが運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の横断面図である。

【図 9 b】左右において、それぞれ分離平面に隣接したそれぞれ 1 つのバーナが停止されていて、残りのバーナが運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の横断面図である。

40

【図 10】3 つのグループのバーナが停止されていて、残りのバーナが運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の横断面図である。

【図 11】1 つのグループのバーナが停止されていて、残りのバーナが運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器の横断面図である。

【0072】

発明の実施の形態

本発明を、図 1 ~ 図 11 に示した実施の形態につき概略的に説明する。

【0073】

図 1 には、本発明に係る方法を実施するためのシーケンシャル燃焼式のガスタービン、つまり、再熱式のガスタービンが示してある。このガスタービンは、圧縮機 1 と、第 1 の

50

燃焼器 4 と、第 1 のタービン 7 と、第 2 の燃焼器 15 と、第 2 のタービン 12 とを有している。典型的には、ガスタービンは発電機 19 を有している。この発電機 19 は、ガスタービンの低温の端部、すなわち、圧縮機 1 において、ガスタービンの軸 18 に連結されている。

【 0 0 7 4 】

第 1 の燃焼器 4 内には、燃料供給部材 5 を介して燃料、たとえばガスまたはオイルが導入され、圧縮機 1 で圧縮された空気に混合され、燃焼させられる。高温ガス 6 が、仕事実行のもと、後続の第 1 のタービン 7 内で部分膨張させられる。

【 0 0 7 5 】

第 2 の燃焼器 15 が運転されると、部分膨張させられたガス 8 に第 2 の燃焼器 15 のバーナ 9 において燃料供給部材 10 を介して更なる燃料が混加され、第 2 の燃焼器 15 内で燃焼させられる。高温ガス 11 が、仕事実行のもと、後続の第 2 のタービン 12 内で膨張させられる。排ガス 13 は、複合サイクル発電プラントの排熱回収ボイラまたは別の廃熱利用設備に有益に供給することができる。

【 0 0 7 6 】

吸入質量流量を調整するためには、圧縮機 1 が、少なくとも 1 つの調節可能な圧縮機案内羽根（静翼）列 14 を有している。

【 0 0 7 7 】

吸入空気 2 の温度を上昇させることができるようにするためには、凍結防止管路 26 が設けられている。この凍結防止管路 26 を通して、圧縮された空気 3 の一部を吸入空気 2 に供給することができる。調整のためには、凍結防止調整弁 25 が設けられている。この凍結防止調整弁 25 は、従来、周辺空気中に高い相対的な空気湿分が含まれている寒い日に作動させられ、これによって、圧縮機 1 の凍結の危険が予防される。

【 0 0 7 8 】

圧縮された空気 3 の一部は高圧側冷却空気 22 として分岐され、高圧側冷却空気冷却器 35 を介して冷却され、第 1 の燃焼器 4（冷却空気管路は図示せず）と第 1 のタービン 7 とに冷却空気 22 として供給される。

【 0 0 7 9 】

高圧側冷却空気 22 の、高圧タービン 7 に供給される質量流量は、この実施の形態では、高圧側冷却空気調整弁 21 によって調整することができる。

【 0 0 8 0 】

高圧側冷却空気 22 の一部は、いわゆる「担持空気 24」として第 2 の燃焼器 15 のバーナ 9 のバーナランスに供給される。担持空気 24 の質量流量は担持空気調整弁 17 によって調整することができる。

【 0 0 8 1 】

圧縮機 1 から、空気の一部が部分圧縮されて分岐され、低圧側冷却空気冷却器 36 を介して冷却され、第 2 の燃焼器 15 と第 2 のタービン 12 とに冷却空気 23 として供給される。この冷却空気 23 の質量流量は、この実施の形態では、冷却空気調整弁 16 によって調整することができる。

【 0 0 8 2 】

燃焼器は、図 2 および図 3 に第 2 の燃焼器 15 の例で示したように、たとえば多数の個別バーナ 9 を備えた環状燃焼器として形成されている。各バーナ 9 には、燃料分配システムと燃料供給部材 10 とを介して燃料が供給される。

【 0 0 8 3 】

図 2 には、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの、バーナ 9 を備えた第 2 の燃焼器 15 の断面図ならびに 1 つの燃料環状管路 30 と、8 つのバーナ 9 を停止するための 8 つの個別切換弁 37 とを備えた燃料分配システムの断面図が示してある。個別切換弁 37 の閉鎖によって、個々のバーナ 9 への燃料供給が停止され、燃料が残りのバーナ 9 に分配される。全燃料質量流量は調整弁 28 を介して調整される。これによって、運転中のバーナ 9 の空気比 が減少させられる。

10

20

30

40

50

## 【0084】

図3には、第2の燃焼器15の断面図ならびに1つの燃料環状管路30と、個々のバーナ9への燃料供給部材10とを備えた燃料分配システムの断面図が示してある。この実施の形態では、4つのバーナ9が、これらの各バーナ9の燃料供給部材10内の燃料流量を調整するための個別調整弁27を備えている。全燃料質量流量は調整弁28を介して調整される。個別調整弁27による4つのバーナ9への燃料質量流量の別個の調整によって、ステージングが可能となる。4つの個別調整弁27は、部分負荷が低い場合には、第2の燃焼器15の全てのバーナ9に均一に燃料が供給されるように完全に開放されており、これによって、全てのバーナ9が等しい空気比で運転されて、COエミッションが最小限に抑えられる。相対的な負荷が高まるにつれて、特にたとえば相対的な負荷の70%を上回って、高められた脈動が生じる場合には、個別調整弁27が僅かに閉鎖され、これによって、ステージングが実現され、ひいては、燃焼が安定化させられる。この場合には、僅かに閉鎖された個別調整弁27を介して燃料供給されるバーナ9の空気比が高められる。しかし、このことは、負荷が高い場合には、COエミッションに関して問題とならない。

## 【0085】

図4には、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第2の燃焼器15の断面図ならびに別個に調整可能な2つの分割グループのバーナ9を備えた燃料分配システムの断面図が示してある。この燃料分配システムは、それぞれ第1の分割グループに対する燃料環状管路32と、第2の分割グループに対する燃料環状管路31と、対応する燃料供給部材10とを有している。両分割システムの燃料量を独立して調整するためには、第1の分割グループに対する燃料調整弁33と、第2の分割グループに対する燃料調整弁34とが設けられている。

## 【0086】

第1の分割グループに対する燃料調整弁33と、第2の分割グループに対する燃料調整弁34とは、部分負荷が低い場合には、各バーナ9の燃料質量流量が等しいように調整されている。

## 【0087】

これによって、第2の燃焼器15の全てのバーナ9に均一に燃料が供給されるので、全てのバーナ9が等しい空気比で運転されて、COエミッションが最小限に抑えられる。相対的な負荷が高まるにつれて、特にたとえば相対的な負荷の70%を上回って、高められた脈動が生じる場合には、第1の分割グループの調整弁33が、第2の分割グループの調整弁34ほど十分に開放されず、これによって、ステージングが実現され、ひいては、燃焼が安定させられる。

## 【0088】

択一的には、第1の分割グループの調整弁33が第2の調整弁34の下流側に接続されてよい。この形態では、図3に示した形態に類似して、部分負荷時に第1の分割グループの調整弁33が完全に開放されなければならず、高い部分負荷時には絞られなければならず、これによって、ステージングが実現される。全燃料質量流量は調整弁34を介して調整される。燃料が液状燃料、たとえばオイルである形態では、バーナの種類に応じて、NOxエミッションを減少させるために、水噴射が必要となる。この水噴射は、たとえば燃料供給に類似して実施され、相応の管路および調整システムが設けられていなければならない。

## 【0089】

液状燃料、たとえばオイルだけでなく、燃焼ガス、たとえば天然ガスでも運転することができる、いわゆる「デュアルフューエルガスタービン」では、各燃料に対して別個の燃料分配システムが設けられていなければならない。

## 【0090】

図5には、シーケンシャル燃焼式のガスタービンを調整するための従来の方法が示してある。ガスタービンには、アイドリング、すなわち、0%の相対的な負荷P<sub>re1</sub>から出

発して、全負荷、すなわち、100%の相対的な負荷  $P_{re1}$  まで負荷がかけられる。0%の相対的な負荷  $P_{re1}$  の場合には、調節可能な圧縮機案内羽根列14が閉鎖されている、すなわち、最小の開き角に調整されている。

【0091】

第1の燃焼器5が点火されている。このことは、第1のタービン7のタービン入口温度TIT1と、対応するタービン出口温度TAT1とを招く。第2の燃焼器15はまだ運転されておらず、これによって、第2の燃焼器15内でのガスの加熱は行われていない。第1のタービン7から流出するガスの温度TAT1は、燃焼器冷却と低圧タービン冷却の考慮とによって第2のタービン12のタービン入口温度TIT2に低下させられる。第2のタービン12から、膨張させられたガスが温度TAT2で流出する。

10

【0092】

方法の段階Iでは、0%の相対的な負荷  $P_{re1}$  から出発して、出力向上のために、まず、タービン入口温度TIT1がTIT1限界値にまで上昇させられる。タービン入口温度TIT1の上昇につれて、出口温度TAT1および後続の第2のタービン12の温度TIT2, TAT2も上昇する。

【0093】

TIT1限界値への到達後、出力を引き続き高めるためには、段階IIの初めに第2の燃焼器15が点火され、この第2の燃焼器15のバーナ9への燃料供給が負荷に比例して増加させられる。タービン入口温度TIT2およびタービン出口温度TAT2は、このタービン出口温度TAT2の第1の限界値が達成されるまで、段階IIでの負荷にわたって相応に急勾配で上昇する。従来では、TAT2限界値がTAT2全負荷限界値と同一である。

20

【0094】

TAT2限界値への到達後、出力を引き続き高めるためには、方法の段階IIIにおいて、調節可能な圧縮機案内羽根列14が開放され、これによって、吸入質量流量の増加により出力が調整される。吸入質量流量に比例して、第2のタービン12の圧力比が増加する。したがって、コンスタントなタービン出口温度TAT2のままタービン入口温度TIT2が相対的な出力  $P_{re1}$  にわたって引き続き上昇させられ、その後、第1のTIT2限界値が達成される。

【0095】

この第1のTIT2限界値への到達後、相対的な負荷  $P_{re1}$  を引き続き高めるためには、方法の段階IVにおいて、コンスタントなタービン入口温度TIT2のまま、調節可能な圧縮機案内羽根列14が、最大限に開放された位置に到達するまで引き続き開放される。

30

【0096】

図示の例では、方法の段階Vにおいて、100%の相対的な負荷  $P_{re1}$  が達成されるまで、タービン入口温度TIT2が、調節可能な圧縮機案内羽根列14のコンスタントな位置のまま、第1のTIT2限界値から第2のTIT2限界値に上昇させられる。

【0097】

図6には、図5に示した方法に比べて段階IIが変更された、シーケンシャル燃焼式のガスタービンを調整するための方法が示してある。段階IIは、この実施の形態では、2つの部分に分割されている。段階Iの終わりにタービン入口温度TIT1が限界値に到達させられると、段階IIaにおいて、調節可能な圧縮機案内羽根列14が開放されることによって、負荷が高められる。第2の燃焼器15は段階IIaの間まだ運転されていない。調節可能な圧縮機案内羽根列14が段階IIaの終わりに開放位置を達成すると、第2の燃焼器15が作動させられ、調節可能な圧縮機案内羽根列14が迅速に閉鎖される。この調節可能な圧縮機案内羽根列14の閉鎖に同期して、第2の燃焼器15に供給される燃料質量流量が増加させられる。これによって、第2の燃焼器15が、著しく高い負荷の場合に初めて、著しく増加させられた燃料質量流量および著しく上昇させられたタービン入口温度TIT2で定常運転される。第2の燃焼器15が定常運転される場合には、吸入質

40

50

量流量が変わることなく最小流量であるので、空気比  $\phi$  が著しく減少させられ、これによつて、COエミッションが削減される。段階 I I b では、出力が、タービン入口温度 T I T 2 の上昇によつて、T A T 2 限界値への到達まで、段階 I I に対して説明した方法に類似して高められる。調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 の迅速な閉鎖の間、COエミッションが増加させられることがある。したがつて、調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 は可能な限り高い角速度で閉鎖される。この角速度は、1つには、調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 のアクチュエータの制限によつて制限され、もう1つには、過度に迅速な閉鎖時に負荷変動およびタービン入口温度の調整における問題が生じることがある。アクチュエータによつて、調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 の閉鎖が数秒の範囲内で可能となる場合でも、調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 は、たとえば数分の時間間隔、有利には 1 / 2 分 (= 30 秒) よりも少ない間隔を置いて閉鎖される。 10

#### 【 0 0 9 8 】

図 7 には、図 5 に示した方法に比べて段階 I I I が変更された、シーケンシャル燃焼式のガスタービンを調整するための方法が示してある。図 7 には、2つの変更点が示してある。

#### 【 0 0 9 9 】

段階 I I I の第 1 の変更点は、T A T 2 全負荷限界値よりも高い第 2 の限界値への T A T 2 限界値の増加である。これによつて、この第 2 の T A T 2 限界値が達成されるまで、タービン入口温度 T I T 2 の更なる上昇が可能となる。調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 は段階 I I I a の終わりまで閉鎖されたままである。調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 が閉鎖されたままであり、タービン入口温度 T I T 2 と共に燃料質量流量が増加することによつて、空気比  $\phi$  が著しく減少させられ、これによつて、CO部分負荷エミッションが削減される。段階 I I I b では、この段階 I I I b の終わりに第 1 の T A T 2 限界値が達成されるまで、T A T 2 限界値が負荷に比例して減少させられる。タービン出口温度 T A T 2 の低下にもかかわらず、出力を高めるためには、調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 が急勾配で開放される。この調節可能な圧縮機案内羽根列 1 4 の開放に比例して、第 2 のタービン 1 2 に関する質量流量ひいては圧力比が増加させられる。この圧力比によつて、タービン出口温度 T A T 2 に対するタービン入口温度 T I T 2 の温度比が増加させられ、これによつて、タービン出口温度 T A T 2 の低下にもかかわらず、段階 I I I b の終わりに第 1 の T I T 2 限界値が達成されるまで、タービン入口温度 T I T 2 が引き続き上昇させられる。 20 30

#### 【 0 1 0 0 】

図 7 に示した第 2 の変更点は、段階 I I I a の初めのタービン入口温度 T I T 1 およびタービン出口温度 T A T 1 の上昇である。図示のこの上昇は、単に一例として段階 I I I の間に示してあるに過ぎない。この上昇は、方法または段階の移行点に依存していない。この上昇は、COエミッションに関して問題となる各部分負荷範囲内で実施されてよい。この形態では、空気比  $\phi$  に直接影響は与えられない。低エミッション燃焼を達成するための最小の空気比  $\phi_{min}$  は、燃焼の周辺条件に左右される。タービン出口温度 T A T 1 の上昇によつて、周辺条件が改善される。タービン出口温度 T A T 1 の上昇によつて、第 2 の燃焼器 1 5 内の温度と反応速度とが高められる。これによつて、完全燃焼が改善され、COエミッションが削減される。 40

#### 【 0 1 0 1 】

図 8 には、全てのバーナ 9 が運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器 1 5 の概略的な横断面図が示してある。バーナ 9 は、それぞれ符号 X によつて運転されているものとして図示してある。

#### 【 0 1 0 2 】

図 8 a には、左右において、それぞれ分離平面 3 8 に隣接したバーナ 9 が停止されていて、残りのバーナ 9 が運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第 2 の燃焼器 1 5 の横断面図が示してある。停止されているバーナ 9 は、符号 O によつて運転されていないものとして示してある。 50

## 【0103】

図8bには、左右において、分離平面38に隣接したそれぞれ2つのバーナ9が停止されていて、残りのバーナ9が運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第2の燃焼器15の横断面図が示してある。

## 【0104】

図8aおよび図8bに示した個別バーナを切り換えるためには、たとえば、図2に示したように、個々のバーナ9への燃料供給部材10に個別切換弁37が設けられてよい。本発明に係る方法の実施の形態では、高い相対的な負荷 $P_{re1}$ において、全てのバーナ9が運転されている。相対的な負荷 $P_{re1}$ の限界値未満への負荷の減少時には、まず、図8aに相応して、分離平面38に隣接したバーナ9が停止される。

10

## 【0105】

さらに、相対的な負荷 $P_{re1}$ のより低い限界値未満への負荷の更なる減少後、図8bに相応して、分離平面38から位置2つ分だけ遠ざけられたバーナ9も停止される。

## 【0106】

図9aには、右側において、分離平面38に隣接した1つのバーナ9が停止されていて、残りのバーナ9が運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービン第2の燃焼器15の横断面図が示してある。

## 【0107】

図9bには、左右において、それぞれ分離平面38に隣接した1つのバーナ9が停止されていて、残りのバーナ9が運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービン第2の燃焼器15の横断面図が示してある。

20

## 【0108】

図8a/図8bに示したバーナ分割グループの停止に対して逐一的には、全てのバーナ9が運転されている高い負荷から出発して、個々のバーナ9が停止されてもよい。まず、図9aに示したように、観察方向で見て右側に位置する、分離平面38に隣接したただ1つのバーナ9が停止される。次のステップにおいて、観察方向で見て左側に位置する、分離平面38に隣接した1つのバーナ9が停止される。

## 【0109】

また、負荷に反比例して、更なるバーナ9が停止されてもよい。

## 【0110】

図10には、3つのグループのバーナ9が停止されていて、残りのバーナ9が運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第2の燃焼器15の横断面図が示してある。このような構成は、たとえば、COエミッションに与えられる、分離平面38における漏れの影響が小さく、さらに、作動させられているバーナ9のCOエミッションに与えられる、停止されている低温の隣接バーナの影響が小さい場合に選択することができる。この配置形態の利点は、燃焼器15の出口における比較的均質な温度分布である。

30

## 【0111】

図11には、ただ1つのグループのバーナ9だけが停止されていて、残りのバーナ9は運転されている、シーケンシャル燃焼式のガスタービンの第2の燃焼器15の横断面図が示してある。この配置形態は、作動させられているバーナ9のCOエミッションに与えられる、停止されている低温の隣接バーナの影響が極めて大きく、この場合に生じる燃焼器15の好ましくない出口温度分布を後続の第2のタービン12によって許容することができるかまたは温度分布に冷却を適合させることができる場合に有利である。

40

## 【0112】

上述した全ての利点は、記載した組合せに限定されているだけでなく、本発明の範囲を逸脱することなしに、別の組合せでも、単独でも使用可能である。たとえば、個々のバーナ9またはバーナ9のグループを停止するための任意に異なる形態が可能である。

## 【符号の説明】

## 【0113】

|                  |                     |    |
|------------------|---------------------|----|
| 2                | 吸入空気                |    |
| 3                | 圧縮された空気             |    |
| 4                | 第1の燃焼器              |    |
| 5                | 燃料供給部材              |    |
| 6                | 高温ガス                |    |
| 7                | 第1のタービン             |    |
| 8                | 部分膨張させられた高温ガス       |    |
| 9                | 第2の燃焼器のバーナ          |    |
| 10               | 燃料供給部材              |    |
| 11               | 高温ガス                | 10 |
| 12               | 第2のタービン             |    |
| 13               | (排熱回収ボイラへの) 排ガス     |    |
| 14               | 調節可能な圧縮機案内羽根        |    |
| 15               | 第2の燃焼器              |    |
| 16               | 低圧側冷却空気調整弁          |    |
| 17               | 担持空気調整弁             |    |
| 18               | 軸                   |    |
| 19               | 発電機                 |    |
| 21               | 高压側冷却空気調整弁          |    |
| 22               | 高压側冷却空気             | 20 |
| 23               | 冷却空気                |    |
| 24               | 担持空気                |    |
| 25               | 凍結防止調整弁             |    |
| 26               | 凍結防止管路              |    |
| 27               | 個別調整弁               |    |
| 28               | 燃料調整弁               |    |
| 29               | 燃料供給部材              |    |
| 30               | 燃料環状管路              |    |
| 31               | 第2の分割グループに対する燃料環状管路 |    |
| 32               | 第1の分割グループに対する燃料環状管路 | 30 |
| 33               | 第1の分割グループに対する燃料調整弁  |    |
| 34               | 第2の分割グループに対する燃料調整弁  |    |
| 35               | 高压側冷却空気冷却器          |    |
| 36               | 低圧側冷却空気冷却器          |    |
| 37               | 個別切換弁               |    |
| 38               | 分離平面                |    |
| T A T            | タービン出口温度            |    |
| T A T 1          | 第1のタービンのタービン出口温度    |    |
| T A T 2          | 第2のタービンのタービン出口温度    |    |
| T I T            | タービン入口温度            | 40 |
| T I T 1          | 第1のタービンのタービン入口温度    |    |
| T I T 2          | 第2のタービンのタービン入口温度    |    |
| P <sub>re1</sub> | 相対的な出力              |    |
| X                | 作動させられているバーナ        |    |
| O                | 停止されているバーナ          |    |

【図1】

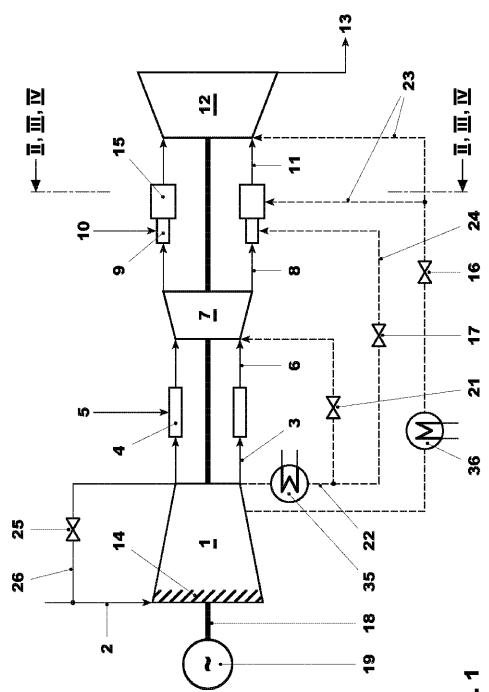


FIG. 1

【図2】

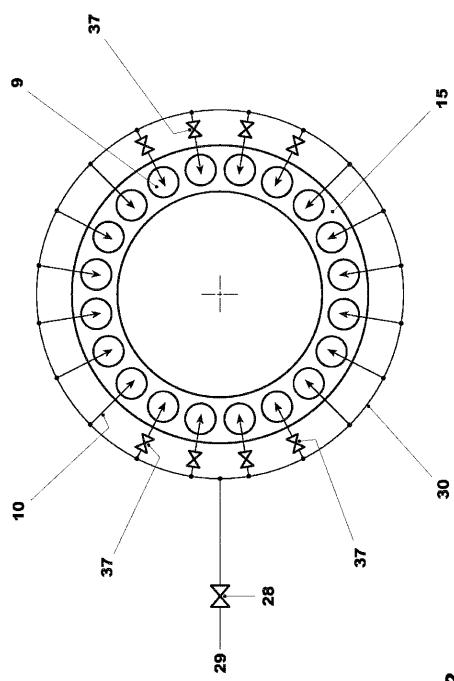


FIG. 2

【図3】

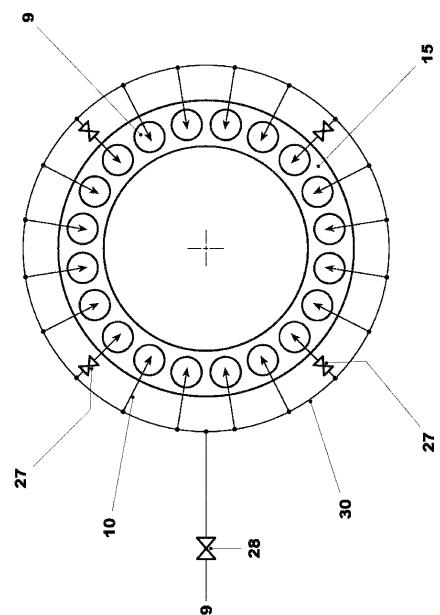


FIG. 3

【図4】

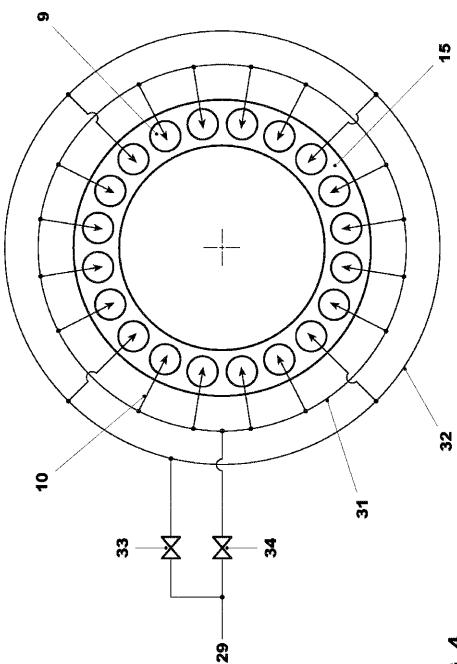


FIG. 4

【図5】

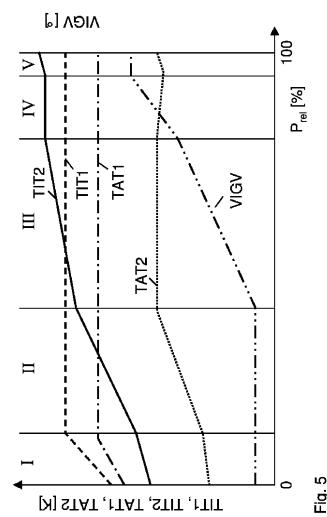


Fig. 5

【図6】

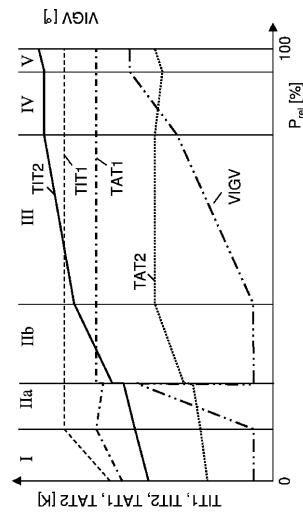


Fig. 6

【図7】

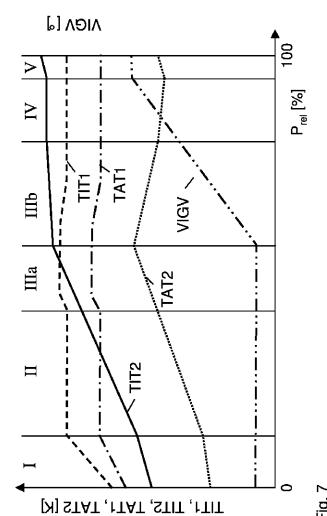


Fig. 7

【図8 a】

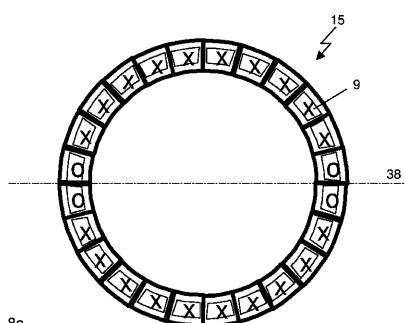


Fig. 8a

【図8 b】

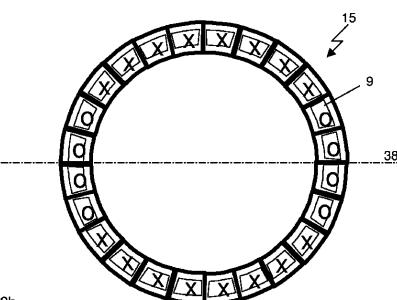


Fig. 8b

【図8】

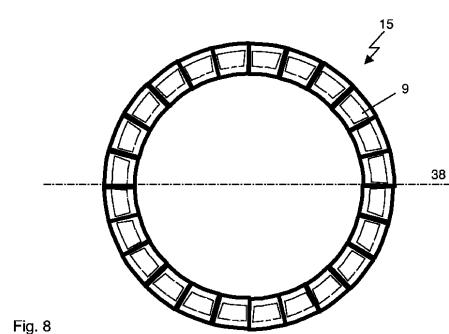


Fig. 8

【図 9 a】

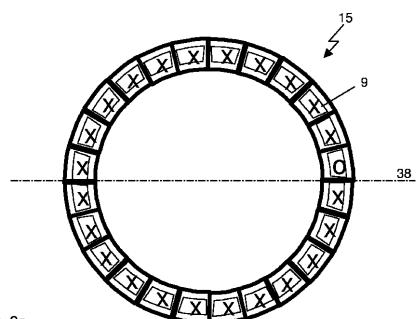


Fig. 9a

【図 10】

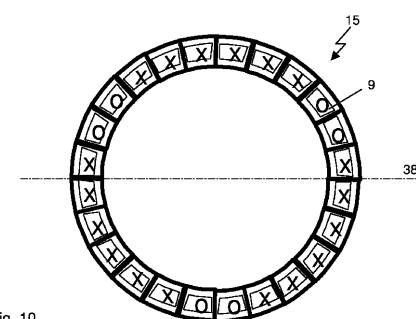


Fig. 10

【図 9 b】

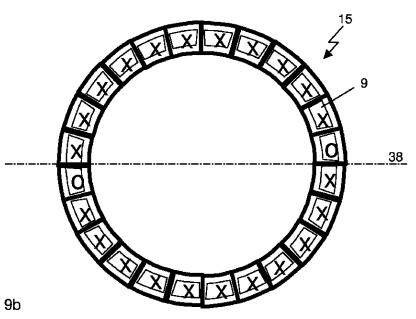


Fig. 9b

【図 11】

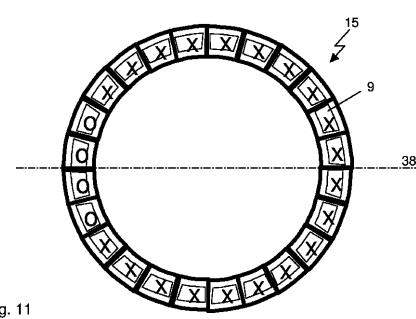


Fig. 11

---

フロントページの続き

(74)代理人 100114292  
弁理士 来間 清志  
(74)代理人 100128679  
弁理士 星 公弘  
(74)代理人 100135633  
弁理士 二宮 浩康  
(74)代理人 100156812  
弁理士 篠 良一  
(74)代理人 100114890  
弁理士 アインゼル・フェリックス=ラインハルト  
(72)発明者 アドナン エログル  
スイス国 ウンタージッゲンタール ツエルグリシュトラーセ 9  
(72)発明者 クラウス クナップ  
スイス国 ゲーベンストアフ リートヴィースシュトラーセ 10  
(72)発明者 ペーター フローア  
スイス国 トゥアギ ネルケンシュトラーセ 7  
(72)発明者 ハンス ペーター クネプフェル  
スイス国 ドッティコン エアレンヴェーク 12  
(72)発明者 ウェイクン ゲン  
スイス国 デトヴィル ツエルクヴェーク 8

審査官 米澤 篤

(56)参考文献 特開平8-218898(JP,A)  
特開2002-295831(JP,A)  
特開2006-145073(JP,A)  
特開平6-213456(JP,A)  
特開平6-2572(JP,A)  
特開2007-138949(JP,A)  
特開2006-336995(JP,A)  
特開平5-187269(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 02 C 9 / 54  
F 02 C 3 / 14  
F 02 C 7 / 228  
F 23 R 3 / 28