

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5627598号  
(P5627598)

(45) 発行日 平成26年11月19日 (2014.11.19)

(24) 登録日 平成26年10月10日 (2014.10.10)

(51) Int.Cl.	F I
<b>F O 2 C</b> 3/30 (2006.01)	F O 2 C 3/30 D
<b>F O 2 C</b> 6/18 (2006.01)	F O 2 C 6/18 A
<b>F 2 3 R</b> 3/00 (2006.01)	F 2 3 R 3/00 B
<b>F O 1 K</b> 23/10 (2006.01)	F O 1 K 23/10 U

請求項の数 16 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-542806 (P2011-542806)	(73) 特許権者	503416353
(86) (22) 出願日	平成21年12月21日 (2009.12.21)		アルストム テクノロジー リミテッド
(65) 公表番号	特表2012-514152 (P2012-514152A)		ALSTOM Technology Ltd
(43) 公表日	平成24年6月21日 (2012.6.21)		スイス国 バーデン ブラウン ボヴェリ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2009/067674		シュトラッセ 7
(87) 国際公開番号	W02010/072729		Brown Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden, Switzerland
(87) 国際公開日	平成22年7月1日 (2010.7.1)	(74) 代理人	100114890
審査請求日	平成24年12月18日 (2012.12.18)		弁理士 アインゼル・フェリックス＝ライ
(31) 優先権主張番号	08172880.0		ンハルト
(32) 優先日	平成20年12月24日 (2008.12.24)	(74) 代理人	100099483
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)		弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 CO<sub>2</sub>回収部を備えた発電プラント

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも一つのガスタービン ( 6 ) と、一つの熱回収蒸気発生器 ( 9 ) と、一つの蒸気タービン ( 1 3 ) と、CO<sub>2</sub>回収システム ( 1 8 ) とを備えた複合サイクル発電プラントの動作方法において、

HRSGからの排ガス ( 1 9 ) の第一の部分的な流れ ( 2 1 ) を再循環し、

HRSGからの排ガス ( 1 9 ) の第二の部分的な流れ ( 2 0 ) からCO<sub>2</sub>を回収し、

このプラントの正味の電力出力を増大するとともに、CO<sub>2</sub>回収システム ( 1 8 ) の消費電力の少なくとも一部を補償するように、補助燃焼部 ( 1 0 ) を動作させるものであって、ガスタービン ( 6 ) 内の安定した完全燃焼を維持することができるとともに、ガスタービン後の残留酸素濃度 ( G T O<sub>2</sub> ) が補助燃焼部 ( 1 0 ) の安定した完全燃焼を維持するのに十分であるとの条件下で制御可能な最も高い再循環率である再循環率で、第一の部分的な流れ ( 2 1 ) を再循環し、残りの前記第二の部分的な流れ ( 2 0 ) を煙突 ( 3 2 ) から放出することを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記排ガス ( 1 9 ) の部分的な流れを前記HRSGからの前記煙突 ( 3 2 ) に迂回させるか又は一部を迂回させることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

補助燃焼部 ( 1 0 ) の安定した完全燃焼のために、追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上 ( 1 1 ) を補助燃焼部 ( 1 0 ) に噴射することを

10

20

特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

補助燃焼部 ( 1 0 ) の安定した完全燃焼に必要な酸素濃度と独立して、再循環率を制御することができるような十分な外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上 ( 1 1 ) を補助燃焼部 ( 1 0 ) に噴射することを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上 ( 1 1 ) の流量が再循環率の関数であることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の方法。

【請求項 6】

追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上 ( 1 1 ) の流量がガスタービン後の残留酸素濃度 ( G T O<sub>2</sub> ) の関数であることを特徴とする請求項 3 から 5 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 7】

追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上 ( 1 1 ) の流量が補助燃焼部の負荷の関数であることを特徴とする請求項 3 から 6 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 8】

追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上 ( 1 1 ) の流量が再循環率の関数、ガスタービン後の残留酸素濃度の関数、補助燃焼部の負荷の関数の中の一つ以上であることを特徴とする請求項 3 から 7 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 9】

追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上 ( 1 1 ) が、複合サイクル発電プラントの水蒸気サイクル、C O<sub>2</sub> 回収システム ( 1 8 )、排ガスの中の一つ以上からの低温の熱によって予熱されることを特徴とする請求項 3 から 8 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 1 0】

電力需要がピークの時間に問題となる正味の電力出力を増大するとともに、動作の柔軟性を向上するように、補助燃焼部 ( 1 0 ) を動作させることを特徴とする請求項 1 から 9 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 1 1】

少なくとも一つのガスタービン ( 6 ) と、少なくとも一つの熱回収蒸気発生器 ( 9 ) と、少なくとも一つの蒸気タービン ( 1 3 ) と、少なくとも C O<sub>2</sub> 回収システム ( 1 8 ) と、排ガス再循環系統とを備えた複合サイクル発電プラントにおいて、

低余剰空気用補助燃焼部 ( 1 0 ) が配備されているものであって、該 C O<sub>2</sub> 回収システム ( 1 8 ) は、排ガス ( 1 9 ) の第 2 の部分的な流れを受入れ後、残りの排ガスの第 2 の部分的な流れを煙突 ( 3 2 ) から排出し、前記排ガス再循環系統は、H R S G から圧縮機の入力側へ排ガス ( 1 9 ) の第 1 の部分的な流れを再循環させることを特徴とする複合サイクル発電プラント。

【請求項 1 2】

前記排ガス ( 1 9 ) の部分的な流れを前記 H R S G からの前記煙突 ( 3 2 ) に迂回させるか又は一部を迂回させるために、該 H R S G の出口から該煙突 ( 3 2 ) へ排ガス迂回路 ( 2 4 ) が設けられることを特徴とする請求項 1 1 に記載の複合サイクル発電プラント。

【請求項 1 3】

低余剰空気用補助燃焼部 ( 1 0 ) への外気の供給配管、酸素を多く含む空気の供給配管、酸素の供給配管の中の一つ以上が配備されていることを特徴とする請求項 1 1 又は 1 2 に記載の複合サイクル発電プラント。

【請求項 1 4】

酸素濃縮設備と空気分離ユニットの一つ以上が配備されていることを特徴とする請求項

10

20

30

40

50

1 1 から 1 3 までのいずれか一つに記載の複合サイクル発電プラント。

【請求項 1 5】

圧縮機の入力ガス(2)の入力ガス中の酸素濃度の測定、ガスタービンの熱い排ガス(8)中の残留酸素濃度の測定、熱回収蒸気発生器からの排ガス(19)中の残留酸素濃度の測定の中の一つ以上のために、少なくとも一つの酸素測定器が配備されていることを特徴とする請求項 1 1 から 1 4 までのいずれか一つに記載の複合サイクル発電プラント。

【請求項 1 6】

圧縮機の入力ガス(2)の入力ガス中のCO<sub>2</sub>濃度の測定、ガスタービンの熱い排ガス(8)中のCO<sub>2</sub>濃度の測定、熱回収蒸気発生器からの排ガス(19)中のCO<sub>2</sub>濃度の測定の中の一つ以上のために、少なくとも一つのCO<sub>2</sub>測定器が配備されていることを特徴とする請求項 1 1 から 1 5 までのいずれか一つに記載の複合サイクル発電プラント。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、CO<sub>2</sub>回収部と補助燃焼部を統合した複合サイクル発電プラントとその動作方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、温室効果ガスの発生が地球の温暖化を引き起して、温室効果ガスの発生量が更に増加すると地球の温暖化を加速させることが明らかになった。CO<sub>2</sub>(二酸化炭素)は、主要な温室効果ガスとして看做されているので、CCS(炭素の回収と貯蔵)が、温室効果ガスの大気中への放出を削減して、地球の温暖化を制御できる重要な手段の一つとして考えられている。そのような意味において、CCSは、CO<sub>2</sub>の回収、圧縮、輸送、貯蔵を行うプロセスとして定義される。回収は、炭素をベースとする燃料の燃焼後の排ガスからCO<sub>2</sub>を除去するか、或いは燃焼前に炭素を除去して、処理するプロセスとして定義される。排ガス又は燃料ガスの流れからCO<sub>2</sub>を除去するための吸収剤、吸着剤又はその他の手段の再生は、回収プロセスの一部として考えられる。

【0003】

ポスト燃焼式回収とも呼ばれるバックエンド式CO<sub>2</sub>回収は、CCPP(複合サイクル発電プラント)を含む化石燃料を燃やす発電プラントのための商業的に有望な技術である。ポスト燃焼式回収では、排ガスからCO<sub>2</sub>を除去する。残った排ガスは、大気中に放出され、CO<sub>2</sub>は、運搬と貯蔵のために圧縮される。吸収剤、吸着剤、膜分離、深冷分離などの排ガスからCO<sub>2</sub>を除去する幾つかの技術が知られている。ポスト燃焼式回収による発電プラントが本発明の対象である。

【0004】

CO<sub>2</sub>回収に関して全ての周知の技術は、比較的大きなエネルギー量を必要としている。従来のCCPPでは、排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度が約4%しかなく、比較的低いために、従来のCCPP用の(CO<sub>2</sub>回収プラント又はCO<sub>2</sub>回収設備とも呼ばれる)CO<sub>2</sub>回収システムは、より高いCO<sub>2</sub>濃度で排ガスが流れる別のタイプの発電プラント用のシステムよりもコストがかかり、回収するCO<sub>2</sub>のkg当りの消費エネルギーも大きい。

【0005】

CCPPの排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度は、燃料の組成、ガスタービンの形式、負荷に依存し、ガスタービンの動作条件に応じて著しく変化する。そのようなCO<sub>2</sub>濃度の変化は、CO<sub>2</sub>回収システムの性能、効率及び動作性に関して不利となる。

【0006】

CCPPの排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度を高めるために、二つの主要な方式が知られている。一つは、例えば、非特許文献1に記載されている通り、排ガスを再循環させることである。もう一つは、所謂プラントのタンデム配置構成であり、そこでは、第一のCCPPの排ガスを冷却して、第二のCCPP用の入力ガスとして使用し、第二のCCPPの排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度を高めた排ガスを得るようにしている。そのような配置構成は、例えば、特

10

20

30

40

50

許文献 1 に記載されている。これらの方法は、排ガスの全体的な流量を低減し、CO<sub>2</sub>濃度を高め、それによって、吸収剤の所要の再生能力と回収システムの消費電力を低減している。

【0007】

これらの方法及び異なる処理工程を最適化し、これらのプロセスの発電プラントへの統合によって、電力と効率の低下を軽減するための多くの公表された別の方法は、資本支出とCO<sub>2</sub>回収システムの必要電力を削減することを目的としている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

10

【特許文献 1】米国特許公開第 20080060346 号明細書

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献 1】O. Bolland and S. Saether in "NEW CONCEPTS FOR NATURAL GAS FIRED POWER PLANTS WHICH SIMPLIFY THE RECOVERY OF CARBON DIOXIDE" (Energy Convers. Mgmt Vol. 33, No. 5-8, pp.467-475, 1992)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明の主な課題は、動作の柔軟性を向上するとともに、CO<sub>2</sub>回収による発電能力の低下を軽減した、少なくとも一つのガスタービンと、一つの熱回収蒸気発生器(HRSG)と、一つの蒸気タービンと、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)回収システムとを備えた複合サイクル発電プラント(CCP)とそのような CCP の動作方法を提供することである。

20

【0011】

特に、CCP の発電能力に対する CO<sub>2</sub>回収の影響を最小化する、即ち、CO<sub>2</sub>回収システムを含むプラントによって送電網に供給される電力を最大化することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本課題に対して、排ガス再循環系統、CO<sub>2</sub>回収部及び補助燃焼部を備えた CCP の動作方法とそのような方法を実施するためのプラントを提案する。本発明の核心は、CO<sub>2</sub>回収システムの必要電力の少なくとも一部を補償する、排ガス再循環系統を備えた CCP の排ガス中での補助燃焼バーナーの動作を可能とする、排ガス再循環系統を備えた CCP の動作方法である。補助燃焼バーナーは、CCP の HRSG 内か、ガスタービンから HRSG への排ガスダクト内でのダクト燃焼器として配備することができる。

30

【0013】

排ガスの再循環のために、ガスタービンの排ガスの流れは、HRSG の下流で少なくとも二つの部分的な流れに分割される。第一の部分的な流れは、排ガス再循環用配管を経由してガスタービンの入力に戻され、第二の部分的な流れは、CO<sub>2</sub>回収システムを経由して大気中に放出するための煙突に送られる。更に、動作の柔軟性を向上するために、排ガスを大気中に直接放出するための CO<sub>2</sub>回収システムの迂回路を配備することができる。それによって、再循環率、CO<sub>2</sub>回収ユニットへの排ガスの流量、CO<sub>2</sub>を回収せずに排ガスを煙突に直接流す量を組み合わせることが可能となる。

40

【0014】

排ガスの再循環は、CO<sub>2</sub>回収システムのサイズ、その費用、必要電力を最小化するために実施される。CO<sub>2</sub>の回収の最適化のためには、排ガスを再循環する割合を最大化すべきである。再循環率は、ガスタービンの排ガスの質量流量全体に対する、ガスタービンから圧縮機の入力に再循環される排ガスの質量流量の比率として定義される。

【0015】

CO<sub>2</sub>回収効率の向上と排ガスの質量流量の最小化のためには、排ガス中の酸素濃度は、理想的には 0% である。ガスタービンの燃焼室を迂回する空気の冷却と完全燃焼を保証

50

するのに必要な余剰酸素のために、再循環を制限して、再循環しても排出ガス中に幾らかの余剰酸素が残るようにする。ガスタービンの動作要件によって決まる典型的な再循環率は、ベース負荷での動作に対して30%～50%のオーダーである。

【0016】

従来の補助燃焼バーナーは、排ガス中の残留酸素濃度が10%以上有るものとして構成されている。排ガスを再循環するガスタービン後の残留酸素濃度は、典型的には10%を下回り、従来の補助燃焼バーナーには不十分である。排ガスを再循環するガスタービンからの排ガスの境界条件下における動作を可能とするために、低余剰空気式補助燃焼バーナーの使用を提案する。そのような意味において、低余剰空気式補助燃焼バーナーとは、低い理論空燃比での酸素濃度が10%を下回るガス流量で動作することが可能なバーナーである。そのような形式の低余剰空気式補助燃焼バーナーに対する理論空燃比は、2を下回り、有利には、1.5を下回り、或いは1.2さえ下回る。理想的には、そのような形式のバーナーは、出来る限り1に近い理論空燃比で動作することが可能である。

10

【0017】

従来のダクトバーナー又は中間バーナーは、空気供給量を追加し、余剰空気の割合を高くした状態で使用することができる。しかし、それは、排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度を低下させて、排ガスの流量を増加させる。そのため、本用途に相応しい解決策ではない。

【0018】

本発明の文脈において、CO<sub>2</sub>濃度又は酸素濃度を使用する代わりに、CO<sub>2</sub>含有量又は酸素含有量を使用することもできる。

20

【0019】

一つの実施形態では、再循環率は、少なくとも一つの制御器によって制御することができる。それは、例えば、制御可能なダンパー、或いは分離器の下流の排ガス用配管の一方又は両方にフラップ又はバルブのような制御器を備えた固定式分離器とすることができる。

【0020】

それによって、例えば、ガスタービン内の安定した完全燃焼を維持することができ、ガスタービン後の残留酸素濃度が補助燃焼部の安定した完全燃焼を維持するのに十分であるとの条件の下で実現可能な最も高い割合に再循環率を制御することができる。

【0021】

30

そのような意味での安定した完全燃焼とは、CO及び燃焼しなかった炭化水素の発生量がppm又は一桁のppmのオーダーである所要のレベルを下回ることと、燃焼の脈動が標準設計値以内に留まることを意味する。発生量のレベルは、典型的には、保証値によって規定される。脈動に関する設計値は、ガスタービン、動作点、燃焼器の構造、脈動の周期に依存する。それらは、燃焼器の圧力の10%を大きく下回るべきである。典型的には、燃焼器の圧力の1又は2%を下回る。

【0022】

再循環率は、例えば、外気を再循環の流れと混合した後の圧縮機の入力ガス中の酸素濃度を制御するために使用することもできる。入力ガス中の目標酸素濃度は、例えば、全ての動作条件下において、ガスタービン内での安定した完全燃焼を保証するのに十分な固定値とすることができる。

40

【0023】

別の実施形態では、排ガス中の目標酸素濃度は、補助燃焼部の相対的な負荷の関数である。それは、補助燃焼部が停止している限り、ガスタービンの要件に応じて最小化することができる。補助燃焼部が作動している場合、ガスタービンと補助燃焼部の要件を考慮しなければならない。二つの要件の中の大きい方が、排ガス中の目標残留酸素濃度を決める。補助燃焼部自体に必要な残留酸素濃度は、固定値とするか、或いは補助燃焼部のバーナー負荷の関数とすることができる。

【0024】

更に、補助燃焼部の安定した完全燃焼を保証するために、追加する空気、酸素を多く含

50

む空気、酸素の中の一つ以上をバーナー内に、或いは補助燃焼バーナーの上流に導入することを提案する。

【 0 0 2 5 】

別の実施形態では、再循環率は、固定した割合とするか、或いは補助燃焼部と関係なく決定することができる。そのような条件の下での補助燃焼部の安定した完全燃焼を保証するために、追加する空気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量の中の一つ以上を制御する。

【 0 0 2 6 】

そのような追加する空気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量の中の一つ以上は、固定の流量とすることができる。しかし、CO<sub>2</sub>の回収効率を向上するためには、排ガス中の余剰の空気又は酸素は避けるべきである。そのため、追加する空気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量の中の一つ以上の制御を提案する。

10

【 0 0 2 7 】

一つの実施形態では、追加する空気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量の中の一つ以上は、排ガスを再循環する割合の関数として制御される。

【 0 0 2 8 】

別の実施形態では、追加する空気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量の中の一つ以上は、ガスタービンの排ガス中の残留酸素濃度の関数として制御される。

【 0 0 2 9 】

更に別の実施形態では、追加する空気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量の中の一つ以上は、補助燃焼部の相対的な負荷の関数として制御される。

20

【 0 0 3 0 】

補助燃焼部の前後の排ガスの温度や排ガスの流速などの更に別のパラメータを使用することができる。

【 0 0 3 1 】

前記の制御パラメータと目標値を組み合わせることが可能である。例えば、排ガス中の残留酸素濃度と補助燃焼部の負荷の関数としての制御を組み合わせることによって、補助燃焼部のための良好な動作条件を得ることができる。

【 0 0 3 2 】

効率を最適化するために、追加する空気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上は、複合サイクル発電プラントの水蒸気サイクル、CO<sub>2</sub>回収システム、排ガスの中の一つ以上からの低温の熱によって予熱される。

30

【 0 0 3 3 】

本方法の外に、それに対応する複合サイクル発電プラント(CCP)は、本発明の一部である。

【 0 0 3 4 】

本CCPPは、少なくとも一つのガスタービンと、一つのHRSGと、一つの蒸気タービンと、CO<sub>2</sub>回収システムと、一つの補助燃焼部とを備えている。更に、それは、CO<sub>2</sub>回収システムへの一つの再循環用配管と一つの排ガス用配管を備えている。

【 0 0 3 5 】

一つの実施形態では、低余剰空気式補助燃焼部が複合サイクル発電プラントのHRSG内に配備される。

40

【 0 0 3 6 】

別の実施形態では、外気、酸素を多く含む空気、酸素の中の一つ以上を低余剰空気式補助燃焼部に供給する配管が配備される。

【 0 0 3 7 】

更に、酸素濃縮設備と空気分離ユニットの中の一つ以上を配備することができる。

【 0 0 3 8 】

更に、圧縮機の入力ガス中の酸素濃度又はCO<sub>2</sub>濃度の測定、ガスタービンの熱い排ガス中の残留酸素濃度の測定、HRSGからの排ガス中の残留酸素濃度の測定の中の一つ以

50

上のために、少なくとも一つの酸素測定器又はCO<sub>2</sub>測定器を配備することができる。

【0039】

CO<sub>2</sub>の回収による電力損失の補償の外に、プラントの柔軟性の向上、環境条件の変化の影響を補償するための電力の供給、電力需要がピークとなる時間への対応のために、補助燃焼部を使用することもできる。

【0040】

典型的には、再循環した排ガスは、それを外気と混合してガスタービンの圧縮機に再投入する前に、HRSG後に、再冷却器によって更に冷却しなければならない。一つの実施形態では、再循環率を制御するための制御器は、そのような制御器の熱負荷を低減するために、そのような再冷却器の下流に配備される。

10

【0041】

以下において、添付図面を用い、図面を参照して、本発明の特徴及び利点を詳しく説明する。

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】排ガス再循環系統と低余剰空気率式補助燃焼部を備えたバックエンド式CO<sub>2</sub>吸収方式のCCPPの模式図

【図2】排ガス再循環系統を備えたCCPPのHRSG内に配備するための低余剰空気率式補助燃焼バーナーの模式図

【図3】追加の外気又は酸素が供給されない場合の補助燃焼部の相対的な負荷 $SF_{load}$ の関数としての補助燃焼部に必要な正規化されたガスタービンの排ガス中の残留酸素濃度 $GT_{O_2}$ の模式グラフ

20

【図4】追加の外気又は酸素 $F_{air}$ が供給される場合の補助燃焼部の相対的な負荷 $SF_{load}$ の関数としての補助燃焼部に必要な正規化されたガスタービンの排ガス中の残留酸素濃度 $GT_{O_2}$ と補助燃焼部後の残留酸素濃度 $SF_{O_2}$ の模式グラフ

【発明を実施するための形態】

【0043】

ここで提案する方法を実施するための発電プラントは、従来のCCPPと、排ガスを再循環するための設備と、補助燃焼部10と、CO<sub>2</sub>回収システム18とを備えている。

【0044】

30

ポスト燃焼式回収部、排ガス再循環系統、補助燃焼部10を備えた典型的な装置が図1に図示されている。第一の発電機25を駆動するガスタービン6には、圧縮機用の入力ガス3と燃料5が供給される。圧縮機用の入力ガス3は、外気2と、排ガス再循環用配管を経由して再循環されて来た排ガスの第一の部分的な流れ21との混合気である。その入力ガスは、圧縮機1で圧縮される。圧縮されたガスは、燃焼器4内での燃料5の燃焼のために使用され、圧縮された熱いガスは、タービン7内で膨張する。その主な出力は、電力と熱い排ガス8である。

【0045】

ガスタービンの熱い排ガス8は、蒸気タービン13用の蒸気30を発生するHRSG9を通過する。HRSG9又はガスタービン6からHRSG9への排ガスダクトには、補助燃焼部10が統合されている。この補助燃焼部には、燃料ガス12と外気/酸素11が供給される。

40

【0046】

蒸気タービン13は、ガスタービン6と第一の発電機25と共にシングルシャフト構成で配置されるか、或いは第二の発電機26を駆動するためにマルチシャフト構成で配置される。更に、蒸気は、蒸気タービン13から抽出されて、蒸気配管15を経由して、CO<sub>2</sub>回収システム18に供給される。その蒸気は、戻り配管17を経由して、復水として蒸気サイクルに戻されて、蒸気サイクルに再投入される。蒸気サイクルは、本発明の課題ではないので、異なる蒸気圧レベル、給水ポンプなどを含まない形で簡略化して、模式的に図示されている。

50

## 【 0 0 4 7 】

H R S Gからの排ガス 1 9の第一の部分的な流れ 2 1は、ガスタービン 6の圧縮機 1の入力に再循環されて、そこで、外気 2と混合される。第一の部分的な流れ 2 1は、外気 2との混合前に再循環された排ガス用の冷却器 2 7で冷却される。

## 【 0 0 4 8 】

H R S Gからの排ガス 1 9の第二の部分的な流れ 2 0は、ダンパー 2 9によって、C O 2回収システム 1 8の方に送られる。

## 【 0 0 4 9 】

C O 2回収システム 1 8は、典型的には、吸収剤により排ガスからC O 2を除去するC O 2吸収ユニットと、吸収剤からC O 2を回収する再生ユニットとから構成される。排ガスの第二の部分的な流れ 2 0の温度とC O 2吸収ユニットの動作温度範囲に応じて、排ガス用冷却器 2 3も必要となる。

10

## 【 0 0 5 0 】

C O 2を除去された排ガス 2 2は、C O 2回収システム 1 8から煙突 3 2に放出される。C O 2回収システム 1 8が動作していないか、部分的な負荷で動作している場合、及び動作の柔軟性を向上させるために、排ガス迂回路 2 4を経由して、H R S Gからの排ガスを迂回させるか、その一部を迂回させることができる。

## 【 0 0 5 1 】

通常の動作では、回収した二酸化炭素 3 1は、C O 2圧縮機で圧縮されて、圧縮されたC O 2は、貯蔵又は更なる処理のために転送される。

20

## 【 0 0 5 2 】

より良好に残留酸素濃度を制御するために、酸素濃度とC O 2濃度の中の一つ以上を測定する測定器を提案する。例えば、ガスタービン 6の入力ガスの組成の制御を改善するために、吸気中のC O 2とO 2の中の一つ以上の測定器 3 6を配備することができる。例えば、ガスタービンの排ガスの組成を制御するために、ガスタービンの排ガス中のC O 2とO 2の中の一つ以上の測定器 3 7を配備することができる。例えば、H R S Gの排ガス 1 9のガスの組成を制御するために、H R S Gの排ガス中のC O 2とO 2の中の一つ以上の測定器 3 8を配備することができる。

## 【 0 0 5 3 】

H R S G 9内で低余剰空気比の外気及び酸素 / 酸素を多く含む空気 1 1と共に燃料ガス 1 2を燃焼するための補助燃焼部 1 0の例が図 2 に図示されている。図示されている例では、補助燃焼用のバーナーボックス 2 8は、H R S Gの入口の横断面 3 3又はH R S Gの内部に横向きに、配列の形で間隔を開けて配置されている。ガスタービンの排ガス 8は、バーナーボックスの間の流路を通してバーナーボックス 2 8を通過しながら、それらの中での補助燃焼の火炎を安定化している。追加の外気又は酸素 1 1と燃料ガス 1 2は、バーナーボックス 2 8に供給されて、燃料ガス噴射孔 3 4と酸化剤噴射孔 3 5を介して噴射される。典型的には、酸素は、バーナーボックス 2 8に直接噴射されるのではなく、外気又は再循環された排ガスのようなキャリアーガスで薄められてから、燃料ガス 1 2と接触する。

30

## 【 0 0 5 4 】

H R S Gと補助燃焼部を備えた従来のC C P Pでは、ガスタービンの排ガス 8中の酸素濃度は制御されておらず、補助燃焼部の動作と独立している。補助燃焼部は、典型的には、ガスタービンがベース負荷に到達した後単純に作動されて、ガスタービンと独立して動作する。ベース負荷は、典型的には、排ガス中の残留酸素濃度が最も低い動作条件である。酸素濃度は、実際には、そのレベルで一定に留まっており、環境条件の変化による僅かな変動しか起こらない。しかし、従来の補助燃焼部は、前記の条件下では正常に動作しないので、そのような手法は、排ガスの再循環とガスタービンからの熱い排ガス 8中の最低限の残留酸素濃度では実行不可能である。

40

## 【 0 0 5 5 】

補助燃焼部を備えたH R S Gからの排ガス 1 9中のC O 2濃度を最大化するための第一

50



の手法では、図 3 に図示されている通り、ガスタービン後の残留酸素濃度  $G T_{O_2}$  を補助燃焼部の相対的な負荷の関数として制御する。それは、ガスタービンの再循環の限界でガスタービン 6 を動作させた場合に達成されるガスタービンからの排ガス 8 の最低限の残留酸素濃度で正規化されている。補助燃焼部の動作のために、ガスタービン後の残留酸素濃度  $G T_{O_2}$  は、ガスタービンの動作に必要な排ガスの最低限の残留酸素濃度よりも高くする。そのために、再循環率を制限して、補助燃焼を可能とする。

#### 【 0 0 5 6 】

この場合、追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの中の一つ以上 1 1 は、補助燃焼部 1 0 に供給されない。CO 及び燃焼しなかった炭化水素の発生量が低い安定した完全燃焼を保証するために必要な残留酸素の含有量及び濃度の大きさは、反応に必要な温度レベルと燃料ガスの量に依存する。補助燃焼部 1 0 の相対的な負荷が低い場合、完全燃焼を保証するためには、温度を低く、酸素濃度を比較的高くする必要が有る。それは、補助燃焼部後の残留酸素濃度  $S F_{O_2}$  を高くする。負荷が大きくなると、火炎温度が高くなって、所要の酸素濃度は、それが最小値に到達するまで低下する。補助燃焼部 1 0 の相対的な負荷が高い場合、所要の酸素濃度は再び増加して、噴射される排ガス流量に比例する。補助燃焼部の構成に応じて、所要の残留酸素濃度は、負荷の関数として変化する。例えば、負荷と比例する所要の酸素濃度が可能である。更に、負荷の範囲は、高い方の負荷、例えば、40% ~ 100% の負荷に制限される。如何なる場合でも、補助燃焼後に得られる  $CO_2$  を最大化するためには、GT からの排ガス 8 中の残留酸素濃度を変更する必要が有る。それは、統合した制御の複雑さを増大させるとともに、GT 内での燃焼を不安定にする可能性が有る。更に、それは、 $CO_2$  回収システム 1 8 に流入する排ガスの第二の部分的な流れ 2 0 を補助燃焼部の相対的な負荷の関数として変化させることとなる。補助燃焼部に必要な残留酸素濃度は、再循環率を制限して、その結果第二の部分的な流れ 2 0 を最大限に増大させる。

#### 【 0 0 5 7 】

ここで提案する第二の手法では、追加の外気、酸素を多く含む空気、酸素の流れ  $F_{air}$  を有する補助燃焼部が配備される。図 4 に模式的に図示されている通り、補助燃焼部の相対的な負荷に対する補助燃焼部に必要な正規化されたガスタービンの排ガス中の残留酸素濃度  $G T_{O_2}$  は、補助燃焼部の相対的な負荷と独立して一定に維持することができる。そのため、ガスタービンと補助燃焼部の間の複雑な制御インタフェース又は論理部が不要となる。

#### 【 0 0 5 8 】

ここで提案した第二の手法では、燃料ガスは、追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れ  $F_{air}$  を有する補助燃焼バーナー内で燃焼される。それによって、補助燃焼バーナーは、ガスタービンの排ガス中の酸素濃度と独立して動作することができ、 $O_2$  濃度が低く、 $CO_2$  濃度が高い排ガスを発生する。この方法によって、補助燃焼部の排ガスをガスタービンの排ガスと混合した後に得られた排ガスの混合気中の  $CO_2$  濃度は希釈されていないか、非常に僅かしか希釈されていない。そのため、排ガスの再循環率は、ガスタービンの排ガス中での最低限の酸素濃度、即ち、最も高い  $CO_2$  濃度を維持しつつ、CCPP から  $CO_2$  回収プラントに最低限の量の排ガスを送ることを可能とする最大値で構成でき、そして構成すべきである。

#### 【 0 0 5 9 】

更に、安定した完全燃焼を保証するのに必要な正規化された追加の外気、酸素を多く含む空気、酸素の流量  $F_{air}$  も図 4 に図示されている。それは、100% の負荷で必要な追加の外気又は酸素の流量で正規化されている。補助燃焼部 1 0 の相対的な負荷が低い場合、完全燃焼を保証するのに必要な温度は低く、外気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量  $F_{air}$  は比較的大きい。それは、典型的には、理論空燃比を大きく上回り、その結果補助燃焼部後の残留酸素濃度  $S F_{O_2}$  を高める。負荷が増大すると、火炎温度が上昇して、必要な追加の外気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量  $F_{air}$  は、低い速度でしか増加しない。燃料と比較した追加の外気の流量、酸素を多く含む空気の流量、

酸素の流量  $F_{air}$  を低下することができる。理想的には、ほぼ理論空燃比での燃焼を実現することができる。補助燃焼部 10 の相対的な負荷が大きい場合、燃料と比較した追加の外気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量  $F_{air}$  はほぼ一定に留まる。所要の追加の外気の流量、酸素を多く含む空気の流量、酸素の流量  $F_{air}$  は、主に完全燃焼のための十分な酸素濃度を保証するのに必要であり、噴射される燃料ガスの流量に比例する高い速度で増加する。補助燃焼部の構成に応じて、負荷の関数としての所要の残留酸素濃度の依存性は変化する。更に、負荷の範囲は、高い方の負荷、例えば、40% ~ 100% の負荷に制限される。

【0060】

補助燃焼部後に得られる正規化された残留酸素濃度  $ST_{O_2}$  も図 4 に図示されている。それは、100% の負荷での補助燃焼部後の酸素濃度  $S_{F_{O_2}}$  で正規化されている。この例では、100% の負荷で最低値に到達している。100% の負荷では、燃焼温度が最も高く、それは、完全燃焼を促進して、非常に低い残留酸素濃度とそれに対応する高い  $CO_2$  濃度にまで速く低下させている。

【0061】

一般的に、 $CO_2$  濃度は、残留酸素濃度に逆比例し、低い酸素濃度は、高い  $CO_2$  濃度に対応する。

【0062】

CCPP の熱力学プロセスの異なる位置での  $CO_2$  及び残留酸素濃度は、主要なプロセスパラメータを用いて決定することができる。入力質量流量、再循環率、燃料の質量流量、噴射される外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れの質量流量  $F_{air}$ 、燃焼効率に基づき、入力ガス中、ガスタービン後、補助燃焼部後の酸素濃度と  $CO_2$  濃度を評価することができる。本発明の一つの実施形態において、そのような評価値が使用される。

【0063】

ガスタービンの入力質量流量は、測定するのが難しいので、入力質量流量を求めるために、通常は圧縮機の特性に依存しなければならない。圧縮機の経年変化のために、実際の入力質量流量は、その特性による値と異なる可能性が有る。更に、燃料の発熱量は、時間と共に変化する可能性の有る燃料ガスの組成に依存する。そのため、オンライン燃料ガス分析などの追加測定を行うか、或いは不正確さが大きいことを考慮しなければならない。従って、多くの場合、実用上の理由から、ガスの組成を直接測定する方が、より容易である。そのような測定は、別の実施形態の一部である。それらに対応する測定器は、図 1 に図示されている。

【0064】

従来のガスクロマトグラフィーの外に、異なるガスの流れの中の酸素濃度及び  $CO_2$  濃度を測定するための幾つかの異なる方法、システム、測定器が有る。例えば、非分散型赤外線 (NDIR)  $CO_2$  センサーや化学的  $CO_2$  センサーを用いて、 $CO_2$  を容易に測定することができる。とりわけ、ジルコニア、電気化学又はガルバニック、赤外線、超音波によるセンサー、レーザー技術を用いて、酸素濃度を測定することができる。最適な動作のためには、速いオンライン式センサーを使用することができる。

【0065】

前記の図面に図示された実施例に関して、当業者には、それらの実施例と異なる、本発明の範囲内に含まれる実施形態は明らかである。

【0066】

例えば、送風機は、再循環される排ガスの第一の部分的な流れ 21 又は  $CO_2$  回収システム 18 に流れる排ガスの第二の部分的な流れ 20 にとって有利である。送風機が無いと、存在する圧力差に対して十分な流量を実現するのに必要なパイプ及び設備のサイズが実現不可能な程大きくなる。

【0067】

更に、補助燃焼部用の追加の外気の流れ、酸素を多く含む空気の流れ、酸素の流れ  $F_{ai}$

10

20

30

40

50

るを使用する場合、水蒸気サイクル、CO<sub>2</sub>回収システム18、排ガスの中の一つ以上からの低温の熱によって、その流れを予熱することができる。例えば、そのために中間圧力の給水から戻された復水を活用することができる。

【0068】

更に、本質的に圧力低下を引き起こすダンパー又はそれ以外の制御器を制御式送風機に置き換えることができる。それらは、例えば、速度可変送風機、或いは羽根又は案内羽根の角度を制御可能な送風機とすることができる。

【符号の説明】

【0069】

1	圧縮機	10
2	外気	
3	圧縮機の入力ガス	
4	燃焼器	
5	GT用の燃料ガス	
6	ガスタービン(GT)	
7	タービン	
8	ガスタービンからの熱い排ガス	
9	HRSG(熱回収蒸気発生器)	
10	低余剰空気式補助燃焼部(SF)	
11	外気、酸素を多く含む空気、酸素の中の一つ以上	20
12	補助燃焼部用の燃料ガス	
13	蒸気タービン	
14	復水器	
15	CO <sub>2</sub> 回収のための蒸気の抽出	
16	給水	
17	復水用戻り配管	
18	CO <sub>2</sub> 回収システム	
19	HRSGからの排ガス	
20	第二の部分的な流れ(CO <sub>2</sub> 回収システム用の排ガス)	
21	第一の部分的な流れ(再循環用の排ガス)	30
22	CO <sub>2</sub> を除去した排ガス	
23	排ガス用冷却器	
24	煙突への排ガス迂回路	
25	第一の発電機	
26	第二の発電機	
27	再循環排ガス用冷却器	
28	バーナーボックス	
29	ダンパー	
30	蒸気	
31	回収したCO <sub>2</sub>	40
32	煙突	
33	HRSG入口の横断面	
34	燃料ガス噴射孔	
35	酸化剤噴射孔	
36	吸気用のCO <sub>2</sub> 測定器及び/又はO <sub>2</sub> 測定器	
37	ガスタービンの排ガス用のCO <sub>2</sub> 測定器及び/又はO <sub>2</sub> 測定器	
38	HRSGの排ガス用のCO <sub>2</sub> 及び/又はO <sub>2</sub> 測定器	
CCPP	複合サイクル発電プラント	
SF <sub>load</sub>	補助燃焼部(SF)の相対的な負荷	
GT <sub>O2</sub>	GT後の正規化された残留酸素濃度	50

$S F_{O_2}$        $S F$  後の正規化された残留酸素濃度  
 $F_{air}$           追加する空気 / 酸素を多く含む空気 / 酸素の正規化された流量

【図 1】

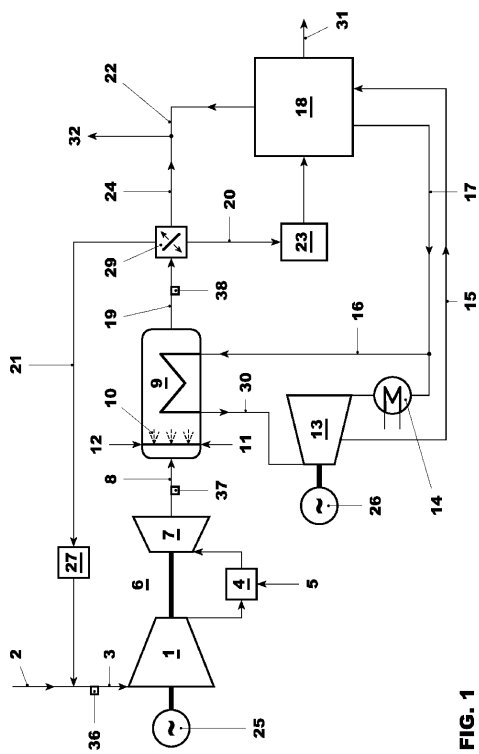


FIG. 1

【図 2】

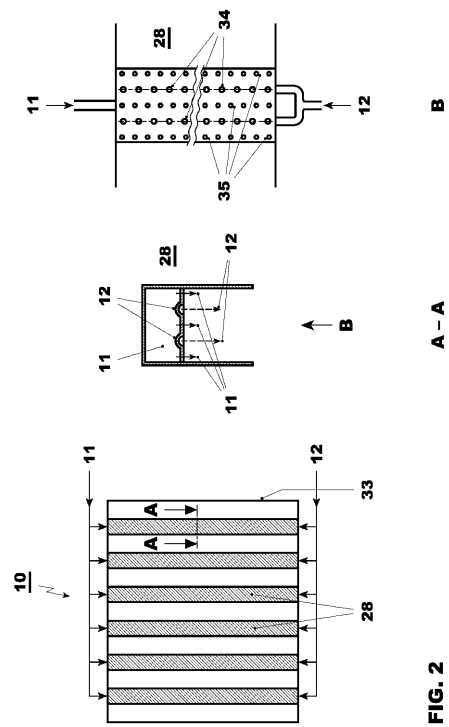


FIG. 2

【 図 3 】

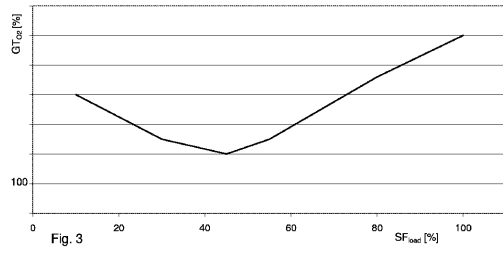


Fig. 3

【 図 4 】

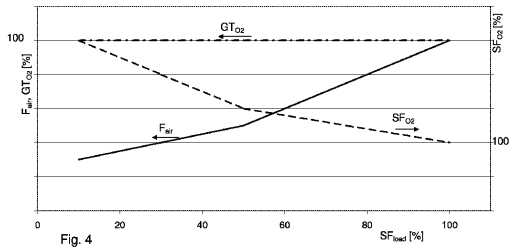


Fig. 4

---

フロントページの続き

- (72)発明者 リー・ホンタオ  
スイス国、5 0 0 0 アーラウ、ゲーンハルトストラーセ、8 2
- (72)発明者 ナーゲル・ホルガー  
ドイツ連邦共和国、7 0 1 8 8 シュトゥットガルト、ヘーシェレヴェーク、3 5
- (72)発明者 スグロホ・ティプタディ  
スイス国、5 4 4 2 フィスリスパッハ、ユーラストラーセ、2
- (72)発明者 マヒエウ・セリーヌ  
スイス国、5 4 0 0 バーデン、ブルクハルデンストラーセ、1 5 アー

審査官 米澤 篤

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2 0 0 2 / 0 0 2 3 4 2 3 ( U S , A 1 )  
国際公開第2 0 0 8 / 0 9 0 1 6 8 ( W O , A 1 )  
特開2 0 0 2 - 1 1 3 2 6 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
- |         |           |
|---------|-----------|
| F 0 2 C | 3 / 3 0   |
| F 0 1 K | 2 3 / 1 0 |
| F 0 2 C | 6 / 1 8   |
| F 2 3 R | 3 / 0 0   |