

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5623421号
(P5623421)

(45) 発行日 平成26年11月12日 (2014.11.12)

(24) 登録日 平成26年10月3日 (2014.10.3)

(51) Int. Cl.

F I

F O 2 C 3/30 (2006.01)
F O 2 C 6/18 (2006.01)
F 2 3 R 3/00 (2006.01)
F O 1 K 23/10 (2006.01)

F O 2 C 3/30 D
F O 2 C 6/18 A
F 2 3 R 3/00 B
F O 1 K 23/10 U

請求項の数 18 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2011-542801 (P2011-542801)
(86) (22) 出願日 平成21年12月21日 (2009.12.21)
(65) 公表番号 特表2012-514151 (P2012-514151A)
(43) 公表日 平成24年6月21日 (2012.6.21)
(86) 国際出願番号 PCT/EP2009/067630
(87) 国際公開番号 W02010/072710
(87) 国際公開日 平成22年7月1日 (2010.7.1)
審査請求日 平成24年12月18日 (2012.12.18)
(31) 優先権主張番号 08172886.7
(32) 優先日 平成20年12月24日 (2008.12.24)
(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 503416353
アルストム テクノロジー リミテッド
ALSTOM Technology Ltd
スイス国 バーデン ブラウン ボヴェリ
シュトラッセ 7
Brown Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden, Switzerland
(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
(74) 代理人 100099483
弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 CO₂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】

CO₂回収システム (18) と排ガス再循環システムを備えた複合サイクル発電プラント (CCPP) の動作方法において、

CO₂回収システム (18) を含むプラントの全体的な効率を最適化するために、排ガスの再循環率と再循環された排ガスの再冷却温度 (T_{recool}) とを負荷に応じて制御し、前記排ガスの再循環率のための制御パラメータとしてCO₂濃度又はCO₂濃度の推測値が用いられることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記排ガスの流れが、HRS Gの下流の少なくとも二つの部分流に分割され、第1の部分流が排ガス再循環ラインを介してガスタービンの入口に戻され、第2の部分流が前記CO₂回収システム (18) を介して大気中に放出するための煙突に送られることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

部分負荷時におけるガスタービン用圧縮機の入力温度を上昇させるために、部分負荷時における再冷却温度 (T_{recool}) をベース負荷時の再冷却温度に対して相対的に上昇させることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

最小の正規化された吸気中の酸素濃度 (I_{NO_2}) が、複合サイクル発電プラントの相対的な負荷 (P_{rel}) の関数として与えられることと、

10

20

正規化された吸気中の酸素濃度 ($I N_{O_2}$) が、再循環率と酸素又は酸素を多く含む空気 (34) の追加混合量との中の一つ以上の変更によって制御されることと、
を特徴とする請求項 1 から 3 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 5】

CO と燃焼しなかった炭化水素の中の一つ以上の測定した発生量の関数として、再循環率と酸素又は酸素を多く含む空気 (34) の追加混合量との中の一つ以上を調整することを特徴とする請求項 1 から 4 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 6】

正規化された吸気中の酸素濃度 ($I N_{O_2}$) が、CO 及び燃焼しなかった炭化水素の発生量が低い時の完全燃焼を保証するのに十分であるという条件の下での再循環率が、実現可能な最も高い再循環率であることを特徴とする請求項 1 から 5 までのいずれか一つに記載の方法。

10

【請求項 7】

排ガスの再循環率を高めるために、複合サイクル発電プラントのガスタービン用圧縮機 (1) の入力ガス (3) に酸素又は酸素を多く含む空気 (34) を追加混合することを特徴とする請求項 1 又は 6 に記載の方法。

【請求項 8】

燃焼器の測定した脈動の関数として、再循環率と酸素又は酸素を多く含む空気 (34) の追加混合量との中の一つ以上を調整することを特徴とする請求項 1 から 7 までのいずれか一つに記載の方法。

20

【請求項 9】

相対的な負荷 (P_{rel}) の関数として、再冷却温度 (T_{recool}) を制御することを特徴とする請求項 1 から 8 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 10】

相対的な負荷 (P_{rel}) と再循環率の関数として、再冷却温度 (T_{recool}) を制御す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 11】

ガスタービン (6) の圧縮機の目標入力温度が相対的な負荷 (P_{rel}) の関数であることと、

再冷却温度 (T_{recool}) と再循環率の制御を組み合わせ、その目標入力温度を制御することと、

30

を特徴とする請求項 1 から 10 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 12】

再循環用の可変速度式排ガス送風機 (11) と、排ガスを CO₂ 回収システム (18) の方に送るための CO₂ 回収システム用の可変速度式排ガス送風機 (10) との中の一つ以上を用いて、再循環率を制御することを特徴とする請求項 1 から 11 までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項 13】

再循環用の排ガス送風機と CO₂ 回収システム用の排ガス送風機との中の一つ以上を浄化動作の向上のために使用することを特徴とする請求項 1 から 12 までのいずれか一つに記載の方法。

40

【請求項 14】

CO₂ 回収システム (18) を備えた複合サイクル発電プラントにおいて、

この複合サイクル発電プラントが、請求項 1 から 13 までのいずれか一つに記載の方法により動作するように構成されていることを特徴とする複合サイクル発電プラント。

【請求項 15】

ガスタービン (6) と、熱回収蒸気発生器 (9) と、蒸気タービン (13) と、再循環排ガス用再冷却器 (27) を備えた排ガス再循環用配管と、CO₂ 回収システム (18) への排ガス用配管と、排ガス用冷却器 (23) とが配備され、再循環された排ガスと外気の混合地点とガスタービン (6) の圧縮機 (1) の間の少なくとも一つの酸素と CO₂ の

50

中の一つ以上の測定器（３６）と、少なくとも一つの酸素とＣＯ２の中の一つ以上の測定器（３７，３８）と、ガスタービン（６）の下流に配置された少なくとも一つのＣＯと燃焼しなかった炭化水素の中の一つ以上の測定器との中の一つ以上が配備されており、前記排ガスの再循環率のため、制御パラメータとしてＣＯ２濃度又はＣＯ２濃度の推測値が用いられることを特徴とする請求項１４に記載の複合サイクル発電プラント。

【請求項１６】

前記排ガスの流れが、ＨＲＳＧの下流の少なくとも二つの部分流に分割され、第１の部分流が排ガス再循環ラインを介してガスタービンの入口に戻され、第２の部分流が前記ＣＯ２回収システム（１８）を介して大気中に放出するための煙突に送られることを特徴とする請求項１５に記載の複合サイクルの発電プラント。

10

【請求項１７】

再循環用の可変速度式排ガス送風機（１１）と、排ガスをＣＯ２回収システム（１８）の方に送るためのＣＯ２回収システム用の可変速度式排ガス送風機（１０）との中の一つ以上が再循環率の制御のために配備されていることを特徴とする請求項１４又は１５に記載の複合サイクル発電プラント。

【請求項１８】

酸素又は酸素を多く含む空気（３４）を圧縮機（２）の入力ガスに追加混合するための空気分離ユニット（２８）が配備されていることを特徴とする請求項１４から１７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】

20

【技術分野】

【０００１】

本発明は、ＣＯ２回収部と排ガス再循環系統を統合した複合サイクル発電プラントの動作方法とその方法を実施するためのプラントに関する。

【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。ＣＯ２（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、ＣＯ２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ＣＯ２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ＣＯ２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。

30

【０００３】

バックエンド式ＣＯ２回収又はポスト燃焼式回収は、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ＣＯ２を除去する。残った排ガスは、大気中に放出され、ＣＯ２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ＣＯ２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。

40

【０００４】

ＣＯ２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ＣＯ２濃度が約４％しかなく、比較的低いために、従来のＣＣＰＰ用の（ＣＯ２回収プラント又はＣＯ２回収設備とも呼ばれる）ＣＯ２回収システムは、比較的高いＣＯ２濃度の石炭燃焼プラントなどのそれ以外の形式の化石燃料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ＣＯ２のｋｇ当りの消費エネルギーも大きい。

【０００５】

50

ＣＣＰＰの排ガス中のＣＯ２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ＣＯ２濃度の変化は、ＣＯ２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ＣＯ２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、プラントのシーケンシャルな配置構成であり、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ＣＯ２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、排ガスの全体的な量を低減するとともに、ＣＯ２濃度を高め、それによって、吸収剤の所要の再生能力、回収システムの消費電力、回収システムの資本支出を低減するとともに、ＣＯ２回収システムの効率を向上している。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００７】

【特許文献１】米国特許公開第２００８００６０３４６号明細書

【非特許文献】

【０００８】

【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)

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

本発明の主な課題は、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（ＣＯ２）回収システムと、排ガス再循環システムとを備えた複合サイクル発電プラント（ＣＣＰＰ）の最適化された動作方法とその方法により動作するように構成されたプラントを提供することである。

【００１０】

30

一つの課題は、全ての動作条件において、ＣＣＳ（炭素の回収と貯蔵）のＣＯＥ（発電経費）への影響を低減するとともに、柔軟な動作方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明の核心は、少なくとも二つのパラメータを組み合わせ、プラントの全体的な効率を、そのためＣＯＥを最適化することである。そのようなパラメータは、排ガス中のＣＯ２濃度と再冷却温度、即ち、再循環された排ガスの温度であり、負荷に応じて制御される。更に、回収システムに送られる排ガスの流量を制御することが有利であることが分かっている。

【００１２】

40

制御パラメータとして、排ガス中のＣＯ２濃度の代わりに、排ガス中のＣＯ２濃度を推定することを可能とする、それ以外のガスの流れの中のＣＯ２濃度を使用することが考えられる。例えば、圧縮機の入力ガス中のＣＯ２濃度を使用することができる。更に、ＣＯ２濃度の代わりに、排ガス中の残留酸素濃度や圧縮機の入力ガス又はガスタービンの排ガス中の酸素濃度を使用することができる。そのような濃度を組み合わせ使用することも考えられる。

【００１３】

本発明の文脈において、ＣＯ２濃度又は酸素濃度を使用する代わりに、ＣＯ２含有量又は酸素含有量を使用することもできる。

【００１４】

50

そのようなパラメータに関する最適な目標値は、特定のプラント構成に依存し、環境条件とプラント負荷の関数である。それらの全体的な効率に対する影響は、プラントの動作条件に依存する。

【 0 0 1 5 】

多くの場合、最大の再循環率は、安定した完全燃焼に必要な酸素濃度によって制限される。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（UHC）の発生量がppm又は一桁のppmのオーダーであるCO及び燃焼しなかった炭化水素の発生量に関して設けられた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%を大きく下回すべきである。典型的には、燃焼器の圧力の1又は2%を下回る。

10

【 0 0 1 6 】

別の実施形態において、動作の柔軟性を向上するとともに、再循環率を増大させて、ベース負荷及び部分負荷での排ガス中のCO₂濃度を更に高めるために、ガスタービンの入力ガス中の酸素を濃縮することを提案する。そのために、ガスタービンの入力ガスに酸素又は酸素を多く含む空気を追加して混合する。

【 0 0 1 7 】

第一の近似では、回収システムの効率は、排ガス中のCO₂濃度に比例する。排ガス中のCO₂濃度が再循環率に比例するので、最適化の目標は、高い再循環率である。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。

20

【 0 0 1 8 】

再循環率の上昇は、CO₂濃度を増大させるだけでなく、CO₂回収システムを通過するガスの質量流量と体積流量を低下させることとなる。流量の低下は、システムの圧力降下量も低下させ、それは、全体的な能力に有利であるか、或いは小型で安価な設備の使用を可能とする。設計条件でのベース負荷において、排ガスの再循環率が最大となる。それは、ガスタービンの動作に必要な最小の酸素濃度によって制限される。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。

【 0 0 1 9 】

部分負荷でのガスタービンの動作において、ガスタービンの排ガス中のCO₂濃度は、典型的には、ベース負荷での動作よりも低く、燃焼のための酸素消費量が低下する。

30

【 0 0 2 0 】

そのため、CO₂回収効率を最適化する第一の手法では、排ガス中のCO₂濃度を高いレベルに維持するために、部分負荷では、再循環率を上昇させることを提案する。

【 0 0 2 1 】

例えば、入力ガス中の目標酸素濃度は、全ての動作条件においてガスタービン内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。

【 0 0 2 2 】

ベース負荷を初期値としてプラントの負荷を低減すると、所要の酸素濃度は、典型的には、燃焼しなければならない燃料が少なくなるほど低下する。しかし、火炎温度が大幅に低下すると、低い酸素濃度での火炎速度が低下して、典型的には、完全燃焼に必要な余剰酸素が増加する。そのような効果は、ガスタービンの相対的な負荷が約90%の場合に漸く起こる可能性が有る。大抵の用途では、相対的な負荷は70%～80%を大きく下回っている。軽減措置として、完全燃焼のために許容される最大の再循環率となるような、負荷に応じた所要の最小酸素濃度の関数を提案する。そのような関数は、ガスタービンの構成に依存し、特定の構成毎に解析的及び/又は実験的に見出さなければならない。

40

【 0 0 2 3 】

部分負荷で発生する可能性の有る火炎の消滅又は部分的な消滅も、冷却用空気の質量流量と冷却用空気の温度に依存する。大抵のガスタービンの構成では、冷却用空気の温度と

50

質量流量は、圧縮機の入力条件と入口の可変式案内羽根の位置の関数である。そのため、所要の最小酸素濃度に対する入力条件及び／又は入口の可変式案内羽根の位置の影響を考慮した追加の関数の使用を提案する。

【 0 0 2 4 】

それに代わって、再循環率を排ガス中の測定したCO発生量及び／又は燃焼しなかった炭化水素の発生量の関数とすることを提案する。CO及び／又は燃焼しなかった炭化水素の発生量が第一の閾値を超えて増大した場合、再循環率を低下させる。それらが第二の閾値を下回った場合、再循環率を上昇させる。閾値の代わりに、CO及び／又は燃焼しなかった炭化水素の発生量に依存する再循環率の補正関数を使用することもできる。別の実施形態では、閾値又は補正関数は、CCPPの相対的な負荷にも依存する。

10

【 0 0 2 5 】

典型的には、燃焼が不安定又は不完全な場合に増大する火災又は燃焼器の脈動を測定して、同じく再循環率の制御パラメータとして使用することもできる。脈動のレベルが第一の閾値を超えて増大した場合、再循環率を低下させる。それが第二の閾値を下回った場合、再循環率を上昇させる。燃焼器に応じて、特定の脈動周期帯域、例えば、少なくとも一つの特定の周期帯域内の脈動だけを考慮して、脈動に応じた再循環の制御のために使用することができる。

【 0 0 2 6 】

前記の制御方法を組み合わせることが考えられる。特に、負荷に応じた再循環率又は負荷に応じた入力酸素濃度の関数をCO発生量、燃焼しなかった炭化水素の発生量、脈動などの燃焼パラメータの測定に基づく補正と組み合わせることができる。

20

【 0 0 2 7 】

排ガスの再循環率は、酸素又は酸素を多く含む空気の追加混合と組み合わせ、最適値にまで上昇させて、その酸素濃度を最小限の必要レベル、プラントの目標とする最適な熱力学的及び経済的能力に適合するように維持することができる。酸素又は酸素を多く含む空気の追加混合は、ASU（空気分離ユニット）とCO₂回収システムの能力とコストの妥協点を考慮して正当化される限り実施することができる。

【 0 0 2 8 】

一つの実施形態では、入力ガスへの酸素又は酸素を多く含む空気の追加混合は、入力酸素濃度を制御するために実施される。圧縮機の目標入力酸素濃度は、例えば、負荷の関数として与えられる。

30

【 0 0 2 9 】

別の実施形態では、入力ガスへの酸素又は酸素を多く含む空気の追加混合は、CO又は燃焼しなかった炭化水素の関数として実施される。CO及び／又は燃焼しなかった炭化水素の発生量が第一の閾値を超えて上昇した場合、酸素又は酸素を多く含む空気の追加混合量を増大する。それが第二の閾値を下回った場合、追加混合量を低減する。閾値の代わりに、CO及び／又は燃焼しなかった炭化水素の発生量に依存する追加混合量の補正関数を使用することもできる。別の実施形態では、閾値又は補正関数は、CCPPの相対的な負荷にも依存する。

【 0 0 3 0 】

40

典型的には、燃焼が不完全な場合に増大する火災又は燃焼器の脈動を測定して、同じく酸素又は酸素を多く含む空気の追加混合の制御パラメータとして使用することもできる。脈動のレベルが第一の閾値を超えて上昇した場合、追加混合量を増大する。それが第二の閾値を下回った場合、追加混合量を低減する。燃焼器に応じて、特定の脈動周期帯域を脈動に応じた追加混合量の制御に使用することができる。閾値の代わりに、脈動レベルに依存する再循環率の補正関数を使用することもできる。

【 0 0 3 1 】

制御パラメータとして燃焼器の脈動を使用する制御方法では、それに対応する少なくとも一つの脈動の測定器を燃焼器に接続しなければならない。

【 0 0 3 2 】

50

制御パラメータとしてCO又は燃焼しなかった炭化水素の発生量を使用する制御方法では、それに対応する少なくとも一つの測定器をガスタービンの下流に配備しなければならない。

【0033】

別の実施形態では、再循環率の制御が、酸素又は酸素を多く含む空気の追加混合量の制御と組み合わせられる。そのような制御方法の異なる組み合わせ形態が考えられる。

【0034】

例えば、CO₂回収システムの流量を最適化するための負荷の関数として、再循環率を与えることができ、安定した完全燃焼の制御のために、追加混合量を使用することができる。第二の例では、酸素又は酸素を多く含む空気の追加混合量は、ASUのサイズのために一定のレベルに維持され、再循環率は、安定した完全燃焼を制御するために使用される。

10

【0035】

更に、排ガスの流量は、負荷の低下に応じて低減される。ガスタービンの排ガスの質量流量の低下と組み合わせた再循環率の上昇は、CO₂回収ユニットに送られる排ガスの質量流量を著しく低下させる。しかし、構成に応じて、CO₂回収システムでの最適な質量流量又は流速を維持すべきである。そのような最適な流れは、再循環率を制限する可能性が有る。そのため、CO₂回収システムの構成に応じて、CO₂回収システムを通る最適な流れを維持するために、低負荷では、再循環率を低下させる必要が有る。CO₂回収ユニットに応じて、流速に応じた最大効率を規定せずに、回収ユニットの効率を流量からほぼ独立させる。しかし、それらは、典型的には、最小流量によって依然として制限され、その流量を下回ると、不安定な流れが生じて、CO₂回収システム内に変動を引き起こす可能性の有る。その場合、最小流量を保証するために制御を簡略化する。

20

【0036】

ベース負荷での動作の間、プラントの電力は、典型的には、ガスタービンの入力温度の上昇に応じて低下する。そのため、目標とする再冷却温度は、典型的には、出来る限り低くする。それは、通常再冷却器の能力によって制限される。大きな低温度放熱板が使用可能で、例えば、低い周囲温度及び/又は低い冷却水温度の場合、或いはプラントの氷結の虞やその他の動作パラメータが動作を制限している場合にのみ、より高い目標温度に再冷却温度を制御することができる。

30

【0037】

部分負荷において、質量流量全体が低減される場合、典型的には、再循環する質量流量全体も低下するとともに、典型的には、再冷却器は、ベース負荷よりも低い温度に冷却する能力を有する。しかし、大抵のプラント構成では、ガスタービンの圧縮機の入力温度の上昇は、一定の負荷設定点での部分負荷時の効率を上昇させることができる。

【0038】

典型的には、CCPPの効率は、負荷に比例する。より高い入力温度で動作させると、相対的な負荷が上昇する。そのような上昇による効率の利得は、入力温度の上昇により生じる効率の損失よりも大きい。

【0039】

圧縮機の入力温度がガスタービンの動作限界内に留まっている限り、ガスタービンの圧縮機の入力温度の上昇を実現するために、部分負荷時において、再冷却器の出力温度、そのため再冷却温度を上昇させることができる。そのため、負荷に応じた再循環率を負荷に応じた再冷却温度と組み合わせることを提案する。

40

【0040】

冷却後のCO₂回収プラントへの排ガス温度も、冷却器の限界を考慮して、CO₂回収システムに対して最適化する。

【0041】

CO₂回収システム自体は、複数の回収系統から構成することができる。部分負荷での動作を最適化するために、少なくとも一つの回収系統を停止することが有利な場合が有る

50

。その結果、最適な再循環率を作動している回収系統の関数とすることができる。回収システムの動作とCCPPの動作の一体化は、プラントの全体的な効率に関して有利である。

【0042】

第一の制御工程では、作動している回収系統の数をプラントの負荷に適合させる。第二の工程では、特定の負荷でのプラントの効率を最適化するために、作動している回収系統の特定の数に応じて、再循環率を適合させる。そのために、二つの二者択一の最適化方式を提案する。排ガス中のCO₂濃度を回収システムの作動している回収系統に関して最適なレベルに制御するために、再循環率を使用するか、或いは回収系統の流速を最適な速度に維持するために、再循環率を使用する。

10

【0043】

本方法の外に、本方法による動作のためのプラントは、本発明の一部である。最適化された動作のために構成されたプラントは、少なくとも一つのガスタービンと、CO₂回収システムと、ガスの流れの第一の部分的な流れを入力ガスの流れの方に向ける排ガスダクトを備えた排ガス再循環システムと、再循環率を制御するための少なくとも一つの制御器と、再循環された排ガスを冷却するための温度制御部を備えた再冷却器と、少なくとも一つのCO₂及び/又は酸素濃度測定器とを有する。

【0044】

再循環システムは、排ガス再循環用の配管又はダクトと、再循環率を制御するための制御器と、再循環排ガス用冷却器とを有する。再循環のために、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、CO₂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、迂回路を配備することができる。それによって、再循環率、CO₂回収ユニットへの排ガスの流量、排ガスを煙突に直接流す量を組み合わせて選択することが可能となる。

20

【0045】

再循環率を制御するために、少なくとも一つの制御器によって、排気ガスの流量及び/又は再循環させる流量を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制御器と組み合わせた固定式分離器とすることができる。

30

【0046】

前述した通り、再循環された第一の部分的な流れは、典型的には、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、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、例えば、フラップ又はバルブは、そのような制御器の熱負荷を軽減するために、再冷却器の下流に配備される。

【0047】

別の実施形態では、CO₂回収システムに通じる再循環用配管及び/又は排気ガス用配管内に送風機が配備される。そのような送風機は、許容される圧力降下量の増大に応じて設備のサイズを低減するのに有利な場合がある。実用的な設備のサイズは、回収システムと再循環用配管に応じた妥当な圧力降下量によってのみ実現することができる。ガスタービンとHRSGの構成による制限を克服することができる。

40

【0048】

送風機は、典型的には、それらの電力消費量とそれらが耐えなければならない熱負荷を低減するために、冷却器の下流に配置される。更に、それらは、安定した排ガス温度と、送風機を冷却器の下流に配置した構成と比べて小さい体積流量との下で動作する。

【0049】

更に、送風機の電力消費量を最小化するために、可変速度制御を提案する。従って、再循環率を制御するために、送風機を使用することができる。本質的に圧力低下を引き起こす可変式のダンパー、フラップ又は制御バルブを回避することができる。そのため、可変

50

速度式送風機を使用することによって、システムの全体的な圧力降下量を低減することができる。それに代わって、羽根又は案内羽根の角度を制御可能な送風機も考えられる。排ガス再循環システムの構成及び圧力に応じて、送風機に代わって、ブースターを使用することができる。

【0050】

送風機を使用する別の観点は、プラントの浄化動作を改善するための手段である。

【0051】

CCPPの節約動作を保証するために、排ガスが到達する可能性の有る全てのダクト、配管、HRSG及びその他の閉じた空間は、燃料を導入して、ガスタービン内での点火を可能とする前に、空気によって浄化する必要がある。

10

【0052】

従来のCCPPでは、それは、典型的には、ガスタービンの浄化動作によって行われている。そのような浄化動作のために、ガスタービンを浄化速度にまで加速して、指定されたプラント固有の期間の間、その速度で動作させている。必要な浄化時間は、HRSGと排ガス用ダクトの体積と、浄化速度でのガスタービンの体積流量との関数である。浄化の要件は、国及び適用される規則に応じて変化する。典型的には、最低5分の浄化動作が必要であり、HRSGの体積の3～5倍を浄化しなければならない。そのような動作のために、ガスタービンは、典型的には、静止型周波数変換器を用いたモーターとして動作する、その発電機によって駆動される。

【0053】

20

CO₂回収システムと排ガス再循環用配管の体積が大きいために、並びに排ガス配管が分割されているために、ガスタービンだけを用いた浄化動作は、極端に長い浄化時間を必要とする。更に、プラント構成と浄化動作中の体積流量に応じて、全ての重要な設備の十分な浄化は、従来の浄化動作では保証されなくなる。ここで、配管とそれと接続された設備の浄化を促進するために、排ガス配管内の送風機を使用することができる。送風機は、プラントの十分な浄化を保証するために、独立して、或いはガスタービンと組み合わせて使用することができる。

【0054】

上記の考察では、ガスタービン又はCCPPの相対的な負荷、即ち、各環境条件下におけるガスタービン又はCCPPの出力電力をベース負荷時の出力電力で割った値を使用している。CCPPの負荷は、GTの負荷の関数なので、CCPPの相対的な負荷は、ガスタービンの相対的な負荷の代わりに使用することができるか、或いはその逆である。相対的な電力の代わりに絶対的な電力を使用することも考えられる。

30

【0055】

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】

【0056】

【図1】排ガス再循環系統と可変速度式送風機を備えたバックエンド式CO₂吸収方式のCCPPの模式図

40

【図2】相対的な負荷の関数としての正規化されたGT入力ガス中の酸素濃度の例の模式グラフ

【図3】相対的な負荷の関数としての最良のCO₂回収効率のために最適化された再循環率、完全燃焼のために最適化された再循環率、再冷却器後の再循環された排ガスの再冷却温度の例の模式グラフ

【図4】排ガス再循環系統、酸素濃縮部、可変速度式送風機を備えたバックエンド式CO₂吸収方式のCCPPの模式図

【発明を実施するための形態】

【0057】

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

50

循環するための設備と、CO₂回収システム18とを備えている。

【0058】

ポスト燃焼式回収部と排ガス再循環系統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。

【0059】

ガスタービンの熱い排ガス8は、蒸気タービン13用の生蒸気30を発生するHRSG9を通過する。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、CO₂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、低下した温度で、或いは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。

【0060】

HRSGからの排ガス19の第一の部分的な流れ21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21は、外気2との混合前に再循環された排ガス用の冷却器27で冷却される。

【0061】

HRSGからの排ガス19の第二の部分的な流れ20は、ダンパー29によって、CO₂回収システム18の方に送られる。この第二の部分的な流れ20は、CO₂回収システム18の前に排ガス用冷却器23によって冷却される。排ガスの流量の増大と再循環率の制御のために、CO₂回収システム用の可変速度式排ガス送風機10が排ガス用冷却器23とCO₂回収システム18の間に配備されており、再循環用の可変速度式排ガス送風機11が、再循環排ガス用冷却器27の下流で、排ガスの再循環された第一の部分的な流れ21と外気2との混合の前に配備されている。

【0062】

CO₂を除去された排ガス22は、CO₂回収システム18から煙突32を経由して周囲環境に放出される。CO₂回収システム18が動作していない場合、排ガス迂回路24を経由して、その排ガスを迂回させることができる。

【0063】

通常の動作中は、回収した二酸化炭素31は、CO₂圧縮機で圧縮されて、圧縮されたCO₂は、貯蔵又は更なる処理のために転送される。

【0064】

より良好に異なるガスの流れの中の酸素濃度を制御するために、酸素濃度とCO₂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CO₂とO₂の中の一つ以上の測定器36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CO₂とO₂の中の一つ以上の測定器37を配備することができる。HRSG9の下流の排ガス温度が低下しているために、HRSGの排ガス中のCO₂とO₂の中の一つ以上の測定器38によって、HRSG9の下流での排ガスの組成を測定するのが有利な場合がある。

【0065】

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CO₂濃度を測定するための幾つかの異なる方法、システム、測定器がある。例えば、非分散型赤外線(NDIR)CO₂センサーや化学的CO₂センサーを用いて、CO₂を容易に測定

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 6 6 】

図 2 は、安定した完全燃焼に必要な、相対的な負荷の関数としての正規化された G_T 入力ガス中の酸素濃度の例を模式的に図示している。それは、ベース負荷時の動作において必要な酸素濃度で正規化されている。

【 0 0 6 7 】

低い負荷において、燃焼器が拡散火炎で動作している場合、必要な余剰酸素量は少なく、それに対応する正規化された吸気中の酸素濃度 $I_{N_{O_2}}$ は、火炎温度が低いにも関わらず低い。燃焼器が予混合火炎で動作すると、必要な余剰酸素量及びそれに対応する正規化された吸気中の酸素濃度 $I_{N_{O_2}}$ は、最大限にまで増大する。負荷の増大に応じて、火炎温度が上昇して、完全燃焼を促進し、正規化された吸気中の酸素濃度 $I_{N_{O_2}}$ を低減することが可能となる。典型的には、相対的な負荷 P_{rel} が 80 % ~ 90 % を上回る高い負荷では、火炎温度は、典型的には、完全燃焼を保証するのに十分な高さとなり、正規化された吸気中の酸素濃度 $I_{N_{O_2}}$ が最小値に到達する。負荷が更に上昇すると、圧縮機の入力質量流量は、典型的には、尚も増大する。しかし、入力質量流量に対して相対的な燃料消費量率も上昇し、そのため、正規化された吸気中の酸素濃度 $I_{N_{O_2}}$ が、再びベース負荷時にまで上昇する。

【 0 0 6 8 】

燃焼器によっては、低い酸素濃度での安定した口火燃焼が低い負荷で不可能となる。その場合、図 2 に図示された濃度よりもずっと高い酸素濃度が必要となる。そのため、約 5 % の負荷から約 20 % の負荷までの線だけが、破線で表示されている。

【 0 0 6 9 】

図 3 は、ガスタービン 6 の吸気中の所要の正規化された酸素濃度 $I_{N_{O_2}}$ を考慮した再循環率と再冷却温度の最適化の例を模式的に図示している。

【 0 0 7 0 】

破線で表示された最良の CO_2 回収効率 $r_{capture}$ に対する再循環率は、排ガス中の CO_2 濃度を高く一定に維持するために必要な再循環率の変化の例である。ベース負荷を初期値として、最良の CO_2 回収効率 $r_{capture}$ に対する再循環率は、ほんの僅かな勾配で約 50 % の負荷にまで上昇している。約 50 % ~ 100 % までの負荷の範囲では、負荷は、典型的には、タービンの入力温度と入口の可変式案内羽根の制御の組合せによって制御される。その結果、入力質量流量に対する燃料噴射量は、ほぼ一定となり、 CO_2 発生率も、ほぼ一定となる。負荷が約 50 % を下回ると、入口の可変式案内羽根は、閉じた位置となり、入力質量流量は、実質的に一定となり、ガスタービンの負荷は、タービン入力温度だけで制御される。入力質量流量がほぼ一定になると、 CO_2 発生率は、タービンの入力温度の低下と共に低下する。それに応じて、排ガス中の CO_2 濃度を一定に維持するのに必要な再循環率が上昇する。

【 0 0 7 1 】

しかし、ガスタービン 6 からの吸気中の所要の正規化された酸素濃度 $I_{N_{O_2}}$ を考慮すると、ガスタービンの動作に対しては、ガスタービン用の再循環率 r_{GT} を適用しなければならない。ベース負荷では、システムは、完全燃焼のために最適化されており、 CO_2 回収システムに関する高い再循環率と、この例でのガスタービン用の再循環率 r_{GT} とは、ベース負荷での最良の CO_2 回収効率 $r_{capture}$ に関する再循環率と等しい。図 2 を用いて考察した通り、ガスタービンの吸気中の正規化された酸素濃度 $I_{N_{O_2}}$ の上昇は、負荷を低減する場合に必要な。それに対応して、ガスタービンによって実現可能なガスタービン用の再循環率 r_{GT} を低減しなければならない。ガスタービンが拡散火炎で動作する非常に低い負荷の場合にのみ、ガスタービン用の再循環率 r_{GT} は、典型的には、最適な CO_2 濃度に必要なレベルと合致するように再び上昇させることができる。

【 0 0 7 2 】

燃焼器によっては、低い酸素濃度での安定した燃焼が低い負荷で不可能となる。その場合、ずっと低い再循環率だけが約 5 % の負荷で実現可能である。そのため、約 5 % の負荷から約 20 % の負荷までの線だけが、破線で表示されている。

【 0 0 7 3 】

再循環させる質量流量の制御と、再循環排ガス用再冷却器 27 後の温度の制御と、外気の温度及び圧縮機 1 の入力質量流量の考慮とによって、圧縮機 1 の入力温度を制御することができる。

【 0 0 7 4 】

ベース負荷では、再冷却温度は、典型的には、再循環排ガス用再冷却器 27 の能力によって制限され、使用可能な放熱板に依存する。川又は海からの冷却水を用いた冷却水式冷却器の場合、水の温度は、実現可能な再冷却温度を決める。空気式冷却器の場合、最低の再冷却温度は、典型的には、外気の温度を 5 ~ 10 ° C 上回る。再循環率に応じて、圧縮機の入力温度の温度上昇が小さくなる。

【 0 0 7 5 】

CCPP が部分負荷に応じた出力電力率を要求される場合、目標電力に到達するまで、タービン入力温度又は高温ガス温度を低下するとともに、入口の可変式案内羽根を動作方式に応じて閉じる。その両方は、相対的な負荷の低下に比例して、プラントの効率を低下させる。圧縮機の入力温度を制御することによって、プラントのベース負荷時の電力を制御することができる。特に、圧縮機の入力温度の上昇は、ベース負荷時の電力を低下させる。その結果、前記の出力電力率は、ベース負荷又は増大した相対的な電力で達成される。相対的な負荷を増大した動作による効率の利得が、入力温度を上昇した動作による効率の損失よりも大きい限り、圧縮機の入力温度の上昇は、全体的な効率を増大させることができる。プラント固有の圧縮機の最適な入力温度は、負荷設定点毎に決定することができる。圧縮機の最適な入力温度、外気 2 の温度、負荷に応じたガスタービン用の再循環率 r_{GT} に応じて、最適な再冷却温度 T_{recool} を決定することができる。ベース負荷では、その温度は、再冷却器の冷却能力によって制限される。低い負荷では、外気と再冷却された排ガスの混合気が圧縮機の許容可能な最高の入力温度に到達するまで、再冷却温度 T_{recool} を上昇させることができる。この例では、圧縮機の許容可能な最高の入力温度は、固定値である。しかし、ガスタービン用の再循環率が負荷に応じて変化するので、一定の温度の混合気を得るために必要な再冷却温度 T_{recool} も負荷に応じて変化する。

【 0 0 7 6 】

ガスタービン 6 の構成に応じて、圧縮機の許容可能な最高の入力温度は一定とはならない。それは、例えば、圧縮機の出力温度又は中間の圧縮機からの冷気の供給温度が制限要因となる場合である。その結果、再冷却温度 T_{recool} に関する異なる制限関数が得られる。

【 0 0 7 7 】

より洗練された実施形態では、例えば、負荷に応じた圧縮機の最適な入力温度とそれに対応する最適な再冷却温度を決定するために、周囲環境の圧力、湿度、入口 / 出口の圧力降下量の影響も考慮することができる。

【 0 0 7 8 】

動作の柔軟性を更に向上するとともに、部分負荷及びベース負荷時の再循環率の制限を克服するために、ガスタービンの入力ガス中の酸素を濃縮することを提案する。図 4 は、排ガス再循環系統と可変速度式送風機を備えたバックエンド式 CO₂ 吸収方式の CCPP での酸素濃縮構成を模式的に図示している。それらの構成と機能は、図 1 に図示されたものと同様である。圧縮機 1 の上流には、ASU (空気分離ユニット) 28 が更に配置されている。空気分離ユニット 28 は、吸気 2 の一部から酸素又は酸素を多く含む空気 34 を分離する。酸素又は酸素を多く含む空気 34 は、外気 2 及び排ガス再循環用配管からの再循環された排ガスと混合される。酸素を除去された空気 35 は、周囲環境に吐き出される。この用途には、従来の深冷分離式 ASU を使用することができる。しかし、必要とするエネルギーがより少ない膜をベースとする分離技術を使用することができる。それらは、

酸素を多く含む空気だけでなく、純粋でない酸素が、ここで提案するプロセスには必要なので、特に、好ましい場合がある。パルプ、ダンパー、送風機などの酸素を多く含む空気に対する外気の比率を制御するための（図示されていない）制御器が見込まれる。

【 0 0 7 9 】

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。

【 0 0 8 0 】

例えば、空気分離ユニット 2 8 の後で酸素を多く含む空気を外気 2 と混合せずに酸素を多く含む空気 3 4 だけを使用したり、そのような酸素を多く含む空気 3 4 を再循環される排ガスの第一の部分的な流れ 2 1 と直接混合して、圧縮機の入力ガス 3 を得ることが有利である。膜分離技術の必要電力が、典型的には、濃度の上昇に比例し、外気との混合を行わないと、最大の酸素濃度が低下するので、それによって、混合気の全体的な酸素濃度を増大するための必要電力が軽減される。

10

【 0 0 8 1 】

更に、例えば、ガスタービン内において、燃料ガス 5 の代わりに、液体燃料が燃焼される。

【 0 0 8 2 】

制御パラメータとして、CO 又は燃焼しなかった炭化水素の発生量を使用する制御方法を実現するためには、CO 又は燃焼しなかった炭化水素の発生量の測定器をガスタービン 6 の下流に配備しなければならない。

20

【 0 0 8 3 】

例えば、ガスタービンの場所に排ガス中の CO₂ 及び / 又は O₂ の測定器 3 7 を配備するか、或いは H R S G の場所に測定器 3 8 に対応する排ガス中の CO₂ 及び / 又は O₂ の測定器を配備することができる。それらを組み合わせた測定器とすることもできる。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 4 】

- 1 圧縮機
- 2 外気
- 3 圧縮機の入力ガス
- 4 燃焼器
- 5 G T 用の燃料ガス
- 6 ガスタービン (G T)
- 7 タービン
- 8 ガスタービンからの熱い排ガス
- 9 H R S G (熱回収蒸気発生器)
- 1 0 (CO₂ 回収システムへの) 第二の部分的な流れ用の排ガス送風機
- 1 1 (排ガス再循環システムへの) 第一の部分的な流れ用の排ガス送風機
- 1 2 迂回路用フラップ又はバルブ
- 1 3 蒸気タービン
- 1 4 復水器
- 1 5 CO₂ 回収のための蒸気の抽出
- 1 6 給水
- 1 7 復水用戻り配管
- 1 8 CO₂ 回収システム
- 1 9 H R S G からの排ガス
- 2 0 第二の部分的な流れ (CO₂ 回収システムへの排ガス用配管)
- 2 1 第一の部分的な流れ (排ガス再循環システム)
- 2 2 CO₂ を除去した排ガス
- 2 3 (第二の部分的な流れのための) 排ガス用冷却器
- 2 4 煙突への排ガス迂回路

30

40

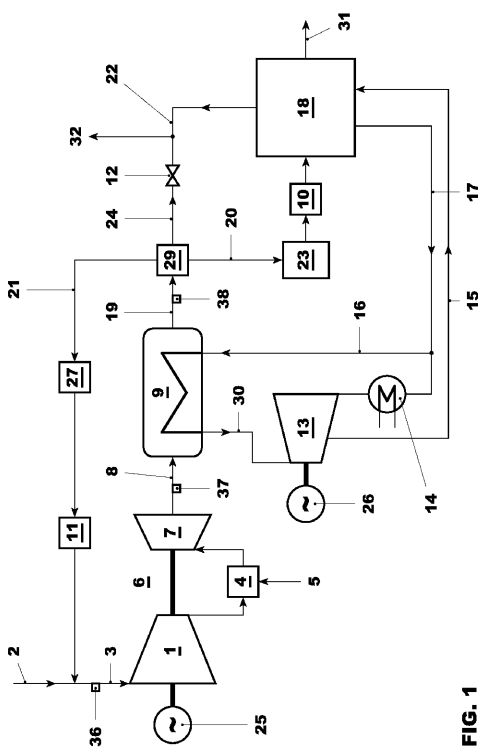
50

- | | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| 2 5 | 第一の発電機 |
| 2 6 | 第二の発電機 |
| 2 7 | (第一の部分的な流れのための) 再循環排ガス用再冷却器 |
| 2 8 | A S U (空気分離ユニット) |
| 2 9 | 排ガス用分離器 |
| 3 0 | 生蒸気 |
| 3 1 | 回収した C O 2 |
| 3 2 | 煙突 |
| 3 4 | 酸素 / 酸素を多く含む燃料 |
| 3 5 | 酸素を除去された空気 |
| 3 6 | 吸気中の C O 2 及び / 又は O 2 の測定器 |
| 3 7 | ガスタービンの排ガス中の C O 2 及び / 又は O 2 の測定器 |
| 3 8 | H R S G の排ガス中の C O 2 及び / 又は O 2 の測定器 |
| C C P P | 複合サイクル発電プラント |
| C O E | 発電経費 |
| I N _{O₂} | 正規化された吸気中の酸素濃度 |
| P _{rel} | C C P P の相対的な負荷 |
| r _{GT} | ガスタービン用の再循環率 |
| r _{capture} | 最良の C O 2 回収効率に対する再循環率 |
| T _{recool} | 再冷却温度 |

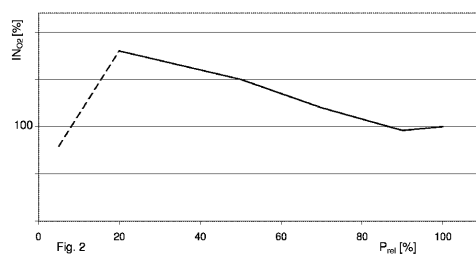
10

20

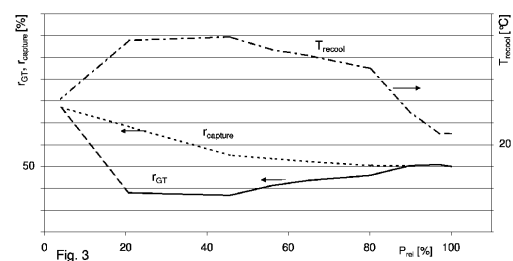
【圖 1】



【圖 2】



【 図 3 】



【図 4】

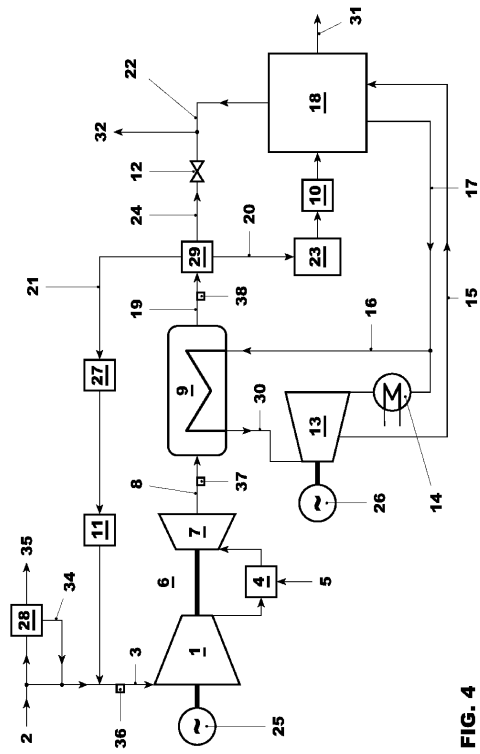


FIG. 4

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 ホフマン・ユルゲン
スイス国、5 4 1 7 ウンタージッゲンタール、ヒューバッハーストラーセ、1 7
- (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 ドロウ・フランソワ
スイス国、5 4 5 2 オーバーロールドルフ、ガイスライストラーセ、5
- (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
- (72)発明者 ルフティ・クリストフ
スイス国、8 6 1 0 ウスター、フライエストラーセ、5 4
- (72)発明者 ヴィルスム・マンフレート
スイス国、5 4 0 4 バーデン - デートヴィル、イム・エルゲル、1 0

審査官 齊藤 公志郎

- (56)参考文献 特開2 0 0 1 - 0 1 2 2 1 3 (J P , A)
特開平0 3 - 1 4 5 5 2 3 (J P , A)
特開平0 4 - 1 9 1 4 1 8 (J P , A)
独国特許出願公開第1 9 7 2 8 1 5 1 (D E , A 1)
米国特許出願公開第2 0 0 8 / 0 1 0 4 9 3 8 (U S , A 1)
特開平0 7 - 0 3 4 9 0 0 (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