

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5914300号  
(P5914300)

(45) 発行日 平成28年5月11日(2016.5.11)

(24) 登録日 平成28年4月8日(2016.4.8)

(51) Int. Cl.	F I		
<b>B O 1 D 53/62</b>	<b>(2006.01)</b>	B O 1 D 53/62	Z A B
<b>F O 1 K 9/00</b>	<b>(2006.01)</b>	F O 1 K 9/00	Z
<b>F O 1 K 17/04</b>	<b>(2006.01)</b>	F O 1 K 17/04	Z
<b>C O 1 B 31/20</b>	<b>(2006.01)</b>	C O 1 B 31/20	Z

請求項の数 5 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-245932 (P2012-245932)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成24年11月8日 (2012.11.8)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2014-94331 (P2014-94331A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成26年5月22日 (2014.5.22)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成27年2月25日 (2015.2.25)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	折田 久幸
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
			株式会社日立製作所 日立研究所内
		(72) 発明者	向出 正明
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
			株式会社日立製作所 日立研究所内
		(72) 発明者	吉田 紀子
			茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
			株式会社日立製作所 日立研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 CO<sub>2</sub> 固体吸着材システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

化石燃料を燃焼して蒸気と排ガスとを得るボイラと、  
前記蒸気で駆動される蒸気タービンと、  
前記蒸気タービンを駆動した前記蒸気を凝縮させる復水器と、  
前記復水器で凝縮した水を前記蒸気タービンの蒸気で加熱する給水加熱器および脱気器  
と、

CO<sub>2</sub>を吸着する固体吸着材を有し、前記排ガスが供給されると前記固体吸着材で前記  
排ガス中のCO<sub>2</sub>を吸着する充填塔と、

CO<sub>2</sub>を圧縮する圧縮機と、  
前記充填塔と前記給水加熱器との間または前記充填塔と前記脱気器との間に、前記充填  
塔から排出された前記蒸気を凝縮させる気液分離器と、を備え、

前記充填塔には、前記復水器で凝縮した水と前記蒸気タービンの蒸気とが伝熱媒体とし  
て供給され、

伝熱媒体としての前記水は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した前  
記固体吸着材を冷却し、前記充填塔から排出されて前記給水加熱器または前記脱気器に供  
給され、

伝熱媒体としての前記蒸気は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した  
前記固体吸着材を加熱して前記固体吸着材からCO<sub>2</sub>を脱離させ、前記充填塔から排出さ  
れて前記給水加熱器または前記脱気器に供給され、

前記圧縮機は、前記固体吸着材から脱離したCO<sub>2</sub>を圧縮して回収し、  
前記充填塔には、前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する配管によって、伝熱媒体  
としての前記蒸気が供給され、

前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する前記配管は、前記蒸気の流量を調節する弁  
を備え、

前記気液分離器と前記給水加熱器とを接続する配管または前記気液分離器と前記脱気器  
とを接続する配管は、前記気液分離器の気相の圧力を調節する弁を備え、

前記充填塔と前記気液分離器とを接続する配管は、2つに分岐する分岐点を有し、一方  
の分岐は前記気液分離器に接続し、前記分岐点と前記気液分離器との間に前記蒸気の流量  
を調節する弁を備え、他方の分岐は前記給水加熱器に接続し、前記分岐点と前記給水加熱  
器との間に前記水の流量を調節する弁を備える、  
ことを特徴とするCO<sub>2</sub>固体吸着材システム。

10

【請求項2】

化石燃料を燃焼して蒸気と排ガスとを得るボイラと、  
前記蒸気で駆動される蒸気タービンと、  
前記蒸気タービンを駆動した前記蒸気を凝縮させる復水器と、  
前記復水器で凝縮した水を前記蒸気タービンの蒸気で加熱する給水加熱器および脱気器  
と、

CO<sub>2</sub>を吸着する固体吸着材を有し、前記排ガスが供給されると前記固体吸着材で前記  
排ガス中のCO<sub>2</sub>を吸着する充填塔と、

20

CO<sub>2</sub>を圧縮する圧縮機と、を備え、  
前記充填塔には、前記復水器で凝縮した水と前記蒸気タービンの蒸気とが伝熱媒体とし  
て供給され、

伝熱媒体としての前記水は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した前  
記固体吸着材を冷却し、前記充填塔から排出されて前記給水加熱器または前記脱気器に供  
給され、

伝熱媒体としての前記蒸気は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した  
前記固体吸着材を加熱して前記固体吸着材からCO<sub>2</sub>を脱離させ、前記充填塔から排出さ  
れて前記給水加熱器または前記脱気器に供給され、

前記圧縮機は、前記固体吸着材から脱離したCO<sub>2</sub>を圧縮して回収し、  
前記充填塔には、前記復水器と前記充填塔とを接続する配管によって、伝熱媒体として  
の前記水が供給され、且つ、前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する配管によって、  
伝熱媒体としての前記蒸気が供給され、

30

前記復水器と前記充填塔とを接続する前記配管と、前記蒸気タービンと前記充填塔とを  
接続する前記配管とは、前記充填塔の手前で合流し、

前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する前記配管は、前記蒸気の流量を調節する弁  
を備え、

前記復水器と前記充填塔とを接続する前記配管と、前記蒸気タービンと前記充填塔とを  
接続する前記配管とが合流する合流点に温度計を備え、

前記温度計が計測した温度を取り込み、前記合流点の温度が予め定めた速度以下で上昇  
するように、前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する前記配管が備える前記弁の開度  
を調節し、前記充填塔に供給する前記蒸気の流量を制御する制御装置をさらに備える、  
ことを特徴とするCO<sub>2</sub>固体吸着材システム。

40

【請求項3】

化石燃料を燃焼して蒸気と排ガスとを得るボイラと、  
前記蒸気で駆動される蒸気タービンと、  
前記蒸気タービンを駆動した前記蒸気を凝縮させる復水器と、  
前記復水器で凝縮した水を前記蒸気タービンの蒸気で加熱する給水加熱器および脱気器  
と、

CO<sub>2</sub>を吸着する固体吸着材を有し、前記排ガスが供給されると前記固体吸着材で前記

50

排ガス中のCO<sub>2</sub>を吸着する充填塔と、

CO<sub>2</sub>を圧縮する圧縮機と、を備え、

前記充填塔には、前記復水器で凝縮した水と前記蒸気タービンの蒸気とが伝熱媒体として供給され、

伝熱媒体としての前記水は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した前記固体吸着材を冷却し、前記充填塔から排出されて前記給水加熱器または前記脱気器に供給され、

伝熱媒体としての前記蒸気は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した前記固体吸着材を加熱して前記固体吸着材からCO<sub>2</sub>を脱離させ、前記充填塔から排出されて前記給水加熱器または前記脱気器に供給され、

前記圧縮機は、前記固体吸着材から脱離したCO<sub>2</sub>を圧縮して回収し、

前記給水加熱器には、前記復水器で凝縮した水が供給され、

前記復水器には、2つに分岐する分岐点を有して、一方の分岐で前記充填塔に前記水を供給し、他方の分岐で前記給水加熱器に前記水を供給する配管が接続され、

前記配管は、前記分岐点と前記充填塔の間と前記分岐点と前記給水加熱器の間とに、前記水の流量を調節する弁をそれぞれ備え、

前記充填塔には、前記復水器と前記充填塔とを接続する配管によって、伝熱媒体としての前記水が供給され、且つ、前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する配管によって、伝熱媒体としての前記蒸気が供給され、

前記復水器と前記充填塔とを接続する前記配管と、前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する前記配管とは、前記充填塔の手前で合流し、

前記復水器と前記充填塔とを接続する前記配管と、前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する前記配管との合流点に温度計を備え、

前記温度計が計測した温度を取り込み、前記合流点の温度が予め定めた速度以下で低下するように、前記復水器から前記充填塔に前記水を供給する前記配管において前記分岐点と前記充填塔との間に設けられた前記弁の開度を調節し、前記充填塔に供給する前記水の流量を制御する制御装置をさらに備える、

ことを特徴とするCO<sub>2</sub>固体吸着材システム。

**【請求項4】**

前記分岐点に温度計を備え、

前記温度計が計測した温度を取り込み、前記分岐点の温度に応じて、前記分岐点と前記気液分離器との間の前記弁の開閉を切替えるとともに、前記分岐点と前記給水加熱器との間の前記弁の開閉を切替える制御装置をさらに備える請求項1記載のCO<sub>2</sub>固体吸着材システム。

**【請求項5】**

化石燃料を燃焼して蒸気と排ガスとを得るボイラと、

前記蒸気で駆動される蒸気タービンと、

前記蒸気タービンを駆動した前記蒸気を凝縮させる復水器と、

前記復水器で凝縮した水を前記蒸気タービンの蒸気で加熱する給水加熱器および脱気器と、

CO<sub>2</sub>を吸着する固体吸着材を有し、前記排ガスが供給されると前記固体吸着材で前記排ガス中のCO<sub>2</sub>を吸着する充填塔と、

CO<sub>2</sub>を圧縮する圧縮機と、

前記充填塔と前記給水加熱器との間または前記充填塔と前記脱気器との間に、前記充填塔から排出された前記蒸気を凝縮させる気液分離器と、を備え、

前記充填塔には、前記復水器で凝縮した水と前記蒸気タービンの蒸気とが伝熱媒体として供給され、

伝熱媒体としての前記水は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した前記固体吸着材を冷却し、前記充填塔から排出されて前記給水加熱器または前記脱気器に供給され、

10

20

30

40

50

伝熱媒体としての前記蒸気は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した前記固体吸着材を加熱して前記固体吸着材からCO<sub>2</sub>を脱離させ、前記充填塔から排出されて前記給水加熱器または前記脱気器に供給され、

前記圧縮機は、前記固体吸着材から脱離したCO<sub>2</sub>を圧縮して回収し、

前記充填塔には、前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する配管によって、伝熱媒体としての前記蒸気が供給され、

前記蒸気タービンと前記充填塔とを接続する前記配管は、前記蒸気の流量を調節する弁を備え、

前記気液分離器と前記給水加熱器とを接続する配管または前記気液分離器と前記脱気器とを接続する配管は、前記気液分離器の気相の圧力を調節する弁を備え、

前記気液分離器の気相に、または前記充填塔から排出された前記蒸気を前記気液分離器に供給する配管に圧力計を備え、

前記給水加熱器または前記脱気器に温度計を備え、

前記圧力計が計測した圧力と、前記温度計が計測した前記給水加熱器または前記脱気器の水温とを読み込み、前記給水加熱器または前記脱気器の水温に応じて、前記気液分離器と前記給水加熱器とを接続する配管または前記気液分離器と前記脱気器とを接続する配管が備える弁の開度を変えて前記気液分離器の気相の圧力を制御する制御装置をさらに備える、

ことを特徴とするCO<sub>2</sub>固体吸着材システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、固体吸着材を用いて排ガスに含まれるCO<sub>2</sub>を回収するCO<sub>2</sub>固体吸着材システムに関する。

【背景技術】

【0002】

地球温暖化の対応策として、排出されるCO<sub>2</sub>を回収する技術が求められている。石炭、石油およびLNGなどの化石燃料を燃焼し水蒸気を発生させる燃焼装置（以下、「ボイラ」と称する）の排ガス中には、数%から十数%のCO<sub>2</sub>が含まれている。このため、ボイラの排ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を回収する必要性が高まっている。

【0003】

排ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を回収する技術の一つとして、アミンと水を混合したアミン水溶液をCO<sub>2</sub>吸収材として用いるCO<sub>2</sub>化学吸収システムがある。このCO<sub>2</sub>化学吸収システムは、排ガス中のCO<sub>2</sub>をアミン水溶液で吸収する吸収塔と、吸収したCO<sub>2</sub>をアミン水溶液から放出させる再生塔から構成される。

【0004】

吸収塔では、排ガスとアミン水溶液の気液接触によってアミン含有のミストが生じ、このミストは排ガスに同伴して飛散する。また、CO<sub>2</sub>を吸収するときの反応熱によって、アミン水溶液の温度が上昇し、アミンは蒸発する。このように、吸収塔からの排ガスにはアミンが含まれるので、アミンは大気に放出される。アミンの大気への放出は、大気汚染を誘発する可能性がある。

【0005】

アミンを使用せず、固体のCO<sub>2</sub>吸着材（固体吸着材）を用いるのがCO<sub>2</sub>固体吸着材システムである。このシステムは、アミンを大気へ放出しない。しかし、CO<sub>2</sub>を回収するための吸着材が固体であるため、CO<sub>2</sub>を吸着させる吸着塔からCO<sub>2</sub>を脱離させる再生塔への吸着材の輸送、およびこの逆の再生塔から吸着塔への吸着材の輸送は容易ではない。したがって、固体吸着材は、充填塔に固定して収納される。特許文献1には、CO<sub>2</sub>固体吸着材システムの例が開示されている。

【0006】

特許文献1に開示されているように、従来のCO<sub>2</sub>固体吸着材システムでは、充填塔に

10

20

30

40

50

接続されている配管に弁を設け、弁の開閉を切替えることで、固体吸着材へのCO<sub>2</sub>の吸着と、固体吸着材からのCO<sub>2</sub>の脱離（固体吸着材の再生）を行う。充填塔を2塔構成にすると、一方でCO<sub>2</sub>の吸着を行うと同時にもう一方でCO<sub>2</sub>の脱離を行って、連続的にCO<sub>2</sub>の吸着と固体吸着材の再生を実行できる。

【0007】

CO<sub>2</sub>化学吸収システムおよびCO<sub>2</sub>固体吸着材システムでは、吸着材からCO<sub>2</sub>を脱離させて吸着材を再生するのに、熱（再生熱）を使う。省エネルギーの観点から、システムで使用する熱の量を減少させることが望まれる。このために、システム内で発生した熱を回収して、再生熱などに再利用する必要がある。

【0008】

また、CO<sub>2</sub>固体吸着材システムでは、充填塔内にガスを通気する際、粉体が飛散しないように空塔速度を遅くする。これにより、充填塔内でのCO<sub>2</sub>の吸収反応は、時間経過に伴い、排ガスの入口から出口に向かって進行する。CO<sub>2</sub>の吸収反応に伴い、固体吸着材の温度および排ガスの温度も上昇する。吸着平衡に達すると、充填塔内は、流入する排ガスによって冷却され、温度が低下する。したがって、充填塔内の温度分布は、時間とともに変化し、高温部が排ガスの進行方向に沿って移動する非定常な分布になる。特許文献1に開示されているような従来のCO<sub>2</sub>固体吸着材システムでは、反応熱を回収する装置を備えているが、充填塔内の温度分布が定常であることを想定した仕様の装置を用いており、効率的な熱回収は難しい。

【0009】

また、CO<sub>2</sub>化学吸収システムや従来のCO<sub>2</sub>固体吸着材システムは、CO<sub>2</sub>の吸着と吸着材の再生を連続的に実行するという連続運転を前提とするシステムである。これらのシステムでは、ボイラの排ガスからCO<sub>2</sub>を回収し、吸着材を再生するための加熱源として高温蒸気を用いると、ボイラの負荷（出力）に変動がある場合には、CO<sub>2</sub>の回収と吸着材の再生の量も変動する。このため、システム全体で考えると、使用する熱の量の低減や効率的な熱回収の面では、連続運転が必ずしも有効にはならない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2005-161220号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

以上説明したように、CO<sub>2</sub>化学吸収システムやCO<sub>2</sub>固体吸着材システムでは、使用する熱の量の低減や効率的な熱回収が求められている。

【0012】

本発明は、固体吸着材を用いてCO<sub>2</sub>を回収し、効率的な熱回収と使用する熱の量の低減とが可能なCO<sub>2</sub>固体吸着材システム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】

【0013】

本発明によるCO<sub>2</sub>固体吸着材システムは、次のような特徴を有する。化石燃料を燃焼して蒸気と排ガスをとるボイラと、前記蒸気で駆動される蒸気タービンと、前記蒸気タービンを駆動した前記蒸気を凝縮させる復水器と、前記復水器で凝縮した水を前記蒸気タービンの蒸気で加熱する給水加熱器および脱気器と、CO<sub>2</sub>を吸着する固体吸着材を有し、前記排ガスが供給されると前記固体吸着材で前記排ガス中のCO<sub>2</sub>を吸着する充填塔とを備える。前記充填塔には、前記復水器で凝縮した水が伝熱媒体として供給される。伝熱媒体としての前記水は、前記固体吸着材に非接触で伝熱して、CO<sub>2</sub>を吸着した前記固体吸着材を冷却し、前記充填塔から排出されて前記給水加熱器または前記脱気器に供給される。

【発明の効果】

## 【0014】

本発明によれば、固体吸着材を用いてCO<sub>2</sub>を回収し、効率的な熱回収と使用する熱の量の低減とが可能なCO<sub>2</sub>固体吸着材システムを提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0015】

【図1】本発明の実施例1による、CO<sub>2</sub>を回収するときのCO<sub>2</sub>固体吸着材システムの概略を示す構成図。

【図2】本発明の実施例2による、固体吸着材を再生するときのCO<sub>2</sub>固体吸着材システムの概略を示す構成図。

【図3】本発明の実施例3による、CO<sub>2</sub>の回収と固体吸着材の再生を行うときのCO<sub>2</sub>固体吸着材システムの概略を示す構成図。

10

【図4A】本発明の実施例による充填塔の上面を示す模式図。

【図4B】本発明の実施例による充填塔の側面を示す模式図。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0016】

本発明によるCO<sub>2</sub>固体吸着材システムは、固体のCO<sub>2</sub>吸着材（以下、「CO<sub>2</sub>固体吸着材」または「固体吸着材」と称する）を収納した充填塔を備え、固体吸着材を用いてボイラの排ガス中のCO<sub>2</sub>を回収する。充填塔に収納された固体吸着材は、CO<sub>2</sub>を吸着するときには冷却され、CO<sub>2</sub>を脱離するときには加熱される。充填塔では、伝熱媒体は、固体吸着材に直接接触しないように流れて、固体吸着材を冷却・加熱する。本システムでは、固体吸着材の冷却と加熱を、弁の開閉によって切替えることができる。

20

## 【0017】

固体吸着材がCO<sub>2</sub>を吸着するときは、復水器で凝縮させた水を冷却水として充填塔に供給し、固体吸着材を冷却する。固体吸着材で加熱された水は、給水加熱器に供給する。固体吸着材を再生するとき（固体吸着材からCO<sub>2</sub>を脱離させるとき）は、タービンからの蒸気を充填塔に供給して固体吸着材を加熱する。固体吸着材を加熱した蒸気は、液化して給水加熱器または脱気器に供給する。充填塔から給水加熱器または脱気器への配管の途中に圧力計を設けると、液化した蒸気の温度が給水加熱器または脱気器の水温と等しくなるように、蒸気の圧力を調整することができる。

## 【0018】

30

本システムの運転を、固体吸着材のCO<sub>2</sub>の吸着から固体吸着材の再生へ切替えると、充填塔に流れる伝熱媒体が冷却水から蒸気になる。このとき、配管の温度が急激に変化しないように、流量調節弁によって蒸気の流量を緩慢に増やせることができる。一方、本システムの運転を、固体吸着材の再生から固体吸着材のCO<sub>2</sub>の吸着へ切替えると、配管に流れる伝熱媒体が蒸気から冷却水になる。このとき、配管の温度が急激に変化しないように、流量調節弁によって冷却水の流量を緩慢に増やせることができる。

## 【0019】

本システムにおいて、ボイラの負荷（出力）の変動が小さくなるように、吸着と再生とを切替えるのが好ましい。例えば、吸着から再生への切替えと再生から吸着への切替えをそれぞれ1日1回とし、ボイラの負荷が大きい昼間は固体吸着材にCO<sub>2</sub>を吸着させ、ボイラの負荷が小さい夜間は固体吸着材を再生するのが好ましい。

40

## 【0020】

本発明によるCO<sub>2</sub>固体吸着材システムでは、固体吸着材がCO<sub>2</sub>を吸着するときには、吸着で生じる反応熱を給水加熱器に与え、タービンの出力を向上させることができる。固体吸着材を再生するときには、熱交換した蒸気を液化し、一定温度の水を給水加熱器または脱気器に導入することで、タービンの負荷の変動を抑止することができる。

## 【0021】

吸着と再生とを切替えたときに、配管の温度の急変を回避することで、配管の損傷を低減できる。また、昼間に固体吸着材にCO<sub>2</sub>を吸着させ、その反応熱をタービンの出力に活用することにより、昼間にタービン出力を上げることができる。夜間に固体吸着材を再

50

生することにより、夜間のボイラの負荷の減少を緩和でき、ボイラの負荷の変化を減少させることができるので、ボイラの耐用年数を延ばすことができる。

【0022】

以下、本発明によるCO<sub>2</sub>固体吸着材システムの実施例を、微粉炭焚きボイラで発生した排ガス中のCO<sub>2</sub>を回収する場合について説明する。本発明によるCO<sub>2</sub>固体吸着材システムは、微粉炭焚きボイラを用いるシステムに限らず、化石燃料を燃焼して発電するシステムに適用することができる。

【実施例1】

【0023】

図1を用いて、本発明によるCO<sub>2</sub>固体吸着材システムの実施例1について説明する。実施例1では、CO<sub>2</sub>を回収するとき、すなわち固体吸着材がCO<sub>2</sub>を吸着するときのCO<sub>2</sub>固体吸着材システムについて説明する。

10

【0024】

図1は、CO<sub>2</sub>固体吸着材システムの概略を示す構成図であり、固体吸着材がCO<sub>2</sub>を吸着するときのシステムを示している。CO<sub>2</sub>固体吸着材システムは、発電システムと充填塔22を備える。発電システムは、ボイラ1、蒸気タービン、発電機14、復水器15、低圧給水加熱器16~19、および脱気器20を備える。蒸気タービンは、高圧タービン11、中圧タービン12および低圧タービン13からなる。

【0025】

充填塔22には、固体吸着材21が収納されている。固体吸着材21は、例えば円筒容器に充填されて、充填塔22に収納される。図1では、一例として、4本以上の円筒容器を有する充填塔22を示している。

20

【0026】

ボイラ1で微粉炭を燃焼して得られた排ガスには、CO<sub>2</sub>、窒素酸化物、硫黄酸化物および煤塵が含まれる。ボイラ1の排ガスは、脱硝装置(図示せず)で窒素酸化物が除去され、電気集塵器(図示せず)で煤塵が除去され、脱硫装置2で硫黄酸化物が除去され、充填塔22でCO<sub>2</sub>が回収されて、煙突4から大気へ放出される。充填塔22でCO<sub>2</sub>を回収する際には、窒素酸化物および硫黄酸化物の吸収・吸着と煤塵の付着とによって、固体吸着材21のCO<sub>2</sub>の吸着性能が低下する。このため、窒素酸化物、煤塵および硫黄酸化物を除去して浄化した後の排ガスを充填塔22へ導き、固体吸着材21の吸着性能の低下を抑制する。

30

【0027】

脱硫装置2と充填塔22とを接続する配管には、弁31とファン52が設けられており、脱硫装置2と煙突4とを接続する配管には、弁32が設けられている。CO<sub>2</sub>を回収する場合は、弁31を開き、排ガスをファン52で誘引して充填塔22に導く。排ガスの全量を充填塔22に導く場合には、弁32を閉じればよい。

【0028】

充填塔22は、実施例4で述べるように、固体吸着材21と冷却水や蒸気といった伝熱媒体とが非接触で伝熱できる構造とする。固体吸着材21と伝熱媒体とが直接接触する構造は、伝熱媒体に含まれる水分により固体吸着材21が濡れるので、固体吸着材21を乾かすための装置が必要となったり、固体吸着材21の吸着性能の低下を招いたりするので、好ましくない。充填塔22では、固体吸着材21が充填されている空間にCO<sub>2</sub>を含む排ガスを通気させ、固体吸着材21にCO<sub>2</sub>を吸着させる。CO<sub>2</sub>が少なくなった排ガスは、煙突4から大気へ放出する。

40

【0029】

ボイラ1で得た高温の高圧蒸気C、Dは、高圧タービン11、中圧タービン12および低圧タービン13に導かれ、発電機14での発電に利用される。低圧タービン13を駆動した蒸気は、復水器15で冷却されて凝縮する。復水器15で凝縮した水は、ポンプ51と弁33を介して、低圧給水加熱器16~19、脱気器20および高圧給水加熱器に供給されて高圧タービン11、中圧タービン12および低圧タービン13から抽気した蒸気を

50

用いて加熱され、再びボイラ 1 で高圧蒸気になる。なお、高圧給水加熱器は、図 1 に示していないが、脱気器 20 とボイラ 1 の間に配置される。

【0030】

固体吸着材 21 には、アルカリ金属、アルカリ土類金属もしくは希土類元素の酸化物で構成される無機材料、またはシリカアルミナの無機材料が用いられる。これらの材料に  $\text{CO}_2$  が吸着すると、発熱し、材料自体の温度が上昇する。以下、この発熱を「吸着熱」と称する。固体吸着材 21 は温度が低いほど  $\text{CO}_2$  を多く吸着することができるため、温度が上昇した固体吸着材 21 を冷却することが望ましい。

【0031】

固体吸着材 21 を冷却する伝熱媒体（冷却水）として、復水器 15 で蒸気を凝縮させた水を用いる。復水器 15 から充填塔 22 に給水するための配管を設け、この配管に調節弁 43 を設置する。調節弁 43 を開くと、復水器 15 から充填塔 22 に冷却水を供給できる。充填塔 22 では、固体吸着材 21 は、冷却水と直接接触せずに冷却される。

10

【0032】

復水器 15 から低圧給水加熱器 16 ~ 19、脱気器 20 および高圧給水加熱器と充填塔 22 とに給水するために、復水器 15 に、途中の分岐点で 2 つに分岐する配管を接続してもよい。この配管の一方の分岐で充填塔 22 に復水器 15 で凝縮した水（冷却水）を供給し、他方の分岐で低圧給水加熱器 16 ~ 19、脱気器 20 および高圧給水加熱器に復水器 15 で凝縮した水を供給する。弁 33 は、この分岐点と低圧給水加熱器 19 との間に設け、調節弁 43 は、この分岐点と充填塔 22 との間に設ける。

20

【0033】

固体吸着材 21 を冷却した冷却水は、温度が上昇する。温度が上昇したこの水は、低圧給水加熱器 16 ~ 19、脱気器 20 および高圧給水加熱器のうち、少なくとも 1 つに供給される。この水を、低圧給水加熱器 16 ~ 19、脱気器 20 および高圧給水加熱器のうちどれに供給するかは、水の温度に応じて定めることができる。図 1 に示した例では、低圧給水加熱器 19 の上流側に供給している。

【0034】

本実施例による  $\text{CO}_2$  固体吸着材システムでは、復水器 15 で凝縮させた水を用いて固体吸着材 21 を冷却する。この結果、固体吸着材 21 の  $\text{CO}_2$  の吸着量を増やすことができる。さらに、冷却水を介して吸着熱を低圧給水加熱器 16 ~ 19、脱気器 20 および高圧給水加熱器のうち少なくとも 1 つに与えることにより、蒸気タービン 11 ~ 13 を駆動するエネルギーを増加させることができる。このため、本システムでは、効率的な熱回収を行って使用する熱の量を低減し、発電量を増加させることができる。

30

【実施例 2】

【0035】

図 2 を用いて、本発明による  $\text{CO}_2$  固体吸着材システムの実施例 2 について説明する。実施例 2 では、固体吸着材を再生するとき、すなわち固体吸着材が  $\text{CO}_2$  を脱離するときの  $\text{CO}_2$  固体吸着材システムについて説明する。

【0036】

図 2 は、 $\text{CO}_2$  固体吸着材システムの概略を示す構成図であり、固体吸着材を再生するときのシステムを示している。図 2 において、図 1 と同一の符号は、図 1 と同一または共通の要素を示しており、これらの要素については説明を省略する。 $\text{CO}_2$  固体吸着材システムは、圧縮機 53 と気液分離器 68 をさらに備える。

40

【0037】

充填塔 22 において、固体吸着材 21 から  $\text{CO}_2$  を脱離させ固体吸着材 21 を再生させるための加熱源として、蒸気タービンから抽気した蒸気を用いる。図 2 では、中圧タービン 12 の後流から充填塔 22 に蒸気 A を供給する配管を設け、この配管に調節弁 42 を設けている。調節弁 42 を開くと、中圧タービン 12 から蒸気 A を充填塔 22 に供給することができる。充填塔 22 では、固体吸着材 21 は、伝熱媒体である蒸気と直接接触することなく加熱される。固体吸着材 21 を加熱した蒸気は、固体吸着材 21 に顕熱と潜熱を与

50

え、温度が低下して液化する。顕熱に比べて潜熱は大きく、固体吸着材 21 は、主に蒸気の有する潜熱で加熱され、CO<sub>2</sub> を脱離する。

【0038】

CO<sub>2</sub> 化学吸収システムでも、蒸気タービンから抽気した蒸気を用いて、吸収液から CO<sub>2</sub> を脱離させる。しかし、吸収液はアミン水溶液であり、高温の蒸気を用いるとアミンが分解して熱劣化する。これを防ぐために、蒸気の温度を低下させる減温器を設け、アミンが分解しない温度の蒸気を吸収液に供給する。

【0039】

本実施例では、CO<sub>2</sub> を吸着する固体吸着材 21 に無機材料を用いるため、蒸気タービンから抽気する高温の蒸気で固体吸着材 21 が劣化しない。したがって、減温器は不要であり、CO<sub>2</sub> 化学吸収システムよりもシステムが簡単になる。

10

【0040】

固体吸着材 21 から脱離した CO<sub>2</sub> は、圧縮機 53 で加圧され、液化 CO<sub>2</sub> 54 として回収される。充填塔 22 が、固体吸着材 21 と蒸気とを直接接触させて固体吸着材 21 を加熱する構造であれば、充填塔 22 と圧縮機 53 の間に、蒸気を冷却して液化させる凝縮器を設け、CO<sub>2</sub> と水（液化した蒸気）を分離した後で、圧縮機 53 に CO<sub>2</sub> を導く必要がある。しかし、本実施例の充填塔 22 では、固体吸着材 21 を蒸気と非接触で加熱するので、蒸気を冷却して液化させる凝縮器は不要であり、システムが簡単になる。

【0041】

固体吸着材 21 を加熱した後の蒸気は、液化させて脱気器 20 の液相に供給する。充填塔 22 と脱気器 20 の間に気液分離器 68 と調節弁 41 を設け、気液分離器 68 で蒸気を液化させる。

20

【0042】

蒸気を液化させる温度は、調節弁 41 の開度で定まる気液分離器 68 の気相の圧力で調節できる。気液分離器 68 の気相温度と液相温度は同じであり、気相温度と液相温度は、気相の圧力が高いと高く、圧力が低いと低くなる。本実施例では、気液分離器 68 の液相温度が脱気器 20 の水温と同じになるように、気液分離器 68 の気相の圧力を調節弁 41 の開度を変えて調整する。

【0043】

固体吸着材 21 を加熱した後の蒸気を液化させて、低圧給水加熱器 16 ~ 19 の少なくとも一つに供給することもできる。この場合には、低圧給水加熱器 16 ~ 19 の水温は脱気器 20 の水温よりも低いので、脱気器 20 の水温より低い温度で蒸気を液化させるように調節弁 41 の開度を変える。また、固体吸着材 21 を加熱した後の蒸気を液化させて、高圧給水加熱器に供給することもできる。この場合には、高圧給水加熱器の水温は脱気器 20 の水温よりも高いので、脱気器 20 の水温より高い温度で蒸気を液化させるように調節弁 41 の開度を変える。

30

【0044】

すなわち、固体吸着材 21 を加熱した後の蒸気を気液分離器 68 で液化させる温度は、液化した蒸気を脱気器 20、低圧給水加熱器 16 ~ 19 および高圧給水加熱器のうちどこに供給するかに応じて、変えることができる。固体吸着材 21 を加熱した後の蒸気（気液分離器 68 で液化させた蒸気）を脱気器 20、低圧給水加熱器 16 ~ 19 および高圧給水加熱器のうちどこに供給するかは、充填塔 22 から出る蒸気の温度に基づいて決めることができる。

40

【0045】

本実施例による CO<sub>2</sub> 固体吸着材システムでは、固体吸着材 21 を再生させるための加熱源として、蒸気タービンから抽気した蒸気を用いるので、効率的な熱回収を行って使用する熱の量を低減することができる。

【実施例 3】

【0046】

図 3 を用いて、本発明による CO<sub>2</sub> 固体吸着材システムの実施例 3 について説明する。

50

実施例3では、CO<sub>2</sub>の回収と固体吸着材の再生を行うときのCO<sub>2</sub>固体吸着材システムについて説明する。すなわち、本実施例では、実施例1と実施例2を組合せ、固体吸着材がCO<sub>2</sub>を吸着する工程から固体吸着材を再生する工程への切替えと、この逆に固体吸着材を再生する工程から固体吸着材がCO<sub>2</sub>を吸着する工程への切替えについて説明する。

【0047】

図3は、CO<sub>2</sub>固体吸着材システムの概略を示す構成図であり、CO<sub>2</sub>の回収(CO<sub>2</sub>の吸着)と固体吸着材の再生を行うときのシステムを示している。図3において、図1および図2と同一の符号は、図1および図2と同一または共通の要素を示しており、これらの要素については説明を省略する。

【0048】

CO<sub>2</sub>固体吸着材システムは、制御装置65~67、温度計62~64、圧力計61およびCO<sub>2</sub>濃度計69をさらに備える。蒸気タービンから抽気した蒸気Aを充填塔22へ供給する配管には、弁36が設けられている。

【0049】

充填塔22と煙突4とを接続する配管は、途中に分岐点を有し、2つに分岐する。一方の分岐の配管は、固体吸着材21から脱離したCO<sub>2</sub>を圧縮機53に供給する。この分岐の配管には、分岐点と圧縮機53との間に弁37が設けられている。他方の分岐の配管は、充填塔22から排出された排ガスを煙突4に供給する。この分岐の配管には、分岐点と煙突4との間に弁35が設けられている。

【0050】

充填塔22と気液分離器68を接続する配管は、途中に分岐点を有し、2つに分岐する。一方の分岐の配管は、復水器15と低圧給水加熱器19とを接続する配管に合流する。この分岐の配管には、分岐点と低圧給水加熱器19との間に調節弁34が設けられている。他方の分岐の配管は、気液分離器68に接続し、分岐点と気液分離器68との間に調節弁38を備える。調節弁38は、充填塔22と気液分離器68を接続する配管が復水器15と低圧給水加熱器19を接続する配管へ分岐する分岐点よりも、気液分離器68に近い方に設ける。

【0051】

まず、固体吸着材21がCO<sub>2</sub>を吸着する工程について説明する。

【0052】

CO<sub>2</sub>を吸着するときには、弁33を閉じて調節弁43を開き、復水器15で凝縮させた水(冷却水)を充填塔22に供給する。弁33を閉じているため、復水器15で凝縮させた水の全量を充填塔22に導入することになる。弁33を開き、調節弁43によって充填塔22に導入する水の量を調節してもよい。

【0053】

充填塔22では、排ガスの流れ方向に沿ってCO<sub>2</sub>が固体吸着材21に吸着し、これに伴って固体吸着材21の温度が上昇する。温度が上昇した固体吸着材21を冷却するために、水と排ガスの流れは並流にすることが望ましい。固体吸着材21は、冷却水と直接接触せずに冷却される。

【0054】

固体吸着材21を冷却した水は、充填塔22から排出される。調節弁34を開くことにより、充填塔22から排出された水を、低圧給水加熱器16~19に供給することができる。

【0055】

固体吸着材21でCO<sub>2</sub>が吸着されCO<sub>2</sub>が回収された排ガスは、弁37を閉じ弁35を開いて、煙突4から放出される。

【0056】

次に、固体吸着材21がCO<sub>2</sub>を吸着する工程から固体吸着材21を再生する工程への切替えについて説明する。この切替えには、以下の2つの手順が含まれる。

1) 弁33を開き、調節弁43を閉じて、復水器15から充填塔22への水の供給を停止

10

20

30

40

50

する。

2) 調節弁42と弁36を開き、蒸気タービン(図3では中圧タービン12)から抽気した蒸気Aを充填塔22へ供給する。

【0057】

充填塔22において、固体吸着材21を再生する工程での蒸気の導入口と、固体吸着材21がCO<sub>2</sub>を吸着する工程での水の導入口とを、共通にする。さらに、固体吸着材21を再生する工程での蒸気の排出口と、固体吸着材21がCO<sub>2</sub>を吸着する工程での水の排出口とを、共通にする。すなわち、充填塔22において、固体吸着材21を再生する工程での蒸気と、固体吸着材21がCO<sub>2</sub>を吸着する工程での水とは、同一の導入口にて導入され、同一の排出口にて排出される。このような構成により、伝熱媒体(蒸気と水)が流れる配管を吸着時と再生時とで有効に共有することができ、本システムの構造を簡単にすることができるとともに、本システムの建設コストや保守・維持コストを低減することができる。

10

【0058】

充填塔22の伝熱媒体の導入箇所の手前では、復水器15からの水が流れる配管と、蒸気タービンからの蒸気Aが流れる配管とが合流する。この合流地点に温度計63を設置し、この合流地点の温度を計測する。吸着工程から再生工程へ切替えると、充填塔22に供給される伝熱媒体が水から蒸気になるので、この合流地点の温度は急激に上昇する。配管の内壁と外壁の温度差が大きいと、配管には熱応力による破損が生じるため、配管の温度を緩慢に上昇させる必要がある。

20

【0059】

そこで、制御装置65を用いて、充填塔22に供給する蒸気Aの流量を緩慢に増やすように制御する。制御装置65は、温度計63の計測温度を取り込み、前述の合流地点の温度が予め定めた速度以下で上昇するように調節弁42の開度を調節し、充填塔22に供給する蒸気Aの流量を自動制御する。この予め定めた速度は、配管の熱強度に応じて定めることができる。

【0060】

また、温度計64を、充填塔22と気液分離器68を接続する配管が復水器15と低圧給水加熱器19を接続する配管へ分岐する分岐点に設ける。温度計64は、この分岐点での、充填塔22から排出された伝熱媒体(蒸気と水)の温度を計測する。この分岐点の温度は、充填塔22へ供給された蒸気が充填塔22から排出されるにつれて次第に上昇する。この分岐点の温度が、予め定めた温度に到達した後、次の手順を行う。

30

3) 調節弁38を開き、調節弁34を閉じ、充填塔22で固体吸着材21と熱交換した蒸気を脱気器20へ供給する。

【0061】

この手順3)は、制御装置65を用いて自動制御することができる。制御装置65は、温度計64の計測温度を取り込み、前述の分岐点の温度が予め定めた温度に到達したら、調節弁38を開いて調節弁34を閉じる。この場合、温度計64の計測温度は、配管内を流れる流体が水から蒸気になるため、急激に上昇する。この予め定めた温度は、温度計64の計測温度が急激に上昇する範囲の温度であり、給水加熱器や脱気器の運用に応じて定めることが望ましい。

40

【0062】

気液分離器68で液化した水を脱気器20の液相に供給するため、気液分離器68の気相部に圧力計61を設ける。圧力計61は、充填塔22から排出された蒸気を気液分離器68に供給する配管に設けてもよい。調節弁41の開度を変えることにより、脱気器20に供給する水量を制御する。この制御により、気液分離器68の気相部は、脱気器20に供給する水量に応じた圧力が得られ、気液分離器68の液相部は、この圧力に応じた水温となる。したがって、本実施例では、次の手順を行う。

4) 気液分離器68の気相の圧力を圧力計61で計測し、気液分離器68の液相温度が脱気器20の水温と同じになるように、調節弁41の開度を変えることで気液分離器68の

50

気相の圧力を調整する。

【 0 0 6 3 】

脱気器 2 0 には、脱気器 2 0 の水の温度を測定する温度計 6 2 を設ける。制御装置 6 6 は、温度計 6 2 が計測した脱気器 2 0 の水の温度と、圧力計 6 1 が計測した気液分離器 6 8 の気相の圧力とを取り込む。そして、制御装置 6 6 は、脱気器 2 0 の水温と気液分離器 6 8 の液相温度とが等しくなるように調整弁 4 1 の開度を自動的に制御する。

【 0 0 6 4 】

以上の説明では、気液分離器 6 8 の液相温度が脱気器 2 0 の水温と同じになるように、調節弁 4 1 の開度を変えたが、気液分離器 6 8 の液相温度が低圧給水加熱器 1 6 ~ 1 9 または高圧給水加熱器の水温と同じになるように、調節弁 4 1 の開度を変えてもよい。この場合は、低圧給水加熱器 1 6 ~ 1 9 または高圧給水加熱器に温度計 6 2 を設けて、低圧給水加熱器 1 6 ~ 1 9 または高圧給水加熱器の水の温度を測定する。制御装置 6 6 は、温度計 6 2 が計測した低圧給水加熱器 1 6 ~ 1 9 または高圧給水加熱器の水の温度と、圧力計 6 1 が計測した気液分離器 6 8 の気相の圧力とを取り込む。

【 0 0 6 5 】

充填塔 2 2 に収納された固体吸着材 2 1 は、蒸気によって加熱され、次第に  $\text{CO}_2$  を放出する。吸着から再生への工程の切替え直後は、固体吸着材 2 1 の充填層中に排ガス成分が含まれており、充填塔 2 2 から放出する排ガス中の  $\text{CO}_2$  濃度は高くない。したがって、排ガス中の  $\text{CO}_2$  濃度が予め定めた値以上に達した後、圧縮機 5 3 に  $\text{CO}_2$  濃度の高い排ガスを送る。排ガス中の  $\text{CO}_2$  濃度を計測するために、充填塔 2 2 から排ガスを排出する配管が圧縮機 5 3 と煙突 4 とに分岐する分岐点に  $\text{CO}_2$  濃度計 6 9 を設ける。

そして、次の手順を行う。

5) 充填塔 2 2 から排ガスを排出する配管が圧縮機 5 3 と煙突 4 とに分岐する分岐点で、排ガス中の  $\text{CO}_2$  濃度が予め定めた値以上に達したら、弁 3 7 を開き、弁 3 5 を閉じる。

【 0 0 6 6 】

制御装置 6 7 は、 $\text{CO}_2$  濃度計 6 9 が計測した  $\text{CO}_2$  濃度を取り込み、この  $\text{CO}_2$  濃度が予め定めた値以上に達したら弁 3 7 を開いて弁 3 5 を閉じる制御を自動的に実行する。この予め定めた  $\text{CO}_2$  濃度の値は、圧縮機 5 3 に応じて定めることができる。

【 0 0 6 7 】

次に、固体吸着材 2 1 を再生する工程から固体吸着材 2 1 が  $\text{CO}_2$  を吸着する工程への切替えについて説明する。この切替えには、以下の 2 つの手順が含まれる。

6) 調節弁 4 2 を閉じ、蒸気タービンから抽気した蒸気 A を充填塔 2 2 へ供給するのを停止する。

7) 調節弁 4 3 を開き、復水器 1 5 から充填塔 2 2 へ水を供給する。

【 0 0 6 8 】

再生工程から吸着工程へ切替えると、充填塔 2 2 に供給される伝熱媒体が蒸気から水に変わるので、復水器 1 5 からの水が流れる配管と蒸気タービンからの蒸気 A が流れる配管とが合流する地点の温度（温度計 6 3 で計測する温度）が急激に低下する。この温度低下による配管の破損を抑止するために、配管の温度を緩慢に低下させる必要がある。

【 0 0 6 9 】

そこで、制御装置 6 5 を用いて、充填塔 2 2 に供給する蒸気 A の流量を緩慢に増やすように制御する。制御装置 6 5 は、温度計 6 3 の計測温度を取り込み、前述の合流地点の温度が予め定めた速度以下で上昇するように調節弁 4 2 の開度を調節し、充填塔 2 2 に供給する蒸気の流量を自動制御する。この予め定めた速度は、配管の熱強度に応じて定めることができる。

【 0 0 7 0 】

温度計 6 4 は、前述したように、充填塔 2 2 と気液分離器 6 8 を接続する配管が復水器 1 5 と低圧給水加熱器 1 9 を接続する配管へ分岐する分岐点に設けられている。温度計 6 4 が計測するこの分岐点の温度は、次第に低下する。この分岐点の温度が、予め定めた温度に到達した後、次の手順を行う。

8) 調節弁38を閉じ、調節弁34を開き、充填塔22で固体吸着材21と熱交換した水を低圧給水加熱器16～19に供給する。

【0071】

この手順8)は、制御装置65を用いて自動制御することができる。制御装置65は、温度計64の計測温度を取り込み、前述の分岐点の温度が予め定めた温度に到達したら、調節弁38を閉じて調節弁34を開く。この場合、温度計64の計測温度は、配管内を流れる流体が蒸気から水に変わるため、急激に低下する。手順8)での予め定めた温度は、温度計64の計測温度が急激に低下する範囲の温度であり、給水加熱器や脱気器の運用に応じて定めることが望ましい。

【0072】

調節弁38を閉じると、気液分離器68の気相部の圧力は、急激に低下する。制御装置66は、温度計62が計測した脱気器20の水の温度と、圧力計61が計測した気液分離器68の気相の圧力とを取り込み、脱気器20の水温に対して気液分離器68の気相の圧力が不足していることを自動的に判断し、調整弁41を閉じる制御を自動的に実行する。

【0073】

そして、次の手順を行う。

9) 弁31を開き、排ガスを充填塔22に供給する。

【0074】

この手順により、充填塔22から排ガスを排出する配管が圧縮機53と煙突4とに分岐する分岐点でのCO<sub>2</sub>濃度(CO<sub>2</sub>濃度計69が計測する)は、低下する。制御装置67は、CO<sub>2</sub>濃度計69が計測したCO<sub>2</sub>濃度を取り込み、このCO<sub>2</sub>濃度が予め定めた値以下に達したら弁37を閉じて弁35を開く制御を自動的に実行する。この予め定めたCO<sub>2</sub>濃度の値は、本CO<sub>2</sub>固体吸着材システムが排出するCO<sub>2</sub>濃度として規定される値に応じて定めることができる。

【0075】

次に、吸着工程から再生工程への切替えのタイミング、および再生工程から吸着工程への切替えのタイミングについて説明する。

【0076】

固体吸着材からCO<sub>2</sub>を脱離させて固体吸着材を再生するためには、蒸気タービンから蒸気を抽気し、蒸気の熱エネルギーを使用する。蒸気を抽気する間は、蒸気タービンの出力は低下してしまう。したがって、従来の運転では蒸気タービンの出力を低下させる(すなわち、発電量を低下させる)時間帯に、蒸気タービンの出力を低下させないで、余剰分の熱エネルギーをCO<sub>2</sub>の脱離エネルギーに使用すればよい。これを実現できる時間帯は、電気エネルギーの使用量が低下する夜間が望ましい。したがって、再生工程は、夜間に行うのが望ましい。

【0077】

一方、昼間にCO<sub>2</sub>を回収すると、CO<sub>2</sub>の吸着による反応熱を蒸気タービンの出力に活用することができるため、昼間の電力不足の解消に寄与することができる。したがって、吸着工程は、昼間に行うのが望ましい。

【0078】

以上より、1日の中で、夜に吸着工程から再生工程へ切替え、早朝に再生工程から吸着工程へ切替えることが望ましい。このように切替えると、蒸気タービンは、夜間に出力を低下させなくてすむとともに、昼間にCO<sub>2</sub>の吸着による反応熱を活用することができる。したがって、効率的な熱回収を行って使用する熱の量を低減する効果が得られるとともに、1日のサイクルの中でボイラの負荷(出力)の変動を小さくでき、ボイラの耐用年数が伸びる効果が得られる。

【実施例4】

【0079】

図4Aと図4Bを用いて、本発明の実施例による充填塔22の構造について説明する。図4Aは、充填塔22の上面を示す模式図であり、図4Bは充填塔22の側面を示す模式

10

20

30

40

50

図である。

【0080】

図4Aと図4Bに示すように、充填塔22は、円筒容器23を備え、円筒容器23の中に固体吸着材21が充填されている。固体吸着材21を冷却または加熱する伝熱媒体（水または蒸気）は、円筒容器23の周囲に流れる。このような構造により、伝熱媒体と非接触で固体吸着材21を冷却または加熱することができる。また、充填塔22は、外周が断熱材71で覆われており、大気と伝熱媒体との間の伝熱を抑制することができる。

【0081】

固体吸着材21が充填された円筒容器23は、伝熱媒体により、外側から内側に向かって冷却または加熱されるため、円筒容器23の外側と内側では温度差が生じる。この温度差が大きいと、固体吸着材21を十分に冷却または加熱できない。そこで、円筒容器23の直径は、円筒容器23の内外の温度差が小さくなるような大きさに設定することが望ましい。

10

【0082】

さらに、固体吸着材21の充填層の高さを高くすると圧力損失が高くなり、排ガスが通気できなくなる。そこで、固体吸着材21の充填層の高さは、排ガスを通気させることができる高さにとどめることが望ましい。

【0083】

このような理由により、円筒容器23の直径と、固体吸着材21の充填層の高さには上限がある。したがって、CO<sub>2</sub>固体吸着材システムのCO<sub>2</sub>の回収能力を高めるためには、充填塔22の数を増やすとともに、固体吸着材21を充填した円筒容器23の本数を増やすのが好ましい。

20

【0084】

そこで、図4Aと図4Bでは、一例として、2つの充填塔22を並列に接続した構成を示している。それぞれの充填塔22は、4本の円筒容器23を備える。なお、充填塔22の数は、1つでも3つ以上でもよい。また、1つの充填塔22が備える円筒容器23の本数は、3本以下でも5本以上でもよい。充填塔22の数と円筒容器23の本数は、排ガス中のCO<sub>2</sub>の量や固体吸着材21のCO<sub>2</sub>の吸着能力に応じて定めることができる。

【0085】

伝熱媒体である水と蒸気は、充填塔22のそれぞれに供給される。既に述べたが、充填塔22では、伝熱媒体である水の導入箇所と、伝熱媒体である蒸気の導入箇所は、同じである。伝熱媒体の導入箇所には、弁72を設ける。また、伝熱媒体である水の排出箇所と、伝熱媒体である蒸気の排出箇所は、同じである。伝熱媒体の排出箇所には、弁73を設ける。

30

【0086】

CO<sub>2</sub>を含む排ガスは、充填塔22が備える円筒容器23のそれぞれに供給され、円筒容器23のそれぞれから排出される。充填塔22への排ガスの導入箇所には、弁74を設け、充填塔22からの排ガスの排出箇所には、弁75を設ける。

【0087】

弁72を開くと、水または蒸気の伝熱媒体は、充填塔22に供給され、円筒容器23の外側から非接触で固体吸着材21を冷却または加熱する。弁73を開くと、伝熱媒体は、充填塔22から排出される。吸着工程では、弁74を開いてCO<sub>2</sub>を含む排ガスを円筒容器23内に通気し、弁75を開いて排ガスを円筒容器23から排気する。再生工程では、弁72を開き、弁75を開いて固体吸着材21から脱離したCO<sub>2</sub>を排気する。

40

【0088】

CO<sub>2</sub>固体吸着材システムに複数の充填塔22を設けると、一部の充填塔22に対する弁72～75を閉じて、この一部の充填塔22を通常は使用しない予備の充填塔22とすることが可能である。予備の充填塔22の数は、1つでも複数でもよい。

【0089】

使用している充填塔22と予備の充填塔22とを切替えることにより、CO<sub>2</sub>固体吸着

50

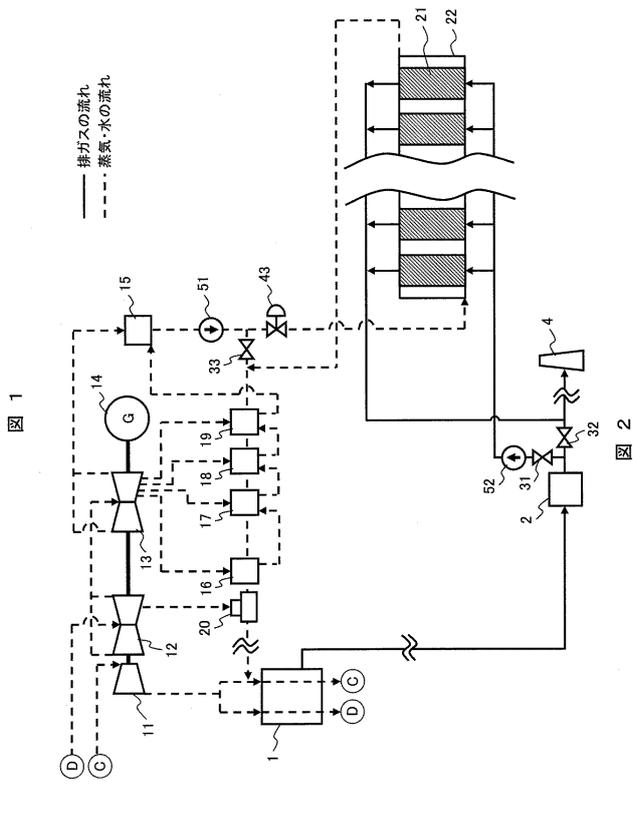
材システムの連続運転が可能であり、さらに、使用している充填塔 2 2 をメンテナンスすることが可能である。メンテナンスの例としては、劣化した固体吸着材 2 1 の詰め替え作業、および配管や容器の損傷の点検作業がある。

【符号の説明】

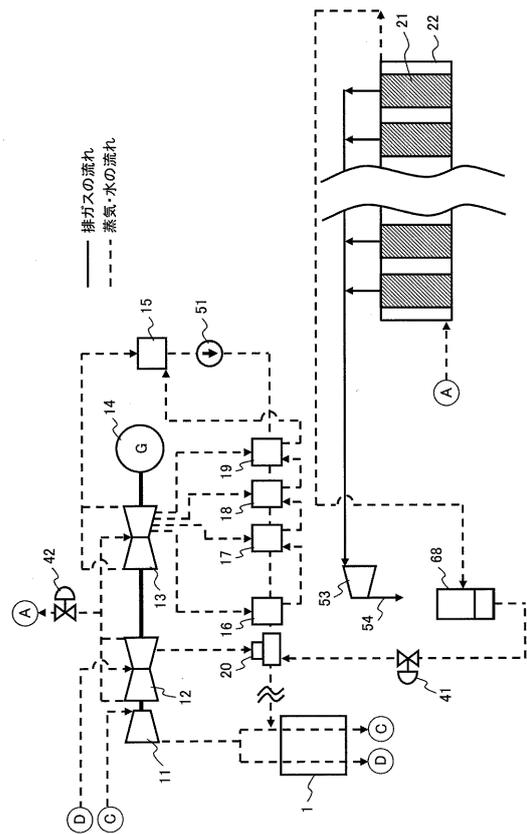
【 0 0 9 0 】

1 ... ボイラ、2 ... 脱硫装置、4 ... 煙突、11 ... 高圧タービン、12 ... 中圧タービン、13 ... 低圧タービン、14 ... 発電機、15 ... 復水器、16 ~ 19 ... 低圧給水加熱器、20 ... 脱気器、21 ... 固体吸着材、22 ... 充填塔、23 ... 円筒容器、31 ~ 33、35 ~ 37 ... 弁、34、38、41 ~ 43 ... 調節弁、51 ... ポンプ、52 ... ファン、53 ... 圧縮機、54 ... 液化CO<sub>2</sub>、61 ... 圧力計、62 ~ 64 ... 温度計、65 ~ 67 ... 制御装置、68 ... 気液分離器、69 ... CO<sub>2</sub>濃度計、71 ... 断熱材、72 ~ 75 ... 弁。

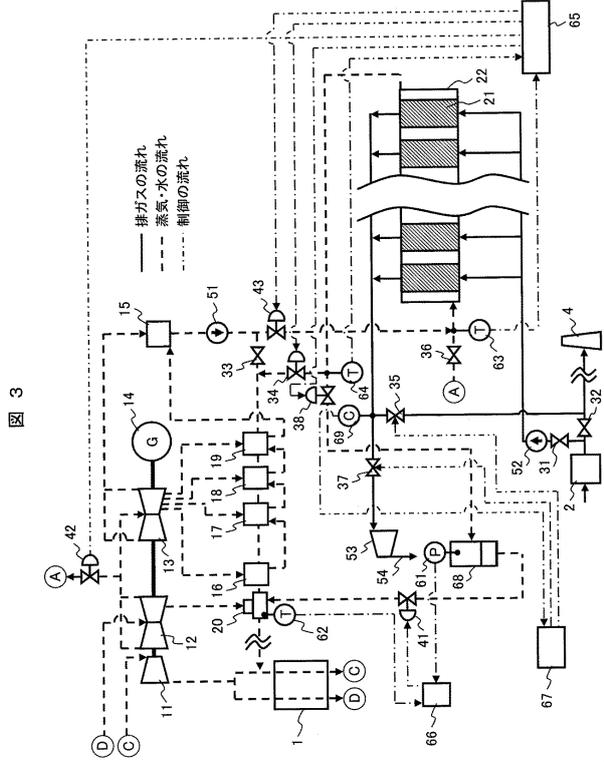
【 図 1 】



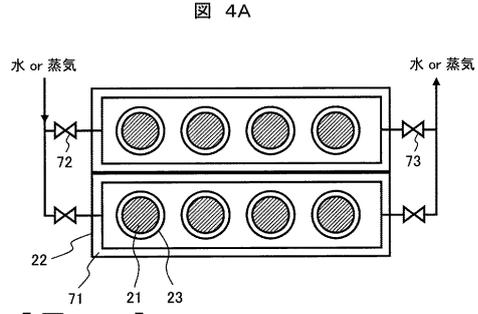
【 図 2 】



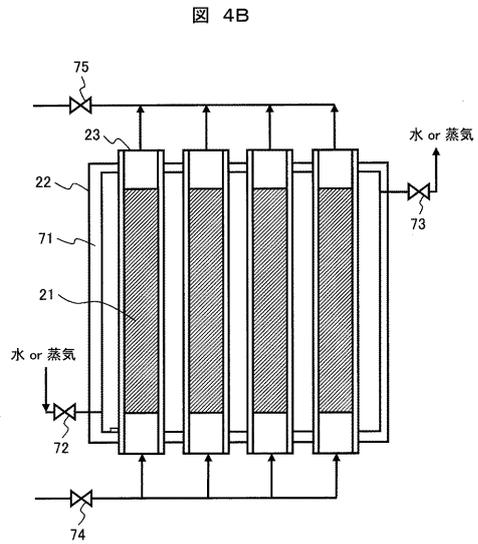
【 図 3 】



【 図 4 A 】



【 図 4 B 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 金枝 雅人  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 佐藤 大樹  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 吉川 晃平  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内

審査官 山田 貴之

- (56)参考文献 特開2012-167918(JP,A)  
特開2010-275925(JP,A)  
米国特許出願公開第2012/0118009(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01D 53/02  
B01D 53/14  
B01D 53/34  
C01B 31/20  
F01K 9/00  
F01K 17/00  
F23J 15/00