

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7007217号
(P7007217)

(45)発行日 令和4年1月24日(2022.1.24)

(24)登録日 令和4年1月11日(2022.1.11)

(51)国際特許分類 F I
F 2 2 B 37/38 (2006.01) F 2 2 B 37/38 E

請求項の数 11 (全15頁)

(21)出願番号	特願2018-40150(P2018-40150)	(73)特許権者	000173809 一般財団法人電力中央研究所 東京都千代田区大手町1丁目6番1号
(22)出願日	平成30年3月6日(2018.3.6)	(74)代理人	100101236 弁理士 栗原 浩之
(65)公開番号	特開2019-152419(P2019-152419 A)	(74)代理人	100166914 弁理士 山 崎 雄一郎
(43)公開日	令和1年9月12日(2019.9.12)	(72)発明者	秋保 広幸 神奈川県横須賀市長坂2-6-1 一般 財団法人電力中央研究所 エネルギー技 術研究所内
審査請求日	令和2年12月25日(2020.12.25)	(72)発明者	庄司 哲也 神奈川県横須賀市長坂2-6-1 一般 財団法人電力中央研究所 エネルギー技 術研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ボイラ設備及び発電設備、並びに固着物の生成量予測方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

炭素系燃料を燃焼して窒素酸化物(NO_x)及び硫黄酸化物(SO_x)を含んだ排ガスを排出させるボイラと、
前記ボイラの下流側に設けられ、アンモニア(NH_3)の存在下で前記排ガス中の窒素酸化物(NO_x)を脱硝する脱硝装置と、を具備するボイラ設備であって、
使用を予定する前記炭素系燃料を分析して得られた該炭素系燃料由来のN成分の量、S成分の量及び灰分の量を予め取得するとともに、予め取得された前記N成分の量、前記S成分の量及び前記灰分の量、前記脱硝装置の下流側にリークしたアンモニア(NH_3)の量に基づき、前記炭素系燃料を前記ボイラで燃焼させたときの、前記脱硝装置の下流側での固着物の生成量を予測する予測システムを具備することを特徴とするボイラ設備。

【請求項2】

前記灰分はアルミニウム(A1)成分を含んでおり、
前記固着物は、前記A1成分を含んで生成される硫酸化合物に前記灰分が付着したものである
ことを特徴とする請求項1に記載のボイラ設備。

【請求項3】

前記灰分はカルシウム(Ca)成分を含んでおり、
前記予測システムは、前記Ca成分による前記硫酸化合物の分解率を考慮して、前記固着

物の生成量を予測する

ことを特徴とする請求項 2 に記載のボイラ設備。

【請求項 4】

前記予測システムは、前記排ガス中における前記 C a 成分による前記 S 成分の消費率を考慮して、前記固着物の生成量を予測する

ことを特徴とする請求項 3 に記載のボイラ設備。

【請求項 5】

前記予測システムは、前記脱硝装置による二酸化硫黄 (SO_2) の酸化率を考慮して、前記固着物の生成量を予測する

ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載のボイラ設備。

10

【請求項 6】

前記ボイラ設備は、前記脱硝装置の下流側に、前記排ガスの余熱を利用して前記ボイラでの燃焼用空気を予熱する空気予熱器を具備しており、

前記予測システムは、前記空気予熱器での前記固着物の生成量を予測する

ことを特徴とする請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のボイラ設備。

【請求項 7】

前記予測システムは、

予測した前記固着物の生成量に基づき前記排ガスが通過可能な流路の有効径を求め、演算された前記流路の有効径と、前記排ガスの流量と、に基づき、前記流路の上流側及び下流側の差圧を予測する

ことを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れか一項に記載のボイラ設備。

20

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 の何れか一項に記載のボイラ設備と、

前記ボイラで発生した蒸気が導入されて駆動力を得る蒸気タービンと、

前記蒸気タービンの駆動により電力を得る発電機と、

を具備することを特徴とする発電設備。

【請求項 9】

炭素系燃料を燃焼して窒素酸化物 (NO_x) 及び硫黄酸化物 (SO_x) を含んだ排ガスを排出させるボイラと、

前記ボイラの下流側に設けられ、アンモニア (NH_3) の存在下で前記排ガス中の窒素酸化物 (NO_x) を脱硝する脱硝装置と、を具備するボイラ設備で用いられ、

使用を予定する炭素系燃料を分析して得られた該炭素系燃料由来の N 成分の量、S 成分の量及び灰分の量を予め取得するとともに、予め取得された前記 N 成分の量、前記 S 成分の量及び前記灰分の量、前記脱硝装置の下流側にリークしたアンモニア (NH_3) の量に基づき、前記炭素系燃料を前記ボイラで燃焼させたときの、前記脱硝装置の下流側での固着物の生成量を予測する

ことを特徴とする固着物の生成量予測方法。

30

【請求項 10】

前記灰分として、アルミニウム (Al) 成分を含んだものを用いる

ことを特徴とする請求項 9 に記載の固着物の生成量予測方法。

40

【請求項 11】

予測した前記固着物の生成量に基づき前記排ガスが通過可能な流路の有効径を求め、演算された前記有効径と、前記排ガスの流量と、に基づき、前記流路の上流側及び下流側の差圧を予測する

ことを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の固着物の生成量予測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、炭素系燃料を用いたボイラ設備及び発電設備、並びにこれらの設備において排ガスの差圧予測に利用できる固着物の生成量予測方法に関する。

50

【背景技術】

【0002】

従来、石炭に代表される炭素系燃料を用いたボイラ設備は、炭素系燃料の燃焼により発電の駆動力となる蒸気を生成するボイラと、ボイラから排出される窒素酸化物（ NO_x ）をアンモニア（ NH_3 ）の存在下で脱硝する脱硝装置と、等を備えている。この種のボイラ設備では、仮に脱硝装置の下流側に未反応の NH_3 がリークすると、その NH_3 を要素として硫酸アルミニウムアンモニウム（ $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO})_2$ ）等の硫酸化合物が生成され、脱硝装置の下流側で低温になると凝縮する可能性がある。さらにこのような凝縮物に灰分が付着して固着物となり、排ガスの圧力損失（差圧）が上昇する原因になる。

【0003】

差圧が過度に上昇すると設備に負荷がかかるおそれが高まる一方、流路を洗浄して固着物を除去するには設備の稼働停止を伴うので、必要以上に頻繁に洗浄を行うことはできない。かかる背景から、流路の洗浄を適切なタイミングで行うことができるよう、固着物の生成状況を予測し、ひいては差圧を予測することが望まれていた。この点、特許文献1では、脱硝装置の下流側に配され、排ガスの余熱を利用してボイラでの燃焼用空気を予熱する空気予熱器の差圧を測定し、漏洩した NH_3 濃度等の補正も加えて、差圧の上昇傾向を予測する方法が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第2710985号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1を含めた従来技術では、ボイラ設備を稼働させた上で差圧を予測する手法しか確立されておらず、使用実績のある燃料を用いた場合しか、差圧を予測することができなかった。従って、ボイラ設備での稼働実績のない燃料を用いる場合にも対応できるよう、ボイラ設備を稼働しなくても固着物の生成量を予測でき、ひいては差圧を予測できる手法が望まれていた。

【0006】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、ボイラ設備での稼働実績がない燃料であっても固着物の生成量を予測でき、また差圧の予測にも利用できるボイラ設備及び発電設備、並びに固着物の生成量予測方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決する本発明の態様は、炭素系燃料を燃焼して窒素酸化物（ NO_x ）及び硫黄酸化物（ SO_x ）を含んだ排ガスを排出させるボイラと、前記ボイラの下流側に設けられ、アンモニア（ NH_3 ）の存在下で前記排ガス中の窒素酸化物（ NO_x ）を脱硝する脱硝装置と、を具備するボイラ設備であって、使用を予定する前記炭素系燃料を分析して得られた該炭素系燃料由来のN成分の量、S成分の量及び灰分の量を予め取得するとともに、予め取得された前記N成分の量、前記S成分の量及び前記灰分の量、前記脱硝装置の下流側にリークしたアンモニア（ NH_3 ）の量に基づき、前記炭素系燃料を前記ボイラで燃焼させたときの、前記脱硝装置の下流側での固着物の生成量を予測する予測システムを具備することを特徴とするボイラ設備にある。

【0008】

かかる態様によれば、上記の予測システムを具備するので、実際にその燃料でボイラ設備を稼働しなくても、予め取得されたN成分の量（N成分量）、S成分の量（S成分量）及び灰分の量（灰分量）に基づき、固着物の生成量を予測できる。かかる予測結果は、差圧の予測にも利用できる。

【0009】

10

20

30

40

50

ここで、前記灰分はアルミニウム（Al）成分を含んでおり、前記固着物は、前記Al成分を含んで生成される硫酸化合物に前記灰分が付着したものであることが好ましい。かかる態様において、Al成分を含んで生成される硫酸化合物は、固着物の原因となる化合物として代表的なものである。そのため、かかる態様によれば、固着物の原因となる代表的な組成の硫酸化合物（ $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO})_2$ 等）を対象として、実際にその燃料でボイラ設備を稼動しなくても、固着物の生成量を正確に予測できる。

【0010】

また、前記灰分はカルシウム（Ca）成分を含んでおり、前記予測システムは、前記Ca成分による前記硫酸化合物の分解率を考慮して、前記固着物の生成量を予測することが好ましい。これによれば、Ca成分による硫酸化合物の分解率を考慮するので、固着物の生成量をより正確に予測できるようになる。

10

【0011】

また、前記予測システムは、前記排ガス中における前記Ca成分による前記S成分の消費率を考慮して、前記固着物の生成量を予測することが好ましい。これによれば、Ca成分によるS成分の消費率を考慮するので、固着物の生成量をより正確に予測できるようになる。

【0012】

また、前記予測システムは、前記脱硝装置による二酸化硫黄（ SO_2 ）の酸化率を考慮して、前記固着物の生成量を予測することが好ましい。これによれば、脱硝装置による SO_2 の酸化率を考慮するので、固着物の生成量をより正確に予測できるようになる。

20

【0013】

また、前記ボイラ設備は、前記脱硝装置の下流側に、前記排ガスの余熱を利用して前記ボイラでの燃焼用空気を予熱する空気予熱器を具備しており、前記予測システムは、前記空気予熱器での前記固着物の生成量を予測することが好ましい。これによれば、固着物が生成しやすい空気予熱器の中温部および低温部を対象に、実際にその燃料でボイラ設備を稼動しなくても、固着物の生成量を正確に予測できる。

【0014】

また、前記予測システムは、予測した前記固着物の生成量に基づき前記排ガスが通過可能な流路の有効径を求め、演算された前記流路の有効径と、前記排ガスの流量と、に基づき、前記流路の上流側及び下流側の差圧を予測することが好ましい。これによれば、固着物の生成量の予測結果を利用するので、実際にその燃料でボイラ設備を稼動しなくても、予め取得されたN分量、S分量及び灰分量に基づき、上記の差圧を予測することができる。

30

【0015】

上記の課題を解決する本発明の他の態様は、請求項1～7の何れか一項に記載のボイラ設備と、前記ボイラで発生した蒸気が導入されて駆動力を得る蒸気タービンと、前記蒸気タービンの駆動により電力を得る発電機と、を具備することを特徴とする発電設備にある。

【0016】

かかる態様によれば、上記のボイラ設備を具備するので、実際にその燃料でボイラ設備を稼動しなくても、固着物の原因となる化合物の生成量を予測可能な発電設備を提供できる。かかる予測結果は、差圧の予測にも利用できる。

40

【0017】

上記の課題を解決する本発明の更に他の態様は、炭素系燃料を燃焼して窒素酸化物（ NO_x ）及び硫酸化合物（ SO_x ）を含んだ排ガスを排出させるボイラと、前記ボイラの下流側に設けられ、アンモニア（ NH_3 ）の存在下で前記排ガス中の窒素酸化物（ NO_x ）を脱硝する脱硝装置と、を具備するボイラ設備で用いられ、使用を予定する炭素系燃料を分析して得られた該炭素系燃料由来のN成分の量、S成分の量及び灰分の量を予め取得するとともに、予め取得された前記N成分の量、前記S成分の量及び前記灰分の量、前記脱硝装置の下流側にリークしたアンモニア（ NH_3 ）の量に基づき、前記炭素系燃料を前記ボイラで燃焼させたときの、前記脱硝装置の下流側での固着物の生成量を予測することを特

50

徴とする固着物の生成量予測方法にある。

【0018】

かかる態様によれば、上記の予測システムを具備するので、実際にその燃料でボイラ設備を稼動しなくても、予め取得されたN成分の量(N成分量)、S成分の量(S成分量)及び灰分の量(灰分量)に基づき、固着物の生成量を予測できる。かかる予測結果は、差圧の予測にも利用できる。

【0019】

ここで、前記灰分量として、アルミニウム(Al)成分を含んだデータを用いることが好ましい。かかる態様において、Al成分を含んで生成される硫安化合物は、固着物の原因となる化合物として代表的なものである。従って、かかる態様によれば、固着物の原因となる代表的な組成の硫安化合物を対象として、実際にその燃料でボイラ設備を稼動しなくても、固着物の生成量を正確に予測できる。

10

【0020】

また、予測した前記固着物の生成量に基づき前記排ガスが通過可能な流路の有効径を求め、演算された前記有効径と、前記排ガスの流量と、に基づき、前記流路の上流側及び下流側の差圧を予測することが好ましい。これによれば、固着物の生成量の予測結果を利用するので、実際にその燃料でボイラ設備を稼動しなくても、予め取得されたN成分量、S成分量及び灰分量に基づき上記の差圧を予測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

20

【図1】実施形態1に係るボイラ設備の構成例を示す概略図。

【図2】実施形態1に係るボイラ設備における空気予熱器の構成例を示す概略図。

【図3】実施形態1に係るボイラ設備での差圧の推移の一例を説明する概念図。

【図4】実施形態1に係る予測システムの構成例を示す図。

【図5】実施形態1における固着物の生成の流れについて説明する図。

【図6】実施形態1に係る予測システムを用いた応用例を示すタイムチャート図。

【図7】実施形態3に係る複合発電設備の概略図。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。以下の実施形態は、本発明の一態様であり、本発明の範囲内で任意に変更可能である。各図や説明中、同一の部材は同じ符号が付され、適宜説明が省略されている。各図において、各部の縮尺や形状は、説明を容易にするために便宜的に設定されている場合がある。

30

【0023】

(実施形態1)

図1に示すように、ボイラ設備20は、ボイラ1と、ボイラ1に排気通路2で接続された脱硝装置3と、脱硝装置3に排気通路4で接続された空気予熱器5と、空気予熱器5の排気上流側及び排気下流側の差圧(以下、単に「差圧」と称する場合がある)を予測可能な予測システム30(図4参照)と、を具備している。図中、実線矢印は、排ガスや空気の流れを表している。

40

【0024】

ボイラ1は、石炭に代表される炭素系燃料(図中、「Fuel」)を燃焼させて発電の駆動力となる蒸気を生成する。炭素系燃料は、本発明の範囲で炭素を含んだ燃料であればよく、木材やバイオマス等の炭化水素系材料、また天然ガスや都市ガス等の炭化水素系ガスなども使用できる。脱硝装置3は、ボイラ1から排出された排ガスGs0中のNO_xを、アンモニア還元法(選択触媒還元法)によりNH₃の存在下で脱硝する。空気予熱器5は、脱硝装置3を経た排ガスGs1の余熱を利用して、ボイラ1での燃焼用空気(空気Air1)を予熱する。

【0025】

ボイラ設備20における排ガスや空気の流れは以下の通りである。すなわち、粉碎機6に

50

より粉碎された石炭が、ボイラ 1 内に臨むように配されたバーナー群 7 を通じて、空気とともにボイラ 1 内に供給される。石炭の燃焼によって生じた高温の排ガス $G s 0$ がボイラ 1 から排出され、排気通路 2 に導かれる。排気通路 2 では、 NH_3 供給部 8 から排ガス $G s 0$ 中に NH_3 が供給され、脱硝装置 3 で NO_x が H_2O と N_2 に分解される。脱硝装置 3 を経た排ガス $G s 1$ は、高温のまま排気通路 4 に導かれ、空気予熱器 5 に流入する。

【0026】

空気予熱器 5 では、高温の排ガス $G s 1$ と、排ガス $G s 1$ に対向して流入する空気と、の熱交換が行われる。押込通風機 9 から押し込まれた空気 $A i r 1$ は、空気予熱器 5 で予熱された上で、バーナー群 7 を通じてボイラ 1 内に供給される（ボイラ 1 での燃焼用空気 $A i r 2$ ）。また、一次通風機 10 から押し込まれた空気 $A i r 1'$ は、一部は空気予熱器 5 で予熱された上で（空気 $A i r 2'$ ）、残りはそのまま、粉碎機 6 に供給される。

10

【0027】

空気予熱器 5 を経た排ガス $G s 2$ は排気通路 11 に導かれる。排ガス $G s 2$ は、排気通路 11 の途中に配された誘引通風機 12 により引き込まれ、誘引通風機 12 の排気上流側又は排気下流側に配された図示しない除塵装置や脱硫装置等で規定のレベル未満まで浄化された上で、最終的に煙突 13 から大気中に放出される。誘引通風機 12 は、除塵装置や脱硫装置等の途中やそれらの排気下流側に配されてもよい。

【0028】

ここで、空気予熱器 5 は、図 2 (a) ~ (b) に示すように、円筒形状のローター 5 a と、ローター 5 a の各放射状の隔壁内に充填された伝熱エレメント 5 b と、ローター 5 a を軸支する回転軸 5 c と、を具備している。ローター 5 a は、例えば、所定の密度で伝熱エレメント 5 b が充填された第 1 密度部 5 d、第 2 密度部 5 e 及び第 3 密度部 5 f が、回転軸 5 c に沿って順番に設けられた三段構造を有している。

20

【0029】

第 3 密度部 5 f は、第 1 密度部 5 d 及び第 2 密度部 5 e よりも、伝熱エレメント 5 b の充填密度が小さくされている。第 1 密度部 5 d 及び第 2 密度部 5 e の伝熱エレメント 5 b の充填密度は同一とされているが、異ならせても構わない。ローター 5 a は、図示しないケーシングで囲われていて、排ガスや空気の流束に沿うように回転軸 5 c が配され、図示しないモーター等の駆動力により、ローター 5 a が回転軸 5 c を中心に回転可能となっている。

30

【0030】

ローター 5 a の一方面（第 1 密度部 5 d 側）から排ガス $G s 1$ が流入し、排ガス $G s 1$ に対向するローター 5 a の他方面（第 3 密度部 5 f 側）から空気 $A i r 1$ 及び空気 $A i r 1'$ が流入する。回転軸 5 c を中心にローター 5 a を回転させながら、排ガス $G s 1$ により加熱された伝熱エレメント 5 b の熱を利用し、空気 $A i r 1$ 及び空気 $A i r 1'$ を予熱させる。高温の排ガス $G s 1$ が流入する第 1 密度部 5 d 側は高温となり（高温部）、空気 $A i r 1$ 及び空気 $A i r 1'$ が流入する第 3 密度部 5 f 側は、第 1 密度部 5 d や第 2 密度部 5 e と比べて低温となる（低温部）。

【0031】

以上のようなボイラ設備 20 では、仮に脱硝装置 3 の排気下流側に未反応の NH_3 がリークすると、その NH_3 を要素として硫酸アルミニウムアンモニウム ($NH_4Al(SO)_2$) 等の硫安化合物が生成され、空気予熱器 5 の上記の中温部（空気予熱器 5 のローター 5 a の第 2 密度部 5 e）および低温部（空気予熱器 5 のローター 5 a の第 3 密度部 5 f）で凝縮する可能性がある。これに灰分が付着して固着物となり、排ガスの流路を狭めて圧力損失（差圧）を高める原因になって、図 3 に示すように、稼働時間 t の経過とともに、空気予熱器 5 の排気上流側及び排気下流側の差圧 P が上昇していく（時点 t_2 の差圧 $P_2 >$ 時点 t_1 の差圧 P_1 ）。

40

【0032】

一方、炭種に応じて差圧 P の推移が異なるため、時点 t_2 で炭種を変更する場合、設備の稼働条件が基本的に同様としても、変更後の炭種に応じて、差圧 P が大きく上昇する

50

のか(図3中、点線: Case 1)小さな上昇に留まるのか(図3中、一点鎖線: Case 2)、又は差圧 P が大きく下降するのか(図3中、破線: Case 3)小さな下降に留まるのか(図3中、二点鎖線: Case 4)、が異なる。

【0033】

従前、このような差圧 P の予測については、ボイラ設備を稼働させた上で行う手法しか確立されていなかった。これに対し、本実施形態は、ボイラ設備 20 での稼働実績がない炭種であっても、排ガスの流路を狭める原因となる固着物の生成量を予測でき、その予測結果を差圧 P の予測に利用できるものである。勿論、本実施形態によれば、ボイラ設備 20 での稼働実績がある炭種について固着物の生成量を予測し、また差圧 P を予測することもできる。

10

【0034】

図4は、本実施形態に係る予測システム30の構成例を機能的なブロックで示している。予測システム30は、公知の構成からなるマイクロコンピュータを含んでおり、各手段はマイクロコンピュータによるプログラムの実行により実現されている。予測システム30には、図示しない記憶手段等が備えられており、各手段での演算結果や検出結果が記憶される。

【0035】

予測システム30は、データ読込手段31と、リークNH₃量推定手段32と、SO₃生成量推定手段33と、硫安化合物生成量予測手段34と、固着物生成量予測手段35と、差圧予測手段36と、を具備している。固着物の原因となる硫安化合物は、石炭を燃焼したときの排ガスに含まれるNH₃及びSO₃を要素とした反応により生成されるため、本実施形態では、固着物の生成量A_Kや差圧 P を予測するのに、硫安化合物の生成総量A_{NS3}の予測結果を用いる。そして、その硫安化合物の生成総量A_{NS3}を予測すべく、まずはNH₃生成総量A_N及びSO₃生成総量A_{S5}を推定する。

20

【0036】

データ読込手段31は、設備稼働者によって入力部37に入力される燃料性状データ31a、設備稼働データ31b及び固着物性状データ31cを読み込んで、これを各手段に送信する。これらのデータは、ボイラ設備20を稼働せずとも、使用を予定する石炭を分析したり、過去の他の石炭の例に基づいたり、設備条件を参照したりすることで予め取得できる。なお、入力部37は、例えば、予測システム30に有線又は無線で接続された、設備稼働者により使用されるパーソナルコンピュータ等である。

30

【0037】

上記の燃料性状データ31aは、使用する石炭について予め分析実験等をしたときに得られる、N成分量R₁、S成分量R₂及び灰分量R₃である。本実施形態では、灰分にアルミニウム(A₁)成分が含まれるとして、そのA₁成分の量に対応するA₁成分量R₄も入力部37に入力可能とされている。A₁成分は、硫安化合物を構成する金属成分として代表的なものであるため、このようなA₁成分を考慮に入れることで、固着物の原因となる代表的な組成の硫安化合物(NH₄A₁(SO₄)₂等)を対象として、固着物の生成量を予測できるようになる。

【0038】

A₁成分が不足して硫安化合物の生成が阻害されるケースが稀である場合等には、灰分に十分量のA₁成分が含まれるのが通常として、A₁成分量R₄の入力を不要としてもよい。硫安化合物を構成する金属成分としてA₁成分は一例であり、A₁成分に代替するような金属成分があれば、該金属成分が硫安化合物を構成する成分になり得る。

40

【0039】

また、本実施形態では、灰分にカルシウム(Ca)成分が含まれるとして、そのCa成分の量に対応するCa成分量R₅も入力部37に入力可能とされている。Ca成分を考慮することで、後述するような、Ca成分によるS成分の消費率や、Ca成分による硫安化合物の分解率を考慮することができるようになるため、固着物の生成量をより正確に予測できるようになる。

50

【 0 0 4 0 】

また、上記の設備稼働データ 3 1 b は、脱硝装置 3 による SO_2 の酸化率 R_6 (脱硝装置 3 により SO_2 が酸化されて SO_3 となる割合)、 Ca 成分による S 成分の消費率 R_7 (Ca 成分との反応により排ガス中の SO_3 が消費される割合) 及び Ca 成分による硫酸化合物の分解率 R_8 (Ca 成分との反応により一度生成した硫酸化合物が分解される割合) である。設備稼働データ 3 1 b の一部又は全部は入力を省略できるが、これらを入力することで、硫酸化合物の生成に影響を与える要素を考慮に入れることができるようになる。

【 0 0 4 1 】

更に、上記の固着物性状データ 3 1 c は、灰分の付着比 R_9 (硫酸化合物の単位量あたりに付着する灰分量の割合)、固着物の密度 R_{10} (硫酸化合物に灰分が付着して生成される固着物の密度) である。灰分の付着比 R_9 が大きく、固着物に占める硫酸化合物の割合が無視できる場合には、固着物の密度 R_{10} を実質的に灰分の密度に近似でき、固着物の密度 R_{10} を灰分の密度として扱うことができる。固着物性状データ 3 1 c は、予め記憶された固定値を用いてもよく、この場合、その入力を不要とすることができる。

10

【 0 0 4 2 】

リーク NH_3 量推定手段 3 2 は、 NH_3 供給部 8 から NH_3 を供給する制御において、脱硝装置 3 の排気下流側に未反応のまま NH_3 がリークする場合のリーク NH_3 量 (NH_3 生成総量 A_N) を推定する。リーク NH_3 は、脱硝装置の運転条件 (排ガス GsO 中の NO_x 量、 NO_x に対する NH_3 の比率等) や脱硝触媒の劣化状況に応じて変動するため、データ読込手段 3 1 から読み込んだ N 分量 R_1 等に基づき、リーク NH_3 量を推定できる。

20

【 0 0 4 3 】

石炭の燃焼により S 成分の大部分は SO_2 となるが、燃焼時に酸素過剰である場合等、その一部が SO_3 となる。そこで、 SO_3 生成量推定手段 3 3 は、そのような燃焼条件等に基づき、 SO_3 生成率 (石炭の S 成分のうち SO_3 として生成される割合) を推定する。そして、 SO_3 生成量推定手段 3 3 は、推定した SO_3 生成率と、データ読込手段 3 1 から読み込んだ S 分量 R_2 と、に基づき、ボイラ 1 での SO_3 生成量 A_{S1} を推定する。 SO_3 以外の S 成分は全て SO_2 になるとすれば、上記の SO_3 生成率から SO_2 生成率を推定し、これに基づいて SO_2 生成量も推定できる。

【 0 0 4 4 】

なお、上記のリーク NH_3 量推定手段 3 2 で推定する NH_3 生成総量 A_N や、 SO_3 生成量推定手段 3 3 で推定する SO_3 生成率は、各種条件の変動に応じた変動量が無視できる場合には、固定値を用いても構わない。

30

【 0 0 4 5 】

SO_3 は、ボイラ 1 で生成されるだけでなく、脱硝装置 3 による SO_2 の酸化によっても生成される。 SO_3 が増加すると、硫酸化合物の生成量の増加につながる。一方、 SO_3 は、灰分に含まれる Ca と反応して硫酸カルシウム (CaSO_4) を生成し、これによりその一部が消費される。 SO_3 が消費されると、硫酸化合物の生成量の低下につながる。そこで、 SO_3 生成量推定手段 3 3 は、上記の SO_2 生成量と、データ読込手段 3 1 から読み込んだ SO_2 の酸化率 R_6 と、に基づき SO_2 酸化量 A_{S2} (脱硝装置 3 による SO_2 の酸化により新たに生成される SO_3 の量) を推定する。この SO_2 酸化量 A_{S2} と、上記の SO_3 生成量 A_{S1} と、を合計し、 SO_3 合計量 A_{S3} を推定する (下記式 (1))。

40

【 0 0 4 6 】

SO_3 合計量 $A_{S3} = (\text{SO}_3 \text{ 生成量 } A_{S1}) + (\text{SO}_2 \text{ 酸化量 } A_{S2}) \cdot \cdot (1)$

【 0 0 4 7 】

そして、 SO_3 生成量推定手段 3 3 は、上記の SO_3 合計量 A_{S3} と、データ読込手段 3 1 から読み込んだ S 成分の消費率 R_7 と、に基づき、 SO_3 消費量 A_{S4} (Ca 成分が SO_3 と反応し CaSO_4 が生成されることで該 SO_3 が消費される量) を推定する。これらを踏まえ、 SO_3 生成量推定手段 3 3 は、 SO_3 合計量 A_{S3} から SO_3 消費量 A_{S4}

50

を減算し、最終的なSO₃生成総量A_{S5}を推定する(下記式(2)参照)。

【0048】

$$SO_3 \text{ 生成総量 } A_{S5} = (SO_3 \text{ 合計量 } A_{S3}) - (SO_3 \text{ 消費量 } A_{S4}) \cdots (2)$$

【0049】

硫安化合物生成量予測手段34は、リークNH₃量推定手段32で推定されたNH₃生成総量A_Nと、SO₃生成量推定手段33で推定されたSO₃生成総量A_{S5}と、に基づき、硫安化合物の生成量A_{NS1}を推定する。そして、上記の硫安化合物の生成量A_{NS1}と、データ読込手段31から読み込んだ硫安化合物の分解率R₈と、に基づき、硫安化合物の分解量A_{NS2}(Ca成分が硫安化合物と反応してCaSO₄が生成されることで該硫安化合物が分解される量)を推定する。更に、硫安化合物の生成量A_{NS1}から硫安化合物の分解量A_{NS2}を減算し、最終的な硫安化合物の生成総量A_{NS3}を推定する(下記式(3)参照)。

10

【0050】

$$\text{硫安化合物の生成総量 } A_{NS3} = (\text{硫安化合物の生成量 } A_{NS1}) - (\text{硫安化合物の分解量 } A_{NS2}) \cdots (3)$$

【0051】

以上までの流れを整理すると、図5(a)の通りである。石炭の燃焼により、N成分がNO_xとなる。NO_xに対してNH₃が供給され、脱硝装置3によりN₂とH₂Oに分解される。一方、供給されたNH₃の一部が、未反応のまま脱硝装置3の排気下流側にリークする場合がある(NH₃生成総量A_N)。

20

【0052】

また、石炭の燃焼により、S成分がSO_xとなる。SO_xの大部分はSO₂であるが、燃焼時に酸素過剰である場合等、僅かにSO₃となる(SO₃生成量A_{S1})。SO₂の一部も、その後の脱硝装置3により酸化されてSO₃となる(SO₂酸化量A_{S2})。一方、灰分中のCa成分がSO₃と反応するとCaSO₄を生成し、これによりSO₃が消費される(SO₃消費量A_{S4})。従って、SO₃生成量A_{S1}とSO₂酸化量A_{S2}の合計量(SO₃合計量A_{S3})から、SO₃消費量A_{S4}を減算した量のSO₃が、空気予熱器5に流れ込む(SO₃生成総量A_{S5})。

【0053】

NH₃、SO₃及びAl成分等の反応により、硫安化合物(NH₄Al(SO₄)₂)が生成する(硫安化合物の生成量A_{NS1})。一方、灰分のCa成分が硫安化合物と反応してCaSO₄を生成し、これにより硫安化合物が分解される(硫安化合物の分解量A_{NS2})。その後の硫安化合物の量が、最終的な硫安化合物の生成総量A_{NS3}となる。

30

【0054】

本実施形態の予測システム30は、上記のような硫安化合物の生成総量A_{NS3}の予測結果を利用して、固着物の生成量A_Kを予測し、更には差圧Pを予測する。すなわち、固着物生成量予測手段35は、上記で予測した硫安化合物の生成総量A_{NS3}に、固着物性状データ31cから読み込んだ灰分の付着比R₉を乗じて、固着物の生成量A_Kを推定する。そして、差圧予測手段36は、上記で予測した固着物の生成量A_Kと、固着物性状データ31cから読み込んだ固着物の密度R₁₀と、に基づき、固着物の体積V_Kを推定する。

40

【0055】

例えば、硫安化合物(NH₄Al(SO₄)₂)が凝縮して灰分が付着し、固着物となるのが空気予熱器5の中温部とすると、その中温部における排ガスの流路長D₀や流路長L₀は設計時点で既知である。その流路長D₀において流路長L₀に渡って体積V_Kの固着物が生成すると仮定すれば、低温部における固着物の厚さdを大まかに算出でき、そして、流路長D₀から固着物の厚さdを減算することで、中温部を通過可能な流路の有効径(有効流路長D₁)を大まかに演算できる(図5(b)参照)。

【0056】

そして、差圧予測手段36は、上記で求めた有効流路長D₁と、稼動時に予定される排ガ

50

スの流量 Q と、に基づき、差圧 P を予測する。稼動時に予定される排ガスの流量 Q は、ボイラ1の過去の稼働条件等を参照することで、ボイラ設備20を稼働せずとも予め取得可能である。

【0057】

この点、差圧予測手段36は、差圧 P を、有効流路徑 D_1 と、排ガスの流量 Q と、の関数に簡略化して求めている(下記式(4)参照)。差圧 P を予測するのに、有効流路徑 D_1 や排ガスの流量 Q 以外の他のパラメータを考慮してもよいが、下記式(4)に基づいた関数に従えば、差圧 P を容易に予測できる。

【0058】

差圧 $P = f(Q(\text{排ガスの流量}), D_1(\text{有効流路徑})) \cdots (4)$

10

【0059】

上記の硫安化合物の生成総量 A_{NS3} や固着物の生成量 A_K は、マイナス(減少や分解)の概念も含む。上記式(3)で硫安化合物の生成総量 A_{NS3} がプラスであれば、硫安化合物が増加し、固着物の生成量 A_K もプラスとなって、固着物の体積 V_K もプラスとなる。そのプラスの値の程度によって有効流路徑 D_1 が縮小する程度が推定でき、それに応じて差圧 P の上昇の程度が予測できる。

【0060】

一方、上記式(3)で硫安化合物の生成総量 A_{NS3} がマイナスであれば、硫安化合物が減少・分解し、固着物の生成量 A_K もマイナスとなって、固着物の体積 V_K もマイナスとなる。そのマイナスの値の程度によって有効流路徑 D_1 が回復(拡大)する程度が推定でき、それに応じて差圧 P の下降の程度が予測できる。また、排ガスの流量 Q の増減に応じて、差圧 P の上昇又は下降の程度が予測できる。

20

【0061】

以上説明したボイラ設備20及び固着物の生成量予測方法によれば、使用を予定する炭素系燃料を分析して得られた該炭素系燃料由来のN成分量 R_1 、S成分量 R_2 及び灰分量 R_3 を予め取得する。そのため、実際にその燃料でボイラ設備20を稼働しなくても、予め取得されたN成分量 R_1 、S成分量 R_2 及び灰分量 R_3 に基づき、固着物の生成量 A_K を予測できる。そして、予測した固着物の生成量 A_K に基づき排ガスが通過可能な有効流路徑 D_1 を求め、有効流路徑 D_1 と、排ガスの流量 Q と、に基づき、差圧 P を予測できる。

【0062】

加えて、本実施形態では、空気予熱器5での固着物の生成量 A_K を予測している。これによれば、固着物が生成しやすい空気予熱器5の中温部および低温部を対象に、実際にその燃料でボイラ設備20を稼働しなくても、固着物の生成量 A_K を予測できる。勿論、固着物の生成量を予測する箇所は空気予熱器5に限定されず、脱硝装置3の排気下流側で硫安化合物が生成・凝縮するような箇所があれば、その箇所を対象として固着物の生成量を予測でき、ひいては差圧 P を予測できる。

30

【0063】

(実施形態2)

図6は、上記の予測手法を利用した応用例を説明するためのタイムチャート図である。図6(a)は、予測システム30に入力される、燃料の使用計画データDATAの一例である。使用計画データDATAは、将来的な期間と、その期間に応じた燃料と、を含んでいる。ここでは、将来的な期間 T_a で石炭aを使用し、その次の期間 T_b で石炭bを使用し、更にその次の期間 T_c で石炭cを使用し、また更にその次の期間 T_d で石炭dを使用する使用計画が表されている。図示は省略しているが、使用計画データDATAは期間 T_d 以降の使用計画も含んでいる。

40

【0064】

使用計画データDATAにおいて、将来的な複数の期間は、連続していてもよいし連続していなくてもよい。ただ、連続していたほうが、途切れなく差圧を予測できるので好ましい。ここでは、期間に応じて異なる石炭での使用が計画されているが、期間をあけて同じ石炭を繰り返し使用する場合もある。

50

【 0 0 6 5 】

石炭 a ~ 石炭 d のうち、例えば、石炭 b 及び石炭 c が、ボイラ設備 2 0 の稼働実績のない石炭である。ただ、実施形態 1 で説明した予測手法は、稼働実績のある石炭 a 及び石炭 d だけでなく、稼働実績のない石炭 b 及び石炭 c についても適用できる。石炭 a ~ 石炭 d のそれぞれや、稼働を予定するボイラ設備 2 0 について、入力部 3 7 に燃料性状データ 3 1 a、設備稼働データ 3 1 b 及び固着物性状データ 3 1 c を入力することで、図 6 (b) に示すとおり、実際にその石炭でボイラ設備 2 0 を稼働しなくても、将来の差圧 P を予測できる (図中、期間 T a ~ 期間 T d の点線) 。

【 0 0 6 6 】

特に本例では、石炭 b を使用する期間 T b に差圧 P が上昇していくことが予測できるので、期間 T b においては、差圧 P が大きくなり過ぎないように慎重な稼働を実施でき、これにより、設備に過大な負荷がかかることを確実に防止できる。また、石炭 c を使用する期間 T c に差圧 P が下降していくことが予測できるので、期間 T b 以降、稼働を許容できる機会がさらに増えることが期待され、ボイラ設備 2 0 の稼働時間 t をより確保しやすくなる。

10

【 0 0 6 7 】

図 6 (c) に示すとおり、所定の開始条件 (s t a r t) が満たされると、そのときの差圧予測時点の初期差圧 $P_{s t a r t}$ と、石炭 a に応じた差圧変化速度と、に基づき、期間 T a における将来の差圧が実測される (図中、期間 T a の実線) 。そして、期間 T a 終了時の予測差圧が、連続する次の期間 T b 開始時の初期差圧 $P_{s t a r t}$ となる。該初期差圧 $P_{s t a r t}$ と、石炭 b に応じた差圧変化速度と、に基づき、期間 T b における将来の差圧が実測される (図中、期間 T b の実線) 。

20

【 0 0 6 8 】

ここで、実差圧と、予測された差圧と、に僅かなズレが生じていると、そのズレが積み重なっていく。期間 T a の終了時 (期間 T b の開始時) には、ズレ $D 1$ (実差圧 > 予測された差圧) が生じ、期間 T b の終了時 (期間 T c の開始時) には、ズレ $D 2$ が生じている ($D 2 > D 1$) 。

【 0 0 6 9 】

例えば、期間 T a の終了時 (期間 T b の開始時) において、ズレ $D 1$ は所定の許容値 $D 1_{l i m}$ を越えないが、期間 T b の終了時 (期間 T c の開始時) において、ズレ $D 2$ が許容値 $D 1_{l i m}$ を越える場合がある。このとき、予測システム 3 0 は、ズレ $D 1$ が許容値 $D 1_{l i m}$ を超えたことを検知して、期間 T c 開始時の初期差圧 $P_{s t a r t}$ を始点とした上で、再び差圧 P を予測する。つまり、期間 T b の終了時 (期間 T c の開始時) に、予測していた差圧の推移が更新されることになる。以降の期間でも、差圧の予測の更新が反映される (図 6 (d)) 。

30

【 0 0 7 0 】

使用計画データ D A T A における期間の長さの関係や、予測される差圧の推移は、図 6 に示した例に制限されない。また、使用計画データ D A T A は、図 4 に示した予測システム 3 0 における記憶手段 (図示せず) 等に格納できるが、それ以外の場所に格納されてもよい。

40

【 0 0 7 1 】

(実施形態 3)

図 7 は、本実施形態に係る発電設備 5 0 の全体の構成例を示す概略系統図である。発電設備 5 0 は、実施形態 1 で説明したボイラ設備 2 0 と、ボイラ 1 で発生した蒸気が導入されて駆動力を得る蒸気タービン 5 1 と、蒸気タービン 5 1 の駆動により電力を得る発電機 5 2 と、を具備している。

【 0 0 7 2 】

発電設備 5 0 では、ボイラ 1 での炭素系燃料の燃焼により蒸気が生成される。かかる蒸気が蒸気タービン 5 1 に導入されて発電機 5 2 の駆動力が得られる。発電機 5 2 が駆動されることで、電力が得られる。蒸気タービン 5 1 の排気蒸気は復水器 5 3 で凝縮されて復水

50

され、復水器 5 3 からの復水は給水ポンプ 5 4 の駆動によりボイラ 1 に給水される。

【 0 0 7 3 】

本実施形態に係る発電設備 5 0 によれば、実施形態 1 のボイラ設備 2 0 を具備するので、実際にその燃料でボイラ設備 2 0 を稼働しなくても、使用を予定する炭素系燃料を分析して得られた該炭素系燃料由来の N 成分量 R 1、S 成分量 R 2 及び灰分量 R 3 を予め取得するとともに、予め取得された N 成分量 R 1、S 成分量 R 2 及び灰分量 R 3 に基づき、固着物の生成量 A_K を予測できる。かかる予測結果は、差圧 P の予測にも利用できる。

【 0 0 7 4 】

(他の実施形態)

以上、本発明の一実施形態を説明したが、本発明は上記の実施形態に限定されない。例えば、図 4 では、予測システム 3 0 の各手段を機能的なブロックに分けて説明したが、これらの手段は、その一部又は全てが一体として構成されていてもよい。また、予測システム 3 0 も、その一部又は全てがボイラ設備 2 0 と一体に構成されていてもよい。また、燃料には、本発明の範囲内で石炭以外の炭素系燃料が含まれていてもよい。更には、本発明の範囲内で炭素系燃料以外の燃料が含まれていてもよい。

【符号の説明】

【 0 0 7 5 】

1 ... ボイラ、2 ... 排気通路、3 ... 脱硝装置、4 ... 排気通路、5 ... 空気予熱器、5 a ... ローター、5 b ... 伝熱エレメント、5 c ... 回転軸、5 d ... 第 1 密度部 (高温部)、5 e ... 第 2 密度部、5 f ... 第 3 密度部 (低温部)、6 ... 粉砕機、7 ... バーナー群、8 ... NH₃ 供給部、9 ... 押込通風機、1 0 ... 一次通風機、1 1 ... 排気通路、1 2 ... 誘引通風機、1 3 ... 煙突、2 0 ... ボイラ設備、3 0 ... 予測システム、3 1 ... データ読込手段、3 1 a ... 燃料性状データ、3 1 b ... 設備稼働データ、3 1 c ... 固着物性状データ、3 2 ... リーク NH₃ 量推定手段、3 3 ... SO₃ 生成量推定手段、3 4 ... 硫安化合物生成量予測手段、3 5 ... 固着物生成量予測手段、3 6 ... 差圧予測手段、3 7 ... 入力部、5 0 ... 発電設備、5 1 ... 蒸気タービン、5 2 ... 発電機、5 3 ... 復水器、5 4 ... 給水ポンプ、A i r 1 ... 燃焼用空気 (空気)、A i r 1 ' ... 空気、A i R 2 ... 燃焼用空気 (空気)、A i R 2 ' ... 空気、F u e l ... 炭素系燃料、G s 0 , G s 1 , G s 2 ... 排ガス

10

20

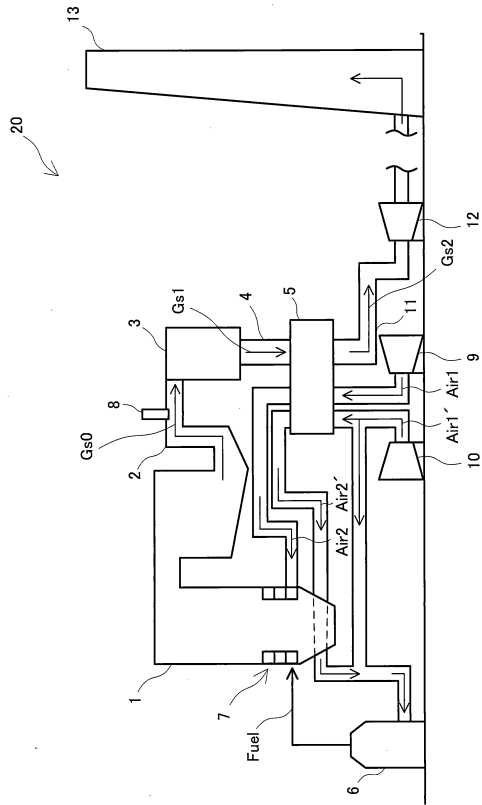
30

40

50

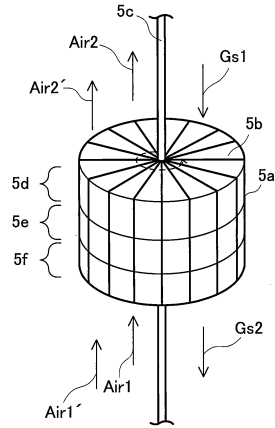
【図面】

【図1】

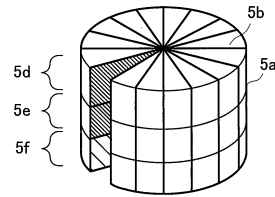


【図2】

(a)



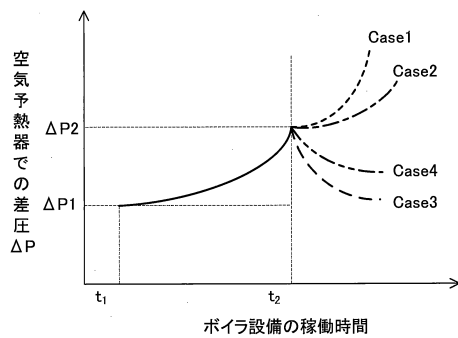
(b)



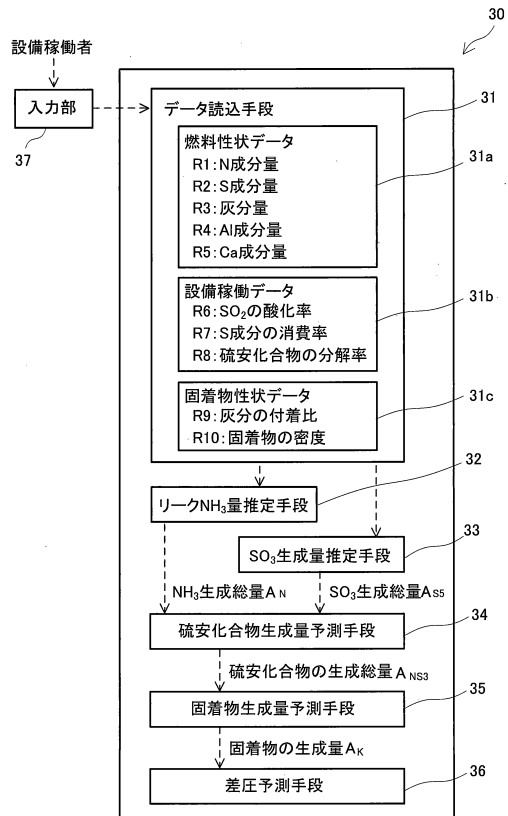
10

20

【図3】



【図4】

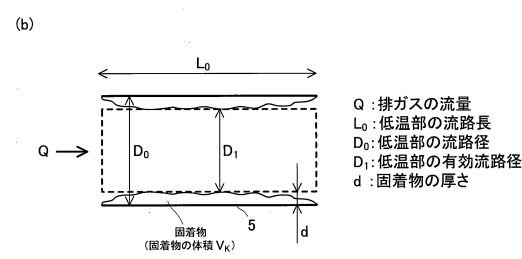
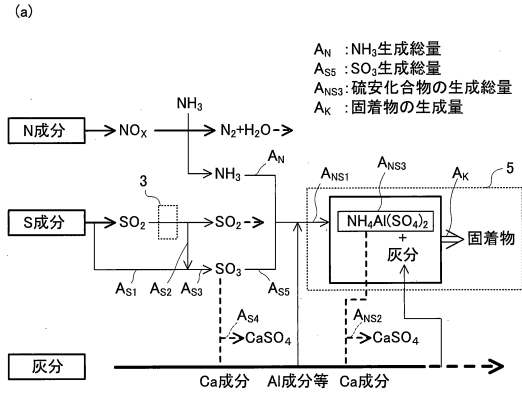


30

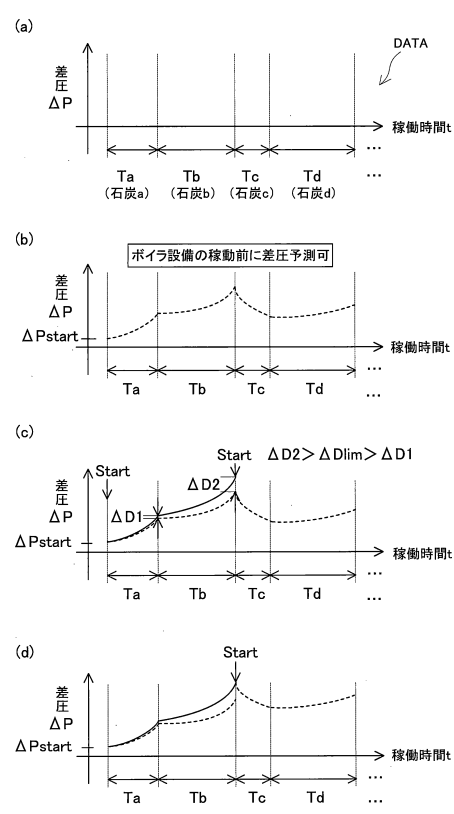
40

50

【 図 5 】



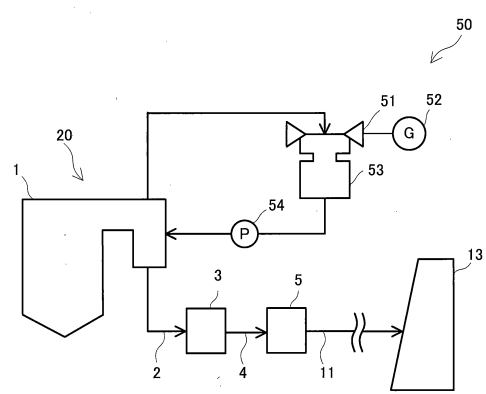
【 図 6 】



10

20

【 図 7 】



30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 白井 裕三

神奈川県横須賀市長坂 2 - 6 - 1 一般財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所内

審査官 古川 峻弘

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 6 / 0 9 8 1 7 3 (W O , A 1)

特開 2 0 1 0 - 1 6 4 4 5 5 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

F 2 2 B 3 7 / 3 8