



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

蒸気を冷却する上流減温器と、  
前記上流減温器からの前記蒸気を過熱する過熱器と、  
前記過熱器からの前記蒸気を冷却する下流減温器と、  
を備える発電プラントを制御するプラント制御装置であって、  
前記過熱器と前記下流減温器との間の第 1 地点での前記蒸気の温度である第 1 温度を調整するための第 1 設定値を出力する第 1 設定部と、  
前記下流減温器の下流の第 2 地点での前記蒸気の温度である第 2 温度を調整するための第 2 設定値を出力する第 2 設定部と、  
前記第 1 温度が前記第 2 設定値よりも前記第 1 設定値だけ高く調整されるように、前記上流減温器を制御する第 1 制御部と、  
前記第 2 温度が前記第 2 設定値に調整されるように、前記下流減温器を制御する第 2 制御部と、  
を備えるプラント制御装置。

10

**【請求項 2】**

前記第 1 制御部は、前記上流減温器に水を供給する第 1 弁の開度指示値を出力し、  
前記第 2 制御部は、前記下流減温器に水を供給する第 2 弁の開度指示値を出力する、  
請求項 1 に記載のプラント制御装置。

**【請求項 3】**

20

前記第 2 設定部は、時間に応じて変化する前記第 2 設定値を出力する、請求項 1 または 2 に記載のプラント制御装置。

**【請求項 4】**

前記第 1 制御部は、前記第 1 温度が、前記第 1 設定値と前記第 2 設定値との和と、前記蒸気の温度の制限値との低い方の値に調整されるように、前記上流減温器を制御する、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のプラント制御装置。

**【請求項 5】**

前記発電プラントは、  
前記蒸気を前記上流減温器、前記過熱器、および前記下流減温器を介して搬送する蒸気流路と、  
前記蒸気流路の少なくとも一部をバイパスして前記蒸気を搬送し、前記蒸気を前記蒸気流路との合流地点に供給するバイパス流路と、  
前記バイパス流路に設けられたバイパス弁と、  
をさらに備える請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載のプラント制御装置。

30

**【請求項 6】**

前記合流地点よりも上流の第 3 地点での前記蒸気の温度である第 3 温度と、前記合流地点よりも下流の第 4 地点での前記蒸気の温度である第 4 温度との温度差を調整するための第 3 設定値を出力する第 3 設定部と、  
前記温度差が前記第 3 設定値に調整されるように、前記バイパス弁を制御する第 3 制御部と、  
をさらに備える請求項 5 に記載のプラント制御装置。

40

**【請求項 7】**

前記合流地点、前記第 3 地点、および前記第 4 地点は、前記上流減温器の上流に位置する、請求項 6 に記載のプラント制御装置。

**【請求項 8】**

前記合流地点、前記第 3 地点、および前記第 4 地点は、前記過熱器と前記下流減温器との間に位置する、請求項 6 に記載のプラント制御装置。

**【請求項 9】**

前記第 3 地点と前記第 3 温度はそれぞれ、前記第 1 地点と前記第 1 温度であり、  
前記第 1 制御部は、前記第 3 温度が前記第 2 設定値よりも前記第 1 設定値だけ高く調整

50

され、かつ、前記第 4 温度が前記第 2 設定値よりも前記第 1 設定値と前記第 3 設定値との差分値だけ高く調整されるように、前記上流減温器を制御する、

請求項 8 に記載のプラント制御装置。

【請求項 10】

前記第 1 制御部は、前記第 4 温度が、前記第 2 設定値と前記差分値との和と、前記蒸気の温度の制限値との低い方の値に調整されるように、前記上流減温器を制御する、請求項 9 に記載のプラント制御装置。

【請求項 11】

前記発電プラントは、第 1 蒸気タービンと、前記第 1 蒸気タービンの下流に設けられた第 2 蒸気タービンとをさらに備え、

前記上流減温器、前記過熱器、および前記下流減温器は、

前記第 1 蒸気タービンの上流の第 1 蒸気流路に設けられ、前記下流減温器からの前記蒸気を前記第 1 蒸気タービンに供給する、または、

前記第 1 蒸気タービンと前記第 2 蒸気タービンとの間の第 2 蒸気流路に設けられ、前記下流減温器からの前記蒸気を前記第 2 蒸気タービンに供給する、

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載のプラント制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、プラント制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

コンバインドサイクル発電プラントは、ガスタービンと、排熱回収ボイラと、蒸気タービンとを構成要素とする。ガスタービンは、燃焼器からのガスにより駆動される。排熱回収ボイラは、ガスタービンから排出された排ガスの熱を利用して蒸気を発生させる。蒸気タービンは、排熱回収ボイラにて発生した蒸気により駆動される。また、蒸気タービンが高圧タービンと低圧タービンにより構成されている場合には、排熱回収ボイラから排出された蒸気が高圧タービンに供給され、高圧タービンから排出された蒸気が低圧タービンに供給される。

【0003】

コンバインドサイクル発電プラントでは、排熱回収ボイラにて発生する蒸気の蒸気温度を設定値に制御することが必要となる。このような制御に使用するため、排熱回収ボイラは、蒸気を過熱する過熱器を備えている。また、排熱回収ボイラは、排熱回収ボイラから高圧タービンに供給される蒸気を過熱する過熱器だけでなく、高圧タービンから低圧タービンに供給される蒸気を過熱（再熱）する過熱器（再熱器）を備える場合がある。以下の文中の過熱器は、前者の過熱器と後者の過熱器の両方を意味するものとする。

【0004】

コンバインドサイクル発電プラントの通常運転時において、排熱回収ボイラでの蒸気温度が設定値よりも高い場合には、蒸気温度が配管材料の許容温度を超過してしまう場合がある。一方、排熱回収ボイラでの蒸気温度が設定値よりも低い場合には、蒸気タービンに供給される蒸気の蒸気温度が低くなるため、蒸気タービンにて発生する動力が低下し、プラントの効率が低下してしまう。

【0005】

コンバインドサイクル発電プラントの起動時においても、排熱回収ボイラでの蒸気温度を設定値に制御できないことが問題となる。例えば、排熱回収ボイラでの蒸気温度が設定値よりも高い場合には、蒸気タービンでの蒸気温度が高くなるため、蒸気タービンロータの表面と内部の温度差が大きくなり、蒸気タービンに強い熱応力が発生してしまう。この熱応力については、蒸気タービンでの蒸気温度が高いことばかりでなく低いことも問題になる。プラントの起動中の蒸気温度上昇過程において、蒸気温度が低温から高温へと急激に変化すると、蒸気タービンロータの内部の加熱が不十分なまま、蒸気タービンロータの

10

20

30

40

50

表面の温度が上昇する。その結果、プラントの起動中の蒸気温度上昇過程では、蒸気温度が低温から高温へと急激に変化しない場合と比べて、蒸気タービンロータの熱応力がより強くなる場合がある。

【0006】

このように、コンバインドサイクル発電プラントでは、排熱回収ボイラでの蒸気温度を設定値に制御することが必要となる。そのため、蒸気温度を設定値に制御するための様々な手法が知られている。

【0007】

例えば、蒸気温度を減温器により制御する手法がある。この場合、配管材料の許容温度等の問題から、減温器にて蒸気温度を低下させた後で、過熱器にて蒸気温度を上昇させる手法が用いられる。つまり、過熱器の前段に減温器を設置する手法である。この場合、ガスタービンから排出される排ガスの排ガス温度が高くなると、本手法で蒸気温度を設定値に制御することは難しくなる傾向にある。

10

【0008】

一方、過熱器の後段に減温器を設置する手法もある。上述のように、排熱回収ボイラの蒸気温度が設定値よりも高い場合には、蒸気温度が配管材料の許容温度を超過してしまうことが問題となる。そのため、本手法は、主にプラントの起動時に蒸気温度を調整したい場合に有効である。すなわち、排熱回収ボイラでの蒸気温度が設定値よりも高い場合において、蒸気温度をより低下させることができる。ただし、この場合には、減温器で噴霧した水滴が蒸発せずに蒸気タービンに流出することを阻止する対策が求められる。

20

【0009】

また、過熱器をバイパスした蒸気と、過熱器を通過した蒸気とを混合して、蒸気温度を制御する手法がある。さらに、ガスタービンでの排ガス温度を制御することで、蒸気温度を制御する手法もある。例えば、燃焼器に導入する空気量をIGV(Inlet Guide Vane)により制御することにより、排ガス温度を低下させ、結果的に蒸気温度を低下させることもできる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2012-82971号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

上述のように、コンバインドサイクル発電プラントでは、排熱回収ボイラでの蒸気温度を設定値に制御することが必要となり、その制御手法として様々な手法が知られている。しかしながら、これらの手法を組み合わせても、蒸気温度を十分に安定的に制御することは難しい。

【0012】

そこで、本発明の実施形態は、過熱器および減温器により蒸気温度を安定的に制御することが可能なプラント制御装置を提供することを課題とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0013】

一の実施形態によれば、プラント制御装置は、蒸気を冷却する上流減温器と、前記上流減温器からの前記蒸気を過熱する過熱器と、前記過熱器からの前記蒸気を冷却する下流減温器と、を備える発電プラントを制御する。前記装置は、前記過熱器と前記下流減温器との間の第1地点での前記蒸気の温度である第1温度を調整するための第1設定値を出力する第1設定部と、前記下流減温器の下流の第2地点での前記蒸気の温度である第2温度を調整するための第2設定値を出力する第2設定部とを備える。前記装置はさらに、前記第1温度が前記第2設定値よりも前記第1設定値だけ高く調整されるように、前記上流減温器を制御する第1制御部と、前記第2温度が前記第2設定値に調整されるように、前記下

50

流減温器を制御する第 2 制御部とを備える。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図 1】第 1 実施形態の発電プラントの構成を示す模式図である。

【図 2】第 1 実施形態の発電プラントの動作を説明するためのグラフである。

【図 3】第 1 実施形態の第 2 過熱器の構成を示す模式図である。

【図 4】第 1 実施形態の熱交換量の計算方法を示すフローチャートである。

【図 5】第 1 実施形態の制御装置の構成を示す模式図である。

【図 6】第 1 実施形態の  $T_4$  設定値の例を示すグラフである。

【図 7】第 1 実施形態の比較例の発電プラントの動作例を示すグラフである。

【図 8】第 1 実施形態の発電プラントの動作例を示すグラフである。

【図 9】第 1 実施形態の変形例の発電プラントの構成を示す模式図である。

【図 10】第 2 実施形態の発電プラントの構成を示す模式図である。

【図 11】第 2 実施形態の発電プラントの動作を説明するためのグラフである。

【図 12】第 2 実施形態の制御装置の構成を示す模式図である。

【図 13】第 2 実施形態の第 1 バイパス制御部の構成を示す模式図である。

【図 14】第 2 実施形態の発電プラントの動作例を示すグラフである。

【図 15】第 2 実施形態の変形例の発電プラントの構成を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施形態を、図面を参照して説明する。図 1 から図 15 において、同一または類似の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【0016】

(第 1 実施形態)

図 1 は、第 1 実施形態の発電プラントの構成を示す模式図である。図 1 の発電プラントは、排熱回収方式によるコンバインドサイクル火力発電プラントである。

【0017】

図 1 の発電プラントは、ガスタービン 1 と、圧縮機 2 と、第 1 発電機 3 と、排ガス配管 4 と、排熱回収ボイラ 5 と、ドラム 11 と、下降管 12 と、蒸発器 13 と、第 1 過熱器 14 と、第 1 減温器 15 と、第 2 過熱器 16 と、第 2 減温器 17 と、第 1 減温器バルブ 18 と、第 2 減温器バルブ 19 と、制御装置 20 と、主蒸気配管 21 と、主蒸気弁 22 と、バイパス蒸気配管 23 と、バイパス蒸気弁 24 と、蒸気タービン 25 と、第 2 発電機 26 とを備えている。第 1 減温器 15、第 2 過熱器 16、第 2 減温器 17、第 1 減温器バルブ 18、第 2 減温器バルブ 19、および制御装置 20 はそれぞれ、上流減温器、過熱器、下流減温器、第 1 弁、第 2 弁、およびプラント制御装置の例である。制御装置 20 は、図 1 の発電プラントの種々の動作を制御する。

【0018】

本発電プラントはさらに、ドラム 11 と第 1 過熱器 14 との間の蒸気流路  $L_1$  と、第 1 過熱器 14 と第 1 減温器 15 との間の蒸気流路  $L_2$  と、第 1 減温器 15 と第 2 過熱器 16 との間の蒸気流路  $L_3$  と、第 2 過熱器 16 と第 2 減温器 17 との間の蒸気流路  $L_4$  とを備えている。

【0019】

本発電プラントはさらに、排ガス配管 4 に設けられた温度計 31 および流量計 32 と、ドラム 11 に設けられた圧力計 41 と、蒸気流路  $L_1$  に設けられた流量計 42 と、蒸気流路  $L_2$  に設けられた温度計 43 と、蒸気流路  $L_3$  に設けられた温度計 44 と、蒸気流路  $L_4$  に設けられた温度計 45 と、主蒸気配管 21 に設けられた圧力計 46、温度計 47、および流量計 48 とを備えている。

【0020】

本発電プラントはさらに、第 1 減温器バルブ 18 を介して第 1 減温器 15 に水を搬送する水流路に設けられた圧力計 51、温度計 52、および流量計 53 を備えている。本発電

10

20

30

40

50

プラントはさらに、第2減温器バルブ19を介して第2減温器17に水を搬送する水流路に設けられた圧力計54、温度計55、および流量計56を備えている。本発電プラントはさらに、蒸気タービン25の蒸気タービンロータに設けられた回転数計測器57と、第2発電機26に設けられた電気出力計測器58とを備えている。

#### 【0021】

図1の発電プラントにおいて、圧縮機2は、圧縮機2とガスタービン1との間に配置された燃焼器に圧縮空気を供給し、燃焼器は、圧縮空気をを用いて燃料を燃焼させる。これにより、高温・高圧のガスが燃焼器内で発生し、ガスタービン1に供給される。ガスタービン1は、このガスにより回転駆動されることで、ガスタービンロータを回転させる。第1発電機3は、ガスタービンロータの回転を利用して発電を行う。ガスタービン1から排出された排ガスは、排ガス配管4を介して排熱回収ボイラ5に送られる。排熱回収ボイラ5に送られた排ガスは、第2過熱器16、第1過熱器14、蒸発器13の順でその熱が利用され、排熱回収ボイラ5から排出される。

10

#### 【0022】

排ガスの状態は、制御装置20により制御される。例えば、制御装置20は、ガスタービン1や排熱回収ボイラ5の動作を制御することで、排熱回収ボイラ5の排ガス入口や排ガス出口における排ガス温度や排ガス圧力を設定値に制御することができる。

#### 【0023】

一方、ドラム11内の水は、下降管12を介して排熱回収ボイラ5内の蒸発器13に送られ、蒸発器13内で排ガスの熱により加熱されることで、飽和水蒸気となる。この蒸気は、蒸気流路 $L_1$ を介して排熱回収ボイラ5内の第1過熱器14に送られ、第1過熱器14で過熱された後、蒸気流路 $L_2$ を介して第1減温器15に送られ、第1減温器15で冷却される。第1減温器15は、第1減温器バルブ18からの水により蒸気を冷却する。第1減温器15で冷却された蒸気は、蒸気流路 $L_3$ を介して排熱回収ボイラ5内の第2過熱器16に送られ、第2過熱器16で再び過熱された後、蒸気流路 $L_4$ を介して第2減温器17に送られ、第2減温器17で再び冷却される。第2減温器17は、第2減温器バルブ19からの水により蒸気を冷却する。

20

#### 【0024】

蒸気の状態は、制御装置20により制御される。例えば、制御装置20は、第1減温器バルブ18の開度を調整して、第1減温器15でのスプレー水の流量を調整することで、第2過熱器16の出口蒸気温度を設定値に制御することができる。さらに、制御装置20は、第2減温器バルブ19の開度を調整して、第2減温器17でのスプレー水の流量を調整することで、第2減温器17の出口蒸気温度を設定値に制御することができる。

30

#### 【0025】

具体的には、第1減温器15は、流入蒸気にスプレー水を混合することで、スプレー水のエンタルピと流入蒸気のエンタルピとを流量比率で加算した状態に流出蒸気を制御することができる。ただし、本実施形態の第1減温器15は、蒸気温度を所定温度（飽和蒸気温度に一定の余裕温度を加えた温度）未満に制御しない。また、第1減温器15におけるスプレー水の流量には上限があるため、蒸気温度を制御可能な範囲はこの上限に依存して決定される。これは、第2減温器17でも同様である。

40

#### 【0026】

なお、本実施形態の第2過熱器16は、蒸気の流れに対し、排熱回収ボイラ5の最終段に位置する過熱器である。また、第1減温器15は、蒸気の流れに対し第2過熱器16の前段に位置しており、第2減温器17は、蒸気の流れに対し第2過熱器16の後段に位置している。

#### 【0027】

第2減温器17で冷却された蒸気（主蒸気）は、主蒸気配管21を介して蒸気タービン25に送られる。蒸気タービン25は、この蒸気により回転駆動されることで、蒸気タービンロータを回転させる。第2発電機26は、蒸気タービンロータの回転を利用して発電を行う。バイパス蒸気配管23は、蒸気タービン25の上流で主蒸気配管21から分岐し

50

ている。主蒸気配管 2 1 には、主蒸気弁 2 2 が設けられている。バイパス蒸気配管 2 3 には、バイパス蒸気弁 2 4 が設けられている。

【 0 0 2 8 】

排熱回収ボイラ 5 から供給された蒸気の状態は、制御装置 2 0 により制御される。例えば、制御装置 2 0 は、主蒸気弁 2 2 やバイパス蒸気弁 2 4 の開度を調整することで、蒸気タービン 2 5 の蒸気入口における蒸気圧力や蒸気流量を設定値に制御することができる。

【 0 0 2 9 】

制御装置 2 0 は、蒸気タービン 2 5 の蒸気入口における蒸気流量を調整することで、蒸気タービン 2 5 の回転数を制御し、これにより第 2 発電機 2 6 の電気出力を設定値に制御する。第 2 発電機 2 6 の電気出力は、MW (メガワット) 出力とも呼ばれる。なお、蒸気タービン 2 5 の回転数は、回転数計測器 5 7 により計測され、第 2 発電機 2 6 の電気出力は、電気出力計測器 5 8 により計測される。

【 0 0 3 0 】

図 2 は、第 1 実施形態の発電プラントの動作を説明するためのグラフである。

【 0 0 3 1 】

図 2 の横軸は、蒸気流路上の各地点とドラム 1 1 との距離を示す。図 2 の縦軸は、蒸気流路を流れる蒸気の温度を示す。符号  $T_1$  は、蒸気流路  $L_2$  を流れる蒸気の温度を示しており、温度計 4 3 により計測される。符号  $T_2$  は、蒸気流路  $L_3$  を流れる蒸気の温度を示しており、温度計 4 4 により計測される。符号  $T_3$  は、蒸気流路  $L_4$  を流れる蒸気の温度を示しており、温度計 4 5 により計測される。符号  $T_4$  は、主蒸気配管 (主蒸気流路) 2 1 を流れる蒸気の温度を示しており、温度計 4 7 により計測される。図 2 は、これらの温度計 4 3、4 4、4 5、4 7 による蒸気温度  $T_1 \sim T_4$  の計測値を示している。

【 0 0 3 2 】

以下、蒸気温度  $T_1 \sim T_4$  の計算方法を説明する。

【 0 0 3 3 】

第 1 減温器 1 5 の出口蒸気温度かつ第 2 過熱器 1 6 の入口蒸気温度である蒸気温度  $T_2$  は、次の式 (1) および (2) で与えられる。

$$T_2 = HPT(H_{T_2}, P_{T_2}) \cdots (1)$$

$$H_{T_2} = \{ F_{S_1} \times TPH(T_{S_1}, P_{S_1}) + F_{T_1} \times TPH(T_1, P_{T_1}) \} / (F_{T_1} + F_{S_1}) \cdots (2)$$

ただし、 $T_1$ 、 $P_{T_1}$ 、 $F_{T_1}$  は、温度計 4 3 の地点を流れる蒸気の温度、圧力、流量を表す。 $F_{T_1}$  は、流量計 4 2 の地点を流れる蒸気の流量  $F_1$  に等しい。 $T_2$ 、 $P_{T_2}$ 、 $H_{T_2}$  は、温度計 4 4 の地点を流れる蒸気の温度、圧力、エンタルピを表す。 $P_{S_1}$ 、 $T_{S_1}$ 、 $F_{S_1}$  はそれぞれ、圧力計 5 1、温度計 5 2、流量計 5 3 の地点を流れるスプレー水の圧力、温度、流量を表す。 $HPT$  は、蒸気のエンタルピ (第 1 引数) と圧力 (第 2 引数) から蒸気の温度を計算するための関数である。 $TPH$  は、蒸気の温度 (第 1 引数) と圧力 (第 2 引数) から蒸気のエンタルピを計算するための関数である。なお、圧力、温度、流量の単位は、MPa、 $t/h$  である。

【 0 0 3 4 】

第 2 過熱器 1 6 の出口蒸気温度かつ第 2 減温器 1 7 の入口蒸気温度である蒸気温度  $T_3$  は、次の式 (3) および (4) で与えられる。

$$T_3 = Func(T_G, F_G, T_2, F_{T_2}) \cdots (3)$$

$$F_{T_2} = F_{T_1} + F_{S_1} \cdots (4)$$

ただし、 $T_2$ 、 $F_{T_2}$  は、温度計 4 4 の地点を流れる蒸気の温度と流量を表す。 $T_3$  は、温度計 4 5 の地点を流れる蒸気の温度を表す。 $T_G$ 、 $F_G$  はそれぞれ、温度計 3 1、流量計 3 2 の地点を流れる排ガスの温度と流量を表す。 $Func$  は、第 2 過熱器 1 6 の入口排ガス温度 (第 1 引数)、入口排ガス流量 (第 2 引数)、入口蒸気温度 (第 3 引数)、および入口蒸気流量 (第 4 引数) から第 2 過熱器 1 6 の出口蒸気温度を計算するための関数である。 $Func$  は、後述するように、第 2 過熱器 1 6 内での排ガスと蒸気との熱交換量

から出口蒸気温度を計算する。

【0035】

第2減温器17の出口蒸気温度である蒸気温度 $T_4$ は、次の式(5)~(7)で与えられる。

$$T_4 = HPT(H_{T_4}, P_{T_4}) \cdots (5)$$

$$H_{T_4} = \{ F_{S_2} \times TPH(T_{S_2}, P_{S_2}) + F_{T_3} \times TPH(T_3, P_{T_3}) \} / (F_{T_3} + F_{S_2}) \cdots (6)$$

$$F_{T_3} = F_{T_2} \cdots (7)$$

ただし、 $T_3$ 、 $P_{T_3}$ 、 $F_{T_3}$ は、温度計45の地点を流れる蒸気の温度、圧力、流量を表す。 $T_4$ 、 $P_{T_4}$ 、 $H_{T_4}$ は、温度計47の地点を流れる蒸気の温度、圧力、エンタルピを表す。 $P_{T_4}$ は、圧力計46の地点を流れる蒸気の圧力 $P_2$ に等しい。 $P_{S_2}$ 、 $T_{S_2}$ 、 $F_{S_2}$ はそれぞれ、圧力計54、温度計55、流量計56の地点を流れるスプレー水の圧力、温度、流量を表す。

10

【0036】

なお、式(1)~(7)では、蒸気流路における圧力損失はほぼゼロであると仮定している。制御装置20は、温度計43~45等から取得した計測値を式(1)~(7)の右辺に代入することで、式(1)~(7)の左辺の値を計算することができる。上記の圧力損失や温度計43~45等の計測誤差が小さい場合、これらの式から蒸気温度 $T_2 \sim T_4$ の値を精度よく計算することができる。

20

【0037】

次に、図3と図4を参照して、式(3)のFuncの計算方法を説明する。

【0038】

図3は、第1実施形態の第2過熱器16の構成を示す模式図である。図3は、排ガスと蒸気との熱交換の様子を示している。

【0039】

符号 $Q$ は、第2過熱器16内での排ガスと蒸気との熱交換量[kW]を表す。符号 $t_{IN}$ は、第2過熱器16の入口蒸気温度を表し、蒸気温度 $T_2$ に相当する。符号 $t_{OUT}$ は、第2過熱器16の出口蒸気温度を表し、蒸気温度 $T_3$ に相当する。符号 $T_{IN}$ は、第2過熱器16の入口排ガス温度を表し、排ガス温度 $T_G$ に相当する。符号 $T_{OUT}$ は、第2過熱器16の出口排ガス温度を表す。

30

【0040】

蒸気温度 $t_{IN}$ 、 $t_{OUT}$ の間には、以下の式(8)の関係が成り立つ。また、排ガス温度 $T_{IN}$ 、 $T_{OUT}$ の間には、以下の式(9)の関係が成り立つ。

$$t_{OUT} = t_{IN} + Q / c / f \cdots (8)$$

$$T_{OUT} = T_{IN} - Q / C / F \cdots (9)$$

ただし、 $c$ は蒸気の比熱[kW / / kg]を表し、 $f$ は蒸気の流量[kg / s]を表す。また、 $C$ は排ガスの比熱[kW / / kg]を表し、 $F$ は排ガスの流量[kg / s]を表す。例えば、熱交換量 $Q$ が定まると、式(8)を用いて出口蒸気温度 $t_{OUT}$ の計測値から入口蒸気温度 $t_{IN}$ の設定値を計算することができる。

40

【0041】

図4は、第1実施形態の熱交換量 $Q$ の計算方法を示すフローチャートである。

【0042】

まず、排ガス温度 $T_{OUT}$ と蒸気温度 $t_{OUT}$ を仮定する(ステップS1)。次に、第2過熱器16の伝熱係数 $h$ [kW / ]を計算する(ステップS2)。本実施形態では、伝熱係数 $h$ は一定値であると想定する。

【0043】

次に、排ガスの放熱量 $Q_1$ [kW]と蒸気の収熱量 $Q_2$ [kW]を計算する(ステップS3、S4)。放熱量 $Q_1$ は、以下の式(10)で与えられる。収熱量 $Q_2$ は、以下の式(11)で与えられる。

50



$$Q_1 = (T_{IN} - T_{OUT}) \times C \times F \quad \dots (10)$$

$$Q_2 = h \{ (T_{IN} - t_{OUT}) - (T_{OUT} - t_{IN}) \} / \log \{ (T_{IN} - t_{OUT}) / (T_{OUT} - t_{IN}) \} \quad \dots (11)$$

ここで、排ガス温度  $T_{OUT}$  と蒸気温度  $t_{OUT}$  の仮定が正しければ、エネルギー保存則より放熱量  $Q_1$  と収熱量  $Q_2$  は一致する。そこで、放熱量  $Q_1$  と収熱量  $Q_2$  との差の絶対値を閾値と比較する(ステップ S5)。

【0044】

絶対値  $|Q_1 - Q_2|$  が閾値より大きい場合には、排ガス温度  $T_{OUT}$  と蒸気温度  $t_{OUT}$  を修正する(ステップ S6)。本方法ではその後、修正された排ガス温度  $T_{OUT}$  と蒸気温度  $t_{OUT}$  を用いてステップ S2 ~ S5 を繰り返す。

10

【0045】

一方、絶対値  $|Q_1 - Q_2|$  が閾値より小さい場合には、ステップ S3 で計算された放熱量  $Q_1$  (またはステップ S4 で計算された収熱量  $Q_2$ ) を、熱交換量  $Q$  に決定する。このようにして、第2過熱器 16 の熱交換量  $Q$  を計算することができ、これにより関数  $F_{unc}$  を計算することができる。この際、制御装置 20 は、排ガス温度  $T_{IN}$  を変更して本方法を繰り返し実行することで、蒸気温度  $t_{OUT}$  が目標温度となる排ガス温度  $T_{IN}$  の目標温度を探索することができる。

【0046】

(1) 第1実施形態の制御装置 20

20

図5は、第1実施形態の制御装置 20 の構成を示す模式図である。

【0047】

制御装置 20 は、第1設定部 61 と、第2設定部 62 と、加算器 63 と、上限値設定部 64 と、余裕値設定部 65 と、減算器 66 と、選択部 67 と、第1減温器制御部 68 と、第2減温器制御部 69 とを備えている。第1および第2減温器制御部 68、69 はそれぞれ、第1および第2制御部の例である。図5は、制御装置 20 の構成要素のうち、蒸気温度の制御に関連する構成要素を示している。

【0048】

制御装置 20 は、単一のハードウェアに搭載されたコンピュータや電気回路により実現されてもよいし、複数のハードウェアに搭載されたコンピュータや電気回路により実現されてもよい。後者の場合、制御装置 20 は、ハードウェア間で相互に通信を行いながら本発電プラントを制御する。本実施形態の制御装置 20 は、単一のハードウェアにより実現されていると想定する。ただし、以下の説明は、複数のハードウェアにより実現された制御装置 20 にも適用可能である。

30

【0049】

第1設定部 61 は、温度計 45 の地点での蒸気温度  $T_3$  を調整するための設定値として、 $T_4$  負偏差許容値を保持している。温度計 45 の地点は、過熱器と下流減温器との間の第1地点の例である。蒸気温度  $T_3$  は、第1温度の例である。 $T_4$  負偏差許容値は、第1設定値の例である。

【0050】

$T_4$  負偏差許容値は、蒸気温度  $T_3$  を、蒸気温度  $T_4$  の設定値と関連して調整するための設定値である。本実施形態の  $T_4$  負偏差許容値は、10 であり、時間に応じて変化しない定数である。

40

【0051】

第2設定部 62 は、温度計 47 の地点での蒸気温度  $T_4$  を調整するための設定値として、 $T_4$  設定値を保持している。温度計 47 の地点は、下流減温器の下流の第2地点の例である。蒸気温度  $T_4$  は、第2温度の例である。 $T_4$  設定値は、第2設定値の例である。

【0052】

$T_4$  設定値は、蒸気温度  $T_4$  を調整するための設定値である。図6に示すように、本実施形態の  $T_4$  設定値は、時間に応じて変化する。

50

## 【 0 0 5 3 】

図 6 は、第 1 実施形態の  $T_4$  設定値の例を示すグラフである。

## 【 0 0 5 4 】

第 2 設定部 6 2 は、図 6 に示すような  $T_4$  設定値の時系列値を保持している。よって、第 2 設定部 6 2 から出力される  $T_4$  設定値は、時間の経過と共に変化していく。図 6 は、本発電プラントの起動時における  $T_4$  設定値の例を示している。

## 【 0 0 5 5 】

以下、図 5 を再び参照し、制御装置 2 0 の構成を説明する。

## 【 0 0 5 6 】

加算器 6 3 は、第 1 設定部 6 1 から出力された  $T_4$  負偏差許容値と、第 2 設定部 6 2 から出力された  $T_4$  設定値とを取得する。そして、加算器 6 3 は、 $T_4$  設定値に  $T_4$  負偏差許容値を加算して、 $T_3$  設定値を出力する ( $T_3$  設定値 =  $T_4$  設定値 +  $T_4$  負偏差許容値)。

10

## 【 0 0 5 7 】

上限値設定部 6 4 は、本発電プラントの蒸気温度の上限値、具体的には、蒸気温度  $T_4$  の上限値として、5 5 0 を保持している。余裕値設定部 6 5 は、この上限値の余裕値として、3 を保持している。これは、蒸気温度  $T_4$  が上限値を超えることを確実に防ぐために、蒸気温度  $T_4$  を 5 5 0 (上限値) を基準として制限する代わりに、蒸気温度  $T_4$  を 5 4 7 (上限値 - 余裕値) を基準として制限するためである。

## 【 0 0 5 8 】

減算器 6 6 は、上限値設定部 6 4 から出力された上限値と、余裕値設定部 6 5 から出力された余裕値とを取得する。そして、減算器 6 6 は、上限値から余裕値を減算して、蒸気温度  $T_4$  の修正上限値を出力する (修正上限値 = 上限値 - 余裕値)。

20

## 【 0 0 5 9 】

選択部 6 7 は、加算器 6 3 から出力された  $T_3$  設定値と、減算器 6 6 から出力された修正上限値とを取得する。そして、選択部 6 7 は、 $T_3$  設定値と修正上限値との低い方の値を出力する。これは、蒸気温度  $T_3$  が上限値を超えることを防ぐことで、蒸気温度  $T_4$  が上限値を超えることを防ぐためである。

## 【 0 0 6 0 】

なお、選択部 6 7 は、 $T_3$  設定値と修正上限値 (5 4 7 ) の低い方を出力する代わりに、 $T_3$  設定値と上限値 (5 5 0 ) の低い方を出力してもよい。すなわち、本実施形態では、余裕値 (3 ) を採用しても採用しなくてもよい。前者の修正上限値と後者の上限値は、いずれも制限値の例である。後者の場合には、余裕値設定部 6 5 と減算部 6 6 は不要である。一方、前者の場合には、上限値設定部 6 4、余裕値設定部 6 5、および減算器 6 6 は、修正上限値を保持する修正上限値保持部に置き換えてもよい。

30

## 【 0 0 6 1 】

第 1 減温器制御部 6 8 は、蒸気温度  $T_3$  が  $T_3$  設定値と修正上限値の低い方に調整されるように、第 1 減温器 1 5 を制御する。具体的には、第 1 減温器制御部 6 8 は、これらの低い方に基づいて、第 1 減温器バルブ 1 8 の開度指示値  $Z_{S1}$  を算出して出力する。これにより、第 1 減温器バルブ 1 8 の開度が開度指示値  $Z_{S1}$  に調整され、蒸気温度  $T_3$  が  $T_3$  設定値と修正上限値の低い方に近づいていく。

40

## 【 0 0 6 2 】

第 1 減温器制御部 6 8 は例えば、PID (Proportional-Integral-Derivative) 制御により第 1 減温器 1 5 を制御する。具体的には、第 1 減温器制御部 6 8 は、温度計 4 5 から蒸気温度  $T_3$  の計測値を取得し、 $T_3$  設定値と修正上限値の低い方とこの計測値との偏差を算出し、この偏差をゼロに近づけるように開度指示値  $Z_{S1}$  を設定する。

## 【 0 0 6 3 】

第 2 減温器制御部 6 9 は、蒸気温度  $T_4$  が  $T_4$  設定値に調整されるように、第 2 減温器 1 7 を制御する。具体的には、第 2 減温器制御部 6 9 は、 $T_4$  設定値に基づいて、第 2 減温器バルブ 1 9 の開度指示値  $Z_{S2}$  を算出して出力する。これにより、第 2 減温器バルブ

50

19の開度が開度指示値 $Z_{S2}$ に調整され、蒸気温度 $T_4$ が $T_4$ 設定値に近づいていく。

【0064】

第2減温器制御部69は例えば、PID制御により第2減温器17を制御する。具体的には、第1減温器制御部69は、温度計47から蒸気温度 $T_4$ の計測値を取得し、 $T_4$ 設定値とこの計測値との偏差を算出し、この偏差をゼロに近づけるように開度指示値 $Z_{S2}$ を設定する。

【0065】

なお、本実施形態の制御装置20は、定周期で動作する。制御装置20の動作周期は、例えば1秒である。この場合、開度指示値 $Z_{S1}$ 、 $Z_{S2}$ は、1秒ごとに更新される。

【0066】

ここで、第1設定部61の $T_4$ 負偏差許容値について詳細に説明する。

【0067】

温度計45は、第2減温器17の入口蒸気温度である蒸気温度 $T_3$ を計測し、温度計47は、第2減温器17の出口蒸気温度である蒸気温度 $T_4$ を計測する。蒸気温度 $T_3$ が $T_4$ 設定値よりも高い場合には、第2減温器17は、取り込んだ蒸気の温度を $T_3$ から冷却により低下させることで、蒸気温度 $T_4$ を $T_4$ 設定値に調整することができる。一方、蒸気温度 $T_3$ が $T_4$ 設定値よりも低い場合には、第2減温器17は、蒸気温度 $T_4$ を $T_4$ 設定値に調整することができない。理由は、第2減温器17は、取り込んだ蒸気の温度を $T_3$ から過熱により上昇させることはできないからである。

【0068】

この問題は、蒸気温度 $T_3$ を $T_4$ 設定値よりも高く維持することで回避可能である。そのため、本実施形態では、 $T_3$ 設定値を $T_4$ 設定値よりも高く設定するために、 $T_3$ 設定値に対する $T_4$ 設定値の偏差を負に設定している( $T_4$ 設定値 -  $T_3$ 設定値 < 0)。よって、本実施形態の $T_3$ 設定値は、 $T_4$ 設定値と $T_4$ 負偏差許容値との和に設定されている。 $(T_3$ 設定値 =  $T_4$ 設定値 +  $T_4$ 負偏差許容値)。  $T_4$ 負偏差許容値は、正の値であり、例えば10である。これにより、 $T_3$ 設定値に対する $T_4$ 設定値の偏差を定常的に負に設定することが可能となる。

【0069】

この場合、蒸気温度 $T_3$ は蒸気温度 $T_4$ よりも10高く調整される。そのため、蒸気温度 $T_4$ が上限値に到達するより前に、蒸気温度 $T_3$ が上限値に到達してしまう。そこで、本実施形態では、蒸気温度 $T_3$ を $T_3$ 設定値と上限値(詳細には、修正上限値)とに基づいて調整する。これにより、本発電プラントの蒸気温度が上限値に到達することを防ぐことが可能となる。

【0070】

(2)第1実施形態および比較例の発電プラントの動作

図7は、第1実施形態の比較例の発電プラントの動作例を示すグラフである。比較例の発電プラントは、本実施形態の発電プラントと同様の構成を有しているが、比較例の $T_4$ 負偏差許容値は、0に設定されている。

【0071】

図7は、時間 $t_1$ よりも前の期間 $R_1$ と、時間 $t_1 \sim t_2$ の期間 $R_2$ と、時間 $t_2 \sim t_3$ の期間 $R_3$ と、時間 $t_3$ よりも後の期間 $R_4$ における発電プラントの動作例を示している。

【0072】

期間 $R_1$ では、流量計53の地点でのスプレー流量 $F_{S1}$ と、流量計56の地点でのスプレー流量 $F_{S2}$ が、いずれも0に設定されている。よって、蒸気温度 $T_2$ は、蒸気温度 $T_1$ と同じ値になり、時間と共に上昇していく。同様に、蒸気温度 $T_4$ は、蒸気温度 $T_3$ と同じ値になり、時間と共に上昇していく。

【0073】

期間 $R_2$ では、スプレー流量 $F_{S1}$ は一定値に設定されている。その結果、蒸気温度 $T_2$ は、緩やかに低下または上昇している。一方、第1減温器15での蒸気温度の低下速度

10

20

30

40

50

よりも第2過熱器16での蒸気温度の上昇速度の方が速いため、蒸気温度 $T_3$ は時間と共に上昇していく。また、 $T_4$ 設定値は期間 $R_2$ の前半にて一定値(400)に維持されるため(図6参照)、スプレー流量 $F_{S2}$ は、蒸気温度 $T_4$ が400に維持されるように調整される。その後、 $T_4$ 設定値は期間 $R_2$ の後半にて400から緩やかに上昇するため(図6参照)、スプレー流量 $F_{S2}$ は時間と共に低下していき、蒸気温度 $T_4$ は時間と共に上昇していく。

#### 【0074】

期間 $R_2$ の後半に蒸気温度 $T_4$ が蒸気温度 $T_3$ よりも急峻に上昇することで、期間 $R_3$ では、蒸気温度 $T_4$ が蒸気温度 $T_3$ に到達している(矢印 $A_1$ )。これは、比較例の $T_4$ 負偏差許容値が0に設定され、 $T_3$ 設定値が $T_4$ 設定値と等しいことに起因する。この場合、蒸気温度 $T_3$ と蒸気温度 $T_4$ は共に $T_4$ 設定値に近づくように調整されるため、蒸気温度 $T_3$ が $T_4$ 設定値よりも低くなる場合がある。この場合、第2減温器17は、取り込んだ蒸気の温度を上昇させることができないため、蒸気温度 $T_4$ を $T_4$ 設定値に調整することができない。よって、蒸気温度 $T_4$ は蒸気温度 $T_3$ を超えることができない。(矢印 $A_1$ )。その結果、期間 $R_3$ では蒸気温度 $T_4$ と $T_4$ 設定値との間に乖離が発生する。

10

#### 【0075】

期間 $R_4$ では、蒸気温度 $T_3$ が修正上限値(547)に到達している。その結果、蒸気温度 $T_3$ は547に維持され、蒸気温度 $T_4$ も547に維持されている。スプレー流量 $F_{S1}$ は、蒸気温度 $T_3$ を547に維持するように調整される。一方、蒸気温度 $T_3$ と蒸気温度 $T_4$ は共に547に調整されるため、スプレー流量 $F_{S2}$ はおおむね0に維持される。スプレー流量 $F_{S2}$ は、蒸気温度 $T_4$ が547よりも高くなった場合だけ0から増加する。

20

#### 【0076】

図8は、第1実施形態の発電プラントの動作例を示すグラフである。比較例の $T_4$ 負偏差許容値は0に設定されているのに対し、本実施形態の $T_4$ 負偏差許容値は10に設定されている。

#### 【0077】

期間 $R_1$ では、スプレー流量 $F_{S1}$ 、 $F_{S2}$ が0に設定されている。よって、蒸気温度 $T_2$ は、蒸気温度 $T_1$ と同じ値になり、時間と共に上昇していく。同様に、蒸気温度 $T_4$ は、蒸気温度 $T_3$ と同じ値になり、時間と共に上昇していく。

30

#### 【0078】

期間 $R_2$ では、スプレー流量 $F_{S1}$ は当初、一定値に設定されている(矢印 $B_1$ )。その結果、蒸気温度 $T_2$ は、緩やかに低下または上昇している。一方、第1減温器15での蒸気温度の低下速度よりも第2過熱器16での蒸気温度の上昇速度の方が速いため、蒸気温度 $T_3$ は時間と共に上昇していく。また、 $T_4$ 設定値は期間 $R_2$ の前半にて一定値(400)に維持されるため(図6参照)、スプレー流量 $F_{S2}$ は、蒸気温度 $T_4$ が400に維持されるように調整される。その後、 $T_4$ 設定値は期間 $R_2$ の後半にて400から緩やかに上昇するため(図6参照)、蒸気温度 $T_4$ は時間と共に上昇していく。

#### 【0079】

ただし、本実施形態の $T_4$ 負偏差許容値は10に設定されており、 $T_3$ 設定値が $T_4$ 設定値よりも高い。その結果、期間 $R_2$ の後半に蒸気温度 $T_4$ が上昇しても、期間 $R_3$ に蒸気温度 $T_4$ が蒸気温度 $T_3$ に到達していない(矢印 $A_2$ )。よって、本実施形態の第2減温器17は、期間 $R_3$ にて蒸気温度 $T_4$ を $T_4$ 設定値に調整することができ、蒸気温度 $T_4$ と $T_4$ 設定値との間に乖離が発生することを抑制することができる。期間 $R_2$ 、 $R_3$ において、スプレー流量 $F_{S1}$ は、蒸気温度 $T_3$ が $T_3$ 設定値(= $T_4$ 設定値+ $T_4$ 負偏差許容値)に近づくように調整される(矢印 $B_2$ 、 $B_3$ )。同様に、スプレー流量 $F_{S2}$ は、蒸気温度 $T_4$ が $T_4$ 設定値に近づくように調整される。

40

#### 【0080】

本実施形態のスプレー流量 $F_{S2}$ は、時間 $t_1 \sim t_3$ の間に0に到達していないことに留意されたい。これは、時間 $t_1 \sim t_3$ の間、第2減温器17が蒸気温度 $T_4$ を $T_4$ 設定

50

値に調整し続けていることを意味する。

【0081】

期間  $R_4$  では、期間  $R_3$  にて蒸気温度  $T_3$  が  $547$  に到達した後、蒸気温度  $T_4$  が  $547$  に到達している。その結果、蒸気温度  $T_3$  は  $547$  に維持され、蒸気温度  $T_4$  も  $547$  に維持されている。スプレー流量  $F_{S1}$  は、蒸気温度  $T_3$  を  $547$  に維持するように調整される。一方、蒸気温度  $T_3$  と蒸気温度  $T_4$  は共に  $547$  に調整されるため、スプレー流量  $F_{S2}$  はおおむね  $0$  に維持される。スプレー流量  $F_{S2}$  は、蒸気温度  $T_4$  が  $547$  よりも高くなった場合だけ  $0$  から増加する。

【0082】

(3) 第1実施形態の変形例

図9は、第1実施形態の変形例の発電プラントの構成を示す模式図である。

【0083】

本変形例の蒸気タービン25は、高圧タービン25aと低圧タービン25bにより構成されている。高圧タービン25aは、蒸気の流れに対し、第2減温器17の下流に設けられている。低圧タービン25bは、蒸気の流れに対し、高圧タービン25aの下流に設けられている。高圧、低圧タービン25a、25bはそれぞれ、第1、第2蒸気タービンの例である。

【0084】

本変形例の発電プラントは、図1に示す構成要素に加え、第3過熱器101と、第3減温器102と、第4過熱器103と、第4減温器104と、第3減温器バルブ105と、第4減温器バルブ106とを備えている。第3減温器102、第4過熱器103、第4減温器104、第3減温器バルブ105、および第4減温器バルブ106はそれぞれ、上流減温器、過熱器、下流減温器、第1弁、および第2弁の例である。

【0085】

第3および第4過熱器101、103は、第1および第2過熱器14、16と同様に、排熱回収ボイラ5内に設けられている。第3および第4過熱器101、103は、高圧タービン25aから低圧タービン25bに供給される蒸気を排ガスの熱により再熱する再熱器である。

【0086】

本発電プラントは更に、高圧タービン25aと第3過熱器101との間の蒸气流路  $L_A$  と、第3過熱器101と第3減温器102との間の蒸气流路  $L_B$  と、第3減温器102と第4過熱器103との間の蒸气流路  $L_C$  と、第4過熱器103と第4減温器104との間の蒸气流路  $L_D$  と、第4減温器104と低圧タービン25bとの間の蒸气流路  $L_E$  とを備えている。

【0087】

本発電プラントは更に、蒸气流路  $L_A$  に設けられた流量計111と、蒸气流路  $L_B$  に設けられた温度計112と、蒸气流路  $L_C$  に設けられた温度計113と、蒸气流路  $L_D$  に設けられた温度計114と、蒸气流路  $L_E$  に設けられた圧力計115、温度計116、および流量計117とを備えている。

【0088】

本発電プラントは更に、第3減温器バルブ105を介して第3減温器102に水を搬送する水流路に設けられた圧力計121、温度計122、および流量計123と、第4減温器バルブ106を介して第4減温器104に水を搬送する水流路に設けられた圧力計124、温度計125、および流量計126とを備えている。

【0089】

第2減温器17から排出された蒸気は、主蒸気配管21を介して高圧タービン25aに送られる。高圧タービン25aは、この蒸気により回転駆動されることで、蒸気タービンロータを回転させる。また、高圧タービン25aから排出された蒸気は、蒸気配管  $L_A \sim L_E$  を介して低圧タービン25bに送られる。低圧タービン25bは、この蒸気により回転駆動されることで、蒸気タービンロータを高圧タービン25aと共に回転させる。第2

10

20

30

40

50

発電機 26 は、蒸気タービンロータの回転を利用して発電を行う。

【0090】

バイパス蒸気配管 23 は、蒸気タービン 25 の上流で主蒸気配管 21 から分岐し、蒸気流路  $L_A$  に合流している。よって、主蒸気弁 22 とバイパス蒸気弁 24 とが開いている場合、低圧タービン 25 b は、高圧タービン 25 a を通過した蒸気と、高圧タービン 25 a をバイパスした蒸気により回転駆動される。

【0091】

蒸気流路  $L_A$  の蒸気は、排熱回収ボイラ 5 内の第 3 過熱器 101 に送られ、第 1 過熱器 101 で過熱された後、蒸気流路  $L_B$  を介して第 3 減温器 102 に送られ、第 3 減温器 102 で冷却される。第 3 減温器 102 は、第 3 減温器バルブ 105 からの水により蒸気を冷却する。第 3 減温器 102 で冷却された蒸気は、蒸気流路  $L_C$  を介して排熱回収ボイラ 5 内の第 4 過熱器 103 に送られ、第 4 過熱器 103 で再び過熱された後、蒸気流路  $L_D$  を介して第 4 減温器 104 に送られ、第 4 減温器 104 で再び冷却される。第 4 減温器 104 は、第 4 減温器バルブ 106 からの水により蒸気を冷却する。第 4 減温器 104 で冷却された蒸気は、蒸気流路  $L_E$  を介して低圧タービン 25 b に送られる。

10

【0092】

蒸気流路  $L_A \sim L_E$  を流れる蒸気の状態は、制御装置 20 により制御される。例えば、制御装置 20 は、第 3 減温器バルブ 105 の開度を調整して、第 3 減温器 102 でのスプレー水の流量を調整することで、第 4 過熱器 103 の出口蒸気温度を設定値に制御することができる。さらに、制御装置 20 は、第 4 減温器バルブ 106 の開度を調整して、第 4 減温器 104 でのスプレー水の流量を調整することで、第 4 減温器 104 の出口蒸気温度を設定値に制御することができる。これは、第 1 および第 2 減温器 15、17 の制御と同様である。

20

【0093】

なお、本実施形態の第 4 過熱器 103 は、蒸気の流れに対し、排熱回収ボイラ 5 の最終段に位置する過熱器である。また、第 3 減温器 102 は、蒸気の流れに対し第 4 過熱器 103 の前段に位置しており、第 4 減温器 104 は、蒸気の流れに対し第 4 過熱器 103 の後段に位置している。

【0094】

図 2 ~ 図 8 の説明は、本変形例の第 1、第 2 過熱器 14、16 および第 1、第 2 減温器 15、17 にも適用可能である。また、図 2 ~ 図 8 の説明は、第 1、第 2 過熱器 14、16 および第 1、第 2 減温器 15、17 を第 3、第 4 過熱器 101、103 および第 3、第 4 減温器 102、104 に置き換えることで、本変形例の第 3、第 4 過熱器 101、103 および第 3、第 4 減温器 102、104 にも適用可能である。

30

【0095】

この場合、図 2 ~ 図 8 の説明において、符号 42 ~ 48 で示す流量計、温度計、圧力計は、符号 111 ~ 117 で示す流量計、温度計、圧力計に置き換えられる。また、符号 51 ~ 56 で示す流量計、温度計、圧力計は、符号 121 ~ 126 で示す流量計、温度計、圧力計に置き換えられる。また、図 5 の  $T_4$  負偏差許容値、 $T_4$  設定値、第 1 減温器バルブ 18 の開度指示値  $Z_{S1}$ 、第 2 減温器バルブ 19 の開度指示値  $Z_{S2}$  は、 $T_8$  負偏差許容値、 $T_8$  設定値、第 3 減温器バルブ 105 の開度指示値  $Z_{S3}$ 、第 4 減温器バルブ 106 の開度指示値  $Z_{S4}$  に置き換えられる。この場合、蒸気温度  $T_7$  や蒸気温度  $T_8$  を、蒸気温度  $T_3$  や蒸気温度  $T_4$  と同様に適切に制御することが可能となる。

40

【0096】

以上のように、本実施形態の発電プラントは、第 2 過熱器 16 の前段および後段に第 1 および第 2 減温器 15、17 を備え、これら 2 つの減温器により蒸気温度  $T_4$  を  $T_4$  設定値に制御する。よって、本実施形態によれば、1 つの減温器により蒸気温度  $T_4$  を制御する場合に比べて、蒸気温度  $T_4$  を高精度に制御することや、発電プラントを短時間で起動することが可能となる。

【0097】

50

また、本実施形態の発電プラントは、蒸気温度 $T_3$ が $T_4$ 設定値よりも $T_4$ 負偏差許容値だけ高く調整されるように、第1減温器15を制御し、蒸気温度 $T_4$ が $T_4$ 設定値に調整されるように、第2減温器17を制御する。よって、本実施形態によれば、蒸気温度 $T_3$ が $T_4$ 設定値よりも低くなって第2減温器17が蒸気温度 $T_4$ を調整不能になる事態を抑制することが可能となる。よって、本実施形態によれば、蒸気温度 $T_4$ を安定的に制御することが可能となる。

【0098】

(第2実施形態)

図10は、第2実施形態の発電プラントの構成を示す模式図である。

【0099】

図10の発電プラントは、図1に示す構成要素に加え、バイパス流路 $L_5 \sim L_7$ を備えている。蒸气流路 $L_1 \sim L_4$ は、ドラム11からの蒸気を第1、第2過熱器14、16および第1、第2減温器15、17を介して搬送するのに対し、バイパス流路 $L_5 \sim L_7$ は、ドラム11からの蒸気を蒸气流路 $L_1 \sim L_4$ の少なくとも一部をバイパスして搬送する。

10

【0100】

具体的には、バイパス流路 $L_5$ は、流量計42の上流の地点において、蒸气流路 $L_1$ から分岐している。バイパス流路 $L_6$ 、 $L_7$ は、バイパス流路 $L_5$ から分岐している。バイパス流路 $L_6$ は、バイパス流路 $L_5$ からの蒸気を、蒸气流路 $L_2$ との合流地点 $C_1$ に供給する。バイパス流路 $L_7$ は、バイパス流路 $L_5$ からの蒸気を、蒸气流路 $L_4$ との合流地点 $C_2$ に供給する。

20

【0101】

本発電プラントはさらに、蒸气流路 $L_2$ に設けられた温度計43'と、蒸气流路 $L_4$ に設けられた温度計45'とを備えている。温度計43が、合流地点 $C_1$ の上流に位置するのに対し、温度計43'は、合流地点 $C_1$ の下流に位置している。同様に、温度計45が、合流地点 $C_2$ の上流に位置するのに対し、温度計45'は、合流地点 $C_2$ の下流に位置している。

【0102】

本発電プラントはさらに、バイパス流路 $L_6$ に設けられた第1バイパス弁71および第1バイパス流量計73と、バイパス流路 $L_7$ に設けられた第2バイパス弁72および第2バイパス流量計74とを備えている。

30

【0103】

本発電プラントは、蒸气流路 $L_2$ からの蒸気を第1減温器15により冷却することができ、蒸气流路 $L_4$ からの蒸気を第2減温器17により冷却することができる。また、本発電プラントは、蒸气流路 $L_2$ の蒸気をバイパス流路 $L_6$ からの蒸気により冷却することができ、蒸气流路 $L_4$ の蒸気をバイパス流路 $L_7$ からの蒸気により冷却することができる。

【0104】

この際、合流地点 $C_1$ の下流の蒸気温度は、合流地点 $C_1$ の上流の蒸気と、バイパス流路 $L_6$ の蒸気との流量比率により制御可能である。合流地点 $C_1$ の下流の蒸気温度の上限は、合流地点 $C_1$ の上流の蒸気温度となり、合流地点 $C_1$ の下流の蒸気温度の下限は、バイパス流路 $L_6$ の蒸気温度となる。これは、合流地点 $C_2$ でも同様である。

40

【0105】

図11は、第2実施形態の発電プラントの動作を説明するためのグラフである。

【0106】

図11の横軸は、蒸气流路上の各地点とドラム11との距離を示す。図11の縦軸は、蒸气流路を流れる蒸気の温度を示す。符号 $T_1$ 、 $T_1'$ は、蒸气流路 $L_2$ を流れる蒸気の温度を示しており、温度計43、43'により計測される。符号 $T_1$ は、 $T_1$ と $T_1'$ との温度差を示す( $T_1 = T_1 - T_1'$ )。符号 $T_2$ は、蒸气流路 $L_3$ を流れる蒸気の温度を示しており、温度計44により計測される。符号 $T_3$ 、 $T_3'$ は、蒸气流路 $L_4$ を流れる蒸気の温度を示しており、温度計45、45'により計測される。符号 $T_3$ は、

50

$T_3$  と  $T_3'$  との温度差を示す ( $T_3 = T_3 - T_3'$ )。符号  $T_4$  は、主蒸気配管 21 を流れる蒸気の温度を示しており、温度計 47 により計測される。図 11 は、これらの温度計 43、43'、44、45、45'、47 による蒸気温度  $T_1 \sim T_4$  の計測値を示している。

【0107】

以下、蒸気温度  $T_1 \sim T_4$  の計算方法を説明する。

【0108】

合流地点  $C_1$  と第 1 減温器 15 との間の地点での蒸気温度  $T_1'$  は、次の式 (12) で与えられる。

$$T_1' = (T F_{B1} + T_1 F_{T1}) / (F_{B1} + F_{T1}) \cdots (12) \quad 10$$

ただし、 $T$  は、バイパス流路  $L_5 \sim L_7$  を流れる蒸気の温度を表す。ここでの  $T$  は、圧力計 41 の地点の蒸気の圧力 (ドラム圧力) が飽和蒸気圧力であるとして計算された飽和蒸気温度である。 $T_1$ 、 $F_{T1}$  は、温度計 43 の地点を流れる蒸気の温度、流量を表す。 $F_{T1}$  は、流量計 42 の地点を流れる蒸気の流量  $F_1$  に等しい。 $T_1'$  は、温度計 43' の地点を流れる蒸気の温度を表す。 $F_{B1}$  は、第 1 バイパス流量計 73 の地点を流れる蒸気の流量を表す。

【0109】

第 1 減温器 15 の出口蒸気温度かつ第 2 過熱器 16 の入口蒸気温度である蒸気温度  $T_2$  は、式 (1) および (2) と同様に、次の式 (13) ~ (15) で与えられる。

$$T_2 = HPT(H_{T2}, P_{T2}) \cdots (13) \quad 20$$

$$H_{T2} = \{ F_{S1} \times TPH(T_{S1}, P_{S1}) + F_{T1}' \times TPH(T_1', P_{T1}') \} / (F_{T1}' + F_{S1}) \cdots (14)$$

$$F_{T1}' = F_{T1} + F_{B1} \cdots (15)$$

ただし、 $T_1'$ 、 $P_{T1}'$ 、 $F_{T1}'$  は、温度計 43' の地点を流れる蒸気の温度、圧力、流量を表す。 $T_2$ 、 $P_{T2}$ 、 $H_{T2}$  は、温度計 44 の地点を流れる蒸気の温度、圧力、エンタルピを表す。 $P_{S1}$ 、 $T_{S1}$ 、 $F_{S1}$  はそれぞれ、圧力計 51、温度計 52、流量計 53 の地点を流れるスプレー水の圧力、温度、流量を表す。

【0110】

第 2 過熱器 16 の出口蒸気温度かつ第 2 減温器 17 の入口蒸気温度である蒸気温度  $T_3$  は、式 (3) および (4) と同様に、次の式 (16) および (17) で与えられる。 30

$$T_3 = \text{Func}(T_G, F_G, T_2, F_{T2}) \cdots (16)$$

$$F_{T2} = F_{T1}' + F_{S1} \cdots (17)$$

ただし、 $T_2$ 、 $F_{T2}$  は、温度計 44 の地点を流れる蒸気の温度と流量を表す。 $T_3$  は、温度計 45 の地点を流れる蒸気の温度を表す。 $T_G$ 、 $F_G$  はそれぞれ、温度計 31、流量計 32 の地点を流れる排ガスの温度と流量を表す。

【0111】

合流地点  $C_2$  と第 2 減温器 17 との間の地点での蒸気温度  $T_3'$  は、次の式 (18) および (19) で与えられる。

$$T_3' = (T F_{B2} + T_3 F_{T3}) / (F_{B2} + F_{T3}) \cdots (18) \quad 40$$

$$F_{T3} = F_{T2} \cdots (19)$$

ただし、 $T_3$ 、 $F_{T3}$  は、温度計 45 の地点を流れる蒸気の温度、流量を表す。 $T_3'$  は、温度計 45' の地点を流れる蒸気の温度を表す。 $F_{B2}$  は、第 2 バイパス流量計 74 の地点を流れる蒸気の流量を表す。

【0112】

第 2 減温器 17 の出口蒸気温度である蒸気温度  $T_4$  は、式 (5) ~ (7) と同様に、次の式 (20) ~ (22) で与えられる。

$$T_4 = HPT(H_{T4}, P_{T4}) \cdots (20)$$

$$H_{T4} = \{ F_{S2} \times TPH(T_{S2}, P_{S2}) + F_{T3}' \times TPH(T_3', P_{T3}') \} \quad 50$$



$$/ (F_{T3'} + F_{S2}) \cdots (21)$$

$$F_{T3'} = F_{T3} + F_{B2} \cdots (22)$$

ただし、 $T_{3'}$ 、 $P_{T3'}$ 、 $F_{T3'}$ は、温度計45'の地点を流れる蒸気の温度、圧力、流量を表す。 $T_4$ 、 $P_{T4}$ 、 $H_{T4}$ は、温度計47の地点を流れる蒸気の温度、圧力、エンタルピを表す。 $P_{T4}$ は、圧力計46の地点を流れる蒸気の圧力 $P_2$ に等しい。 $P_{S2}$ 、 $T_{S2}$ 、 $F_{S2}$ はそれぞれ、圧力計54、温度計55、流量計56の地点を流れるスプレー水の圧力、温度、流量を表す。

#### 【0113】

なお、式(12)～(22)では、蒸気流路とバイパス流路における圧力損失はほぼゼロであると仮定している。制御装置20は、温度計43～45'等から取得した計測値を式(12)～(22)の右辺に代入することで、式(12)～(22)の左辺の値を計算することができる。上記の圧力損失や温度計43～45'等の計測誤差が小さい場合、これらの式から蒸気温度 $T_{1'}$ ～ $T_4$ の値を精度よく計算することができる。

10

#### 【0114】

(1)第2実施形態の制御装置20

図12は、第2実施形態の制御装置20の構成を示す模式図である。

#### 【0115】

制御装置20は、図5に示す構成要素に加え、第1バイパス設定部81と、第2バイパス設定部82と、第1バイパス制御部83と、第2バイパス制御部84と、減算器85とを備えている。第1および第2バイパス設定部81、82は、第3設定部の例である。第1および第2バイパス制御部83、84は、第3制御部の例である。

20

#### 【0116】

第1バイパス設定部81は、温度差 $T_1$ を調整するための設定値として、 $T_1$ 設定値を保持している。温度差 $T_1$ は、温度計43の地点での蒸気温度 $T_1$ と、温度計43'の地点での蒸気温度 $T_{1'}$ との差を表す( $T_1 = T_1 - T_{1'}$ )。温度計43の地点と温度計43'の地点は、上流減温器の上流の第3地点と第4地点の例である。蒸気温度 $T_1$ と蒸気温度 $T_{1'}$ は、第3温度と第4温度の例である。本実施形態の $T_1$ 設定値は、時間に応じて変化しない定数であり、例えば5に設定されている。 $T_1$ 設定値は、第3設定値の例である。

30

#### 【0117】

第1バイパス流量計73の地点での蒸気流量である第1バイパス流量 $F_{B1}$ は、この温度差 $T_1$ により次の式(23)で与えられる。

$$F_{B1} = T_1 F_{T1} / (T_1 - T_{1'} - T) \cdots (23)$$

式(23)は、式(12)に $T_1$ を代入することで導出される。式(23)の $T_1$ に $T_1$ 設定値を代入すると、平衡点における第1バイパス流量 $F_{B1}$ が算出される。

#### 【0118】

第2バイパス設定部82は、温度差 $T_3$ を調整するための設定値として、 $T_3$ 設定値を保持している。温度差 $T_3$ は、温度計45の地点での蒸気温度 $T_3$ と、温度計45'の地点での蒸気温度 $T_{3'}$ との差を表す( $T_3 = T_3 - T_{3'}$ )。温度計45の地点と温度計45'の地点は、過熱器と下流減温器との間の第3地点と第4地点の例である。蒸気温度 $T_3$ と蒸気温度 $T_{3'}$ は、第3温度と第4温度の例である。本実施形態の $T_3$ 設定値は、時間に応じて変化しない定数であり、例えば20に設定されている。 $T_3$ 設定値は、第3設定値の例である。

40

#### 【0119】

第2バイパス流量計74の地点での蒸気流量である第2バイパス流量 $F_{B2}$ は、この温度差 $T_2$ により次の式(24)で与えられる。

$$F_{B2} = T_3 F_{T3} / (T_3 - T_{3'} - T) \cdots (24)$$

式(24)は、式(18)に $T_3$ を代入することで導出される。式(24)の $T_3$ に $T_3$ 設定値を代入すると、平衡点における第2バイパス流量 $F_{B2}$ が算出される。

#### 【0120】

50

第1バイパス制御部83は、温度差 $T_1$ が $T_1$ 設定値に調整されるように、第1バイパス弁71を制御する。具体的には、第1バイパス制御部83は、式(23)に $T_1$ 設定値を代入することにより第1バイパス流量 $F_{B1}$ を算出し、第1バイパス流量 $F_{B1}$ から第1バイパス弁71の開度指示値 $Z_{B1}$ を算出して出力する。これにより、第1バイパス弁71の開度が開度指示値 $Z_{B1}$ に調整され、第1バイパス流量 $F_{B1}$ が平衡点に達し、温度差 $T_1$ が $T_1$ 設定値に近づいていく。

【0121】

しかしながら、第1バイパス流量 $F_{B1}$ が平衡点に達するとは限らないことや、温度計43、43'等に計測誤差があることから、上記の制御により温度差 $T_1$ が $T_1$ 設定値にならない場合がある。そこで、第1バイパス制御部83は、蒸気温度 $T_1'$ の計測値と設定値との偏差を用いたPID制御を行い、 $T_1$ 設定値から算出された第1バイパス流量 $F_{B1}$ にPID制御の操作量を加算することで、第1バイパス流量 $F_{B1}$ を補正する。これにより、温度差 $T_1$ を $T_1$ 設定値に精度よく調整することができる。

10

【0122】

第2バイパス制御部84は、温度差 $T_3$ が $T_3$ 設定値に調整されるように、第2バイパス弁72を制御する。具体的には、第2バイパス制御部84は、式(24)に $T_3$ 設定値を代入することにより第2バイパス流量 $F_{B2}$ を算出し、第2バイパス流量 $F_{B2}$ から第2バイパス弁72の開度指示値 $Z_{B2}$ を算出して出力する。これにより、第2バイパス弁72の開度が開度指示値 $Z_{B2}$ に調整され、第2バイパス流量 $F_{B2}$ が平衡点に達し、温度差 $T_3$ が $T_3$ 設定値に近づいていく。

20

【0123】

しかしながら、第2バイパス流量 $F_{B2}$ が平衡点に達するとは限らないことや、温度計45、45'等に計測誤差があることから、上記の制御により温度差 $T_3$ が $T_3$ 設定値にならない場合がある。そこで、第2バイパス制御部84は、蒸気温度 $T_3'$ の計測値と設定値との偏差を用いたPID制御を行い、 $T_3$ 設定値から算出された第2バイパス流量 $F_{B2}$ にPID制御の操作量を加算することで、第2バイパス流量 $F_{B2}$ を補正する。これにより、温度差 $T_3$ を $T_3$ 設定値に精度よく調整することができる。

【0124】

図12の第1設定部61、第2設定部62、加算器63、上限値設定部64、余裕値設定部65、減算器66、選択部67、第1減温器制御部68、第2減温器制御部69の動作は、図5の場合と同様である。

30

【0125】

ただし、本実施形態の $T_4$ 負偏差許容値は、第1実施形態と同様、 $T_3$ 設定値と $T_4$ 設定値との差であるのに対し( $T_4$ 負偏差許容値 =  $T_3$ 設定値 -  $T_4$ 設定値)、本実施形態の第2減温器17の入口蒸気温度は、蒸気温度 $T_3$ ではなく蒸気温度 $T_3'$ である。

【0126】

よって、本実施形態の制御装置20では、加算器63が、 $T_4$ 設定値に $T_4$ 負偏差許容値を加算して $T_3$ 設定値を出力した後、減算器85が、 $T_3$ 設定値から $T_3$ 設定値を減算して $T_3'$ 設定値を出力する( $T_3'$ 設定値 =  $T_3$ 設定値 -  $T_3$ 設定値)。また、選択部67は、 $T_3'$ 設定値と修正上限値との低い方の値を出力する。また、第1減温器制御部68は、蒸気温度 $T_3'$ が $T_3'$ 設定値と修正上限値の低い方に調整されるように、第1減温器15を制御する。これにより、蒸気温度 $T_3'$ が $T_3'$ 設定値と修正上限値の低い方に近づいていき、さらには、蒸気温度 $T_3$ が $T_3$ 設定値と「修正上限値 +  $T_3$ 設定値」の低い方に近づいていく。

40

【0127】

上述のように、 $T_3$ 設定値は「 $T_4$ 負偏差許容値 +  $T_4$ 設定値」で与えられ、 $T_3'$ 設定値は「 $T_4$ 負偏差許容値 +  $T_4$ 設定値 -  $T_3$ 設定値」で与えられる。 $T_4$ 負偏差許容値、 $T_4$ 設定値、 $T_3$ 設定値はそれぞれ、第1、第2、第3設定値の例である。本実施形態では、蒸気温度 $T_3$ は、第2設定値よりも第1設定値だけ高く調整され、蒸気温度 $T_3'$ は、第2設定値よりも第1設定値と第3設定値との差分値だけ高く調整される。蒸気

50

温度  $T_3$  は第 1 および第 3 温度の例であり、蒸気温度  $T_3'$  は第 4 温度の例であり、蒸気温度  $T_4$  は第 2 温度の例である。

【0128】

図 13 は、第 2 実施形態の第 1 バイパス制御部 83 の構成を示す模式図である。

【0129】

第 1 バイパス制御部 83 は、バイパス蒸気温度算出部（以下「温度算出部」と呼ぶ）91 と、バイパス蒸気流量算出部（以下「流量算出部」と呼ぶ）92 と、減算器 93 と、PID 制御部 94 と、加算器 95 と、弁開度算出部（以下「開度算出部」と呼ぶ）96 とを備えている。

【0130】

温度算出部 91 は、圧力計 41 のドラム圧力  $P_D$  が飽和蒸気圧力であるとして飽和蒸気温度を算出し、バイパス流路  $L_5 \sim L_7$  の蒸気温度  $T$  として飽和蒸気温度を出力する。

【0131】

流量算出部 92 は、温度算出部 91 からの蒸気温度  $T$  と、第 1 バイパス設定部 81 からの  $T_1$  設定値と、温度計 43 からの蒸気温度  $T_1$  と、流量計 42 からの蒸気流量  $F_1$  ( $= F_{T1}$ ) とを式 (23) に代入して、第 1 バイパス流量  $F_{B1}$  を算出する。

【0132】

減算器 93 は、温度計 43 により計測された蒸気温度  $T_1$  から  $T_1$  設定値を減算して、PID 制御用に蒸気温度  $T_1'$  の設定値を出力する。

【0133】

PID 制御部 94 は、蒸気温度  $T_1'$  の計測値を温度計 43 から取得し、蒸気温度  $T_1'$  の設定値を減算器 93 から取得し、これら計測値と設定値との偏差を用いた PID 制御を行う。具体的には、PID 制御部 94 は、この偏差をゼロに近づけるように第 1 バイパス流量  $F_{B1}$  の補正量を設定する。

【0134】

加算器 95 は、流量算出部 92 により算出された第 1 バイパス流量  $F_{B1}$  にこの補正量を加算し、補正された第 1 バイパス流量  $F_{B1}$  を出力する。

【0135】

開度算出部 96 は、補正された第 1 バイパス流量  $F_{B1}$  に基づいて、第 1 バイパス弁 71 の開度指示値  $Z_{B1}$  を算出して出力する。開度算出部 96 は例えば、第 1 バイパス弁 71 の CV 特性を用いて、補正された第 1 バイパス流量  $F_{B1}$  を開度指示値  $Z_{B1}$  に変換する。

【0136】

第 2 バイパス制御部 84 の構成は、第 1 バイパス制御部 83 の構成と同様である。この場合、式 (23) は式 (24) に置き換えられ、蒸気流量  $F_1$  ( $= F_{T1}$ )、蒸気温度  $T_1$  および  $T_1'$ 、 $T_1$  設定値はそれぞれ、蒸気流量  $F_{T3}$ 、蒸気温度  $T_3$  および  $T_3'$ 、 $T_3$  設定値に置き換えられる。式 (15)、(17)、(19) に示すように、蒸気流量  $F_{T3}$  は、流量計 42 からの蒸気流量  $F_1$  と、第 1 バイパス流量計 73 からの蒸気流量  $F_{B1}$  と、流量計 53 からの蒸気流量  $F_{S1}$  とを用いて算出可能である ( $F_{T3} = F_1 + F_{B1} + F_{S1}$ )。

【0137】

(2) 第 2 実施形態の発電プラントの動作

図 14 は、第 2 実施形態の発電プラントの動作例を示すグラフである。本実施形態において、 $T_4$  負偏差許容値、 $T_1$  設定値、 $T_3$  設定値はそれぞれ、30、5、20 に設定されている。

【0138】

期間  $R_1$  では、スプレー流量  $F_{S1}$ 、 $F_{S2}$  が 0 に設定され、バイパス流量  $F_{B1}$ 、 $F_{B2}$  も 0 に設定されている。よって、蒸気温度  $T_2$  は、蒸気温度  $T_1$ 、 $T_1'$  と同じ値になり、時間と共に上昇していく。同様に、蒸気温度  $T_4$  は、蒸気温度  $T_3$ 、 $T_3'$  と同じ値になり、時間と共に上昇していく。

10

20

30

40

50

## 【0139】

期間 $R_2$ では、スプレー流量 $F_{S1}$ は当初、一定値に設定されている（矢印 $B_1$ ）。また、期間 $R_2$ およびそれ以降の期間では、バイパス流量 $F_{B1}$ 、 $F_{B2}$ はそれぞれ、温度差 $T_1$ 、 $T_3$ を $T_1$ 、 $T_3$ 設定値に調整するように設定される。その結果、蒸気温度 $T_2$ は、緩やかに低下または上昇している。一方、第1減温器15と合流地点 $C_2$ での蒸気温度の低下速度よりも第2過熱器16での蒸気温度の上昇速度の方が速いため、蒸気温度 $T_3'$ は時間と共に上昇していく。また、 $T_4$ 設定値は期間 $R_2$ の前半にて一定値（400）に維持されるため（図6参照）、スプレー流量 $F_{S2}$ は、蒸気温度 $T_4$ が400に維持されるように調整される。その後、 $T_4$ 設定値は期間 $R_2$ の後半にて400から緩やかに上昇するため（図6参照）、蒸気温度 $T_4$ は時間と共に上昇していく。

10

## 【0140】

ただし、本実施形態の $T_4$ 負偏差許容値、 $T_3$ 設定値はそれぞれ30、20に設定され、 $T_3'$ 設定値が $T_4$ 設定値に比べて10だけ高い。その結果、期間 $R_2$ の後半に蒸気温度 $T_4$ が上昇しても、期間 $R_3$ に蒸気温度 $T_4$ が蒸気温度 $T_3'$ に到達していない（矢印 $A_3$ ）。よって、本実施形態の第2減温器17は、期間 $R_3$ にて蒸気温度 $T_4$ を $T_4$ 設定値に調整することができ、蒸気温度 $T_4$ と $T_4$ 設定値との間に乖離が発生することを抑制することができる。期間 $R_2$ 、 $R_3$ において、スプレー流量 $F_{S1}$ は、蒸気温度 $T_3'$ が $T_3'$ 設定値（= $T_4$ 設定値+ $T_4$ 負偏差許容値- $T_3$ 設定値）に近づくように調整される（矢印 $B_2$ 、 $B_3$ ）。同様に、スプレー流量 $F_{S2}$ は、蒸気温度 $T_4$ が $T_4$ 設定値に近づくように調整される。

20

## 【0141】

期間 $R_4$ では、期間 $R_3$ にて蒸気温度 $T_3'$ が547に到達した後、蒸気温度 $T_4$ が547に到達している。その結果、蒸気温度 $T_3'$ は547に維持され、蒸気温度 $T_4$ も547に維持されている。スプレー流量 $F_{S1}$ は、蒸気温度 $T_3'$ を547に維持するように調整される。一方、蒸気温度 $T_3'$ と蒸気温度 $T_4$ は共に547に調整されるため、スプレー流量 $F_{S2}$ はおおむね0に維持される。スプレー流量 $F_{S2}$ は、蒸気温度 $T_4$ が547よりも高くなった場合だけ0から増加する。

## 【0142】

（3）第2実施形態の変形例

図15は、第2実施形態の変形例の発電プラントの構成を示す模式図である。

30

## 【0143】

本変形例の蒸気タービン25は、第1実施形態の変形例の蒸気タービン25（図9）と同様に、高圧タービン25aと低圧タービン25bにより構成されている。

## 【0144】

本変形例の発電プラントは、図9と図10に示す構成要素に加え、バイパス流路 $L_F \sim L_H$ を備えている。蒸気流路 $L_A \sim L_E$ は、高圧タービン25aからの蒸気を第3、第4過熱器101、103および第3、第4減温器102、104を介して搬送するのに対し、バイパス流路 $L_F \sim L_H$ は、高圧タービン25bからの蒸気を蒸気流路 $L_A \sim L_E$ の少なくとも一部をバイパスして搬送する。

40

## 【0145】

具体的には、バイパス流路 $L_F$ は、流量計111の上流の地点において、蒸気流路 $L_A$ から分岐している。バイパス流路 $L_G$ 、 $L_H$ は、バイパス流路 $L_F$ から分岐している。バイパス流路 $L_G$ は、バイパス流路 $L_F$ からの蒸気を、蒸気流路 $L_B$ との合流地点 $C_A$ に供給する。バイパス流路 $L_H$ は、バイパス流路 $L_F$ からの蒸気を、蒸気流路 $L_D$ との合流地点 $C_B$ に供給する。

## 【0146】

本発電プラントはさらに、蒸気流路 $L_B$ に設けられた温度計112'と、蒸気流路 $L_D$ に設けられた温度計114'を備えている。温度計112が、合流地点 $C_A$ の上流に位置するのに対し、温度計112'は、合流地点 $C_A$ の下流に位置している。同様に、温度計114が、合流地点 $C_B$ の上流に位置するのに対し、温度計114'は、合流地点 $C_B$

50

の下流に位置している。

【0147】

本発電プラントはさらに、バイパス流路  $L_G$  に設けられた第3バイパス弁131および第3バイパス流量計133と、バイパス流路  $L_H$  に設けられた第4バイパス弁132および第4バイパス流量計134とを備えている。

【0148】

本発電プラントは、蒸气流路  $L_B$  からの蒸気を第3減温器102により冷却することができ、蒸气流路  $L_D$  からの蒸気を第4減温器104により冷却することができる。また、本発電プラントは、蒸气流路  $L_B$  の蒸気をバイパス流路  $L_G$  からの蒸気により冷却することができ、蒸气流路  $L_D$  の蒸気をバイパス流路  $L_H$  からの蒸気により冷却することができる。

10

【0149】

図11～図14の説明は、本変形例の第1、第2過熱器14、16、第1、第2減温器15、17、およびバイパス流路  $L_5 \sim L_7$  にも適用可能である。また、図11～図14の説明は、これらを第3、第4過熱器101、103、第3、第4減温器102、104、およびバイパス流路  $L_F \sim L_G$  に置き換えることで、本変形例の第3、第4過熱器101、103、第3、第4減温器102、104、およびバイパス流路  $L_F \sim L_G$  にも適用可能である。

【0150】

この場合、図11～図14の説明において、第1実施形態の変形例での置き換えに加えて、符号71～74で示す弁や流量計が、符号131～134で示す弁や流量計に置き換えられる。また、図12の  $T_4$  負偏差許容値、 $T_4$  設定値、 $T_1$  設定値、 $T_3$  設定値、開度指示値  $Z_{S1}$ 、 $Z_{S2}$ 、 $Z_{B1}$ 、 $Z_{B2}$  は、 $T_8$  負偏差許容値、 $T_8$  設定値、 $T_5$  設定値、 $T_7$  設定値、開度指示値  $Z_{S3}$ 、 $Z_{S4}$ 、 $Z_{B3}$ 、 $Z_{B4}$  に置き換えられる。この場合、蒸気温度  $T_7$ 、 $T_7'$ 、 $T_8$  を、蒸気温度  $T_3$ 、 $T_3'$ 、 $T_4$  と同様に適切に制御することが可能となる。

20

【0151】

以上のように、本実施形態の発電プラントは、第2過熱器16の前段および後段に第1および第2減温器15、17を備え、これら2つの減温器により蒸気温度  $T_4$  を  $T_4$  設定値に制御する。よって、本実施形態によれば、1つの減温器により蒸気温度  $T_4$  を制御する場合に比べて、蒸気温度  $T_4$  を高精度に制御することや、発電プラントを短時間で起動することが可能となる。

30

【0152】

また、本実施形態の発電プラントは、第1および第2減温器15、17と第1および第2バイパス弁71、72により、蒸気温度  $T_4$  を  $T_4$  設定値に制御する。よって、本実施形態によれば、これらの減温器のみで蒸気温度  $T_4$  を制御する場合に比べて、より高精度の制御やより短時間の起動を実現することが可能となる。

【0153】

また、本実施形態の発電プラントは、蒸気温度  $T_3$  が  $T_4$  設定値よりも  $T_4$  負偏差許容値だけ高く調整されるように、第1減温器15を制御し、蒸気温度  $T_4$  が  $T_4$  設定値に調整されるように、第2減温器17を制御する。また、本実施形態の発電プラントは、蒸気温度  $T_3'$  が  $T_4$  設定値よりも「 $T_4$  負偏差許容値 -  $T_3$  設定値」だけ高く調整されるように、第1バイパス弁71を制御する。よって、本実施形態によれば、蒸気温度  $T_3'$  が  $T_4$  設定値よりも低くなって第2減温器17が蒸気温度  $T_4$  を調整不能になる事態を抑制することが可能となる。よって、本実施形態によれば、蒸気温度  $T_4$  を安定的に制御することが可能となる。

40

【0154】

以上、いくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例としてのみ提示したものであり、発明の範囲を限定することを意図したものではない。本明細書で説明した新規な装置、方法、およびプラントは、その他の様々な形態で実施することができる。また

50

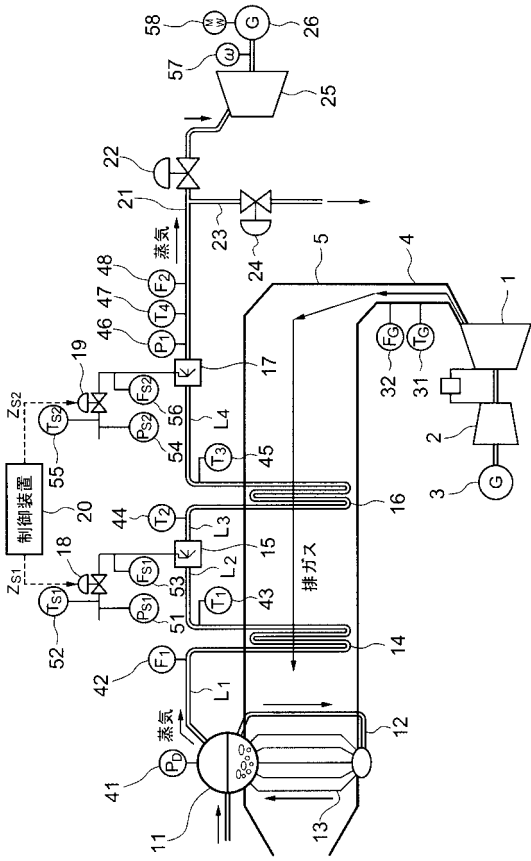
、本明細書で説明した装置、方法、およびプラントの形態に対し、発明の要旨を逸脱しない範囲内で、種々の省略、置換、変更を行うことができる。添付の特許請求の範囲およびこれに均等な範囲は、発明の範囲や要旨に含まれるこのような形態や変形例を含むように意図されている。

【符号の説明】

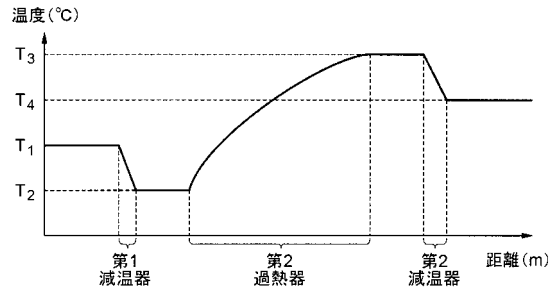
【0155】

- 1 : ガスタービン、 2 : 圧縮機、 3 : 第1発電機、  
 4 : 排ガス配管、 5 : 排熱回収ボイラ、  
 11 : ドラム、 12 : 下降管、 13 : 蒸発器、  
 14 : 第1過熱器、 15 : 第1減温器、 16 : 第2過熱器、 17 : 第2減温器、 10  
 18 : 第1減温器バルブ、 19 : 第2減温器バルブ、 20 : 制御装置、  
 21 : 主蒸気配管、 22 : 主蒸気弁、  
 23 : バイパス蒸気配管、 24 : バイパス蒸気弁、 25 : 蒸気タービン、  
 25a : 高圧タービン、 25b : 低圧タービン、 26 : 第2発電機、  
 31 : 温度計、 32 : 流量計、  
 41 : 圧力計、 42 : 流量計、 43、 43' : 温度計、 44 : 温度計、  
 45、 45' : 温度計、 46 : 圧力計、 47 : 温度計、 48 : 流量計、  
 51 : 圧力計、 52 : 温度計、 53 : 流量計、  
 54 : 圧力計、 55 : 温度計、 56 : 流量計、  
 57 : 回転数計測器、 58 : 電気出力計測器、 20  
 61 : 第1設定部、 62 : 第2設定部、 63 : 加算器、  
 64 : 上限値設定部、 65 : 余裕値設定部、 66 : 減算器、  
 67 : 選択部、 68 : 第1減温器制御部、 69 : 第2減温器制御部、  
 71 : 第1バイパス弁、 72 : 第2バイパス弁、  
 73 : 第1バイパス流量計、 74 : 第2バイパス流量計、  
 81 : 第1バイパス設定部、 82 : 第2バイパス設定部、  
 83 : 第1バイパス制御部、 84 : 第2バイパス制御部、 85 : 減算器、  
 91 : バイパス蒸気温度算出部、 92 : バイパス蒸気流量算出部、  
 93 : 減算器、 94 : PID制御部、 95 : 加算器、 96 : 弁開度算出部、  
 101 : 第3過熱器、 102 : 第3減温器、 30  
 103 : 第4過熱器、 104 : 第4減温器、  
 105 : 第3減温器バルブ、 106 : 第4減温器バルブ、  
 111 : 流量計、 112、 112' : 温度計、 113 : 温度計、  
 114、 114' : 温度計、 115 : 圧力計、 116 : 温度計、 117 : 流量計、  
 121 : 圧力計、 122 : 温度計、 123 : 流量計、  
 124 : 圧力計、 125 : 温度計、 126 : 流量計、  
 131 : 第3バイパス弁、 132 : 第4バイパス弁、  
 133 : 第3バイパス流量計、 134 : 第4バイパス流量計

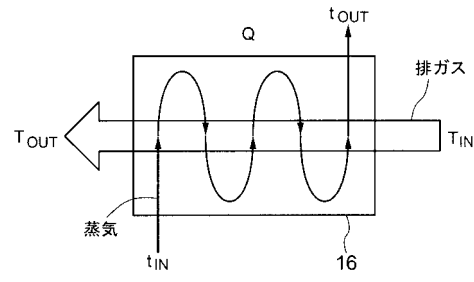
【図1】



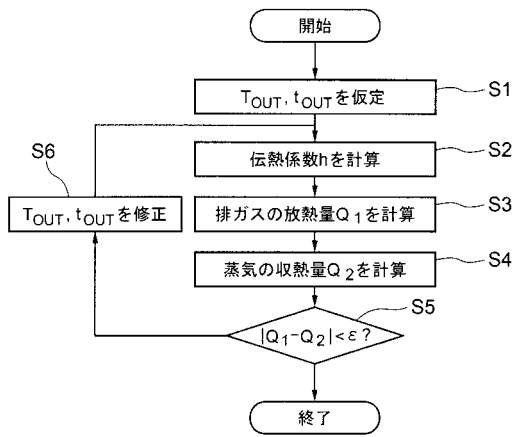
【図2】



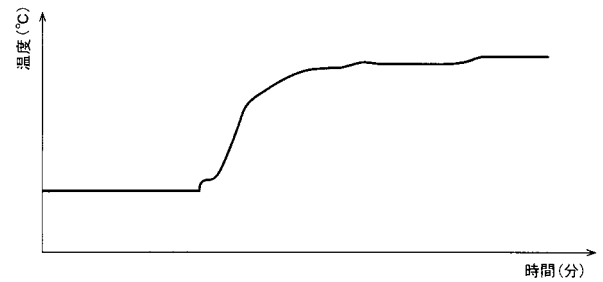
【図3】



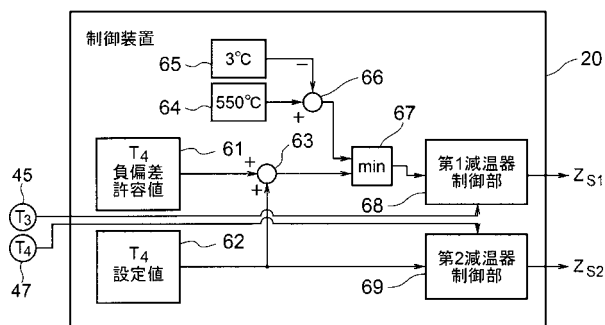
【図4】



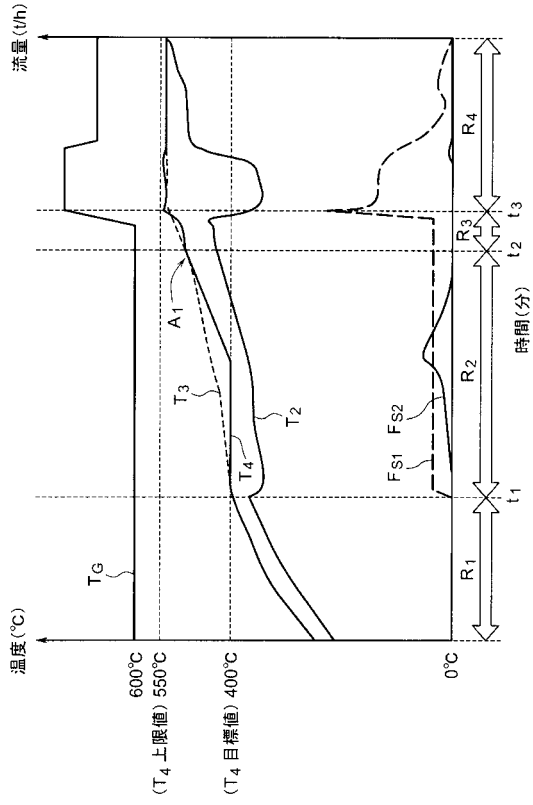
【図6】



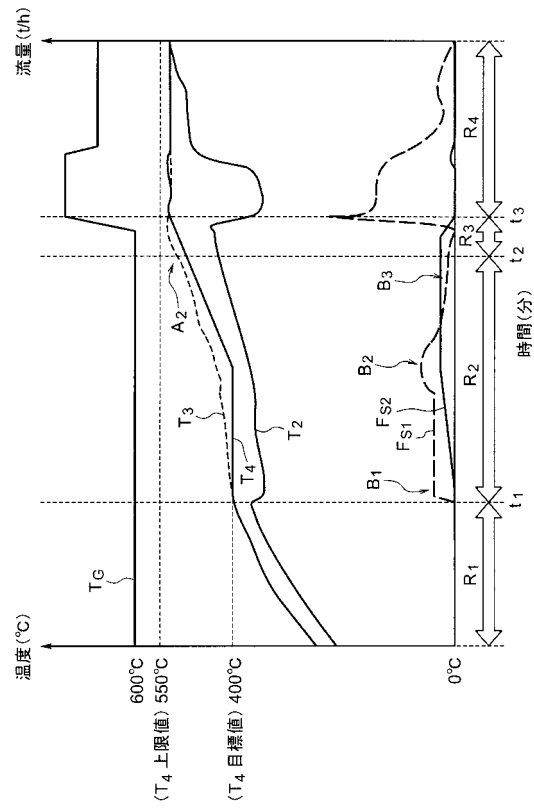
【図5】



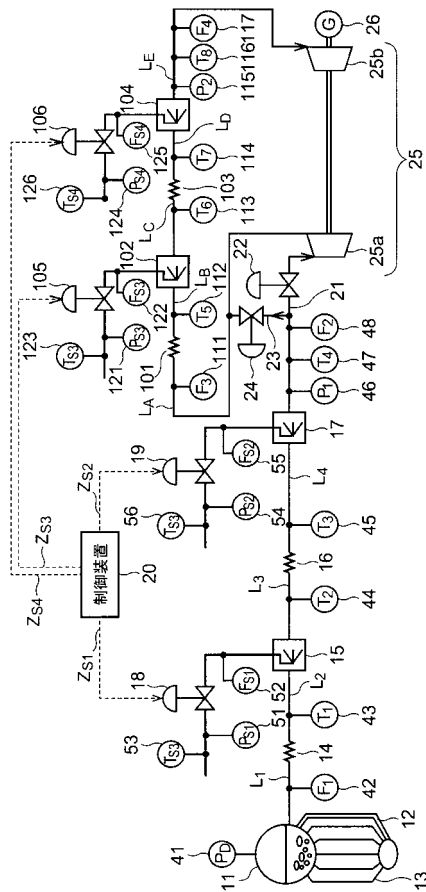
【 図 7 】



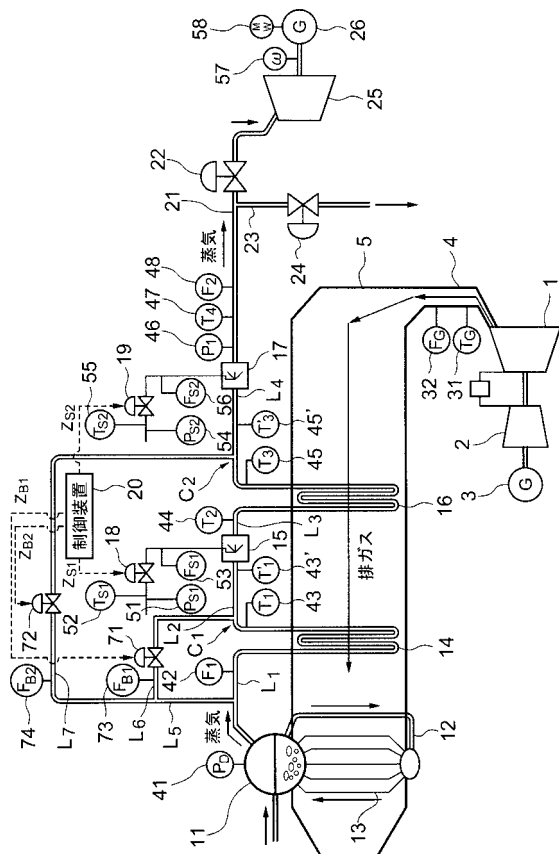
【 図 8 】



【 図 9 】

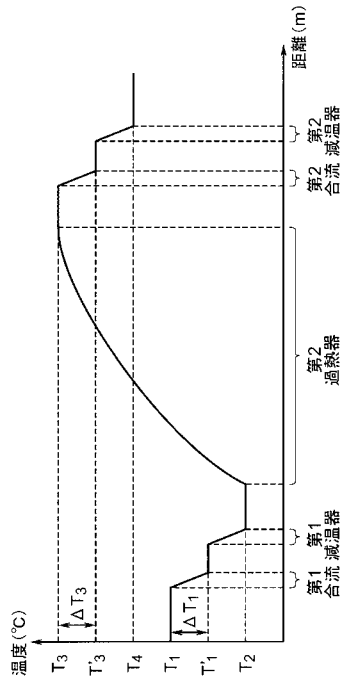


【 図 10 】

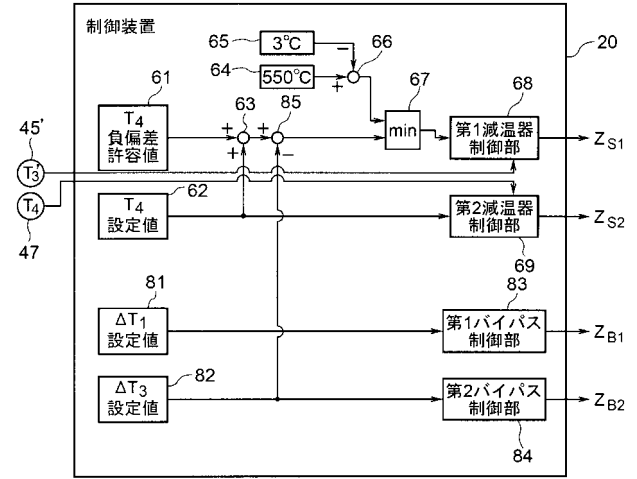




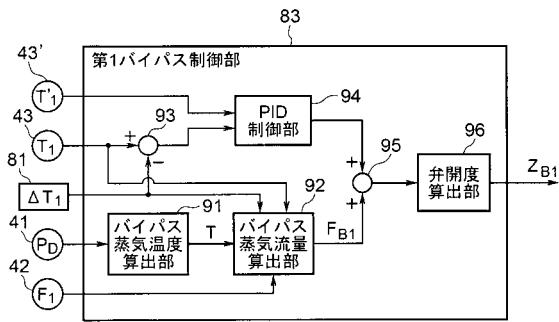
【 図 1 1 】



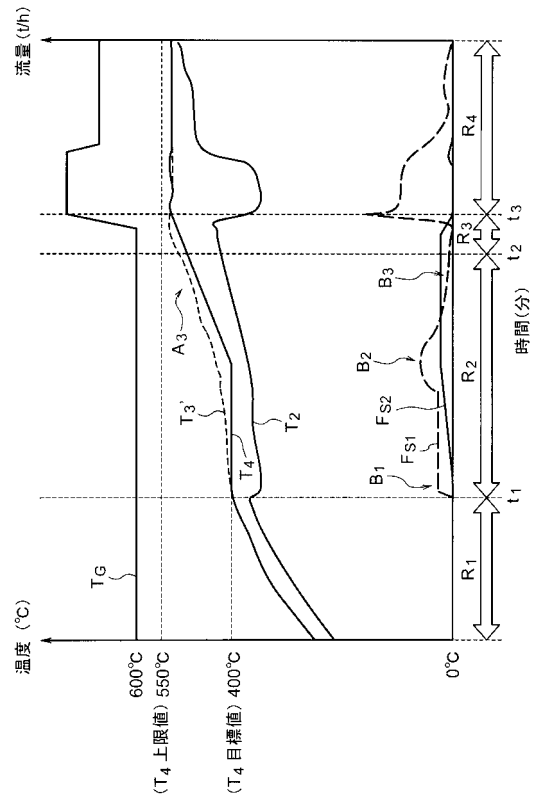
【 図 1 2 】



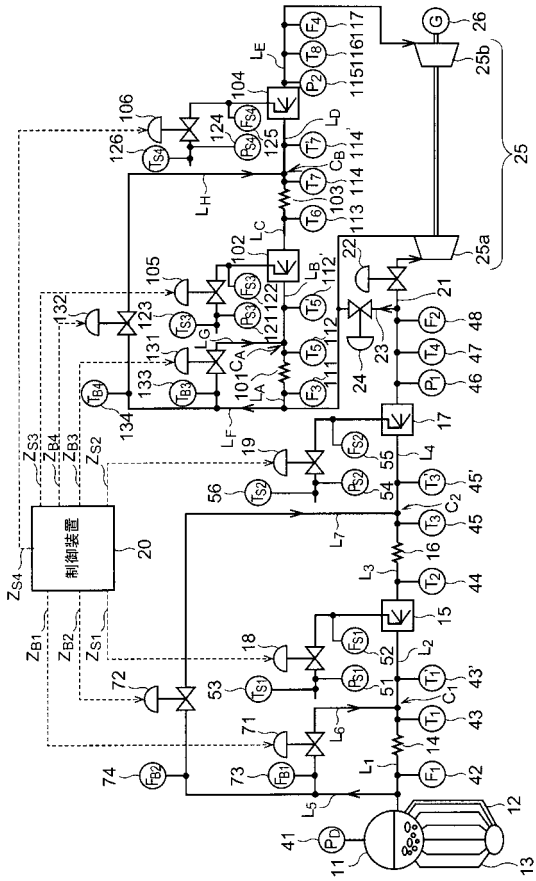
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 15 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 村山 大  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 清水 佳子  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 明比 豊博  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 秋山 紗耶加  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 石川 鉄郎  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 松永 信二  
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内