

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-190703

(P2019-190703A)

(43) 公開日 令和1年10月31日(2019. 10. 31)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
<b>F 2 2 G</b>	<b>5/12</b>	<b>(2006. 01)</b>	F 2 2 G	5/12	B	3 G 0 7 1		
<b>F 0 1 D</b>	<b>19/00</b>	<b>(2006. 01)</b>	F 0 1 D	19/00	L	3 G 0 8 1		
<b>F 0 1 K</b>	<b>23/10</b>	<b>(2006. 01)</b>	F 0 1 K	23/10	F			
<b>F 0 2 G</b>	<b>5/02</b>	<b>(2006. 01)</b>	F 0 2 G	5/02	B			
<b>F 2 2 B</b>	<b>1/18</b>	<b>(2006. 01)</b>	F 2 2 B	1/18	E			

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2018-82425 (P2018-82425)  
 (22) 出願日 平成30年4月23日 (2018. 4. 23)

(71) 出願人 000003078  
 株式会社東芝  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (71) 出願人 317015294  
 東芝エネルギーシステムズ株式会社  
 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34  
 (74) 代理人 100091982  
 弁理士 永井 浩之  
 (74) 代理人 100091487  
 弁理士 中村 行孝  
 (74) 代理人 100082991  
 弁理士 佐藤 泰和  
 (74) 代理人 100105153  
 弁理士 朝倉 悟

最終頁に続く

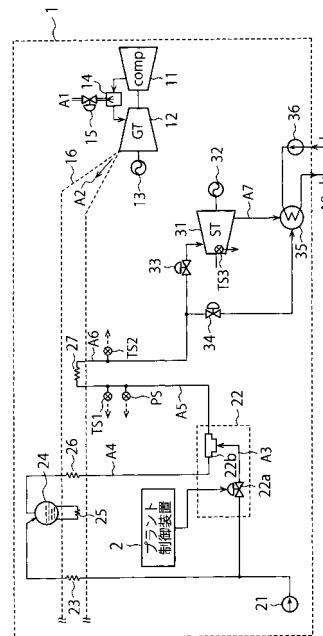
(54) 【発明の名称】 プラント制御装置および発電プラント

(57) 【要約】

【課題】 過熱度に関する制約を考慮しつつ蒸気温度を適切に制御可能なプラント制御装置を提供する。

【解決手段】 一の実施形態によれば、プラント制御装置は、ガスタービンと、前記ガスタービンの排ガスから熱回収して第1蒸気を生成する排熱回収ボイラと、前記第1蒸気に冷却水を注入して第2蒸気を排出する減温装置と、前記第2蒸気を過熱して第3蒸気を排出する過熱器と、前記第3蒸気により駆動される蒸気タービンと、を備える発電プラントを制御する。前記装置は、前記第3蒸気の温度に基づいて、前記冷却水の量を制御する第1制御量を算出し、前記第2蒸気の過熱度または温度に基づいて、前記冷却水の量を制御する第2制御量を算出する。さらに、前記装置は、前記第1および第2制御量の低い方である第3制御量と、第1期間に前記第3制御量より低くなり、第2期間に前記第3制御量より高くなる第4制御量との低い方に基づいて、前記冷却水の量を制御する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

ガスタービンと、  
前記ガスタービンの排ガスから熱回収して第 1 蒸気を生成する排熱回収ボイラと、  
前記第 1 蒸気に冷却水を注入して第 2 蒸気を排出する減温装置と、  
前記第 2 蒸気を過熱して第 3 蒸気を排出する過熱器と、  
前記第 3 蒸気により駆動される蒸気タービンと、  
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、  
前記第 3 蒸気の温度に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 1 制御量を算出する第 1 制御部と、  
前記第 2 蒸気の過熱度または温度に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 2 制御量を算出する第 2 制御部と、  
前記第 1 制御量と前記第 2 制御量の低い方である第 3 制御量と、第 1 期間に前記第 3 制御量より低くなり、前記第 1 期間の後の第 2 期間に前記第 3 制御量より高くなる第 4 制御量との低い方に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 3 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、第 2、第 3、および第 4 制御量は、前記減温装置が前記第 1 蒸気に前記冷却水を注入する弁の開度である、請求項 1 に記載のプラント制御装置。

20

**【請求項 3】**

前記第 1 制御部は、前記第 3 蒸気の温度をフィードバック制御により調整するよう前記第 1 制御量を算出し、  
前記第 2 制御部は、前記第 2 蒸気の過熱度または温度をフィードバック制御により調整するよう前記第 2 制御量を算出する、  
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 2 制御量が前記第 1 制御量より大きい場合に、前記第 2 制御量が前記第 1 制御量と第 1 所定値との和以下になるように前記第 2 制御量を制限する制限部を備える、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。

30

**【請求項 5】**

前記第 1 制御量が前記第 2 制御量より大きい場合に、前記第 1 制御量が前記第 2 制御量と第 2 所定値との和以下になるように前記第 1 制御量を制限する制限部を備える、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。

**【請求項 6】**

前記第 1 制御部は、前記第 3 蒸気の温度を設定値に調整するよう前記第 1 制御値を算出し、前記発電プラントはさらに、前記蒸気タービンのメタル温度を計測するメタル温度計測器を備え、前記設定値は、前記メタル温度に依存する値である、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のプラント制御装置。

**【請求項 7】**

前記第 2 制御部は、前記第 2 蒸気の過熱度を設定値に調整するよう前記第 2 制御値を算出し、前記設定値は、前記過熱器が許容する最小の過熱度に依存する値である、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のプラント制御装置。

40

**【請求項 8】**

前記発電プラントはさらに、  
前記第 3 蒸気の温度を計測する第 1 温度計測器と、  
前記第 2 蒸気の温度を計測する第 2 温度計測器とを備え、  
前記第 1 制御部は、前記第 1 温度計測器により計測された温度に基づいて、前記第 1 制御量を算出し、  
前記第 2 制御部は、前記第 2 温度計測器により計測された温度に基づいて前記第 2 蒸気

50

の過熱度を算出する算出部を備え、前記算出部により算出された過熱度に基づいて、前記第 2 制御量を算出する、

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載のプラント制御装置。

【請求項 9】

前記第 4 制御量は、時間と共に一定の増加率で増加する、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載のプラント制御装置。

【請求項 10】

前記第 3 制御量と前記第 4 制御量は、同じタイミングでゼロから増加し始める、請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載のプラント制御装置。

【請求項 11】

ガスタービンと、

前記ガスタービンの排ガスから熱回収して第 1 蒸気を生成する排熱回収ボイラと、

前記第 1 蒸気に冷却水を注入して第 2 蒸気を排出する減温装置と、

前記第 2 蒸気を過熱して第 3 蒸気を排出する過熱器と、

前記第 3 蒸気により駆動される蒸気タービンと、

前記第 3 蒸気の温度に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 1 制御量を算出する第 1 制御部と、

前記第 2 蒸気の過熱度または温度に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 2 制御量を算出する第 2 制御部と、

前記第 1 制御量と前記第 2 制御量の低い方である第 3 制御量と、第 1 期間に前記第 3 制御量より低くなり、前記第 1 期間の後の第 2 期間に前記第 3 制御量より高くなる第 4 制御量との低い方に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 3 制御部と、

を備える発電プラント。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、プラント制御装置および発電プラントに関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、コンバインドサイクル型の発電プラントは、ガスタービンと、排熱回収ボイラと、蒸気タービンを備えている。ガスタービンは、燃焼器から供給された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主蒸気を生成する。蒸気タービンは、排熱回収ボイラから供給された主蒸気により駆動される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2017 - 115678 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

コンバインドサイクル型の発電プラントは、例えば次のように起動される。まず、ガスタービンの出力値（以下「GT出力値」と呼称する）を許容される出力値に保持して排熱回収ボイラを焚き上げ、主蒸気温度を上昇させる。

【0005】

この際、GT出力値は、蒸気タービンの第 1 段内面のメタル温度（以下「メタル温度」と呼称する）に応じて調整され、具体的には、ガスタービンの排ガス温度が、メタル温度と同じか、メタル温度より少し高くなるように調整される。これにより、排熱回収ボイラからの主蒸気温度は、蒸気タービンの起動に適した温度となり、蒸気タービンに発生する熱応力を低減できる。

10

20

30

40

50

## 【0006】

上記の発電プラントを起動する場合、発電プラントが長時間休止され、メタル温度が低温状態まで冷却された所謂コールド起動では、低温の主蒸気による蒸気タービンの起動が望ましい。従ってコールド起動では、排ガス温度が極力低い温度となるような小さいGT出力値で運転される。即ち、低温の主蒸気温度が、GT出力値の調整により実現される。

## 【0007】

低温の主蒸気温度を実現するための別の手法として、排熱回収ボイラのなかに設置した減温装置を使用することが考えられる。そこで、蒸気に冷却水を注入する減温制御と、GT出力値の調整（排ガス温度の調整）とを組み合わせ、低温の主蒸気温度を実現することが考えられる。

10

## 【0008】

このような減温制御を行わない場合、排ガス温度を低下させるためにGT出力値を小さくすると、主蒸気流量が低下してしまう。そこで、減温制御を導入すれば、主蒸気流量の低下を抑制しつつ、GT出力値を小さくして排ガス温度を低下させることができる。簡単に言えば、GT出力値の低減（排ガス温度の低下）をほどほどの水準で妥協することで、主蒸気流量の低下を抑制するものである。

## 【0009】

一方、この減温制御は、以下のように別の目的にも使用可能である。

## 【0010】

近年の技術動向によれば、最新型の商用ガスタービンは高性能化が強く指向されているため、ガスタービンは高い燃焼温度で運転される特性を保持するようになり、必然的に排ガスも高温化してきている。この高温化は、蒸気タービンの起動が開始（通気）されるガスタービンのパーシャル出力帯域（低負荷運転状態）にも及んでいる。そのため、蒸気タービンの通気に適した主蒸気温度を生成すべく、GT出力値を運転上許容できる最低の値まで低下させたとしても、排ガス温度が高すぎるのが問題となる。具体的には、一般的な事業用コンバインドサイクル発電プラントのコールド起動において、蒸気タービンの通気に適した主蒸気温度は約300～350である。これに対し、最新ガスタービンのモデルタイプによっては、許容できる最低出力運転の排ガス温度は500近傍がほぼ下限となり、それにより生成される蒸気も500近傍という高温となる。

20

## 【0011】

減温装置による減温制御は、このような技術動向によりもたらされる高温の蒸気を冷却するために適用することが考えられる。この減温制御では例えば、コールド起動において500の蒸気に冷却水を注入して327に冷却するようなことが求められる。しかしこれは、約170の大幅な減温であり、大量の冷却水を蒸気に注入することになる。従来の減温制御ではせいぜい50程度の減温が要求されるのに対し、この例での減温制御ではその約3倍の減温を要求される。よって、この例での冷却水は多量となり、蒸気の過熱度が著しく低下することが問題となる。具体的には、極端に過熱度が低下した蒸気が減温装置の下流の熱交換器群に流入することで、蒸気中の水滴により熱交換器が損傷してしまう。別言すれば、過熱度の観点から注入できる冷却水には限度があり、許容される過熱度の範囲内で可能な低温の主蒸気を生成することが求められる。

30

40

## 【0012】

また、冷却水の注入量が急激に変化すると、減温制御が不安定になるおそれがあり、このような不安定性を抑制することが望ましい。

## 【0013】

そこで、本発明の実施形態は、過熱度に関する制約を考慮しつつ蒸気温度を適切に制御可能なプラント制御装置および発電プラントを提供することを課題とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0014】

一の実施形態によれば、プラント制御装置は、ガスタービンと、前記ガスタービンの排ガスから熱回収して第1蒸気を生成する排熱回収ボイラと、前記第1蒸気に冷却水を注入

50

して第 2 蒸気を排出する減温装置と、前記第 2 蒸気を過熱して第 3 蒸気を排出する過熱器と、前記第 3 蒸気により駆動される蒸気タービンと、を備える発電プラントを制御する。前記装置は、前記第 3 蒸気の温度に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 1 制御量を算出する第 1 制御部を備える。さらに、前記装置は、前記第 2 蒸気の過熱度または温度に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 2 制御量を算出する第 2 制御部を備える。さらに、前記装置は、前記第 1 制御量と前記第 2 制御量の低い方である第 3 制御量と、第 1 期間に前記第 3 制御量より低くなり、前記第 1 期間の後の第 2 期間に前記第 3 制御量より高くなる第 4 制御量との低い方に基づいて、前記減温装置により注入する前記冷却水の量を制御する第 3 制御部を備える。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図 1】第 1 実施形態の発電プラントの構成を示す図である。

【図 2】第 1 実施形態のプラント制御装置の構成を示す図である。

【図 3】第 1 実施形態のコールド起動におけるプラント制御方法を説明するためのグラフである。

【図 4】第 1 実施形態のコールド起動におけるプラント制御方法をより詳細に説明するためのグラフである。

【図 5】第 1 実施形態のウォーム起動におけるプラント制御方法を説明するためのグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

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 5 では、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。

【0017】

(第 1 実施形態)

図 1 は、第 1 実施形態の発電プラント 1 の構成を示す図である。本実施形態の発電プラント 1 は、発電プラント 1 を制御するプラント制御装置 2 を備えている。本実施形態の発電プラント 1 は、コンバインドサイクル型の発電プラントである。コンバインドサイクルの方式にはいくつかの種類があるが、ここではガスタービン 1 2 と蒸気タービン 3 1 が同軸に直結されていない別軸型を例にしている。

【0018】

発電プラント 1 は、図 1 に示すように、圧縮機 1 1 と、ガスタービン 1 2 と、GT (ガスタービン) 発電機 1 3 と、燃焼器 1 4 と、燃料調節弁 1 5 と、排熱回収ボイラ 1 6 と、給水ポンプ 2 1 と、減温装置 2 2 と、節炭器 2 3 と、ドラム 2 4 と、蒸発器 2 5 と、1 次過熱器 2 6 と、2 次過熱器 2 7 と、蒸気タービン 3 1 と、ST (蒸気タービン) 発電機 3 2 と、加減弁 3 3 と、バイパス調節弁 3 4 と、復水器 3 5 と、循環水ポンプ 3 6 とを備えている。減温装置 2 2 は、減温調節弁 2 2 a と、減温器 2 2 b とを備えている。

【0019】

発電プラント 1 はさらに、温度センサ TS 1、TS 2、TS 3 と、圧力センサ PS とを備えている。

【0020】

燃料調節弁 1 5 は、燃料配管に設けられている。燃料調節弁 1 5 を開くと、燃料配管から燃焼器 1 4 に燃料 A 1 が供給される。一方、圧縮機 1 1 は、圧縮空気を燃焼器 1 4 に供給する。燃焼器 1 4 は、圧縮空気と共に燃料 A 1 を燃焼させ、高温・高圧のガスを発生させる。ガスタービン 1 2 は、このガスにより回転駆動される。GT 発電機 1 3 は、この回転を利用して発電を行う。ガスタービン 1 2 から排出された排ガス A 2 は、排熱回収ボイラ 1 6 に送られる。排熱回収ボイラ 1 6 は、後述するように、排ガス A 2 から熱回収して蒸気を生成する。

【0021】

給水ポンプ 2 1 は、給水配管に水を送る。給水配管は、第 1 および第 2 配管に分岐して

10

20

30

40

50

いる。第1配管は、減温装置22の減温器22bに接続されており、減温装置22の減温調節弁22aは第1配管に設けられている。第2配管は、節炭器23に接続されており、節炭器23により加熱された水はドラム24に送られる。減温調節弁22aを開くと、第1配管の水が、冷却水A3として減温器22bに供給される。減温器22bは、後述するように、排熱回収ボイラ16により生成された蒸気に冷却水A3を注入して、この蒸気を冷却する。

#### 【0022】

節炭器23、蒸発器25、1次過熱器26、および2次過熱器27は、排熱回収ボイラ16内に設けられており、排熱回収ボイラ16の一部を構成している。ドラム24内の水は、蒸発器25に送られ、蒸発器25内で排ガスA2により加熱されることで飽和蒸気となる。飽和蒸気は、1次過熱器26内で排ガスA2により過熱され、1次過熱蒸気A4として1次過熱器26から排出される。1次過熱蒸気A4は、減温器22b内で冷却水A3により冷却され、減温器出口蒸気A5として減温器22bから排出される。減温器出口蒸気A5は、2次過熱器27内で排ガスA2によりさらに過熱され、2次過熱蒸気A6として2次過熱器27から排出される。排熱回収ボイラ16は、この2次過熱蒸気A6を蒸気タービン31に排出する。以下、2次過熱蒸気A6を主蒸気A6と呼称する。1次過熱蒸気A4、減温器出口蒸気A5、主蒸気A6はそれぞれ、第1蒸気、第2蒸気、第3蒸気の例である。

10

#### 【0023】

温度センサTS1は、減温器出口蒸気A5の温度を検出し、温度の検出結果をプラント制御装置2に出力する。圧力センサPS1は、減温器出口蒸気A5の圧力を検出し、圧力の検出結果をプラント制御装置2に出力する。温度センサTS2は、主蒸気A6の温度を検出し、温度の検出結果をプラント制御装置2に出力する。具体的には、温度センサTS2は、2次過熱器27から排出され、排熱回収ボイラ16の蒸気流出口の付近の主蒸気A6の温度を検出する。温度センサTS3は、蒸気タービン31の第1段動翼の内面付近に設置されており、蒸気タービン31の第1段内面のメタル温度を検出し、温度の検出結果をプラント制御装置2に出力する。

20

#### 【0024】

排熱回収ボイラ16により生成された主蒸気A6は、蒸気配管に排出される。蒸気配管は、主配管とバイパス配管とに分岐している。主配管は、蒸気タービン31に接続されており、バイパス配管は、復水器35に接続されている。加減弁33は、主配管に設けられている。バイパス調節弁34は、バイパス配管に設けられている。

30

#### 【0025】

加減弁33を開くと、主配管の主蒸気A6が蒸気タービン31に供給される。蒸気タービン31の起動工程において、加減弁33を開弁し蒸気タービン31に主蒸気A6を供給開始することを通気と呼ぶ。蒸気タービン31は、通気後に主蒸気A6の供給量を増しながら昇速および並列される。並列後、ST発電機32は、蒸気タービン31により駆動されて発電を行う。このように、主蒸気A6は、蒸気タービン31を駆動させるために使用される。蒸気タービン31から排出された排気蒸気A7は、復水器35に送られる。

#### 【0026】

一方、バイパス調節弁34を開くと、バイパス配管の主蒸気A6が蒸気タービン31をバイパスして復水器35に送られる。

40

#### 【0027】

循環水ポンプ36は、復水器35に循環水A8を供給する。循環水A8の例は、海水である。復水器35は、主蒸気A6と排気蒸気A7を循環水A8により冷却し、主蒸気A6と排気蒸気A7を水に戻す。循環水A8が海水である場合には、復水器35から排出された循環水A8は海に戻される。

#### 【0028】

上述のように、減温器22bは、冷却水A3と1次過熱蒸気A4とを混合する。その結果、冷却水A3が蒸発し、この過程で1次過熱蒸気A4から熱を奪うことにより1次過熱

50

蒸気 A 4 は冷却されて減温器出口蒸気 A 5 となる。またこの際、冷却水 A 3 の一部は蒸発せず、水滴のまま減温器 2 2 b から排出される可能性がある。2 次過熱器 2 7 は、減温器出口蒸気 A 5 をさらに過熱して、より蒸気タービン 3 1 の駆動エネルギーの高い主蒸気 A 6 を生成する役割を負っている。2 次過熱器 2 7 はさらに、減温器出口蒸気 A 5 が水滴を含むときには、これを加熱して蒸発させて蒸気に変換して、蒸気タービン 3 1 に水滴が流入しないようにする役割も負っている。

#### 【 0 0 2 9 】

本実施形態の減温装置 2 2 は、減温器出口蒸気 A 5 の過熱度が適切に保持できている場合には、冷却水 A 3 の注入量を増加させることにより、主蒸気 A 6 の温度を目標温度にすることができる。ここで、蒸気の過熱度とは、蒸気の温度と飽和温度との差である（過熱度 [ ] = 温度 [ ] - 飽和温度 [ ]）。冷却水 A 3 の注入量を過度に増加させると、減温器出口蒸気 A 5 の過熱度が大きく低下するが、これは、減温器出口蒸気 A 5 中に多量の水滴が残存し、この水滴が 2 次過熱器 2 7 に流入することを意味する。2 次過熱器 2 7 内の熱交換チューブは蛇行しており、水滴から物理的に衝撃を受け易い弱い形状となっている。そのため、2 次過熱器 2 7 に水滴が多量に流入すると、熱交換チューブが損傷されてしまう。

10

#### 【 0 0 3 0 】

そこで、減温器出口蒸気 A 5 の過熱度が低下しないように、注入する冷却水 A 3 の流量を制限することが求められる。許容される過熱度の範囲（例えば 4 0 以上）で可能な限り、低温の主蒸気 A 6 を生成することが望ましい。

20

#### 【 0 0 3 1 】

排熱回収ボイラ 1 6 により生成された主蒸気 A 6 は、蒸気タービン 3 1 を駆動させるために使用される。加減弁 3 3 を開くと、主蒸気 A 6 が蒸気タービン 3 1 に供給される。バイパス調節弁 3 4 を開くと、主蒸気 A 6 が蒸気タービン 3 1 をバイパスして復水器 3 5 に送られる。本実施形態のバイパス調節弁 3 4 は、ドラム 2 4 の圧力が 7 . 0 M P a になるように開弁される。

#### 【 0 0 3 2 】

図 2 は、第 1 実施形態のプラント制御装置 2 の構成を示す図である。

#### 【 0 0 3 3 】

プラント制御装置 2 は、設定器 4 1 と、高値選択器 4 2 と、比較器 4 3 と、設定器 4 4 と、低値選択器 4 5 と、減算器 4 6 と、第 1 P I D (Proportional-Integral-Derivative) コントローラ 4 7 と、上限器 4 8 と、設定器 4 9 と、加算器 5 0 と、関数発生器 5 1 と、減算器 5 2 と、設定器 5 3 と、比較器 5 4 と、設定器 5 5 と、減算器 5 6 と、第 2 P I D コントローラ 5 7 と、上限器 5 8 と、設定器 5 9 と、加算器 6 0 と、切替器 6 1 と、設定器 6 2 と、低値選択器 6 3 とを備えている。プラント制御装置 2 はさらに、設定器 7 1、比較器 7 2、設定器 7 3、切替器 7 4、積分器 7 5、設定器 7 6、上限器 7 7、および低値選択器 7 8 を含む弁ストローク制御回路 3 を備えている。第 1 P I D コントローラ 4 7 とこれに関連する構成要素は、第 1 制御部の例である。第 2 P I D コントローラ 5 7 とこれに関連する構成要素は、第 2 制御部の例である。切替器 6 1、低値選択器 6 3、および低値選択器 7 8 とこれらに関連する構成要素は、第 3 制御部の例である。

30

40

#### 【 0 0 3 4 】

プラント制御装置 2 は、温度センサ T S 3 から蒸気タービン 3 1 の第 1 段内面のメタル温度（以下「メタル温度」と呼称する）B 1 を受信する。蒸気タービン 3 1 の通気に最も適した主蒸気 A 6 の温度は、メタル温度 B 1 と同じまたはその近傍の温度である。このような温度を有する主蒸気 A 6 を使用することで、通気時に蒸気タービン 3 1 に発生する熱応力を低減することができる。

#### 【 0 0 3 5 】

このことは、理想的には、通気を許可する主蒸気 A 6 の許可温度と、減温制御が目標とする主蒸気 A 6 の目標温度の双方を、メタル温度 B 1 に設定すればいいことを示唆している。そこで、本実施形態の制御は、基本的にはこの考え方に則った方法を採用する。ただ

50

し、現実的な問題によりこの制御の修正が必要となることを以下に説明する。

【 0 0 3 6 】

( 1 ) 通気の許可温度

通気の許可温度をメタル温度 B 1 に設定できるのは、メタル温度 B 1 が比較的高温のホット起動やウォーム起動のときに限られ、コールド起動では設定できない。なぜならコールド起動では、発電プラント 1 は長時間休止されて残熱を保有しないので、メタル温度 B 1 はタービングランド蒸気を供給されている状態で 8 0 程度の低温だからである。通気前の起動工程にプレウォーミングを実施するケースでも、メタル温度 B 1 は 1 6 0 程度の低温である。このメタル温度 B 1 と同程度の低温の主蒸気 A 6 を使用する場合、蒸気タービン 3 1 の通気は不可能である。

10

【 0 0 3 7 】

このようなコールド起動に配慮して、メタル温度 B 1 の下限値 ( 3 2 7 ) が設定器 4 1 に設定されている。高値選択器 4 2 は、メタル温度 B 1 と 3 2 7 の高値を選択し、選択した温度を制限メタル温度 B 2 として出力する。なお、設定器 4 1 に設定する 3 2 7 は、ドラム 2 4 の圧力が 7 . 0 M P a のときの飽和温度である 2 8 7 に、4 0 を加算した値である。

【 0 0 3 8 】

そして比較器 4 3 は、温度センサ T S 2 が計測した主蒸気 A 6 の温度 ( 以下「主蒸気温度」と呼称する ) B 3 と、制限メタル温度 B 2 とを比較する。比較器 4 3 は、主蒸気温度 B 3 が制限メタル温度 B 2 に等しくなるまで上昇した場合や、主蒸気温度 B 3 が制限メタル温度 B 2 より高くなった場合に、蒸気タービン 3 1 の通気許可条件 ( 温度条件 ) としてスイッチ信号 B 4 を成立させる。一般にその他通気許可条件 ( 圧力条件や流量条件など ) は温度条件よりも早く成立しているので、スイッチ信号 B 4 の成立と同時に蒸気タービン 3 1 の通気は開始される。

20

【 0 0 3 9 】

( 2 ) 減温制御の目標温度

減温制御の目標温度をメタル温度に等しくする場合の問題について記載する。スイッチ信号 B 4 の成立により、蒸気タービン 3 1 の通気は開始される。蒸気タービン 3 1 に発生する熱応力を考慮すれば、通気後も主蒸気温度 B 3 を制限メタル温度 B 2 と等しく保持することが、熱応力が最も小さく、蒸気タービン 3 1 にとって負担が少ない。

30

【 0 0 4 0 】

本実施形態では、第 1 P I D コントローラ 4 7 による主蒸気温度制御が、主蒸気温度 B 3 を制限メタル温度 B 2 に近づくように調整する。しかし、主蒸気温度 B 3 を制限メタル温度 B 2 に調整することが可能なのは、メタル温度が 4 0 0 より高いウォーム起動の場合である。一方、メタル温度が 4 0 0 より低いコールド起動の場合には、後述するように、主蒸気温度 B 3 を制限メタル温度 B 2 に調整することができない。そこで、本実施形態のプラント制御装置 2 は、過熱度の問題を回避できる範囲内で、主蒸気温度 B 3 を制限メタル温度 B 2 にできるだけ近づけるよう動作する。

【 0 0 4 1 】

( 3 ) 通気後のメタル温度

スイッチ信号 B 4 の成立により蒸気タービン 3 1 の通気は開始されると、メタル温度センサ T S 3 が計測対象とする第 1 段内面に主蒸気 A 6 が流入する。メタル温度は主蒸気 A 6 による影響を受けて一般には上昇し、メタル温度が 3 2 7 以上になったときには、制限メタル温度 B 2 も高値選択により変動する。

40

【 0 0 4 2 】

しかし蒸気タービン 3 1 内で温度上昇を示すのは第 1 段内面の表面部だけであり、部材の内部は通気前の低温を維持する。熱応力の観点からは、制限メタル温度 B 2 は通気直前の値に維持することが望ましい。プラント制御装置 2 はこの値を格納して使用する回路を備えているが、その説明は省略する。

【 0 0 4 3 】

50

#### (4) 排熱回収ボイラ16の耐熱性

設定器44は、設定値として620を保持している。この620という温度は、排熱回収ボイラ16の耐熱性にに基づき定められた目標温度である。本実施形態では、最新の高温ガスタービン12と排熱回収ボイラ16との関係を考慮して、設定器44は620という高温の設定値を保持している。

##### 【0044】

低値選択器45は、制限メタル温度B2と620の低値を選択し、選択した温度を主蒸気温度の設定値(SV値)B5として出力する。よって、メタル温度に関わらず主蒸気温度B3が620に達したときは、第1PIDコントローラ47により減温器22bに冷却水A3が注入され、主蒸気温度は620以下に保たれる。これにより、中間出力域の高温蒸気による排熱回収ボイラ16の損傷を防止することができる。

10

##### 【0045】

減算器46は、プロセス値として主蒸気温度B3を取得する。そして減算器46は、主蒸気温度設定値(SV値)B5と主蒸気温度(PV値)B3との偏差B6を出力する(偏差 $B6 = PV \text{ 値 } B3 - SV \text{ 値 } B5$ )。

##### 【0046】

第1PIDコントローラ47は、主蒸気温度の制御用に設けられており、減算器46から偏差B6を取得し、偏差B6をゼロに近づけるためのPID制御を行う。第1PIDコントローラ47から出力される第1操作量(#1MV値)B7は、B7が後述のC7より小さいときには、減温調節弁22aの開度である。第1操作量B7は、第1制御量の例である。第1PIDコントローラ47が第1操作量B7を変化させると、減圧調節弁22aの開度が変化し、冷却水A3の流量が変化する。その結果、主蒸気温度B3が設定値B5に近づくようにフィードバック制御がなされて、時間の経過と共に両者は一致する。

20

##### 【0047】

このように、第1PIDコントローラ47は、温度センサTS2により計測された主蒸気温度B3に基づいて、減温装置22により注入する冷却水A3の量を制御する第1操作量B7を算出する。第1操作量B7は、上限器(UL: upper limiter)48によりその上限値を制限された後、低値選択器63に入力される。

##### 【0048】

一方、関数発生器51は、圧力センサPS1から減温器出口蒸気A5の圧力(以下「減温器出口圧力」と呼称する)C1を取得する。関数発生器51は、蒸気の圧力と飽和温度との関係を規定する蒸気表(steam table)を関数として内蔵している。よって、関数発生器51は、この関数に基づいて減温器出口圧力C1に対応する飽和温度C2を出力する。

30

##### 【0049】

なお、関数発生器51は、減温器出口圧力C1以外の圧力から飽和温度C2を算出してもよい。このような圧力の例は、ドラム24の圧力や主蒸気A6の圧力である。これらの圧力と減温器出口圧力C1の間には、わずかな圧力損失による差があるが、これらの圧力からも十分な精度の飽和温度C2を算出可能である。

##### 【0050】

減算器52は、温度センサTS1から減温器出口温度C3(測定値)を取得し、関数発生器51から飽和温度C2(計算値)を取得する。そして、減算器52は、減温器出口温度C3から飽和温度C2を減算して、減温器出口蒸気A5の過熱度(以下「減温器出口過熱度」と呼称する)C4を出力する。

40

##### 【0051】

設定器53は、減温器出口過熱度C4の閾値として30を保持している。この30という閾値は、2次過熱器27が許容する最小の過熱度である。比較器54は、減算器52から減温器出口過熱度C4を取得し、設定器53から閾値(30)を取得し、減温器出口過熱度C4と閾値とを比較する。そして、比較器54は、減温器出口過熱度C4が30以下のときにスイッチ信号C5をオンに設定する。一方、比較器54は、減温器出口

50

過熱度 C 4 が 3 0 以上のときにスイッチ信号 C 5 をオフに設定する。このスイッチ信号 C 5 は、冷却水 A 3 の注入方法を切り替えるための信号である。

【 0 0 5 2 】

設定器 5 5 は、減温器出口過熱度 C 4 用の設定値として 4 0 を保持している。この 4 0 という設定値は、過注入防止機能の閾値である 3 0 に一定のマージン ( 1 0 ) を持たせた値であり、過注入防止機能の閾値に依存する値となっている。本実施形態の過注入防止機能は、減温調節弁 2 2 a を強制的に全閉する機能である。

【 0 0 5 3 】

減算器 5 6 は、プロセス値として減温器出口過熱度 C 4 を減算器 5 2 から取得する。そして、減算器 5 6 は、減温器出口過熱度 C 4 ( P V 値 ) とその設定値 ( S V 値 ) との偏差 C 6 を出力する ( 偏差 C 6 = P V 値 C 4 - S V 値 ) 。

10

【 0 0 5 4 】

第 2 P I D コントローラ 5 7 は、減温器出口過熱度 C 4 の制御用に設けられており、減算器 5 6 から偏差 C 6 を取得し、偏差 C 6 をゼロに近づけるための P I D 制御を行う。第 2 P I D コントローラ 5 7 から出力される第 2 操作量 ( # 2 M V 値 ) C 7 は、C 7 が前述の B 7 より小さいときには、減温調節弁 2 2 a の開度である。第 2 操作量 C 7 は、第 2 制御量の例である。第 2 P I D コントローラ 5 7 が第 2 操作量 C 7 を変化させると、減温調節弁 2 2 a の開度が変化し、冷却水 A 3 の流量が変化する。その結果、減温器出口過熱度 C 4 が設定値 ( 4 0 ) に近づくようにフィードバック制御がなされて、時間の経過と共に両者は一致する。

20

【 0 0 5 5 】

このように、第 2 P I D コントローラ 5 7 は、温度センサ T S 1 からの減温器出口温度 C 3 を用いて算出された減温器出口過熱度 C 4 に基づいて、減温装置 2 2 により注入する冷却水 A 3 の量を制御する第 2 操作量 C 7 を算出する。第 2 操作量 C 7 は、上限器 5 8 によりその上限値を制限された後、低値選択器 6 3 に入力される。

【 0 0 5 6 】

低値選択器 6 3 は、上限器 4 8 から第 1 操作量 ( # 1 M V 値 ) B 7 を取得し、上限器 5 8 から第 2 操作量 ( # 2 M V 値 ) C 7 を取得する。そして、低値選択器 6 3 は、第 1 操作量 B 7 と第 2 操作量 C 7 のうち低い方を選択し、選択した方を弁操作量 D 2 として出力する。弁操作量 D 2 は、減温器出口過熱度 C 4 が過注入防止機能の作動しない 3 0 以上のときには、減温調節弁 2 2 a の開度である。

30

【 0 0 5 7 】

主蒸気温度制御は、第 1 P I D コントローラ 4 7 からの第 1 操作量 B 7 に基づいて行われ、過熱度制御は、第 2 P I D コントローラ 5 7 からの第 2 操作量 C 7 に基づいて行われる。低値選択器 6 3 による低値選択は、主蒸気温度制御から過熱度制御への切替や、過熱度制御から主蒸気温度制御への切替を適切に行うためになされる。

【 0 0 5 8 】

上限器 4 8、5 8 は、第 1 操作量 B 7 と第 2 操作量 C 7 の偏差が大きい場合等に、これらの切替を円滑化する役割を担う。例えば、第 1 操作量 B 7 が 2 0 % であり、第 2 操作量 C 7 が 1 0 0 % であり、両者の偏差が 8 0 % と大きい場合を想定する。この場合、発電プラント 1 の状況が変動して、第 2 操作量 C 7 が 1 0 0 % から 2 0 % 未満に減少し、両者の大小関係が逆転すると、制御上の遅れを生じる。この遅れ時間の間に、減温器出口過熱度 C 4 は 4 0 を下回り、過注入防止機能の閾値である 3 0 に近づいてゆく。

40

【 0 0 5 9 】

この対策として、設定器 5 9 は、余裕代の設定値として 5 % を保持しており、加算器 6 0 は、この 5 % と弁操作量 D 2 とを加算する。上限器 5 8 は、加算器 6 0 からこの加算結果を取得して、第 2 操作量 C 7 に上限を設定するように構成されている。B 7 = 2 0 %、C 7 = 1 0 0 % の例では、D 2 は 2 0 % になることから、上限器 5 8 は加算器 6 0 から 2 5 % ( 2 0 % + 5 % ) を取得して、C 7 は 2 5 % が上限値となるように制限される。

【 0 0 6 0 】

50

このように、第2PIDコントローラ57からの第2操作量C7が、第1PIDコントローラ47からの第1操作量B7（ここでは20%）よりも大きい場合には、第2PIDコントローラ57からの第2操作量C7は、上限器58により25%以下に制限され、制限された第2操作量C7が低値選択器63に入力される。第2PIDコントローラ57からの第2操作量C7が100%の場合には、上限器58により100%が25%に変更され、25%という値が上限器58から低値選択器63に入力される。設定器59の5%という設定値は、第1所定値の例である。

#### 【0061】

この対策により、低値選択器63に入力されるB7（20%）とC7（25%）の偏差は、5%以内に抑えられる。発電プラント1の状況が変動してC7が減少する場合、C7は100%ではなく25%から減少するため、C7は速やかに20%以下まで降下することができる。これにより、減温器出口過熱度C4が、制御の遅れにより過注入防止機能の閾値である30に近づいてゆくことを防止することができる。

10

#### 【0062】

この場合、第2操作量C7が例えば14%まで減少すると、加算器50は、設定器49の設定値「5%」と弁操作量D2「14%」とを加算する。上限器48は、加算器50からこの加算結果を取得して、第1操作量B7に上限を設定するように構成されている。上限器48は、加算器50から19%（14%+5%）を取得して、B7は19%が上限値となるように制限される。この19%という値が、上限器48から低値選択器63に入力される。設定器49の5%という設定値は、第2所定値の例である。第2所定値は、第1

20

#### 【0063】

このように、上限器48、58は、B7とC7の大きい方を、B7とC7の小さい方と5%との和に追従させるように作用する。これにより、両者の大小関係が逆転したときに円滑な制御移行を実現することが可能となる。なお、B7とC7との差が5%未満の場合には、上限器48、58による上制限は作用しないため、第1、第2PIDコントローラ47、57からのB7、C7がそのまま低値選択器63に入力される。

#### 【0064】

設定器71は、弁操作量D2と比較する設定値として0%を保持している。比較器72は、低値選択器63から出力された弁操作量D2と、設定器71から出力された設定値である0%とを比較する。そして、比較器72は、弁操作量D2が0%の場合にはスイッチ信号D3をオフに設定し、弁操作量D2が0%よりも大きい場合にはスイッチ信号D3をオンに設定する。

30

#### 【0065】

設定器73は、後述する弁操作量D6を与えるための設定値であるSV%を保持している。切替器74は、スイッチ信号D3に応じて動作する。具体的には、スイッチ信号D3がオフのとき（弁操作量D2が0%のとき）には、切替器74はオフになる。一方、スイッチ信号D3がオンのとき（弁操作量D2が0%よりも大きいとき）には、切替器74はオンになり、設定器73内の設定値であるSV%を出力値D4として出力する。

40

#### 【0066】

積分器75は、このSV%（出力値D4）を積分して、積分結果D5を出力する。本実施形態では、SV値が正定数であるため、積分結果D5は時間と共に一定の増加率で増加する。

#### 【0067】

設定器76は、100%という設定値を保持している。上限器77は、積分器75から積分結果D5を受け取り、設定器76から100%という設定値を受け取る。そして、上限器77は、積分結果D5を100%以下に制限した弁操作量（ストローク制御値）D6を出力する。

#### 【0068】

低値選択器78は、低値選択器63から出力された弁操作量D2と、上限器77から出

50

力された弁操作量 D 6 とを受け取る。そして、低値選択器 7 8 は、弁操作量 D 2 と弁操作量 D 6 のうち低い方を選択し、選択した方を弁操作量 ( M V 値 ) D 7 として出力する。弁操作量 D 2 は、第 3 制御量の例である。弁操作量 D 6 は、第 4 制御量の例である。

【 0 0 6 9 】

弁操作量 D 2 は、第 1 操作量 B 7 と第 2 操作量 C 7 のうち低い方である。一方、弁操作量 D 6 は、後述するように、時間と共に一定の増加率で増加し、弁操作量 D 2 よりも小さい値から弁操作量 D 2 よりも大きい値へと変化する。よって、低値選択器 7 8 は、初期に弁操作量 D 7 として弁操作量 D 6 を出力し、その後、弁操作量 D 7 として弁操作量 D 2 を出力する。このことは、弁操作量 D 2 を弁操作量 D 7 に置き換えることで、減温調節弁 2 2 a の初期の開度の増加がゆるやかになることを意味する。

10

【 0 0 7 0 】

本実施形態のプラント制御装置 2 は、設備故障等に起因する過熱度低下に備えて過注入防止機能を備えている。この過注入防止機能のための制御と、弁操作量 D 7 による制御との切替のために、本実施形態のプラント制御装置 2 は、切替器 6 1 を備えている。

【 0 0 7 1 】

切替器 6 1 は、スイッチ信号 C 5 に応じて動作する。切替器 6 1 は、スイッチ信号 C 5 がオフのとき ( 減温器出口過熱度 C 4 が 3 0 以上のとき ) には、弁開度指令 D 1 として弁操作量 ( M V 値 ) D 7 を出力する。一方、切替器 6 1 は、スイッチ信号 C 5 がオンのとき ( 減温器出口過熱度 C 4 が 3 0 以下 ) のときには、弁開度指令 D 1 として設定器 6 2 が保持する 0 % を出力する。減温調節弁 2 2 a は、弁開度指令 D 1 に応じて開閉する。このようにして、減温器出口過熱度 C 4 が高く確保されているときは、 P I D 減温制御による減温制御がなされるが、減温器出口過熱度 C 4 が 3 0 以下に低下したときは、減温調節弁 2 2 a は 0 % 開度になり、全閉操作がなされる。

20

【 0 0 7 2 】

( 5 ) コールド起動による蒸気タービン 3 1 の通気

図 3 は、第 1 実施形態のコールド起動におけるプラント制御方法を説明するためのグラフである。

【 0 0 7 3 】

以下、発電プラント 1 が長時間休止され、蒸気タービン 3 1 の第 1 段内面のメタル温度 B 1 が低温状態まで冷却されたコールド起動について説明する。説明の便宜上、コールド起動のメタル温度 B 1 は 8 0 とする。

30

【 0 0 7 4 】

図 3 では、弁ストローク制御回路 3 の作用を考慮しない形で、コールド起動について説明する。その後、後述の図 4 において、弁ストローク制御回路 3 の作用を考慮した形で、コールド起動について説明する。

【 0 0 7 5 】

発電プラント 1 の起動では、最初にガスタービン 1 2 を起動して、ガスタービン 1 2 の出力値 ( G T 出力値 ) を許容される出力値まで上昇させる。ガスタービン 1 2 より排出された排ガス A 2 は、排熱回収ボイラ 1 6 に送られて主蒸気 A 6 を生成する。ここに言う許容される出力値は、蒸気タービン 3 1 の通気前なので一般に比較的小さい出力値であり、例えばガスタービン負荷の 1 0 % から 2 0 % 程度の部分負荷である。

40

【 0 0 7 6 】

この起動初期に生成される主蒸気 A 6 は、その圧力、流量、温度が蒸気タービン 3 1 の通気を行うのに十分な許容値に達しないために、バイパス調節弁 3 4 を開弁させて復水器 3 5 に棄てられる。この起動工程は、排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧と呼ばれる。本実施形態では、バイパス調節弁 3 4 は、ドラム 2 4 の圧力が 7 . 0 M P a になるように開弁され制御される。ただし、このための回路の図示は省略する。

【 0 0 7 7 】

排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧を継続しながら、主蒸気 A 6 の圧力、流量、温度は増加していく。これらのうち、圧力と流量は、比較的速やかに増加して通気許可条件に到達

50

する。一方、主蒸気 A 6 の温度上昇は緩慢であり、通気許可条件（コールド起動では 3 2 7 ）に到達するのに時間を要する。

【 0 0 7 8 】

本実施形態のガスタービン 1 2 は、最新型の商用ガスタービンであり、その出力値が 1 0 ~ 2 0 % と小さくても、排ガス A 2 の温度は高温特性を有する。この点は、本実施形態のガスタービン 1 2 は、従来型のガスタービンよりも主蒸気 A 6 の温度上昇の面で有利である。

【 0 0 7 9 】

本実施形態では、排熱回収ボイラ 1 6 の耐熱性に配慮し、最初は排ガス A 2 を 6 2 0 の高温状態を保持しながら排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧を行う（図 3）。その後、主蒸気温度 B 3（主蒸気 A 6 の温度）が通気許可条件の近傍値である 3 0 7 に到達したときに、G T 出力値を、運転上許容できる最低の値（例えば 5 % の部分負荷）まで低下させて排ガス A 2 の温度を降下させる。その結果、排ガス A 2 の温度は 5 0 0 に向けて低下し始める（図 3）。

【 0 0 8 0 】

この理由は、排ガス A 2 の温度を 6 2 0 に設定し続けた場合には、高温すぎる主蒸気 A 6 が生成されてしまうためであり、これを回避するために G T 出力値を低下させる。そして、ガスタービン 1 2 がその種の運転を許容する型式モデルである場合には、このときに併せてガスタービン 1 2 の入口案内翼の開度を増加させることで、排ガス A 2 の温度をさらに降下させる。

【 0 0 8 1 】

最新の商用ガスタービンは高い排ガス温度特性を有するため、許容できる最低出力運転を行い、かつ入口案内翼を開けて排ガス A 2 の温度を低下させたとしても、排ガス A 2 の温度は例えば 5 0 0 まで低減することが限界となる。主蒸気温度 B 3 が 3 0 7 から 3 2 7 に上昇すると、蒸気タービン 3 1 の通気許可条件が成立して通気が開始される（図 3）。

【 0 0 8 2 】

ここで、5 0 0 の排ガス A 2 が、通気後も主蒸気温度 B 3 を 3 2 7 より高温に上昇させ続けることを回避する必要がある。主蒸気温度 B 3 の上昇を回避しないと、最終的に主蒸気温度 B 3 は排ガス A 2 の温度に近接し、5 0 0 という高温になってしまう。この場合、蒸気タービン 3 1 に発生する熱応力が大きくなる問題が生じてしまう。

【 0 0 8 3 】

そこで、本実施形態では、主蒸気温度 B 3 の上昇に伴い、1 次過熱蒸気 A 4 に冷却水 A 3 を注入する減温制御を開始し、主蒸気 A 6 を冷却する。以下、この減温制御の詳細を説明する。

【 0 0 8 4 】

（ 6 ）コールド起動の通気時における減温制御

排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧および蒸気タービン 3 1 の通気の工程において、第 1 操作量 B 7 と第 2 操作量 C 7 の作用を図 1 ~ 図 3 を参照して説明する。図 3 中の符号 T は、減温器出口温度 C 3 と主蒸気温度 B 3 との温度差を表す。

$$\text{主蒸気温度 B 3} = \text{減温器出口温度 C 3} + T \quad \dots \quad \text{式 1}$$

【 0 0 8 5 】

温度差 T [ ] は、2 次過熱器 2 7 が減温器出口蒸気 A 5 を加熱する温度であり、具体的には、排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧時には 4 0 ~ 8 0 程度である。しかしその値は、発電プラント 1 の起動時の様々な運転条件に依存するため、その値を特定することは難しい。温度差 T は例えば、排ガス A 2 の温度や流量、2 次過熱器 2 7 のチューブメタル温度、ドラム 2 4 の圧力、主蒸気 A 6 の温度や流量等に依存する。また、温度差 T は、コールド起動の時間的経過に伴い大きくなっていくのが一般的である。

【 0 0 8 6 】

なお、コールド起動のメタル温度 B 1 は 8 0 なので、低値選択器 4 5 から出力される

10

20

30

40

50

設定値 B 5 は、設定器 4 1 に設定された 3 2 7 になる ( 図 3 ) 。

【 0 0 8 7 】

i ) 減温器出口温度 C 3 < 3 2 7 - T

排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧の初期において、減温器出口温度 C 3 が 3 2 7 - T よりも低い場合について説明する。ただし、ドラム 2 4 はすでに昇圧されており、バイパス調節弁 3 4 はドラム 2 4 を 7 . 0 M P a に維持するように開弁され制御されている。よって、圧力センサ P S 1 が計測する減温器出口圧力 C 1 は 7 . 0 M P a であり、関数発生器 5 1 が出力する飽和温度 C 2 は 2 8 7 ( 正確には 2 8 6 . 8 ) である。

【 0 0 8 8 】

そのため、温度センサ T S 1 が計測する減温器出口温度 C 3 が 3 2 7 ( 2 8 7 + 4 0 ) に到達するまでは、減温器出口過熱度 C 4 は 4 0 より小さい値なので、偏差 C 6 の極性はマイナスである。よって、第 2 P I D コントローラ 5 7 からの第 2 操作量 C 7 は下限値の 0 % である。

10

【 0 0 8 9 】

低値選択器 6 3 は、第 1 操作量 B 7 と第 2 操作量 C 7 の低値を選択する。この際、C 7 が 0 % であるため、B 7 の値にかかわらず弁操作量 D 2 は 0 % となり、減温調節弁 2 2 a は全閉状態となる。

【 0 0 9 0 】

また、i ) の期間中に主蒸気温度 B 3 は 3 0 7 に到達し、排ガス A 2 の温度はそれまでの 6 2 0 から 5 0 0 に低減され、次に行われる通気に備えることになる。

20

【 0 0 9 1 】

ii ) 減温器出口温度 C 3 = 3 2 7 - T

その後、減温器出口温度 C 3 が上昇して 3 2 7 - T に到達したとき、主蒸気温度 B 3 は 3 2 7 となる ( 式 1 を参照 ) 。これにより、蒸気タービン 3 1 の通気許可条件が成立して通気が開始される ( 図 3 ) 。ただし、圧力や流量などのその他の通気許可条件はすでに成立済みとする。

【 0 0 9 2 】

そのとき、第 1 操作量 B 7 に関しては、主蒸気温度 B 3 が 3 2 7 であり、その設定値 B 5 も 3 2 7 であるから、偏差 B 6 はゼロである。そして、C 3 が 3 2 7 - T より高温に上昇したとき、主蒸気温度 B 3 が 3 2 7 より高温になるため、偏差 B 6 の極性は

30

【 0 0 9 3 】

一方、減温器出口温度 C 3 が 3 2 7 ( 2 8 7 + 4 0 ) に到達するまでは、減温器出口過熱度 C 4 は 4 0 より小さい値なので、第 2 操作量 C 7 は依然として 0 % である。従って、低値選択器 6 3 は、第 1 操作量 B 7 の値にかかわらず第 2 操作量 C 7 を選択し、弁操作量 D 2 は 0 % となる。そのため、減温調節弁 2 2 a は全閉状態となり、冷却水 A 3 は注入されない。また、低値選択器 6 3 は、上限器 4 8 の作用により、第 1 操作量 B 7 の値として、弁操作量 D 2 「 0 % 」と設定値「 5 % 」との和である 5 % を受け取る。

【 0 0 9 4 】

その後、減温器出口温度 C 3 が 3 2 7 に上昇するまで、減温調節弁 2 2 a は全閉状態であり、冷却水 A 3 は注入されない。蒸気タービン 3 1 の通気は、主蒸気温度 B 3 が 3 2 7 になると開始され、主蒸気温度 B 3 が 3 2 7 より高温の主蒸気 A 6 が蒸気タービン 3 1 に供給されることになる。

40

【 0 0 9 5 】

iii ) 減温器出口温度 C 3 = 3 2 7

その後、減温器出口温度 C 3 が上昇して 3 2 7 に到達したとき、前述のとおり減温器出口過熱度 C 4 は 4 0 となり、偏差 C 6 はゼロとなる。そして、減温器出口温度 C 3 が 3 2 7 より高温に上昇したとき、偏差 C 6 の極性はプラスに転じ、第 2 操作量 C 7 は下限値の 0 % より大きくなる。

【 0 0 9 6 】

50

その結果、弁操作量 D 2 も 0 % より大きくなり、減温調節弁 2 2 a は開弁され、減温器出口過熱度 C 4 を 4 0 に維持するように冷却水 A 3 が注入される ( 図 3 )。減温器出口過熱度 C 4 を 4 0 に維持するということは、減温器出口の圧力が 7 . 0 M P a である場合において、減温器出口温度 C 3 を 3 2 7 に維持することを意味する。

【 0 0 9 7 】

この挙動をミクロ的な視点で観察すると、減温器出口温度 C 3 が 3 2 7 から微小に温度上昇すると、第 2 操作量 C 7 が増加して冷却水 A 3 が増量され、減温器出口温度 C 3 は 3 2 7 に戻る。なお、減温器出口温度が温度上昇する要因には、1 次過熱器 2 6 のチューブメタル温度が高温化して 1 次過熱蒸気 A 4 が高温化することなどがある。ここで、偏差 C 6 はゼロとなるが、減温器出口温度 C 3 が上昇して戻るというミクロ的な作用を繰り返すことで、弁操作量 D 2 は次第に増加する。そして、冷却水 A 3 の注入量が増加しながら、減温器出口温度 C 3 は 3 2 7 一定に維持され、減温器出口過熱度 C 4 は 4 0 に保持される ( 図 3 )。

10

【 0 0 9 8 】

この状態下における主蒸気温度 B 3 と第 1 操作量 B 7 の挙動を以下に説明する。

【 0 0 9 9 】

式 1 の関係より、主蒸気温度  $B 3 = 3 2 7 ( C 3 ) + T$  が成り立つ。T の値が一定であれば主蒸気温度 B 3 は一定であるが、2 次過熱器 2 7 のチューブメタル温度は次第に高温となり、主蒸気 A 6 はより加熱されやすくなる。そのため、第 2 操作量 C 7 の増加に伴う冷却水 A 3 の増加はあるものの、T は時間の経過と共に増大していく。

20

【 0 1 0 0 】

最終的にチューブメタル温度や冷却水量の変動は収まり、T の増大も収束する。この状態の T を T ' で表すと、以下の式 2 が成り立つ。

主蒸気温度  $B 3 = 3 2 7 + T ' \cdots$  式 2

なお T ' は一般的に、4 0 から 8 0 程度と見込まれるが、発電プラント 1 の運転条件で様々に変動する。

【 0 1 0 1 】

また、主蒸気温度の設定値 B 5 は 3 2 7 であるのに対し、主蒸気温度 B 3 は  $3 2 7 + T '$  であるから、偏差 B 6 は T ' ( プラス ) である。よって、第 1 P I D コントローラ 4 7 から出力される第 1 操作量 B 7 は増加しようとする挙動となり、低値選択器 6 3 が受け取る第 2 操作量 B 7 は、上限器 4 8 の作用により、第 2 操作量 C 7 に 5 % を上乗せした値に保持される。よって、コールド起動では、常に  $B 7 > C 7$  の関係が成立し、後述するウォーム起動のように  $B 7 > C 7$  と  $B 7 < C 7$  とが逆転するような事象は発生しない。

30

【 0 1 0 2 】

( 7 ) コールド起動における本実施形態の効果

もし冷却水 A 3 を注入しない通気方法を採用するならば、通気時に 3 2 7 であった主蒸気温度 B 3 は時間経過と共に上昇して、最終的には排ガス A 2 の温度に近接して最高で 5 0 0 近傍の高温になる。

【 0 1 0 3 】

一方、本実施形態によれば、主蒸気温度 B 3 は 3 2 7 から上昇するものの、最終的な状態で  $3 2 7 + T '$  ( T ' は 4 0 ~ 8 0 ) の比較的低温に維持される。これは、許容される過熱度 ( 4 0 以上 ) の範囲内で蒸気タービン 3 1 の通気に適した低い主蒸気温度 B 3 を得るという制御が実現されていることを意味する。

40

【 0 1 0 4 】

( 8 ) コールド起動と弁ストローク制御回路 3

図 4 は、第 1 実施形態のコールド起動におけるプラント制御方法をより詳細に説明するためのグラフである。

【 0 1 0 5 】

図 4 は、減温器出口温度 C 3 が 3 2 7 に到達したタイミングで、弁操作量 D 2 が 0 %

50

から増加し始める様子を示している。このタイミングで、比較器 7 2 からのスイッチ信号 D 3 がオフからオンへと変化し、弁操作量 D 6 も 0 % から増加し始める。積分器 7 5 が、一定値である S V % を積分するため、弁操作量 D 6 は、時間と共に一定の増加率で増加する。

#### 【 0 1 0 6 】

そのため、弁操作量 D 2、D 6 が 0 % から増加し始める時間から、弁操作量 D 2 と弁操作量 D 6 が再び一致する時間までの期間には、弁操作量 D 6 が弁操作量 D 2 よりも小さくなり、弁開度指令 D 1 は弁操作量 D 6 となる。一方、その後の期間には、弁操作量 D 6 が弁操作量 D 2 よりも大きくなり、弁開度指令 D 1 は弁操作量 D 2 となる。前者の期間は第 1 期間の例であり、後者の期間は第 2 期間の例である。

10

#### 【 0 1 0 7 】

図 4 の制御によれば、図 3 の制御に比べて、この第 1 期間における減温調節弁 2 2 a の開度の増加がランプ状にゆるやかになる。これにより、冷却水 A 3 の注入量が急激に変化して減温制御が不安定になることを抑制することが可能となる。

#### 【 0 1 0 8 】

( 9 ) ウォーム起動による蒸気タービン 3 1 の通気

図 5 は、第 1 実施形態のウォーム起動におけるプラント制御方法を説明するためのグラフである。

#### 【 0 1 0 9 】

以下、発電プラント 1 が停止された後、概ね 4 8 時間以内に再び発電プラント 1 を起動するウォーム起動について説明する。説明の便宜上、ウォーム起動のメタル温度 B 1 は残熱により 4 0 0 に保持されているとする。

20

#### 【 0 1 1 0 】

発電プラント 1 の起動では、最初にガスタービン 1 2 を起動して、G T 出力値を許容される出力値まで上昇させる。ガスタービン 1 2 より排出された排ガス A 2 は、排熱回収ボイラ 1 6 に送られて主蒸気 A 6 を生成する。ここに言う許容される出力は、蒸気タービン 3 1 の通気前なので一般に比較的小さい出力値であり、例えばガスタービン負荷の 1 0 % から 2 0 % 程度の部分負荷である。

#### 【 0 1 1 1 】

この起動初期に生成される主蒸気 A 6 は、その圧力、流量、温度が蒸気タービン 3 1 の通気を行うのに十分な許容値に達しないために、バイパス調節弁 3 4 を開弁させて復水器 3 5 に棄てられる。この起動工程は、排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧と呼ばれる。本実施形態では、バイパス調節弁 3 4 は、ドラム 2 4 の圧力が 7 . 0 M P a になるように開弁され制御される。ただし、このための回路の図示は省略する。

30

#### 【 0 1 1 2 】

排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧を継続しながら、主蒸気 A 6 の圧力、流量、温度は増加していく。この様子は、コールド起動と同様である。

#### 【 0 1 1 3 】

上述のように、設定器 4 1 には、コールド起動に配慮してメタル温度 B 1 の下限値 ( 3 2 7 ) が設定されている。高値選択器 4 2 は、メタル温度 B 1 と 3 2 7 の高値を選択し、選択した温度を制限メタル温度 B 2 として出力する。なお、設定器 4 1 に設定する 3 2 7 は、ドラム 2 4 の圧力が 7 . 0 M P a のときの飽和温度である 2 8 7 に、4 0 を加算した値である。

40

#### 【 0 1 1 4 】

本実施形態のウォーム起動において、制限メタル温度 B 2 は 4 0 0 なので、蒸気タービン 3 1 の通気は主蒸気温度 B 3 ( 主蒸気 A 6 の温度 ) が 4 0 0 になったときに開始される。主蒸気温度 B 3 を早く上昇させるために、最初は排ガス A 2 は 6 2 0 の高温を保持しながら排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧を行う。その後、主蒸気温度 B 3 が通気許可条件の近傍値である 3 8 0 に到達したときに、G T 出力値を、運転上許容できる最低の値 ( 例えば 5 % 程度の部分負荷 ) まで低下させて排ガス A 2 の温度を降下させる。その結

50

果、排ガス A 2 の温度は 5 0 0 に向けて低下し始める（図 5）。

【 0 1 1 5 】

この理由は、排ガス A 2 の温度を 6 2 0 に設定し続けた場合には、高温すぎる主蒸気 A 6 が生成されてしまうためであり、これを回避するために G T 出力値を低下させる。

【 0 1 1 6 】

最新の商用ガスタービンは高い排ガス温度特性を有するため、許容できる最低出力運転を行い、かつ入口案内翼を開けて排ガス A 2 の温度を低下させたとしても、排ガス A 2 の温度は例えば 5 0 0 程度に低減することが限界となる。

【 0 1 1 7 】

5 0 0 の排ガス A 2 により、主蒸気温度 B 3 が 3 8 0 から 4 0 0 に上昇し、蒸気タービン 3 1 の通気許可条件が成立して通気が開始される（図 5）。問題は、5 0 0 の排ガス A 2 が通気後も主蒸気 A 6 を加熱し続けると、主蒸気温度 B 3 が 4 0 0 よりもさらに上昇し、最終的に主蒸気温度 B 3 が排ガス A 2 の温度に近接して 5 0 0 近傍の高温になることである。これでは、蒸気タービン 3 1 に発生する熱応力が大きくなる問題が生じてしまう。

10

【 0 1 1 8 】

そこでウォーム起動においても、主蒸気温度 B 3 の上昇に伴い 1 次過熱蒸気 A 4 に冷却水 A 3 を注入する減温制御を開始し、主蒸気 A 6 を冷却する。しかしながら、その作用はコールド起動とは異なる。以下、この減温制御の詳細を説明する。

【 0 1 1 9 】

20

（ 1 0 ）ウォーム起動の通気時における減温制御

排熱回収ボイラ 1 6 の昇温・昇圧および蒸気タービン 3 1 の通気の工程において、第 1 操作量 B 7 と第 2 操作量 C 7 の作用を図 1、図 2、および図 5 を参照して説明する。説明の便宜のため、減温器出口温度 C 3 と主蒸気温度 B 3 の関係（式 1）をここに再掲する。符号 T は、減温器出口温度 C 3 と主蒸気温度 B 3 の温度差を表し、2 次過熱器 2 7 が減温器出口蒸気 A 5 を加熱する温度である。

$$\text{主蒸気温度 B 3} = \text{減温器出口温度 C 3} + T \quad \dots \quad \text{式 1}$$

【 0 1 2 0 】

i) 減温器出口温度 C 3 < 3 2 7 - T

コールド起動の i) と同じ理由で、弁操作量 D 2 は 0 % であり、減温調節弁 2 2 a は全閉状態である（図 5）。

30

【 0 1 2 1 】

ii) 減温器出口温度 C 3 = 3 2 7 - T

その後、減温器出口温度 C 3 が上昇して 3 2 7 - T に到達したとき、主蒸気温度 B 3 は 3 2 7 となる（式 1 を参照）。一方、低値選択器 4 5 から出力される設定値 B 5 は、制限メタル温度 B 2 の 4 0 0 であるから、偏差 B 6 の極性はマイナスとなる。従って、第 1 P I D コントローラ 4 7 から出力される第 1 操作量 B 7 は 0 % である。

【 0 1 2 2 】

よって、低値選択器 6 3 は、第 1 操作量 B 7 と第 2 操作量 C 7 の低値を選択する際に、第 2 操作量 C 7 の値にかかわらず第 1 操作量 B 7 を選択する。その結果、弁操作量 D 2 は 0 % となり、減温調節弁 2 2 a は全閉状態となる。これが意味するところは、ウォーム起動の通気に好適な 4 0 0 に主蒸気温度 B 3 が到達するまで、冷却水 A 3 を注入する必要がないということである。

40

【 0 1 2 3 】

この ii) の期間中に主蒸気温度 B 3 は 3 8 0 に到達し、排ガス A 2 の温度は 6 2 0 から 5 0 0 に低減されて、次に行われる通気に備えることになる。

【 0 1 2 4 】

iii) 減温器出口温度 C 3 = 3 2 7

その後、減温器出口温度 C 3 が上昇して 3 2 7 に到達したとき、減温器出口過熱度 C 4 は 4 0 となり偏差 C 6 はゼロとなる（図 5）。

50

## 【 0 1 2 5 】

iv) 減温器出口温度  $C_3 > 327$ 

減温器出口温度  $C_3$  が  $327$  から上昇すると、偏差  $C_6$  の極性はプラスに転じ、第 2 操作量  $C_7$  は  $0\%$  よりも大きくなる。このとき、主蒸気温度  $B_3$  は未だ  $400$  より低温なので、偏差  $B_6$  の極性は依然としてマイナスである。

## 【 0 1 2 6 】

そのため、第 1 P I D コントローラ  $47$  から出力される第 1 操作量  $B_7$  は  $0\%$  であり、第 2 P I D コントローラ  $57$  から出力される第 2 操作量  $C_7$  は  $0\%$  よりも大きい。その結果、低値選択器  $63$  は、弁操作量  $D_2$  として  $0\%$  を出力し、減温調節弁  $22a$  は全閉状態となる。

10

## 【 0 1 2 7 】

また、低値選択器  $63$  は、上限器  $58$  の作用により、第 2 操作量  $C_7$  の値として、弁操作量  $D_2$  「 $0\%$ 」と設定値「 $5\%$ 」との和である  $5\%$  を受け取る。

## 【 0 1 2 8 】

v) 減温器出口温度  $C_3 = 400 - T$ 

その後、減温器出口温度  $C_3$  が上昇して  $400 - T$  に到達したとき、主蒸気温度  $B_3$  は  $400$  (式 1 を参照) となり、蒸気タービン  $31$  の通気許可条件が成立して通気が開始される (図 5)。ただし、圧力や流量などのその他の通気許可条件はすでに成立済みとする。

## 【 0 1 2 9 】

20

そのとき、第 1 操作量  $B_7$  に関しては、主蒸気温度  $B_3$  が  $400$  であり、その設定値  $B_5$  も  $400$  であるから、偏差  $B_6$  はゼロである。そして、 $C_3$  が  $400 - T$  より高温に上昇したとき、主蒸気温度  $B_3$  が  $400$  より高温になるため、偏差  $B_6$  の極性はプラスに転じ、第 1 操作量  $B_7$  は下限値の  $0\%$  より大きくなる。よって、弁操作量  $D_2$  も  $0\%$  より大きくなり、減温調節弁  $22a$  は開弁され、主蒸気温度  $B_3$  を  $400$  に維持するように冷却水  $A_3$  が注入される。これは、ウォーム起動の通気に好適な  $400$  の主蒸気温度  $B_3$  を維持する制御が開始されたことを意味する。

## 【 0 1 3 0 】

これをミクロ的な視点で挙動を観察すると、主蒸気温度  $B_3$  が  $400$  から微小に温度上昇すると、第 1 操作量  $B_7$  が増加して冷却水  $A_3$  が増量され、主蒸気温度  $B_3$  は  $400$  に戻る。ここで、偏差  $B_6$  はゼロとなるが、主蒸気温度  $B_3$  が上昇して戻るというミクロ的な作用を繰り返すことで、冷却水  $A_3$  は増加しながら主蒸気温度  $B_3$  は  $400$  に維持される。

30

## 【 0 1 3 1 】

減温器出口温度  $C_3$  が  $400 - T$  のときの減温器出口過熱度  $C_4$  は  $40$  以上であり、偏差  $C_6$  の極性は依然としてプラスである。よって、第 2 P I D コントローラ  $57$  からの第 2 操作量  $C_7$  は増加しようとしており、上限器  $58$  の作用により  $C_7$  は  $B_7 + 5\%$  に保持されている。よって、低値選択器  $63$  では  $B_7 < C_7$  が成立し、低値選択器  $63$  は弁操作量  $D_2$  として  $B_7$  を出力し、減温調節弁  $22a$  は開弁され続ける。しかし、冷却水  $A_3$  の注入が増量される過程で、減温器出口温度  $C_3$  は低下していく。以下、この減温器出口温度  $C_3$  が低下する事象を、式 1 を使用して説明する。

40

## 【 0 1 3 2 】

式 1 より、主蒸気温度  $B_3 = 減温器出口温度 C_3 + T$  が成立する。主蒸気温度  $B_3$  は  $400$  に保持されるので、式 1 を変形すれば、以下の式 3 のようになる。

## 【 0 1 3 3 】

減温器出口温度  $C_3 = 400 - T \cdots$  式 3

この  $T$  は、時間経緯と共に増加していく。その第 1 の理由は、前述のように、2 次過熱器  $27$  のチューブメタル温度が高温化して主蒸気  $A_6$  がより加熱されやすくなるためである。加えて、その第 2 の理由は、時間経緯と共に主蒸気  $A_6$  の流量が増えるので、主蒸気温度  $B_3$  を  $400$  に維持しようとする、それに必要な冷却水  $A_3$  の量は増加し、減

50

温器出口温度  $C_3$  は低下するためである。主蒸気温度  $B_3$  を  $400$  に維持しつつ減温器出口温度  $C_3$  が低下することは、 $T$  が大きくなることを意味する。この2つの原因により、 $T$  が大きくなると式3により減温器出口温度  $C_3$  が低下していく。この様子は図5に示されている。

【0134】

vi)  $T = 73$  のとき

$T$  が  $73$  に増加したとき、式3により減温器出口温度  $C_3$  は  $327$  となる。前述のとおり、減温器出口温度  $C_3$  が  $327$  のときに、減温器出口過熱度  $C_4$  は  $40$  である。これは、主蒸気温度  $B_3$  を  $400$  に維持するための冷却水  $A_3$  の注入量と、減温器出口加熱度  $C_4$  を  $40$  に維持するための冷却水  $A_3$  の注入量が、等量となる場合に該当する。

10

【0135】

vii)  $T = 74$  のとき

$T$  がさらに  $73 + [ ]$ 、例えば  $74$  に増加した場合について説明する。 $T$  が  $74$  なので、式3により減温器出口温度  $C_3$  は  $326$  まで低下する。このとき、減温器出口過熱度  $C_4$  は  $39$  に低下し、偏差  $C_6$  の極性はマイナスに転じる。よって、第2PIDコントローラ57から出力される第2操作量  $C_7$  は、低減を開始する。

【0136】

viii)  $T > 74$  のとき

そして、減温器出口過熱度  $C_4$  が  $40$  に上昇、復帰するためには、冷却水  $A_3$  の注入量を減らす必要がある。そのため、第2PIDコントローラ57は  $C_7$  が低値選択器63により選択されるまで  $C_7$  を低減する制御を行うので、 $B_7 < C_7$  から  $B_7 > C_7$  への逆転が生じる。

20

【0137】

図5に示すように、実際にこの逆転が生じるタイミングは、上限器58が設置されているにもかかわらず、少し遅延する。減温器出口過熱度  $C_4$  は  $39$  より若干の降下を示すが、逆転後は冷却水  $A_3$  の注入量が減って  $40$  に復帰する。

【0138】

このようにして、冷却水  $A_3$  の注入量が減少すると主蒸気温度  $B_3$  は  $400$  より高くなり、偏差  $B_6$  の極性はプラスに転じ、第1PIDコントローラ47からの第1操作量  $B_7$  は増加する。よって、 $B_7 > C_7$  の関係が維持され、減温器出口過熱度  $C_4$  を  $40$  に維持する制御が継続される。換言すれば、減温器出口圧力  $C_1$  が  $7.0 \text{ MPa}$  であれば、減温器出口温度  $C_3$  を  $327$  に保つ制御が継続される。

30

【0139】

そして、最終的には  $T$  の変動は収束する。最終的な  $T$  の値を  $T'$  で表せば、式1より主蒸気温度  $B_3 = \text{減温器出口温度 } C_3 + T' = 327 + T'$  が成り立つ。この  $T'$  は、一般的に  $40$  から  $80$  程度と見込まれるが、発電プラント1の運転条件に応じて様々な値をとる。

【0140】

なお、 $T'$  が  $73$  に満たないケースでは、vi) と vii) と viii) は発生せず、主蒸気温度  $B_3$  が  $400$  の状態が継続されることになる。

40

【0141】

(10) ウォーム起動における本実施形態の効果

このウォーム起動においては、蒸気タービン31のメタル温度「 $400$ 」に対して主蒸気温度  $B_3$  が  $400$  という理想的な起動方法が実現されていることが指摘される。これは、第1PIDコントローラ47が主蒸気温度  $B_3$  を制限メタル温度  $B_2$  に保持するようにしたことの効果である。

【0142】

本実施形態がこのような温度制御を採用可能な理由は、本実施形態の発電プラント1で使用される商用のガスタービン12は排ガス  $A_2$  をウォーム起動に適した低温 ( $400$

50

近傍)にすることが可能であり、よって400程度の主蒸気温度B3を実現できるからである。一方、排ガスA2の温度と主蒸気温度B3との間に偏差を生じ、排ガスA2の温度をどのように制御しても主蒸気温度B3を精度よく400に維持することが難しいことから、このような温度制御の採用は従来難しかった。このような温度制御は理想的であるが、過熱度の問題がその採用を難しくしていた。

【0143】

しかし、本実施形態によれば、この過熱度の問題を、第1操作量B7と第2操作量C7の低値選択を行うことで解決することができる。上記のviii)におけるB7とC7の逆転の作用が、この例に該当する。

【0144】

上述のように、2次過熱器27による加熱温度T(その最終値であるT'も含む)は、発電プラント1の運転条件や時間経過によって変動し、その取扱いに困難さがある。加熱温度Tは、過熱度の問題に大きく影響する数量である。本実施形態では、第1操作量B7と第2操作量C7の低値選択を行うことで、時間経過と共に変化していくTに応じて冷却水A3の注入量を適切に制御することができ、これにより過熱度の問題を解決することができる。

【0145】

なお、図4で説明した内容は、図5にも適用可能である。

【0146】

以上のように、本実施形態では、第1操作量B7と第2操作量C7とに基づいて、冷却水A3の注入量を制御する。よって、本実施形態によれば、過熱度に関する制約を考慮しつつ、主蒸気温度を適切に制御することが可能となる。

【0147】

なお、第2PIDコントローラ57は、減温器22の出口の過熱度を設定値(SV)とし、減温器22の出口の過熱度を制御しているが、代わりに、減温器22の出口の温度を設定値(SV)とし、減温器22の出口の温度を制御してもよい。これにより、図1から図5を参照して説明した制御と同様の制御を実現することが可能となる。この場合、減算器56には、SVとして「減温器出口温度C3」が入力され、PVとして「飽和温度C2+40」が入力される。その結果、偏差C6は、以下の式4のように与えられる。

$$C6 = C3 - (C2 + 40) \quad \dots \quad \text{式4}$$

式4に「C4 = C3 - C2」を代入すると、以下のようになる。

$$C6 = C4 - 40 \quad \dots \quad \text{式5}$$

式5の偏差C6は、図2を参照して説明した減算器56の出力と一致していることに留意されたい。

【0148】

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、本明細書で説明した装置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】

【0149】

- 1：発電プラント、2：プラント制御装置、3：弁ストローク制御回路、
- 11：圧縮機、12：ガスタービン、13：GT発電機、
- 14：燃焼器、15：燃料調節弁、16：排熱回収ボイラ、
- 21：給水ポンプ、22：減温装置、22a：減温調節弁、
- 22b：減温器、23：節炭器、24：ドラム、
- 25：蒸発器、26：1次過熱器、27：2次過熱器、
- 31：蒸気タービン、32：ST発電機、33：加減弁、

10

20

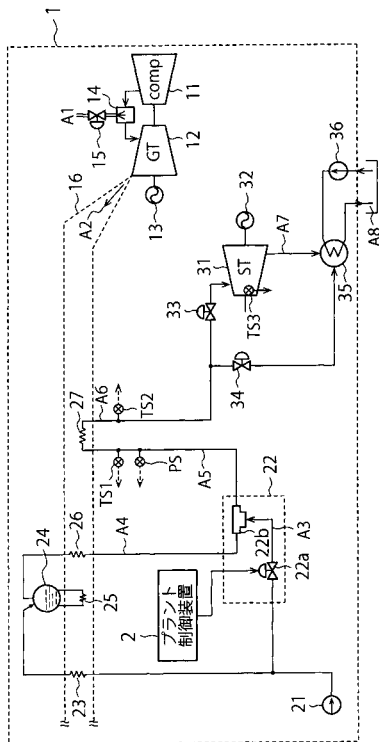
30

40

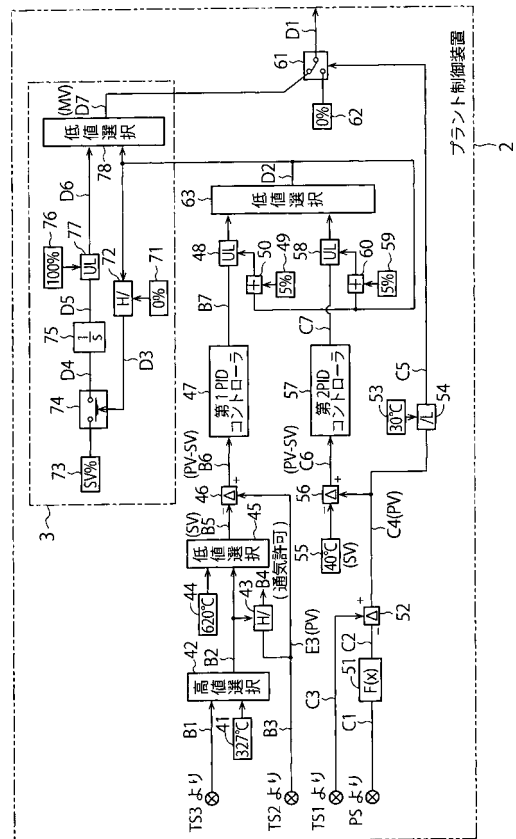
50

- 34 : バイパス調節弁、 35 : 復水器、 36 : 循環水ポンプ、
- 41 : 設定器、 42 : 高値選択器、 43 : 比較器、 44 : 設定器、
- 45 : 低値選択器、 46 : 減算器、 47 : 第1PIDコントローラ、
- 48 : 上限器、 49 : 設定器、 50 : 加算器、
- 51 : 関数発生器、 52 : 減算器、 53 : 設定器、 54 : 比較器、
- 55 : 設定器、 56 : 減算器、 57 : 第2PIDコントローラ、
- 58 : 上限器、 59 : 設定器、 60 : 加算器、
- 61 : 切替器、 62 : 設定器、 63 : 低値選択器、
- 71 : 設定器、 72 : 比較器、 73 : 設定器、 74 : 切替器、
- 75 : 積分器、 76 : 設定器、 77 : 上限器、 78 : 低値選択器

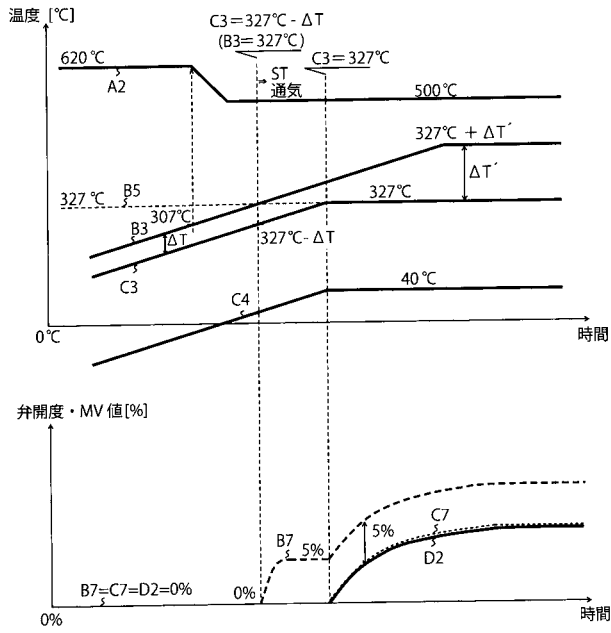
【 図 1 】



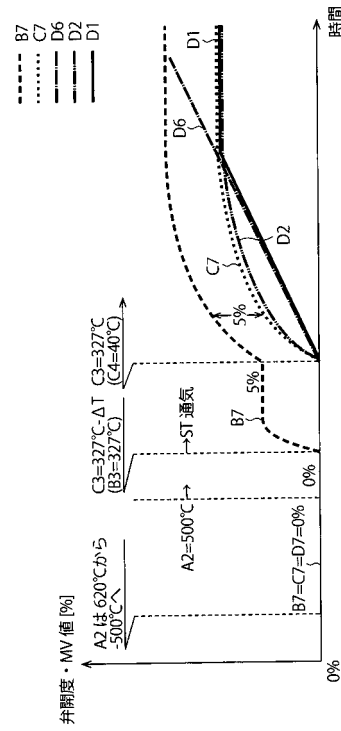
【 図 2 】



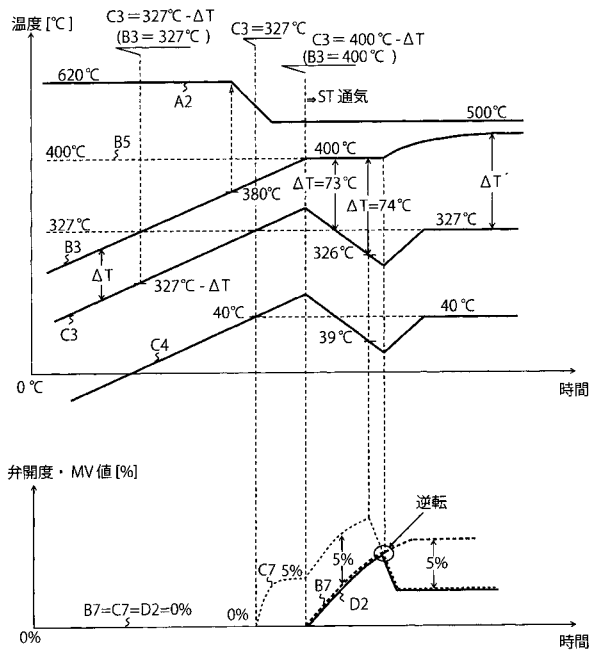
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100107582

弁理士 関根 毅

(74)代理人 100124372

弁理士 山ノ井 傑

(72)発明者 ブッパウエス ウィーラパッタ

神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内

(72)発明者 初見 宏

神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内

(72)発明者 当房 昌幸

神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内

Fターム(参考) 3G071 AB01 BA09 BA22 CA01 FA06 HA04

3G081 BA02 BA11 BC07 DA03