

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7519953号  
(P7519953)

(45)発行日 令和6年7月22日(2024.7.22)

(24)登録日 令和6年7月11日(2024.7.11)

(51)国際特許分類		F I			
G 2 1 D	3/00 (2006.01)	G 2 1 D	3/00		D
G 2 1 D	3/04 (2006.01)	G 2 1 D	3/04		T

請求項の数 6 (全13頁)

(21)出願番号	特願2021-81470(P2021-81470)	(73)特許権者	000006208
(22)出願日	令和3年5月13日(2021.5.13)		三菱重工株式会社
(65)公開番号	特開2022-175232(P2022-175232 A)	(74)代理人	100149548
(43)公開日	令和4年11月25日(2022.11.25)		弁理士 松沼 泰史
審査請求日	令和5年8月25日(2023.8.25)	(74)代理人	100162868
			弁理士 伊藤 英輔
		(74)代理人	100161702
			弁理士 橋本 宏之
		(74)代理人	100189348
			弁理士 古都 智
		(74)代理人	100196689
			弁理士 鎌田 康一郎
		(72)発明者	大槻 昇平
			東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 出力制御方法、制御装置及び原子力プラント

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

原子炉と、蒸気発生器と、タービンと、を含む原子力プラントの出力変動を要求する要求信号を取得するステップと、

前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路に設けられた蒸気加減弁について、前記要求信号が要求する前記出力変動後の出力に対応する前記蒸気加減弁の開度である第1開度を算出するステップと、

算出された前記第1開度が、前記原子力プラントの定格出力における前記蒸気加減弁の開度よりも小さい場合、前記出力に基づいて、前記タービンをバイパスするバイパス経路に設けられたタービンバイパス弁の開度である第2開度を算出するステップと、

を有し、

前記第2開度を算出するステップでは、前記出力が小さい程、前記第2開度を大きく設定し、前記出力が大きい程、前記第2開度を小さく設定することを定め、且つ、前記第2開度が、全開よりも小さい所定の開度に達すると、前記出力が小さくなくても前記所定の開度を維持することを定めた対応テーブル情報と、前記出力と、に基づいて前記第2開度を算出する、

出力制御方法。

【請求項2】

前記所定の開度は、負荷遮断時に前記タービンへ供給する必要が無い余剰の蒸気を逃すことができる追加の弁開度を確保した開度である、

請求項 1 に記載の出力制御方法。

【請求項 3】

前記第 1 開度を算出するステップでは、前記原子力プラントの出力を低下させる場合には、前記第 1 開度を減少させ、前記原子力プラントの出力を上昇させる場合には、前記第 1 開度を増加させる、

請求項 1 または請求項 2 に記載の出力制御方法。

【請求項 4】

前記原子力プラントの出力を低下させる場合、前記タービンバイパス弁の開度制御により達成することができる前記原子力プラントの出力低下分を除いた残りの出力の低下分を、前記原子炉の出力低下によって達成するように前記原子炉の出力制御を行うステップ、  
をさらに有する請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項に記載の出力制御方法。

10

【請求項 5】

原子炉と、蒸気発生器と、タービンと、を含む原子力プラントの出力変動を要求する要求信号を取得する信号取得部と、

前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路に設けられた蒸気加減弁について、前記要求信号が要求する前記出力変動後の出力に対応する前記蒸気加減弁の開度である第 1 開度を算出する蒸気加減弁制御部と、

算出された前記第 1 開度が、前記原子力プラントの定格出力における前記蒸気加減弁の開度よりも小さい場合、前記タービンをバイパスするバイパス経路に設けられたタービンバイパス弁の開度である第 2 開度を前記出力に基づいて算出するバイパス弁制御部と、

20

を有し、

前記バイパス弁制御部は、前記出力が小さい程、前記第 2 開度を大きく設定し、前記出力が大きい程、前記第 2 開度を小さく設定することを定め、且つ、前記第 2 開度が、全開よりも小さい所定の開度に達すると、前記出力が小さくなくても前記所定の開度を維持することを定めた対応テーブル情報と、前記出力と、に基づいて前記第 2 開度を算出する、  
制御装置。

【請求項 6】

原子炉と、蒸気発生器と、タービンと、

前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路と、前記供給経路に設けられた蒸気加減弁と、

30

前記タービンをバイパスするバイパス経路と、前記バイパス経路に設けられたタービンバイパス弁と、

請求項 5 に記載の制御装置と、

を備える原子力プラント。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、出力制御方法、制御装置及び原子力プラントに関する。

【背景技術】

【0002】

40

従来、原子力プラントは一定の出力で運転されることが多かったが、再生可能エネルギーの普及等を背景として、柔軟に出力を調整して運転することが求められるようになってきている。原子力プラントの発電量を変動させるには、蒸気加減弁の開度を調節することによって、発電機を駆動するタービンへの蒸気の供給量を変動させる。具体的には、原子力プラントの発電量を低下させる場合、蒸気の供給量を減少させ、原子力プラントの発電量を上昇させる場合、蒸気の供給量を増加させる。特許文献 1、2 には、BWR (Boiling Water Reactor) 型の原子力プラントについて、蒸気加減弁の開度を調節することによって、負荷変更要求に対し負荷追従運転を行うことが開示されている。また、特許文献 1、2 には、蒸気加減弁の開度制御と合わせて、タービンをバイパスするように設けられた配管に設けられたタービンバイパス弁の開閉を行って、タービンへの蒸気の供給量を調整する

50

ことが開示されている。

【0003】

タービンへの蒸気の供給量を増減させるためには、蒸気加減弁等の調整と並行して、蒸気発生器で生成される蒸気の量を増減させる制御が行われる。これは、原子炉の出力を増減させることによって実現される。即ち、原子炉の出力を上昇させると、蒸気発生器で発生される蒸気の量が増加し、原子炉の出力を減少させると、蒸気発生器で発生される蒸気の量が減少する。原子炉の出力制御は、一次冷却水のホウ素濃度の調節や制御棒の位置制御などの方法によって行われる。例えば、ホウ素濃度の上昇や制御棒の挿入によって、原子炉の出力は低下し、ホウ素濃度の低下や制御棒の引き抜きによって、原子炉の出力は上昇する。

10

【0004】

原子炉の出力を変動させることには様々な制限が付随する。例えば、制御棒の挿入具合によって原炉内の核反応に偏りが生じ、炉内の出力分布に偏りが生じるが、これを安全上問題ない範囲で運転する制約がある。また、制御棒を挿入した状態で原子を運転することは、制御棒に負担を掛け、制御棒の健全性を損なわせることにつながる。また、原子炉出力の変動は、蒸気加減弁等の開閉による出力調整に比べ時間を要する。特許文献1には、原子炉出力と原子力プラントの発電量の mismatch を吸収するためにタービンバイパス弁を開くことが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0005】

【文献】特開2015-222230号公報

【文献】特開2019-148539号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

原子炉の出力変動をできるだけ抑制しつつ、原子力プラントの発電量を変動させることができる制御方法が求められている。

【0007】

本開示は、上記課題を解決することができる出力制御方法、制御装置及び原子力プラントを提供する。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

本開示の出力制御方法は、原子炉と、蒸気発生器と、タービンと、を含む原子力プラントの出力変動を要求する要求信号を取得するステップと、前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路に設けられた蒸気加減弁について、前記要求信号が要求する前記出力変動後の出力に対応する前記蒸気加減弁の開度である第1開度を算出するステップと、算出された前記第1開度が、前記原子力プラントの定格出力における前記蒸気加減弁の開度よりも小さい場合、前記出力に基づいて、前記タービンをバイパスするバイパス経路に設けられたタービンバイパス弁の開度である第2開度を算出するステップと、を有し、前記第2開度を算出するステップでは、前記出力が小さい程、前記第2開度を大きく設定し、前記出力が大きい程、前記第2開度を小さく設定することを定め、且つ、前記第2開度が、全開よりも小さい所定の開度に達すると、前記出力が小さくても前記所定の開度を維持することを定めた対応テーブル情報と、前記出力と、に基づいて前記第2開度を算出する。

40

【0009】

本開示の制御装置は、原子炉と、蒸気発生器と、タービンと、を含む原子力プラントの出力変動を要求する要求信号を取得する信号取得部と、前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路に設けられた蒸気加減弁について、前記要求信号が要求する前記出力変動後の出力に対応する前記蒸気加減弁の開度である第1開度を算出する蒸気加

50

減弁制御部と、算出された前記第 1 開度が、前記原子力プラントの定格出力における前記蒸気加減弁の開度よりも小さい場合、前記タービンをバイパスするバイパス経路に設けられたタービンバイパス弁の開度である第 2 開度を前記出力に基づいて算出するバイパス弁制御部と、を有し、前記バイパス弁制御部は、前記出力が小さい程、前記第 2 開度を大きく設定し、前記出力が大きい程、前記第 2 開度を小さく設定することを定め、且つ、前記第 2 開度が、全開よりも小さい所定の開度に達すると、前記出力が小さくなくても前記所定の開度を維持することを定めた対応テーブル情報と、前記出力と、に基づいて前記第 2 開度を算出する。

【 0 0 1 0 】

本開示の原子力プラントは、原子炉と、蒸気発生器と、タービンと、前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路と、前記供給経路に設けられた蒸気加減弁と、前記タービンをバイパスするバイパス経路と、前記バイパス経路に設けられたタービンバイパス弁と、上記の制御装置と、を有する。

10

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

上述の出力制御方法、制御装置及び原子力プラントによれば、原子炉の出力変動を抑制しつつ、原子力プラントの発電量の変動に対応することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】実施形態に係る原子力プラントの概略を示す模式図である。

20

【図 2】実施形態に係るタービンバイパス弁の制御について説明する図である。

【図 3】実施形態に係るバイパスを流れる蒸気流量、原子炉出力およびタービン出力の関係を示す図である。

【図 4】実施形態に係る出力制御の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

<実施形態>

以下、本開示の出力制御について、図 1 ~ 図 4 を参照して説明する。以下の説明では、同一または類似の機能を有する構成に同一の符号を付す。そして、それら構成の重複する説明は省略する場合がある。「XX または YY」とは、XX と YY のうちいずれか一方の場合に限定されず、XX と YY の両方の場合も含み得る。これは選択的要素が 3 つ以上の場合も同様である。

30

【 0 0 1 4 】

(構成)

図 1 は、PWR (Pressurized Water Reactor) 型の原子力プラントの概略を示す模式図である。原子力プラント 100 は、原子炉 1 と、蒸気発生器 4 と、タービン 6 と、復水器 7 と、制御装置 10 と、を備える。

【 0 0 1 5 】

原子炉 1 には、燃料クラスタ 2 と、複数の制御棒 3 と、が設けられている。複数の制御棒 3 は、炉心軸方向に上下させて原子炉 1 の出力を制御する。原子炉 1 の出力の目標値に対応する制御棒 3 の位置は予め定められている。後述するように本実施形態では、原子力プラント 100 の発電量を同じ量だけ変動させる場合に、従来の制御方法よりも制御棒 3 の駆動量を小さくすることができ、原子炉 1 の出力変動を小さくすることができる。

40

【 0 0 1 6 】

原子炉 1 と蒸気発生器 4 とは、配管 L 1、L 2 により接続されており、原子炉 1 と、配管 L 1 と、蒸気発生器 4 と、配管 L 2 とを通じて一次冷却材を循環させる。一次冷却材が循環する系統を一次冷却系統と呼ぶ。一次冷却系統には、一次冷却材に含まれるホウ素の濃度を調整するホウ素濃度調整装置 9 が設けられている。例えば、ホウ素濃度調整装置 9 から一次冷却材にホウ素を添加することにより、原子炉 1 の出力を低下させることができる。ホウ素濃度を希釈する場合、ホウ素濃度調整装置 9 から純水を一次冷却材に注入する

50

。後述するように本実施形態では、原子力プラント100の発電量を同じ量だけ変動させる場合に、従来の制御方法よりもホウ素濃度の希釈や濃縮に要するホウ素の添加量や純水の注入量を少なくすることができる。

【0017】

蒸気発生器4は、タービン6を含む二次冷却系統を流通する二次冷却水と、一次冷却系統を循環する一次冷却水とを熱交換させて、二次冷却水を加熱し、蒸気を発生させる。二次冷却系統は、蒸気発生器4とタービン6との間で、熱媒体（水蒸気又は水）を循環させる。二次冷却系統では、熱媒体を、蒸気発生器4と、配管L3と、タービン6と、配管L4と、復水器7と、配管L5と、を通して循環させている。蒸気発生器4が発生させた蒸気は、配管L3を通じてタービン6へ供給される。配管L3には、ガバナ弁（蒸気加減弁）5が設けられている。ガバナ弁5の開度を増加させるとタービン6へ供給される蒸気流量が増加し、ガバナ弁5の開度を減少させるとタービン6へ供給される蒸気流量が減少する。

10

【0018】

タービン6は、蒸気発生器4で発生させた蒸気によって、主軸が回転駆動される蒸気タービンである。このタービン6の主軸には、図示しない発電機が接続されている。発電機は、タービン6の主軸の回転エネルギーを電気エネルギーに変換し発電する。発電機で発電された電力は、例えば、原子力プラント100の外部等に供給される。タービン6の出力は原子力プラント100の発電量と対応している。

【0019】

タービン6の出力を上昇させる場合、ガバナ弁5の開度を増加させ、タービン6の出力を低下させる場合、ガバナ弁5の開度を減少させる。ガバナ弁5の開度制御に合わせ、一次冷却系統では、二次冷却系統で循環する熱媒体の流量（蒸気流量）とバランスを取るようして原子炉1の出力が調整される。タービン6の出力を上昇させる場合、原子炉1の出力（熱出力）を上昇させて、蒸気発生器4が発生させる蒸気を増加させる。タービン6の出力を低下させる場合、原子炉1の出力（熱出力）を低下させ、蒸気発生器4が発生させる蒸気を減少させる。原子炉1の出力制御には、ホウ素濃度の調整や制御棒3の位置制御が用いられる。

20

【0020】

タービン6を経た蒸気は、配管L4を通じて復水器7へ送られる。復水器7は、タービン6から吐出された蒸気を冷却して復水（凝縮）させる。復水器7により凝縮された水は、配管L5を通して、蒸気発生器4に戻される。

30

【0021】

バイパス管L6は、タービン6をバイパスするように配管L3と配管L4とを連通する。つまり、二次冷却系統におけるタービン6およびガバナ弁5よりも上流側（蒸気発生器4に近い側）と、タービン6よりも下流側且つ復水器7の上流側とを接続している。バイパス管L6には、タービンバイパス弁8（以下、バイパス弁8と記載する場合がある。）が設けられている。バイパス弁8を閉とすると、蒸気発生器4で発生させた蒸気は全てタービン6へ供給され、バイパス弁8を開とすると、蒸気の一部はタービン6へ供給されることなく、復水器7へと送られる。バイパス管L6を通じて復水器7へと送られる蒸気は、タービン6の出力に寄与しない。通常、バイパス弁8は、閉状態に制御され、負荷遮断等の大きな外乱が発生したときに使用される。つまり、負荷遮断時など、短時間で大幅に原子力プラント100の発電量を低下させる必要がある場合に、バイパス弁8を開として、蒸気を逃がし、急速にタービン6の出力を低下させる目的で使用される。

40

【0022】

制御装置10は、原子力プラント100を制御する。制御装置10は、信号取得部11と、制御部12と、を備える。

信号取得部11は、原子力プラント100に要求する発電量の大きさを示すタービンガバナ弁開度要求信号を取得する。例えば、タービンガバナ弁開度要求信号（以下、要求信号と記載する場合がある。）には、100%の定格出力（定格の発電量）での運転を要求

50

する情報や、定格出力の50%での運転を要求する情報などが含まれている。

【0023】

制御部12は、制御棒3、ホウ素濃度調整装置9、ガバナ弁5、バイパス弁8などを動作させて、原子力プラント100（タービン6）の発電量を、要求信号が示す値へ制御する。例えば、制御部12は、要求信号が示す目標出力（目標発電量）に合わせて、ガバナ弁5の開度を変えて、タービン6へ供給する蒸気流量を調整する。また、制御部12は、調整後の蒸気流量に応じた原子炉1の出力とすべく、制御棒3の位置や一次冷却水のホウ素濃度を調節する。タービンガバナ弁開度要求信号を取得した際に、当該要求信号が示すタービン6の目標出力に合わせてガバナ弁5の開度を制御してタービン6へ供給する蒸気流量を調節し、タービン6へ供給する蒸気流量とバランスするように原子炉1の出力を調整する制御は、PWR型の原子力プラントにおける一般的な出力制御である。

10

【0024】

説明の便宜のため、以下では、一般的な出力制御により、原子力プラント100の発電量（タービン6の出力）を定格出力のX%に低下させるためには、蒸気流量をX%にしなければならず、蒸気流量（蒸気発生器4による蒸気の発生量）をX%にするためには、原子炉1の出力をX%にしなければならないとする。すると、一般的な出力制御を用いて、タービン6の出力を定格出力の50%にするためには、原子炉1の出力を50%にしなければならない。原子炉1の出力を50%低下させるためには、例えば、原子炉1の出力を80%に低下させる場合と比較して、制御棒3の駆動量やホウ素濃度の希釈・濃縮の調整量が多く、一次冷却系統側の処理負担が大きい。また、出力が50%にて安定するまでの時間も長くなりがちである。また、原子炉1の出力を低下させる程度が大きいと、それだけ制御棒3を深く挿入した状態で運転することになり、制御棒3の劣化などを招きやすくなる。これらのことを勘案すると、一次冷却系統側の出力変動をできるだけ抑制して、タービン6の出力を要求信号にて要求される出力に追従させることが好ましい。そこで、本実施形態では、バイパス弁8の本来の目的・役割を損なわない範囲で、タービン6の出力変動を達成するためにバイパス弁8を活用し、一次冷却系統側の処理負担を軽減する。また、その際、一般的な出力制御の際に用いられているタービンガバナ弁開度要求信号を流用する。

20

【0025】

制御部12は、ガバナ弁制御部13と、バイパス弁制御部14と、を備える。バイパス弁制御部14は、タービン6の出力を変動させる際に、目標出力に基づいて、ガバナ弁5と連動させてバイパス弁8の開度を変更する。ここで、図2を参照する。

30

【0026】

図2は、実施形態に係るタービンバイパス弁の制御について説明する図である。

図2にガバナ弁5の開度とバイパス弁8の開度の関係を示す。対応テーブル21は、ガバナ弁5の開度とタービン6の出力との関係を定めている。対応テーブル21の縦軸はガバナ弁5の開度、横軸はタービン6の出力を示している。対応テーブル22は、バイパス弁8の開度とタービン6の出力との関係を定めている。対応テーブル22の縦軸はバイパス弁8の開度、横軸はタービン6の出力を示している。制御部12は、対応テーブル21と対応テーブル22を有している。制御部12は、タービンガバナ弁開度要求信号を取得すると、ガバナ弁制御部13とバイパス弁制御部14にそれぞれ、ガバナ弁5とバイパス弁8の制御を指示する。ガバナ弁制御部13は、対応テーブル21に基づいて、ガバナ弁5の開度を決定する。図示するように、対応テーブル21には、タービン6の出力が上昇すると、ガバナ弁5の開度が増加し、タービン6の出力が低下すると、ガバナ弁5の開度が低下するように設定されている。例えば、出力を50%に低下させる場合、ガバナ弁制御部13は、対応テーブル21に基づいて、ガバナ弁5の開度をA%と算出する。ガバナ弁制御部13は、ガバナ弁5の開度をA%に制御する。

40

【0027】

一方、バイパス弁制御部14は、ガバナ弁制御部13によるガバナ弁5の開度指令値（この例の場合、A%）が定格出力に対応する開度（例えば、A1%）よりも減少している

50

場合、対応テーブル 2 2 に基づいて、バイパス弁 8 の開度を算出する。図示するように、対応テーブル 2 2 は、ガバナ弁 5 の開度が増加（タービン 6 の出力上昇）すると、バイパス弁 8 の開度が減少し、ガバナ弁 5 の開度が減少（タービン 6 の出力低下）すると、バイパス弁 8 の開度が増加するように設定されている。通常は閉状態のバイパス弁 8 を開き始める制御点 B は、出力 100% の位置になるべく近いこと（例えば、100% 位置と一致させてもよい。）が好ましい。つまり、タービン 6 の目標出力が定格出力から低下したときになるべく速やかにバイパス弁 8 が開き始めるように制御されることが好ましい。このように設定することにより、一次冷却システムの処理負担を軽減することができる（後述）。

#### 【0028】

また、バイパス弁 8 の本来の目的は、送電システムの異常等で負荷遮断等が発生した際に、一定量の除熱量（蒸気流量の逃がし量）を確保することであり、負荷が接続されている運転状態においてバイパス弁 8 を全開としてしまうと、負荷遮断時に本来の役割を果たすことができない。バイパス弁 8 の開度は、タービン 6 の出力に応じて、負荷遮断発生時に必要な除熱量を確保可能な弁開度余裕を有している必要がある。この弁開度余裕を確保するために、図 2 の例では、負荷遮断が生じて最低限必要な徐熱量を確保することができる開度 C % を上限として、バイパス弁 8 を開くことができるように定められている。

#### 【0029】

本実施形態では、タービンガバナ弁開度要求信号を取得すると、ガバナ弁 5 とバイパス弁 8 の開度制御を並行して行うことにより、原子力プラント 100 の出力変動（発電量の変動）に対応する。ここで再び図 1 を参照する。上記した例と同様に、原子力プラント 100 の発電量（タービン 6 の出力）を定格出力の 50% まで低下させる場合について検討する。まず、一般的な出力制御と同様にして、原子炉 1 の出力を 50% まで低下させることを考える。上述のとおり、本実施形態では、タービン 6 の出力を低下させる場合、バイパス弁制御部 14 が、対応テーブル 2 2 に基づいてバイパス弁 8 を開く制御を行う。ここでは、一例として、対応テーブル 2 2 に基づいてバイパス弁 8 を開くことにより、50% に低下した蒸気流量のうちの 20% がバイパス管 L 6 へ流れ、タービン 6 へは残りの 30% が供給されるとする。また、タービン 6 へ供給される蒸気流量が定格出力時の 30% に低下したときのタービン 6 の出力が定格出力の 30% であるとする。すると、本実施形態によれば、バイパス弁 8 の開度制御と合わせて、原子炉 1 の出力を 50% にすることにより、タービン 6 の出力を 30% にまで低下することができる。換言すれば、バイパス弁 8 の開度制御を加えることによって、タービン 6 の出力を定格出力の 50% に低下させるために、原子炉 1 の出力を 50% にまで低下させる必要がなくなる。

#### 【0030】

例えば、ガバナ弁 5 とバイパス弁 8 の開度制御を並行して行うことにより、原子炉 1 の出力を 80% まで低下させることによって、タービン 6 の出力を 50% に低下させることができるとする。また、原子炉 1 の出力を 80% とすることに対応するガバナ弁 5 の開度が 80% であるとする。すると、制御部 12 は、原子力プラント 100 の発電量を 50% にすることを要求する要求信号を取得すると、対応テーブル 2 1 に基づいて、この要求をガバナ弁 5 の開度 80% に換算する。つまり、対応テーブル 2 1 には、従来のバイパス弁 8 を併用しない場合に必要となるガバナ弁 5 の開度ではなく、バイパス弁 8 を併用する場合のタービン 6 の出力とガバナ弁 5 の開度が対応付けられている。ここでタービン 6 の出力を低下させる場合、出力低下後のガバナ弁 5 の開度は、本実施形態の出力制御によるガバナ弁 5 の開度 > 一般的な出力制御によるガバナ弁 5 の開度が成立する。また、対応テーブル 2 2 には、ガバナ弁 5 の開度制御と併用してバイパス弁 8 の開度制御を行う場合に、目標出力（目標発電量）を達成する為のタービン 6 の出力とバイパス弁 8 の開度が対応付けられている。このような対応テーブル 2 1、2 2 に基づいて、ガバナ弁 5 とバイパス弁 8 の開度制御を並行して行うことで、従来に比べて原子炉 1 の出力を変動させることなく（ガバナ弁 5 の開度を大きく変更すること無く）、原子力プラント 100 の出力を所望の値に制御することができる。また、ガバナ弁 5 とバイパス弁 8 を併用して、タービン 6 へ供給する蒸気流量を低下させることにより、速やかにタービン 6 の出力を低下させること

ができる。また、一次冷却系統の出力変動を抑制することによって、従来の制御方法で出力制御を行う場合に比べて安定した運転が可能になる。

#### 【 0 0 3 1 】

( 動作 )

次に図 3、図 4 を参照して、本実施形態の出力制御における原子力プラント 1 0 0 の動作について説明する。図 3 は、実施形態に係るバイパス配管 L 6 を流れる蒸気流量、原子炉出力およびタービン出力の関係を示す図である。図 4 は、実施形態に係る出力制御の一例を示すフローチャートである。

#### 【 0 0 3 2 】

図 3 のグラフの縦軸は出力又は蒸気流量を示し、横軸は時間を示す。グラフ 3 1 , 3 2 , 3 3 は、それぞれ、原子炉 1 の出力と、タービン 6 の出力と、バイパス弁 8 の開度変化の一例を示す。信号取得部 1 1 は、 $t = 0$  にタービン 6 の出力を定格出力の 3 0 % まで低下させる要求信号を取得し、 $t = t 1$  にタービン 6 の出力を定格出力に戻すことを要求する要求信号を取得する。この場合の処理の流れを図 4 のフローチャートに沿って説明する。

10

#### 【 0 0 3 3 】

(  $t 0$  : 出力低下 )

時間  $t 0$  に信号取得部 1 1 が出力を 3 0 % まで低下させることを要求するタービンガバナ弁開度要求信号を取得すると ( ステップ S 1 )、信号取得部 1 1 は、制御部 1 2 へこの信号を出力する。制御部 1 2 では、ガバナ弁制御部 1 3 が、対応テーブル 2 1 に基づいて、出力 3 0 % に対応するガバナ弁 5 の開度を算出する ( ステップ S 2 )。ガバナ弁制御部 1 3 は、ガバナ弁 5 の現在の開度とステップ S 2 で算出した開度をバイパス弁制御部 1 4 へ出力する。次にガバナ弁制御部 1 3 は、ガバナ弁 5 の開度がステップ S 2 で算出した開度となるよう制御する ( ステップ S 3 )。出力低下の場合、ガバナ弁制御部 1 3 は、ガバナ弁 5 の開度を減少させる。この制御と連動して、制御部 1 2 は、低下後のガバナ弁 5 の開度が示す蒸気流量に対応するだけの蒸気を蒸気発生器 4 にて発生させるように、原子炉 1 の出力を制御する ( ステップ S 4 )。これにより、原子炉 1 の出力がグラフ 3 1 に示すように低下する。ここで、従来であれば、タービン 6 の出力を定格出力の 3 0 % まで低下させる場合、原子炉 1 の出力を 3 0 % まで低下させる必要があるが、本実施形態では、バイパス弁 8 の制御により達成することができるタービン 6 の出力低下分を考慮して、残りの出力低下分をガバナ弁 5 により制御するため、原子炉 1 の出力低下をグラフ 3 1 に示すレベル ( 例えば 5 0 % 程度 ) に抑制することができる。

20

30

#### 【 0 0 3 4 】

これと並行して ( バイパス弁 8 を開き始めるタイミングは、対応テーブル 2 2 の制御点 B に依存する。 )、バイパス弁制御部 1 4 は、ガバナ弁制御部 1 3 から取得した変更前のガバナ弁 5 の開度または変更後のガバナ弁 5 の開度が、定格出力におけるガバナ弁 5 の開度よりも小さい場合、対応テーブル 2 2 に基づいて、出力変動に対応したバイパス弁 8 の開度を算出する ( ステップ S 5 )。バイパス弁制御部 1 4 は、対応テーブル 2 2 に基づいて、タービン 6 の出力を 3 0 % まで低下させることに対応するバイパス弁 8 の開度を算出する。次にバイパス弁制御部 1 4 は、バイパス弁 8 の開度がステップ S 5 で算出した開度となるよう制御する ( ステップ S 6 )。バイパス弁制御部 1 4 は、所定の開度 ( 例えば、C % ) を上限とする出力 3 0 % に対応付けられた開度までバイパス弁 8 を開く。これによって、グラフ 3 3 に示すように、バイパス配管 L 6 を蒸気が流れるようになる。原子炉 1 の出力低下とバイパス管 L 6 を流れる蒸気流量の増加により、タービン 6 の出力は定格出力の 3 0 % まで低下する。

40

#### 【 0 0 3 5 】

(  $t 1$  : 出力上昇 )

時間  $t 1$  に信号取得部 1 1 が出力を 1 0 0 % まで上昇させることを要求するタービンガバナ弁開度要求信号を取得すると ( ステップ S 1 )、信号取得部 1 1 はこの信号を制御部 1 2 へ出力する。制御部 1 2 では、ガバナ弁制御部 1 3 が、対応テーブル 2 1 に基づいて、出力 1 0 0 % に対応するガバナ弁 5 の開度を算出する ( ステップ S 2 )。ガバナ弁制御

50

部 1 3 は、変更前と変更後のガバナ弁 5 の開度をバイパス弁制御部 1 4 へ出力する。ガバナ弁制御部 1 3 は、ガバナ弁 5 の開度がステップ S 2 で算出した開度（例えば、A 1 %）となるよう制御する（ステップ S 3）。この制御と連動して、制御部 1 2 は、原子炉 1 の出力を定格出力に制御する（ステップ S 4）。これにより、原子炉 1 の出力がグラフ 3 1 に示すように 1 0 0 % まで回復する。タービン 6 の出力を 3 0 % へ低下させたときに、原子炉 1 の出力を 5 0 % までしか低下させていない為、従来よりも少ない処理負担（制御棒 3 の駆動量が少ない、ホウ素濃度制御におけるホウ素や純水の添加量が少ない、定格出力に整定させるまでに要する時間が短いなど。）で原子炉 1 の出力を定格出力まで回復させることができる。

#### 【 0 0 3 6 】

これと並行して、バイパス弁制御部 1 4 は、ガバナ弁制御部 1 3 から取得した変更前のガバナ弁 5 の開度または変更後のガバナ弁 5 の開度が定格出力における開度（A 1 %）よりも小さいかどうかを確認する。この例の場合、変更前のガバナ弁 5 の開度が、定格出力における開度より小さい。バイパス弁制御部 1 4 は、対応テーブル 2 2 に基づいて、タービン 6 の定格出力に対応するバイパス弁 8 の開度を算出する（ステップ S 5）。バイパス弁制御部 1 4 は、バイパス弁 8 の開度がステップ S 5 で算出した開度となるよう制御する（ステップ S 6）。タービン 6 の出力が定格出力（1 0 0 %）となる場合のバイパス弁 8 の開度は 0 % であるから、バイパス弁 8 は閉状態となり、バイパス管 L 6 を流れる蒸気流量は 0 になる。グラフ 3 2 に示すように、時間 t 2 において、原子炉 1 の出力回復とバイパス管 L 6 を流れる蒸気流量が 0 となることにより、タービン 6 の出力は定格出力まで回復する。

#### 【 0 0 3 7 】

（効果）

以上説明したように、本実施形態によれば、原子力プラント 1 0 0 の出力変動時に、ガバナ弁 5 とバイパス弁 8 を併用して制御することにより、原子炉 1 の出力変動を抑制しつつ、原子力プラント 1 0 0 の出力変動を達成することができる。また、本実施形態によれば、原子力プラント 1 0 0 の出力変動に対応するために、定格出力で運転しているときには閉状態となっているバイパス弁 8 を開くが、所定の開度を上限として、開き代を残した状態でバイパス弁 8 を開くので、出力変動後の運転において負荷遮断が発生した場合でも、負荷遮断に対応して、残りの開き代の分だけバイパス弁 8 を開くことで、急激な出力低下の要求に対応することができる。また、従来の制御であれば、原子炉 1 が出力変動できるスピードに合わせて、原子力プラント 1 0 0 の出力変動に対応しなければならないが、本実施形態によれば、原子炉 1 の出力変動を小さくし、さらにバイパス弁 8 を併用することで、従来に比べて短時間で原子力プラント 1 0 0 の出力を変動させることができる。

#### 【 0 0 3 8 】

上述の制御装置 1 0 は、CPU（Central Processing Unit）等のプロセッサ、主記憶装置、補助記憶装置などを備えるコンピュータに実装され、上述した各機能は、プロセッサが、補助記憶装置が記憶するプログラムを実行することにより実現される。プロセッサは、プログラムに従って、記憶領域を主記憶装置に確保する。プロセッサは、プログラムに従って、処理中のデータを記憶する記憶領域を補助記憶装置に確保する。なお、制御部 1 2、ガバナ弁制御部 1 3、バイパス弁制御部 1 4 の各処理のうち一部又は全部は、LSI（Large Scale Integration）、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）、FPGA（Field-Programmable Gate Array）等のハードウェアが実行してもよい。

#### 【 0 0 3 9 】

以上のとおり、本開示に係るいくつかの実施形態を説明したが、これら全ての実施形態は、例として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ていない。これらの実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これらの実施形態及びその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその

10

20

30

40

50

均等の範囲に含まれる。

【 0 0 4 0 】

< 付記 >

各実施形態に記載の出力制御方法、制御装置及び原子力プラントは、例えば以下のように把握される。

【 0 0 4 1 】

( 1 ) 第 1 の態様に係る出力制御方法は、原子炉 1 と、蒸気発生器 4 と、タービン 6 と、復水器 7 と、を含む原子力プラント 1 0 0 の出力 ( 発電量 ) を変動させることを要求する出力変動信号 ( タービンガバナ弁開度要求信号 ) を取得するステップ ( ステップ S 1 ) と、前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路に設けられた蒸気加減弁 ( ガバナ弁 5 ) について、前記要求信号が要求する前記出力 ( 発電量 ) に対応する前記蒸気加減弁の開度である第 1 開度を算出するステップと ( ステップ S 2 )、算出された前記第 1 開度が、前記原子力プラントの定格出力 ( 定格の発電量 ) における前記蒸気加減弁の開度よりも小さい場合 ( 出力低下時 )、前記出力 ( 発電量 ) に基づいて、前記タービンをバイパスするバイパス経路に設けられたタービンバイパス弁 8 の開度である第 2 開度を算出するステップと ( ステップ S 5 )、を有し、前記第 2 開度を算出するステップでは、全開よりも小さい所定の開度 ( C % ) を上限として前記第 2 開度が算出される。

10

これにより、原子炉 1 の出力変動を抑制しつつ、原子力プラントの出力 ( 発電量 ) 変動に対応することができる。また、負荷遮断に対応することができる。

【 0 0 4 2 】

20

( 2 ) 第 2 の態様に係る出力制御方法は、( 1 ) の出力制御方法であって、前記所定の開度は、負荷遮断時に前記タービンへ供給する必要が無い余剰の蒸気を逃すことができる追加の弁開度を確保した開度である。

これにより、原子力プラントの発電量を変動する運転において、タービンバイパス弁 8 を開いたとしても負荷遮断に対応することができる。

【 0 0 4 3 】

( 3 ) 第 3 の態様に係る出力制御方法は、( 1 ) ~ ( 2 ) の出力制御方法であって、前記第 2 開度を算出するステップでは、前記出力 ( 発電量 ) が小さい程、前記第 2 開度を大きく設定し、前記出力が大きい程、前記第 2 開度を小さく設定することを定め、且つ、前記第 2 開度が前記所定の開度に達すると、前記出力が小さくなくても前記所定の開度を維持することを定めた対応テーブル情報、と前記出力に基づいて前記第 2 開度を算出する。

30

出力低下の大きさに応じて、より多くの低下分をバイパス弁 8 の制御によって吸収することによって、一次冷却システムで対応しなければならない出力変動を軽減することができる。また、出力低下が大きくなってもバイパス弁 8 の開度を所定の開度に維持することで、負荷遮断に対応することができる。

【 0 0 4 4 】

( 4 ) 第 4 の態様に係る出力制御方法は、( 3 ) の出力制御方法であって、前記第 1 開度を算出するステップでは、前記原子力プラントの出力 ( 発電量 ) を低下させる場合には、前記第 1 開度を減少させ、前記原子力プラントの出力 ( 発電量 ) を上昇させる場合には、前記第 1 開度を増加させる。

40

原子力プラントの出力 ( 発電量 ) に応じて、タービン 6 へ供給する蒸気の量を増減させる。そのうえで、( 3 ) の出力制御を行うことにより、従来から実施されている原子力プラントの出力制御に大きな影響を与えることなく原子力プラントの出力 ( 発電量 ) を制御することができる。

【 0 0 4 5 】

( 5 ) 第 5 の態様に係る出力制御方法は、( 1 ) ~ ( 4 ) の出力制御方法であって、前記原子力プラントの出力 ( 発電量 ) を低下させる場合、前記タービンバイパス弁の開度制御により達成することができる前記原子力プラントの出力 ( 発電量 ) 低下分を除いた残りの出力 ( 発電量 ) の低下分を、前記原子炉の出力低下によって達成するように前記原子炉の出力制御を行うステップ ( ステップ S 4 )、をさらに有する。

50

これにより、原子炉 1 の出力変動を抑制することができる。

【 0 0 4 6 】

( 6 ) 第 6 の態様に係る制御装置 1 0 は、原子炉と、蒸気発生器と、タービンと、復水器と、を含む原子力プラントの出力 ( 発電量 ) 変動を要求する出力変動信号を取得する信号取得部 1 1 と、前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路に設けられた蒸気加減弁について、前記要求信号が要求する前記出力 ( 発電量 ) に対応する前記蒸気加減弁の開度である第 1 開度を算出する蒸気加減弁制御部 ( ガバナ弁制御部 1 3 ) と、算出された前記第 1 開度が、前記原子力プラントの定格出力 ( 定格の発電量 ) における前記蒸気加減弁の開度よりも小さい場合、前記タービンをバイパスするバイパス経路に設けられたタービンバイパス弁の開度である第 2 開度を前記出力 ( 発電量 ) に基づいて算出する

10

【 0 0 4 7 】

( 7 ) 第 7 の態様に係る原子力プラントは、原子炉と、蒸気発生器と、タービンと、復水器と、前記蒸気発生器から前記タービンへ供給される蒸気の供給経路と、前記供給経路に設けられた蒸気加減弁と、前記タービンをバイパスするバイパス経路と、前記バイパス経路に設けられたタービンバイパス弁と、( 6 ) の制御装置と、を備える。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 8 】

- 1 . . . 原子炉
- 2 . . . 燃料クラスタ
- 3 . . . 制御棒
- 4 . . . 蒸気発生器
- 5 . . . ガバナ弁
- 6 . . . タービン
- 7 . . . 復水器
- 8 . . . バイパス弁
- 9 . . . ホウ素濃度調整装置
- L 1 , L 2 , L 3 , L 4 , L 5 . . . 配管
- 1 0 . . . 制御装置
- 1 1 . . . 信号取得部
- 1 2 . . . 制御部
- 1 3 . . . ガバナ弁制御部
- 1 4 . . . バイパス弁制御部
- 2 1、2 2 . . . 対応テーブル

20

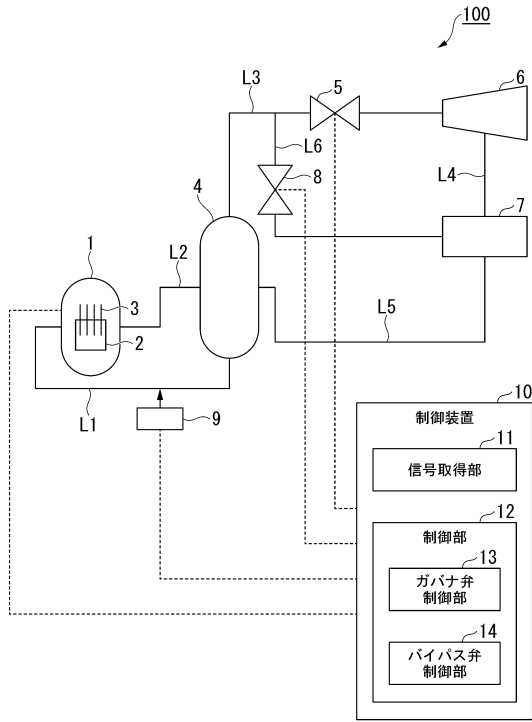
30

40

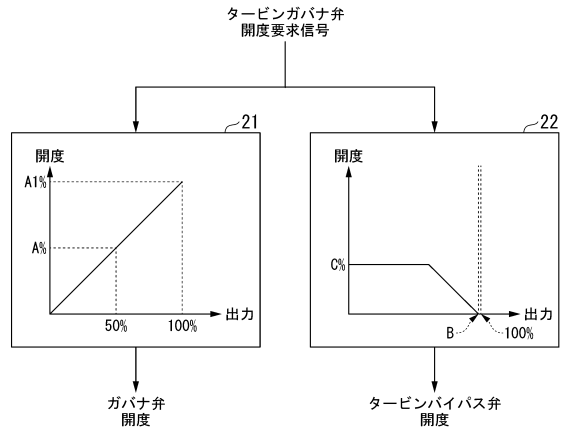
50

【図面】

【図 1】



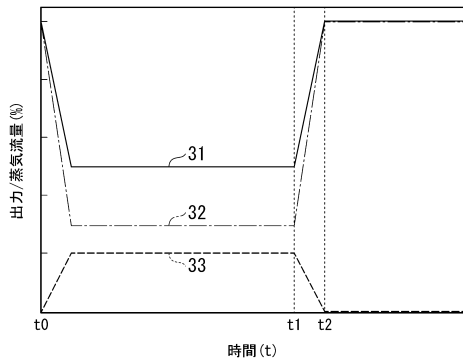
【図 2】



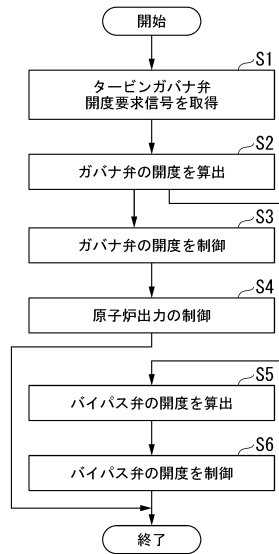
10

20

【図 3】



【図 4】



30

40

50

---

フロントページの続き

三菱重工業株式会社内

(72)発明者 住田 裕之

東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内

審査官 小林 幹

(56)参考文献 特開平01-227997(JP,A)

特開昭61-075295(JP,A)

特開昭64-000499(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G21D 1/00-9/00