(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2017-133377
(P2017-133377A)
(43)公開日　平成29年8月3日(2017.8.3)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
F01D 17/00	(2006.01)	F01D	17/00	J	3G071
F01D 17/06	(2006.01)	F01D	17/06		3G081
F01D 17/06	(2006.01)	F01D	17/08	A	
F01K 23/10	(2006.01)	F01K	23/10	G	
F01K 7/22	(2006.01)	F01K	7/22	B	

審査請求 未請求　請求項の数 6　OL　（全 14 頁）　最終頁に続く

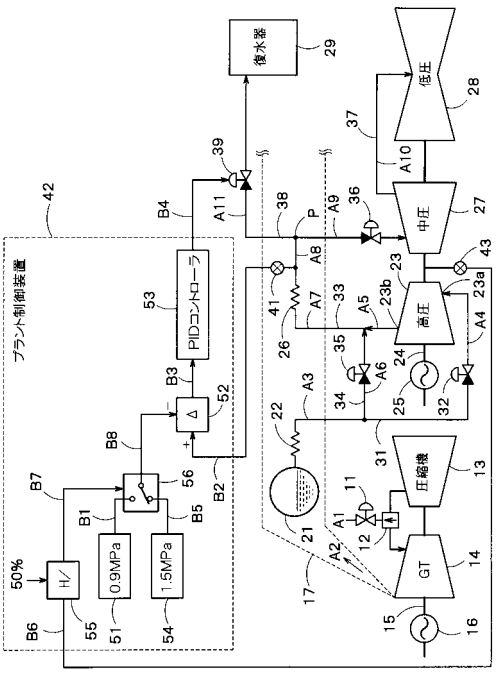
(21)出願番号　特願2016-11844(P2016-11844)
(22)出願日　平成28年1月25日(2016.1.25)

(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
(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
(74)代理人　100107582
弁理士　関根　毅
(74)代理人　100124372
弁理士　山ノ井　傑

最終頁に続く

(54)【発明の名称】プラント制御装置およびプラント制御方法

(57)【要約】
【課題】第１タービンからの蒸気を第２タービンに供給する発電プラントにおいて、第１タービンからの低圧蒸気を第２タービン用の小型のバイパス弁により対処する。
【解決手段】一の実施形態によれば、プラント制御装置は、第１蒸気を生成するボイラと、前記第１蒸気により駆動される第１タービンと、前記第１蒸気を加熱して第２蒸気を生成する再熱器と、前記第２蒸気により駆動される第２タービンと、前記再熱器からの前記第２蒸気を前記第２タービンに供給する第１流路と、前記再熱器からの前記第２蒸気を復水器に供給する第２流路と、前記第２流路に設けられた弁と、前記第１タービンの回転数を検出する回転数検出部と、を備える発電プラントを制御する。前記装置は、前記回転数検出部により検出された前記回転数を取得する取得部と、前記取得部により取得された前記回転数に基づいて、前記弁を制御して、前記第２蒸気の圧力を制御する制御部とを備える。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１蒸気を生成するボイラと、
前記第１蒸気により駆動される第１タービンと、
前記第１蒸気を加熱して第２蒸気を生成する再熱器と、
前記第２蒸気により駆動される第２タービンと、
前記再熱器からの前記第２蒸気を前記第２タービンに供給する第１流路と、
前記再熱器からの前記第２蒸気を復水器に供給する第２流路と、
前記第２流路に設けられた弁と、
前記第１タービンの回転数を検出する回転数検出部と、
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、
前記回転数検出部により検出された前記回転数を取得する取得部と、
前記取得部により取得された前記回転数に基づいて、前記弁を制御して、前記第２蒸気の圧力を制御する制御部と、
を備えるプラント制御装置。
【請求項２】
さらに、前記第２蒸気の圧力を検出する圧力検出部を備え、
前記取得部は、前記回転数検出部により検出された前記回転数と、前記圧力検出部により検出された前記圧力とを取得し、
前記制御部は、前記取得部により取得された前記回転数および前記圧力に基づいて、前記弁を制御する、
請求項１に記載のプラント制御装置。
【請求項３】
前記制御部は、
前記回転数が閾値よりも小さい場合には、前記第２蒸気が第１圧力を有するように前記弁を制御し、
前記回転数が前記閾値よりも大きい場合には、前記第２蒸気が前記第１圧力よりも小さい第２圧力を有するように前記弁を制御する、
請求項１または２に記載のプラント制御装置。
【請求項４】
さらに、ガスにより駆動されるガスタービンを備え、
前記ボイラは、前記ガスタービンからの排ガスの熱により前記第１蒸気を生成し、
前記再熱器は、前記排ガスの熱により前記第２蒸気を生成する、
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】
さらに、
前記ボイラからの前記第１蒸気を前記第１タービンに供給する第３流路と、
前記第１タービンからの前記第１蒸気を前記再熱器に供給する第４流路と、
前記第３流路の前記第１蒸気を前記第１タービンをバイパスして前記第４流路に供給する第５流路と、
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】
第１蒸気を生成するボイラと、
前記第１蒸気により駆動される第１タービンと、
前記第１蒸気を加熱して第２蒸気を生成する再熱器と、
前記第２蒸気により駆動される第２タービンと、
前記再熱器からの前記第２蒸気を前記第２タービンに供給する第１流路と、
前記再熱器からの前記第２蒸気を復水器に供給する第２流路と、
前記第２流路に設けられた弁と、
前記第１タービンの回転数を検出する回転数検出部と、

を備える発電プラントを制御するプラント制御方法であって、
前記回転数検出部により検出された前記回転数を取得部により取得し、
前記取得部により取得された前記回転数に基づいて、前記弁を制御部により制御して、前記第２蒸気の圧力を制御する、
ことを含むプラント制御方法。
【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プラント制御方法に関する。
【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、蒸気タービンとを備えている。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蒸気により駆動される。
【０００３】
このような発電プラントは例えば、蒸気タービンとして、高圧蒸気により駆動される高圧タービンと、高圧蒸気よりも低圧の中圧蒸気により駆動される中圧タービンと、中圧蒸気よりも低圧の低圧蒸気により駆動される低圧タービンとを備えている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開２０１５－１４３５１７号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
図２は、後述する第１実施形態の比較例の発電プラントの構成を示す模式図である。図２の発電プラントは、コンバインドサイクル型の発電プラントである。
【０００６】
図２の発電プラントは、燃料調節弁１１と、燃焼器１２と、圧縮機１３と、ガスタービン１４と、ＧＴ（ガスタービン）ロータ１５と、ＧＴ発電機１６と、排熱回収ボイラ１７と、ドラム２１と、過熱器２２と、高圧タービン２３と、ＳＴ（蒸気タービン）ロータ２４と、ＳＴ発電機２５と、再熱器２６と、中圧タービン２７と、低圧タービン２８と、復水器２９とを備えている。符号２３ａは、高圧タービン２３の入口部を示す。符号２３ｂは、高圧タービン２３の出口部（排気部）を示す。
【０００７】
図２の発電プラントはさらに、蒸気管３１と、加減弁３２と、再熱管３３と、高圧バイパス管３４と、高圧バイパス弁３５と、インターセプト弁３６と、クロスオーバー管３７と、中圧バイパス管３８と、中圧バイパス弁３９と、圧力センサ４１と、プラント制御装置４２とを備えている。図２のプラント制御装置４２は、設定器５１と、減算器５２と、ＰＩＤ（Proportional-Integral-Derivative）コントローラ５３とを備えている。
【０００８】
燃料調節弁１１は、燃料配管に設けられている。燃料調節弁１１を開くと、燃料配管から燃焼器１２に燃料Ａ１が供給される。一方、圧縮機１３は、燃焼器１２に圧縮空気を供給する。燃焼器１２は、燃料Ａ１を圧縮空気と共に燃焼させ、高温・高圧のガスを発生させる。ガスタービン１４は、このガスにより回転駆動されることで、ＧＴロータ１５を回転させる。ＧＴ発電機１６は、ＧＴロータ１５に接続されており、ＧＴロータ１５の回転を利用して発電を行う。ガスタービン１４から排出された排ガスＡ２は、排熱回収ボイラ１７に送られる。排熱回収ボイラ１７は、後述するように、排ガスＡ２の熱を利用して蒸気を生成する。排熱回収ボイラ１７は、ボイラの例である。

【０００９】
ドラム２１と過熱器２２は、排熱回収ボイラ１７内に設けられており、排熱回収ボイラ１７の一部を構成している。ドラム２１内の水は、不図示の蒸発器に送られ、蒸発器内で排ガスＡ２により加熱されることで飽和蒸気となる。飽和蒸気は、過熱器２２に送られ、過熱器２２内で排ガスＡ２により過熱されることで過熱蒸気Ａ３となる。
【００１０】
排熱回収ボイラ１７により生成された過熱蒸気Ａ３は、蒸気管３１に高圧蒸気Ａ４として排出される。加減弁３２は、蒸気管３１に設けられている。加減弁３２を開くと、蒸気管３１内の高圧蒸気Ａ４が高圧タービン２３に供給され、高圧タービン２３の入口部２３ａから高圧タービン２３内に導入される。高圧タービン２３は、高圧蒸気Ａ４により回転駆動されることで、ＳＴロータ２４を回転させる。ＳＴ発電機２５は、ＳＴロータ２４に接続されており、ＳＴロータ２４の回転を利用して発電を行う。高圧タービン２３は、第１タービンの例である。
【００１１】
高圧タービン２３内の蒸気は、高圧タービン２３の出口部２３ｂから再熱管３３に排気蒸気Ａ５として排出される。高圧バイパス管３４は、蒸気管３１と再熱管３３とに接続されている。高圧バイパス弁３５は、高圧バイパス管３４に設けられている。高圧バイパス弁３５を開くと、高圧バイパス管３４は、蒸気管３１内の高圧蒸気Ａ４の少なくとも一部を、高圧タービン２３をバイパスして再熱管３３にバイパス蒸気Ａ６として供給する。蒸気管３１、再熱管３３、および高圧バイパス管３４はそれぞれ、第３、第４、および第５流路の例である。
【００１２】
再熱器２６は、再熱管３３に設けられている。再熱管３３は、排気蒸気Ａ５および／またはバイパス蒸気Ａ６を、再熱器２６に再熱対象蒸気Ａ７として供給する。蒸気Ａ３～Ａ７は、第１蒸気の例である。再熱器２６は、排熱回収ボイラ１７内に設けられており、排熱回収ボイラ１７の一部を構成している。再熱器２６は、排ガスＡ２の熱により再熱対象蒸気Ａ７を加熱して再熱蒸気Ａ８を生成する。
【００１３】
インターセプト弁３６は、再熱器２６の下流において再熱管３３に設けられている。インターセプト弁３６を開くと、再熱蒸気Ａ８の少なくとも一部が、中圧蒸気Ａ９として中圧タービン２７に供給される。中圧タービン２７は、中圧蒸気Ａ９により回転駆動されることで、高圧タービン２３と共にＳＴロータ２４を回転させる。再熱管３３は、第１流路の例である。中圧タービン２７は、第２タービンの例である。
【００１４】
中圧タービン２７内の蒸気は、クロスオーバー管３７に低圧蒸気Ａ１０として排出される。クロスオーバー管３７内の低圧蒸気Ａ１０は、低圧タービン２８に供給される。低圧タービン２８は、低圧蒸気Ａ１０により回転駆動されることで、高圧タービン２３や中圧タービン２７と共にＳＴロータ２４を回転させる。
【００１５】
中圧バイパス管３８は、再熱器２６とインターセプト弁３６との間の地点Ｐで再熱管３３に接続されている。中圧バイパス弁３９は、中圧バイパス管３８に設けられている。中圧バイパス弁３９を開くと、再熱蒸気Ａ８の少なくとも一部が、中圧タービン２７ではなく中圧バイパス管３８にバイパス蒸気Ａ１１として供給される。中圧バイパス管３８は、第２流路の例である。中圧バイパス弁３９は、第２流路に設けられた弁の例である。蒸気Ａ８、Ａ９、Ａ１１は、第２蒸気の例である。
【００１６】
中圧バイパス管３８内のバイパス蒸気Ａ１１は、中圧タービン以外２７の機器である復水器２９に排出される。復水器２９は、バイパス蒸気Ａ１１を冷却して水に戻す。
【００１７】
圧力センサ４１は、再熱器２６と地点Ｐとの間で、再熱管３３内の再熱蒸気Ａ８の圧力

を検出する。圧力センサ４１は、再熱蒸気Ａ８の圧力の検出結果をプラント制御装置４２に出力する。圧力センサ４１は、圧力検出部の例である。プラント制御装置４２は、設定器５１、減算器５２、およびＰＩＤコントローラ５３により発電プラントを制御する。

【００１８】

設定器５１は、再熱蒸気Ａ８の圧力の設定値（ＳＶ値）Ｂ１として、０．９ＭＰａを保持している。減算器５２は、設定器５１から再熱蒸気Ａ８の圧力の設定値Ｂ１を取得し、圧力センサ４１から再熱蒸気Ａ８の圧力の測定値（ＰＶ値）Ｂ２を取得し、設定値Ｂ１と測定値Ｂ２との偏差Ｂ３を出力する（偏差Ｂ３＝測定値Ｂ２－設定値Ｂ１）。

【００１９】

ＰＩＤコントローラ５３は、減算器５２から偏差Ｂ３を取得し、偏差Ｂ３をゼロに近づけるためのＰＩＤ制御を行う。ＰＩＤコントローラ５３から出力される操作量（ＭＶ値）Ｂ４は、中圧バイパス弁３９の開度である。ＰＩＤコントローラ５３がＭＶ値Ｂ４を変化させると、中圧バイパス弁３９の開度が変化する。その結果、再熱蒸気Ａ８の圧力のＰＶ値Ｂ２がＳＶ値Ｂ１に近づくように変化する。

【００２０】

このように、ＰＩＤコントローラ５３は、再熱蒸気Ａ８の圧力をフィードバック制御により制御する。具体的には、ＰＩＤコントローラ５３は、再熱蒸気Ａ８の圧力のＳＶ値Ｂ１とＰＶ値Ｂ２との偏差Ｂ３に基づいてＭＶ値Ｂ４を算出し、ＭＶ値Ｂ４の制御を通じて再熱蒸気Ａ８の圧力を制御する。

【００２１】

次に、図２の発電プラントのさらなる詳細を説明する。

【００２２】

一般に、発電プラントのタービンバイパス系統には、いくつかの方式がある。図２は、これらの方式のうちのカスケードバイパス方式を示している。図２は、ガスタービン１４と蒸気タービン（高圧、中圧、低圧タービン２３、２７、２８）が異なる軸上に設けられた別軸型の火力発電プラントを示している。

【００２３】

図２では、高圧バイパス弁３５を通過したバイパス蒸気Ａ６が、高圧タービン２３から排出された排気蒸気Ａ５と合流した後に、再熱器２６に流入する。よって、高圧タービン２３が停止中でも、再熱器２６にはバイパス蒸気Ａ６が冷却媒体として供給され、これにより再熱器２６の空焚きが回避される。

【００２４】

一方、カスケードバイパス方式では、蒸気タービンの起動初期時に蒸気タービンがＳＴ発電機２５に接続されていないことから、作動蒸気が高圧高温のまま高圧タービン２３の排気部２３ｂに到達する風損が発生する。この風損に伴い、高圧タービン２３の排気蒸気Ａ５の温度が高温になるという問題がある。この場合、中圧バイパス弁３９を大きな開度で開くことで、この問題に対処可能である。例えば、高圧タービン２３の排気蒸気Ａ５の圧力を０．５～１．２ＭＰａ程度の低圧に維持することで、風損の影響が緩和される。

【００２５】

このような風損緩和を効果的に実施するためには、一般に中圧バイパス弁３９の弁体や弁容量を大きくすることが要求される。理由は、０．５～１．２ＭＰａ程度の低圧の排気蒸気Ａ５は大きなボリュームフロー（体積流量）となり、この場合にバイパス蒸気Ａ１１が通過可能な中圧バイパス弁３９は大口径であることが要求されるからである。しかしながら、中圧バイパス弁３９が過度に大きくなると、中圧バイパス弁３９のコストが上昇する、中圧バイパス弁３９の高精度化が難しくなる、中圧バイパス弁３９の弁体を支持する構造が実現しにくくなるなどの問題が生じる。

【００２６】

そこで、本発明は、第１タービンからの蒸気を第２タービンに供給する発電プラントにおいて、第１タービンからの低圧蒸気を第２タービン用の小型のバイパス弁により対処可能なプラント制御装置およびプラント制御方法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】
【００２７】
一の実施形態によれば、プラント制御装置は、第１蒸気を生成するボイラと、前記第１蒸気により駆動される第１タービンと、前記第１蒸気を加熱して第２蒸気を生成する再熱器と、前記第２蒸気により駆動される第２タービンと、前記再熱器からの前記第２蒸気を前記第２タービンに供給する第１流路と、前記再熱器からの前記第２蒸気を復水器に供給する第２流路と、前記第２流路に設けられた弁と、前記第１タービンの回転数を検出する回転数検出部と、を備える発電プラントを制御する。前記装置は、前記回転数検出部により検出された前記回転数を取得する取得部を備える。前記装置はさらに、前記取得部により取得された前記回転数に基づいて、前記弁を制御して、前記第２蒸気の圧力を制御する制御部を備える。
【図面の簡単な説明】
【００２８】
【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実施形態の比較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】
【００２９】
以下、本発明の実施形態を、図面を参照して説明する。図１において、図２に示す構成要素と同一または類似の構成要素には同一の符号を付し、図２の説明と重複する説明は省略する。
【００３０】
（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、コンバインドサイクル型の発電プラントである。
【００３１】
図１の発電プラントは、図２に示す構成要素に加え、プラント制御装置４２内に設定器５４と、比較器５５と、切替器５６とを備えている。図１の発電プラントはさらに、回転数センサ４３を備えている。
【００３２】
図１の発電プラントは、１－１－１方式の別軸型の火力発電プラントであり、１台のガスタービン発電設備と、１台の排熱回収ボイラ１７と、１台の蒸気タービン設備により構成されている。ガスタービン発電設備は、ガスタービン１４と、ＧＴロータ１５と、ＧＴ発電機１６とを備えている。蒸気タービン発電設備は、高圧タービン２３と、中圧タービン２７と、低圧タービン２８と、ＳＴロータ２４と、ＳＴ発電機２５とを備えている。
【００３３】
なお、図１の発電プラントは、ＧＴロータ１５とＳＴロータ２４が独立した別軸型であるが、ＧＴロータ１５とＳＴロータ２４が直結した一軸型でもよい。また、図１の発電プラントは、Ｎ台のガスタービン設備と、Ｎ台の排熱回収ボイラと、１台の蒸気タービン設備とを備えるＮ－Ｎ－１方式の火力発電プラントでもよい（Ｎは２以上の整数）。また、図１の発電プラントは、コンバインドサイクル型の発電プラントであるが、蒸気タービン設備と汽力ボイラとを備えるコンベンショナルタイプの発電プラントでもよい。
【００３４】
以下、図１の発電プラントの起動工程を説明する。以下の説明中にて使用される設定や数値は、説明の理解を促進するための一例であり、限定的に解釈されるものではない。
【００３５】
（１）ガスタービン１４の起動
ガスタービン１４が起動されると、ガスタービン１４の回転数が上昇し、ガスタービン１４がＧＴ発電機１６と並列される。ガスタービン１４はその後、スピニングリザーブ負荷と呼ばれる許容される上限の排ガス温度を有する中間出力運転状態を保持する。このとき、蒸気タービン（高圧、中圧、低圧タービン２３、２７、２８）は停止中である。

【００３６】
（２）排熱回収ボイラ１７の昇温・昇圧
排熱回収ボイラ１７は、ガスタービン１４の排ガスＡ２の熱をドラム２１や過熱器２２により回収する。具体的には、排熱回収ボイラ１７は、ドラム２１からの水を飽和蒸気に変化させ、飽和蒸気を過熱器２２により過熱して主蒸気（高圧蒸気）Ａ４を生成する。
【００３７】
ガスタービン１４の起動初期には、主蒸気Ａ４の圧力、温度、流量が不足している。そのため、主蒸気Ａ４の高圧タービン２３への供給は許容されず、加減弁３２は閉弁されている。一方、高圧バイパス弁３５は開弁されている。よって、主蒸気Ａ４はすべて高圧バイパス管３４に供給されてバイパス蒸気Ａ６となり、再熱管３３を介して再熱器２６に再熱対象蒸気Ａ７として流入する。この再熱対象蒸気Ａ７は、再熱器３３により加熱され、再熱蒸気Ａ８となる。このように、加減弁３２が閉弁されていても、再熱器２６にはバイパス蒸気Ａ６が冷却媒体として供給されるため、再熱器２６の空焚きが回避される。
【００３８】
ガスタービン１４の起動初期には、インターセプト弁３６は閉弁されており、中圧バイパス弁３９は開弁されている。よって、再熱蒸気Ａ８はすべて中圧バイパス管３８に供給されてバイパス蒸気Ａ１１となり、復水器２９に排出される。
【００３９】
このとき、中圧バイパス弁３９の開度は、再熱蒸気Ａ８の圧力が１．５ＭＰａに保持されるように、プラント制御装置４２により制御されている。その結果、高圧タービン２３の出口部２３ｂ付近の蒸気圧力は１．５＋εＭＰａとなるが（εは再熱管３３での配管圧力損失を表す）、以下説明では近似的にこの蒸気圧力を１．５ＭＰａとして取り扱う。
【００４０】
排熱回収ボイラ１７の昇温・昇圧起動を継続すると、主蒸気Ａ４の温度、圧力、流量は徐々に上昇し、主蒸気Ａ４の圧力は１０ＭＰａの高圧になる。一方、再熱蒸気Ａ８の圧力は１．５ＭＰａの低圧である。そのため、再熱蒸気Ａ８の体積流量は、主蒸気Ａ４の流量の約７倍という大きな値になり、バイパス蒸気Ａ１１の体積流量も大きな値になる。
【００４１】
よって、このようなバイパス蒸気Ａ１１が通過可能な中圧バイパス弁３９は通常、大容量を有する弁として計画される。しかしながら、大容量の中圧バイパス弁３９を使用しても、実際の昇温・昇圧起動時には、中圧バイパス弁３９の開度は７０～８０％程度のワイドオープン状態になるのが一般的である。
【００４２】
（３）蒸気タービンの起動
高圧蒸気Ａ４の温度、圧力、流量がいずれも許容値に到達すると、蒸気タービンの起動が開始される。具体的には、加減弁３２が開弁され、高圧蒸気Ａ４の一部が高圧タービン２３に流入して、高圧タービン２３が駆動される。また、インターセプト弁３６が開弁され、再熱蒸気Ａ８の一部が中圧蒸気Ａ９として中圧タービン２７に流入して、中圧タービン２７が駆動される。また、中圧タービン２７から排出された蒸気が、低圧蒸気Ａ１０として低圧タービン２８に流入して、低圧タービン２８が駆動される。
【００４３】
蒸気タービン内に蒸気が通気されると、蒸気タービン内にトルクが発生し、蒸気タービンの回転数が上昇する。プラント制御装置４２は、加減弁３１とインターセプト弁３６の開度を徐々に増加させることで、高圧蒸気Ａ４、中圧蒸気Ａ９、低圧蒸気Ａ１０を増加させ、蒸気タービン内のトルクを増加させる。その結果、蒸気タービンの回転数は１００％定格回転数に向けて上昇していく。定格回転数は例えば、５０Ｈｚ域の電力系統では３０００ｒｐｍ、６０Ｈｚ域の電力系統では３６００ｒｐｍである。
【００４４】
そして、高圧タービン２３の回転数がある値以上になると、高圧タービン２３の出口部２３ｂの排気蒸気Ａ５が高温になるという問題が顕在化する。このような値の例は、高圧

タービン２３の定格回転数の７０％である。以下、説明の便宜のため、上記の問題が顕在化する回転数を、高圧タービン２３の定格回転数の７０％以上と想定する。なお、本実施形態の高圧タービン２３、中圧タービン２７、低圧タービン２８は、同じＳＴロータ２４に接続されており、同じ回転数で回転するように構成されているが、互いに異なる回転数で回転するように構成されていてもよい。

【００４５】

排気蒸気Ａ５が高温になる理由は、高圧タービン２３の回転数が定格回転数の７０％以上になると、高圧タービン２３のタービン翼の風損により、高圧タービン２３の出口部２３ｂの温度が上昇するからである。正確には、高圧タービン２３の回転数が定格回転数の７０％未満でも、このような風損は軽微に発生する。しかしながら、出口部２３ｂの温度上昇が大きな問題となるのが、定格回転数の７０％以上の回転数領域である。

【００４６】

発電プラントが別のタービンバイパス系統であるパラレルバイパス方式の場合には、出口部２３ｂは極低圧状態、すなわち、ほぼ真空状態である。理由は、パラレルバイパス方式では、バイパス蒸気Ａ６に相当する蒸気が復水器２９に直接排出され、出口部２３ｂに流入しないからである。出口部２３ｂが極低圧状態であれば、タービン翼の風損は無視できる現象である。

【００４７】

一方、本実施形態の発電プラントのタービンバイパス系統は、カスケードバイパス方式である。そのため、バイパス蒸気Ａ６が出口部２３ｂに流入し、出口部２３ｂ付近の圧力を押し上げる。これが、風損が出口部２３ｂの温度を大きく上昇させる主な要因である。

【００４８】

この温度上昇を回避または緩和するためには、出口部２３ｂ付近の蒸気圧力（以下「出口圧力」と呼ぶ）を１．５ＭＰａからより低い圧力（例えば０．９ＭＰａ）に低下させることが効果的である。しかしながら、中圧バイパス弁３９の開度は、出口圧力が１．５ＭＰａのときにすでに７０～８０％に達している。そのため、出口圧力を単に１．５ＭＰａから０．９ＭＰａに低下させると、再熱蒸気Ａ８やバイパス蒸気Ａ１１の体積流量が増加し、中圧バイパス弁３９の開度が１００％に達する可能性がある。その結果、出口圧力の制御が喪失した不安定なプラント運転となる。この問題は、さらに大容量の中圧バイパス弁３９により対処可能であるが、中圧バイパス弁３９の大型化には限界がある。

【００４９】

（４）再熱蒸気Ａ８の圧力制御

次に、本実施形態の再熱蒸気Ａ８の圧力制御について説明する。

【００５０】

プラント制御装置４２は、ＤＣＳ（Distributed Control System）に代表されるコンバインドサイクル型の発電プラントを制御する制御装置である。本実施形態のプラント制御装置４２は、再熱蒸気Ａ８の圧力を制御するための構成要素として、設定器５１と、減算器５２と、ＰＩＤコントローラ５３と、設定器５４と、比較器５５と、切替器５６とを備えている。減算器５２および比較器５５は、取得部の例である。設定器５１、ＰＩＤコントローラ５３、設定器５４、および切替器５６は、制御部の例である。

【００５１】

回転数センサ４３は、高圧タービン２３の回転数を検出し、回転数の検出結果をプラント制御装置４２に出力する。具体的には、回転数センサ４３は、高圧タービン２３と中圧タービン２７との間でＳＴロータ２４付近に配置されており、ＳＴロータ２４の回転数を検出する。本実施形態の高圧、中圧、低圧タービン２３、２７、２８は、同じＳＴロータ２４に接続されており、同じ回転数で回転するため、高圧タービン２３と中圧タービン２７との間でのＳＴロータ２４の回転数は、高圧タービン２３の回転数に一致する。なお、高圧、中圧、低圧タービン２３、２７、２８の回転数が互いに異なる場合には、回転数センサ４３は例えば、高圧タービン２３用のタービンロータの回転数を検出する位置に配置される。回転数センサ４３は、回転数検出部の例である。

【００５２】
設定器５４は、再熱蒸気Ａ８の圧力の第１設定値Ｂ５として、１．５ＭＰａを保持している。１．５ＭＰａという圧力は、第１圧力の例である。一方、設定器５１は、再熱蒸気Ａ８の圧力の第２設定値Ｂ１として、０．９ＭＰａを保持している。０．９ＭＰａという圧力は、第１圧力よりも小さい第２圧力の例である。
【００５３】
比較器５５は、回転数センサ４３から高圧タービン２３の回転数の測定値Ｂ６を取得する。また、比較器５５は、高圧タービン２３の定格回転数の５０％の回転数を、あらかじめ閾値として保持している。そして、比較器５５は、高圧タービン２３の回転数の測定値Ｂ６と閾値とを比較し、これらの比較結果を示すフラグ値Ｂ７を出力する。測定値Ｂ６が閾値未満、すなわち、５０％回転数未満である場合には、フラグ値Ｂ７として０が出力される。一方、測定値Ｂ６が閾値以上、すなわち、５０％回転数以上である場合には、フラグ値Ｂ７として１が出力される。
【００５４】
なお、本実施形態の閾値は、高圧タービン２３の風損を考慮して、５０％回転数に設定されている。具体的には、高圧タービン２３の排気蒸気Ａ５の温度が、風損により７０％回転数以上で高温になり問題となるため、閾値が７０％回転数よりも小さい回転数に設定されている。これにより、高圧タービン２３の回転数が７０％回転数に達して排気蒸気Ａ５の温度上昇が問題となる前に、プラント制御装置４２の動作を切り替えることが可能となる。５０％回転数は、７０％回転数よりも小さい回転数の例である。プラント制御装置４２の動作の切り替えの詳細については、後述する。
【００５５】
切替器５６は、フラグ値Ｂ７に応じて、再熱蒸気Ａ８の圧力の設定値（ＳＶ値）Ｂ８を切り替える。フラグ値Ｂ７が０の場合には、切替器５６は、設定値Ｂ８を第１設定値Ｂ５に切り替える。よって、回転数の測定値Ｂ６が５０％回転数未満の場合には、設定値Ｂ８が１．５ＭＰａになる。一方、フラグ値Ｂ７が１の場合には、切替器５６は、設定値Ｂ８を第２設定値Ｂ１に切り替える。よって、回転数の測定値Ｂ６が５０％回転数以上の場合には、設定値Ｂ８が０．９ＭＰａになる。
【００５６】
なお、本実施形態の切替器５６は、バンプレス機能を有している。よって、切替部５６は、フラグ値Ｂ７が０から１に変化した場合、設定値Ｂ８を瞬時に１．５ＭＰａから０．９ＭＰＡａに切り替えずに、設定値Ｂ８が１．５ＭＰａから０．９ＭＰａに向けて徐々に低下するように設定値Ｂ８を切り替える。
【００５７】
減算器５２は、切替器５６から再熱蒸気Ａ８の圧力の設定値Ｂ８を取得し、圧力センサ４１から再熱蒸気Ａ８の圧力の測定値（ＰＶ値）Ｂ２を取得し、設定値Ｂ８と測定値Ｂ２との偏差Ｂ３を出力する（偏差Ｂ３＝測定値Ｂ２－設定値Ｂ８）。
【００５８】
ＰＩＤコントローラ５３は、減算器５２から偏差Ｂ３を取得し、偏差Ｂ３をゼロに近づけるためのＰＩＤ制御を行う。ＰＩＤコントローラ５３から出力される操作量（ＭＶ値）Ｂ４は、中圧バイパス弁３９の開度である。すなわち、ＭＶ値Ｂ４は、中圧バイパス弁３９の開度指令値である。ＰＩＤコントローラ５３がＭＶ値Ｂ４を変化させると、中圧バイパス弁３９の開度が変化する。その結果、再熱蒸気Ａ８の圧力のＰＶ値Ｂ２がＳＶ値Ｂ８に近づくように変化する。
【００５９】
よって、高圧タービン２３の回転数の測定値Ｂ６が５０％回転数未満の場合には、中圧バイパス弁３９の開度は、再熱蒸気Ａ８の圧力を１．５ＭＰａに保持するように制御される。一方、高圧タービン２３の回転数の測定値Ｂ６が５０％回転数以上の場合には、中圧バイパス弁３９の開度は、再熱蒸気Ａ８の圧力を０．９ＭＰａに保持するように制御される。０．９ＭＰａという設定値は、風損による出口部２３ｂの温度上昇を回避または緩和

するために設定された圧力である。
【００６０】
このように、ＰＩＤコントローラ５３は、再熱蒸気Ａ８の圧力をフィードバック制御により制御する。具体的には、ＰＩＤコントローラ５３は、再熱蒸気Ａ８の圧力の設定値Ｂ８と測定値Ｂ２との偏差Ｂ３に基づいて開度指令値Ｂ４を算出し、開度指令値Ｂ４の制御を通じて再熱蒸気Ａ８の圧力を制御する。
【００６１】
また、切替部５６は、高圧タービン２３の回転数の測定値Ｂ６に基づいて、再熱蒸気Ａ８の圧力の設定値Ｂ８を切り替える。その結果、本実施形態のプラント制御装置４２は、高圧タービン２３の回転数の測定値Ｂ６と、再熱蒸気Ａ８の圧力の測定値Ｂ２とに基づいて、中圧バイパス弁３９の開度を制御しており、これにより再熱蒸気Ａ８の圧力を制御している。
【００６２】
次に、再熱蒸気Ａ８の圧力の設定値Ｂ８の切り替えについて説明する。この設定値Ｂ８は、高圧タービン２３の回転数の測定値Ｂ６に基づいて切り替えられる。以下、この測定値Ｂ６を「回転数Ｂ６」と表記する。
【００６３】
（４．１）回転数Ｂ６　０％回転数
蒸気タービンが停止中であるとき、蒸気タービンは不図示のターニング装置により３～１０ｒｐｍの極低速で駆動中であり、回転数Ｂ６　０％の状態である。このとき、フラグ値Ｂ７は０であり、切替器５６は設定値Ｂ８として１．５ＭＰａを出力する。よって、中圧バイパス弁３９の開度は、再熱蒸気Ａ８の圧力を１．５ＭＰａに保持するように制御される。
【００６４】
また、蒸気タービンが停止中であるとき、インターセプト弁３６は閉弁されている。よって、再熱蒸気Ａ８はすべて、バイパス蒸気Ａ１１として中圧バイパス弁３９を通過して復水器２９に排出される。そのため、中圧バイパス弁３９の開度は、７０～８０％に達している。
【００６５】
（４．２）回転数Ｂ６＜５０％回転数
蒸気タービンの起動後、回転数Ｂ６が５０％回転数よりも小さいときには、風損の問題は発生しないか無視できる軽微なものである。このとき、フラグ値Ｂ７は０であり、切替器５６は設定値Ｂ８として１．５ＭＰａを出力する。よって、中圧バイパス弁３９の開度は、引き続き再熱蒸気Ａ８の圧力を１．５ＭＰａに保持するように制御される。
【００６６】
しかしながら、蒸気タービンの起動後には、インターセプト弁３６が開弁されている。よって、再熱蒸気Ａ８の一部は、中圧蒸気Ａ９としてインターセプト弁３６を介して中圧タービン２７に流入する。そのため、中圧バイパス弁３９を通過するバイパス蒸気Ａ１１は減少する。
【００６７】
その結果、中圧バイパス弁３９の開度は低下していく。理由は、バイパス蒸気Ａ１１が減少した場合、再熱蒸気Ａ８の圧力を１．５ＭＰａに保持するためには、中圧バイパス弁３９の開度を低下させる必要があるからである。
【００６８】
蒸気タービンの昇速の過程では、インターセプト弁３６の開度を徐々に増加させ、中圧蒸気Ａ９を徐々に増加させる。回転数Ｂ６の上昇に伴って、中圧バイパス弁３９の開度は低下していく。その結果、回転数Ｂ６が５０％回転数に近くなると、中圧バイパス弁３９の開度は約４０％となる。
【００６９】
（４．３）回転数Ｂ６≧５０％回転数

蒸気タービンの起動後、回転数Ｂ６が５０％回転数を超え７０％回転数になると、風損の問題は無視できなくなる。そのため、フラグ値Ｂ７は１になり、設定値Ｂ８は１．５ＭＰａから０．９ＭＰａに切り替わる。図１には示していないが、０．９ＭＰａへの切り替えは、徐々に行われるようになっている。そして、回転数Ｂ６が７０％回転数に達した後は再熱蒸気Ａ８の圧力が０．９ＭＰａに保持されるようになっている。

【００７０】

本実施形態では、回転数Ｂ６が５０％回転数に達したとき、中圧バイパス弁３９の開度は約４０％である。さらに回転数Ｂ６が上昇しても、再熱蒸気Ａ８を０．８ＭＰａに維持するように、中圧バイパス弁３９の開度を４０％から開いていけばよいので、中圧バイパス弁３９の開度が１００％に達することなく、高圧タービン２３の出口部２３ｂに通じる再熱蒸気Ａ８の圧力を制御することができる。その結果、本実施形態によれば、中圧バイパス弁の開度を１００％まで上げることなく、高圧タービン２３の出口部２３ｂの温度上昇を回避または緩和することができる。

【００７１】

以下、本実施形態の再熱蒸気Ａ８の圧力制御のポイントをまとめる。

【００７２】

Ａ）風損の問題は、再熱蒸気Ａ８の圧力を１．５ＭＰａから０．９ＭＰａに低下させれば回避または緩和できる。しかしながら、中圧タービン２７の停止中（インターセプト弁３６の閉弁中）には、再熱蒸気Ａ８がすべてバイパス蒸気Ａ１１として中圧バイパス弁３９を通過する。このときに再熱蒸気Ａ８の圧力を０．９ＭＰａに低下させると、再熱蒸気Ａ８の体積流量が大きい。そのため、中圧バイパス弁３９の開度が１００％に達するという不都合が生じる。

【００７３】

Ｂ）風損の問題が顕在化するのは、蒸気タービンの起動後に回転数Ｂ６が７０％回転数に到達した後である。

【００７４】

Ｃ）蒸気タービンが起動してインターセプト弁３６が開弁すると、再熱蒸気Ａ８の一部は、中圧蒸気Ａ９として中圧タービン３７に流入する。よって、中圧バイパス弁３９を通過するバイパス蒸気Ａ１１の体積流量が減少し、中圧バイパス弁３９の開度は低下する。

【００７５】

Ｄ）上記のＡ～Ｃを考慮すると、回転数Ｂ６が７０％回転数に到達した後に、再熱蒸気Ａ８の圧力を０．９ＭＰａに低下させることが考えられる。理由は、回転数Ｂ６が７０％回転数に到達していなければ、高圧タービン２３の排気部２３ｂでの風損の問題は顕在化せず、かつ、回転数Ｂ６が７０％回転数に到達していれば、高圧タービン２３の排気部２３ｂでの風損の問題は顕在化するものの、インターセプト弁３６が開くことにより再熱蒸気Ａ８が中圧タービン２７に供給される結果、中圧バイパス弁３９の開度は小さくて済むからである。

【００７６】

Ｅ）しかしながら、回転数Ｂ６が７０％回転数に到達した際に設定値Ｂ８を瞬時に０．９ＭＰａに切り替えると、再熱蒸気Ａ８の圧力の突変が発生して、中圧タービン２７等の安定運転が妨げられるおそれがある。そこで、回転数Ｂ６が５０％回転数に到達すると、切替器５６は、設定値Ｂ８が１．５ＭＰａから０．９ＭＰａに向けて徐々に低下するように設定値Ｂ８を切り替える。その結果、回転数Ｂ６が７０％回転数に到達した際に、設定値Ｂ８は０．９ＭＰａになる。例えば、回転数Ｂ６が５０％回転数から７０％回転数に変化するまでに４分を要する場合には、切替器５６内の圧力変化率設定値は、０．１５ＭＰａ／分に設定される。これにより、再熱蒸気Ａ６の圧力が、４分間で０．６ＭＰａだけ低下する。

【００７７】

（５）蒸気タービンの並列

回転数Ｂ６が７０％回転数に到達した後も、蒸気タービンは昇速し、回転数Ｂ６は１０

０％回転数（定格回転数）に到達する。そして、蒸気タービンははじめてＳＴ発電機２５と並列され、蒸気タービンの負荷上昇が開始される。

【００７８】

蒸気タービンの負荷上昇が開始されると、加減弁３２の開度を急速を増加させ、高圧蒸気Ａ４を増加させる。高圧蒸気Ａ４の流量が十分に確保され、高圧タービン２３の排気蒸気Ａ５の流量が増加すると、もはや風損による出力部２３ｂの温度上昇は問題とはならない。そこで、中圧バイパス弁３９は徐々に全閉され、インターセプト弁３６の開度は徐々に増加される。その結果、中圧バイパス弁３９の全閉により再熱蒸気Ａ８はすべて中圧タービン２７に供給されるようになり、蒸気タービンの起動はその後も進行する。

【００７９】

（第１実施形態の比較例）

図２は、第１実施形態の比較例の発電プラントの構成を示す模式図である。

【００８０】

図２では、再熱蒸気Ａ８の圧力が圧力センサ４１により測定され、再熱蒸気Ａ８の圧力の測定値Ｂ２（ＰＶ値）がプラント制御装置４２に送信される。減算器５２は、再熱蒸気Ａ８の圧力の設定値Ｂ１（ＳＶ値）として０．９ＭＰａを設定器５１から取得し、ＳＶ値とＰＶ値との偏差Ｂ３を出力する。ＰＩＤコントローラ５３は、減算器５２から偏差Ｂ３を取得し、偏差Ｂ３をゼロに近づけるためのＰＩＤ制御を行う。本比較例のプラント制御装置４２は、減算器５２に供給されるＳＶ値を切り替える機能を有していない。

【００８１】

本比較例において、中圧タービン２７の停止中（インターセプト弁３６の閉弁中）に中圧バイパス弁３９の開度が１００％に到達せずに７０～８０％に留まるためには、中圧バイパス弁３９の容量を大きくする必要がある。ここで、中圧タービン２７の停止中において、本比較例の再熱蒸気Ｂ８の圧力は０．９ＭＰａであり、第１実施形態の再熱蒸気Ｂ８の圧力は１．５ＭＰａである。よって、本比較例において上記の開度（７０～８０％）を実現するためには、比較例の中圧バイパス弁３９は、第１実施形態の中圧バイパス弁３９の約１．６倍の容量を有することが求められる。これは、中圧バイパス弁３９のコストが上昇する、中圧バイパス弁３９の高精度化が難しくなる、中圧バイパス弁３９の弁体を支持する構造が実現しにくくなるなどの問題を引き起こす。一方、第１実施形態によれば、これらの問題を解決することができる。

【００８２】

以上のように、本実施形態のプラント制御装置４２は、回転数センサ４３により検出された高圧タービン２３の回転数に基づいて、中圧バイパス弁３９を制御して、再熱蒸気Ａ８の圧力を制御する。例えば、高圧タービン２３の回転数が閾値を超えた場合には、再熱蒸気Ａ８の圧力が低減されるように中圧バイパス弁３９が制御される。

【００８３】

よって、本実施形態によれば、低圧（例えば０．９ＭＰａ）の再熱蒸気Ａ８を小型の中圧バイパス弁３９により対処することが可能となる。具体的には、本実施形態によれば、小さな容量の中圧バイパス弁３９を使用しても、風損による高圧タービン２３の出口部２３ｂの温度上昇の問題を解消することが可能となる。

【００８４】

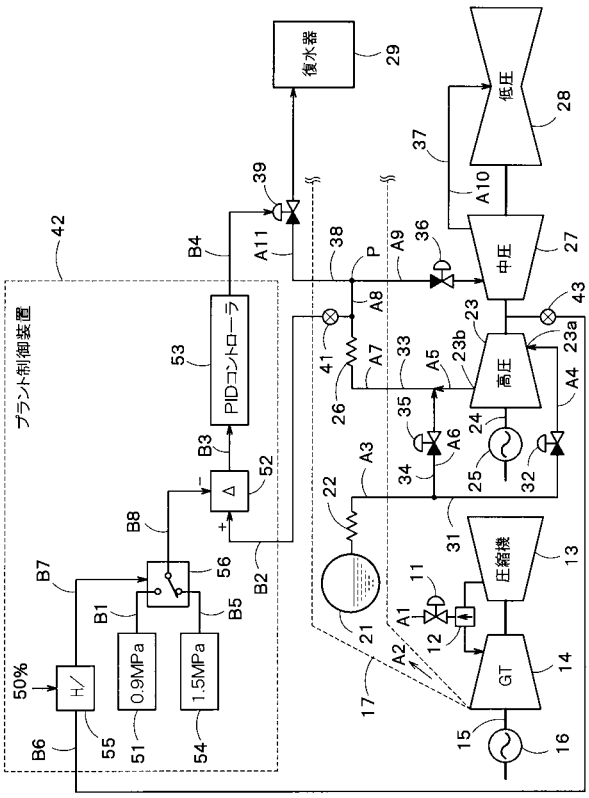
以上、いくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例としてのみ提示したものであり、発明の範囲を限定することを意図したものではない。本明細書で説明した新規な装置、方法、およびプラントは、その他の様々な形態で実施することができる。また、本明細書で説明した装置、方法、およびプラントの形態に対し、発明の要旨を逸脱しない範囲内で、種々の省略、置換、変更を行うことができる。添付の特許請求の範囲およびこれに均等な範囲は、発明の範囲や要旨に含まれるこのような形態や変形例を含むように意図されている。

【符号の説明】

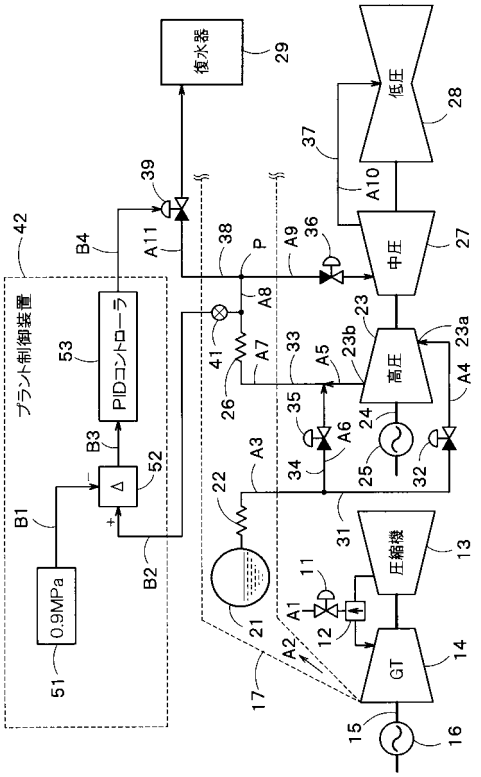
【００８５】

１１：燃料調節弁、１２：燃焼器、１３：圧縮機、１４：ガスタービン、
１５：ＧＴロータ、１６：ＧＴ発電機、１７：排熱回収ボイラ、
２１：ドラム、２２：過熱器、２３：高圧タービン、
２３ａ：入口部、２３ｂ：出口部、２４：ＳＴロータ、２５：ＳＴ発電機、
２６：再熱器、２７：中圧タービン、２８：低圧タービン、２９：復水器、
３１：蒸気管、３２：加減弁、３３：再熱管、
３４：高圧バイパス管、３５：高圧バイパス弁、
３６：インターセプト弁、３７：クロスオーバー管、
３８：中圧バイパス管、３９：中圧バイパス弁、
４１：圧力センサ、４２：プラント制御装置、４３：回転数センサ、
５１：設定器、５２：減算器、５３：ＰＩＤコントローラ、
５４：設定器、５５：比較器、５６：切替器

【図１】



【図２】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
Ｆ０１Ｄ　25/00	*(2006.01)*	Ｆ０１Ｄ	25/00	Ｖ	
		Ｆ０１Ｋ	23/10	Ｘ	

(72)発明者　ゴー　ジェンダ
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　当房　昌幸
東京都港区芝浦一丁目１番１号　株式会社東芝内

Ｆターム(参考) 3G071 AB04 BA07 CA01 CA07 DA12 FA02 FA03 HA01 HA03
3G081 BA03 BA11 BC07 DA06