

タービンバイパス起動方式の計画と運転実績

Planning and Operational Experiences of Turbine-bypass System

石炭燃焼火力発電設備の運用性向上のために、タービンバイパス装置を設置したプラントがわが国でも採用されるようになってきている。日立製作所では、十数年前から輸出機にこの装置を適用して、豊富な運転経験を持つとともに、起動方式の改良を行って信頼性の向上を図っている。1989年6月30日に営業運転を開始した九州電力株式会社松浦発電所1号機納め70万kW蒸気タービン・発電機設備は、同社が中間負荷仕様機に由来から採用している高圧および低圧タービンバイパス装置を使って、新しい起動方式を取り入れ、良好な実績を得ている。今後、ますます石炭燃焼火力発電設備の大容量化が進み、タービンバイパス装置の需要も増えてゆくものと考えられるが、日立製作所は、それらの要求に応じた適切な提案を行えるように万全を期している。

森谷新一* *Shin'ichi Moriya*
 兼田英明* *Hideaki Kaneda*
 浦 勝巳* *Katsumi Ura*
 荻野 悟** *Satoru Ogino*

1 緒 言

石炭燃焼火力プラントのDSS (Daily Start Stop: 毎日起動停止) 運用機能を改善するために、古くからタービンバイパス装置の設置が海外、特に欧州のプラントで行われていた。最近になって、国内でも中間負荷火力プラントが増加してくるのに伴い、タービンバイパス装置を設けた蒸気タービン設備が建設されるようになってきている。

日立製作所では、輸出機を中心に十数年前からこの技術に取り組んできたが、初期の納入機での運転経験を見直して起動方式の改良を図り、1984年運開の納入機以降は新方式のバイパス運転法を採用し、期待どおりの成果を得ている¹⁾²⁾。

このたび日立製作所では、この新方式のバイパス運転法を九州電力株式会社松浦発電所1号機(以下、松浦1号機と言う。)納め70万kW蒸気タービン設備に適用し、良好な結果を得ることができた。

以下に、日立製作所でのタービンバイパス運転法改良の概要と、松浦1号機での運転実績について述べる。

2 タービンバイパス運転法の改良経緯

2.1 実 績

これまでに日立製作所では、表1に示す多数のタービンバイパス装置を設置した蒸気タービン設備を納入してきた。これらの大部分は輸出機であり、初期の納入機では従来方式の高圧と中圧に同時に通気する起動法を採用したものであったが、その後改良を加えて1984年運開のものからは、新方式の

中圧だけに通気する起動法としている。この新方式による納入機は製作中も含めすでに18台に達し、標準設計となっている。

2.2 タービンバイパス装置

まず、タービンバイパス装置の概要について説明する。タービンバイパス装置は、蒸気タービンの運転特性を改善する性質と、反対にそれを制約する性質を合わせ持っているので、このことを念頭におき十分に注意を払って運用することが肝要である。

日立製作所では、タービンバイパス装置の基本を次のようにとらえている。

(1) 設置目的

再熱器冷却を行うタービンバイパス装置の設置目的は次のように分類され、それぞれの目的に応じたバイパス装置の容量は、表2に示すとおりである。

(a) 起動性の向上

ボイラ起動時間の短縮を図るために、再熱器の蒸気冷却を行って再熱器焼損を防止し、ボイラ燃焼率(燃料投入量)を高めることを可能とする。

さらに、通気時には蒸気タービンのメタル温度と通気温度の関係を容易に調節できるので、起動時間の短縮が図れる。

(b) ボイラ負荷と蒸気タービン負荷の差の吸収

ボイラの負荷応答特性を超える急激な負荷変化の要求に

* 日立製作所 日立工場 ** 日立エンジニアリング株式会社

表1 タービンバイパスの実績 従来起動方式を採用した初めの3台では、いずれもバイパス運転中に高圧排気の異常上昇が発生した。大口径のベンチレータ弁によって、バイパス運転中の高圧内部を真空とする改良を加えた新起動方式を採用したピプリーNo.1以降は、そのような制約がなくなり信頼性の高い起動が行えるようになっている。

No.	納 先	ユニット名	出力 (MW)	形 式	蒸 気 条 件 (kg/cm ² ・g-C/C)	運開	起動方式
1	中華人民共和国	唐 山 No.1	125	SF-26	134-550/550	1977	従来方式
2	同上	同上 No.2	125	SF-26	134-550/550	1977	
3	アルゼンチン	コスタネラ No.6	350	TC4F-26	169-540/540	1976	
4	パキスタン	ピ プ リ No.1	210	TCDF-26	141.8-525/525	1984	新方式
5	同上	同上 No.2	210	TCDF-26	141.8-525/525	1984	
6	同上	ビン・カシム No.5	210	TCDF-26	141.8-525/525	1991	
7	オーストラリア	タ ロ ン No.1	350	TCDF-33.5	169-538-538	1984	
8	同上	同上 No.2	350	TCDF-33.5	169-538-538	1985	
9	同上	同上 No.3	350	TCDF-33.5	169-538-538	1986	
10	同上	同上 No.4	350	TCDF-33.5	169-538-538	1986	
11	同上	カ ラ イ ド No.1	350	TCDF-33.5	169-538-538	1988	
12	同上	同上 No.2	350	TCDF-33.5	169-538-538	1989	
13	同上	スタンウェル No.1	350	TCDF-33.5	169-538-538	1993	
14	同上	同上 No.2	350	TCDF-33.5	169-538-538	1994	
15	同上	同上 No.3	350	TCDF-33.5	169-538-538	1995	
16	同上	同上 No.4	350	TCDF-33.5	169-538-538	1996	
17	同上	ロイヤング No.1	500	TCDF-40	166.2-538-538	1993	
18	同上	同上 No.2	500	TCDF-40	166.2-538-538	1994	
19	同上	同上 No.3	500	TCDF-40	166.2-538-538	1996	
20	同上	同上 No.4	500	TCDF-40	166.2-538-538	1998	
21	九州電力株式会社	松 浦 No.1	700	TC4F-33.5	246-538/566	1989	

表2 タービンバイパスの設置目的と容量 おのおのの設置目的に応じたタービンバイパス容量の選択が可能である。

No.	設 置 目 的	低圧バイパス弁の容量(%定格流量)				
		20	40	60	80	100
1	起動特性の向上	再熱器の蒸気冷却 タービンメタルマッチングの適正化 ただし、変圧運転プラントでは起動時に低圧蒸気を用いるので、実効容量はこれの約 $\frac{1}{3}$ となる。				
2	ボイラ負荷とタービン負荷との差の吸収	急激な負荷変化に対し、プラントとしての応答遅れをカバーする。				
		送電線事故時に所内負荷運転へ移行可能とする。				
3	過熱器安全弁としての機能を持たせる。	<input type="checkbox"/>				

対し、プラントとしての応答遅れをカバーする。例えばボイラファントリップ時のランバック、給水ポンプトリップ時のランバックなどへの対応を可能とする。

また、所内単独負荷運転時のプラント極低負荷とボイラ燃料系の所要負荷との差分の吸収、およびファーストカットバック応答速度の緩和を行って、燃料供給の安定維持を図る。

具体的には燃料の種類によって異なってくるが、従来の

重油、原油などの液体燃料燃焼プラントおよびLNG、LPGなどの気体燃料燃焼プラントの場合には、燃料系の制御が比較的容易なため送電線事故などによる外線遮断時は、再熱器保護燃料量以下まで急速に燃料を絞り込むファーストカットバックによって対処可能である。そのため、このようなプラントにバイパス装置を設置する場合の主目的は起動性の向上という点にあり、再熱器の蒸気冷却、ボイラと蒸気タービン間の温度マッチングの所要量によって容量が決定されることになる。

一方、石炭燃焼プラントでは、ミル遮断に伴う通風、燃焼の安定性、ミル制御速度の制御性の面から外線遮断時などのファーストカットバック、およびその後の所内単独あるいは系統単独運転への移行は困難と考えられている。したがって、このようなプラントでバイパス装置を設置する場合、その目的を起動特性の向上におくか、所内単独運転への移行対応のようなボイラと蒸気タービン間負荷差の吸収におくかで、必要なバイパス容量は相違することになる。

(c) 過熱器安全弁としての機能

日本では法規上認められていないが、もう一つの設置目的としては、ボイラ過熱器の安全弁を省略して、圧力上昇時にはバイパス装置で余剰蒸気を復水器に排出するという運用がある。

このタービンバイパス装置を過熱器安全弁として使用する運用法は、西ドイツ、スウェーデン、フィンランド、オーストリア、南アフリカなどで認められており、従来のス

プリング式あるいは電磁式の安全弁を設置する必要がない。

(2) 系統構成

タービンバイパス装置の系統構成を図1に示す。主蒸気系から低温再熱系に連絡する高圧バイパス系、高温再熱系から復水器に連絡する低圧バイパス系、高圧排気に設置される低温再熱蒸気逆止め弁、高圧排気を復水器へ排出するベンチレータ弁などによって構成している。

従来方式に対して、ベンチレータ弁の接続方法を最高圧抽気管から高圧出口に移し、かつ系統容量を増大しているのが新方式の特徴である(同図の⇒部参照)。

(3) 主要弁の動きと各弁の機能

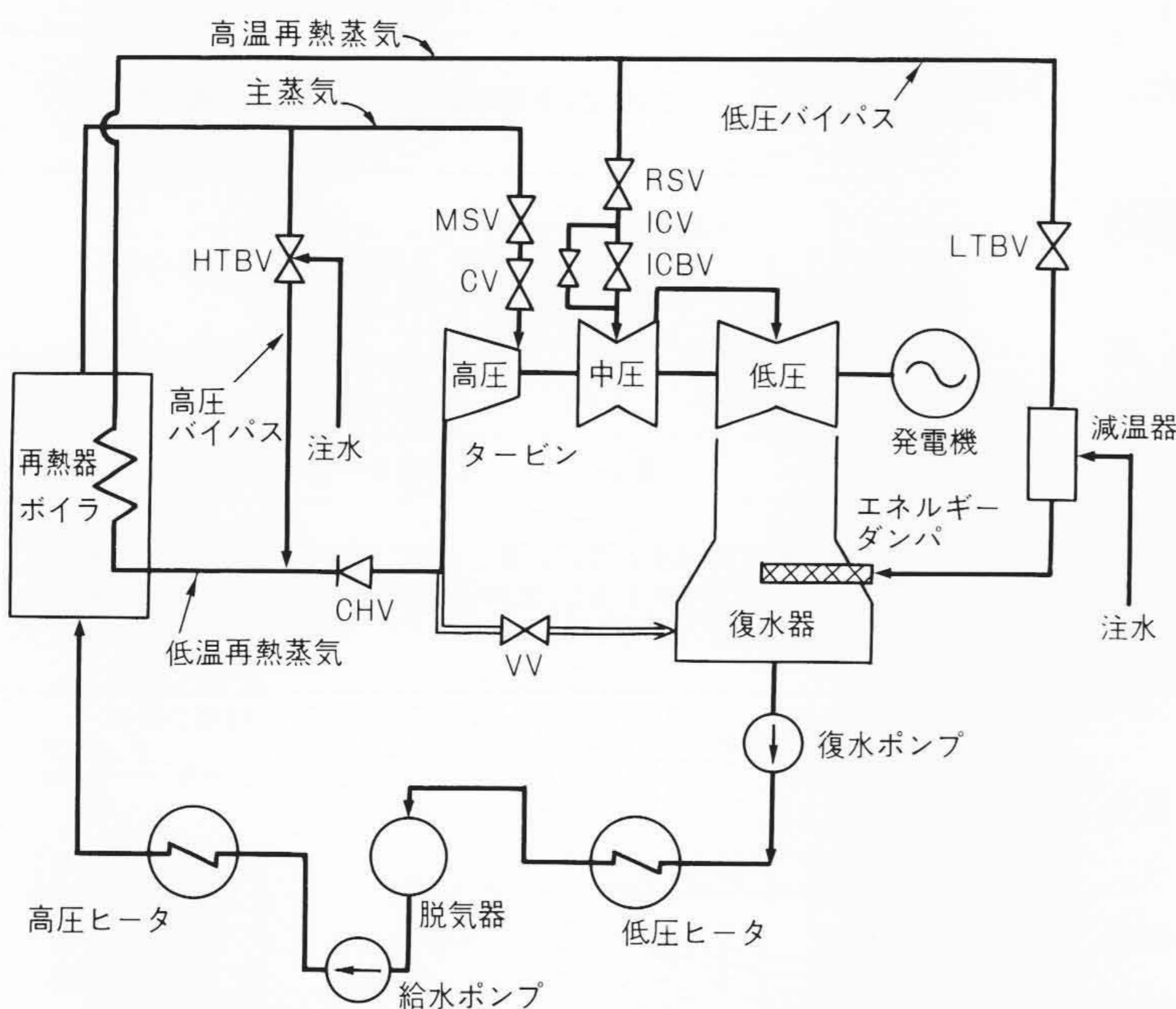
図1の例でタービンバイパス装置の運用について概説する。まず、ボイラ点火当初に発生する蒸気の圧力や温度は、蒸気タービンが要求する条件以下のため、高圧バイパス弁を開いてそのまま再熱器に導き、さらに低圧バイパス弁を開いて全量を復水器に排出するという、いわゆるバイパス運転を行う。次に、蒸気温度が蒸気タービンのメタル温度と近くなってきた時点で、インターセプト弁および加減弁を順次開き蒸気タービンに通気する。このとき、蒸気タービンへの流入蒸気の増加に伴って、高圧バイパス弁と低圧バイパス弁は閉じ、最終的に蒸気の全量がタービンに流入して、通常の負荷運転に入るといふ運用を行う。

さらに、このバイパス運転と通常負荷運転の切り替え時には、再熱器内の圧力を保持するための低温再熱蒸気逆止め弁

が設置されていることにより、高圧への通気状態が不連続な特性となるので、このような特性を十分に考慮した制御が必要となる。この切り替えをトランスファと呼び、図1の「主要弁の動き」に示すような各弁の開度制御が行われる。なお、このトランスファはタービンバイパス容量の大小によって実施する負荷が変化するが、通常、変圧運転を行うプラントでは25%負荷以下で行われている。

図1中の主要弁の動きとその機能は次のとおりである。

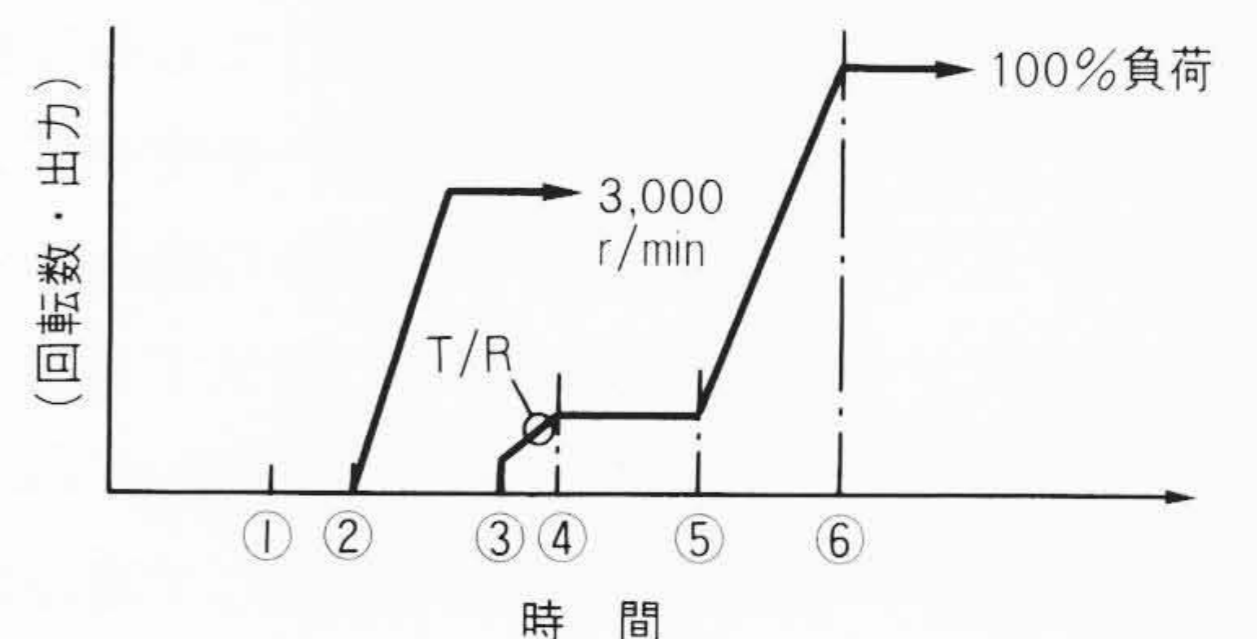
- (1) 高圧バイパス弁は高圧をバイパスして主蒸気を再熱器に導くとともに、注水によって蒸気温度を下げ、再熱器での熱吸収を可能とする(この弁はボイラ側の所掌)。
- (2) 低圧バイパス弁は低圧をバイパスして再熱蒸気を復水器に導くとともに、注水によって排気温度を下げる(この弁はタービン側の所掌)。
- (3) エネルギーダンパは低圧バイパス弁出口から復水器真空までの圧力降下を段階的に行わせ、復水器導入部のエネルギーの拡散を図る。
- (4) 低温再熱蒸気逆止め弁は、バイパス運転時に再熱器内圧を保持して、蒸気が高圧タービン内に入るのを防止する。
- (5) バイパス運転中、主蒸気止め弁および再熱蒸気止め弁は全開して、インターセプト弁は全閉となっている。
- (6) 新方式になって高圧排気に移されて大口径化したベンチレータ弁は、バイパス運転中に開いて高圧内を真空に保つ。



主要弁の動き

起動手順	HTBV	LTBV	MSV	CV	CHV	ICBV	ICV	RSV	VV
① (通気前)	○	○	○	×	×	×	×	○	○
② (昇速)	●	●	○	×	×	●	×	○	○
③ (併入)	●	●	○	×	×	●	×	○	○
T/R(トランスファ)	×	×	○	●	○	○	○	○	×
④ (負荷保持)	△	△	○	●	▽	○	○	○	×
⑤ (負荷上昇)	(×)	(×)	○	●	○	○	○	○	×
⑥ (定格負荷)	(×)	(×)	○	●	○	○	○	○	×

記号説明 ○(全開) △(開方向変動)
 ●(部分開) ▽(閉方向変動)
 ×(全閉) ()はバイパスによる強制閉



注：略語説明 HTBV(高圧タービンバイパス弁), MSV(主蒸気止め弁), CV(加減弁), RSV(再熱蒸気止め弁), ICV(インターセプト弁)
 ICBV(インターセプトバイパス弁), LTBV(低圧タービンバイパス弁), CHV(逆止め弁), VV(ベンチレータ弁)
 T/R(トランスファ：各弁の開度を変化させて、バイパス運転から通常負荷運転に切り換える操作を行う。)

図1 タービンバイパス装置の系統概要 新方式では高圧排気と復水器を結ぶベンチレータ弁を追加している。バイパス運転中はこの弁を開いて、高圧内を真空としてロータ回転による風損発生を防止する。

2.3 起動方式の改良

前述したように、日立製作所では従来方式のタービンバイパス装置を3台の納入機に設置したが、その後、実機での経験を反映して起動法を改良し、4台目以降の納入機には新方式を採用している。この経緯と改良の概要は次に述べるとおりである。

(1) 経緯

初期の納入機に採用した従来方式では高圧、中圧に同時に通気する起動法となっているが、これの運転経験から、起動時のバイパス運転中に高圧排気温度の急上昇現象が発生することに対し、改良を加える必要が生じた。すなわち、この温度変化によってロータ表面の熱応力が増加して過度の寿命消費が発生すること、およびロータ伸びが増加して静止部とのすきまが異常に狭められてしまうこと、特にスラスト軸受位置のいかんによってはタービンロータの摺(しゅう)損が発生しかねないことなどを経験したためである。

この異常な温度上昇の原因は、解析の結果バイパス運転中に、低温再熱蒸気逆止め弁が閉の状態に加減弁を微開して高圧に通気したときには、加減弁の絞り損失によって高圧初段ノズル前圧力が低下して、高圧前後の圧力差はほとんどゼロに近く、結果として蒸気の等エンタルピー膨張だけが行われて、動翼での有効な仕事は発生しない状態となっていることがわかった。さらに、タービンロータは中圧に通気された蒸気によって定格回転速度に持ち上げられているために、高圧ロータでは風損が発生することになり、特に翼長の長い高圧排気部では、その傾向が強く現れていた。このような従来方式の欠点については、海外のメーカーでも指摘されており^{3),4)}、安定した起動運転を行うには何らかの改良が必要であった。

(2) 改良の概要

日立製作所では、**図2**に示す経緯によってバイパス起動法の改良を行った。その要点は次に述べるとおりである。

(a) 新方式では、高圧内の温度上昇を回避するために、従来は高圧抽気管に設けていたベンチレータ弁を低温再熱蒸気逆止め弁の上流側に移し、かつ大口径の弁として、バイパス運転中の高圧内圧力を復水器真空と同等として風損の発生を減じる。このようなベンチレータ系統の変更によって、バイパス運転を長時間続けても高圧排気温度上昇は発生しないことになり、運用上の裕度が拡大した。

(b) この方式では、**図3**に各弁の動きを示すように、蒸気タービンの起動を中圧だけに通気することによって行う。したがって、バイパス運転が継続している間中は加減弁は全閉し、ベンチレータ弁が全開して高圧内は真空に保持される。

(c) トランスファでは、インターセプト弁を全開した後、加減弁を速やかに開き高圧に蒸気を流し所定の負荷をとる。このとき、加減弁を急開するため高圧初段後に温度変化が

発生する。

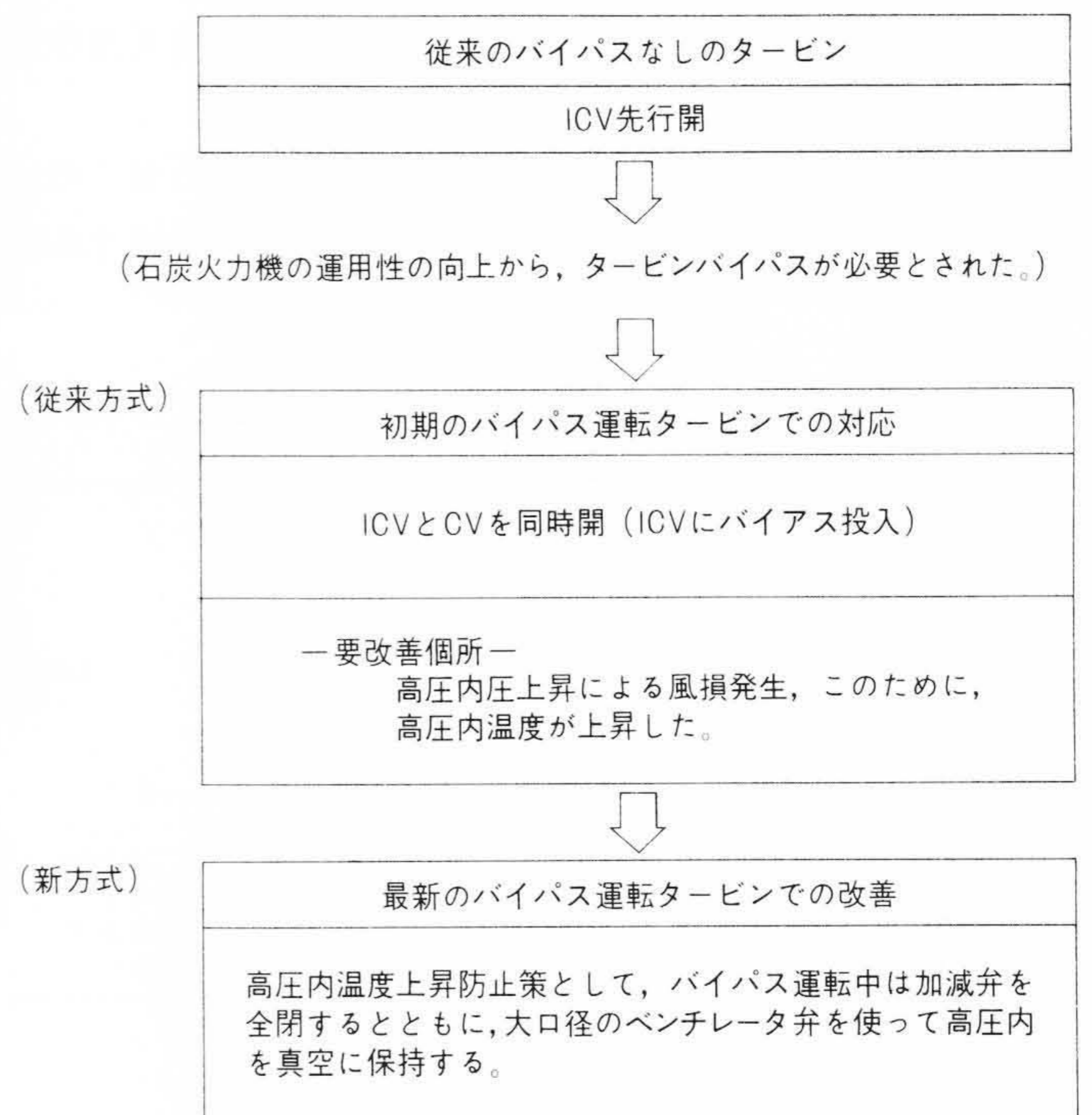
従来方式と新方式の特徴の比較を**表3**に示す。

このような改良を行ったことで、バイパス運転を無制限に続けられることになり、従来方式で必要とされていたバイパス運転中の高圧排気温度監視やロータ伸び監視を強化する必要がなくなったため起動の信頼性が向上している。さらには、無負荷運転時のロータバランス作業や運転データの採取を時間的制約なしに行えるという、メーカーにとっても大きな利益がもたらされている。

(3) 実機への適用

日立製作所ではこの新方式を採用するにあたり、多数の海外プラントの状況調査も十分に行って、その信頼性に確証を持った。

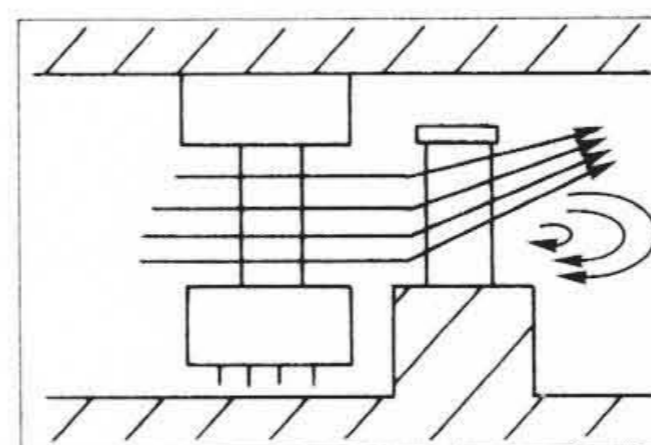
日立製作所自身の納入機としては、パキスタン納めピプリー1号、2号、各21万kW機(1984年運開)以降のすべてのタービンバイパス装置付き蒸気タービン設備に適用し、良好な結果を得ている。



注：羽根群の蒸気流れ

段落の風損

$$L = K \frac{D \cdot B \cdot U^3}{V}$$



ここに

L：風損

K：風損係数

D：羽根平均直径

B：羽根高さ

U：周速

V：蒸気の比容積

図2 タービンバイパス装置の改良経緯 ロータの回転によって発生する風損の大きさは蒸気の比容積に反比例するので、高圧内を真空とすれば風損による温度上昇が起こらなくなる。

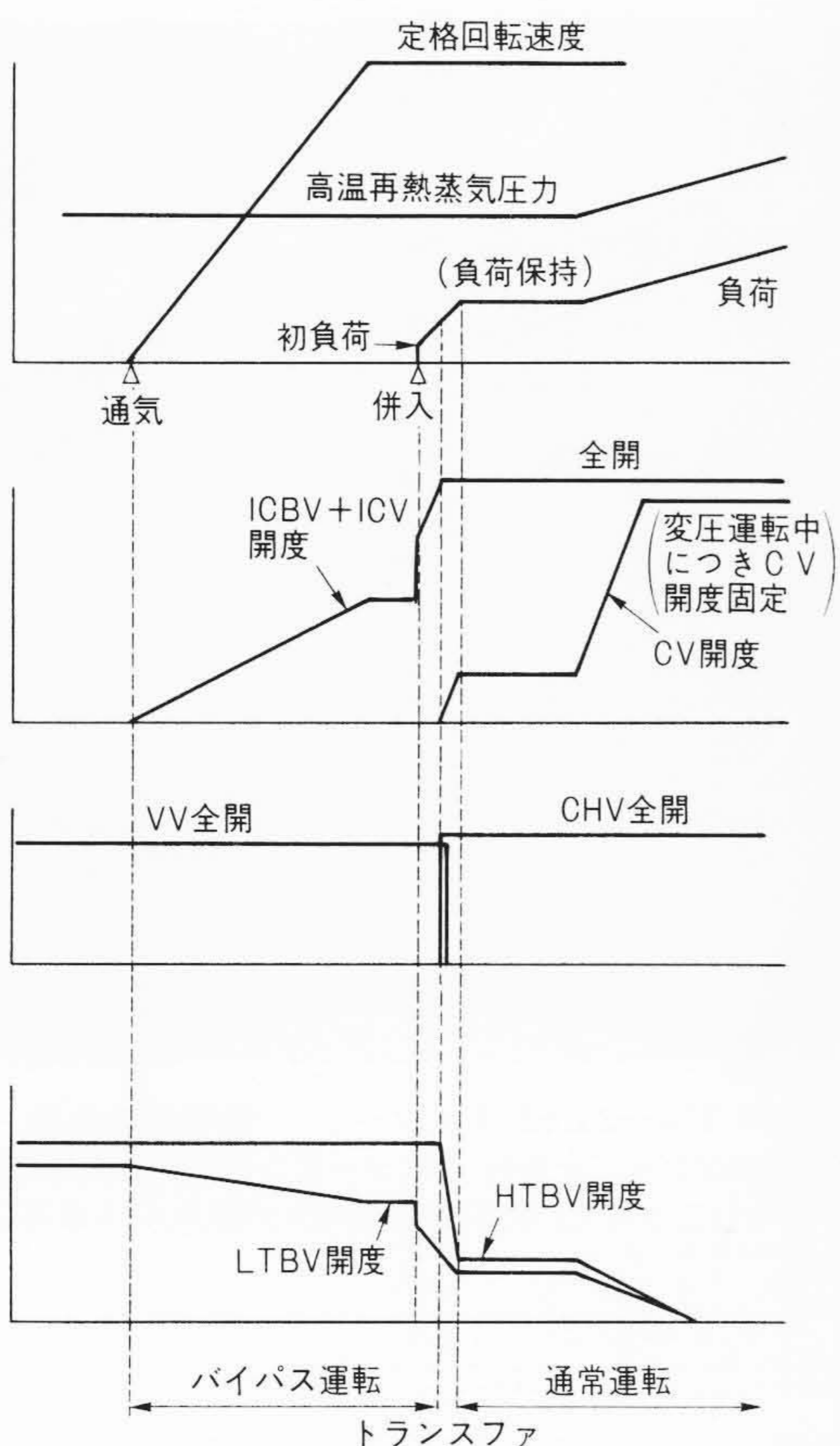


図3 新方式での起動時の各弁の動き バイパス運転中の高温再熱蒸気圧力は、通常4～20気圧に設定されるが、松浦1号70万kW機では石炭燃焼プラントであることを考慮して5気圧としている。

3 松浦1号機70万kW設備への適用実績

次に、新起動方式を採用した松浦1号機70万kW蒸気タービン設備の概要と、運転実績について述べる。

(1) 機器の概要

蒸気タービン・発電機設備の仕様を表4に示す。松浦1号機70万kWタービンは日立製作所のタンデム形最大容量機で、最終段翼に33.5インチ長翼を用いるとともに最新の高効率化技術を採用した高性能機である。また、再熱温度は566℃とし、中圧ロータには高温強度の高い12Cr鋼を用いるなど多くの特徴を持っている。据え付けられた蒸気タービン・発電機の外観を図4に示す。

(2) タービンバイパス装置の概要

九州電力株式会社では早くからタービンバイパス装置による起動特性改善の効果が評価され、先行機60万kWガス燃焼火力機、50万kW重油燃焼火力機で起動特性の向上を目的としたタービンバイパス装置が設置されている。

松浦1号70万kW石炭燃焼火力機では、2.2節の(1)項で述べたタービンバイパス装置の設置目的を十分に検討したうえで、次の設備仕様とした。

- (a) 九州電力株式会社の先行機と同様に、高圧バイパス容量を10%、これにスプレー水量を見込んで低圧バイパス容量を13%として、DSS運用も含めた起動特性改善のためのタービンバイパス装置とした。
- (b) 客先指示およびボイラメーカーとの合議により8時間停止後のホット起動(ボイラ点火から定格負荷まで)を120分(目標110分)で行うことにした。
- (c) 新方式による起動を行うために、図5に示す構造の大口径ベンチレータ弁を設置した。また、低圧バイパス弁は図6に示すような日立製作所製弁として信頼性の向上を図った。さらに、低温再熱蒸気逆止め弁には図7に示すような構造を採用した。

表3 バイパス運転中の蒸気量配分比較 従来方式ではバイパス運転中の高圧通気量を増してクーリングしているが、主蒸気の等エンタルピー膨張による高温化は避けられない。新方式では高圧内が真空となり、起動前のメタル温度に保持されていて、トランスファ時にわずかに温度変化するだけとなる。

	温度上昇抑制手段		蒸気量配分 3,600 r/min t バイパス運転 トランスファ 負荷	特 徴			評 価
	高圧排気	低圧排気		高圧排気温度 上昇	高圧初段後 温度上昇	併入負荷操作	
従来方式	右の2倍の蒸気量を流す。	回転上昇のための蒸気を流す。		短時間の抑制能力あり	ロータは、バイパス運転中に主蒸気温度で暖められる。	中圧-低圧への蒸気量を急増させて、併入負荷をとる。	○ (バイパス運転時間に制限あり)
新方式	高圧内を真空にする。(VV開)	回転上昇のための蒸気を流す。		長時間の抑制能力あり	ロータはバイパス運転中、起動前のメタル温度を維持する。	中圧-低圧への負荷を増加させるとともに、CVを急開して高圧にも蒸気を流す。	◎ (バイパス運転時間に制限なし)

表4 松浦1号機の仕様 70万kW機では初めての高圧単流構造を採用し、低圧最終段には33.5インチ長翼を用いたくし形4車室構造の新鋭機である。

形 式		再熱式タンデム形4車室 4流排気形(TC4F-33.5)
定 格 出 力		700,000 kW
回 転 数		3,600 r/min
主 蒸 気 圧 力		24.1 MPa(変圧運用)
主 蒸 気 温 度		538 °C
再 熱 蒸 気 温 度		566 °C
復 水 器 真 空		5.07 kPa(abs)
抽 気 段 数		8 段
B F P 駆 動 方 式		復水タービン駆動
タ ー ビ ン 段 数	HP	7 段
	IP	5 段×2 流
	LP	6 段×4 流
	計	18段(41ホイール)
高 圧 初 段 翼 形 式		単流式
ア ド ミ ッ シ ョ ン 数		3
低 圧 最 終 段 翼	翼 長	850.9 mm{33.5インチ}
	平 均 直 径	2,298.7 mm{90.5インチ}
	環 帯 面 積 (4 流 分)	24.58 m ²
	翼 材 料	11.75Cr-2.5Ni-1.75Mo-0.33V鋼
形 式		固定子直接水冷却回転子水素冷却三相交流形
容 量		778,000 kVA
回 転 数		3,600 r/min
力 率		0.9
水 素 圧 力		0.14 MPa
励 磁 機		静止形

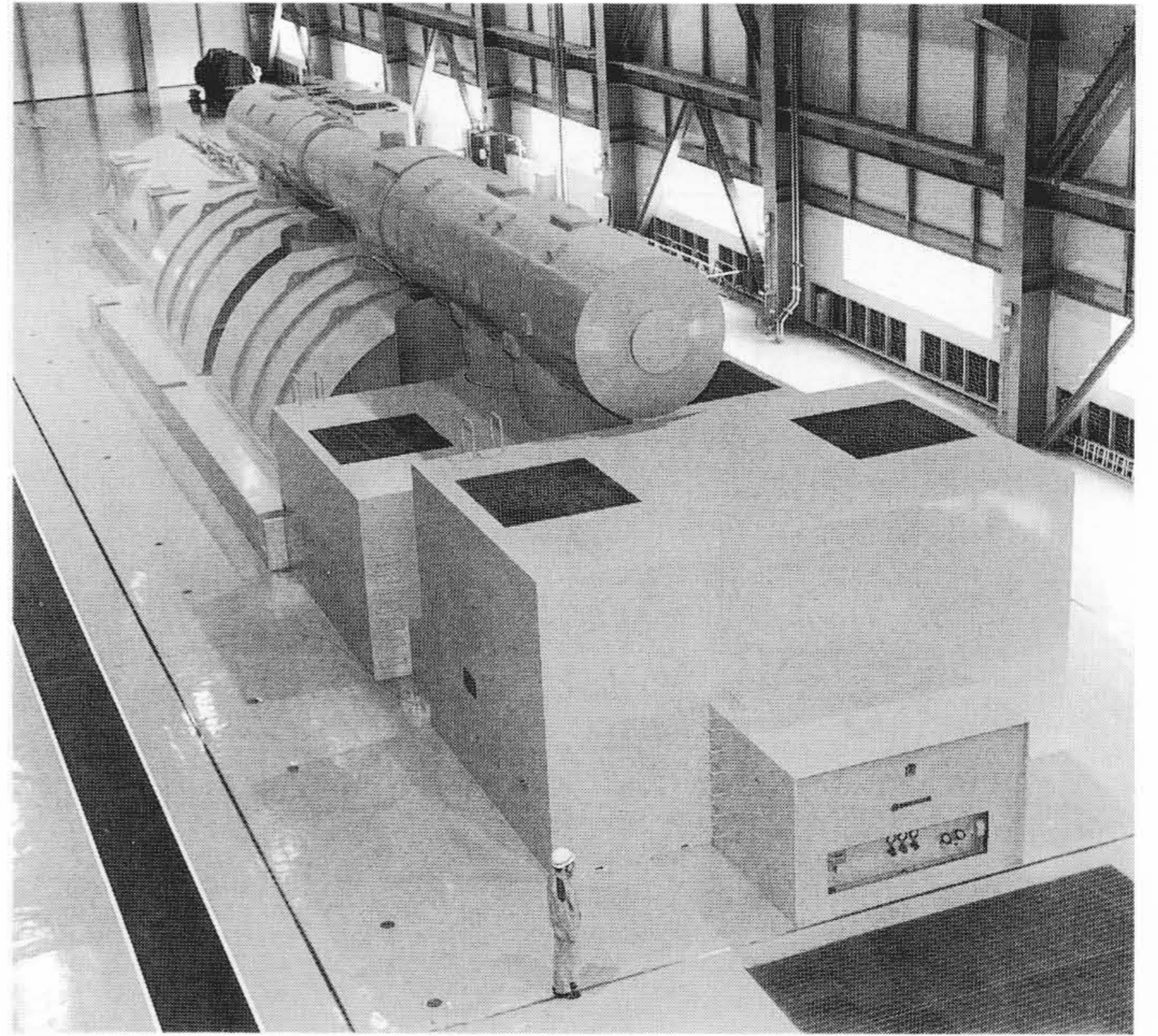


図4 70万kW TC4F-33.5形蒸気タービン・発電機の外観 4車室のタンデム形機ながら、全長46.3m(タービン前面から発電機後端まで)とコンパクトな仕上がりで、DSS(中間負荷火力運用)にも最適な機械である。

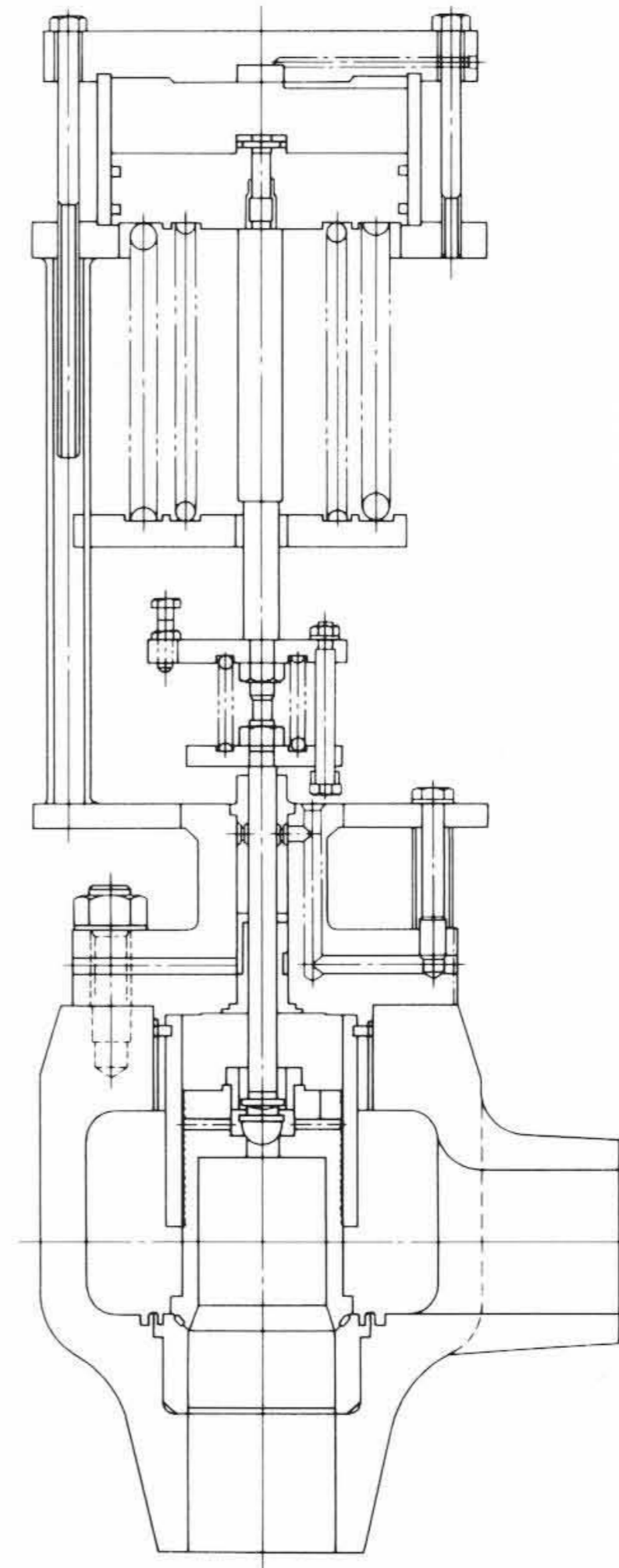


図5 ベンチレータ弁構造図 ベンチレータ弁はバイパス運転中に高圧内を真空に保持する目的で設置している。このため、通常の火力機に設けられているベンチレータ弁よりも大口径の弁にしてある。

(d) タービンバイパス装置を含め蒸気タービンの制御特性向上のために、高圧制御油を用いたデジタル式電子ガバナを採用した。

(e) バイパス運転中のタービン信頼性向上のために、次のような保護インタロック、監視機能を追加した。

- (i) 高圧排気温度高トリップ
- (ii) 低圧バイパス弁誤開保護インタロック
- (iii) 低温再熱蒸気逆止め弁誤開保護インタロック
- (iv) 高圧タービン排気部ロータ熱応力監視

(f) コールド起動時の高圧タービン暖機運転のために、加減弁を微開するヒートソークモードを設けた。

(3) 運転実績

以上の特徴を持つ本機の建設は順調に進められて、1988年12月14日に初通気を行い、1989年2月2日には100%負荷遮断試験に成功し、同年6月30日に営業運転を開始した。試運転時のデータを表5に示す。また、新方式による起動もきわめて良好なものであった。

ホット起動時諸特性の一例として、ボイラ点火から100%負荷までを110分で行ったときのデータを図8に示す。同図中には順調に上昇してゆく主蒸気温度、再熱蒸気温度とともに高圧排気温度の変化を示しているが、トランスファ時の温度変

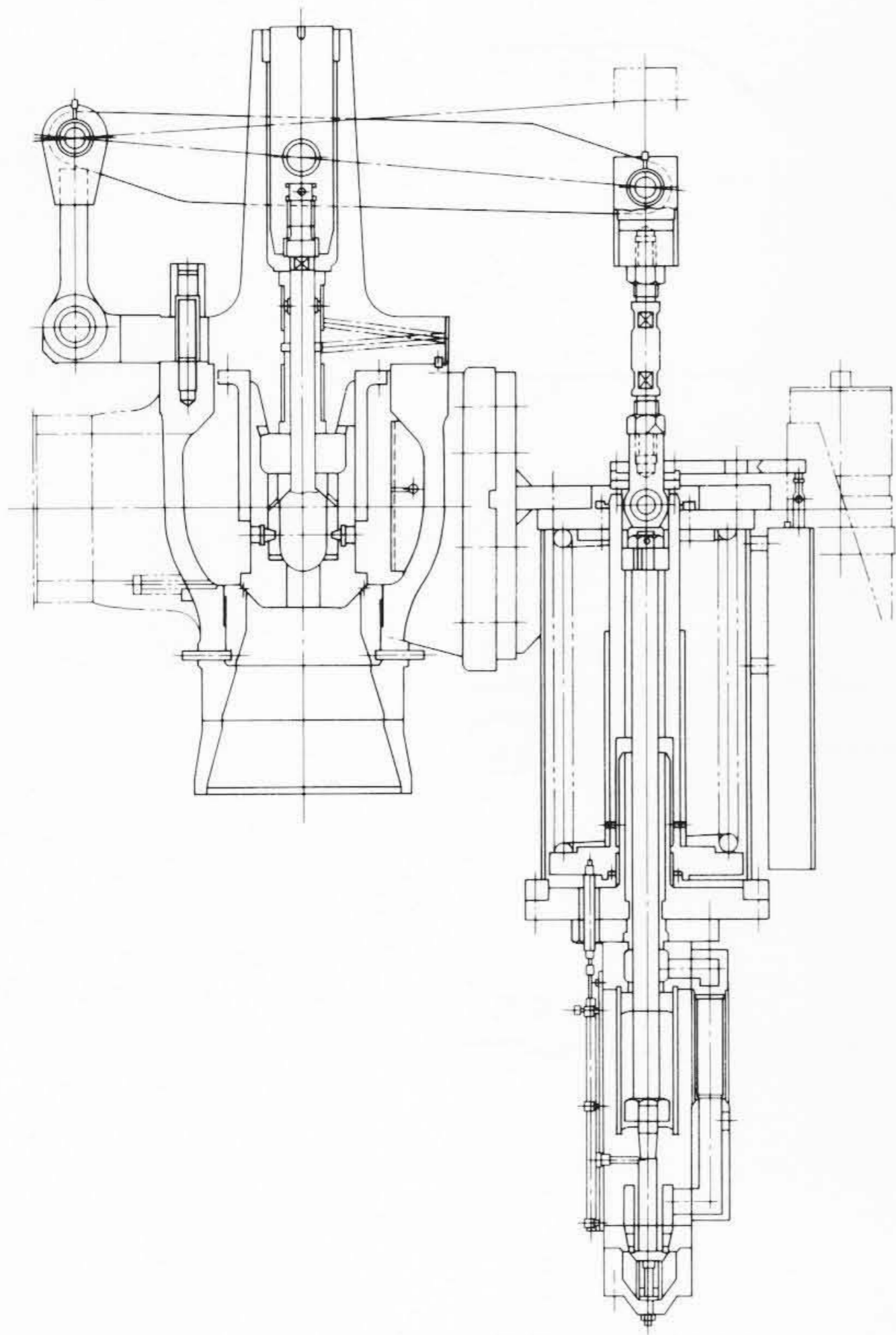


図6 低圧タービンバイパス弁構造図 低圧タービンバイパス弁には一般にスルザー社(西ドイツ)製の弁が使用されているが、松浦1号機では、弁の信頼性向上と高圧油-デジタル式電子ガバナによる制御系の統合を図るために、日立製作所製の弁を採用している。

化は10℃以下に抑制されている。なお、トランスファは併入と同時に始まり約8%負荷で完了している。このため通常運転へ切り替わった後、高圧排気温度は負荷相当温度に移行したので、同上の曲線はトランスファの後に緩やかな降下をみせている。

図8の下方には、ロータ表面熱応力発生状況を示しているが、高圧排気部の寿命消費は発生しておらず、また、高圧初段後の値も0.0013%ときわめて小さい値であった。

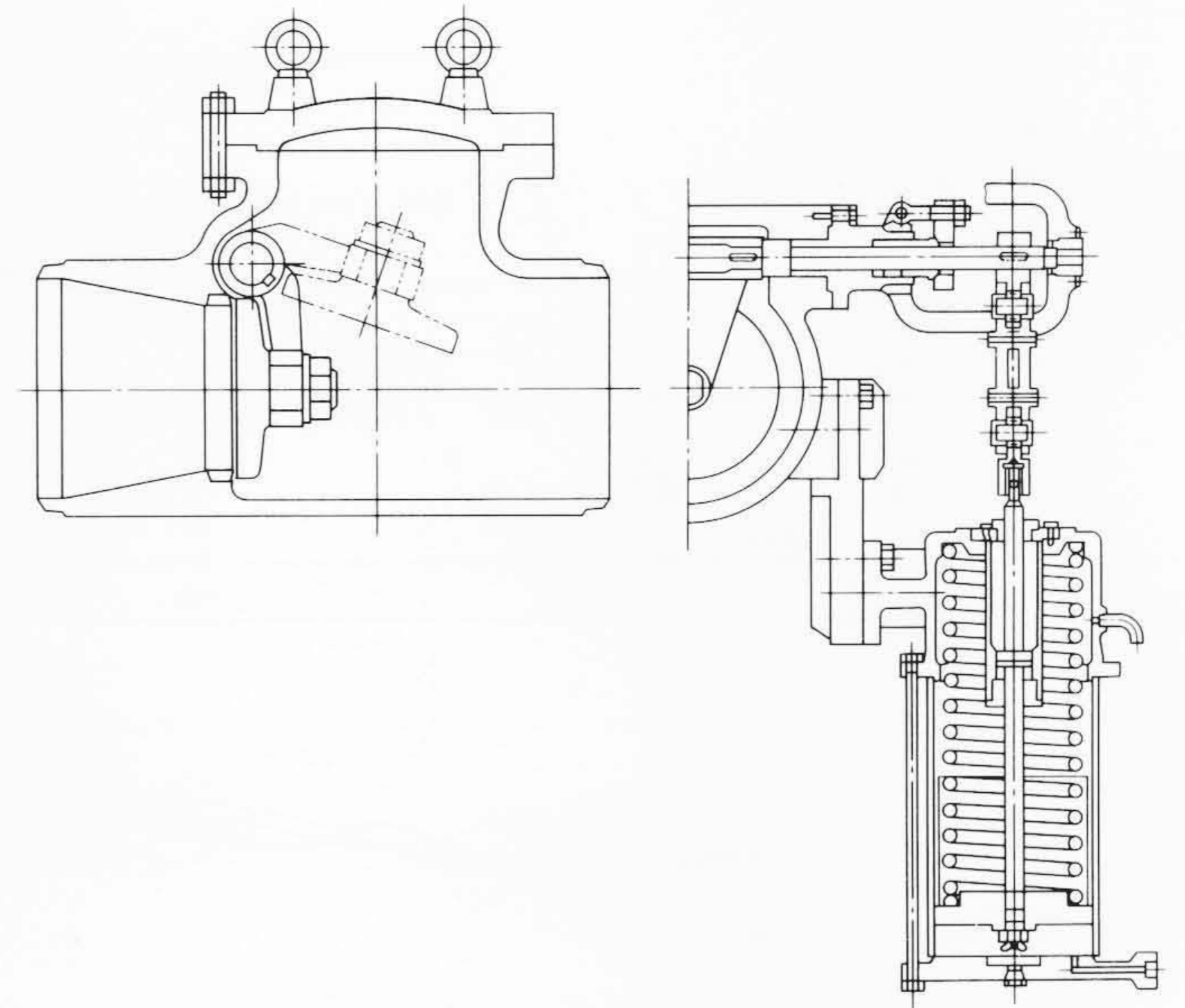


図7 低温再熱蒸気逆止め弁構造図 バイパス運転中、再熱器内をあらかじめ設定した圧力に保持するために、高圧への蒸気逆流を防止する低温再熱蒸気逆止め弁を低温再熱蒸気管内に設けてある。

図8中には、主要な各弁の動きも合わせて示している。これによると、トランスファでインターセプト弁が全開し、中圧への流入蒸気が増加するのに従い低圧バイパス弁は一時閉方向に向かって動作するが、トランスファに先立って余分に投入された燃料によって発生する蒸気の応答遅れから、漸次ボイラ蒸発量が増加するに伴って再熱蒸気量も増えるので、低圧バイパス弁開度は再び増加している。また、インターセプト弁に引き続き加減弁が開くと、主蒸気圧力制御によって高圧バイパス弁が絞り込みを始めている。

このように、主蒸気系、再熱蒸気系のいずれもが、通気からトランスファを経て負荷上昇までの全過程を通じ、良好に圧力制御および負荷制御を行うことができた。

その他、起動の全過程を通じて何らの異常も発生することなく、良好な起動特性が得られた。

表5 松浦1号70万kW蒸気タービンの実績データ 軸振動はイニシャルロール時から低く抑えられていて、加工精度の高さが実証された。また、熱性能も保証値を満足していて良好である。

(a) 軸振動調整記録

工場組立の有無	工場試運転の有無	負荷	軸振動 (単位 = $\frac{1}{100}$ mm)										バランスショット回数
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	
実施せず (CCS方式)	実施せず	イニシャルロール時	0.3	2.1	3.3	3.5	3.7	5.2	2.9	2.9	4.0	3.3	0
		3,600 r/min	0.4	1.9	1.0	1.8	1.9	1.8	1.6	1.4	0.8	1.9	2 (最終)
		700 MW	1.0	1.9	0.9	1.9	1.3	1.5	1.0	2.4	0.5	1.1	

(b) 性能試験結果

試験	燃料	MW	700	525	350	245
			石炭	石炭	石炭	石炭
タービンプラント熱消費率	計算値	kJ/kWh	7,765	7,769	8,025	8,330
	実測値(補正後)	kJ/kWh	7,715	7,719	7,963	8,221
	相対偏差	%	0.65良	0.65良	0.77良	1.31良

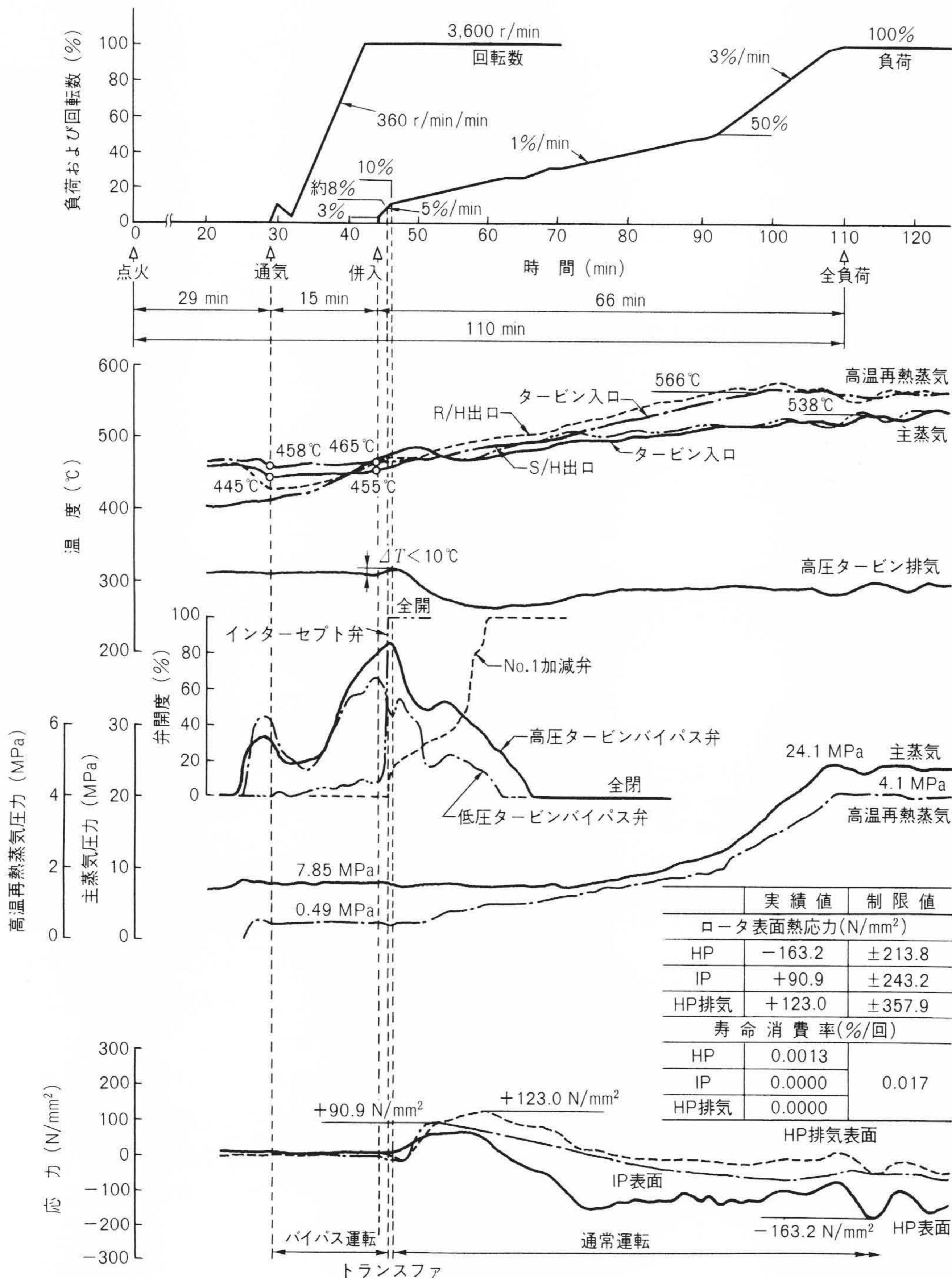


図8 松浦1号70万kW機での8時間停止後のホット起動実績例
タービンバイパス装置の効果によって、110分の短時間で起動を完了している。新方式を採用しているため、高圧排気温度上昇も10℃以下と小さい値であり、ロータの熱応力による寿命消費率も十分に小さい。

4 結 言

日立製作所でのタービンバイパス装置の実績と起動方式改良の経緯について概説した。このタービンバイパス装置は、輸出機で多数の実績を積み重ねることによって信頼性が確認され、さらに、国内タービンバイパス装置付きの最大容量機である松浦発電所1号機納め70万kW蒸気タービン・発電機設備に採用し、良好な運転実績が得られたのでその成果についても述べた。

今後、国内外でタービンバイパス装置を装備することによって、運用特性の改善を図ったプラントが増加していくことが予想されるが、本稿で述べた新方式はそれらの建設計画に

対し適切な提案を行っていただけるものと確信する。

参考文献

- 1) Y. Amano, et al.: Features of 350 MW Steam Turbine and Generator, Hitachi Review, Vol.32, No.6, 309~313(1983)
- 2) 柏原, 外: 蒸気タービンのDSS化設計, 日立評論, 69, 10, 933~938(昭62-10)
- 3) L. H. Johnson, et al.: An Integrated Turbine Bypass System, Vol.43, Proceeding of the American Power Conference(1981)
- 4) W. Stodieck, et al.: Two 850 MW Turbines on Daily Cycling, Design and Operating Experience, Combustion, Nov.(1979)