# 東北電力株式会

# 仙台火力発電所用 175,000 kW 再熱タービン

175,000 kW Reheat Turbine for the Sendai Power Station, Tohoku Electric Power Co., Inc.

Yūsaku Shibata

## 内

国産最大の記録機として各界注目のうちに製作を進めてきた 175,000 kW 再熱タービンは昨年完成し仙台火 力発電所に据付中である。本機は蒸気条件も従来のレベルを一段上回り 169 kg/cm²g, 566°C の亜臨界圧プラ ントの最高水準に達したもので、本文はその構造ならびに制御上の特色について述べる。

### 1. 緒

仙台火力発電所第2号機175,000kW 再熱タービンは、火力機器大容量化の トップを切って、慎重な製作が進めら れてきたが、昭和34年10月優秀な成績 をもって工場試験を完了した。本機は 容量において国産最大のマンモスター ビンであるばかりでなく, 蒸気条件も 従来の記録を大幅に更新し、その有す るいくたの構造上の特長は今後大容量 タービンの進む方向を示したものであ る。第1図に現地組立中の本タービン を示す。

### 2. 仕様および構造上の特長

### 2.1 仕 様

本タービンの定格仕様は次のとおり である。

形 式 くし形衝動再熱式3気筒 3流排気形タービン

定格出力

175,000 kW (国産最大)

回転数

3,000 rpm

主蒸気圧力

169 kg/cm²g(国産最高)

566 °C

抽気段数

7段

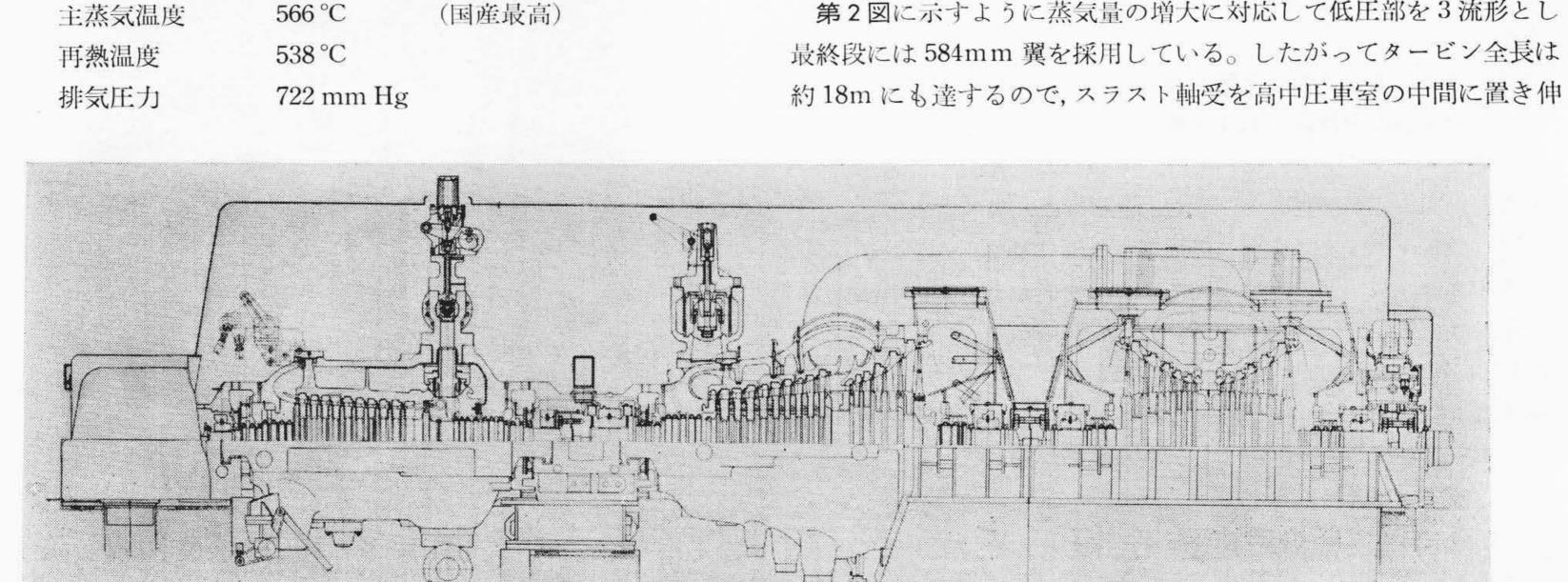
第1図 175,000 kW 再 熱 タ ー ビ ン

給水温度

275.1 °C

# 2.2 全体構造

第2図に示すように蒸気量の増大に対応して低圧部を3流形とし 最終段には 584mm 翼を採用している。したがってタービン全長は



第2図 175,000 kW

<sup>\*</sup> 日立製作所日立工場

H

び差の増加を防ぐ考慮を払っている。主蒸気温度のレベルが一段上昇したことにかんがみ、主蒸気入口部の構造および材質には特に慎重を期しており、主要部にはオーステナイト系耐熱鋼を採用した。オーステナイト系耐熱鋼は高温特性がフェライト系に比し著しくすぐれているが、熱膨脹率が大きく熱伝導度が低いなどの性質のために構造設計ならびに製作に多くの困難を伴うものである。本タービンの設計製作に当りその困難を打破し得たことは、さらに高温高圧化が進んでいる現在特記すべき事項であろう。

# 2.3 全車室のセンタラインサポート方式

本タービンのように長大なタービンの据付けに当って、車室アラインメントの良否は文字通り死命を制するものであり、多年の経験と理論から生れた慎重な作業方法と精密な測定技術、さらに熟練した作業指導が不可欠である。しかしいかにすぐれたアラインメントを行っても、起動負荷停止など運転状態の変化によってこれがくずされてはなにもならない。

運転条件が変化してもアラインメントをくずさぬことはおもに構造設計に要求される問題であって、本タービンでは第3図に示すように、上部車室を軸心水平面上でランニングキーによってささえる構造を採用した。軸方向の位置調整および固定はスラストキーによっている。同図に示したセーフティキーは、上部車室を分解する際誤って下部車室が下がり過ぎることのないようにするもので、完全組立状態では若干の遊びをもっている。このようなセンタラインサポート方式は高圧車室前後および中圧車室前側に使用されており、運転条件がいかに変化しても初期のアラインメントがくずされることはなく、振動、摩擦損などの危険のない確実な動作が保証される。低圧車室にはこの方式を使用していないが、その温度は常に排気温度以下に保たれ、事実上軸心の変化はないと考えてよいからである。

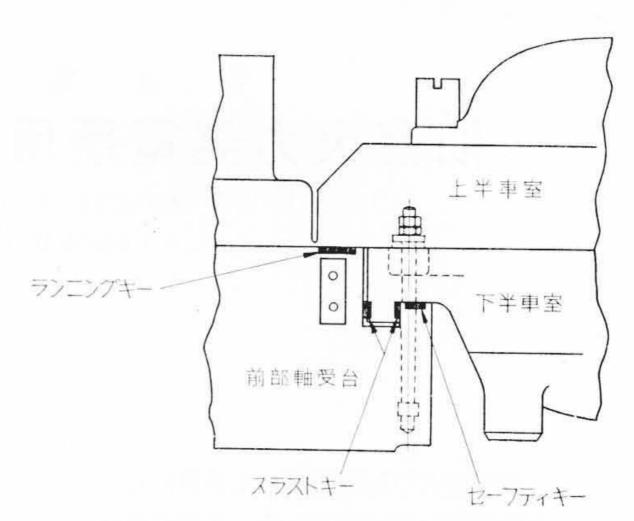
### 2.4 セパレートノズルボックス

タービンの起動停止あるいは負荷変動の際各部に誘起される熱応力を緩和することは、タービンの信頼性を高める上できわめて重要であるが、その中でも特に主蒸気入口部ノズルボックスは最もひどい条件にさらされる。本タービンのノズルボックスは 第 4 および 5 図に示すように、各ノズル群ごとに分離独立し、しかも内部車室に対する取付部を完全にフレキシブルにしたもので下記のような特長を有している。

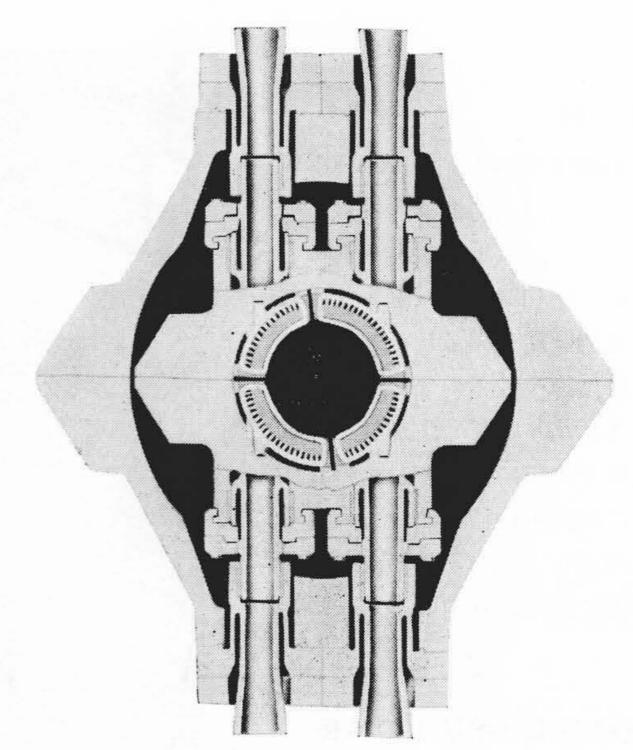
- (1) ノズルボックスを分離した結果,個々の重量は小さくなり 肉厚を薄くできる。したがって蒸気温度変化に対する追従は早く なり、しかも均一に加熱されるので、熱応力および熱変形は減少 する。
- (2) ノズルボックスは1箇所のみにて内部車室に固定されており、そのほかの内部車室および外部車室との接続はすべてキーあるいはピストンリングによってフレキシブルになっているから、温度変化による熱膨脹および熱変形は無理なく吸収される。
- (3) ノズルボックスを各ノズル群ごとに分離したことにより、 ノズルボックス相互の温度不同による熱変形および熱応力は完全 に除去される。

# 2.5 エキスターナルクロスオーバ

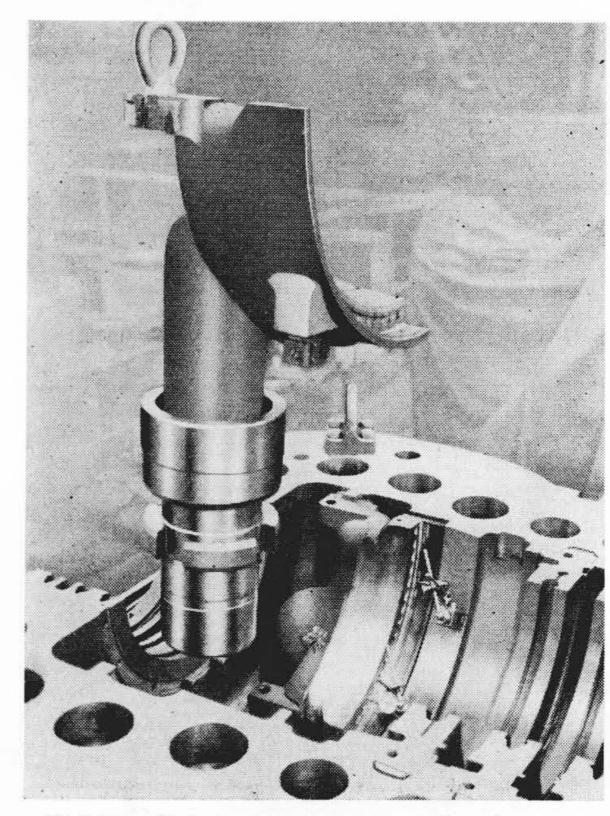
- 第1および2図に示すように、中低圧タービンの連絡管にエキスターナル形を採用している。この構造の利点は
- (1) 低圧タービン外部車室は連絡管部の高温蒸気の影響から完全に切離され、一様に低い排気温度に保たれるので熱変形を生ずる恐れがない。
- (2) 蒸気温度変化による中低圧車室間の相対的膨脹収縮は, クロスオーバパイプに設けたベローにより完全に吸収されるから, 車室に無理がかからない。



第3図 車室センタラインサポート構造



第4図 セパレートノズルボックス構造図

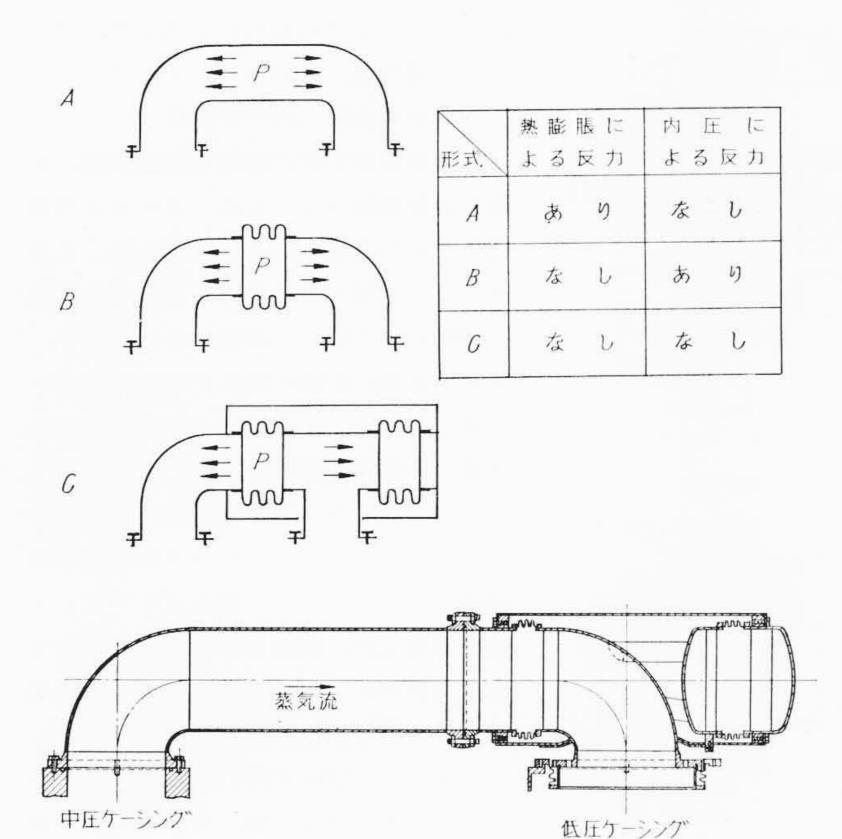


第5図 組立中のセパレートノズルボックス

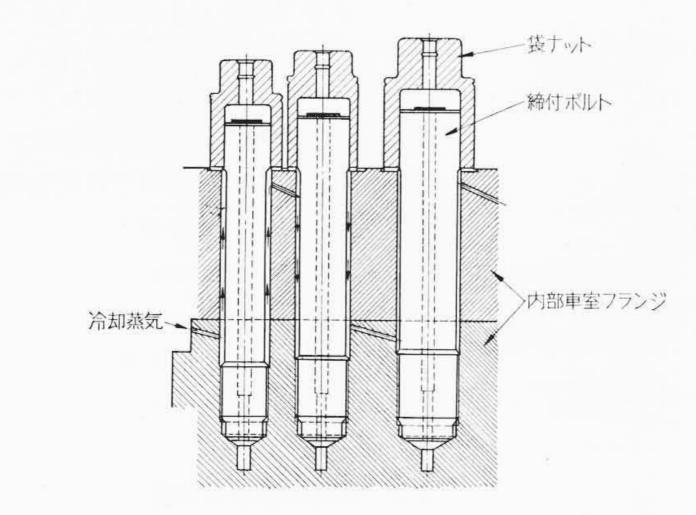
クロスオーバパイプの構造を**第6図**に示す。A, B, Cは熱膨脹吸収の原理を示すもので

Aは伸縮接手を入れない単純なパイプだけの場合で、当然熱膨脹は吸収されない。しかし内部蒸気圧はパイプ内部でバランスする。

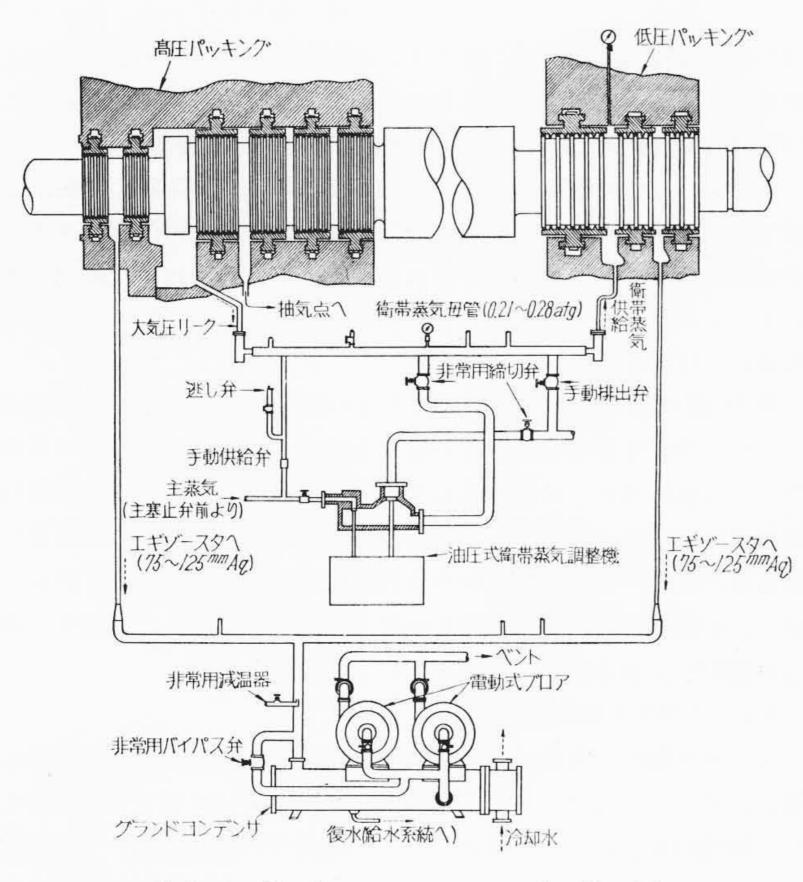
Bはベローを1個入れたもので、これによって熱変形は吸収され



第6図 エキスターナルクロスオーバ構造図



第7図 ボルト 冷却 機構



第8図 蒸 気 シ ー ル 系 統 図

るが, 内部蒸気圧の反力が両端のフランジから各車室に加わる。

Cはベローを2組用いることにより、熱変形を吸収すると同時に 内圧の反力をパイプ内部でバランスさせるようにしたものである。

実際の構造はCの原理を採用したもので、あらゆる運転状態で車室にかかる反力を皆無とすることに成功している。

#### 2.6 高圧内部車室締付ボルト冷却

高圧内部車室水平接手面の締付ボルトは、13% Cr 系の特殊鋼を使用しているが、その中で特に高温側のものに対して第7図に示すような蒸気冷却を施し、定常運転時のボルト材のクリープ強度を上げることにより信頼度を高めている。冷却蒸気は中間段から抽気したものを用い、図に示すようにボルトシャンクとボルト孔の間の環状部を流れつつ冷却し、次々と高圧側に移る。冷却を終った蒸気は、高圧タービン排気中に排出される。

### 2.7 完全な蒸気シール機構

タービンの起動停止および負荷変動に際し、グランド系統の調整 は取扱いにめんどうを感じるものであるが、本タービンの全グラン ドは完全な蒸気シールを採用し、精度の高い衛帯蒸気調整機および グランドエギゾースト系統の採用と相まって、グランド蒸気調整の 完全な自動化が達成されている。

第8図に蒸気シールの系統を示す。高低圧グランドともラビリンス形の蒸気シールを採用しており、グランド蒸気母管における過不足の蒸気を衛帯蒸気調整機によって調整し、0.21~0.28 atg の圧力に正確に保持される。大気側のポケットは、エギゾースタによって一75~-125 mm Aq の真空に引かれるから蒸気は絶対に室内に漏出せず、常にわずかに空気を吸込む状態に保たれる。

グランド母管には安全弁を設けて不測の事故による圧力上昇を防止し、また圧力の不足に対しては圧力スイッチによって警報を発するようになっている。なんらかの理由により調整機を使用しない場合は図示した締切弁およびバイパス弁により手動調整に切替えることも可能である。エギゾースタ系統は1本の母管にまとめた上グランドコンデンサに入り、その復水は給水系統にもどり、不凝気は電動ブロワで排出することにより規定の真空を保つ。ブロワは予備1台を備え運転中の切替えも可能である。またグランドコンデンサ故障の場合はコンデンサをバイパスさせ、減温器をきかせつつ2台のブロワを並列運転して全部の蒸気を大気に放出することもできる。

なお完全蒸気シールの採用によりタービンロータは大地から絶縁 され軸電圧が蓄積される恐れがあるが、本タービンでは軸の前端に 純銀ブラシを用いたアース装置によって軸電圧をにがしている。

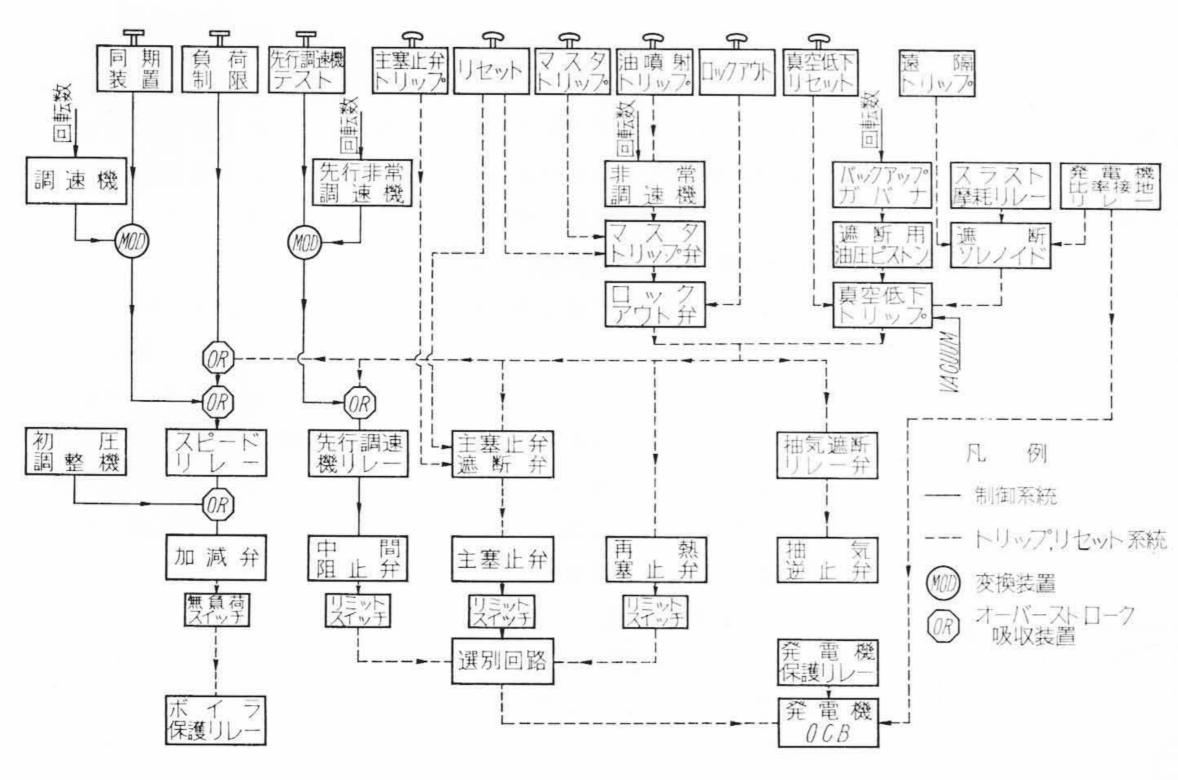
# 3. 制御装置の特長

### 3.1制御系統全般

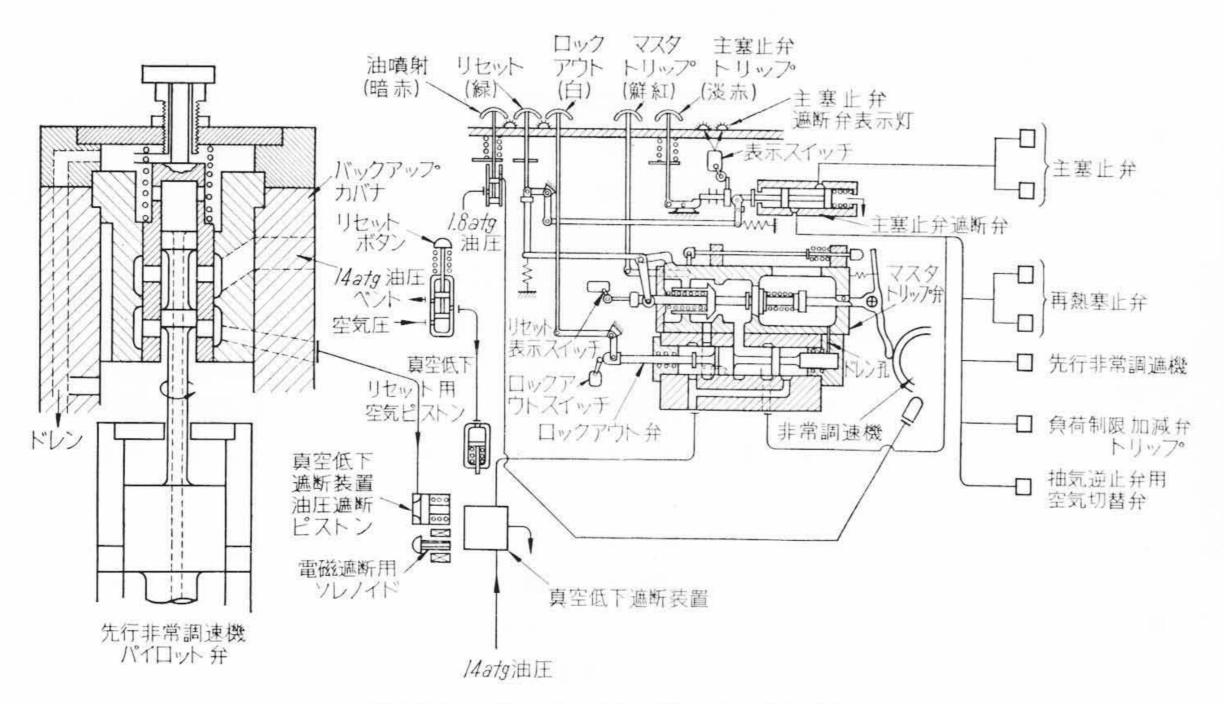
第9図は本タービンの制御系統のブロック線図を示す。

タービンの大形化に伴い,随所に新機軸を採用し運転取扱いの合理化と安全性を図っており、おもな特長は次のとおりである。

- (1) すべての操作用ハンドルを前側軸受台前面に設置し起動, 負荷,停止操作の集中化を達成した。
- (2) 中間阻止弁は中圧車室に直接取りつける構造とし、残留再 熱蒸気による速度上昇を最小におさえた。
- (3) 非常調速機の作動試験をタービン負荷運転中に容易に行う ことができるよう,一時的に応急遮断装置の作動を除外す るロックアウト弁を設けた。
- (4) 非常調速機よりわずかに高い速度で作動するバックアップ ガバナを設け、非常調速機試験時および通常時の過速に対 する安全性を増した。
- (5) 油圧式スラスト摩耗リレーの採用により、運転中にスラス



第9図 制 御 系 統 ブ ロ ッ ク 線 図



第10図 応 急 遮 断 系 統 図

ト軸受の摩耗状態を調査できるようにした。

(6) 2個の主塞止弁の下流側に連絡管を設け、片側主塞止弁の 全閉試験中も全部の加減弁から蒸気が流入するようにし た。

このような新しい多少複雑な構造を採用した理由は、蒸気条件が上昇し大容量となったことにより、最大速度上昇率が大きくなる傾向があり、またスラスト荷重、伸び差などあらゆる条件がひどくなったことによるもので、156,000 kW 未満のタービンについては将来も従来どおりの調速方式を採用する方針であり、実績からみてもなんらさしつかえないと考えている。

### 3.2 応急遮断機構

第10回は、第9回のブロックダイヤグラムの中の応急遮断系統の詳細図である。各蒸気弁遮断用の油圧は、真空低下遮断装置、ロックアウト弁およびマスタトリップ弁を経て各弁に供給される。ただし主塞止弁の系統はさらに主塞止弁遮断弁を経由している。タービンの過速度遮断および手動遮断はマスタトリップ弁の動作によって行われ、真空低下およびそのほかの保安装置による遮断は真空低下遮断装置の動作によって行われる。主塞止弁のみの遮断は主塞止弁遮断弁のハンドルを引くことによりほかの弁と無関係に行われる

から, たとえば起動前に主蒸気管の暖管を行う場合は, このハンドルとリセット ハンドルを交互に操作すればよい。

非常調速機が常に確実な作動状況にあ ることを確認することは、 タービンの保 守上きわめて重要なことであるが, 大形 タービンではベースロードとしての運転 の特性により停止の回数が少なくなり, 非常調速機の試験の機会が得られぬこと が考えられる。したがって負荷運転中に 容易に非常調速機の試験ができるよう に, ロックアウト弁と油噴射装置を設け た。ロックアウト弁のハンドルを引けば 油圧はマスタトリップ弁をバイパスして 直接各蒸気弁に供給される。この状態で 油噴射弁のハンドルを引いて非常調速機 に油を供給すれば、各蒸気弁に関係なく マスタトリップ弁だけの作動を確認でき る。マスタトリップ弁、ロックアウト弁 および主塞止弁遮断弁の動作はそれぞれ リミットスイッチにより前側軸受台前面 にランプ表示される。この時タービン負 荷運転にはなんらの支障も起らない。

このように応急遮断装置をロックアウトして非常調速機の試験中に実際にタービンが過速した時には、はなはだ危険な状態におちいることが予想される。このため先行非常調速機上部にバックアップガバナを設けてあり、回転数が112%に上昇するとこのガバナが作動して油圧を真空低下遮断装置油圧遮断用ピストンに送り、タービンを急停止する。

# 3.3 中間阻止弁の位置

タービンの高温高圧化に伴い,調速性 能特に過速防止問題がクローズアップさ れることは良く知られている。たとえば

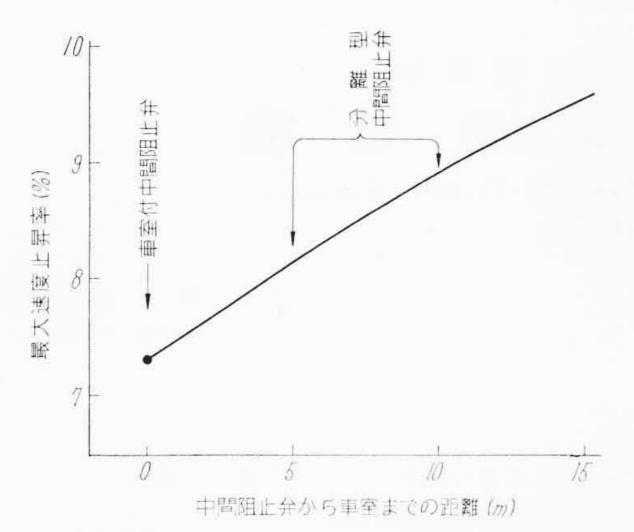
127 kg/cm²g,  $538^\circ$ / $538^\circ$ C級の  $125,000 \,\mathrm{kW}$  タービンの最大速度上 昇率は実績によればすでに 8%をこしており、さらに 1 段階進んだ  $175,000 \,\mathrm{kW}$  機ではあらかじめ十分慎重な検討が必要である。

再熱タービンの速度上昇率に対しては,再熱蒸気系統の制御が重要であるが,計画上特に問題となるのは中間阻止弁の位置である。中間阻止弁の位置が車室から離れていれば,いかに敏速な制御装置によって弁を急速に遮断しても,弁以降の配管中の残留蒸気による加速がさけにくい。

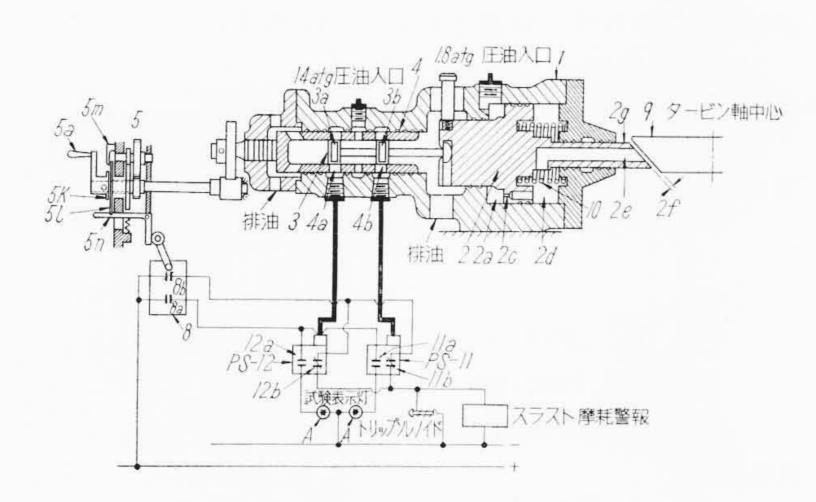
第11 図は本タービンの中間阻止弁の位置を変えた場合最大速度上昇率に及ぼす影響を検討した結果を示す。車室に直接取付けた場合の7%強に対し、分離形として配管中に置くと(車室との距離は配置の巧せつによるが5~10mと推定される)、9%に近くなる恐れがある。本タービンでは2個の中間阻止弁を中圧車室上部に直接取付け、中間軸受台両側に配置したサーボモータによって開閉する構造を採用し、過速防止の完全を期している。

### 3.4 スラスト摩耗遮断装置

スラスト軸受の摩耗に対する保護装置として,従来温度継電器を 用い,ロータに設けたカラーと微少すき間をもって対する固定片と が,軸受の摩耗によって接触したとき発生する熱を検出し,電気的 にタービンをトリップする方法を使用した。この方法は信頼性は高



第11図 中間阻止弁位置と最大速度上昇率



第12図 油圧式スラスト摩耗リレー

いが、さらに運転中に容易に作動試験を行いまたスラスト軸受の摩 耗状況を確認できるように、175,000 kW タービンには新しく開発 された油圧式スラスト摩耗リレーを採用した。

本装置はスラスト軸受に近い中間軸受台上に取付けてあり、第12図に示す機構を有するものである。その主要部はケーシング(1)、 従動ピストン(2)、およびパイロット弁(3)からなる。従動ピストン先端の排油孔(2g)は、タービン軸のテーパカラー(9)と微少な

立 日 Vol. 22 No. 3 次 ◎婦人生活の前進..... 0 ◎送 () E ◎日立ハイライト"ヒッタ 〇 日 道標"仙台 火力の ◎新 ◎勉 部 屋 〇 日 (O) + 0) 新 カ 1 発 行 所 日 立 評 論 社 東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地 振 替 口 座 東 京 71824 番 取 次 店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3の1 振 替 口 座 東 京 20018番

間隙(2f)をもって相対している。軸が移動すれば間隙(2f)は変 化するが、その結果生ずる従動ピストン(2)の両側の油圧のアンバ ランスによって、ピストンはすきま(2f)を一定に保つように動き, 結局軸の移動に追従することになる。ピストンはパイロット弁(3) に直結されているから、軸受があらかじめ設定された危険量だけ摩 耗すれば油圧が切替えられ、摩耗の方向に応じてパイロット弁出口 (4a) または(4b) の油圧が低下し、圧力スイッチ PS-12 または P S-11 およびソレノイドを介してタービンを急停止する。タービ ン運転中にスラスト摩耗量を確認するには、テストハンドル(5a) によってパイロット弁のブッシュ(4)を逆に上下に動かし、遮断点 に至るまでの必要移動量からその時の摩耗量を測定することができ る。ただしこの試験を行うときは、あらかじめ電気回路を遮断回路 からテスト回路に切替えておく必要があるが、それはテストハンド ル操作の際リミットスイッチ(8)によって自動的に行われる。遮断 点の到達は表示灯(A)または(B)に示され、摩耗量の測定と同時 に, 遮断系統の動作試験も行われることになる。

### 4. 結 言

以上東北電力株式会社仙台火力発電所用 175,000 kW 再熱タービンの構造ならびに制御上のおもな特長について述べたが、設計の進歩に伴い材料および製作上においても多くの困難を克服しなければならなかった。高温用オーステナイト系耐熱鋼ならびに翼材は日立金属工業株式会社安来工場また巨大なクロムモリブデンバナジウム鋳鋼製車室関係は日立製作所水戸工場の協力によるなど大部分を社内乃至国内で調達することができた。新しい材料と構造の採用により製作方法の面でも新技術の開拓が要請されたが、適切な計画と準備および重要部品については早期から試作に着手するなど慎重な態勢をとり大過なく工程を進めることができた。工場立会試験は国産記録品として、起動、昇速、連続運転、振動、調速および全保安装置ならびに油圧系統について詳細な試験を行ったが、短時間の間にすべての試験を終了し、きわめて良好な成績をうることができた。

最後に本タービンの製作にあたり,終始ご懇切なご指導をいただいた東北電力株式会社古賀重役,末部長,阿部発電所長をはじめ関係者各位に深甚な謝意を表する次第である。

### 日 立 造 船 技 報

Vol. 20

No. 4

目 次

◎超大形船の厚板溶接施工法に関する研究 ◎円筒形内容器胴板の丸さについて ◎製かん工作における自動溶接の研究 ◎循環水ポンプのケーシング内速度について ◎かじ性能に及ぼすプロペラの後流の影響について(1))

本誌につきましての御照会は下記発行所へ御願いたします。

# 日立造船株式会社技術研究所

大阪市此花区桜島北之町