

東京電力株式会社納  
**新東京発電所用 75,000 kW 再熱タービン**  
 75,000 kW Reheat Turbine for New Tokyo  
 Power Station, Tokyo Electric Power Co., Ltd.

加藤 正敏\*  
 Masatoshi Kato

内 容 梗 概

東京電力株式会社新東京発電所用 75,000 kW 再熱タービンが完成し、本年春きわめて好成績にて工場試験を完了した。このタービンはさきに日立製作所で製造した同発電所の 66,000 kW タービンの増設用として造られたもので、使用蒸気条件はさらに一段高く、圧力 102 kg/cm<sup>2</sup>、温度 538°C、再熱温度 538°C の再熱タービンで各部に斬新な設計が採用された画期的な製品である。

本機には各種の高温用特殊耐熱材料が用いられているが、これらはすべて日立製作所において日立研究所と自家の原料工場との協力によつて完全な基礎資料の確立の上に製造されたもので純国産機といふことができる。また、再熱タービン独特の種々の調整ならびに保安装置に関してはすべて単独試験を行つて、その作動を確認し製品の信頼度をさらに高めることができた。

本文にて本タービンの性能および構造の概要について紹介する。

〔I〕 緒 言

近年、電力の急激な需要に応じてタービン単機容量は次第に大型化しつつあり、わが国においてもすでに 250,000 kW、あるいは 300,000 kW 程度のものが各所で計画されつつある現状である。このように単機容量が大型化できるようになったのは高温用耐熱諸材料の進歩による初蒸気条件の高温高圧化もその一因であるが、一つには再熱サイクルとそれに伴う各種の制御機構の進歩によつて、再熱タービンの信頼度が著しく高められたということによるものと考えられる。本文は以上の観点から本邦 50〜 地帯における国産による大容量再熱タービン計画の先駆となり、すでに優秀な成績にて完成をみた新東京発電所用 75,000 kW 再熱タービンの概要を紹介するものである。本機はその構造、性能において最近の日立再熱タービンを代表するものであり、その製作にあつては大容量高温高圧再熱タービンの設計製作に関する諸問題を基礎的研究より始めて詳細に検討が進められたので、本タービンの設計製作の過程においてこれらの問題は完全に解決され、すでに現在さらに大容量の再熱タービンの設計製作が進められているが本機の製作経験に負うところはきわめて大きい。

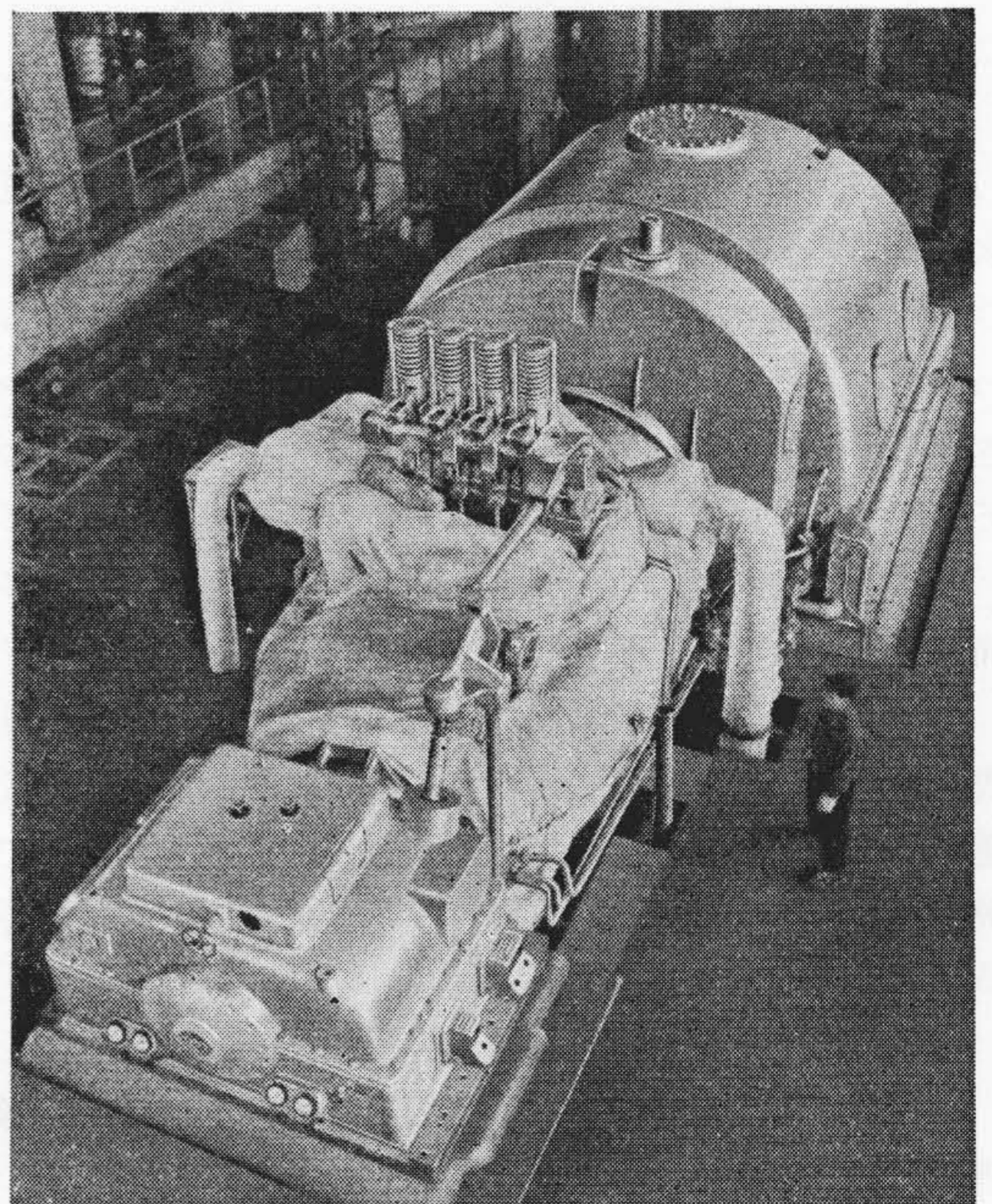
第 1 図は工場試験中の本機の外観である。

〔II〕 タービンの性能

(1) 仕 様

本タービンの仕様は次のとおりである。

型 式.....日立衝動再熱式タービン  
 2 汽筒複流排汽型



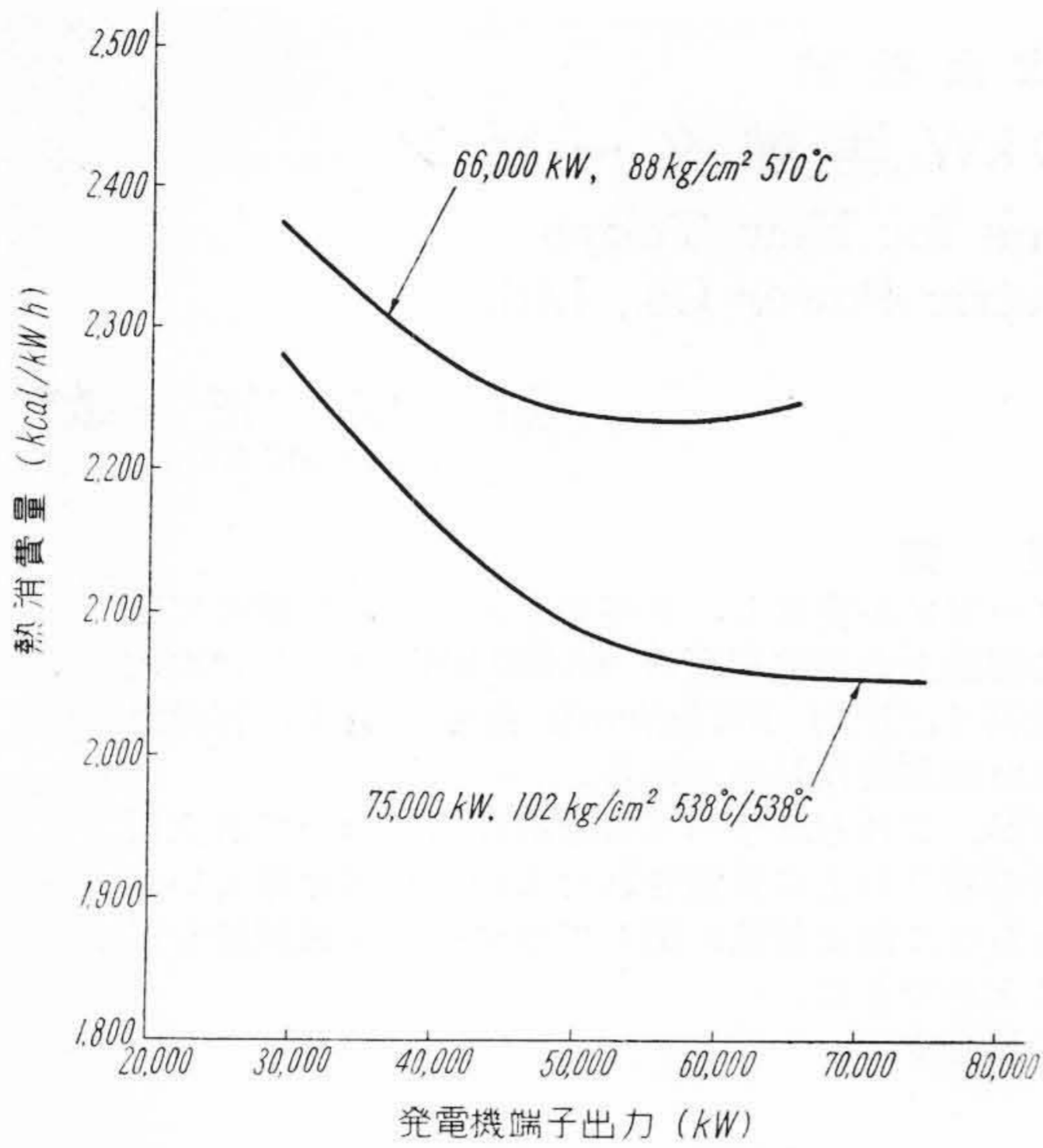
第 1 図 工場試験中の 75,000kW 再熱タービン

定格出力.....75,000 kW  
 回 転 数.....3,000 rpm  
 蒸気圧力.....102 kg/cm<sup>2</sup>g  
 蒸気温度.....538°C  
 再熱温度.....538°C  
 復水器真空.....722 mmHg  
 抽汽段数.....5 段

(2) 再熱サイクルとタービン効率

再熱を行うことによるタービンプラント熱消費量の減少は一般に 4.5~5% 程度と考えられている。第 2 図は

\* 日立製作所日立工場



第2図 66,000 kW 復水タービンと 75,000 kW 再熱タービンの熱消費量の比較

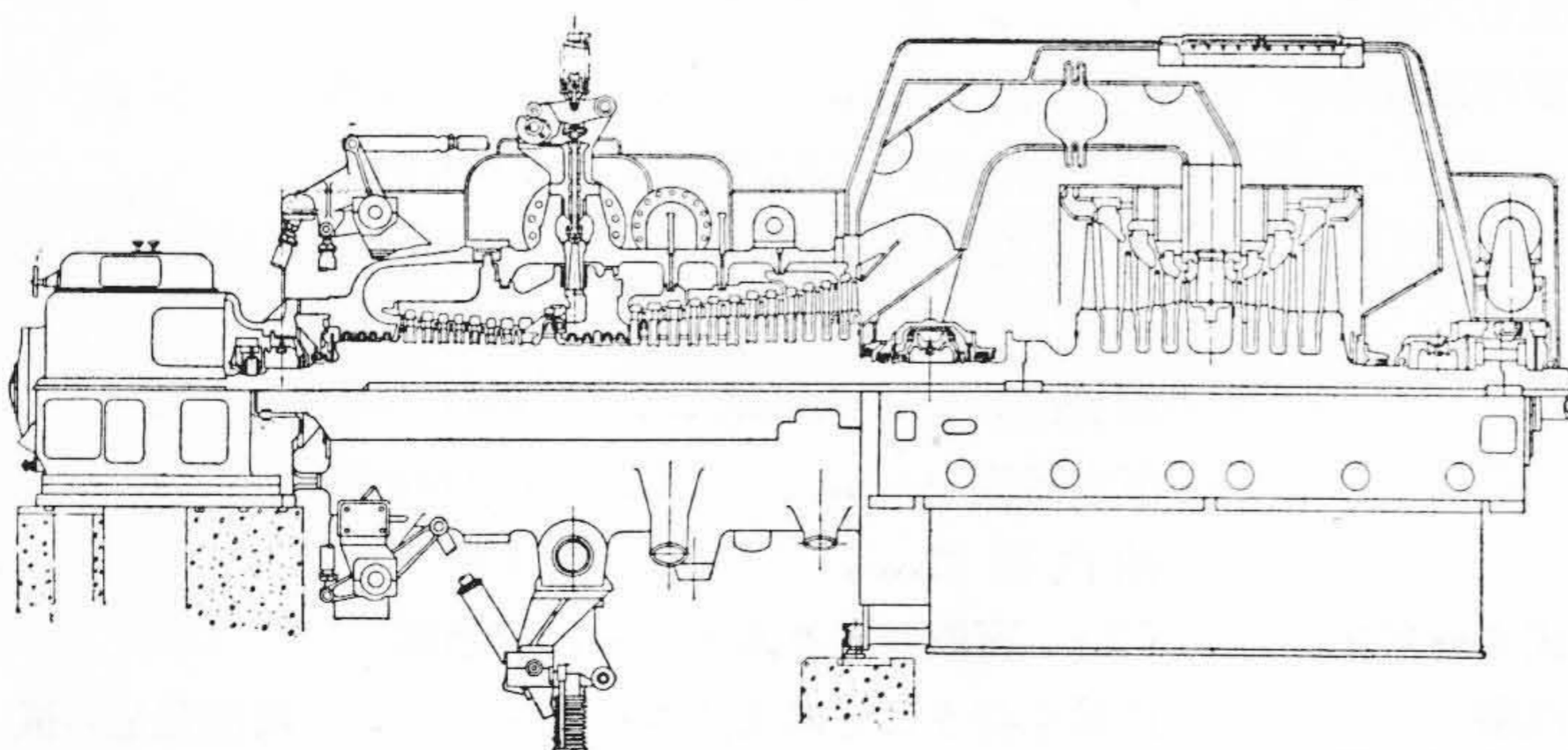
約2年前同じ新東京発電所に納められた 66,000 kW 復水タービンと今回製作された 75,000 kW 再熱タービンの熱消費量の減少の状況を示すものであるが、本図からわかることはわずか2年の間に熱消費量を約8%も減少させることができたということである。このことによつて蒸気条件の高温高圧化と再熱サイクルの採用がタービン効率の向上に対していかに有効であるかということが伺える訳である。

このように再熱サイクルを採用することの目的は燃料費の節減にあることはいうまでもないが、さらに低圧段落における蒸気湿り度を著しく減ずることができるので翼の erosion を減じ、また、段落効率を向上せしめ得る利点を有している。

### (3) タービン内部効率の上昇

タービンの内部効率を向上させるため、次のような考慮が払われている。

(a) タービンは高圧部再熱前9段、再熱後12段、低



第3図 75,000 kW 再熱タービン断面図

圧部は4段の複流で計25段とし、再熱部圧力はサイクル効率を考慮し特に部分負荷においても効率低下を極力少なくするよう最適の値とした。

(b) 再熱タービンは一般に基底負荷用として運転される事が多いので、調整段には効率の高いラトー一段を用い同時に全周噴射に近い設計とし蒸気不通過部の翼車の風損を少なくしている。

(c) 再熱前および再熱後の段落を一つの高圧車室内に収め、車室グランドよりの漏洩を減少せしめるとともに、これを有効に利用しうる構造とした。

(d) 翼の上部には、車室あるいはダイヤフラムからラジアルフィンを設け、シュラウドとの間隙を僅少として蒸気の漏洩を防いでいる。この構造は車室とロータとの伸び差に対してきわめて安全である。

このほか、比較的翼長の長い段落には三次元流を考慮した vortex design を採り入れたこと、あるいはタービングランドにはラビリンスパッキンとウオータシールパッキンを併用して蒸気の外部漏洩を皆無ならしめていることなど、一般の復水タービンに用いられている最新の技術はすべて採り入れられている。

以上のような設計によつて本タービンの内部効率は、再熱前 81%、再熱後 90.5% 以上となっている。

### 〔III〕 タービンの構造および材料

タービンの構造は第3図に示すように高低圧の2車室からなり高低圧車室の蒸気連絡管は低圧車室内に組込式とし、またロータは高低圧リジッドに結合された3軸受方式を採用しているためタービン全長は著しく短縮されている。高圧車室は完全な2重車室構造で主蒸気は車室中央部の上下部より流入してまずタービンの前側に流れ車室の最前端に設けられた2本のパイプより外部に出てボイラの再熱器に導かれる。再熱された蒸気はふたたび車室中央部より流入し、前とは逆に車室後側に向つて流れる。このように高圧タービンに対向流構造を採用することによりロータに作用する推力を減じうるばかりでなく、高温蒸気にさらされる部分を車室中央部に集めて車室に作用する熱応力を減じ、同時に熱を嫌う軸受部および水封パッキン部と高温蒸気部とを遠ざけている。

低圧車室は鋼板熔接構造で、再熱タービンでは特に低負荷において低圧部温度が高くなる特殊性を有しているため組込み式連絡管には膨脹接手を設けて車室の熱歪を防いでいる。

以下、主要部について構造ならびに材料に関し説明する。

#### (1) タービン車室

車室は高圧および低圧車室に分れ、高圧車室はさらに外部車室と内部車室に分れている。高圧外部車室は熱応力を減ずるため円筒に近い形状とし特に圧力の高い部分は完全な二重車室構造として車室、特にフランジ部の応力と熱影響を極力避ける構造とした。高圧車室の材料は高温クリープ強度ならびに黒鉛化防止の点から  $1\text{Cr } \frac{3}{4}\text{Mo } \frac{1}{4}\text{V}$  を採用した。車室は鋳造後 X-ray, Magna-Flux,  $\text{Co}_{60}$  放射線検査など各種の非破壊試験を行って内部の欠陥を調査し、欠陥部はすべて入念な溶接補修を行っている。

低圧車室は複流排汽型で規格鋼板による溶接構造としダイヤフラム部には蒸気中の水滴を分離除去する装置を設け、かつ排汽損失を極力少なくするよう適当な排汽案内を設けている。

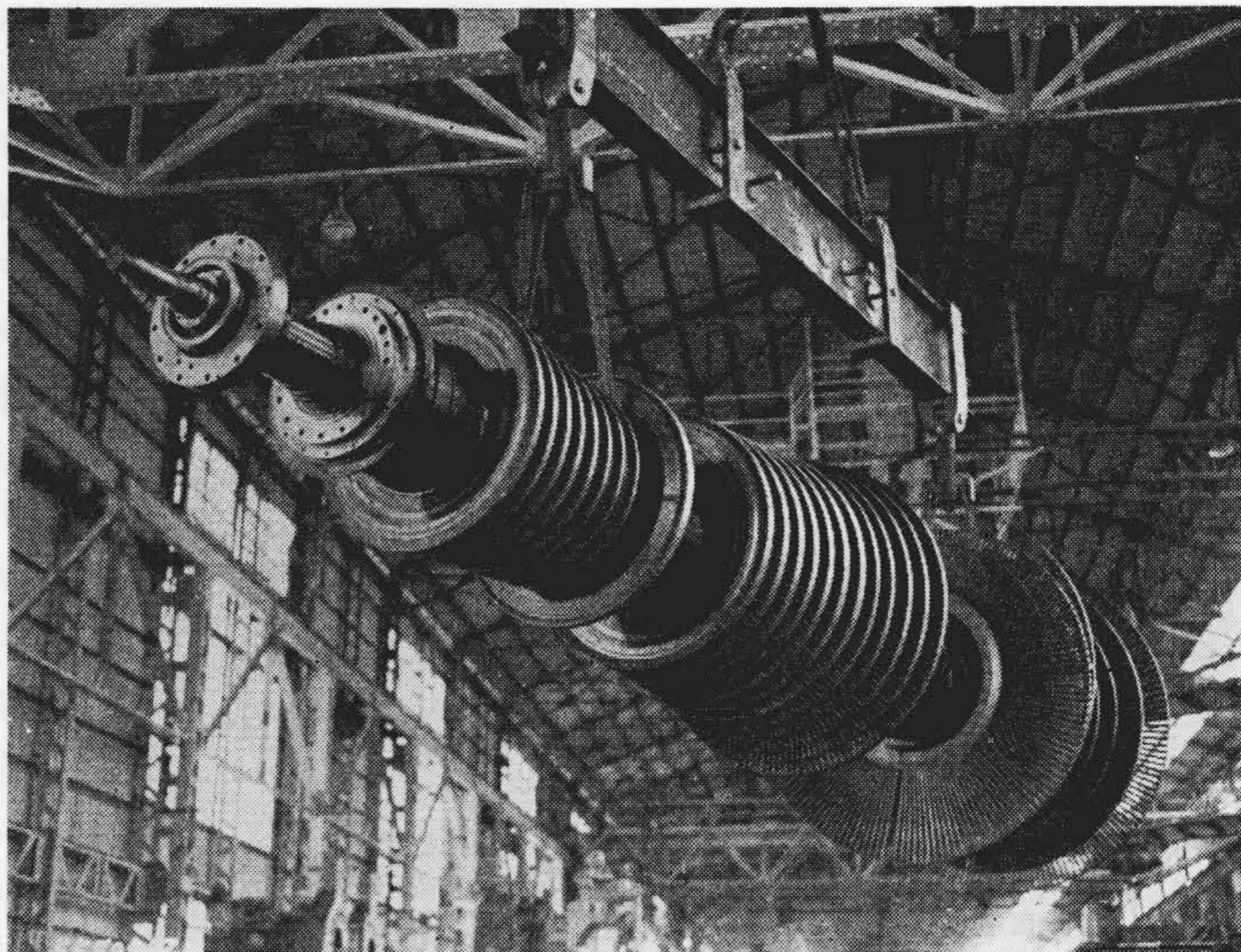
### (2) 翼およびロータ

タービン翼はすべて流体力学的に最も効率の良い profile を選定しており、特に翼長の長い翼に対しては三次元流れを考慮した vortex design を採用している。調整段翼は蒸気の衝撃力が大きいので特に翼幅を広くし double shroud 構造とした。タービン入口蒸気温度が  $538^{\circ}\text{C}$  の場合、第1段翼の温度は  $500^{\circ}\text{C}$  程度であるが再熱段落では  $515^{\circ}\text{C}$  程度にまでなるので、この翼が温度に対しては最もきびしい条件となる。したがって再熱後の初段翼には  $12\text{Cr}$  不銹鋼に  $\text{Co-W-V}$  を加えた特殊材料を使用しているが、これらの翼材に対する材質ならびに応力はすべて運転蒸気温度における 100,000 時間ラプチャ応力を基準とし、安全率を考慮して決定している。最終段落には 20 in 翼を使用し翼の背にステライト板を貼附して水滴による浸蝕を防止している。

第4図はタービンロータの外観である。ロータは高低圧とも一体鍛造削り出し型で高圧ロータは高温強度の高い  $\text{Cr-Mo-V}$  鋼、低圧ロータは  $\text{Ni-Mo}$  鋼製とし、いずれも内外部の組織および機械的強度が均一になるように空冷により焼準焼戻しを行った。また、高温蒸気中において軸の撓みによる振動を防ぐためにロータは鍛造後、荒仕上後と本仕上後にそれぞれ高温安定試験を行い運転時におけるロータの曲りを防いでいる。

### (3) 噴口および隔板

高圧部は溶接式、低圧部は鋳込構造とし profile はすべて効率の良い negative nozzle とした。噴口翼材は  $12\sim 15\text{Cr}$  不銹鋼製で、作用蒸気温度にしたがってそれぞれに適した高温強度ならびに、硬度を持たせるために初段には  $\text{W-V}$  を加え、それ以下の高温部には  $\text{Mo}$  を加



第4図 タービンロータ外観

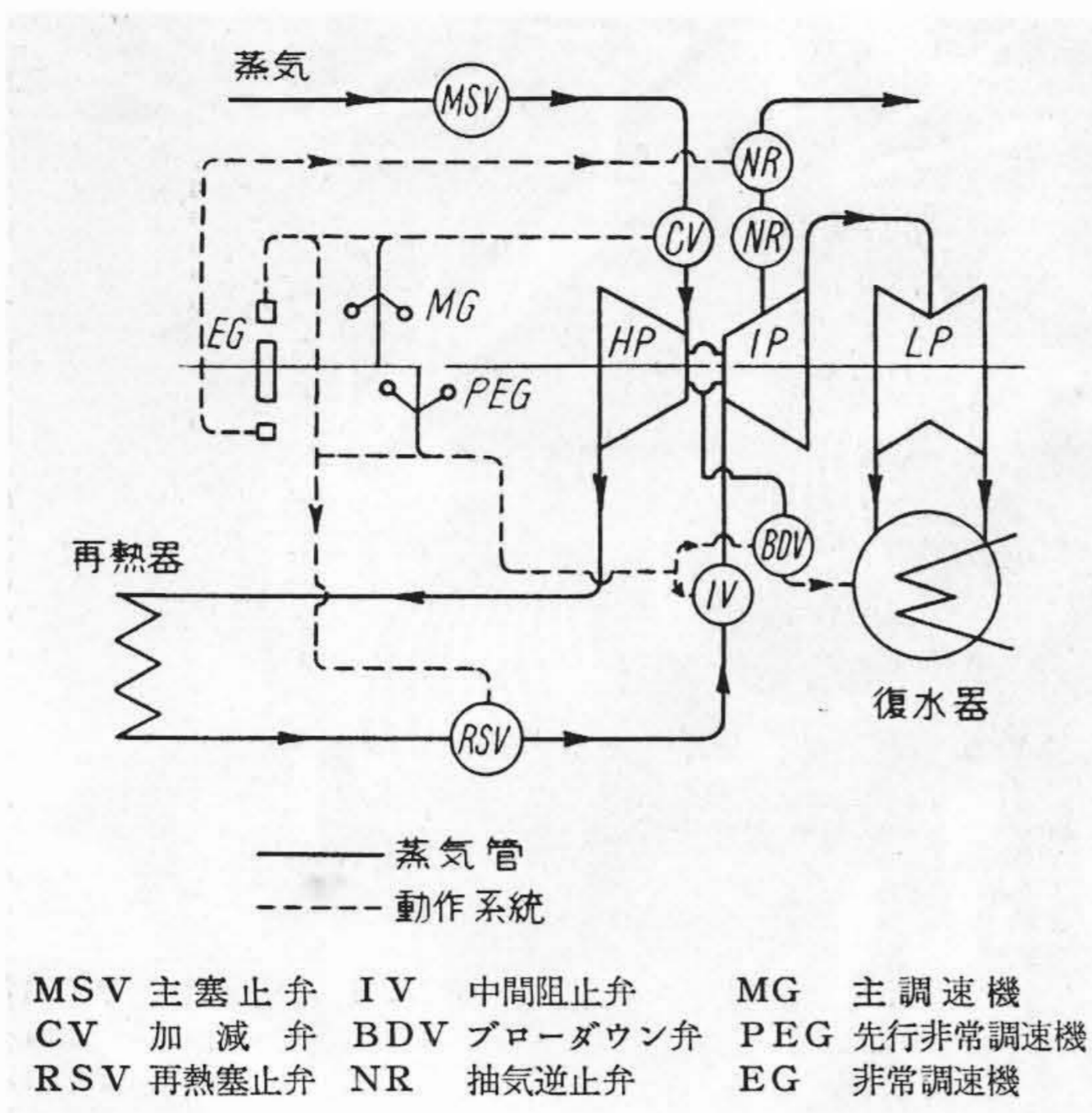
えた材料より削り出している。

低圧段落の隔板には特殊の水滴分離装置を設け、ここで分離せられた水滴は直接復水器へ導かれる。

## 〔IV〕 調速ならびに保安装置

再熱サイクルが効率を改善せしめ得ることは理論的には昔からわかつていたことであるが、その実現をはばんできたものは附加設備費と運転効率との釣合いでありまた、再熱を行うことによる運転取扱いの困難さにあつた。前者は単機容量の増大と使用蒸気条件の高温高圧化とによつて解決されたが、後者に関しては早くから再熱タービンを実用化してきたアメリカにおいても幾多の苦い経験を重ねており、そのほとんどすべてが再熱蒸気を制御する中間阻止弁の作動不良によるロータの過速事故であつた。中間阻止弁は常に高温蒸気にさらされているため焼付による事故が多く、このため当初1個設けていたこの弁を併列に2個設けて常時負荷運転のまま片側ずつ開閉のテストを行つて万一の場合の作用の確実性を計り、また同時に中間阻止弁の前にさらに再熱塞止弁を設けて二重の遮断装置を備える現在の型に発展し、ここにおいて運転保守上の不安はまったく解消されるに至つた。

本タービンに採用せられた制御機構は第5図の系統図に示すよう、最も作動確実でありかつ実績を有するもので主調速機のほかに先行非常調速機が同じロータ軸上に設けられ、主調速機が回転数あるいは負荷に応じて加減弁の開度を制御するように先行非常調速機は定格回転速度よりやや高い回転速度において中間阻止弁の開度、すなわち再熱器よりの蒸気流れを制御するものである。また、中間阻止弁が全閉した場合、再熱器内に閉じ込めら



第5図 調速制御系統図

れた蒸気がラビリンスを通つて中圧タービンから低圧タービンを膨脹してロータを過速させることを防ぐために残留蒸気を直接復水器へ導くブローダウン弁が設けられている。

次に本タービンには一般の復水タービンに用いられる保安装置のほかにその特殊性に基きボイラ、タービン間のインターロックあるいは発電機負荷遮断時、自動的に整定速度を定格速度に復帰せしめる装置、あるいはまた、低負荷時排汽室の温度上昇を防ぐ水噴射装置などが設けられている。以下これら特殊の制御機構ならびに保安装置に関し説明する。

(1) 保安装置

第6図は調速、保安ならびに潤滑油装置を系統的に示したものであり、以下各機器の機能および構造について述べる。

(a) 再熱塞止弁

再熱塞止弁は油圧作動のスイング型弁で中間阻止弁とシリーズに左右2個設けられ全開もしくは全閉の位置をとる。この弁は原理的には主塞止弁と同様で、応急遮断装置の動作により油圧を介して全閉し再熱蒸気が中圧タービン以降に流入しないように急速に遮断する。この弁にはオリフィスを持つたバイパスが設けられてをり残留蒸気を徐々に低圧部に流して圧力差が  $1.75 \text{ kg/cm}^2$  以下にならないとふたたび開き得ない構造となつている。弁の出口側はベンチュリー型として圧力損失の軽減を図つており、弁全開中は主塞止弁と同様に弁棒とブッシュの段が密着して蒸気の外部漏洩を完全に防止しうる構造となつている。

(b) 先行非常調速機および中間阻止弁

先行非常調速機は主調速機と同様回転パイロット弁型でタービン回転数が101%に達するまでは不動作状態にあり、したがつて中間阻止弁は全開の位置にあるが101%を越すと油圧ならびにレバー機構を介して中間阻止弁のパイロット弁を動かし、これを開き始め105%に達すると完全に全閉する。先行非常調速機と中間阻止弁の目的は、このように発電機負荷を急激に喪失した場合、再熱蒸気流量を制御することにある。この動作と、主調速機による加減弁の急速な閉止動作とによつて、タービン回転数が非常調速機の作動回転数(110~111%)まで上昇することを防いでいる。

中間阻止弁は中圧車室にできるだけ近く前記再熱塞止弁の直後に左右2個設けられている。この弁は単弁圧バランス型で、ストレーナが設けられており再熱器およびその配管中の異物が弁の摺動部あるいはタービンに侵入することを防いでいる。

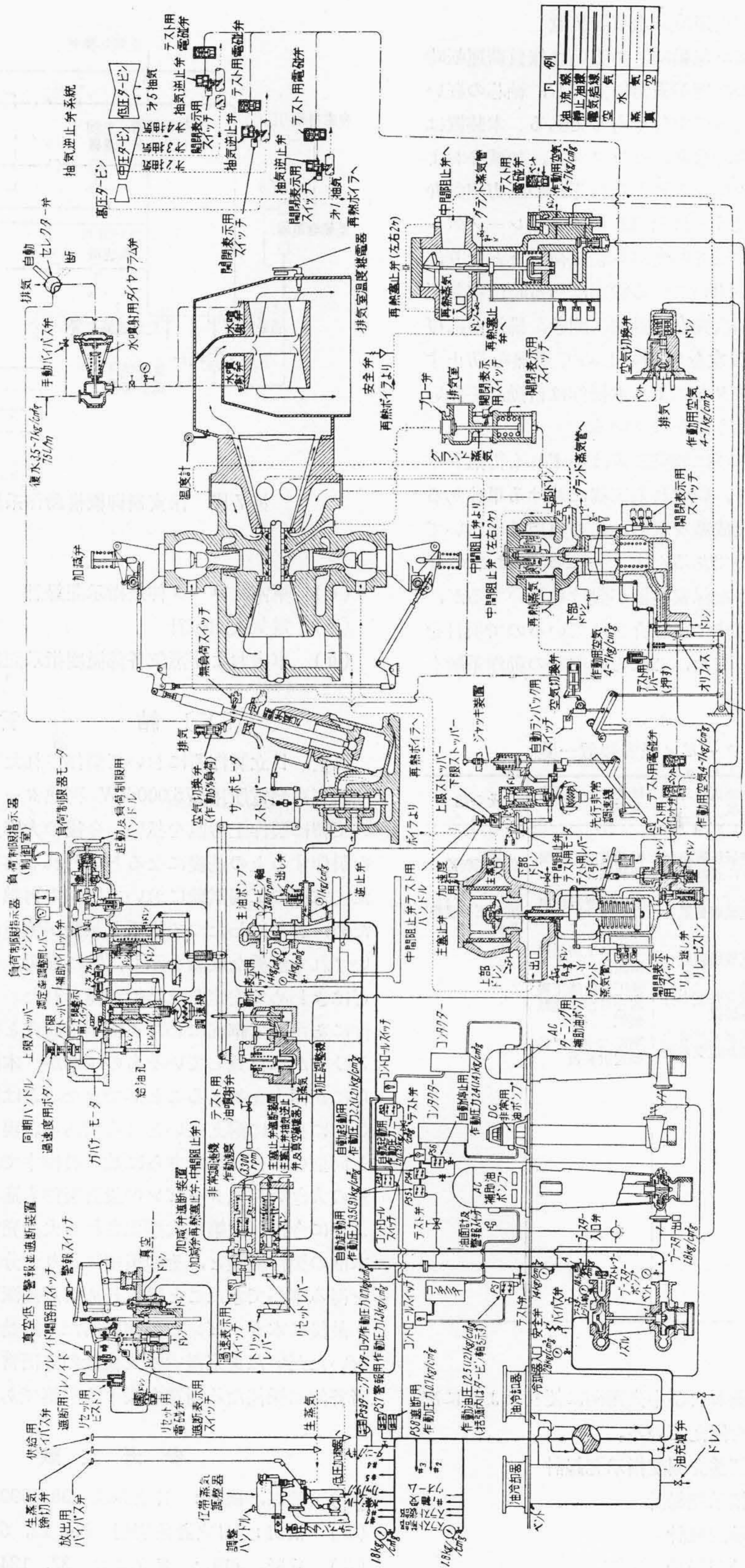
(c) 停滞蒸気非常排出装置

タービンが全負荷運転中、なんらかの原因で系統から遮断され負荷を喪失した場合、加減弁および中間阻止弁はただちに全閉してタービンの過速を防止しようとするが、再熱器およびその配管中には多量の蒸気エネルギーが残留し、この蒸気はラビリンスを通つて中圧タービン側に漏出しタービンを過速させる危険がある。したがつて、この危険性を除くために中間阻止弁が全閉した場合にはラビリンス中間部から直接復水器に通ずるバイパスブローダウン弁を開いてやり残留蒸気を復水器へ導く装置が設けられている。このようにブローダウン弁は中間阻止弁とインターロックされ空気圧により開閉を行いタービンの過速を防止する。

(d) 回転数自動復帰装置

再熱タービンが最大負荷運転中、なんらかの原因で急に負荷を失うと調速機の特長としてその同期装置を作動させない限りタービンは定格速度よりも高い回転数で整定し、その結果、中間阻止弁は閉じたままになつておりタービンの高圧部を流れた蒸気は再熱器の安全弁を通つて大気に放出される。

回転数自動復帰装置はタービン回転数が103~104%に上昇した時に、自動的にその接点を閉じ回路に設けられたタイマーの働きにより約10秒間で自動的に同期装置を無負荷の位置まで復帰させる装置である。復帰回転数はタイマーの作動時間を調整することにより任意に選定することができる。本装置を設けたために、不必要に蒸気を大気に放出することを避け、同時にタービンの並列再投入を容易ならしめることが可能となつた。



凡例	
油	油流線
止	停止油線
電	電気配線
空	空気
高	高気
真	真空

第6図 调速, 保安ならびに潤滑油装置系統図

(e) 排汽室過熱防止用冷却水噴射装置

本装置はタービン起動時、あるいは無負荷運転時において排汽室の温度が異常に上昇し、軸芯の狂いなど悪影響を与えるのを防ぐものである。本装置はダイヤフラム型冷却水弁、セレクトタ弁、加減弁および中間阻止弁に取付けられたそれぞれの三方空気弁および排汽室に設けられた 12 個のスプレーノズルよりなる。今、加減弁開度が 5% 負荷以下となり、かつ中間阻止弁が開いている状態にある時は空気圧の作用により冷却水弁を自動的に開き、排汽室に復水ポンプ出口の復水を噴射せしめて過熱を防止する。なお、セレクトタ弁により本操作は自動、手動いずれも可能なるようになっている。

以上述べた保安ならびに制御装置はいずれも再熱タービン特有の機構であり、いずれも工場における単独あるいは総合試験に優秀な成績を収め、その実用性については十分確認されたものである。本タービンにはこのほか、第 1 表に示すような保安装置が設けられているが、これら内容についてはすでに紹介されているので項目を列記するにとどめる。また、これらの機器の動作系統を第 7 図に示す。

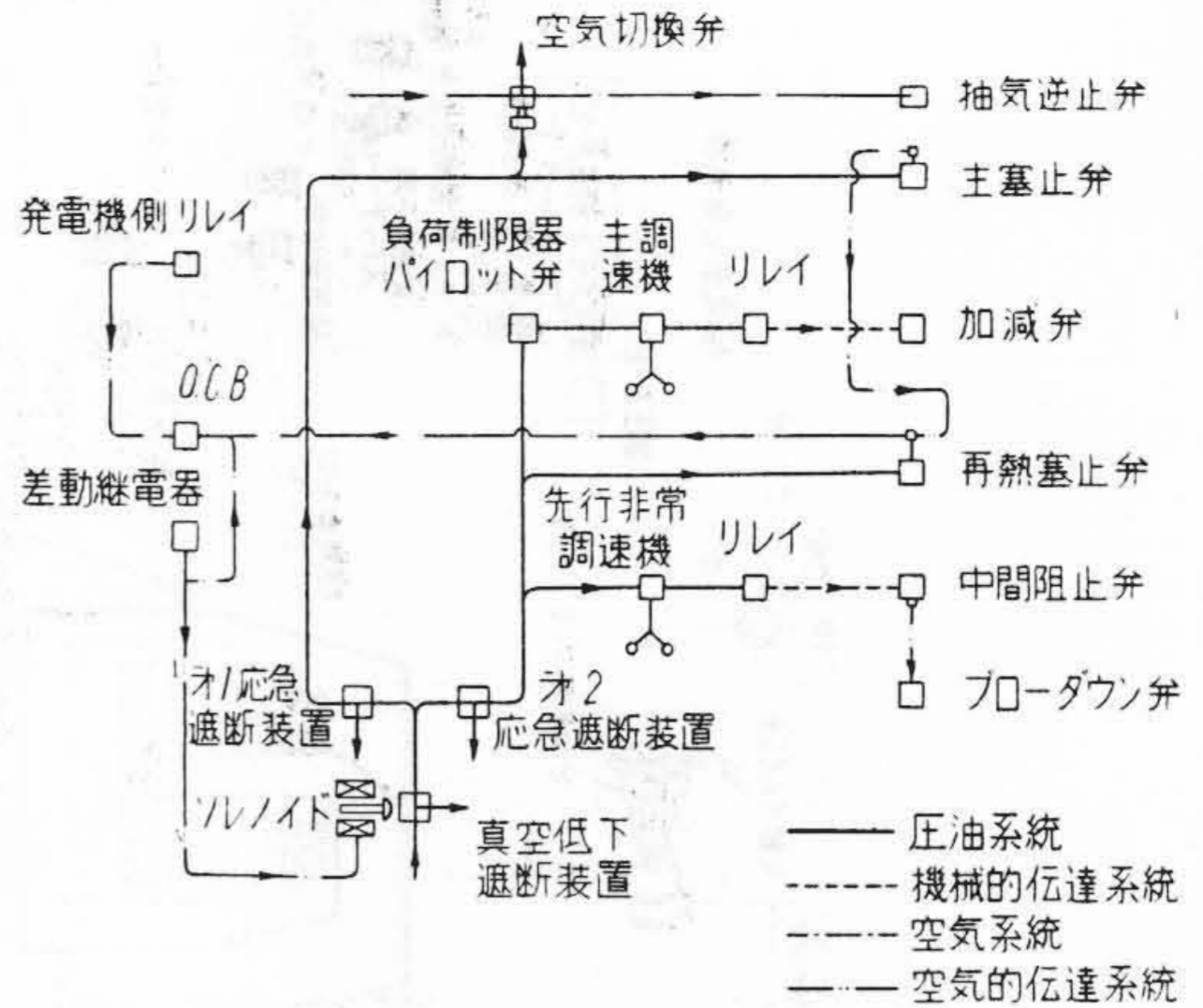
第 1 表 タービン保安装置一覧

	危急遮断および過速防止	排汽室真空および温度	軸受および潤滑油	その他
1	非常调速装置	真空低下警報ならびに遮断装置	軸受温度上昇警報装置	負荷制限器
2	主塞止弁遮断装置	真空破壊装置	推力軸受温度継電器	タービン入口蒸気圧力調整装置
3	调速弁遮断装置	大気放出装置	スラスト磨耗遮断装置	
4	再熱蒸気塞止弁遮断装置	排汽室温度上昇警報装置	油圧異常降下警報ならびに遮断装置	
5	先行非常调速装置	排汽室過熱防止用冷却水噴射装置	補助油ポンプ自動起動装置	
6	抽汽弁遮断装置			
7	回転数自動復帰装置			
8	停滞蒸気非常排出装置			
9	電磁遮断装置			
10	危急回路遮断装置			

(2) 監視用計器

タービンの急速起動および中央制御に便利なように次のような監視用計器を備えている。

- (a) 速度および調整弁開度指示記録計
- (b) ロータ偏心指示記録計
- (c) 振動振幅指示記録計
- (d) 車室伸び指示記録計



第 7 図 保安制御機構動作系統図

- (e) 車室、ロータ伸差指示記録計
- (f) 電気式回転計
- (g) 車室および蒸気各部温度指示記録計

〔V〕 結 言

以上、日立製作所において製作された東京電力株式会社新東京発電所用 75,000 kW 再熱タービンの概要について特に製作上考慮を払い、今後の大容量再熱タービンを製作する上の基礎になるとと思われる事項について述べた。本機の工場試験においては初の再熱タービンであるため、各部にわたって厳重な試験が慎重に行われたが、いずれも優秀な成績を示し、特に振動、各種制御装置などはきわめて安定した特性が得られた。これは設計、製作にあたって細部にわたる慎重な研究と検討の賜であるとひそかに自負しているものであが、本機が電力界にさらに新偉力を加えることができたことは製作者としてまことに喜びに耐えないところである。現在、すでに本機と同型のタービンをさらに数台製作中であり、さらに容量の大きい再熱タービンの設計製作も進めている。このように今後、次第に大型化される火力発電に対しても、本機の製作経験と、その実績により十分な自信と希望とを得る事ができたことはきわめて意義深いものである。

最後に本タービンの製作にあたり終始御懇切な御指導をいただいた東京電力株式会社の寺田常務をはじめ関係者各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 綿森, 横田: 日立評論 38, 399 (昭 31-3)
- (2) 横田: 日立評論別冊 No. 12, 65 (昭 31-2)
- (3) 桑野, 和田: 日立評論 37, 1249 (昭 30-7)