

川崎製鉄株式会社納

# 千葉製鉄所用 12,500kW 蒸気タービン及び 附属装置に就いて

樋熊常雄\* 山村清\*\*

## 12,500 kW Steam Turbine and Auxiliary Equipment

By Tsuneo Higuma and Kiyoshi Yamamura  
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

To be put in service starting this month at the newly erected Chiba Works of Kawasaki Iron Manufacturing Co., Hitachi's 12,500 kW Turbine Generators have been installed at the site and tested to the satisfaction of all concerned.

The article treats of the steam turbines for the above units, which, specified for relatively high temperature and high pressure for this class of capacity, rank as the highest class product in terms of the efficiency and the completion of protective device control equipment.

The writers relates of the details of their construction, which features the reliability and the maximum practical simplicity ensuring easy operation and high rate of efficiency for the whole generation unit. They also touch the careful selection of the turbine materials on the basis of experience and the latest metallurgy.

### 〔I〕 緒 言

新設の川崎製鉄千葉製鉄所が、斯界の注目を浴びて、予定通り昭和28年6月中に完成する運びとなつた事は、我国の産業界にとつて慶賀に堪えない。

川崎製鉄千葉製鉄所は製鉄より製板迄一貫作業を行い、設備の完備した点では国内に於て代表的な工場である。この製作所の自家用火力発電設備の第一期工事は、12,500kWタービン発電機2基、高炉用6,000HP送風機2基よりなるが、日立製作所はこの中タービン発電機2基並びにこれに附属する補機一式を受注し、製作据付共順調に進捗しつゝあつたが、昭和28年6月上旬営業運転が開始された。この機会に本タービン並びに附属装置の計画並びに構造に就いての大要を述べる。

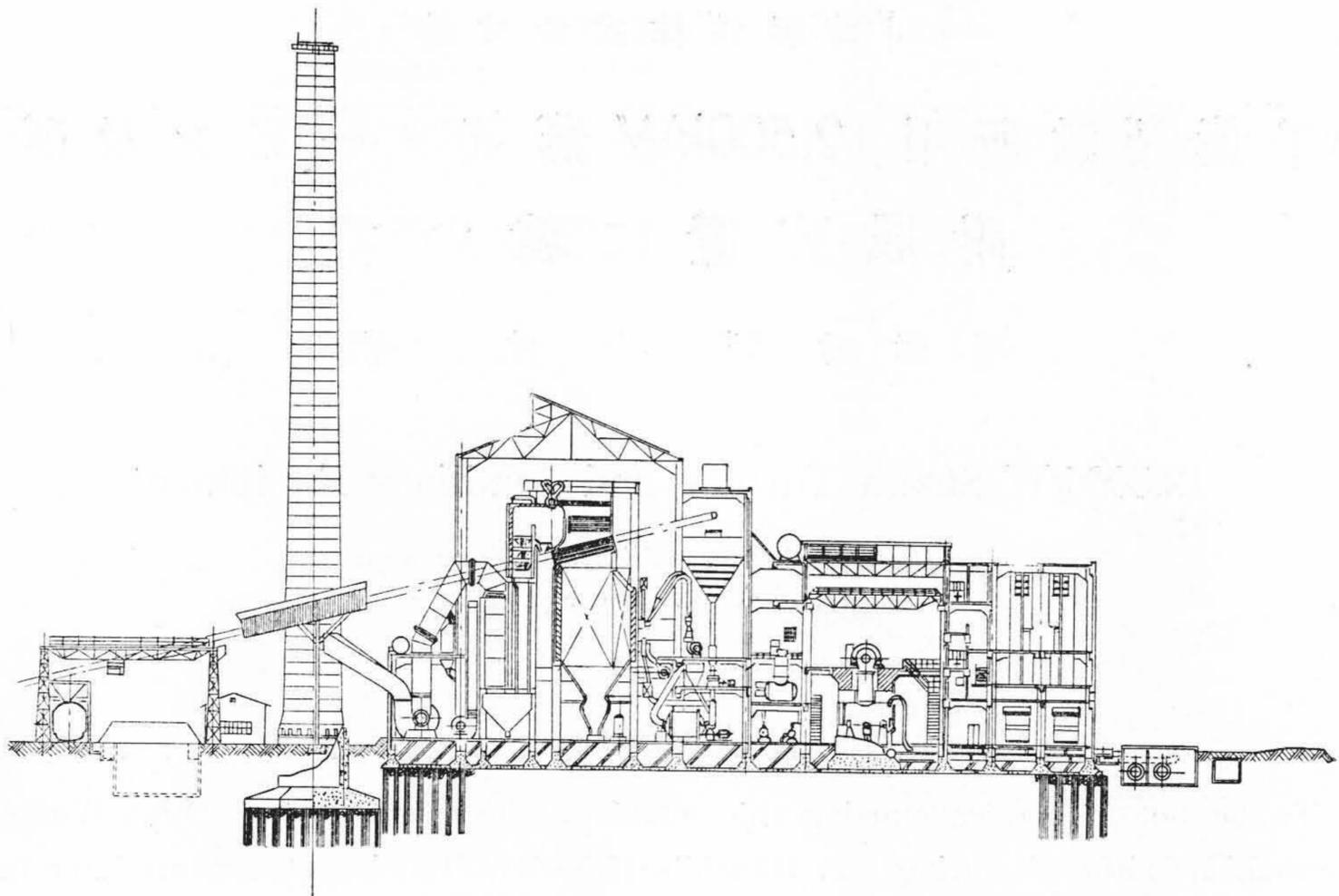
\* 日立製作所日立工場

### 〔II〕 計画の概要

(1) 本発電所の全体配置は第1図(次頁参照)の通りで、ボイラは70t/hr2基新三菱造船製であり、12,500kWタービン発電機2基は日立製6,000HP送風機2基(蒸気タービン駆動)は石川島芝浦製である。

(2) 製鉄所用自家発電所の特質上タービン発電機2基の中何れか1基と、1基又は2基の送風機が、組合せ運転出来る如く給水加熱装置に特別の考慮が払われている。(第10図参照)

(3) 第1表の仕様の中で明らかな如く、タービン入口蒸気状態は $40 \text{ kg/cm}^{-2}$   $430^\circ\text{C}$ (最高 $45 \text{ kg/cm}^{-2}$ ,  $450^\circ\text{C}$ )で、12,500kW級のタービンとしては、高圧高温に属し、第2表に示す我国の暫定標準の数値を遙かに上まわり、第3表に示す米国の標準に略々匹敵するもので

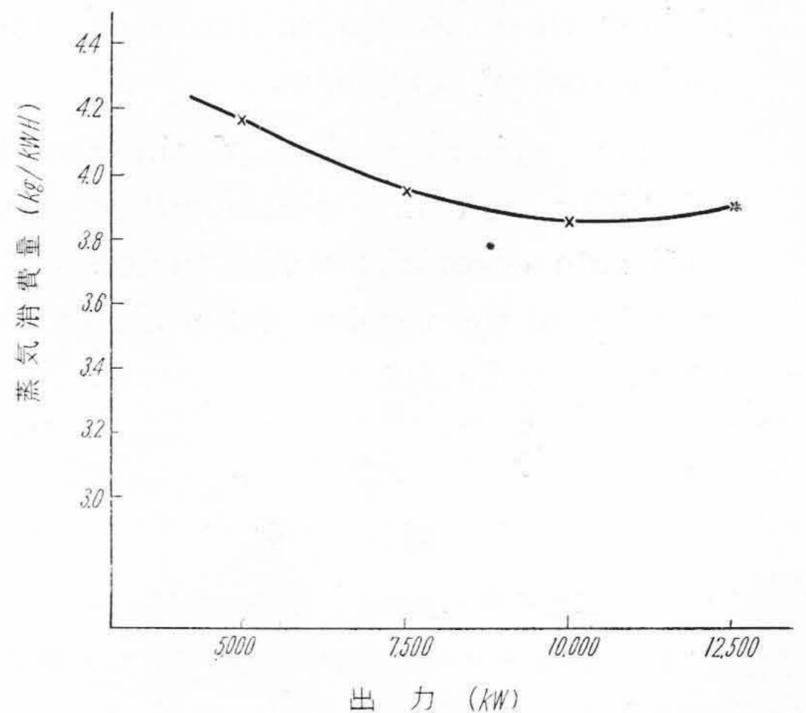


第 1 図 川崎製鉄 12,500 kW×2 自家用火力発電所全体配置図

Fig. 1. General Arrangement of the Power Station

第 1 表 蒸気タービンの仕様及び性質  
Table 1. The Specification of Steam Turbine

	項 目	仕 様	
仕 様	型 式	日立衝動型単車室復水タービン	
	最大連続出力 (kW)	12,500	
	経済出力 (kW)	10,000	
	回 転 数 (r.p.m.)	3,000	
	調整弁前蒸気圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	40 (最高 45)	
	調整弁前蒸気温度 (°C)	430 (最高 450)	
	タービン排気室真空 (mmHg)	722 (出力 10,000 kW)	
	復水器冷却水温 (°C)	20	
	出 気 点 数	3	
	給 水 温 度 (°C)	140	
	主蒸気管口径 (mm)	内径 200	
	性 能	内 部 効 率 (%)	85
		パーソンズ係数	1,910
段 落 数		カーチス 1 段 ラトー 15 段	



第 2 図 蒸気消費量曲線  
Fig. 2. Steam Consumption Curve

ある。これは発電所全体の効率を従来のものよりはるかに向上せしむるためであり、周到なる計画の現れである。

第 2 図は本タービンの蒸気消費量曲線である。

(4) 高圧高温の蒸気採用に伴い、最高度の効率をタ

ービンに發揮せしむるため種々の点に考慮を払つたが、特に第 3 図のタービンの断面図から明らかなように、小直径多段式 (翼車数合計 16 段) のローターを採用した。

これにより内部漏洩損失と翼車摩擦損失は減少され、又封水パッキンを採用する事により外部への蒸気漏洩を殆ど絶無にする事が出来、従つてタービンの内部効率を最高限度にし得られた。

第 2 表 我国暫定標準発電用蒸気タービン  
Table 2. Provisional Standard of Steam Turbine (Japan)

定 格 出 力 (kW)	10,000	12,500	20,000	25,000	30,000	35,000	50,000	75,000	100,000
汽 圧 (atg)	30	30	30	40	40	40	40	40	40
汽 温 (°C)	410	410	410	435	435	435	435	435	435
真 空 度 (mmHg)	725	725	725	727	727	727	727	727	727
抽 汽 数	3	3	3	4	4	4	4	4	4
ボイラ給水温度 (°C)	120 又は 150	120 又は 150	120 又は 150	150 又は 180	150 又は 180	150 又は 180	150 又は 180	150 又は 180	150 又は 180
回 転 数	60~	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600 又は 1,800	1,800	1,800
	50~	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	1,500

第 3 表 米 国 AIEE-ASME 標 準 タ ー ビ ン 発 電 機  
Table 3. Standard of Steam Turbine (AIEE-ASME)

定 格 出 力 (kW)	11,500	15,000	20,000	30,000	40,000	60,000	90,000
最 大 出 力 (kW)	12,650	16,500	22,000	33,000	44,000	66,000	99,000
型 式	単 筒	単 筒	単 筒	単 筒	串 型	串 型	串 型
汽 圧 (atg)	42	42	59.5	59.5	{ 59.5 87.5	{ 59.5 87.5	102
汽 温 (°C)	440	440	480	480	{ 480 510	{ 480 510	535
真 空 度 (mmHg)	724	724	724	724	724	724	724
抽 汽 数	4	4	5	5	5	5	5

### 〔III〕 タービンの構造

#### (1) 車室及び軸受

蒸気室は直接高圧高温の蒸気に触れるため、第 4 表の主要材料表より明らかな如く匍匐強度の高いモリブデン鋳鋼を使用し、高圧車室に挿込む型とした。

高圧車室は直接主蒸気に曝される事はないので、鋳鋼品第二種を採用した。然し調整段落後に於ても蒸気の圧力と温度は尙比較的高いので、不均一な熱膨脹や負荷の急変に対しても安全であるように、車室は猫足式で、前側軸受台に取付けられ中心性を狂わす事なく自由円滑に伸縮出来るようになっていた。高圧車室は形状を成るべく簡単にし、且つ小さな隅角を無くする事が鋳造並びに熱応力集中の点から望ましいので、第 3 図(次頁参照)より明らかな如く車室仕切のための内部車室を採用して抽気室を形成せしめたため、高圧車室は従来の車室と比較すると形状が極めて簡易化され、従つて永年使用するも局部的熱応力に基因する亀裂事故の心配がないよう考慮されている。

タービンの効率を増進させると共に、漏洩蒸気の減少つまり補給水の減少を計る目的のために、グラウンド部分にはラビリンスパッキン以外に、封水パッキンを併用した。

このパッキン部分への給水は所定の水頭を有するサージタンクより供給される。この封水パッキングのランナの形状は日立製作所の試作研究の結果に依り極めて動力損失の少ない形状のものを採用している。

低圧車室の排気部の上方に、鉛板を配した自動排気装置を設けた(第 3 図参照)。従来復水装置に取付けた自動排気弁並びに大掛りな排気管と比較すると、構造が極めて簡易化された。

第 1 段から第 5 段のノズルには嵌込式の組立ノズルを用い、ダイヤフラムは鋳鋼製である。第 6 段以降のノズルには低炭素鋼板を使用し鋳鉄製のダイヤフラムに鋳込んだものである。何れも出来る丈蒸気の漏洩を少なくし又高い性能を得るよう入念なる設計と工作が行われている。

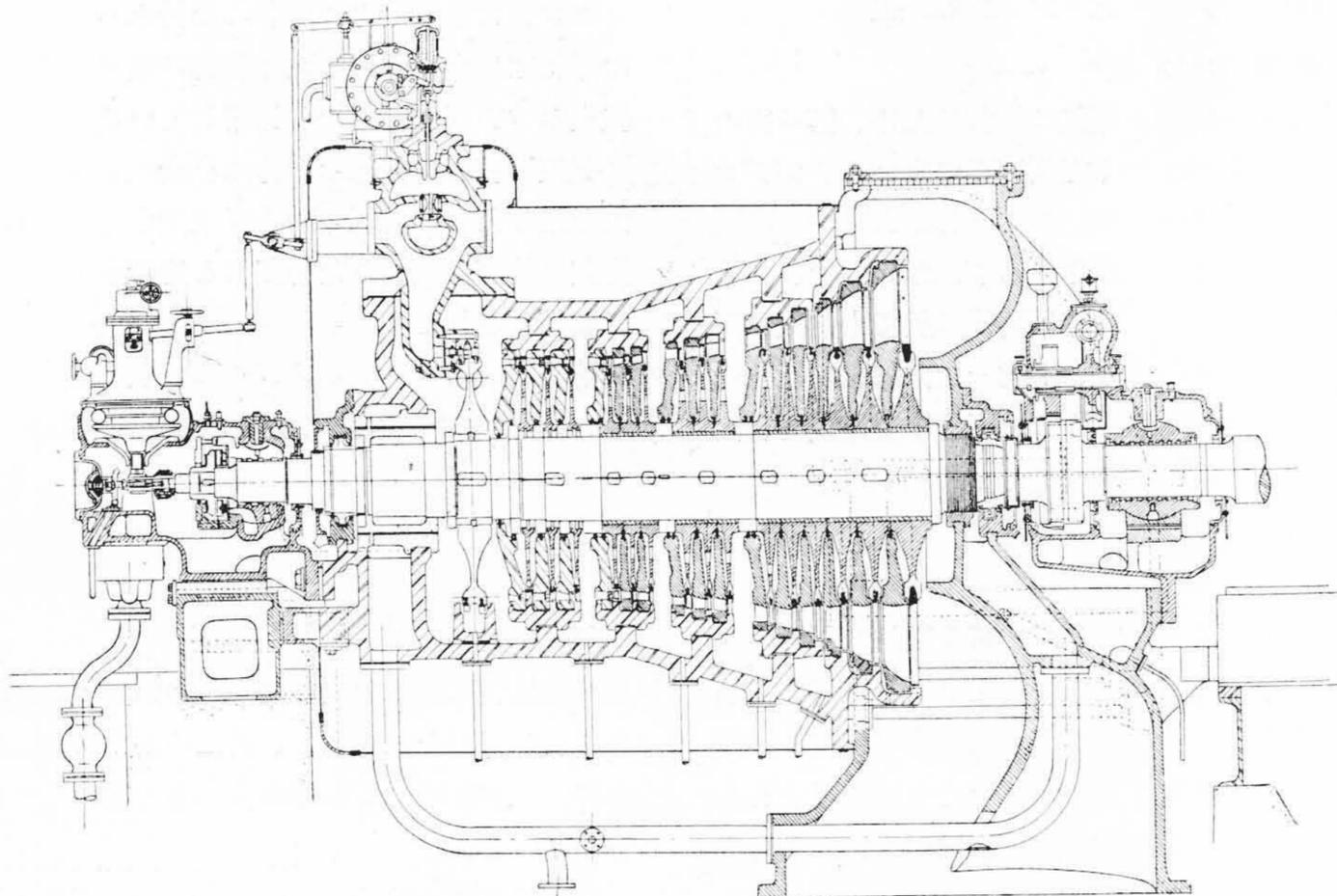
#### (2) ローター

車軸並びに翼車は入念に鍛造され厳密な試験を行つて合格した材料を使用した。特に車軸は荒仕上後加熱試験を行い、高温時でも変形の少ない事を確認して後精密加工をしている。

第 4 段迄は比較的温度が高いので、車軸と翼車は、ピンブッシュによる焼嵌方法を用いた。これは長年の実績により高温部の翼車に対して絶対安全な固定方法である事が立証されている。第 5 段以降はコニカルブッシュによる焼嵌方法を用いた。

第4表 タービン主要材料表  
Table 4. Material of Turbine Main Parts

品名	材質	機械強度					
		抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	衝撃値 (kg/cm <sup>2</sup> )	
タービンシャフト	S M 鋼	>65	>40	>20	>40	>4	
翼車 {	第2~13段	Cr-M 鋼	>70	>50	>16	>40	>5
	第1,14,15,16段	Ni-Cr-Mo 鋼	>80	>65	>18	>38	>5
タービン翼	13 Cr 不銹鋼	>70	>50	>22	>50	>12	
噴口 1~5段	13 Cr 不銹鋼	>70	>50	>22	>50	>12	
中心板 1~5段	鑄鋼 SC-45	45~57	—	>15	—	—	
噴口板 6段以降	低炭素鋼	—	—	—	—	—	
仕切板 6段以降	鑄鉄 FC-23	>23	—	—	—	—	
高圧車室	鑄鋼 SC-45	45~57	—	>15	—	—	
低圧車室	鑄鉄 FC-23	>23	—	—	—	—	
スチームチェスト	Mo 鑄鋼	50~60	—	>22	—	>4	
車室締付ボルト	Ni-Cr-Mo 鋼	>80	>65	>20	>40	>7	
弁本体	Mo 鑄鋼	50~60	—	>22	—	>4	
弁心棒	13 Cr 不銹鋼	>65	>45	>25	>45	>12	
弁座	18-8 Cr-Ni 不銹鋼	—	—	—	—	—	
ラビリンスパッキン	低C 不銹鋼	—	—	—	—	—	
復水器管	アルミブラ (BSTF <sub>3</sub> )	>44	—	>30	—	—	
復水器管板	ネーバル黄銅	>35	—	>20	—	—	

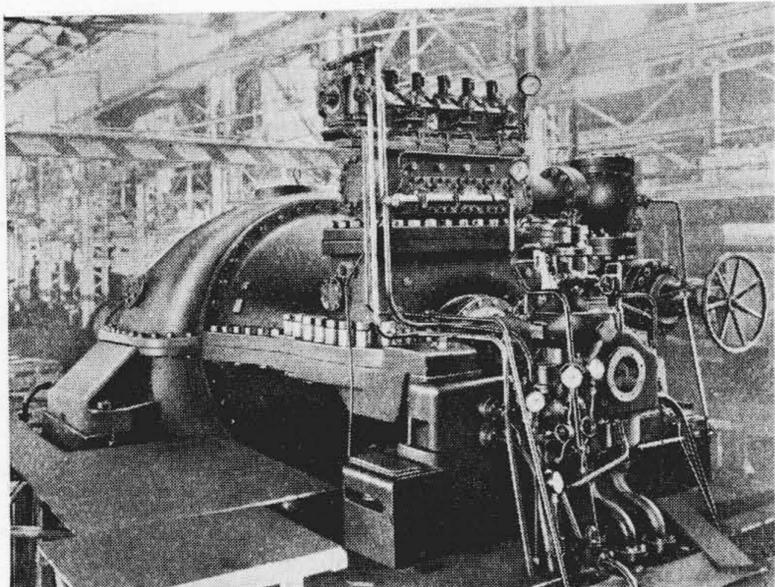


第3図 12,500 kW タービン組立図

Fig. 3. Cross Section of 12,500 kW Steam Turbine

これ等の何れの翼車も焼嵌前に静的釣合試験を行い、焼嵌完了後動的釣合試験を厳密に施し、運転中の不平衡重量により生ずる振動を防止し安全円滑なる運転を期している。

タービンの停止直後車室内の温度分布の差に基く車軸の変形を避けるため、ターニング装置を設けた。二段減



第4図 組立中の 12,500 kW 蒸気タービン  
Fig. 4. Shop Assembly of 12,500 kW Steam Turbine

速により手動で容易に操作し得られる如くしてある。

(3) 调速装置

蒸気タービンの调速機に最も重要な特性は安定度が高く而も鋭敏なことである。このためには调速機の回転質量が小さく而も調整能力が大でなければならない。今回採用された油圧レバー式调速機はこの特性を具備したもので卓越した性能を持っている。

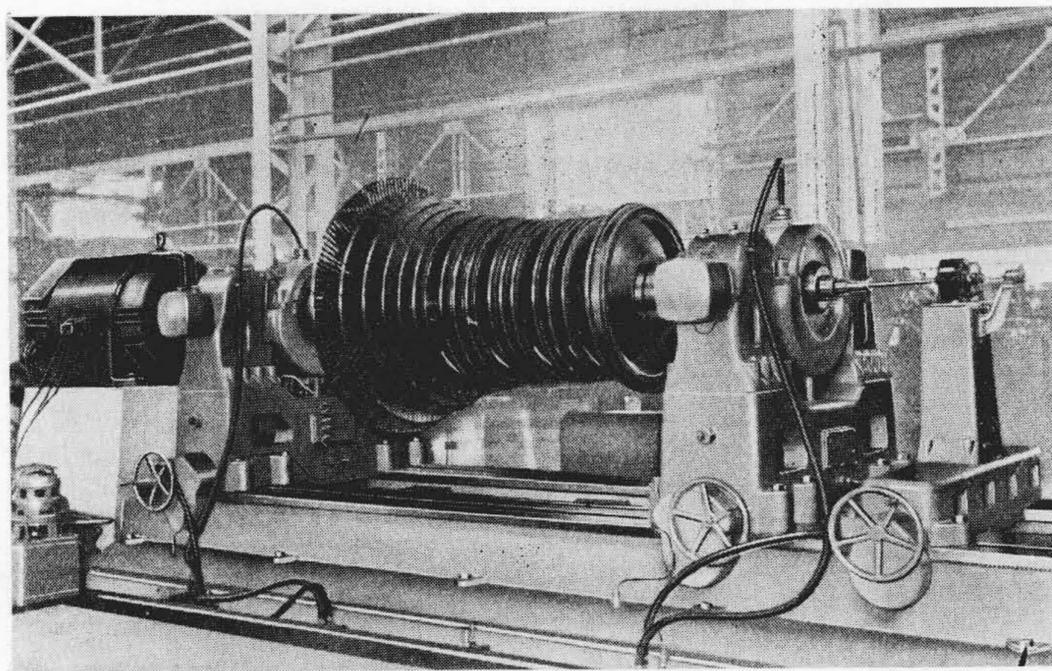
本调速機を採用した場合の負荷遮断時に於けるオシログラムを第6図に示したが、従来の调速機と比較して死時間が小さく 0.1 sec 程度であり従つて瞬間速度上昇率を小さく押える事が出来る。

(4) 保安装置

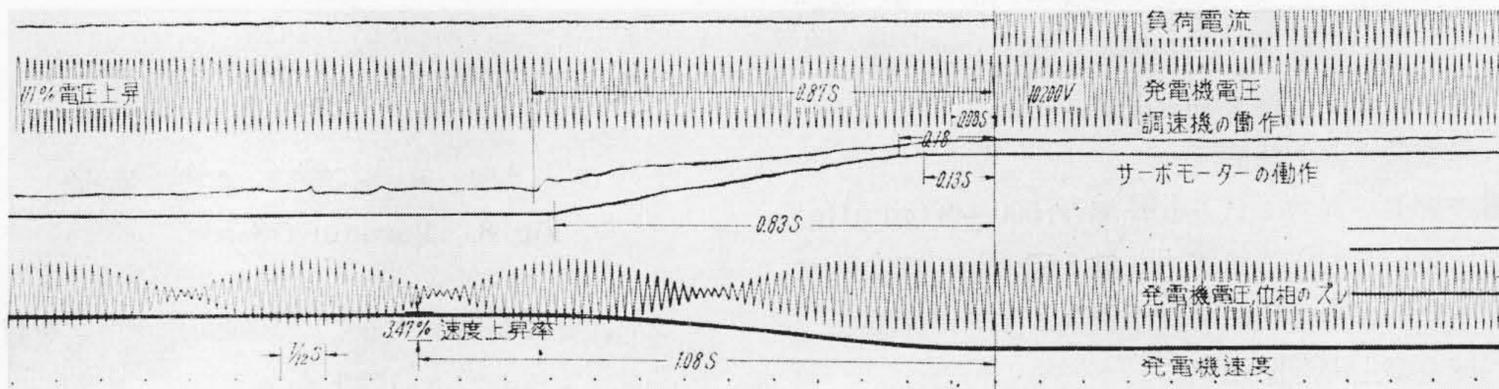
蒸気タービンが高圧高温化するに従つて、常時確実な運転を期すると共に非常の際に種々の安全装置がその機能を發揮して、大事故を未然に防止する事が絶対必要である、本タービンには下記の保安装置を設けて安全なる運転を期している、第7図に各種の保安装置を取付けた状況を示す。

(A) 自動及び手動非常蒸気遮断装置

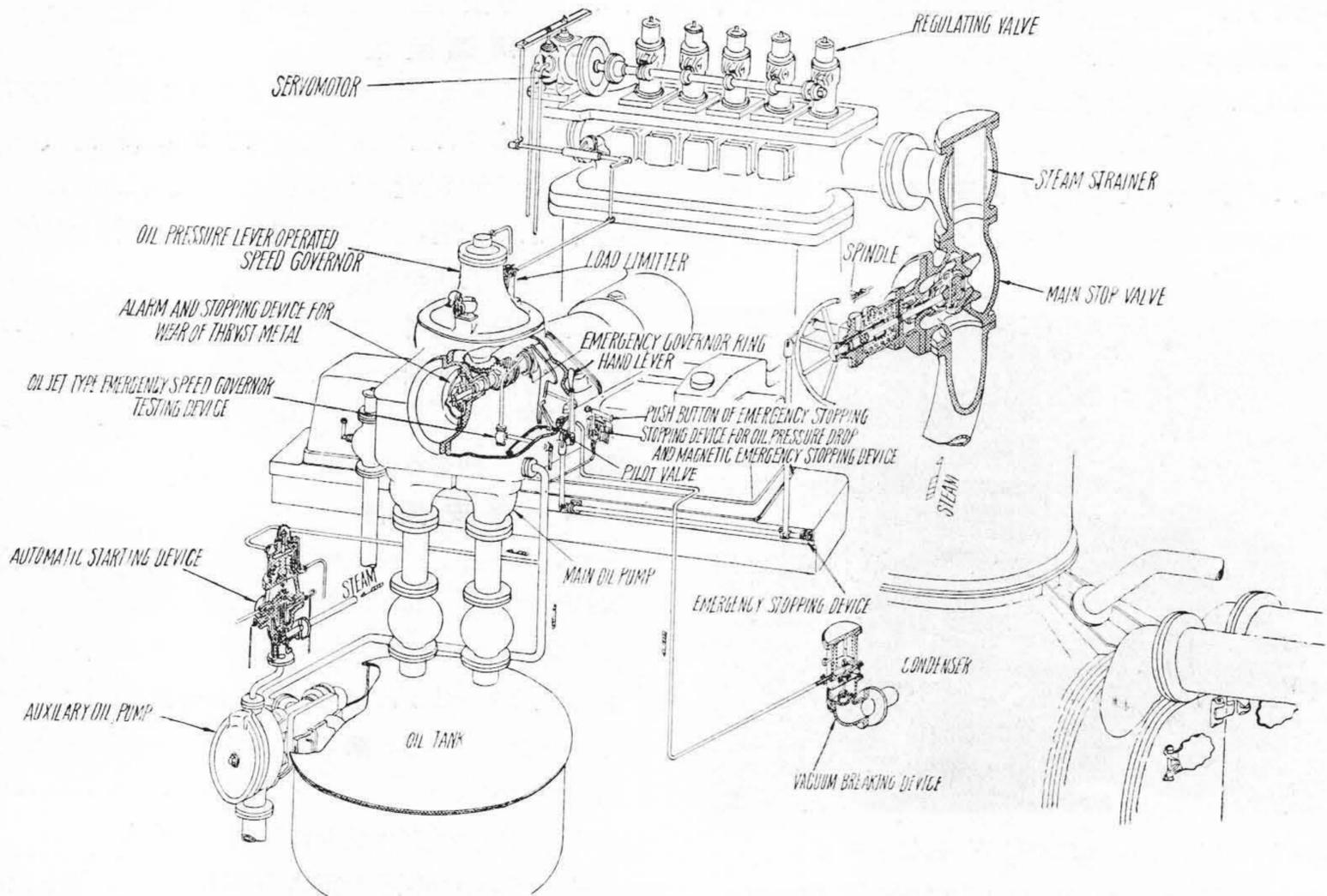
タービンの回転数が定格の  $110 \pm 1\%$  に達した際作動する非常调速機により主塞止弁を閉鎖させる装置で手動



第5図 動的バランス中のタービンローター  
Fig. 5. Turbine Rotor in Dynamic Balancing



第6図 オシログラムによる调速装置特性  
Fig. 6. Oscillogram of Governor



第7図 保安装置配置図  
Fig. 7. Arrangement of Protective Equipments

によつても作動出来る。この装置が作動した際は、接触器が閉じ OCB を閉路して発電機の並列を解除するようにしている。(危急回路遮断装置)

(B) 電磁式非常蒸気遮断装置

発電機に事故が生じた際に、タービンを急停止せしめる装置で、発電機の差動継電器が働いて接触器が閉じ、ソレノイドが作動して前項同様主塞止弁を閉鎖する。

(C) 油圧低下非常装置

潤滑油系統に故障を発生した際タービンを停止せしめる装置で、油圧が異常低下した場合主塞止弁を閉鎖しタービンを停止せしめる。

(D) スラスト保護装置

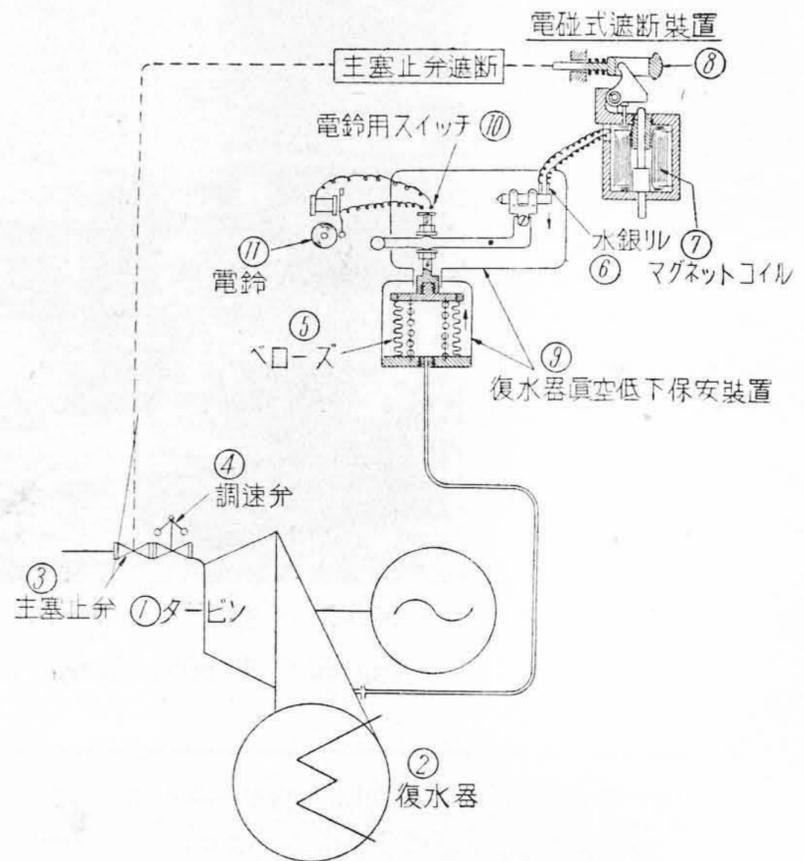
タービンのスラストメタルが焼損した時にタービンを停止せしめる装置で、タービンローターが低圧側に移動した際2段作用の接触器が閉じ警報を発し、然る後(B)項同様の作用により主塞止弁を閉鎖する。

(E) 真空低下非常装置

復水器の真空が異常に低下した場合(500~600mmHg)タービンを停止せしめる装置で、第8図の如く真空の変動に伴うベローズの作用により水銀スイッチが閉路し、(B)項同様主塞止弁を閉鎖する。

(F) 補助油ポンプ自動装置

(A)~(E)の非常装置が作動した場合どの場合でもタ



第8図 真空低下非常装置  
Fig. 8. Vacuum Guard

ービンは速度が低下するので、補助油ポンプを自動的に起動させる目的のものである。

(G) 真空破壊器

(A)~(E)の非常装置が作動した場合自動的に復水器

付の空気弁を開いて復水器の真空を破壊しタービンの停止までの時間を短縮させる。

(H) 負荷制限器

タービンに掛る負荷を一定値以下に制限するための装置で调速機の補助作用を示すものである。

[IV] 復水装置

復水器の仕様は第5表に示す通りである。復水器の胴体はタービン排気口と封水接手を介して結合され、復水機の脚は基礎の上に直接に固定されている。冷却水は2折流で表面接触によつて蒸気を凝縮している。冷却管はアルミブラスを用いて両側エキスパンドを用い温度差に依る胴体の伸縮接手に依り吸収するようにした。冷却管の配列は千鳥型で復水器内部における排気の通過抵抗を少くして復水器の効率を高めるようにした。復水溜基準水面は自動水位加減弁により常に定水面を保つ如くし、サージタンクと連絡し、完全なる密閉給水方式を採用している。空気ポンプは二段蒸気噴射式であり中間冷却器

第5表 復水器仕様

Table 5. Specification of Condenser

項目	仕様
型式	触面複式2折流型
冷却面積 (m <sup>2</sup> )	1,050 m <sup>2</sup>
冷却蒸気量 (kg/hr)	49,400(但し 12,500kW 時)
冷却水温 (°C)	20 (最高 28)
冷却水量 (m <sup>3</sup> /hr)	3,680
復水器真空 (mmHg)	722
冷却管寸法 (mm)	23φ×1.0 厚×4,617
冷却管取付方法	両端エキスパンド
冷却水損失水頭 (m)	3.6

を有し、始動に際しては、二段側エゼクターを作動させ、短時間にタービン始動に必要な真空を得られる。

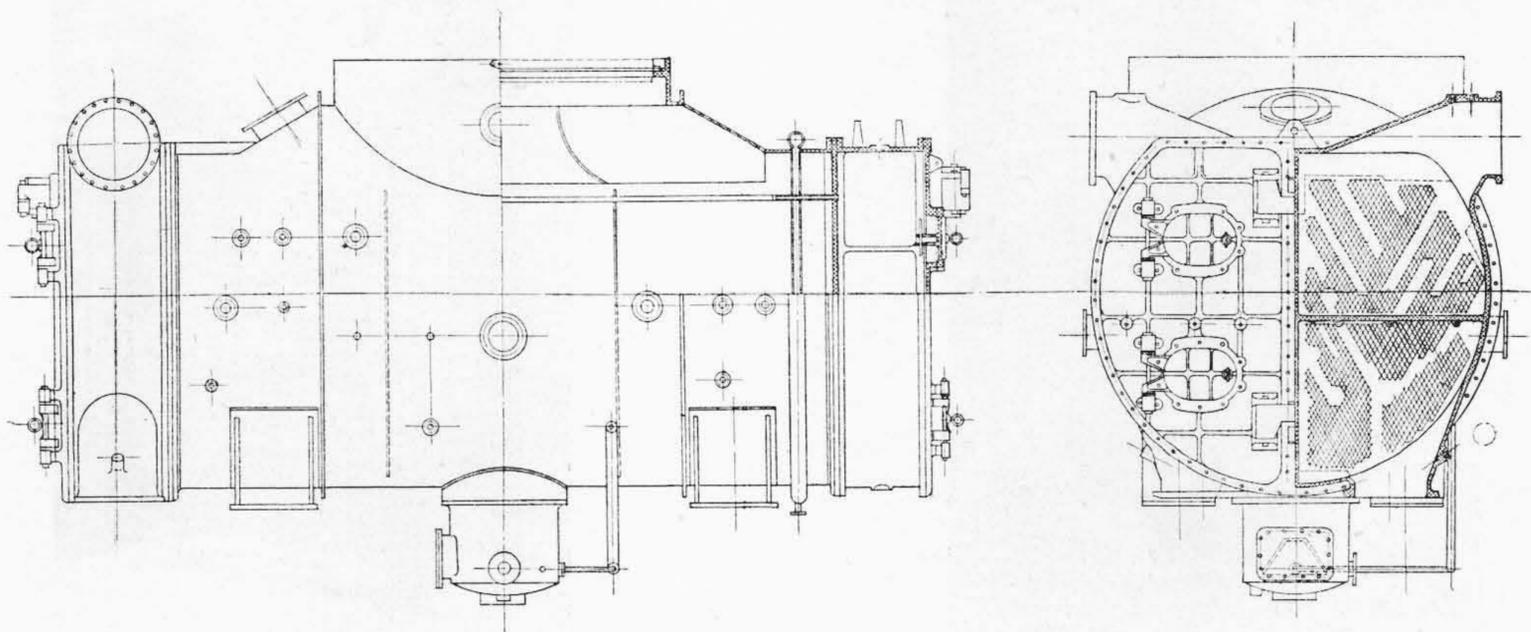
[V] 蒸化並びに給水加熱装置

プラントとしてブロータータービン2台又は1台とタービン発電機との併用運転を可能とするため、ブロータータービンよりの復水と発電用タービンの復水とを脱気器に於て合流せしめ、給水中の酸素その他のガスを分離させた後昇圧ポンプを通して低圧給水母管に送られる。汽罐給水ポンプに依つて高圧給水加熱器、高圧給水母管を経て汽罐に送入される。これは最大運転時に発電機2台、ブローター2台が運転される時汽罐は2罐運転となるため上述のような配管としたものである。経済運転時の補給

第6表 蒸化並びに給水加熱装置仕様

Table 6. Specification of Evaporating and Heating Equipment

項目	仕様
補給水生成量 (kg/hr)	2,350
生水温度 (°C)	20
汚水量 (%)	補給水量の 20
汽罐給水温度 (°C)	140
蒸化器	二段効果式縦置コイル型 加熱面積 18 m <sup>2</sup>
生水予熱器	表面加熱式横置フローチング ヘッド型、加熱面積 5 m <sup>2</sup>
蒸化蒸溜器	表面加熱式横置フローチング ヘッド型、加熱面積 16 m <sup>2</sup>
脱気器	直触式加熱型、容量 90 m <sup>3</sup> /hr
高圧第一給水加熱器	表面加熱式横置フローチング ヘッド型、加熱面積 40 m <sup>2</sup>
高圧第二給水加熱器	表面加熱式横置フローチング ヘッド型、加熱面積 30 m <sup>2</sup>



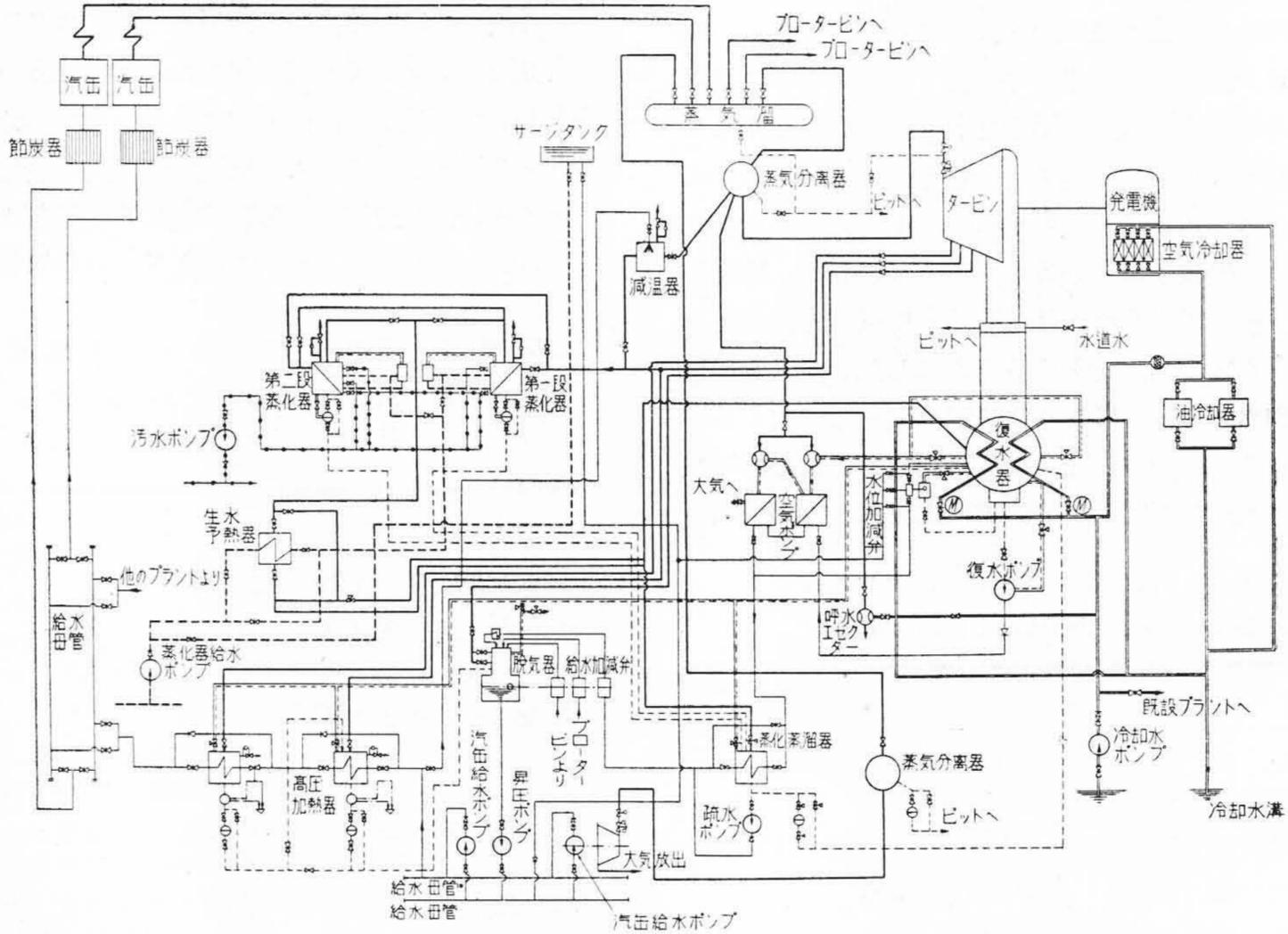
第9図 復水器

Fig. 9. Surface Condenser

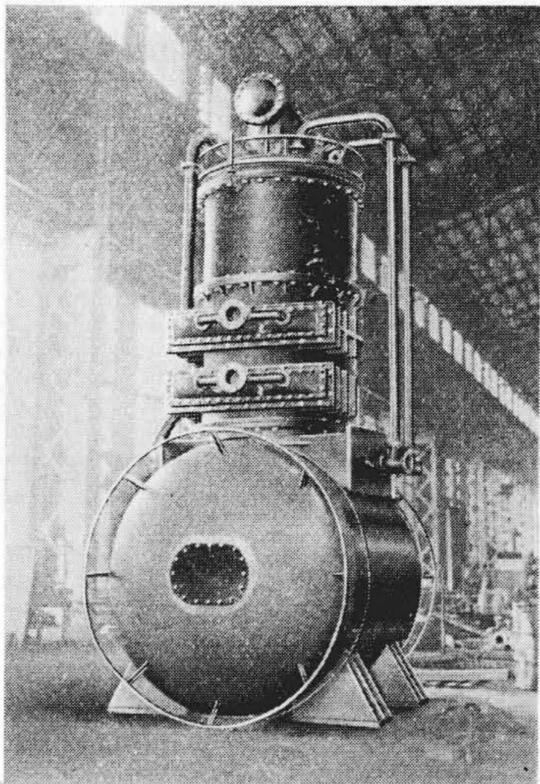
水の生成は給水を軟水装置、生水予熱器を経て蒸化器に入れ第一段蒸化器の発生蒸気を以て第二段蒸化器の加熱蒸気に使用し、二段効果式とした。低負荷運転時蒸化器加熱用抽気圧力の低い場合は、蒸気分離器よりの減圧減温蒸気に依つて補給水を生成せしめ得る。また各蒸化器単独でも使用出来る。給水系統に就いては第10図に記載

する如くである。

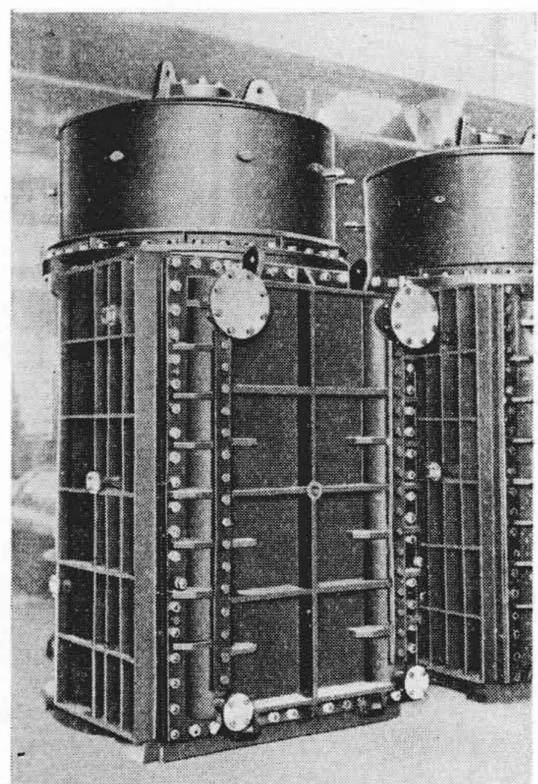
高圧給水加熱器には自動近路弁を付して、加熱管損傷した場合自動的に給水を近路させ、次の加熱器又は汽罐に送る。脱気器は散水板型式として上部より給水を散布させ下部には加熱管を配列し、酸素並びに含有ガスの逸出を容易ならしめる構造とした。工場試験に於て給水含



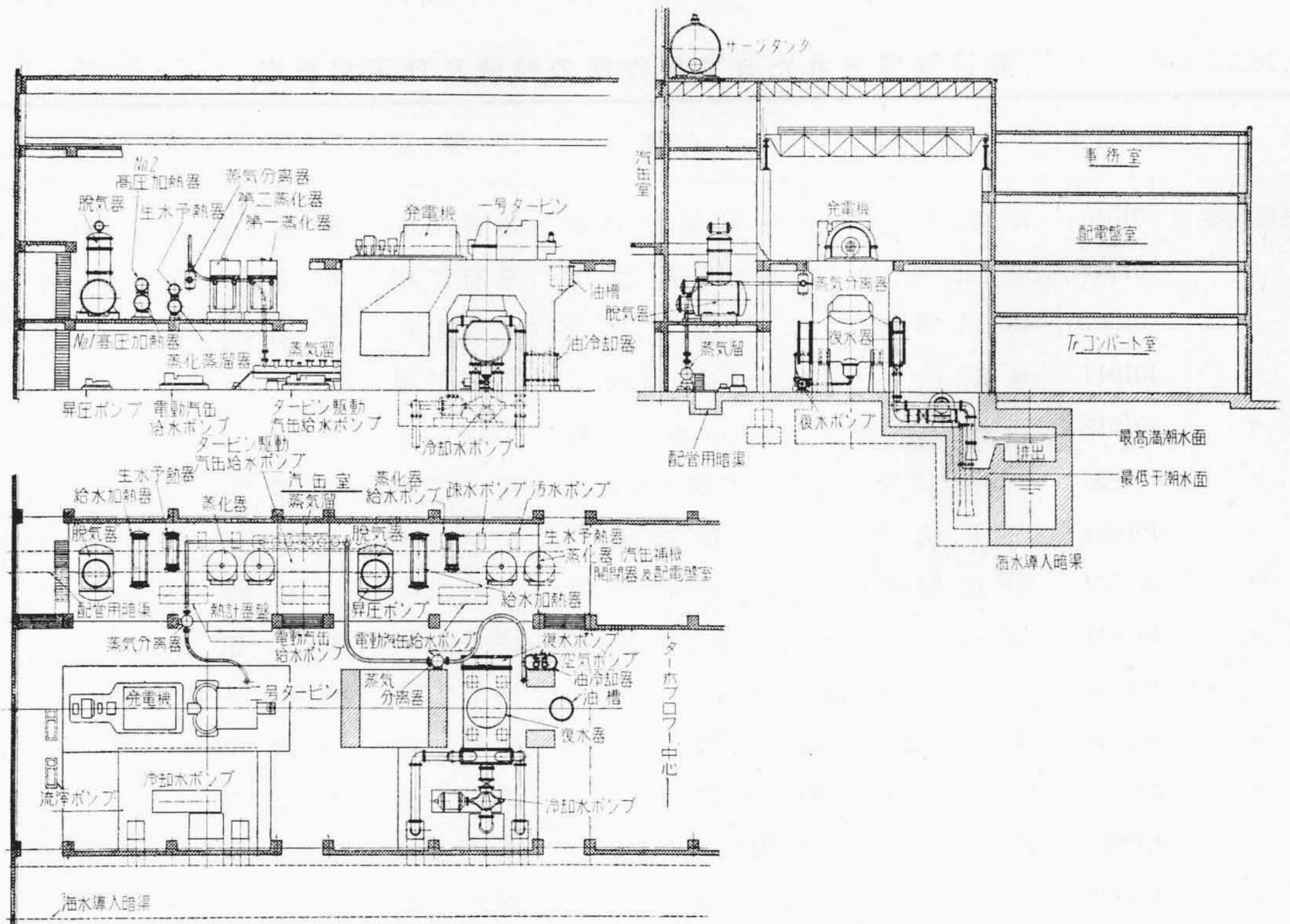
第10図 二段効果蒸化装置配管系統図  
Fig. 10. Two Piping of Double Effective Evaporators



第11図 脱気器  
Fig. 11. Deaerator



第12図 蒸化器  
Fig. 12. Evaporator



第13図 12,500 kW タービン発電機機械配置図  
 Fig. 13. Arrangement of 12,500 kW Turbo-Generator Plant

有酸素量 4.8 cc/l, 水温 12°C の水道水を本装置に依り 0.05 cc/l に減少せしめた。本数値は特記すべきことではないが、プラント中に於ける脱気器の性能は更に保温材の使用と適合した条件のもとに運転されるので更に良好な成績を得ると思われる。

各機器の仕様は第6表に示す通りである。

蒸化器は堅型のものを使用し、据付面積を最小とし、発生蒸気を最大量得られる如く計画した。その外観は第12図に示す如くである。上部には汽水分離装置を付し、発生蒸気のキャリーオーバーを少くせしめている。内部点検修理についても、容易なるように前部の加熱蒸気室は引出し可能としてある。

### [VI] 結 言

川崎製鉄千葉製鉄所の自家用火力発電所が、今回完成した機会に 12,500 kW 蒸気タービンの特長と構造の概要を述べた。

今後当発電所は竣工成つた千葉製鉄所と共に、近代的な発電所として効率もよく、確実な運転をなす事が期待されている。

終りに望み本タービン並びに附属装置の計画及び製作に当り、始終御指導御鞭撻下さつた川崎製鉄所藤井動力部長、内野副部長を始め関係各位に厚く感謝の意を表する。

# 特許月報

(18頁より続く)

## 最近登録された日立製作所の特許及び実用新案

(其の2)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	401946	単胴巻上機の非常制動装置	亀有工場	滝本秀彦	28. 4. 16
"	401947	巻上機の精密着床装置	亀有工場	若森俊郎	"
"	401907	印刷機用インキ攪拌装置	川崎工場	町田泰治	"
"	401914	巻取紙芯金センタ制動装置	川崎工場	横沢泰源	"
"	401915	印刷機用着ローラー逃し装置	川崎工場	森久雄	"
"	401916	印刷機用着ローラー逃し装置	川崎工場	町田泰治	"
"	401916	二回転印刷機のインキ送出し装置	川崎工場	佐藤有司	"
"	401921	印刷機のインキ攪拌装置	川崎工場	大杉好徳	"
"	401922	印刷機のインキ攪拌装置	川崎工場	町田泰治	"
"	401932	無頭ネジ廻り止め装置	栃木工場	栗本正雄	"
"	401948	除 湿 機	栃木工場	楠本陽一郎	"
"	401949	除 湿 装 置	栃木工場	楠本陽一郎	"
"	401950	除 湿 装 置	栃木工場	楠本陽一郎	"
"	401951	除 湿 機	栃木工場	楠本陽一郎	"
"	401952	冷 暖 房 装 置	栃木工場	南部誠一	"
"	401953	冷 暖 房 装 置 用 蒸 発 器	栃木工場	南部誠一	"
"	401899	真空装置用切換弁装置	多賀工場	小沼武男	"
"	401904	遠心噴霧機の回転軸取付装置	多賀工場	川崎光彦	"
"	401926	制御器ノッチ止め装置	多賀工場	河井章	"
"	401927	制御器に於ける圧縮バネ調整装置	多賀工場	河井章	"
"	401928	紡 糸 電 動 機	多賀工場	大岡崎光宏彦	"
"	401930	気 化 器	多賀工場	藤原連	"
"	401935	真空掃除機集塵袋	多賀工場	益子三郎	"
"	401900	グ ロ ー ス イ ッ チ	亀戸工場	松井茂彦	"
"	401901	グ ロ ー ス イ ッ チ	亀戸工場	松井茂彦	"
"	401912	熱陰極放電灯承口	亀戸工場	日野西義輝	"
"	401917	螢 光 灯 器 具	亀戸工場	酒巻道明	"
"	401909	反射用電子廻折装置の試料調整装置	中央研究所	近藤弥太郎	"
"	401910	真空室の物品交換装置	中央研究所	近藤弥太郎	"
実用新案	401929	電子顕微鏡試料交換装置	中央研究所	明高山林正元 高山林正五 益子三郎	"
意 匠	103078	電気洗濯機の形状及び模様 の結合(6機)	多賀工場	山林家正五 益子三郎	28. 4. 16
商 標	246103 の更新	ヒ タ ッ ク ス	本 社		28. 4. 17
商 標	248432 の更新	ニ チ リ ッ ト	本 社		28. 4. 17