

昭和電工株式会社納

# 16,000kW 火力発電所の概要

Outline of the 16,000kW Power Generating Plant Delivered to Shôwa Denkô Co., Ltd.

福 山 八 郎\* 滝 川 和 夫\*\*  
 Hachirô Fukuyama Kazuo Takigawa  
 森 野 信 幸\*\* 小 白 井 和 典\*\*\*  
 Nobuyuki Morino Kazunori Koshirai

## 要 旨

昭和電工株式会社川崎工場納 16,000 kW 自家発電設備は長期連続運転用火力プラントとして計画されたものである。その電力負荷とプロセスへ供給する蒸気消費系統とは、まったく別々であり、相互にはそれぞれ無関係に負荷変動する特殊性を有している。

本稿は、タービン発電機、プラントの構造概要を述べたものである。

## 1. 緒 言

近年産業界のエネルギー需要は目ざましく急増しており、産業用火力プラントの「合理化」「経済化」への要求も非常にきびしくなってきた。本プラントは 16,000kW の電力量と 8 kg/cm<sup>2</sup>g, 70~110 t/h のプロセス蒸気の供給を目的として計画されたものである。

さきの昭和発電株式会社 75,000 kW 4 ユニット<sup>(1)</sup>火力発電所の記録プラントに次いで建設されるもので、「信頼性の向上」「運転の容易」「全プラントのコンパクト化」などに重点が置かれ、化学工場内の限定敷地、特殊ガスふん囲気に対する「防錆対策」大気放出運転による騒音あるいは防災に対する「公害対策」など特に工場立地条件に考慮を払って計画されたもので、化学工場用ボイラ屋外式火力発電所の一例として、以下概要を紹介する。

## 2. プラントの概要

### 2.1 熱サイクルの構成

本プラントの計画仕様は表 1 に示すとおりである。図 1 は 16,000 kW における熱平衡線図で図に示されるように背気は蒸気レシーバで分岐して各工場に送られる。

タービン背気の大気放出装置とタービンバイパスの減圧装置系統は、工場蒸気およびプロセス用電力の負荷変動に備えて設置されている。またタービングランドリーク、ボイラブローなどは、熱回収により熱効率の向上が図られている。

ボイラ給水温度は 151.9°C で、重油専焼ボイラ特有の低温腐食に対処したものである。

### 2.2 主配管並制御系統

主要サイクルは、図 1 に示すとおりである。図 2 は大気放出装置および最大プロセス蒸気量を流し得るタービンバイパス装置の圧力設定線図で、給水加熱器は、スペースファクタをよくしドレンの処理を容易にするため脱気器の上に設置されている。タービンリークはエゼクター式ランドコンデンサに導かれている。給缶水のサンプリングはボイラ給水ポンプの吸込前およびドラムからそれぞれ採取される。薬液注入はサンプリングと同じくドラムと給水ポンプ入口にはいつている。各補機類の軸受冷却系統には圧力 30 mAq の汜過水を使用し、汜過水回収タンクへ戻している。油冷却器系統には、油混入という万一の場合を考慮して工業用水タンクを設け別回収を図っており、プロセス蒸気は 6 本のパイプにて需要先へ送気している。

\* 昭和電工株式会社電気部  
 \*\* 日立製作所日立工場  
 \*\*\* 日立製作所電気事業部火力部

表 1 プラント計画要目

最大連続出力(発電機端)	16,000 kW	
経 済 出 力	13,000 kW	
回 転 数	3,000 rpm	
発電機最大容量	20,000 kVA (50~)	
ボイラ最大蒸発量	150 t/h (重専)	
蒸気条件	気圧(主塞止弁前にて)	72 kg/cm <sup>2</sup> g
	気温(主塞止弁前にて)	535°C
ボイラ給水温度(定格)	151.9°C	
プロセス蒸気圧力	8 kg/cm <sup>2</sup> g	
プロセス蒸気温度	310°C	
プロセス蒸気量(最大)	110 t/h	
プロセス蒸気量(平均)	96 t/h	

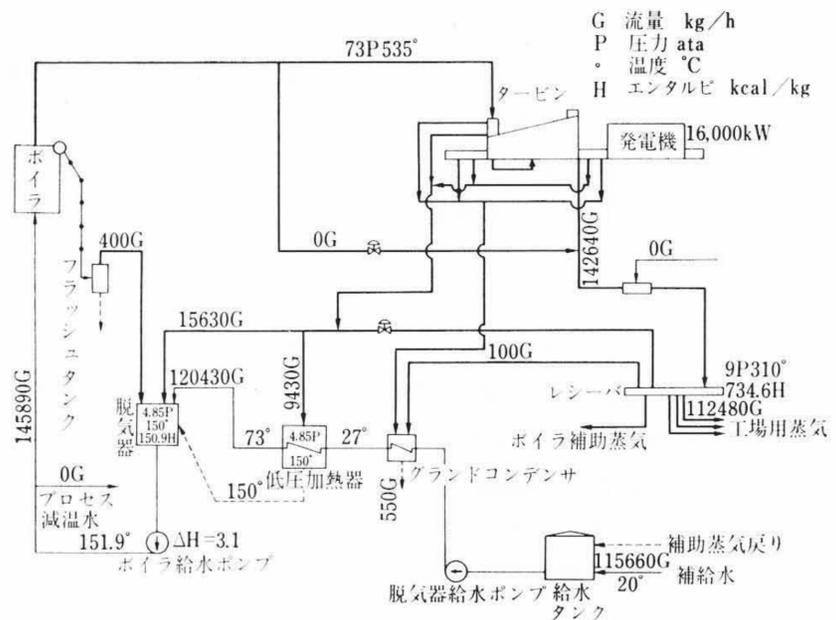


図 1 16,000 kW 熱平衡線図

### 2.3 機器配置の概要

化学工場に隣接する比較的せまい敷地内に消防法による規定寸法内に収めることおよび将来の増設を考慮してレイアウトを図 3 のようにした。

タービンとボイラ中心線は T 形<sup>(2)(3)</sup> でクレーンスパンを最小にし、発電機ステータのみはポールアップ方式で搬入し据付るものとした。パワーケーブルも鉄塔式で第二変電所へ連絡している。軸受冷却水およびドレン類は、ボイラー室隣りの回収ピットにそれぞれ導かれ、ポンプにより既設タンクへ回収される。図 4 は、発電所の側面図を、表 2 は据付工事工程を示したものである。脱気器および給水加熱器は屋上に設備し溶存酸素を 0.005 cc/l<sup>(4)</sup> 以下まで脱気する。据付高さは汽缶給水ポンプの NPSH<sup>(5)</sup> に対し十分な高さを持っている。スイッチギヤおよび中操室はボイラとタービン室中間の

2階に、補機類および電気品の一部は一階に設置されている。大気放出用サイレンサは屋外鉄塔式である。必要な計装検出配管や計器類には凍結防止用保温を施工し、油タンク回りには防油堤および漏油放出配管弁を設備している。ボイラはタービン室壁と3m以上、他の危険物とは20m以上の間隔をおくよう配置計画されている。ボイラ、本館および電気設備の用地面積は0.2m<sup>2</sup>/kW、本館建物容

積は0.36m<sup>3</sup>/kWであり、図4からわかるように中央制御室およびメタルクラッド室はそれぞれ7×11mで必要十分なスペースが確保されており、保守分解スペースについても十分検討されている。

3. 蒸気タービン計画概要

本タービンは

(1) プロセス蒸気量、圧力、温度に対してもっとも経済的な蒸

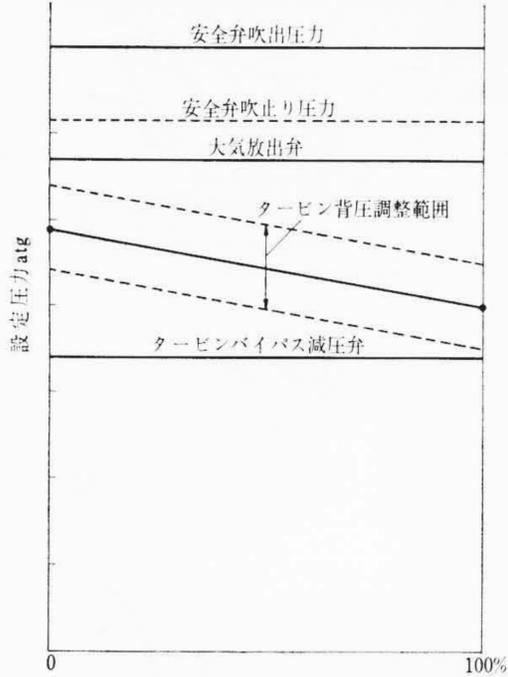


図2 圧力設定図  
表2 据付工事工程図

項目	年月	S-39		S-40						
		11	12	1	2	3	4	5	6	
基本工				ドラム橋		水圧	受電	火入れ	安封	
建屋		モットスラブ打	1FLキツ打	2FLキツ打	屋上	T-G架台コンクリ打				
ボイラ			キツ打	巻出		取付		保温	塗装	
タービン			脱気器吊上設定	T-Gキツボ用ナンプレート		ソールプレート	ロータ		ランギング	
発電機				ステータ	引込準備	ソールプレート	ロータ	引込	部品	
配管据付						大径主要配管				
B-T-G盤および補機盤						小径プラント配管				配線

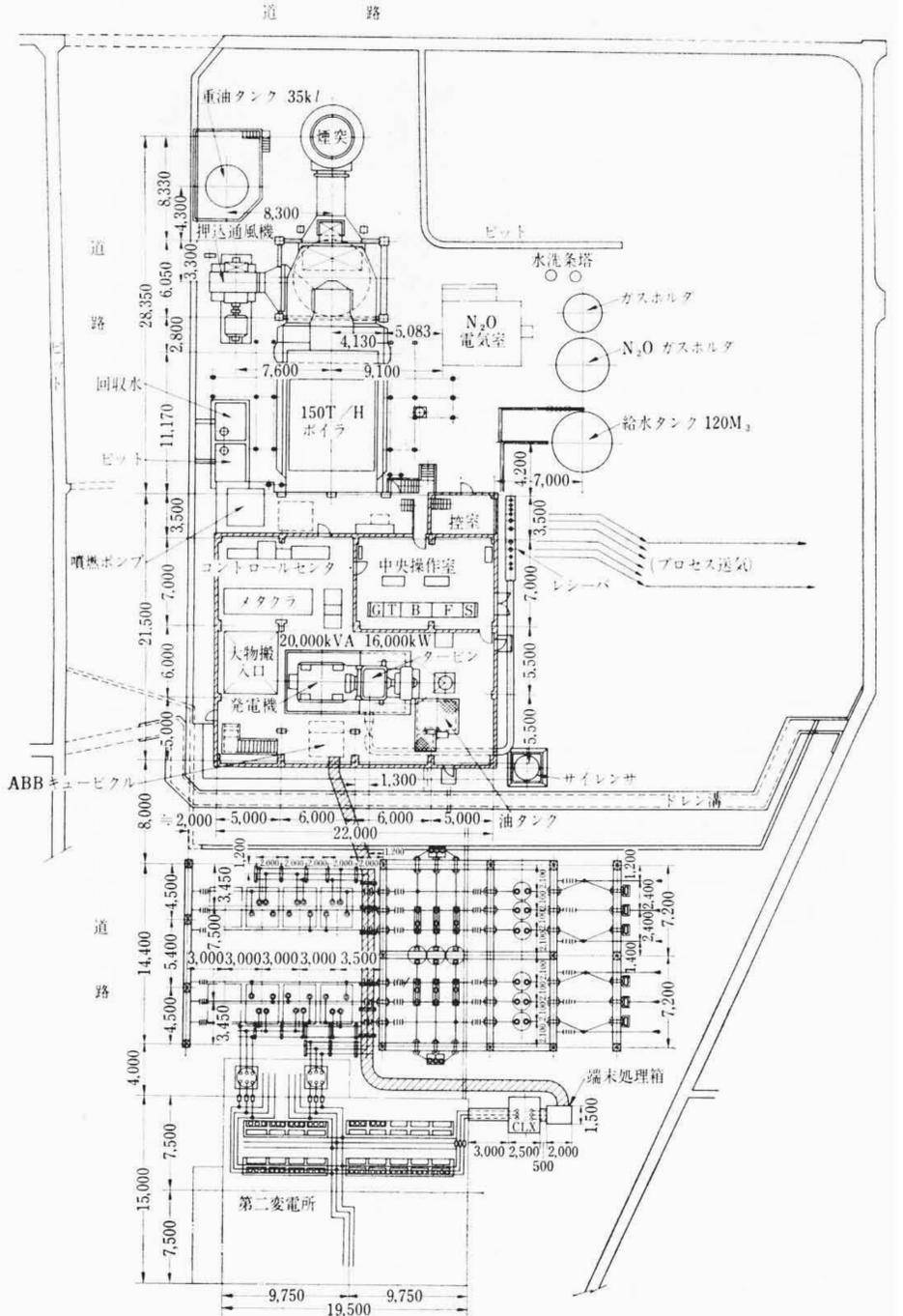


図3 火力発電所敷地図

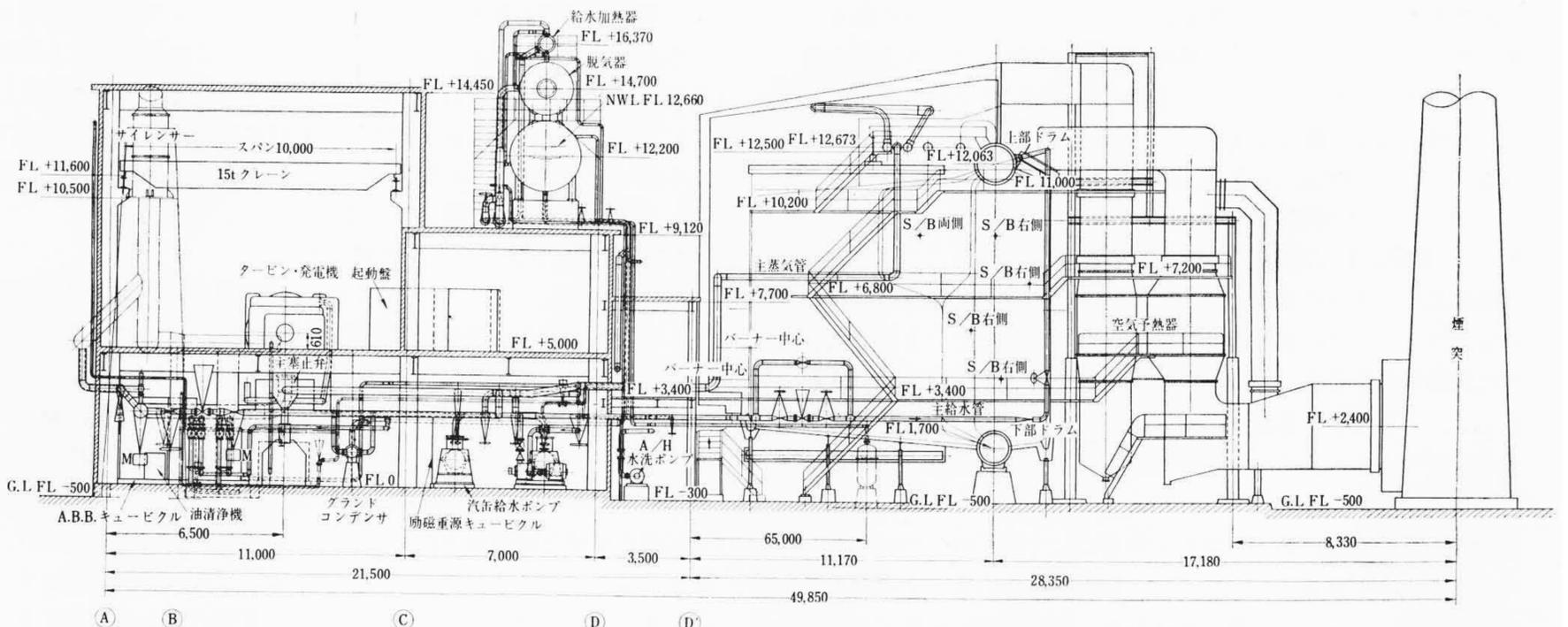


図4 全体配置図 (側面)

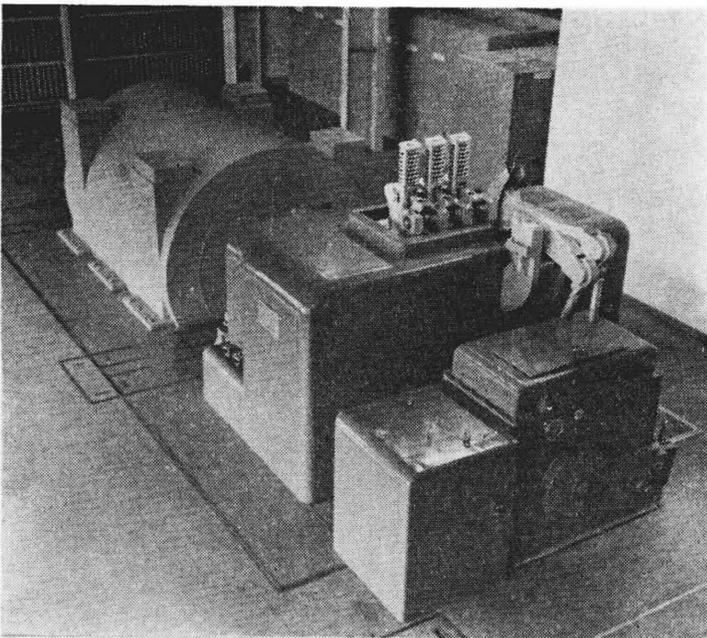


図5 現地運転中の16,000 kW 蒸気タービン

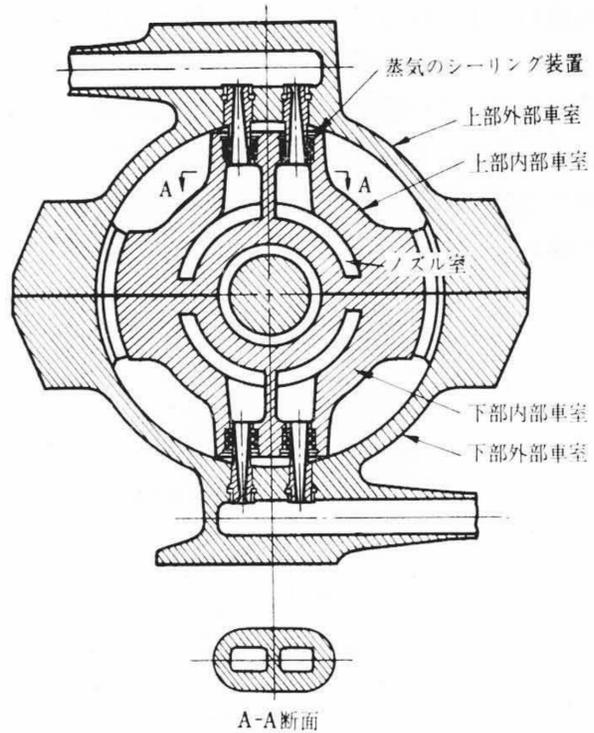


図7 2重車室構造図

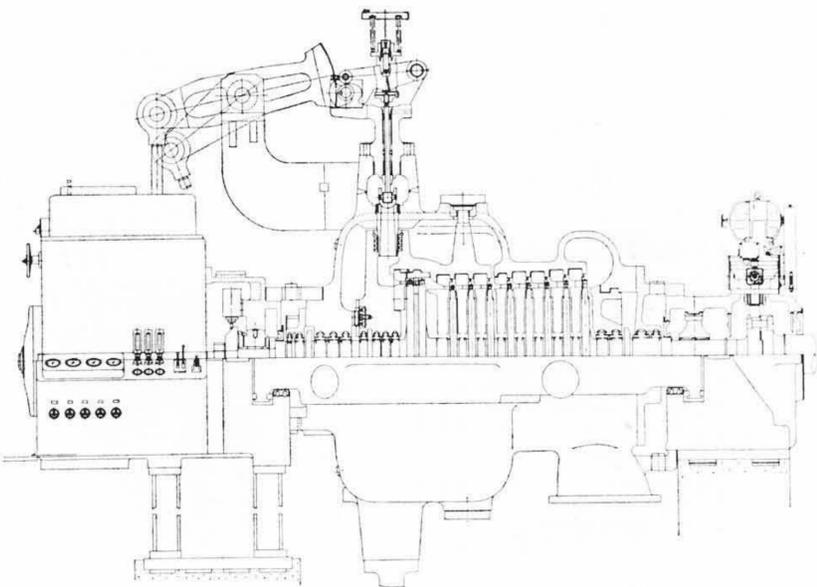


図6 タービン断面構造図

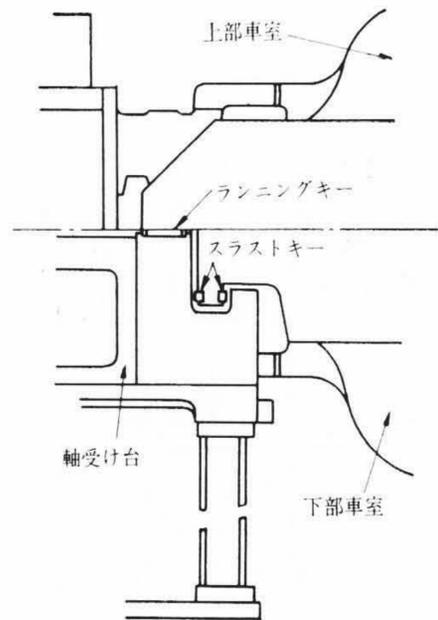


図8 センターラインサポート方式

#### 気条件

- (2) 長期連続運転に対し信頼性の向上
- (3) 運転保守の簡便化

を主眼に幾多の実機運転実績をもとに計画を進めたものである。

高温高温タービンでは体積流量が小さくリーケージロス割合が比較的増すため、ノズルおよび翼などの蒸気通路の設計および各部間げきの大きさが大きく効率を左右する。以下に日立衝動式背圧タービンの構造機能の概要を述べる。

外観および断面構造図を図5、6に示す。

#### 3.1 タービン本体構造<sup>(6)</sup>

##### 3.1.1 車室および蒸気室

高温高圧の蒸気に接する高圧車室および蒸気室は耐熱性の材料を使用すると同時に肉厚も厚くせねばならない。このような肉厚部に急激な温度変化を与えることは大きな熱応力が発生し、変形あるいはき裂などの事故をおこすので、この熱応力および変形を最小限にするため図7の二重車室構造とした。このような構造とすることによって外部車室および内部車室に加わる圧力差を減少し肉厚をうすくし、かつ形状を対称形にして局部的な熱応力を避け変形を小さくすることができた。外部車室と内部車室の継手面には特殊なシーリング装置が設けられ、蒸気の漏れを防ぐと同時に各車室の軸方向および半径方向の膨張を吸収している。

図7からも明らかなように加減弁および蒸気室は上下に配置されている。一般に主蒸気圧力が高く体積流量の小さいタービンでは加減弁および蒸気室を上部ケーシングのみに設ける構造で蒸気通路の設計上は十分である場合が多い。しかし、主蒸気温度が高くなるにつれて上部車室と下部車室の温度差による変形が問題となる。そこで本タービンについては加減弁および蒸気室を上部および下部車室にそれぞれ設けた。このように全体の形を対称として上下の熱容量のバランスをとると同時に低負荷においても上下より蒸気を流して均一に加熱することにより上下の温度差を減少し、車室の変形を最小限となるようにした。

##### 3.1.2 車室センターラインサポート

車室から突起している支持用の足は車室内を流れる高温の蒸気からの伝熱により、軸受台の温度よりはるかに高温になる。そこで支持用の足の熱膨張が静止部分と回転体の心を狂わせないような車室支持構造とする必要がある。図8に示すように上部車室に支持用足を設け車室の水平継手面で車室全体の荷重が支持されるセンターラインサポートの構造とした。このようにして同心となった静止部分と回転体との半径方向の間げきが一定に保持され、各部の間げきを小さくすることができる。これは体積流量の小さい高温高圧の産業用タービンでの漏えい蒸気の減少と、運転中パッキン部分のしゅう損がさけられるなどの重要な意味をもって

いる。

3.1.3 加減弁開閉順序

前述のように上下に配置された加減弁は交互に開閉してゆくのが従来の設計であった。起動途中あるいは非常に低負荷運転の場合は、上部の第1加減弁しか使用しない場合が多く、下部車室に配置された第2加減弁は閉じており下側蒸気室からは蒸気が流入しない。このような状態では上部車室の加熱の度合いが大きく、下部車室は加熱されない。すなわち加減弁を上下に配置しても上下の蒸気室の温度差が大きくなり熱変形を起こす可能性がある。そこで第1加減弁と第2加減弁を同時に開くよう加減弁開閉用カムを設計して上部蒸気室と下部蒸気室を同時に加熱するようにした。

これらの構造を採用した高温高压タービンの起動運転実績について次に示す<sup>(7)</sup>。同一仕様のタービンで1号機は二重車室、加減弁上下配置、加減弁順次開閉でセンターラインサポートではない。2号機は本タービンと同じ構造で二重車室、第1,2弁同時開閉、センターラインサポートである。

1号機の起動時、第2加減弁が開く直前で蒸気室上下の内壁の最大温度差は約170°Cあり、第2加減弁が開き出すと下部蒸気室の壁温度が急激に上昇し、そのときの最大温度上昇率が900°C/hとなり非常に大きな温度変化を与えている。2号機の場合は1号機の第2加減弁が開く直前に現われたような上下の温度差はなく、蒸気室の

最大温度上昇率も300°C/hとなっている。これら1,2号機の蒸気室の熱応力は最大温度上昇率より明らかなように2号機のほうが1号機の約1/3となっている。このときのスタートから定格負荷までの起動時間を比較してみると2号機は1号機の約1/2である。

以上は一例であるが前述の構造を採用することによって2号機のほうがはるかに安全運転であることが明らかである。

また、各部の間げきを安全限界内に留めながら十分減少させることができるため蒸気消費率も1~3%減少させることができた。

このような運転実績に表われた効果は本タービンにおいても性能試験によって十分実証されている。

3.2 制御装置

制御系統図を図9に示す。装置の大部分は前側軸受け箱内に納められている。制御装置は调速機、同期装置、排気調圧機、速度リレーおよび加減弁などの油圧機構と、レバー機構の組合せよりなっている。

背圧タービンでは调速機と調圧機を同時に働かせることはできない。すなわち単独運転の場合には调速機により速度制御のみを行ない、工場蒸気の調整はバイパス系統などの併用によって行なわれる。一方並列運転時には調圧機により排気圧力を制御し、タービンの回転数は外部電源の周波数によって規制されるようになっている。これらの運転は切換装置によって自由に切換えできる機構になっている。

高温高压化されるに従って、タービンロータの慣性モーメントの小さい背圧タービンのような場合には、タービン負荷遮断時の最大速度上昇率が增大する。この負荷遮断時の速度上昇率を小さく押えるためには応答性のよい调速機を必要とする。本タービンには回転パイロットで遠心錘の開度による上下動作に対して摩擦のすくない、すぐれた感度を有した调速機を備えている。

排気圧力調整機は圧力検出ペローの微小な動きを大きな動きとすると同時に、応答速度もニードル弁により自由に設定できる。また圧力調整ハンドルによって圧力調整範囲を広く選ぶことができる。図10にその機構図を示す。

3.3 保安装置

保守装置としては下記のものを装備した。

3.3.1 タービンを危急停止させるもの

過速度遮断装置

スラスト摩擦遮断装置

潤滑油圧低下遮断装置

電磁遮断装置

上記いずれにおいても主塞止弁を急速に閉塞し、タービンへの流入蒸気を遮断すると同時に発電機の遮断器を動作させ、故障表示と警報を行なう。

3.3.2 タービンを停止しないが異常を警報するもの

潤滑油圧低下 伸び差大

軸受排油温度上昇 振動大

油タンク油面高低

このほか自動切換え表示など各種運転表示および各種特殊監視計器を装備した。

4. 発電機の仕様ならびに構造

4.1 発電機および励磁装置の仕様

発電機

形式 閉鎖通風形円筒回転界磁式、空気冷却器付  
容量 20,000 kVA

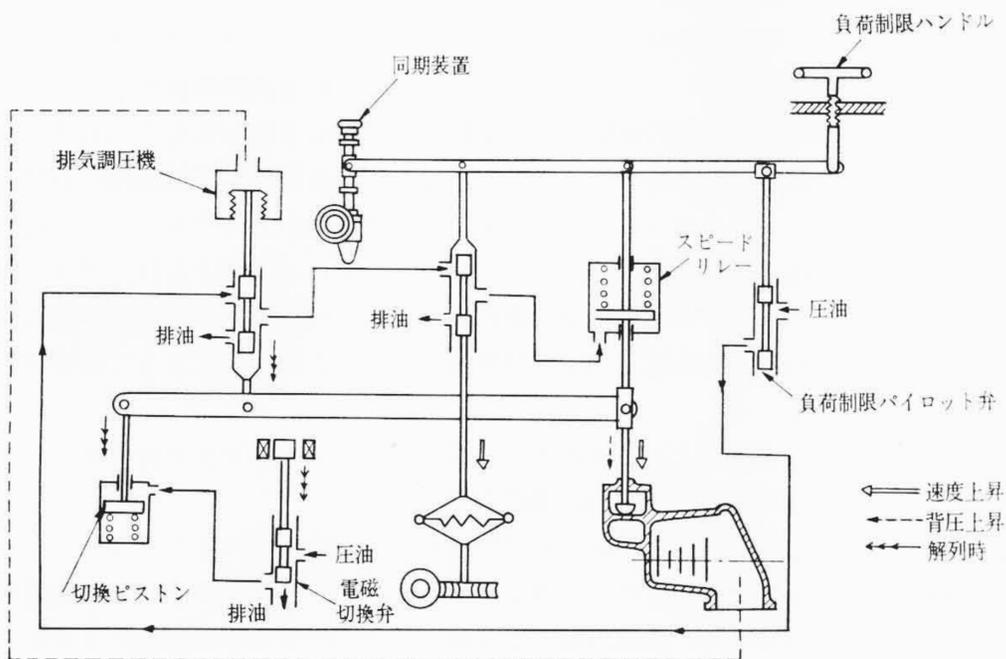


図9 制御系統図

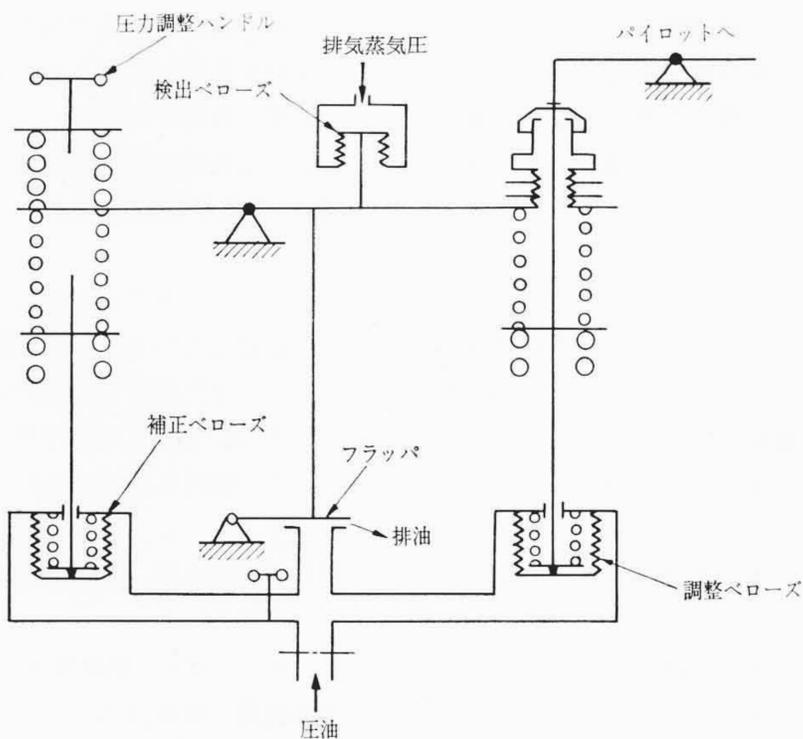


図10 排気圧力調整機構図

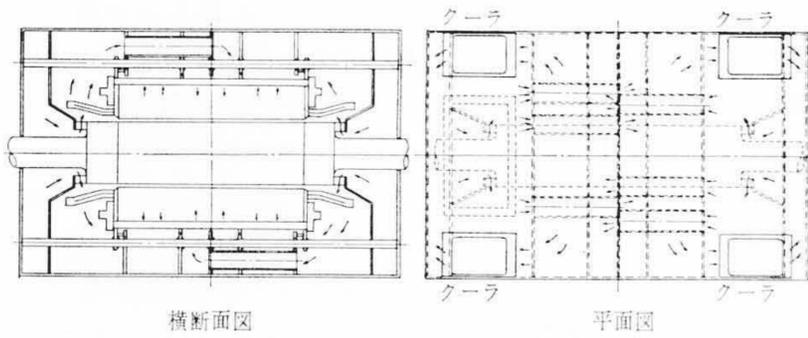


図11 固定子通風説明図

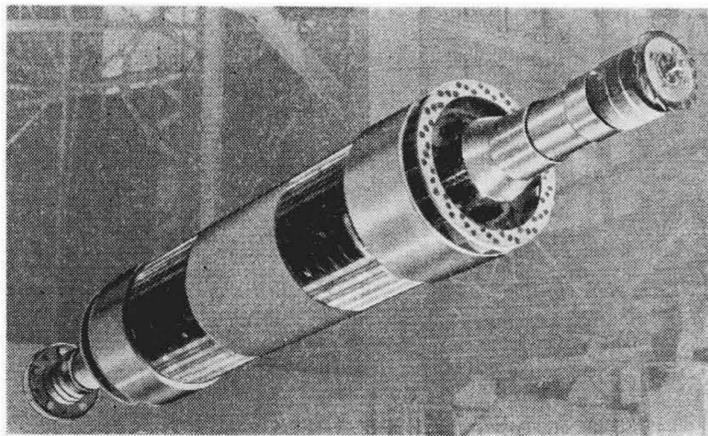


図12 回転子

電 圧	3,300V
力 率	80% (遅れ)
周 波 数	50~
回 転 数	3,000 rpm
接 続	三相二重星形 6本口出し
励 磁 法	自励式
励 磁 電 圧	220V
静止形励磁装置	
出 力	90 kW
電 圧	220V
整 流 素 子	シリコン整流器
整 流 方 式	三相全波整流, 無停電方式
制 御 方 式	磁気増幅器形 AVR および自動力率調整器付

4.2 発電機の構造

4.2.1 固定子わく

固定子わくは溶接鋼板製で、内わくと外わくとから成っており、固定子鉄心や線輪は内わくに取り付けられている。内わくはスプリングを介して外わくに弾性的に支持されている。したがって運転中に生ずる振動や不平衡磁気吸引力に対して十分強固でかつ安定な設計となっている。わくは固定子鉄心などの支持をするとともに、冷却風の通路を形成する。鉄心背部とわく側板との間の空間は、仕切板によって軸方向に三つの部分に分割されており、鉄心中央部の空間に冷ガスがはいってくる入気室、その両側は温ガスが排出される排気室となっている。通風翼によって送り込まれる冷却風は、排気室を貫く通風パイプを通して中央部の入気室に直接はいるので、温度が最も高くなると推定される発電機中央部が十分冷却される。冷却風は、固定子わくの四隅に取り付けられたた形空気冷却器によって冷却される。

4.2.2 固定子鉄心および線輪

固定子鉄心には高級硅素鋼板を用いて鉄損を極力減少せしめた。鋼板はその両面に高級ワニスを焼付けて、絶縁処理されている。端部漏えい磁束による鉄心端部の加熱防止のため、最端パケ

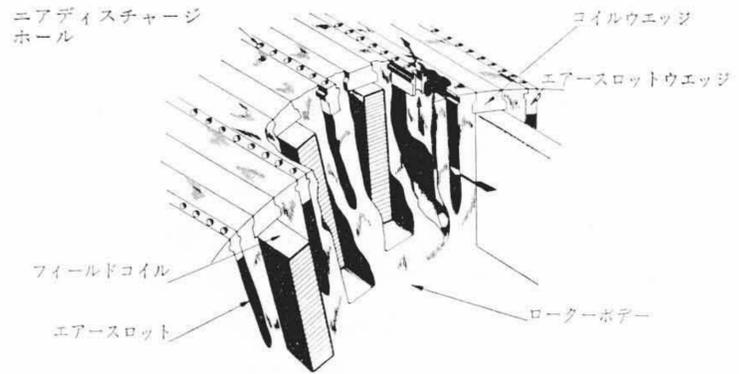


図13 ロータ通風説明図

ットを段落としにしてロータ表面と鉄心間の距離を大きくしている。

固定子線輪は二重巻で、素線はスロット内で転位して渦電流の増加を防いでいる。おのおのの素線はマイカテープで幾重にも絶縁され、その中にエポキシワニスが真空注入されている。エポキシワニスの特長としては

- (1) 硬化時の収縮率が小さいので絶縁層内のボイド発生がほとんど無く、電気的特性が良好である
- (2) 機械的強度が大きく、特に高温特性にすぐれているので、負荷変動による銅線の膨張収縮の繰返しによく耐えるなどがあげられる。

4.2.3 回転子および回転子線輪

回転子軸材にはニッケル・モリブデン・バナジウム鋼の単一鋼塊を使用した。回転子は全面にわたる超音波探傷試験および各部からの多数の試験片による厳格な試験に合格したものである。回転子には線輪を入れるみぞのほか、歯部にも胴部全長にわたってエアースロットが切っており、胴部両端からエアースロットに送り込まれた冷却風は、エアースロットウエッジに設けられたディスタージホールから空げきに放出される(図13)。界磁線輪端部に加わる強大な遠心力は、特殊鋼で作られた保持環によって保持されている。

通風翼としては強力かつ高性能のラジアルファンを採用し、十分な冷却風を機内に循環させる。

界磁線輪は、あらかじめ成形された銅帯をみぞにそう入しながら組立てたもので、強く圧縮されたマイカを主体とするB種絶縁が施され、高速回転による強大な遠心力および熱膨張による応力に十分耐えるように考慮されている。

4.2.4 その他

本発電機は、日立製作所の自励式交流発電機の記録品である。回転励磁機がなく、かつたて形空気冷却器を採用しているため架台の構造が簡単となり、据付けや保守点検が容易である。

ロータは二個のペDESTAL式軸受によって支持され、軸電流はメタルリング部に取り付けられた絶縁板によって絶縁されている。

スリップリングの冷却は別個に設けたアキシヤルファンによって行なわれ、冷却系統は本体のそれから独立している。軸受潤滑油がスリップリング表面に付着しないよう、また刷子粉が機内に蓄積しないような冷却系統を採用している(図14)。また刷子粉は通風路出口に設けられたフィルタによって、機外に排出しないようになっている。

軸受およびスリップリングは鋼板製の美しいカバーでおおわれている。

本発電機が据付けられる場所は、アンモニアガス、亜硫酸ガス、硫化水素ガスなどの汚染ガスがかなりの濃度で存在する。これらのガスによる腐食から発電機を保護するために、固定子鉄心、固

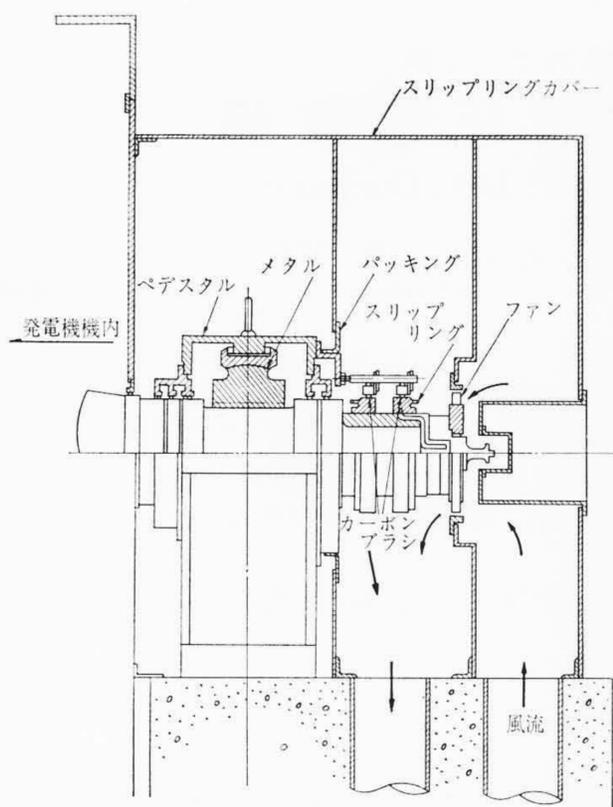


図 14 スリップリングの冷却系統図

定子ならびに回転子線輪，固定子わくには，日立防食塗料“ヒタフランワニス”（フルフリルアルコール樹脂）を塗布してある。

4.3 静止励磁装置および自励方式

本静止励磁装置は日立製作所の記録品であり

- (1) 整流素子にシリコン整流器を使用したこと
- (2) 無停電方式を採用して，整流素子の一部が事故などで使用不能となっても連続運転ができるよう十分な余裕をもっていること
- (3) 磁気増幅器形 AVR を組み合わせているので，電圧の整定精度が高いこと
- (4) 自動力率調整装置を持っていること

表 3 自励式タービン発電機製作実績

納 入 先	容 量 (kVA)	電 圧 (V)	回 転 数 (rpm)
丸善石油株式会社松山製油所	4,750	3,300	3,600
帝国人絹株式会社松山工場	13,150	3,300	3,600
住友金属工業株式会社小倉製油所	8,200	3,300	3,600
王子製紙工業株式会社春日井工場	19,412	11,000	3,600
興亜石油株式会社麻里布工場	6,250	3,300	3,600
ブリヂストン株式会社東京工場	6,250	3,300	3,000

などの特長をもっている

自励方式は，信頼度が高いこと，保守点検が容易であること，性能が優秀であることなどの特長をもっているため，産業用タービン発電機に数多く採用されている。日立製作所で製作したおもな自励式タービン発電機は表 3 に示すとおりである。

5. 結 言

本発電所は産業用火力の最新鋭プラントとして，計画に着手してから 14 个月で試運転に入り性能試験も好成績で完了したものである。出力，プロセス蒸気条件および系統，蒸気使用量，大気放出運転，プラント形式，配置特に電気設備と機械設備の調和，コンパクト化などに慎重な考慮が払われており，産業用自家発電設備の代表的プラントであると信ずる。

本プラントの計画および建設に当たり，終始ご指導賜わった岡田常務をはじめ，関係者のかたがたに対し衷心より感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 成田，逢沢，松森，渋谷：日立評論 46, 1257 (昭 39-8)
- (2) 中崎，青木：日立評論 43, 243 (昭 36-2)
- (3) 中崎，青木：日立評論 41, 745 (昭 34-6)
- (4) 鈴木，植西，橋本：日立評論 42, 941 (昭 35-9)
- (5) 堀内，二宮：日立評論 43, 736 (昭 36-6)
- (6) 逢沢：日立評論 14, 12 (昭 40-5)
- (7) 樗木：火力発電 Vol. 14, No. 12 (昭 38-12)

Vol. 27

日立造船技報

No. 1

目 次

- ディーゼル機関における原油生だきの研究
- 9% Ni 鋼の溶接性ならびに加工性
- 半組立形クランク軸の繰返しねじり疲れ強さ
- 低 Ni-Cr-V 系 70 kg/mm<sup>2</sup> 高張力鋼の熱処理による内部摩擦および機械的性質の変化

- シルミンの組織と機械的性質
- 超大形船の進水台構造
- 九州地方建設局鶴田ダム主放水ゲートの振動および空気量の測定

………本誌に関する照会は下記に願います………

日立造船株式会社技術研究所  
大阪市此花区桜島北之町 60