

信越石油化学工業株式会社直江津火力発電所納

# 160 t/h ボイラおよび 25,000 kW 抽気復水タービン

160 t/h Boiler and 25,000 kW Extraction Condensing Turbine for Naoetsu Thermal Power Station, Shinetsu Petrochemical Co. Ltd.

久山 泰三\*  
Taizō Hisayama

逢沢 喜子人\*\*  
Kineto Aizawa

久保田 道雄\*\*\*  
Michio Kubota

## 内 容 梗 概

信越化学工業株式会社直江津火力発電所納 25,000 kW 発電設備は昭和 37 年 11 月末官庁試験を無事終了し、その後行なわれた性能テストでボイラ、タービンともに計画値を上回る成績を取め現在信越石油化学株式会社に移管され好調に営業運転中である。本発電所は電力およびプロセス蒸気を得るためのもので、ボイラは天然ガスおよび分解ガス混焼で自立形ではわが国最大容量である。タービンは抽気復水式で出力、使用蒸気圧力の高温高压である点日立製作所の記録品である。本稿はボイラおよびタービンの構造、性能などにつきその概要を述べたものである。

## 1. 緒 言

産業界の急速な発展に伴いエネルギー需要の急増はめざましいものがあり、自家用火力発電所として電力およびプロセス蒸気の発生を目的とした熱経済上きわめて有効な背圧タービン、抽気復水タービンなどの採用が盛んに行なわれているが、今回直江津火力発電所に採用された抽気復水タービンプラントは主蒸気圧力 88 kg/cm<sup>2</sup>g、出力 25,000 kW、プロセス抽気量 50 t/h と画期的なものである。ボイラは蒸発量 160 t/h で天然ガスおよびプロセスより発生する分解ガスを各専焼および混焼のできるものである。据付高さが低く、コンパクトで運転保守の容易な自立形が採用されている。

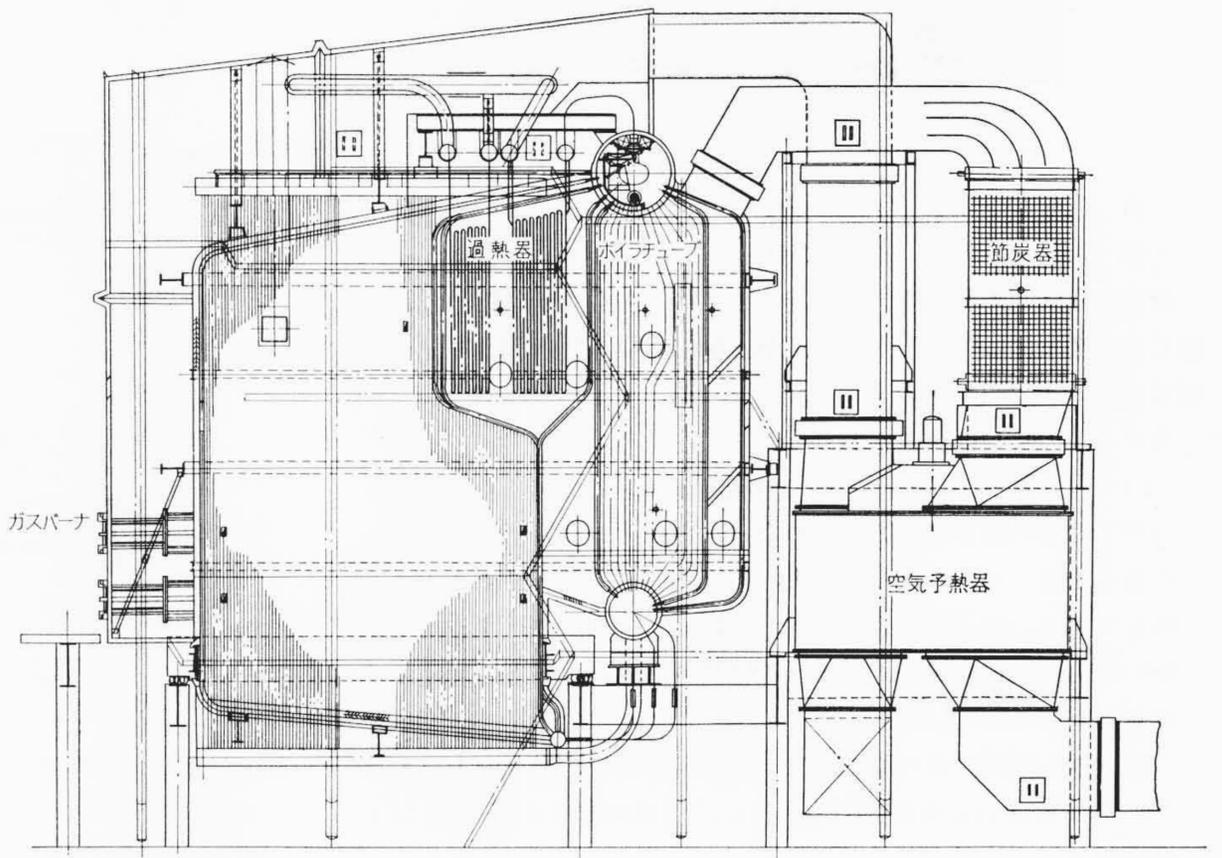
本発電所はボイラ、タービン、発電機などの主機はもちろんのこと、復水および給水加熱設備、計装設備、ポンプ、コンプレッサ、天井クレーン、電気品などほとんどすべての機器が日立製作所にて製作納入されたもので、本プラントの基本計画より建設工事に至るまで一貫して日立製作所がとりまとめたものである。

昭和 38 年 1 月末に行なわれた性能テストではボイラ効率は 93% の保証値に対して 93.69%、タービン蒸気消費量も保証値に対し 1.8% 少なくきわめて優秀な成績を取めた。

## 2. 160 t/h B & W 二胴放射形ボイラ

### 2.1 計画概要および特長

ボイラ出力の大容量化に伴い、ボイラ据付高さは高くなるとの先入観が持たれやすい。しかしボイラ据付高さは容量には無関係であって次の諸因子によって決定される。燃料の燃焼速度、灰分の性質燃焼装置特にバーナの特長、伝熱面の配置、缶水循環などの諸因子の総合と立地条件などにより決定されるものである。本ボイラのように天然ガスまたは分解ガスを燃料とする場合は燃料自身の燃焼速度は早く、かつ灰分もないので、燃焼装置の適正な計画によりボイラ据付高さの低い自立形ボイラとすることが最適である。



第1図 160 t/h ボイラ横断面

自立形ボイラは運転保守の容易性に加うるに経済性の面から最近多く採用されており、諸外国においても 300 t/h 級まで開発されている現況で今回の 160 t/h ボイラはわが国最大のものである。

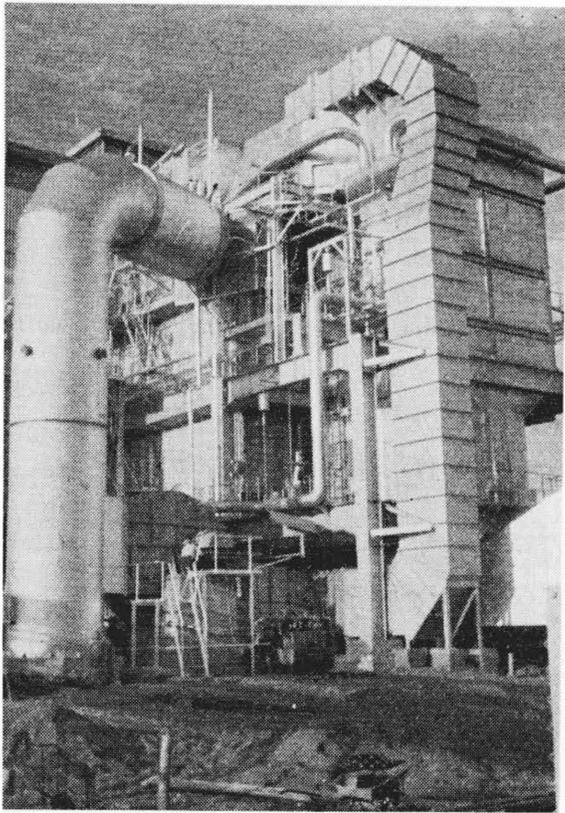
本ボイラの計画要目は次のとおりである。

ボイラ数量	1 缶
形式	B & W 二胴放射自立形(屋外式)
蒸発量	最大連続負荷 160 t/h 常用負荷 150 t/h
蒸気圧力	最高使用圧力 103 kg/cm <sup>2</sup> g 常用圧力 92 kg/cm <sup>2</sup> g
蒸気温度(過熱器出口)	485°C
蒸気温度調整範囲	128 t/h 以上一定
給水温度(節炭器入口)	230°C
外気温度	20°C
燃焼方式	加圧燃焼方式、天然ガスおよび分解ガス各専焼および混焼
効 率(低位発熱量基準)	93%(天然ガス専焼 150 t/h時)
使用燃料発熱量 (kcal/Nm <sup>3</sup> )	天然ガス 分解ガス

\* バブコック日立株式会社技術部

\*\* 日立製作所日立工場

\*\*\* 日立製作所本社



第 2 図 ボ イ ラ 外 観

高 位 基 準 9,694 3,512  
 低 位 基 準 8,741 3,146

設置場所は新潟県直江津市の海岸であるが街前を除き屋外式を採用した。第 1 図にボイラ横断面、第 2 図に空気予熱器側より見た外観写真を示す。

本ボイラの特長は次のとおりである。

- (1) 自立形ボイラであるので運転保守が容易である。すなわちつり下げ形の高さの 1/2 以下の据付高さにすることにより、運転に最も重要である燃焼監視と水面監視を運転床面からできるようにしてある。汽水胴高さが 12m で運転員に高さに対する不安感をいだかせない。屋外式ボイラでは高さは低いこととの要望に合致したものである。
- (2) 加圧燃焼方式の採用により効率を 0.5% 以上向上せしめた。同時に誘引通風機動力消費なく、通風機動力は約 20% 以上節約できた。
- (3) スキンケーシング構造の採用。
- (4) 火炉とボイラを一体としたインテグラル形で、ボイラ全体の外表面積は最小限にしてあるので、これからの放熱損失は極限された。
- (5) 2 種類の燃料を同一火口燃焼とし、それらを前面配置とすることにより理想的な一面燃焼操作としてある。
- (6) ボイラ自動制御は全面的に電子式が採用されている。

2.2 自立形ボイラ

ボイラ支持方法はつり下げ方式と自立方式（下部支持）の二種類に大別される。後者は前者に比べ支持鉄骨が非常に軽減される、すなわちボイラは門形鉄骨の頂部架構に全重量をつり下げ、周囲の鉄骨とボイラが連結される。この場合地震の影響により支持鉄骨とボイラは一体となって振動するので、ボイラが損傷されるか否かは、支持鉄骨とボイラの剛性と強度との相対関係によるといわれている。通常ボイラわくの設計はボイラを適当な高さで輪切りにし、その重量に設計震度を乗したものをすべて、周囲の鉄骨に加えるとしている。この際ボイラの剛性を鉄骨に比べて低く、強度を高くする。したがって、ボイラ周囲の鉄骨の剛性は十分高く、ボイラの損傷を少なくするよう考慮される。

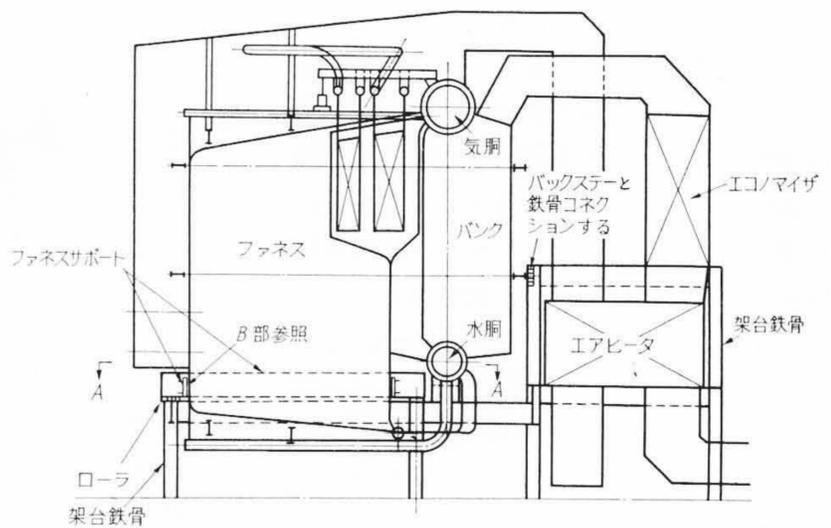
これに対し自立形ボイラでは、ボイラと周囲鉄骨との間の剛性と強度に関する相対関係は異なり、高さにおけるそれはボイラ自身の

第 1 表 伝 熱 面 積 比 較 表

	自 立 形 (m <sup>2</sup> )	つり下げ形 (m <sup>2</sup> )
ボ イ ラ	1,342	1,196
火 炉	570	665
過 熱 器	923	1,160
節 炭 器	368	449
空 気 予 熱 器	6,900	6,900
合 計	10,103	10,370

第 2 表 重 量 比 比 較

	自 立 形 (%)	つり下げ形 (%)
ボ イ ラ	100	94
火 炉	100	163
過 熱 器	100	108
節 炭 器	100	118
ケ ー シ ン グ	100	175
支 持 鉄 骨 (てすりおよびはしご)	100	351
煙 風 道	100	115
保 温 材	100	142



第 3 図 自 立 形 ボ イ ラ の 支 持 構 造

みで処理できるので、支持鉄骨は材料面で非常に節約できる。

両方式のボイラの伝熱面積および重量を比率で示せば第 1 表および第 2 表のとおりである。同一出力のボイラにおける比較で伝熱面積合計では約 3% の差であるが、重量比では約 60% の差がある。これは自立形がマルチパスボイラを、つり下げ形がシングルパスボイラを採用したために、表に見るように火炉とケーシングに大きな重量差が生じたためである。

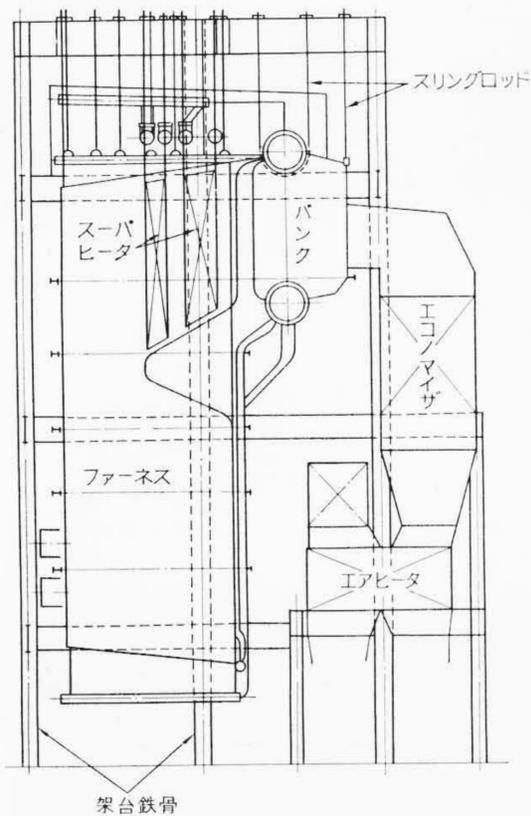
両者の支持構造の概略を第 3、4 図に示す。

両者の比較でさらに注目すべきことはケーシング重量差からも明らかのように、ボイラ表面積が自立形は非常に小さく、つり下げ形の 60% 前後にできる。したがってもしボイラ外表平均温度を両者同一とするならば、放射熱損失は表面積に比例する差を生ずる。この差を本ボイラに適用すれば年間 8,000 時間運転として、常用負荷換算で 20 時間分の燃料節約がなされる勘定になる。

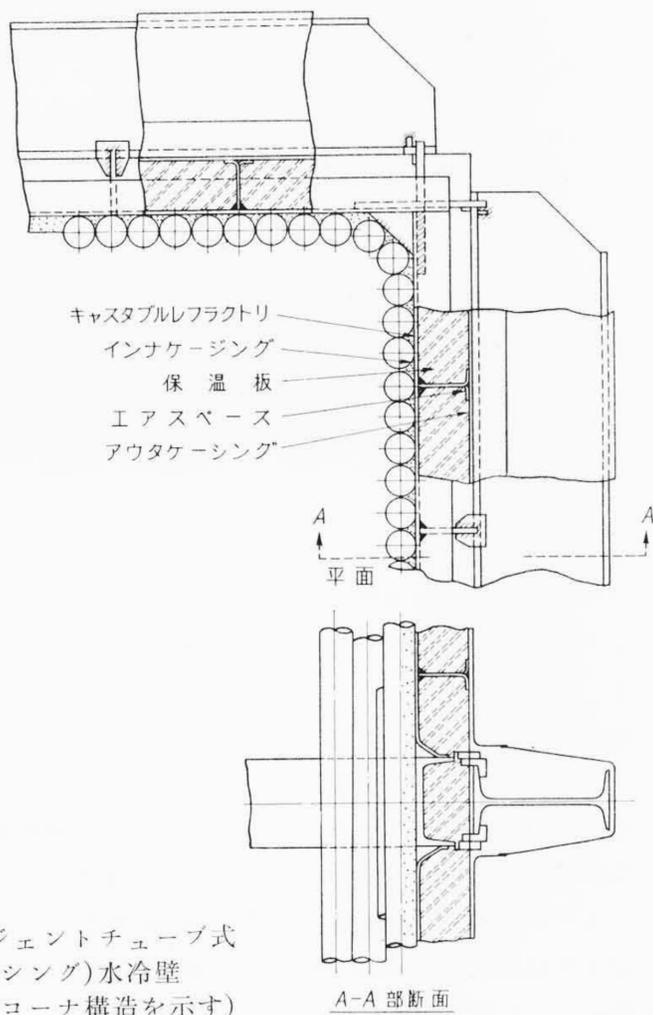
2.3 各 部 構 造

2.3.1 火 炉 の 基 本 的 考 え 方

火炉の目的は完全燃焼と定燃焼の確保とともに、火炉出口温度が炉幅方向および高さ方向いずれにおいてもできるだけ均一化され、過熱器にはいるガス温度に局部的な高温部のないことである。このため火炉は十分の奥行きをとるとともに後壁はノーズバップルを形成する。燃焼ガスはこのノーズバップルによって押しもどされるゆえ燃焼部における高温熱源は確保され燃焼速度は促進される。さらにノーズバップルの適正角度の選定により火炉出口燃焼ガスはかくはん混合されて温度が均一となるとともに、火炉に



第4図 つり下げ形ボイラの支持構造



第5図 タンジェントチューブ式 (スキンケーシング) 水冷壁 (コーナ構造を示す)

燃焼ガスを充満させるように作用し、火炉における放射伝熱を完全ならしめる。

またバーナは火炉幅全体に配置されるので火炉幅方向の熱負荷分布も一様化され、前述ノーズバッフルの働きと相まって火炉出口におけるガス温度分布は完全に一様化される。

低負荷における燃焼安定確保のため炉底火炉壁管は耐火れんがにておわれ、耐火れんがよりの再放射熱の有効利用および火炉温度の不当な低下を防止する。

### 2.3.2 火炉の構造

ボイラの高圧高温大容量化に伴い、完全水冷壁構造が採用されるが、この場合火炉壁管と耐火材保温材との熱膨張による伸縮差ならびに各壁相互間の全体の伸縮差をいかに吸収し、気密性を完

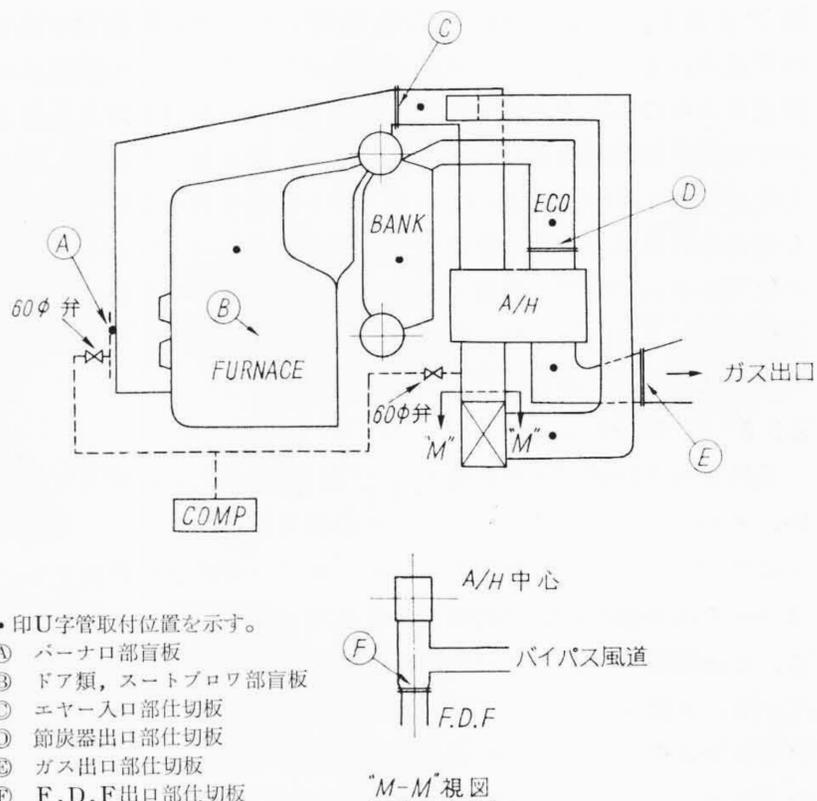
全にするかが問題となる。すなわち火炉壁管と耐火材との相互しゅう動により耐火、保温材間の気密性、特に隅(すみ)部レールが非常に困難となる。この解決のため火炉壁管と耐火、保温材を一体構造とする B & W 特許の構造を採用し、相互の伸縮差を一部に集中することなく、また相互にしゅう動することのない構造とし、支持点を基準に同一方向に自由に伸縮させ、垂直水平ともに熱応力の発生なく、従来シール困難とされた隅部シールも不要で、過剰空気または燃焼ガスの漏えいは極限された。しかし加圧燃焼が行なわれるボイラではさらに点検孔、マンホール、煤吹器取付部など開孔部の気密性に注意を要するのでこれらをスキンケーシングでおおい、そのケーシングを全溶接構造とした。

過熱器管が火炉天井部を貫通する部分は過熱温度の上昇に伴い、天井炉管との温度差による相互間の移動量も大きく気密の完全は期しがたいが、過熱器全体を内部ケーシングに納める形式を採ればこの問題は解決される。したがってこの部分は過熱器を囲ったケーシングとボイラ自身のケーシングとの二重ケーシングでおおわれることになる。その他の前述開孔部は火炉管に直接または間接に取り付けられ、開孔部とスキンケーシングは適正な膨張継手を介し溶接される。スキンケーシング相互は山形膨張継手の頂部を溶接することにより取り付けられる。これらの溶接はすべて気密溶接であることを要するので、スキンケーシングの取り付け完了時第6図の要領図のように、ボイラ部分と煙風道部に区別して気密試験が実施される。本ボイラの場合運転中の炉内圧は 200 mm 水柱前後となるので、これよりはるかに高い 500 mm 水柱の風圧試験を圧縮空気を吹き込み規定時間保持し、漏えい部の点検補修ならびに圧力保持試験を行なった。

### 2.3.3 過熱器

過熱器はつり下げ形で、熱膨張による伸縮を自由に許す構造とし、その配列を一次過熱器はガス流に対し対向流、二次過熱器は管壁温度を低く保つためガス流に対し、並向流とし熱応力発生を防止している。蒸気温度調整のための注水式アテンペレータを一次過熱器と二次過熱器の間に配置し、温度調整の迅速正確を期するとともに二次過熱器保護に万全を期した。

この過熱器の特長とするところは過熱管の前後方向の間隔が狭く 12.7 mm としたことである。通常ガス流方向の管ピッチを狭くすることは接触伝熱が十分に行なわれないので伝熱面積は増大



- 印U字管取付位置を示す。
- ① バーナ口部盲板
- ② ドア類、スートブロウ部盲板
- ③ エアー入口部仕切板
- ④ 節炭器出口部仕切板
- ⑤ ガス出口部仕切板
- ⑥ F.D.F出口部仕切板

第6図 気密試験要領図

し不経済な設計とされているが、放射伝熱が総合伝熱に占める割合が大きい場合は必ずしも不経済にならない。本設計においては接触伝熱と放射伝熱の合理的な組み合わせにより広範囲にわたり安定した過熱器出口蒸気温度を得るため、接触伝熱形過熱器の配置でありながら、管間隔を前後方向間隔 63.5 mm に対し幅方向間隔を 129 mm および 86 mm とした。

このような管間隔を選定した目的の他の一つはデスタンスピースの保護である。管間隔は 12.7 mm なのでデスタンスピースは十分に短くできるのでその吸収した熱は完全に過熱器管を通して蒸気に伝えられ、ピース金属温度は十分低く保持される。したがってこれが焼損事故は防止され、過熱器管列は常に正確に保持されるので長期間にわたり過熱性能が確保され、補修費が節約される。

### 2.3.4 ボイラバンク

汽水胴は称呼寸法径 1,370 mm、水胴は 914 mm で水管径は 63.5 mm のものをドラムへの拡管部において 50.8 mm にスエジした。その目的は管板厚を薄くしその内外面温度差を最小限とし熱応力を局限するとともに起動時の問題を少なくするためである。さらに伝熱面を十分大きくしボイラ効率向上を図った。汽水胴内にはもちろん B & W 特許のサイクロン式蒸気分離装置を内蔵する。その優秀性は 200 g/cm<sup>2</sup>g 級までのあらゆるボイラに採用され実証されているので特に説明を要しない。

二胴式ボイラで水管群の配置には微粉炭燃焼ボイラなどで飛散灰による浸食に対する配慮から適用されるシングルパス形と重油、ガス燃焼ボイラに適用されるマルチパス形とがある。後者は伝熱面に対するガス流を直交流にする場合と並行流にする場合、さらに両方式の組み合わせ形とする場合など種々の方法がある。

本ボイラのようにボイラバンクの一部が降水管を兼用する場合には、蒸発管群は直交流、降水管群は並行流とする方法がボイラ設計上最も好ましい。自然循環ボイラで最も大切な循環系統の明確化の目的に合致しているからである。

### 2.3.5 熱回収装置

連続ループ式鋼管形エコノマイザと再生式空気予熱器をボイラ後方に上下に配置し、据付面積を最小限とした。

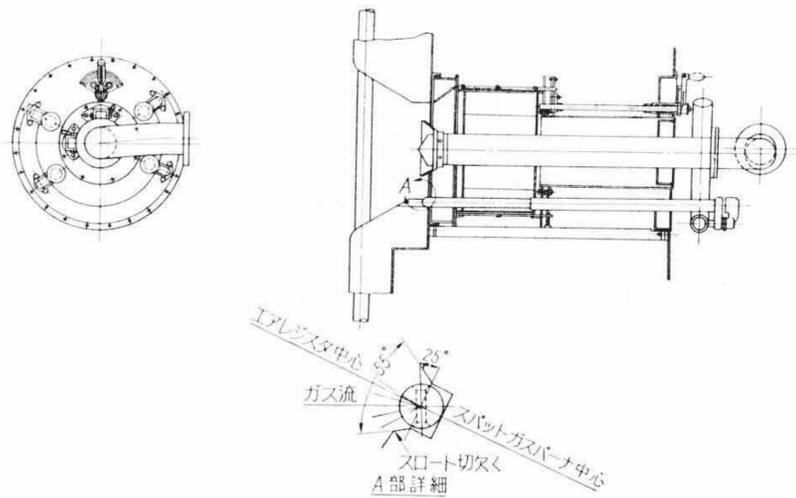
加圧燃焼であるため完全気密を期することはもちろんであるが、空気予熱器ロータ軸にはシール空気を吹き込んでいる。

燃料は水素分が多くしたがって煙道ガス中の水分は重量基準で約 10% 含まれ、低負荷時および起動時に伝熱面に凝結水の発生が考慮されるので、バイパス風道を設けた。さらにこの凝結水は煙道ガス中の CO<sub>2</sub> ガスにより酸性になりゆるい腐食も考えられるので空気予熱器低温部はバスケット形とし取り替え容易とした。したがってある時期においてエレメントの取り替えを要することも考えられるが、腐食の防止をするためには 1~1.5% ボイラ効率の低下をまねくので、経済比較検討結果エレメント交換で高効率運転を行なうこととした。約半年の運転後点検したところ低温部の腐食はきわめて小さいことがわかった。

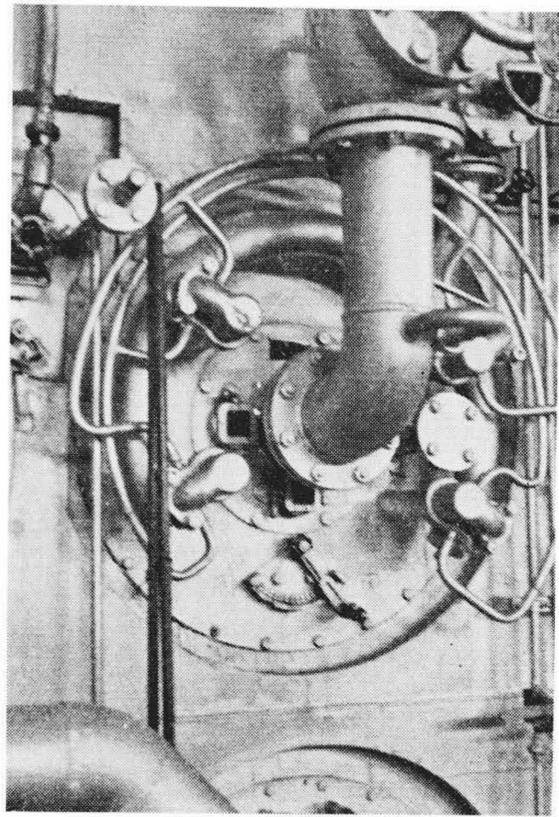
### 2.3.6 ガスバーナ

天然ガスと分解ガスの専焼および混焼いずれも可能とするため、スパットバーナとセンタバーナの組み合わせとした。天然ガスはスパットバーナに分解ガスはセンタバーナにより燃焼する。本バーナは多数の小口径噴孔による高圧ガス噴射方式で、天然ガス、石油精製ガス、プロパンガスなど高発熱量のガス燃焼に適している。天然ガスはリング状のマニホールにはいり、これに結合した 4 本のエレメントにより炉内に噴射する。分解ガスは直接センタエレメントにより炉内に噴射する。

スパットバーナは第 7 図に示すようにスロート切欠部に各エレ



第7図 スパットバーナとセンタバーナの組み合わせ



第8図 バ ー ナ 外 観

メントを配置しガス噴孔は火炉内に開くとともに、一部はエレメント軸に直角に噴射し空気との混合、かくはんが完全に行なわれる。分解ガス用センタバーナはスパットと同様二方向噴射で同一効果が期待され完全燃焼が行なわれる。

スパットバーナは運転中でも交換可能であり、この取替時には写真に見える細管によりアスピレーティング用圧縮空気を吹き込み炉内ガスまたは高温空気の噴出を防止する。

本バーナの使用圧力範囲が 5,000 mm 水柱から最低 700 mm 水柱までは自動制御により運転が可能である。手動制御を行なう場合はさらに低いガス圧力においても燃焼が可能である。また時期によりバーナは 1/2 MCR 以下 1/7 MCR まで運転される場合があるので低負荷用バーナを準備してこの要望にこたえている。したがって自動制御も側路弁を調整弁として利用できるように配置されている。

### 2.3.7 自動制御装置

本ボイラの自動制御および保安装置の特色は次のとおりである。

(イ) 二種のガス燃料を任意の比率で混焼できるとともにプロセスで余剰となる分解ガスを蒸気負荷に関係なくできるだけ有効に使用し、天然ガスのみで制御することも可能である。特に分解ガスの熱量比が大きくなったときは天然ガスをみの制御が低負荷まで行なえるように系統を考慮している。

(ロ) ガス爆発に対して十分な対策が考慮されている。

(ハ) ACC に関しては日立製作所製の全電子式が採用されている(日立評論第 45 巻 3 号参照)。

### 2.4 試験結果

昭和 38 年 1 月末日に行なった天然ガス専焼時の経済負荷における性能テストの結果は下記のとおりで保証効率を上回っている。

項目	単位	計画値	試験結果
蒸発量	t/h	140	142.8
蒸気圧力(過熱器出口)	kg/cm <sup>2</sup> g	92	92.3
蒸気温度(過熱器出口)	℃	485	484
給水温度(節炭器入口)	℃	230	237.8
空気温度	℃	20	1.6
燃料消費量	Nm <sup>3</sup> /HR	9,710	9,501.5
燃料発熱量(低位基準)	kcal/Nm <sup>3</sup>	8,741	9,067
ボイラ効率(低位発熱量基準)	%	93.0	93.69
ガス温度			
ボイラ出口	℃	423	386
節炭器出口	℃	350	307
空気予熱器出口	℃	107	92
空気予熱器出口空気温度	℃	307	242

外気温度が低い時期の試験結果であるので計画値との相異はあるが、蒸気圧力、蒸気温度およびボイラ効率は計画値とよく合致しており満足できる数値が得られた。

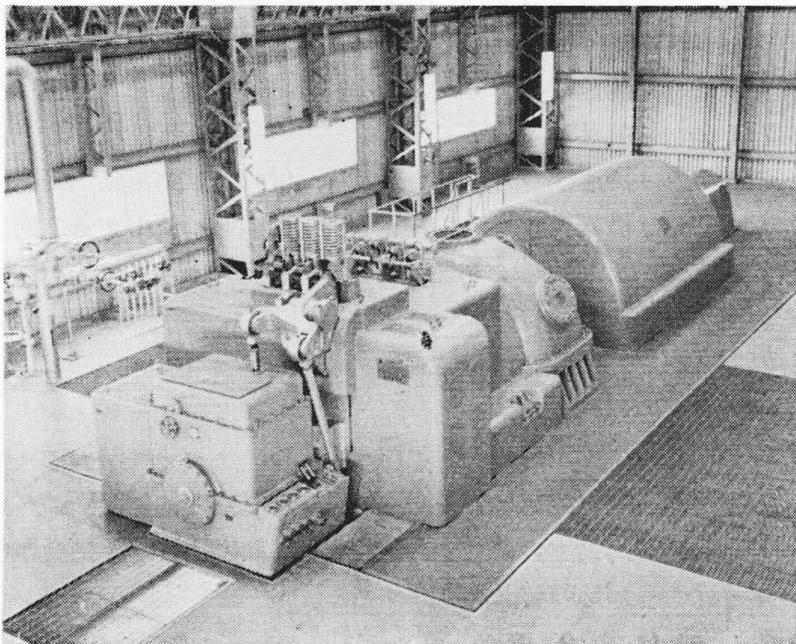
その後現在に至るまで好調に運転されていることは適切な運転保守と正しかった設計製作を立証していると見てよいであろう。

## 3. 25,000 kW 抽気復水タービン

### 3.1 計画概要と特長

抽気復水タービンは、その使用目的が自家電力の確保と工場使用蒸気の発生にあるため、その計画において、回転数(電気負荷)と抽気圧力(抽気量)を制御の対照としている。したがって一般の復水タービンに比較して制御機構が複雑である。一方本機は抽気復水形として高温高压大容量の記録品であることを念頭に次の諸点に重点を置き計画設計した。

- (1) 高温高压部である蒸気室を別体铸造とし、タービン車室と溶接し一体構造とした。
- (2) タービンロータの高温高压部は車盤を車軸と一体削り出しとし低温低压部は車盤を車軸に焼きばめする構造とした。
- (3) 車室水平継手の締付ボルト。
- (4) 車室とロータとの伸び差。
- (5) 車室とロータとの同心保持。



第 9 図 25,000 kW 抽気復水タービン

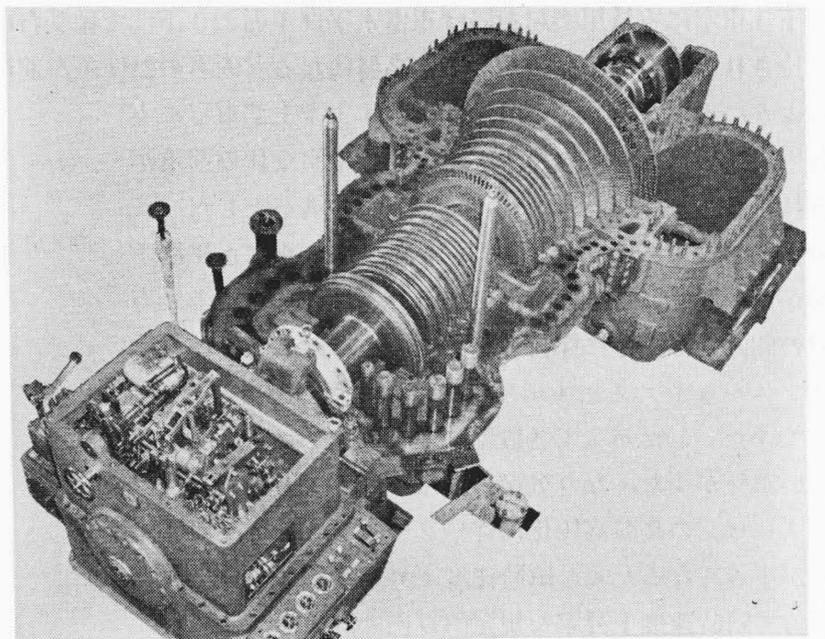
(6) タービンロータの慣性率。

本機では蒸気室を第 11 図に示すようにタービン車室と別体铸造とし、しかる後溶接により車室と一体構造とした。この構造を採用した利点としては

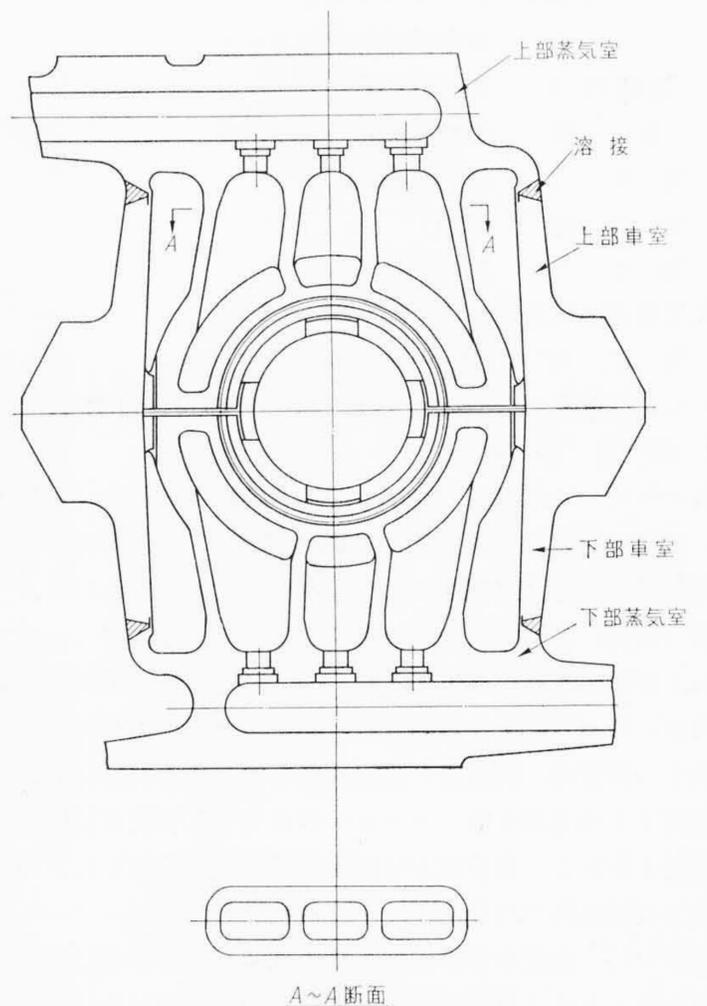
- (1) 別体铸造により欠陥のない充実した铸物を得ることができる。
- (2) 蒸気室に欠陥のある場合でも非破壊検査がきわめて容易なので完全補修ができる。
- (3) 蒸気室と車室とを作用蒸気温度、圧力に適した材料にすることができるので価格の低減を図ることができる。

をあげることができる。構造上、タービンの起動、停止時最も高い熱応力を発生するのがこの蒸気室であることより、この構造の採用は大きな技術的進歩である。

タービンロータは厳密なる検討と設計により高温高压部は車盤を車軸と一体削り出しとし、低温低压部は車盤を別体に製作し焼きばめ式とした。すなわち低温部になると飽和蒸気となり湿度を増すの



第 10 図 工場試運転後タービン解放時のタービン



第 11 図 蒸気室と車室の別体铸造溶接構造図

で耐浸食性の高い、しかも使用温度において強度的に強い材料で車盤を製作し、車軸に焼きばめることにより耐浸食および耐強度的に強い構造とした。一方本構造の採用により価格の低減もでき一石二鳥の効果がある。

車室水平継手締付ボルトにはタービン車室内の蒸気圧による作用力、水平継手フランジと締付ボルトとの温度差による作用力および車室の変形による作用力などが作用する。これらの作用力に対しボルトに適正なる締付力が必要である。ボルトの材質および大きさの決定にあたっては実際運転時における弛緩応力を考慮し、長年の使用に対し十分なる設計としているので、水平継手面よりの蒸気漏れまたはボルトの折損などはまったくないと考えてよい。なおボルト中心をできる限り車室内壁に近づけることによりボルトと車室フランジとの温度差を小さくするよう考慮した。

タービン車室の前部は軸受台で、後部は低圧車室自体が基礎に固定される構造である。軸受台に乗る車室より突起している足は、車室内を流れる高温蒸気の伝熱により軸受台の温度の2~4倍に達する。一般の比較的低温の低いタービンでは両者の温度差が小さいので下部車室に支持用突起を設け車室水平継手面より下部で軸受台に支持される構造で十分であるが、高温になると両者の温度差が前述

のように大となるので第12図に示すよう上部車室に支持用足を設け、軸受台の水平継手面で車室全体の荷重が支持されるセンタラインサポート方式の構造とした。この構造の採用によりロータ回転軸の中心と車室水平継手面が常に同心になるので、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、ダイヤフラムおよびラビリンスパッキングとロータとの間げきを小さくすることができた。したがって各段落間およびグランドよりの漏えい蒸気が少なくなり効率の向上を図ることができた。

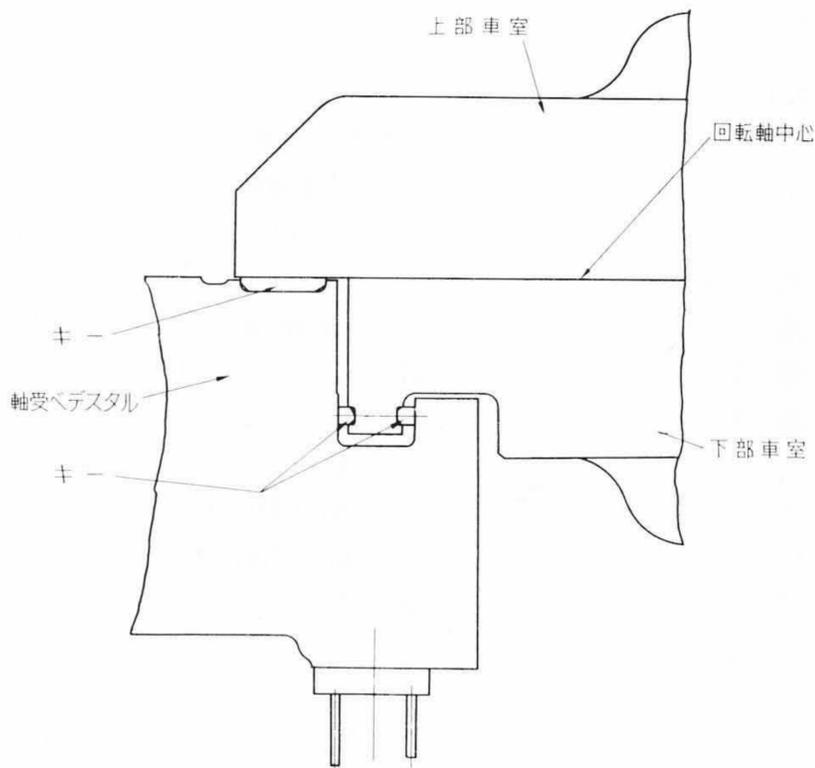
タービンの高温高圧化に伴いタービンロータの慣性性能率が小さくなるため、瞬時速度上昇率が增加する。したがって瞬時速度上昇率を規定値以内に収めるために特に応答性のすぐれた調速機を使用した。

タービンの仕様は次のとおりである。

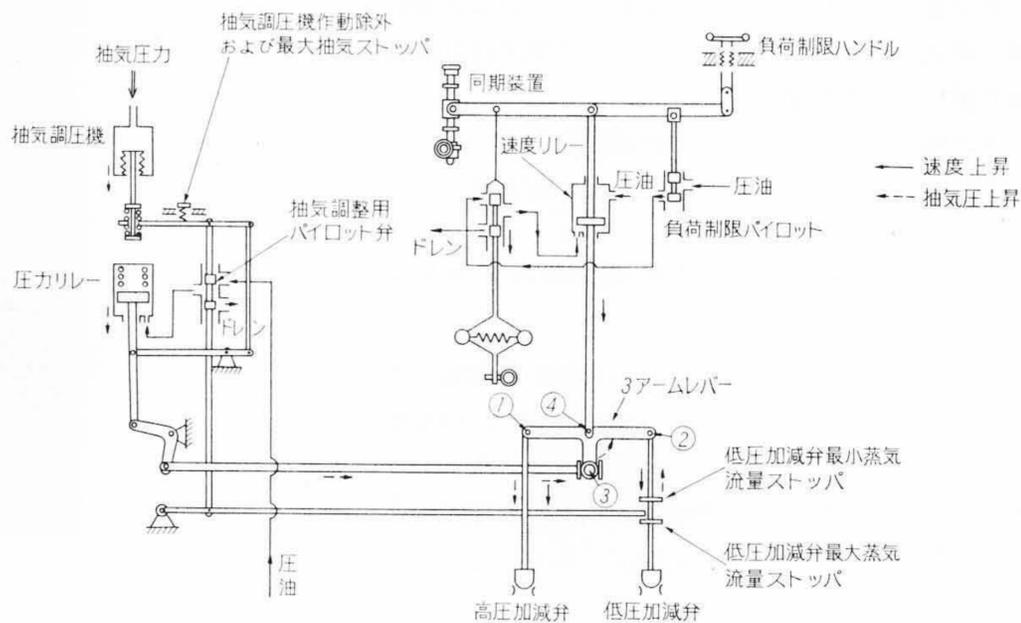
形 式	衝動式抽気復水タービン
最大連続出力	25,000 kW
回 転 数	3,000 rpm
蒸 気 圧 力	88 kg/cm <sup>2</sup> g
蒸 気 温 度	482°C
抽 気 圧 力	10 kg/cm <sup>2</sup> g
最大工場用抽気蒸気量	55 t/h
排 気 圧 力	722 mmHg
タービン段落数	抽気前9段、抽気後10段、計19段

### 3.2 調整装置

復水タービンでは制御すべきものは負荷のみであるが抽気復水タービンでは負荷および抽気量を制御するため制御機構が複雑となる。制御系統図を第13図に示す。制御の対象となるのはタービン回転数(負荷)と抽気圧力(抽気量)であり、制御量として主蒸気流量および排気流量が高圧加減弁(主蒸気加減弁)と低圧加減弁(抽気加減弁)の両方により制御され目的を達する。制御装置には速度を制御する調速機、調速機の設定速度を調節する同期装置、抽気圧力を制御する抽気調圧機、タービンの出力をある値に制限する負荷制限機などがある。調速機および抽気調圧機で検出したタービン回転数および抽気圧力の変化を油圧機構を介してスリーアームと称する一連のレバー装置の動作に変え高圧加減弁および低圧加減弁の開度を変えることにより負荷および抽気量の制御を行なう構造となっている。



第12図 センタラインサポート



第13図 抽気復水タービン制御系統図

#### 3.2.1 調 速 機

調速機は回転パイロット式の構造で、パイロット弁は遠心錘とともに回転するため摩擦はきわめて小さくすぐれた感度を有する。抽気復水タービンは同一容量の復水タービンに比較して主蒸気量が多く、負荷遮断時タービン内に残留する蒸気のエネルギーは復水タービンの2倍くらいになる。したがってタービンの回転数を最高速度上昇率の範囲内に押さえるため特に感度のよい速応性のすぐれた調速機を使用している。

#### 3.2.2 同 期 装 置

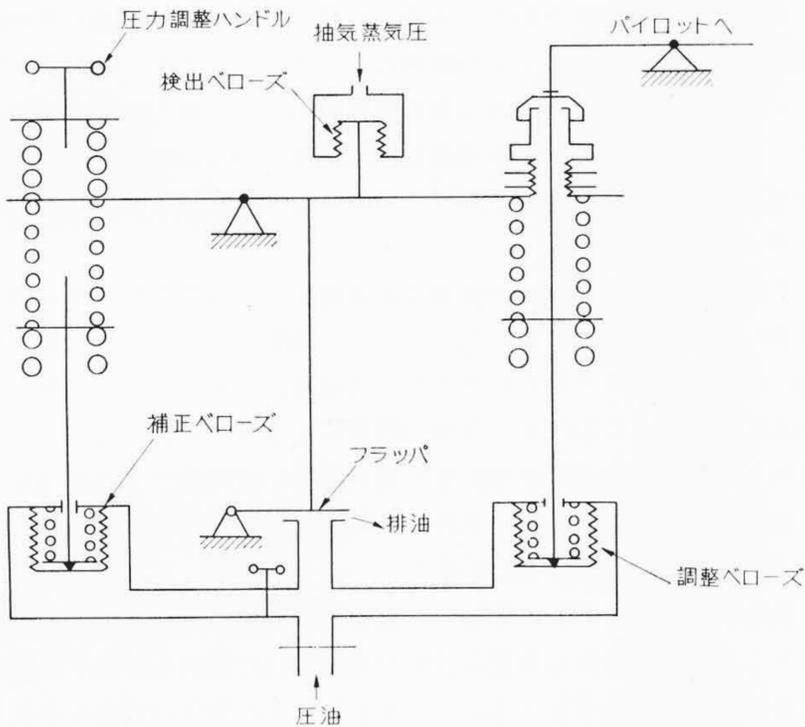
同期装置は調速機の設定点を調節し、併列前の調速抽気圧調整運転あるいは併列後の運転における負荷の調節に使用する。同期装置の位置が上限または下限に達するとリミットスイッチが作動し標示する。

#### 3.2.3 起 動 お よ び 負 荷 制 限 装 置

タービンの起動および停止の際タービン速度をタービン調速機の作動回転数まで制御し、いったん調速機による速度制御に移行するとその後は負荷制限装置として働き抽気量とは無関係にタービンの負荷を起動ハンドルによる設定値に制限する。手動操作ハンドルはタービンの前面に設けてある。

#### 3.2.4 抽 気 調 圧 機

抽気調圧機はタービンが供給するプロセス蒸気抽気管内の圧力



第 14 図 抽気圧力調整機構図

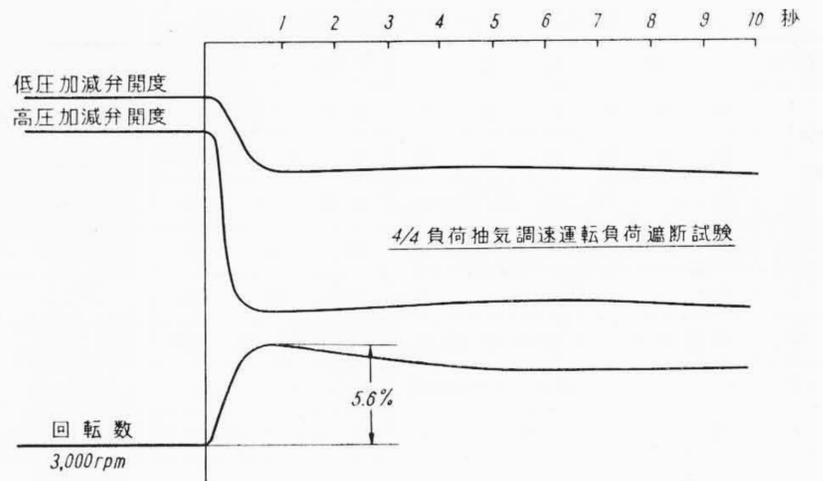
の変動を検出して圧力リレーを制御し後述のスリーアーム機構を介して高圧、低圧両サーボモータによって高圧加減弁および低圧加減弁の開度を変えて抽気圧力が一定になるようにタービン流入蒸気量を調節する装置である。第 14 図にその機構を示す。抽気圧力の変化は検出ベローズのたわみ量に変換される。検出ベローズの下方にフラップが設けてあり検出ベローズの変化はレバーを介してフラップの開度を調節する。

この結果フラップ前の油圧が大きく変化し、これに通じている操作棒の下部にある調整ベローズが伸び縮みする。そして操作棒が上下に動きこの操作棒に連結してあるレバー機構を介して抽気調節用パイロット弁を動作させる。検出ベローズの微小な伸び縮みをフラップによる大きな増幅機構により操作棒を動かす構造としたのは、この連結棒に連なる各レバー、リンクなどの連結部分間げきを除くため操作棒の動きを大きくするためである。

### 3.2.5 スリーアーム装置

スリーアーム装置は第 13 図に示すように抽気調圧機よりの信号によって動かされる圧力リレー、調速機の動きによって変化する速度リレーとこれらが連結される T 字形のスリーアームレバーより構成される。スリーアームレバーの水平部分の一端①および他端②はおのおのレバー機構、サーボモータを介して高圧加減弁ならびに低圧加減弁に、第 3 の腕③は圧力リレーに連結され速度リレー上に固定された支点④の回りを回転する。プロセス蒸気量が変化すると抽気調圧機はその変化を圧力の変化として検出し圧力リレーを介してスリーアームレバーの③にその動きを伝える。その結果スリーアームレバーは④の支点位置は変わらずに傾斜のみ変わり高圧加減弁と低圧加減弁は互いに反対方向に動く。たとえば抽気量の増大に対しては高圧加減弁を開くとともに低圧加減弁を閉じ、また抽気量の減少においては高圧加減弁を閉じるとともに低圧加減弁を開く方向に動作する。一方抽気量が変化せずに負荷のみが変化する場合は調速機が働き速度リレーを動かしてスリーアームの傾斜は変わらずにその支点④の高さのみが変わる。負荷が増大したときには調速機は回転数の低下を検出し速度リレーのリフトを上昇させるので、高圧加減弁および低圧加減弁は同一方向ともに開く方向に作動する。負荷の減少のときは上記とまったく反対の動作をする。スリーアーム機構中には下記のストップを設け安全な運転ができるようにした。

(イ) 低圧加減弁最大開度



第 15 図 ガバナーテスト記録

- (ロ) 低圧加減弁最小開度 (一時的にストップする)
- (ハ) 高圧加減弁開度 0 の位置 (一時的にストップする)
- (ニ) 最大抽気量に相当する高圧および低圧加減弁の開度差の位置
- (ホ) スリーアーム作動除外用

回転数の上昇によりスピードリレーが下がると高低圧加減弁は両方とも閉方向に動き、低圧加減弁側が抽気点以降の段落の温度上昇を防ぐための冷却蒸気に必要な最小開度点(ロ)に達しいったん停止し、以後はそれまでよりはやく速度で高圧加減弁を閉じ、高圧加減弁が全閉の位置で(ハ)のストップが働き、以後はロット中のバネを圧縮しつつ高圧および低圧加減弁が同時に閉方向に移動し、低圧加減弁は全閉する。すなわち高圧側が全閉するまでは低圧加減弁は最小開度を保持すると同時に高圧加減弁の閉塞時間を小さくし、瞬時速度上昇率を最小に押さえる働きをする。

負荷が増大すればスピードリレーは上昇し、高圧および低圧加減弁を同時に開くがスリーアームが(イ)に達すると、圧力リレーを動作させ、低圧加減弁開度をその位置に固定し、さらにスピードリレーが上昇すれば高圧加減弁のみが開く。

工場使用蒸気量の変化に対しスリーアームは回転運動をするが、圧力リレーのピストンとパイロットバルブの関係位置を(ニ)により制限してこの回転量を押さえることができる。

### 3.2.6 現地におけるガバナーテストの結果

第 15 図にガバナーテストの記録を示す。

### 3.3 保安装置、監視装置、潤滑油装置

本タービンに装置した危急停止項目および警報項目は第 3 表および第 4 表に示すとおりである。

タービン監視計器の配置、潤滑油装置、タービン非常停止の系統については日立評論 44 (昭和 37-12) に紹介された王子製紙株式会社納 16,500 kW 抽気背圧タービンを参照されたい。

## 4. 結 言

本火力発電所の計画に当たっては信越石油化学工業株式会社と協

第 3 表 タービン危急停止項目一覧表

番号	項目	動作	形式
1	手動トリップ	トリップレバーを手で動かすことにより油圧トリップ	機械式
2	過速度	正規速度の 109~111% で油圧トリップ	機械式
3	軸受油圧低下	油圧 0.4 kg/cm <sup>2</sup> g でソレノイドトリップ	電気式
4	スラスト摩耗	スラストメタル約 0.8mm 摩耗してソレノイドトリップ	機械電気式
5	真空低下	真空約 500 mmHg に下がって主塞止弁トリップ	機械油圧式
6	発電機事故	保護継電器動作してソレノイドトリップ	電気式

第4表 タービン警報項目一覧表

番号	項 目	検 出	差 動 値
1	軸 受 油 圧 低 下	圧カスイッチ	0.55 kg/cm <sup>2</sup> g
2	軸 受 排 油 高 温	サーチコイル	75℃
3	油 タ ン ク 油 面 高 低	水銀スイッチ	±50mm
4	偏 心 大	偏 心 計	
5	振 動 大	振 動 計	
6	車室とロータの伸び差大	伸 び 差 計	ロータ伸び大 ロータ伸び小
7	ターニングギヤ油ポンプの過負荷	モータリレー	
8	真 空 低 下	リミットスイッチ	約 600 mmHg

力してプロセス余剰分解ガスの有効利用と自家用電力とプロセス蒸気の確保のため約1年間にわたり各種のプラント形式、容量、主蒸気条件などにつき経済比較を行ない最終決定されたものであり、その建設に当たっては日立製作所が全機器の設計、製作を担当し総合メーカーとしての特色を十分に発揮したものであり、今後の自家用火力発電所の計画と建設について一つの方向を示したものといつてよいであろう。

本プラントのボイラ損失を考慮した熱効率は約56%（高位発熱量基準）で抽気復水タービンの経済性を示すものである。また背圧タービンと異なりプロセス蒸気量の変動に関係なく電力量の加減ができしかも大容量機の計画が容易な抽気復水タービンの用途は電力需要の増大と買電価格の値上がりの傾向により今後ますます多くなるものと考えられる。

日本における天然ガスの分布は北海道中央の石狩平野をはじめ、青森、秋田、新潟、富山、石川、福井、島根などの日本海沿岸、仙台、勿来、千葉よりさらに九州有明湾沿岸、宮崎平野など広範囲にわたっており、これはまた今後の開発によりさらに広がるものと考へられる。一方各種化学工業の発展に伴い可燃性ガスの発生も多くなる傾向にあり、本ボイラのような高効率大容量ガス焚自立形ボイラの完成は意義深いものがある。

最後に天然ガスおよび分解ガスによる抽気復水式自家用火力発電所として画期的な大容量発電設備を建設された信越石油化学工業株式会社に敬意を表すとともに、われわれにその製作の機会を与えられたことに対し感謝の意を表する次第である。

訂 正

本誌第45巻6号掲載論文「自動エレベータとその高層ビルへの応用」38頁の第7図大形ビルのサービス階床(a)図を下図のごとく訂正いたします。

