

出 光 興 産 株 式 会 社 納

## 徳山製油所用海水ポンプ駆動用 1,450 HP タービン

1,450 HP Turbine for Brine Pump Drive Delivered to the Tokuyama Oil Refinery, Idemitsu Industrial Co.

加 藤 正 敏\* 柴 田 祐 作\*  
Masatoshi Katō Yūsaku Shibata

## 内 容 梗 概

出光興産株式会社徳山製油所海水ポンプ駆動 1,450 HP タービンが完成し、工場における蒸気消費量試験ならびに現地すえ付後の試運転にきわめて好成績を収めた。このタービンはメカニカルドライブ用として日立製作所にて開発せられたいわゆる日立小形汎用タービンに属するもので、今後のこの種用途に対する標準設計となるもので本機の完成はまことに意義深いものがある。本機の特長は小形、軽量、高性能にして取扱い容易な点にあり、その用途も広範にわたるため今後の発展が期待されている。

## 1. 緒 言

日立製作所においてはさきにメカニカルドライブ用蒸気タービンとして画期的性能を有する日立小形汎用タービンの設計を完了し、その試作研究を進めてきたが、このたび、冷却海水ポンプ駆動用として 1,450 HP タービンを出光興産株式会社徳山製油所に 2 台納入し、諸種の厳重な試験にきわめて好成績にて合格し、その技術的成果が高く評価せられたので、ここにその概要を紹介せんとするものである。本機の設計製作に当っては最近の新鋭火力用蒸気タービンで発達した高度の技術が取り入れられたことはもちろんであるが、さらにメカニカルドライブ用として要求せられる取扱い上の問題も十分考慮されており、今後この種のタービンの標準となるものである。その蒸気消費量試験においては保証値をはるかに上回る高い効率を示し、経済的にもきわめてすぐれたものであることを立証した。

なお本タービンにより駆動するポンプの仕様は 5,700 m<sup>3</sup>/h×51 m×475 rpm であって両吸込形ボリュートポンプとしては馬力の点で国内の記録品である。

## 2. 計 画 要 目

日立小形汎用タービンは各部の構造が完全に標準化されていることがその特長の一つとして上げられる。形式は大別すれば単段形および多段形となり、その適用範囲および標準仕様は次のとおりである。

|         |                            |
|---------|----------------------------|
| 容 量     | 50~1,500 HP                |
| タービン回転数 | 1,000~8,000 rpm            |
| 蒸 気 圧 力 | 60 kg/cm <sup>2</sup> g 以下 |
| 蒸 気 温 度 | 440°C 以下                   |
| 排 気 圧 力 | 5 kg/cm <sup>2</sup> g 以下  |

今回、納入せられたものはポンプ駆動用なるため一段

\* 日立製作所日立工場

減速装置付とし、次のような要目が選定せられた。

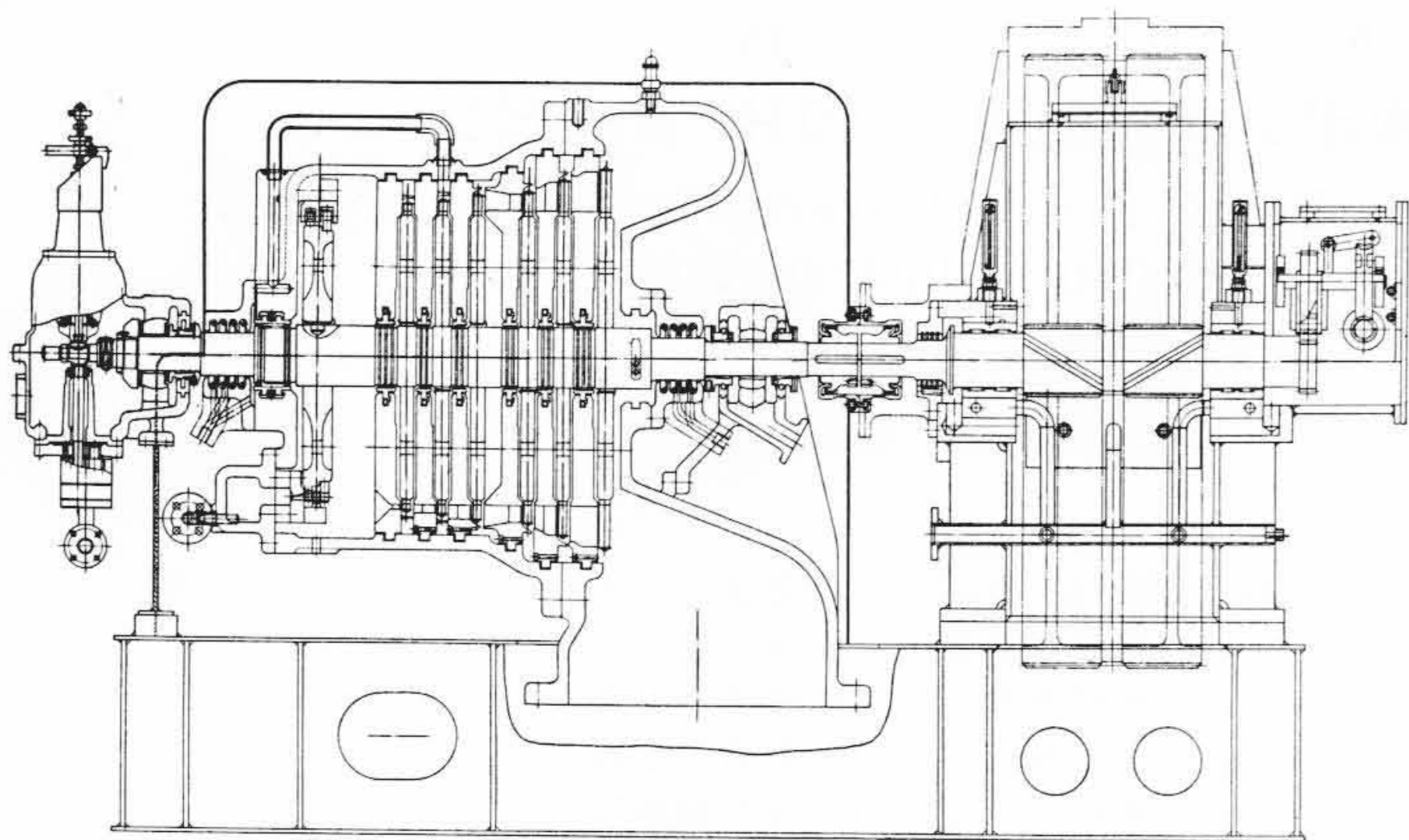
|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| 形 式         | 減速装置付復水タービン             |
| 定 格 出 力     | 1,450 HP                |
| 回 転 数       | 4,246/475 rpm           |
| 蒸 気 圧 力     | 42 kg/cm <sup>2</sup> g |
| 蒸 気 温 度     | 300°C                   |
| 排 気 圧 力     | 710 mmHg                |
| 蒸 気 消 費 量   | 4.7 kg/HPh              |
| 速 度 調 整 範 囲 | 定格速度の+5, -15%           |
| 非 常 速 度     | 定格速度の 115±1%            |

タービンは小形高性能を計画の眼目としているため高速回転としカーチス 1 段にラトロー 6 段を付加し、いわゆる小直径多段式の構造とした。ポンプ側の所要回転数は 475 rpm なるためダブルヘリカル一段減速歯車を介してポンプに結合されている。

本タービンは工場出荷前に完全な組立てが行われ、水動力計を用いて全負荷運転試験を行い、その性能について確認せられたが、蒸気消費量は保証値 4.7 kg/HPh に対して実測値は 1 号機が 4.44 kg/HPh, 2 号機が 4.49 kg/HPh という従来その例を見ない高い効率を示し、関係者一同の賞讃を得たことは特記すべきことであろう。

## 3. タービンの構造

タービンおよび減速歯車は第 1 図に示すように共通ベースの上にすえ付けられ、この共通ベースは潤滑油タンクを兼ねている。製油所におけるポンプ、ファン、ブロワなどのいわゆる補機類は一般の電動機駆動とする代りに蒸気タービン駆動とするものが多いが、その理由として石油精製時発生する廃ガスおよび CO ガスを燃料とした比較的安価な蒸気源が得られること、ならびにスパークによる火災防止が上げられていることは周知のとおりである。したがってタービン各部の構造も火災に対する考慮が十分払われており、潤滑油の外部漏洩の皆無を



第1図 1,450 HP 減速装置付復水タービン断面図

期すことはもちろん、さらに非常調速機のかげがねなど金属の衝撃によってスパーク発生の可能性のある部分には特殊金属を用いてこれを防ぐなど細心の注意が払われている。

タービンロータはたわみ接手を介して減速装置の子歯車に結合せられ、この子歯車の他端にはタービン起動時あるいは暖機時にロータの低速回転を行う自動離脱式電動ターニング装置が設けられている。親歯車はさらにたわみ接手を介してポンプ軸に結合せられるが、この軸の他端にも潤滑油用歯車ポンプが設けられている。共通ベースすなわち潤滑油タンク内には潤滑油系統の万一の事故に際しては自動起動を行う小形蒸気タービン駆動の補助油ポンプを設け、運転取扱いの容易と信頼度の向上を計った。

以下、主要部について構造ならびに材料に関し説明する。

### 3.1 タービン車室

車室は高圧部および排気室よりなり、鋳鋼製の高圧部は負荷変動および急速起動時における熱応力を減ずるため可及的にその形状を単純化し、排気室には排気損失が最小となる構造を採用した。高圧部車室は鋳造後 X-ray, Magna-Flux,  $^{60}\text{Co}$  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熔接補修を行っている。高圧部車室下部には蒸気室が取り付けられているが、この蒸気室には手動の過負荷弁が設けられており、ボイラの蒸気圧力温度が異常低下した場合にあっても規定の定格出力が得られるようにしてある。

車室のグランド部にはラビリンスパッキングおよびカーボンパッキングを設け蒸気の漏洩を防いでいる。高圧部は硬度の低い鉛入ニッケル真鍮製のラビリンスパッキングと、カーボンパッキングを併用し、低圧側はカーボンパッキングを用いている。このラビリンスパッキング

は4個のセグメントに分れ、各セグメントは裏側より2個の圧縮バネによっておさえているため、万一ロータと接触することがあってもセグメントは軽く逃げロータに強い摩擦熱を生ずることはない。カーボンパッキングについても同様に外周より伸張バネでおさえられている。

車室と軸受箱とはフランジで接続され、さらに前側軸受箱は特殊なI字形たわみ支持板で支持されているため車室の熱膨脹はその中心性を狂わせることなく、自由に前側にのがすことが可能となっている。

### 3.2 翼およびロータ

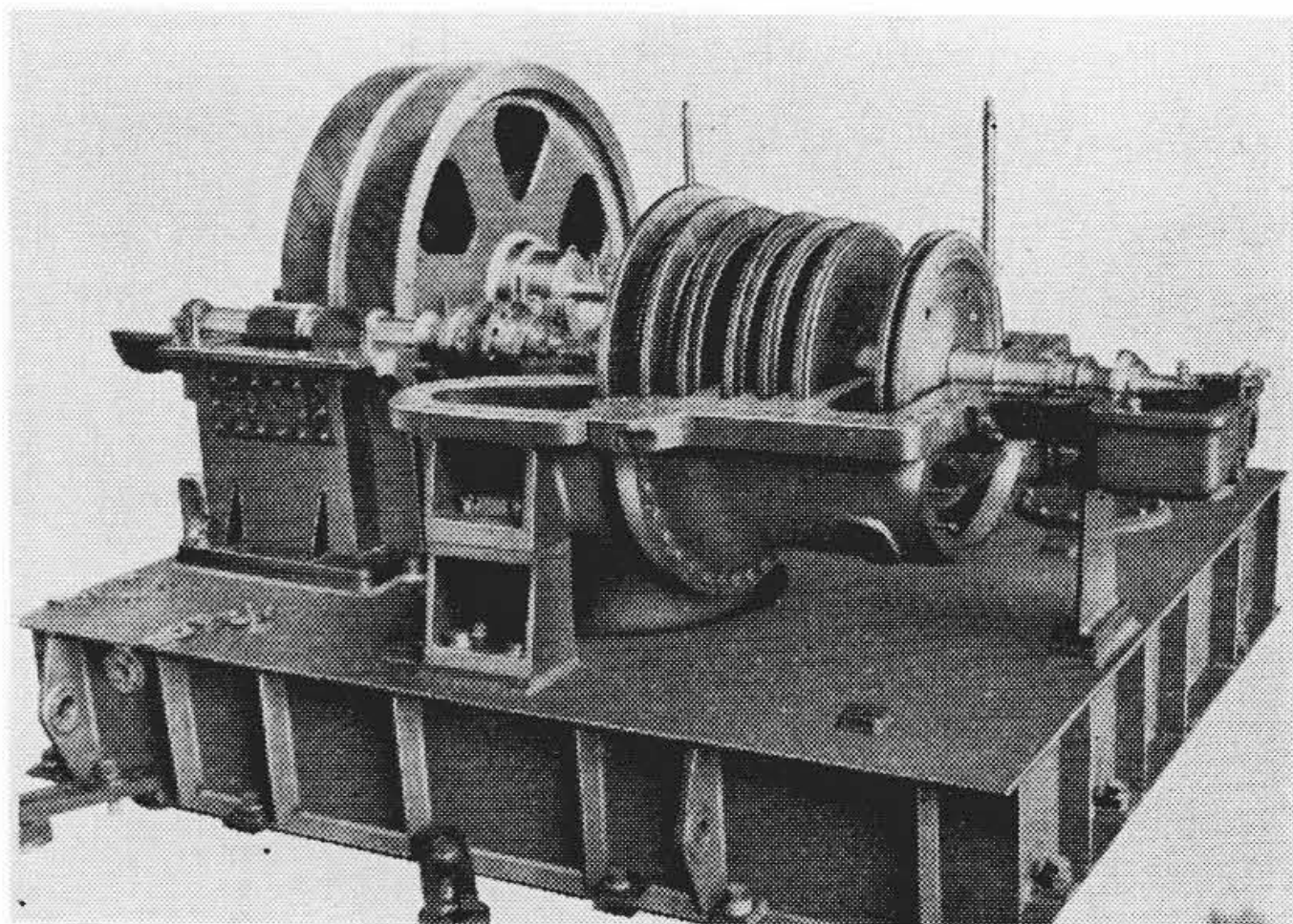
タービン翼はすべて流体力学的に最も効率の良い Profile を選定しており 13%Cr 不銹鋼よりけずり出されている。

ロータは別に鍛造後仕上げられた車軸に Ni-Cr-Mo 鍛鋼製の車盤を焼はめる構造であるが車盤の焼はめに際しては特殊のキーを使用して車盤の軸方向位置を正確に決めることができる構造となっている。ロータのカーボンパッキング部にはモネルのメタライジングを施し、該部の侵食を防止している。ロータは工場において静的ならびに動的つり合がとられることはもちろんであるが、現地における微少不つり合に基くわずかな振動を除去するためにフィールドバランス用の特殊ディスクを設けて完全バランスが実施しうる構造となっている。

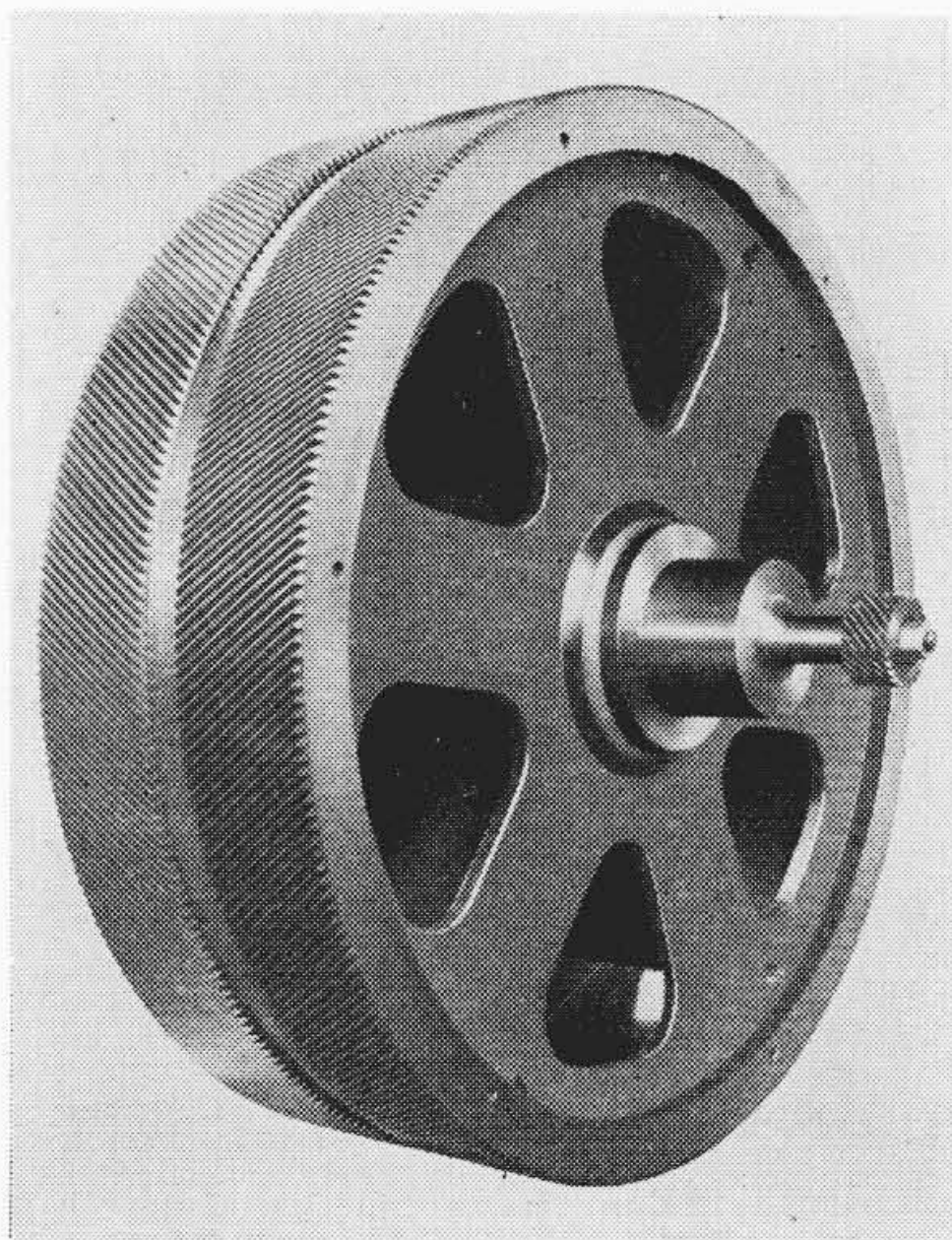
第2図は工場組立中の本機を示している。

### 3.3 噴口および隔板

高圧部は熔接式、低圧部は鋳込構造とし、断面形状はすべて効率の良い negative nozzle とした。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。



第2図 工場組立中の 1,450 HP タービン



第3図 親 歯 車 外 観

### 3.4 軸受および推力軸受

軸受は球面座強制潤滑式でジャーナル部およびスラストカラー部が常に均一に当るようになっている。この軸受は鋳鉄製球面座の内側に鋼板製裏金をはめこんだ構造で、この裏金には高級の錫入りバビットメタルが裏付してある。推力軸受は前側軸受に一体にいだかれる構造となっており、テーパランド形を採用している。この形の推力軸受は構造簡単でしかも受圧能力が高く、かつ軸受損失の少ないきわめて卓越した特性を有するものである。

### 3.5 減速歯車

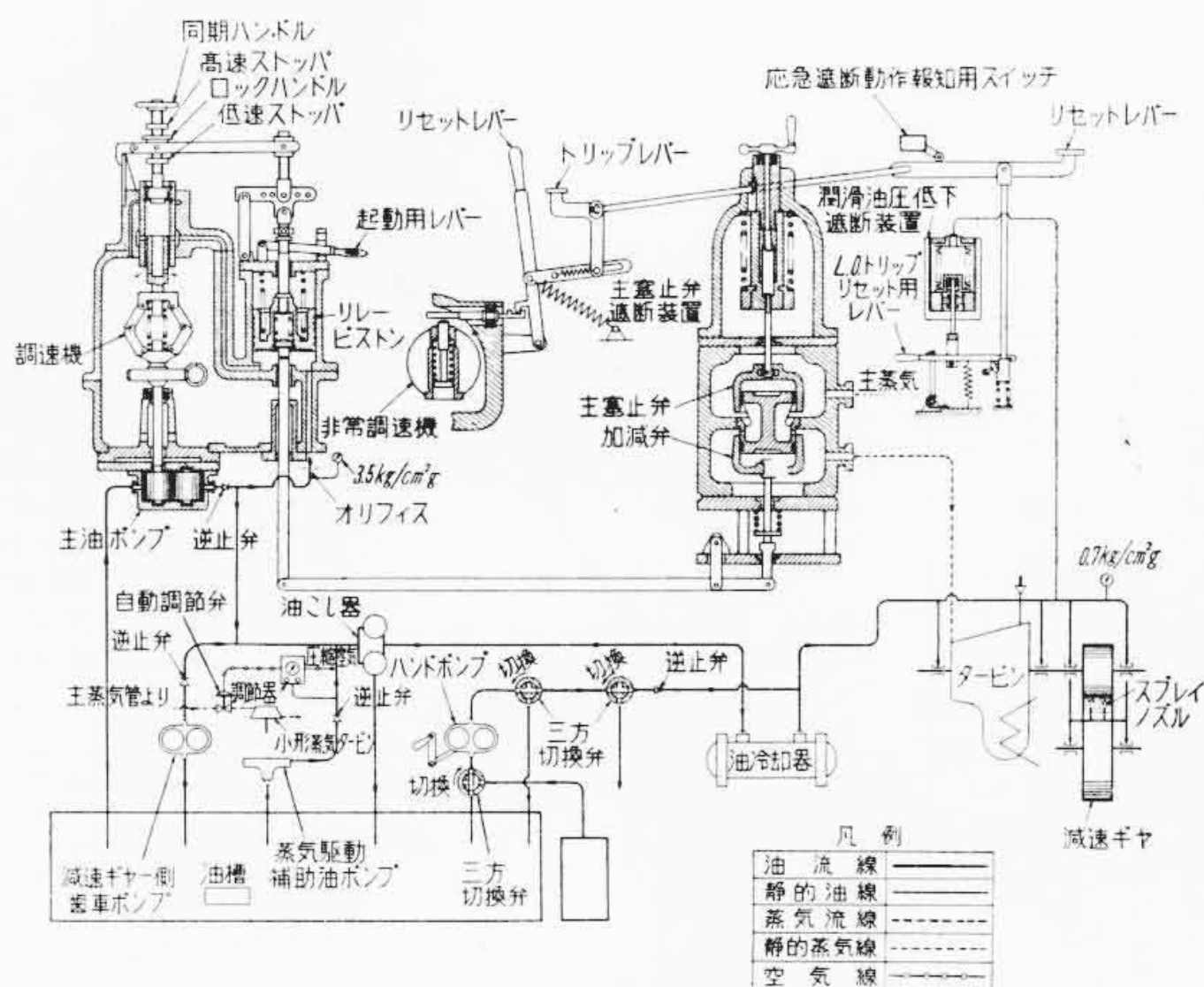
減速歯車はNi-Cr-Mo鍛鋼製の子歯車および鋼板熔接構造の親歯車よりなり、推力をつり合わせ構造を簡単にするためダブルヘリカルとした。減速歯車車室は鋼板熔接構造とし歯切の精度を向上させることにより運転中の騒音を極力減ずるよう細心の注意を払って工作されたものである。第3図は親歯車の外観を示している。

## 4. 調 整 装 置

調整装置系統を第4図に示す。タービン本体と同様、調整装置関係も小形で、信頼性、運転の容易などを考慮した新機構が随所に採用されているが、ここではそのうちでもきわ立った特長を有する調速機および加減弁を中心として紹介する。

### 4.1 系 統

蒸気はタービン車室前端にとりつけた主塞止弁および加減弁を通してタービンを駆動し復水器に至る。主塞止弁と加減弁は共通のケーシングに納められており、加減弁は絞り調速を採用している。加速弁を操作する調速機およびリレーはタービン前側軸受内にあり、調速機はタ



第4図 調 整 装 置 系 統 図

ービン軸からヘリカル歯車で減速して駆動されている。調速機遠心錘はバネとつり合って回転しており、回転数の変動に応じてパイロットにがし弁を上下させる。パイロットにがし弁はリレーに入る圧油のにがし量を調節するもので、回転数の上昇によりにがし量が増せば圧油入口に設けられたオリフィスによってリレーピストンにかかる油圧が低下し、ピストンはバネによって押し下げられる。この動きはレバーリンクを介して加減弁をしめ、速度の上昇をおさえる。

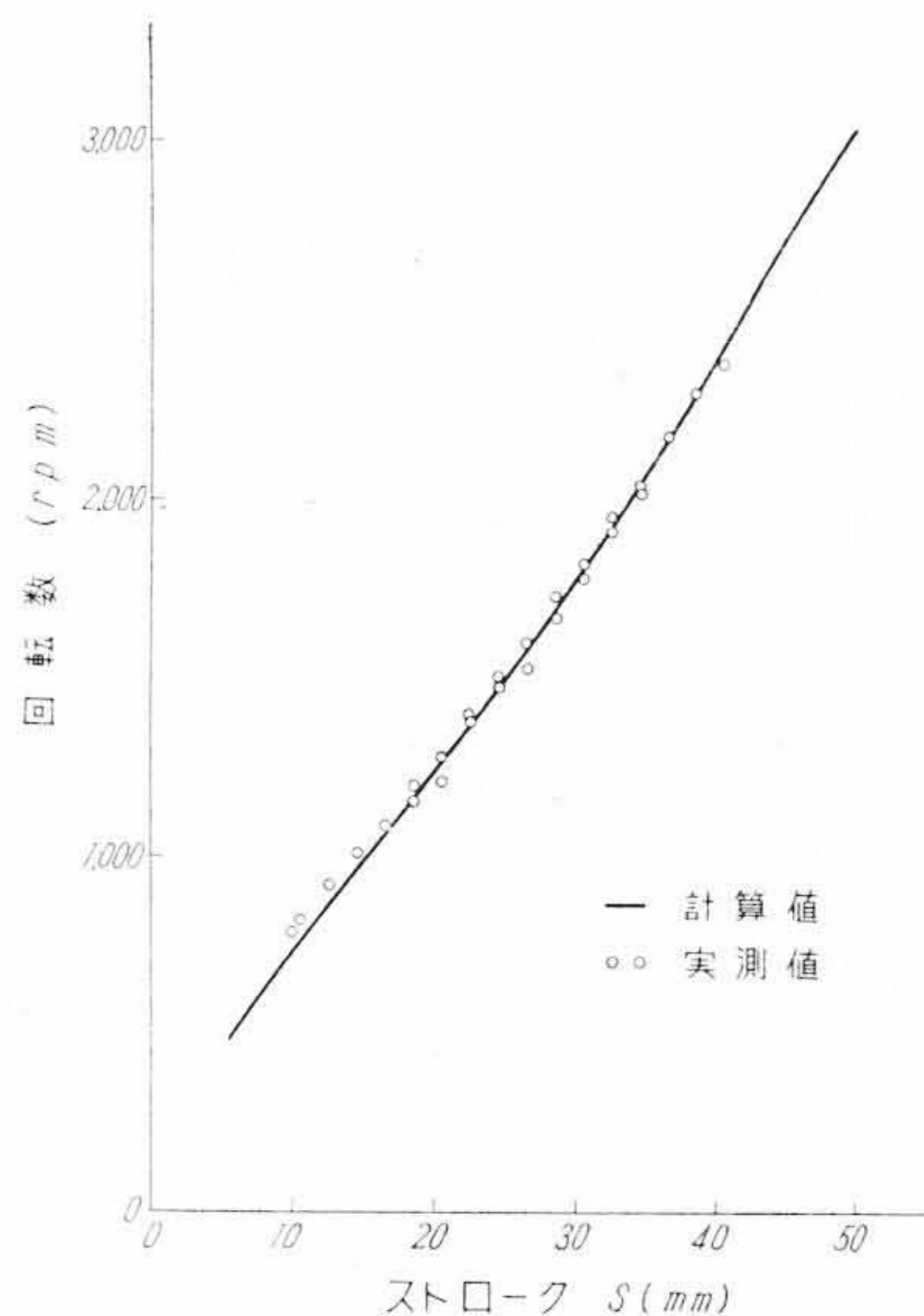
タービンの過速を防止する非常調速機はタービン軸前端、前側軸内に設けてあり、プランジャの遠心力とバネのつり合を利用した周知のものであるが、プランジャには特殊非鉄合金を採用して、作動時衝撃による火花の発生を絶無としている。これは本タービンのように、石油工場に使われる場合は火災予防の見地から特に重要なことである。非常調速機の作動は遮断レバー機構を介して主塞止弁棒を全開位置にささえている掛金はずし、主塞止弁はバネによって遮断される。

軸受油圧低下遮断装置は、第4図に示したように軸受油圧を受けるベローとバネの釣合によって作動する直接式のもので、油圧が低下すれば非常調速機の場合と同様に主塞止弁を遮断する。

ガバナ系統に操作油圧を供給し、軸受に潤滑油を供給する主油ポンプは歯車式でタービン前端に設けてあり、ガバナ駆動用のヘリカル歯車によってガバナと同時に駆動されている。ガバナ油圧は  $3.5 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ 、軸受油圧は  $0.7 \text{ kg/cm}^2\text{g}$  を採用しており、これらの油圧調整は油こし器と一体になった油圧調整弁付油こし器で行っている。潤滑油装置としてはこのほか小形蒸気タービン駆動補助油ポンプ、手動ポンプ、油冷却器などがある。

### 4.2 調 速 機

このタービンに用いられた調速機はDR形ガバナと称



第5図 DR形調速機特性

されており、汎用タービン用ガバナとして広範囲の用途に使用できることを目標に開発されたものである。その特長は非常に広い速度範囲にわたって使用可能で、最大6:1の回転数比に調節可能である。換言すればガバナはたとえば3,000 rpm から500 rpm まで一様な特性をもっている。今回のタービンの運転方法は、ほぼ定回転であり残念ながらこの特性を十分発揮できなかったが、今後速度調節範囲の広いことを要求される場合はその効用を発揮することが期待されている。ここにその特性の一端を紹介したいと思う。

使用速度範囲が広いということは、換言すれば広い速度範囲にわたって調速機の検出特性が直線性を有するということである。速度検出機構としては現在遠心形油圧ポンプの吐出圧および遠心錘とバネのつり合を利用するものが使用されている。遠心形ポンプでは説明するまでもなく吐出圧はほぼ回転数の2乗に比例するから到底広い範囲にわたって直線関係をうることはできない。一方遠心力とバネのつり合を利用したものでは、遠心力は回転数の2乗に比例し回転半径の1乗に比例するという点に根本的な制約があり、バネと組合わせた特性は傾向的には大体

$$S = \frac{K}{\frac{2f}{m} - \omega^2} \dots\dots\dots (1)$$

( $S$ はガバナストローク、 $K$ は定数、 $f$ はバネ定数、 $m$ は遠心錘質量、 $\omega$ は角速度)で表わされ、定性的には2乗曲線(ほう物線)に近い形となり、直線関係とはほど遠いものである。

DR形ガバナは機械的な回転数検出機構を用い、しか

も広い速度範囲に直線性を得ようというもので、第4図からわかるとおり、遠心錘を平行四辺形(パンタグラフ状)に構成し、遠心力に対抗するバネは平行4辺形の対角線上に垂直に設けた構造を採用している。この結果回転数が低く遠心力の変化が小さい間はバネのききが弱いので大きなストロークが得られ、逆に回転数が上って遠心錘が広がってくるとバネのききが強くなってストロークは小さく出る傾向を持つから、総合的には遠心力の増加とバネのききが打消し合って広い範囲にわたる直線特性が得られる。この場合の特性は

$$S = \frac{K}{\frac{2f}{m} + \omega^2} \dots\dots\dots (2)$$

で傾向的に表わされ、式(1)と(2)を比較すれば、特性の差が $\omega^2$ の前の正負の違いによって説明されることがわかる。

実際に検出部を設計するに当っては、使用条件を基として定数を適当に選択する必要があるが、われわれは500~3,000 rpm を目標にして設計した。第5図にガバナ特性の計算値を実線で示し、試験値を付記してあるが、予期どおり良好な特性が得られている。

遠心力をバネに伝達する途中に、本ガバナのように平行四辺形のリンクを入れると、摩擦力によって感度が落ちる恐れがあるが、本ガバナではリンクの支点部に精密小形のニードルベアリングを入れ、しかもパイロット弁は回転形として静摩擦をさけ動摩擦に変えるなど十分考慮が払われており良好な感度が得られた。

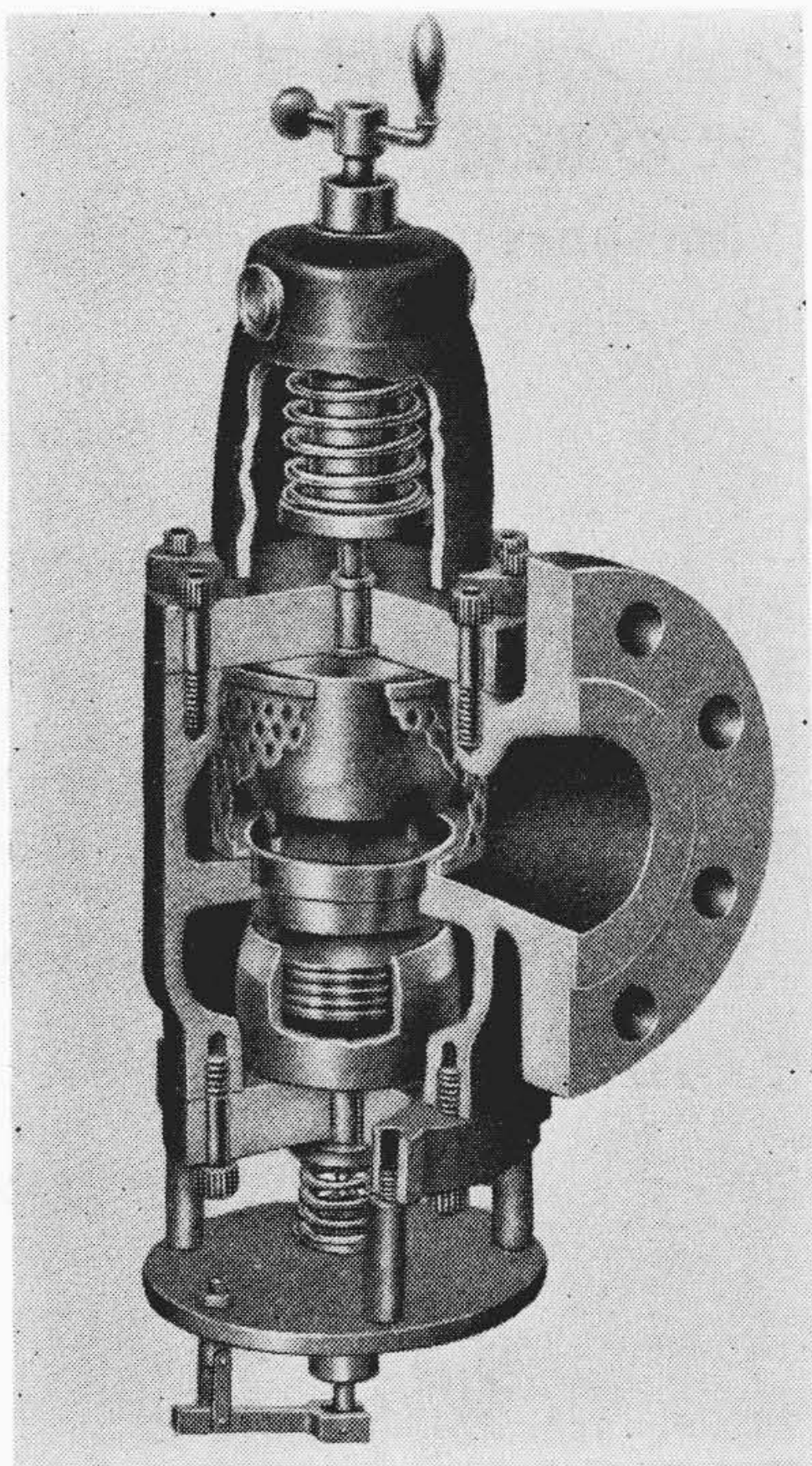
従来の調速機は速度調節範囲は100%の上下 $\pm 10\%$ 程度であったが、上に述べたDR形ガバナの調節範囲は100%から20%までという画期的なものであり、可変速のポンプ、ファン、圧縮機、ブロワ、ストーカ、製紙機械などあらゆる一般機械原動機用として広い用途に威力を発揮することが期待されており、本文に述べた海水ポンプ用に続いてすでに数種のタービン用として製作が行われている。

#### 4.3 主塞止弁および加減弁

加減弁と主塞止弁は一体のケーシングに納められている。その切断図を第6図に示す。このように2個の弁をコンパクトにまとめることによって圧力損失が軽減し、タービン効率の向上が得られた。

蒸気は上部フランジから入りストレーナおよび主塞止弁を通して、下部に置かれた加減弁によって制御されたあとタービンに入る。弁坐は主塞止弁と加減弁用が兼用になっており、また同時に弁のガイドの役も果している。

加減弁は単弁坐バランス形で、帽子状であり、弁坐によってガイドされている。弁の底部にはバランス孔が



第6図 主塞止弁および加減弁

あり、これによって弁の上下の蒸気圧はバランスするので、小さな力で大量の蒸気を精密に制御することができる。弁棒がケーシングを貫通する部分のシールには、軟質のパッキンを使わず、窒化鋼ブッシュのラビリンス効果によってシールしているから、軟質パッキンでしばしば経験するような、固着事故の恐れがなく、また摩擦力によって调速機の感度が鈍る恐れも少ない。

主塞止弁は加減弁の上に位置しており、次の二つの目

的をもっている。

- (a) タービン起動時徐々に蒸気を入れるよう制御する。
- (b) タービン非常停止あるいは通常停止の際、手動あるいは非常调速機、油圧低下遮断装置によって自動的に遮断する。

主塞止弁は加減弁と同様の形状であるが、バランス孔は設けてなく、その代りに子弁を内蔵している。ハンドルを開方向に回せばまず子弁が開き、その結果主弁前後の蒸気圧がバランスするから、非常に軽い力でハンドルを操作することができる。主塞止弁の周囲に不銹鋼板製のストレーナが設けてあり、これは蒸気管を取りはずすことなく上部カバーを外せば簡単に取出して点検することができる。

## 5. 結 言

今回製作された出光興産株式会社徳山製油所用海水ポンプ駆動用 1,450 HP タービンの概要について述べた。本機は最新の技術による日立小形汎用タービンで、その工場試験においては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、蒸気消費量などにおいては予期以上の良い値を示し、顧客より賞讃を得たことは喜びに堪えない。

将来、本機と同一形式のタービンが陸上、船用を問わず各産業界の動力として大いに活用されることが期待される。

終りに本タービンの製作にあたり終始懇切なご指導をいただいた出光興産株式会社の大和取締役殿、筒井技師殿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。

## 日 立 評 論

Vol. 41

No. 12

- ◎東京電力株式会社納品川発電所用 125,000 kW 再熱タービン
- ◎東京電力株式会社納品川発電所用 160,000 kVA タービン発電機
- ◎パルスコラムの抽出性能
- ◎空気遮断器内の高速気流の観測
- ◎Li ガラス電極による PH 特性
- ◎交流巻上機の自動制御
- ◎インデペンデント・ユニットシステムによる SRM 形シャフトマシンについて
- ◎AF 形自動式構内交換機
- ◎日立回転陽極 X 線管ヒッターノードについて

- ◎電子顕微鏡による酸化物陰極表面の観察 (第 1 報)
- ◎300 t ト レ ー ラ
- ◎ポリエチレンの照射と電線への応用
- ◎高電圧ケーブル用絶縁紙の誘電正接に及ぼす Na イオンの影響
- ◎フェニールフォロンによる鉄鋼中のスズの吸光度定量法
- ◎刃物鋼の諸性質に及ぼす P の影響 (第 1 報)

### 技術者ノート

- ◎配電盤の試運転と保守

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 丁目 1 番地 振替口座東京 20018 番