

新 標 準 日 立 小 形 タ ー ビ ン

New Standard of Hitachi Small Size Steam Turbines

標 木 康 夫* 伊 藤 文 夫*
Yasuo Otaki Fumio Itô

内 容 梗 概

小形タービンは主としてポンプ、ファン、ブロワなどを駆動するいわゆるメカニカルドライブに使用されるが、近年産業界の設備拡充に伴ってかなりの需要がある。本論文ではこの小形タービンの需要の分析結果および日立製作所の標準機種種の概略について述べ、さらにこの種タービンの技術的問題点について説明する。

1. 緒 言

小形タービンは電源の状態に関係なく絶対的な信頼性を要求される場所、周囲の爆発性ガスなどのために電動機が使用できない場所、蒸気が安価に供給できる場所あるいは電動機の前備機としてポンプ、ファン、ブロワなどを駆動するいわゆるメカニカルドライブに使用される。小形タービンという概念ははっきりしたものではないが、本論文では一応 1,000 kW 以下のタービンを対象に考える。この種のタービンは近年産業界の設備増強に伴って需要も多く各方面で使用されているが、日立製作所の小形タービンについて紹介し需要家各位が小形タービンを選定される際のご参考としたい。

2. 小形タービンの傾向

小形タービンの最近の傾向を需要先、主蒸気圧力および出力について調査した結果を第1～3図に示す（ただし船舶用として用いられるものは特殊規格があるため調査から除外した）。需要先としては石油工業および化学工業に使用されるものが大半を占め、主蒸気圧力については 10～40 kg/cm² が大部分を占めている（中でも 10～20 kg/cm² のものが多い）。また出力は小出力のものが多く出力が増加するにしたがい台数は減少するが、出力が大きくなるにしたがい復水タービンの占める割合がしだいに増加している。このようなタービンでは構造が簡単、取り扱いが容易で簡単に分解調整ならびに組み立てができるものが保守の面から要求されている。

ポンプ、ファン、ブロワなどにおいては可変速度として全体効率の向上を図ることもあり、また小出力の発電機駆動用として特殊な小形タービンもかなりの需要がある。

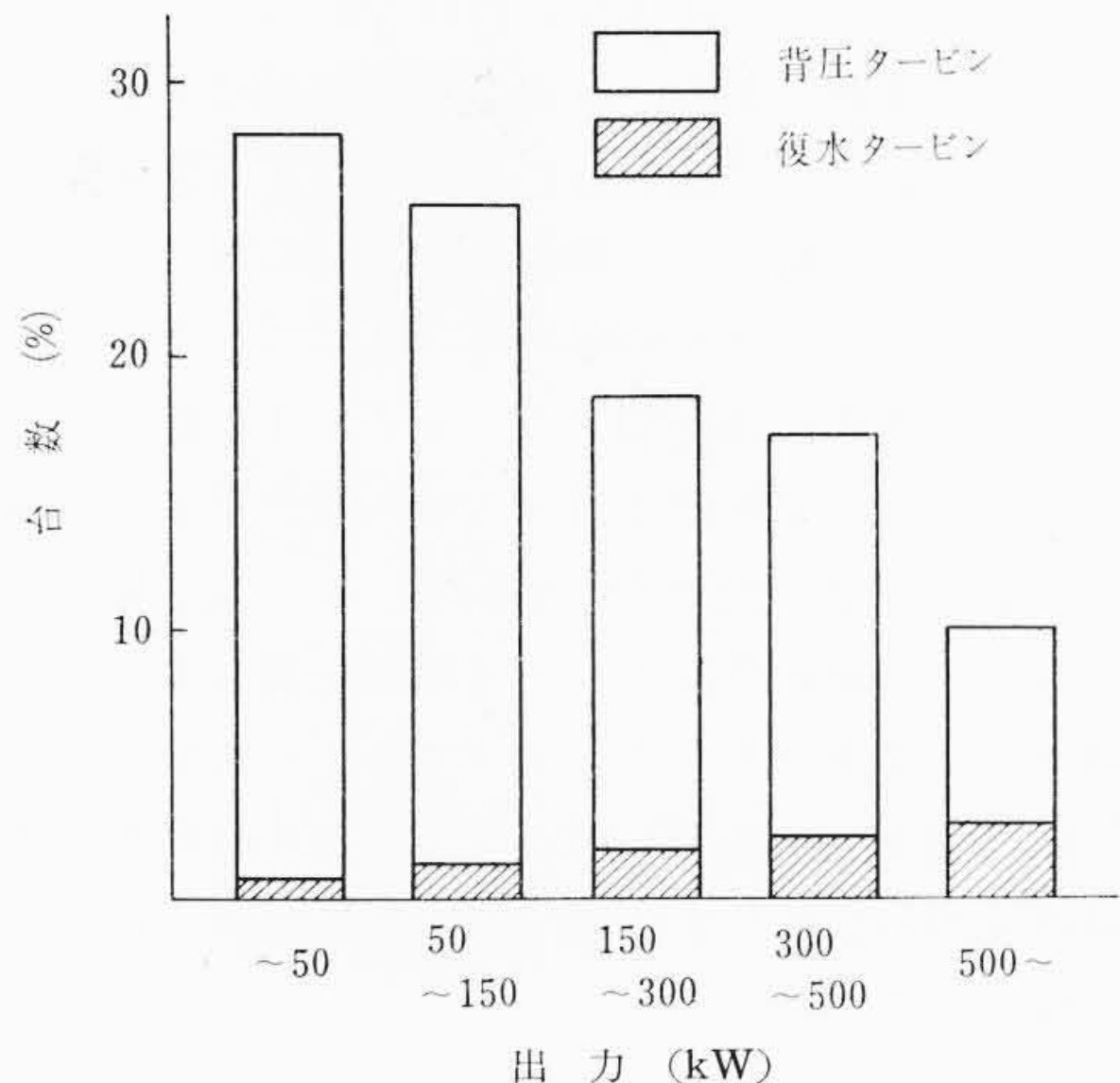
3. 形 式 の 選 定

日立製作所では上述のような最近の需要の傾向にしたがい第1表のような標準を定めている。DS形は直動式ガバナを有し一定速度

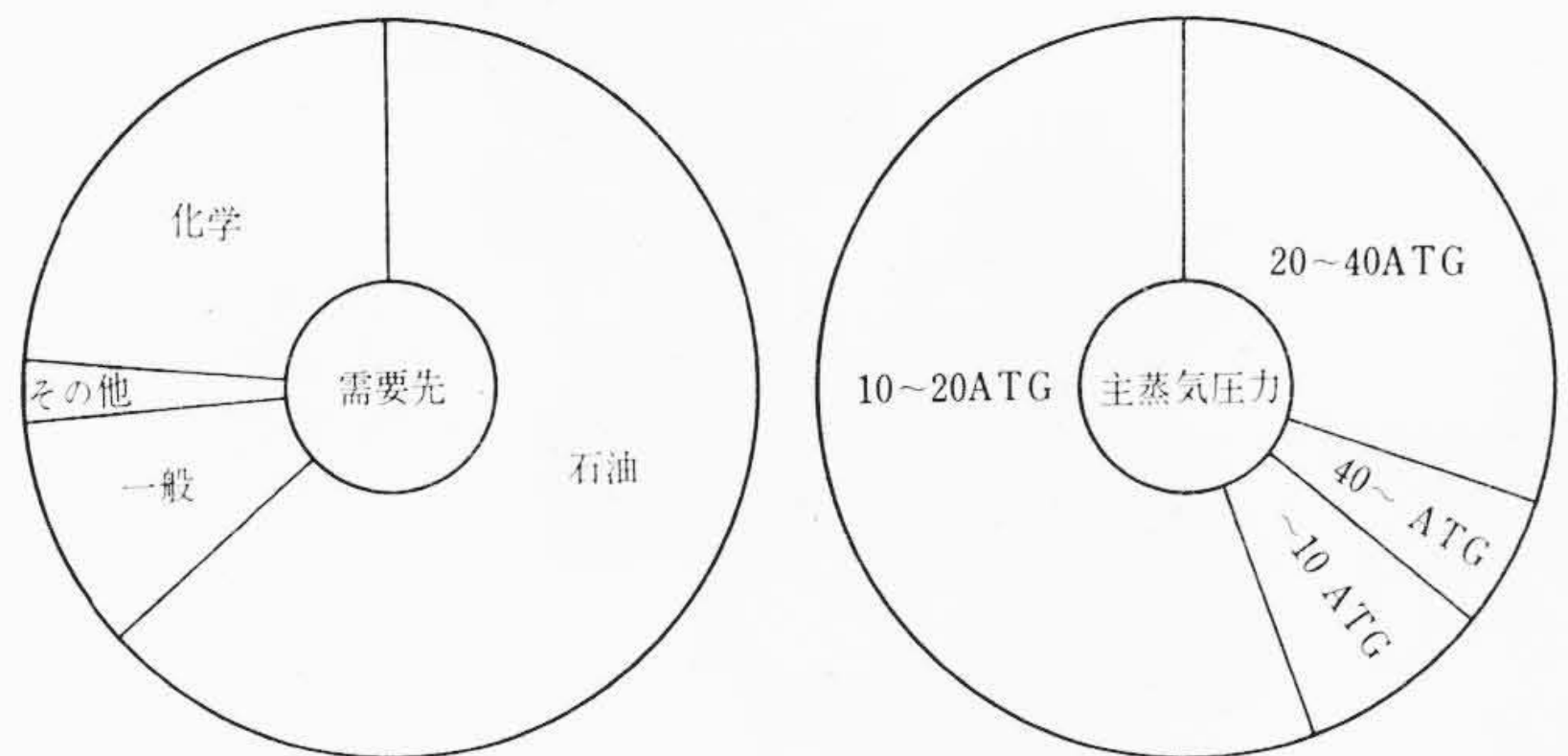
のポンプ、ファン、ブロワなどを駆動するよう設計されたタービンで構造が簡単である。軸受はオイルリングにより給油されるので、予備機としての自動起動にも適している。DR形は制御装置に油圧による増幅機構を設けており広い範囲の回転数調整を行なう場合や

第1表 標準仕様

形 式	DS	DR
名 称	単段式背圧タービン	単段式背圧タービン
回 転 数	1,500～4,000 rpm	1,000～6,500 rpm
蒸 気 圧 力	40 kg/cm ² g 以下	60 kg/cm ² g 以下
蒸 気 温 度	400℃ 以下	440℃ 以下
排 気 圧 力	5 kg/cm ² g 以下	5 kg/cm ² g 以下
給 油 方 式	オ イ ル リ ン グ	強 制 潤 滑

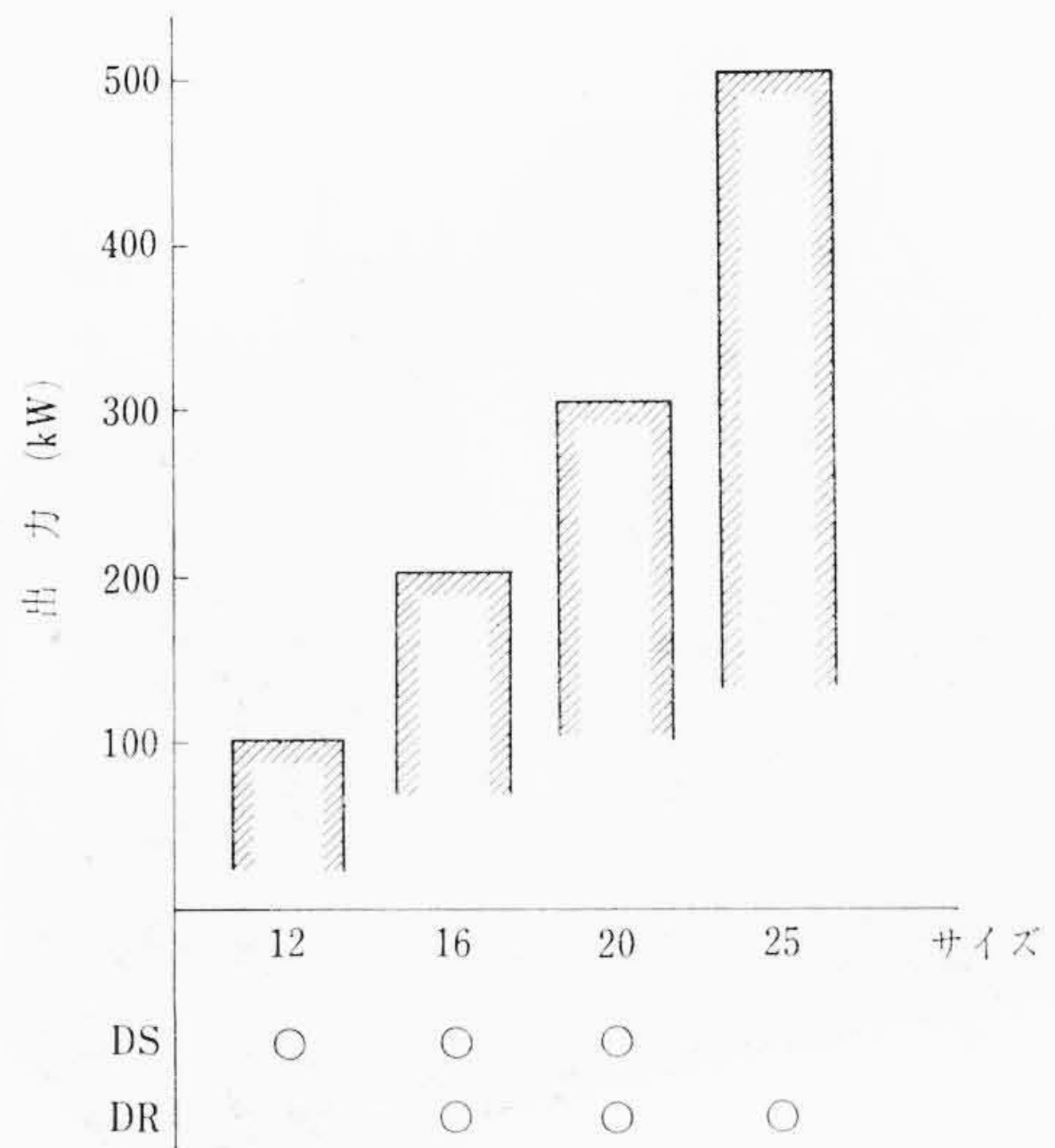


第3図 出力別需要台数



第1図 需要先別需要台数

第2図 主蒸気圧力別需要台数



第4図 最高出力

* 日立製作所日立工場

発電用のように高精度の回転数調整を必要とする場合に適する。

最高出力は主蒸気条件、排気圧力、回転数によって異なるが、サイズによっても異なる。サイズは翼中心径をインチで表わしたものにほぼ一致する。単段形タービンの最高出力を第4図に示す（主蒸気条件などにより異なる）。

4. 構造

各部の構造は出力の大きさ、被動機の種類、設置場所などによって大きく左右されるが、全般的に次の点を特に考慮して設計されている。

全体の構造が簡単で、小形軽量であること。

据付面積が小さく、設備費が少ないこと。

起動が迅速で確実であること。

部品が標準化されて互換性を有すること。

分解点検が容易であること。

また各形式とも工場において完全な材料試験、水圧試験およびロータの動的バランス試験を行なった後に組み立て、蒸気による無負荷連続試験を行なって性能を確認し納入される。

4.1 DS形タービン

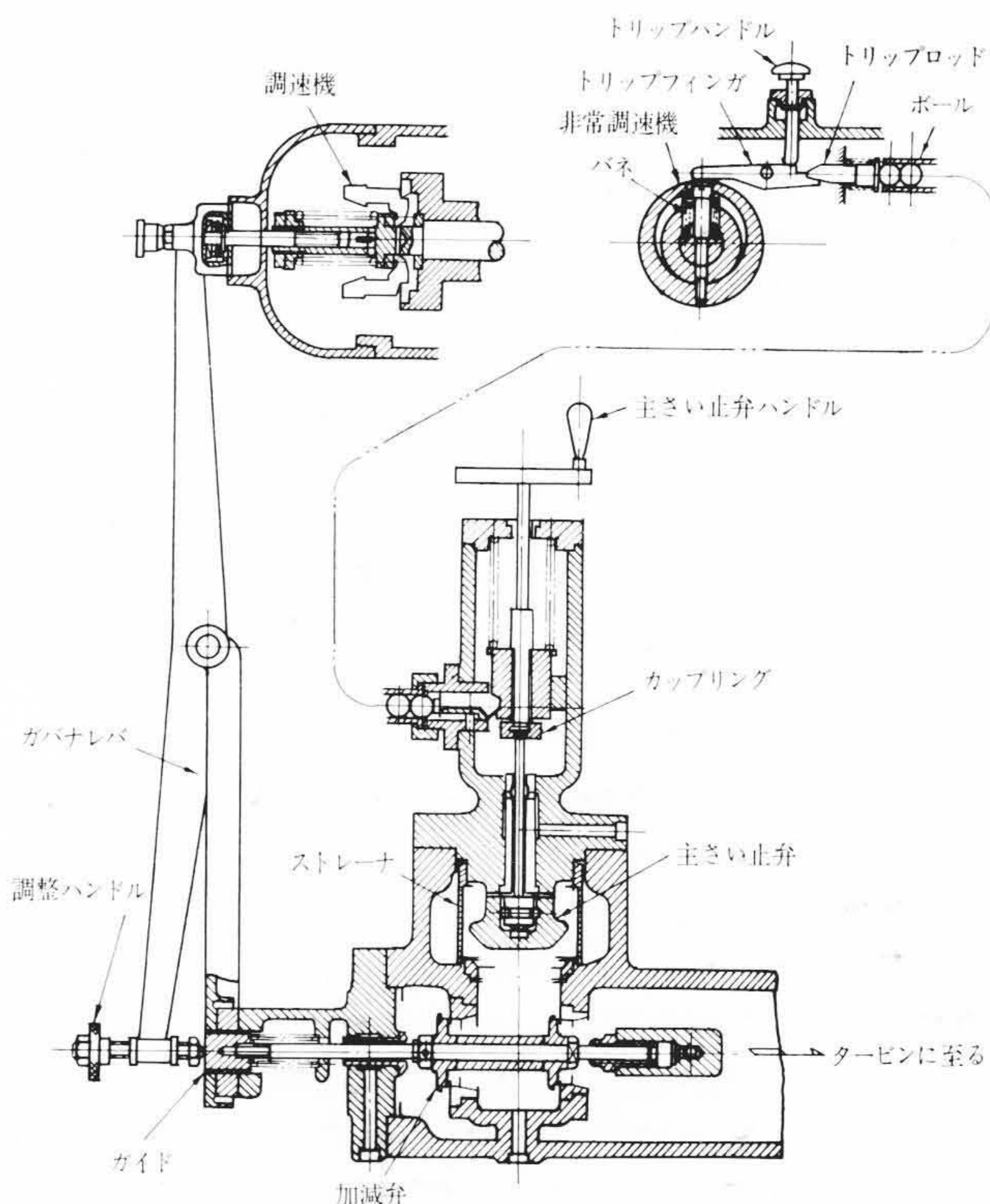
本形式は前述のように比較的小出力で取り扱いはきわめて簡単である。軸受にオイルリング式が採用されているため急速起動が可能であり、特に屋外設置に好適なように設計されている。

(1) 本体

タービン車室は水平継手で上下に二つ割りとなっており、蒸気入口ならびにノズルは下部車室に設けられてあるため内部の分解点検にきわめて便利である。下部車室の両端は水平部で軸受箱にささえられているいわゆる中心支持方式で、前部軸受箱はたわみ板によりタービンの軸方向の熱膨張を自由に逃がすことができる構造である。タービン車室の軸貫通部にはカーボンパッキンを使用し、シャフト表面には硬質クロームメッキを施して摩耗および腐食を防いでいる。羽根は2列カーチスで、デスクは軸に焼ばめの上キーにより完全に固定されている。タービン軸の両端に2個の軸受を設け、前側軸受はスラスト軸受を兼ねており、軸受箱下部に内蔵された潤滑油をオイルリングにより軸受に給油する構造である。軸受箱下部に水室を設け適量の工業用水を通すことにより潤滑油を冷却している。第5図は減速装置と組み合わせたタービン全体の外観である。

(2) ガバナ

ガバナは直動式である。タービン軸に取り付けられた遠心式調



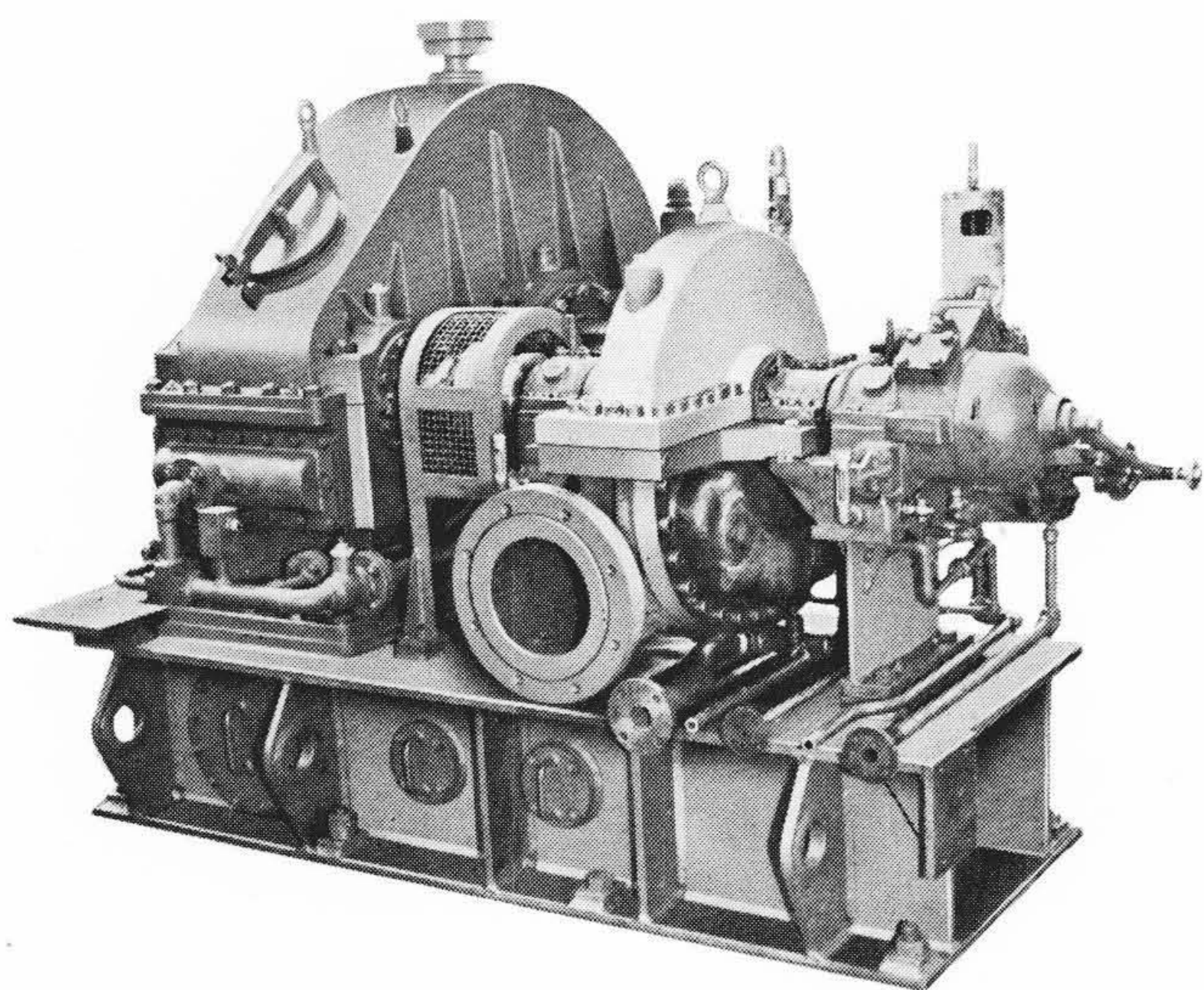
第6図 DSタービンガバナ系統図

速機によりレバーを通じて直接加減弁を動かすもので油圧ガバナのように油ポンプ、増幅機構などがないため構造が非常に簡単である。

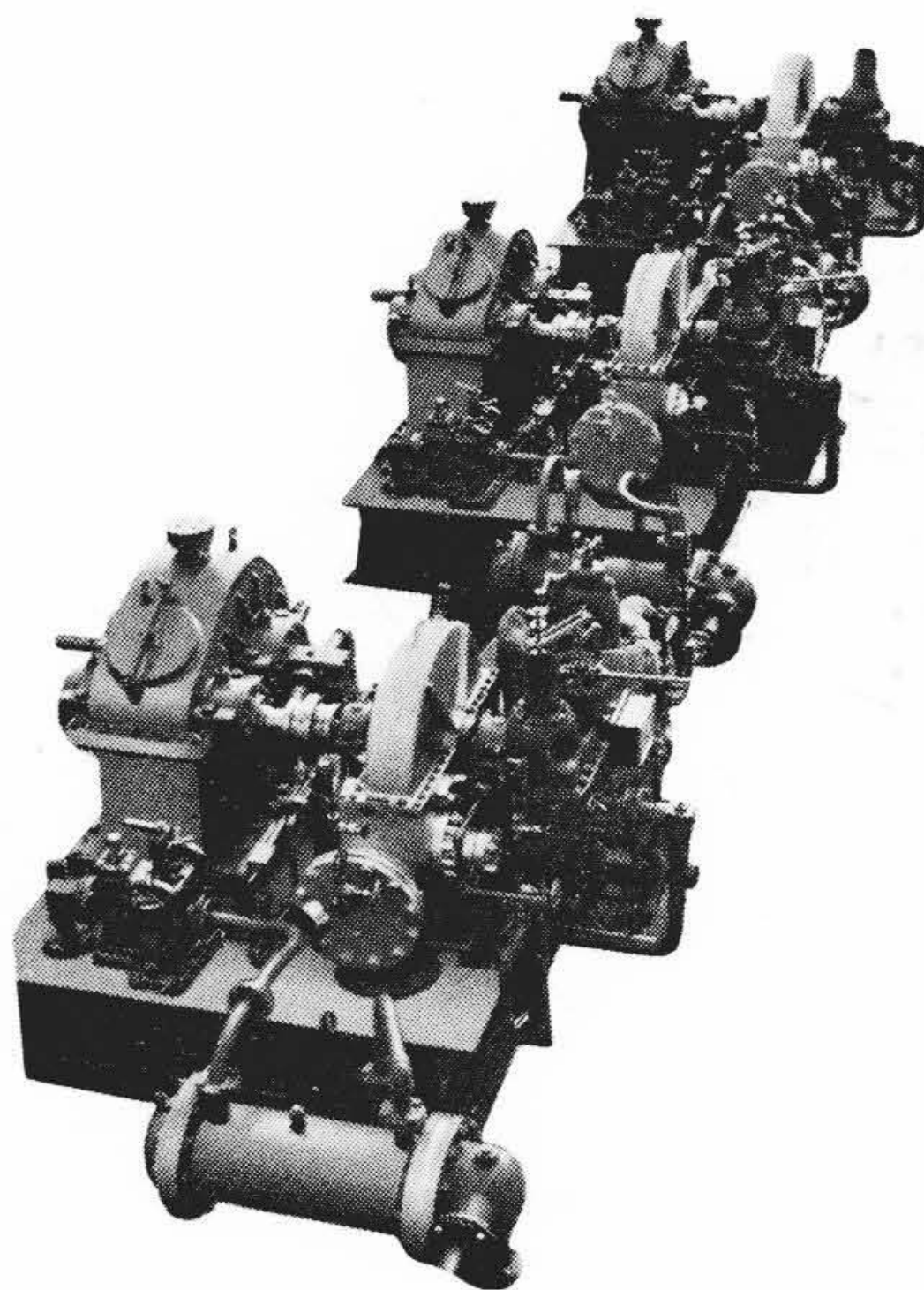
加減弁および主さい止弁は共通のボデーからなっており、主さい止弁は非常调速機の動作により非常遮断するとともに起動時手で操作することも可能である。また加減弁棒の軸端には整定速度変更用のハンドルがあり、手で回転数を調整することができる。第6図にその系統を示す。

4.2 DR形タービン

DR形タービンはDS形タービンに比べて使用回転数範囲が広くかつ高い精度を有するものとして設計されたもので、油圧レバー式ガバナであるためタービン軸駆動の油ポンプを設け軸受も強制潤滑方式である。減速装置と組み合わせた外観は第7図に示すとおりで



第5図 DSタービン(減速装置付)



第7図 DRタービン(減速装置付)

ある。

(1) 本 体

タービン車室は水平継手で上下に二つ割りとなっており、蒸気入口ならびにノズルは下部車室に設けてあるため、内部の分解点検に便なることはDS形タービンと同様である。下部車室の前部は前側軸受箱にささえられ、後部は直接支持脚に固定され、後部軸受箱は車室にボルト締めされているが、前部軸受箱はたわみ板によりタービンの軸方向の熱膨張を自由に逃がすことができる構造である。グランドパッキンはカーボンパッキンであるが、背圧の高低によりラビリンスパッキンを併用することもできる。

羽根は2列のカーチスでデスクは軸に焼ばめの上キーにより完全に固定されている。タービン軸をささえる2個の軸受は強制給油方式となっている。

(2) ガ バ ナ

ガバナは油圧レバー方式でありその系統図は第8図に示すとおりである。遠心体は小さなパイロット弁を動かすだけであるため非常に鋭敏であり、このパイロット弁の動きがサーボモータ内の油圧を変えサーボモータに接続された加減弁を開閉する。速度の調整はガバナ上部の同期ハンドルにより手動で行なうこともできる。また発電用にはガバナモータを、ブローおよびポンプ用などには出口圧力に対して応動するレギュレータを取り付けることも可能である。油ポンプはタービン軸で駆動される歯車式ポンプで、ガバナ油圧を供給するときに軸受潤滑用として減圧弁、油冷却器を通り各軸受に給油される。

4.3 その他の小形タービン

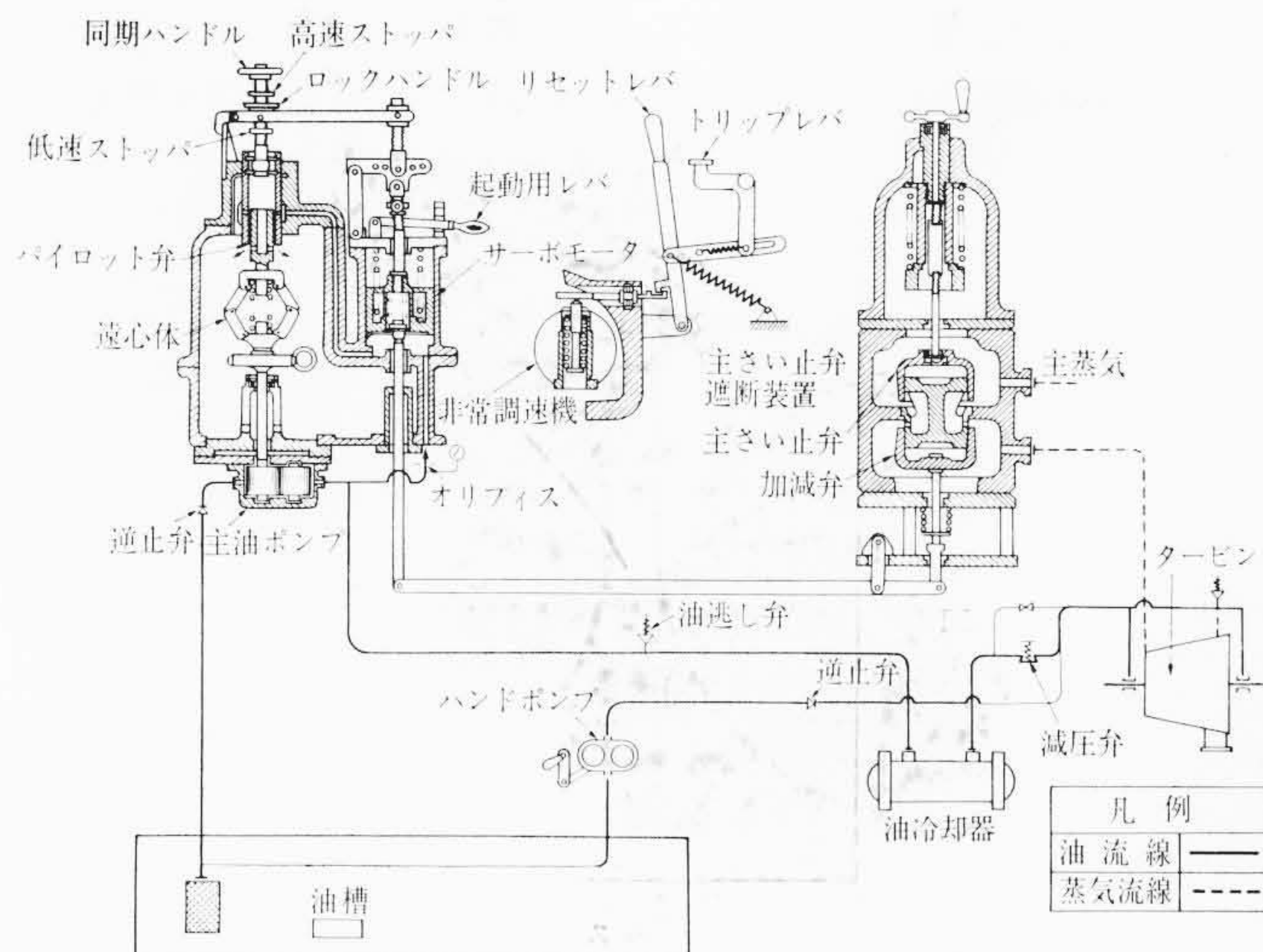
前記したものは単段形タービンであるが、このほか多段形タービンおよび減速装置付タービンがある。

(1) DRM 形タービン

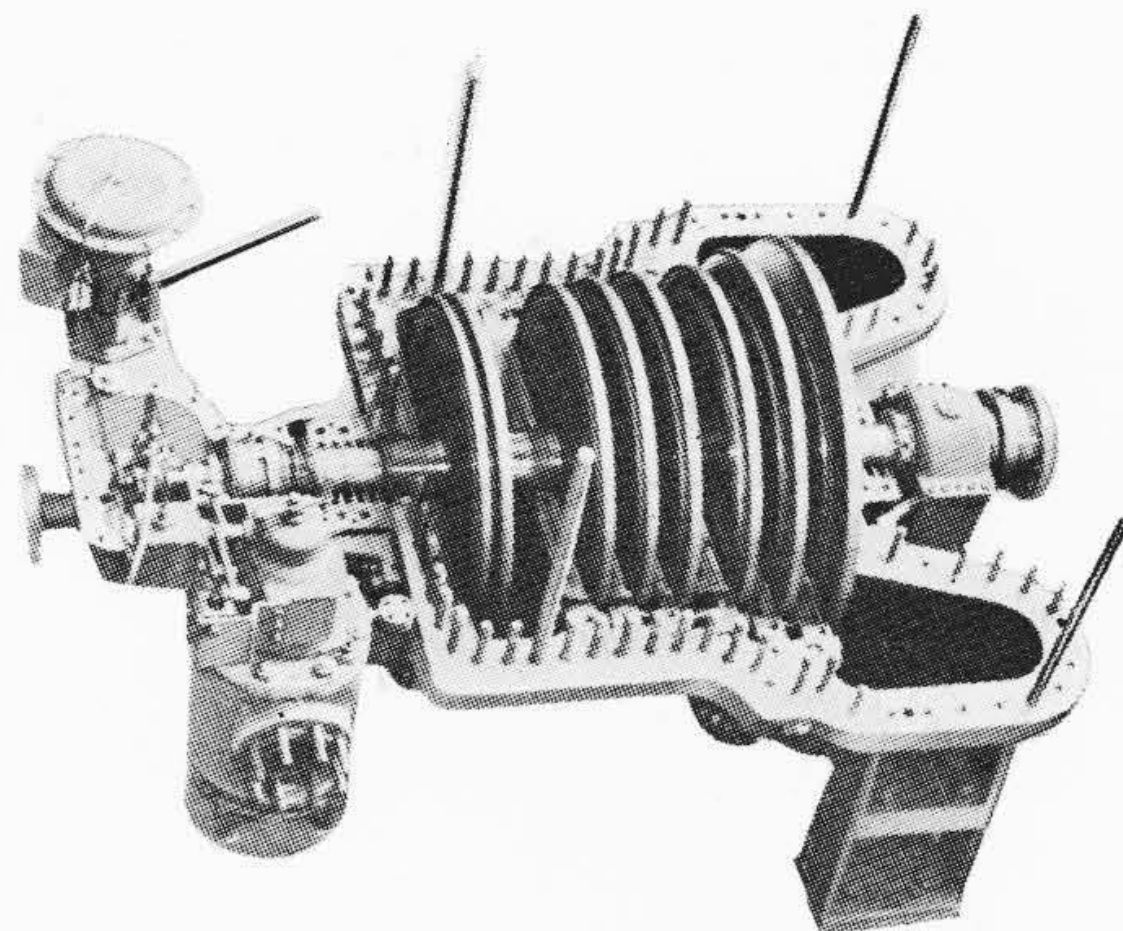
DR形タービンは2列カーチス翼単段であるが、このあとにラト一段を数段取付け比較的出力の大きいもの、あるいは復水式に使用される。第9図は上半カバーを取りはずした外観である。

(2) DRV および DRX 形タービン

タービン車室、軸受およびガバナ関係の構造は DRM 形タービンとほぼ同様であるが、DRV 形タービンの加減弁はノズル調速式であるため部分負荷時においても高い効率で運転することができる。また DRX 形タービンは抽気タービンとして使用するもので 3 アーム機構により抽気加減弁をも同時に操作することができる。



第8図 DRタービンガバナ系統図



第9図 DRM 形 タービン

(3) 減速装置付タービン

被動機が比較的低速度で回転される場合には、減速装置付タービンは非常に有効である。タービン軸とはたわみ継手により接続され、減速軸の被動機と反対側に独立に潤滑油ポンプを持っており、軸受および歯車かみ合部へ給油される。

歯車はダブルヘリカルギヤであるため推力はバランスする構造である。

5. カーボンパッキング

小形タービンにはシャフトパッキンとしてカーボンがよく使用されるが、蒸気という高温流体を取り扱うということ、起動停止時のドレンによる水中摩耗の問題、さらに軸材の選定の問題などに十分注意が払われねばならないので、これらの問題について一連の実験を行なって検討した。

5.1 試験方法

第10図のように回転円板にカーボンを押しつけ摩擦し、カーボンの摩耗痕（こん）の幅を測定して計算により摩耗体積を求める。実験諸元は次のとおりである。

カーボンテストピースの寸法	10×10×30 mm
軸テストピースの寸法	30 mmφ×15 mm l
加える力	10 kg
軸回転数	1,440 rpm

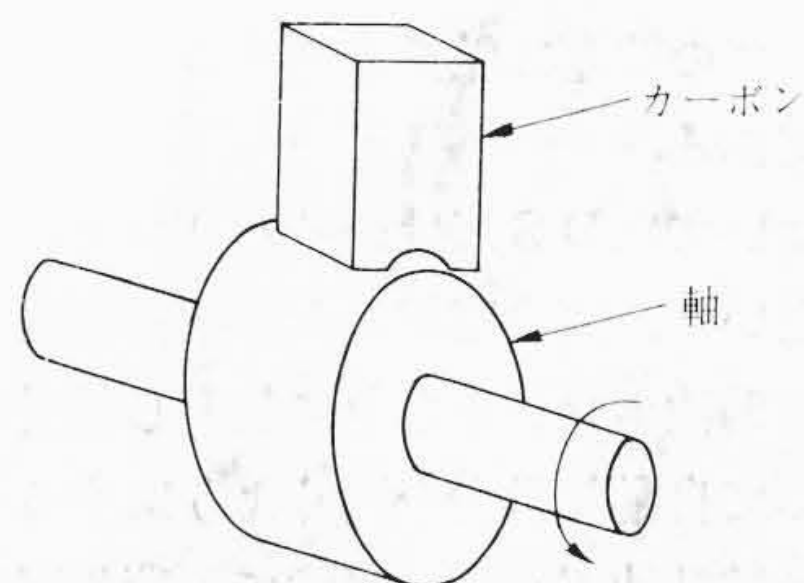
5.2 試 験 種 類

(1) カーボン材質について

第2表のような3種類について試験を行なった(材質記号は日立化成株式会社のものである)。

(2) 軸 材

13Cr (SUS-3) 軸, 硬質クロムメッキ軸およびモネルメタルメ



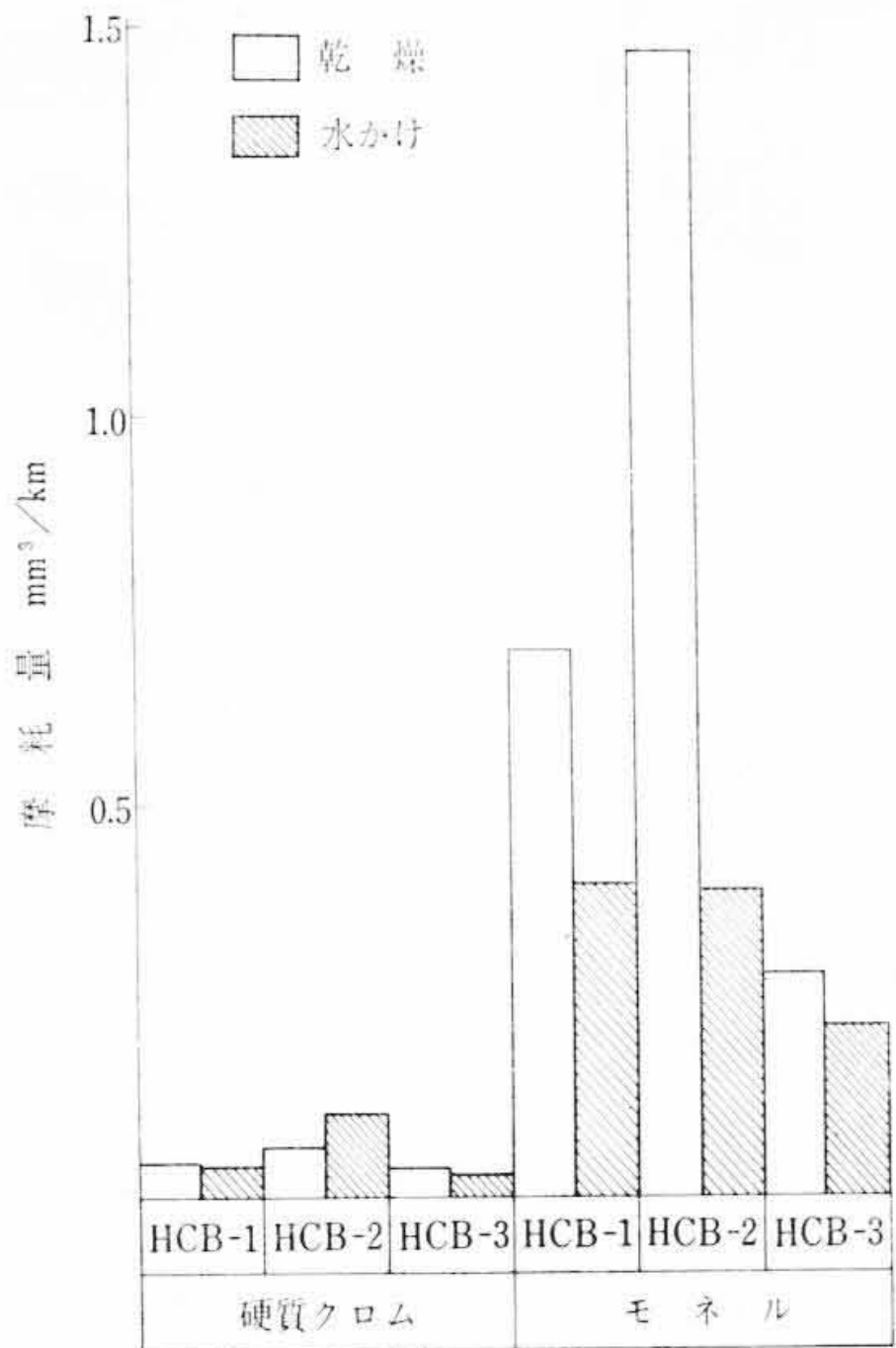
第10図 カーボン試験装置

第2表 試験したカーボンの仕様

材 質	使用最高温度 (℃)	焼 成 温 度 (℃)	硬 度 (H _s)	圧 縮 強 さ (kg/cm ²)
HCB-1	350	1,000	44	850
HCB-2	350	1,800	50	800
HCB-3	350	1,000	45	850

第 3 表 試験結果 (軸材 13Cr 軸)

	摩 耗 量 (mm ³ /km)	
	乾 燥	水 中
HCB-1	0.125	0.097
HCB-2	0.081	0.165
HCB-3	0.104	0.067



第 11 図 試験結果

タライズ軸について試験した。

(3) 試験状態

乾燥、水中および水かけの状態で行なった。

5.3 試験結果

初期の異常摩耗をデータから除外し、定常摩耗の摩耗量によって比較すると第 3 表および第 11 図のようになる。

5.4 検討

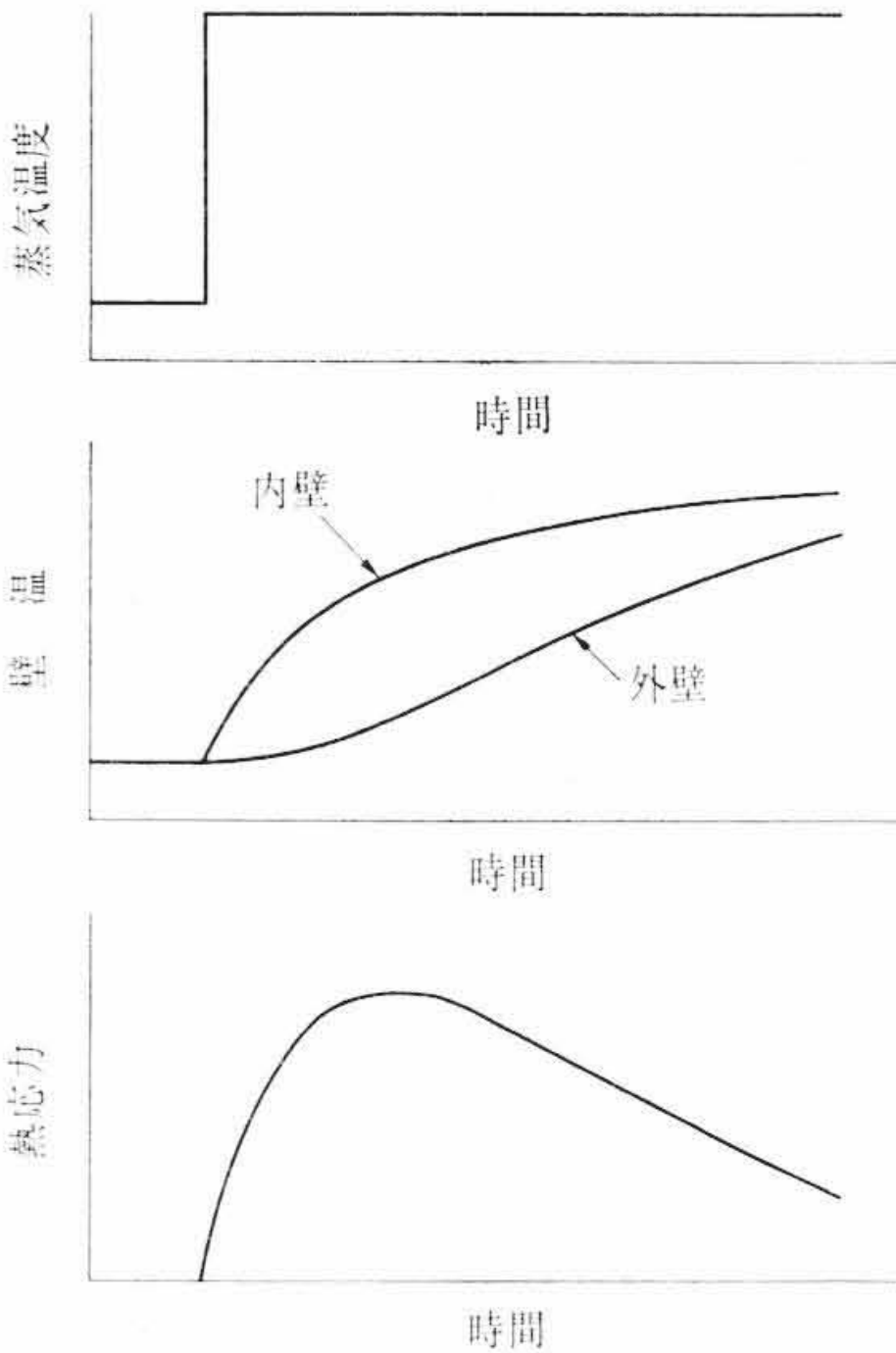
蒸気タービンは運転中は乾燥状態と考えられるが、起動前の状態はドレンによって水かけの状態に近いことが想像される。このいずれの状態でも安定して摩耗量が少なくなるようなカーボンの材質ならびに軸材を選定せねばならない。この見地から一般に HCB-3 のカーボンと硬質クロムメッキした軸材が使用されるが、蒸気温度によっては高温高压水蒸気中の耐摩性がすぐれている HCB-2 を採用することも考えねばならない。

6. 自動起動

この種タービンが電動機の予備機として用いられるときは、電源トリップなどにより自動起動することを要求されることもある。この自動起動に際しての問題は軸受の潤滑の点と蒸気室などの急速加熱による熱応力である。

軸受の潤滑については DS 形はオイルリングによる潤滑を行なっているので問題ないが、高速回転のため強制潤滑を行なう DR 形においては別置の補助油ポンプをさきに起動し軸受に潤滑油が供給されたことを確認して自動起動弁を開くようにする必要がある。この際問題になるのは補助油ポンプの形式で、蒸気駆動にするかあるいは確実な電源(たとえば直流電源)による電動機駆動にする必要がある。また強制潤滑であっても自動起動時のためにオイルリングを併用するような特殊設計の軸受を使用する場合もあるが減速装置をつけたものにおいては歯車かみ合部の給油に問題が残る。この問題については起動時のみオイルバスに潤滑油をためるような構造を採用するとよい(特許出願中)。

自動起動の際は急激に蒸気が流入するので蒸気室などの高温部は



第 12 図 急速起動時の熱応力

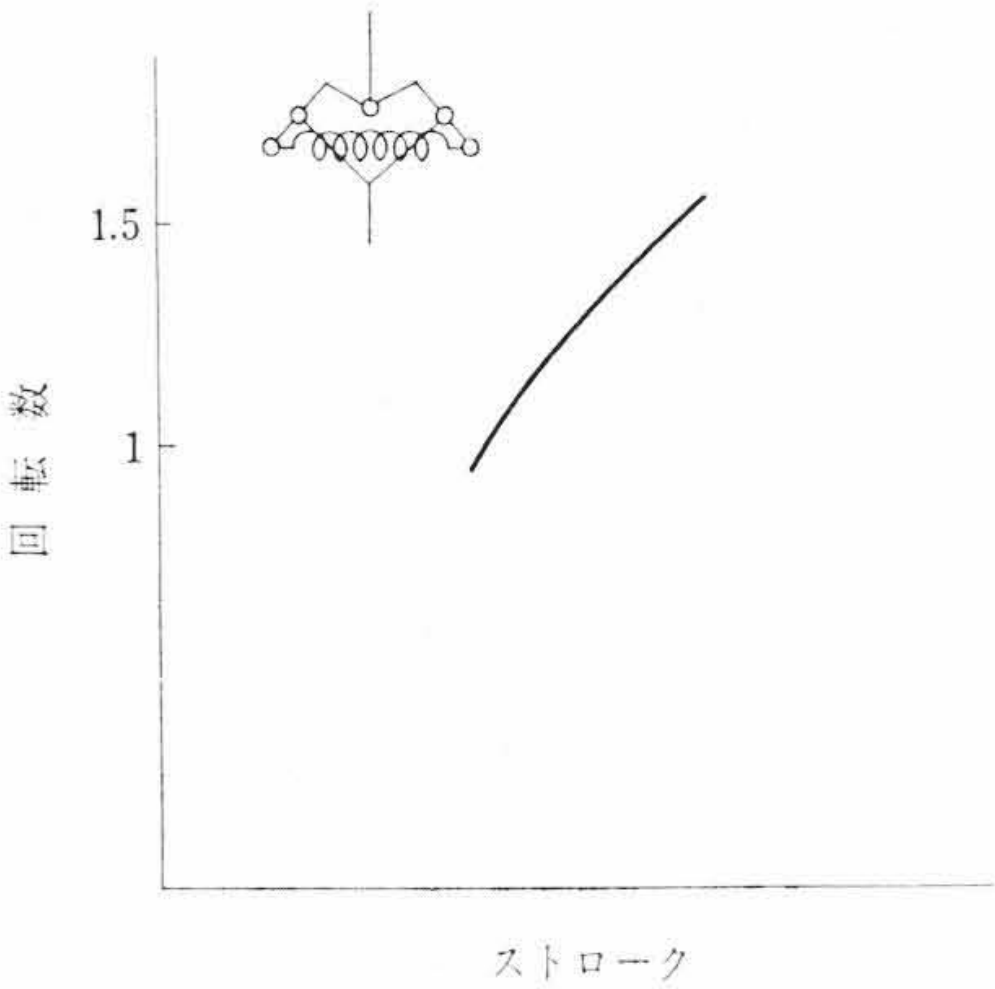
急速に加熱され、このため外壁と内壁との間に温度差を生じ定常状態よりもかなり大きい熱応力を生ずる(第 12 図参照)。このためこのような急速起動を数多く繰り返すと、塑性ひずみの集積によりついにはき裂発生の原因となる。この熱応力に対しては普通の蒸気条件では十分安全限界内にあるように設計されている。特に高温高压蒸気で駆動されるタービンでは蒸気室まで常時暖機しておくなどの特別な考慮が必要なこともある(特許出願中)。

起動信号を受けてから定格回転になるまでの起動時間は被動機の実特性、タービンの形式によって異なるが強制潤滑で補助油ポンプをおいたもので 20~40 秒程度で実施している例もある。

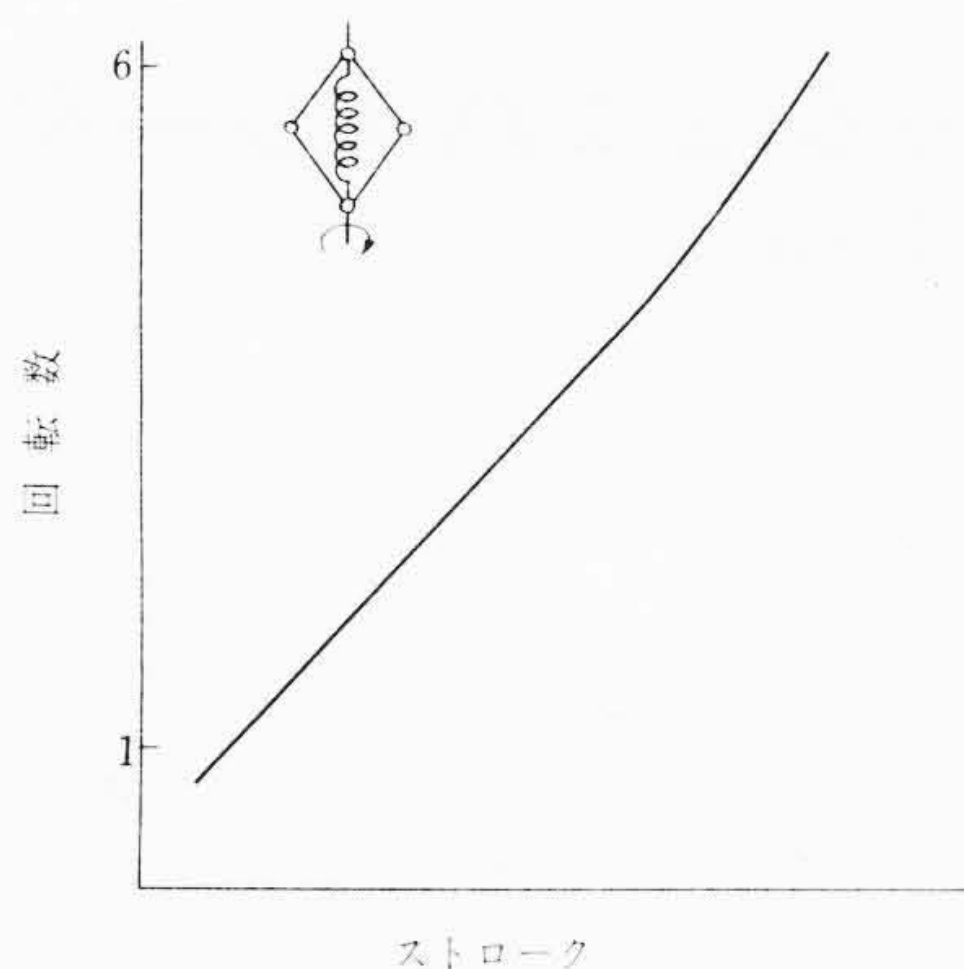
7. DR ガバナ

DR ガバナは DS ガバナに比較し、精度が高く非常に広い速度範囲にわたって使用が可能であるという特長をもっている。使用速度範囲が広いということは広い速度範囲にわたって调速機の検出特性が直線性を有するという事で DR ガバナは最大 6:1 の回転数比に調整可能である。

速度の検出機構としては遠心形ポンプの吐出圧を利用するものおよび遠心錘とバネのつり合いを利用するものが用いられているが、遠心形ポンプでは吐出圧はほぼ回転数の 2 乗に比例するので広範囲にわたって直線性を得ることは困難であり、一方遠心錘とバネとを組み合わせた普通の形式の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基本的な問題があり定性的には 2 乗曲線に近い形となり広い範囲にわたって直線関係を得ること



第 13 図 普通ガバナの特性



第14図 DR ガバナ の 特 性

はこの形式でも困難である（第13図参照）。

DRガバナは第8図に示すように遠心錘を平行四辺形に構成し遠心力につり合うバネは平行四辺形の対角線上に垂直に設けられている。その結果回転数が低くストロークが小さいときは遠心力のききが大きく、回転数が高くストロークが大きくなると遠心力のききが

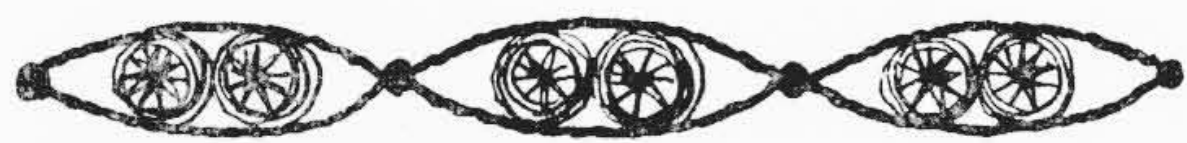
小さくなるので総合的には遠心力に対してバネのききが打ち消し合い広い範囲にわたって直線性が得られる（第14図参照）。

普通の调速機は速度調整範囲は100%の上下±10%程度であったが、DRガバナの速度調整範囲は100%から約20%までという画期的なものであり、可変速度のポンプ、ファン、ブロワなどあらゆる一般機械の原動機の调速機として広い用途に使用可能である。

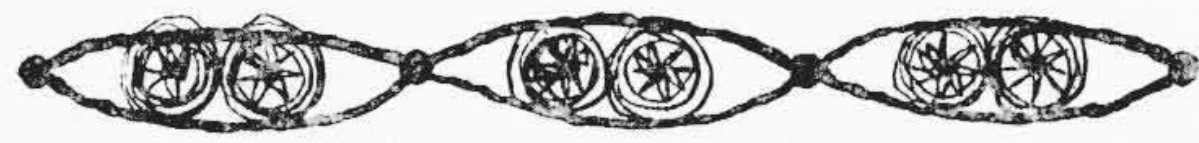
8. 結 言

以上小形タービンの需要の傾向、日立製作所で製作している小形タービンの特長ならびに小形タービン全般にわたる技術的問題点について述べたが小形タービンの選定に際し何らかの参考になれば幸いである。

最近石油工業、化学工業などをはじめとし小形タービンの需要は増加している。日立製作所では今後とも製品の向上にあらゆる努力を払い、需要家各位のご要望に応じたいと考えている。最後に使用状態ならびに技術的問題に対し種々貴重なご意見を寄せられた需要家各位ならびにカーボンパッキンの試験を担当願った日立化成株式会社の関係者各位に深甚の謝意を表する。



新 案 の 紹 介



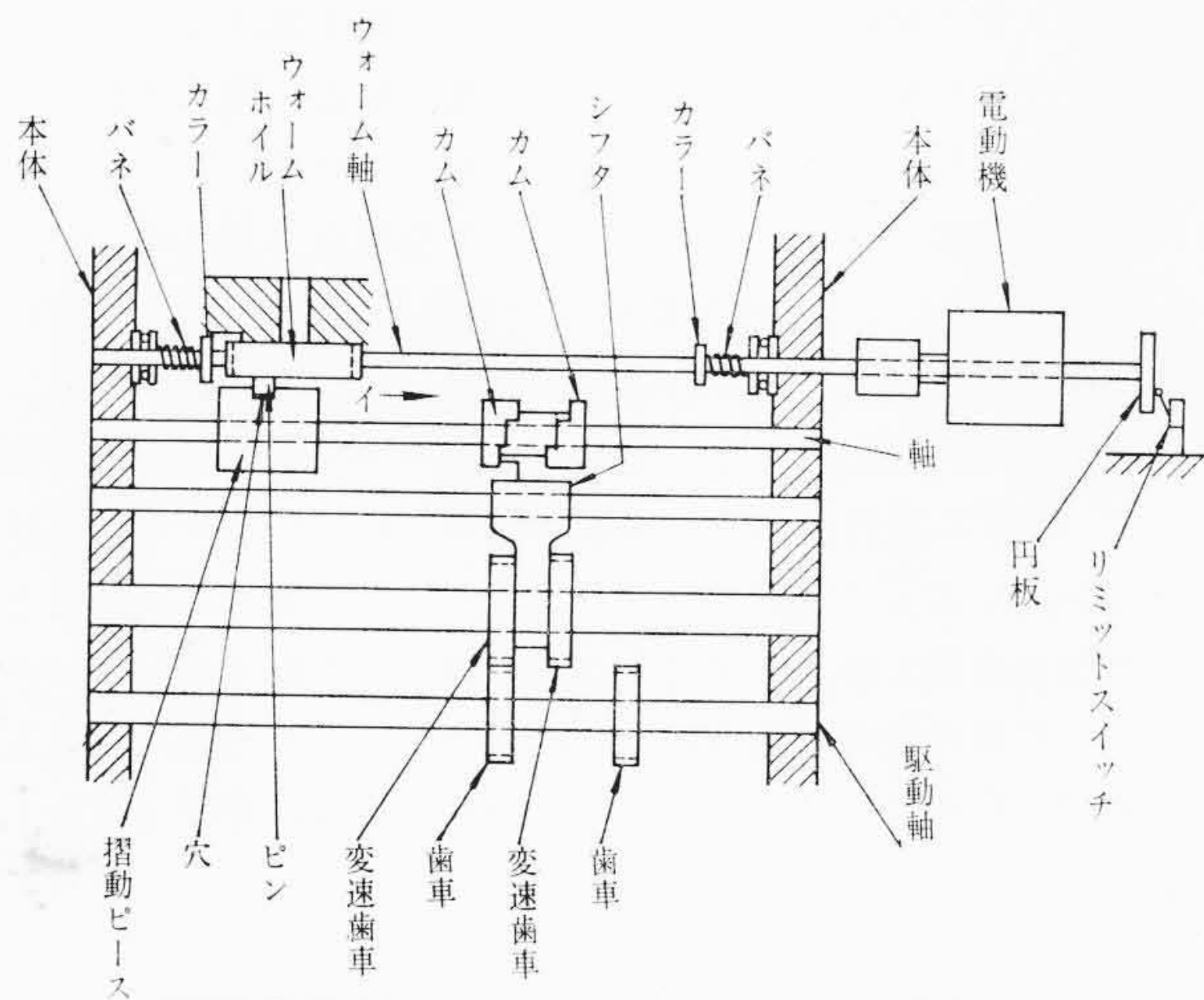
登録新案 第722798号

橋 本 三 男・白 井 明

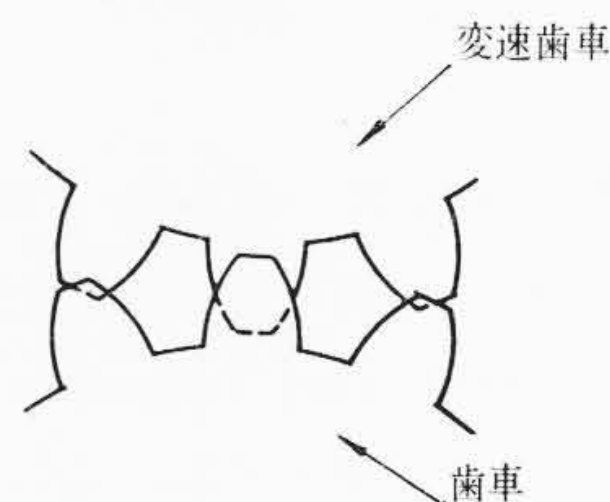
変速歯車変速装置における異状噛合防止装置

従来の工作機械においては、第1図に示すごとく、電動機により安全用摩擦クラッチを介して、ウォーム軸およびウォーム歯車が回転したとき、一方のウォーム歯車に取り付けられたピンが、摺動ピースを回転させつつ、軸を軸方向に移動させて、軸に取り付けられたシフトを介して、変速歯車と、歯車との噛合いを変化させる装置が使用されている。しかるに、この種の装置においては、第2図に示すご

とく、高速歯車と、歯車との互いの歯先面が当って、異状噛合したとき、ウォーム歯車の回転力が大きくなって、ウォーム軸が第1図に示す(イ)矢印方向に移動するため、安全用摩擦クラッチに滑りを生じて、電動機の回転力が、ウォーム軸に伝達されない欠点がある。そこでこの考案は、変速歯車と、歯車とが異状噛合状態のとき、ウォーム軸が軸方向に移動するのを利用して、電動機軸の後端部に取り付けられた円板を、リミットスイッチに接触させ、このリミットの作動によって、電動機を逆方向に起動させて、変速歯車と、歯車との噛合いを、異状状態より正常状態に変化させる。ついで、変速歯車と、歯車とが正常な噛合状態になったとき、ウォーム軸の両端部に取り付けられたバネの抗圧力によって、ウォーム軸を元の位置に復させるとともに、円板をリミットスイッチより離して、電動機を元の、正規の方向に起動させるようにしたものである。したがって、この考案によれば、変速歯車と、歯車との異状噛合状態を、自動的に、かつ確実に、正常な噛合状態に変化させることができる効果がある。



第 1 図



第 2 図