

大容量蒸気タービンの計装

Supervisory Instruments for Large-Capacity Steam Turbine

滝 孝 光* 岡 田 浩**
Takamitsu Taki Hiroshi Okada

内 容 梗 概

近年建設される新鋭火力発電設備は大容量化し、蒸気タービン用計器類も取り扱いが容易で、確実な、しかも高信頼性のものが要求されている。本稿は日立製作所の最近の大容量蒸気タービンの計装について概略を述べている。

1. 緒 言

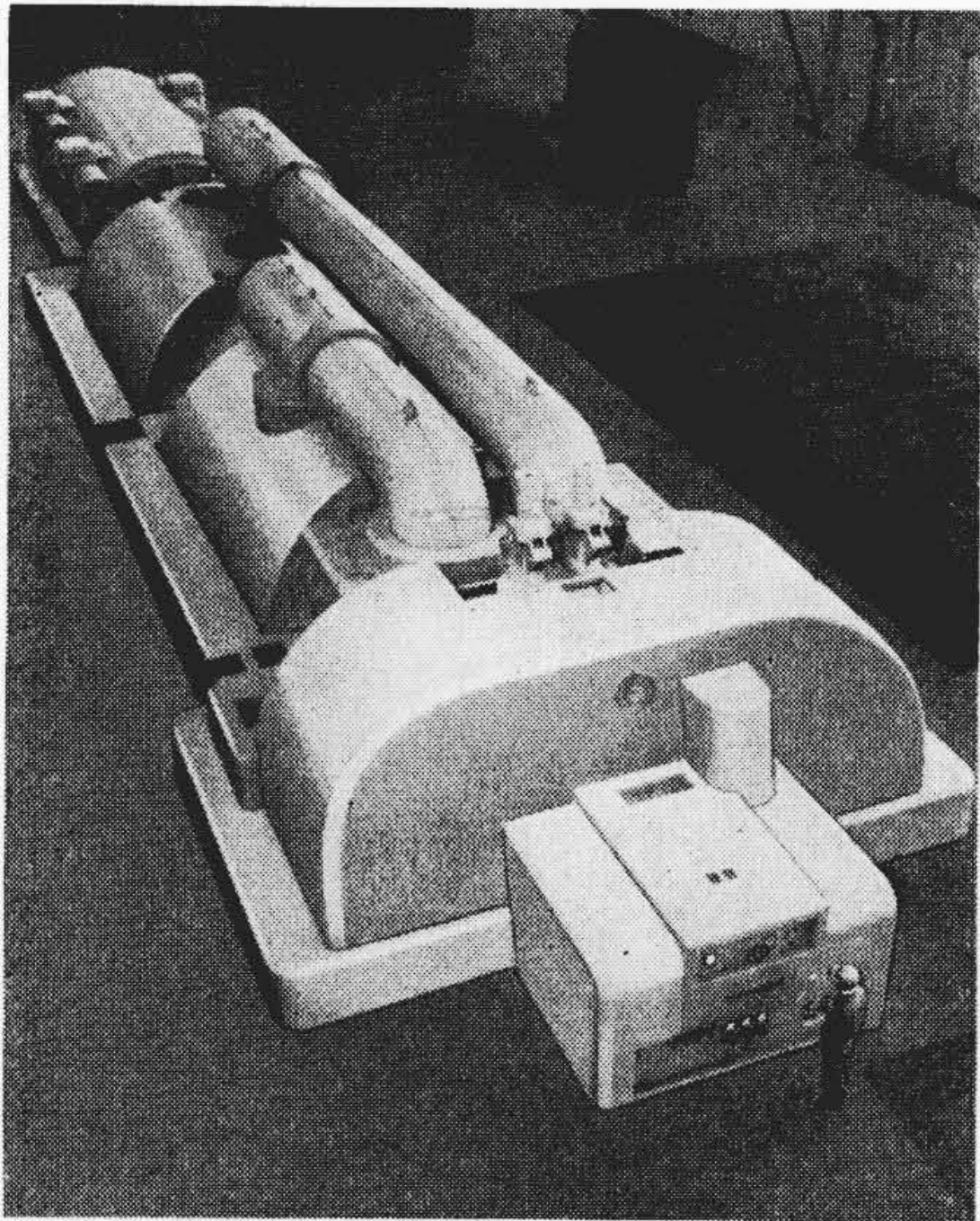
最近の火力発電設備は経済性、熱効率の向上をはかるためその計画は高温、高圧の蒸気条件で、大容量化してきている。これら大容量タービンは運転の信頼度を高くすることが特に必要であり、この運転の指針となる計装は合理的な計測個所の選定、正確で信頼性のある計器を使用することが要求される。したがって、運転に必要な計測個所とその計器の取付場所の計画、計器の選定は新鋭高能率大容量タービンを計画する際には重要な事項の一つである。第1図は最近製作据付けられた大容量タービンの外観である。

2. 蒸気タービンの計装

第1表は大容量再熱蒸気タービンの計測個所と計器取付場所の一例であるが、タービンの出力、形式によって変わる場合がある。

2.1 計 測 個 所

計測個所はタービン起動、停止時の監視、通常運転監視、性能確認、調整のために必要な圧力、温度、タービン速度、加減弁開度、タービン軸偏心、ケーシング伸び、ケーシングとロータとの伸び差、振動、軸回転、加速度、油面などである。



第1図 250,000 kW, 3,600 rpm タンデムコンパウンド形3車室4流排気形再熱タービン

* 日立製作所日立工場
** 日立製作所国分工場

(1) 圧 力

タービン起動条件圧力の確認、性能確認のため主さい止弁前蒸気、高圧1段後蒸気、高圧タービン排気、再熱さい止弁前蒸気、低圧排気室真空の各圧力を測定している。主さい止弁後蒸気圧力の測定は主さい止弁バイパス弁運転から加減弁運転に切り換えるときに、主さい止弁前後の差圧を確認するためのものである。低圧排気室の真空測定要領は、最近の大容量タービンではほとんど第2図に示す方法を採用し、測定している。できるだけ静圧のみを正確にマノメータに指示させるため低圧排気室内にステンレス鋼製金網でバスケットをつくり検出配管にかぶせ、検出配管には

第1表 再 熱 ター ビ ン の 計 測 個 所 例

分類	番号	計 測 個 所	計器取付場所			現 場 計 器 所	備 考
			中央盤	タービン 起動盤	現場		
圧 力	1	主さい止弁前蒸気		㊦			
	2	主さい止弁後蒸気		㊦			
	3	高圧第1段後蒸気		㊦			
	4	高圧タービン排気		㊦			
	5	再熱さい止弁前蒸気		㊦			
	6	低圧排気室真空		㊿			
	7	各抽気蒸気					
	8	制御油			①	前側軸受箱前面	
	9	軸受油			①	前側軸受箱前面	
	10	衛帯蒸気			㊦	現場弁操作盤	
	11	低圧排気室噴射水			①	現場弁操作盤	
	12	主油ポンプ吸込油			①	前側軸受箱前面	
	13	制御油			①	油タンク内ブースタポンプ	(補助油ポンプ吐出油)
	14	オイルタービンノズル油			①	油タンク内ブースタポンプ	
	15	オイルタービン出口油			①	油タンク内ブースタポンプ	
	16	ブースタポンプ吐出油			①	油タンク内ブースタポンプ	
	17	油用圧力スイッチテスト			①	油タンク上計器盤	
温 度	1	主さい止弁前蒸気		㊿			測定個所は第2表参照
	2	高温部メタル		㊿			
	3	高圧タービン排気		㊿			
	4	再熱さい止弁前蒸気		㊿			
	5	低圧排気室		㊿	①	低圧排気室	
	6	油冷却器入口油	㊿		①	油タンク上	
	7	油冷却器出口油	㊿		①	油タンク上	
	8	軸受油			①	No.1 軸受排油サイトフロ	
	9	各軸受排油	㊿		①	各軸受排油サイトフロ	
	10	スラスト軸受前側排油	㊿		①	スラスト軸受排油サイトフロ	
	11	スラスト軸受後側排油	㊿		①	スラスト軸受排油サイトフロ	
	12	スラスト軸受前側メタル	㊿				
	13	スラスト軸受後側メタル	㊿				
監視計器	1	速度	㊿	①	①	前側軸受前面	} 記録計共用
	2	加減弁開度	㊿				
	3	偏心	①	㊿			
	4	ケーシング伸び	①	㊿			} 記録計共用
	5	ケーシング、ロータ伸び差	①	㊿			
	6	振動	①	㊿			
特計 殊器	1	軸回転		①			
	2	加速		①			
油面	1	油タンク			①	油タンク上	

〔記号説明〕 ㊿：記録計， ①：指示計， ㊿：マノメータ， ㊦：二次式圧力指示計

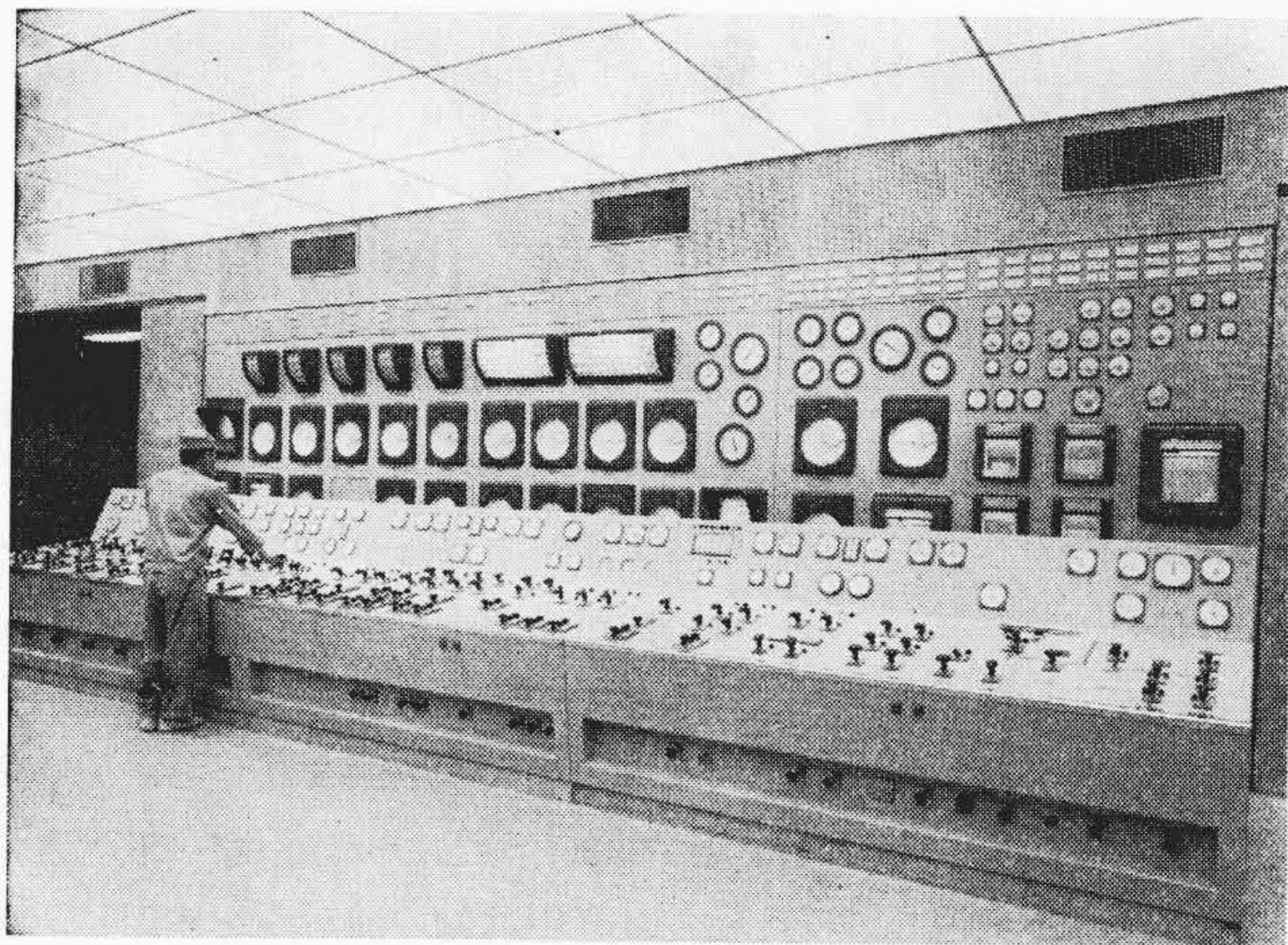
属補機の集中制御を行なうために制御、保護、監視に必要な装置、計器、制御器具を配置した計器盤あるいは操作盤が配列されている。第4図は中央制御盤の外観を示す。中央制御室タービン計器盤にはタービンの性能確認、通常運転時の監視に必要な計器類を配置している。

(2) タービン起動盤

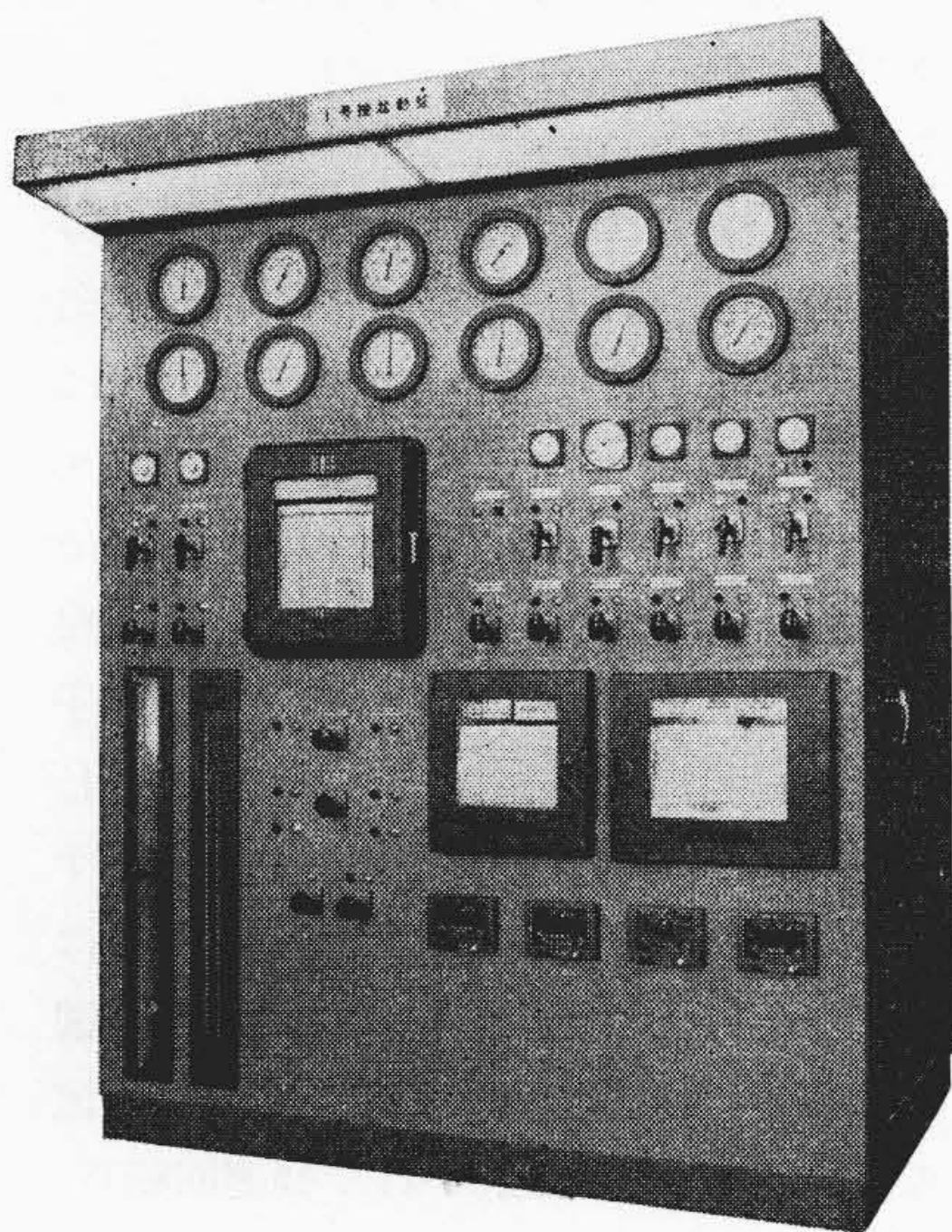
タービンの起動、停止に必要な計器、制御器具類を配置して、タービン室内のタービン本体近くにおいてある。第5図はその外観を示す。

(3) 現 場 計 器

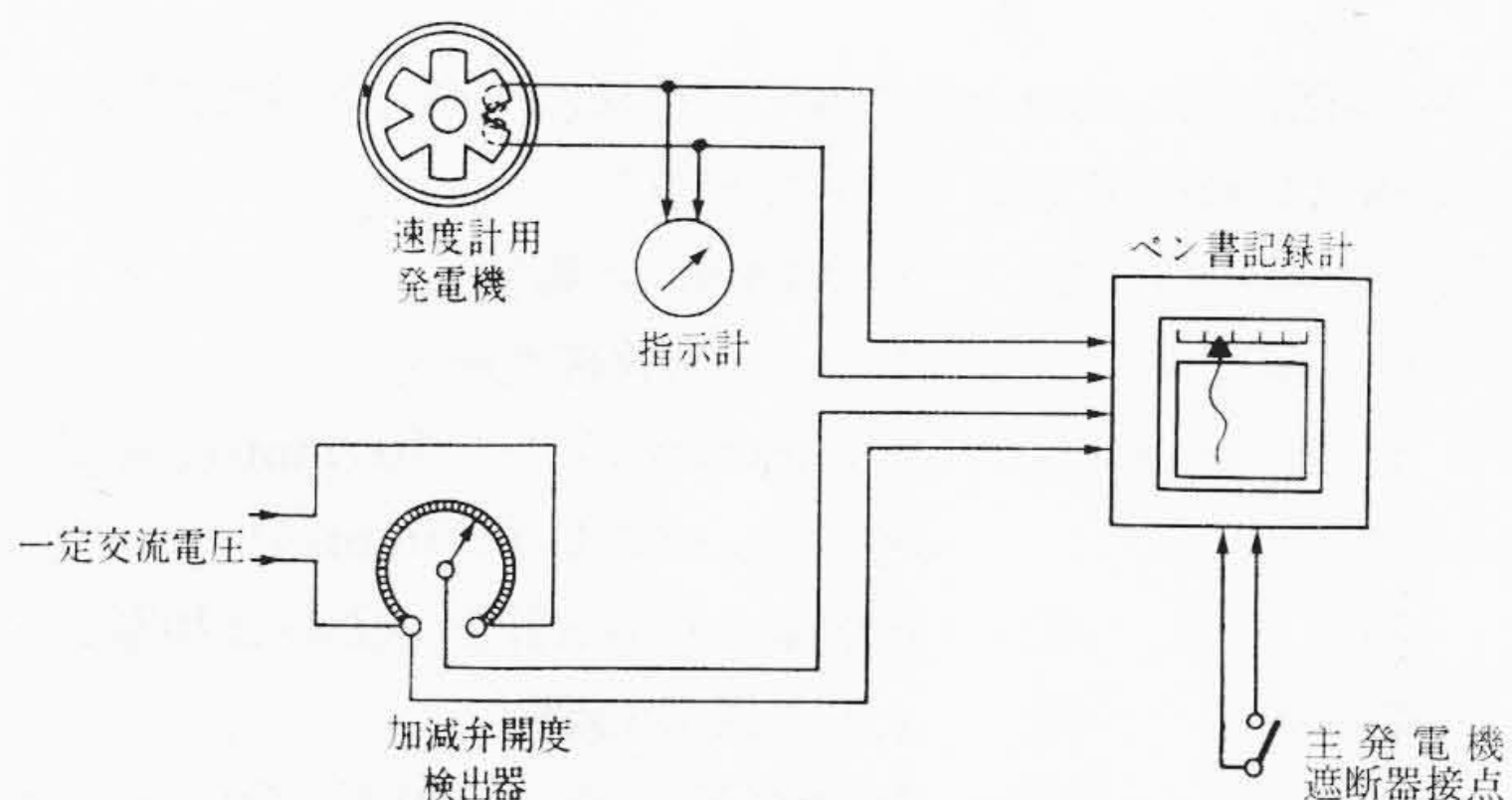
タービン前側軸受箱前面の圧力計、速度指示計は起動時使用されるが、現場弁操作盤、油タンク内ブースタポンプ取付圧力計は



第4図 中央制御盤の一例



第5図 タービン起動盤の一例



第7図 速度および加減弁開度計の測定原理

各機器の調整に使用される。油タンク上計器盤取付圧力計は圧力スイッチテストのときの設定圧力の確認に、現場温度計は温度記録計指示値の確認に使用される。

3. タービン監視計器

タービン監視計器は、タービンが大容量化するに伴い、効率よく起動、停止する必要があるため、扱いやすく正確で信頼度の高いものが要求される。これに応えるため次の種類の計器が用意されている。

3.1 種 類

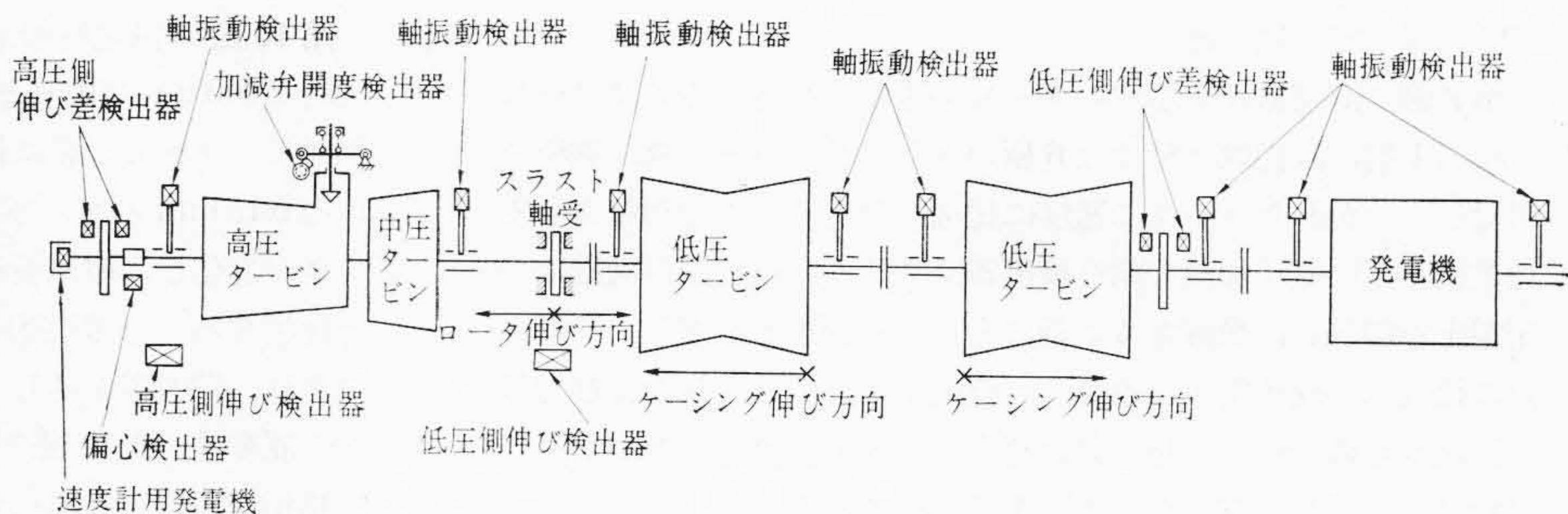
- (1) タービン速度
- (2) 加減弁開度
- (3) 偏 心
- (4) ケーシング伸び
- (5) ケーシングとロータとの伸び差
- (6) 振 動

以上の計器は計器盤面のスペース、記録結果の検討の簡便などの見地から、タービン速度と加減弁開度、ケーシング伸びとケーシング、ロータ伸び差は同一記録計に組み込まれている。第6図はタービン監視計器検出器を3車室タンデムコンパウンド形4流排気形再熱タービンに配置された一例を示したものである。

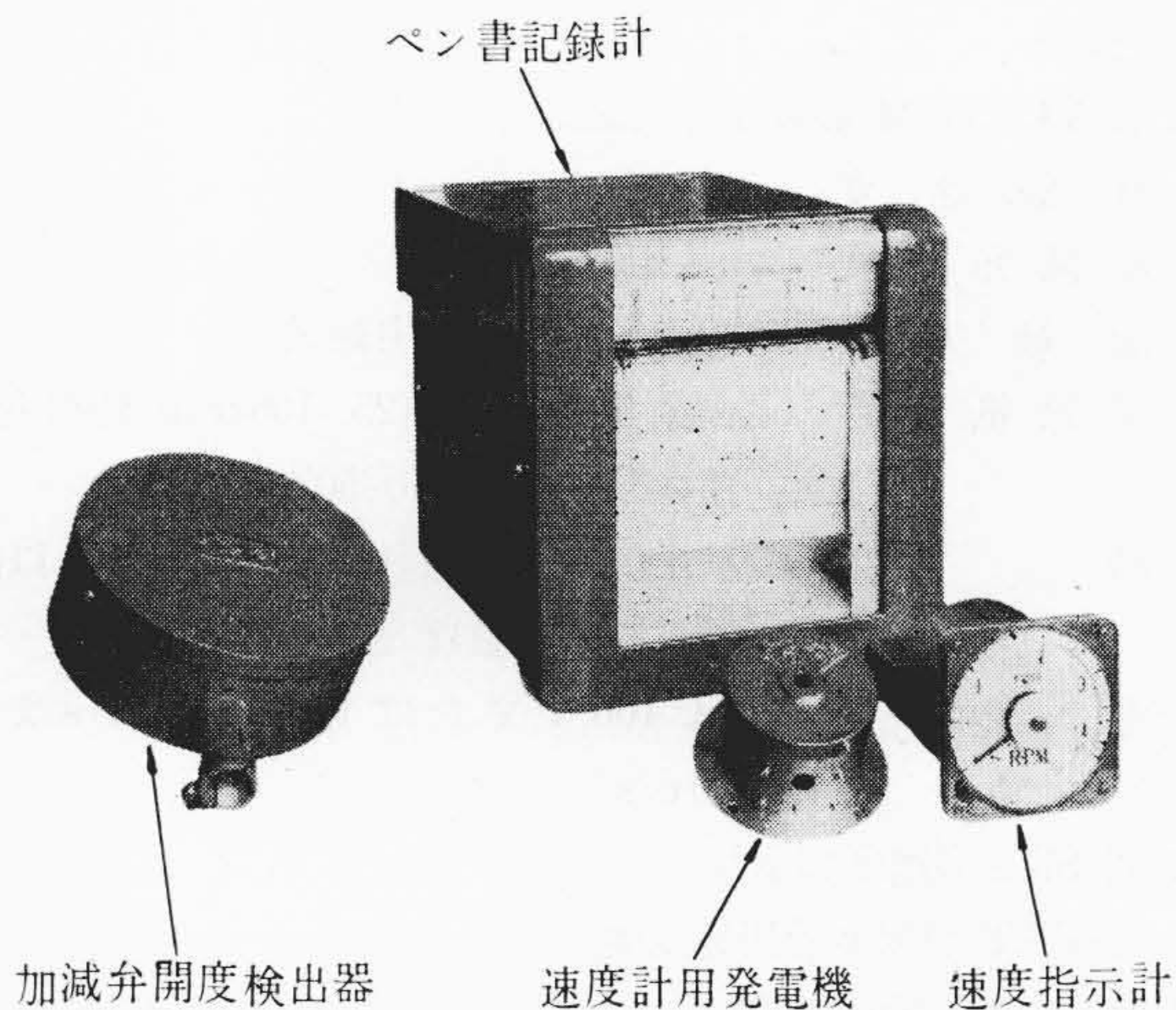
3.2 速度および加減弁開度計

(1) 用途および方式

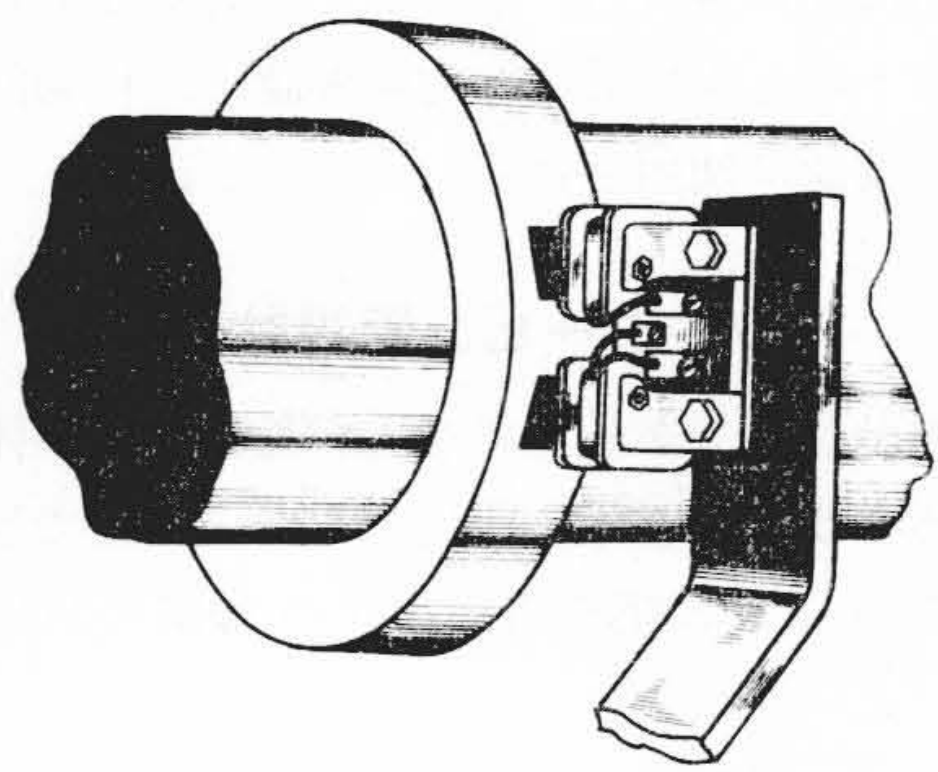
速度は定格回転数に達するまでの回転上昇時、あるいは停止時の回転下降のときのみ知れば良い。加減弁開度はタービンに流入する蒸気量を制御している蒸気加減弁の開度を示すもので、負荷の変動に応じてこの開度は変化する。1点ペン書記録計を用いて並列運転までは速度を記録し、並列後は加減弁開度を百分率にて記録している。速度指示計は常時回転数のみを指示する。



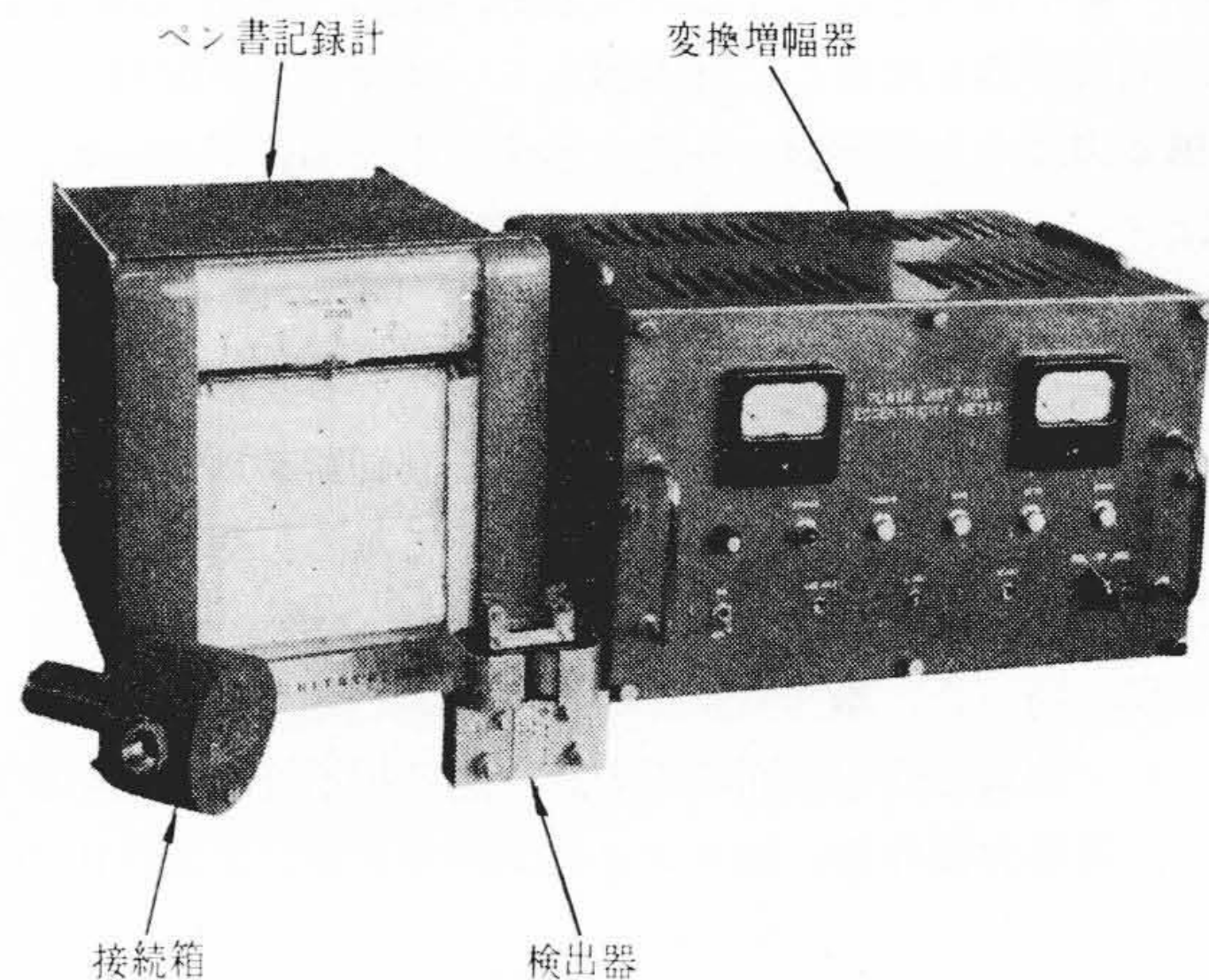
第6図 監視計器配置図



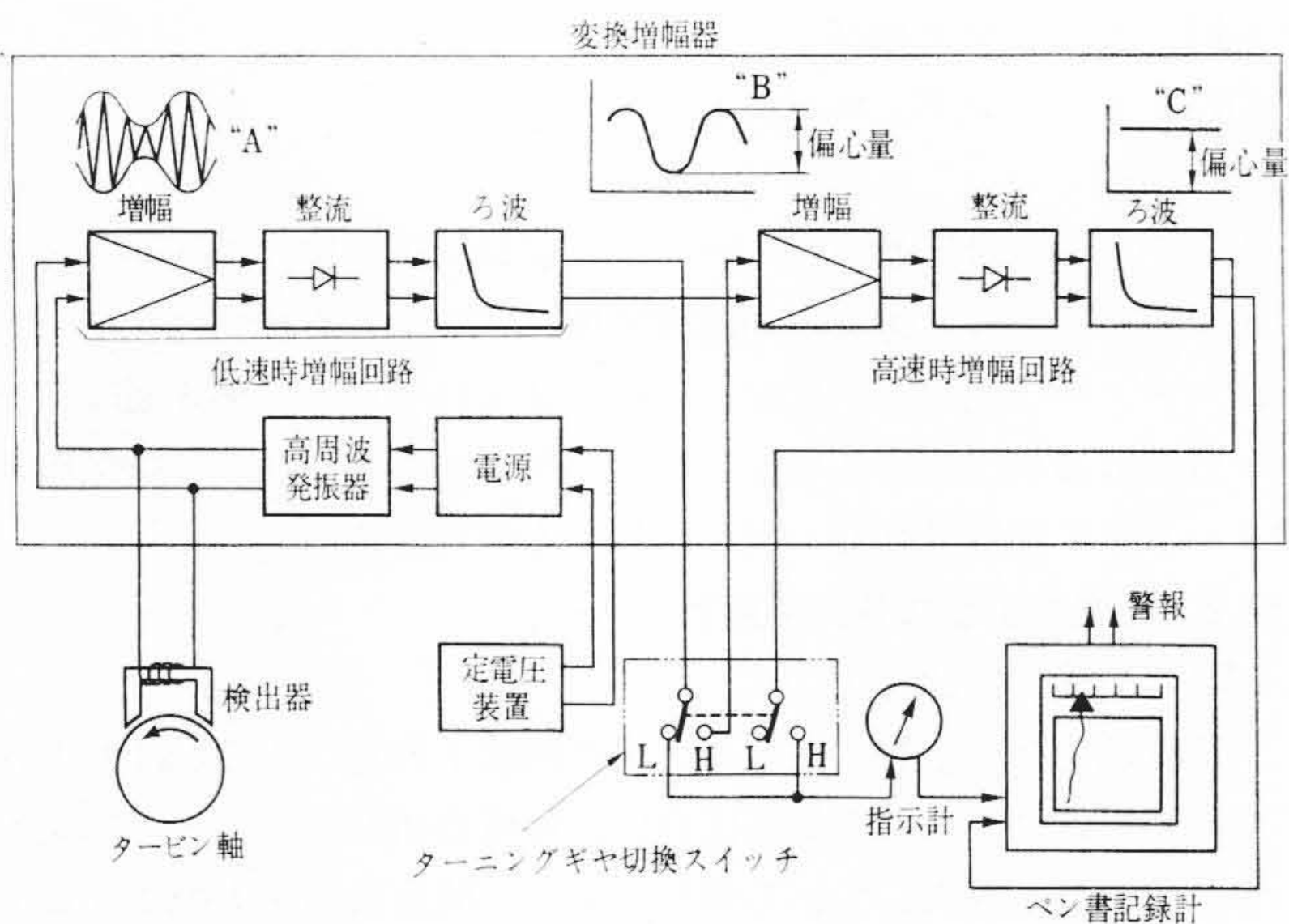
第8図 速度および加減弁開度記録計



第9図 偏心検出器



第11図 偏心記録計



第10図 偏心計の測定原理

(2) 測定原理

第7図に測定原理を示す。タービン速度を測定するにはタービン軸の1端に直接取り付け付けた6極の永久磁石を回転させ、磁極に相対しておかれたコイルに速度に比例した交流電圧を誘起させる発電機を用いる。加減弁開度検出器はスライド抵抗器の両端に一定電圧を印加し、加減弁カム軸に直結した刷子が回転し、その位置に比例した交流電圧を整流して直流電圧計にて指示および記録を行なうものである。指示計は可動コイル形直流電圧計であり、記録計は電子管式電位差計法によるものである。

(3) 仕様

第8図は速度および加減弁開度記録計の外観で、仕様は次のとおりである。

1 個-Vkp 30-M 形電子管式記録計

目盛速度	0~5,000 rpm
加減弁開度	0~100%
記録方式	1点ペン書連続実線式
記録紙速度	標準 50 mm/時 (25, 100 mm/時可変) 高速スイッチにより 50 mm/分
精度	検出器より記録計まで含め $\pm 4\%$ 以内、ただし回転数は $\pm 2\%$ 以内
電源	AC 100 V または 110 V, 50 c/s または 60 c/s

1 個-SR₃₅ 形速度指示計

1 個-FAT 形速度計用発電機

1 個-DP 形開度検出器

1 式-付属品

3.3 偏心計

(1) 用途および方式

偏心計はタービン第1軸受近くの軸の曲がりおよび振動振幅を連続的に指示記録する計器である。タービンが停止期間中にタービン軸は熱的不平衡によって多少曲がる場合があるが、一般には起動前ターニングを行ない軸の曲がりを十分少なくしたうえ、蒸気で徐々に回転上昇する。偏心計で検出されるタービン軸の偏心とは偏心検出器が対向している軸の最大振幅、すなわち、偏心量とは軸が1回転する間に検出器極面と軸との間の距離の最大と最小の差である。偏心計はターニング中は軸の曲がりを検出し、高速回転になれば軸の振動振幅を検出する。高速回転時に偏心量が一定限度を越えると警報を発する。第9図は偏心検出器をタービン軸にとりつけた状態を示す。

(2) 測定原理

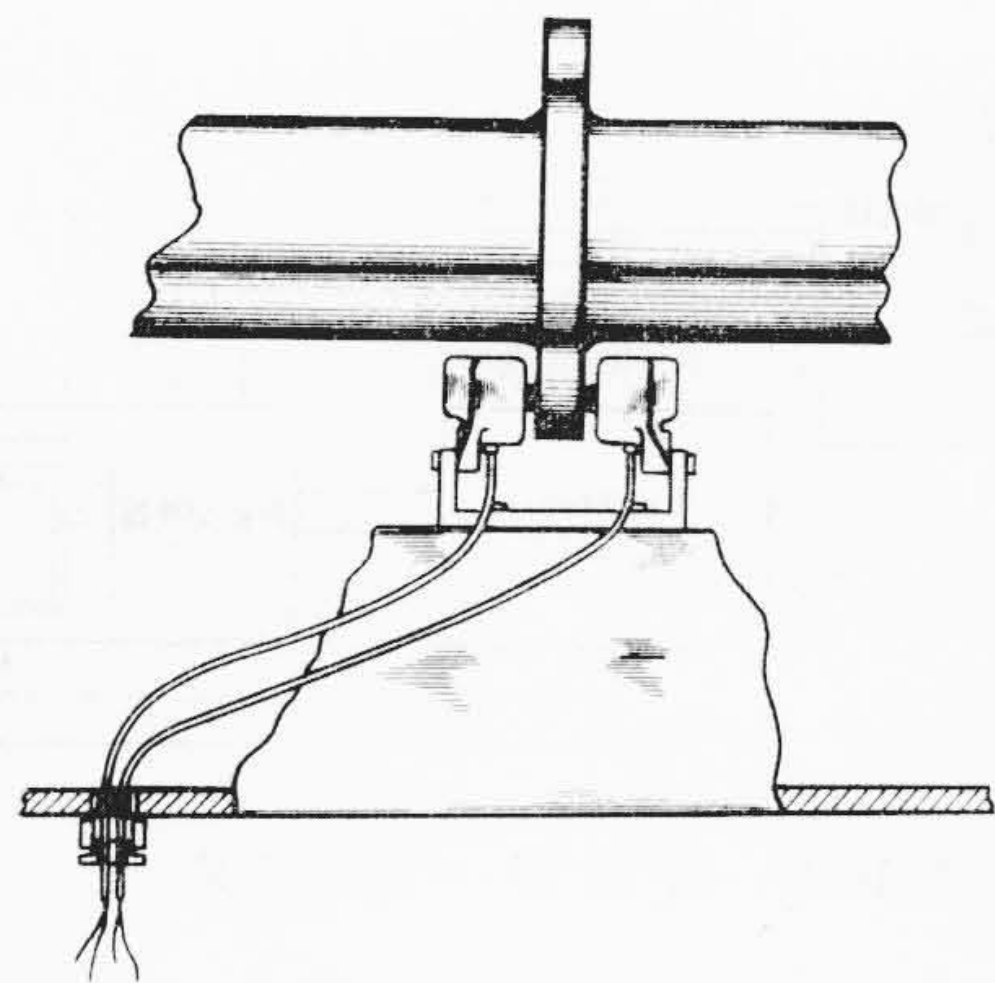
第10図に測定原理を示す。一定電圧が供給されている発振器で約 2,000 c/s の搬送波を発振させ、検出器を含む検出回路に印加する。タービン軸に偏心がありそのまま軸が回転すると、軸に 1.5 ± 0.13 mm のギャップで対向させた検出コイルのインダクタンスが変化し、搬送波が変調され、その変調度が軸の偏心量にほぼ比例する。変調された搬送波(第10図“A”参照)は増幅、整流され、平滑器を通して低速出力(記号“L”ターニング時)端子から脈動波(第10図“B”参照)をえて、ターニング中の偏心として指示、記録される。このとき、指針は脈動波の周波数で脈動するため、記録紙には帯幅となって偏心が示される。高速運転にはいると変調周波数は高くなり、指針が追従できないので第10図波形“B”の交流分のみを取り出し増幅、整流、平滑し完全な直流とし(第10図波形“C”参照)、高速出力(記号“H”、高速回転時)端子から取り出し指示、記録させる。この交流分は偏心量に比例しているので、高速時の偏心量となる。

(3) 仕様

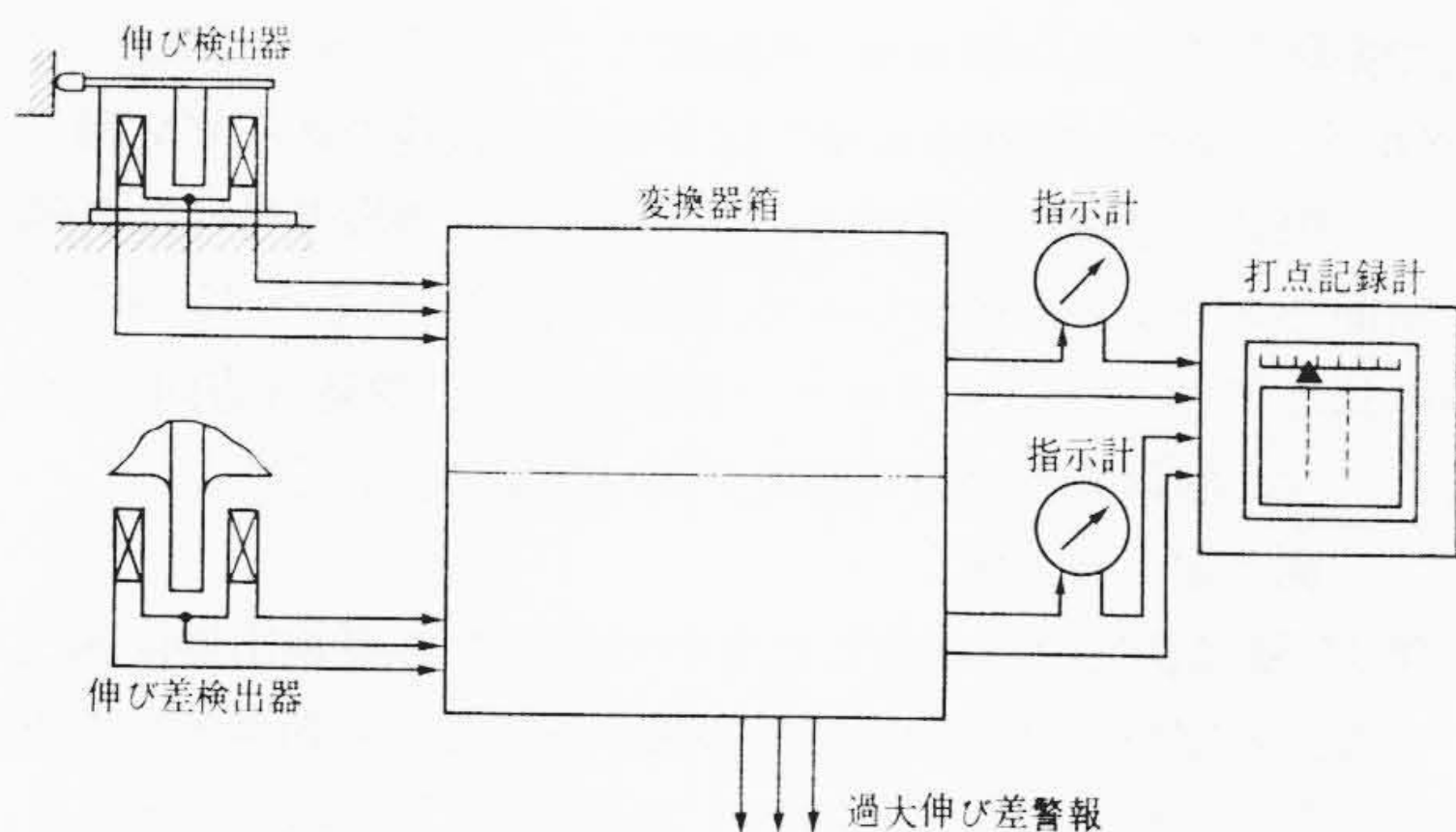
第11図は偏心記録計の外観で、仕様は次のとおりである。

1 個-Vkp 30-M 形電子管式記録計

目盛	0~0.4 mm (両振幅)
記録方式	1点ペン書連続実線式
記録紙速度	標準 50 mm/時 (25, 100 mm/時可変) 高速スイッチにより 50 mm/分
精度	検出器より記録計まで含め $\pm 10\%$ 以内
警報	上限1個(可調整)
電源	AC 100 V または 110 V, 50 c/s または 60 c/s



第12図 伸び差検出器



第13図 伸び、伸び差計の測定原理

1 個-SR₃₅ 形指示計

目 盛 0~0.4 mm (両振幅)

1 個-LLR-4 形検出器

1 個-X-CB₁ 形接続箱1 個-X-LLR₄₁ 形変換増幅器

1 式-付属品

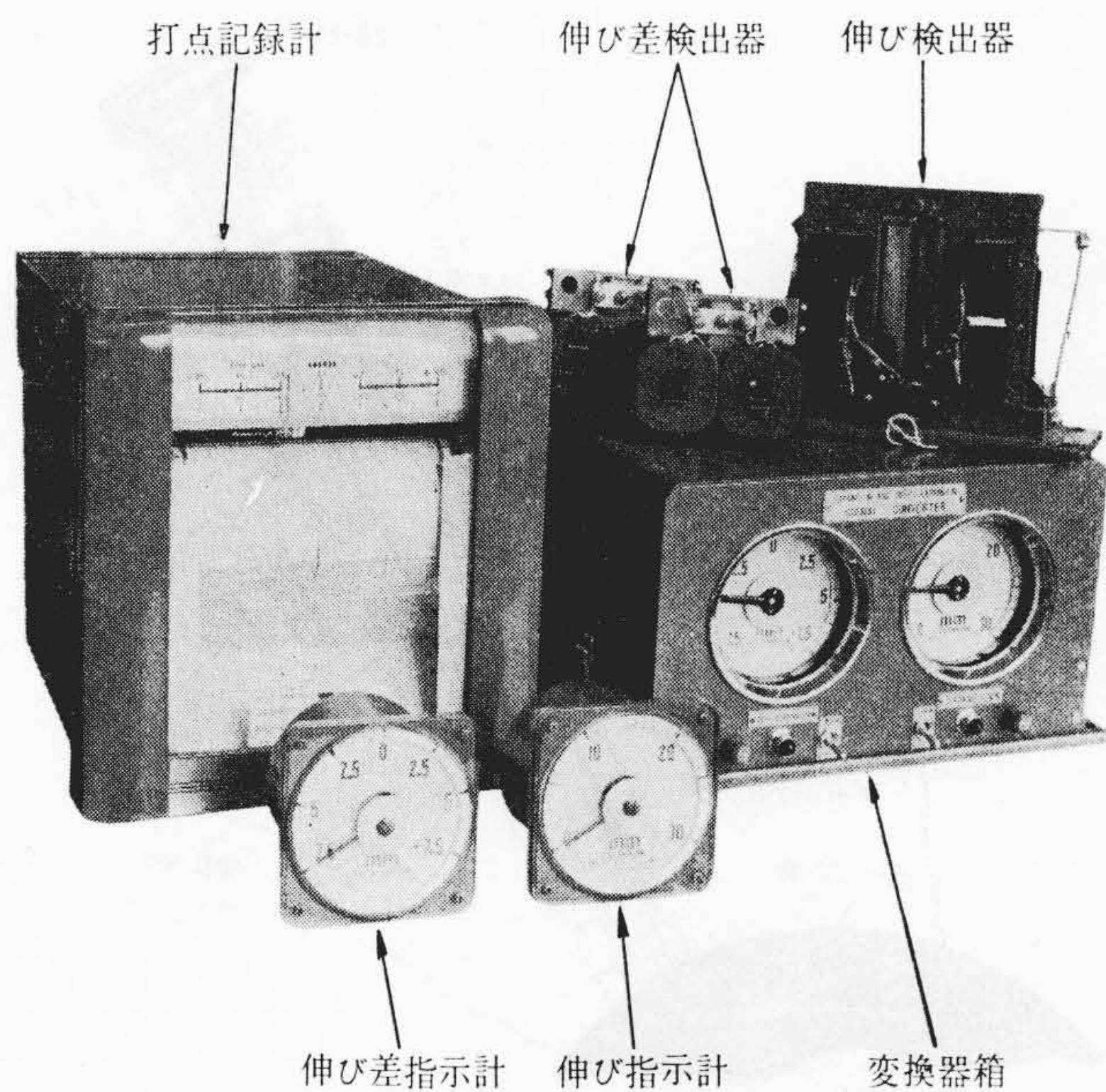
3.4 伸びおよび伸び差計

(1) 用途および方式

伸び、伸び差記録計はタービン起動、停止、特に急速起動を行なう場合ケーシングの伸び、およびケーシングとロータの伸び差を指示、記録するものである。ケーシングの伸びは起動時に蒸気の流入にしたがって増加するだけであるが、伸び差の監視はタービンケーシング内各段落の翼車と静止部の接触を防ぐために非常に重要であり、その量は起動の方法、蒸気条件などにより変化する。伸び差は一定限度を越えると警報を発する。第12図は伸び差検出器を取り付けた状態を示したものである。

(2) 測定原理

第13図に測定原理を示す。伸び検出器は検出コイル磁極があるギャップをへだててケーシングの伸びとともに動く可動鉄心と対向した形で固定されている。伸び差検出器もまったく同様な構造であるが、可動鉄心はタービン軸のつばそのものである。測定回路は検出コイルを対応する辺とし、スライド抵抗、固定抵抗を含むブリッジ回路となっており、検出コイルのインダクタンスが可動鉄心の移動により変化すると、スライド抵抗がブリッジ平衡するように変換器箱の中に伸びと伸び差の2組の自動平衡機構を持っている。自動平衡機構は平衡モータの軸に警報機構およびスライド抵抗の刷子を直結させ、警報動作をさせるとともにそれぞれ指示計、記録計に信号を送る。伸び差計と同じ原理でタービン軸のスラスト荷重の方向やスラスト軸受摩耗量を測定するために軸位置計を設ける場合がある。



第14図 伸び、伸び差記録計

(3) 仕様

第14図は伸び、伸び差記録計の外観で、仕様は次のとおりである。

1 個-Vkp 30-M 形電子管式記録計

目 盛 タービンの形式、出力に応じて次の種類の目盛が二重に目盛られる。

伸 び	伸 び 差
0~15 mm	-7.5~0~+7.5 mm, -5~0~+10 mm
0~30 mm	-10~0~+5 mm
0~40 mm	-10~0~+10 mm, -5~0~+15 mm
0~50 mm	-15~0~+5 mm, -5~0~+20 mm, -20~0~+20 mm

記 録 方 式 打点切換式 (伸び2点および伸び差4点まで可能)

記 録 紙 速 度 標準 50 mm/時 (25, 100 mm/時可変)

精 度 検出器より記録計まで含め ±4% 以内

警 報 伸び差のみ上限、下限各1個 (可調整)

電 源 AC 100 V または 110 V, 50 c/s または 60 c/s

1 個-SR₃₅ 形伸び指示計

目 盛 記録計に同じ

1 個-SR₃₅ 形伸び差指示計

目 盛 記録計に同じ

1 個-LLR-3 形伸び検出器

2 個-LLR-2 形伸び差検出器

1 個-X-LLR₂₃ 形変換器箱

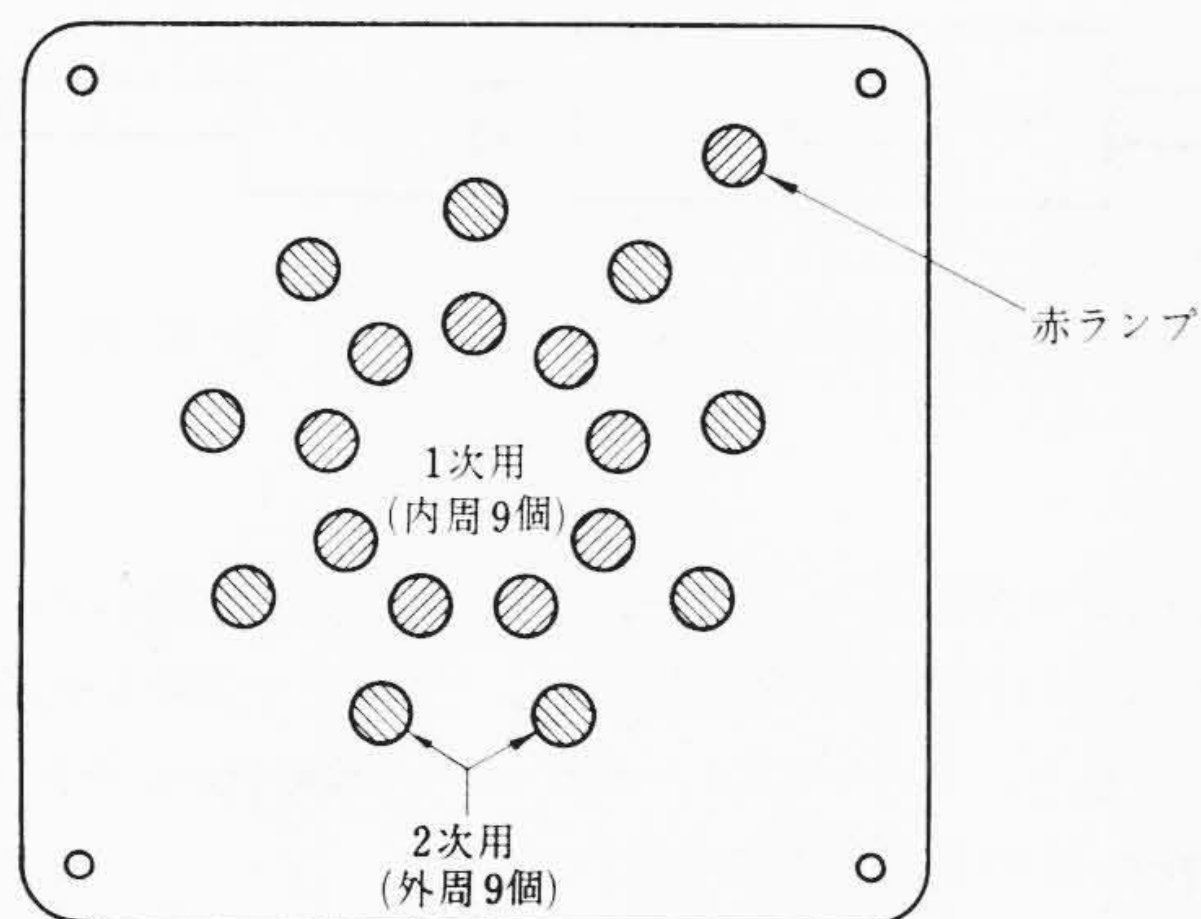
1 式-付属品

3.5 振 動 計

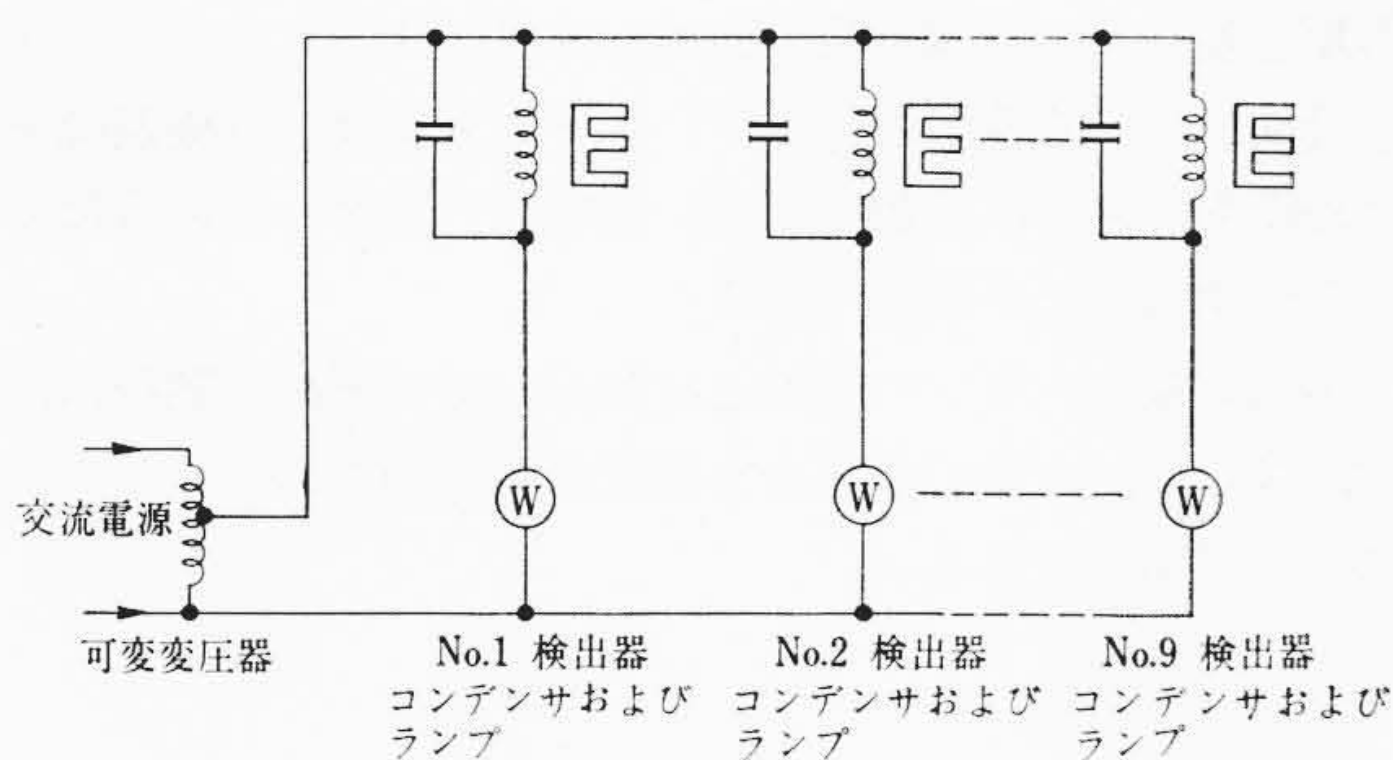
(1) 用途および方式

振動計は軸受カバー上の垂直方向、横方向、軸方向の3成分の振動振幅のほかに、タービン軸直接の振動振幅を指示、記録する計器である。

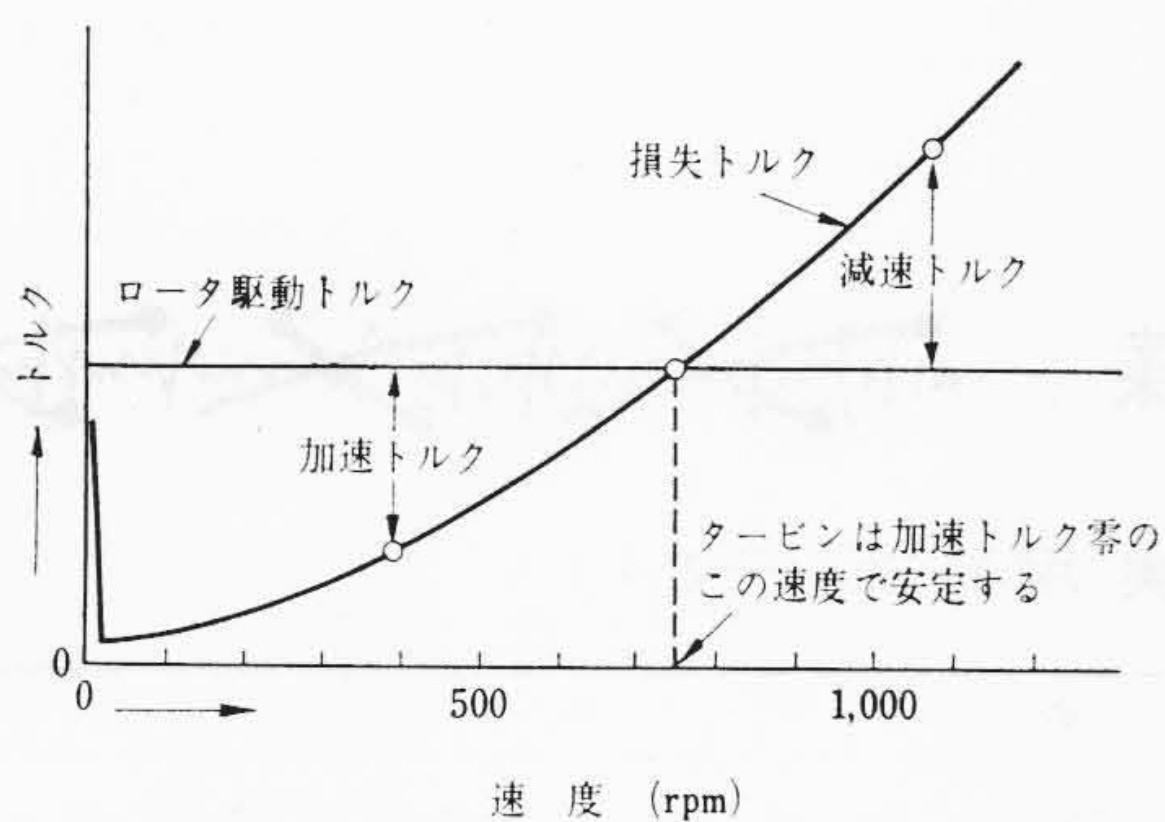
タービンの振動は軸の動的不釣合、軸受油膜、軸受据付不適当、軸の不安定、軸の1部と静止部とのしゅう動などの諸原因により発生し、その振幅の増大はタービンの破壊にまでつながっている。したがって、この振動振幅を監視することはきわめて重要



第19図 軸回転指示計

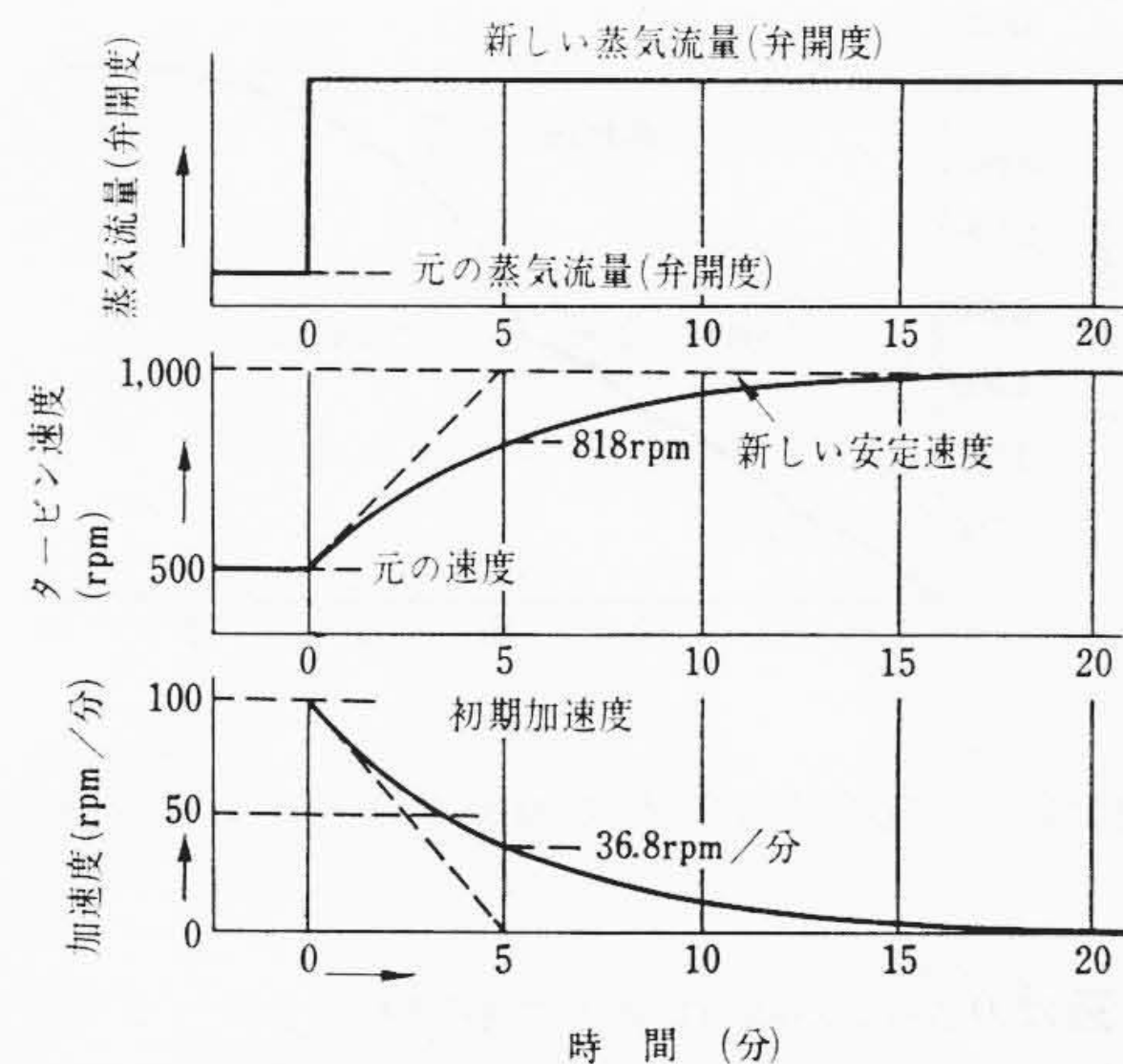


第20図 軸回転指示計測定回路

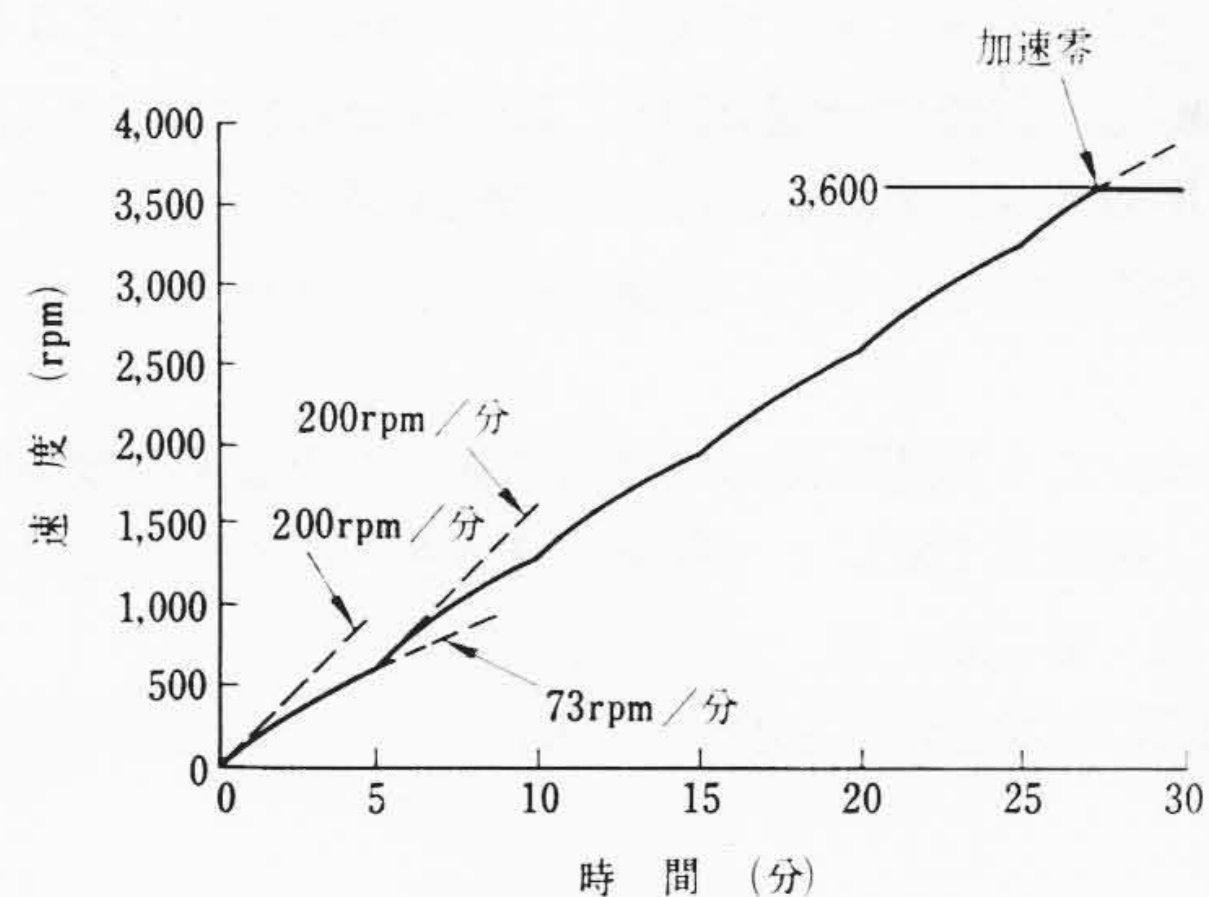


第21図 速度とトルクの関係

ンの複流排気的一方は1次の低圧タービンにはいり、他方は2次の低圧タービンにはいる。タービンの起動時、昇速過程では蒸気流量が少ないために、全圧力降下はほとんど高圧タービン第1段で起こるため、クロスコンパウンド形タービンでは1次と2次の2軸の間を連結してないと、1次タービンだけ昇速され2次タービンは昇速されない。このため第18図に示すように1次と2次の発電機端子相互を接続し常時電氣的に同期させている。この電氣的結合はターニング運転時に、両発電機に励磁をかけることによってなされる。したがって、ターニング運転時に1次と2次の2軸の同期のために位相を十分に合わせるために軸回転指示計が必要となる。軸回転指示計は第19図にその正面を示すように、1次用として内周に40度間隔で9個のランプがあり、2次タービン用として外周に同じく9個のランプが配置されている。軸の位相はランプが明るく光る位置で示され(残りの8個のランプは暗く点灯している)。1次と2次の位相のずれを運転者に知らせ、位相の進んでいる軸のターニングギヤ用電動機を止めて(別の方法では1次、2次ともに低速、高速2段速度のターニングギヤ用電動機を備えておき、当初一方の軸を高速で回転させ両軸の位相があったとき、他方の軸を高速に切換えて同期させる)位



第22図 弁開度を急開したときの加速度とタービン速度の関係



第23図 一定加速時の昇速曲線

相を合わせる。1次と2次の軸は位相のずれが30度以内であれば十分に同期できる。

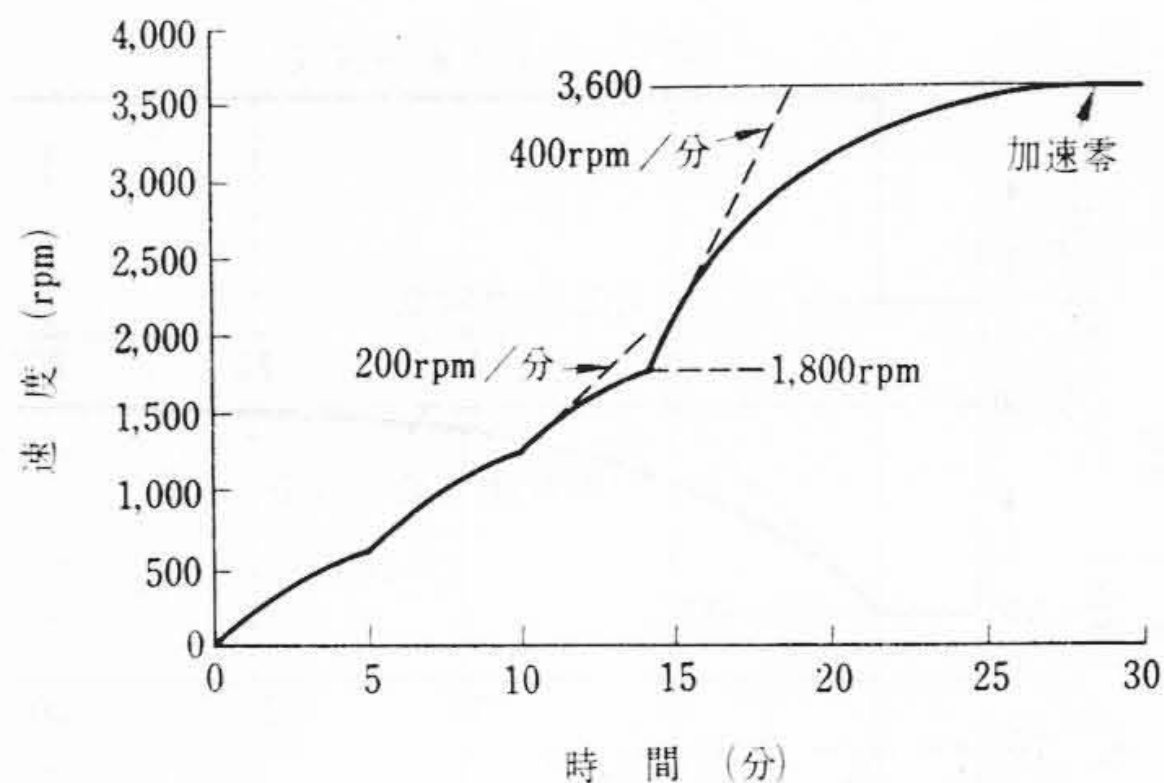
(2) 測定原理

第20図に測定回路を示す。検出器は1次、2次の軸にそれぞれ第18図のように9個を40度間隔で全周に配置し、1個所だけにスロットを切った軸と一定のギャップで対向させておく。検出器極面に軸のスロットのない面があるときは、検出器のインピーダンスは高くなるため、検出器と直列に接続されたランプは暗く点灯している。検出器極面にスロットがきたときは、極面と軸とのギャップは大きくなりインピーダンスは低くなり、その回路のランプは明るく光る。タービンが蒸気で回転され約200 rpmまではこの指示計は動作する。指示計が動作している間は赤ランプ(第19図参照)が点灯している。

4.2 加速度指示計

(1) 用途と方式

加速度指示計はタービン運転者が負荷制限器または主さい止弁バイパス弁にてタービン速度を制御したり、同期させるときに使用される。加減弁または主さい止弁バイパス弁を通る蒸気流量は弁開度とほとんど比例している。タービンロータが蒸気によって回転される駆動トルクは蒸気流量にだいたい比例している。加速トルク(または減速トルク)は駆動トルクよりタービン発電機のすべての損失トルク(軸受、主油ポンプおよび回転損失など)を差し引いた正味のトルクである。これは第21図に示されるように加速度は加速トルクに比例することがわかる。第22図は蒸気流量(弁開度)を急激に増加したときのタービン速度と加速度の関係の一例を示したものである。加速度指示計により100 rpm/分より0 rpm/分までの加速度の様子がわかり、運転者は弁(加減弁または主さい止弁バイパス弁)開度の制御が容易になる。



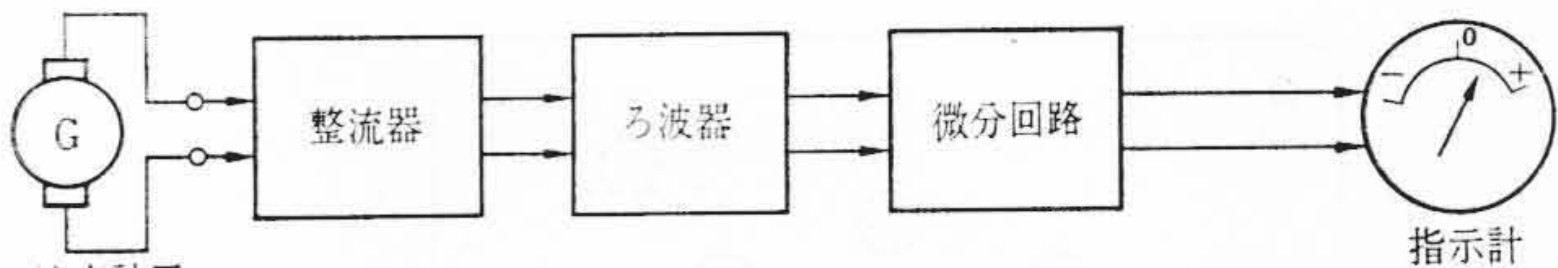
第24図 危険速度範囲で加速を増加した昇速曲線

第23図は0から3,600rpmまで約30分でタービンを昇速した例を示す。この場合は5分ごとに200rpm/分の一定加速を目標に加速度指示計を見ながら弁開度を制御したものである。1,800rpm以上に危険速度範囲があるため1,800rpmまでは5分ごとに200rpm/分を目標に一定加速し、1,800rpm時には400rpm/分に加速を増加させた例を示したのが第24図である。このような場合は加速度指示計でその加速を運転者が知り、弁開度を制御できる。

このほかにも加速度指示計は同期時や、非常調速機試験のためタービン速度を110%まで昇速させるときにも利用される。

(2) 測定原理

第25図に測定原理を示す。前述のタービン監視計器の速度計



第25図 加速指示計測定原理

用発電機より分岐して、整流、濾波、微分して指示計に指示させる。指示計の目盛には2種類あり、一つは-300~+300rpm/分の切換なしと、もう一つは-600~0~+600rpm/分と-60~0~+60rpm/分の2段切換のものである。

5. 結 言

以上大容量タービンの計装についてその概略を述べたが、これらの計器類と並行して計測結果の整理を容易にするためにデータ処理装置を設備している発電所もあり、近い将来には計算機制御を導入するためにも、さらに信頼度の高い運転を可能ならしめるためにも計装を整備することが重要である。

本文が大容量タービンの運転と計装がいかに密接な関係にあるかの理解に役立ち、今後の新鋭火力発電所の計画にあたって少しでも参考になれば幸いである。

特 許 と 新 案

最近登録された日立製作所の実用新案(その1)

登録番号	名 称	氏 名	登録年月日	登録番号	名 称	氏 名	登録年月日
732323	分 相 型 電 動 機	上村 民夫	39. 2. 25	732369	道 路 車 輛 操 舵 装 置	村田 師男	39. 2. 25
732331	ホ イ ス ト 制 御 装 置	島塚 修三	"	733979	掃 除 車	田松 敬之	39. 3. 11
732346	電 気 集 塵 器 の 安 全 装 置	河村 三郎	"	733904	外 縮 式 ド ラ ム ブ レ ー キ	津 沢 泰 行	"
733980	電 気 集 塵 器 の 安 全 装 置	安藤 昌文	39. 3. 11	733905	ド ラ ム ブ レ ー キ 装 置	津 沢 泰 行	"
733945	配 線 用 遮 断 器 の 端 子 装 置	安藤 昌文	"	733913	制 動 制 御 弁	田 勝 八 次	"
733954	押 ボ タ ン 開 閉 器	大井 俊浩	"	733919	炉 内 圧 調 節 器	勝 尾 貞 一	39. 2. 17
733955	開 閉 器	佐藤 儀行	"	732278	軸 受 給 油 装 置	武 居 田 幸	39. 3. 11
733902	自 己 保 持 装 置 を 有 す る 継 電 器	安富 儀和	"	733926	エ キ セ ス フ ロ ー 併 用 バ ル ブ	武 居 田 幸	39. 3. 11
733924	点 溶 接 材	安富 儀和	"	730978	切 粉 清 掃 装 置	菊 山 清 吉	39. 1. 22
730986	起 重 機 に 於 け る 走 行 斜 行 防 止 装 置	稲 島 武 博	39. 1. 22	730979	圧 力 採 取 弁	菊 山 清 吉	"
730991	ク レ ー ン の 横 行 体 の 固 定 装 置	柿 沼 武 勇	"	732296	ターボ冷凍機における絞り弁	大小 谷 隆 慶	39. 2. 17
732291	管 継 手	山 崎 純 進	39. 2. 17	733897	圧 縮 機 に お け る 自 動 弁	大 立 古 川 慶 夫	39. 3. 11
732298	薄 層 用 水 力 採 炭 機 械	木 村 正 昌	"	733909	給 油 装 置	大 立 古 川 慶 夫	"
733947	つり上げ循環式立体駐車設備のゲージ	神 尾 昌 元	39. 3. 11	732314	透 視 窓	河 佐 藤 林 功	39. 2. 25
733948	ベルトコンベヤ装置におけるスカートベルトのおさえ装置	神 尾 昌 元	"	732332	透 視 窓	松 福 海 老 功	"
733958	ギャボックス用オイルブラグ	高橋 長一	"	732353	空 気 調 和 機 の 除 湿 水 受 皿	松 福 海 老 功	"
733920	トラクタのイコライザ装置	石川 隆金	"			緒 方 京 一	"
733933	遠 心 ポ ン プ	本 野 多 次	"			緒 方 京 一	"
733934	鋳 鍋 用 フ ッ ク	藤 伊 佐 孝	"			緒 方 京 一	"
732352	掃 除 車 用 ロ ー ラ ブ ラ ン	平 松 敬 三	39. 2. 25			緒 方 京 一	"