

油 圧 式 調 速 装 置 (第2報)

条 野 幸 三*

Hydraulically Operated Speed Governor (Part 2)

Kōzō Kumeno

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

This report is first devoted to the writer's study on the results of performance test of the hydraulically operated speed governor used with 5,000 kW turbine generator.

In the test, stress was placed especially on the performance in cutting the load out. The writer also treats of the study on the reason why the instantaneous maximum speed rise is held to the extremely small value and the merit of oil pressure system, making some remarks as regards the future application of speed control to large capacity high speed rotary machines.

The first condition for the application of oil pressure system is thorough knowledge on oil, the liquid that plays a major role in this system, with its nature making this system utterly different with solid transmission systems. It might not too much to say that the solution of the oil problem means the achievement of the design of the system. Hence, the report is of the elaborate research work into this problem by the writer and his colleagues, ended in success, and therefore is of Hitachi's accomplishment in the manufacture of the improved type of hydraulically operated speed governor.

〔I〕 緒 言

第1報⁽¹⁾にて詳細に報告した通り制御要素の基礎実験を終了した後、数箇所改良を加えて某所納 5,000 kW タービン発電機に据え付け、負荷遮断時の調速機性能試験を行つた結果非常な好成績を収めたのでその結果を報告する。特に瞬間最大速度上昇率が極めて小さいことは油圧式として利益であり、将来大容量再熱タービンの如き車室並びに連結管中に高圧高温の多量の蒸気の残留する回転体の速度制御を実施する場合に大きな役割を演ずることは論をまつまでもない。

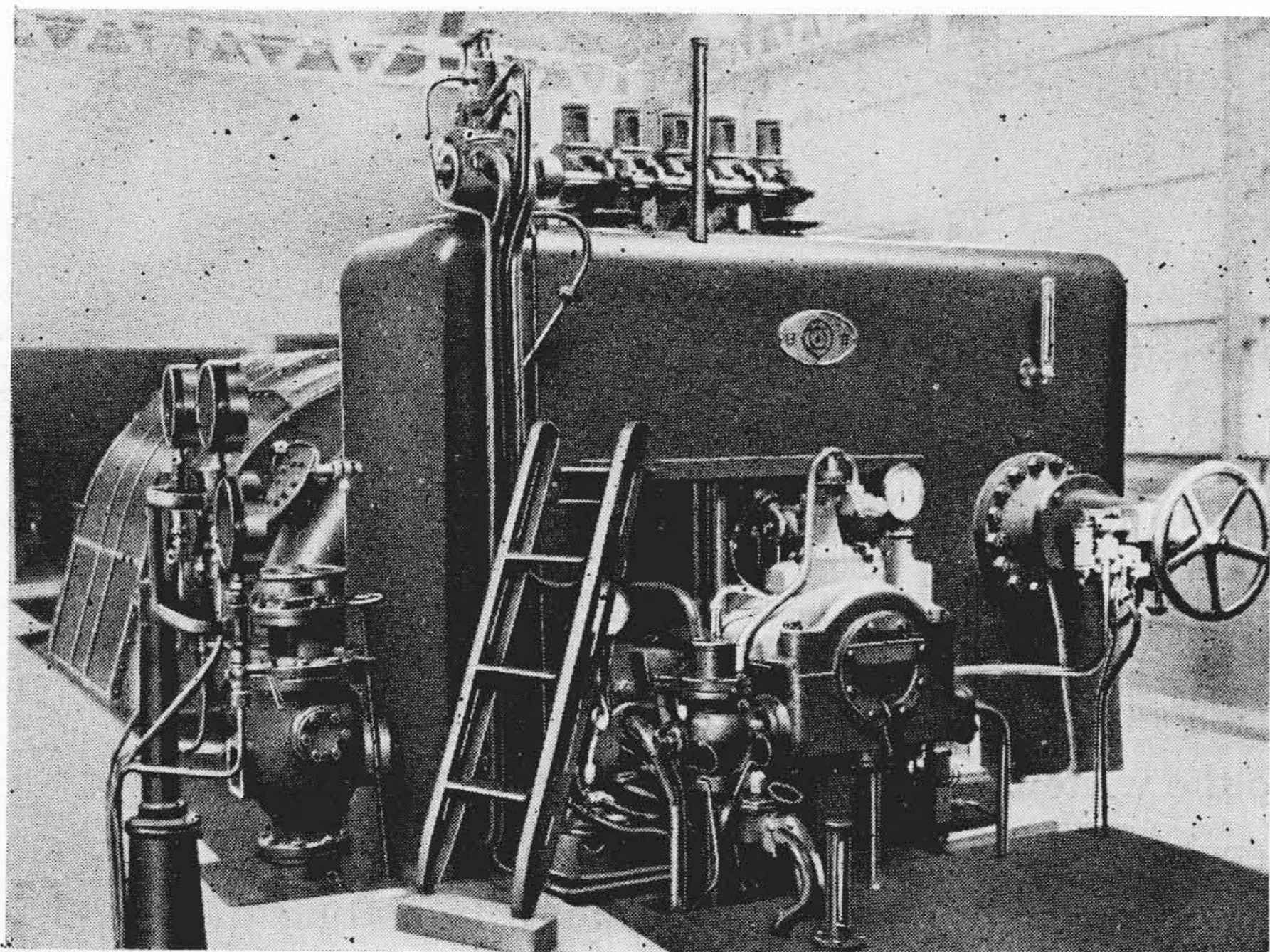
〔II〕 調 速 機 性 能 試 験

第1図(次頁参照)はタービン前面の撮影を示し、油圧式調速機を中心として圧油系統が見えている。上部には油圧式サーボモータ及び軸によつて開閉される加減弁が

ある。第2図(次項参照)はタービンに直結された発電機並びに励磁機を示す。調速機だけを特に撮影したのが第3図(次頁参照)である。タービン全体の大きさに比して、この調速機は非常に小さく而も強大な制御力を有していることが一大特長である。

発電機負荷 1,000, 2,000 及び 3,000 kW からそれぞれ急激に無負荷にした場合の調速機性能試験を行つた。この際タービン入口の蒸気圧力及び温度並びに復水器真空は出来得る限り規定の値に維持し、第4図に示す3つの調速機特性曲線を得た。 δ = 永久速度変動率、 φ_{max} = 瞬間最大速度上昇率とすれば同図からわかる通り δ に比して φ_{max} の値が小さいことは第1報で述べたように調速装置全体の不動時間(τ)が非常に小さいからである。上記試験の際のサーボモータの作動を第5図に示す。負荷 2,000 及び 3,000 kW より無負荷にした時のサーボモータの応動状況は同図より明かな如く、一度サーボ開度 $\theta = 0^\circ$ となりやがて無負荷開度の θ をとつて安定する。

* 日立製作所日立工場

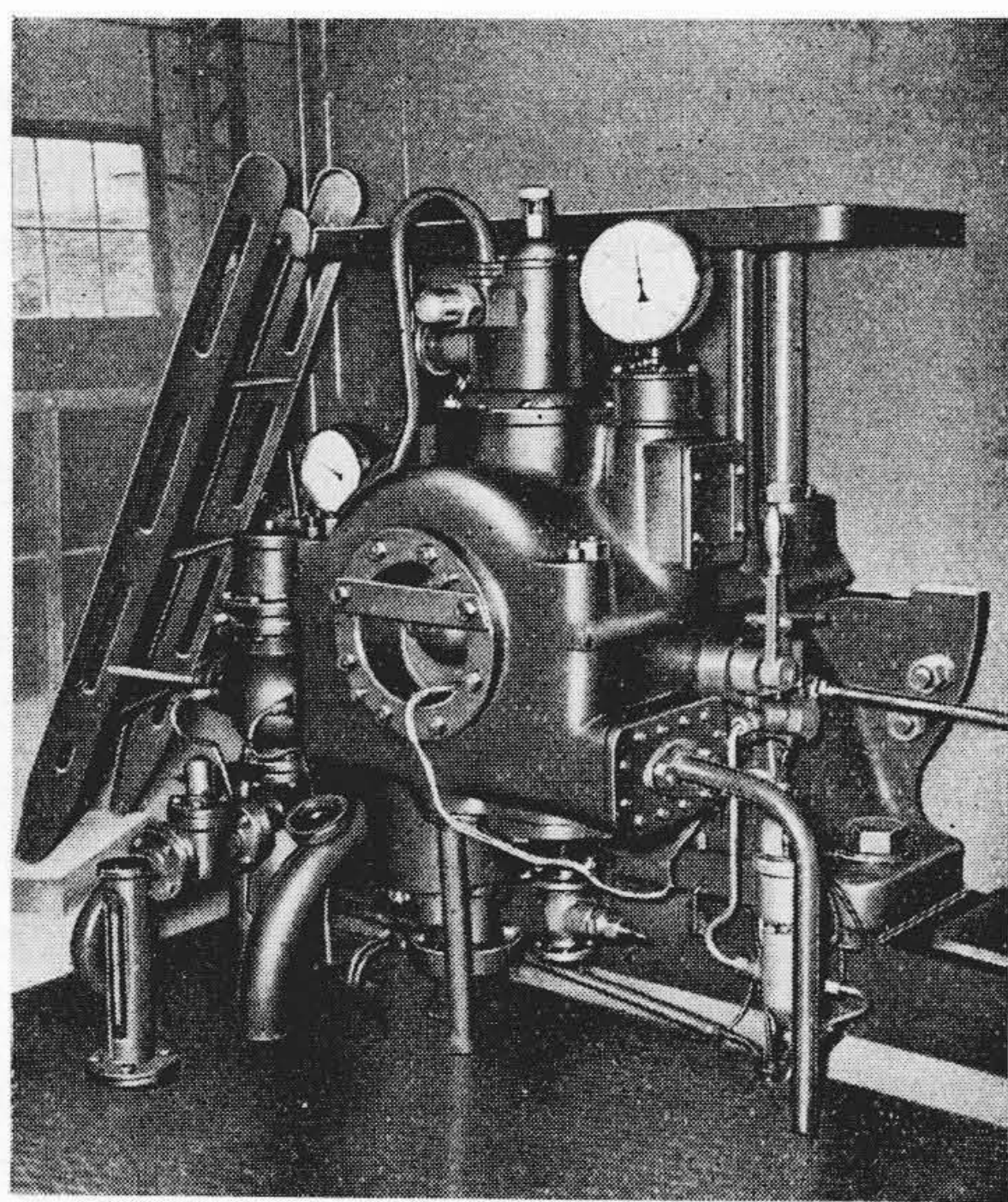
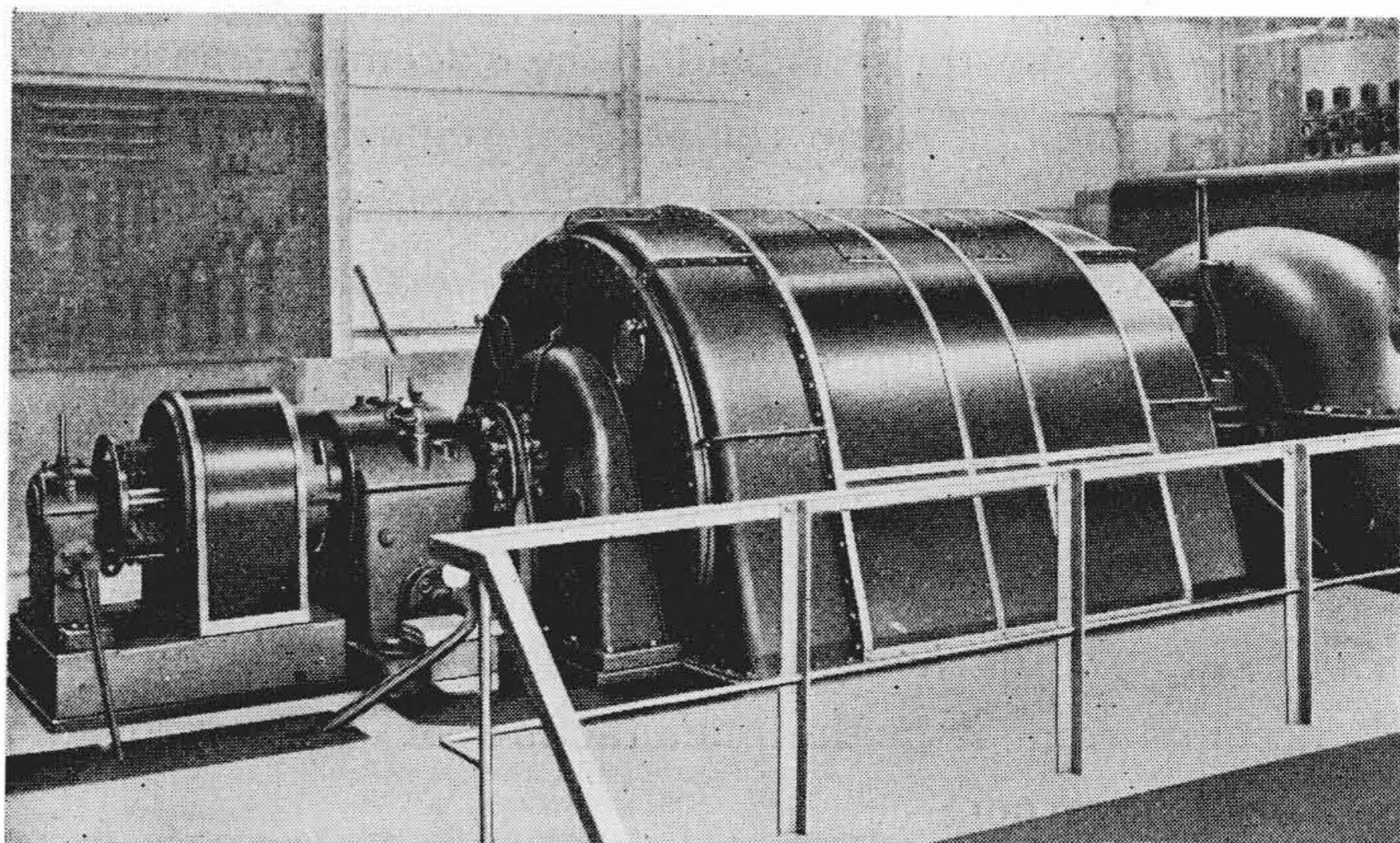


第1図 蒸気タービン前面の油圧式調速装置

Fig. 1. Hydraulically Operated Speed Controlling Devices Front of Steam Turbine

第2図 5,000 kW ターボ発電機

Fig. 2. 5,000 kW Turbo-Generator



第3図 油圧式調速機

Fig. 3. Hydraulically Operated Speed Governor

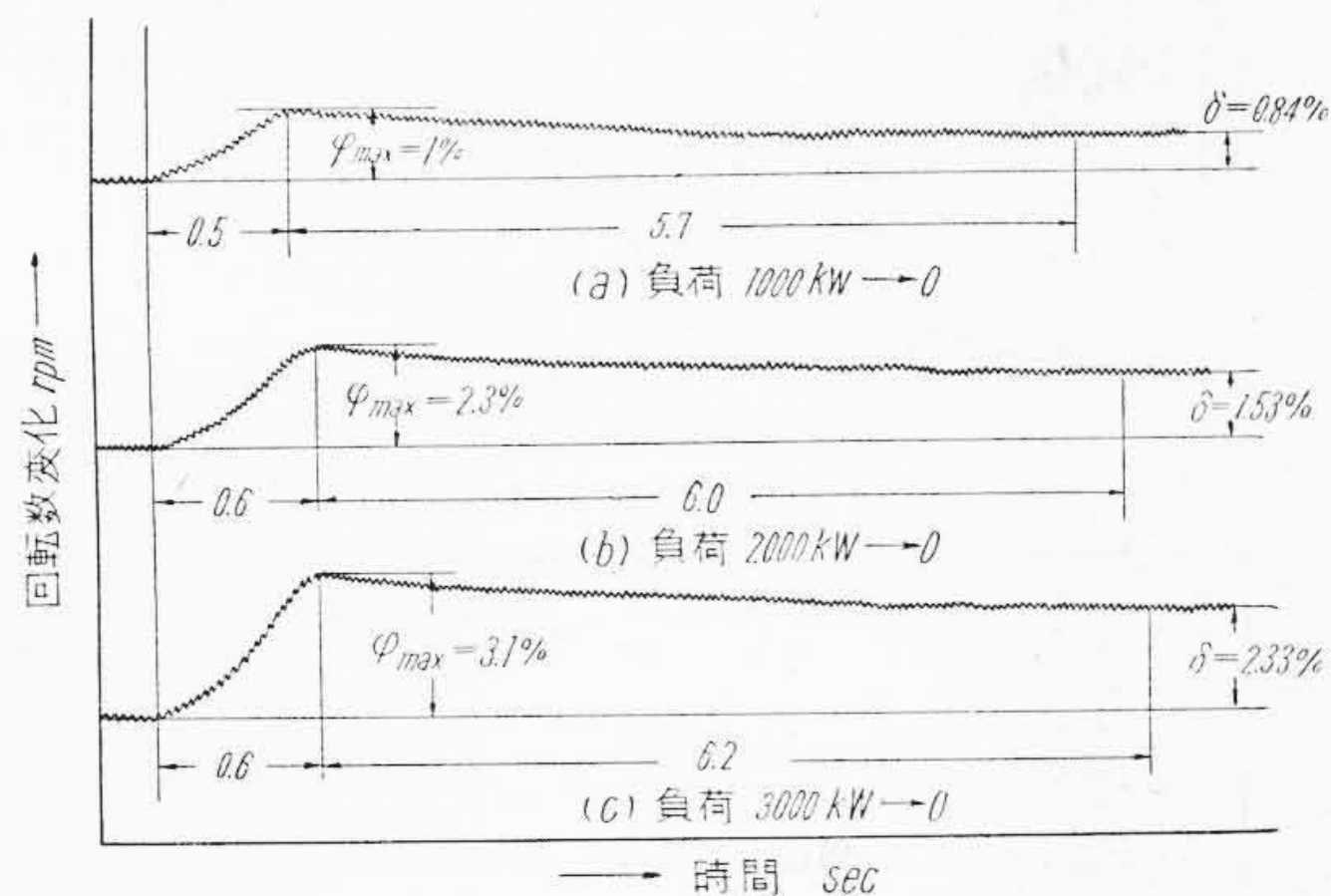
これは調速機遠心体（検出部）の慣性の影響から来るものと、サーボモータの復原機構から来るものとが一緒になつて、過調整を行うことになると考えられる。然しながらその制御過程の減衰性は極めて良好であることは、制御要素の各時定数が極めて小さく、装置全体の不動時間が僅小であるためである。

第4図より δ 及び φ_{max} と負荷の関係を求めると第6図の如くなる。本タービンの蒸気状態は次の如くである。

タービン入口蒸気圧力	26 kg/cm ² g
タービン入口蒸気温度	410°C
復水器真空	705 mmHg

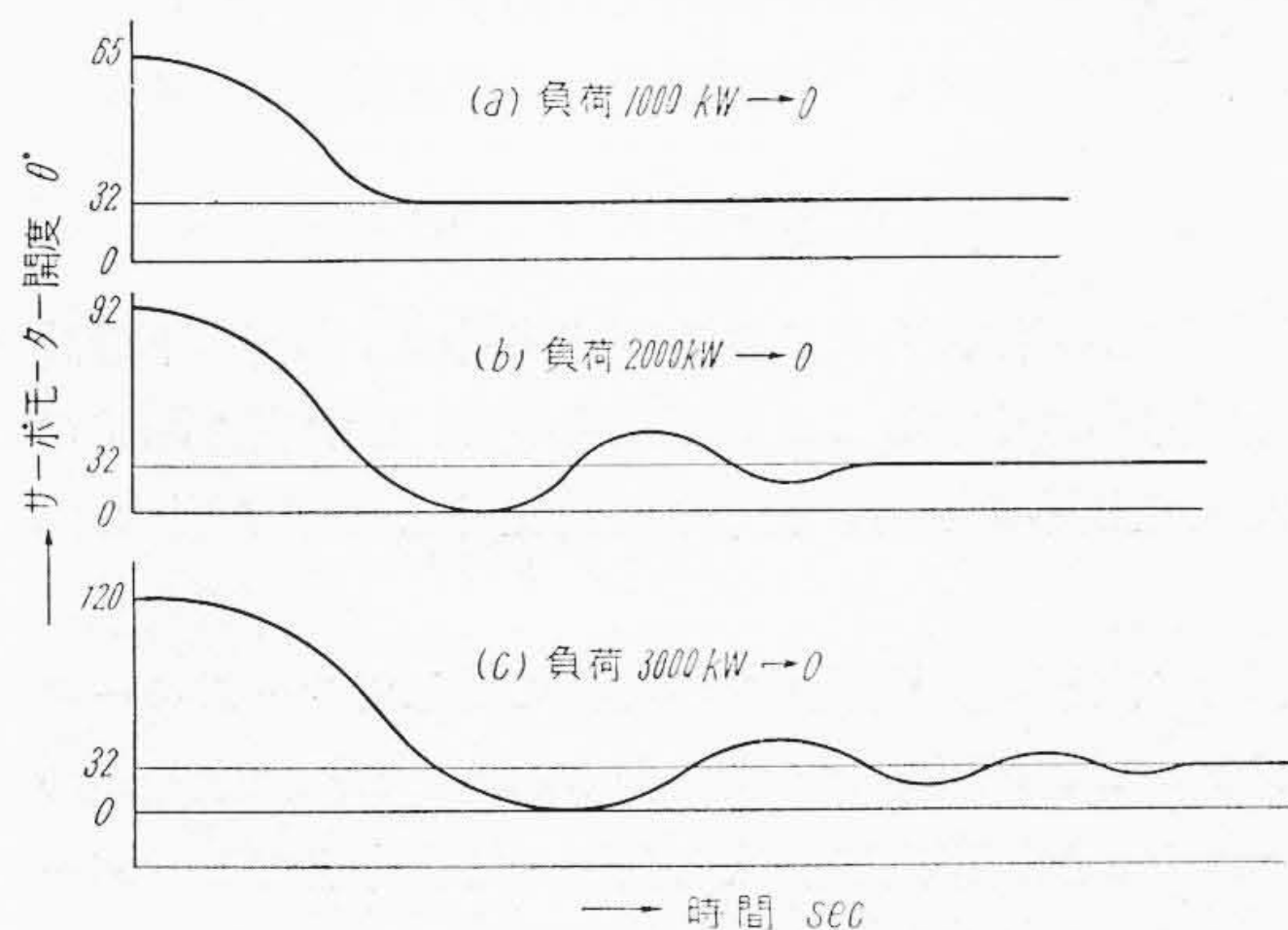
〔III〕 瞬間最大速度上昇率 φ_{max}

瞬間速度上昇率の計算式として古くから用いられているものに Stodola の式⁽²⁾があるが、これは蒸気室内の残留蒸気 (Residual Steam) を考慮していない。然るに高温高圧のタービンではこの蒸気室内の残留蒸気による速度



第4図 調速機試験結果

Fig. 4. Results of Governor Test



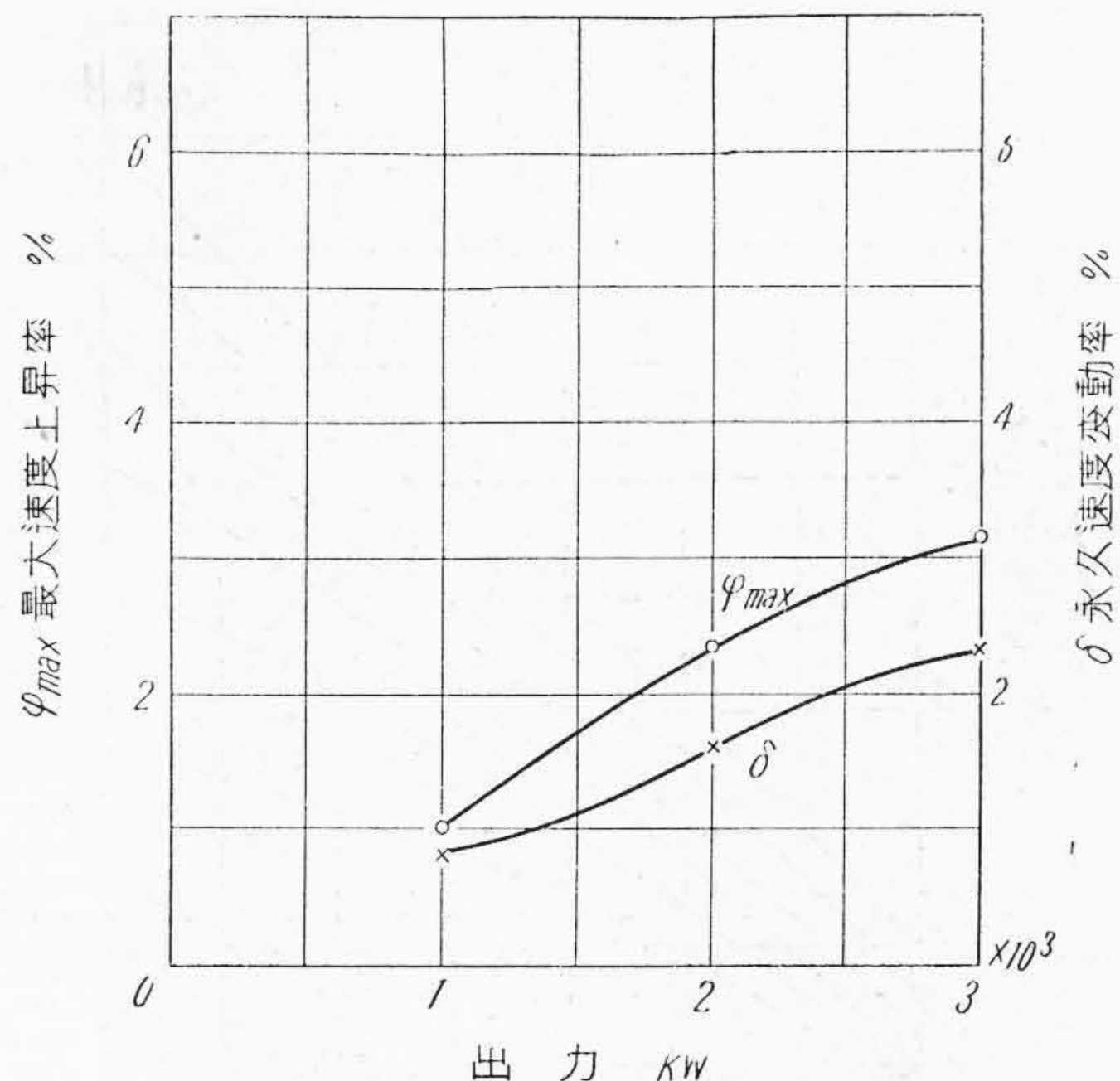
第5図 サーボモータの応動状態

Fig. 5. Response Curve of Servomotor

上昇が極めて大きいことが珍しくない。特に再熱タービンの如き高圧タービンから一度出て来た蒸気が再熱されて中間圧タービンに入るような構造に於ては、その長い管渠内の多量の蒸気による速度上昇はタービンロータを危険速度まで過速するに十分な値となる。

従つてその影響を無視しては速度上昇も安定度も論じ得ない。又積算法即ち全調整時間を小さい時間エレメントに分け、各時間エレメント間のサーボモータ行程、蒸気室内圧力、速度上昇率等の平均値を求め、これを順次に加算して最大速度上昇率を求めて行く方法⁽³⁾は時間間隔を十分細かくとれば比較的正確な値をとるがその計算は非常に面倒で实际的ではない。日立評論⁽⁴⁾に発表した古賀氏の計算法は簡単で而も残留蒸気の影響を考慮したものであり、実測値より幾分低目に φ_{max} が計算されるが、可成りよく合うことが実証されている。計算式を得るまでの誘導式は省略して、最後の関係式を示すと次の如くである。

$$\varphi_{max} = \frac{1}{Ta}(\tau + KTv) \dots\dots\dots(1)$$

第6図 永久速度変動率(δ)及び瞬間最大速度上昇率(φ_{max})と負荷との関係Fig. 6. Relation between Permanent Speed Regulation (δ), Instantaneous Maximum Speed Rise (φ_{max}) and Load

ここに

Ta = 回転体の時定数 sec

τ = 調速装置の全不動時間 sec

Tv = 蒸気室の時定数 sec

$$K = \frac{1}{1-L} \left\{ -2.303L \log \frac{1-e^{-\lambda}}{L\lambda} + (1-L) + \frac{1}{2}(1-2L)\lambda \right\} \dots\dots\dots(2)$$

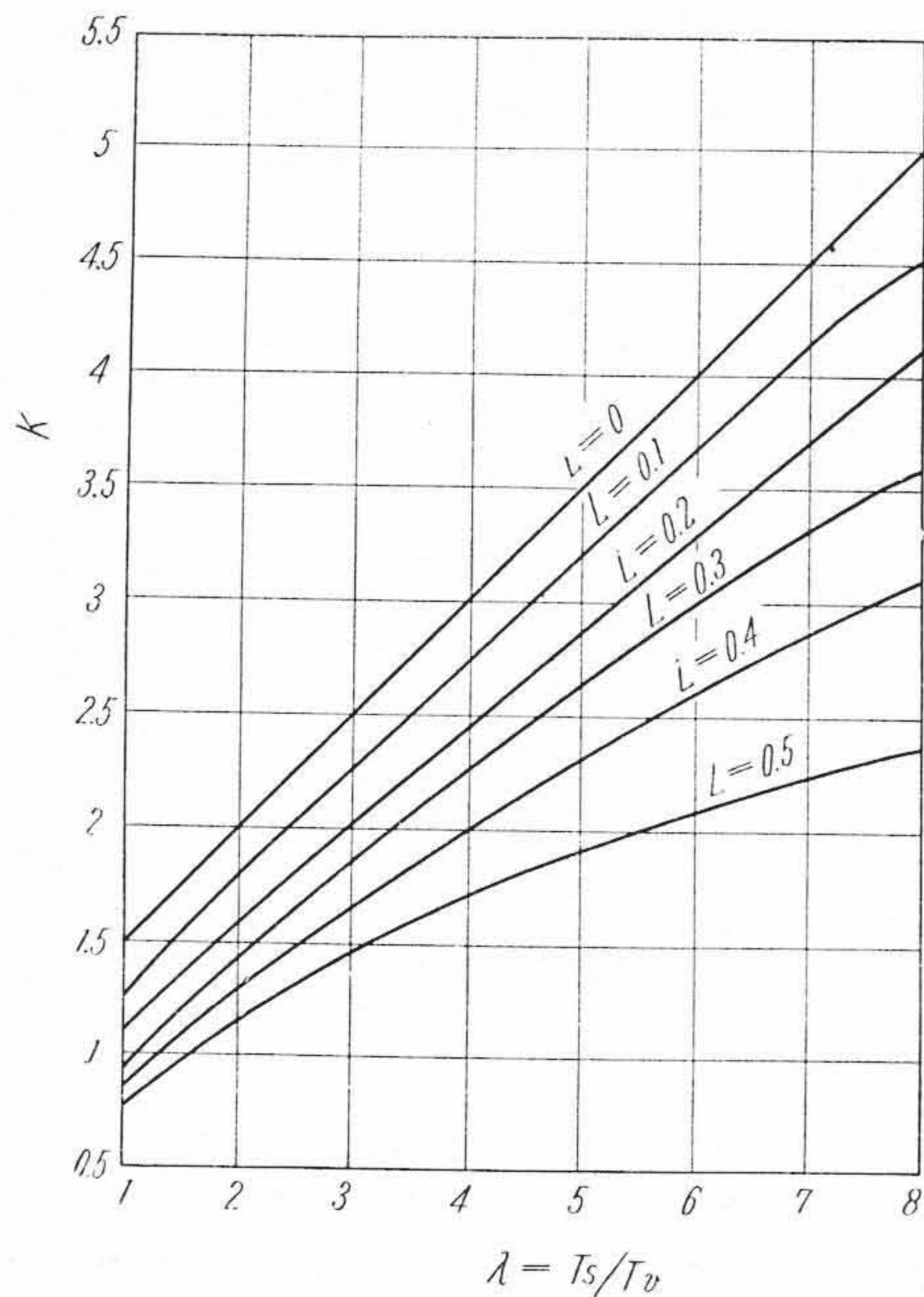
但し

$$L = \frac{\text{無負荷蒸気流量}}{\text{最大負荷蒸気流量}}$$

$$\lambda = Ts/Tv \quad (Ts = \text{サーボモータ全閉時間 sec})$$

(1)式に於て Ta , Tv はタービンの構造上殆どきまつてしまうので、 φ_{max} を小にするためには K 及び τ を小にせねばならない。 K は第7図のように λ が小なる時は L の大小にかかわらず比較的集中して大差がない。即ち Tv に対して Ts を極力小にすればよいことがわかる。

次に τ の値は、全負荷遮断時でも部分負荷遮断時でも大体その調速装置に対して一定の値をとるので、 φ_{max} にはこれの影響が最も甚しい。而もこれら Ts と τ はお互に関連があり、サーボモータの作動はパイロット弁の絞り作用の動き始めの速度は遅く第8図の如き飽和曲線を書いて運動するので、 τ の大部分はこの τ_1 内で起るわけである。この点パイロット弁の時定数 α , β 並びにその形状を十分に考慮しなければならない。油圧による伝達方式はこの τ を極力小さくする意味に於て有効である。

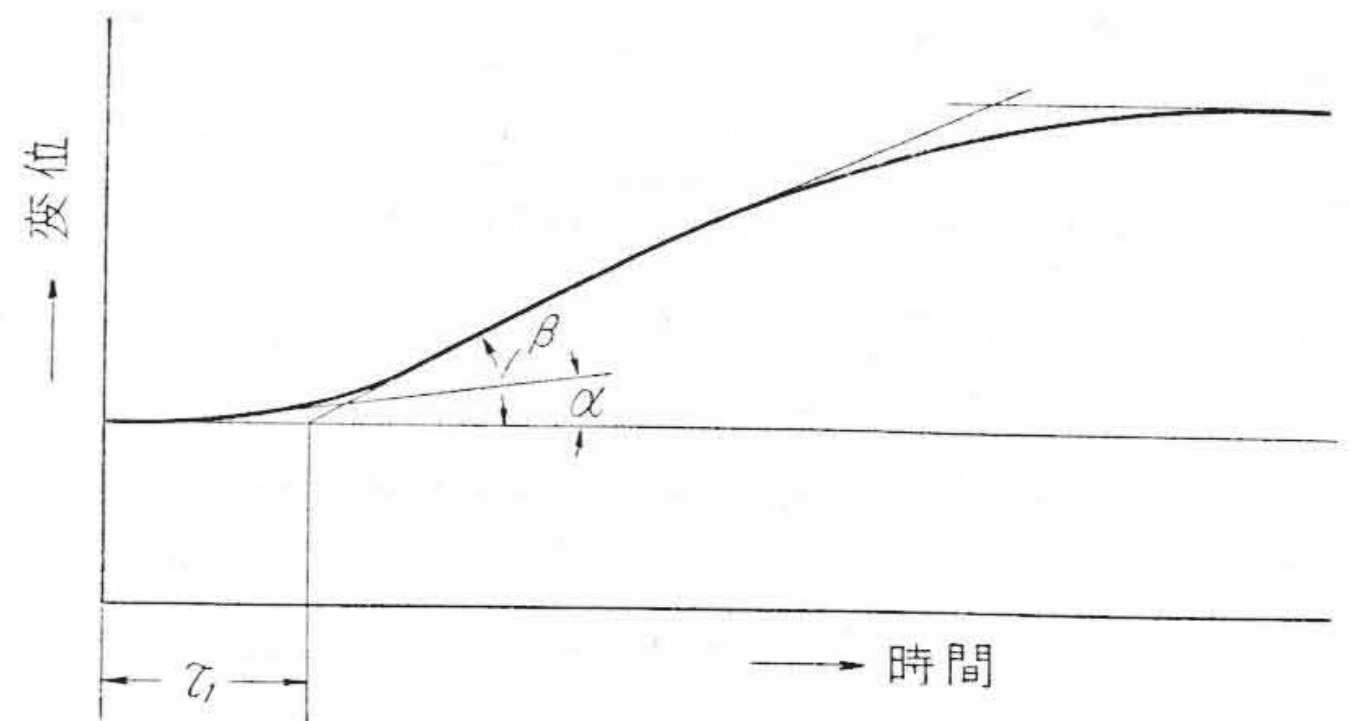
第 7 図 $\lambda \sim K$ 曲 線Fig. 7. $\lambda \sim K$ Curve

然しながら制御要素が従来のレバー方式に比して多くなり、従つて各要素の時定数による位相遅れを生じ、一定負荷時の速度制御がややもすると不安定になり勝ちであるので、各時定数は可能な限り小さくすることが望ましく同時に調速機によつて制御された油圧変化には他の擾乱が混入しないよう、圧油系統内の安全弁、減圧弁等には十分その作動に関し注意を払うことが肝要である。

さて(1)式に於て φ_{max} の函数として永久速度変動率 δ が入っていないが、実際には調速機の感度によつて φ_{max} の値が異つて来ることから当然 δ は φ_{max} の一つの函数として処理するのが妥当であると考え。

〔IV〕 復 原 機 構 の 問 題

本装置はサーボモータの復原機構として、圧縮ばねを介して増幅リレー弁及びサーボモータパイロット弁にその復原量を返している。その際調速機によつて制御された圧油の一部は復原が完結するまで調速機心棒の上部に設置されている油逃弁より排出されなければならないわけで、本機の如き性能の著しく良いものに於て始めて安定な制御を実現し得るが、若し普通程度の感度を有する調速機を以てしてはその復原油量のため調速機が十分よくそれを消化し得ず、却つてそのために発振する恐れがあり制御は不安定に陥いつてしまう。従つてこの場合、調速機心棒自身に出来るだけの大きな復原力をつける必要があり、上部の油逃弁は殆んどゼロリフトの形状を選



第 8 図 サ ー ボ モ ー タ 運 動 曲 線

Fig. 8. Movement of Servomotor

択しなければ所期の目的は達成し得ない。この復原機構の問題は更に多くの実験といくつかの他形式との比較対照を行つて最も合理的で確実性のあるものを探すために、目下より進歩した新型に就いて鋭意研究中である。

〔V〕 結 言

(1) 油圧作動方式による調速装置は、制御の不動時間を極力小さくすることが出来るので、全負荷遮断時の最大速度上昇率 φ_{max} を小さく抑えることが可能である。

(2) 調速機供給圧油源の脈動に対してサーボモータがジャンピング現象を起す場合がある。これは全く他の擾乱因子が制御系内に混入した場合で、今までのレバー方式では調速機駆動用ウォームギヤーから来る以外は全然見受けられぬ問題である。従つてこの脈動防止策は圧油系内にある安全弁の感度をあげることも一つの方策ではあるが、根本的にはゼロリフト型調速機の感度を極度にあげて完全にこの圧力脈動を取り去ることの方がよいと考える。

(3) 調速機は検出部の慣性、釣合圧縮ばねの特性等の影響を殆ど逃げてしまうためにもゼロリフト型を採用する方が安定度は高い。最早この種調速機としては限度に到達している感があり、将来はもつと小型にして回転数を現在のものゝ 3 倍位に上昇させ而も安定度を 2 倍以上にあげるようなものに就いて研究続行の予定でいる。

(4) 釣合ばねを介して行う云わば弾性的復原と完全な剛性復原との優劣は、復原量が単に操作部と管制部に関連するだけならば、その判定は難しい。然しながらこの復原量が検出部まで影響するとなると後者の剛性復原にして全く復原の影響を検出部に及ぼさぬ方が合理的である。然しながらこの場合パイロット弁中性点に於ける油の流動抵抗を考慮しておかないと失敗に終る。

(5) 高圧高温の背圧タービン、前置タービン等では L は復水タービンより一般に大きいのであるが、それ以上に慣性モーメント従つて Ta の減少が著しいので、最

大速度上昇率が大きくなり易いのである。例えば前置タービンの慣性モーメントは同出力の復水タービンに比べて大体 1/15~1/20 程度で、発電機を直結しても 1/2~1/3 以下である。従つて全負荷遮断時の過大速度上昇を防ぐためには更に感度のよい調速機を用いねばならない。自動近路弁を設けて残留蒸気を直接排気管に逃がしてやる方法よりも、タービンロータの加速度を検出して、敏速に制御する方向に持つて行くべきであろう。

目下加速度検出型調速機に就いて研究中で、追つてその制御成績を詳しく論じたいと思つてゐる。

最後に本研究を指導されたタービン設計樋熊主任ならびに諸実験に努力された機械検査課瀬戸氏に対し深厚の謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 桑 野: 日立評論 35 7. 1053
- (2) Stodola: Dampf-u. Gasturbinen 456 (1924)
- (3) 古 山: 電気学会誌 Vol. 54 p. 829 (昭 9-8)
- (4) 古 賀: 日立評論 24 4 183 (昭 16-4)

最近に於ける日立製作所社員社外講演一覧 (昭和 28 年 6 月受付分)

講演日	主 催	演 題	所 属	講 演 者
5 / 28	テレビジョン学会	テレビジョン用非磁性金属に就いて	茂原工場	伊地山 昇
6 / 21	川口鋳物指導所	生型鋳物の不良に就いて	亀有工場	西山太喜夫
6 / 12	神奈川県産業安全協会横浜支部	職場対抗安全競争方式の一例に就いて	戸塚工場	鶴巻又三郎
6 / 15	関東信越熱管理協会	亀有工場に於ける熱管理概況	亀有工場	須藤利孝
6 / 14	高知県西田商会	双物鋼の取扱に就いて	安来工場	小柴定雄
6 / 16	大阪市日栄鋼材株式会社	双物鋼の取扱に就いて	安来工場	小柴定雄
6 / 14	高知県西田商会	安来双物鋼の特質と製造方式に就いて	安来工場	住田 勇
10/29~31	電気通信学会(電気三学会連合大会)	酸化物陰極の寿命に対するスリーブの影響	茂原工場	北川賢司
"	電気通信学会(電気三学会連合大会)	耐久磁石励磁電子レンズ系に就いて(その2)	中央研究所	木村博一
"	電気通信学会(電気三学会連合大会)	酸化物陰極に於ける Ba 分の消耗に就いて	中央研究所	高田昇平
"	電気通信学会(電気三学会連合大会)	螢光放電管の電極損耗度の測定	中央研究所	中村純之助
"	電気通信学会(電気三学会連合大会)	磁氣的推力軸受に就いて	中央研究所	須藤卓郎
"	電気通信学会(電気三学会連合大会)	電子管式アナログコンピューター解指示装置	中央研究所	三浦武雄
"	電気通信学会(電気三学会連合大会)	ブラシ保持器用発条の不安定振動に就いて	日立研究所	武政隆一
"	電気通信学会(電気三学会連合大会)	カーボンパイル電圧調整器の乱調防止に就いて	日立研究所	一木利信
10/29~31	電気通信学会(電気三学会連合大会)	タービンスラスト保護方式	日立研究所	今尾 隆



最近に於ける日立製作所社員社外講演一覧（昭和28年6月受付）

講演日	主催	演題	所属	講演者
10/29~31	電気通信学会（電気三学会連合大会）	炭素送話器の振動閉路現象に於ける振動板変位の測定	戸塚工場	西山 静 男
10/29~31	電気通信学会（電気三学会連合大会）	高電圧ケーブル用油浸紙の含有水分量と電気的性能	日立電線工場	内 藤 正 之
11/6~7	電気通信学会（電気三学会連合大会）	電力ケーブル用ロジンの研究 ——ロジン結晶析出の安定性試験法——	日立電線工場	下山田 富 保
10/29~31	電気通信学会（電気三学会連合大会）	堇外線及び湿度の放電不整範囲に及ぼす影響	日立研究所	笈 川 俊 雄
"	電気通信学会（電気三学会連合大会）	35t ディーゼル電気機関車動力伝達装置	日立工場	石 坂 靈 巖
"	電気通信学会（電気三学会連合大会）	サーミスタを用いた多数共同加入電話交換方式	戸塚工場	江 森 五 郎
10/29~31	電気通信学会（電気三学会連合大会）	遮断器並列抵抗と再起電圧波形に就いて	日立研究所	牧 元
11/6~7	電気通信学会（電気三学会連合大会）	電力ケーブルの真空乾燥に於ける理論的考察	中央研究所	河 合 麟 次 郎
11/6~7	電気通信学会（電気三学会連合大会）	ホルマール線のワニス処理に関する一考察	日立電線工場	間 瀬 喜 好
5 / 25	ワイヤーロープ研究会（第3回ワイヤーロープ研究会）	堅抗深度とロープ品質（ケージ自重、有効荷重との関係）	亀有工場	石 橋 重 遠
6 / 13	家庭電気文化会（家庭電気講習会）	電 気 洗 濯 機 に 就 い て	多賀工場	石 垣 忠 保
10/16~20	日本鉄鋼協会（第46回講演会）	各種鉄鋼のガス含有量に及ぼす熱処理並びに抽出温度の影響	安来工場	木 村 伸
"	日本鉄鋼協会（第46回講演会）	ガスタービン用 Ni-Cr-Co 系耐熱鋼の時効力に及ぼす各種元素の影響に就いて	安来工場	九 重 常 雄
"	日本鉄鋼協会（第46回講演会）	球状黒鉛鑄鉄の凝固過程に就いて	亀有工場	西山 太 喜 夫
10/16~20	日本鉄鋼協会（第46回講演会）	脱酸用 Al 量が鑄鉄に及ぼす影響	日立工場	長 島 英 夫
10 / 9	日本金属学会（秋期講演大会）	中炭素 Si-Mn 鋼のペーナイト及びマルテンサイト変態に関する磁気的研究	日立研究所	小 野 健 二
7 / 3	日本硫酸工業会（同会第二回電解分科会）	水電解槽陽極メッキ及び同厚さ測定に就いて	中央研究所	北 川 公
9/8~10	日本学術会議力学研究連絡委員会	曲面ダイスによる引抜力の近似計算式（第3報） （引抜材の応力——歪の関係が直線的に変化する場合——その計算）	日立工場	小 河 弘
7 / 23	日本安全衛生協会（夏季安全衛生講習会）	安 全 管 理 図	亀戸工場	寺 下 信