

# 最近のカプラン水車に就いて

深 栖 俊 一\* 高 月 正 行\*\*

## The Recent Development of Kaplan Turbines

By Shun'ichi Fukasu and Masayuki Takatsuki

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

Indications are that Kaplan turbines used exclusively for low head in the past are enjoying the industry's favor with higher priority than before, being given preference in good many cases in middle head applications even with further signs that they are built as extra low head turbine as well.

This extension of application range has been made possible step by step through years of engineering endeavor and investigation. At Hitachi's well-equipped hydraulic laboratory the reasearch continues for further achievement in such direction, now with stress on the experiments of effective head, cavitation phenomenon and turbine efficiency, as well as the problems concerning wear- and corrosion-resistance of the materials.

As the article attempts to show, a step higher progress has been attained by Hitachi in the phase of automatic controlling equipment by new addition of level-interlocked adjusting device, frequency variation-interlocked device, etc., which would add much to the wider adaptability of the Kaplan turbine.

### 〔I〕 緒 言

プロペラ型水車の羽根を可動の構造とせる所謂カプラン水車が低落差領域に始めて採用されて以来、約40年近くの間にかプラン水車は目覚ましい発達を遂げ、最近の水力開発の積極化と共にその容量並びに適用落差の記録は毎年飛躍的な更新を加えられている。

これ等数多くのカプラン水車の製作によりその技術的内容も著しく向上し、例えば適用落差の増大はランナの翼列理論の進展、水力実験室に於ける効率並びに空洞現象性能試験の効果又は使用材料の改善等に俟つことが大きく、この他各部構造の改良或いは機械加工及び仕上技術の向上等により最近のカプラン水車の設計製作技術は従前より全く一段階を劃する領域に達するに到つたことが多数の運転及び製作の実績、各方面の文献その他により立証されているように見受けられる。本文にはこれ等の概要を述べることにする。

\* \*\* 日立製作所日立工場

### 〔II〕 適用落差及び製作例

カプラン水車はフランス水車に比し軽負荷及び過負荷に於ける効率がよく水車台数を減少せしめ得られ、且つ比較回転度を高くとり得る結果水車及び発電機の所要資材を軽減することが出来る。この反面に羽根に対する水の相対速度が大きく、空洞現象発生によるランナブレードの腐蝕を防止するため掘鑿を深くするを要し、無拘束速度が高く、尙構造上ランナ、主軸及び主軸受部分に多少困難な点を有する。しかし前述の長所はこれ等の短所を補つて余りあり、カプラン水車は幾多の苦心改良を施こされて次第に有効落差 40 乃至 50 m 以上の中落差領域に進出し各所にて採用されるに到つた。

元来我国に於ては年間を通じ豊水期及び渇水期間の河川流量の変化が激しく、送電系統の容量が小さい上に1日を通じて午前と午後の尖頭負荷の変化が大きく、変落差地点又は両周波数発電所等も相当の数に達している。一方新規発電所の建設に当つては極力資材及び経費の節

減を計り且つ最大負荷効率を増昇するために1台当り容量を大きくし設置台数を減少せしめる傾向にあるように見受けられる。これ等の諸点は本邦に於ては特にカプラン水車の採用を一層促進せしめ得る要素であつて、今後益々中落差領域への進出が予想される。参考迄に第1表乃至第3表に本邦及び外国に於けるカプラン水車の主要なる製作記録例を掲げる。同表に明らかな如く本邦に於ては東北電力株式会社本名発電所用 30,000 kW, 36.1 m 水車及び中部電力株式会社姫川第三発電所用13,000kW, 55.0 m 水車がそれぞれ容量及び落差に対する最大及び最高の記録品である。

尙将来の開拓分野として、有効落差 10m 以下の地点が有利に開発されるならばその効果は非常に大きいように考えられるが、かゝる方面の製作例を第4表に示す。

〔III〕 有効落差対比較回転度の関係

カプラン水車の比較回転度は最近少しづつ増昇の傾向が見受けられ、第1図(第24頁参照)に示される如く、嘗て水力設備委員会により提唱された次記の式<sup>(1)</sup>による

数値を超過している点が可成りある。

$$N_s = \frac{20,000}{H+20} (m-kW) \dots\dots\dots(1)$$

(水力発電所設備特別委員会決定)

同図中には尙参考迄に米国にて発表された下式による曲線<sup>(2)</sup>及び最近独逸にて発表された限界曲線の例<sup>(3)</sup>を掲げてある。

$$N_s = 3,814 \left( \frac{70,000}{H(ft)+32} + 35 \right) \times 1.1 (m-kW) \dots\dots\dots(2)$$

(米国 Hand Book by Creager and Justing)

独逸 (Z.V.D.I. 1951).....(3)

しかし(2)式による数値は(1)式と大差なく、第3の曲線は落差の高い側と低い側で多少無理があるように見受けられる。従つて現状にては既に多くの実例が製作されていることよりカプラン水車の限界曲線として大体下式による範囲迄拡大しても差支えないように考えられる。

$$N_s = \frac{20,000}{H+20} + 50 (m-kW) \dots\dots\dots(4)$$

(実例に依つて決定せるもの 1953 深栖)

第1表 本邦に於けるカプラン水車製作記録

Thable 1. Kaplan Turbines in Japan

納 先	発 電 所 名	出 力 (kW)	落 差 (m)	水 量 (m <sup>3</sup> /s)	回 転 数 (r.p.m.)	型 式	台 数	製 作 者	運 転 開 始
東北電力	本名	30,000	36.1	92.9	167	PMS-V	2/3	日立	昭一29
東北電力	柳津	29,000	25.8	120.0	143	PMS-V	2/3	三菱	昭一28
東北電力	上田	23,500	26.3	92.0	167.0	PMS-V	2/3	三菱	昭一29
東北電力	片門	22,500	20.0	120.0	125	PMS-V	2/3	日立	昭一28
北陸電力	神通第二	20,600	31.2	80.2	180	PMS-V	2	富士 J.M.V.	昭一28
関西電力	兼山	17,200	22.2	88.4	171.5	PMS-V	3	三菱	昭一18
東北電力	山郷	15,500	14.0	125.0	125	PMS-V	2	三菱	昭一18
中部電力	姫川第三	13,000	55.0	26.5	333/400	PMS-V	1	日立	昭一30
九州電力	夜明	12,700	19.965	80.0	164.0	PMS-V	1	日立	昭一28
東北電力	新郷	12,500	20.5	70.0	187.5	PMS-V	4	三菱	昭一14
関西電力	角川	12,000	35.6	38.0	300	PMS-V	1	富士 J.M.V.	昭一29
北海道電力	斑溪	10,600	14.1	85.5	150	PMS-V	1	日立	昭一28
熊本県	藤本	10,600	17.2	69.4	180	PMS-V	2	電業	昭一29
関西電力	坂上	9,750	26.0	41.0	240	PMS-V	1	電業	昭一28
東京電力	小田切	9,000	14.1	73.6	167	PMS-V	1	三菱	昭一29
九州電力	大内原	8,330	15.7	60.6	180	PMS-V	1	三菱	昭一29
東京電力	佐久	7,850	24.3	37.6	250	PMS-V	1	日立	昭一13
東京電力	笹平	7,500	11.5	76.3	150	PMS-V	2	E.W.	昭一28
九州電力	竹田	7,200	36.9	22.0	360	FMS-V	1	三菱造船	昭一29
東北電力	信夫	7,000	12.5	70.0	187.5	PMS-V	1	J.M.V.	昭一14
東京電力	金川	7,000	12.7	62.0	167	PMS-V	1	日立	昭一28
九州電力	大山	6,500	27.1	28.0	257/300	PMS-V	1	電業	昭一21
北海道電力	蘭越	6,500	13.0	57.4	167	PMS-V	1	日立	昭一26
北海道庁	鷹泊	6,350	28.5	25.4	333	PMS-V	1	日立	昭一26
中部電力	西平	6,000	21.5	22.1	257	FMS-V	2	日立	昭一15
東北電気製鉄	石羽根	6,000	17.0	40.0	231	PMS-V	1/2	富士	昭一28

最近のカプラン水車に就いて

第2表 世界各国に於けるカプラン水車及びプロペラ水車製作記録  
Table 2. Large Capacity Propeller Turbines in the World

国名	発電所名	出力 (kW)	落差 (m)	水量 (m <sup>3</sup> /s)	回転数 (r.p.m.)	型式	台数	製作者	運転開始
U.S.A.	Dalles Dam	92,400	24.7	439	85.7	K	14	Baldwin	建設中
U.S.A.	Mcnary Dam	85,000	28-18.8	340	85.7	K	4	M.S.	建設中
Sweden	Ligga	78,800	39.0	—	125.0	K	—	K.M.W.	建設中
U.S.A.	Ice Harbor	77,600	30.8-24	—	—	K	—	K.M.W.	建設中
Sweden	Dlosele	64,130	52.0	—	150.0	K	—	—	—
Sweden	Bonneville	55,000	21-15.3	367	75.0	K	10	M.S.	1936
U.S.A.	Cabinet Gorge	52,600	36.2	—	—	{ K P	{ 1 3	—	建設中
France	Mondragon	52,000	23.5	—	107.0	K	6	E.W.	建設中
Egypt	Aswan	48,500	31.2	—	100.0	K	—	E.W.	1948
Sweden	Hojun	45,600	31.2	165	136.6	K	2	V.K.	1942
U.S.A.	Pickwick Landing	41,000	14.3	325	81.7	K	6	A.C.	1938
India	Mahanadia I	40,000	34.5-23.8	167	125.0	K	—	J.M.V.	建設中
Finland	Pyhakochi	34,000	32.0	—	150.0	K	—	K.M.W.	—
Uruguay	Rioncon del B.	33,600	32-16.7	—	136.6	K	4	J.M.V.	1942
U.S.A.	Wheeler Dam	33,500	16.5-13.1	230	85.7	P	2	I.P.M.	1936
U.S.A.	Fort Loudoun	33,000	19.6	—	105.8	K	—	B.L.	1943
U.S.A.	Kentucky	32,800	14.6	—	78.2	K	5	A.C.	1945
U.S.A.	Safe Harbor	31,700	16.6	220	109.0	K	9	M.S.	1932
U.S.A.	Watts Harbor	31,400	15.8	—	94.7	K	3	I.P.M.	—
Newgealand	Karapiro	31,350	30.5	—	167.0	—	—	Boving	—
Germany	Ryburg Scheworstadt	30,900	11.5	305	75.0	K	4	J.M.V., E.W., A.d.c.	1931
U.S.A.	Santee Cooper	30,000	21.5	—	120.0	K+P	2+2	A.C., N.N.	1942
Uruguay	Rio Negro	30,000	34.5-23	—	125.0	K	4	M.S.	建設中
日本	本名	30,000	36.1	92.9	166.7	K	2	日立	建設中

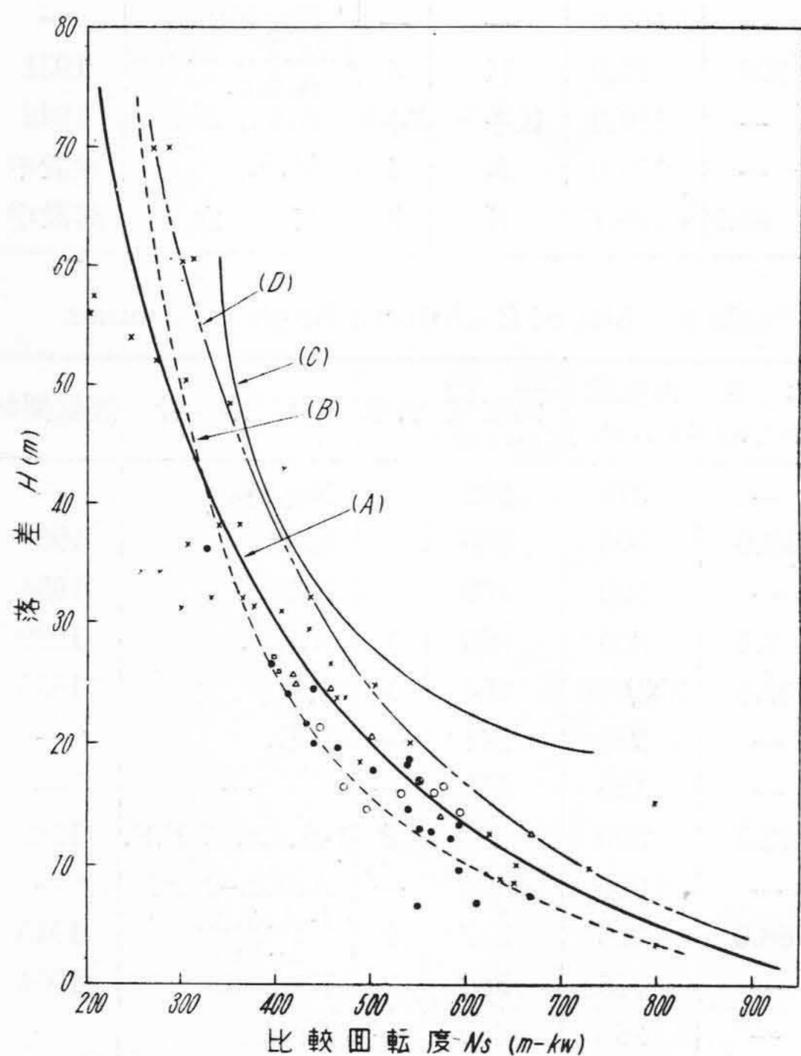
第3表 高落差(H=35m以上)カプラン水車製作記録

Table 3. List of High-Head Kaplan Turbines

国名	発電所名	出力 (kW)	落差 (m)	水量 (m <sup>3</sup> /s)	回転数 (r.p.m.)	比較回転度 (m-kW)	台数	製作者	運転開始
France	Bort-Rhue	23,790	70.1	—	375	286	—	Neyrpic	—
Italy	Barcis	10,170	60.6	19.0	500	306	—	E.W.	1951
Spain	Requejada	4,290	57.3	—	500	208	—	E.W.	1954
Italy	Rocchetta	3,740	56.0	7.8	500	200	1	A.d.c.	1939
日本	姫川第三	13,000	55.0	26.5	333/400	304	1	日立	1955
Scotland	Invergarrv	20,940	54.0	—	250	247	—	E.E.	—
Sweden	Plassele	64,130	52.0	—	150	272	—	—	—
Ireland	Pollaphuca	18,650	50.3	42.5	300	306	2	1-A.d.c., 1-E.E.	1943
Italy	Yara	5,610	43.0	—	600	408	—	A.d.c.-Tosi	—
Swiss	Lavey	24,500	40.7	66.0	214	347	2	1-A.d.c., 1-Vevey	1945
Sweden	Ligga	79,030	39.6	—	125	360	2	Karstad	1954
Italy	Hone	18,700	38.1	—	250	360	—	Riva	—
日本	竹田	7,200	36.9	22.0	360	294	1	三菱造船E.W.	1954
Morocco	Im'Fout	16,450	36.6	—	214	305	2	A.d.c., Alsthom	—
日本	角川	13,000	36.5	40.2	300	381	1	富士 J.M.V.	1954
日本	本名	30,000	36.1	92.9	167	334	2/3	日立	1954
	Monte Furado	14,000	35.1	—	300	415	—	E.W.	1948

第4表 低落差 (H=10m以下) カプラン水車製作記録  
Table 4. List of Low-Head Propeller Turbines

国名	発電所名	出力 (kW)	落差 (m)	水量 (m <sup>3</sup> /s)	回転数 (r.p.m.)	比較回転度 (m-kW)	台数	製作者	運開転始
U.S.A.	Albbruck-Dogern	23,500	10.0	300	75.0	600		E.W.	
日本	川平	1,500	9.6	18.0	257.0	592	1	日立	1930
Germany	Kachlet	5,670	7.65	87.5	75.0	448		J.M.V.	—
U.S.A.	Winfield	6,900	7.92	—	90.0	565	2	Baldwin South Work	1936
日本	肚島	720	7.30	12.0	300.0	667	1	日立	1946
日本	鶴来	930	6.90	16.8	225.0	610	2	日立	1936
日本	木津川	670	6.60	12.7	300.0	750	2	日立	1949
	N.E.V. Otting	8,750	6.20	14.9	68.3	640		J.M.V.	—
U.S.A.	City of Idaho Folls	1,760	5.50	—	138.0	690		S.M.	1937
U.S.A.	Dickinson	765	5.50	—	180.0	595		S.M.	1937
U.S.A.	Veazie	1,550	5.20	—	128.5	640		S.M.	1938
Sweden	Vargon	11,400	4.30	—	46.3	800	—	—	—
日本	松留	1,500	4.24	40.5	107.0	680	1	E.W.	1928
Germany	Harrbach	2,980	3.96	90.2	68.2	667	—	J.M.V.	—
Germany	Erlabrunn	2,800	3.70	90.0	68.2	703	—	J.M.V.	—
Germany	Faulbach	2,160	3.60	72.5	75.0	713	—	J.M.V.	—
Germany	Freuden Berg	2,200	3.60	72.5	68.2	647	—	J.M.V.	—
Germany	Obernav	1,670	2.98	66.5	68.2	710	2	J.M.V.	—



(A) 実線....(1)式参照 (C) 細線....(3)式参照  
(B) 点線....(2)式参照 (D) 鎖線....(4)式参照

第1図 カプラン水車の比較回転度限界曲線

Fig. 1. Specific Speed Limit Curves for Kaplan Turbine

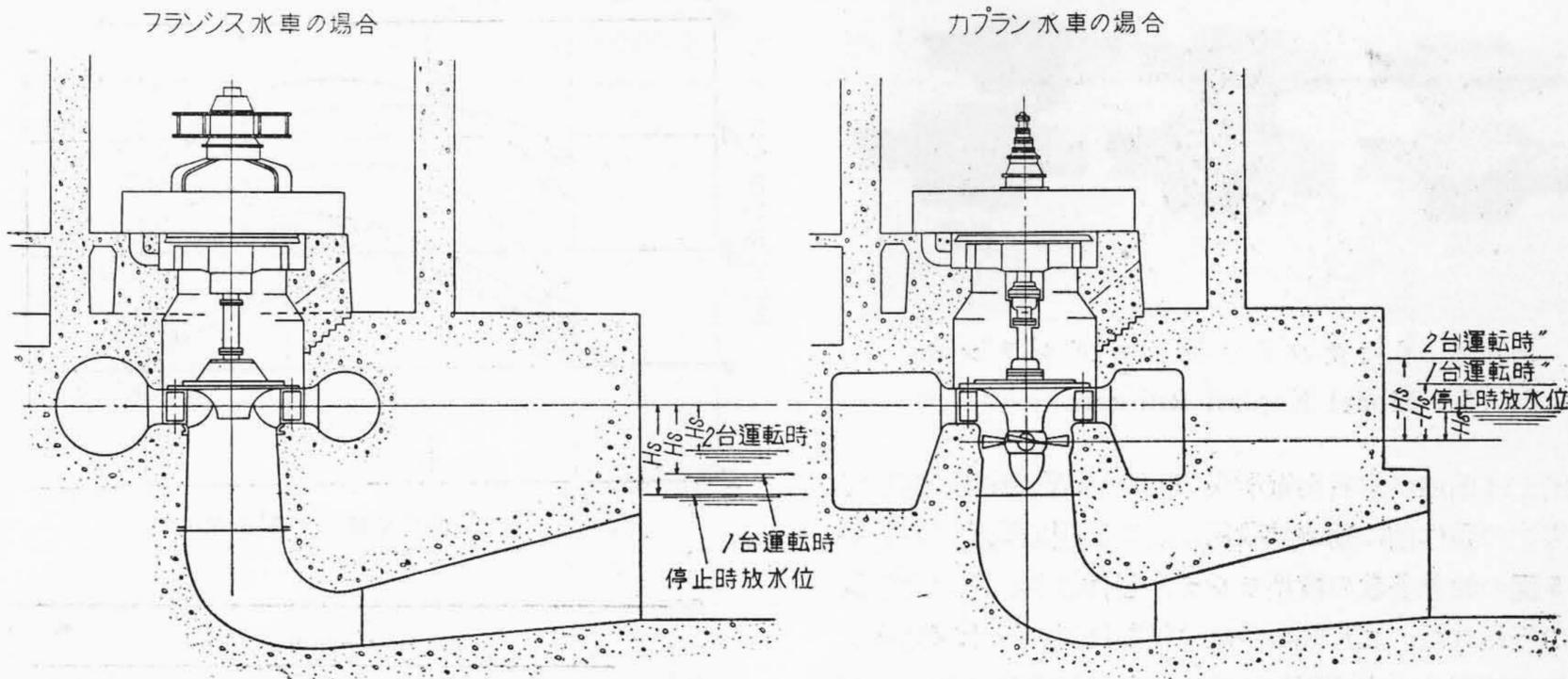
〔IV〕 空洞現象の発生防止及び吸出高

水車の吸出高を或る許容値以下に低下せしめて運転すれば、ランナの羽根入口又は出口の裏面等にその低下に伴わない空洞部分を発生し、且つこれが次第に成長して騒音或いは振動を生じ遂には効率をも低下せしめるに到る。かかる発生状況は通常フランシス水車にては最大負荷の1/3乃至1/2の間にて著しくなるに反して、カプラン水車にては、最大負荷になるに従つて著しく現われ易くなる。而もその現象は後者は前者に比して比較回転度が高く、且つ羽根に対する水の相対速度が大きいため、一般に強く現われる傾向を有するよう見受けられる。

実物水車にてかくの如き問題を生ぜしめないようにし運転上の安全度を高めるために、最近各製作者或いは学校の水力実験室に於て模型水車による空洞現象性能試験が広く行われるに到り、或いは二次元試験装置により単独翼或いは増速翼列の空洞現象性能を究め、これ等を適確に実物水車に応用されるよう種々の手段が実施されている。

かくの如き空洞現象の発生する条件を数量的に表わし且つ模型水車の試験結果を実物水車に適用するための手段として一般に Thoma の  $\sigma$  係数が使用されている。

$$\sigma = \frac{H_a - H_s}{H}$$



第2図 カプラン水車及びフランシス水車の $\sigma$ 計算時の $H_s$ の取り方  
Fig. 2. Draft Heads of Kaplan and Francis Turbines

ここに  $H$  = 有効落差 (m)

$F_a$  = 大気圧より水温に相当する飽和蒸気圧を引いた圧力 (水柱 m)

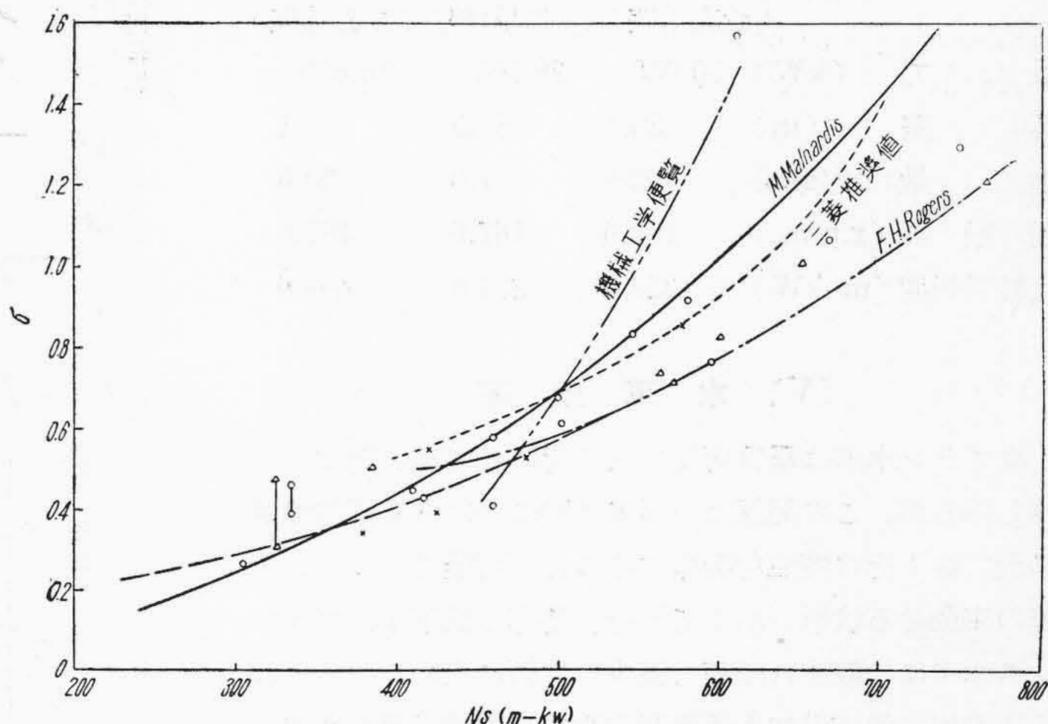
$H_s$  = 吸出高 (m)

但し $\sigma$ の計算に当つて採用される $H_s$ の数値に関しては、フランシス水車とカプラン水車ではその基準点が異なり、通常第2図の如く、フランシス水車ではケーシング中心よりの高さで表わされるがカプラン水車ではランナ中心よりの高さで示されている。従つて両者の $\sigma$ 数値を比較する場合はこの $H_s$ 数値の基準点を明示しなければならない。

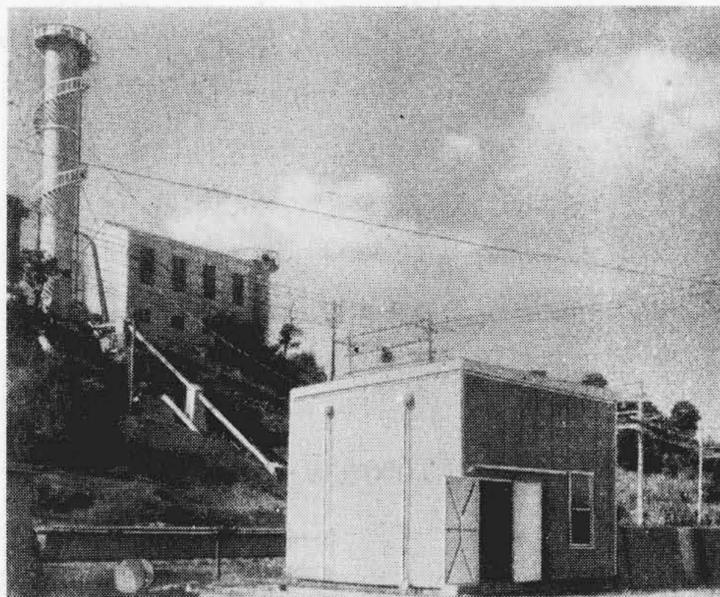
しかし一般に建設工事或いは保守運転に当つて放水面の標高を表わす際はフランシス水車若しくはカプラン水車の両者共ケーシング中心よりの高さで示すことが慣例とされ、これを吸出高の許容値、推奨値或いは停止時より運転時間の数値として表示されている故、上部 $\sigma$ 値をケーシング中心よりの数値に換算する際はこの点に注意を要する。

参考迄に現在運転中の各所のカプラン水車の $\sigma$ の実績値を第3図に掲げる。

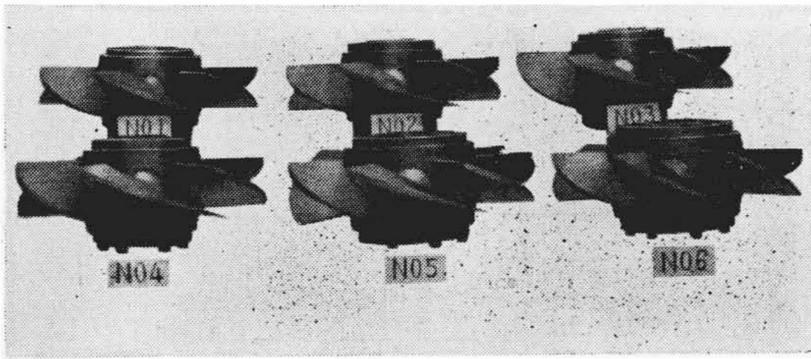
日立製作所に於ては水力実験室に従来よりの低落差空洞現象試験装置の外に第4図の如き先般実落差用試験装置が設けられた結果、カプラン水車の中落差領域進出に当つても一層精密にこれが試験を行い得ることとなり、既に多数の模型水車により比較改良試験を行ないその改善された結果を実物に適用し著々その成果を挙げつゝある<sup>(4)</sup>。



第3図 キャビテーション係数 $\sigma$ と $N_s$ との関係曲線  
Fig. 3. Cavitation Coefficient  $\sigma$  Curves



第4図 実落差空洞現象試験設備  
Fig. 4. High Head Cavitation Testing Equipment



第5図 6枚及び7枚羽根モデルランナ  
Fig.5. Model Kaplan Runners

例えば前述の本名発電所用 30,000 kW 水車に関しては実物の製作前に効率試験用及び空洞現象試験用として第5図の如き多数のモデルランナが製作され、その比較試験が行われた。これ等の多数の試験結果の中水車効率、無拘束速度及び空洞現象性能等に対し総合的に最も良好な成績を収めた試験結果例を第6図に掲げる。

本名発電所用 30,000 kW カプラン水車仕様

	(最高落差)	(基準落差)	(最低落差)
出力 (kW)	30,000	28,100	16,600
落差 (m)	36.1	34.5	24.1
水量 (m <sup>3</sup> /sec)	92.9	91.0	80.0
回転数 (r.p.m.)	167.0	167.0	167.0
比較回転度 (m-kW)	328.0	334.0	403.0

〔V〕水車効率

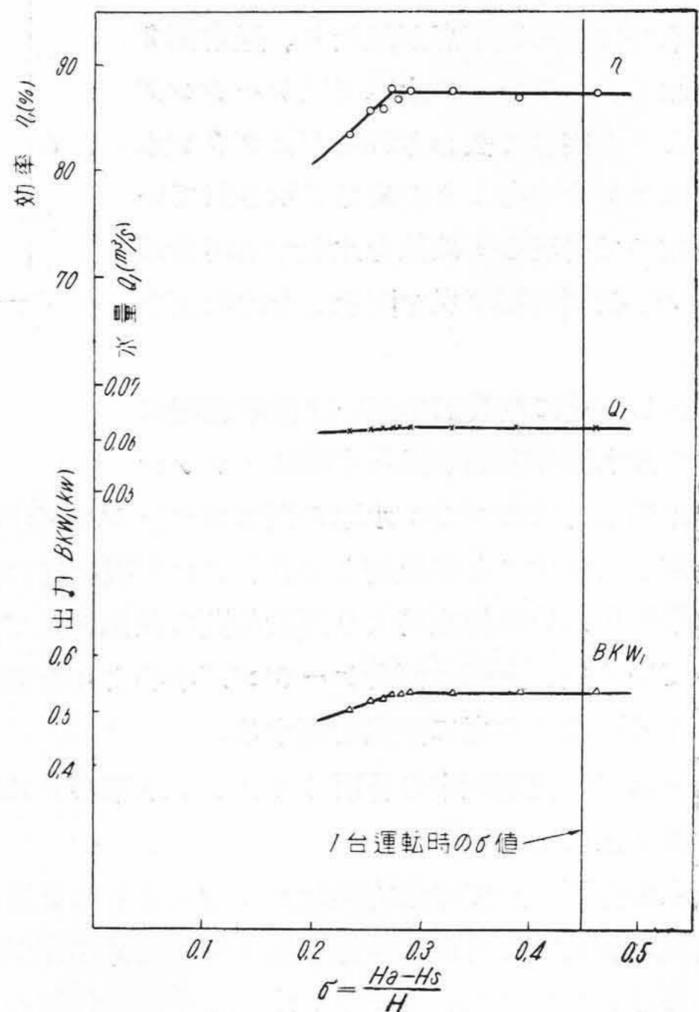
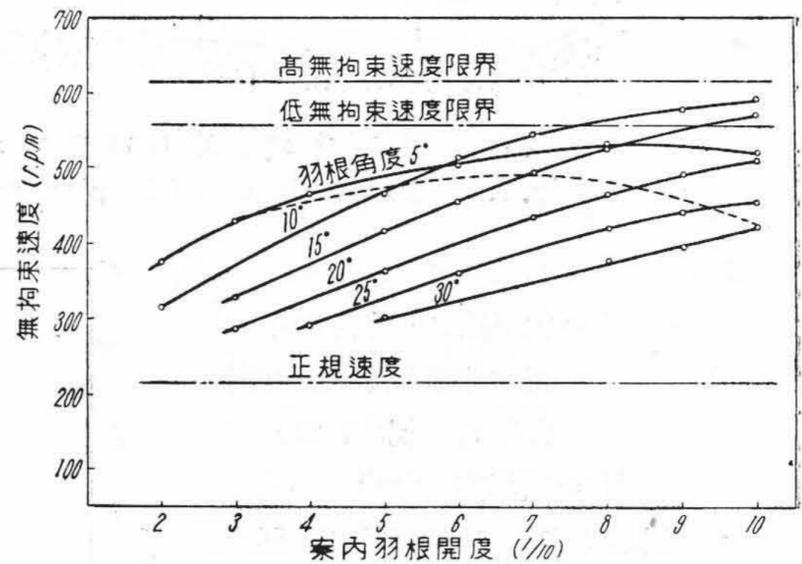
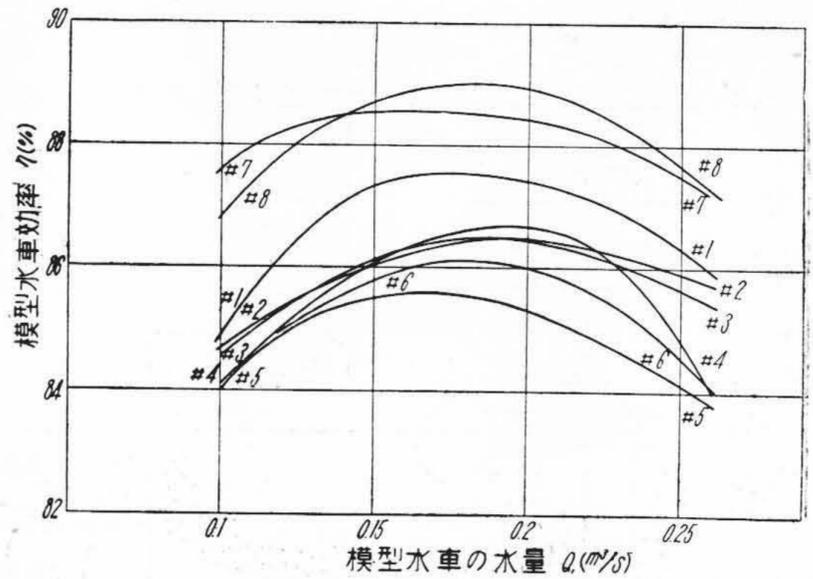
カプラン水車は軽負荷及び過負荷に於て高い効率を維持し得るが、この関係は中落差領域に於ける変落差地点に於て益々その特性を発揮することが可能であつて、落差の変動せる状態にあつてもその効率の低下率はフランシス水車に比較すれば甚だ僅少の数値に止められる。特にこの場合後述の如き落差変動時に自動的にランナブレード角度とガイドベーン開度を最も良好の状態に保つ如く修正すれば更にその効果を増すことが出来る。第7図に本名発電所用水車の高落差時かくの如き連動装置を設けた場合のカプラン水車とこれに相当するフランシス水車のそれぞれの効率の比較例を示す。

次にカプラン水車は両周波数発電所にあつてもよくその機能を発揮し、周波数変動時の効率低下を僅少な範囲に止めることが可能である。下記の姫川第三発電所用水車に就きカプラン水車1台案とフランシス水車2台案の場合の両周波数運転時の各効率の比較例を第8図に掲げる。

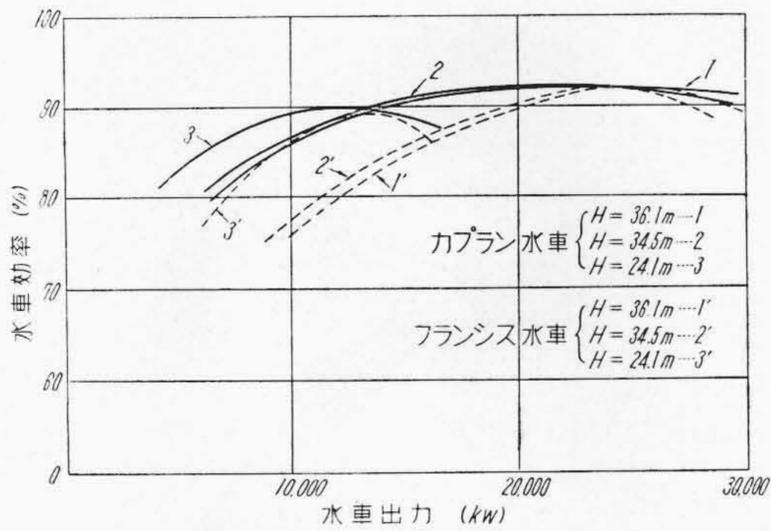
姫川第三発電所用 13,000 kW 水車仕様比較

カプラン水車

出力	13,000 kW
台数	1
有効落差	55.0 m

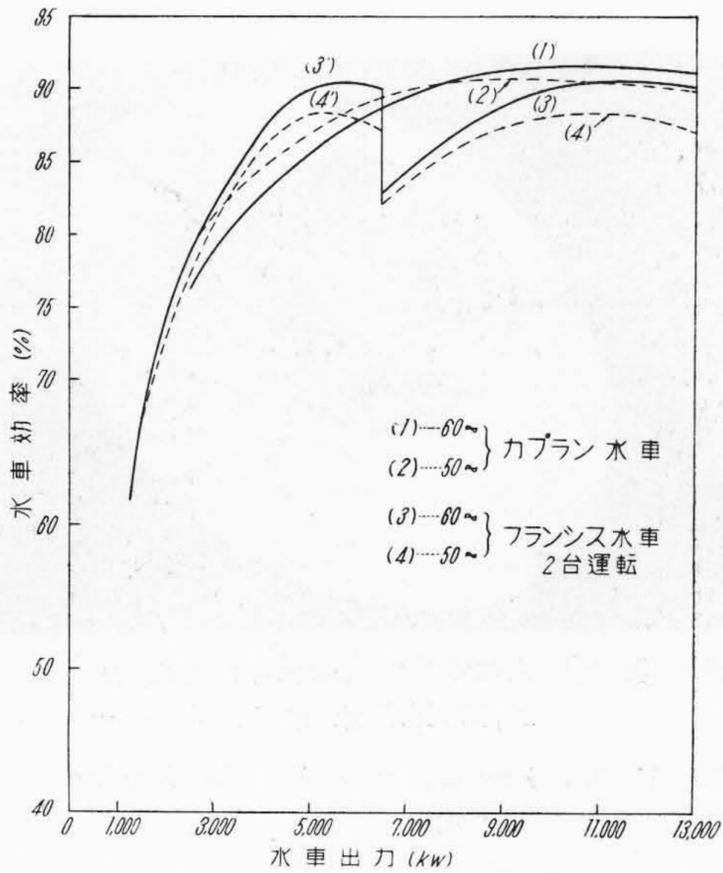


第6図 効率、無拘束速度及び空洞現象の試験結果  
Fig.6. Test Results of Efficiency, Runaway Speed and Cavitation on Kaplan Turbines



第7図 カプラン水車及びフランシス水車の効率比較曲線

Fig. 7. Curves Showing Comparison between Kaplan Turbine and Francis Turbine Efficiencies



第8図 カプラン水車及びフランシス水車の両サイクル運転時に於ける効率の比較

Fig. 8. Efficiency Curves of Kaplan and Francis Turbines under 50 and 60 Operations

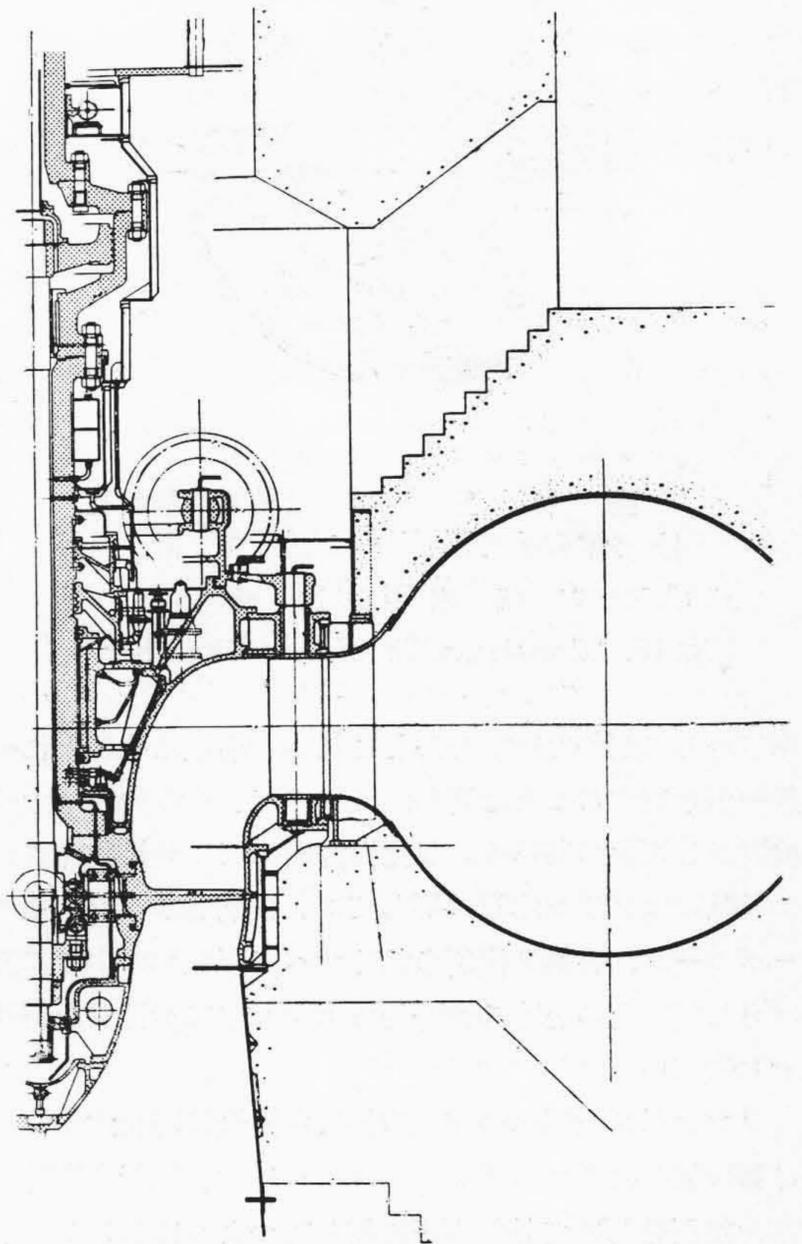
水	量.....	26.5 m <sup>3</sup> /sec
回	転 数.....	333/400 r.p.m.
比	較 回 転 度.....	254/305 m-kW
フランシス水車		
出	力.....	6,500 kW
台	数.....	2
有	効 落 差.....	55.0 m
水	量.....	13.5 m <sup>3</sup> /sec
回	転 数.....	333/400 r.p.m.
比	較 回 転 度.....	179/215 m-kW

〔VI〕 水車の構造及び材料

カプラン水車の構造及び材料に関してこれを全般的に見ればランナ及び主軸受に関しては、極力従前の構造の改善を施して運転保守の確実容易を計ると共にランナの材質には強力且つ耐蝕磨耗性のあるものを選択し、スピードリング又はカバー類に就いては従来鑄造品のものもあつたが、最近では溶接技術の進歩に依り総て溶接構造が採用されている。ケーシングに就いては有効落差15乃至20 m 以下は大体コンクリートケーシングが採用され、吸出管はスローベンド型の屈曲形としこれに点検用の排水装置が設けられている。

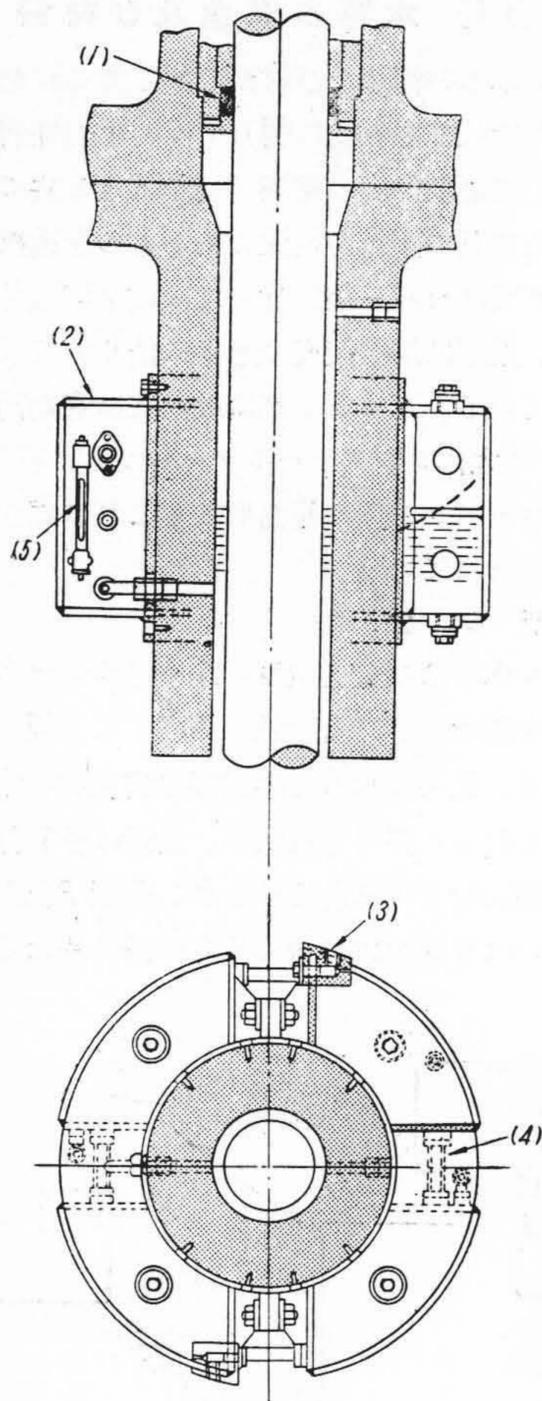
(1) ランナ

カプラン水車は構造上主軸の途中にランナ操作サーボモータを設けるが、その設置箇所により種々の操作方式に分れる。従来は水車と発電機の両主軸の間に置くものが最も数多く採用されたが、最近では各製作者にてこれを発電機回転子中に含めるもの、回転子上部に含めるもの、或いはランナ内に含めるもの等の異なる型式が採



第9図 東北電力本名発電所用 30,000 kW カプラン水車組立図

Fig. 9. Constructional Details of 30,000 kW Kaplan Turbine



- (1) サーボモータ下部パッキング
- (2) 空気室 (3) 給油及び給気孔
- (4) 各室直結用管 (5) 油面計

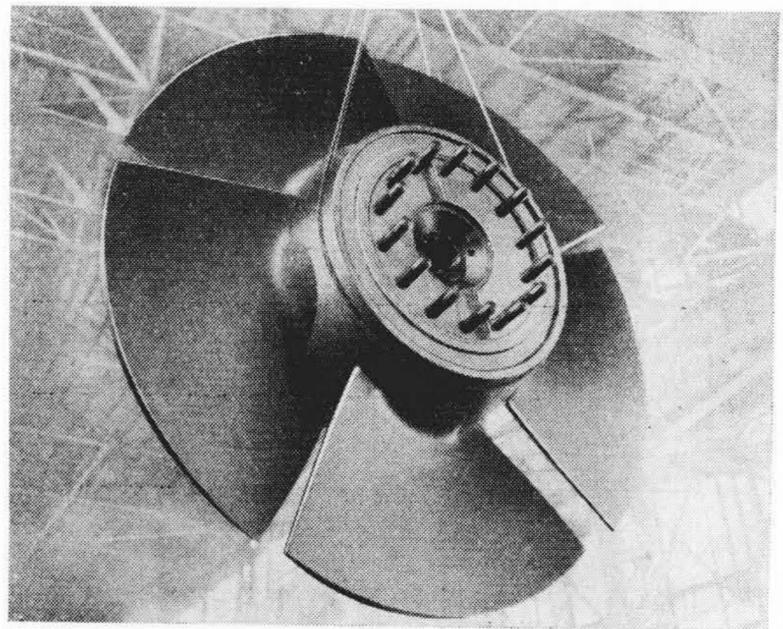
第10図 空気室構造図

Fig.10. Construction of Air Chamber

用されるに到つた<sup>(5)</sup>。しかしこれ等の構造はそれぞれ一長一短を有することは明らかであつて、その内容は十分検討する可きであろう。日立製作所にてこれ迄製作された多数のカプラン水車に関しては、従前通りランナ用サーボモータは、第9図例の如くすべて両主軸の間に設けられて、その上方の傘型発電機主軸中に給油管を貫通せしめている。

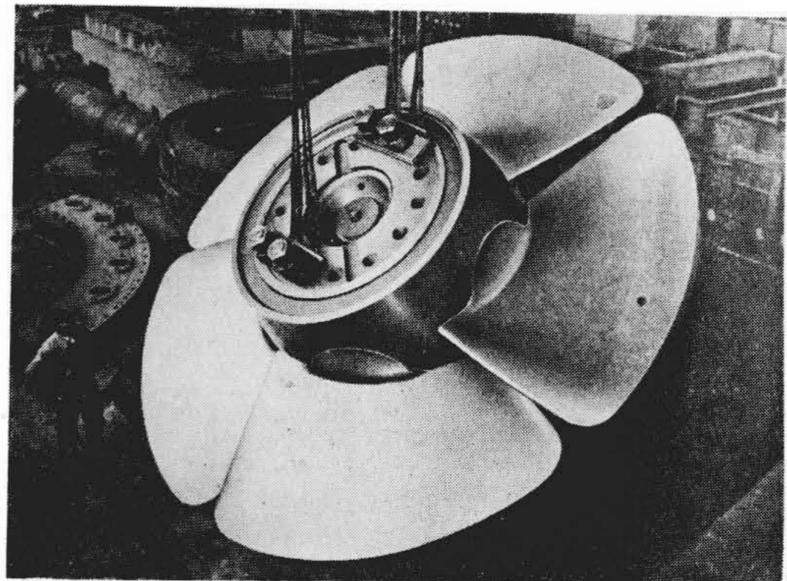
ランナボス内部への流水の侵入を完全に防止するために第10図の如き主軸外周に空気室を設け、運転中常時内部を加圧せしめて外部水圧に打ち克つようにし、ランナブレードステム部パッキンを寧ろ内圧に耐える構造とするのが最も確実である。

ランナブレード及びボスの材質としては耐腐蝕性及び耐磨耗性に富み而も強力なパーライト系不銹鋼が最も多



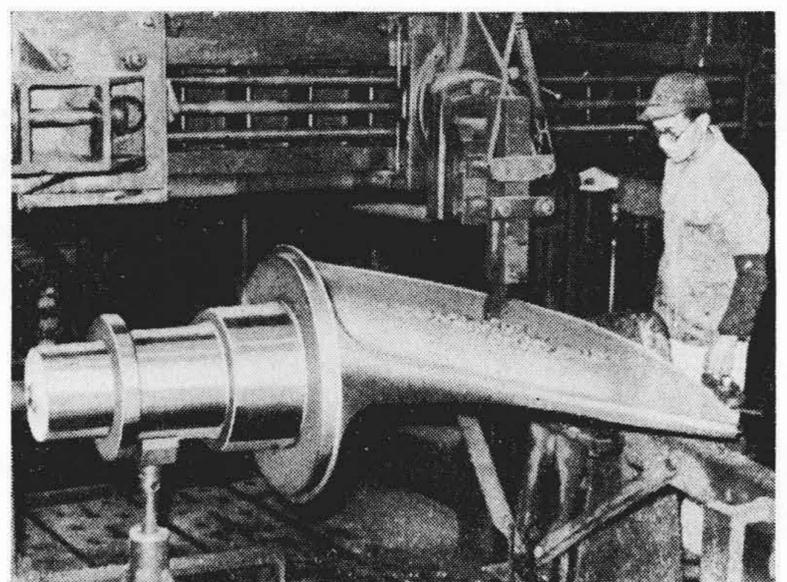
第11図(a) 九州電力株式会社夜明発電所用  
12,700 kW 水車用ランナ

Fig.11.(a) Runner of 12,700 kW Kaplan  
Turbine



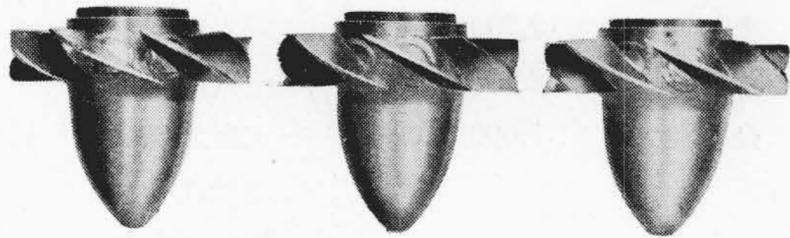
第11図(b) 東北電力株式会社片門発電所用  
22,500 kW 水車用ランナ

Fig.11.(b) Runner of 22,500 kW Kaplan  
Turbine



第12図 ブレード機械加工状況  
(特許第139130号)

Fig.12. Machining of Runner Blade



第13図 8枚羽根モデルランナ  
Fig.13. 8-Blade Model Kaplan Runner

く使用されている。日立製作所に於ては従前より自家工場にて大容量カプラン水車用ランナをかくの如き特殊鋳鋼にて鑄造し得る特殊技術を有しており、班溪、夜明、片門又は本名等各発電所水車に就いても第11図の如く極めて優秀なる製品を得ることが出来た。尙ランナブレードの表面の加工に関しては第12図の如く平削盤に特殊の装置を施して機械仕上を行っているが、これが仕上の精度は空洞現象試験用模型ランナの精度の向上に伴ない飛躍的な進歩を示している。

羽根枚数に関しては大体に於て比較回転度の減少即ち応用落差の増昇と共に枚数が増加せしめられる傾向にあるが、この関係は大体下記の如くそれ程確定的なものでなくランナ外径とボス径の比率或いは羽根断面形状その他と関連性があり、製作者又は製作年度によりかなりの差異があることが認められる。

適用落差 (m)	羽根枚数
6~15	4
10~25	5
20~40	6
35~45	7
40~70	8

参考迄に第13図に最近日立製作所に於て模型試験を実施せる8枚羽根ランナ例を掲げる。

### (2) 主軸受

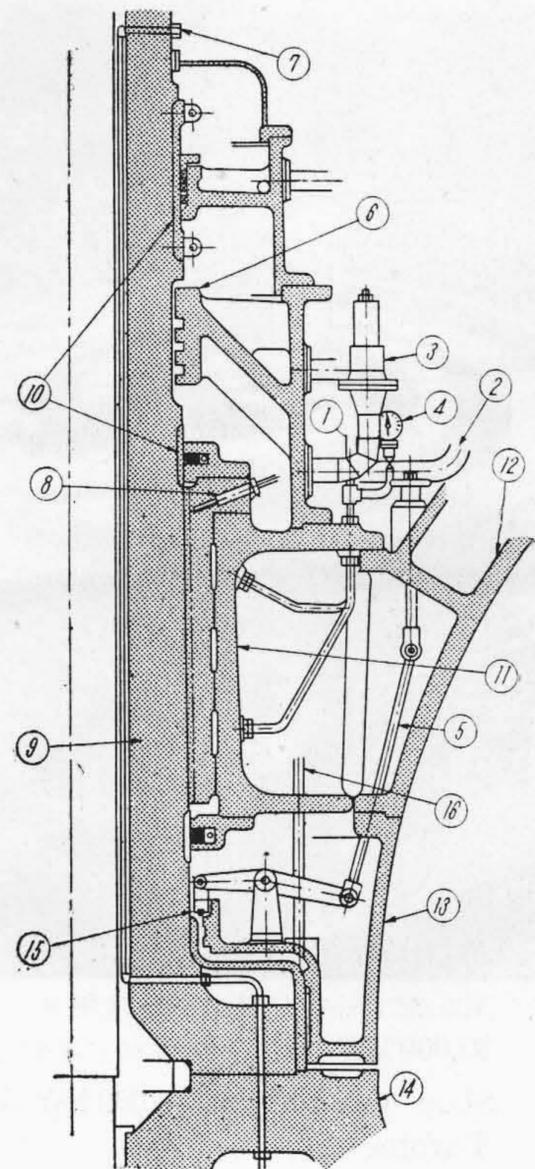
カプラン水車の主軸受はその構造上グリース給油方式と油循環方式とに分れる。従来日立製作所で製作されたものはすべてグリース給油方式であつたが、その保守が簡易な点を認められたためか戦後製作されている各所のカプラン水車はすべてグリース給油方式が採用されているように見うけられる。

油循環式を採用すれば主軸下部に封水用パッキングを必要とするが、我国の河川は洪水時多量の土砂を含むため、このパッキングが磨耗し易く而もその取換えが容易でない故、この点に特別の処置を必要とする。

グリース給油式には実際に運転結果から見て種々の改良が加えられ、最近は大抵第14図の如き構造を採用しているが、その結果グリース消費量は非常に軽減することが出来、而もその取扱いは甚だ容易となつている。

### (3) スピードリング

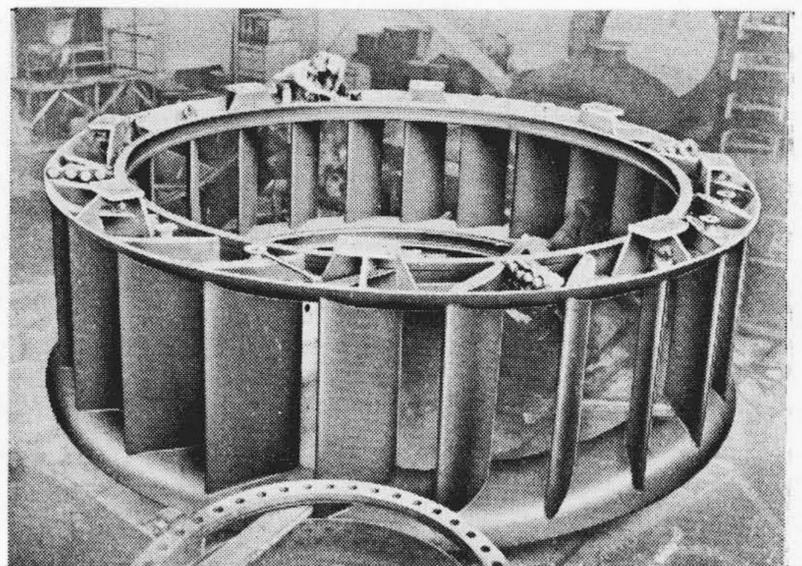
カプラン水車のスピードリング構造は日立製作所に於



- ①グリース給油管
- ②清水給水管(主軸受冷却用)
- ③自動空気吸入弁
- ④グリース圧力計
- ⑤停止後に於ける主軸フランジ部漏水浸入防止装置
- ⑥主軸及びランナ分解後懸垂箇所
- ⑦ランナよりの漏水排水孔
- ⑧温度計取付孔
- ⑨主軸
- ⑩主軸ランナ
- ⑪メタルケース
- ⑫水車カバー(内側上)
- ⑬水車カバー(内側下)
- ⑭ランナボス
- ⑮ゴムパッキング
- ⑯空気送入管

第14図 カプラン水車グリース給油式主軸受構造図  
(特許第179950号 実用新案第400261号)

Fig.14. Sectional View of Grease Lubricated Guide-Bearing for Kaplan Turbine



第15図 東北電力株式会社片門発電所用  
スピードリング製作状況  
(実用新案 第400262号)

Fig.15. Speed Ring under Fabrication



第16図 東北電力株式会社本名発電所用  
30,000 kW カプラン水車工場組立

Fig. 16. Shop Assembly of 30,000 kW Kaplan Turbine

ては総て全溶接鋼板製構造が採用されているが、近年に於ける溶接技術の進歩は片門発電所納のスピードリングの如き大型のものまで短日時の間に容易に製作し得るようになった。第15図（前頁参照）は工場内に於けるスピードリングの製作状況、同じく第16図に全溶接構造のスピードリングを使用せる本名発電所用水車本体の工場組立状況を示す。

〔VII〕 調整装置

カプラン水車は従来より各部機構がフランシス水車に比し多少複雑であるという考え方の下に従前は発電所当りの台数を減らして1台当りの容量を大きくすること及び中容量以上の場合に全自動或いは遠方制御として無人発電所とすることに多少不安の念を持たれた場合もあつたが、最近各部機構の確実化と共にこのような見解も全く一掃され、下表の如く中容量以上の場合でもフランシス水車では2台とするものをカプラン水車では1台とし、而も全自動或いは遠方制御として無人とするものがかかり建設されるに至つた。

所名	kW	台数	自動制御方式
蘭越	6,500	1	全自動制御
鷹泊	6,350	1	一人制御
班溪	10,600	1	一人制御

夜明	12,700	1	一人制御
片門	22,500	2 (3台の内)	一人制御
金川	7,000	1	起動並列は一人制御 運転は無人 停止は自動
本名	30,000	2 (3台の内)	一人制御
姫川第三	13,000	1	電力線搬送式遠方監視制御

(1) 调速機

调速機を従来の制御盤と一体にして所要の計器及び操作ハンドルを制御盤と同一面に取付け内部機構は運転中に於ても十分点検出来るような所謂キャビネット型调速機を完成することは長年の懸案であつたが、愈々その完成を見、近く納入される本名発電所以降にも採用されることゝなつた。カプラン水車の调速機はランナ関係を含み機構が多少複雑となるため、かくの如き型式の実現が非常に要望されており、本型式の调速機はその運転に相当便益を与えるものと考えられる。

(2) 高能率運転装置

我国の河川は豊水期及び渇水期間の水量の変化が激しく、水路及び負荷の状況によつては毎日の負荷が相当激しく変動する地点もあり、しかも種々の事情から設置台数を減少して単位容量を増大する傾向にある。従つて水車の軽負荷時、変落差時或いは周波数変動時に於ける効率を手動又は自動的に増昇せしめるよう努力することが肝要である。従つてその改善実施例を次に述べて見る。

(A) カプラン水車変落差時ブレード角度自動調整装置

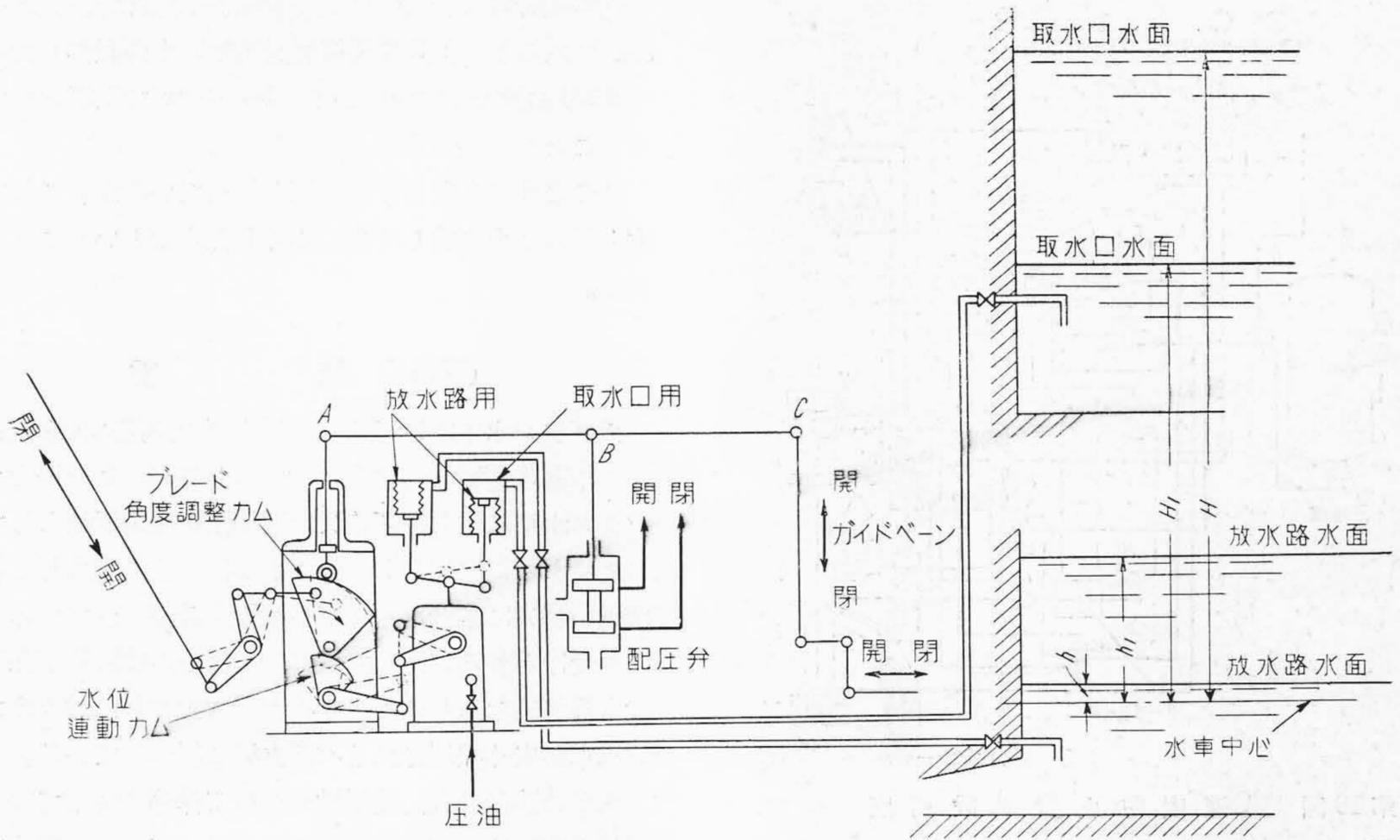
貯水池或いは調整池の水位変動の激しい地点にカプラン水車が採用される場合、落差の変動に応じて自動的にブレード角度と案内羽根開度との関係を最も効率の良い位置に移動することが出来る。第17図はその操作系統図で、取水口と放水路の水圧の変化で動作するペローにより圧油を操作力とする腕を動作させ、これに依り水位連動カムを回転する。このカムに依りブレード角度と案内羽根開度を調整するカムの回転軸位置を上下に調整し有効落差変動による修正を行うことが出来る(特許出願中)

(B) カプラン水車周波数変動時ブレード角度連動装置

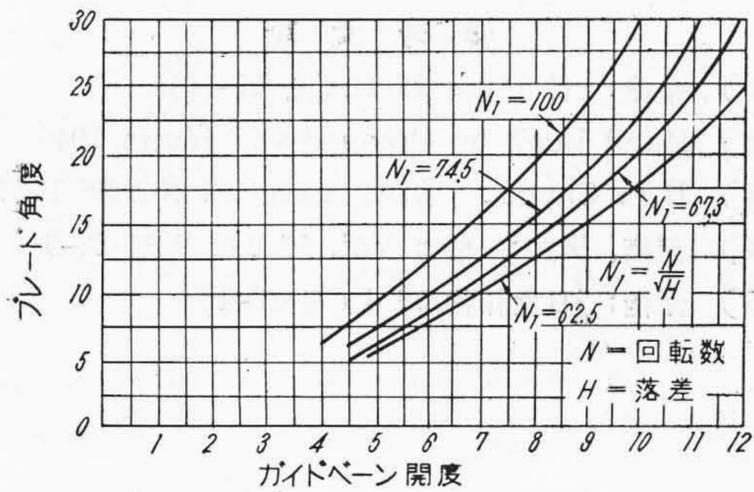
送電系統の周波数が規定値より変動した場合、その変動に応じてブレード角度と案内羽根開度を自動的に修正させるもので、ランナと案内羽根用の両サーボモータ間の復原機構の途中に第18図の如く周波数の変動に応ずるスピードを別に設けるものである。(特許出願中)

(3) 過速度防止装置

カプラン水車に於ては無拘束速度が前述の如くガイド



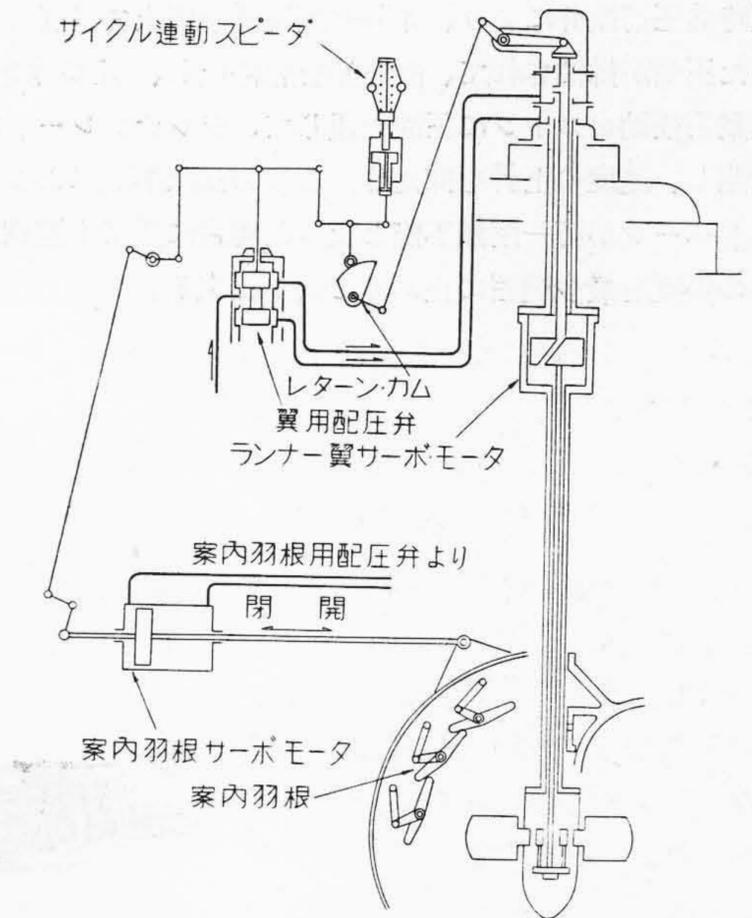
第17図(a) カプラン水車変落差時プレート角度自動調整装置  
 Fig. 17.(a) Automatic Regulating Mechanism of Runner Blades Under Variable Heads



第17図(b) 落差変動時に於けるランナプレート角度とガイドベーン開度との関係曲線  
 Fig. 17.(b) Relation between Runner Blade Angles and Guide Vane Openings under Variable Heads

べーン開度の他にランナプレート傾斜角によつても左右され而もその値は傾斜角の中間に於て最大となる故、通常運転状態より万一事故が重なつて调速機復原機構が外れるような異常状態に於てはかなり高い数値に達するため、その過速度防止装置には特別の考慮が払われている。

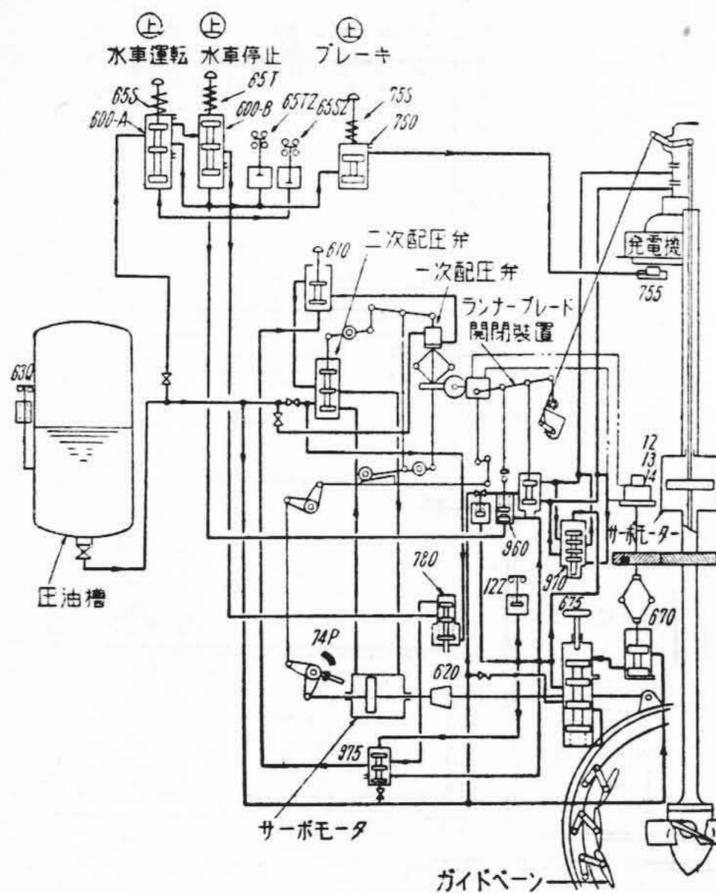
即ち第19図(次頁参照)の如く#12遠心力開閉器を電氣的接続により電磁弁に連絡し、それ以後は圧油系統によりガイドベーン及びランナベーンの両サーボモータに接続する過速度防止装置を備える他、更に安全のため调速機スピードと同一機構の#670過速度防止装置を設



第18図 カプラン水車周波数変動時プレート角度連動装置  
 Fig. 18. Runner Blade Regulating Mechanism for Operating Kaplan Turbines at Varied Speeds

け、直接圧油系統を操作させることにした。

(特許第 151153, 151161, 151164 号)



第19図 過速度防止装置説明図  
Fig. 19. Diagram Showing Functioning of Overspeed Devices

この機械的過速度防止装置の動作した場合は、#975 過速時油圧切換弁により、#610 调速機急停止弁に通じていた圧油が排油されて、调速機を急停止し、且つ #960 起動用補助ピストンに圧油を通じて、ランナブレードを全開し、速度の上昇を抑える。この方法は事故によりガイドベーンが万一閉鎖不能となつた場合に於ても速度上昇の限度を最少範囲に止めることが出来る。

通常運転時に於てはブレード開閉時間は凡そ 30~40 sec であるが、上述の機械的過速度防止の動作した場合は #970 油量調整弁を開いて 15~20 sec で羽根を全開させることが出来る。

このように2段の保護装置を備えているが、これは速度上昇の防止に関し万全をつくしたものである。

### 〔VIII〕 結 言

カプラン水車は最近その適用範囲を急速に低落差領域より中落差領域に迄拡大されつゝあるが、この場合フランス水車に比し変落差又は両周波数発電所用としてその効果を更に發揮せしめることが出来る。又本邦に於ては近い将来に超低落差地点の建設も計画されているように見受けられる。元来我国に於てはその建設及び保守を最も経済的ならしめる可き状況を考慮すれば益々カプラン水車が広く採用されるべき立場に置かれている。

水車の性能、構造、使用材料及び工作等に関してはそれぞれの技術的内容は非常な進歩を見せており、現状に於てもこれ等の情勢に十分対応することが可能であるが、更に一層の向上を期して止まない次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 今井：日立評論 25 11 (昭 17-11)
- (2) Hand Book by Creager and Justin 1949
- (3) H.F. Canna： V.D.I. Band 93 No. 35 1951
- (4) 深栖、横井：電力 Vol. 37 No. 9 昭 28-9
- (5) 深栖：日立評論 35 4 (昭 28-4)

