

筒形水車および発電機

Tubular Turbines and Generators

横井 信安* 大越 健児*
Nobuyasu Yokoi Kenji Ōgoshi

内 容 梗 概

近年わが国においても低落差地点の経済的開発を目標に筒形水車が注目されはじめた。現段階では筒形水車は既設老朽発電所の改造計画あるいは既設、新設発電所の放水路付近のわずかな落差を利用するものなど試験用の小容量のものが製作されている程度であるが、今後数年の間には本格的な筒形水車による発電計画も実現の段階に至るものと思われる。

筒形水車は種々の利点を有する反面また欠点を有しており、またその形式についても筒形水車に結合される発電機をも含めて種々の形式が考えられるので、筒形水車の採用に当っては水車の使用される条件を十分考慮して筒形水車の採用および形式の決定が行われなければならない。このような観点に立って筒形水車および発電機の特徴と設計、製作および運転上の問題点につき、カプラン水車と対比して検討を試みた。

1. 緒 言

1935年ポーランドの Rostin 発電所用として出力 200 kW の筒形水車が製作されて以来、ヨーロッパにおいては低落差の経済的開発に好適な水車として筒形水車が盛んに使用され、近年では潮力発電用としても最適の水車として注目されている。

わが国においては一昨年運転に入った四国電力、野村発電所用 670 kW 筒形水車をはじめとしてその後多数建設され現在までに運転に入った発電所 2 箇所、現在建設中の発電所数箇所を数えている。

筒形水車の製作例を第 1 表に示す。

しかし現在までにわが国で製作された筒形水車はいずれも容量も小さく、試作的な色彩の強いものであるが、最近計画されている筒形水車は本格的な低落差発電所用として考えられている例が多く、筒形水車が完全な実用段階に入るのも間近いと思われる。今後筒形水車を広はんに採用してゆくためには発電所建家との関係も含めた水車構造の研究、あるいは水車特性の改善など考慮を要する点も多々あるように思われる。現在日立製作所が製作中の東北電力、茂庭発電所納 1,570 kW 筒形水車に関連してこれら諸点につき検討してみることとする。

2. 筒形水車の形式

筒形水車は後述するように渦巻形のケーシングを有せず、水車ランナへの入口流れがほぼ軸流のままでガイドベーンにより所要の旋回を与えられるものとして定義される。筒形水車は適用落差、出力などにより種々の形式のものが製作されてその分類の方法にも種々考えられるが大別すると次のようになる。

2.1 据付け方式による分類

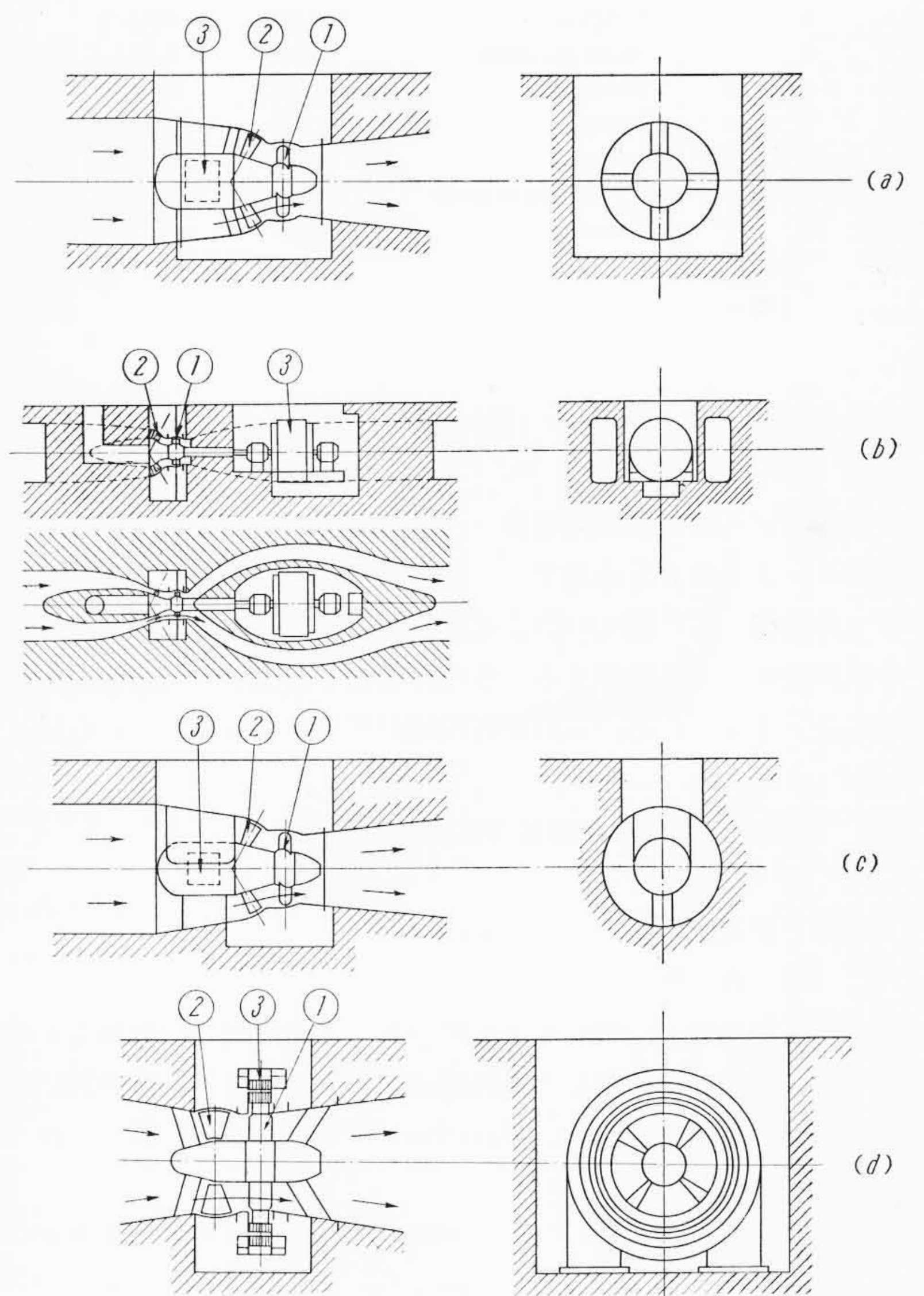
(1) バルブ形

水中形発電機を使用し発電機の周囲が流水により囲まれる形式で小容量の水車から大容量の水車まであまねく採用されている。この形式の水車には発電機を水車ランナの上流側に置いた上流バルブ形と下流側に置いた下流バルブ形とがあるが、下流バルブ形は吸出管内に発電機を入れるバルブを置くために吸出管内の損失が増し、上流バルブ形に対し性能的にやや劣る欠点がある。(第 1 (a) 図)

(2) ピット形

発電機を上方が開放されているピット内に収め、主軸をピットの壁を貫通させて外部へ出して水車ランナと結合する形式で水は

* 日立製作所日立工場



① 水車ランナ ② ガイドベーン ③ 発電機、矢印は水流の方向を示す

第 1 図 筒形水車の据付け方式による分類

ピットの側壁の外側を流れる。この形式は発電機の点検、保守に特に便利で大容量の筒形水車に使用される。この形式にも発電機が上流側にあるものと下流側にあるものとの二種類がある。(第 1 (b) 図)

(3) バルブ・ピット形

この形式は上記のバルブ形とピット形の両者の中間に位するもので、流路の形状はバルブ形と同じであるが、発電機をささえる支持脚のうち、上方のもののみを幅を広くしてその中を通して発電機の分解が可能にしたものである。流水は発電機の側方および下方を流れることになる。この形式は特に大容量増速形筒

第1表 筒形水車製作記録

国 名	発 電 所	出 力 (kW)	落 差 (m)	回 転 数 (rpm)	形 式	ACG位置	台 数	製 作 所 名	製作年度
フ ラ ン ス	Argentat	14,300	16.5	150	TMM-H	下 流	1	Neyrpic	1956
フ ラ ン ス	Saint-Malo	9,000	11.0/5.5		TMM-H	上 流	2	Neyrpic	建設中
フ ラ ン ス	Beaumont Montoux	8,500	12.5	150	TMM-H	上 流	1	Neyrpic Jeumont	1957
フ ラ ン ス	Cambeyrac	5,200	10.75	150	TMM-H	下 流	1	Neyrpic	1956
ド イ ツ	Mosel	4,500	5.0		TMM-GH	上 流	1	EW	建設中
ド イ ツ	Trier	4,000	7.2		TMM-GH	上 流	4	EW	建設中
日 本	小 俣 ダム	3,350	13.0	200	TMM-H	上 流	1	富 士	1960
ド イ ツ	Sylvenstein	2,790	40/12.4	450	TMM-GH	上 流	1	J.M.V.	1957
日 本	小 中 島	2,200	9.2	200/1,000	TMM-GH	上 流	1	東 芝	建設中
フ ラ ン ス	Castet	1,620	7.5	254	TMF-H	上 流	2	Neyrpic	1954
日 本	茂 庭	1,570	16.7	429	TMM-H	上 流	1	日 立	建設中
日 本	神 子	1,500	9.0		TMM-GH	上 流	1	三菱造船	建設中
フ ラ ン ス	Wadrineau	1,500	4.5	100	TMF-H		4	Neyrpic	
ド イ ツ	Lech #1~#4	1,490	9.2/8.07	250/214.3	TFM-HX15 TMM-HX1	貫 流	4×4	EW	1937/1951
オーストリア	Saalach	1,350 1,000	8.45	214.3	TFM-H	貫 流	2+1	EW	1940/1951
日 本	人 来 田	1,300	12.1	375	TMM-GH	上 流	1	三菱造船	1959
オーストリア	Reutte	1,210	6.07	165	TMF-GH	下 流	1	EW	1956
ド イ ツ	Lech #7~#15	1,160	8.25	214.3	TFM-H	貫 流	6×9	EW	1941/1950
日 本	野 村	670	19.68	720	TMM-H	上 流	1	新三菱重工	1958
ド イ ツ	Rhumeuhle	635	4.35	176	TFM-GH	上 流	1	J.M.V.	1957
ス イ ス	Burglen	440/370	3.06/2.71	113	TFM-GH	下 流	1	EW	1956
ド イ ツ	Osberghausen	400	7.25	312	TFM-GH	下 流	1	EW	1956
フ ラ ン ス	Mercues	288	3.5	176	TMF-H	下 流	1		
ポーランド	Rostin	200	3.75	258	TMF-H	上 流	2	EW	1935/1936
フ ラ ン ス	L'ame	149	1.9	165		下 流	1		
フ ラ ン ス	La Maigmanerie	51	1.8			下 流	2	Neyrpic	
ド イ ツ	Wolsfeld	72	3.5		TMM-GH	下 流	1	Maier	

TMM…………ランナブレード，ガイドベーン共可動
 TMF…………ランナブレード可動，ガイドベーン固定

TFM…………ランナブレード固定，ガイドベーン可動
 G…………増速形

形水車に適する。(第1(c)図)

(4) 貫 流 形

水車ランナの外周に発電機ロータをはめ込んだ形式で，水は発電機ロータの内方を通過する。発電機の保守は便利であるが，ランナ外周部からの漏水の防止に難点があり，最近では発電機外被を直接流水により冷却するような方式も十分安全に使用されるようになってきたため，この形式の筒形水車は製作されていない。

(第1(d)図)

2.2 水車と発電機との結合方式による分類

(1) 直 結 形

水車と発電機とを直結するもの

(2) 増 速 形

水車と発電機との間に増速装置を置いて発電機の回転数を上昇させ，発電機を小形化して経済的にすることにより，より低い落差の開発を目指している。落差10m以下に対して主に採用されている。

増速装置の形式には，(i) 平歯車式，(ii) ロックドトレン形，(iii) プラネタリギヤ形があるが，増速装置の入力軸と出力軸が同一軸線上にある(ii)と(iii)の形式が広く使用されている。

2.3 ランナブレードおよびガイドベーンの可動，固定による分類

(i) ランナブレードの可動，固定の別

(ii) ガイドベーンの可動，固定の別

水車の設置台数が1～2台程度の場合にはカプラン水車と同じようにランナブレード，ガイドベーンともに可動とした形式が採用されるが，設置台数の多い場合には流量の制御を運転台数制御により行うことが可能となり経済性をも考慮してランナブレードを固定構造としたプロペラ水車形の筒形水車が採用される。ガイドベーンを固定としランナブレードのみを可動とした形式は効率特性がプロペラ水車形よりも平坦であることを利用し設置台数の少ない場合調整機構を簡略化する目的で使用されるが，この場

合には使用水の流入を完全に閉鎖できるような入口弁を置くことが必要である。

2.4 発電機の形式による分類

(i) 同期機，誘導機の別

筒形水車と結合される発電機としては構造的に強固で保守の容易な誘導機が適しているが，誘導機を採用する場合は単独送電が不可能なことおよび系統が誘導機が投入される際のショックに十分耐えられるような強いものであることが必要なことなどについて注意を要する。

(ii) 発電機の冷却方式

発電機の固定子および回転子から発生する熱を取り去る方式により大別するならば

(1) 固定子，回転子ともに発電機の外被を通して流水に放熱するもの

(2) 固定子は外被よりの直接冷却，回転子は冷却空気を回すことによるもの

(3) 固定子，回転子ともに冷却空気のみにより冷却するものとなるが，冷却空気を回すものには外部通風式のものと空気冷却器を有する循環式のものとがある。(1)は小容量の筒形水車(2)(3)は大容量のものに使用される。

3. 筒形水車の特徴

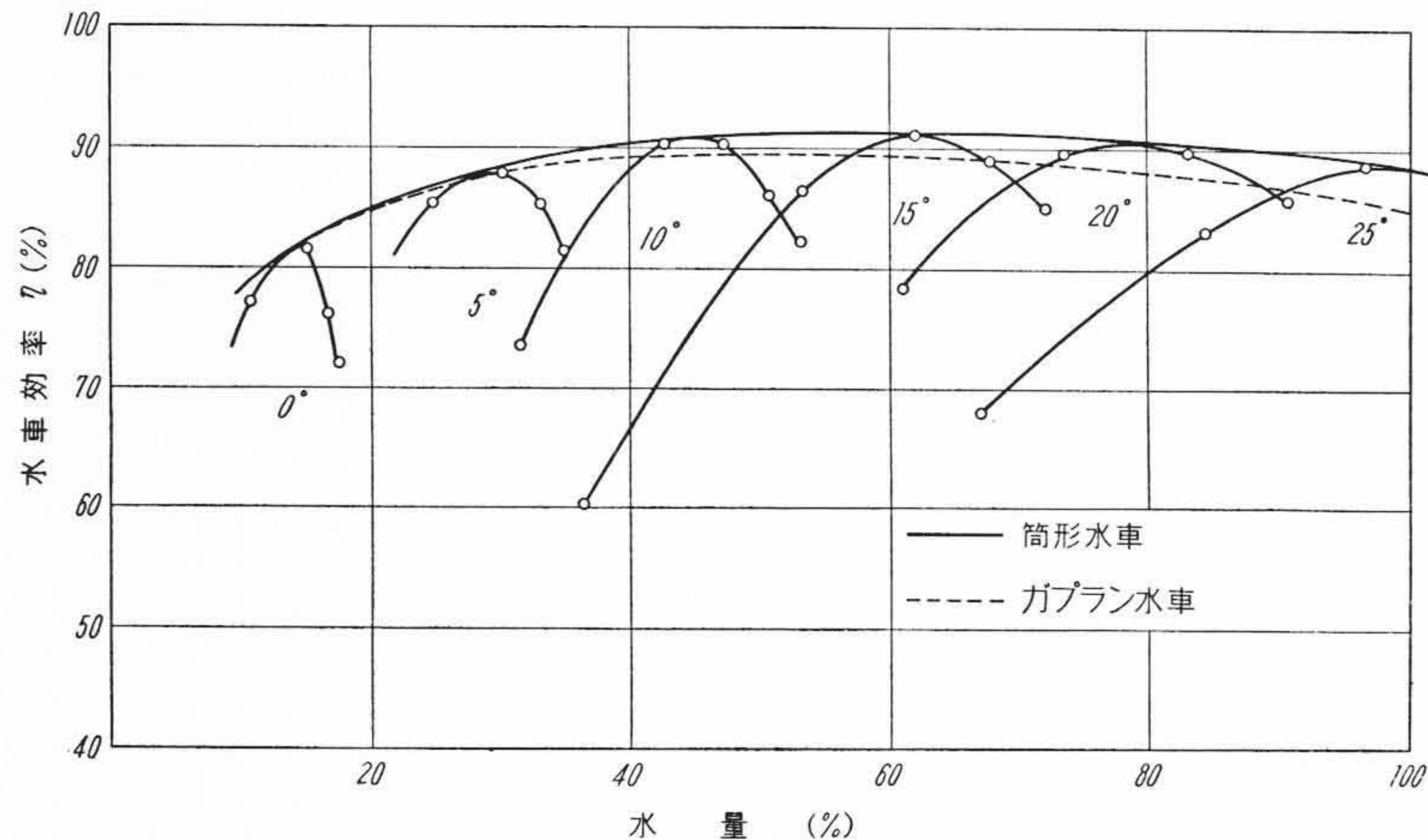
3.1 筒形水車の適用範囲

筒形水車の適用落差範囲は約3mから20m程度であって7～8m以下の落差については従来のカプラン水車では経済的に開発することができなかった超低落差地点の開発を可能ならしめ，またそれ以上の落差については従来のカプラン水車と比較して特性，経済性における有利さのために採用されている例があるが，この程度の落差範囲においては常に筒形水車がすべての点において有利という訳ではないので，採用に当っては慎重な検討が必要である。

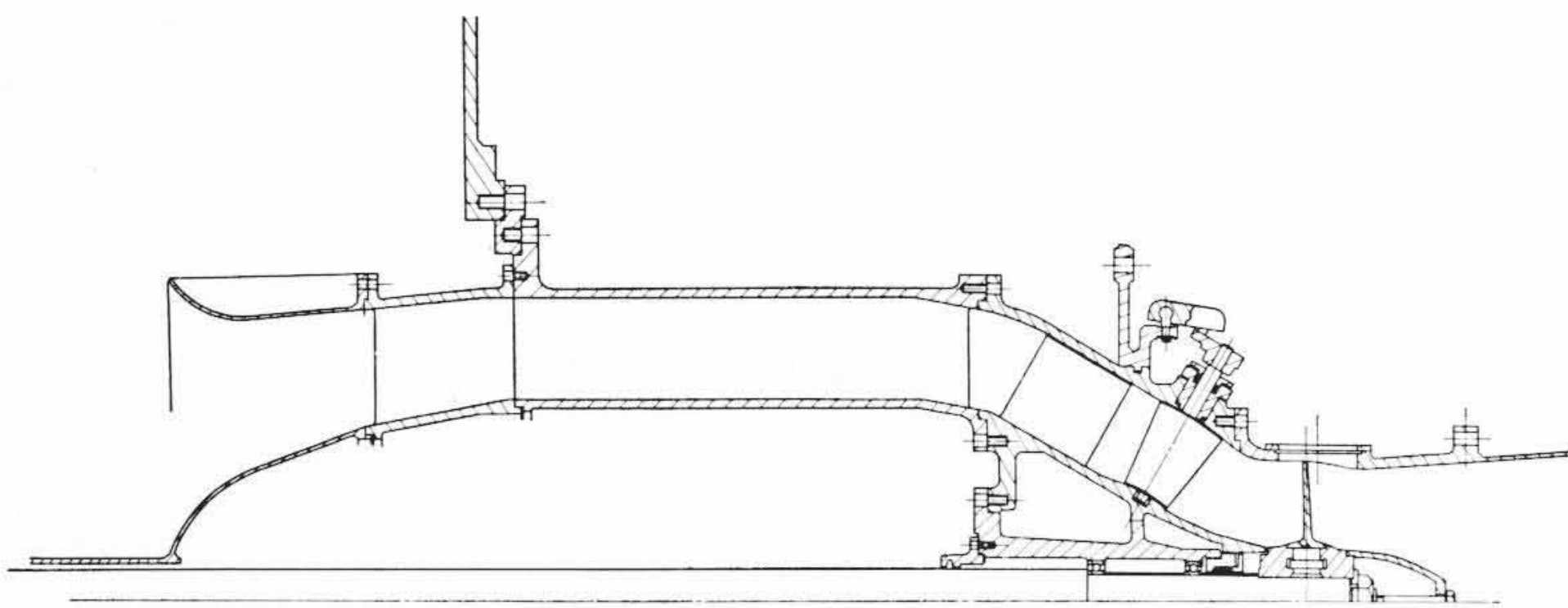
筒形水車を採用するよりもカプラン水車を採用したほうが適当と

第2表 カプラン水車のガイドベーン出口、および
吸出し管入口におけるメリディアン流速の速度水
頭の有効落差に対する割合

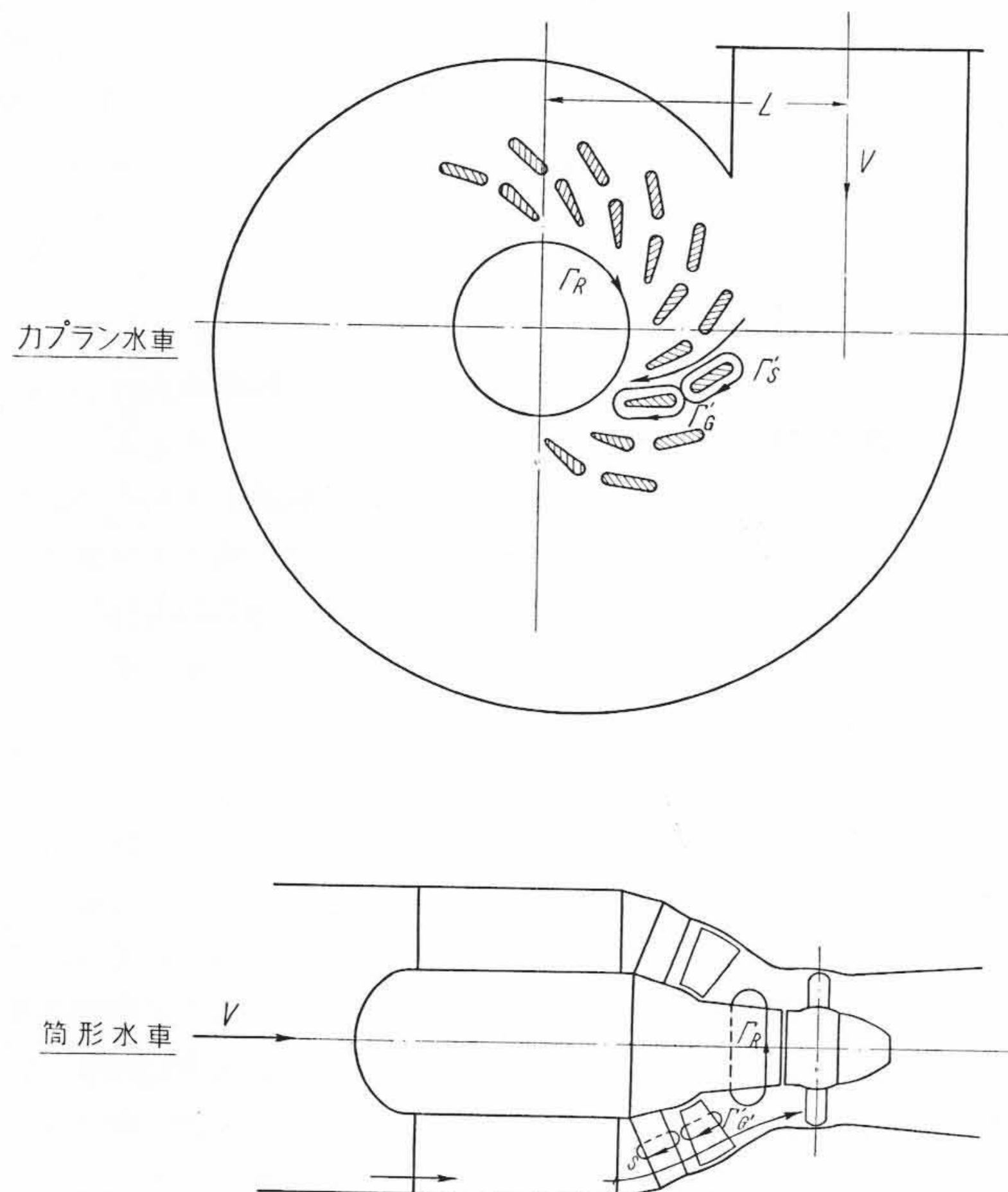
落 差 (m)	10	15	20	30	60
比 速 度 (m-kW)	680	590	520	420	270
ランナ羽根枚数	4	4	5	6	8
ガイドベーン出口速度水頭比(%)	6.8	6.5	6.0	5.6	2.4
吸出し管入口速度水頭比 (%)	25.5	21.2	16.8	12.9	4.5



第4図 筒形水車模型試験結果の一例



第5図 模型筒形水車構造図



第6図 筒形水車、カプラン水車ケーシング形状比較

験結果の一例を示し、同時に同程度の特有速度を有するカプラン水車の効率とを比較したものである。最高効率において約1.5%、全負荷時において約3%の効率の上昇を示し水量の多くなるに従い効率上昇の割合の大きいことはこの効率上昇が上述の曲りによる損失の除去によるものであることを裏付けている。

このように低落差に使用される水車に対しては流路の水頭損失を極力少なくすることが水車の効率を高めるのに重要な要素であり、模型試験を行う場合にも筒形水車にあっては第5図に示すよ

うにケーシング入口から吸出し管出口までを水力的に完全に相似に製作することが必要である。

3.4.2 ランナへの入口流の旋回の影響

一般にカプラン水車の場合渦巻形または半渦巻形のケーシングが使用されるが、このケーシングはガイドベーンの周りから一様にランナへ水を導くという役目のほかにランナの必要とする循かんを与えるという役目を有している。第6図においてケーシングの入口の水車中心からの距離を L 、渦入口における平均流速を V とするならば、ケーシングへの流入水の有する水車軸中心の回りの循かん Γ_C は次のように表わされる。

$$\Gamma_C = 2\pi LV \dots\dots\dots (1)$$

一方水車ランナの要求する循かん Γ_R は各ブレード回りの循かんを Γ_B として次のようになる。

$$\Gamma_R = Z\Gamma_B = \frac{60gH\eta}{N} \dots\dots\dots (2)$$

ここに H : 有効落差(m)

η : 水車効率

g : 重力の加速度(m/sec²)

N : 水車回転数(rpm)

(1)式からわかるように渦巻形ケーシングではケーシングへの流入速度とケーシング入口の水車中心とのずれを利用して必要な循かんを与えている。一般に普通に設計されたケーシングではケーシングにより与えられる循かん Γ_C はランナの要求する循かん Γ_R とほぼ等しく、したがってステイベーンはケーシングにより与えられる流れの方向に向けられ、ガイドベーンも最高効率付近ではやはり入口流れの方向に向けられてステイベーン、ガイドベーン周りにはほとんど循かんを生じない。すなわち次のようになる。

$$\Gamma_C + \Gamma_S + \Gamma_G = \Gamma_C + 0 + 0 = \Gamma_R \dots\dots\dots (3)$$

ここに $\Gamma_S = Z_S \cdot \Gamma'_S$: 各ステイベーン周りの循かんの総和

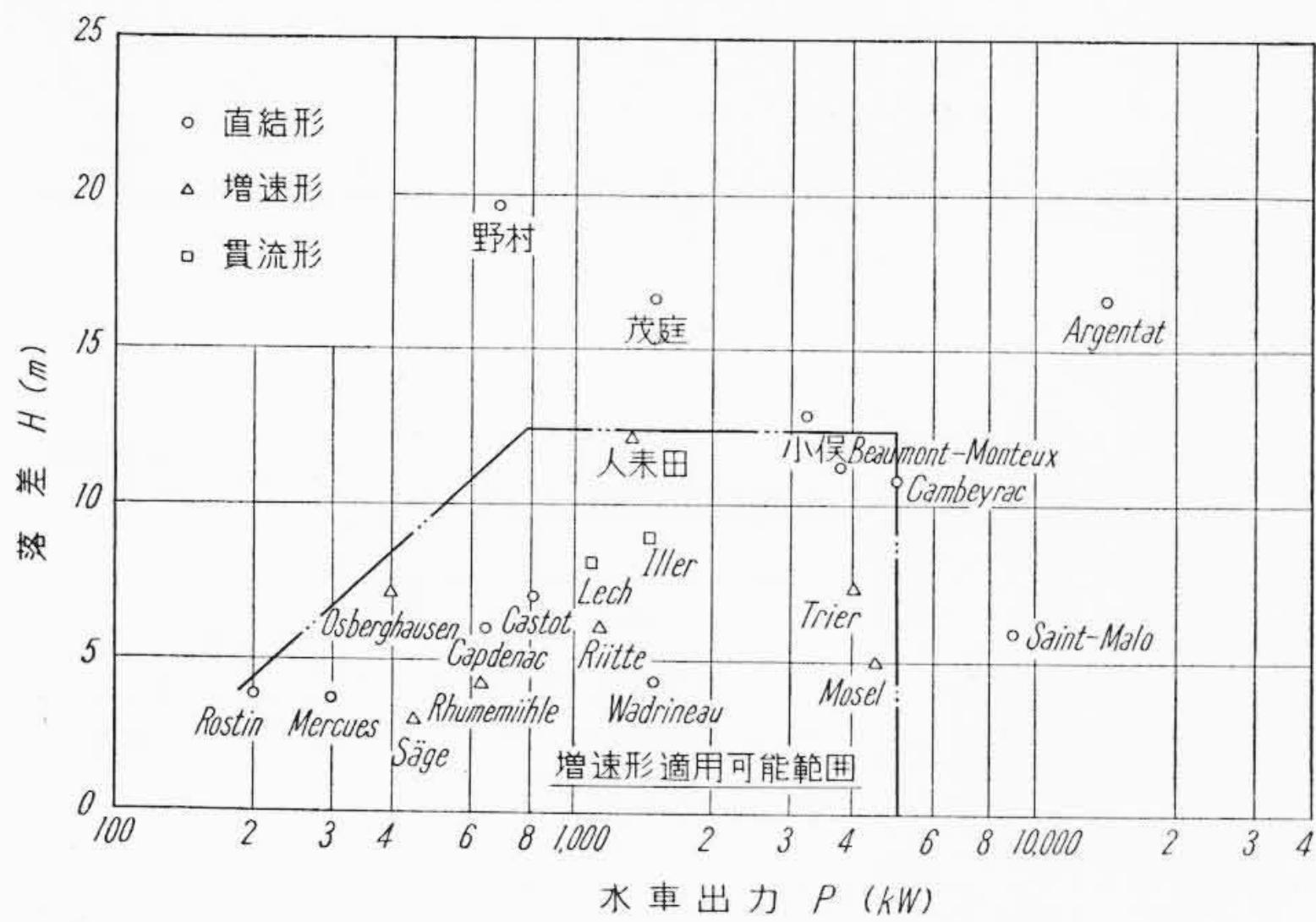
$\Gamma_G = Z_G \cdot \Gamma'_G$: 各ガイドベーン周りの循かんの総和

一方筒形水車ではケーシングは水車の軸線を含む円筒状をなし、ケーシング部における循かんは零である。したがって次のようにする。

$$\Gamma_C + \Gamma_S + \Gamma_G = 0 + \Gamma_S + \Gamma_G = \Gamma_R \dots\dots\dots (4)$$

すなわちランナに必要な循かん Γ_R はステイベーンおよびガイドベーンにより与えられる。この場合必要な循かんをどのような割合でステイベーンとガイドベーンとに分たんさせるかは設計により異なるが、いずれにしても循かんの量に対し翼面積、翼角の選定を適当にして極力損失を少なくして必要な循かんを与えるよう留意すべきである。

上に述べたのは総体的な取扱いであるが、カプラン水車と筒形水車とではランナの入口流れの旋回流速の半径方向の分布の異なる点に注意が必要である。一般にカプラン水車の場合入口流れの旋回流速の分布は自由渦($\Gamma = \text{一定}$)に近いような分布をなすが、筒形水車にあっては旋回速度が半径方向についてほぼ一定に近い



第 7 図 筒形水車落差—出力曲線

ような分布をなす。これは筒形水車のガイドベーンがほぼ軸流形式で作用し、またこのガイドベーンが全閉のとき完全に流れを遮断する必要があるためよじれのないガイドベーン形状となるためであるが、ステイベーン、ガイドベーンの設計に対しては内側断面の翼面負荷が高くならずに済むのでかえって好適である。

上述のように筒形水車とカプラン水車とでは入口流れの旋回流速分布は異なっているので当然筒形水車には筒形水車用に設計されたランナを使用する必要がある。

4. 筒形水車ならびに発電機の問題点

筒形水車および発電機に対しては従来のカプラン水車およびその発電機とはまた異なった考慮が必要である。次にこれら問題点のおもなものについて述べることにする。

4.1 直結形と増速形

4.1.1 直結形と増速形の比較

これまで低落差カプラン水車において水車と発電機との間に増速装置を置いた例があるが、筒形水車の場合には発電機を置くスペースの制約を受けるため発電機が小形となる増速形が特に重視される。しかし直結形、増速形いずれが有利であるかは一概に定めるわけにはゆかず、使用条件に対しよく検討してみることが必要である。

現在までの直結形と増速形の適用範囲は第7図に示すとおりで増速形の適用範囲は落差約12.5m以下、出力約5,000kW以下に限られている。増速形の適用範囲内はもちろん直結形も採用可能な範囲であり直結形の採用されている例も多いが、この程度の落差範囲においては増速形のほうが有利となる場合のあることを示している。また出力5,000kW以下に制限されているのは増速装置の製作可能範囲により制約されているものであり、将来拡大される可能性がある。

直結案と増速案の比較データの一例を第3表に示す。増速案の場合には増速装置における動力の損失分だけ総合効率が低下するので効率的にもかえって直結案より低目となり経済的にもそれほど大きな利点は認められない。保守の面では構造簡単な直結形

第 3 表 直結形，増速形の比較例

	項 目	単 位	直 結 形	増 速 形
水 車	出 力	kW	5,500	5,500
	落 差	m	13.5	13.5
	水 量	m³/s	46	46
	回 転 数	rpm	214	214
	最大出力時効率	%	88.5	88.5
	ランナ直径	mm	2,600	2,600
	軸 端 径 式 形 式	mm	380 TMM-H	380 TMM-GH
増速装置	伝 達 動 力	kW	—	5,500
	増 速 比 率	%	—	4.67
	効 率	%	—	98
	形 式		—	遊星歯車式
発 電 機	容 量	kVA	6,000	6,000
	電 圧	V	6,600	6,600
	極 数		28	6
	回 転 数	rpm	214	1,000
	力 率		0.9	0.9
	周 波 数	~	50	50
	効 率	%	95.5	95.9
	ロータ外径	mm	2,370	1,050
	軸 端 径 式 形 式	mm	380 EFB ₁ -RD	220 EFB-RD
	重 量	%	100	115
重 量	水車+増速装置	%	100	115
	発 電 機	%	100	71
	合 計	%	100	97
クレーン容量		t	40	20
総合効率		%	84.5	83.2

がすぐれているが、発電機重量が大きくなる関係上クレーン容量が比較的大きくなる欠点がある。

4.1.2 直結案の場合の問題点

直結形は前にも述べたように構造が簡単で保守も容易であるが、筒形水車の性質上発電機外径を自由に選定することができず、このため発電機の有するフライホイール効果 GD² の値にもある程度の制約を受けることとなる。

(A) 直結形の場合の発電機の有する GD²

筒形水車では流路の水力的形状を良好にするために発電機外径をランナ径より大きくとることは適当ではない。いま発電機外径を水車ランナ径の0.9倍程度におさえることを条件として落差7.5~20m 出力1,000~1,500kW の場合について各場合の水車の回転数、ランナ径、発電機外径、GD² を求めると第4表のとおりになる。この場合発電機の外被の径はほぼ水車ランナ径と等しくなっている。

一方一般のカプラン水車の場合の発電機の固有GD²は水車の要求する GD² とほぼ等しく発電機の回転数と容量と関連して第8図のように表わされ、一方上記筒形水車の場合の発電機の GD² の値をプロットすると全般的に直結形筒形水車ではカプラン水車の場合に比し約25~35%程度の GD² 値を有していることがわかる。

一方増速形の場合には所定の寸法内で従来のカプラン水車と同じ程度の GD² 値を保有させることは十分に可能となる。

(B) 速度上昇率

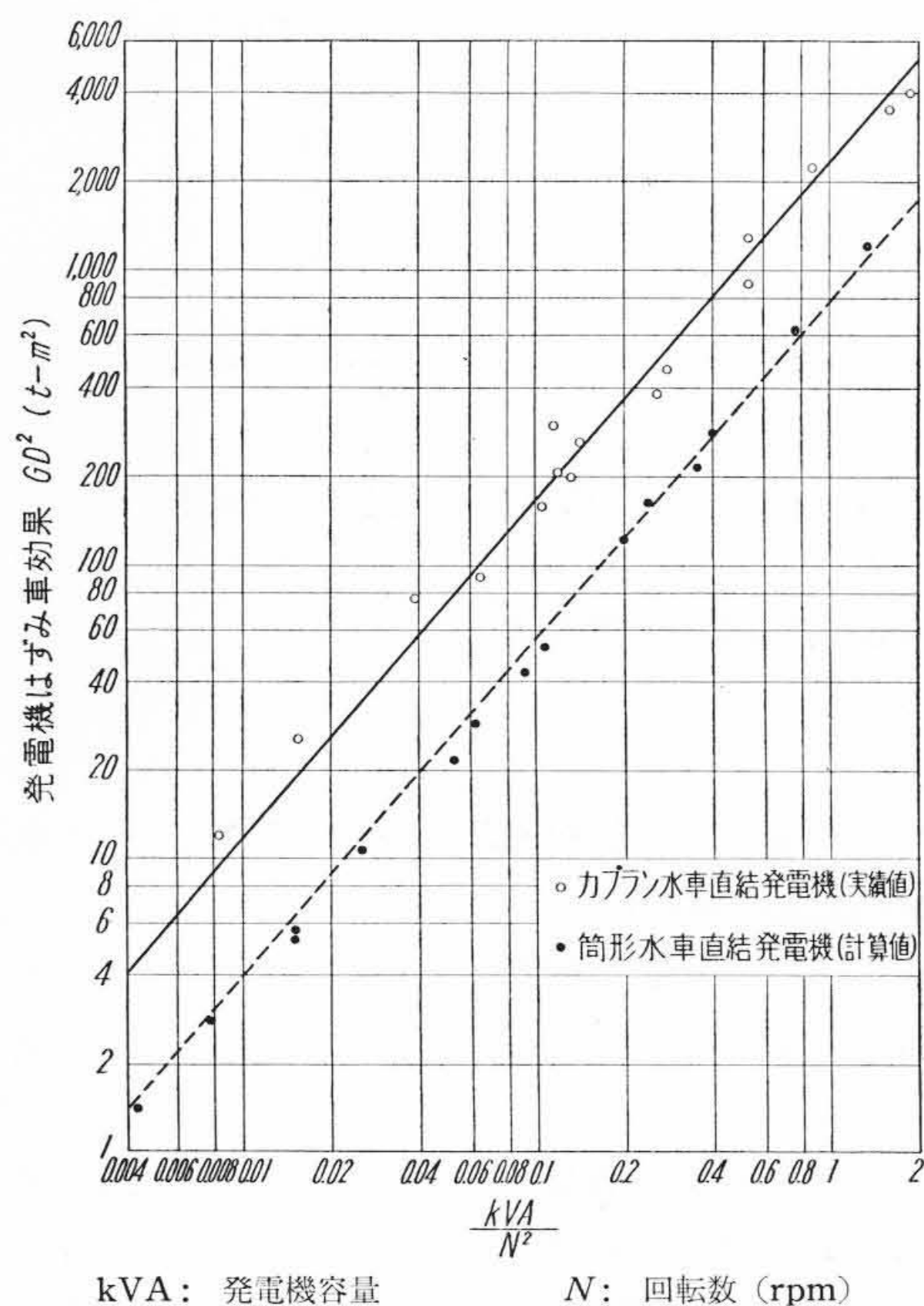
前記のように直結形の筒形水車では従来のカプラン水車の場合

第 4 表 GD² の計算に使用した筒形水平の落差と出力の組合せ

No.	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2	C-3	C-4	D-1	D-2	D-3	D-4
出 力 (kW)	1,000	1,000	1,000	1,000	2,500	2,500	2,500	2,500	5,000	5,000	5,000	5,000	10,000	10,000	10,000	10,000
落 差 (m)	7.5	10	15	20	7.5	10	15	20	7.5	10	15	20	7.5	10	15	20
回 転 数 (rpm)	273	375	500	600	176	231	333	428	125	167	231	300	91	120	167	214
ランナ直径 (mm)	1,700	1,400	1,100	920	2,700	2,200	1,700	1,450	3,800	3,150	2,450	2,050	5,400	4,450	3,450	2,900
発 電 機 GD ² (t-m²)	5.3	2.8	1.4	0.85	43.8	23.6	10.2	5.7	230	120	53	29	1,210	630	287	163

第5表 同期機と誘導機の比較

項 目	同 期 発 電 機	誘 導 発 電 機
励 磁	直流励磁装置が必要	系統より励磁電流の供給を受ける必要あり。励磁機、界磁調整器など不要
力 率	力率調整は励磁電流の調整により容易に行いうる	発電機自身では力率調整不可能。力率は負荷により変化する
短絡電流	持続する	減衰速く持続電流がない
並 列	同期装置が必要。突入電流小	並列投入は容易であるが突入電流大
単 独 運 転	可 能	不 可 能
負荷遮断時の電圧上昇	あ り	な し
はずみ車効果	GD ² につき特に考慮する必要がある場合がある	電圧上昇なきため小にしよう
負 荷 調 整	速度調整装置による	負荷制限装置による
空 隙 長	大	小
保守点検	励磁装置付のため誘導機よりやや手数を要す	容 易



第8図 筒形水車に直結される発電機のはずみ車効果

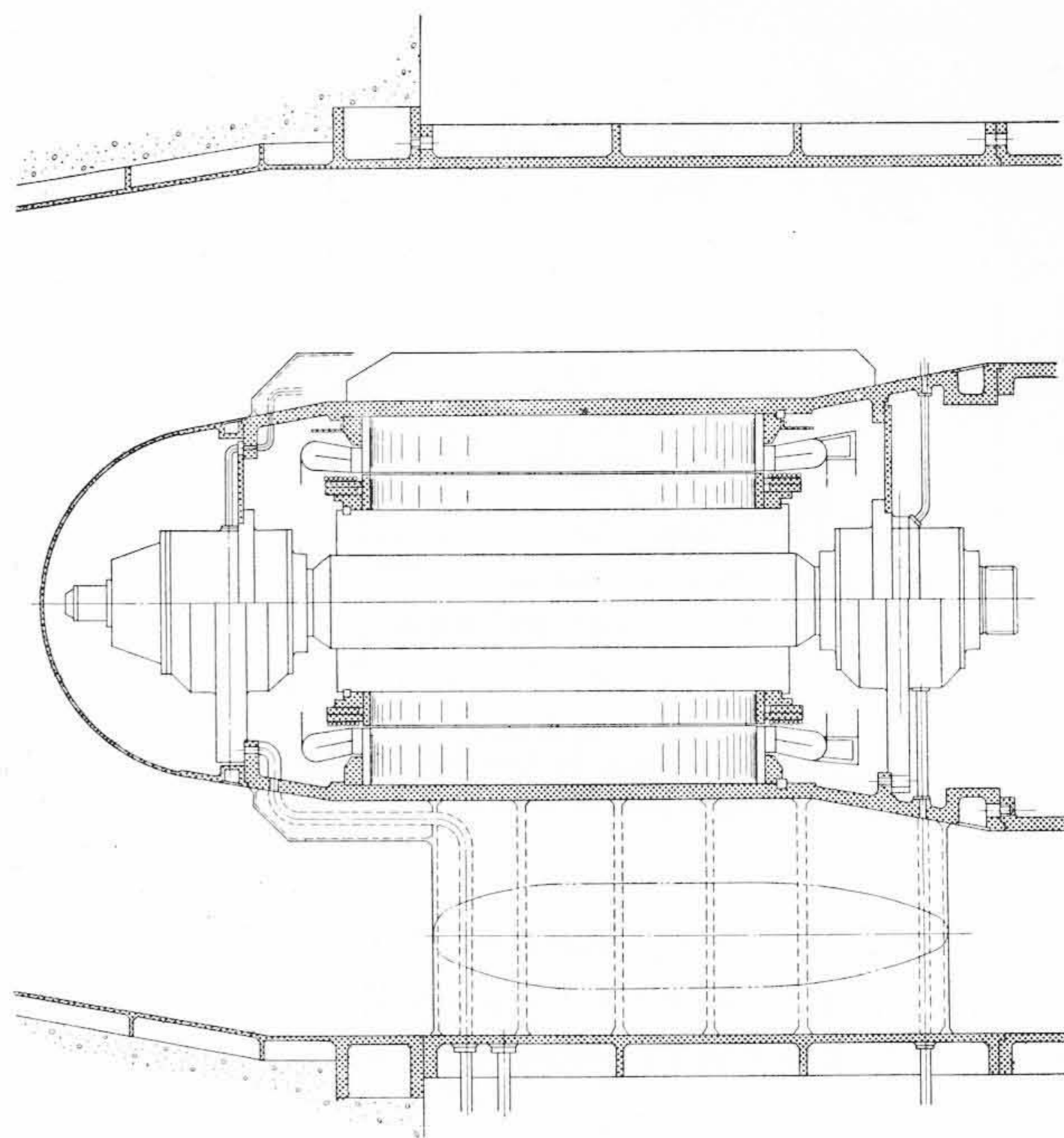
に比し GD² 値が 25~35% となるため、一般に採用されているガイドベーン閉鎖時間を採用すれば当然速度上昇率は高くなる。

誘導発電機を使用している場合には速度上昇率が従来の標準値 ($\Delta N=30\sim40\%$) を越えても電圧上昇の問題がないために特に速度上昇率を低くおさえる必要はないが、同期発電機を採用している場合には電圧上昇を 40% 程度におさえるためにはそれほど高い速度上昇率を採用することは不可能である。

しかし筒形水車は一般にきわめて短い導水路を有しており、また絶体水圧も小さいのでガイドベーンの閉鎖時間を従来の標準の閉鎖時間の $\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}$ 程度に切詰めることは十分可能であり、また自励式の採用などによりある程度速度上昇率の高い場合にも電圧上昇率を低目におさえることができるので、実際問題としてはこの程度の GD² 値で十分と考えられる。ただし導水路が長く水圧上昇の点から制約を受けるような発電所に同期機に直結する筒形水車を採用しようとする場合には発電機の GD² 値を増すための特別な考慮が必要となる。

4.2 同期機と誘導機

同期発電機と誘導発電機の一般的特長を比較すると第5表のよう



第9図 全閉形水冷式発電機構造図

になる。

上表より明らかなとおり、誘導機を採用する場合には同期機の場合に対し次のような諸点に留意する必要がある。

- (1) 同期発電機と並列運転する場合にだけ発電可能であり、単独では発電する能力がない。
- (2) 励磁電流を系統よりとるために、系統の力率を低下させる。
- (3) 力率改善用のコンデンサを使用した場合、自己励磁現象の防止に留意すること。
- (4) 力率の調整ができず、負荷によって力率が変化する。低負荷の場合、あるいは回転数の低い機械では力率が悪い。
- (5) 系統に投入する際大きな突入電流が流れるので系統容量はこれに耐えるものであること。

以上の諸点に留意し、運転保守および経済性を考慮して機種を選定すべきである。

特に直結形誘導発電機を使用する場合は、極数が増大するにつれ力率が低下し、同一出力 kW に対し kVA が大となり機械寸法の増大、系統よりの無効電力の増大をきたし、経済的に不利になってくる可能性がある。

4.3 発電機の冷却方式

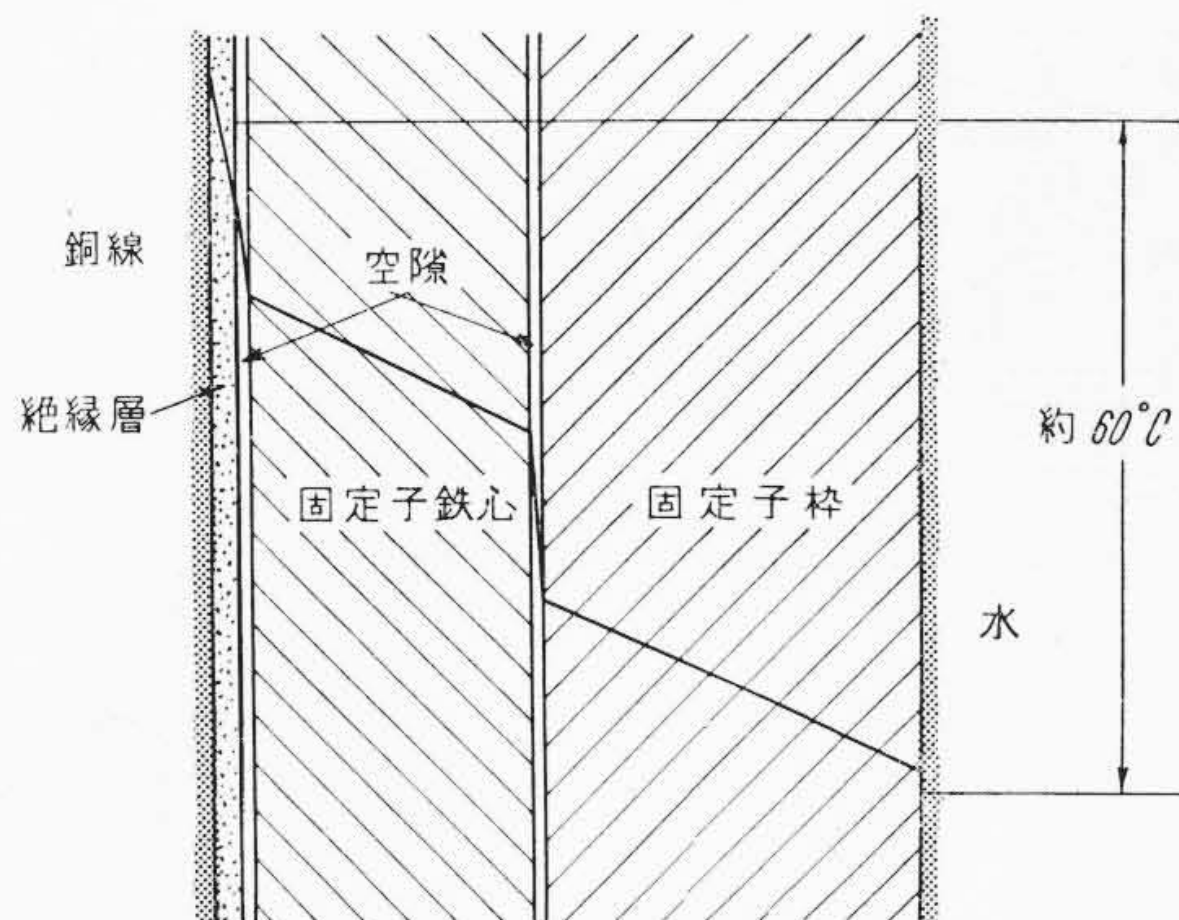
筒形水車発電機は水中に設置され、発電機固定子の外周は、直接軸方向の流水に接していることが最も大きな特長であって、この固定子外周の水流を、発電機の冷却に有効に使用するように考慮することが重要である。

発電機の冷却方式は大略下記の三つに分類される。

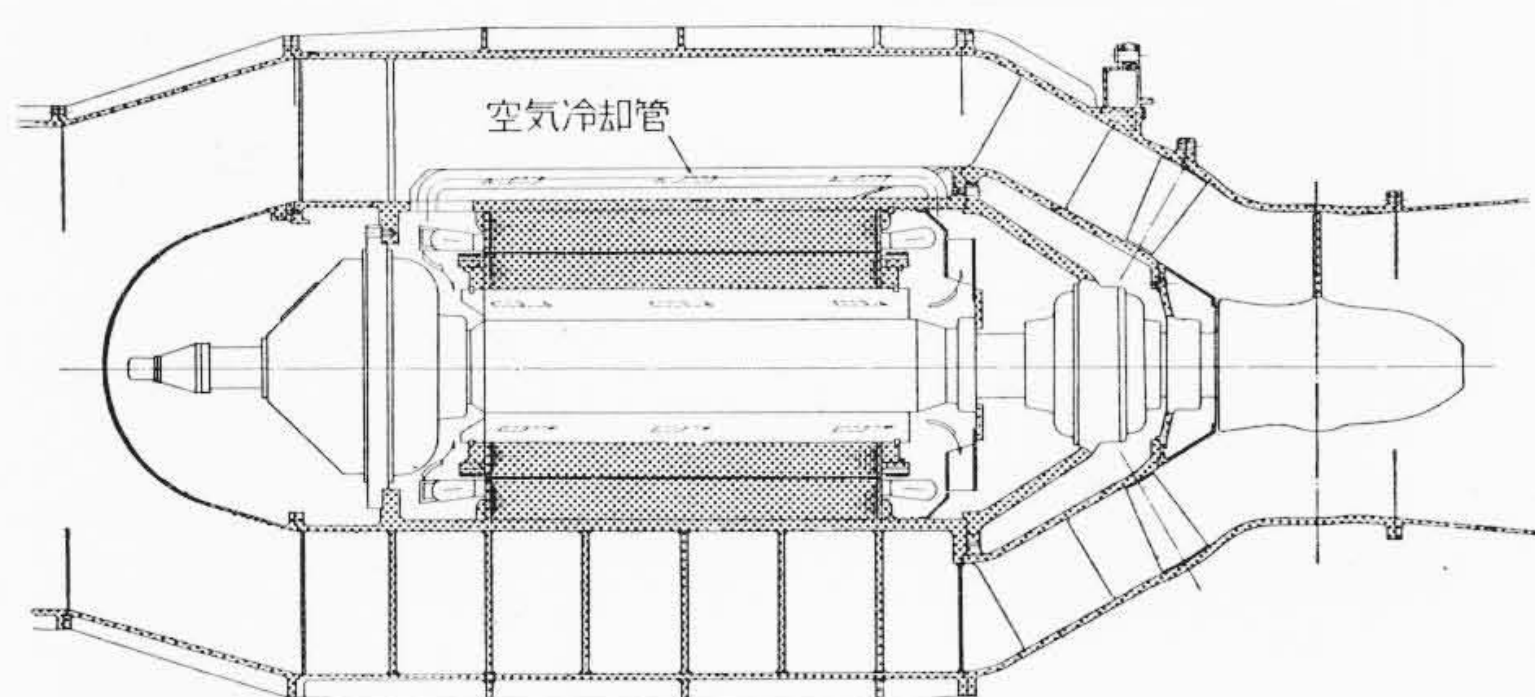
(1) 全閉形水冷式

完全な水中形で、固定子鉄心、固定子コイル、回転子コイルなどに発生した損失は大部分固定子鉄心を通り、固定子枠に伝わり、固定子枠外周を流れる水により奪い去られる冷却方式である。構造は最も簡単であるが、回転子内に発生した損失は固定子を通して冷却されるため、回転子コイルの温度は固定子コイルよりも約 20~30°C 高くなり回転子部が過熱する恐れがあるので、比較的小容量のものに適していると考えられる。第9図にこの冷却方式の発電機構造図、第10図に固定子内の温度分布の一例を示す。

(2) 全閉形空気冷却器付水冷式



第10図 固定子内温度分布の一例



第11図 全閉形空気冷却器付水冷式発電機構造図

(1)と同様水中形であり、固定子外周が直接水流により冷却されるとともに、機内には冷却風を循環させ、これを水冷式空気冷却器により冷却する方式のものである。水冷式空気冷却器としては種々の構造が考えられるが、最も簡単なものは、固定子枠の外周に数個の空気管を取付け冷却風をこの中を通し冷却するものである。また固定子枠と発電機外筒との間のステータスを利用し、冷却風を軸方向に通して冷却する構造も採用される。

本方式によれば固定子は主として固定子枠外周の水流により冷却され、回転子は機内を循環する風により有効に冷却されるため、機内の温度の均一化を計れる利点がある。第11図にこの方式の構造図を示す。

(3) 閉鎖風道換気形

第12図に示すとおり発電機内と建屋を風道により接続し、外気を吸込んで冷却し、ふたたび外部に排気する方式で通常の発電機と同じ通風方式である。大容量機になると通風路を機内への点検通路と兼用させることができ、保守上非常に便利になる。

以上のとおり、筒形水車発電機の冷却には種々の方式が考えられるが、このうちいずれの方式を採用するかは、機械の大きさや発電所建屋の状況などを考慮し決定すべきである。

4.4 保守上の諸問題

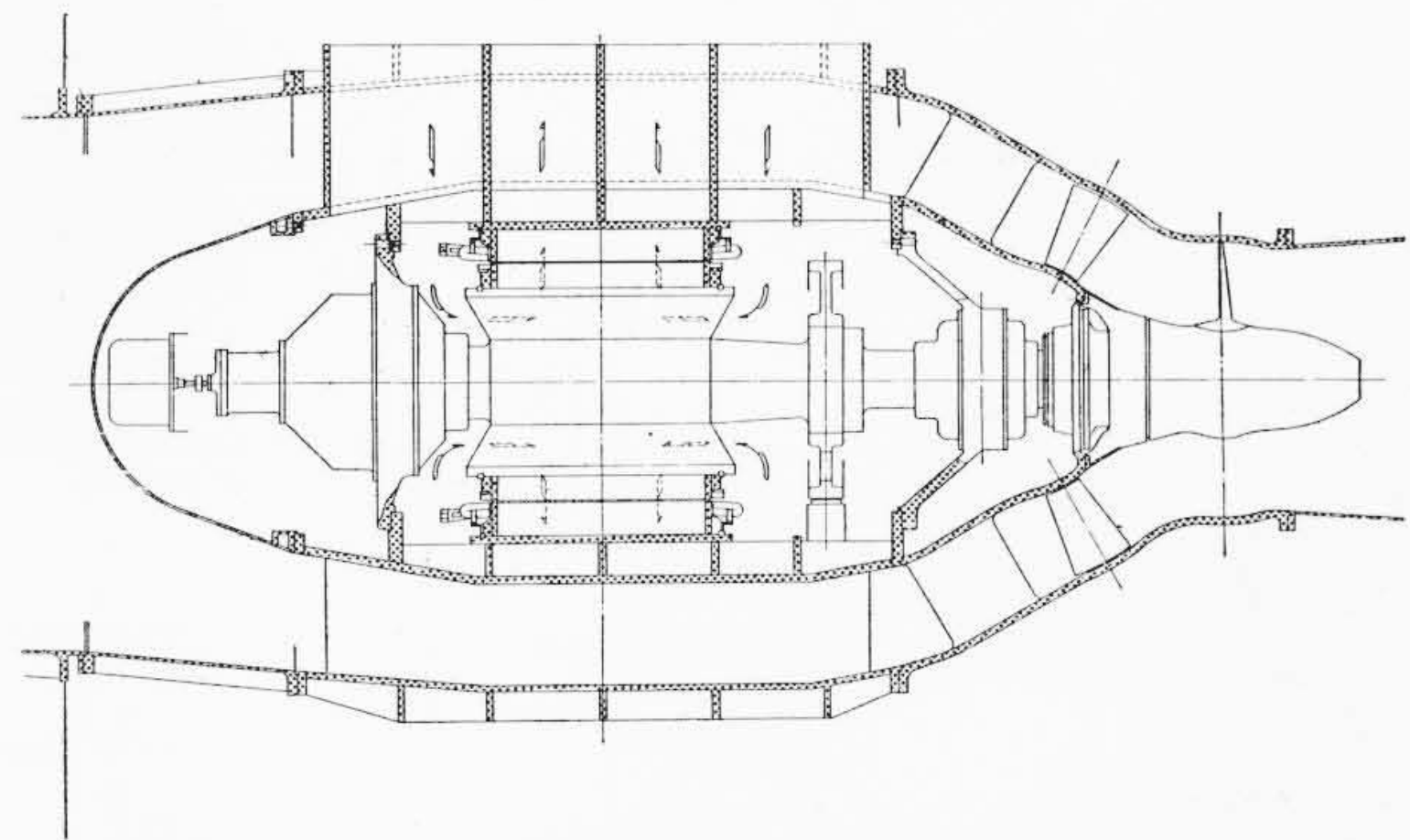
保守上問題となる二、三の点について下記する。

(1) 漏水および内部水滴発生防止

漏水防止については、合わせ目に溝を切り丸ゴムパッキングを使用して行い、また内部水滴発生に対しては、内部にヒータまたは除湿器を設置し、停止時の水滴発生を防止すると同時に、漏水管をつけておき、万一機内に水がたまった場合排水できるような構造とする。

(2) 内部観測方式

人が機内に入れる大形機では問題ないが、小形機の場合は固定子枠と外筒をつなぐステータスの中を通して内部点検ができるよう、適当に覗き窓を設ける。また振動を外部に指示させる装置を取付けることも考えられる。



第12図 閉鎖風道換気形発電機構造図

(3) 軸受潤滑方式

筒形水車発電機は一たん据付けてしまえば普通、長年月分解は行わないゆえ、軸受潤滑方式としては油強制循環方式を採用すべきである。また誘導発電機を採用する場合は調速機は使用されないの、無拘束速度で長時間運転される可能性が多く、したがって軸受は無拘束速度で連続運転されても支障のないよう設計される。

(4) 制動装置

筒形水車は普通ランナーペーンを逆開して制動作用を行うが、ガイドペーンを全閉しても、漏水のために完全に停止しないおそれがあるため、回転部を機械的に拘束するための制動装置を設けることがある。この場合制動時の粉沫発生を極力防止する必要あり、制動作用はごく低速から行うように計画される。またこの制動装置は外部から容易に制動巻を取替えできるよう特殊な構造が採用される。

5. 筒形水車の制御方式

筒形水車の制御方式はほぼ Kaplan 水車の場合と同様であるが、一般にできるだけ簡略な方式が採用される。誘導機を使用している場合には調速機はスピードレス形とし、系統への投入は速度リレーまたはすべり検出装置により行われる。

圧油装置は一般に M-M 式であり、また設備を簡略化するため設置台数の多い場合にはユニット式とせず 2 台あるいは 3 台ずつを一組としたセントラル式が採用されるのが普通である。

第13図に筒形水車の操作系統図の一例を示す。

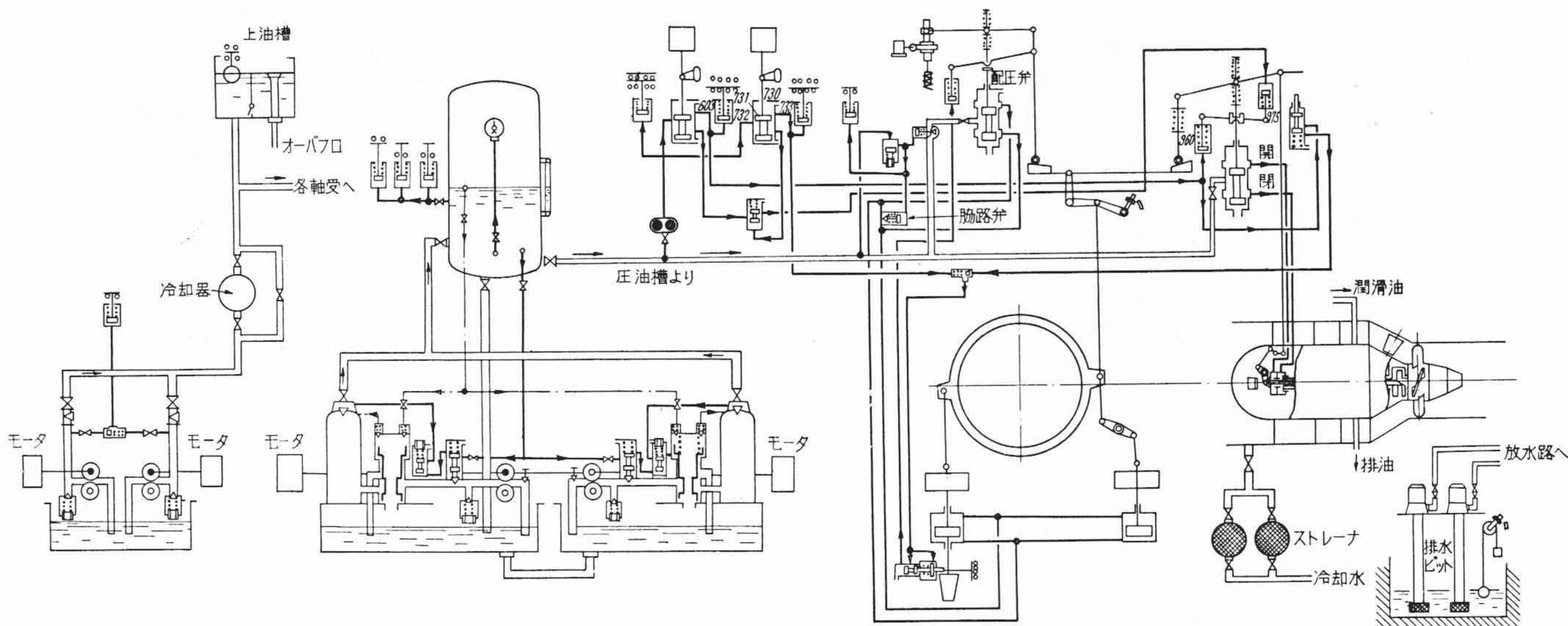
6. 茂庭発電所納 1,570 kW 筒形水車および発電機

この筒形水車は旧式のフランシス水車 2 台を有する発電所の改造用に計画されたもので 2 台のフランシス水車の代りに 1 台の筒形水車が設置されることになった。水車および発電機の仕様は次のとおりである。

水 車		発 電 機	
出力	1,570 kW	出力	1,450 kW
落差	16.7m	電 圧	3,300 V
水量	10.6 m ³ /s	周 波 数	50~
回転数	429 rpm	極 数	
比 速 度	500(m-km)	力 率	0.82
形式×台数	TMM-H×1	形 式	TFCLW-K
(横軸直結形筒形水車)		(全閉形水冷式かご形誘導発電機)	

6.1 水 車

計画当初、直結形を採用するか増速形を採用するかが問題となったが、落差が筒形水車としては高くまた容量も小さいので水車回転数を 429 rpm と十分高くとれることから、効率の面、経済性の面と



(誘導発電機使用の場合)

第13図 筒形水車操作系统図の一例

にもすぐれ保守も容易な直結形が採用されることになった。

水車は据付けを簡単にするためケーシングを全鋼板製とし、周囲をまったくコンクリートで巻かない露出形を採用した。ケーシング外径は3,000mmで一体輸送が可能である。発電機外被はこのケーシングから直交する4本のステーにより支持される。第14図に据付図を示す。

水車ランナは外径 1,300 mm の5枚羽根で、ブレード、ボスともに 13 Cr 鋳鋼製である。ランナは発電機ロータを両側で支持する2個の案内軸受により片持形に支持され、ランナサーボモータは主軸長をできるだけ短くするためにランナボスの上流側にランナボスと一体に設けられている。このサーボモータへの圧油は主軸の上流側の端部に設けられた圧油送入装置より給油される。

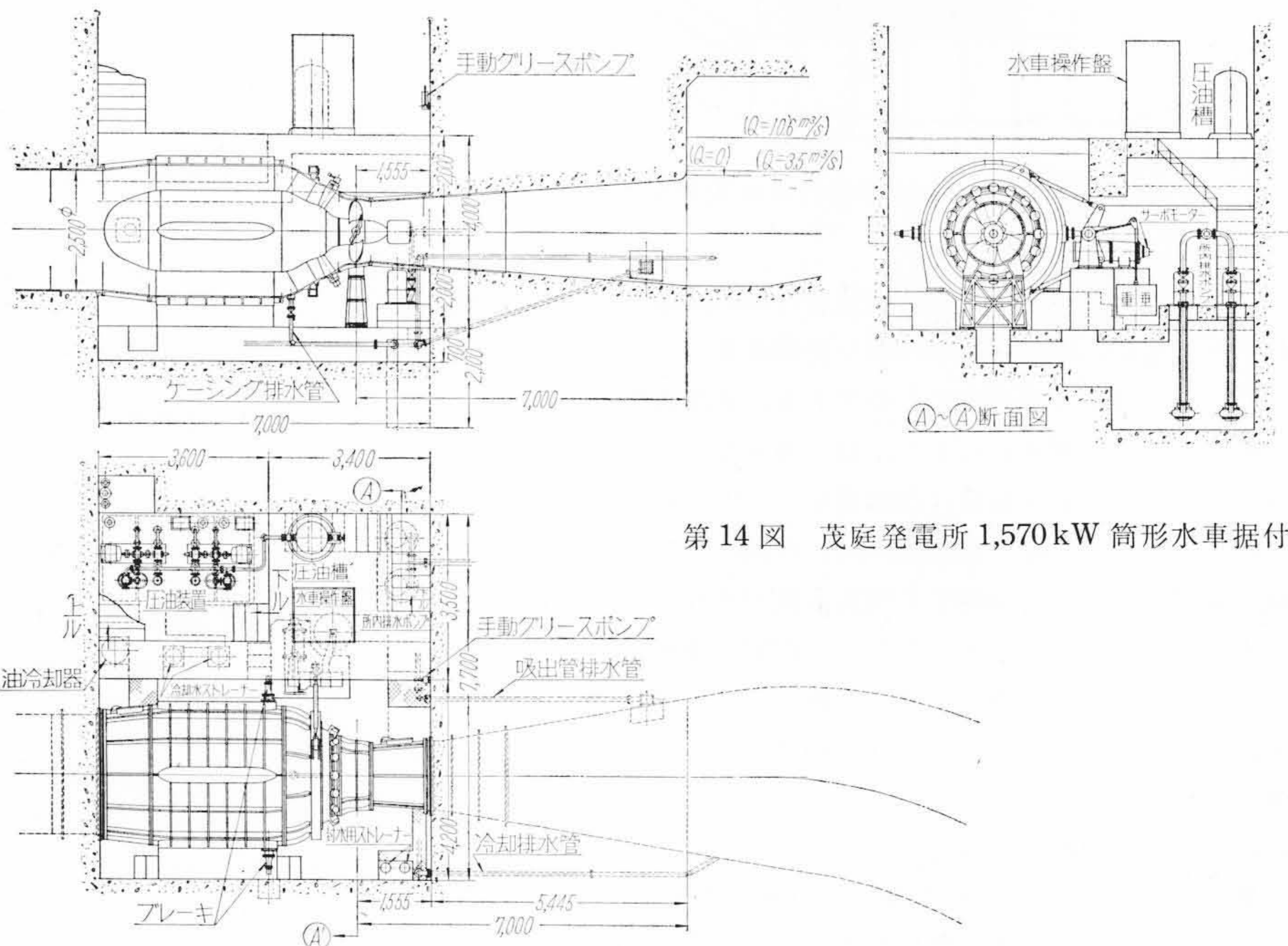
6.2 調整装置

発電機として誘導機が採用されたため、調整機構は極度に簡略化された。调速機はスピーダレス形で、発電機の系統への投入は、ガイドベーン開度を調節して正確に回転数を系統の周波数に合わせる方式ではなく、ガイドベーンを水車起動後、起動開度より無負荷開度よりもやや大きい開度にもどし、水車の速度が上昇して系統の周波数をこえるときにスリップリレーの動作により自動的に投入される。ガイドベーンは重錘の作用により油圧が規定値以下に低下した際には自動的に閉鎖する保護装置を有している。

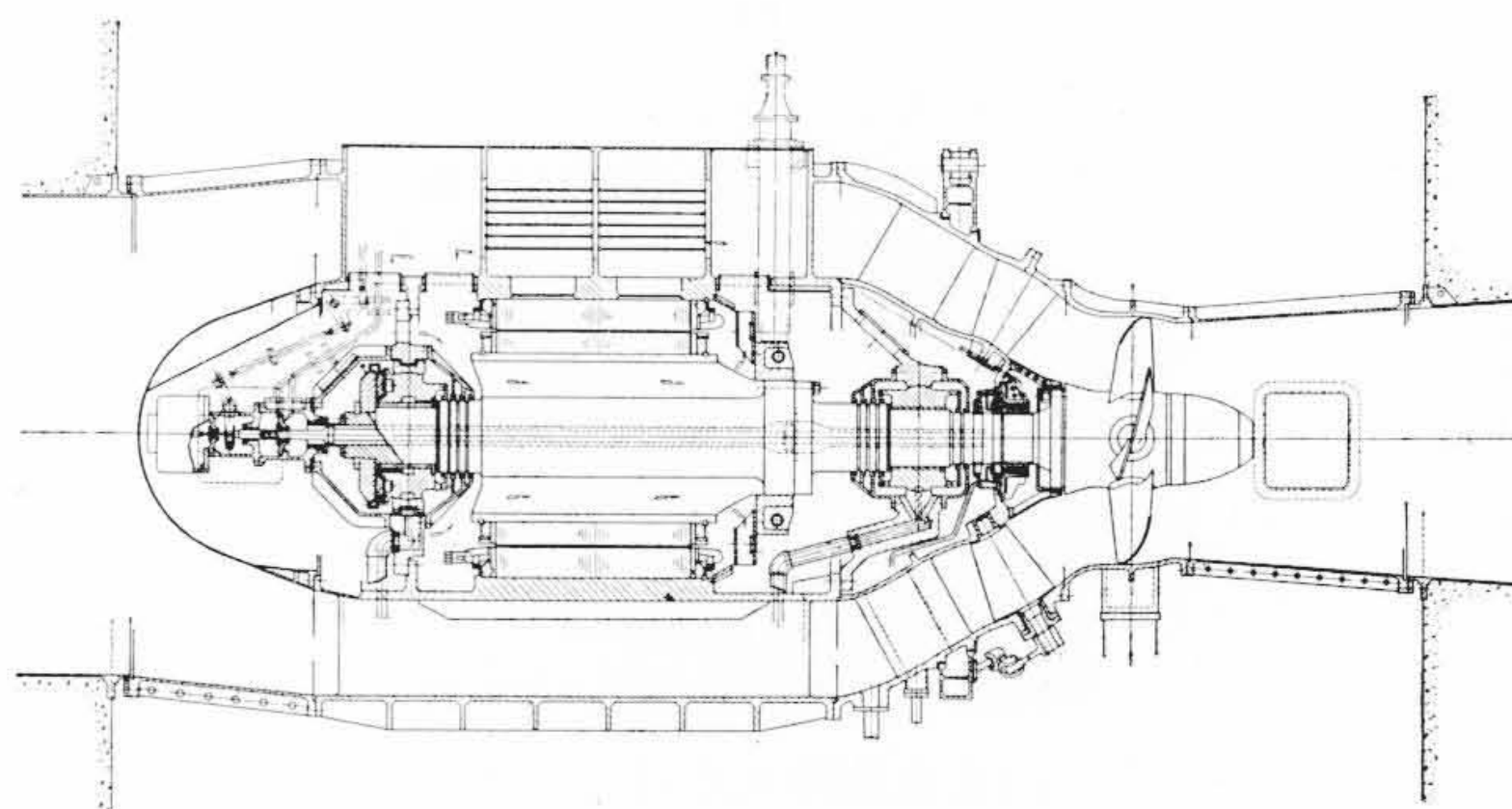
圧油装置はM—M式で、圧油ポンプと潤滑油ポンプとはそれぞれ串形に配置される。保守上の便宜を考慮して圧油関係と潤滑油関係とは全然別個の油系統となっている。

6.3 発電機

かご形誘導発電機が採用され、機種を選定に当っては、誘導機と同期機の利点欠点を比較し、また定常時および並列投入時の系統状態を交流計算盤で計算して誘導機を採用してなんら問題ないことを確認している。



第14図 茂庭発電所 1,570 kW 筒形水車据付図



第15図 1,570 kW 筒形水車発電機構造図

冷却方式は全閉形水冷式で内部に自己ファンを有し、固定子枠と外筒との間の4本のステーを通風路に利用し、内部に冷却風を循環させて回転部の冷却を良好にしている。固定子は固定子枠外周の水流によって直接冷却される構造である。

5. 結 言

最近低落差地点の開発に適する水車として注目されている筒形水

車および発電機について、その特質と問題点の概略を述べた。この形式の水車の今後の発達により低落差地点の経済的開発が可能となりさらには潮力発電への適用も可能となるものと考えられる。しかし低落差地点の開発にはダム構造をも十分考慮したすなわちダムと一体となった筒形水車の構造を考究する必要がある、水車特性の改善ももちろん必要ではあるが、この面における研究にもなお一段の

努力が必要であらう。

現在製作中の茂庭発電所納 1,570 kW 筒形水車は容量としてはそれほど大きな容量ではないが、優れた特性と斬新な構造を有しており、今後益々大容量筒形水車の進展を期してその研究を推し進める所存である。



新案の紹介



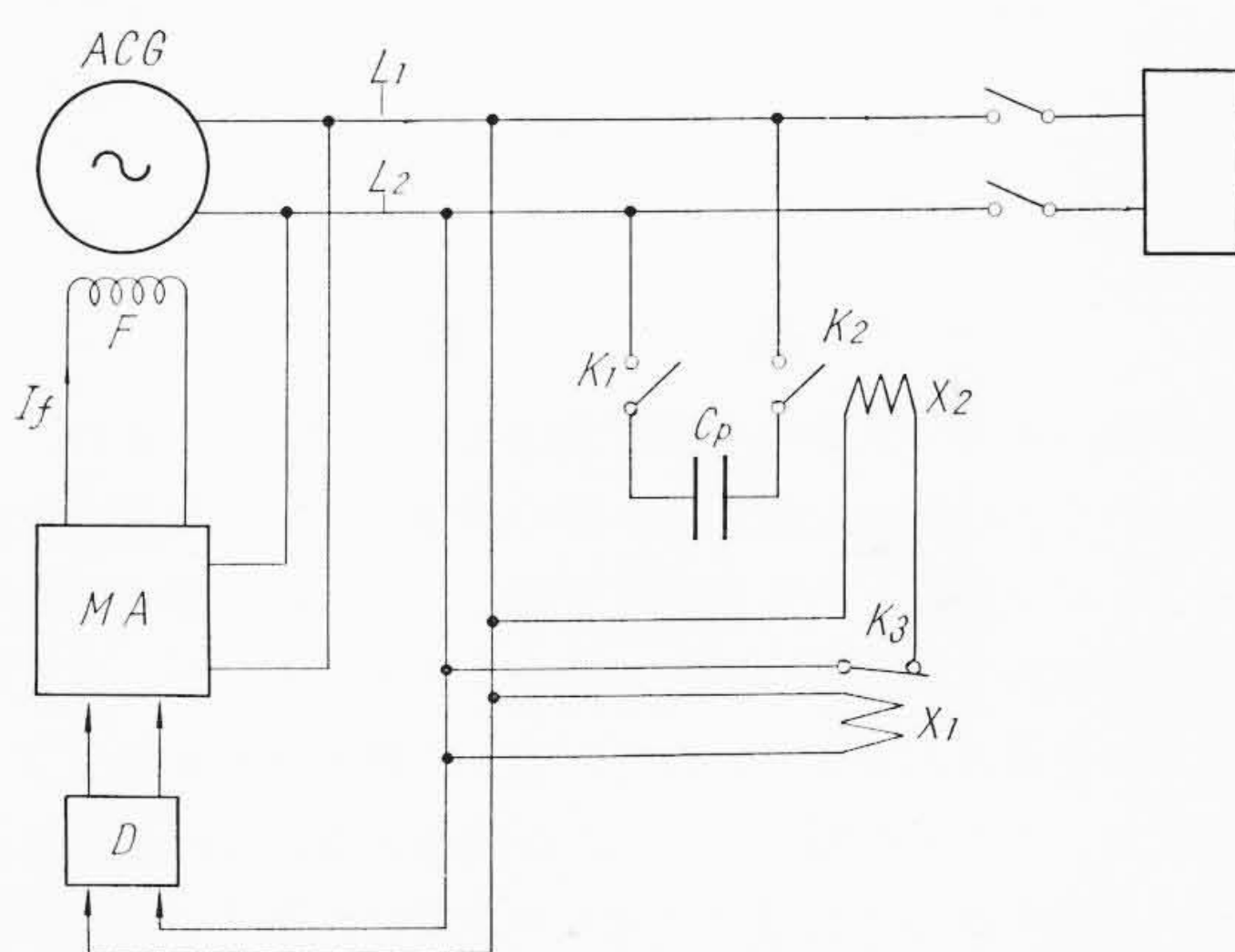
登録新案第504152号

今尾 隆

交流発電機の自動励磁調整装置

交流発電機の励磁は一般に回転機である励磁機を一段または二段に組合わせて行うのが普通で、その自動電圧調整としては発電機出力端電圧の変化を検出し増幅してこれを励磁機に与える方法がとられるが、数百 kVA 程度のものでは発電機端子電圧を整流してこれを直ちに励磁電流となすことが従来試みられ、実施上の欠点に対しては種々の改良が加えられていることは周知のとおりである。

この種の励磁機なしの交流発電機の自動励磁調整においては整流器の特性と発電機の励磁特性とが低励磁のある範囲において電圧上昇確立を阻止する相互関係となって現われるのを常とする。この考案は発電機 ACG の端子 L_1 , L_2 間電圧によって作動される磁気増幅器 MA を設備し、装置全体の価格の低減、保守容易などの実益を期待するものであるが、この場合においても起りうる発電機 ACG の発電当初の電圧上昇確立障害を端子 L_1 , L_2 間に接続した進相用蓄電器 C_p の適時そう入および切除によって除去せんとするものである。進相用蓄電器 C_p は接触器 K_1 , K_2 を経て L_1 , L_2 間に接続されるが、 K_1 , K_2 は操作線輪 X_2 が付勢されると開かれる。また X_2 は接触子 K_3 を経て L_1 , L_2 間に接続され、 K_3 は制御線輪 X_1 により開かれる。 K_1 , K_2 は発電機 ACG の起動時閉成され L_1 , L_2 に電圧発生してそれが予定の値に達したとき動作する X_1 , K_3 なる一種の電圧継電器により、その K_3 閉成するや X_2 により開設されて



C_p は回路より切除されるように整定される。すなわち進相用蓄電器 C_p は発電機 ACG の起動のはじめからその電圧が予定の一定値に達するまでの一定時間だけ発電機端子間に連なって自己励磁作用を及ぼすように配置される。(宮崎)



特許の紹介

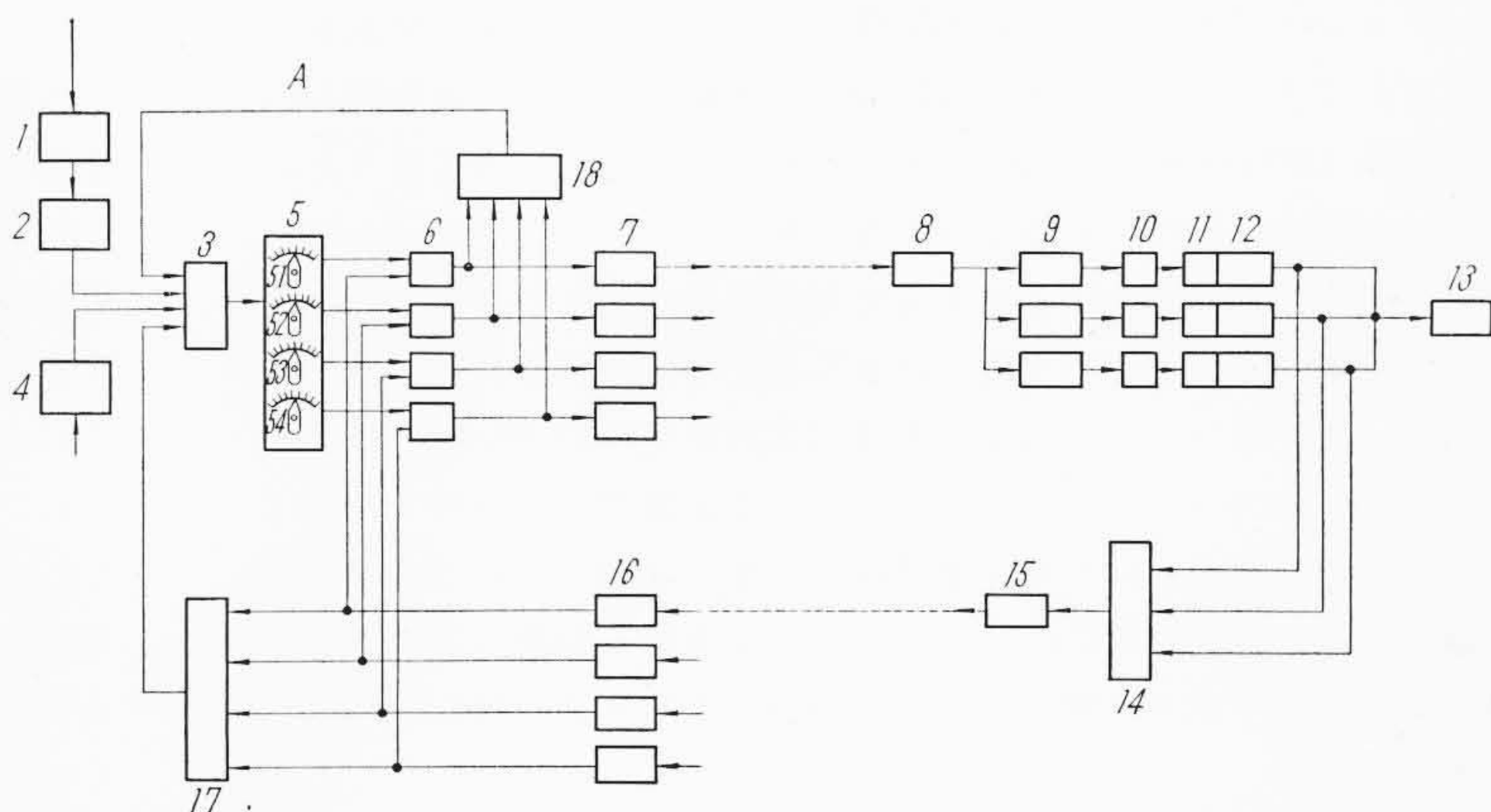


特許第251104号

小林 栄二・竹村 克巳

電力制御装置

この図において、連絡線電力はテレメータにより中央配給指令所 A に伝送されてくる。同電力はテレメータ受量器 1 により受量され、連絡線電力調整器およびブリッジなどよりなる連絡線電力検出部 2 により連絡線電力偏差 ΔP に比例した直流電圧が信号加算器 3 に付加される。一方、周波数調整器、ブリッジなどよりなる周波数検出部 4 により、系統周波数の基準値よりの偏差 ΔF に比例した直流電圧も同じく信号加算器 3 に付加される。信号加算器 3 は、これら入力電圧を合成しそれに比例した出力、すなわち $K\Delta F + \Delta P$ に比例した出力を出す。信号加算器 3 より出力は、信号分配器 5 に付加される。51, 52, 53, 54 はそれぞれ第 1 発電所、第 2 発電所、第 3 発電所、第 4 発電所に、それら発電所の負荷分担比率に応じて出力を調整するための制御信号を発生する。この制御信号は、加算器 6 を経て、操作信号送量器 7 によって各調整発電所に伝送される。図の右側 B の 8~15 は、各調整発電所の一つ、たとえば第 1 発電所の装置を示すものであって、テレメータによって伝送されてきた制御信号は、操作量受量器 8 により受信され、増幅器 9 を介して速度制御電動機 10 に付加される。調速器 11 は電動機 10 により制御され、発電機 12 の出力を制御信号に応じて調整する。上記発電機出力は電力系統 13 に送られるが、一部は出力総合器 14 により総合されたのち、発電所出力送量器 15 により中央給電指令所 A に送られる。各発電所出力は中央給電指令所における発電所出力受量器 16 により受信され、その一部は加算器 6 にそれぞれ負帰還される一方、電力総合器 17 により総合されたのち信号加算器 3 に正帰還される。18 は、再配分機構で調整発電所のあるものが故障したとき、リミットにはいったとき、またはテレメータ送量が切断されたようなときには、該発電所はその



ごは調整能力を失うので以後受持つべき電力を、ほかの発電所に再配分するために各発電所の入力側に信号を再配分する装置である。このように電力総合器 17 は、各発電所出力の総和に比例した量を信号加算器 3 に正帰還し、上記の制御偏差を零ならしめるようにしている。この発明によれば、各調整発電所間における負荷分担比は、所望の分担比率に完全に一致するように制御され、しかも一部発電所の故障時においても、再配分機構を介して制御信号の一部は入力側に正帰還され、故障の発電所をのぞいた調整発電所の間で負荷の再配分が行われ、常に所望の分担比率が維持されるとともに制御誤差が零となるように制御されるものである。(宮崎)