

最近のペルトン水車に就いて

田中重三* 井原一男**

The Recent Pelton Wheel

By Juzō Tanaka and Kazuo Ihara

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The Pelton wheel has relatively long history of development in this country.

Hitachi, Ltd. immediately after the war termination increased experiment facilities for both horizontal and vertical Pelton wheels to start in the study for their improvement, and led the other makers in the research of highly efficient wheel bucket. And through laborious comparative testing of various types of bucket they have developed recently a type which can show superior characteristics and high efficiency at any load.

Similar investigation has been conducted in regard to the head cover with satisfactory result. For instance, 12,000 kW Shirane Power Station's vertical Pelton wheel has been completed on the result of the comparative test using models with various shapes of the cover to find the most appropriate contour.

In spite of the fact that the vertical type was adopted for the first time in Japan, this turbine shows higher performance than the horizontal type. This success promises for the vertical type its further application in middle and larger ratings in which the merit of this type is most apparent.

As bucket materials, stainless cast steel of pearlite system has been used because of its high wear-resistance. The integrately cast construction of the bucket not only enhances the reliability but makes the relatively high speed type practical.

This turbine also presents a new feature of maintaining high efficiency operation according to the load even at the time of scarce waterflow, by controlling the number of water jets by hand or automatically.

On the other hand, to cope with the flood it is provided with a water level depressing device. This device, when utilized in power plants subjected to large variation of water level, permits the installation of waterwheel below the flood level enabling a considerable recovery of wasted head.

〔I〕 緒 言

ペルトン水車に適する高落差地点は一般に経済的に有利な処が多く、我国に於ても早期に比較的多数のペルトン水車が製作運転されてきた。

* ** 日立製作所日立工場

日立製作所に於ては戦後逸早く横軸ペルトン水車の模型試験装置及び縦軸ペルトン水車の模型試験装置を新設整備し、各種バケットの比較特性試験を行い全負荷を通じて効率特性のよい而も高い効率を示す新型バケットを選定した。引続き縦軸の模型試験によつて縦軸の効率は横軸に比較して何等遜色のないことを確認、水車上カバ

一形状の効率に及ぼす影響等々研究の成果を収め、更に幾多の研究が進められている。

これ等の飛躍的な研究の成果と共に最近使用者側で、積極的に新しい構想によるものを採用される傾向にあり、その発電所独自の長を發揮したものが採用されている。

記録的にみても本邦の最大容量をもつ四国電力、松尾川第二発電所 22,200 kW⁽¹⁾ が28年運転を開始し、又我国初の試みである東京電力、白根発電所 12,000 kW 堅軸ペルトン水車⁽²⁾が目下据付工事中である。その他北海道電力、然別第一発電所 14,000 kW⁽³⁾、昭和電工、青木発電所 5,500 kW、東京電力、花園川発電所 2,200 kW が最近日立製作所に於て製作された。新設計画と並行に新設計に基づく改造修理、補修による出力増加計画等も活潑に行われ、東京電力、田代川第二発電所 11,930 kW、早川第一発電所 9,200 kW 等はこの例である。

製作上の進歩として大型の一体鑄造バケット、パーライト系不銹鑄鋼バケットの製作が挙げられる。一体鑄造バケットは高比較回転度の実現を可能とし強度上の安全度を増し、製作期間が短縮される等多数の利点を有しており今後広く採用されよう。又探傷試験による材料上の欠陥の探求は強度的に問題となる部分品の多いペルトン水車に於て特に有効である。

こゝにペルトン水車に関する最近の研究成果並びに新設計画の傾向、各発電所に於て採用された構造上の長

等に就いてその概要を説明してみたいと思う。参考迄に第1表に国内の製作記録、第2表に堅軸ペルトン水車の製作例を示す。

〔II〕 計画に就いて

従来は仕様、構造共に比較的一般型のものを採用されるのが普通であつたが、最近製作者の研究努力の結果と使用者側に於ける研究的態度によつて積極的に新しい構造のものを採用されるようになった。

東京電力白根発電所 12,000 kW ペルトン水車には我国最初の試みである堅軸ペルトン水車が採用された。同機はノズル4箇を有し、堅軸構造として他の機種に於ても例のない二軸受方式を採用、軸受は自己給油式の円筒軸受構造とした。高能率運転法として1ノズル噴射の運転も出来るように設計された。

堅軸ペルトン水車は今回の製作例により横軸に比し幾多の利点を有し、又1台当りの比較回転度が 50 m-kW 程度まではペルトン水車として製作可能となつた。従つてこの領域に於けるフランス水車との比較検討される機会が多くなると共に、今後大容量のものに採用されよう。

後述する如くペルトン水車を洪水面下に設置し洪水時放水面を押下げて運転する方法及び渇水時に放ても高効率で運転するための高能率運転方法等新しい方式が採用されつゝある。

第1表 本邦に於けるペルトン水車製作記録

Table 1. List of Large Capacity Pelton Wheels Completed in Japan

事業名者	発電所名	kW	H	Q	N	Ns	Type	台数	運転開始	製作者
四国電力	松尾川第二	22,200	394	6.45	450	19.1	2P ₁ N ₂ -H	1	1953	日立
四国電力	松尾川第一	21,400	379	6.45	450	19.65	2P ₁ N ₂ -H	1	1953	日立
東京電力	田代川第一	20,500	349	6.25	375/400	17.8	P ₁ N ₂ -H	1	1927	Boving
北陸電力	真川第二	17,760	570	3.7	5.4	21.7	P ₁ N ₂ -H	2	1938	日立
九州電力	黒川第一	15,700	244.2	7.35	300	19.4	2P ₁ N ₂ -H	1	—	電業社
東京電力	川中	15,670	246	7.5	300	19.2	2P ₁ N ₂ -H	1	1929	電業社
東京電力	霞沢	14,550	455	3.65	375/400	15.2	P ₁ N ₂ -H	1	1928	J. M. V.
北海道電力	然別第一	14,000	268.5	5.975	375	20.45	2P ₁ N ₂ -H	1	1952	日立
北陸電力	真川第一	13,900	487	3.1	450	15.1	P ₁ N ₂ -H	3	1930	日立-1 MV-2
東京電力	中津川第一	13,430	417	4.1	300	13	2P ₁ N ₂ -H	3	1924	A. C.
東京電力	一ノ瀬	13,000	281	5.4	428.5	21.4	2P ₁ N ₂ -H	1	1937	日立
東京電力	高瀬川第三	12,682	334	4.45	300	16.8	P ₁ N ₂ -H	4	1924	EW-2 電業-2
東京電力	小口川第三	12,000	621	1.67	514	12.85	P ₁ N ₂ -H	2	1929	電業社
北陸電力	白根	12,000	204.15	6.66	300	21.4	P ₁ N ₄ -V	1	1953	日立
東京電力	田代川第二	11,930	503	2.72	500/600	16.23	P ₁ N ₂ -H	2	1927	日立改造
東京電力	下滝	11,488	303	3.96	375	22.5	P ₁ N ₂ -H	3	1912	電業社
神岡鉱山	金木戸	10,000	350	—	450	21.1	P ₁ N ₂ -H	2	1953	電業社

最近のペルトン水車に就いて

第2表 縦軸ペルトン水車製作例
Table 2. List of Vertical Pelton Wheels in the World

国名	発電所名	出力 (kW)	台数	落差 (m)	水量 (m ³ /s)	回転数 (r.p.m.)	Ns	製作年	製作者
Canada	Kemano	106,000	3(16)	760	(15.62)	327	(13.33)	1954	P.W.W.C.
Canada	Wohleach Lake	61,200	1	573	(12.38)	360	12.96	1950	P.W.W.C.
Switzerland	Innertkirchen	48,500	5	672	(8.0)	428	19.4	1942	E.W.C.
Canada	Bridge River	46,300	3(10)	366	(14.6)	300	17.6	—	P.W.W.C.
Switzerland	Handeck II	30,600	2/4	463	(7.5)	300	17.25	1950	E.W.C.
America	Bear River	29,800	1	597	(5.79)	400	16.85	1950	P.W.W.C.
France	—	25,200	—	400	(7.56)	350	(15.64)	—	—
Switzerland	Handeck I	22,100	4	540	(4.8)	500	20.3	1924	E.W.C.
—	—	22,100	—	365	(7.16)	428	(20.2)	—	—
Spain	Rio Cinca	15,100	5	490	(3.65)	500	(15.6)	—	Böv.
Chile	Maipo	13,700	3	229	(7.0)	250	(16.6)	1927	E.W.C.
日本	白根	12,000	1	204	6.66	300	21.4	1953	日立
America	Fish Creek	11,500	1	303	(4.4)	450	15.6	1950	P.W.W.C.
—	Cardano	10,800	—	144	(8.68)	250	(25.2)	—	E.W.C.

備考 () 内の数字は計算による推定数値を示す。

据付現場に於ける水車の効率の正確な数値を求めることは非常に困難である。従つて水量の絶対値は別として

その大体の傾向を簡単に求める方法として入口弁の前方に漸縮管を設けた所謂ベンチュリー管法⁽⁴⁾を設置すれば保守運営上甚だ便利である。これは東京電力花園川発電所 2,200 kW 水車に採用している。

(1) 比較回転度の限界

ペルトン水車の比較回転度は他の機種と異り比較回転度の如何が直接運転に悪影響を及ぼし不都合をきたす訳ではなく、設計、製作上よりの制限によるものであるため、明確な限界を規定することは困難である。第1図は従来の実績及び米国ペルトン会社にて推奨する N_s-H 曲線である。

ペルトン水車の比較回転度 N_s はランナホイール径 D とジェット径 d との間に近似的に次の関係がある。

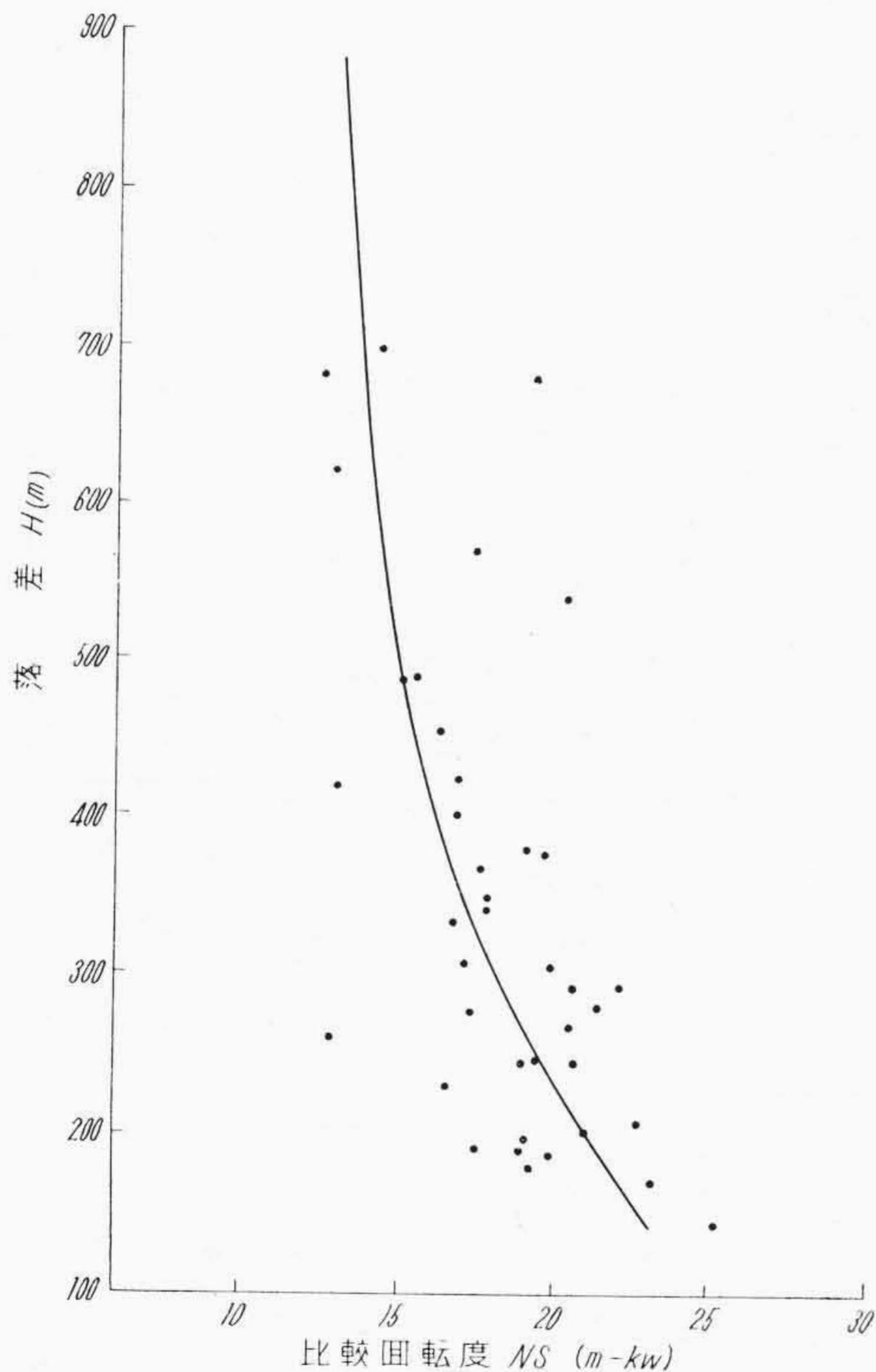
$$N_s \approx 220/D/d$$

最近一体の鑄造でバケットを製作することによつて比較的高い比較回転度のランナの製作が容易となつた。一体鑄造のバケットによると比較回転度が 25 m-kW 程度の製作は十分可能となり、かかる比較回転度の高いものは小容量のものにも適用されよう。

縦軸水車に於ては横軸の場合に受ける制限以外に設計構造上の制約を受け理想的な比較回転度の限度は 18 m-kW 程度になるが、仮りに 6 本ノズルの縦軸構造が採用されたとすればその水車の比較回転度は 1 台当り 50 m-kW 程度になろう。

(2) 型式の選定

ペルトン水車の型式は据付方式及びランナとノズルの組合せにより決定され、一般には P_1N_1-H , P_1N_2-H ,



第1図 比較回転度限界曲線
Fig. 1. Specific Speed Limit Curves for Pelton Wheel

2P₁N₂-H, P₁N₄-V が採用され特別な場合として P₂N₂-H, P₂N₄-H, P₁N₂-V, P₁N₃-V, P₁N₆-V が採用される。中容量に於ては P₁N₂-H 型、大容量機には発電機の両側に水車を置く 2P₁N₂-H 型が広く採用されているが、堅軸構造とした P₁N₄-V 型が 2P₁N₂-H の領域に於て今後採用されよう。中容量機に於て同一ケーシング内に 2 箇のランナを設けた P₂N₄-H 型式のものはケーシング両側の軸受の間隔が長くなるため、主軸の強度、撓み等の難点から特別の場合以外採用されない。

一部フランス領域に於けるペルトン水車の採用として、又 2P₁N₂-H 型に代るものとして堅軸ペルトン水車に関心が寄せられているが、中容量以下のものに堅軸構造を採用することは構造の複雑をみるのみで、建設費その他より堅軸の利点を十分に発揮することは不可能であり、堅軸構造の採用は 10,000 kW 以上の大容量のものに適用することが得策であろう。地下式発電所の場合に堅軸ペルトン水車を採用すると掘鑿量を約 3 割程度減少することが出来、土木費、建設費等の点から非常に有利である。

高落差地点に於ける主機単位出力の増加と共に今後大

容量のものに就いては堅軸構造のものが採用されるものと思われる。

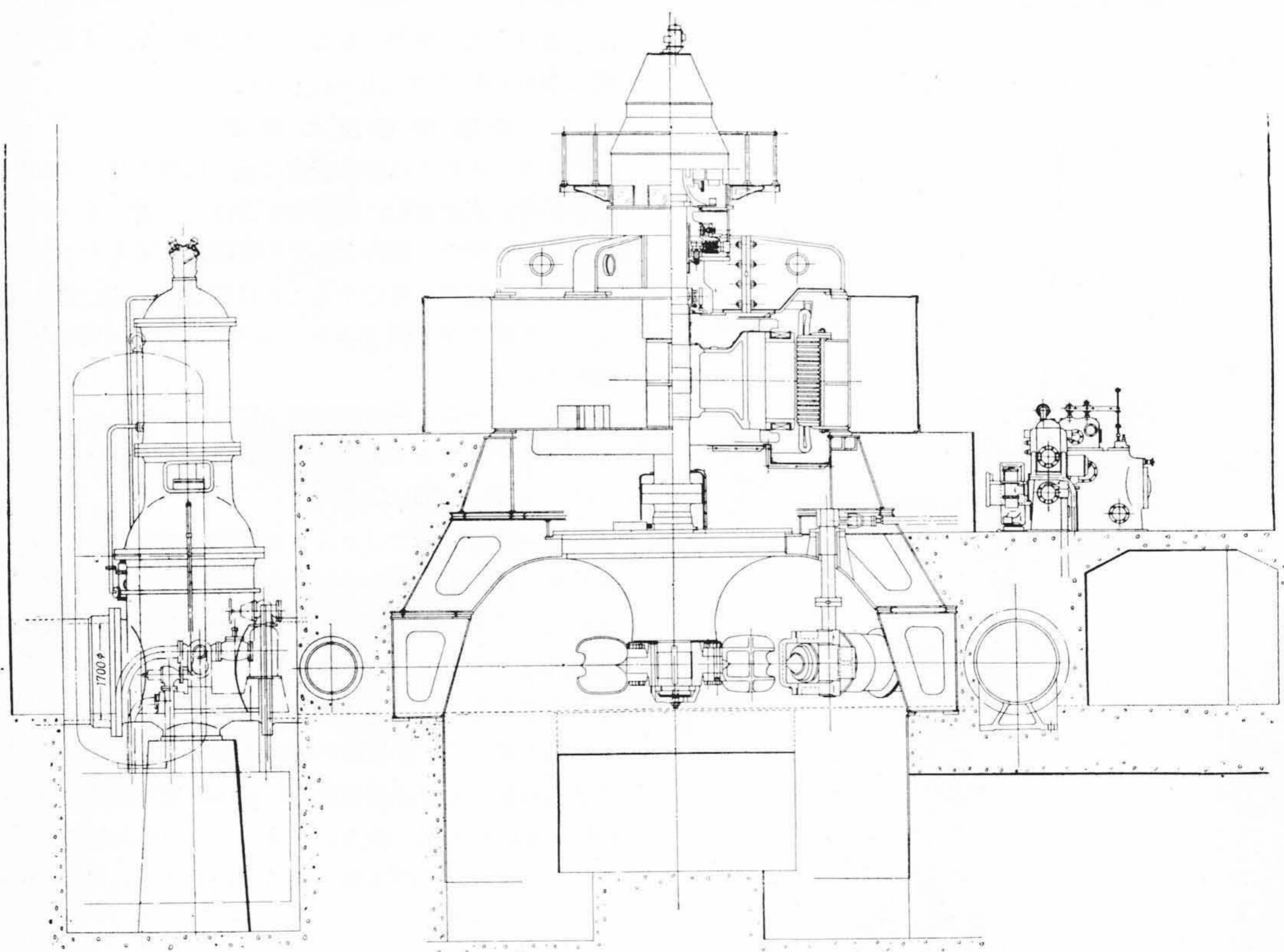
(3) 横軸と堅軸との比較

従来的一般型式である横軸構造と最近実現をみた堅軸構造とに就いてその比較を東京電力、白根発電所の場合を例として検討してみる。第 2 図及び第 3 図は堅軸ペルトン水車、第 4 図及び第 5 図は横軸ペルトン水車を示す。計画上の比較は下記の如くである。

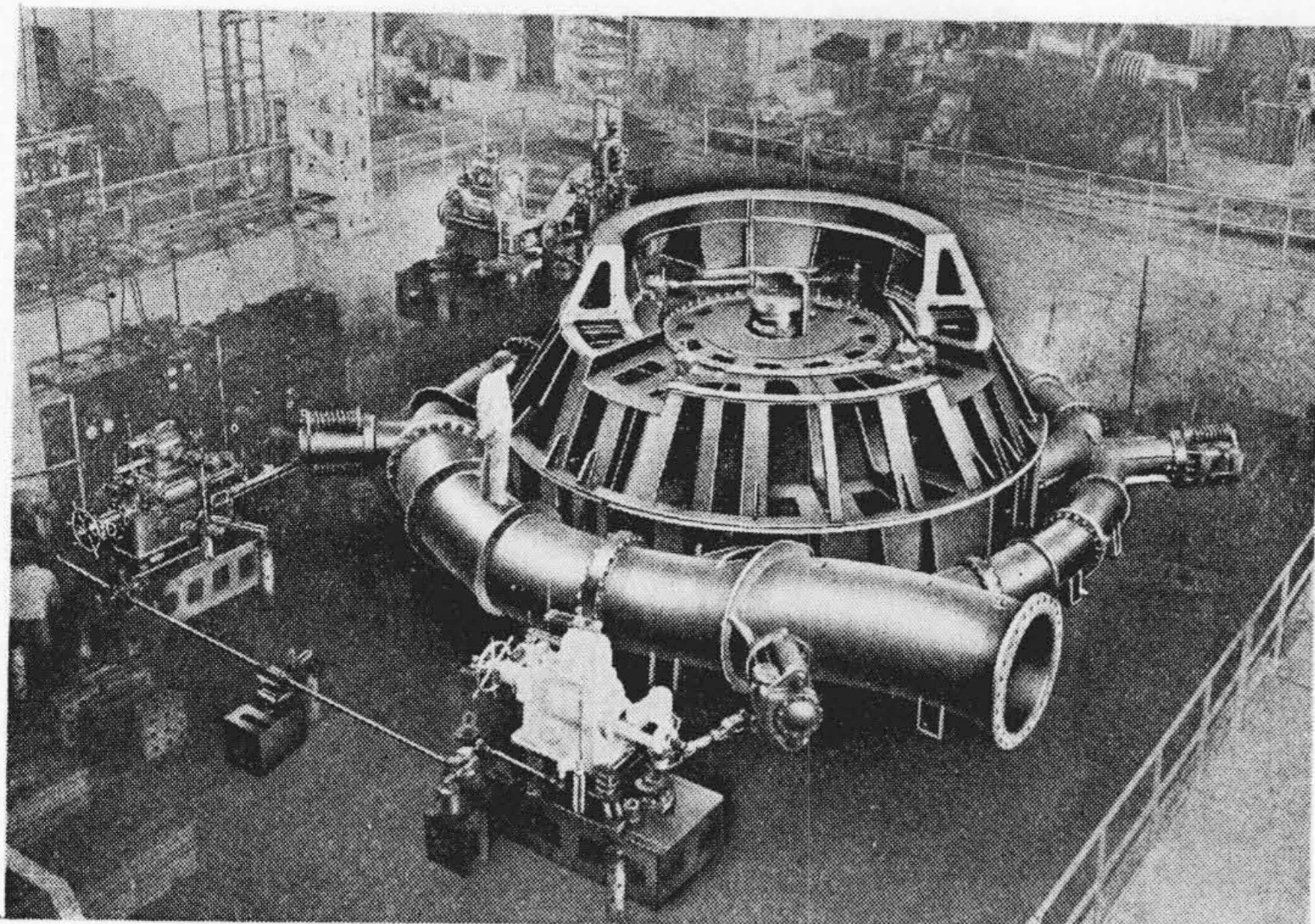
型 式	堅軸型 P ₁ N ₄ -V	横軸型 2P ₁ N ₂ -H
最大出力	12,000 kW	12,000 kW
床面積(主機のみ)	1	1.54
掘 鑿 量	1	1.3
クレーン揚程	9.5 m	7.5 m
効 率 (最高)	90.3%	90%
(10%負荷)	86%	81%

(両機共高能率運転を行うものとして)

堅軸は横軸構造のものに比べて据付床面積、掘鑿量を減少し、クレーン容量は両機共ほぼ同一容量を必要とするが堅軸の方が床面よりの吊揚高さを必要とする。効率

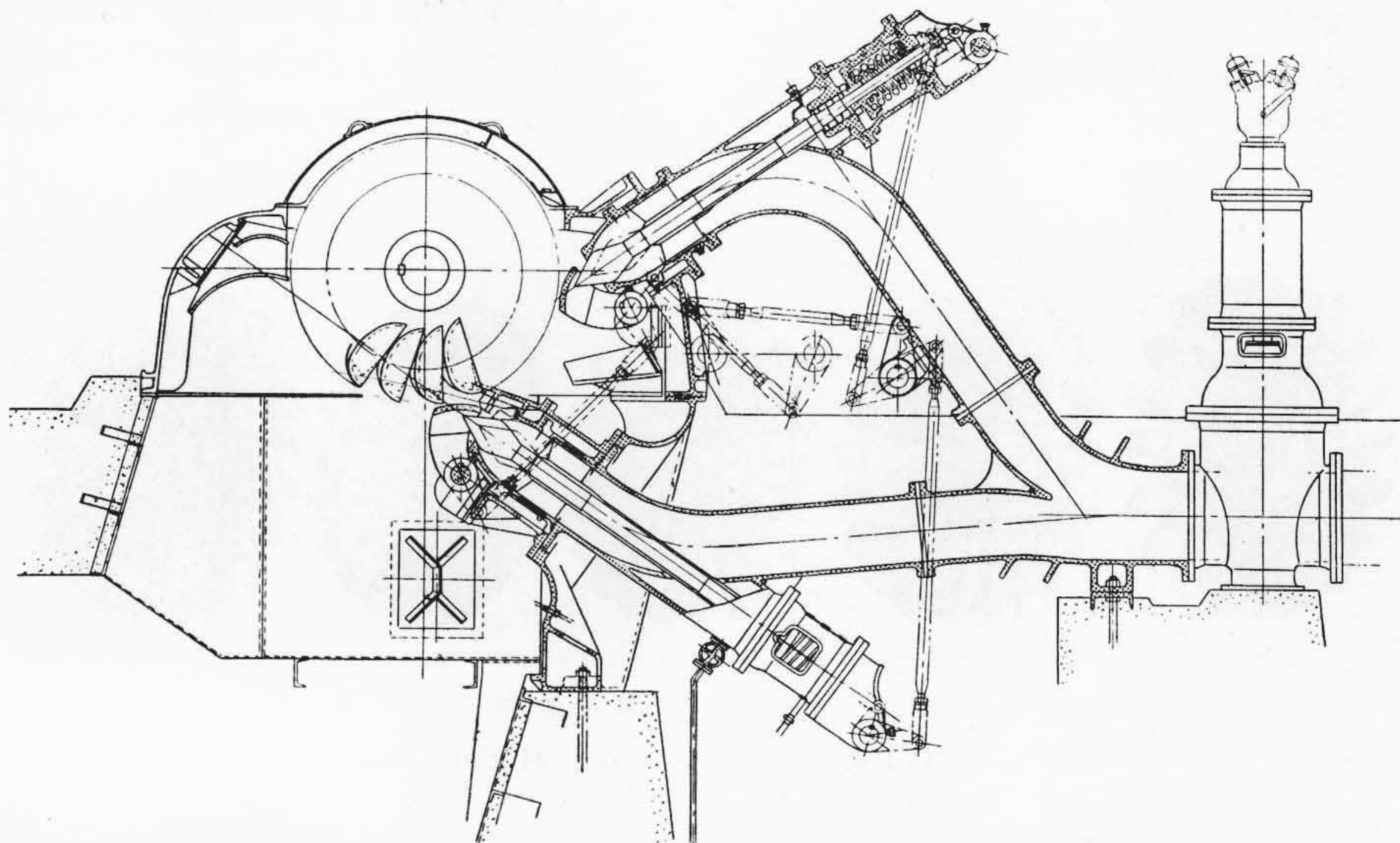


第 2 図 東京電力株式会社白根発電所 12,000 kW 堅軸ペルトン構造図
Fig. 2. Sectional View of 12,000 kW Vertical Type Pelton Wheel



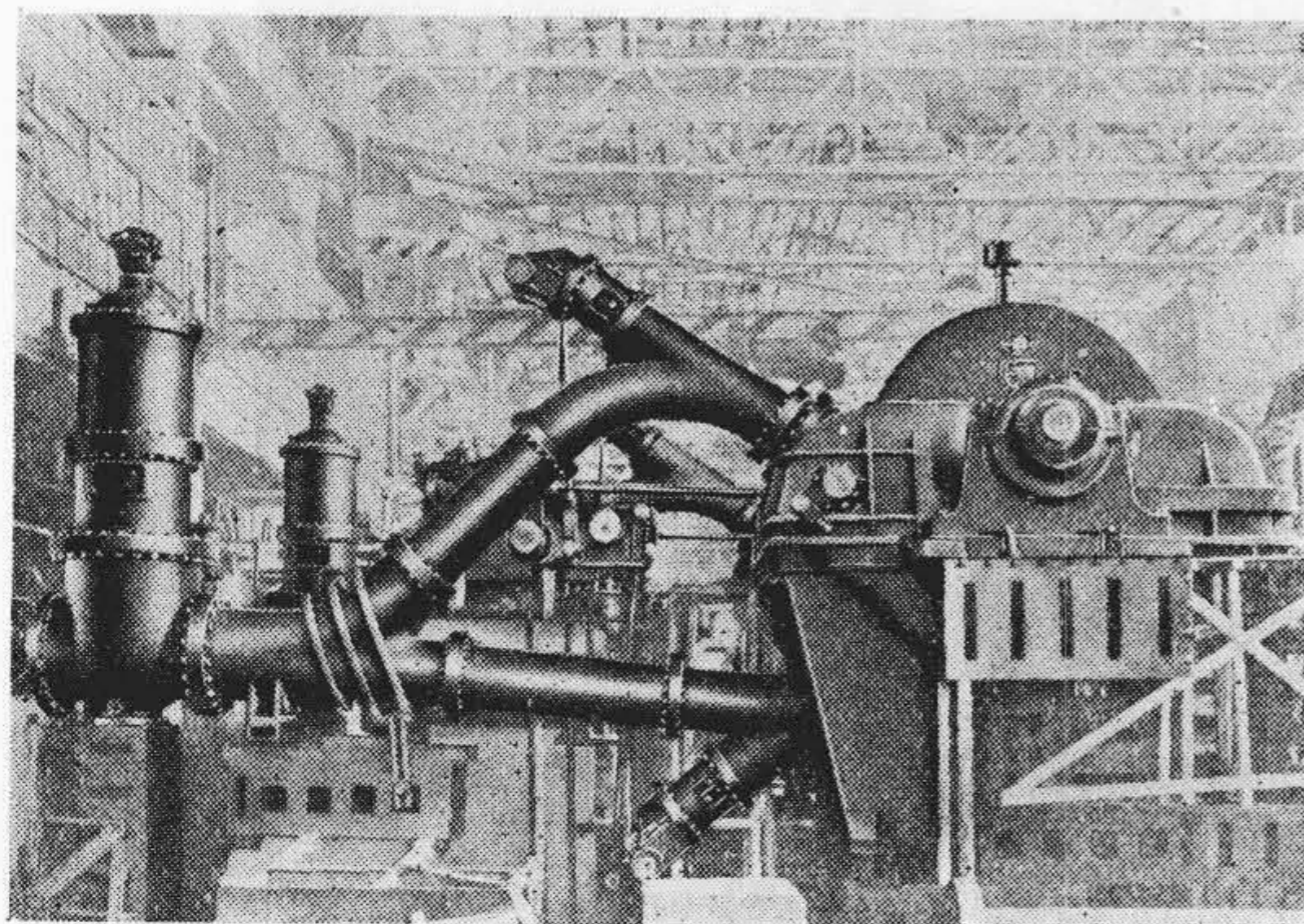
第3図 12,000 kW 縦軸ペルトン水車
工場組立

Fig.3. Shop Assembly of Vertical
Pelton Wheel



第4図 横軸ペルトン水車構造図

Fig.4. Horizontal Type Pelton Wheel

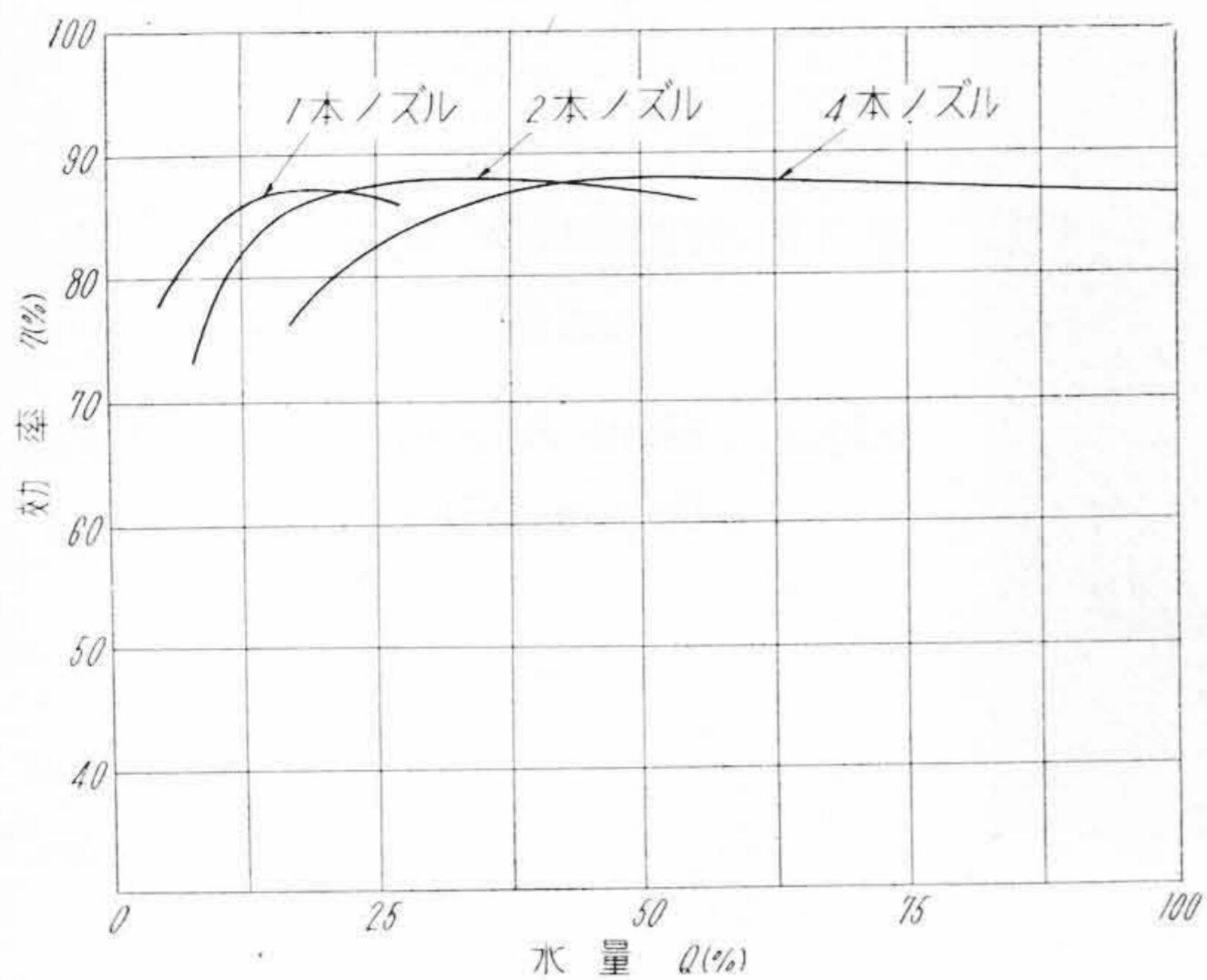


第5図 横軸ペルトン水車工場組立
四国電力株式会社松尾川第二発電所
22,200 kW ペルトン水車

Fig.5. Shop Assembly of 22,200 kW Pelton
Wheel

の点では横軸の2箇のランナに対して縦軸は1箇ですみランナの風損が半分となる。機械的損失も縦軸が僅か有利である。パイプ中の流水損失は縦軸の方が多いが縦軸

構造では横軸に比してランナを幾分か下げて据付けることが可能であるため、排棄損失落差が回収されることになり総合的効率も縦軸の方が有利になる。 $1/5$ 負荷以下の高効率運転の時の効率は縦軸の方は1ノズル運転が可能であるため優れている。縦軸は上記のような長所をもつが横軸に比較して据付が少々難しく、又種々の分解組立装置が設けられてはいるが分解、組立及び点検が少々不便であることは縦軸構造の改良すべき点である。

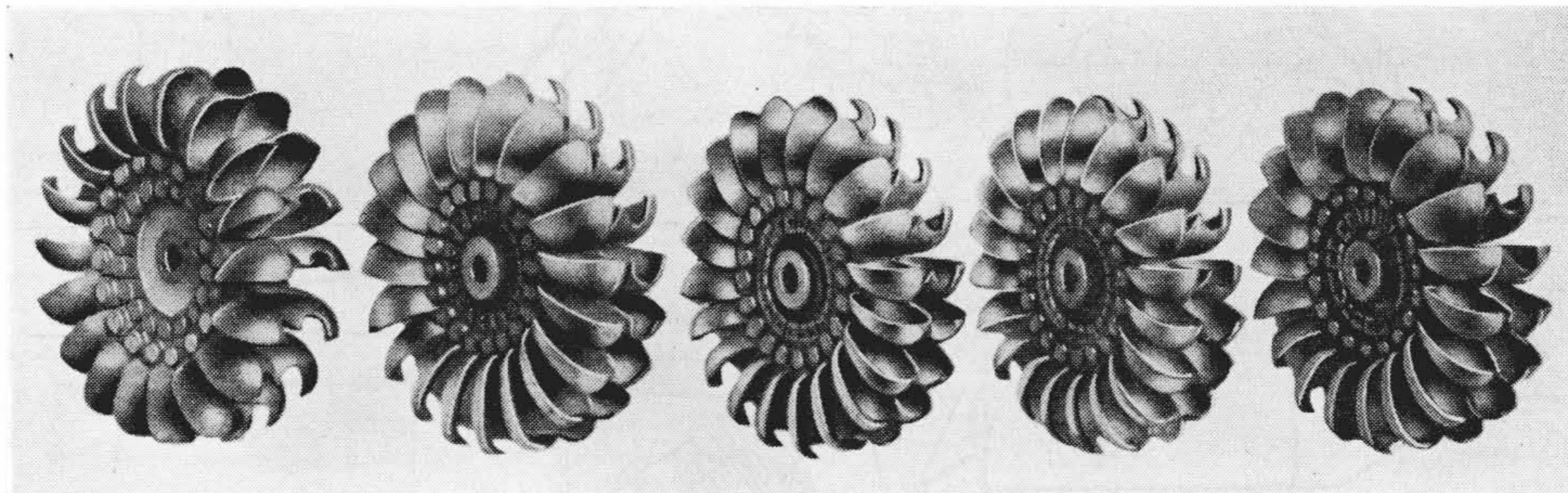


第6図 縦軸ペルトン水車効率
Fig. 6. Efficiency Curves of Vertical Pelton Wheel

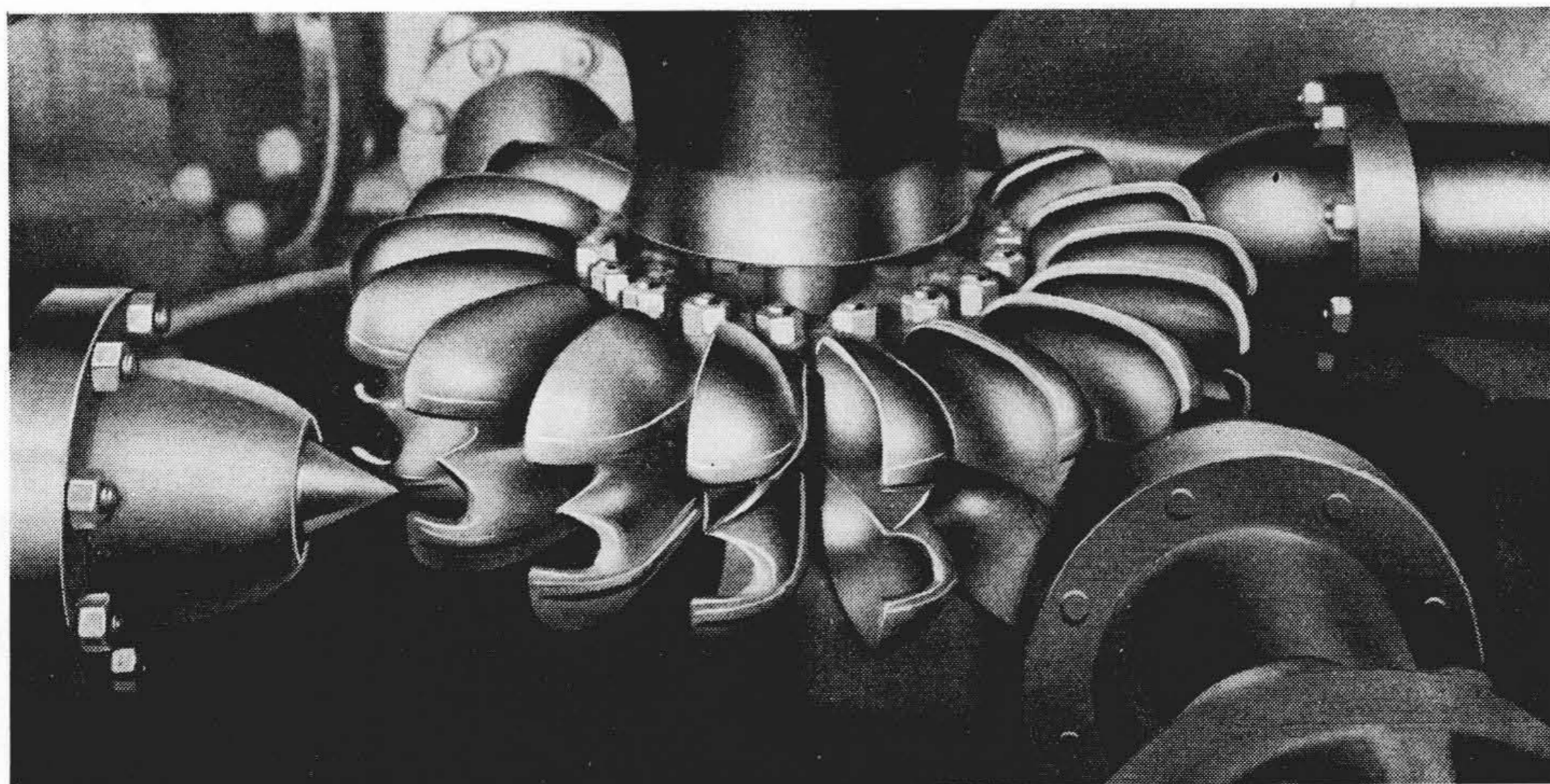
〔III〕 効 率

ペルトン水車の効率に最も大きな影響をもつものはバケットであり、バケットの形状、大きさ、取付関係によつて効率特性が変る。日立製作所に於ては各種の模型バケットを製作して比較試験を行つた結果、全負荷を通じて優れた特性をもち而も高い効率を示す新型バケットの製作に成功した⁽⁵⁾。第7図に模型試験に使用したバケットを示す。第8図は縦軸水車の模型である。

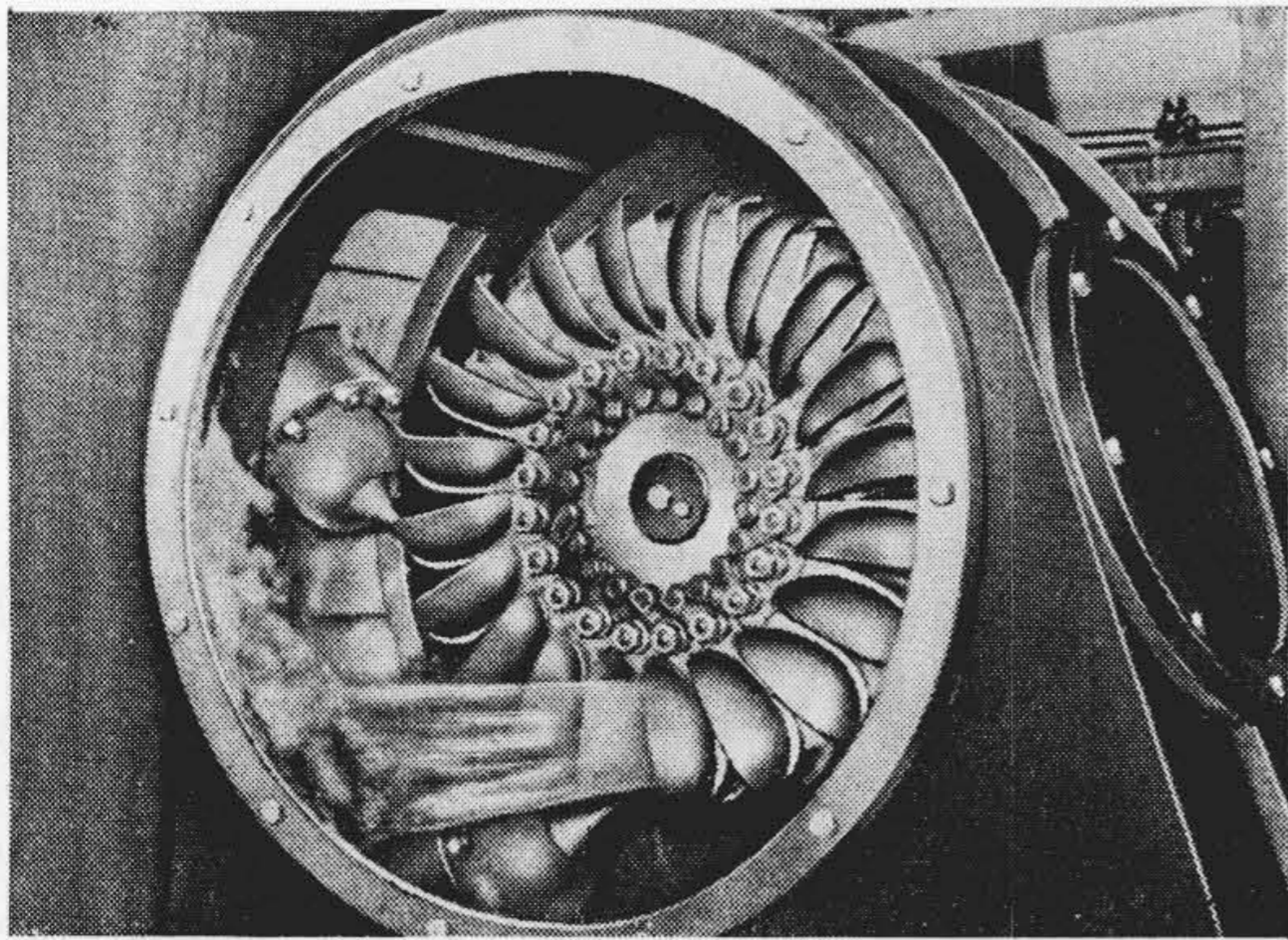
バケットの性能の良否は停止中のバケットより流出する水の状況と、正規回転中のものをストロボスコープに



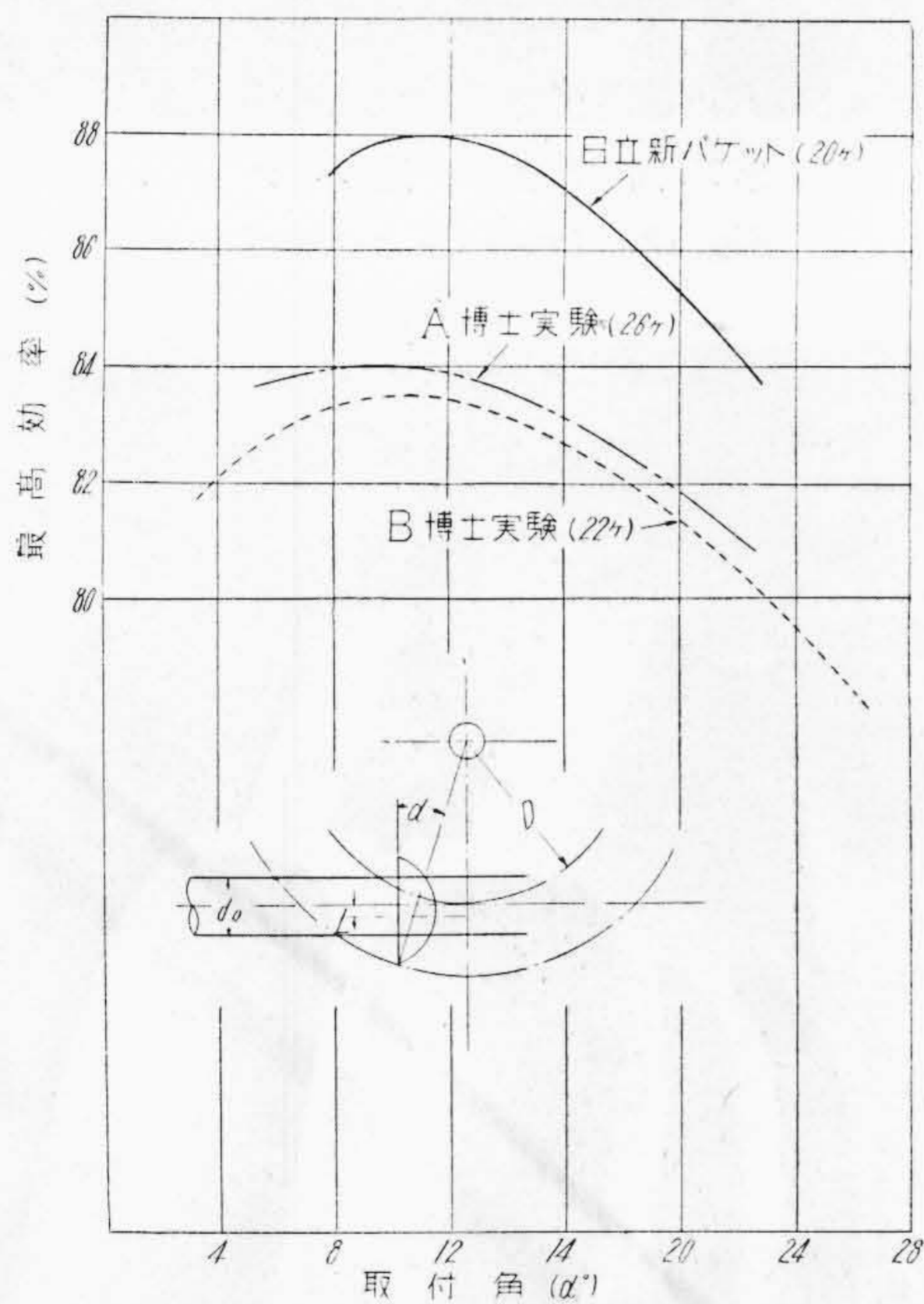
第7図 ペルトン水車模型試験用ランナ例
Fig. 7. Pelton Runners for Model Test



第8図 縦軸模型ペルトン水車
Fig. 8. Vertical Model Pelton Wheel



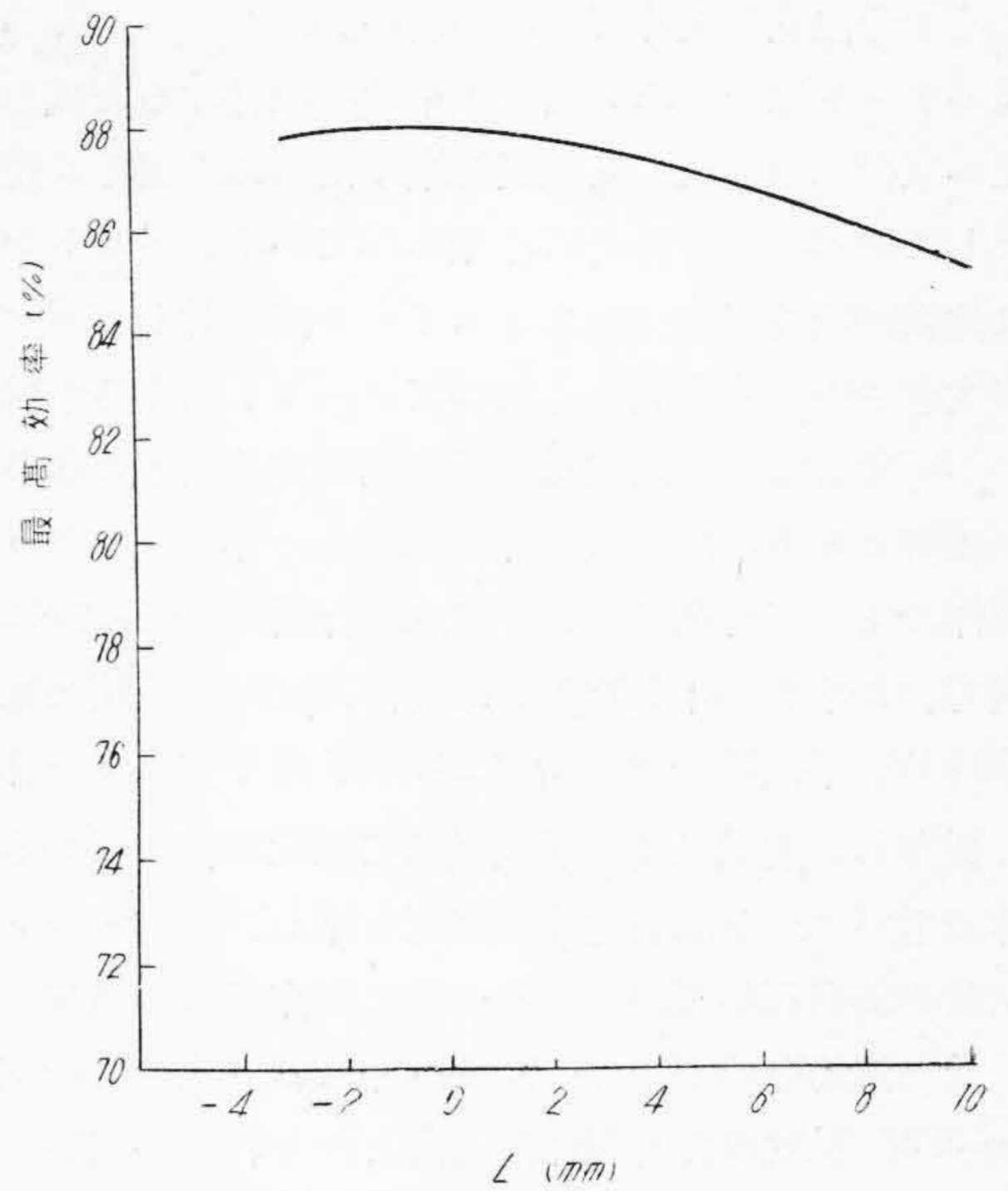
第9図 模型水車の排棄水流状況
Fig.9. Draining Jet of Model Pelton Wheel



第10図 模型水車取付角による効率の変化
Fig.10. Efficiency Change by Set Angle

よる流出状態の観察、バケツトより排棄される排出水の水束の形状と状態により推定される。この観察による良否の判定は模型の比較試験によつて実証された。第9図に排棄水流の状況写真を示す。バケツトの形状の悪いものは排出水が凸形の傾向を帯び捩れをもち、バケツトの位置の移動による排水の方向変化が円滑性を欠いて運転中の排棄水の水束が乱れ不安定となる。

バケツトの形状と大きさは効率特性の最大の要素となるがそれは最も適合した取付角度と取付位置及びバケツトの箇数によつて最高の効率が得られる。取付角度に就



第11図 模型水車バケツト取付位置による効率の変化

Fig. 11. Efficiency Change by Set Position

いては従来の試験例と新バケツトとは略々同様の傾向であつたが、今回取付位置の影響が軽視出来ぬものであることを確認した。第10図は取付角度、第11図に取付位置の効率に及ぼす影響を示す。

ペルトン水車の効率特性は比較回転度により一般に異り比較回転度が15~20m-kW程度にて最高の効率が得られ特性も優れている。 N_s が21m-kW以上となると最高効率の点が部分負荷に寄り全負荷で効率の低下が甚だしくなる。

堅軸構造を採用したとき最も問題となるのは水車上カバーの形状の選定であるが、各種カバーの形状と取付状態による特性の研究の結果、適切なカバーを選定することによつて、堅軸水車は横軸は比較して何等遜色のないことが立証された。

ペルトン水車の模型試験より実物水車の効率の推定は現在、大体 Moody 式が使用されているが、実物水車の正確な水量測定と相俟つて今後の課題であろう。

〔IV〕 構造

(1) バケツト

バケツトはペルトン水車の主要部品であり製作の最も難しいものである。従来バケツトは耐摩耗性の比較的大きい低Mn鑄鋼を使用していたが、東京電力、白根発電所等にはパーライト系不銹鑄鋼が採用された。パーライト系不銹鑄鋼は耐摩耗性大きく堅軸構造の如く繰返し荷重の倍加に対しては強度的信頼度を増すが、熔接補修が

難しく十分注意しなくてはならない。

又バケツは一般に1箇ごと単独に取付ける方式であつたが取付部の強度の安全度を増すために2連、3連鑄造として取付ける方法が広く採られている。ペルトン水車は比較回転度が高くなるとホイール径に対してバケツの大きさの割合が大きくなつてボルトによる取付方法が不可能となり、又主軸の径を制限する結果となり製作が困難となる。而しこれ等の問題も一体鑄造バケツの製作によつて解決された。日立製作所に於ては既に北陸電力、中宮発電所 1,790 kW, 東京電力、花園川発電所 2,200 kW, 早川第一発電所 9,200 kW 用ランナを一体鑄造で製作し、前記二者は好成績にて運転を行つている。一体鑄造バケツは取付部の強度を増し、取付ボルト等の比較的弱点部が省略されると共に製作工数が減少される。又一体鑄造のバケツの製作により比較回転度が 25 m-kW 程度の設計製作は可能となり、将来高い比較回転度の小容量ペルトン水車が製作されよう。かくの如く利点が多いため一体鑄造バケツは今後広く採用されるものと思われる。第12図に一体鑄造ランナ、第13図に3連鑄造のバケツを示す。

最近材料試験に使用されている探傷試験をバケツに応用することによつて、バケツの信頼度が更に高められた。

(2) 横軸の構造

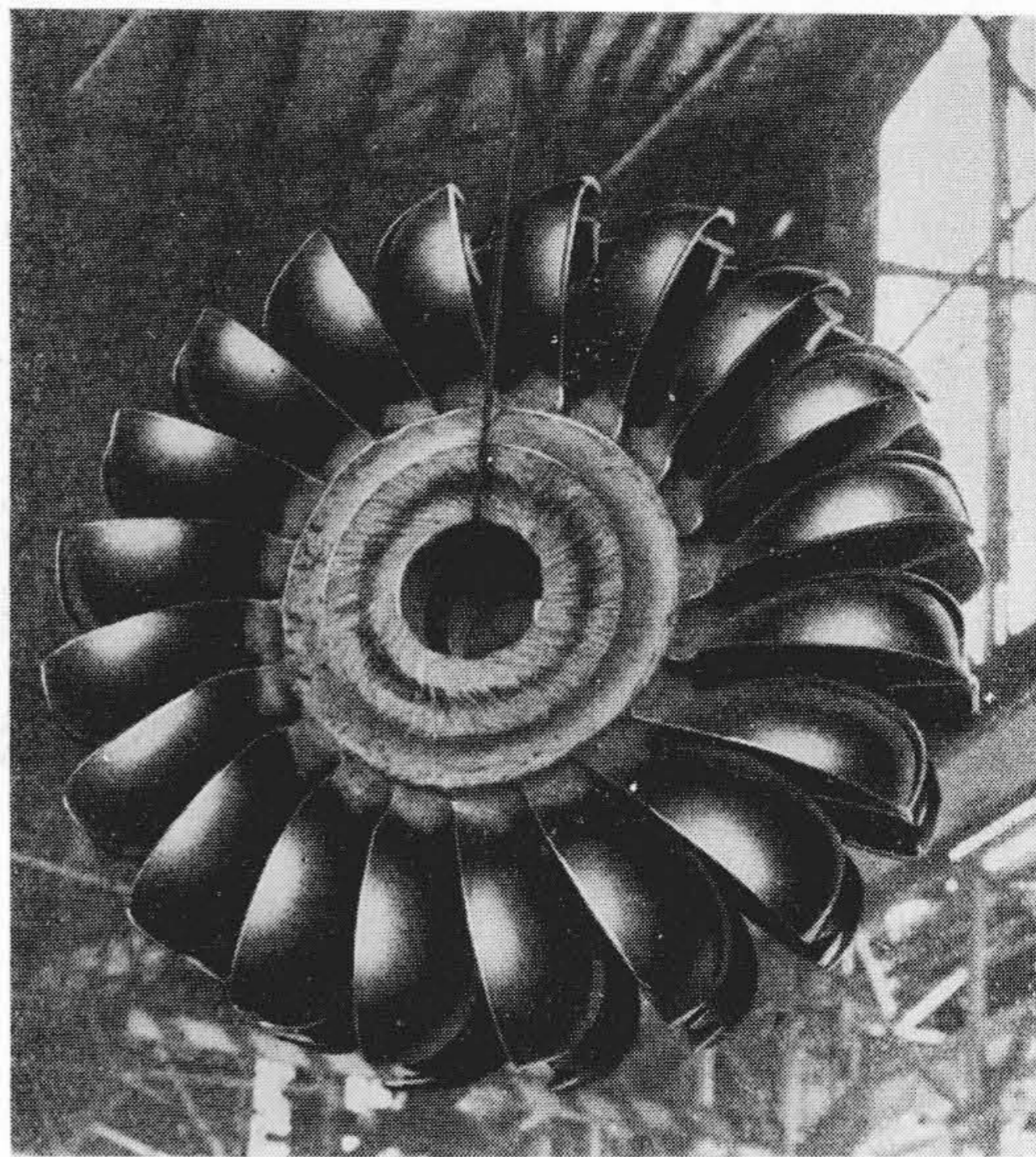
ケーシングはバケツよりの排棄水を処理するに十分な大きさと形状をもつように設計される。模型水車の運転状態の観察によりケーシングの最良の形状を推定することが出来る。軸受は球面座にて支持され軸の僅少の撓みにも応ずるような構造が一般に採られる。

容量が増すと発電機の両側に水車を設ける方式が採用されるがこの場合軸全長が 10m 以上となるのが珍しくなく、温度の変化による軸の伸縮が問題となることが屢々ある。又ペルトン水車ではジェットの衝撃力によつて軸は撓むがこの撓みが直結の励磁機及び副励磁機に及ぼす影響等も据付上注意を払わねばならない。この型式のものでは発電機の分解組立用として固定子昇降装置を設け水車を分解することなく発電機を分解、組立出来る構造が採用される。本装置によつて起重機容量が6割で済む場合もある。

中容量機で同一ケーシング内に2箇のランナを設ける P₂N₄-H の型式のものでは軸受間隔が長くなり、軸の強度及び上述の撓みが問題となつて特別の場合以外には採用されない。

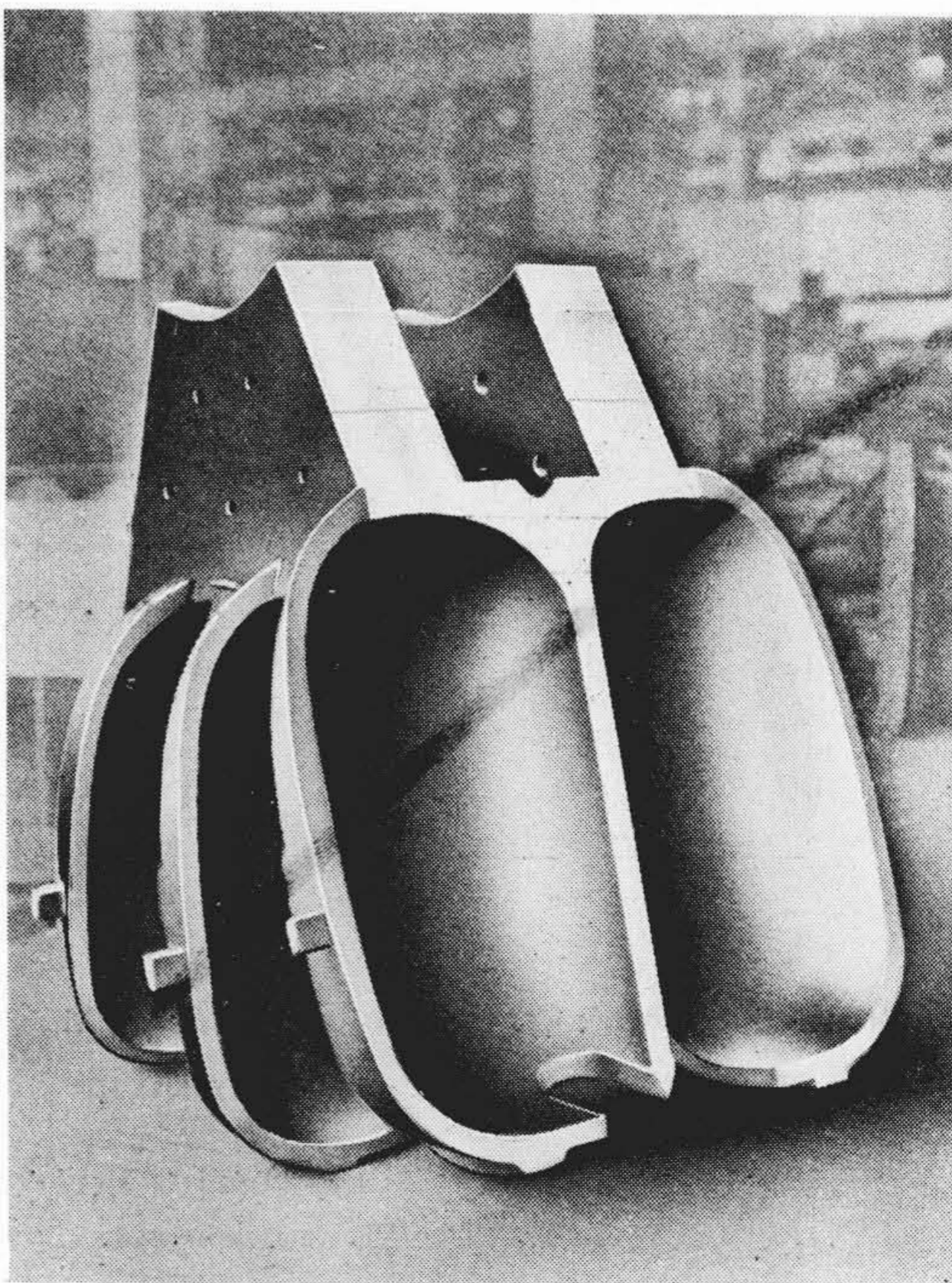
(3) 堅軸の構造

堅軸の構造を採用して最も問題となるのは水車上カバーの形状である。カバーの形状はバケツの形状、比較



第12図 1体鑄造バケツ

Fig.12. One Cast Bucket



第13図 パーライト系不銹鋼製三連鑄造バケツ

Fig.13. Pearlite Stainless Steel Bucket

回転度により決定されるものであり、最良のカバーの選定が必要である。

我国の如く湧水時高能率運転を行う必要性の多い場合当然1ノズルによる運転が行われる。この運転を安全にするために水車主軸受は出来るだけランナの近くに設

け、懸垂距離を減少するように設計する必要がある。従つて軸受を下方に設けるためカバーの形状が制限を受け比較回転度が高くなるとバケット内側の径が比較的小さくなつて、軸受附近の設計が困難となる。小容量機では構造上不都合をきたし、複雑なものとなるため横軸の方が有利となろう。上記の制限等から縦軸型は比較回転度が 18 m-kW 程度以下にて最良の設計が望めよう。

〔V〕 調整装置

(1) 高能率運転法⁽⁶⁾ (特許出願中)

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、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り、特にペルトン水車は尖頭負荷時用として計画される例が多く軽負荷にて運転する機会が多い。かゝるとき負荷により手動又は自動的にノズル数を切換えれば水車の効率をより以上に向上させることが出来る。

手動による切換装置は所要のノズル以外を手動クラッチにて固定しサーボモータとの連動を外すもので、比較的構造が簡単であり確実に行い得る特長を有し、季節的にその切換を行う地点には適当であり中容量機以下のものに採用される。自動に切換えを行うにはその検出方法及び切換ノズル箇数の組合せにより種々の方法が考えられるが、パワーレギュレータ又は水位調整機等をそれぞれ検出部としてノズルを負荷に応じて自動的に切換えるものである。第14図は高能率運転による模型水車の効率の変化を示す。

又特殊運転として調相機運転として使われる場合は他の機種の水車の如く注水等の煩雑さがなくなり簡単に効果的な運転がなされる。

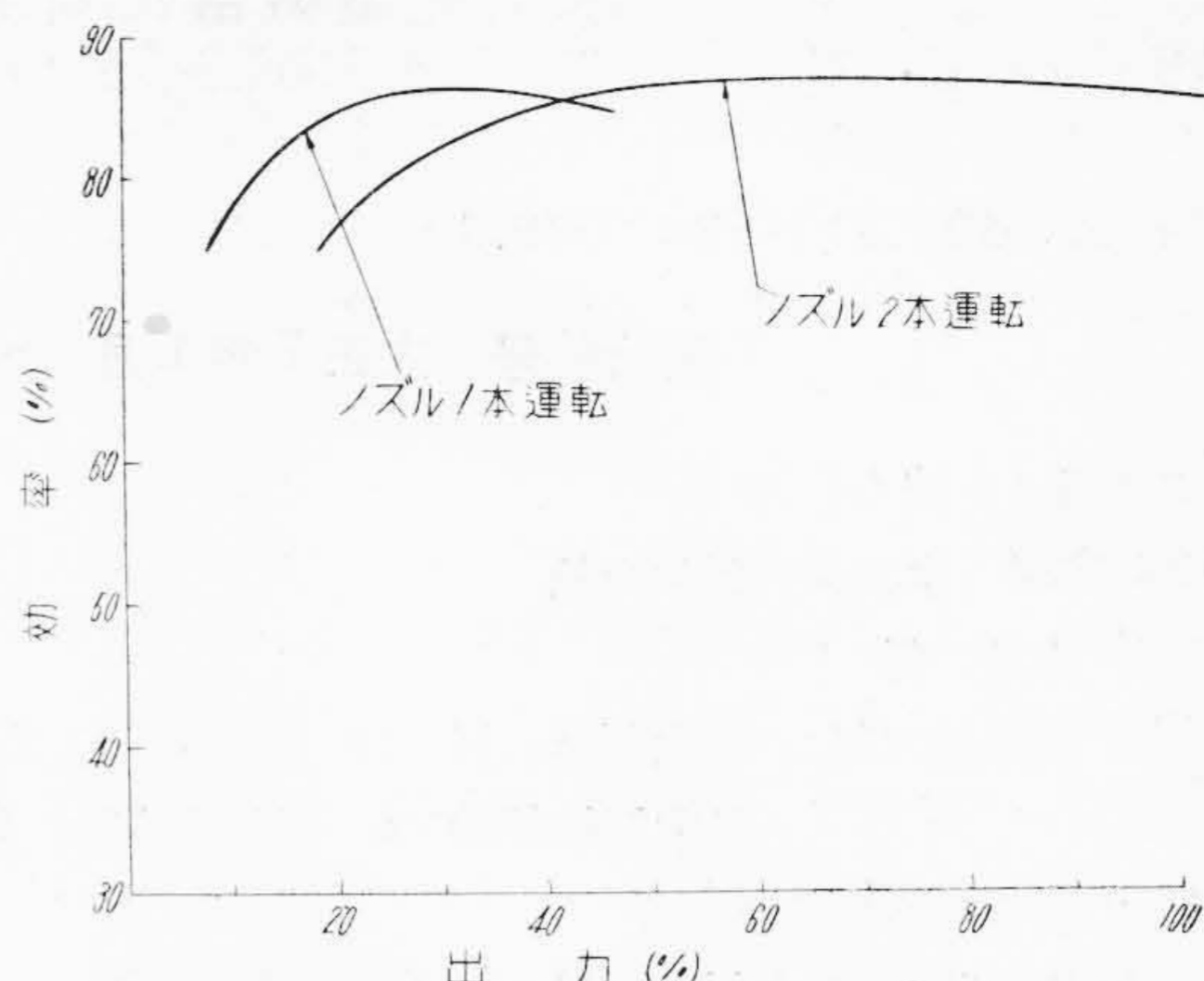
(2) 洪水時水面低下装置⁽⁷⁾ (特許出願中)

ペルトン水車は洪水時ケーシング内に水位が上昇すると運転が不可能となり、絶えずケーシング内は放水路の大気圧と連なっている必要がある。従つて従来は最高洪水水位以上に水車が設置されていた。地勢の関係上放水路側の河川水位が変動の激しい地点では常時水位と最高洪水水位との差が排棄落差となつており、我国に於てはこのような地点がかなりありその損失動力は相当量に達している。四国電力、松尾川第二発電所の場合この排棄落差が 10m に達しこの落差回収方法として第15図の如き特殊運転法を採用した。

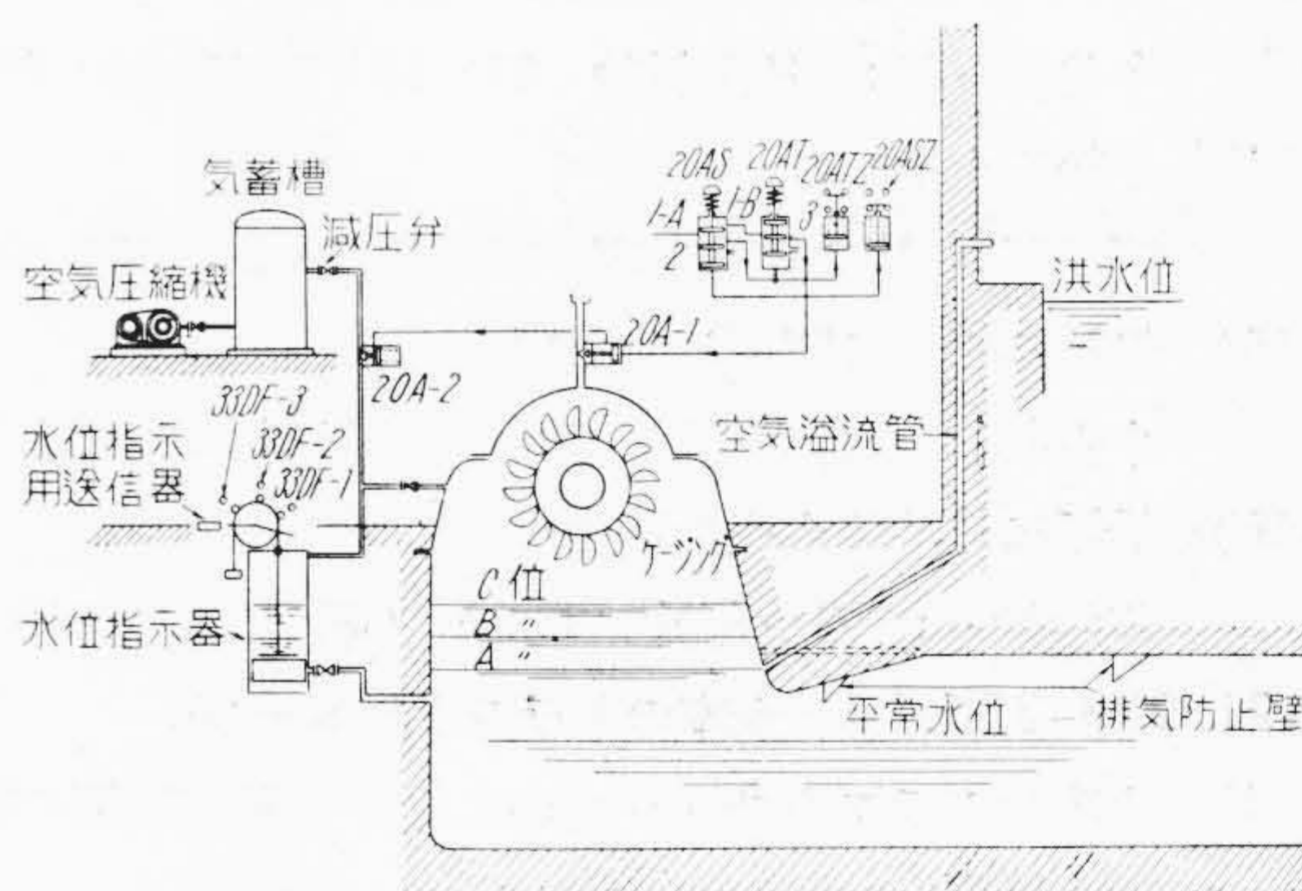
この方法はペルトン水車として初の試みであり、今後の発電所の計画に際し考慮される問題である。

〔VI〕 結 言

以上最近のペルトン水車に関する進歩、新規の構想等に就いて述べた。戦後我国電源開発5箇年計画の実施に



第14図 高能率運転時の効率
Fig.14. Efficiency Curves of Pelton Wheels at High Efficiency Operation



第15図 洪水時運転法
Fig.15. Diagram Showing the Method of Operation of Turbine Flood Periods

伴つて、水車の計画、設計製作面に於ける進歩は著しいものがある。これは製作者の不断の研究と使用者側の積極的な考え方によるものであつて、我国の如く資金、資材面の制約、特殊な河川状況等の種々の条件が多い状況下に於ては特殊構造、性能、材料の面に益々進歩改良を加えて行かなくてはならない。

今後も電源開発計画は更に活発化して行くと思われるので国状に即した考慮と経験を折込んだ技術的進展がなされるものと思われる。本文が多少なりとも各位の御参考になれば幸甚である。

参 考 文 献

- (1) 井原、伊藤、佐藤：日立評論 35, 7 (昭 28-7)
- (2) 鯨沢、田中：日立評論 35, 12 (昭 28-12)
- (3) 田中、佐藤：日立評論 35, 3 (昭 28-3)
- (4) 深栖：日立評論 35, 4 (昭 28-4)
- (5) 日立評論 35, 1 (昭 28-1)
- (6) 深栖：日立評論 35, 4 (昭 28-4)
- (7) 井原、伊藤、佐藤：日立評論 35, 7 (昭 28-7)

創刊号(大正7年1月)～第35巻第9号(昭和28年9月)

(第10頁より続く)

624.224 水カタービン一般

- 10) 水車の話
栗野義六郎: 日立評論 14 10 (昭 6. 10) 657
日立機械評論 6 (昭 6. 10) 45
- 11) 最近の水車に就いて
福元稔: 日立評論 17 7 (昭 9. 7) 293
- 12) 水車最近の発達
今井恒三郎: 日立評論 20 10 (昭 12. 10) 643
- 13) 50 \sim , 60 \sim 両周波数用水車に就いて
今井恒三郎: 日立評論 21 10 (昭 13. 10) 687
- 14) 今後の水車
関三郎: 日立評論 27 3 (昭 19. 3) 157
- 15) 最近の水車に関する諸問題
小森谷亨: 日立評論 32 2 (昭 25. 2) 69
- 16) 最近に於ける水車の進歩
深栖俊一: 日立評論 35 4 (昭 28. 4) 649

621.224-225.14 水車のドラフトチューブ

- 1) 水車のドラフトチューブ内に於ける異常音響の種類と原因
今井恒三郎: 日立評論 8 11 (大 14. 11) 695
- 2) ドラフトチューブの比較試験(その一)
田中文吉: 日立評論 9 1 (大 15. 1) 24
- 3) ドラフトチューブの比較試験(その二)
田中文吉: 日立評論 9 2 (大 15. 2) 98
- 4) 水車のドラフトチューブ内渦流状況と真空の変化
今井恒三郎: 日立評論 9 12 (大 15. 12) 775
- 5) 水車のドラフトチューブ内渦流状況に就いて
宮城音五郎: 日立評論 10 2 (昭 2. 2) 87
- 6) 吸水管の振動に就いて(その一)
鬼頭史城: 日立評論 10 11 (昭 2. 11) 767
- 7) 吸水管の振動に就いて(その二)
鬼頭史城: 日立評論 10 12 (昭 2. 12) 845
- 8) 水車のドラフトチューブに空気を吸入せしむる時の効率と振動の変化
今井恒三郎: 日立評論 17 10 (昭 9. 10) 487
日立機械評論 18 (昭 9. 10) 143
- 9) 水車吸出管の効率試験に就いて
山崎卓爾: 日立評論 23 12 (昭 15. 12) 616
- 10) 吸出落差の水車性能に及ぼす影響
山崎卓爾: 日立評論 24 7 (昭 16. 7) 277

621.224-55 水カタービンの制御、速度調整

- 1) 日立水車調速機に就いて(その一)
今井恒三郎: 日立評論 5 10 (大 11. 10) 585
- 2) 日立水車調速機に就いて
今井恒三郎: 日立評論 6 10 (大 12. 10) 387
- 3) 日立水車調速機に就いて
今井恒三郎: 日立評論 7 1 (大 13. 1) 19
- 4) バックウォーターブレーキ装置に就いて
栗野義六郎: 日立評論 11 2 (昭 3. 2) 123
- 5) 水車用調速機に於ける最近の改良
平野徳太郎: 日立評論 13 2 (昭 5. 2) 89
- 6) スピードマッチャー
関三郎: 日立評論 14 7 (昭 6. 7) 451
- 7) 水車の新型調速機(その一)
関三郎: 日立評論 20 7 (昭 12. 7) 467
- 8) 水車の新型調速機(その二)
関三郎: 日立評論 20 8 (昭 12. 8) 531
- 9) 水車の新型調速機(その三)
関三郎: 日立評論 20 9 (昭 12. 9) 597
- 10) 調速機の事故とその対策
鯨沢秀夫: 日立評論 33 7 (昭 26. 8) 537

621.224.001.2 水車の設計

- 1) 発電所用水車の選択に就いて
秋田政一: 日立評論 8 6 (大 14. 6) 395
- 2) 高速水車設計上の一考察
田中文吉: 日立評論 10 11 (昭 2. 11) 777
- 3) 水車の仕様決定に就いて
大森敏夫: 日立評論 35 4 (昭 28. 4) 641

621.224.002 水車の製造、据付

- 1) 水車の据付並びに試験方法
今井恒三郎、植田弘美: 日立評論 20 4 (昭 12. 4) 255
- 2) 水車並びに附属機材料節約
今井恒三郎: 日立評論 22 2 (昭 14. 2) 143

621.224.01 水車の理論

- 1) 落差或は回転数が変化した場合に於ける水車の馬力の計算法
栗野義六郎: 日立評論 4 2 (大 10. 2) 57
- 2) 水車の吸出高に就いて
深栖俊一、江原良三: 日立評論 31 3 (昭 24. 8) 112

(第46頁へ続く)