

揚水発電所主機の計画について

Construction Plan for the Main Equipment of Pumped Storage Power Plant

外 岡 英 徳* 高 橋 昭 吉*
Hidenori Tonooka Shōkichi Takahashi

内 容 梗 概

揚水発電所の計画は、とりもなおさず水車および発電機の形式の選定であり、最近著しく発達した機器の特性に対する認識が必要であらう。日立製作所では東北電力株式会社沼沢沼発電所をはじめ四国電力株式会社大森川および穴内川、および九州電力株式会社諸城などの諸発電所用として、わが国で始めて各形式の揚水発電所用機器を製作してきた。これらの豊富な経験と現在行っている研究を基として、各形式の機器の特長と計画に際しての選定基準について述べた。

1. 緒 言

電力の需要の急激な増大は世界的な傾向で、特にわが国においては、大容量火力発電所の建設計画が急速に進められ、それに見合う揚水発電所の必要性は日を追うごとに重視せられつつある。揚水発電所はヨーロッパにおいて特にその歴史が古く、いくたの大容量揚水発電所が建設せられてきたが、これらはいずれも水車とポンプを別々に設けた方式である。しかし、北アメリカ、南アメリカおよびカナダなどに可逆式ポンプ水車を用いた揚水発電所の出現をみて、揚水発電所の建設に経済的裏づけがなされ、技術の進歩とともに、ますますその重要性が認められるに至った。

ヨーロッパにおける揚水発電所のほとんど全部が水車とポンプを直結したいわゆる直結式であり、可逆ポンプ水車の発展をみなかったのは、技術的原因にもよろうが、発電所の大部分が、比較的高落差高揚程のものであったことによるものと推察される。これに反しアメリカなどにおいては100m以下の低落差地点に可逆機を用い、経済的揚水発電所の建設に先鞭をつけた形になっている。

わが国においては、これら欧米両者の特長をとり入れ、沼沢沼、諸塚などの直結式発電所に加えて、大森川、畑薙など可逆機を用いた発電所がつぎつぎに建設されつつある。特に大森川発電所は落差揚程とも100mをこえる可逆ポンプ水車で、その好調な運転実績が広くみとめられるにおよび、さらに高落差の地点にも可逆機を採用しうることを実証し、今後、可逆機の適用落差がどこまで高められるかは興味ある課題である。

元来、揚水発電所は電気エネルギーと水の位置のエネルギーの置換作用をなすものであるから、利用しうる貯水池の大きさにより、揚水発電所の容量も左右されるが、たとえ貯水池容量が小さくても、利用しうる落差が大きければ、大きなエネルギーの蓄積が可能となる。わが国のように、ダムの建設に当り多くの補償費が問題となる場合は、小容量の貯水で多量のエネルギーを蓄積するためにも、今後の揚水発電所建設計画には高落差の地点がより多くえらばれることとなろう。

2. 揚水発電所に対する機器の選定

揚水発電所に採用される機器設備には種々の形式があり、発電所地点に応じて、最も経済的な機器をえらぶことになるが、同時に機器の製作技術の進歩に従い、機器の選定に対する考え方も変りつつある。

従来の揚水発電所用機器設備の形式を分類すれば、下記のとおり大別できる。

1. 別 置 式 (Separate Type)

* 日立製作所日立工場

水車および発電機とは別にポンプを専用の電動機で運転するもの

Ⅱ. 直 結 式 (Tandem Type)

ポンプを水車および発電機と同軸上に設け、発電機を電動機として兼用せしめるもの

Ⅲ. 兼 用 機 (Reversible Type)

可逆ポンプ水車を発電電動機に直結せしめたもの

これらのうち別置式は古くからその実例があるが、設備費が高価となることは当然で、今後恐らくよほど特殊な条件でもない限り採用されることはないであろう。

直結式は主としてヨーロッパで発達し、現在でも200mをこえる高落差地点には通常この形式のものが用いられるのが普通であるが、発電所地点の建設条件に応じて、立軸または横軸とされる。しかし、大容量機ではいずれの場合も非常に長軸となり、かつ発電揚水の切替えが不便であるため、さらに経済的な兼用機の発展のため、順次建設側は少なくなろう。

兼用機は最も経済的な揚水発電機機械として、近年著しく進歩発展をみたが、さらにこの発展により揚水発電所の経済的裏づけもなされ、今後ますます技術的進歩が期待される。

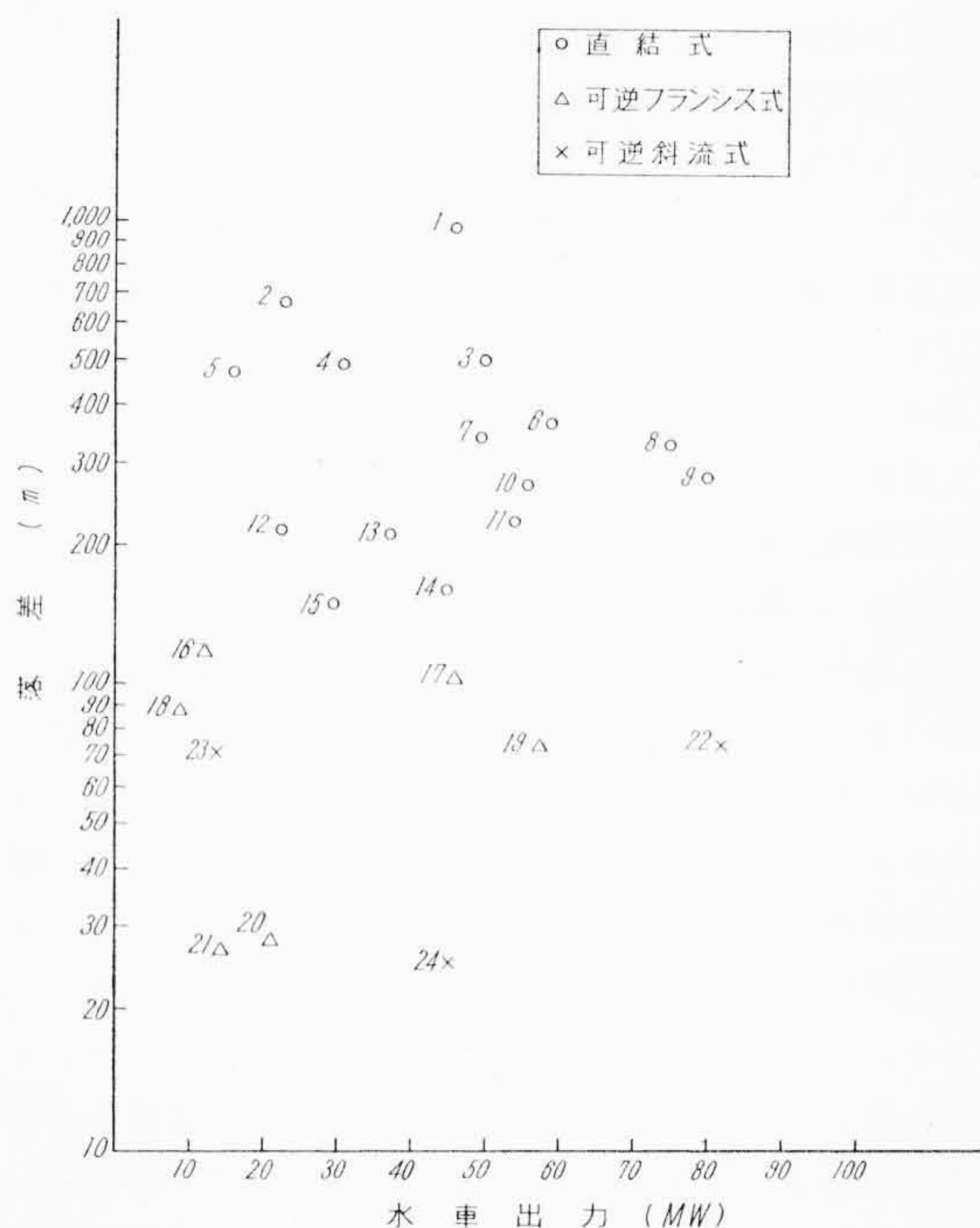
兼用機としては現在フランス形と斜流形のポンプ水車が用いられているが、それぞれの適用落差も年々更新され、より高落差の兼用機がきそって出現するものと思われる。また兼用機におけるポンプと水車の最適回転速度の差をおぎなうために、二速度式発電電動機の研究も著しく進歩し、近い将来数万kW級の二速度式発電電動機の出現をみることとなろう。

以上各形式の特長をのべたが、過去の代表的揚水発電所につき水車の落差容量別に示すと第1図のとおりである。

第1図からもわかるとおり、今後ますます大容量の可逆ポンプ水車が出現することとなろうし、また可逆機の適用落差も、年とともに高くなってゆくものと考えられる。

しかし各落差揚程に対して、いかなる形式の機械が適するかについては、発電所地点の条件により左右されるので、一概に決定しにくい。また機種を選定に当って、いかなる回転数をえらぶかが重要要素となりこれに関連してさらにポンプ運転時に必要な押込揚程すなわち機械の据付位置も考慮する必要がある。回転数の選定はポンプあるいはポンプ水車についても水車と同様に落差あるいは揚程に対し適当な比速度(N_s)をえらぶこととなるが、種々の形式のポンプあるいはポンプ水車については大体の傾向を示せば第2図のとおりである。

各機種に対してはそれぞれ適切な N_s の範囲があることは通常の水車と同様であり機種を選定は同時に回転数機械据付位置とも深い関係をもつこととなる。



番 号	発 電 所 名	国 名	運 転 開 始
1	Lünersee	オーストリア	1957
2	Motec	ス イ ス	1958
3	Providenza	イ タ リ ー	1947
4	Grimsel	ス イ ス	1954
5	Etzel	ス イ ス	1937
6	Limberz	オーストリア	1954
7	Rodund	オーストリア	1943
8	Ffestiniog	イ ギ リ ス	(建設中)
9	Our	ルクセンブルグ	(建設中)
10	Witznau	ド イ ツ	1943
11	諸 塚	日 本	1960
12	沼 沢 沼	日 本	1951
13	Häuseern	ド イ ツ	1930
14	Waldshut	ド イ ツ	1952
15	Cotilia	イ タ リ ー	1940
16	大 森 川	日 本	1959
17	畑 薙 第 一	日 本	(1962)
18	Flatiror	ア メ リ カ	1953
19	Hiwassee	ア メ リ カ	1956
20	Tuscarora	ア メ リ カ	(1961)
21	Pedseira	ブ ラ ジ ル	1953
22	Valdecana	ス ペ イ ン	(1962)
23	穴 内 川	日 本	(1963)
24	Sir Adam Beck	カ ナ ダ	1958

第 1 図 揚水発電所用水力機械の落差と容量

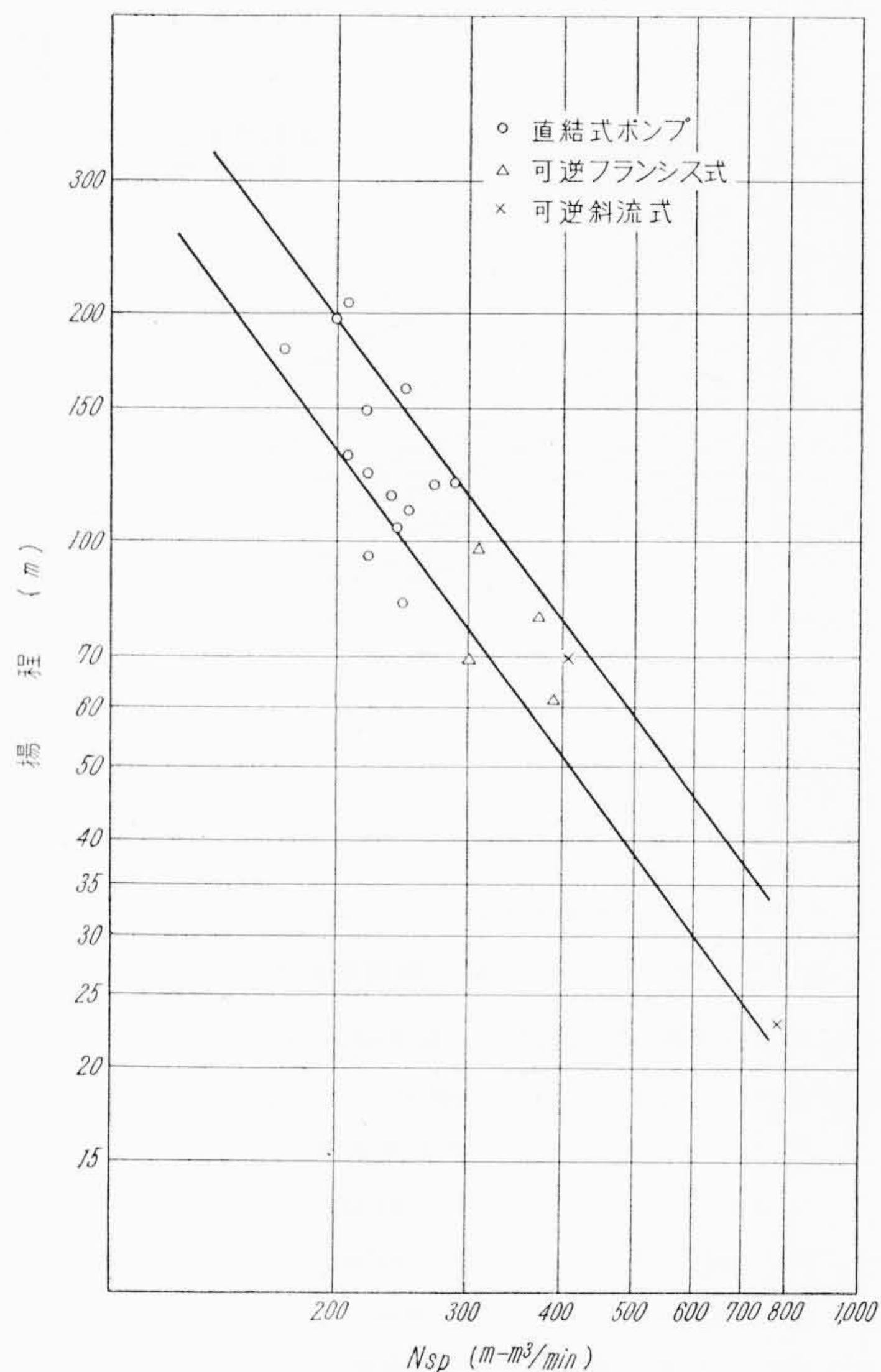
3. 直結式揚水機械について

本形式では横軸形と立軸形に分類され、一般にポンプを直結するため、回転数はポンプの比速度 N_s の許容限度により制限を受けることが多く、水車側からみれば多少低い N_s を採用する場合が多い。

直結式で問題となるのは立軸とするか横軸にするかであるが、立軸と横軸のそれぞれの利害得失をよく検討した上でいずれの形式にするかを定める必要がある。

一般に据付けおよび保守の面では横軸形のほうが容易であるが、掘さく量および総合効率の点においては立軸形のほうが有利となる。したがって、40,000 kW ないし 60,000 kW 程度の設備にては総合的にみて両者の優劣に大差なく、設置箇所または巻さくなどの地理的条件に左右されることが大きい。ただ立軸式の場合ポンプの据付位置は水車に比し一段と低い位置となり、ポンプに対する押込揚程を自然に大きくえらびうることはみのがしにくい利点である。

直結式の場合水車と発電機は常時直結されて、ポンプ運転時には



第 2 図 揚水発電所用ポンプの揚程と比速度

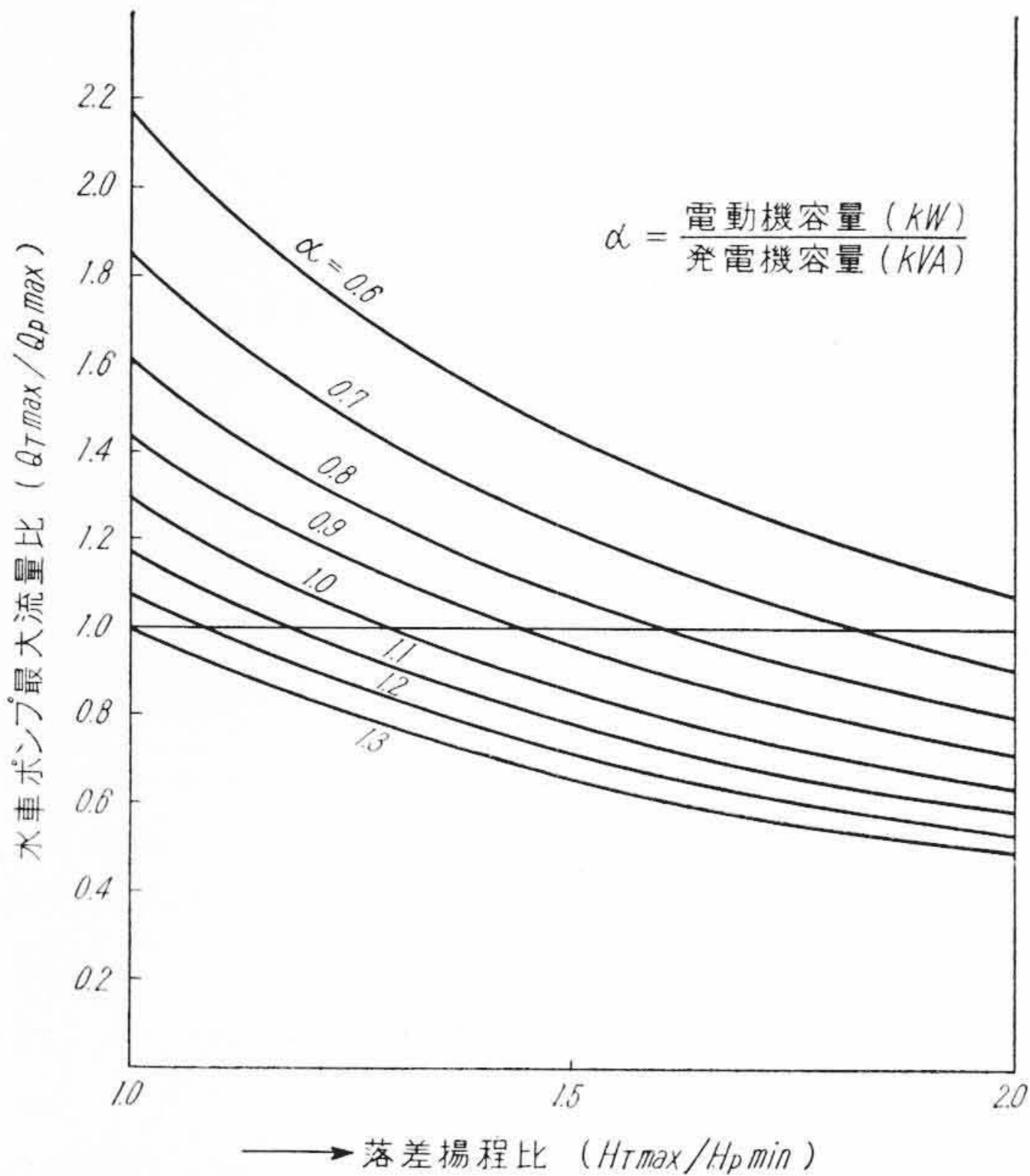
水車内に圧縮空気を押し込んでランナを空転させるのが普通である。ポンプと水車（立軸機）または発電電動機（横軸機）の間には直結あるいは着脱の容易な継手が設けられる。この継手方式が、発電から揚水、揚水から発電への切替えの難易あるいは切替時間を左右するので種々の考察がなされている。従来実施されているポンプ起動方式の例をあげると第1表のとおりであり、わが国での直結形の代表例は東北電力、沼沢沼（横軸式）と九州電力、諸塚（立軸式）である。諸塚発電所では運転切替え時間を早くする目的で電氣的なブレーキにより発電から停止に至る時間の短縮をはかっている。

4. 可逆式機器の仕様の選定

揚水発電所を経済的に有利ならしめるためには、設備費の軽減が重要であり、また運転条件に応じた好性能の機械を採用する必要がある。可逆ポンプ水車の中には、フランシス形、斜流形および軸流

第 1 表 直結式機器の接手方式例

切 替 え	起 動 方 法	軸 継 手	起動状況	所 名
直 結	主 水 車	ソリッドカップリング	無 水	Cotilia
停止時切替え	主 水 車	摩 擦 継 手	定 水	Etzel
停止時切替え	主 水 車	移動式接続ボルト	定 水	Providenza
停止時切替え	主 水 車	移動式接続ボルト	定 水	沼 沢 沼
停止時切替え	主 水 車	移 動 歯 車	定 水	Motec
停止時切替え	主 水 車	移 動 歯 車	定 水	Limberz
停止時切替え	主 水 車	移 動 歯 車	定 水	諸 塚
運転時切替え	起動用ペルトン水車	移 動 歯 車	無 水	Herdeck #4
運転時切替え	起動用ペルトン水車	移 動 歯 車	無 水	Witznau
運転時切替え	起動用ペルトン水車	移 動 歯 車	無 水	Waldshut
運転時切替え	起動用ペルトン水車	移 動 歯 車	無 水	Rodund
運転時切替え	主水車駆動水力継手	摩 擦 継 手	定 水	Herdeck #1~3
運転時切替え	主水車駆動水力継手	移 動 歯 車	定 水	Häusern
運転時切替え	主水車駆動水力継手	移 動 歯 車	定 水	Lünersee



第3図 ポンプ水車容量と発電電動機の容量の関係

形などがあり、各形式に適應する落差揚程は技術の進歩にともない次第に増昇される傾向にあるが、現状では大体下記のとおりである。

形 式	適用落差または揚程
フランシス形	30～200m
斜 流 形	10～100m
軸 流 形	3～10m

なお上記以上の高い落差または揚程にポンプ水車を採用するために、フランシス形ランナを2段以上設けた多段式ポンプ水車も研究されつつあり、近い将来に実現されるものと予想されている。

4.1 可逆ポンプ水車の容量

ポンプ水車では、水車容量とポンプ容量をまったく自由にえらぶことはできないので、発電容量を決めれば揚水容量もある程度制限を受けることとなる。ランナの羽根角度を可動とした斜流形ポンプ水車では、ある程度両者の容量は自由にえらびうるが、機械を経済的に使用するにはやはりある制限を受けることとなる。

いまフランシス形について、水車とポンプの容量をいかにえらべば合理的であるかを機械の経済性から考察してみると、変落差、変揚程の場合の発電電動機の容量比率および水車ポンプの流量比率の関係は第3図のとおりである。

4.2 ポンプ水車の二速度運転

揚水発電所に可逆ポンプ水車を採用する場合、単一速度方式をとるか、二速度方式をえらぶべきかはきわめて重要な問題であり、極数変換発電電動機の技術的進歩と、ポンプ水車特性の向上が、その重要要素ではあるが、それにもまして、発電所の運転条件に従い大きく左右されることとなる。

一般に二速度方式を考慮すべき条件をあげると下記のような場合であろう。

- (1) 落差揚程の変動範囲が非常に大きい場合
- (2) 低落差低揚程側の性能も重視される場合
- (3) ポンプ低揚程時の押込揚程に極端な制限を受ける場合
- (4) 発電運転に対し、揚水運転が比較的重視される場合

(5) 落差揚程が比較的高い場合

しかし、二速度運転の発電電動機は一速度に比し高価となるので、種々の条件を勘案して、その都度詳細な検討をする必要となる。

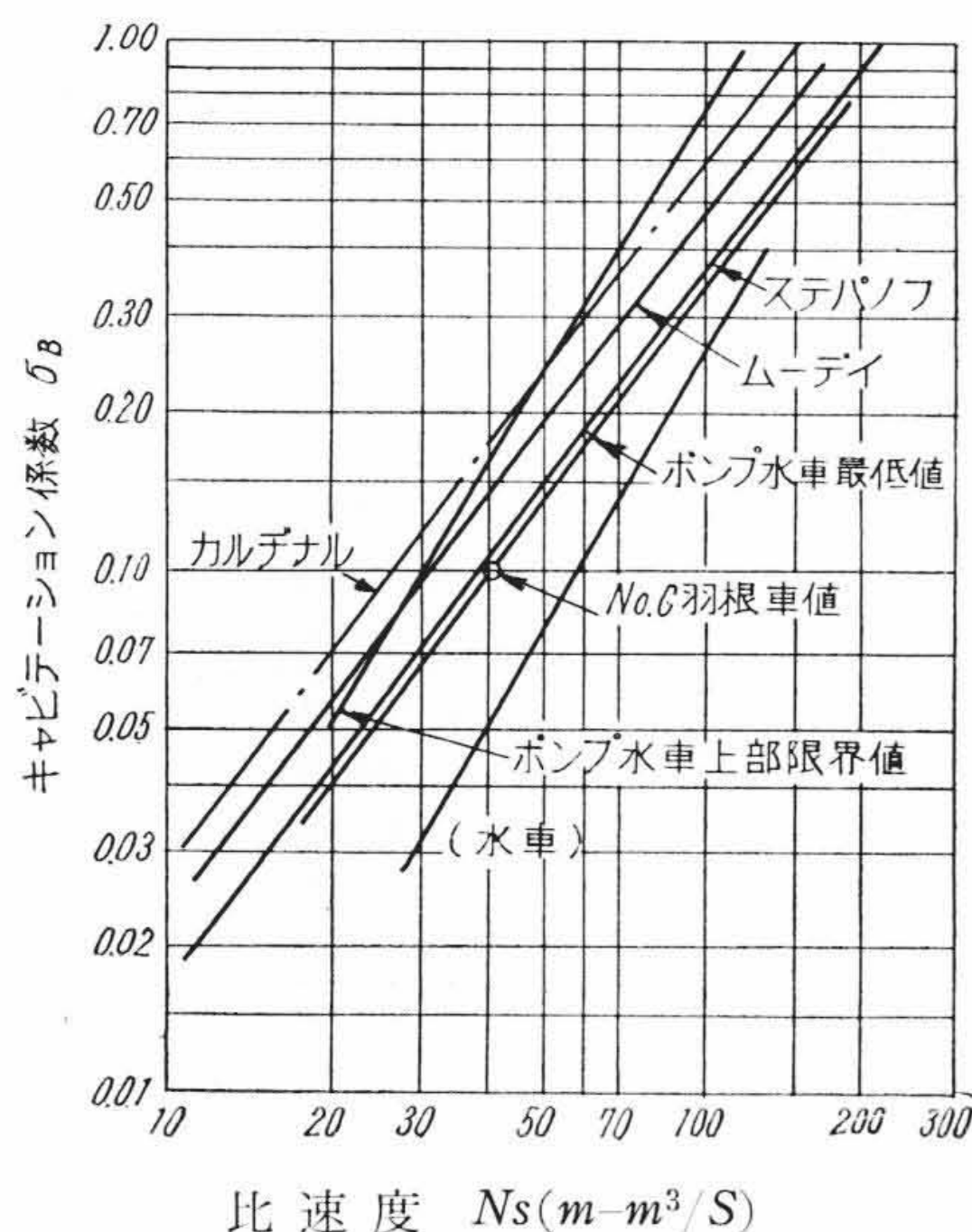
4.3 フランシス形ポンプ水車のキャビテーション特性

ポンプ水車の場合、キャビテーションによる効率の低下は同一水量に対してポンプ運転のほうがより条件が悪く、下流側貯水池水位に対するポンプ水車の据付け位置はポンプのキャビテーション性能によって定められる。通常のポンプに対する比速度とキャビテーション係数の関係は第4図のとおりである。ポンプ水車に対しては、Me. Cormak が第4図点線のように σ の限界値を与えているが、ポンプ水車の場合でも通常のポンプのキャビテーション性能と大差ないとみるべきであろう。ただポンプ水車の場合、最も注意すべきことは、ポンプ水車が揚水発電所に用いられる以上、上部および下部貯水池の水位は大きく変化し、揚程が変化するとともに、揚水量がかなり広範囲にわたり変化することである。キャビテーション性能は流量の変化により著しく左右されることは水車でもポンプでも同様であるが、ポンプの場合流量の増加によるキャビテーションの増大は特に著しく、ポンプの最高効率を示すときの流量を100%として流量変化による限界 σ の変化状況の例をあげると第5図のとおりである。すなわちポンプ水車の場合ほどの程度の揚程変動範囲で運転するかが、ポンプ水車の据付け位置を決めるときの重要要素となる。

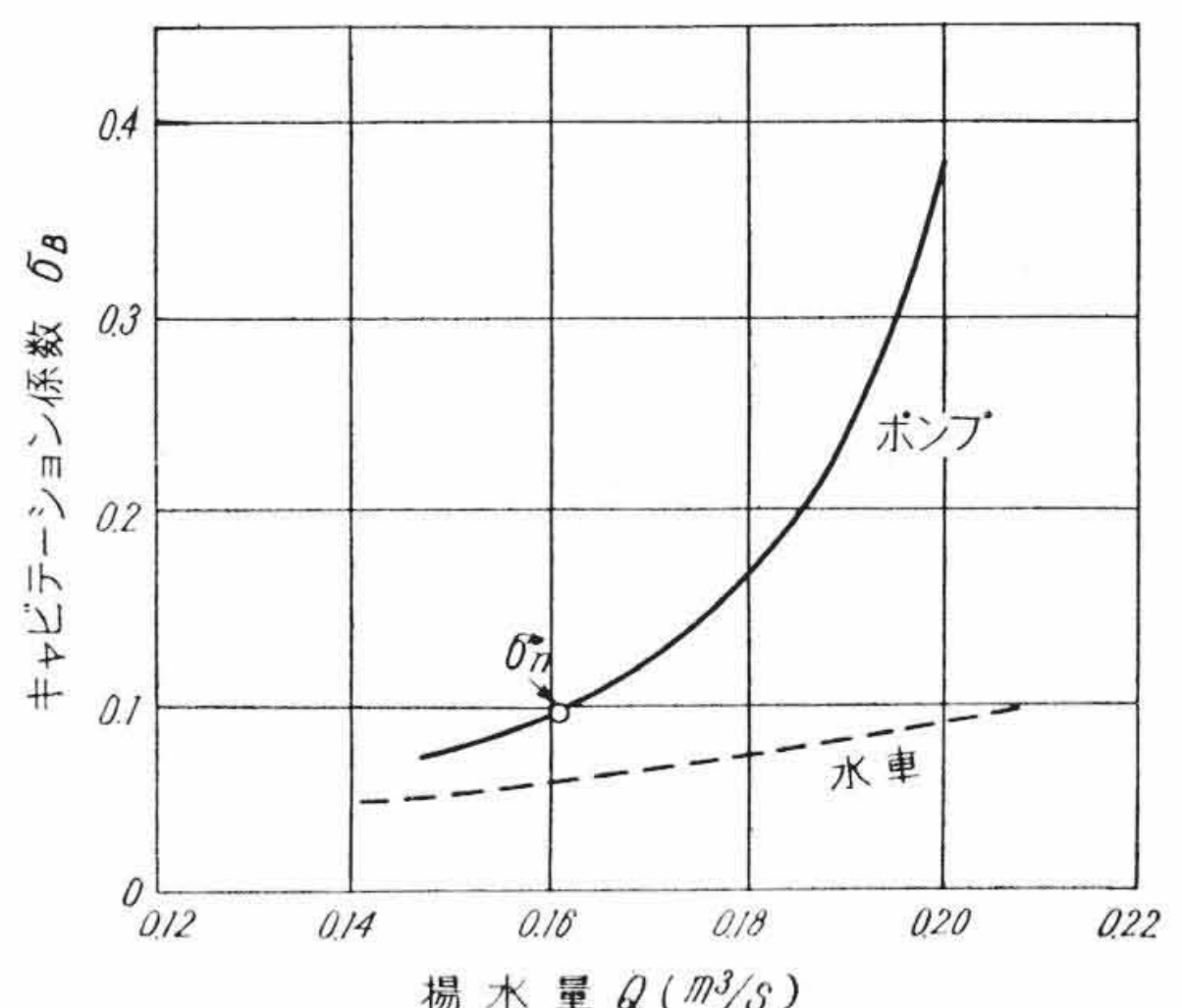
水車の場合キャビテーションがある程度発生すれば効率および出力が減少するが、ポンプの場合は効率の低下と同時に揚程および揚水量の減少となってあらわれ、与えられた押込み揚程に対し揚水量の限界があり、揚程がいくら下がってもこの限界揚水量より多くの流量は揚げ得ない。押込み揚程をかえた場合の揚程曲線の変化の一例を示すと第6図のようである。効率の変化も大体第6図の揚程曲線と同様の傾向をたどるが、実際運転に際して、効率1%低下程度であれば、運転にさしつかえるほどのキャビテーションによる振動は発生しないとされている。しかしかかる推定も実物機で押込み揚程を変化させて、効率あるいは流量の変化を測定することはなかなか困難なことであり、実績にもとづく裏付けが必要である。

5. 斜流形ポンプ水車について

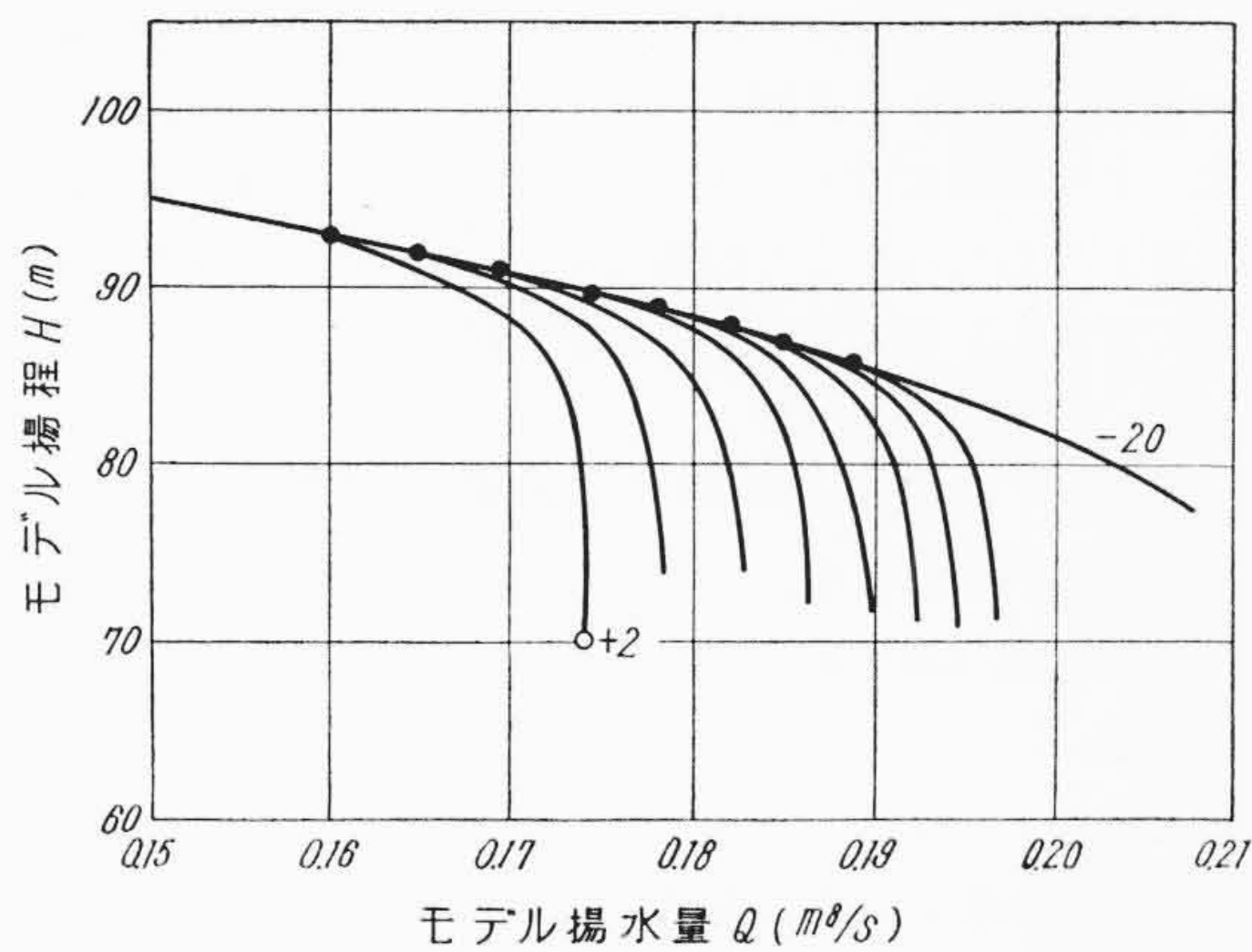
斜流形ポンプ水車はフランシス形と軸流形との中間的形式であり、その輻流性がポンプ水車として利用されるゆえんである。しかし斜流形はポンプ水車としてのみならず純粹の水車としても、軸流水車より高落差の範囲に適用され、最近著しくその研究が進められている。斜流形は当初 Sir Adam Beck 発電所にポンプ



第4図 ポンプの比速度とキャビテーション係数



第5図 ポンプ揚水量とキャビテーション係数



試験回転数 3,000 rpm, H , Q : それぞれモデルの揚程, 水量を示す, H_s はモデル吸込み揚程 (+), 押込み揚程 (-) を示す。

第6図 ポンプのキャビテーション特性

水車として用いられたが、わが国でも最近各所で採用されつつある。

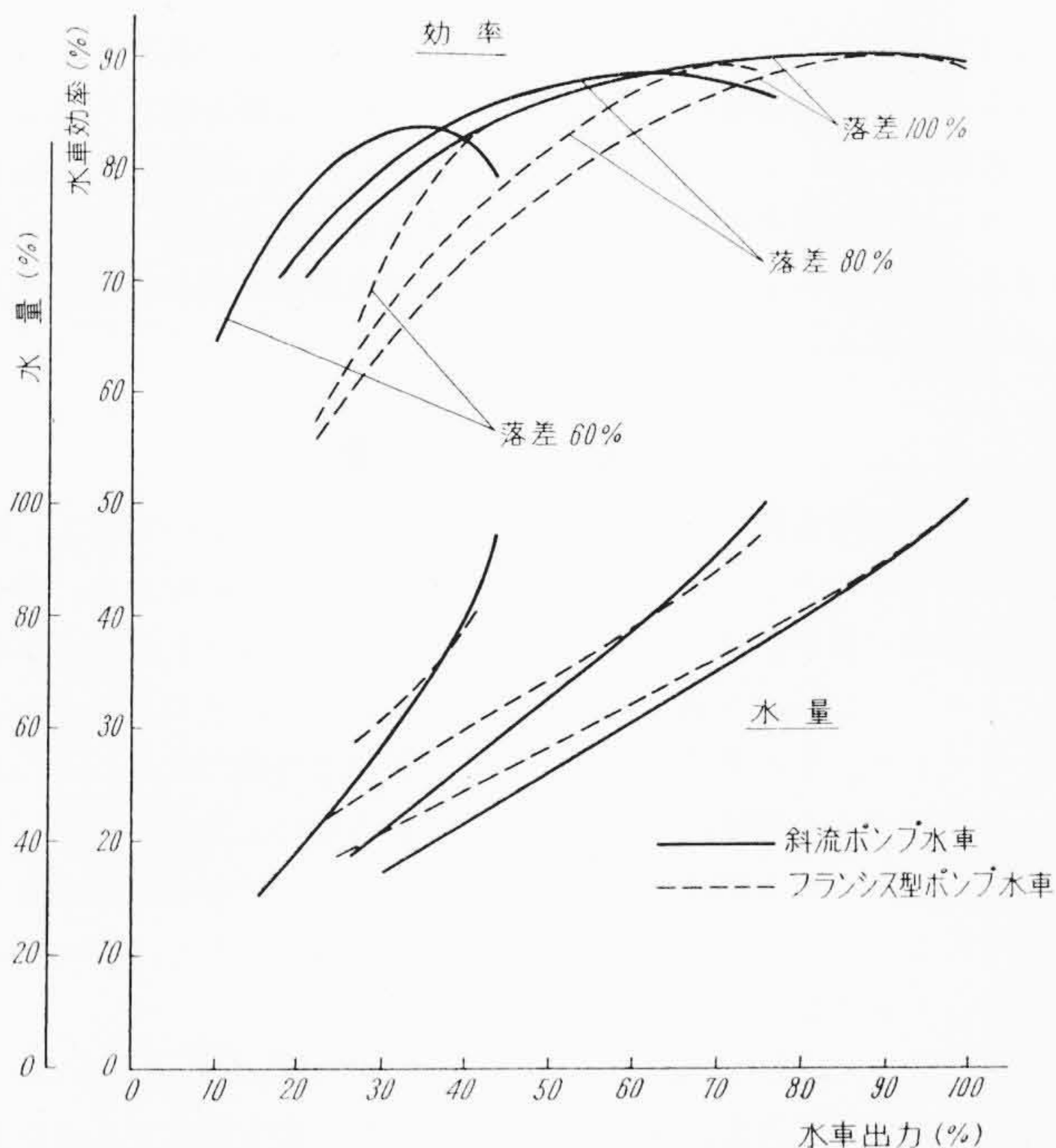
5.1 斜流ポンプ水車の特性

斜流形の特長はランナ羽根を可動にできることで、変落差、変流量の効率特性がすぐれていることである。ポンプの場合出しうる揚程は回転数を一定とすればランナ外径によって大きく左右されるが斜流の場合ランナ羽根角度を大きくすることにより、ランナ羽根外径が大となり、かなりの揚程まで出しうるし、また揚程が一定の場合、羽根角度を適当にえらぶことにより、揚水量を調節することが可能である。第7図は斜流形ポンプ水車の特性の一例を示す。

5.2 斜流形ポンプ水車の特長および問題点

上記したとおり特性上落差流量の広範囲の変動にわたり、よい特性を示すほかポンプ水車として最も問題となるポンプ起動にあたって、水中起動が容易にできる特長を有する。したがって揚水、発電の切替えも簡単で、短時間に行いうる。

一方斜流形の最も問題点とされるところは、主軸ののびちぢみ、あるいは推力軸受の調節のいかんが直接ランナ羽根外周間隙を左右するので、ランナの据付け位置がきわめて重要である。外周間隙にある程度の余裕をとっておけば固定側にふれる心配はないが、あま



第7図(a) 斜流ポンプ水車の水車特性例

り大きくとり過ぎると、効率低下をきたすので、設計上あるいは据付け上細心の注意を要する。

このほか斜流のランナ羽根を動作せしめるため、軸流形と異なり一段複雑な機構を必要とするが、種々研究の結果確実な操作機構が製作可能となり、機構上の問題もまったく解決されている。

このように斜流形はその非常にすぐれた特性の反面、機構が複雑となるが、技術の進歩にともないこの形式のポンプ水車は揚水発電所の開発に大きく寄与することとなる。

6. 揚水発電所用機特性の選定について

一般の発電所における水車特性の選定に当り、落差あるいは流量の変化に対していかなる特性の水車を用いれば最もよい総合効率が得られるかについて、平均荷重効率が計算されるが、揚水発電所、特にポンプ水車を用いる場合、水車特性と、ポンプ特性をいかにかね合わせるかはきわめて重要な問題である。したがって平均荷重効率に対する考え方も、発電と揚水の両者について総合的な計算式が必要となる。

揚水発電所の効果はその発電所で年間何 kWh の電力量を発生できるかということにより判定されるが、揚水に用いる消費電力量に対する考え方によって種々の計算方式が考えられる。

いま、年間の発生電力量を W とすれば揚水発電所の発生電力量は

$$W = W_1 + W_2 \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここで

W_1 = 自流分による発生電力量

W_2 = 揚水分による発生電力量

もし、揚水のために消費した電力量を W_3 としてこれを考慮に入れるとすれば

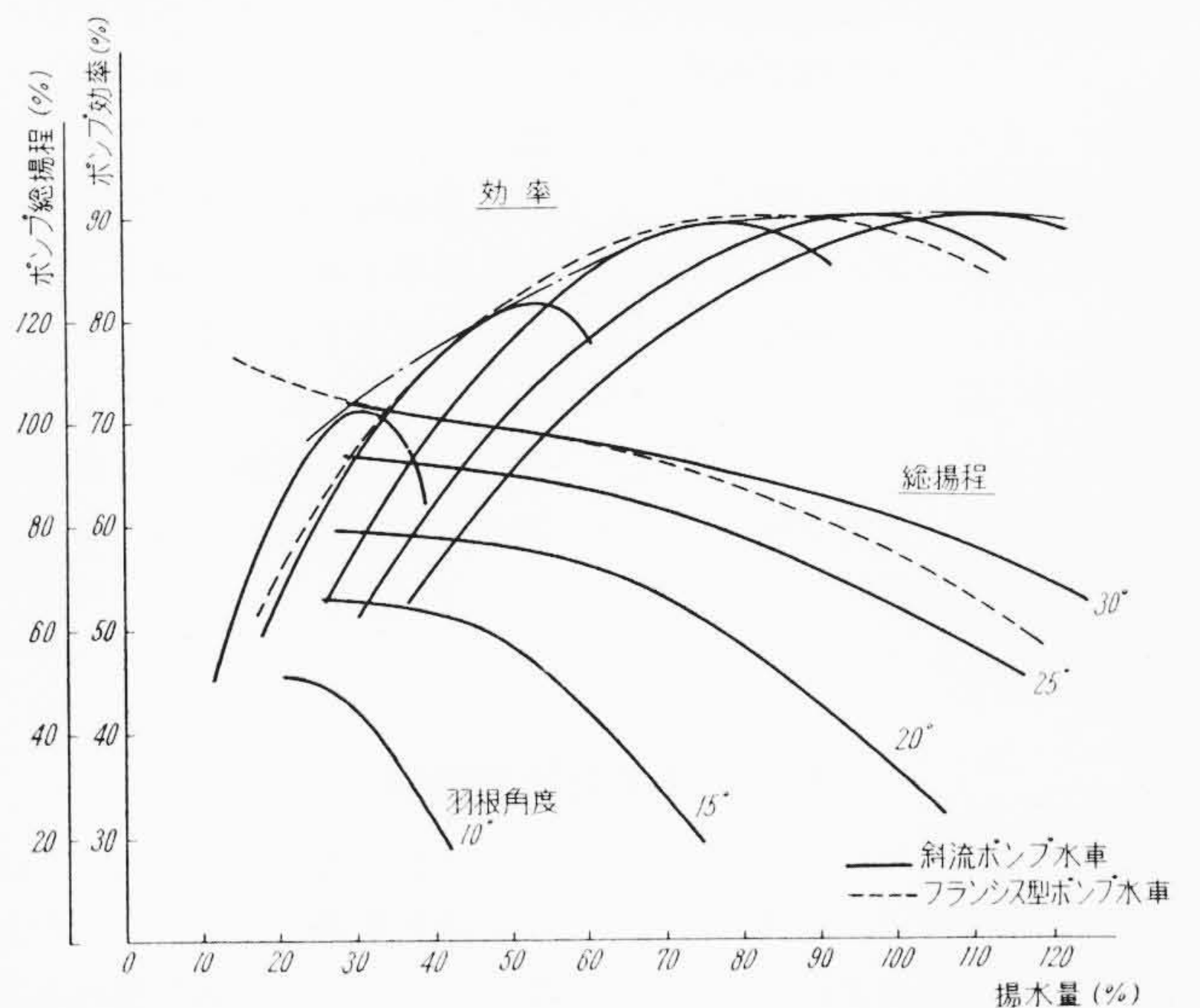
$W = W_1 + W_2 - W_3 \dots\dots\dots (2)$

となる。

揚水発電所では一般に上部、下部の貯水池の水位変動が大きいので水車あるいはポンプが各落差、揚程に応じていかなる特性をもつべきかに対する検討を行う場合、(2)式は次のとおりになる。

$$W = \sum_i K_1 (Q_{Ti} + Q_{Pi}) H_{Ti} \eta_{Ti} \eta_{Gi} - \sum_i K_2 \frac{Q_{Pi} H_{Pi}}{\eta_{Pi} \eta_{Mi}} \dots\dots (3)$$

ここで Q は流量、 H は落差あるいは揚程、 η は効率を示し、サフィックスの T, P, G, M はそれぞれ水車、ポンプ、発電機、電動機運転を示す。 K_1 , K_2 は kW に換算するための常数であるが、 W を金額換算する場合にはピーク時の電力料と、オフピーク時の電力料には当然差があるはずであるから K_1 , K_2 に適当な比率を与えることと



第7図(b) 斜流ポンプ水車のポンプ特性例

なろう。または Q_T は自流により発電に利用しうる水量であるが、 Q_P は揚水時間を長くすればそれだけ大きくなるが、揚水に利用しうる電力量あるいは揚水可能の運転時間などが規定されれば、ポンプ特性により定まる。

(3) 式から明らかとなり、 W を大にするには、水車、ポンプ、発電機、電動機などの効率をよくせねばならぬことはもちろんであるが、揚水に消費する電力料が安い場合は Q_P を大にすることも大いに効果がある。また、揚水発電所の条件はそれぞれに応じて複雑であるから、(3) 式のそれぞれの係数に応じて、いかなる特性の水車あるいはポンプがよいか、個々の発電所の運転条件に応じて慎重な検討が必要となる。

7. 発電電動機の容量および電圧の選定について

別置式の場合における発電機および電動機の容量は、それぞれ計画に見合う水車およびポンプの特性により一義的に決定されるが、直結式または兼用機の場合においては、発電機がそのまま電動機として使用されるため、それぞれの容量の協調を考え、使用条件に合致した最も経済的な容量を選定する必要がある。

発電時の発電機容量に比し、揚水時における所要電動機容量が小さい場合には、発電電動機寸法は発電機で決定され、電動機運転のために特に大きくなることはないが、逆に考えれば発電機容量内一杯に電動機容量を上げ、揚水量を増した使い方をしたほうが発電電動機として経済的である。発電および揚水時電圧一定とし、揚水時の力率が発電時の力率よりもよいとして、発電機容量 kVA 一杯の電動機出力 kW を求めると次式となる。

$$kW = kVA \times \eta_M \times p.f.M \dots\dots\dots (4)$$

η_M : 電動機効率

$p.f.M$: 電動機運転時の力率

一般に運転される力率は発電機の場合 0.85~0.9 おくれ、電動機の場合 0.95~1.0 進みである。機械の大きさはその発生熱量でほぼ規定されるから、固定子側は電機子抵抗損、鉄損などを、回転子側は界磁抵抗損を発電機、電動機の場合にそれぞれ合わせるように容量を決定すれば経済的であるが、使用される力率が異なるためこれは望み得ない。前記の力率の範囲で固定子側、回転子側のそれぞれのコストと発生熱量のバランスを考え経済的な容量の比を求めてみると電動機容量 kW の値が発電機出力 kVA の値の 1.05~1.15 程度となる。もちろんこの場合発電機出力のみで済まる寸法より大きくなることはいうまでもない。

採用すべき力率についても、発電運転時の場合単に負荷の力率のみで決定せずに、電動機容量との協調の点からも一考すべきではなかろうか。また電動機運転時の力率についても、系統の無効電力を勘案してきめるべきであることは当然である。

発電電動機の電圧の選定については、発電時と揚水時とでは電力の需給の関係が逆となるため、系統および変圧器の電圧降下、揚水が行われるときの余剰電力時の電圧構成を勘案する必要があるが、また同時に電動機起動時における起動 kVA による電圧降下も考慮しておくべきであろう。二速度機の場合には極数変換による磁束利用率の関係で、速度切替えと同時に端子電圧も切替えたほうが発電電動機として経済的となる場合もあり、使用状態と合わせて決定して行くべきである。

8. 二速度発電電動機

揚水発電所において二速度機を使用して総合効率を高めることはすでに公知であり、二速度をうるための極数変換の方法についても種々考案され発表されている。日立製作所においても試作機および大容量発電機に対して極数変換を行い、その特性をたしかめ、実用

化に対する態勢をととのえてきている。しかし、発電電動機としては、単一速度機に比して高価となりかつ多少なりとも効率の低下はいなめず、また極数切替えに伴う固定子および回転子巻線の切替装置が必要となるため、その採用に当っては発電所の運転条件、ポンプ水車の特性など合わせ考えて詳細な検討が必要である。

9. 揚水時における起動の問題

揚水時の起動が直結水車あるいは起動用水車にて行われる場合には問題ないが、兼用機の場合には起動の方法が問題となる。

9.1 起動の方法

起動の方法としては

- (1) 直結励磁機を直流電動機として使用する方法
- (2) 起動用直結電動機による方法
- (3) 発電電動機による方法
 - (i) 制動巻線による方法

全電圧印加または低電圧印加(定格周波数または低周波数)

- (ii) 同期起動法 などがある。

このうち (1), (2) の方法によるときは、主発電電動機には特に起動の義務が課せられないが、それぞれ専用の設備が必要となる。(3)~(ii) の方法は別置の励磁機を使用し、円滑に起動、同期を行うことができ、さらにいくつかの発電電動機を同時に起動できる利点をもっているが、隣接発電所があるとか、同一発電所内に 2 台以上設置され、起動に発電機が専用を使用しうる場合に限られる。最も簡単な方法は (3)~(i) の方法で揚水発電所において広く使用されている。この場合系統に与えるじょう乱が問題となると同時に、発電電動機としても加速エネルギーを吸収しうる強力な制動巻線を設置する必要がある。系統に与えるじょう乱を小さくするためには、発電電動機の発生トルクを大きくすると同時に所要起動トルクを減少させ、できるだけ低電圧を印加するか、分割巻線を使用すればよい。起動時における系統のじょう乱、電圧降下については起動方法選定に当ってあらかじめ十分検討しておくべきである。なお起動時間の短縮、加速、並列の容易のため負荷トルクの低減、はずみ車効果の縮小をはかることが望ましい。

9.2 所要起動トルクの低減

起動時における負荷トルクの低減のためにフランス形ポンプ水車では水面押下を行い、ランナを空転させ、斜流形ポンプ水車においてはランナーブレードを全閉し、水中トルク最小の状態にもってこることが、制動巻線による起動法をとる場合必要と考えられる。また起動時において推力軸受に圧油を送入したり、電磁石で回転子をつり上げて負荷の摩擦トルクを低減させることは起動 kVA を低減する上に非常に有効であり、今後も発電電動機必須の付属設備となると思われる。

10. 結 言

揚水発電所用主機の形式は多岐にわたるが、よりよい特性と、経済性の向上をめざして、日進月歩の技術的進歩がみられる。従来 200 m 以上の落差に対してはポンプと水車を別に設けた直結式が常識とされていたが、可逆ポンプ水車がより高落差にまで適用されようとしており、また多段のポンプ水車の研究も各所でなされつつあり、今後可逆式の領域が著しくひろめられるものと予想される。また可逆機についても斜流形ポンプ水車がフランス形の領域にまで発展せんとしており、現在の常識は数年先にはまったく、くつがえされることも予想されるほどである。

しかしながら、揚水発電所の計画に当っては各開発地点において、考慮すべき条件が多いため、それぞれに最も適したものを選ぶため、使用者側と製作者側の密接な協力が必要と思われる。