

インデックステスト法の理論と実際(その2)

Theory and Practice of Index Test Method (Part 2)

山崎卓爾* 手島友亮*

内容梗概

最近 Index Test 法と称せられる運営上の試験法が普及されるにおよんで、従来からさげばれていた水車の経済的運転法がようやく実現に近づいてき、Index Test 法への各方面の関心はきわめて深く、その進歩もめざましいものがある。筆者らはさきに本文の第1編⁽¹⁾として Index Test 法と総称せられる発電所の運営合理化の手段としての一連の試験法について、その全般にわたる一般事項についてのべてきたが、今回 Index Test 法のうちで我国に最も普及されている方法の1つである Peck 法について、その基本的概念、模型水車による測圧孔の性質の研究、測圧孔の設計についての方針と取付法および異常結果に対する吟味などについてすこしくわしくのべることにする。最後に各種の実物水車による流量計取付けのための試験や運営上の現地試験についての二、三の実例を挙げ、さらに実物試験と模型試験との両結果を一例について照合してみると Index Test 法が運営上の有力な手段であることがよくうなづけることを示した。

第2篇 Peck 法⁽²⁾

〔I〕 Peck 法の基本概念

流水中に物体があれば、その物体の形状に応じて物体周囲の流水状態がことなり、流れの方向に面した部分はその部分の静圧に加うるに流動速度水頭を総合した圧力を受け、流水に沿う方向の面では静圧のみを感ずることになり、もし正面方向と側面方向の2点に測圧孔をもうけてマンメータに連ねれば、マンメータの指示水頭差は速度水頭に相応した値を示すものとなる。

水車内の固定羽根はある程度流線型に類似した形をしており、その頭部と側面部に上記のような測圧孔をもうければ流速すなわち流量と一義的に関連した値がえられるはずで、これに類した方法を提案者の名を冠して Peck 法と呼んでいる。

このような固定羽根の頭部と側面部の測圧孔はあたかも流線型ピトー管と同様な流動状況にあるものであり、この意味から Peck 法は流線型ピトー管となんらことなるところがない。ピトー管に関してはすでに古い研究の歴史があり、また流線型ピトー管としても我国でも古くは生源寺⁽³⁾、兼重両教授⁽⁴⁾の研究があり、近くは東北大学沼知博士の精密な理論的ならびに実験的研究⁽⁵⁾が行われており、それ自体としてはなんら新しいものではないが、固定羽根の形状は水車外函内に設置せられているところから水の流動状態はかならずしも一様ではなく、したがって外函内の流れ、特に固定羽根周辺の水の流動状態をあきらかにしないと Peck 法としての優秀性は具現されない。

いま1個の翼型を考え、その頭部の表面上の点と側面部の点との間に Bernoulli の定理をあてはめてみると、

* 日立製作所日立研究所

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \zeta \frac{v_2^2}{2g}$$

$\zeta \frac{v_2^2}{2g}$ は1~2点間の損失水頭を表わす。

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{(1 + \zeta)v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

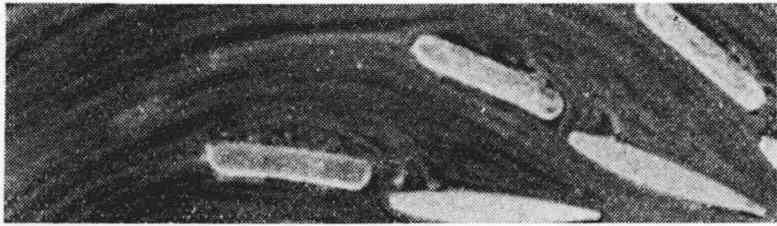
一般のピトー管の場合には測定の場合では速度は不変である場合が多いが、固定羽根は外函内の加速構造になっているから必ずしも一様とはいえない。簡単のために v_1 を v_2 で表わし、その場合の係数を k とし、圧力差を h とすれば

$$h = \frac{(1 + \zeta - \xi)v_2^2}{2g} = k \frac{v_2^2}{2g}$$

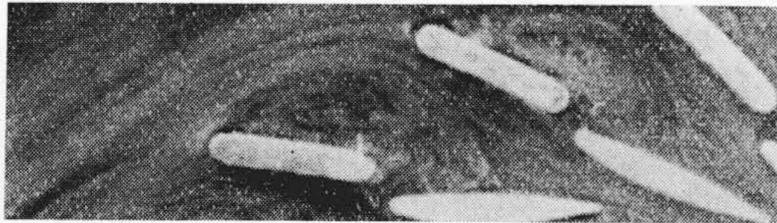
となる。これはピトー管と同様な考えかたであり、この際の k はピトー管係数に相当するが、その意味は上述のように一般のピトー管の場合と多少ことなるわけである。

Index Test としてはこの k の値が流れの方向のある範囲内および流れの状況によりあまり差を示さず一定であるような性質が望ましく、とりもなおさず、流線型ピトー管の状態と同様なものとなるわけである。

一方固定羽根周辺の流動状態は狭まり流れで、かなり整流されてはいるが、詳細に検討すれば第1図にみられるように決して簡単な流れをしていない。また固定羽根は一種の翼型形状をなしているから翼型形状のピトー管とみなせるが、この場合普通のL字型標準ピトー管や円筒型ピトー管のように格一した特性を求めるのは容易ではない。こゝに固定羽根の形状が測圧孔選定の際の第1の重要素因である。また外函の形状も流動状態を左右する素因であるからあわせて考えねばならない。以下にこれに寄与する一模型試験法についてのべよう。



(a) 比較的整流された状態



(b) 乱れた流動状態



(c) はなはだしく乱れた状態

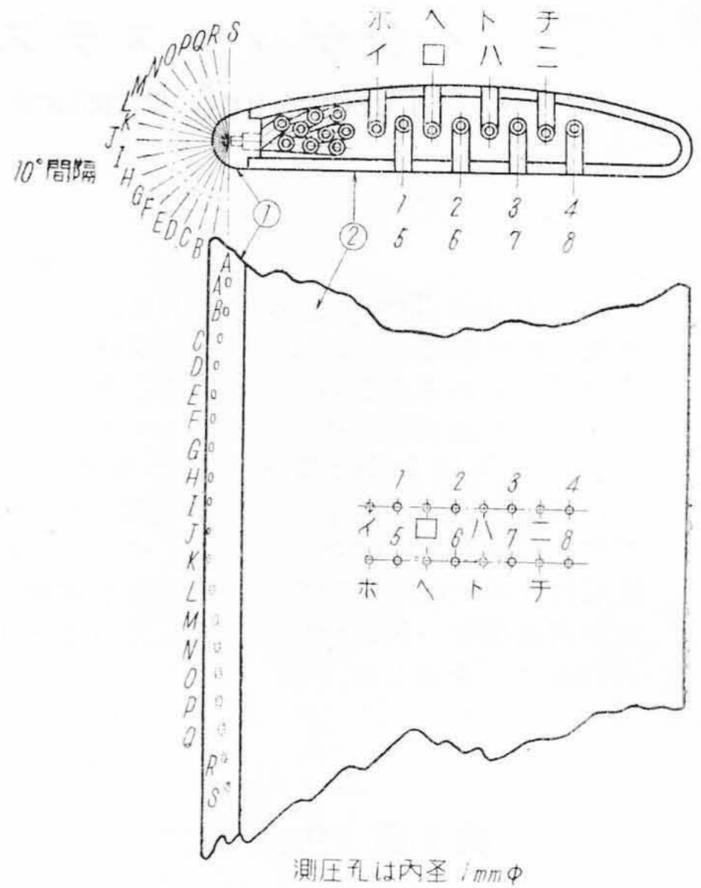
第1図 固定羽根周辺の種々流動状態
Fig. 1. Various Flow Conditions Around the Stay Vane

〔II〕 固定羽根表面の水圧分布状態

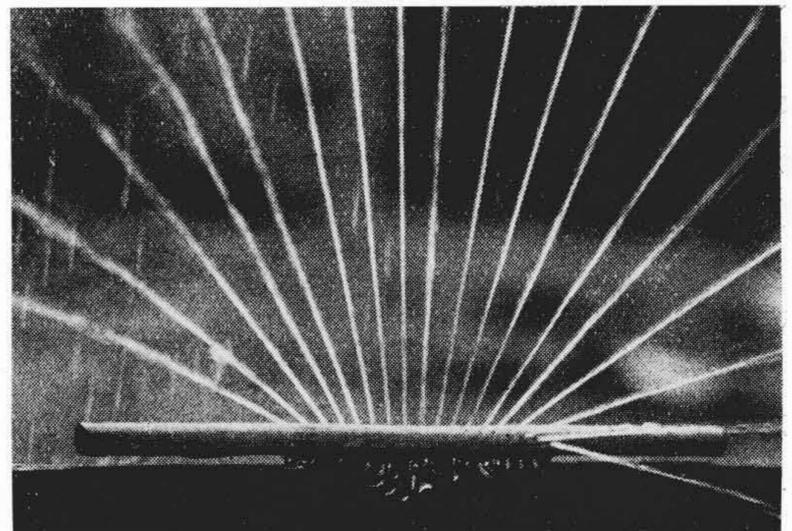
翼型表面の圧力分布状態はすでに古くから回流水槽や風洞などを使用して、単独翼型などについて詳細な研究が豊富に存在し、性能に關与する諸要素についてもあきらかにされている。しかし水車の固定羽根は元來、水の流動状態との關連よりも水力機械としての強度の面から見た外函の強度保持の面に重要性を置くものであるから、理想的な流線形状を完全にそなえることは条件上困難な面なきにしもあらず、また実際上は回転部分とことなりその水流断面も小さいために特に嚴密な流線形状を検討していない場合もある。さらに固定羽根は外函内に取付けられており、かつ直後の下流に案内羽根、羽根車が位置しているため一様な場とは幾分ことなつた流動状態に曝されているため従來の翼型試験結果をそのままあてはめては結果を推定することがむずかしい。したがつて最終的には模型水車について實際的な研究を行わなければならない。

つぎに筆者らの行つた一模型試験結果についてのべよう。いまこゝにのべる一例は模型カプラン水車を持ち、その渦巻型外函の全周にわたり6枚の固定羽根を選び、それらを断面形状のきわめて正しい真鍮製の固定羽根とし、その1枚1枚に35個の測圧孔を高い精度で穿けたものを使用し、合計210個の測圧孔より水圧を取りだし、詳細に水圧分布を測定した。

この圧力分布測定のため特に製作した断面形状のきわ



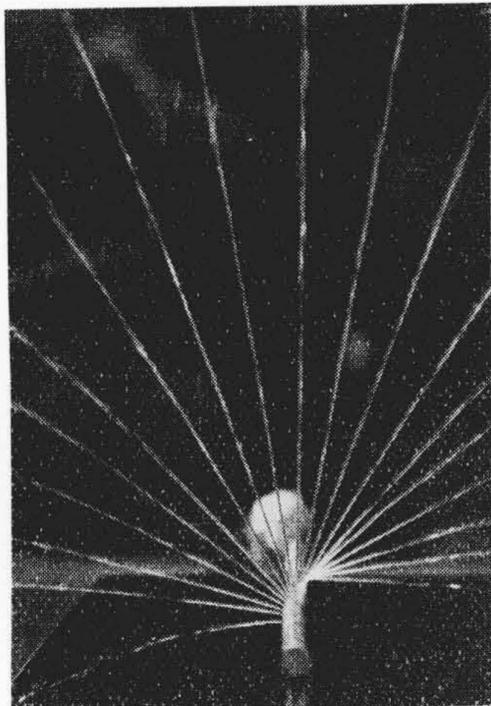
第2図 圧力分布測定用固定羽根の構造
Fig. 2. Structure of Stay Vane for Pressure Distribution Measurement



第3図 固定羽根頭部の漏洩試験の様相 (その1)
Fig. 3. Photograph of Jet Stream from Taps on Stay Vane Nose (Part 1)

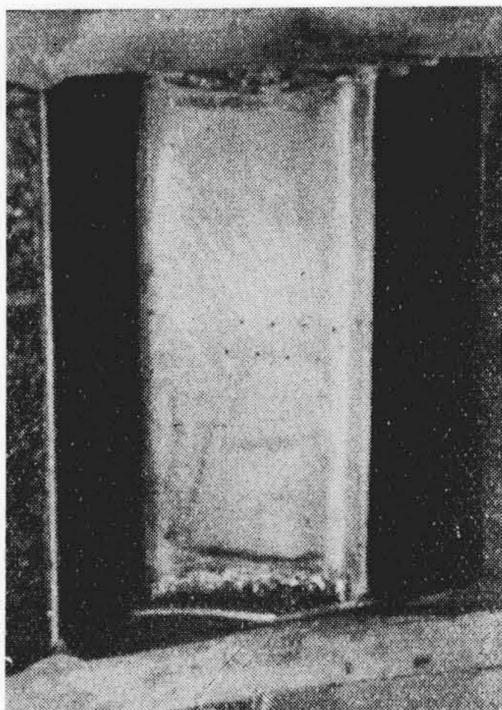
めて正しい固定羽根は第2図に示すようにその頭部①と後部②とに分割し、①は真鍮丸棒より削り出して成形し、カプラン水車の羽根車の羽根形状を検査すると同様程度にゲージ合せによつて、その形状の正しいことを確認し、その前縁180°の範囲に10°間隔で19個の1mmφの測圧孔を20'以内の正確度で穿孔し、各測圧孔より外径3mmφ、内径1mmφの銅管をもちい外函の外に取り出すようにした。この頭部①ができ上り漏洩検査のための水噴射試験を行つた様相を第3図および第4図に示す。

固定羽根の後部②は2mmの厚さの真鍮板を曲げて成形し翼型ゲージに合せて仕上げ、頭部①と同様にその形状の正しいことを確かめ、羽根の腹側面と背側面にそれ



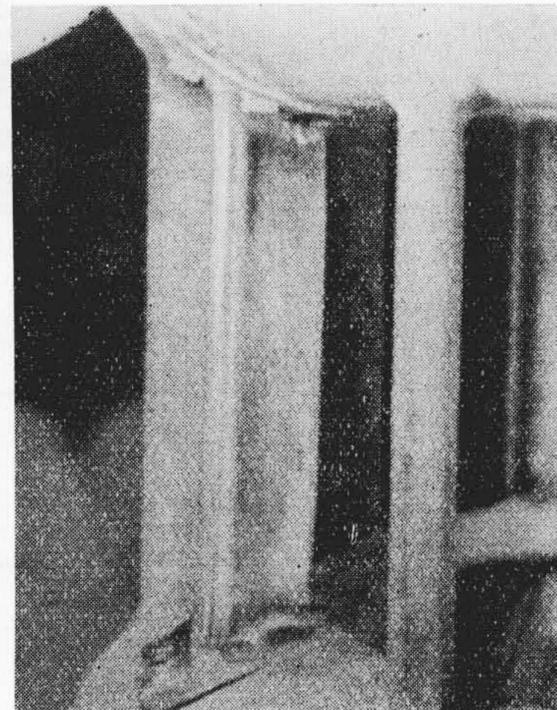
第4図 固定羽根頭部の漏洩試験の模様(その2)

Fig. 4. Photograph of Jet Stream from Taps on Stay Vane Nose (Part 2)



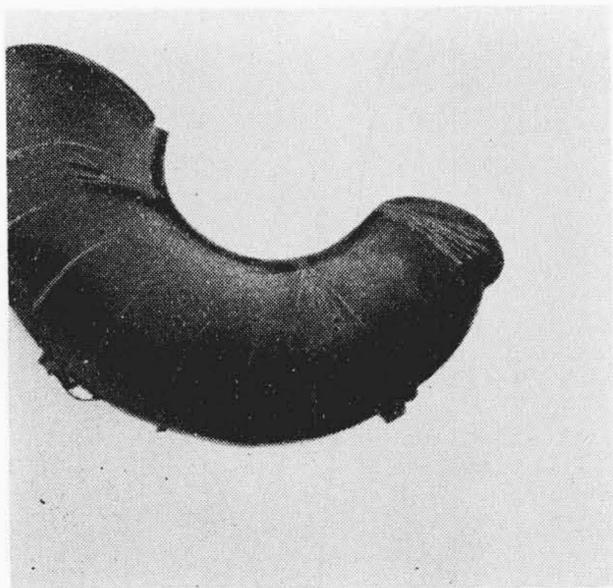
第5図 試験用固定羽根の組立模様

Fig. 5. Photograph of Assembly of Test Stay Vane



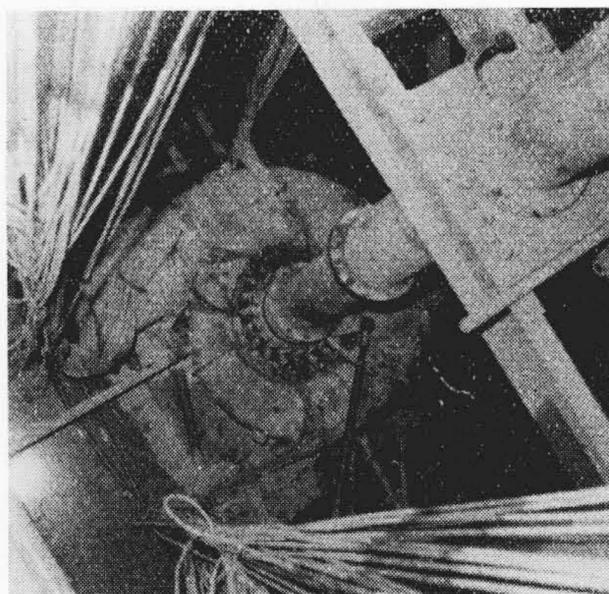
第6図 試験用固定羽根の組立模様

Fig. 6. Photograph of Assembly of Test Stay Vane



第7図 試験用固定羽根をとりつけた渦巻外函の外観

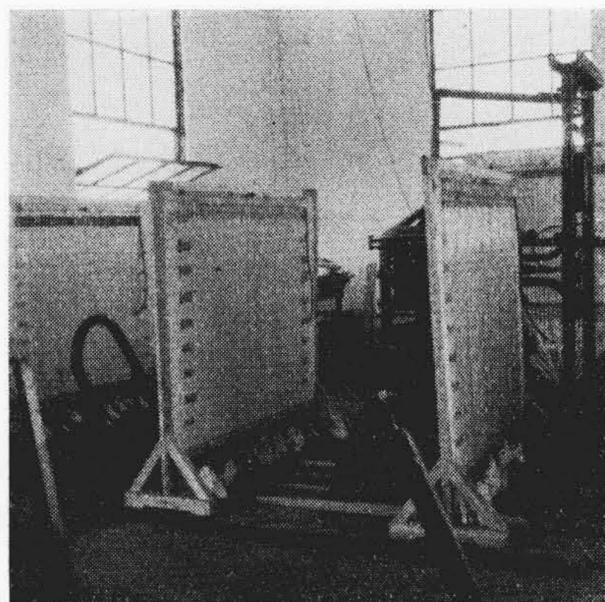
Fig. 7. Outside View of Spiral Casing with Test Stay Vanes



第8図 試験装置の外観

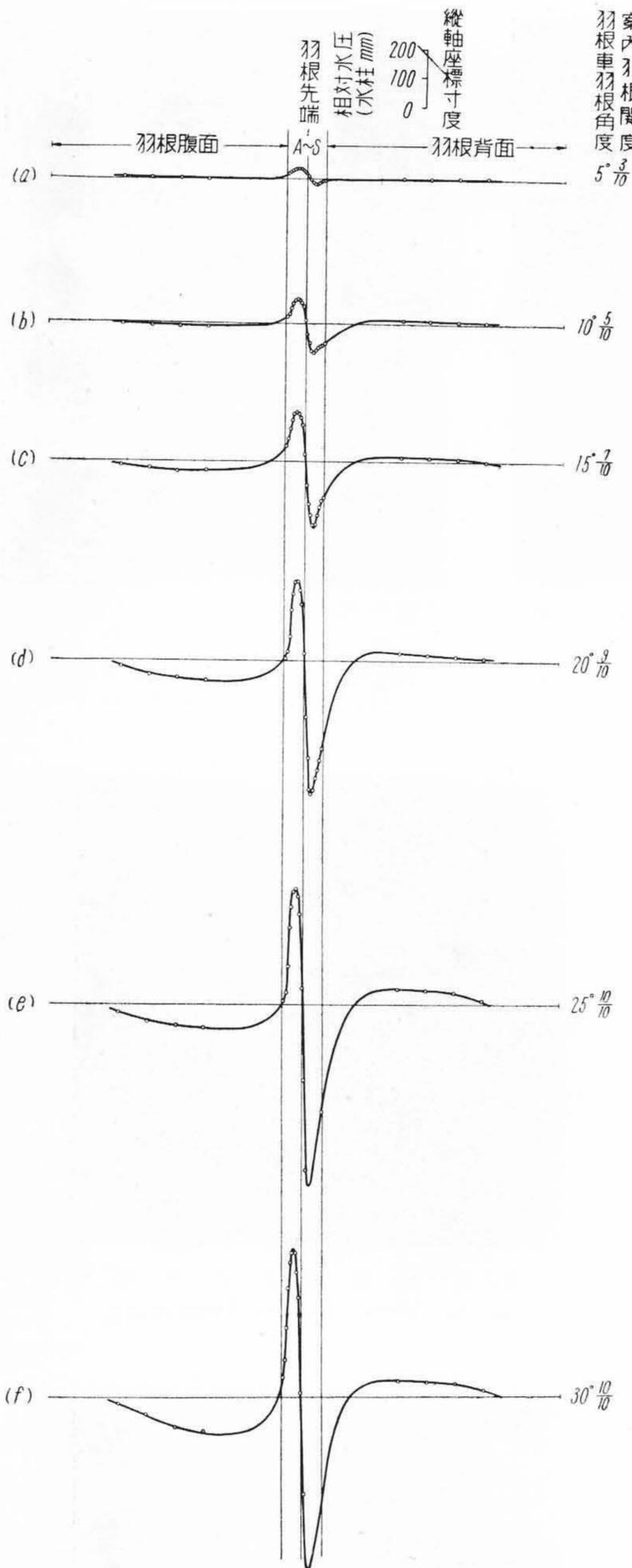
Fig. 8. View of Test Apparatus

それ8個ずつ第2図に示す位置に1mmφの測圧孔をあけ①と同様にその水圧を外部にとり出してある。固定羽根の頭部①と後部②は銀蠟でつけ、再び翼型のゲージに合わせて修正したのち、外函にとりつけた。その模様は第5図および第6図に示す。なお羽根の取付角度の正確を期するため組立用のゲージを作り、製作図と正しく合致した位置にとりつけて、各羽根ごとのピッチを全周にわたり正しく等分する。第7図は羽根取付後の外観である。この図でわかるように各固定羽根には35本の圧力取出管がついているが、これを2分して固定羽根の上と下から外函の外に取り出してある。この模型縦軸水車を試験装置に据付けると第8図のごとくで、測定用の連通管式マノメータ部は第9図のような長大なものとなる。



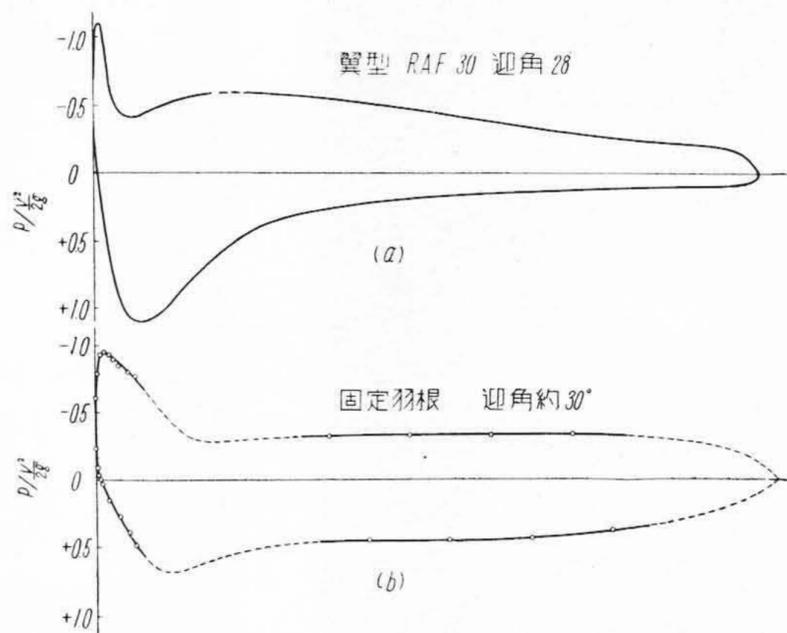
第9図 マノメータ群

Fig. 9. Manometer Group

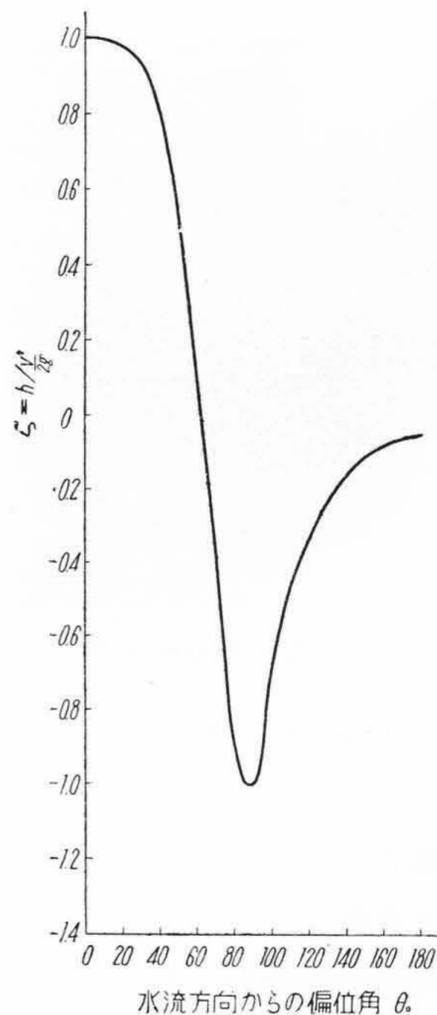


第10図 固定羽根の圧力分布の一例
Fig. 10. One Example of Pressure Distribution on Stay Vane

以上のようにして据付けられた模型水車は効率試験の場合と同様に実物水車の正規回転数に相当する模型水車の単位落差当りの回転数 $N_{1m} (= \frac{N_0}{\sqrt{H_0}} \times \frac{D}{d})$, N_0 = 実物水車の正規回転数, H_0 = 実物水車の有効落差, $\frac{D}{d}$ = 実物水車と模型水車の寸法比) に模型水車を調整し, 羽根車羽根角度は $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ につき, 案内

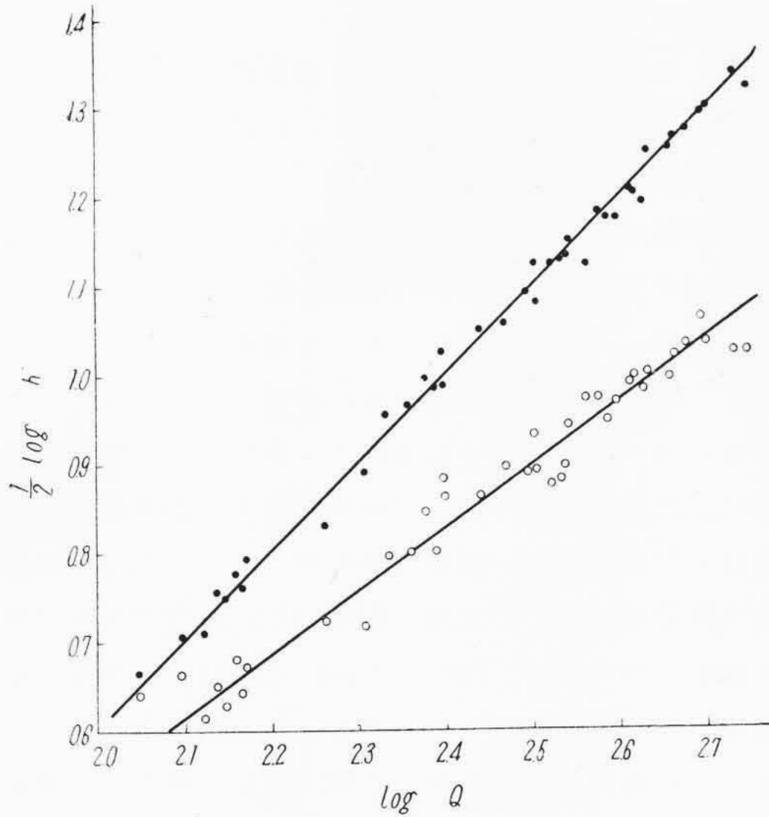


第11図 固定羽根と R.A.F. 30 翼型との圧力分布の比較
Fig. 11. Comparison of Pressure Distribution between Stay Vane and R.A.F. 30 Aerofoil



第12図 円筒型ピトー管の特性曲線
Fig. 12. Example of Characteristic Curve of Cylindrical Type Pitot Tube

羽根開度は全開開度の $\frac{1}{10}$ 開度ごとに, 固定羽根の水圧分布を測定した。その結果の一例をあげると第10図のようになる。この結果は前にのべたように測圧孔が固定羽根を直截する一断面になく各孔とも断面位置がことなっているため, この結果をもつて直ちに一断面の圧力分布を推定することはできない。しかし普通の翼型試験で求



第13図 Peck 法による模型カプラン水車の指示圧と流量との関係を示す1結果
Fig. 13. Test Results Showing Relationship between Pressure Difference and Discharge by Peck Method on Model Kaplan Turbine

められているこの固定羽根の形状と似た翼型についての圧力分布測定の結果⁽⁶⁾は第11図(a)のごとくで、第10図の(f)を第11図(a)と同一方法で整理すると第11図(b)のごとくなり、両者は非常によく類似した形の圧力分布を呈し、傾向としてはほゞ信ずべき根拠をあたえるものと考えてよいであろう。この結果よりつぎのようなことがいえる。

(1) 翼型頭部が丸く、かつ比較的大きいため第10図に示すように、高圧部の直後の水が剥離しはなはだしい低圧部を生じている。

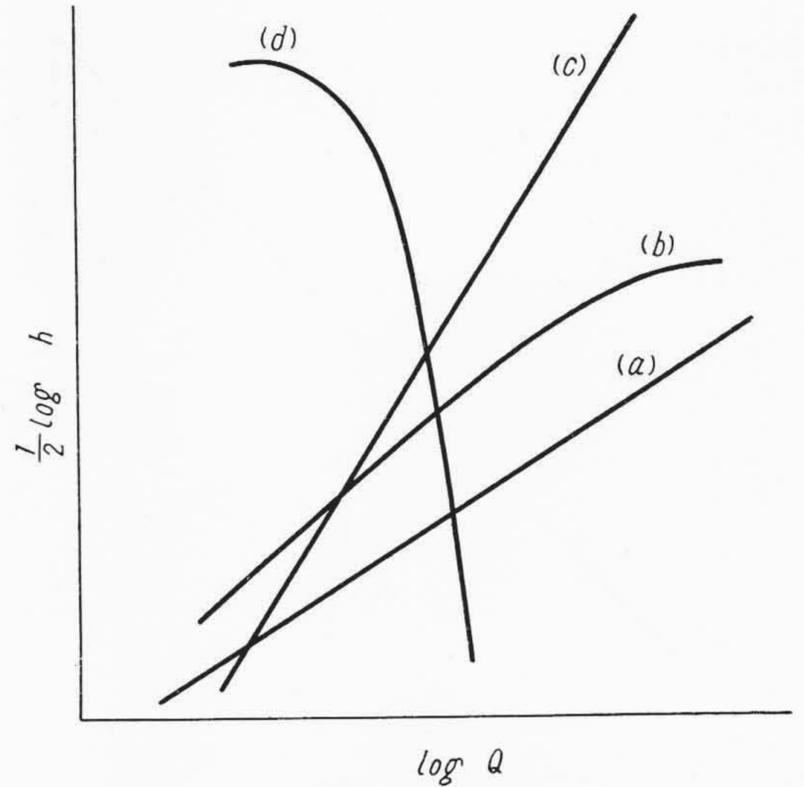
(2) このことはまた固定羽根が水流に対し、迎角が大きすぎる取付状態にあることを示している。

(3) 低圧部の腹側の測圧孔はわずかに下流に行くにしたがい低下するか、ほゞ一様な圧力分布状態であるが、背面の方はもつとはげしい。この傾向も迎角の調整によつてなおすことができる。

大略以上のことがいえる。

Index Test としてはあらゆる状態を通じて $h = k'v^2$ になるような k' なる常数がみつかれば、いかなる非合理的な組合せでもよいわけであるが、以上のような状態から、まず第一に固定羽根の流れの方向にたいする角度の修正を行うことによつて、その対策はずつと簡単になる。

なお動圧孔としては上記実験のような羽根表面の圧力分布を使用せず、羽根頭部に突起物をつけて、これを動圧孔とするようにすればもつと安定した高圧部水頭がえられるであろうが、実際の水車では発電所水に異物が混

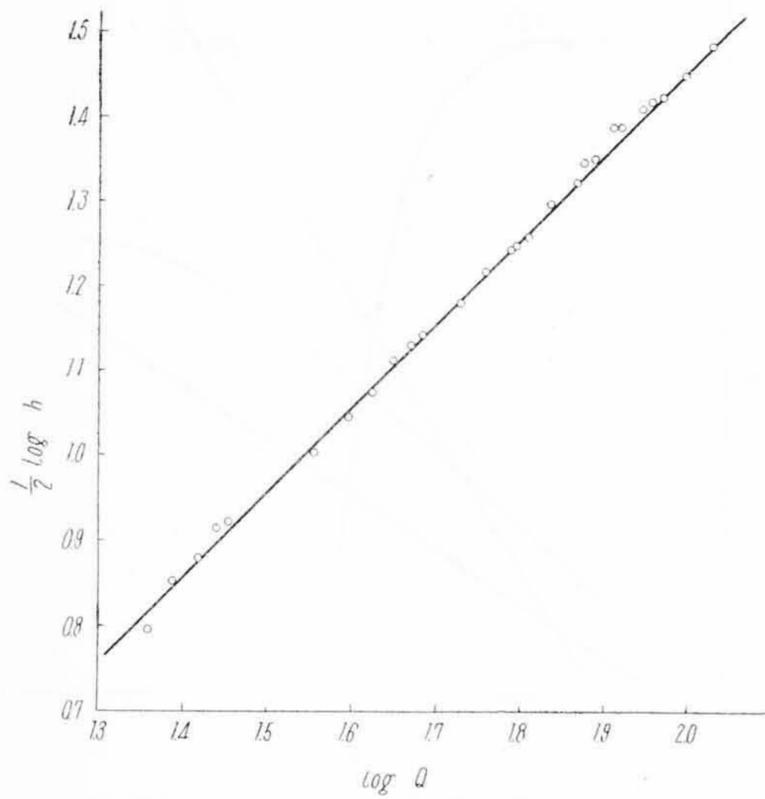


第14図 種々の $\log Q$ 対 $\frac{1}{2} \log h$ の関係曲線
Fig. 14. Various Relations Curves between $\log Q$ and $\frac{1}{2} \log h$

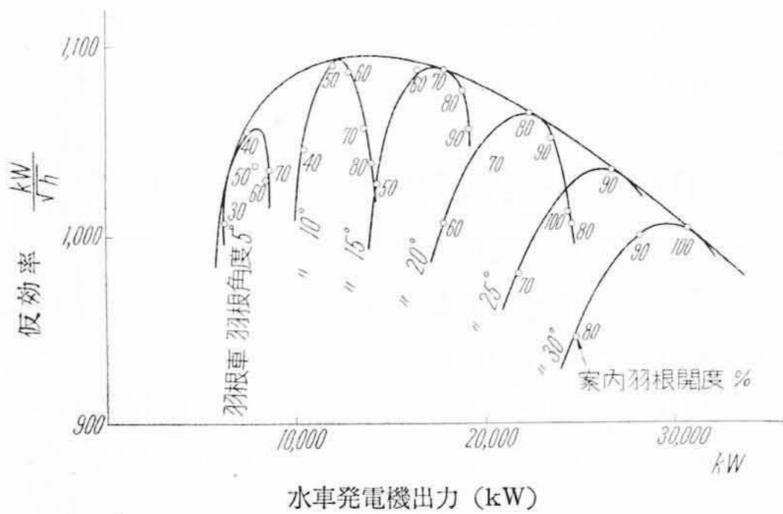
入して流れて来るのが常識であり、このような突起部をもうけた場合、損傷をこうむるおそれがあるからかならずしも実用にはならないであろう。

〔III〕 Peck 法測圧孔の設計について

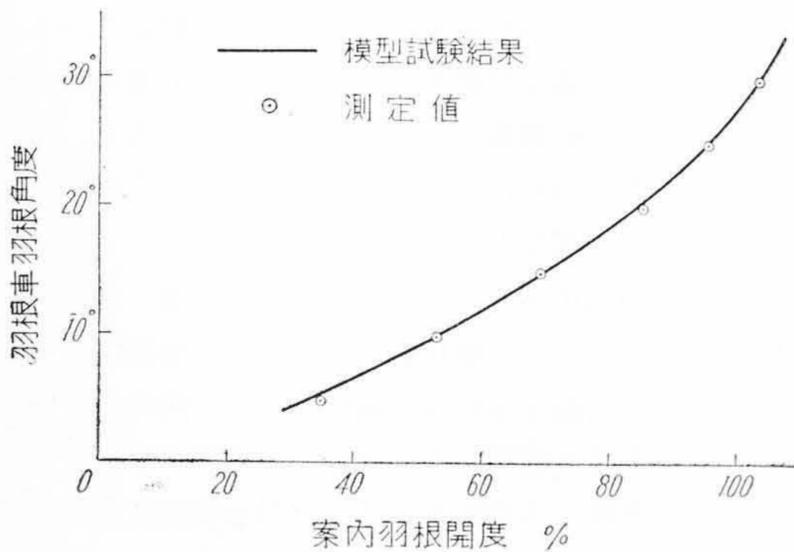
前節で固定羽根周辺の水圧分布測定の一实例を紹介したが、これら水圧分布曲線が求まれば、これをもとにして Peck 法の測圧孔の設計に当つての考え方についてべる。第10図に示すような水圧分布曲線は第12図に一例を示したような円筒型ピトー管の特性曲線⁽⁷⁾と同一性質のものである。第10図および第12図の最高圧を示すところは水流の方向と合致して全圧 (= 動圧 + 静圧) を示しているが、測圧孔がその位置から遠ざかるにつれしだいに低い圧力を示す。これは指示圧が測圧孔方向の分力しか示さなくなるため、円筒型ピトー管にあつては第12図のように偏位角 θ が大きくなると左右対称の山形曲線となりついに剥離を起し、指示は負圧となる。翼型断面をした固定羽根にあつては山形曲線は非対称となり、飛行機翼の翼型と同じような情況を呈し、羽根背面では急激に指示圧が低下し、負圧となり剥離して不安定なものとなる。こゝに第10図に示したような固定羽根周辺の圧力分布曲線を全角度・開度について求め最高圧を示す位置があまり移動しない羽根を選定するとよいわけであるが、実際の水車にあつては案内羽根開度を変えて水量を変化させると、固定羽根の取付位置にたいする水流の方向は偏向するから、第10図に示すような水圧分布曲線の山形の頂部に広い平坦部分のあるような分布を示す翼型を使用すれば全圧 (= 動圧 + 静圧) をうける高圧



第 15 図 実物カプラン水車の結果
Fig. 15. Result of the Prototype Kaplan Turbine



第 16 図 Index Test による仮効率曲線の一例
Fig. 16. One Example of Relative Efficiency Curve by Index Test



第 17 図 羽根車羽根角度と案内羽根開度との関係
Fig. 17. Relation between Runner Blade Angle and Guide Vane Opening

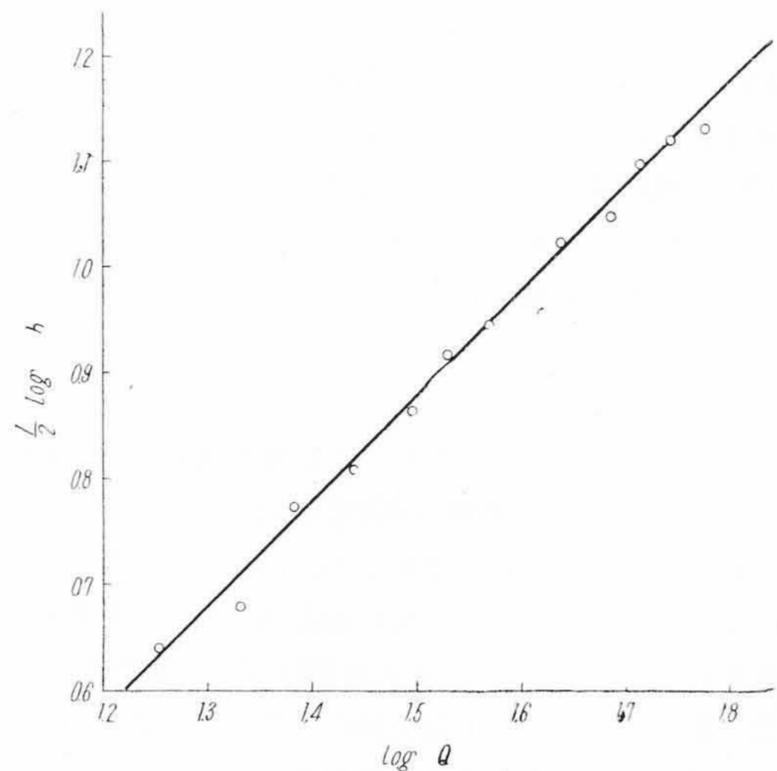
孔の決定は非常に楽になる。

つぎに低圧孔であるが、これは静圧のみ受ければよいので水流と直角方向に設ければよいわけで固定羽根は一般に翼弦長の長い翼型断面のものがつかわれ、しかも固定羽根附近では相当な狭まり流れになつているので、ほぼ腹側面中央附近に定めれば間違いないようである。羽根の腹側面と背側面で水圧分布をながめると第 10 図に示したように前者は圧力分布曲線が非常に平坦であるが、後者は相当の傾斜をもつた曲線で示され、この傾斜曲線の形状が流量変化に伴つて比較的変動するから低圧孔としてはその変動の少ない腹側面が有利である。ここに低圧孔は水圧分布曲線上で急激な変化のない場所であれば多少の移動は許される。Index Test にあつては水量の絶対値をもとめようとするものでないから低圧孔の位置の選定は比較的容易であるが、当初は固定羽根周辺の流動状態がはつきりしていなかつたので高圧孔の選定が苦労されていたわけである。

以上のべたのは Index Test の立場からみた固定羽根の断面形状のあり方であるが、性能の面からはもちろん抵抗の少ないものをえらぶことになり、羽根断面の形状はなかなかむずかしい。

〔IV〕 Peck 法における異常結果に対する吟味

Peck 法の多くの実験結果をながめると Index Test 法の基本式にしたがわないものが見受けられる。すなわち $Q = K h^n$ 式の $n \neq 0.5$ なるもの、あるいは $\log Q$ 対 $\frac{1}{2} \log h$ 曲線が直線的变化をしないものなど種々の成績があるが、この種の異常結果に対し少し検討を加えてみ



第 18 図 実物フランス水車の 1 結果
Fig. 18. One Result of the Prototype Francis Turbine

る。

第10図に示した水圧分布曲線は異常現象の説明をよいにするために、水流の方向と固定羽根の取付角がいちじりしく偏した場合の例であり、研究上の一手段として試みたものであることを附言しておく。

このような水圧分布の固定羽根に在来のような概念的の Peck 法を適用して、固定羽根の頭部に高圧孔 J 孔を、羽根中央腹側面に低圧孔 2 孔 (第 2 図参照) を選ぶと、その $\log Q$ 対 $\frac{1}{2} \log h$ 曲線は第13図 (a) のような結果となり、 $Q = \bar{K} h^n$ 式の $n = 0.71$ となつて $n = 0.5$ の場合とはいちじりしく異つた結果を示す、そこで水圧分布曲線の最高圧を示す位置に高圧孔をえらび、低圧孔を指示圧の最も安定した位置にさだめると第13図の (b) となり、Index Test 法の基本式 $Q = \bar{K} \sqrt{h}$ を満足するようになる。

さらに固定羽根が放射状に立っている場合には第14図 (b) のような頂部に曲りの部分のある曲線を呈することは容易にわかる。また第14図 (a)(c) に示すような $n \neq 0.5$ なる $\log Q$ 対 $\frac{1}{2} \log h$ 曲線は求めた水圧分布曲線から容易に画ける。ことに極端な場合第 2 図の K 孔と 2 孔を組合せると收拾のつかぬ関係のものがでてくる。また第14図 (d) のような右下りの $\log Q$ 対 $\frac{1}{2} \log h$ 曲線も第10図の水圧分布図を考えるとできることが容易に理解される。

〔V〕 各種水車への適用

以上のべてきたような手順で十分検討の上設計された Peck 法を実物カプラン水車に適用すれば第15図にみられるような理想的な結果がえられ、Index Test の基本

式 $Q = \bar{K} \sqrt{h}$ が満足される。この Peck 法の測圧孔を使用し羽根車羽根角度と案内羽根開度との関係 (以下角度と開度と略称する) を第 1 編の〔IV〕章 (3) 節でのべた方法で検査すると第16図のような仮効率曲線が求まり、これから角度と開度との関係を拾い集めて、模型試験成績から求めた角度と開度との関係と比較対照すると第17図のように非常によく合致する。

同じような手順で設計されたフランス水車の Peck 法の一結果を紹介すると第18図に掲げたように、これまた Index Test 法の基礎式と合致する結果がえられた。

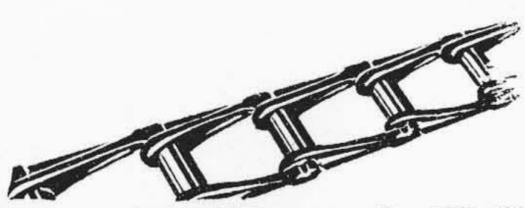
ペルトン水車についてはノズル附近に設けた旋回流水防止用の整流羽根を用い、フランス水車やカプラン水車の固定羽根を利用した方式と同様な方針で測圧孔を穿けて Index Test を行えばよい。ペルトン水車の Peck 法は他の水車にくらべ安定した流れの場所に羽根自身があるので、その測圧孔の選定は比較的容易である。

(その2おわり)

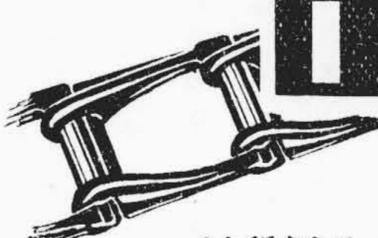
参 考 文 献

- (1) 山崎, 手島: 日立評論 38 (昭 31-10)
- (2) 山崎, 手島: 日立評論 34 1777 (昭 27-10)
G.H. Voaden: Trans. A.S.M.E. 73 481 (1951)
- (3) 生源寺: 九大工学彙報 Vol. 8. No. 6. 319 (昭 8)
- (4) 兼重: 電気学会雑誌 50輯 823 (昭 5)
- (5) 沼知他: 「流線型ピトー管と沼沢沼発電所ポンプ送水量の測定」 昭 28-4-4
機械学会第30期総会講演会で発表
- (6) N.A.C.A: Tech. Report. No. 353
- (7) 沼知: 機械学会誌 34 986 (1931)
沼知: 機械学会誌 34 1580 (1931)
沼知: 機械学会論文集 4 337 (1938)

日 立




可 鍛 鑄 鐵



黒心可鍛鑄鐵

材質優秀! 加工能率の高い!

東京・大阪・名古屋・広島・広畑・八幡・札幌

日立金属工業株式会社

特許と新案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その1)

区別	登録番号	名称	工場別	氏名	登録年月日
特許	224855	断路器空気吹付消弧装置	日立工場	桑山正俊	31. 8. 25
"	224856	重水濃縮用水電解槽	日立工場	川島夏樹	"
"	224858	変圧器	日立工場	滑川清	"
"	224859	濾波回路の同調自動定保装置	日立工場	池田正一郎	"
"	224864	周波数自動調整における検出装置	日立工場	永井秀夫	"
"	224865	遠心分離装置	日立工場	前竹敏克	"
"	224869	自動扉交流制御装置	日立工場	橋本早典	"
"	224870	整流電気機の励磁自動調整装置	日立工場	酒井真平	"
"	224860	摩擦クラッチ操作機構	亀有工場	宮崎徳太郎	"
"	224867	高周波焼入方法	亀有工場	渡部富益	"
"	224761	油圧式サーボモータにおける制御弁	川崎工場	細田健三	"
"	224868	軸封装置	栃木工場	相原健次郎	"
"	224866	質量分析計用イオン源	多賀工場	吉田稲八	"
"	224861	複数個の巻線型誘導電動機の同期運転および速度制御装置	亀戸工場	肥後山裕	"
"	224862	巻線型誘導電動機群の同期運転装置	亀戸工場	園山裕	"
"	224863	複数個の巻線型誘導電動機の同期起動法	亀戸工場	園山良三	"
"	224857	周波数偏移法による遠隔測定方法	戸塚工場	長田南野	"
"	224871	多数共同加入電話回線における割込防止方式	戸塚工場	岡竹内森	"
実用新案	449386	エレベータ信号装置	日立工場	江酒井真平	"
"	449390	エレベータ位置表示装置	日立工場	酒井真吉	"
"	449391	エレベータ用インジケータ	日立工場	小池真平	"
"	449392	エレベータ扉開閉制御装置	日立工場	小酒井真平	"
"	449393	エレベータ信号装置	日立工場	酒井真平	"
"	449397	搬送保護継電発信制御装置	日立工場	滝川田井武晴	"
"	449400	昇降機扉安全装置	日立工場	上小田沢光隆	"
"	449401	昇降機閉扉安全装置	日立工場	小上田沢光隆	"
"	449403	鍵操作式押釦開閉器	日立工場	小桜沢井真平	"
"	449404	電動扉速度制御装置	日立工場	酒井真勝	"
"	449406	昇降機扉吊りローラおよびレール払拭装置	日立工場	小高森橋英常	"
"	449415	管接手	日立工場	高伊藤本幡	"
"	449417	油ポンプ装置	日立工場	伊宮沢加藤	"
"	449418	変圧器油槽	日立工場	宮沢加藤春	"
"	449423	界磁調整器	日立工場	沢加藤春	"
"	449424	界磁調整器	日立工場	加藤春	"
"	449434	ガスタービン噴口	日立工場	加藤春	"
"	449437	変圧器用梯子	日立工場	佐々木精一	"
"	449440	変圧器用梯子	日立工場	栗山竹辺	"
"	449442	放熱器付変圧器	日立工場	大渡今大滑	"
"	449443	放熱器付変圧器	日立工場	大滑今大滑	"
"	449446	コンサベータ付変圧器	日立工場	大滑川田	"
"	449447	ガスタービンの保安装置	日立工場	大滑川田	"
"	449447	蓄電装置	日立工場	谷崎静義	"

(第20頁へ続く)