



# 三菱電機

第 18 卷

昭和 17 年 8 月

第 8 號

## 内 容 目 次

既設變壓器出力の格上げについて.....	237
回轉子の齒の根元に於ける應力輕減に關する一考察.....	242
磁氣探傷に就て.....	244
極數變換誘導電動機.....	250
Heaviside 演算子法に對する新しい考察と その電氣回路解析に於ける應用 (V) .....	255
ED-B5 型 堅 軸 盤 .....	260

# 三菱電機株式會社



# 三菱電機

第十八卷

昭和十七年八月

第八號

## 既設變壓器出力の格上げについて

大阪製作所 木村久男

### 内 容 梗 概

電氣材料節約は目的として、施行せられたZ規格の精神をとり入れ、既設の變壓器の出力格上げを試みた報告であつて、今後此の種の改造を希望して居るものである。

先づ第2章に於いて溫度上昇に關する概念を説明し、之は時間の函數であることを容易に納得せしむべく、努力して居る。

第3章ではZ規格の精神を説明し、この規格も恒久化されたとは云へ、時間の函數をとり入れて居ない爲に不完全なものであることを指適して居る。

第4章に於いて、自冷式を通風式に変更して出力を増加せしめ得ることを述べて居る。第5章第6章はこの實施例である。

### 1. 緒 論

銅、鋼、絶縁油等の主要資材を最も有効に利用し、可及的少量の材料を以て、必要なる電氣機器を製造す可き事は、未曾有の大戦下に於ける製造技術者の責務である。

又他方過去に於て設置せられたる既設設備について、多少でも餘裕あるものは之を利用して負荷の増加を負擔せしむる事も機器使用者に對する重要な問題である。

變壓器に於ては出力を制限するものは溫度上昇であるから、之に多少でも餘裕のある既設變壓器は定格出力を増大せしむる事が出来る。先年Z規程が發表せらるや<sup>(1)</sup>電氣學會變壓器専門委員會は此の問題を検討し、一般に舊規程即ち溫度上昇 55°C の自冷式變壓器は、Z規程により溫度上昇を 65°C 迄許容せらる場合には、出力を10%増加し得る事を發表した<sup>(2)</sup>。然しながら舊規程の溫度上昇制限値に對し實際の既設變壓器は若干の餘裕を持つて居るのが普通であるから、此の餘裕をも利用す可きである。又自冷式變壓器の放熱器に送風装置を設備すれば、冷却能率は約50%増加する事が出来るから之等により相當大巾の既設變壓器の出力格上げが可能である。以下當社に於て實施せる二三の例につき御報告する。

### 2. 溫度上昇に關する概念について

變壓器の出力を限定する最も大きな要素は溫度上昇であることはよく知られて居るが、之に關する日本電氣工業委員會の規定としては、JEC-36 (2594) 第四章、401表に示されて居る。之は所謂舊規程である。油入自冷式に於いては、連續又は短時間定格に於いて、A種絶縁ならば 55°C (周圍溫度 40°C) と定められて居る。

之には短時間定格もこの 55°C なる溫度上昇は規定せ

られた如く思はれるが、同じ JEC-36、501 項に 250°C 2 秒と云ふ瞬時負荷の制限と同時に、160°C、60 秒と云ふ接地變壓器の制限溫度上昇が規定されて居る。

それで、一般的に短時間定格に於いては 55°C とする必要はないのであつて、この 95°C、連續と 160°C、60 秒と 250°C 2 秒を結んだ曲線を書いてみると、次の様な第1表が得られる。

然るに之は、短絡時に於ける溫度上昇限度であつて、之が若し、度々繰返される様なことになつては、變壓器自身にも悪影響が残る。そこで短時間負荷連續定格の場合には次表の程度の溫度上昇限定が推奨せられる。

第1表及び第2表は 1934 年に Montsinger と Daun によつて與へられた數字であるが<sup>(3)</sup>、我々の経験も又、この數字が不適當でないことを認め得る様である。

兩氏は更に、過負荷の條件として、自冷式變壓器に對して次の表を與へて居る。(第3表)

第 1 表

時 間	抵抗法による溫度上昇限度
5 秒以下	250°
30 秒	180
60	160
5 分	140
30 分	120
2 時間	105
連 續	95

第 2 表

時 間	抵抗法による溫度上昇限度
4 分以下	110°C
20 分	105
2 時間	100
8 時間以上	95

之等の數値は定格電流の倍數で示されて居る。例へば 25 は定格電流の 25 倍と云ふ意味である。

全負荷時に於ける過負荷とは 40°C の周圍溫度で、全負荷が長時間續いた後に生ずるものであり、無負荷時と云ふのは同じ周圍溫度で勵磁のみ長時間與へられて居た場合である。

尙、全負荷と無負荷の中間の負荷に對しても、之等の中間の數値が與へられることを述べて居る。

その後、此の兩氏の提案を基調として、米國に於いては、「變壓器の使ひ方に對する説明書」の如きものが發表せられて居る。(5)

之によると、自冷式の場合の周圍溫度は最高 40°C で 24 時間の平均最高溫度 30°C として居る。そして前に 40°C で連續運轉をしたと考へたものを、現在では 30°C で連續運轉することに改められてしまつた。

それで、周圍溫度 30°C の時に、繰返し過負荷が起る場合の、第 3 表の如き點を曲線にして、第 1 圖の如きものが與へられた。同様に、短絡時の單一過負荷の限度として第 2 圖の如き曲線が與へられた。

之によると、化學工業用の様に完全に連絡的で然も、周圍溫度の平均が、相長當期間 30°C に止まると豫想せられるものは、捲線の溫度上昇(抵抗法)は 85°C になつたのである。我國の舊規格 40°C を周圍溫度としたものならば溫度上昇 45°C になるわけで、筆者等の経験も

第 3 表

過負荷の 繼續時間	單一過負荷(短絡時)		繰返し過負荷	
	全負荷時	無負荷時	全負荷時	無負荷時
2 秒	25 倍	25	6.5	13
5	14	16	4	8
10	9	10.5	3	6
30	5	6	2.2	4
60	3.7	4.7	1.6	3.25
5 分	2.3	3	1.25	2.1
30 分	1.6	1.9	1.1	1.45
2 時間	1.25	1.4	1.0	1.2

化學工業用には 45° 乃至 50°C と云ふ溫度上昇(周圍 40°C として)が合理的の様に考へられるのである。

### 3. Z 規格(1)

2598 年に JEC-36 Z 電氣機器の溫度に關する暫定標準規程が發表せられた。之は現下の非常時局に對應し電氣機器の構成材料たる銅及び鐵材の節約を圖る目的で、主として日本内地に適用すべき非常時暫定規程であると述べられて居る。

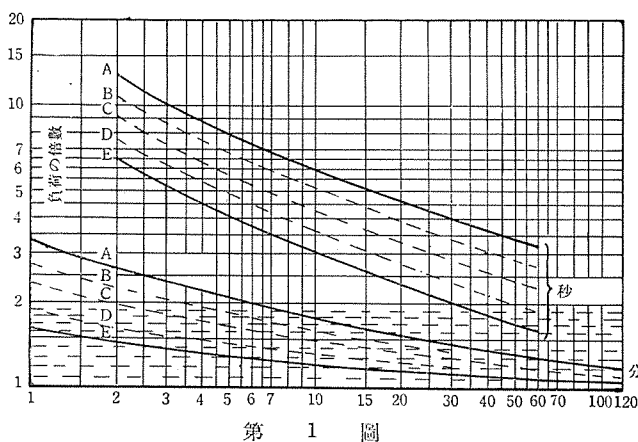
然し、最近之を恒久化することが各方面で認められた様であるので、Z 規格につき筆者の愚見を述べてみようと思ふ。

現在、電氣機械の大きさを決定する場合、何を根據とするかと云ふとは全然使用者の自由であつて、それも實際使用保守に當る技術者の裁斷に持つことが多いのである。此等の人達は故障の起るのを極端に避ける爲、なるべく餘裕のある、大き過ぎる機械を輕負荷で運轉せしめやうとする傾向がある。例へば 100 馬力の電動機の電源に 100 KVA の變壓器を使はうとするのである。然し 100 H.P. の電動機の負荷率 60 % 以上のものは少いのであつて且、周圍溫度が 40°C 以下ならば、或は 75 KVA 又は 50 KVA の變壓器で充分なのである。大き過ぎる機械は各方面に見られることであつて製作者が如何に材料を切つめたとして、使用者が現状の如く、過大容量機器の濫用を行つて居る以上、材料の浪費は如何ともなし難いものがある。

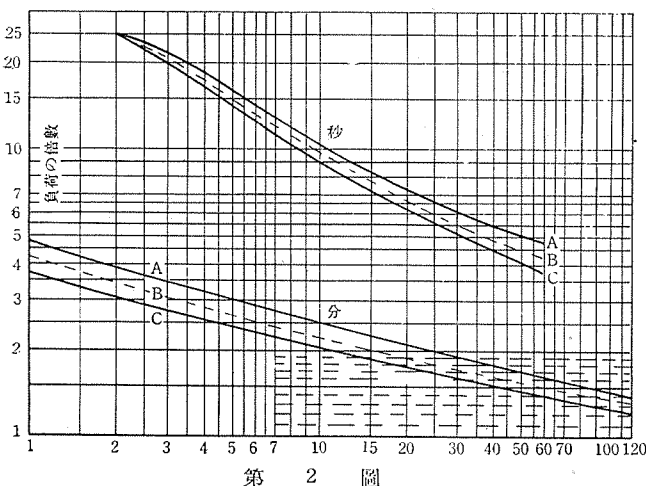
之が Z 規格が推奨され、且、數ケ年の實施結果、満足なことが示され、規程が恒久化されたと云ふわけなのである。

Z 規格は周圍溫度 35°C、抵抗法による溫度上昇 65°C で、最高溫度 100°C と云ふことになる。第 2 表によれば、2 時間の短時間負荷連續定格の場合に相當するのである。多くの場合、之より尙、輕負荷で運轉されてゐるわけである。

然したとへ Z 規格が恒久化されても化學工業用とか大送電網の Base Load Station の變壓器には、100°C 連續で使はれることは避けたいと思つて居る。即ち斯の様



第 1 圖



第 2 圖

な場合には  $95^{\circ}$  以下むしろ  $85^{\circ}\text{C}$  とすべしとの考へを持つて居るわけである。

そこで筆者としては、恒久化されるとは云へZ規格も亦不完全な規定であつて負荷率に従つて温度上昇が變化すべき規格の立案と使用者側に於けるより完全なる負荷率の測定を望む次第である。

#### 4. 自冷式變壓器を送風式に改造する場合

當社の自冷式放熱器はそれに標準の放熱器を取付けることにより 150% の冷却能率を持つ様になる。それで、鐵損 1、銅損 1 なる自冷式變壓器を送風式とすれば、何倍の負荷になるかと云ふと、次の計算でわかれると思はれる。

全損失 (鐵損+銅損) = 2

即ち 2 なる冷却能率を有する放熱器が送風式とすれば 150 % 即ち 3 なる冷却能率を持つ様になる。それで鐵損の 1 を除いた 2 が銅損の爲の放熱面種とせば、 $\sqrt{2}$  倍 = 1.4 倍の負荷がかけられることになるのである。

自冷式の時の鐵損 / 銅損の比が小さい程、送風式にした時の出力増加は少いのである。

以上は概念的な問題のみを説明したのであるが、この他に、油と銅との温度差や インピーダンス 等の問題があるが、此處では省略する。

尚、送風冷却式變壓器については、前に述べたことがあるので、之を御参照せられたい<sup>(4)</sup>。

#### 5. 實 施 例 (1)

##### 3000 KVA を 3500 KVA に格上げ

大阪某電力會社に納入せる拾數台の 3000 KVA 自冷式變壓器を温度上昇試験の結果其の儘 3500 KVA に格上げした。本變壓器の定格は下記の通りである。

出力 3000 KVA (格上以前)

三相 60 サイクル、自冷式、内鐵型

一次 23000-22000-21000-20000-19000/11500-11000-10500-10000-9500 V 三角

二次 3450 V 三角

特性及温度上昇の試験結果第 4 表に示す。

本表に於て上部油の温度上昇はダイヤル型指示温度計により測定し、上部油温と下部油温との差は油槽側壁に於て測定し、此の温度差の半分を上部油の温度上昇値より減じたるものを油の平均温度上昇と見做したものである。

#### 6. 實 施 例 (2)

##### 10,000 KVA 自冷式を 15,000 KVA 送風式に格上げ

之も大阪近郊の某電力會社に於ける十數台の變壓器であるが、10,000 KVA 自冷式のものを放熱器を大型に取かへると共に、之に送風器を取付けて、15,000 KVA に格上げが行はれた。

第 4 表

出 力 KVA	3000	3300	3600	3900
出 力 %	100	110	120	130
鐵 損 KW	12.45	12.45	12.45	12.45
銅損 (19000 V タップ $75^{\circ}\text{C}$ ) KW	22.45	27.20	32.30	37.90
全 損 失 KW	34.90	39.65	44.75	50.35
上部油の温度上昇 $^{\circ}\text{C}$	32.5	37.0	43.0	47.0
上部油と下部油との温度差 $^{\circ}\text{C}$	7.5	7.5	8.5	9.5
油の平均温度上昇 $^{\circ}\text{C}$	28.7	33.2	38.7	42.2
抵抗法による巻線温度上昇 (高壓側) $^{\circ}\text{C}$	42.0	49.0	56.0	60.5
抵抗法による巻線温度上昇 (低壓側) $^{\circ}\text{C}$	39.0	46.0	54.0	59.8

本變壓器の定格は下の通りである。

出力 10,000 KVA (格上げ前)

单相 60 サイクル、自冷式、外鐵型

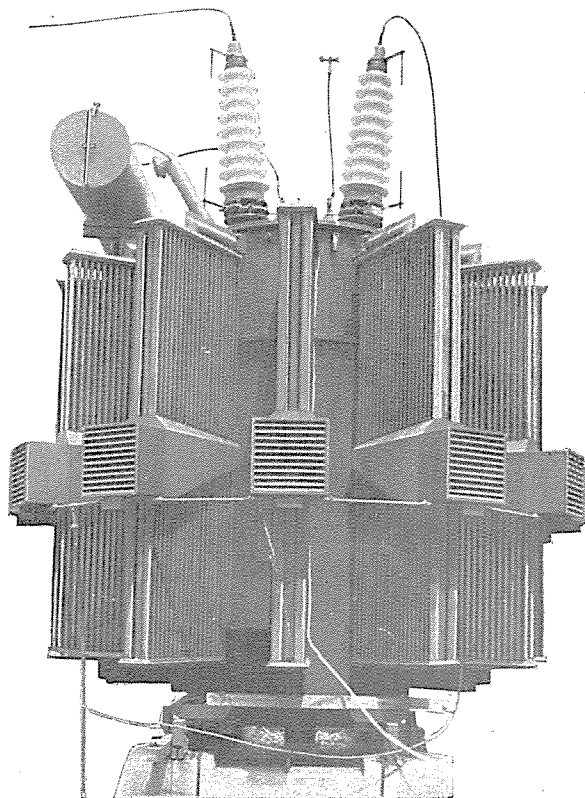
一次 46.5-44.5-42.4-40.4-38.4/80.5 KV 星

二次 22-11 KV 三角

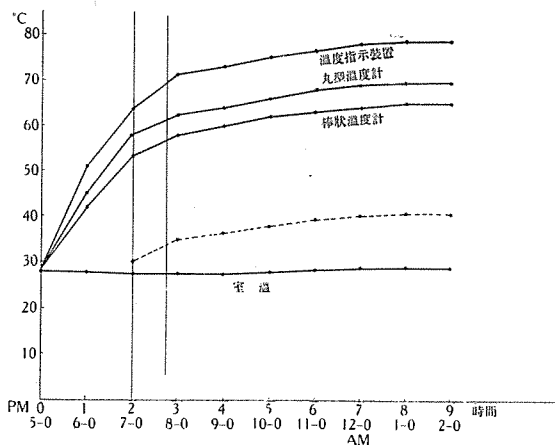
格上げ後、送風式にした場合の外観は第 3 圖の如くである。

格上げ前の 10,000 KVA をしたときの温度上昇試験結果は第 4 圖及び第 5 圖に示された如く、高壓 コイル  $47^{\circ}\text{C}$ 、低壓 コイル  $43^{\circ}\text{C}$  であつた。

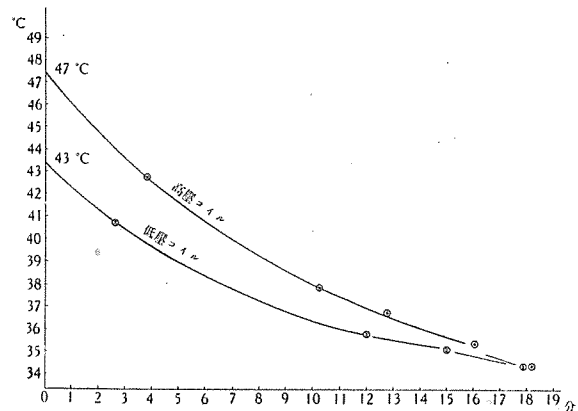
之を放熱器を大型とし、送風器を取付けた場合にはそ



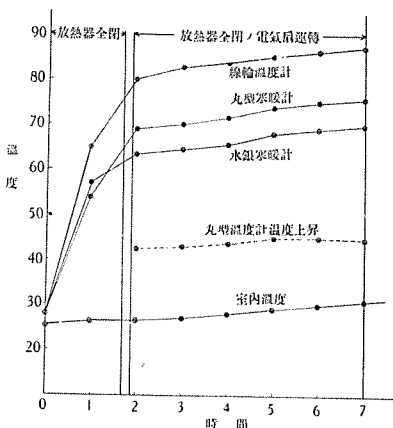
第 3 圖



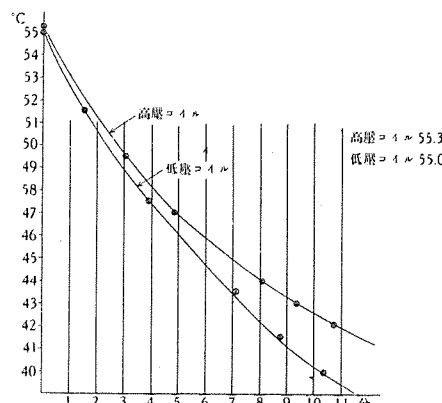
第 4 圖 10,000kVA自冷式變壓器としての温度上昇試験



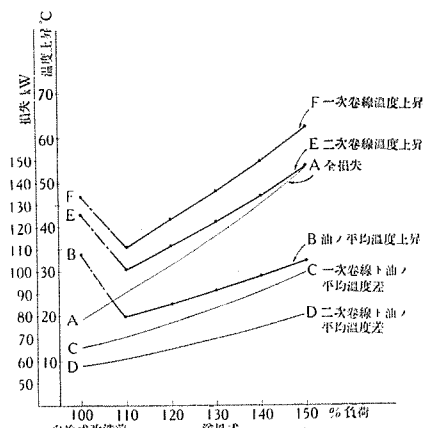
第 5 圖 10,000kVA變壓器捲線温度上昇



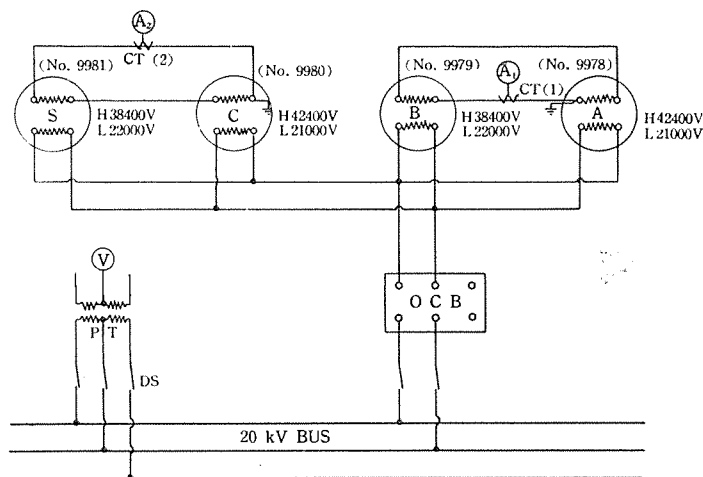
第 6 圖 15,000kVA 送風式とした場合の温度上昇試験



第 7 圖 15,000kVA 送風式とした場合の捲線温度上昇



第 8 圖 10,000kVA 自冷式變壓器過負荷と温度上昇 (15,000kVA 送風式に改造せる場合)



- (A) GE P<sub>4</sub> 型 (No. 404813)  
A.C 5-10A
- (A<sub>1</sub>) GE P<sub>4</sub>V 型 (No. 438367)  
A.C 5A
- (V) WESTON model 155  
(No. 50043) A.C 150-300V
- CT 日立OUL 型 F 式 40 VA  
23000V 400/5A  
(1) No. 2202852  
(2) No. 2202853

第 9 圖

の温度上昇試験結果は第 6 圖及び第 7 圖によつて示される。この場合、高壓、低壓共約 55°C の温度上昇を示した。之等は共に工場試験である。

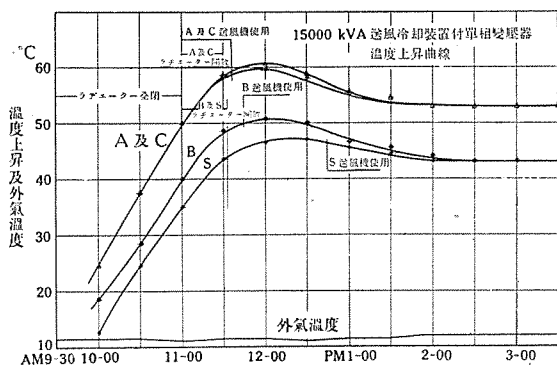
10,000 KVA 自冷式とした場合、15,000 KVA を之の過負荷を考へ、送風により油温度の冷却が高まると考へれば之等の温度上昇の見地から、第 8 圖の様な曲線が書かれる。

A は負荷の増加による損失の増加を示し、B は油の平

均温度上昇を示す。之は 110 % 負荷から送風したと考へての曲線である。C は一次巻線と油との平均温度差、B は二次巻線と油との平均温度差を示す。

E は二次巻線の温度上昇、F は一次巻線の温度上昇である。之等の曲線は設計値であつて、温度上昇試験値と若干の誤差が認められるが Z 規格 65°C に對しては未だ餘裕がある。

この格上げされた 15,000 KVA 送風式變壓器は、現場



第 10 圖

に於いても温度上昇試験が行はれたのである。第 9 圖第 10 圖及び第 11 圖は某變壓所に於けるもので高壓 コイル 55°C 低壓 コイル 54°C の温度上昇になつて居る。

第 12 圖及び第 13 圖は他の變電所に於ける温度上昇試験結果であるが、捲線温度上昇高壓 54.5°C、低壓 53.5°C となり、大體前の結果と一致して居る。

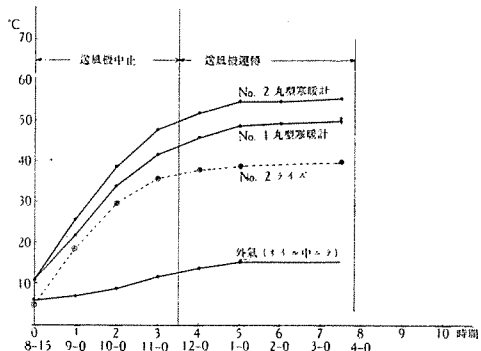
第 14 圖は送風器故障の想定の下に行つたのであるが 15000 KVA 負荷で送風器をとめて、10 分間そのまゝ放置し、遮斷した場合である。10 分の間に實際は負荷の移り變りの處理がとれると云ふ豫定であつたのである。その結果、高壓側 65°C、低壓側 58°C と云ふ結果になつた。第 2 表によれば 20 分短時間負荷連続で 105°C であるから、周囲 35°C と考へれば高壓コイルは 100°C の温度（高壓側）となるから、尙 5°C と 10 分間の餘裕があることになる。

## 7. 結 言

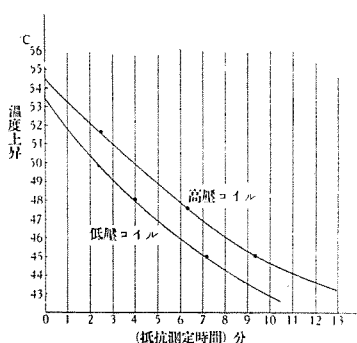
變壓器と云ふものは温度上昇によつて、その出力が制限されるわけであるが、之は負荷率、即ち温度と時間の函數であるべき事の概念を説明し得たと思ふ。

この温度上昇試験の周圍條件としても、寒い時と暑い時、風のあるとき等で、温度上昇試験結果が左右されるが、之は冷却媒體である油の粘度によるのである。油の粘度の低い、即ち、温度の高い時は冷却能率がよくなるわけである。之は寒い冬の試験はそのまゝ夏に當てはまらず、夏に温度上昇試験をやればやゝ低く出るのが普通である。

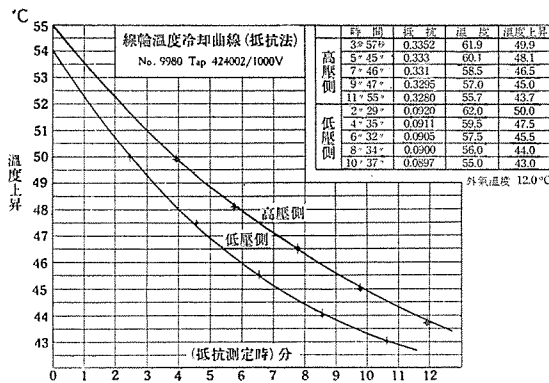
又、抵抗法と、最高局部温度とは比例関係はなく、全



第 12 圖 15,000kVA 變壓器  
温度上昇試験



第 13 圖 15,000kVA 變壓器  
捲線温度上昇



第 11 圖

く變壓器の内部構造によるのである。實用上はこの最高局部温度が問題なのであるから、この點でも問題が残されることになる。

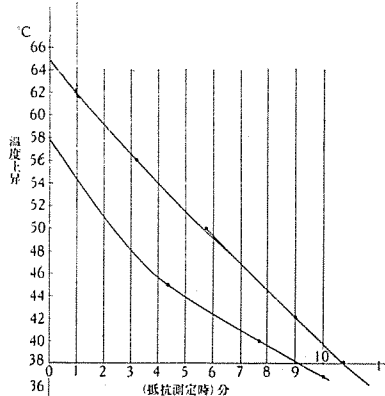
之等二三の點以外にも、温度上昇試験に對して残された問題があるが、之等についての検討は今省略しやう。

變壓器出力の格上げの實施について、二三の例を舉げて説明したが、今後も、自冷式を送風式に改造し、尙且 Z 規格の精神を織り込むならば、各方面に於いて、この考へ方は應用せられ得るのではないかと思はれる。増設の代りに送風式にすれば、製作、建設の各方面とも、非常な經濟になるのであつて、資材の節約、特に東亞共榮圏内に乏しい銅の節約に對して、有効に働きつゝある Z 規格にも、多大の援助を與へることとなるのである。

現在に於いて温度上昇の問題に對して、最も認識を深くせらるべきは使用者の方々であらうと思はれるのであるが、負荷率と温度上昇は密接不離な關係あることに注意せられて、餘裕のあり過ぎる機器の使ひ方——即ち資材の浪費を避けられて、以つて資材の有効なる利用に對し、製作者側と協力せられんことを希望する次第である。

## 文 献

- (1) 電氣機器の温度に關する暫定規程 JEC-36Z (2598)
- (2) 小野：電學誌 60 618 號、昭 15、1 月、P. 32
- (3) V. M. Montsinger W. M. & Dann: Overloading of Power Traus former EE. Oct. 1934, p. 1353
- (4) 木村：動力 58 號、昭 16、12 月、p. 63
- (5) ASA: C-57.1, C-57.2, C-57.3 March 1940.



第 14 圖 15,000kVA 變壓器  
捲線温度冷却曲線

## 回轉子の齒の根元に於ける應力軽減に関する一考察

長崎製作所

井上八郎 右衛門

### 内 容 梗 概

タービン発電機の回轉子の齒の根元に切欠を設けることに依つて齒の根元の應力集中率を減ずる場合、切欠の状態と集中率軽減の割合とを偏光學的に實測した結果を述べるものである。

### 緒 言

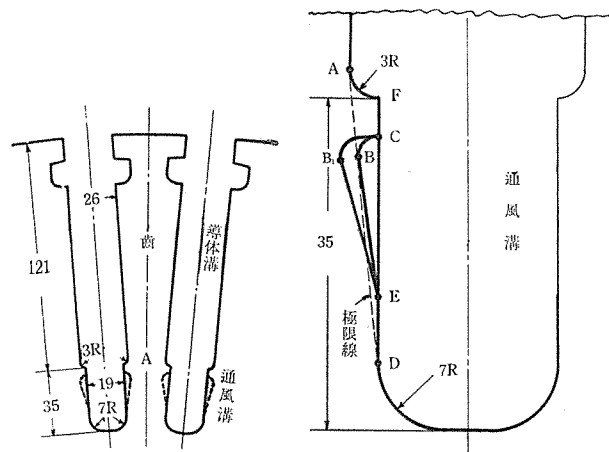
タービン発電機の回轉子の内部に起る機械的應力の中で最も重要なものの一つは齒の根元に於ける應力である。回轉子の出力は殆どこの應力に依つて制限される。同一出力に對して發電機の寸法を切詰め材料を節約しやうとすればする程、回轉子軸の同一斷面積に對して界磁導体の占むべき面積が大となり齒の斷面積が小さくなるのでこの部分の應力は益々大となる。與へられた回轉子の直徑内で出来るだけ大きな勵磁力從つて大きな出力を得るためには、絶えずこの應力を軽減する方法が研究されてゐる。この應力の値に依つて回轉子の材質が考慮される。小容量の發電機には炭素鋼の軸が用ひられ大容量のものには ニッケル 鋼、ニッケル クロム モリブデン 鋼等の特殊鋼が用ひられる。この中でも 2 極大容量の發電機の軸材は從來主として歐米よりの輸入に依る場合が多かつた。而るに大形の強力な軸材を輸入に仰ぐことの出来なくなつた今日では國內製鋼技術が向上するまでは不充分ながら國產軸材を生かして使ふことも考へねばならぬ。此の場合にも出力及び安全率を減じない様にする事が重要となる、依つて之が一対策として回轉子の外徑や界磁導体の占める面積を變へずに齒の根元の應力を小さくするため或は材質が良好な場合にはより多くの界磁導体を納め得る様にして而も齒の根元に生ずる應力、其の中でも特に應力の高い場合即ち最も有効に軸材を利用した場合に問題となる齒の根元に於ける應力の集中係数を小さくするために、齒の一部に切欠を設けた場合を實驗したところ、原設計よりも約 63% 集中率を減少させる事が出来た。

### 齒にかかる應力

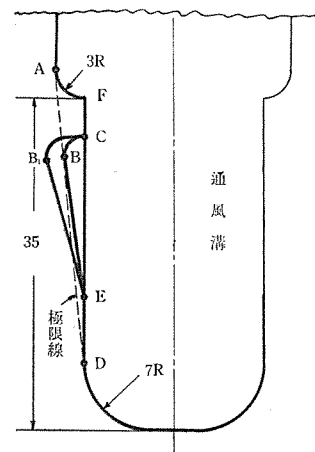
回轉子の齒にかかる應力は溝の内在物及び齒自身の遠心力に依つて生ずるものであるが、この遠心力に抗すべき齒の斷面は一樣ではない。即ち第 1 圖の様に溝には導体溝と通風溝とがあつて、導体溝の底に相等する處では齒の斷面は絞られて最小斷面となる。尙悪いことにはこの絞られた部分即ち第 1 圖 A に於ては導体溝の底に依つて切欠を有する段付を形成するのでこの部分には集中應力を生ずる。これは通風溝の底に於ても同様であるがここでは一般に切欠半径が大きいので條件は導体溝の底よりも良くなる。

齒の應力を考へる場合一般にはこの狭い部分に於ける平均應力を考へてゐる。併しこの應力が大きくなつたり又は材質が不充分な場合には平均應力のみならず集中應力をも考へなければならぬ。勿論この集中應力は斷面的一部分にかかるのでその部分が塑性變形を起してこの集中が或程度分散されることは考へられる。併し平均應力が既に材料の弾性限に接近したり、金屬組織が充分でない様な場合には集中應力が問題視される。特にタービン発電機の回轉子軸の様に高速度で材料の強さの割に應力が大きく、而も鍛鍊の利き易い外部には溝を切つて表皮層が切り散られ、内部の鍛鍊の利きにくくてゴースライン等の起り易い部分に大きな應力をかける様な場合には、この應力の分布を詳細に検討する必要がある。而してこの應力の大小は斷面に急變化がなければ専ら切欠状態に支配されるから、切欠を除去して第 2 圖に點線で示した AB の位置まで通風溝を切擴める事を以て良策とするが、これは導体收納上不便があるので採用出来兼ねる。又 A 部に於ける應力の集中を減ずるにはその斷面積を増すか切欠半径を増せばよい。然るに前者は溝の斷面積を小にし界磁巻線の容量を減ずる事となり、後者は導体溝の有効率を減ずる事と、工作上兩溝の境界には適當の段付が必要である事とのためこの半径は餘り大きく出来ない。故に導体溝は出来るだけ有効に使ひながら他に方法を求める必要がある。

この一方法としては A 部に於ける應力集中の感度を輕



第 1 圖 回轉子の溝



第 2 圖 切欠部分

減する事である。第2圖に於ける CBE 又は CB<sub>1</sub>E の切缺はこの一方法を示すものである。CBE なる切缺は寧ろ CBD とすべきであるが ED 部は他の目的に使はれるので本實驗では CBE なる形の切缺を設ける場合を實驗した。

## 實 驗

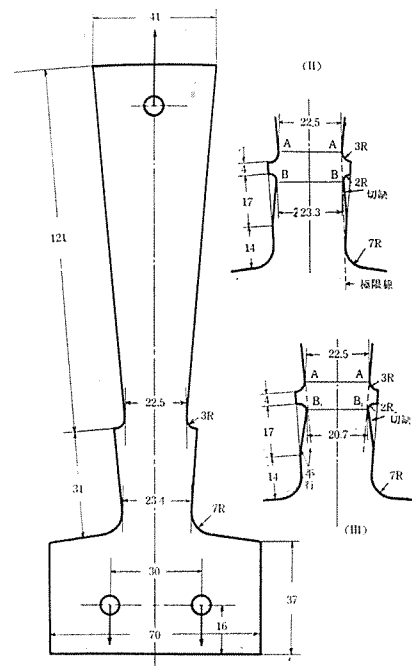
本實驗に於ては厚みが 5.75 耗で斷面が第 3 圖の様に實物大であるセルロイド製の模型函を作り、これに依つて偏光試験をして應力の集中係數を求めた。試片の第一は通風溝に切缺を設けない在來の設計に依る原形の儘のもので、第二は CBE なる切缺を有しその B 點が極限線 AD に接する場合、第三は B 點が AD 線より外の B<sub>1</sub> 點に出て導体溝の側面を延長した線上にある様な切缺を有する様にした。第二第三の試片は第一と別に作ったものである。

各試片共齒の頂部及び底部より遠心力と同方向に外力を加へ切缺部の最小斷面 A 面並に B 面上に於ける應力分布を偏光器に依つて求めた。但し A 面並に B 面は計測上の簡單を期するため本實驗では特に應力の主面に一致するものと見做してゐる。即ち順序として先づ主應力差 ( $\sigma_1 - \sigma_2$ ) の分布をコンペンセータで読み取り、次に偏光子の光軸を試片の水平軸と  $\varphi = \pm 3^\circ$  の傾斜角をなす場合の等傾曲線を求めて水平分力  $\sigma_2$  をフイロンの方法に依つて解析し以て上記斷面上の垂直應力  $\sigma_1$  の分布を確かめたのである。

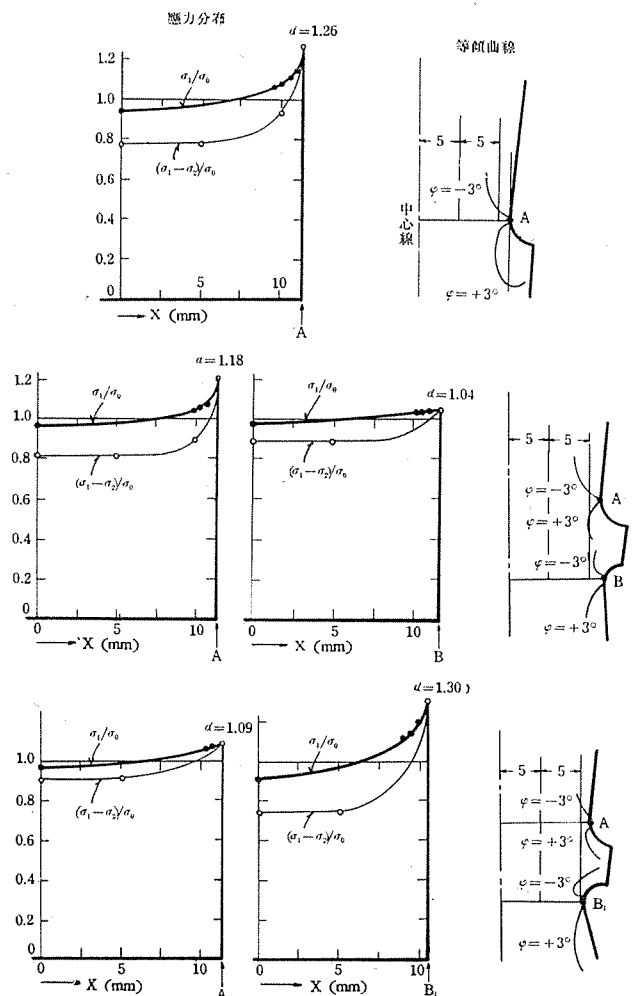
## 實 驗 の 結 果

第 4 圖は實驗の結果を示すもので (AO), (A1), (A2) は A 面に於ける結果で、(B1), (B2) は B 面に於ける結果であつて右側は等傾曲線を示すものである。この圖は各部の應力分布を平均應力  $\sigma_0$  に對する比で表したものである。何れも下方の細線は  $(\sigma_1 - \sigma_2)/\sigma_0$  で太線は  $\sigma_1/\sigma_0$  即ち求めんとする垂直應力であつて、兩者の差が等傾曲線に依つて求まる水平力  $\sigma_2/\sigma_0$  の値になる。

次に圖に於て A 點並に B 點上で示す  $\sigma_1/\sigma_0$  の値は即ちその斷面に於ける應力集中係數  $\alpha$  である。原形に於ける集中係數は Timoshenko などに依つて與へられた數値より小さいがこれは第 2 圖に於て FD 面が一つの齒に就ては平行でないため AED なる部分の集中感度を下げるものと思はれる。CBE なる切缺を作れば A 面に於ける集中率は明かに減少するが、切缺が大きくなれば最少斷面が A より B に移るので、A に於ける集中率は下つても B に於ける集中率が増し従つて切缺を作つた効果が無くなる。この實驗に於ては切缺を AD なる線までに止めた場合は原形よりも A 點に於ける集中率が約 63% 減少するを見た。併しこの極限線を越えて切込めば却つて B 點に於ける集中率が増して不良の結果となる。故にこの切缺は AD 線内に止めるが有効である。



第 3 圖 試 驗 片



第 4 圖 應力集中係數



## 磁 氣 探 傷 に 就 て

長崎製作所 今 北 孝 次

### 内 容 梗 概

本文に於ては、試作したる磁氣探傷器について、その得失を述べ、更に我々が鋼材の磁氣探傷を行ふに際し、特に注意すべき諸點を指摘し、之を論じたものである。

### 緒 言

第 1 圖は ニッケルクロム 鋼塊に現れた白點を擴大したものであるが、我々が特殊鋼を取扱ふ場合、最も氣に掛かるのが之であり、幅は百分の一耗にも達せず表面には殆んど肉眼で發見し得ない程度の微細なものでありながら、顯微鏡下に於ては組織を破壊し點々として 1 個の鋼塊中に無數に存在し恐るべき危険性を包藏して居るのである。かゝる缺陷は不幸にも鋼塊の奥深く存在する爲之を發見することは非常な困難が伴ひ、破壊されて始めて之等の缺陷を發見した例もあるのであるが、近時内部より長さ 100 耗、徑 10 耗程度の資料を採取することに成功して以來、1 個の鋼塊中より數 10 本の資料を取出し、之を入念に調べ、白點の存在、數、位置等を略推定し得るに至つたのである。而し乍ら之等の資料に現はれる缺陷は肉眼では到底認めることが出来ない程のものであるから、全面に亘り顯微鏡によつて探傷するか、或は適當な藥品を用ひて腐蝕するか、何れかの方法に依らねばならなかつたのである。數多くの資料を丹念に檢鏡することは非常な努力と忍耐とを要し到底實用することは出来ず、藥品に依る方法は材料の化學成分に最も適した腐蝕藥品を用ひねば所期の効果を擧げることが出来なかつたのである。

かゝる微細なる疵を迅速適確に檢出する爲には、どうしても磁氣的に探傷する必要を生じ、現在國內に於て相

當廣く用ひられて居る S 社の磁氣探傷器に依つて之を試み、或程度の効果を擧げることが出来たのであるが、此處に我々が取扱ふ様な小型の資料に對しては、あまりにその裝置が大なる爲やゝもすると、百尺の物差にて一分の長さを計る如く、往々にして遺憾な結果を生ずることもあつたのである。此處に於て裝置の簡單にして更に、感度を高める爲に後に記す如く、強電流と適當な磁束とを同時に通じ得る様な方式の下に磁氣探傷器を試作し、殆んど満足すべき効果を擧げることが出来たのである。

磁氣探傷は確に他の方法に比較してその操作は非常に迅速であり能率的ではあるが、適確さを重視するならば或程度の熟練の重要さも看過することは出来ないのである、此處に試作せる磁氣探傷器の紹介方々我々が経験した二三の問題を採り上げて見度いと思ふのである。

### 磁 化 裝 置

缺陷を磁氣的に探傷する方法としては、數十年以前より内外數多くの研究家が、夫々の立場に於て周到な研究を行ひ夫々最も確實であると信ずる方式を發表されて居るのであるが、大別するとピックアップ式と鐵粉式との 2 種類になる。何れにも一長一短がありその何れを撰ぶかは勿論當事者の隨意ではあるが、感度とか疵の種類等に依るよりも、むしろ探傷すべき材料の形狀、材質、操作の難易等を以てその規範とするが常道であらう。現在材料を磁化し之に鐵粉を振りかける方法（乾式）、或は石油等に混じた鐵粉を材料に塗り或は此の油中に浸漬する方法（濕式）が廣く採用せられて居るのは、之が比較的被檢資料の形狀に左右されること少く、尙且つ操作の簡易と言ふことがその要因であることは疑ふべくもないのである。我々が長さ 100 耗、徑 10 耗程度の棒狀資料に存在する缺陷を檢出する爲に、この濕式を採用したのも他の方式に比べ操作の簡易なる點を重視したからにすぎないのである。

被檢資料の殘留磁氣を利用するこの方式を採用する場合に問題となるのは資料を磁化する方法であり、如何にして感度を高め、あらゆる形狀の、あらゆる種類の、缺陷を檢出する爲に如何にして資料を磁化するのが最も効果的であるかと云ふことである。



第 1 圖 磁氣探傷に依つて檢出した  
る白點 (100 倍大)

## (a) 直接に磁束を通ずる方法

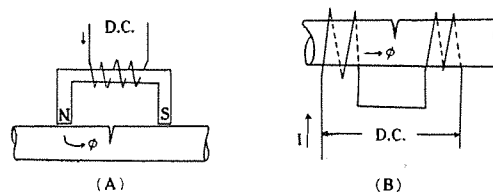
此の方法は最初に採用せられた方法であつて、早く言へば原始的であるが、實際問題として工場内に於て大型の製品の一部分を検する場合には、之が最も簡単で要領よく行へば相當の効果を期待することが出来るのである。磁化するには、第2圖(A)(B)何れかの方法に依る。(A)は電磁石を作り探傷せんとする部分に跨せその中間部分に鐵粉を混じた石油を塗るのであるが、此の場合相當に強力な磁極が疵の附近に在る爲油中の鐵粉はこの磁極に吸ひ寄せられ、疵の幅が相當に大であり深さが深くなければ疵部に鐵粉は盛り上らないのである。それ故、この方法に依つて微細な疵を検出するには、一旦磁化し然る後この磁石を取除き材料の残留磁氣を利用する方が適當である。第2圖(B)の如く材料に直接線輪を捲き之に電流を通ずる方法は材料が如何に大きくても有効であり探傷せんとする部分にのみ線輪を捲けば、通ずる電流も少くて済み、せいぜい40アンペアターン毎平方厘米程度で充分であるから利用價值は相當に大であり、如何なる形状の、如何なる大さの製品であつても探傷可能ではあるが、疵の性質を推定し之を横切る方向に磁束を通じうる様、線輪の捲き方を適當に判斷してかゝらねば①微細な疵は看過し勝ちである。

第2圖(A)(B)何れの方法に依つても此の場合磁化力を必要に應じて相當大きくすることが出来るから、探傷に利用する以外に材料の歪、或は組織の不同等を検出することも出来るのである。第3圖(B)は電氣熔接部分に、強力な磁束を通じ、鐵粉を混ぜる石油中に浸し熔接模様を現出せしめたものである。同圖(A)は磁化する以前の資料である。尤もかゝる模様は適當な薬品を用ひて容易に現出せしめ得るのであるが、製品の腐蝕を行ひ得ない場合に使用して有効なものであらう。

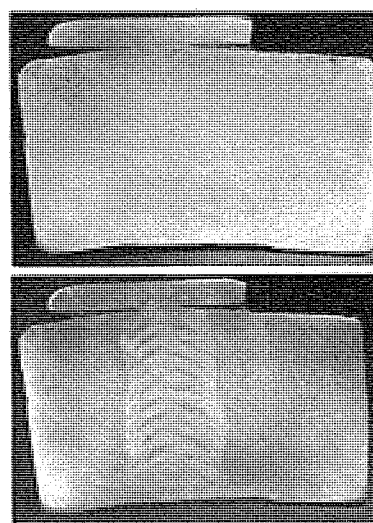
## (b) 資料に瞬時強電流を通ずる方法

電動機の軸等の如き棒状の材料を探傷する様な場合には前述の方法に依つて兩端から磁束を通じ或は之に線輪を捲いて軸の長さ方向に磁束を流して見ても、検出される疵は、軸の長さ方向のもののみであつて、この様な鍛造に依る棒状資料に數多く現はれる長さ方向の疵は検出することが出来ないのである。この爲に被検資料の兩端から直接に強電流を通じ、第4圖の如く圓形磁界を作る方法が採用されたのである。之は確に名案であつて國內S社、Y社製作のものが之であり、巷間に「マグナフラックス」と稱して通用して居る。我々が最初に使用したのも之れであつて、或程度の効果を擧げることが出来たのである。

原理は第5圖に示す如く、變壓器の一次側に抵抗器を通じて40アンペアの電流を通じ、之を瞬時的に開路した場合、二次側に生ずる電壓を直接検査すべき材料に加へる。二次側電壓は10ボルト程度の低いものではあるが、回路の抵抗が0.005オームであれば資料には2000アンペア

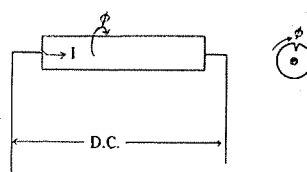


第2圖 被検体と直接磁化する方法

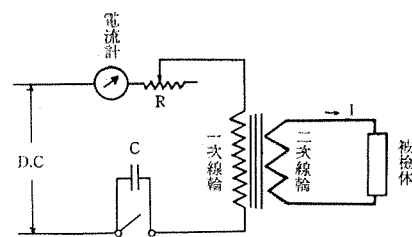


第3圖  
磁氣的に現はされたる磁接模様  
(A) 磁化前

(B) 磁化後



第4圖  
直接資料に電流を通して圓形磁化を行はせる方法



第5圖 瞬時強電流發生回路

の大電流を通ずることが出来る。電流は大であるが50分の1秒程度の短時間であるから發熱の心配なく、資料を圓形に充分磁化することが出来るのである。

而して乍ら此の様な瞬時電流發生裝置は、開閉器側から見た全インピーダンスの如何に依つて、二次側電流、一次側電壓等が振動状態を呈することは衆知のことであり、之を除くには相當に複雑な方法を必要とするのである。それ故、振動電流が零線の上下に亘ることを防ぎ、資料を充分に磁化せしめる爲には、二次側振動電流が常に整流状態にあればよいわけである。この磁氣探傷器の、一次側の、電流、抵抗、巻數等が定つて居れば、全インピーダンスの變化を生ぜしめる素因は、二次側の抵抗値のみ

である。換言すれば、二次側の抵抗如何に依つて、電流は十分に整流された形となり強電流を資料に通じ得るか磁化に役立たぬ振動状態となるか、何れかに歸着するわけである。第 6 圖は二次側の外部抵抗を變化した場合の電流波形を示すものであつて、0.005 オーム以下であれば同圖 (A) の如く強力な瞬時電流は資料を磁化するに充分であるが、同圖 (B) (C) の如くに抵抗値が 0.023 オーム以上となれば振動状態を呈じ、探傷に困難を來すのである。

實際問題として、被檢資料の兩端に電極を押付け、之に強電流を流す様な場合には、餘程の注意を拂はなければ、接觸抵抗が甚だ大となり、電流は減少し且つ忌避すべき振動波形を生ずる。この探傷器を生かすか、殺すかは、唯この點にあるのであつて、使用の巧拙に伴ひ、充分考慮を要するのである。

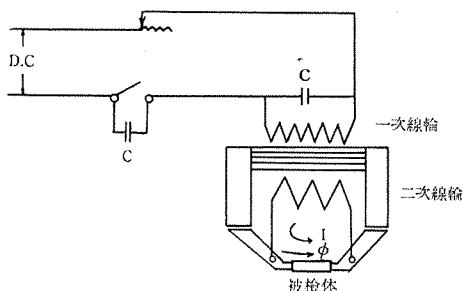
二次側の抵抗値の大きさが探傷の感度に影響する以上、被檢資料そのものの電気抵抗も考慮に入れねばならぬのは當然である。その結果、通ずる電流値の大きさから検査可能の資料の大きさが、最大半径 10 糎、長さ 65 糎程度に限定されると同様、検査可能の最小値も亦制限を受けるのである。研究に依ると<sup>⑨</sup>この探傷器に依つては、被檢資料の半径  $r$  糎は長さ  $l$  糎を考へに入れて、

$$r = 0.133l / l$$

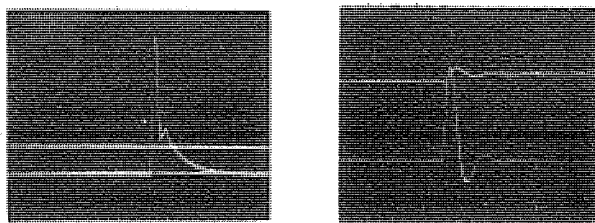
が最小限度とされて居る。従つて我々が探傷せんとする長さ 100 糎径 10 糎程度のものは、此の探傷器に依る最低限度となるが、之は細心の注意の下に各部の接觸抵抗を充分小さくし得た場合であつて、實際問題としては既に危険の範圍に入るべきものと思はれるのである。

### (c) 瞬時強電流と磁束とを同時に通ずる方式

電流を直接資料に通じて、之を圓形に磁化する磁化装置を使用する場合、先づ最初に、磁化が確實であると言ふことが第一必要條件となる。今迄の處、圓形磁化の強弱を、簡単に、量的に、判定する方法が殘念乍ら皆無である爲、開閉器の操作に依つて常に 100 パーセントの確實性を以て磁化されねば、我々は安心して之を使用することが出来ないのである。この點をも重視して試作した、探傷器の一つの特徴は、能率の點に於ては、資料の大きさに比べて比較的装置が大となる爲、決して市販の「マグナフラックス」に勝るとは言ひ難いが、何人が行つても、磁

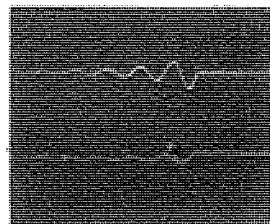


第 7 圖 試作したる探傷器回路

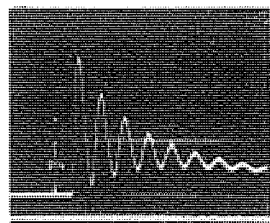


A

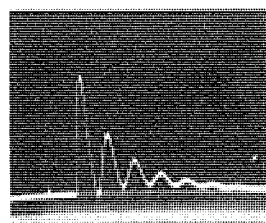
B



C



A. 電子短絡



B. 外部抵抗 1.0Ω

第 8 圖 二次側電流の波形

化操作そのものには殆んど巧拙なく、常に充分なる磁化を行ふことが出来る、と言ふ點にもあるのである。

原理は第 7 圖に示す如く、一次線輪に依つて生じた磁束の一部を資料に通じ、之が同時に二次線輪に対しても有効に働らく様にしたものである。最初に開閉器を入れ資料に磁束を通じ、之を急激に開けば、同じ方向に電流をも通ずることが出来るのである。そこで資料を外せば磁束は、長さ方向と、圓形と二様の成分を有して殘留し若しも長さ方向の疵と、之と直角方向の疵とがあれば何れもその兩端は成極され、完全なる探傷を行ひ得るのである。此の際通ずる磁束は如何に大であつても差支へないのであるが、電流は實際問題としてあまりに強くしすぎると、資料とその保持器との間に火花を生じ、之が接觸不良、抵抗増加の原因となる恐れがあるから、むしろ必要以上に大とせぬ方が取扱易いのである。

資料が圓形に磁化された場合、その表面の磁界の強さ  $H_{\text{gauss}}$  は資料の半径  $r_{\text{cm}}$  が、長さに対して比較的小なりと考へれば、之に通ずる電流  $I_{\text{amp}}$  に對し、

$$H = \frac{2}{10} \cdot \frac{I}{r}$$

で表はされる。我々が探傷せんとする資料は大略、 $H = 40 \text{ gauss}$  程度で既に飽和に達すると考へられるから、直徑 10 cm の資料に對しては  $I = 100 \text{ amp}$  で充分であると言ふことになる。

今一つ重要な事柄は、二次側の抵抗値の變化に依つて第 6 圖の如き現象の生ずることを極力防ぐことである。

この爲には、線輪の二次側の抵抗値を最初から相當に大として當然生ずる振動を、常に正方向に在る様にするのが最も簡単な方法であらう。試作したものは、二次側抵抗 0.048 オームであり、能率を相當犠牲にして、磁路の一部に軟鐵を使用して見たのである。この爲に、二次側電流は第 8 圖 (A) の様になるが、同圖 (B) の様に外部に 1.0 オームの抵抗を入れた場合でも、尙且つ使用し得ることが明らかである。實際問題として、資料の取付部分、その他の接觸部分の接觸抵抗を總計して少し許りの不注意に依つて 0.1 オーム以上となることは稀ではないが、1.0 オームより大となることは、殆んど皆無と見做して差支へないと思はれるのである。唯この際考へねばならないことは、この寫眞に見る波の内、實際磁化に役立つのは最初の山のみであつて、後に続く小山は、如何に数多くても結局無益のものであるが、之を除く爲には相當の附屬設備を必要とし、むしろ装置の簡單にして操作の確實と言ふ主旨に反することとなるのである。

磁氣探傷器の具へるべき第一條件は、磁化の確實なることであり、第二は操作の簡單にして如何なる方向の疵も適確に検出し得ることである以上、上述の如き、磁束と電流とを同時に通ずる方式が、たとへ、Junkers 社にその一例があるとは言へ、國內に於ては、未開發のまま放置されて居る現状は、むしろ不思議に思ふのである。

### 疵の検出の際に考ふべき問題

以上の如き磁氣探傷法を、鋼材に對して採用する時、我々は細心の注意の下に、磁化操作、鐵粉塗付の操作を行はねばならぬことは勿論であるが、如何に之等に熟練し、検出された疵の觀察に習熟して居るからと言つて、現はれ易い疵と、現はれ難い疵とを、その材質、大きさ、形狀等を考へに入れて常に判別してかゝらねば、むしろ利器も底盡なしと言ふ結果になるわけである。而し乍らこの問題を徹底的に研究し盡すことは甚だ困難であつて疵の性質は各種各様、資料の材質も亦各種各様である爲我々は検査されるべき材料を前にして、検出される疵の程度を數量的に記録することは出来ないのである。唯その資料の探傷器の前にまで持ち來たされた徑路、化學成分、鍛造方法、機械加工、それ等に伴ふ疵の性質の概念等を思ひ浮べ、之は非常に検出され易いもの、或は検出困難なもの、と言ふ程度に止めるより到し方ないのである。

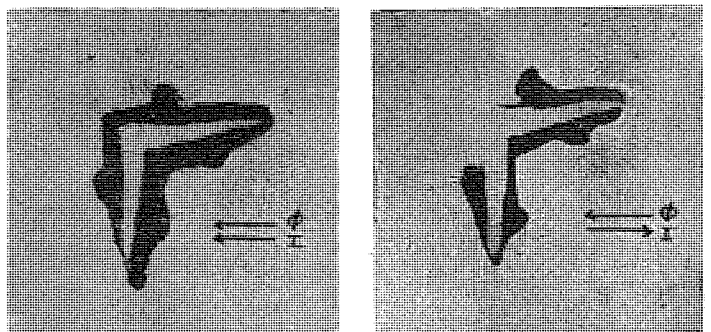
#### (a) 疵の形狀の問題

白點、毛割れ、焼割れ等、探傷すべき疵の大部分は直線狀ではあるが、疵の方向が磁束のみを通ずる方式にあつては磁束と直角、電流のみによる方式では電流と同方向のもの他は検出することが出来ないと言ふことは前に述べた通りである。この缺點を補ふ爲に、磁束と電流とを同時に通ずる方法を試みたことも述べたのであるが一本の被檢資料に別個に縦方向と横方向

とが存在する場合には、方向を問はず、疵の数が如何に多くても問題なくその一つ一つに成極せしめることは容易である。而し乍ら第 9 圖の如く一個の疵が直角に折れ曲つて居る様な場合には、磁束のみに依つても電流のみを通じてその一部のみしか検出することが出来ないのは勿論であるが、磁束と電流とを同時に同方向に通じて、その方向如何に依つては適確に検出出来ない場合があるのである。この理を考察する爲に同圖の如く、疵として最も成極に不都合な條件を具へた、幅の廣い、長さの短い、模型を作り磁化の状態を擴大して見たのである。同圖 (A) は磁束の方向と電流の方向とが同一の場合疵附近の磁界を示すものであつて、此の場合直角分を持つ疵は、全長に亘り、充分に成極され、鐵粉を塗附すれば、明確に盛り上るのである。而し乍ら同圖 (B) の如く電流の方向と磁界の方向とが逆になれば、折れ曲りの附近に於て成極は不充分であり、磁化されない状態と同一であつて、鐵粉は疵の兩端附近にのみしか附着しないことになる。それ故この場合には電流か或は磁束か何れか一方の方向を逆にせねばならないと言ふ繁雜さを有するのが此の方式の缺點なのである。而し乍ら實際問題として、幸ひに疵はその幅に對して甚だ長いのが普通であるからたとへ折れ曲りの一點に成極されなくとも、その他の大部分は磁化され探傷に不都合を生ずることは殆んどないのである。

#### (b) 疵の大きさに關する問題

磁氣探傷に依つて一体如何なる程度の大きさの疵迄が検出可能であるかと言ふ問題は、被檢資料の材質、殘留磁氣の大きさ、疵の深さと長さとの關係、塗附する鐵粉の性質、溶剤の流動性等各種の要素を考へに入れねばならないから、各々の場合について一つ一つ實驗を繰返へさねば之を總括的に示すことは出来ないのである。従つて此の問題に關する研究も極く稀ではあるが、我々が探傷を行ふ場合、検出された疵が一体どの程度の深さを有するものであるか、概略の目安でも知り度いわけである。クローム、モリブデン鋼、棒狀資料について行はれた實驗の結果に依ると、幅 0.1 耗、長さ



A 電流と磁束と同方向に通じた場合

B 電流と磁束とを逆方向に通じた場合

第 9 圖 疵部附近の磁化状態



0.4 耗以上の疵に於ては鐵粉が充分に盛り上る爲には少くとも深さ 0.07 耗以上が必要なのである。勿論、材料の残留磁氣が之より小さなものであれば更に深さの最小値は増加するであらうし、疵の幅が小さくなれば更にこの値は減少するであらうことは推定出来るわけである。此れ以上に深さの浅い疵をも検出する必要があるならば、我々は磁化の方法、塗附する鐵粉の性質、油の粘度等を根本的に考へ直さねばならないのである。

### (c) 材質の問題

疵の検出の際に、之を磁化する方法に次いで材質の適否が大きな問題となる。磁氣探傷法を採用する以上材料は鐵系統強磁性体であらねばならぬことは勿論であるが、検出し得る疵の大きさの程度、換言すれば、検出された疵の數量から、その材料の良否を測定せねばならぬ様な場合には、被検材料の残留磁氣量の大きさの概略でも簡単に知る必要があるわけである。この爲に特に同一材料の試験片を作り之を磁化し、適當な方法に依つて残留磁氣量を測定すればよいのであるが、これは非常な手数を要し、且つ化学成分、熱處理等の異なる一つ一つについて測定せねばならぬから甚だ繁雜であり實用にはならないのである。磁化された材料そのものの残留磁氣の大小を直接適確に測定する方法が實用的に皆無である以上、磁化は常に充分であると見做し、材料そのものの磁氣的性質を吟味し残留磁氣量を推定せねばならないと言ふことになる。

一般に鐵を主体とする強磁性体の残留磁氣の大小はその材料の硬度に關係すると同時に、之の顯微鏡組織にも關聯があるわけであるから、我々はこの何れかに依つて探傷結果の良否を判定するに資とすることが出来るのである。硬度を測定することは現在比較的簡單ではあるが、材料の成分、熱處理等を考へに入れば硬度の大小は必ずしも残留磁氣の大小と完全に一致するとは言はれぬ場合もあるから、我々はむしろ顯微鏡組織を以て之が判定の料とするのが得策であらう。

#### 1. オーステナイト組織を呈するもの

一般にオーステナイト組織を呈するものは、非磁性であるから、かゝる材料は磁氣探傷法を應用することは出来ないこと勿論である。普通の炭素鋼、或は特殊鋼に在つては、オーステナイトは不安定であつて殆んど製品として存在することは稀であるが、18-8 不銹鋼の如く、ニッケル、クロム等を多量に含むものには往々にして、この組織を呈するものがあるのは特に注意する必要がある。

#### 2. マルテンサイト組織を呈するもの

昔の耐久磁石鋼は殆んどこの組織を必要條件として考へて居た程に、マルテンサイトは強磁性を呈し、我々が取扱ふ普通の鋼材の組織中最も残留磁氣の大なるもの換言すれば、疵の検出の容易なものである。従つてこ

の組織のものは磁氣探傷に依つて必要以上に微細な疵までも検出することが出来るのである。焼入れした炭素鋼、特殊鋼等我々が取扱ふ多くの材料が、此の組織であることは磁氣探傷法の大きな強みと言へよう。

#### 3. ソルバイト組織を呈するもの

この組織はマルテンサイト組織に次いで残留磁氣が大であるからこの場合も相當に微細な疵をも検出出来るわけである。

#### 4. パーライト組織を呈するもの

完全に焼鈍された炭素鋼、特殊鋼等、パーライト組織を呈するものは、我々は最も數多く取扱はねばならないのであるが、この組織は残留磁氣が比較的少いから探傷には特に注意を要するのである。パーライト組織のものは磁氣探傷が出来ないと言ふ人達も居るが、第 1 圖は特殊鋼のパーライト組織を呈するものであつて、磁氣探傷に依つて發見されたものであることを考へれば決して之等の人達の意見が正しいとは言ひ難いのである。唯、炭素鋼のパーライト組織を呈するものは、その炭素含有量、言ひ變へればパーライトの量に依つて、その残留磁氣が左右されるから、この點は特に注意を要するのである。炭素量 0.01 パーセント以上 0.9 パーセント迄は炭素量と残留磁氣の大きさは略比例して増加するからもしも、0.2 パーセント炭素量のものが磁氣探傷に依つて疵を検出し得たとすれば、それ以上の炭素量を含むものは勿論、検出可能となるわけである。唯探傷に必要な最低炭素含有量は、疵の大きさ、鐵粉の性質等を考慮せねば數量的に表はすことは困難であるが、0.15 パーセントを含むものが検出不可能であつた實例より推して 0.2 パーセント以下のものは相當困難と思はねばならぬのである。まして純鐵に近いもの、或は脱炭されたる製品の一部等は、残留磁氣を利用するこの種の方法を以てしては、疵を検出することが出来ないのである。

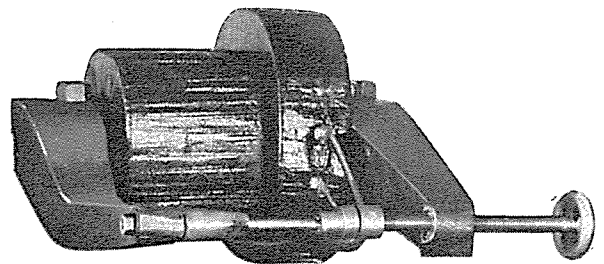
これ等以外の組織は、何れも上記 4 種の組織の變態と考へれば、一般に材料の残留磁氣がその結晶格子の歪の大小に關聯する以上は、組織の細いもの程残留磁氣が大であり、組織の粗大なるものは之が小さく、従つて、磁氣探傷は困難であると言ふ結果になるのである。斯の様に考へれば、鋼材の添加元素がその組織を變へるにすぎないと見做されるかぎりには、疵の検出程度にその化学成分を言々する必要は毛頭ない筈であり、探傷の嚴格を要する際に於ても、Ni、Cr、Mn、Si、Al 等の添加金屬がその量と、熱處理に依つて、母材の磁性を強化するに役立つて居るか、或は磁氣變態點を降下せしめる様に作用して居るか、論議する必要もないわけである。

## 結 言

磁氣探傷は、その磁化方法さへ確實であれば、相當に

満足すべき成果を期待することが出来るが、更に被検体の材質を吟味してかゝれば、顕微鏡的に微細な疵までも検出可能であり、一般鋼材の材料検査には今後益々活用せられるに相違ないのである。磁化装置はその原理も簡単であり製作も比較的容易であるから、市販のものを、そのまま各種の材料に應用するよりも、むしろ検査すべき鋼材に最も適當な磁化法を採用する方が望ましいのである。第 10 圖は試作の磁束と電流とを同時に通じうる方式に依り、資料を磁化する有様であつて、タービン發電機回轉子の内部より採取した資料に存在する白點の検出に活躍を期待する圖である。

以上磁氣探傷について我々の當面した二三の問題を拾ひ上げ之を簡単に述べた次第である。



第 10 圖 磁 化 装 置

#### 参 考 文 献

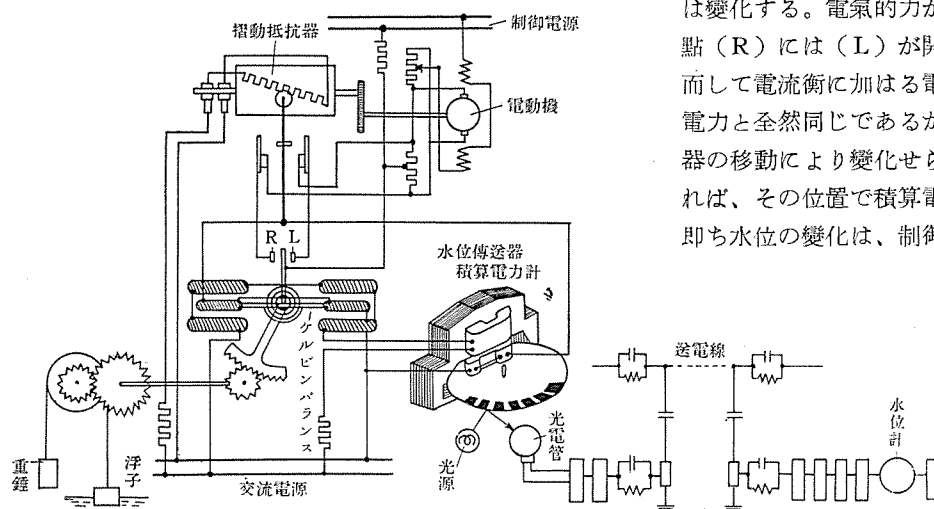
1. Mechanical Engineering 1937 Masch p. 150
2. 島津評論 昭和 17 年 3 月 29 頁
3. 三菱長崎製鋼所研究報告 第 53 號

## 遠 隔 位 置 計 測 方 式

(特 許 第 148511 號)

本方式は、制御パネの機械的力と、電力衡による電流力を平衡させる自動平衡型繼電器に於て、制御パネを、測定せんとする機械的變位により制御し、平衡型繼電器の自動平衡力を利用して、積算電力計の回轉速度を、前記機械的變位に比例して變化させる様にし、積算電力の回轉速度に比例する電氣的衝流を、遠隔地に送出させ、その衝流數を直接又は間接に、測定せんとするもので、特殊繼電器式計器の利用により、容易且正確に遠隔位置計測を行はせ、特に搬送式遠隔測定に適用出来る様にした點を特徴としてゐる。

圖は遠隔點の發電所に於ける水槽の水位を、配給所に於て、連續指示又は記録せしむる場合の接続を



例示するも、壓力によるウルトン管型計器の可動部の變位、其他一般の機械的變位を遠隔指示する等種々の方式に適用し得る事は勿論である。

本方式は圖に於いて明かなる如く、常時は水槽の浮子の位置に應じ、電流衡型繼電器の制御パネの或る回轉力と、電流衡に加はる電力による回轉力とが平衡して居り、接點(R)(L)は開いてゐる。電流衡の電流線輪は、積算電力計型計器の電流線輪と直列に接続せられ、交流電源より適當な電流が流され、又電流衡の電壓線輪と積算電力計型計器の電壓線輪とは並列に接続せられ、外部に摺動抵抗が接続せられて居る。従つて積算電力計は、一定の速度で回轉し、一定の衝流を遠隔地に送り、水位計を衝流數に比例して振らしてゐる。水位が變化して浮子が上下すると、制御パネを右廻り或は左廻りに廻はし電流衡の平衡を破るから接點(R)或は(L)は閉ぢる。従つて制御電動機が何れかの方向に回轉し、摺動抵抗値を變化させるから、電流衡に加はる電壓は變化する。電氣的力がパネの回轉力と平衡し、接點(R)には(L)が開く迄電動機は廻はされる。而して電流衡に加はる電力は、積算電力計に加はる電力と全然同じであるから圓板の回轉も、摺動抵抗器の移動により變化せられ、電動機の回轉が停止すれば、その位置で積算電力計は一定回轉を續ける。即ち水位の變化は、制御パネの回轉力を變化し、次に電流衡に加はる電力を變化し同時に積算電力計の圓板の回轉を變化せしめる、従つて衝流數の變化は水位計の振れに比例するのである。

(中野)

# 極 數 變 換 誘 導 電 動 機

名古屋製作所 織 本 照 雄

## 内 容 梗 概

極數變換型三相誘導電動機に於ける分布巻線係数及溝漏洩磁束が普通巻線の場合と異なる点を論じ極數變換の場合に生ずる回轉方向の反轉及固定子線輪間に生ずる循環電流に對する對策を考察し、定出力の場合の固定子結線方法を實際の数値に就て比較し更に普通巻線の電動機と極數變換型の電動機を特性及重量の點で比較せるものである。

## 緒 言

近來諸機械の性能向上に伴ひこれが原動力たる誘導電動機の運轉特性に對しても各個に適應する如き條件を附せられる様になつた。特に工作機械用電動機に於ては其の單獨運轉と高性能を得る目的から極數變換電動機が盛に使用される様になつた。三相籠形誘導電動機に普通使用される極數變換は 2 段 3 段及び 4 段にて使用上一定出力のものと一定回轉力のものとの 2 種に分けられる。以下極數變換電動機と一般用電動機と比較して其の特異性の二三に就て述べる事とする。

### (1) 分布巻線係数

極數變換電動機の巻線は公知の如く高速側に使用する場合 50 % ピッチ、低速として使用する場合 100 % ピッチ或はそれに近い値になる如く巻線されて居る。

今分布巻線係数を求むる一般式を示せば

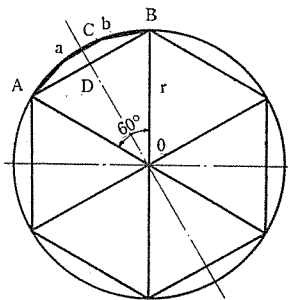
$$K_D = \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{2mq}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

一般  $P$  極及極數變換  $P$  極の場合

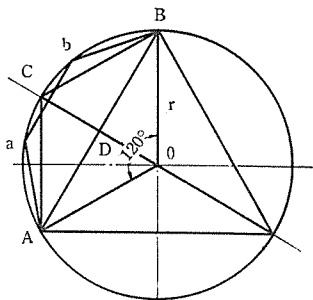
$$K_D' = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{q \sin \frac{\pi}{mq}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

極數變換  $2P$  極の場合

但し  $q$  = 每極每相の溝數  $m$  = 相數、



第 1 圖



第 2 圖

普通巻線電動機の分布巻線係数と極數變換電動機の低速の場合の分布巻線係数を比較して見ると、例へば每極每相の溝數 3 の場合に普通巻線のものは上の (1) 式から 96 % となり極數變換低速のものは (2) 式から 84.6 % となる。この事は次の様に説明する事が出来る。即ち上に示す第 1 圖は普通巻線に第 2 圖は極數變換低速巻線に誘起する起電力の圖式表示とすれば普通巻線の場合は 6 個の線輪群を以て  $N, S, 2$  極を作り極數變換低速の場合には 3 個の線輪群を以て  $N, S, 2$  極を作る事になる。而して分布巻線係数  $K_D$  は弦  $AB$  の弦  $Aa, ab, bB$  の和に對する比であるから兩圖に就て此の比を求めると上記の値となる。每極每相の溝數が非常に多くなり弦  $Aa, ab, bc, \dots$  等の和が弧  $AB$  に略等しくなつた場合を考へて見ると第 1 圖の場合は  $K_D = 95.5\%$  となり第 2 圖の場合には  $K_D' = 82.7\%$  となる。 $K_D'$  を書直すと

$$K_D' = \frac{\overline{AB}}{2 \overline{AC}} \times \frac{2 \overline{AC}}{\sum \overline{Aa}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{而して } \overline{AB} = 2r \sin \frac{\pi}{m}, \quad \overline{AC} = 2r \sin \frac{\pi}{2m},$$

$$\sum \overline{Aa} = 2qr \sin \frac{\pi}{mq}$$

故に

$$K_D' = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\sin \frac{\pi}{2m}} \times \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{mq}} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{2 \sin \frac{\pi}{2m} \cos \frac{\pi}{2mq}} \times \frac{\sin \frac{\pi}{2m}}{q \sin \frac{\pi}{2mq}} = r K_D \quad \dots\dots\dots (4)$$

即ち  $K_D'$  の値は普通巻線の分布巻線係数  $K_D$  に  $r$  を乗じた値となり、極數變換高速側巻線は常に  $Y//$  又は  $\Delta//$  の如く並列結線を必要とするから  $q=1$  は取り得ず  $q=2$  以上の値となる故に  $r$  及  $K_D'$  の値は次表の様になる。

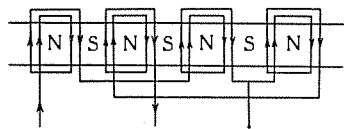
次頁上の表から分る様に普通巻線の場合には分布巻線係数は 100 ~ 95.5 % の間の値となるが、極數變換巻線を低速に使用した場合には 86.6 ~ 82.7 % の間にある事になり普通巻線又は極數變換高速側に使用せる場合の分布

$q$	$r$	$K_D$	$K_D'$
2	0.896	0.966	0.866
3	0.881	0.960	0.846
4	0.872	0.958	0.836
5	0.871	0.957	0.833
...	...	...	...
$\infty$	0.866	0.955	0.827

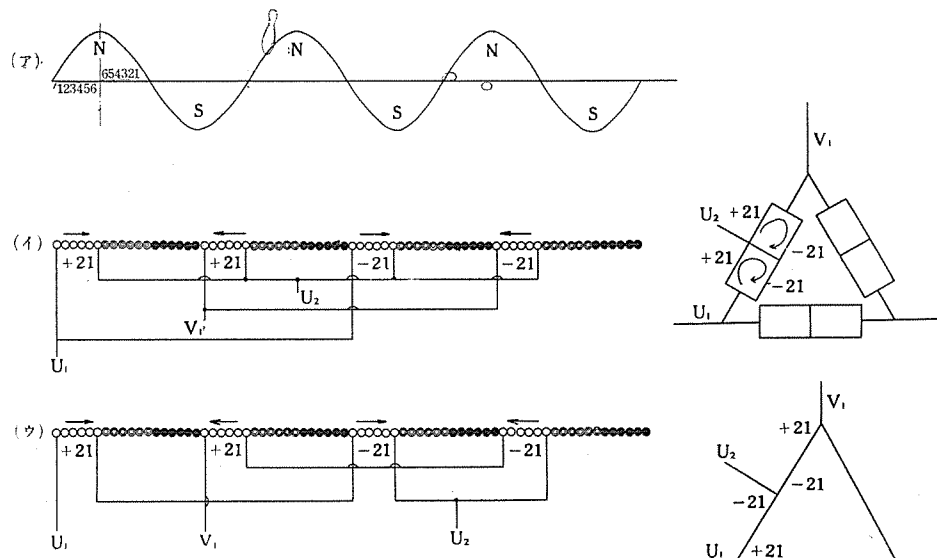
巻線係数よりも常に小さい $r$ 倍の巻線係数となる事に注意を要する。

## (2) 漏 洩 磁 束

第3圖に示す如く極數變換低速の場合には一次巻線の電流は凡て同一極性を與へる如き方向にのみ流れるのであるが各極の中間に反對極性の磁極が自然的に現れる。而して一次巻線は分布巻線であるから此の反對極性の現れる溝中の巻線電流は元の極性をあたへる如き方向を有する爲1相1極中の巻線の半分は溝漏洩磁束を有せざる抵抗のみの無誘導回路と考へられる如き状態となる。故に極數變換電動機の低速側の設計に當つては普通巻線の場合と異り上記の點を考慮して一次及二次側の巻線に對する溝漏洩磁束によるリアクタンスを普通巻線の場合の半分に補正して計算せねば其の特性上最大回轉力、起動電流値、起動回轉力、力率等が實測値と大きな差を生ずる事になる。一次二次の線輪端の漏洩磁束によるリアクタンス及一次、二次間の千鳥形漏洩磁束によるリアクタンスは普通巻線と同様に考へ更に二重籠形の場合の二次側上下導体間の相互誘導によるリアクタンスも一般の場合と同一



第 3 圖



第 4 圖

と考へる。

## (3) 循 環 電 流

極數變換電動機に於て一次溝中に2組以上の巻線を施す場合即ち3段速度以上又は2段速度にて4極—6極或は6極—8極等の如き極數變換を行ふ場合には一方の巻線に電流を通じた爲に他の巻線に起電力を誘起し其の巻線が閉回路を爲して居る場合には循環電流を生じ電動機は運轉不能に陥る事がある。此の循環電流の發生を避けるには使用しない側の線輪の結線を直列 Y とするか又は直列  $\Delta$  結線の一角を開放する事によつて目的を達する事が出来るが又結線の方法を適當に選ぶ事によつても循環電流或は局部電流の發生を防止出来る、以下二三の例に就き説明する。

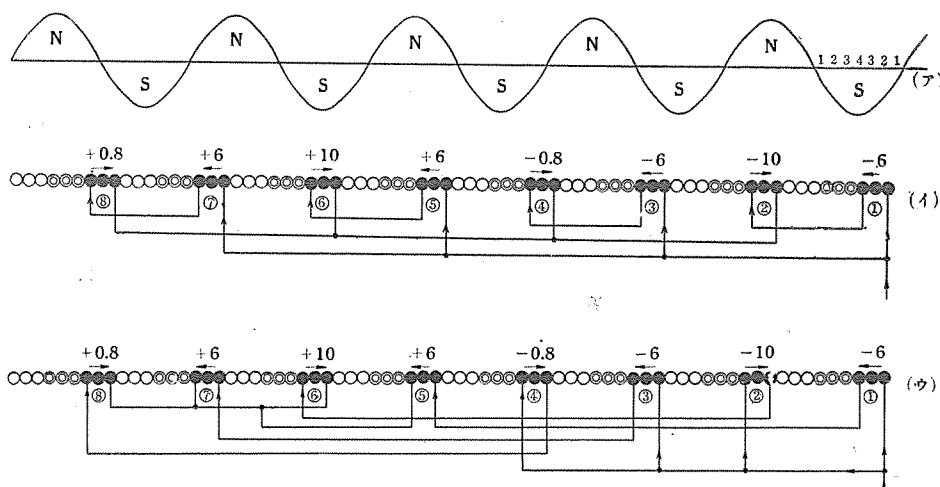
### 例〔i〕

第4圖は4—6—8極の3段速度の極數變換電動機で6極用と4—8極用の2組の巻線を72溝の固定子に納めた場合である。圖の(A)に示す正弦波形は6極用の一組の巻線に依つて生ずる磁束波を示し、圖の(イ)は他組の巻線が $2//\Delta$ の場合の結線、(ウ)は $\Delta$ の場合の結線を示す。今6極の磁束波を受ける各溝中の線輪に對し夫々 $\pm 1$ より $\pm 6$ までの單位を與へると各線輪の誘起する起電力の大きさと極性を代表させる事が出来る。4—8極の結線を $4//Y \leftrightarrow 2//\Delta$ とすれば圖(イ)の如く局部循環電流を生じ $2//Y \leftrightarrow \Delta$ とすれば圖(ウ)の如く $U_1, V_1$ 間には起電力は現はれず循環電流を生じないから $\Delta$ 結線の一角を開放する必要はない。

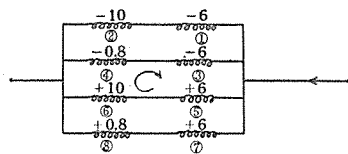
### 例〔ii〕

第5圖は8—10極(或は8—10—16極)の場合の循環電流の發生を線輪群の選び方によつて防止した場合の例で10極に使用した場合に8極側に起る問題である。此の場合8極の結線は $4//Y$ であるが第5圖(イ)の如く結線すると第6圖に示す如く各部分毎に不平衡起電力を

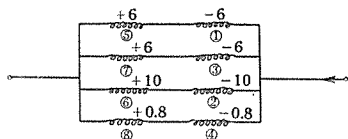




第 5 圖



第 6 圖



第 7 圖

生じ局部電流を發生する。

此の結線を變更して第 7 圖の如く組合せる時は各部の起電力は互に打消して局部循環電流を生ぜず 4//Y の儘使用する事が出来る。

#### (4) 結線の選び方

極數變換電動機の結線中極數比を 1:2 に變換せしむるには Y—Y// に切換へるものと Δ—Y// に切換へるものが用ひられる。前者は高速 Y// 低速 Y として送風機等の如く速度の低下により負荷の急激に減少する用途に用ひられる。此の場合 1 線輪當りの印加電壓は低速の場合に高速の半分となつて出力は  $\frac{1}{4}$  となる。

後者は高速 Y// 低速 Δ として専ら高速、低速共に回轉力一定のものに使用される。然るに高速低速共に同一出力を要求される用途のものには従來高速 Δ 低速 Y// に結線せるものと高速 Y// 低速 Δ に結線せるものと二通りの組合せが考へられた。高速 Δ 低速 Y// は各相 1 線輪當りの印加電壓を低速の場合に高速の場合の  $\frac{2}{\sqrt{3}}$  倍として出力の低下を防止せしめんとするものであり、高速 Y// 低速 Δ は印加電壓を低速の場合に高速の場合

第 1 表

出力 H. P.	極 數	結 線	能 率 %	力 率 %	滑 り %	停動回轉力 %	起動回轉力 %	起動電流 A
2 220V 60~	4	Y//	83.0	86.6	2.5	344	181	40.5
	8	Δ	81.8	69.0	4.85	233	126	25.6
	4	Δ	83.1	91.1	4.2	246	114	23.0
	8	Y//	81.9	69.2	4.7	220	112.4	23.85
5 220V 60~	6	Y//	85.5	79.4	2.25	352	140	88.5
	12	Δ	81.9	69.5	5.77	175	89.2	49.0
	6	Δ	84.5	86.7	3.7	204	80.5	51.5
	12	Y//	82.1	69.0	5.54	184	94	51
15 200V 50~	4	Y//	87.0	94.8	2.37	440	261	353
	8	Δ	86.3	80.4	3.15	226	124.2	195
	4	Δ	85.4	95.8	4.23	294	172.3	229
	8	Y//	86.6	76.7	2.74	258	95.3	222
20 220V 60~	6	Y//	91.2	87.3	1.76	432	175	402
	12	Δ	86.0	61.7	3.67	175	54	197
	6	Δ	89.8	91.6	3.34	256	103	238
	12	Y//	85.6	60.2	3.39	182	55.8	205.8

合の  $\frac{1}{2}\sqrt{3}$  倍に減少せしめて低速の場合の急激なる磁束密度の増加を防ぎ、特性の低下を避けんとするものである。両者の何れが勝れておるか実際の例に就て特性を比較して見ると第1表の通りである。此の場合鐵心長さは同一とする。

上の表を見ると能率、力率の點では大差なく停動及起動回轉力並びに起動電流の點で高速 Y// 低速 Δ のものは高速、低速間の差が大き過ぎ一定回轉力の特性傾向となるが高速 Δ 低速 Y// のものは起動電流値及回轉力の差が少く特に起動電流値が殆んど等しい値となるから直入起動の目的に適當して居り起動停止を頻繁に繰返す此の種電動機の用途に適して居る。又中間回轉力仕様の電動機例へば4極で20馬力、8極で15馬力或は6極で7.5馬力、12極で5馬力の如く低速に於て高速出力の半より大なる場合は高速 Δ 低速 Y// が良く、4極10馬力で8極3馬力の如く低速出力が高速出力の半以下の場合には高速 Y// 低速 Δ の結線を可とする。

### (5) 回 轉 方 向 の 反 轉

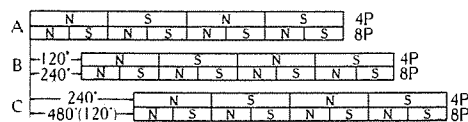
1:2の變換比を有する同一巻線による極數變換電動機は一方から他方に切換へる場合に3相の中の2相の端子を入れ換へぬと前と同一回轉方向を得る事が出來ぬ。

これは管制器と結合する場合に注意を要する點で端子記號の付け方も豫め連絡して置く必要がある。

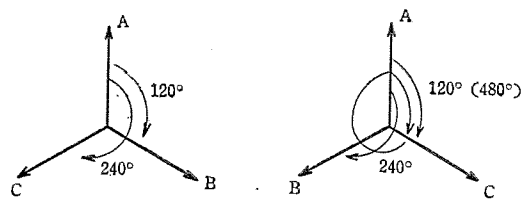
極數變換に依る回轉方向反轉の理由は次の如く説明する事が出来る。

即ち第8圖に於て A,B,C 相間の磁極の位置と相差角を表はすものとすれば4極の場合に夫々 B 相は A 相より120° 遅れ C 相は A 相より240° 遅れた關係にある。今これを各下側の如く8極に切換へると B 相は A 相より

り240° 遅れ C 相は 480° 遅れた關係となる。即ち第9圖に見る如く4極の場合の相回轉の方向 A→B→C は8極の場合に A→C→B となり回轉方向は反對となるが B 相と C 相を反轉する事により同一回轉方向を得る事が出来る。



第 8 圖



第 9 圖

### (6) 重 量 及 特 性

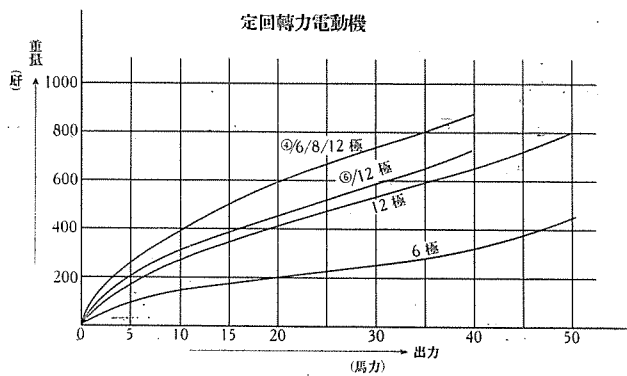
極數變換電動機は普通巻線のものに比して巻線係數も悪く磁束密度及鐵損、銅損の配分も不平衡になり勝であるから同一極數、同一出力の兩者を比較すれば前者は重量も大きく特性も悪くなる傾向にある。

#### 〔i〕 特性 の 比 較

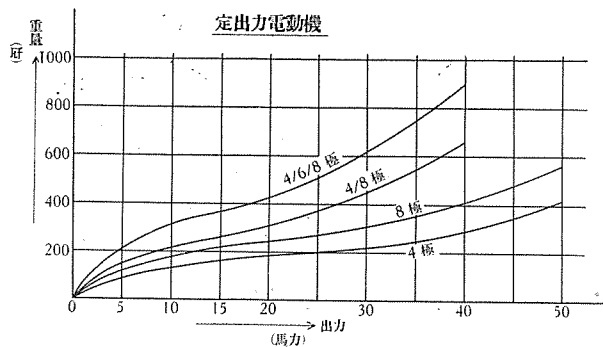
上の表を見ると力率の點で極數變換電動機を高速に使用した場合は普通巻線のものより高力率を示すが低速側に切換へた場合に鐵心の磁束密度が急激に増加して力率が相當低下して居る。其の他の特性は普通巻線のものに比較してあまり大なる差異を認められぬ。

第 2 表 一 定 出 力 200V 50~

馬 力	極	一 次 電 流 A	能 率 %	力 率 %	滑 り %	停動回轉力 %	起動回轉力 %	起動電流 A
10	4	28.7	87.3	87.0	4.2	310	174	163
	④/8	27.5	81.5	94.5	5.0	326	230	163
	8	31.4	84.1	82.7	5.8	211	120	118
	4/⑧	36.5	84.2	72.3	2.6	295	100	174
15	4	41.5	88.6	88.9	4.2	296	153	233
	④/8	45.0	84.4	94.8	4.8	280	170	242
	8	44.5	86.8	84.2	5.2	262	151	213
	4/⑧	55.0	85.6	76.0	3.2	246	102	240
20	4	55.0	87.8	88.9	4.4	315	174	324
	④/8	53.5	86.2	95.6	3.9	236	90.5	258
	8	58.0	87.5	86.2	4.8	235	125	237
	4/⑧	63.0	86.8	80.7	3.4	188	62.0	241
25	4	67.5	89.5	91.4	3.7	250	110	340
	④/8	68.0	85.8	93.3	5.6	175	80	241
	8	66.4	89.8	85.9	4.8	260	175	338
	4/⑧	75.0	89.0	85.5	3.4	212	72	282



第 10 圖



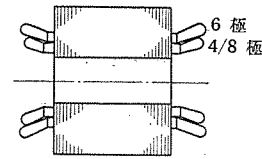
第 11 圖

## 〔ii〕重量の比較

重量の點を比較して見ると第 10 圖、第 11 圖に示す様になる。第 10 圖は回転力一定（遞減出力）のものを示し 6/12 のものは 6 極に於ける出力を 4/6/8/12 極のものは 4 極に於ける出力を横軸に取てゐる。第 11 圖は一定出力のものを示す。

## （7）線輪の形成

極數變換比が 1:2 にして 1 溝に 1 組の線輪を納むる場合には溝絶縁其の他は普通の場合と同様で高速の場合に 50% ピッチ 低速の場合に 100% ピッチに置けば高調波の發生を最小限にする事が出来る。100% 以下のピッチにては奇數の高調波を生じ易く 100% 以上のピッチにて



第 12 圖

は偶數の高調波を生ずる様になる。1 溝に 2 組の線輪を挿入する場合には溝の開口に近く最低速を含む線輪を入れ、3 段速度の場合には中間速又は最高速、4 段速度の場合には最高速を含む線輪を溝の底部に入れる（第 12 圖参照）。即ちかくする事により最低速の場合にリアクタンスの増加による出力及力率の低下を防止し高速側の長い線輪端により低速側の線輪端が覆はれてテーピング其の他の工作上不便を生じない様にする事が出来る。2 組の線輪を挿入する場合各々の線輪は各自独自のピッチを取り得るわけであるが兩者のピッチにあまり差があると一方の線輪端が他方につかへて入らぬ様になるので大体近いピッチを取る事になる。

又 2 組の線輪を溝に納むる場合には導体の溝占有率は普通巻線の場合より 10~15% 悪くなる。これは溝中の上下兩線輪間に溝絶縁と同程度の絶縁を行ふ爲である。尙固定子導体の電流密度は同一容量の普通巻線電動機に比較して熱容量が大きい爲 20~30% 多く取る事が出来る。

## （8）結 び

以上極數變換電動機の特異性に就て雜然と申し述べたが從來此種電動機は特性が悪く小型のものに對しては出力さへ出れば、回轉しさへすれば良いと言ふ様な考があつたが前述の如く特性重量等の點でも普通巻線の電動機に比較して大なる遜色を認められず、電動機製作技術の進歩と共に更に改良される事と思はれるので、籠型誘導電動機の缺點たる速度制御の問題を克服して直入電動機の特長を生かし各種の機械に盛に使用せられる様希望する次第である。

# Heaviside 演算子法に對する新しい考察と その電氣回路解析に於ける應用 (V)

研 究 部 菅 野 正 雄

## 内 容 梗 概

從來の Heaviside 法に於て重要な役割を演じたる單位函數に就て一言し、此の函數を含む演算子算法の二、三を説明した。ついで、近來演算子法に於て注目せられつゝある衝擊函數に就て詳しく詳細なる説明をなし、これに關聯して  $p1 \equiv p(t-a)$  なる函數を導いた。而して單位函數と衝擊函數との關係に就ては從來は誤れる考へを持つ向もあつたので、その關係を明瞭ならしめた。

$$(VI) \text{ 單位函數 } I\left(\frac{t}{a}\right) \left( \equiv I\left(\frac{t-a}{0}\right) \right)$$

### § VI. 1. 緒 言

さきに、第 I 章に於て、從來の H 一法に於ては、所謂單位函數

$$I \equiv \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

が重要な役割を演ずるものなること及び、更に第 II 章に於ては、H 一法の修正が、この單位函數に對して適當なる考慮を拂ふことによつて、ある程度達し得らるべきことを述べたが、第 II 章乃至第 V 章に於て説明せる N 一法に於ては、この函數を少しも用ふことなしに演算が進められ、一見、單位函數は不要の如く思はしめられるのである。事實、第 V 章迄に述べたる範圍内に於ては、從つて、回路解析で言へば、集中定數回路解析の問題を取扱ふ限りに於ては、かゝる函數は、これを使用しなくとも充分なのである。併し、單位函數が、それを使用するに不適當であると云ふのではない。從來の H 一法に於ける如くではなく、より合理的なる使ひ方をなせば第 II 篇に於て説明する如く、回路解析に於て充分その役割を果すことが出来るのである。又更に、第 III 篇に於て述べる如く、N 一法と Laplace 變換との關係を論じて、N 一法を擴張する際には、必ず此の單位函數を使用するのであるから、結局廣い意味では、演算子法に單位函數は必要なのである。よつて本章に於ては此の函數に就て少しく述ぶることとしよう。

### § VI. 2. 定 義

一般に、

$$I\left(\frac{t}{a}\right) \equiv \begin{cases} 1, & t > a \\ 0, & t < a \end{cases} \quad (VI.1)$$

なる函數を單位函數と名付けよう。從來の H 一法に於て用ひられた單位函數は  $a=0$  なる特別の場合に相當する。

(VI.1) 式の書き方に從へば、單位函數は又、 $I\left(\frac{t-a}{0}\right)$

とも書ける。更に

$$I\left(\frac{a}{t}\right) \equiv I\left(\frac{a-t}{0}\right) \equiv \begin{cases} 1, & t < a \\ 0, & t > a \end{cases}, \quad \dots\dots (VI.2)$$

$$I\left(\frac{t}{a}\right) + I\left(\frac{a}{t}\right) \equiv 1, \quad (t \geq a), \quad \dots\dots (VI.3)$$

なることは明かである。

所で、單位函數の  $t=a$  に於ける値如何といふに、これは一義的に定義しておかない方がよい様である。それは、實際回路解析の問題等を考慮する場合、ある函數（たとへば、電流又は電壓）の  $t=a$  に於ける値云々といふよりはむしろ、 $\lim_{t \rightarrow a+0}$  又は  $\lim_{t \rightarrow a-0}$  の如き極限值を取扱ふ場合に關聯してこの單位函數を使用することが専らであるからである。從つて單位函數の  $t=a$  に於ける値は不定としておいて差支へない。故に、たとへば函數  $F(t)$  が、 $t=a$  に於て如何なる値を持つとしても、

$$F(t) \equiv \begin{cases} 1, & t > a \\ 0, & t < a \end{cases}$$

であれば、それは單位函數なのである。

例 1).

$$I\left(\frac{t}{a}\right) \equiv \lim_{\mu \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \mu(t-a) \right) \dots\dots (VI.4)$$

( $\tan^{-1}$  は主値)

例 2).

$$I\left(\frac{t}{a}\right) \equiv \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{\sin(t-a)x}{x} dx, \dots\dots (VI.5)$$

例 3).

$$I\left(\frac{t}{a}\right) \equiv \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \frac{e^{\lambda(t-a)}}{\lambda} d\lambda, \quad (c > 0), \dots\dots (VI.6)$$

### § VI. 3. 單位函數を含む演算子算法

§§ VI. 3.1. 被演算函數が  $t_0 < t$  に於て定義された積分可能な函數であり、 $a$  は  $t_0 < a < t$  であるとすれば、

$$f_1(D)f_2(D)^{-1} I\left(\frac{t}{a}\right) \equiv I\left(\frac{t}{a}\right) f_1(p)f_2(p)^{-1}, \dots\dots (VI.7)$$

但し  $f_k(D)$  ( $k=1, 2$ ) は  $D$  の有理整函數とし、



$p$  は従来通り、 $p \cdot \equiv D \cdot + pC\left(\frac{a}{t}\right) \cdot$  とする。

証明:  $t_0 < b < a < t$  なる常數  $b$  をとれば、§ II. 6. に於ける説明により、

$$\begin{aligned} D^{-1}I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot &\equiv \int_b^t I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot dt \equiv \int_b^t I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot dt \\ &\equiv \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{a+\varepsilon}^t I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot dt \\ &\equiv I\left(\frac{t}{a}\right) \int_a^t \cdot dt \\ &\equiv I\left(\frac{t}{a}\right) p^{-1} \cdot, \dots\dots\dots (VI. 8) \end{aligned}$$

である。従つて又、

$$D^{-2}I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot \equiv D^{-1}I\left(\frac{t}{a}\right) p^{-1} \cdot \equiv I\left(\frac{t}{a}\right) p^{-2} \cdot$$

よつて一般には、

$$D^{-n}I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot \equiv I\left(\frac{t}{a}\right) p^{-n} \cdot, (n=0, 1, 2, \dots\dots\dots), \dots\dots\dots (VI. 9)$$

を得る。又この式の兩邊に、左側より  $D^n$ , 右側より  $p^n$  を作用せしめれば、

$$I\left(\frac{t}{a}\right) p^n \cdot \equiv D^n I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot, (n=0, 1, 2, \dots\dots\dots), \dots\dots\dots (VI. 10)$$

が得られる。かくて (VI. 9) 式と (VI. 10) 式とを併用すれば、容易に (VI. 7) 式の關係を導くことが出来る。

#### §§ VI. 3. 2.

$$\varepsilon^{aD} I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot \equiv I\left(\frac{t}{a}\right) C\left(\frac{t+\alpha}{t}\right) \cdot, \dots\dots\dots (VI. 11)$$

これは (III. 21) 式の關係を用ひて直ちに證明し得る。

こゝに注意すべきことは、

$$D^n I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot \equiv I\left(\frac{t}{a}\right) p^n \cdot, (n=0, 1, 2, \dots\dots\dots)$$

であつても

$$\varepsilon^{aD} I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot \equiv I\left(\frac{t}{a}\right) \varepsilon^{ap} \cdot$$

とは書けないことである。これは  $\varepsilon^{ap}$  なる演算子を定義することが出来ないことによるのである。

§§ VI. 3. 3. (III. 23) 式によれば、 $f(D)$  を  $D$  の有理函數とする時、一般には、

$$f(D) \varepsilon^{aD} \cdot \equiv \varepsilon^{aD} f(D) \cdot$$

なる關係は成立しないが、被演算函數を  $I\left(\frac{t}{a}\right) F(t)$  の如きものに制限する時は、成立し得るのである。即ち

$$f(D) \varepsilon^{aD} I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot \equiv \varepsilon^{aD} f(D) I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot, \dots\dots\dots (VI. 12)$$

が成立つ。何となれば、(IV. 32) 式により、

$$\begin{aligned} f(D) \varepsilon^{aD} I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot &\equiv f(D) I\left(\frac{t}{a-\alpha}\right) C\left(\frac{t+\alpha}{t}\right) \cdot \\ &\equiv I\left(\frac{t}{a-\alpha}\right) f\left(p\left(\frac{t}{a-\alpha}\right)\right) C\left(\frac{t+\alpha}{t}\right) \cdot \\ &\equiv I\left(\frac{t}{a-\alpha}\right) C\left(\frac{t+\alpha}{t}\right) f\left(p\left(\frac{t}{a}\right)\right) \cdot \end{aligned}$$

であり、又

$$\begin{aligned} \varepsilon^{aD} f(D) I\left(\frac{t}{a}\right) \cdot &\equiv \varepsilon^{aD} I\left(\frac{t}{a}\right) f\left(p\left(\frac{t}{a}\right)\right) \cdot \\ &\equiv I\left(\frac{t}{a-\alpha}\right) C\left(\frac{t+\alpha}{t}\right) f\left(p\left(\frac{t}{a}\right)\right) \cdot \end{aligned}$$

であるからである。

此の關係に對する一つの例が、既述の § II. 3. に於ける説明中に擧げられてある。

#### (VII) $\delta$ -函數 (衝擊函數) と $\rho$ -函數

§ II. 8. に於て、 $p\left(\frac{t}{a}\right) \cdot 1$  が  $\delta$ -函數とある關係を有することを附言しておいたが、本章に於てこれを明かにしよう。

##### § VII. 1. $\delta$ -函數の定義

先づ、 $\delta$ -函數 (衝擊函數) なるものを定義しておく。 $\mu > 0$  を parameter とする  $t-a$  の函數  $F(t-a; \mu)$  が次の三つの性質の何れかを有するものとする。

(1).

$$\begin{aligned} \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F_1(t-a; \mu) &= 0, (0 < \varepsilon \leq |t-a|), \\ \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a+0} F_1(t-a; \mu) &= \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a-0} F_1(t-a; \mu) = +\infty, \\ \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a+0} G(t) F_1(t-a; \mu) &= \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a-0} G(t) F_1(t-a; \mu) = 0, \\ (\text{但し、} \lim_{t \rightarrow a+0} G(t) &= \lim_{t \rightarrow a-0} G(t) = 0 \text{ とする}), \end{aligned}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} F_1(t-a; \mu) dt = 1.$$

(2).

$$\begin{aligned} \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F_2(t-a; \mu) &= 0, (0 < \varepsilon \leq |t-a|), \\ \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a+0} F_2(t-a; \mu) &= 0, \\ \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a-0} F_2(t-a; \mu) &= +\infty, \\ \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a-0} G(t) F_2(t-a; \mu) &= 0, \\ (\text{但し、} \lim_{t \rightarrow a-0} G(t) &= 0 \text{ とする}), \end{aligned}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} F_2(t-a; \mu) dt = 1.$$

(3).

$$\begin{aligned} \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F_3(t-a; \mu) &= 0, (0 < \varepsilon \leq |t-a|), \\ \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a-0} F_3(t-a; \mu) &= 0, \\ \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a+0} F_3(t-a; \mu) &= +\infty, \\ \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a+0} G(t) F_3(t-a; \mu) &= 0, \\ (\text{但し、} \lim_{t \rightarrow a+0} G(t) &= 0 \text{ とする}), \end{aligned}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} F_3(t-a; \mu) dt = 1.$$

然る時は、

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F(t-a; \mu), (-\infty > t < \infty)$$

を  $\delta$ -函数 (衝擊函数) と稱し、夫々次の如く書く。

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F_1(t-a; \mu) \equiv \delta_1(t-a), \quad (-\infty < t < \infty), \quad \dots\dots\dots (VII.1)$$

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F_2(t-a; \mu) \equiv \delta_2(t-a), \quad ( \quad " \quad ), \quad \dots\dots\dots (VII.2)$$

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F_3(t-a; \mu) \equiv \delta_3(t-a), \quad ( \quad " \quad ), \quad \dots\dots\dots (VII.3)$$

又  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  及び  $\delta_3$  を區別する必要なき時はそれらを單に  $\delta(t-a)$  と書くこととする。而して單位函数と同様に、 $t=a$  に於ける値は別に規定しない。従つてたとへば  $t=a$  に於ける値は異なつても、(1) なる性質に於て一致しておれば、それは何れも  $\delta_1(t-a)$  函数であることになる。

これらの  $\delta$ -函数は、たとへば、第 3 圖 (A), (B) 及び (C) に於て、影を施した部分の面積を 1 に保ちつゝ、 $h \rightarrow 0$  及び  $h \rightarrow +\infty$  とした極限の場合 (同圖 (A'), (B') 及び (C')) を表はす函数と考へられる。

### § VII. 2. $\delta$ -函数の例

$$\delta_1(t-a) \equiv \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{\pi} \frac{\mu}{1+\mu^2(t-a)^2}, \quad \dots\dots\dots (VII.4)$$

$$\delta_2(t-a) \equiv \lim_{\mu \rightarrow \infty} I\left(\frac{a}{t}\right) 2\mu(t-a)\varepsilon^{-\mu(t-a)^2}, \quad \dots\dots\dots (VII.5)^{(16)}$$

$$\delta_3(t-a) \equiv \lim_{R \rightarrow +0} I\left(\frac{t}{a}\right) \frac{1}{CR} \varepsilon^{-\frac{t-a}{CR}}, \quad (C>0), \quad \dots\dots\dots (VII.6)$$

こゝに、(VII.4) の如き  $\delta$ -函数は、物理學の量子力學に於て Dirac が用ひてより<sup>(17)</sup>、屢々利用されてゐるので、Dirac の意味の  $\delta$ -函数と呼ばれてゐる。又  $\delta_3(t-a)$  函数は應用數學に於て屢々表はれるものである<sup>(18)</sup>。而して (VII.6) 式の右邊はたとへば、電荷 1 を持つ蓄電器  $C$  を、抵抗  $R$  を通して  $t=a$  なる瞬間放電せしめたる時の電流が、 $R \rightarrow +0$  の極限に於ては  $\delta_3(t-a)$  函数で表はされることを示してゐる。

### § VII. 3. $\rho$ -函数

$\rho\left(\frac{t}{a}\right) \cdot 1, \quad (-\infty < t < \infty)$  を  $\rho$ -函数と呼び、

$$\rho\left(\frac{t}{a}\right) \cdot 1 \equiv \rho(t-a), \quad (-\infty < t < \infty), \quad \dots\dots\dots (VII.7)$$

の如く書くこととする。然る時は、(II.28) 式の関係によつて、

$$\rho\left(\frac{t}{a}\right)^{-1} \rho(t-a) \equiv \int_a^t \rho(t-a) dt \equiv 1, \quad (-\infty < t < \infty) \quad \dots\dots\dots (VII.8)$$

であるから、これより先づ  $t > a$  とすれば

$$\lim_{t \rightarrow a+0} \int_a^t \rho(t-a) dt \equiv 1$$

である。よつて、

$$\int_a^{a+\varepsilon} \rho(t-a) dt + \int_{a+\varepsilon}^t \rho(t-a) dt \equiv 1, \quad (\varepsilon > 0)$$

より、

$$\int_{a+\varepsilon}^t \rho(t-a) dt = 0, \quad (t \geq a + \varepsilon).$$

従つて、

$$\rho(t-a) = 0, \quad (t \geq a + \varepsilon), \quad \dots\dots\dots (VII.9)$$

でなければならぬ。しかも  $\varepsilon$  を如何程小なる正數とするも

$$\int_a^{a+\varepsilon} \rho(t-a) dt \equiv 1$$

であつて、尙

$$\rho(t-a) \equiv 0$$

ではないのであるから、 $\rho(t-a)$  の  $(a, a+\varepsilon)$  に於ける様子は  $\delta_3(t-a)$  のそれと同様でなければならぬ。よつて、 $t > a$  に對しては

$$\rho(t-a) = \delta_3(t-a), \quad (t > a), \quad \dots\dots\dots (VII.10)$$

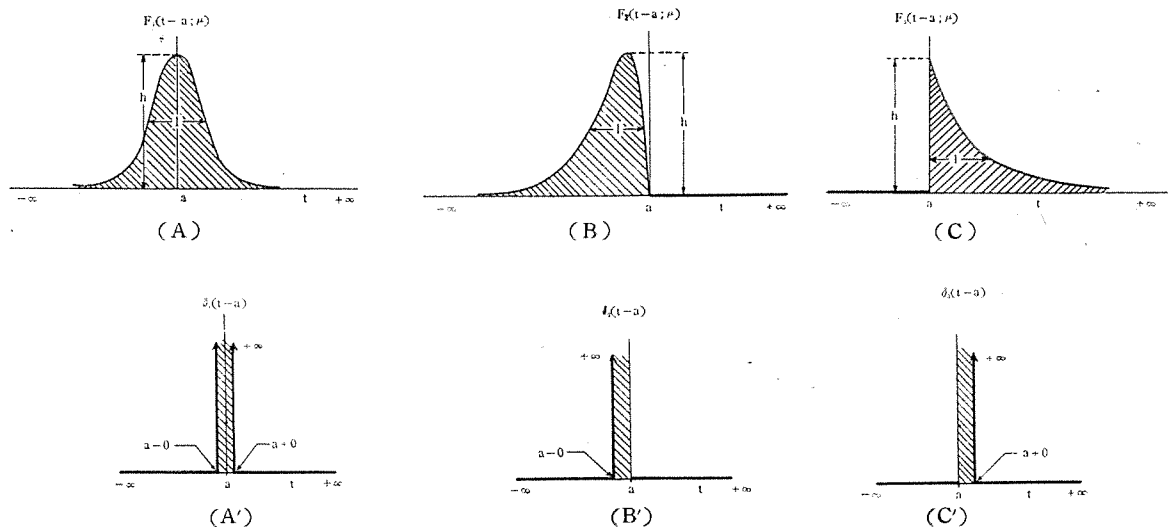
である。

同様に、 $t < a$  に對しては、

$$\rho(t-a) = -\delta_2(t-a), \quad (t < a), \quad \dots\dots\dots (VII.11)$$

でなければならぬ。結局

$$\rho(t-a) \equiv \begin{cases} \delta_3(t-a), & (t > a) \\ -\delta_2(t-a), & (t < a) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (VII.12)$$



第 3 圖

と云ふことになる。従つて又、

$$\int_{-\infty}^{\infty} \rho(t-a) dt = 0, \quad \text{.....(VII. 13)}$$

$$I\left(\frac{t}{a}\right) \rho(t-a) \equiv I\left(\frac{t}{a}\right) p\left(\frac{t}{a}\right) \cdot 1 = \delta_3(t-a), \quad \text{.....(VII. 14)}$$

$$I\left(\frac{a}{t}\right) \rho(t-a) \equiv I\left(\frac{a}{t}\right) p\left(\frac{t}{a}\right) 1 = -\delta_2(t-a), \quad \text{.....(VII. 15)}$$

である。

この  $\rho$ -函数を、 $\delta$ -函数の場合の如く、ある函数列の極限として定義すれば次の如くなるであらう。即ち、 $\mu > 0$  として、

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F(t-a; \mu) = 0, \quad (0 < \epsilon \leq |t-a|),$$

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a-0} F(t-a; \mu) = -\infty,$$

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \lim_{t \rightarrow a+0} F(t-a; \mu) = +\infty,$$

$$\lim_{t \rightarrow a \pm 0} G(t) F(t-a; \mu) = 0,$$

$$\left( \text{但し、} \lim_{t \rightarrow a \pm 0} G(t) = 0 \right),$$

$$\int_a^{-\infty} F(t-a; \mu) dt = \int_a^{\infty} F(t-a; \mu) dt = 1$$

なる函数  $F(t-a; \mu)$  があるとすれば、

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} F(t-a; \mu) \equiv \rho(t-a), \quad (-\infty < t < \infty) \quad \text{.....(VII. 16)}$$

である。たとへば

$$F(t-a; \mu) \equiv 2\mu(t-a)\epsilon^{-\mu(t-a)^2}, \quad (\mu > 0)$$

の如きはその一例である。これを図示すれば、第 4 圖 (A) の如くであり、従つて  $\rho$ -函数は同圖 (B) の如くなる。

#### § VII. 4. $\rho$ -函数を含む積分の計算例

(1).

$$\begin{aligned} p^{-1} F(t) p \cdot 1 &\equiv \int_a^t F(t) \rho(t-a) dt \\ &\equiv F(a) \int_a^t \rho(t-a) dt \\ &\equiv F(a), \quad \text{.....(VII. 17)} \end{aligned}$$

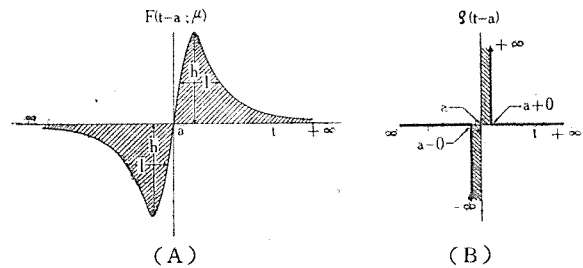
これを普通に計算するには、(IV. 17) 式の関係を利用すべき所である。

(2).

$$\begin{aligned} \frac{p}{p-\alpha} \cdot 1 &\equiv \epsilon^{at} \int_a^t \epsilon^{-at} \rho(t-a) dt \\ &\equiv \epsilon^{a(t-a)}, \quad \text{.....(VII. 18)} \end{aligned}$$

(3).

$$\begin{aligned} \frac{p}{(p+\alpha)^2 + \beta^2} \cdot 1 &\equiv \frac{1}{2j\beta} \left( \frac{1}{p+\alpha-j\beta} - \frac{1}{p+\alpha+j\beta} \right) p \cdot 1 \\ &\equiv \frac{1}{2j\beta} \left\{ \epsilon^{-(\alpha-j\beta)(t-a)} - \epsilon^{-(\alpha+j\beta)(t-a)} \right\} \end{aligned}$$



第 4 圖

$$\equiv \frac{\epsilon^{-a(t-a)}}{\beta} \sin \beta(t-a), \quad \text{.....(VII. 19)}$$

(4).

$$\begin{aligned} \frac{p^2}{(p+\alpha)^2 + \beta^2} \cdot 1 &\equiv \frac{1}{2j\beta} \left\{ \frac{\alpha+j\beta}{p+\alpha+j\beta} - \frac{\alpha-j\beta}{p+\alpha-j\beta} \right\} \rho(t-a) \\ &\equiv \frac{1}{2j\beta} \left\{ (\alpha+j\beta) \epsilon^{-(\alpha+j\beta)(t-a)} - (\alpha-j\beta) \epsilon^{-(\alpha-j\beta)(t-a)} \right\} \\ &\equiv \frac{\epsilon^{-a(t-a)}}{\beta} \left\{ \beta \cos \beta(t-a) - \alpha \sin \beta(t-a) \right\}, \quad \text{.....(VII. 20)} \end{aligned}$$

#### § VII. 5. 単位函数と $\delta$ -函数との關係

(VI. 7) 式及び (VII. 14) 式とより、

$$D I\left(\frac{t}{a}\right) \equiv I\left(\frac{t}{a}\right) p\left(\frac{t}{a}\right) 1 = \delta_3(t-a), \quad \text{.....(VII. 21)}$$

が得られるが、實は  $t=a$  に於ける  $I\left(\frac{t}{a}\right)$  の値を適當にすれば  $DI\left(\frac{t}{a}\right)$  を  $\delta_1(t-a)$  にも、又  $\delta_2(t-a)$  にも等しくさせることが出来る。よつて單位函数の微分係数は  $\delta$ -函数なり と稱しても差支へないであらう。

さて、 $\mu$  を parameter とする二つの函数  $\varphi(t-a; \mu)$  及び  $\psi(t-a; \mu)$  があつて、

$$\begin{aligned} I\left(\frac{t}{a}\right) &\equiv \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \varphi(t-a; \mu) \\ \delta(t-a) &\equiv \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \psi(t-a; \mu) \end{aligned}$$

とすれば、前述の事柄から、

$$D \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \varphi(t-a; \mu) = \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \psi(t-a; \mu), \quad \text{.....(VII. 22)}$$

であるが、明かに  $\varphi(t-a; \mu)$  も  $\psi(t-a; \mu)$  も一樣收斂函数ではないから、(VII. 22) 式の關係が成立つても

$$\lim_{\mu \rightarrow \mu_0} D \varphi(t-a; \mu) = \lim_{\mu \rightarrow \mu_0} \psi(t-a; \mu), \quad \text{.....(VII. 23)}$$

なる關係が満足されるとは限らないのである。それが満足されるか否かは全く  $\varphi(t-a; \mu)$  の函数形により定まるものであつて、たとへば (VI. 4) 式から

$$\varphi(t-a; \mu) \equiv \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \mu(t-a)$$

とすれば、

$$D \varphi(t-a; \mu) = \frac{1}{\pi} \frac{\mu}{1+\mu^2(t-a)^2}$$

となるから、

$$\lim_{\mu \rightarrow \infty} D \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \mu(t-a) \right) = \delta_1(t-a)$$

となる。併し (VI. 6) 式より、

$$\varphi(t-a; \mu) \equiv \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\mu}^{c+j\mu} \frac{\varepsilon^{\lambda(t-a)}}{\lambda} d\lambda, \quad (c>0)$$

とすれば

$$D\varphi(t-a; \mu) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\mu}^{c+j\mu} \varepsilon^{\lambda(t-a)} d\lambda, \quad (c>0)$$

となるが、

$$\lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\mu}^{c+j\mu} \varepsilon^{\lambda(t-a)} d\lambda, \quad (c>0), \dots \dots \dots (\text{VII. 24})$$

は附録 (III) に示す計算から明かな様に不定であるから

$$\begin{aligned} \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi j} D \int_{c-j\mu}^{c+j\mu} \frac{\varepsilon^{\lambda(t-a)}}{\lambda} d\lambda \\ = \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\mu}^{c+j\mu} \varepsilon^{\lambda(t-a)} d\lambda \\ = \delta(t-a) * (\text{脚註}) \end{aligned}$$

の如くするわけにはゆかないのである。此の點に關しては誤つた考へを持つ向が少くないので (19)、特に注意を喚起した次第である。

尙、櫻井氏は (20)、氏の所謂“零を被演算函数とする演算子法”なる考へを提示されてゐるが、同法の内容に關しては、二、三の批判の餘地があり、就中、氏の用ひてゐる“零”は、實は本文に於て説明せる  $\delta_0$  函数なるべきことは明かであるから、“0”なる記號を用ふことは妥當とは言へないのである。

\* 脚註：岡村氏は等號の代りに  $\delta(t-a) \approx \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} \varepsilon^{\lambda(t-a)} d\lambda$  の如く ( $\approx$ ) なる記號を用ひてゐるが、その意味が明瞭でない。

## (VIII) 結 言

以上、VII 章に亘り、從來の Heaviside 法 (H-法) の根本的誤謬は、

$$p^{-1} \equiv \int_a^t \cdot dt$$

の逆演算子  $p$  を  $d/dt$  としてゐたことにあることを指摘して本來は、

$$p \cdot \equiv \frac{d}{dt} \cdot + pC \left( \frac{a}{t} \right) \cdot$$

であるべきことを明示し、然る後、所謂變位定理を基礎として、 $D \cdot \equiv d/dt \cdot$ 、 $D^{-1} \cdot \equiv \int^t \cdot dt$ 、 $p$  及び  $p^{-1}$  等に関する演算子算法 (N-法) を確立して、從來の考への誤れる點をことごとく是正した。その結果、一次線型

微分方程式、常係數線型常微分方程式並びにその初期値又は境界値問題の記號的解法の可能なること、更には又漸近展開の記號法的取扱ひの修正等が實現されることとなつたのである。

尙 H-法に於て重要視せられて來た單位函数に就てもその考へ方に修正を加へ、又その微分係數に相當する  $\delta$ -函数 (衝擊函数) に關して行はれてゐた誤れる考へを指摘した。

以下、第 II 篇に於ては、本文に於て説明せる算法を利用し、§ I. 2. に述べたる如く、如何にして  $t < 0$  に於て與へられた回路状態のみを知つて、回路解析を行ひ得るかを説明しよう。(續く)

## 文 献

- (14) たとへば文献 (5) を参照のこと
- (15) 林 重 憲：電評 29, 241 (昭 16)
- (16) 寺 澤 寛 一：數學概論 159 (昭 6)
- (17) P.A.M. Dirac: The Principles of Quantum Mechanics, 63 (1930)  
菊 池 正 士：量子力学 24 (昭 8)
- (18) 永 宮 健 夫：微分方程式論 (應用數學第 II 卷) 182頁 及び 236頁 (昭 16)
- (19) K.W. Wagner: Operatorenrechnung, 403 (1940)  
川 上 正 光：電學誌 61, 162 (昭 16)  
岡 村 進：電學誌 62, 149 (昭 17)
- (20) 櫻 井 時 夫：電學誌 61, 515 (昭 16)  
電學論 2, 360 (昭 16)

## 附 録 (III)

(VII. 24) 式に於て、

$$\lambda = c + j\nu \text{ とおけば、}$$

$$\begin{aligned} F(t) &\equiv \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\mu}^{c+j\mu} \varepsilon^{\lambda(t-a)} d\lambda \\ &\equiv \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi j} \int_{-\mu}^{\mu} \varepsilon^{c(t-a)} \varepsilon^{j\nu(t-a)} j d\nu \\ &\equiv \frac{\varepsilon^{c(t-a)}}{\pi} \lim_{\mu \rightarrow \infty} \frac{\sin \mu(t-a)}{t-a} \end{aligned}$$

となるが、明かにこれは不定である。何となれば、先づ  $c$  の値に關係してゐるし、かりに  $c = +0$  ととつても猶たとへば  $t \neq a$  なる時、 $n$  を正の整數として、

$$(1). \quad \mu = n\pi/(t-a) \text{ とすれば}$$

$$F(t) = 0, \quad (t \neq a)$$

$$(2). \quad \mu = (4n+1)\pi/2(t-a) \text{ とすれば}$$

$$F(t) = \frac{1}{\pi(t-a)}, \quad (t \neq a)$$

$$(3). \quad \mu = (4n-1)\pi/2(t-a) \text{ とすれば}$$

$$F(t) = -\frac{1}{\pi(t-a)}, \quad (t \neq a)$$

等であるからである。



# ED-B5型 堅ボール盤

名古屋製作所 鈴木 修

## 内 容 梗 概

最近試作を完了せる ED-B5型 堅ボール盤は穿孔能力 50 耗(鋼)にして、全齒車式の主軸速度及び送り變換装置を有する強力堅ボール盤である。主軸台は一つのユニットとして設計され此の中に總べての機構が含まれて居る。主軸の運轉操作は極めて迅速容易に行はれ鑄鐵、鋼又は非鐵合金製の中型部品を正確且能率的に加工するのが目的である。

## 1 結 言

現在我々技術者に與へられたる使命は近代戦争に絶對必要な航空機戦車其他の機械化兵器を如何にして優秀なるものを又如何にして多量を極めて短時日の間に生産するかと言ふ事である。しかも之等機械化兵器は日一日と驚くべき進歩を續けて居るのである。この機械化兵器の生産能力は専ら工作機械の質的量的條件に制約されて居るのであつて工作機械の改良整備こそ戦時下最も緊要なる問題である。工作機械の最近の傾向として從來の萬能工作機械より簡易工作機械へ更に専門工作機械へと移りつつあるのもこの目的を達成せんが爲である。工作機械の多量生産化並に専門化の重要性は生産能率と精度の向上の二つの點にあるが更に作業の簡易化により作業者を早く熟練させる事も其の主なる目的である。之等種々なる條件を考慮して新に設計製作せる多量生産用工作機械の一つが ED-B5 型堅ボール盤にしてその構造の概要を説明する。

## 2 特 徴

ED-B5 型堅ボール盤は穿孔能力最大 50 耗(鋼)にして全齒車式の主軸速度及送り變換装置を有し航空機、自動車

及び戦車等の中型部品の孔明又は孔くり作業に適する多量生産用の強力堅ボール盤である。從來のラジアルボール盤による加工作業を此の堅ボール盤により相當廣範圍に置き換へ得るもので適當の工具さへ準備すればラジアルボール盤に比し精度も高く又生産能率を充分發揮する事が出来る。

## 3 主要寸法

穿孔能力	鋼 50 耗
スイング	650 耗
主軸テーパ孔	モルステーパ No. 5
主軸行程	400 耗
主軸速度	8 種類 (高速型毎分 65—710 回轉 低速型毎分 32—355 回轉)
主軸自動送り	8 種類 (1 回轉に付 0.14—1.57 耗)
テーブル作業面々積	480×750 耗
テーブル行程	580 耗
主軸端より テーブル 迄の最大距離	650 耗
主軸端より ベース 迄の最大距離	1,040 耗
電動機	標準 5 馬力 6 極
全体の高さ	最大約 3,000 耗
床面積	930×1,690 耗
重量	約 1,800 斤

## 4 附 屬 品

### (I) 標準附屬品

- (イ) 電動機 5 馬力 . . . . . 1 個
- (ロ) 附屬電氣裝置 . . . . . 1 組
- (ハ) 給油裝置 . . . . . 1 組
- (ニ) スパナーク類 . . . . . 1 組

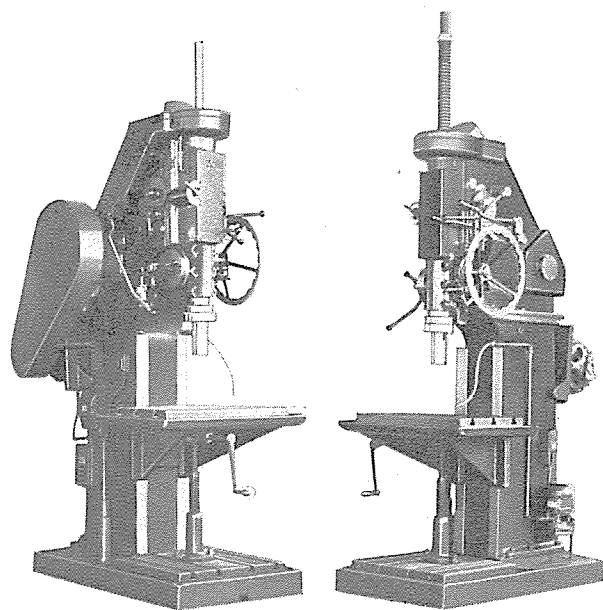
### (II) 特別附屬品

- (イ) モルステーパスリーブ . . . . . No. 5—No. 4  
No. 5—No. 3
- (ロ) 主軸加速逆轉裝置 . . . . . 1 組

## 5 構 造

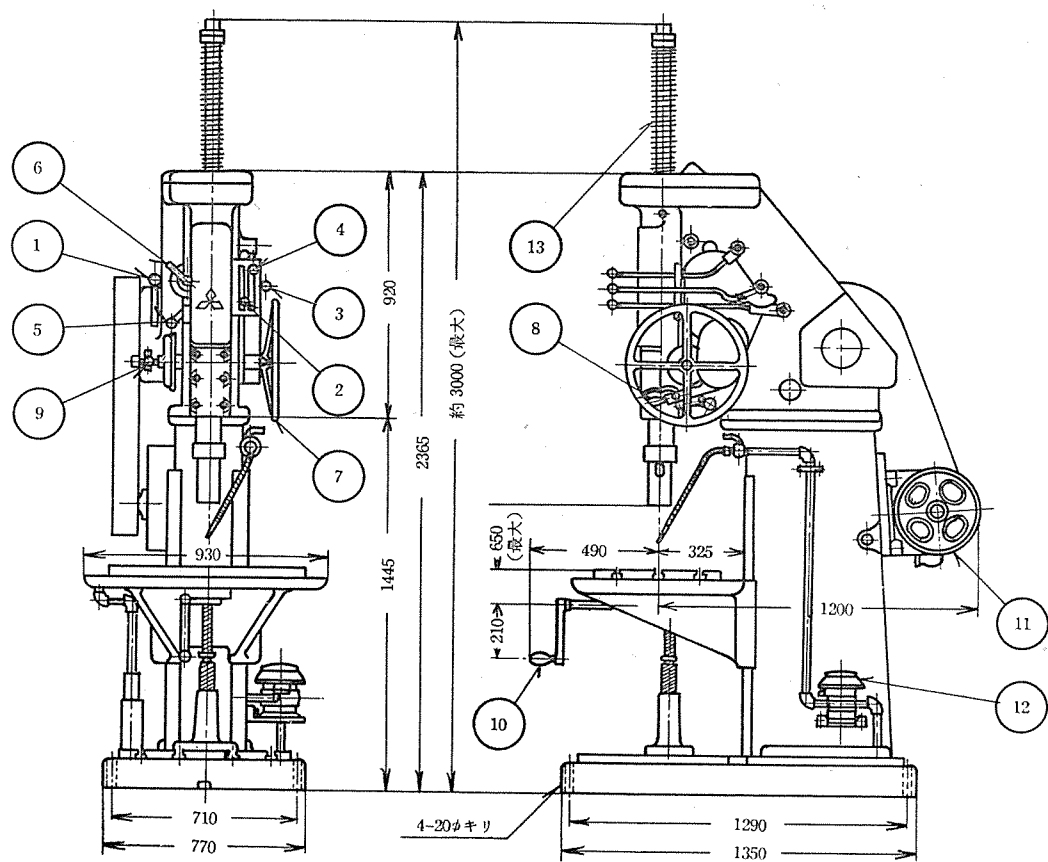
### 第3圖説明

- ① 起 動 レバー . . . . . 主軸起動停止用
- ② 速度變換 レバー ④ . . . . . 主軸速度變換用
- ③ 速度變換 レバー ⑤ . . . . . 主軸速度變換用



第1圖 ED-B5型 堅ボール盤

第2圖 ED-B5型堅ボール盤



第 3 図 ED-B5 型 堅 ポール 盤外形圖

- ④ 速度変換 レバー ⑬・・・主軸速度変換用バックギヤ
- ⑤ 送り切換 レバー・・・主軸自動送り(早)(遅)切換用
- ⑥ 送り変換 レバー・・・主軸自動送り変換用
- ⑦ 手送り ハンドル・・・主軸手動送り用
- ⑧ 自動送り レバー・・・主軸自動送り掛外し用
- ⑨ 送り外し レバー・・・主軸自動送り外し用
- ⑩ テーブル用 ハンドル・・・テーブル上下用
- ⑪ 電 動 機・・・主軸駆動用
- ⑫ 電動油 ポンプ・・・切削給油装置用(三菱製)

### (イ) 主 軸 台

一つのユニットとして設計され此の中に總べての機構が含まれてゐる。起動及停止は起動レバーにより操作され多板式クラッチにより行はれる。加速逆轉装置は特別の要求に應じ取付けるものでタッ立作業に用ひられ起動レバーにて操作される。多板式クラッチの調整は止スズを緩めて爪金を左右に廻せばクラッチ板が緩み又は締まる。クラッチ板の調子及び押し金と爪の入り具合を充分注意する必要がある。

#### 第 4 圖説明

主軸台齒車關係圖にして主軸速度變換齒車は之を展開せる圖面なり。低速型又は高速型は低速用傘齒車子及ツを高速用傘齒車子及ツに變換す。第 1 表は各種主軸速度に對する齒車系統を示す。

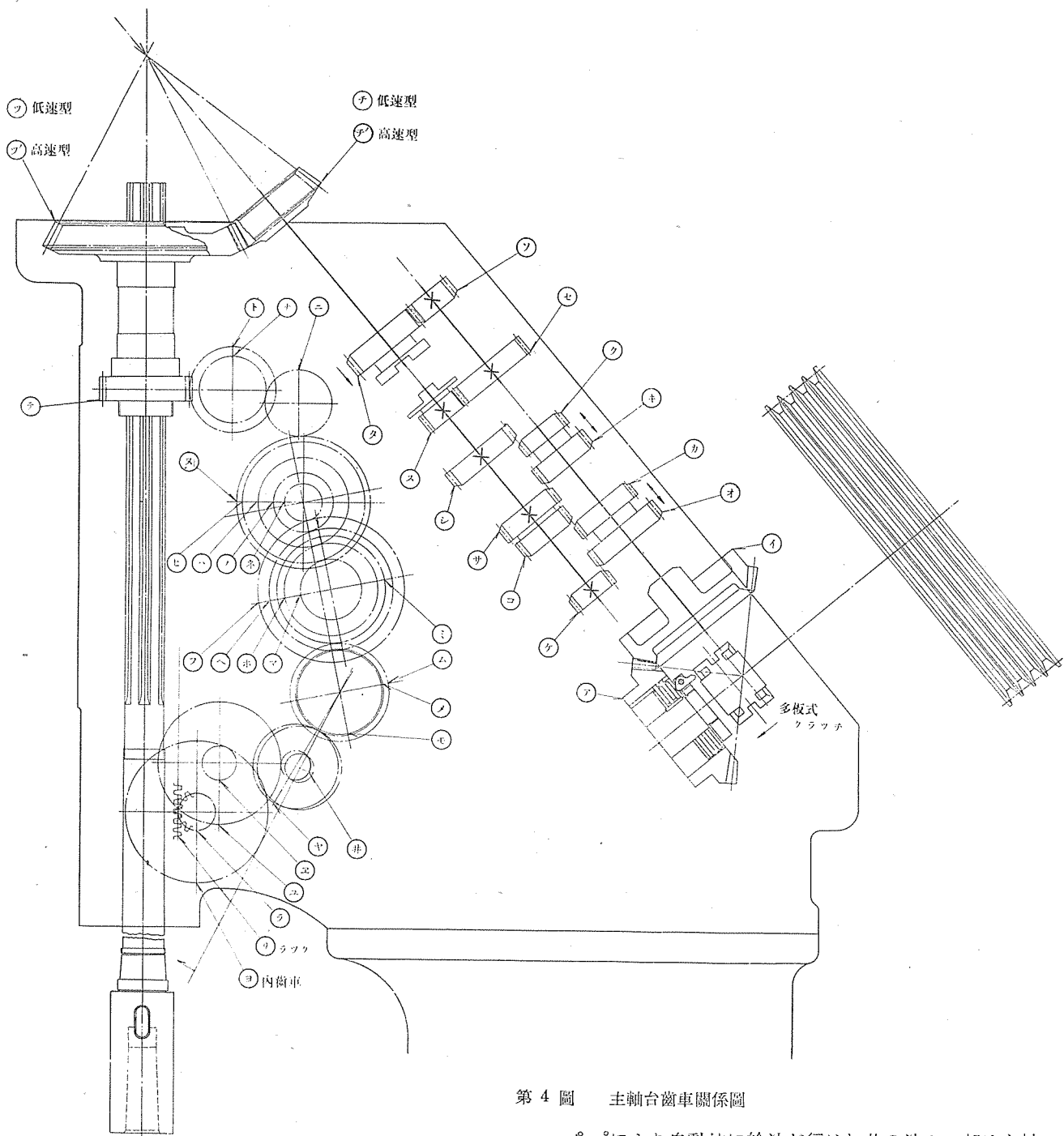
主軸速度の變換は主軸台の背部にある齒車により行はれ主軸速度變換レバー(A)(B)(C)により操作される。

第 1 表 主軸速度變換齒車系統

レバーの位置			齒 車 系 統	主軸回転數	
A	B	C		低速型	高速型
上	下	中	アイオクスセンタチツ	90	175
上	上	中	アイオクス——タチツ	355	710
下	下	中	アイカコスセンタチツ	62	250
下	上	中	アイカコス——タチツ	250	500
中	下	上	アイキサスセンタチツ	45	90
中	上	上	アイキサス——タチツ	180	360
中	下	下	アイクシスセンタチツ	32	62
中	上	下	アイクシス——タチツ	130	255

第 2 表 主軸速度變換表

710 (早)	360 90
①	②
500 (遅)	225 65
高速型	
355 (早)	180 45
①	②
250 (遅)	130 32
低速型	



第 4 圖 主軸台歯車関係図

高速型は 65 回転毎分より 710 回転まで、低速型は 32 回転毎分より 355 回転までの廣範圍を 8 種類に變化出来る。

第 2 表は主軸速度變換表にして レバー の位置と主軸回転數の關係を示す。レバー (A) 又は (c) を所要回転數の記入してある方へ上下し更に バックギヤー を操作するレバー (B) を上下すれば容易に所要回転數が得られる。例へば第 2 表に於て高速型は 255 回転を示し低速型は 90 回転を示す。レバー (A) 及 (c) は互に インターロック 装置により同時に入らないやうになつてゐる。高速型又は低速型は作業及加工部品の材質に應じて選擇する必要がある。主軸台内の歯車及軸受は主軸台の中に裝備されてゐる歯車

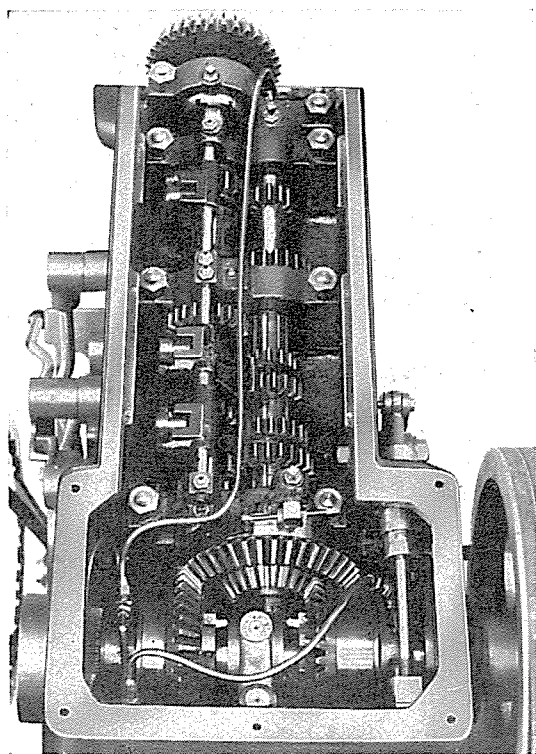
ポンプにより自動的に給油が行はれ此の油の一部は主軸々受の給油にも利用されてゐる。

#### (ロ) 主 軸

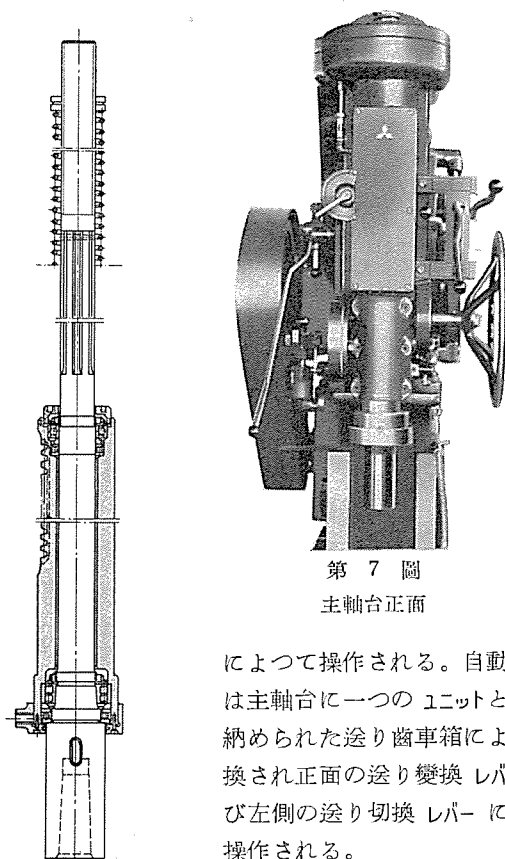
主軸及び送り シリンダー は機械の最も重要な部分である爲其の設計材料及び工作については特別の注意を拂つてゐる。軸受にはコロ又は球軸受を裝備し振動少く高速度に於ても充分強力切削に耐えるやうに設計されて居る材料は歯車其他の主要部分と共に適當なる熱處理を施したる特殊鋼を使用し強度及び磨耗に對しては充分研究を行つてゐる。第 6 圖は ED-B5 型 ボール 盤主軸の標準設計を示す。

#### (ハ) 主軸送り装置

手動及び自動送り装置を有し手動送りは手送り ハンドル



第 5 圖 主軸速度變換齒車箱

第 6 圖  
主軸標準設計

によつて操作される。自動送りは主軸台に一つのユニットとして納められた送り齒車箱により變換され正面の送り變換レバー及び左側の送り切換レバーにより操作される。

自動送りは第三表の如く 1 回轉につき最小 0.14 耗より最大 1.57 耗の廣範圍を 8 種類に變化出来る。表中の遅、早は送り切

換レバーにより切換へられる。送り變換齒車はウオーム及びウオーム齒車を用ひず平齒車のみにて設計され滑りキーにて變換される。従つて運轉中にもレバーを廻せば容易に所要の送りを得る事が出来る。自動送りの掛外しは自動送りレバーを上下に操作して齒車の掛外しにより簡單に行はれる。切削孔の深さを定めるには送り外しレバーに附屬するドッグを使用する。一定の深さまで切削した場合ドッグが働き自動送りが外れ主軸は自動的に後退する。この際主軸は錘りにより相當早くもどされる爲にその衝撃を防ぐ目的でハギツボが送り外しレバーの左側に裝備されてゐる。又送り装置には安全装置があり過負荷の場合に送り齒車の一部が空轉して機械の破損を防ぐやうになつてゐる。

第 3 表 主軸送り變換表

遅	0.14	0.28	0.57	1.13
早	0.20	0.39	0.78	1.57

## (二) 機 台

機台はコラム、テーブル、及びベースの三部分よりなり非常に頑丈に設計されて居り強力切削に充分耐える事が出来る。コラムは箱形をなし電動機及び附屬電氣裝置が取付けられて居る。又コラムの延長を特に希望の場合には 200 耗延長する事が出来る。電氣品は總べて三菱電機の製品で工作機械の性能を充分發揮出来るやうに特別に注意して製作して居る。切削給油装置には三菱電機製の電動油ポンプを使用しコラムの下ベースが油槽の働きを爲し完全なる給油が行はれる。

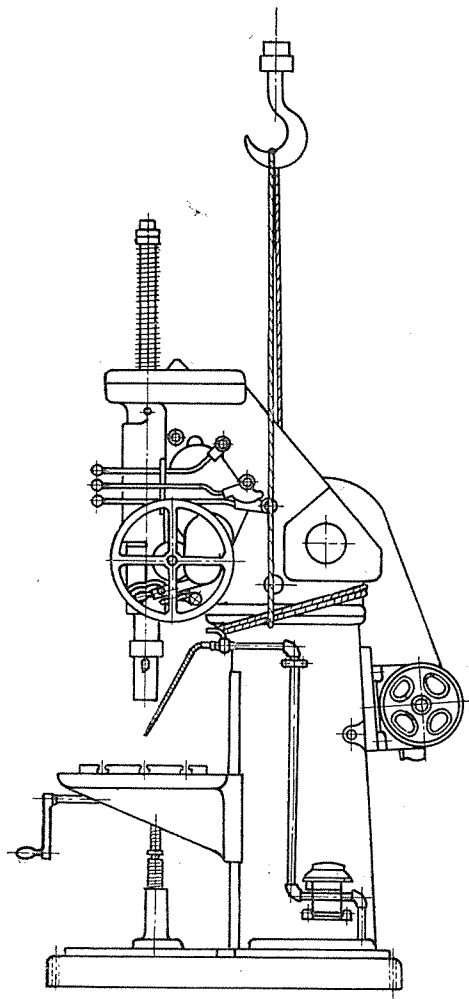
## 6 型式種類

ED-B5 型ボール盤は低速にして逆轉裝置無きものを標準型とするも主軸速度、逆轉裝置の有無及びコラムの長さにより次の 8 種類に分けることが出来る。

電動機は 5 馬力 6 極を標準とす。但し特に強力を希望の場合には 7.5 馬力 6 極を取付ける事が出来る。又特殊の目的で特別低速を希望の場合には 16 回轉毎分より 178 回轉のものも製作出来る。孔くり作業其他の目的で特別微細送りを希望の場合には 1 回轉に付最小 0.09 耗より

第 4 表 型式種類一覽表

型 式	仕 様	摘 要
ED-B5-11	低速、加速逆轉裝置無シ	標 準
ED-B5-12	低速、加速逆轉裝置有リ	特 殊
ED-B5-13	高速、加速逆轉裝置無シ	特 殊
ED-B5-14	高速、加速逆轉裝置有リ	特 殊
ED-B5-21	コラム 200 耗延長、低速、加速逆轉裝置無シ	特 殊
ED-B5-22	コラム 200 耗延長、低速、加速逆轉裝置有リ	特 殊
ED-B5-23	コラム 200 耗延長、高速加速逆轉裝置無シ	特 殊
ED-B5-24	コラム 200 耗延長、高速、加速逆轉裝置有リ	特 殊



第 8 圖 吊上げ要領

最大 0.97 耗のものも特に要求に應じて製作する事が出来る。

## 7 使用上の注意

先づ主軸台の齒車箱に充分潤滑油を入れる。油は機械油の粘度のあまり高く無いものがよい。油量は主軸台側面の油視窓から見る事が出来る。運轉を初めると方々へ油が分散されるから最初は相當餘分に入れておく必要がある。又 オイルカップ、グリースカップ 其他必要な滑り面に充分給油する。滑り面はよく掃除をして常に清潔に保たなければならない。主軸の潤滑は主軸台正面上の油用ガラス管を通して行はれるから常に其の状態に注意する必要がある。テーブルの上下は必ず締付ボルトを緩めて後行ひ使用する時にはボルトを充分締付けなければならない。締付レバーを締付けるだけでは強力切削には無理である。主軸上部のパネは特別重い工具類を主軸の下端に取付けた場合に使用するもので普通は取外して置いて支障無い。

機械の据付け又は他の理由で機械の移動を要する時には第 8 圖の吊上要領にあるやうにロープをコラムの頸と主軸台の後部とを抱くやうに廻して之の中央より少し前よりの部分を吊ればよい。

## 8 結 言

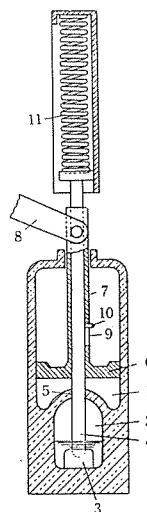
以上が ED-B5 型堅ポール盤の構造及び使用法についての簡單なる説明である。試作機の性能其他については目下試験研究中であるからいつれ發表する機会があると思ふ。我々は今幾多の困難に堪へつつ常に希望と喜びとを以て時代の要求に沿ふべく又外國機に比して遜色無きは勿論更に優秀なる製品を製作すべく鋭意努力を續けてゐる次第である。

## 膨 脹 型 遮 断 器

(特許第 148754 號)

本發明は膨脹型遮断器に於て、遮断過程中に電弧により蒸氣を生ぜしむる蒸氣室が開放せられたる時、蒸氣の急激なる膨脹をなさしむべき膨脹室を設け、該膨脹室は電路遮断時に之を大氣壓以下となし、蒸氣室との壓力差を著増せしめて膨脹効果を一層大ならしめ、電弧の消滅を促進せんとするものである。

圖示の如く閉合状態にある遮断器の開放は、先づ操作桿(8)に中空軸(7)にて連結せらるゝ唧子(6)の上昇運動に依り開始せられ、軀て中空軸の長溝(9)の下端が可動接觸子(4)の突起(10)と衝合するに及び、可動接觸子は彈機(11)に抗して



引上げられ、蒸氣室(2)内に於て固定接觸子(3)より引離され、蒸氣室内に電弧により高壓力の蒸氣を成生す。

一方遮断操作の頭初より上昇運動をなす唧子により、膨脹室(1)内の壓力は大氣壓以下に減じ、兩室の壓力差は短時間に頗る大となり、遂に可動接觸子が蒸氣室の貫通孔(5)を抜け出したる時、蒸氣室の蒸氣の膨脹を旺盛ならしめ、消弧を迅速ならしむるものである。

(菅野)