

生研式インクライターとその應用

糸川 英夫

1. 緒言

工学はもちろんのこと、醫學、心理學、生物學、物理學等の自然科学諸分野で變動する量を記録する必要がある場合は極めて多い。特に最近では電子管工学の發達によつてほとんどの場合に電氣的に變動量が pick-up され、増幅器を通して記録器に持ちこまれる。ところがこの記録器として専ら活躍しているのはいわゆる電磁オシログラフだけといつてよく、磁場の中に吊られた導線に鏡をはりつけ、この回轉運動による光學レバーで光のスポットの動きを擴大し感光紙に印畫させる型であるこの方式で記録できる周波数は 0 サイクルから 1000 サイクル前後の範圍でこれ以上の記録にはブラウン管オシログラフの寫眞撮影が用いられる。

いずれにせよ最後の操作が感光紙の現像となるので、うまく撮れたかどうか直ぐわからぬし、觀測しながら記録するのが困難であり、手数もかかり、經費もかさむ。もつと安直に、通常の紙にインクか何かで直接記録させることができれば大變便利である。特に機械工学や、生物學醫學の分野に現れる變動量は 200 サイクル～300 cps 以下の場合が多く、その中でも數十サイクルの超低周波帯のものが多いのでこの案はかなり有望なはずである。

生研式インクライターはこの目的のための一つの解決であり、電磁的にペンを動かすレコーダーで使用周波數帯は 0～400 サイクルのものであるが、この他にも直記式オシログラフとしては切換管使用による方法⁽¹⁾や壓電氣現象を用いる方法が考えられこれ等については別の機會に發表する豫定である。

2. 生研式インクライター

直記式オシログラフが要求されているのは各分野からであるが、中でも要望が強く緊急と考えられていたのは醫學で使用される脳波と心電圖の記録用のもので、臨床用という見地からペンレコーダーが絶対必要視されていた。生研式インクライターはこの方面からの委託で研究されたものであつたが、現在では後述のように性能も向上し、他の種々な用途に應用されるに至つたものである。

記録器は電磁的動作を用いるとすれば、(1) 磁場 (2) 可動線輪 (3) スティフネスおよびダンパー (4) ペンの 4 部に分けて考えられる。可動線輪の型としては迴轉式のメーター型とピストン運動式のダイナミックスピ

ーカー型が考えられ、それぞれ設計および製造の技術としてはメーター工業、スピーカー工業の技術が流用されるはずである。脳波記録用として米國や歐洲で製作されているのはこの中専らメーター式でこれは恐らく最初に手をつけたのが自記電流計の延長としてであつて、これから進展したためであると思われる。(わが國でもこれをそのまま繼承して二三の會社が試作を行つている。)

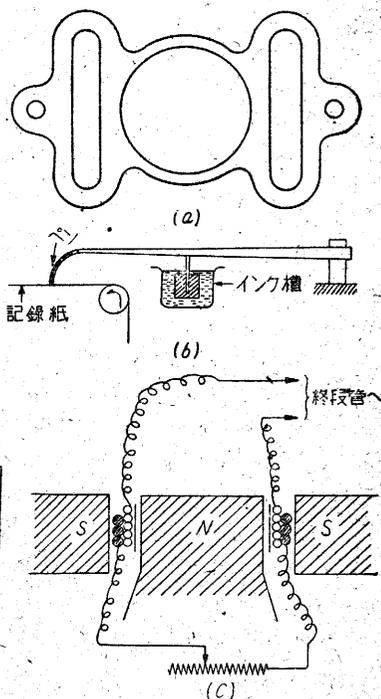
生研式インクライターはこれと全く對蹠的にピストン運動式のダイナミック型を採用しているもので、工業技術としてダイナミックスピーカー工業系のものである。ダイナミック方式を採用した理由は製造がメーターとくらべて一段と容易で又、強力堅牢であることと、メーター型では上下の線輪部が磁場と平行になるために無効線輪となるに反してダイナミック型では線輪が 100% に有効に働く利點を考慮したためである。磁氣回路の設計によつて 1 型から 4 型までの 4 種類が試作ならびに生産されたがいづれも第 1 圖のように圓筒型輪部細隙の間に圓筒型可動線輪が軸方向に動く型である。スティフネスは絃を張るもの、布入りベークライト板の弾性を用いるもの、コイル型スプリングによるもの、磷青銅又はバネ鋼の鈹スプリングによるもの、ゼンマイ型鈹によるものなどについて研究を行つた。スティフネスとしては $k=2.5$ kg/cm 前後の程度が標準型で使用周波數によつて加減されこの値の $1/10$ から數倍の範圍に變化したものが試作されている。

可動部分の質量を m とすれば、糸の自己振動數 f は $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ できまる。可動部分の質量の中、半分が可動線輪とその附屬品で、半分が針および針の支持板である。一方感度 S は、磁場の磁束密度を B (ガウス)、コイルの全長 l (cm)、電流 i (アムペア) とすれば $S = \frac{Bli}{10k}$ で與えられるから書きかえると $S = \frac{Bli}{40\pi^2 m} \cdot \frac{1}{f^2}$ となり感度は自己振動數の自乗に逆比例する。例えば自己振動數を 2 倍にするためには感度を $1/4$ にする犠牲を拂わねばならぬ。實際に試作されたものの實測は $f=50\sim 200$ c.p.s. で理論上は現在のもので 300 c.p.s. 迄上げ得る。この場合の使用範圍は 0～400 c.p.s. であろう。(5 型インクライター参照)

自己振動數前後の周波數で共振を防ぐために適當なダンパーが必要で、このために (1) 布入りベークライト板 (2) 洗滌ダンパー (3) Electro magnetic Damper

の三方式を研究の結果, Electro-magnetic Damper を採用した。これは可動線輪の外側に別のコイルを巻きこの両端を短絡又は適當な抵抗でターミネートする。コイルの運動によつてこの中に電流が生じ, この電流がレンツの法則で減衰的に働くのを利用するダンパー方式で, 減衰項の大きさを加減し得る利點がある。実際には Damper 用 coil のみならず Exciter 用コイル (勵振コイル) 自體もいわゆる motional Impedance⁽²⁾ の作用で減衰作用をもち, この作用は外部回路のインピーダンスの小さい程有効に効くので, 三極管使用の方が多極管より有

を人工的におし出すことができる。何かの原因で管の中途がつまつた時や, 途中でインクが切れた時使用するインクは即乾性で流動性がよりよいものならば



第 2 圖 種々の制動法

(a) 布入ベークライト板 Plasticity で制動が得られるし, これを 2 枚重ね合せると乾性摩擦制動が得られる。

(b) 流体制動 インク槽を中間におき吸上管に平板を取付けてペン書き運動に流体制動も與える。

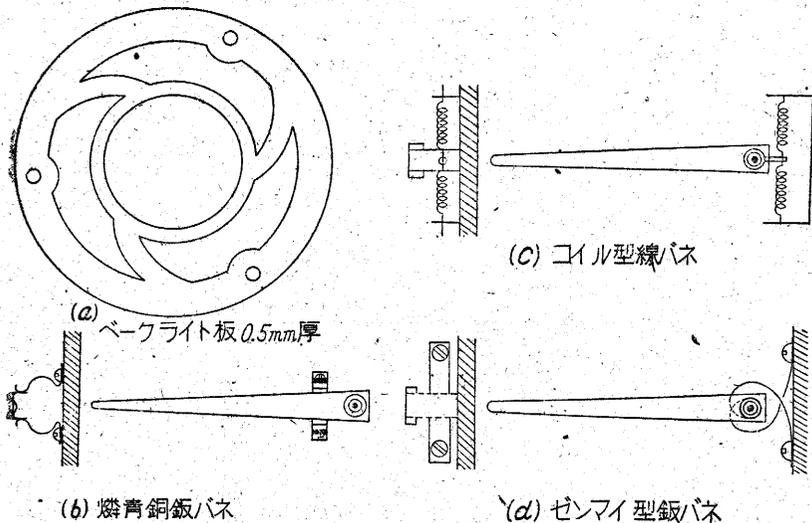
(c) 起振コイルの外側に別のコイルを巻抵抗を介して短絡すると電磁制動作用を生ずる。

使用後そのままで餘り長い間 (數日間) 放置すると先端部でインクが乾燥して Lock することがあるから, 使用後, 記録紙とペン先の間に油紙, ゴム管膜などを挟んでおくことが望ましい。記録紙はほとんど制限がなく萬年筆が使用できる紙ならば何でもよいが, 特に細い線を希望する場合には光澤のあるインクの滲みない紙質がよい。

以下簡単に各種の型を紹介すると

2.1. I 型インクライター

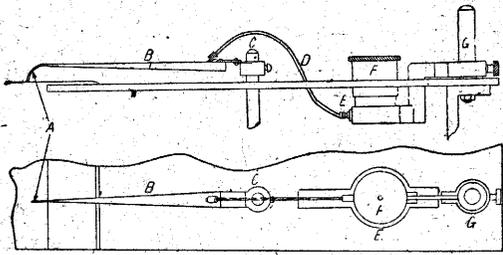
第 4 圖のような角型の磁石 (O. P. 磁粉使用) で, 60 mm 径の可動線輪使用。Electro-magnetic Damper Coil を使用。支持は三味線の一の絃 8 本で 4 方から吊る。この初張力でステイフネスがきまる。6V6 プッシュプル用に可動線輪は中央タップ附。直流感度は針先で 20 mm/50 mA のとき固有振動数は 45 ㄱ。電流 100 mA 迄流し得る。やや大型であるが角型なので取付けに便なものと, 50



第 1 圖 種々のステイフネスコントロール

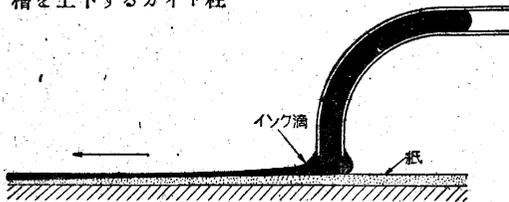
利, 又カソード負荷の方がプレート負荷より有利である。実際には臨界制動の附近で使用される。

最後の部分であるペンは前報告⁽¹⁾ に述べたように電氣ペン, 熱ペン, インクペンなどの方式があるが, 實用性の點でインク式がよい。インク式も従来のようなインク溜り自體が動くものはインク量が制限され, 又可動部分の質量が増加して好ましくないので第 3 圖 (a) のサイフォン毛管現象型を採用している。これは毛細管現象とサイフォンの原理を組み合わせたもので, 紙が走り出すとインク槽内の液面が記録紙の面より下にあつてもインクは繼續的に出る。理論的にはペンの先は紙に接觸している必要はなく, (b) 圖のようにインク液滴を介して紙に間接的に接する状態が Friction の點で最適である。紙が走るとともに液滴が左方にずれ, これに應じて新しいインクが細管から吸い出される。この機構は表面張力に起因するやや複雑な物理現象で液體物理學の興味ある問題であろう。最先端のペン部は内徑 0.25 mm 外徑 0.5 mm 位の不銹鋼の管で, 料研福井所員の製作によるもの, と使用インク槽との連結には可撓のビニル樹脂管を用いている。インク槽の蓋は上下にスライドできてこの上部の小孔を指でふさぎながら下におすことによつて, インク

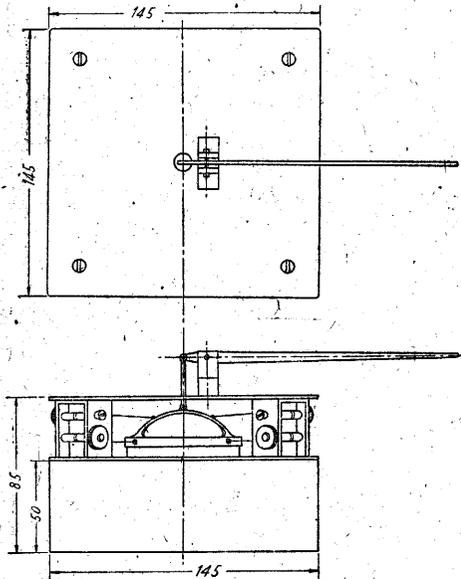


第3圖 (a) ペンライター

(A) 18-8 不銹鋼の中空計 (B) ペンホルダー
(C) 回轉軸 (D) ビニール樹脂管 (E) イ
ンク槽 (F) イंक押出用蓋 (G) イंक
槽を上下するガイド柱



第3圖 (b) ペンライティングの機構

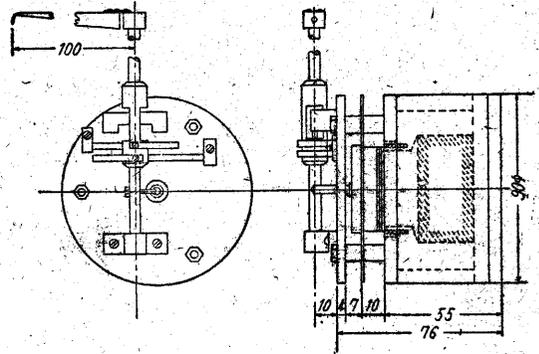


第4圖 I型インクライター

c.p.s. 以下の低周波に對して適している。

2.2. II型インクライター

I型をもう少し小型にし、且周波数を上げる目的で作られ、永久磁石として N. K. S. の 50φmm×35mm を中心磁極に用いる廻轉圓筒型。コイル直径 40mm。標準品は固有振動数 50 c.p.s. であるが、200 c.p.s. のもの迄試作されている。50 c.p.s. 固有振動数のものは 6V6 プッシュプル用、200 c.p.s. のものは 6L6 プッシュプル用に設計され固有振動機 50 c.p.s. のとき直流感度は

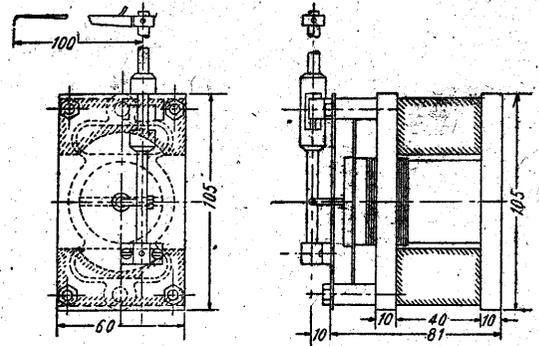


第5圖 II型インクライター

針先で 20 mm/50 mA を標準としている。固有振動数は 鈹調整で加減でき、減衰特性も電磁制動コイルの負荷を變えて簡単に加減できる。

2.3. III型インクライター

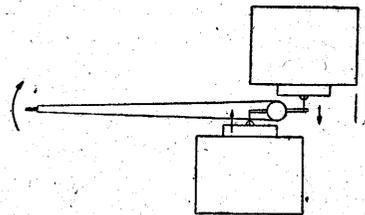
II型とほとんど同じで磁気回路が第6圖のように外磁型である點が異なる。角型なので取付けには便利。性能は II型と大體同じであるがこの方が磁力線が多いだけ固有振動数を高められる。



第6圖 III型インクライター

2.4. IV型インクライター

III型と畧同型で永久磁石に O.P. 磁粉を使用。O.P. 磁石は抗磁力は大きい、残留磁気はやや小さいので、III型より性能はやや劣る。



第7圖 V型インクライター線圖

II型III型インクライターを2個使用し1本のペンを

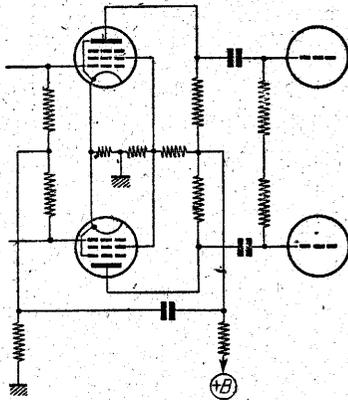
プッシュプルに驅動すると同一感度に対して固有振動数は $\sqrt{2}$ 位になる。

2.5. V 型インクライター

第 7 圖のように II 型インクライターをプッシュプル型に配列したもので、起振力が倍になるから同一感度に対して固有振動数が上げられ、約 300 c.p.s. に達する。従つて使用範囲は 0~400 c.p.s. におよび、ペンライターとしては最高の周波数帯をもつといえよう。

3. 脳波記録器

脳波そのものについては前報告⁽¹⁾ に述べた通りでここには略すが、頭皮の表面に電極をあて、Pick-up される電圧は約 50 μ V で周波数帯は 2~70 c.p.s. これ以上高い周波数迄出ると筋肉電流その他が混入して却つて臨床的に具合が悪い。I 型インクライターによる 6-チャンネルセットを国立第一病院 (擔當森安信雄氏) の委託で昭和 25 年 3 月完成、同病院で使用されている。増幅器その他は前報告の通りである。従來脳波の記録は非常に困難なものとされ、電池式増幅器と電磁オシログラフの組合せだけが可能とされていたが、本セットによつて電池を全然使用しない交流電源増幅器とインクライティングという二段階が一度に到達されたもので、これによつて電池の保持費が不用となり、又高價な感光紙の代りに紙となり、現像の手間がなくなり、脳波記録が長時間安價にとれるようになった。



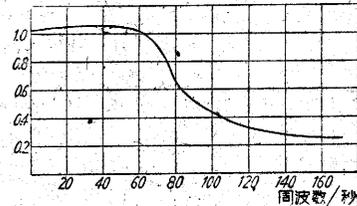
第 8 圖 同相の變動のみを負饋還する一つの方法、電源ハムは完全に Balance out し得る

増幅器は前報告に述べたものの次に第 8 圖のように、同相電圧である電源からの 50 c.p.s. の HAM を打消すために差動増幅器の上下の真空管の陽極電流の和を抵抗を通して電圧變動をとり、これを前段のグリッドの中性點に負饋還させる回路を使用した。前報告の回路では同相電圧の負饋還量が固定されていたのが、これで加減できるようになり、このために High-Cu の Filter が一段減り、特性がよくなった。

第 9 圖は最近の脳波用増幅器で同相負饋還回路は用い

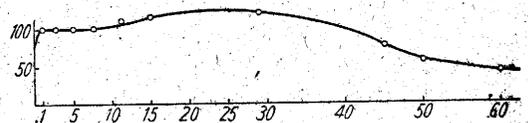
ず、電源は A, B, とともに、2 チャンネル毎に 1 個共有とし、B 電源は真空管式安定回路を 2 段に入れて電源電圧の變動を防ぎ、且 50 c.p.s. の HAM もおさえる。病院によつては電源電圧の變動のかなりはなはだしいところがあり、これから生ずるインクライター針先の Fluctuation が入力信號に還算して 10 μ V にも及ぶ所があるので、この安定回路が必要とされたものである。第 9 圖は 2-チャンネル ユニットの結線圖を示し、これと II 型インクライター 2 個を組合せたセットの寫眞をグラフィア第 4 圖に示す (第 10 圖はインクライターのみの特性)。第 11 圖は増幅器、インクライター全セットの組合せによる綜合周波数特性を示す。第 12 圖は増幅器だけの周波数特性を示す。綜合感度は 50 μ V の入力に對し針先のふれ 30 mm. 時定数は 0.25 秒。

グラフィア第 1 圖には 8 チャンネルインクライターセット

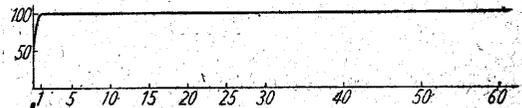


第 10 圖 固有振動数 50 c.p.s. に調整したときの II 型インクライター周波数特性

を示す。これは 8 チャンネルが脳波用としての標準になる最近の傾向に應じて作られたもので、ユニット方式をとり、セットとしては 2 チャンネル 2 ユニット宛のものを横にならべて行く方法をとつている。このために需要家は一時に 8 チャンネルを購入する必要なく、2 チャンネル宛増加して行けるので、わが國のような經濟狀況では實狀に



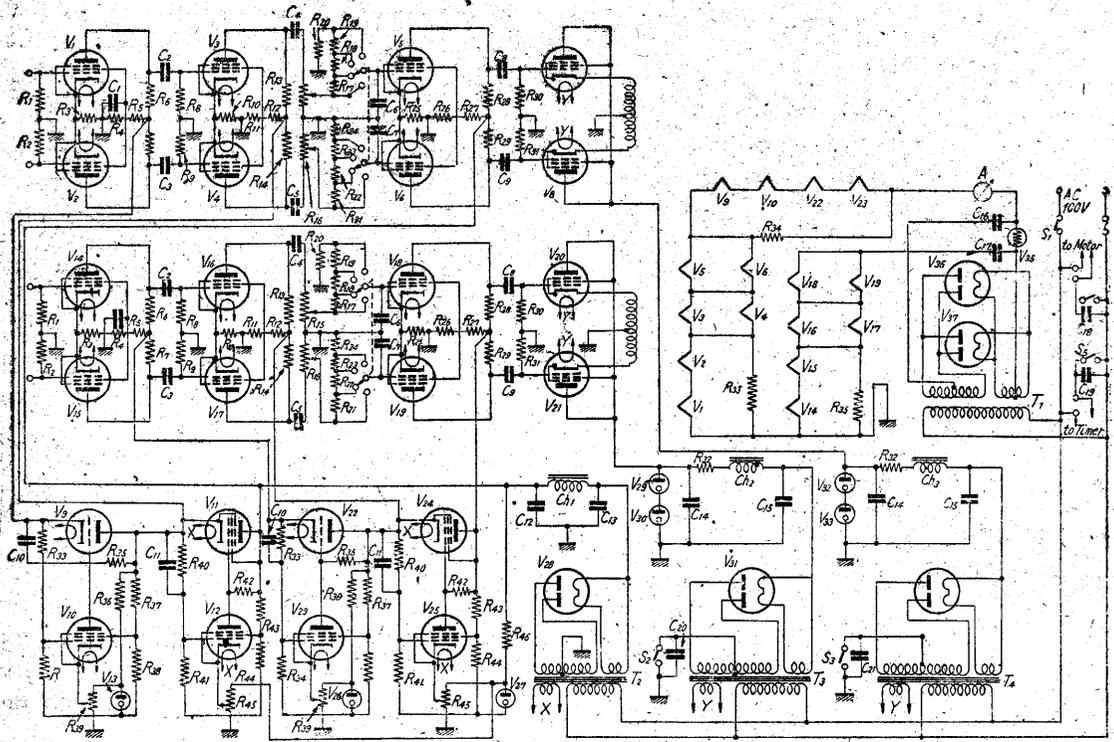
第 11 圖 生研式脳波記録装置綜合特性



第 12 圖 脳波増巾器周波数特性

即し、又手術場で使用するときには必要セットを抜き出して使用でき、故障の場合も故障セットのを引き出せばよい。かくすることによつて装置の生産が合理化され、2.4.6.8 チャンネルの各種の要求に對して単一のユニットを生産していればよいことになる。

何れも紙送り速度は 1 cm/sec, 3 cm/sec, 6 cm/sec, を標準とし、この間に連續的に變化できる。時間軸は $\frac{1}{10}$ sec 毎にタイムマークが入る。固有ノイズレベルは 2



第9圖 脳波用2チャンネル増巾器結線圖

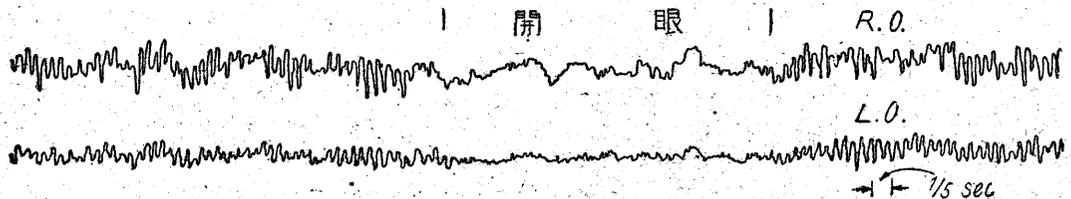
μV 以下。増幅率は入力電圧 $50 \mu V$, $200 \mu V$, $1000 \mu V$ の3段階に減衰器によつて切換えられ、異常高電圧の入力に對しても飽和することのないように考慮されてある。

増幅器ユニットの大きさは $550 \text{ mm} \times 650 \times 780$ 、記録装置ユニットは $550 \text{ mm} \times 650 \times 290$ 、脚ローラー附。國立東京第二病院（擔當藤森潤二氏）及び東大清水外科（擔當、清水健太郎氏、佐野圭司氏）の委託により試作された。2チャンネルセットは千葉醫大（松本氏）、金澤精神病院（松原太郎氏）、新潟醫大（薬理教室）等の委託による。第13圖は第13回醫學會主催現代醫學展（上野松坂屋昭和26年4月1日～7日）で公開試験を行つた時にとつた記録の一例の正常波を示す。

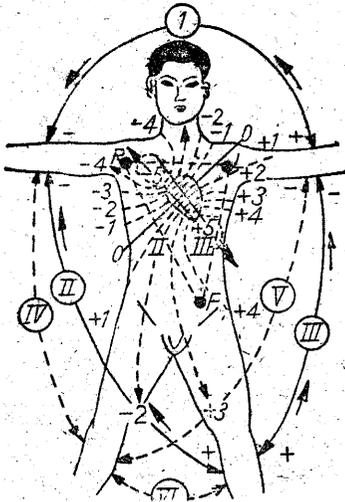
4. 心電圖記録装置

心臓の活動に際して心筋から發生する電壓を心臓電氣

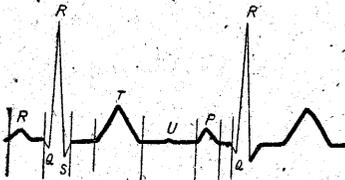
といふ第14圖のようなポテンシャル分布をもつので、最も電壓差の大きな部位として左腕——左腕（第I誘導）右腕——左肢（第II誘導）が電極に選ばれる。心臓の鼓動とともに第15圖のような電壓の變動が記録され波の形にそれぞれ P.Q.R.S.T の名前がつけられている。R波のピークで 1 mV 程度、周波數帯としては 0.3 c.p.s. から 200 c.p.s. 位の範圍にわたる。Einthoven の發見にかゝり、いわゆる Einthoven Galvanometer が用いられ最近では可動鐵片型のオシログラフで感光紙を使用して記録されている。周波數範圍が高いところ迄あるのでインクライターは困難とされていたが、生研式インクライターによればこの周波數帯は記録可能であるので、従来のオシログラフに劣らない周波數特性をもつ心電計が試作された。グラビア第3圖がその全體寫眞で、1エレメントのII型インクライター使用、時間軸として R-C



第13圖 生研式脳波記録器による脳波記録例-被験者糸川-後頭部左右から誘導、開眼によつて波は消失する。

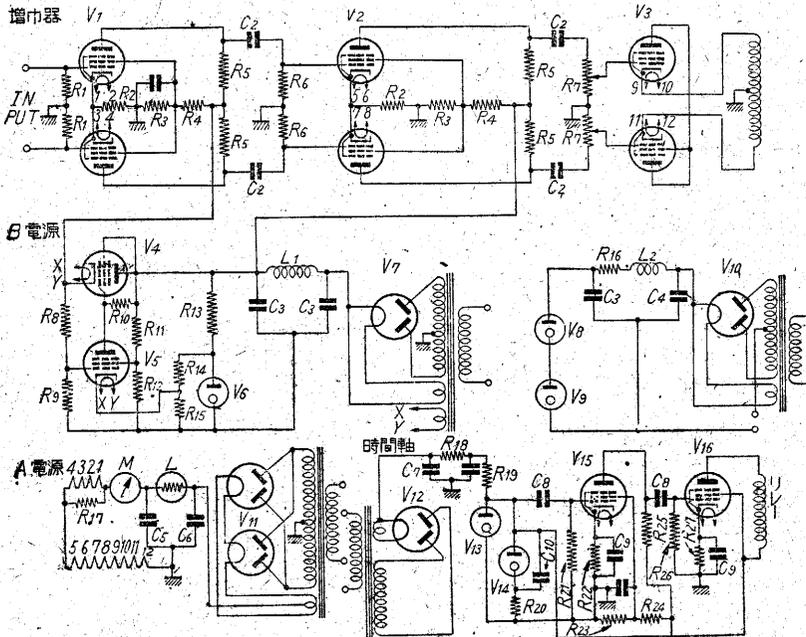


第 14 圖 心臓電氣のポテンシャル分布と誘導法の各種



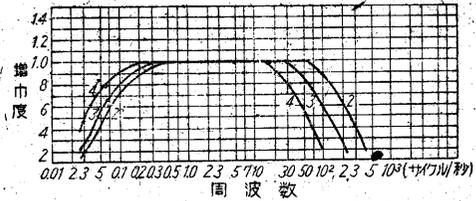
第 15 圖 心電圖の形波と各波形名稱

發振器を用いる。結線圖は第 16 圖に示すように段數が少いだけで腦波用とほとんど同じ、A, B, ともに整流し、B には安定回路を用いる。紙送り速度は 4 cm/sec を標



第 16 圖 心電圖用増幅器および時間軸用發振器

準として前後 3 段に切換えられ、1 mV 入力に對して針先のふれ最大 20 mm の感度を有する。周波數特性は第 17 圖の如くで、時定數は 1.8 秒、最近の日本循環器學



第 17 圖 心電圖記録装置 1. 周波數特性
2. 舊規格標準, 新規格は 3 と 4 の間に入り, 本セットもこれに準じて設計してある。

會の規格に合うように設計されている。直流部分と交流部分が別のセットになっているのでシールドルームなしで使用可能。循環器系統の疾病の診断に用いられる。株式会社市河思誠堂よりの委託研究による。

5. インクライター式地震計

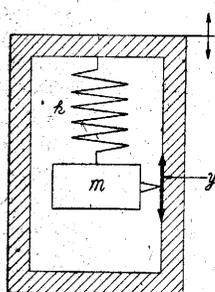
わが國の地震計は現在重錘振子と煤書きの組合せであるが、最近米國などでは全部インクライター式に改められているので、インク書きが要望されるに至り東大地震研究所表所員よりの依頼でわが國最初のインクライター地震計が試作された。最初のもは速度型の電磁 Pick up (地震研究所製作) を用い、これを心電計用増幅器と略同一の規格で設計した差動型増幅器を用いて増幅し、II 型インクライターで書かせる。全體の寫眞はグラビア参照。長時間の記録 (12 時間以上) が要求されるので特

にインク書きの線の細いことが要求される。周波数特性は 0.2 c.p.s. ~ 30 c.p.s. で心電圖 (E.K.G.) より低めであるが、増幅率は入力 1 mV 程度なので E.K.G. 規格なみである。これによつて従来記録され得なかつた微震、超微震が記録されるのでこの方面で期待されている。現在は更に筆者の考案になる音響イムピーダンス式 Pickur による變位式地震計を試作中で、これが完成すれば、現在使用されている重錘振子をそのまま使用し、これに附屬品としてセットを取付ければ變位のインク記録ができるようになる。

地震計用増幅器は E.K.G. 規格のものほとんど同じであるので結線圖は省略する。

6. 自記加速計

林業用の鐵道で事故が多く、軌道の保守狀況を測定する方法が要望される一方、材木運搬用トロッコの強度規格を定める上に、走行中トロッコにかかる加速度を知ることが必要になつたので、林野廳國有林課 (擔當水野技官、小山佛氏) の委嘱により、この目的のために自記加速度計の試作を行つた。上下、左右、前後の加速度をインク書きで自記させる装置であるが、上下の方向が最も重要で且記録装置として難しいのでこのための豫備試作を行つたものを口繪に示す。



第 18 圖 加速度計の原理
記録量 y が加速度を示すためには一定の條件が必要である。

その原理は垂直にスプリングで吊られた重錘で加速度に比例した變位をとり、これから垂直軸の周りに水平運動するインクペンに Mechanical Lever で Link させるので、第 18 圖のように質量 m がスプリング k で吊られているとき外箱と質量の相對變位 (記録される變位) y は外箱の空間振動が $a_0 \sin \omega t$ で與えられる場合

$$y = \frac{\omega^2}{\omega_0^2 - \omega^2} a_0 \sin \omega t \quad \text{で與えられるから}$$

$$(\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \text{ 系の固有振動數})$$

$$\omega_0 \gg \omega \text{ の場合 } y = \frac{a_0 \omega^2 \sin \omega t}{\omega_0^2 - \omega^2} \approx \frac{\ddot{a}(t)}{\omega_0^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\omega_0 \ll \omega \text{ の場合 } y = \frac{1}{1 - (\frac{\omega_0}{\omega})^2} a_0 \sin \omega t \approx a(t) \dots \dots \dots (2)$$

で測定振動より固有振動が高い場合に加速度記録、逆の場合に變位記録となる。(1) 式で加速度計の感度がきまり固有振動數の自乗に逆比例となり、例えば $f=20$ c.p.s. とすれば 1g に對して 0.7 mm 變位となる。これを

Mechanical Lever で 10 倍に擴大すると 7 mm となる。制動としては電磁制動を用ひ、このために II 型インクライターのユニットをそのまま使用し、可動線輪の上部に重錘をつけて質量 m とし、ペン軸の振えを鉸スプリングで押へてスティフネス k とし、これを調整可能にしてある。これによつて被測定對象に應じて、感度と固有振動數を變えられる。

7. 附 記

以上腦波、心電圖、地震計、加速度に對するインクライターの應用について述べたが、なおその後の應用として河村教授との協同研究として表面仕上げ狀況記録器としての試作が計畫されており、今後更に多方面への應用を望んでいる。

以上の諸研究は研究室員の協同によるもので、特にインクライター、紙送り装置については吉山助手、磁氣回路、可動線輪について技術研究生志賀健雄君、増幅器については大上一朗、大野昭三の兩君、心電圖記録器については藤岡健夫、金澤磐夫兩君、E. E. G. 8 チャネルユニット試作については大野君、部品、製品の性能試験と試験装置については米田圓生君、機械部品製作については大倉與平君のそれぞれ努力によるものである。

委託者一覽表

試作品	委託者	完成期日
腦波 6 チャネル 記録 セット	國立東京第一病院 (外科, 森安信雄)	昭 25.3.
" 8 "	國立東京第二病院 (生理科, 藤森閑二)	昭 26.4.
" " "	東大醫學部清水外科 (佐野吉司他)	昭 26.3.
" 2 "	千葉醫大 (精神科, 松本博士)	昭 25.11.
" 2 "	金澤精神病院 (松原太郎)	昭 26.3.
" 2 "	新潟醫大 藥理教室	昭 26.3.
" 2 "	國立鹿兒島療養所	昭 26.3.
" 2 "	宮城縣廳 (兒童福祉課)	昭 26.3.
" 1 "	勞働醫學心理學研究所 (大島氏他)	昭 25.7.
心電圖記録装置	國立東京第一病院 (内科, 鳴屋博士)	昭 26.4.
心電圖記録装置	株式會社市河忠誠堂	昭 26.3.
インクライター 式地震計	東大地震研究所 (表所員)	昭 26.2.
自記加速計	林野廳國有林課 (水野技官)	昭 26.5.

文 献

- (1) 糸川英夫 腦波とその記録について 生産研究 2 卷 3 號, 昭 25 年 3 月號 78 頁
- (2) 糸川英夫 音響インピーダンスに依る微小變位測定法 應用物理 13, 6 7, 213 頁 (1949. 7)
- (3) 上田, 重彦, 木村共著 臨床心電圖學 (南山堂) 昭 25 年 5 月