

全トランジスタ脳波計の開発

All-transistorized Electroencephalograph

児 玉 真 塩*
Mashio Kodama

広 川 正 博*
Masahiro Hirokawa

阿 部 善 右 衛 門**
Zenemon Abe

要 旨

交通災害の増加に伴う外科領域での使用が増大するにしたがい、脳波計が可搬性であること、一般病室、手術室などシールドルーム外での使用が可能になることが強く要望されるようになってきた。

可搬性を向上させるためには、増幅回路のトランジスタ化による小形軽量化が必要とされるが、脳波計用増幅器は入力インピーダンス、内部雑音などにきびしい条件があり、その実現は困難視されていた。筆者らは、可変容量変調形増幅器を使用して、全トランジスタ化に成功した。その性能は、従来の真空管式のものを上回るとともに、重量も従来の2/3以下で、看護婦でも容易に運搬ができる。

また独自の考案になるハム除去回路を開発し、脳波に波形ひずみを与えることなく、ハムのみを除去することが可能になった。その結果、シールドルーム外の一般病室、手術室などで使用しても、ハムの混入しないきれいな脳波が測定できるようになった。

1. 緒 言

ここ数年来、交通傷害は激増しており、これらの対応策として、救急医療施設、脳外科治療施設の拡充が急務とされている。

脳波計は、交通傷害のうちでも最も恐しいといわれている頭部外傷の診断に必要欠くべからざるものとして、その重要性は最近ますます認識されるようになってきた。従来の脳波計は主として、精神、神経科領域で使用されていた関係もあって、装置は大型の据置形であり、可搬性がなく、シールドルーム内でなければ商用ハムの混入があって使用できなかった。救急医療の領域、あるいは脳外科の領域で使用するためには、小形軽量で可搬性に富み手術室、一般病室などのシールドルーム外でも、使用できるものでなければならない。

小形軽量化するためには、増幅器をトランジスタ化しなければならないが、脳波計の入力インピーダンスが $5\text{ M}\Omega$ 以上を必要とし、かつ内部雑音を $3\text{ }\mu\text{Vp-p}$ 以下、できれば、 $2\text{ }\mu\text{Vp-p}$ 以下にしなければならないため、一般のトランジスタを使用したのでは、上記の仕様が達成できず、したがって、トランジスタ化は困難視されていた。

筆者らは、さきに開発した低雑音医用増幅器⁽¹⁾を1部改良して、脳波計用増幅器として十分な性能をもつ全トランジスタ化増幅器を開発するとともに、独自の考案になるハム除去回路を開発し、シールドルーム外の一般病室で使用してもハムの混入にわずらわされることなく、脳波が測定できるようにした。

以下に全トランジスタ脳波計の全ぼう、ハム除去回路の性能について報告する。

2. 装置の概要

脳波計は、脳の電気活動現象(すなわち脳波)を頭皮上から測定するものである。脳波の大きさは、 $50\text{ }\mu\text{V}$ 前後、周波数範囲は $1\sim 60\text{ c/s}$ である。一般に測定に際しては、頭皮上に21個の電極をつけ(国際式10~20電極法)、これらの電極間に現われる電圧波形を複数個の直記ペン書き記録器で、同時記録するものであって、たとえば9チャンネル脳波計では、上記21個のうちの任意の8組の電極波形を、同時に8チャンネルの記録器で記録する(なお残りの1チャンネルは、心電図が記録される)。

図1に全トランジスタチャンネル脳波計の外観を示す。図2は脳波

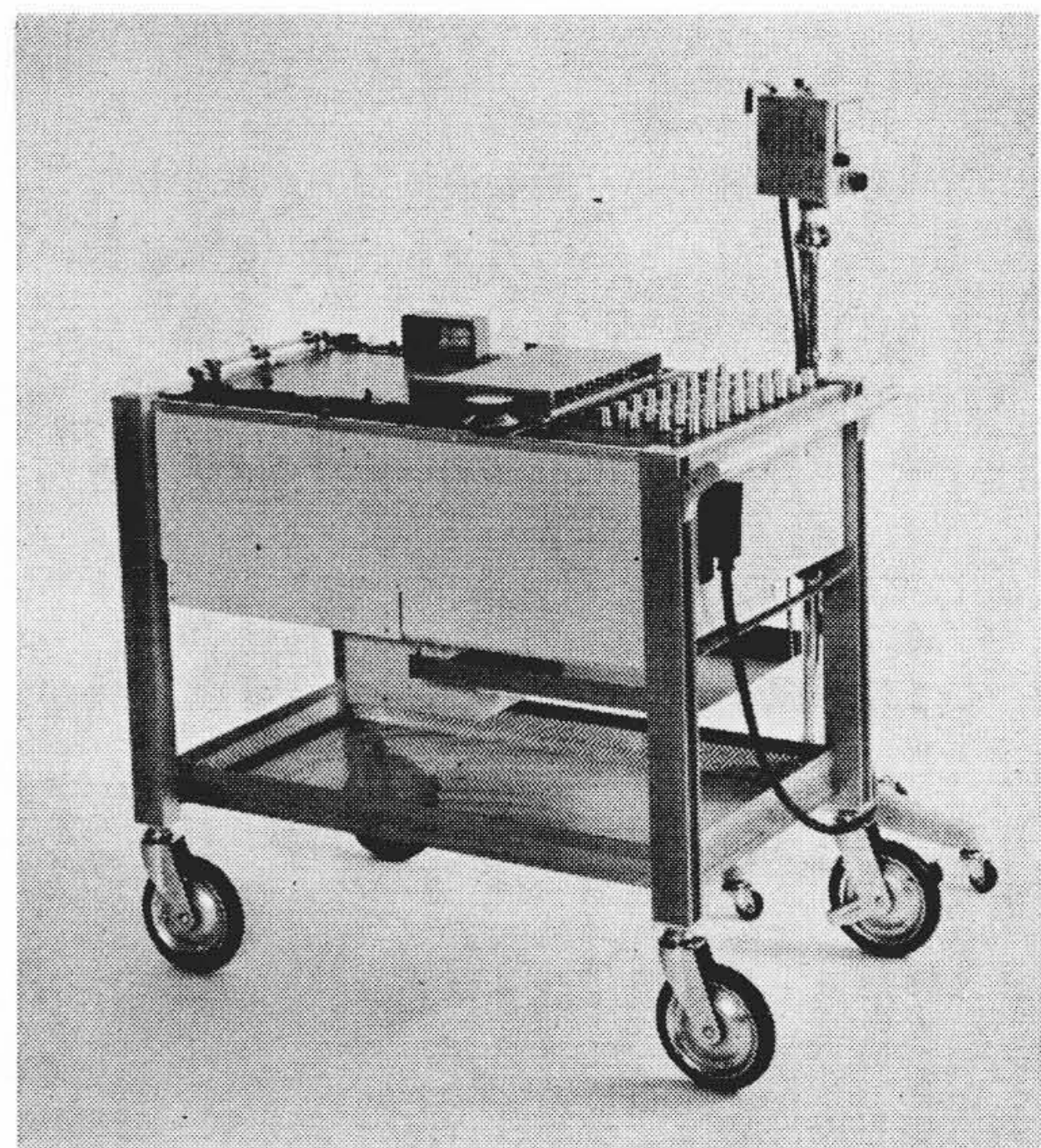


図1 脳 波 計

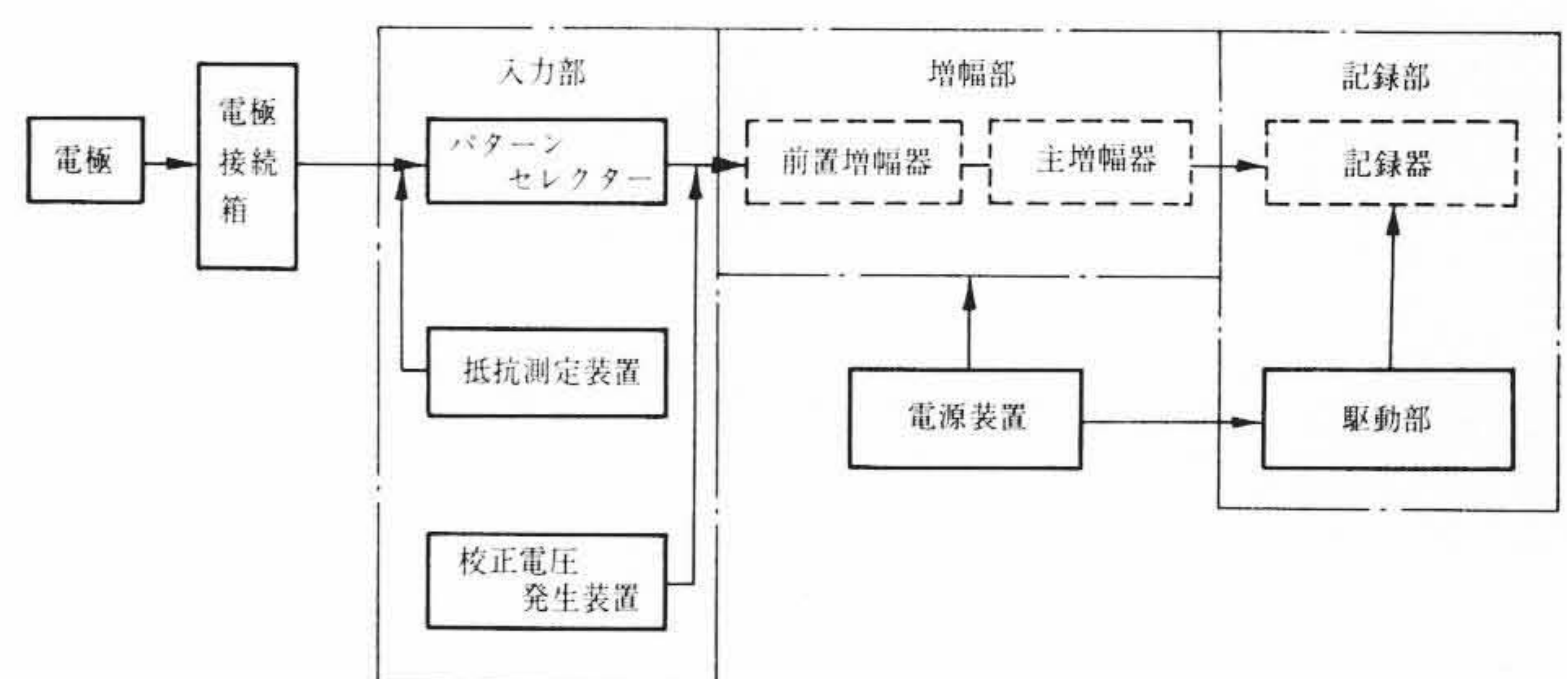


図2 脳 波 計 の 構 成

計の構成図を示したものであり、点線で囲んだ部分は脳波計のチャンネル数だけ装置されている。装置のおもな仕様は表1に示すとおりである。

本装置は、従来の装置に対し、次のような画期的な特長をもっている。

- (1) 増幅器が全部トランジスタ化されているため、従来のものに比べて、小形軽量になっており、看護婦一人で容易に運搬でき、病院内のどこにでも移動できる。
- (2) ハム除去装置を有しているため、シールドルーム外で脳波を測定しても、ハムの混入にわずらわされることがなく、

* 日立製作所亀戸工場

** 日立製作所中央研究所

表1 全トランジスタ脳波計仕様

1	チャネル数	EE-9形 9チャネル (1チャネルは心電用) EE-13形 13チャネル (1チャネルは心電用)
2	重量および外形寸法	EE-9形 100 kg L805×W450×H750 mm EE-13形 140 kg L805×W600×H750 mm
3	増幅方式	可変容量変調形増幅方式
4	入力インピーダンス	EEG 10M Ω ECG 5M Ω
5	弁別比	60 dB 以上
6	最大感度	脳波増幅器 12 mm/20 μ V 以上 (0.3 秒, 0.1 秒) 心電増幅器 10 mm/1 mV 以上 (DC, 2 秒, 0.7 秒)
7	感度調整	脳波用 粗 1 段 6 dB 8 段切換 密 0~150% 連続可変 全チャネル 同時 2~ $\frac{1}{4}$ 倍 4 段切換 心電用 粗 1 段 6 dB 4 段切換 密 0~150% 連続可変
8	校正電圧	20, 50, 100, 200, 500 μ V (心電のみ 1 mV 一定)
9	周波数特性	60 c/s まで平坦
10	最大振幅	± 12.5 mm
11	時定数	脳波増幅器 0.1 秒, 0.3 秒 心電増幅器 DC 2 秒, 0.7 秒
12	フィルタ	OFF 15 c/s, 25 c/s の 3 段切換
13	パターン切換	パターン切換器により 6 種類のパターンを選択できる
14	電源投入後の安定時間	10 秒
15	入力回路電流	10^{-9} A
16	入力換算内部雑音	1.5 μ Vp-p 以下
17	記録紙	EE-9 形 幅 245 mm 長さ 300 mm 折畳式 EE-13 形 幅 345 mm 長さ 300 mm 折畳式 (ロール式のものも使用可能)
18	紙送り速度	1.5, 3, 6, 15, 30, 60 mm/秒
19	記録方式	インク書き ペン長 130 mm
20	刻時装置	$\frac{1}{10}$ 秒 連続記録
21	電源	AC 90~110V 50/60 c/s 消費電力 EE-9 形 300 VA EE-13 形 400 VA

回診など一般病室でも簡単に測定できる。

- (3) 増幅器が変調方式になっているため、動作がきわめて安定しており、また、電源投入後約 10 秒で使用可能となるため(従来品は 3~10 分)取り扱いが簡単になっている。
- (4) 内部雑音が真空管方式のものよりも少なくなっており、きれいな脳波をとることができる。

3. 増 幅 器

前記のとおり、脳波計の増幅器は高入力インピーダンス (5 M Ω 以上)、低雑音性(入力換算内部雑音 3 μ Vp-p 以下、できれば 2 μ Vp-p)が要求されるため、これを全トランジスタ化するには、技術的にかなり困難がある。

これを解決する方法として、筆者らは、さきに開発した可変容量変調形増幅器⁽¹⁾を使用した。図 3 はそのブロック図である。すなわち可変容量形変調器を用い低周波の入力信号を一度高周波の信号に変換したのち、増幅し、再び元の低周波信号に直して記録器を駆動する。この増幅器の特長は、低周波において入力インピーダンスがき

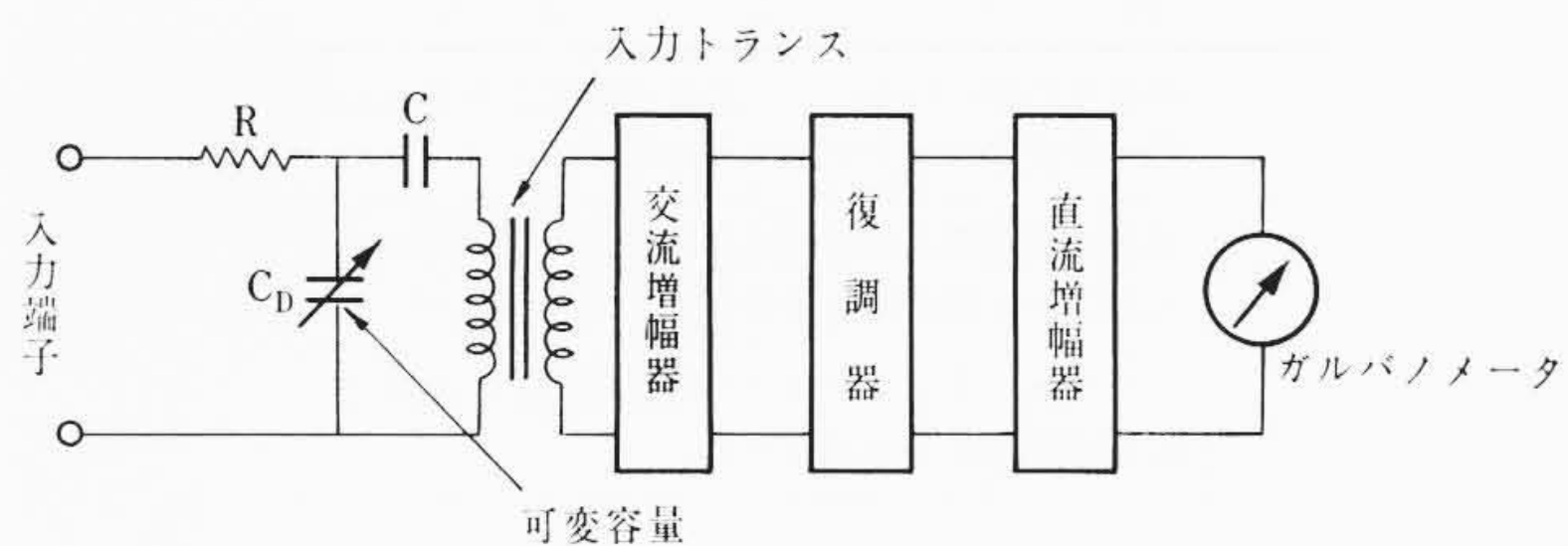


図3 脳波増幅器ブロック図

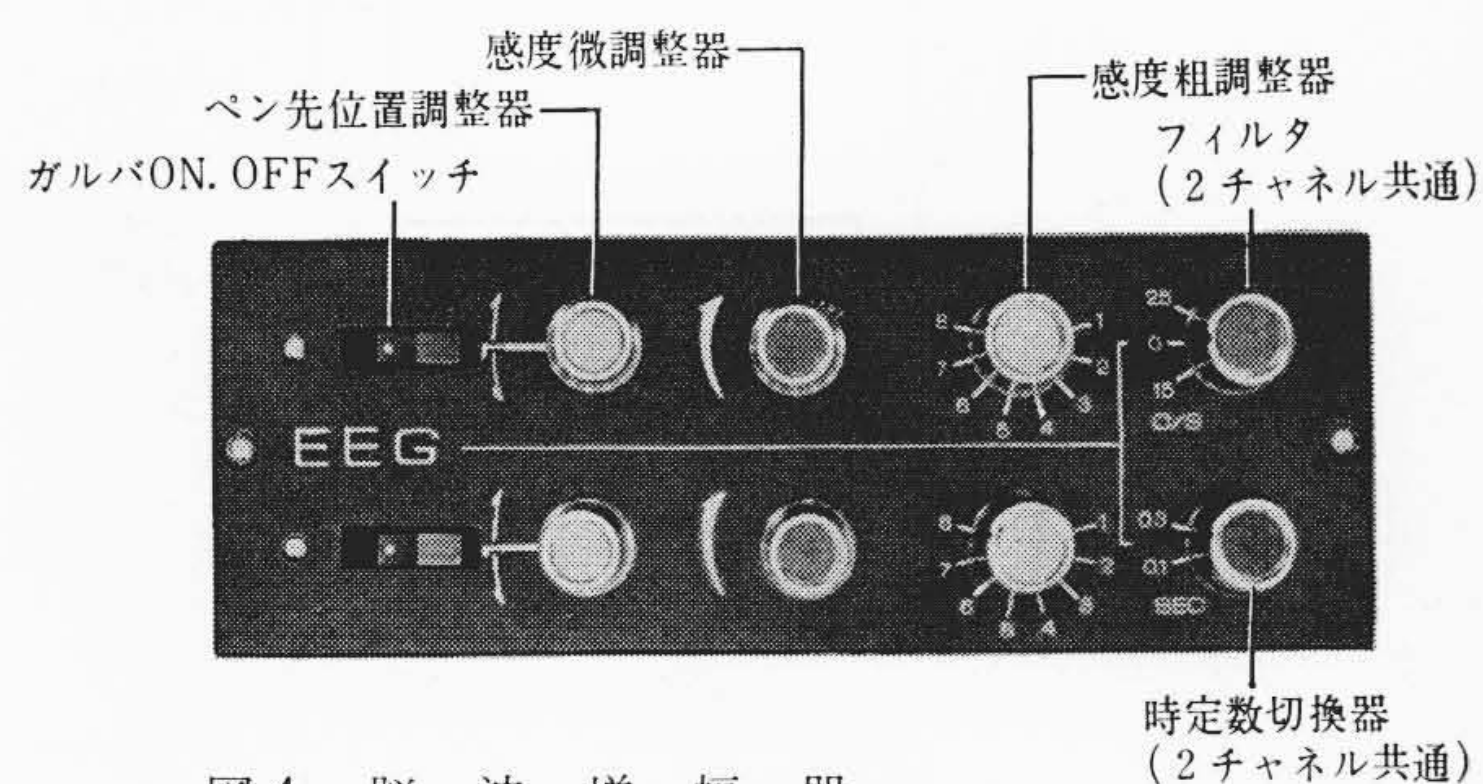
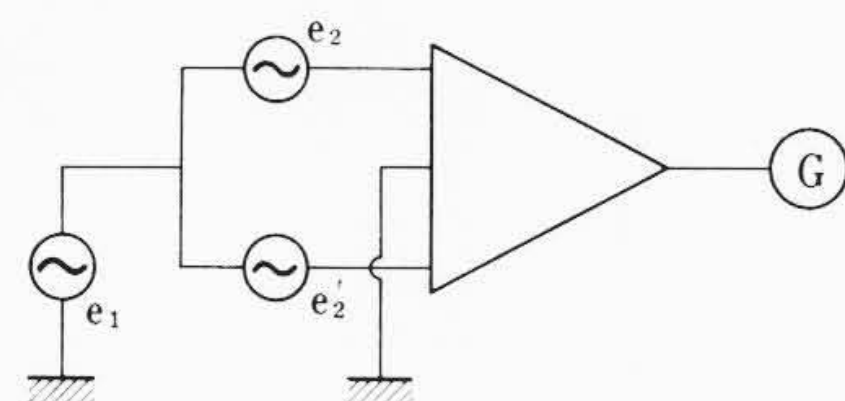


図4 脳波増幅器



e_1 ……同相ハム(弁別比の向上により除去可能)
 e_2, e_2' ……逆相ハム(弁別比を向上しても除去できず)

図5 脳波に混入するハム

わめて高いこと、および変調器がL、Cなど本質的に無雑音の素子で構成されているため、入力に換算した内部発生雑音がきわめて低いことであり、これは脳波計のような微小生体電気現象を測定するのに好適である。

試験の結果は、表1にも記したように入力インピーダンス 10 M Ω 、入力換算内部雑音 1.5 μ Vp-p 以下になっており、従来の真空管式の脳波増幅器の性能を上回るものになっている。

また、従来の脳波増幅器は、直結形増幅器であるのに対し、本増幅器は変調形増幅器であるため、動作が安定しており、電源を投入して約 10 秒後には、安定して使用できるなど、取り扱いが容易になっている。

増幅器の操作盤面を図4に示す。脳波は、脳の左右の対称性を調べるために、必ず偶数個のチャネルを使用するので、増幅器も2チャネルを1組として1個のシャシにまとめている。ペンの振れの感度は最大 12 mm/20 μ V 入力であり、1 段 6 dB ずつ、8 段の感度粗調整器と、その間を連続可変できる感度微調整器があり、さらに脳波計本体の操作盤には、全チャネルの増幅器の感度を同時に切換えできる全チャネル感度調整器が設けられている(1 段 6 dB, 4 段)。

4. ハム除去回路

従来脳波を一般病室で測定しようとするると商用周波数のハムの混入が問題となり、実用することはむずかしかった。

筆者らは、回診に便利な小形軽量の全トランジスタ脳波計を完成するとともに、シールドルーム外で使用してもハムが混入しないように、商用周波ハム除去回路を考案した。

一般に脳波測定中に混入するハムは、図5に示すように脳波計の

表 2 ハム混入経路

1	被検体の横たわるベッドの床面を流れる漏えい電流が被検体に流入するために生ずる。
2	各種交流電源から静電容量を通して被検体または入力リード線に流入するために生ずる。
3	トランス、チョークコイルなどの漏えい磁束のため電磁誘導により発生する。

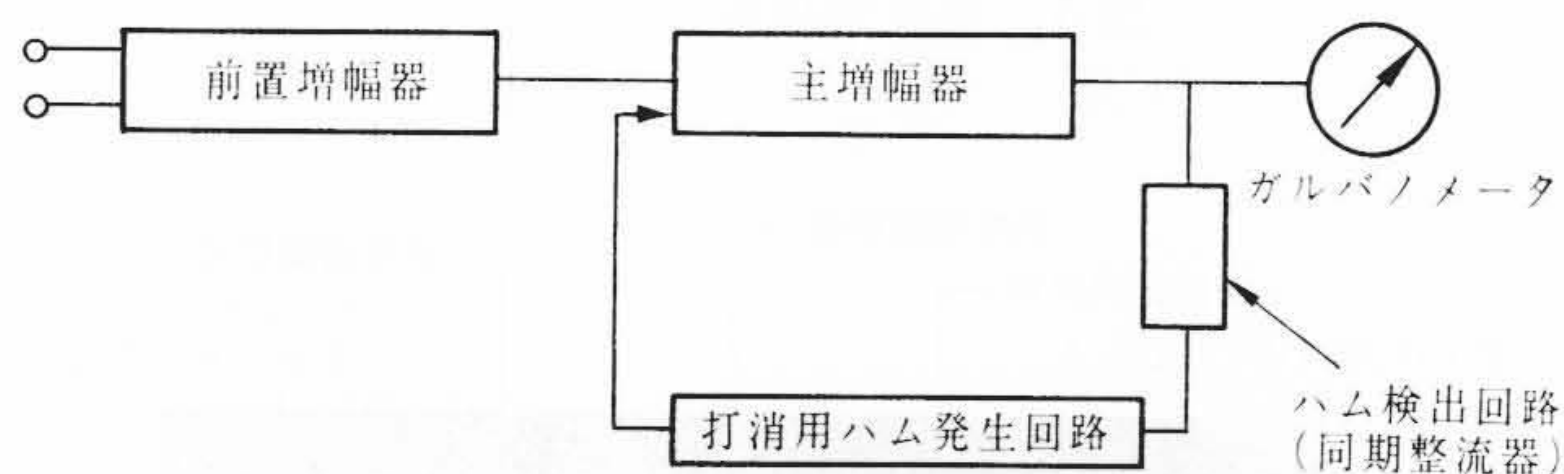


図 6 ハム除去回路

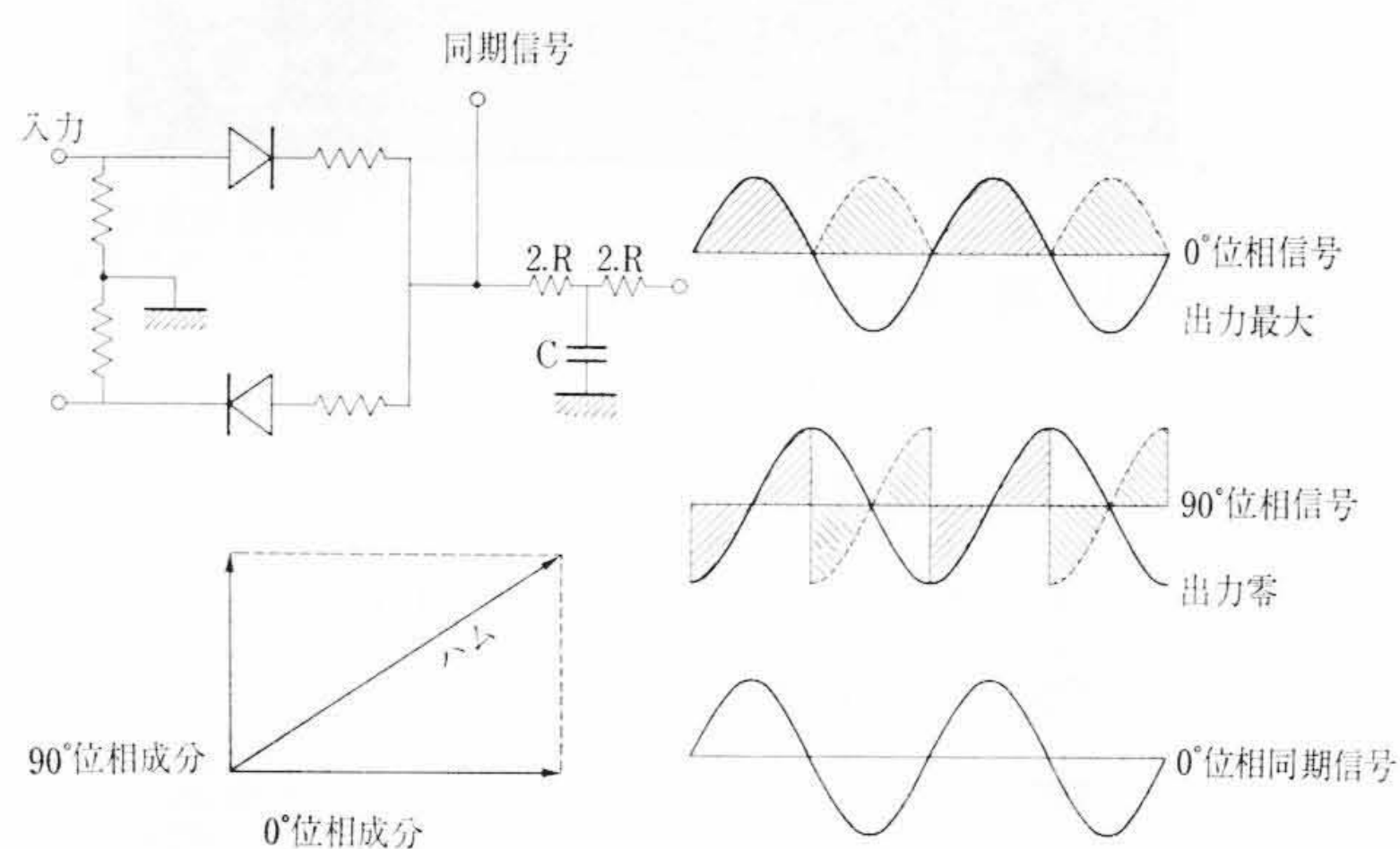


図 7 同期整流器

増幅器に対して同相的に混入するものと逆相的に混入するものがある。表 2 はハム混入の具体的な経路を示したものである。

従来から、脳波計においては、同相的に混入するハムを除去する目的で、増幅器には差動増幅器を使用し、これの弁別比を 60 dB 以上にしていた (脳波計 JIS 規格で 60 dB 以上と規定)。その結果同相ハムに対しては、実用上十分なハム抑圧効果をもっていたが (シールドルームを使用することを前提として) 脳波に重畳してはいつてくる逆相のハムについては、弁別比をいかに向上してもなんの抑圧効果もない。したがって、シールドルーム外ではハムの混入がさけられなかった。このたび考案したハム除去回路は、逆相ハムも積極的に除去することを試みたものである。

以下にハム除去回路の原理および動作について報告する。

図 6 にハム除去回路のブロック図を示す。ハムは商用電源の誘導に起因するものであるから、これは、商用電源に完全に同期している。したがって同期整流器を使用し、同期の信号として商用電源を使用すれば、出力に含まれる信号のうち電源に同期しているハムのみが検出できる。ついで検出したハムと、大きさが等価で、逆位相の打消用ハムを作り、これを増幅器の中段にそう入して、入力からはいつてきたハムを消去する。以上がハム除去回路の動作原理である。

図 7 は同期整流器の一例である。入力と同期信号の周波数および位相がそろっている場合には、コンデンサ C には、入力に比例した直流電圧が充電される。位相が 90 度ずれている場合には正負が打ち消し合ってコンデンサは充電されない。また入力と同期信号の周波数に差 Δf がある場合は、コンデンサには Δf の周波数の電圧が発生するが、コンデンサの充電時定数を十分大きく (たとえば 10 秒) しておけば、実質的には、コンデンサは充電されないことになる。したがって、同期信号として商用電源を使用すれば、入力には

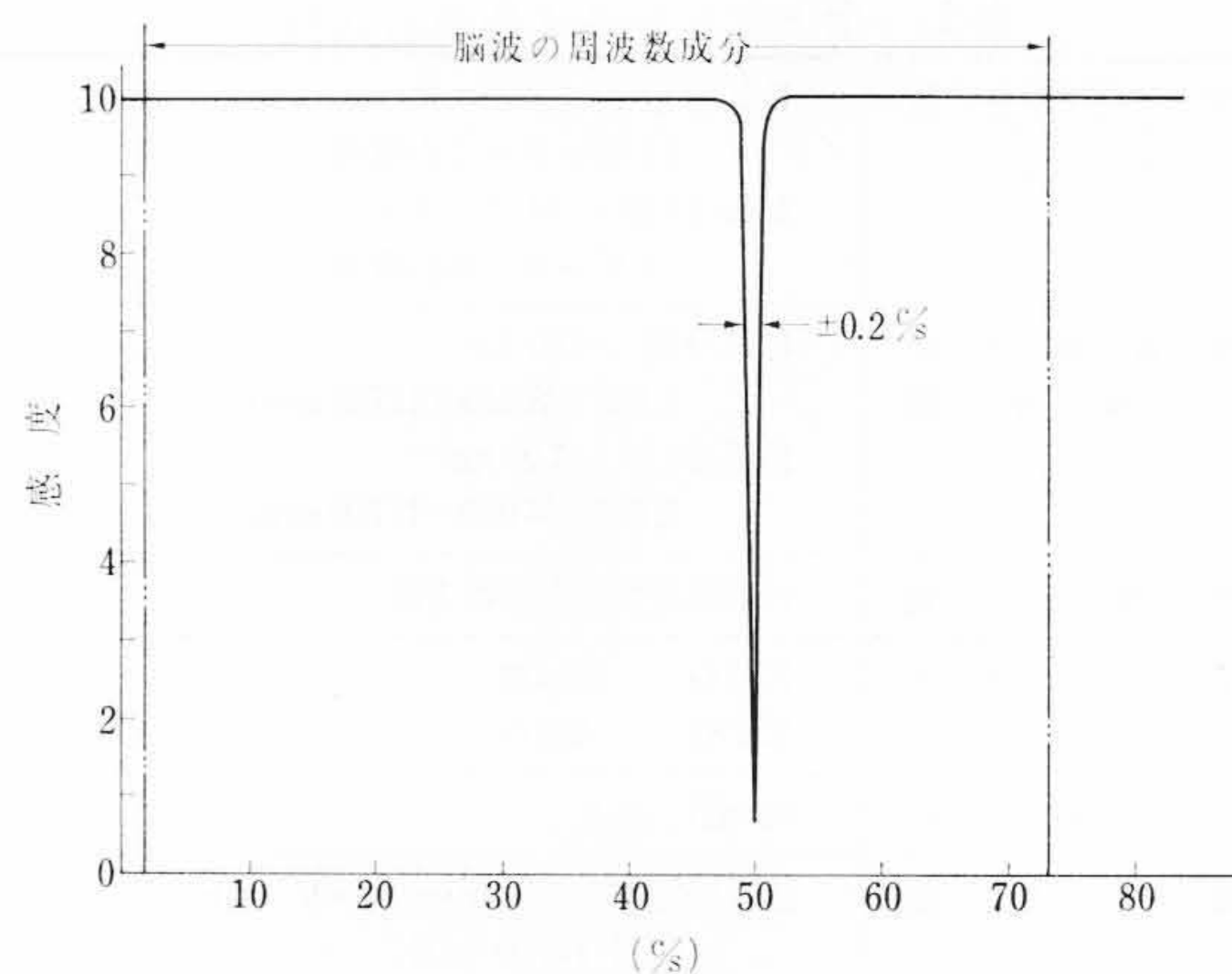


図 8 ハム除去回路周波数特性

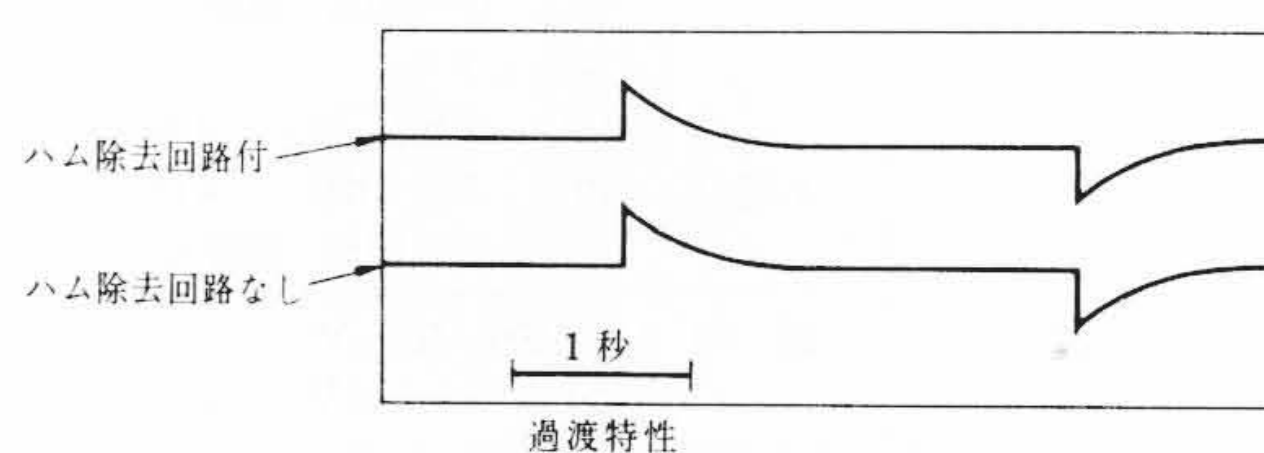


図 9 過渡特性

いる信号のうち商用電源に完全に同期したもの、すなわちハムのみがコンデンサに直流電圧として充電される。

以上のようにして入力に混入するハムを検出し、これに基づいて打消用ハムを発生させるわけであるが、一般にハムは表 2 にも示すように、静電的に浮遊容量を介してはいつてくるもの、漏えい電流としてはいつてくるもの、電磁誘導ではいつてくるものなどがあるため、ハムの位相は、電源の位相とは必ずしも合っていない。このためハムの検出に際しては、その大きさのみでなく位相も検出する必要があるので、本ハム除去回路では、商用電源の 0 度位相に同期した同期整流器と、商用電源の 90 度位相に同期した同期整流器を併用し、両者を合成してハムの位相をも検出している。

ハム除去回路の周波数特性を図 8 に示す。周波数特性は、商用電源の周波数において鋭い減衰特性をもっており、減衰の周波数帯域幅は、約 $\pm 0.2 \text{ c/s}$ である。このように減衰帯域幅がきわめて小さいことが、ハム除去回路の特長であり、脳波本来の波形にひずみを生ずることなくハムのみが除去できる。また電源周波数が大幅に変動しても減衰特性の中心は常に電源周波数に自動的に追従しているため、ハム除去の効果に全く影響を与えないことも本回路の大きな特長である。

脳波増幅器にハム除去回路をつけ、入力に直角校正電圧を印加したときの過渡特性を図 9 に示す。図からわかるようにハム除去回路を装備しても過渡特性に変化は認められない。

波形のひずみを調べるには、脳波よりも心電図のほうが微妙な変化を見つけやすいので、心電図を使用して測定した。図 10 はその結果で、心電計にハム除去回路をつけた時の心電図形を示している。なお人体の心電図は、時々刻々変化しそのままでは波形のひずみのチェックには不適當なので、パターン発生器で人工的に発生させた心電図形を使用した。同図で最上段と 2 段目の図形は、心電図にハムが混入していない場合において、ハム除去回路を付けたものと付けないものとの比較であり、両者を比べてひずみは、認められない。3 段目と 4 段目の波形は心電図にハムが混入した場合の比較であり、ハム除去回路を付けたものは、ハムがきれいに除去されている。またこの波形と、2 段目の波形 (ハム除去回路なし、ハム混入

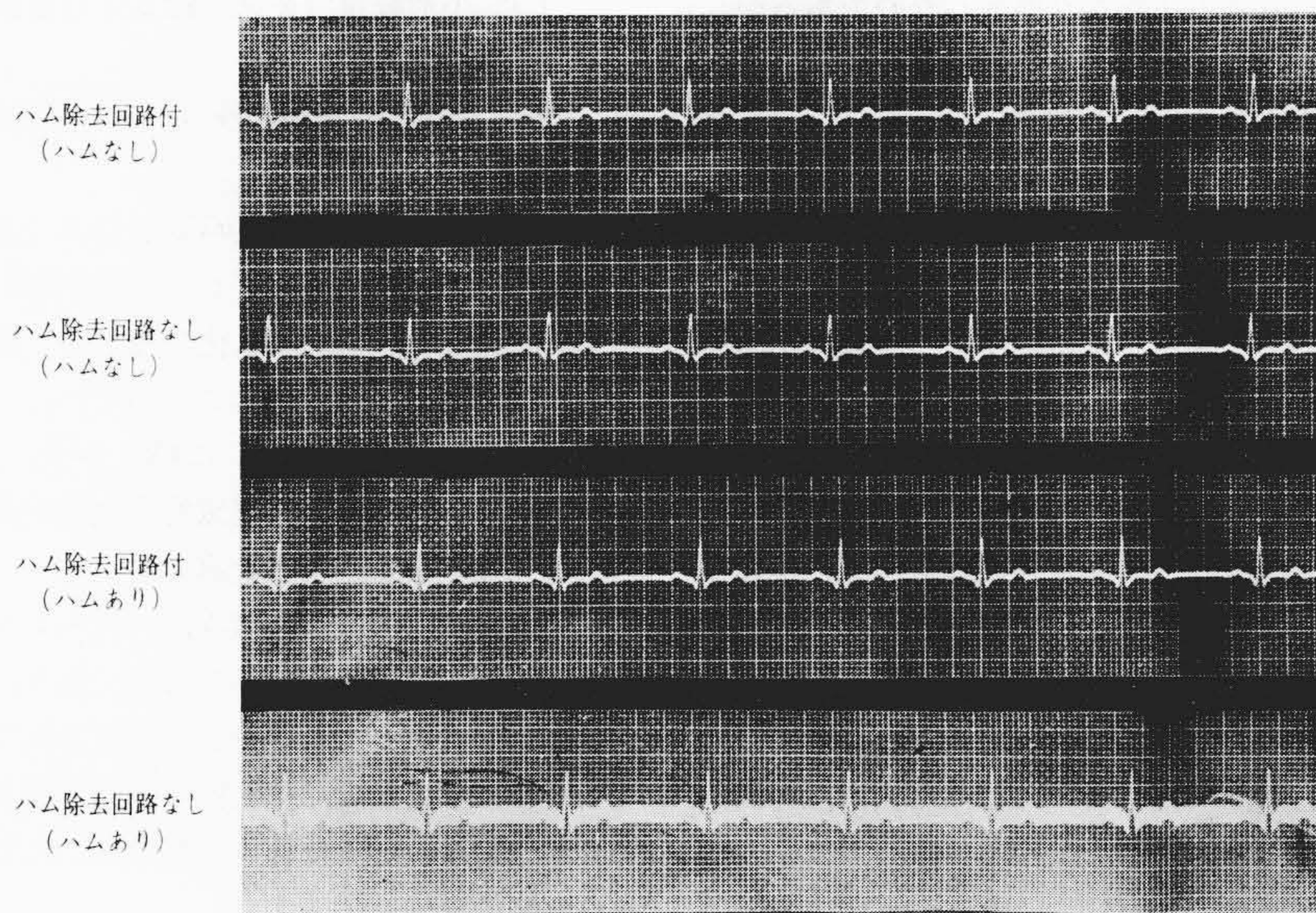


図10 心電図による波形の比較

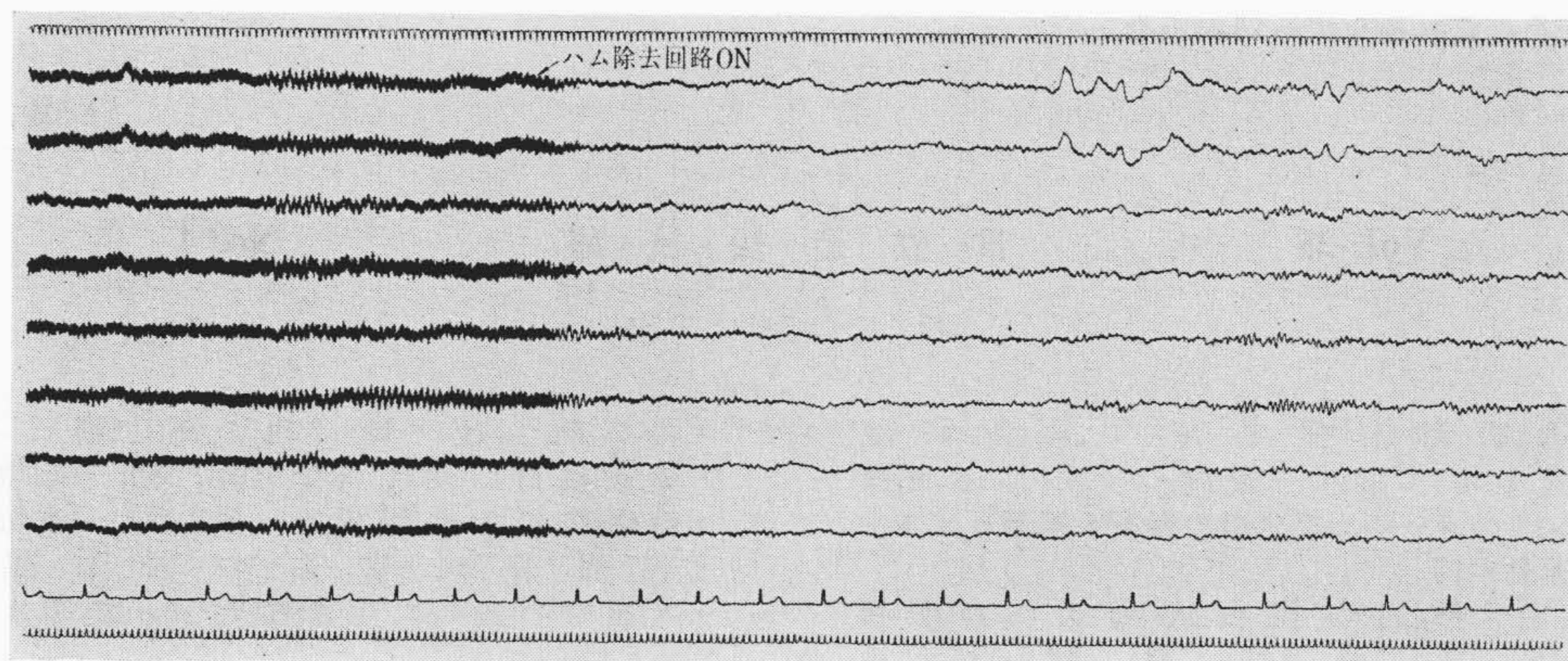


図11 脳波測定例

なし)を比較しても両者の間に波形ひずみは全く認められない。

結論として、本ハム除去回路を使用した場合の波形ひずみは全く問題にならず、ハムの混入している状態で測定しても、ハムの混入のない本来の波形と同じものが得られる。

図11は実際に脳波を測定した例である。左側はハム除去回路を開いた場合の波形であり、脳波に重畳して、大きなハムが混入していることが見られる。ハム除去回路を閉じると約1秒後にハムは、ほぼ完全に除去されていることがわかる。

ハムが消滅するまでに要する時間(約1秒)は図8に示す周波数特性と密接な関連があり、減衰をうける周波数幅をせまくするほどハムが消滅するまでに要する時間は長くなる。実用上の問題として、波形ひずみを生ずる恐れがなく、かつ取扱上、不便さを感じない程度の時間としてハム消滅時間1秒を選んだ。

5. 実用試験結果

前章でハム除去回路を装備すれば、波形ひずみを生ずることなく、ハムの大きさを1/10~1/20に低減できることがわかったが、病院内の実際の診断場所において、シールドルームなしで果たして支障なく使用できるかどうかを調べるため種々の実用試験を行なった。

一般に木造の室は、コンクリートの室に比較するとハムがはいりやすいといわれている。これは、木張りの床が漏えい電流を流しやすいこと、また、室の配線が壁などの表面に近いところにあり、静電的な誘導を与えやすいためである。これに対してコンクリートの

表3 ハム除去回路の効果

ハム混入経路	ハム除去回路の効果	シールドルームの効果	シールドシートの効果
漏えい電流によるハム	効果あり	効果あり	効果あり
静電容量を通して流入するハム	効果あり	効果あり	効果は少ない
漏えい磁束の電磁誘導により発生するハム	効果あり	効果なし	効果なし

室は、コンクリートそれ自体が電氣的な、遮へい物としてかなり有効に働くことと、一般に床面がリノリウム張りになっていて床面を流れる漏えい電流が少ないためである。したがって、ハム除去効果の試験も木造の室の場合を重点に行なった。

試験の結果によると、木造の室の場合も、きわめて良好にハムを除去できることがわかった。特に畳敷の部屋で測定しても満足すべき結果が得られている。これを従来の装置を使って、シールドルームあるいは、シールドシート使用時の効果と比較した結果を示したのが表3である。注目すべきは、トランス、電磁石、蛍光灯の安定器などから発する漏えい磁束により誘起されるハムは普通のシールドルームでは除去困難であるがハム除去回路では、ほかのハムと同様に除去できる。

試験の結果を要約すると、ハム除去回路によりハムの大きさは、1/10~1/20に減衰され、心電計が正常に使用できる場所では、脳波計も正常に使用できることがわかった。いいかえれば、従来の脳波計

は、ハムの混入防止について特別の注意を必要としたのであるが、ハム除去回路をつけることにより、心電図なみの簡単な注意と、取り扱いで、きれいな脳波が得られることがわかった。

6. 結 言

従来の脳波計は、大形で重量が重く、またハムの混入防止策が、不十分なため、シールドルームのある特定の場所でなければ、脳波の測定ができないという大きな欠点があった。

筆者らは、増幅器を全トランジスタ化して、小形軽量化を図るとともに、独自のハム除去回路を考案して、混入するハムを除去することに成功した。その結果、シールドルーム外の一般病室、手術室でも使用できる可搬性の高い脳波計を完成することができた。ハム除去回路の効果は、次のとおりである。

- (1) ハムは、1/10～1/20に低減される。
 - (2) 心電計が使用できる場所では、ハムの混入なく脳波を測定できる(シールドルーム不要)。
 - (3) 波形のひずみは全く認められない。
- また、本装置は、シールドルーム外で使用できる特長をもっているほか、全トランジスタ化により、従来の装置がもっていなかった数々の特長を具備している。これらを次に列記する。

- (1) 小形軽量(従来の約2/3の重量)で看護婦でも容易に運搬できる。
- (2) 電源投入後10秒で安定した動作になる(従来は3～10分要した)。
- (3) 内部雑音が1.5 $\mu\text{Vp-p}$ 以下である(従来は約2 $\mu\text{Vp-p}$)。
- (4) 入力インピーダンスが高い(10 $\text{M}\Omega$ 、従来は約5 $\text{M}\Omega$)。
- (5) 全トランジスタ化したため、従来のように真空管の寿命にわずらわされることがない。
- (6) 電源電圧が低く(24V)かつ、入力がトランス結合のため、患者に対する電気的安全性が高い(従来は真空管のグリッド格子に患者を直結)。

本装置は、可搬性に富み、シールドルーム外でも使用可能という画期的な特長を有しているものであり、今まで脳波計が利用されなかった分野にまで、今後広く利用されていくものと期待している。

終わりに臨んで、本装置の開発に種々ご指導を賜った福島医科大学塚原教授、また種々ご協力をいただいた、日立製作所中央研究所の関係各位に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 阿部ほか：日立評論 47, 1442 (昭40-8)

Vol. 28

日立造船技報

No. 4

目 次

- ・大形油送船用上作業車の試作研究
- ・日立造船式1本デリック装置の安定性と実績
- ・自由ピストンガスタービン発生機の操縦・制御とガスタービンとの連動制御
- ・自由ピストン機関の往復式動力への応用
- ・球状黒鉛鋳鉄の耐熱性

- ・発熱自硬性鋳型の改良
- ・船底塗料の性能研究(第1報)―市販防汚塗料―
- ・船底塗料の性能研究(第2報)―市販防汚塗料―
- ・平面骨組構造の固有振動解析
- ・人を中心とした生産性チェックリストについて

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60

第30巻

日立

第3号

目 次

- ・随 想 新しい農業……坂口謹一郎
- ・“BIG YOKOHAMA” めざして
- ・チーム・ワークに栄冠―超電導マグネット開発の記録
- ・空にも地中にも伸びる超高压送電線
- ・美しい歴史の残照―明治村の史蹟を訪ねて―
- ・空気や水で考える?―流体制御素子の優雅なはたらき

- ・合成皮革の頂点に立つエルビヤン
- ・ハイライト「3.56億kW時への期待」
- ・COLOR SPOT「制御をつかさどる流体」
- ・万博シリーズ第2回
- ・話のロビー「RE開発のドラマ」
- ・サイエンス・ジョッキー

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地
振替口座東京71824番

取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
振替口座東京20018番