

# マイクロコンピュータを内蔵した体表面電位図測定システム

谷島一嘉 木下重博 田中 博 仲村洋之 古川俊之  
 東京大学医学部医用電子研究施設

## 1. はじめに

体表面心電図とは、心筋の電気的興奮にともなう電位変化を胸壁面の多数の誘導点で観測したものである。通常的心電図は四肢で6種類、胸壁で6種類の12点の電位をアナログ波形としてレコーダーに記録し、波形のパターン認識によって診断を行なっている。これに対して体表面心電図は胸壁面上の多数の点からの心電図を一度に記録し、各同一時相での電位分布図を作成しその分布パターンの形状や、移動方向などの変化を観測するものである。胸壁面に装着する電極の数は現在研究グループによって異なり、我々のシステムの場合は96点（前胸部60、背部36）を採用している。心電図は立体構造を持った心臓が心臓の収縮としてポンプ作用を行なうのに伴ない生ずる電気現象であり電位の変化する様相は立体的な電位の移動として観測する事が望ましく、体表面心電図はこうした目的にそって研究が進んでいる。

本研究で報告する体表面心電図測定表示システムは、Z80Aマイクロコンピュータを使用し、電極系装着の簡単化、装着状態の良否の検討の容易さ、測定された体表面心電図の即時的動画表示、完全なハードコピー機能などの点を特徴とし、逆方向問題解法やスペクトル解析などの観測後の情報処理に対しても充分適合度の高い応用システムとして開発したものである。システムの外観を図-1に示す。以下システムの各ブロックの構成、機能について説明する。

## 2. システムの構成

本システムは、電極系部、アナログ入力部（心電計部）、データ処理・表示部の3つの部分よりなり、図1外観に見る通りに、構成単位としても分離されている。これは主として、患者に対する安全対策として行なったものである。

本システムの目的は胸部を中心とした1024チャンネル心電図誘導をCRT上に二次元の電位分布図としてできるだけ迅速に表示することにあり、システム全体の機能ブロックダイヤグラムは図2に示した。機能ブロックダイヤグラムには、ソフトウェアによって実行している部分の機能もブロックダイヤグラム上に表示してある。

胸部以外の6つの誘導は標準の四肢誘導で、I, II, III, aVr, aVe, aVfの誘導であり、標準12誘導心電図の一部である。これらの四肢誘導波形は、電位分布図の作成には使われていない。あくまで標準方式との対応のためである。

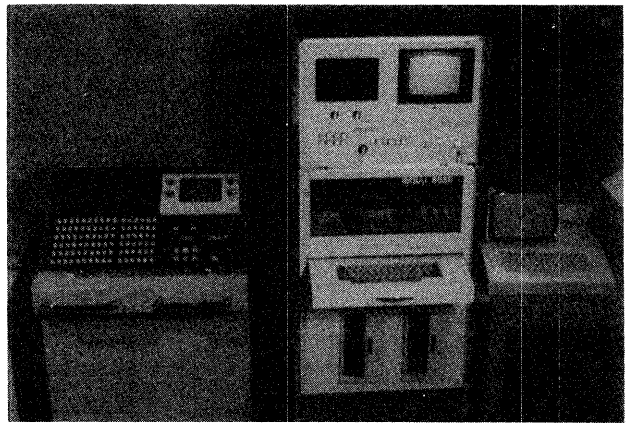


図1. 体表面心電図測定装置の外観

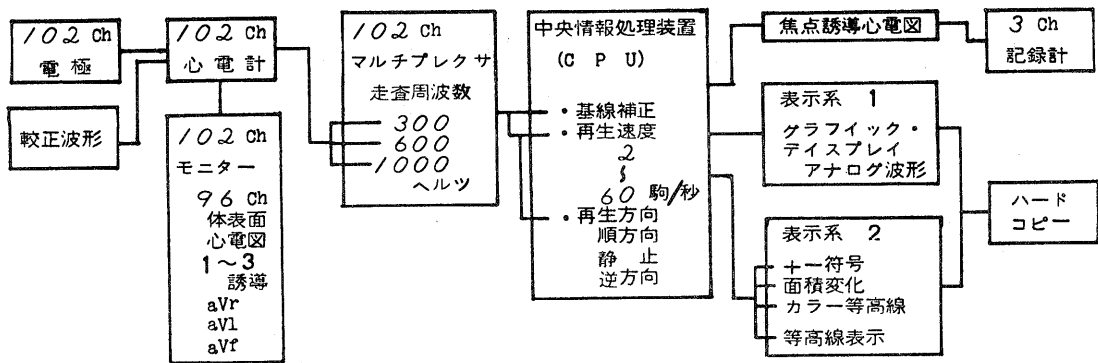


図2, 体表面心電図測定装置の機能ブロックダイアグラム

2-1, アナログ入力部

システムは安全上の配慮から、データを収集するアナログ入力部分と計算処理と表示を行なう部分との2つに分け、その間には高速フォトカップラーによってアイソレーションし、アナログ入力部内でA/D変換されたデジタル信号がその間を伝送される。アナログ入力部は1024チャンネルの心電図増幅用アンプを中心に構成されている。図3はアナログ入力部のブロックダイアグラムでA/D変換器、マルチプレクサ等を含む。内部にはCPUとは独立した制御回路を持ち、CPUからの起動信号によって、定められたサンプリングレートによってデータを次々と変換しデータ処理部に送る事ができる。

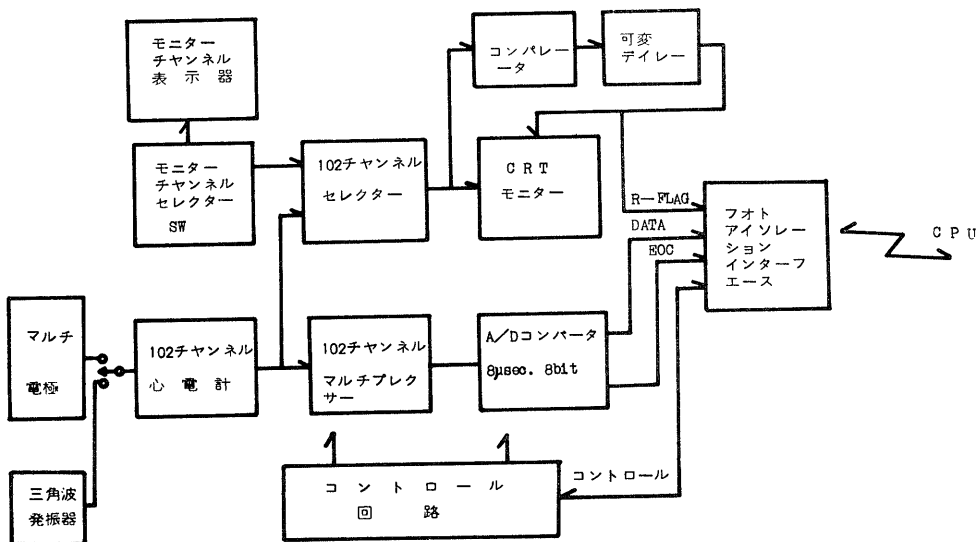


図3, アナログ入力部のブロックダイアグラム

サンプリングレートの設定は心電計の側で行なう。付属回路としてはCRTモニター、R波トリガー回路などがある。

### (1) マルチ電極

心電は胸部に装着した96個のマルチ電極と手足の四つの電極から取り出される。電極の数が多く1個1個はりつけていたのでは時間がかかるので、ベルトの内側に電極を取り付けたベルト式およびウレタンのチョッキに電極を取り付けたチョッキ式等の電極を用意して被験者の体型に応じて使い分けている。図4はチョッキ式の電極である。

### (2) 心電図増幅器

心電図増幅器は部品点数を少なくするためにCR結合一段の2ステージ増幅器となっている。一般に心電図の電圧レベルは数mVなので、ハム等のノイズを除去する目的で入力回路には差動増幅器を用いている。差動入力のリファレンスには、ウィルソンの中心電極を用いている。CR結合増幅を行なうのは、電極部分で発生する分極電圧(DC電圧)を除くためである。したがって得られる心電図情報はDC分を含んではいない。積分の時定数はJISの規格以上の2秒に設定した。上限の周波数特性は5kHzまであり、ノイズは $1/2$  LSB以内である。CMRは60dB以上で、増幅度は60dBである。

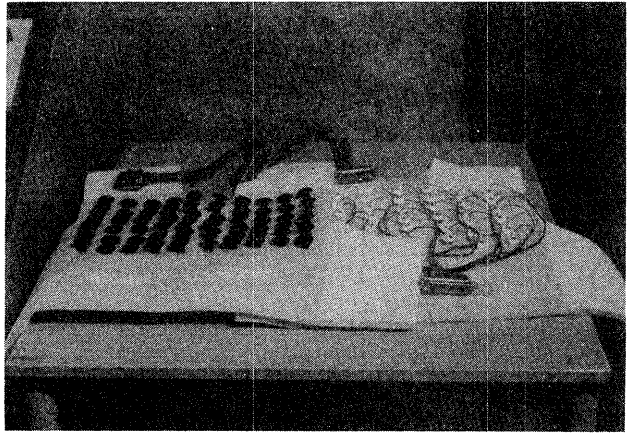


図4. チョッキ式電極

### (3) マルチプレクサ

本器は1024チャンネルのマルチプレクサを2組持っており1つはA/D変換用で、もう一つはモニター스코フへの入力波形の選択に使われている。

### (4) モニター스코フ

モニター스코フは残光性を持ったCRTモニターで、102chの切換スイッチとマルチプレクサーと組合せて希望の入力波形をワンタッチでモニターする事ができるようになっている。また、스코フのトリガはR波の立上りから可変デレイ回路を通った出力でトリガしているので波形の開始位置は可変デレイで自由に調

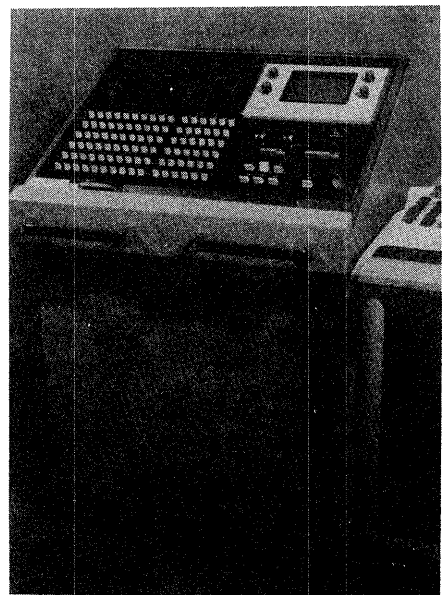


図5. アナログ入力部の外観

整する事ができる。このトリガパルスはRフラグとしてCPU側からデータ収集の開始パルスとして使うためにインターフェースしているの、モニター上の波形のそのトリガ点に同期したデータの取り込みができる

### (5) A/D変換器

A/D変換は8bitでサンプリングのフレームレート(102chを1フレームとして)は300Hz、600Hz、1000Hzの3段階で300フレーム、30600byte分の記録ができる。これは300Hzのフレームレートでデータを取り込んだ場合記録時間は1秒間となり、1心拍全体を十分カバーする事ができる。図5にアナログ入力部の外観を示す。

## 2-2. データ処理部

この部分はアナログ入力部からのデータを受け取り、データの処理と表示、ハードコピーをおこなうもので、ブロックダイアグラムを図6に示した。以下各構成要素ごとに説明する。

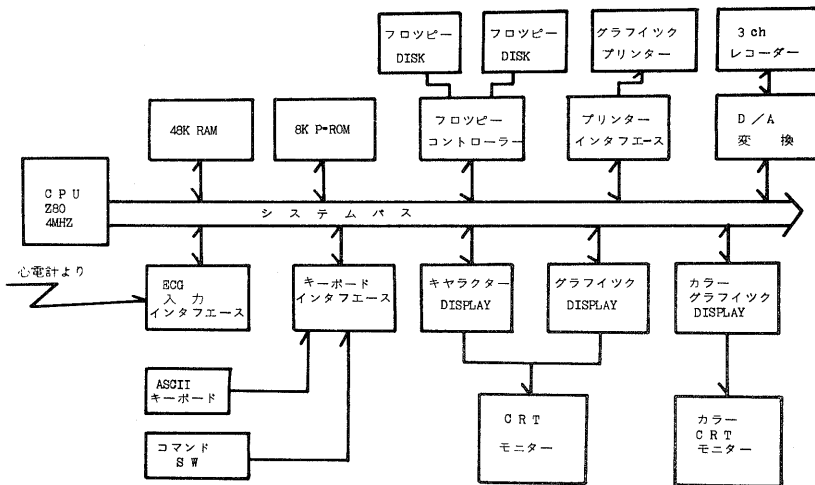


図6  
データ処理部の  
ブロックダイアグラム

### (1) CPU

#### a) CPUとシステムバス

CPUには8bitマイクロプロセッサZ80Aを使用し4MHzのクロックを用いている。コンピューターのバスにはS100バスを用い、ハードの各部分は、クロメンコ社のS2システム用基板を中心に組み立てられている。

#### b) メモリー

RAMメモリーには1ボード16KbyteのスタティックRAMを使用し48Kbyteの容量がある。RAMのほかに8KbyteのROMボードがあり、I/Oハンドラールーチンなどを書き込んだROMが入っている。

### c) フロッピーディスク

外部記憶装置としては2台のフロッピーディスクがあり、コントローラーはウエスタンデジタル社のFD1771を使っている。ディスクドライブはナショナルのJK880で標準密度の片面でIBMフォーマットを使い、記憶容量は256Kbのものである。1枚のディスクには8回分の測定データをファイルすることができる。

### d) D/A 変換器

D/A変換器はアナログ波形のハードコピー用として使われ、出力電圧は±2.5V 変換時間は5.5μ秒である。チャンネル数は7で現在はレコーダーの関係でこの内3チャンネルを使用している。精度は8bitである。

### e) ECGインターフェース

アナログ入力部からのデータを受け取るECGインターフェースはWAIT回路を持ったパラレルインターフェースで、心電計から送られて来る8bitのデータを入力する部と心電計に対してAD変換開始の起動をかける部分からなり、データの転送は、DMAを使わず、I/Oブロック転送命令を使って1024bitごとにブロックで転送している。このため回路は非常に単純化されている。

## (2) データ処理部操作パネル

データ処理部の操作パネルを図7に示す。

### a) ASCII キーボード

図7中央下部にあるのがコマンド入力用のキーボードで59のキートップを持ったASCIIコードを出力するキーボードである。

### b) コマンド指令スイッチ

本体の前面パネル部分には専用のコマンドスイッチがあり、大部分のオペレーションはこのスイッチで進行され、押ボタン中心の操作でデータの観察を進める事ができる。

### c) 表示系1. (図7左側CRT)

この表示ディスプレイは緑色CRTを使用したもので、キャラクタディスプレイとグラフィックの両方の機能を持っている。キャラクタ

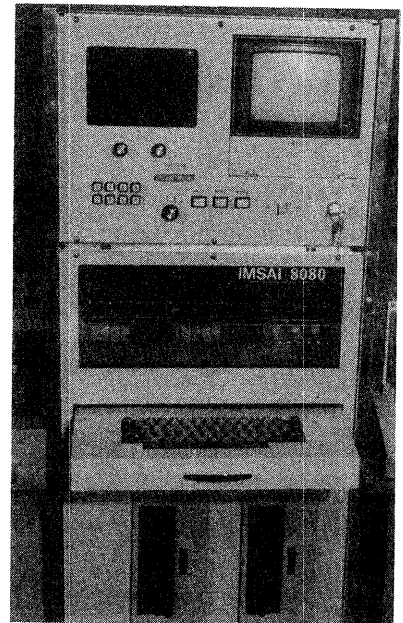


図7. データ処理部の操作パネル

ディスプレイは1画面に64×32文字の表示が可能でオペレーティングシステムのコンソール入力と出力に、キーボードと組合せて使われる。インターフェースはビデオRAM形式である。グラフィックはキャラクタとは独立したリフレクシブメモリーを持つ、256×256ドットの分解能で、アナログ波形や、等電位線図の表示に使われる。インターフェースはE/AポートによってXYの座標を指定する方式でここではBポートのパラレルインターフェースである。

#### d) 表示系 2 ( 図7右側CRT )

このモニターは体表面電位分布を動画表示するためのカラーディスプレイでこのシステムのために特別に製作したものである。体表面心電図の情報は、前胸部が10×6、背中が6×6のマトリックス状に配置した電位情報である三次元情報なのでこの表示には種々の方法が考えられる。このディスプレイシステムでは電位の大きさに応じた16×16の大形キャラクタを±16段階分 $\oplus$ の符号と $\square$ の面積変化のキャラクタとして用意し、入力電圧に応じ、6×16の画面配置で三次元表示としている。したがって1画面分のデータを表示するには、わずか96bytのデータ転送で済む。インターフェースもビデオRAM形式を用い、ディスプレイの入力は直接RAMメモリーとしてアドレス空間にマッピングされているので80のメモリーグループ転送命令が利用できる。垂直ブランキング中のわずかな時間以内に1画面分のデータ転送を完了する事ができる。動画としての再生速度はノンインターレースのラスタースキャンなので60フレーム/秒である。

### ( 3 ) 記録部

#### a) 3チャンネルインクジェット式記録計

アナログ波形のハードコピー用としては図8に示すインクジェット式のレコーダーを用いている。CPUからはD/A変換器を通してアナログ波形が出力されている。

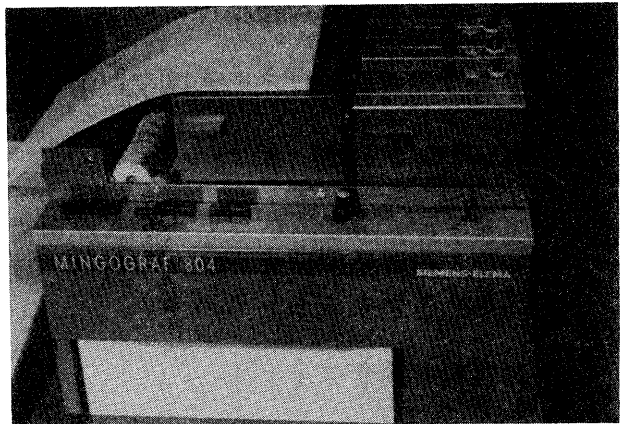
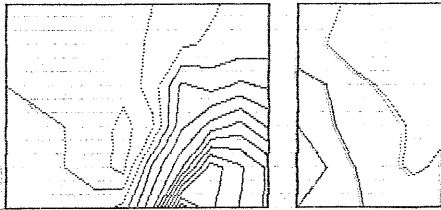


図8. 3チャンネルインクジェット式記録計

#### b) グラフィックプリンター

$\oplus$ 、あるいは $\square$ キャラクタ表示の電位図や、等電位線表示のハードコピーに使用するグラフィックプリンターは、通常は1行80文字印字のプリンターとして使い、コンピュータからのコマンドによってグラフィックモードへ切替て1行8×512ドットの密度で64ピクセルを印字する方法で印刷される。プリンターの内蔵には512×512ピクセルのフラッシュメモリーを持っている。グラフィックの印刷をさせるためにはCPUの内部でグラフィックのピクセルを作成しておいて、1行分ずつ出力してグラフィックを書き出す。このためにかなりの量のソフトウェアを作る必要があった。ハードコピーの例を図9、図10、11、12、に示す。

FLPW.NO= 1.4E3 NST=026 ZST= 8.36 NST=068 ZST= -10.58 CNP= 0.00



II

図9. 等電位線図のハードコピー

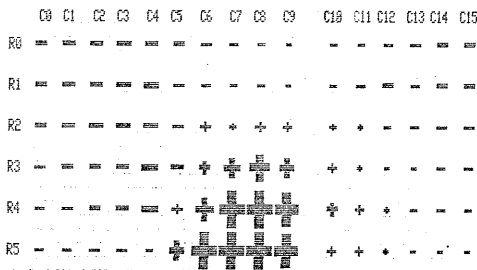
FLPW.NO= 1.4E3 NST=026 ZST= 8.36 NST=068 ZST= -10.58 CNP= 0.00

-039 -042 -046 -054 -046 -039 -031 -023 -011 -007 -015 -015 -023 -031 -039 -035  
 -039 -042 -046 -050 -058 -031 -023 -015 -011 -007 -011 -019 -025 -023 -035 -035  
 -036 -042 -050 -050 -050 -031 -023 -011 -023 -015 -007 -000 -010 -023 -031 -027  
 -031 -035 -039 -042 -046 -042 -035 -066 -065 -054 -019 -003 -007 -007 -023 -023  
 -023 -027 -029 -046 -066 -023 -074 -167 -140 -113 -031 -019 -000 -011 -023 -015  
 -023 -023 -031 -031 -011 -054 -210 -160 -136 -113 -019 -015 -003 -007 -003 -007

II

図10. 入力電圧値のハードコピー

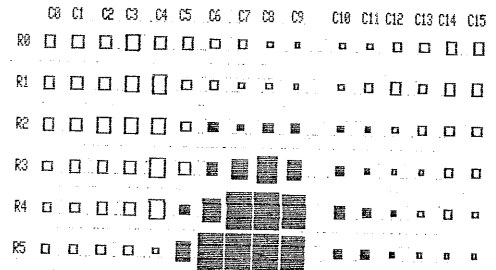
FLPW.NO= 1.4E3 NST=026 ZST= 8.36 NST=068 ZST= -10.58 CNP= 0.00 GRIN=4



II

図11. +表示電位図のハードコピー

FLPW.NO= 1.4E3 NST=026 ZST= 8.36 NST=068 ZST= -10.58 CNP= 0.00 GRIN=4



II

図12. ■□表示電位図のハードコピー

### 3 処理ソフトウェア

体表面の心電図情報をA/D変換、データ処理を行ない、表示するために各種の処理プログラムを開発した。これらのプログラムはコマンドインタープリンターを通して実行される。コマンドインタープリンターは、キーボードによる入力と専用コマンドスイッチを常時モニターし、キーボード入力に対しては会話形式で応答し、コマンドスイッチに対してはあたかも専用装置をオペレートしているかのごとく応答、動作するようになっている。ソフトウェアはアセンブラ言語を用いて開発した。OJはクロメンコ社のCDOBを利用し能率良く行なった。以下ソフトウェアの機能を説明する。

#### (1) データの入力

データの入力はアナログ入力部から送られて来るECG-Rフラグに同期して、A/D開始スイッチを押す事によって開始する。サンプリングレートはアナログ入力部の側でハードウェアで決められているので、CPU側の仕事は、アナログ入力部に対して起動パルスを送り、E/Oグループ転送命令で連続する1026byteのデータを次々とメモリーに300回転送するだけである。

#### (2) 入力データのチェック

メモリーに取り込まれたデータは再玉スイッチを押す事によって5秒間で1秒分(300Hz)のデータを右のCRT上に動画再生する。オペレーターはこの表示によって不良入力があるかをチェックする事ができる。

#### (3) アナログ波形の表示

電位図の表示の際には必ず左のCRT上にアナログ心電波形が1波形表示され、電位図が現在表示中のフレーム位置が、カーソルによってアナログ波形上にマーカーされている。カーソルは動画の移動に同期して同じように移動する。

#### (4) 基線補正と不良入力チャンネルの補間

入力データのチャンネル間に基線のずれがある場合は、波形上の2点を指定し基線の補正を行なう事ができる。又多数の入力データの中で1部だけ不良な入力チャンネルがあった場合にはそのチャンネルのデータを周囲8点のデータの平均値で代用する補間プログラムでデータの補修ができる。

#### (5) 体表面電位図表示

データの入力と補正が済むとデータの観測に移る。このシステムの場合には3種類の電位図の表示モードを持ち、フロントパネルのモードスイッチで選択す



る事ができる。モードは次の3種である。

- i) +-符号表示
- ii) ■□面積変化表示
- iii) 等電位線図表示

### a) +-符号表示

基線(電位の0)から+又は-に振れる電位に比例した大きさの+-の符号を体表面の電極位置に対応した配列において、その動態を観察するもので、動態の直観的な把握に適している。ディスプレイ上の表示と電極の位置や、電位と符号の対応を図13に示す。

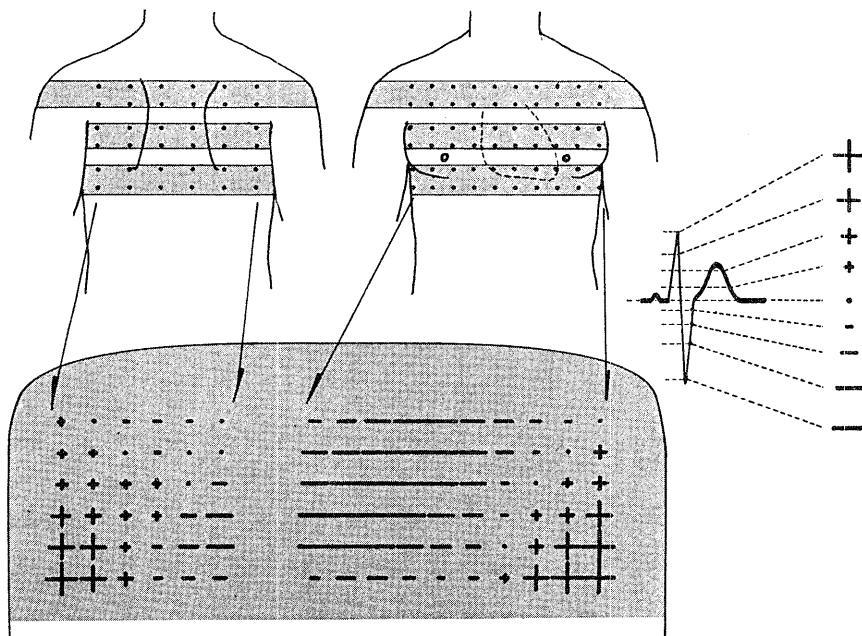


図13 電極の位置と+-符号の対応例

### b) 面積変化表示

+-の代りに■と□のキャラクターの面積を変える表示で、観測者は必要に応じて切替て表示する事ができる。どちらの表示の場合も表示範囲は±16レベルで、56.25分であり情報の残りの6.25は感度切替スイッチとしてオペレーターによって観測中自由に切替える事ができる。感度は、 $\times 1, \times 2, \times 4, \times 8$ の4段である。

### c) 等電位線図表示

図9は等電位線図のハードコピーの1例である。等電位線図は同じ図形が左側のCRT上にディスプレイされる。この表示の場合には計算に時間がかかり、データの転送数も多いため動画表示する事はできない。表示するフレームはキーボードコマンドによって指定するが、コントロールスイッチによる表示フレームの移動は、この表示でも有効である。

表示の速度とフレームの移動ほどの表示方式でもパネル上の8ヶの押ボタンによって操作できる。

#### (6) ハードコピー

キーコマンドによって現在ディスプレイ中の電位図を直ちにハードコピーする事ができる。又区画を指定した連続出力も可能である。これらのハードコピー上には必ず、アナログ心電図波形とカーソルが同時に表示される。1024ヶ全ての波形のハードコピーはレコーダーによって記録される。

#### (7) データのファイリング

入力された電位分布データは必要に応じてフロッピーディスクにファイリングする事ができる。ファイルをCPUにロードする事もできる。

#### (8) データの伝送

収集されたデータは大量なので高度な画像処理はマイクロコンピュータ内部では力不足なので、さらに高度な解析を進めるためにデータをR232Cインターフェースによって直接、あるいはモデムによって他の大型計算機にデータを送送する事ができる。

### 4 おわりに

体表面心電図は通常等電位線図として表示されて来た。等電位線図表示ではハードコピーされた図をじっくりと観察する場合には良い表示方法であるが、その1画面をディスプレイ上に発生させるには数秒の時間を必要とする。タイムミックに三次元空間を移動する心筋の電気活動を観測すると、動きの中には多くの情報がある。我々のシステムではディスプレイを高速に行なうための専用のグラフィックディスプレイを開発しその結果十分実用になる動画の観測が実現できた。この表示方式では表示は正しいが心疾患の伝導路異常の診断には非常に有効で、興奮伝導の動的パターンを良く把握できる長所を持っている。

今後さらに大型計算機とのオンライン接続によって逆問題解法による心外膜電位推定法などの情報処理を行なう総合システムとして発展させていく予定である。

### 文献

- 1) K.Yajima, H.Matuo, H.Tanaka, K.Nakayama, S.Kinoshita and T.Furukawa; The clinical experiences on the realtime display system of electrocardiographic mapping, MEDINFO 80 to be published.
- 2) K.Yajima, H.Tanaka and T.Furukawa; On line body surface potential mapping of cardiac fields and its clinical application, 8th International Conference on Recent Advances in Biomedical Engineering, 1978, Sheffield (England).