

# 汎用マイクロコンピュータによる発話訓練機の試作

メタデータ	言語: jpn 出版者: 明治大学科学技術研究所 公開日: 2012-06-20 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 石田, 義久, 鎌田, 弘之, 小川, 康男 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10291/13038">http://hdl.handle.net/10291/13038</a>

# 汎用マイクロコンピュータによる発話訓練機の試作

石 田 義 久  
鎌 田 弘 之\*  
小 川 康 男

## Speech Trainer by Personal Computer

Yoshihisa ISHIDA, Hiroyuki KAMATA and Yasuo OGAWA

**Synopsis.** In this paper, we deal with a speech trainer for the deaf. The newly-developed system can be controlled by a micro-computer used widely for various purposes and has the following characteristics.

- (1) It can visualize pitch and spectral patterns on the display in color.
- (2) It can execute speech training by the method of a conversation type as it uses BASIC language.

Furthermore, this paper describes a multiplexing system of frequency analysis.

### 1. ま え が き

聴覚障害児の発話訓練に用いる教育用機器として、視覚あるいは触覚を介して、音声の情報要素を知覚させようとする工学的機器の開発が、最近、各方面で試みられている<sup>1)</sup>。

筆者らも、これまで音声の情報要素を視覚表示する発話訓練機「スピーチトレーナー」を開発し、ろう教育における補助機器として提供してきた<sup>2), 3)</sup>。

従来の、教師による経験的な指導方法にスピーチトレーナーを併用した結果、「高い声」、「低い声」という言葉の意味が理解できるようになった、摩擦音 /S/ の調音が比較的短時間でできるようになったなど、いくつかの教育効果が確認されているが、一方において、種々の要望がなされている。

本研究による発話訓練機は、これらの要望に沿うべく新たに開発を進めているもので、次のような改善が図られている。

---

\* 明治大学大学院工学研究科

音声の基本的な情報要素であるピッチパターンやスペクトルパターンをカラーで視覚化し、手本パターンと被訓練者による練習パターンとの差異を明らかにした。

制御プログラムの主要な部分に BASIC 言語を導入し、対話形式で機械を操作できるようにした。

従来のハードウェアを主体とした回路構成を、汎用のパーソナルコンピュータによるプログラム制御方式に改め、ハードウェア部の単純化と開発期間の短縮化を図った。

さて、これまでの試用結果で最も問題となっていたのは、いかにして教育効果を向上させ、その持続性を高めることができるかということであった。これを解決するには、優れた教育者による指導はもとより、訓練時間の延数の増加を図ることも重要である。本研究では、訓練時間を改善するための一つの試みとして、発話訓練機の多重化についても検討を加え、1台で同時に数名の被訓練者を対象としうる装置を開発した。

以下、パーソナルコンピュータを用いた発話訓練機の動作原理、構成、及び多重化システムについて述べる。

なお、本訓練機（多重化システムを除く）は、昭和59年6月より、川崎市立ろう学校において実用に供されている。

## 2. 発話訓練機の構成

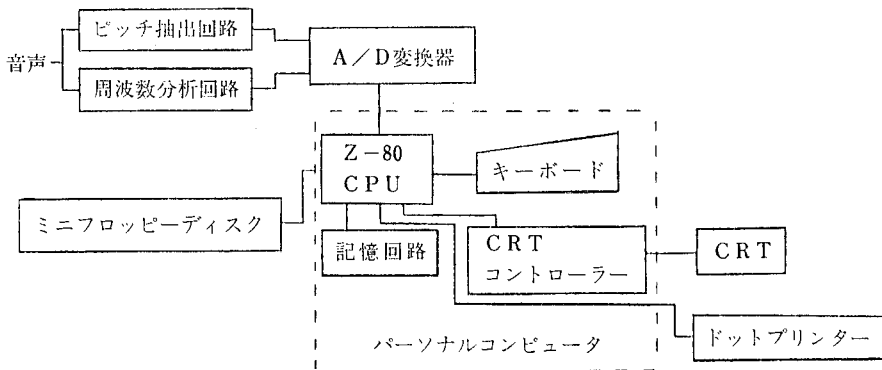


図1 発話訓練機の構成

図1に、新たに開発した発話訓練機「スピーチトレーナー」の構成図を示す。同図に示すように、本機は、音声の基本周波数（ピッチ）やスペクトルを抽出する周波数分析部と、これらのパターンの表示や分析部の制御を行うパーソナルコンピュータ部（PC-8801）とからなっている。

周波数分析部は、イントネーションの矯正や調音方法の訓練に利用するもので、発声音の基本周波数を抽出するピッチ抽出回路と、周波数スペクトルを検出する周波数分析回路とから構成されている。

パーソナルコンピュータ部は、2台のミニフロッピーディスクユニットを搭載したCPU本体と、CRTディスプレイ、ドットプリンタなどから構成されている。

周波数分析部の制御プログラムをはじめ、スペクトルパターンやピッチパターンの表示プログラムは、すべてフロッピーディスクに格納してある。

プログラムは、BASIC 言語とアセンブリ言語を用いており、訓練の種類を選択や操作方法が BASIC で記述されているので、対話形式で学習を進めることができる。

一方、高速動作が必要な、例えば周波数スペクトルを実時間でディスプレイ上に表示するプログラムは、機械語で構成しており、高級言語で呼び出せるサブルーチンの形で、フロッピーディスクに格納してある。

なお、図2は本研究による発話訓練機の外観である。

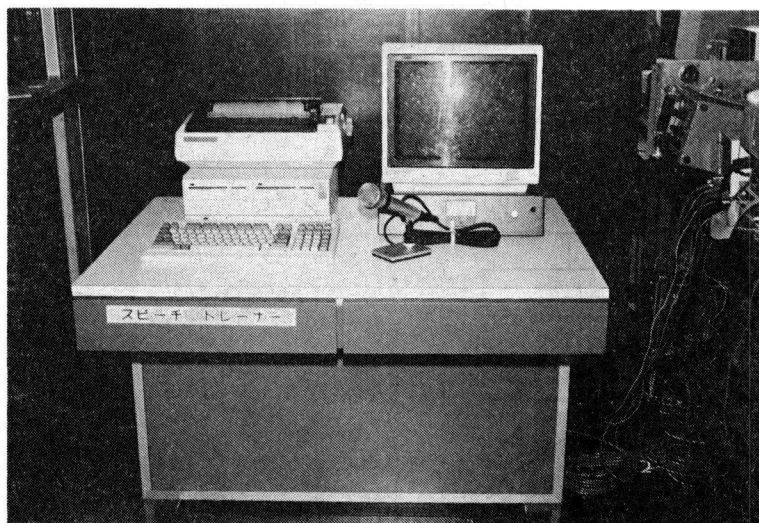


図2 発話訓練機の外観

### 3. 基本周波数の抽出と表示

基本周波数の時間的変化（ピッチパターン）を表示するために、従来の発話訓練機では、汎用のオシロスコープあるいは白黒のモニタテレビを用いていた。このため、教師による手本パターンと被訓練者の練習パターンを重ねて表示すると、その差異が不明確となる場合があった。

そこで、本研究では、これらのパターンをカラーで視覚化し、更にグラフの分解能を  $128 \times 96$  ドットから  $640 \times 200$  ドットに高めている。

図3に音声の基本周波数を抽出するピッチ抽出回路の構成図を示す。図において、ホールド回路の出力は、 $10$  [msec] ごとに A/D 変換器によりデジタル信号に変換され、インターフェイス用 IC の PIO (Parallel Input/Output Interface Controller) を介して、パーソナルコンピュータに入力される。

図4にピッチパターン表示プログラムの流れ図を、図5にその表示例を示す。まず、初期設定として、表示画面のクリア、座標軸及びメニュー画面の表示を行う。座標軸は、横軸が時間、縦軸が周波数を表わす。

次に、教師の発話による手本パターンを入力し、このパターンを機械語プログラムによって実時

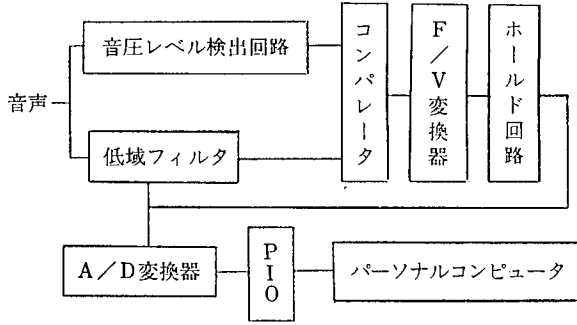


図 3 ピッチ抽出回路

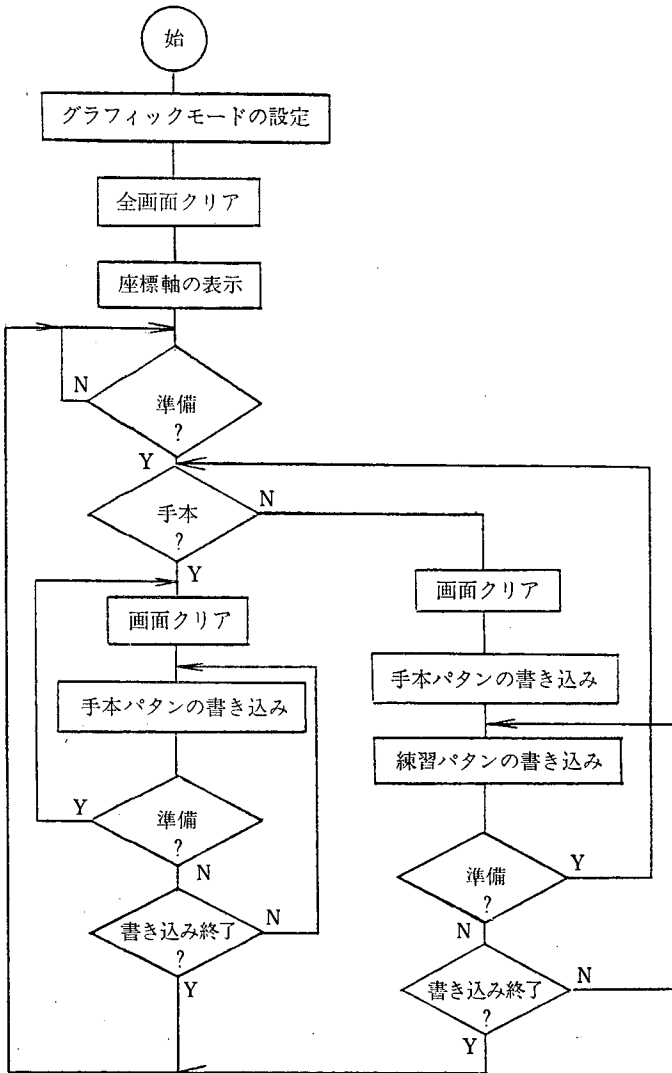
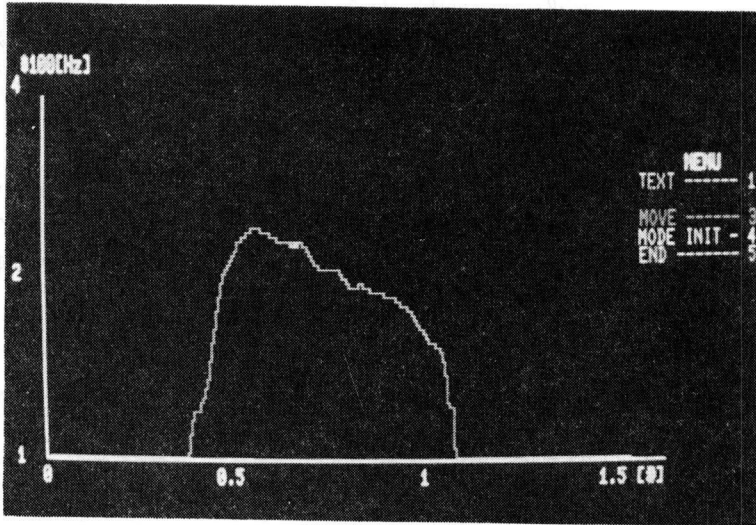


図 4 ピッチパターン表示プログラムの流れ図



左：手本パターン  
右：練習パターン

図 5 ピッチパタンの表示例  
/ohayoo gozaimasu./

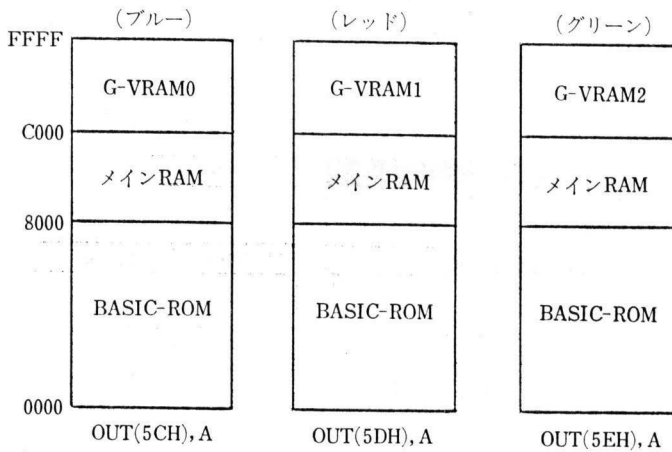


図 6 メモリマップ

間で、図6に示すグラフィックビデオRAMの中のグリーンの部分に書き込み、緑色で表示する。被訓練者は、このパターンをまねるようにして、アクセントやイントネーションの訓練を行う。この際、被訓練者による練習パターンは、発話と同時に赤色で表示し、手本パターンとの差異を明確にしている。

さて、メニュー画面は、操作法を指示するために新たに設けたもので、図5の右部に示すように、例えば、手本パターン(TEXT)を入力する場合は、数字の“1”を、練習パターン(PRACTICE)の場合は“2”をキーボードから入力する。

このように、BASIC言語の導入によって文字表示が容易となり、対話形式で機械を操作で

きるようになった。更に、図形の移動が簡単に行えるため、コマンドキー（メニュー画面の数字の“3”）を入力することによって手本パターンや練習パターンを上下左右に移動できるようになり、パタンの比較が容易になった。

#### 4. 音声スペクトルの2次元表示と調音練習の手順

音声スペクトルを視覚化するために、従来の発話訓練機では、汎用のオシロスコープあるいは白黒のモニタテレビに、専用のハードウェア回路を導入し、ディスプレイ上の横軸を周波数、縦軸を各周波数成分の大きさとする表示方式を用いている<sup>2)</sup>。本研究では、教育をより効果的なものとするため、次のような改善を図っている。

まず、画像をより見やすく、かつ理解しやすくするために、スペクトルパターンをカラーで色彩表示している。次に、ハードウェア回路の簡素化を図るため、パーソナルコンピュータのディスプレイ機能について検討を加え、ソフトウェア（機械語）による表示方式の改善を図っている。

スペクトルパターンのようなヒストグラムを表示するには、通常、グラフィック画面が利用されるが、本研究では、画面表示の高速化を図るため、キャラクタ画面上にグラフィック文字を表示することによって、ヒストグラムを作成している。このため、グラフの分解能がやや不十分（1行80文字表示で、そのうちの64文字分でグラフを作成するため、分解能は6ビット）となっているが、実時間で音声スペクトルをモニタテレビ上に表示できるようになった。

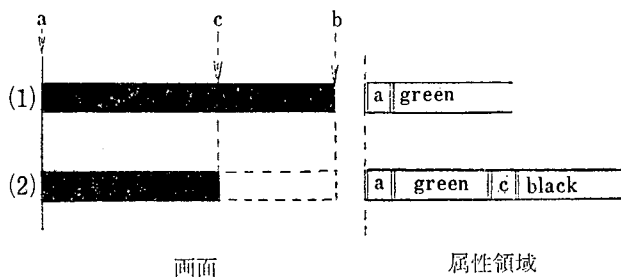


図7 画面と属性領域との関係

さて、筆者らが開発したスペクトルパタンの表示方法（原理）は、次のようである。本研究で用いているマイクロコンピュータは、ビデオRAMに対応して、1Kバイトの属性領域（アトリビュートエリア）を確保しており、この領域の内容によって、グラフィックモードとキャラクタモードの切り換えや、色の指定などを行う<sup>3)</sup>。そこでまず、図7（1）のように、ディスプレイ上のa点からb点までのフルスケール時のヒストグラムを描き、a点以後の色の属性を緑に指定する。次に、各周波数成分の大きさによって、例えば（2）のようにc点以後の属性を黒に変更する。この方法によれば、各行において1箇所のみ、属性領域を書き換えるだけで、グラフの長さを変更でき、ソフトウェアによる方法でも、スペクトルパターンを高速度で表示できる。図8に本研究によるスペクトルパタンの表示例を示す。図において、縦軸が周波数（数字は帯域フィルタのチャンネル番号を示す）、横軸が各周波数成分の大きさを表わす。帯域フ

フィルタは 400 [Hz] から約 5 [kHz] まで、1/3 オクターブ間隔で12チャンネル配置してある。

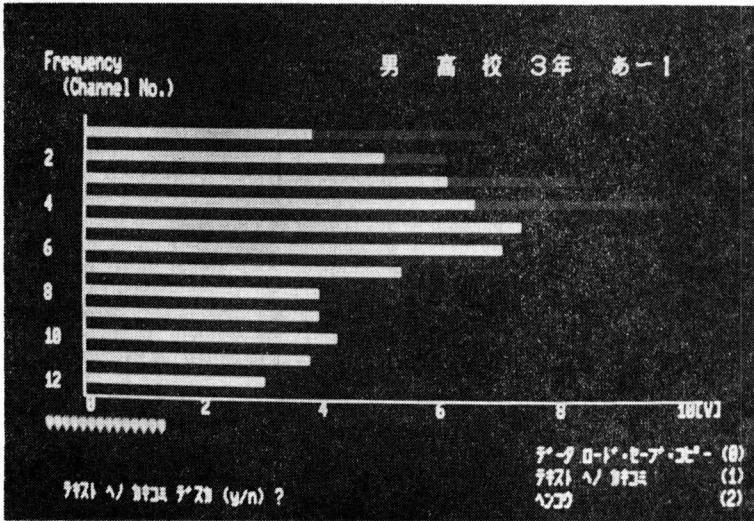


図 8 スペクトルパタンの表示例

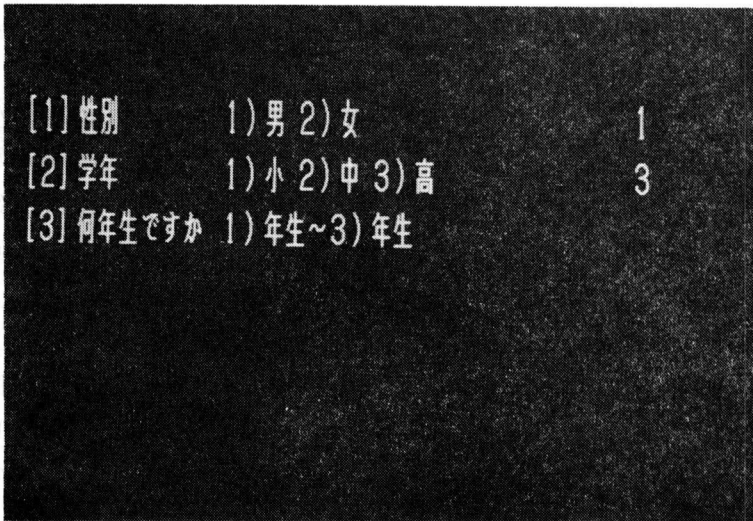


図 9 標準パタンの指定

ところで、本訓練機を利用した母音の調音訓練は、およそ次のようにして行う。本機は対話形式を採用しているので、操作が簡単化され、また自己学習もしやすくなっている。

(1) 標準パタンの設定

まず、図9に示すように、ディスプレイ上に表示される質問にしたがって、被訓練者の性別、学年、練習しようとする母音の種類などを入力し、手本となる標準パターンを選択する。選択された標準パターンは、緑色のヒストグラムとして、ディスプレイ上に表示される。

(2) 音声の入力と表示

次に、被訓練者の発声音は、10 [msec] ごとに帯域フィルタ群によって実時間で周波数分析



し、赤色のヒストグラムとして、標準パターンに重ね合せて表示する。この際、各周波数成分の大きさが、標準パターンと全く一致したときは緑色のヒストグラムになり、被訓練者の練習パターンが標準パターンを超えた場合には、その部分が赤色になる。又、小さい部分は緑と赤の中間色の黄色になる。このような表示法によれば、被訓練者は、自分自身の発話によるスペクトルパターンと標準パターンとの差異を観測しながら正しい調音方法を訓練できる。

なお、図8に示す表示例において、画面下部のハートのマークは標準パターンと練習パターンの偏差を表わし、調音方法が正しいか否かの一つの目安としている。

### (3) 記録・保存

練習結果は、必要に応じて、フロッピーディスクへ記録したり、プリンタを用いてハードコピーをとることができる。そこで、この記録をもとに、訓練効果の評価や学習方法の是非の検討を行うことによって、より効率的な教育プログラムの開発も可能である。

## 5. 周波数分析回路の多重化

汎用パーソナルコンピュータの導入により、対話形式の発話訓練が可能となり、初心者でも容易に機械を操作できるようになった。又、ハードウェア回路が簡単化され、ピッチ抽出回路や周波数分析回路を一つの周辺装置として取り扱うことによって、比較的容易に発話訓練装置を実現できるようになった。

ところで、ろう学校では、1校当り100名前後の児童・生徒の教育を行っているが、聴覚言語の指導以外に、一般の学校と同じように、教科や領域（健康、自然、社会、絵画、音楽、言語）の教育を行っている。このため、訓練時間の延数が限定され、教師の献身的な努力にもかかわらず、言語教育はおおむね非常に困難とされている。これを解決するには、本研究のような訓練機を多数設置すれば良いわけであるが、現状では、経済的に不可能である。

そこで、経済性に十分留意した上で、能率的・効率的な発話訓練機を開発することが今後の重要課題である。本研究では、経済性を高めるための一つの方法として、発話訓練機の多重化を試み、1台で同時に数名（試作機では8名までとしている）の被訓練者を対象としうるようにして、1人当りのコストダウンと訓練時間の増加を図ることにした。以下に、その詳細を述べる<sup>6)</sup>。

### 5-1 原 理

本方式は、まず、適当なサンプリング間隔  $T_s$  [sec] で A/D 変換した音声波を RAM に書き込む。次に、そのデータを  $T_s$  とは異なる時間間隔  $T_{ii}$  ( $< T_s$ ,  $i = 1 \sim n$ ) で高速再生し、時間的に  $T_{ii}/T_s$  倍に圧縮する。圧縮された信号の周波数は倍増し、時間と周波数間の不確定性原理から、分析所要時間を短縮できる。そこで、高速再生を  $n$  回繰り返せば、 $n$  チャンネルのスペクトル分析を実時間で実現できることになる（但し、 $T_s \geq \sum_{i=1}^n T_{ii}$  とする）。したがって、同時処理する人数分に等しい数の帯域フィルタとメモリを用意すれば、多重化を図ることができる。

さて、時間圧縮された信号から圧縮前の信号の  $f_i[H_z]$  における周波数成分を求めるには、

中心周波数  $f_0$  [ $H_z$ ] の帯域フィルタを用意し、次式で表わされる時間間隔  $T_{ti}$  で D/A 変換した再生信号をフィルタリングすればよい。

$$T_{ti} = \frac{f_i}{f_0} \cdot T_s \quad \text{ただし, } 0 \leq f_i \leq \frac{1}{2T_s} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、分析に使われる信号の時間長を 1 フレーム =  $T_m$  [sec] とし、1 サンプルの量子化ビット数を 8 [bits] = 1 [byte] とすれば、1 フレーム分のデータを格納するメモリの容量  $B$  [bytes] は

$$B = \frac{T_m}{T_s} \dots \dots \dots (2)$$

である。又、分析に要する時間  $T_b$  [sec] は

$$T_b = \sum_{i=1}^n BT_{ti} \dots \dots \dots (3)$$

であり、(1) 式より

$$T_b = \sum_{i=1}^n \frac{BT_s f_i}{f_0}$$

となり、実時間分析を行うためには

$$\begin{aligned} T_m &\geq T_b = \sum_{i=1}^n BT_{ti} \\ \therefore BT_s &\geq \sum_{i=1}^n \frac{BT_s f_i}{f_0} \\ \therefore f_0 &\geq \sum_{i=1}^n f_i \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

帯域フィルタの中心周波数は、分析周波数の総和以上に設定しなければならない。例えば、 $f_0 = 100$  [ $kH_z$ ]、 $T_s = 100$  [ $\mu\text{sec}$ ] とすると、200 [ $H_z$ ] から 5 [ $kH_z$ ] までの間を 1/14 オクターブ間隔で、66 チャンネルの分析が可能である。

## 5-2 構成

5-1 で述べた方法による周波数分析回路の構成図を図10に示す。試作回路の多重化数は 8 であり、同図は簡単のため、そのうちの 1 回路分を示している。本回路は、大別すると次のようである。

- (1) アナログインターフェイス部：マイクアンプおよび低域フィルタ
- (2) デジタルメモリ部：RAM およびアドレスバス/データバス・制御回路
- (3) 周波数分析部：D/A 変換器，フィルタ，掛算器およびピークホールド回路
- (4) 分析結果格納・表示部
- (5) システム制御部

ブロック (1) は、マイクの出力を増幅するアンプと、折返しひずみを除去するための低域フィルタからなる。(2) は、量子化された音声データを格納するメモリで、2 系統設けてある。これは、一方のメモリが分析中に、他方のメモリにデータを格納するため、連続分析が可能としている。(3) は、実際に周波数分析を行う部分である。時間窓の設定はアナログ掛算器によって行う。(4) は、分析結果をディスプレイ上に表示する部分である。(5) は回

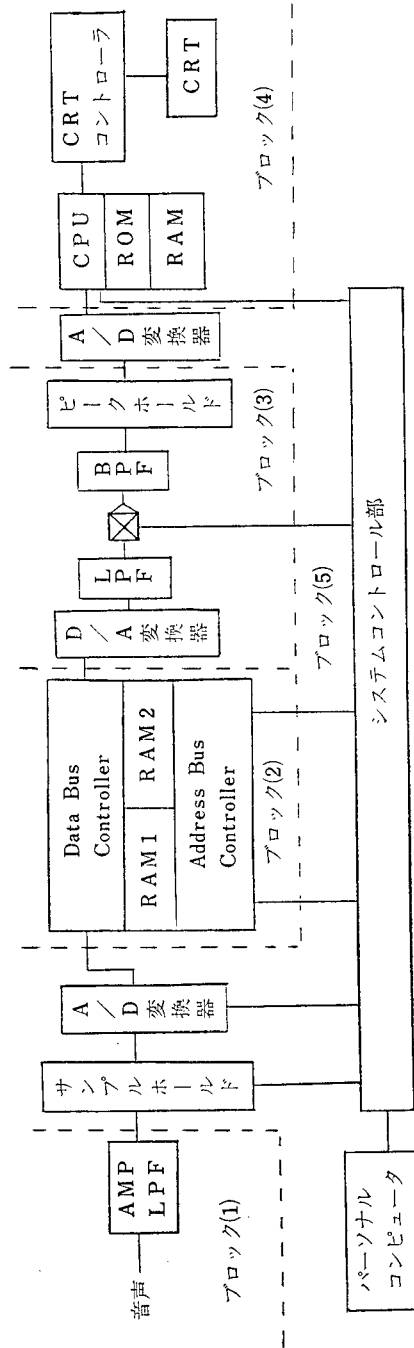
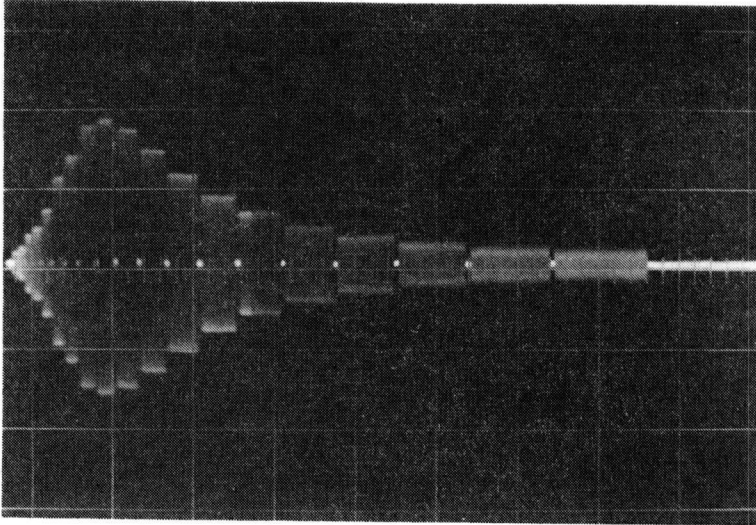


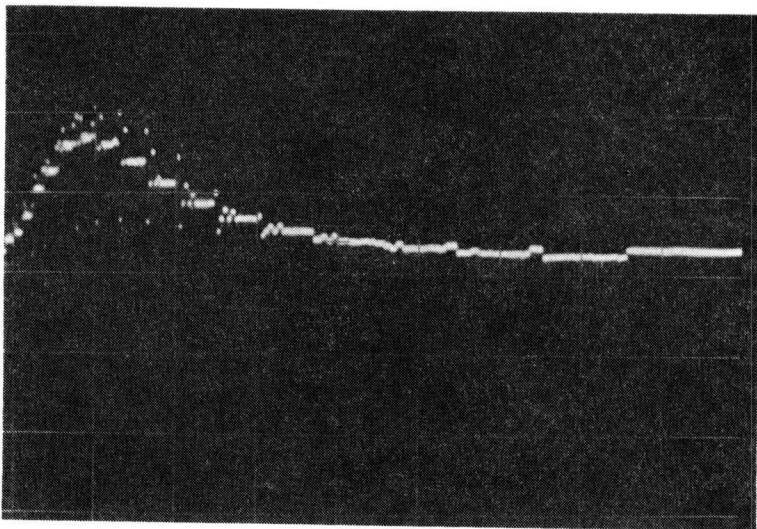
図10 多重化を考慮した周波数分析回路

路全体を制御する部分であり、パーソナルコンピュータに接続してある。

図11 (a), (b) は、本回路による正弦波電圧 (周波数  $1 [kHz]$ ) の分析結果の一例である。(a) は帯域フィルタの出力を表わし、(b) はピークホールドの出力を表わす。分析周波数は  $250 [Hz] \sim 5 [kHz]$ 、分析チャンネル数は 20 である。同図において、横軸が周波数 (低から高)、縦軸が周波数成分の大きさを表わす。



(a) 帯域フィルタの出力



(b) ピークホールド回路の出力

図11 周波数分析の一例

## 6. むすび

汎用のマイクロコンピュータを利用して、新たに開発した発話訓練機「スピーチトレーナー」について述べた。

本研究により得られた成果を要約すれば、次のようである。

- (1) 汎用コンピュータに、若干のハードウェア回路を付加することにより、対話形式で訓練を進めることができるトレーナーを構成した。
- (2) ピッチパタンとスペクトルパタンがカラーで視覚化され、手本パタンと練習パタンとの差異が明確になった。

(3) 装置の1人当りのコストを低減するために周波数分析回路の多重化を試み、比較的良好な結果を得た。なお、本方式は、現在も検討中であるので、詳細は別稿としたい。

終りに、日頃ご指導いただいている本学工学部本多高教授、川崎市立ろう学校松尾安雄教諭に感謝の意を表します。又、本研究にご協力いただいた本学計測制御研究室、電子回路研究室および電子機器研究室の学生諸氏に謝意を表する。なお、資材面でご協力いただいたアジアエレクトロニクス(株)、焼結金属工業(株)および日本電気(株)に感謝します。

#### 参 考 文 献

- (1) 比企：障害者用の言語情報伝達の補助のための電子機器，電子通信学会誌，Vol. 64, No. 10, pp. 1086—1094 (1981).
- (2) 石田，小川：ろう者を対象とした発声訓練用機器について，日本音響学会誌，Vol. 31, No. 3, pp. 189—195 (1975).
- (3) 同上：ろう教育における指導及び学習のための発声訓練システム，同上，Vol. 33, No. 5, pp. 223—232 (1977).
- (4) 栗山，平松，松尾：PC-Techknow 8801 Vol. 1. 1, アスキー出版局 pp. 67—84 (1982).
- (5) 池野，和久井監修：実践マイクロコンピュータ，昭晃堂，pp. 50—58 (1980).
- (6) 鎌田，石田，小川：発声訓練機のカラー化と多重化，電子通信学会教育技術研究会資料，ET 82-9. pp. 27—32 (1983).