

## テルミンの夢—その2

### Tepmin's Dream-2

金野 茂男

KINNO Shigeo

#### 1. はじめに

楽器に手や体、もちろん口さえも触れないでいながら、音程及び音量を途切れることなく変化させ、曲を演奏することができる電子楽器テルミンを、現代ならではの電子技術を応用して作り上げた「テルミン擬き」を、既に紹介している<sup>(1),(2)</sup>。その報告論文の中で幾つかの改良案を提示していた。今回、それらのうちで音色のデジタルデータ保存用に16ビット/バイトの専用ROMを用いた方式のテルミン擬きを製作した。論文題名の「テルミンの夢」は制作者のテルミンが楽器テルミンからバイオリンの音色を鳴り響かせることを夢見ていたことに由来する。前回、今回、そして今後と、現在の電子技術を応用することで、テルミンの夢を実現することを著者自身の課題の一つとしている。

前回のテルミン擬きを1号、今回製作したものを2号と呼称しよう。1号では出力される音色データはワンチップマイコンに書き込んでいるプログラム中に8ビット/バイトのデータ列として納めていた。マイコンの動作中に、マイコン自身のクロック周波数を変化させれば、プログラム実行時間が変化する。実行時間が変化すれば、音データの出力速度も変化する。通常ではマイコン、パソコンなどのクロックパルス周波数は、固定で高速なものを最良としているが、このクロック周波数変化を積極的に応用した機能回路というのは、ちょっとした発想の転換であろう。

今回の2号では音色データはROMに書き込んだ。ROMのアドレスアップの速さを変化させることで、出力される音の音程を変化させている。回路上必要が無くなったので、2号ではワンチップマイコンは使用していない。

結果であるが、作り上げた2号から鳴り響く音の音質は、1号と比較すると、より十分に改善さ

れたようには制作者自身の耳には聞こえない。が、2号では生の音、即ち生の声、生の楽器音を音データとして比較的大量にROMに書き込み、それを音色として出力できるようになっている。

#### 2. 設計・製作

図1が今回制作した2号のブロック図である。1号ではPICワンチップマイコンを使用した。今回は使用しない。その代わりにROMを使用している。1号では音データは8ビット/バイトであったが、今回は16ビットのROMを使用した。そのため、音データは16ビット/バイトである。そのため、D/A変換器には専用の16ビットD/A変換器(アナログ・デバイセス社 AD669)を使用している。

使用したROMは1Mビット(65536バイト×16ビット/バイト)UV-EPROMである。1音色に16384バイトを割り当て、4つの音色を書き込こむことにした。どの音色を出力するかは、メモリ番地を切り替える外部スイッチで選択する。

光導電素子(CdSを使用)の上にかざした手のひらで、この素子に入射する光量を変化させると、それは電圧の変化として出力される。この電圧の大小を電圧/周波数(V/F)変換器(パー・ブラウン社 VFC110)でクロックパルスの周波数の高低に変化させる。得られたクロックパルスがメモリ用のアドレスカウンタをアップさせる。ROMアドレスがアップされる毎に、ROMに書き込んである音データがD/A変換器に出力される。後は1号と同じである。もう一つの光導電素子に入射する光量でアンプの利得を変化させ、音量の変化とさせる。2つの光導電素子にかざした左右の手の動きで、音程及び音量を自在に変化させる。2号は、外見的にも、使用方法でも1号と2号ではほぼ同じである。従って、2号の写真の

掲載は省略する。

図2が2号の回路図である。1号でのワンチップマイコンPIC16F876と8ビットD/A変換器DAC0808に換わって、74HC4040で形成したアドレスカウンタ、16ビットROM(HN27C1024)、16ビットD/A変換器AD669が用いられている。1号ではPICワンチップマイコンを使用するので、PICライターが必要であった。2号ではこのライターが不用にはなったが、生音録音用のデータロガー、及びROMを使用するので、ROMライターが必要となる。

写真が2号のケースの上蓋を開けて内部の様子を見たところである。ケースの両側に単2電池、中央に基板、中央上部にプリアンプ回路、シャーシ前面に、電源スイッチ、音色切り替えスイッチ、音量調節ボリューム、ケース両外側のアルミパイプ中にCdSセンサーが配置している。1号とほとんど同じ配置である。

### 3. 動作特性

ROMに書き込む音データは以下のようにして準備した。まず、取り込みたい生の音を自作の16ビットデータロガー(=16BDL)<sup>(3)</sup>を利用して測定する。そして、16BDL専用開発したデータ処理ソフトをパソコンで実行し、16BDLからデジタルデータをパソコンに取り込み、必要なデータテキストを作成する。これだけではまだROMに書き込めるデータテキストとなっていないので、引き続いて、ROMに書き込めるよう

に、更に別に書き上げたVisual Basic版データ変換用プログラムソフトでデータの処理を施し、ライターでROMに書き込めるデータテキストとしてから、ROMライターでROMに書き込む。

2号の動作中は、ROMの16384バイトに書き込んだデータを繰り返し、エンドレスで出力させることになる。つまり、最終番地の16384番目のデータに続いて、先頭1番地のデータが出力される。従ってこれら両端の2つのデータは音色の周期性を満足した上で、滑らかに接続していなければならない。

16BDLで測定されるデータ量は32768データである。この測定量のちょうど半分が16384データとなる(これは偶然そうなっただけのことである。意図したわけではない)。16BDLでは、生の音の何周期分かが測定される。メモ

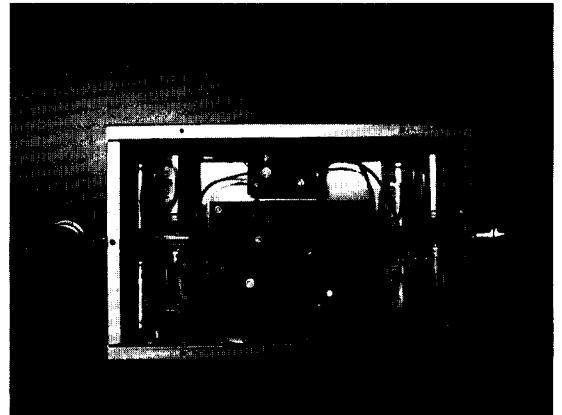


写真1 2号の内部の様子

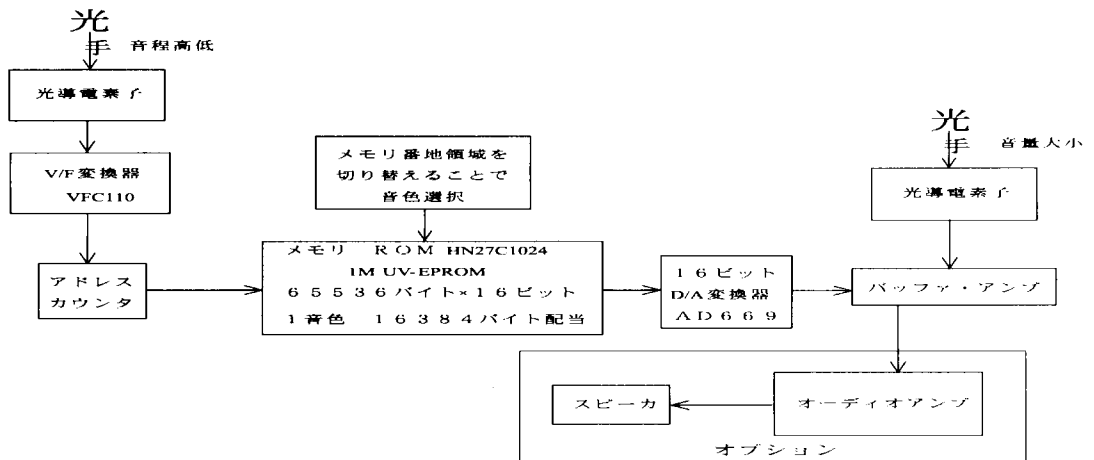


図1 2号のブロック図

Tepmin\_V 2 回路図

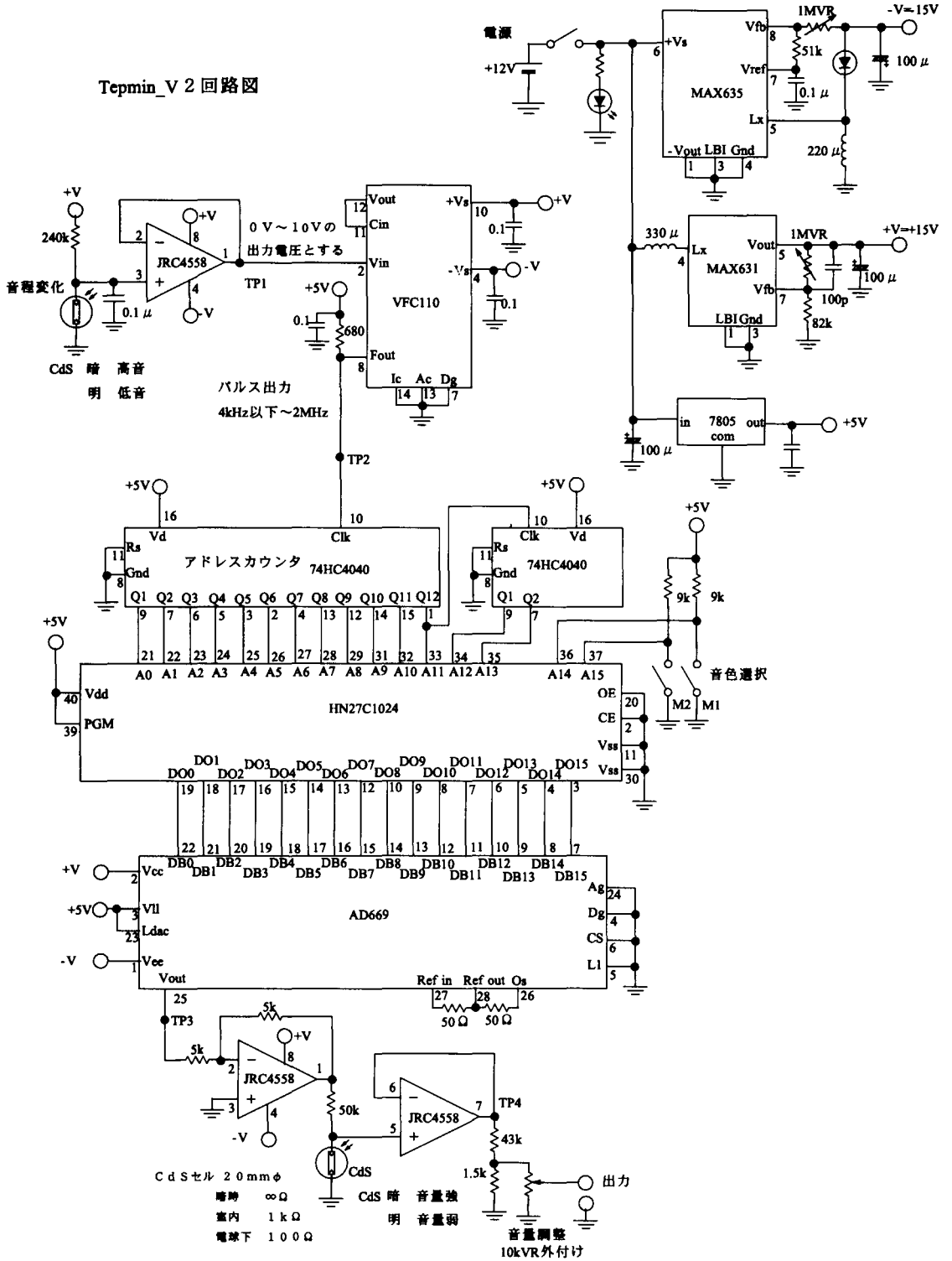


図2 2号の回路図

りに記憶した先頭番地のデータと16384番地、或いは適当な連続した16384バイト巾のデータの両端番地のデータ間に、上述した周期性及び連続性があることは、まず無い。ROMには周期性及び連続性のあるデータを16384バイト巾にキッチリと書き込まなければならないので、以下のようなデータの再処理をした。

16BDLで測定したデータから16384バイト以上で周期性、及び連続性を満足する部分を、描写されているデータグラフを観察して、切り出し、コピーし、新しいファイルとして保存する。これは16BDLに付属させている専用ソフトで容易に行える。これにより、得られたファイルのデータは周期性及び連続性を満足しているが、データ件数が16384件より多い。そのため、データ変換ソフトで、この件数を音の全体波形を維持したまま、適当に何件かのデータを間引いて取り去り、16384件に圧縮する。このソフトではサイン波の合成波も作れるようになっている。他の算術関数にすることも容易である。

生の音データとしては、人の母音、幾つかの楽器の基本音、合成波としては幾つかのサイン波の組み合わせ音を採用してみた。

1号では8ビット/バイトの音データの出力に、PICは2命令を使用している。PICでは1命令を4クロックで実行するので、1データの出力に8クロックパルスが必要である。2号では1クロックで16ビット/バイトを出力するので、デジタルデータの精度は2倍に、音の出力周波数は8倍に改善されたことになる。いたずらに出力音域周波数を高くし、20kHz以上にしても、人間の可聴音帯域以外なので意味がない。従って、この周波数特性の向上は1周期の音のサンプリング点数を多くする方に向けることができるので、低音領域での音色の大幅な改善が望まれることになる。

1号の出力音域は、高音側で1周期360バイトで1.8kHz、180バイトで3.6kHz、90バイトで7.2kHz、45バイトで15kHzであった。

2号からの出力音声帯域は以下ようになる。音程を変化させる側のCdS素子の直流出力電圧変化で、アドレスカウンタからのパルス周波数は4kHz以下～2MHzまで変化する。これは使

用しているV/F変換器VFC110に全く依存している。ROMに書き込んでいるデータはこの速さで出力される。1つの音に、ROMの16384バイトを割り当てている。このバイトデータをエンドレスで出力する。従って、16384バイトに、何周期分の音データを書き込むかでも、スピーカから出力される音の周波数は依存する。当然のことながら、書き込む周期が少なければ、音データの精度は高く、周期が多くなれば、音データの精度は低くなる。

ROMに何周期分の音データを書き込むかは、16BDLで、生音を幾らのサンプリング時間で録音するかに依存している。サンプリング時間が短ければ、多周期の音が記憶され、長ければ、記憶される音の周期は少なくなるからである。

ここでは、例として、16BDLで100周期の生音を録音したとしよう。その半分の音データが2号のROMに書き込まれる(16BDLのメモリ容量が32768バイトなので)。ROMには50周期分の音データが納まることになり、従って、1周期分のデータ件数は約328バイトとなる。これを4kHz～2MHzのクロックで掃引すると、周波数が約12Hz～6kHzの周波数となり、スピーカからはその周波数の音を出力することになる。1周期分のデータ件数を164バイトとすれば、24Hz～12kHzとなる。出力帯域幅は約9オクターブとなる。このように、本回路の方式では、出力帯域巾を極めて大きくすることができる。とは言っても、可聴音域(大凡25Hz～20kHz)範囲外としても意味が薄い。1号では出力音域巾が50Hz以下～15kHzで、1周期45バイトであった。だいたい音質が改善されたことになる。

16BDLでのサンプリング時間を変更することにより、2号からの出力音声帯域を自在に変更することはできる。現システムでは、上述した当たりの音声帯域としている。1周期当たりのデータ件数を多くすると、音色の忠実さは増すが、高周波帯域が出力できなくなり、逆に1周期当たりのデータ件数を小さくすると、高周波帯域の出力が良くなるが、音色の忠実さは低下する。

ROMには4つの音色を書き込めるようになっている。色々な生の音を録音し、2号での発音を試験した。合成波音はそれなりに好い音色を出す

が、生音は、「期待した」ほど好い音色とは言い難かった。それらのこともあり、現時点では2つの音色（サイン波の合成音とアコーディオンの生音）だけをROMに書き込んでいる。

なを、本回路からの出力先として通常のスピーカーの使用では、せつかくの発音特性を落としてしまう。低音、中音、高音のスピーカーが独立している3ウェイ方式が望ましい。が、本回路の出力は数Wである。3ウェイ方式にするならば、より大きな出力を出すメインアンプも使用するべきである。

16ビットデータロガー<sup>(3)</sup>は自作品である。ネットで公開もしている。16BDLには、この機器で測定したデータをパソコンで読み出し、データのグラフ処理、印刷、その他ができる自作ソフトが付属している。Visual Basicで書き上げている。

使用したROMライターは「Chip Max」(EE TOOLS社製、販売元 株式会社 グリッド)である。

#### 4. 考察

(1) 1号では関数演算で人工的に作り上げた合成波形の1周期分を音データとし、それをアドレスで出力させた。2号では、ROMに音データを書き込むので、生音をデータとして用いることができるようになった。メモリ容量も大きくなったので、生音を1周期分だけではなく、何周期分もROMに書き込めるようになった。当然ながら1号の方式の音データも取り扱える。

基準周波数100Hz~200Hz当たりで発音させた、幾種類もの楽器の音や人の声を、ROMに書き込み、2号での出力音色特性を何度も試験した。基準周波数付近では、サンプルとした原音と同じような音色を出す。が、低周波域、高周波域で出力させると、生音に余り似ない音色を出す。これは実経験から容易に理解できることである。カセットレコーダやレコードで音を再生するとき、回転数や送り速度を早くしたり、遅くしたりすると、本来の音色とは違った奇妙な音色が聞こえることは良く体験しているからである。

つまり、現状の方法ではROMに書き込んだ音データを早く、或いは遅く出力したとしても、基準周波数帯域の範囲以外では本来の音色を再生し

てはくれないのである。が、楽器の発音特性は独自であり、それが楽器本来の個性である。現時点で、テルミン擬き2号の発音特性はこれなのであると言っても良いのであるが。

(2) 生の音をスペクトラム・アナライザで周波数分析すれば、中音での発音波形中にも、多数の低・高周波成分が混入しているのがわかる。つまり、100Hzで母音の「あ」を発音すると、基本周波数100Hzの波形の中に、低・高周波信号の副次成分があり、いわゆるフォルマント構造を形成している。基本周波数は同じでも、これら副次成分の相違が同じ「あ」に個性の違いを与えているのである。

同じ楽器や声の発音でも、低音、中音、高音では基本振動数が異なるだけではなく、1周期当たりの波形が低音、中音、高音と微妙に異なっている。つまり、生音を中音帯域で1周期分をサンプリングする。それを、発振周波数を変えて、低音域、高音域として発音しても、純粋な生音の再現とはならないのである。

(3) 本システムの1, 2号はテルミンらしく、楽器に触ることなく、出力音の音程及び音量を自在に変化させて演奏できる。1号では、簡単な関数合成音であった。2号で生の音の発音を試みた。が、局所的な音域では取り込んだ生の音色を響かせるが、広帯域での音色はまだまだである。バイオリンの音色を取り込み、テルミン(人名)が夢見た、楽器テルミンでバイオリンの音を響かせたい。どのような方法があるのであろうか?テルミンの夢を実現するためには、電気回路に関する知識だけではなく、音色、発音体に対する十分な知見が必要とされよう。

(4) ところで、「とつくに、シンセサイザで、ほとんどの楽器の疑似音を実現しているではないか。バイオリンの音色の出力など、シンセサイザでやっているではないか。シンセサイザを使えばよいではないか。」と思われる読者がいそうである。シンセサイザはシンセサイザである。演奏中に、鍵盤を使わず、ツマミを使わず、曲を奏でるのがテルミンなのである。

シンセサイザの電気信号の合成方法を模し、テルミンの機能も付加したシステムとすれば、即ち「シンセサイザ+テルミン」としたテルミンならば、テルミンの夢が叶えられそうである。が、著者と

しては、できるだけ簡単な回路でこれを実現したいのである。

#### 5. 終わりに

生の音も取り扱えるようになった点、音のデータ点数を増加させた点で、2号は1号の改良型となっている。が、テルミンの夢は未だ遠い。1, 2号で提示したテルミン擬きの方法で、電気回路をあまり複雑にすることなく、生の音を低・中・高周帯域において、生音らしく鳴り響かせることができるような方法を追求していきたい。

1案として、生音を、低域、中域、高域で発音させ、それをデータベースとして使用することを考えている。

#### 6. 参考文献

(1)「PICを用いた「テルミン擬き」の製作」、金野茂男、2002年7月、ホームページで公開済み。

(2)「PICを用いた「テルミン擬き」の製作」、金野茂男、小山高専研究紀要、第35号、91頁～98頁、平成15年3月。

(3)「16ビットデータロガーの製作」、金野茂男、2002年、10月。ホームページで公開済み。

E-mail kinno@oyama-ct.ac.jp

URL <http://www.oyama-ct.ac.jp/D/kinnoken>

「受理年月日 2003年9月30日」