

マイコンによるミュージックシンセサイザ の自動制御と教材への応用

松 井 一 幸

要 旨

一昨年より、Z-80 CPUによるマイコンシステムを設計、製作してきた。今回は、このシステムを用いて、以前に製作してあったミュージックシンセサイザを自動制御することに成功したので、そのハードソフト両面について報告したい。

このシステムの教材への応用にあたり、物理Iの音波の学習に取り入れた。その実態を報告するとともに、音階の考察も行ったので、あわせて報告したい。

1 緒 言

今日、マイクロコンピュータ（マイコン）は、我々の生活の各方面に浸透し、その利用は、今後もさらに広がる勢いを見せている。このような中で、筆者は、マイコンの真の価値を把握する目的で、ひとつのシステムを作りあげてきた。1年半の製作過程を経て、現在では、フロッピーディスクを備えるまでにシステムは成長している。この間、ハード・ソフト両面に学ぶところ数多く、動作原理のあまりの美事さに、感服すること度々であった。

コンピュータの動作原理は、いたって簡単で、そのよって立つところは、デジタル論理回路にある。現在の処理方式は、メモリ（記憶素子）に格納されているプログラムを、順次CPUへ取り出し、メモリ内容に従って、情報を処理してゆくものである。今日のように、マイコンを大衆化ならしめた要因は、高速LSI（CPU、TTL、インターフェース等）の出現と大容量RAM、ROMの実現、さらには、それらの低価格化であろう。高速処理や大容量メモリの実現は、動作原理の観点からすれば、あまり本質的ではないが、応用面から観れば、偉大なる進歩である。

技術の革新は、今までもそうであったように、人間生活のあらゆる分野に、質的な変化をもたらす。トランジスタの発明以来発展し続けてきたマイクロエレクトロニクスは、今後もさらに発展し続ける勢いである。このような状況下にあつて、筆者は個人のレベルながら、マイコンの真の価値をさぐり、いろいろな応用可能性を追求する目的で、システム自作の道を歩み、設計、製作に意欲を燃やしてきた。

現在のマイコンシステムを研究する価値は、次の2

通りの意義の中にある。ひとつは、ハード・ソフト両面の完全理解は、潜在する新しい可能性を引き出す礎になり、真の応用はここが原点であると断定できること、もうひとつは、動作原理の新しい可能性の追求の出発点になりうることである。

よく、マイコンは「手段であり、目的ではない」と言われる。その意味するところは、マイコンは、仕事をする際のお手伝いをする道具（手段）であつて、自ら仕事を考える能力（目的）は持たないということであろう。

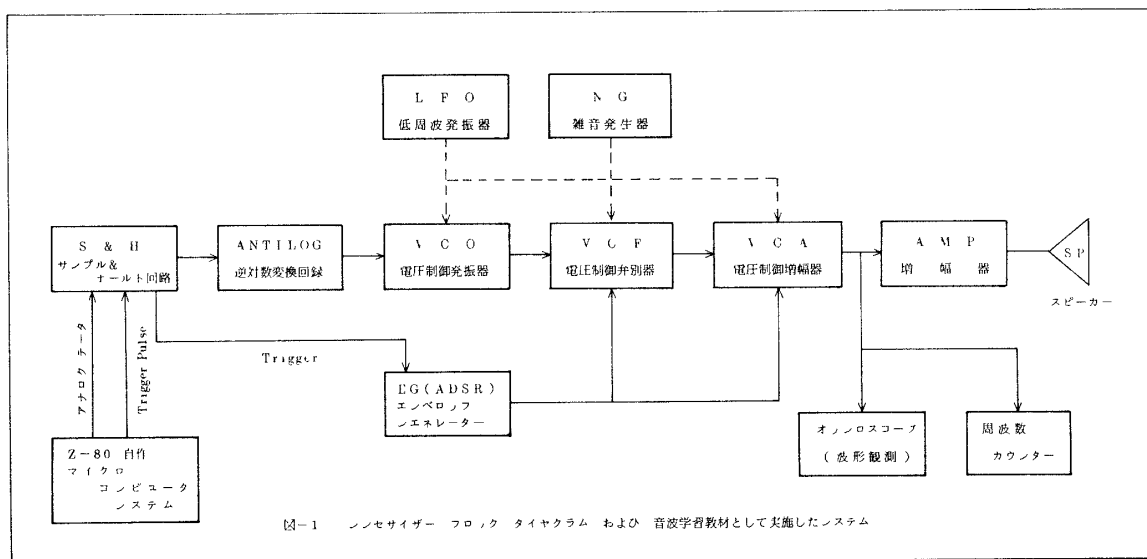
現時点では、確かに、仕事の目的を考え、遂行可能にするプログラム作製の主格は人間である。従つて、プログラムを組む力がユーザーになれば、十分にマイコンを活用することができない。前述したマイコンが手段であるという意味の中には、次のような前提がすでに入っている。ひとつは、ユーザーがプログラミング可能であること、もうひとつは、コンピュータは言われたことしかやらないと人間が勝手に決めこんでいることである。

プログラムを組めない人にとっては、マイコンは、プログラムが組めるようになるまで仕事の目的になりうるし、いろいろなセンサーを備えてくれば、リアルタイム処理により、外的条件をとり入れて、自分のプログラムを考え、再編成するコンピュータ（思考性ロボット）が出現してくるかもしれない。

以上のように考えてくると、マイコンの能力は、決して現在のままであると固定して考えてはいけぬ。マイコンの可能性に対する研究は、仕事の目的になりうる価値があるように思われる。

筆者は、微力ながら、マイコンに情熱を傾け、真の価値をさぐっている状態である。まだ、研究はスタートしたばかりであり、目新しいものはないが、シンセサイザの自動演奏と音階の研究に応用してみたのでこれらを報告したい。

第2章では、システムのハード構成について、第3章では自動制御のソフト構成について述べる。第4章においては、実際の製作システムでの実行結果について述べ、第5章では、システムの授業への応用と、音階に対する考察を行いたい。新しいものは、今後の研究に待たねばならないが、現段階での中間報告的な意



味でこのレポートを発表したい。

2 ハードウェアの構成

マイコン研究のひとつの成果として、ミュージックシンセサイザーの自動制御による物理教材への応用に成功したので、この第2章においては、本システムのハード面について述べたい。

a) ミュージックシンセサイザー

コントロールの対象となるミュージックシンセサイザーは、一昨年の夏製作したもので、電波新聞社発行ホビーライフ 165「実践シンセサイザー」第5章“マイ・オリジナル・シンセの製作”、五十嵐明著に基づいている。基本的にはエレクトーンの類いで、電子音楽を自作で楽しむ適当な教材でもある。現在、必修クラブであるデジタル回路研究クラブにおいても、2台目のミュージックシンセサイザーを製作中であり、音を理解する教材として、製作体験は貴重な意義を有する。

今回用いたシンセサイザーのブロックダイアグラム

を図1に示す。モノフォニックであることを除けば、市販のものと同変わらないくらいの質のいいものが作製できた。最終段の増幅器とスピーカー部分は、市販のラジカセや自作のパワーアンプを用いて使用している。図中のオシロスコープや周波数カウンターは、市販されているものを用いた。

b) Z-80 自作マイコンシステム

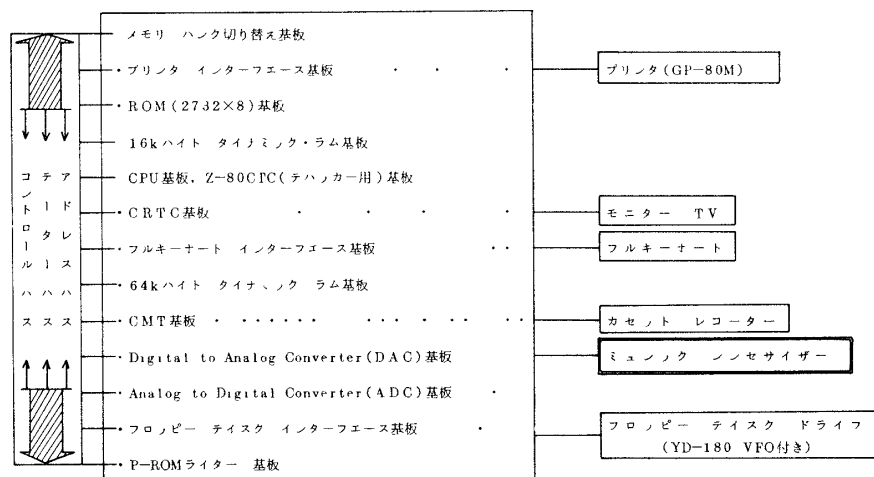
マイコンの持つ真の価値を理解するには、自作する必要がある

ると痛感した筆者は、図2に示すシステムを1年半がかりで完成させてきた。参考、引用した文献は、トランジスタ技術連載「作りながら学ぶマイコン設計トレーニング」神崎康宏著である。この本は非常に教育的で、13回の連載中に初心者かなりの技術者に成長することを約束させる貴重な書物である。マイコンを利用する場合のバイブル的存在といえよう。教師自身が、このレベルからマイコンを学習しておけば、生徒を指導してゆく上においても確固たる信念が持て、マイコンに対するあらゆる可能性を追求する上でも、原動力になりうるといえよう。

現段階では、フロッピーディスクが加わり、CP/M移植の一手手前であるが、ソフトを開発し、各種の応用に取り組むスターラインに立てたと言えよう。

製作して驚くことは、これだけの大きなシステムになっても誤動作しないで、正しくプログラムを実行することである。アナログ回路だと経験がそれなりに必要であるが、デジタル回路においては、多少の経験は必要としても、ロジックに注意していれば、特別の

図-2 Z-80 自作マイコンシステム



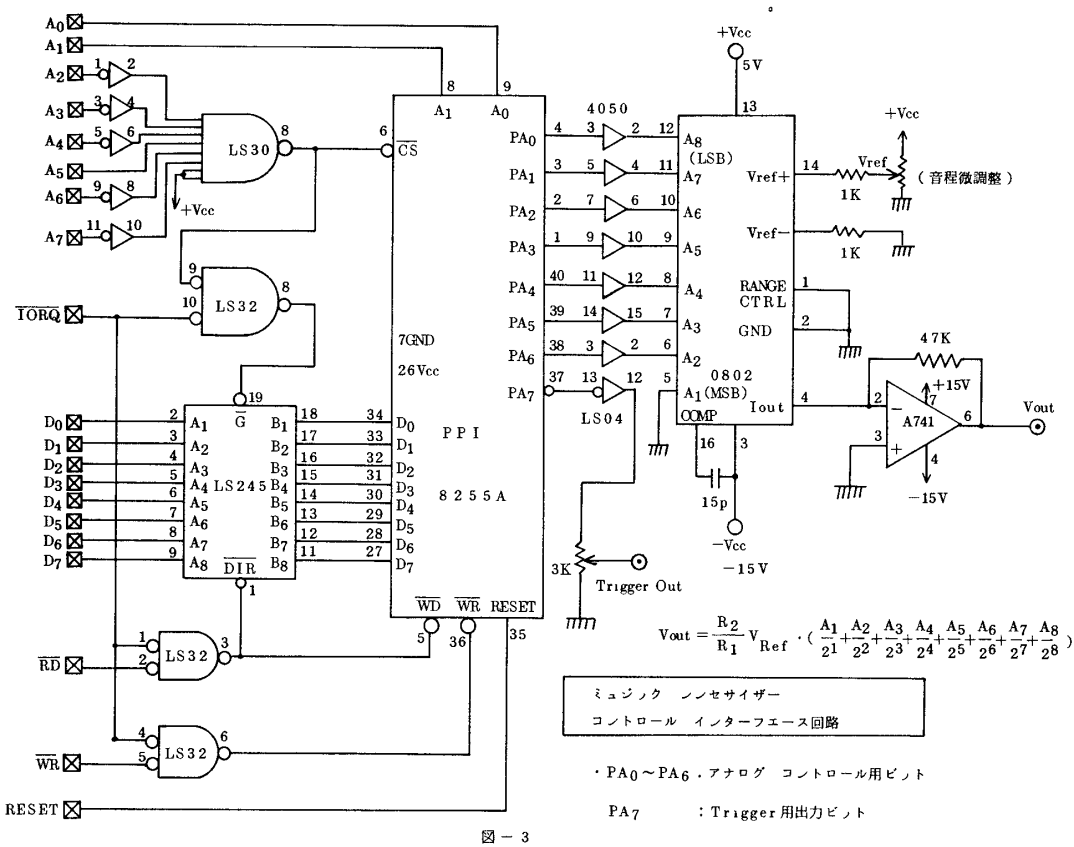


図-3

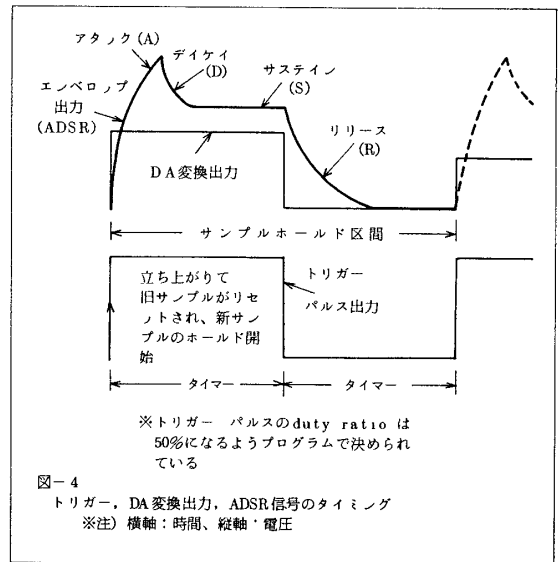
事がない限り、殆んどうまくいくということであろう。

c) ミュージックシンセサイザー コントロール インターフェース回路

上述したマイコンとシンセサイザーは、当初は連動させる予定もなく、それぞれ、独立して製作したものである。しかし、マイコンシステムを組んでいるうちにいろいろな外部機器を制御するノウハウが充分理解できてきた。ひとつの応用として取り組んだ次第である。

図3は、マイコンとシンセサイザーを結ぶ自作のインターフェース回路である。これは、メインシステムにおける、P-R O Mライター回路を応用したものである。

回路図を見ても分かるように、このI/Oポートは、20H～23Hである。8255Aは、パラレル・ペリフェラル・インターフェースと呼ばれるLSIで、並列処理の場合によく用いられる。このPPIは、PA、PB、PCの8ビット3入出力端子を備えている。今回は、8ビット1出力で充分なため、PAポートのみ用いた。最上位ビットPA7は、トリガーコントロールに、残り7ビットは、DA変換の出力コントロールに用いた。DA変換出力電流は、オペアンプμA741により、電圧出力としてシンセサイザーのVCO(電圧制御発振器)に送られる。



データ・バス上のP0～P7を、トリガーと電圧出力用にわけて、シンセサイザーのコントロールを可能にする橋渡しが、図3のインターフェース回路である。

3 ソフトウェアの構成

第2章のa, b, c)で機械的なハード面は完成した。ハードを計画通りにはたらかせるには、ソフトが不可欠になってくる。この作業も非常に重要である。

図-5



d) トリガー, DA変換出力, ADSRのタイミング

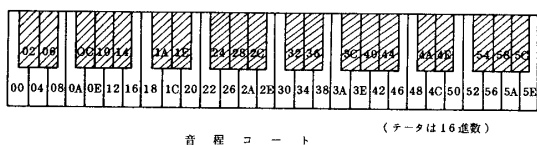
シンセサイザーは、音の強弱がなるべく自然の楽器に近くなるように、周波数弁別器や増幅器がエンベロップ出力により電圧でコントロールされている。このことを自動演奏でも取り入れようとする、エンベロップ・ジェネレータ出力をコントロールするトリガーの制御が重要になってくる。図4に各記号のタイミングを示した。

e) ミュージック・シンセサイザー コントロール ルーチン

図5に、Z-80機械語(マシン語)と、ニーモニックによるコントロールプログラムを示す。BASICに比べて機械語は、第3者に分りにくいが、逆に使い方が分ると、マイコンの中味がよく理解でき、大変面白いプログラム言語である。ニーモニックの右に各命令の意味づけを加えた。

f) 音程・音長コード

e) で示したプログラムで、実際に演奏を実行する時音程、音長コードが必要になってくる。本システムでは、図6で示すように、各音程、音長に16進数を対



音程コード (データは16進数)



音長コード (休符の時音程を80Hに) (休符長は音程に同じ)

応させた。最上位ビットがトリガーコントロール信号になっているため、休符の時は音程データを80Hに、休符長は音長データに同じとする方法をとった。

4 実際のシステムでの実行結果

図5で示した自動演奏ルーチンとは別に、マイコンのフルキーボードが鍵盤になるルーチンを完成させ、音程コードと出力音の振動数との関係を調べた。振動数は、市販の周波数カウンター(TRIO FC-756:分解能1Hz)を用い測定した。結果を図7に示す。右側に、音程コード24Hの322.2Hzで規格化した平均律音階による各コードの理論値をあわせて示した。±1Hz以内位の誤差で値は一致している。耳のよい人が聴くと、多少の狂いは識別されるであろうが、なかなかの結果である。なお、図6の音程コードが、絶対音に対応するためには、2AHは、440.0Hzである

図-7
音程コードに対応する振動数測定値

音程コード	振動数測定値	平均律音階による24H基準の理論値
0CH	160Hz	161.0Hz
0EH	170	170.6
10H	180	180.7
12H	191	191.5
14H	202	202.8
16H	214	214.9
18H	227	227.7
1AH	240	241.2
1CH	255	255.6
1EH	270	270.8
20H	287	286.9
22H	304	303.9
24H	322	標準・322.0
26H	341	341.1
28H	361	361.4
2AH	383	382.9
2CH	406	405.7
2EH	429	429.8
30H	455	455.4
32H	483	482.5
34H	512	511.1
36H	542	541.5
38H	575	573.7
3AH	606	607.9
3CH	645	644.0

※音程コードが絶対音階と一致するためには2AHコードで出力が440.0Hzになるよう音程シフトを行なう必要がある。

必要がある。実測値は383Hzであるから、演奏で、絶対音が必要になる時は、音程シフトルーチンで0BHの音程データを各データに加えておく必要がある。これは、プログラムで実行可能なことである。

さて、図7のように音程の調整が完了すると、いろいろな曲を自動演奏したくなる。全校必修クラブのマイコン製作班で音符のコード化にとりかかり、赤とんぼ、トロイメライ等の曲をプログラム化した。図8は、生徒が、名大附の校歌をコード化した例を示す。校歌の先頭アドレスは、448FH、最終アドレスは、464FHのFFHである。この結果は学校祭において発表したが、好評であった。

以上の内容が、マイコンを製作し、シンセサイザーコントロールに応用した実態であるが、ハード面、ソフト面での連携が重要なことは理解されたことと思う。今まで述べてきたことを、生徒に説明し、理解させるのは、多大な無理があるかもしれない。しかし、教材として、このシステムを利用すると、音波に対する生徒の理解は一段と増し、興味も深まるであろう。

5 授業への応用と、音階に対する考察

物理の授業で音を扱う分野は、物理Iの音波である。うなり、ドップラー効果、管、弦の定常波が主たる内容であるが、教える側も学習する側も非常に興味の湧く分野である。というのは、この領域では、自然界の現象が日常的に豊富に存在するからである。学習するまで感覚的に扱っていた事象が、音においても基本概念から数量的に説明される醍醐味は、物理の心髄を理

図-8
校歌 音程音長コード (448FH~464FH) メモリ・ダンプ リスト

4480	
4490	04 18 04 30 0C 2A 04 26 04 22 04 1C 18 26 04 2C
44A0	04 2A 0C 22 04 2A 06 26 02 22 10 18 04 18 04 22
44B0	0C 26 04 2A 06 2C 02 2A 04 26 04 22 04 80 04 34
44C0	08 30 0C 2A 04 22 04 2A 04 26 10 2A 04 2C 04 30
44D0	0C 2A 04 22 06 26 02 22 06 1C 04 80 04 18 08 2A
44E0	0C 22 04 26 06 26 02 22 10 20 04 22 04 26 0C 26
44F0	04 22 06 26 02 2A 08 2A 08 2C 04 2C 04 2A 0C 2A
4500	04 26 06 34 02 30 10 2A 04 2C 04 30 0C 34 04 30
4510	06 2C 02 2A 10 2C 04 2C 04 2A 0C 26 04 22 06 2A
4520	02 26 10 18 08 22 0C 20 04 22 04 26 04 2A 08 2A
4530	08 26 04 2A 04 2C 0C 2A 04 26 04 22 04 30 18 2A
4540	04 2C 04 30 0C 2A 04 26 04 22 04 1C 18 18 08 2A
4550	0C 22 04 26 08 2A 08 22 18 80 06 18 06 18 02 22
4560	04 26 04 2A 04 2A 04 2A 04 2A 04 30 06 34 02 30
4570	04 2A 04 22 04 2A 04 26 04 26 04 2A 06 2C 02 30
4580	04 30 04 2A 08 26 04 22 04 26 06 2A 02 26 04 22
4590	04 20 04 1C 04 18 04 80 04 30 08 30 04 30 04 2A
45A0	06 2A 02 26 04 22 04 1C 06 1C 02 18 04 26 04 22
45B0	0C 80 04 18 06 18 02 22 04 26 04 2A 04 2A 04 2A
45C0	04 80 04 30 06 34 02 30 04 2A 04 22 04 2A 04 26
45D0	04 80 04 2A 06 2C 02 30 04 30 04 2A 08 26 04 22
45E0	04 26 06 2A 02 26 04 22 04 20 04 1C 04 18 04 80
45F0	04 30 08 30 04 30 04 2A 06 2A 02 26 04 22 04 1C
4600	06 1C 02 18 04 26 04 22 0C 80 04 26 0C 26 04 26
4610	08 2A 08 2C 04 2A 04 26 04 22 04 26 0C 80 04 2A
4620	0C 2C 04 2A 08 26 08 22 06 20 02 22 04 2A 04 30
4630	04 80 06 30 02 34 10 34 08 80 06 34 02 30 10 2A
4640	0C 80 04 26 0C 2C 04 2A 08 26 08 22 18 80 20 FF

解する上で誠に素晴らしいといえよう。

このような分野の教育は、できる限り視覚、聴覚に迫る内容を持たねばならない。

うなりやドップラー効果理解の出発点は、音の高低

が振動数の違いによるというところにある。筆者は、マイコンでコントロールしたシンセサイザーを用いて、音の高低と振動数の関係を図7のように実験し見せた。おんさを用いれば、その出力波形が正弦波に近いことから、周波数カウンターで振動数を測定することが可能であるが、極端に音を高くしたり低くしたりすることは難しい。オーディオシグナルジェネレーターを用いれば、連続的に音の高低を変化させ、周波数カウンターで振動数を測定することができるが、音を楽音のように変化させるのが困難である。その点、シンセサイザーを用いれば、楽音の三要素を簡単に実験で示せたり、ビブラート、グロール、トレモロ効果等の現象の本質をオシロスコープを用いる実験により簡単に理解させるるので、本システムは教材として非常に適しているといえる。

さて、いろいろな面で、開発システムの教材への応用を述べたが、このような教材研究、授業研究をしていると、教師自身が理解していない未知の問題が次々と出て来た。その大きな問題が、音階についてである。シンセサイザーで、いろいろな音を作り出せるようになると、音階の必然性や、他の音階の可能性の追求が大きな課題になってくる。

筆者は、手近かなところにある文献をいろいろと調べてみたが、現在の音階の出現の必然性を納得する形で得ることができなかった。簡単な整数比になっている音がよく調和するとか、転調の場合の合理性から平均律が生まれたとかは納得できたが、ではどうして、1オクターブ内の音は、半音も含めて12音でなければ

ならないのかといった理由は、経験の美的成果以外に理解できない。この問題に正面から取り組んで作図をしたのが図9である。図中の○、◎印がよく使われている音である。自然長音階と平均律音階の類似性はグラフの上からも理解できるが、他の可能性については今のところ研究不足で何も言えない。幾多の先人が、他の可能性も考え実行してみたであろうが、生き残っている音階は他に聞かない。しかし、今後、追求してみる価値が充分にある。筆者は、この問題を必修クラブで追求したいと思っている。

6 おわりに

マイコンの真の価値を追求する目的で、その原理・利用の研究を続けている途上であるが、今回は、ミュージックシンセサイザーのコントロールに応用し、音波の教材に応用した実践例を一例として示した。本紀要で明らかになったように、マイコンの利用研究は、ハード・ソフト両面のからんだ総合的分野である。それ故に、いろいろな創意工夫が必要とされる。さらに、ある対象を追求してゆくと、音波の例で分ったように、既存のもの合理性をより追求し、別の可能性に追ってゆく芽が生まれる。教師自身が、教育をする存在から、教材研究を通して自然の奥義に迫る探求的存在へと変身するきっかけを、マイコン研究はもたらしてくれた。

昭和58年度から本校グループ研究のひとつに「マイコンの利用研究グループ」が創設された。いろいろな教科の先生が、マイコンの学校教育への利用を追求されることは大変有意義なことである。本研究もそのひとつとして位置づけられてもよいと思われる。

今回の報告は、単なるひとつの試みの発表に過ぎないが、今後の研究のひとつのステップになるであろう。

参考文献

- 1) 五十嵐 明：ホビーライフ5「実戦シンセサイザー」電波新聞社1980年発行
- 2) 神崎 康宏：「作りながら学ぶマイコン設計トレーニング」トランジスタ技術、CQ出版1981年10月～1982年11月連載
- 3) 浅田常三郎編：「物理学精説」森北出版
- 4) 松井 一幸：名古屋大学教育学部附属中・高等学校紀要、第26集P139(1981年)、第27集P95(1982年)

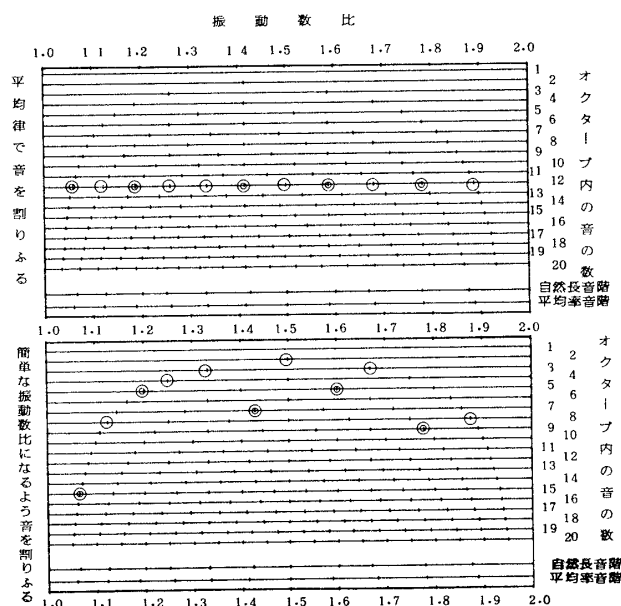


図-9 楽音の実験と他の可能性の追求
○、◎印は楽音として用いられているもの。
これ以外の音を用いて音楽をつくる可能性はないのだろうか。
追求してみる価値は大いにある。