

CMOS メモリーおよびテープレコーダ の地震観測への応用

尾池 和夫・松村 一男

APPLICATION OF CMOS MEMORY AND AUDIO TAPE RECORDERS TO THE OBSERVATION OF EARTHQUAKES

By Kazuo OIKE and Kazuo MATSUMURA

Synopsis

A new system for the temporal observation of seismic waves has been developed. Analog memories and audio tape recorders are applied to the system. Seismic wave data are converted to the digital data and recorded on the random access memories by the suitable sampling frequency. These data are holded on the memory by the trigger signal and then recorded into the cassette or cartridge tape by the high frequency sampling clock in a short time.

By the conversion of time length of a record and frequency band of a signal, we can easily get various types of audio recording system. Using an usual small tape recorder, the dynamic range is about 40 db and 3 channel signals of 700 earthquakes are recorded in a 60 minutes cartridge tape.

Using PCM recording system for audio signal, we can get a wide band (10 octave) and wide dynamic range (80 db) seismic wave records. A continuous recording in more than 30 days is possible in a cassette video tape by the PCM system.

1. は じ め に

地震観測のためのネットワークの整備が進んだ日本では、研究目的の多様化に対応して地震波を記録する方式も標準の観測網の機能とは異なる特長を持つものが必要となりつつある。そのような要求に答えるため、新しく開発した地震観測方式について説明し、試験結果を報告する。

微小地震の研究では、より高感度で震源域の近くでの稠密観測を行い、地震波の波形を精密に記録することが重要である。群発地震の発生、余震観測などでは、短時間で準備をおえ、観測を開始し、多くの地震波を記録しかつ効率よく処理ができる必要がある。地下構造の研究のためには、特定の位相の波形を広いダイナミックレンジと周波数特性を持つシステムで記録したい。また、世界中の色々な地域へ気軽に持って行くことのできる地震計がほしい。これらの要求を念頭におきながら、設計し試作をした。

CMOS は、動作に必要な電力が非常に少なく、最近では安価で製品の性能・供給能力ともに安定している。上記の目的には大層よく適合している。また、音響機器の進歩が著しく、日本では高性能のテープレコーダが安価に入手できる。CMOS のメモリー (RAM) は、64K ビットのものがすでに発売されており、テープレコーダでは 80db のダイナミックレンジを持つ PCM デジタルレコーダが一般に使われ始めている。一方、音声合成や音声認識の技術の進歩もめざましく多種類の LSI が手に入る。これらの技術と大量生産による安い製品を活用することが、新しく観測システムを設計する場合には、最もかしこいやり方である^{1),2),3)}。

アナログメモリーにより一度記録した地震波を時間軸の伸縮によって周波数帯域を変え、音響機器を用いて録音し、その記録を音声解析のシステムで再生処理する。このような基本方針により、作り上げたのが、本報告に述べる地震観測方式である。

システムはいくつかの基本回路に分けられており、それぞれの回路がプリント基板として完成している。基板を自作することによって、不必要部分のない合理的な回路設計が可能となり、部品と消費電力のむだはふける。一度開発し完成した基板は巾広く他の目的に活用することもできる。ソフトウェアと同じように、基板がサブルーチンとして色々の目的に活用できるよう、焼増しが簡単にできること、およびわかりやすい説明書を一つ一つに対して作っておくことも心がけて開発を進めた。

2. 記録方式の基本構成

アナログメモリーとテープレコーダを用いた最も簡単な3成分記録方式を例にして説明する。このシステムはプリアンプ・メインアンプ・メモリー・時計・制御回路・テープレコーダからなり、**Fig.1** に示す構成である。地震波の振幅があらかじめセットされたレベルを越えるとトリガーパルスが出力され、そのパルスの出力後48秒でメモリーへの書き込みを禁止し、高速で読み出しを行う。これによって信号の周波数を変換し、テープレコーダの特性のよい周波数帯の音声波形になおしてテープに録音する。メモリーの容量は16,384データであり、256Hz でサンプリングすると64秒間の記録が得られる。この記録を64倍のサンプリング速度で出力することにより、1秒で録音が終了する。実際には、テープレコーダの起動に1秒、レコードの頭出しのための8KHz 信号に1秒使って、合計3秒必要である。3成分の場合は、1成分ずつ次々と録音して合計5秒間で録音が終了する。**Fig.2** に動作をタイムチャートで示す。

この16K データのメモリーを用いた場合について、録音周波数帯を60~3000Hz として、サンプリング周波数を変えた場合を **Table 1** に示す。

メモリーの容量は、必要とする記録波形の長さに応じて決めればよいが、特に地震波のコーダ部の最後までを必要としない場合には、震央距離と卓越周波数の関係から考えて、**Table 1** のような使い方をすれば、16K データで充分である。

テープレコーダとしては、地震波とタイムコードを並べて録音するため2成分必要であり、ステレオ録音のできるものなら何を用いてもよい。**Table 1** の周波数帯であれば、器械もテープも普通のもので充分である。ダイナミックレンジや周波数帯を特に広くする場合には性能のよいものを用いればよい。

タイムコードは、1ビット / 1データで充分であり、地震波と同じメモリーを用いる必要はない。

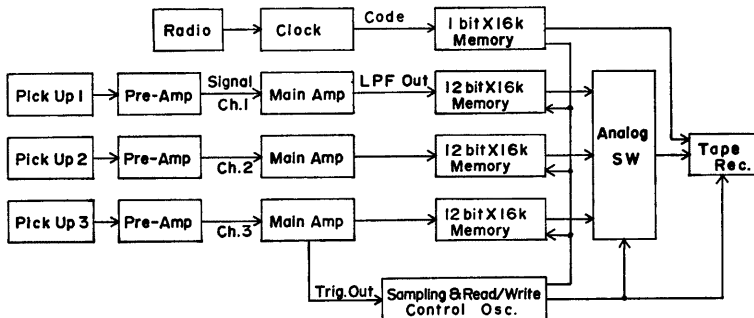


Fig. 1 example of the recording system by the time length conversion method. Three components of seismic waves and a time code in 64 seconds are recorded in a cartridge tape continuously in one second for each component.

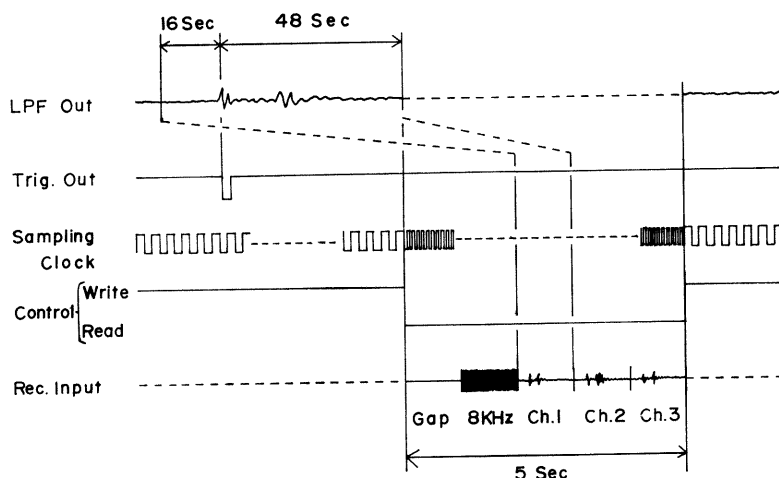


Fig. 2 Timing chart of the system shown in Fig. 1.

Table 1 Characteristics of the recording system with a 16 k data memory shown in Fig. 1.

Sampling frequency	Observed data		Time conversion ratio	Recording	
	frequency range	time length		frequency range	time length
256Hz	1 ~50Hz	64sec	1/ 64	60~3000Hz	1sec
128	0.5 ~25	128	1/128	60~3000	1
64	0.25~13	256	1/256	60~3000	1

3. アナログメモリーの例

目的に応じてメモリーは差し換えて使用できるよう、同じ端子配列のものを数種類作った。**Fig. 3** はその中の一つの例である。

サンプリング周波数を決めるパルスは、基板内で巾を狭くした後 A/D コンバータに入力される。書き込み禁止の間はこのパルスは A/D コンバータには入らず、アドレスを決めるカウンタにのみ入力される。カウンタ出力によって決められたアドレスの所のデータが読み出されて D/A コンバータに入力される。12ビットの A/D 変換素子を用いているが、出力波形のノイズレベルはフルスケールの約1/2000となる。メモリーの容量は約197K ビットである。

Fig. 4 は電圧入力の時刻信号を、地震波と同期して記録するためのメモリーである。時刻コードをパルスの巾の長短で表わすと、このメモリーは1ビット / 1 データで充分である。この出力を録音するためには、このメモリーの出力側のコレクターにより、4KHz の信号を ON/OFF してテープレコーダに入力する。

例に示した2種類のメモリーは260KHz までの高速サンプリングで書き込みが可能である。AE や VLF 帯の電磁波形などを観測し、時間を伸ばしてテープレコーダに録音することも、地震波の場合と全く同じ手順で行うことができる。

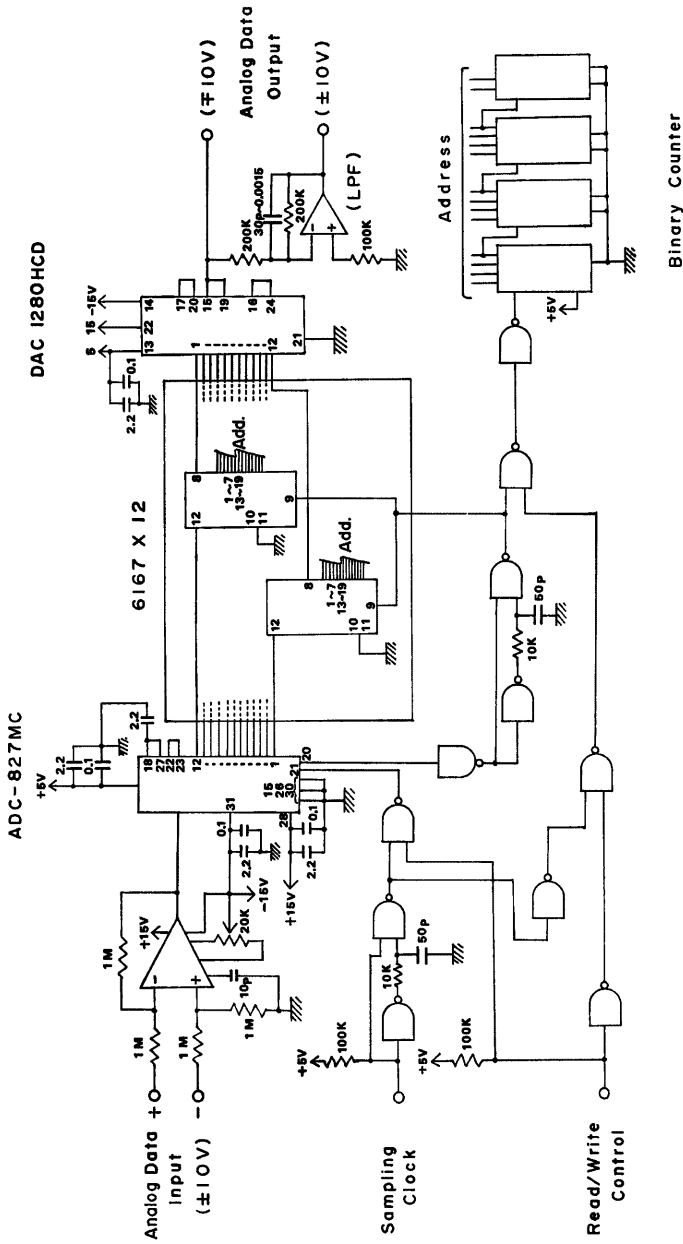


Fig. 3 An example of analog memory with 197 k bit digital memories, A/D and D/A converters.

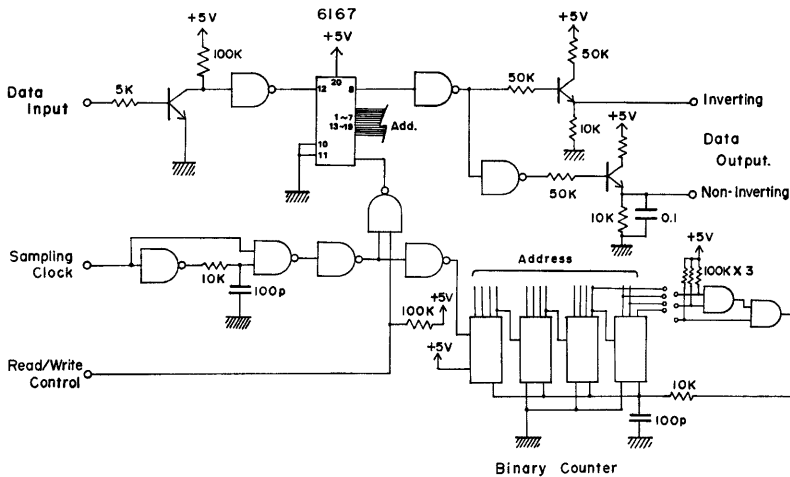


Fig. 4 An memory for 1 bit signal for time code recording.

4. 再生の方式

音声帯域でカセットテープなどに録音された波形信号は、そのまま音声解析システムに入力して処理することが可能である。また、ステレオ再生装置で聞くことによって、シンクロスコープで見ることによってもテープに記録された内容の概略を知ることができる。そのまま再生した音声出力を高速の光学式レコーダで書かせることによって波形を見ることができる。Table 1 の上段に示した 256Hz サンプルングで収録した場合は、2.4m/sec の速度で記録紙を送れば、約4mm/sec の地震記録となる。これらの再生方式は、観測現場での記録状態の監視に便利であろう。

観測現場でモニター記録を得るためのもう一つの方法は、ペンレコーダをメモリーの出力につないでおきテープ録音の直後に駆動してやる方法がある。テープに収録し終った直後には、収録した地震波がメモリー内に残っており、次の16K データの書き込みが終了するまで、実時間で出力されるから、ペンレコーダは地震波を直接書かせる時と同じ速度で走らせればよい。

地震波形をテープ上の音声記録から、再びメモリーにとりこみ、時間を伸縮して他のシステムへ入力してやることによって、目的に合った処理方法が使えるようになる。そのためのメモリーも、Fig. 3 および Fig. 4 に示したものがそのまま使える。信号をとり込むためには、地震波の前にある 8KHz の信号を検出しそれが終わった直後から 1 秒間ずつ、それぞれのチャンネルの地震波をそれぞれのメモリーに書き込んでゆけばよい。書き込まれた内容を保持した後、適当な入力サンプルングパルスにより、データを取り出すことによって、各種のレコーダや、計算機にデータを渡す。Fig. 5 に再生方式を示す。

Fig. 6 に、普通のテープレコーダによる記録をペンレコーダに再生した例を示す。タイムレコードは 4KHz の信号を元のパルス信号に変換して書かせた。収録、再生の全システムを通じてのタイムコードと地震波記録との間の時間のずれは約10m/sec 以下である。また、再生時に各チャンネルの記録をメモリーにとり込んだ場合の全体のずれは記録長の約30分の1以下である。256Hz でサンプルングした場合、再生用メモリーにとり込まれた記録は最初の約2秒が失われることになる。収録時にはトリガー信号の発生した16秒前から入っているの、実際上まったく問題はない。

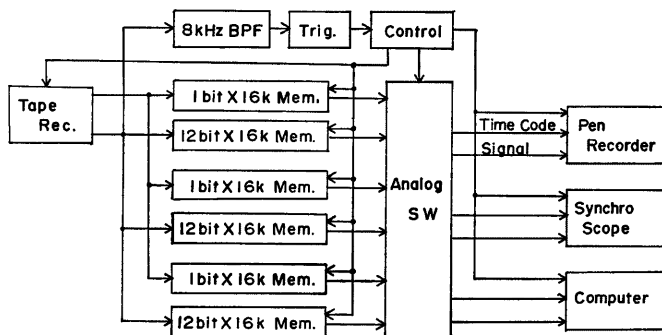


Fig. 5 Circuit diagram of the play back system.

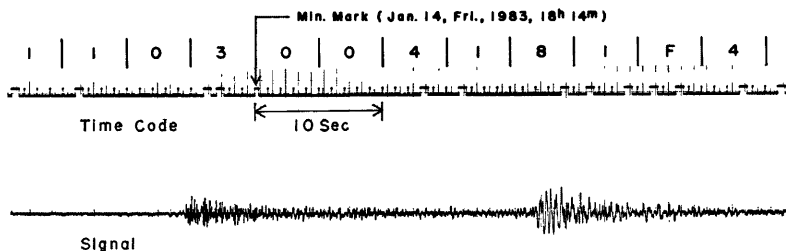


Fig. 6 A seismic wave and a time signal regenerated by the playback system from a cassette tape recorded by a small pocketable recorder.

5. 試作システムの特徴

録音用のテープレコーダとして(A)小型の携帯用カセットレコーダ (レコーディング・ウォークマン) および(B)ノイズリダクション方式のラジオカセットレコーダ (マッケンジー) の2例についてその特性を測定した。

Fig.7 に全システムを含めた周波数特性を示す。再生の時にイコライザーを調整することにより、この特性は自由に変えることができる。カセットテープはノーマルタイプを用いているが、クロムテープやメタルテープは高周波側を延ばすためのものであり、この例のように実質3000Hz 以下を使う場合には、不必要である。

Fig.8 に入力と出力の振幅の関係を示す。出力電圧は再生時のボリュームによって変わる。**Fig.8** の倍率の場合、(A)でノイズレベルは $5\text{mV}_{\text{p-p}}$ 程度あり、直線性のよい記録の得られるダイナミックレンジでは40 db 以下である。(B)では、ノイズレベル $5\text{mV}_{\text{p-p}}$ 程度で、直線性の保てるダイナミックレンジは約60db となる。ただし、このノイズリダクション方式は、大振幅部分を圧縮録音する方式であり、大きな電圧が入力している部分の細かい動きは記録されない。

震源決定や初動分布を知るための観測には、(A)のレコーダで充分であることがわかる。また、各チャンネルを直列に録音するから、チャンネル数を増やすことが容易であり、同じセンサーの信号を高感度・低感度

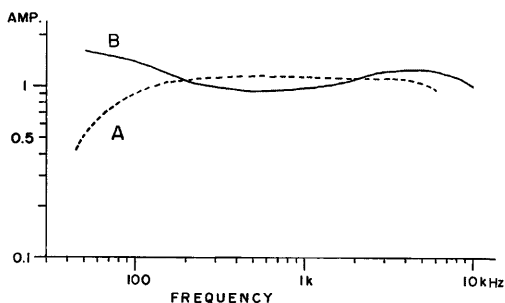


Fig. 7 Over-all frequency characteristics for the system. (A) shows the case of a small pocketable cassette tape recorder and (B) shows that of a audio recorder with a noise reduction circuit.

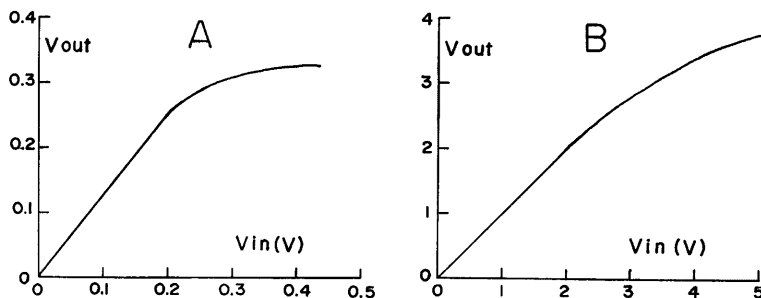


Fig. 8 Relation between the amplitude of input signals and that of regenerated signals. Noise levels for (A) and (B) are about 5 mV p-p.

と分けて収録することもできる。

収録することのできるデータ量は、60分のカセットテープに対して3成分観測の場合、1地震について5秒間必要だから、約700個の地震が記録されることになる。消費電力は、テープレコーダに関してはテープをまわす時だけスイッチを入れればよいので、内蔵の電池で充分である。その他の回路については、3成分の場合で、せいぜい2W程度となる。従って小型のバッテリーと太陽電池で動作させることができる。

6. 高精度記録および連続記録方式について

現在市販されている録音システムでは、PCM方式によってビデオテープにデジタル録音するものももっとも性能がよく安定している。録音機としてこれを用いることによって、質のよい記録を取ることが可能となる。PCM方式の周波数範囲は20～20000Hzであり、ダイナミックレンジは実質80dbである⁴⁾。この性能を十分に活用して、例えば0.05～50Hzの地震波を400分の1の時間で収録することにすれば、4時間のテープに効率50%としても800時間（約1カ月）のデータが連続で収録できる。このような広帯域・広ダイナミックレンジでかつ長時間の記録方式によって、今後の地震研究を進めるための新しいデータの収集が可能になる。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、防災研究所の松尾成光氏には試作機の製作を、西上欽也氏には特性試験を手伝っていただいた。多くの野外観測の経験者から貴重なご意見をいただいた。また、一部の方々には、誰が作っても動作するということを実験的に証明していただいた。ご協力いただいた方々に感謝します。試作機の経費の一部は57年度科学研究費、自然災害特別研究(1)57020026 (代表者尾池和夫) によるものである。

参 考 文 献

- 1) 白土義男：デジタル回路の手ほどき，日本放送出版協会，1978.
- 2) 沖電気工業株式会社：MSM500/4000 シリーズ CMOS デジタル集積回路，1981.
- 3) MOTOROLA SEMICONDUCTOR PRODUCTS INC.：CMOS IC ハンドブック，1980.
- 4) 横田哲平：デジタルオーディオプロセッサ ソニー PCM-F1，電波科学，Vol. 595, 1982, pp. 70-75.