

マイクロコンピュータによる周波数・時刻の 精密比較データの処理

柚木謙一・川畑清忠・緒方吉文*・南竹 力・草部宏成**

(受理 昭和 58 年 5 月 31 日)

DATA PROCESSING OF PRECISE COMPARISON ON FREQUENCY AND TIME BY MEANS OF MICROCOMPUTER

Kenichi YUNOKI, Kiyotada KAWABATA, Yoshifumi OGATA, Chikara MINAMITAKE
and Hironari KUSAKABE

Satellite Systems will play a particular important role in the future. Therefore we are concerned with the comparison of frequency and time of TV signals either via satellite or near-ground level between two remotely located pieces of equipment.

In this system, the microcomputer (NEC PC- 8001) widely used is equipped with its I/O devices. Separate interfaces were made for the phase comparator, the counter, and the timer. And their respective programs concerning frequency and time were also made.

By making use of those interfaces and programs we can deal with speedily input data itself from the phase comparator, the counter, and the timer in agreement with output form.

It was found from the output data of the microcomputer that the standard frequency deviation is of the order of 10^{-12} and the accuracy of the time comparison is almost less than 100 nano-seconds.

1. ま え が き

原子周波数標準器（原子発振器，原子時計）は現在，実験室形セシウム標準器により 1×10^{-13} 以上の正確さ，水素メーザーにより 10^{-16} 台の短時間安定度に達しているとの報告がある¹⁾。標準器は物理精密計測，同期技術，標準の供給，遠隔地間での相互比較などに広く応用され，重要である。

前述の第 3 番目として，TV 信号を仲介にした衛星，地上マイクロ回線を経由する周波数・時刻の比較²⁾があり，標準電波，ロラン C 等を利用するのに比べて，精度，利用地域の範囲その他で有利な点が多い。

この比較では，周波数比較での位相比较器の出力は連続的に，時刻比較でのタイムインターバルカウンタの出力は秒単位で変化し，それを長期間に渡って測定

する。よってこれらのデータを迅速に，かつ多量に処理し，目的の精度を得るために，低価格，簡便な汎用マイクロコンピュータの利用が考えられる。

ここでは郵政省電波研究所のセシウム原子標準器と鹿児島大学のルビジウム原子発振器の比較をとりあげ，鹿児島大学のシステムに汎用マイクロコンピュータ (NEC PC-8001) とその入出力装置を導入した。これらにシステム用測定器である位相比较器，カウンタ，タイマーとの入力インターフェイスを製作，接続し，別にそれぞれのプログラムを作成し，動作させた。

その結果，比較測定時間，位相差，時刻差を表示，記録できた。また地上マイクロ回線の場合に，周波数比較では標準偏差が 10^{-12} オーダー，時刻比較では 100 ナノ秒以内の精度が得られた。

この論文では，以上のことを主に述べ，併せて比較原理，システムの動作にも言及している。

尚，実験用放送衛星 (BS) についての結果を既に

*元鹿児島大学大学院生

**九州東海大学

一部報告した^{7),8)}。現在のところデータの蓄積が少ないが、近く打ち上げられる BS2 号機のデータ処理には、充分対応できる確信を得ている。

2. 周波数・時刻の比較原理

一つの送信アンテナから送信される TV 電波を、放送衛星・地上マイクロ回線を経由して多数の受信局で受信できるものとし、これらの受信局の任意の二つの受信局間の比較を考慮する。

2.1 周波数比較の場合

一つの受信局における高精度発振器(例えば Rb 発振器)の出力を基準信号、受信電波の周波数(カラーサブキャリアの周波数)を測定信号とし、線形 360 度位相比較器に加え、両者の周波数の差を位相差の変化としてチャートに記録し、その位相差を読みとる。

例えば、鹿児島大学では NHK 放送を受信し、Rb 発振器と比較するとすれば、位相差の読みを(NHK-鹿大)と記す。電波研究所(RRL)でも同様にして、位相差の読み(NHK-RRL)が得られる。

電波研究所を基準にした鹿児島大学の位相差は、各々の位相差の読みの差となり、(1)式で表わされる。

$$(\text{鹿大}-\text{RRL})=(\text{NHK}-\text{RRL})-(\text{NHK}-\text{鹿大}) \quad (1)$$

次に、ある測定時間 t (分)中に記録チャート上において、位相差が x (%) 変化したとき、二つの信号の周波数偏差は(2)式で与えられる。

$$\Delta f = \frac{x}{6000t} \quad (\text{Hz}) \quad (2)$$

ここで t は普通 10 分、20 分、30 分である。仮に 1 秒間に 100 % の位相差の変化があれば、両者の周波数に 1 Hz の差があることになる。

周波数偏差 Δf の f (カラーサブキャリアの周波数 3.58MHz) に対する相対値 $\Delta f/f$ を周波数偏差率と呼び、(3)式となる。

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{10^{-6}}{3.58} \left(\frac{x}{6000t} \right) \quad (3)$$

周波数精度を考慮する場合には、この周波数偏差率を取り扱う。周波数偏差率のデータ値は通常ばらつきを伴うので、次の三つの統計的な値を推定基準値(真値)として採用し、周波数比較精度の目安とする。

TYPE I : 各測定日の各測定時間(10分、20分、30分)に得られた $\Delta f/f$ の平均値

TYPE II : 回帰直線から求めた各測定日の $\Delta f/f$ の値

回帰直線は、1日偏差値(長時間例えば20分以上にわたる位相差の変化量の値から周波数偏差を求め、データが複数であるときは測定時間で荷重平均する)より求める。

TYPE III : 次式(4)のアラン分散

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(N-1)} \sum_{i=1}^{N-1} (f_{i+1} - f_i)^2} \quad (4)$$

ここで f_i : 周波数偏差(データ) N : データ数 τ : 平均化時間である。

今回は、測定年、受信放送、測定時間によりデータをグループ分けし、各グループの最初の日から最後の日までのデータ f_i を測定時刻順に並べ、隣り合う二つのデータ差からアラン分散を求めた。

アラン分散は、ランダム量の平均値の分散を平均時間の関数として表わしたもので、発振器などの安定度を表現するのによく使われる値である。

これらの他に、 $\Delta f/f$ の標準偏差、ヒストグラムもよく考慮される。

2.2 時刻比較の場合

一つの送信アンテナから送信された TV 信号内の特定の同期パルスを、二つの遠く離れた受信局で受信した場合、それぞれの受信局の時計の時刻差 ΔT は(5)式で表わされる²⁾。

$$\Delta T = C_1 - C_2 \\ = (R_1 - R_2) - (\tau_1 - \tau_2) - (d_1 - d_2) \quad (5)$$

ここで C : 時計の秒信号の位相

R : 秒パルスと同期パルスの差の測定値

τ : 送信アンテナから受信局までの伝搬時間

d : 受信機内の遅れ時間

添字 1, 2 は二つの受信局を示す。

($R_1 - R_2$) 以降の項を τ^* とすると、 τ^* は二つの受信局に TV 信号が到達するまでの全遅延時間の差である。 τ^* を導き出すには、 ΔT を出来るだけ零に近づけて、測定可能な R_1, R_2 より求めればよい。

R 即ち秒パルスと同期パルスとのタイムインターバルを、各受信局で測定する訳であるが、その関係について述べる。この同期パルスは奇数フィールドの垂直ブランキング期間中にある第 11 番目の水平同期パルスである。このパルスを適当に抜き取ると、比較対象となる同期パルスの周期は 1001.0 [ms] となり、1 秒パルスとのタイムインターバルが毎秒 1 [ms] ずつ

増加する。また 34 秒目（または 33 秒目）ごとに 1 フレーム前の同期パルスが現われて、両者のタイムインターバルが減少する。このように両者の関係は多少複雑である²⁾。

従って、遠く離れた二つの受信局間で時刻比較を行う場合、同時に同一の同期パルスを選択受信する必要がある。JJY によると、ミリ秒オーダーで時刻同期が可能である³⁾。

一つの受信局において、TV 信号の同期パルスを測定信号、JJY による時刻同期により遅延をかけた受信局の秒パルスを基準信号として、両者のタイムインターバル ΔT_i なる測定データを得る。

二つの受信局で得られたデータを ΔT_1 、 ΔT_2 とすると、それらの時刻差 ΔT は(6)式となる。

$$\Delta T = \Delta T_1 - \Delta T_2 \quad (6)$$

式(6)の ΔT は式(5)の ΔT と同一のものであり、二つの受信局の時計の時刻差である。

ΔT_1 、 ΔT_2 をそれぞれ鹿児島大学、電波研究所のデータとすると、そのときの ΔT は電波研究所の秒信号を基準にした鹿児島大学の秒信号のズレである。

よって測定時間内の ΔT (データ) を同一時間間隔でサンプルしたデータにつき、平均値、標準偏差、ヒストグラムなどを得れば、データの精度を知ることができる。

3. 周波数・時刻比較システム

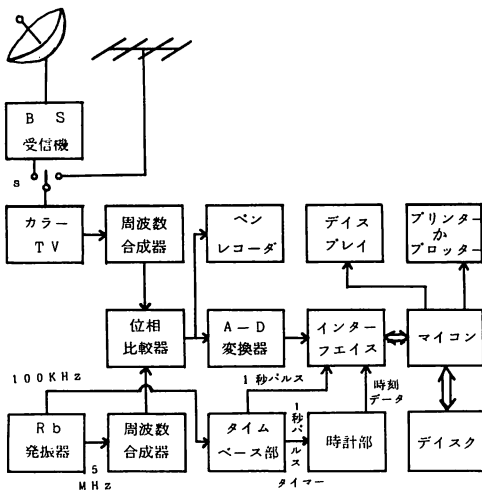


図1 周波数比較システム

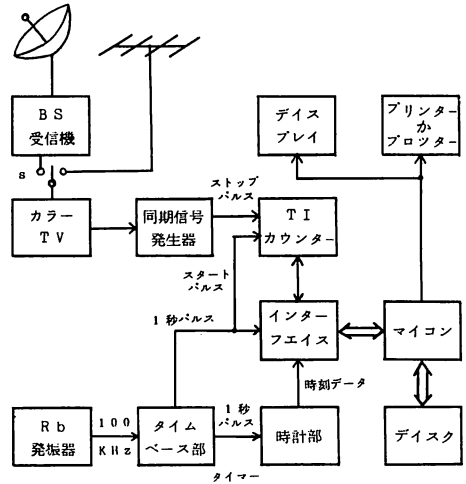


図2 時刻比較システム

図1、図2はそれぞれ鹿児島大学に設置した周波数および時刻比較システムで、BS (実験用中型放送衛星) および地上マイクロ回線を經由した TV 電波を受信対象とするものである。BS は 53 年に打上げられ、55 年にトランスポンダが故障したが、59 年には BS 2 号機が打上げられる予定である。BS は静止衛星であり、送信された B_1 電波 (12.0625 GHz) は簡易受信機 (NEC 790) で 130MHz に変換されたのち TV 受像機に入る。

AD 変換器、タイマー (タイムベース部と時計部より成る) とインタフェースは自作した。各種インタフェースは I/O ユニット (NEC PC-8013) に組込んである。位相差、タイムインターバルの情報をマイコン (NEC PC-8001) とその入出力装置であるディスク (NEC PC-8031)、ディスプレイ (NEC JB-1201M)、プリンター (EPSON TP-80)、プロッター (渡辺測器 WX 4671) で処理する。

周波数比較システムについて述べる。TV 受像機は送信された 3.58 MHz のカラーサブキャリアに位相同期のかけられた発振器を内蔵している。この発振器は、放送局で使用されている原子標準器と同程度の精度を有しているため、周波数比較の仲介として取出し、測定信号を得る。一方、基準信号は、Rb 発振器 (NEC Rb 1007) からの 5MHz を周波数合成器 (日通機 5280) により 88 分の 63 に分周し、PLL 制御を行ったちょうど 3.58MHz の安定な信号である。これら二つの信号を直接位相比較器 (YHPK34-59991) に入力し、これらの位相差に比例した出力をペンレ

コーダー(横河 3057)で波形記録し,同時にAD変換器、インターフェイスを介してマイコンに入力する。またRb発振器からの100KHzを分周して得た1秒パルスと時計部からの時刻データもインターフェイスを介してマイコンに入力する。そして時刻と2時間分の位相差を1分毎に表示する。

次に時刻比較システムについて述べる。水平同期パルスを同期信号発生器(日通機 5280)で抜き取り,タイムインターバルカウンタ(YHP 5345A)のストップパルスとする。一方,Rb発振器からの100KHzの正弦波出力を,タイムベース部の7490を使用した分周回路に通し1秒パルスを生成し,更にその1秒パルスをタイムベース部の遅延回路によりJJYで時刻同期をとり,スタートパルスとしてカウンタに加える。そしてカウンタ出力のタイムインターバルデータ、秒パルス、時刻データをインターフェイスを介してマイコンで処理し,2時間分にわたる時刻とタイムインターバルデータを1秒毎に表示する。

4. インターフェイス

三つのインターフェイスに共通していることは,インターフェイス素子8255⁴⁾をすべてモード0とし,入力ポートとして使用している。I/OアドレスをHA0~HABとし,アドレスバスの内容によりセレクト回路のインバーターの接続を変え,NAND素子7430の出力が“L”のとき8255が接続されるように8255を選択しており,A₀,A₁は8255内の各ポート、コントロールレジスタを選択する。

例えばHA0のアドレスでは,アドレスバス上に10100000があり,この上位6ビットをインバーターの接続如何により111111にし,NAND素子に入力してCSが0となって,8255(A)を選択する。またA₁A₀は00であるから,そのポートAが選ばれる。

4.1 周波数比較用インターフェイス

図3に示すように位相比較器の出力をAD変換素子(ADM12),8255(C)を通してマイコンに入力する。ADM12は逐次比較方式で12ビット,変換速度5.4μsの性能をもち,定格入力5~12Vである。R₁はオペアンプの出力を調整し,入力のゼロ調整をR₂,R₃,フルスケール調整をR₄で行う。AD変換された出力D₁~D₆はポートAに,変換スタート信号をS

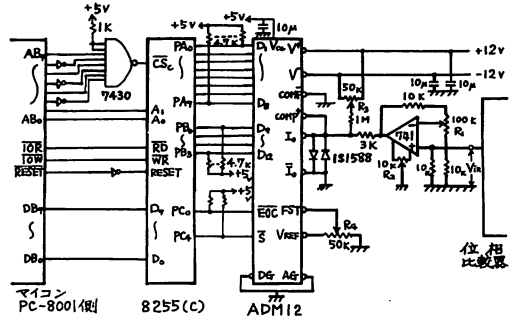


図3 周波数比較用インターフェイスに,変換終了信号EOCをPC₀に加える。

RD, WRは“L”で動作し,それぞれCPUがデータの読み込み,書き込みを行う。データはデータバスD₇(DB₇)~D₀(DB₀)を通る。

4.2 時刻比較用インターフェイス

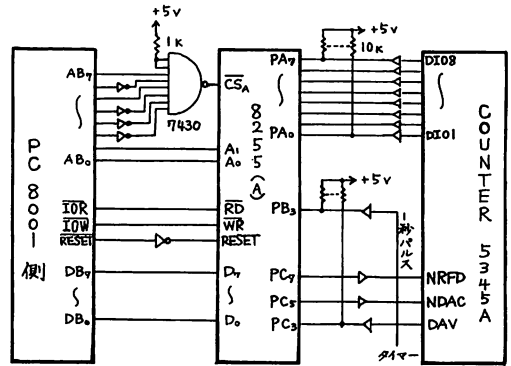


図4-1 時刻比較用インターフェイス

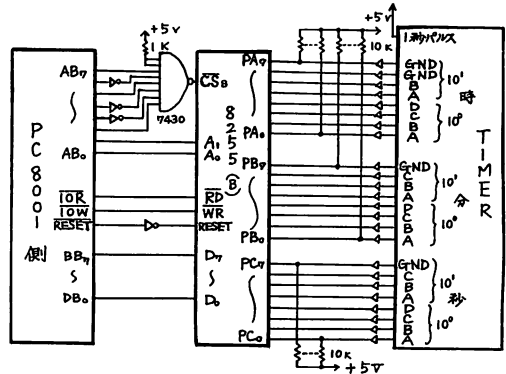


図4-2 時刻比較用インターフェイス

図 4-1 はカウンタとの、図 4-2 はタイマーとのインタフェイスで素子 8255 を (A), (B) と記す。

図 4-1 では、カウンタからのデータを三線ハンドシェイク技法⁶⁾によりマイコンに取り込むものである。

データを PA ポート、タイマーからの 1 秒パルス を PB ポート、ハンドシェイク用の信号を PC ポートとし、ポートを使い分けてある。更に PC ポートでは下位をカウンタへの入力用、上位を出力用とした。これらの決定は I/O アドレスに従うものである。カウンタデータは ASCII コードで出力されている。

図 4-2 ではタイマーからの時、分、秒のデータを 8255 (B) のポートをすべて入力用として、PA、PB、PC ポートに入力し、マイコンに取込むものである。データが BCD コードで出力されているので、ソフトウェアで ASCII コードに変換する⁵⁾。

5. プログラミング

5.1 周波数比較プログラム

フローチャートを図 5 に示す。PC-8001 では初期状態において文字型変数エリアが 500 と少ないので、予め 2000 の容量を確保する。次に時刻と位相差のデータを格納するため、配列宣言によりそれぞれ数値型、文字型領域を 120 割り当てる。次に 8255(A)~(C) のコントロールポートにコントロールワードを入れ、初期設定を行う。この比較では何時何分 00 秒にデータを取込む。そのため 8255 (A) の PB₃ に 1 秒パルスが入力し、00 秒かを判定する。この操作後に時刻の分、時データを取込み ASCII コードに変換する。次に 8255 (C) の PC₄ から AD 変換器に対しソフトウェアにより変換スタートパルスを送り、逆に AD 変換器から PC₀ に変換終了信号 \overline{EOC} が送られたか判定する。その後 AD 変換器のデータを読み込み、位相差データの最大値を 100 % として数値型配列に格納する。次に時刻と位相差のデータを文字変数として合成し文字型配列に格納する。それを画面に表示し、プロッターで図示する。以上の操作を 120 回 (2 時間分) 行った後、文字型配列内のデータをプリントさせる。

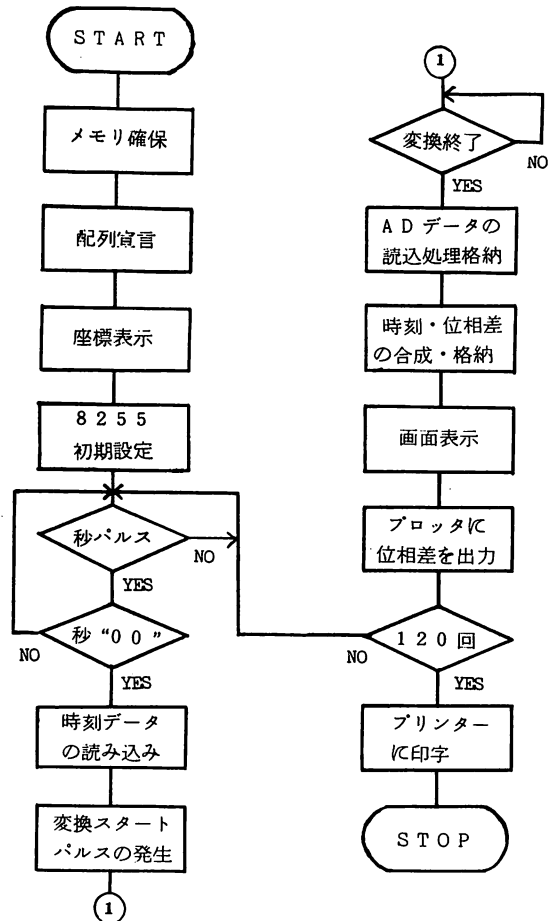


図 5 周波数比較用フローチャート

5.2 時刻比較プログラム

(1) メインルーチン

図 6-1 にフローチャートを示す。先づデータを格納する番地を B000~BFFF 確保する。BFFF 番地までとしたのは DISK-BASIC が C000 番地以降に書込まれるからである。次にサブルーチンの定義を行い C200 番地以降に書き込む。次に C320 番地以降に時刻およびタイムインターバルデータを 1 文字ずつ一時的に格納する。データの CR 信号が来るまで今までのデータを B000 番地以降に格納し直す。CR 信号が来たらスペースを加え、最後のスペースが 21 列 (文字) かを判断し、次のデータの格納番地の最初を 25 番地増加する。次に B000 番地以降に格納されているデータを 3 行に分けてプリンターに出力する。次に XY プロッターに表示するため、座標表示を行

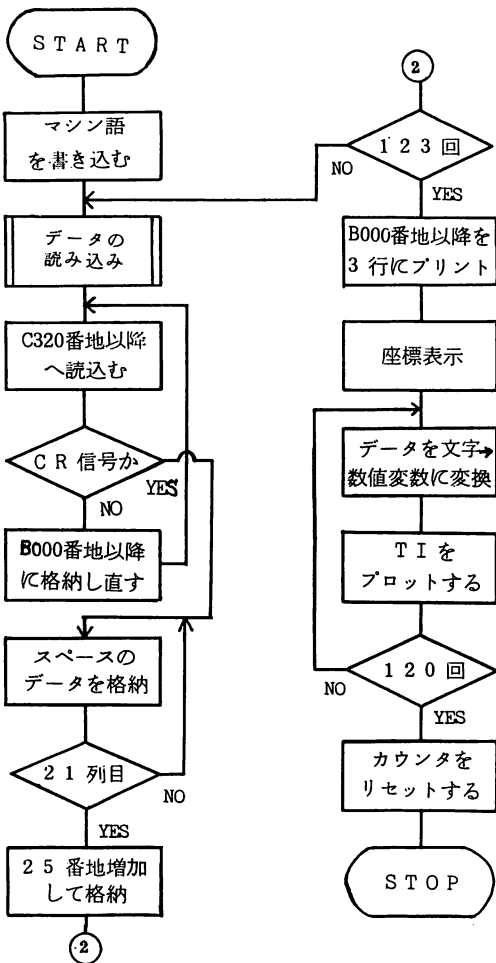


図6-1 時刻比較用フローチャート (メインルーチン)

う。次に ASCII コードとして格納されているタイムインターバルのデータのみをとりだし、これを文字変数として一つのデータに合成する。さらに数値変数に変換し、2分間(120回)プロットする。

(2) サブルーチン

図6-2はカウンタ、タイマーからデータを読み込むためのサブルーチンである。先づ8255(A)、(B)の初期設定を行う。次にリアルタイム処理の目的とタイマーの時刻データ用のストロブ信号として用いる1秒パルスが入ったかを判定する。次の段階では三線ハンドシェイク技法⁶⁾をカウンタとの間で行う。予めカウンタのNDAC, NRFDをビットリセットの初期状態にし、データの受信者(コンピュータ)がデータの受け取り準備が完了したことを示すNRFD

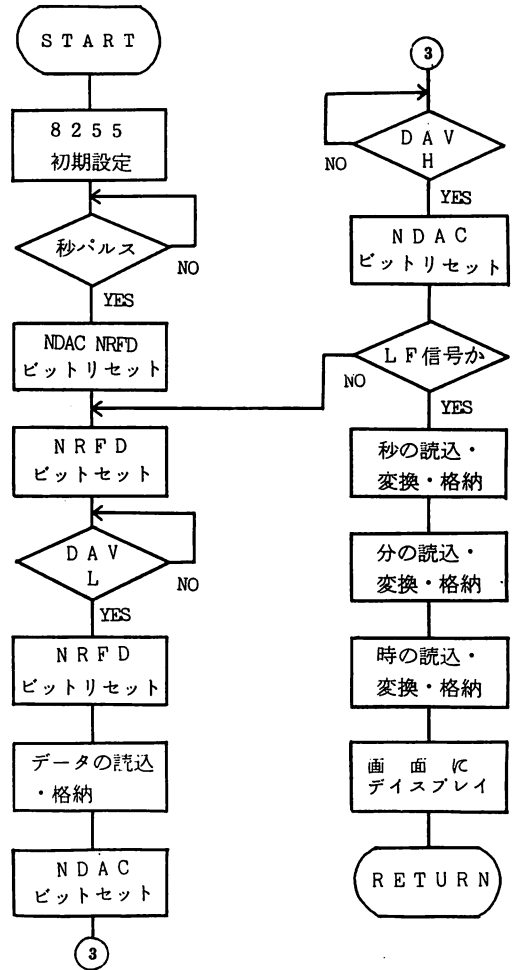


図6-2 時刻比較用データ読み込みフローチャート(サブルーチン)

信号をデータの送信者(カウンタ)に対し“H”(ビットセット)にする。この信号を受けて、カウンタはデータが確定するまでの時間待って、データが有効になったことを示すDAV信号を“L”にする。コンピュータはこのDAV信号を見ていて、この信号がLowになったときNRFD信号をLow(ビットリセット)して、カウンタからデータを読み込みC329(D129)番地以降に格納する。次にコンピュータはデータを受け取ったことを示すNDAC信号をカウンタに対しHighにし、DAV信号がデータが終って“H”になったらNDAC信号を“L”にする。以上の動作をLine-Feed信号が出力されるまで行う。

タイマーからの時刻データは秒、分、時をI/Oアドレスに従って呼び込み、BCDからASCIIにコー

ト変換して、メモリに格納する。(C320~C328 (D120~D128))

これらのデータを、ROMに内蔵されている1文字出力ルーチンと呼び込み、画面に表示する。

6. 出力表示・比較精度の結果

(1) 周波数比較出力データ

```

15 : 2 1      19 . 3 4 0 7
15 : 2 2      15 . 2 1 3 7
15 : 2 3      12 . 1 8 5 6
15 : 2 4      9 . 0 1 0 9 9
    
```

(2) 時刻比較出力データ

```

15 : 3 2 : 0 2  22 . 2 9 6 6 3 6 E - 3
15 : 3 2 : 0 3  23 . 2 9 6 6 1 8 E - 3
15 : 3 2 : 0 4  24 . 2 9 6 6 3 2 E - 3
    
```

図7 デイスプレイ、プリンタの出力データ形式

図7に出力データの形式を示す。比較測定時刻、位相差(%)、時刻差 ΔT (秒)を表わしており、位相差は1分毎に、時刻差は1秒毎に出力している。

(1), (2)ともディスプレイの出力であるが、(2)で時刻順に3列分横に並べた後、下方に41行印字したのがプリンターの形式で、21文字目までにスペースが挿入され、25番地(文字)目毎に次のデータの先頭文字を印字しており、プログラム通りに印字されていることが確認された。

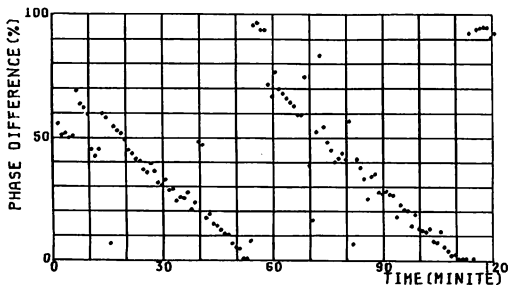


図8 周波数比較データの出力

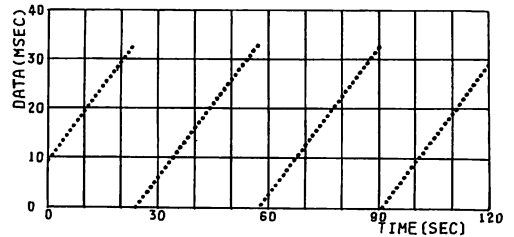


図9 時刻比較データの出力

図8はプロッターによる位相差の1分毎にとった2時間分のデータの出力で、位相比較器のアナログ出力に相似している。図9はプロッターによるタイムインターバルカウンタからの出力を、1秒毎にとった2時間分のデータの出力であり、前述した通り ΔT_i が ± 1 ミリ秒ずつ増加し、34(または33)秒の周期で変化しているのが図示されている。時計の精度は各測定時刻における ΔT_i のばらつきに対応するものであるから、 ΔT_i の上位の桁を切り捨てて、下位の数100ナノ秒程度までを縦軸にとり、別に図示することも意味があると思われる。

図7~図9は、入力信号をとりこみ、それをそのまま出力したゞけの結果を示すものである。現在のところ、精度を検討するための統計量(平均値、標準偏差ほか)の計算は別に行っているが、このマイクロコンピュータのプログラム中に計算式を入れるのは容易であるので試みる予定である。

次にTV地上回線の場合の比較精度の結果について述べる。先づ周波数結果については、昭和57年6月1日から11月17日まで測定したデータにより推定基準値の範囲は、TYPE Iでは受信放送、測定時

表1 各測定時間における標準偏差、アラン分散(周波数比較) σ , アラン分散: 10^{-12}

受信放送	測定時間分	TYPE I		TYPE II		TYPE III	
		N個	σ	N個	σ	N個	アラン分散
NHK総合	10	266	5.206	286	6.535	266	4.981
	20	131	4.510	131	6.072	131	4.596
	30	34	2.538	34	4.503	34	4.023
NHK教育	10	286	7.466	266	8.303	286	7.269
	20	91	5.643	91	7.301	91	6.678
	30	45	4.471	45	6.602	45	5.559

間を一括して $(2.498 \sim 6.037) \times 10^{-11}$, TYPE II では受信放送を一括して $(2.932 \sim 5.572) \times 10^{-11}$ となり 10^{-11} オーダーの周波数偏差率を得た。表1は昭和57年に得た周波数偏差率の標準偏差, アラン分散であり, 10^{-12} オーダーである。測定時間が長くなると精度は向上する。またNHK教育の方がNHK総合より精度が悪いのは海上伝搬の影響と思われる。なお、測定を毎週火, 水曜日の9:00~17:00に, それぞれNHK総合, NHK教育について行なった。

次に時刻結果について述べる。測定を毎週火曜日の9:40:00~9:42:00の間NHK総合, 立上りで, 9:50:00~9:52:00の間NHK総合, 立下りで, 10:25:00~10:27:00の間NHK教育, 立下りで行なった。

表2 ΔT ・標準偏差の平均値(時刻比較)

受信放送	カウンタ特性	ΔT の平均値 msec	σ の平均値 nsec
NHK 総合	立上り	4.9537915 5.0960477	46.33
	立下り	4.9550741 5.0974504	
NHK 教育	立下り	3.7637742 3.9061430	20.21

表2は時刻比較の結果で, 鹿兒島大学と電波研究所のタイムインターバルデータの差 ΔT , その標準偏差 σ のそれぞれの平均値を示す。 ΔT の平均値がミリ秒のオーダーなのはJJYによる時刻同期の精度に関係すると思われる。時刻精度の目安となるのは標準偏差の値で, 表より数十ナノ秒である。別に ΔT のヒストグラムなどから判断しても, ΔT の変化量(ばらつき)は殆んど100ナノ秒内に収まった。受信放送によってはNHK総合よりNHK教育が, カウンタの特性によってはパルスの立上りより立下りの測定が高い精度の結果となっている。

7. あとがき

TV信号を利用した遠隔地間の周波数・時刻の精密比較システムに, 汎用マイクロコンピュータを導入し, インターフェイスの製作とプログラミングを行い,

データを表示, 記録できたことを述べるとともに, 比較原理, 比較システムの動作, 比較データの精度にもふれた。

マイクロコンピュータを利用するにあたっては, I/O装置, インターフェイス素子(8255, ADM12など)と測定装置(位相比较器, カウンター, タイマーなど)の特性を一体化して総合的に考慮した上で, インターフェイス回路(ハード)の設計と装置選択, 三線ハンドシェイク技法および出力装置への表示・記録法(ソフト)を取扱う必要がある。マイクロコンピュータ, インターフェイス素子, 測定器に別の機種, 素子を使う場合でも, この論文の内容を基本的に踏襲できよう。

今回は, 測定器からの入力データをそのままマイコンによって出力しただけであったが, 精度を検討するに必要な各種の統計量, ヒストグラムなどをプログラムにより算出, 図示すれば, 更にデータ処理が迅速化, 省力化されるものと思われる。

今後の主な課題として, 次の事があげられる。

- (1) 月, 年単位の多量のデータをディスクに記憶, 処理し, TV信号を利用した比較精度の経年変化等を検討する。
- (2) 二つの受信局のデータを音響カプラ, コンピュータ, 電話回線を通して相互に処理し, 更にデータ処理の省力化をはかる。
- (3) 精密な時刻同期により, 受信比較システムが予定の測定時間に自動的にオンするような制御方法を検討する。
- (4) 実験用放送衛星(BS)を経由した場合の測定を行い, 長期間に渡ってデータを蓄積することにより, 衛星の場合の周波数・時刻の比較精度の傾向を知ること。

終りに, 本研究に対し御助言を頂いた本学電気工学科永田昭三教授, 協同研究として測定資料を御送り下さり, 御協力, 御助言を頂いた電波研究所標準電波課の小林三郎課長他, 北海道大学電子工学科の伊藤精彦教授, 小川恭孝助教授に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 佐分利 義和: 時間, 周波数の精密遠隔比較, 信学誌, 164, 4, P.365 (1981)
- 2) 佐分利 他: TV信号を利用した時刻と周波数の精密比較, 電波研季報, 18, P.433, (1972)

- 3) P. カルタシヨフ：時と周波数，P. 192，講談社
- 4) 三菱電機半導体データブック編集委員会：三菱半導体データブック マイクロコンピュータ関連 LSI 編，P. 9-63-9-78，(1979)，誠文堂新光社
- 5) Thomas C. Bartee：DIGITAL COMPUTER FUNDAMENTALS, P. 407-410 (1981), McGRAW-HILL
- 6) JOHN B. PEATMAN：MICROCOMPUTER-BASED DESIGN, P. 202-205 (1981), McGRAW-HILL
- 7) 草部 他：電気四学会九州支部連合会 昭和 55 年 10 月
- 8) 草部 他：テレビジョン学会全国大会 昭和 56 年 7 月

<付録>

```

10 ***** FREQUENCY COMPARISON-2 *****
20 CLEAR 2000
30 DIM A(120)
40 DIM A$(120)
50 GOSUB 1000
60 GOSUB 2000
70 GOSUB 3000
80 GOSUB 4000
90 GOSUB 5000
100 PRINT "A'チ- 9 スト ソフイカイシ"
110 IF INKEY$="A" THEN 120 ELSE 110
120 PRINT "ソフイカイシ"
130 OUT &HA5, &H93
140 OUT &HA7, &H9B
150 OUT &HAB, &H93
160 FOR I=1 TO 120
170 A=INP(&HA1) AND &HS
180 IF A=0 THEN 170 ELSE 190
190 A1=INP(&HA1) AND &HS
200 IF A1=0 THEN 210 ELSE 190
210 B=(INP(&HA6) AND &HF0)/16
220 IF B=0 THEN 230 ELSE 170
230 B1=INP(&HA6) AND &HF
240 IF B1=0 THEN 250 ELSE 170
250 B2=((INP(&HA5) AND &HF0)/16)+&H30
260 B3=((INP(&HA5) AND &HF)+&H30
270 B4=((INP(&HA4) AND &HF0)/16)+&H30
280 B5=((INP(&HA4) AND &HF)+&H30
290 OUT &HAA, &H0
300 OUT &HAA, &H10
310 C=INP(&HAA) AND &H1
320 IF C=0 THEN 330 ELSE 310
330 D=INP(&HAS)
340 E=INP(&HA9) AND &HF
350 E1=E*256
360 E2=D+E1
370 E3=100*(E2/4095)
380 A(I)=E3
390 B$=CHR$(B4)+CHR$(B5)+CHR$(&H3A)+CHR$(B2)+CHR$(B3)
400 D$=STR$(E3)
410 C$=B$+CHR$(&H20)+CHR$(&H20)+D$
420 A$(I)=C$
430 PRINT C$
440 X=500+15*I:Y=500+10*E3:GOSUB $800
450 W=3:GOSUB $200
460 W=0:GOSUB $300
470 W=2:GOSUB $400
480 X=500+15*I:Y=500+10*E3:GOSUB $800
490 NEXT I
500 X=500:Y=500:GOSUB $800
510 GOSUB $200
520 PRINT"PRINTER ON Y/N ?"
530 IF INKEY$="Y" THEN 540 ELSE 570
540 FOR M=1 TO 120
550 LPRINT A$(M)
560 NEXT M
570 END

1000 X=500:Y=500:GOSUB $800
1010 U=1:V=150:W=12:GOSUB $1000
1020 X=500:Y=500:GOSUB $800
1030 U=0:V=100:W=10:GOSUB $1000
1040 X=500:Y=500:GOSUB $800
1050 RETURN
2000 FOR I=1 TO 10
2010 X=500:Y=500+100*I:GOSUB $800
2020 X=2500:Y=500+100*I:GOSUB $700
2030 NEXT I
2040 X=500:Y=500:GOSUB $800
2050 FOR J=1 TO 12
2060 X=500+150*J:Y=500:GOSUB $800
2070 X=500+150*J:Y=1500:GOSUB $700
2080 NEXT J
2090 X=500:Y=500:GOSUB $800
2100 RETURN
3000 X=492:Y=450:GOSUB $800
3010 W=4:GOSUB $200
3020 W=0:GOSUB $300
3030 Z$="0":GOSUB $600
3040 FOR I=0 TO 2
3050 X=885+450*I:Y=450:GOSUB $800
3060 W=4:GOSUB $200
3070 W=0:GOSUB $300
3080 A=30+30*I
3090 Z$=STR$(A):GOSUB $600
3100 NEXT I
3110 X=264:Y=450:GOSUB $800
3120 Z$="120":GOSUB $600
3130 X=1850:Y=400:GOSUB $800
3140 W=5:GOSUB $200
3150 W=0:GOSUB $300
3160 Z$="TIME (MINUTE)":GOSUB $600
3170 X=500:Y=500:GOSUB $800
3180 RETURN

4000 W=4:GOSUB $200
4010 W=0:GOSUB $300
4020 X=460:Y=485:GOSUB $800
4030 Z$="0":GOSUB $600
4040 X=425:Y=985:GOSUB $800
4050 Z$="50":GOSUB $600
4060 X=390:Y=1485:GOSUB $800
4070 Z$="100":GOSUB $600
4080 X=360:Y=700:GOSUB $800
4090 W=5:GOSUB $200
4100 W=1:GOSUB $300
4110 Z$="PHASE DIFFERENCE (%)":GOSUB $600
4120 X=500:Y=500:GOSUB $800
4130 RETURN
5000 X=500:Y=1700:GOSUB $800
5010 W=7:GOSUB $200
5020 W=0:GOSUB $300
5030 Z$="*****FREQUENCY COMPARISON*****":GOSUB $600
5040 X=500:Y=500:GOSUB $800
5050 RETURN
8000 LPRINT "L":W:RETURN
8100 LPRINT "B":W:RETURN
8200 LPRINT "S":W:RETURN
8300 LPRINT "Q":W:RETURN
8400 LPRINT "N":W:RETURN
8500 LPRINT "J":W:RETURN
8600 LPRINT "P":Z$:RETURN
8700 LPRINT "D":INT(X):",":INT(Y):RETURN
8800 LPRINT "M":INT(X):",":INT(Y):RETURN
8900 LPRINT "I":INT(X):",":INT(Y):RETURN
9000 LPRINT "R":INT(X):",":INT(Y):RETURN
9100 LPRINT "X":INT(U):",":INT(V):",":INT(W):RETURN
9200 LPRINT "H":RETURN
9300 END
    
```

図10 周波数比較用プログラム

```

10 ***** TIME COMPARISON *****
20 CLEAR 300,&AFF
30 DEFUSR0=&HC200
40 GOSUB 1000
50 PRINT "A'キ-ヲ オスト ソフテイガイシ"
60 IF INKEY$="A" THEN 70 ELSE 60
70 N=0
80 I=1
90 J=0
100 A=USR0(0)
110 B=PEEK(&HC320+J)
120 IF B=13 THEN 160 ELSE 130
130 POKE &HB000+N+J,B
140 J=J+1
150 GOTO 110
160 POKE &HB000+N+J,&H20
170 J=J+1
180 IF J>21 THEN 190 ELSE 160
190 N=N+25
200 I=I+1
210 IF I>123 THEN 220 ELSE 90
220 LPRINT "TIME INTERVAL DATA"
230 LPRINT "DATE:1982- ( ) NHK-( ) UNIT:SEC"
240 LPRINT "WEATHER: TEMP: STOP PULSE:"
250 LPRINT
260 T=1
270 S=1
280 L=0
290 FOR M=0 TO 21
300 C=PEEK(&HB000+L+M)
310 LPRINT CHR$(C);
320 NEXT M
330 IF T=3*MS THEN 370 ELSE 340
340 LPRINT " ";
350 T=T+1
360 IF T>123 THEN 430 ELSE 410
370 LPRINT " "
380 T=T+1
390 S=S+1
400 IF T>123 THEN 430 ELSE 410
410 L=L+25
420 GOTO 290
430 PRINT "HI PLOT ON (Y/N) ?"
440 IF INKEY$="Y" THEN 450 ELSE IF INKEY$="N" THEN 660
450 GOSUB 2000
460 GOSUB 3000
470 GOSUB 4000
480 GOSUB 5000
490 GOSUB 6000
500 S=0
510 FOR P=0 TO 120
520 C$=CHR$(&H20)
530 FOR T=0 TO 11
540 C=PEEK(&HB000+A+S+T)
550 C$=C$+CHR$(C)
560 NEXT T
570 D=VAL(C$)
580 E=2*(10^4)*D
590 X=500+15*P;Y=500+E;GOSUB 8800
600 W=3;GOSUB 8200
610 W=2;GOSUB 8400
620 S=S+25
630 NEXT P
640 X=500;Y=500;GOSUB 8800
650 GOSUB 9200
660 OUT &HAS,&H9B
670 END
1000 FOR P=0 TO &HAS
1010 READ M$:POKE &HC200+P,VAL("&H"+M$)
1020 NEXT P
1030 DATA 3E,93,D3,A3,3E,9B,D3,A7,DB,A1
1040 DATA E6,08,CA,08,C2,DB,A1,E6,08,C2
1050 DATA 0F,C2,21,29,C3,06,0A,3E,00,D3
1060 DATA A2,3E,30,D3,A2,DB,A2,E6,08,C2
1070 DATA 23,C2,3E,00,D3,A2,DB,A0,2F,77
1080 DATA 3E,20,D3,A2,DB,A2,E6,08,CA,36
1090 DATA C2,3E,00,D3,A2,7E,23,90,C2,1F
1100 DATA C2,DB,A6,32,10,C3,06,0F,A0,C6
1110 DATA 30,32,27,C3,3A,10,C3,0E,F0,A1
1120 DATA C0,00,C3,32,26,C3,DB,A5,32,11
1130 DATA C3,A0,C6,30,32,24,C3,3A,11,C3
1140 DATA A1,CD,00,C3,32,23,C3,DB,A4,32
1150 DATA 12,C3,A0,C6,30,32,21,C3,3A,12
1160 DATA C3,A1,CD,00,C3,32,20,C3,3E,3A
1170 DATA 32,22,C3,32,25,C3,3E,20,32,28
1180 DATA C3,21,20,C3,06,0A,7E,CD,A6,40
1190 DATA 23,90,C2,9C,C2,C9
1200 FOR Q=0 TO 6
1210 READ N$:POKE &HC300+Q,VAL("&H"+N$)
1220 NEXT Q
1230 DATA 0F,0F,0F,C6,30,C9
1240 RETURN
2000 X=500;Y=500;GOSUB 8800
2010 U=1;V=150;W=12;GOSUB 9100
2020 X=500;Y=500;GOSUB 8800
2030 U=0;V=200;W=4;GOSUB 9100
2040 X=300;Y=500;GOSUB 8800
2050 RETURN
3000 X=492;Y=450;GOSUB 8800
3010 W=4;GOSUB 8200
3020 W=0;GOSUB 8300
3030 Z$="0";GOSUB 8600
3040 FOR I=0 TO 2
3050 X=885+450*I;Y=450;GOSUB 8800
3060 W=4;GOSUB 8200
3070 W=0;GOSUB 8300
3080 A=30+30*I
3090 Z$=STR$(A);GOSUB 8600
3100 NEXT I
3110 X=2264;Y=450;GOSUB 8800
3120 Z$="120";GOSUB 8600
3130 X=1850;Y=400;GOSUB 8800
3140 W=5;GOSUB 8200
3150 W=0;GOSUB 8300
3160 Z$="TIME (SEC)";GOSUB 8600
3170 X=500;Y=500;GOSUB 8800
3180 RETURN
4000 FOR J=0 TO 4
4010 X=385;Y=483+200*J;GOSUB 8800
4020 W=4;GOSUB 8200
4030 W=0;GOSUB 8300
4040 B=10*J
4050 Z$=STR$(B);GOSUB 8600
4060 NEXT J
4070 X=400;Y=900;GOSUB 8800
4080 W=5;GOSUB 8200
4090 W=1;GOSUB 8300
4100 Z$="DATA (MSEC)";GOSUB 8600
4110 X=500;Y=500;GOSUB 8800
4120 RETURN
5000 FOR P=1 TO 4
5010 X=500;Y=500+200*P;GOSUB 8800
5020 X=2300;Y=500+200*P;GOSUB 8700
5030 NEXT P
5040 X=500;Y=500;GOSUB 8800
5050 FOR Q=1 TO 12
5060 X=500+150*Q;Y=500;GOSUB 8800
5070 X=500+150*Q;Y=1300;GOSUB 8700
5080 NEXT Q
5090 X=500;Y=500;GOSUB 8800
5100 RETURN
6000 X=500;Y=1500;GOSUB 8800
6010 W=7;GOSUB 8200
6020 W=0;GOSUB 8300
6030 Z$="***** TIME COMPARISON *****";GOSUB 8600
6040 X=500;Y=500;GOSUB 8800
6050 RETURN
8000 LPRINT "L";W:RETURN
8100 LPRINT "B";W:RETURN
8200 LPRINT "S";W:RETURN
8300 LPRINT "Q";W:RETURN
8400 LPRINT "N";W:RETURN
8500 LPRINT "J";W:RETURN
8600 LPRINT "P";Z$:RETURN
8700 LPRINT "D";INT(X);";";INT(Y):RETURN
8800 LPRINT "M";INT(X);";";INT(Y):RETURN
8900 LPRINT "I";INT(X);";";INT(Y):RETURN
9000 LPRINT "R";INT(X);";";INT(Y):RETURN
9100 LPRINT "X";INT(U);";";INT(V);";";INT(W):RETURN
9200 LPRINT "H";RETURN
9300 END

```

図11-1 時刻比較用プログラム

D000:3E93	LD	A, 93H	>	D059:A1	AND	C	.
D002:D3A5	OUT	(0A3H), A	ε	D05A:CD00D1	CALL	0D100H	γ Δ
D004:3E9B	LD	A, 9BH	>	D05D:3226D1	LD	(0D126H), A	2&4
D006:D3A7	OUT	(0A7H), A	ε	D060:DBA5	IN	A, (0A5H)	□
D008:DBA1	IN	A, (0A1H)	□	D062:3211D1	LD	(0D111H), A	2 Δ
D00A:E608	AND	SH		D065:A0	AND	B	
D00C:CA08D0	JP	Z, 0D008H	ハ ㊦	D066:C630	ADD	A, 30H	二 0
D00F:DBA1	IN	A, (0A1H)	□	D068:3224D1	LD	(0D124H), A	2&4
D011:E608	AND	SH		D06B:3A11D1	LD	A, (0D111H)	! Δ
D013:C20FD0	JP	NZ, 0D00FH	ツ ㊦	D06E:A1	AND	C	.
D016:2129D1	LD	HL, 0D129H	! Δ	D06F:CD00D1	CALL	0D100H	γ Δ
D019:060A	LD	B, 0AH		D072:3223D1	LD	(0D123H), A	2&4
D01B:3E00	LD	A, 0H	>	D075:DBA4	IN	A, (0A4H)	□
D01D:D3A2	OUT	(0A2H), A	ε	D077:3212D1	LD	(0D112H), A	2 Δ
D01F:3E30	LD	A, 30H	>	D07A:A0	AND	B	
D021:D3A2	OUT	(0A2H), A	ε	D07B:C630	ADD	A, 30H	二 0
D023:DBA2	IN	A, (0A2H)	□	D07D:3221D1	LD	(0D121H), A	2! Δ
D025:E608	AND	SH		D080:3A12D1	LD	A, (0D112H)	! Δ
D027:C223D0	JP	NZ, 0D023H	ツ ㊦	D083:A1	AND	C	.
D02A:3E00	LD	A, 0H	>	D084:CD00D1	CALL	0D100H	γ Δ
D02C:D3A2	OUT	(0A2H), A	ε	D087:3220D1	LD	(0D120H), A	2 Δ
D02E:DBA0	IN	A, (0A0H)	□	D08A:3E3A	LD	A, 3AH	>:
D030:2F	CPL		/	D08C:3222D1	LD	(0D122H), A	2&4
D031:77	LD	(HL), A		D08F:3225D1	LD	(0D125H), A	2&4
D032:3E20	LD	A, 20H	>	D092:3E20	LD	A, 20H	>
D034:D3A2	OUT	(0A2H), A	ε	D094:3228D1	LD	(0D128H), A	2! Δ
D036:DBA2	IN	A, (0A2H)	□	D097:2120D1	LD	HL, 0D120H	! Δ
D038:E608	AND	SH		D09A:060A	LD	B, 0AH	
D03A:CA36D0	JP	Z, 0D036H	ハ ㊦	D09C:7E	LD	A, (HL)	
D03D:3E00	LD	A, 0H	>	D09D:CDA640	CALL	40A6H	γ 90
D03F:D3A2	OUT	(0A2H), A	ε	D0A0:23	INC	HL	#
D041:7E	LD	A, (HL)	>	D0A1:90	SUB	B	
D042:23	INC	HL	#	D0A2:C29CD0	JP	NZ, 0D09CH	ツ ㊦
D043:90	SUB	B		D0A5:C9	RET		/
D044:C21FD0	JP	NZ, 0D01FH	ツ ㊦				
D047:DBA6	IN	A, (0A6H)	□	D100:0F	RRCA		
D049:3210D1	LD	(0D110H), A	2 Δ	D101:0F	RRCA		
D04C:060F	LD	B, 0FH		D102:0F	RRCA		
D04E:A0	AND	B		D103:0F	RRCA		
D04F:C630	ADD	A, 30H	二 0	D104:C630	ADD	A, 30H	二 0
D051:3227D1	LD	(0D127H), A	2&4	D106:C9	RET		/
D054:3A10D1	LD	A, (0D110H)	! Δ				
D057:0EF0	LD	C, 0F0H					

図11-2 時刻比較用画面表示プログラム

