

音響透過損失測定へのマイクロコンピュータの利用

黒木 莊一郎

(受理 昭和60年5月31日)

APPLICATIONS OF A MICRO COMPUTER TO THE MEASUREMENT OF SOUND TRANSMISSION LOSS

Souichirou KUROKI

Both the theoretical analysis and measurement for sound transmission loss of walls are required for accumulating fundamental data for noise control design of a building. In Japan the method for laboratory measurement and data arrangement of sound transmission loss is standardized by the Japan Industrial Standard (JIS A1416). However, analogous equipment used in this method not only requires a lot of time but also causes fairly high probability of reading errors by individual person. From this point of view, it is thought that digital data treatment method is required for sound transmission evaluation.

In this paper, the assembling of sound signal processing hardware and interfacing to a micro computer is described. The high performance LSI used in the circuit simplifies the hardware and programming for a micro computer. The transmission losses obtained by the proposed method were found to agree well with those by the JIS method.

1. はじめに

壁体の音響透過損失は建築物の騒音防止計画の基礎資料として重要である。壁体の材料及び寸法等から音響透過損失を推定する試みが行われている¹⁾。しかし大体の傾向は推定できても実測値との差は大きく今後の研究が必要とされている。現状では音響透過損失を実際に測定しそのデータを設計に用いざるを得ない。

音響透過損失測定法は日本工業規格によって規格化されている。アナログ方式による測定のため、時間と手間を要する作業である。また記録紙からデータを読み取る作業は疲れや個人のくせ等の誤差がはいり込む要因をもっている。以上のことから測定時間の短縮化、データ読み取りの自動化による精度の向上が望まれるところである。

最近のマイクロコンピュータの普及により、アナログ信号処理も容易に行うことができるようになってきている。今回音響信号処理のハードウェア及びインターフェースの製作を行い、音響透過損失測定へのマ

イクロコンピュータの応用を試みた。製作にあたっては安価で高機能な IC を利用し、回路の簡略化に努め、できるだけマイクロコンピュータの負担を軽くしようとした。その結果プログラムは BASIC 言語のみで記述でき、測定も良好な結果が得られたので報告する。

2. 音響透過損失測定法⁶⁾

音響透過損失測定法は日本工業規格において JIS A 1416「実験室における音響透過損失測定方法」として規格化されている。いわゆる残響室-残響室法と呼ばれるものであり、拡散音場を音場条件とするアナログ方式の測定法である。測定装置の構成を図-1に示す。残響室の開口部に試料壁体を取り付け、一方の残響室を音源室として帯域雑音で励振し、片方の残響室を受音室とする。測定項目は両室の平均音圧レベルの測定及び受音室の吸音力の測定である。

各室の平均音圧レベルは各室 3~5 点以上の位置にマイクロホンを設置し、各点の音圧レベルにより(1)式によって算出する。

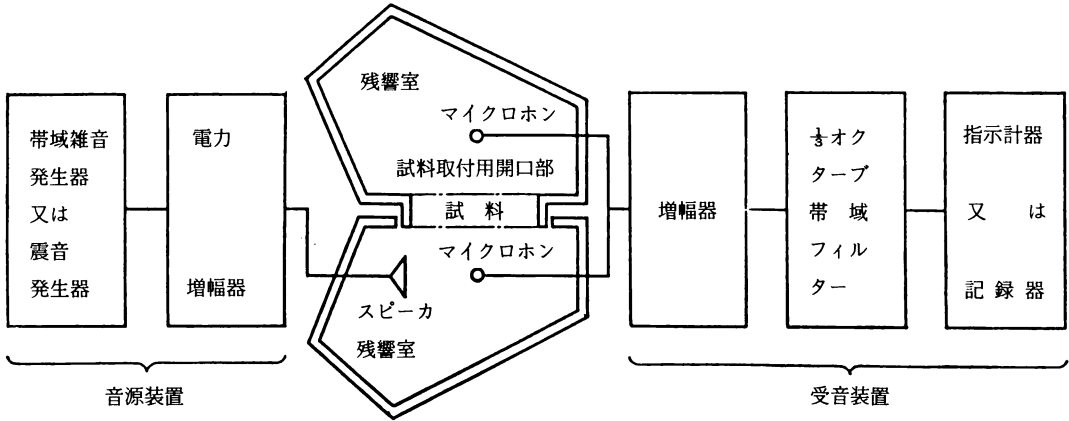


図-1 測定装置の構成

$$L = 10 \log_{10} \frac{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}{nP_0^2} \quad \dots(1)$$

L: 平均音圧レベル (dB)

P_1, P_2, \dots, P_n : 室内の n 個のマイクロホンの位置におけるそれぞれの音圧の実効値で、音圧レベルの測定値が L_i dB のとき

$$P_i = P_0 \cdot 10^{\frac{L_i}{20}}$$

P_0 : 基準音圧 (0.0002 μ bar)

アナログ方式測定では騒音計のメータを直読する方法と高速度レベルレコーダで記録し、後から読取の方法があり、音圧レベルの空間時間平均値を得る。

受音用残響室の吸音力は、測定された残響時間の平均値から(2)式によって算出する。

$$A = \frac{55.3}{c} \cdot V \cdot \frac{1}{T} \quad \dots(2)$$

A: 受音用残響室吸音力 (m^2)

T: 受音用残響室残響時間 (sec)

V: 受音用残響室容積 (m^3)

c: 空気中の音速 (m/sec)

$$c = 331.5 + 0.61t$$

t: 空気温度 ($^{\circ}C$)

ここで残響時間 T は音源から帯域雑音を発生し定常状態に達した後、音源を停止させ音圧が 60dB 低下するまでの時間である。アナログ方式の測定では高速度レベルレコーダに減衰過程を記録し、プロトラクター等の残響時間読取器具を用いて手作業で読取っている。

上記のようにして得られた結果より試料壁体の音響透過損失は(3)式によって算出できる。

$$TL = D + 10 \log_{10} \left(\frac{S}{A} \right) \quad \dots(3)$$

$$D = L_1 - L_2$$

TL: 音響透過損失 (dB)

D: 室間音圧レベル差 (dB)

S: 試料面積 (音響透過部分の面積) (m^2)

A: 受音用残響室吸音力 (m^2)

L_1 : 音源用残響室平均音圧レベル (dB)

L_2 : 受音用残響室平均音圧レベル (dB)

なお測定周波数は 1/3 オクターブバンド中心周波数で 100~10KHz の 21 帯域について行っている。

上述のようにアナログ方式によって得られた非常に多くの記録紙データから手作業によって音圧レベル及び残響時間の読み取りを行わねばならない。所要時間は測定に半日、読み取りに 1 日以上を要している。また読み取りの際には個人のくせ等の誤差もはいる可能性が十分存在し、得られる音響透過損失の信頼性を低下させる要因となっている。

3. A/D 変換器について

前章で述べた読み取り作業をマイクロコンピュータを利用し自動化することを試みた。これによって全体の測定処理時間を短縮し、データの信頼性を向上させるのが目的である。マイクロコンピュータによるアナログ信号処理は書籍等の情報も多く^{2)~5)}、部品も安価で手に入れることが可能となり個人レベルでの製作が容易になって来ている。

3.1 ハードウェア

今回使用した A/D コンバータは 8 ビットの分解能で 8 チャンネルの入力信号に対し最高 100 μ sec で変換することが可能な ADC0809 である⁵⁾。ハードウェア

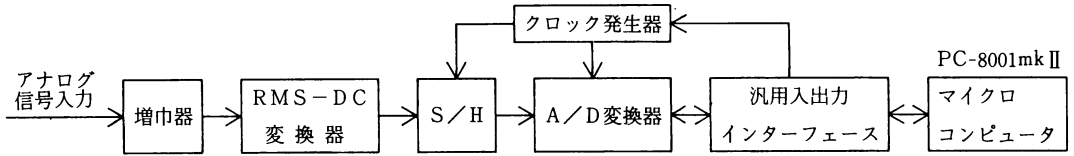


図-2 ハードウェアの構成

アの構成を図-2に示す。騒音計からは1/3オクターブ分析器によりろ波された交流信号が最大2.5V（フルスケール時）で出力されており、これをハードウェア部の入力としている。A/Dコンバータの許容入力電圧は直流5Vであるので8ビットの分解能を有効に利用するため増巾器によってアナログ信号を増巾する必要がある。また(I)式のように音圧は実効値として取り扱わねばならない。音圧の瞬時値をソフトウェアによって処理することも可能であるが、マイクロコンピュータの負担がその分増え、処理時間がかかってしまう。これに対する便利なICとしてアナログデバイスのAD536がある⁴⁾。このICの機能は交流信号を実効値処理し直流電圧として出力するもので、A/Dコンバータに良く整合する。図-3に増巾器とRMS-DC変換器の回路図を示す。増巾器にはOP

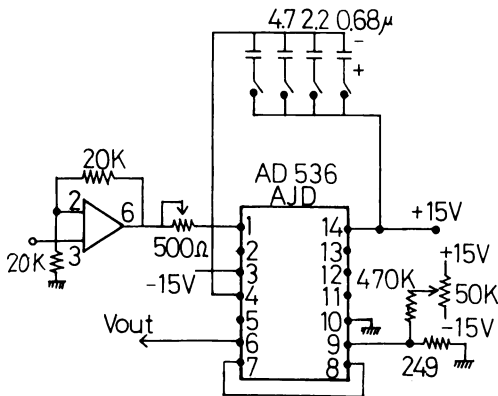


図-3 RMS-DC変換器

アンプLF356を正相増巾器として使用し、倍率は2倍としている。AD536は±15Vの電源を必要とし、9番ピンのオフセット調整に注意すれば比較的簡単に回路を組むことができる。実効値を得るときの時定数は外付けのコンデンサによって決まる。騒音計の時定数はFAST特性が0.2秒、SLOW特性が0.5秒で

あるので、AD536の規格資料⁴⁾よりそれぞれ2.2μFと4.7μFの容量のコンデンサをDIPスイッチにより切り替えている。

実効値を表わす直流電圧はサンプル&ホールド回路を経てA/D変換器に入力される。図-4に回路図を示す。サンプル&ホールドICとしてLF398Nを

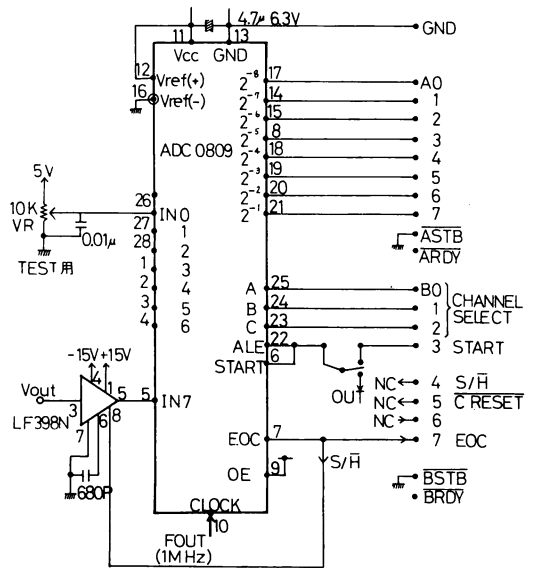


図-4 8ビットA/D変換 (S/H付)

使用し、回路の簡略化を計っている。サンプル&ホールドのタイミングはA/D変換器の変換終了(EOC)信号からとっている。A/D変換器の変換速度を決めるCLOCK信号には図-5に示すプログラム標準パルス発生器8640Bを使用している。このICの特徴はプログラマブルに7種類の出力周波数が選択できる。A/D変換器を最高の変換速度(100μsec)で動作させるためには10番ピンに1MHzのクロックを必要とし、8640Bの11番ピンからそのクロックが得られる。次にA/D変換開始の信号を6番ピン

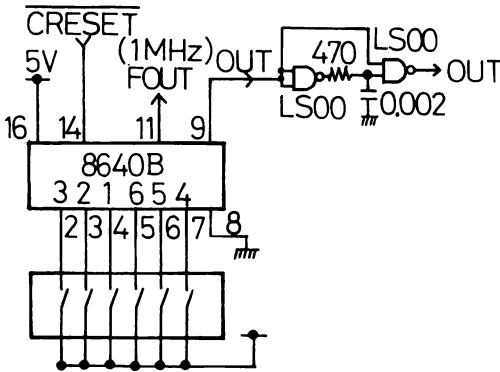


図-5 プログラム標準パルス発生器

(START)に入力しなければならない。スタート信号は図-4に示すように汎用入出力インターフェースのBポートの3ビットよりソフトウェアによって与えることもできるが、マイクロコンピュータの負担を軽減するため今回は8640Bの9番ピンから得られるプログラマブルなクロック信号を用いている。ソフトウェアとの切り換えはトグルスイッチで行っている。8640Bからのクロック周波数は2~7番ピンにDIPスイッチを取り付け適当な周波数を選択できるようにした。今回は、20Hzをサンプリング周波数としている。

A/D変換器とのデータ入出力は図-6に示す汎用入出力インターフェースを用いている。Z80A-PIOの強力な割り込み機能は今回使用していないが、2

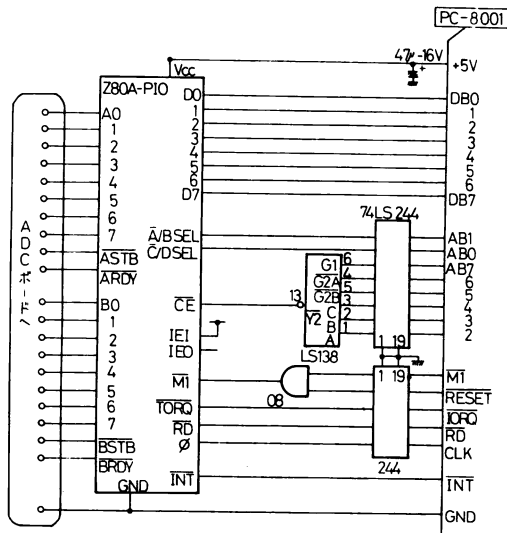


図-6 PC-8001用汎用入出力インターフェース

ポート16ビットのデータの入出力が可能である。各ポートの割り付けを図-7に示す。AポートはA/D変換結果の8ビットバイナリーのデータ取り込み用である。Bポートの0~2ビットはアナログ信号の入力チャンネルを選択できるが、今回は7チャンネルのみを使っている。0チャンネルは動作チェック用のテスト電圧が接続されているので、機器のチェックに使用できる。3ビットはソフトウェアによるA/D変換開始信号を送信できるが今回は未使用である。4~6ビットも同様である。7ビットにはA/D変換器からの変換終了信号(EOC)が入力されている。EOCが1のときAポートにA/D変換結果が入力されているのでマイコンにそのデータを取り込む。図-8にタイミングチャート(略図)を示す。

Aポート		アドレス &H88						
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
内容	2 ⁻¹	2 ⁻²	2 ⁻³	2 ⁻⁴	2 ⁻⁵	2 ⁻⁶	2 ⁻⁷	2 ⁻⁸

Bポート		アドレス &H8A 0はGND						
ビット	7	6	5	4	3	2	1	0
内容	EOC	0	CRESET	S/H	START	CHANNEL SELECT		

図-7 I/Oポートのステータス

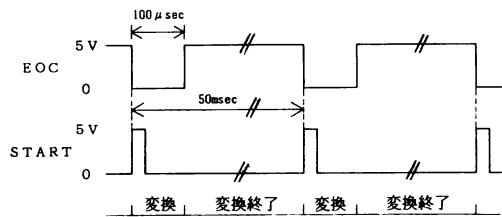


図-8 タイミングチャート

3.2 ソフトウェア

マイクロコンピュータの負担を軽減すべくハードウェアの製作を行ったので、結局ソフトウェアはBASIC言語のみの記述が可能になった。使用言語はPC-8001mk II(NEC)のN80-BASICである。A/D変換結果のデータ取り込みのフローチャートを図-9に示す。A/D変換のスタートはパルス発生器により

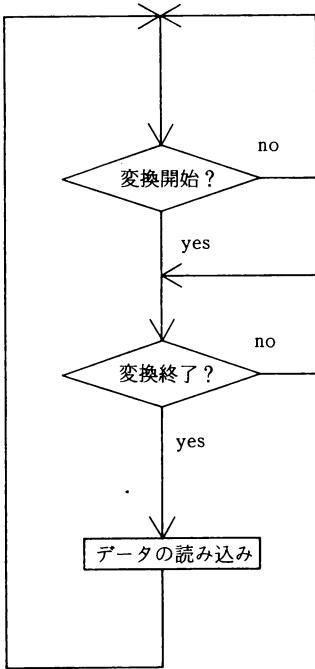


図-9 データ取り込みのフローチャート

正確に行われるため、ソフトウェアは変換終了 (EOC) 信号を監視するのみで済む。変換開始 (EOC の立下り) は WAIT コマンドでセンスし、変換終了 (EOC の立上り) も同様に WAIT コマンドを使用している。BASIC 言語の 1 つのコマンドは msec オーダで実行されるので、画面表示のための DMA を停止させたり、マルチステートメント、不要な空白桁を取り除くことによって処理速度を上げる工夫を行った。その結果 20Hz のデータサンプリングが可能となった。3. 1 で述べたように実効値による音圧レベルの読み取り速度としては満足できる値と言える。全プログラムリストを付録に付けている。データサンプリングは 310 行、490 行、660 行、1160 行で行っている。90 行までは初期設定、100~250 行では、メニュー画面を表示し、指定された処理プログラムを実行する。260~410 行は校正処理、420~590 行は減衰器のレベルチェックを行う。600~1090 行で音圧レベルの計測とデータ処理、1100~3670 行で減衰過程の計測、残響時間の計算及びグラフィック処理を行っている。

4. 測定及び考察

測定の手順を図-10に示す。まず騒音計の校正信号により A/D 変換器からの出力データを校正する。同時に電圧値を dB 値に変換するためのテーブルをソフトウェアで作成する。次に音源より任意の帯域雑音を発生させ騒音計の減衰器を調整する。減衰器のレベルをマイクロコンピュータに入力し、オーパフローのチェックを行う。

4. 1 音圧レベルの測定

音圧レベルの測定はオーパフローのチェックのための画面表示を行わせているため、サンプリング周波数は 10Hz (ソフトウェア上) としている。平均のための測定時間は長くするほどより真値に近づくが、予備実験より 15~20 秒で $\pm 0.5\text{dB}$ 以内に納まること

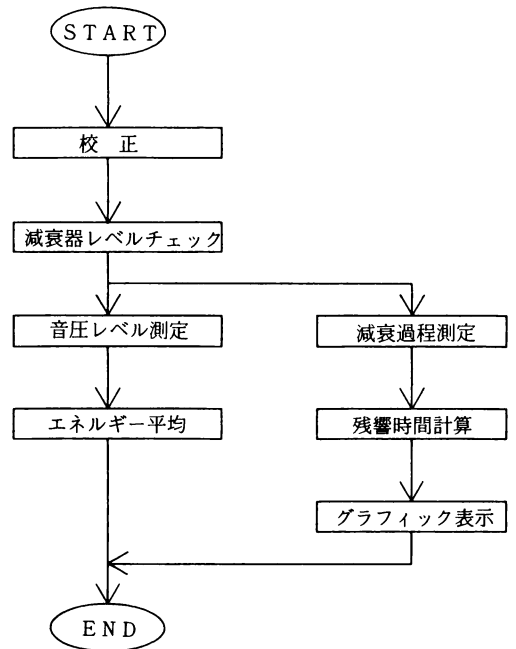


図-10 測定のフロー

確認できたので全ての測定周波数について 20 秒間 (200 個のデータ取り込み) を測定時間とし、エネルギー平均を計算している。

4.2 残響時間の測定

残響時間は定常状態から60dB減衰する時間として定義される。アナログ方式の測定器のSN比はせいぜい50dB程度である。

従って残響時間の読み取りは、減衰過程において、定常レベルより5dB下から少なくとも25dBの範囲が全体として一様に減衰していることを確かめ、その部分に直線をあてはめて行う。一様に減衰していない

場合は測定回数から除く。8ビットのA/D変換器のダイナミックレンジも50dB程度であるが、dB変換した場合は40dB程度が有効となる。サンプリング周波数は20Hzとし、0.05秒の分解能で減衰過程のデータを取り込んでいる。残響時間の算出にあたっては、30dB減衰する時間を計測し、その値を2倍すれば残響時間となる。しかしこの方法ではサンプリング間隔が粗いことや、その時間内の減衰過程の直線性のチェックが困難なため、アナログ方式による結果との

表-1 残響時間算出のためのきり出し間隔による計測値の比較

きり出し間隔		30dB				27.5dB				25dB			
中心 周波数 Hz	アナログ 実測 sec	残響時間		相関係数	*	残響時間		相関係数	*	残響時間		相関係数	*
		T x sec	T y sec			T x sec	T y sec			T x sec	T y sec		
1 2 5	5.4	5.33	5.22	-0.98899	*	5.60	5.47	-0.98849	*	5.49	5.36	-0.98764	*
		5.39	5.27	-0.98870									
2 5 0	2.7	2.73	2.67	-0.98946	*	2.82	2.75	-0.98642	*	3.05	2.95	-0.98381	*
		2.91	2.84	-0.98779									
5 0 0	2.75	2.71	2.68	-0.99486	*	2.73	2.70	-0.99369	*	2.72	2.68	-0.99304	*
		2.82	2.78	-0.99308									
5 0 0	2.67	2.60	2.56	-0.99224	*	3.05	3.00	-0.99183	*	2.72	2.67	-0.99108	*
		2.91	2.87	-0.99200									
2.8	3.11	3.05	2.96	-0.99199	*	2.79	2.73	-0.98895	*	2.82	2.76	-0.98782	*
		2.95	2.89	-0.99049									
1 K	2.75	2.79	2.76	-0.99534	*	2.77	2.74	-0.99500	*	2.80	2.76	-0.99321	*
		2.79	2.76	-0.99480									
2.75	2.76	2.74	2.74	-0.99683	*	2.83	2.82	-0.99709	*	2.85	2.83	-0.99685	*
		2.90	2.88	-0.99683									
2.47	2.56	2.55	2.55	-0.99830	*	2.61	2.60	-0.99820	*	2.65	2.64	-0.99810	*
		2.57	2.56	-0.99823									
2.47	2.52	2.50	2.50	-0.99750	*	2.51	2.50	-0.99724	*	2.48	2.46	-0.99689	*
		2.58	2.56	-0.99725									
2.0	2.04	2.03	2.03	-0.99894	*	2.06	2.05	-0.99874	*	2.08	2.08	-0.99905	*
		2.14	2.14	-0.99849									
1.97	1.98	1.98	1.98	-0.99915	*	1.95	1.95	-0.99927	*	1.94	1.94	-0.99919	*
		1.98	1.98	-0.99915									
1.52	1.50	1.49	1.49	-0.99592	*	1.43	1.42	-0.99786	*	1.42	1.41	-0.99758	*
		1.49	1.49	-0.99592									
1.55	1.41	1.40	1.40	-0.99920	*	1.38	1.38	-0.99921	*	1.38	1.38	-0.99900	*
		1.41	1.40	-0.99920									

*印は相関係数絶対値の最大を示す。

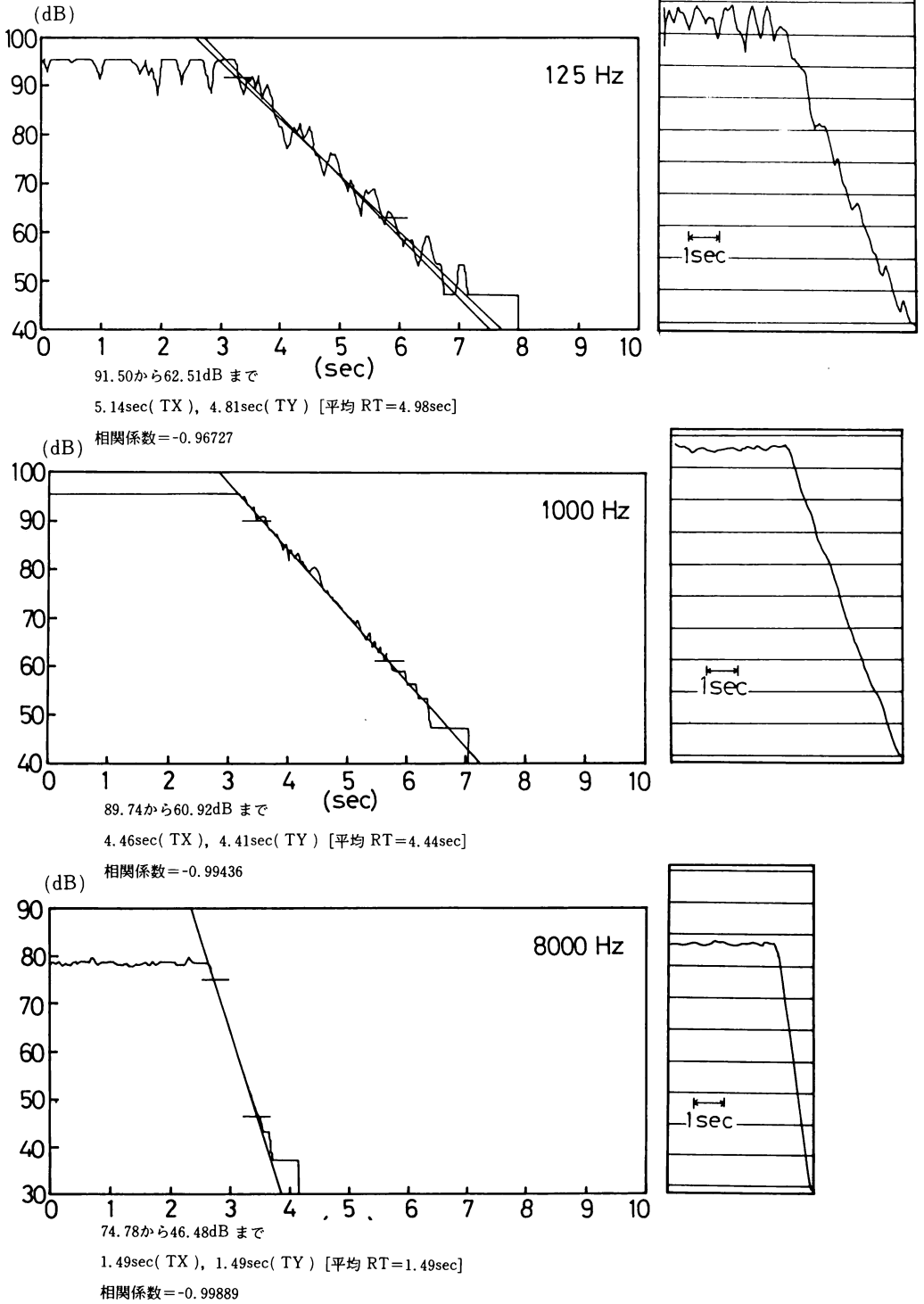


図-11 測定例 (左側：デジタル, 右側：アナログ記録)

対応は良くなかった。

そこで減衰過程から最小自乗法による回帰直線を求め、その傾きから残響時間を算出する方法を試みた。回帰直線は(4)式として表わせる。

$$L(t) = L_0 - (60/T)t \quad \dots\dots(4)$$

$L(t)$: 時刻 t における音圧レベル (dB)

T : 残響時間 (sec)

L_0 : 定数

最小自乗法の定義により残響時間は時間 (T_x) 及び音圧レベル (T_y) の偏差を最少にする 2 つの値として得ることができる。今回はその平均値を残響時間とした。

図-11にデジタル及びアナログ方式の測定例を代表的周波数について示す。時間軸のスケールが異なっているが、デジタル測定はアナログ測定によく一致していると言える。

表-1は残響時間算出のための減衰過程からのデータの切り出し間隔(最小自乗法を適用する区間)について比較している。切り出し間隔は 30dB, 27.5dB, 25dB の 3 種類としている。減衰過程からデータを切り出す区間は同一切り出し間隔について複数区間可能である。それぞれについて残響時間と相関係数を算出している。27.5dB と 25dB については相関係数の絶対値が最大となったもののみ表に載せている。*印は各中心周波数において相関係数の絶対値が最大となったものを示している。表より一般的に切り出し間隔を大きくとった方が相関係数は上昇すると言えるが、高周波になると SN が小さくなることもあって断定することはできない。しかし相関係数の絶対値は全周波数にわたって 0.99 程度が得られている。従って切り出し間隔は 30dB とし、相関係数の絶対値が最大値になるような値(減衰過程の直線性が良好)を残響時間と決定している。図-11にはその回帰直線もプロットしており、満足すべき結果が得られている。

4. 3 音響透過損失について

1.5mm 厚鉄板についてアナログ方式とデジタル方式の音響透過損失の測定を行った。図-12に測定結果の比較を示す。最大 2dB 程度の差は認められるが、全般的に両者は比較的良く一致している。

5. おわりに

音響透過損失測定にマイクロコンピュータを利用し、測定時間の短縮と自動化によるデータの信頼性、精度の向上をはかった。これによって測定時間はデータ整

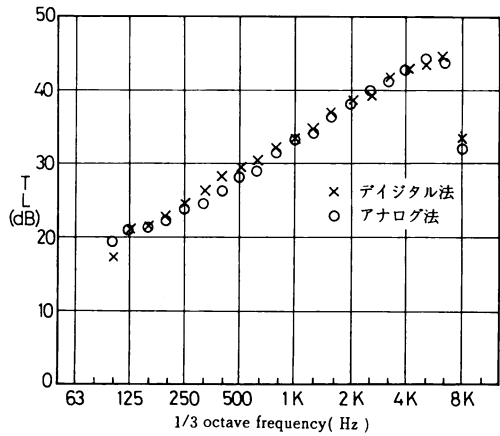


図-12 T Lの比較

理の時間も含めて、アナログ方式の半分以上に短縮できた。音響透過損失の測定はアナログ方式でのみ規格化されており、デジタル測定もアナログ方式をできるだけシミュレートする方向で行った。両者の方法による測定結果は良く一致していることを確認した。

ハードウェアの製作にあたっては、機能豊富な LSI を使用し、回路の簡略化に努めた。これによってソフトウェアの負担を軽減することができ、プログラムは全て BASIC 言語で記述できた。

おわりに鹿児島大学工学部共通講座小原幸氏にはハードウェア設計において貴重な助言及び資料をいただいた。末尾ながら記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 黒木: 多孔質吸音材を充填した二重壁の音響透過損失について 鹿児島大学工学部研究報告第25号 昭和58年11月
- 2) 志水英二他: マイコンインターフェイスの作り方、使い方 日刊工業新聞社 1982年
- 3) 鈴木他: 周辺装置の製作 アスキー出版 1981年
- 4) アナログ・デバイズ・データブック
- 5) 特集 A-D/D-A のインターフェース技術 トランジスタ技術 1984年2月 P267~
- 6) 日本工業規格 JIS A1416「実験室における音響透過損失測定法」


```

520 LOCATE 0,0:PRINT USING "####.###";MD;:IF MD>108 THEN MD=108 ELSE IF MD<30 TH
EN MD=30
530 LOCATE 0,1:PRINT STRING$( (MD-29.5), "■")+ "■"+STRING$(79-(MD-29.5), " ");
540 KY$=INKEY$:IF KY$="" THEN 490
550 IF KY$="1" THEN PRINT CHR$(12):GOTO 430
560 IF KY$="m" THEN 120
570 IF KY$="s" THEN SN%=300:GOTO 600
580 IF KY$="r" THEN 1100
590 GOTO 490
600 '***** SPL MEASUREMENT
610 OUT P2%, &H7:PRINT CHR$(12)
620 LOCATE 10,0:PRINT "          アッテネータ レベル (NOW ";:COLOR 6:PRINT USING"###";AT;
:COLOR 0:PRINT " dB)";:DIM DP%(255):PX%=0:PN%=500:TM=SN%/10
630 PRINT "START -> sampling time (";SN%/10;")sec) ok -> RETURN no -> スウシ ";:I
NPUT TM:IF TM=0 THEN 630 ELSE SN%=TM*10:GOTO 650
640 IF INKEY$="" THEN 640
650 CMD CLS:'OUT &H68,0:'***** 20Hz(hard)/10Hz(soft)-sampling
660 FORI%=1TOSN%:WAITP2%, &H80, &H80:WAITP2%, &H80:DV%=INP(P1%):DM(1%)=AT+DT(DV%):C
OLOR-(DV%=255)*4:PRINTUSING"####.###";DM(1%);:'IFDV%THENNEXTELSE715
670 IF DV%>=PX% THEN PX%=DV%
680 IF DV%<=PN% THEN PN%=DV%
690 DP%(DV%)=DP%(DV%)+1
700 NEXT
710 WIDTH 80,25:COLOR 0
720 '***** DATA PROCESSING
725 OUT &H68,0
730 ES#=0
740 FOR I%=PN% TO PX%
750   ES#=ES#+10^((AT+DT(1%))/10)*DP%(1%)
760 NEXT
770 EE=10*LOG(ES#/SN%)/L1
780 PRINT:PRINT USING"####秒サン / エネルギ-ヘイシ =####.## dB (max=####.## dB <> min=####.##
dB (d=####.## dB)";:SN%/10;EE;AT+DT(PX%);AT+DT(PN%);DT(PX%)-DT(PN%)
785 WIDTH 80,25:GOTO 1035
790 ES=0:LS=0:LZ=0:LX=0:LN=1000:'FOR I=0 TO 500:NEXT:
800 'OUT &H68,0
810 LPRINT STRING$(50, "=");TIME$;"=";DATE$
820 PRINT:PRINT "          s-コスウ", "エネルギ-ヘイシ", "dB-ヘイシ", "dB(1.0sec)-ヘイシ"
830 LPRINT:LPRINT "          s-コスウ", "エネルギ-ヘイシ", "dB-ヘイシ", "dB(1.0sec)-ヘイシ"
840 FOR I=1 TO SN%
850   IF DM(I)>LX THEN LX=DM(I)
860   IF DM(I)<LN THEN LN=DM(I)
870   ES=ES+10^(DM(I)/10)/SN%
880   LS=LS+DM(I)/SN%
890   IF (I MOD 10)=0 THEN II=I¥10:GOTO 900 ELSE 940
900   LZ=LZ+DM(I)/(SN%/10):PRINT USING"          ### = ";I,
910   PRINT USING"###.##dB          ";10*LOG(ES*SN%/I)/L1, LS*SN%/I, LZ*(SN%/10)/II
920   LPRINT USING"          ### = ";I,
930   LPRINT USING"###.##dB          ";10*LOG(ES*SN%/I)/L1, LS*SN%/I, LZ*(SN%/10)/II
940 NEXT
950 EM=10*LOG(ES)/L1
960 'WIDTH 80,25:PRINT
970 PRINT USING "energy mean = ###.## dB (0.1 秒 サンプル)";EM
980 PRINT USING "level mean = ###.## dB (0.1 秒 サンプル)";LS;
990 PRINT "          MAX=";LX;"dB          MIN=";LN;"dB"
1000 LPRINT:LPRINT "          MAX=";LX;"dB          MIN=";LN;"dB",
1010 PRINT USING "level mean = ###.## dB (1.0 秒 サンプル)";LZ;
1020 PRINT "          MAX-MIN=";LX-LN;"dB"
1030 LPRINT "          MAX-MIN=";LX-LN;"dB":LPRINT
1035 ERASE DP%
1040 PRINT:PRINT "          'L'=アッテネータ ヘンコウ          'R'=RETRY          'D'=DISPLAY          'P'=PRINT
ER          'M'=MENU";
1050 OP$=INKEY$:IF OP$="" THEN 1050
1060 IF OP$="1" THEN PRINT :INPUT"アッテネータ dB";AT:DT(0)=-AT:GOTO 600
1070 IF OP$="r" THEN 600
1075 IF OP$="d" THEN TS=.1:IX%=SN%:GOSUB 3000:GOTO 1040
1080 IF OP$="p" THEN IX%=SN%:GOSUB 1900:GOTO 1040

```

```

1090 IF OP$="m" THEN 120 ELSE BEEP:GOTO 1040
1100 '***** RT MEASUREMENT
1110 OUT P2%,&H7:PRINT CHR$(12):SN%=200
1120 LOCATE 10,0:PRINT "          アッテネータ レベル (NOW ";:COLOR 6:PRINT USING"###";AT
;:COLOR 0:PRINT " dB )"
1130 PRINT "START -> push SPACE BAR"
1140 IF INKEY$="" THEN 1140
1150 OUT &H68,0:'----- 20Hz(hard)/20Hz(soft)-sampling
1155 WAITP2%,&H80,&H80:WAITP2%,&H80:DV%=INP(P1%):IFDV%<10THEN1155
1160 FORI%=1TOSN%:WAITP2%,&H80,&H80:WAITP2%,&H80:DV%=INP(P1%):DM(I%)=AT+DT(DV%):
IFDV%THENNEXTELSE1180
1170 'WIDTH 80,25:PRINT "** ERROR ** サンクォウシカンヲケイサンテキマセン (RETRY)":BEEP:GOTO
1460
1180 WIDTH 80,25:PRINT "!!! WORKING !!!"
1190 XX%=I%:JX%=I%:DD=30:PRINTCHR$(12)
1200 'INPUT "キリタシカンカク DD (<=30dB)";DD
1205 OUT &H68,0
1210 FOR K=1 TO 10
1220 GOSUB 1660
1230 RT(K,0)=T2*60/DD:RT(K,1)=JX%:RT(K,2)=J+1
1240 NEXT:WIDTH 80,25
1250 FOR K=10 TO 1 STEP -1
1260 PRINT USING"###";11-K;
1270 PRINT USING"###.##-";DM(RT(K,2));
1280 PRINT USING"###.##dB->";DM(RT(K,1));
1290 IF RT(K,0)<=0 THEN PRINT "***.##sec";:PRINT "I":ELSE PRINT USING"###.##sec
c";RT(K,0);:PRINT "I";STRING$(RT(K,0)*10,"■")
1300 NEXT
1310 OUT &H68,0
1320 'RT (カイキキョクセン)
1325 RN=999
1330 FOR K=1 TO 10
1340 IF RT(K,0)<=0 THEN KT(K,0)=-99:KT(K,1)=99:GOTO 1380
1350 K1=RT(K,2):K2=RT(K,1)
1360 GOSUB 1740
1370 KT(K,0)=T1:KT(K,1)=RX:KT(K,2)=TY
1372 B1(K,0)=B:B1(K,1)=XM:B1(K,2)=YM:B2(K)=BY
1375 IF RXY<RN THEN KR=K:RN=RXY
1380 NEXT
1390 WIDTH 80,25
1400 FOR K=10 TO 1 STEP -1
1405 COLOR-(K=KR)*4
1410 PRINT USING"###";11-K;
1420 PRINT USING"###.##-";DM(RT(K,2));
1430 PRINT USING"###.##dB->";DM(RT(K,1));
1440 IF KT(K,0)<=0 THEN PRINT "***.##sec":ELSE PRINT USING"###.##sec(TX)";KT(K
,0);:PRINT USING"###.##sec(TY)";KT(K,2);:PRINT USING"(mRT=#.##sec)";(KT(K,0)+KT(
K,2))/2;:PRINT USING"ソウカンケイスイウ=####.#####";KT(K,1)
1450 NEXT:COLOR 0
1460 PRINT:PRINT "          'L'=アッテネータヘンゴウ          'R'=RETRY          'D'=DISPLAY          'P'=PRINT
ER          'M'=MENU";
1470 OP$=INKEY$:IF OP$="" THEN 1470
1480 IF OP$="l" THEN PRINT:INPUT"アッテネータdB";AT:DT(0)=-AT:GOTO 1100
1490 IF OP$="r" THEN 1100
1495 IF OP$="d" THEN IX%=XX%:TS=.05:GOSUB 3000:GOTO 1460
1500 IF OP$="p" THEN 1510 ELSE 1650
1510 IX%=XX%:GOSUB 1900:LPRINT CHR$(27);"A";
1520 FOR K=10 TO 1 STEP -1
1530 LPRINT USING"###";11-K;
1540 LPRINT USING"###.##-";DM(RT(K,2));
1550 LPRINT USING"###.##dB->";DM(RT(K,1));
1560 IF RT(K,0)<=0 THEN LPRINT "***.##sec";:LPRINT "I":ELSE LPRINT USING"#
###.##sec";RT(K,0);:LPRINT "I";STRING$(RT(K,0)*10,"■")
1570 NEXT:GOTO 1450
1580 FOR K=10 TO 1 STEP -1
1590 LPRINT USING"###";11-K;
1600 LPRINT USING"###.##-";DM(RT(K,2));

```

```

1610      LPRINT USING"###.##dB->" ;DM(RT(K,1));
1620      IF KT(K,0)<=0 THEN LPRINT "***.##sec";ELSE LPRINT USING"###.##sec(TX)
";KT(K,0);:LPRINT USING"###.##sec(TY)";KT(K,2);:LPRINT USING" ソウカン ケイスウ=###.##
###";KT(K,1);:IF K=KR THEN LPRINT " <<" ELSE LPRINT
1630      NEXT
1640      GOTO 1460
1650      IF OP$="m" THEN 120 ELSE BEEP:GOTO 1460
1660 'RT ケイサン subroutine
1670      JX%=JX%-1
1680      IF DM(JX%-1)<=DM(JX%) THEN JX%=JX%-1:GOTO 1680 ELSE D2=DM(JX%)+DD
1690      J=JX%-1:T2=0
1700      IF DM(J)<=D2 THEN T2=T2+1 ELSE 1720
1710      J=J-1:IF J=0 THEN T2=-990 ELSE 1700
1720      T2=T2*.05
1730      RETURN
1740 ' RT ケイサン ( カイキチョクセン ) subroutine y=A+Bx -> L(t)=L0-(60/T)t *****
1750      X1=0:Y1=0:X2=0:Y2=0:XY=0
1760      FOR KJ=K1 TO K2
1770          X0=.05*(KJ-1)
1780          Y0=DM(KJ)
1790          X1=X1+X0:Y1=Y1+Y0
1800          X2=X2+X0*X0:Y2=Y2+Y0*Y0
1810          XY=XY+X0*Y0
1820      NEXT
1830      N=K2-K1+1
1840      XM=X1/N:YM=Y1/N
1850      RXY=(XY-N*XM*YM)/SQR((X2-N*XM*XM)*(Y2-N*YM*YM))
1860      B=(XY-N*XM*YM)/(X2-N*XM*XM)
1865      BY=(Y2-N*YM*YM)/(XY-N*XM*YM)
1870      A=YM-B*XM
1880      T1=-60/B:TY=-60/BY
1890      RETURN
1900 'LPRINT DATA(graphic) *****
1910      FOR I=1 TO 5:LPRINT :NEXT
1920      PS$=" | + | + | + | + | + | + | + | +
|"
1930      BI=51-AT:LPRINT CHR$(27);"T";"12";
1940      FOR I=1 TO IX%
1950          PL=DM(I)+BI:IF PL<1 THEN 2010 ELSE IF PL>71 THEN PL=71
1960          PL$=PS$:MID$(PL$,PL)="●"
1970          LPRINT USING"###.##dB ";DM(I);
1980          LPRINT PL$
1990      NEXT
2000      LPRINT:LPRINT CHR$(27);"A";:LPRINT:LPRINT
2010      RETURN
3000 '***** DISPLAY GRAPHIC
3010      CONSOLE 21,5
3020      CMD SCREEN 0,0:CMD CLS
3030      ST=40:BT=24/10:UX=35:UY=4
3040      CMD VIEW(UX,UY)-(UX+ST*10,UY+BT*60)
3050      GOSUB 3500
3060 'サンキョウ ハケイ plot
3070      Y0=((AT+20)-DM(I))*BT
3080      X0=0
3090      FOR I=2 TO IX%
3100          Y1=((AT+20)-DM(I))*BT
3110          X1=TS*(I-1)*ST
3120          CMD LINE(X0,Y0)-(X1,Y1)
3130          Y0=Y1:X0=X1
3140      NEXT
3145      IF TS>.05THEN 3249
3150 'カイキ チョクセン (BX) plot
3160      Y5=0
3170      X5=((AT+20-B1(KR,2))/B1(KR,0)+B1(KR,1))*ST
3180      Y6=BT*60
3190      X6=((AT-40-B1(KR,2))/B1(KR,0)+B1(KR,1))*ST
3200      CMD LINE(X5,Y5)-(X6,Y6)

```

```
3210 'カイキ チョクセン (BY) plot
3220 X7=(B1(KR,1)+((AT+20)-B1(KR,2))/B2(KR))*ST
3230 X8=(B1(KR,1)+((AT-40)-B1(KR,2))/B2(KR))*ST
3240 CMD LINE(X7,Y5)-(X8,Y6)
3242 W0=(RT(KR,2)-1)*.05*ST:Z0=(AT+20-DM(RT(KR,2)))*BT:W1=(RT(KR,1)-1)*.05*ST:Z1
=(AT+20-DM(RT(KR,1)))*BT
3245 'CMD LINE(w0,z0)-(w1,z1),,B
3247 'CMD CIRCLE(w0,z0),5:CMD CIRCLE(w1,z1),5
3248 CMD LINE(W0-10,Z0)-(W0+10,Z0):CMD LINE(W1-10,Z1)-(W1+10,Z1)
3249 IF TS=.1 THEN LOCATE 0,21:PRINTSN%/10;"秒 カン ノ エネルギ"-ヘイキン=";EE;" dB";:GOTO
3280
3250 LOCATE 0,21:PRINTUSING"###.##カラ###.##dBマテ";DM(RT(KR,2));DM(RT(KR,1));
3260 PRINTUSING"###.##sec(TX),###.##sec(TY)";KT(KR,0);KT(KR,2);:PRINT USING
(ヘイキン RT=###.##sec)";(KT(KR,0)+KT(KR,2))/2
3270 PRINTUSING"ソウカン ケイスウ =###.#####";KT(KR,1)
3280 INPUT"ハート`コヒ`-(y/n)";YN$
3285 IF YN$="y" THEN LPRINT CHR$(27);">";:CMD COPY 5:LPRINT CHR$(27);")";
3290 CONSOLE 0,25:CMD SCREEN ,1:CMD CLS 3:RETURN
3500 'frame plot
3510 FOR I=0 TO 6
3520 LOCATE 1,I*3:IF I=2 THEN COLOR 4
3530 PRINTUSING"###";AT-10*(I-2)
3540 COLOR 0
3550 NEXT
3560 FOR I=0 TO 10
3570 LOCATE 3+5*I,19:PRINTUSING"###";I*TS*20;
3580 NEXT:PRINT "(sec)"
3590 'axis
3600 CMD LINE(0,0)-(ST*10,BT*60),,B
3610 FOR I=0 TO 5
3620 CMD LINE(0,BT*10*I)-(4,BT*10*I)
3630 NEXT
3640 FOR I=0 TO 9
3650 CMD LINE(ST*I,BT*60)-(ST*I,BT*60-3)
3660 NEXT
3670 RETURN
```