

## マイクロコンピュータを用いた誘電特性測定装置の 試作

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-06-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 石川, 賢司 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.14945/00008625">https://doi.org/10.14945/00008625</a>

# マイクロコンピュータを用いた誘電特性測定装置の試作

石川 賢 司

(1981年11月21日受理)

## Hysteresis Loop Measurement System Using Microcomputer Control Technique

Kenji ISHIKAWA

(Received November 21, 1981)

### 1. は じ め に

強誘電体の研究において自発分極  $P_s$  の温度特性は誘電率とならんで最も基本的なデータの一つである。この  $P_s$  を得る代表的な方法は履歴曲線法であるが、これには誘電損失による試料の発熱とか、曲線のハードコピーを得るのに手間がかかるなどの欠点があった。履歴曲線を描くのに必要な情報を考えてみると、初期分極曲線の部分を含めても、最低  $1+1/4$  周期の交番電界  $E$  と、 $E$  によって試料内に発生した電気変位  $D$  の値を時系列データとして得ることができればよいことが判る。

このような形で  $E$  と  $D$  の測定ができる装置を、既製のシングルボード・マイクロコンピュータに若干の付加回路を加えることにより試作し、短時間（約 66 ms）で履歴曲線を測定し、グラフ用紙上にそれを描かせることができた。

以下にこの装置の回路に重点をおいて報告する。

### 2. 測 定 原 理

本研究では自発分極の測定に履歴曲線法を用いるので、以下にその原理を説明する。

履歴曲線法に用いられるヒステリシスブリッジ（ソーヤタワブリッジ）の原形式を Fig.1 に示す。容量既知の低損失コンデンサ  $C_0$  と結晶コンデサ  $C_x$  を直列につなぎ、その両端に交番電圧  $V_a$  を加える。結晶コンデンサとは、整形した試料の両端に電極を蒸着したものである。 $C_0 \gg C_x$  とすれば、印加電圧はほとんど  $C_x$  にかかる。 $V_a$  を適当に分圧してブラウン管の横軸電圧とすれば、これは試料に加えられた電圧に対応する。すなわち、分圧比と試料の長さを与えれば印加電界  $E$  に換算できる量である。試料内に発生した

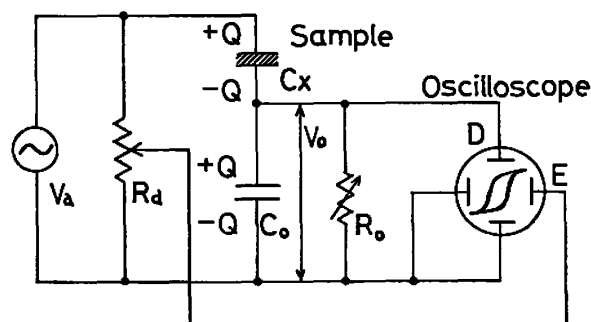


Fig. 1 ヒステリシスブリッジ（ソーヤタワブリッジ）の原理

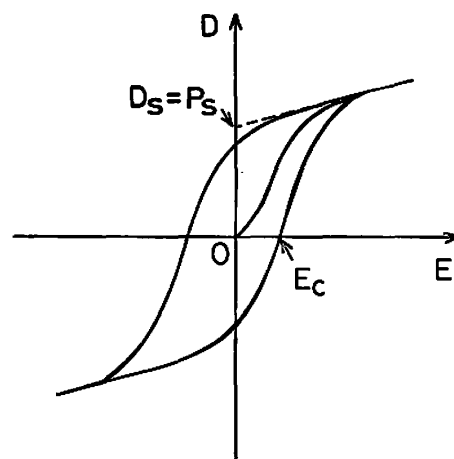


Fig. 2 履歴曲線（模式図）

電気変位  $D$  は、 $C_0$  の両端の電圧  $V_0$  から次のように求められる。測定系のインピーダンスが充分大きければ、 $C_0$  の電極に誘起された電荷は、それと電氣的に直結する  $C_x$  の電極から移動したものである。これを  $Q$  とすると  $|Q| = |C_0 V_0| = |C_x V_a|$  となる。この電荷を試料の電極面積で割れば表面電荷密度が得られるが、電磁気学によれば、これは試料内に発生した電気変位に等しい。この値をブラウン管の縦軸にとって表示すると、Fig.2 のような履歴曲線が得られる。

この曲線から幾つかの誘電特性が求まる。同図中に破線で示したように  $D$  の飽和部分を  $E=0$  に外挿し

て自発変位  $D_s$  を得る。この値は、 $D = \epsilon_0 E + P$  の関係で  $E=0$  とおけば判るように自発分極  $P_s$  を与える。誘電率  $\epsilon$  は、 $D = \epsilon E$  から判るように  $D-E$  曲線の傾きから求めることができる。抗電場  $E_0$  は、 $D=0$  を切る点の  $E$  の値により与えられる。曲線の、原点から出発する部分は＜初期分極曲線＞というべきもので、普通のヒステリシスブリッジでは得られない情報である。

自発分極も誘電率も、単分域化された結晶について定義される量であるから、これらを正確に求めるには、試料が完全に単分域化するまで高電界を加える必要がある。従来方法では、ヒステリシスブリッジの印加電圧として連続正弦波を用いてブラウン管上に履歴曲線を描かせ、それを写真撮影するなどして測定を行ってきたので、一回の測定に要する時間は少なくとも数分間は必要であった。このとき、分域の反転に伴う損失や導電によるジュール熱の発生によって、試料の温度が上昇することが避けられなかった。

そこで、マイクロコンピュータを用いて、ブリッジによる測定を短時間内に行う方法を考えた。すなわち 0 から出発し、数周期だけ正弦的に変化する波形を用いて履歴曲線を描かせる。この波形の発生およびブリッジの出力電圧データのとり込みを、マイクロコンピュータによって行う。それによって一つの履歴曲線を描くのに要する時間は 0.1 秒以下と大幅に短縮される。

### 3. 測定装置

#### 3.1 装置の概要

測定のフローチャートを Fig. 3 に、また装置のブロック図を Fig. 4 に示す。ここで、データはすべて 8 ビットで表わすこととする；この装置は、最終的に X-Y プロッタで図面を描くことができればよいので、数値の精度は 8 ビット（約 0.4%）で充分であり、また A/D、D/A 変換器なども 8 ビットのものが、変換速度や入手し易さの点で有利である。

あらかじめメモリ（RAM）に格納しておいた正弦波データの一つを D/A 変換し、直流アンプで約 50 倍に昇圧した後、ブリッジに加える。このときのブリッジの出力電圧  $V_a$ ,  $V_0$  (Fig. 1 参照) を A/D 変換し、RAM に格納する。このサイクルを正弦波 2 波長分くり返すことによって得られる  $V_a$  ( $E$  に対応) と  $V_0$  ( $D$  に対応) のデータを CRT ディスプレイおよび X-Y プロッタに出力し、履歴曲線を得る。この場合、電圧値はすべて微小なステップ状変化をくり返しながら変っていくことになるが、変化分は極めて

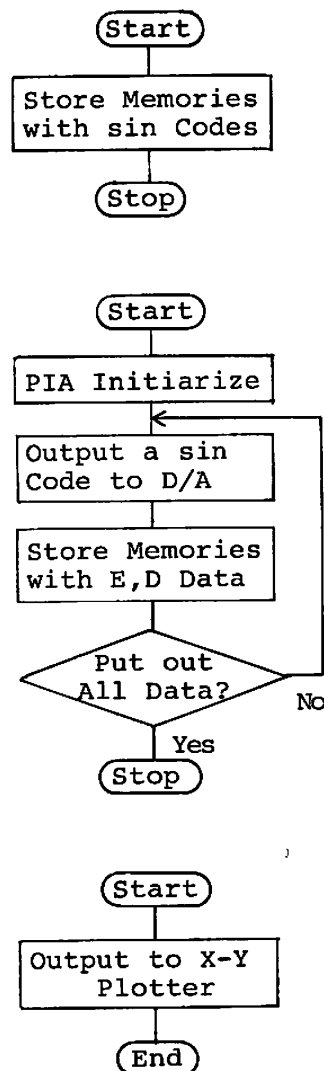


Fig. 3 測定のフローチャート

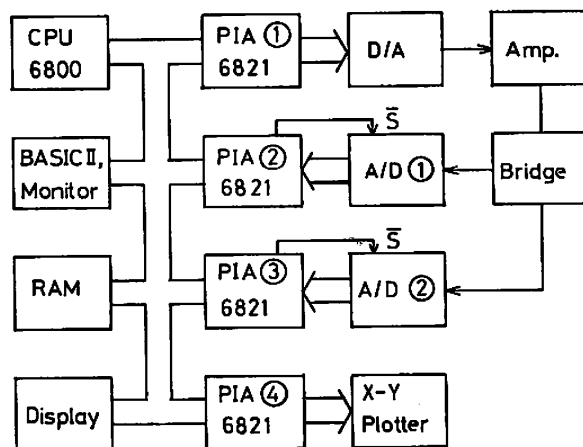


Fig. 4 測定装置のブロックダイアグラム

小さいのでここでは連続波とみなすことができるとする。

ここで出力アンプが理想的なものであれば、 $V_a$  の値は出力波形データと等値なものであって、あらかじめ測定する必要はないが、実際には容量負荷時のアンプの過渡特性が問題となり、原波形と形が変わってしまうおそれがあるので、ここでは  $V_a$  を実測することと

した。

出力波を2波長としたのは次の理由による。履歴曲線を描くのに必要な情報は、連続正弦波で測定しているときを考えると、1/2波長ですべて求まってしまう(ループを完成させるには1波長必要であるが、曲線が原点に関し点対称なので、1ループ中には重複した情報が含まれる)。しかし、初期分極曲線を描かせるとか、波形の両端の値を0にする、直流成分を含まないようにする、さらに履歴曲線の伝統的な形を尊重したい(閉ループとする)などの理由から、2波長と決定した。

印加電界の周波数はソフトウェアで自由に設定できる。ここではできる限り高速で測定できることを目標として設計した。

### 3.2 装置各部の説明

**マイクロコンピュータ部：**マイクロコンピュータには日立製作所製シングルボードコンピュータH68/TRを用いた。これはCPUとしてMC6800を用い、ア

センブラ、モニタの入ったROMを内蔵している。これにH68/TVボードを加えることによりBASIC言語をCRTディスプレイとともに使用できる。

実験に先立ってRAMに正弦波データを格納しておかなくてはならないが、これはBASICにより行う。そのプログラムを**Prog.1**に示す。 $\theta=0$ から $4\pi$ までの2波長を1024等分し、それぞれ $\sin\theta$ を計算する。これらの値をD/A変換器への出力データとする

```
3000 REM 正弦波データの書き込み
3010 LET X=$4000
3020 LET I=0
3030 LET A=128*SIN(I/256*3.1415)+128
3040 POKE X,A
3050 LET X=X+3
3060 LET I=I+1
3070 IF I<1025 THEN GOTO 3030
3080 RETURN
```

**Prog. 1** 正弦波データ計算サブルーチン

3000	7F E009	CLR	\$E009	PIA-2 を入力モードにする	
3003	7F E008	CLR	\$E008		
3006	862C	LDAA	#\$2C		
3008	B7 E009	STAA	\$E009	PIA-3 を入力モードにする	
300B	7F E00B	CLR	\$E00B		
300E	7F E00A	CLR	\$E00A		
3011	862C	LDAA	#\$2C	PIA-1 を出力モードにする	
3013	B7 E00B	STAA	\$E00B		
3016	7F 6803	CLR	\$6803		
3019	86FF	LDAA	#\$FF	PIA-1 を出力モードにする	
301B	B7 6802	STAA	\$6802		
301E	862C	LDAA	#\$2C		
3020	B7 6803	STAA	\$6803	(IX)=\$4000	
3023	CE 4000	LDX	#\$4000		
3026	A600	L01 LDAA	0,X (IX)+0番地		
3028	B7 6802	STAA	\$6802	PIA-1 より A/D に波形出力	
302B	B6 E008	LDAA	\$E008 A/D-1 START		
302E	B7 E00A	STAA	\$E00A A/D-2 START		
3031	B6 E008	LDAA	\$E008	PIA-2 よりデータ読み	
3034	F6 E00A	LDAB	\$E00A		PIA-3 よりデータ読み
3037	A701	STAA	1,X (IX)+1 番地にデータ格納		
3039	E702	STAB	2,X (IX)+2 番地にデータ格納		
303B	08	INX		(IX)+1 →(IX)	
303C	08	INX		(IX)+1 →(IX)	
303D	08	INX		(IX)+1 →(IX)	
303E	8C4C00	CPX	#\$4C00	(IX)と\$4C00を比べる	
3041	2DE3	BLT	L01	小さければL01へ	
3043	39	RTS		BASICプログラムへ帰る	

注：(IX)はINDEX RESISTERの内容を表わす

**Prog. 2** 入出力制御サブルーチン

ため、\$00（-1に対応）から\$FF\*（+1）なる8ビットのコードに換算して、メモリの\$4000番地から2番地おきに格納する。ここで2番地おきとしたのは、後の測定においてEとDの測定値を記憶するとき、インデックス修飾命令を用いてデータの出し入れができ、プログラムが簡単になるとともに測定時間が短くなるからである。

**入出力インタフェース：**マイクロコンピュータと、以下に述べる外部機器との間のデータのやりとりは、ペリフェラル・インタフェースアダプタ（PIA）MC 6821により行う。このICは8ビットの並列ポートをA、B 2チャンネル有し、モードを切換えることにより入力にも出力にも使用できるなど、初期設定の仕方でいろいろな使用法が可能である。その詳細は文献1)、2)に譲ることとし、以下の項では具体的な使用例を挙げるにとどめる。必要な入出力ポート数は、波形出力用に1、信号入力用に2、X-Yプロッタ制御用に1の計4チャンネルである。PIAとバスとの接続例をAppendix 1に示してある。

**波形出力部：**出力ポートから出力された8ビットの並列データをD/A変換する（Appendix 2）。D/A変換時間は85 nsと現在の使用目的には十分な速度である。アナログ波形信号を±5Vに変換したのち直流アンプ（Appendix 3）に入れる。

D/A変換器に波形データを出力するプログラムを、次項で説明する入力プログラムとともにProg. 2に示す。\$3016から\$3020まではPIA①の初期設定プログラムで、\$6802番地に設定されたPIAのBポー

トを出力モードに指定している。\$3023から\$3028までのプログラムにより、\$4000番地に格納してある波形データをD/A変換器に出力する。この値は次の変換が始まるまで保持される。D/A変換は、コンピュータのマシンサイクルに比べてずっと短い時間内で完了するから、フラグ転送は行わなかった。

**データ収録部：** $V_a$ 、 $V_o$ の読みとりは、マイクロサイエンス社の逐次比較型8ビットA/D変換器ADM/08HS（Appendix 4）を2台用いて行った。変換速度は $2.2 \mu s$ である。測定時には、ブリッジの定数（ $C_o$ の値および $V_a$ の分圧比）を適当に調節して、 $V_a$ 、 $V_o$ のいずれもプラス・マイナス数ボルトになるようにしてある。これをA/D変換器の入力電圧範囲（0～+10V）に合わせるため、高入力インピーダンス・利得可変アンプおよび電圧シフト回路をプリ・アンプとしてA/D変換器の前においた。

データ収録プログラムは前掲のProg. 2に示してある。出力プログラムにすぐ続けて、\$302Bから\$3034まででE、Pのデータを入力し、波形データを格納してある次の番地と、その次の番地にそれぞれ格納する。これらはすべてインデックス修飾命令により行う。

**CRT ディスプレイへの出力：**メモリに格納された $V_a$ 、 $V_o$ のデータからプロッタに履歴曲線を描かせる前に、CRTディスプレイ上で結果を観察できると便利である。すなわち、 $V_a$ 、 $V_o$ の最大・最小値が\$FFと0の間に入っているか、また位相補償は適切に行われているか、などの点をチェックしたい。これはBASICのテレビ表示機能を利用して簡単に行うことができる

```
100 REM 測定主プログラム
110 GOSUB 3000          (正弦波格納サブルーチン)
120 INPUT "RUN? (Y OR N)", A$
130 IF A$="Y" THEN GOTO 160
140 IF A$="N" THEN STOP
150 GOTO 120
160 CALL $3000          (機械語・測定サブルーチン)
170 GOSUB 2000          (CRT ディスプレイ)
180 CALL $3100          (キイ入力サブルーチン)
190 C=PEEK ($3150)
200 IF C=$50 THEN GOTO 1000  ("P" の ASCII コードは $50)
210 GOTO 120
```

注) サブルーチンの表

- 1) BASIC; 1000: X-X プロッタ, 2000: CRT ディスプレイ, 3000: 正弦波データ格納
- 2) 機械語; \$3000: 主測定サブルーチン, \$3100: どのキイが押されているか調べ, 結果を \$3150 番地に入れてもどる

### Prog. 3 測定メインプログラム

\*) 以下、数字の頭に "\$" をつけて16進数を表わす。

(Appendix 5)。X-Y プロッタ制御プログラムは、H68 の BASIC にプリンタ制御命令がないため、やや冗長なプログラムになるのでここでは説明を省略する(プロッタ制御サブルーチンの文番号は 1000 から)。

### 3.3 測定プログラムと実測例

以上の各装置およびサブルーチンプログラムを用いた履歴曲線測定のメインプログラムを **Prog. 3** に示す。文番号 110 で正弦波データをメモリに格納したあと、測定を行うか尋ねてくる。“Y”キイを押すとCALL \$3000で測定が始まる。“N”キイを押すと測定が終了する。170 で CRT ディスプレイに履歴曲線を描く。ここで X-Y プロッタでコピーをとりたければ、“P”キイを押す。それ以外のキイを押すと再び測定を行うか尋ねてくる。

ここで測定 1 回につき、試料に電圧が加わる時間を計算してみよう。H68/TR のサイクルタイムは  $1.08 \mu\text{s}$  である。これに \$3026 \sim \\$3041\$ の測定基本ループ中に含まれるマシンサイクル数(=60)を乗じて  $64.8 \mu\text{s}$  を得る。これを 1024 回くり返すのであるから、1 回の測定に要する時間は約 66 ms となる。

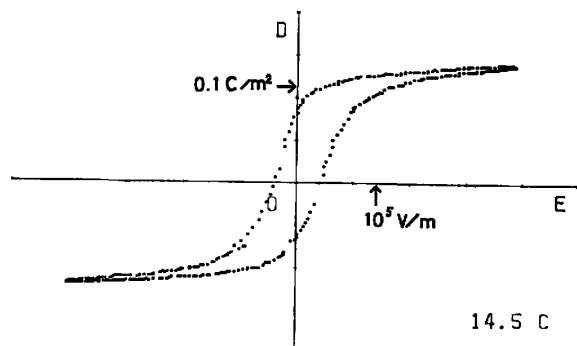


Fig. 5 測定された履歴曲線の一例

この装置を用いて実際に履歴曲線を観測した例を **Fig. 5** に示す。試料は気相成長法<sup>3)</sup>を用いて作成した SbSI の単結晶である。c 軸に垂直に切り出した面に金蒸着して結晶コンデンサとした。この例では、試料が単分域化されているためか、初期分極曲線は観測されていない。

## 4. ま と め

シングルボード・マイクロコンピュータを用いて、2 周期の正弦波を加え履歴曲線を描く装置を試作した。測定を完了するまでの時間は約 66 ms で、従来の連続波を使った方法とくらべて、試料に電圧が加わる時間は著しく短縮された。この電圧印加による試料の温度上昇は  $10^{-3}^{\circ}\text{C}$  以下と推定されるので、転移点近

傍における、強誘電体の諸特性を精密に測定できるようになった。

今後さらに、直流アンプの出力を  $3 \text{ kV}_{p-p}$  程度とすることにより、試料の種類、形状などに対する自由度を増すことや、誘電特性の算出プログラムの開発などを計画中である。

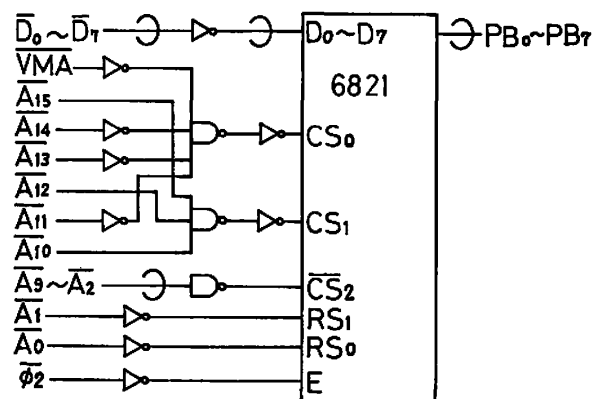
## 5. 謝 辞

本研究を進めるにあたり多大な援助を頂いた豊田耕一講師に感謝いたします。また装置の製作にあたり御協力頂いた荻原重孝、堀新吾両氏に感謝いたします。友田和一技官には試料作成、原稿整理にわたり多大な御協力を頂いた。直流アンプの設計にあたり宮尾正大氏に御指導をおおぎました。原稿のまとめ方について高崎宏教授に御懇切な御指導を賜りました。厚くお礼申し上げます。

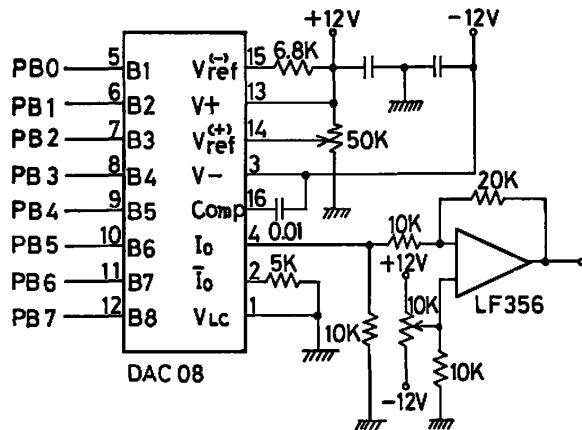
## 文 献

- 1) 日立マイクロコンピュータシステム・ユーザーズマニュアル(日立製作所, 1976)
- 2) 横井与次郎:「マイクロコンピュータ活用マニュアル(上)」(ラジオ技術社, 1978)
- 3) 石川・友田・豊田:静岡大学電子工学研究所報告, 13 (1978) 17.

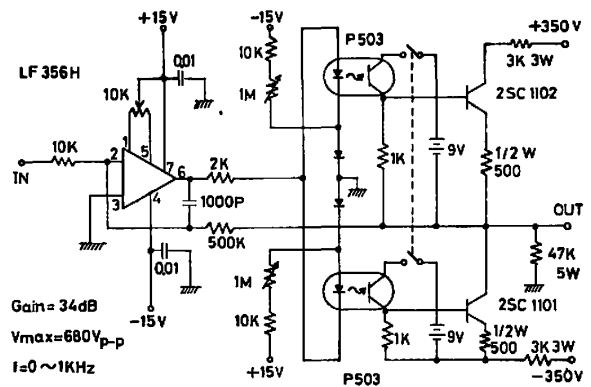
## Appendix



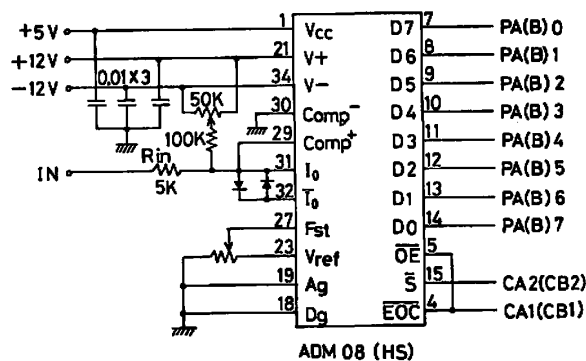
Appendix 1 PIA のバスへの接続例; H68 のバスは負論理であることを考慮して \$6803 をデコードしている。



Appendix 2 D/A 変換器の回路図



Appendix 3 直流アンプ回路図



Appendix 4 A/D 変換器の使用回路；A DM 08  
(HS) はマイクロサイエンス社製で、変換時間は  
2.2  $\mu$ s。

```

2000 REM テレビディスプレイ
2010 PRINT CHR$(3)           (グラフィックモード)
2020 FOR X=1 TO 128
2030 &=X,48                 (X軸を描く)
2040 NEXT X
2050 FOR Y=1 TO 96
2060 &=64,Y                 (Y軸を描く)
2070 NEXT Y
2080 I=$4001 : J=$4002
2090 X=128-PEEK(I)/2 : Y=PEEK(J)/256 * 96
2100 &=X,Y                 (点をプロット)
2110 I=I+3 : J=J+3
2120 IF I<$4BFF THEN GOTO 2090
2130 RETURN

```

Appendix 5 テレビディスプレイ・サブルーチン