

# パーソナルコンピュータによる整流回路の

## シミュレーション

—全波整流と MS-DOS 上の動作—

宮 路 広

(1985年10月14日 受理)

### Simulation of Rectifier Circuit by Personal Computer

—Full Wave Rectification and Operation on the MS-DOS—

Hiroshi MIYAZI

#### 1. はじめに

パーソナルコンピュータによる半波整流回路のシミュレーションプログラムを、整流回路の方程式を数値計算によって解く解析的手法によって開発した。

そのプログラムによるシミュレーションは、各種平滑回路を通した直流電圧、電流、リップル電圧の値や出力電圧の波形が、モデルの整流回路の実測値とよく一致する。回路方程式の積分の初期値とステップ幅の値やディスプレイの表示周期がシミュレーションの結果や実行時間に大きく影響する。パソコンの高速機に属する PC-9801F<sub>2</sub> でもシミュレーションに 1～数分程度の実行時間を要するので、この解決が必要あることを、すでに半波整流回路について報告した<sup>1)</sup>。

今回、全波整流回路のシミュレーションプログラムの開発も終り、前述の半波整流回路シミュレーションプログラムとの連結も完了して、良好な結果が得られたので、本報では、全波整流回路のシミュレーションの結果と MS-DOS 上での動作について報告する。

#### 2. プログラムの概要

シミュレーションプログラムは図 1 の流れ図に示すように、半波、全波のどちらかの整流方式を選択すると、それに対応した基本的な整流回路図と交流がダイオードで整流される様子がディスプレイに表示される。任意のキーを押すと整流モードの選択画面になり、コンデンサ入力形平滑回路および RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路と半波整流、全波整流のそれぞれを組合せた 4 つの整流モードをキーボードで選択できる。整流モードが決定されるとそれに対応した整流回路と平滑回路を画面に表示する。平滑回路の RC の値および負荷  $R_L$  の値は任意に設定できるようになっている。平滑回路の R, C,  $R_L$  の設定が終れば、直流電圧波形のシミュレーションを行う。画面下

方には直流電圧、電流、リップル電圧の値も計算して表示し、シミュレーション波形と計算値から、交流が整流と平滑回路によって直流に近づく様子が理解できるようにした。

1つのシミュレーションが終れば整流モードの選択画面に戻り、整流方式や平滑回路および R, C,  $R_L$  の値をいろいろ変えて、直流電圧波形の変化や直流電圧、電流、リップル電圧の変化がわかるようにシミュレーションのループになっている。

開発には PC-9801F<sub>2</sub> を使用し、MS-DOS および PC-8801<sub>mk II</sub> へのソフトの移植も完了している。

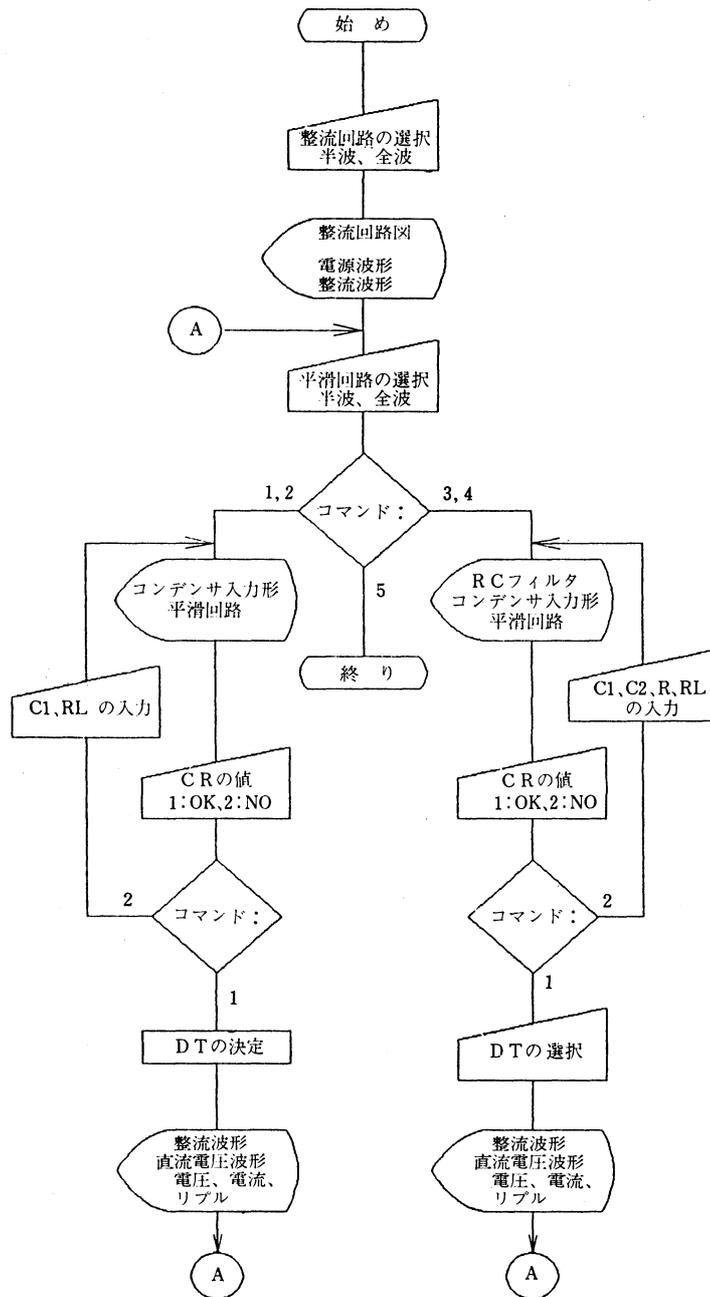


図 1. シミュレーションプログラムの流れ

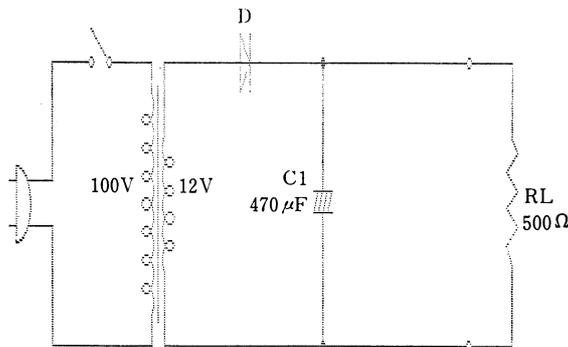
### 3. シミュレーションの結果

#### 3.1 整流回路の表示

整流回路は前述のとおり、整流方式と平滑回路との組合せで、4種類の回路図をグラフィック画面に表示できる。回路図は WINDOW 文で大きさや表示位置を変えることができるが、その場合キャラクタ画面はそのままなので R, C などの数値の表示は制限される。

図2～図5に各整流回路の表示画面の一例をハードコピーしたものを示す。この画面で“2”をキーインすれば平滑回路の R, C,  $R_L$  の変更ができる。変更された値は同じ画面に表示される。“1”をキーインすれば表示画面に対応した整流回路の整流波形と直流電圧波形のシミュレーションを行う。

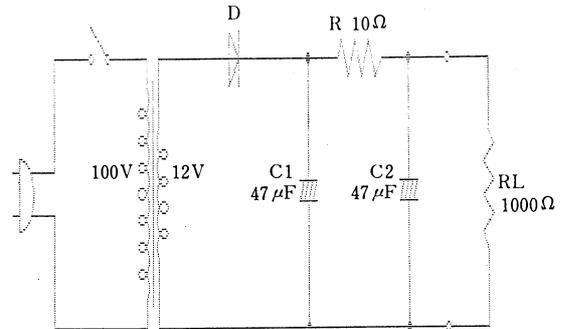
1: コンデンサ入力形平滑回路



1: C1, RL の値はこれでよい 2: C1, RL の変更 (番号)=?

図 2. 半波整流コンデンサ入力形平滑回路

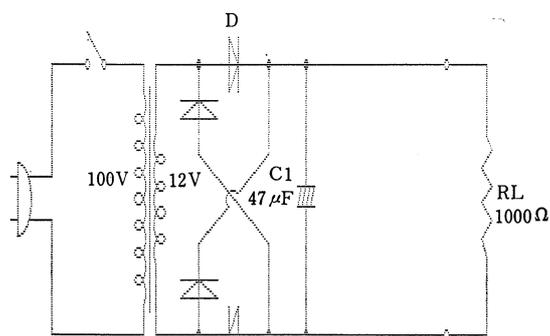
2: RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路



1: R, C, RL の値はこれでよい 2: R, C, RL の変更 (番号)=?

図 3. 半波整流 RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路

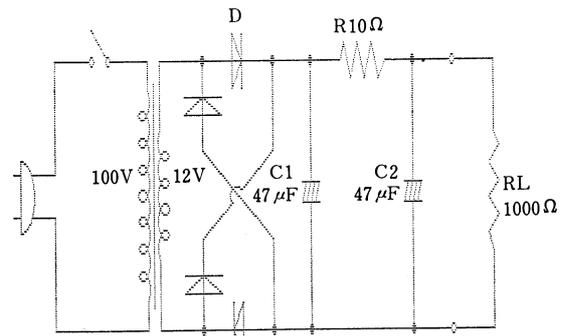
2: コンデンサ入力形平滑回路



1: C1, RL の値はこれでよい 2: C1, RL の変更 (番号)=?

図 4. 全波整流コンデンサ入力形平滑回路

2: RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路



1: R, C, RL の値はこれでよい 2: R, C, RL の変更 (番号)=?

図 5. 全波整流 RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路

#### 3.2 整流波形と直流電圧波形

前報<sup>1)</sup>では、整流波形はダイオードを用いた整流の関係式 (1) を用いて数値計算によって表示しているが、計算に少し時間を要する。

$$e_s = R_L \times I + \frac{kT}{e} \times \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \tag{1}$$

$e_s$  : 等価電源電圧       $R_L$  : 負荷抵抗

$I$  : ダイオードを通過して負荷  $R_L$  に流れる電流

$I_0$  : ダイオードの飽和電流       $e/kT = 38.684/V$

本プログラムでは時間を短縮する目的で、半波整流は sin 波の (+) 部分を、全波整流は sin 波の絶対値をとって表示している。その結果実行時間は非常に短くなり、波形も (1) 式の計算によるものとほとんど区別できないほどである。

直流電圧波形は平滑回路の方程式を数値計算して、CRT 画面上にシミュレーションしている。したがって最もこの部分の計算に時間をとる。シミュレーションの実行時間を短くするには、方程式のステップ幅を大きくとり表示周期を少なくすればよいが、これらはシミュレーションの結果に大きく影響するので制限される。この積分のステップ幅は平滑回路の  $R, C, R_L$  の値と関連しており、これらの積が大きい程大きなステップ幅に設定して時間の短縮を計っている。シミュレーションの表示は、波形、計算値ともできるだけ実際に近い値が得られることと実行時間の短縮を考えて、電源周期の3周期分とした。

直流電圧波形は全波整流においても半波整流の場合と同様に、各整流回路についてモデルの回路

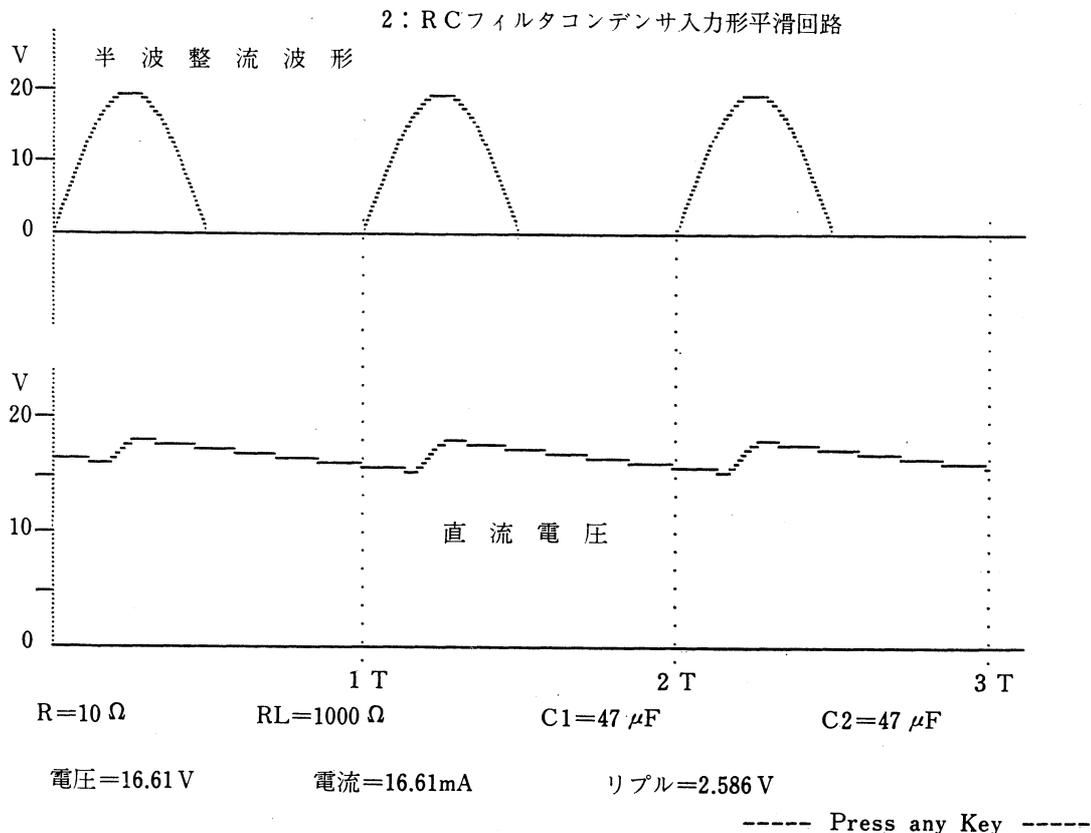


図 6. 半波整流 RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路のシミュレーション

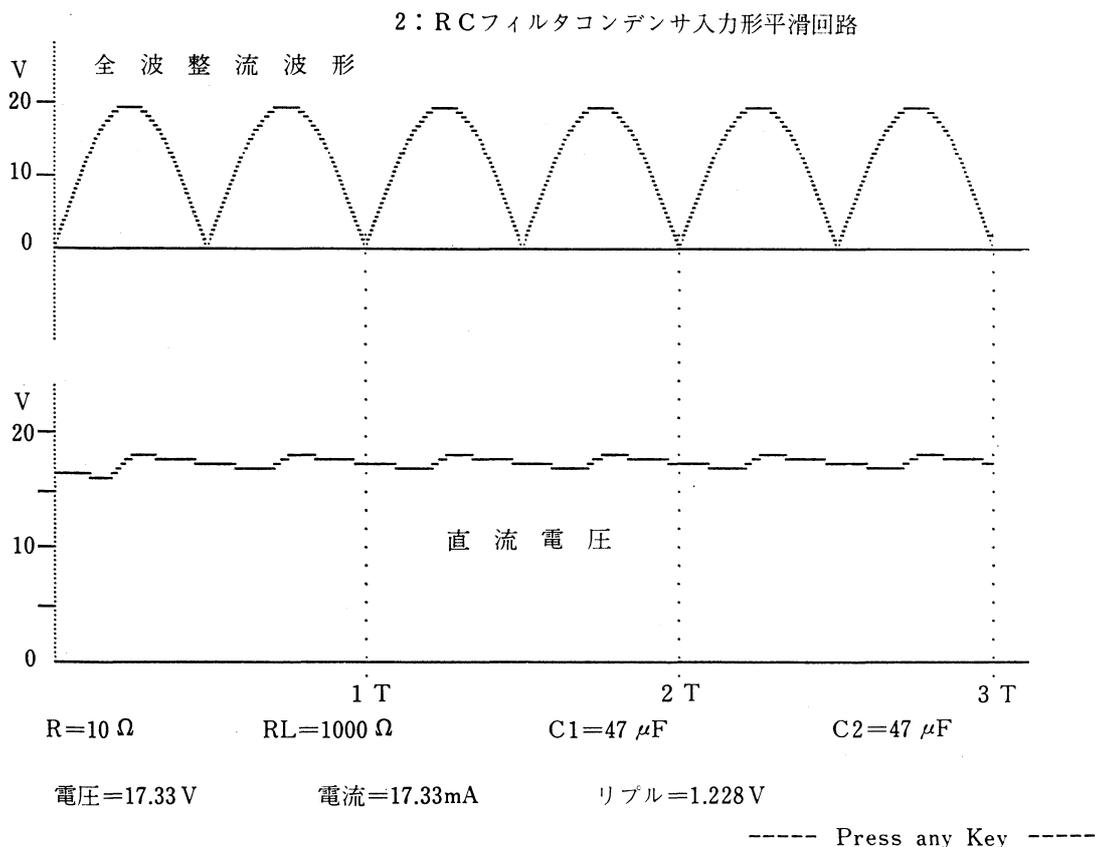


図 7. 全波整流 RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路のシミュレーション

のオシロスコープの観測波形とよく一致している。しかし、パソコンやディスプレイの性能上、細部についてはシミュレーションの方が大まかな表示になっているが、全体的にはほとんどよく一致しているといえる。

図 6, 図 7 に図 3, 図 5 の回路のシミュレーションの画面コピーを示す。全波整流は半波整流に比べ直流電圧, 電流ともに若干増加しており, リプル電圧は約半分に減少している。出力に関しては全波整流の方がすぐれていることがシミュレーションの結果からもわかる。

### 3.3 実測値との比較

モデルの各整流回路について, 出力電圧波形の観測と直流電圧, 電流, リプル電圧の測定を行い, シミュレーションの結果と比較した。

平滑回路の RC や負荷  $R_L$  をいろいろ変えて, その直流電圧, 電流, リプル電圧について, モデルの整流回路の実測値とシミュレーション画面に表示される計算値との比較を表 1, 表 2 に示す。表 1 はコンデンサ入力形平滑回路, 表 2 は RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路についての比較結果の一部で, 参考のため半波整流の結果も併記してある。

シミュレーションによる計算結果は, 表 1, 表 2 からわかるように, 半波, 全波の整流方式や平滑回路の種類に関わりなく, 全体的にモデルの回路の実測値とよく一致している。直流電圧およ

表 1. シミュレーション結果と実測値の比較 (コンデンサ入力形平滑回路)

電圧・電流・リップル		C1=47( $\mu$ F)			C1=470( $\mu$ F)			
		Vdc(v)	Idc(mA)	$\Delta V$ (v)	Vdc(v)	Idc(mA)	$\Delta V$ (v)	
整流回路	半波	実測値	15.43	31.8	8.5	18.32	37.9	1.0
	(RL=500 $\Omega$ )	結果	14.22	28.43	8.19	17.73	35.45	1.14
全波	実測値	16.57	33.3	4.2	17.71	35.5	0.48	
	(RL=500 $\Omega$ )	結果	16.15	32.30	4.32	18.01	36.01	0.57
半波	実測値	17.31	17.5	5.1	18.98	18.5	0.6	
	(RL=1000 $\Omega$ )	結果	15.89	15.89	4.88	18.00	18.00	0.60
全波	実測値	17.60	17.7	2.4	18.15	18.0	0.25	
	(RL=1000 $\Omega$ )	結果	17.09	17.09	2.47	18.15	18.15	0.29

RL: 負荷抵抗, Vdc: 直流電圧, Idc: 直流電流,  $\Delta V$ : リプル電圧

表 2. シミュレーション結果と実測値の比較

(RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路: R=10 $\Omega$ )

電圧・電流・リップル		C1=C2=47( $\mu$ F)			C1=C2=470( $\mu$ F)			
		Vdc(v)	Idc(mA)	$\Delta V$ (v)	Vdc(v)	Idc(mA)	$\Delta V$ (v)	
整流回路	半波	実測値	16.15	31.0	4.5	17.58	34.0	0.28
	(RL=500 $\Omega$ )	結果	15.24	30.48	4.58	17.07	34.13	0.34
全波	実測値	16.93	33.9	2.0	17.42	34.9	0.09	
	(RL=500 $\Omega$ )	結果	16.43	32.87	2.22	17.43	34.85	0.12
半波	実測値	17.65	18.1	2.5	18.22	19.0	0.16	
	(RL=1000 $\Omega$ )	結果	16.61	16.61	2.59	17.75	17.75	0.17
全波	実測値	17.69	17.7	1.2	18.02	17.95	0.05	
	(RL=1000 $\Omega$ )	結果	17.33	17.33	1.23	17.94	17.94	0.06

RL: 負荷抵抗, Vdc: 直流電圧, Idc: 直流電流,  $\Delta V$ : リプル電圧

び電流の実測値とシミュレーション結果との差は、ほとんど10%以下であり、リップル電圧も実測値に非常に近い値が得られている。以上のことから、このシミュレーションプログラムは、整流方式や平滑回路の違いによる整流回路の特性を、よくシミュレートしているといえる。

#### 4. MS-DOS 上の動作

パソコンのシミュレーションで多くの関数計算やグラフィック処理を行う場合、パソコンの実行速度が遅いため実行時間が長くなって問題となる。多くのパソコンは BASIC インタプリタ方式で、インタプリタ方式は中間語を解釈しながら一命令ずつ実行するので、実行時間がかかることが大きな短所となっている。

パソコンの高速機に属する PC-9801F<sub>2</sub> もインタプリタ方式では、本プログラムの平滑回路の計算で、積分のステップ幅が小さい部分の処理に数分の時間を費している。できるだけ速度の速い機

種を使ったり、プログラムを改良したりして幾らかは実行時間を縮めることはできるが、これも限度がある。

そこで、NEC の N<sub>88</sub>-日本語 BASIC (86) コンパイラシステムにより本プログラムをコンパイルして、PC-9801F<sub>2</sub>, OS(Operating System) として MS-DOS の環境下でシミュレーションを行い、その実行時間を測定した。機種やプログラムの実行方式の違いによるシミュレーション実行時間を、2, 3 のステップ幅について測定した値を表 3 に示す。

表 3. シミュレーションの実行時間

機種	dt	5	10	20	30
	整流回路	半波, (a) C1=10	半波, (a) C1=47	全波, (b) C1=C2=47	全波, (b) C1=C2=470
PC-8801mk II BASIC インタプリタ		40'22"	20'02"	12'19"	8'12"
PC-9801F BASIC インタプリタ		7'04"	3'31"	2'06"	1'23"
PC-9801F MS-DOS コンパイラ		2'27"	1'12"	42"	28"

dt : ステップ幅 (μs), C1, C2 : コンデンサ (μF), 時間 : (分)' (秒)"

(a) = コンデンサ入力形平滑回路 : RL = 1000Ω, 周期 = 3

(b) = RC フィルタコンデンサ入力形平滑回路 : RL : 1000Ω, R = 10Ω, 周期 = 3

機種別では PC-8801<sub>mk II</sub> は実行速度が遅いので、PC-9801F<sub>2</sub> に比べていずれも実行時間が長くなり、ステップ幅の大きいところでは数分の時間を要している。プログラムの実行方式では、コンパイラ方式がインタプリタ方式に比べて、本プログラムの場合、PC-9801F<sub>2</sub> で約 3 倍も実行時間が短くなり、プログラムをコンパイルして実行すれば、実行時間を大きく短縮できることがわかる。

コンパイラ方式はプログラム全体を一括して中間語に変換し、これを実行するので実行時間が速いのが特長となっている。

N<sub>88</sub>-日本語 BASIC (86) コンパイラシステムのオブジェクトプログラム実行時の実行速度性能<sup>2)</sup> は、インタプリタシステムに比べ

- (1) 単精度演算処理, 文字列操作等が中心のプログラム

約 4 倍

- (2) 倍精度演算処理, 文字列操作等が中心のプログラム

約 7 倍

- (3) グラフィックを中心としたプログラム

約 2.5 倍

- (4) ディスクに対する入出力を中心としたプログラム

約 2 倍

程度の処理性能となっている。

このように MS-DOS 上で運用すれば、実行速度を速めることができる。

## 5. ま と め

シミュレーションの結果は、整流方式と平滑回路の組合せによる種々の整流モードについて、直流電圧、電流、リップル電圧の値や出力電圧の波形がモデルの整流回路の実測値とよく一致しており、これによって交流が整流と平滑回路によって、直流に近づく様子や整流モードの違いによる直流出力電圧の相違が理解できる。また、整流回路の設計にも役立てることができる。

パソコンによるシミュレーションはその実行時間が問題となる。パソコンの高速機に属する PC-9801F<sub>2</sub> でも、BASIC インタプリタ方式では、シミュレーションに 1～数分の実行時間を必要とするが、コンパイラ方式の MS-DOS 上で運用すれば、実行時間を大幅に短縮できることが確認された。また、PC-8801<sub>mk II</sub> などの中、低速機を使用する場合は、積分のステップ幅を広くとったり、表示周期を短くしたりして、粗近似にして時間の短縮を計るほか CP/M などの利用も考えられる。

回路や装置のはたらきや動作結果を知るには、実験によって確かめるのが最も適切な方法であろう。しかし、実験を学校など多人数で行うようなときには、設備や計器の取り扱い、危険性や実験に要する時間などの新たな問題が生じて、実験が困難になる場合もある。このようなときシミュレーションの利用が考えられる。

開発したプログラムは教育学生実験での利用を主目的にしているが、今後学生実験に用いてその評価を行うとともに、中学校での利用も検討していきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 宮路 広：日本産業技術教育学会誌，27巻4号，p.77-82 (1985)
- 2) NEC：N<sub>88</sub>—日本語 BASIC(86) コンパイラシステム ユーザーズマニュアル，p.123 (1985)
- 3) 和田正信訳：電子回路学 上巻，近代科学社，p.115—119 (1960)
- 4) 田丸啓吉，石井 治，山中和正：マイクロコンピュータの事典，朝倉書店，p.286 (1983)
- 5) 奥田二郎：シミュレーションの ABC，日本放送出版協会，p.64-82 (1981)