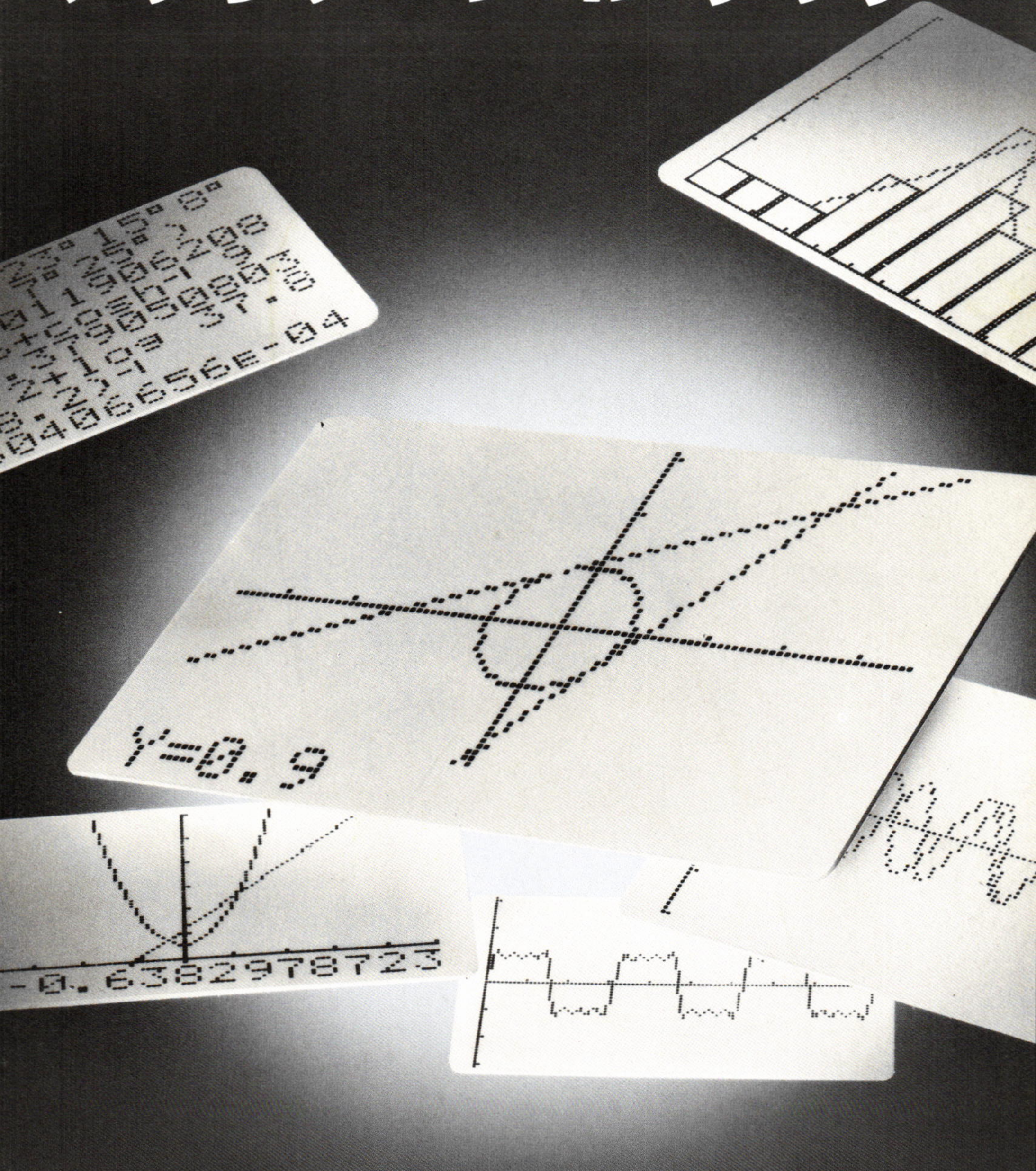
カシオグラフィック関数電卓

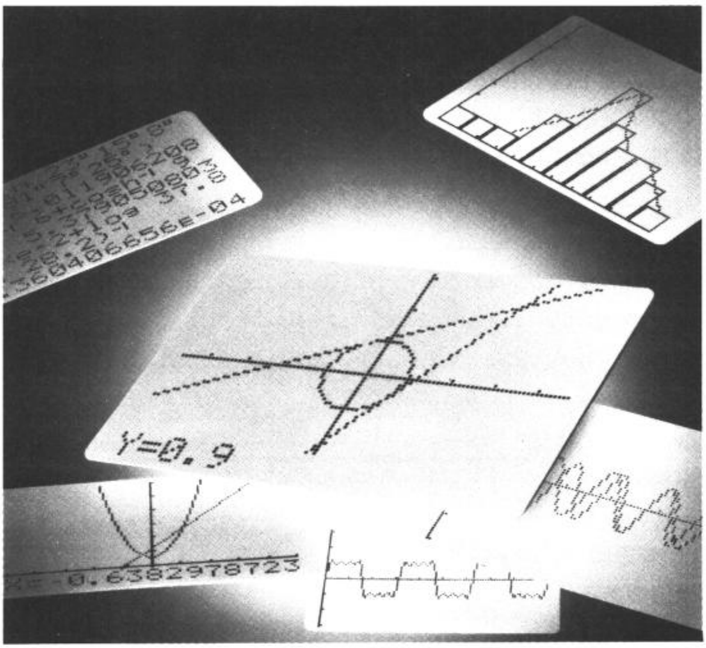
アプリケーション ブック



CASIO

カシオグラフィック関数電卓

アプリケーションブック



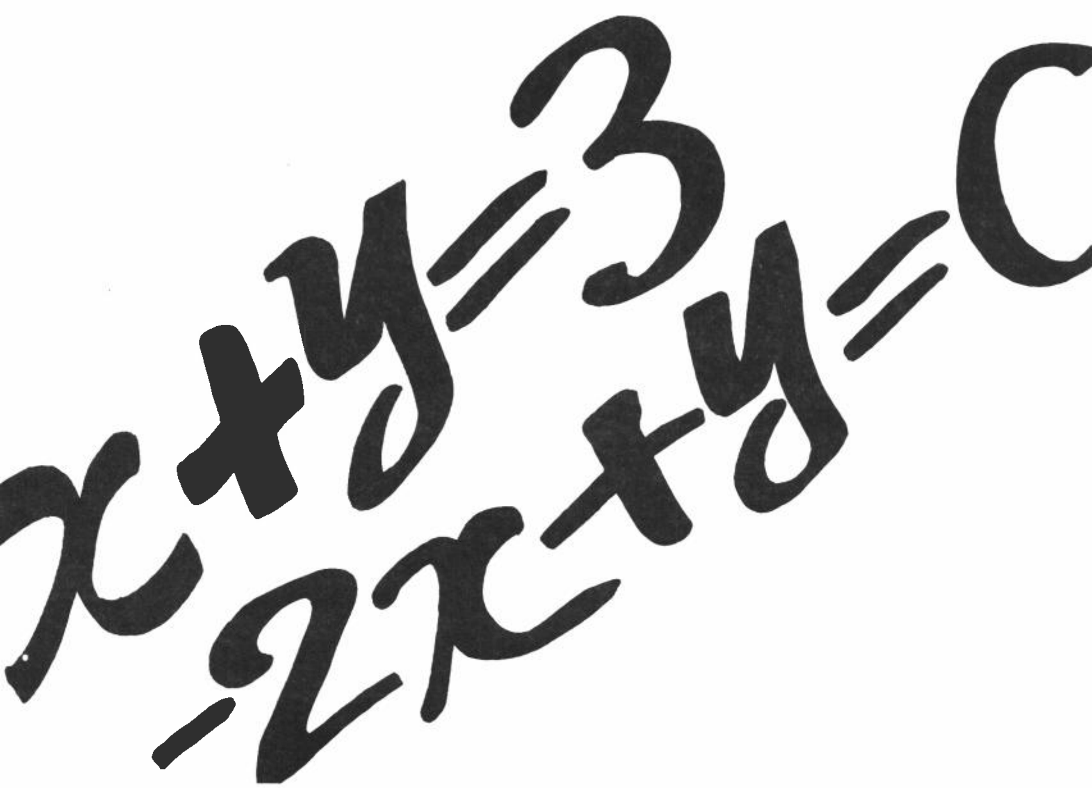
目　次

第1章　数　学

第2章　統　計

第3章　電気・電子

第 1 章
数学



連立方程式

例　　題

■次の連立方程式の解を求めなさい。

$$\begin{cases} x+y=3 \\ -2x+y=0 \end{cases}$$

解　　法

■ 2元連立一次方程式の一般式。

$$\begin{cases} a_1x+b_1y=c_1 \\ a_2x+b_2y=c_2 \end{cases}$$

についてこれを解きますと、

$$x=\left(\frac{c_1}{b_1}-\frac{c_2}{b_2}\right)\div\left(-\frac{a_1}{b_1}+\frac{a_2}{b_2}\right)$$

$$y=\left(\frac{c_1a_2}{b_1b_2}-\frac{a_1c_2}{b_1b_2}\right)\div\left(-\frac{a_1}{b_1}+\frac{a_2}{b_2}\right)$$

となります。

したがって、これをプログラムすれば、係数の値を代入するだけで方程式の解が得られます。

■ 2元連立一次方程式は、グラフ上で2直線の交点の座標としても求められます。

2つの方程式のグラフを描き、トレース機能を使って交点の座標を求めることができます。

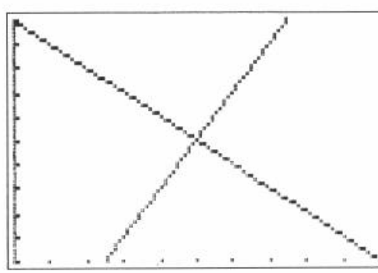
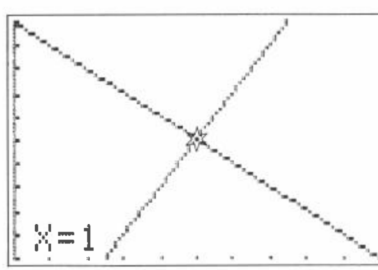
プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム	実行内容	ステップ
1	Lbl 1 ↵		3
2	" A 1 = " ? → A ↵		12
3	" B 1 = " ? → B ↵		21
4	" C 1 = " ? → C ↵		30
5	" A 2 = " ? → D ↵		39
6	" B 2 = " ? → E ↵		48
7	" C 2 = " ? → F ↵		57
8	B × E = 0 ⇒ Goto 1 ↵		66
9	(−) A ÷ B → G ↵		73
10	C ÷ B → H ↵		79
11	(−) D ÷ E → I ↵		86
12	F ÷ E → J ↵		92
13	G = I ⇒ " N O SPACE A N S W E R "		107
14	◢		108
15	" X = " ◢		113
16	(J − H) ÷ (G − I) → X ◢		127
17	" Y = " ◢		132
18	((−) I H + J G) ÷ (G − I) →		147
19	Y ◢		149
20	Range X − 1 , X + 1 , 0 . 2 , Y −		164
21	1 , Y + 1 , 0 . 2 ↵		174
22	Graph I X + J ↵		180
23	Graph G X + H ◢		186
24	Range X − 1 0 , X + 1 0 , 1 , Y −		201
25	1 0 , Y + 1 0 , 1 ↵		211
26	Graph I X + J ↵		217
27	Graph G X + H		222
28			

メモリー内容

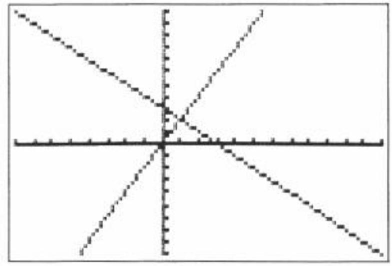
A	方程式1の x の係数	H	C÷B	O		V	
B	〃 y の係数	I	−D÷E	P		W	
C	〃 定数項	J	F÷E	Q		X	x の解
D	方程式2の x の係数	K		R		Y	y の解
E	〃 y の係数	L		S		Z	
F	〃 定数項	M		T			
G	−A÷B	N		U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	A 1 = ?
1 EXE	1 B 1 = ?
1 EXE	1 C 1 = ?
3 EXE	3 A 2 = ?
(−) 2 EXE	− 2 B 2 = ?
1 EXE	1 C 2 = ?
0 EXE	0 X =
EXE	1 .
EXE	Y =
EXE	2 .
EXE	
SHIFT Trace ⇨ ⇨ …… 交点位置まで押す。 SHIFT X↔Y と押すと Y= 2 と表示される。	

EXE

グラフの全体像を見る。



解説・発展

■グラフがy軸と平行になるときは、グラフが描けません。
すなわち、$b_1 \times b_2 = 0$ の場合は、プログラムの最初に戻ります。また、2つのグラフが平行の場合は "NO ANSWER" を表示します。

■グラフの交点から答を得る場合、必ずしも計算から得られる答とはならず、近似値になることが多い。これは、レンジ指定を変えて、交点の近傍が詳しく見られるようにすることで解決します。
プログラムでは、計算結果を表示のあと、交点部分を拡大したグラフを表示し、次にグラフの全体像が見られるようにしてあります。
縮小されたグラフが表示されたときに、トレース機能で交点の座標を求めてみるとそのちがいがわかります。

fx-6000G, 6500G の場合、必ずしも拡大しなくともグラフと計算の答が一致しますが、交点を正確に見きわめるには、やはり拡大した方がよいでしょう。

双曲線の接線と軌跡

例　題

■$xy=k(k>0)$ において、k に種々の値を与えて得られる曲線と、傾きが-1の直線との接点の軌跡を求めなさい。

解　法

■　$xy=k(k>0)$……① に接する傾き-1の直線を

$x+y=a$ …………② とします。

①②より

$x^2-ax+k=0$……③　③の判別式、$D=0$の条件により

$D=a^2-4k=0$　$\therefore$　$a=\pm 2\sqrt{k}\ (k>0)$……④

これを③に代入

$x^2\mp 2\sqrt{k}x+k=0$　これを解いて、$x=\pm\sqrt{k}$……⑤

となります。

①⑤より、接点は$(\pm\sqrt{k},\ \pm\sqrt{k})$となり、求める接点の軌跡の方程式は

$y=x$　となります。

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	Range	(−)	4	,	4	,	1	,	(−)	3	,	3	,	1	↵		15
2	0	→	K	↵													19
3	Lbl	1	↵														22
4	K	+	1	→	K	↵											28
5	Graph	K	X	x^{-1}	↵												33
6	Graph	(−)	X	+	2	√	K	↵									41
7	Graph	(−)	X	−	2	√	K	↵									49
8	Plot	√	K	,	√	K	↵										56
9	Plot	(−)	√	K	,	(−)	√	K	↵								65
10	Line	↵															67
11	K	<	5	⇒	Goto	1											73
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	x
	D		K	K	R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

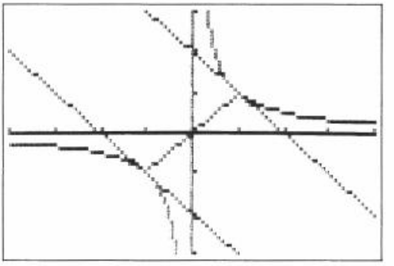
操 作 例

〈キー操作〉

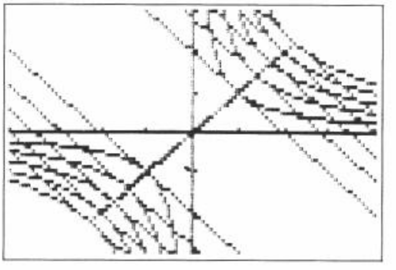
[Prog] 0 [EXE]

k＝1，2，…5 について、双曲線、接線、接点をむすぶ直線が連続的に表示されます。

〈表　　示〉



k = 1



解説・発展

■解析的に解ける問題であっても、グラフを描くことによって答が予想されたり、この例題のように、軌跡の意味や答えの確認ができます。

不等式の解法

例　題

■不等式 $\begin{cases} y \geqq x^2 - 1 \\ y + x \leqq 1 \end{cases}$

の２式を同時に満たす領域を図示しなさい。

解　法

■不等式を解く問題や、領域を示す問題は、グラフ化することで解決することが多い。

不等式を変形すれば、

$$\begin{cases} y \geqq x^2 - 1 \\ y \leqq -x + 1 \end{cases}$$

となるので、これを示せばよい。したがって、

$y=a_1x^2+b_1x+c_1$, $y=a_2x^2+b_2x+c_2$ の２曲線のグラフを描き、交点の座標を求め、大小関係を考えるとよいでしょう。

プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	Range	(−)	4	,	4	,	1	,	(−)	4	,	1	1	,	2		15
2	↵																16
3	Lbl	1	↵														19
4	"	A	1	=	"	?	→	A	:	"	B	1	=	"	?		34
5	→	B	:	"	C	1	=	"	?	→	C	↵					46
6	Graph	A	X	x^2	+	B	X	+	C	◢							56
7	"	A	2	=	"	?	→	D	:	"	B	2	=	"	?		71
8	→	E	:	"	C	2	=	"	?	→	F	↵					83
9	Graph	D	X	x^2	+	E	X	+	F	◢							93
10	A	−	D	→	G	:	B	−	E	→	H	:	C	−	F		108
11	→	I	↵														111
12	G	=	0	⇒	Goto	4	:	H	x^2	−	4	G	I	→	L		126
13	↵																127
14	L	>	0	⇒	Goto	3	↵										134
15	L	<	0	⇒	Goto	2	↵										141
16	"	X	1	=	X	2	=	"	◢								150
17	(−)	H	÷	2	G	◢											156
18	Goto	1	↵														159
19	Lbl	2	↵														162
20	"	X	1	,	X	2	;	R	E	A	L	"	◢				175
21	(−)	H	÷	2	G	◢											181
22	"	X	1	,	(−)	X	2	;	I	M	A	G	"	◢			195
23	√	(	4	G	I	−	H	x^2	)	÷	2	G	◢				208
24	Goto	1	↵														211
25	Lbl	3	↵														214
26	(	(−)	H	+	√	L	)	÷	2	G	→	X	:	(−)	X		229
27	+	1	→	Y	↵												234
28	"	X	1	=	"	◢	X	◢									242

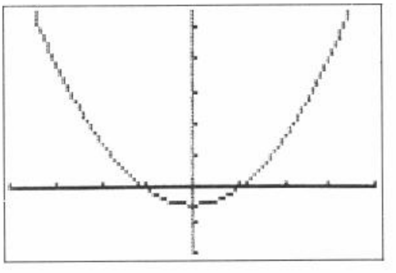
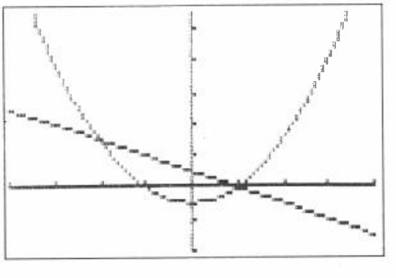
メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	"	Y	1	=	"	◢	Y	◢									250
2	(	(−)	H	−	√	L	)	÷	2	G	→	X	:	(−)	X		265
3	+	1	→	Y	↵												270
4	"	X	2	=	"	◢	X	◢									278
5	"	Y	2	=	"	◢	Y	◢									286
6	Goto	1	↵														289
7	Lbl	4	:	"	N	O	T	H	I	N	G	"	◢				302
8	Goto	1															304
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A	a_1	H	b_1-b_2	O		V	
	B	b_1	I	c_1-c_2	P		W	
	C	c_1	J		Q		X	x の値
	D	a_2	K		R		Y	y の値
	E	b_2	L	判別式 H^2-4GI	S		Z	
	F	c_2	M		T			
	G	a_1-a_2	N		U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	A 1 = ?
1 EXE	1 B 1 = ?
0 EXE	0 C 1 = ?
(−) 1 EXE	
EXE	A 2 = ?
0 EXE	0 B 2 = ?
(−) 1 EXE	− 1 C 2 = ?
1 EXE	

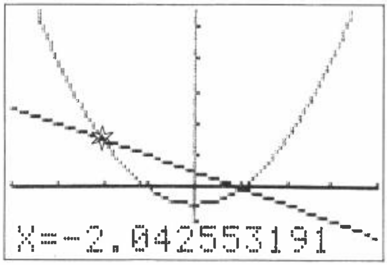
SHIFT　Trace

⇨ …… ⇨

カーソルを交点に移動、X を求めます。

SHIFT　X↔Y　で、Y を求めます。

X＝－2.042553191
Y＝3.042553191 …①



同じように、右側の交点の座標を求めると、

X＝0.9361702128
Y＝0.0638297872 …②

EXE	X 1 ＝	EXE	X 2 ＝
EXE	1.	EXE	－2.
EXE	Y 1 ＝	EXE	Y 2 ＝
EXE	0.	EXE	3.

解説・発展

■操作例で、①②の交点の座標を求め、かつこの２点の間の曲線と、直線に囲まれた部分が求める領域であることがわかります。
さらに、表示された X_1, Y_1 の値が交点②の正確な値であり、X_2, Y_2 の値が交点①の正確な値であることがわかります。

fx-6000G, 6500G の場合、プログラムのYレンジを次のように変えた方が見やすくなります。
１行目 ： Range (–) 4, 4, 1, (–) 6, 6, 2 ↵

リサージュ曲線

例　題

■媒介変数 t を用いて定義される次の曲線のグラフを描きなさい。

(a) $x=\sin 2t$　　(b) $y=\sin 3t$

解　法

■グラフを描く手順は

1．ある t での x, y の値を求める。

2．点 (x, y) を座標上にプロットする。

3．プロットした点を線で結ぶ。

という作業を、$0 \leqq t \leqq 2\pi$ の t について、適当な間隔で行なう必要があります。

したがって、以上の手順をプロット命令、ライン命令等を用いてプログラムすればよい。

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム	実行内容	ステップ
1	Rad ↵		2
2	0 → T ↵		6
3	Range (−) 2 , 2 , 0 . 5 , (−) 1 . 5 ,		21
4	1 . 5 , 0 . 5 ↵		29
5	0 . 0 2 π → D ↵		37
6	(2 π ÷ D + 2) × D → M ↵		50
7	Lbl 1 ↵		53
8	sin 2 T → P ↵		59
9	sin 3 T → Q ↵		65
10	Plot P , Q ↵		70
11	T > M ⇒ Goto 3 ↵		77
12	T = 0 ⇒ Goto 2 ↵		84
13	Line ↵		86
14	Lbl 2 ↵		89
15	T + D → T ↵		95
16	Goto 1 ↵		98
17	Lbl 3		100
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

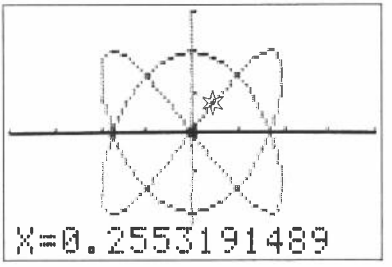
メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P	x の値	W	
	C		J		Q	y の値	X	
	D	きざみ幅	K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M	t の最大値	T	t の値		
	G		N		U			

操作例

〈キー操作〉

[Prog] 0 [EXE]

〈表　示〉



点滅するポインタをカーソルキーで動かすことにより交点の座標を求めることができます。

解説・発展

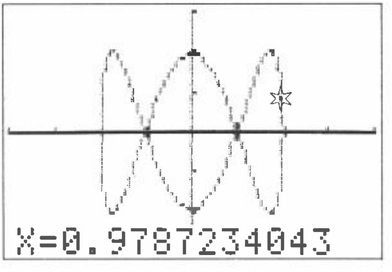
■プログラムの8行目と9行目を変えることで、別の曲線が描けます。

(a) x＝cos t　　*(b) y＝sin 3t*

この場合8行目を

cos T→P

と書きかえます。



fx-6000G, 6500Gの場合、プログラムのレンジを次のように変えます。
3行目 ： Range (−) 2, 2, 0.5, (−) 2.5, 1.5, 0.5 ↵

2次曲線で囲まれた図形の面積

例　　題

■次の2次曲線 (a), (b) で囲まれた面積を求めなさい。

(a) $y=2x^2-6x+1$　　(b) $y=-x^2-2x+5$

解　　法

■2つの2次曲線

$$y=a_1x^2+b_1x+c_1,\ y=a_2x^2+b_2x+c_2$$

を考えます。2曲線の交点の x 座標を α, β $(\alpha<\beta)$ とすると、α と β は

$$(a_2-a_1)x^2+(b_2-b_1)x+c_2-c_1=0$$

の2根であるから、根と係数の関係から

$$\alpha+\beta=-\frac{b_2-b_1}{a_2-a_1},\ \alpha\beta=\frac{c_2-c_1}{a_2-a_1}\cdots\cdots①$$

となります。

2曲線に囲まれる面積 S は

$$S=\left|\int_{\alpha}^{\beta}\{(a_2-a_1)x^2+(b_2-b_1)x+c_1-c_2\}dx\right|$$

$$=\frac{|a_2-a_1|}{6}(\beta-\alpha)^3\cdots\cdots\cdots②$$

①から　$(\beta-\alpha)^2=\left(\frac{b_2-b_1}{a_2-a_1}\right)^2-4\left(\frac{c_2-c_1}{a_2-a_1}\right)$

だから、①②より

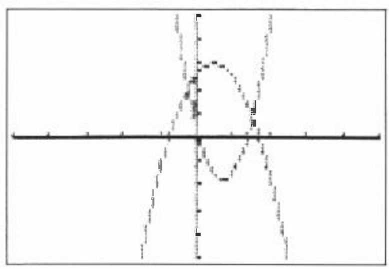
$$S=\frac{|a_2-a_1|}{6}\left\{\left(\frac{b_2-b_1}{a_2-a_1}\right)^2-4\left(\frac{c_2-c_1}{a_2-a_1}\right)\right\}$$

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プログラム															実行内容	ステップ
1	Range	(−)	1	0	,	1	0	,	2	,	(−)	1	0	,	1		15
2	0	,	2	↵													19
3	Lbl	1	↵														22
4	"	A	1	=	"	?	→	A	↵								31
5	"	B	1	=	"	?	→	B	↵								40
6	"	C	1	=	"	?	→	C	↵								49
7	"	A	2	=	"	?	→	D	↵								58
8	"	B	2	=	"	?	→	E	↵								67
9	"	C	2	=	"	?	→	F	↵								76
10	D	−	A	→	G	↵											82
11	G	=	0	⇒	Goto	1	↵										89
12	E	−	B	→	H	↵											95
13	F	−	C	→	I	↵											101
14	H	x^2	−	4	G	I	→	P	↵								110
15	P	≦	0	⇒	Goto	1	↵										117
16	Graph	A	X	x^2	+	B	X	+	C	↵							127
17	Graph	D	X	x^2	+	E	X	+	F	◢							137
18	"	S	=	"	◢												142
19	P	x^y	1	.	5	÷	(	6	A	x^2	)						153
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A	A1	H	E−B	O		V	
	B	B1	I	F−C	P	判別式	W	
	C	C1	J		Q		X	
	D	A2	K		R		Y	
	E	B2	L		S		Z	
	F	C2	M		T			
	G	D−A	N		U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	A 1 ?
2 EXE	2 B 1 ?
(−) 6 EXE	− 6 C 1 ?
1 EXE	1 A 2 ?
(−) 1 EXE	− 1 B 2 ?
2 EXE	− 2 C 2 ?
5 EXE	
EXE	S =
EXE	49.38735781

解説・発展

■このプログラムでは、判別式が負の場合（2曲線が交点を持たない）はプログラムの最初に戻るようになっています。

■３次以上の曲線ではこの例題のようにはいきません。
しかし、グラフを描かせてトレース機能を使って交点の x 座標を求め、積分によって面積を出すことができます。

フーリエ級数

例題 1

■次の関数をフーリエ級数で展開し、最初の2項をとった近似式のグラフを描きなさい。

$$f(x) = |\sin x|$$

解法 1

■周期が2πの関数は

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

と展開できます。

$$a_n = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx$$

$$b_n = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx$$

f(x) が偶関数のとき $b_n = 0$、奇関数のとき $a_n = 0$ です。

したがって、例題は偶関数ですから $b_n = 0$ であり

$$a_0 = \frac{2}{\pi}$$

$$a_n = \begin{cases} 0 & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots n：奇数 \\ -\dfrac{4}{\pi}\dfrac{1}{(n-1)(n+1)} & \cdots\cdots\cdots\cdots n：偶数 \end{cases}$$

操作例 1　マニュアル

[Range]

右のようにレンジを指定します。

```
Range
 X min:-7
   max:7
   scl:3.14
 Y min:-0.5
   max:1.5
   scl:0.5
```

近似式は

$$f(x) \approx \frac{2}{\pi} - \frac{4}{3\pi} \cos 2x$$

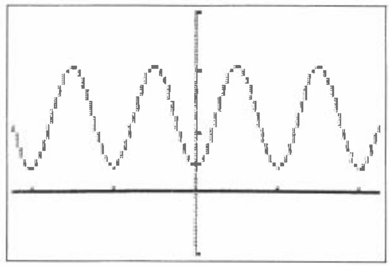
[MODE] [5] [EXE]

[SHIFT] [Cls] [:]

[Graph] [2] [÷] [SHIFT] [π] [−] [4] [÷]

[(] [3] [SHIFT] [π] [)] [×] [cos] [2]

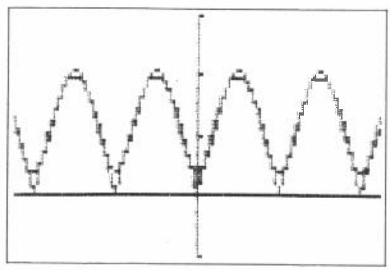
[ALPHA] [+] [EXE]
　　　　 X



$f(x) = |\sin x|$ のグラフを描いて近似状態を見ます。

[Graph] [SHIFT] [Abs] [sin] [ALPHA] [+]
　　　　　　　　　　　　　　　　　 X

[EXE]



例題 2

■関数 $f(x)=\pi+x \quad (-\pi<x<\pi)$ かつ $f(x+2\pi)=f(x)$ のフーリエ級数を求め、グラフを描きなさい。

解法 2

■$f=f_1+f_2 \quad (f_1=x,\ f_2=\pi)$ と書けます。
f_2 のフーリエ係数は、第一項（定数項でπ）を除いて0.
和 f_1+f_2 のフーリエ係数は f_1 と f_2 に対応するフーリエ係数の和ですから、フーリエ係数 a_n, b_n は $a_0=\pi$ を除いて f_1 のフーリエ係数です。
f_1 は奇関数だから、$n=1, 2, \cdots$ に対して $a_n=0$ また、

$$b_n=\frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} f_1(x)\sin nx dx=\frac{2}{\pi}\int_0^{\pi} x\sin nx dx$$

部分積分して、

$$b_n=\frac{2}{\pi}\left[\frac{-x\cos nx}{n}\right]_0^{\pi}+\frac{1}{n}\int_0^{\pi}\cos nx dx=-\frac{2}{n}\cos nx$$

したがって、$b_1=2,\ b_2=-\frac{2}{2},\ b_3=\frac{2}{3},\ b_4=-\frac{2}{4},\cdots$

$$f(x)=\pi+2(\sin x-\frac{1}{2}\sin 2x+\frac{1}{3}\sin 3x-\cdots)$$

操作例 2　マニュアル

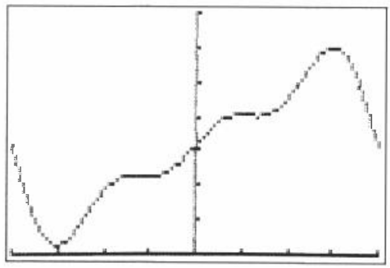
[Range]

右のようにレンジを指定します。

```
Range
 Xmin:-3.14
   max:3.14
   scl:0.785
 Ymin:0
   max:7
   scl:1
```

近似式は

$$f(x) \approx \pi + 2\left(\sin x - \frac{1}{2}\sin 2x + \frac{1}{3}\sin 3x\right)$$



[MODE] [5] [EXE]

[SHIFT] [Cls] [:]

[Graph] [SHIFT] [π] [+] [2] [(] [sin]

[ALPHA] [+] (X) [−] [2] [x^{-1}] [sin] [2] [ALPHA]

[+] (X) [+] [3] [x^{-1}] [sin] [3] [ALPHA] [+] (X)

[)] [EXE]

3次方程式の解法

例 題

■次の3次方程式を解きなさい。

(1) $x^3-x^2-4x+4=0$

(2) $x^3-1=0$

解 法

■$ax^3+bx^2+cx+d=0\ (a\neq0)$
の根と係数の関係から

$$x=y-\frac{b}{3a},\ p=\frac{c}{3a}-\frac{b^2}{9a^2},\ q=\frac{2b^3}{27a^3}-\frac{bc}{3a^2}+\frac{d}{a}$$

$y^3+3py+q=0$ において、$y=u+v$ とおくと

$$u=\sqrt[3]{\frac{1}{2}(-q+\sqrt{D})},\ v=\sqrt[3]{\frac{1}{2}(-q-\sqrt{D})}$$

となります。Dは判別式で、$D=q^2+4p^3$

① D>0 の場合　1実根　$y_1=u+v$

2虚根　$y_2=-\dfrac{u+v}{2}+\dfrac{\sqrt{3}(u+v)i}{2}$

$y_3=-\dfrac{u+v}{2}-\dfrac{\sqrt{3}(u-v)}{2}i$

② D<0 の場合　3実根　$y_1=2\sqrt{-p}\sin\left(\dfrac{\pi}{2}-\dfrac{\vartheta}{3}\right)$

$y_2=-2\sqrt{-p}\sin\left(\dfrac{\pi}{6}+\dfrac{\vartheta}{3}\right)$

$y_3=-2\sqrt{-p}\sin\left(\dfrac{\pi}{6}-\dfrac{\vartheta}{3}\right)$

ただし、$\vartheta=\dfrac{1}{3}\cos^{-1}\dfrac{q}{2\sqrt{-p^3}}$

③ D=0 かつ p=0 の場合　$y_1=y_2=y_3=0$

④ D=0 かつ p≠0 の場合　1実根　$y_1=2\sqrt[3]{-\dfrac{q}{2}}$

2重根　$y_2=y_3=-\sqrt[3]{-\dfrac{q}{2}}$

以上から、y を求めたあと $x=y-\dfrac{b}{3a}$ により根を得ます。

プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	Range	(−)	5	,	5	,	0	.	5	,	(−)	5	,	5	,		15
2	0	.	5	:	Rad	↵											21
3	Lbl	1	:	Cls	↵												26
4	"	A	=	"	?	→	A	↵									34
5	"	B	=	"	?	→	B	↵									42
6	"	C	=	"	?	→	C	↵									50
7	"	D	=	"	?	→	D	↵									58
8	A	=	0	⇒	Goto	1	↵										65
9	Graph	A	X	x^y	3	+	B	X	x^2	+	C	X	+	D	◢		80
10	(	3	A	C	−	B	x^2	)	÷	9	A	x^2	→	P	↵		95
11	(	2	B	x^y	3	−	9	A	B	C	+	2	7	A	x^2		110
12	D	)	÷	2	7	A	x^y	3	→	Q	↵						121
13	Q	x^2	+	4	P	x^y	3	→	R	:	B	÷	3	A	→		136
14	M	↵															138
15	R	>	0	⇒	Goto	4	↵										145
16	R	<	0	⇒	Goto	3	↵										152
17	P	≒	0	⇒	Goto	2	↵										159
18	"	X	1	=	X	2	=	X	3	"	◢						170
19	(−)	M	◢														173
20	Goto	1	↵														176
21	Lbl	2	:	"	X	1	=	"	◢								185
22	2	$\sqrt[3]{\ }$	(	(−)	Q	÷	2	)	−	M	◢						196
23	"	X	2	=	X	3	=	"	◢								205
24	(−)	$\sqrt[3]{\ }$	(	(−)	Q	÷	2	)	−	M	◢						216
25	Goto	1	↵														219
26	Lbl	3	:	3	x^{-1}	$\cos^{-1}$	(	Q	÷	2	P	$\sqrt{\ }$	(−)	P	)		234
27	→	N	:	2	$\sqrt{\ }$	(−)	P	→	O	↵							244
28	π	÷	2	→	G	:	π	÷	6	→	H	↵					256

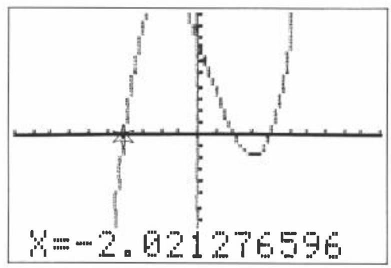
メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プ ロ グ ラ ム	実行内容	ステップ
1	" X 1 = " ◢		262
2	O sin (G − N) − M ◢		272
3	" X 2 = " ◢		278
4	(−) O sin (H + N) − M ◢		289
5	" X 3 = " ◢		295
6	(−) O sin (H − N) − M ◢		306
7	Goto 1 ↵		309
8	Lbl 4 : $\sqrt[3]{}$ (2 x^{-1} ((−) Q + √ R))		324
9	→ K ↵		327
10	$\sqrt[3]{}$ (2 x^{-1} ((−) Q − √ R)) → L ↵		342
11	K + L → J : K − L → I ↵		354
12	" X 1 = " ◢		360
13	J − M ◢		364
14	" X 2 , X 3 ; R E A L " ◢		377
15	(−) 2 x^{-1} J − M ◢		384
16	" X 2 , (−) X 3 ; I M A G " ◢		398
17	2 x^{-1} I √ 3 ◢		404
18	Goto 1		406
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

メモリー内容								
A	a	各係数	H	$\pi/6$	O	$2\sqrt{-p}$	V	
B	b	各係数	I	K−L	P	$(3ac-b^2)9a^2$	W	
C	c	各係数	J	K+L	Q	$2b^3/27a^3-bc/3a^2+d/a$	X	グラフ用変数
D	d	各係数	K	$(-Q+\sqrt{R})/2$	R	判別式 Q^2+4P^3	Y	グラフ用変数
E			L	$(-Q-\sqrt{R})/2$	S		Z	
F			M	b/3a (y→x)	T			
G	$\pi/2$		N	ϑ	U			

操　作　例

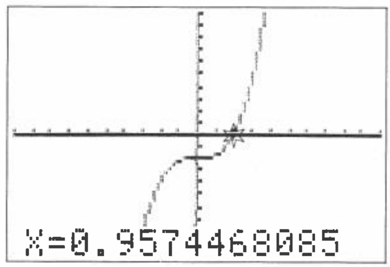
〈キー操作〉	〈表　　示〉
(1) Prog 0 EXE	A＝?
1 EXE	1 B＝?
(−) 1 EXE	−1 C＝?
(−) 4 EXE	−4 D＝?
4 EXE SHIFT Trace ⇨ ⇨ … ⇨	

x 軸との交点の位置にポインタを合せます。
X≈−2 であることがわかります。

同様に、他の交点も　X＝0.9574468085
　　　　　　　　　　X＝2.021276596

と求められ、およそ 1， 2 にも解があることがわかります。

〈キー操作〉	〈表　　示〉
EXE	X1＝
EXE	2.
EXE	X2＝
EXE	−2.
EXE	X3＝
EXE	1.

〈キー操作〉	〈表　　示〉
(2)　EXE	A＝?
1 EXE	1 B＝?
0 EXE	0 C＝?
0 EXE	0 D＝?
(−) 1 EXE SHIFT Trace ⇨ ⇨ …… ⇨ x 軸の交点が 1 つしかなく、あとは虚根と考えられます。(実根 x≒1)	
EXE EXE	X 1 ＝ 1.
EXE EXE	X 2， X 3； REAL −0.5 ↑ X2, X3 は虚根であり、その実部については−0.5 であることを示します。
EXE EXE	X 2， −X 3 ； IMAG 0.8660254038 ↑ X2, X3 の虚部については ±0.8660254038i です。

したがって、X2, X3 は
−0.5±0.8660254038i となります。

極大値、極小値

例 題

■$y=2x^3+9x^2-26x-105$

のグラフを描き、極大値、極小値を求めなさい。

解 法

■3次方程式の一般式を

$$ax^3+bx^2+cx+d=0 \quad (a \neq 0) \quad \cdots\cdots ①$$

とすると、これを微分して、

$$y'=3ax^2+2bx+c \quad \cdots\cdots ②$$

となります。
$y'=0$ を解くと

$$x=\frac{-b \pm \sqrt{b^2-3ac}}{3a} \quad \cdots\cdots ③$$

となります。
x が③のときに、y は極値をもつのであるから、③のときの y の値を計算し、大小を比較すれば極大値、極小値が求められます。

プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム	実行内容	ステップ
1	〈 Prog 0 〉		
2	Lbl 0 ↵		3
3	" A " ? → A : " B " ? → B ↵		17
4	" C " ? → C : " D " ? → D ↵		31
5	A = 0 ⇒ Goto 1 ↵		38
6	√ (B x^2 − 3 A C) → K ↵		50
7	(K − B) ÷ 3 A → M ↵		61
8	((−) K − B) ÷ 3 A → N ↵		73
9	A M x^y 3 + B M x^2 + C M + D → S		88
10	↵		89
11	A N x^y 3 + B N x^2 + C N + D → T		104
12	↵		105
13	M > N ⇒ Goto 4 ↵		112
14	N → P : M → Q : Goto 5 ↵		123
15	Lbl 4 ↵		126
16	M → P : N → Q ↵		134
17	Lbl 5 ↵		137
18	S > T ⇒ Goto 6 ↵		144
19	T → U : S → V : Goto 7 ↵		155
20	Lbl 6 ↵		158
21	T → U : S → V ↵		166
22	Lbl 7 ↵		169
23	Abs M + Abs N → Z ↵		177
24	Abs S + Abs T → W ↵		185
25	Z = 0 ⇒ 3 → Z ↵		193
26	W = 0 ⇒ 5 → W ↵		201
27	Range Q − Z , P + Z , 0 , V − W ,		216
28	U + W , 0 ↵		222

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プログラム	実行内容	ステップ
1	Prog 1 ◢		225
2	M ≠ N ⇒ Goto 2 ↵		232
3	Prog 2 ◢		235
4	M ◢		237
5	S ◢		239
6	Goto 9 ↵		242
7	Lbl 2 ↵		245
8	M < N ⇒ Goto 3 ↵		252
9	Prog 4 ◢		255
10	M ◢		257
11	S ◢		259
12	Prog 3 ◢		262
13	N ◢		264
14	T ◢		266
15	Goto 9 ↵		269
16	Lbl 3 ↵		272
17	Prog 4 ◢		275
18	N ◢		277
19	T ◢		279
20	Prog 3 ◢		282
21	M ◢		284
22	S ◢		286
23	Goto 9 ↵		289
24	Lbl 1 ↵		292
25	B = Ø ⇒ Goto Ø ↵		299
26	(−) C ÷ 2 B → M ↵		307
27	B M x^2 + C M + D → S ↵		318
28	B (M + 5) x^2 + C (M + 5) +		333

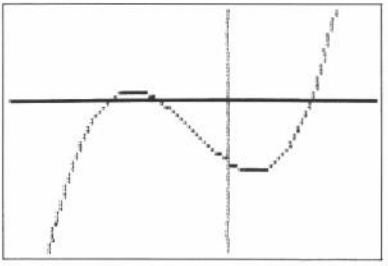
メモリー内容								
A a		H		O		V	S
B b	各係数	I		P		W	|S|+|T|
C c		J		Q		X	
D d		K	$\sqrt{b^2-3ac}$	R		Y	
E		L		S	aM^3+bM^2+cM+d	Z	|M|+|N|
F		M	$(-b+K)/3a$	T	aN^3+bN^2+cN+d		
G		N	$(-b-N)/3a$	U	T		

プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	D	→	U	↵													337
2	M	=	0	⇒	3	→	P	↵									345
3	S	=	0	⇒	8	→	U	↵									353
4	Range	M	−	8	,	M	+	8	,	0	,	S	−	Abs	U		368
5	,	S	+	Abs	U	,	0	↵									376
6	Prog	1	◢														379
7	Prog	2	◢														382
8	M	◢															384
9	S	◢															386
10	Lbl	9															388
11																	
12																	
13	<	Prog	1	>													
14	Graph	A	X	x^y	3	+	B	X	x^2	+	C	X	+	D			14
15																	
16	<	Prog	2	>													
17	"	L	I	M	"												5
18																	
19	<	Prog	3	>													
20	"	M	I	M	"												5
21																	
22	<	Prog	4	>													
23	"	M	A	X	"												5
24																	
25																Prog1〜4計	417
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	グラフ用変数
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	A ?
2 EXE	2 B ?
9 EXE	9 C ?
(−) 2 6 EXE	− 2 6 D ?
(−) 1 0 5 EXE	
EXE	MAX
EXE	1.06580072
EXE	−120.0660856
EXE	MIN
EXE	−4.06580072
EXE	15.06608562

シンプソン法による定積分

例　　題

■ $f(x)=\dfrac{1}{x^2+1}$

を区間、a=1 から b=3 まで、2m=40 で分割し、積分しなさい。

解　　法

■シンプソン法は、

$$I=\int_a^b f(x)dx=\frac{h}{3}\left\{y_0+4\left(y_1+y_3+\cdots+y_{2m-1}\right)+2\left(y_2+y_4+\cdots+y_{2m-2}\right)+y_{2m}\right\}$$

あるいは、

$$I=\frac{h}{3}\left\{y_0+\sum_{i=1}^{m}\left(4y_{2i-1}+2y_{2i}\right)-y_{2m}\right\}$$

$$h=\frac{b-a}{2m}$$

f(x) の式をグラフに描いてから、積分区間 a, b, 分割数 2m を入力すると、現在どの値を使って計算中かをグラフに示しながら計算を行ない、終了すると “I=” で答えを表示するプログラムを次に示します。
（2m は奇数を入れないこと。）

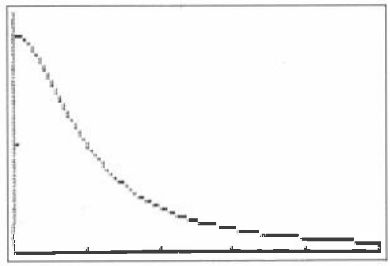
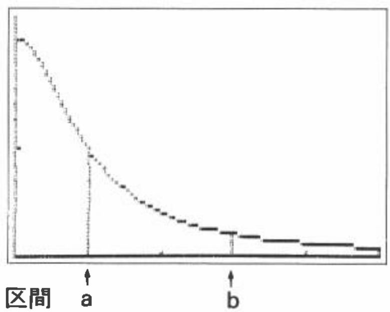
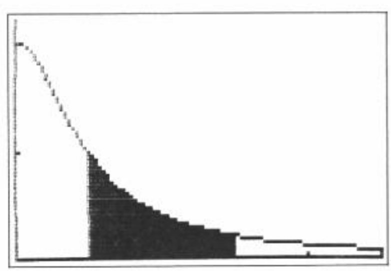
プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	<	Prog	0	>													
2	Range	0	,	5	,	1	,	0	,	1	.	1	,	0	.		15
3	5	↵															17
4	Prog	2	◢														20
5	"	A	"	?	→	A	:	A	→	G	↵						31
6	Prog	1	:	S	→	I	↵										38
7	"	B	"	?	→	B	:	B	→	G	:	Prog	1	◢			52
8	I	−	S	→	I	:	A	→	G	:	"	2	m	"	?		67
9	→	C	↵														70
10	(	B	−	A	)	÷	C	→	D	:	C	÷	2	→	T		85
11	↵																86
12	Lbl	1	↵														89
13	G	+	D	→	G	:	Prog	1	:	I	+	4	S	→	I		104
14	↵																105
15	G	+	D	→	G	:	Prog	1	:	I	+	2	S	→	I		120
16	↵																121
17	T	−	1	→	T	:	T	≠	0	⇒	Goto	1	↵				134
18	"	I	=	"	◢												139
19	D	I	÷	3													143
20																	
21	<	Prog	1	>													
22	1	÷	(	G	x^2	+	1	)	→	S	↵						11
23	Plot	G	,	S	↵												16
24	Plot	G	,	0	:	Line											22
25																	
26	<	Prog	2	>													
27	Graph	1	÷	(	X	x^2	+	1	)								9
28																Prog0〜2計	174

メモリー内容

A	a } 区間	H		O		V	
B	b }	I	I	P		W	
C	2m	J		Q		X	グラフ用変数
D	h=(b−a)/2m	K		R		Y	
E		L		S	f(x)	Z	
F		M		T	ループ用カウンタ		
G		N		U			

操作例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	
EXE	A＝？
1 EXE	1 B＝？
3 EXE	
EXE	2 m＝？
4 0 EXE	4 0 I＝
EXE	0.4636476072
G↔T	

積分により求めた面積を黒くぬりつぶして表示します。

（分割数が少ないと、十分に黒くぬりつぶされない場合があります。）

第1種ベッセル関数

例　　題

■(1) $J_3\ (2.5)$

(2) $J_5\ (1.1)$

を求め、$J_3(x)$, $J_5(x)$ のグラフを描きなさい。

解　　法

■第1種の n 次のベッセル関数は、

$$J_n(x)=\sum_{k=0}^{\infty}(-1)^k\frac{1}{\Gamma(k+1)\Gamma(k+n+1)}\left(\frac{x}{2}\right)^{2k+n}$$

$$=\left(\frac{x}{2}\right)^n\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-\frac{x^2}{4})k}{k!(k+n)!}$$

です。

まず、x>0, n>0 の値を入力して、$J_n(x)$ の値を求めます。

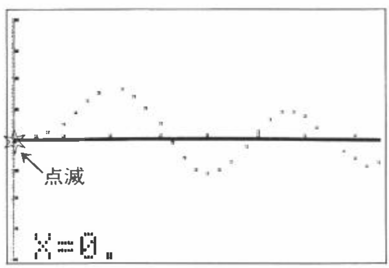
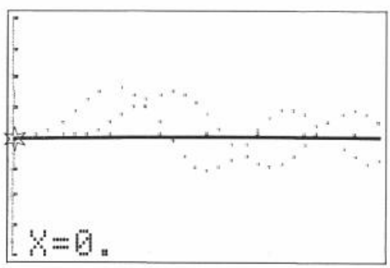
次に、n>0 の値を入力して、このとき x を 0〜15 まで変化させてグラフを描きます。

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	<	Prog	0	>												P_0-P_1 計269	
2	Range	0	,	1	5	,	2	,	(−)	1	,	1	,	0	.		15
3	2	5	:	Lbl	1	:	Mcl	↵									23
4	"	X	"	?	→	T	:	"	n	"	?	→	S	↵			37
5	T	=	0	⇒	Goto	2	:	T	→	Z	:	Goto	3	↵			51
6	Lbl	2	:	1	5	→	Z	↵									59
7	Lbl	3	:	Prog	1	:	T	=	0	⇒	Goto	4	↵				72
8	"	J	=	"	◢												77
9	Y	◢															79
10	0	→	A	～	R	:	Goto	1	↵								88
11	Lbl	4	:	Plot	Z	,	Y	:	Z	−	0	.	5	→	Z		103
12	:	0	→	A	～	R	:	Z	>	0	⇒	Goto	3	↵			117
13	Plot	0	,	0	◢												122
14	Goto	1															124
15	<	Prog	1	>													
16	Z	÷	2	→	A	:	A	x^2	→	C	↵						11
17	S	→	F	:	S	→	Q	↵									19
18	Q	=	1	⇒	Goto	2	:	Q	−	1	→	L	↵				32
19	Lbl	1	:	Q	L	→	Q	:	L	−	1	→	L	↵			46
20	L	≧	1	⇒	Goto	1	↵										53
21	Lbl	2	:	Q	→	I	:	I	x^{-1}	→	O	↵					65
22	Lbl	3	:	D	+	1	→	D	:	E	+	1	→	E	↵		80
23	F	+	1	→	F	:	I	F	E	→	I	↵					92
24	C	$^x\sqrt{\ }$	D	÷	I	→	R	↵									100
25	Frac	(	D	÷	2	)	≠	0	⇒	(−)	R	→	R	↵			114
26	O	+	R	→	O	↵											120
27	O	=	J	⇒	Goto	4	:	O	→	J	:	Goto	3	↵			134
28	Lbl	4	:	A	$^x\sqrt{\ }$	S	×	O	→	Y							144

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

操 作 例

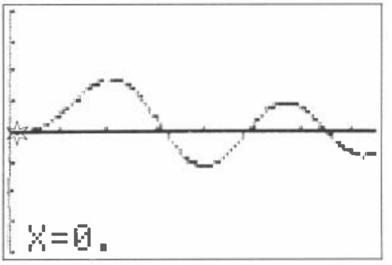
〈キー操作〉	〈表　示〉
Prog 0 EXE	X ?
2.5 EXE	2.5 n ?
3 EXE	3 J =
EXE	0.216600391
EXE	X ?
1.1 EXE	1.1 n ?
5 EXE	5 J =
EXE	3.987098831E−04
EXE	X ?
0 EXE	0 n ?
3 EXE （少し時間がかかる）	
EXE	X ?
0 EXE	
5 EXE	

（0，0）にポインタがあるのでカーソルキーを使えば、グラフデータの近似値が得られます。

解説・発展

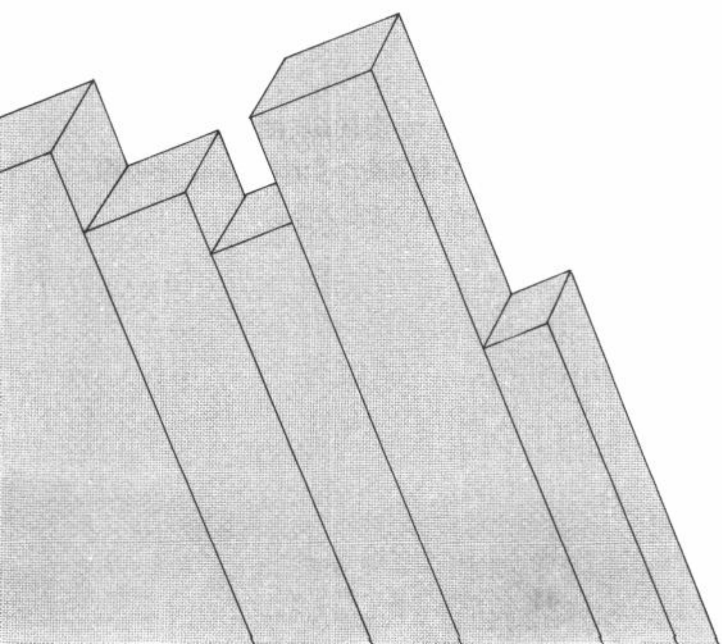
■Prog 0 の11行目、
Z−0.5→Z を
Z−0.1→Z と変更するとグラフが連続的になります。

n=3 のとき



第 2 章

統 計



度数分布表

例　題

■ある場所で通行人の年令について調査を行なったところ、下の表のようになりました。各時間帯の通行人の年令について、年令層ごとの通行者数を度数分布表に表わしなさい。

年令層＼時間帯	9時〜12時	13時〜16時	17時〜20時	計
〜20　才	51	67	34	152
21　〜30　才	62	11	71	144
31　〜40　才	47	8	51	106
41　〜50　才	35	5	27	67
51　〜60　才	29	21	9	59
61才〜	3	17	4	24

解　説

■各時間帯においてどのような年令層の人が多いかを見るには、年令層をｘ軸にとり、通行者数をｙ軸にとった度数分布表をつくればよい。その際、時間帯についての重層ヒストグラムにするとよいでしょう。

プログラム

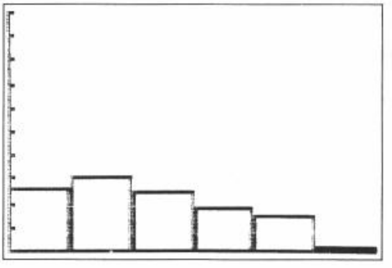
行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プ ロ グ ラ ム	実行内容	ステップ
1	SHIFT MODE ×	SD2モード	
2	Defm 6 : Mcl : Scl ↵		7
3	Range 0 , 6 , 1 , 0 , 200 , 20		22
4	↵		23
5	3 → A ↵		27
6	Lbl 1 ↵		30
7	0 → B ↵		34
8	Lbl 2 ↵		37
9	" D A T A " ? → C ↵		47
10	B ; C DT ↵		52
11	B + 1 → B ↵		58
12	B ≦ 5 ⇒ Goto 2 ↵		65
13	Graph ↵		67
14	A − 1 → A ↵		73
15	" SPACE SPACE SPACE SPACE SPACE SPACE SPACE SPACE SPACE T ⇒ G " ◢		88
16	A ≒ 0 ⇒ Goto 1		94
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

メモリー内容

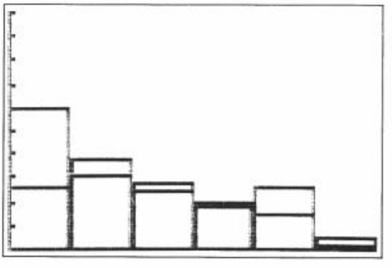
A	時間帯のカウンタ	H		O		V	
B		I		P		W	
C		J		Q		X	
D		K		R		Y	
E		L		S		Z	
F		M		T			
G		N		U			

操作例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	DATA?
5 1 EXE	5 1 DATA?
6 2 EXE	6 2 DATA?
9時〜12時の データを入力する。⋮	⋮
3 EXE	3
G↔T	T⇒G —Disp—



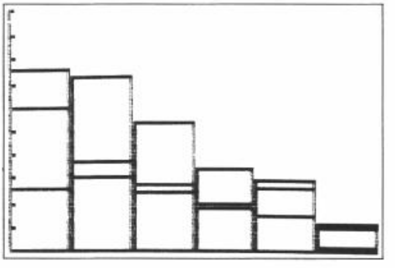
EXE	DATA?
6 7 EXE	6 7 DATA?
13時〜16時の　⋮ データを入力する。	⋮
G↔T	



〈キー操作〉	〈表　　示〉
EXE	DATA？
３４ EXE	３４ DATA？
⋮	⋮

17時～20時の
データを入力する。

G↔T



解説・発展

■13行を Graph Line に変えると折れ線グラフを表示するプログラムになります。
また、午後の時間帯を黒くぬりつぶした、より見やすい表示にするには、午後のデータのグラフを描く時、１人分のデータを入力するたびにグラフを描くようにプログラムを変えるとよいでしょう。

減価償却計算

例　題

■減価償却の方法は、耐用年数の全期間を通じて一定額の償却を行なう「定額法」と、初期に償却額を多くとり年々償却額が逓減する「定率法」の2種類があります。
残存価額を取得価格の10%として、取得価額5000万円、耐用年数6年、初年度稼働月数9ヶ月として、年度別の償却額を定率法で求めなさい。

解　法

■(1)定額法

$$年度償却額=\frac{取得価額-残存価額}{耐用年数}$$

$$初年度の償却額=年度償却額\times\frac{稼働月数}{12}$$

(2)定率法

$$償却率=1-\sqrt[年数]{\frac{残存価額}{取得価額}}\qquad（ただし、残存価額\fallingdotseq 0）$$

$$初年度の償却額=取得価額\times償却率\times\frac{稼働月数}{12}$$

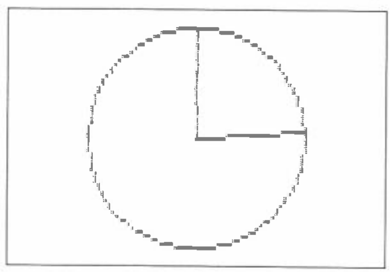
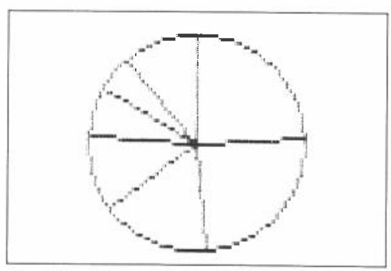
行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	<	Prog	0	>													
2	"	K	A	K	A	K	U	"	?	→	K	↵					12
3	Lbl	1	:	"	N	E	N	"	?	→	N	↵					24
4	Frac	N	≠	0	⇒	Goto	1	:	N	≦	0	⇒	Goto	1	↵		39
5	N	−	1	→	M	↵											45
6	Lbl	2	:	"	G	E	S	S	U	U	"	?	→	G	↵		60
7	G	≦	0	⇒	Goto	2	:	G	>	1	2	⇒	Goto	2	↵		75
8	Lbl	3	:	"	T	E	I	G	A	K	U	→	1	"	↵		90
9	"	T	E	I	R	I	T	U	→	2	"	?	→	T	↵		105
10	T	=	1	⇒	Goto	4	:	T	=	2	⇒	Goto	6	:	Goto		120
11	3	↵															122
12	Lbl	4	:	.	9	K	÷	N	→	A	↵						133
13	Prog	3	◢	A	G	÷	1	2	→	B	◢						144
14	Prog	4	◢	K	−	B	→	C	◢								153
15	Prog	1	:	Prog	2	↵											159
16	M	=	0	⇒	Goto	8	↵										166
17	Lbl	5	:	Prog	3	◢	A	◢									174
18	Prog	4	◢	C	−	A	→	C	◢								183
19	Prog	2	↵														186
20	Dsz	M	:	Goto	5	:	Goto	8	↵								195
21	Lbl	6	:	Int	(	1	0	0	0	N	$^x\sqrt{\ }$	.	1	+	.		210
22	5	)	÷	1	0	0	0	→	D	↵							220
23	Prog	3	◢	K	(	1	−	D	)	G	÷	1	2	→	B		235
24	◢																236
25	Prog	4	◢	K	−	B	→	C	◢								245
26	Prog	1	:	Prog	2	↵											251
27	M	=	0	⇒	Goto	8	↵										258
28	Lbl	7	:	Prog	3	◢	C	(	1	−	D	)	→	B	◢		273

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）	プ	ロ	グ	ラ	ム										実行内容	ステップ
1	Prog	4	◢	C	D	→	C	◢									281
2	Prog	2	↵														284
3	Dsz	M	:	Goto	7	↵											290
4	Lbl	8															292
5																	
6	<	Prog	1	>													
7	Deg	:	Range	1	,	9	5	,	0	,	1	,	6	3	,		15
8	0	↵															17
9	Graph	3	2	+	√	(	2	8	x^2	−	(	X	−	4	8		32
10	)	x^2	)	↵													36
11	Graph	3	2	−	√	(	2	8	x^2	−	(	X	−	4	8		51
12	)	x^2	)	↵													55
13	Plot	4	8	,	3	2	:	Plot	4	8	,	6	0	:	Line		70
14																	
15	<	Prog	2	>													
16	9	0	−	3	6	0	(	K	−	C	)	÷	K	→	E		15
17	↵																16
18	Plot	4	8	,	3	2	↵										23
19	Plot	4	8	+	2	8	cos	E	,	3	2	+	2	8	sin		38
20	E	↵															40
21	Line	◢															42
22																	
23	<	Prog	3	>													
24	”	S	Y	O	U	”											6
25																	
26	<	Prog	4	>													
27	”	B	O	K	A	”											6
28																Prog0 ～4計	416

メモリー内容								
	A	毎年の償却額（定額法）	H		O		V	
	B	償却額	I		P		W	
	C	残存価額	J		Q		X	
	D	償却率（定率法）	K	取得価額	R		Y	
	E	中心角	L		S		Z	
	F		M	N−1	T	方法		
	G	初年度稼働月数	N	耐用年数	U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	KAKAKU ?
5000 EXE	5000 NEN ?
6 EXE	6 GESSUU ?
9 EXE	9 TEIGAKU−1 TEIRITU−2 ?
2 EXE	SYOU
EXE	1196.25
EXE	BOKA
EXE	3803.75
EXE	
順次２年目以降が表示されます。　⋮	
6 年目	
EXE	SYOU
EXE	260.9703068
EXE	BOKA
EXE	557.1184292
EXE	

2項定理

例題 1

■ $(ax+by)^n$ の展開式の $x^k y^{n-k}$ の項の係数を求めなさい。

解法 1

■ 2項定理から

$$(ax+by)^n=\sum_{k=0}^{n} {}_nC_k a^k b^{n-k} x^k y^{n-k}$$

です。したがって $x^k y^{n-k}$ の係数は ${}_nC_k a^k b^{n-k}$ です。

プログラム 1

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	"	N	=	"	?	→	N	↵									8
2	0	→	K	↵													12
3	Lbl	1	↵														15
4	N	$x!$	÷	(	(	N	−	K	)	$x!$	×	K	$x!$	)	→		30
5	C	↵															32
6	"	K	=	"	◢												37
7	K	◢															39
8	"	C	=	"	◢												44
9	C	◢															46
10	K	+	1	→	K	↵											52
11	K	≦	N	⇒	Goto	1	↵										59
12	"	E	N	D	"												64
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C	${}_nC_k$	J		Q		X	
	D		K	k	R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N	n	U			

操作例 1

〈キー操作〉		〈表　　示〉
n=3 とします。		
	Prog 0 EXE	N=?
	3 EXE	3 K=
	EXE	0.
	EXE	C=
順次 EXE を押すと係数が表示されます。	EXE	1.
	⋮	⋮
	EXE	K=
	EXE	3.
	EXE	C=
	EXE	1.
	EXE	END

例 題 2

■ 2項級数の展開式は

$$(1+x)^{\alpha}=1+\binom{\alpha}{1}x+\binom{\alpha}{2}x^2+\binom{\alpha}{3}x^3+\cdots=\sum_{k=0}^{\infty}\binom{\alpha}{k}x^k \cdots ①$$

です。

$\alpha=1, 2, 3, 4, 5$ について、グラフを描きなさい。

解 法 2

■①はすべての一定の実数αと、区間 $-1<x<1$ 内のすべての x に対して成り立ちます。

プログラム 2

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プ ロ グ ラ ム	実行内容	ステップ
1	Range (−) 2 , 2 , 0 . 4 , 0 , 1 0 ,		15
2	1 ↵		17
3	0 → A ↵		21
4	Lbl 1 ↵		24
5	1 + A → A ↵		30
6	Graph (1 + X) x^y A ↵		39
7	A < 5 ⇒ Goto 1		45
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

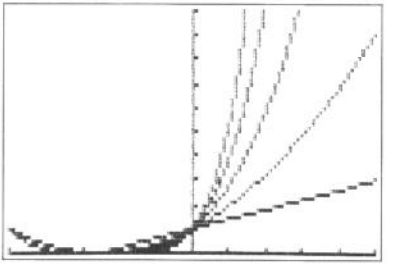
メモリー内容							
A	α	H		O		V	
B		I		P		W	
C		J		Q		X	
D		K		R		Y	
E		L		S		Z	
F		M		T			
G		N		U			

操作例 2

〈キー操作〉

Prog 0 EXE

〈表　　示〉



発展問題

■例題1で2項係数を計算し、得られた係数を使って①の展開式にあてはめ、$n=3$ の近似式について、$\alpha=1, 2, 3, 4, 5$ のグラフを描き、操作例2のグラフと比較してみてください。

2項分布

例題

■ 2項分布、$B(n, p)=\dfrac{n!}{(n-x)!x!}p^x(1-p)^{n-x}$

において、n, p に次の値を入れたときのグラフを描き、さらに正規分布 N(np, np(1−p)) を求めなさい。

(1) $n=10,\ p=0.1$

(2) $n=10,\ p=0.5$

(3) $n=10,\ p=0.8$

解法

■ 2項分布の期待値と分散は

$E[X]=np$

$V[X]=np(1-p)$

で与えられます。

2項分布は x が 0, 1, 2, 3 … という、とびとびの値しかとれない離散分布です。

B(n, p) は $np \geqq 5$ かつ $n(1-p) \geqq 5$ であれば正規分布 N(np, np(1−p)) で近似できます。

プログラムは n, p の入力後 B(n,p) のグラフを SD2 モードで棒グラフに、さらに正規分布曲線 N(np, np(1−p)) を描きます。

ただし、SD2 モードでは $\boxed{x^y}$ 関数が使えないので

$p^x(1-p)^{n-x}=\exp[x l_n p+(n-x) l_n(1-p)]$ なる関係を用いました。

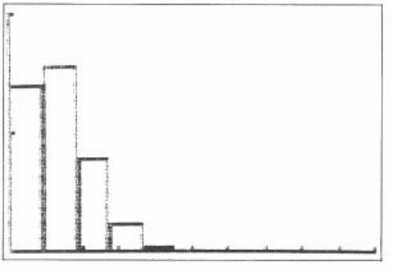
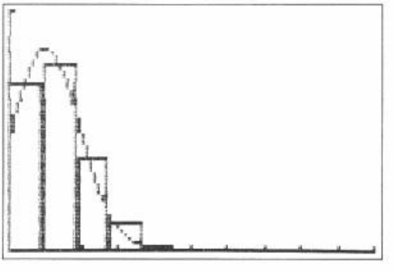
プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プログラム	実行内容	ステップ
1	SHIFT MODE ×	SD2モード	
2	Defm 1 1 : Mcl : Scl ↵		8
3	" N = " ? → M ↵		16
4	" P = " ? → P ↵		24
5	0 → X ↵		28
6	Lbl 1 ↵		31
7	M $x!$ × e^x (X × ln P + (M − X)		46
8	× ln (1 − P)) ÷ ((M − X)		61
9	$x!$ × X $x!$) → A ↵		69
10	X ; A DT ↵		74
11	X + 1 → X ↵		80
12	X ≦ M ⇒ Goto 1 ↵		87
13	Range 0 , M , 1 , 0 , 0 . 5 , 0 .		102
14	2 5 ↵		105
15	Graph ◢		107
16	Graph Line 1		110
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

メモリー内容

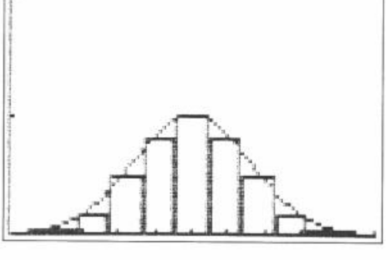
A	P(x)	H		O		V	
B		I		P	Pの値	W	
C		J		Q		X	x の値
D		K		R		Y	
E		L		S		Z	
F		M	n の値	T			
G		N		U			

操 作 例

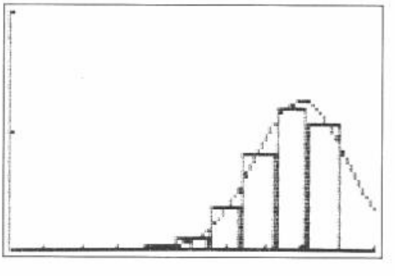
〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	N＝?
1 0 EXE	1 0 P＝?
0 . 1 EXE	
EXE	

EXE　以下(2)(3)についても同様に行ないます。

(2)　n＝10, P＝0.5



(3)　n＝10, P＝0.8



解説・発展

■２項分布は品質管理の分野では、一般に不良率 p としてよく使われます。また、計数値の解析でも、非常に重要な分布です。

ポアソン分布

例　題

■ x=0, 1, 2, … とするとき、次の分布をポアソン分布といいます。

$$P(x)=e^{-m}\frac{m^x}{x!}$$

ただし、m>0 です。
m=2 のときの P(x) のグラフを描き、この場合のP(5) の値を求めなさい。

解　法

■プログラムは SD2 モードで棒グラフを描き、そのあとに、x を入力することで P(x) の値を表示します。
SD2 モードでは $\boxed{x^y}$ 関数が使えないので

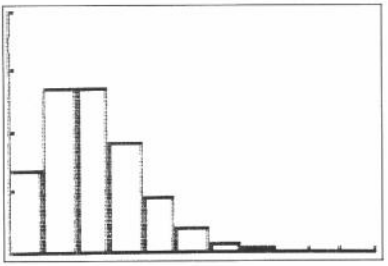
$$e^{-m}m^x=e^{-m}e^{x\ln m}=e^{-m+x\ln m}$$

とします。

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プログラム	実行内容	ステップ
1	SHIFT MODE ×	SD2モード	
2	Defm 1 1 : Mcl : Scl ↵		8
3	" M = " ? → M ↵		16
4	Lbl 1 ↵		19
5	e^x ((−) M + X × ln M) ÷ X $x!$ → A		34
6	↵		35
7	X ; A DT ↵		40
8	X + 1 → X ↵		46
9	X ≦ 1 0 ⇒ Goto 1 ↵		54
10	Range 0 , 1 1 , 1 , 0 , 0 . 4 , 0		69
11	. 1 ↵		72
12	Graph ◢		74
13	" X = " ? → R ↵		82
14	e^x ((−) M + R × ln R) ÷ R $x!$ → P		97
15	↵		98
16	" P = " ◢ P		104
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

メモリー内容							
A	P(x)の値（グラフ用）	H		O		V	
B		I		P	P(x)の値	W	
C		J		Q		X	xの値（グラフ用）
D		K		R	xの値（入力用）	Y	
E		L		S		Z	
F		M	mの値（入力用）	T			
G		N		U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	M= ?
2 EXE	
EXE	X= ?
5 EXE	P=
EXE	3.524356334

解説・発展

■ポアソン分布は、2項分布 B(n, P) において nP＝m を一定にしたままで n→∞ とすると得られる極限の分布です。
したがって、2項分布において P が極めて小さく、n が十分大きい場合に対応し、期待値と分散は

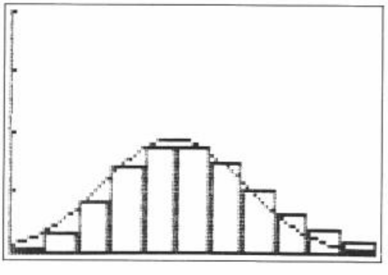
$$E[x]=n$$
$$V[x]=m$$

となり $E[x]=V[x]$ となることが特徴です。
ポアソン分布は m が大きくなるにつれて、 ほぼ m を中心とする左右対称に近い分布となります。
m≧5 であれば正規分布で近似しても実用上問題はありません。この場合 $\mu=m$, $\sigma^2=m$ とします。

■m＝5 として、プログラムを実行し、さらに正規分布曲線を描きます。

Prog 0 EXE 5 EXE ……………棒グラフ表示

AC Graph SHIFT Line 1 EXE ……………正規分布曲線



P(x) と正規分布曲線とがほとんど一致していることがわかります。

■m＝3, 7 についても、同じように試してみましょう。

実験データの検証

例　題

■右の表は、ある実験によって得られたデータです。
このデータのばらつき具合を確認して、相関係数を求め、回帰直線を引いてください。
x=60 の場合に、y のとる値を推測してください。
また、$y=3+\frac{3}{4}x$ という理論式と比較してください。

No.	X	Y	No.	X	Y
1	2	6	11	9	9
2	3.5	6.5	12	8	5
3	8	8	13	8.5	10
4	12	11	14	6	3
5	15	13	15	2	5
6	20	15	16	10.5	9.2
7	10	9	17	12	10
8	11	12	18	12	6
9	9.5	6	19	9	6
10	10	12	20	9.5	10

解　法

■n 個ある実験データを入力し、グラフにデータをプロットすることで、そのデータのばらつき方を確認します。また、そのときの相関係数 r を求めます。
次に、このデータで回帰直線 (y=A+Bx) を引くための、定数項 A と回帰係数 B を求め、回帰直線を引きます。
そして、推測か理論かを入力することで、それぞれの処理を行ないます。

1：推測……“X”を入力することで、このときの y の値を上記 A, B より求め表示するとともに、グラフ上にもプロットポインタを出します。

2：理論……理論式 (y=A′+B′X) の A′, B′ を入力することで、そのグラフを実験データのグラフ上に重ねて描き検討します。

■次のプログラムでは、LR2 モードが中心となりますが、LR モードにない =, ⇨, Dsz を使うために、COMP モードのプログラムをサブルーチン化しています。また、n≧2 とします。

プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム	実行内容	ステップ
1	< Prog 0 >		
2	SHIFT MODE ÷	LR2モード	
3	Range (−) 2 , 2 0 , 2 , (−) 2 , 2 0 ,		15
4	2 : Scl : Mcl ↵		21
5	" D A T A SPACE N O SPACE K A Z U " ?		36
6	→ N ↵		39
7	Prog 1 ◢		42
8	" r " ◢		46
9	r ◢		48
10	" A " ◢		52
11	A ◢		54
12	" B " ◢		58
13	B ◢		60
14	A → A : B → B ↵		68
15	Graph Line 1 ◢		72
16	Prog 3		74
17			
18	< Prog 1 >		
19	MODE +	COMPモード	
20	Lbl 1 ↵		3
21	" X − D A T A " ? → X ↵		15
22	" Y − D A T A " ? → Y ↵		27
23	Prog 2 : Dsz N : Goto 1		35
24			
25	< Prog 2 >		
26	SHIFT MODE ÷	LR2モード	
27	X , Y DT		4
28			

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	<	Prog	3	>													
2	MODE	+														COMPモード	
3	Lbl	1	↵														3
4	”	S	U	I	=	1	↵	R	I	R	O	N	=	2	”		18
5	?	→	Z	↵													22
6	Z	=	1	⇒	Goto	2	:	Z	=	2	⇒	Goto	3	:	Goto		37
7	1	↵															39
8	Lbl	2	↵														42
9	”	X	=	”	?	→	X	:	A	+	B	X	→	Y	↵		57
10	”	Y	=	”	◢												62
11	Y	◢															64
12	Plot	X	,	Y	◢												69
13	Goto	1	↵														72
14	Lbl	3	↵														75
15	”	A	=	”	?	→	C	:	”	B	=	”	?	→	D		90
16	↵																91
17	Graph	C	+	D	X	◢											97
18	Goto	1															99
19																	
20																Prog 0〜3 計	212
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A	A	H		O		V	
	B	B	I		P		W	
	C	理論式のA	J		Q		X	グラフ X 座標
	D	理論式のB	K		R		Y	グラフ Y 座標
	E		L		S		Z	選択用フラグ
	F		M		T			
	G		N	データ数，ループ用カウンタ	U			

操作例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog　0　EXE	DATA NO KAZU?
(n≧2であること) 2 0　EXE	2 0 X−DATA?
順次 x, y データを入力します　⋮	⋮
1 0　EXE	1 0

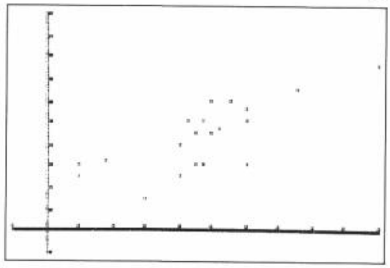
9.5

G↔T

20データがほぼ中央あたりにかたまって分布していることがわかります。

↓

ちりばり方の確認



EXE

r

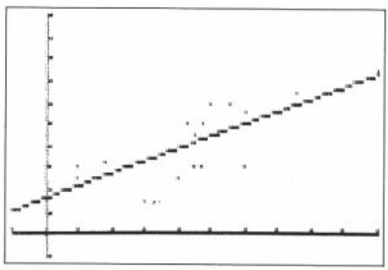
EXE

0.7564254289

EXE を順次押すと、A=3.27303358 B=0.5666097515が表示されます。

EXE

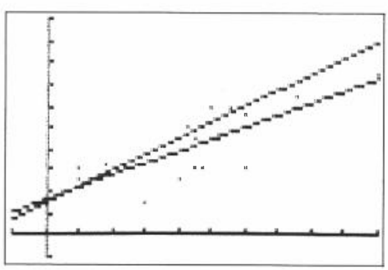
回帰直線を描きます



EXE

SUI=1, RIRON=2?

2 を選択し、A=3, B=3÷4 を入力すると右図のグラフとなります。 また 1 を選択し、X=60を入力すると、Y=37.26961867 を表示します。



母平均の検定

例　題

■ある学年から、ランダムに10人を選びテストの結果を調べたところ、

56, 47, 51, 61, 40, 42, 45, 50, 57, 71

でした。

これを正規母集団 $N(\mu, 10^2)$ からの標本値とみなして、帰無仮説 $H_0:\mu=50$ を検定してください。ただし、有意水準は 0.05、対立仮説は $H_1:\mu\neq 50$ とします。

解　法

■母標準偏差がわかっている場合、統計量 u_0 は

$$u_0=\frac{\bar{x}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

で求められます。

あとは危険率αの場合の $u(\alpha)$（ここでは$\alpha=0.05$ より $u(\alpha)=1.96$）と $|u_0|$ を比較すればよいでしょう。

$|u_0|<u(\alpha)$ ならば、H_0 は棄却できません。

$|u_0|\geqq u(\alpha)$ ならば、H_0 は棄却できます。

また母平均の信頼限界は、次のようになります。

上限：$\mu_u=\bar{x}+u(\alpha)\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}}$

下限：$\mu_L=\bar{x}-u(\alpha)\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}}$

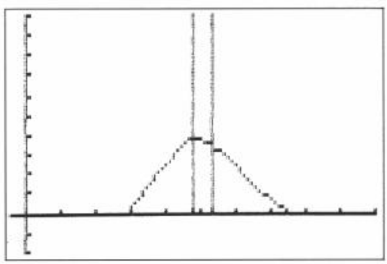
グラフによりサンプルの分布の形と、母平均の信頼限界およびその検定結果がどのようになるかを知ることは重要です。

プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	SHIFT	MODE	$\boxed{\times}$													SD2モード	
2	Defm	1	0	↵													4
3	Range	(−)	5	,	1	0	0	,	1	0	,	(−)	2	,	1		19
4	0	,	1	↵													23
5	Scl	↵															25
6	"	N	=	"	?	→	A	↵									33
7	Lbl	1	↵														36
8	"	D	A	T	A	"	?	→	B	:	B	;	1	DT	↵		51
9	A	−	1	→	A	↵											57
10	A	≠	0	⇒	Goto	1	↵										64
11	"	$\bar{x}$	=	"	◢	$\bar{x}$	◢										71
12	"	√	V	"	?	→	C	↵									79
13	"	μ	"	?	→	D	↵										86
14	(	$\bar{x}$	−	D	)	÷	C	×	√	W	→	E	◢				99
15	√	(	E	×	E	)	≦	1	.	9	5	9	⇒	"	=		114
16	H	"	◢														117
17	√	(	E	×	E	)	≧	1	.	9	6	0	⇒	"	≠		132
18	H	"	◢														135
19	Graph	Line	↵														138
20	1	.	9	6	×	C	÷	√	D	→	F	↵					150
21	Plot	D	+	F	,	0	:	Plot	D	+	F	,	1	0	↵		165
22	Line	↵															167
23	Plot	D	−	F	,	0	:	Plot	D	−	F	,	1	0	↵		182
24	Line																193
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容							
A	データ数	H		O		V	
B	データ	I		P		W	データ数(Aの初期値)
C	母平均標準偏差	J		Q		X	
D	母平均	K		R		Y	
E	統計量 u_0	L		S		Z	
F	信頼限界の幅	M		T			
G		N		U	$\bar{x}$		

操 作 例

	〈キー操作〉	〈表　示〉
	Prog 0 EXE	N=?
	1 0 EXE	1 0 DATA?
	5 6 EXE	5 6 DATA?
	4 7 EXE	4 7 DATA?
順次データを入力します	⋮	⋮
	7 1 EXE	7 1 $\bar{x}$=
	EXE	52.
	EXE	√V ?
	1 0 EXE	1 0 μ?
	5 0 EXE	5 0 0.632455532
	EXE	=H (=H … H_0 を棄却できない場合 ≠H … H_0 を棄却する場合)
	EXE	

解説・発展

■母平均がわかっていない場合は、統計量

$$t=\frac{\bar{x}-u_0}{\sqrt{v/n}}$$

を t(n−1, α) と比較することにより、検定できます。

母平均の推定

例題

■母集団から大きさ n の標本を1つとり出し、その平均（標本平均）を $\overline{x}$、標準偏差（標本標準偏差）を S とします。このとき、母集団の平均 m については次の式が成り立ちます。

$$P=(\overline{x}-1.96\frac{S}{\sqrt{n}}\leqq m\leqq\overline{x}+1.96\frac{S}{\sqrt{n}})=0.95 \quad \cdots①$$

ここで実際にランダム関数を用いて母集団を適当につくり、そこから大きさ m の標本を10回取り出し、その各々の場合について区間 $\left[\overline{x}-1.96\frac{S}{\sqrt{n}},\overline{x}+1.96\frac{S}{\sqrt{n}}\right]$ をグラフで示し、それらの区間のうちで母集団の実際の平均 m を含む個数を数えあげて①式を調べるプログラムを作成します。

解法

■①式を満たすために各統計量、

$$\overline{x},\ s,\ n,\ m$$

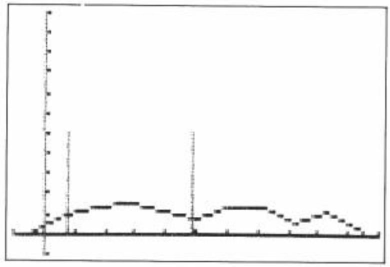
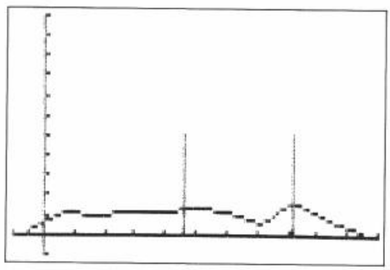
が必要となります。これはデータを統計モードで入力すると自動的に集計がなされますので、これを利用します。
母集団は Ran# 関数で発生させ、統計モードのデータとして入力します。そのうち最初から m 個入力したところで統計量をメモリーにストアしておき、これを大きさ m の標本の統計量として用います。

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム	実行内容	ステップ
1	SHIFT MODE ×	SD2モード	
2	Defm 1 0 ↵		4
3	Range (−) 1 0 , 1 1 0 , 1 0 , (−) 1 0		19
4	, 1 1 0 , 1 0 ↵		27
5	Scl : " N = " ? → A ↵		37
6	0 → F : 1 0 → G ↵		46
7	Lbl 1 : Cls ↵		51
8	1 0 0 × Ran# → B : B ; 1 DT ↵		64
9	W = A ⇒ $\bar{x}$ → C ↵		72
10	W = A ⇒ $x\sigma_{n-1}$ → D ↵		80
11	W ≦ 1 0 0 ⇒ Goto 1 ↵		89
12	1 . 9 6 × D ÷ √ A → E : Graph Line ↵		104
13	Plot C + E , 0 : Plot C + E , 5 0 ↵		119
14	Line ↵		121
15	Plot C − E , 0 : Plot C − E , 5 0 ↵		136
16	Line : G − 1 → G ↵		146
17	$\bar{x}$ ≧ C + E ⇒ Goto 2 ↵		153
18	$\bar{x}$ ≦ C − E ⇒ Goto 2 ↵		162
19	F + 1 → F ↵		168
20	" μ → O K ◢ G ◢		177
21	Goto 3 ↵		180
22	Lbl 2 ↵		183
23	" μ → X ◢ G ◢		191
24	Lbl 3 : Scl ↵		196
25	G ≧ 1 ⇒ Goto 1 ↵		203
26	" R A T I O = " ◢		212
27	F ÷ 1 0		216
28			

メモリー内容							
A	標本のサイズ	H		O		V	
B	母集団のデータ	I		P		W	
C	標本の平均	J		Q		X	母集団のデータ個数
D	標本の標準偏差	K		R		Y	
E	推定区間の幅	L		S		Z	
F	推定の正しかった回数	M		T			
G	試行回数	N		U			

操作例

〈キー操作〉	〈表　示〉
[Prog] 0 [EXE]	N＝？
5 [EXE]	5　…しばらく計算します
	μ→ＯＫ　…推定区間内の場合
[EXE]	残りの試行回数…　9．
[G↔T]	
（乱数を使っての計算のため右図とは異なるグラフになります。）	
[EXE]	μ→Ｘ　…推定区間外の場合 8．
[G↔T]	

順次、繰り返します。

⋮　⋮

[EXE]	μ→ＯＫ 残りの試行回数…　0．
[G↔T] …グラフを見ます	
[G↔T] …テキスト画面に戻ります	
[EXE]	ＲＡＴＩＯ＝ 母平均が推定範囲内であった割合…　0．6
（乱数を使っての計算のため、いろいろな割合の値をとります。）	

解説・発展

■このプログラムでは、8行目の

100×Ran#→B

によってデータを発生させていますので

100×Ran#²→B

と変えることにより、母集団の分布を変えられます。

また、標本の大きさと母平均の推定の正しさの割合について、統計をとって、どのような関係があるか考えてみましょう。

$\overline{x}-R$ 管理図

例　　題

■いま、ある機械から大量に製造される部品をサンプリングし、直径をはかることで、この部品の品質管理をしたい。毎時間5個のサンプリングを7時間実施したデータ（下表）から $\overline{x}-R$ 管理図を描き、管理限界について検討してください。（ただし、測定値は末尾3桁、単位cm）

	1	2	3	4	5	6	7
1	2.38	2.39	2.60	2.35	2.40	2.47	2.26
2	2.26	2.45	2.84	2.34	2.50	2.52	2.38
3	2.42	2.29	2.77	2.28	2.40	2.41	2.21
4	2.30	2.18	2.55	2.29	2.62	2.26	2.29
5	2.21	2.24	2.65	2.41	2.20	2.29	2.26

解　　法

■平均値を中心に、その統計量の標準偏差の3倍を上下の値にとって管理限界を決める管理図を3σ管理図といいます。

サンプリングの単位ごとのサンプルの数を群の大きさといいnで表わします。

$\overline{x}$ の期待値 $E(\overline{x})$ と標準偏差 $D(\overline{x})$ は、

$$E(\overline{x})=\mu,\ D(\overline{x})=\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdots\cdots ①$$

また、R の分布の期待値 $E(R)$ と標準偏差 $D(R)$ は、

$$E(R)=d_2\sigma,\ D(R)=d_3\sigma \cdots\cdots ②$$

②から $\sigma=E(R)/d_2$、したがって①は $D(\overline{x})=\dfrac{1}{d_2 n}E(R)$ となります。

$E(\overline{x})=\overline{\overline{x}}$（総平均）、$E(R)=\overline{R}$ とすると、

$$\overline{x}\rightarrow E(\overline{x})\pm 3D(\overline{x})\fallingdotseq\overline{\overline{x}}\pm\frac{3}{d_2\sqrt{n}}\overline{R} \cdots\cdots ③$$

同様に、②から $D(R)=\dfrac{d_3}{d_2}E(R)$

$$R\rightarrow E(R)\pm 3D(R)\fallingdotseq\overline{R}\pm 3\frac{d_3}{d_2}R=(1\pm 3\frac{d_3}{d_3})\overline{R} \cdots\cdots ④$$

■この問題では n=5 です。

また、d_2, d_3 は、管理図用係数表（3σ法）で n=5 の値を調べますと、$d_2=2.326$, $d_3=0.864$ です。

したがって③式から、$\overline{x}$ については、

上方管理限界線：$\overline{\overline{x}}+\dfrac{3}{2.326\sqrt{5}}\overline{R}$

下方管理限界線：$\overline{\overline{x}}-\dfrac{3}{2.326\sqrt{5}}\overline{R}$ （負になるときは0とする）

となります。

また、④式から、R については、

上方管理限界線：$(1+3\dfrac{0.864}{2.326})\overline{R}$

下方管理限界線：$(1-3\dfrac{0.864}{2.326})\overline{R}$

となります。

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	Range	0	,	8	,	1	,	0	,	3	,	0	.	3	↵		15
2	0	→	U	:	0	→	V	:	0	→	R	↵					27
3	Lbl	1	↵														30
4	0	→	O	:	0	→	T	↵									38
5	1	EXP	3	8	→	Q	:	(−)	Q	→	P	↵					50
6	Lbl	2	↵														53
7	"	X	=	"	?	→	X	↵									61
8	X	≧	P	⇒	X	→	P	↵									69
9	X	≦	Q	⇒	X	→	Q	↵									77
10	T	+	X	→	T	:	U	+	X	→	U	↵					89
11	O	+	1	→	O	↵											95
12	O	≦	4	⇒	Goto	2	↵										102
13	P	−	Q	+	R	→	R	↵									110
14	P	−	Q	→	A	[	V	]	↵								119
15	T	÷	5	→	H	[	V	]	↵								128
16	V	+	1	→	V	:	V	◢									136
17	V	≦	6	⇒	Goto	1	↵										143
18	0	→	V	↵													147
19	Plot	1	,	H	[	0	]	↵									155
20	Lbl	3	↵														158
21	V	+	1	→	V	↵											164
22	Plot	V	+	1	,	H	[	V	]	:	Line	↵					176
23	V	≦	5	⇒	Goto	3	↵										183
24	U	÷	3	5	→	X	:	R	÷	7	→	R	↵				196
25	2	.	3	2	6	×	√	5	→	W	↵						207
26	0	→	V	:	X	+	3	R	÷	W	→	Y	↵				220
27	X	−	3	R	÷	W	→	Z	↵								229
28	Lbl	4	↵														232

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	Plot	0	,	Y	:	Plot	8	,	Y	:	Line	↵					244
2	Plot	0	,	Z	:	Plot	8	,	Z	:	Line	◢					256
3	0	→	V	:	Plot	1	,	A	[	0	]	↵					268
4	Lbl	5	:	V	+	1	→	V	↵								277
5	Plot	V	+	1	,	A	[	V	]	:	Line	↵					289
6	V	≦	5	⇒	Goto	5	↵										296
7	3	×	0	.	8	6	4	×	R	÷	2	.	3	2	6		311
8	→	W	↵														314
9	Plot	0	,	W	+	R	:	Plot	8	,	W	+	R	↵			328
10	Line	↵															330
11	Plot	0	,	W	−	R	:	Plot	8	,	W	−	R	↵			344
12	Line																345
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A	A[0]:P−Q	H	H[0]: $\bar{x}$	O	カウンタ	V	カウンタ（群内）
	B	A[1] 〃	I	H[1] 〃	P	群内最大値	W	ワーク
	C	A[2] 〃	J	H[2] 〃	Q	群内最小値	X	データ
	D	A[3] 〃	K	H[3] 〃	R	(P−Q)の合計	Y	管理上限値
	E	A[4] 〃	L	H[4] 〃	S		Z	管理下限値
	F	A[5] 〃	M	H[5] 〃	T	群内計		
	G	A[6] 〃	N	H[6] 〃	U	総合計		

操 作 例

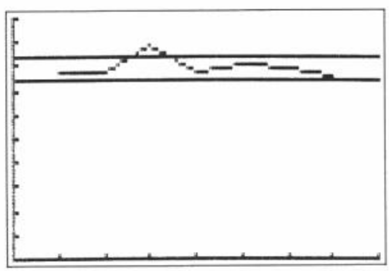
〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	X＝?
2.38 EXE	2.38 X＝?
2.26 EXE	2.26 X＝?
⋮	⋮
2.21 EXE	2.21　第一群のデータ入力完了を示します …… 1.
EXE	X＝?
2.39 EXE	2.39
⋮	⋮

順次入力します

2.26 EXE

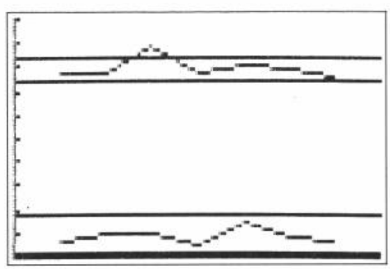
EXE

—Disp—



←$\overline{x}$

EXE



←R

解説・発展

■ $\overline{x}$ のグラフから、３番目のデータが管理はずれを起こしているのがわかります。

ここでは、x と R を対比して描くために、グラフとしては、変化がはっきりしないきらいがあります。別々に表示してレンジを変えるか、データを R のレンジに近づくように適当な数を引いてやればよいでしょう。

また、もっとデータの量が多い場合は、データ入力ごとにプロットしていくプログラムにすれば問題はありません。

極限値のある傾向値

例　題

■右の表は、国鉄の営業キロ数を、5年単位の時系列で表わしたものです。

このデータは、成長率が時間とともに減少します。このロジスチック傾向線を描きなさい。また、3点法を使って、極限値を求めロジスチック曲線をグラフにしなさい。

No	年	国鉄営業キロ数
1	1910年	7,791キロ
2	15	9,746
3	20	10,913
4	25	13,246
5	30	15,311
6	35	17,138
7	40	18,400
8	45	19,620
9	50	19,786
10	55	20,093
11	60	20,482
12	65	20,754
13	70	20,890

解　法

■ロジスチック傾向線は

$$T=\frac{1}{a+bc^{t}} \qquad a>0,\ b>0,\ 0<C<1 \quad \cdots\cdots①$$

です。これは、一定の極限値をもち、曲線の相対増加率は時間とともに減少します。

①のa, b, c を　$a=\dfrac{1}{K},\ b=\dfrac{m}{K},\ c=e^{-r}$ ……②

とおきかえると①は

$$T=\frac{K}{1+me^{-rt}} \quad \cdots\cdots\cdots③$$

③で $r>0$ ならば $t=-\infty$ で $T=0$, $t=+\infty$ で $T=K$ です。

K は T の極限値であり、T は0から K に向かって増加します。

■３点法は、時間 t 軸上に等間隔の３点、t_1, t_2, t_3 をとり、

$$t_1=0,\ t_2=n,\ t_3=2n \quad \cdots\cdots ④$$

として、対応する曲線の高さを T_0, T_1, T_2 とします。
①の逆数をとると、

$$\frac{1}{T}=a+bc^t \qquad \cdots\cdots ⑤$$

⑤に④を代入して

$$\left.\begin{aligned} S_0&=\frac{1}{T_0}=a+b \\ S_1&=\frac{1}{T_1}=a+bc^n \\ S_2&=\frac{1}{T_2}=a+bc^{2n} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots ⑥$$

となります。⑥より

$$\left.\begin{aligned} C^n&=\frac{S_2-S_1}{S_1-S_0} \\ b&=\frac{S_1-S_0}{C^n-1}=\frac{(S_1-S_0)^2}{S_0+S_2-2S_1} \\ a&=S_0-b=\frac{S_0S_2-S_1^2}{S_0+S_2-2S_1} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots ⑦$$

また、②は

$$K=\frac{1}{a},\ m=\frac{b}{a} \qquad \cdots\cdots ⑧$$

と書けます。

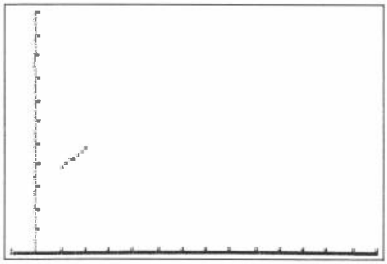
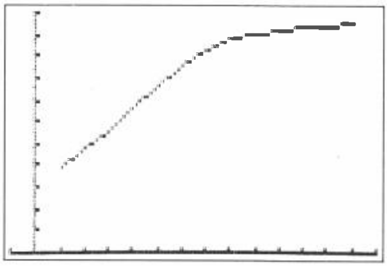
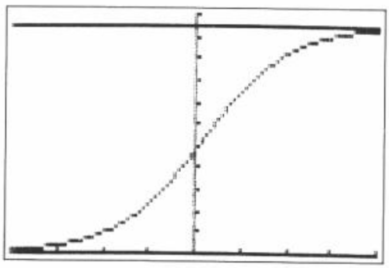
■表の No.1～3 の平均値を S_0, No.6～8 の平均値を S_1, No.11～13 の平均値を S_3 として⑦を使って計算します。グラフは①より、極限値は⑧より得られます。

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	Range	(−)	1	,	1	4	,	1	,	0	,	2	2	0	0		15
2	0	,	2	0	0	0	↵										22
3	0	→	I	:	0	→	H	↵									30
4	Lbl	1	↵														33
5	I	+	1	→	I	↵											39
6	"	D	A	T	A	=	"	?	→	D	↵						50
7	Plot	I	,	D	↵												55
8	I	>	1	⇒	Line	◢											61
9	D	+	H	→	H	↵											67
10	I	=	3	⇒	(	H	÷	3	)	x^{-1}	→	S	↵				80
11	I	=	8	⇒	(	H	÷	3	)	x^{-1}	→	T	↵				93
12	I	=	1	3	⇒	(	H	÷	3	)	x^{-1}	→	U	↵			107
13	I	=	5	⇒	0	→	H	↵									115
14	I	=	1	0	⇒	0	→	H	↵								124
15	I	<	1	3	⇒	Goto	1	↵									132
16	Lbl	2	↵														135
17	(	U	−	T	)	÷	(	T	−	S	)	→	C	↵			149
18	(	T	−	S	)	÷	(	C	−	1	)	→	B	↵			163
19	S	−	B	→	A	↵											169
20	A	x^{-1}	→	K	:	K	◢										176
21	Range	(−)	2	,	2	,	0	.	5	,	0	,	2	2	0		191
22	0	0	,	2	0	0	0	↵									199
23	Graph	K	↵														202
24	Graph	(	A	+	B	×	C	x^y	X	)	x^{-1}						213
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A	a^nの値	H	小計用	O		V	
	B	bの値	I	カウンタ	P		W	
	C	cの値	J		Q		X	t
	D	入力用	K	Kの値	R		Y	
	E		L		S	S_0の値	Z	
	F		M		T	S_1の値		
	G		N		U	S_2の値		

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　示〉
Prog 0 EXE	DATA=?
7791 EXE	7791 DATA?
9746 EXE	
EXE	DATA=?
10913 EXE	2番目のデータ以降、テキスト画面とグラフィック画面を交互に表示
順次入力します ⋮	
20890 EXE	
EXE	国鉄営業キロ数のロジスチック傾向線 極限値・・・・ 21069.8222
EXE	 ロジスチック曲線

解説・発展

■③式を微分しますと、

$$\frac{dT}{dt}=rT(1-\frac{T}{K})$$

$$\therefore \frac{1}{T}\frac{dT}{dt}=r(1-\frac{T}{K})\cdots\cdots\cdots ⑨$$

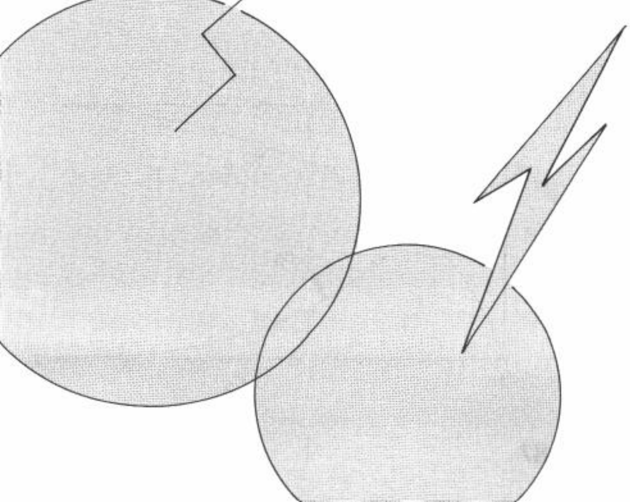
$dt\to\Delta t,\ dT\to\Delta T,\ \Delta t=1,\ \alpha=r,\ \beta=\frac{r}{K}$ とおくと、⑨は

$$\frac{\Delta T}{T}=\alpha-\beta T\cdots\cdots\cdots ⑩$$

となります。
⑩は横軸に T、縦軸に $\frac{\Delta T}{T}$ をとればロジスチック曲線の成長率は T に対し減少直線となります。
このことから、例題のデータを使って隣り合うデータの差をとって増加分を計算し、LR2モードを使って回帰直線を描かせ、⑩を検証することができます。

第 3 章

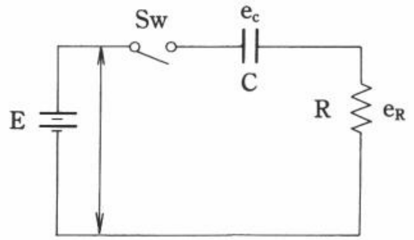
電気・電子



RC 回路のパルス応答

例　　題

■RC の直列回路に直流電圧 e を突然印加しますと（このときの瞬時電流を i）R, Cの両端の瞬時電圧 e_R, e_C は



$$\begin{cases} e_R = i_R = RC\dfrac{de_C}{dt} \\ e_C = \dfrac{1}{C}\displaystyle\int idt = \dfrac{1}{RC}\int e_R dt \cdots ① \\ e = e_R + e_C \end{cases}$$

となります。

e_R, e_C の時間による変化を、グラフで示しなさい。

解　　法

■初期条件 t＝0， e_C＝0 として①を解けば、

$$e_R = e \cdot \exp(-t/RC)$$

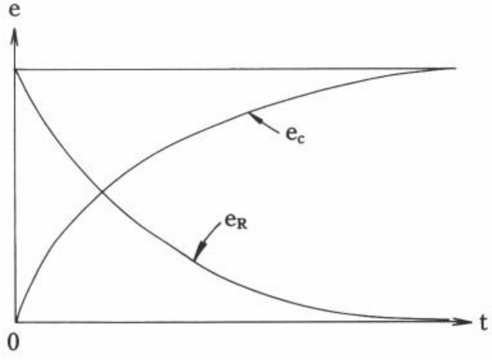
$$e_C = e(1 - \exp(-t/RC))$$

となります。

また τ は時定数で、

$$\tau = RC$$

となります。



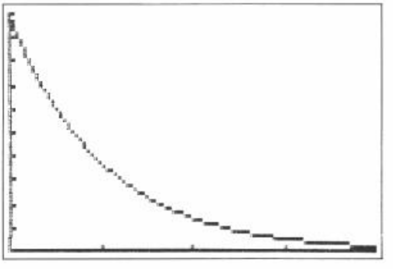
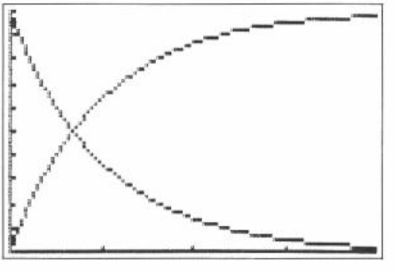
プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	Lbl	0	↵														3
2	"	E	=	"	?	→	E	↵									11
3	E	≦	0	⇒	Goto	0	↵										18
4	Lbl	1	↵														21
5	"	R	=	"	?	→	R	↵									29
6	R	≦	0	⇒	Goto	1	↵										36
7	Lbl	2	↵														39
8	"	C	=	"	?	→	C	↵									47
9	C	≦	0	⇒	Goto	2	↵										54
10	Range	0	,	4	R	C	,	R	C	,	0	,	E	,	0		69
11	.	1	E	↵													73
12	Graph	E	(	e^x	(	(−)	X	÷	(	R	C	)	)	)	◢		88
13	Graph	E	(	1	−	e^x	(	(−)	X	÷	(	R	C	)	)		103
14	)	◢															105
15	"	E	N	D	"												110
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容

A		H		O		V	
B		I		P		W	
C	コンデンサ容量	J		Q		X	
D		K		R	抵抗値	Y	
E	電圧	L		S		Z	
F		M		T			
G		N		U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	E = ?
80 EXE	80
	R = ?
50 EXE	50
	C = ?
0.2 EXE	
EXE	
EXE	END

RLC 直列回路の共振

例　題

■右図のような直列RLC 回路において

$v=V\sin(2\pi ft)$

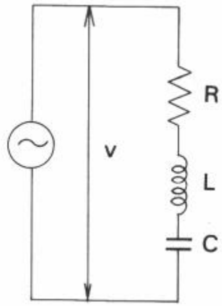
$V=5\ [V]$

$R=1\ [K\Omega]$

$L=0.1\ [H]$

$C=0.001\ [\mu F]$　とします。

周波数 f [Hz] を変化させたときの電流の最大値 I を調べ、共振周波数 f_0 [Hz] を求めなさい。



解　法

■直列 RLC 回路のインピーダンス Z [Ω] は

$$Z=\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}$$ で与えられます。

ただし、$\omega=2\pi f$ は角振動数 [rad/s] です。
したがって流れる電流の最大値は

$$I=\frac{V}{Z}=V\Big/\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}$$ です。

共振周波数 f_0 は I が最大になるとき $L\omega=\dfrac{1}{C\omega}$ のときの周波数で

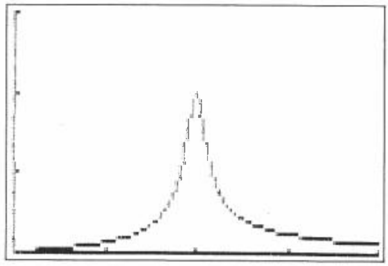
$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$ により与えられます。

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	Cls	↵															2
2	"	V	[	V	]	=	"	?	→	V	↵						13
3	"	R	[	K	O	H	M	]	"	?	→	R	:	1	EXP		28
4	3	R	→	R	↵												33
5	"	L	[	H	]	=	"	?	→	L	↵						44
6	"	C	[	μ	F	]	=	"	?	→	C	:	1	EXP	(−)		59
7	6	C	→	C	:	V	÷	R	→	I	↵						70
8	(	2	π	√	(	L	C	)	)	x^{-1}	→	F	↵				83
9	Range	0	,	4	π	F	,	π	F	,	0	,	1	.	5		98
10	I	,	0	.	5	I	↵										105
11	Graph	V	÷	√	(	R	x^2	+	(	L	X	−	(	C	X		120
12	)	x^{-1}	)	x^2	)	◢											126
13	"	F	=	"	◢												131
14	F	◢															132
15	"	I	=	"	◢												137
16	I																138
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容

A		H		O		V	電圧 V
B		I	電流 I	P		W	
C	キャパシタンス C	J		Q		X	
D		K		R	抵抗 R	Y	
E		L	リアクタンス L	S		Z	
F	周波数 f	M		T			
G		N		U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	V [V] = ?
5 EXE	5
	R [KOHM] = ?
.1 EXE	1
	L [H] = ?
0. 1 EXE	0. 1
	C [μF] = ?
0. 0 0 1 EXE	
EXE	F =
EXE	15915. 49431
EXE	I =
EXE	5.E−03

解説・発展

■R, L, C の値をいろいろ変化させて、ピークの幅が変化することを確かめてみます。たとえば、C=1 [μF] とするとピークの幅は非常に大きくなり、共振は f_0 だけでなく、ピークの幅を表わす Q 値を調べないと同調回路を作れないことがわかります。

振幅変調

例　　題

■振幅変調とは搬送波の振幅 A_c を変調信号に比例して変化させる方法です。
いま、搬送波を $\upsilon_c = A_c \sin \omega_c t$ とし、これを変調信号波 $\upsilon_m = A_m \sin \omega_m t$ で変調したときと被変調波 υ_{AM} は

$$\upsilon_{AM} = (A_c + A_m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$
$$= A_c (1 + M \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$

となります。

ただし、M は変調度です。
$\omega_c = 10$, $\omega_m = 1$, $A_c = 1$ のとき、M の値を 0.5, 1, 2 と変えて υ_m, υ_c, υ_{AM} のグラフを描きなさい。

解　　法

■υ_{AM} の包絡線は、$A_c(1+M \sin \omega_m t)$ ですので、$\upsilon_{AM} \pm A_c(1+M \sin \omega t)$ の 3 つのグラフを重ね描きします。
まず、υ_c のグラフを描き、次に M の値を読み込んで、$A_m(=MA_c)$ を用いて υ_m のグラフを、さらに υ_{AM} とその包絡線のグラフを描きます。

プログラム

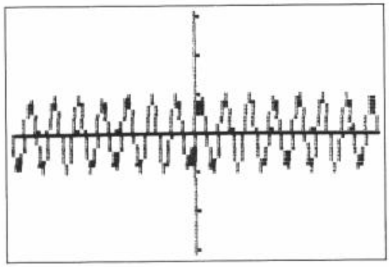
行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	Range	(−)	4	.	7	,	4	.	7	,	1	,	(−)	3			15
2	1	,	3	.	1	,	1	↵									23
3	Rad	↵															25
4	Graph	sin	1	0	X	◢											31
5	Cls	↵															33
6	"	M	=	"	?	→	M	↵									41
7	Graph	M	×	sin	X	◢											47
8	Cls	↵															49
9	Graph	(	1	+	M	×	sin	X	)	×	sin	1	0	X	↵		64
10	Graph	1	+	M	×	sin	X	↵									72
11	Graph	(−)	1	−	M	×	sin	X									80
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	tの値
	D		K		R		Y	υの値
	E		L		S		Z	
	F		M	Mの値	T			
	G		N		U			

操 作 例

〈キー操作〉 〈表 示〉

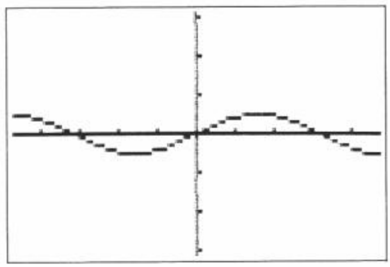
Prog 0 EXE



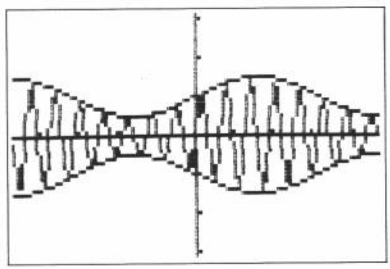
EXE

M= ?

0.5 EXE

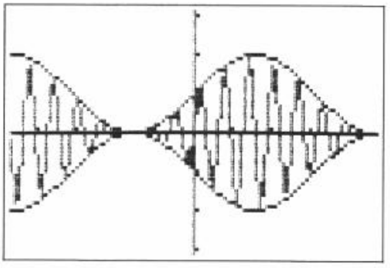


EXE

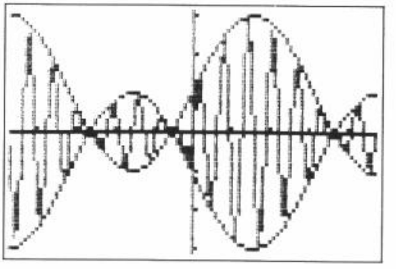


解説・発展

M＝1 のとき



M＝2 のとき

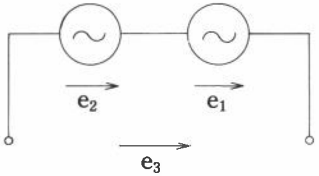


■M＝2 の場合は v_{AM} の包絡線が v_m と違った波形になってしまいます。これを過変調 (over modulation) といいます。
したがって $0 \leqq M \leqq 1$ でなければなりません。特に M＝1 の場合を100％変調といいます。

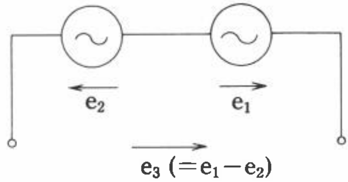
交流波形の和と差（合成波）

例　　題

■（和）



（差）



上図のように、起電力 e_1 と e_2 を合成した、起電力 e_3 の波形を図示しなさい。

解　　法

■e_1, e_2 は次式で表わされます。

$$e_1 = E_1 \sin(\omega t)$$

$$e_2 = E_2 \sin(\omega t - \vartheta)$$ （E_1, E_2 は e_1, e_2 のそれぞれの最大値）

E_1, E_2, ω, ϑ を指定して、e_1, e_2 それぞれの起電力の波形と、合成した e_3 の波形を表示するプログラムを考えます。

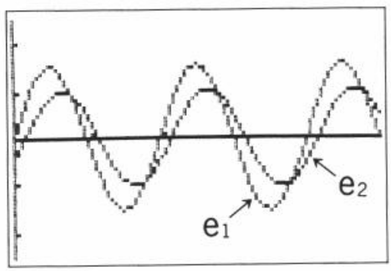
プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム															実行内容	ステップ
1	<	Plog	Ø	>													
2	Range	Ø	,	1	5	,	3	.	1	4	1	5	,	(−)	2		15
3	.	5	,	2	.	5	,	1	:	Rad	↵						26
4	”	E	1	=	”	?	→	A	↵								35
5	”	E	2	=	”	?	→	B	↵								44
6	”	W	=	”	?	→	W	↵									52
7	”	O	=	”	?	→	O	↵									60
8	Plog	1	↵														63
9	Graph	A	sin	W	X	+	B	sin	(	W	X	−	O	)	◢		78
10	Cls	↵															80
11	Plog	1	↵														83
12	Graph	A	sin	W	X	−	B	sin	(	W	X	−	O	)			97
13																	
14	<	Plog	1	>													
15	Graph	A	sin	W	X	↵											6
16	Graph	B	sin	(	W	X	−	O	)	◢							16
17																	
18																Prog 0−1計113	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

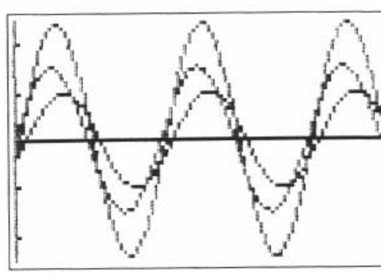
操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
Prog 0 EXE	E 1 = ?
1 . 5 EXE	1 . 5 E 2 = ?
1 EXE	1 W = ?
$\pi \div 3$ EXE （ωの入力）	$\pi \div 3$ O = ?
$\pi \div 6$ EXE （θの入力）	



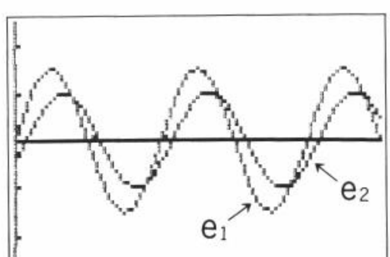
e_1, e_2 のグラフ

EXE



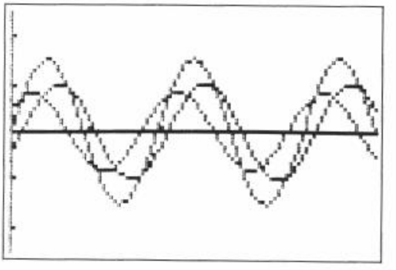
$e_1 + e_2$ のグラフ

EXE



同じものを描き直し

EXE



$e_1 - e_2$ のグラフ

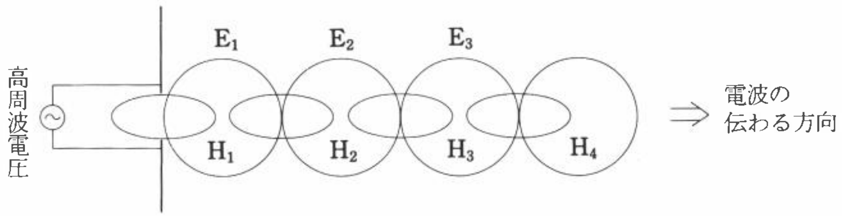
電波の磁界と電界

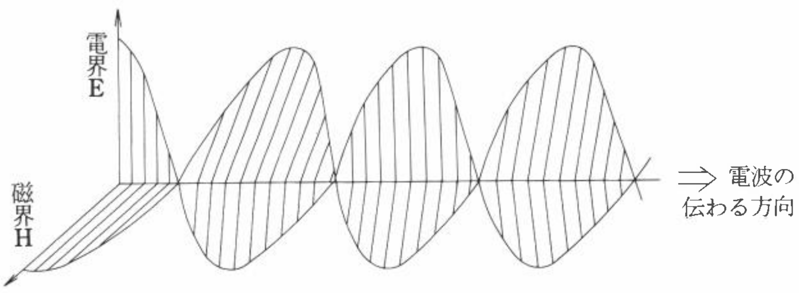
例　題

■電波の磁界と電界のようすを表示しなさい。

解　法

■アンテナに高周波電流を流すと、アンテナのまわりには高周波磁界 H_1 ができ、その磁界によって高周波電界 E_1 が発生します。電界には変位電流が流れますので、そのまわりには、次の高周波磁界 H_2 ができさらに次の電界 E_2 をつくります。
以上のようなことが繰り返され、高周波磁界と高周波電界が互いにからみ合いながら電波となって伝わってゆきます。
伝わる方向および電界・磁界面は各々直角となります。





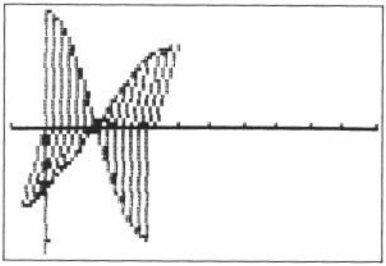
プログラム

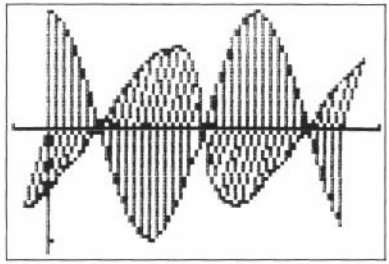
行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プログラム	実行内容	ステップ
1	Rad ↵		2
2	Range (−) 1 , 1 0 , 1 , (−) 1 . 1 , 1		17
3	, 1 ↵		20
4	0 → A ↵		24
5	Lbl 1 ↵		27
6	(−) 0 . 7 × cos A → B ↵		37
7	Plot B + A , B ↵		44
8	Plot A , 0 ↵		49
9	Line ↵		51
10	A ≠ 0 ⇒ Plot E , F : Plot A , cos A :		66
11	Line ↵		68
12	A → E : cos A → F ↵		77
13	Plot A , cos A ↵		83
14	Plot A , 0 ↵		88
15	Line ↵		90
16	A ≠ 0 ⇒ Plot E , F : Plot A , cos A :		105
17	Line ↵		107
18	A → E : cos A → F ↵		116
19	A + 0 . 2 4 → A ↵		125
20	A ≦ 9 ⇒ Goto 1		131
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

メモリー内容								
A	x軸の値	H		O		V	
B	磁界方向の値	I		P		W	
C		J		Q		X	
D		K		R		Y	
E		L		S		Z	
F		M		T			
G		N		U			

操作例

■プログラムを実行すると、電界と磁界の進んでいく様子が描かれます。実行終了後は G↔T キーを押すと完成したグラフが表示されます。

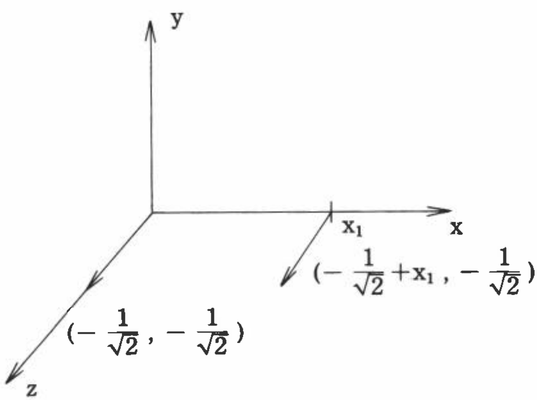




解説・発展

■ここで用いた立体的表現は、下図のZ軸の値を x−y 座標へ

$(x, y)=(-\frac{1}{\sqrt{2}}Z+x, -\frac{1}{\sqrt{2}}Z)$ により変換したものです。



増幅器の周波数特性

例　題

■μA709型の演算増幅器は内部に位相補償を施していませんので、利得周波数特性は各段のトランジスタの周波数特性や浮遊容量の影響で、高次の周波数特性を持ちます。

普通は次式で示すように３次で特性を近似します。

$$A = \frac{A_0}{(1+jf/f_1)(1+jf/f_2)(1+jf/f_3)}$$

$A_0 = 100\mathrm{dB}$, $f_1 = 10\mathrm{kHz}$, $f_2 = 500\mathrm{kHz}$, $f_3 = 5\mathrm{MHz}$ としたときの振幅および位相特性のグラフを描きなさい。

解　法

■ $$|A| = \frac{A_0}{\sqrt{(1+a^2)(1+b^2)(1+c^2)}},$$

$$\arg A = \tan^{-1}\left(\frac{abc-a-b-c}{1-ab-bc-ca}\right)$$

ただし、 $a = \frac{f}{f_1}$, $b = \frac{f}{f_2}$, $c = \frac{f}{f_3}$

x 軸を log scale にするため、$f = 10^x$, $0 \leqq x \leqq 7$ (1 [Hz]$\leqq f \leqq$10 [MHz]) とします。

プログラム

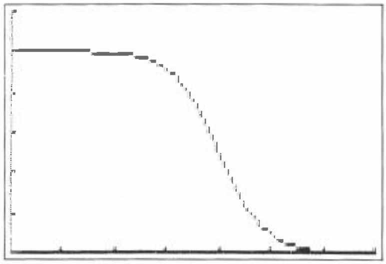
行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プログラム															実行内容	ステップ
1	Deg	:	1	EXP	4	→	A	↵									8
2	5	EXP	5	→	B	:	5	EXP	6	→	C	↵					20
3	Range	0	,	7	,	1	,	0	,	1	2	0	,	2	0		35
4	↵																36
5	Graph	1	0	0	÷	√	(	(	1	+	10^x	X	÷	A	)		51
6	x^2	×	(	1	+	(	10^x	X	÷	B	)	x^2	)	×	(		66
7	1	+	(	10^x	X	÷	C	)	x^2	)	)	◢					78
8	Range	0	,	7	,	1	,	(−)	2	7	0	,	0	,	4		93
9	5	↵															95
10	0	→	X	:	0	→	D	↵									103
11	Lbl	1	↵														106
12	10^x	(	3	X	)	÷	(	A	×	B	×	C	)	−	10^x		121
13	X	÷	A	−	10^x	X	÷	B	−	10^x	X	÷	C	→	V		136
14	↵																137
15	1	−	10^x	(	2	X	)	×	(	A	x^{-1}	×	B	x^{-1}	+		152
16	B	x^{-1}	×	C	x^{-1}	+	C	x^{-1}	×	A	x^{-1}	)	→	w	↵		167
17	$\tan^{-1}$	(	V	÷	W	)	→	Y	↵								176
18	Y	≧	0	⇒	1	→	D	↵									184
19	D	=	1	⇒	Y	−	1	8	0	→	Y	↵					196
20	Plot	X	,	Y	↵												201
21	X	=	0	⇒	Goto	2	↵										208
22	Line	↵															210
23	Lbl	2	↵														213
24	X	+	0	.	1	→	X	↵									221
25	X	≦	7	⇒	Goto	1	↵										228
26	Plot																229
27																	
28																	

メモリー内容								
	A	f_1	H		O		V	ワーク
	B	f_2	I		P		W	ワーク
	C	f_3	J		Q		X	xの値
	D	$\tan^{-1}$用のフラグ	K		R		Y	|A|およびarg A
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

操作例

〈キー操作〉　　〈表　示〉

[Prog] 0 [EXE]



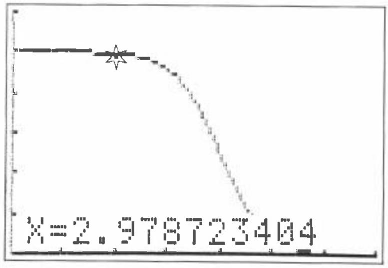
振幅の周波数特性

[SHIFT] [Trace]　[⇨] …

と押すことで座標を読みとれます

[SHIFT] [X↔Y]

で Y 座標も読めます

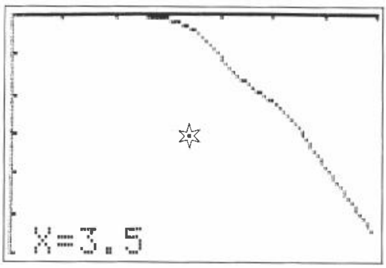


[EXE]

（約50秒かかる）

カーソルキー，[SHIFT] [X↔Y]

で、任意の X,Y 座標が読みとれます。



位相特性

解説・発展

■演算増幅器はフィルタ回路によく使われます。フィルタを設計する際には、本例題でみたように、演算増幅器にも周波数特性をもつことに注意する必要があります。このことを忘れると設計通りの特性をもつフィルタが作れない場合があります。

電気・電子 ——— 7

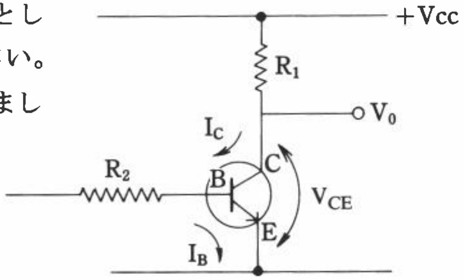
トランジスタの静特性

例　　題

■

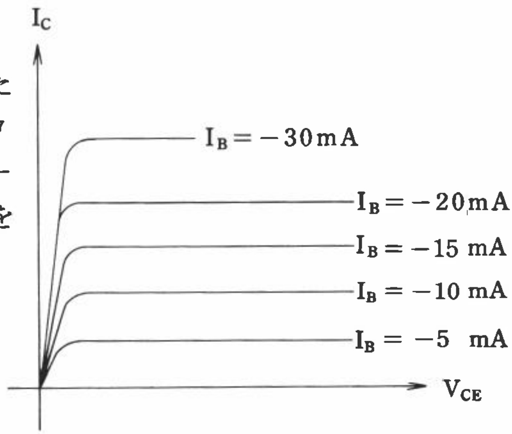
パラメータ I_B(mA)	V_{CE}(V) / No.	+0.2	+0.5	+1.0	+2.0	+3.0	+5.0
+5	1 (A)	+0.2	+0.26	+0.32	+0.37	+0.39	+0.41
+10	2 (A)	+0.5	+0.6	+0.65	+0.69	+0.71	+0.73
+15	3 (A)	+0.8	+0.9	+0.95	+0.98	+1.0	+1.02
+20	4 (A)	+1.07	+1.16	+1.2	+1.23	+1.24	+1.25

$R_1 = \frac{10}{7}\Omega$, $R_2 = 1\Omega$, $Vcc = 1V$ として、上記データをグラフにしなさい。また、負荷直線の表示もしてみましょう。



解　　法

■パラメータ数とデータ数を指定したあと、R_1, R_2, V を入力し、データを入力します。グラフ上に入力データをプロットし、最後に負荷直線を描きます。

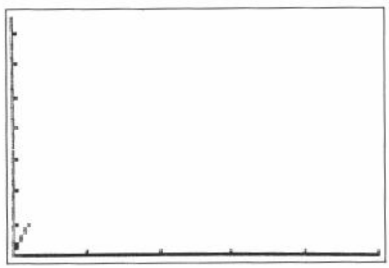


行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プ ロ グ ラ ム															実行内容	ステップ
1	Range	0	,	5	,	1	,	0	,	1	.	5	,	0	.		15
2	2	:	Defm	2	0	↵											21
3	Lbl	8	↵														24
4	”	P	A	R	A	M	E	T	E	R	SPACE	S	U	U	”		39
5	?	→	A	↵													43
6	A	≦	0	⇒	Goto	8	↵										50
7	Lbl	0	:	”	D	A	T	A	SPACE	S	U	U	”	?	→		65
8	B	↵															67
9	B	>	2	0	⇒	Goto	9	↵									75
10	B	≦	0	⇒	Goto	0	↵										82
11	1	→	C	:	B	→	D	↵									90
12	Lbl	1	↵														93
13	”	V	=	”	?	→	Z	[	D	]	:	Dsz	D	:	Goto		108
14	1	↵															110
15	Lbl	2	:	B	→	D	↵										117
16	”	P	A	R	A	M	E	T	E	R	SPACE	N	O	.	”		132
17	:	C	◢														135
18	C	+	1	→	C	:	Plot	0	,	0	↵						146
19	Lbl	3	↵														149
20	”	I	=	”	?	→	E	↵									157
21	Plot	Z	[	D	]	,	E	:	Line	◢							167
22	Dsz	D	:	Goto	3	↵											173
23	Dsz	A	:	Goto	2	:	Goto	4	↵								182
24	Lbl	9	:	”	D	A	T	A	SPACE	O	V	E	R	”	◢		197
25	Goto	0	↵														200
26	Lbl	4	:	”	V	.	C	C	=	”	?	→	K	↵			214
27	”	R	1	”	?	→	L	↵									222
28	Graph	(−)	L	x^{-1}	X	+	K	L	x^{-1}								231

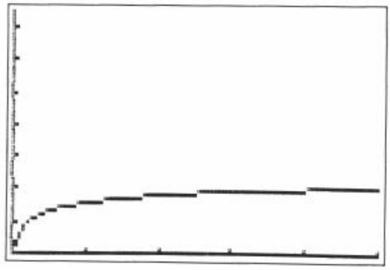
メモリー内容

A		H		O		V	
B	パラメータ数	I		P		W	
C	データ数	J		Q		X	
D		K		R		Y	
E		L	V_{cc}	S		Z	
F		M	R_1	T			
G		N		U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　　示〉
[Prog] 0 [EXE]	PARAMETER SUU?
4 [EXE]	4 DATA SUU?
6 [EXE]	6 V=?
0.2 [EXE]	0.2 V=?
0.5 [EXE]	0.5 V=?
順次入力します ⋮	⋮
5 [EXE]	5 PARAMETER NO. 1.
[EXE] 0.2 [EXE] [EXE] 0.26 [EXE] 順次入力します ⋮	

0.41 [EXE]



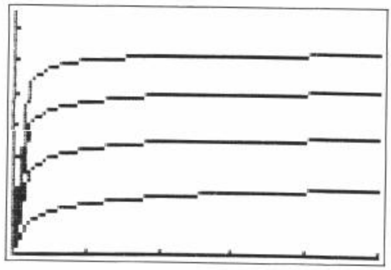
[EXE]　　PARAMETER NO. 2.

[EXE]　　I=?

⋮

以下順に No.4 まで入力していきます。

1.25 [EXE]



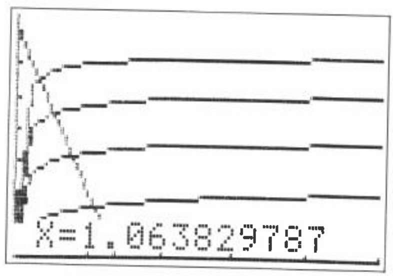
[EXE]　　V.CC=?

10÷7 [EXE]　　10÷7

R1=?

1 [EXE]

[SHIFT] [Trace]



求めたい交点にポインタを合わせます

[SHIFT] [X↔Y]

で Y 座標を求めます

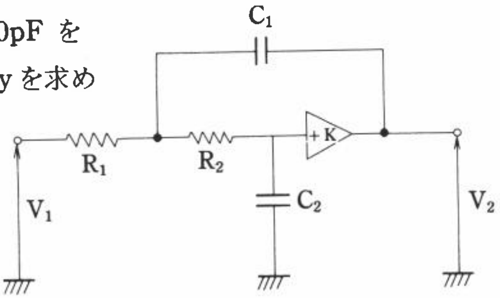
LPF 設計

例　　題

■ $\begin{cases} \text{Cut off frequency 200kHz} \\ Q=1 \end{cases}$

としたいとき、都合のよい抵抗値を 100kΩ とすると、C_1, C_2 の値はいくらにすればよいでしょうか。

また、C_1, C_2 として 16.0pF, 4.0pF を使った場合の Cut off Frequency を求めなさい。



解　　法

■ $$\frac{V_2}{V_1}=\frac{H\omega_0}{S^2+\dfrac{\omega_0}{Q}S+\omega_0^2}$$, 電圧利得　K=1

$R_1=R_2=R$ として、C_1, C_2 を求めますと、

$$C_1=\frac{2Q}{\omega_0 R},\ C_2=\frac{1}{2Q\omega_0 R}\qquad (\omega_0=2\pi f)$$

となります。

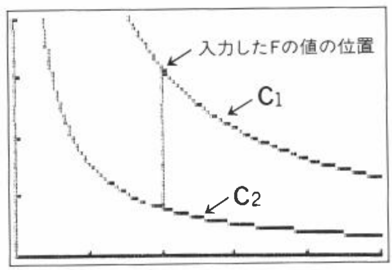
Cut off frequency f および Q（中心周波数を 3dB 帯域幅で割った量で振幅特性が Q の大きさによって変わる）、都合のよい値とした抵抗値 R を入力することで、C_1, C_2 を求めます。

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	<	Prog	0	>												Prog 0−1計265	
2	Range	0	,	5	EXP	5	,	1	EXP	5	,	0	,	2	0		15
3	,	5	↵														18
4	"	F	[	k	H	]	=	"	?	→	F	:	F	×	1		33
5	EXP	3	→	F	↵												38
6	"	Q	=	"	?	→	Q	↵									46
7	"	R	1	=	R	2	[	K	]	=	"	?	→	R	:		61
8	R	×	1	EXP	3	→	R	↵									69
9	Graph	Q	÷	(	π	R	X	)	×	1	EXP	1	2	↵			83
10	Graph	(	4	π	Q	R	X	)	x^{-1}	×	1	EXP	1	2	↵		98
11	Q	÷	(	π	R	F	)	×	1	EXP	1	2	→	C	↵		113
12	(	4	π	Q	R	F	)	x^{-1}	×	1	EXP	1	2	→	D		128
13	↵																129
14	Plot	F	,	C	:	Plot	F	,	D	:	Line	◢					141
15	"	C	1	[	p	F	]	=	"	◢	C	◢					153
16	"	C	2	[	p	F	]	=	"	◢	D						164
17																	
18	<	Prog	1	>													
19	"	R	[	K	]	=	"	?	→	R	:	R	×	1	EXP		15
20	3	→	R	↵													19
21	"	C	1	[	p	F	]	=	"	?	→	C	:	C	÷		34
22	1	EXP	1	2	→	C	↵										41
23	"	C	2	[	p	F	]	=	"	?	→	D	:	D	÷		56
24	1	EXP	1	2	→	D	↵										63
25	"	F	[	k	H	]	=	"	◢	(	2	π	R	√	C		78
26	D	)	x^{-1}	÷	1	EXP	3	◢									86
27	"	Q	=	"	◢												91
28	(	2	√	(	D	÷	C	)	)	x^{-1}							101

メモリー内容							
A		H		O		V	
B		I		P		W	
C	C_1	J		Q	Q	X	
D	C_2	K		R	R(=R_1 =R_2)	Y	
E		L		S		Z	
F	f	M		T			
G		N		U			

操作例

〈キー操作〉	〈表示〉
－C_1, C_2を求める－	
Cut off frequencyの入力 [Prog] 0 [EXE]	F [kH] =?
200 [EXE]	200 Q=?
(Qの入力) 1 [EXE]	1 R1=R2 [K] =?
(R_1=R_2の入力) 100 [EXE]	



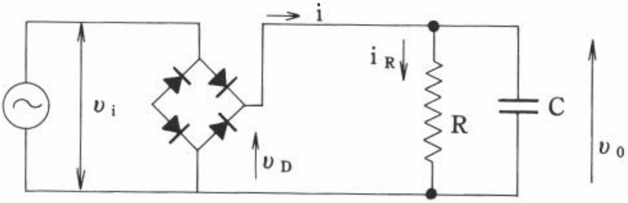
Fの値に対するC_1, C_2のグラフ単位は[Hz]

〈キー操作〉	〈表示〉
[EXE]	C1 [pF]
[EXE]	15.91549431
[EXE]	C2 [pF]
[EXE]	3.978873577
－Cut off frequencyを求める－	
[AC] [Prog] 1 [EXE]	R [K] =?
100 [EXE]	100 C1 [pF] =?
16 [EXE]	16 C2 [pF] =?
4 [EXE]	4
Cut off frequencyの値 [EXE]	F [kH] = 198.9436789
Qの値 [EXE]	Q=
[EXE]	1.

平滑回路

例　題

■下図において v_i を 10 [V]、C を 500 [μF]、f を 50 [Hz] とし、R を 10, 100, 200 [Ω] の3段階に変えました。ダイオードの電流 i_D と i_R のグラフを描き、i_R を求めなさい。



$$v_i = V_m \sin \omega t$$
$$\omega = 2\pi f$$
$$f = 50\ [\mathrm{Hz}]$$
$$T = \frac{1}{f}$$

ただし、ダイオードは理想ダイオードとします。

解　法

■この回路は、コンデンサの充電と放電の2つの場合にわけて、考えることができます。以下では $v_D = |V_m \sin \omega t|$ が最大になります。
$t_n = \frac{T}{2}n - \frac{T}{4}$（n は整数）のときに、コンデンサが放電し始めるという近似を行ないます。

(i) $v_D > v_0$ のとき

C は i_D により充電されます。したがってこのとき

$$i_D = (C_\omega |\cos \omega t| + \frac{1}{R} |\sin \omega t|) V_m \qquad i_R = \frac{V_m}{R} |\sin \omega t|$$

(ii) $v_D < v_0$ のとき

ダイオードの電流 i_D は 0 になり、i_R はコンデンサの放電により流れます。
上記の仮定により

$$i_D = 0 \qquad i_R = \frac{V_m}{R} e^{-\frac{(t-tn)}{RC}}$$

ただし $t_n = \frac{T}{2}n - \frac{T}{4}$（n は整数）は放電しはじめた時刻です。

また(i)(ii)とも $v_D = |V_m \sin \omega t|$　　$v_0 = Ri_R$

プログラム

行	(MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す) プ ロ グ ラ ム															実行内容	ステップ
1	<	Prog	0	>													
2	Rad	:	Cls	↵													4
3	"	V	[	V	]	=	"	?	→	V	↵						15
4	"	C	[	μ	F	]	=	"	?	→	C	:	1	EXP	(−)		30
5	6	C	→	C	↵												35
6	"	F	=	"	?	→	W	:	W	x^{-1}	→	T	:	2	π		50
7	W	→	W	:	"	R	=	"	?	→	R	↵					62
8	1	6	→	N	:	V	÷	R	→	H	↵						73
9	Range	0	,	1	.	5	T	,	0	.	5	T	,	(−)	0		88
10	.	5	H	,	3	H	,	H	↵								97
11	0	→	M	↵													101
12	Lbl	0	↵														104
13	T	÷	(	2	N	)	→	D	↵								113
14	0	→	I	:	N	÷	2	→	J	↵							123
15	Lbl	1	↵														126
16	0	.	5	T	I	+	D	J	−	T	÷	4	→	X	↵		141
17	Prog	1	↵														144
18	Plot	X	,	Y	↵												149
19	X	=	0	⇒	Goto	2	↵										156
20	Line	↵															158
21	Lbl	2	↵														161
22	J	+	1	→	J	↵											167
23	J	<	N	⇒	Goto	1	↵										174
24	0	→	J	:	I	+	1	→	I	↵							184
25	X	<	1	.	5	T	⇒	Goto	1	↵							194
26	M	=	1	⇒	Goto	3	↵										201
27	Graph	H	×	Abs	sin	(	W	X	)	◢							211
28	1	→	M	:	6	4	→	N	:	Goto	0	↵					223

メモリー内容							
A		H		O		V	
B		I		P		W	
C		J		Q		X	
D		K		R		Y	
E		L		S		Z	
F		M		T			
G		N		U			

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プログラム	実行内容	ステップ
1	Lbl 3 : Plot ◢		228
2	" I R [V D < V C] " ◢		240
3	P ◢		242
4	" I R [V D > V C] " ◢		254
5	Q		255
6			
7	< Prog 1 >		
8	H e^x ((−) D J ÷ (R C)) → P ↵		15
9	H Abs sin (W X) → Q ↵		25
10	M = 0 ⇒ Goto 2 ↵		32
11	P ≤ Q ⇒ Goto 1 ↵		39
12	0 → Y : Goto 3 ↵		46
13	Lbl 1 ↵		49
14	(C W × Abs cos (W X) + R x^{-1} × Abs		64
15	sin (W X)) × V → Y ↵		75
16	J ≤ N ÷ 2 ⇒ 0 → Y ↵		85
17	Goto 3 ↵		88
18	Lbl 2 ↵		91
19	P > Q ⇒ P → Y ↵		99
20	P ≤ Q ⇒ Q → Y ↵		107
21	Lbl 3		109
22			
23		Prog 0〜1計	364
24			
25			
26			
27			
28			

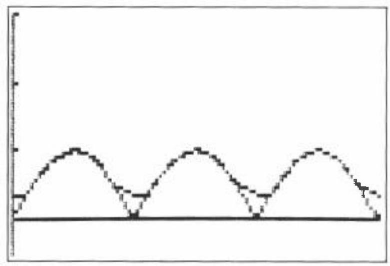
メモリー内容

A		H	V÷R	O		V	（入力）電圧
B		I	制御変数	P	$i_R(v_D<v_C)$	W	周波数，角振動数
C	キャパシタンス	J	〃	Q	$i_R(v_D>v_C)$	X	
D	きざみ幅	K		R	抵抗	Y	
E		L		S		Z	
F		M	$0\to i_R$，$1\to i_D$	T	周期		
G		N	一周期当りのきざみ数	U			

操 作 例

〈キー操作〉	〈表　示〉
Prog 0 EXE	V [V] = ?
1 0 EXE	1 0 C [μF] = ?
5 0 0 EXE	5 0 0 F = ?
5 0 EXE	5 0 R = ?
1 0 EXE	

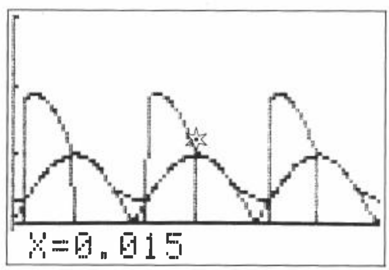
y = |sin x| のグラフと比較することで、平滑度がわかります。



i_R のグラフ

EXE

カーソルキー、SHIFT X↔Y で任意の x 座標、y 座標が求められます。



i_D のグラフ

〈キー操作〉	〈表　示〉
(V_D < V_C のときの i_R) EXE	I R [V D < V C]
EXE	0.1396312863
(V_D > V_C のときの i_R) EXE	I R [V D > V C]
EXE	0.9987954562
EXE	V [V] = ?
⋮	

fx-6000G, 6500G の場合、
9 行目：Range 0 ， 1.5T， 0.5T， (-)H， 2H， H ↵

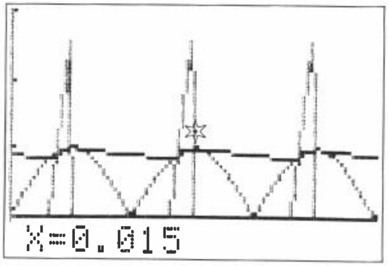
〈キー操作〉　　　　〈表　示〉

以下、同じように V_m, C, F の値を入力し、R=100, R=200 の場合についてもグラフを描けます。

⋮

R=100 の場合　1 0 0 EXE

EXE



EXE　　I R [V D < V C]

EXE　　0.08212932886

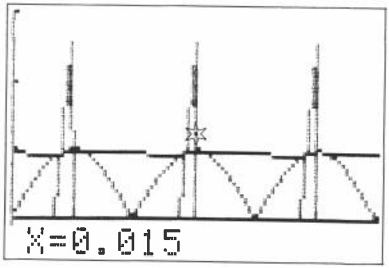
EXE　　I R [V D > V C]

EXE　　0.09987954562

⋮

R=200 の場合　2 0 0 EXE

EXE



EXE　　I R [V D < V C]

EXE　　0.04531261658

EXE　　I R [V D > V C]

EXE　　0.04993977281

解説・発展

■リップル率 $= \dfrac{(v_0\text{の最大値}) - (v_0\text{の最小値})}{(v_0\text{の最大値})} \times 100(\%)$,

$v_0 = Ri_R$ だから、グラフから i_R の最大値、最小値を読みとれば、

$R \times \dfrac{(i_R\text{の最大値}) - (i_R\text{の最小値})}{i_R\text{の最大値}} \times 100$ により、

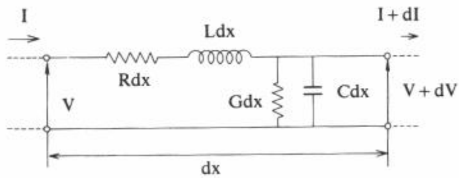
リップル率が求められます。

電気·電子 —— 10

分布定数回路

例　題

■ $\begin{cases} R=167\ [\Omega/km] \\ L=0.49\ [mH/km] \\ G=1.66\ [\mu\Omega/km] \\ C=0.05\ [\mu F/km] \end{cases}$



として、　$f=1000\ [Hz]$

$=60\ [Hz]$

のときの、Z_0, ϕ, α, β を求め、f=0～100 までのグラフを描きなさい。

解　法

■ 2 次定数

R……	2 導線間の単位長さ当りの抵抗		[Ω/km]
L……	〃	インダクタンス	[mH/km]
G……	〃	もれコンダクタンス	[μ℧/km]
C……	〃	容量	[μF/km]

伝搬定数 r

$r=\alpha+j\beta$

減衰定数α

$$\alpha=(\sqrt{R^2+\omega^2L^2}\cdot\sqrt{G^2+\omega^2C^2})^{\frac{1}{2}}\cos\left(\frac{\phi_1+\phi_2}{2}\right)\ [N_3/km]$$

位相定数β

$$\beta=(\sqrt{R^2+\omega^2L^2}\cdot\sqrt{G^2+\omega^2C^2})^{\frac{1}{2}}\sin\left(\frac{\phi_1+\phi_2}{2}\right)\ [rad/km]$$

特性インピーダンス Z_0　$Z_0=\sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$, $|Z_0|=\left(\frac{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}{\sqrt{G^2+\omega^2C^2}}\right)^{\frac{1}{2}}$ [Ω]

$$\phi=\frac{\phi_1-\phi_2}{2}\ [\circ]\qquad \begin{cases} \phi_1=\tan^{-1}\frac{\omega L}{R} \\ \phi_2=\tan^{-1}\frac{\omega C}{G} \end{cases}$$

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	Deg	↵															2
2	"	R	"	?	→	R	:	R	x^2	→	Q	↵					14
3	"	L	"	?	→	L	:	1	EXP	(−)	3	L	→	L	↵		29
4	"	G	"	?	→	G	:	1	EXP	(−)	6	G	→	G	:		44
5	G	x^2	→	H	↵												49
6	"	C	"	?	→	C	:	1	EXP	(−)	6	C	→	C	↵		64
7	Lbl	1	↵														67
8	"	1	～	2	"	?	→	D	↵								76
9	D	≒	2	⇒	Goto	9	↵										83
10	"	f	=	"	?	→	F	:	2	π	→	P	↵				96
11	P	F	→	W	:	P	x^2	→	O	↵							106
12	√	(	Q	+	W	x^2	L	x^2	)	→	V	↵					118
13	√	(	H	+	W	x^2	C	x^2	)	→	S	↵					130
14	$\tan^{-1}$	(	W	L	÷	R	)	→	A	:	9	0	→	B	↵		145
15	G	≠	0	⇒	$\tan^{-1}$	(	W	C	÷	G	)	→	B	↵			159
16	"	Z	0	=	"	◢											165
17	√	(	V	÷	S	)	◢										172
18	"	P	=	"	◢												177
19	(	A	−	B	)	÷	2	◢									185
20	√	(	V	S	)	→	T	:	(	A	+	B	)	÷	2		200
21	→	Z	↵														203
22	"	A	=	"	◢												208
23	T	cos	Z	◢													212
24	"	B	=	"	◢												217
25	T	sin	Z	◢													221
26	Goto	1	↵														224
27	Lbl	9	↵														227
28	Range	0	,	1	0	0	,	1	0	,	0	,	1	EXP	4		242

メモリー内容								
	A		H		O		V	
	B		I		P		W	
	C		J		Q		X	
	D		K		R		Y	
	E		L		S		Z	
	F		M		T			
	G		N		U			

プログラム

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す）プログラム															実行内容	ステップ
1	,	1	EXP	3	↵												247
2	Graph	√	(	(	√	Q	+	O	X	x^2	L	x^2	)	÷	√		262
3	(	H	+	O	X	x^2	C	x^2	)	)	◢						273
4	Range	,	,	,	(−)	5	0	,	0	,	1	0	↵				286
5	Graph	(	$\tan^{-1}$	(	P	X	L	÷	R	)	−	$\tan^{-1}$	(	P	X		301
6	C	÷	G	)	)	÷	2	◢									309
7	Range	,	,	,	0	,	0	.	2	,	0	.	2	↵			323
8	Graph	√	(	√	(	Q	+	O	X	x^2	)	√	(	H	+		338
9	O	X	x^2	C	x^2	)	)	cos	(	(	$\tan^{-1}$	(	P	L	X		353
10	÷	R	)	+	$\tan^{-1}$	(	P	C	X	÷	G	)	)	÷	2		368
11	)	◢															370
12	Graph	√	(	√	(	Q	+	O	X	x^2	)	√	(	H	+		385
13	O	X	x^2	C	x^2	)	)	sin	(	(	$\tan^{-1}$	(	P	L	X		400
14	÷	R	)	+	$\tan^{-1}$	(	P	C	X	÷	G	)	)	÷	2		415
15	)	◢															417
16	Goto	1															419
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	

メモリー内容								
	A	ϕ_1	H	G^2	O	$(2\pi)^2$	V	$\sqrt{R^2+\omega^2L^2}$
	B	ϕ_2	I		P	2π	W	$2\pi f(=\omega)$
	C	C	J		Q	R^2	X	
	D	分岐用フラグ	K		R	R	Y	
	E		L	L	S	$\sqrt{G^2+\omega^2c^2}$	Z	$(\phi_1+\phi_2)\ /\ 2$
	F	f	M		T	$(\sqrt{R^2+\omega^2L^2}-\sqrt{G^2\omega^2C^2})^{\frac{1}{2}}$		
	G	G	N		U			

操作例

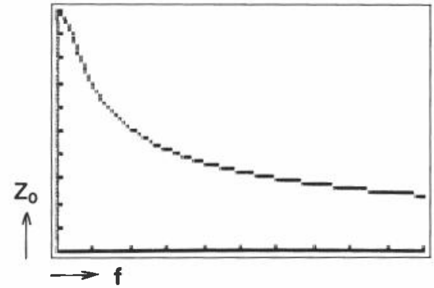
〈キー操作〉	〈表　示〉
Prog 0 EXE	R ?
167 EXE	167
	L ?
0.49 EXE	0.49
	G ?
1.66 EXE	1.66
	C ?
0.05 EXE	0.05
Ⓐ	1～2 ?
1 EXE	1
	f ?
Zoの答 1000 EXE	1000
EXE	Z0=
EXE	729.150475
$\phi(=\frac{\phi_1+\phi_2}{2})$[°]の答 EXE	P=
EXE	−44.32054367
α（減衰定数）の答 EXE	A=
β（位相定数）の答 EXE	0.1609102911
EXE	B=
繰り返し EXE	0.1630402497
EXE	1～2 ?

f=60 の場合も 1 EXE, 60 EXE, EXE, EXE, EXE, EXE

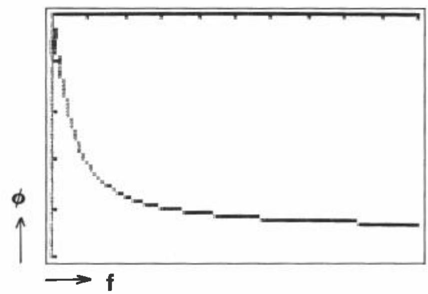
$$\begin{array}{ccccc} \text{EXE} & \text{EXE} & \text{EXE} & \text{EXE} & \text{EXE} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & (1\sim2?) \\ z_0 & p & \alpha & \beta & \end{array}$$

という操作で求められます。

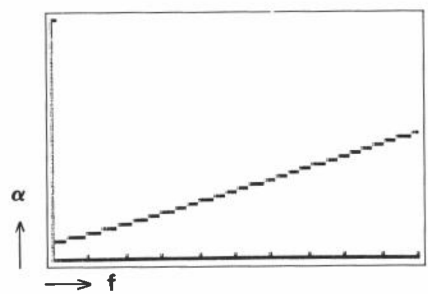
2 EXE



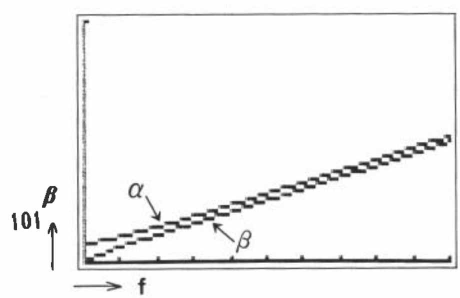
EXE



EXE



EXE



EXE　　　　1 ~ 2 ?

↓

Ⓐから繰り返します。

プログラムシート

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プログラム	実行内容	ステップ
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

メモリー内容								

プログラムシート

行	（MODE 2 に続いて下の命令の順にキーを押す） プ ロ グ ラ ム	実行内容	ステップ
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

メモリー内容								