

第 8 章

サウンド機能

8-1 PSG

8-1-1 PSG (AY-3-8910) について

X1 シリーズでは PSG (Programmable Sound Generator) として AY-3-8910 を搭載しています。この PSG は 8 オクターブ、3 重和音発声機能を持つほか、2 つの汎用 I/O ポート (このポートは、ジョイスティック用として使用されています) を持っています。この PSG の構成は次の通りです。

- (1) A, B の 2 つの I/O ポート
- (2) 3 チャンネルのトーンジェネレータ
- (3) 1 チャンネルのノイズジェネレータ
- (4) 1 チャンネルのエンベロープジェネレータ

このトーンジェネレータは矩形波音源からなっていて、FM 音源の主役となるものです。一方、ノイズ、エンベロープはこの主役の引きたて役となります。ノイズは効果音を作る時などに用います。また、エンベロープとは音量の時間的変化のことで、ピアノやオルガンなどに特有の音も、このエンベロープを変えることによって発生させることができます。ノイズとうまく組み合わせれば残響効果も楽しめます。

8-1-2 PSG の原理

PSG の内部構造を図 8-1 に示します。

この PSG は内部に 16 個のレジスタを持ちます。各レジスタの機能を以下に示します。

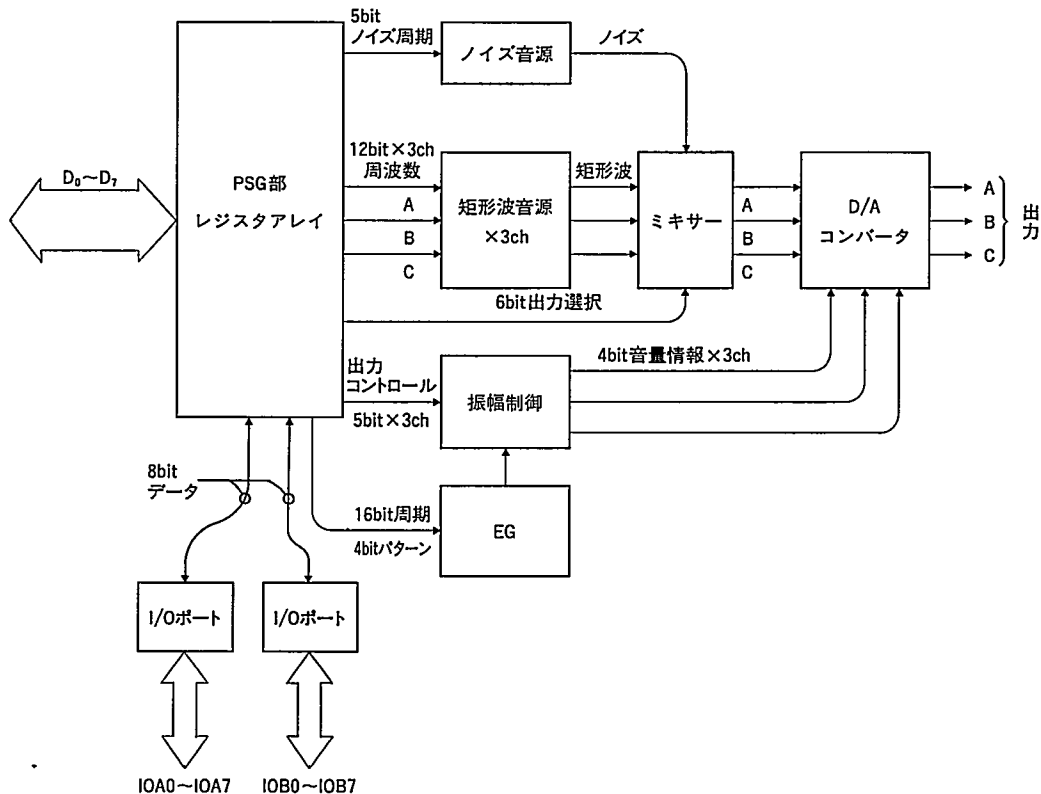


図8-1 PSGの内部構造

レジスタ	機 能	7	6	5	4	3	2	1	¥	備 考	
0	チャンネルA周波数 8 ビット微調整	00H~FFH									
1	チャンネルA周波数 4 ビット粗調整					00H~0FH					
2	チャンネルB周波数 8 ビット微調整	00H~FFH									
3	チャンネルB周波数 4 ビット粗調整					00H~0FH					
4	チャンネルC周波数 8 ビット微調整	00H~FFH									
5	チャンネルC周波数 4 ビット粗調整					00H~0FH					
6	ノイズ周波数 5 ビット設定					00H~1FH					
7	各チャンネル音量ON/OFF ジョイスティックポート入出力スイッチ	IN/OUT		ノイズ			トーン			1 OFF 0 ON	
		B	A	C	B	A	C	B	A	1 OUT 0 IN	
8	チャンネルA 音量設定/エンベロープ				M	L ₃	L ₂	L ₁	L ₀	ビット4で 切り換え	
9	チャンネルB 音量設定/エンベロープ				M	L ₃	L ₂	L ₁	L ₀		
10	チャンネルC 音量設定/エンベロープ				M	L ₃	L ₂	L ₁	L ₀		
11	エンベロープ周期下位 8 ビット	00H~FFH									
12	エンベロープ周期上位 8 ビット	00H~FFH									
13	エンベロープ形状					E ₃	E ₂	E ₁	E ₀	0~15	
14	ジョイスティックI/OポートA	00H~FFH								8 ビット パラレル データ	
15	ジョイスティックI/OポートB	00H~FFH									

表8-1 PSG(AY-3-8910)の各レジスタの機能

8-1-3 レジスタアクセス

PSG のレジスタへのアクセスはシステム I/O ポートによって行います。まず I/O ポート (1C ** H) に設定したいレジスタの番号を16進数 (00H-0FH) で書き込みます。次に、そのレジスタのリード、ライトを行います。音を発生させる手順は、トーン周波数 (R0~R5)、音量 (R8, R9, R10) を設定した後チャンネルスイッチ (R7) のビットを ON (0) にすることによって行います。

システムI/Oポート	IN/OUT	機 能	BDIR	BC1
——	——	PSGノンアクティブ	0	0
(1B*)H	IN	PSGからの読み出し	0	1
	OUT	PSGへの書き込み	1	0
(1C*)H	OUT	レジスタを指定	1	1

*印は無効ディジット

カスタムLSIのゲートにより、システムI/Oポート、及びIN/OUTから自動的にPSGのBDIR端子、BC1端子の値が決まります。

表8-2

8-1-4 トーン周波数設定 (R0~R5)

PSG には、3つのトーンジェネレータが搭載されています。各々のトーンジェネレータはたがいに影響し合うことはありません。周波数の設定は粗調整レジスタ (R1, R3, R5) の下位 4 ビットと、微調整レジスタ (R0, R2, R4) の 8 ビットによって行われます。

チャンネル	粗調整レジスタ	微調整レジスタ
A	R ₁	R ₀
B	R ₃	R ₂
C	R ₅	R ₄

ビット構成	C7 C6 C5 C4 C3 C2 C1 C0	F7 F6 F5 F4 F3 F2 F1 F0
	未使用	未使用
	TP11 TP10 TP9 TP8 TP7 TP6 TP5 TP4 TP3 VP2 TP1 TP0	
	12ビット トーン周波数	
	最小値: 000000000001 (1) 最大値: 111111111111 (4.095 ₁₀)	

(a) トーン周波数レジスタの内容と構成

音階	音階	平均律周波数Hz	16進データ
ド	C	32.703	0 E E F
ド #	C #	34.648	0 E 1 A
レ	D	36.708	0 D 4 D
レ #	D #	38.891	0 C 9 0
ミ	E	41.203	0 B F 2
ファ	F	43.654	0 B 2 F
ファ #	F #	46.249	0 A 9 1
ソ	G	48.999	0 9 F 5
ソ #	G #	51.913	0 9 6 A
ラ	A	55.000	0 8 E 1
ラ #	A #	58.270	0 8 6 3
シ	B	61.735	0 7 E 9

(b) 音階設定周波数データ

表8-3 トーン周波数レジスタの内容と構成

このトーンジェネレータは12ビットの分周器として働き、125kHz を分周します。12ビットで表せる数は 0 から4095ですので125kHz から 30.5Hz まで、30.5Hz ステップの周波数が設定できます。

出力周波数に対する設定値の決め方

出力したい周波数を f (kHz) とすると

$$TP = 125 \text{ kHz} / f$$

TP : 分周比

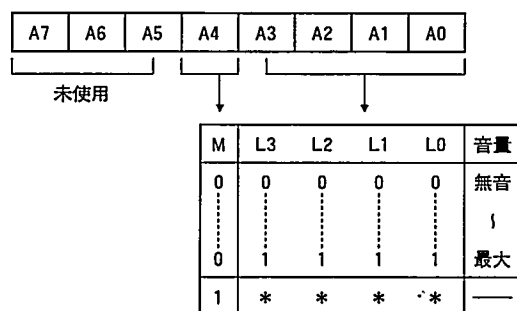
$$CT + FT / 256 = TP / 256$$

FT : 微調整 (R0, R2, R4)

CT : 粗調整 (R1, R3, R5)

ただし、 $FT \leq 255$ とし、CT, FT とともに整数とします。もし、TP が整数にならないときは四捨五入した数で妥協します。

8-1-5 チャンネル音量設定 (R8, R9, R10)



※ * は0, 1無関係

図8-2 チャンネル音量設定レジスタの内容と構成

チャンネルA, B, Cのトーンジェネレータにおける、音量設定モードとエンベロープモードの切り換えはレジスタR8, R9, R10のビット4によって行います。ビット4を0にすると音量設定が有効になり、16段階の音量設定ができます。1にするとエンベロープモードになるので音量設定は無効になります。音を消すには消したいチャンネルの音量設定レジスタの内容を0にするか、チャンネルスイッチ(R7)をOFF(1)にします。

8-1-6 チャンネルスイッチ(R7)

チャンネルスイッチ(R7)は各チャンネルのトーンON/OFF, ノイズの混合, 汎用I/Oポートの入出力の切り換えを行うレジスタです。ただし、X1シリーズではこのI/Oポートをジョイスティック用に使用していますので、単なる入力ポートとしてのみ使用することになります。

チャンネルスイッチ(R7)をアクセスする場合は、まずR7の内容を読みだし、AND, OR命令などで目的のビットのみをアクセスするようにします。つまり、OFFになっていたチャンネルをONにするには、読みだしたR7のビットパターンに目的のビットだけが0で他のビットが1のビットパターンとANDをとり、得られた結果をR7に書き込みます。逆にONになっていたチャンネルOFFにするときは、目的のビットだけが1で、他のビットが0のビットパターンとORをとります。

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
I / O ポート		ノイズ			トーン		
: 制御対象							

ビット	説 明					
B2～B0	出力させたいトーンチャンネルを選択します。					
	B2	B1	B0	トーン出力チャンネル		
	0	0	0	C	B	A
	0	0	1	C	B	—
	0	1	0	C	—	A
	0	1	1	C	—	—
	1	0	0	—	B	A
	1	0	1	—	B	—
	1	1	0	—	—	A
	1	1	1	—	—	—
—印：チャンネルOFF 他：チャンネルON						
B5～B3	出力させたいノイズチャンネルを選択します。					
	B5	B4	B3	ノイズ出力チャンネル		
	0	0	0	C	B	A
	0	0	1	C	B	—
	0	1	0	C	—	A
	0	1	1	C	—	—
	1	0	0	—	B	A
	1	0	1	—	B	—
	1	1	0	—	—	A
	1	1	1	—	—	—
B7, B6	ジョイスティック端子2ポートの出力を指定します。					
	B5	B4	入出力制御			
	0	0	ジョイスティック端子 (JS) 1・2 共に入力			
	0	1	JS2：入力, JS1：出力			
	1	0	JS2：出力, JS1：入力			
	1	1	JS1・2 共に出力			

表8-4 チャンネルスイッチレジスタの内容と構成

8-1-7 ノイズ周波数設定(R6)

PSG のノイズジェネレータはサンプル&ホールドという方式でノイズを発生させています。ここでいうノイズ周波数とはノイズが持つ周波数帯域幅のことです。ノイズ周波数を低く設定すると「ザー」というピンクノイズ、高く設定すると「シャー」というホワイトノイズを生じます。ノイズ周波数の設定は、レジスタ 6 の下位 5 ビットによって行われます。

N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	N0
未使用			ノイズ周波数値				

図8-3 ノイズ周波数設定レジスタの内容と機能

ノイズは A, B, C のいずれかのトーンにミキシングされ出力されます。ノイズ音量だけを設定することはできず、ミキシングされたトーンとともに音量設定されることになります。

ノイズ周波数の設定法

出力したいノイズの平均周波数を f (kHz) とすると

$$R6 = 125 \text{ kHz} / f$$

8-1-8 エンベロープ周期設定レジスタ (R11, R12)

エンベロープモードにするにはエンベロープを付けたいチャンネルの音量設定レジスタのビット4を1にします。これにより音量設定は無効になりエンベロープモードになります。

エンベロープ周期は、粗調整レジスタ R12 の8ビット、微調整レジスタ R11 の8ビットによっておこないます。

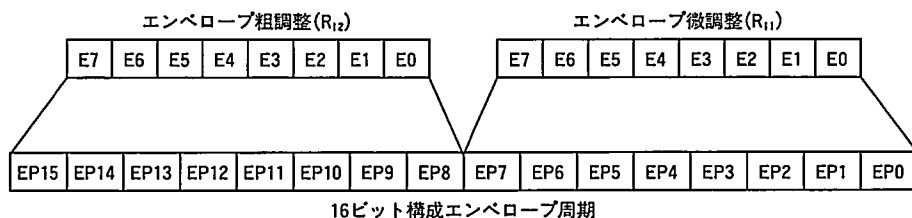


図8-4 エンベロープ周期設定レジスタのビット内容

R11, R12 は合わせて16ビット分周器として働きます。

エンベロープ周期の決め方

エンベロープ周波数を f (kHz) とすると

$$EP = 125 \text{ kHz} / f \quad EP : \text{分周比}$$

$$R12 + R11 / 256 = EP / 256 \quad R12 : \text{粗調整}$$

$$R11 : \text{微調整}$$

音量は最大から無音まで16段階に分けられ、PSG のカウントアップ/ダウンに合わせて段階的に変化します。

8-1-9 エンベロープ形状設定レジスタ (R13)

エンベロープ形状はレジスタ13の下位4ビットで設定します。

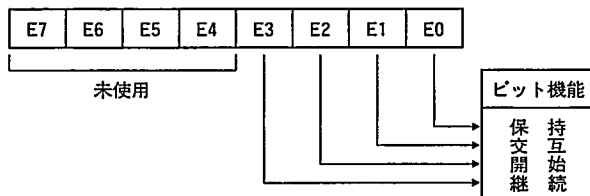


図8-5 エンベロープ形状設定レジスタのビット内容

各ビットの機能を次に示します。

(1) ビット 0 : 保持(Hold)

1 のとき、カウントアップ/ダウンモードにより一周目目のエンベロープカウンタの最終値(0000 または1111)における音量を以後ずっと保持します。

(2) ビット 1 : 交互(Alternate)

1 のとき、カウントアップの周期とカウントダウンの周期を交互に繰り返します。一周目目のカウントアップ/ダウンは開始ビットによります。

(3) ビット 2 : 開始(Attack)

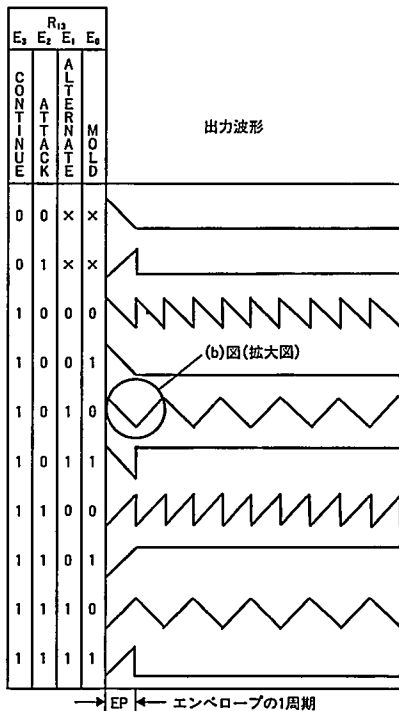
1 周期目のカウントアップ/ダウンを設定します。1 のとき、エンベロープカウンタは0000 から1111までカウントアップし、0 のとき、逆に1111から0000までカウントダウンします。

(4) ビット 3 : 継続(Continue)

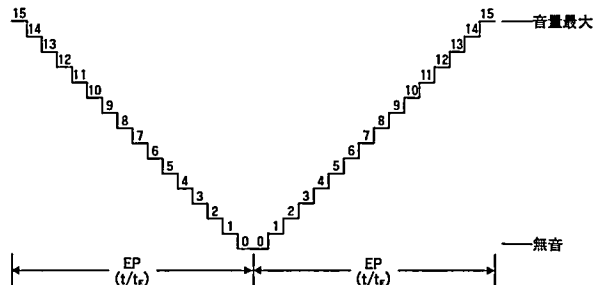
1 のとき、サイクルパターンは保持ビットの内容に依存します。0 のとき、一周期を実行した後、0000値にリセットされそのとき音量に戻り、再びカウントを始めます。交互ビットが1 のとき、この継続ビットは無効となります。また継続ビットが0 のとき、保持ビット、交互ビットにかかわらず、一周期目を実行後、0000値に置ける音量を以後ずっと保持します。(このとき保持ビットはカウンタの最終値、継続ビットはカウンタの初期値であることに注意してください)

なお、保持ビットと交互ビットを同時に1としたときはエンベロープカウンタは保持状態に戻る前に初期カウンタ値にリセットされます。

以上の4つのビットにより10通りのエンベロープの形状を設定できます。



(a) 各ビットと出力波形の対応



(b) エンベロープ波形拡大図

図8-6 エンベロープ形状の設定

8-1-10 ジョイスティックポートアクセス

PSGのレジスタ14, 15は, A, B 2つの8ビット汎用I/Oポートとして使用しています。X1シリーズではジョイスティック用入力ポートとして使用しています。このI/Oポートはサウンド機能と全く独立したもので, I/Oポートの使用により, 音が影響を受けることはありません。

8-2 FM 音源

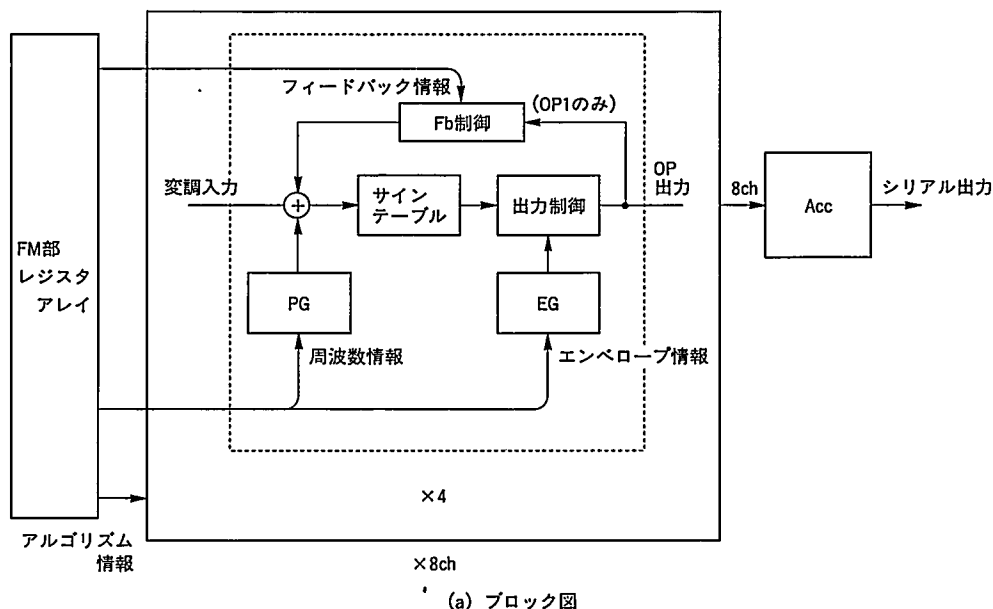
FM音源とは, いろいろな音源同志の波形の加算はもちろん, 一つの音源の出力で他の音源にFM変調(周波数変調)をかけることのできる音源です。これによりさまざまな音色を出すことができます。PSGでは簡単な矩形波とノイズしか出せないため音色の表現ができない点がFM音源との根本的な違いです。またFM音源では各音源(オペレータ)ごとにエンベロープジェネレータがついていますのでPSGと違って音量の変化を自由にできます。

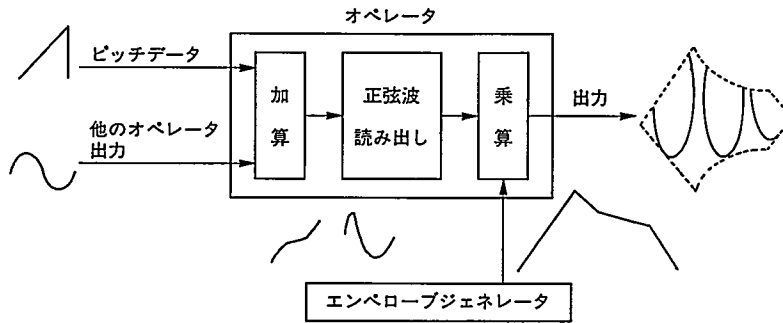
X1シリーズにはFM音源ボード(CZ-8BS1)が別売されています。また, X1turbo Zではこれと同等のFM音源が標準装備されています。

8-2-1 FM音源の原理

CZ-8BS1にはYM2151(OPM; FM OPERATOR TYPE-M)が搭載されていますこのYM2151は, 専用D/AコンバータであるYM3012と組み合わせることにより8音, R(right)/L(left)のステレオオーディオ信号が得られます。X1turbo Zでは, サウンドジェネレータとしてPSG(YM2149)も搭載されていますので, サウンド出力はFM音源とPSGがミキシングされた音が出力されます。他のX1シリーズではFM音源とPSGは全く独立に音を出力します。

FM音源の基本的な構成を下図に示します。





(b) 基本的な構成

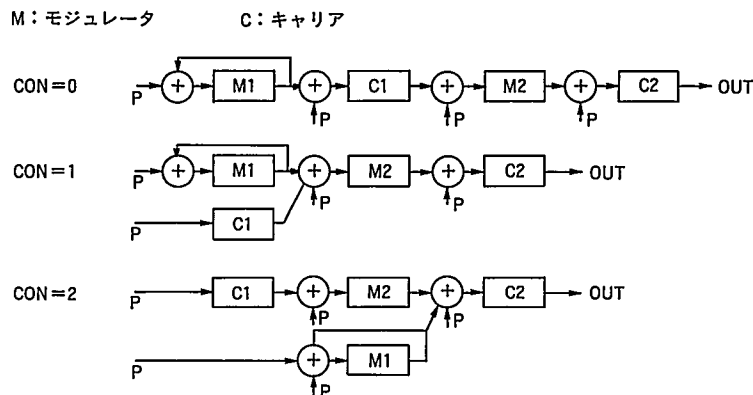
図8-7 FM音源の基本的な構成

(1) オペレータ

オペレータとは、自由に周波数と振幅を設定できる正弦波発振器のことです。このFM音源には、1つのチャンネルにつき4個のオペレータを持ち、従来のPSGと同時に出力するミキシングも可能です。オペレータの重要な機能はオペレータ(1)の出力を他のオペレータ(2)に変調信号として加えると、オペレータ(2)の出力はFM変調波となることです。オペレータ(2)中には「正弦波読み出し部」と呼ばれる部分があり、正弦波のデータがここにセットされていて、これをピッチデータとオペレータ(1)の出力を加算したものに見合う速度で読み出せば、FM変調波を作り出すことができます。この場合、オペレータ(1)はモジュレータ、オペレータ(2)はキャリアと呼ばれます。なお、4個のオペレータはすべて同等でありモジュレータ、キャリアというのは役割上の分類であることに注意してください。

(2) アルゴリズム

4個のオペレータの組合せ方をアルゴリズムといいます。このFM音源では全部で8種類のアルゴリズムを設定できます。まず、キャリアで音量をコントロールし、モジュレータによってキャリアに特性を出し音色をコントロールします。



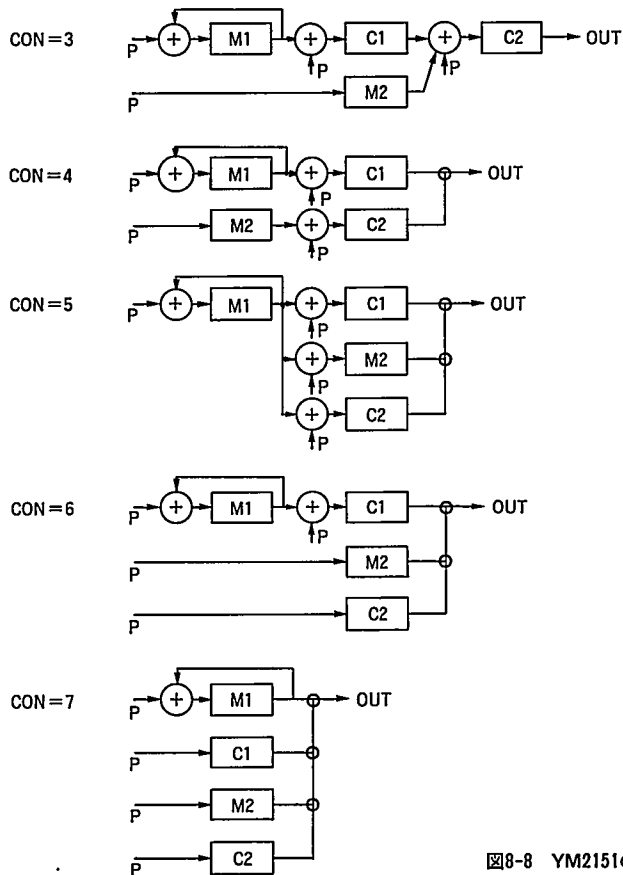


図8-8 YM2151の持つアルゴリズム

複数のモジュレータで1つのキャリアに変調をかける場合は同時に変調するよりは、FM 変調波でさらに FM 変調をかける方が、より多く倍音を生じ明るい音になります

8-2-2 FM 音源のアクセス

FM 音源は PSG に比べてはるかに多くのレジスタがありますので慣れるまではかなり大変です。FM音源のアクセスは、まず、レジスタ (00H~FFH) の設定から始めます。265個のレジスタのうち、どのレジスタをアクセスするかの設定はユーザー I/O ポート 700H (アドレスポート)で行い、データの書き込みは 701H (データポート)で行います。例えば

```
レジスタの設定: LD  BC, 700H;
                  LD  A, レジスタの番号(** H);
                  OUT (C), A;
データ・ライト: LD  BC, 701H;
                  LD  A, データ;
                  OUT (C), A;
```

のように行います。

8-2-3 FM 音源のレジスタ

FM 音源の各レジスタ名と機能は以下の通りです。

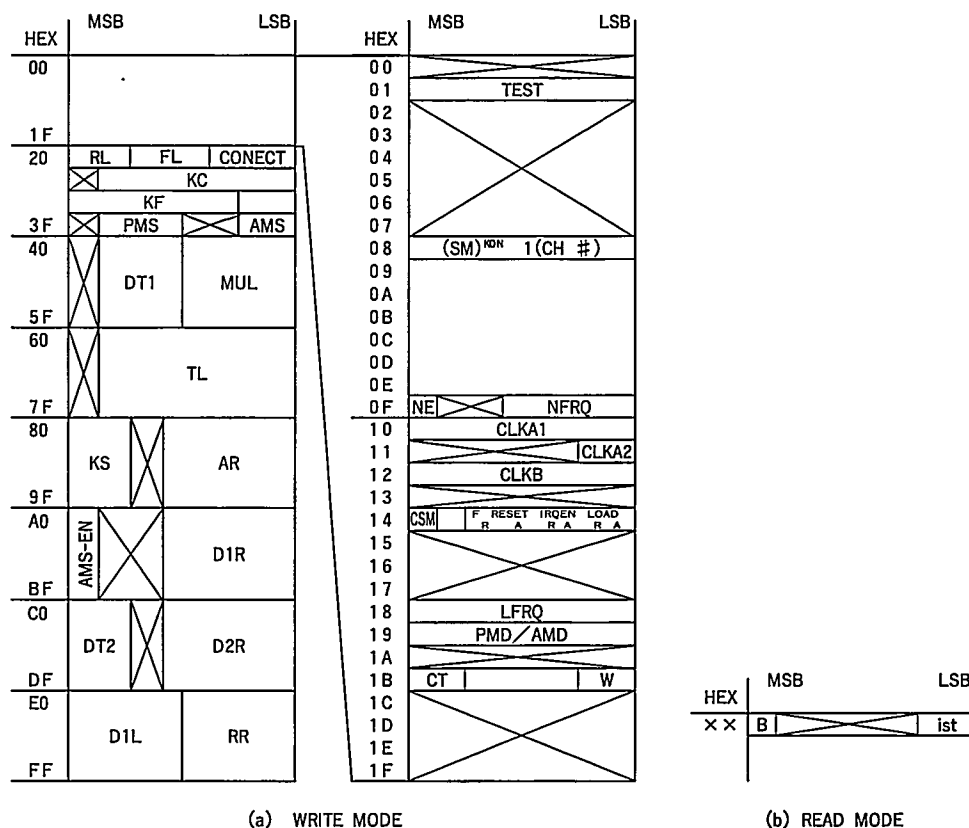


図8-9 アドレスマップ

(A)ライトモード(カッコ内は、レジスタ番号を示します)

(1) TEST(01H)

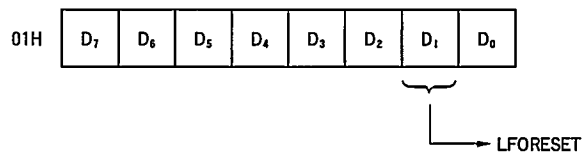


图8-10

YM-2151 のテスト用レジスタで、ビット 1 以外は必ず 0 にしておきます。ビット 1 は LFO リセット用に使われていて、キーオンするときに一度 1 を書き込み、その後また 0 に戻すと LFO がリセットされ、初めから再スタートします。これにより各変調のキーオンのときの同期ができます。

(2) LFO: LOW FREQUENCY OSCILLATOR

LFO の低周波出力は、オペレータの音量や音程に作用して、ビブラートなどのさまざまな効果を作り出すことができます。ただし、LFO の効果が有効なのはキーオン～キーオフの期間内であることに注意して下さい。なお、この LFO は、約 53Hz から約 0.0008 Hz までの周波数が出せます。

● W: WAVE FORM(1BH)

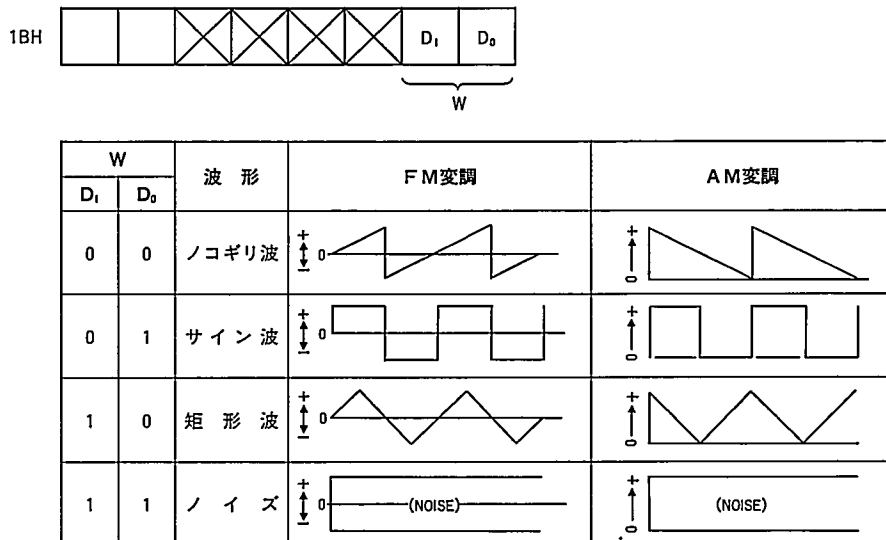


図8-11 出力できる波形

LFO は、ノコギリ波、サイン波、矩形波、ノイズの内から一つを選び出力でき、これに FM 変調と AM 変調(振幅変調)をかけることができます。この時、出力レベルは FM 変調、AM 変調とで別々に設定できます。

● CT: CONTROL OUTPUT (1BH)

使用していません。

● LFRQ: LOW FREQUENCY(18H)

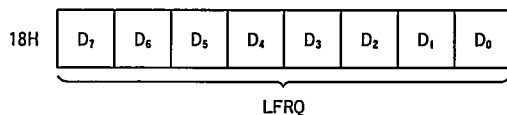


図8-12

8ビットにより LFO の発振周波数を設定します(表 8-5)。

DATA (HEX)	FREQ. (Hz)	DATA (HEX)	FREQ. (Hz)	DATA (HEX)	FREQ. (Hz)	DATA (HEX)	FREQ. (Hz)
FF	52.9127	BF	3.3070	7F	0.2067	3F	0.0129
FE	51.2058	BE	3.2004	7E	0.2000	3E	0.0125
FD	49.4989	BD	3.0937	7D	0.1934	3D	0.0121
FC	47.7921	BC	2.9870	7C	0.1867	3C	0.0117
FB	46.0852	BB	2.8803	7B	0.1800	3B	0.0113
FA	44.3784	BA	2.7736	7A	0.1734	3A	0.0108
F9	42.6715	B9	2.6670	79	0.1667	39	0.0104
F8	40.9646	B8	2.5603	78	0.1600	38	0.0100
F7	39.2578	B7	2.4536	77	0.1534	37	0.0096
F6	37.5509	B6	2.3469	76	0.1467	36	0.0092
F5	35.8441	B5	2.2403	75	0.1400	35	0.0088
F4	34.1372	B4	2.1336	74	0.1333	34	0.0083
F3	32.4303	B3	2.0269	73	0.1267	33	0.0079
F2	30.7235	B2	1.9202	72	0.1200	32	0.0075
F1	29.0166	B1	1.8135	71	0.1133	31	0.0071
F0	27.3098	B0	1.7069	70	0.1067	30	0.0067
EF	26.4563	AF	1.6535	6F	0.1033	2F	0.0065
EE	25.6029	AE	1.6002	6E	0.1000	2E	0.0063
ED	24.7495	AD	1.5468	6D	0.0967	2D	0.0060
EC	23.8960	AC	1.4935	6C	0.0933	2C	0.0058
EB	23.0426	AB	1.4402	6B	0.0900	2B	0.0056
EA	22.1892	AA	1.3868	6A	0.0867	2A	0.0054
E9	21.3358	A9	1.3335	69	0.0833	29	0.0052
E8	20.4823	A8	1.2801	68	0.0800	28	0.0050
E7	19.6289	A7	1.2268	67	0.0767	27	0.0048
E6	18.7755	A6	1.1735	66	0.0733	26	0.0046
E5	17.9220	A5	1.1201	65	0.0700	25	0.0044
E4	17.0686	A4	1.0668	64	0.0667	24	0.0042
E3	16.2152	A3	1.0134	63	0.0633	23	0.0040
E2	15.3617	A2	0.9601	62	0.0600	22	0.0038
E1	14.5083	A1	0.9068	61	0.0567	21	0.0035
E0	13.6549	A0	0.8534	60	0.0533	20	0.0033
DF	13.2282	9F	0.8268	5F	0.0517	1F	0.0032
DE	12.8015	9E	0.8001	5E	0.0500	1E	0.0031
DD	12.3747	9D	0.7734	5D	0.0483	1D	0.0030
DC	11.9480	9C	0.7468	5C	0.0467	1C	0.0029
DB	11.5213	9B	0.7201	5B	0.0450	1B	0.0028
DA	11.0946	9A	0.6934	5A	0.0433	1A	0.0027
D9	10.6679	99	0.6667	59	0.0417	19	0.0026
D8	10.2412	98	0.6401	58	0.0400	18	0.0025
D7	9.8144	97	0.6134	57	0.0383	17	0.0024
D6	9.3877	96	0.5867	56	0.0367	16	0.0023
D5	8.9610	95	0.5601	55	0.0350	15	0.0022
D4	8.5343	94	0.5334	54	0.0333	14	0.0021
D3	8.1076	93	0.5067	53	0.0317	13	0.0020
D2	7.6809	92	0.4801	52	0.0300	12	0.0019
D1	7.2542	91	0.4534	51	0.0283	11	0.0018
D0	6.8274	90	0.4267	50	0.0267	10	0.0017
CF	6.6141	8F	0.4134	4F	0.0258	0F	0.0016
CE	6.4007	8E	0.4000	4E	0.0250	0E	0.0016
CD	6.1874	8D	0.3867	4D	0.0242	0D	0.0015
CC	5.9740	8C	0.3734	4C	0.0233	0C	0.0015
CB	5.7607	8B	0.3600	4B	0.0225	0B	0.0014
CA	5.5473	8A	0.3467	4A	0.0217	0A	0.0014
C9	5.3339	89	0.3334	49	0.0208	09	0.0013
C8	5.1206	88	0.3200	48	0.0200	08	0.0013
C7	4.9072	87	0.3067	47	0.0192	07	0.0012
C6	4.6939	86	0.2934	46	0.0183	06	0.0011
C5	4.4805	85	0.2800	45	0.0175	05	0.0011
C4	4.2672	84	0.2667	44	0.0167	04	0.0010
C3	4.0538	83	0.2534	43	0.0158	03	0.0010
C2	3.8404	82	0.2400	42	0.0150	02	0.0009
C1	3.6271	81	0.2267	41	0.0142	01	0.0009
C0	3.4137	80	0.2134	40	0.0133	00	0.0008

表8-5 設定できるLFOの発振周波数

● PMS/AMS: PHASE MODULATION SENSITIVITY/AMPLITUDE MODULATION SENSITIVITY (38H~3FH)

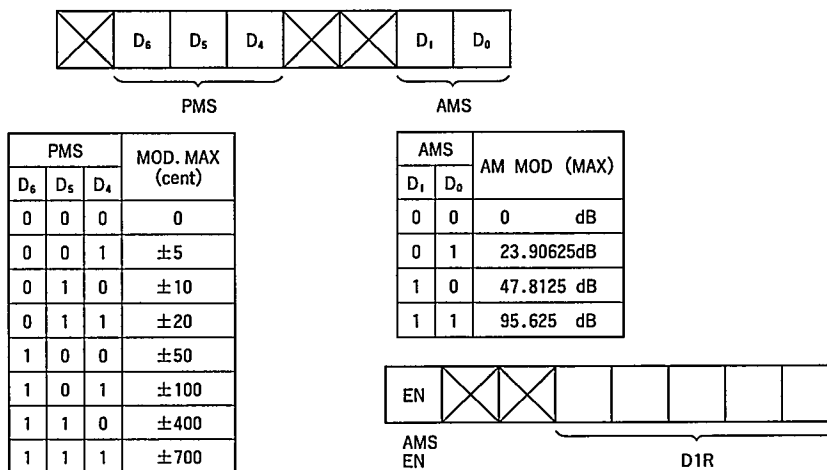


図8-13

PMS は LFO の出力を 8 ビットコードを KC, KF に加えることによって、ビブラート、ゆらぎのある音を作ります。感度は 0 を含めて 8 段階設定できます。AMS は LFA データに従ってエンベロープジェネレータが振幅変調を行うときの最大変調度を設定します。この振幅変調は、AMS-EN スイッチにより、スロットごとに変調をかけるかどうかを選択できます。この AMS のデータはチャンネルごとに設定します。

● PMD/AMD: PHASE MODULATION DEPTH/AMPLITUDE MODULATION DEPTH (19H)

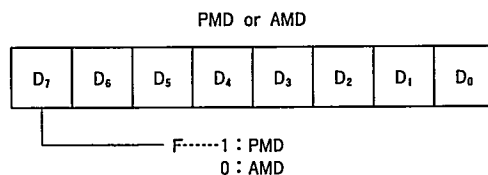


図8-14

AM, PM の変調度を微調整することができます。負の値にすると、波形の極性が逆になります。ビット 7 で周波数変調と振幅変調の切り換えを行います。残りのビットで出力レベルを 1/128 の分解能で設定します。なお、PMD の時は 2 の補数、AMD はバイナリになります。

(3) PG: PHASE GENERATOR

FM 音源では、PSG と異なり基準クロックを最大分周した時の周波数を基準にして、出力したい周波数がこの何倍であるかという倍率をあたえて出力したい周波数を設定します。こうすることにより、PSG に比べ高い周波数での誤差が小さくなります。また、キャリア周波数、モジュレータ周波数を設定し、ビブラート効果、ノイズの発生を行うことができます。

● KC: KEY CORD (28H~2FH)

<table border="1"> <tr> <td></td><td>D₆</td><td>D₅</td><td>D₄</td><td>D₃</td><td>D₂</td><td>D₁</td><td>D₀</td></tr> </table>									D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀								
OCT			NOTE												

OCT			オクターブ
D ₆	D ₅	D ₄	
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
1	1	0	6
1	1	1	7

NOTE				NOTE
D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	
0	0	0	0	C #
0	0	0	1	D
0	0	1	0	D #
0	1	0	0	E
0	1	0	1	F
0	1	1	0	F #
1	0	0	0	G
1	0	0	1	G #
1	0	1	0	A
1	1	0	0	A #
1	1	0	1	B
1	1	1	0	C

図8-15

7ビット中上位3ビットがオクターブを表し、下位4ビットがNOTEを表します。

● KF: KEY FRACTION (30H~37H)

<table border="1"> <tr> <td>D₇</td><td>D₆</td><td>D₅</td><td>D₄</td><td>D₃</td><td>D₂</td><td></td><td></td></tr> </table>						D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂			KEY FRACTION	
D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂										

KEY FRACTION						KF (Cent)
D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	
0	1	0	0	0	0	25
0	1	0	0	0	1	
0	1	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	50
1	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	
1	1	0	0	0	0	75
1	1	0	0	0	1	
1	1	0	0	0	0	
1	1	1	1	1	1	
0	0	0	0	0	0	00
0	0	0	0	0	0	

図8-16

1度の音程差(100セント)を約1.6セントステップで位相情報を設定します。

● MUL: PHASE MULTIPLY (40H~5FH)

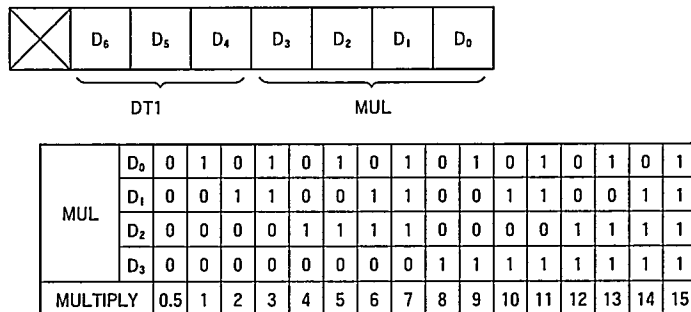


図8-17

KC, KF の位相情報に倍率をかけた位相情報を設定します。

● DT1: DETUNE (1) (40H~5FH)

ディチューンとは、各オペレータの周波数にずれをあたえて音に厚みをつけることです。ディチューン1では、KC, KF で設定した位相情報と少し周波数のずれた位相情報を設定します。キーコードによりスケーリングされます。

● DT2: DETUNE (2) (C0H~DFH)

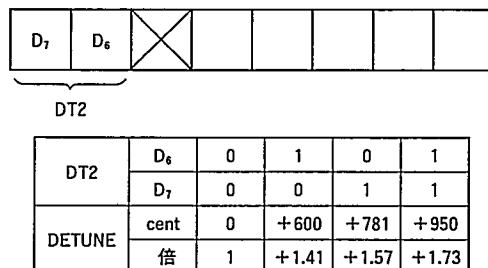


図8-18 ディチューン2

ディチューン2では、KC, KF で設定した位相情報と大きく周波数のずれた位相情報を設定します。これは効果音の発生に有効です。キーコードによりスケーリングされます。

OCT					DT1							
					D-CENT				D-FREQ (Hz)			
D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	0	1	2	3	0	1	2	3
0	0	0	0	0	0.000	0.000	5.025	10.036	0.000	0.000	0.053	0.107
0	0	0	0	1	0.000	0.000	4.228	8.445	0.000	0.000	0.053	0.107
0	0	0	1	0	0.000	0.000	3.559	7.110	0.000	0.000	0.053	0.107
0	0	0	1	1	0.000	0.000	2.993	5.980	0.000	0.000	0.053	0.107
0	0	1	0	0	0.000	2.515	5.025	5.025	0.000	0.053	0.107	0.107
0	0	1	0	1	0.000	2.115	4.228	6.338	0.000	0.053	0.107	0.160
0	0	1	1	0	0.000	1.778	3.555	5.330	0.000	0.053	0.107	0.160
0	0	1	1	1	0.000	1.496	2.990	4.483	0.000	0.053	0.107	0.160
0	1	0	0	0	0.000	1.258	2.515	5.025	0.000	0.053	0.107	0.213
0	1	0	0	1	0.000	1.057	3.170	4.225	0.000	0.053	0.160	0.213
0	1	0	1	0	0.000	0.889	2.667	3.555	0.000	0.053	0.160	0.213
0	1	0	1	1	0.000	0.748	2.242	3.735	0.000	0.053	0.160	0.267
0	1	1	0	0	0.000	1.258	2.515	3.143	0.000	0.107	0.213	0.267
0	1	1	0	1	0.000	1.057	2.114	3.170	0.000	0.107	0.213	0.320
0	1	1	1	0	0.000	0.889	1.778	2.667	0.000	0.107	0.213	0.320
0	1	1	1	1	0.000	0.748	1.869	2.615	0.000	0.107	0.267	0.373
1	0	0	0	0	0.000	0.629	1.572	2.515	0.000	0.107	0.267	0.427
1	0	0	0	1	0.000	0.793	1.586	2.114	0.000	0.160	0.320	0.427
1	0	0	1	0	0.000	0.667	1.334	2.001	0.000	0.160	0.320	0.480
1	0	0	1	1	0.000	0.561	1.308	1.869	0.000	0.160	0.373	0.533
1	0	1	0	0	0.000	0.629	1.258	1.729	0.000	0.213	0.427	0.587
1	0	1	0	1	0.000	0.529	1.057	1.586	0.000	0.213	0.427	0.640
1	0	1	1	0	0.000	0.445	1.001	1.445	0.000	0.213	0.480	0.693
1	0	1	1	1	0.000	0.467	0.935	1.308	0.000	0.267	0.533	0.747
1	1	0	0	0	0.000	0.393	0.865	1.258	0.000	0.267	0.587	0.853
1	1	0	0	1	0.000	0.397	0.793	1.123	0.000	0.320	0.640	0.907
1	1	0	1	0	0.000	0.334	0.723	1.056	0.000	0.320	0.693	1.013
1	1	0	1	1	0.000	0.327	0.654	0.935	0.000	0.373	0.747	1.067
1	1	1	0	0	0.000	0.315	0.629	0.865	0.000	0.427	0.853	1.173
1	1	1	0	1	0.000	0.264	0.562	0.865	0.000	0.427	0.907	1.173
1	1	1	1	0	0.000	0.250	0.528	0.865	0.000	0.480	1.013	1.173
1	1	1	1	1	0.000	0.234	0.467	0.865	0.000	0.533	1.067	1.173

表8-6 ディチューン 1

(4) OP:FM OPERATOR

フェイズジェネレータからの位相情報にしたがってサインテーブルを読みだします。

● CON:CONNECTION (20H~27H)

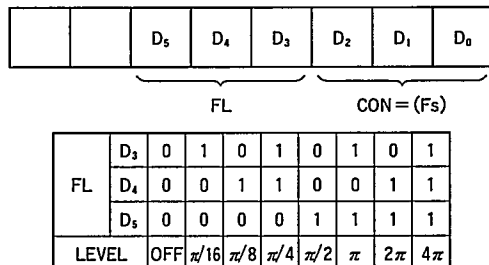


図8-19

アルゴリズムを設定して8通り FM-OP 回路構成にでき、それぞれ異なる音色にできます。アルゴリズムは、8-2-1の図を見て下さい。

● FL:SELF FEEDBACK LEVEL (20H~27H)

フィードバックとは、オペレータの出力を再び同じオペレータの入力とすることです。硬い音を出すときは強く、柔らかい音を出すときは弱くかけます。また、フィードバックをかけるだけで強い変調がかかるので、過変調を利用してホワイトノイズなどの効果音に用いることができます。なお、フィードバックのレベルは各音ごとに設定できます。

(5) EG:ENVELOPE GENERATOR

オペレータが“正弦波読み出し部”の信号にエンベロープジェネレータの出力をかけ合わせ音色、音量の時間的変化を作りだします。この変化はアタック部では指数式的、ディケイ部ではすべて直線的变化です。

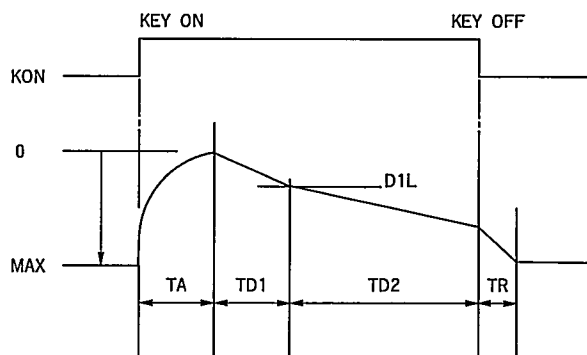


図8-20 エンベロープ

● KON:KEY ON (08H)

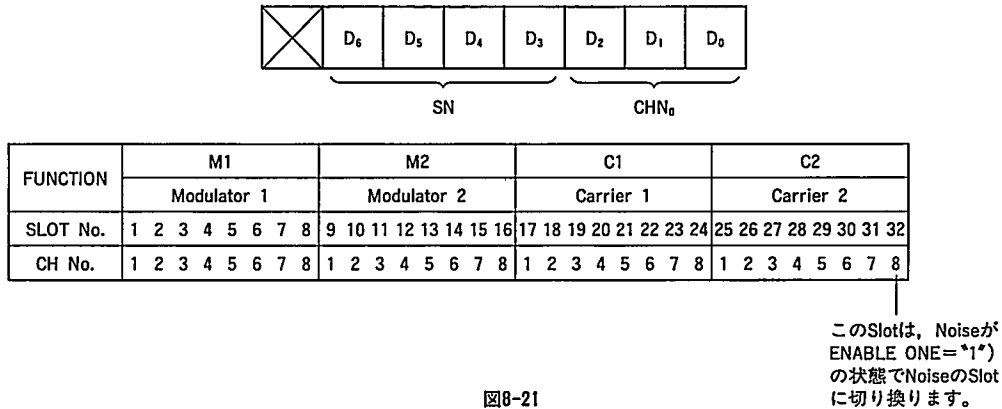


図8-21

チャンネルとスロットを指定し、キーオン(1)することにより音源ボードがアクセスされ、エンベロープジェネレータが動作し始めます。キーオンしたあとは適当な時間の後にキーオフ(0)します。スロットナンバーのD₃, D₄, D₅, D₆ビットは同じチャンネルのスロットナンバーの番号の小さい方から順に対応しています。

● AR: ATTACK RATE (80H~9FH)

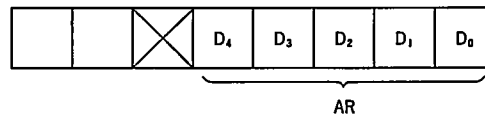


図8-22

キーオンから音量が最大になるまでの速さを設定します。設定値が大きいほど速く音量が最大になります。また、キーコードによりスケーリングが可能です。スケーリングとは、出力したい楽器音の音量やエンベロープが音域によって大きく変化する場合に行う補正のことです。

● D1R: FIRST DECAY RATE (A0H~BFH)

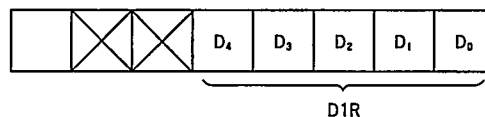


図8-23

音量が最大からD1Lに下がる速さを設定します。D1Rはキーコードによりスケーリングされます。D1Rはキーコードによりスケーリングできます。

● D2R: SECOND DECAY RATE(C0H~DFH)

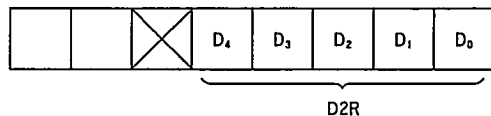


図8-24

キーオン中の状態で音量がD1Lから下がるまでの速さを設定します。D2Rはキーコードによりスケーリングされます。

● RR: RELEASE RATE(E0H~FFH)

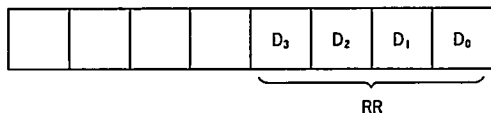


図8-25

キーオフした直後の状態からの音量の下がり速さを設定します。すなわち、余韻の状態を設定します。RRはキーコードによりスケーリングされます。

● D1L: FIRST DECAY LEVEL(E0H~FFH)

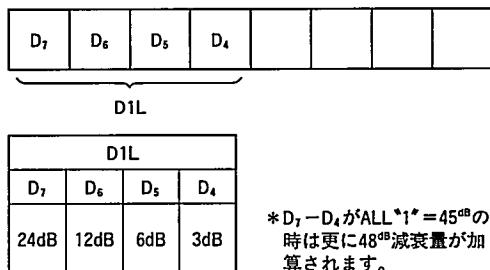


図8-26

EGはこのレベルを経過するとファーストディケイからセカンドディケイに移ります。分解能は3dBです。

● TL: TOTAL LEVEL(60H~7FH)

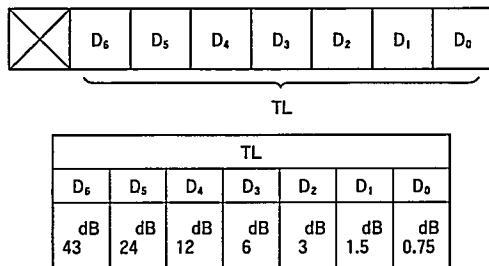


図8-27 TOTAL LEVELの各ビットと重点付け

EGで演奏された各時点での値についてトータルレベルを加算してオペレータに出力し音色(変調度)と音量をコントロールします。最小分解能は0.75dBです。

● KS: KEY SCALING (80H~9FH)



図8-28

AR, D1R, D2R, RR のスケーリングレベルを設定します。

- (*) キースケーリングされた後のRATEは下式の様に入力レート (R) の2倍に下表の値 (R_{KS}) を加えたものであります。
- (**) AR, D1R, D2Rはレジスタに書き込んだ値を入力レート (R) としますがRRはレジスタに書き込んだ値の2倍に1を加えた値を入力レート (R) として計算します。

$$\text{RATE} = 2 * R + R_{KS}$$

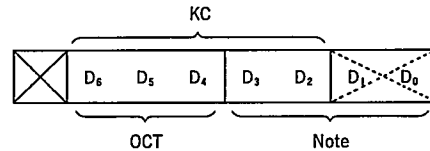
計算結果が63より大きな値の時は全て
RATE=63とします。

◇R: 入力の各レート (**)

◇R_{KS}: KEY CODEとKSで定まる下表による値

◇但しここでのKEY CODEは下图の様にNoteの下位2ビットは切り捨てたKCを用います。

KC	KS 0	KS 1	KS 2	KS 3
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	2
3	0	0	1	3
4	0	1	2	4
5	0	1	2	5
6	0	1	3	6
7	0	1	3	7
8	1	2	4	8
9	1	2	4	9
10	1	2	5	10
11	1	2	5	11
12	1	3	6	12
13	1	3	6	13
14	1	3	7	14
15	1	3	7	15
16	2	4	8	16
17	2	4	8	17
18	2	4	9	18
19	2	4	9	19
20	2	5	10	20
21	2	5	10	21
22	2	5	11	22
23	2	5	11	23
24	3	6	12	24
25	3	6	12	25
26	3	6	13	26
27	3	6	13	27
28	3	7	14	28
29	3	7	14	29
30	3	7	15	30
31	3	7	15	31



スケーリングした後の各レートでアタック、ファストディケイ、セカンドディケイ、リリースの各時間が定まります。

図8-29

第8章 サウンド機能

* 図8-29 で決まるキースケーリング後の RATE 6ビットを、上位4ビット、下位2ビットに分けて表現してあります。

* (10%–90%) or (90%–10%)の表は、レベルが10%から90%又は、90%から10%に達する時間を示します。

* (96dB–0dB) or (0dB–96dB)の表は、レベルが0%から100%又は、100%から0%に達する時間を示します。

* 注) この表は、 $\phi_M=3.6M_{Hz}$ で計算してあります。

… EG ATTACK TIME …		… EG DECAY TIME …		… EG ATTACK TIME …		… EG DECAY TIME …	
RATE	mSEC(10%–90%)	RATE	mSEC(90%–10%)	RATE	mSEC(96dB–0dB)	RATE	mSEC(0dB–96dB)
15 3	0.00	15 3	1.36	15 3	0.00	15 3	6.73
15 2	0.27	15 2	1.36	15 2	0.53	15 2	6.73
15 1	0.27	15 1	1.36	15 1	0.53	15 1	6.73
15 0	0.27	15 0	1.36	15 0	0.53	15 0	6.73
14 3	0.34	14 3	1.55	14 3	0.64	14 3	7.69
14 2	0.39	14 2	1.81	14 2	0.75	14 2	8.97
14 1	0.47	14 1	2.18	14 1	0.90	14 1	10.76
14 0	0.59	14 0	2.72	14 0	1.12	14 0	13.45
13 3	0.62	13 3	3.11	13 3	1.22	13 3	15.38
13 2	0.73	13 2	3.63	13 2	1.42	13 2	17.94
13 1	0.87	13 1	4.35	13 1	1.71	13 1	21.53
13 0	1.09	13 0	5.44	13 0	2.13	13 0	26.91
12 3	1.25	12 3	6.22	12 3	2.22	12 3	30.75
12 2	1.46	12 2	7.25	12 2	2.60	12 2	35.88
12 1	1.75	12 1	8.70	12 1	3.11	12 1	43.05
12 0	2.19	12 0	10.88	12 0	3.89	12 0	53.81
11 3	2.50	11 3	12.43	11 3	4.45	11 3	61.50
11 2	2.92	11 2	14.51	11 2	5.19	11 2	71.75
11 1	3.50	11 1	17.41	11 1	6.23	11 1	86.10
11 0	4.37	11 0	21.76	11 0	7.79	11 0	107.63
10 3	5.00	10 3	24.87	10 3	8.90	10 3	125.00
10 2	5.83	10 2	29.01	10 2	10.38	10 2	143.50
10 1	7.00	10 1	34.82	10 1	12.46	10 1	172.20
10 0	8.75	10 0	43.52	10 0	15.57	10 0	215.25
9 3	10.00	9 3	49.74	9 3	17.80	9 3	246.00
9 2	11.66	9 2	55.03	9 2	20.76	9 2	287.00
9 1	13.99	9 1	69.63	9 1	24.92	9 1	344.41
9 0	17.49	9 0	87.04	9 0	31.15	9 0	430.51
8 3	19.99	8 3	99.47	8 3	35.60	8 3	492.01
8 2	23.22	8 2	116.05	8 2	41.53	8 2	574.01
8 1	27.39	8 1	139.26	8 1	49.83	8 1	698.81
8 0	34.97	8 0	174.08	8 0	62.29	8 0	861.01
7 3	39.98	7 3	198.95	7 3	71.19	7 3	984.02
7 2	46.65	7 2	232.11	7 2	83.06	7 2	1148.02
7 1	55.98	7 1	278.53	7 1	99.67	7 1	1377.62
7 0	69.97	7 0	348.16	7 0	124.59	7 0	1722.03
6 3	79.97	6 3	397.90	6 3	142.38	6 3	1958.03
6 2	93.30	6 2	464.21	6 2	166.12	6 2	2296.04
6 1	111.96	6 1	557.06	6 1	199.34	6 1	2755.24
6 0	139.95	6 0	696.32	6 0	249.17	6 0	3444.05
5 3	159.94	5 3	795.79	5 3	284.77	5 3	3936.06
5 2	186.60	5 2	928.43	5 2	332.23	5 2	4592.07
5 1	223.91	5 1	1114.11	5 1	398.68	5 1	5510.49
5 0	279.89	5 0	1392.64	5 0	498.35	5 0	6538.11
4 3	319.88	4 3	1591.59	4 3	569.54	4 3	7872.12
4 2	373.19	4 2	1856.85	4 2	664.46	4 2	9154.14
4 1	447.83	4 1	2228.22	4 1	797.35	4 1	11020.97
4 0	559.79	4 0	2785.28	4 0	996.69	4 0	13776.21
3 3	639.76	3 3	3183.18	3 3	1139.08	3 3	15744.24
3 2	746.38	3 2	3713.71	3 2	1328.92	3 2	18338.28
3 1	895.66	3 1	4456.45	3 1	1594.71	3 1	22041.94
3 0	1119.57	3 0	5570.56	3 0	1993.39	3 0	27552.43
2 3	1279.51	2 3	6366.35	2 3	2278.16	2 3	31499.49
2 2	1492.76	2 2	7427.41	2 2	2657.85	2 2	36736.57
2 1	1791.32	2 1	8912.90	2 1	3189.42	2 1	44093.88
2 0	2239.15	2 0	11141.12	2 0	3986.77	2 0	55104.85
1 3	2559.02	1 3	12732.71	1 3	4556.31	1 3	62976.98
1 2	2985.53	1 2	14854.83	1 2	5315.70	1 2	73473.14
1 1	3582.63	1 1	17825.79	1 1	6378.84	1 1	88167.77
1 0	4478.29	1 0	22282.24	1 0	7973.55	1 0	110209.71
0 3	INFINITY	0 3	INFINITY	0 3	INFINITY	0 3	INFINITY
0 2	INFINITY	0 2	INFINITY	0 2	INFINITY	0 2	INFINITY
0 1	INFINITY	0 1	INFINITY	0 1	INFINITY	0 1	INFINITY
0 0	INFINITY	0 0	INFINITY	0 0	INFINITY	0 0	INFINITY

表8-7

(6) ノイズ

ノイズの質はノイズジェネレータのクロックを外部からのコントロールにより変化させることができます。

● NE: NOISE ENABLE(0FH)

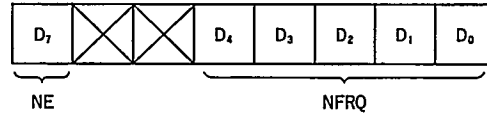


図8-30

ビット7を1とすれば32番目のスロットはノイズとなります。

● NFRQ: NOISE FREQUENCY(0FH)

ノイズ周波数の設定します。

NFRQとノイズ周波数の関係は

$$f_{\text{Noise}} = \frac{f_M}{32 * (\text{NFRQ})} \quad \diamond f_M = 3579.545 \text{ KHZ} \quad (\text{YM2151に加えるクロック周波数})$$

となり約3.5KHzから約111.9KHzの間変化させることができます。このときノイズの周期は

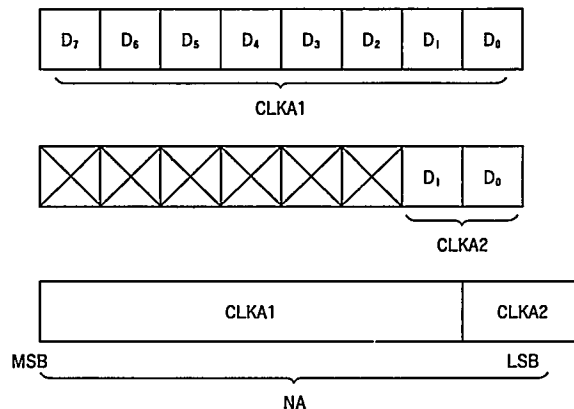
$$T_{\text{Noise}} = \frac{217-1}{f_{\text{Noise}}(\text{HZ})}$$

により求めることが出来、約37.5SECから約1.17SECの値になります。

(7) タイマー

このFM音源には10ビットのプリセッタブルタイマーA、8ビットのプリセッタブルタイマーBがありオーバーフロー時にデータバスにフラグを立て割り込みを行うことができます。

● CLKA(10H, 11H)



$$T_A^{(ms)} = \frac{64 * (1024 - NA)}{f_M(\text{KHZ})} \quad * f_M = 3579.545 \text{ KHZ} \quad (\text{YM2151に加えるクロック周波数})$$

図8-31

10ビットのプリセッtablタイムでオーバーフローをしたときはCPUにIRQ割り込みをかけることができます。デバイス内部でオーバーフローしたとき、キーオン信号として利用できます。

● CLKB(12H)

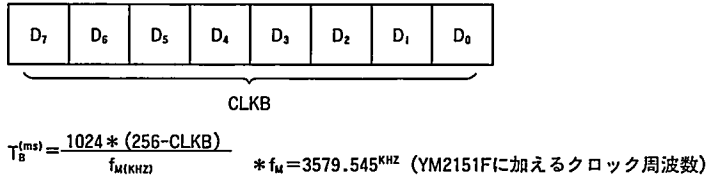


図8-32

8ビットのプリセッtablタイムでオーバーフローをしたときはCPUにIRQ割り込みをかけることができます。

● IRQEN, LOAD, F RESET, CSM(14H)

IRQEN: タイマーが発生するオーバーフローをフラグレジスタにレジストすることを可能にし割り込み要求も可能にします。

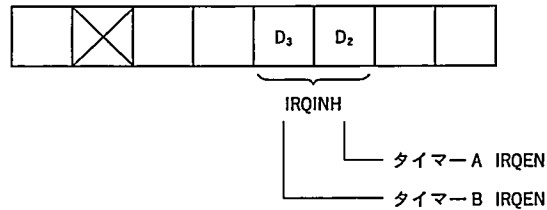


図8-33

LOAD: 各タイマの始動、停止をコントロールします。

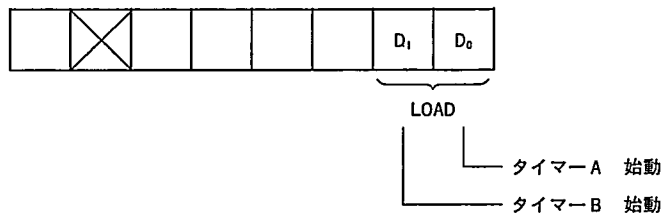


図8-34

F RESET: 各タイマがオーバーフローしたことを示すフラグレジスタをリセットします。オーバーフロー時のIRQ割り込みをするか、しないかを決めます。

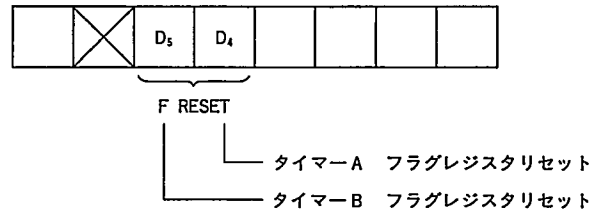


図8-35

CSM：オーバーフロー時に音源のすべてのスロットをキーオンできます。

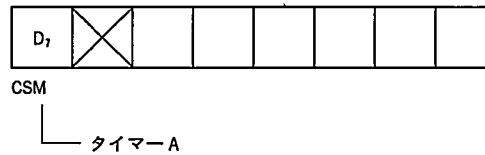
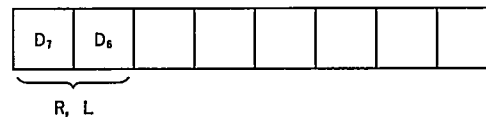


図8-36

(8) ACC: ACCUMULATOR

RL レジスタによりオペレータからのデータをL系列, R系列に入力して加算します。加算されたデータは所定のフォーマットでシリアルに出力されます。

● RL: RIGHT/LEFT (20H~27H)



D ₇	D ₆	サウンド出力
1	0	Right
0	1	Left
1	1	R/L同時表示
0	0	出力無し

図8-37

R/Lの、出力チャンネルを設定します。

各8つのチャンネルのR/Lオーディオ出力の設定はビット6, 7によって行います。

(B) リードモード

YM2151には、読み出しレジスタが1つあります。レジスタ番号を指定する必要はありません。

● B: WRITE BUSY FLAG

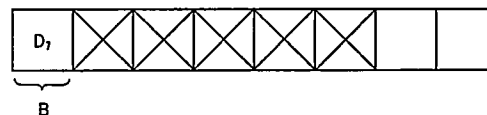


図8-38

書き込み中は1となるフラグです。データを続けて書き込むときは、このフラグが0になったことを確認しながら行います。

● IST

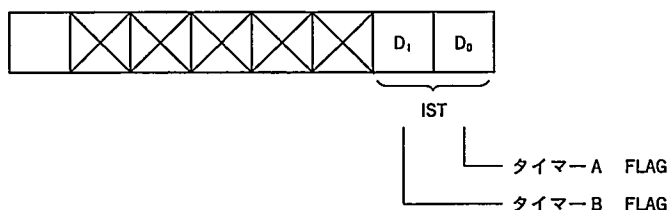


図8-39

フラグレジスタのフラグ状態を示します。タイマのオーバーフローにより IST のいずれかのビットが1になると IRQ 端子がLになります。

8-2-4 キーコードの補正

YM2151(OPM)は、約3.58MHzのシステムクロックで使用したときに、KEY FRACTION (KF)値が0となり、最もずれの少ない音程となるようにデバイス内部にデータを持っています。しかし、X1ではシステムクロックが4MHzのため音程が約192セント高くなるため補正を必要とします。

補正法：KF=5 または 6 を与えて、ずれを約200セントにします。このとき NOTE データと発音音程の関係は

NOTE	0	1	2	4	5	6	8	9	10	12	13	14
音程	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C#	C	D

C	D	E	F	G	A	B	C
ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ	シ	ド

図8-40

のように1音高い音になります。

8-2-5 テンポの設定

テンポ設定は CTC による割り込み処理プログラムで行うことができます。X1turbo シリーズでは内蔵の CTC, X1 シリーズでは CZ-8BS1 の CTC を使用します。YM2151 内のタイマは使用できません。

内蔵 CTC: I/O ポート (1FA0H)

CZ-8BS1 の CTC: I/O ポート (704H)

テンポ設定を行うには、CTC のチャンネル 0 はタイマモードに、チャンネル 3 はカウンタモードにします。このとき割り込み周期は

$$T = TC0 \times TC \times P \times TC3$$

TC0 : チャンネル 0 時間定数

TC : システムクロック周期, 250nsec

P : プリスケール値

TC3 : チャンネル 3 時間定数

となります。

```

DI
LD   BC, CTC
LD   A, 00010101B   ;*1.
OUT  (C), A
LD   A, 0FAH         ;時定数
OUT  (C), A
LD   BC, CTC+3
LD   A, VECTER       ;下位ベクターアドレス
OUT  (C), A
LD   A, 11010101B   ;*2.
OUT  (C), A
LD   A, TIME         ;時定数設定
OUT  (C), A
EI

```

*1.	ビット 7	割り込み禁止
	ビット 6	タイムモード選択
	ビット 5	プリスケアラ値 16
	ビット 4	don't care
	ビット 3	時間定数をロード後タイマーは動作する
	ビット 2	次に書き込まれるデータは時間定数データ
	ビット 1	チャンネルは現在の動作を継続する
*2.	ビット 6	カウンタモード選択
	ビット 5	カウンタモード時 don't care
	ビット 4	CLK/TRGの立ち上がりでダウンカウンタを-1 (本ボードではチャンネル0の時間定数が0の時)

表8-8 テンポの設定例