

YAMAHA[®] LSI

YM3438

アプリケーションマニュアル

OPN2C 6ch, 4-OP. FM sound generator

1990年4月 現在

保存版

ヤマハ株式会社
半導体営業部

登録	改訂
----	----

YAMAHA

目 次

■概 要	1
■特 徴	1
■主 要 機 能	1
■システムブロック図	2
■ブロックダイアグラム	2
■システム概念図	3
■端子配置図	4
■端子機能	5
■レジスタマップ	9
■ステータスフラグ	11
■FM音源 諸機能	12
■外形図	41
■OPN2Cデータ変換時注意事項	42
■FM音源サウンドサンプル	43
■参考回路例	46

■概要 OPN2CはFM方式によるシンセサイザー音源です。
 OPN(YM2203C)とFM音源の音色データの互換性を保ちながら、同時発
 音数を6音に拡張しました。6音の内1音を使用して8ビットのPCM音の出力も
 可能です。
 また、ビブラート・振幅変調用に低周波発振器及び音声出力用にステレオDACを
 内蔵しました。
 一方、OPNから矩形波音源及びI/Oポートを削除し、24ピンのパッケージに
 コンパクトにまとめました。

- 特徴
- FM音源部 : 4オペレータ、6音同時発音
 OPNの音色データと互換性あり
 - PCM : 6音中1音可能
 マイコンより8ビットのレジスタに書き込むことにより出力可能
 - 低周波発振器: ビブラート・振幅変調
 (LFO) 変調の有無及び発振周波数設定可能
 - 音声出力 : L、Rの2チャンネル
 9ビットのステレオDAC内蔵
 - タイマー : プログラマブルなタイマーを2個内蔵
 - その他 : 5V単一電源
 CMOSによる低消費電力化
 パッケージは24ピンプラスチックDIP

■主要機能 OPN2Cの機能は、以下の通りです。
 (基本的には、OPN(YM2203C)と同様)

発音モード・・・4オペレータFM方式、6音同時発音。

アルゴリズム・・・8種類。

パラメータ・・・レジスタマップ、及びFM音源諸機能参照。

LFO機能・・・サイン波LFO。ピッチ(PM)、及び振幅(AM)変調。
 発振周波数可変。PMS、AMS制御と、オペレータ毎の
 AM on/off可能。

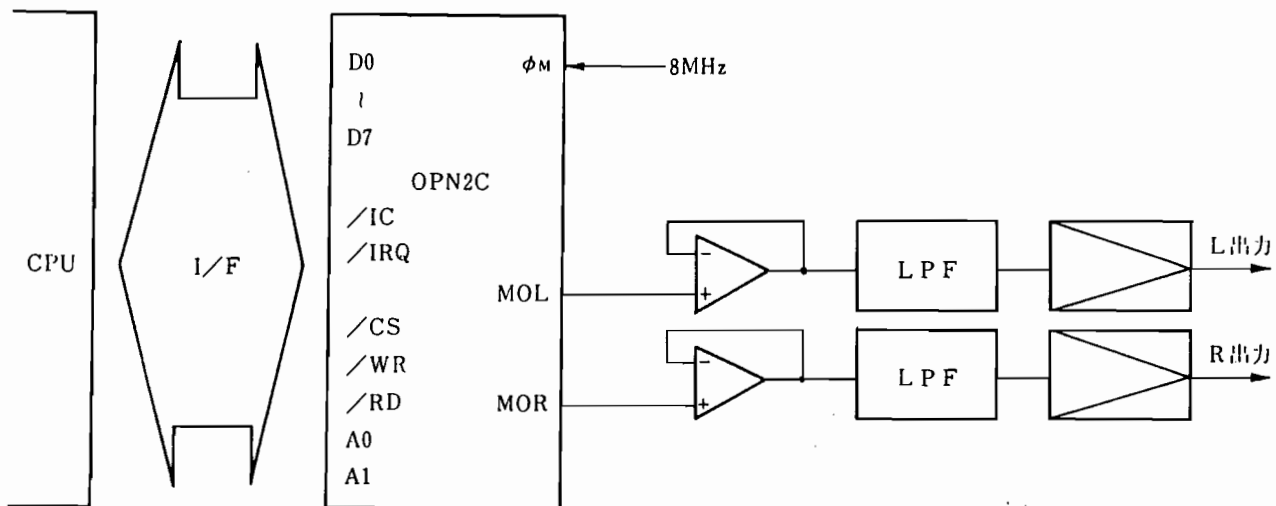
複合正弦波合成・・・6音中1音可能。

タイマー機能・・・A、Bの2種類のタイマー。

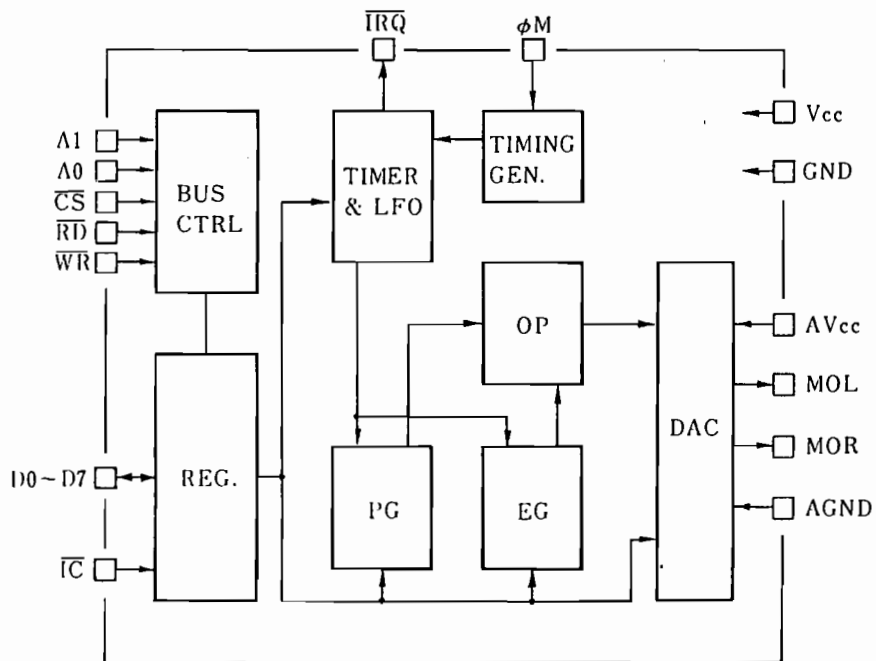
出力制御・・・9ビットD/Aコンバータ内蔵。L及びRのon/off。

PCM機能・・・サンプリング・レート55.5kHz。8ビット出力。

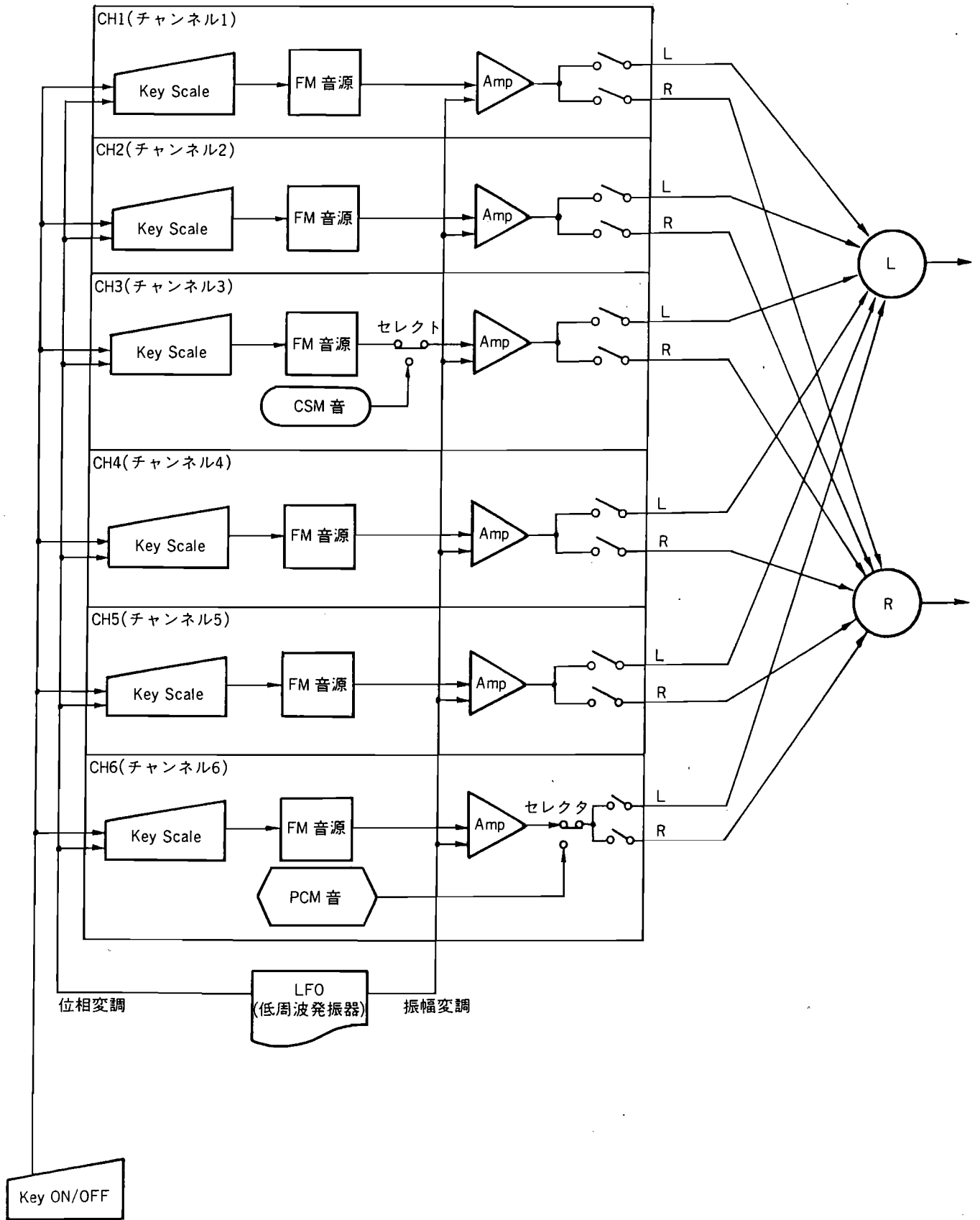
■ システムブロック図



■ ブロックダイアグラム



■ システム概念図



■ 端子配置図

GND	1	I	I	24	ϕM
D0	2	I/O	I	23	Vcc
D1	3	I/O	I	22	AVcc
D2	4	I/O	O	21	MOL
D3	5	I/O	O	20	MOR
D4	6	I/O	I	19	AGND
D5	7	I/O	I	18	A1
D6	8	I/O	I	17	A0
D7	9	I/O	I	16	\overline{RD}
* \overline{TEST}	10	I/O	I	15	\overline{WR}
* \overline{IC}	11	I	I	14	\overline{CS}^*
GND	12	I	O	13	\overline{IRQ}

注：・本図はTOP VIEW

・ * 印の端子はプルアップ抵抗でVccにプルアップされています。

■ 端子機能

ϕM

マスタークロック入力です。

MOL・MOR

2チャンネルのアナログ出力です。電圧出力されます。

D0～D7

8ビットの双方向データバスです。プロセッサとデータのやり取りをします。

\overline{CS} ・ \overline{RD} ・ \overline{WR} ・A1・A0

D0～D7のデータバスのコントロールをします。

表1.1 データバスコントロール

CS	RD	WR	A1	A0	アドレス範囲	内 容
0	1	0	0	0	\$21～\$2C	タイマー等のレジスタ・アドレスを書き込みます。
					\$30～\$B6	チャンネル1～3のレジスタ・アドレスを書き込みます。
0	1	0	0	1	\$21～\$2C	タイマー等のレジスタ・データを書き込みます。
					\$30～\$B6	チャンネル1～3のレジスタ・データを書き込みます。
0	1	0	1	0	\$30～\$B6	チャンネル4～6のレジスタ・アドレスを書き込みます。
0	1	0	1	1	\$30～\$B6	チャンネル4～6のレジスタ・データを書き込みます。
0	0	1	0	0	\$XX	ステータスを読み出します。
0	0	1	0	1	\$XX	D0～D7は高インピーダンスになります。
0	0	1	1	0		
0	0	1	1	1		
1	X	X	X	X		

\overline{TRQ}

2つのタイマーから出される割り込み信号です。タイマーにプログラムされた時間が経過すると、低レベルになります。オープンドレイン出力です。

\overline{IC}

内部レジスタを初期化します。

\overline{TEST}

本LSIをテストするための端子です。どこにも接続しないで下さい。

GND, AGND

グラウンド端子です。

V_{CC} , AV_{CC}

+5V電源端子です。

● データバスコントロール

レジスタアドレスの指定、及びデータのリード/ライトの為のデータバスコントロールは、 $\overline{CS} \cdot \overline{WR} \cdot \overline{RD} \cdot A1 \cdot A0$ の各信号で行われます。これらの信号の状態によってコントロール可能なアドレス範囲とデータの内容は、■端子機能に示す表1.1のとおりです。

OPN2Cのレジスタは、アドレス\$30～\$B6を共用する2系列のレジスタバンクから構成されています。バンク指定は、バスコントロール信号A1によって行われます。この方法により、各レジスタのアクセスが可能になります。

A1によるレジスタアドレスの割り当ては次のとおりです。

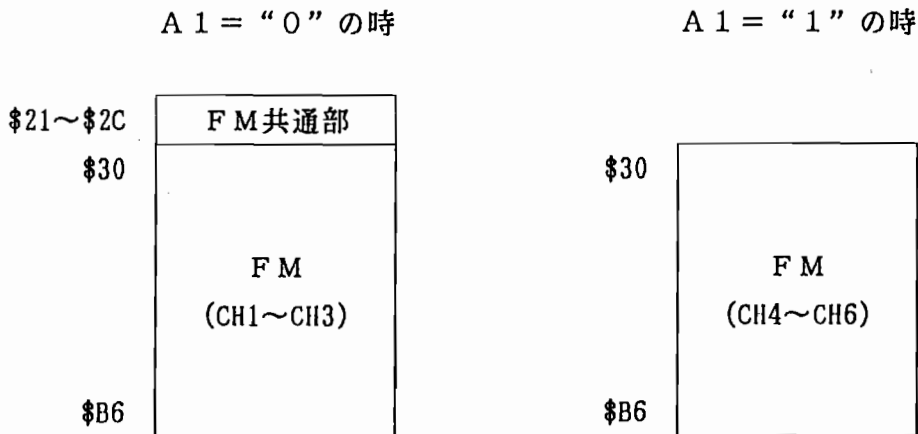


図1.1 レジスタアドレスの割り当て

$\overline{CS} \cdot \overline{WR} \cdot \overline{RD} \cdot A0 \cdot A1$ によるレジスタの制御モードは下表1.2のとおりです。

表1.2 リード/ライトモード選択

	\overline{CS}	\overline{RD}	\overline{WR}	A1	A0	モ ー ド
1	0	1	0	*	0	アドレス ライト モード
2	0	1	0	*	1	データ ライト モード
3	0	0	1	0	0	ステータス リード モード
4	0	0	1	0	1	インアクティブ リード モード
	0	0	1	1	1	
5	1	X	X	X	X	インアクティブ モード

A1 = "*" は、バンク指定を行います。

1) アドレスライト モード

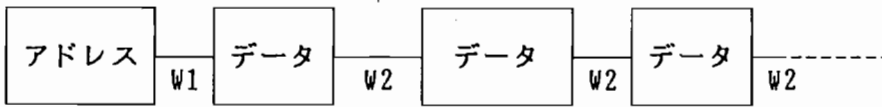
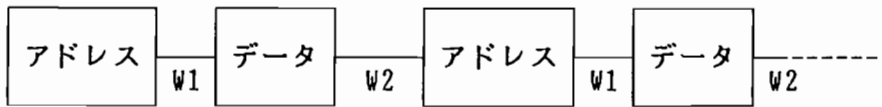
CPUからレジスタへデータを書き込む、又はレジスタからデータを読み出すためには、まずレジスタのアドレスを指定して、その後データの書き込み、読み出しを行います。

アドレス指定は、バスコントロール信号が<アドレスライトモード>の時、データバスD0～D7にアドレスデータを書き込みます。

指定されたアドレスは、新たに次のアドレス指定が行われるまで保持されますので、同じアドレスを連続してアクセスするような場合、アドレスデータの書き込みは最初の1回だけでよくなり、その後は不要です。

2) データライト モード

アドレス指定後、バスコントロール信号を<データライトモード>にして、データバス上のデータをレジスタに書き込みます。



W1: アドレスライト後の
待ち時間
W2: データライト後の
待ち時間

3) ステータスリード モード

バスコントロール信号を<ステータスリードモード>にした時、ステータスレジスタに発生するステータス情報がデータバス上に出力されます。

4) インアクティブリードモード

データバスD0～D7はハイインピーダンスになりますが、内部動作はステータスリードモードと同じです。

5) インアクティブ モード

\overline{CS} が“1”の時、データバスD0～D7はハイインピーダンスになります。

《ライトモード時の待ち時間》

表1.3 アドレスライト後

アドレス	待ちサイクル
\$21~\$B6	17

表1.4 データライト後

アドレス	待ちサイクル
\$21~\$9E	83
\$A0~\$B6	47

* サイクル数は、マスタークロック ϕM のサイクル数です。

《リードモード時の待ち時間》

表1.5

アドレス	待ちサイクル
\$21~\$B6	17

* データ及びアドレスライト後、リードする場合の待ち時間

アドレス及びデータライトで注意しなければならないことは、書き込み終了後、次の処理に移るまでに、所定の待ち時間を設定する必要があります。これは、LSI内部のデータ処理方法に起因しています。

従って、レジスタに正しくデータをセットするためには、待ち時間の設定を必ず行うようにして下さい。

なお、レジスタ書き込み時の待ち時間は、表1.3、1.4、1.5のとおりです。

■ レジスタマップ

ADDRESS	A1="0" の時	A1="1" の時
\$21	LFO タイマ KEY-ON/OFF DAC Data	
\$2C		
\$30	FM パラメータ チャンネル 1~3	\$30
\$B6		FM パラメータ チャンネル 4~6
		\$B6

ADDRESS

\$21	T e s t							
\$22	/	/	/	/	L F O			
\$24	T i m e r - A							
\$25	/	/	/	/	/	/	/	Timer-A
\$26	T i m e r - B							
\$27	Mode		Reset		Enable		Load	
			B	A	B	A	B	A
\$28	S L O T				/	C H		
\$2A	D A C D a t a							
\$2B	SEL	/	/	/	/	/	/	/
\$2C	T e s t							
\$30	/	D T			M U L T I			
\$3E	/	T L						
\$40	/	T L						
\$4E	K S		/	A R				
\$50	K S		/	A R				
\$5E	K S		/	A R				
\$60	A M		/	/	D R			
\$6E	A M		/	/	D R			
\$70	/	/	/	S R				
\$7E	/	/	/	S R				
\$80	S L				R R			
\$8E	S L				R R			
\$90	/	/	/	/	S S G - E G			
\$9E	/	/	/	/	S S G - E G			
\$A0	F - N u m . 1							
\$A1	F - N u m . 1							
\$A2	F - N u m . 1							
\$A4	F - N u m . 1							
\$A5	/	/	B L O C K			F - N u m . 2		
\$A6	/	/	B L O C K			F - N u m . 2		
\$A8	3 C H * F - N u m . 1							
\$A9	3 C H * F - N u m . 1							
\$AA	3 C H * F - N u m . 1							
\$AC	3 C H * F - N u m . 1							
\$AD	/	/	3 C H * B L O C K			3 C H * F - N u m . 2		
\$AE	/	/	3 C H * B L O C K			3 C H * F - N u m . 2		
\$B0	3 C H * F - N u m . 1							
\$B1	/	/	F B			C O N N E C T		
\$B2	/	/	F B			C O N N E C T		
\$B4	L	R	A M S		/	P M S		
\$B5	L	R	A M S		/	P M S		
\$B6	L	R	A M S		/	P M S		

COMMENT

LSIのTest Data
LFOのFreq Control
Timer-Aの上位8ビット
Timer-Aの下位2ビット
Timer-Bのデータ
Timer-A/BのControl及び3CHのMode
Key ON/OFF
DAC Data
DAC Select
LSIのTest Data
Detune/Multiple (33, 37, 3Bのアドレスは無し)
Total Level (43, 47, 4Bのアドレスは無し)
Key Scale/Attack Rate (53, 57, 5Bのアドレスは無し)
AMON/Decay Rate (63, 67, 6Bのアドレスは無し)
Sustain Rate (73, 77, 7Bのアドレスは無し)
Sustain Level/Release Rate (83, 87, 8Bのアドレスは無し)
SSG-Type Envelope Control (93, 97, 9Bのアドレスは無し)
F-Number/BLOCK
3 CH - 3 Slot F-Number/BLOCK
Self-Feedback/Connection
LR/AMS/PMS

☆レジスタの内容とアドレスマップ

OPN2Cのレジスタは、アドレスマップで示されるように内部アドレスが与えられています。各レジスタ（アドレス）の内容は次のとおりです。

(1)	\$21, \$2C	テスト情報。常に“0”の状態にしておきます。
(2)	\$22	LFOのON/OFF制御とLFOの発振周波数を設定します。
(3)	\$24~\$26	タイマーAとタイマーBのセットの時間を与えます。
(4)	\$27	タイマーA・Bの動作を制御します。加えて、FM音源第3チャンネルのモードを設定します。
(5)	\$28	チャンネルおよびスロットのKeyON/OFFを制御します。
(6)	\$2A	DACに対し直接DATAを書き込みます。
(7)	\$2B	チャンネル6のFM音を出力するか、\$2Aに書かれたDATAを出力するかを選択します。
(8)	\$30~\$3E	DetuneとMultipleの制御です。音色を設定する時に使います。基本波と倍音の関係を制御します。
(9)	\$40~\$4E	Total Level を与えます。この情報は、被変調波の音量・変調波の変調指数になります。
(10)	\$50~\$5E	Key-Scaleは、鍵盤情報に従ってA・D・S・Rの変化割合を制御します。Attack Rateはアタック時のエンベロープの変化の割合を与えます。
(11)	\$60~\$6E	Decay Rateはディケイ時のエンベロープの変化の割合です。及び振幅変調ON/OFF。
(12)	\$70~\$7E	Sustain Rateはサスティン時のエンベロープの変化の割合です。
(13)	\$80~\$8E	Sustain Levelはディケイからサスティンに移行するレベルを与えます。Release Rateはリリース時のエンベロープの変化割合です。
(14)	\$90~\$9E	プリセットされたエンベロープを与えます。
(15)	\$A0~\$AE	各チャンネルのKey-Code (F-Number)を与えます。
(16)	\$A8~\$AE	特殊モードにした場合の3チャンネルのKey-Code (F-Number)です。
(17)	\$B0~\$B2	FM変調の変調形式(Connection)とfeedback FMの変調度を与えます。(Self-feedback)
(18)	\$B4~\$B6	LFOを振幅及び発振周波数にかける深度を設定および、L/R, ON/OFF。

■ ステータスフラグ

ADDRESS						COMMENT
\$XX	BUSY	/	/	/	/	FLAG A B Status

■ FM音源 諸機能

OPN2Cは、6音/6音色同時発音が可能で4オペレータFM方式の音源LSIです。4オペレータ方式によるクオリティの高いFMサウンドに加えて、LFO機能を内蔵したことにより、音色作りの可能性が飛躍的に向上しました。また、OPNとソフトウェアの互換性がありますので、OPNで作った音色パラメータが利用できます。

本章では、OPN2Cのレジスタ機能を中心に、オペレータを構成する各ブロックについて説明します。

1. レジスタ構成

オペレータを制御するパラメータは、\$21～\$B6のレジスタに配置されています。FM音源の音創り及び発音制御は、各レジスタに適切なデータを書き込むことにより行われます。

1-1. 共通レジスタ：\$21～\$28

音声出力の全チャンネルに共通な機能を配置したブロックです。LFO、タイマー、チャンネル割当機能等で構成されています。

(注)OPNでは\$2D, 2E, 2Fによるプリスケーク機能により、入力クロック分周数を1/2, 1/3, 1/6と設定できましたが、OPN2Cではこの機能はなく分周数は1/6固定となっています。

□Test：\$21

OPN2Cテスト用レジスタです。ユーザーアプリケーションでは使用しません。

□LFO：\$22

(5. LFO参照)

LFOのON/OFF制御とLFOの発振周波数の設定をします。

□Timer-A: \$24, \$25

タイマーは、2種類のプリセットブルタイマーと、各タイマーの始動、停止、フラグ制御を行うタイマーコントローラから構成されています。また、ステータス（リードモード）のD1, D0に配置されたタイマーフラグが“1”になると同時にIRQを発生して、CPUに対してタイマーインタラプトを行います。

タイマーAは、\$24, \$25の10bitで作られる分解能18μS (fM=8MHz)のタイマーカウンタです。セット可能なタイムインターバルは、①式によって算出できます。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
\$24	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2
\$25	/	/	/	/	/	/	P1	P0

$$tA = 144 * (1024 - NA) / fM \dots \textcircled{1}$$

NA : $P9 \times 2^9 + P8 \times 2^8 + P7 \times 2^7 + P6 \times 2^6 + \dots + P1 \times 2^1 + P0$
 fM : マスタークロック周波数 [Hz]

(例) fM = 8 MHz時、

$$tA (MAX) = 18432 \mu S$$

$$tA (MIN) = 18 \mu S$$

□Timer-B: \$26

タイマーBは、\$26の8bitで作られる分解能288μS (fM=8MHz)のタイマーカウンタです。セット可能なタイムインターバルは、②式により算出できます。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
\$26	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0

$$tB = 2304 * (256 - NB) / fM \dots \textcircled{2}$$

NB : $P7 \times 2^7 + P6 \times 2^6 + \dots + P1 \times 2^1 + P0$
 fM : マスタークロック周波数 [Hz]

□Timer Control: \$ 27

タイマーA及びBは\$ 27のタイマーコントローラで制御されます。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
\$27	MODE		RESET		ENABLE		LOAD	
			B	A	B	A	B	A

- ・LOAD : タイマーのスタート、ストップを制御します。
 “1” でスタートします。
 “0” でストップします。
- ・ENABLE : ステータス (リードモード) のタイマーフラグを制御します。
 “1” の時、タイマーカウンタがオーバーフローすると同時にタイマーフラグに
 “1” が立ちます。又、このタイマーフラグは IRQ 端子にインタラプト信号を
 発生します。
 “0” の時、タイマーカウンタがオーバーフローしても、フラグは変化しません。
- ・RESET : タイマーフラグをリセットします。
 “1” の時、ステータスのタイマーフラグをリセットして、同時にこのbit自
 身も “0” クリアされます。
- ・MODE : チャンネル3のモードを設定します。
 チャンネル3は\$ 27 “D7, D6” によりモード設定が出来ます。

D7	D6	モード	機能
0	0	ノーマル	他のCHと同様、ノーマル発音をします。
1	0	CSM	CSM音声合成モードとなり、F-Numberは4スロット別々に設定 できます。CSMモード時のKey-on/offはタイマーAを使って行いま す。
0	1	効果音	CSM同様、各スロットに別々のF-Numberを設定できます。

□Key on/off : \$28

チャンネル指定とスロットの on/off により、チャンネル毎の Key アサインを行います。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
\$28	SLOT				/	CH.			
D4	スロット 1 の ON/OFF					0	0	0	チャンネル 1
D5	スロット 2 の ON/OFF					0	0	1	チャンネル 2
D6	スロット 3 の ON/OFF					0	1	0	チャンネル 3
D7	スロット 4 の ON/OFF					1	0	0	チャンネル 4
						1	0	1	チャンネル 5
						1	1	0	チャンネル 6

□Test : \$2C

OPN2C テスト用レジスタです。ユーザーアプリケーションでは使用しません。

1-2. D/A 用レジスタ : \$2A, \$2B

OPN2C は、チャンネル 6 の FM 音の代わりに、CPU から書き込まれたデータを、直接 D/A コンバータに送り込む事ができます。この機能を実現するためのレジスタです。

□DAC Data : \$2A

D/A 変換をさせたいデータを与えます。データは、オフセット・バイナリにて作成して下さい。但し、bit 0 が LSB、bit 7 が MSB です。

□DAC Select : \$2B

チャンネル 6 に、FM 音を出力するか、あるいは、レジスタ \$2A に書き込まれたデータを出力するかを選択するためのレジスタです。

このレジスタのビット 7 に "0" を立てた時は、FM 音を、"1" を立てた時は、DAC Data を出力します。

1-3. チャンネルレジスタ：\$30～\$B6

3チャンネル分の音色パラメータ、F-Number等を配置したレジスタです。\$30～\$9Eはスロット単位に設定するパラメータ、\$A0～\$B6はチャンネル単位に設定するパラメータです。

チャンネル選択は、バスコントロール信号：A1で制御します。

A1 = "0" の時、CH1～CH3のパラメータ制御。

A1 = "1" の時、CH4～CH6のパラメータ制御。

レジスタアドレスとチャンネル・スロットの関係は表2.1の通りです。

表2.1 レジスタアドレスとチャンネル・スロットの関係

SLOT パラメータ		CH1/CH4				CH2/CH5				CH3/CH6			
		1	3	2	4	1	3	2	4	1	3	2	4
DT/MULTI	3*	30	34	38	3C	31	35	39	3D	32	36	3A	3E
TL	4*	40	44	48	4C	41	45	49	4D	42	46	4A	4E
KS/AR	5*	50	54	58	5C	51	55	59	5D	52	56	5A	5E
AM/DR	6*	60	64	68	6C	61	65	69	6D	62	66	6A	6E
SR	7*	70	74	78	7C	71	75	79	7D	72	76	7A	7E
SL/RR	8*	80	84	88	8C	81	85	89	8D	82	86	8A	8E
SSG-EG	9*	90	94	98	9C	91	95	99	9D	92	96	9A	9E
F-Num1		A0				A1				A2			
Block/F-Num2		A4				A5				A6			
3CH*F-Num1 *1										A9	A8	AA	A2
3CH*(Block/F-Num2) *1										AD	AC	AE	A6
FB/Algorithm		B0				B1				B2			
L/R,AMS/PMS		B4				B5				B6			

*1：\$A8～\$AA，\$AC～\$AEは、チャンネル3を効果音モード、又はCSM音声合成モードにした時の周波数（Block，F-Number）設定レジスタです。通常の発音モードでは使用しません。

チャンネル3のモード設定については、1-1を参照してください。

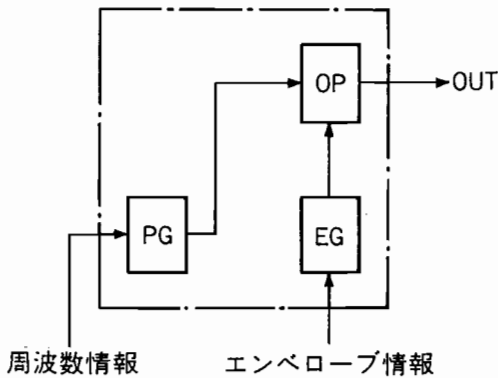
2. オペレータ

2-1. オペレータ

FM音源は複数のオペレータの組み合わせでさまざまな音色を創ることができます。しかし、1個のオペレータは、レジスタに書き込まれたデータにしたがって演算を行うだけの機能にすぎません。

オペレータとは・・・与えられた周波数情報と出力レベル（エンベロープ）情報に応じてサイン波を発生する正弦波発振器である。

オペレータは下図のようなブロック図で表現されます。



OP：サインテーブル。

PG：フェイズジェネレータ。周波数（位相）情報発生回路。サインテーブルのデータ読み出し速度を発生する。

EG：エンベロープジェネレータ。サインテーブルの出力レベル、及び出力レベルの時間的変化を制御する。

つまり、PGに周波数情報、EGにエンベロープ情報を与えれば、オペレータはサイン波を出力します。しかし、これだけではサイン波しか得られませんから、余り面白くありません。そこで、複数のオペレータを接続することで、倍音成分を含んだ音色が作成できるようにしました。

FMの原理・・・サイン波でサイン波を変調することにより、複雑な倍音構成を持つ波形を作ることが出来る。

図2. 1にFM方式の基本となる2オペレータFMのブロック図を示します。

OPN2Cは、4個のオペレータを接続してFM音色を作ります。この接続方式の事をアルゴリズムと言ひ、8種類アルゴリズムを選択することができます。 →2-2アルゴリズム参照

アルゴリズム：オペレータの接続形態（組合せ方）の事。4オペレータFMでは8種類ある。
アルゴリズムにより、各オペレータの役割が決めるられる為音色作成に際して、まず初めに決定するパラメータ。

図2.1の β はフィードバック変調の帰還率を表しています。フィードバックは、自分自身の出力を入力にフィードバックして、自己変調をかけます。この効果は、オペレータが無限に接続された事と等しく、倍音構成が整数次の高調波となることから、鋸歯状波（のこぎり波）的な波形、例えば、ストリングス系の音色等に効果的です。フィードバック機能は接続形態の一つと考えて良いでしょう。 →2-2アルゴリズム参照

オペレータは、変調する側をモジュレータ、被変調（有無にかかわらず）出力側をキャリアと呼び区別します。しかし、オペレータ本来の機能が変わる訳ではなく、アルゴリズムによりモジュレータにもキャリアにも成り得ます。

これはアルゴリズムを選択した際に、それぞれのオペレータがキャリアとして働くものか、モジュレータとして働くものかといった役割を表す名称にすぎません。

図2.1ではOP1がモジュレータ、OP2がキャリアとなります。

これまでの事をまとめると、FM音源の音創りは以下の設定を行えばよいことになります。

- A. アルゴリズムを選択して、各オペレータの役割を決める。
- B. PG（フェイズジェネレータ）のパラメータを設定して、各オペレータの出力周波数を決める。
- C. EG（エンベロープジェネレータ）のパラメータを設定して、各オペレータのエンベロープ及び出力レベルを決める。
- D. 音色によりフィードバックFMを使用する。

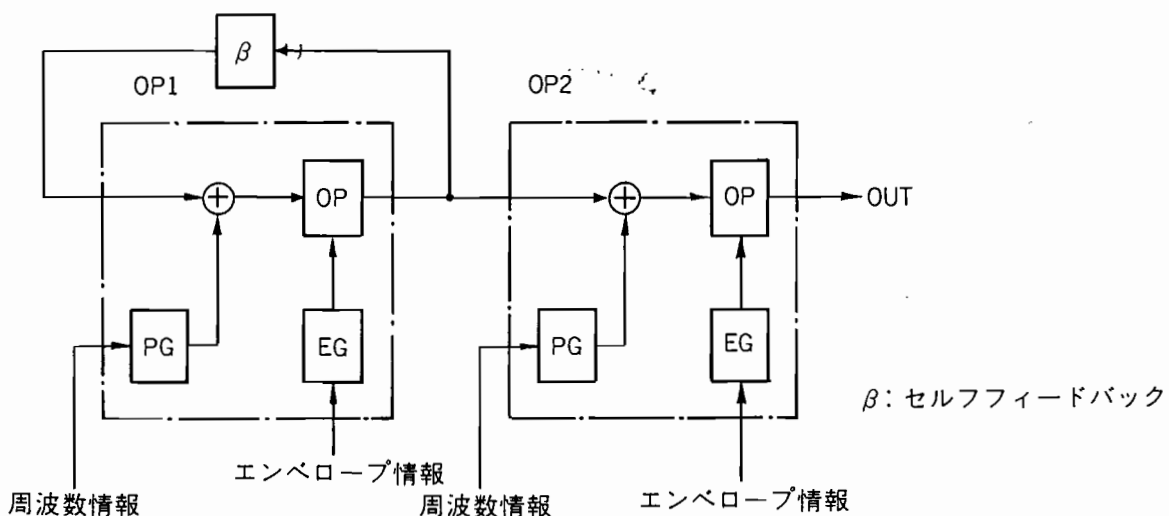


図2.1

2-2. アルゴリズム

オペレータ（スロット）の組合せ（接続形態）のことをアルゴリズムといいます。OPN2Cのような4オペレータFM方式には、アルゴリズムは8種類用意されており、オペレータはアルゴリズムを選択することにより、キャリアあるいはモジュレータとして機能します。

但し、第4スロットはアルゴリズムに関係なく、必ずキャリアに設定されます。

アルゴリズムの選択は、FM音源の音創りの中では最も重要な要素となります。音創りの基本手順は、まず最初に目的の音色に最も適したアルゴリズムを選択することから始めます。その後、各スロット毎にパラメータを設定して、音色を決めていきます。

図2. 2にアルゴリズムの形態を示します。さらに、以下に、各アルゴリズムの特徴を示します。

・各アルゴリズムの特徴

1) シリアル4連モード

4個のスロットを直列接続して、多重変調を行います。多重変調方式は、連続的な変調の繰り返しの結果、最終のキャリア出力では非常に複雑な倍音構成が得られます。

S4とS3で基本となる音色作り、S2、S1では倍音成分を調整して微妙な音色の味付けをします。

2) ダブル変調シリアル3連モード

S3をS2、S1の合成出力で変調します。1)と同様、S4、S3で基本音色を作り、S2、S1のパラメータ設定で、さらに細かい音創りをします。

3) ダブル変調モード①

S4を2系列のモジュレータで変調しています。基本となる音色はS1とS4で作成し、S2とS3で音色に自然感を与える付加音を加えます。

4) ダブル変調モード②

3)とよく似ていますが、S3にはセルフフィードバックがかけられませんので、フルートのような木管楽器の音に適しています。S2、S1ではノイズ成分を作ります。

1)～4)は、キャリアが1個ですから、単一音色系となり、複雑な倍音成分を持ったソロ楽器の音色に向いています。

5) シリアル2連・2パラレルモード

2オペレータ2系列構成のアルゴリズムです。このモードは、倍音成分の多い音色にはやや不向きですが、音創りが比較的簡単なことと、2種類の音色を作成できることから、幅広い音創りに使用できます。

- 6) 共通変調3パラレルモード
共通のモジュレータS1が、三個のキャリアS2、S3、S4を変調します。
- 7) シリアル2連+2サインモード
一個の2オペレータFMと二個のサイン波の合成出力が得られます。
- 8) 4パラレル・サイン波合成モード
四つのサイン波を合成した出力が得られます。ただし、S1はフィードバックをかける事で歪んだ音を作ることが可能です。

キャリアが複数のアルゴリズムでは、各キャリアの周波数情報に関するパラメータが音創りの決め手となります。

例えば、アルゴリズム“7”ではキャリア毎のマルチプルを異なる値にすることで、オルガンサウンドのようなカプラー効果が得られます。さらにディチューンの設定値により、ピッチをわずかにずらすことで音にうねりが生じ、いわゆるコーラス（ディチューン）効果が作れます。

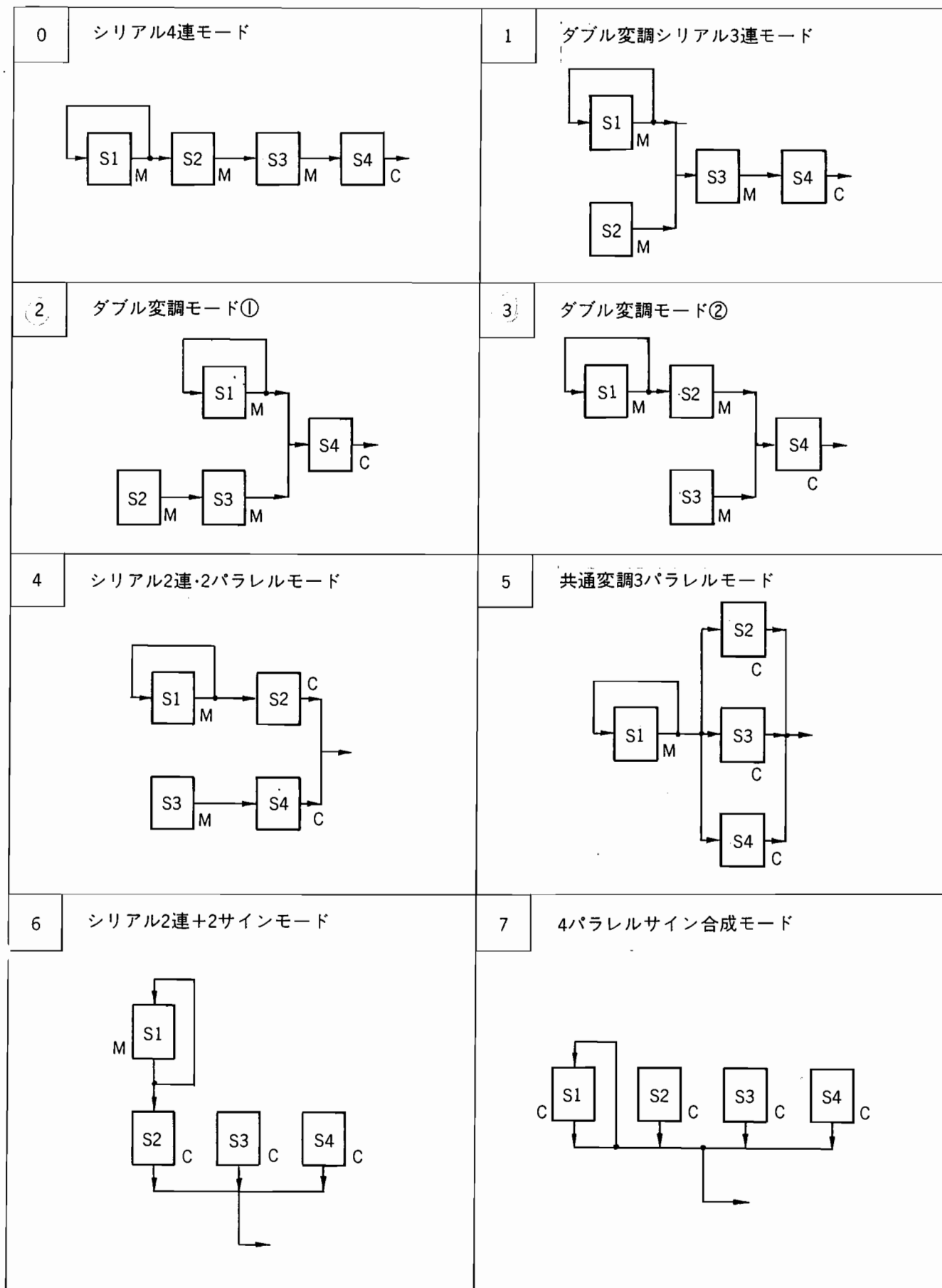


図 2. 2 アルゴリズム

M : モジュレータ
C : キャリア

2-3. フィードバック

各チャンネルの第1スロットは、セルフフィードバック機能を持っています。フィードバックとは、オペレータが自分自身の出力を変調信号として入力に帰還させることにより、自己変調を行う機能の事です。帰還率 β は変調度を表し、0~7の8ステップの設定ができます。

フィードバックは、同じ周波数に設定された複数個のオペレータを、直列に接続したことに等しい状態になります。そして、この効果は、高調波成分が一様に分布された整数次の倍音構成、即ち、鋸歯状波に見られる高調波スペクトルとなり、ストリングス系の音色、あるいは変調度を深くすることでノイズ成分の発生等に適しています。



□FB/Algorithm: \$B0~\$B2

セルフフィードバックの変調度、及びアルゴリズムを設定するレジスタです。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
	MSB		LSB		MSB		LSB	
\$B0~\$B2	/	/	Feedback		Algorithm			

表2.2にフィードバック変調を示します。

表2.2 セルフフィードバックの変調度

Feedback	0	1	2	3	4	5	6	7
変調度	OFF	$\pi/16$	$\pi/8$	$\pi/4$	$\pi/2$	π	2π	4π

3. PG (フェイズ・ジェネレータ)

オペレータの出力周波数 (OPのサインテーブルを、与えられた位相値で読み出す速度) は、PGが発生する周波数 (位相) 情報によって決まります。つまり、位相値の増減を行うことで、オペレータ任意の出力周波数で発音が可能です。

位相値即ち周波数情報は、F-Number/Block, Multiple, Detuneの各パラメータで行います。

3-1. F-NumberとBlock

楽音の音階は、1オクターブ内の音程とオクターブの組み合わせで構成されています。そこで、F-Numberで1オクターブ内の音程を作り、Blockでオクターブ情報を設定すれば、8オクターブの音階列が簡単に作成できます。

1オクターブ内のF-Number値は、マスタークロックと、必要とする音程の周波数が決まれば、次式を用いて算出することができます。

$$F-Number = (144 \times f_{note} \times 2^{20} / f_M) / 2^{B-1}$$

fnote : 発音周波数 [Hz]

fM : マスタークロック周波数 [Hz]

B : ブロックデータ

(例) fM=8MHzの時、A4 (440Hz) のF-Numberを求める。

$$F-Number (A4) = (144 \times 440 \times 2^{20} / 8 \times 10^6) / 2^{4-1} \\ = 1038.1$$

□ F-Number/Block : \$A0~\$A2 / \$A4~\$A6

F-NumberとBlockデータを設定するレジスタです。F-Numberは下位8bit / 上位3bitの合計11bit、Blockは3bitで構成されています。

このデータは、チャンネル内の4個のオペレータに共通のデータとして働きます。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
	MSB			LSB			MSB			LSB			MSB			LSB
\$A4~A6 /\$A0~A2	/	/		Block			F-Num 2			F-Num 1						

F-Number/Blockデータの設定は、必ず以下の手順で行って下さい。

- ① Block/F-Num 2のアドレス及びデータライト : \$A4~\$A6
- ② F-Num 1のアドレスおよびデータライト : \$A0~\$A2

3-2. F-Numberテーブルの設定例

fM=8MHz、オクターブ：4（C4#~C5）、A4=440Hz

Note	音程 [Hz]	F- Number	F11~F9	F8~F5	F4~F1	Key Code		
			D2D1D0	D7D6D5D4	D3D2D1D0	N4	N3	分割
C#	277.2	654.0	010	1000	1110	0	0	0
D	293.7	692.9	010	1011	0100	0	0	0
D#	311.1	734.0	010	1101	1110	0	0	0
E	329.6	777.6	011	0000	1001	0	0	0
F	349.2	823.9	011	0011	0111	0	0	0
F#	370.0	872.9	011	0110	1000	0	0	0
G	392.0	924.8	011	1001	1100	0	1	1
G#	415.3	979.8	011	1101	0011	0	1	1
A	440.0	1038.1	100	0000	1110	1	0	2
A#	466.2	1099.9	100	0100	1100	1	0	2
B	493.9	1165.3	100	1000	1101	1	1	3
C	523.3	1234.6	100	1101	0010	1	1	3

3-3. F-NumberによるKey Codeの作成

エンベロープジェネレータのパラメータの一つに、key-scale機能があります。Key-Scaleは、発音する音程に対応してエンベロープレート（時間）が変化するスケールリングを持たせることができます。（4. EG参照）

キースケールリング時に必要な1オクターブ内の分割は、F-Number値を利用して行いますが、この分割データのことをKey Codeといいます。

F-Numberデータの上位4bit（F11~F8）から、1オクターブ内を4分割します。

* 1オクターブ内の周波数分割（N4，N3）

$$N4 = F11$$

$$N3 = F11 \cdot (F10 + F9 + F8) + \overline{F11} \cdot F10 \cdot F9 \cdot F8$$

さらに、Blockデータ3bitから、8オクターブ全音域における32段階のKey Codeが作られます。

また、次頁に説明するDetuneについても、このKey Codeによって周波数分割が行われます。

3-4. Multiple

Multipleは、F-Numberによって作られた周波数情報の倍率を設定するパラメータです。設定可能な倍率は、表2.3のとおりです。

3-5. Detune

Detuneは、F-Numberによって作られた周波数情報を、各スロット単位に微妙な周波数ずれを与えるパラメータです。また、DetuneはF-Numberから得られるKey Codeによって各周波数情報に対応する値をとります。

□ Detune/Multiple

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
	MSB		LSB		MSB		LSB		
\$30~\$3E	/	Detune				Multiple			

表2.3 Multipleによる倍率

Multiple(H)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
倍率	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

表2.4 Detune

Detune	0	1	2	3	4	5	6	7
FD	0	1	2	3	0	-1	-2	-3

*D6はサインビット。

(fM=7.9872MHz)

BLOCK NOTE	FD=0	FD=1	FD=2	FD=3	BLOCK NOTE	FD=0	FD=1	FD=2	FD=3
0 0	0.000	0.000	0.053	0.106	4 0	0.000	0.106	0.264	0.423
0 1	↑	↑	↑	↑	4 1	↑	0.159	0.317	0.423
0 2	↑	↑	↑	↑	4 2	↑	↑	↑	0.476
0 3	↑	↑	↑	↑	4 3	↑	↑	0.370	0.529
1 0	↑	0.053	0.106	↑	5 0	↑	0.212	0.423	0.582
1 1	↑	↑	↑	0.159	5 1	↑	↑	↑	0.635
1 2	↑	↑	↑	↑	5 2	↑	↑	0.476	0.688
1 3	↑	↑	↑	↑	5 3	↑	0.264	0.529	0.741
2 0	↑	↑	↑	0.212	6 0	↑	↑	0.582	0.846
2 1	↑	↑	0.159	↑	6 1	↑	0.317	0.635	0.899
2 2	↑	↑	↑	↑	6 2	↑	↑	0.688	1.005
2 3	↑	↑	↑	0.264	6 3	↑	0.370	0.741	1.058
3 0	↑	0.106	0.212	↑	7 0	↑	0.423	0.846	1.164
3 1	↑	↑	↑	0.317	7 1	↑	↑	↑	↑
3 2	↑	↑	↑	↑	7 2	↑	↑	↑	↑
3 3	0.000	↑	0.264	0.370	7 3	0.000	↑	↑	↑

4. EG (エンベロープ・ジェネレータ)

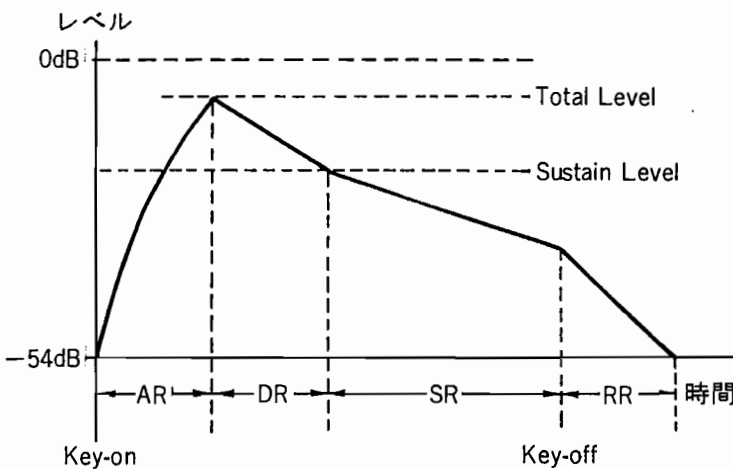
EGは、音の立ち上がりから消滅までの音量、音色の時間的変化を発生する回路です。

EGは、エンベロープを発生するエンベロープジェネレータとエンベロープジェネレータのレベルを決める出力制御回路で構成されています。EGを起動するためのエンベロープ情報は、レジスタ配置したEG用のパラメータによって各オペレータごとに設定されます。

4-1. エンベロープジェネレータ

音の時間的変化を形作るエンベロープを発生します。エンベロープはアタック、ディケイ、サステイン、リリースの四つのレートとサステインレベルによって表されます。

図2. 3にエンベロープ波形を示します。



*エンベロープの波形は、アタック時は、指数関数的に変化して、その他のレート時は直線的に変化します。

また、内部の演算では、0dB~-96dBのダイナミックレンジを持っていますが、DACの精度により、実際のダイナミックレンジは0dB~-54dBとなります。

図2. 3 エンベロープの波形と各パラメータ

□AR (Attack Rate) : \$50~\$5E

アタックレートとは、Key-onした瞬間から最大レベルに到達する速さの事で、ARはこのレートを決めるパラメータです。5bit; 32ステップで設定し、ARが大きいほど立ち上がりは速くなります。また、“0”にするとアタックレートは無限大となり、EGが起動しないためにエンベロープの変化は得られません。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
	MSB				LSB				
\$50~\$5E	KS	/	Attack Rate						*KSは次頁参照。

□DR (Decay Rate) : \$60~\$6E

ディケイレートとは、最大レベルからサステインレベルに減衰する速さの事で、DRはこのレートを決めるパラメータです。5bit; 32ステップで設定し、DRが大きいほど速く減衰します。また、“0”にするとディケイレートは無限大となり、最大レベルで持続音になります。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
	MSB				LSB					
\$60~\$6E	AMON	/	/	Decay Rate						*AMONは5. LFO参照。

□SL (Sustain Level) : \$80~\$8E

サステーンレベルとは、ディケイレートからサステーンレートに切り替わる点のレベル（減衰量）の事で、SLはこのレベルを決めるパラメータです。4bit;16ステップで設定し、SLが大きいほど減衰量は大きくなります。“0”にすると減衰量が0となり、ディケイによる減衰感が得られなくなります。各bitの重み付けは表2.5のとおりです。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
				MSB				LSB
\$80~\$8E	Sustain Level			Release Rate				

表2.5 SL各bitの重み付け

	D7	D6	D5	D4
減衰量(dB)	24	12	6	3

※D7~D4が全て“1”(15)の場合、93dBとなります。

□SR (Sustain Rate) \$70~\$7E

サステーンレートとは、サステーンレベルから減衰する速さの事で、SRはこのレートを決めるパラメータです。5bit;32ステップで設定し、SRが大きいほど減衰は速くなります。また、“0”にするとサステーンレベルが持続されます。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
				MSB				LSB
\$70~\$7E	/	/	/	Sustain Rate				

□RR (Release Rate) : \$80~\$8E

リリースレートとは、Key-off後の減衰の速さの事で、RRはこのレートを決めるパラメータです。4bit;16ステップで設定し、RRが大きいほど減衰は速くなります。

以上のA、D、S、R、パラメータの設定により、オペレータのエンベロープが作られます。しかし、これだけではオペレータの出力周波数とは無関係に、常に同じレートのエンベロープがオペレータに与えられることになり、音色によっては不自然な場合があります。

そこで、F-Number/Blockデータを利用する事によって、各レートが音程に応じて変化するようにしました。この機能をキースケーリングといいます。

□KS (Key-Scale) : \$50~\$5E

キースケールはエンベロープの時間を音程によって変化させる機能です。つまり、高音になるほど各レートは短くなります。2bit;4段階の設定が出来、0では効果は掛からず、3の時に(時間の)差が最も大きくなります。

表6にKSによるレートのキースケーリング値を示します。

エンベロープジェネレータの各レートは、A. D. S. R. パラメータの設定データとキースケーリング値によって最終的に決定されます。この値は次式により表されます。

$$Rate = 2R + Rks \quad ; R=0 \text{ の場合、 } Rate = 0$$

- ・ R は A. D. S. R. の各パラメータの設定値。
但し、RR (Release Rate) については
(設定値 × 2 + 1) を R とする。
- ・ Rks はキースケーリング値。

※ Rate は 63 を最大とし、計算結果が 63 より大きな値の時は
全て Rate = 63 とする。

表 2.6 Rate の Key-Scaling

Block	0				1				2				3			
	Note				Note				Note				Note			
KS	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
0	0								1							
1	0				1				2				3			
2	0		1		2		3		4		5		6		7	
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

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

4-2. SSG-type Envelope Control

エンベロープジェネレータのエンベロープは、あらかじめプリセットされたSSG-typeエンベロープによってコントロールする事ができます。SSG-type EnvelopeはSSG音源に見られるエンベロープと同一の波形で構成されており、EG用パラメータの設定だけでは得られないエンベロープの変化をつけることが可能です。エンベロープの形状を図2.4に示します。このエンベロープを使用する場合、EG用の各パラメータは下記のように対応します。

- ①ARのデータ設定は1F (HEX) に固定します。
- ②Key-on状態でのエンベロープの変化は、DR, SRの各Rate及びSLによるレベル設定で決まります。
- ③RRは通常のモードと同様に働き、Key-off後の減衰時間の設定となります。

□SSG-EG: \$90~\$9E

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
\$90~\$9E	/	/	/	/	SSG-EG			

No	D3	D2	D1	D0	エンベロープ形状
0	1	0	0	0	
1	1	0	0	1	
2	1	0	1	0	
3	1	0	1	1	
4	1	1	0	0	
5	1	1	0	1	
6	1	1	1	0	
7	1	1	1	1	

図2.4 SSG-typeエンベロープ

4-3. 出力制御回路

エンベロープジェネレータで作られたエンベロープは、出力制御回路でレベルを設定します。これによりオペレータの出力レベルが決まり、そのダイナミックレンジは96dB、設定可能な分解能は0.75dBです。

ここで注意する点として、出力レベルは減衰量で表されているということです。つまり、オペレータの出力の最大値を0dBとした時の減衰量を設定することになります。

□TL (Total Level) : \$40~\$4E

出力レベルの設定はトータルレベルで行います。各bitの重み付けは減衰量を示します。したがって、“00”で0dB（レベルmax），“7F”で減衰量96dB（レベルmin）となります。但し、OPN2Cの場合、内蔵のD/Aコンバータが9bitであるため、実際のアナログ音声出力は、54dB相当になります。従って、OPNと比較すると、全く同様なパラメータに設定した場合でも、アナログ音声出力がオーバーフローしてしまう場合があります。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
\$40~\$4E	/	Total Level						

表2.8 TL各bitの重み付け

	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
減衰量(dB)	48	24	12	6	3	1.5	0.75

5. LFO: Low Frequency Oscillator

LFOは、内蔵の低周波発振器の出力でオペレータを変調して、音に周期的な変化を与える機能です。OPN2CのLFO波形はサイン波で、5種類のパラメータによって変調の制御をします。

□LFO FREQ. : \$22

LFOのon/off制御とLFOのスピードを決める発振周波数の設定をします。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
					MSB		LSB	
\$22	/	/	/	/	ON	FREQ.CONT		

D3: "1"の時、LFO on。

D2~D0: 発振周波数の設定。

FREQ.CONT	0	1	2	3	4	5	6	7
freq (Hz)	3.98	5.56	6.02	6.37	6.88	9.63	48.1	72.2

□PMS (Phase Modulation Sensitivity) : \$B4~\$B6

F-Number/Blockで設定した周波数(位相)情報にLFOを加える(変調する)ことにより、音程に周期的な変化が得られます。PMSは変調の深さ、位相変調度をチャンネル単位に設定するパラメータです。

□AMS (Amplitude Modulation Sensitivity)

: \$B4~\$B6

Total LevelにLFOを加えることにより、オペレータの出力レベルを周期的に変化させることができます。AMSは変調の深さ、振幅変調度をチャンネル単位に設定するパラメータです。

LFOによる振幅変調時の音への効果は、オペレータの役割によって違ってきます。即ち、キャリアが変調された時は音量の変化となり、モジュレータでは音色が変化します。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
			MSB		LSB			
\$B4~\$B6	L	R	AMS		/	PMS		

PMS	0	1	2	3	4	5	6	7
変調度 (cent)	0	±3.4	±6.7	±10	±14	±20	±40	±80

AMS	0	1	2	3
変調度 (dB)	0	1.4	5.9	11.8

□ AMON : \$ 6 0 ~ \$ 6 E .

振幅変調の on / off を各スロット毎に行うためのスイッチです。 “ 1 ” の時 on 。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
\$60~\$6E	AMON	/	/			Decay Rate		

以上のパラメータで L F O の設定を行います。

内蔵 L F O では十分な効果が得られない場合、ソフトウェア L F O (鋸歯状波、矩形波、三角波、S / H 等) が必要です。これは内蔵のタイマーを利用した割り込み処理で、L F O の波形に応じたデータをオペレータの各パラメータに与えてやればよいでしょう。

図 2 . 5 に、L F O 機能のブロック図を示します。

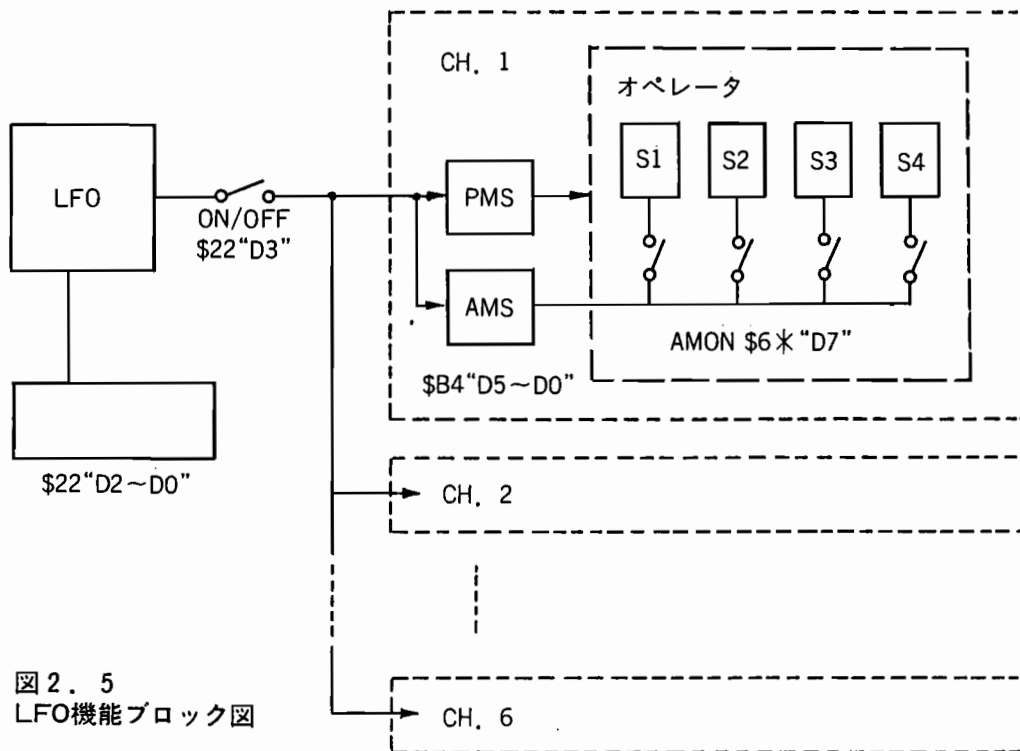


図 2 . 5
L F O 機能ブロック図

[参 考] L F O による音の周期的な変化は、楽音上、次のような効果が得られます。

- ・音程 (ピッチ) の変化 : ビブラート
- ・音量 (レベル) の変化 : トレモロ
- ・音色 (トーン) の変化 : ワウワウ

6. アキュムレータ

アキュムレータは、オペレータより送り込まれた各チャンネルの各スロット出力（9ビット）を各チャンネルごとに累積加算し、D/Aコンバータへ送り込みます。
従って、音創りを行う上で、特に、注意する必要はありません。

7. D/Aコンバータ及び出力選択

7-1. D/Aコンバータ

D/Aコンバータは、アキュムレータで計算した結果をアナログ電圧に変換します。
また、OPN2Cは、アドレス\$2Aレジスタに書き込まれたデータをD/A変換する事が出来ます。これは、アナログ音声を8ビットのデータにコード化し、そのデータを\$2Aレジスタ順次書き込む事により行います。
この時のサンプリング・レートは、55.5kHzです。

→1-2. D/A用レジスタ参照

7-2. 出力選択

OPN2Cは、MOL, MORという2チャンネルのアナログ出力を有しており、6チャンネル分のFM音、あるいは、5チャンネル分FM音+1PCM音を、それぞれMOL, MORに振り分ける事が出来ます。

□L/R: \$B4~\$B6 "D7", "D6"

"1" でONとなり、そのCHに出力します。

■ 電気的特性

● 絶対最大定格 ($V_{SS} = 0V$ 基準)

項目	記号	定格値		単位
		最小	最大	
電源電圧	V_{CC}	$V_{SS} - 0.5$	$V_{SS} + 7.0$	V
入力電圧	V_I	$V_{SS} - 0.5$	$V_{CC} + 0.5$	V
出力電圧	V_O	$V_{SS} - 0.5$	$V_{CC} + 0.5$	V
動作周囲温度	T_{OP}	0	70	°C
保存温度	T_{STG}	-50	125	°C
入力端子電流	I_{IP}	-20	+20	mA

● 推奨動作条件 ($V_{SS} = 0V$ 基準)

項目	記号	推奨値			単位
		最小	標準	最大	
電源電圧	V_{CC}	4.75	5.00	5.25	V
動作周囲温度	T_{OP}	0	25	70	°C
低レベル入力電圧 *1	V_{IL}			0.8	V
高レベル入力電圧 *1	V_{IH}	2.0			V

注) *1・・・クロック入力 (ϕM) を除く。

● 直流特性 (推奨動作条件において)

項 目	記 号	条 件	最小	標準	最大	単位
入力リーク電流	$\phi M, \overline{WR}, \overline{RD}, A0, A1$	I_{L}	$V_{in} = 0\sim 5V$	-10	10	μA
スリープモード入力電流 (オフ状態)	D0~D7	I_{TSL}	$V_{in} = 0\sim 5V$	-10	10	μA
出力Highレベル電圧	D0~D7	V_{OH}	$I_{OH} = -80\mu A$	2.4		V
出力Lowレベル電圧	D0~D7	V_{OL}	$I_{OL} = 1.6mA$		0.4	V
出力リーク電流 (オフ状態)	\overline{IRQ}	I_{OL}	$V_{OH} = 0\sim 5V$	-10	10	μA
電源電流		I_{CC}			25	mA
プルアップ抵抗	$\overline{TEST}, \overline{IC}, \overline{CS}$	R_{PU}		60	600	k Ω

● DAC特性 (推奨動作条件において)

項 目	記 号	条 件	最小	標準	最大	単位
最大出力振幅	MOR, MOL	V_{OUT}		AV_{CC} -0.08		V
分解能	MOR, MOL			9		BIT

●クロック特性（推奨動作条件において）

項目	記号	条件	規格			単位
			最小	標準	最大	
φM周波数	fMCLK	(図1)	7.7	8.0	8.3	MHz
φMデューティ H L	Duty H L	(図1)	40	50	60	%
クロック入力低レベル電圧	V _{ILC}	(図1)			0.8	V
クロック入力高レベル電圧	V _{IHC}	(図1)	2.0			V

$$\phi M \text{デューティ} H = t_{HM} \cdot f_{MCLK} \times 100$$

$$\text{または } \phi M \text{デューティ} L = t_{LM} \cdot f_{MCLK} \times 100$$

●端子容量（推奨動作条件において）

項目	記号	規格			単位
		最小	標準	最大	
入力端子容量	C _I		5	8	pF
クロック入力端子容量	C _{IC}			8	pF
出力端子容量	C _O			10	pF
入出力端子容量	C _{IO}			12	pF

測定条件：T_{OP} = 25℃ V_{CC} = 5.0V

入力電圧 V_{IH} = 2.4V以上 V_{IL} = 0.45V以下
 V_{IHC} = 3.0V以上 V_{ILC} = 0.4V以下

入力信号周波数 1.0MHz
 V_{CC}と測定端子以外はGNDに接続

●交流特性（推奨動作条件において）

項	目	記号	条件	最小	標準	最大	単位
アドレスセットアップ時間	A0, A1	T _{AS}	(図2, 3)	10			nS
アドレスホールド時間	A0, A1	T _{AH}	(図2, 3)	10			nS
チップセレクトライト幅	CS	T _{CSW}	(図2, 3)	200			nS
ライトパルス幅	WR	T _{WW}	(図2, 3)	200			nS
ライトデータセットアップ時間	D0~D7	T _{WDS}	(図2, 3)	100			nS
ライトデータホールド時間	D0~D7	T _{WDH}	(図2, 3)	20			nS
チップセレクトリード幅	CS	T _{CSR}	(図2)	350			nS
リードパルス幅	RD	T _{RW}	(図2)	350			nS
リードデータアクセス時間	D0~D7	T _{ACC}	(図2) C _L =50pF			250	nS
リードデータホールド時間	D0~D7	T _{RDH}	(図2)	10			nS
ライト・リードウェイト時間 リード・ライトウェイト時間	WR, RD	T _{WRW} T _{RWW}	(図5, 6)	750			nS
ライト後リードアクセス禁止幅	CS, WR, RD A1, A0	T _{AIW}	(図5)	17			サイクル
ライトウェイト幅	WR	T _{WWW}	(図7) *1 *2 *3	17 83 47			サイクル

注) *1: アドレス・ライト・データ・ライト間

*2: データ・ライト・アドレス・ライト間およびデータ・ライト・データ・ライト間
但し、データ・ライトされるレジスタ・アドレスは\$21~\$9Eの場合

*3: データ・ライト・アドレス・ライト間およびデータ・ライト・データ・ライト間
但し、データ・ライトされるレジスタ・アドレスは\$A0~\$B6の場合

*リセット

項	目	記号	条件	最小	標準	最大	単位
リセットパルス幅	IC	T _{ICW}	(図4)	192			サイクル

● タイミング図

(タイミング図の設定 $V_H=2.0V$, $V_L=0.8V$ を基準とする。)

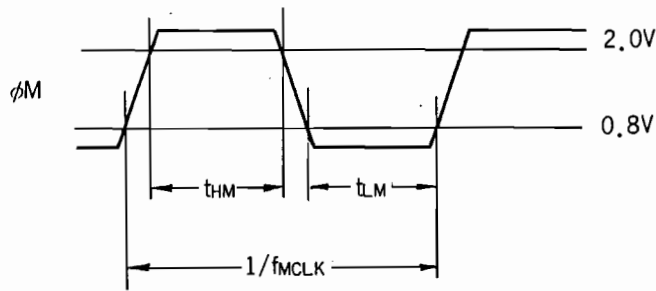


図1 クロックタイミング

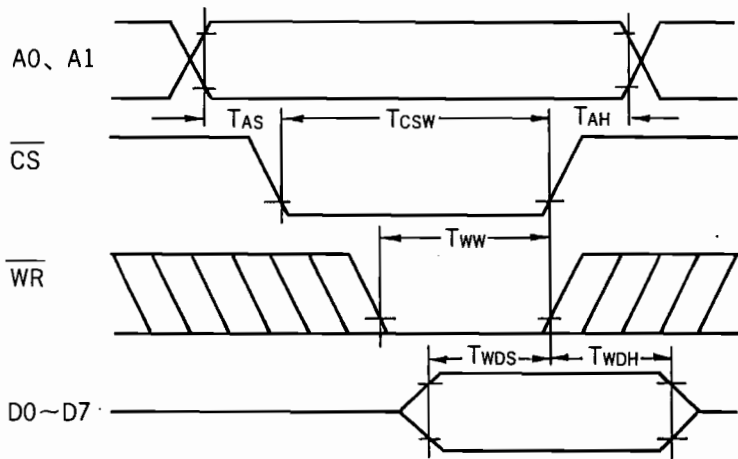


図2 ライトタイミング

(注)

T_{CSW} , T_{WW} , T_{WDS} , T_{WDH} は、 \overline{CS} , \overline{WR} の何れかが早くHIGHレベルになる時を基準とする。

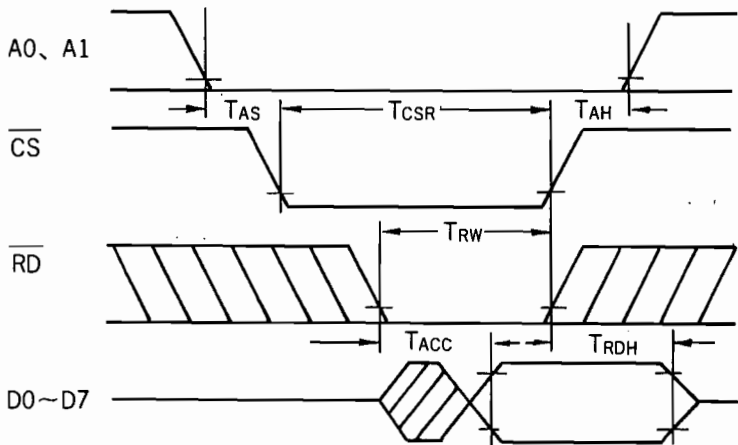


図3 リードタイミング

(注)

T_{ACC} は、 \overline{CS} , \overline{RD} の何れかが遅くLOWレベルになる時を基準とする。

T_{CSR} , T_{RW} , T_{RDH} は、 \overline{CS} , \overline{RD} の何れかが早くHIGHレベルになる時を基準とする。

● タイミング図

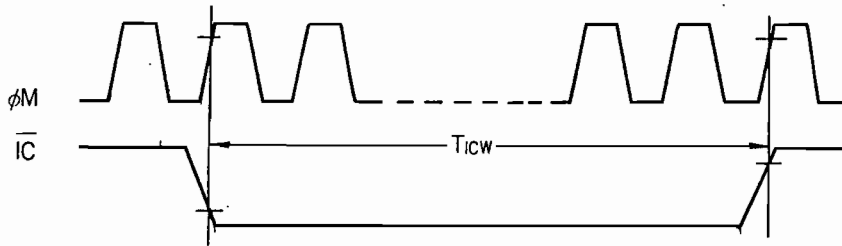


図4 リセットパルス幅

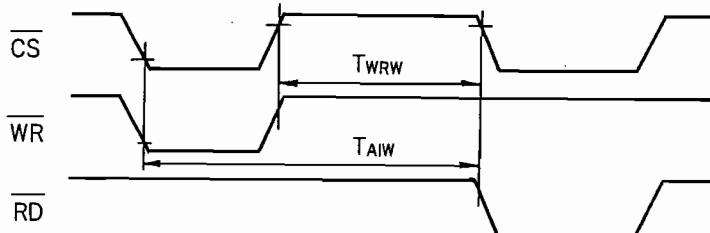


図5 ライトリード・タイミング

(注) T_{AIW} は、 \overline{CS} 、 \overline{WR} のいずれかが遅くLOWレベルになる時、および、 \overline{CS} 、 \overline{RD} のいずれかが遅く変化する時を基準とする。
 T_{WRW} は、 \overline{CS} 、 \overline{WR} のいずれかが遅くHIGHレベルになる時、および、 \overline{CS} 、 \overline{RD} のいずれかが早く変化する時を基準とする。
 また、 T_{AIW} 、 T_{WRW} はA0、A1とは無関係である。

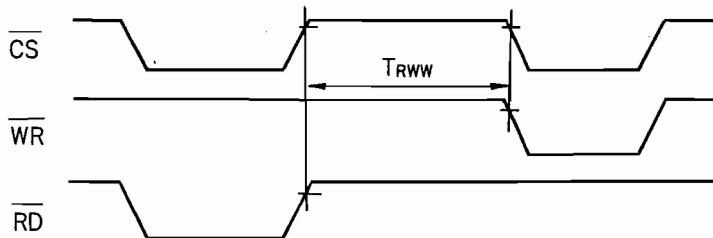


図6 リードライト・タイミング

(注) T_{RWW} は、 \overline{CS} 、 \overline{RD} のいずれかが遅くHIGHレベルになる時、および、 \overline{CS} 、 \overline{WR} のいずれかが早く変化する時を基準とする。
 また、 T_{RWW} は、A0、A1とは無関係である。

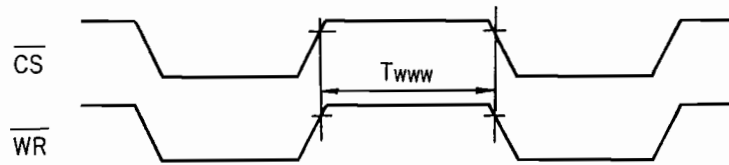
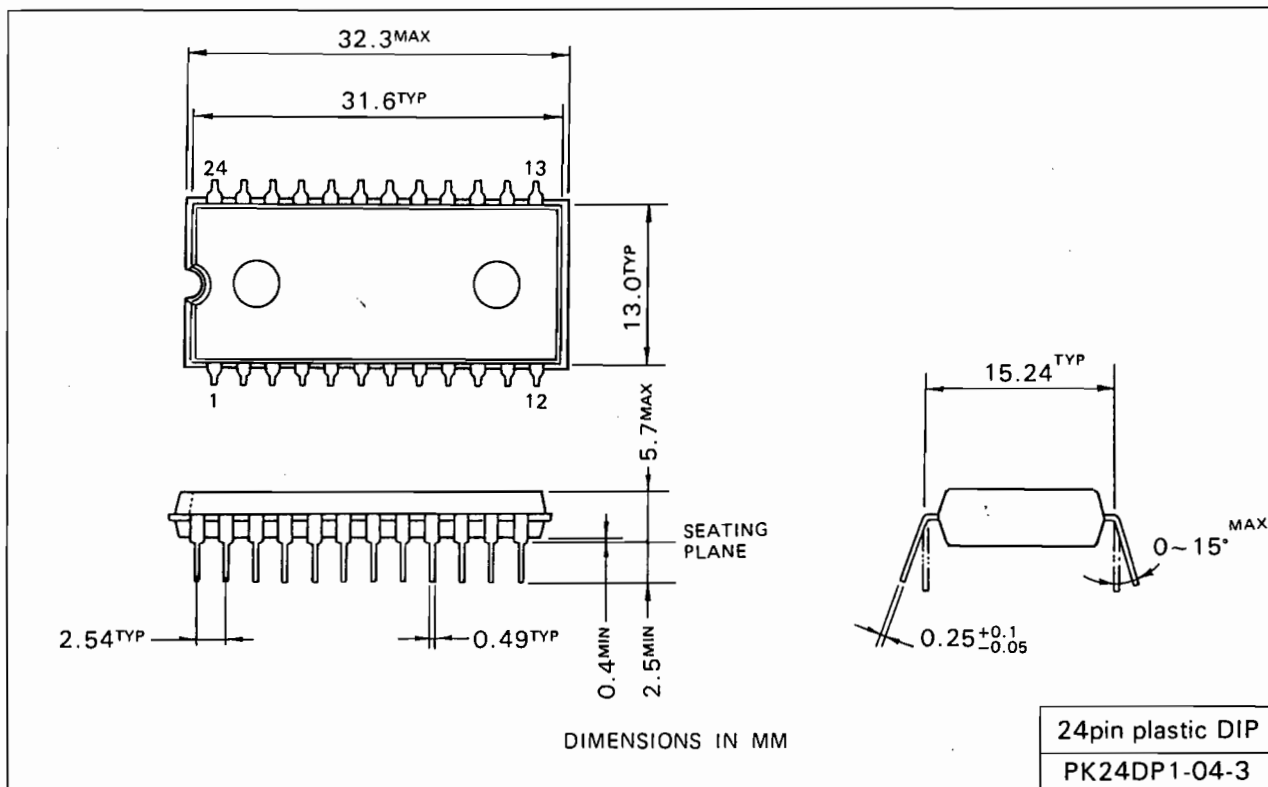


図7 ライト-ライト・タイミング

- (注) T_{www} は、 \overline{CS} 、 \overline{WR} のいずれかが遅くHIGHレベルになる時から、 \overline{CS} 、 \overline{WR} のいずれかが遅く変化する時を表わす。
 また、 T_{www} は、A0、A1とは無関係である。

■ 外形図



■ OPN2Cデータ 変換時 注意事項

YM3438 (OPN2C) は、YM2203 (OPN) , YM2608 (OPNA) のソフトウェアを用いることにより、3CHあるいは6CH発音させることが可能です。ただし、OPN2Cの場合は、その特性により、OPN2の様に発音させることが不可能である場合もあります。

しかしながら、OPN2, OPN2Cでは、OPN, OPNAにて作成したソフトウェアで発音させることができても、OPN, OPNAと同様な音色が得られない場合があります。これは、D/Aコンバータのダイナミックレンジが9bitと狭いために、音色パラメータの設定値によっては、出力波形がオーバーフローしてしまうことに起因しています。

これを防ぐためには、出力波形が歪まない様に、音色パラメータ中のTotal Levelを調整してやる必要があります。


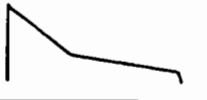

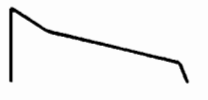
また、OPN2, OPN2Cを用いて音創りを行う場合でも、注意が必要です。

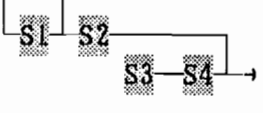
この様に、OPN2, OPN2CとOPN, OPNA間での音色データの互換性は100%ではありません。そこで、OPN, OPNAおよびYM2610 (OPNB) の音色データをもとにOPN2, OPN2Cのデータを作成する際の目安を以下に示します。このことは、OPN2, OPN2Cを用いて音創りを行う場合でも同様です。

- ① connection (algorithm) のデータを確認します。このデータが0~3であれば、TL=0でも波形は歪みません。
- ② con. = 4の時には、2個のcarrierのTLの和が-6 [dB] 以上となる様に設定して下さい。
- ③ con. = 5あるいは6の時は、3個のcarrierのTLの和が-9.5 [dB] 以上となる様に設定して下さい。
- ④ con. = 7の時は、すべてのTLの和が-12 [dB] 以上となる様に設定して下さい。

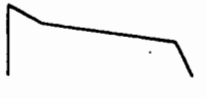
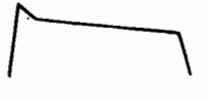
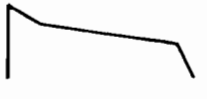
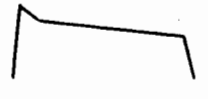
FM音源 サウンド サンプル

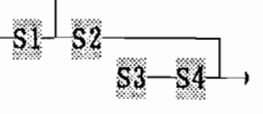
音色名：BELL

	S 1	S 2	S 3	S 4
Total level	-30	-5	-19	-2
Multiple	15	3	7	2
Detune	3	-1	-1	0
Attack rate	31	30	31	31
Decay rate	4	8	4	5
Sus level	-1	-10	-9	-5
Sus rate	10	6	17	12
Release rate	3	3	1	3
Key scale	1	1	1	1
Am on/off	on	off	off	off
EG control	off	off	off	off
L.F.O. 0				
Pitch C 3				
Ams 2 Pms 0				
Algorithm 4				



音色名：PIANO

	S 1	S 2	S 3	S 4
Total level	-37	-3	-33	-3
Multiple	1	0	2	1
Detune	0	0	0	0
Attack rate	31	25	31	27
Decay rate	0	7	0	7
Sus level	-4	-3	-4	-3
Sus rate	8	6	8	6
Release rate	0	7	0	7
Key scale	3	2	3	2
Am on/off	off	off	off	off
EG control	off	off	off	off
L.F.O. off				
Pitch C# 5				
Ams 1 Pms 0				
Algorithm 4				



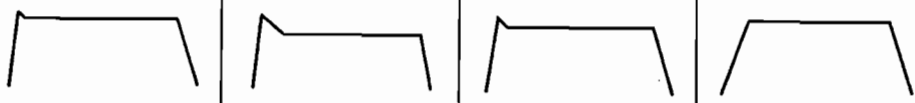
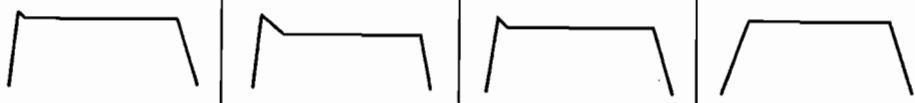
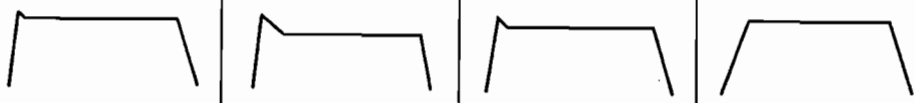
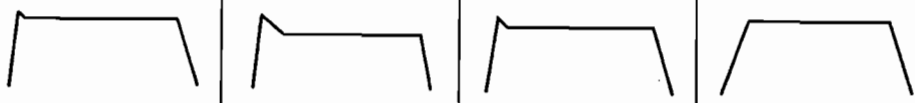
音色名：E ORGAN

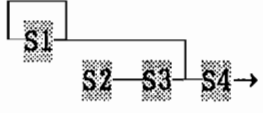
	S 1	S 2	S 3	S 4
Total level	- 3 9	- 4 1	- 3 0	- 2 4
Multiple	5	2	8	1
Detune	3	3	3	3
Attack rate	3 1	3 1	3 1	3 1
Decay rate	1 8	1 5	4	1 5
Sus level	- 2	0	0	0
Sus rate	0	0	0	0
Release rate	1 5	1 5	1 5	1 5
Key scale	3	0	0	0
Am on/off	o f f	o f f	o f f	o f f
EG control	o f f	o f f	o f f	o f f
L.F.O. off				
Pitch G 3				
Ams 0 Pms 0				
Algorithm 5				
	Feed back 7			

音色名：B R A S S

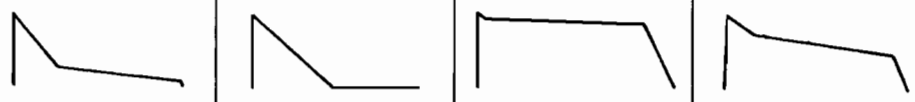
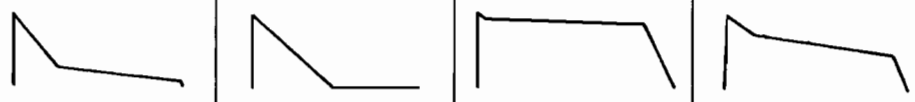
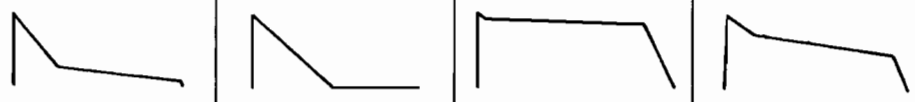
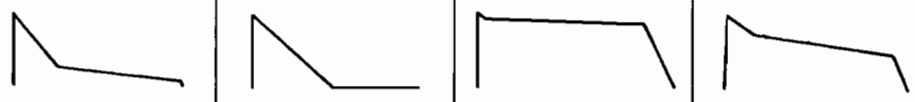
	S 1	S 2	S 3	S 4
Total level	- 2 9	- 3 6	- 4 6	0
Multiple	1	2	1	1
Detune	0	0	0	0
Attack rate	1 2	2 4	1 2	1 9
Decay rate	5	2	5	3
Sus level	- 1 2	0	0	- 1
Sus rate	0	0	0	0
Release rate	8	8	8	8
Key scale	1	1	0	1
Am on/off	o f f	o f f	o f f	o f f
EG control	o f f	o f f	o f f	o f f
L.F.O. 1				
Pitch C 3				
Ams 0 Pms 2				
Algorithm 2				
	Feed back 7			

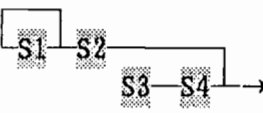
音色名：STRING

	S 1	S 2	S 3	S 4
Total level	- 2 6	- 3 3	- 3 7	0
Multiple	1	1	1	1
Detune	3	1	0	1
Attack rate	2 5	2 5	2 1	9
Decay rate	1 0	1 1	1 1	1 0
Sus level	- 1	- 4	- 2	0
Sus rate	0	0	0	0
Release rate	5	9	6	6
Key scale	1	1	1	1
Am on/off	o f f	o f f	o f f	o f f
EG control	o f f	o f f	o f f	o f f
L.F.O. 1				
Pitch E 3				
Ams 0 Pms 1				
Algorithm 2				

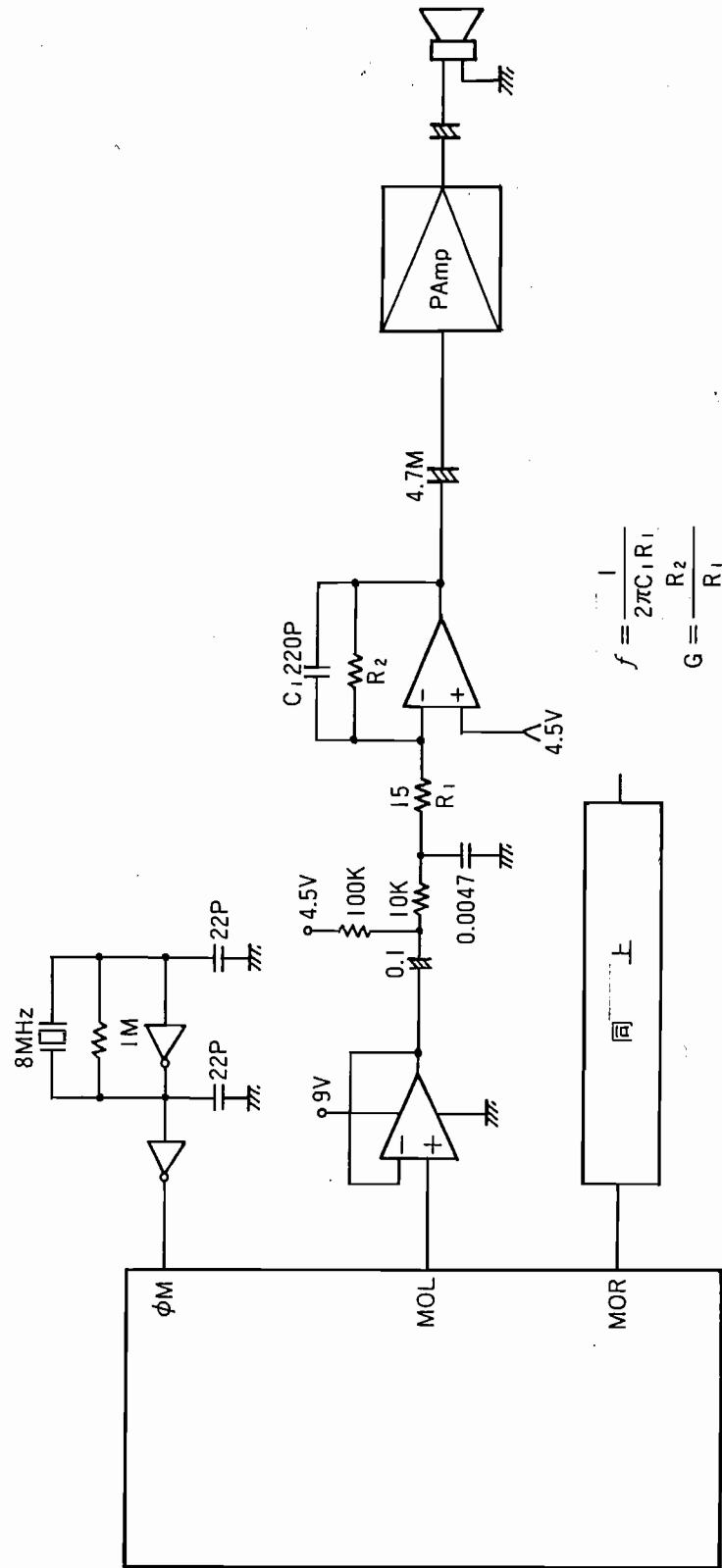


音色名：VIBRPHN

	S 1	S 2	S 3	S 4
Total level	- 5 6	- 6	- 4 1	0
Multiple	1 2	8	7	1
Detune	- 1	- 3	0	0
Attack rate	3 1	3 0	3 1	2 8
Decay rate	1 6	1 2	4	6
Sus level	- 1 1	- 1 5	- 1	- 4
Sus rate	6	2	2	8
Release rate	7	1 0	0	1
Key scale	2	1	2	1
Am on/off	o f f	o f f	o n	o f f
EG control	o f f	o f f	o f f	o f f
L.F.O. 1				
Pitch C 5				
Ams 2 Pms 1				
Algorithm 4				



■ 参考回路例



※Gは、6音同時発音、最大出力の時に出力がクリップしないように定数設定します。

重要なお知らせ

1. 本製品は用途によっては外国為替及び外国貿易管理法に定める貨物または技術（役務）に該当する場合があります。該当する貨物または技術を輸出する場合は同法に基づく日本政府の輸出許可が必要です。詳しくは弊社営業所へお問い合わせ下さい。
2. 本製品及び本文書は、何らの通知なしに変更される場合があります。本製品をご使用になる前に、最新のカatalog、マニュアル等を弊社代理店よりお取り寄せ下さい。
3. 本製品は、直接に生命にかかわる装置、原子力施設、航空機、交通機器、各種安全装置など製品の故障が直接に人の死亡、傷害、または重大な物理的もしくは環境上の損害を引き起こすようなシステム機器または装置に使用するために設計されたものではありません。本製品をこのようなシステム機器または装置に使用されることによる危険および損害は製品を使用されるお客様にご負担戴きます。
4. お客様が製品を誤った、または不適当な方法で使用または操作された結果の損害につきましては弊社は一切責任を負いません。
5. 本製品を他の機器と組み合わせてまたは他の装置に使用されることが、第三者または弊社の特許権、著作権またはその他の知的財産権の実施に該当するとしても、弊社はそれらに関して何らのライセンスも（明示であれ黙示であれ）許諾されていることを保証するものではありません。弊社は、製品のかかる使用によって生じた第三者の権利に対する侵害について、一切責任を負いません。
6. 本文書に記載されている使用例は、単に本製品の機能を説明したものにすぎません。弊社は、本文書に記載されている例に基づいた使用により生ずるかもしれない一切の知的財産権に関するクレームまたはその他のクレームに対して、何らの責任も負いません。

注) 本品の仕様につきましては改良の為、予告なく変更する場合があります。

代理店

ヤマハ株式会社

半導体営業部

- 東京営業所 〒101 東京都千代田区神田駿河台3-4
龍名館ビル4F
TEL <03>255-4481(代)
- 大阪営業所 〒542 大阪府大阪市中央区南船場3-12-9
心齋橋プラザビル東館4F
TEL <06>252-7980(代)
- 営業部 〒438-01 静岡県磐田郡豊岡村松之木島203
TEL <0539>62-4918(代)
FAX <0539>62-5054