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。

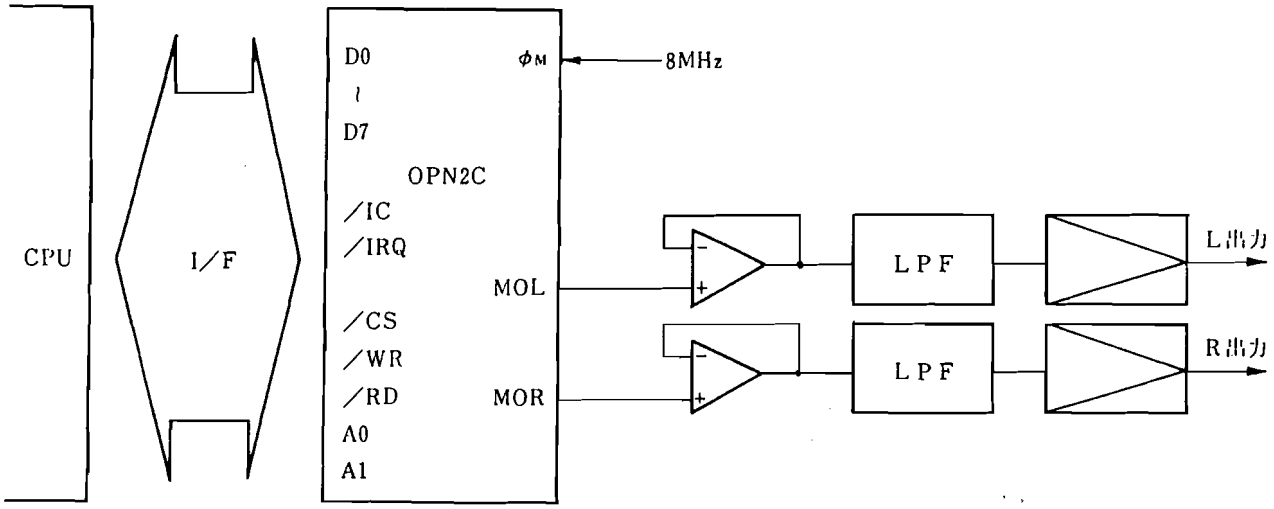
複合正弦波合成・・・６音中１音可能。

タイマー機能・・・・Ａ、Ｂの２種類のタイマー。

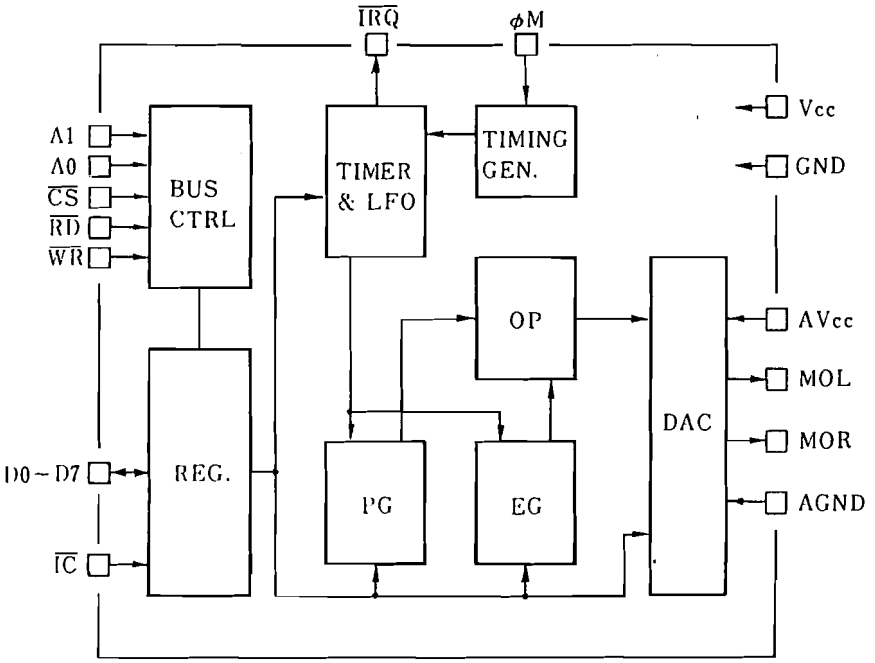
出力制御・・・・・・９ビットＤ／Ａコンバータ内蔵。Ｌ及びＲのｏｎ／ｏｆｆ。

ＰＣＭ機能・・・・・サンプリング・レート55.5kHz。８ビット出力。

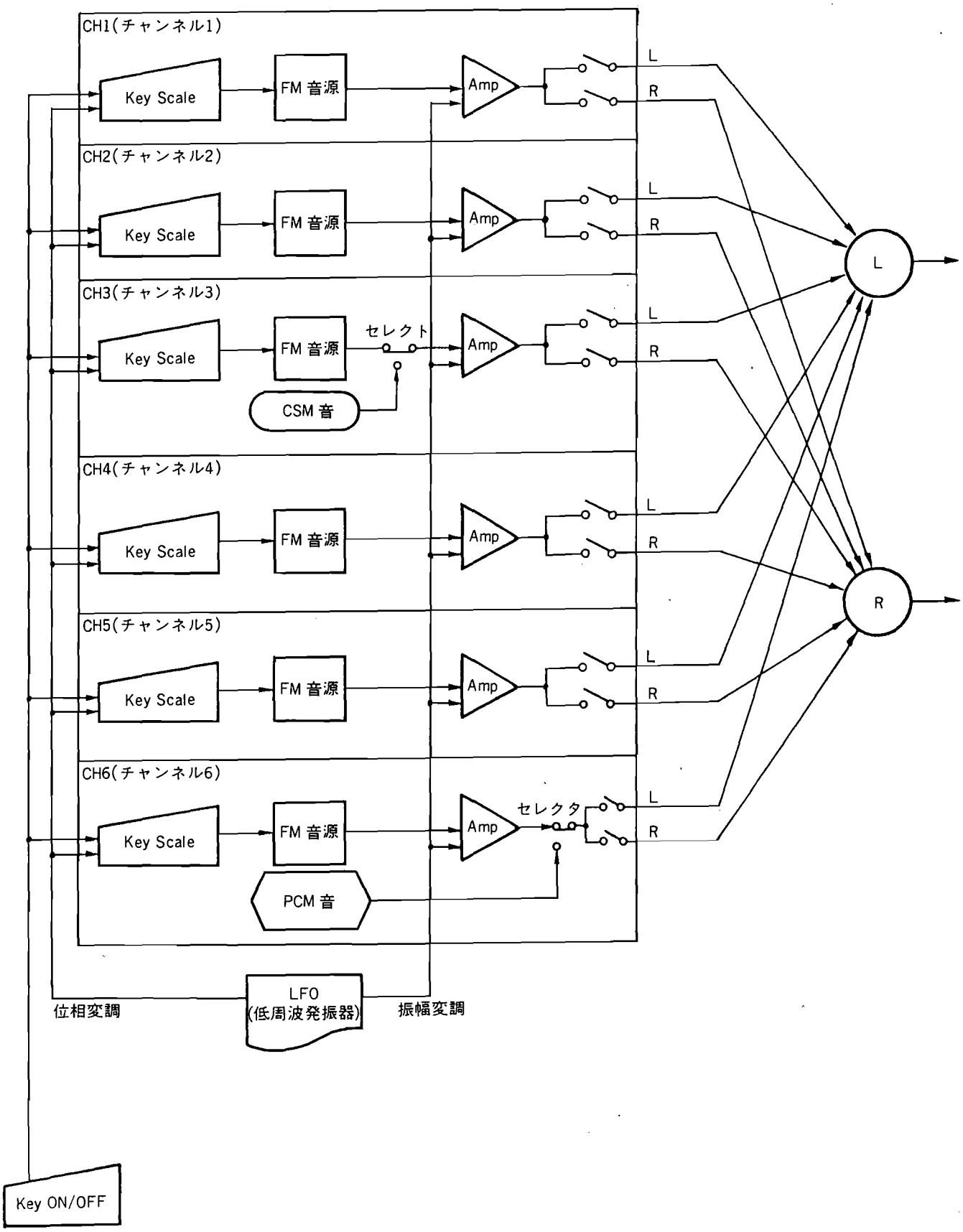
■システムブロック図



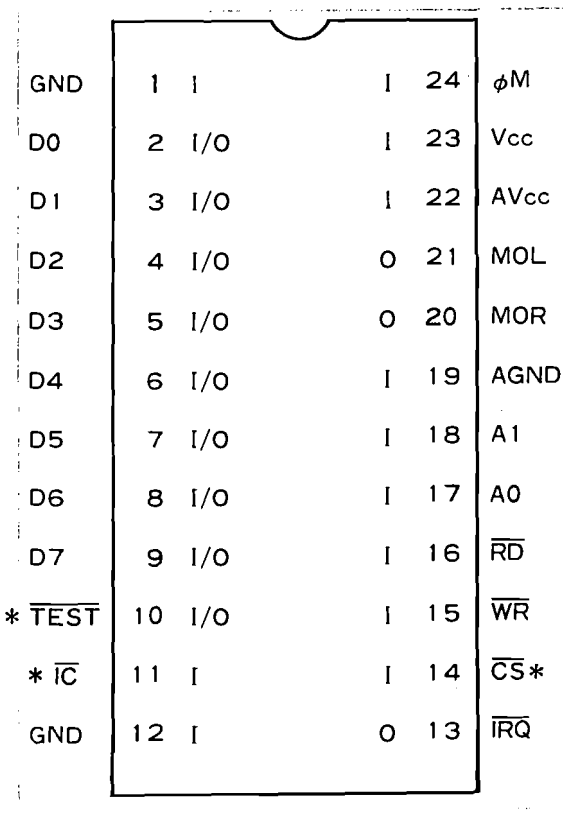
■ブロックダイアグラム



■システム概念図


CH1(チャンネル1)
CH2(チャンネル2)
CH3(チャンネル3)
CH4(チャンネル4)
CH5(チャンネル5)
CH6(チャンネル6)
Key Scale
FM 音源
Amp
L
R
セレクト
CSM 音
セレクタ
PCM 音
LFO
(低周波発振器)
位相変調
振幅変調
Key ON/OFF

■ 端子配置図



注：・本図はＴＯＰ　ＶＩＥＷ

・＊印の端子はプルアップ抵抗でV_{cc}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	ｱﾄﾞﾚｽ範囲	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		

$\overline{IRQ}$
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、$\overline{CS}$・$\overline{WR}$・$\overline{RD}$・Ａ１・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。

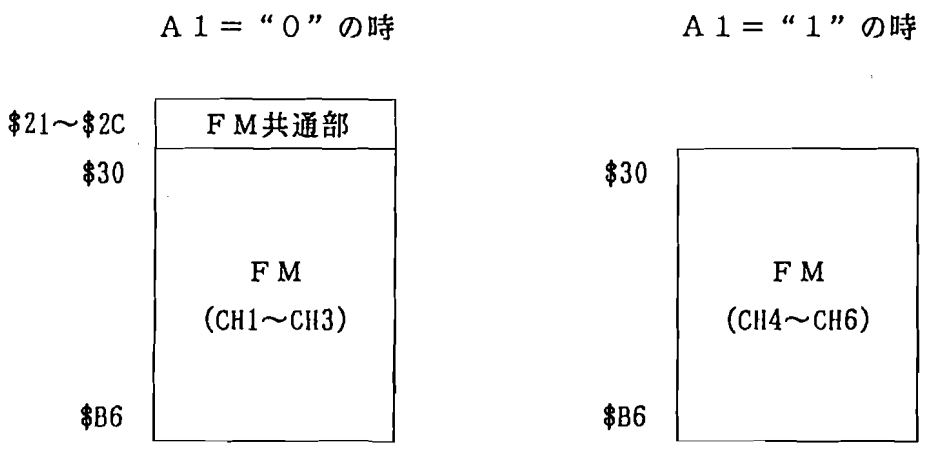


図１．１　レジスタアドレスの割り当て

$\overline{CS}$・$\overline{WR}$・$\overline{RD}$・Ａ０・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	0	
	0	0	1	1	1	
5	1	X	X	X	X	インアクティブ　モード

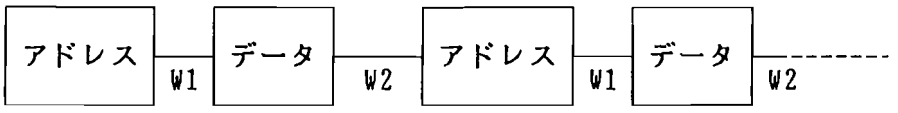
A1＝“＊”は、バンク指定を行います。

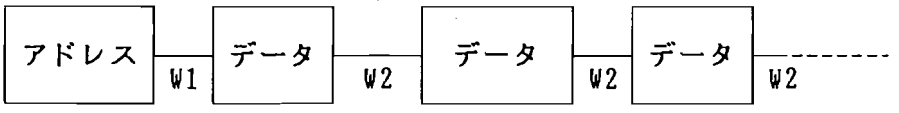
1）アドレスライト　モード

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、データバスの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

$\overline{\text{ＣＳ}}$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》

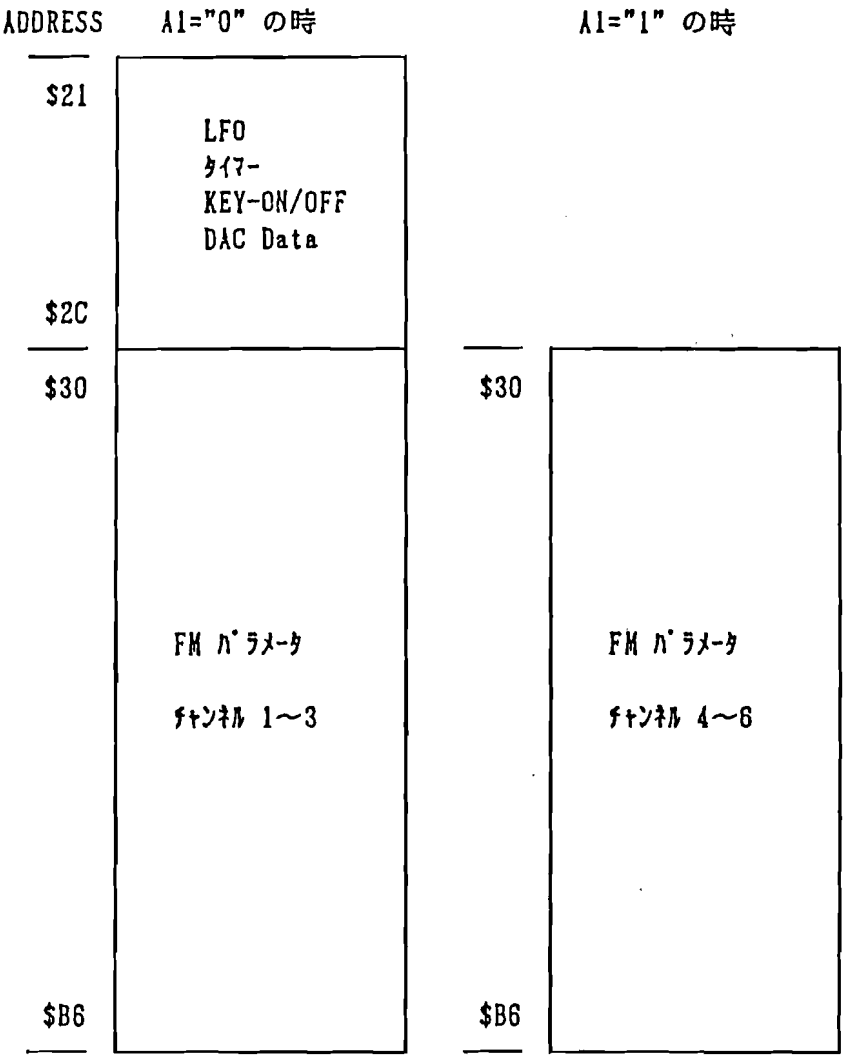
表１．５

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ることです。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
ﾀｲﾏｰ
KEY-ON/OFF
DAC Data
$2C
$30
FM ﾊﾟﾗﾒｰﾀ
ﾁｬﾝﾈﾙ 1～3
$B6
$30
FM ﾊﾟﾗﾒｰﾀ
ﾁｬﾝﾈﾙ 4～6
$B6

ADDRESS		COMMENT
$21	Test	LSIのTest Data
$22	／ ／ ／ ／ LFO	LFOのFreq Control
$24	Timer－A	Timer-Aの上位８ビット
$25	／ ／ ／ ／ ／ ／ Timer-A	Timer-Aの下位２ビット
$26	Timer－B	Timer-Bのデータ
$27	Mode / Reset B A / Enable B A / Load B A	Timer-A/BのControl及び３CHのMode
$28	SLOT / CH	Key ON/OFF
$2A	DAC Data	DAC Data
$2B	SEL ／ ／ ／ ／ ／ ／ ／	DAC Select
$2C	Test	LSIのTest Data
$30 | $3E	／ DT MULTI	Detune/Multiple (33, 37, 3Bのアドレスは無し)
$40 | $4E	／ TL	Total Level (43, 47, 4Bのアドレスは無し)
$50 | $5E	KS ／ AR	Key Scale/Attack Rate (53, 57, 5Bのアドレスは無し)
$60 | $6E	AM ／ ／ DR	AMON/Decay Rate (63, 67, 6Bのアドレスは無し)
$70 | $7E	／ ／ ／ SR	Sustain Rate (73, 77, 7Bのアドレスは無し)
$80 | $8E	SL RR	Sustain Level/Release Rate (83, 87, 8Bのアドレスは無し)
$90 | $9E	／ ／ ／ ／ SSG－EG	SSG-Type Envelope Control (93, 97, 9Bのアドレスは無し)
$A0 $A1 $A2	F－Num. 1	F-Number/BLOCK
$A4 $A5 $A6	／ ／ BLOCK F－Num. 2	
$A8 $A9 $AA	3 CH * F－Num. 1	3 CH － 3 Slot F-Number/BLOCK
$AC $AD $AE	／ ／ 3 CH * BLOCK / 3 CH * F－Num. 2	
$B0 $B1 $B2	／ ／ FB CONNECT	Self-Feedback/Connection
$B4 $B5 $B6	L R AMS ／ PMS	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)	$A0～$A6	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
			FLAG	
$XX	BUSY	／ ／ ／ ／ ／	A B	Status

■ ＦＭ音源　諸機能

ＯＰＮ２Ｃは、６音／６音色同時発音が可能な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、各レジスタに適当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種類のプリセッタブルタイマーと、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・・・①

ＮＡ：P9×2^9＋P8×2^8＋P_7×2^7＋P_6×2^6＋ …… P_1×2^1＋P_0
fM　：マスタークロック周波数［Hz］

（例）fM＝８MHz時、
tA（MAX）＝１８４３２μＳ
tA（MIN）＝　　１８μＳ

□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・・・②

ＮＢ：P_7×2^7＋P_6×2^6＋ …… P_1×2^1＋P_0
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 B	RESET A	ENABLE B	ENABLE A	LOAD B	LOAD 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$\overline{\text{ＩＲＱ}}$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
D5	スロット２のON/OFF
D6	スロット３のON/OFF
D7	スロット４のON/OFF

0	0	0	チャンネル１
0	0	1	チャンネル２
0	1	0	チャンネル３
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、ｂｉｔ０がＬＳＢ、ｂｉｔ７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。

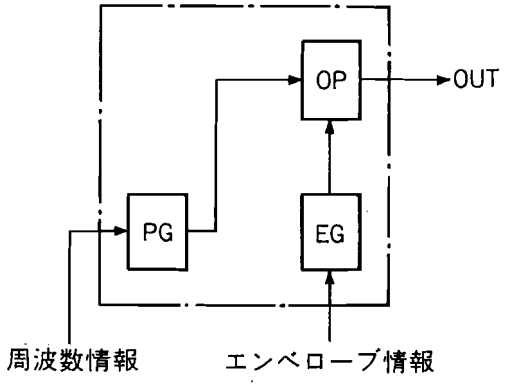
２．オペレータ

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い、８種類の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られる為に音色作成に際して、
> 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。

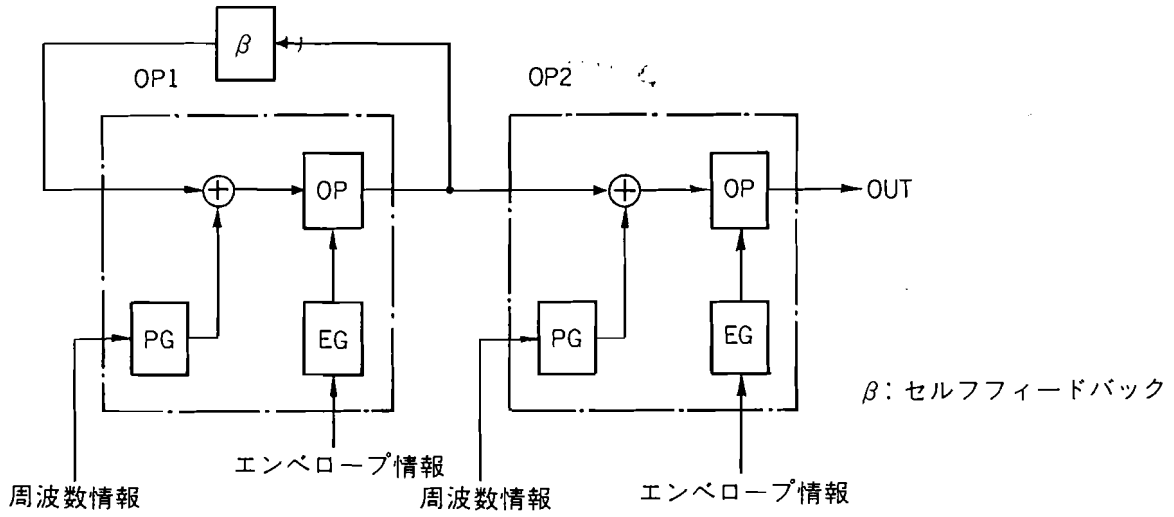


図２．１

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）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で作り、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。

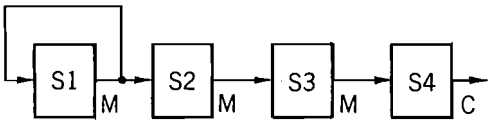
6）共通変調３パラレルモード
共通のモジュレータS1が、三個のキャリアS2、S3、S4を変調します。

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。

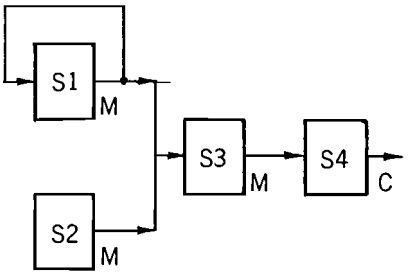
8）４パラレル・サイン波合成モード
四つのサイン波を合成した出力が得られます。ただし、S1はフィードバックをかける事で歪んだ音を作ることが可能です。

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。

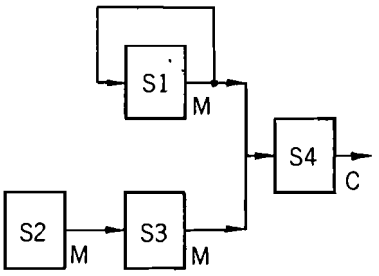
0 シリアル4連モード



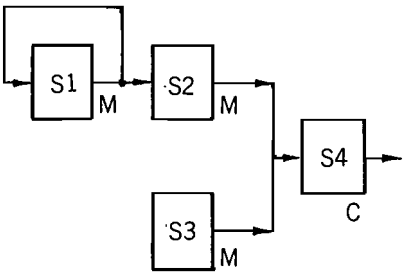
1 ダブル変調シリアル3連モード



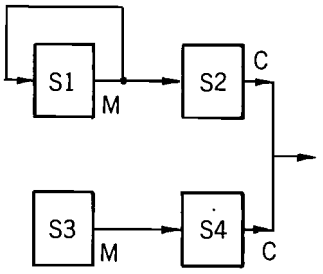
2 ダブル変調モード①



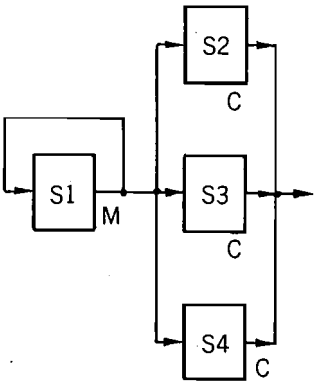
3 ダブル変調モード②



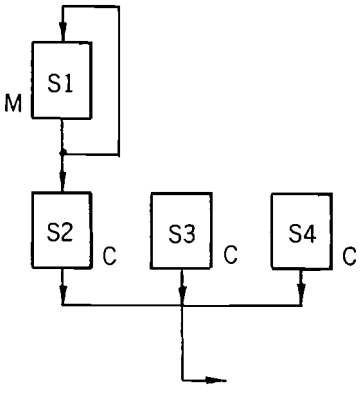
4 シリアル2連･2パラレルモード



5 共通変調3パラレルモード



6 シリアル2連＋2サインモード



7 4パラレルサイン合成モード

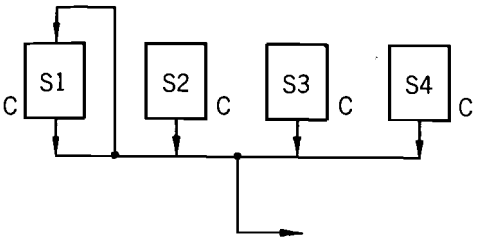


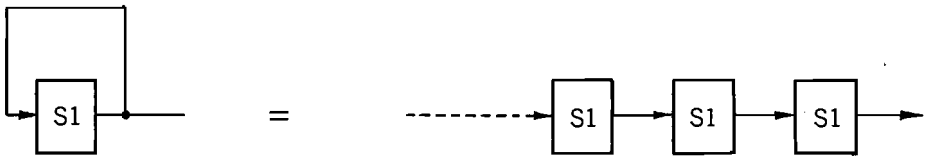
図２．２　アルゴリズム

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と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	π/16	π/8	π/4	π/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×fnote×2^{20}／ｆＭ）／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）＝（１４４×４４０×2^{20}／８×10^{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-Num2			F－Ｎｕｍ１						

Ｆ－Ｎｕｍｂｅｒ／Ｂｌｏｃｋデータの設定は、必ず以下の手順で行って下さい。
①Ｂｌｏｃｋ／Ｆ－Ｎｕｍ２のアドレス及びデータライト：＄Ａ４～＄Ａ６
②Ｆ－Ｎｕｍ１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）が変化するスケーリングを持たせることができます。（４．ＥＧ参照）

キースケーリング時に必要な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、サスティーン、リリースの四つのレートとサスティー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。

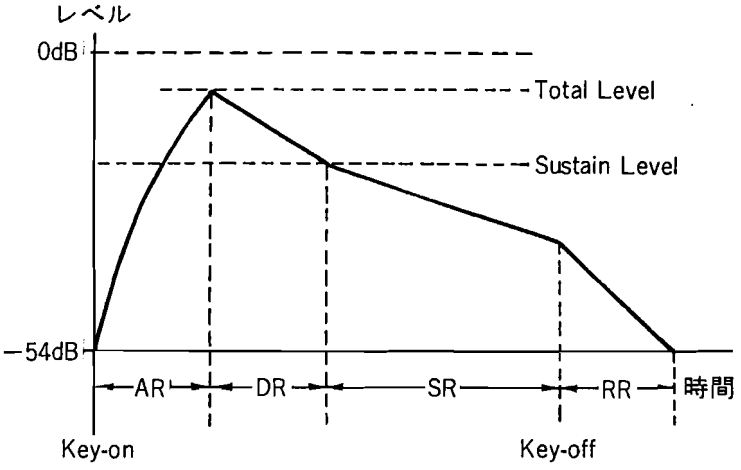


図２．３　エンベロープの波形と各パラメータ

＊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。

□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ィー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

サスティーンレベルとは、ディケイレートからサスティ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

サスティーンレートとは、サスティ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”にするとサスティ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（Ｒａｌｅａｓｅ　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　　；Ｒ＝０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			
KS \ Note	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			
KS \ Note	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			

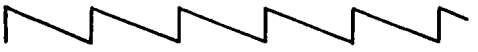
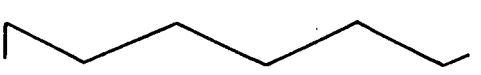
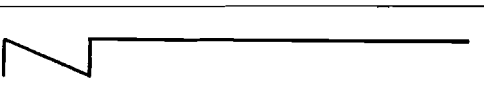
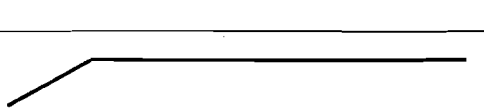
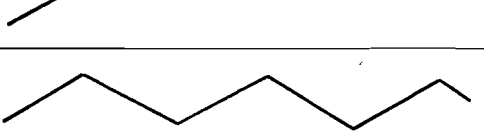
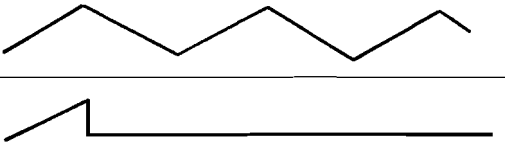
No	D3	D2	D1	D0	エンベロープ形状
0	1	0	0	0	
1	1	0	0	1	
2	1	0	1	0	
3	1	0	1	1	
4	1	1	0	0	
5	1	1	0	1	
6	1	1	1	0	
7	1	1	1	1	

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		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：＄６０～＄６Ｅ

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ＬＦＯの設定を行います。

内蔵ＬＦＯでは充分な効果が得られない場合、ソフトウェアＬＦＯ（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、ＬＦＯ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、LFO機能のブロック図を示します。

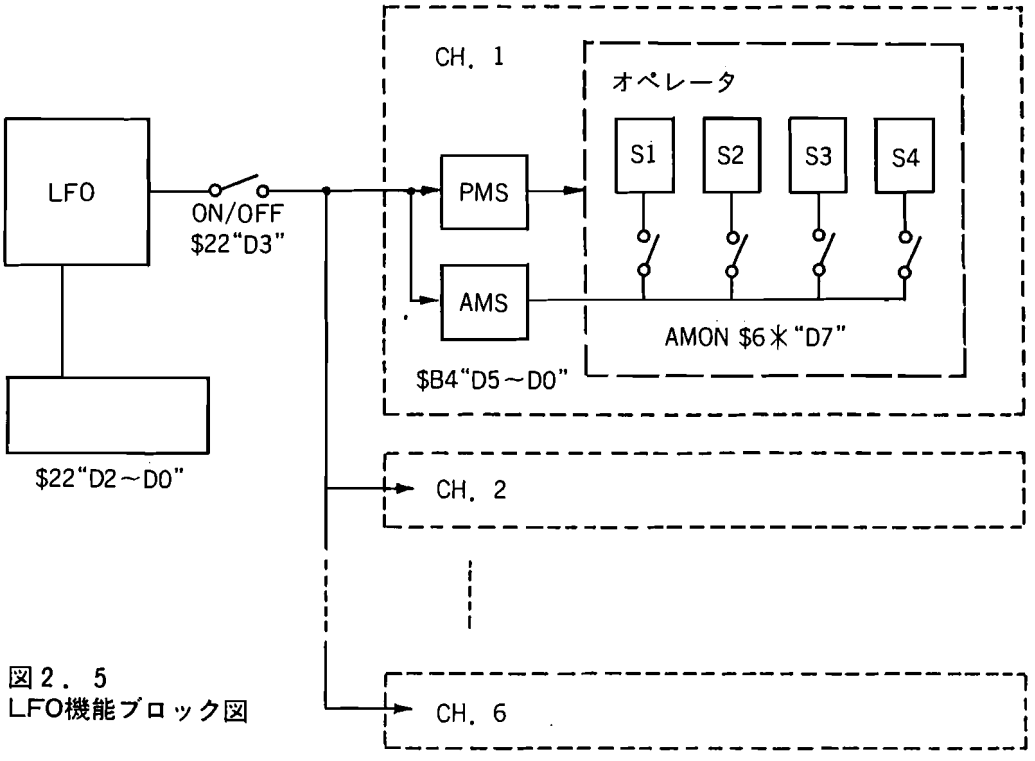


図２．５
LFO機能ブロック図

［参　考］　ＬＦＯ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	℃
保存温度	T_{STG}	－５０	１２５	℃
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	℃
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	φM, $\overline{WR}$, $\overline{RD}$, A0, A1	I_L	V_{in} = 0~5V	-10		10	μA
スリーステート入力電流（オフ状態）	D0～D7	I_{TSL}	V_{in} = 0~5V	-10		10	μA
出力Highレベル電圧	D0～D7	V_{OH}	I_{OH} =-80μA	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} = 0~5V	-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	kΩ

●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ﾃﾞｭｰﾃｨ H / L	Duty H / L	（図1）	40	50	60	%
ｸﾛｯｸ入力低ﾚﾍﾞﾙ電圧	V_{ILC}	（図1）			0．8	V
ｸﾛｯｸ入力高ﾚﾍﾞﾙ電圧	V_{IHC}	（図1）	2．0			V

φMﾃﾞｭｰﾃｨH＝ t_{HM} ・ f_{MCLK} ×100

またはφMﾃﾞｭｰﾃｨL＝ t_{LM} ・ f_{MCLK} ×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・リードウエイト時間 リード・ライトウエイト時間	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
ライトウエイト幅	WR	T_{WWW}	（図7）*1 *2 *3	17 83 47			サイクル

注）*1：アドレス・ライトーデータ・ライト間
*2：データ・ライトーアドレス・ライト間およびデータ・ライトーデータ・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～$9Eの場合
*3：データ・ライトーアドレス・ライト間およびデータ・ライトーデータ・ライト間
但し、データ・ライトされるレジスタ・アドレスは$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。）

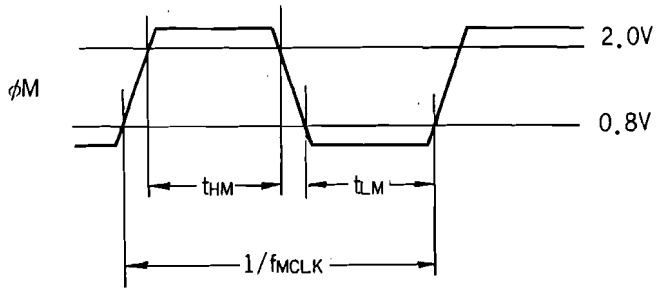


図1　クロックタイミング

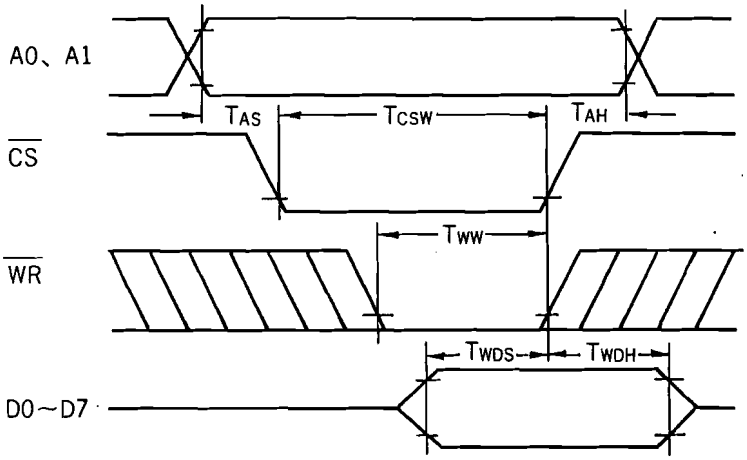


図2　ライトタイミング

（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。

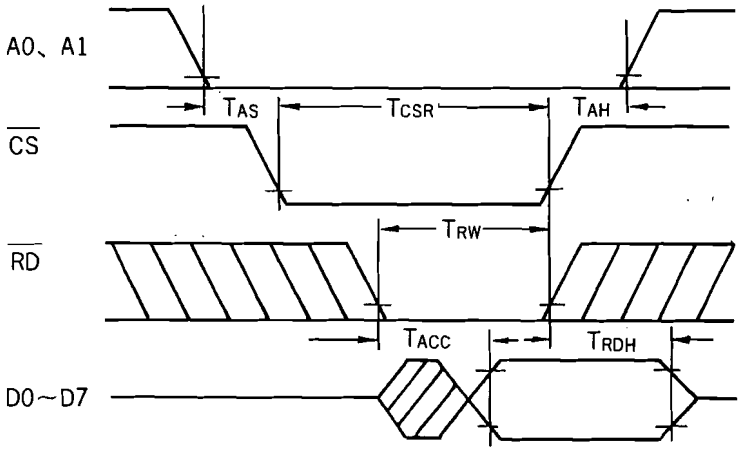


図3　リードタイミング

（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

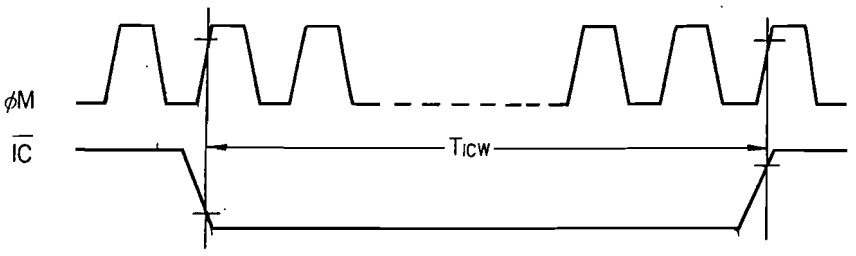


図4　リセットパルス幅

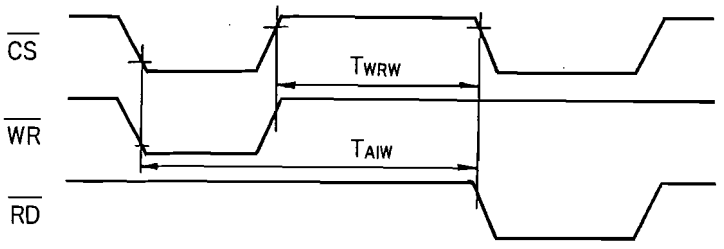


図5　ライトーリード・タイミング

（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。

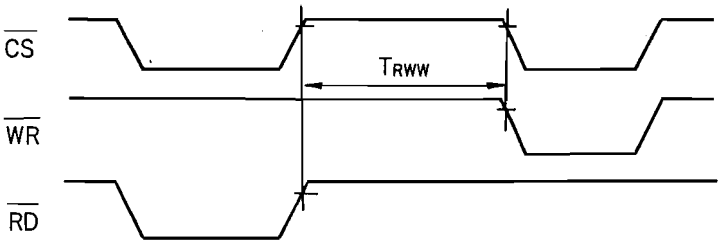


図6　リードーライト・タイミング

（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。

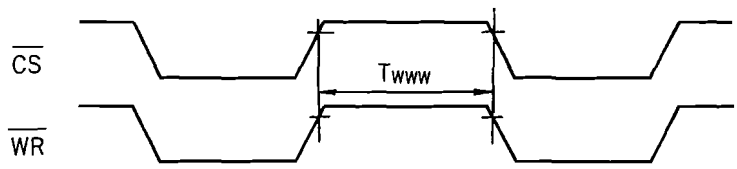
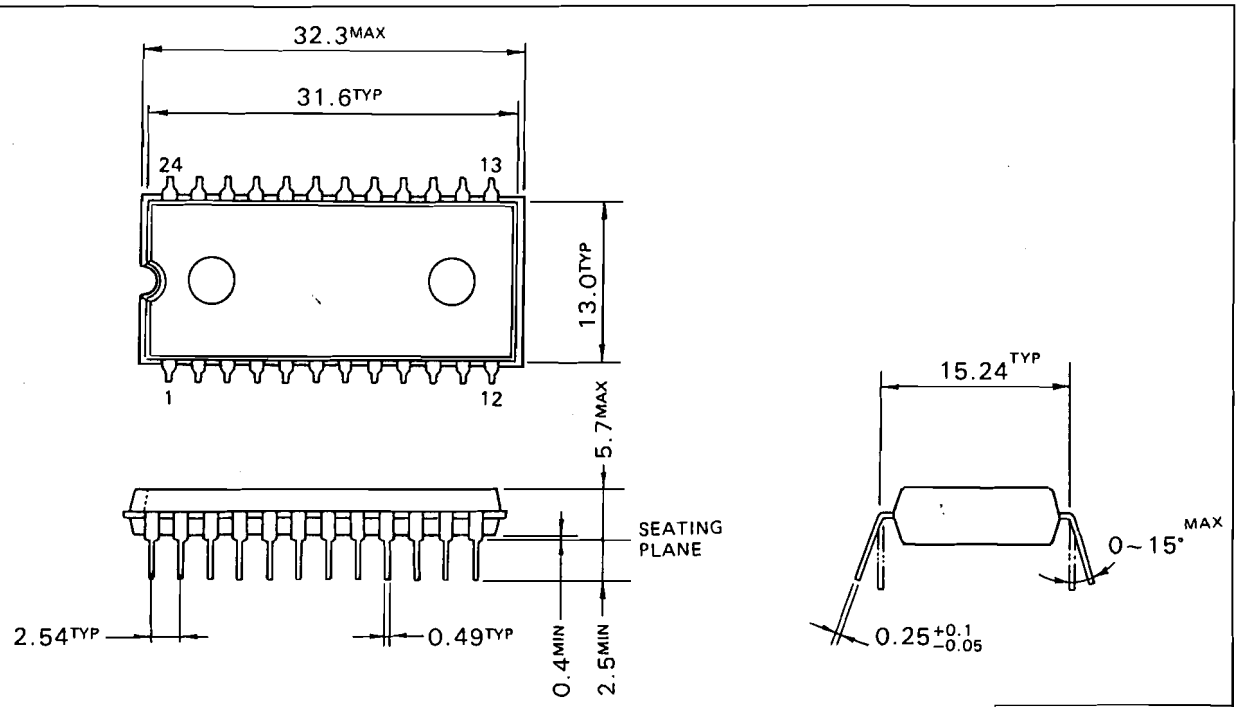


図7　ライトーライト・タイミング

（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



DIMENSIONS IN MM

24pin plastic DIP
PK24DP1-04-3

■ 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。

①ｃｏｎｎｅｃｔｉｏｎ（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。

②ｃｏｎ．＝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。

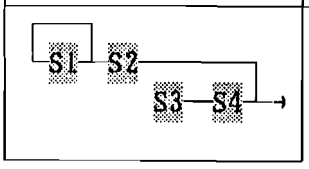
③ｃｏｎ．＝５あるいは６の時は、３個のｃａｒｒｉｅｒのＴＬの和が－９．５［ｄＢ］以上となる様に設定して下さい。

④ｃｏｎ．＝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

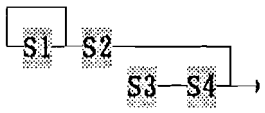
音色名：ＢＥＬＬ

	Ｓ１	Ｓ２	Ｓ３	Ｓ４
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	Feed back 3			



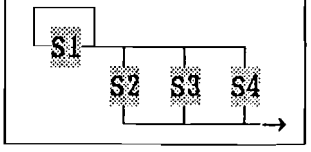
音色名：ＰＩＡＮＯ

	Ｓ１	Ｓ２	Ｓ３	Ｓ４
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	Feed back 2			



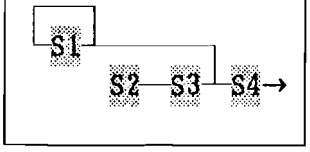
音色名：ＥＯＲＧＡＮ

	Ｓ１	Ｓ２	Ｓ３	Ｓ４
Total level	－３９	－４１	－３０	－２４
Multiple	５	２	８	１
Detune	３	３	３	３
Attack rate	３１	３１	３１	３１
Decay rate	１８	１５	４	１５
Sus level	－２	０	０	０
Sus rate	０	０	０	０
Release rate	１５	１５	１５	１５
Key scale	３	０	０	０
Am on/off	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ
EG control	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ
L.F.O. off				
Pitch G 3				
Ams 0 Pms 0				
Algorithm 5	Feed back 7			

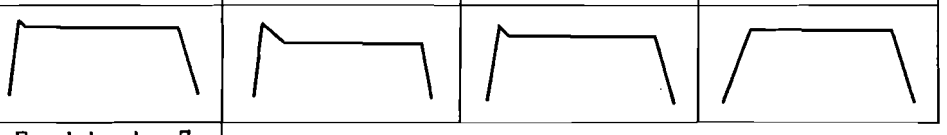
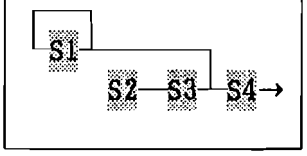


音色名：ＢＲＡＳＳ

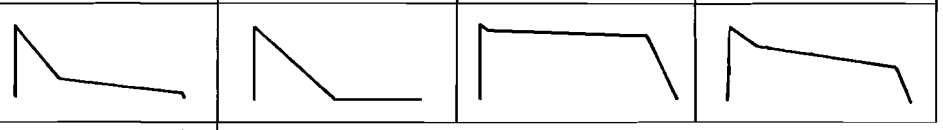
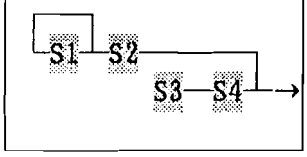
	Ｓ１	Ｓ２	Ｓ３	Ｓ４
Total level	－２９	－３６	－４６	０
Multiple	１	２	１	１
Detune	０	０	０	０
Attack rate	１２	２４	１２	１９
Decay rate	５	２	５	３
Sus level	－１２	０	０	－１
Sus rate	０	０	０	０
Release rate	８	８	８	８
Key scale	１	１	０	１
Am on/off	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ
EG control	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ
L.F.O. 1				
Pitch C 3				
Ams 0 Pms 2				
Algorithm 2	Feed back 7			

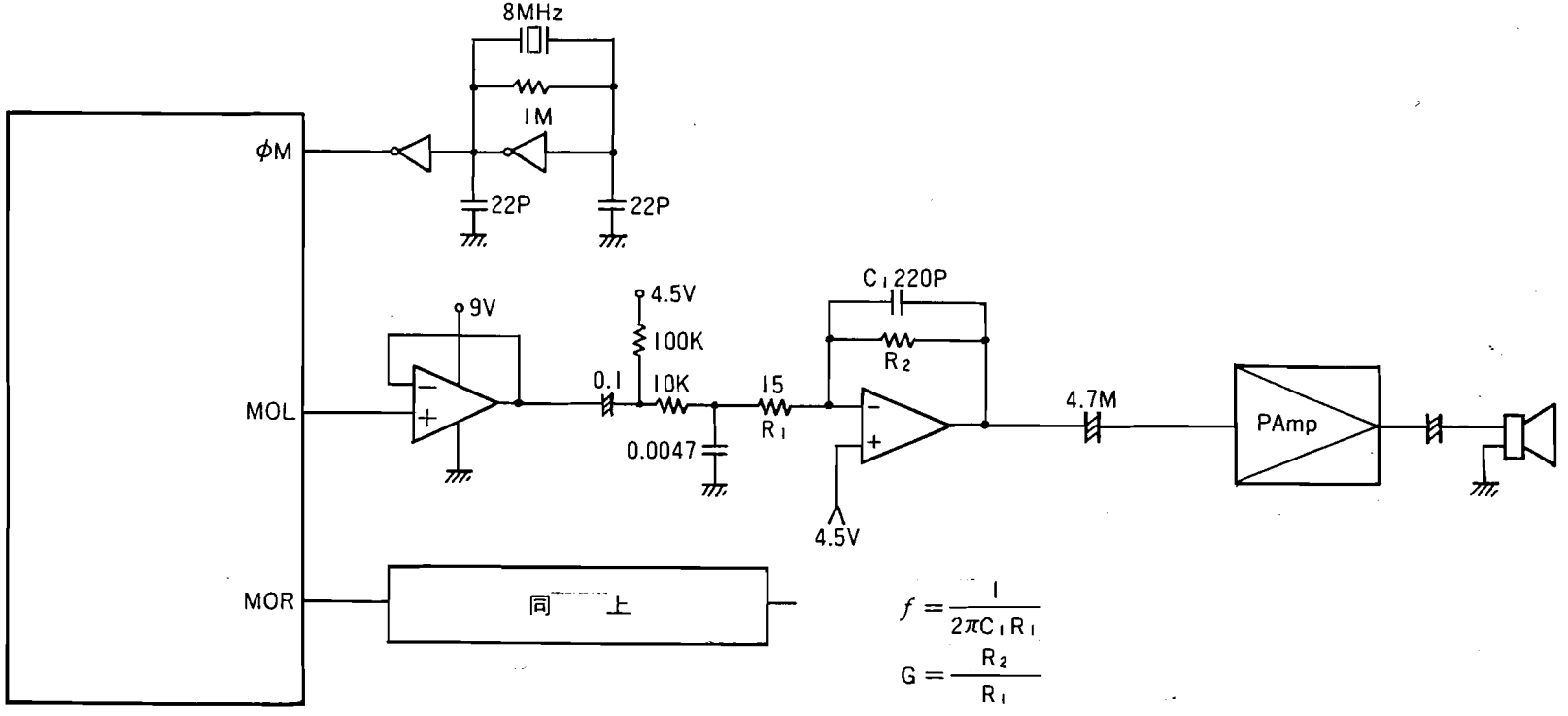


音色名：ＳＴＲＩＮＧ

	Ｓ１	Ｓ２	Ｓ３	Ｓ４
Total level	－２６	－３３	－３７	０
Multiple	１	１	１	１
Detune	３	１	０	１
Attack rate	２５	２５	２１	９
Decay rate	１０	１１	１１	１０
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	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ
EG control	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ
L.F.O. 1				
Pitch E 3				
Ams 0 Pms 1				
Algorithm 2	Feed back 7			
				

音色名：ＶＩＢＲＰＨＮ

	Ｓ１	Ｓ２	Ｓ３	Ｓ４
Total level	－５６	－６	－４１	０
Multiple	１２	８	７	１
Detune	－１	－３	０	０
Attack rate	３１	３０	３１	２８
Decay rate	１６	１２	４	６
Sus level	－１１	－１５	－１	－４
Sus rate	６	２	２	８
Release rate	７	１０	０	１
Key scale	２	１	２	１
Am on/off	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｎ	ｏｆｆ
EG control	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ	ｏｆｆ
L.F.O. 1				
Pitch C 5				
Ams 2 Pms 1				
Algorithm 4	Feed back 4			
				



※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、最新のカタログ、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。本製品をこの様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
心斎橋プラザビル東館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

不許複製 © 1988 YAMAHA CORPORATION 0.3K 8907