

# オープンソースカンファレンス 2018 京都

すがや先生招待講演かってに応援企画

こんにちは  
ワークステーション  
**LUNA 対応版**  
サウンド編

2018/08/04  
Yosuke Sugahara  
@moveccr

とうとう  
やってきました  
京都

# 広島から

車で  
6 時間半

遠い

2018年  
OSC 京都の  
月玉

# すがや先生の 招待講演

すがや先生の  
代表作といえば

もちろん



<https://www.suruga-ya.jp/database/pics/game/503085801.jpg>

1982 年発売

當時  
ナイコン族

MSX 対応版は  
PSG から音を  
出す方法も  
載ってました

さて

京都といえば

やつぱり  
LUNA

# LUNA とは

## ■ よしだともこ先生のブログより

**LUNA** というのは、1980 年代から 1990 年代の初めごろにかけて、京都に本社を持つオムロン株式会社が発売していた、**UNIX** ワークステーションの名前です

(その当時、私はこの会社の **UNIX** ワークステーション開発部門で働いていました)

<http://notredameningen.kyo2.jp/e422862.html>

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=2>

# 広島と LUNA

# そういえばルナと言えば



<https://twitter.com/tsutsuii/status/398686477023858688>

<https://speakerdeck.com/tsutsuii/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=6>

2016 年  
OSC 広島

# つついさんによる PCM 再生



[https://www.ospn.jp/press/wp-content/uploads/2016/12/dsc\\_4926.jpg](https://www.ospn.jp/press/wp-content/uploads/2016/12/dsc_4926.jpg)

# 正直な感想

すごく  
面白そう

でも

もっと  
きれいな音が  
出るはず！

# 実機

もってないけど  
やってみよう

35年たっても  
やっぱり  
ナイコン族

そもそも  
LUNA に  
PCM 音源は  
無い

どうやって  
PCM を  
再生したのか

# つついさんの 資料から ざっくり

# LUNAとPSG音源

■OMRON TECHNICS Vol.29 No.1



Izumi Tsutsui

@tsutsuii

647180とは

ドディスク、ストリーマの I/F には SCSI を採用した。また外部用の SCSI ポートも 1 ch を有している。MB89352 (SPC) が SCSI の制御をおこなう。

I/O プロセッサとして 647180 を使用し、フロッピディスク、プリンタ、シリアル回線、楽音発生の各制御を担当させている。ただしハードディスクの管理は Unix では重要なため、前述のように 68030 が担当する。647180 バス上の PROM はデバッグ用であり、通常は 68030 からの起動

<https://twitter.com/tsutsuii/status/426963345388732416>

<https://speakerdeck.com/tsutsuii/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=21>

# PSG音源とは

- ・いわゆるピコピコ音 × 3和音
- ・元はアーケードゲーム用
- ・イメージとしてはファミコンの  
音が近いです

(※ファミコンの音源とPSGとは微妙に違います)

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=13>

# 初代LUNA構成

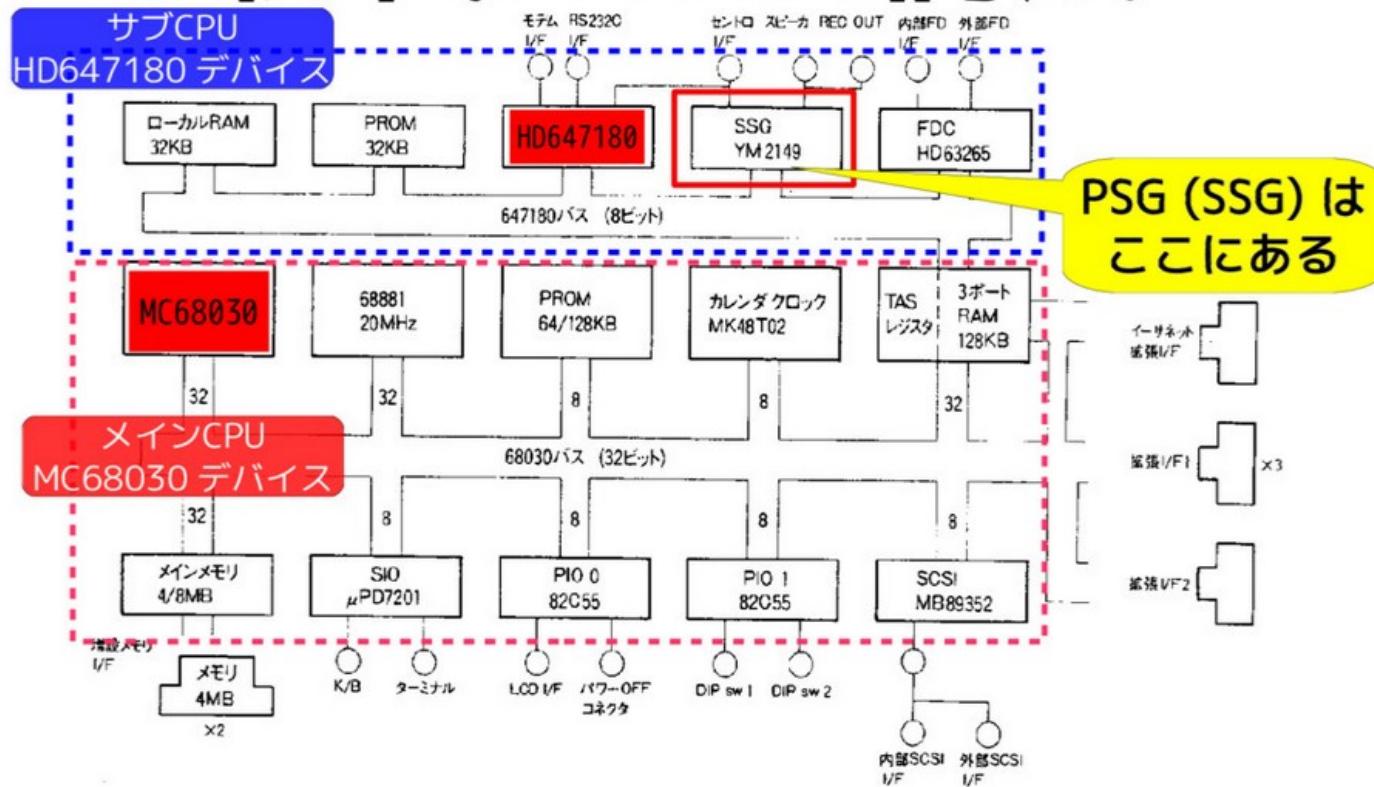


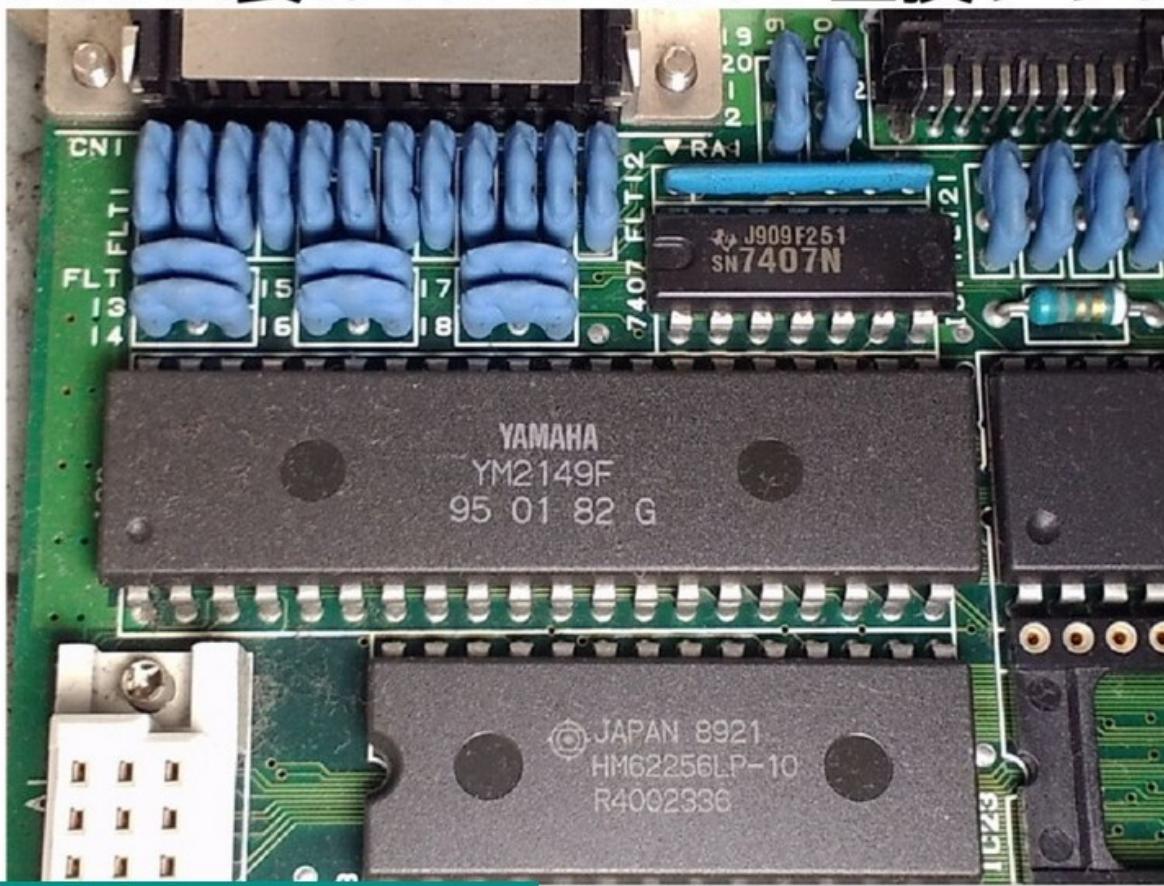
図3 メインボードの内部構成  
Main board block diagram

OMRON TECHNICS Vol.29 No.1 “LUNA(デスクトップWS)のハードウェア”

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=22>

# LUNA内のYM2149

- YAMAHA製の AY-3-8910 互換チップ



<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=23>

サブ CPU  
HD647180  
とは何者か

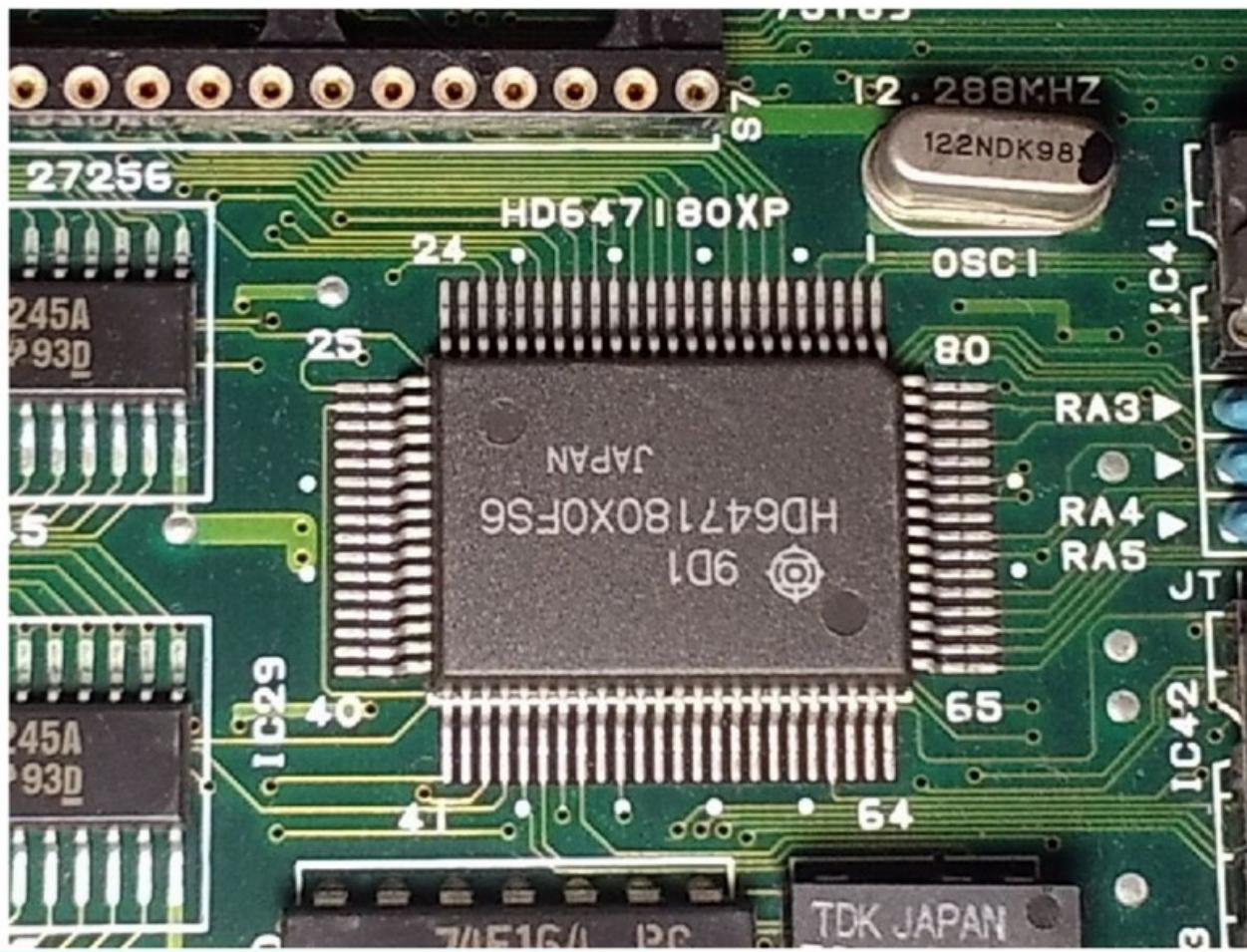
# HD647180 とは

- 日立製 Zilog Z80 上位互換マイコン
- 6.144MHz クロック
- タイマ、シリアル、DMA 内蔵
- MMU 内蔵で 1MB アドレスサポート
- 64**7**180 はワンタイム PROM 版

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=24>

- 512 バイトの内蔵ノーウェイト RAM
- メモリ・I/O アクセスウェイトコントロール機能

# HD647180XP



<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=25>

# なぜLUNAにPSG音源が？

- Z80互換サブCPU

「ハードウェア設計者の趣味で～」  
(元カーネル開発者という方のお話)

- PSGについて

「当時のパソコンと同じ機能が必要、  
という考えがあったのでは」  
(サブCPUに関係されていた方のお話)

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=26>

ここまででは前提知識の前提知識です

# ここまでが前提知識です



Izumi Tsutsui

@tsutsuii

「LUNAでPSG演奏」のデモを理解するには

- ・LUNAを知っている
  - ・PSGを知っている
  - ・LUNAにZ80互換サブCPUが載っていると知っている
  - ・PSGがサブCPUにつながっていると知っている
  - ・PC-6001もZ80なので同じドライバが動く
- という知識が必要という無理ゲー

5  
リツイート

10  
いいね



12:22 - 2016年11月26日

<https://twitter.com/tsutsuii/status/802351863836250112>

<https://speakerdeck.com/tsutsuii/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=27>

# PC-6001を含む PSG搭載マシンに しゃべらせる

……という  
いにしえの技が存在

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=37>

# PSGによるPCM再生

## ■ Wikipediaより

PSGによってPCMを再生する技法が存在し、  
PSGPCM や SSGPCM等と呼ぶ。

※PCM : .wav ファイル等で使われる音楽データ形式

## ■ PSGPCMの原理

PSGで発声されるのは矩形波である。これはロー (=0) とハイ (=1) の2値しか知らない。これに音量レジスタ (4bit) の値を掛けたものが1チャンネル分の出力である。

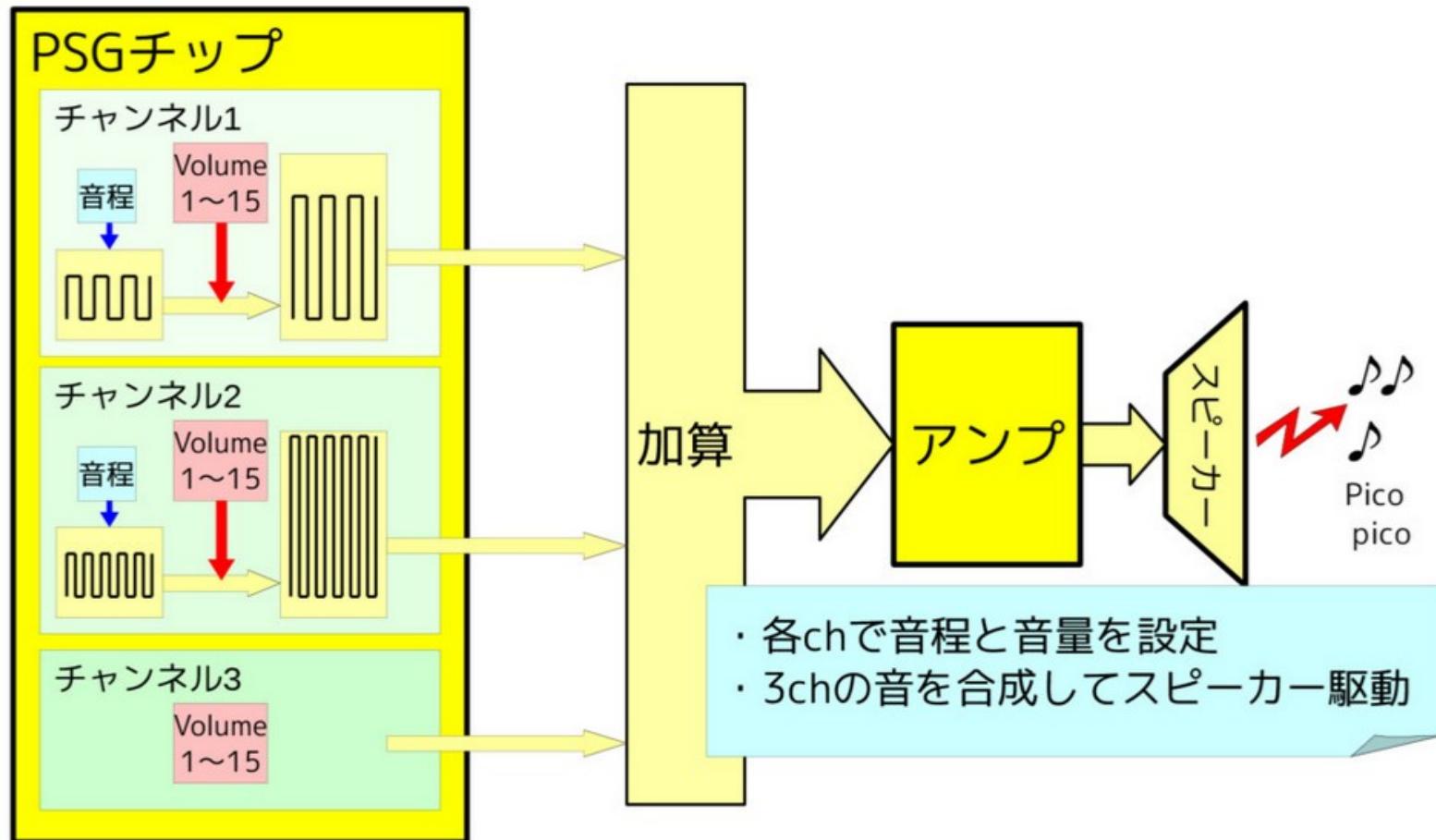
AY-3-8910相当品では、あるチャンネルの発声を停止すると矩形波出力はハイ (=1) で固定される。従って、そのチャンネルの出力は、音量レジスタそのものとなる ( $1 \times \text{音量レジスタ} = \text{音量レジスタ}$ )。

この仕様を利用し、発声を停止した状態でそのチャンネルの音量を操作することで、PSGをDACとして利用するというのが大まかな原理である。

出典: [https://ja.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_Sound\\_Generator](https://ja.wikipedia.org/wiki/Programmable_Sound_Generator)

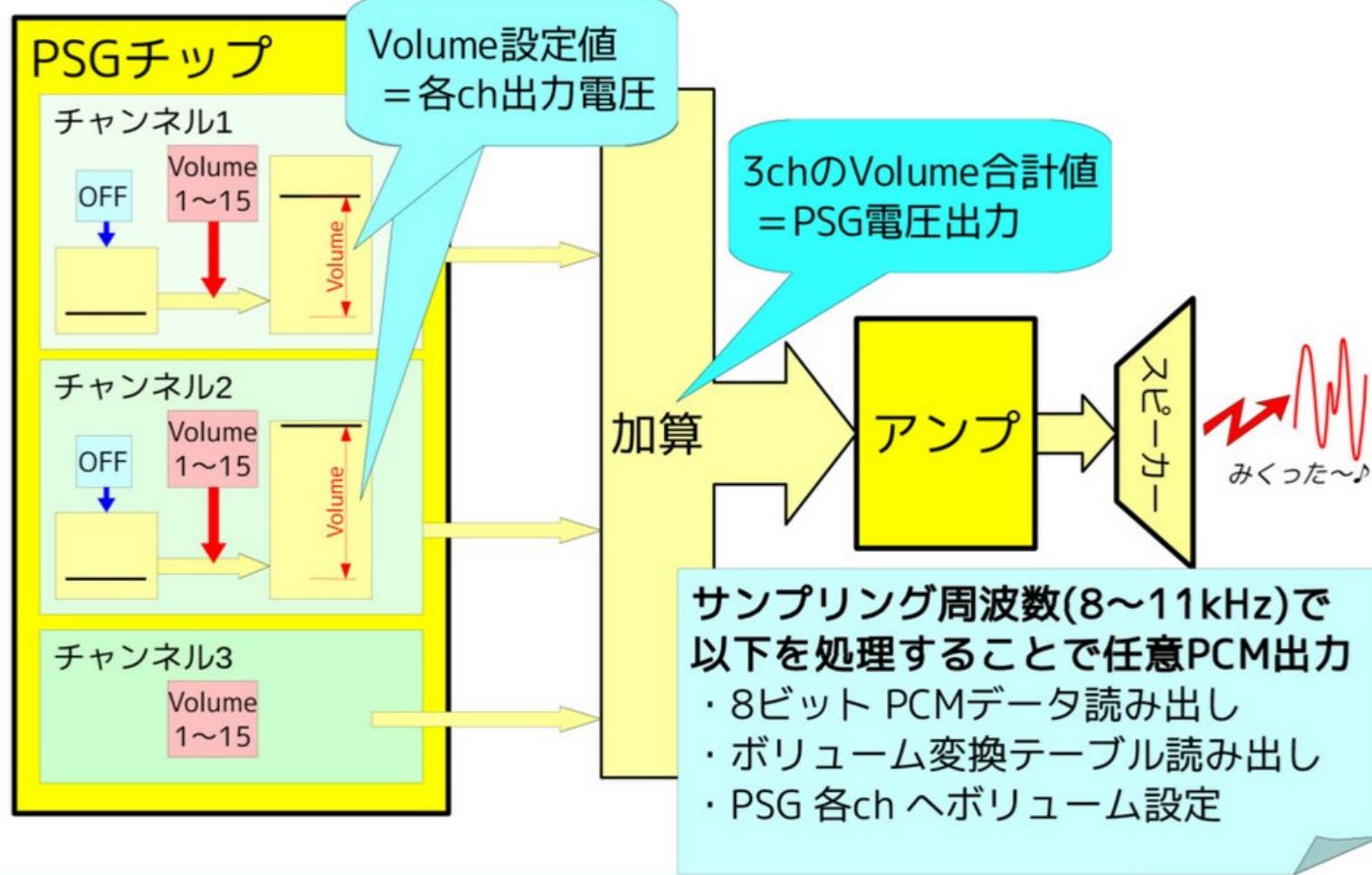
<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=38>

# 音楽再生時のPSG出力



<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=39>

# PCM再生時のPSG出力



<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=39>

# 展示 PSG+PCMデモ

- とりあえずのご当地ネタで  
列車接近メロディPSG版 + アナウンスPCM



<http://www.nicovideo.jp/watch/sm5379033>

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again?slide=47>

ここまでが前提

どうして  
音質が  
悪いのか

サンプリング周波数が  
低いからかな？

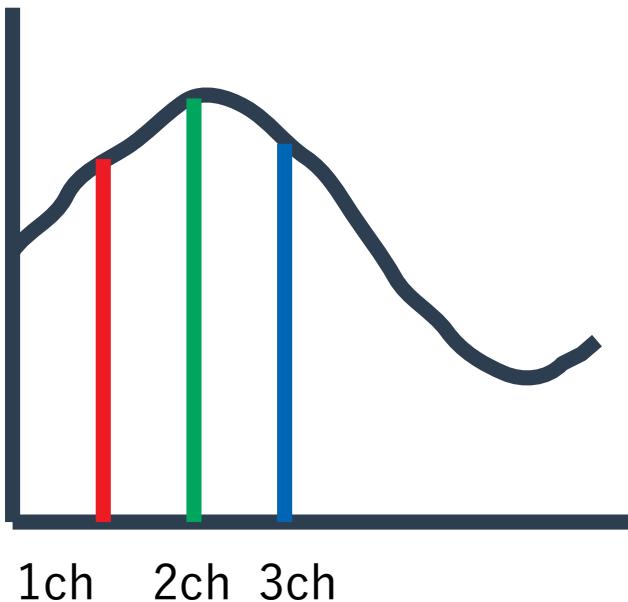
# PSGPM

# 3相 3ch 方式

# ナイコンで書いてみた

```
psgpcm.asz - TeraPad
ファイル(F) 編集(E) 検索(S) 表示(V) ウィンドウ(W) ツール(T) ヘルプ(H)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 ↑
244 LOOP_CHO: ↓
245 ↓
246 > ; タイマポーリング ↓
247 POLL_CHO: ↓
248 INO > (TCR) > ;12+0W ↓
249 JP > P,POLL_CHO > ; 6 (jump 9 = not affect) ↓
250 > ; CLEAR TIF1 ↓
251 INO > (TMDR1L) > ;12+(0..4W) DataSheetP32 I/O Wait Insertion ↓
252 ↓
253 ↓
254 > ; データ出力 ↓
255 > ; PSG は 8bit I/O なので B は関係ない ↓
256 OUT > (C),B > ;10+3W > ;(FMPO)=B=8 ↓
257 DEC > C > ; 4 > ; C=FMPO1 ↓
258 OTIM > ;14+3W ↓
259 > ; B-- (B=7) ↓
260 > ; C++ (C=FMPO) ↓
261 > ; HL++ ↓
262 ↓
263 > ; ループエンドと割り込み出力 ↓
264 ↓
265 > ; A=終了アドレス位置 ↓
266 CP > H > ; 4 ↓
267 JR > NZ,LOOP_CH1 > ; 6 (jump 8 = not affect) ↓
268 ↓
269 OUT > (HOSTINTR5),A > ;10+3W > ; ページ転送完了割り込みをホストへ通知 ↓
270 > ; INT5 を発行する ↓
271 > ; 何を書いても良い ↓
272 > ; A レジスタを破壊したくない ↓
273 ↓
274 > ; ページ終了処理 ↓
275 > ; この時点で ↓
```

# PSGPCM3 相 3ch 方式



PCM サンプルを 1ch ずつに分  
解して出力  
1ch あたり 51.2kHz

タイマーポーリングとクロック  
カウント併用

(本採用はしませんでした)

ナイコンでは  
さすがに  
もうつらい

2017年  
クリスマス

# クリスマス



**Y.Sugahara** @moveccr

サンタさんLUNA-I下さい、半年だけでいいです

2017-12-24 02:31:51 Twitter Liteから (1人がリツイート、1人がふぁぼ)

<https://twitter.com/moveccr/status/944621586564317184>

# サンタ出現



Izumi Tsutsui @tsutsuii

moveccr サンタさんLUNA-I下さい、半年だけでいいです

2017-12-24 02:31:51

@moveccr 送ればいいですか

2017-12-24 02:42:10 Yukari for Androidから

---

<https://twitter.com/tsutsuii/status/944624183962624000>

サンタ、実在

# 届く



**Y.Sugahara** @moveccr

<< [-]

LUNA到着。

2017-12-25 15:17:24 sayakaから



**Y.Sugahara** @moveccr

<< [-]

LUNA 開けて基板眺めた。配線追ったわけではないが、32kB SRAMが5個あってこのうち128kBが共有RAMなんだろう。3ポートRAMとあるが、5個のSRAMはおそらくはバス調停による制御だろう。したがってコードを512バイトに収めてXP内蔵RAMにおくことにする。

2017-12-25 15:19:52 sayakaから

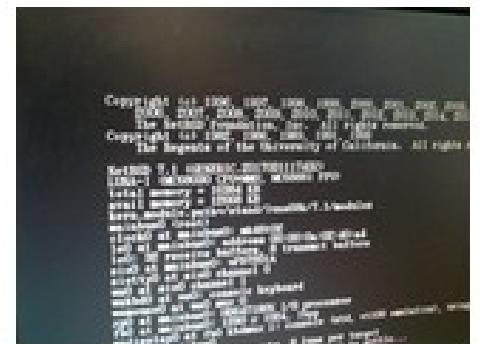
# 電源 ON



isaki @isaki68k

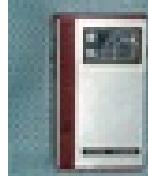
<< [—]

luna68k上がってきたー [pic.twitter.com/tUsVGTjZ9J](https://pic.twitter.com/tUsVGTjZ9J)



2018-01-05 11:40:17 Yukari for Androidから

# くっさー



Y.Sugahara @moveccr

一応LUNA起動した。けど絶望的に臭い。

2018-01-05 12:00:21 sayakaから



Y.Sugahara @moveccr

ででーんアウト→ [pic.twitter.com/VR1RHW5Yt](https://pic.twitter.com/VR1RHW5Yt)

<< [—]



2018-01-05 13:57:01 Twitter Liteから

コンデンサを  
送ってもらって  
修理

RTC（時計）  
の電池も  
切れてる



**Y.Sugahara** @moveccr

[引用] [返信] [公式RT] [Fav] [JSON] [単独] [st] >> [-]

LUNA-IのNVRAM/RTC治ったアアア

珍しく無干渉でM48T02にリプレイスでいけるよ。

[pic.twitter.com/EvlyBEzJX8](https://pic.twitter.com/EvlyBEzJX8)



2018-01-17 14:11:14 Twitter Liteから

スタートラインに  
立つ権利を  
手に入れたぞ

音質が悪かった  
原因を調べる

そもそも  
音声出力波形が  
おかしいようだ

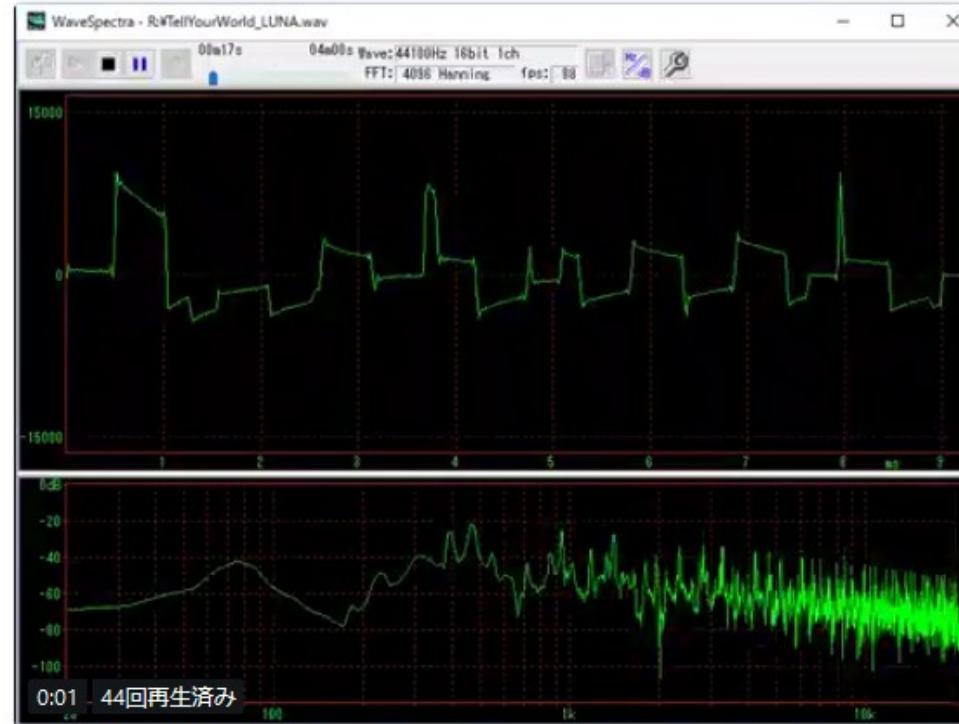
# 筒井さんの 観測



Izumi Tsutsui  
@tsutsuii

フォロー中

ふたたび音注意、ということで 同じ曲データでの LUNA での PSG 出力波形。さすがに回路図が無いとアンプ回路をいじるガツツは出ない感じ



0:56 - 2016年12月5日

矩形波が  
出るはずなのに  
ゆがんでいる

なお P6

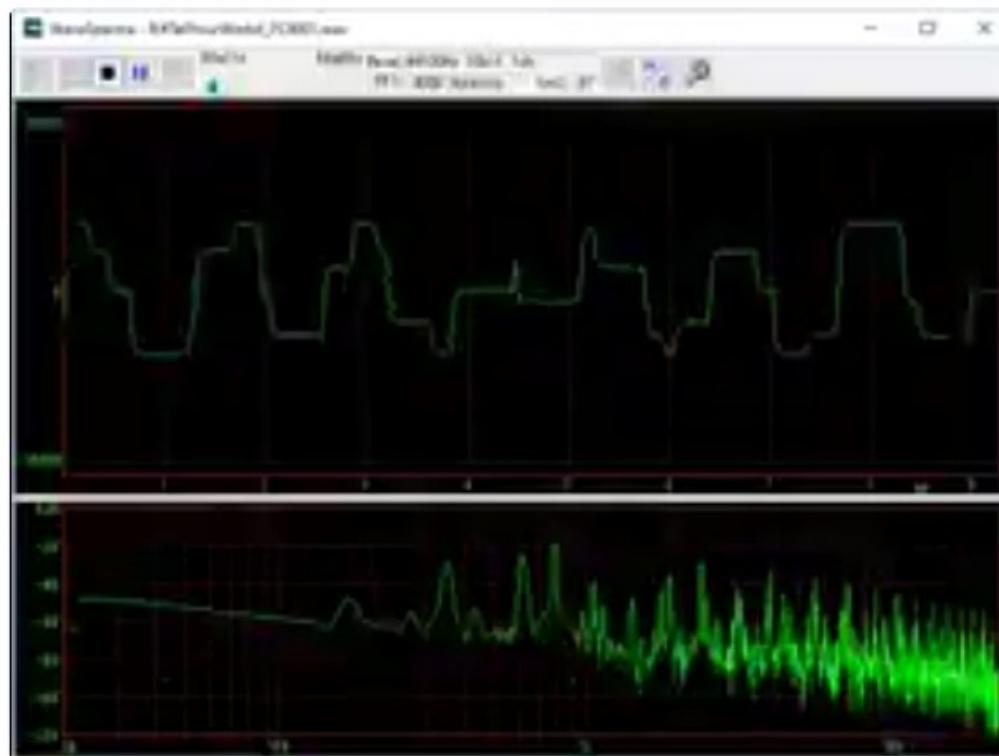


Izumi Tsutsui  
@tsutsuii

フォロー中



曲は違うけれど PC-6001 の PSG 音声出力波形。こちらは角がなまってるだけでちゃんと矩形波っぽい。



0:31 - 2016年12月5日

# 試行錯誤の末

# 犯人はお前だ！



Y.Sugahara @moveccr

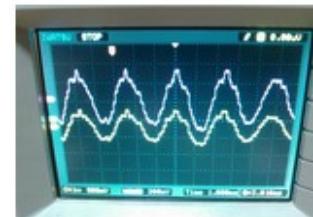
LUNA、本体スピーカ外したら信じられんぐらい波形きれいになった。

しかも静か！

アンプのドライブ能力足りてないんかな。

[pic.twitter.com/hQfWZVClqz](https://pic.twitter.com/hQfWZVClqz)

<< [—]



2018-01-19 21:11:47 Twitter Liteから

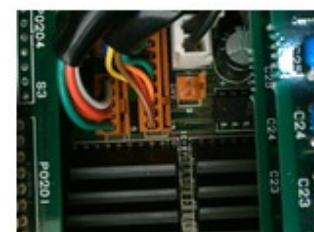
<https://twitter.com/moveccr/status/954325514881134593>



Y.Sugahara @moveccr

LUNAのスピーカコネクタCN9 [pic.twitter.com/51erE29qA5](https://pic.twitter.com/51erE29qA5)

<< [—]



2018-01-19 21:26:29 Twitter Liteから

<https://twitter.com/moveccr/status/954329211367337984>



Y.Sugahara @moveccr

サグ消える。オペアンプ周りの修理改造はめんどいので、本体スピーカ  
は無かったことにしよう。 [pic.twitter.com/n49qjNHTIA](https://pic.twitter.com/n49qjNHTIA)

<< [—]



2018-01-19 21:38:10 Twitter Liteから

<https://twitter.com/moveccr/status/954332152606343168>



Izumi Tsutsui @tsutsuji

<< [—]

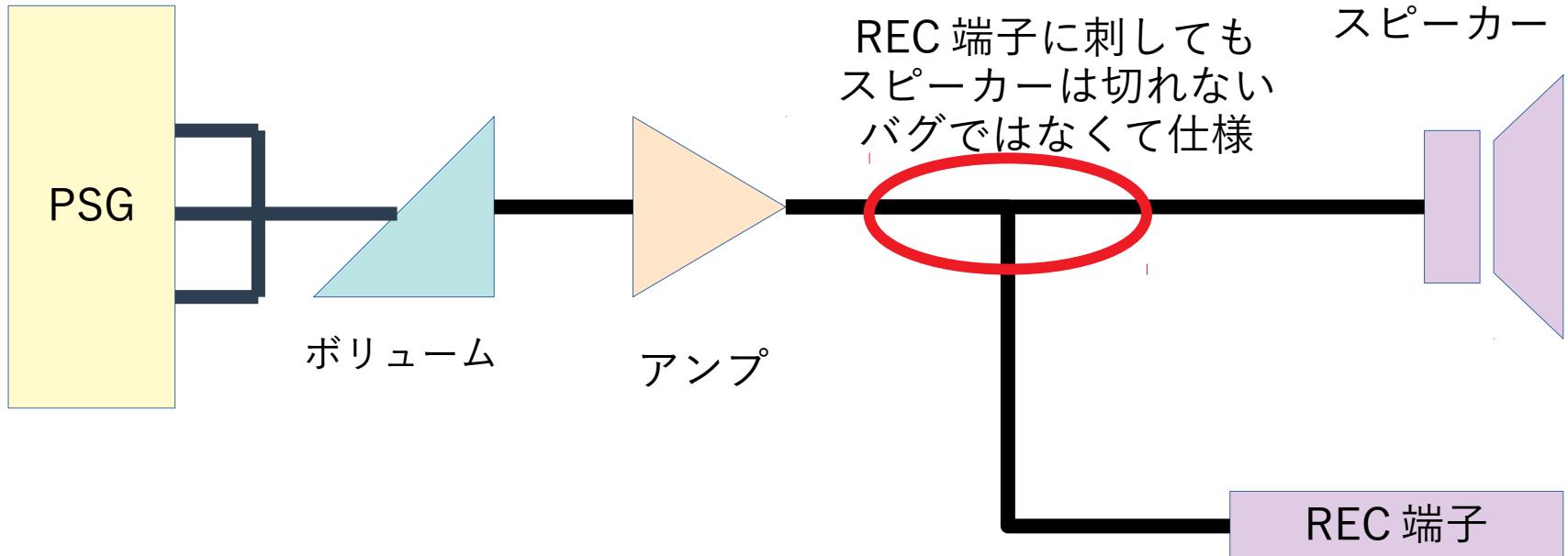
moveccr LUNA、本体スピーカ外したら信じられんぐらい波形きれいになった。しかも静か!  
アンプのドライブ能力足りてないんかな。 <https://t.co/hQfWZVClqz>

2018-01-19 21:11:47

@[moveccr](#) それは衝撃の事実……

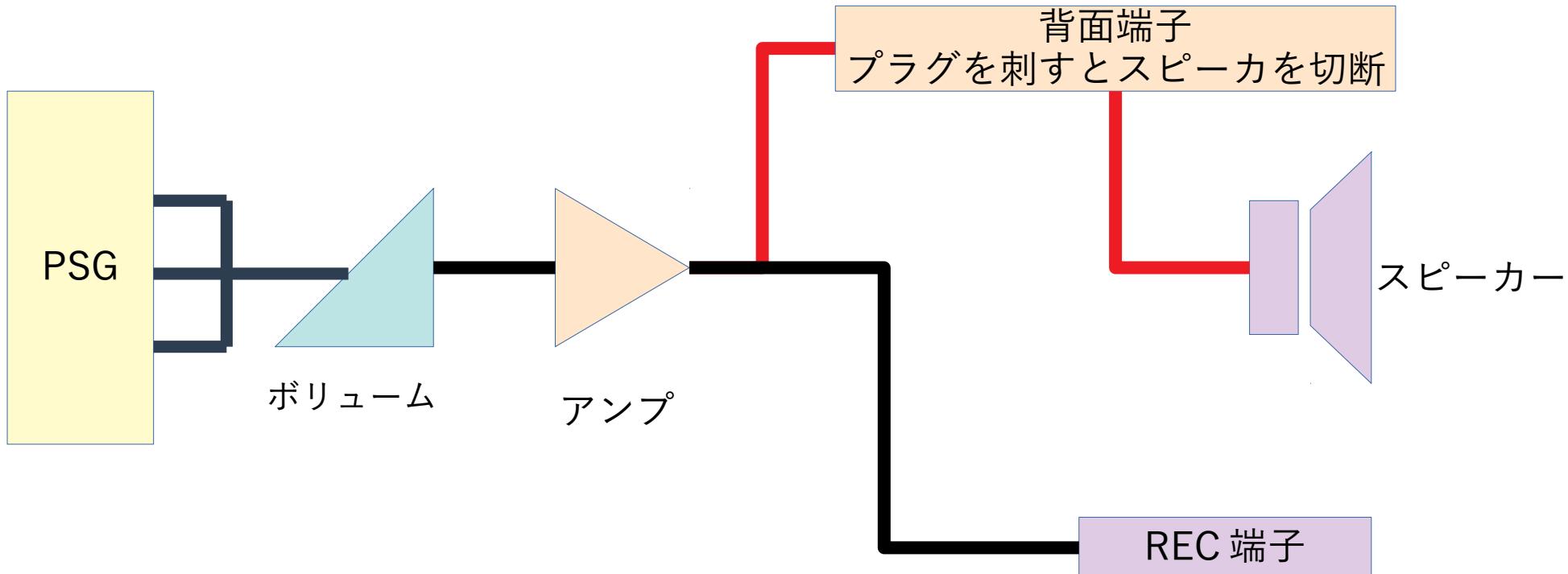
2018-01-19 22:23:10 mikutterから

# 推定される LUNA 音声出力回路



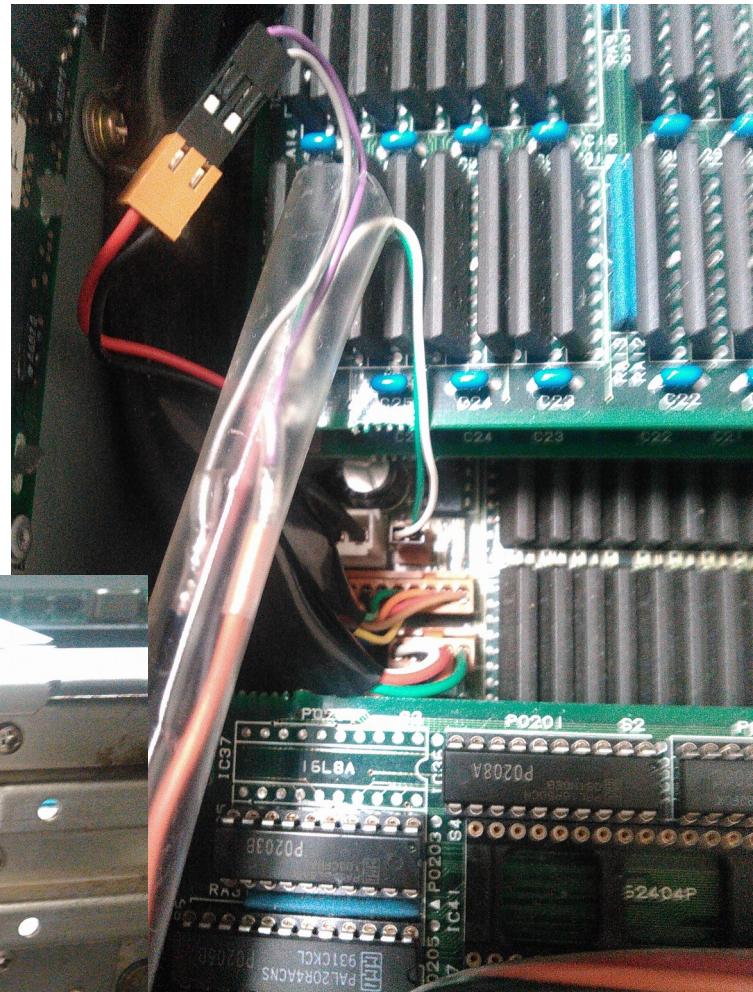
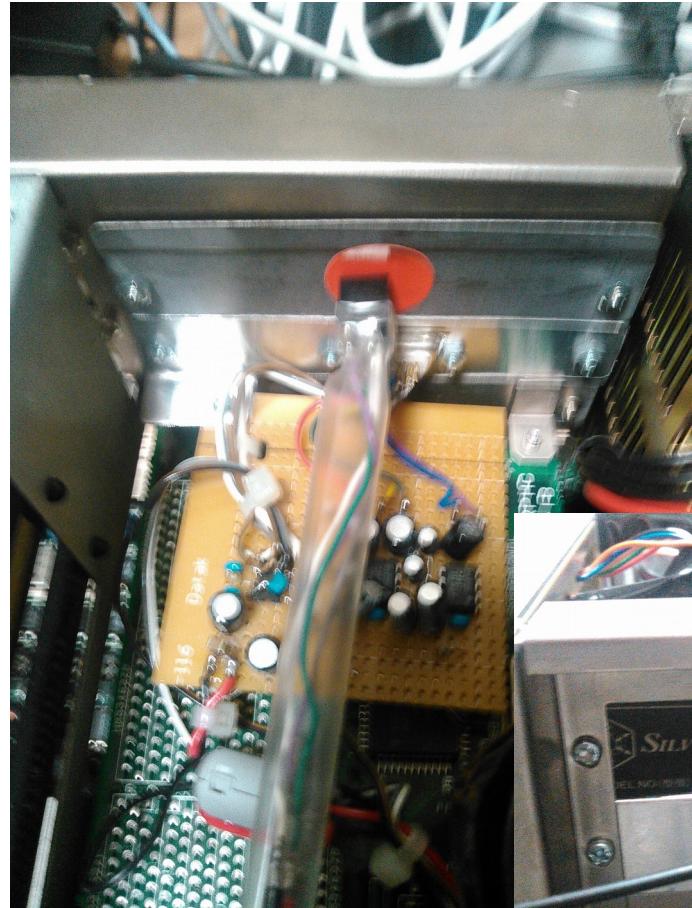
あまり実用性を考えられては  
いないようだ(´・ω・｀)

# ちょっとした改造



これで背面端子になにかつなげば  
本体スピーカを OFF できる

# こんなかんじ



スピーカーを  
外して  
一步前進した

次行ってみよう

# 音が割れる

# 筒井仮説



Izumi Tsutsui @tsutsuji

<< [—]

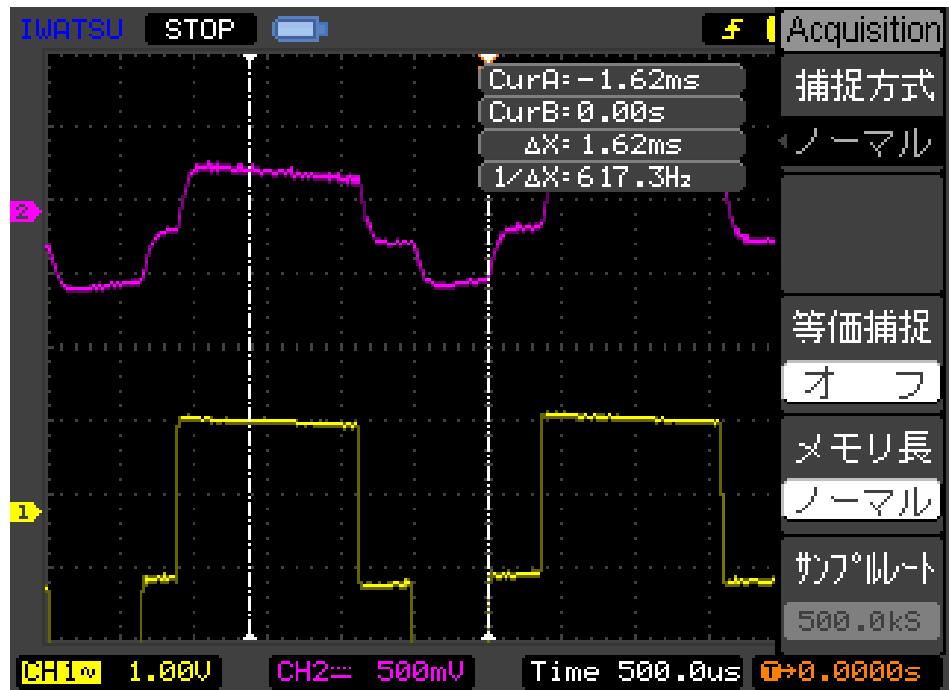
LUNAの PSG音出力が割れる問題メモ。 YM2149の出力レベルを考察・実測された方がいて、その出力電圧を見ると「3chともV12以上にすると音が割れる」のは「1chだけの出力でアンプの入力電圧を設計してしまった」という仮説

[d4.princess.ne.jp/msx/psg/](http://d4.princess.ne.jp/msx/psg/)

2016-11-29 01:21:33 mikutterから

# 観測してみよう

# PCM1ch



## PCM1ch

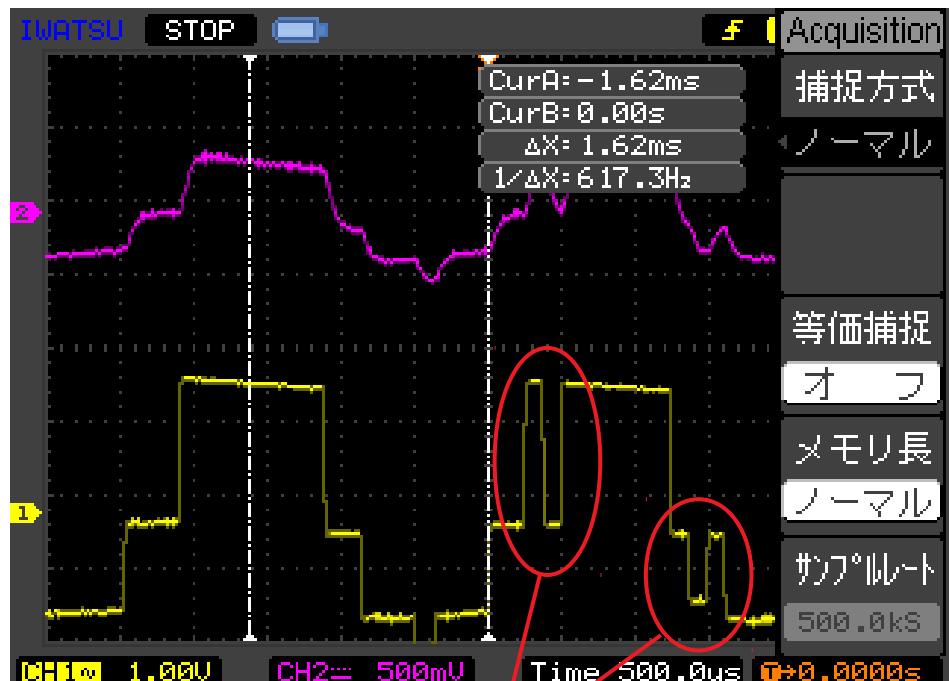
黄色（下）が REC 端子の波形

紫（上）は LPF をかけたもの

原信号はほぼ正弦波

レベル分解能は悪いけど形は正しい。

# PCM2ch



## PCM2ch

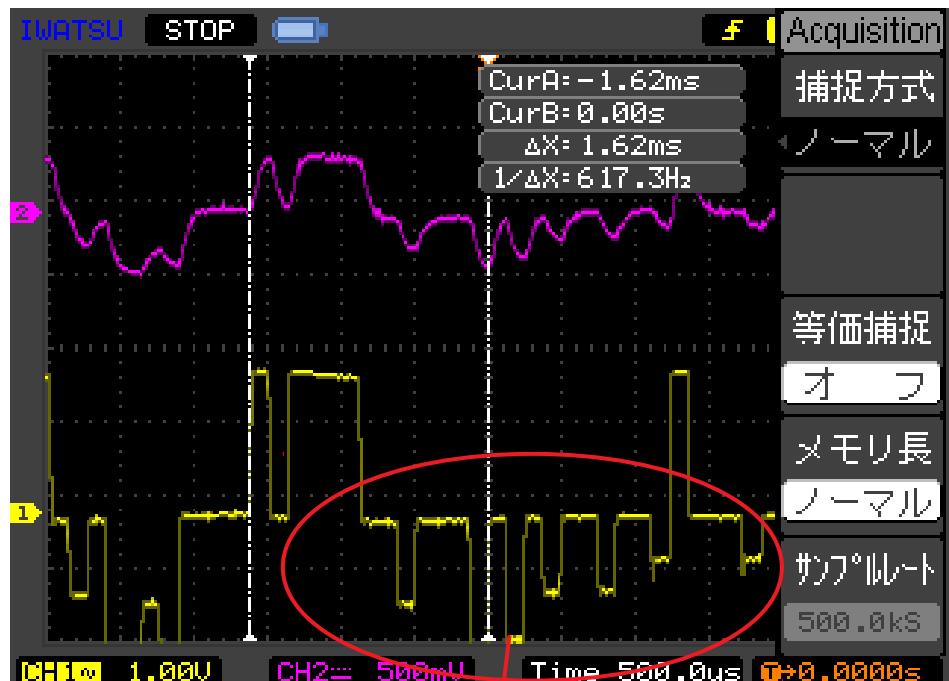
黄色（下）が REC 端子の波形

紫（上）は LPF をかけたもの

原信号はほぼ正弦波

レベル分解能が増えたが、ところどころおかしい

# PCM3ch



このへん、というか  
だいたいぜんぶおかしい

## PCM3ch

黄色（下）が REC 端子の波形

紫（上）は LPF をかけたもの

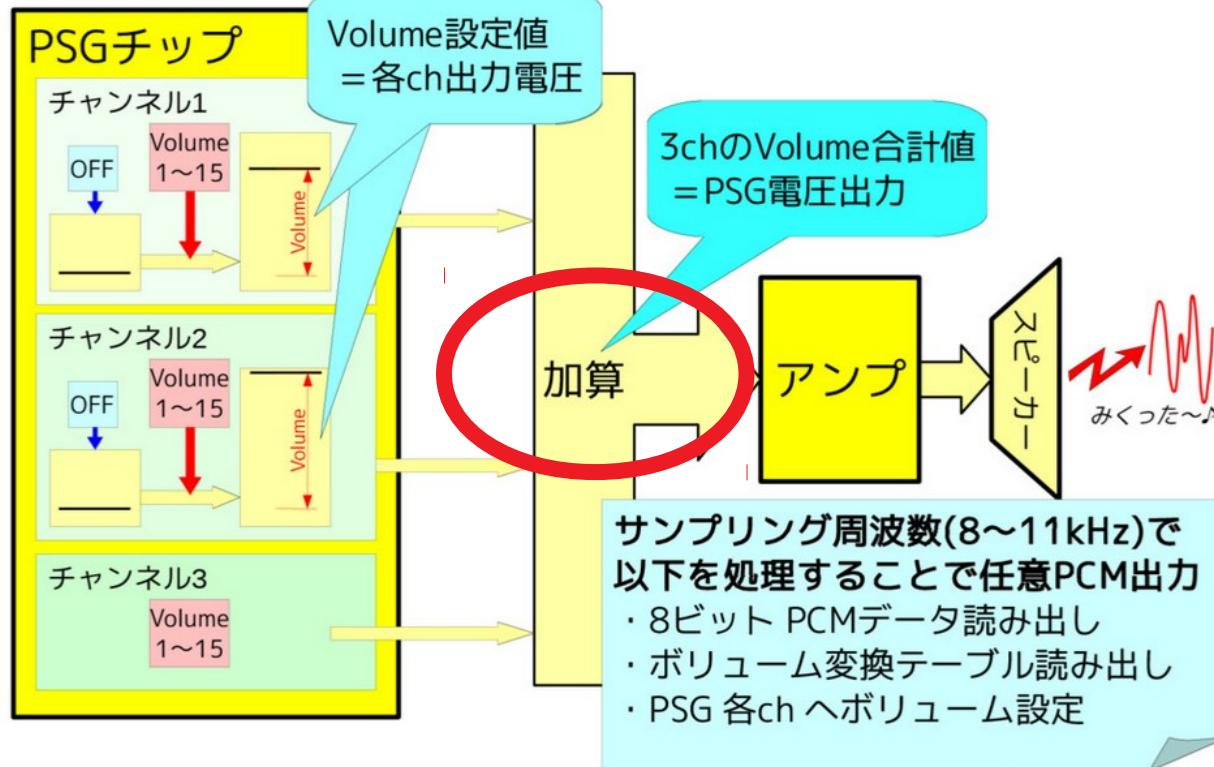
原信号はほぼ正弦波

レベル分解能が増えたはずだが、全部おかしい

なぜだ！

# PSGPM は

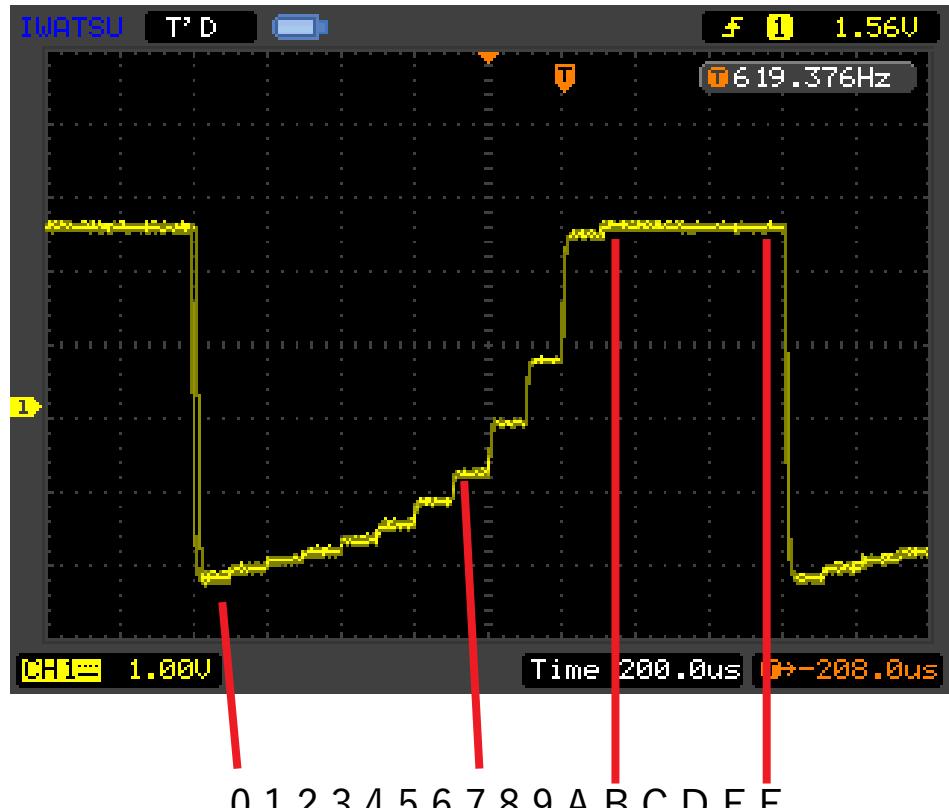
# PCM再生時のPSG出力



## 加算で合成される前提

正しく  
加算されて  
いないのでは？

PSG から 1ch で出力すると、レジスタの値 11 でもう出力が飽和している。



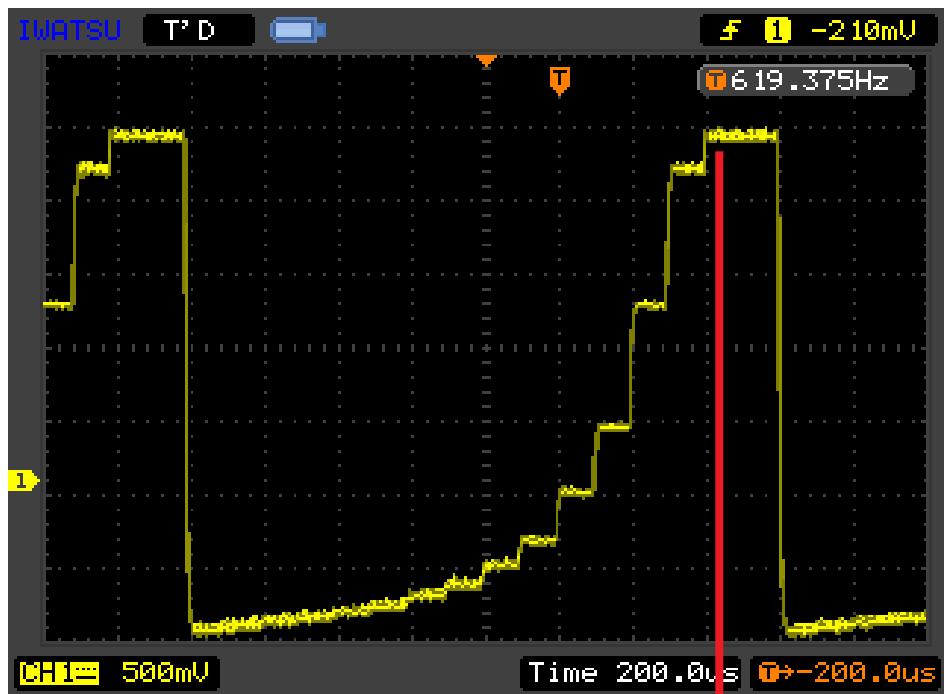
PSG ボリュームレジスタの値 (16進)

$$1\ 1 + 1\ 1 = 1\ 1$$

これが LUNA の答え

本体の  
ボリュームつまりを  
ほんの少しいじると

飽和する値は  
変化します



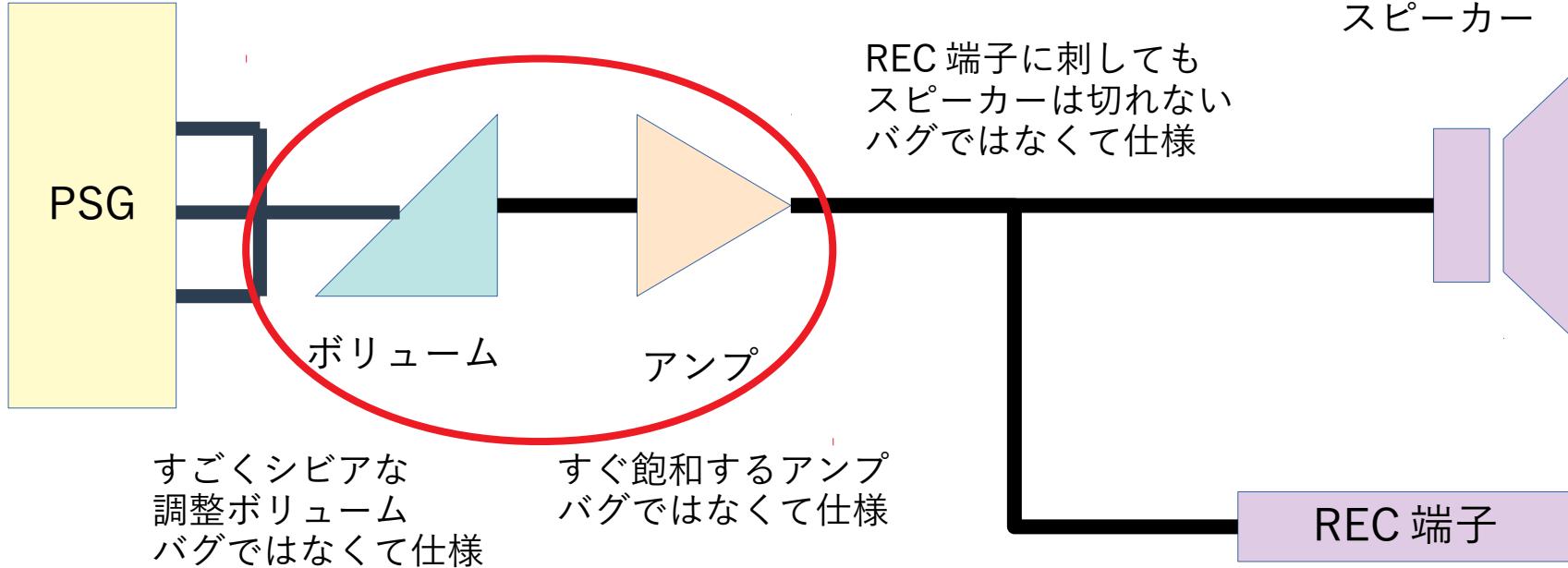
PSG ボリュームレジスタ値 14 で飽和

$$1\ 1 + 1\ 1 = 1\ 1$$

これが LUNA の答え

いくつになるか  
わかりません

# 推定される LUNA 音声出力回路



音に関してはなにも考えられて  
いないようだ(‘・ω・’)

LUNA-II で  
廃止される  
わけだよ

LUNA で  
高音質な  
PSGPCM を  
作るのは  
ほぼ不可能・・・

LUNA には  
PCM は  
無理なのが . . .

P6 を超えることは  
できないのか . . .



# 先人の精神

# s44play.x

# s44play.x

1999 年 (19 年前)

kamada さん、 X680x0 で動作する  
s44play.x 発表

<http://stdkmd.com/kohx3/>

- FM 音源 (YM2151 OPM)
- ステレオ PCM 再生
- モノラル 52.632kHz
- ステレオ 26.316kHz(68060)

「S44PLAY.X は、X680x0 用の  
プログラムの中で最も FM 音源  
を酷使するプログラムの 1 つと  
言えると思います。  
何しろ、FM 音源 LSI  
(YM2151) をこれ以上速く制御  
できないという速度で長時間ア  
クセスし続けるのですから。」

OPM にできて  
PSG にできない  
なんてことは  
ないだろう

PCM 攻略法は  
まだある

加算がダメなら  
加算を使わなければ  
いいじゃない

# PAM

# PAM!

## PAM : パルス振幅変調 (Pulse Amplitude Modulation)

### PAM

パルスの幅(デューティ比)は一定で、パルスの振幅を変化させる。

代表的なものはエアコンなどの圧縮機の制御。

PAMで音声出力する必要がある人なんかいない。いなかつた。

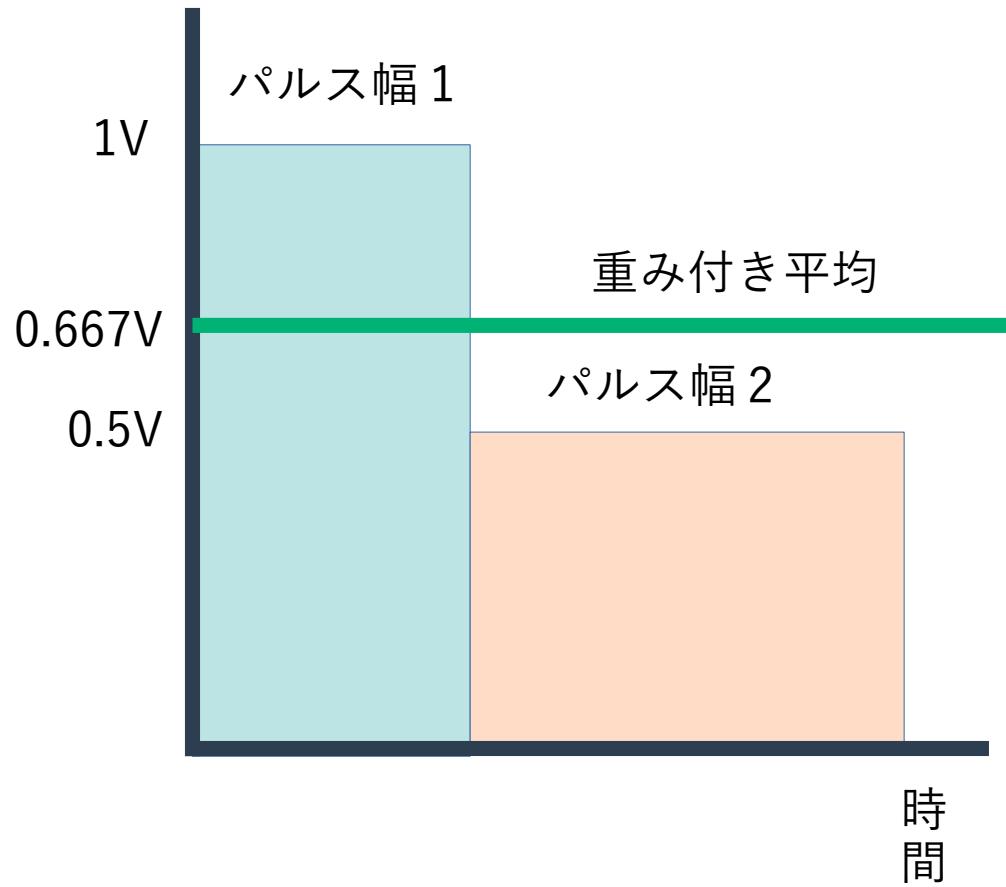
# PAM の原理

左図のような波形の場合  
LPFを通過すると、

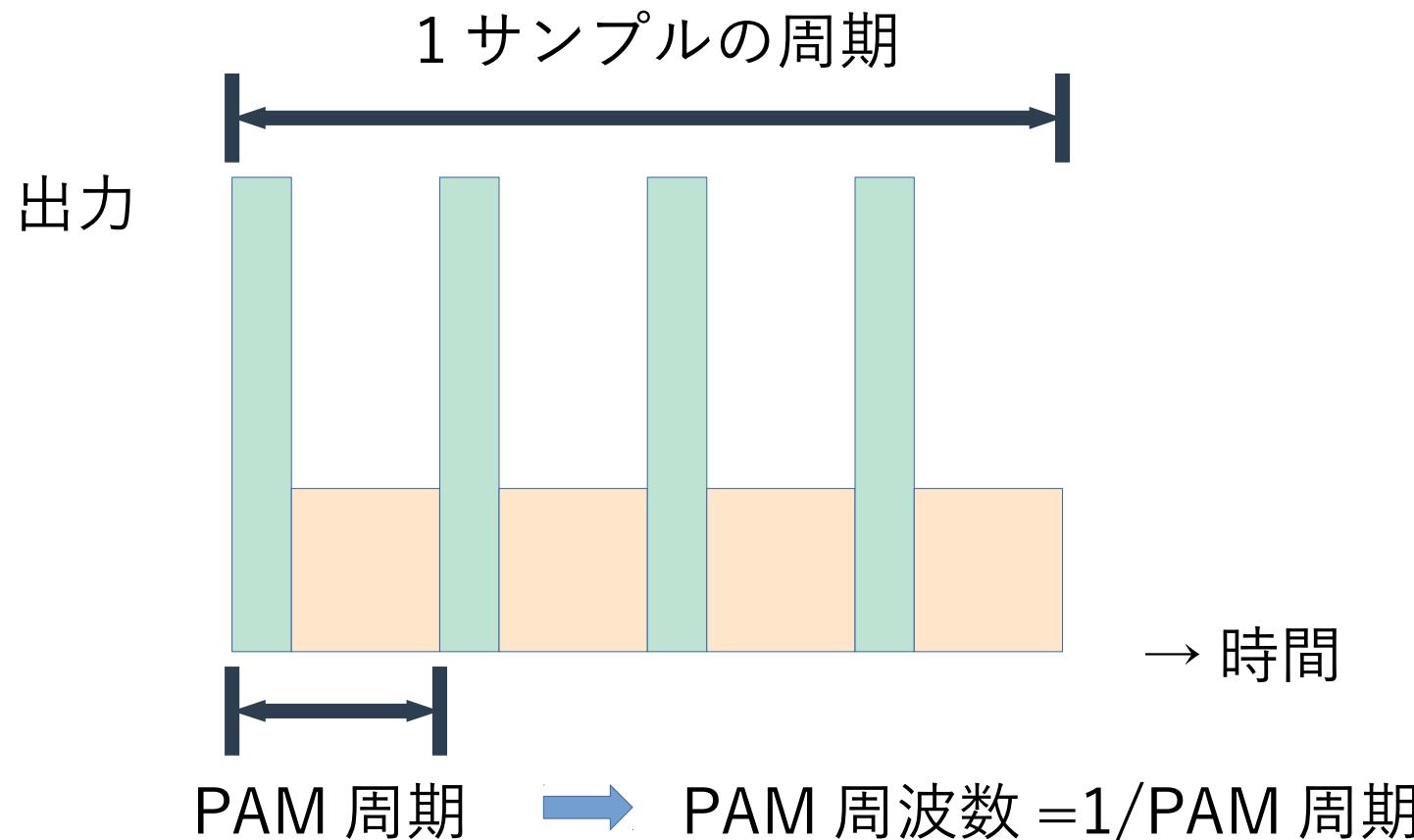
$$\begin{aligned} & (\text{幅1} * 1V + \text{幅2} * 0.5V) \\ & / (\text{幅}(1+2)) \\ & = 0.667V \end{aligned}$$

の平均電圧が得られる。

再現したい波形よりも十分に高い周波数でこれをやればよい。

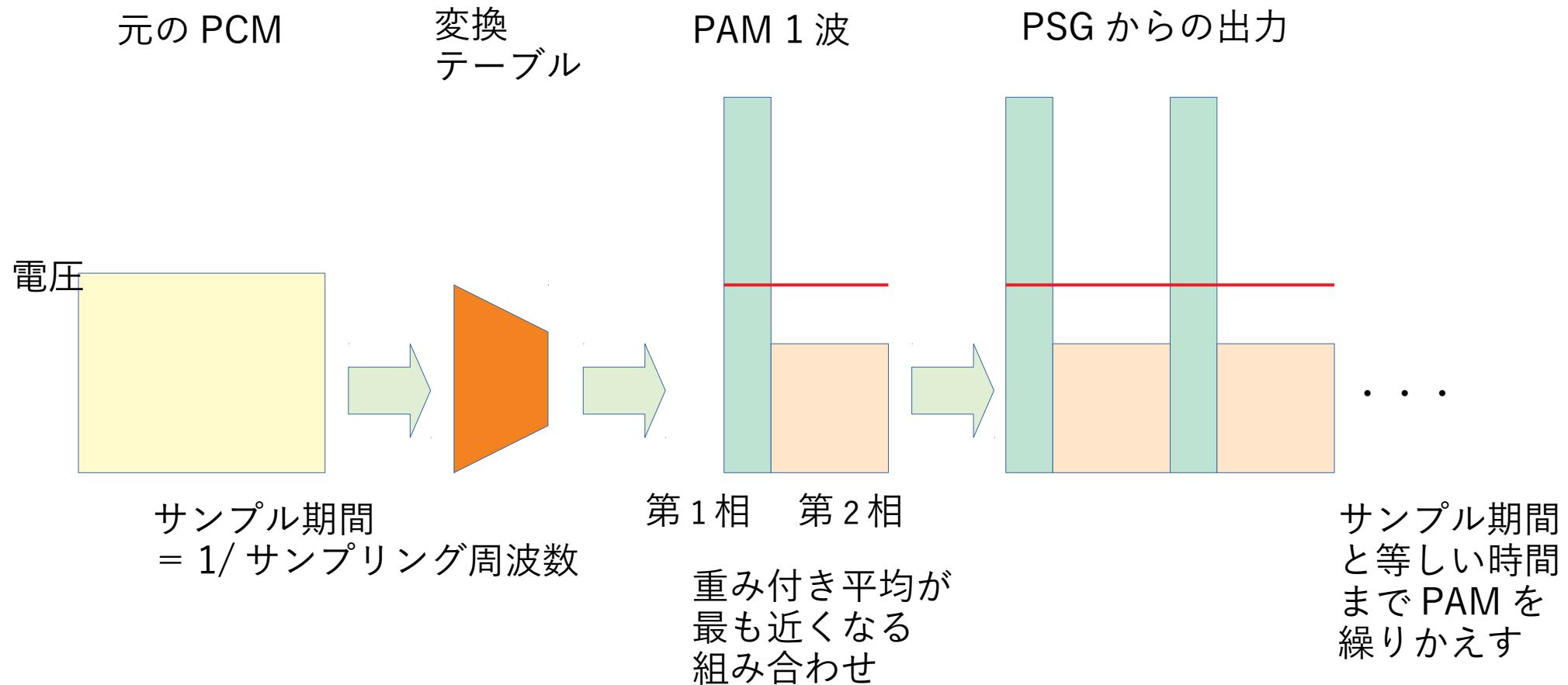


# PAM の制約



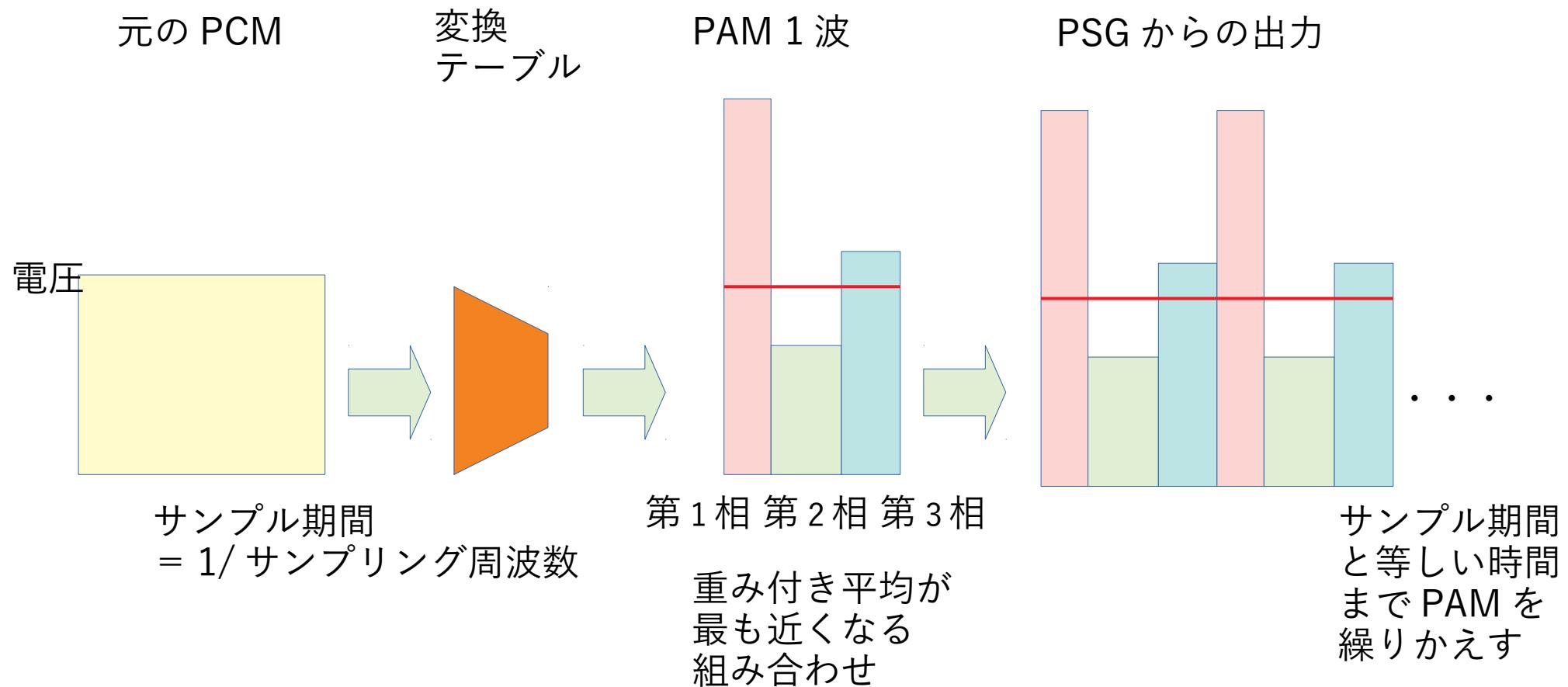
PAM周波数を、可聴域( $\sim 20\text{kHz}$ ) $\times 2 = 40\text{kHz}$ より  
十分高くしないとノイズが聞こえてしまう

# 今回のしくみ 2相 PAM



あとはどれだけ速く出力できるか

# 今回のしくみ 3相 PAM



3相のほうが中間表現が増えるが  
PAM周波数が下がる

これで  
いけるんじやね？

ついでに  
もうひとつ

ダイナミック  
オフセット

# PSG のボリューム出力は「非線形」

## ■ Wikipedia より

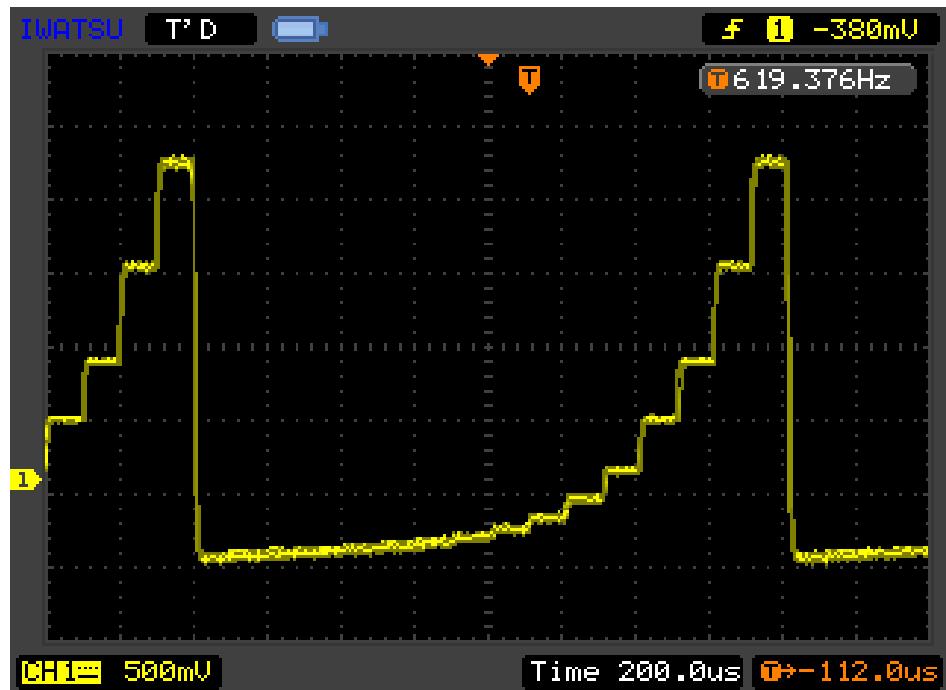
ただし、ボリューム調節機能を使ってい  
るため、DACとしては指数関数的な非線  
形量子化となることから、再生音声の品  
質は悪く、「無線による交信を演出す  
る」といった演出など、用途は限定され  
ていた。

[https://ja.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_Sound\\_Generator](https://ja.wikipedia.org/wiki/Programmable_Sound_Generator)

## ■ Wikipedia より（つづき）

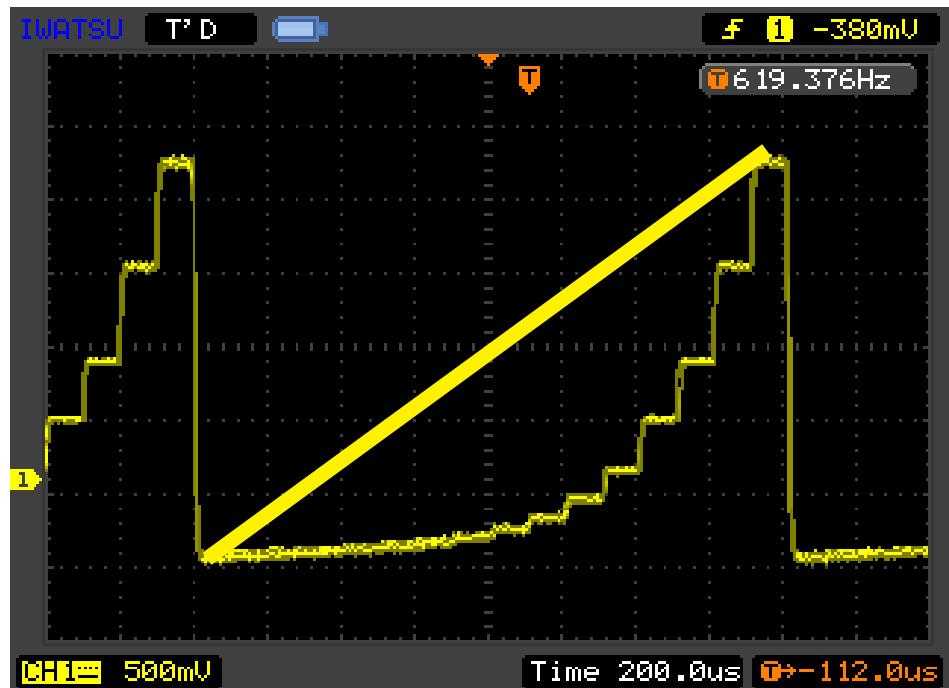
現在では、上記の方法に加え、**出力特性に合わせて再生するデータを変換することで**、よりよい出力にする技法も開発され、S/N比が比較的高い再生を可能にしているソフトウェアも存在している。

## 指数関数的とは



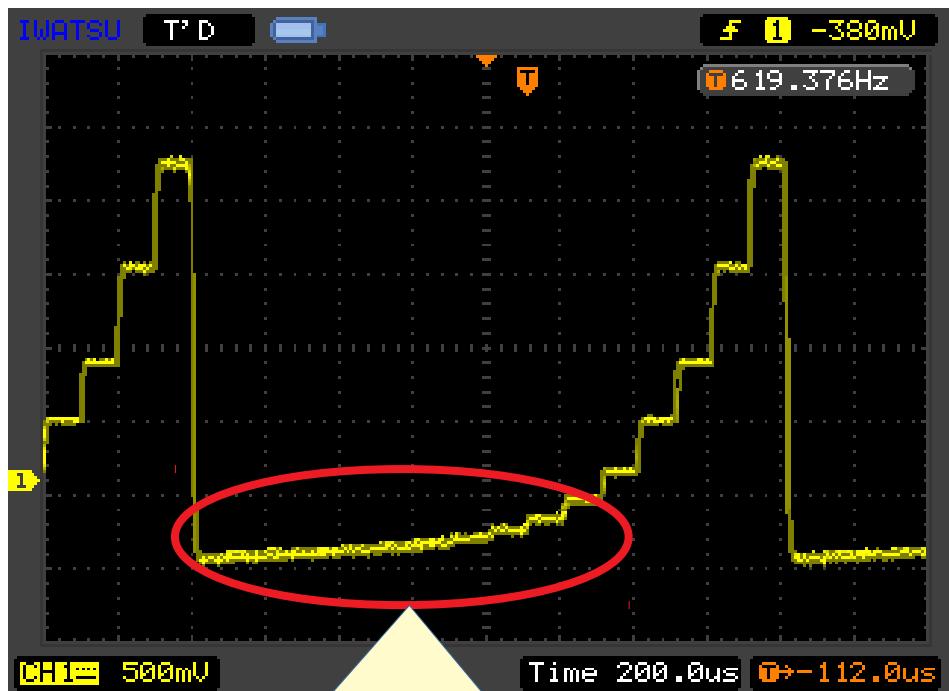
ボリュームレジスタの値が 2 増えると、  
出力電圧が 2 倍になる、という PSG の仕様

PCM 再生に使う場合の理想はこんなふうな一次線形出力



PSG が一次線形だったらなあ・・・

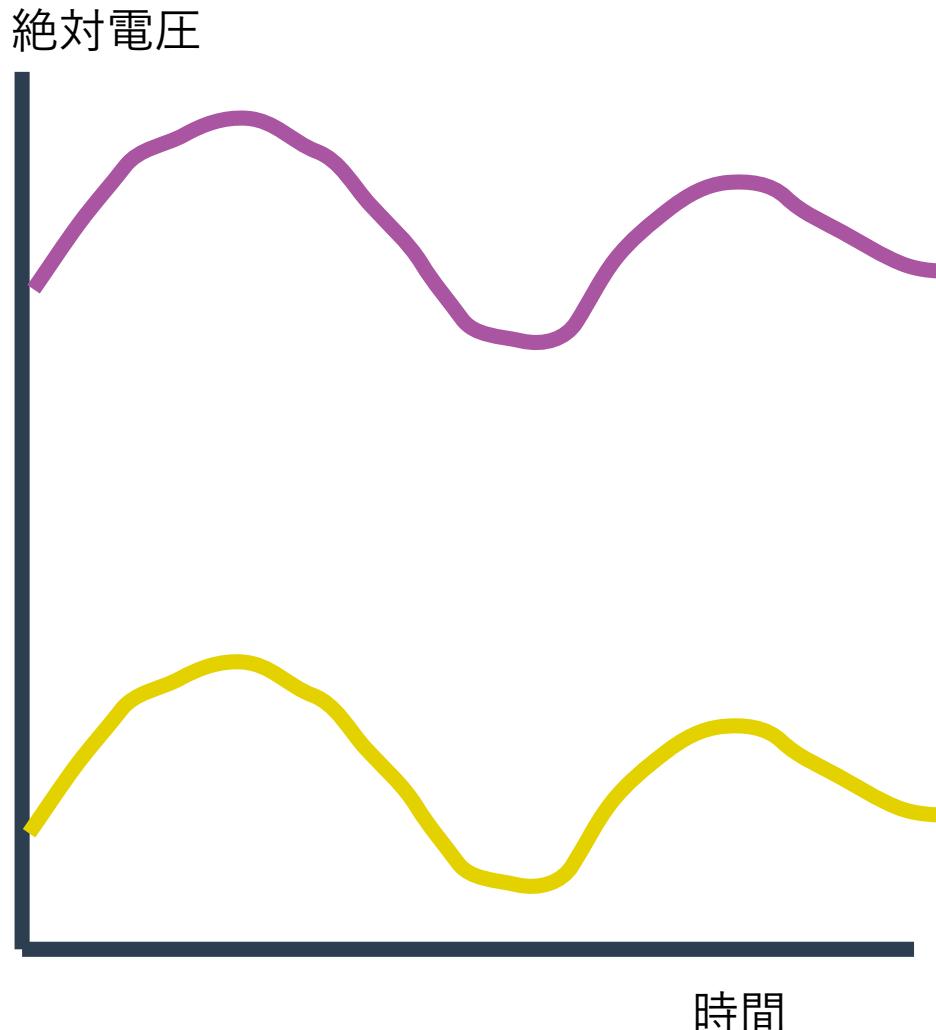
# 通常の PSGPCM



この辺だけ使う

しようがないので  
ステップが細かい  
ところだけを使って再生  
=ダイナミックレンジが小さかった

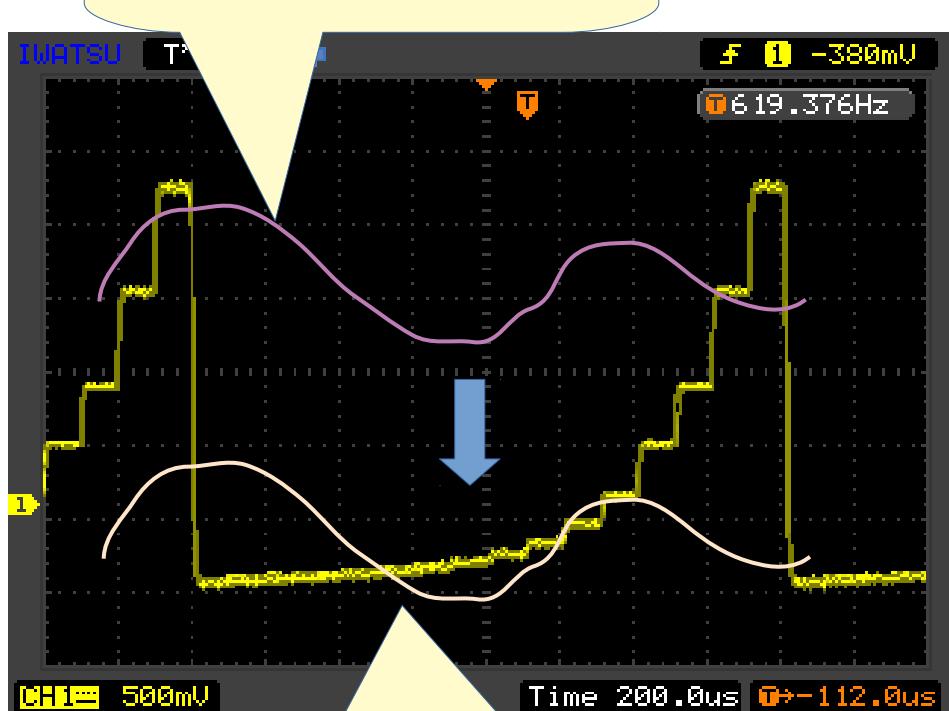
# 音声信号は交流



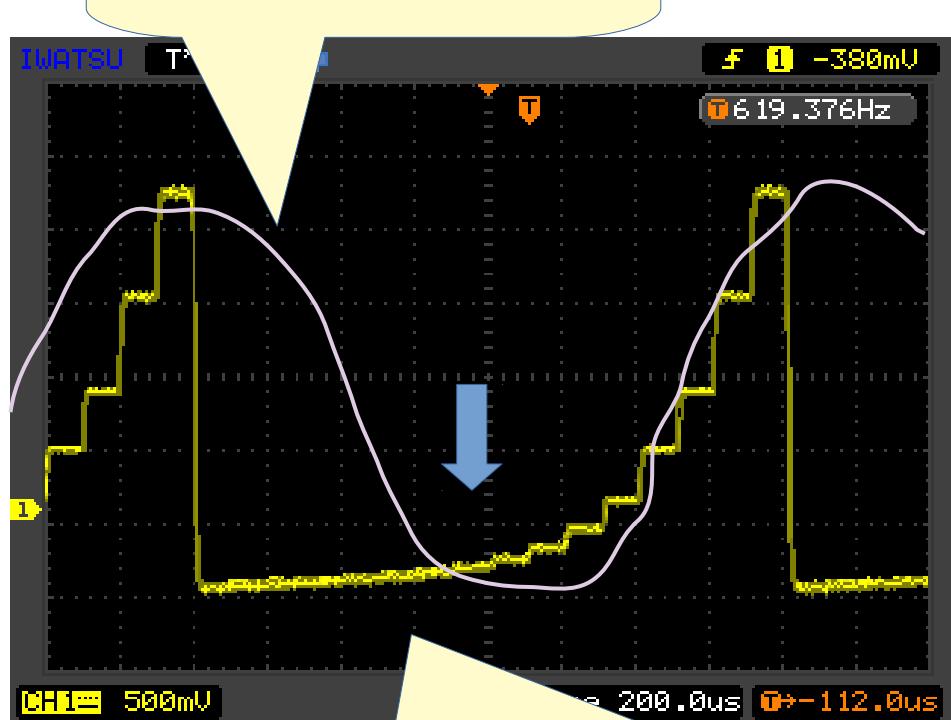
絶対電圧が高い位置の信号と、低い位置の信号とでも、形が同じなら音は同じように聞こえる。

そこで

入力の値が、絶対値が大きくても振幅が小さいときは、オフセットを引いて分解能が高いところを使う = 高 S/N



入力の値が、振幅  
が大きいときは全  
域を使用する  
= 広いダイナミッ  
クレンジ



全体を使用

これを  
可聴域外の  
10Hzで行う

特に  
元の波形の  
音が小さいとき  
絶大な威力

# 実装してみた

# Kenji Aoyama さんに XP -> LUNA 割り込み通知方法を教わる



Kenji Aoyama @ao\_kenji

<< [-]

moveccr @ao\_kenji 突然ですみません、NetBSD/luna68k で /dev/audio を PSGPCM に接続しようとしているのですが、xptty の XP 側のコードを公開していただくことはできませんでしょうか？XP側から割り込みを上げる方法が知りたいのです。

2017-12-15 10:59:28

@moveccr はじめまして。/dev/audioからPSGPCM、面白そうですね。

XP側のコードは私家版CP/Mに追加していたのですが、CP/M本体部分の再配布は許可されていないようなので、BIOS部分のみgistに上げました。「動いた、わーい」レベルですが参考になれば幸いです。

[gist.github.com/ao-kenji/4f1e2...](https://gist.github.com/ao-kenji/4f1e2...)

2017-12-15 22:38:30 Twitter Web Clientから

Z 180 アセンブラーで  
がしがし実装

# PSG をこれより速く駆動できない

コードの一部

...

LD C,PSG\_DAT

...

OUT (C),E ;10+2clk

OUT (C),D ;10+2clk

...

本来 LUNA の I/O ウェイトは 3wait  
ところが、YM2149 のライト期間は  
300ns < 2 ウェイト

**PSGPAM** するときだけ 2wait に設定

最大で  
1相あたり 512kHz  
1.95  $\mu$  秒で  
PSG ボリュームを  
変化

出来たものがこちら

# ピーク性能

サンプリング周波数  
45.176kHz

レベル分解能  
1091 レベル  
(10.091bit 相当 )

ファームウェアが  
できたら

# ようやく NetBSD の話

# NetBSD AUDIO2 サブシステム

OSC広島2017で発表された、井崎さん  
作の **audio2** サブシステム  
老ハードにやさしい、っていうかそのた  
めに開発

<http://www.pastel-flower.jp/~isaki/NetBSD/osc17hi/>

1日あればこんな変態ハードウェアでも  
組み込めて、30kHzのサンプリング周波  
数で再生しても平気です

## まとめ

- PSG演奏は今でも感動できます  
ついつい自分で作った曲を聞いてしまう罠
- サブCPUとしてのZ80の可能性  
今のホスト OS構成では PSG制御は結構大変
- PCM再生の先人の知恵を見習いたい
- 今回も「動いたわーい」でした！

確かに大変

デバイス構成を  
考えてみた

# NetBSD/luna68k xpbus デバイス

**xpbus**

|- **xp**

|- **psgpam**

|- ... for future

XP プロセッサとその周辺デバイスを  
**xpbus** として、従来の **/dev/xp** と  
**psgpam** デバイスをその下に接続

- ・ 排他制御とファームウェア読み込み

将来サポートする  
デバイスが増えても  
これで安心(?)

実は

# XPLX

XPLX は XP プロセッサで動作するファームウェア

TIMECOUNTER(1200Hz)

PSGPAM

PSGPCM

PSGSPK

ファームウェア側は実装済み（テストしたとは言っていない）

PSG

LPR

FDC

SIO0

SIO1

のスタブを用意

TIMECOUNTER と PSGPAM の共存が今のところできないのが玉に瑕

# 最終成果

```
$ audioplay luna.wav
```

LUNA誕生から29年、  
LUNAで  
高音質（当社比）  
PCMオーディオを  
再生できるようになりました

# LUNA PSG最強説

- ロード
  - ホストOSの共有メモリで一瞬
- ストレージ
  - ホストOSのHDDで実質無尽蔵
- PSGデータ・PCMデータ
  - Ethernet経由で何でも取得可能

筒井さんの提唱した  
「LUNA PSG 最強説」が  
正しいことを  
実証できました

おしまい

# 参考文献

筒井さんの成果が無ければ、なにも始まりません

LUNA x PC-6001 Dual PSG Demo /  
OSC2017Kyoto

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2017kyoto>

OSC2016 Hiroshima PSG tunes on NetBSD  
luna68k again

<https://speakerdeck.com/tsutsui/osc2016-hiroshima-psg-tunes-on-netbsd-luna68k-again>

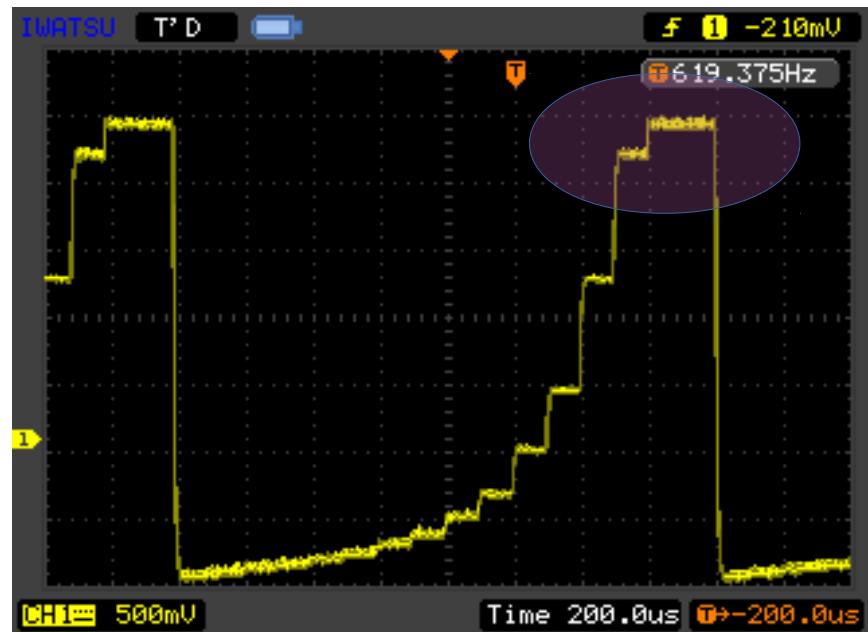
# LUNA PSG OPERATORS MANUAL

# LUNAでPCMを聞く前に

どこのご家庭にもあるオシロスコープを用意します。

```
$ testplay -e PCM1 -t 1
```

オシロスコープの表示を調整して、波形を見てレベル13が14と分離され、飽和からは少し離れるようにボリュームを調整します。



簡単ですね（白目

# 故障かな？と思ったら

- ・本当に故障かもしれません。
- ・ボリューム調整をし直してください。
- ・エンコード方式と周波数を見直してください。  
再生サンプリング周波数が高すぎると、うまく再生できません。
- ・入力ファイルのチャンネル数を 1 にし、デバイス再生サンプリング周波数と、ファイルのサンプリング周波数をそろえると、ホスト負荷を下げるることができます。
- ・再生中は、触らないでください。

# 保証のご案内

無保証です

う・ん・ち・く

# PSGPCM の 3 つの壁

Z80 + PSG PCM システムに立ちはだかる 3 つの壁

9.3bit の壁

12kHz の壁

64kiB の壁

# 9.3bit の壁

- ・ PSG の 3ch 合成では、バイナリでは 12bit あるけれど、出力が同じ電圧になるものがあるため、飽和しない加算だったとしても有効組み合わせは 629 通り。
- ・  $\log_2(629) = 9.3$
- ・ 10bit を達成した人はまだ誰もいない（当社調べ）  
通常、3ch は均等合成なので、出力合成を改造しない限り不可能
- ・ LUNA では加算が上界をもつので、有効なのは 100 通りぐらいしかない。  
アンプの飽和により使えないレベルもある。

# 9.3bit の壁を超える 3相 PAM

- PAM なら
  - 加算合成ではないので、加算制約がない
  - 相数を増やせば理論上限はない  
(PAM 周波数が下がるため可聴性の制約はある)
  - 3相 4:5:8 PAM で最大 1091 レベルを実装  
10.091 bit を達成

PAM 周波数を下げて互いに素にすればもっとレベル数を増やせるが、PAM 周波数を下げるほうが聴感が悪化したため、この比を採用した。もしかしたらもっとよい組み合わせがあるかもしれない。今後に期待。

- 実装上はレジスタが 6 本しか使えず、遷移で 2 サンプル分保持しないといけないので 3 相が限界。Z80 系でない CPU でドライブすれば違う世界もあるだろう。

# 12kHz の壁

- 12kHz の壁
  - タイマ割り込みをふつうは使う
  - Z80系は割り込みアクノリッジと RETI が遅すぎ  
HD647180のRETIは22クロックもかかる
  - Z80 ベースだと 12kHzあたりで 3ch PCM は限界
  - チャンネルを切り替えるための時間が無視できなくなる

タイマーを使わない選択

- それでも 23kHz を達成した人はまだ誰もいない  
(当社調べ)

MSXで22kHzをやったひとがいる模様

# 高サンプリング周波数なら PAM

- PAM なら
  - 原理的に割り込み禁止でクロック数えるしかない
  - **64(7)180** はやーい（当社比）  
命令当たりクロック数が Z80 からだいぶ改善してある
  - 出力チャンネルは固定なのでチャンネル切り替え時間がない
  - S/N とか転送量無視すればサンプリング周波数 **96kHz** も可能
    - ホスト側も **s44play.x** ばりに書けば、の話
  - **20~30kHz** ぐらいなら普通に動く
    - これ以上はもうホスト側処理がボトルネック  
特に **LUNA** は DMA がいないので、HDD がソフト転送。つらい

3相 **1:1:1 PAM** でサンプリング周波数 **45.176kHz** を実装してある  
なお当然ホストからの転送は間に合わない

# 64kiB の壁

- 64kiB の壁
  - Z80 の論理アドレスバス **16bit**
  - プログラムとか引いて 56kB 使えたとして、  
**20kHz 8bit** なら **2.8 秒**
    - これでは実用性がない
  - 分オーダを達成した人はまだ誰もいない（当社調べ）  
MSX のメモリマッパーでフル実装 4MB 積んだとしても約 200 秒  
シングルプロセッサシステムだとディスク読み込みとか論外

# LUNA なら余裕の長時間再生

- LUNA なら
  - 大容量 **16MB+64KB+32KB+512B + HDD**
  - ホスト側からダブルバッファに流し込めば  
何時間でもへーきへーき
  - PSG が焼ききれないかだけが心配
  - audio2 では **40ms** バッファ  
別の理由で **200ms** で展示中
  - MC68030 という名の高性能 DMA
  - 中身は、どちらも、ソフトウェア DMA

理論上限：30kHz 16bit mono PCM で SCSI のアドレッシング上限 12TB のディスクを 6 台積めば 2545 日（約 7 年）

# LUNA だからできる PSGPAM

- LUNA だからできる PSGPAM
  - SRAM 共有メモリ
    - DRAM リフレッシュサイクルが入らない
    - DRAM で構成しようとすると
      - 共有メモリだから、XP のリフレッシュ機能は使えない  
(XP は停止しているかもしれない)
      - 非同期リフレッシュするしかない
      - XP から見ると不定期にウェイトが入る
    - 通常の Z80 システムでは PAM できない
  - ウェイトサイクルが共有メモリアクセス命令あたり 3 で安定
    - 1 バイトでも 2 バイトでも、1 命令あたり 3 ウェイト
  - 647180 の高速性と内蔵 512B ノーウェイトメモリ
    - MMU でアドレス変換しないとウェイトが入る  
アドレスバスにアドレスがでちゃってる？
  - サブ CPU だからほかのことをしなくていい
    - 割り込み禁止
      - XP-TIMECOUNTER と共に存が難しいよ

# PAM 方式の限界

- ・サンプリングレートを上げれば S/N が向上するわけじゃない
- ・PAM だからこそノイズ原
  - ・サンプル間ノイズ
    - ・サンプリング周波数の  $1/n$  に分布
    - ・サンプルホールドがない
      - ・サンプル間の遷移周波数を上げる
  - ・PSG の再現性に起因するノイズ
    - ・PAM 周波数の  $1/n$  に分布
    - ・振幅が大きい
      - ・ダイナミックオフセット
      - ・ダイナミックオフセットは PCM でも効果大
  - ・過渡特性に起因するノイズ
  - ・高周波ノイズ

# LUNA のノイズ

- ・ LUNA、それ自体がノイズ原
  - ・ まさかこんな使い方をされるとは思ってなかつたでしょ
  - ・ 動作音が聞こえる
    - ・ PSGは筐体の一番奥、オーディオラインはデジタル回路の合間を縫つて一番手前へ
      - ・ オーディオに対するノイズ対策はほとんどない模様
  - ・ 60Hz でパルスノイズ  
電源かな？
  - ・ 共有メモリが LAN とも共有なので LAN アクセスするとふらつきます
  - ・ 本体スピーカは外しましょう
    - ・ REC 端子は電気的にも物理的にも設計ミスとしか思えない
    - ・ 本体スピーカを外すのは必須。共用したかったので小改造しました
  - ・ どうしてアンプすぐ飽和してしまうん？
    - ・ 1ch の出力しか考慮していない
    - ・ ボリュームの抵抗値は本当に計算したのかなあ
  - ・ LPF ユニットとスピーカはできるだけ本体から離しましょう

# LUNA PSGPAM spec

4タイプのPAMを実装

- 2相1:2PAM (PAM2A)

PAM変調周波数 **170.667kHz (12,24 clocks)**

最高サンプリング周波数 **30.117kHz**

**8bit テーブル、100 レベル**

- 2相1:1PAM (PAM2B)

PAM変調周波数 **176, 171, 137, 171 kHz** の繰り返し、および **256kHz**

最高サンプリング周波数 **40.421kHz**

**8bit テーブル、84 レベル**

- 3相 4:5:8PAM (PAM3A)

PAM変調周波数 **120.471kHz**

最高サンプリング周波数 **20.617kHz**

**11bit テーブル、1091 レベル**

- 3相 1:1:1PAM (PAM3B)

PAM変調周波数 **93, 88 kHz** の繰り返し、および **170.67kHz**

最高サンプリング周波数 **45.176kHz**

**9bit テーブル、307 レベル**

## 二種類の PAM

**PAM2A,3A** と **PAM2B,3B** の違い

A系列は、サンプル期間中 **PAM** の周波数が一定になるようにつくられている。

B系列は、サンプリング周波数をできるだけ高くするようにつくられており、**PAM**周波数はサンプル期間中で異なる値をとる。

どっちがよいかはおいおい決めていきたいが  
開発中は選択肢が必要

# (よく似た名前の) PWM (Pulse Width Modulation: パルス幅変調)

パルスの振幅は一定で、パルスの幅（デューティ比）を変化させる。現代のマイコンで音声出力したりモータ制御したりするときによく使われる。

# 夏休み電話相談室

質問：どうしてレベル数より過大なテーブルサイズなの？100レベルなら7ビットでいいんじゃないの？

お答え：

PSGの出力が非線形なので、それを合成した結果も非線形になります。

このため、ある出力レベルは、大きさの異なる入力範囲を受け持つことになります。

この「入力範囲」という情報を保持するためには、レベルのほぼ2倍のテーブルサイズがのぞましいといえます。

# 夏休み電話相談室

質問：PWMが一般的ならどうしてPWMを使わないの？

お答え：

8bit PCM to PWM でサンプリング周波数8kHzを出すには、  
 $8k \times 256 = 2048\text{kHz} = 0.488\mu\text{秒}$ で出力をON-OFF出来なければなりません。

この時間は、XPプロセッサのクロックに換算すると、わずか3クロックサイクルに相当します。

なお OUT 命令は、命令実行に10クロックサイクルかかり、それにI/Oウェイトが追加されます。

というわけで「PWMはLUNAじゃどうやっても無理」なのです。