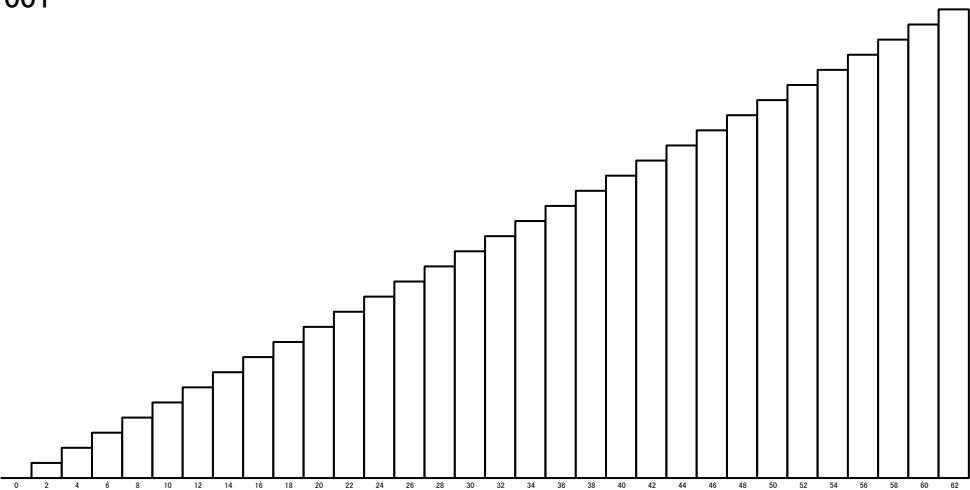


TEST001



440Hz

$$\frac{1}{440[\text{sec}]} \div \frac{32[\text{sample}]}{1[\text{sec}/3579000[\text{Hz}]]}$$
$$= 3579000 / (440 \times 32)$$
$$= 254.1903...$$

$$254[\text{clock/sample}]$$
$$= 1 / (254 \times 32 \times (1 / 3579000)) [\text{Hz}]$$
$$= 3579000 / (254 \times 32)$$
$$= 440.32972...$$

→ 1[sample]あたり 254[clock] で処理すれば 440.32972...[Hz] で 32[sample] 周期となる。

設定値は、253.252.251、...、0、253、252、... と繰り返す設定になるので **253**。

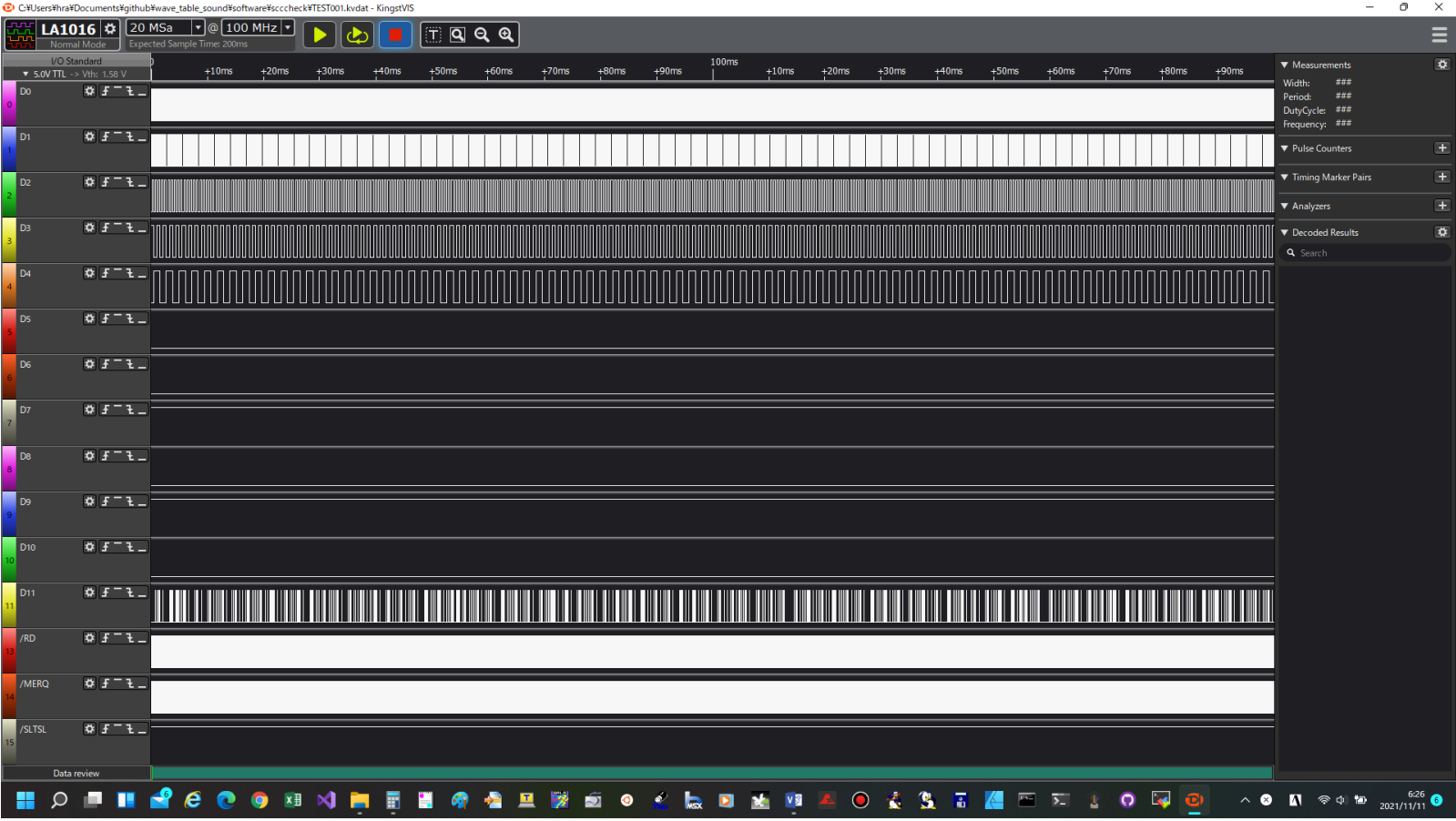
音量指定は 8 にする。

(波形 * 音量) >> 4 が出力されるので、8 にすると 50% で出力される。
つまり、0,1,2,3,4,...,31,0,1,2,3,... が出力期待値となる。

1[sample] は、254[clock] になるので、その幅(時間)は、
(1[sec]/3579000[Hz]) * 254[clock] = 70.9[μ sec]

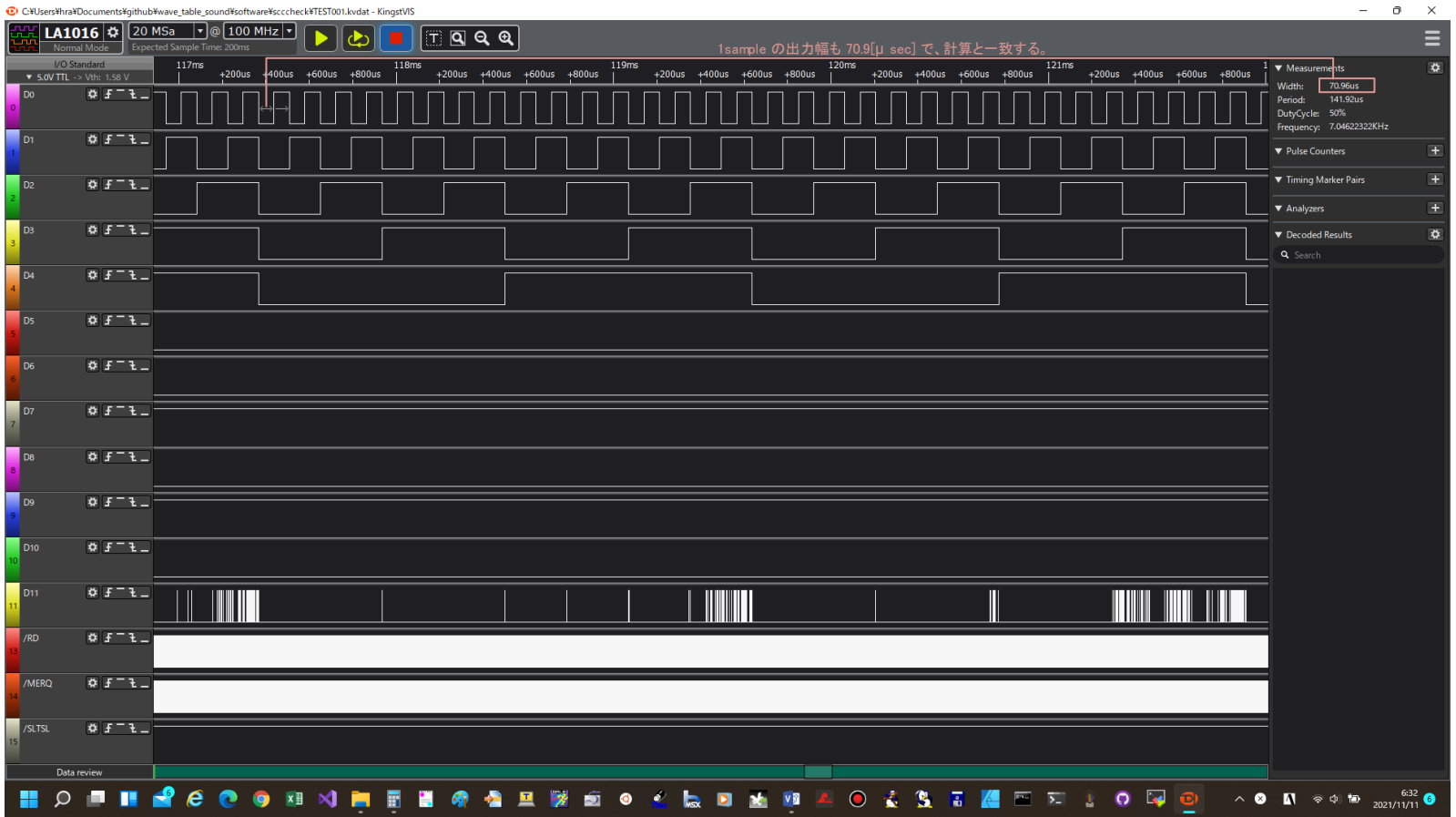
波形メモリに設定する値	出力値	volume=15 の場合の出力値
127	$((127 * \text{volume}) \gg 4) + 128$	247
:	:	:
0	128	128
:	:	:
-128	$((-128 * \text{volume}) \gg 4) + 128$	8

Ch.A だけ、このこぎり波を音量8で出力。
Ch.B～Ch.E は、音量0で出力。



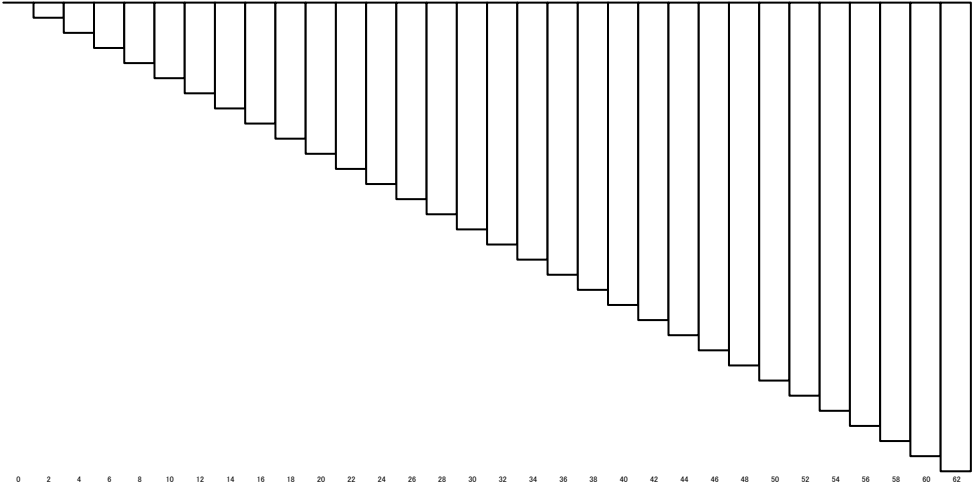
D10～D0 の 11bit が SCCの出力信号。

D[10:0] = 11'b010100????
└── 各チャネルの信号値 0 が出力値 128 として出てくると考えると、Ch.A～E の 5ch が加算されて、ここに 0101 = 5 が出てくる。



D[10:0] = 11'b010100????
└── 波形を拡大してみると、???? の部分に 0,1,2,3,...,31,0,1,... と出力されているのが確認できる。

TEST002



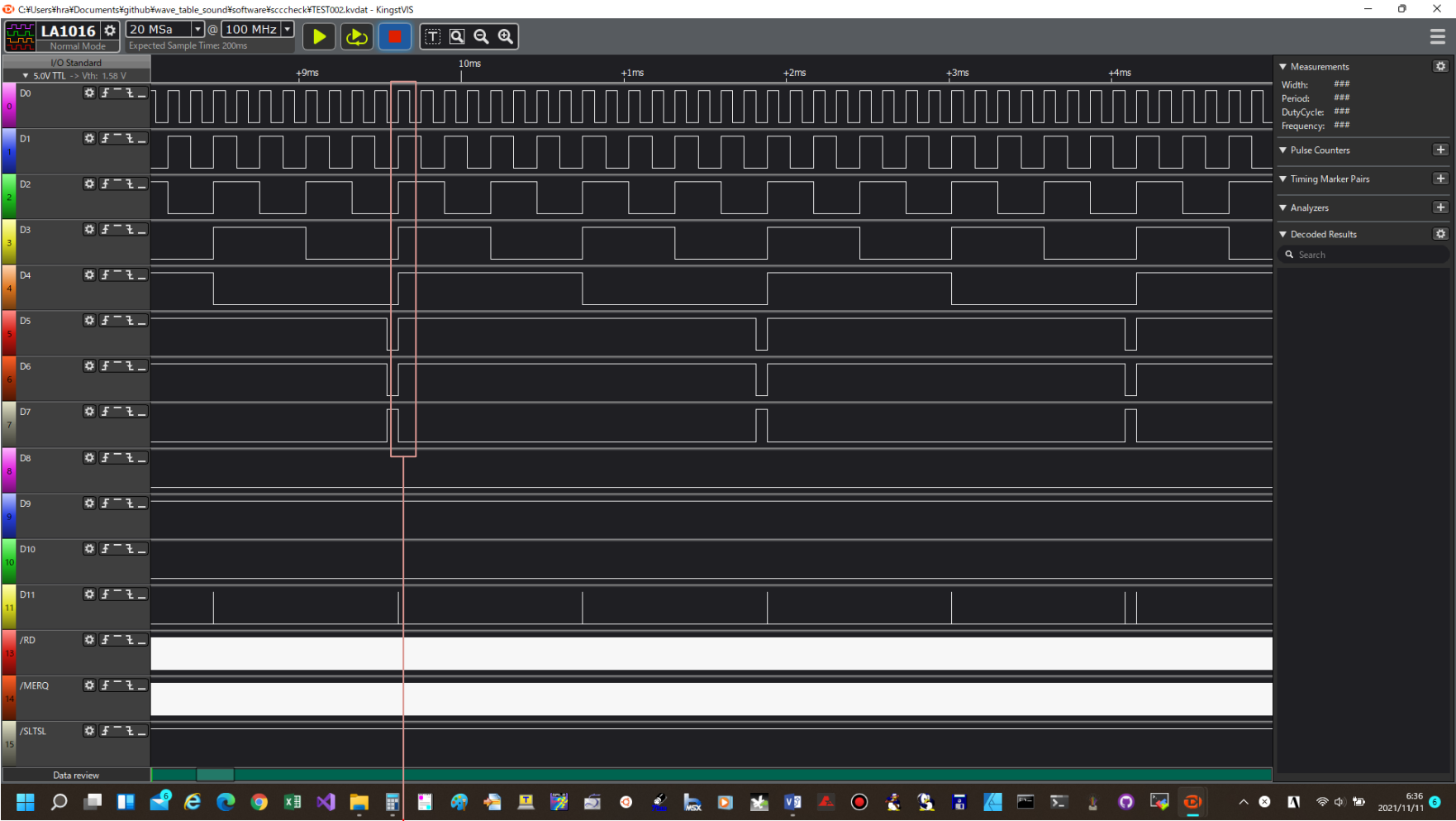
TEST002 は、波形を 0, -2, -4, ... と、TEST001に対して符号反転したものである。
8bit幅の2の補数形式なので、-2 は、254 と等価である。同様に -4 は 252、-6 は 250 となる。

$((\text{wave} * \text{volume}) \gg 4) + 128$

この式が正しいのであれば、波形 -2 は、

$((-2 * 8) \gg 4) + 128$
 $= (-16 \gg 4) + 128$
 $= -1 + 128$
 $= 127$

このことから、音量をかけた後の小数部を切り捨てる右シフトは、四捨五入などはせずに単純に下位ビットをカットしていることがわかる。



D[7:0] = 01111111 = 127
計算と一致する。

TEST003

波形は TEST001 と同じ。
再生中に波形の 5 番地をひたすら読むテスト。

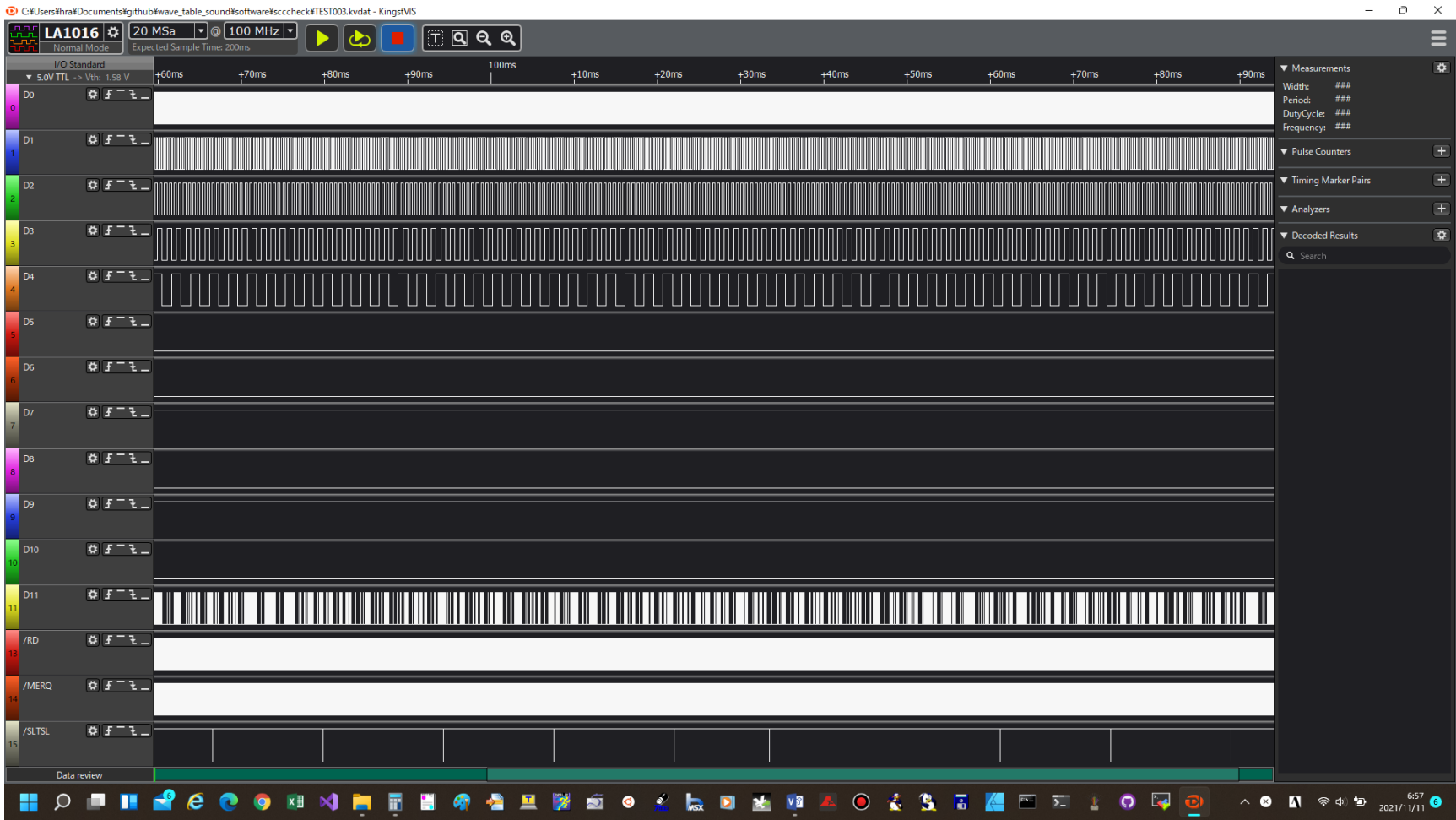
SCGに内蔵する波形メモリが 1RWタイプであれば、1clk 内でのアクセスは read 1つか write 1つのいずれかだけ。
CPUからの読み出しと、再生用の読み出しのタイミングがバッティングすると読み出し競合が起こるはず。

原理的には、波形が変化するタイミング＝周波数カウンタが 0 になったタイミングだけ読めないので、CPU読み出しの際に必ずしもバッティングするとは限らない。

波形メモリが、D-FF で構成されている場合、読み出しは無制限なのでこのバッティングは発生しないが、
SCGが登場した時期を考えると、32byte * 4ch もの記憶素子を D-FF で構成するのは規模的にあり得ないと推定。

そもそも同期SRAMかどうかも怪しいので、次の1byteは事前に先読みしておいて、必要になったタイミングで「はいどうぞ」と必要な回路に渡しているかもしれない。
そうすると、CPUからの読み出し要求があった場合、そちらを優先して、先読み処理を遅らせるようにしていたらバッティングによる波形出力乱れは発生しないと思われる。

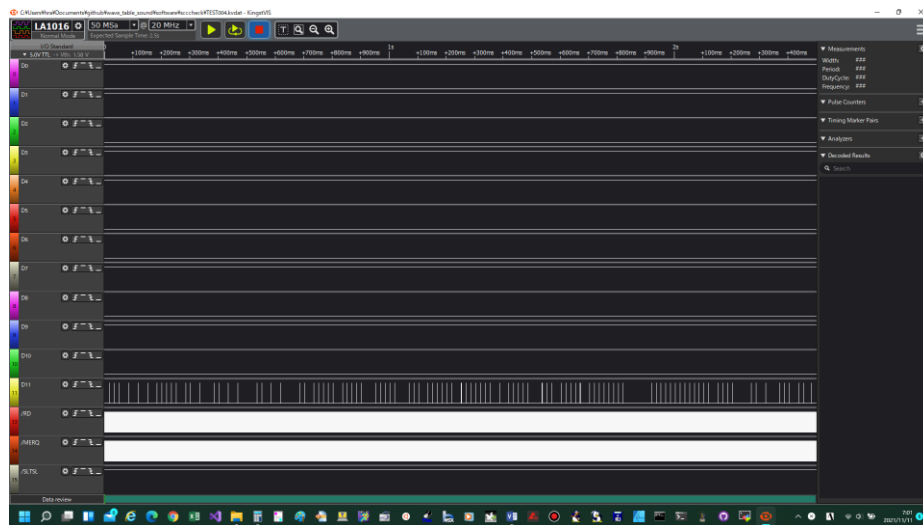
実際に、波形に乱れが無いことを確認できる。/SLTSL = 0 になっているタイミングがリードしているタイミング。



TEST004

非同期のSRAMを使っていて、SRAMの読み出しに時間が掛かる(パイプライン化できない)として、さらに CPU とのアクセス競合を防ぐ仕組みが入っているとすれば、毎サイクル読まねばならなくなる「波長 0」という設定は不可能で、時間が掛かる分も考慮すると極端に短い波長は実現できないことになる。

TEST004 では、TEST001 とほぼ同じ設定で、波長の設定だけ 8 にしてみたものである。



出力値が固定値に張り付くことを確認できる。
いろいろ値を変えてみると、0~8 だと固定値 11 に張り付く。この 11 の意味は不明。

9 にすると、期待通りの波形が出てくるようになる。

SCCのデータシートには、最低周期が 16 と書かれている。周期と書かれているが、レジスタに設定する値が 16 だろう。
(波長と設定値の関係について明確に書かれてはいないが、実際の動きを見る限り 9 にすると波長は 10clk になっている。)

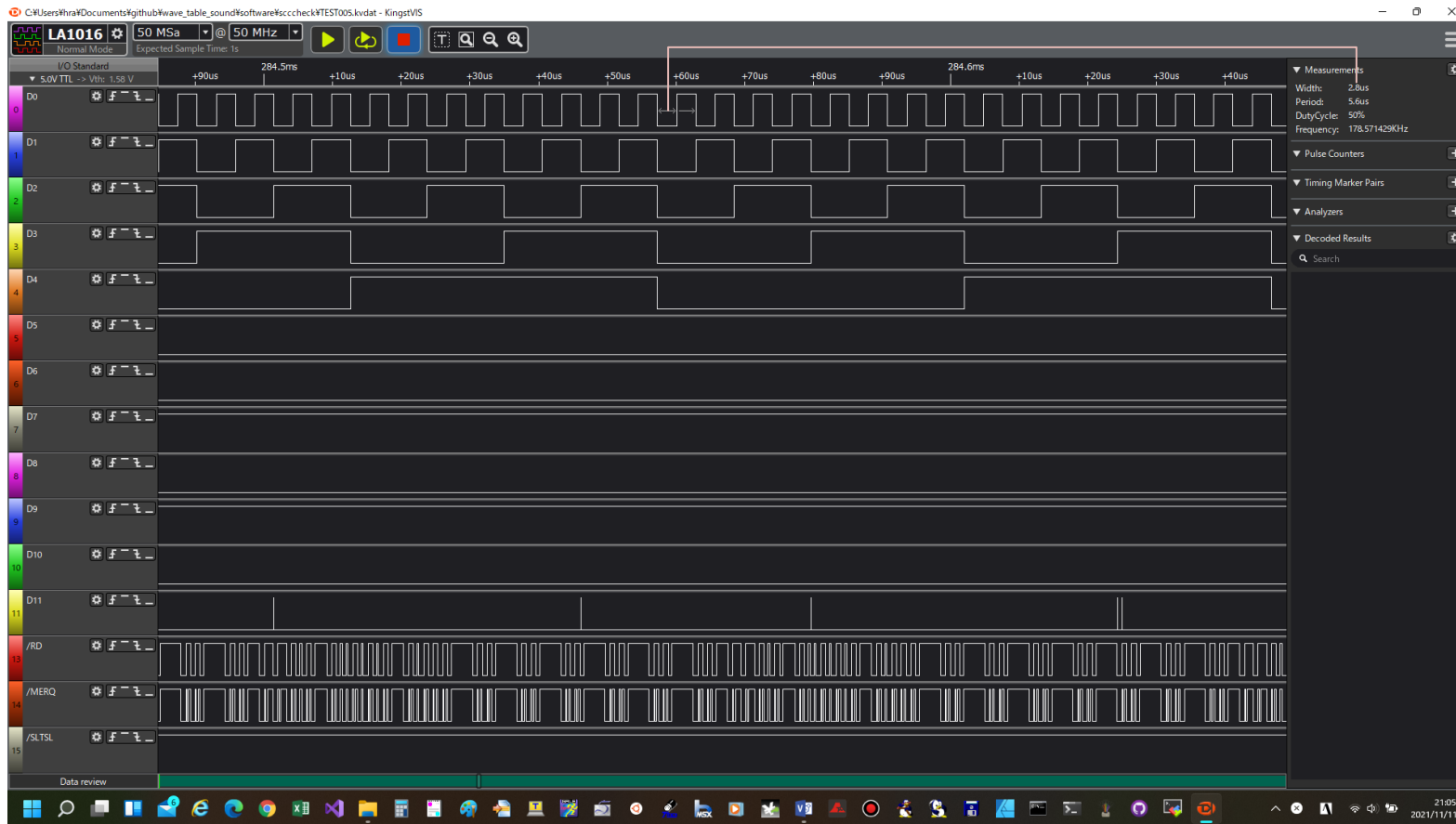
$$F_{out} = F_{in} / (FR \times 32) \quad [Hz]$$

F_{out} : 設定周波数 [Hz]
 F_{in} : 入力クロック周波数 [Hz]
 FR : トーン周期レジスタ 12 bit の 10 進値

但し、設定できるレジスタ値は、最低周期は 16、最高周期は 4095 である。

TEST005

TEST004とほぼ同じで、波長を 9 にした場合。

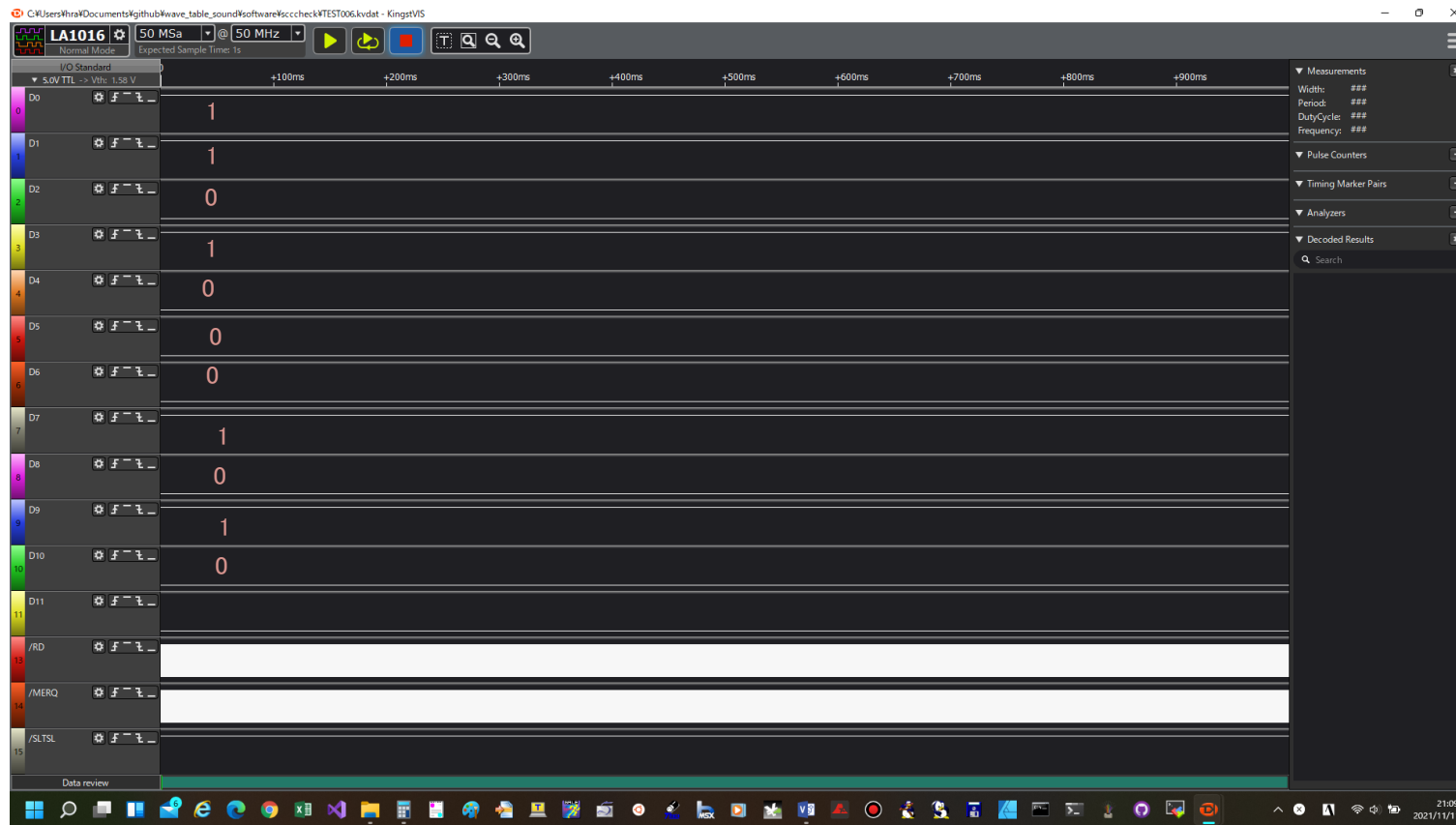


1[sample] = 2.8[μ sec] となっており、10[clk] の幅と一致する。期待通り。

波長が9 なのでカウンタは、9,8,7,6,5,4,3,2,1,0 の 10通りの値をとる。
(1000000[μ sec] / 3579000[Hz]) * 10[clk] = 2.79[μ sec]

TEST006

TEST004とほぼ同じで、波長を 0 にした場合。

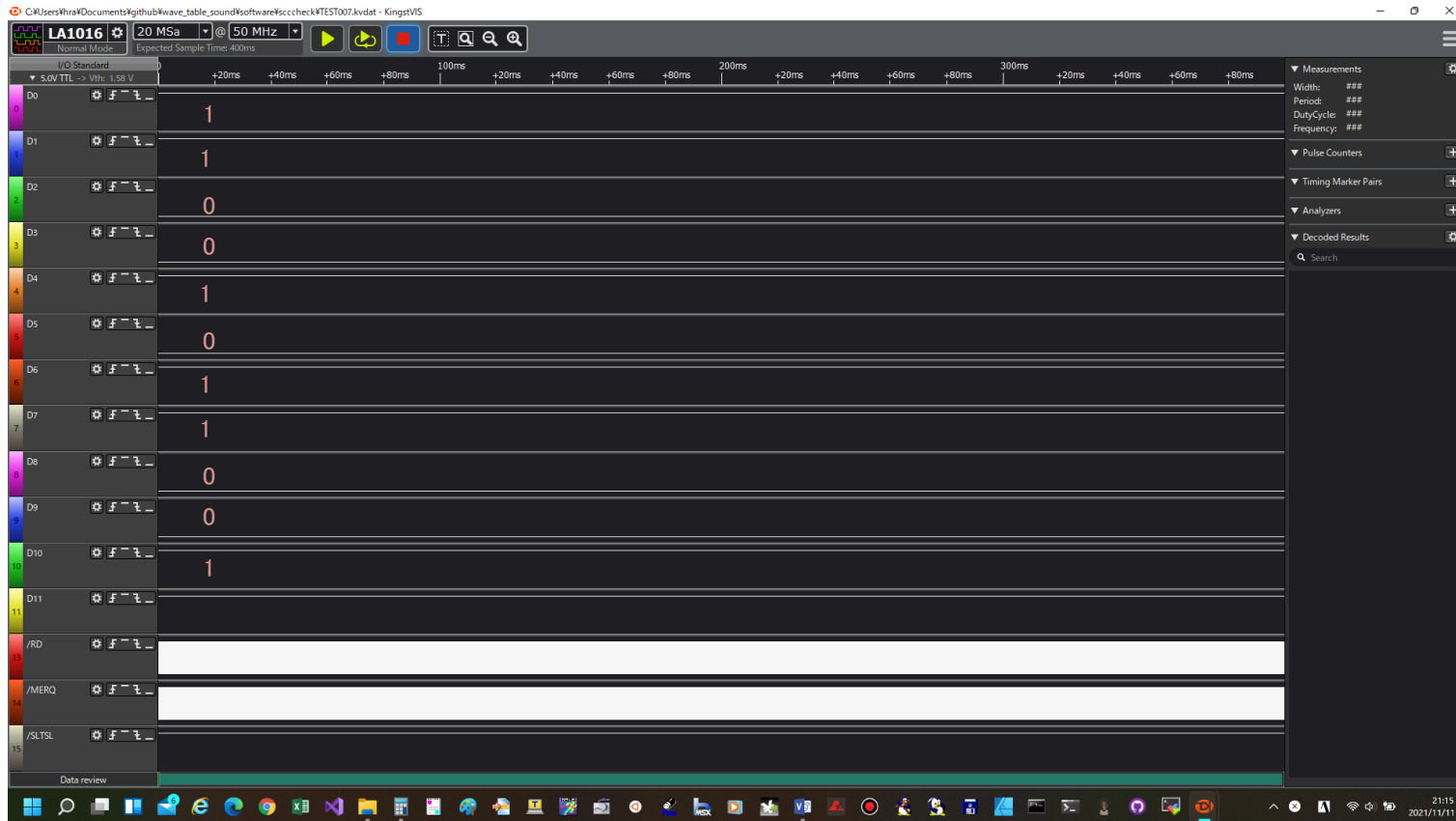


11'b01010001011

仮に、MUTE して Ch.B~Ch.E が 0 だとすると、出力値は 128 となるため、
Ch.A の出力は 1011 (2進数) = 11 (10進数)
この値が何者なのか、この時点ではわからない。

TEST006

4ch の波形メモリをすべて 127 で埋めて、5ch の音量をすべて 15 にした場合。



11'b10011010011 = 1235

5ch すべて同じ値が出力されていると仮定すれば、5で割った値が 1ch の出力となる。

$1235 / 5 = 247$

+128 のオフセットが掛かっているので、

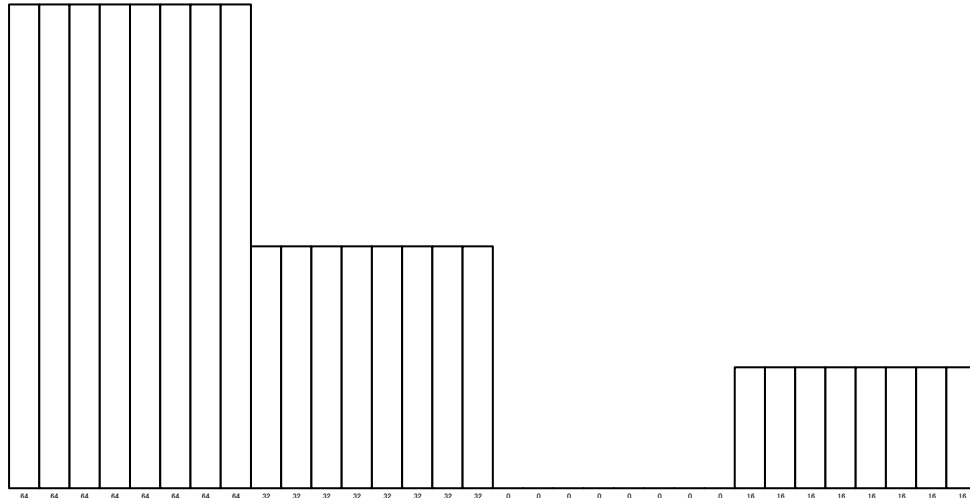
$247 - 128 = 119$

波形メモリは 127 を敷き詰めており、音量は 15 にしているので、

$127 * 15 \gg 4 = 119$

で、一致する。

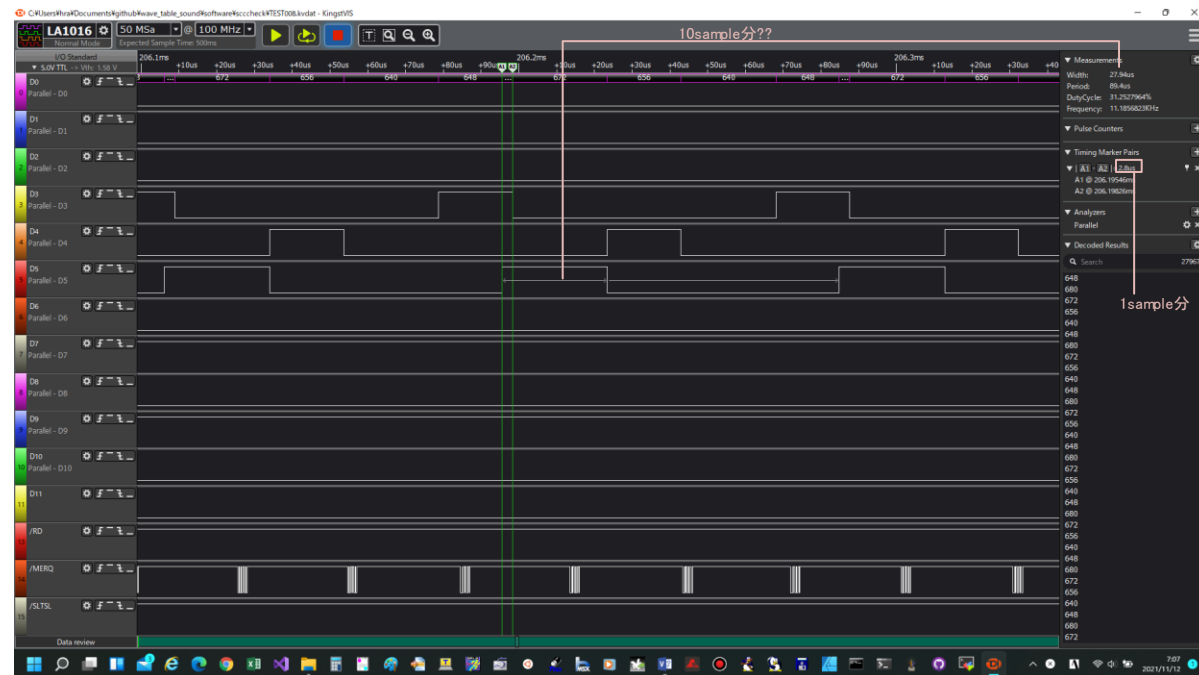
TEST008



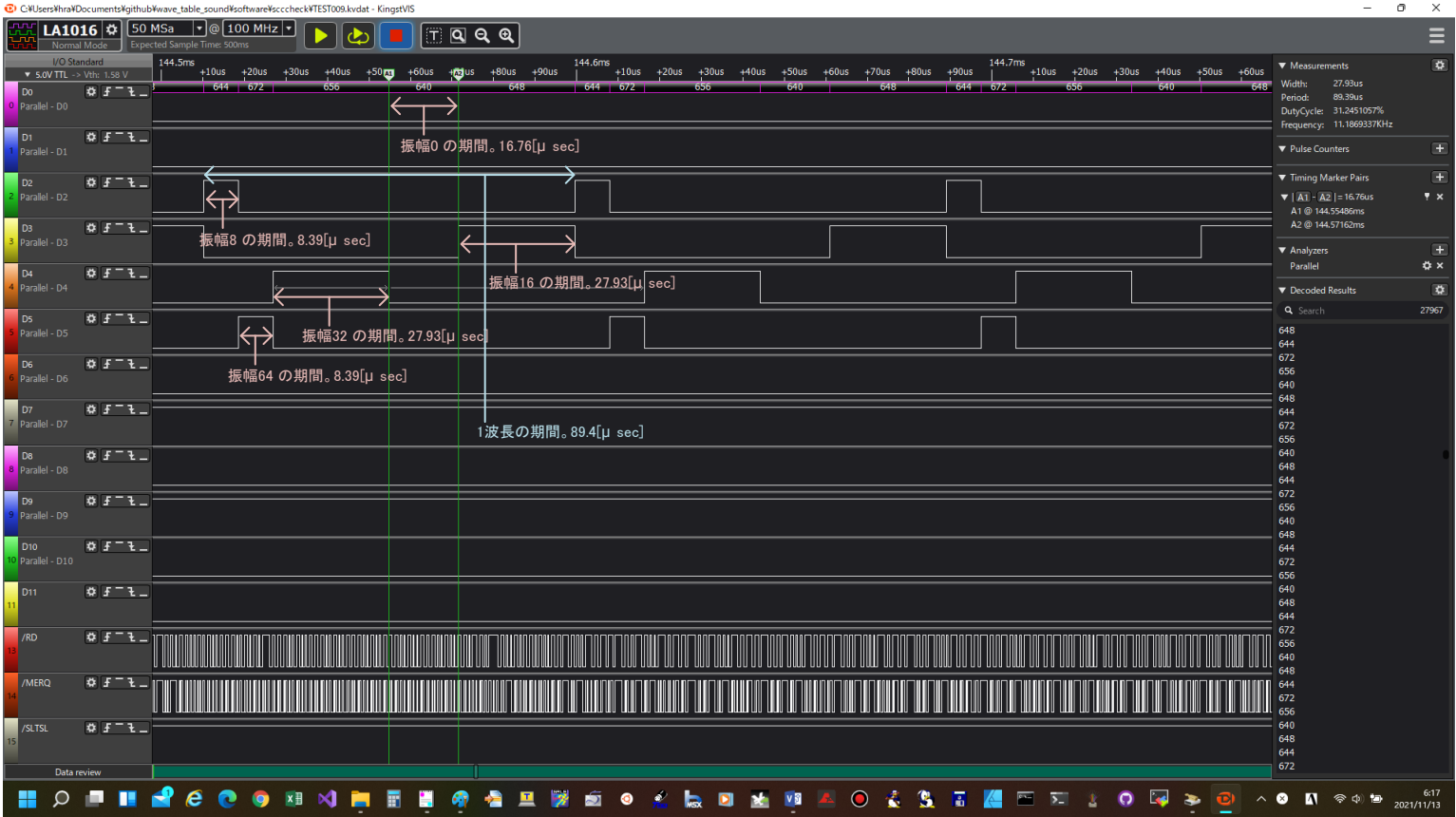
Ch.D, E の波形メモリに上記波形を設定する。
Ch.D, E は有効(MUTE解除)して、Ch.Dは音量8, Ch.Eは音量0 にする。

sample31 の 16出力と、sample0 の 64出力が、
丁度 1sample分の 10clk で被っているタイミングがある。
(写真の A1-A2)

さらに、64出力の矩形が 10sample分の幅を持っている。
波形メモリ上では 8sample なので、この差が不明。




```
1 100 DEFINT A-Z
2 110 SCREEN1:COLOR15,4,7:PRINT"Ch.D and Ch.E test"
3 120 _SCCPoke(&H9000,63)
4 130 _SCCPoke(&H9860,64,64,64,64,32,32,32,32,32,32,32,32,0,0,0,0,0,0,16,16,16,16,16,16,16,16,8,8,8,8)
5 140 _SCCPoke(&H988F,&H18)
6 150 _SCCPoke(&H9886,9,0):_SCCPoke(&H9888,9,0)
7 160 _SCCPoke(&H988D,8):_SCCPoke(&H988E,0)
8 [EOF]
```



Ch.D の出力波長の確認。

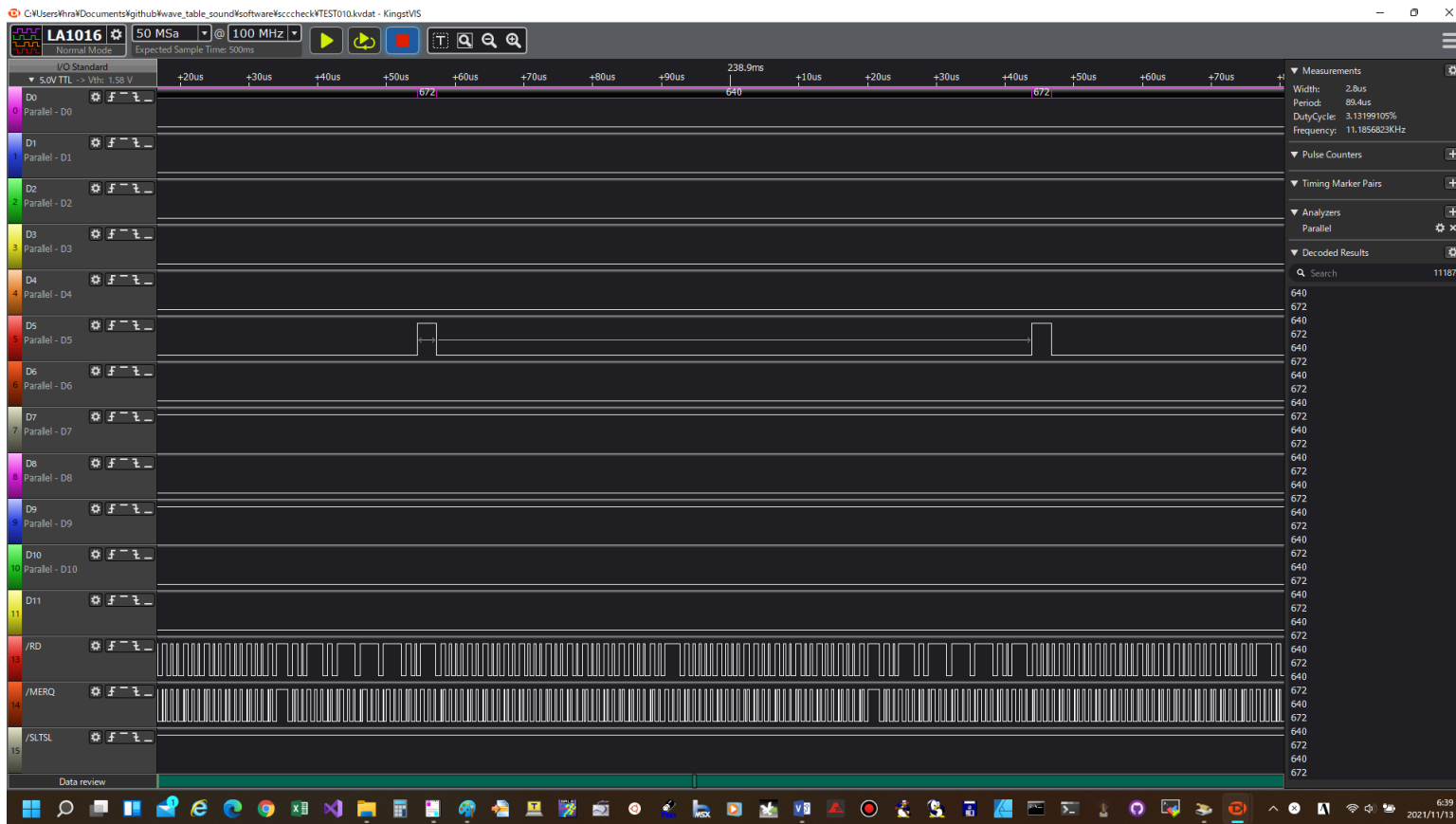
波長指定 9 は、波長 10[clk/sample] になる。

10[clk] は、10/3.579 = 2.79[μ sec] である。
振幅 64, 8 の期間は 4[sample] なので、2.79 * 4 = 11.16[μ sec]
振幅 32, 0, 16 の期間は 8[sample] なので、22.32[μ sec]
波形が一巡する 32[sample] の時間は 2.79 * 32 = 89.28[μ sec]
が期待する波長となるが、実際は少し異なっている。

実際は、
振幅 64, 8 の期間は 8.39[μ sec] : 8.39 / 2.79 = 3[sample]
振幅 32, 16 の期間は 27.93[μ sec] : 27.93 / 2.79 = 10[sample]
振幅 0 の期間は 16.76[μ sec] : 16.76 / 2.79 = 6[sample]
波形が一巡する時間は 89.4[μ sec] : 89.4 / 2.79 = 32[sample]

波形の一巡は、音程を決める要素なので、この時間は期待通りになっているため、音程は期待通りに鳴る。
しかし、波形は少し波打っておりやや期待と異なった出力となっている。
→ TEST012 で追試。

TEST010

[illegible]

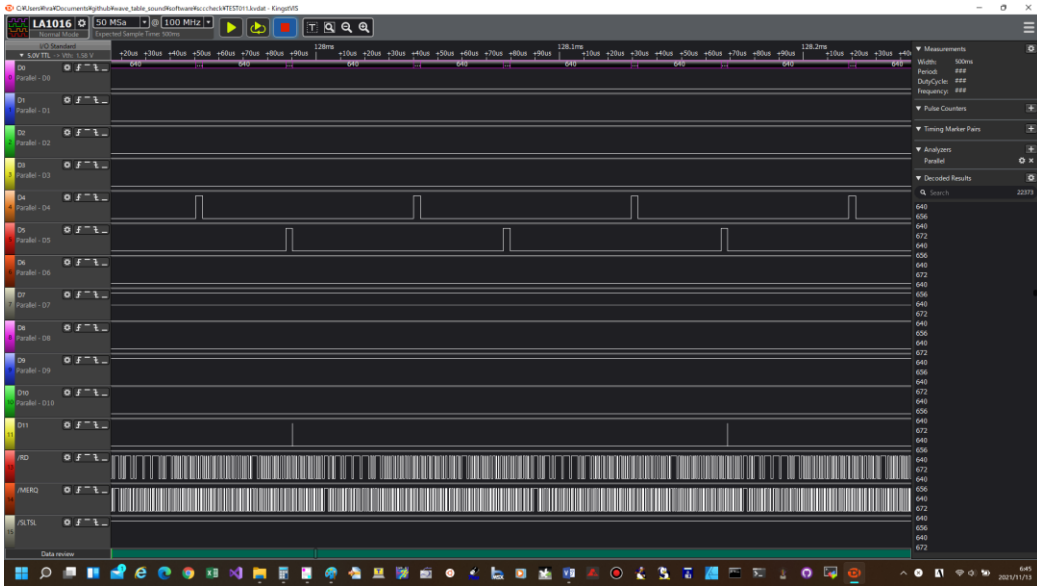
Ch.A の出力波長の確認。

波長指定 9 は、波長 10[clk/sample] になる。
 10[clk] は、 $10/3.579 = 2.79[\mu \text{ sec}]$ である。
 振幅 64 の期間は 1[sample] なので、 $2.79 * 1 = 2.79[\mu \text{ sec}]$
 振幅 0 の期間は 31[sample] なので、 $86.49[\mu \text{ sec}]$
 波形が一巡する 32[sample] の時間は $2.79 * 32 = 89.28[\mu \text{ sec}]$
 が期待する波長となるが、実際は少し異なっている。

実際は、
 振幅 64 の期間は $2.8[\mu \text{ sec}] : 2.8 / 2.79 = 1[\text{sample}]$
 振幅 0 の期間は $89.6[\mu \text{ sec}] : 86.6 / 2.79 = 31[\text{sample}]$
 波形が一巡する時間は $89.4[\text{ミューsec}] : 89.4 / 2.79 = 32[\text{sample}]$

微妙な差は計測誤差と解釈すると、期待通りの波形が出ているように見える。

TEST011

[illegible]

Ch.A と B の同時出力波形の確認。

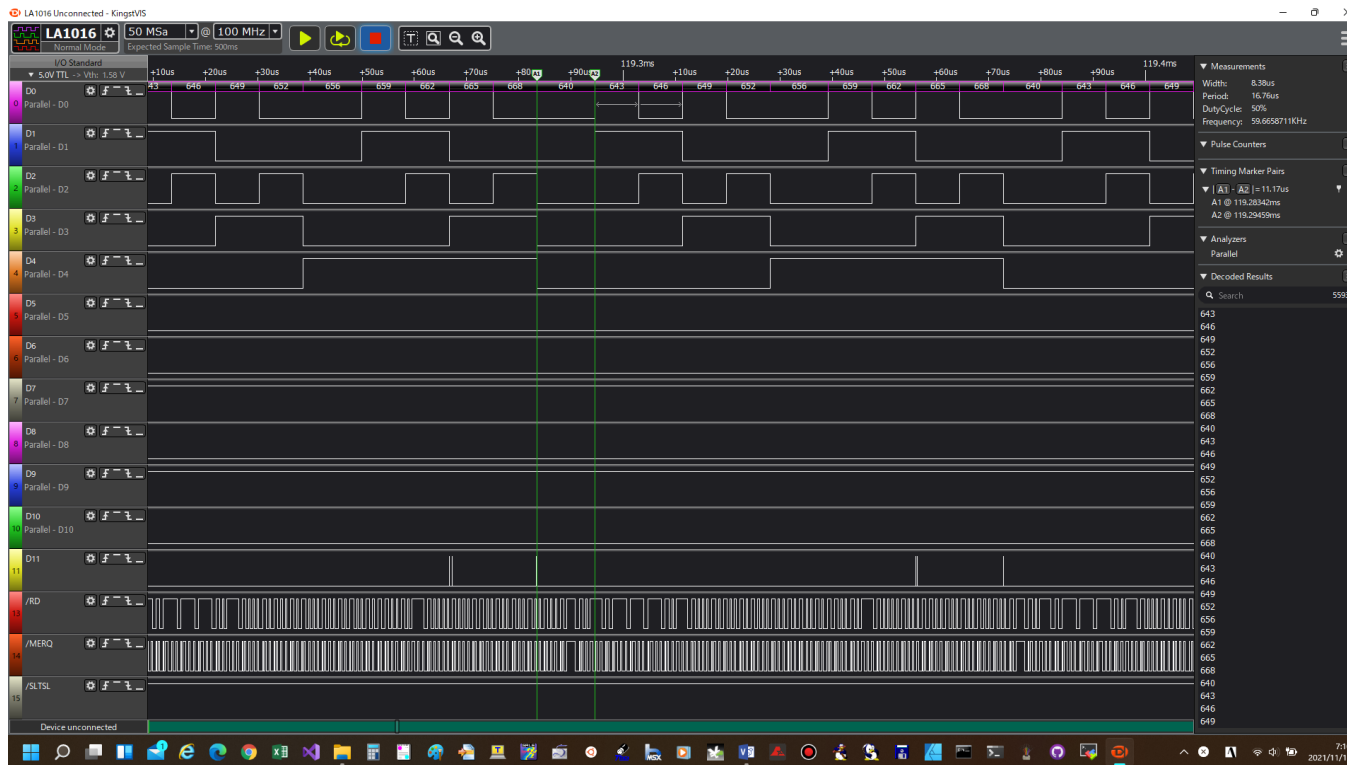
微妙な差は計測誤差と解釈すると、期待通りの波形が出ているように見える。

TEST012

```

1 100 DEFINT A-Z
2 110 SCREEN1:COLOR15,4,7:PRINT"Ch.D and Ch.E test"
3 120 _SCCPoke(&H9000,63)
4 130 _SCCPoke(&H9860,0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,50,52,54,56,58,60,62)
5 140 _SCCPoke(&H988F,&H18)
6 150 _SCCPoke(&H9886,9,0):_SCCPoke(&H9888,9,0)
7 160 _SCCPoke(&H988D,8):_SCCPoke(&H988E,0)

```



出力として期待しているのは、

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

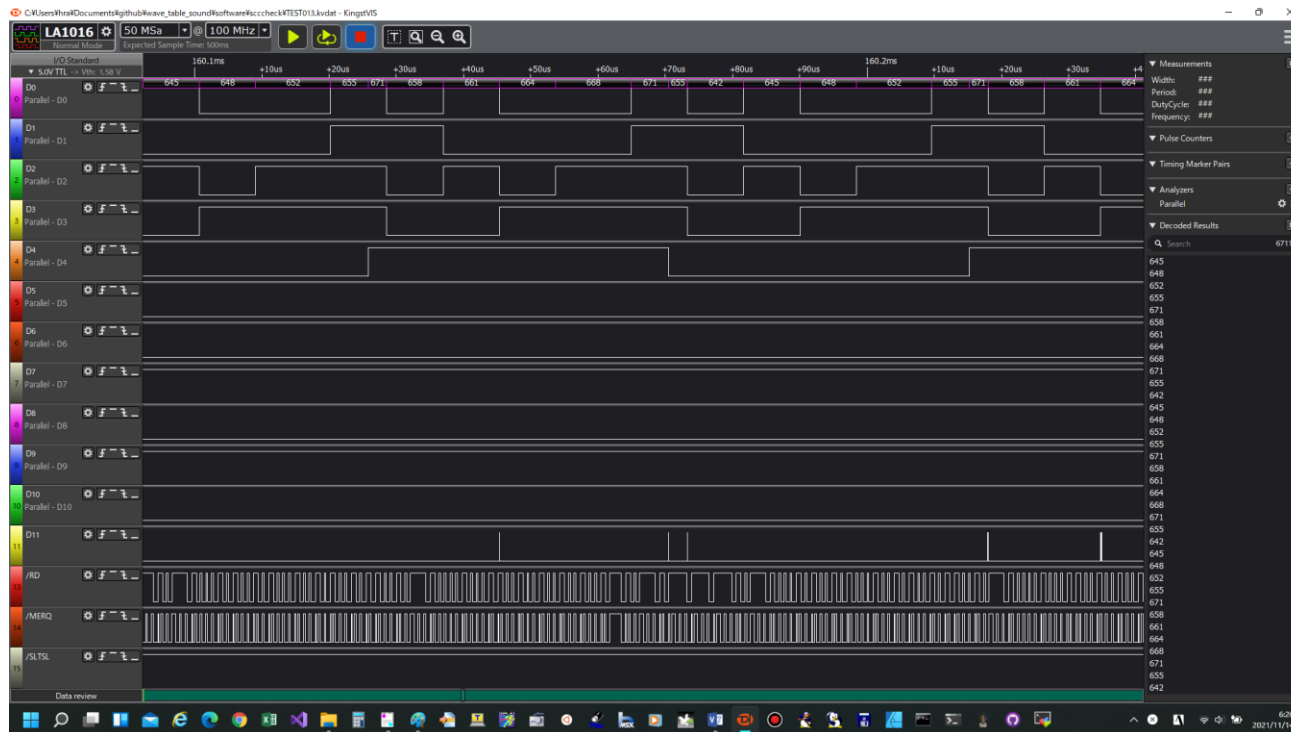
しかし、実際に出力されているのは、

0, 0, 0, 0, 3, 3, 3, 6, 6, 6, 9, 9, 9, 12, 12, 16, 16, 16, 19, 19, 19, 22, 22, 25, 25, 25, 28, 28, 28

であり、せっかく 32sample ある波形メモリはすべてが使われるわけではなく一部間引かれてしまう。
sample31→sample0, sample15→sample16 のところだけ1個多いので均等幅な階段を描くことは出来ず、
均等幅階段を期待した設定(のこぎり波など)を指定すると、ここに段差が出来てしまう。
この段差によって、倍音が含まれてしまうことと、そもそも大きなギザギザになることによって、
矩形を形成する倍音成分のパワーが強まって、Ch. A~C に設定したときとはだいぶ印象の異なる音色になると思われる。

TEST013

```
1 100 DEFINT A-Z<
2 110 SCREEN1:COLOR15,4,7:PRINT"Ch.D and Ch.E test"<
3 120 _SCCPoke(&H9000,63)<
4 130 _SCCPoke(&H9860,0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,50,52,54,56,58,60,62)<
5 140 _SCCPoke(&H988F,&H18)<
6 150 _SCCPoke(&H9886,9,0):_SCCPoke(&H9888,9,0)<
7 160 _SCCPoke(&H988D,0):_SCCPoke(&H988E,8)<
```



TEST012 は Ch.D を再生していたが、
こちらは Ch.E を再生している。

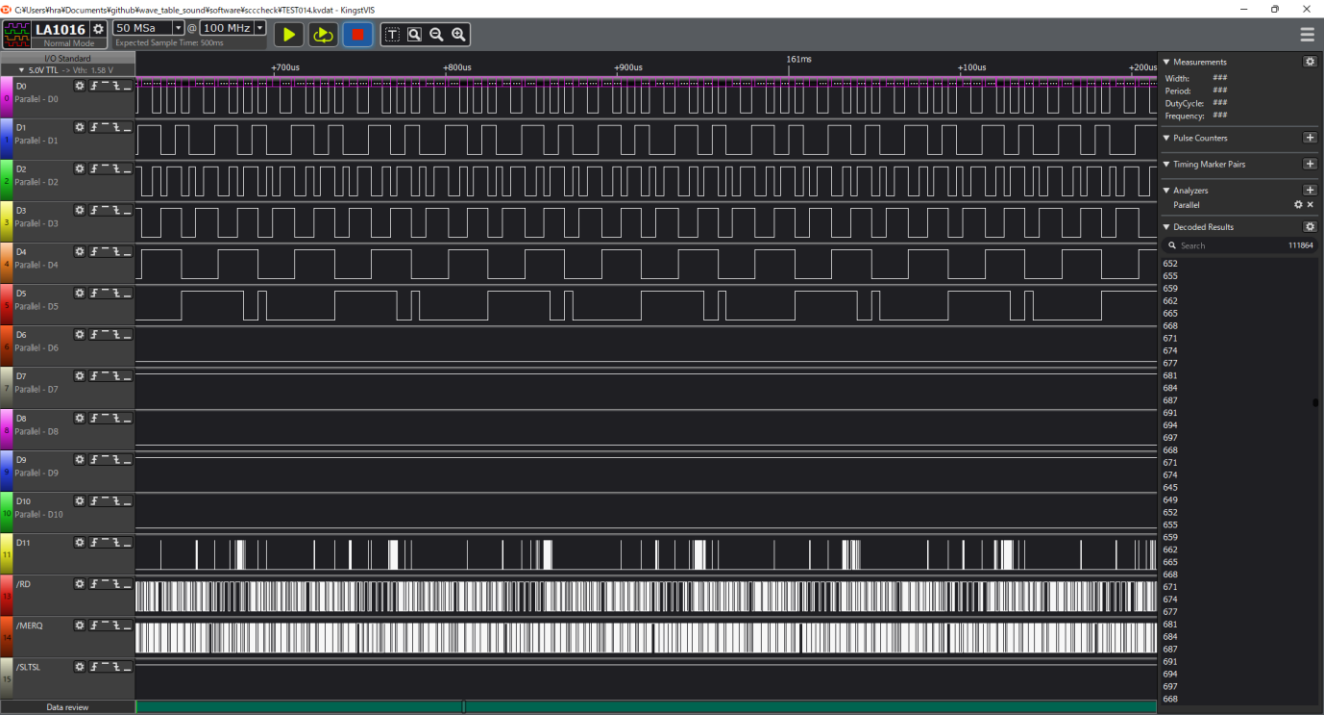
Ch.D と同じように、間引かれた波形になっているのが確認できる。
また、0 に対応する 640 が存在しておらず、TEST012 と波形の位相が異なっているのが確認できる。

もし、32sample あるうちの 10sample を固定の位相で再生するのであれば、
最初から 16sample を 2つにして、Ch.D と Ch.E を分けてしまった方が構造もシンプルになるが、
そうっていない。

【以下推測】
波長が最低 10clk/sample であるならば、2ch を間引かれないように処理することは可能にも思える。
もしかすると、SCC設計時には Ch.D と E で波形は共通だけでも、しっかり 32sample 使われる想定で設計していたが、何らかの事情(バグとか)で、このような挙動になってしまったのではないか。

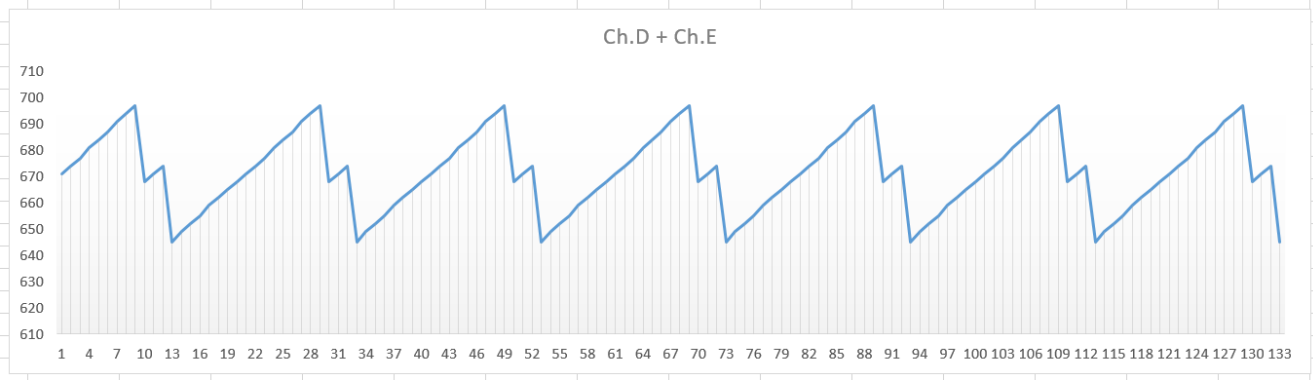
TEST014

```
1 100 DEFINT A-Z
2 110 SCREEN1:COLOR15,4,7:PRINT"Ch.D and Ch.E test"
3 120 _SCCPoke(&H9000,63)
4 130 _SCCPoke(&H9860,0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,50,52,54,56,58,60,62)
5 140 _SCCPoke(&H988F,&H18)
6 150 _SCCPoke(&H9886,9,0):_SCCPoke(&H9888,9,0)
7 160 _SCCPoke(&H988D,8):_SCCPoke(&H988E,8)
```



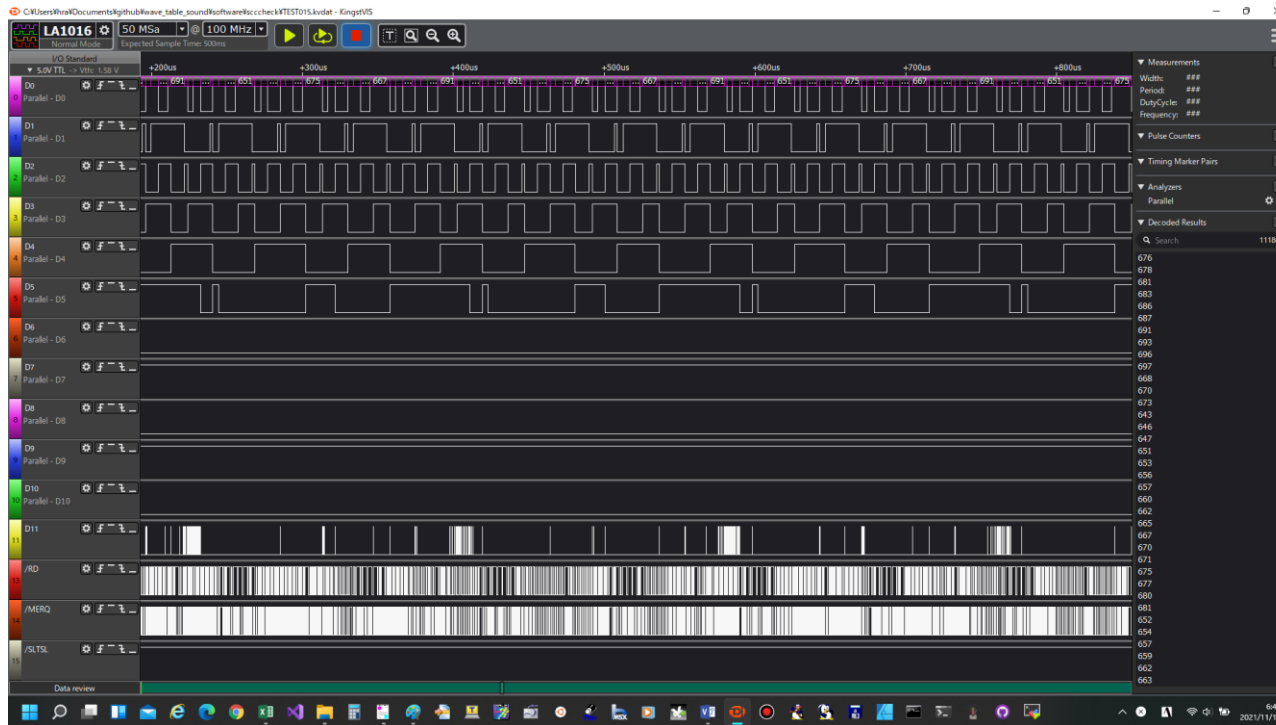
Ch.D と E を同時に再生した場合。
順次制御になるため、周波数指定や音量指定のタイミングが少しずれる影響で、
位相がずれるが、
同じ波長にしてあるため、周期は一定である。

左下のグラフは、ロジアナの計測結果(ピンク色の部分の数値)を csv に書き出したものを、
グラフに変換したものである。
インクリメントしている期間を見てみると、直線では無く微妙にヨレヨレした線になっているのが確認で
きる。これは、間引かれたのこぎり波を2つ加算していることと思われる。



TEST015

```
1 100 DEFINT A-Z<
2 110 SCREEN1:COLOR15,4,7:PRINT"Ch.D and Ch.E test"<
3 120 _SCCPOKE(&H9000,63)<
4 130 _SCCPOKE(&H9860,0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,50,52,54,56,58,60,62)<
5 140 _SCCPOKE(&H988F,&H18)<
6 150 _SCCPOKE(&H9886,9,0):_SCCPOKE(&H9888,19,0)<
7 160 _SCCPOKE(&H988D,8):_SCCPOKE(&H988E,8)<
```

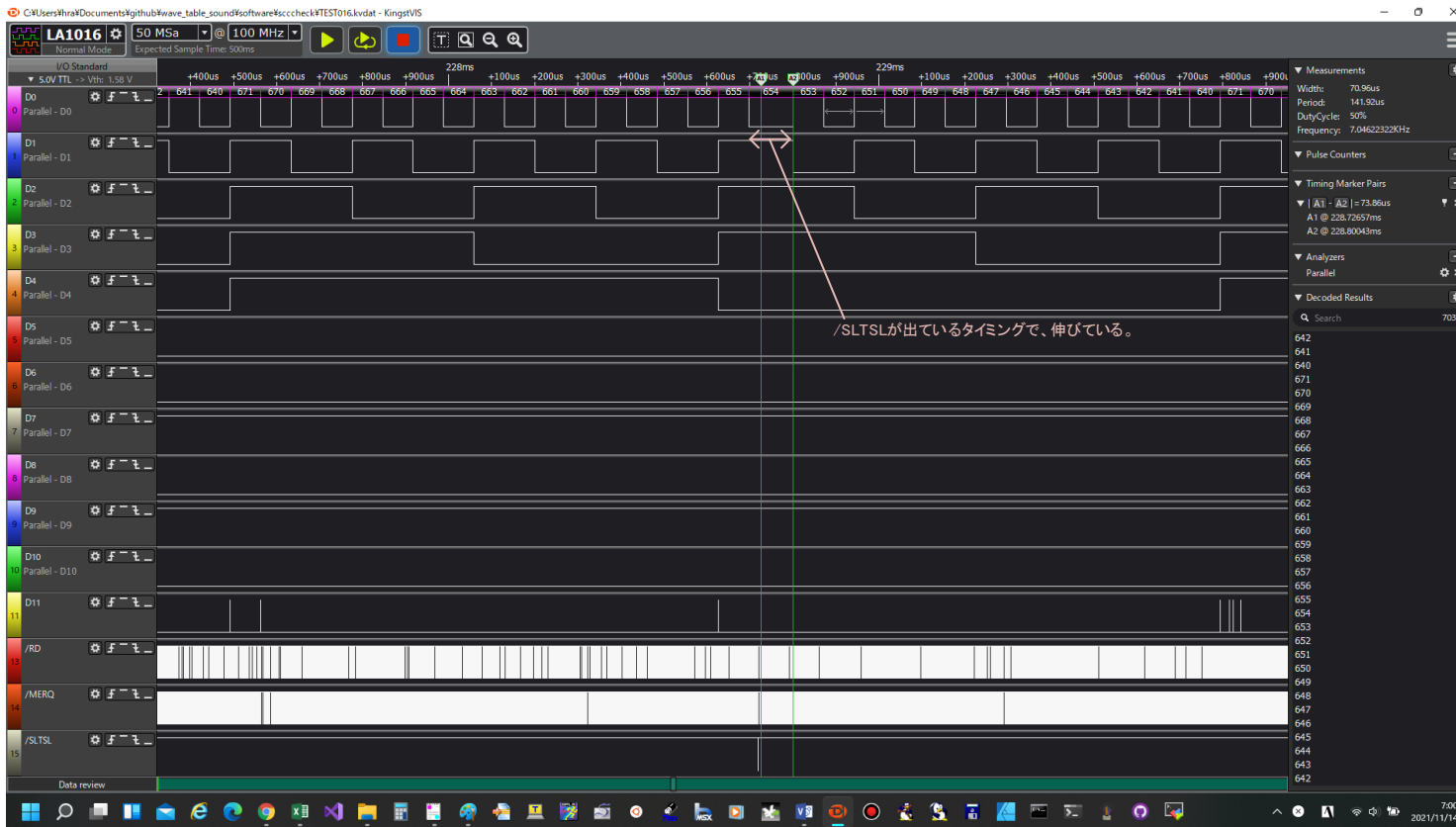


Ch.D と E を同時に再生した場合で、
今度は Ch.D は 1sample = 10clk。Ch.E は 1sample = 20clk になる設定。
Ch.D に対して Ch.E は 1オクターブ低い音。

規則正しい波形になっており、間引かれ方が変わっている様子はない。

TEST016

```
1 100 DEFINTA-Z↵
2 110 SCREEN1:COLOR15,4,7:PRINT"Nokogiri wave test"↵
3 120 _SCCPoke(&H9000,63)↵
4 130 _SCCPoke(&H9800,62,60,58,56,54,52,50,48,46,44,42,40,38,36,34,32,30,28,26,24,22,20,18,16,14,12,10,8,6,4,2,0)↵
5 140 _SCCPoke(&H988F,1)↵
6 150 _SCCPoke(&H9880,253,0)↵
7 160 _SCCPoke(&H988A,8)↵
8 170 _SCCPoke(&H9880,253,0):GOTO 170↵
```



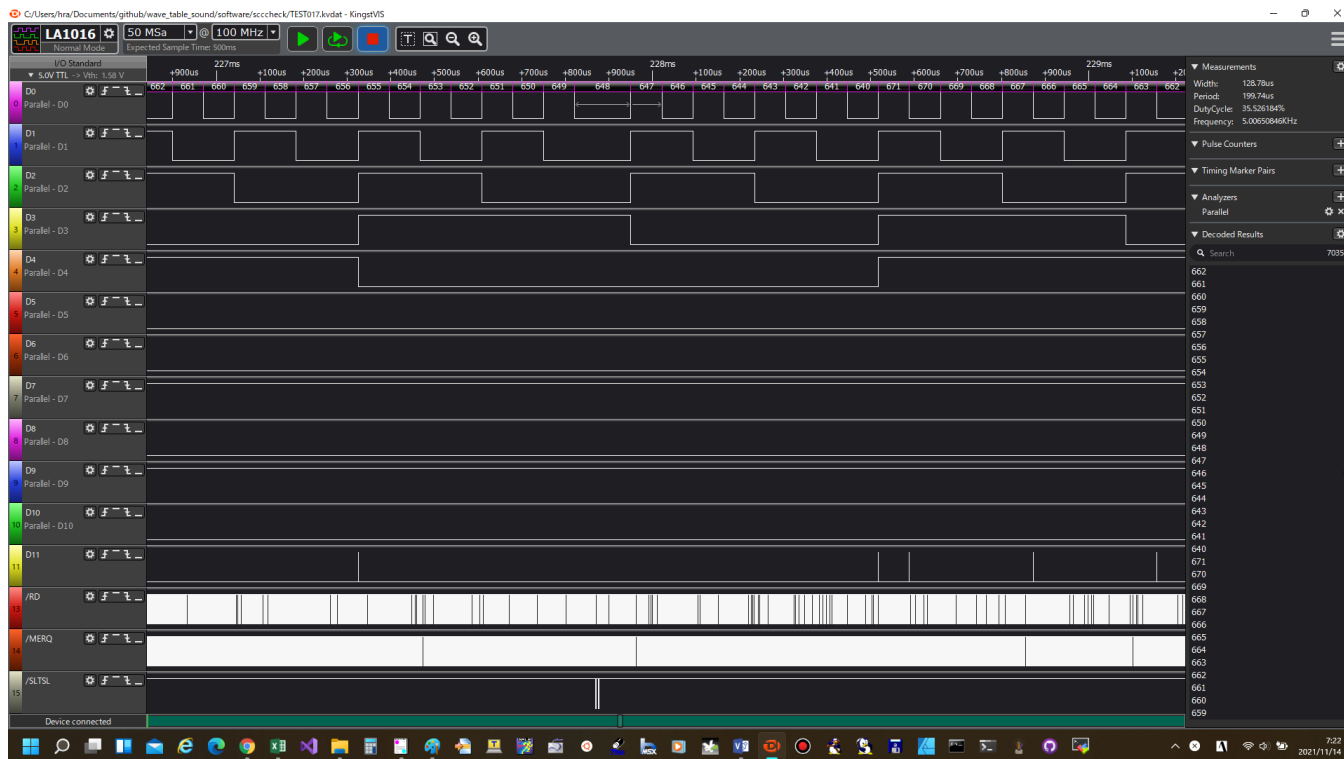
Ch.Aの確認に戻る。
再生中に波長設定のレジスタを書き替えるとどうなるか確認するテスト。
書き替えると言っても、同じ値をグルグル書き込んでいるだけである。
しかし、このレジスタへの書き込みタイミングをトリガーに何かの挙動が発生していれば、書き替える = /SLTSLが0になるタイミングに出力波形に影響がでるであろうことを観測するのが目的である。

波形メモリのサンプリング位置がリセットされることを期待していたが、波形を見る限りリセットされている様子はない。

波長のカウンタがリセットされることも期待したが、実際に書き込みのタイミングで波長が伸びているので、カウンタがリセットされているのだからわかる。

TEST017

```
1 100 DEFINT A-Z
2 110 SCREEN1:COLOR15,4,7:PRINT"Nokogiri wave test"
3 120 _SCCPOKE(&H9000,63)
4 130 _SCCPOKE(&H9800,62,60,58,56,54,52,50,48,46,44,42,40,38,36,34,32,30,28,26,24,22,20,18,16,14,12,10,8,6,4,2,0)
5 140 _SCCPOKE(&H988F,1)
6 150 _SCCPOKE(&H9880,253,0)
7 160 _SCCPOKE(&H988A,8)
8 170 _SCCPOKE(&H98E0,32)
9 170 _SCCPOKE(&H9880,253,0):GOTO 170
```



モードレジスタ(98E0)の bit5 に 1 を書いてみるも、
波長レジスタへ書き込み時に波経産婦リング位置のリセットはされない様子。

1chipMSX の megaram にはリセットする記述があるのだが、もしかすると SCC-1 から追加になった機能なのかもしれない。

SCCのデータシートには、このアドレスには書き込んではいけないと書かれている。

又、バンクレジスタBR2の領域である98E0H~98FFHにはSCC部アクセス可能となっているとき絶対にデータをライトしないで下さい。誤動作する可能性があります。