

DMX の波形を、オシロで実測する

USB-DMX-PRO 互換機の BREAK・MAB・出力周波数 — 結果と、測り方の手順

USB-DMX-PRO 互換機(ESP32-S3)が出す DMX512 の信号が、規格どおりの波形になっているかを PicoScope で測りました。ソフトが「設定した」と返す値(読み戻し)ではなく、**実際の波形**で確かめるのが目的です。この頁は、結果・波形の読み方・誰でも再現できる測定手順をまとめた記録です。

1. 結論(先に)

項目	規格(DMX512-A)	実測(既定設定)	判定
BREAK(フレーム頭の Low)	92μs 以上	99.8μs(設定 100μs)	合格
MAB(BREAK のあとの High)	12μs 以上	15.4μs(設定 16μs)	合格
ビット幅(通信速度)	4μs ±1%(250kbps)	3.98μs(約 251kbps)	合格
出力周波数(10〜40Hz、最速)	設定どおり	10.0 / 20.0 / 30.3 / 40.0Hz	合格
40Hz 時のフレーム間の隙間 (IDLE)	次のフレームと重ならない	2.3ms	合格
設定値と実測値の差	—	±1μs 以内	オシロの分解能(1.28μs)内

見つけた問題(解決済み): ファーム 2.5 までは BREAK が約 88μs(実測 89.6μs)で、規格の下限 92μs にわずかに足りませんでした。BREAK 直後の MAB も、設定値より約 25μs 長く出ていました(設定 12μs → 実測 37μs)。ファーム 2.6 で BREAK と MAB を自前で作る方式に改め、既定を BREAK 100μs / MAB 16μs にして解消しました。

2. DMX の信号と、波形の読み方

DMX512 の 1 フレームは「BREAK → MAB → スロット 0(スタートコード)→ スロット 1〜512(各チャンネルの値)」の順です。信号は普段 High(アイドル)。BREAK で長く Low に落として「ここから新しいフレーム」と知らせ、MAB で High に戻り、続いて 1 スロットず

つ送ります。1 スロット = スタートビット(Low 1)+ データ 8 ビット + ストップビット(High 2)= 11 ビット = 44μs(1 ビット = 4μs、250kbps)。

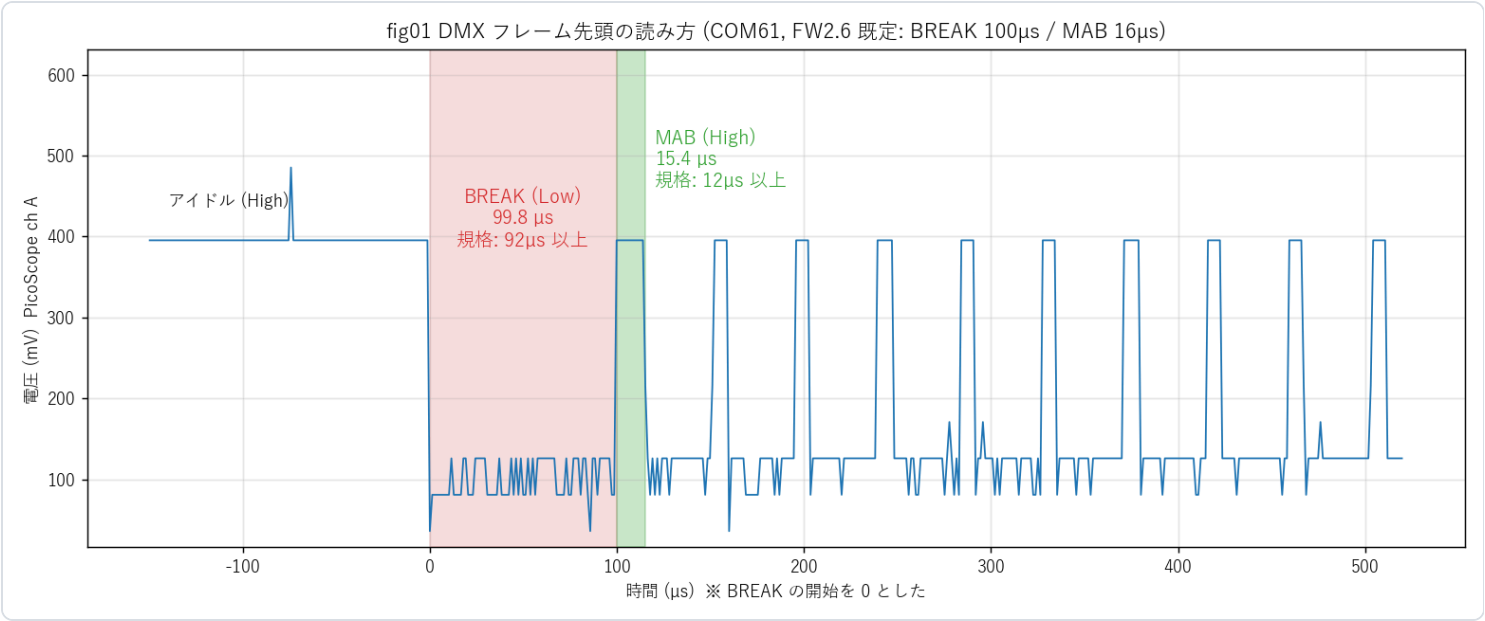


図 1 フレーム先頭の拡大。赤の帯 = BREAK(約 100μs)、緑の帯 = MAB(約 16μs)。そのあとの細かい山谷がスロット。最初のスロット(スタートコード 0x00)は Low が約 36μs、High(ストップビット)が約 8μs。BREAK 中のギザギザは測定時のノイズ。

3. 結果 1 — BREAK と MAB を変えても、設定どおりに出る

ファーム 2.6 では、BREAK・MAB・スロット数・スタートコードをホストから変えられます(検査・調整用。再起動で既定に戻る)。設定値を変えて実波形を測り、設定どおりに出ているかを確認しました(COM61、PicoScope 2205A、1.28μs 刻み)。

設定 BREAK μs	設定 MAB μs	実測 BREAK μs	実測 MAB μs	規格判定
100	16(既定)	99.8	15.4	合格
100	40	99.8	39.7	合格
100	100	99.8	99.8	合格
150	100	149.8	99.8	合格
300	200	299.5	199.7	合格
500	50	500.5	48.6	合格

200	12	201.0	11.5	不合格(MAB が 12μs を 0.5μs 下回る。設定が下限ぎりぎりのため。分解能 ±1.3μs 内)
92	12	92.2	11.5	不合格(同上)
88	12	87.0～88.3	11.5	不合格(BREAK 92μs 未満。規格外を意図した試験)
100	0	99.8	3.8	不合格(MAB をほぼ無くした極端な試験)

不合格の行は、規格を外した波形を意図して作り、きちんと「不合格」と判定できることの確認です(検査装置として、悪い波形を見逃さないための試験)。

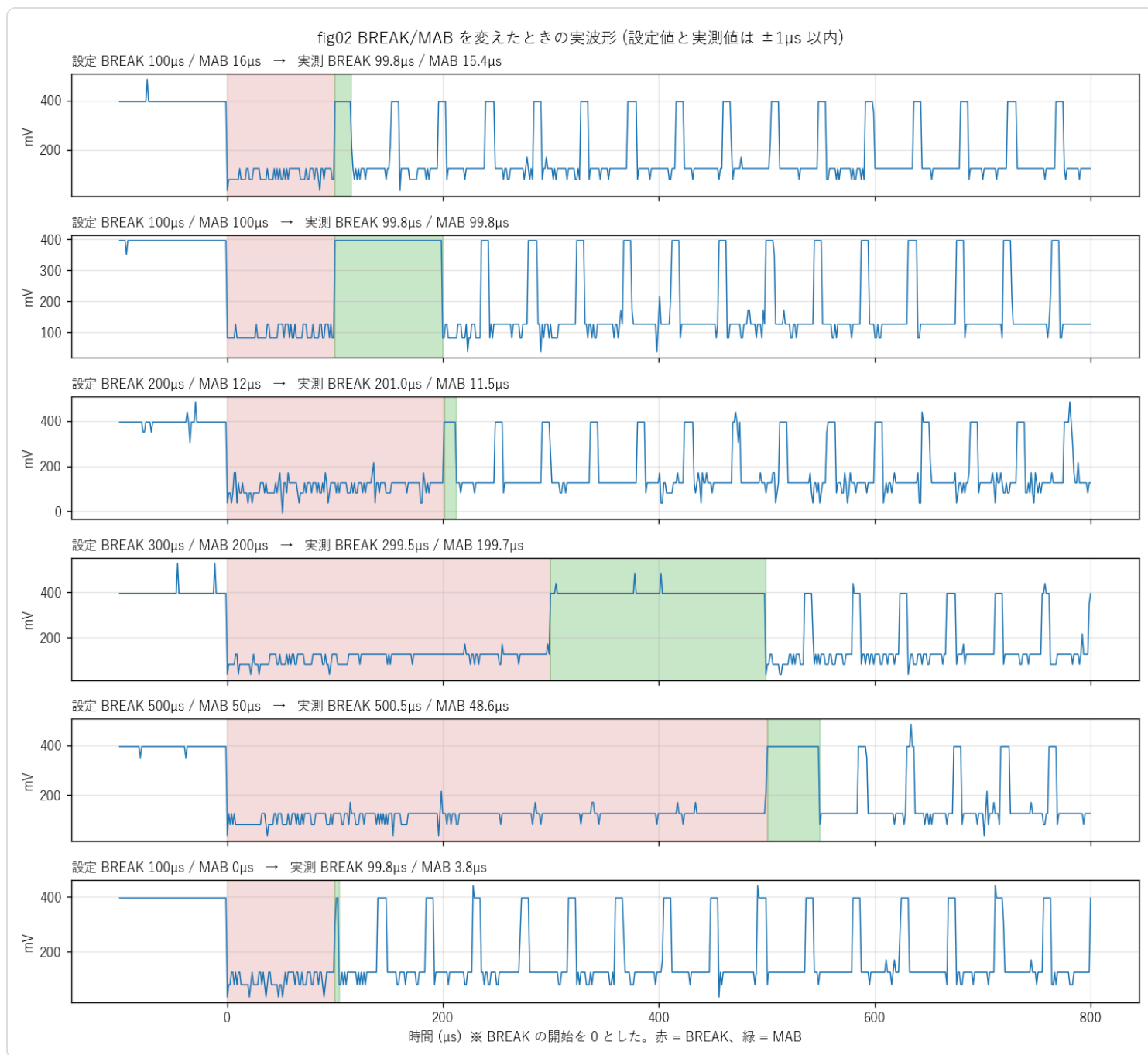


図 2 BREAK と MAB を変えた 6 通りの実波形。赤 = BREAK、緑 = MAB。各段の題に設定値と実測値を書いています。

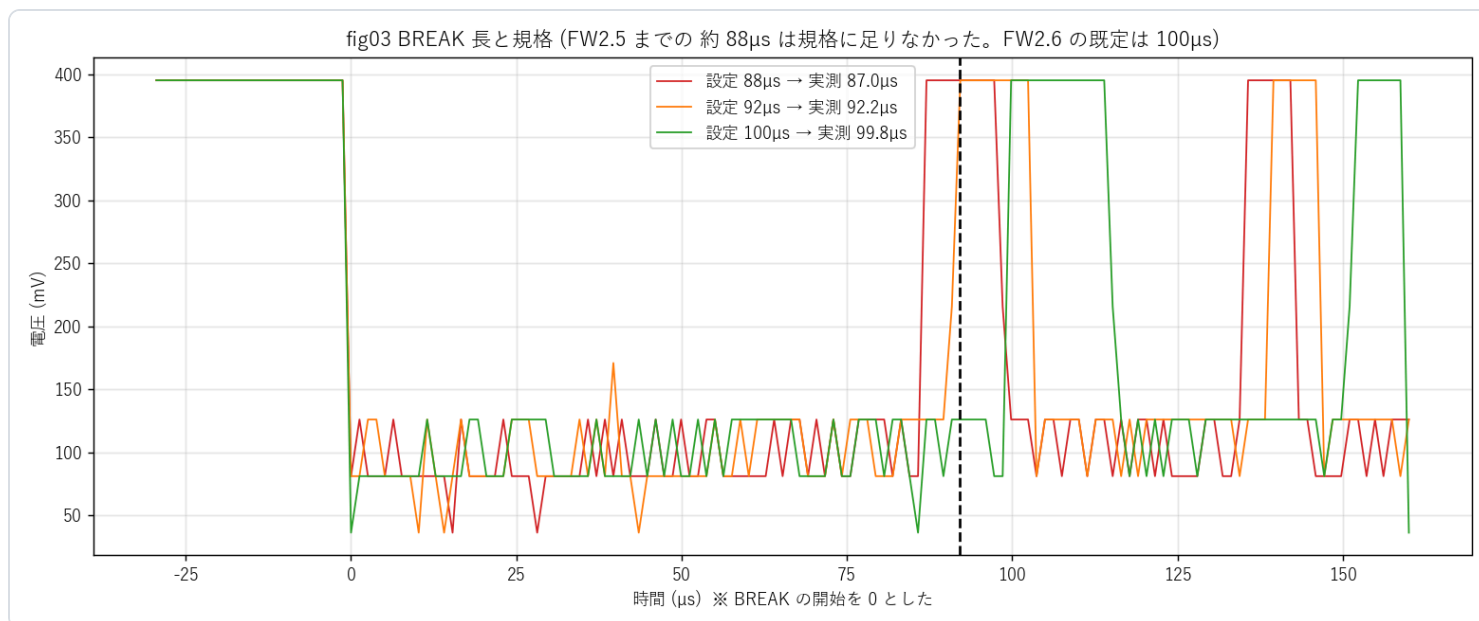


図 3 BREAK を 88 / 92 / 100 μ s にした重ね描き。点線 = 規格の下限 92 μ s。ファーム 2.5 までの約 88 μ s は点線に届かず規格外。2.6 の既定 100 μ s は余裕を持って合格。

4. 結果 2 — 出力周波数(rate)と、フレームの隙間

出力周波数(rate)を変えたときの実際のフレーム周期を、BREAK の間隔から測りました。

rate 設定	期待周期	実測周期	実測周波数	IDLE(隙間)	判定
10	100ms	99.99ms	10.0Hz	77.3ms	合格
20	50ms	50.0ms	20.0Hz	27.3ms	合格
30	33.3ms	33.0ms	30.3Hz	10.3ms	合格(周期は整数ミリ秒に丸め)
40	25ms	25.0ms	40.0Hz	2.3ms	合格
0(最速)	25ms	25.0ms	40.0Hz	2.3ms	合格(上限 40Hz)

1 フレームは約 22.7ms(BREAK 100 + MAB 16 + 513 スロット × 44 μ s)なので、40Hz(周期 25ms)でも約 2.3ms の隙間が残り、次のフレームと重なりません。

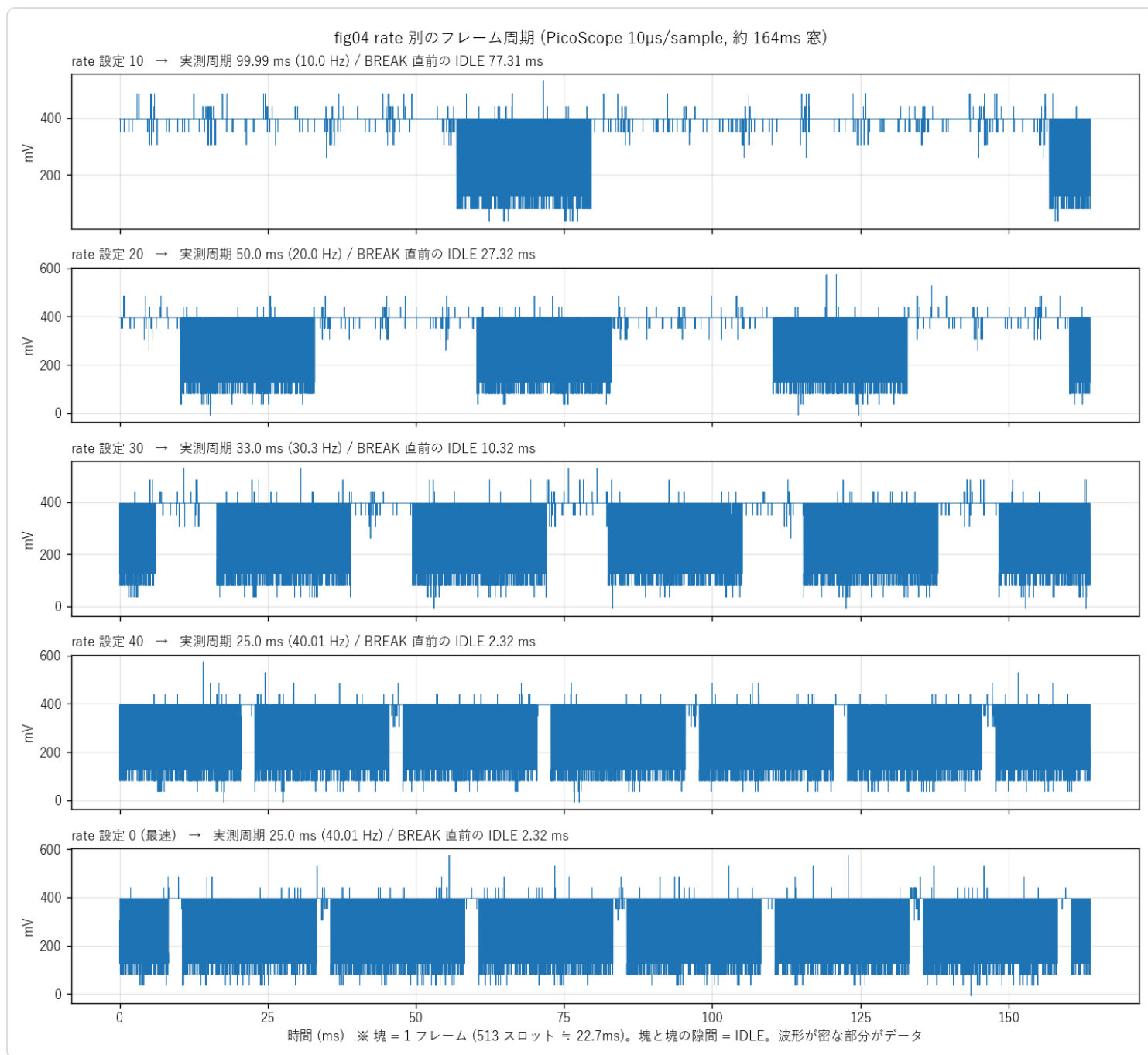


図 4 rate 別の約 164ms 分の波形。波形が密な塊 = 1 フレーム、塊と塊の隙間 = IDLE。rate を上げると塊の間隔が詰まります。

5. PicoScope 7 の画面の見方

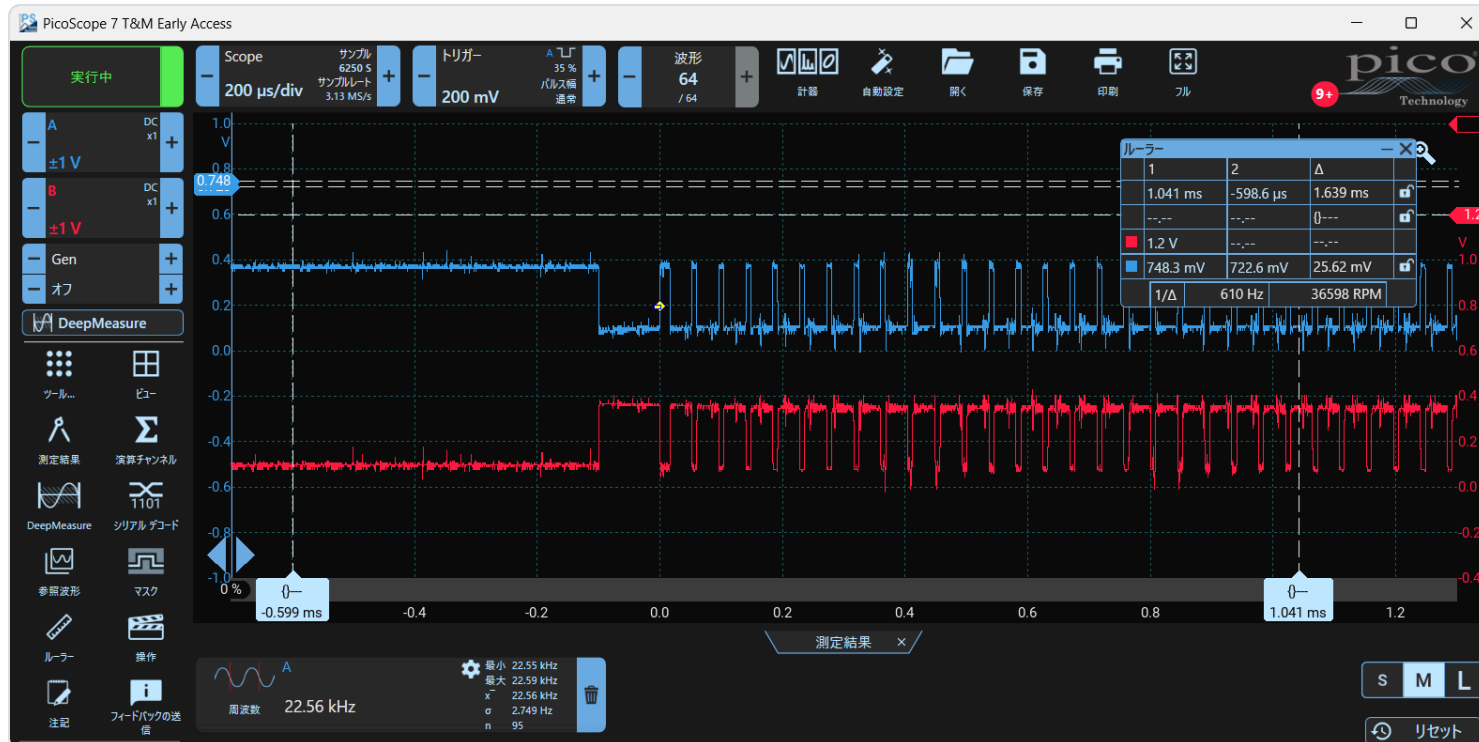


図 5 PicoScope 7 の実画面(200μs/div)。青 = ch A、赤 = ch B(DMX の +線 と -線。逆の動きになる)。

- 左のフラットな部分 = アイドル(High)。そこから落ち込む部分 = **BREAK**(この画面で約 0.1ms)。そのあとの細かい矩形がスロット(データ)です。
- 画面右下の測定結果「周波数 22.56kHz」は、スロット内のビット変化の速さ(0x00 を連続で送ったときの 44μs 周期 ÷ 22.7kHz)で、フレーム周波数ではありません。
- 点線の縦線 2 本はルーラー(時間の差を測る道具)です。BREAK を測るときは、落ち込みの始まりと終わりに合わせます。
- 差動(A と B を逆相で見る)ときは、A - B の演算チャンネルを使うと、ノイズが相殺されて見やすくなります。

6. 測り方の手順(再現用)

6-1. 準備

1. オシロ: PicoScope 2204A / 2205A(旧ドライバ ps2000 系)。USB で PC に接続。
2. プローブ: 測る機器の **DMX OUT** の信号線(pin 2 = DMX-、pin 3 = DMX+)と GND(pin 1)に接続。まず片側(DMX+)だけで始めてよい。レンジは ±5V(RS-485 は数 V)から。
3. 測る機器の DMX OUT には**他の DMX 機器をつながない**(他の信号が混ざり、周期が正しく測れません)。終端 120Ω は付けた状態で測る。

4. PicoScope 7(画面ソフト)と、同じ COM ポートを使うソフト(照明制御ソフト・モニター類)は閉じる。開いたままだと、オシロや COM ポートを開けず失敗します。

安全: プローブをつなぐのは低圧の DMX 信号(DC)だけ。AC 電源側には絶対に接続しないこと(2205A は非絶縁です)。

6-2. 手で測る(PicoScope 7 の画面)

1. 時間軸を 200 μ s/div、トリガーを ch A の立下り(しきい値 約 0.2V)に設定。
2. 図 5 のような波形が出たら、ルーラーを BREAK の落ち込みの始まりと終わりに合わせて長さを読む。
3. MAB は、BREAK が終わって High に戻ってから、最初のスロットのスタートビット(Low)が始まるまで。
4. 波形を残すときは「保存」から CSV で書き出す。

6-3. 自動で測る(コマンド)

スコープの取得ツール(PicoScopeBridge)と、解析スクリプトを使います。結果は規格の合否つきで出ます。

```
# 1. 取得 (BREAK/MAB/ビット幅向け: 1 $\mu$ s 刻み・約 20ms)
PicoScopeBridge.exe capture --ch A --range 5V --coupling DC --samples 16000 --interval-us 1
#   → cap_<日時>.csv (t_us, mV)

# 2. 解析 (BREAK / MAB / ビット幅 / スロット数 / 規格の合否 を JSON で出力)
python scripts/analyze_dmx.py --latest

# 3. BREAK/MAB を順に変えて、設定値と実測値を比較 (対象の COM を指定)
python scripts/wave_check.py COM61

# 4. 配布用のデータ一式と図を作る
python scripts/collect_waveform_set.py COM61 <出力フォルダ>
python scripts/make_figures.py <データフォルダ> <図フォルダ>
```

6-4. 連続で測る(スコープを開きっぱなしにする常駐ツール)

取得ツールは、実行のたびにスコープを開閉するため、「PicoScope」の起動画面が毎回出て、スコープ内部のリレーも毎回 ON/OFF します(カチッと音がする・接点の寿命にも良くない)。連続で測るときは、**1 回だけ開いて開きっぱなしにする常駐ツール**を使います(チャンネル設定も最初の 1 回だけ)。

```
python scripts/pico_session.py serve          # 常駐 (起動時の 1 回だけ画面とリレー動作)
curl "http://127.0.0.1:8766/capture?interval_us=1&samples=16000"  # 1 回取得して解析
curl "http://127.0.0.1:8766/watch?sec=60&interval_us=1"          # 60 秒の連続計測 (統計と規格
curl "http://127.0.0.1:8766/period?interval_us=10&windows=6"     # フレーム周期 / IDLE
curl "http://127.0.0.1:8766/quit"              # 閉じる
```

実測(20 秒の連続): 451 窓を開閉なしで取得。BREAK 99.84~101.12μs、MAB 15.36~16.64μs、規格外 0 回、周期 32.99ms(30.3Hz)。常駐中は PicoScope 7 の画面と取得ツールを使えません(スコープを占有)。画面で見たいときは、常駐を閉じてから使います。

6-5. 判定の目安

項目	合格の目安
BREAK	92μs 以上(多くの機器は 100~200μs)
MAB	12μs 以上(上限は 1 秒未満)
ビット幅	4μs ±1%(3.96~4.04μs)
スロット	スタートビット 1 + データ 8(LSB 先頭)+ ストップビット 2 = 44μs
周期	設定した周波数どおり(1 フレーム 約 22.7ms より短くならない)
プローブ位置の確認	ビット幅が 4μs 付近、周波数が理論値と一致していれば、正しい場所を測れている

7. できないこと・注意(正直に)

- 測定したのは StampS3 の 1 台(COM61)だけです。SuperMiniS3(3 台)は同じソースのファームですが、オシロでの個別測定は未実施です。
- 信号の振幅が小さく(約 ±0.5V)、細かいノイズが乗っています。プローブの倍率設定・終端・測定位置(ドライバ IC の出力側か)を今後確かめる必要があります。解析ソフトはノイズ対策(しきい値の自動推定・細かいグリッチの併合)を入れて合否を出していますが、実際の RS-485 の電圧波形(リンギング・立上り時間)の評価は未実施です。
- オシロの分解能は 1.28μs(1μs 刻み設定時)なので、±1μs 程度は誤差です。MAB 12μs の設定が「11.5μs」と出て不合格になるのは、この限界のためです。実運用の既定は余裕を持たせて MAB 16μs にしています。
- rate 1Hz(周期 1 秒)は、オシロでの実測が未確認です(自機の出力を自機の入力に戻す試験では 1.0Hz を確認済み)。
- 差動(A - B)の自動解析は未対応です(現在は片側 1 チャンネル)。

- 測定中、出力に**他の DMX 機器が接続されていると周期が正しく測れません**(他の信号のフレームが混ざる)。
- 波形の設定(BREAK・MAB・スロット数・スタートコード)は、**再起動すると規格どおりの既定に戻る**(保存されません)。検査用の機能で、通常運用では使いません。

8. 用語

用語	意味
BREAK	フレームの頭で、長く Low にする区間。「ここから新しいフレーム」の合図。
MAB	Mark After Break。BREAK のあと、High に戻っている短い区間。
スロット	1 バイト分(スタートビット + 8 ビット + ストップビット 2)。0 番がスタートコード、1～512 が各チャンネルの値。
IDLE	1 フレームが終わってから、次の BREAK までの High の区間(隙間)。
rate	USB-DMX-PRO の「出力周波数」設定(1～40Hz、0 = 最速)。
差動	DMX の + 線 と - 線の電圧差。RS-485 は差動で信号を伝える。

この頁は開発の記録です。数値は 2026-10-06 の実測(StampS3・COM61、ファーム 2.6、PicoScope 2205A)。