

# EMC設計対策コンテスト 最終報告

～Picoを用いたレコーダーの製作とノイズ対策～

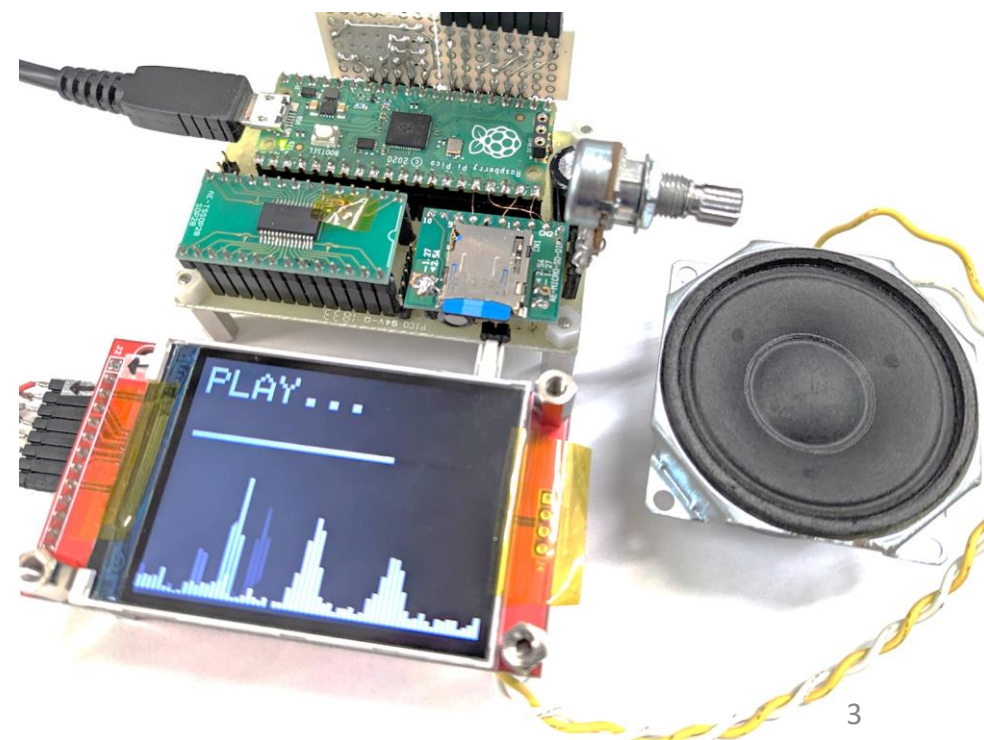
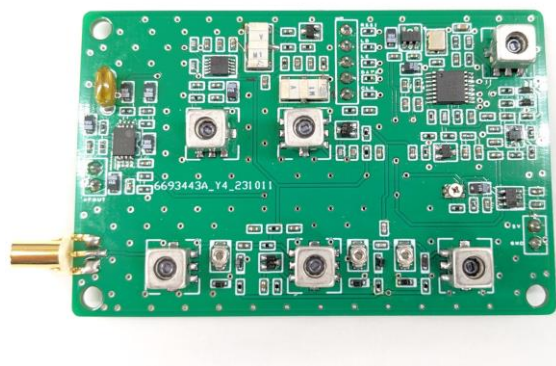
株式会社サーキットデザイン 技術部 矢花大季

# 作品について

## PicoRecRadio ピコレックラジオ

FMラジオの再生および、SDカードへ録音・再生を行う。  
SPI通信で液晶画面へ情報を表示する。

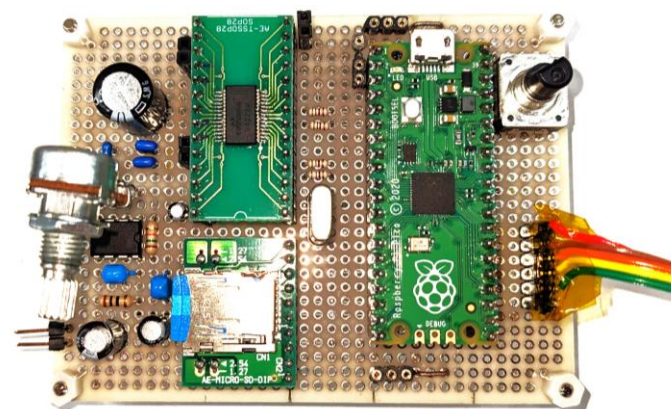
※測定はラジオ↓を除く



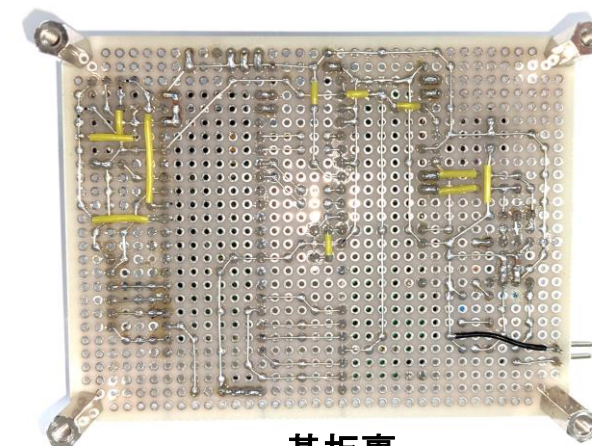
# 作品のハードウェア

## 主な搭載部品

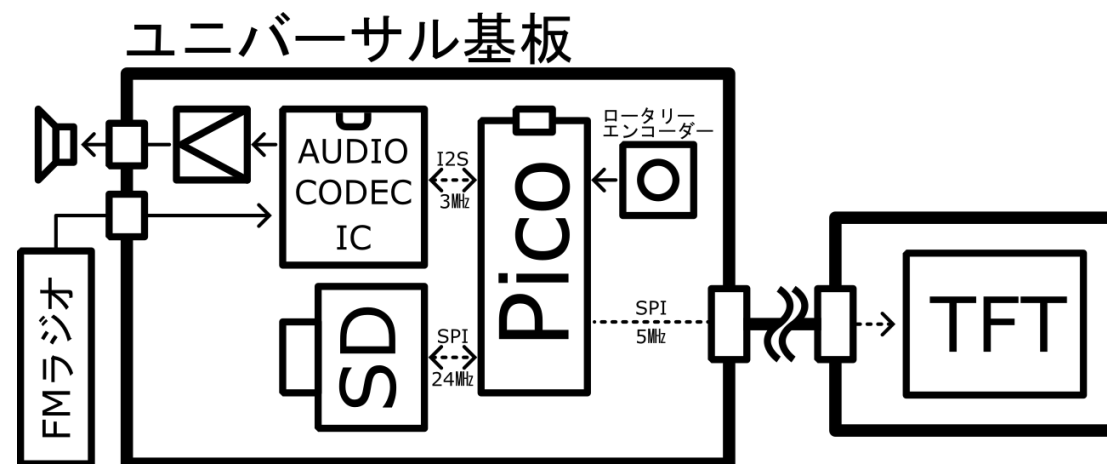
- Raspberry Pi Pico
- オーディオコーデックIC
- SDカード
- TFT液晶モジュール
- ロータリーエンコーダ
- スピーカーアンプ



基板表



基板裏



各部品の接続図

## 音声再生の流れ

### CORE0

↓再生操作受けつけ

↓SDカードから録音データロード (SPI 24MHz)

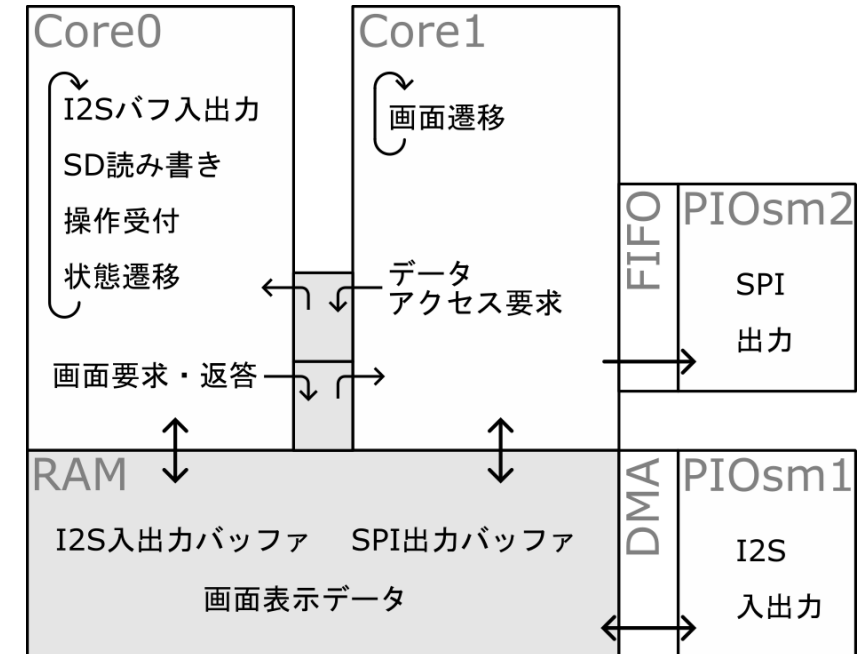
←オーディオコーデックICにデータを転送(PIO-I2S 約3MHz)

### CORE1

↻データをもとに液晶へ情報表示(PIO-SPI 5MHz)

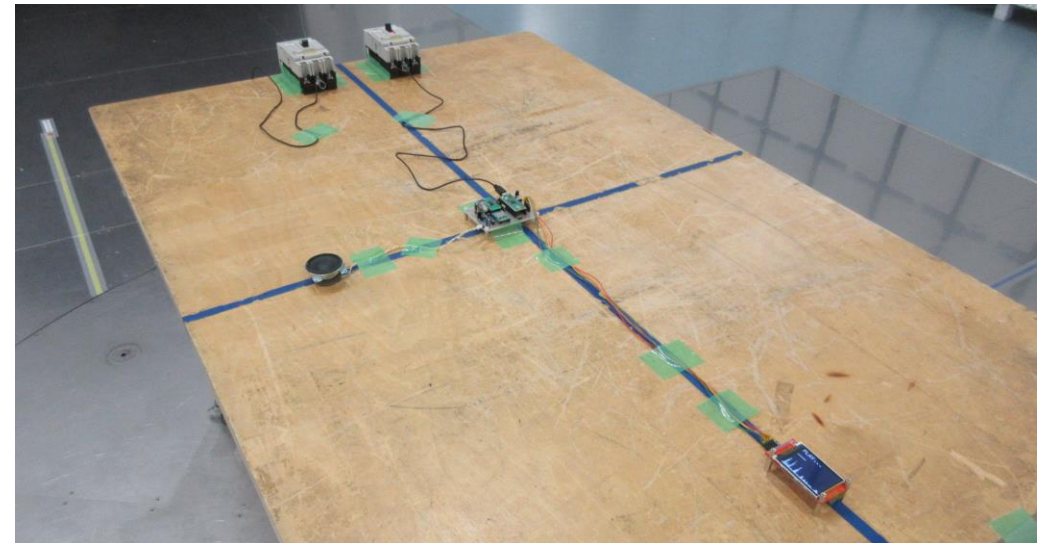
### PIO×2

↻常にI2S入出力、バッファにデータがあったらSPI出力



プログラム構造のイメージ

# 対策前のノイズ評価



# 対策前のノイズ

## 測定条件

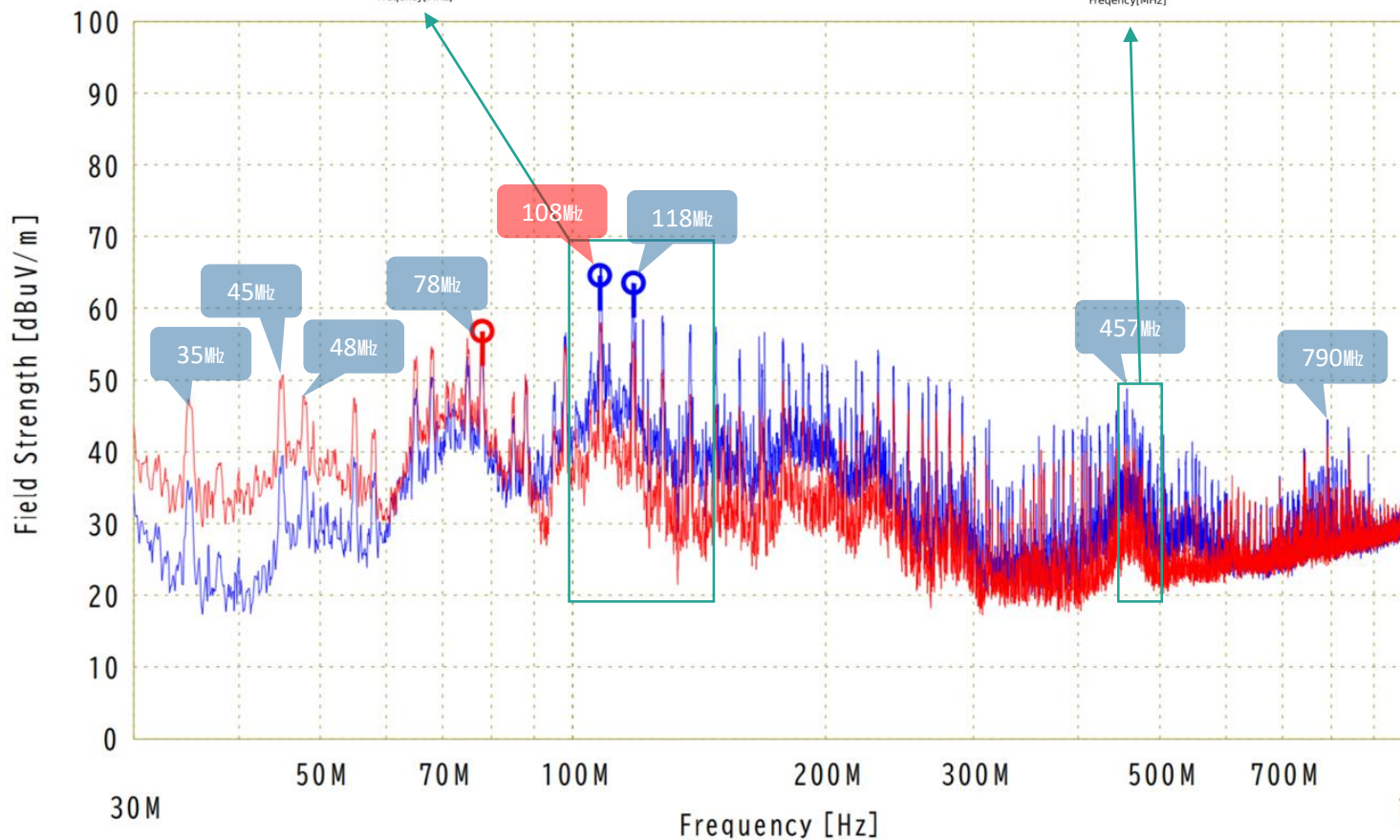
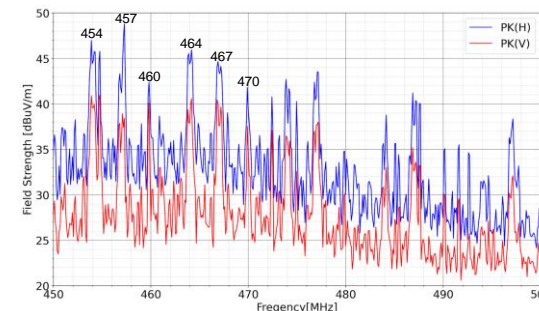
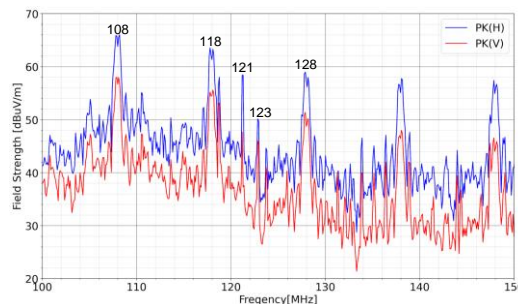
すべて動作した状態  
(音声再生状態)

## 多くのピーク

- 通信周波数の倍数
- 118MHz..?

## まとまったノイズ

- 60-300
- 500MHz周辺



- Hori. (PK)
- Hori. (QP)
- Vert. (PK)
- Vert. (QP)

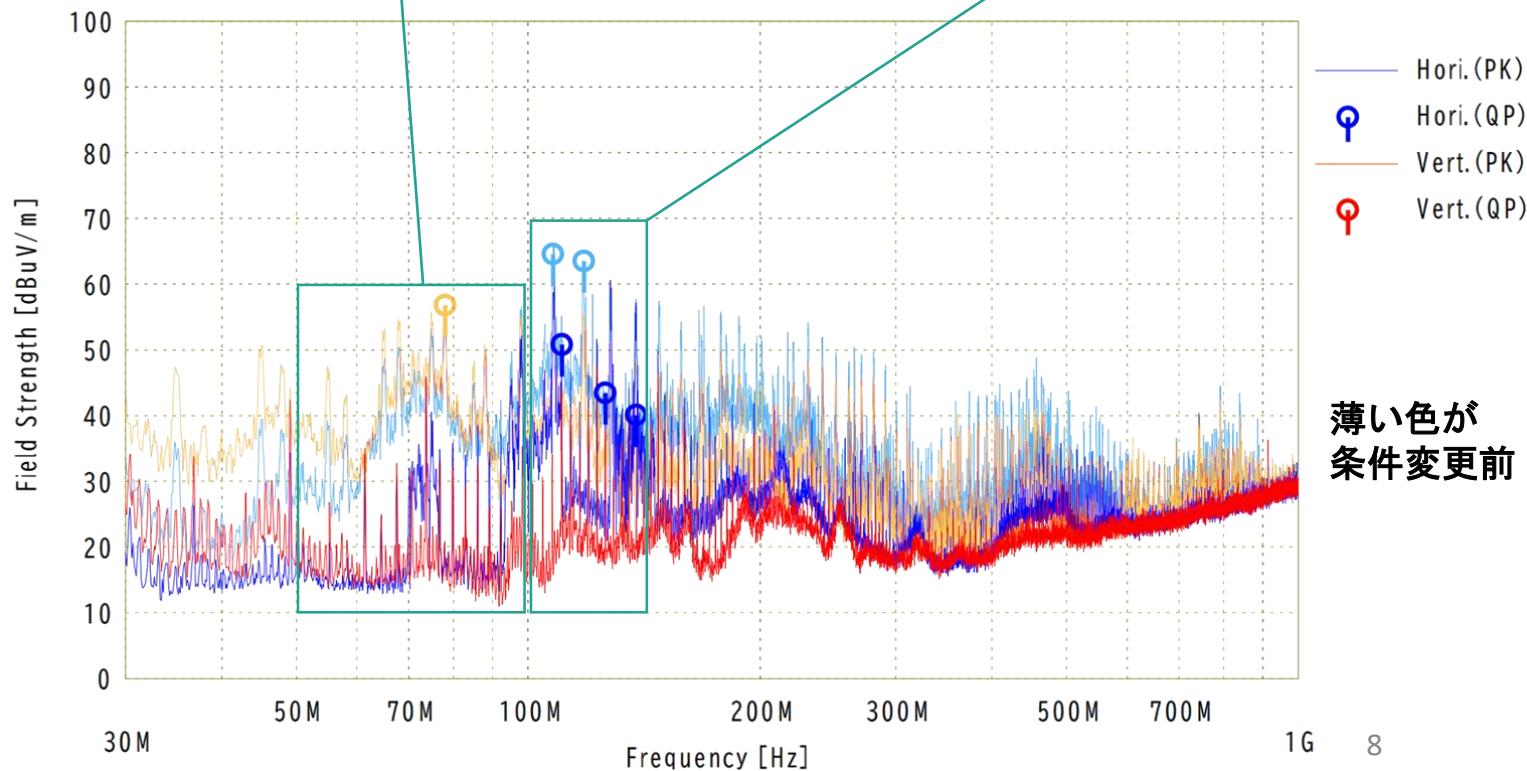
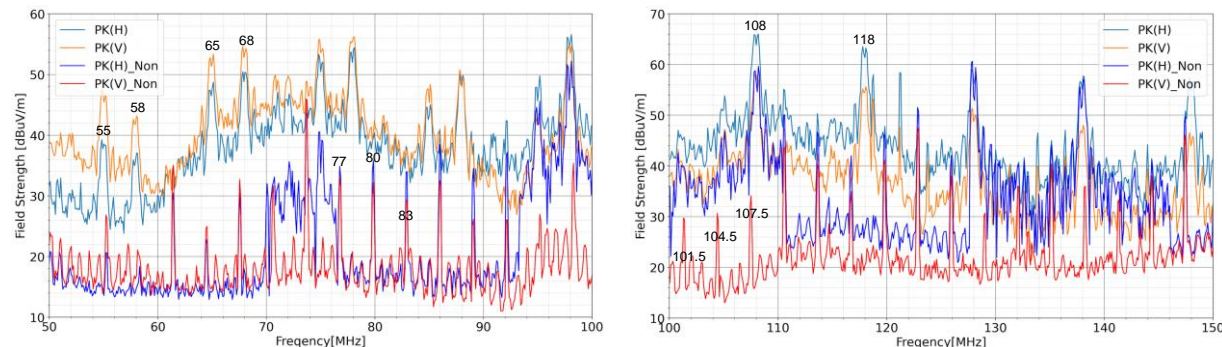
# 対策前のノイズ（非再生時）

## 測定条件

- SDとの通信一切なし
- 液晶とは稀に通信  
(再生待機状態)

## ノイズ特性に大きな変化

- 3MHz刻みのノイズ
- 水平偏波で液晶と通信？  
→60MHz-150MHzのノイズは  
液晶が原因





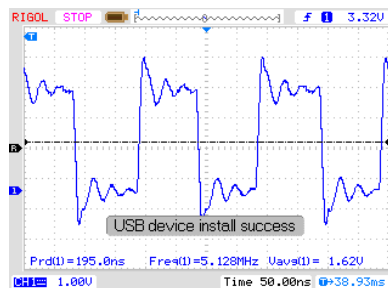
# 対策前のノイズ（考察）

## 118MHzのノイズについて

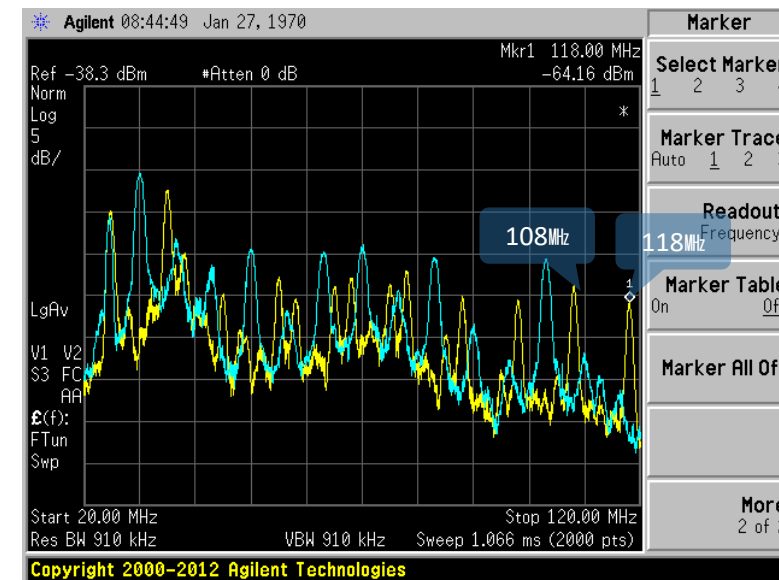
液晶のSPI通信配線周辺に磁界プローブを近づけ  
クロック周波数：5MHz、10MHzのノイズを測定

118MHzは液晶のSPI通信のCLKで発生！  
（最大のピークだった108MHzも発生）

リングングが原因か



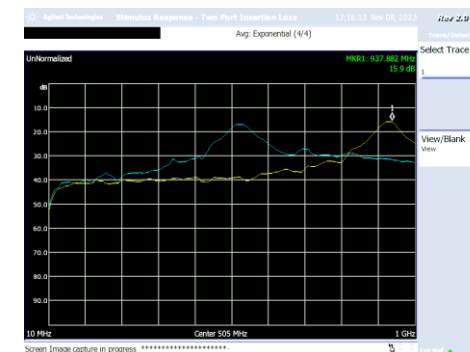
CLKの信号波形



液晶のSPI通信ノイズ  
青：10MHz 黄：5MHz



磁界プローブと  
その周波数特性

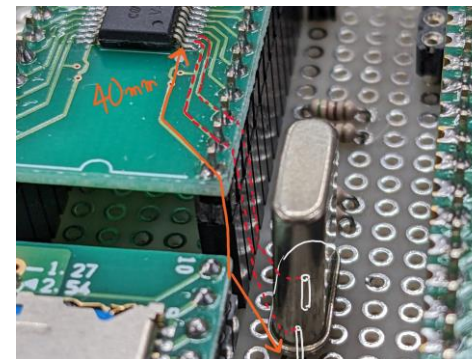


# 実施したノイズ対策と その効果

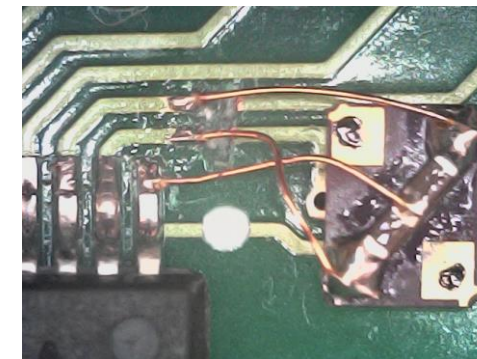
# 通信配線等の最短化 (放射効率の低減)

## オーディオコーデックICと発振子

- ・ 水晶発振子を、ICのそばに移動
- ・ 配線長は1/4程度(10mm)に
- ・ オーディオコーデックIC本体もPico近くへ



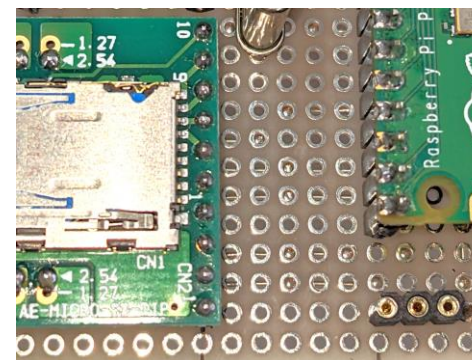
対策前



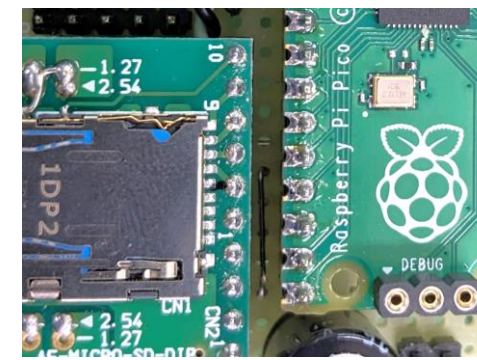
対策後

## SDカード通信線

- ・ ソケット基板をPicoに近づける
- ・ 配線長を3/5程度(20mm)に



対策前



対策後

# SPI通信配線の差動化 (磁束の打ち消し)

## ソフトウェアによる差動化(CLK)

SPI通信をPIOを用いたS/WのSPIに変更  
CLKを2ピン確保し、反転動作させる

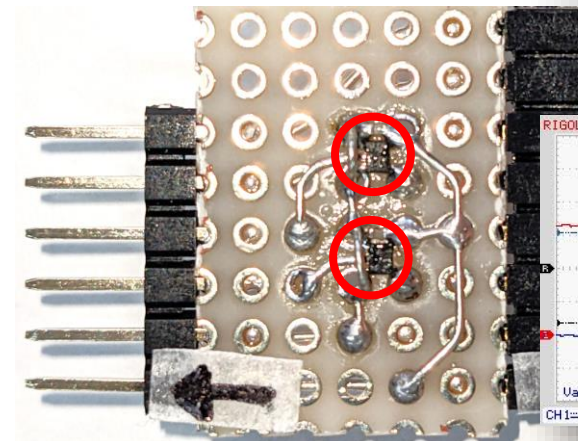
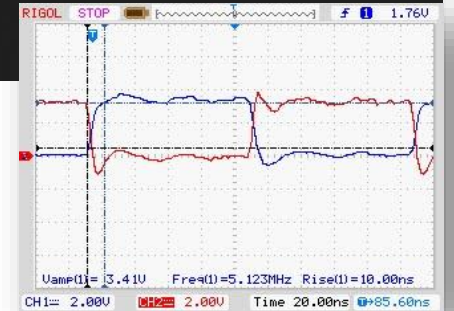
## ハードウェアによる差動化(MOSI,DC)

マイコンからの信号をインバーターに入力し、反転した信号を得る

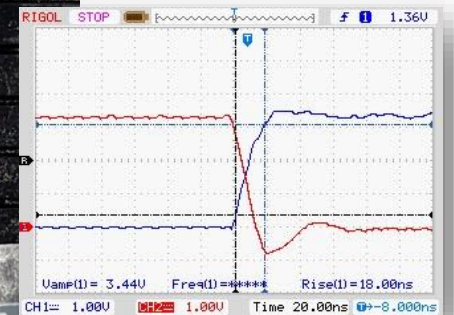


```
static const uint16_t spi_cpha1_program_instructions[] = {  
    // .wrap_target  
    0x6821, // 0: out    x, 1      side 1  
    0xb101, // 1: mov    pins, x      side 2 [1]  
    0x4801, // 2: in     pins, 1      side 1  
    // .wrap  
};
```

反転動作させている部分



Pico-ケーブル間に挟んだ  
アタッチメント基板

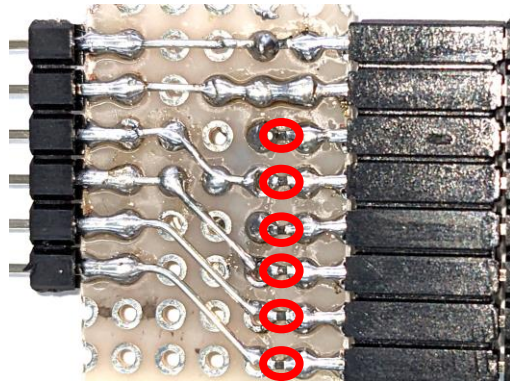


# 信号の立ち上がり速度鈍化 (高調波低減) CIRCUIT DESIGN, INC.

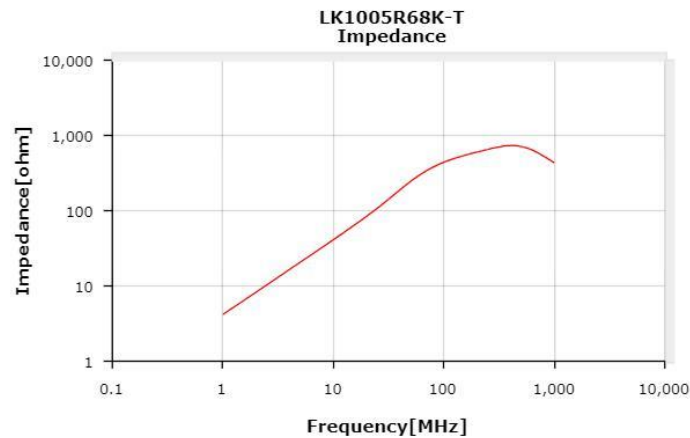
## フェライトビーズ挿入

信号の立ち上がり速度が2倍程度に

挿入前 : 5ns → 挿入後 : 12ns

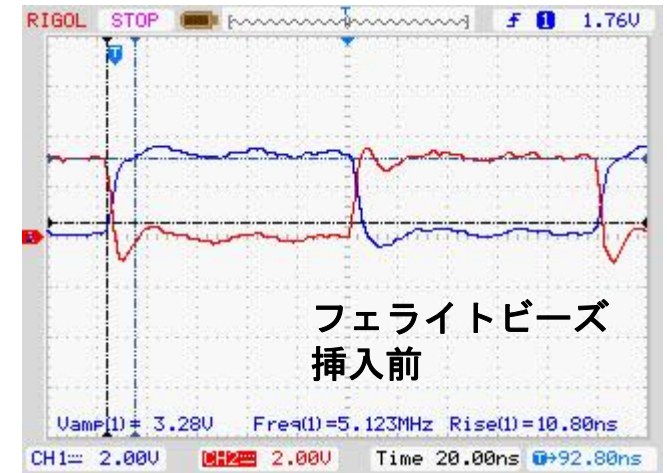


Pico-ケーブル間に挟んだ  
アタッチメント基板



— [Z]

フェライトビーズの特性

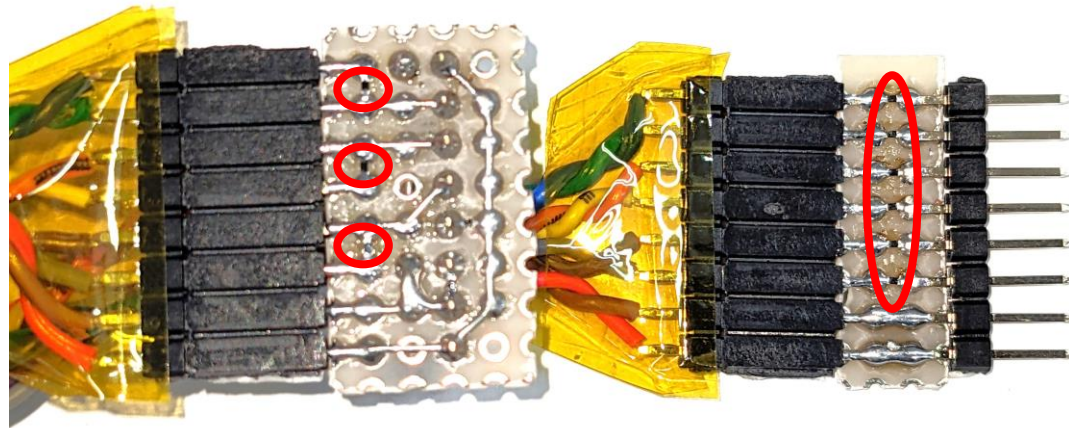


# 信号のリンギング防止

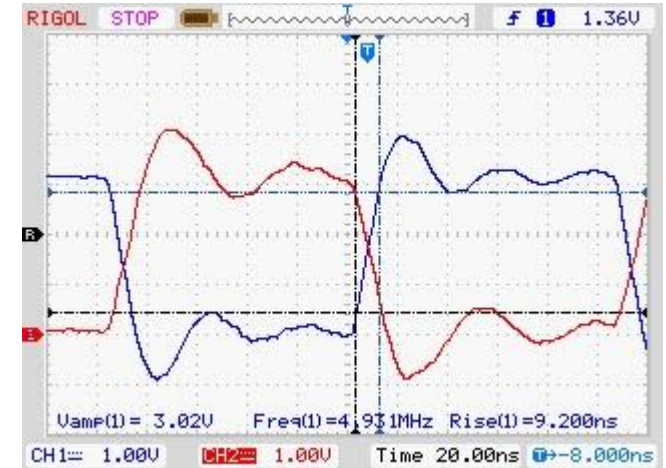
## ダンピング抵抗・終端抵抗挿入

- ・ダンピング抵抗：150Ω
- ・終端抵抗：1.5kΩ

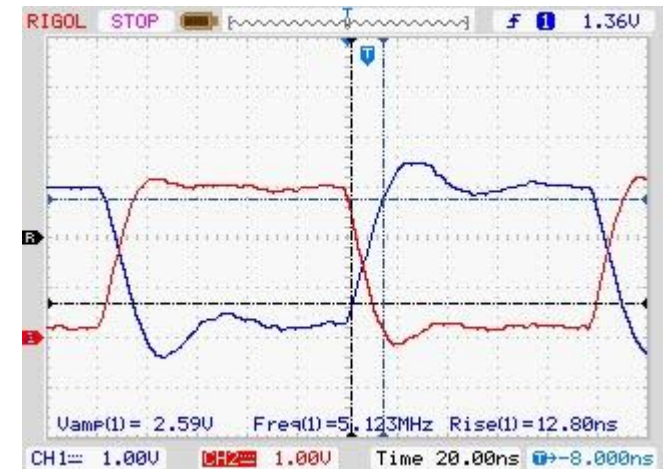
抵抗値はいくつかの定数を試して  
良いものを選択



ケーブルの終端と始端に挟んだアタッチメント基板



抵抗挿入前



抵抗挿入後

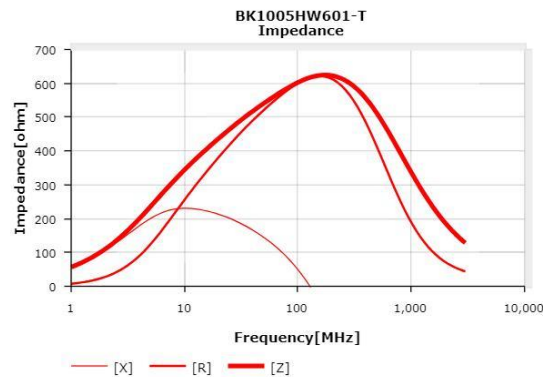
# 長い配線へのノイズ伝搬対策 (放射防止) CIRCUIT DESIGN, INC.

## スピーカー配線前にフェライトビーズ挿入

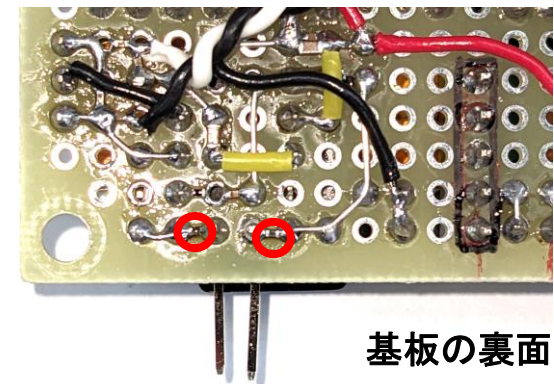
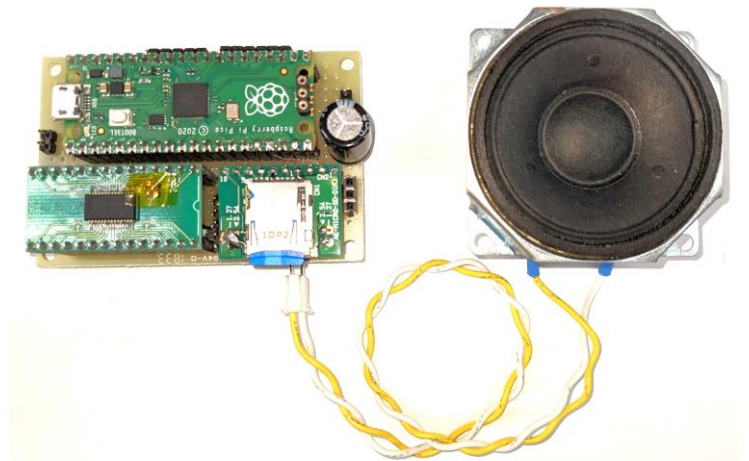
コネクタ直前にフェライトビーズを挿入

スピーカー配線(20cm程度)への  
ノイズ伝搬を防止

フェライトビーズは、  
より低周波に効く  
特性のものを選択



フェライトビーズの特性

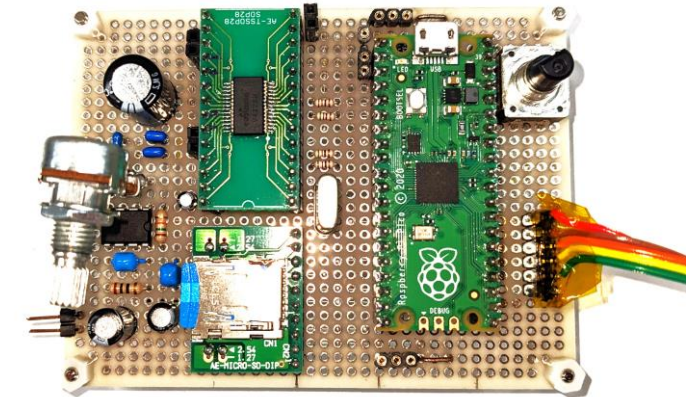


基板の裏面

# ノイズ対策のコスト

名称	単価	個数	合計金額
<u>通信配線等の最短化</u>	0円	-	0円
<u>SPI通信配線の差動化</u> ・追加ケーブル ・インバーターIC	15円 10円	3本 2個	45円 20円
<u>信号の立ち上がり速度鈍化</u> ・フェライトビーズ	1円	6個	6円
<u>長い配線へのノイズ伝搬対策</u> ・フェライトビーズ	1円	2個	2円
<u>信号のリングング防止</u> ・抵抗	1円	9個	9円
		<b>合計</b>	<b>82円</b>

※リールで購入した場合の値段で計算、1円以下は1円とする



対策前



対策後



# ノイズ対策前後の比較

## 120MHzまで

全体的にノイズ現象

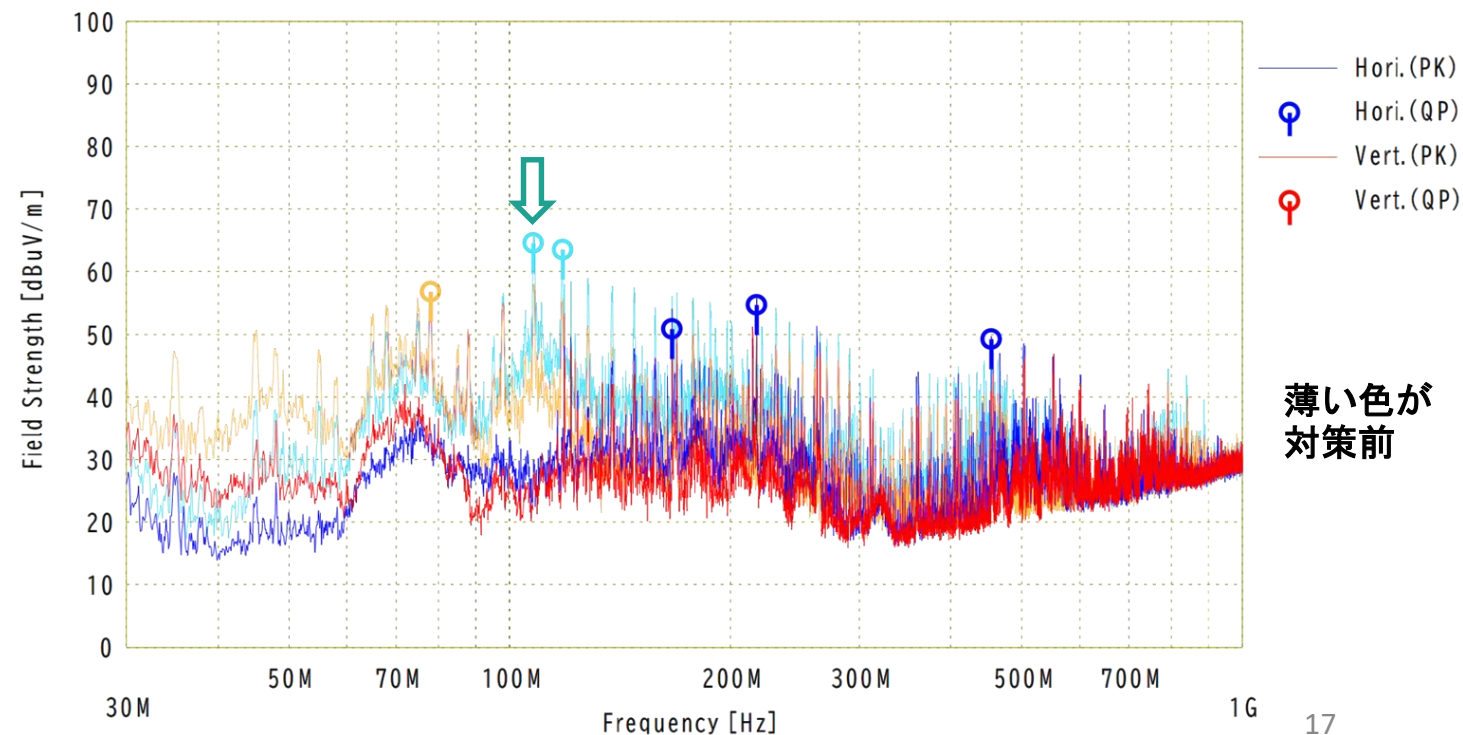
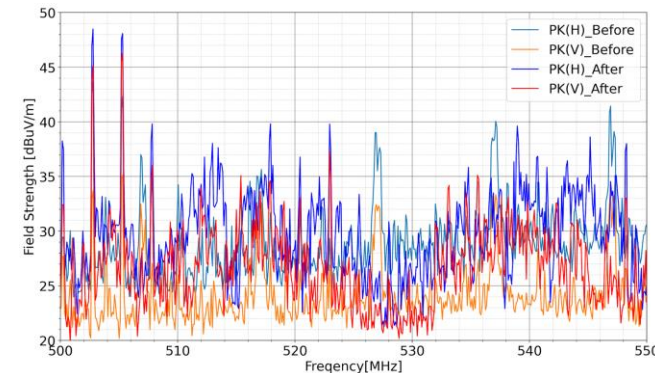
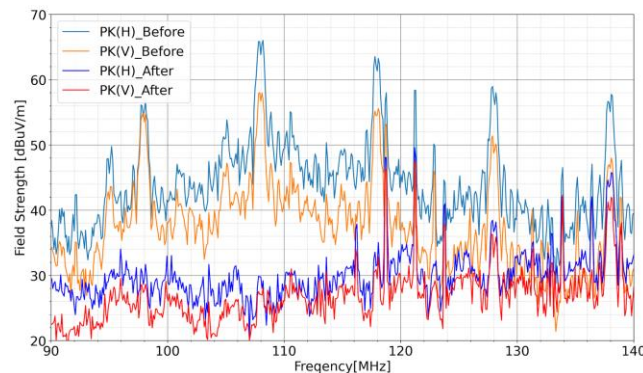
108MHz(水平)では**36dB削減**

66dBuV/m→30dBuV/m

## 120MHzから

対策前とあまり変わらず

→短い配線から放射して  
しまっている

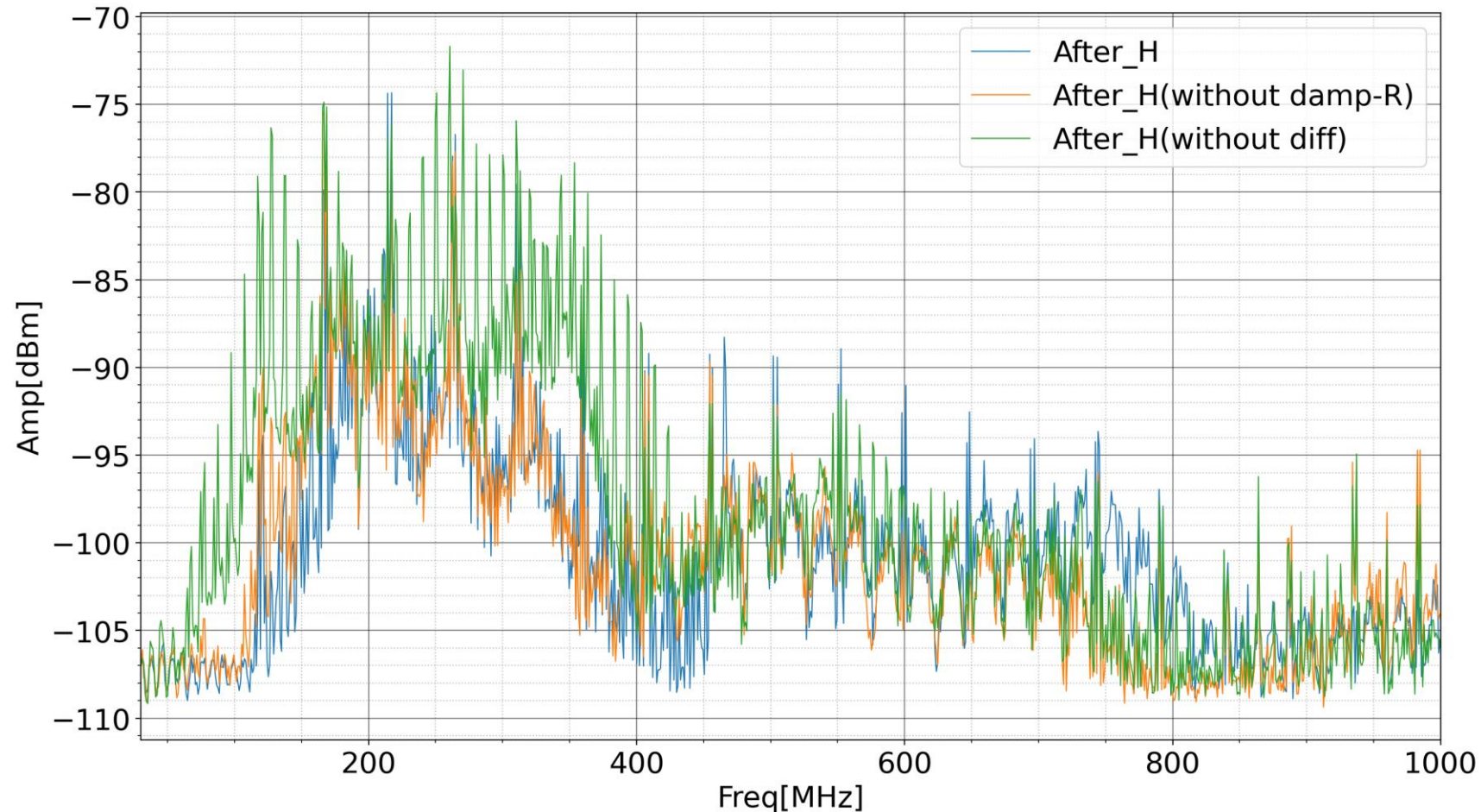


薄い色が  
対策前

# 社内の暗室での測定結果

## SPI配線の対策効果

- ・ダンピング抵抗なし
- ・差動、終端抵抗、フェライトビーズなし  
で測定
  
- ・ダンピング抵抗は  
若干の低減
- ・差動、終端抵抗、  
フェライトビーズが効果的



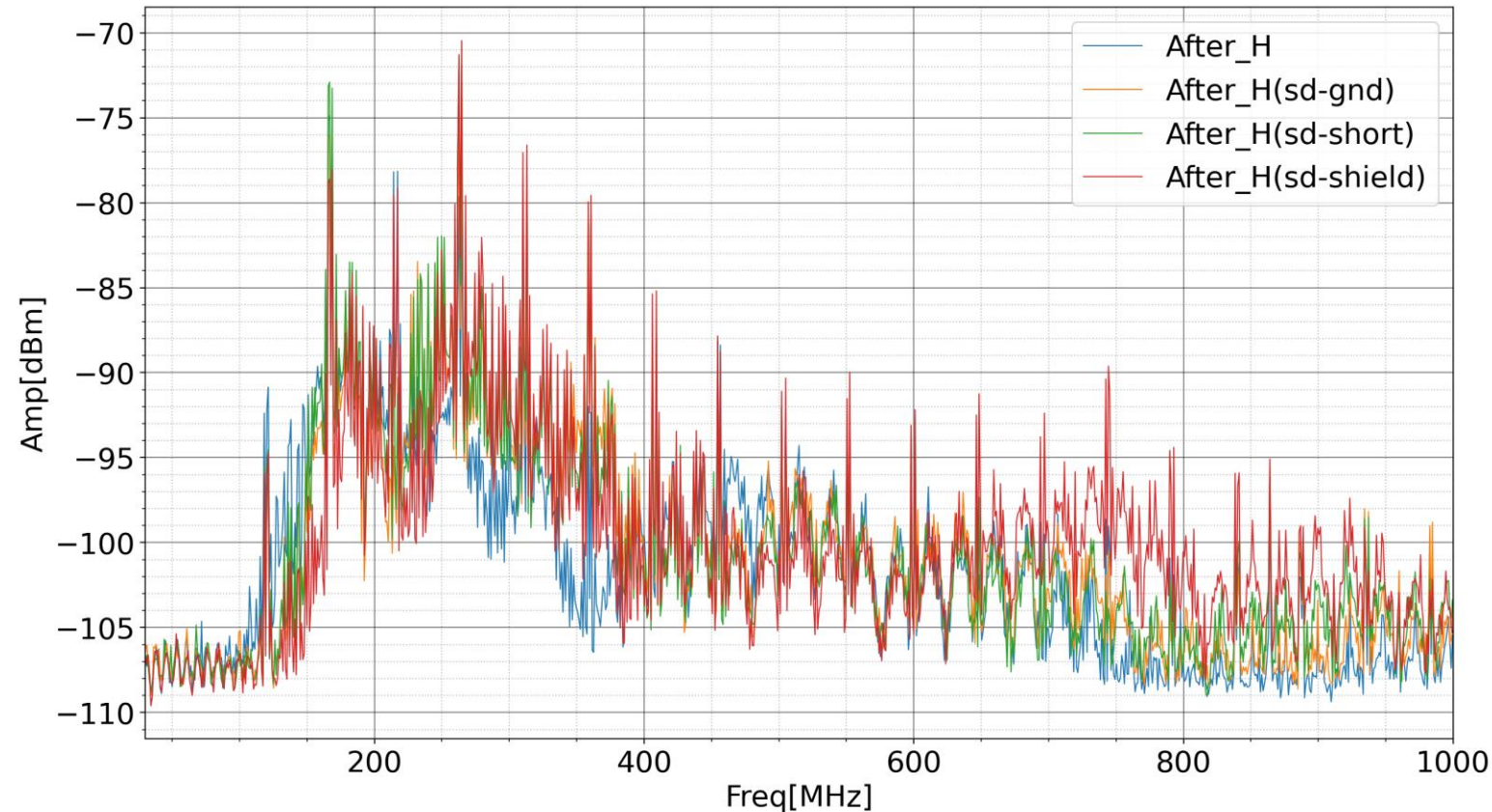
# 社内の暗室での測定結果

## SDカードへの対策

- ソケットをGNDに落とす
- SDのSPI配線をさらに短く
- SDとSPI配線を覆うようにシールド設置

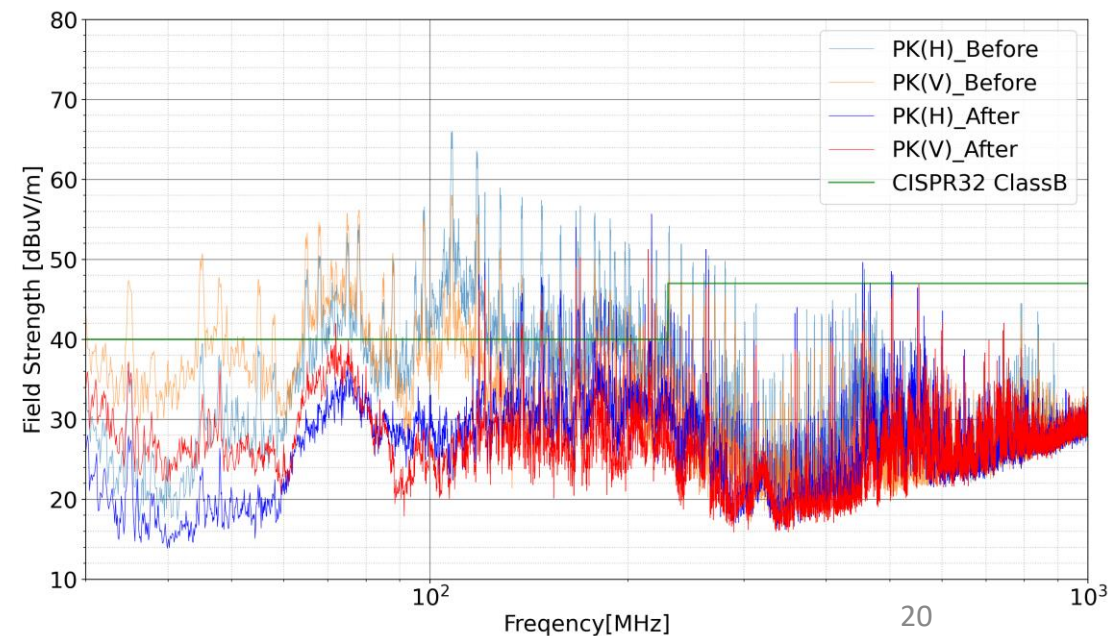
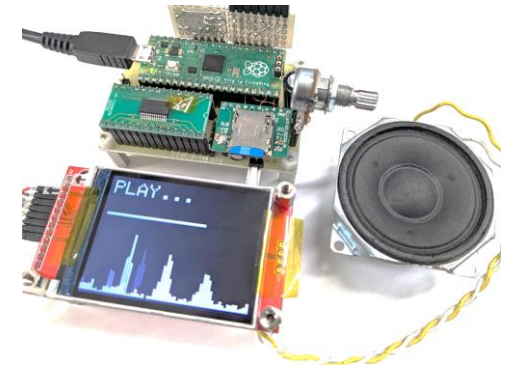
いずれも効果なし

リターン経路からの放射、シールドが反射しているだけの可能性



# まとめ

- Picoを用いてFMラジオレコーダーを製作
- 主に通信ノイズの対策を実施
  - 配線長短縮、差動化、フェライトビーズ、各種抵抗の挿入
- 120MHz以下のノイズには大きな効果
  - 108MHzで36dB削減
- 120MHzを超えると効果なし
  - CISPR32 ClassBを下回るにはシールドなどでの追加対策が必要



# 追加情報 (11/24)

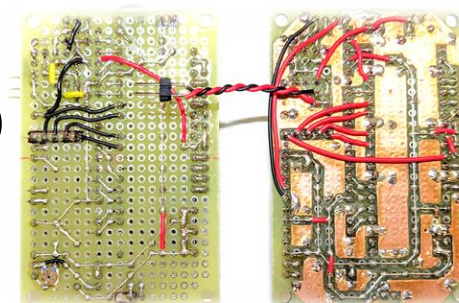
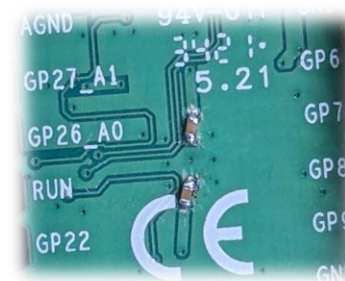
コンテスト発表後に頂いたアドバイスについて追加検証

Pico背面の電源配線に0.1uFのパスコンを配置

→400MHz以上のノイズが減少 (プロセッサのGNDへのリターンパス改善等)

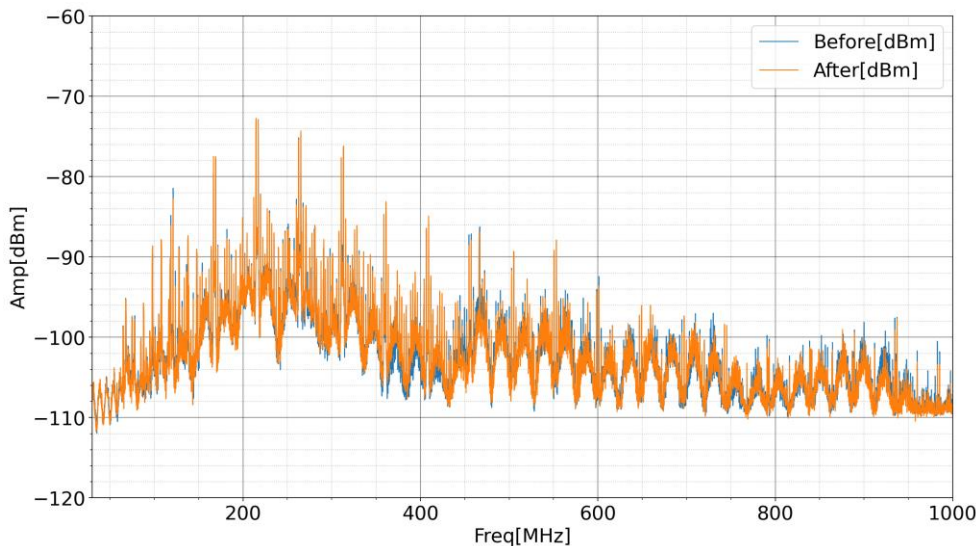
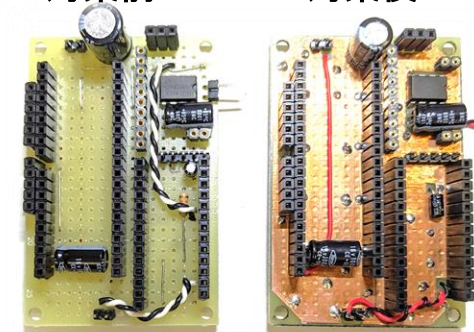
基板の表裏に銅テープを貼り、GNDを強化

→全体に大きな効果 (リターンパス改善、GND配線のインピーダンス削減等)

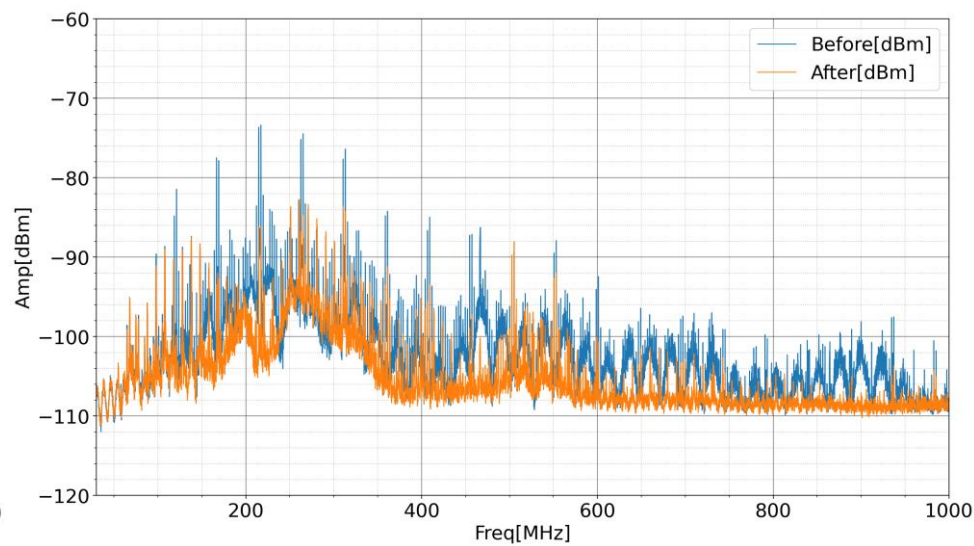


対策前

対策後



パスコン配置前後



GND強化前後

※諸事情で床面にも吸収材を設置した状態で測定(水平偏波)