

2024/12/05 (12:20 – 13:20)

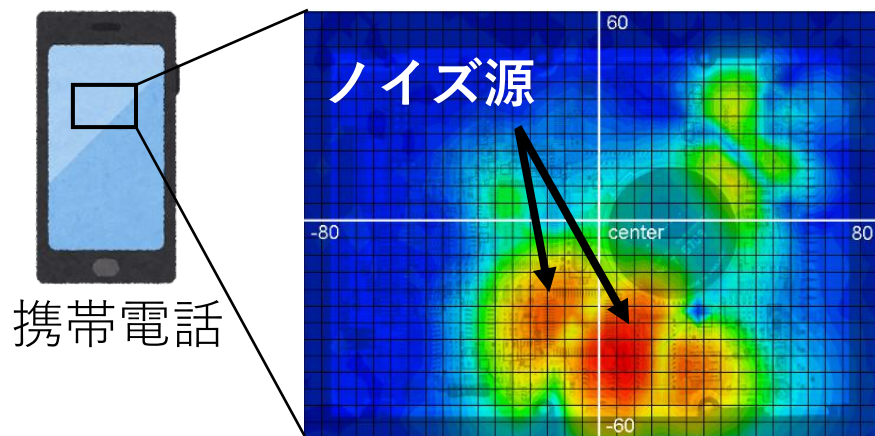
EMC設計コンテスト最終報告会

磁気・電気回路モデルによる ノイズ抑制シートを用いた**EMC**設計

Team NICT (三上貴大, 藤井勝巳)

情報通信研究機構

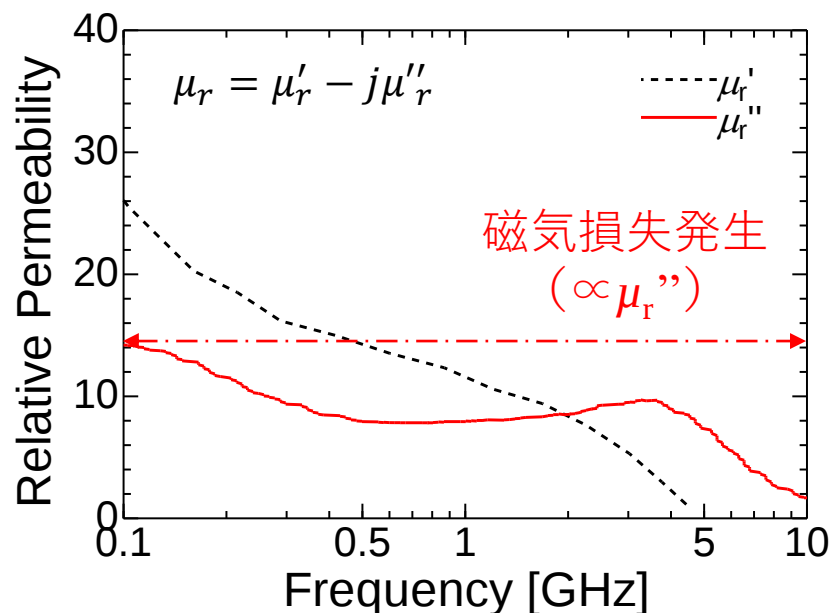
ノイズ抑制シート



ノイズ抑制シート (NSS)



NSSによるノイズ対策例^[3]



NSSの複素比透磁率^[2]

- NSSの性能評価
シールド効果 $\Leftrightarrow$ 実部 μ'_r
磁気損失 $\Leftrightarrow$ 虚部 μ''_r
- NSSの利点
薄型で, 広帯域ノイズに対応
対策箇所に貼るだけ

NSSを活用してEMC設計できないか？

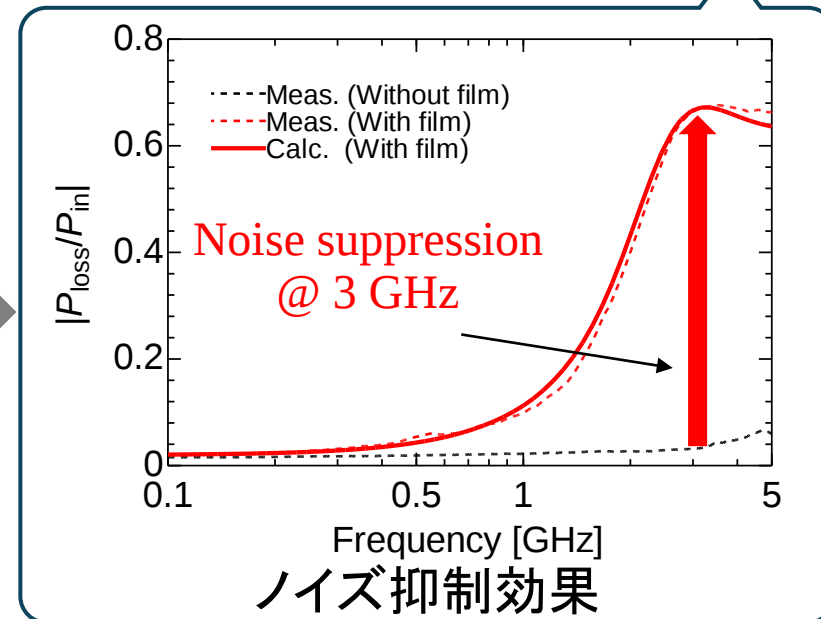
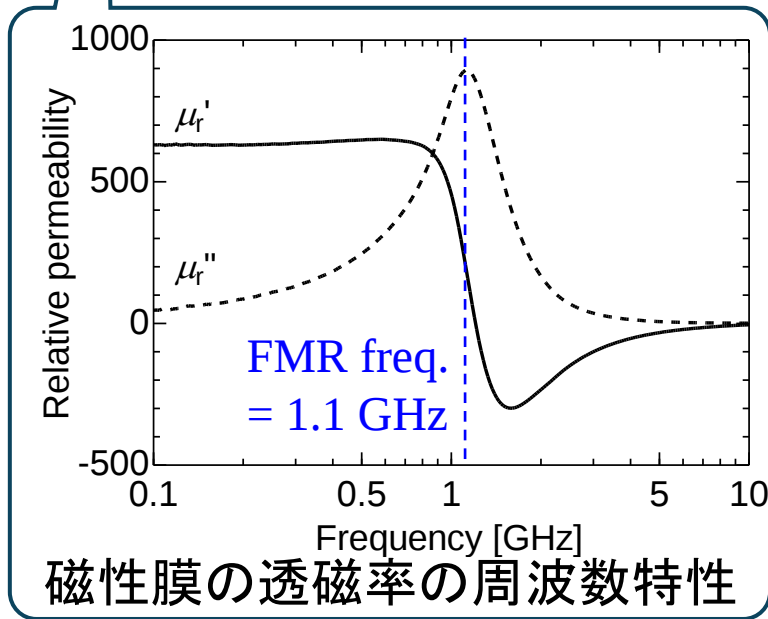
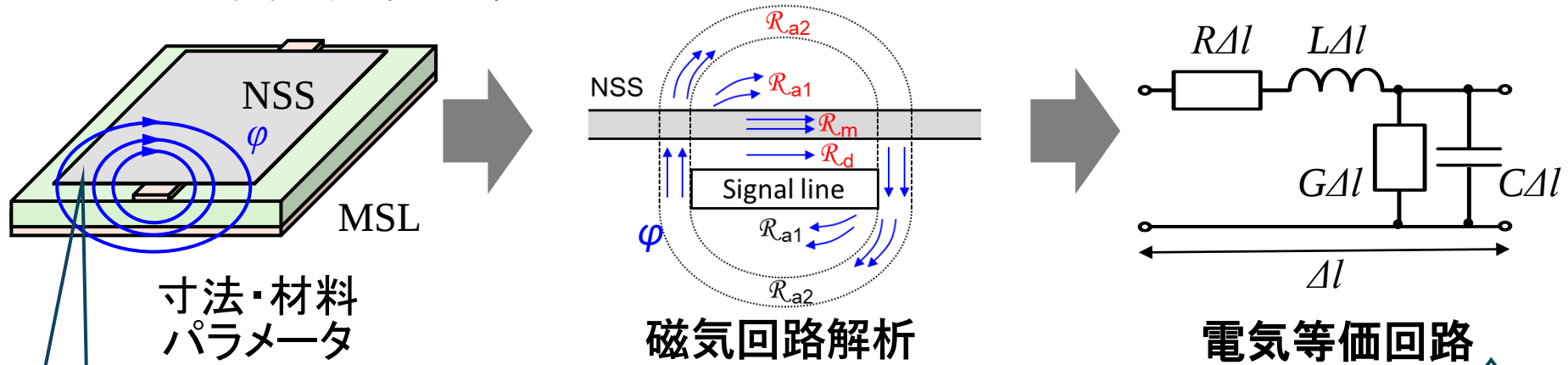
[1] KOYO SANGYO, https://www.koyoweb.com/products/e-shield/pd_e-shield/

[2] TOKIN, <https://www.tokin.com/products/emc-inductor/busteraid/rfid-m4-sheet/>

[3] 北越コーポレーション, <https://www.hokuetsucorp.com/develop/noise.html>

磁気・電気等価回路を用いたノイズ抑制効果推定

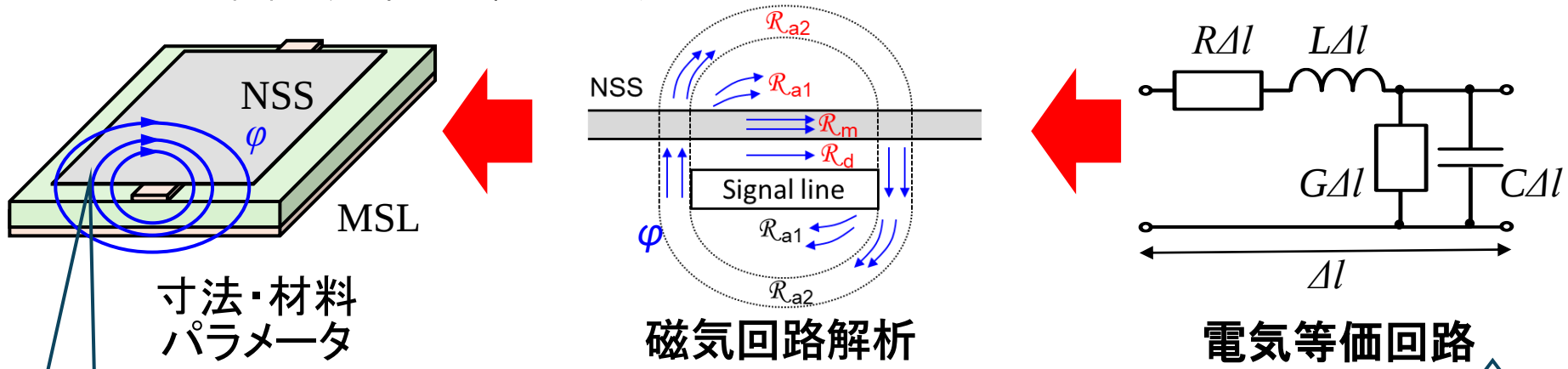
□ ノイズ抑制効果の推定手法^[4]



✓ 磁気・電気回路解析を用いることで、ノイズ抑制効果を定量的に推定可能

目標値を達成する材料の透磁率推定法

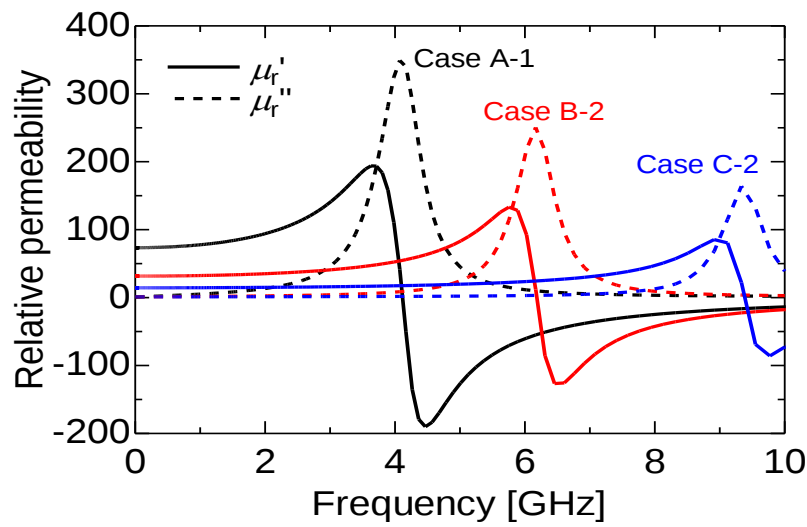
□ノイズ抑制効果の推定手法^[5]



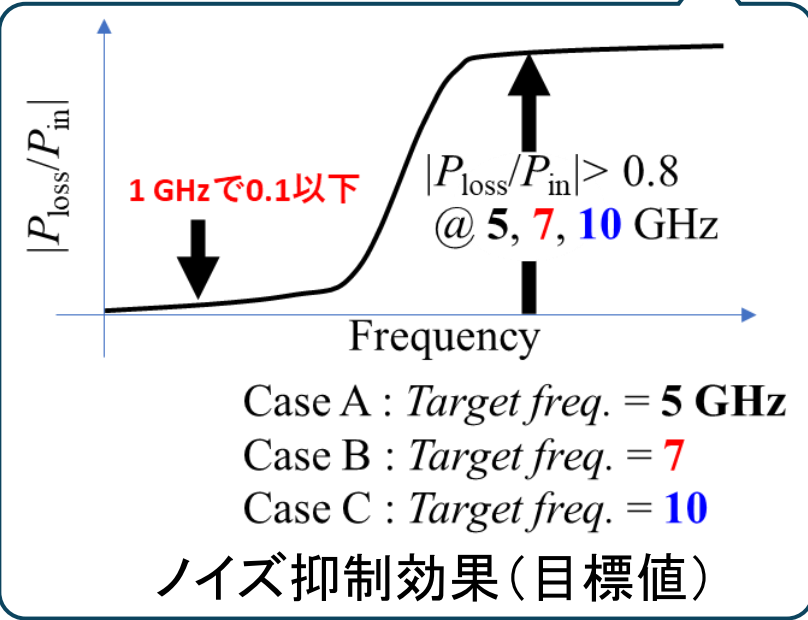
寸法・材料
パラメータ

磁気回路解析

電気等価回路



磁性膜の透磁率の周波数特性



✓ 目標値を達成するための材料特性を推定可能 → 市販品で応用できないか？

[4] T. Mikami et al., *IEEE Trans. Magn.*, vol.59, no.11, #9201304, 2023

コンテストにおける目的

自身の研究で開発した等価回路モデルを用いたノイズ抑制シートの最適な配置方法の探索

□ アプローチ

①アプリケーションの作製

DCモータ（2個） + LCDモジュール（SPI通信）を実装

②パソコン，フェライトコアを実装

③等価回路モデルを用いたNSSの最適化 ← Team NICTの独自点

④事前評価と測定会によるノイズ評価（CISPR25）

□ 作製したアプリケーション

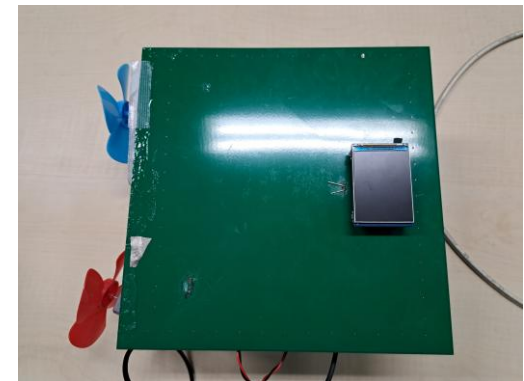
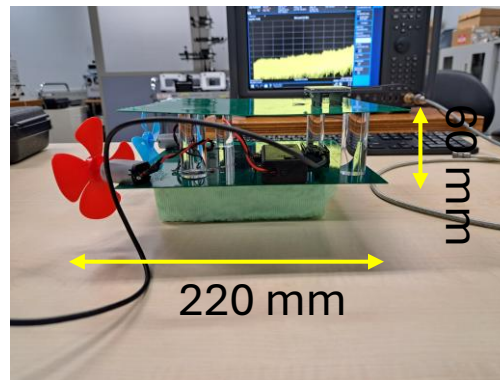
基板設計（CAD）



基板製造（外注）

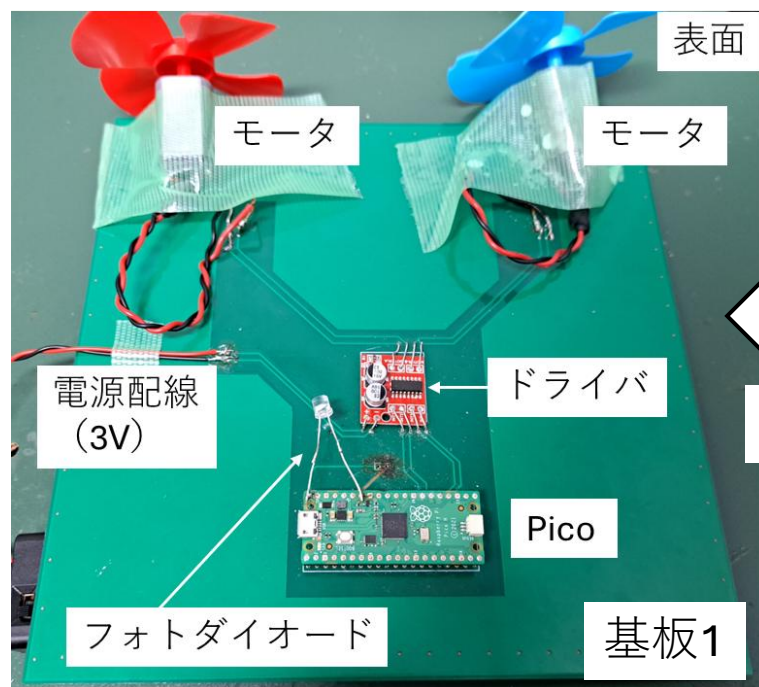


部品実装

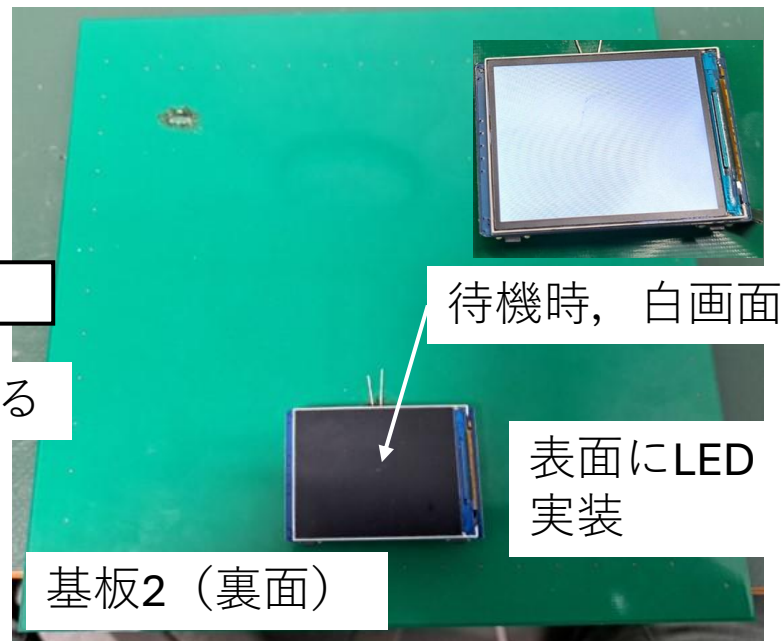


作製したアプリケーションの全体像

アプリケーションの動作



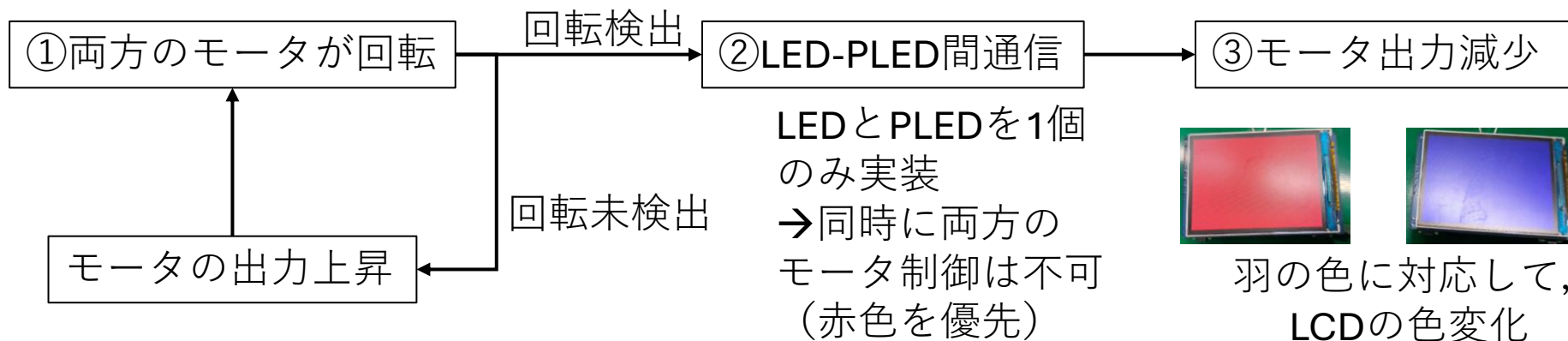
基板1の表面



基板2の裏面

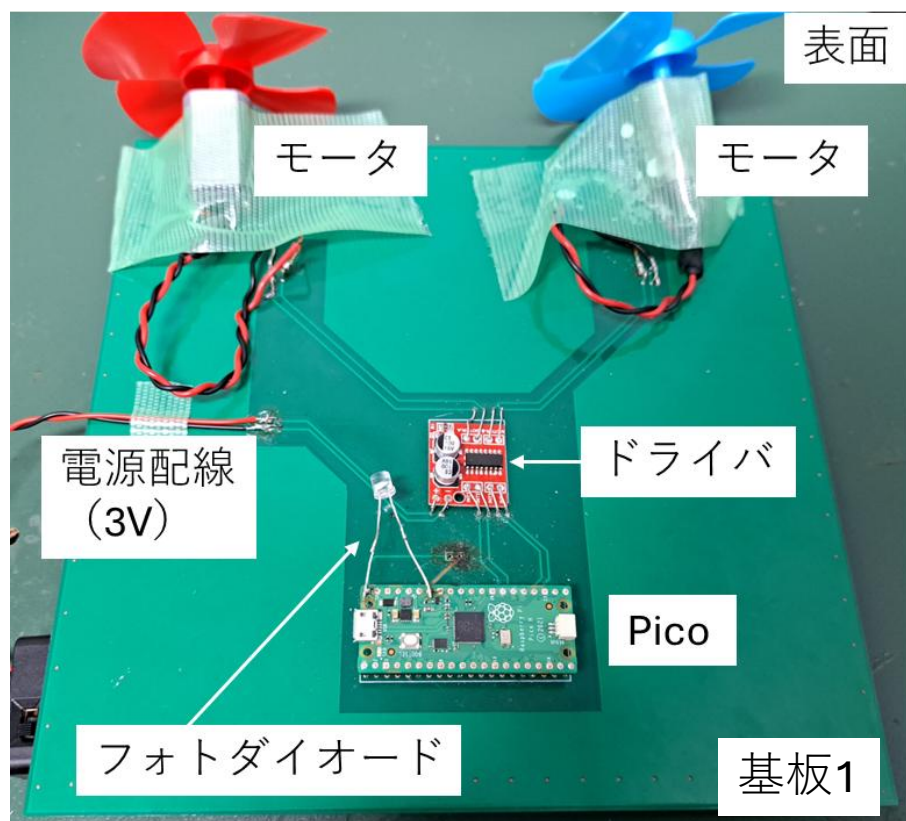
上に被せる

アプリケーションの動作

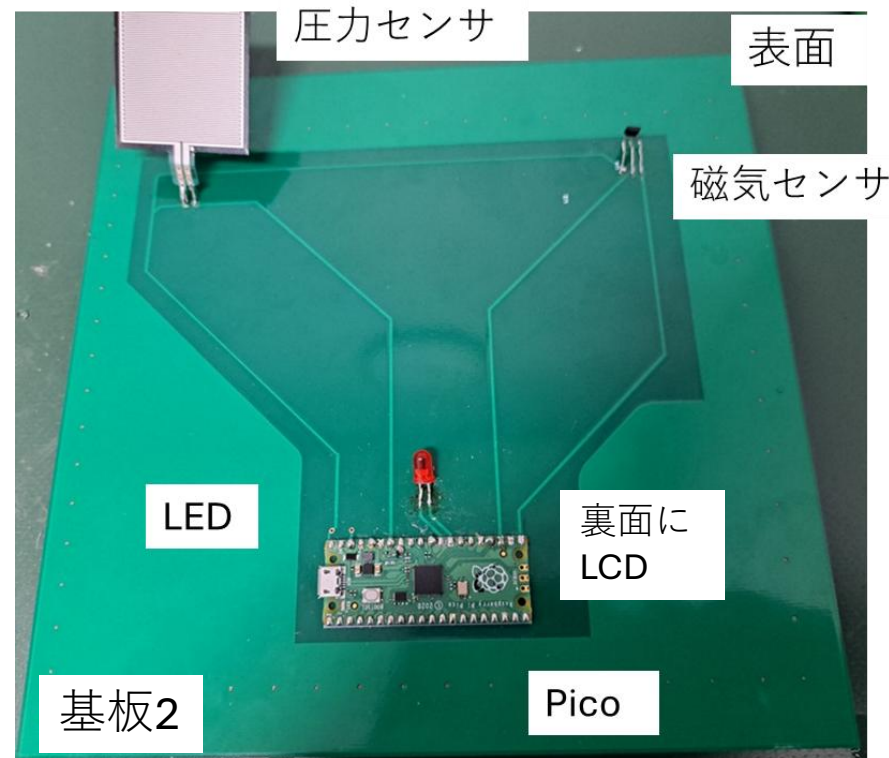


プリント回路基板の設計

□ 外形寸法200×200 mm, 基板厚さ0.6 mm (FR-4基板) 製作×2枚



基板1の表面



基板2の表面

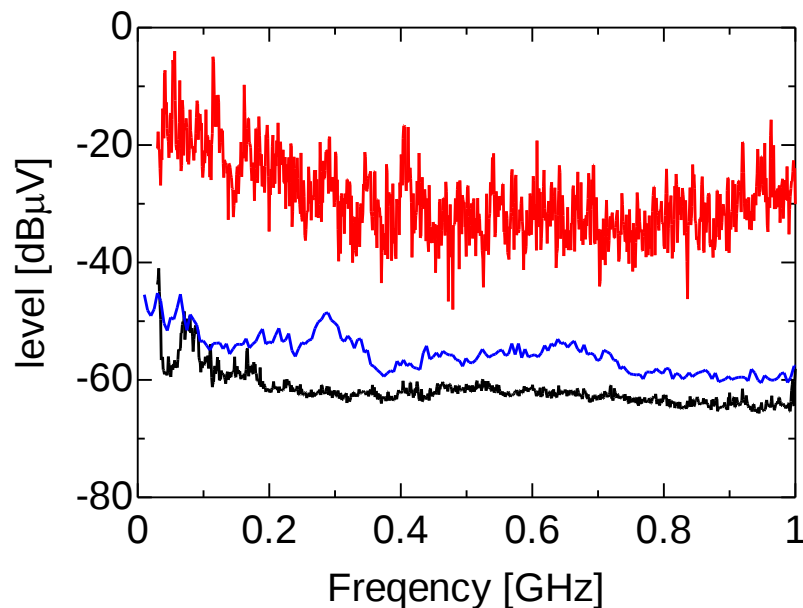
- 配線は0.5 mm($Z_0 = \text{約} 70 \Omega$)にし, NSS配置で50 Ω に近づくように設計
- 裏面と基板外周部分は銅箔ベタ (薄い緑色の部分), 外縁部分にビア配置
- 基板1と基板2の表面が向かい合うように配置

ノイズ源の特定

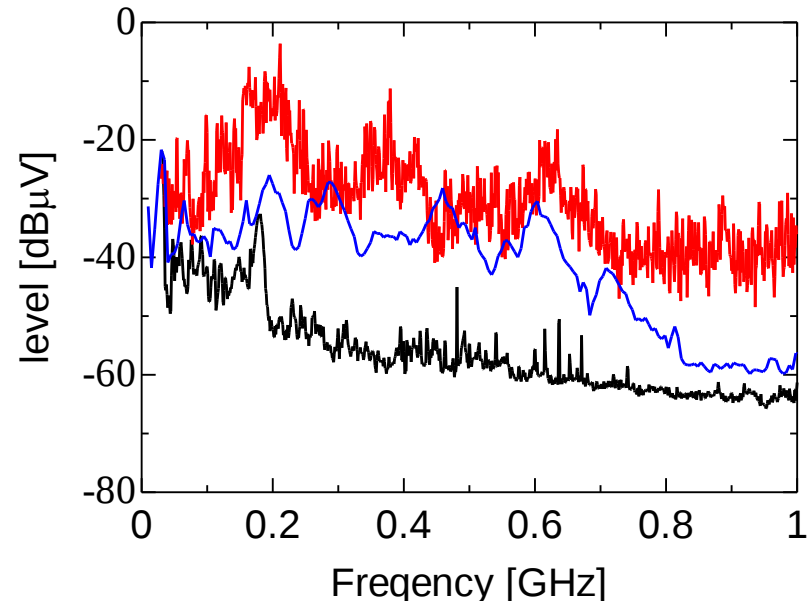
各センサ単体の動作時の近傍電界、磁界をスペクトラムアナライザで測定
近づけて測定 アナライザ



測定系



磁界プローブによる測定結果



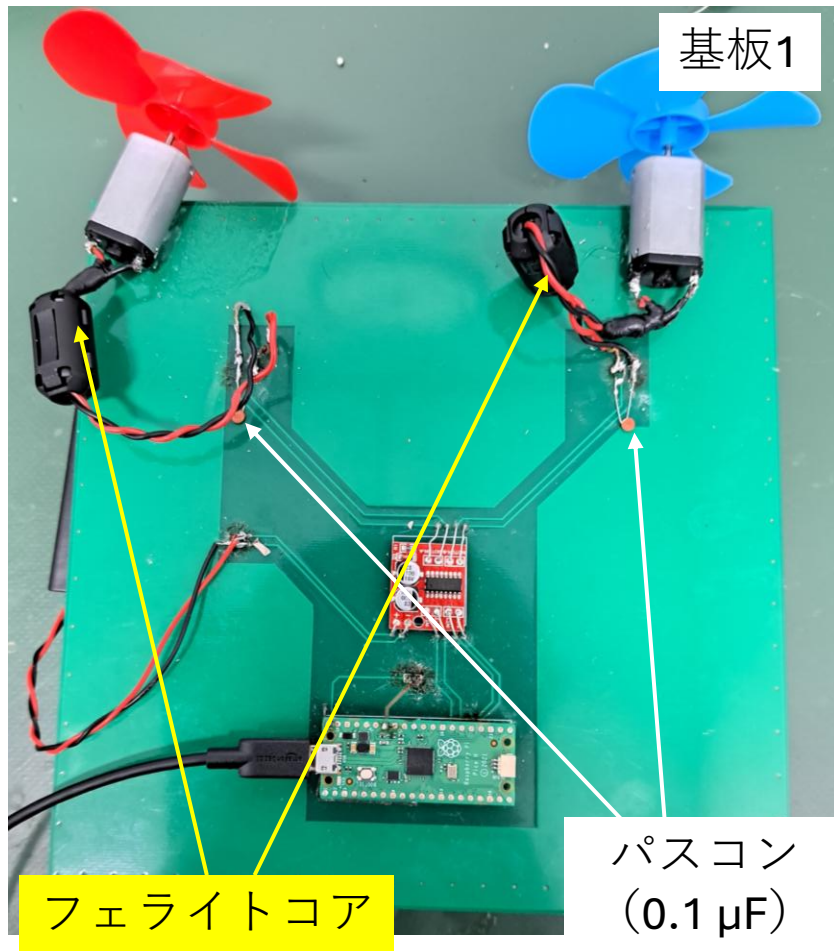
電界プローブによる測定結果

特にノイズが大きかった2種類の
部品の測定結果

モータ：広帯域で大きなノイズ
LCD：低周波帯で大きなノイズ
他の部品は背景ノイズと同等

NSS配置前に、低周波帯のノイズ
を抑制

低周波帯のノイズ対策

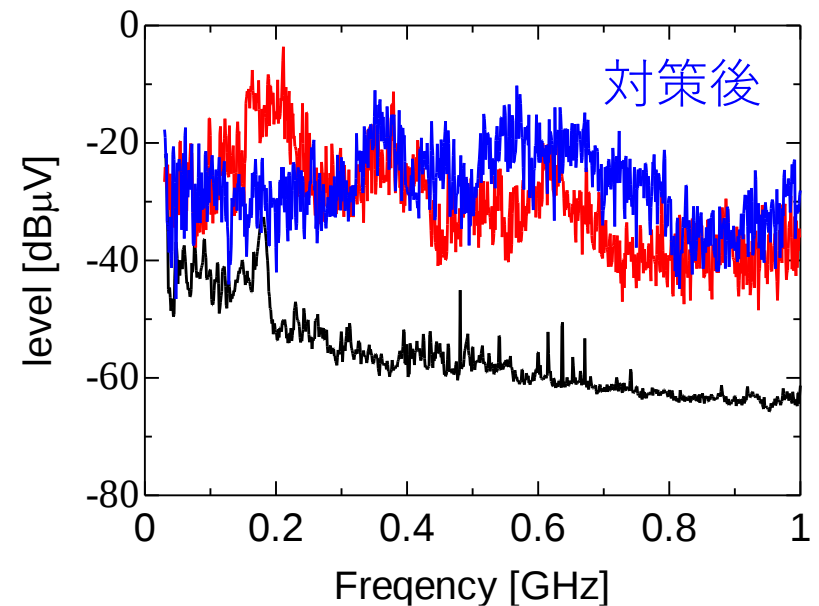


モータの低周波ノイズ成分を除去

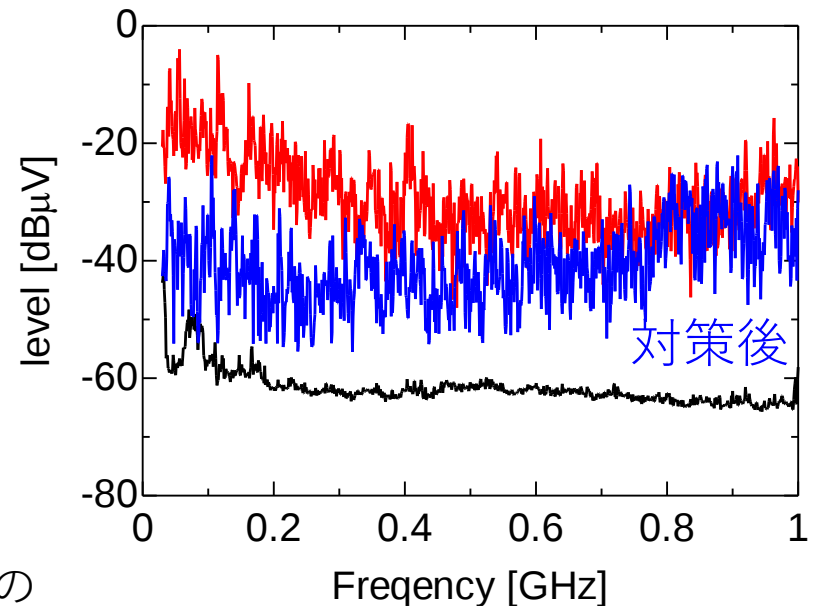
→これを基準として、NSSの効果을抽出

LCDはPicoに直刺しタイプで配線が不要なもの

→持ち合わせの部品では対策は不可

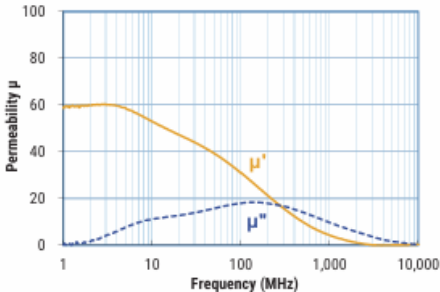
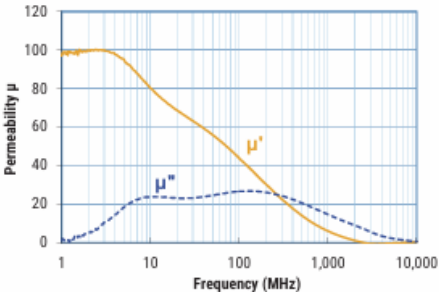
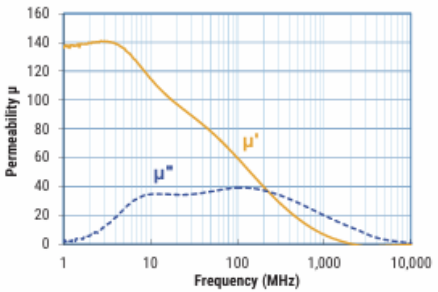
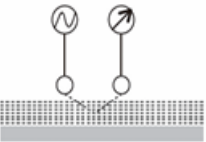
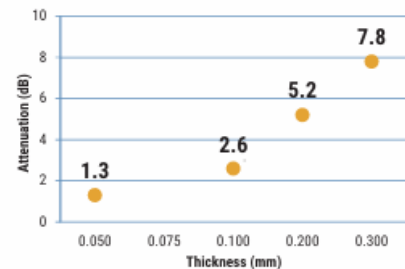
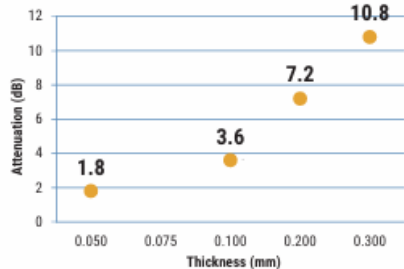
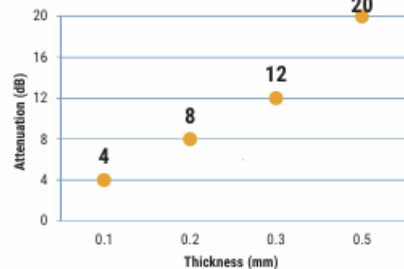


電界プローブによる測定結果

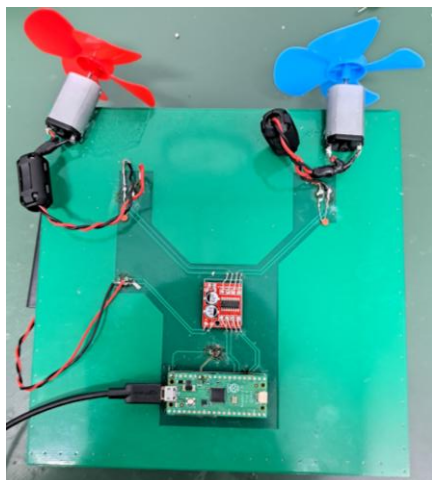


磁界プローブによる測定結果

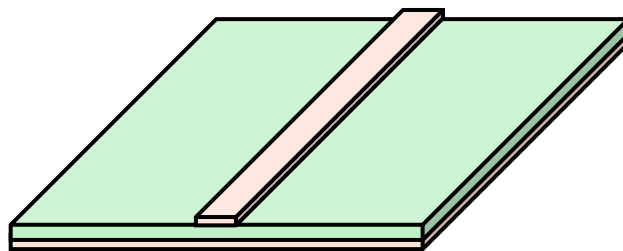
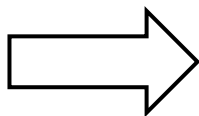
今回選択したノイズ抑制シート[6]

特長	難燃UL94 V-0タイプ		
タイプ	EFA	FF1	EFF4
ノイズ抑制有効周波数	1 MHz ~ 3 GHz		
使用温度範囲(°C)	-40 ~ +105	-40 ~	+125
標準厚さ(mm)	0.05/0.1/0.2/0.3	0.05/0.1/0.2/0.3	0.1/0.2/0.3/0.5
標準寸法(mm)	240 X 240 (ロール対応)	240 X 240 (ロール対応)	240 X 240
透磁率(μ)	60 typical, at 3 MHz	100 typical, at 3 MHz	140 typical, at 3 MHz
			
ノイズ抑制性能	at 700 MHz	at 700 MHz	at 700 MHz
	 		

ノイズ抑制シートの寸法の最小化

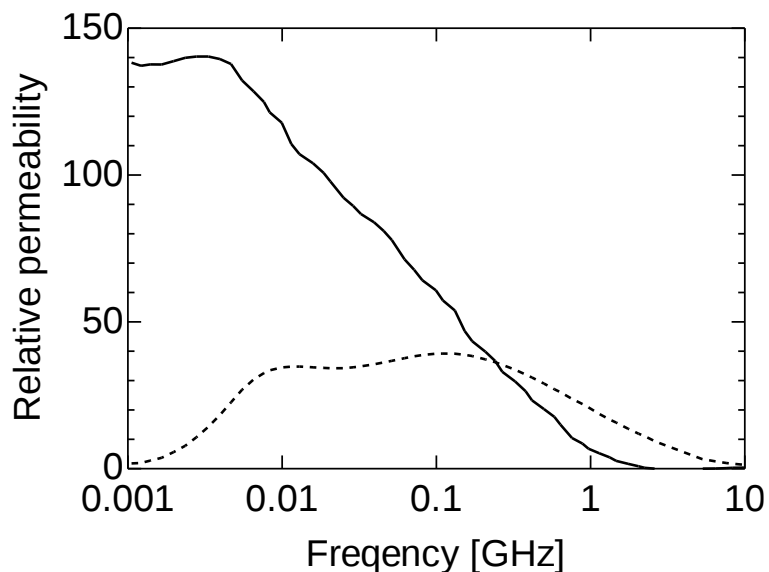


作製した回路基板

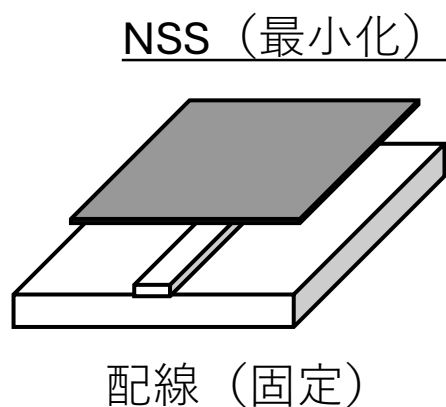


配線を単純なマイクロストリップ線路と仮定
すべて配線はシングルエンド伝送と仮定

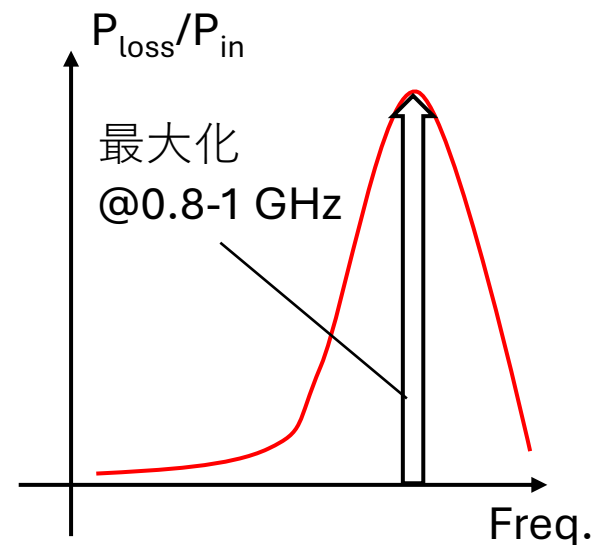
□ 遺伝的アルゴリズムを用いて最適化



NSSの透磁率特性 (固定)

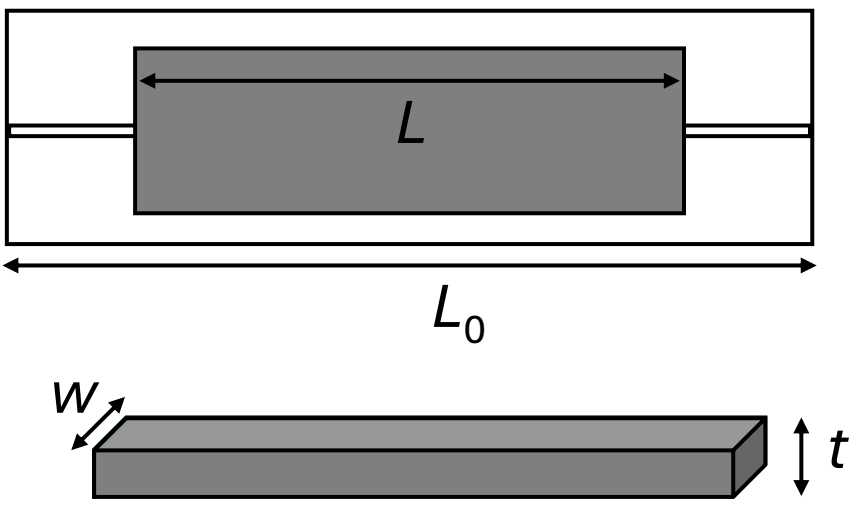


対象の寸法



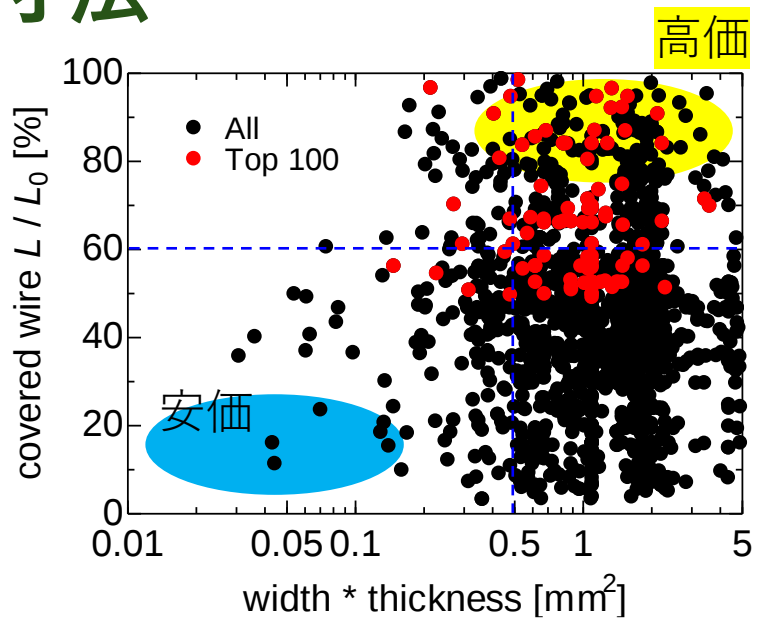
伝導ノイズ抑制効果

最適なノイズ抑制シートの寸法

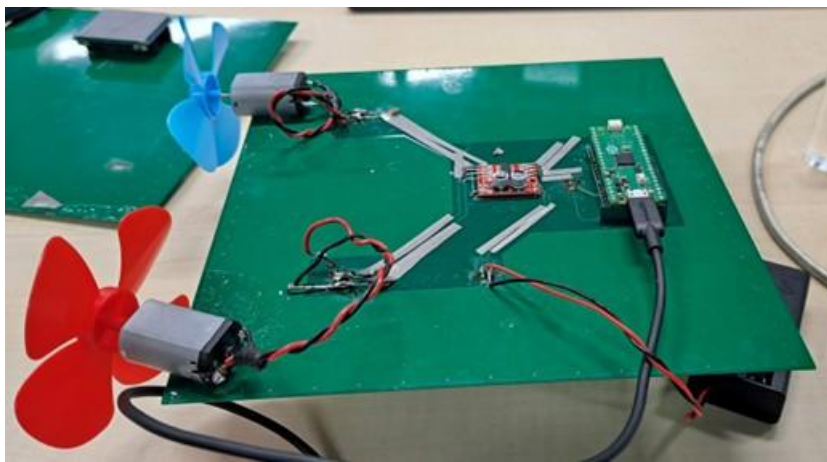


寸法の最小化

- 幅×厚さの面積（X軸）
大きい方が基本的には抑制効果は大きい
大きすぎると効果が低下
→最適値あり（0.5 - 1 mm²?)
 - 長さ（Y軸）
大きい方が抑制効果が大きい
少なくとも線路の半分の長さが必要
- NSS全体(240×240 mm)の5%程度使用
→約4,000円×0.05=約200円

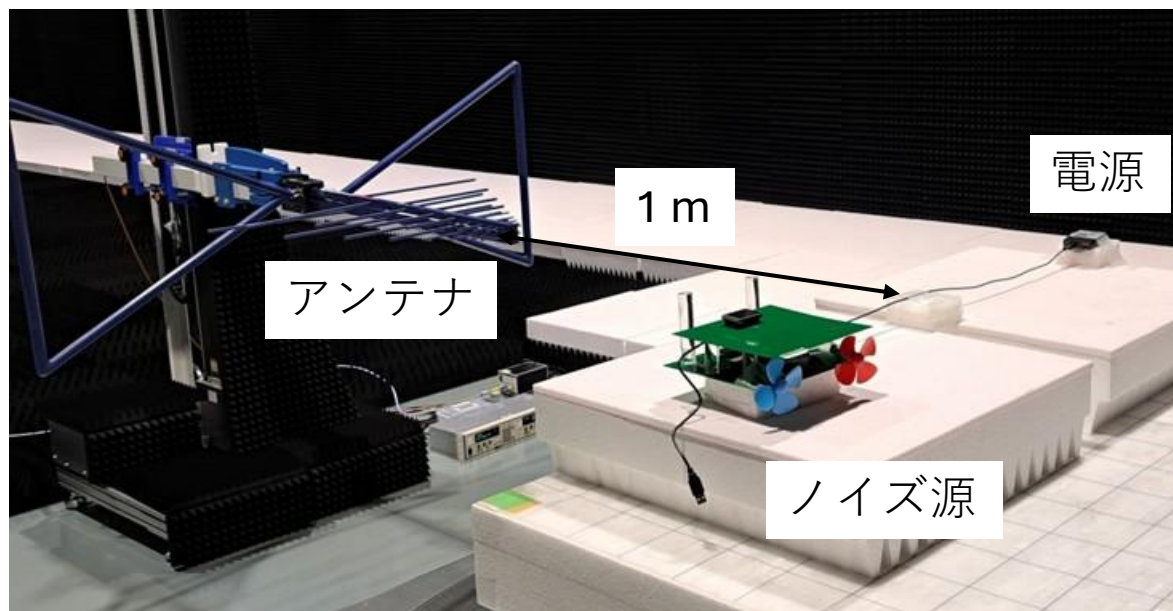


最小化結果（Sample 約1500）



$t \times w$: 0.5 mm²程度, L/L_0 : 60%程度
の寸法でNSSを配置

事前評価 (@NICT電波暗室)



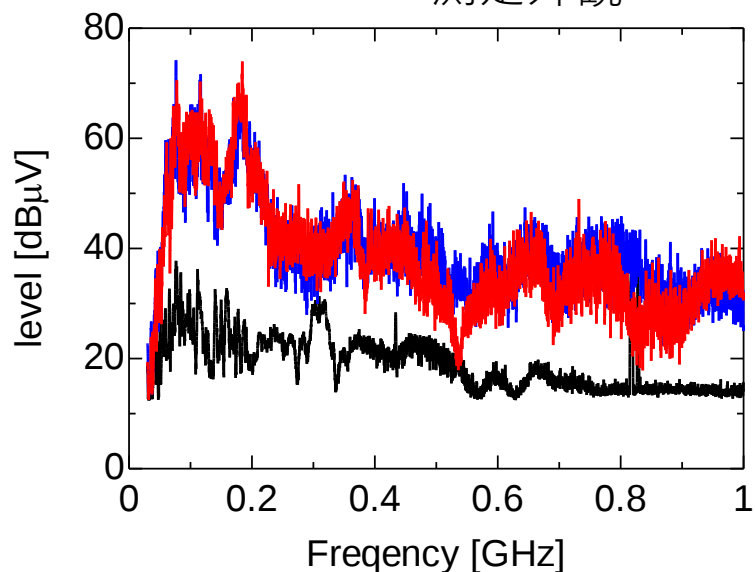
CISPLE25に準じて測定

異なる点

- × テーブルはGND設置なし
- × バイログアンテナ使用

水平偏波のみ測定

測定外観



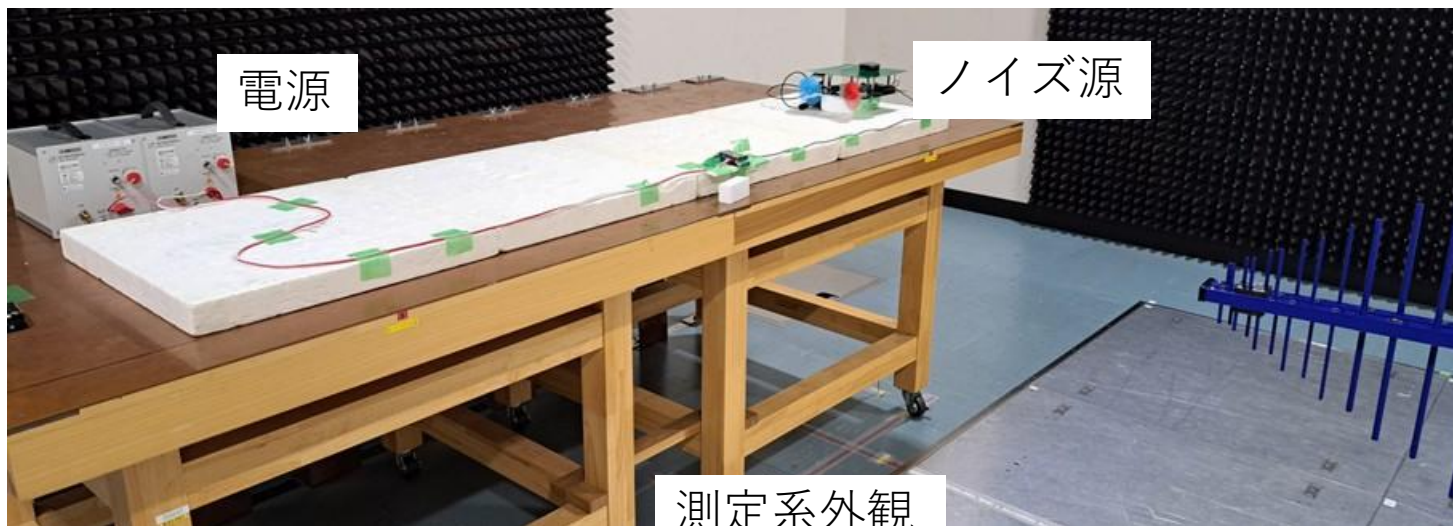
測定結果

- 対策前
(フェライトコア+パスコン)

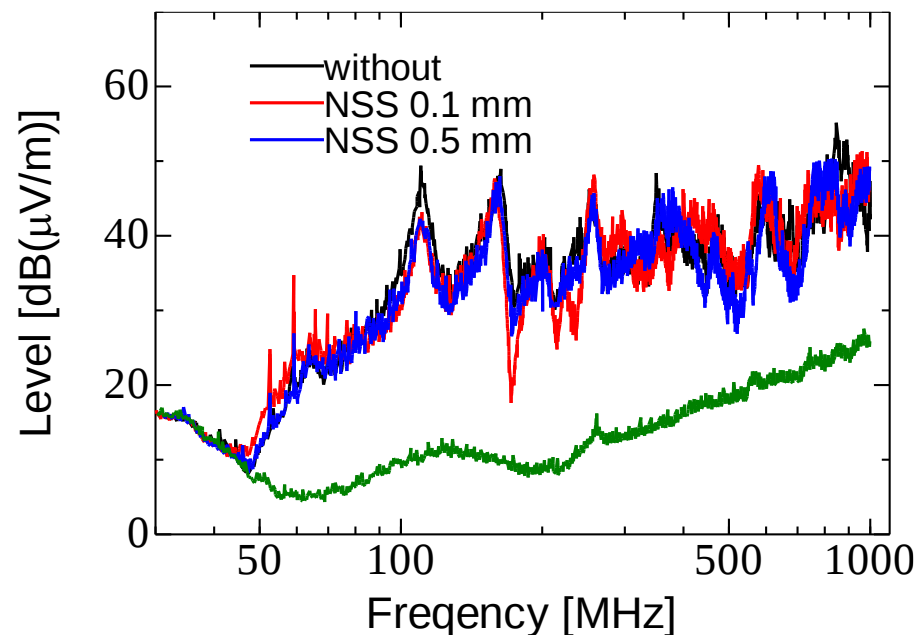
- 対策後
対策前 + NSS

対策後は高周波で若干ノイズ低減
しかし、ほとんど抑制効果なし
→ 1 GHz以上で抑制?

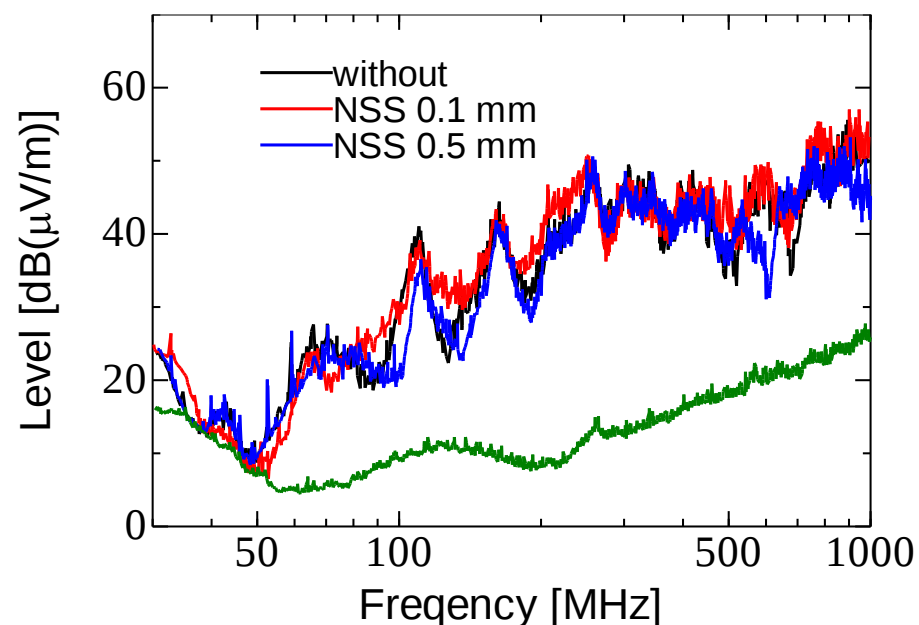
測定会で得られた最終結果



厚さを変化させて
ADOX福岡で抑制
効果を確認



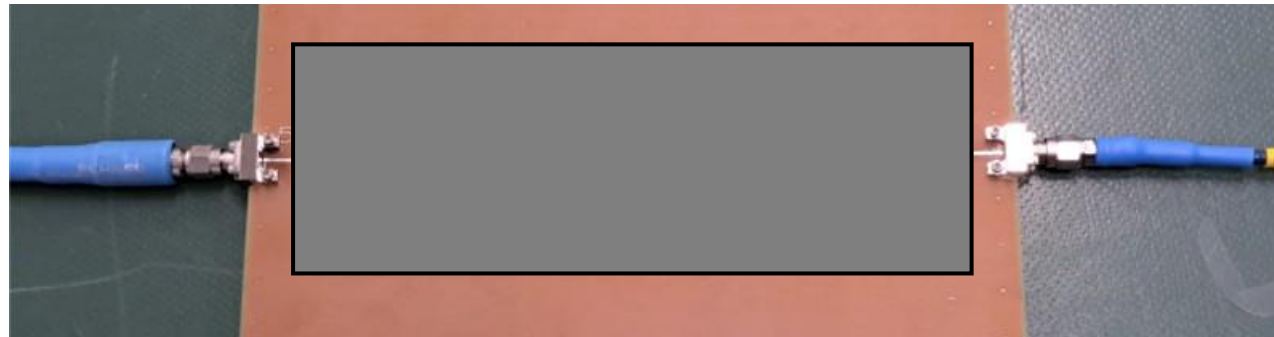
水平偏波



垂直偏波

1 GHz以上のNSSの伝導ノイズ抑制効果の評価①

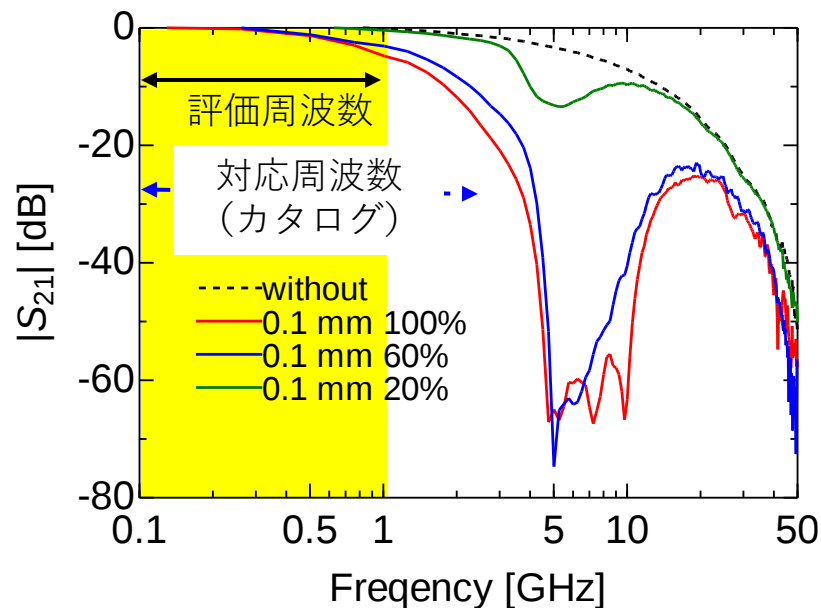
□ MSLを試作→NSSのノイズ抑制効果进行评估



回路基板と同程度の寸法,
基板上に作製
(レジスト加工なし)

S_{21} を測定して, 減衰量
を確認

試作MSL



膜長依存性(測定結果)

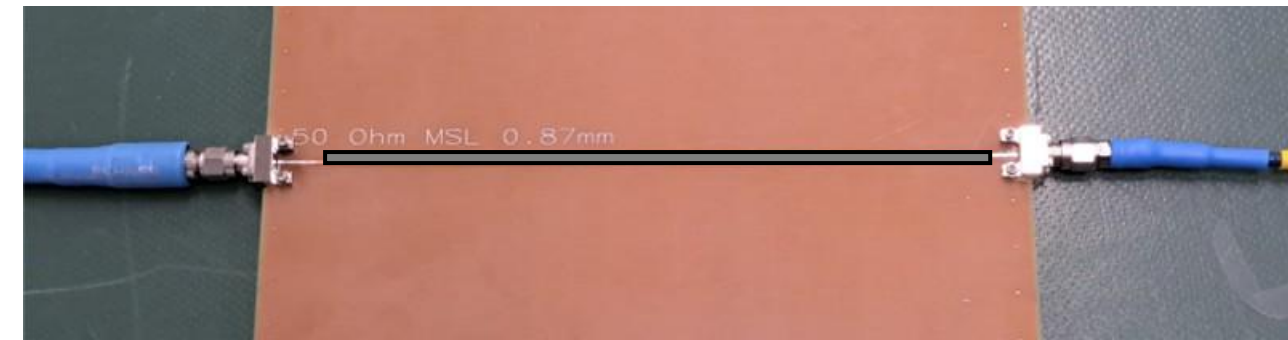
- 10 MHz – 50 GHzを測定
- NSS配置後 (膜長変化)
1 GHz付近では-5 dB程度の減衰
→ 1 GHz以下ではほぼ減衰なし

5 GHz付近で-60 dB以上の減衰
→ 今回の評価対象外

MSLに対して 60%程度の配置でも
100%とピーク値はほぼ同じ

1 GHz以上のNSSの伝導ノイズ抑制効果の評価②

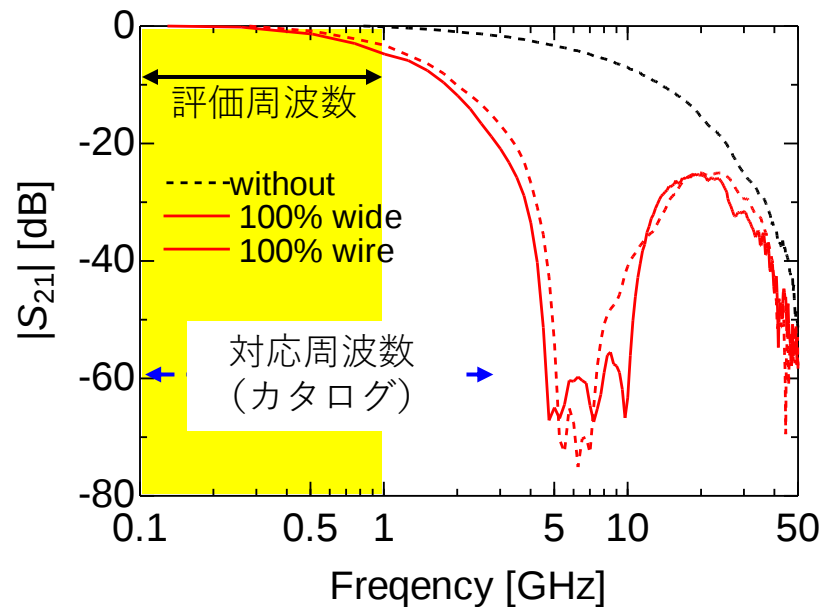
□ MSLを試作→NSSのノイズ抑制効果を評価



回路基板と同程度の寸法、
基板上に作製
(レジスト加工なし)

S_{21} を測定して、減衰量
を確認

試作MSL



膜幅依存性(測定結果)

- 10 MHz – 50 GHzを測定

- NSS配置後（膜幅変化）

MSLに対して、線幅より大きく配置
しても、線幅と同程度でもほぼ同じ

今回最適化したNSSの配置方法は誤り
ではなさそう

1 GHz以下で抑制効果を得るには・・・

- 配線を太くする？
- NSSの膜厚を厚くする？

NSSのシールド効果の測定

Port 2



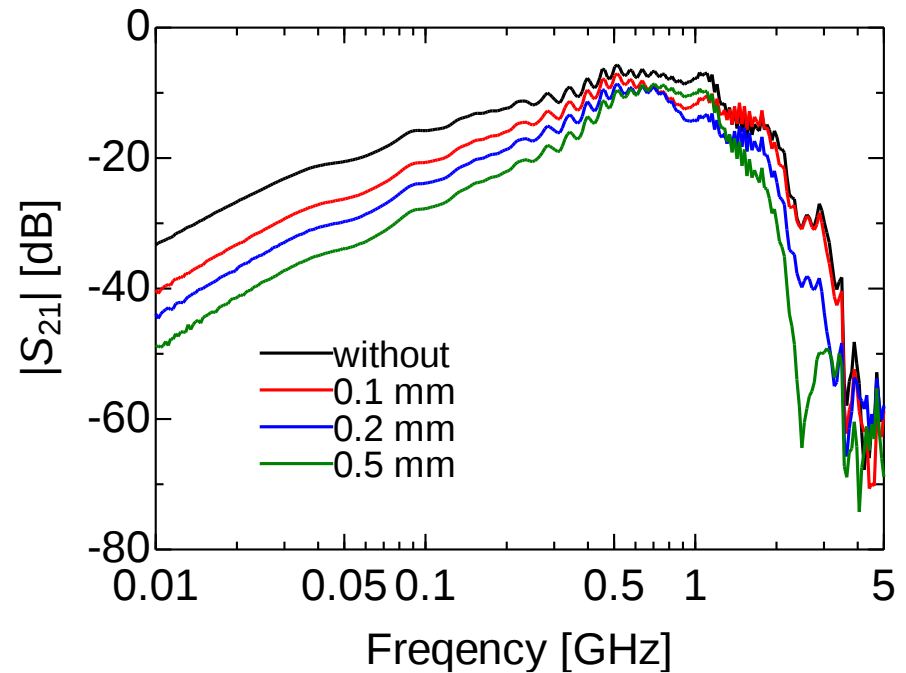
磁界プローブ

NSS

MSL

磁界プローブ

Port 1



測定結果

- 低周波帯
NSSの膜厚が大きい→SE増加
- 3 GHz付近
NSSの膜厚が0.5 mmで極小値

カタログ値：20 dBのシールド効果@700 MHz→確認できず

シールド効果は低周波帯で効果あり・・・ノイズ源に適切にNSSを配置すべき

まとめ

目的；自身の研究で開発した等価回路モデルを用いたノイズ抑制シートの最適な配置方法の探索

□ アプローチ

①アプリケーションの作製

DCモータ（2個）＋LCD（SPI通信）の実装

②パソコン，フェライトコアを実装→低周波ノイズの低減

③等価回路モデルを用いたNSSの最適化

→垂直偏波の高周波ノイズの低減（水平偏波も若干低減）

ただし，測定周波数帯ではカタログ通りの性能は得られなかった

→NSS本来の性能を引き出すためには，**試行錯誤**が重要

- ノイズ源の特定，および適切な材料，寸法のNSSを配置
- アプリケーションの設計段階でNSSを含んだ設計
- 統一的なNSSの評価方法と，統一的なNSSの配置方法を確立

→今後の研究活動に活かして，上記の実現を目指す