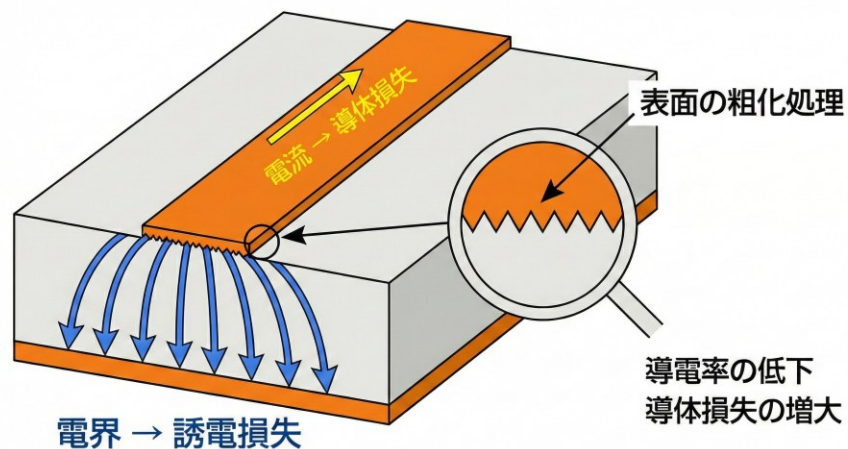


BCDRを用いた基板の誘電損失と 表面粗さによる電気伝導性の測定

5E 春日研究室 柳原魁人

研究背景

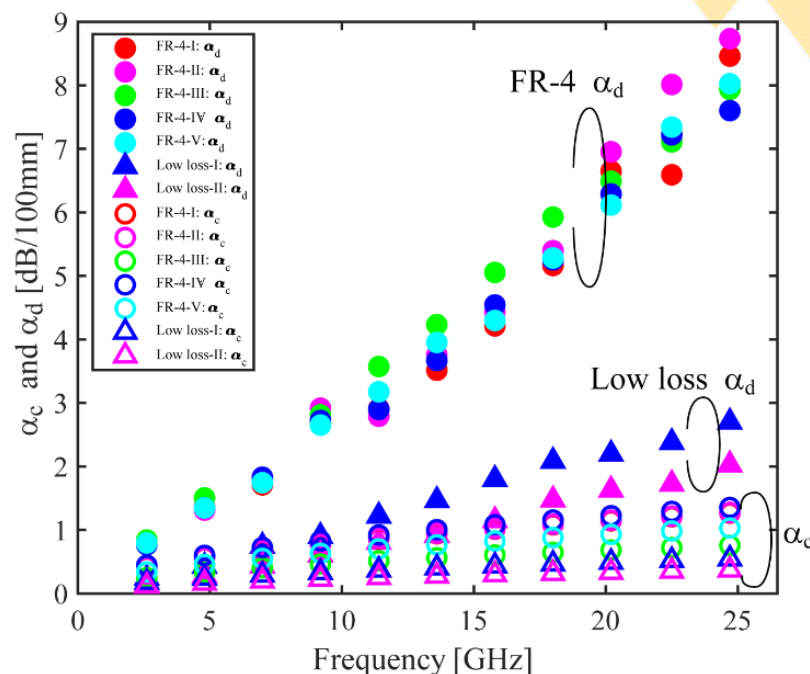
- これからの社会(AI,5G/6G)を支えるのは高周波技術。
- データセンター内等のハードウェアでは、とても高い周波数(100 GHz)での通信が必要になる。
- 高周波で基板での損失が大きくなる。



減衰定数 $\alpha =$ 表皮効果 $\alpha_c +$ 誘電体損 α_d

$$\alpha_c = \frac{\sqrt{(\pi f \mu) / \sigma}}{Z_0 W}$$

$$\alpha_d = \frac{\pi f \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}{c} \tan \delta$$



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

研究の目的・やったこと

目的

- 表面粗さによる電気伝導性への影響を明らかにする。

やったこと

- 平衡円板共振器法（BCDR法）による誘電率の測定。
- 導電率測定のため誘電率の測定を行う。
- 導電率測定
- 減衰定数の算出

標準試料の測定

誘電損失の算出

評価試料の測定

導体損失の算出



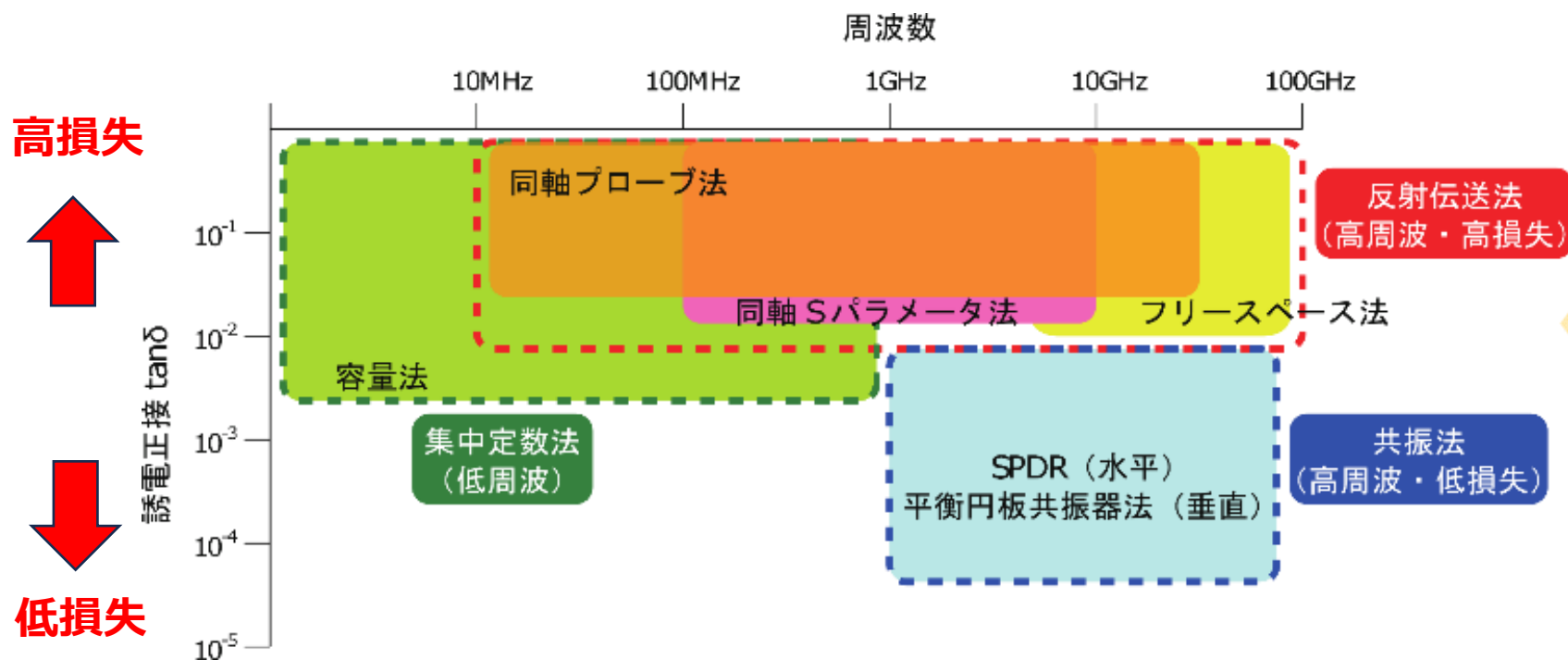
基板材料の比較

基板名	メーカー名	公称厚	用途
L-6504C2 (FR-4)	東芝ケミカル	0.3mm	高耐久性、高熱伝導性、低価格であり、1GHz以下の帯域でよく使われる。
R-5775GH (MEGTRON6)	パナソニック	0.3mm	1GHz以上・高速通信向け高性能材料。

MEGTRON 6 高周波帯でも低損失な材料で、
サーバやデータセンタなどで使用されていく。
MEGTRON6のような低損失材料の評価が必要
→MEGTRON6を測定



代表的な複素誘電率の測定方法

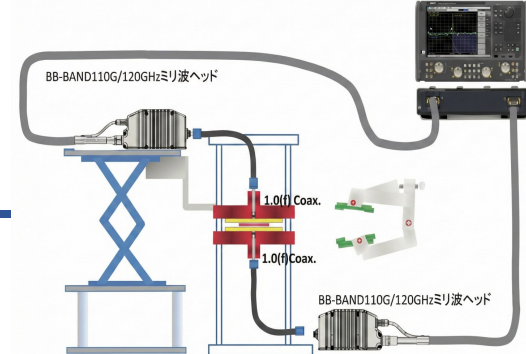
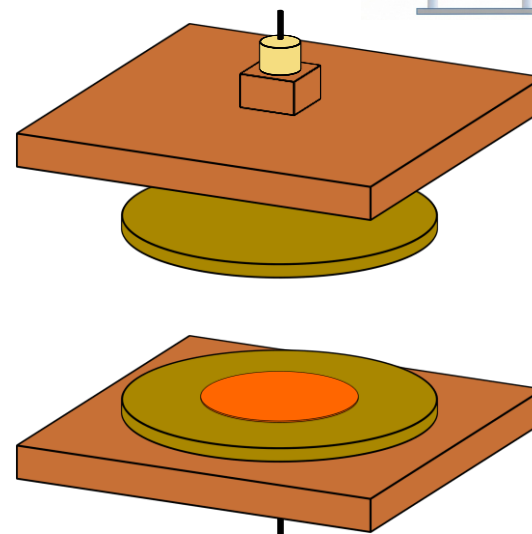
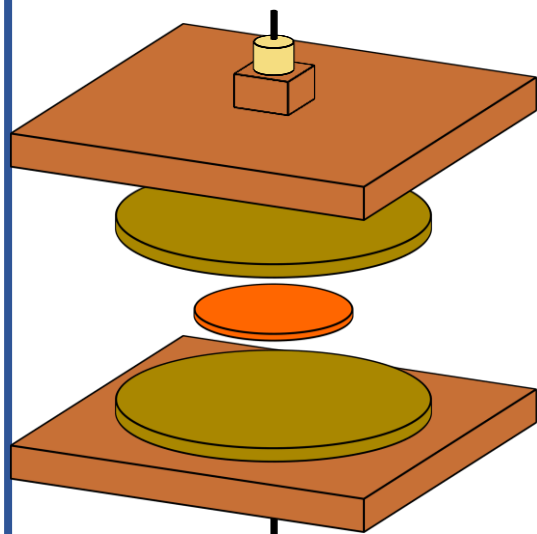


共振法, BCDRが今回の材料, 誘電率, 導電率測定に適している



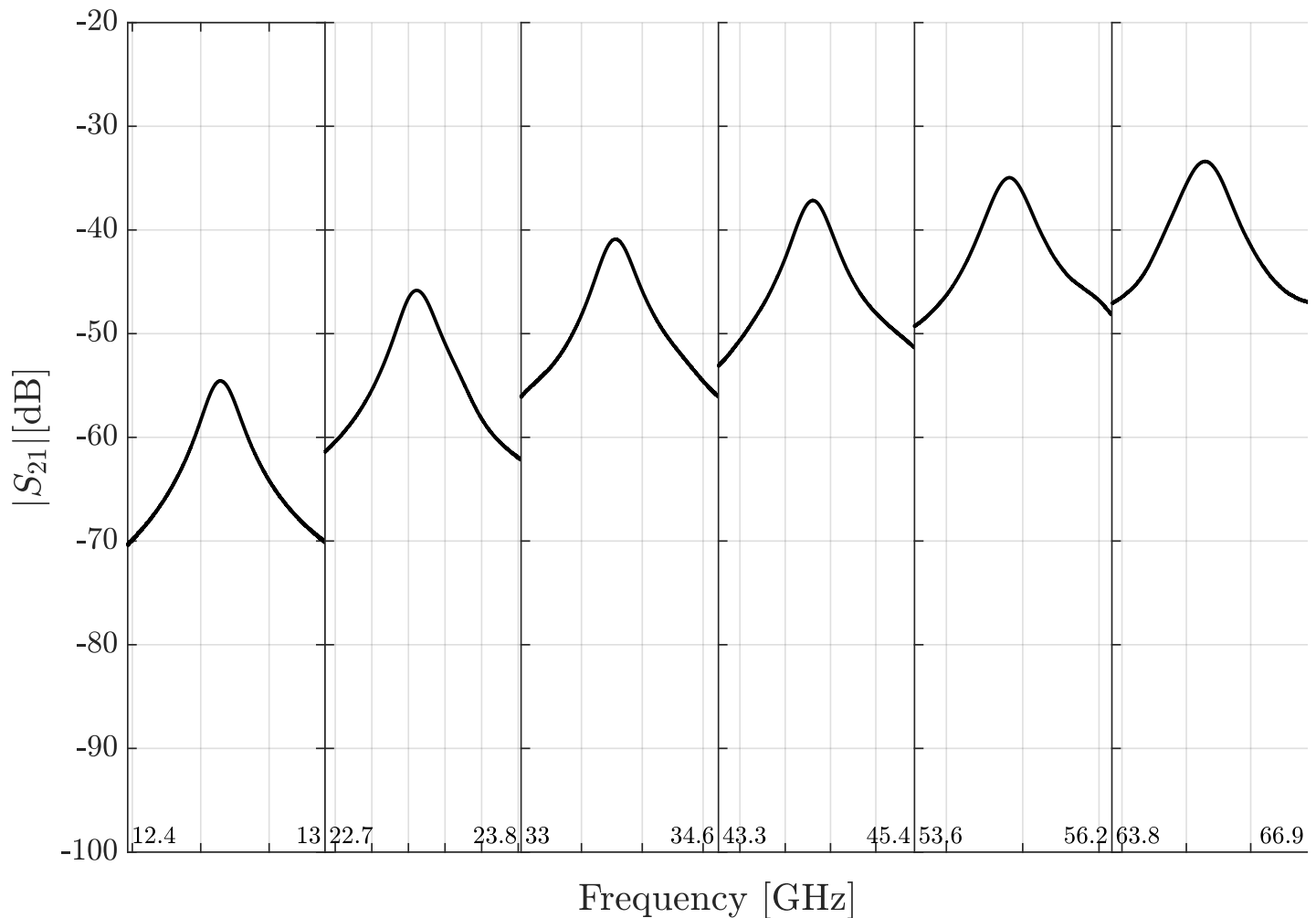
平衡形円板共振器の測定原理

平衡円板共振器法



S21 セグメントスイープ

S_{21} Segment Sweep



Sパラメータ測定結果
計算に必要な部分を細く計測

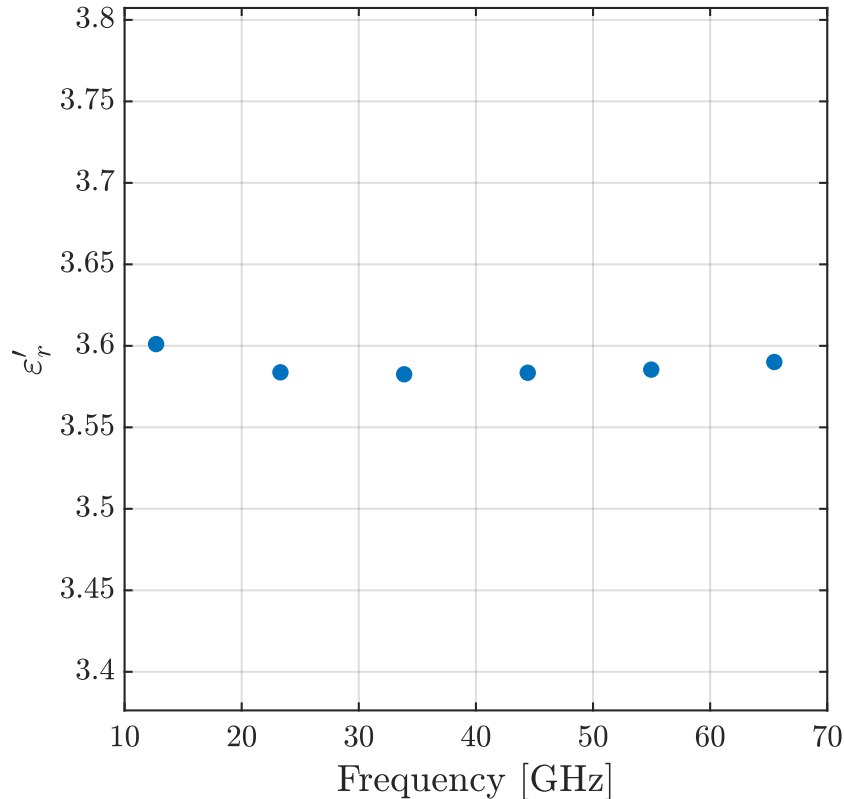


長野高専 春日研究室

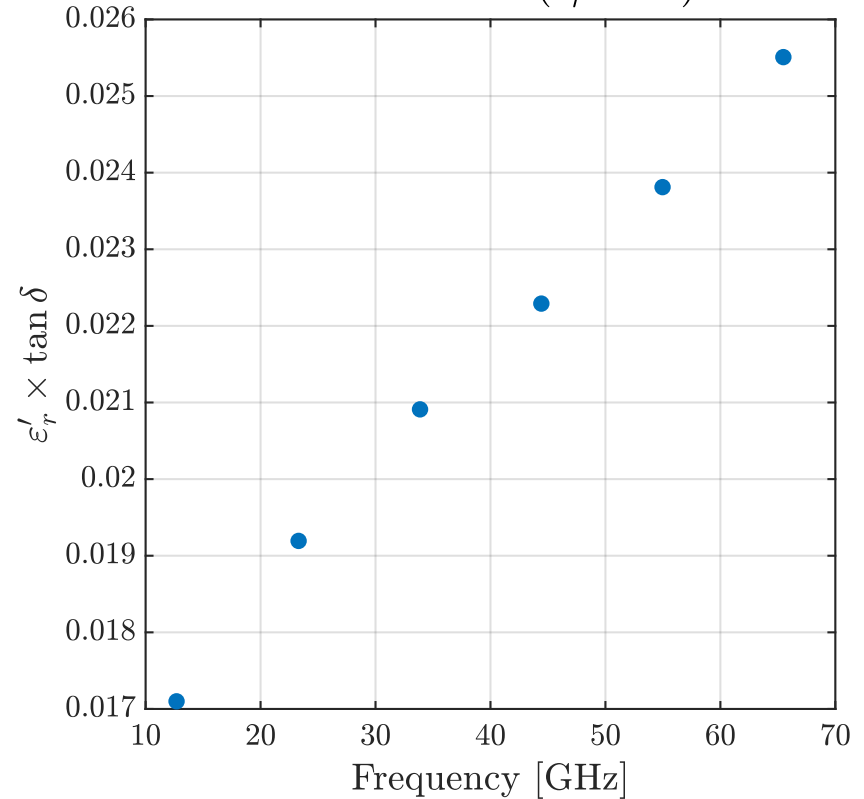
Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

複素誘電率

Permittivity(ϵ'_r)



Dielectric Loss($\epsilon'_r \tan \delta$)



$$\epsilon_r = \epsilon'_r(1 - j \tan \delta) = \epsilon'_r - j\epsilon'_r \tan \delta = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$$

誘電率は一定の値になった

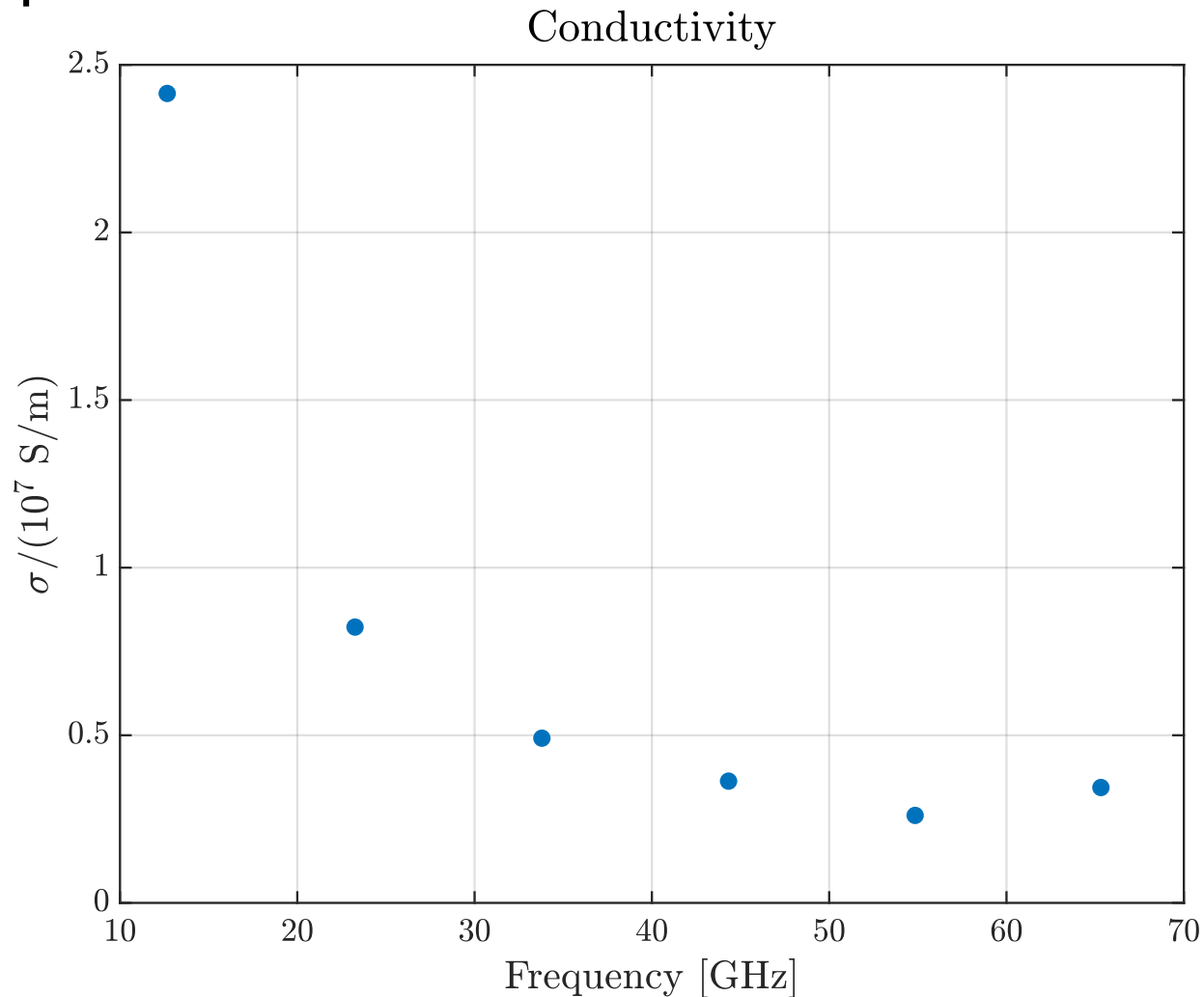
誘電損失は増加傾向になった。



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

導電率



実効導電率は周波数が高くなるほど低い

表面粗さ，表皮効果の影響が出ている



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

減衰定数

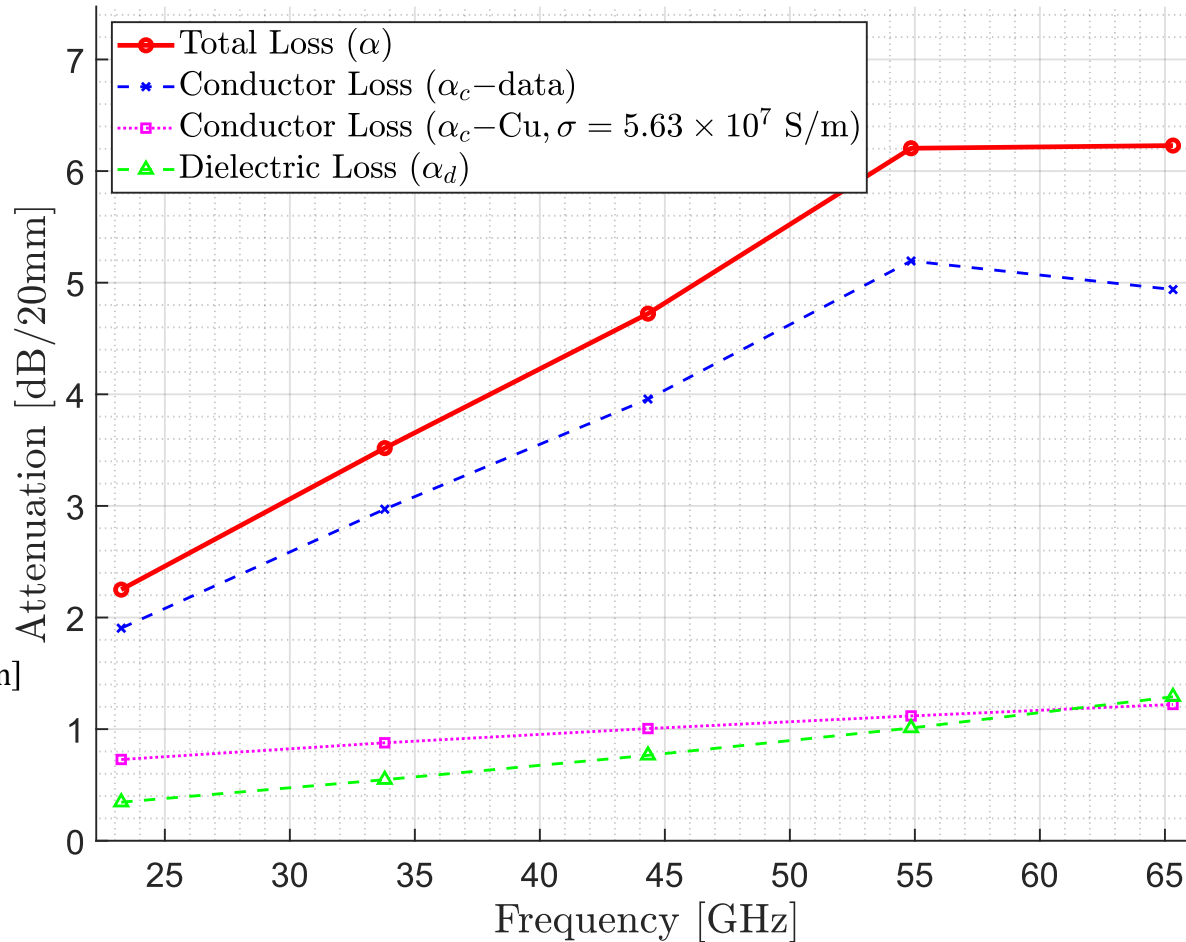
Attenuation Constant Simulation ($W = 0.220$ mm, $H = 0.1000$ mm, $T = 18.0$ μ m)

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon'_r + 1.41}} \ln \left(\frac{5.98 H}{0.8 W + T} \right)$$

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon'_r + 1}{2} + \frac{\epsilon'_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10H}{W} \right)^{-1/2}$$

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_d \alpha_c = 0.17372 \frac{\sqrt{\pi f \mu_0 \rho}}{Z_0 W} \quad [\text{dB}/20 \text{ mm}]$$

$$\alpha_d = 0.17372 \frac{f \pi}{c} \epsilon_r'' \sqrt{\frac{\epsilon_{re} - 1}{\epsilon'_r - 1}} \quad [\text{dB}/20 \text{ mm}]$$



誘電率と導電率から算出した減衰定数

実効導電率と導電率から求めたものは大きく違う。



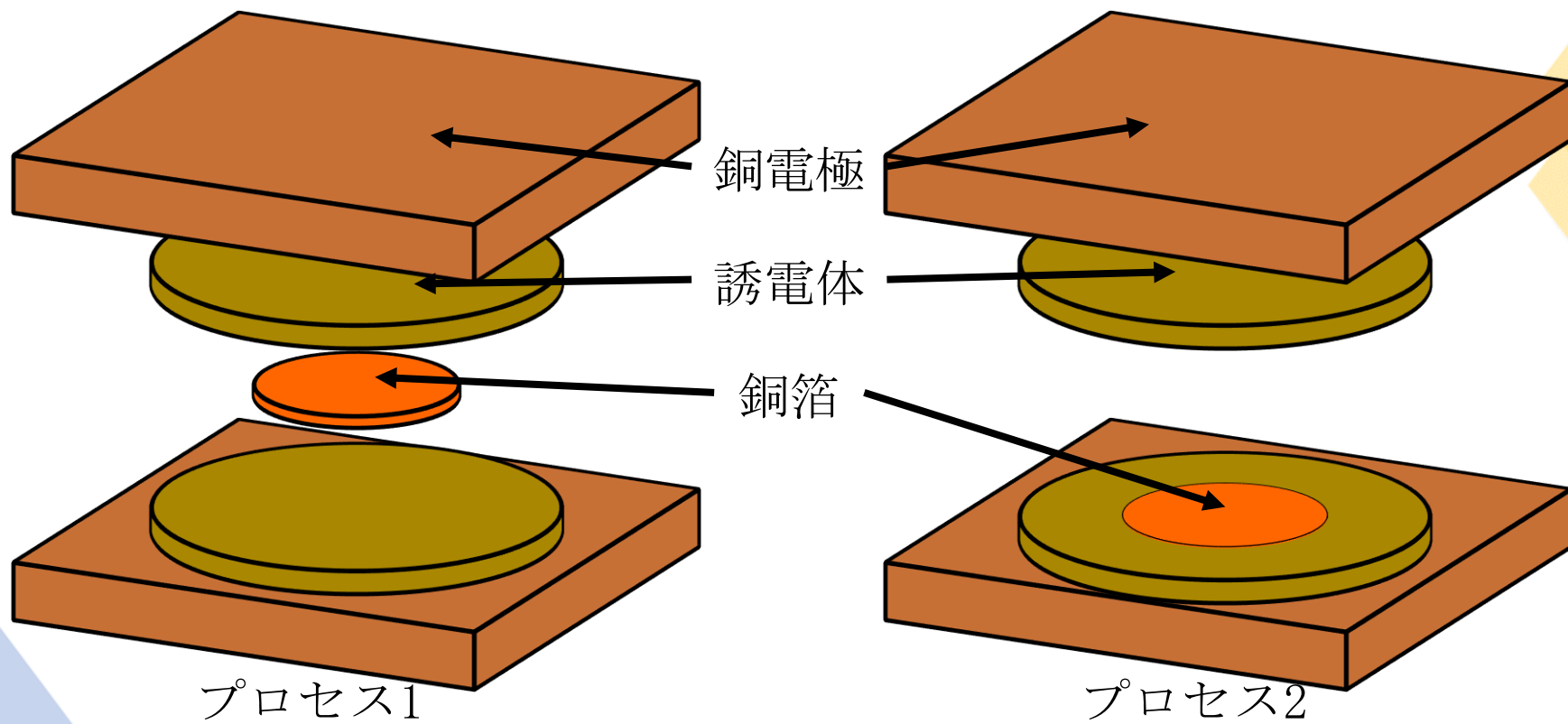
長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

結果と課題

- 表面粗さの評価のために導電率の測定をした。
- 今回は導電率測定をし，減衰定数の算出をした。
- MEGTRON6基板で導電率を測定することができた。
- 導電率から減衰定数の算出をして，
高周波において導体損失には表皮効果の影響で損失が増大することがわかった。







長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College