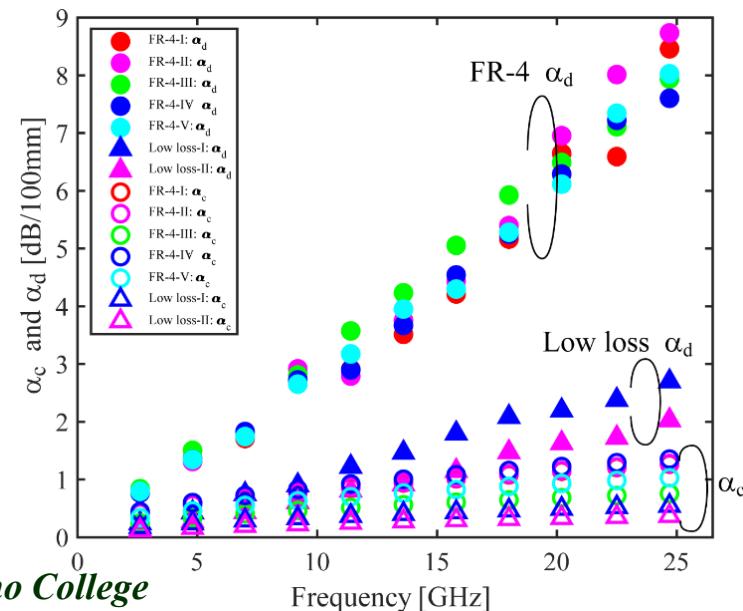
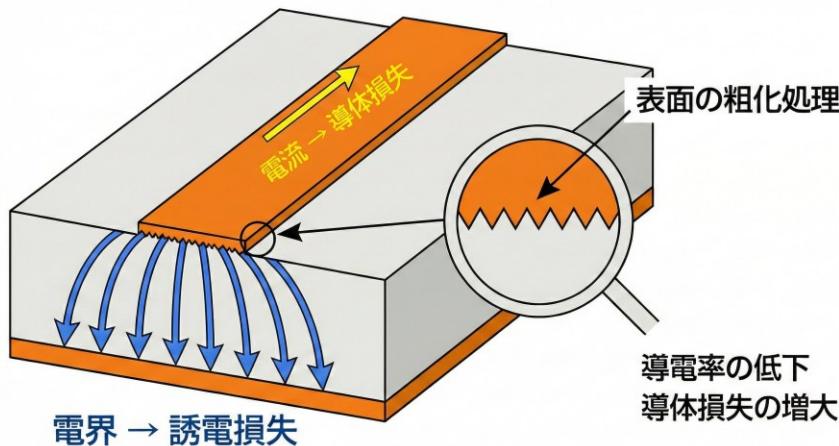


BCDRを用いた基板の誘電損失と 表面粗さによる電気伝導性の測定

5E 春日研究室 柳原魁人

研究の背景

- AI, 5G/6Gの次世代通信技術は高速で大容量データ送受信が必須
- 高周波ほど通信容量を大きくできる
→データセンターなどでは100 GHz帯での通信性能が必要
- 高周波になると信号減衰がある ⇌ 誘電損失 α_d + 導体損失 α_c
- 従来：研究室内の誘電損失を測定・検討
- 課題：導体損失における表面粗さの影響の検討は不十分
- 基板と導体を接着するための表面粗さが導体損失に影響？



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

本研究の目的

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）を用いて MEGTRON6の複素誘電率測定
- ・BCDR法によるMEGTRON6の導電率測定
- ・減衰定数の算出

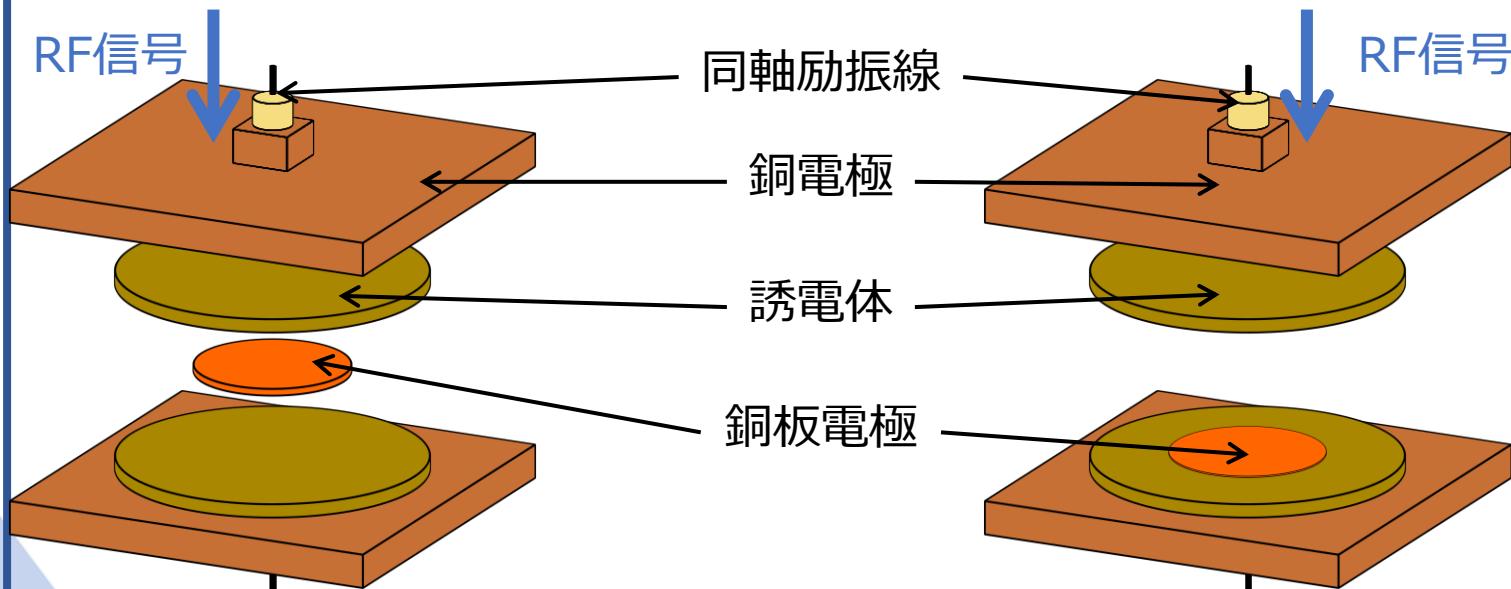


長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

BCDR法による測定方法

BCDR法（平衡円板共振器法）



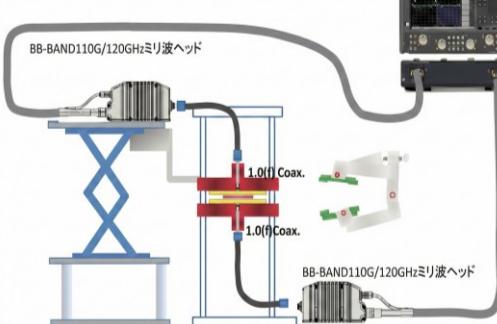
① エッチング処理で銅箔除去した基板 + 標準銅箔
→ 基板自体の**複素誘電率**を測定

② 実基板の銅箔を残した状態で測定
→ ①の誘電率を基準に
実効導電率を算出



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College



測定対象の材料

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。

【MEGTRON6の特徴】

- 高周波用低損失基板材料
- 高速通信機器に使用



高性能基板の正確な特性評価
が次世代通信技術に必要



このような基板の評価にはBCDR法が有効



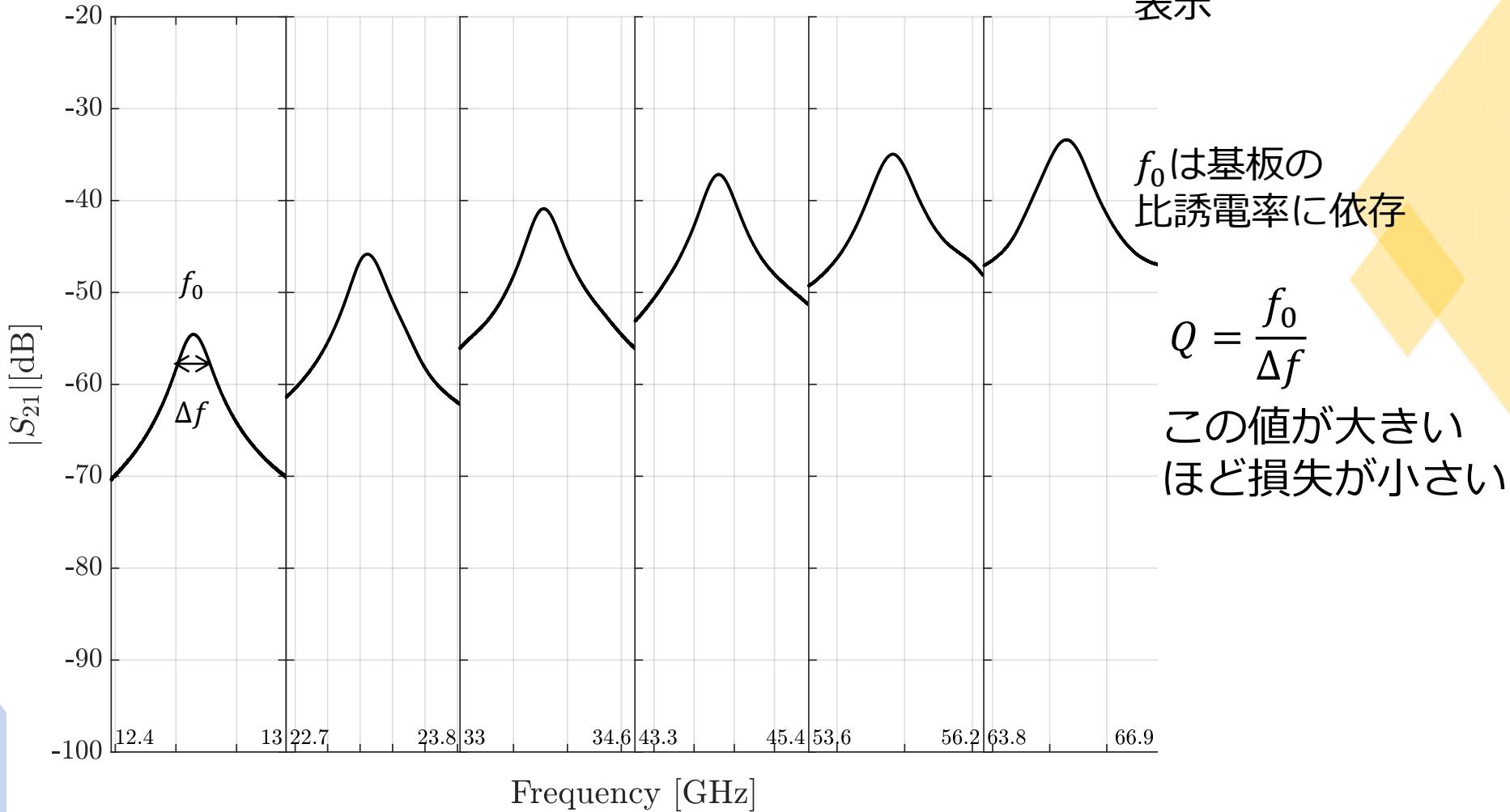
長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

測定結果① Sパラメータ

S_{21} Segment Sweep

20回の測定の平均を表示



この値を使って
複素誘電率を算出する



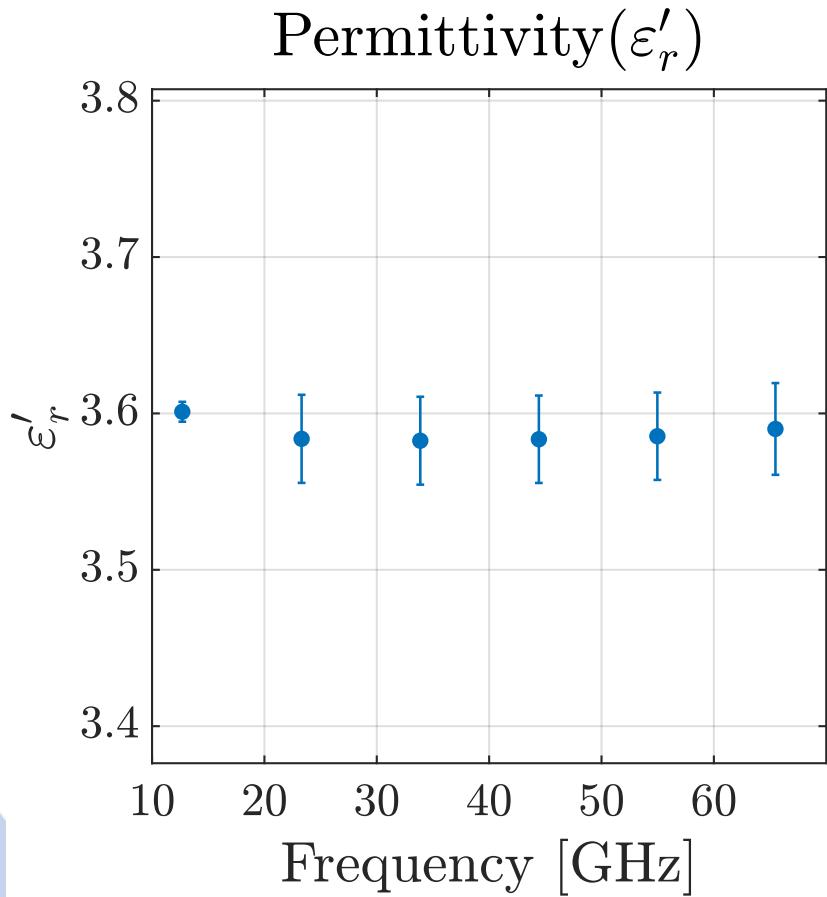
長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

ピークが鋭く立ち形が崩れていない
→測定が正常に行われた

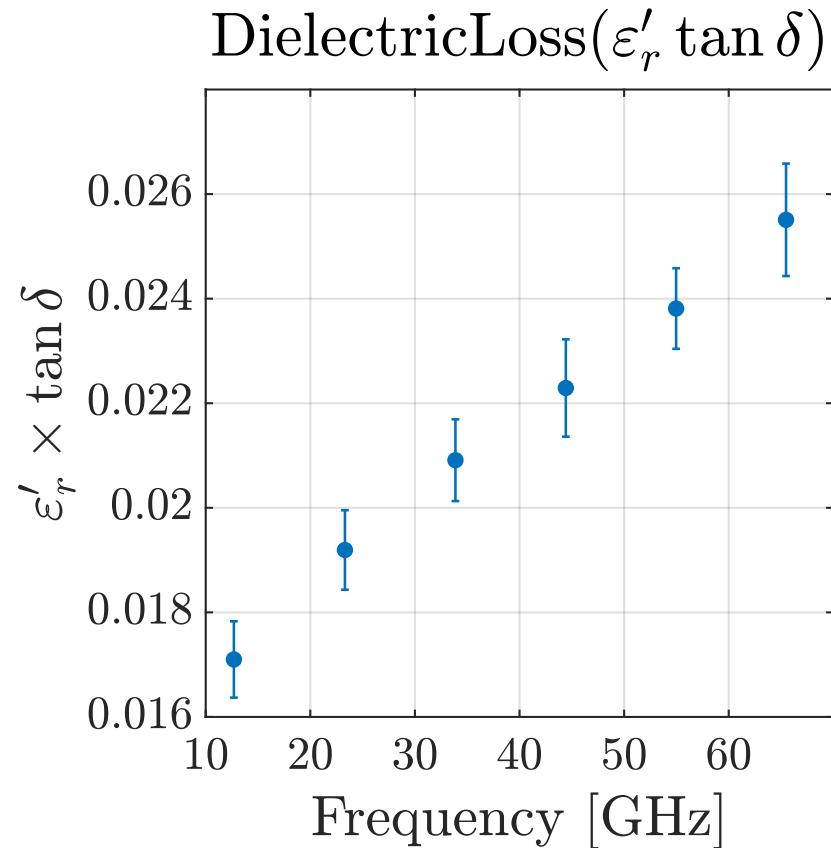
測定結果② 複素誘電率

SパラメータのQ値から算出



左：比誘電率 (ϵ'_r) はほぼ一定

右：誘電損失 ($\epsilon'_r \tan \delta$) は周波数とともに増加



$$\begin{aligned}\dot{\epsilon}_r &= \epsilon'_r - j\epsilon'_r \tan \delta = \epsilon'_r - j\epsilon''_r \\ \tan \delta &= K \left(\frac{1}{Q_u} - \frac{1}{Q_c} \right)\end{aligned}$$

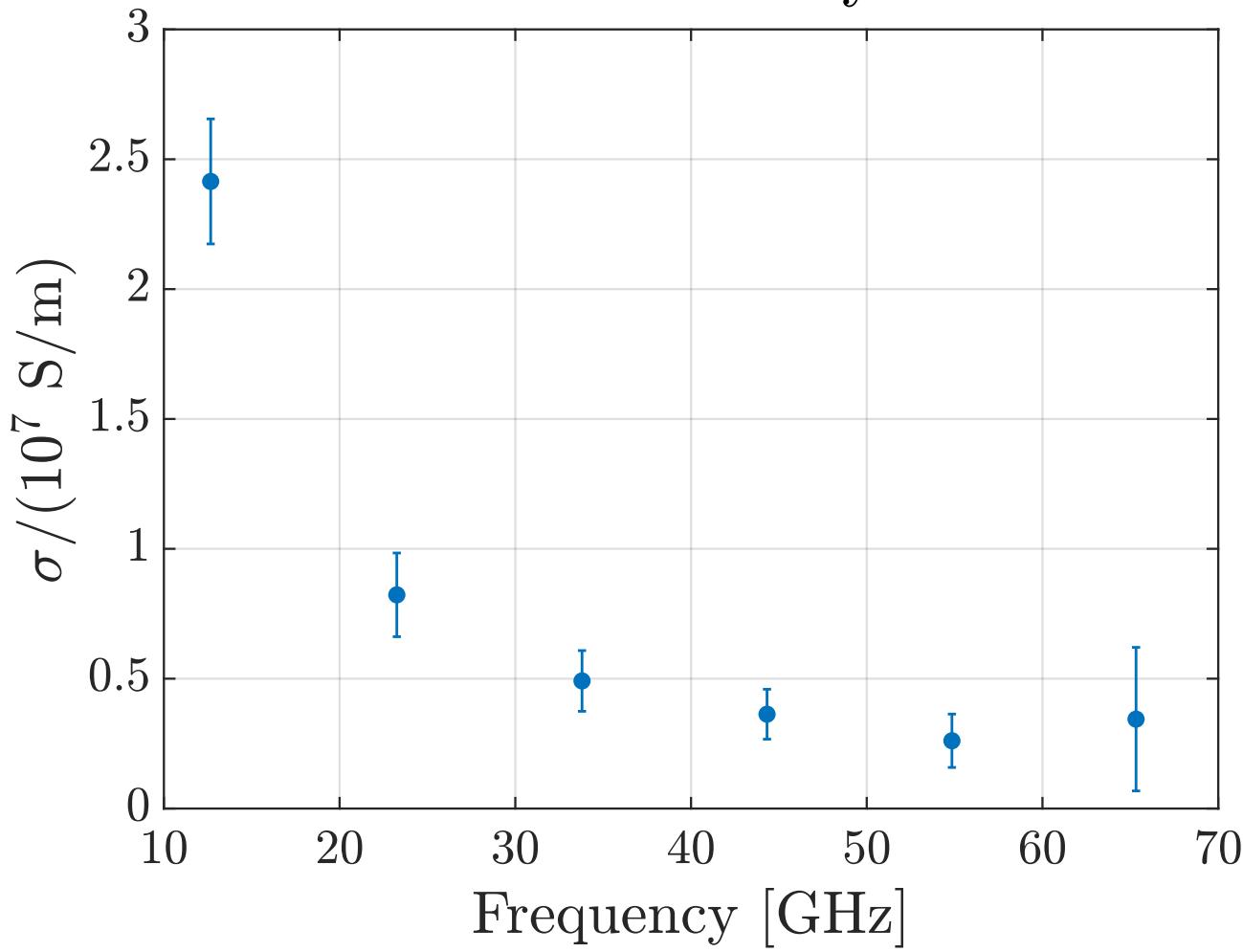


長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

測定結果③ 実効導電率

Conductivity



周波数が高くなるほど実効導電率が低下

→ 表皮深さの減少と表面粗さの影響



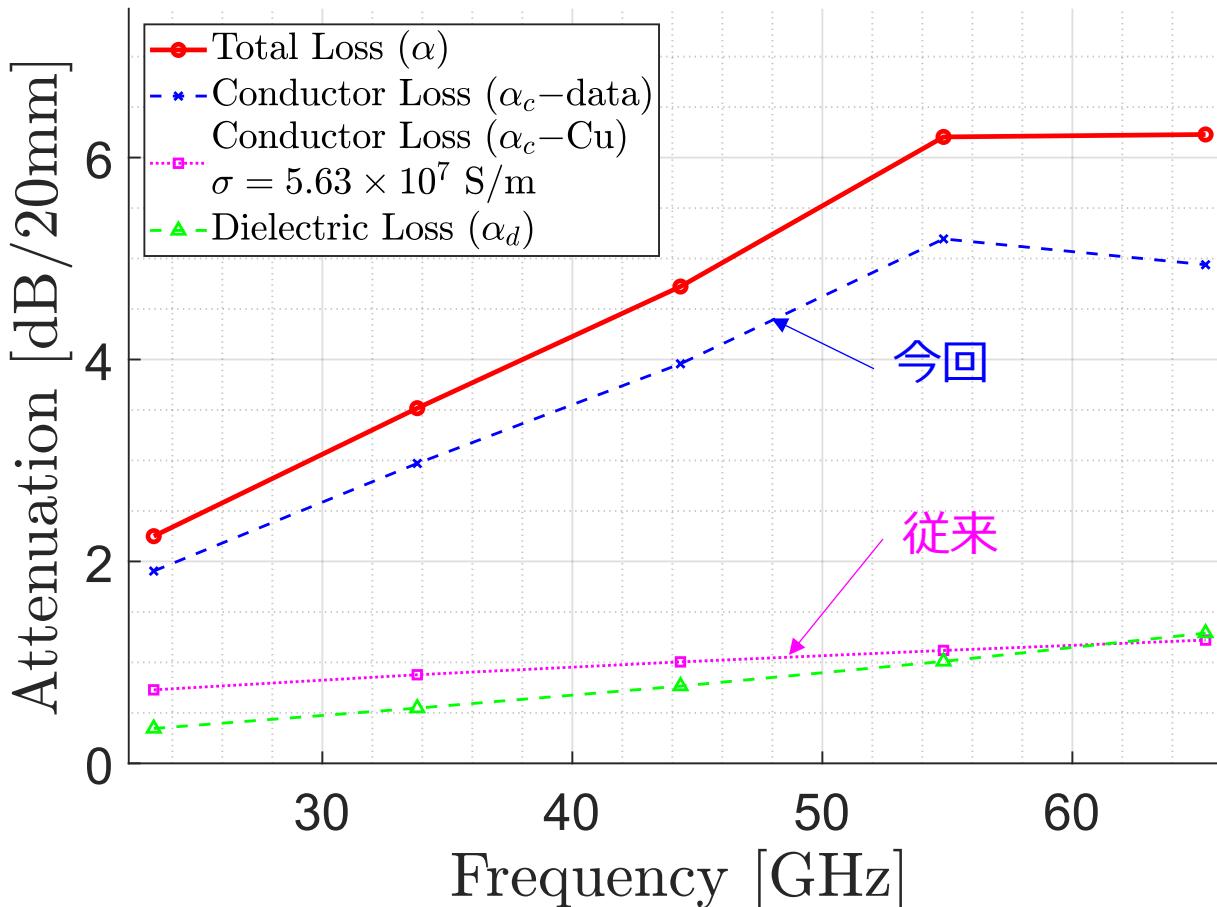
長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

減衰定数の算出結果

Attenuation Constant Simulation

($W = 0.220 \text{ mm}$, $H = 0.1000 \text{ mm}$, $T = 18.0 \mu\text{m}$)



このような式で実験結果
を減衰定数に反映

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

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

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_d$$

$$\alpha_c = 0.173 \frac{\sqrt{\pi f \mu_0 \rho}}{Z_0 W} \quad [\text{dB}/20 \text{ mm}]$$

$$\alpha_d = 0.173 \frac{f \pi}{c} \epsilon_r'' \sqrt{\frac{\epsilon_{re} - 1}{\epsilon_r' - 1}} \quad [\text{dB}/20 \text{ mm}]$$

・実効導電率使用時に損失が大きい

・表面粗さを考慮しない従来モデルが
高周波での導体損失を過小評価している
可能性



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

まとめ

成果

- BCDRでMEGTRON6の実効導電率を広帯域測定
- その値から減衰定数を算出
- 高周波域では従来の理想導電率モデルより導体損失が数倍大きく乖離

課題

- 表面粗さで実効導電率が下がることは実測で確認
- 今回の算出結果の妥当性、実際の信号減衰への影響をFDTD解析などの電磁界解析で検証する



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College