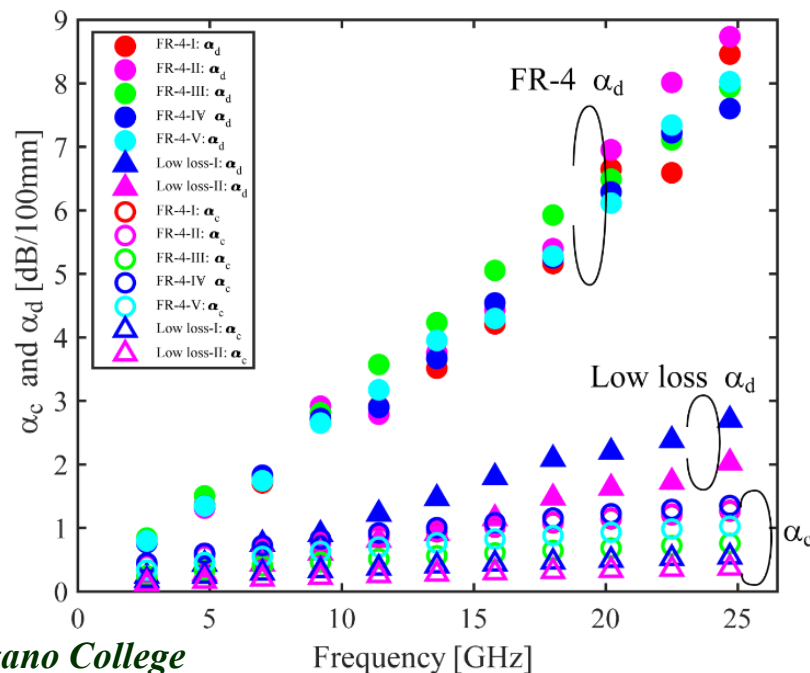
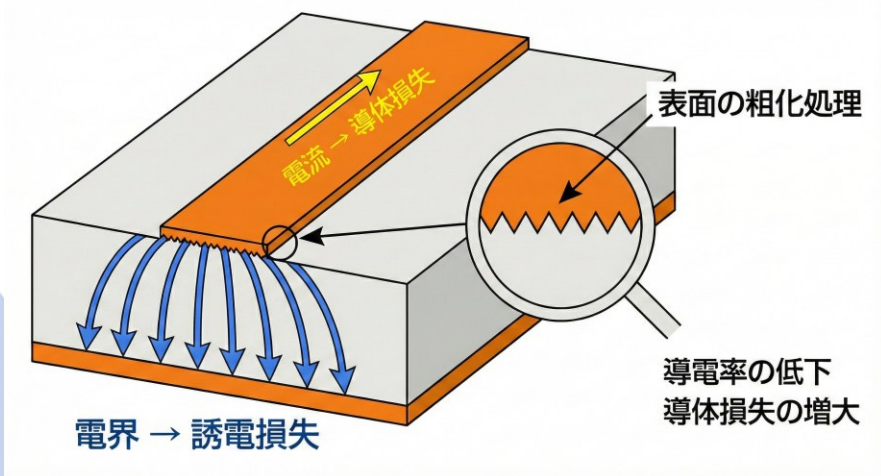


# BCDRを用いた基板の誘電損失と 表面粗さによる電気伝導性の測定

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要
- 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須
- 信号減衰の原因：誘電損失 $\alpha_d$  + 導体損失 $\alpha_c$
- 従来：誘電損失 $\alpha_d$ を測定・検討
- 課題：導体損失 $\alpha_c$ における表面粗さの影響の検討は不十分



# 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

- BCDR法によるMEGTRON6の複素誘電率測定
- BCDR法によるMEGTRON6の導電率測定
- 減衰定数の算出と表面粗さの影響評価



# 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

# BCDR法による測定

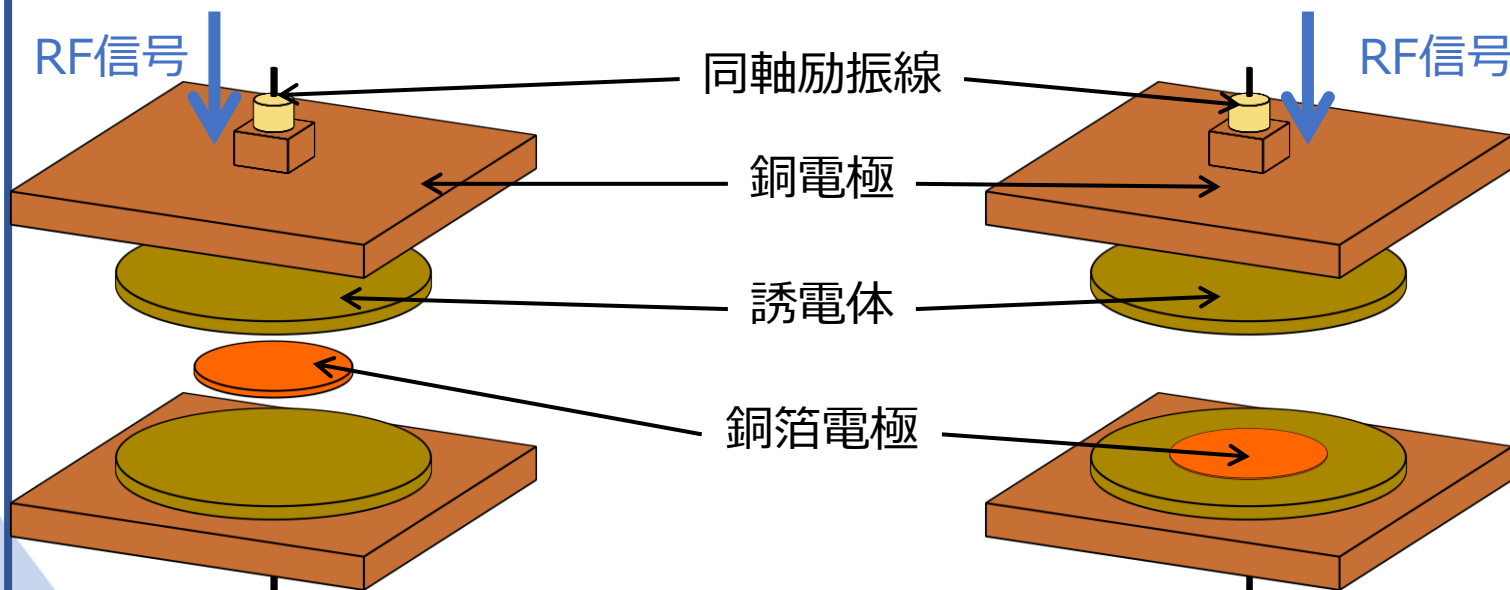
## BCDR法（平衡円板共振器法）

誘電体で銅板電極  
を挟み、圧着

RF信号入力

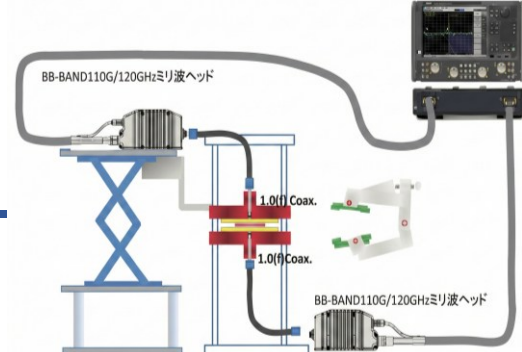
共振信号を測定

評価・計算



① エッチング処理で銅箔  
除去した基板 + 標準銅箔  
→ 基板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

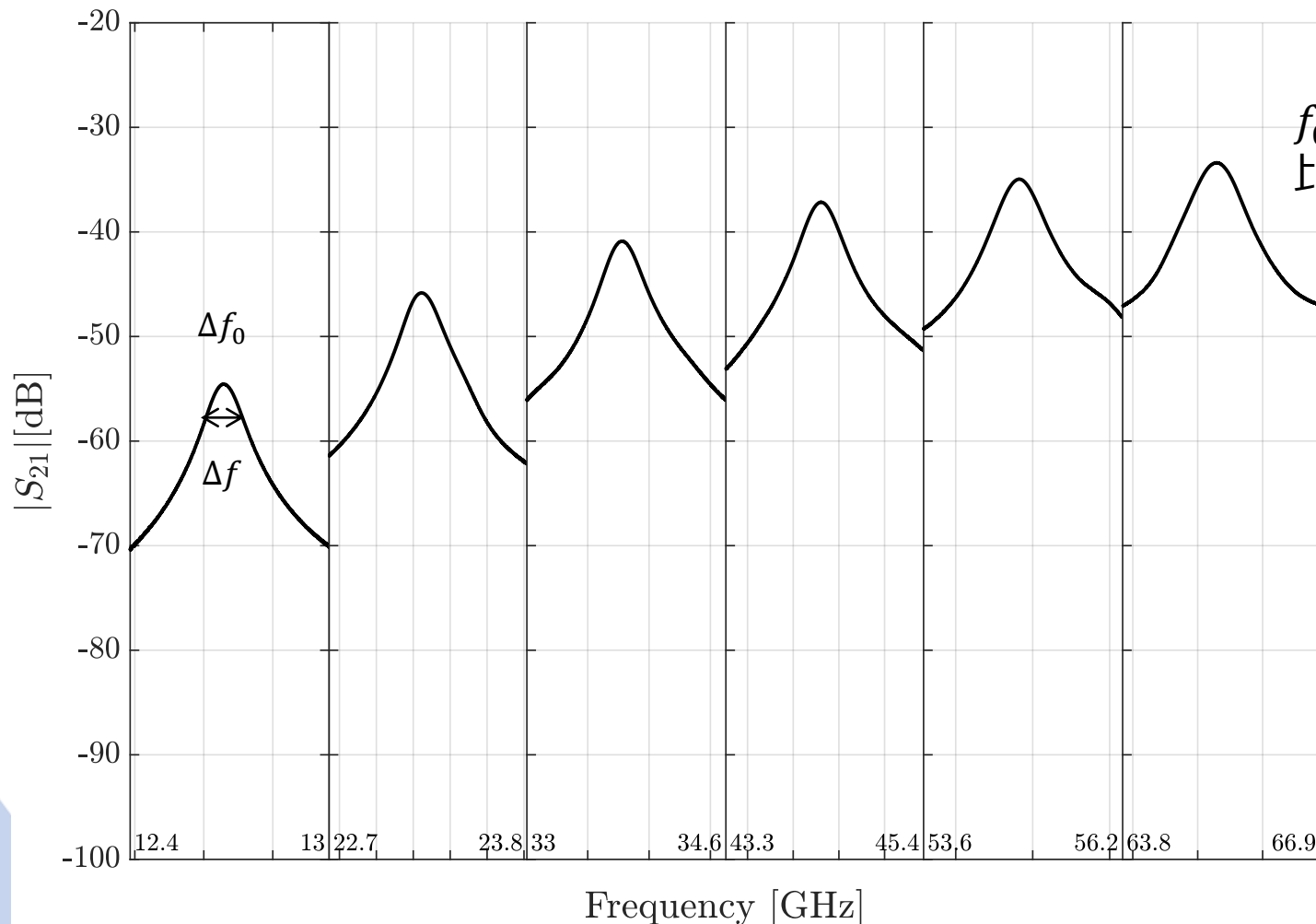


長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

# 測定結果① Sパラメータ

$S_{21}$  Segment Sweep



$f_0$ は基板の  
比誘電率に依存

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$

この値が大きい  
ほど損失が小さい

この値を使って  
複素誘電率を算出する

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



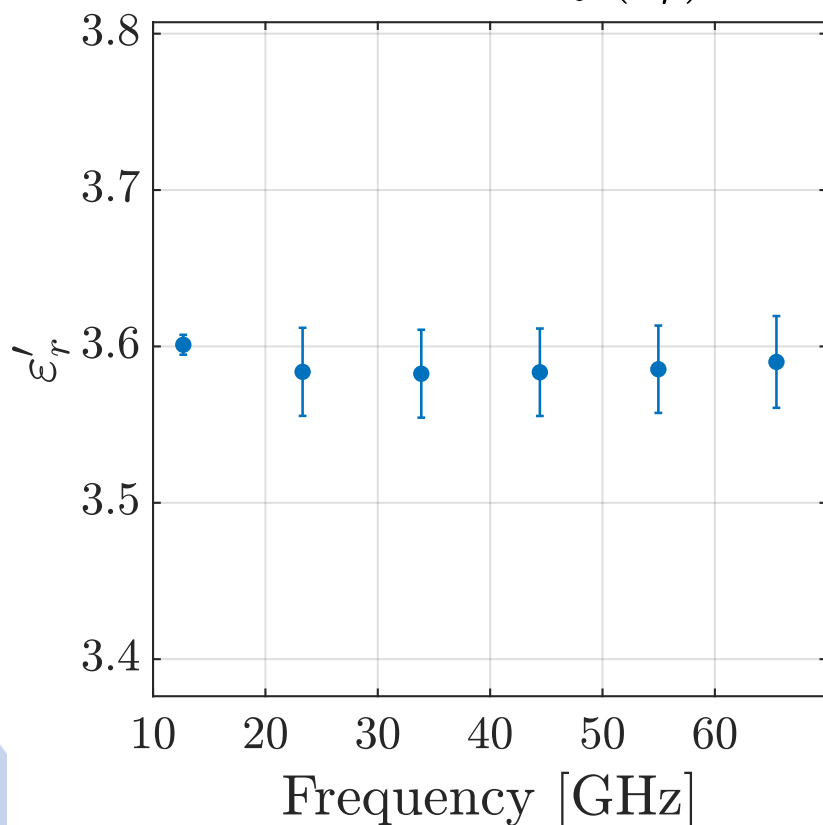
長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

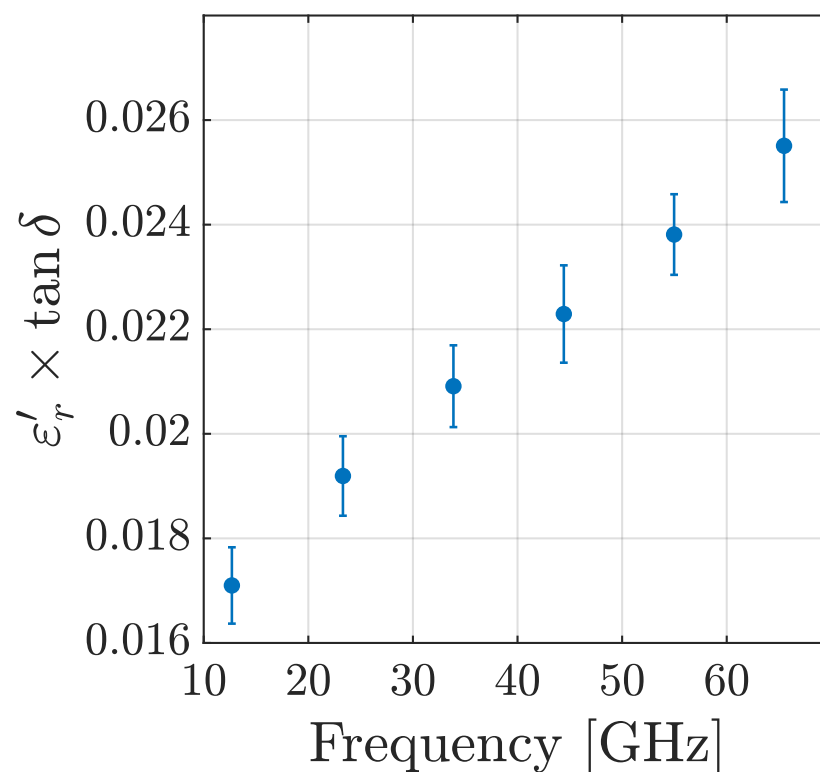
## 測定結果② 複素誘電率

SパラメータのQ値から算出

Permittivity ( $\epsilon'_r$ )



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



左：比誘電率 ( $\epsilon'_r$ ) はほぼ一定

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

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

$$\tan \delta = K \left( \frac{1}{Q_u} - \frac{1}{Q_c} \right)$$

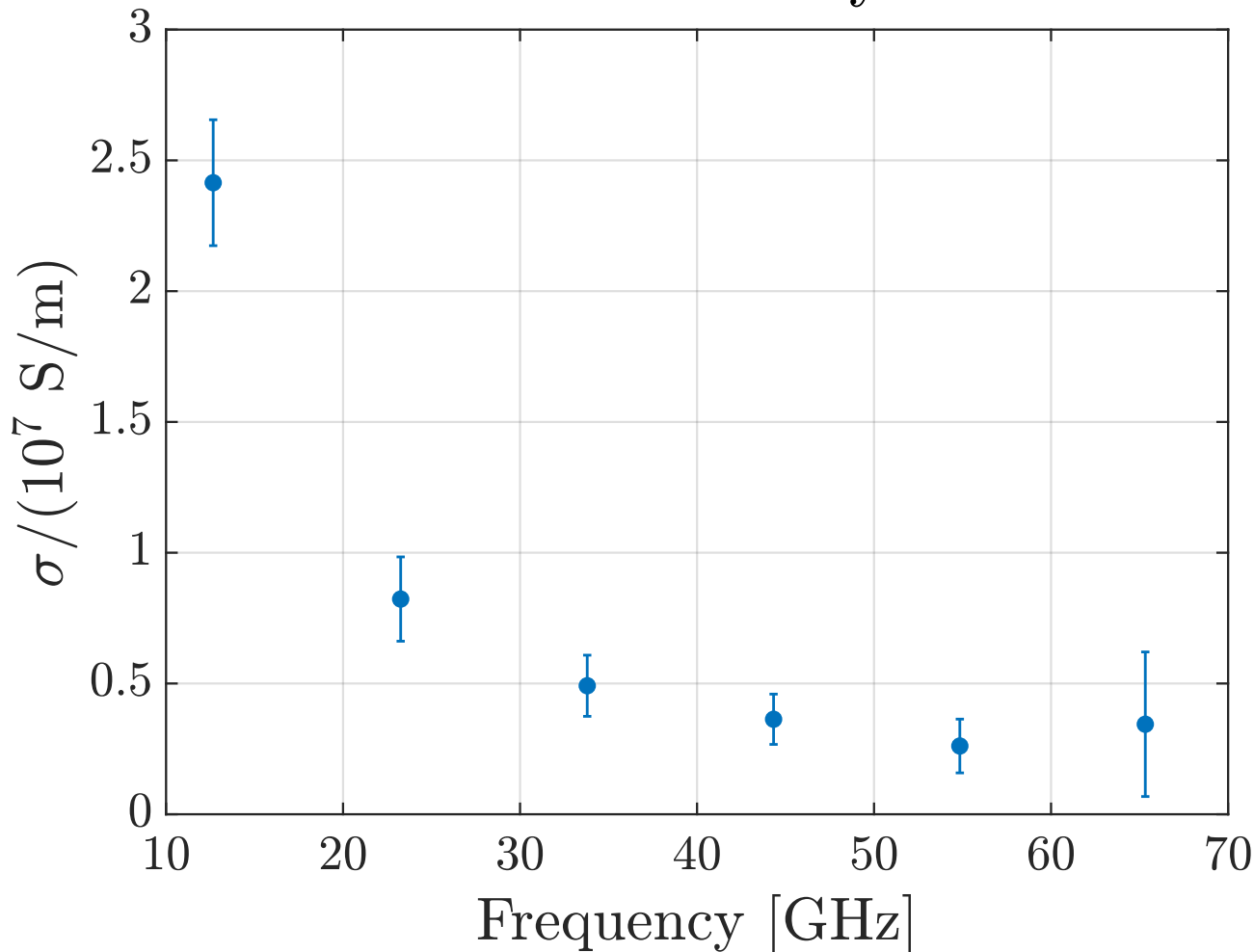


長野高専 春日研究室

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



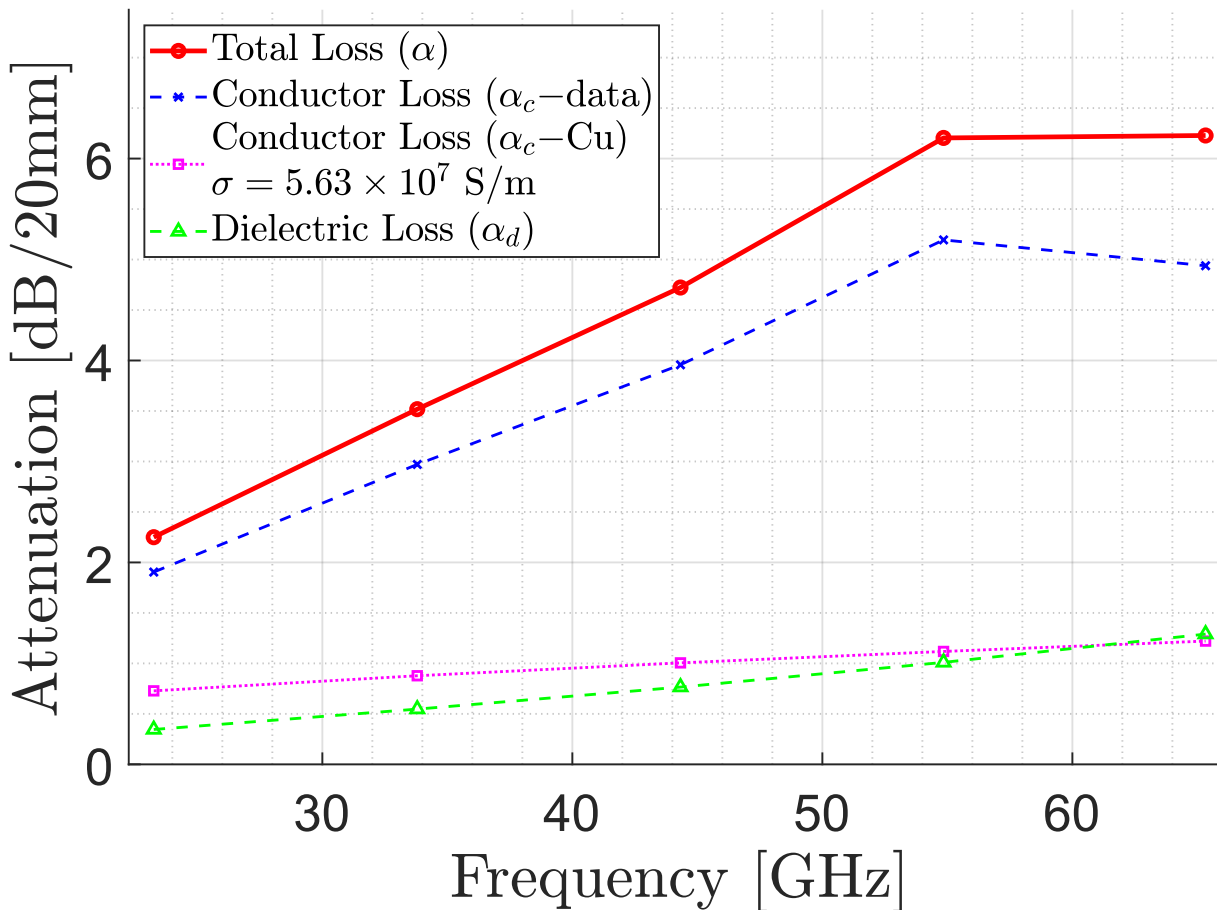
長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

# 測定結果④ 減衰定数

## Attenuation Constant Simulation

( $W = 0.220$  mm,  $H = 0.1000$  mm,  $T = 18.0$   $\mu$ 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

## 課題と次ステップ

- 表面粗さで実効導電率が下がることは実測で確認
- 実際の信号減衰へどれだけ効くかをFDTD解析で検証する

