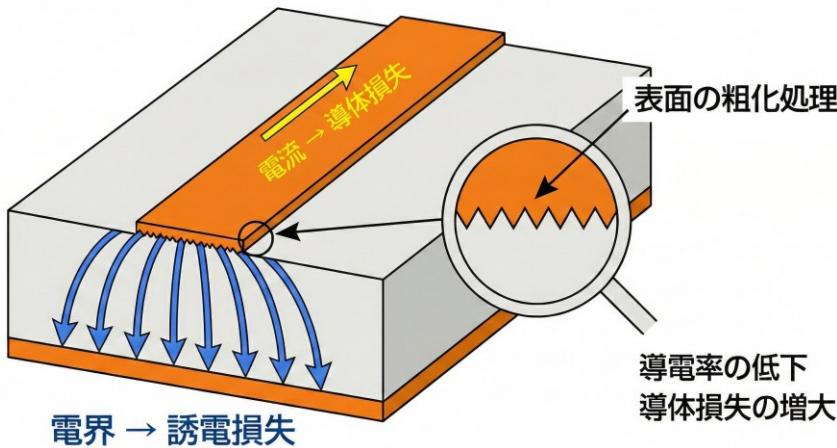


BCDRを用いた基板の誘電損失と 表面粗さによる電気伝導性の測定

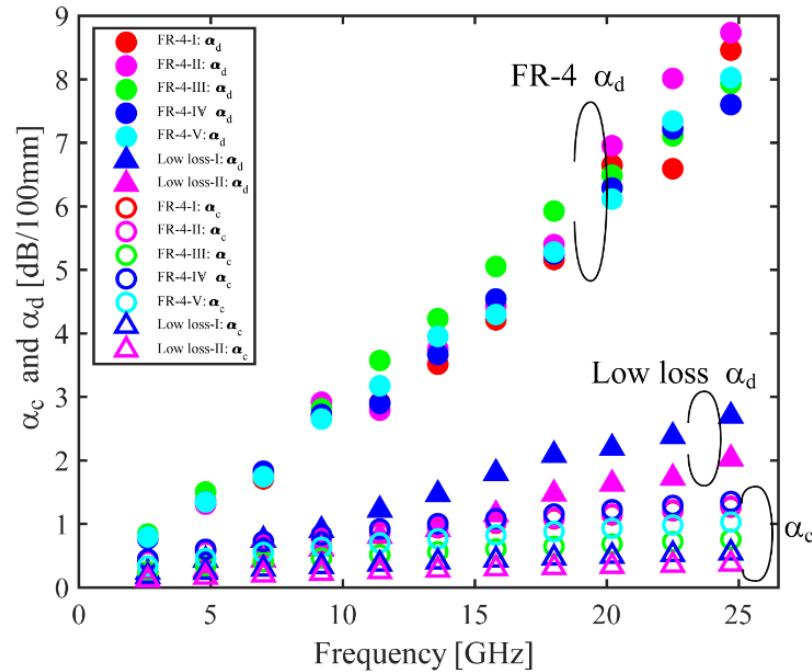
5E 春日研究室 柳原魁人

研究の背景

- ・ 次世代通信技術は高速・大容量データ送受信が必要
- ・ 高周波ほど通信容量増大 → 100 GHz帯での通信性能が必須
- ・ 信号減衰の原因：**誘電損失** α_d + **導体損失** α_c
- ・ 従来：誘電損失 α_d を測定・検討
- ・ 課題：導体損失 α_c における表面粗さの影響は未検討



$$\alpha_c = \frac{\sqrt{(\pi f \mu) / \sigma}}{Z_0 W} \quad \alpha_d = \frac{\pi f \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}{c} \tan \delta$$



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

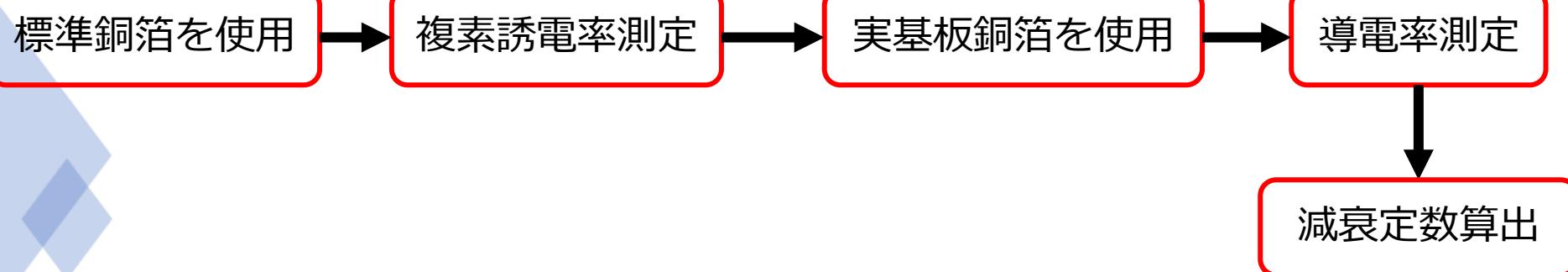
本研究の目的

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



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
- 正確な特性評価が必要

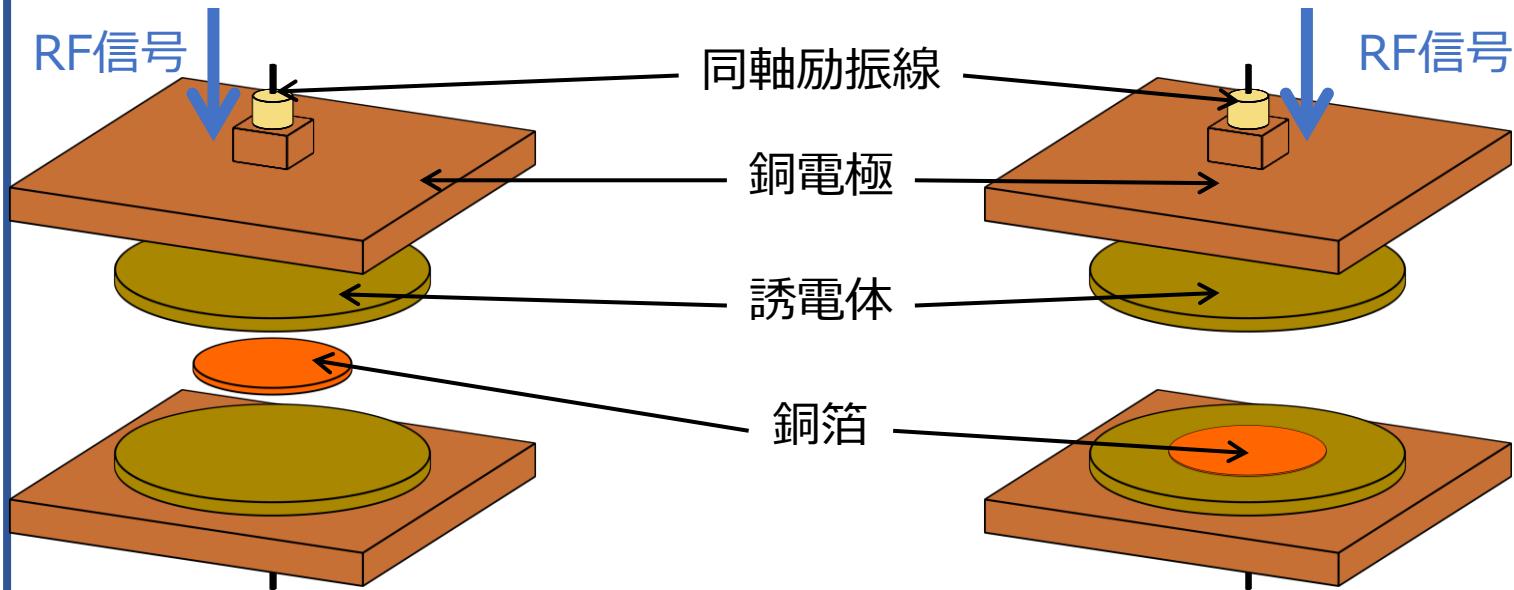


長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

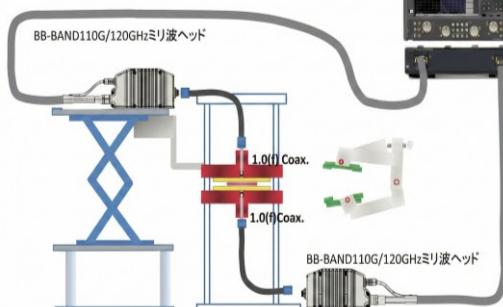
測定原理と手順

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

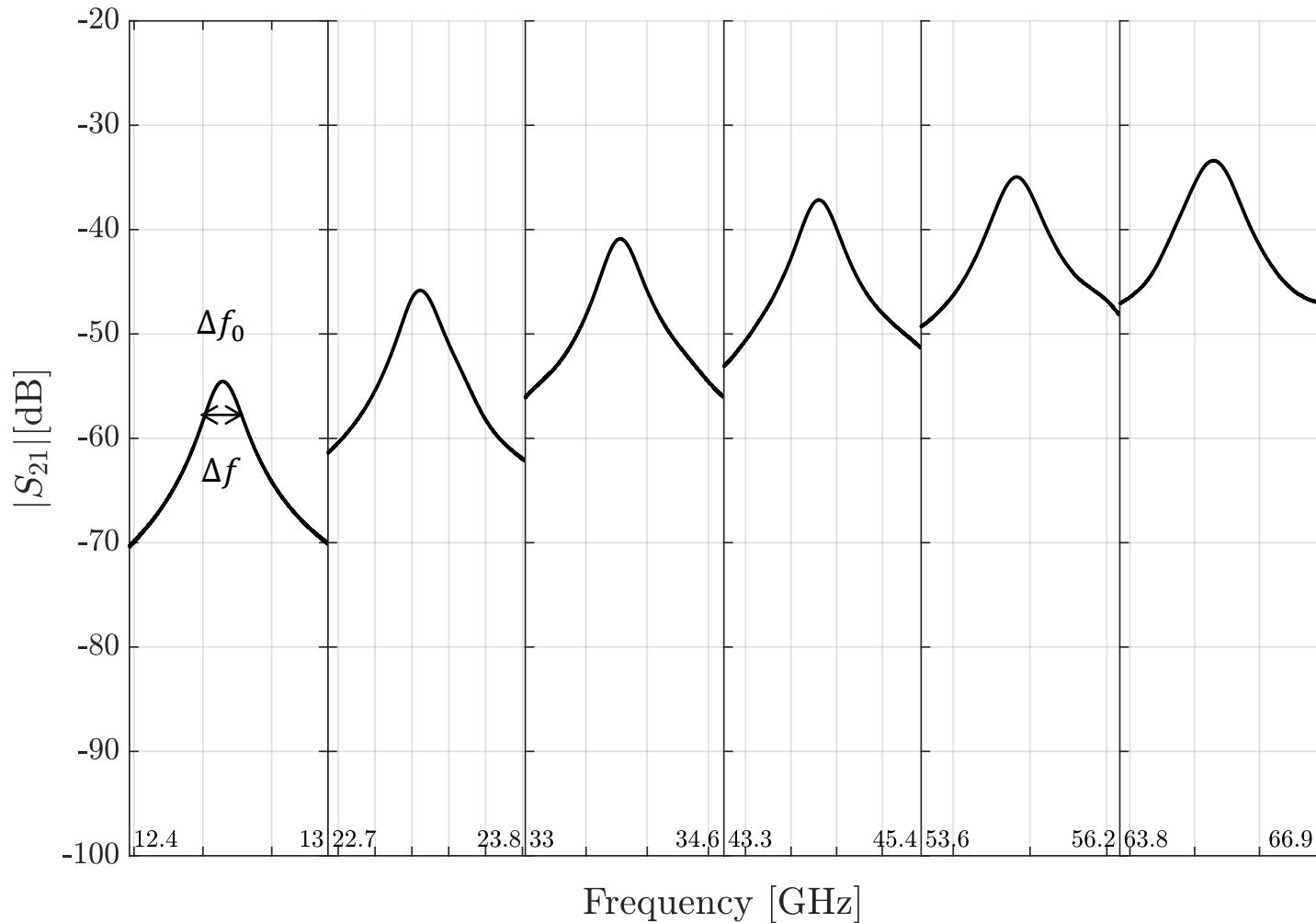


長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

Sパラメータの測定結果

S_{21} Segment Sweep



共振ピークの周波数と鋭さ (Q値) から

誘電率と損失特性を評価

長野高専 春日研究室

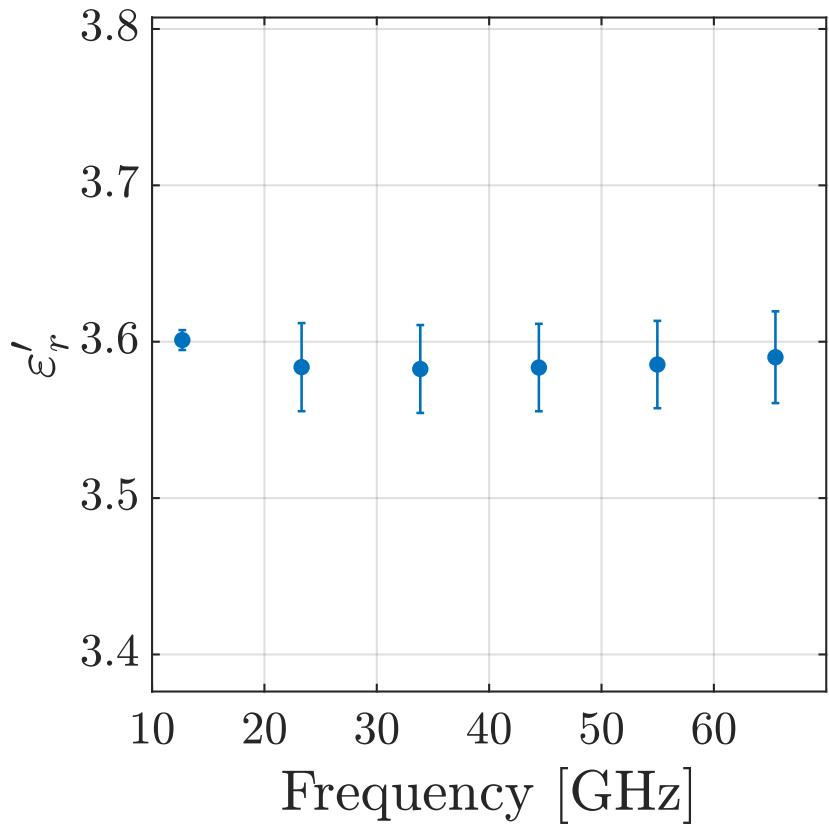
$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$



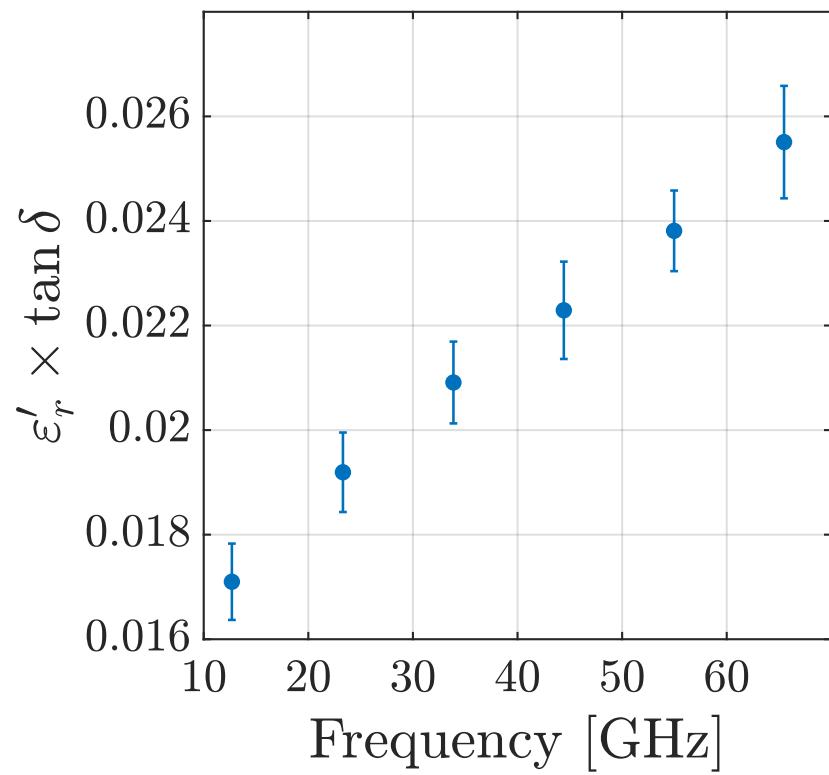
Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

複素誘電率の測定結果

Permittivity (ϵ'_r)



DielectricLoss ($\epsilon'_r \tan \delta$)



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

左：比誘電率 (ϵ'_r) はほぼ一定

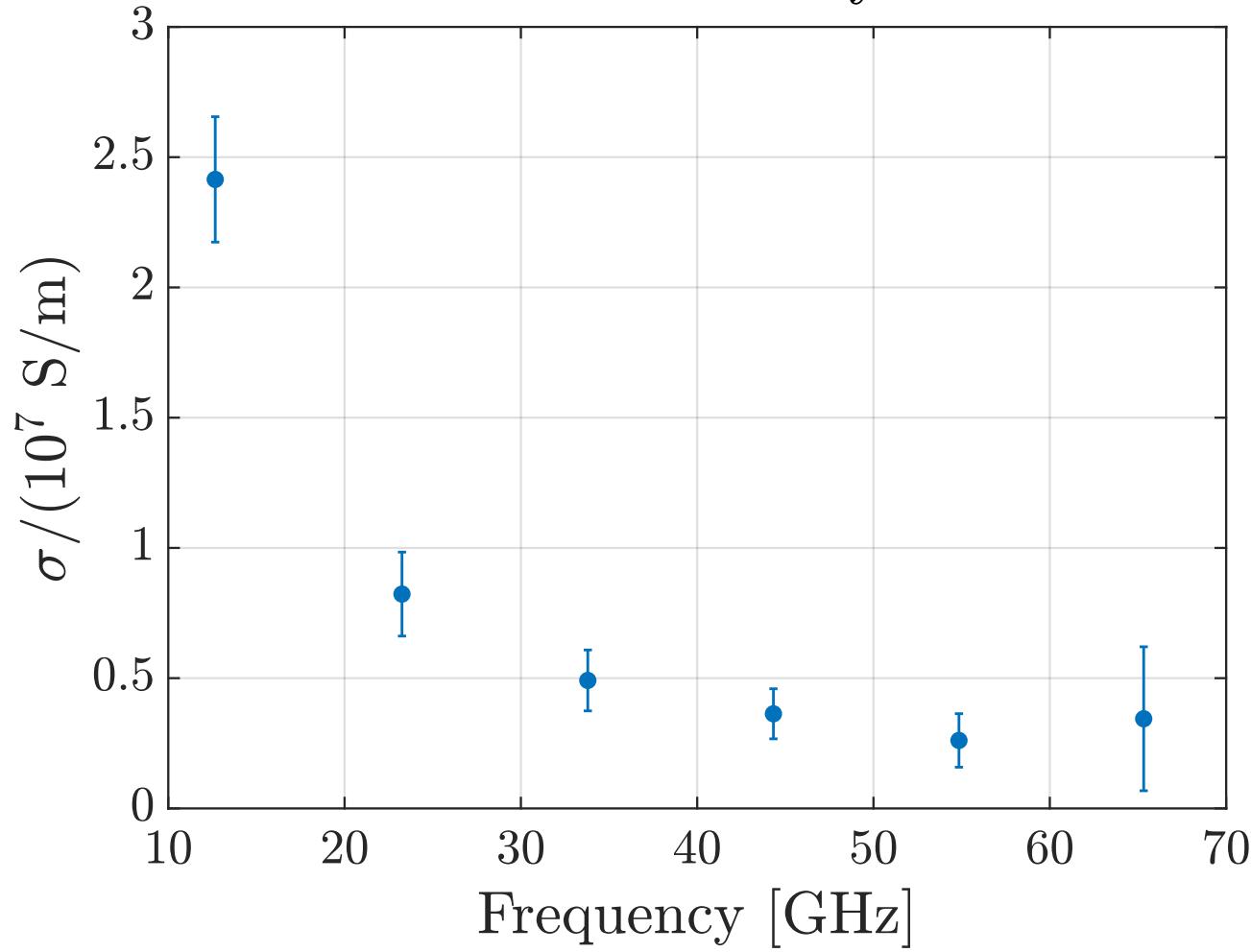
右：誘電損失 ($\epsilon'_r \tan \delta$) は周波数とともに増加

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



導電率の測定結果

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



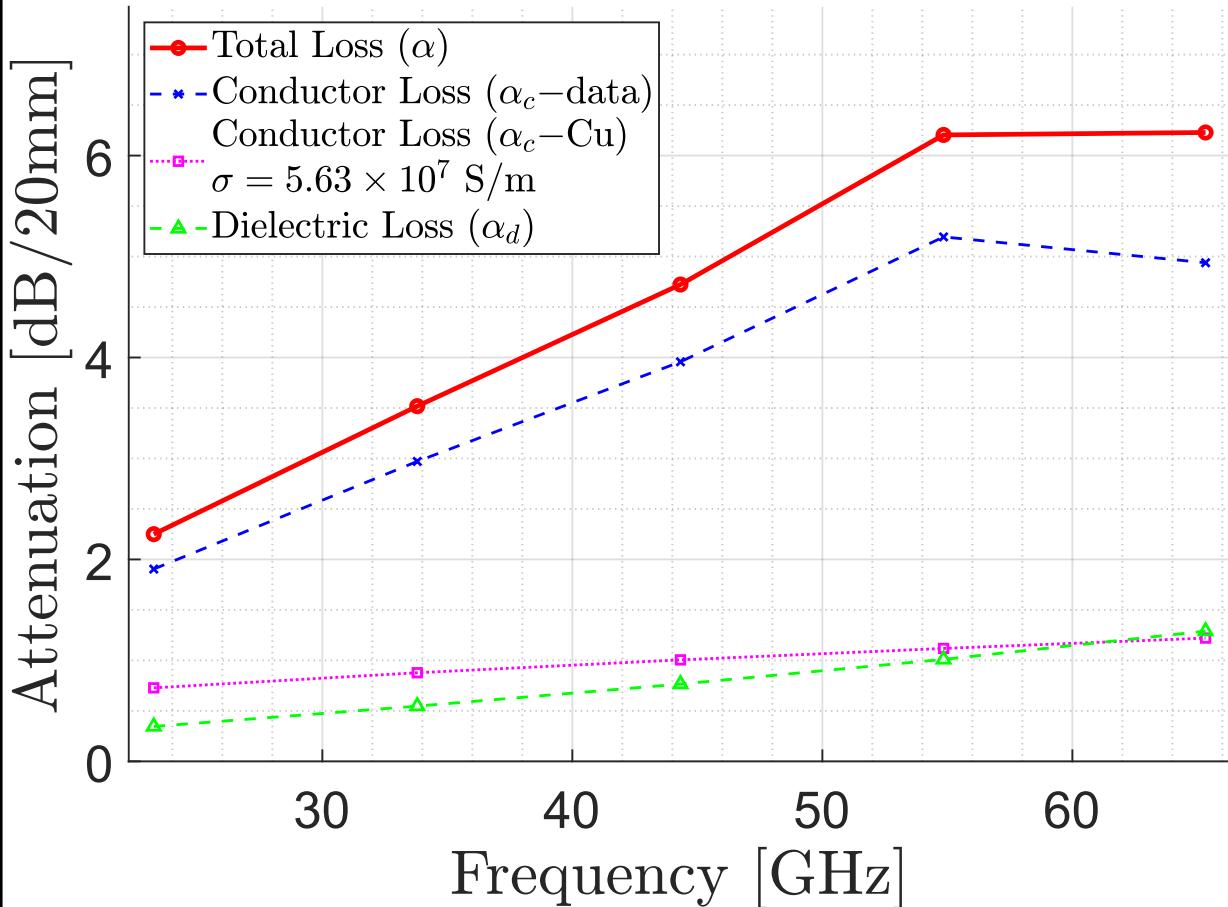
長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

減衰定数と従来手法の比較

Attenuation Constant Simulation

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



$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r' + 1.41}} \ln \left(\frac{5.98 H}{0.8 W + T} \right)$$
$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r' + 1}{2} + \frac{\epsilon_r' - 1}{2} \left(1 + \frac{10H}{W} \right)^{-1/2}$$

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

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

減衰定数の比較結果

・実効導電率使用時は高周波域で増大

・従来モデルとの顕著な差

・今後：FDTD解析で妥当性を検証



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College

まとめ

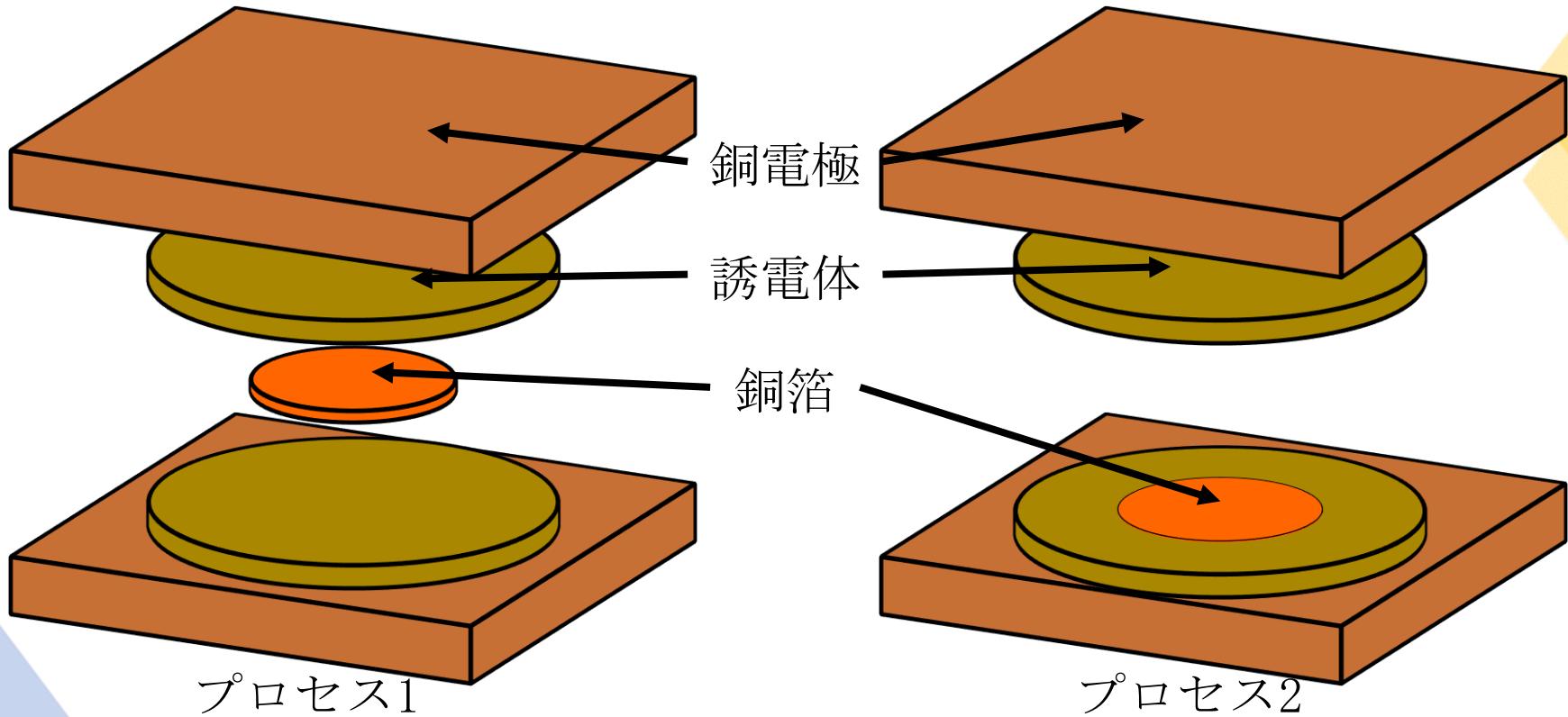
成果

- BCDR法によりMEGTRON6の導電率を測定
 - 導電率から減衰定数を計算
 - 高周波で従来モデルとの顕著な乖離を発見
-
- 課題 :
 - 測定結果の妥当性をFDTD解析で検証が必要



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College



長野高専 春日研究室

Kasuga Lab. National Institute of Technology, Nagano College