

EMラボ株式会社

ファブリペロ共振器による導電率測定について

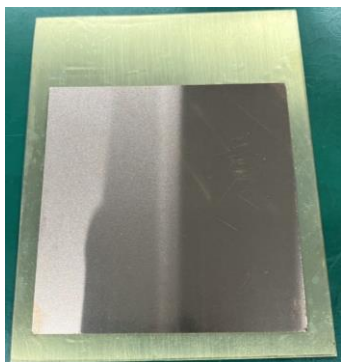
EMラボ株式会社

EMラボの導電率測定ソリューション

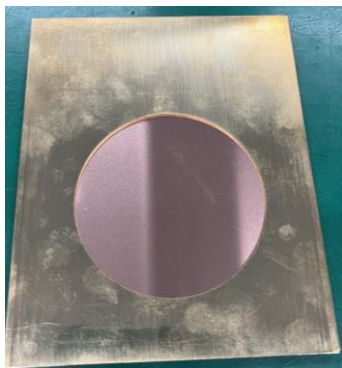
ファブリペロ共振器を用いた導電率測定

リファレンス測定

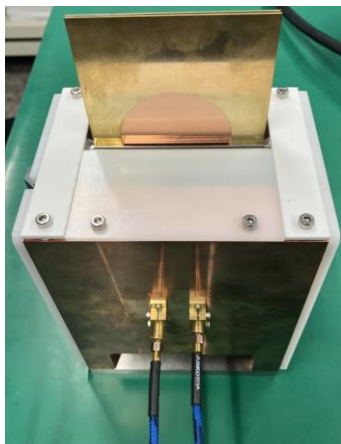
銅箔または金属板を



板で挟み



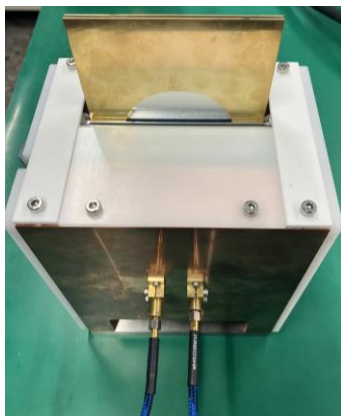
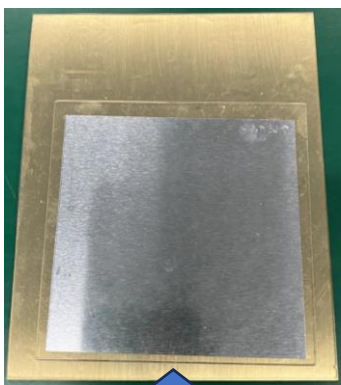
共振器に挿入



ボタンを押すだけでリファレンス測定！
1日に2~3回実施するだけ！（4分/回）

キャリブレーション不要！
試料のエッチング不要！
誰が測定しても同じ値！
驚きの再現性！
比導電率=1でも測定可能！
誘電体付きでも銅箔単体でも測定可能！

試料測定

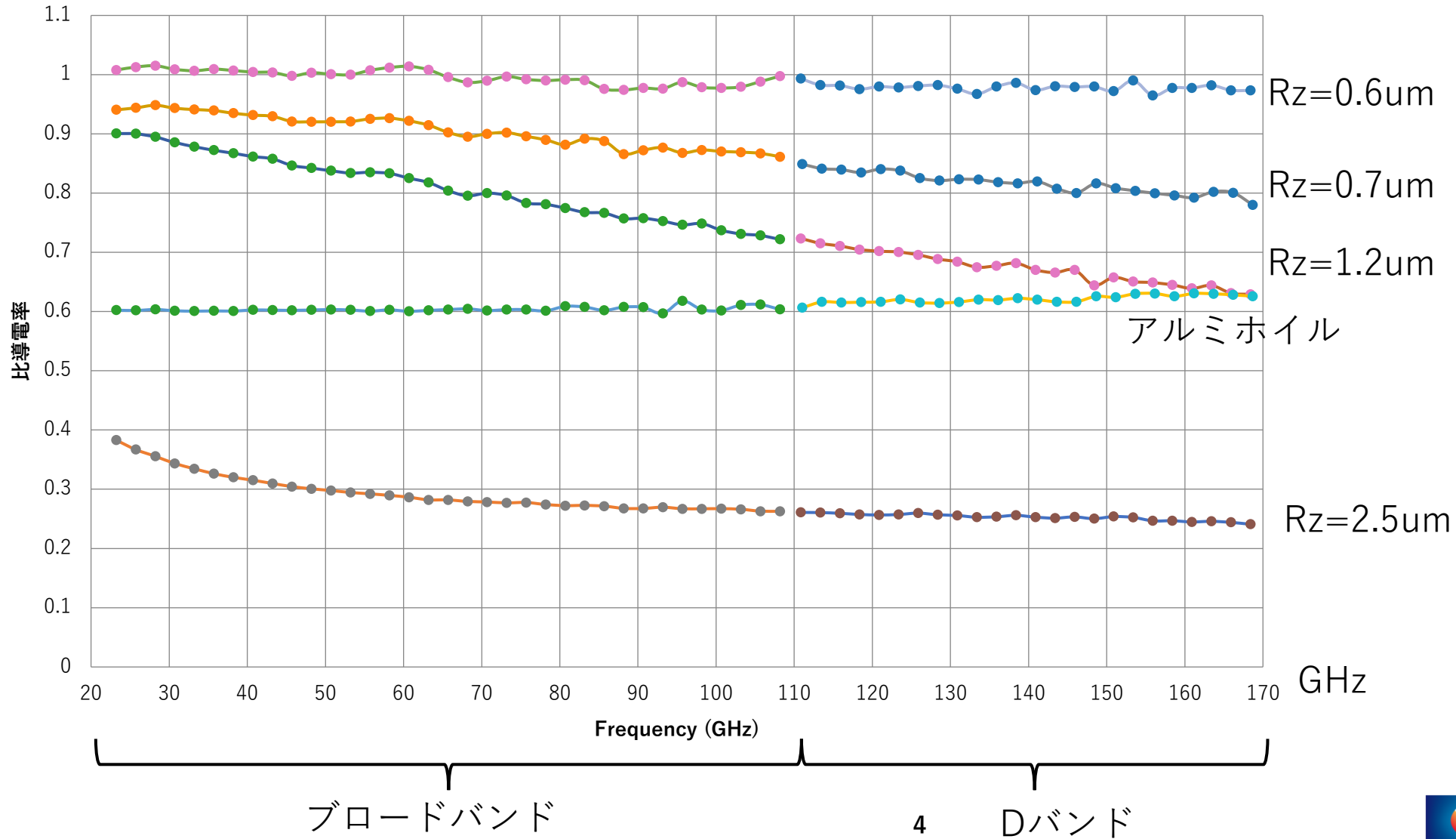


あとはボタンを押すだけで
導電率の周波数特性が得られます！
4分/1サンプル

複数の試料も簡単測定

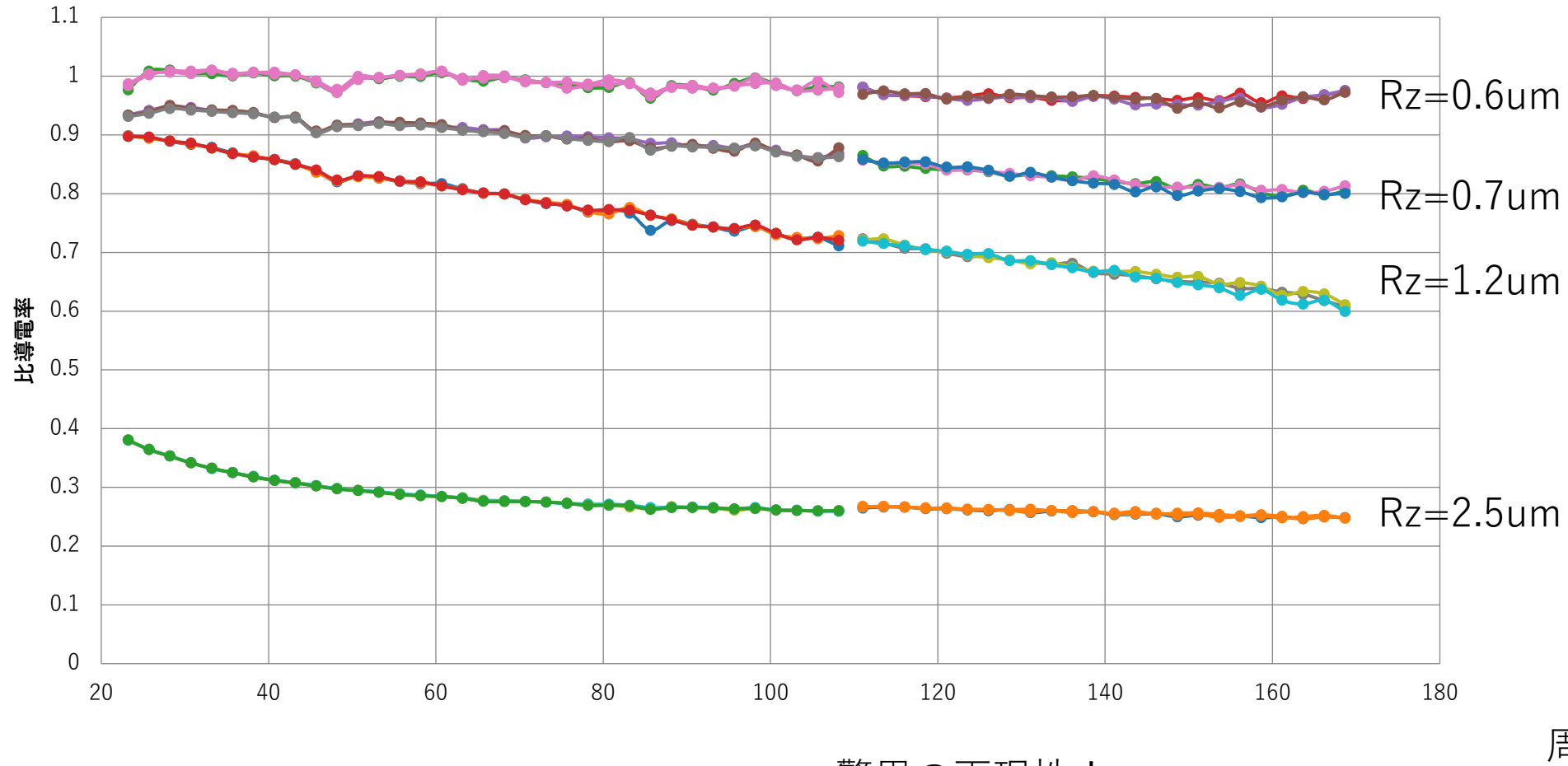
粗し銅箔の測定例

比導電率



測定再現性(測定 \Leftrightarrow 試料再設置 \times 各3回)

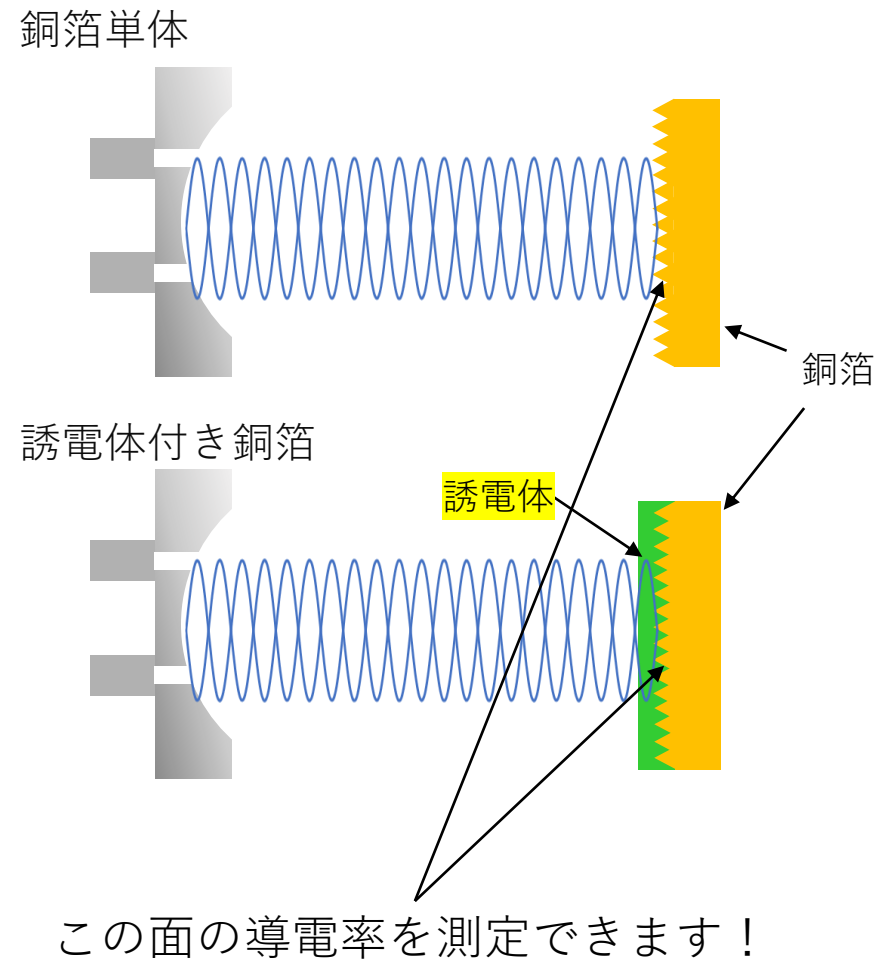
比導電率



驚異の再現性！

周波数(GHz)

誘電体付きの銅箔の界面導電率も測定できる

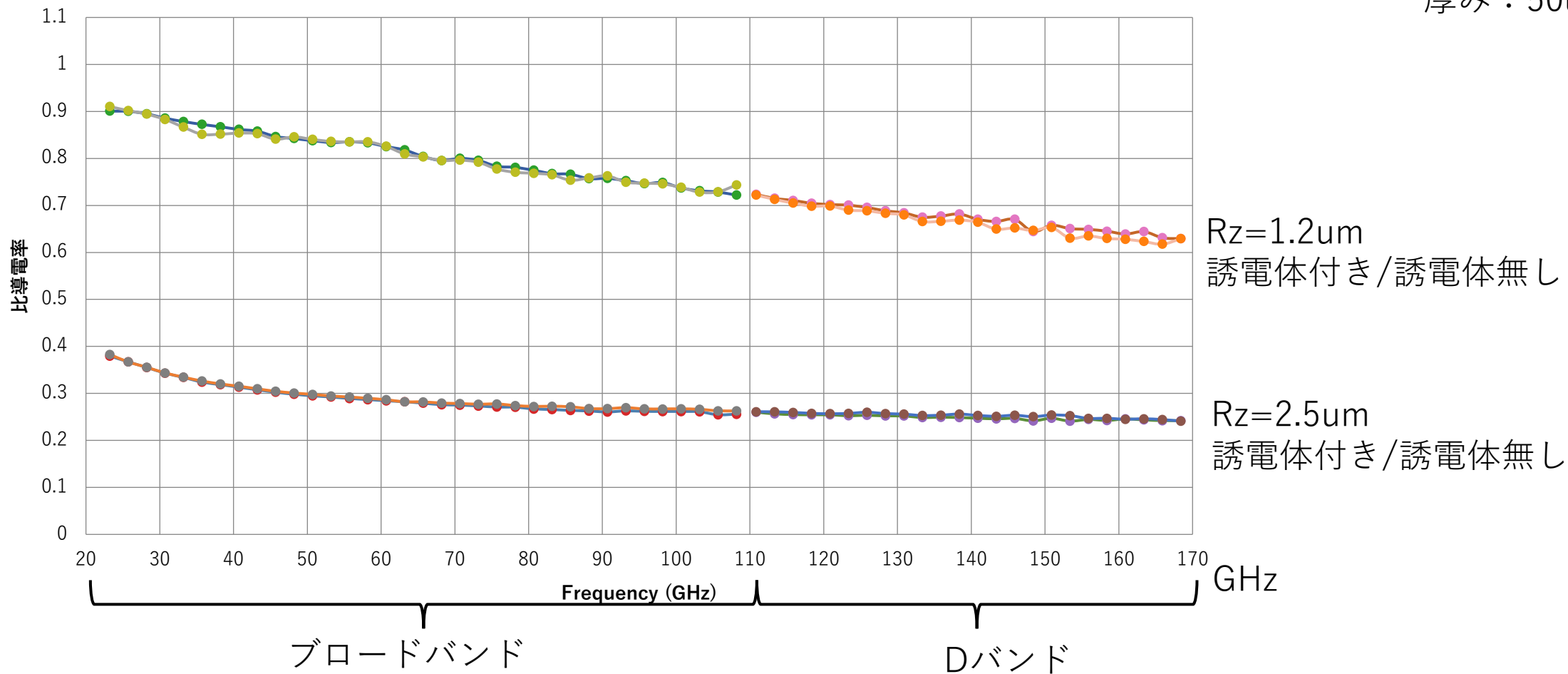


粗し銅箔の測定例

比導電率：軟銅の導電率($5.8 \times 10^7 \text{S/m}$)を1とした値

誘電体：MPI
厚み：50um程度

比導電率

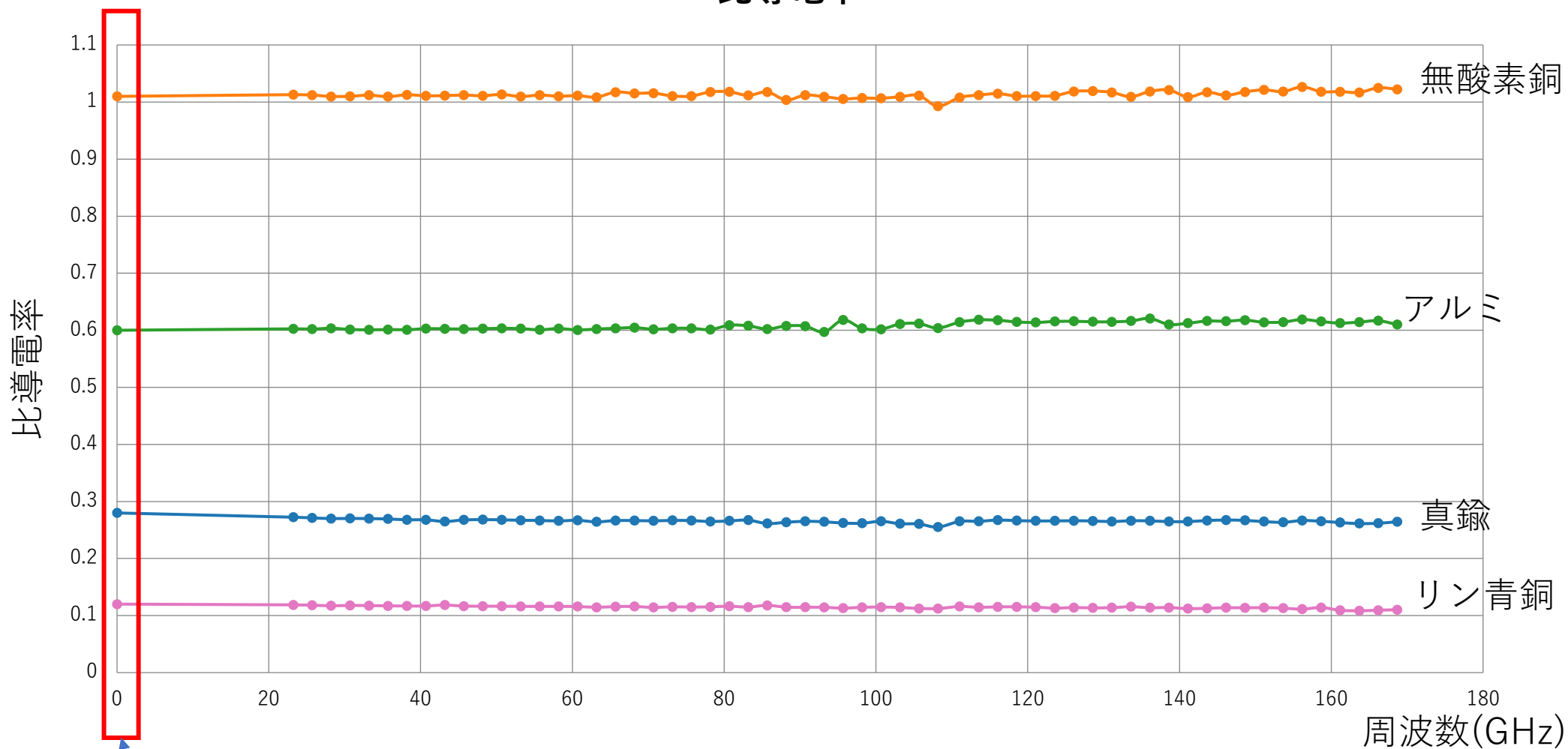


誘電体を圧着する前後で導電率は変わらない！

金属の実測値

比導電率：軟銅($5.8 \times 10^7 \text{S/m}$)を1としたときの導電率

比導電率



直流での導電率

高周波の導電率は概ね直流での導電率に一致

販売・受託測定

2023/9～

受託測定サービスも実施中！（23～170GHz）

とりあえず手元の試料の導電率が知りたいという方にご好評いただいております！

2024/4/1～

発売開始しました！

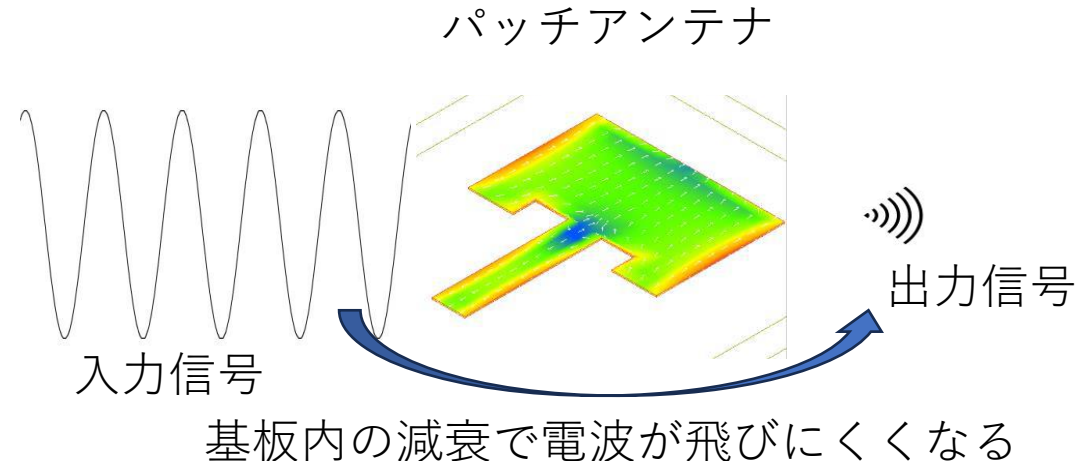
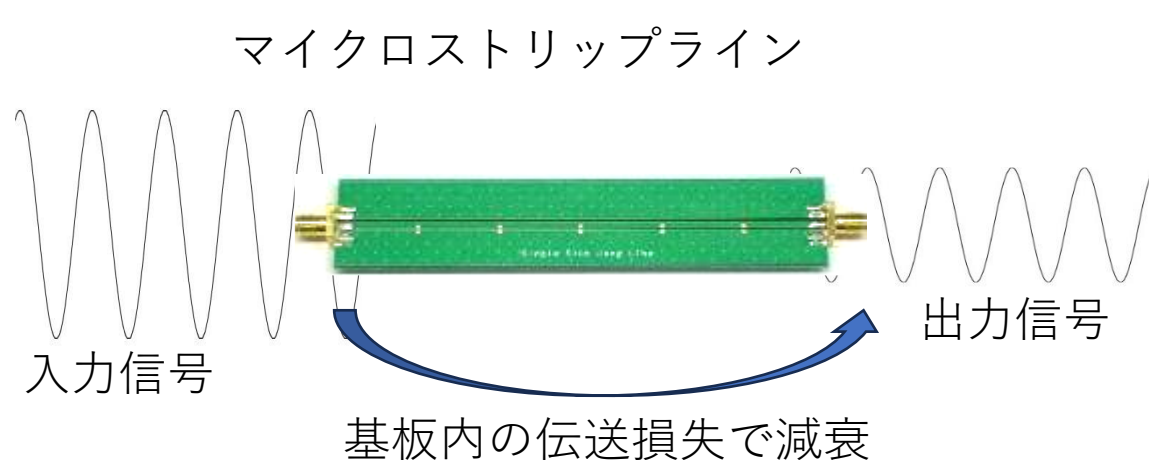
EMラボ株式会社

担当者：柳本舎那

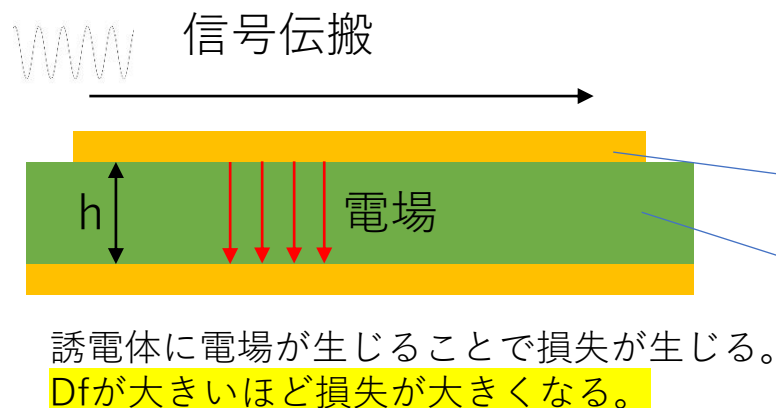
連絡先：shana.yanagimoto@emlabs.jp

なぜ導電率の測定が必要なのか？

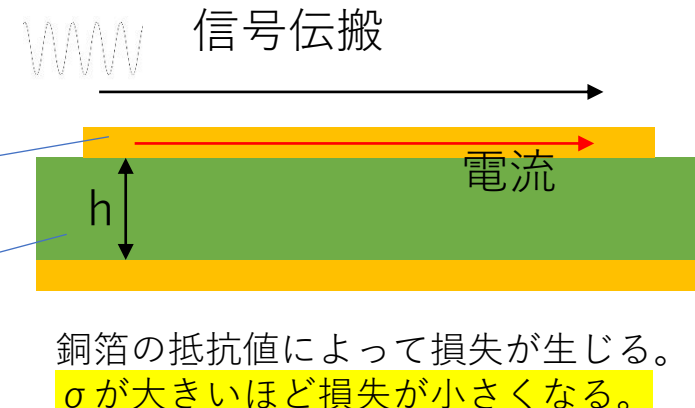
基板の伝送損失



伝送損失の原因①：誘電損失



伝送損失の原因②：導電損失



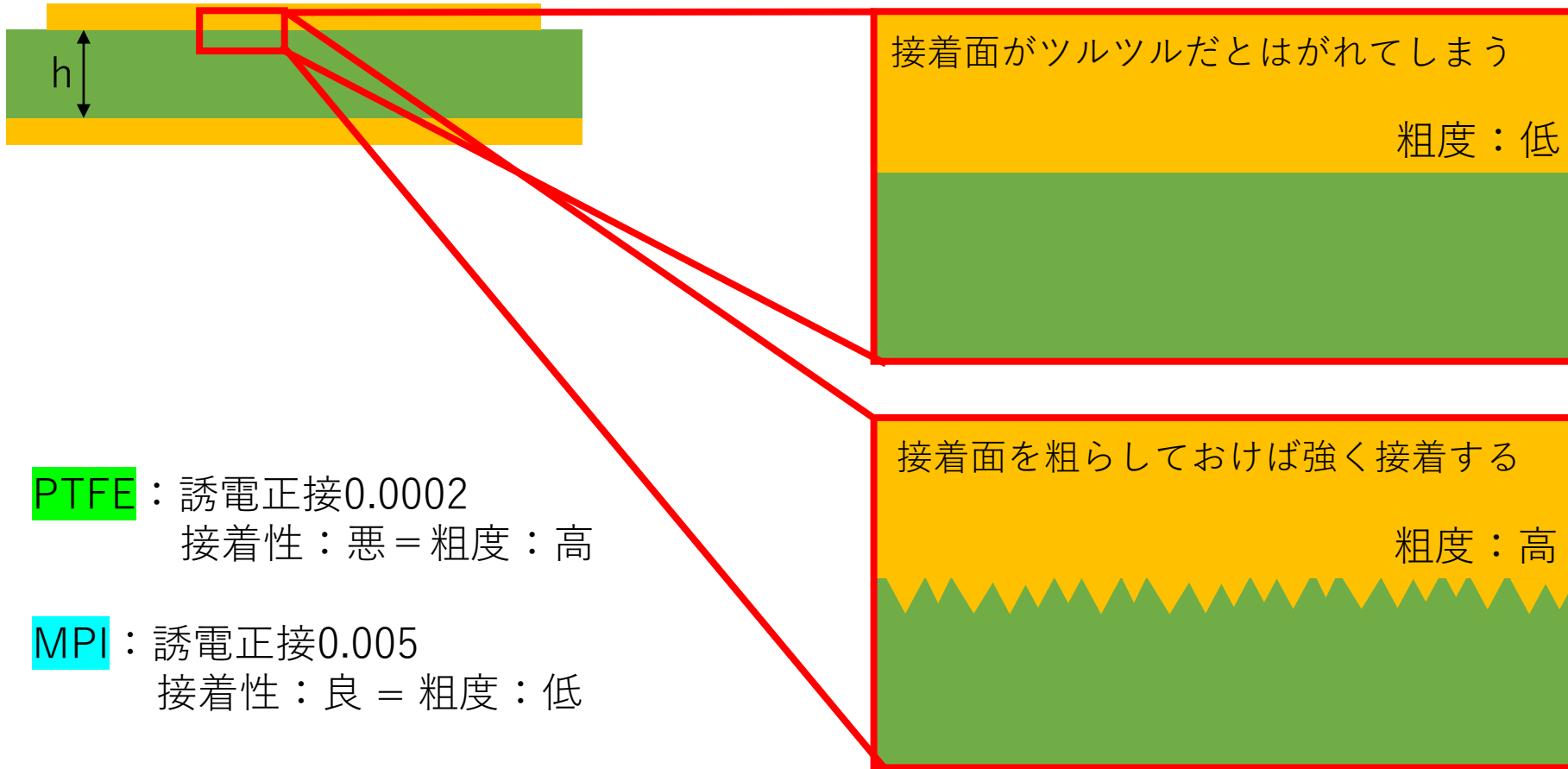
いい誘電体基板は、①Dfが小さく ② σ が大きい

基板伝送損失の実際

単に誘電体のDfを小さく銅箔の σ を大きくすれば良いのでは？

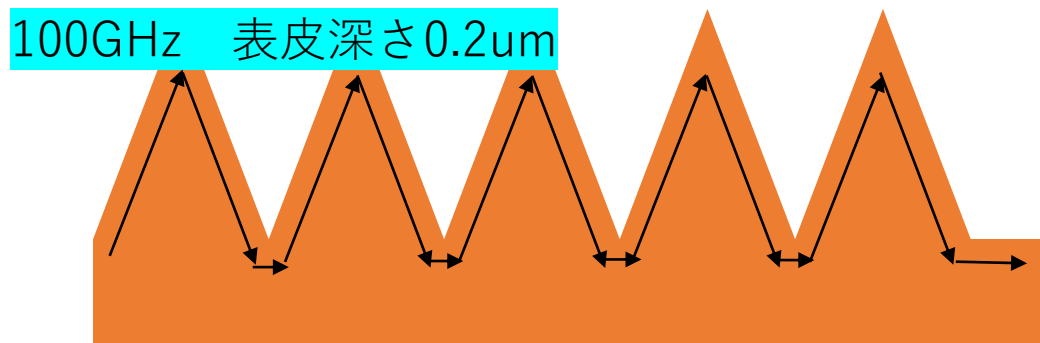
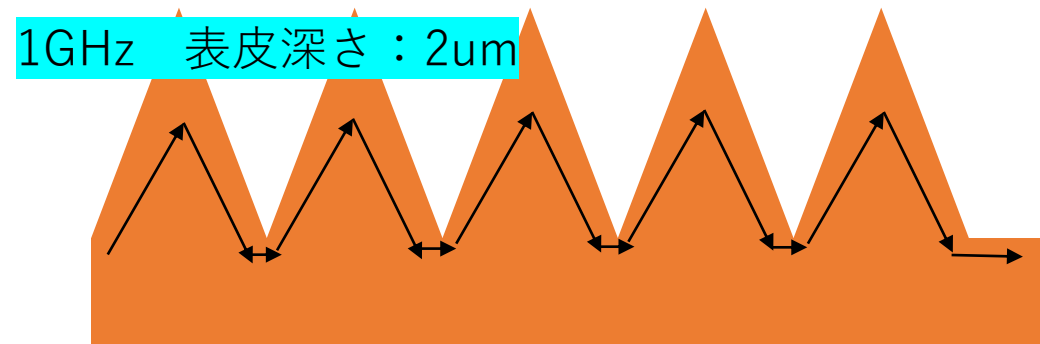
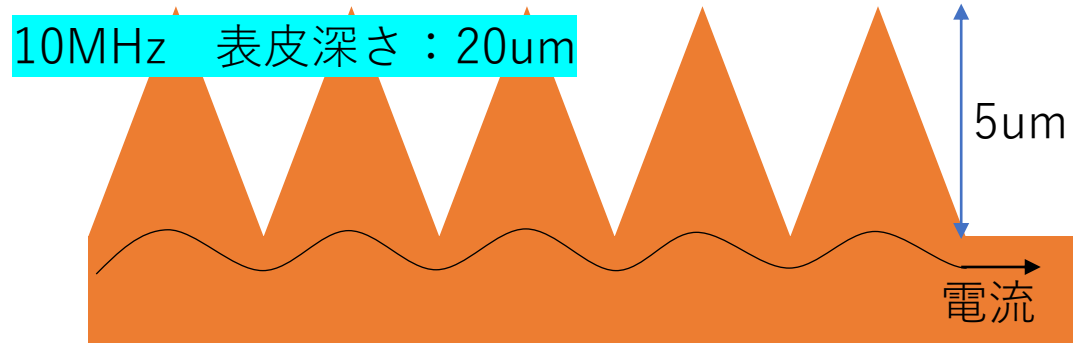
- Dfと σ は無関係？
- Dfと σ どちらが大事？
- Dfと σ は周波数によって変わる？
- Dfと σ は評価できるの？

樹脂と導電率の深い関係



誘電正接？粗度？導電率？どういう関係がある？

なぜ粗度が導電率に影響するの？



**高周波では粗度が大きいと
表皮効果により導電率が悪化する！**

まだ表皮深さが粗度に対して深いので導電率は悪化しない
低い周波数では粗度は導電率に影響しない

電流の経路が長いほど導電率が低くなる。

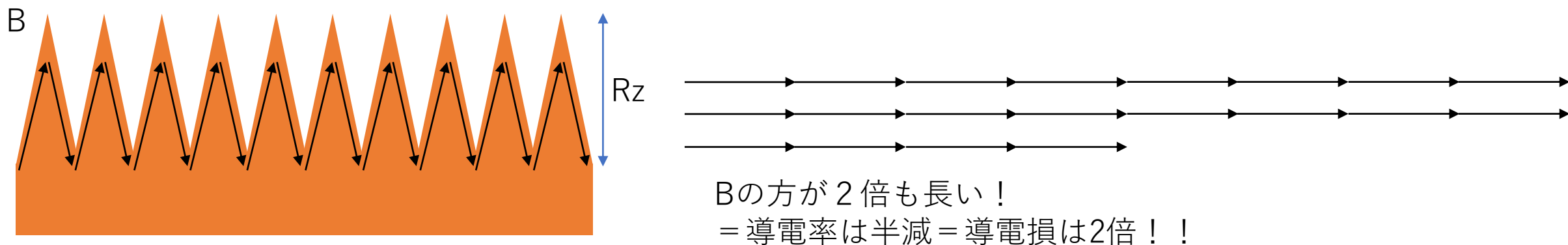
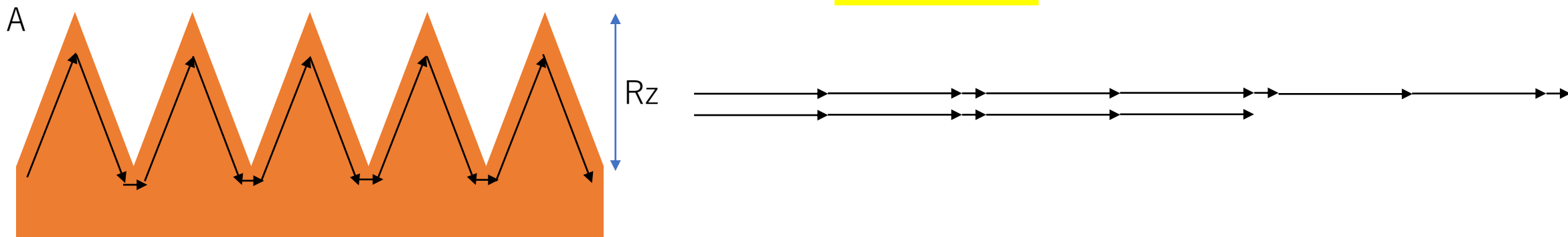
表皮を流れ始める
粗度が導電率に影響し始める

電流がほとんど表皮を流れている
粗度によって導電率が悪化する
高周波では粗度が顕著に導電率に影響する

しかも・・・RaやRzだけで導電率が決まるわけではない。

下図の黒線が長いほど導電率が低いことを意味する。

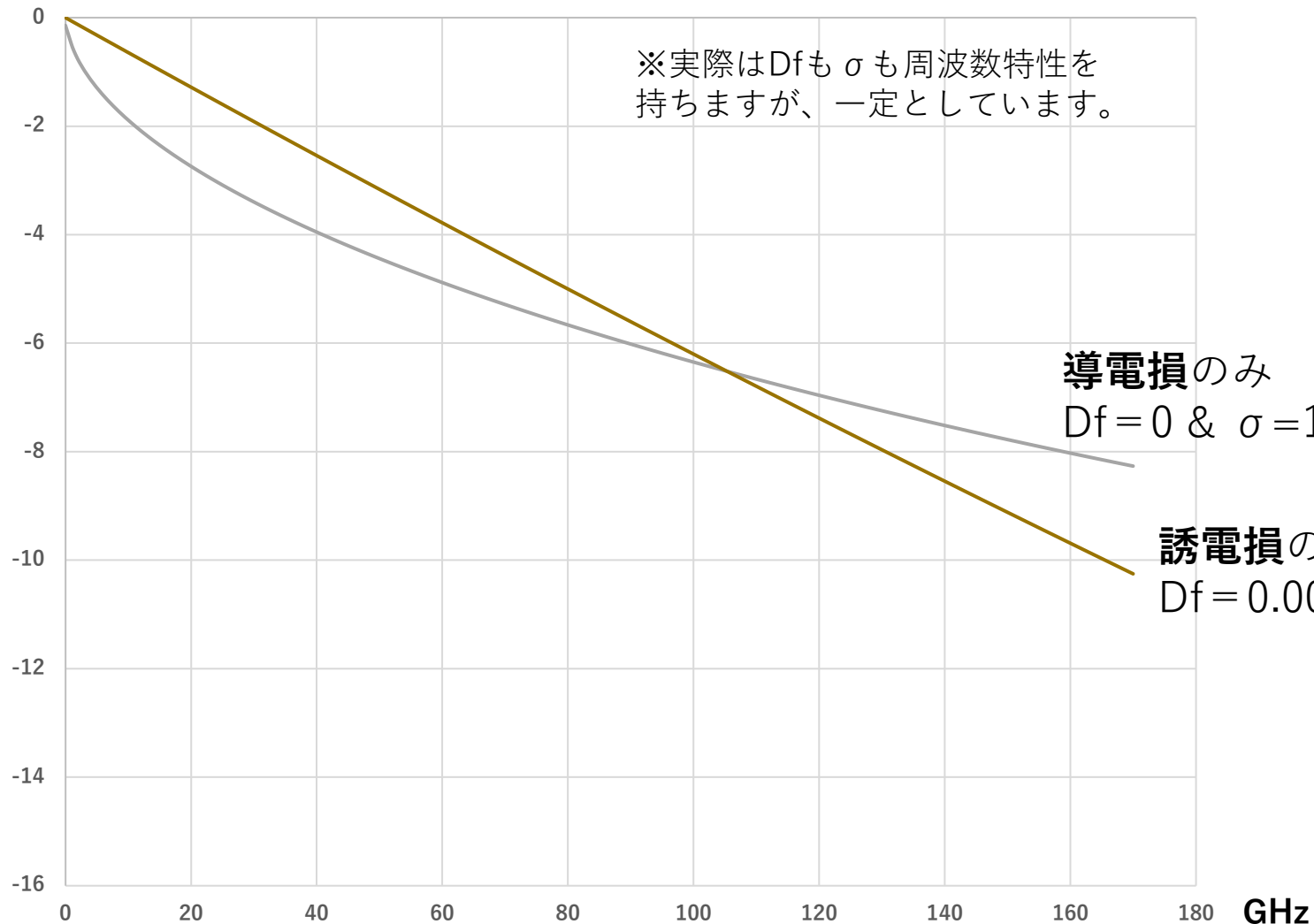
両者はRaもRzも同じであるが、経路長は。。。



Rzが小さくても実は導電率は悪いかもしれない！

導電損と誘電損による伝送損失のイメージ

MSLシミュレーション
誘電率：3.5
誘電体厚み = 50um
線路：100mm
周波数：~170GHz

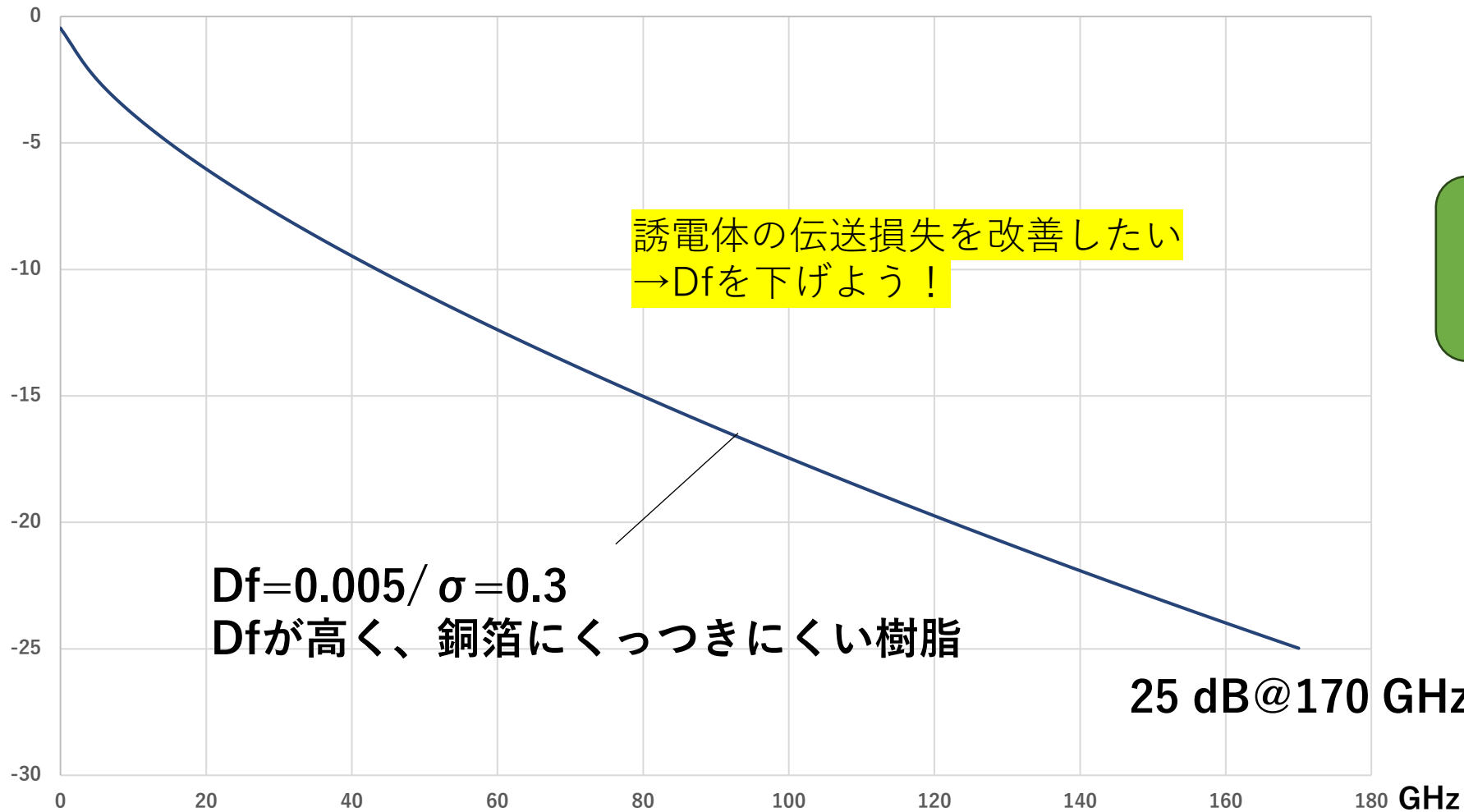


Dfも σ も周波数特性を持たない
としたら伝送損失はそれぞれ
同じぐらいなんだ！



伝送ロスを小さくするには？

誘電率：3.5
誘電体厚み = 50um
線路50mm
周波数：1~170GHz

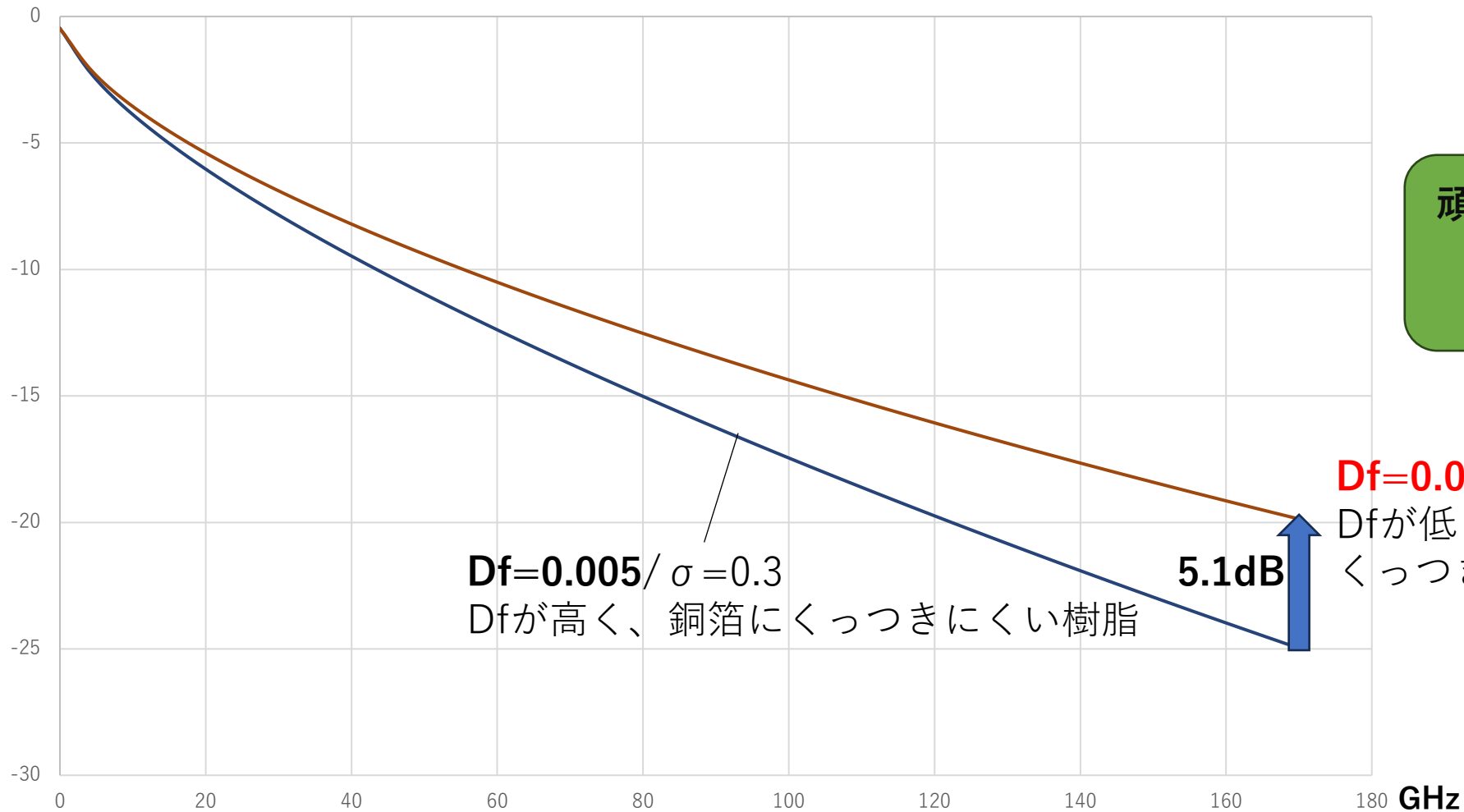


伝送損失を小さくするには誘電正接を小さくすればいいんだよね？



樹脂のDfを下げて伝送ロスを減らす

誘電率：3.5
誘電体厚み = 50um
線路50mm
周波数：1~170GHz



頑張って誘電正接を半分にして
5.1dB@170GHz改善した！
もうこれ以上は無理？



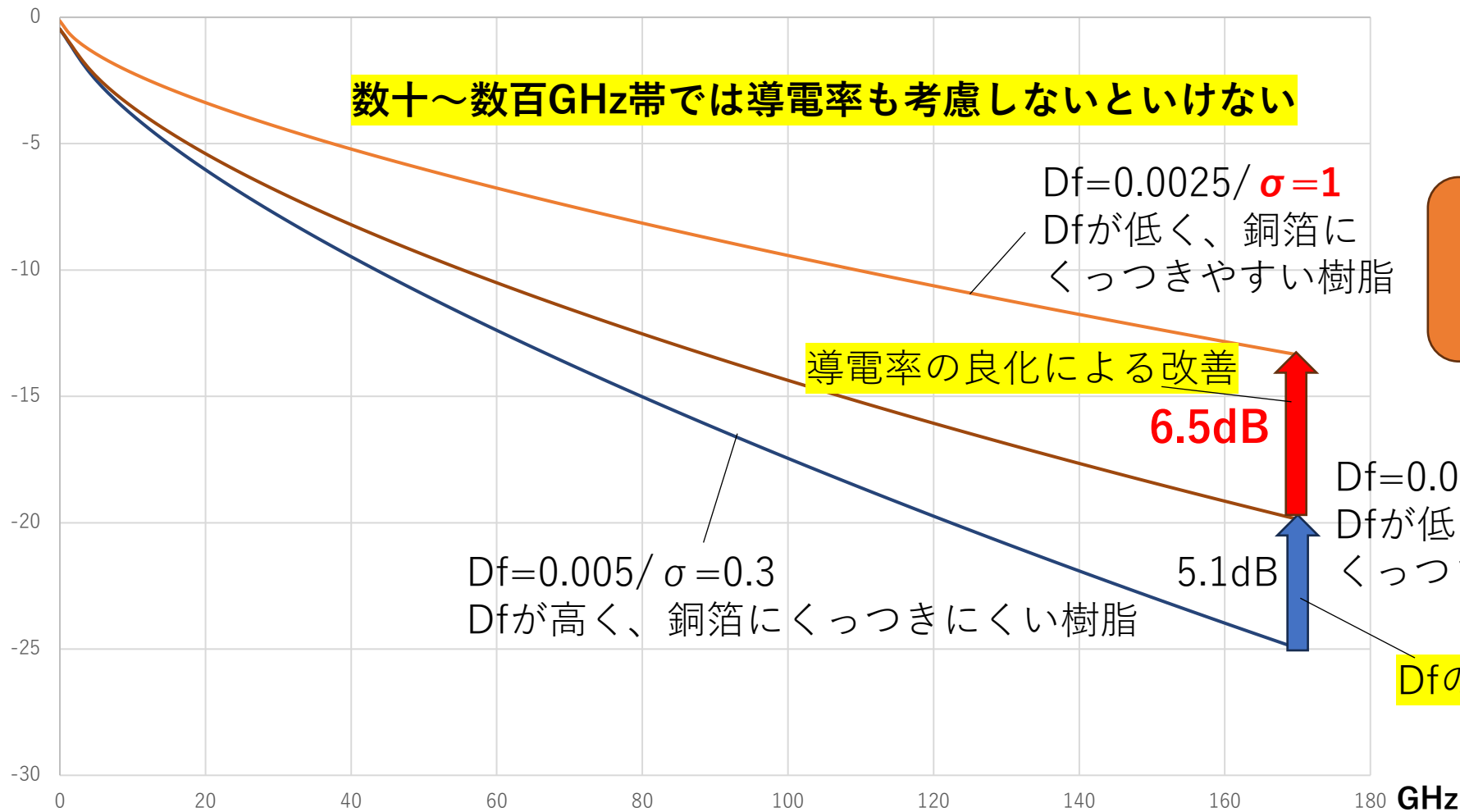
Df=0.005 / $\sigma=0.3$
Dfが高く、銅箔にくっつきにくい樹脂

5.1dB
Df=0.0025 / $\sigma=0.3$
Dfが低く、銅箔にくっつきにくい樹脂

数GHz帯ではDfを減らすことに注力されていた。

銅箔の粗度を下げれば伝送ロスが減る！

誘電率：3.5
誘電体厚み = 50um
線路50mm
周波数：1~170GHz

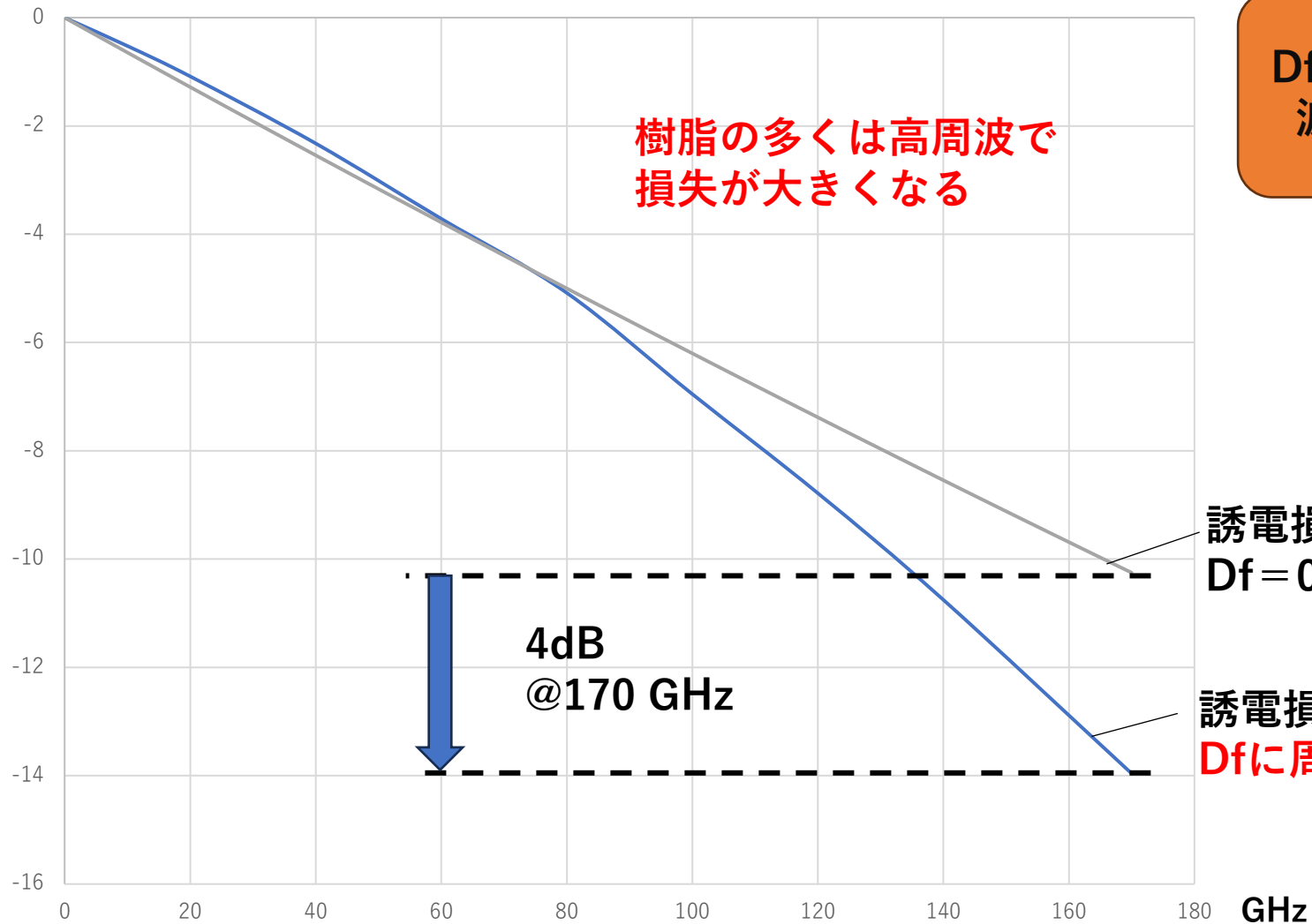


銅箔にくっつきやすくしたらさらに6.5dB改善した！



ミリ波帯では樹脂のDfを下げるだけでなく粗度の低い銅にくっつくことも重要

誘電損の周波数特性を考慮すると



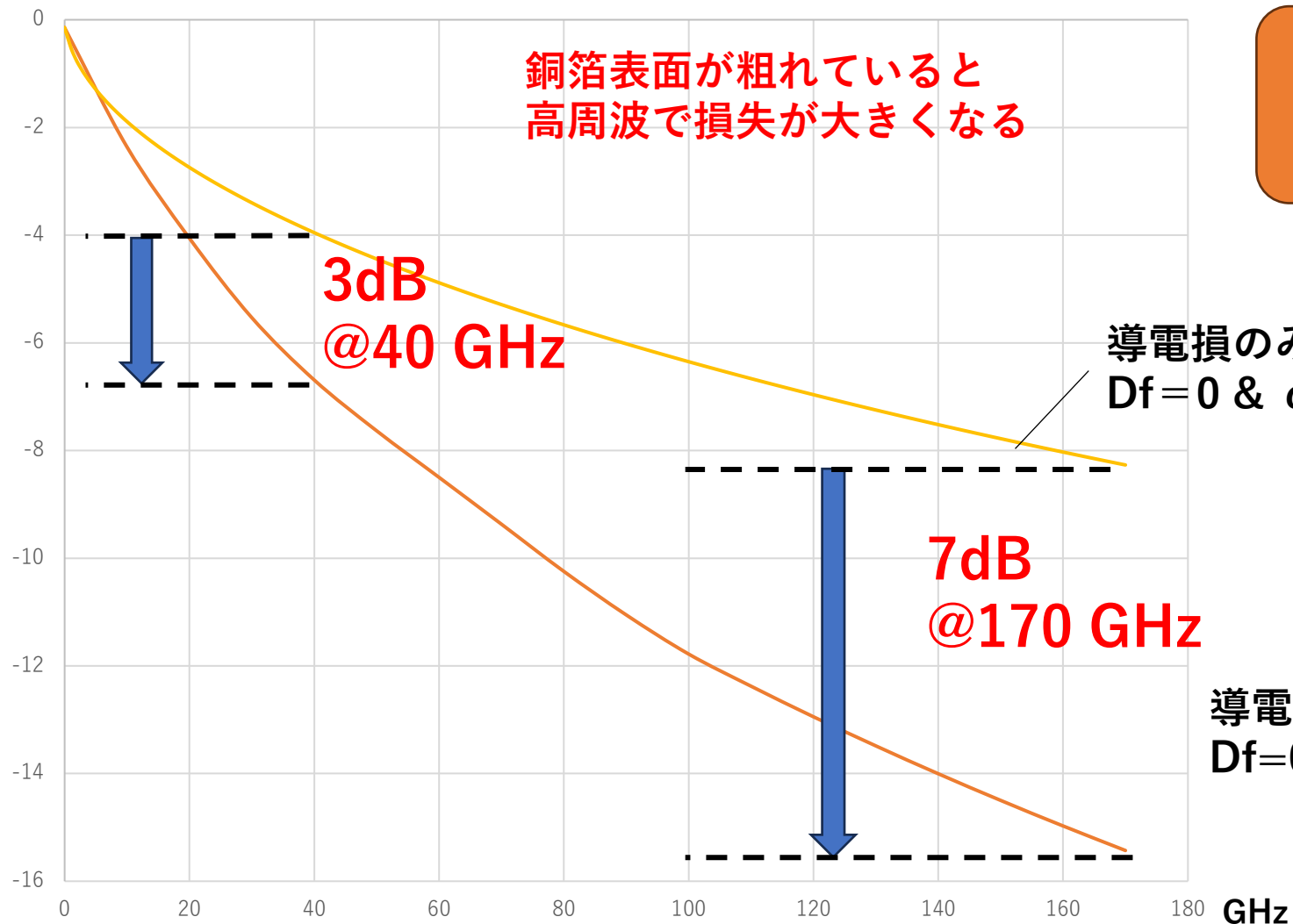
Dfの周波数特性を考慮しないとミリ波では大きくずれちゃうんだね!



誘電損のみ
 $D_f = 0.005$ & $\sigma = \infty$

誘電損のみ
 D_f に周波数特性を入れた & $\sigma = \infty$

導電損の周波数特性はとても大事: 20 GHzを超えたら要注意



導電率の周波数特性はこんなに影響が大きいんだね！

