

# 1 アンテナ法による アンテナ利得測定

## 一般的なアンテナ利得、アンテナ係数算出式

### Friis transmission formula

(遠方界利得を得るためには十分遠方界とみなすことが可能な距離での測定が必要)

近傍界利得がそれぞれ  $G_{NF1}(\omega) = 10 \log_{10}(g_{NF1}(\omega))$ 、 $G_{NF2}(\omega) = 10 \log_{10}(g_{NF2}(\omega))$  の2本のアンテナを用いた場合の  $|S_{21}(\omega)| = 20 \log_{10}(|s_{21}(\omega)|)$  測定結果は、アンテナ間距離 =  $z$ 、各アンテナのミスマッチロス  $M_1 = 1 - |\Gamma_1|^2$ 、 $M_2 = 1 - |\Gamma_2|^2$  のとして、次式で表すことができる。

$$|s_{21}(\omega, z)|^2 = M_1 M_2 \left( \frac{\lambda}{4\pi z} \right)^2 g_{NF1}(\omega, z) \cdot g_{NF2}(\omega, z)$$

アンテナ係数算出の場合、2本のアンテナ  $AF_1(\omega) = 20 \log_{10}(af_1(\omega))$ 、 $AF_2(\omega) = 20 \log_{10}(af_2(\omega))$  の2本のアンテナを用いた場合の  $S_{21}$  測定結果は、アンテナ間距離 =  $z$  として、次式で表すことができる。

$$|s_{21}(\omega, z)| = \frac{\eta_0 \cdot k_0}{Z_0} \frac{1}{af_1(\omega)} \frac{1}{af_2(\omega)} \frac{1}{z}$$

$$|S_{21}(\omega)| = -AF_1(\omega) - AF_2(\omega) - 20 \log_{10} z + 20 \log_{10} \left\{ (\eta_0 \cdot k_0) / Z_0 \right\}$$

$$AF_1(\omega) + AF_2(\omega) = -|S_{21}(\omega)| - 20 \log_{10} z + 20 \log_{10} \left\{ (\eta_0 \cdot k_0) / Z_0 \right\}$$

アンテナ係数が  $AF_1$ 、 $AF_2$ 、 $AF_3$  の3本のアンテナを用いて上式に適用することにより各アンテナのアンテナ係数を算出することが可能である。

位相(振幅)中心を考慮したFriisの伝送公式 [1][2][3]

$$|s_{21}(\omega, z)|^2 = (1 - |\Gamma_1(\omega)|^2)(1 - |\Gamma_2(\omega)|^2) \left( \frac{\lambda}{4\pi(z + d_1(\omega) + d_2(\omega))} \right)^2 g_{1\infty}(\omega)g_{2\infty}(\omega) \quad (3)$$

数値計算や1アンテナ法では、送信アンテナと受信アンテナは同一特性のアンテナのため以下と示すことが可能。

すなわち  $g_{\infty 1}(\omega) = g_{\infty 2}(\omega) = g_{\infty}(\omega)$ ,  $\Gamma_1(\omega, z) = \Gamma_2(\omega, z) = \Gamma(\omega, z)$  として次式となる。

$$g_{\infty}(\omega) = \frac{4\pi(z_1 - z_2)}{\lambda} (1 - |\Gamma|^2)^{-1} \left( \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_1)|} - \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_2)|} \right)^{-1} \quad (4)$$

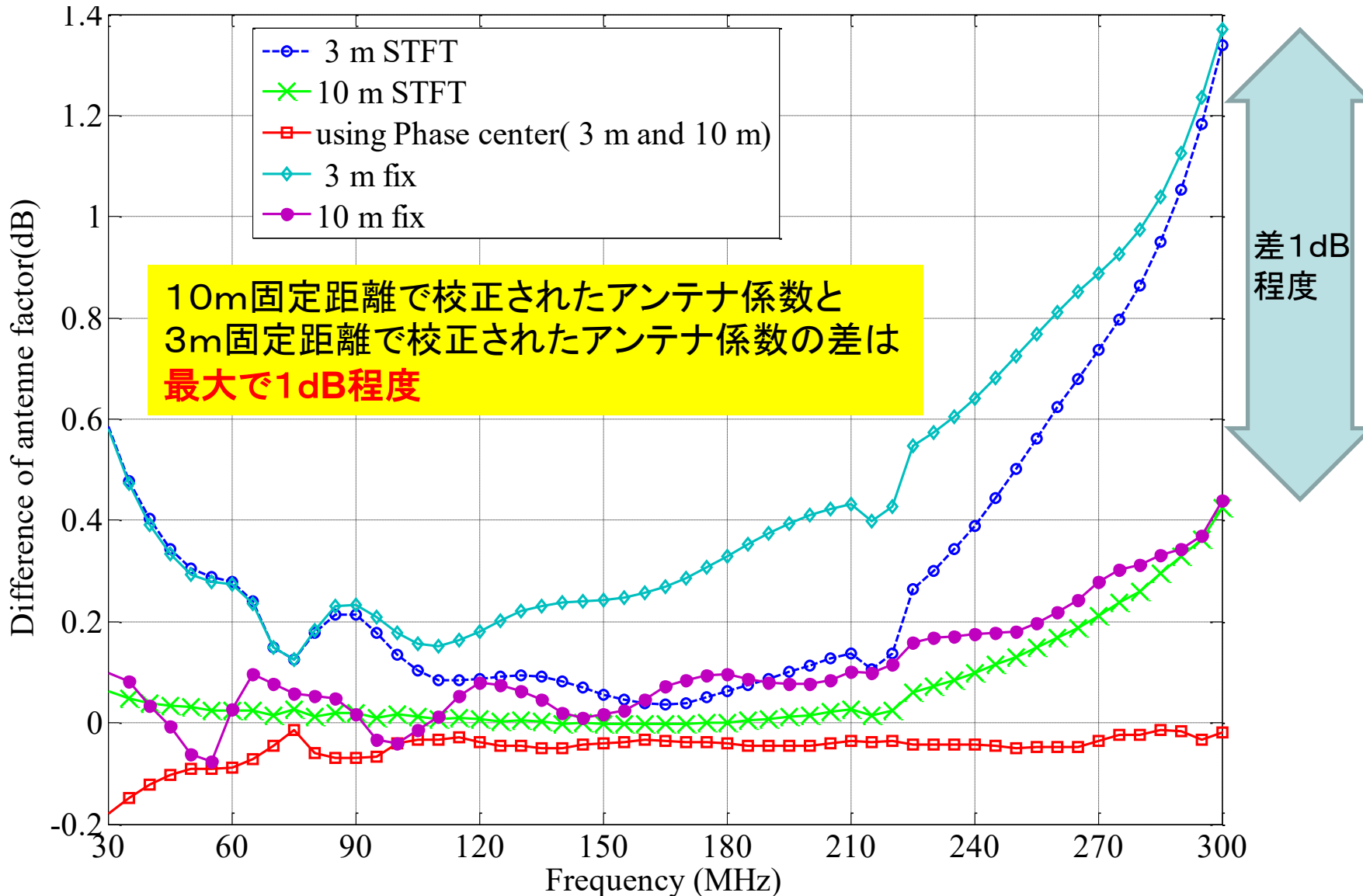
$$af_{\text{far}}^2(\omega) = \frac{\eta_0}{Z_0 \cdot \lambda_0} \left( \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_1)|} - \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_2)|} \right) \frac{1}{z_1 - z_2} \quad (5)$$

[1] T. W. Hertel, "Phase Center Measurements Based on the Three-Antenna," Proc. 2003 IEEE AP-S Symp., vol.3, pp.816-819, Columbus, USA, June 2003.

[2] K. Harima, "Accurate gain determination of LPDA by considering the phase center," IEICE Electronics Express, vol.7, no.23, 1760-1765, Oct. 2010.

[3] M. Hirose, S. Kurokawa, M. Ameya, "Theoretical Investigation on Relationship Between Near-Field Gain and Far-Field Gain Using Phase Center," Technical report of IEICE, AMT2012-02, June, 2012. (In Japanese)

# Biconicalアンテナ係数算出結果の遠方界アンテナ係数との比較 (モーメント法による)

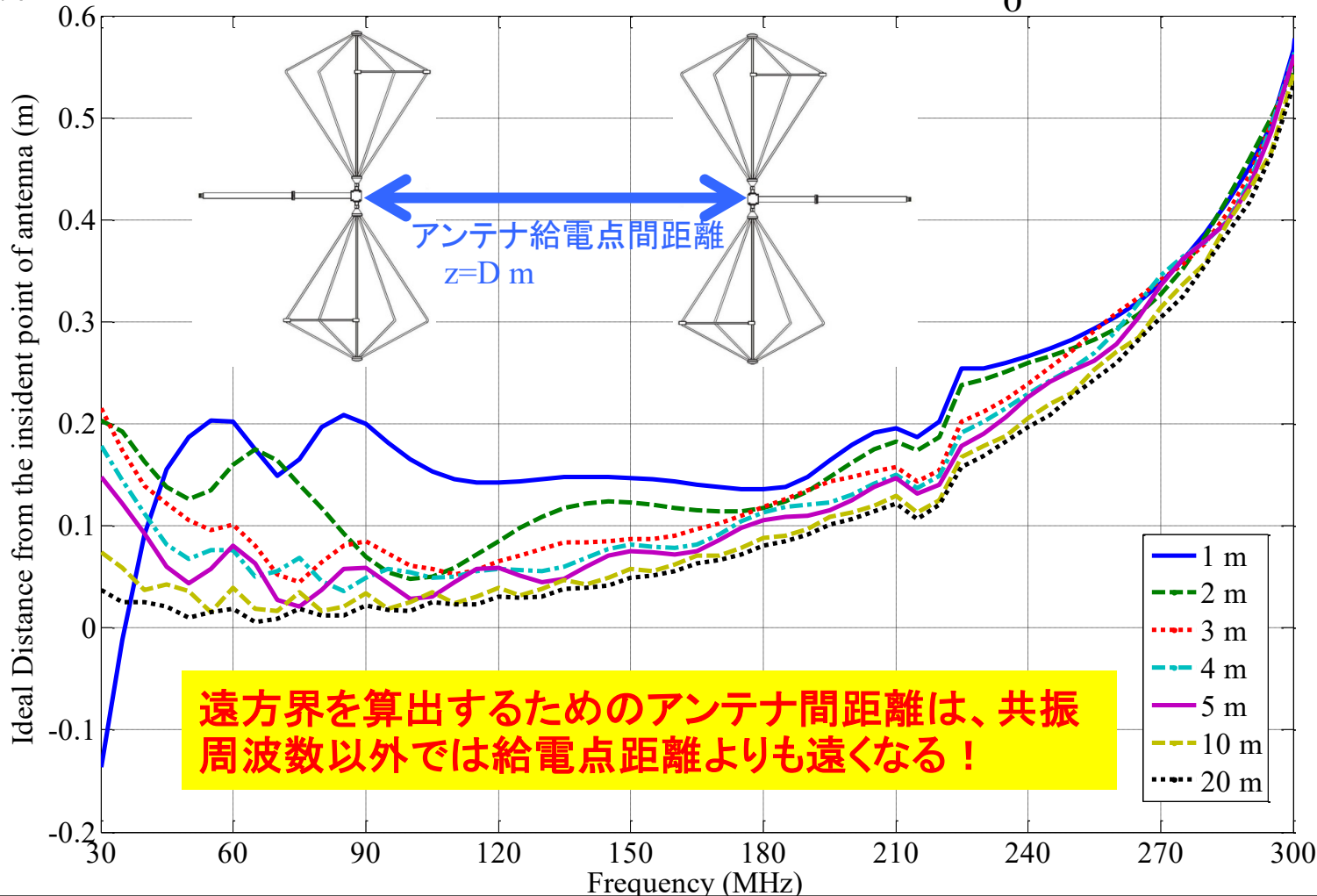


# 遠方界を求めるための周波数毎のアンテナ間距離 (給電点間物理的距離からの差)

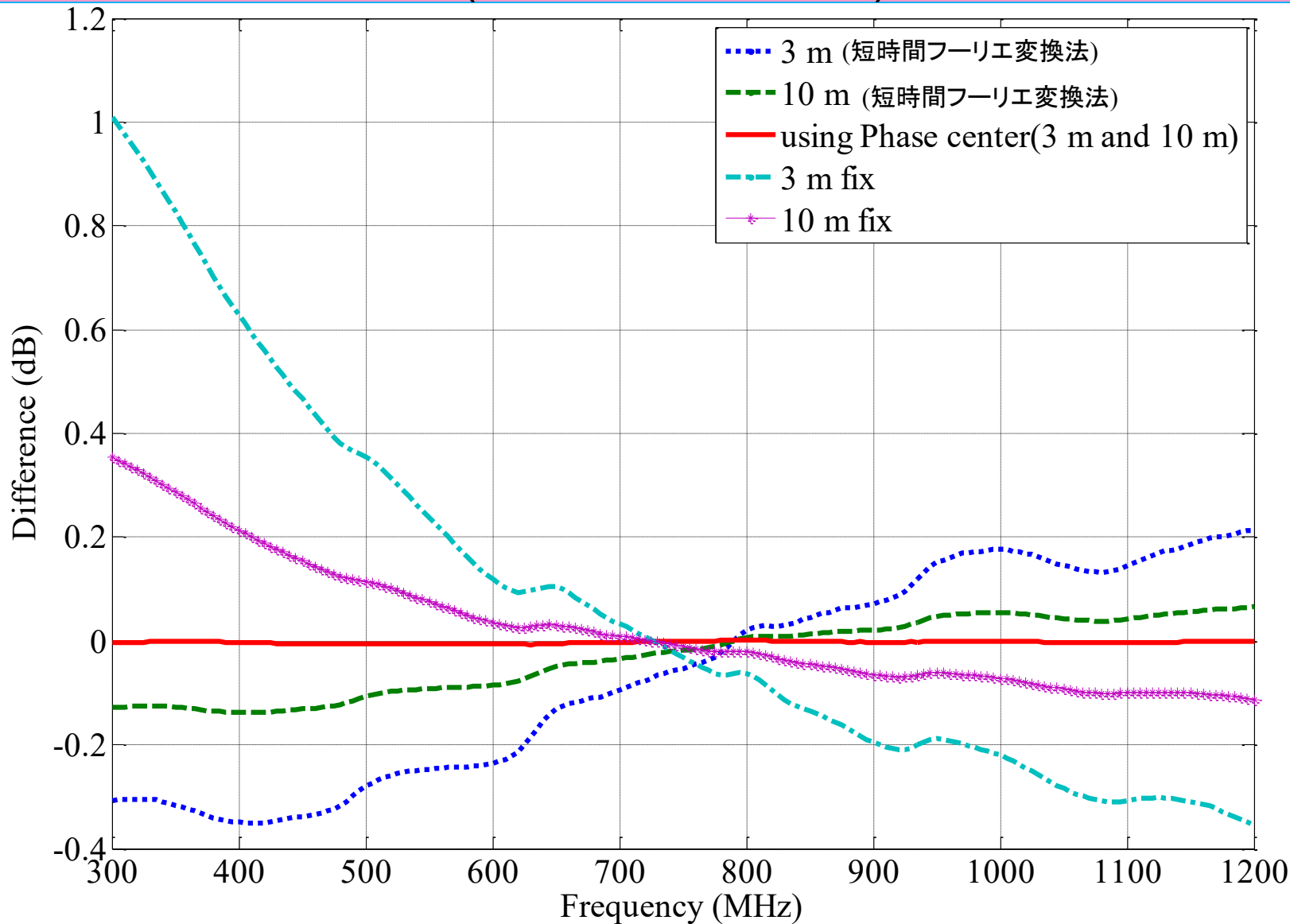
遠方界利得とFriis伝送公式から算出した理想的なアンテナ距離

$$z = \frac{\lambda}{4\pi} |S_{21}(z)|^{-1} \cdot (1 - |\Gamma(z)|^2) \cdot G_{\text{far}}$$

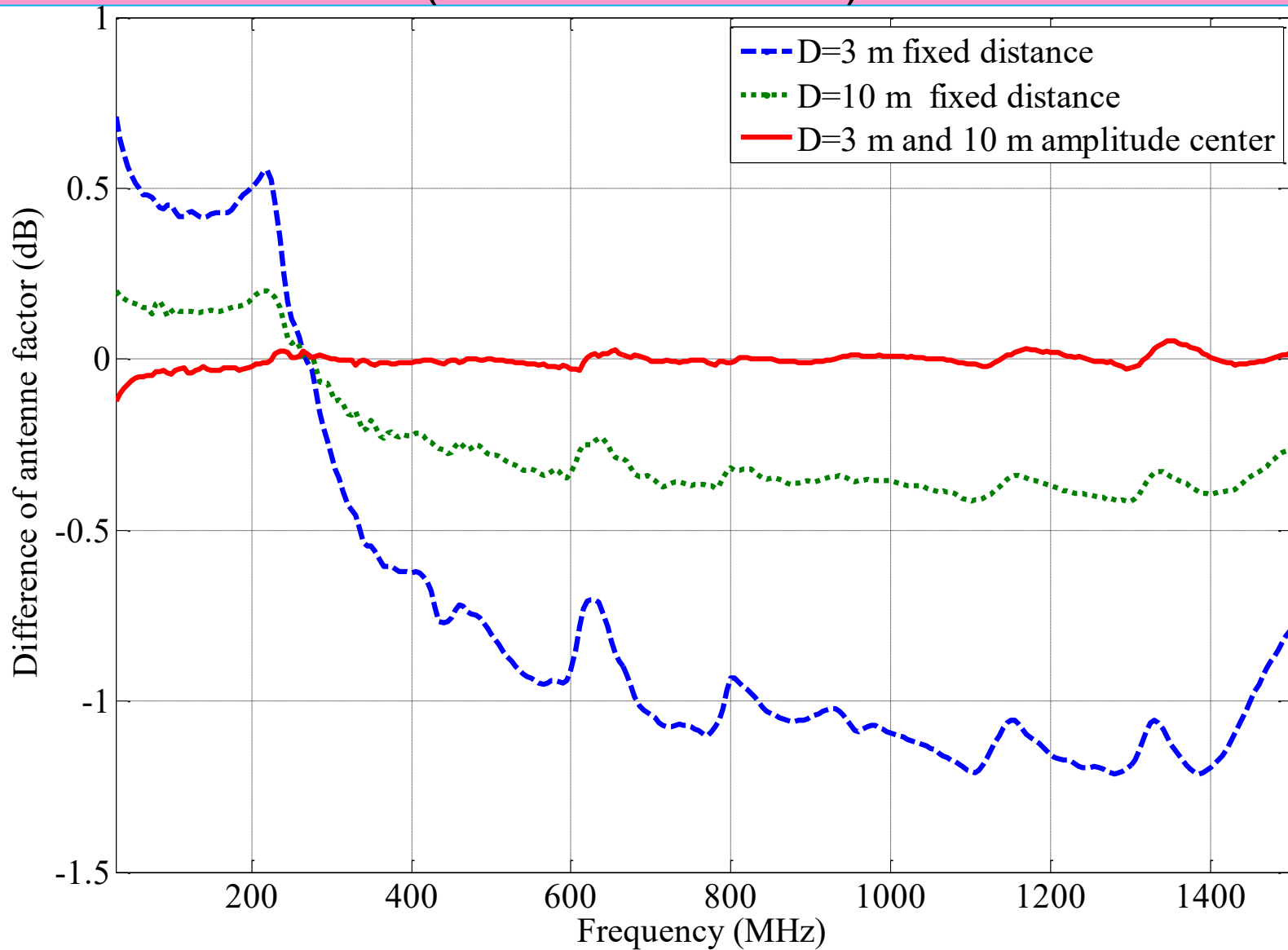
$$z = \frac{\eta_0 \cdot k_0}{Z_0} |S_{21}(z)|^{-1} \cdot af_{\text{far}}^{-2}$$



# LPDAアンテナ係数算出結果の遠方界アンテナ係数との比較 (モーメント法による)



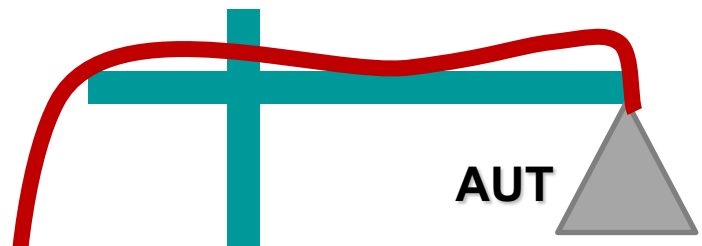
# Bi-logアンテナ係数算出結果の遠方界アンテナ係数との比較 (モーメント法による)



# 金属床を用いた アンテナ自己校正法セットアップ

- EMI測定用電波暗室(電波半無響室)
- 1ポートVNA
- Open Short Load 校正キット
- 同軸ケーブル又は双方向性光ファイバリンク

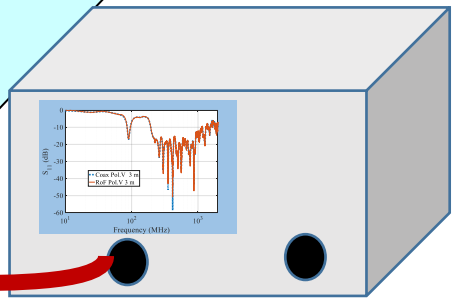
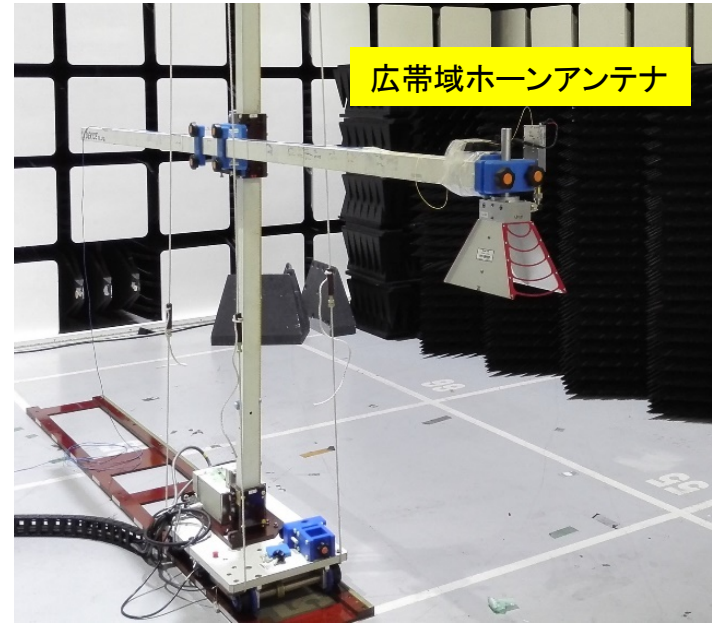
送信アンテナと受信アンテナは同一特性のアンテナとみなすことが可能



H= From 1.5 m to 5 m  
Delta H= 10 cm

Metal ground plane

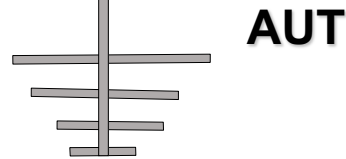
**Vector Network Analyzer setting**  
Frequency range: 10 MHz to 6 GHz  
Frequency interval : 10 MHz  
IF Frequency band: 100 Hz  
Port output power: 0 dBm





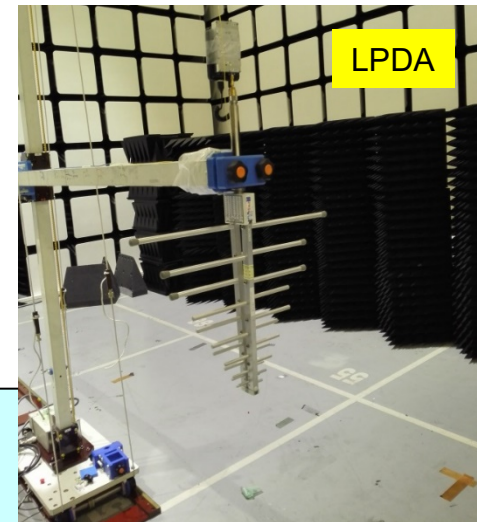
# アンテナ自己校正法 (1アンテナ法)

**Bi-RoF**



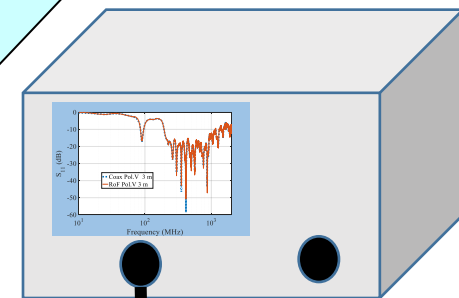
From 1.5 m  
to 5 m

Metal ground plane



Vector Network Analyzer

双方向RoFを用いると  
アンテナ自己校正法を  
実施可能  
ケーブルからの反射は  
無視できる

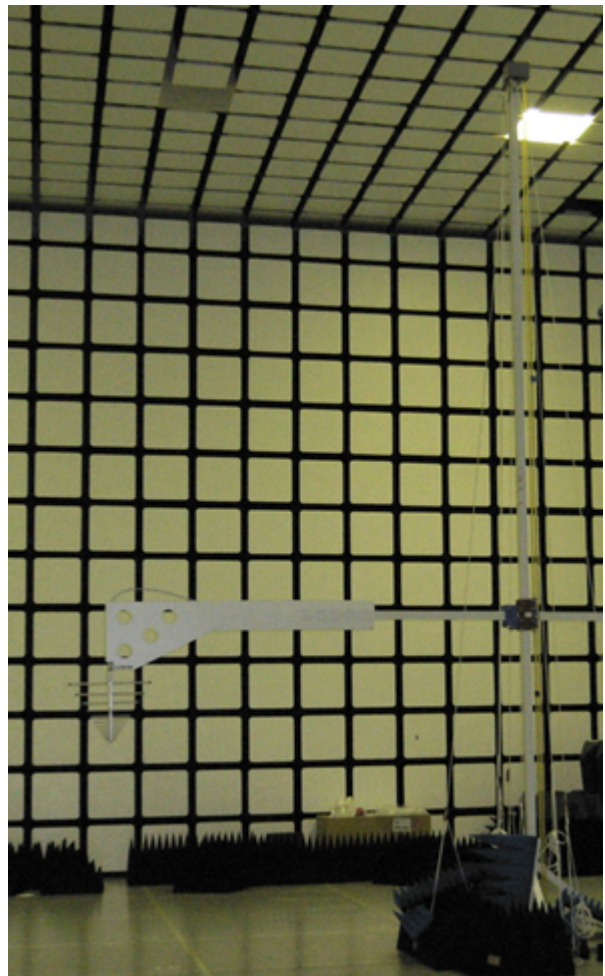
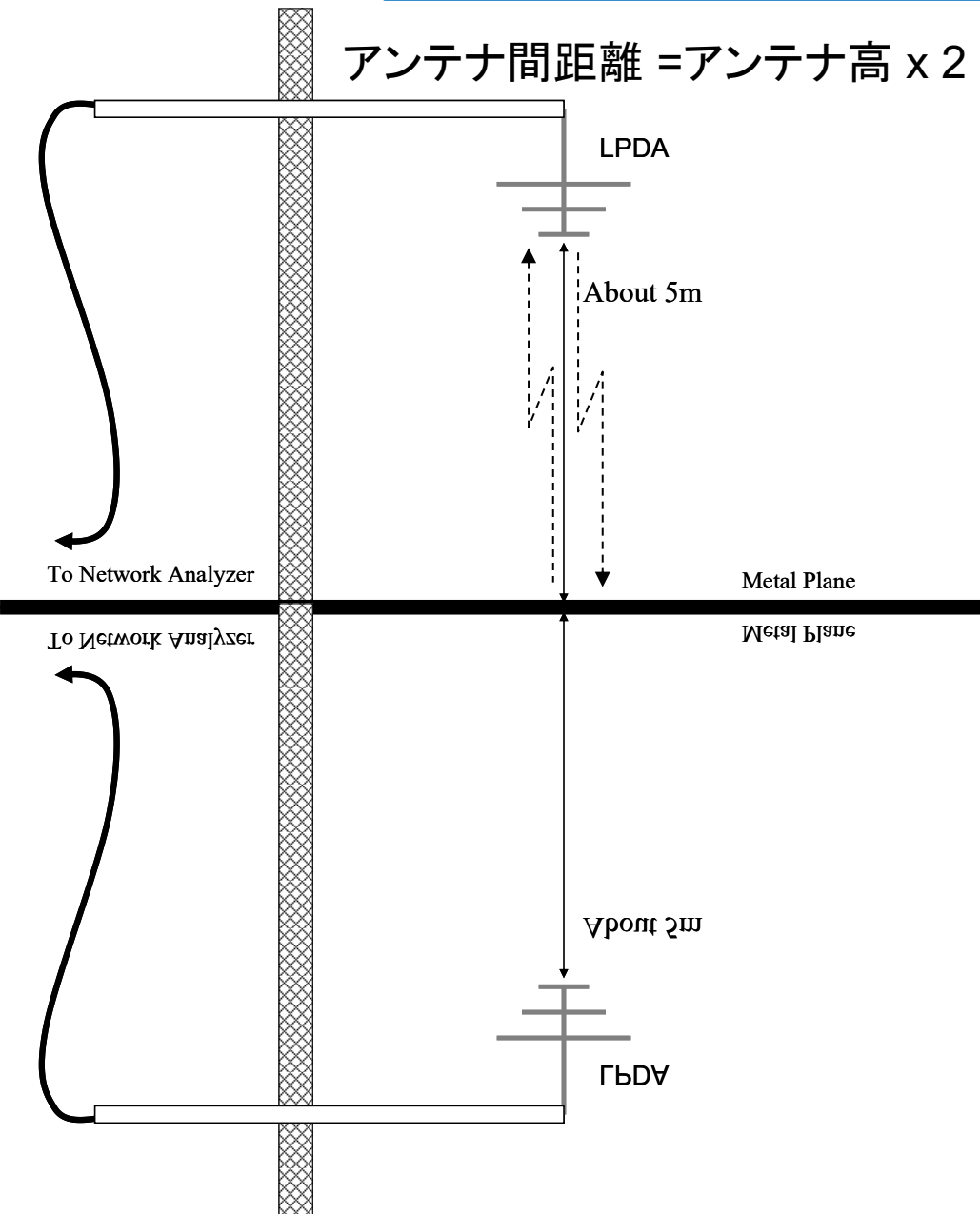


**Bi-RoF**

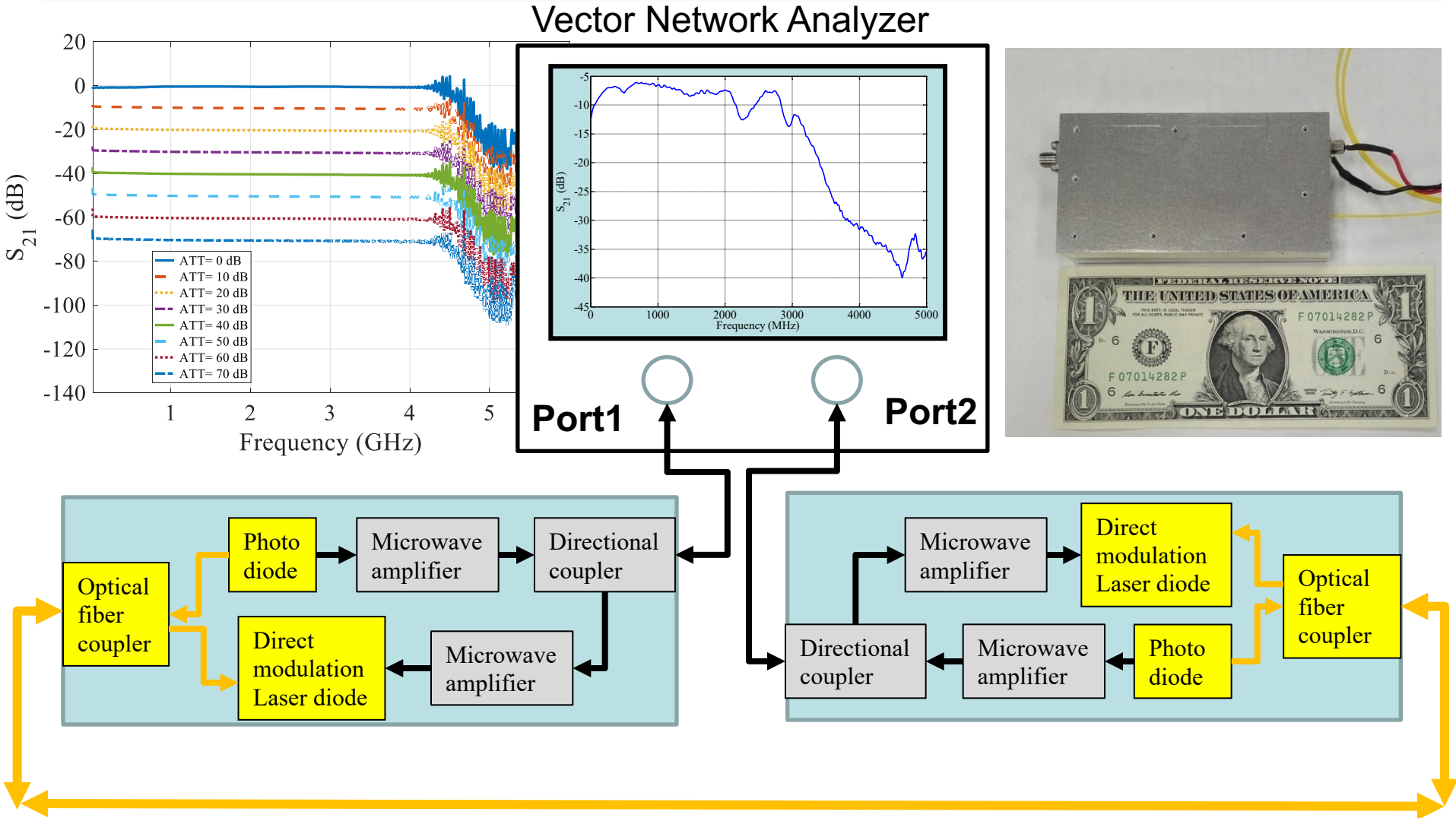
Single mode  
optical fiber

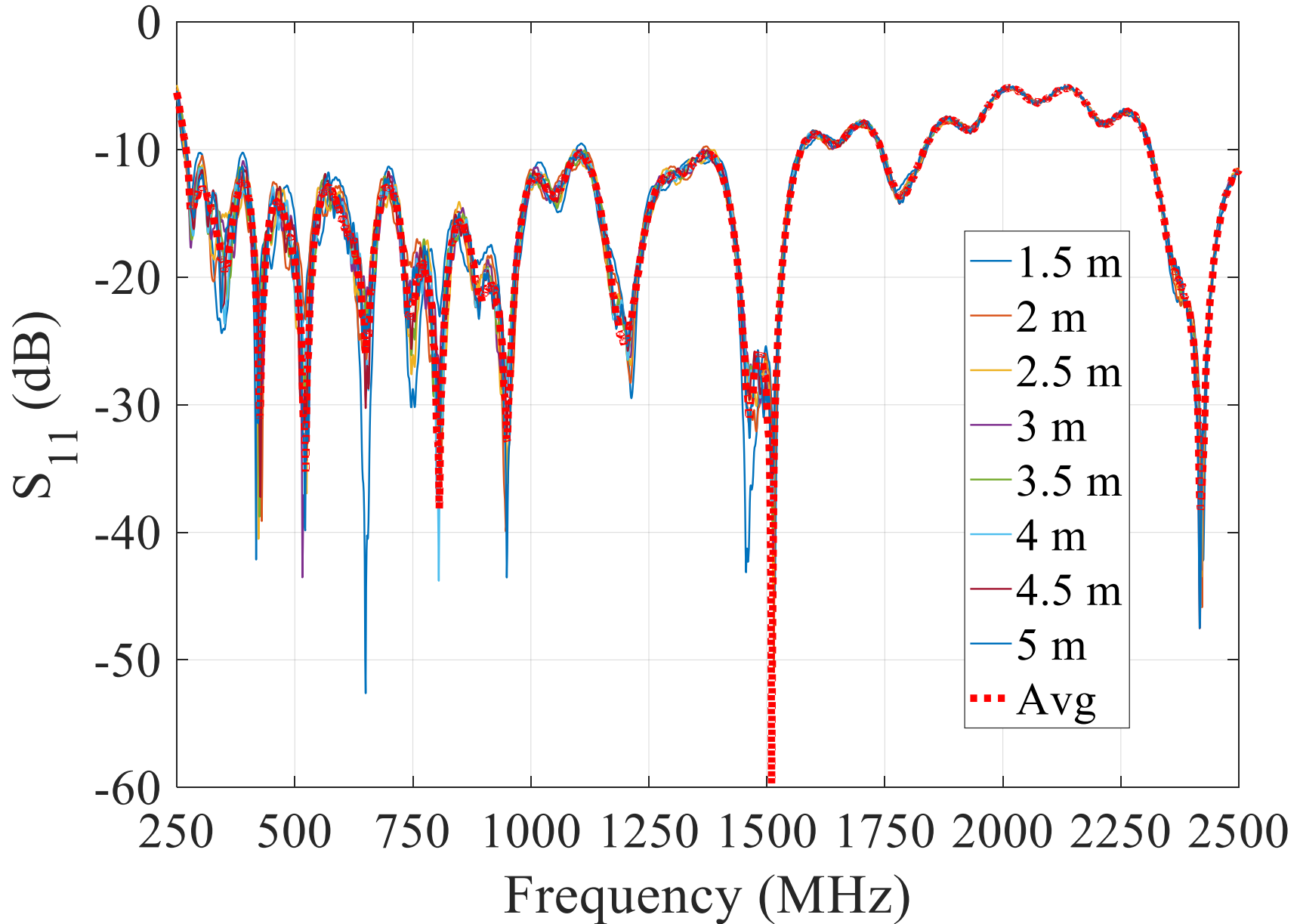
アンテナ自己校正法の原理

アンテナ間距離 = アンテナ高 × 2

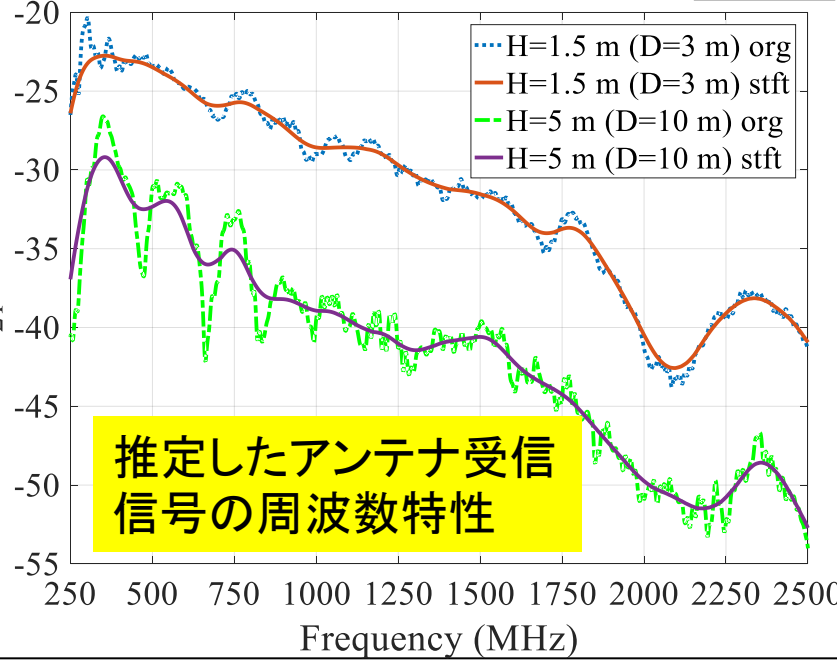
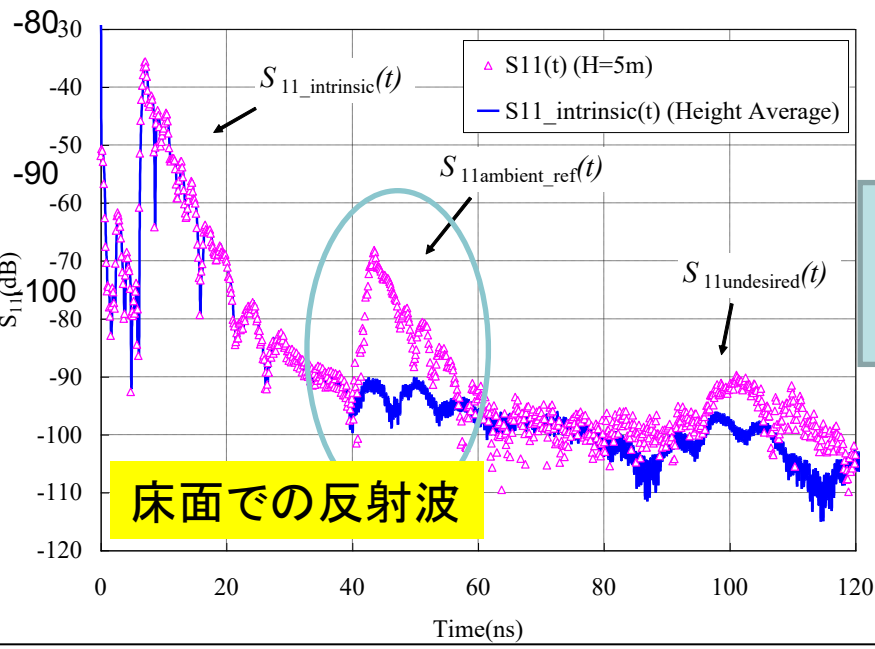
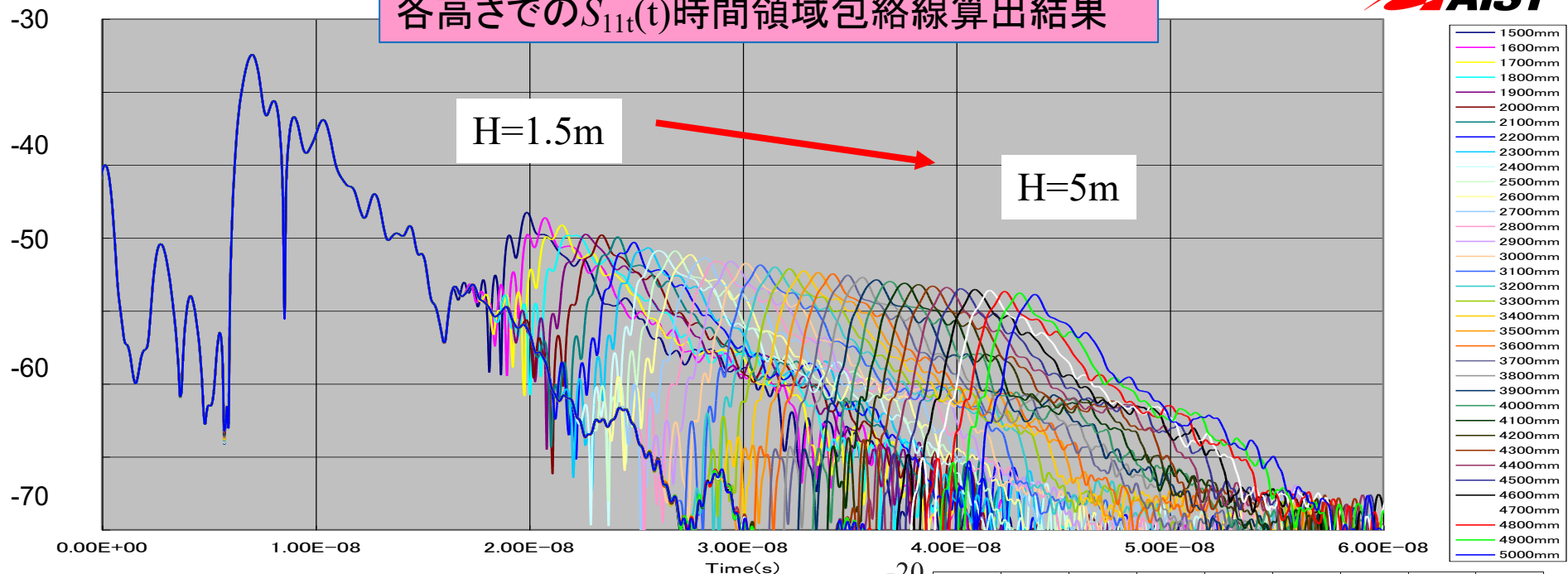


# ベクトルネットワークアナライザ用光ファイバによるポート延長装置 (双方向性光ファイバリンクモジュール)



$S_{11}(\omega)$  の各高さでの測定結果

各高さでの  $S_{11t}(t)$  時間領域包絡線算出結果



# 位相(振幅)中心を考慮したFriisの伝送公式

振幅中心を考慮したFriisの伝送公式 [1][2][3]

$$|s_{21}(\omega, z)|^2 = (1 - |\Gamma_1(\omega)|^2)(1 - |\Gamma_2(\omega)|^2) \left( \frac{\lambda}{4\pi(z + d_1(\omega) + d_2(\omega))} \right)^2 g_{1\infty}(\omega)g_{2\infty}(\omega) \quad (3)$$

1アンテナ法では、送信アンテナと受信アンテナは同一特性のアンテナのため以下と示すことが可能。

すなわち  $g_{\infty 1}(\omega) = g_{\infty 2}(\omega) = g_{\infty}(\omega)$ ,  $\Gamma_1(\omega, z) = \Gamma_2(\omega, z) = \Gamma(\omega, z)$  として次式となる。

$$g_{\infty}(\omega) = \frac{4\pi(z_1 - z_2)}{\lambda} (1 - |\Gamma|^2)^{-1} \left( \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_1)|} - \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_2)|} \right)^{-1} \quad (4)$$

$$af_{\text{far}}^2(\omega) = \frac{\eta_0}{Z_0 \cdot \lambda_0} \left( \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_1)|} - \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_2)|} \right) \frac{1}{z_1 - z_2} \quad (5)$$

[1] T. W. Hertel, "Phase Center Measurements Based on the Three-Antenna," Proc. 2003 IEEE AP-S Symp., vol.3, pp.816-819, Columbus, USA, June 2003.

[2] K. Harima, "Accurate gain determination of LPDA by considering the phase center," IEICE Electronics Express, vol.7, no.23, 1760-1765, Oct. 2010.

[3] M. Hirose, S. Kurokawa, M. Ameya, "Theoretical Investigation on Relationship Between Near-Field Gain and Far-Field Gain Using Phase Center," Technical report of IEICE, AMT2012-02, June, 2012. (In Japanese)

## 位相(振幅)中心を用いた場合の遠方界アンテナ係数算出式

アンテナの振幅中心位置を考慮したアンテナ係数算出式は、送受信アンテナのアンテナ先端から振幅中心までのそれぞれの長さ $d_1$ ,  $d_2$ を、遠方界アンテナ係数 $af_{t\_ar}(\omega)$ ,  $af_{r\_far}(\omega)$ を用いて、(6)式と示すことができる。

$$|s_{21}(\omega, z)| = \frac{\eta_0}{Z_0 \cdot \lambda} \frac{1}{af_{t\_far}(\omega)} \frac{1}{af_{r\_far}(\omega)} \frac{1}{z + d_t(\omega) + d_r(\omega)}$$

アンテナ間距離を変えて $z=z_1$ ,  $z=z_2$ として、各距離で $S_{21}(z_1)$ ,  $S_{21}(z_2)$ を測定し、上式から $d_1+d_2$ を削除し、次式を得る。

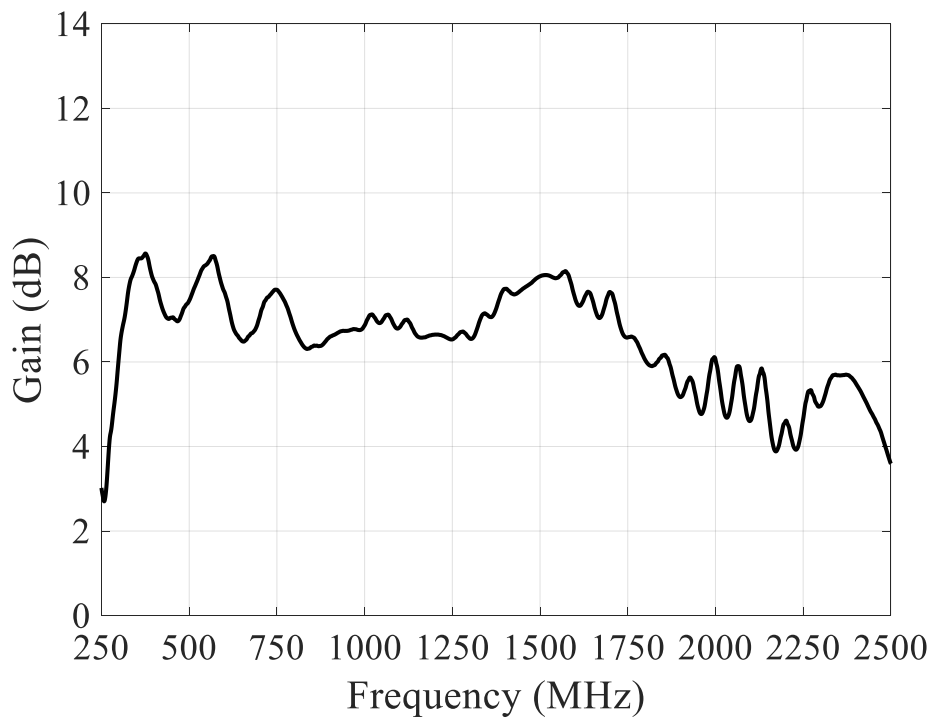
$$af_{t\_far}(\omega) \cdot af_{r\_far}(\omega) = \frac{\eta_0}{Z_0 \cdot \lambda} \left( \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_1)|} - \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_2)|} \right) \frac{1}{z_1 - z_2}$$

[1] T. W. Hertel, "Phase Center Measurements Based on the Three-Antenna," Proc. 2003 IEEE AP-S Symp., vol.3, pp.816-819, Columbus, USA, June 2003.

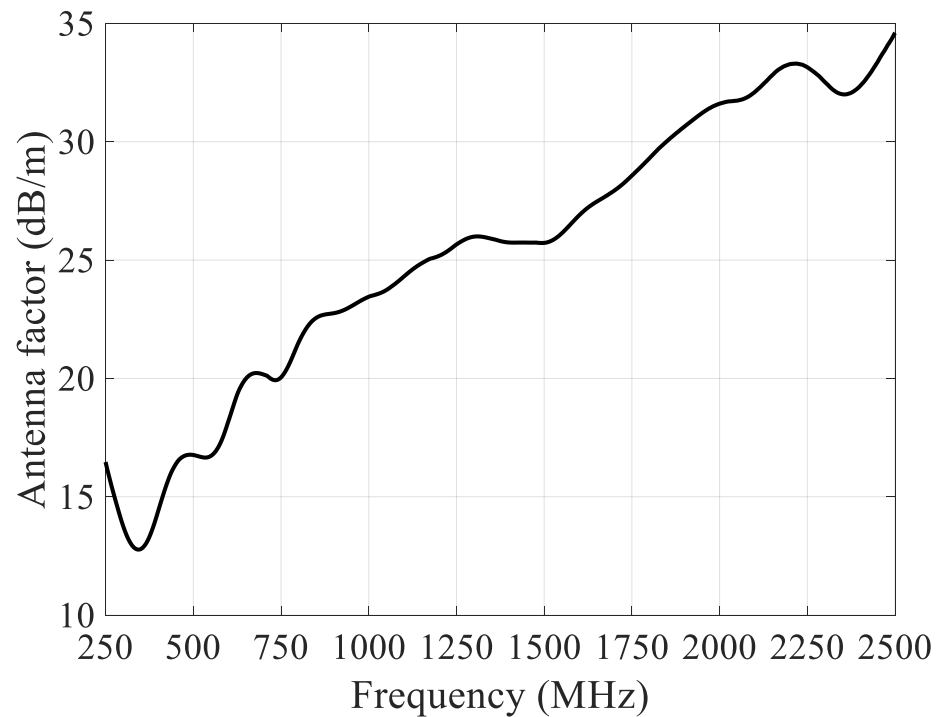
[2] K. Harima, "Accurate gain determination of LPDA by considering the phase center," IEICE Electronics Express, vol.7, no.23, 1760-1765, Oct. 2010.

[3] 廣瀬 雅信, 飴谷 充隆, 黒川 悟, "位相中心を用いた近傍界利得と遠方界利得の関係の理論的検討," 電子情報通信学会技術研究報告, AMT2012-02, June, 2012.

# LPDAの遠方界利得と遠方界アンテナ係数測定結果



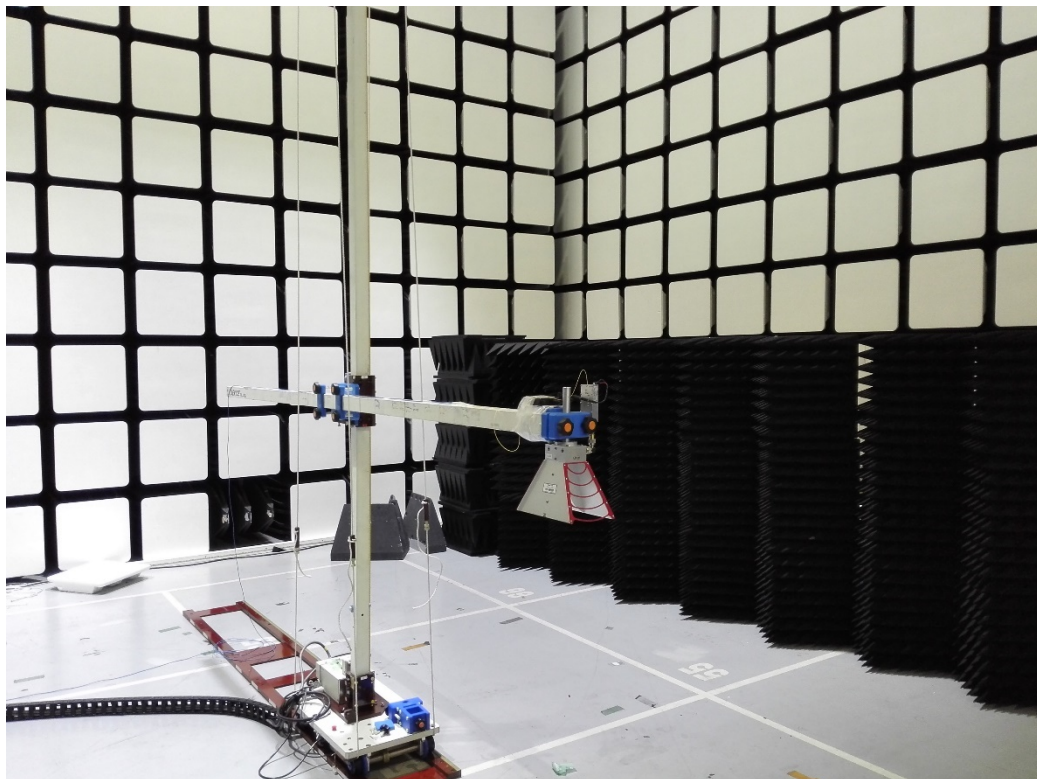
遠方界利得



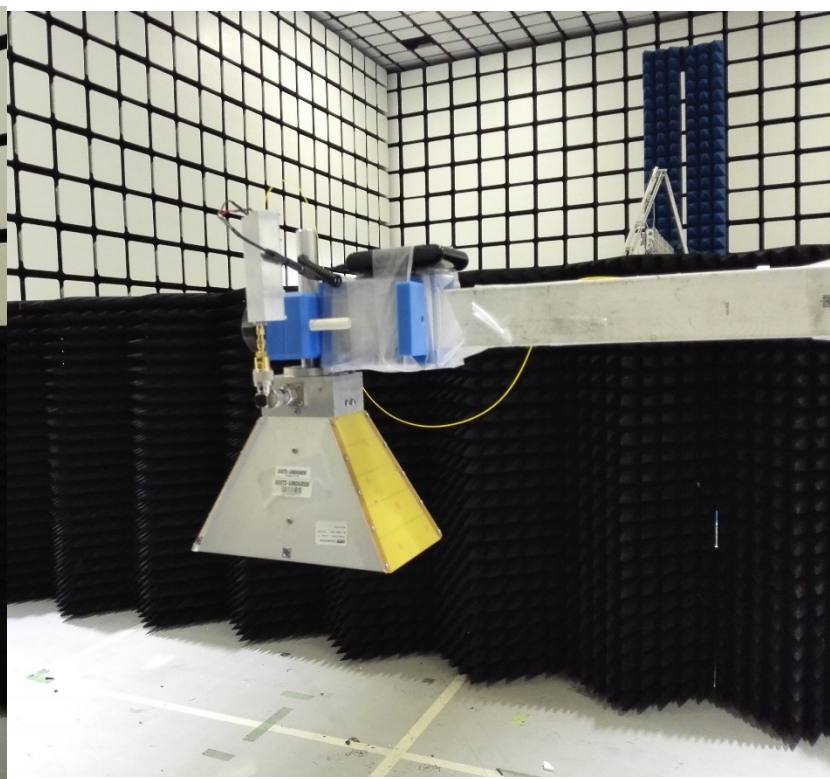
遠方界アンテナ係数



# 広帯域ホーンアンテナの場合のアンテナ自己校正法セットアップ

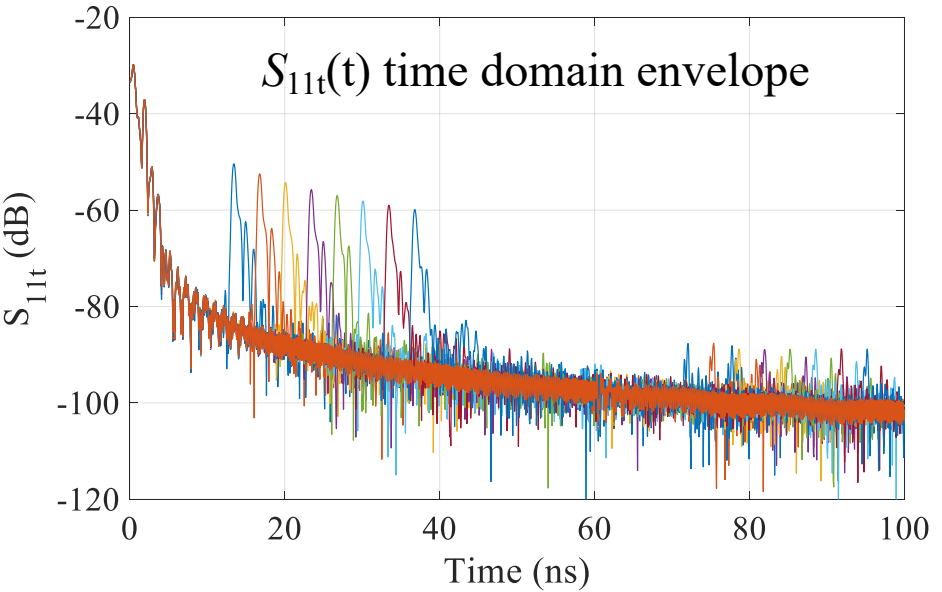
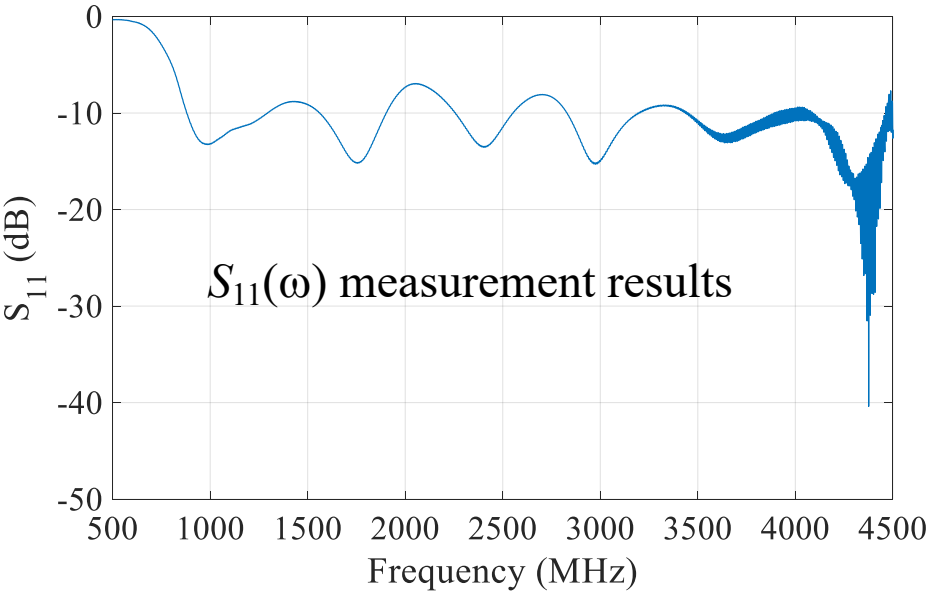


ETS 3115 new

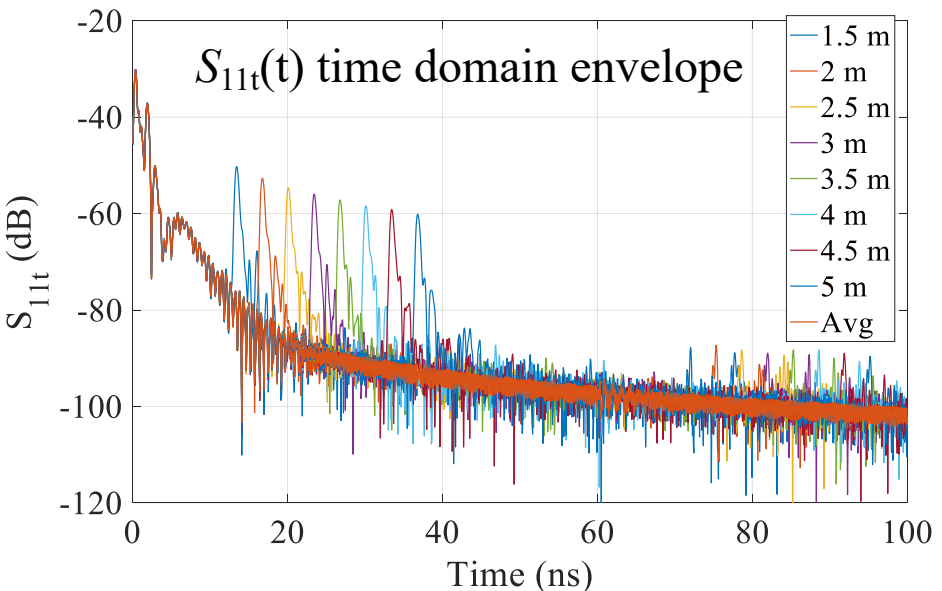
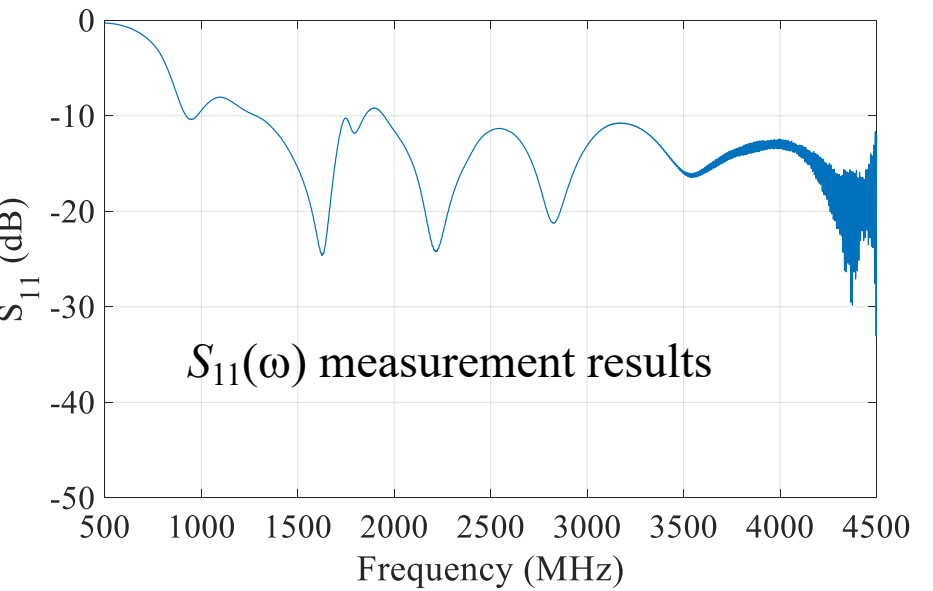


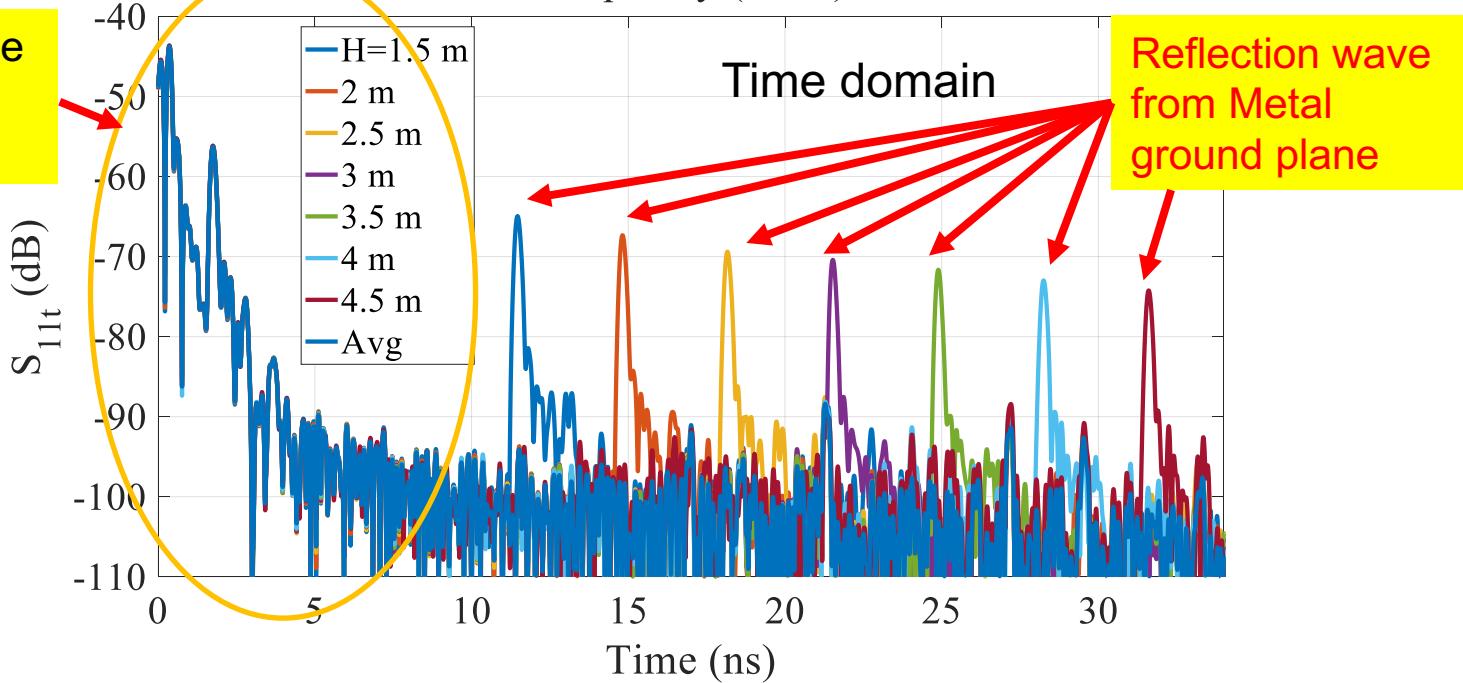
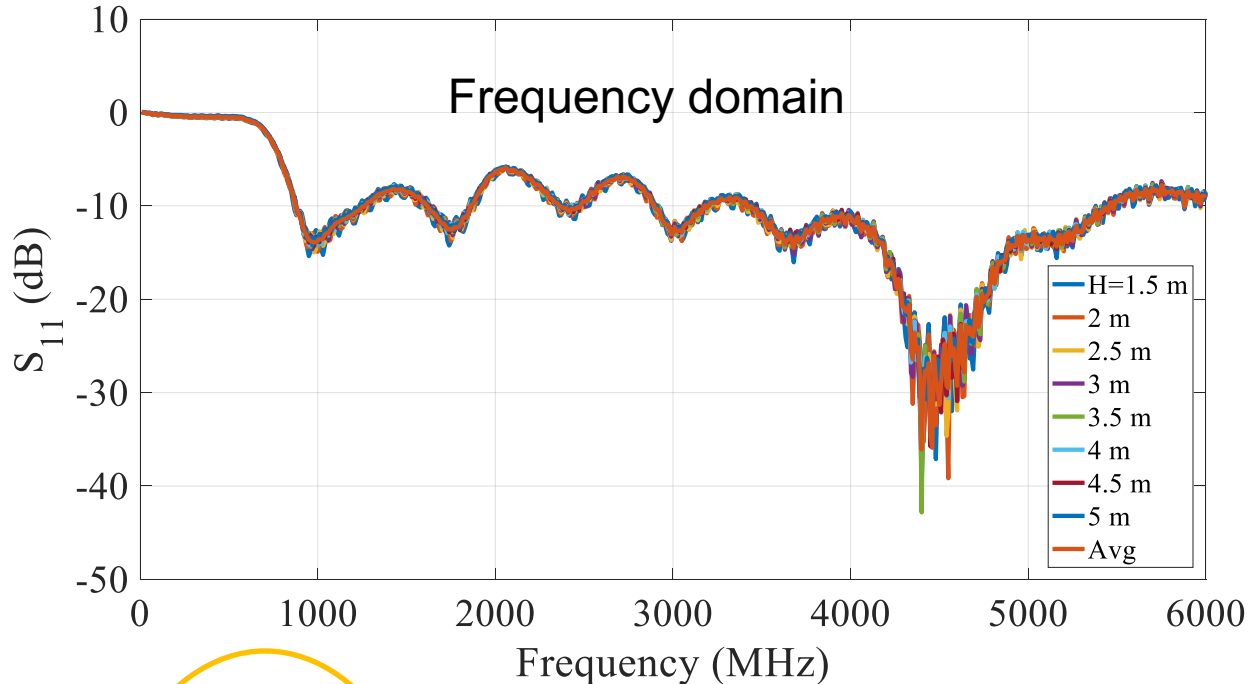
ETS 3115 old

ETS3115 (側面金属格子)

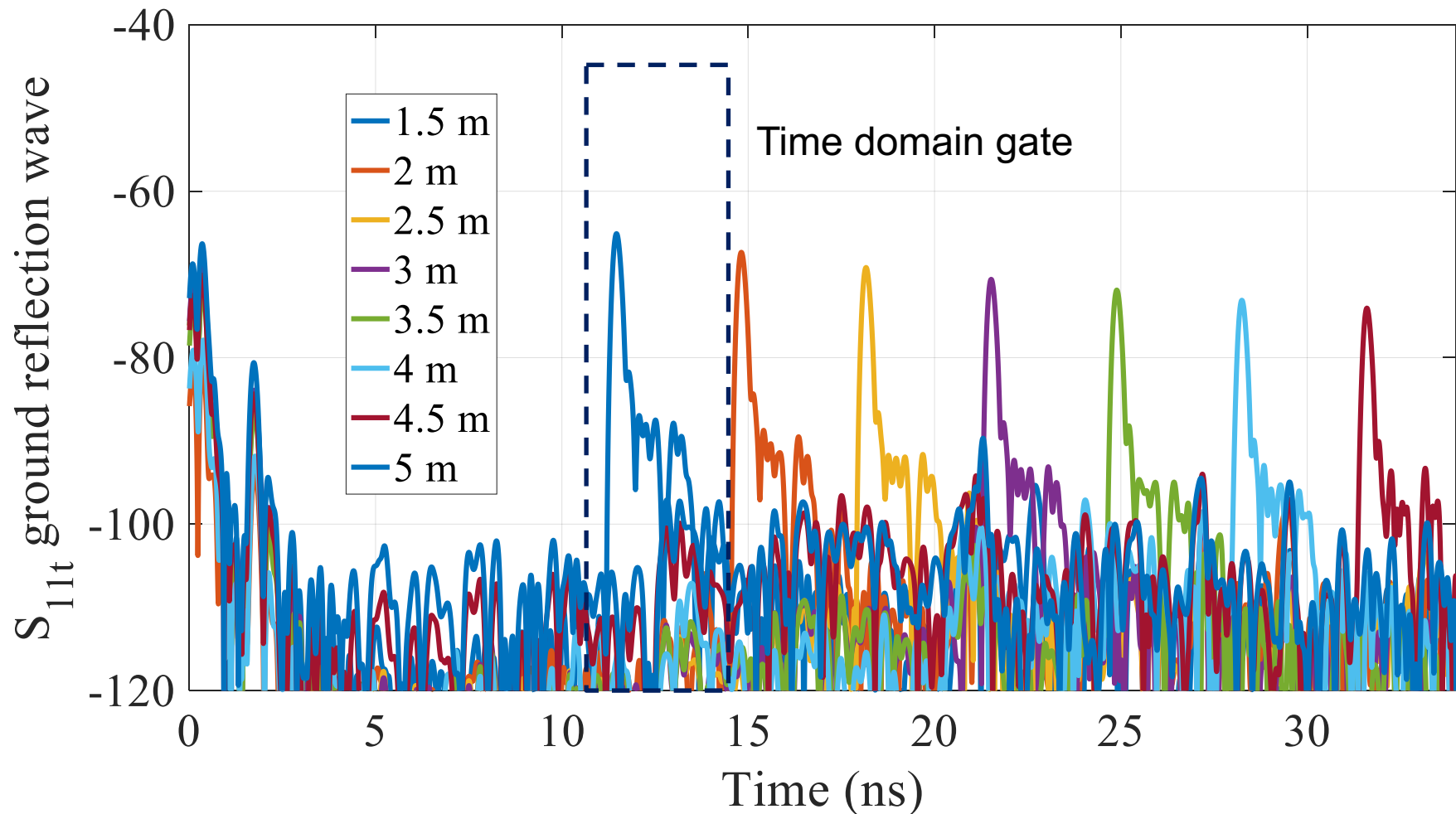


ETS3115 (側面プリント基板上のパターンメッシュ)





# 時間領域でのグランドプレーン反射波(直接伝搬波)算出

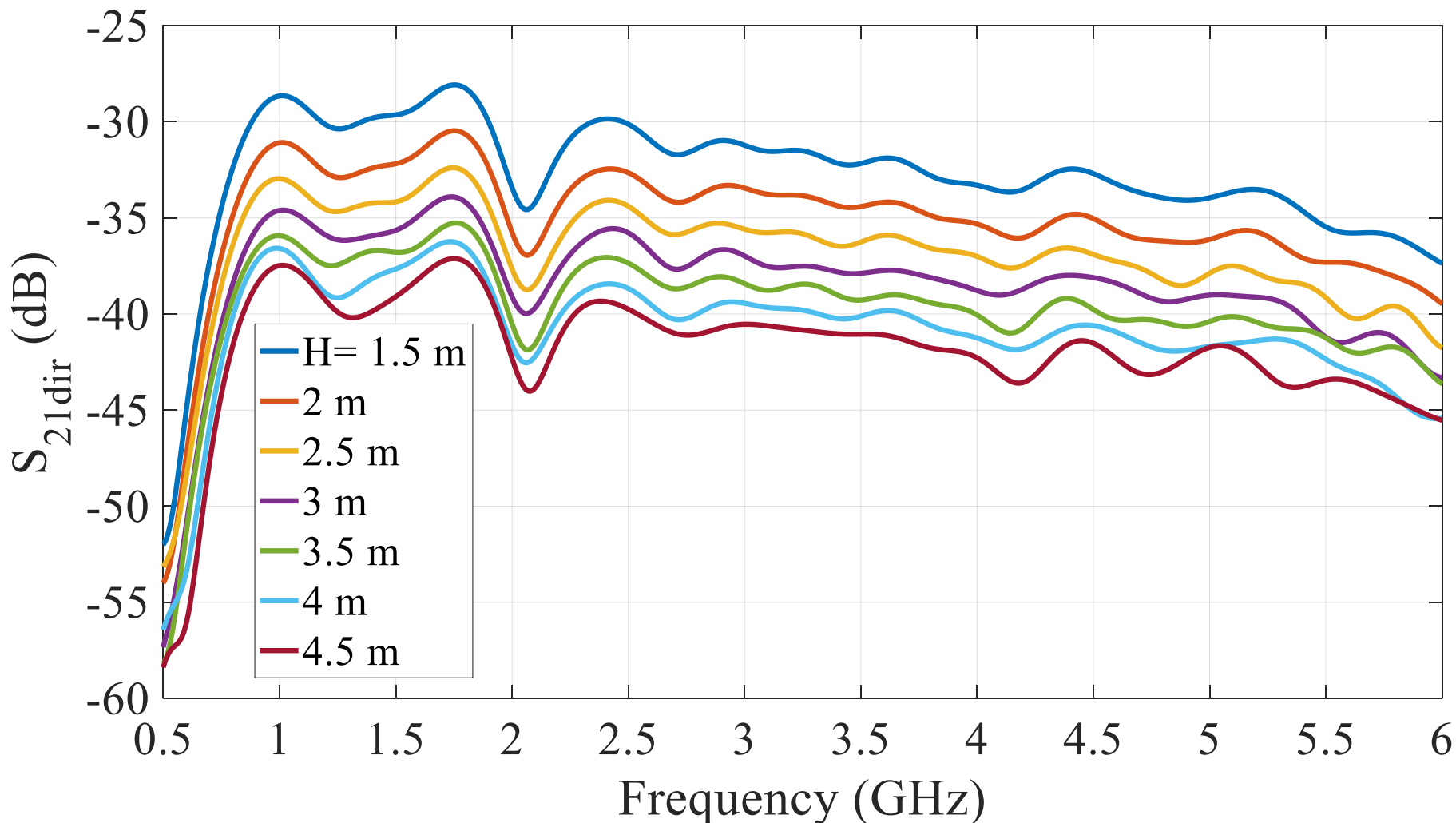


時間領域算出結果からアンテナそのものの反射波を時間領域で引き算

$$S_{11t\_ground\_ref}(t) = S_{11}(t) - S_{11t\_intrinsic}(t)$$

残留不要波を時間窓をもちいて抑圧(削除)

# グラウンドプレーン反射波算出結果



アンテナ高さが高いほど、床面の大きさ(電波吸収体までの距離)の影響が大きいと思われる。

位相中心を考慮した Friis transmission formula [1][2][3]

$$|s_{21}(\omega, z)|^2 = (1 - |\Gamma_1(\omega)|^2)(1 - |\Gamma_2(\omega)|^2) \left( \frac{\lambda}{4\pi(z + d_1(\omega) + d_2(\omega))} \right)^2 g_{1\infty}(\omega)g_{2\infty}(\omega) \quad (1)$$

金属床面を利用したアンテナ自己校正法では、送信アンテナと受信アンテナが同一アンテナであるため、

$g_{\infty 1}(\omega) = g_{\infty 2}(\omega) = g_{\infty}(\omega)$ ,  $\Gamma_1(\omega, z) = \Gamma_2(\omega, z) = \Gamma(\omega, z)$ ,  $d_1(\omega) = d_2(\omega) = d(\omega)$   
として次式を得る

$$g_{\infty}(\omega) = \frac{4\pi(z_1 - z_2)}{\lambda} (1 - |\Gamma|^2)^{-1} \left( \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_1)|} - \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_2)|} \right)^{-1} \quad (2)$$

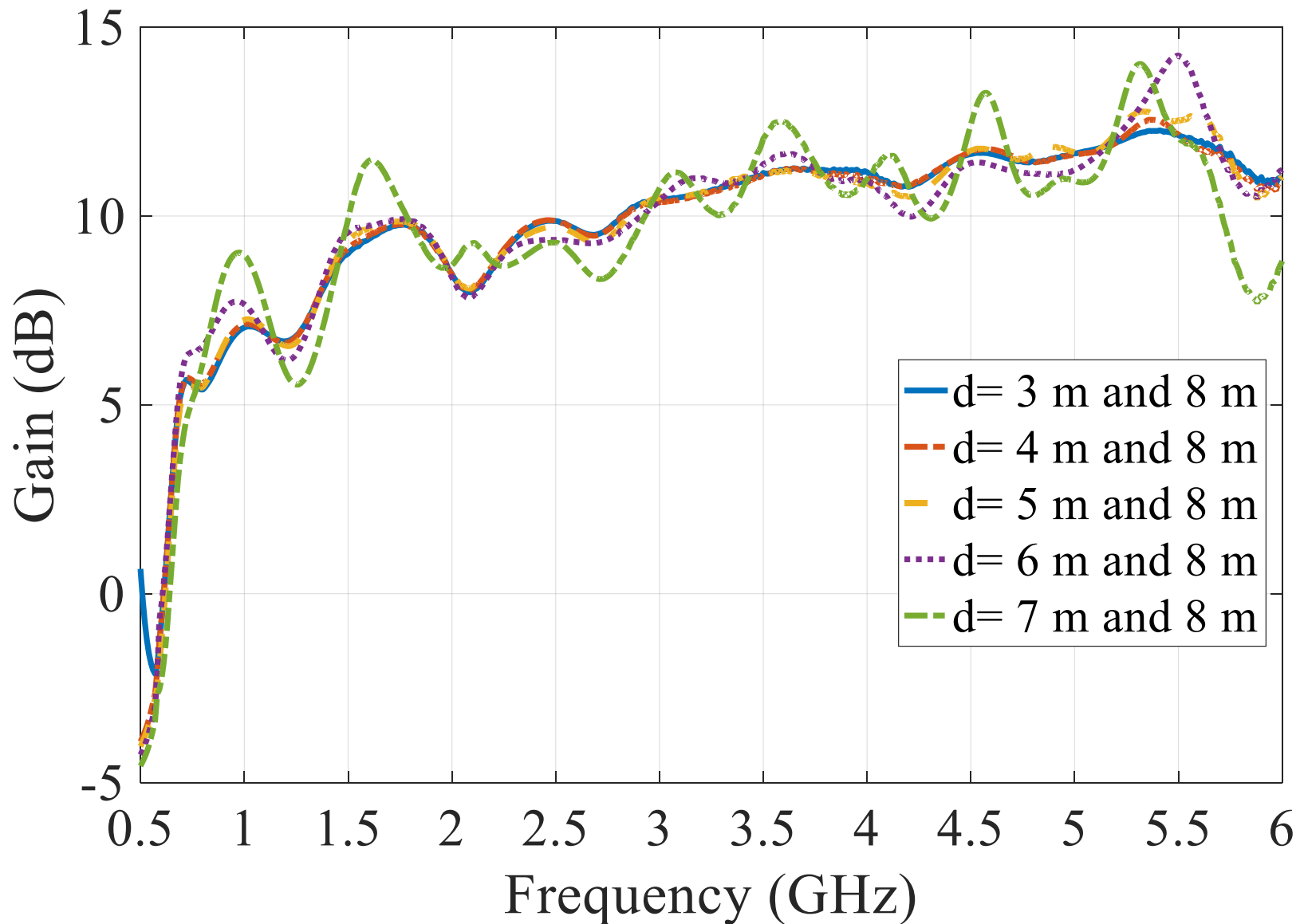
$$d(\omega) = \frac{1}{2} \frac{z_2 |s_{21}(\omega, z_2)| - z_1 |s_{21}(\omega, z_1)|}{|s_{21}(\omega, z_1)| - |s_{21}(\omega, z_2)|} \quad (3)$$

[1] T. W. Hertel, "Phase Center Measurements Based on the Three-Antenna," Proc. 2003 IEEE AP-S Symp., vol.3, pp.816-819, Columbus, USA, June 2003.

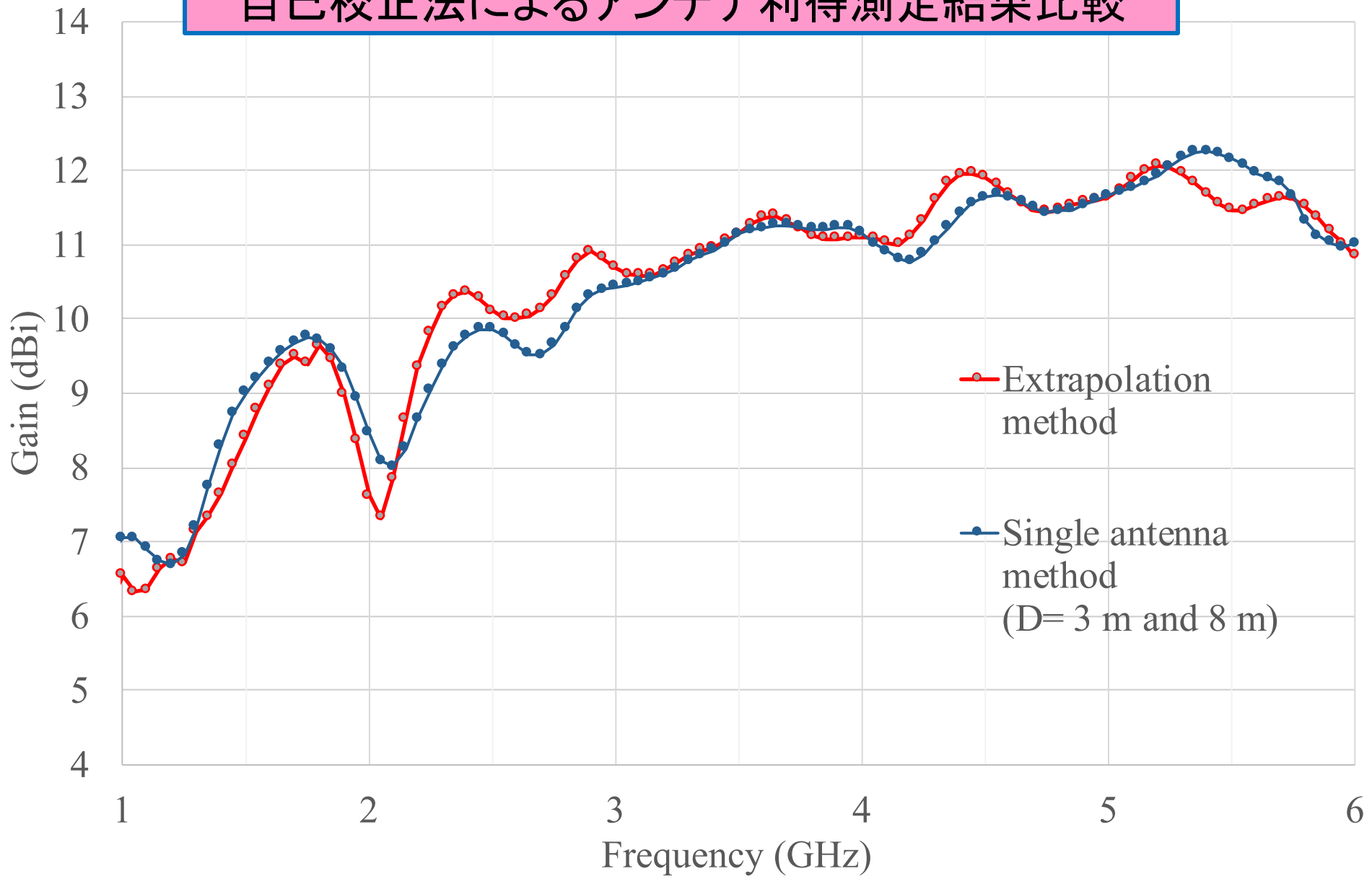
[2] K. Harima, "Accurate gain determination of LPDA by considering the phase center," IEICE Electronics Express, vol.7, no.23, 1760-1765, Oct. 2010.

[3] M. Hirose, S. Kurokawa, M. Ameya, "Theoretical Investigation on Relationship Between Near-Field Gain and Far-Field Gain Using Phase Center," Technical report of IEICE, AMT2012-02, June, 2012. (In Japanese)

# アンテナ利得算出結果

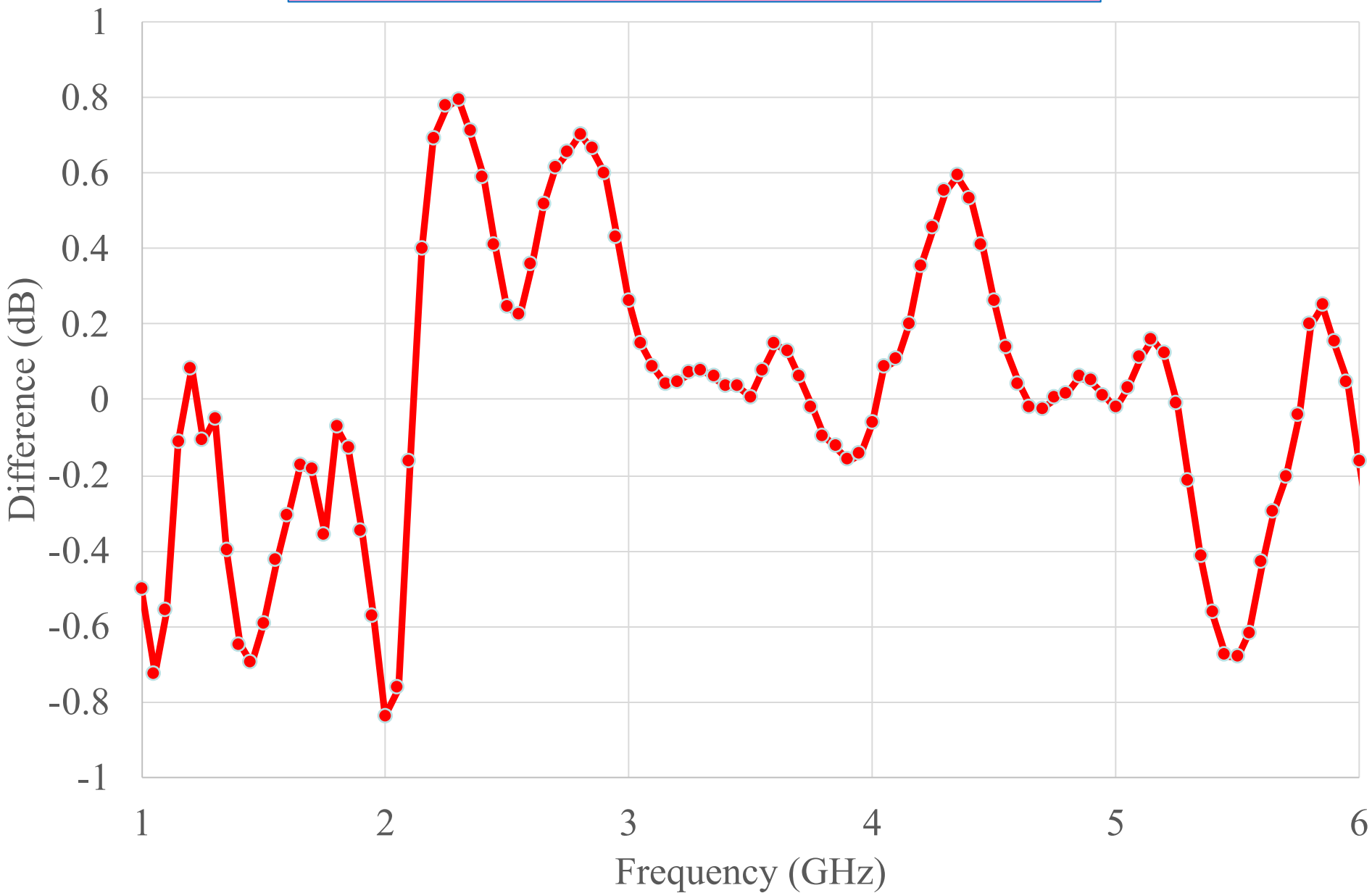


3アンテナ外挿法によるアンテナ利得測定結果と  
自己校正法によるアンテナ利得測定結果比較

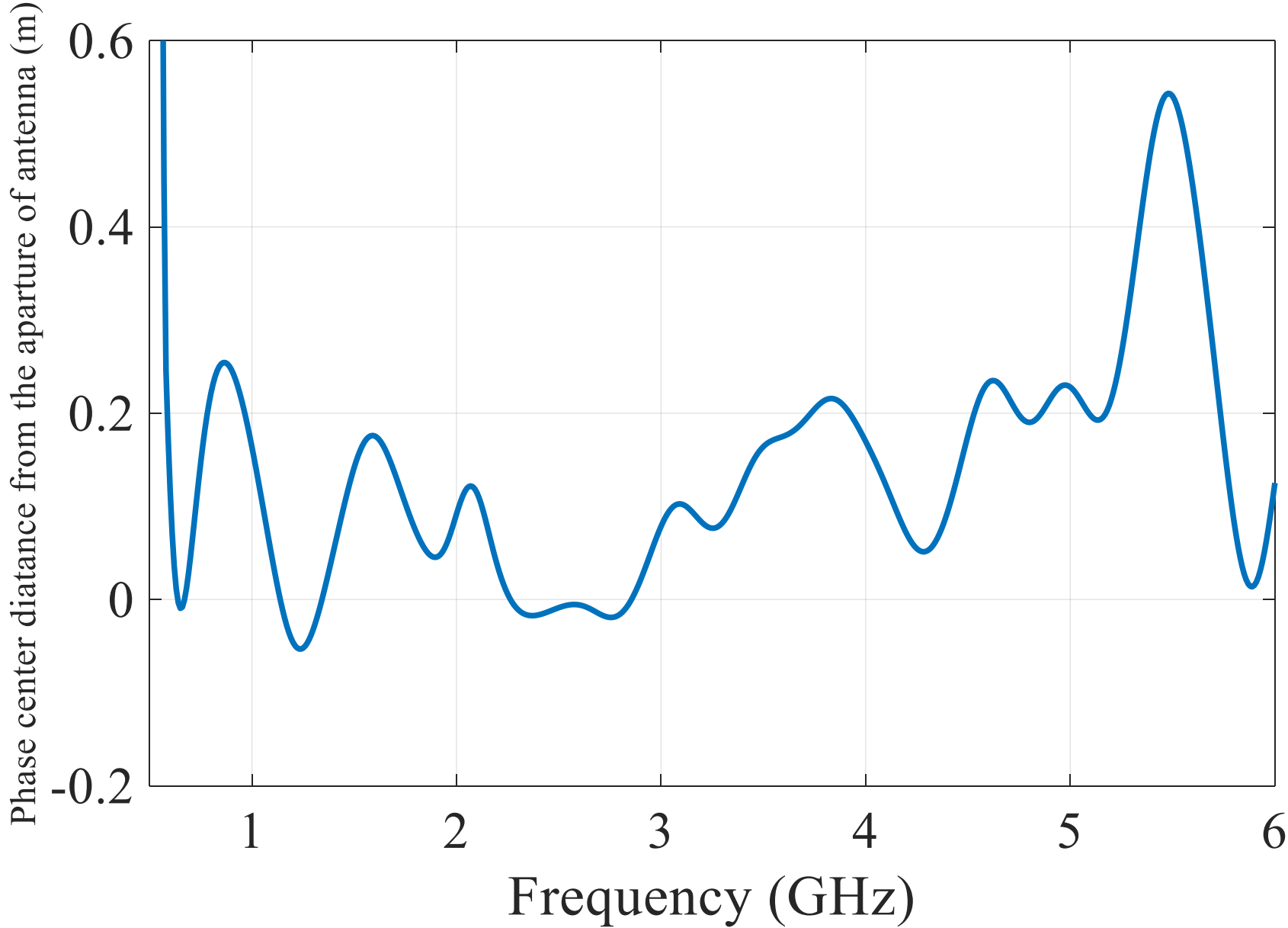




# アンテナ利得測定結果の差



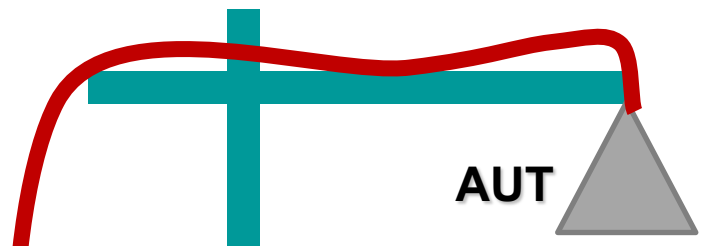
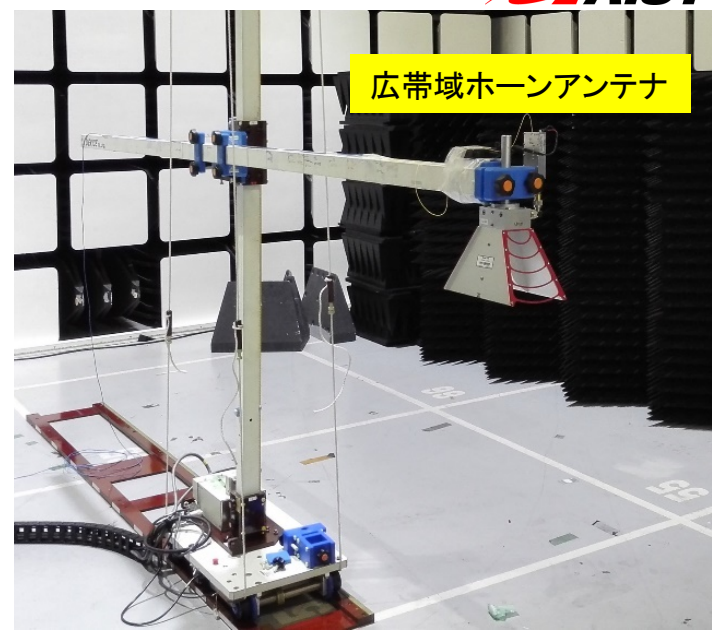
リッジガイドホーンアンテナの開口面からの位相中心までの距離  
 (H=1.5m (D=3m)と4m (D=8m)の測定結果を利用)



# 金属床を用いた アンテナ自己校正法セットアップ

- EMI測定用電波暗室(電波半無響室)
- 1ポートVNA
- Open Short Load 校正キット
- 同軸ケーブル又は双方向性光ファイバリンク

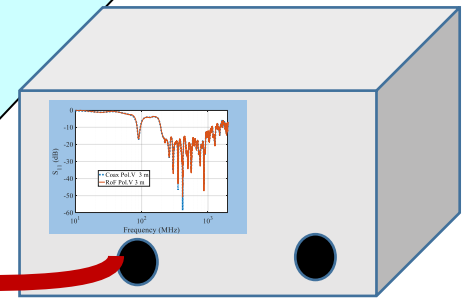
送信アンテナと受信アンテナは同一特性のアンテナとみなすことが可能



H= From 1.5 m to 5 m  
Delta H= 10 cm

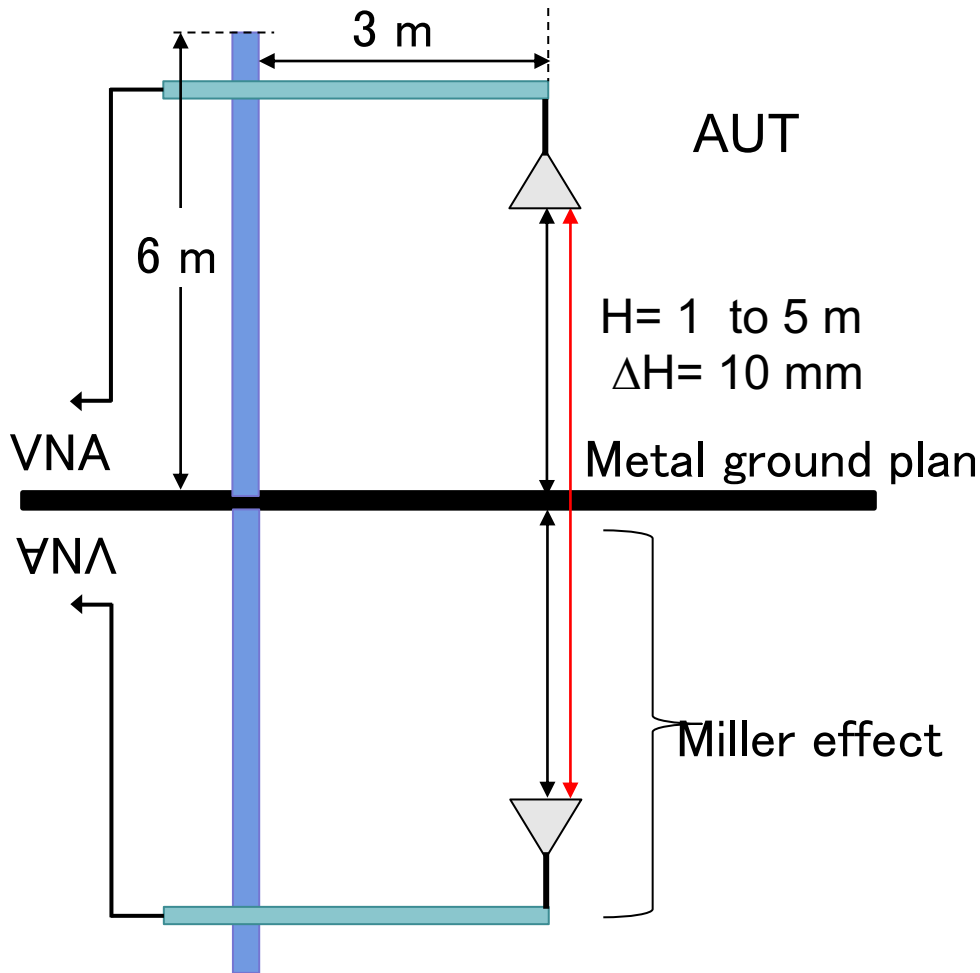
Metal ground plane

**Vector Network Analyzer setting**  
 Frequency range: 10 MHz to 6 GHz  
 Frequency interval : 10 MHz  
 IF Frequency band: 100 Hz  
 Port output power: 0 dBm

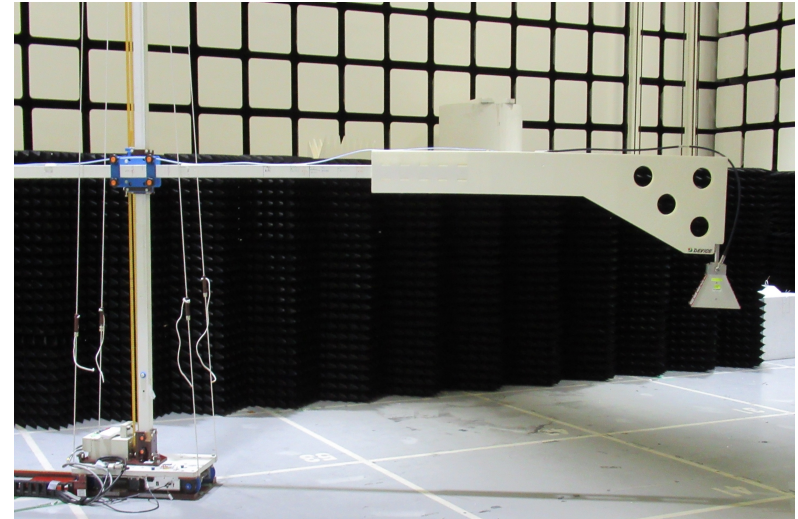


# Outline of single antenna calibration method

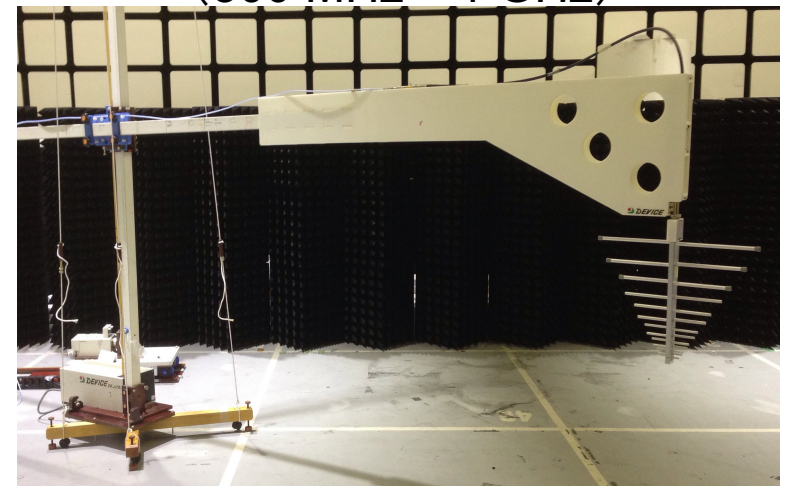
## Semi-anechoic chamber



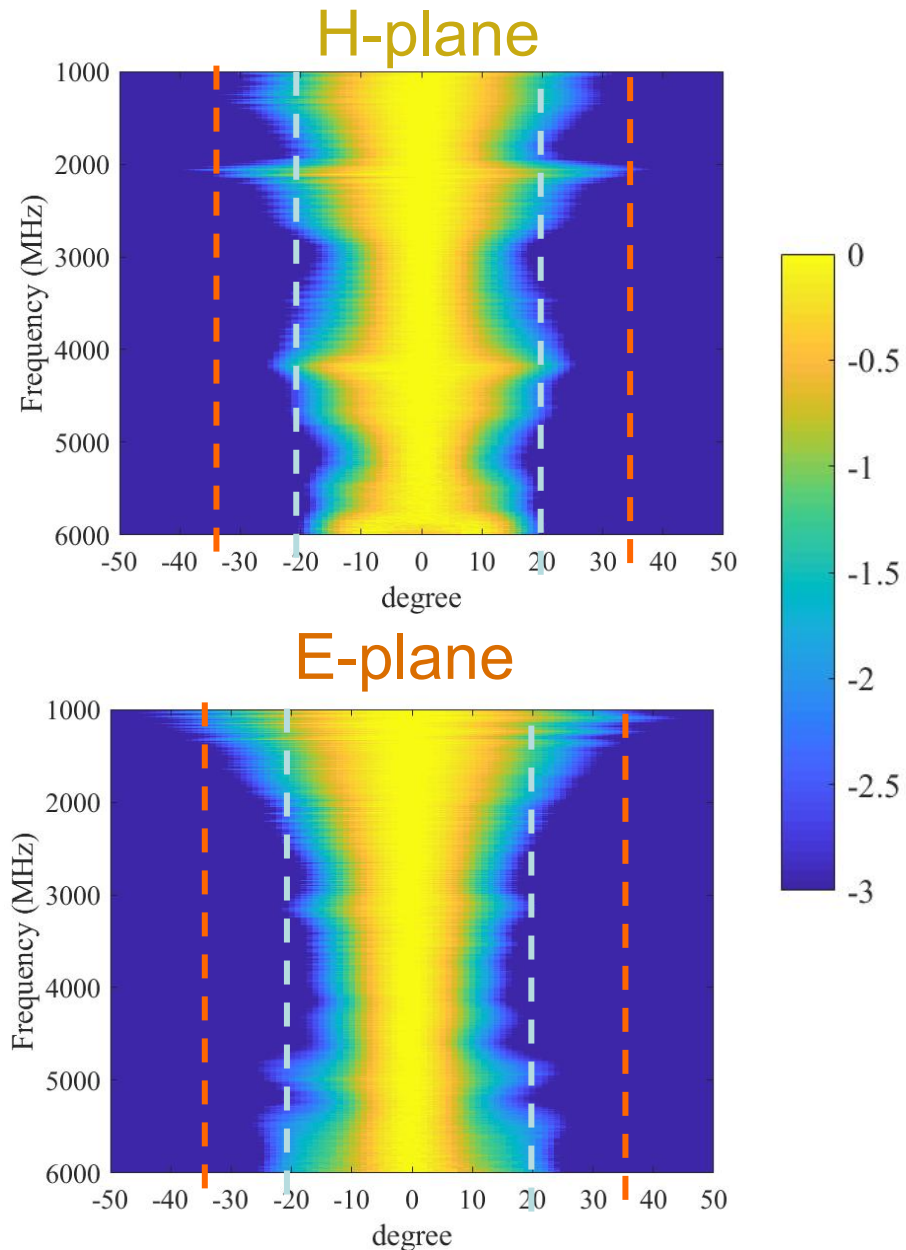
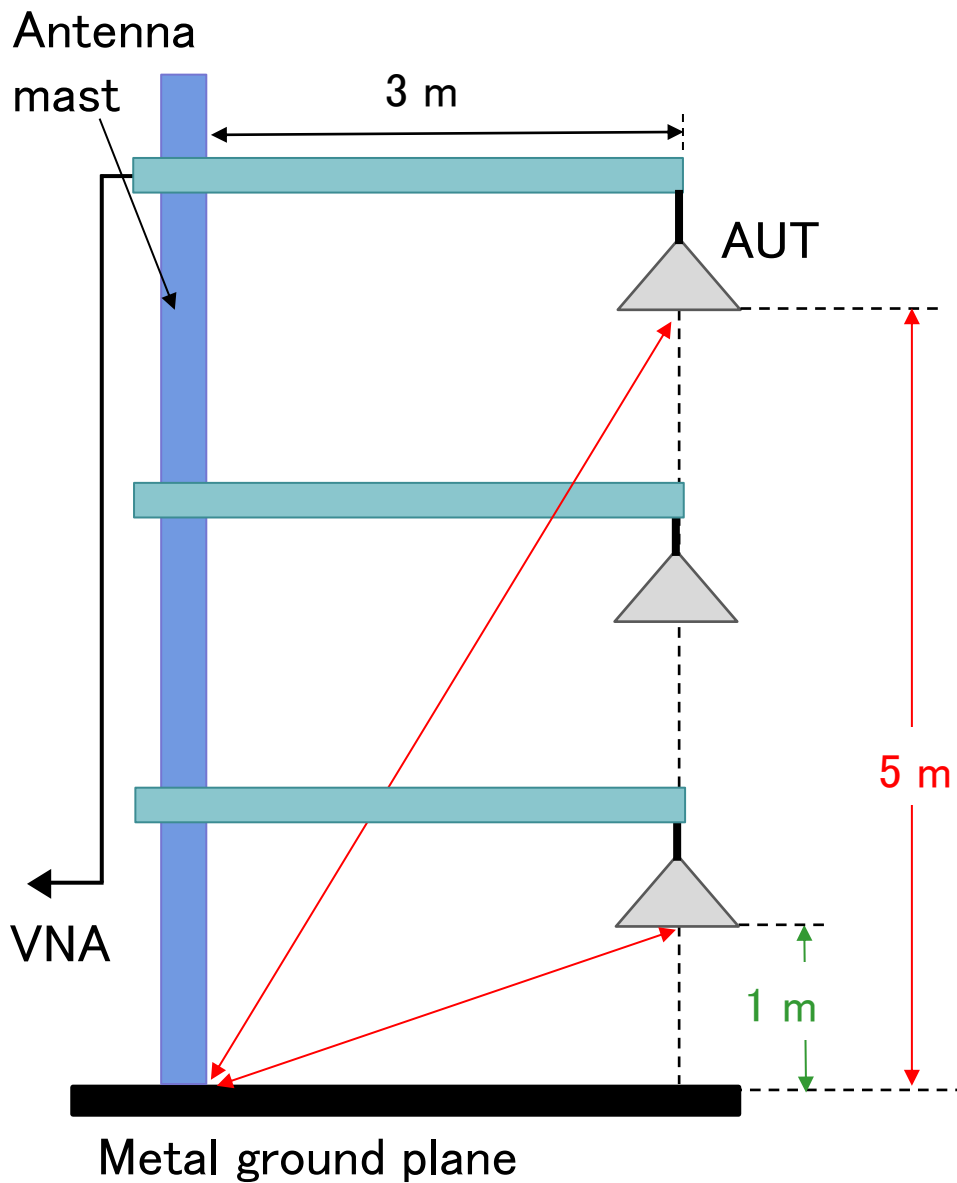
## Double ridged guide horn antenna (1 GHz – 6 GHz)



## LPDA (300 MHz – 1 GHz)

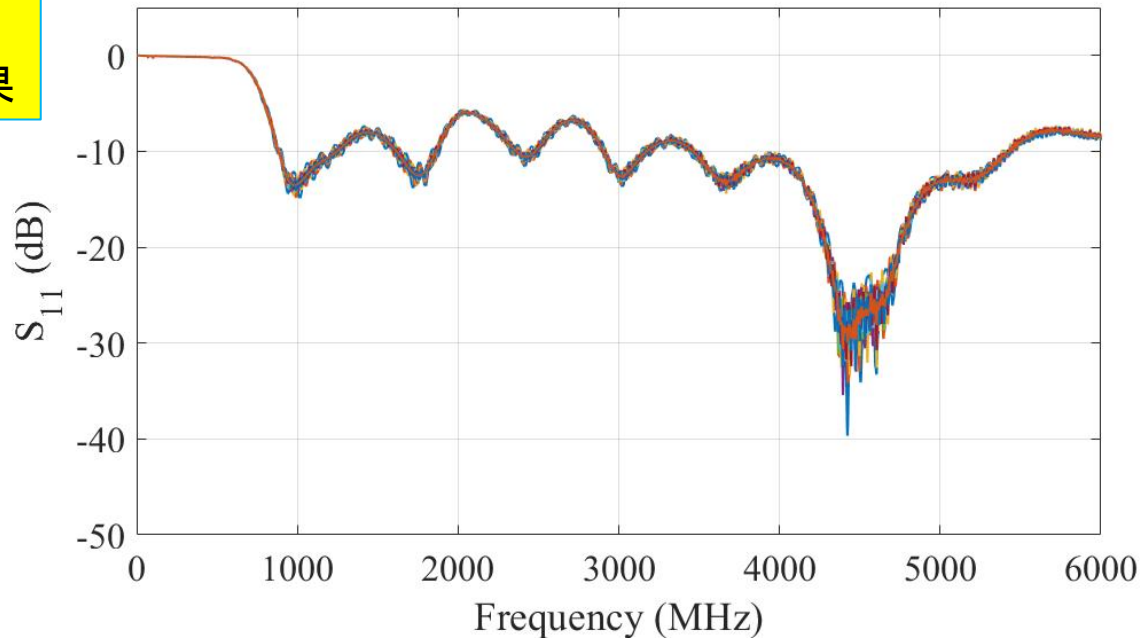
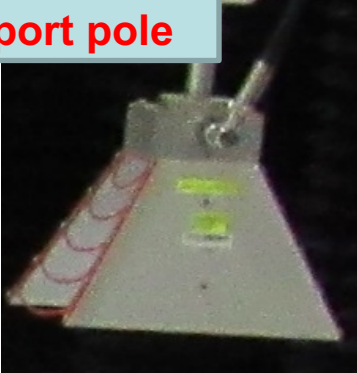


# Measurement setup and radiation pattern of DRGH

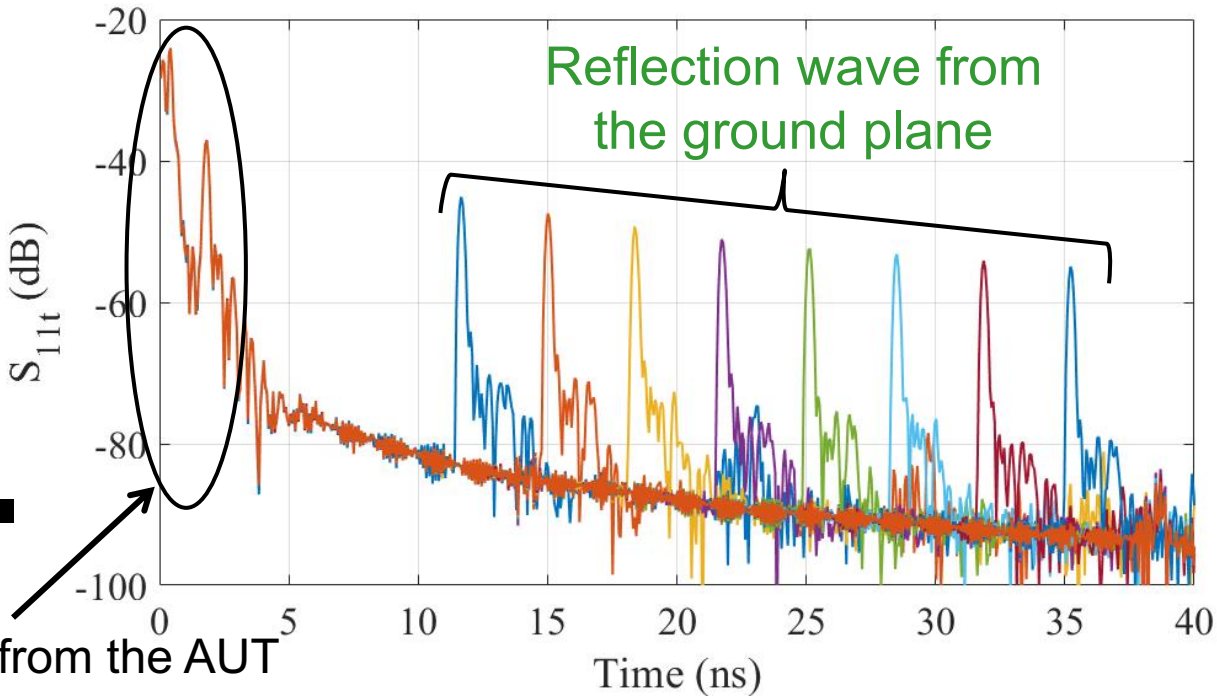
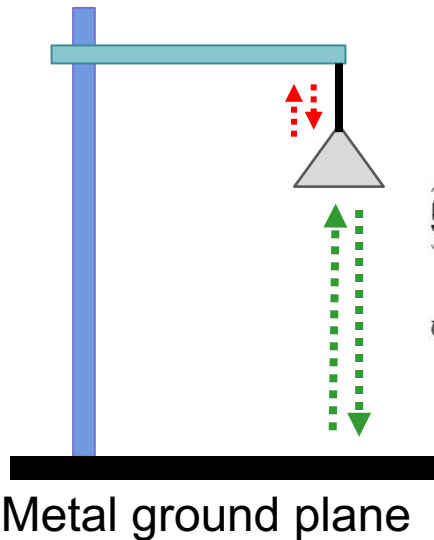


$S_{11}(\omega)$ 周波数領域測定結果  
 $S_{11t}(t)$ 時間領域特性算出結果

Antenna support pole

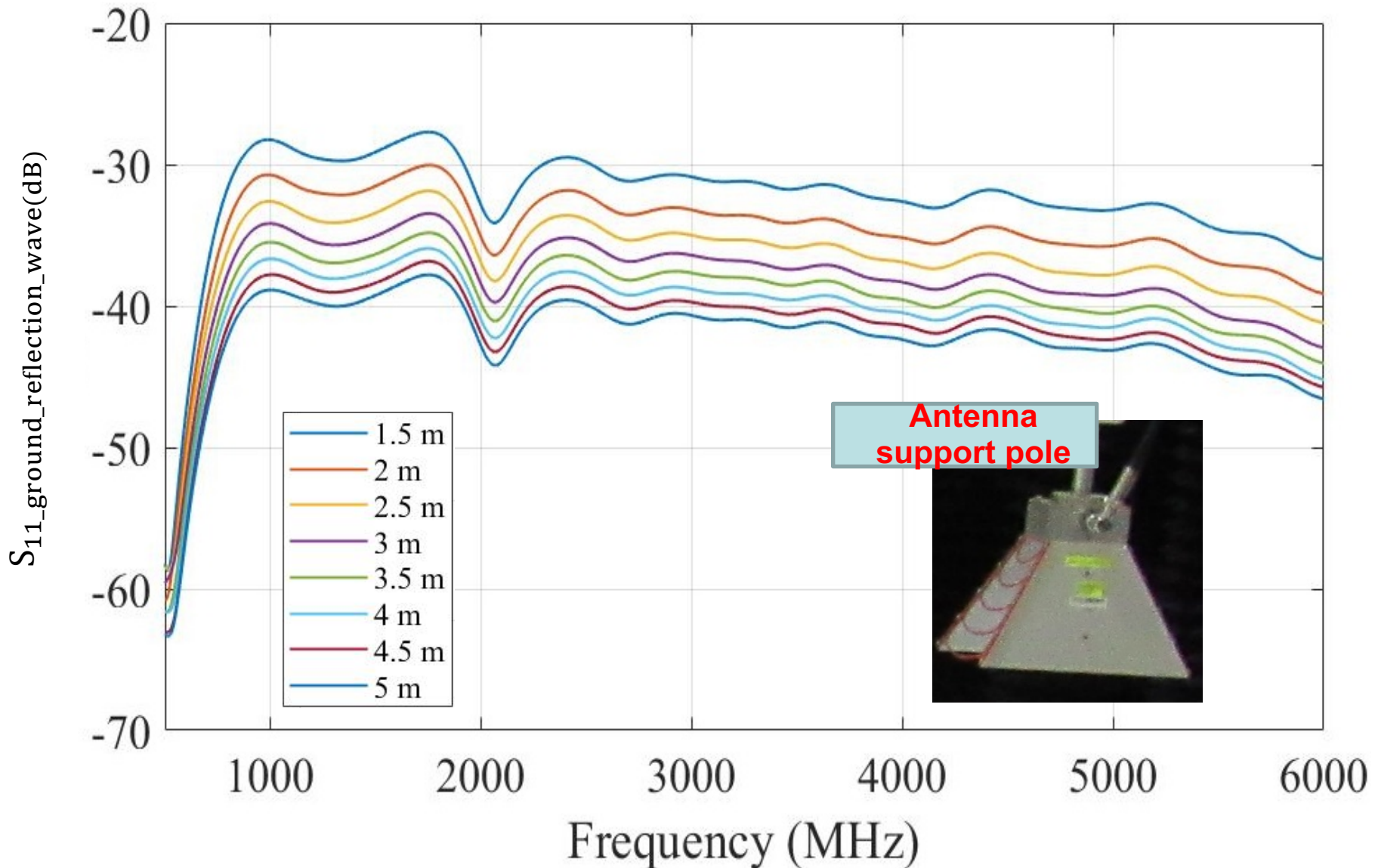


- 1.5 m
- 2 m
- 2.5 m
- 3 m
- 3.5 m
- 4 m
- 4.5 m
- 5 m
- Avg



- 1.5 m
- 2 m
- 2.5 m
- 3 m
- 3.5 m
- 4 m
- 4.5 m
- 5 m
- Avg

# 自由空間伝搬波 ( $= S'_{21}(\omega)s$ ) の周波数特性推定結果



## 1アンテナ法で用いるFriis 伝送公式

$$|S_{21}(\omega, z)|^2 = (1 - |\Gamma_1(\omega)|^2)(1 - |\Gamma_2(\omega)|^2) \left\{ \frac{\lambda}{4\pi(z + d_1(\omega) + d_2(\omega))} \right\}^2 \underline{G_1(\omega)} \underline{G_2(\omega)}$$

1アンテナ法では、送信アンテナと受信アンテナが同一特性のため

$$\underline{G_1(\omega) = G_2(\omega) = G(\omega)}, \quad \underline{d_1(\omega) = d_2(\omega) = d(\omega)}, \quad \underline{\Gamma_1(\omega) = \Gamma_2(\omega) = \Gamma(\omega)}$$

アンテナ利得  $G = \frac{4\pi(z_1 - z_2)}{\lambda} (1 - |\Gamma|^2)^{-1} \left( \frac{1}{|S_{21}(\omega, z_1)|} - \frac{1}{|S_{21}(\omega, z_2)|} \right)^{-1}$

アンテナ位相中心  $d = \frac{1}{2} \frac{z_2 |S_{21}(\omega, z_2)| - z_1 |S_{21}(\omega, z_1)|}{|S_{21}(\omega, z_1)| - |S_{21}(\omega, z_2)|}$

1アンテナ法では、異なる2つの高さでの $S_{21}$ 測定結果 から、遠方界アンテナ利得を算出可能



# アンテナ利得測定結果比較 (3アンテナ外挿法と1アンテナ法)

