

光応用電磁界計測技術を用いた アンテナの基本特性測定

産業技術総合研究所 黒川 悟

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

目 次

1. 産総研で実施する各種アンテナの測定概要
 - EMCで用いられるアンテナ（アンテナ係数）
 - 通信用途（アンテナ利得）
 - 電界センサ、磁界センサ
2. アンテナ測定
 - アンテナ近傍界測定法
 - IEEE Std. 1720-2012 (recommended practice)
 - IEC/TR 63099-1 Ed1
 - アンテナ遠方界測定
 - アンテナ自己校正法
3. 光ファイバリンク(RoF)装置を用いたアンテナ測定
 - アンテナ校正用双方向性光ファイバリンク
 - 5G周波数帯域用光ファイバリンク

各種アンテナと測定場



各種アンテナの測定装置と産総研が整備するアンテナ標準

アンテナ係数: 9 kHz~6 GHz

アンテナ利得: 1 GHz~110 GHz (30MHz~1GHzの測定も可)

電界標準: 20 MHz~2 GHz(今年度中に~6GHz), 磁界標準: 50 Hz, 60 Hz

ループアンテナ:
9 kHz ~ 30 MHz (jess)



ダイポールアンテナ:
30 MHz~1 GHz, (jess グランドプレーン上 2 m)
1 GHz ~ 2 GHz (自由空間)



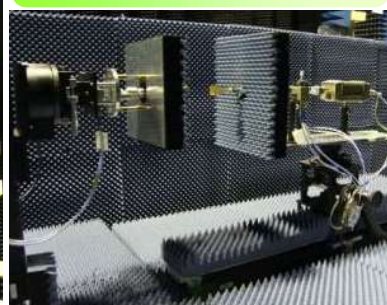
広帯域アンテナ:
30 MHz~1 GHz (jess, 自由空間)
バイコンカルアンテナ、LPDA、パイログアンテナ



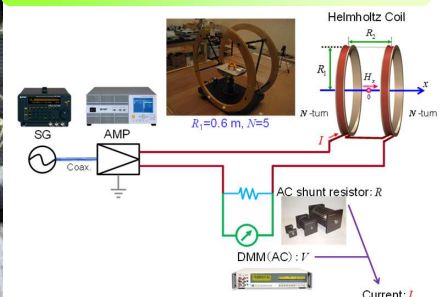
光電界センサを用いた平面走査、円筒走査
近傍界アンテナ測定法による測定



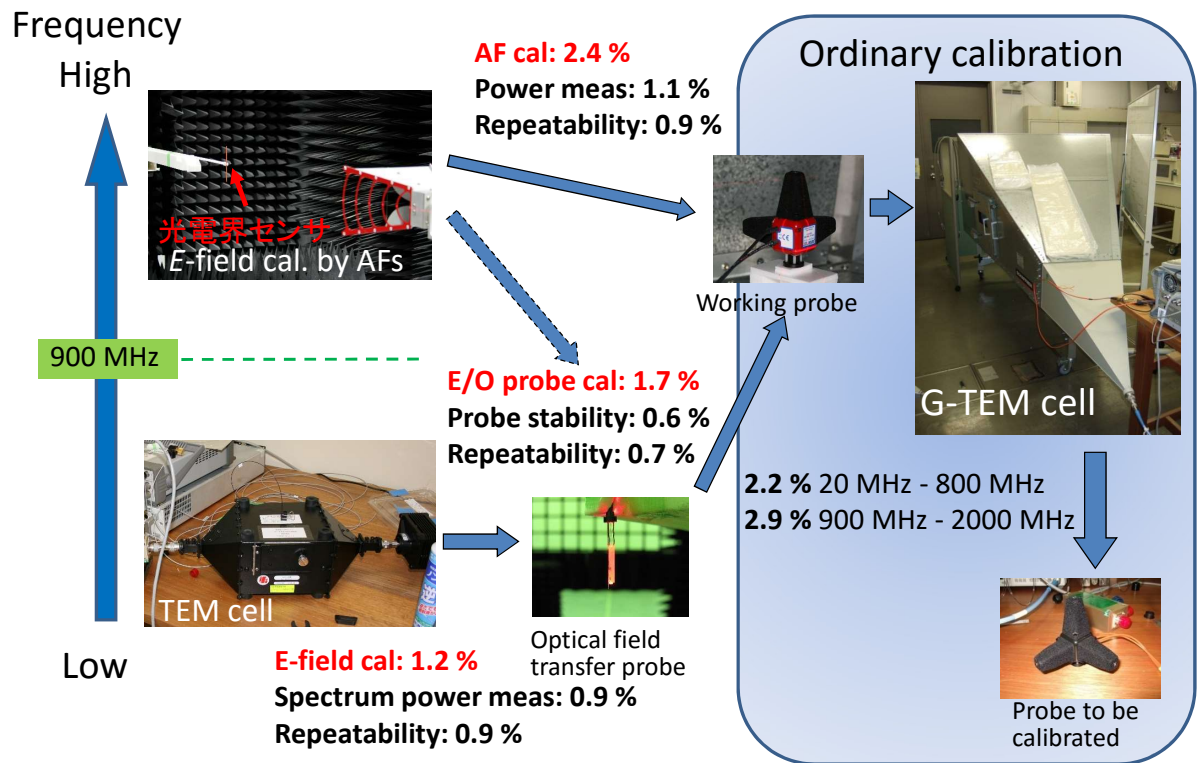
標準ゲインホーンアンテナ:
1 GHz~110GHz
外挿法によるアンテナ測定法



磁界センサ
周波数50 Hz, 60 Hz

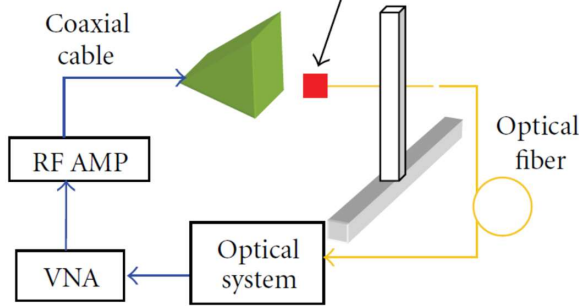


電界センサ校正の原理と国家標準



光電界センサを用いた アンテナ近傍界測定

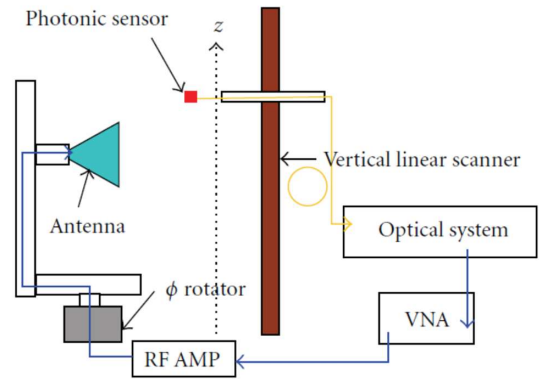
アンテナ近傍界遠方界変換法によるアンテナ利得測定
IEEE Std. 1720-2012, IEC/TR 63099-1 Ed1



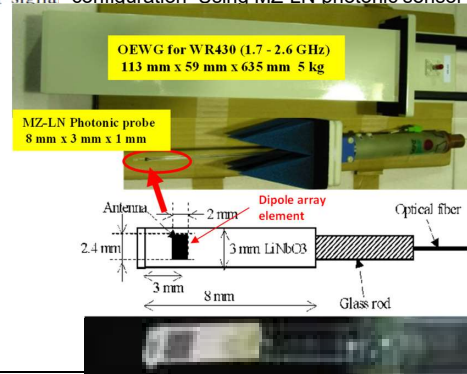
— Laser signal
— RF signal

Rectangular Planer near field (PNF) scanning configuration
Using MZ-LN photonic sensor

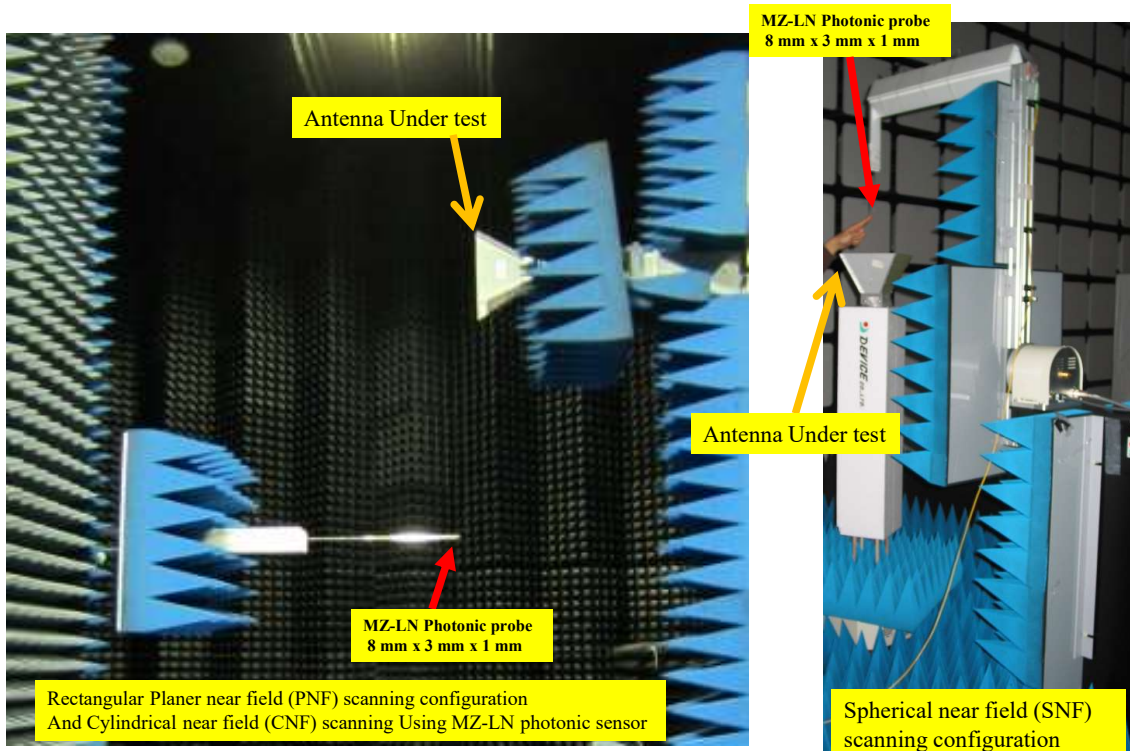
1. A. Capozzoli, et al, "Dielectric Field Probes for Very-Near-Field and Compact-Near-Field Antenna Characterization", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 51, No.5, October 2009.
2. A. Capozzoli, et al, "Photonic Probes and Advanced (Also Phase less) Near-Field Far-Field Techniques", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 52, No.5, October 2010.
3. IEEE Std 1720™-2012: IEEE Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements



— Laser sig. Cylindrical near field (CNF) scanning
— RF signal configuration Using MZ-LN photonic sensor



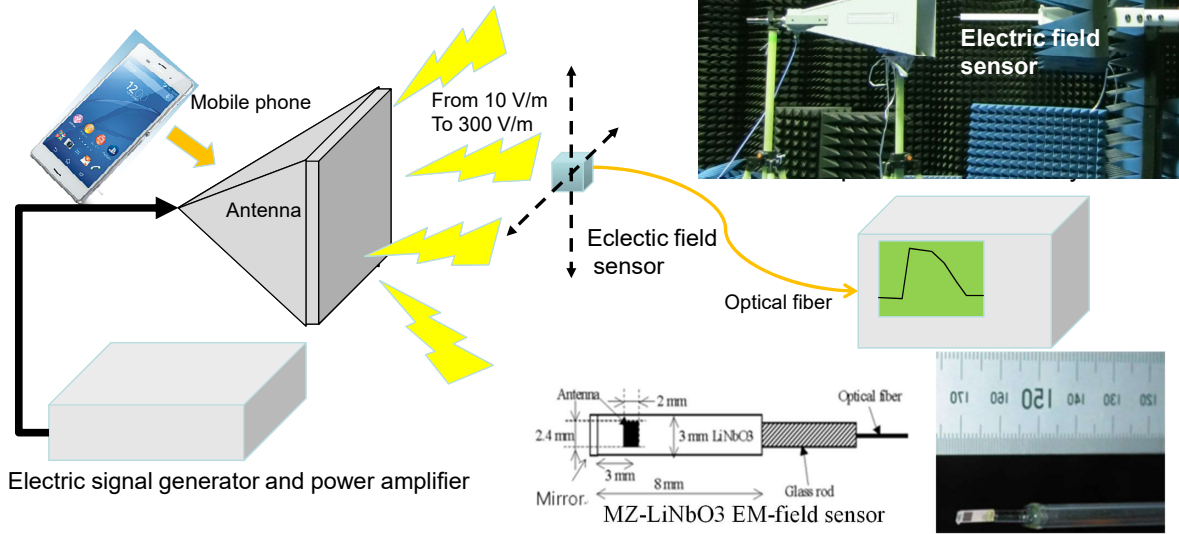
光電界センサを用いたアンテナ近傍界測定装置



Rectangular Planer near field (PNF) scanning configuration
And Cylindrical near field (CNF) scanning Using MZ-LN photonic sensor

Spherical near field (SNF)
scanning configuration

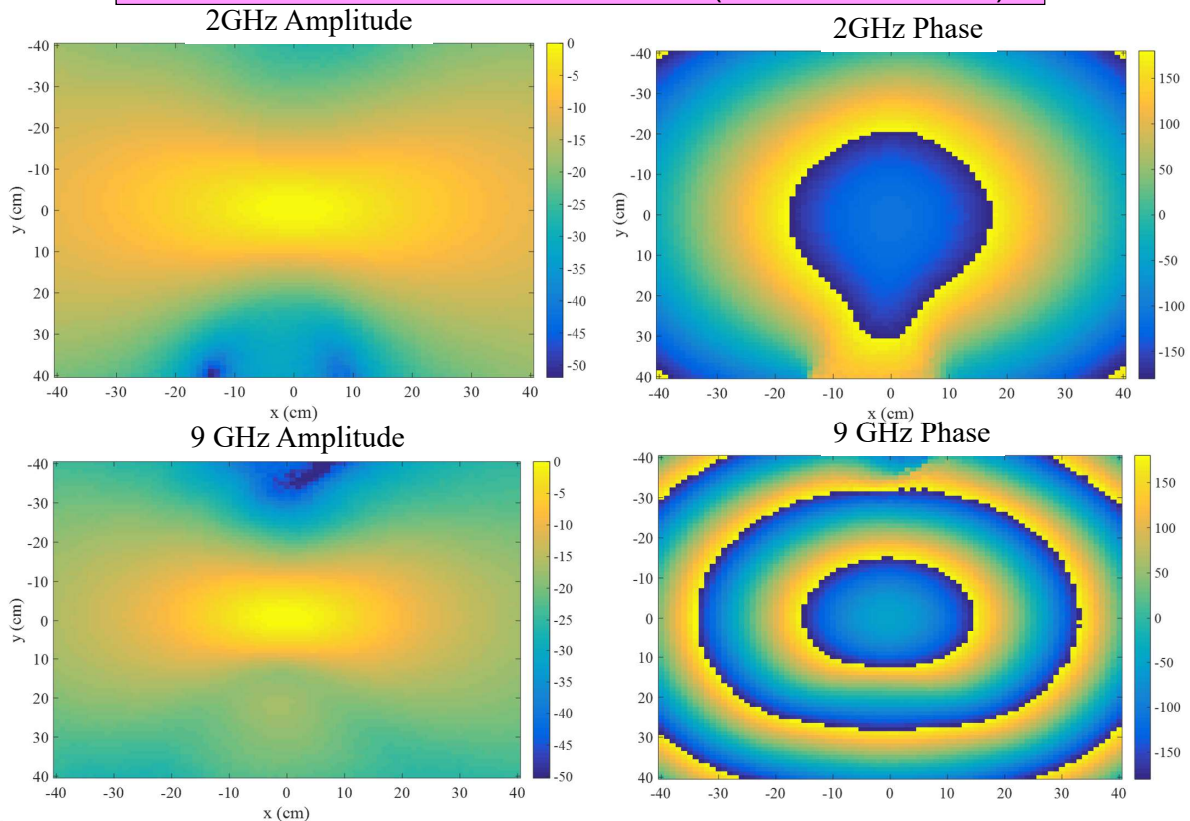
携帯電話等から放射される電波
に対する耐性試験
(IEC SC77:77B/717/CD)



現状: 4G LTEの周波数まで規格化実施中

5G開始に向けて、ミリ波帯域まで測定可能な電界センサ開発と試験規格化必要

アンテナ開口面近傍電界分布測定結果(9 GHz and 2 GHz)



光デバイス等を用いた アンテナ遠方界測定

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

アンテナ利得の遠方界測定

アンテナ利得 G は以下で定義される

$$G(\theta, \phi) = 4\pi (\text{単位立体角あたりの放射電力}) / (\text{入力電力})$$

実際の測定では、「十分遠方とみなすことのできる距離 r [m]」

隔てて送信アンテナと受信アンテナを設置し、

送信アンテナへの入力電力と受信アンテナでの受信電力の比 S_{tr} を測定することにより、

次式に示すFriisの伝播公式からアンテナ利得が算出される。

$$|S_{tr}(\omega, z)|^2 = (1 - |\Gamma_t(\omega)|^2) (1 - |\Gamma_r(\omega)|^2) \left(\frac{\lambda}{4\pi z} \right)^2 G_t(\omega) G_r(\omega)$$

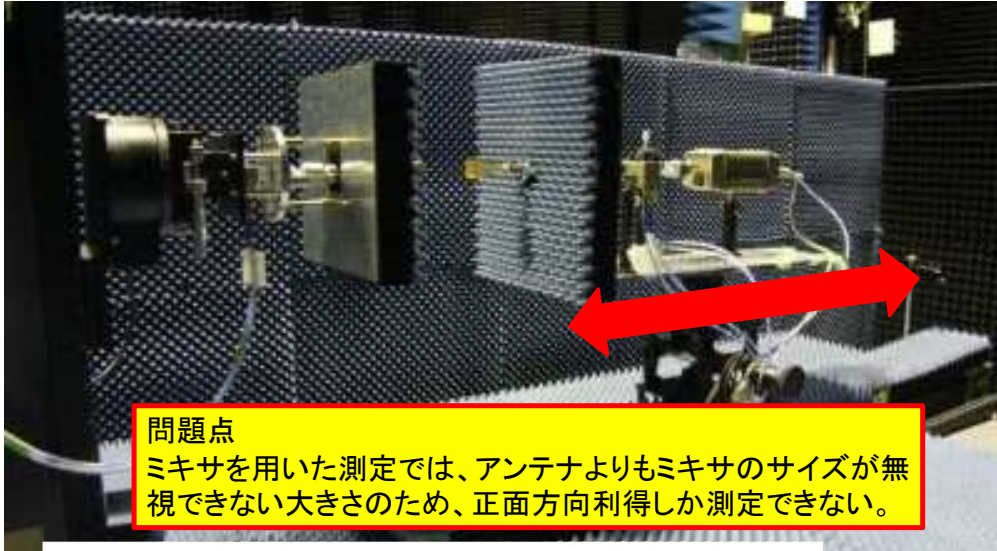
H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE., vol. 34, pp. 254 – 256, May, 1946.

十分遠方とみなせる距離 r については、被測定アンテナの最大長を D [m]として以下の式(3)を満足する距離とされているが、測定結果から算出したアンテナ利得が実際に遠方界利得とどの程度同等かは吟味が必要である。

$$\text{距離 } r \geq 2D^2/\lambda$$

これでよいか吟味が必要

外挿法によるアンテナ利得測定(最も高精度)



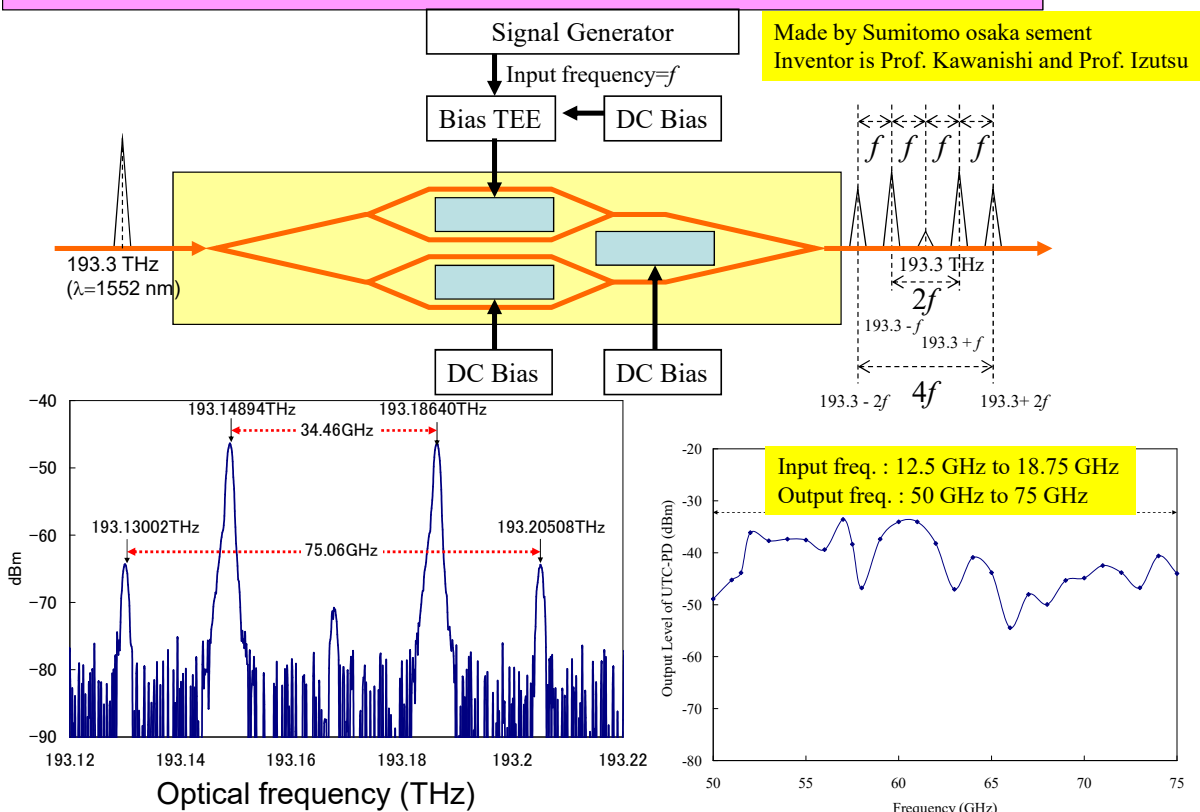
問題点

ミキサを用いた測定では、アンテナよりもミキサのサイズが無視できない大きさのため、正面方向利得しか測定できない。

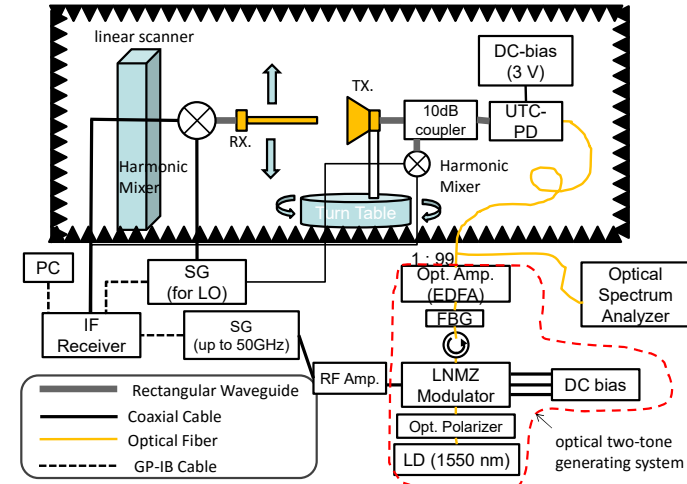
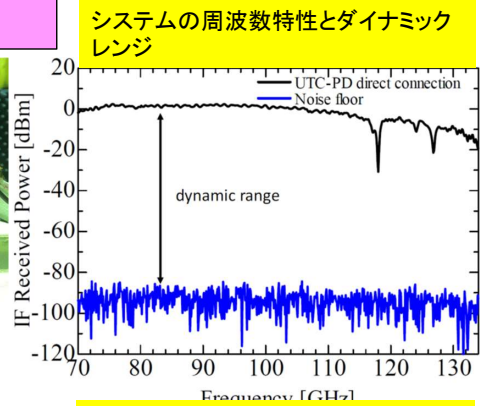
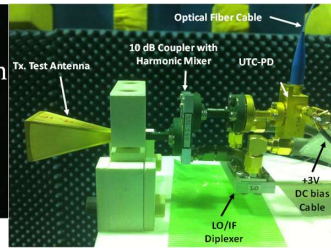
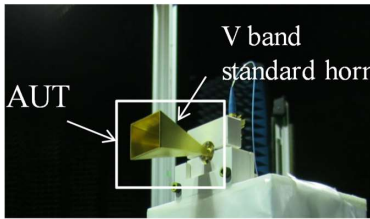
$$\left| \frac{b_0'(d)}{a_0} \right|^2 = \frac{|\exp(ikd)|^2}{|1 - \Gamma_n \Gamma_t|^2 d^2} \left(A_{00}' + \frac{A_{01}'}{d} + \frac{A_{02}'}{d^2} + \dots \right).$$

アンテナ間距離を変えて測定を行い、利得を推定する。外挿を行う距離の検討が必要
 A. Newell, "Accurate measurement of antenna gain and polarization at reduce distance by an extrapolation technique," IEEE Trans.,AP pp.418-431, July, 1973

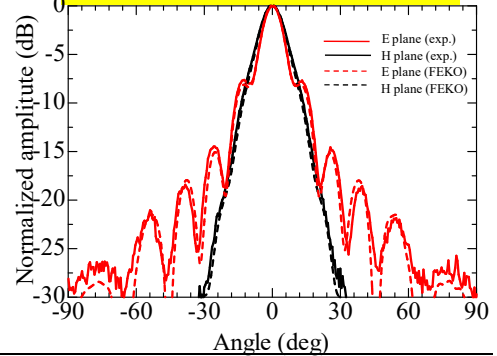
誘電体光変調器を用いたミリ波電磁波発生



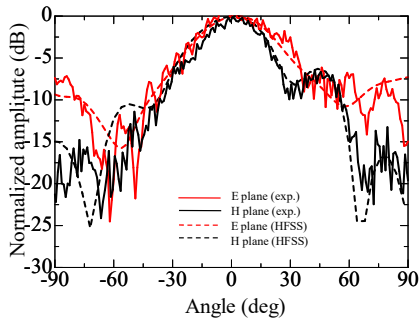
UTC-PDと誘電体光変調器を用いたミリ波発生とアンテナパターン測定



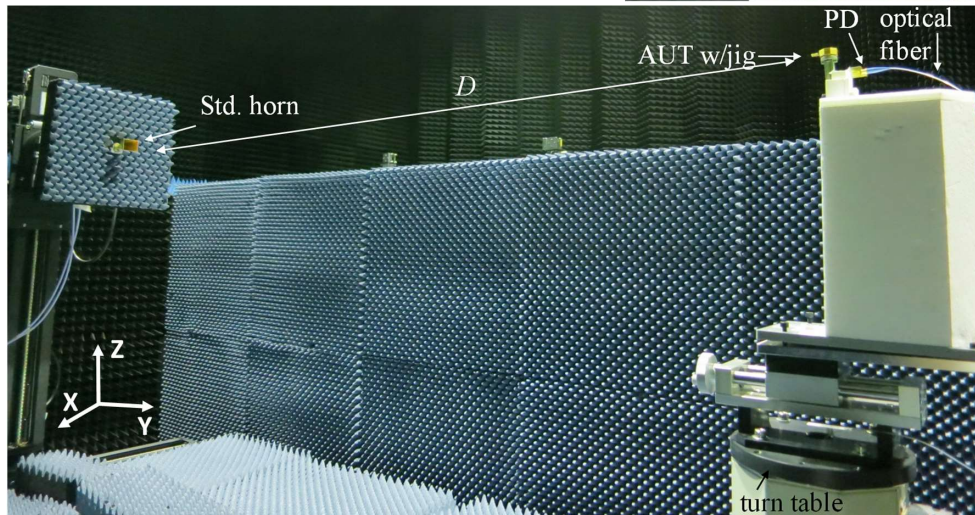
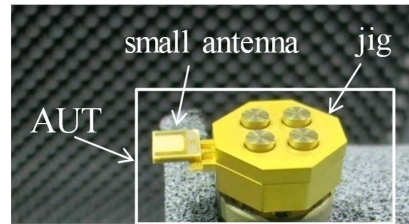
120GHzホーンアンテナのパターン測定結果と数値計算結果比較



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



小型ミリ波アンテナの特性測定結果



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

比較的近い距離での アンテナ遠方界利得測定 (アンテナ自己校正法)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

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 mismatches を $M_1 = 1 - |\Gamma_1|^2$ 、 $M_2 = 1 - |\Gamma_2|^2$ 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

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。

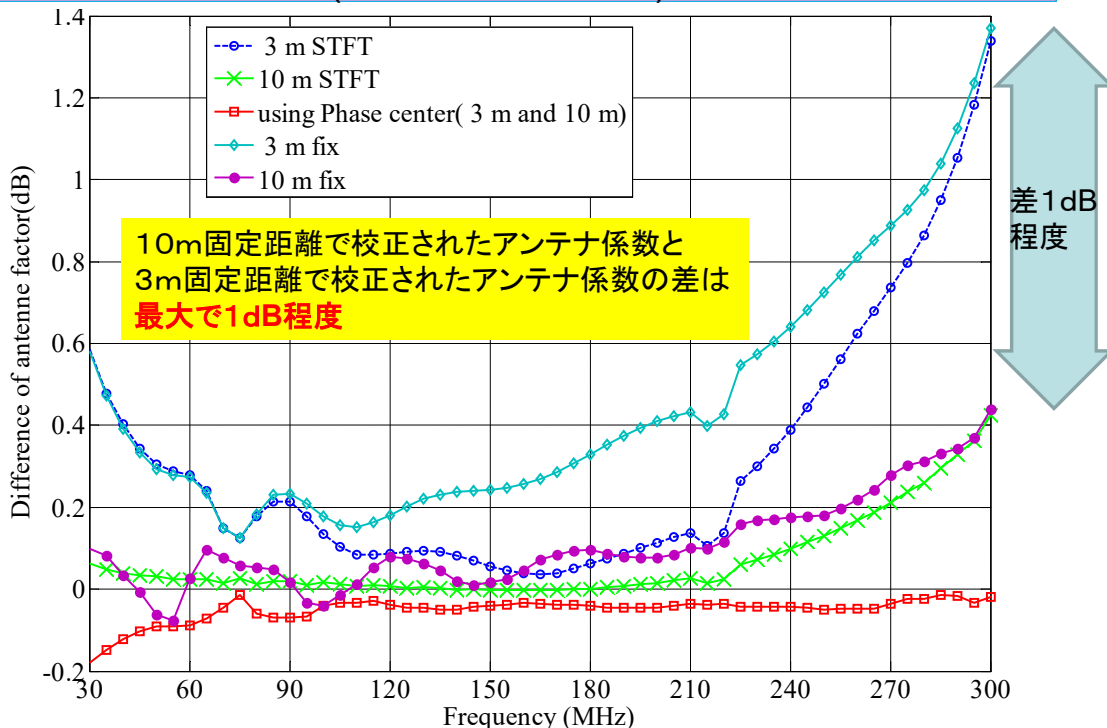
すなわち $g_{\infty 1}(\omega) = g_{\infty 2}(\omega) = g_{\infty}(\omega)$, $\Gamma_1(\omega, z) = \Gamma_2(\omega, z) = \Gamma(\omega, z)$ として次式となる。

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

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

- [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)

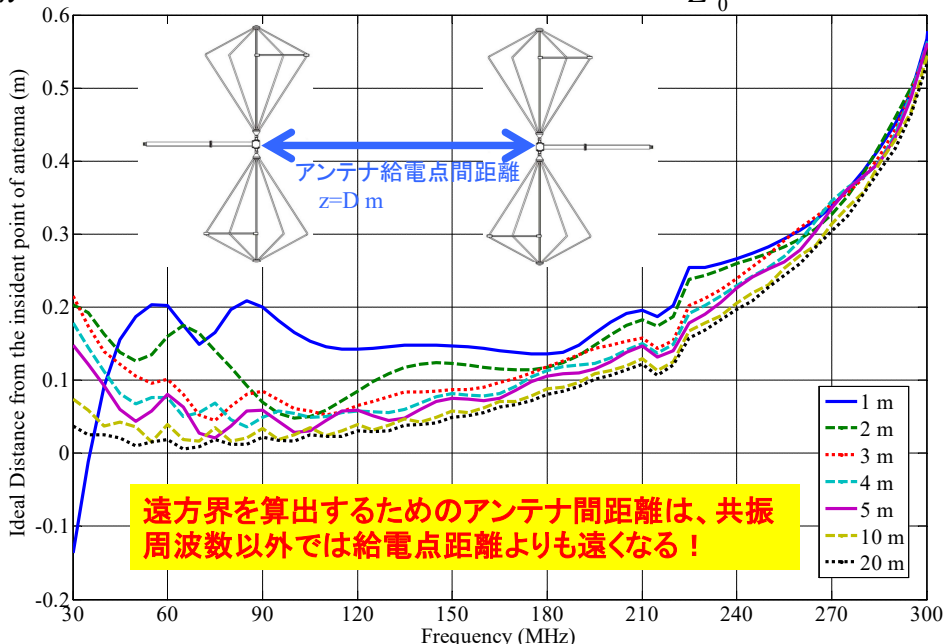
Biconicalアンテナ係数算出結果の遠方界アンテナ係数との比較 (モーメント法による)



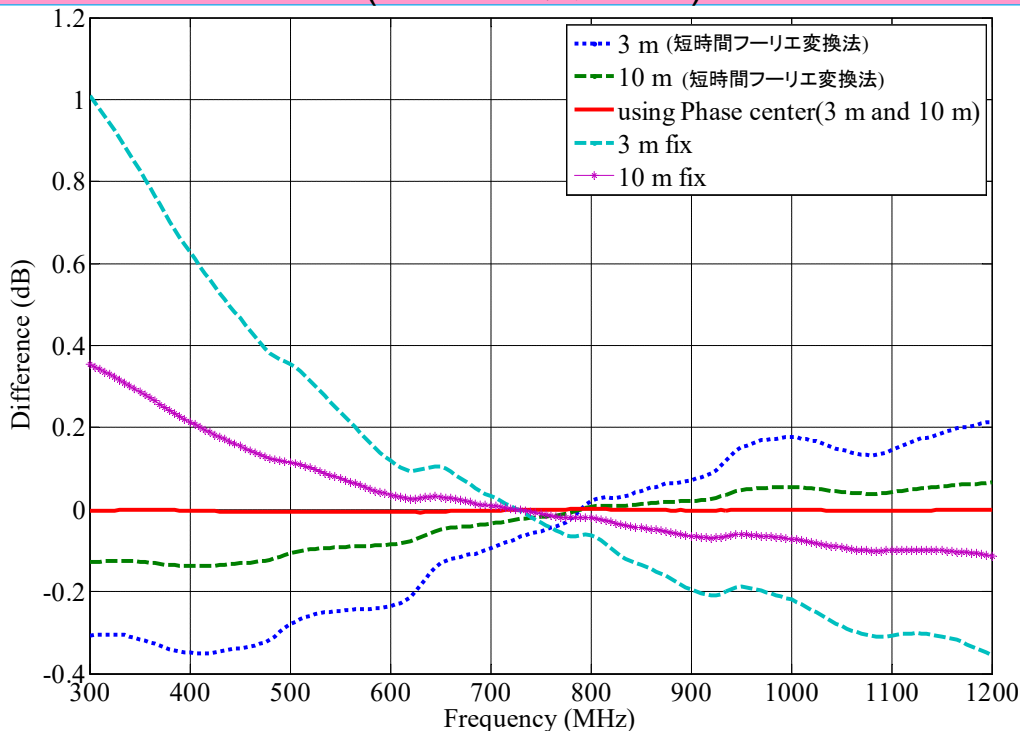
遠方界を求めるための周波数毎のアンテナ間距離 (給電点間物理的距離からの差)

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

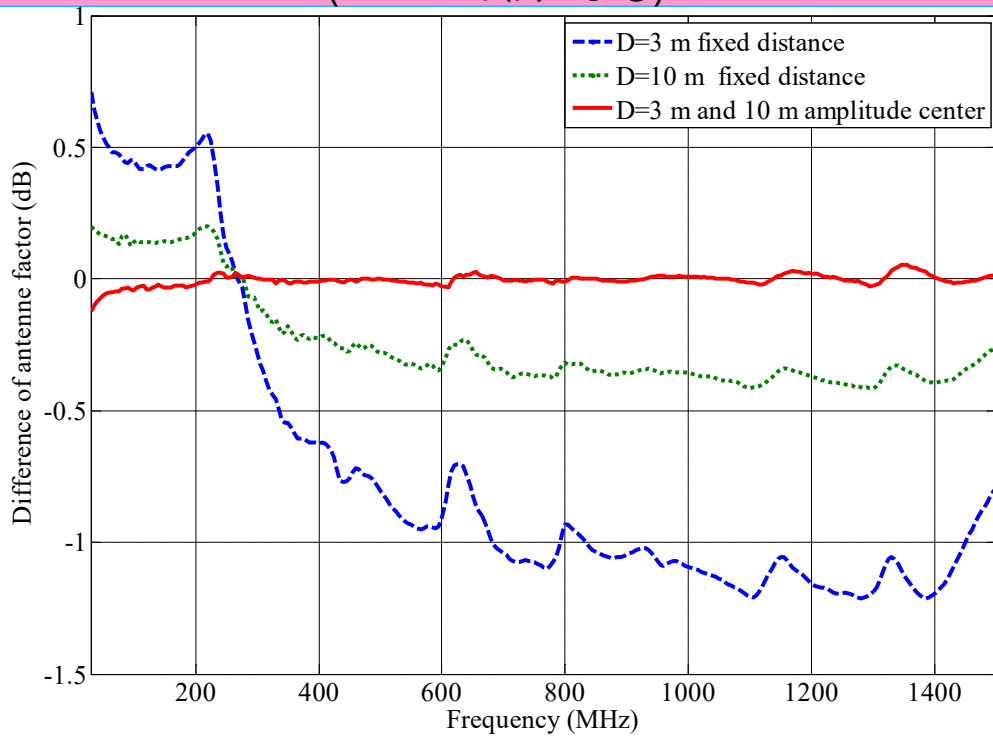
$$z = \frac{\lambda}{4\pi} |S_{21}(z)|^{-1} \cdot (1 - |\Gamma(z)|^2) \cdot G_{\text{far}} \qquad z = \frac{\eta_0 \cdot k_0}{Z_0} |S_{21}(z)|^{-1} \cdot af_{\text{far}}^{-2}$$



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)

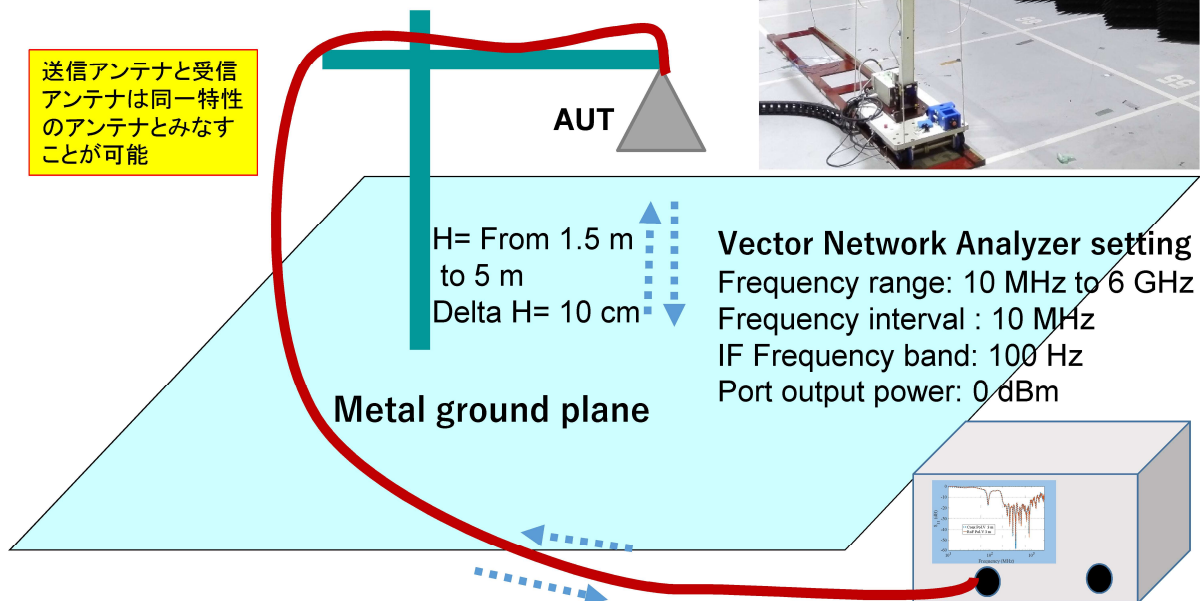
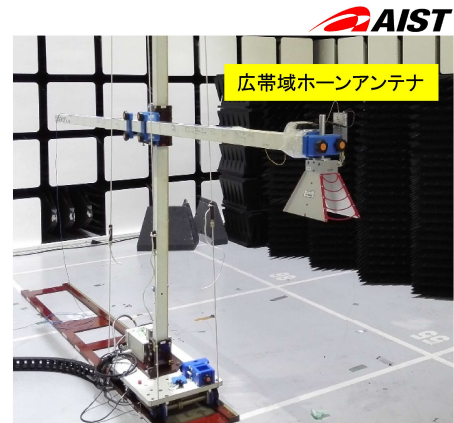


NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

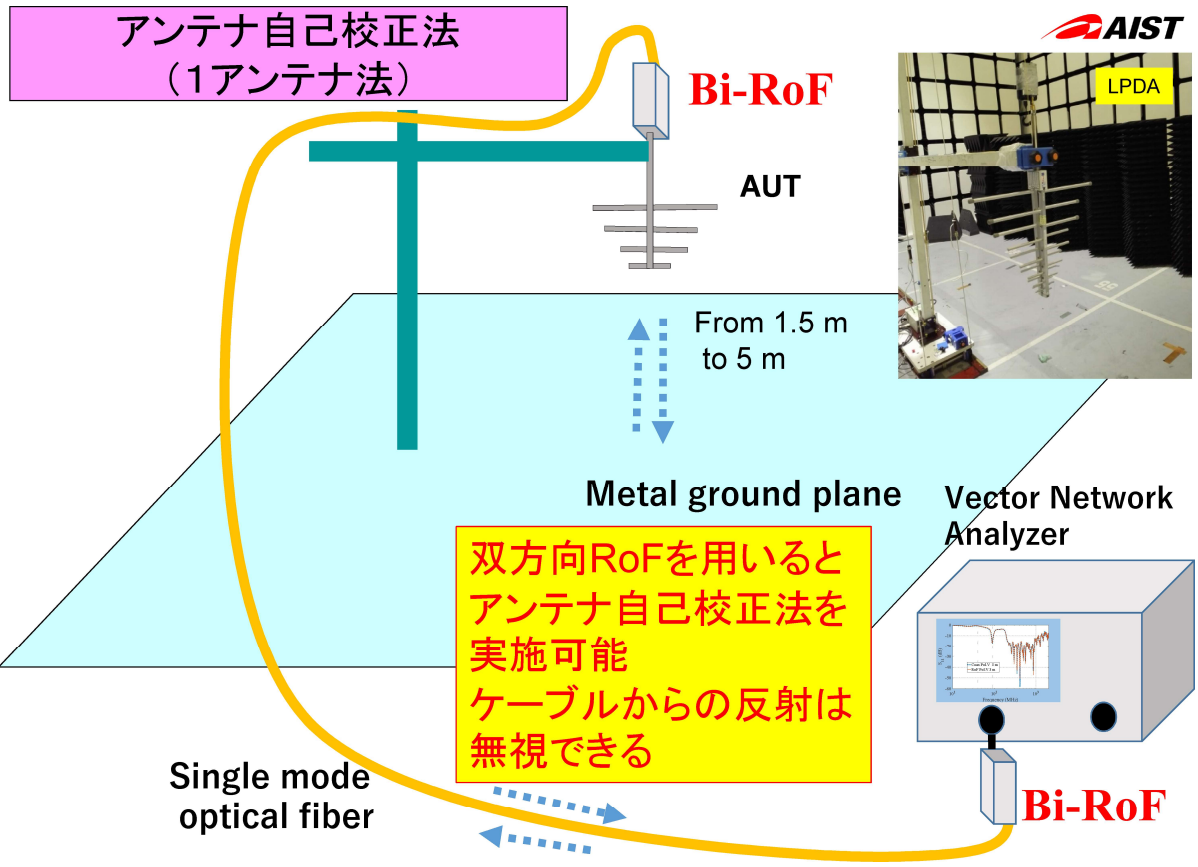
金属床を用いた アンテナ自己校正法セットアップ

- 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



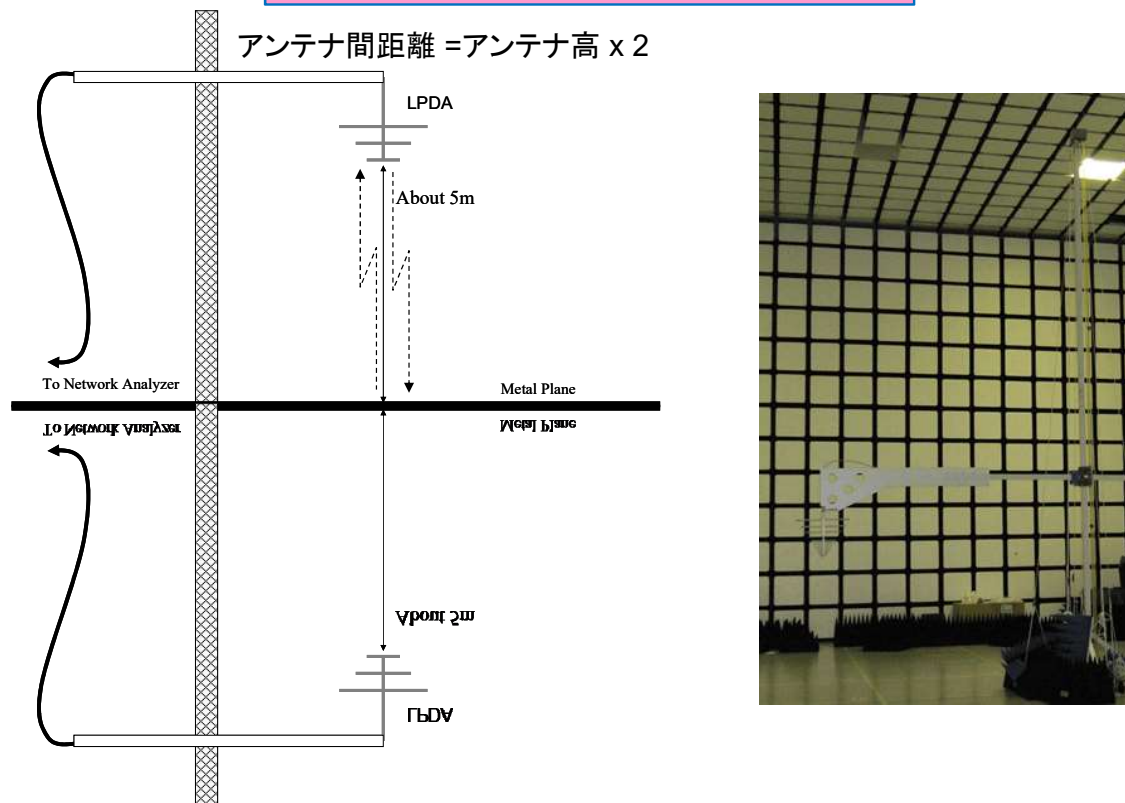
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

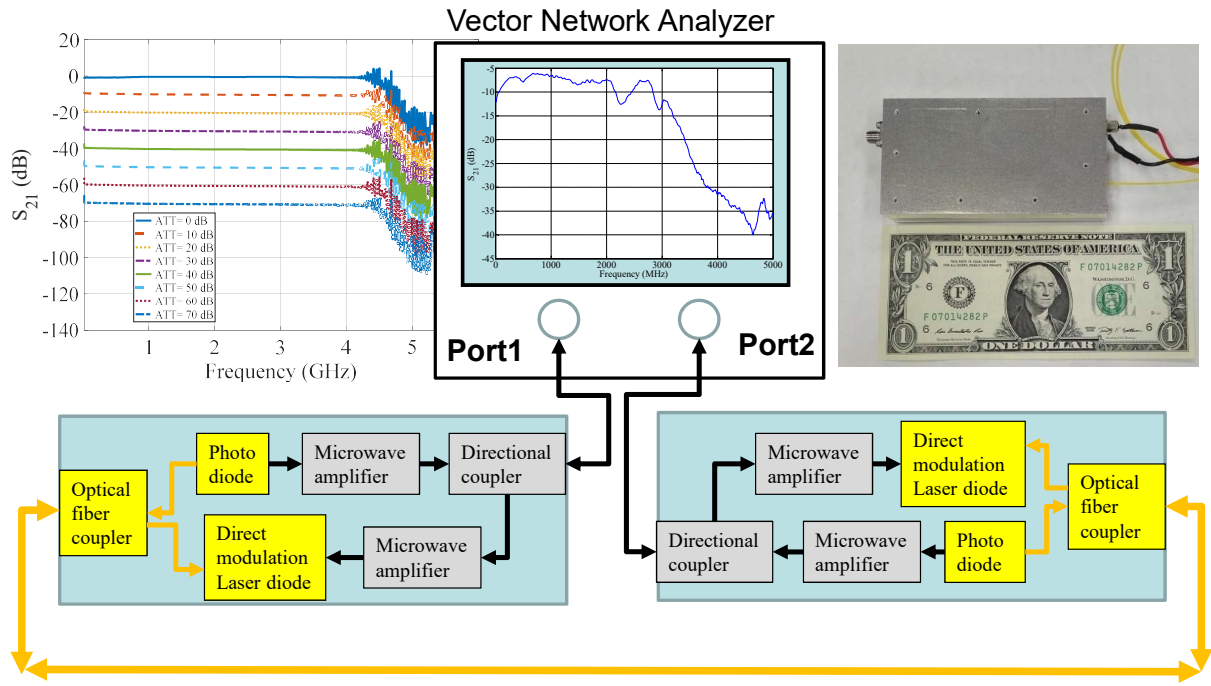
アンテナ自己校正法の原理

AIST
NATIONAL INSTITUTE OF
ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE
AND TECHNOLOGY (AIST)



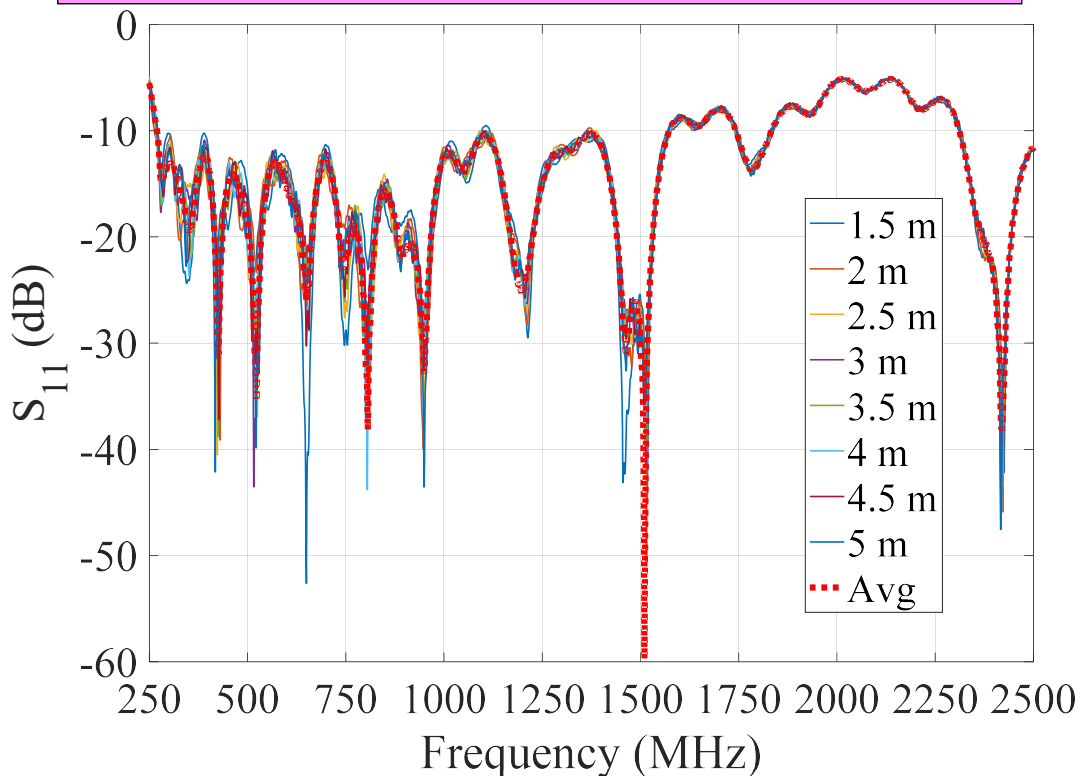
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

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)

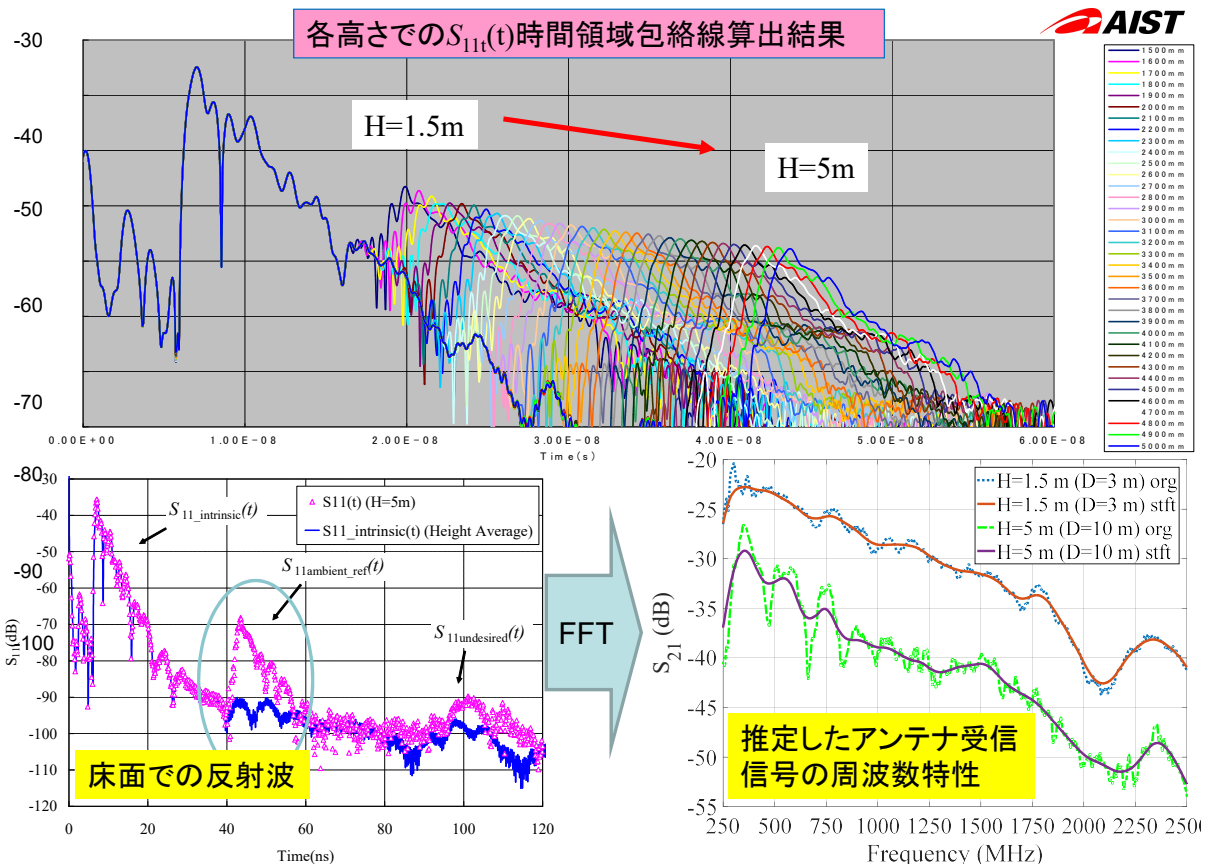


NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

$S_{11}(\omega)$ の各高さでの測定結果



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

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)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

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 $af_{t_far}(\omega), af_{r_far}(\omega)$ を用いて、(6)式と示すことができる。

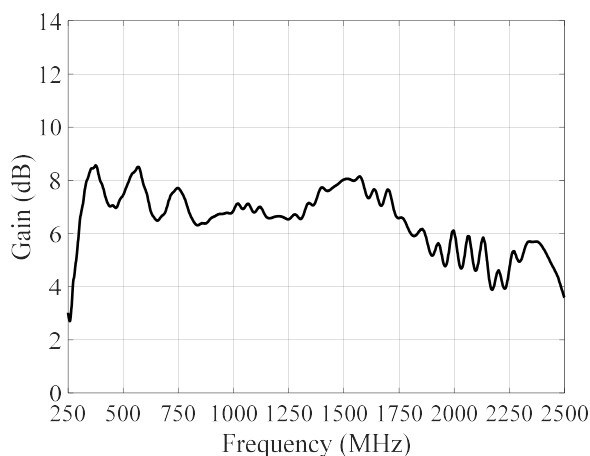
$$|s_{21}(\omega, z)| = \frac{\eta_0}{Z_0 \cdot \lambda} \frac{1}{af_{t_far}(\omega)} \frac{1}{af_{r_far}(\omega)} \frac{1}{z + d_t(\omega) + d_r(\omega)}$$

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。

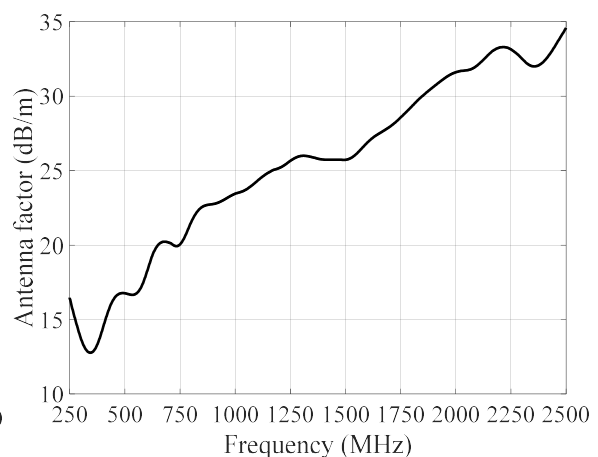
$$af_{t_far}(\omega) \cdot af_{r_far}(\omega) = \frac{\eta_0}{Z_0 \cdot \lambda} \left(\frac{1}{|s_{21}(\omega, z_1)|} - \frac{1}{|s_{21}(\omega, z_2)|} \right) \frac{1}{z_1 - z_2}$$

- [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

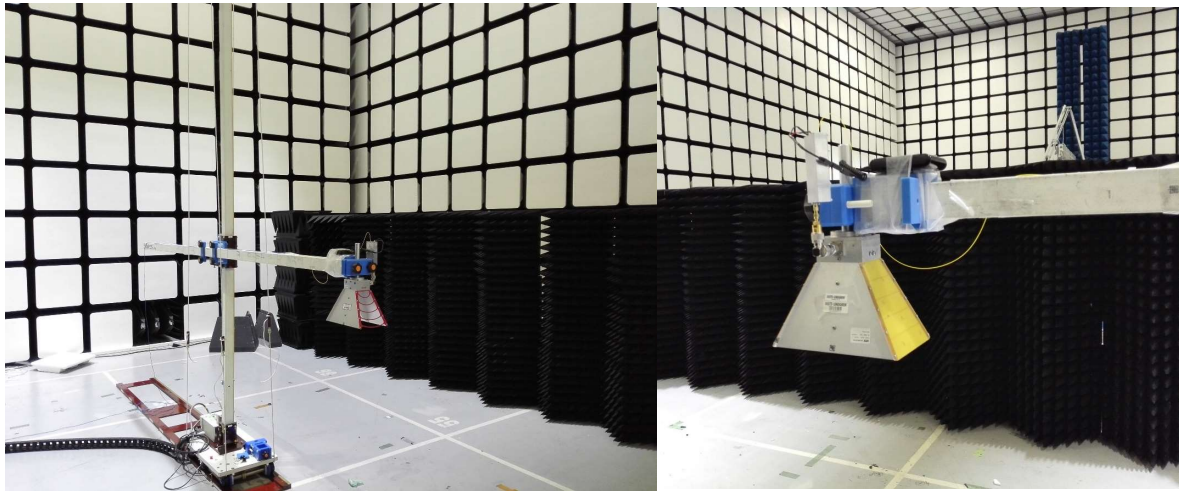


遠方界利得



遠方界アンテナ係数

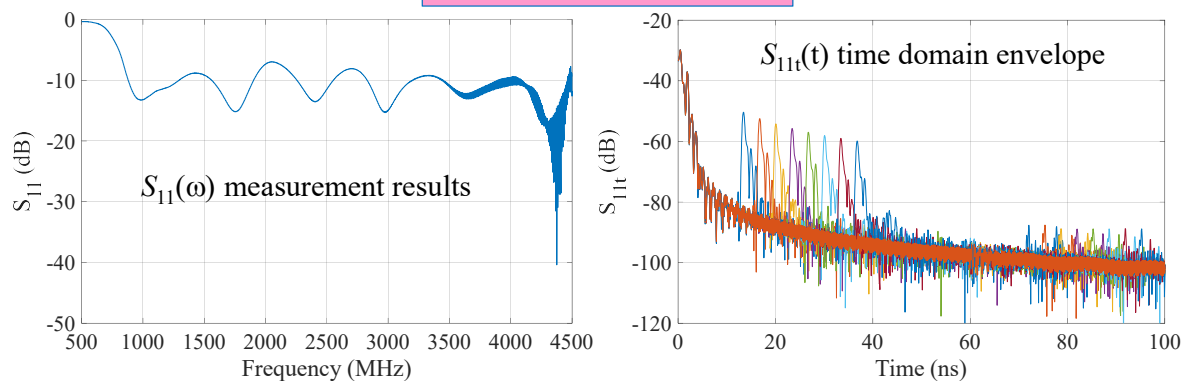
広帯域ホーンアンテナの場合のアンテナ自己校正法セットアップ



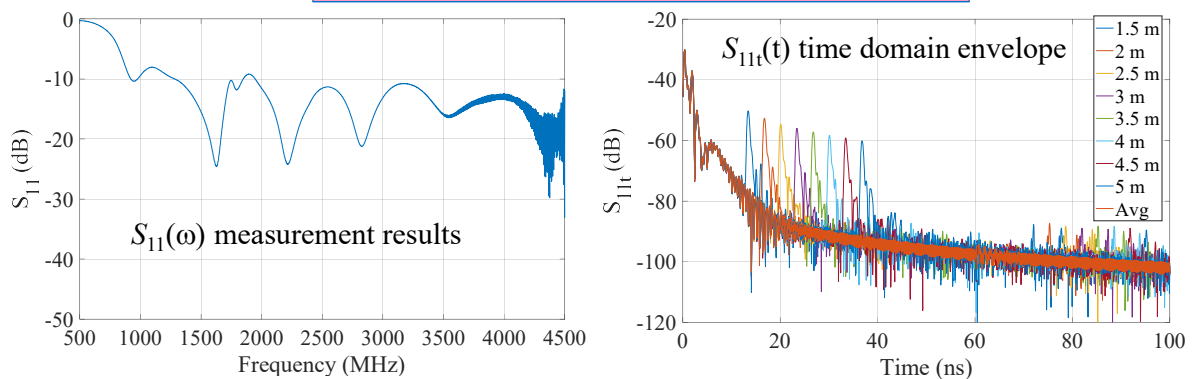
ETS 3115 new

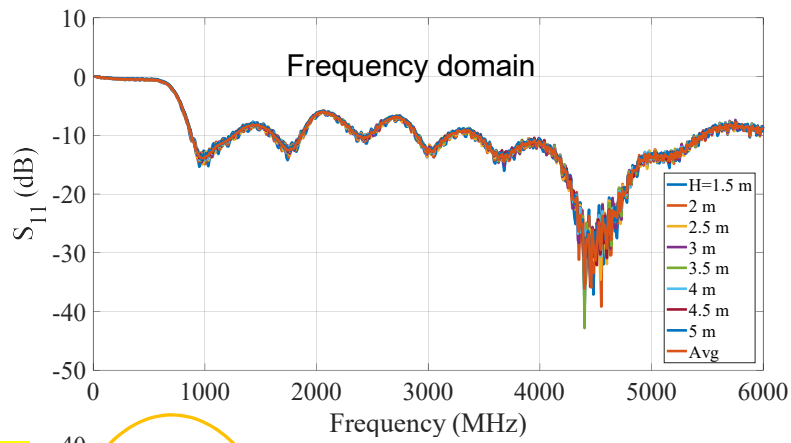
ETS 3115 old

ETS3115 (側面金属格子)

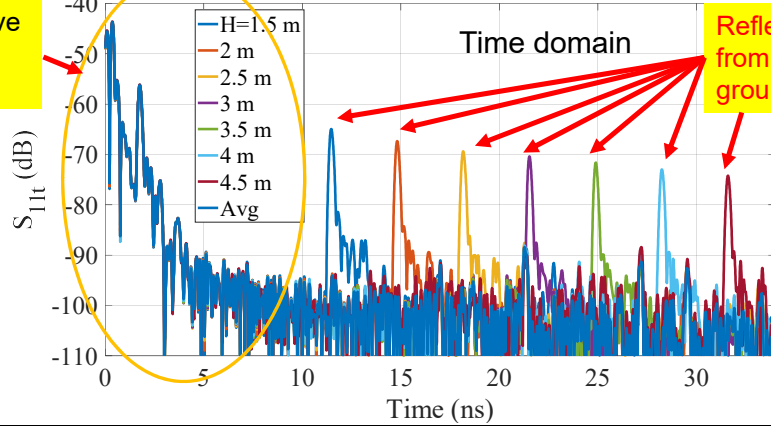


ETS3115 (側面プリント基板上的パターンメッシュ)



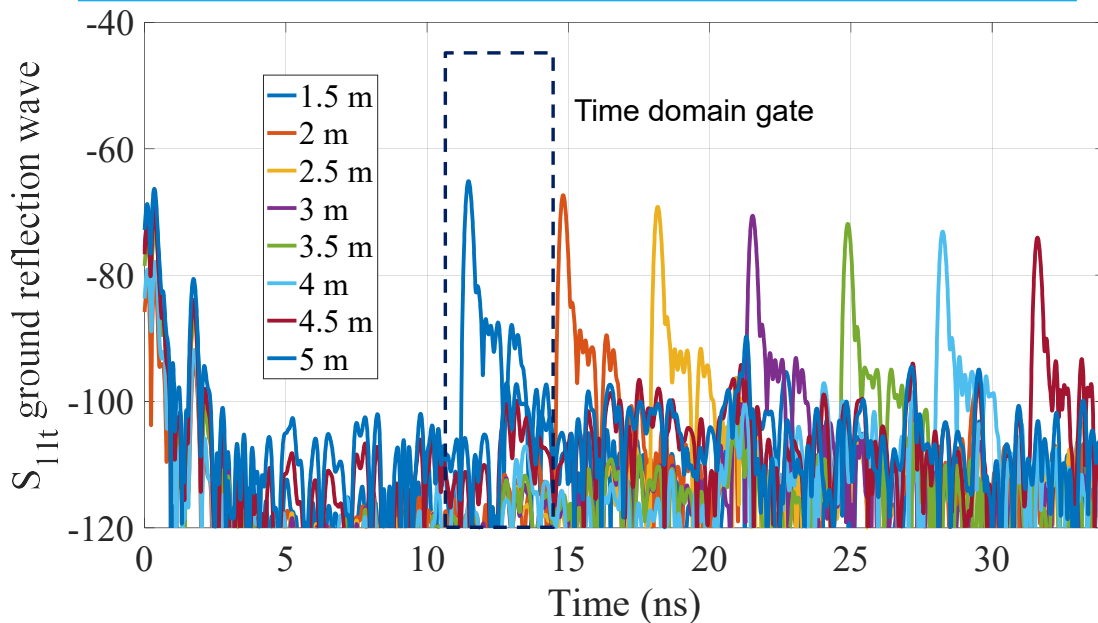


Reflection wave from antenna under test



Reflection wave from Metal ground plane

時間領域でのグランドプレーン反射波(直接伝搬波)算出

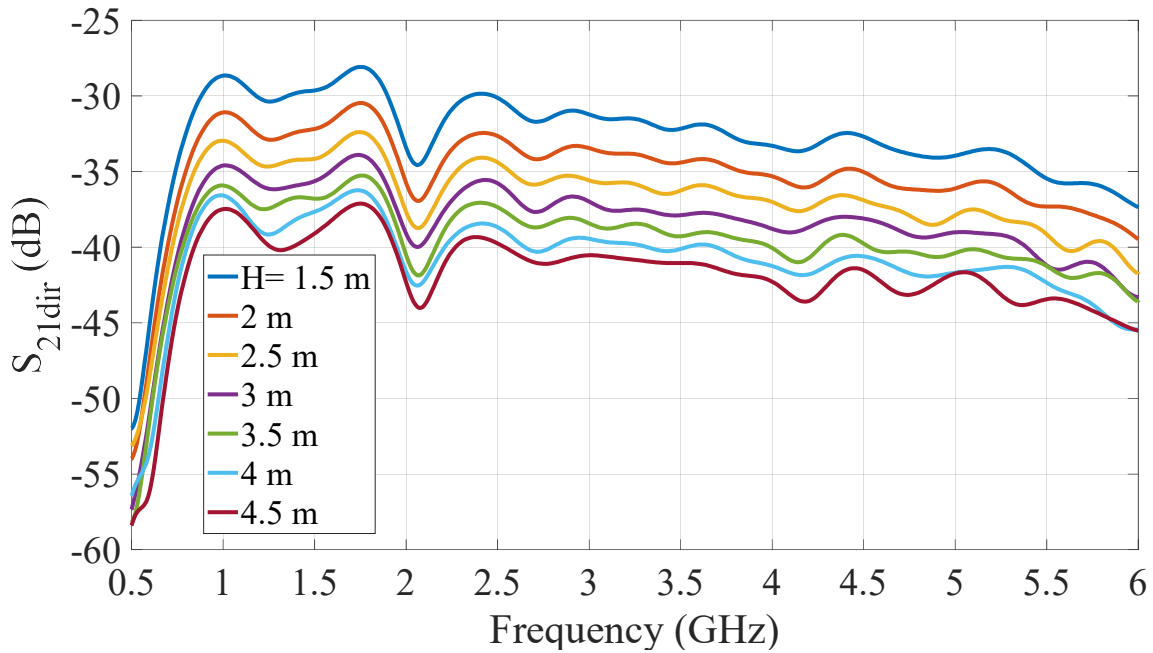


時間領域算出結果からアンテナそのものの反射波を時間領域で引き算

$$S_{11t_ground_ref}(t) = S_{11}(t) - S_{11t_intrinsic}(t)$$

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

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、

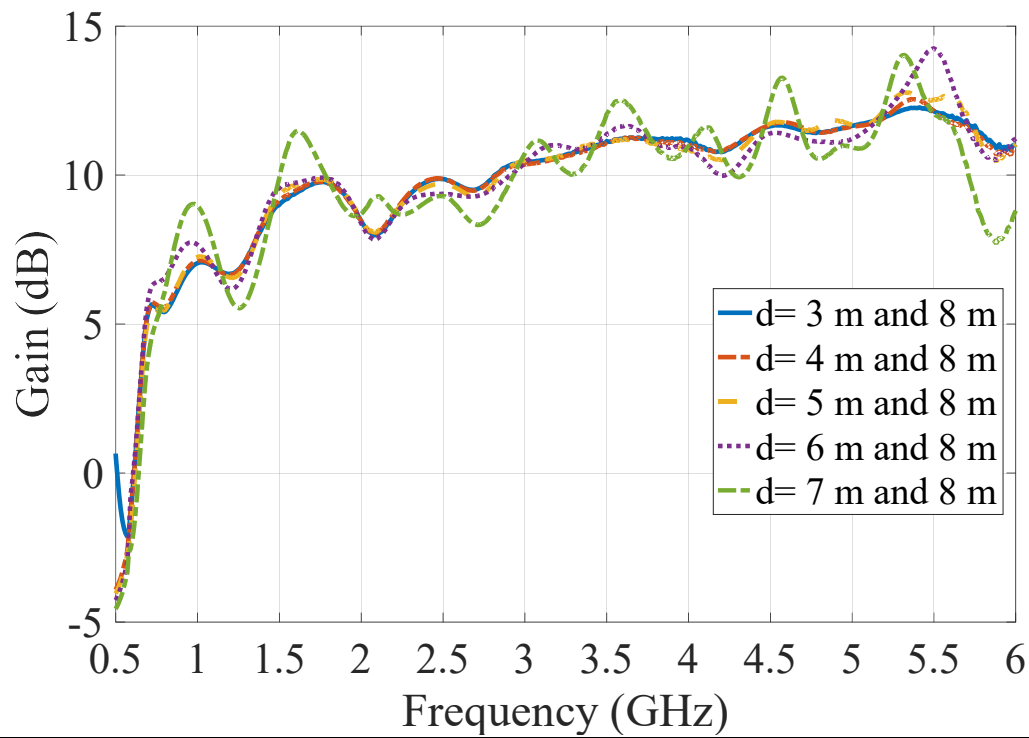
$g_{\infty 1}(\omega) = g_{\infty 2}(\omega) = g_{\infty}(\omega)$, $\Gamma_1(\omega, z) = \Gamma_2(\omega, z) = \Gamma(\omega, z)$, $d_1(\omega) = d_2(\omega) = d(\omega)$
として次式を得る

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

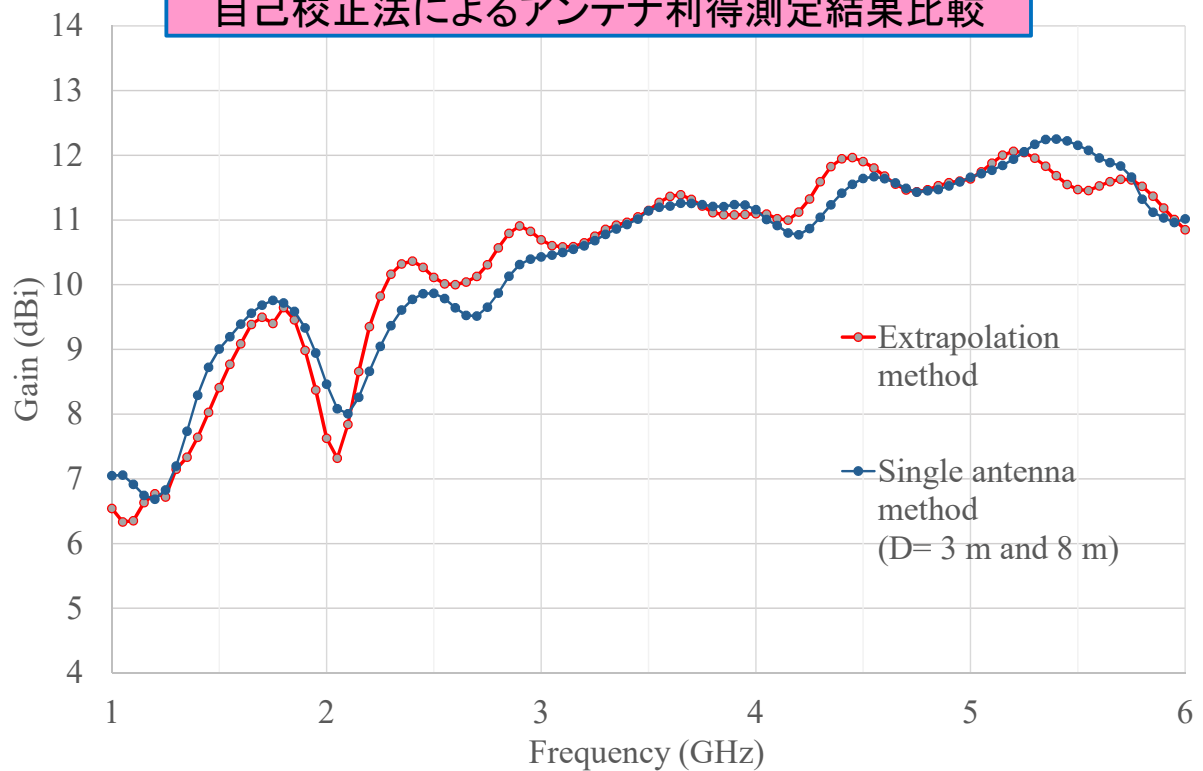
$$d(\omega) = \frac{1}{2} \frac{z_2 |s_{21}(\omega, z_2)| - z_1 |s_{21}(\omega, z_1)|}{|s_{21}(\omega, z_1)| - |s_{21}(\omega, z_2)|} \quad (3)$$

- [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)

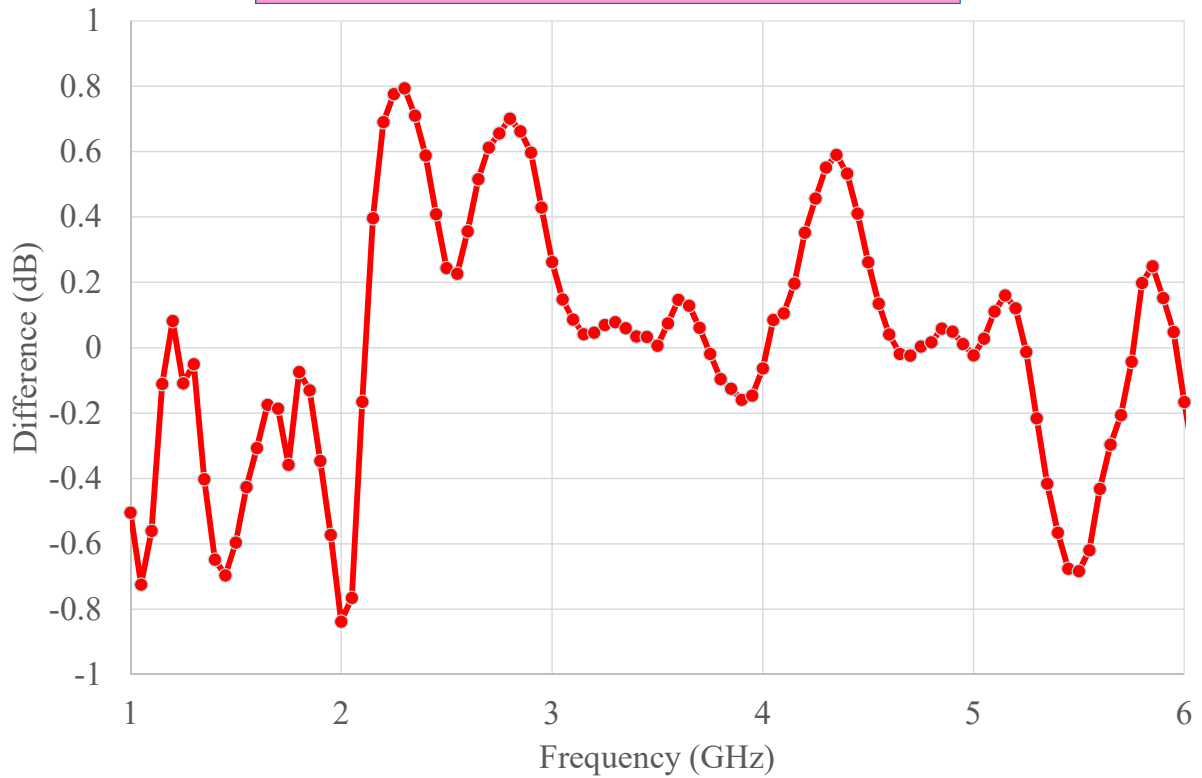
アンテナ利得算出結果



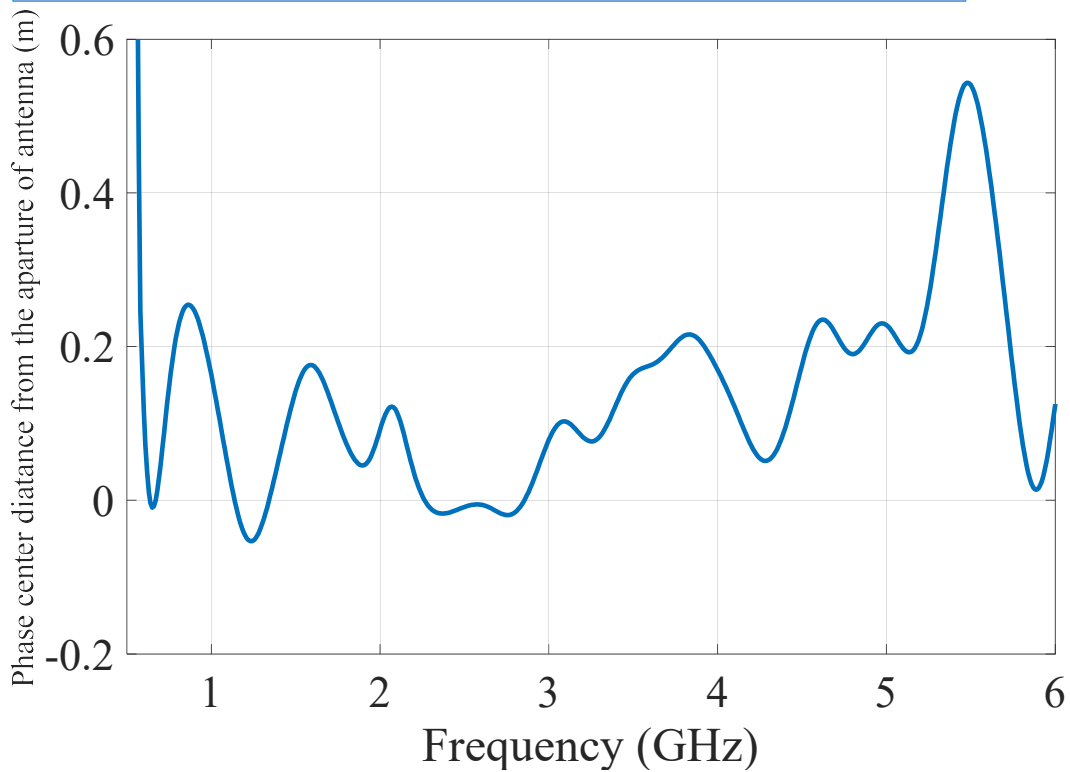
3アンテナ外挿法によるアンテナ利得測定結果と自己校正法によるアンテナ利得測定結果比較



アンテナ利得測定結果の差

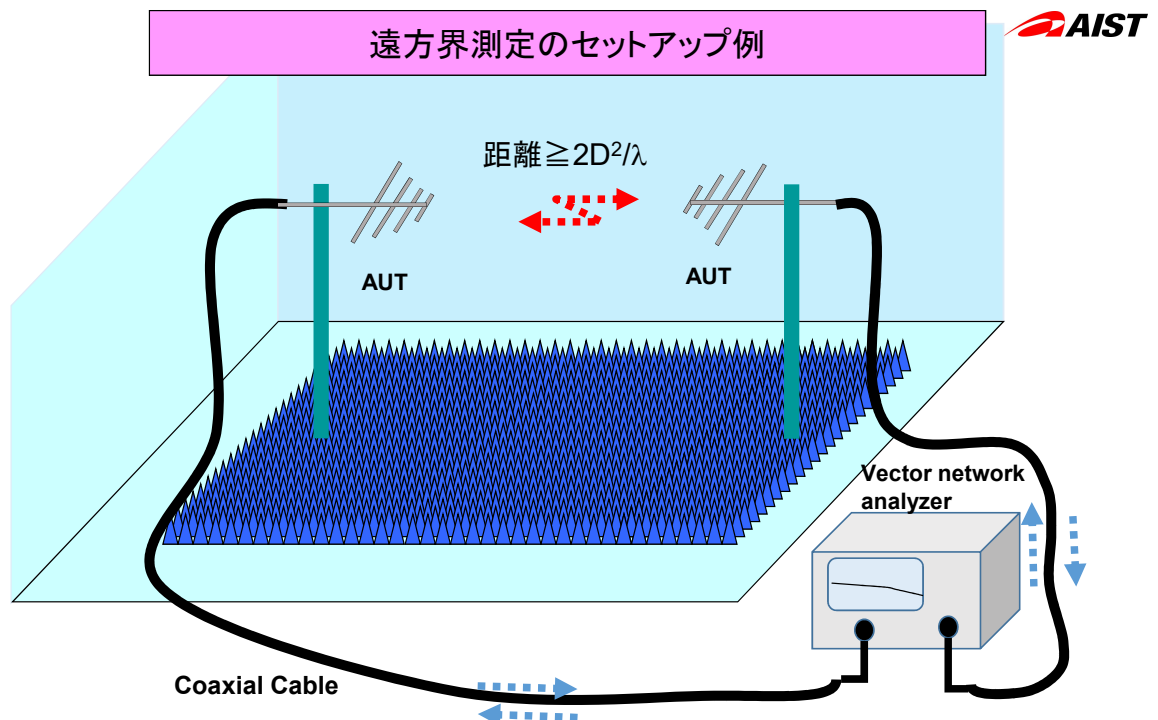


リッジガイドホーンアンテナの開口面からの位相中心までの距離 ($H=1.5\text{m}$ ($D=3\text{m}$)と 4m ($D=8\text{m}$)の測定結果を利用)



光ファイバリンクを用いたアンテナ測定 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 ～ とEMI測定用アンテナの特性測定

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



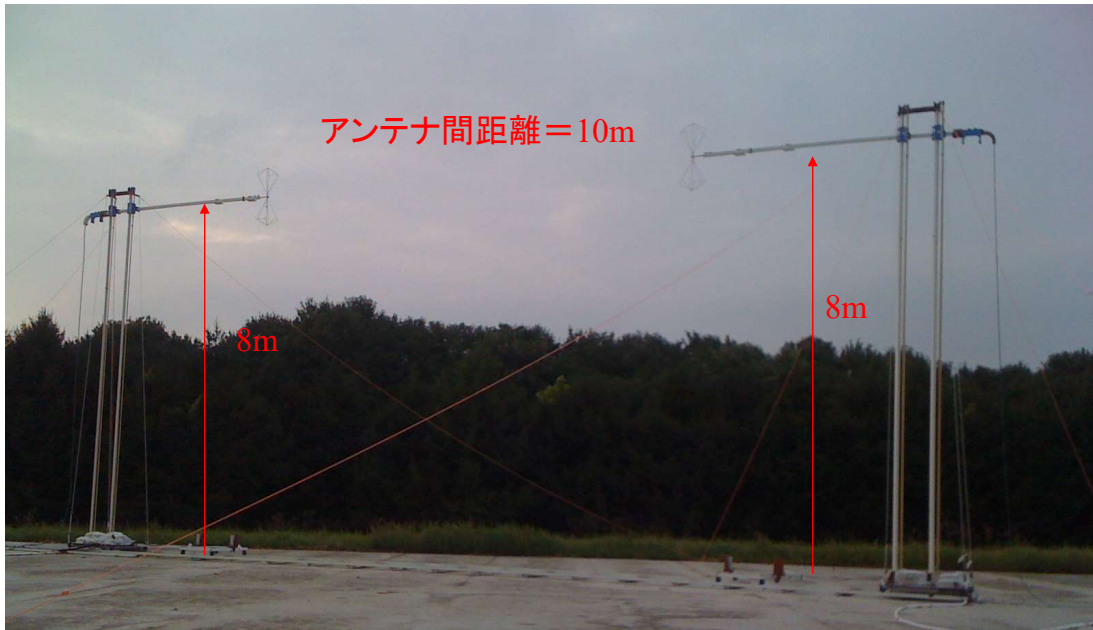
オープンサイトの測定が多く行われる
同軸ケーブル長は、100mを超えること
も



周波数が高くなるほど信号減衰が増加
同軸ケーブルは使用前に特性劣化確
認必須

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

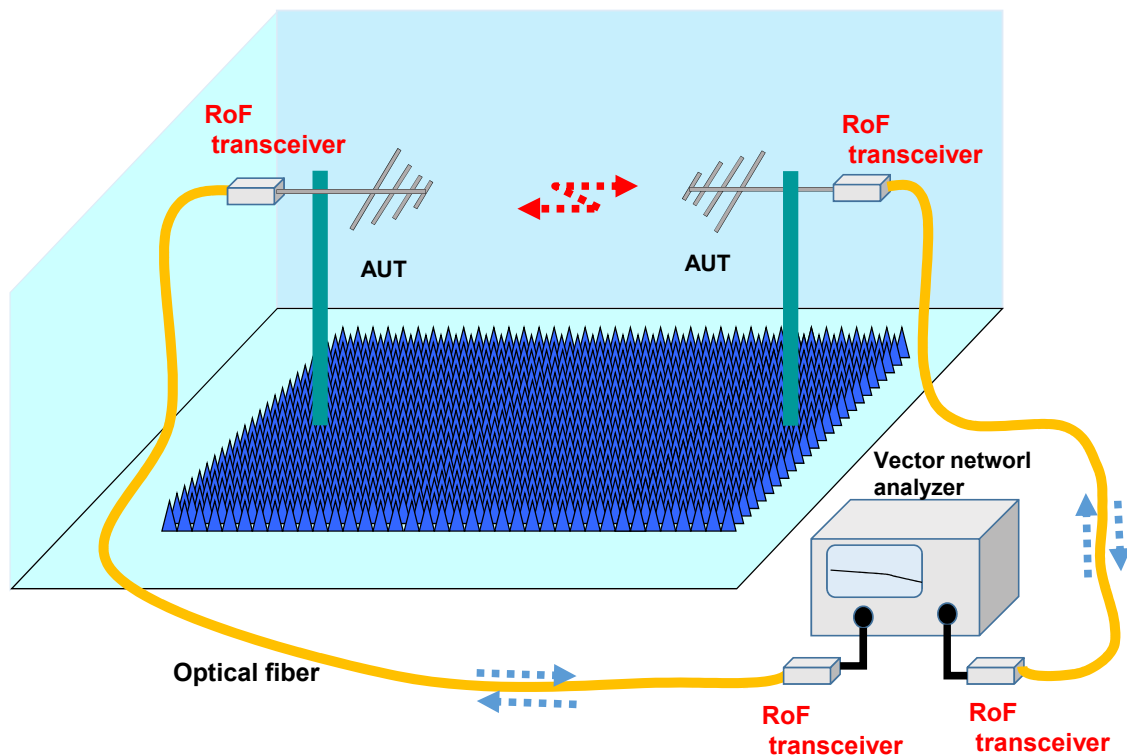
アンテナのオープンサイトでの測定風景



同軸ケーブル長と信号減衰を測定周波数毎に吟味して測定を実施しなければならない。
高品質の同軸ケーブルは、1万円/m以上

光ファイバは安価
しかし、RoFモジュール特性の屋外環境による変化が懸念事項

光技術(光ファイバリンク)を用いたアンテナ測定



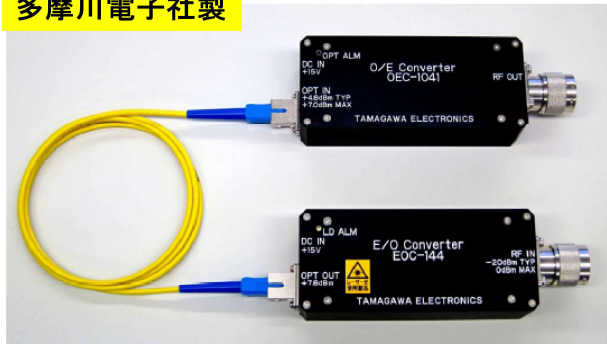
PEM研究会メンバー企業の 光ファイバリンク(Radio over Fiber link)モジュール



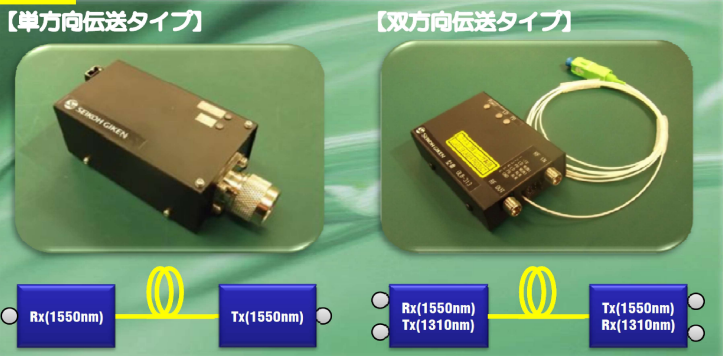
スタック電子社製



多摩川電子社製



精工技研社製

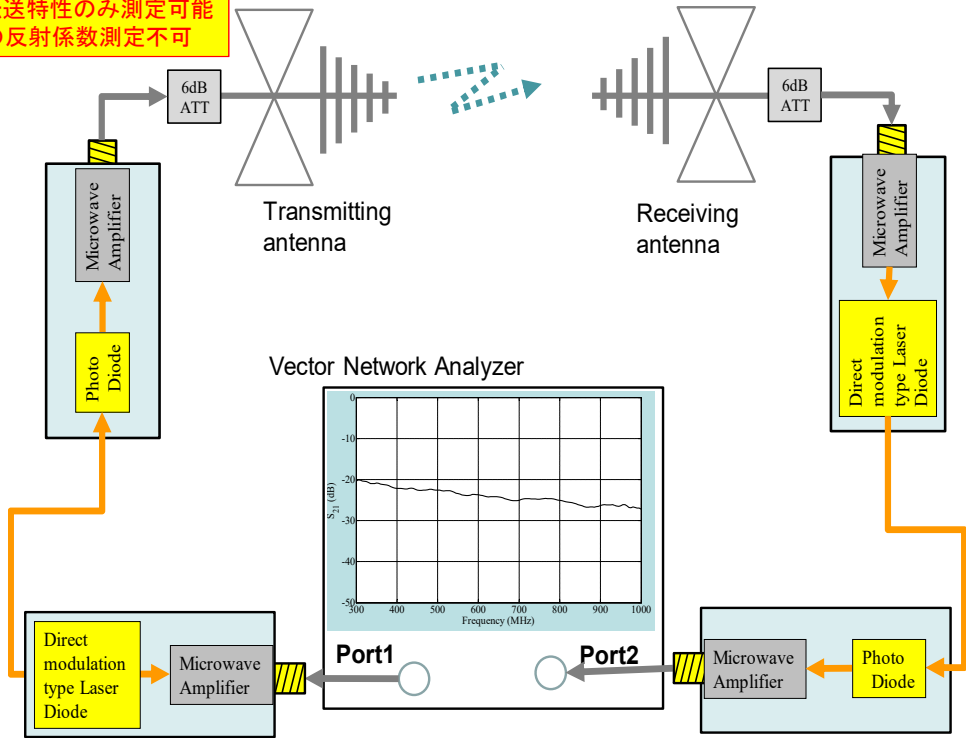


NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIIST)

単方向伝送RoFリンクを用いたアンテナ測定の概念図 TX:RoF module and Rx:RoF module



問題点: 伝送特性のみ測定可能
アンテナの反射係数測定不可



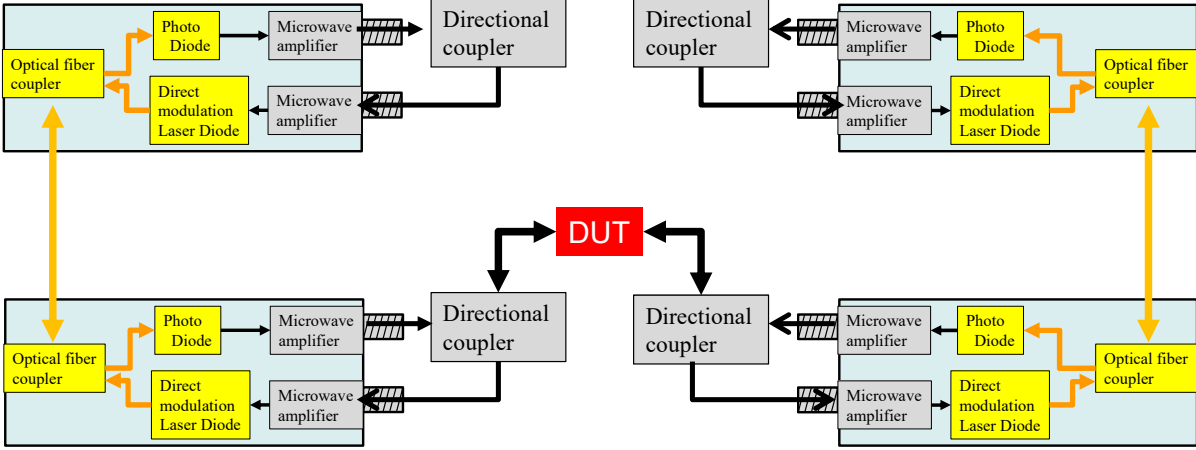
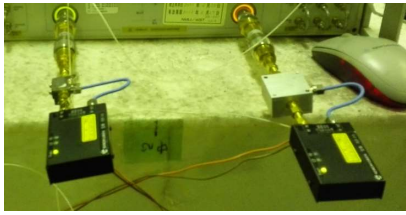
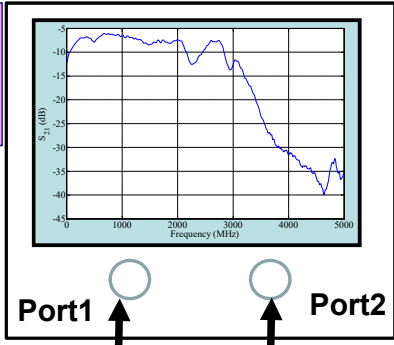
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIIST)

Vector Network Analyzer



双方向性RoFトランシーバとVNAを用いた測定システム

VNAのフル2ポート校正後のS-パラメータ(S11, S21, S12, S22)のベクトル測定が可能

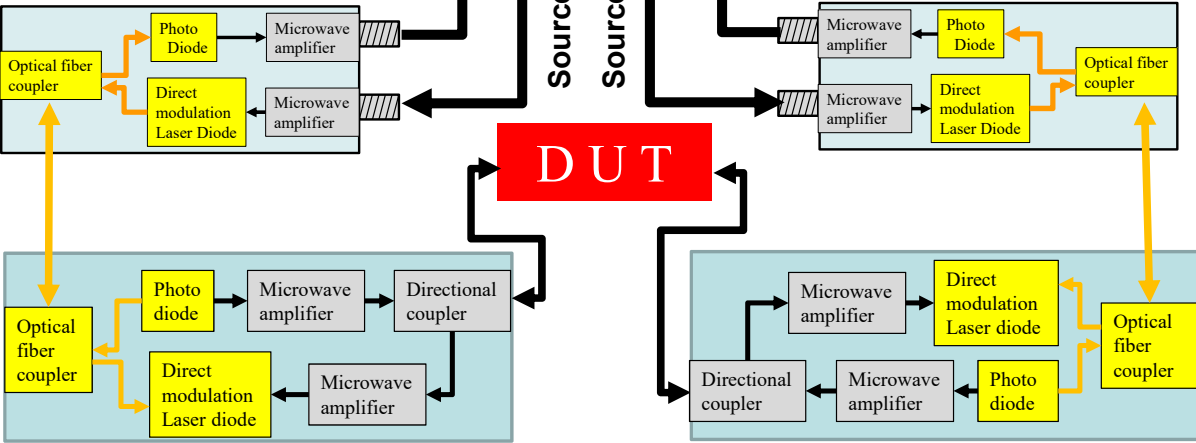
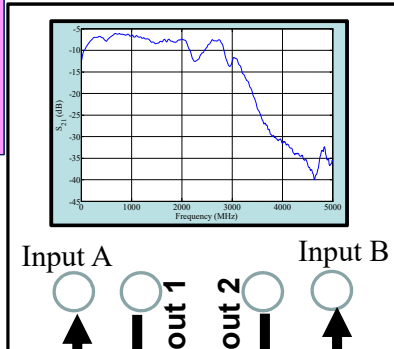


Vector Network Analyzer



VNAのダイレクトアクセスポートを用いたシステム

ダイレクトアクセスポートを用いて最低受信レベルを20dB程度拡大



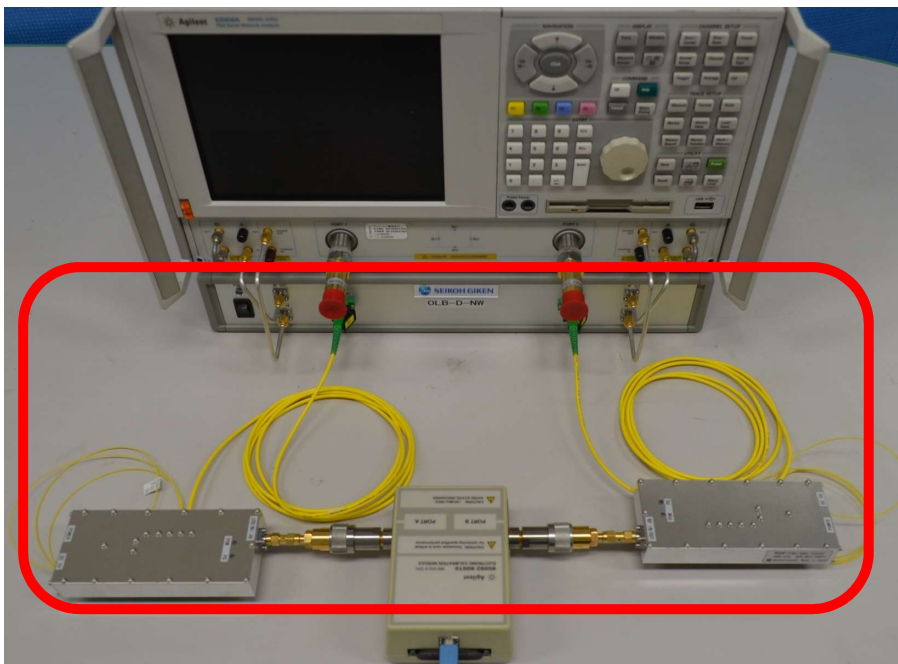
提案システムの概要



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



市販モデル (100万円程度(?))

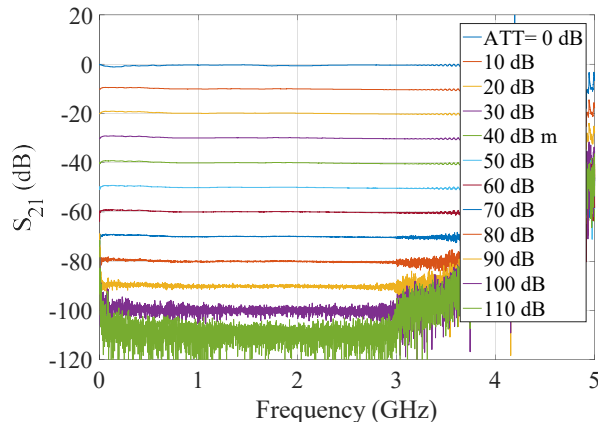


Dynamic range: > 90 dB, 20MHz to 3 GHz, DC 5V battery operation

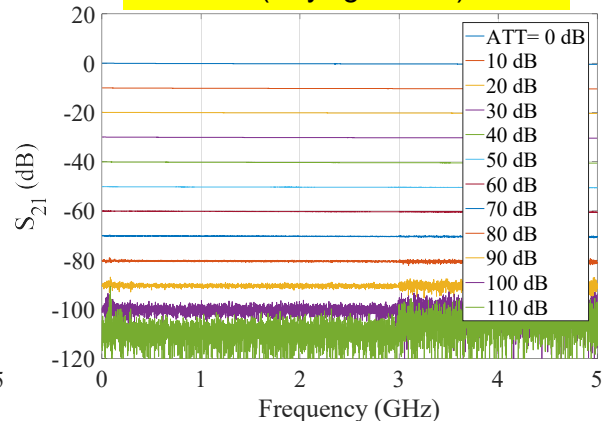
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

同軸ケーブル+VNAと光ポート延長装置+VNAの
ダイナミックレンジ比較

Optical fiber link with VNA(Keysight PNA)

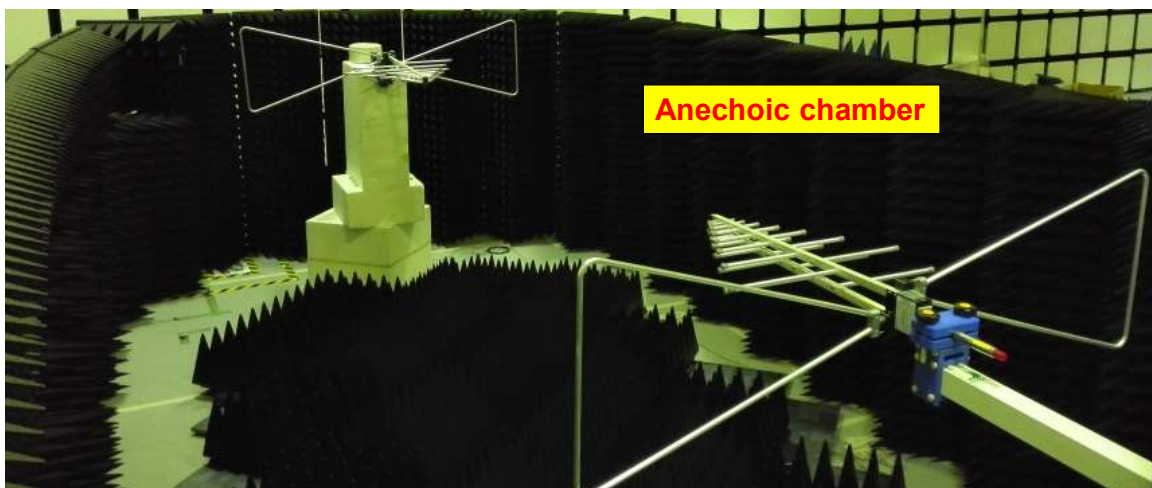


Coaxial cable 30 cm + 30 cm
with VNA(Keysight PNA)



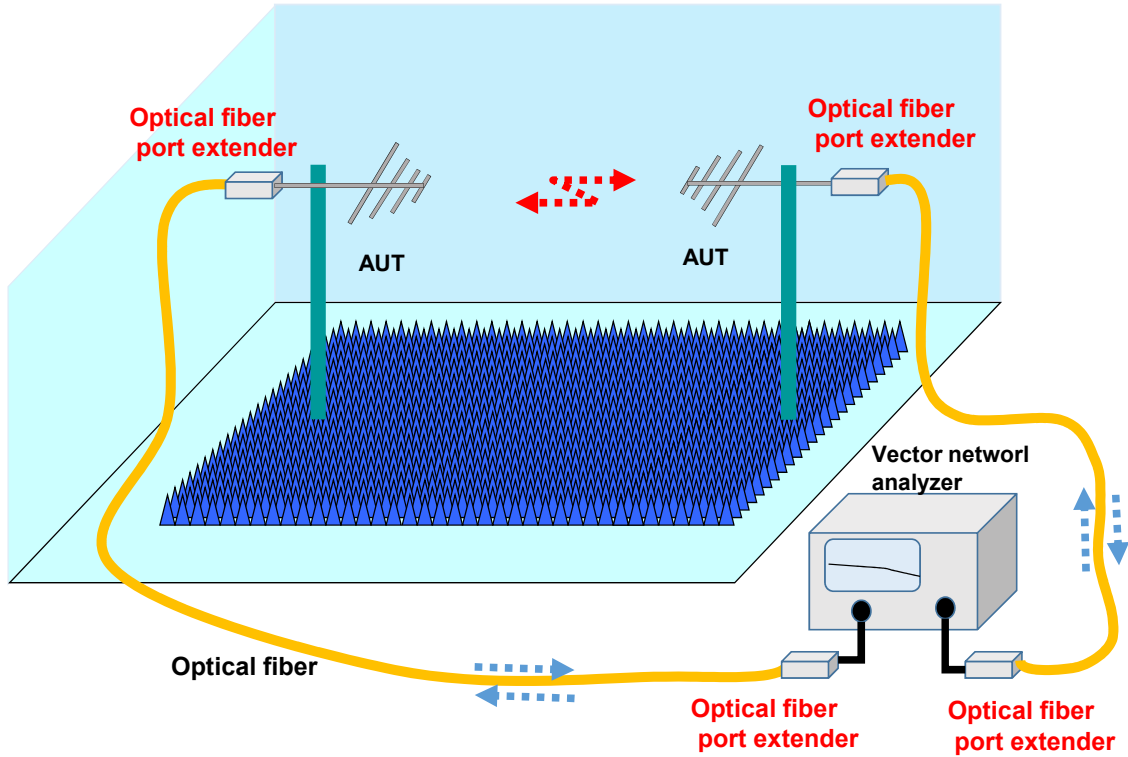
Dynamic range: >100 dB, 20MHz to 3 GHz

電波暗室内での測定結果比較
同軸ケーブルでの反射波評価(?)

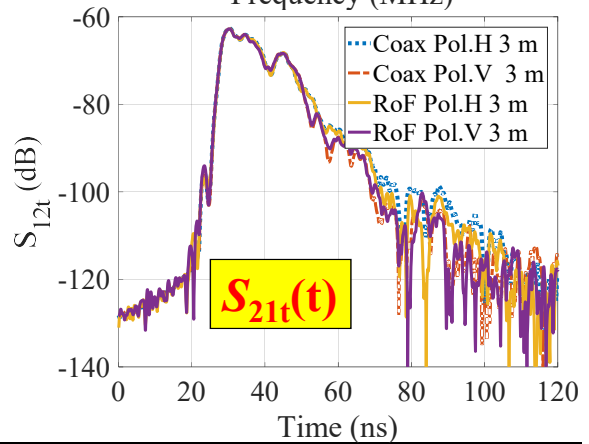
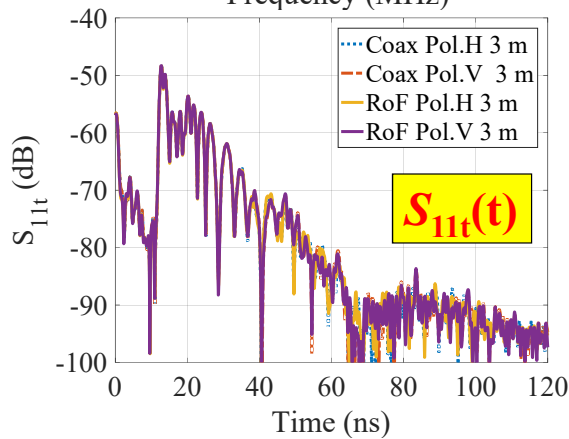
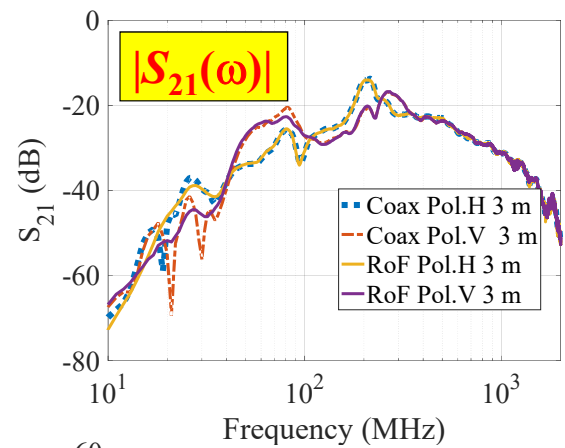
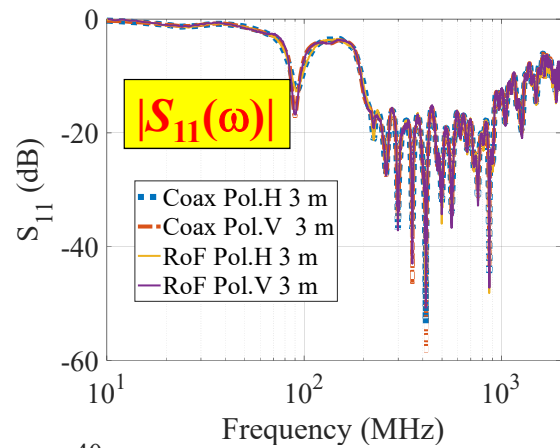


LPDA + Bow-tie element antenna (27 MHz to 1 GHz)
Antenna distance = 3 m,
Antenna height = 1.5 m

双方向性光ファイバリンクを用いたアンテナ測定

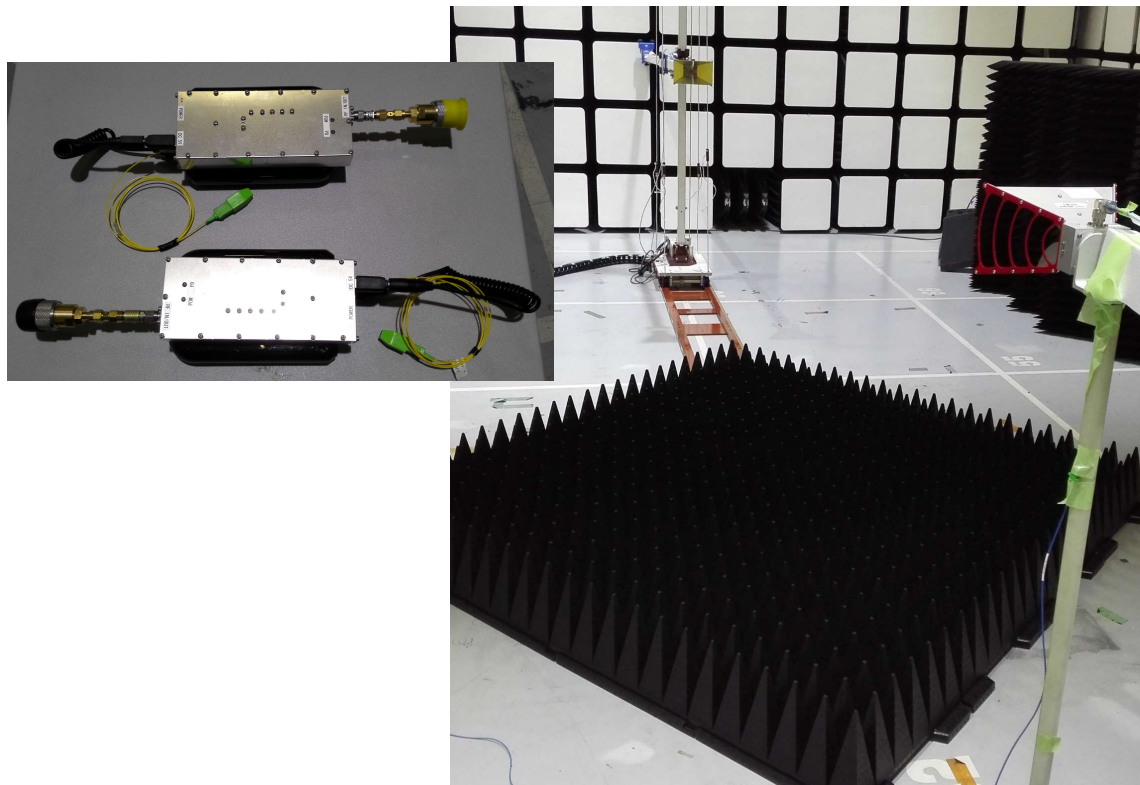
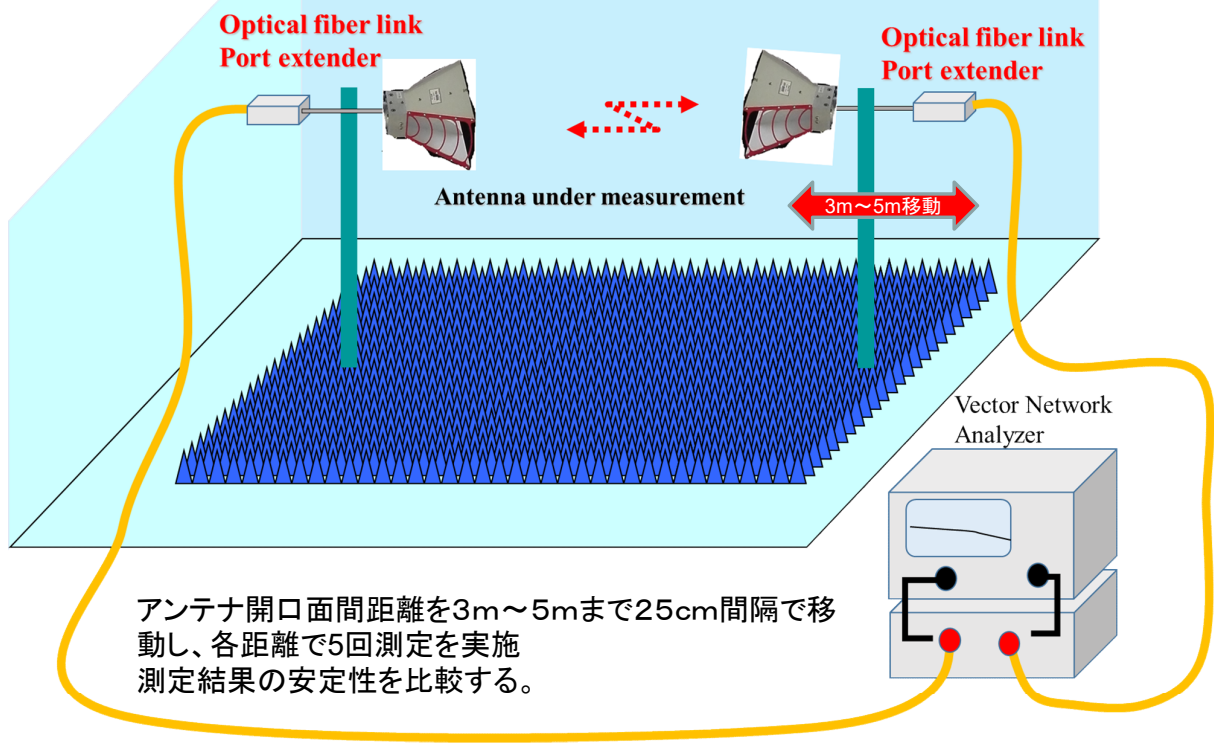


NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



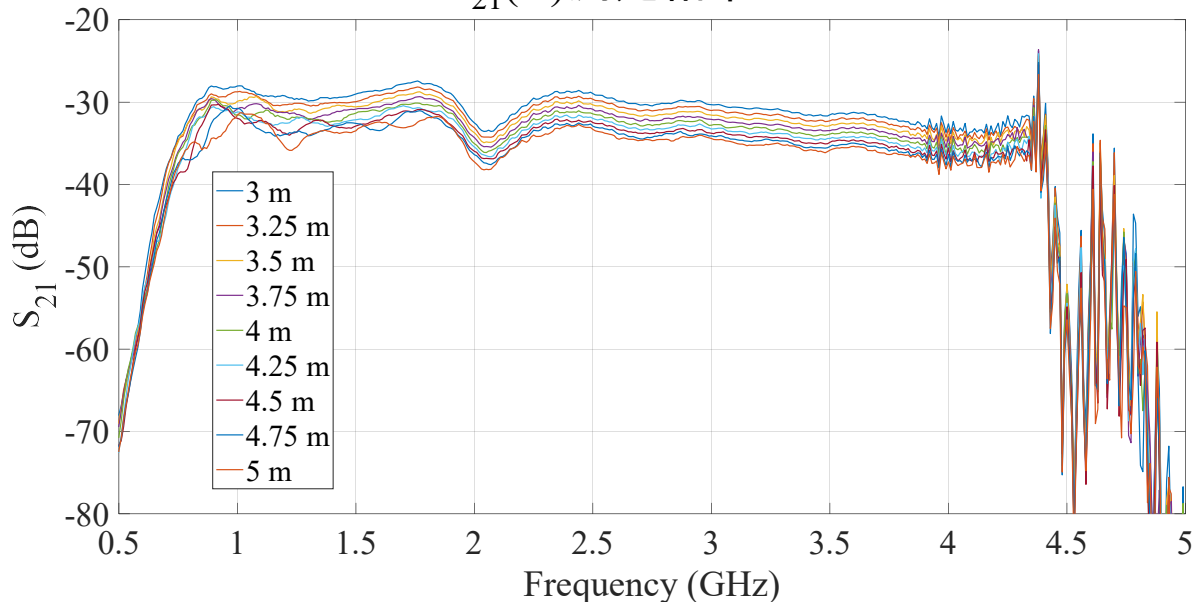
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

広帯域ホーンアンテナ測定実験概念図

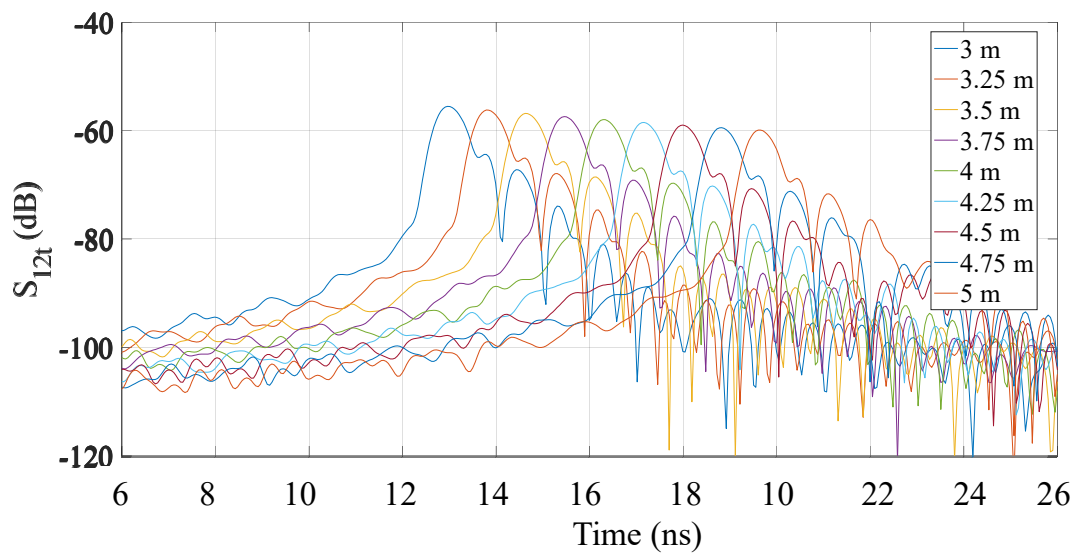


提案光システムの測定結果概要

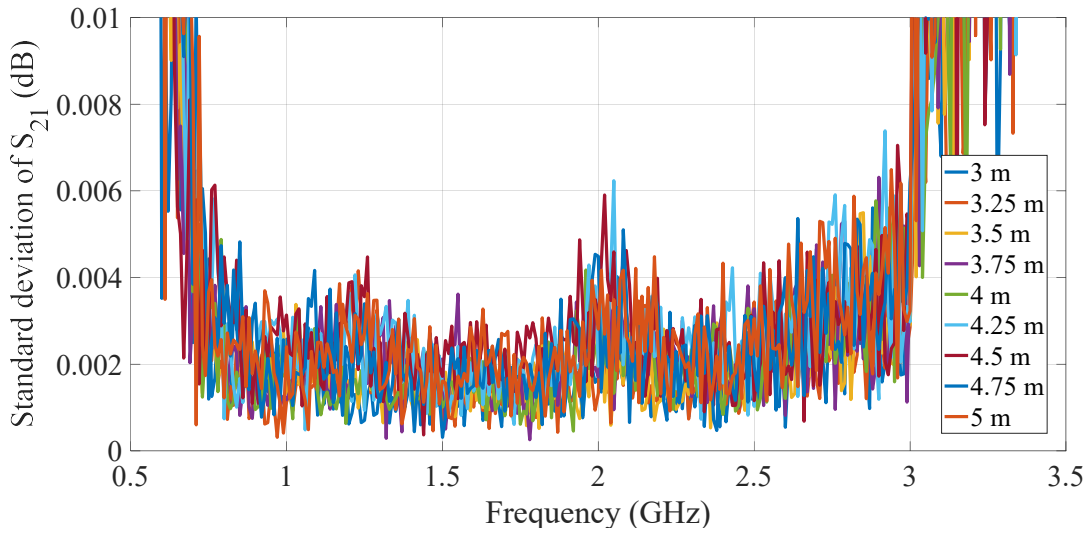
$S_{21}(\omega)$ 測定結果



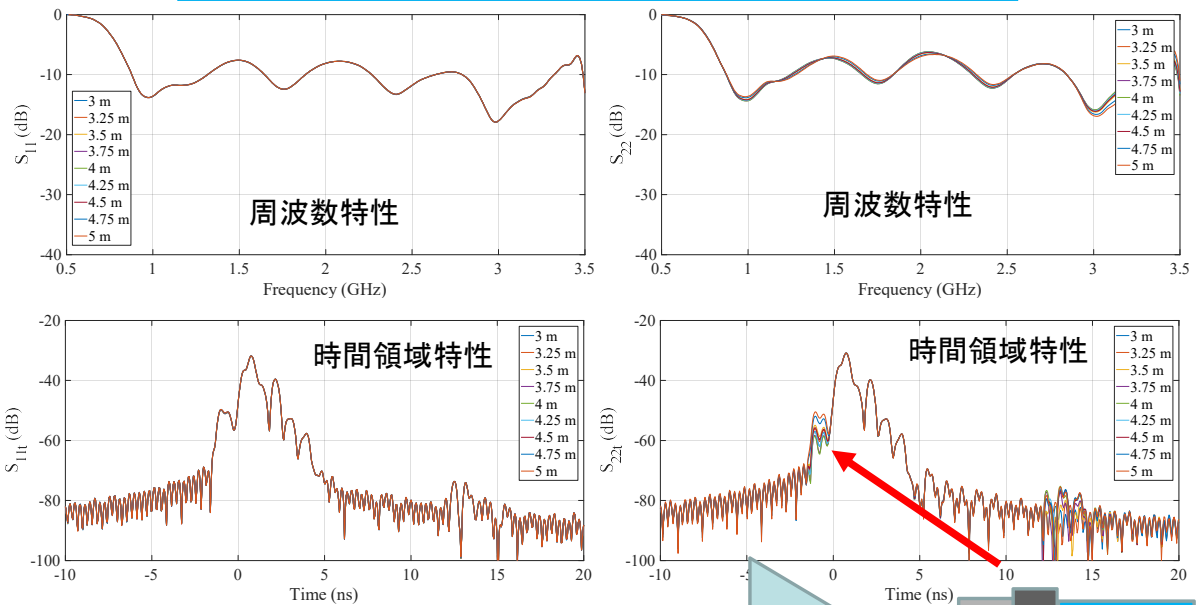
$S_{12t}(t)$ 算出結果



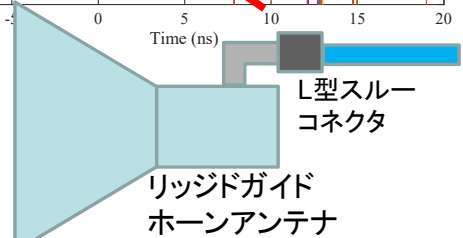
$S_{21}(\omega)$ 短時間安定性評価結果 (各距離での5回測定の結果の標準偏差)

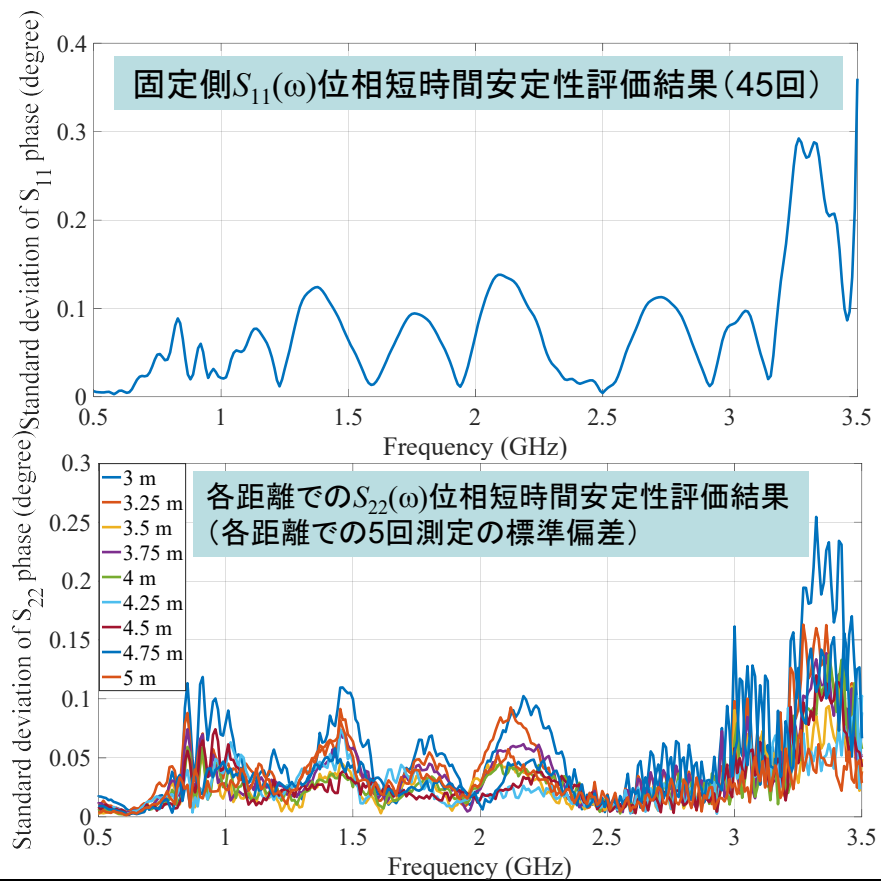
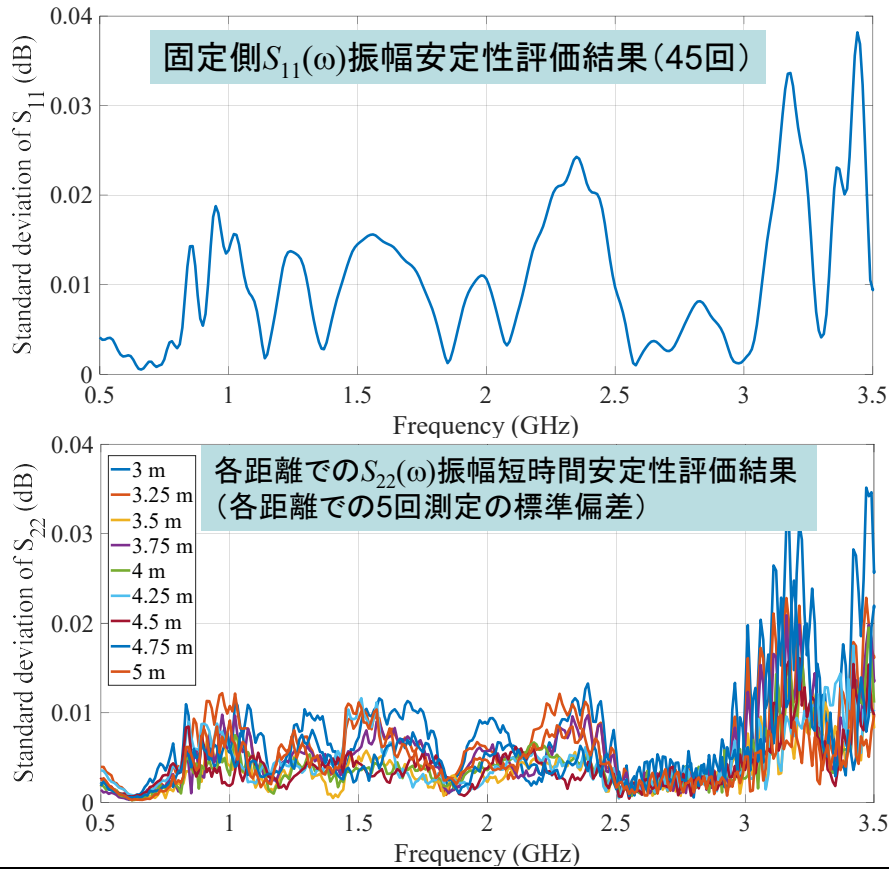


S_{11} (固定側), S_{22} (移動側)測定結果



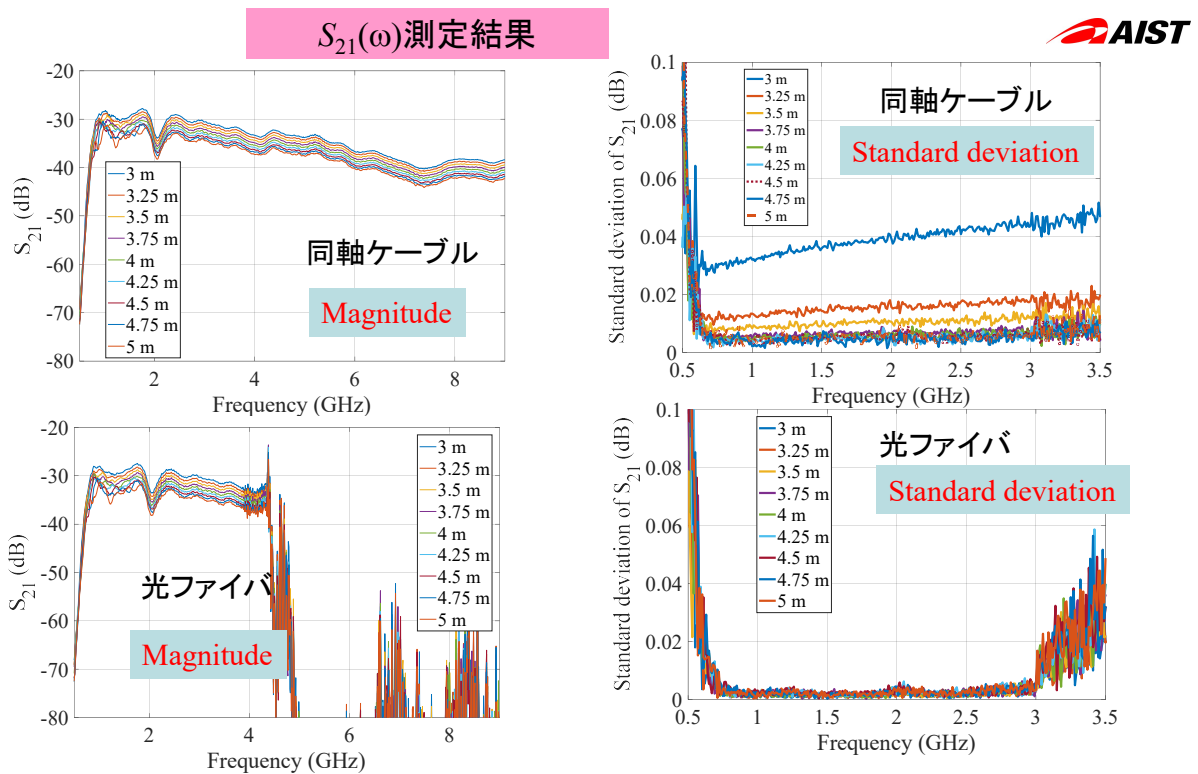
移動側の反射係数測定結果は、コネクタ接続端の反射が移動することで変化している。
→振動によるコネクタの揺れが原因(?)





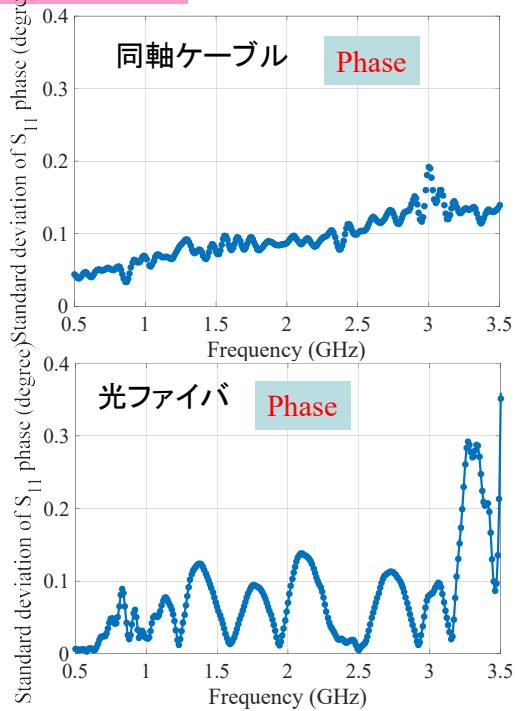
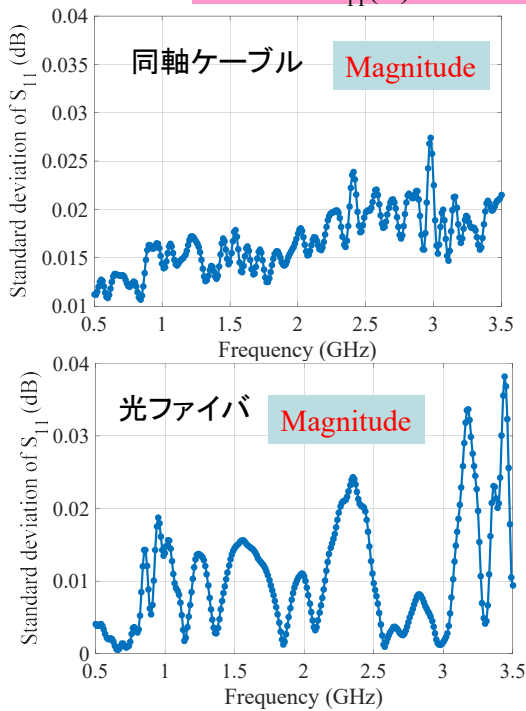
同軸ケーブル (ポート1側10m、ポート2側10m) と 光ファイバケーブル (ポート1側20m、ポート2側20m) の測定結果比較

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



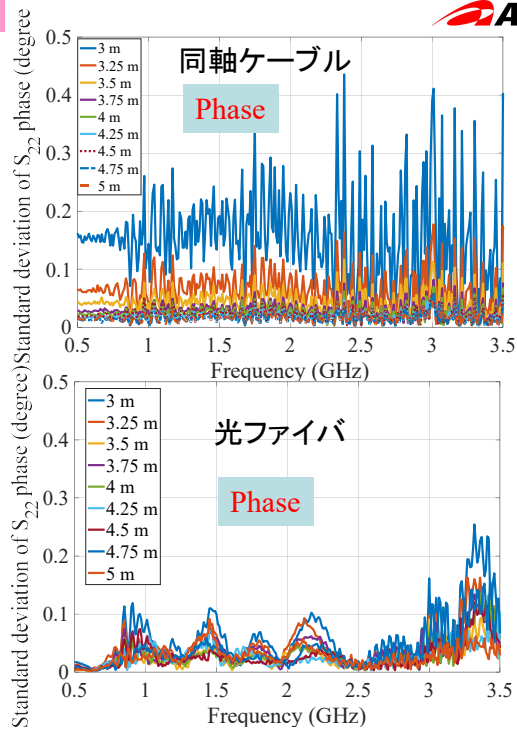
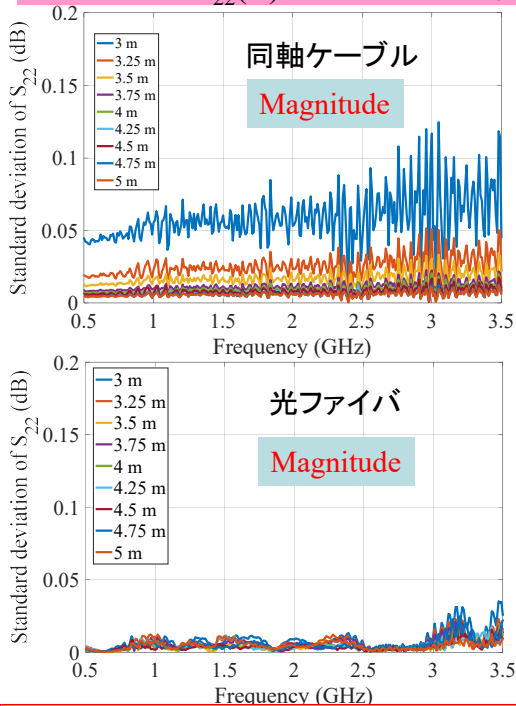
同軸システム: 標準偏差0.05dB以下、アンテナ間距離が遠いほど安定→ 原因は?
光システム: 標準偏差0.01dB以下、安定性はアンテナ間距離にあまり関係しない

固定側 $S_{11}(\omega)$ 安定性評価結果(45回)



同軸システムと光システムの安定性に差はあまりみられない

移動側 $S_{22}(\omega)$ 安定性評価結果

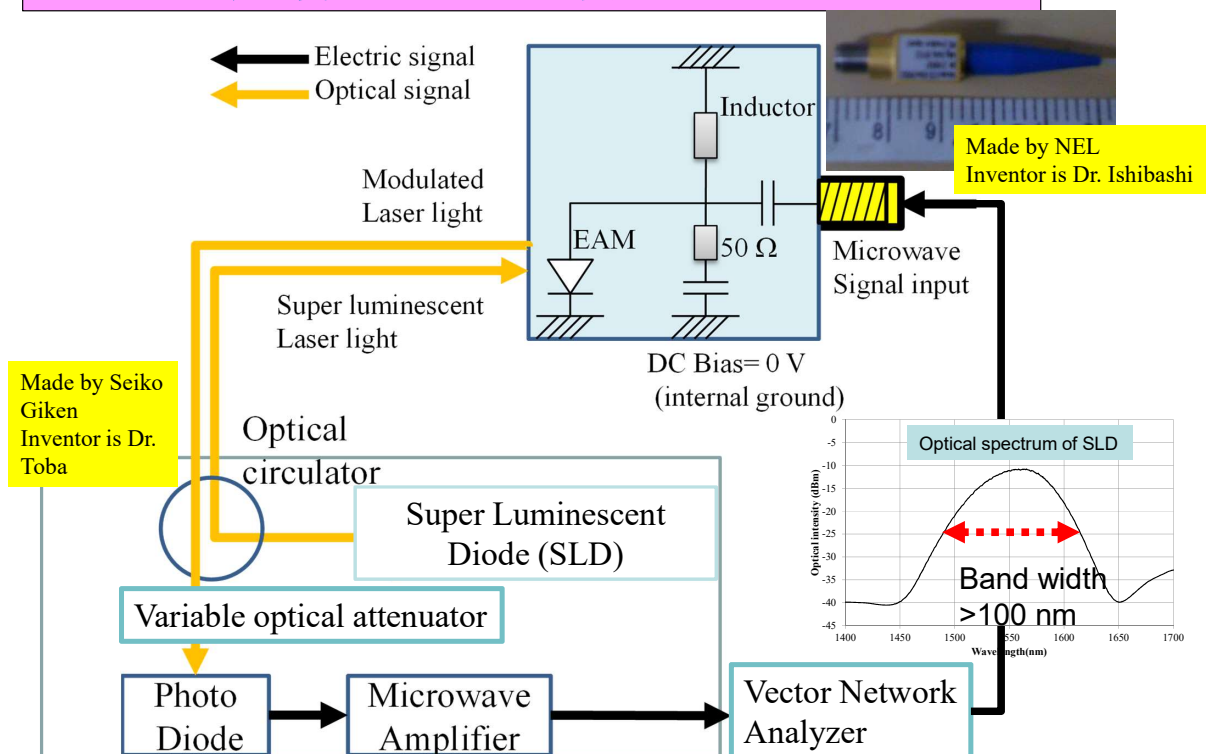


同軸システム: 振幅の各距離での標準偏差 0.15dB以下、位相の各距離での標準偏差 0.5度以下
 アンテナ間距離が遠いほど安定→ 原因は?
 光システム: 振幅の各距離での標準偏差 0.05dB以下、位相の各距離での標準偏差 0.3度以下
 安定性はアンテナ間距離にあまり関係しない

光ファイバリンクを用いたアンテナ測定 (5G周波数帯域への取り組み)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

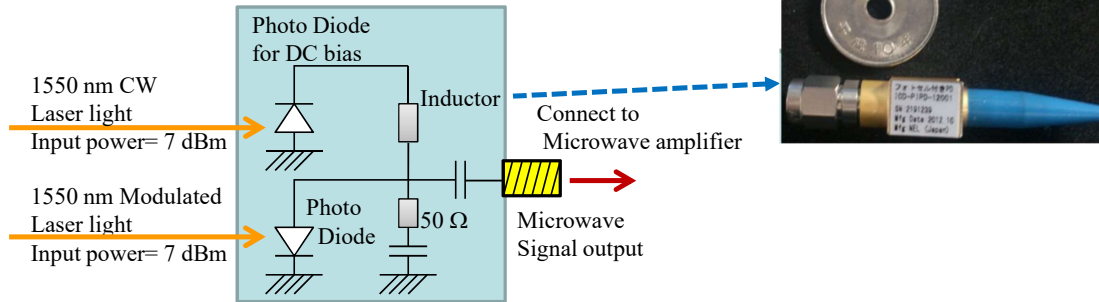
光反射型EA変調器 無バイアス、温度コントロール不要



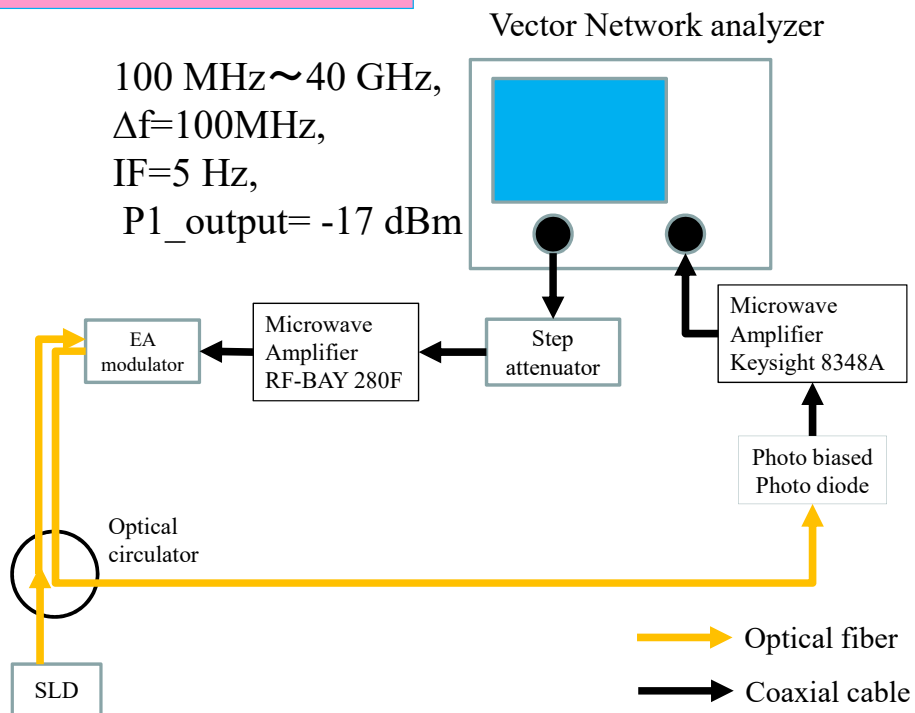
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

光バイアス方PD (温調不要)

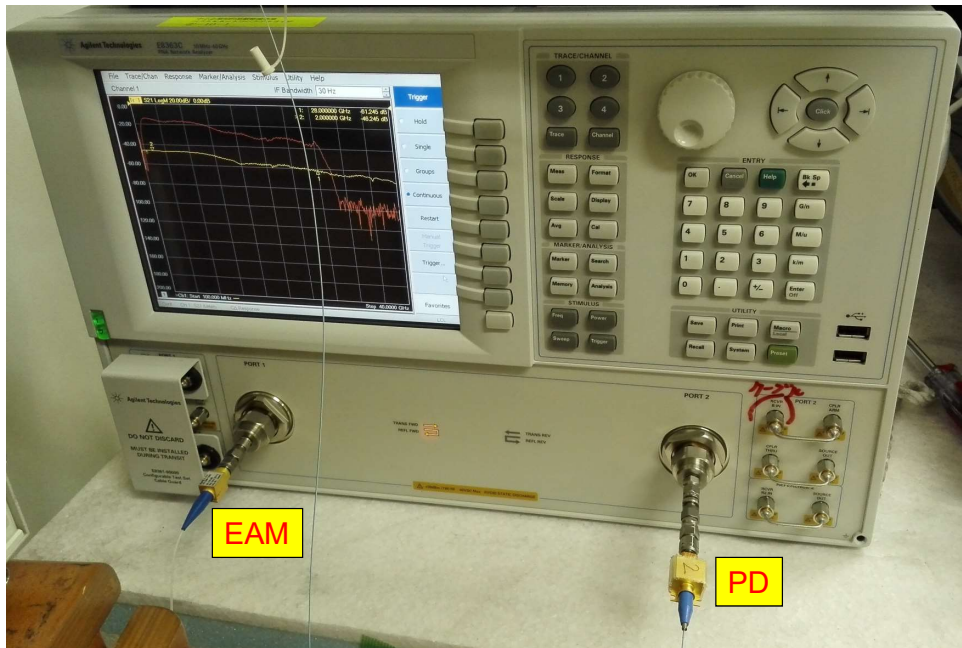
Made by NEL. Inventor is Dr. Ishibashi of NEL



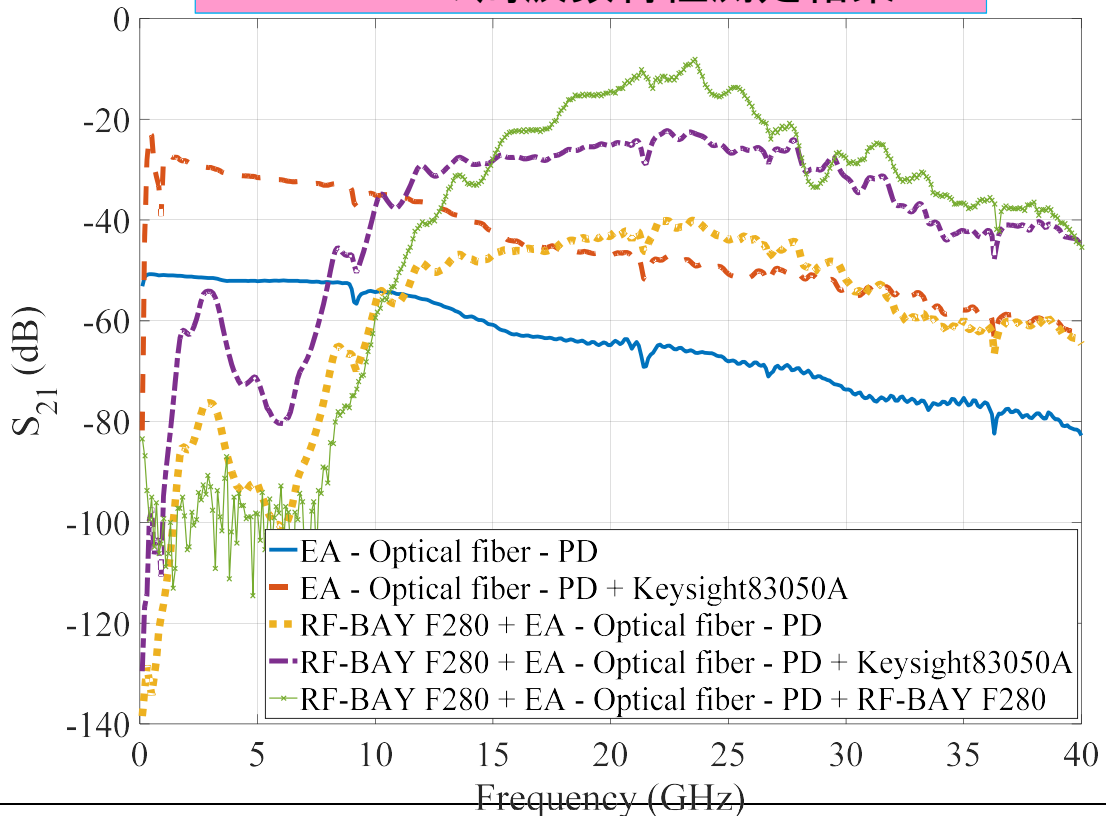
光反射型EA変調器—PD+増幅器 を用いた周波数特性測定セットアップ



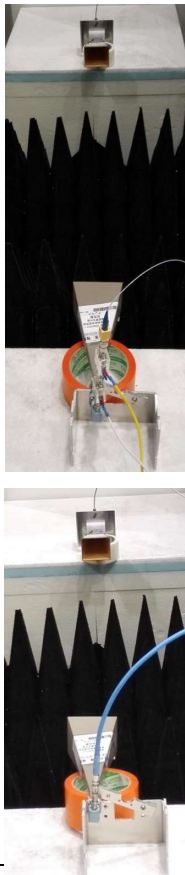
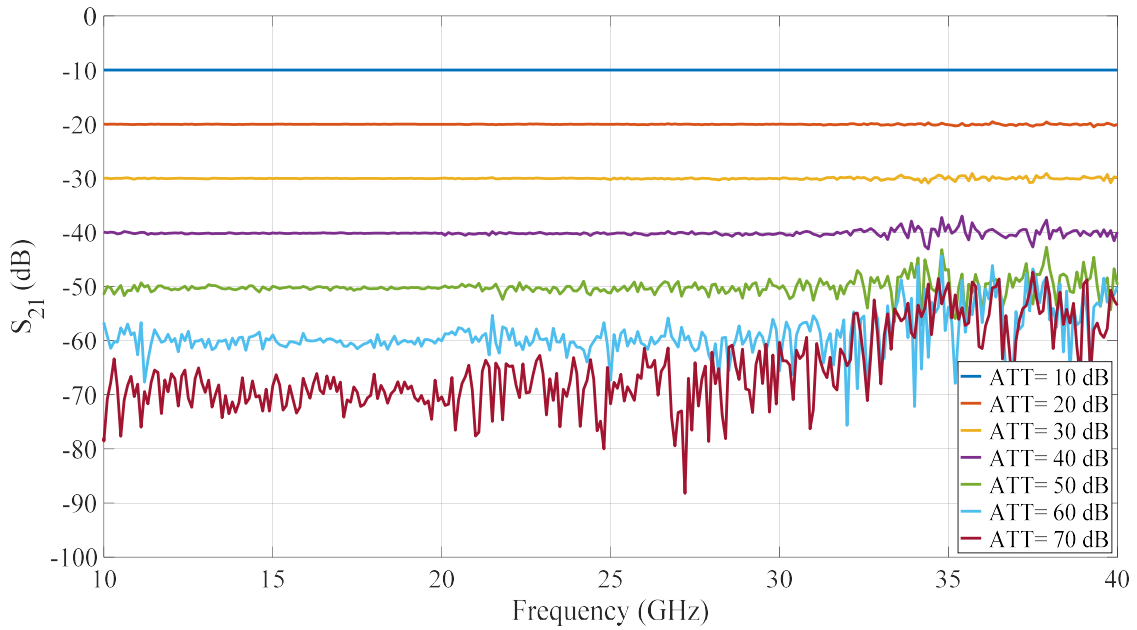
EA-PDを用いた測定の様子



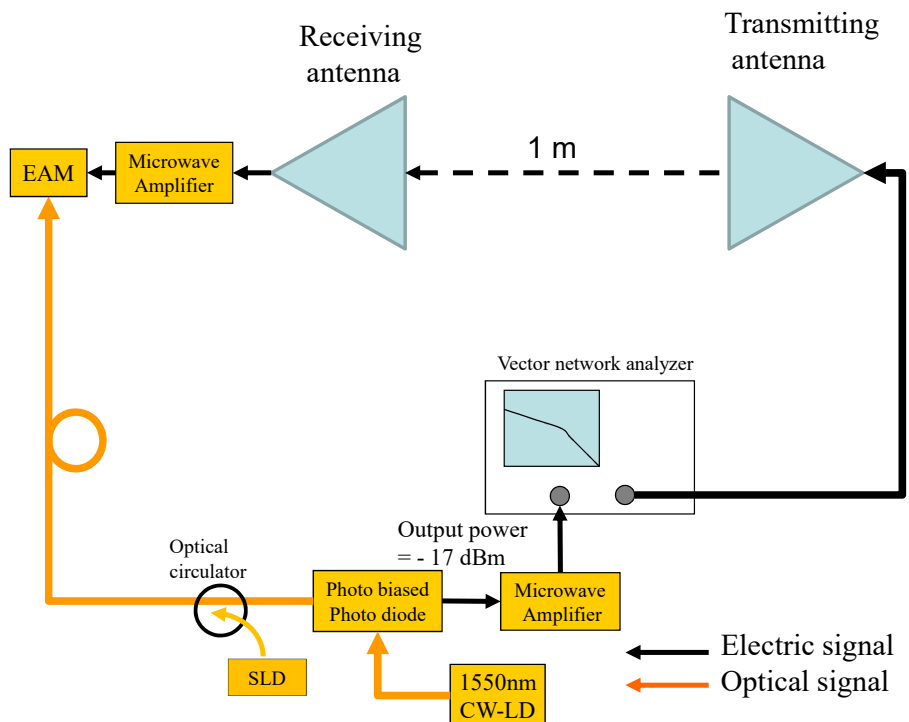
EA-PDの周波数特性測定結果



amp+EA – PD+amp の場合のダイナミックレンジ測定結果
(ref value=ATT10dB)



EAM – PDを用いたアンテナの伝送特性(S₂₁) 測定
セットアップ



S₂₁測定結果と5回測定の標準偏差

