

広帯域アンテナの 自由空間アンテナ係数測定 (固定距離)

パルス圧縮と時間領域処理を
用いた自由空間伝播波推定法

校正サービス(jcss、依頼試験)を実施する必要性

- 世界的なEMC規制実施
- 放射EMI測定に用いるアンテナ標準整備要求

30MHz～6GHz(18GHz)で用いる各種広帯域アンテナ:

バイコニカルアンテナ(30MHz～300MHz)

ログペリオディックアンテナ(300MHz～1000MHz)

ボウタイ、ログペリの複合アンテナ (30MHz～1000MHz)

広帯域ホーンアンテナ (1GHz～18GHz)

- **総務省、NICTからのjcss供給の要請**

電波法、EMC規制の標準アンテナ校正をJCSS校正に統一したいとの要請。

NICTとしては、jcss供給開始までは、ASNITE認定での実施を希望

顧客側でのトレーサビリティ体系 (広帯域アンテナ標準供給体系図)

産総研 NMIJ

標準アンテナ群 (広帯域アンテナ標準)

校正事業者 (NICT、JQA等)

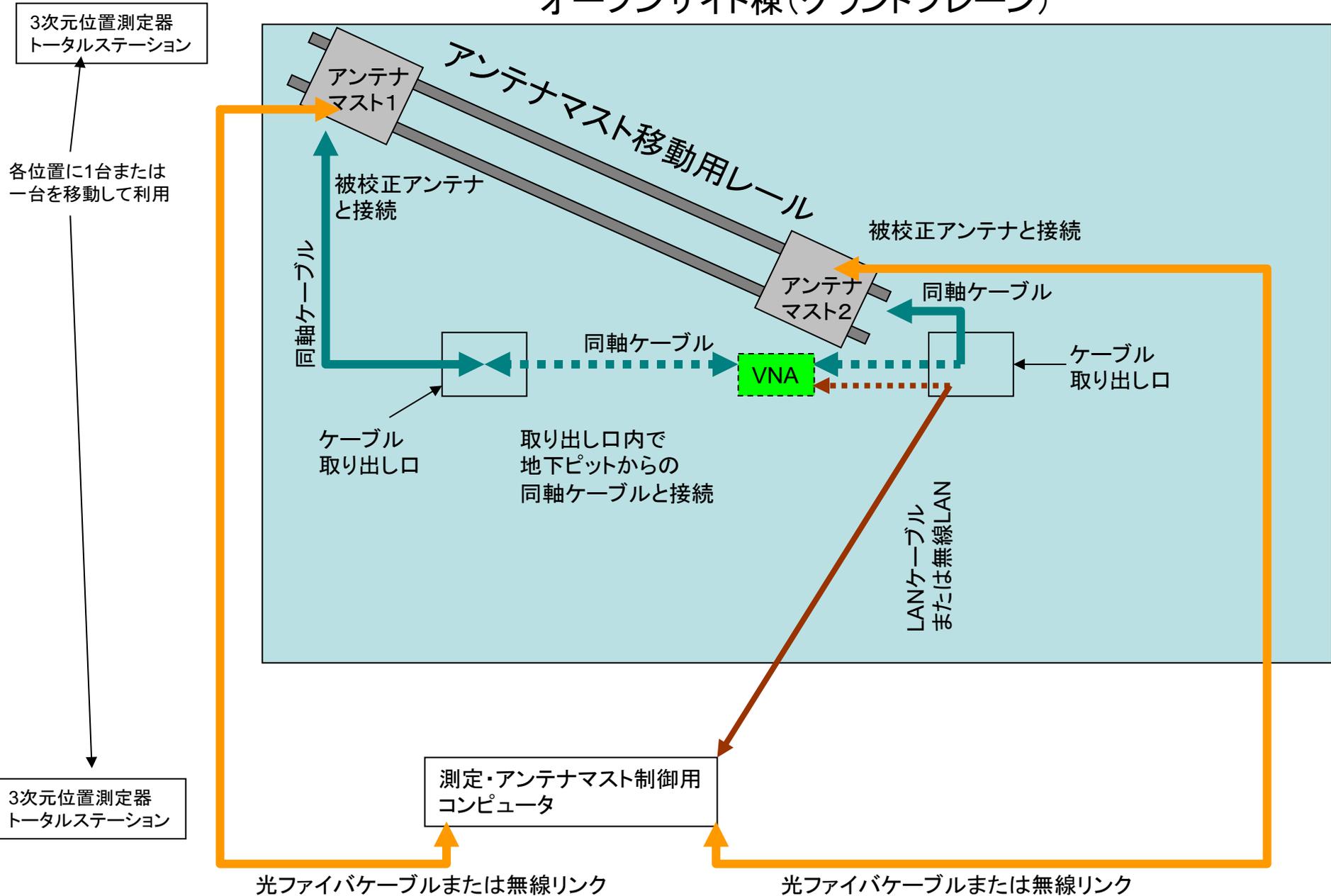
広帯域アンテナ

EMI試験所、EMI測定実施企業、公設試験研究機関等

広帯域アンテナ

広帯域アンテナ校正装置

オープンサイト棟(グランドプレーン)



広帯域アンテナ標準測定の概要

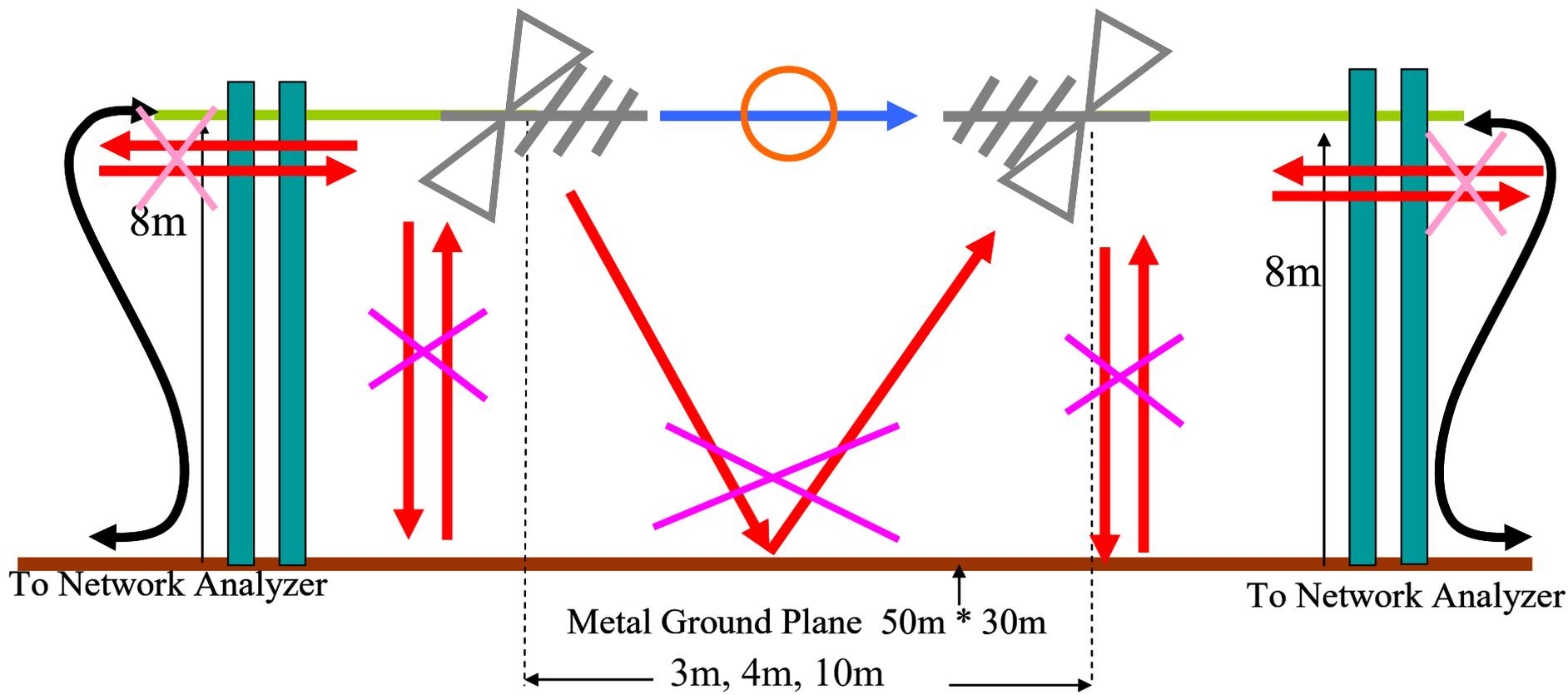
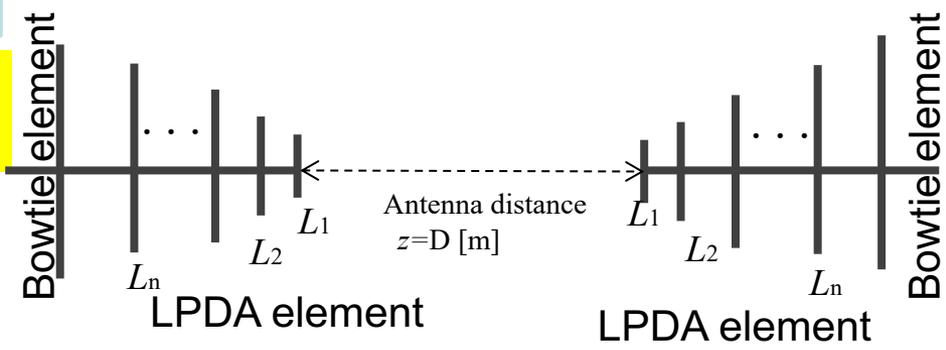
NMIJ/AIST法:
 タイムドメイン処理とパルス圧縮処理を用いた手法

・自由空間アンテナ係数を供給

Biconical ant.: 30MHz~300MHz ($\Delta f=5\text{MHz}$)

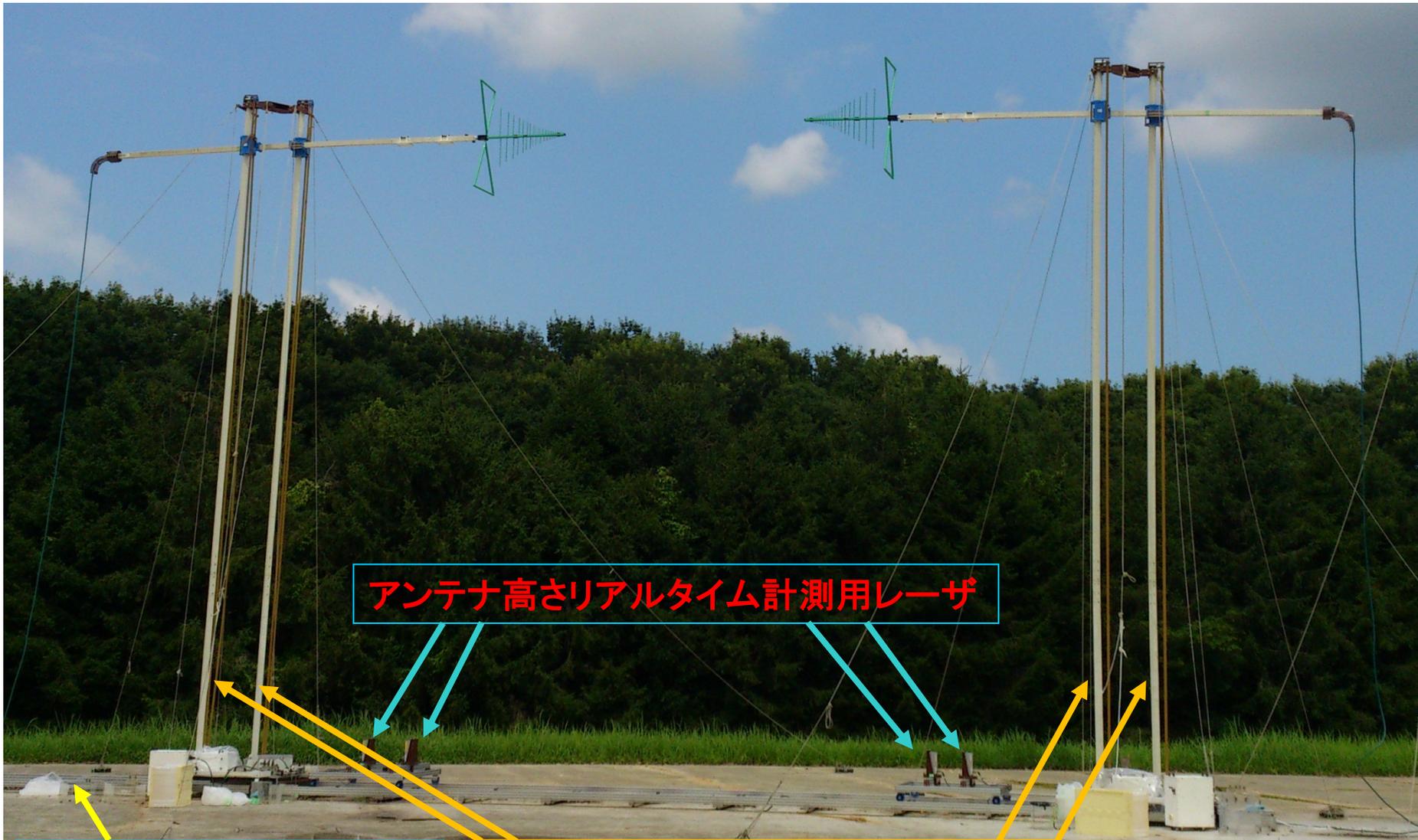
LPDA: 300MHz~1000MHz ($\Delta f=10\text{MHz}$)

Bilog: 30MHz~300MHz ($\Delta f=5\text{MHz}$)、LPDA: 300MHz~1000MHz ($\Delta f=10\text{MHz}$)



バイログアンテナのオープンサイトでの測定風景

アンテナ先端間距離 = 3m



アンテナ高さリアルタイム計測用レーザ

アンテナマスト移動用レール
1 m ~ 20 m 移動可能

アンテナ傾き制御可能なアンテナマスト
2本のポールのモータが独立に駆動

バイログアンテナのオープンサイトでの測定風景

アンテナ先端間距離 = 10 m



アンテナ間距離 3 m の周波数領域サイトインサージョンロス $S_{21_3m}(\omega)$ 測定

アンテナ間距離 3 m の垂直偏波測定結果を直接波として用いウィナフィルタを計算

$$W_{\text{dir_3m}}(\omega) = \frac{S_{21_dir_3m}^*(\omega)}{E_0} \cdot \frac{1}{\eta |S_{21_dir_3m}(\omega)/E_0|^2 + (1-\eta)}$$

アンテナ間距離 D m の周波数領域サイトインサージョンロス $S_{21_Dm}(\omega)$ 測定

アンテナ間距離 D m のパルス圧縮波をウィナフィルタにより算出

$$I_{21_Dm}(\omega) = S_{21_Dm}(\omega) \cdot W_{21_dir3m}(\omega)$$

アンテナ間距離 D m の時間領域パルス圧縮波 $i_{21_Dm}(t)$ を算出

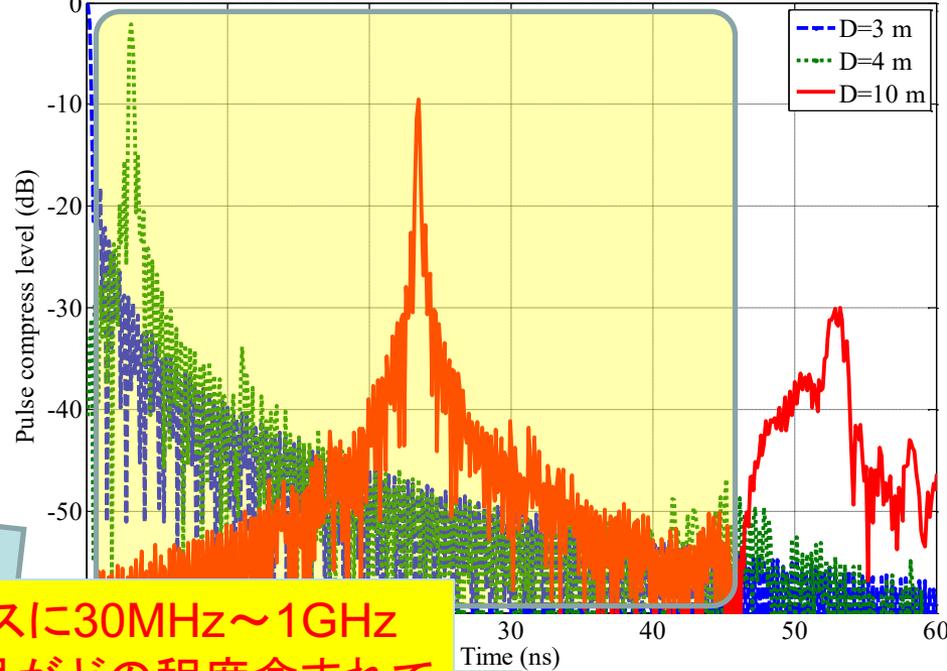
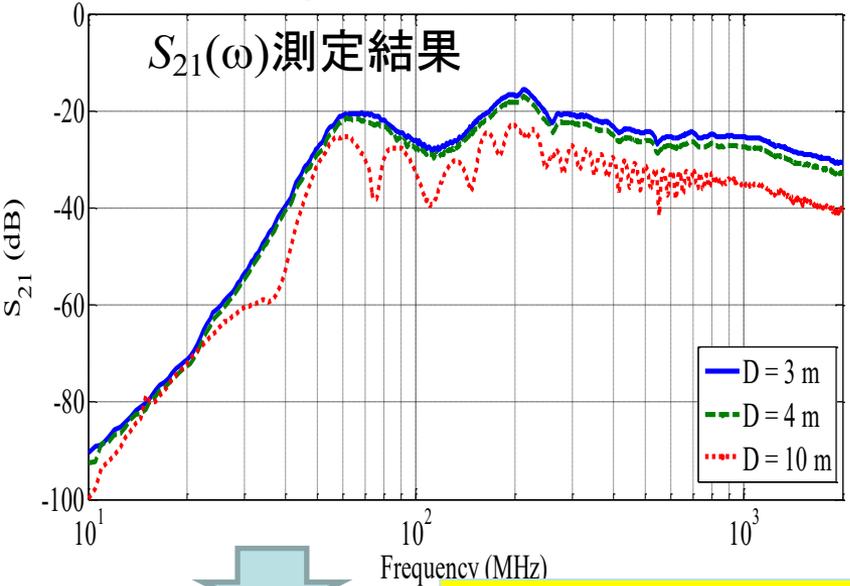
アンテナ間距離 D m のパルス圧縮直接波 $i_{21_dirDm}(t)$ を時間領域の矩形窓によるゲート処理により算出

アンテナ間距離 D m の直接波をパルス逆圧縮により算出

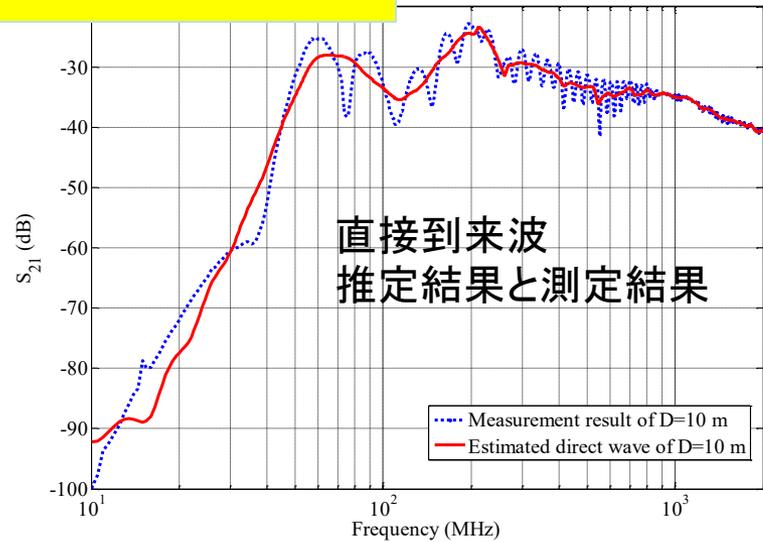
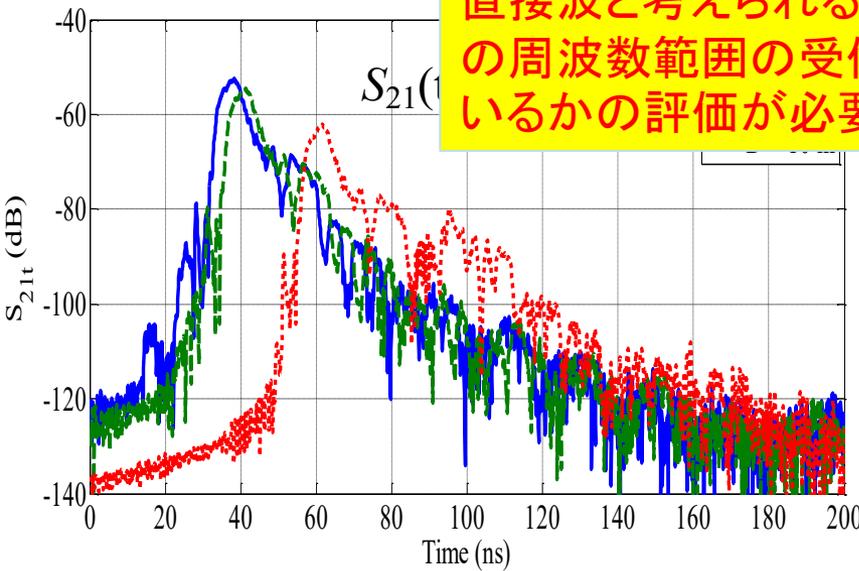
$$S_{21_dirDm}(\omega) = I_{21_dirDm}(\omega) / W_{21_dir3m}(\omega)$$

アンテナ間距離 D m のアンテナファクターを3本のアンテナを用いた3種類のアンテナセット (No.1 - No.2, No.1 - No.3, No.3 - No.2) の周波数領域測定結果 $S_{21_dirDm}(\omega)$, $S_{31_dirDm}(\omega)$, $S_{32_dirDm}(\omega)$ を用いて算出

測定結果



直接波と考えられるパルスに30MHz~1GHzの周波数範囲の受信信号がどの程度含まれているかの評価が必要



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。

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

アンテナ係数がそれぞれ $AF_1(\omega) = 20 \log_{10}(af_1(\omega))$ 、 $AF_2(\omega) = 20 \log_{10}(af_2(\omega))$ 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。

アンテナ係数の校正不確かさ

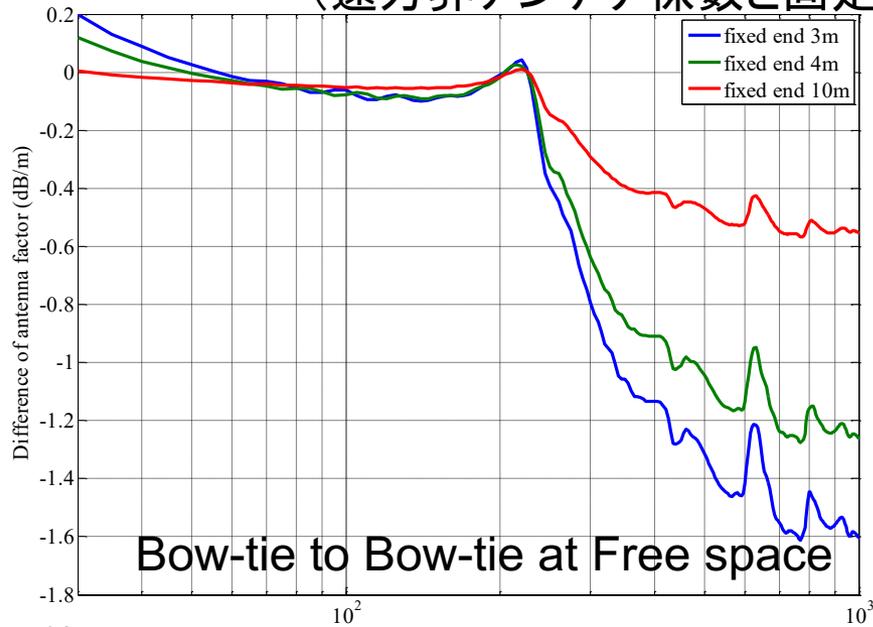
一般的なアンテナ係数算出式を用いた場合

$$\begin{aligned}
 u^2(AF) = & \sum_{i,j} \left\{ \left(\frac{\partial AF}{\partial z_{ij}} \right)^2 \cdot u^2(z_{ij}) \right\} \\
 & + \sum_{i,j} \left\{ \left(\frac{\partial AF}{\partial S_{21_D,ij}} \right)^2 \cdot u^2(S_{21_D,ij}) \right\} \\
 & + \sum_{i,j} \left\{ \left(\frac{\partial AF}{\partial f} \right)^2 \cdot u^2(f) \right\}
 \end{aligned}$$

$(i, j) = (1, 2), (1, 3)$ and $(2, 3)$

$\left \frac{\partial AF}{\partial z_{ij}} \right = 20 / (z_{ij} \cdot \ln 10)$	距離測定の感度係数	$u(z_{ij})$	距離測定の不確かさ
$\left \frac{\partial AF}{\partial S_{21_D,ij}} \right = 1/2$	S_{21} 測定の感度係数	$u(S_{21_D,ij})$	S_{21} 測定の不確かさ
$\left \frac{\partial AF}{\partial f} \right = 20 / (f \cdot \ln 10)$	周波数測定の感度係数	$u(f)$	周波数測定の不確かさ

モーメント法による計算結果を用いた評価 (遠方界アンテナ係数と固定距離アンテナ係数との差)



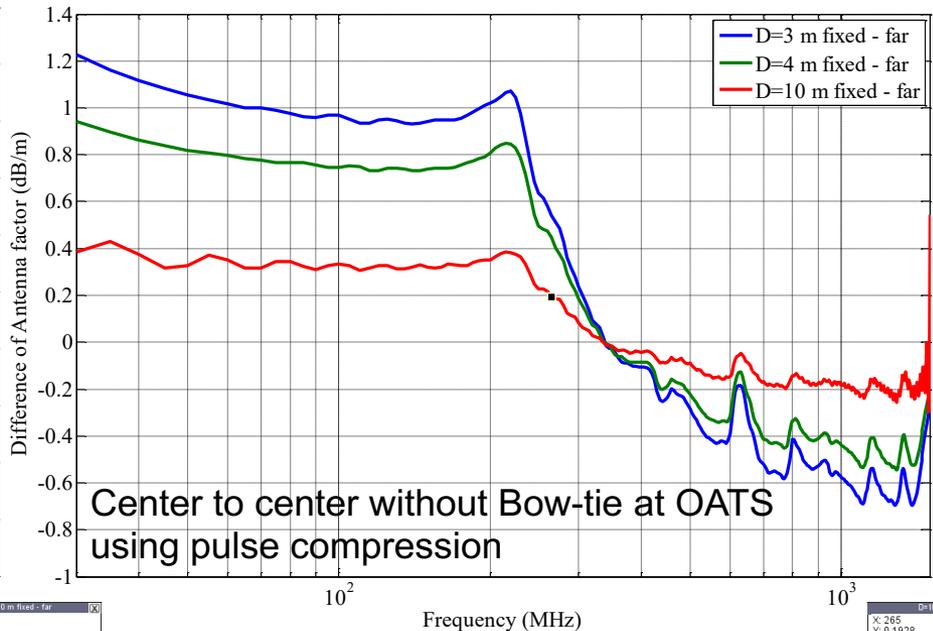
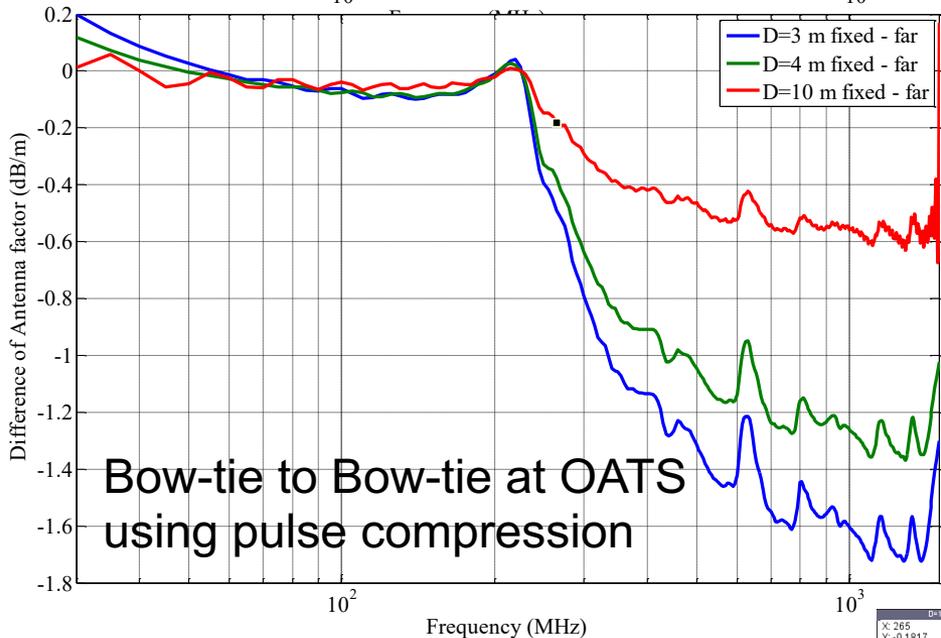
OATSの場合:

アンテナボウタイエレメント間距離を用いてアンテナ係数算出する

30MHz~約250MHz 遠方界アンテナ係数との差=0.2dB以下

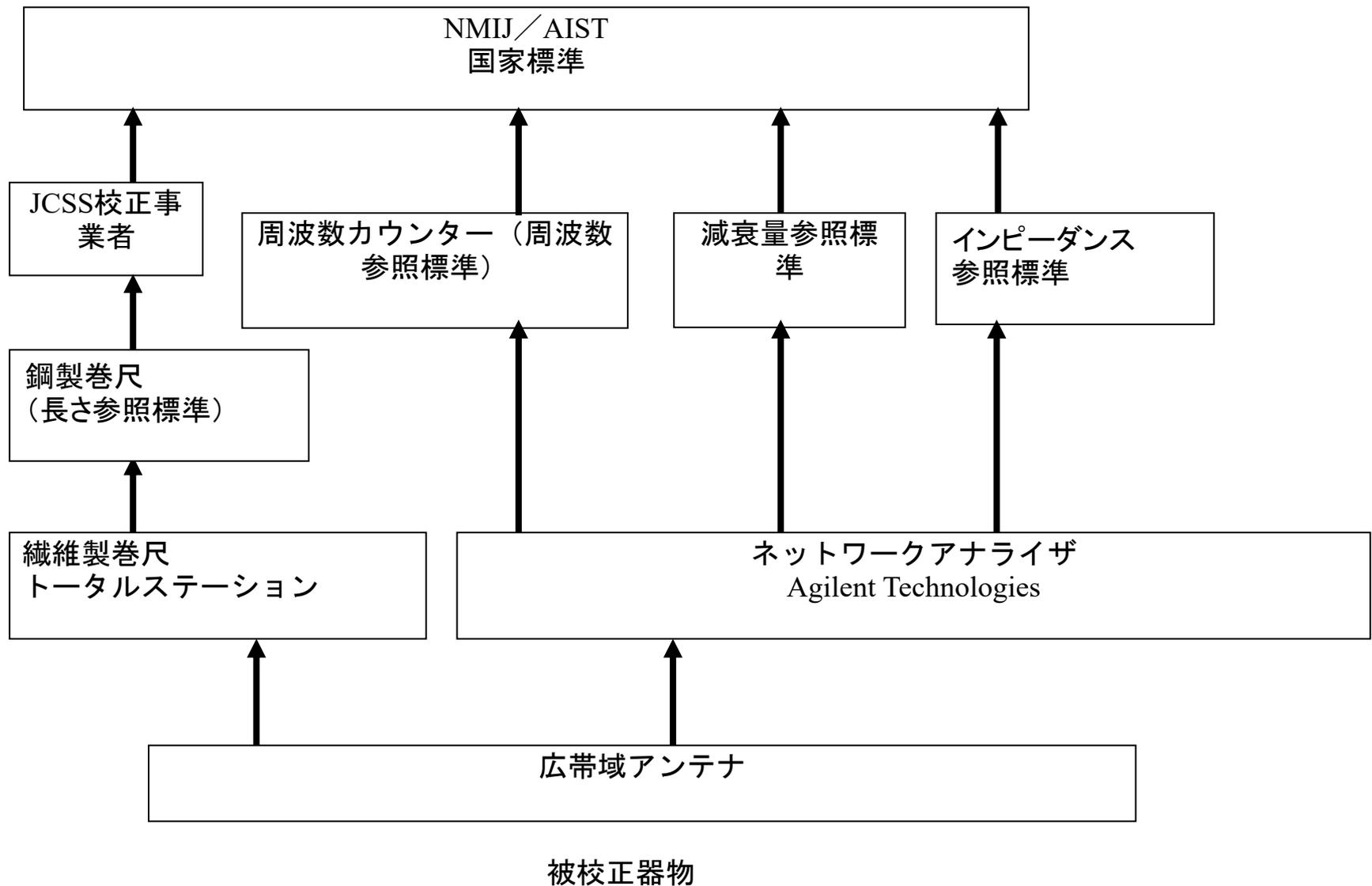
アンテナ中心間距離(ボウタイエレメント除く)を用いてアンテナ係数算出する

250MHz~1000MHz 遠方界アンテナ係数との差=0.2dB以下



不確かさバジェットシート

不確かさの要因とその値 (100 MHz)		変数	単位	Type	分布	除数	標準不確かさ	感度係数	標準不確かさ × 感度係数	自由度
アンテナ間距離	0.003	$u(r_{rep, ij})$	m	A	正規	1	0.003	1.000	0.003	4
アンテナ間距離測定 of 合成標準不確かさ		$u(r_{ij})$	m	B	正規	1	0.003	0.423	0.001	
アンテナ i , アンテナ j 間の S_{21} 測定	0.100	$u(S_{ijm})$	dB	A	正規	1	0.100	1.000	0.100	4
アンテナの角度ずれ $\pm 5^\circ$ での S_{21} の差の最大値	0.100	$u(S_{21\theta})$	dB	B	一様	$\sqrt{3}$	0.058	1.000	0.058	Inf.
VNA の不確かさ	0.153	$u(V)$	dB	B	正規	1	0.153	1.000	0.153	Inf.
S_{21} 測定 of 合成標準不確かさ		$u(S_{21_dir_D, ij})$	dB	B	正規	1	0.192	0.500	0.096	
周波数の測定標準不確かさ		$u(f)$	Hz	A	正規	1	3.000	0.000	0.000	4
遠方界アンテナ係数との差	0.200	$u(AF_{wie})$	m	B	一様	$\sqrt{3}$	0.115	1.000	0.115	Inf.
合成標準不確かさ ($k=1$)									0.20	>100
拡張不確かさ ($k=2$)									0.4	



國際比較結果 CCEM.RF-S21.F

Figure 7-4 : Degrees of equivalence for Bilog at 30 MHz. The unit of measurement is antenna factor ($\text{dB}(\text{m}^{-1})$), and the difference between the RV and each measured result is presented here as a logarithmic ratio (dB).

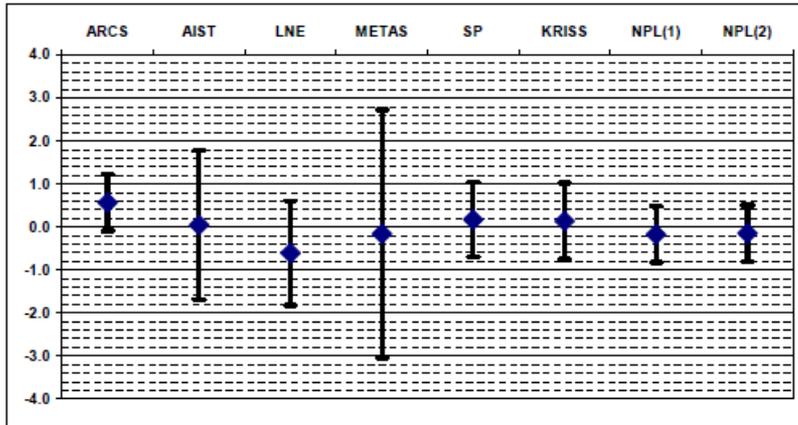


Figure 7-5 : Degrees of equivalence for Bilog at 80 MHz. The unit of measurement is antenna factor ($\text{dB}(\text{m}^{-1})$), and the difference between the RV and each measured result is presented here as a logarithmic ratio (dB).

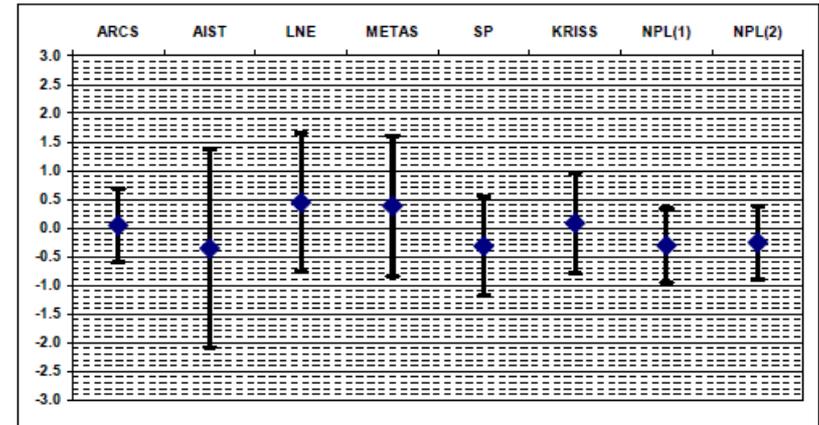


Figure 7-6 : Degrees of equivalence for Bilog at 200 MHz. The unit of measurement is antenna factor ($\text{dB}(\text{m}^{-1})$), and the difference between the RV and each measured result is presented here as a logarithmic ratio (dB).

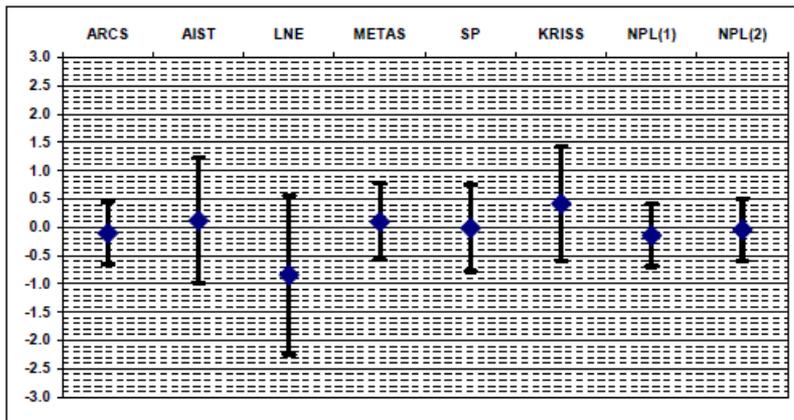
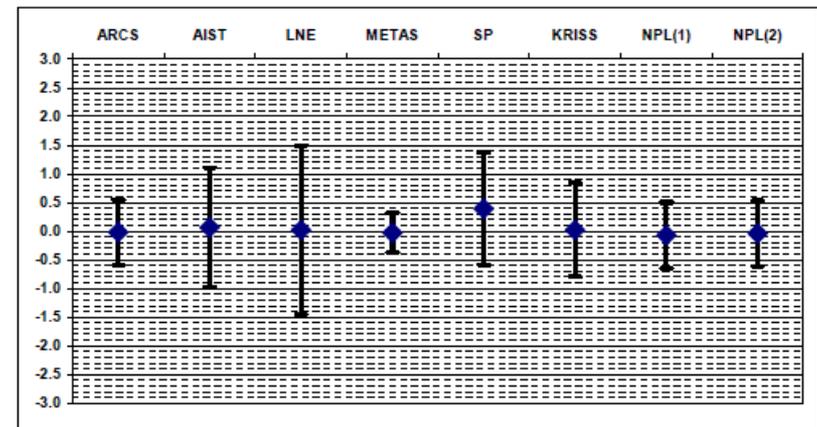


Figure 7-7 : Degrees of equivalence for Bilog at 1000 MHz. The unit of measurement is antenna factor ($\text{dB}(\text{m}^{-1})$), and the difference between the RV and each measured result is presented here as a logarithmic ratio (dB).



校正作業の開始

1. トータルステーションによる座標測定用反射シートをアンテナ先端とアンテナ根元の誘電体上に貼り付ける。

2. 地上高8 m以上同一高さ、アンテナ先端間距離約10 mに送信・受信アンテナを設置し、トータルステーションによる目視により一直線上に配置されるようアンテナマストを調整する。

3. 測定に用いる同軸ケーブルのアンテナ接続端でOpen, Short, Load校正キットとunknown-through接続用同軸ケーブルを用いてVNA内蔵プログラムによりunknown-through 2ポート校正を実施する。

4. 地上高8 m以上同一高さ、アンテナ先端間距離約10 mに送信・受信アンテナを設置し、反射シールの座標をトータルステーションにより測定し、記録する。

5. VNAにより S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22} を測定し、ハードディスクに保存。

6. 手順2～4を3本のアンテナによる3つのペアに対して実施する。

7. 手順2～6を3回繰り返す

8. パルス圧縮処理に用いるアンテナ先端間距離3 mでの測定結果を得るために、地上高8 m以上同一高さ、アンテナ先端間距離約3 mに送信・受信アンテナを設置し、トータルステーションによる目視により一直線上に配置されるようアンテナマストを調整する。

9. VNAにより S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22} を測定し、ハードディスクに保存。

10. 校正値の計算 「antenna_af_calc.m」

11. 不確かさの推定 「antenna_unc_calc.m」

12. 校正証明書の作成

校正作業の終了



校正証明書

依頼者名

依頼者住所

校正実施場所 独立行政法人産業技術総合研究所つくば第3事業所北サイト

計量器名

製造者名

型式・器物番号

校正方法 2頁のとおり

校正実施条件 2頁のとおり

校正結果 3頁のとおり

受付年月日 年 月 日

校正実施年月日 年 月 日 ~ 年 月 日

以上に相違ないことを証明する

校正責任者

計量標準総合センター

署名

○○ ○○

発行日 年 月 日

発行者

東京都千代田区霞が関一丁目3番1号

独立行政法人

産業技術総合研究所

理事長 ○○ ○○ 印

この証明書に記載された校正の結果は、国家標準にトレーサブルである。

事前の承認なしに、この証明書の一部分のみを複製してはならない。

校正方法

標準アンテナとの組み合わせによる時間領域処理自由空間3アンテナ法による測定

校正実施条件

- 被校正アンテナは、標準アンテナ校正に用いる3本の広帯域アンテナのうち標準アンテナを含む2本のアンテナと組み合わせて、3アンテナ法により測定
- アンテナ設置高さ：グラウンドプレーン上約8 m
- アンテナ間距離（先端間）：約10 m
- アンテナ先端と測定ケーブルまでの水平距離：5 m以上
- 測定用ネットワークアナライザの設置条件：
 - 23.0 °C ± 3.0 °C の恒温器内に設置
 - 電源投入後1時間以上経過後に測定を実施

署名(signed) _____

総数 3 頁の 3 頁

第*****号

ログペリオディックアンテナとボウタイアンテナの複合アンテナの校正結果

周波数 (MHz)	アンテナ係数 (dB・m ⁻¹)						
30	18.3	205	8.5	300	13.1	660	19.0
35	14.9	210	8.2	310	13.4	670	19.0
40	12.4	215	8.2	320	13.5	680	18.9
45	9.6	220	8.6	330	13.7	690	18.9
50	7.6	225	9.1	340	14.0	700	18.9
55	5.9	230	9.6	350	14.4	710	19.1
60	5.1	235	10.1	360	14.6	720	19.4
65	5.3	240	10.6	370	14.8	730	19.6
70	5.7	245	11.1	380	15.0	740	19.7
75	6.1	250	11.7	390	15.2	750	19.7
80	6.8	255	12.9	400	15.7	760	19.8
85	7.7	260	13.5	410	16.2	770	19.8
90	8.5	265	13.2	420	16.5	780	19.8
95	9.3	270	12.8	430	16.4	790	19.7
100	9.9	275	12.9	440	16.4	800	19.6
105	10.6	280	13.0	450	16.6	810	19.7
110	11.2	285	12.9	460	16.8	820	19.9
115	11.5	290	13.0	470	17.0	830	20.1
120	11.4	295	13.0	480	17.2	840	20.2
125	11.2			490	17.3	850	20.3
130	11.2			500	17.3	860	20.3
135	11.0			510	17.4	870	20.4
140	10.7			520	17.5	880	20.4
145	10.3			530	17.8	890	20.3
150	9.9			540	18.8	900	20.4
155	9.6			550	19.1	910	20.4
160	9.4			560	18.8	920	20.5
165	9.3			570	18.7	930	20.6
170	9.1			580	18.6	940	20.7
175	8.8			590	18.6	950	20.8
180	8.6			600	18.7	960	20.9
185	8.4			610	18.9	970	20.9
190	8.3			620	19.0	980	21.0
195	8.2			630	19.0	990	21.1
200	8.4			640	19.1	1000	21.2
				650	19.0		

測定不確かさ 0.4 dB

不確かさは、包含係数 $k=2$ の拡張不確かさとして求めた。これは信頼の水準約 95 %に相当する。

以上

署名(signed) _____