

様々な配線のコモンモード電流と漏えい電磁界 (コモンモード電圧源による解析)

— NEC2による電磁界シミュレーション —

高速電力線搬送通信設備作業班

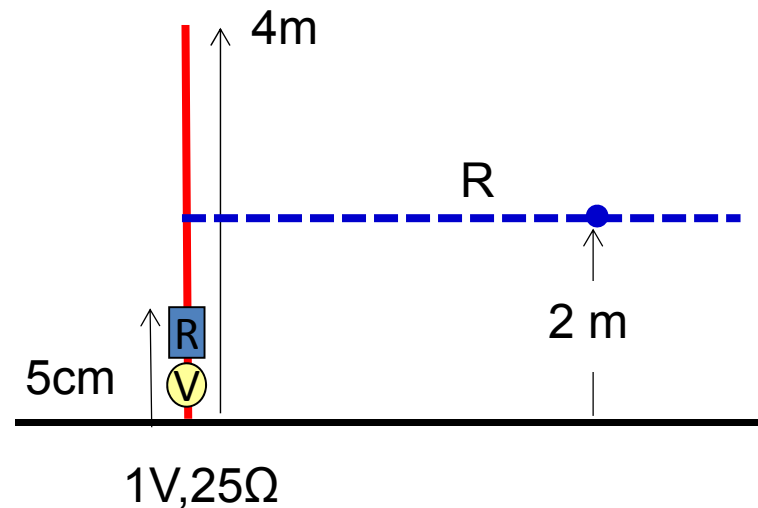
垂直線モデル

モデル線半径の決定：等価半径の計算

VVF線(半径0.8mm, 線間隔3.2mm)を想定
但し、ビニール被覆を無視して**等価半径**を求めると、

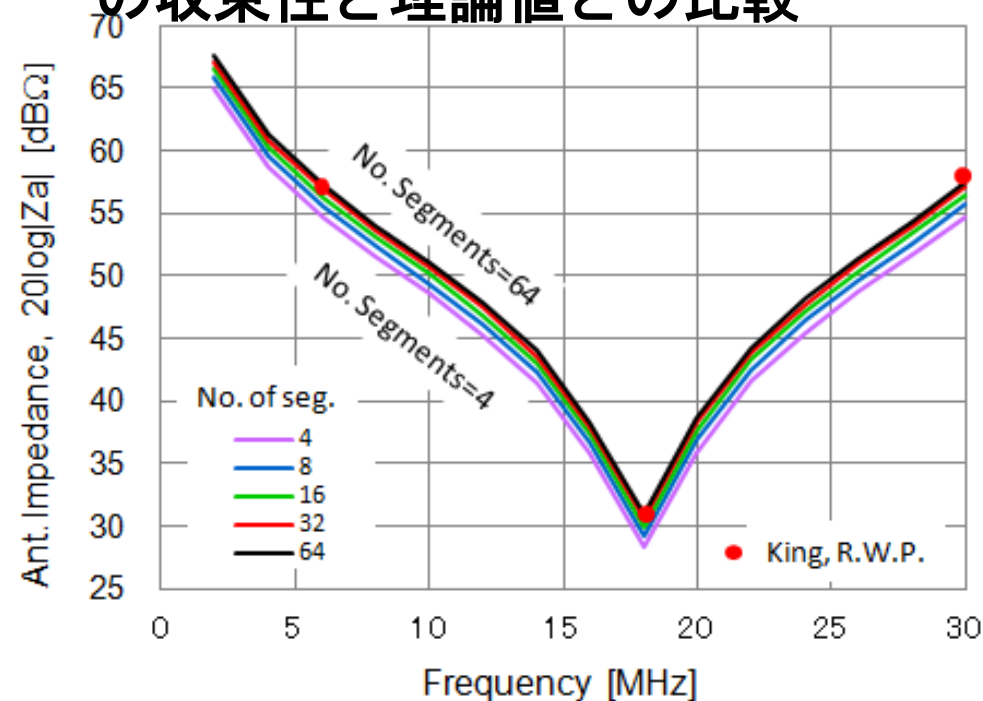
$$a_e \approx \sqrt{ad} = \sqrt{0.8 \times 3.2} = 1.6 \text{ mm}$$

この等価半径を持つ一線について、周波数2～30 MHzにおいて、NEC2を用いてシミュレーションを行う。



分割セグメント長の決定

シミュレーション・ソフトNEC2のSegment長を決定:
アンテナ入力インピーダンス Z_a (Metal ground)
の収束性と理論値との比較

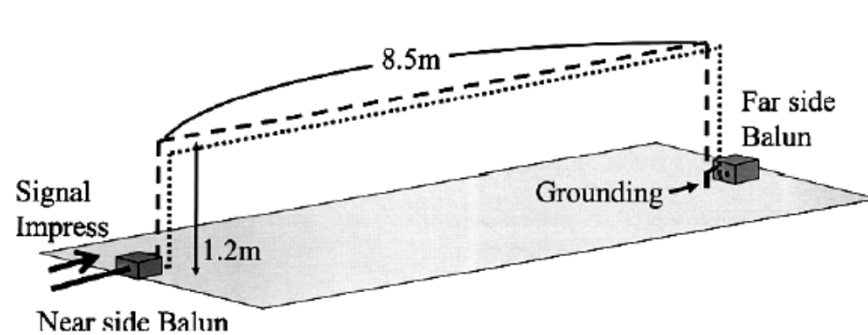


Segment長 = $4\text{m}/64 = 6.25\text{cm}$ で収束。
不連続部近傍のsegment長を5 cmとする

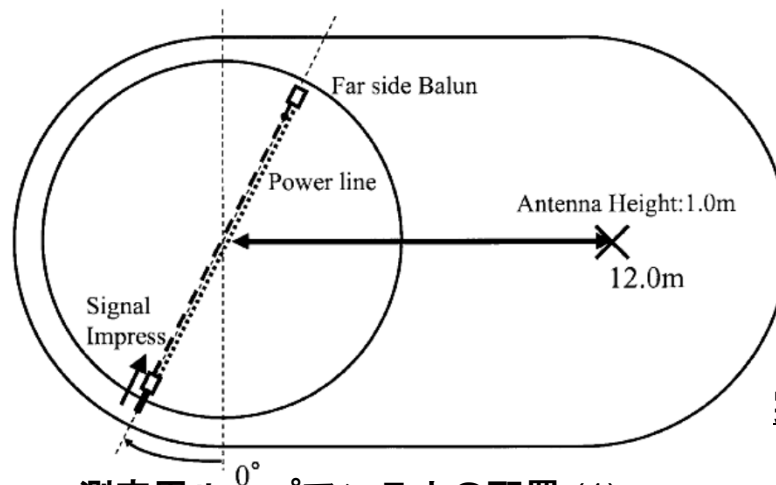
King, R.W.P.の理論値: アンテナ工学ハンドブック (電子情報通信学会)

実測値との比較

平行2線(裸線)モデル

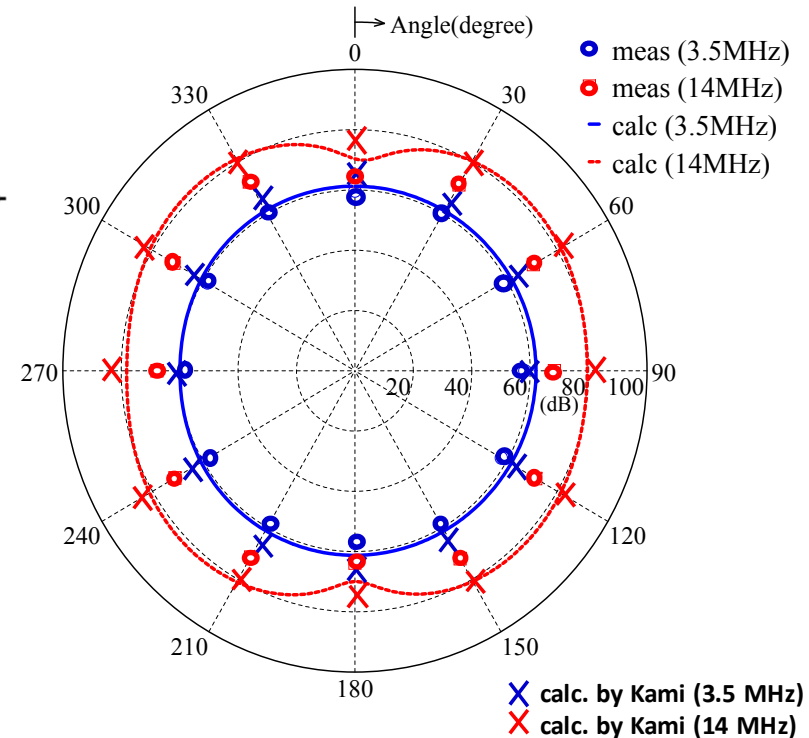


被測定電力線(VVF線)の配置 (1)



測定用ループアンテナの配置 (1)

参考(1)：渡邊、徳田、森田、信学論 J90-B, 3, pp.288-297, 2007.



実測結果との比較

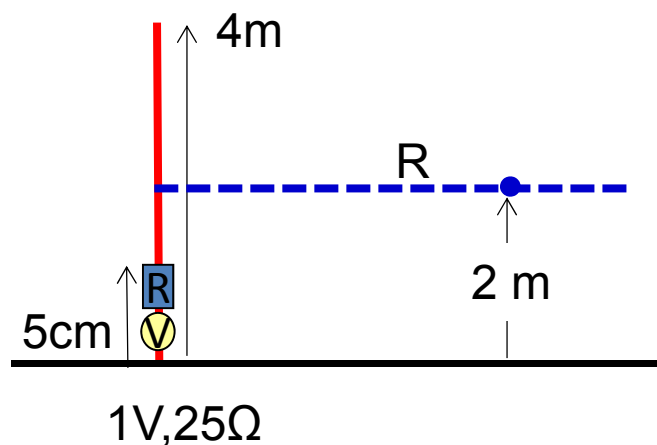
実測：高速電力線搬送通信に関する研究会
報告書(H17.12) 図5.3(a)

実測値とシミュレーション結果は約10dB以内で一致。
誤差要因：裸線近似、バランの詳細な特性が不明)

電磁界シミュレーション・モデル

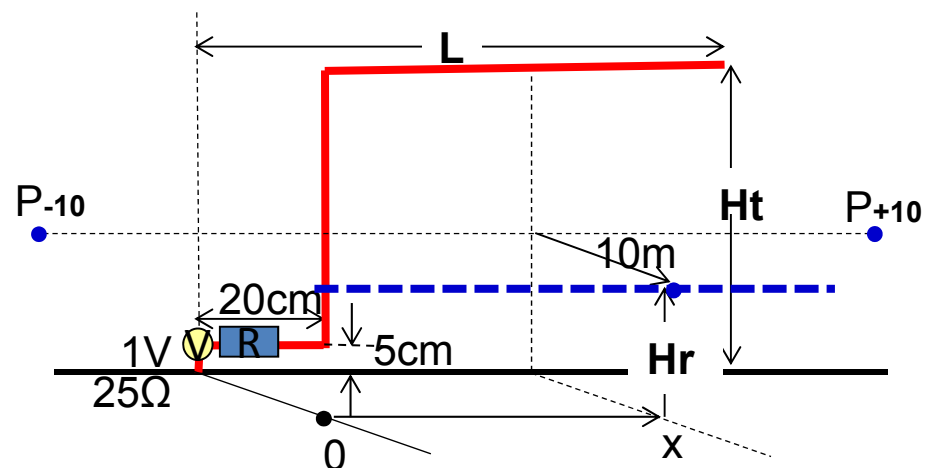
1. 垂直線モデル

(EV充電スタンド、外壁設置の防犯カメラ)



2. 架空配線モデル (L-shaped line)

(柱上設置の防犯カメラ)



解析手法: モーメント法 (NEC2)

モデル条件: コモンモード電源, 1芯電線 (誘電体被覆無し)

地面は広さ無限の **metal ground or wet ground**

出力データ: 放射電力

電線上のコモンモード電流分布

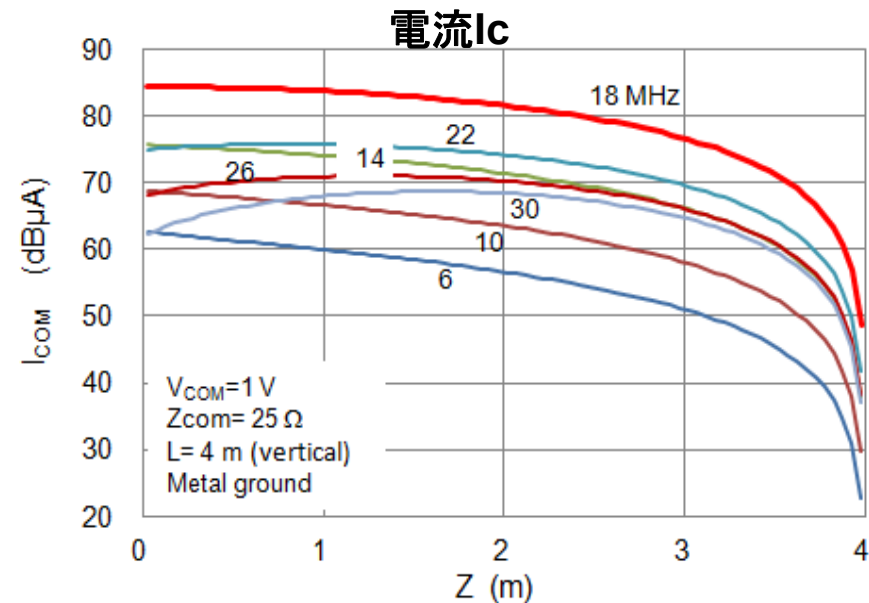
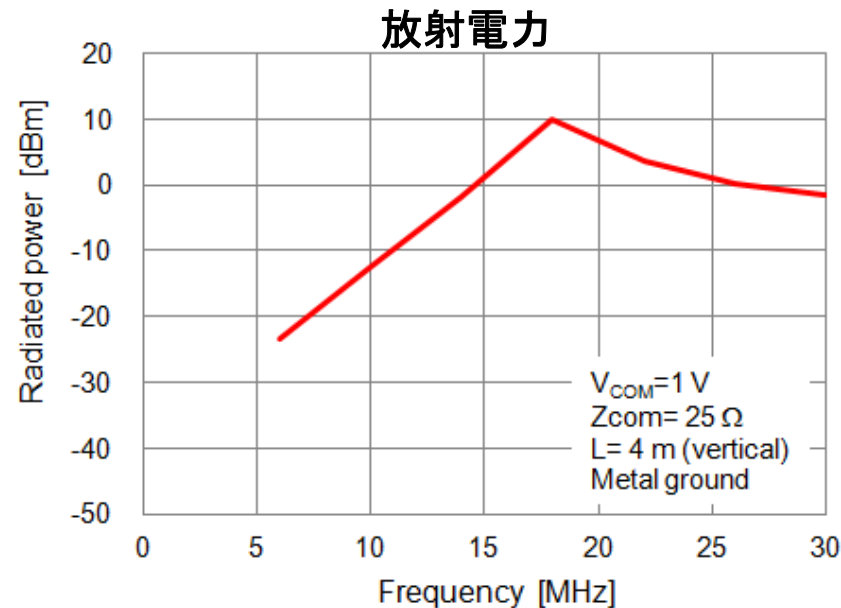
電界 (X, Y, Z, 3成分合成), 磁界 (X, Y, Z, 3成分合成) など

4m垂直線 (Metal ground) 1

単線モデル

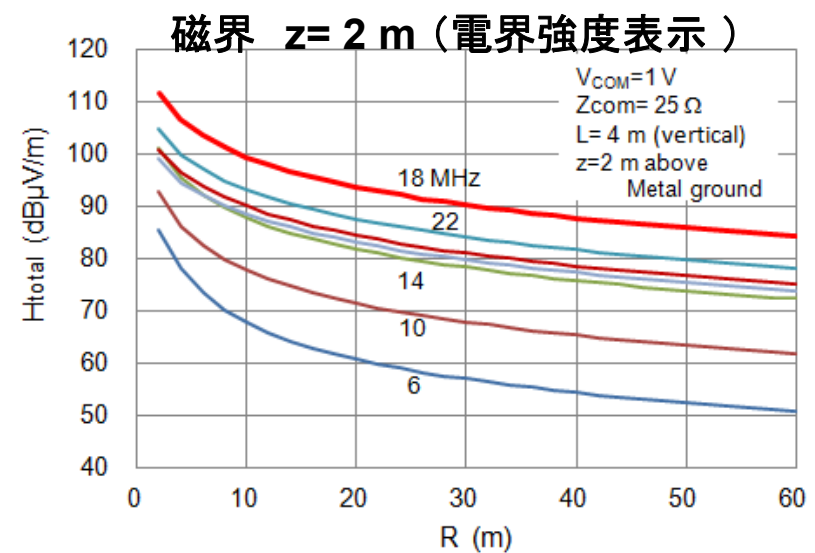
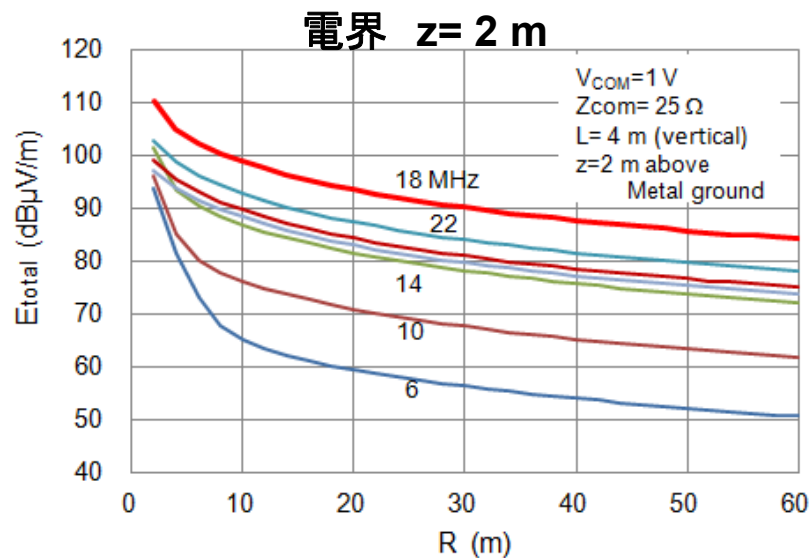
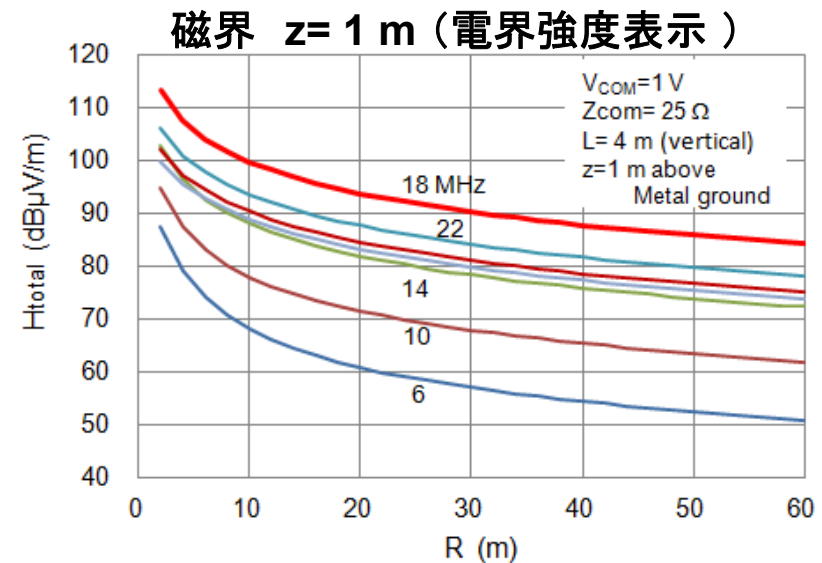
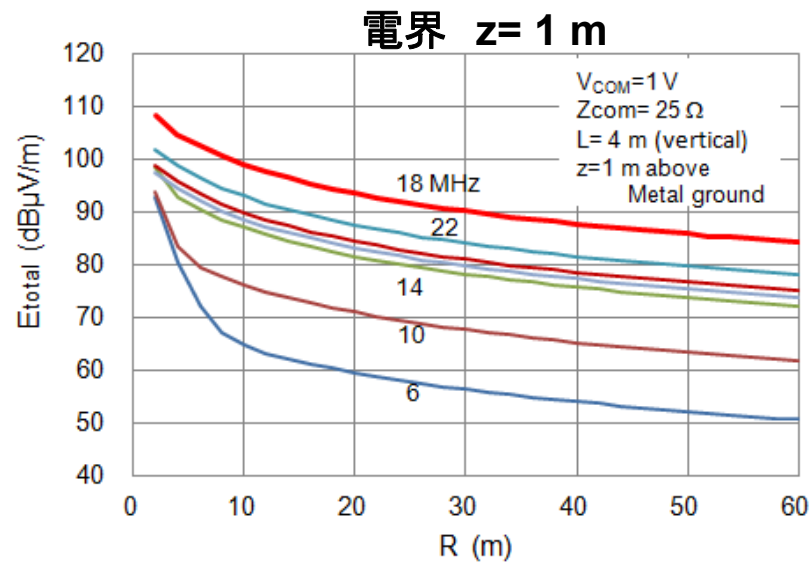
$$P = \operatorname{Re}(V_{ant} I_{ant}^*)$$

$V_{COM}=1\text{ V}$, $Z_{COM}=25\ \Omega$, Z_a : NEC2の計算結果

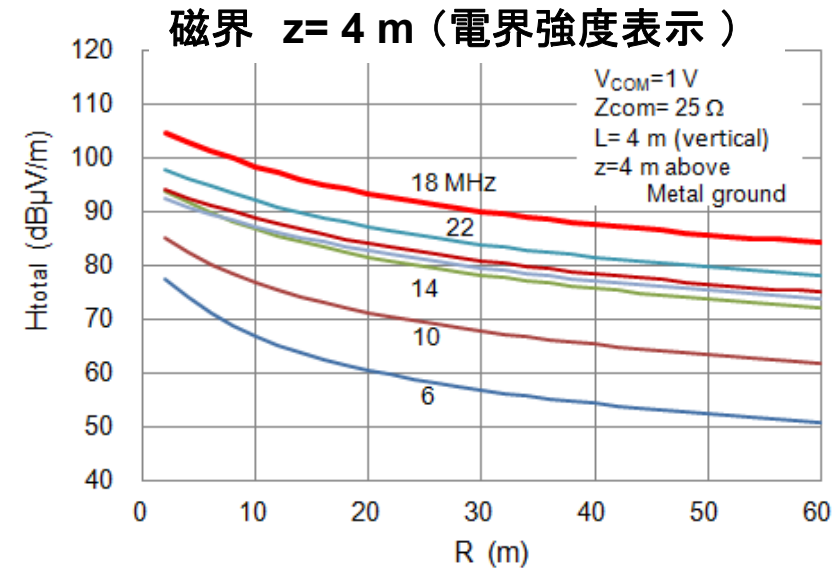
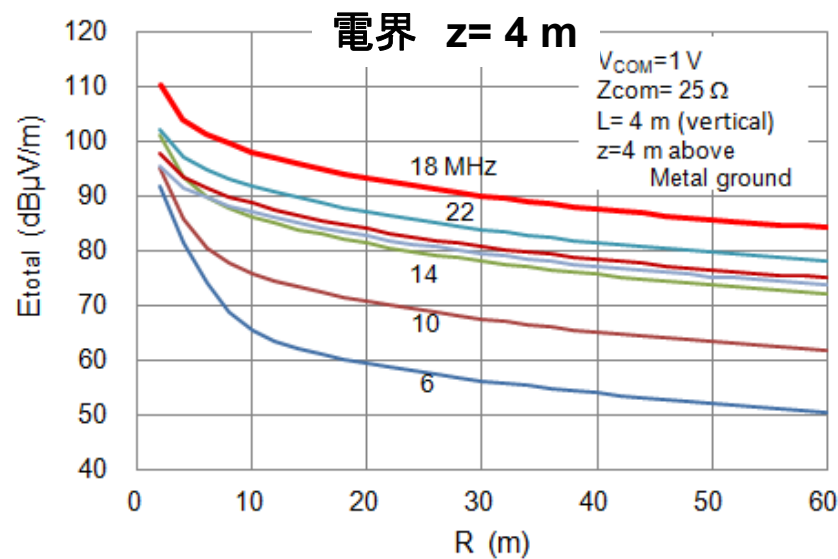


線路長が約 $\lambda/4$ になる約18 MHzで共振 → 電流が最大
放射電力 $\leq$ 有能電力 [$=V^2/(4R) = 10\text{ dBm}$]

4m垂直線(Metal ground) 2



4m垂直線 (Metal ground) 3

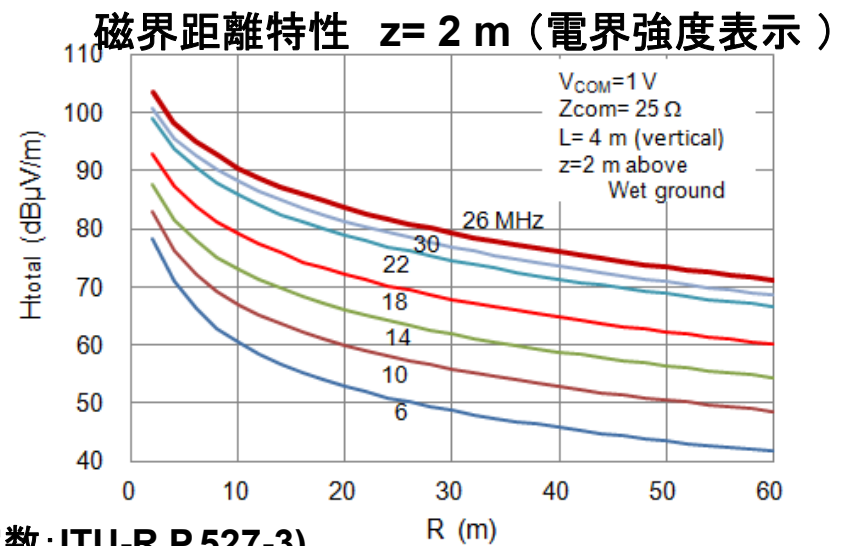
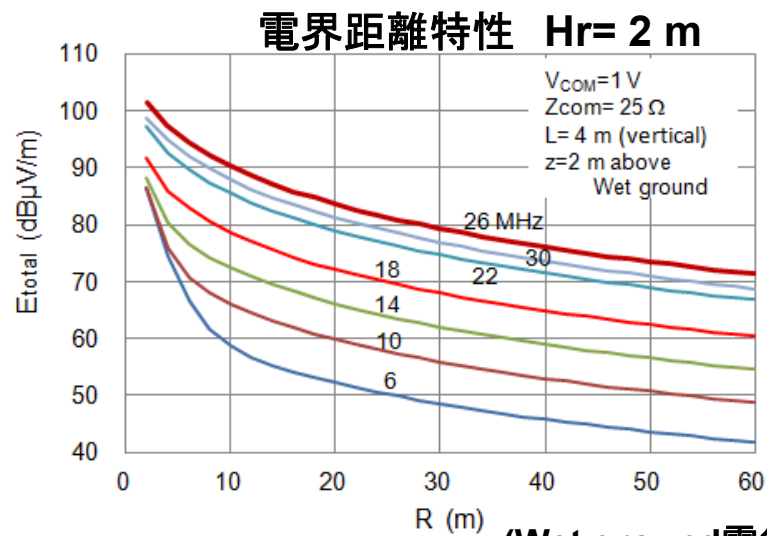
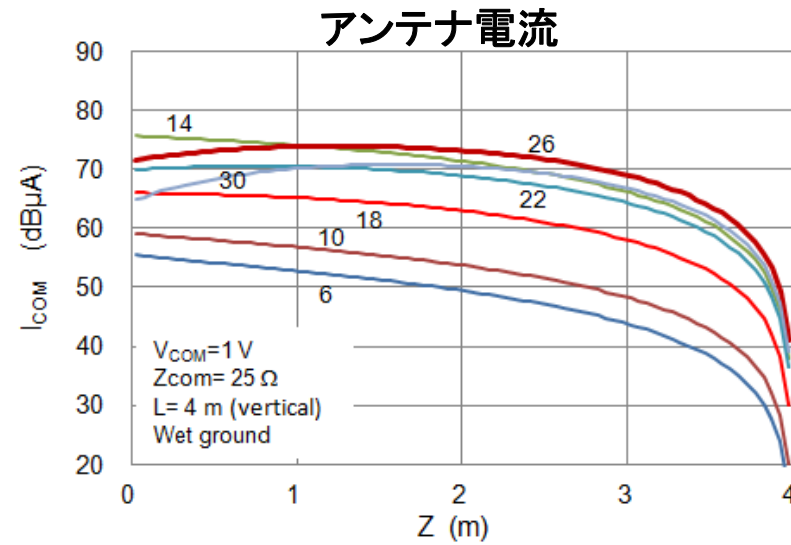
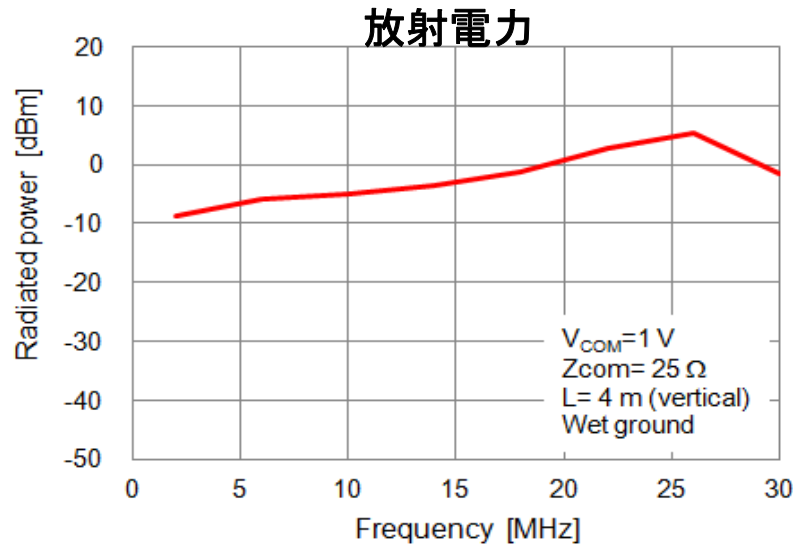


$R \geq 10 \text{ m}$ であれば、電界強度／磁界強度 = 377Ω

半波長共振時の電界強度は $E \approx \frac{7\sqrt{2P}}{R}$

受信高 $H_r = 1 \sim 4 \text{ m}$ 程度では、電磁界強度は余り変化しない。

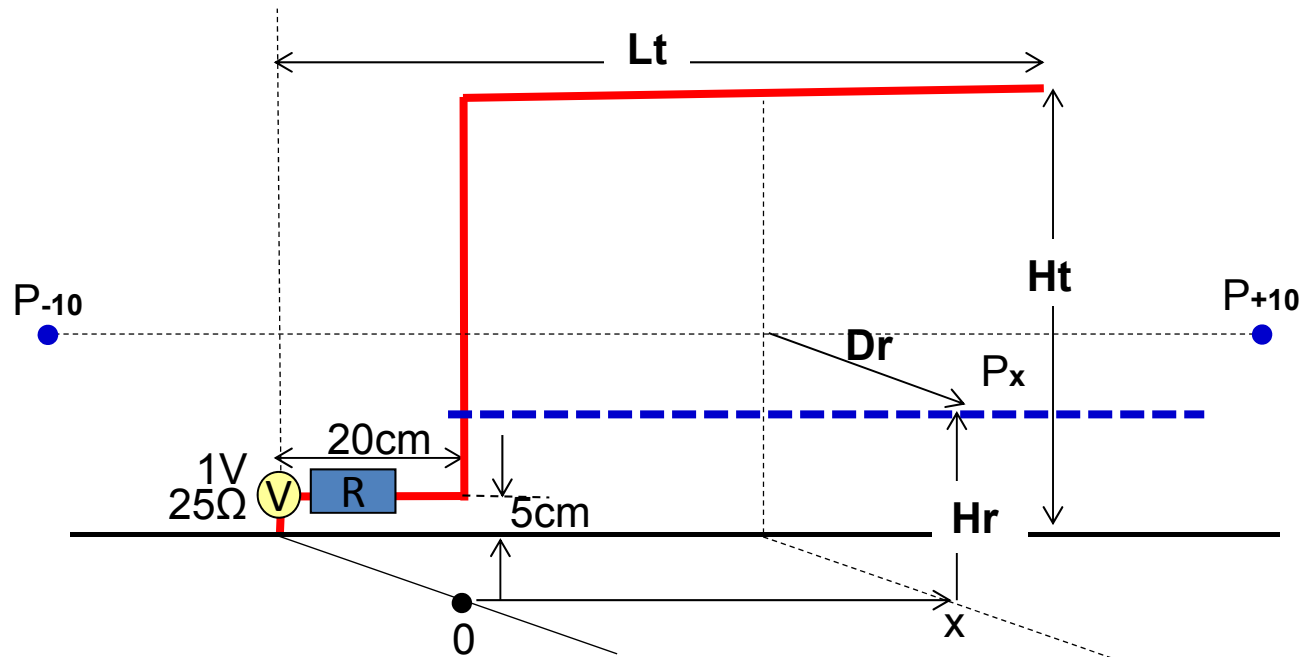
4m垂直線 (Wet ground)



(Wet ground電気定数:ITU-R P.527-3)

架空配線モデル (Metal ground)

単線モデル



$L_t = 10\text{ m}, 30\text{ m}, 100\text{ m}$

$H_t = 4\text{ m}$

$D_r = 10\text{ m}, H_r = 2\text{ m}$

Ground : Metal plane , Wet ground

10m架空配線 (Metal ground) 1

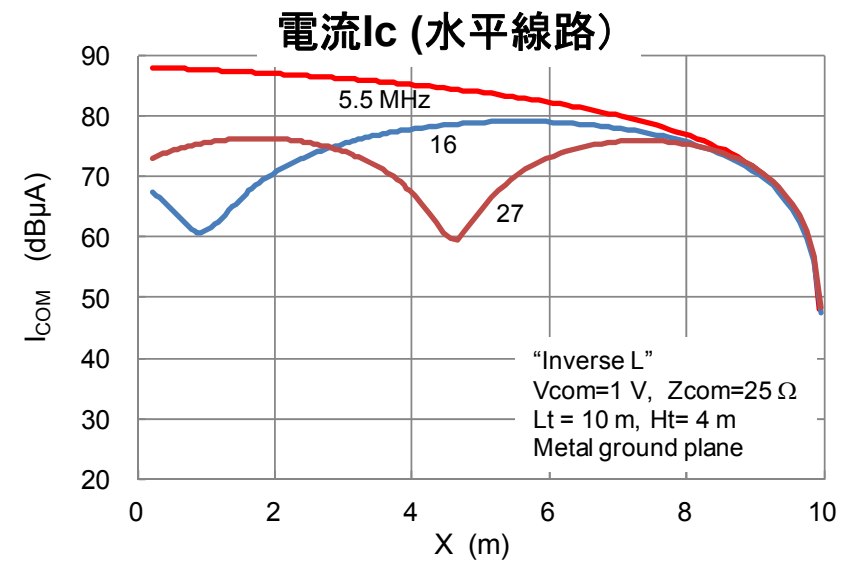
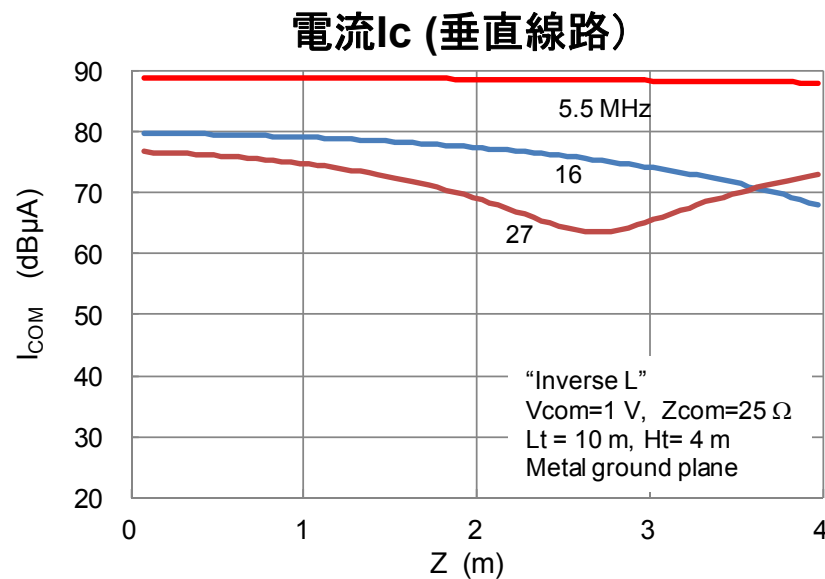
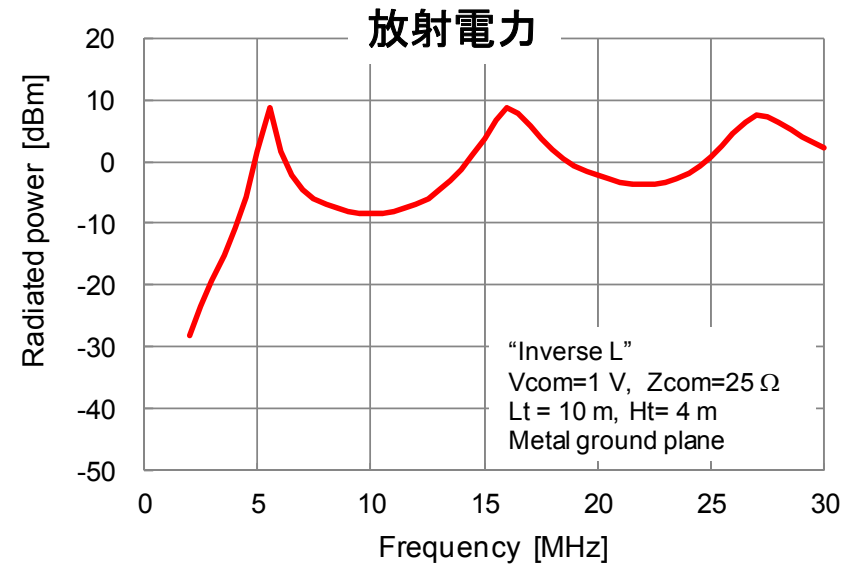
“Inverse L”

$V_{com}=1\text{ V}$, $Z_{com}=25\ \Omega$

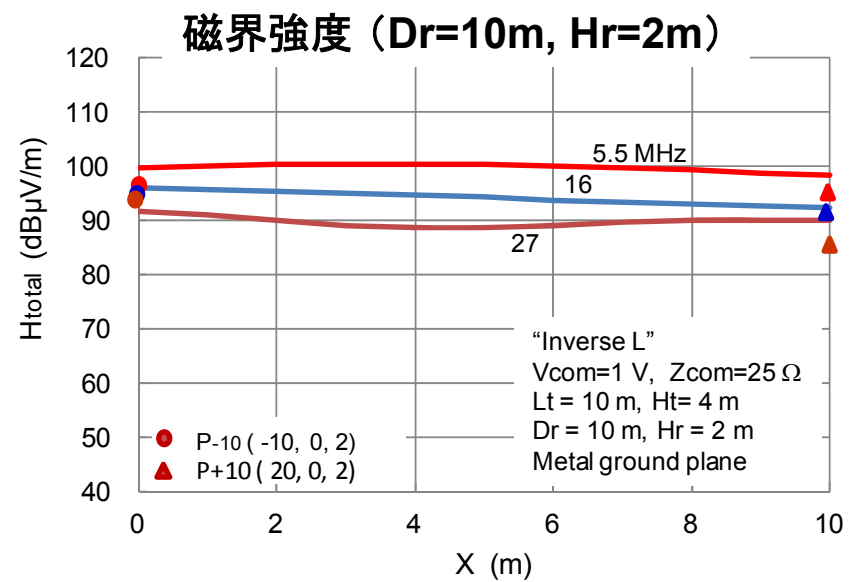
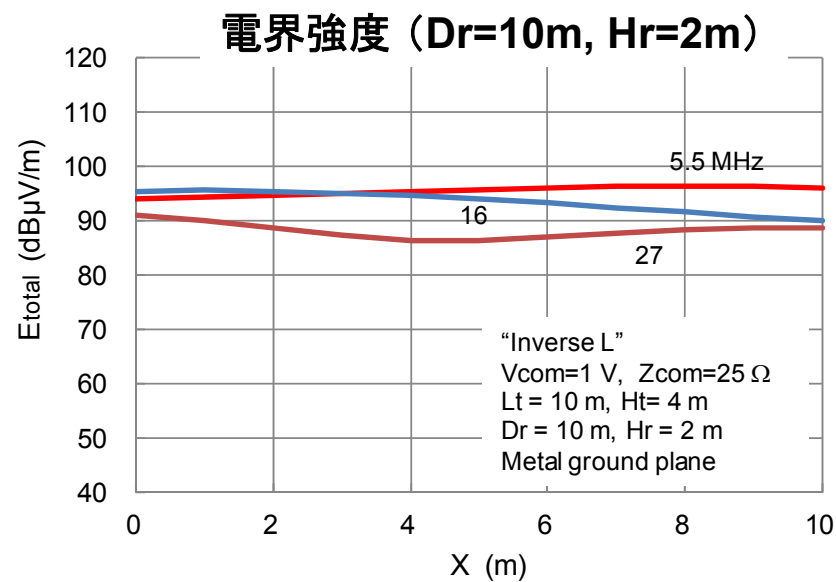
$L_t = 10\text{ m}$, $H_t = 4\text{ m}$

$D_r = 10\text{ m}$, $H_r = 2\text{ m}$

Metal ground plane



10m架空配線 (Metal ground) 2



10m架空配線 (Wet ground) 1

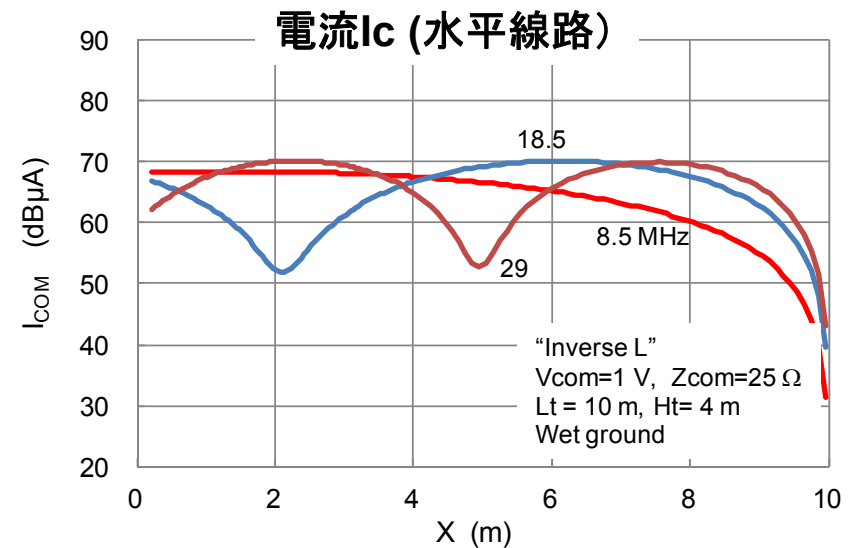
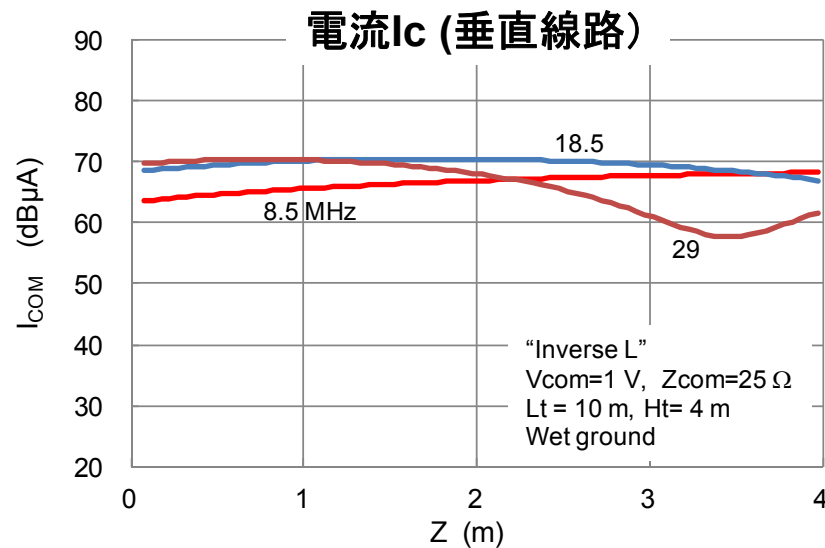
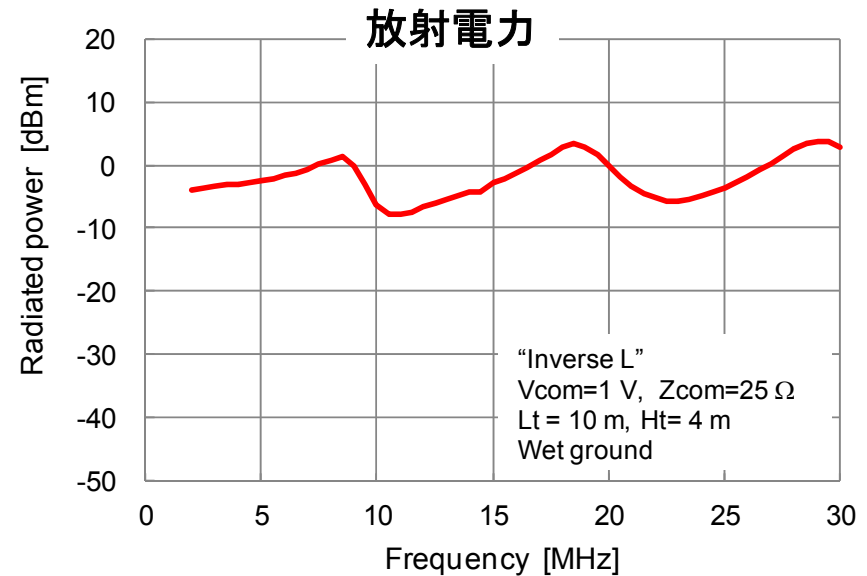
“Inverse L”

$V_{com}=1\text{ V}$, $Z_{com}=25\ \Omega$

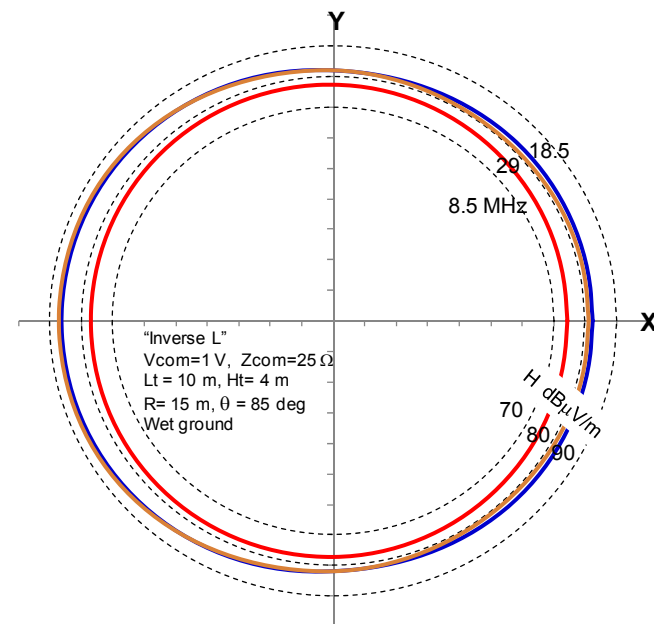
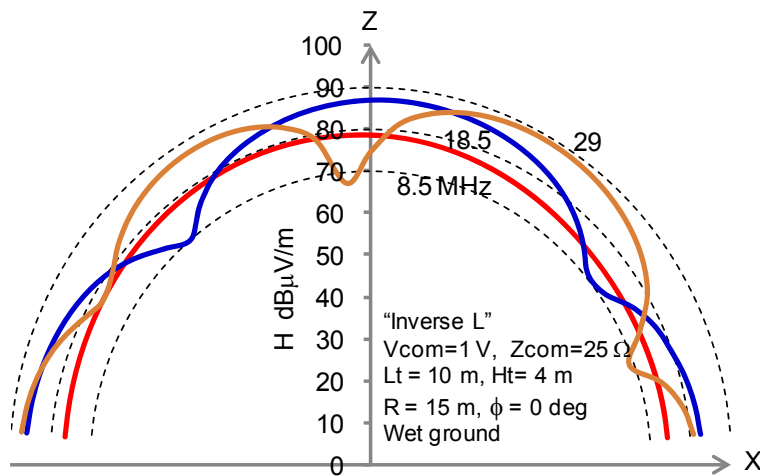
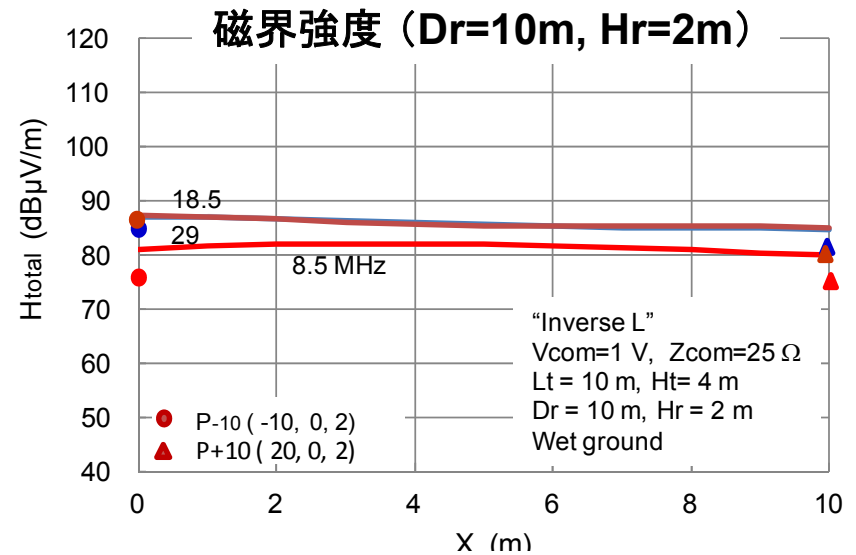
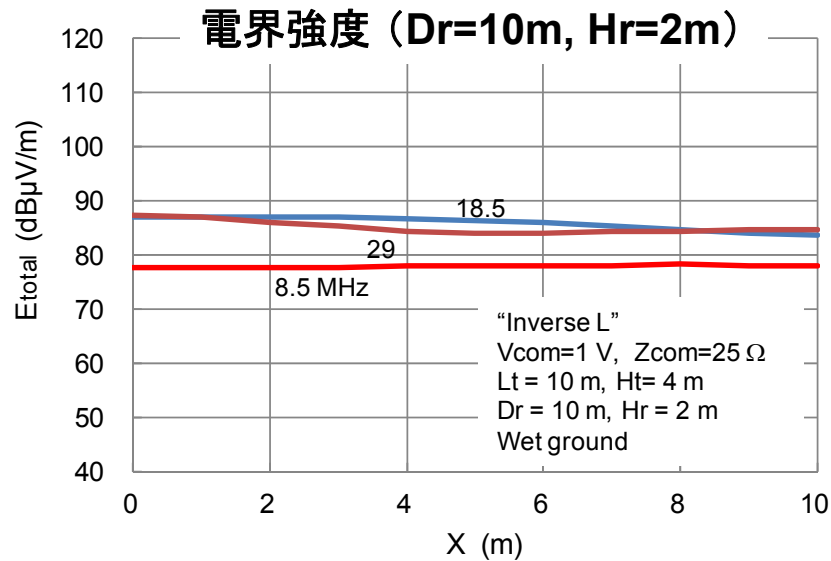
$L_t = 10\text{ m}$, $H_t = 4\text{ m}$

$D_r = 10\text{ m}$, $H_r = 2\text{ m}$

Wet ground



10m架空配線 (Wet ground) 2



30m架空配線 (Metal ground) 1

単線モデル

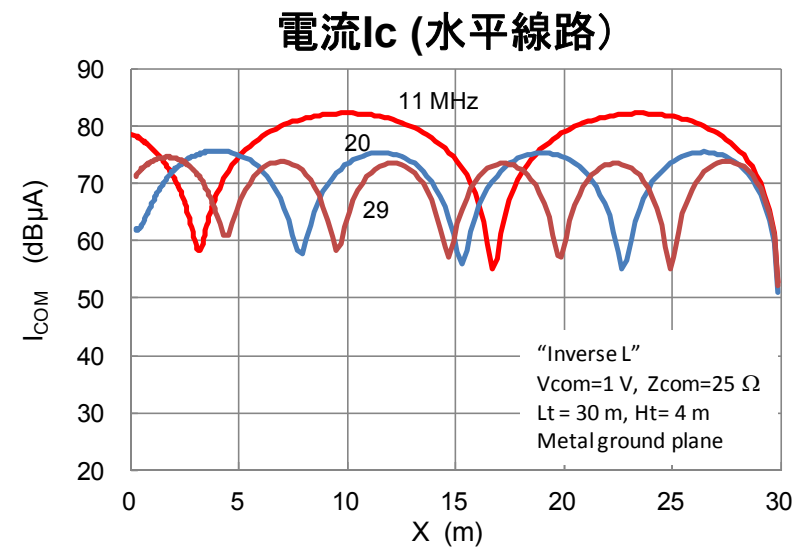
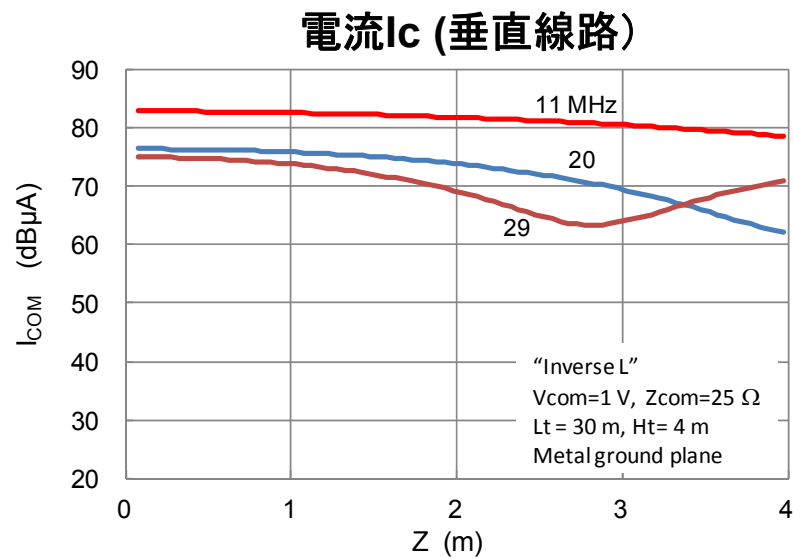
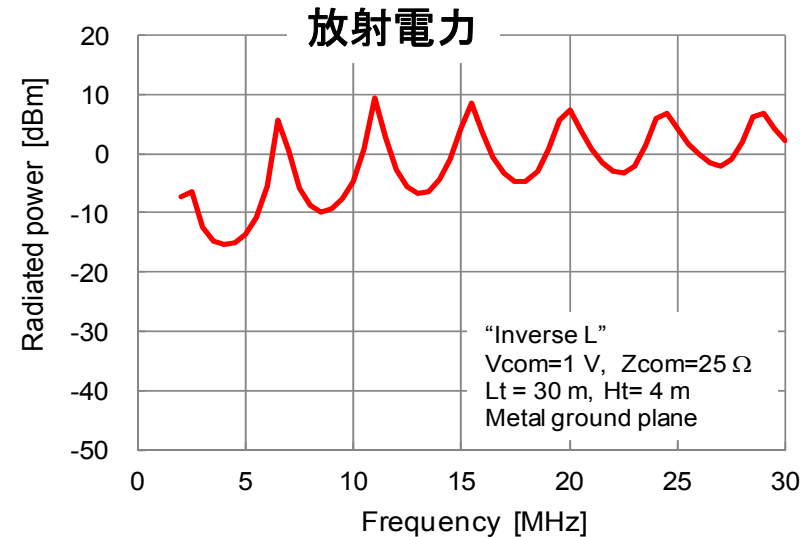
“Inverse L”

$V_{com}=1\text{ V}$, $Z_{com}=25\ \Omega$

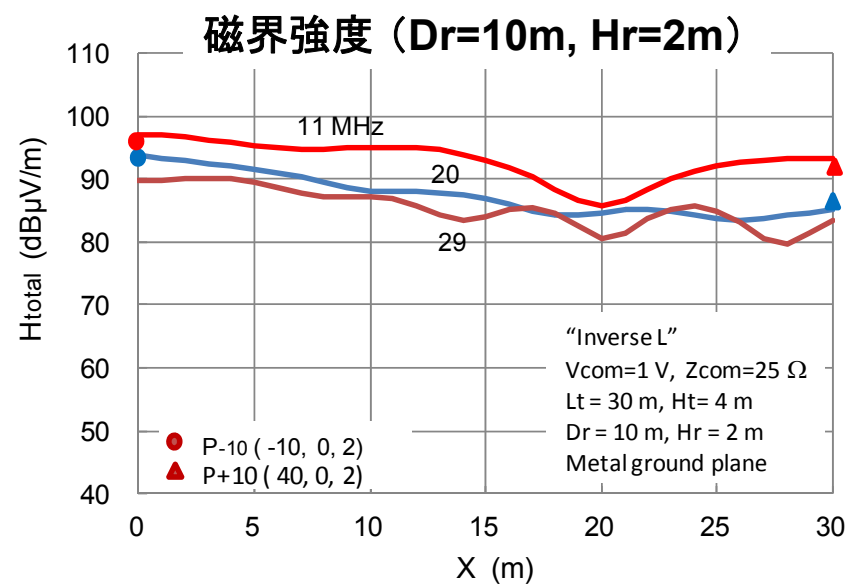
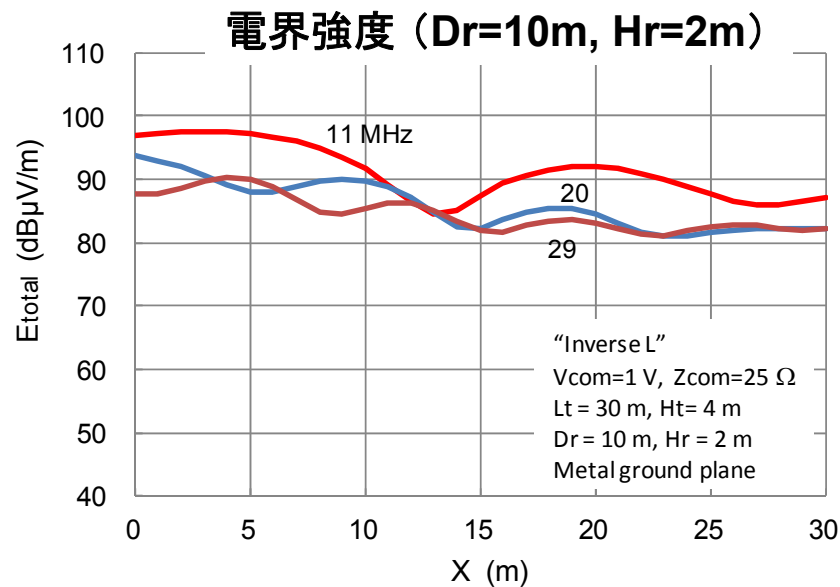
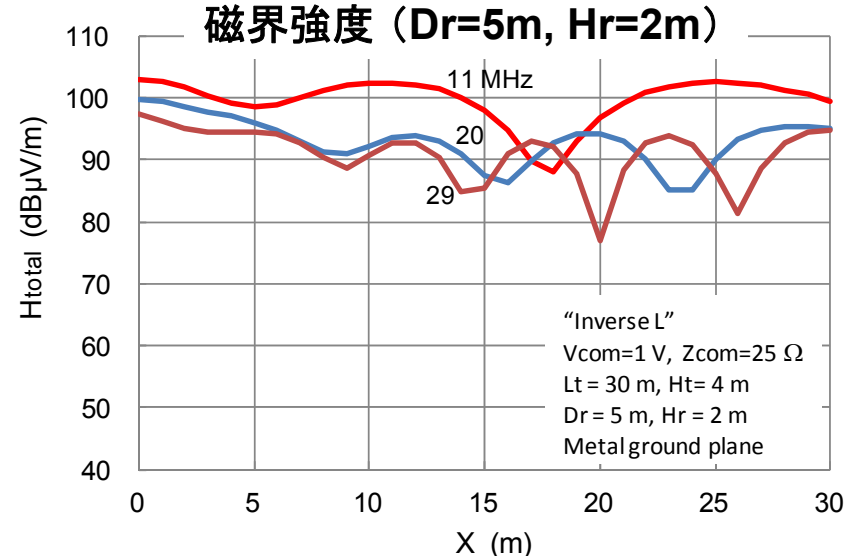
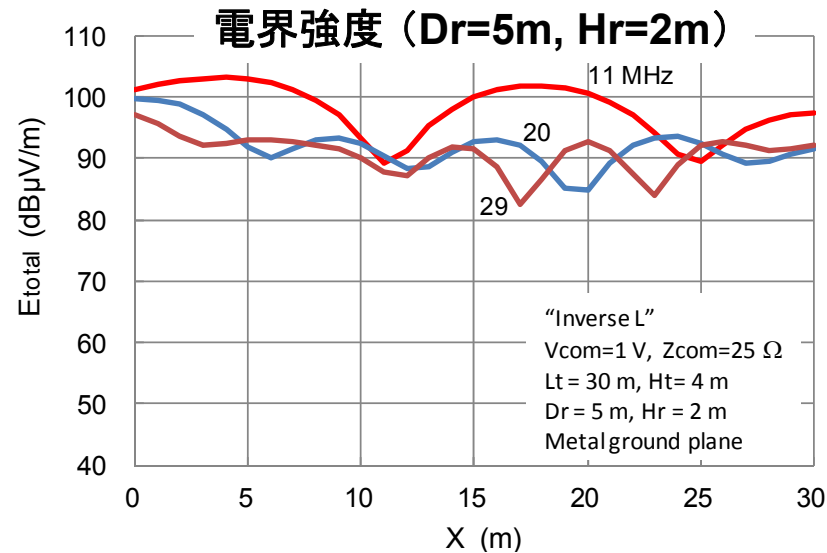
$L_t = 30\text{ m}$, $H_t = 4\text{ m}$

$D_r = 5, 10\text{ m}$, $H_r = 2\text{ m}$

Metal ground plane



30m架空配線 (Metal ground)2



30m架空配線 (Wet ground) 1

単線モデル

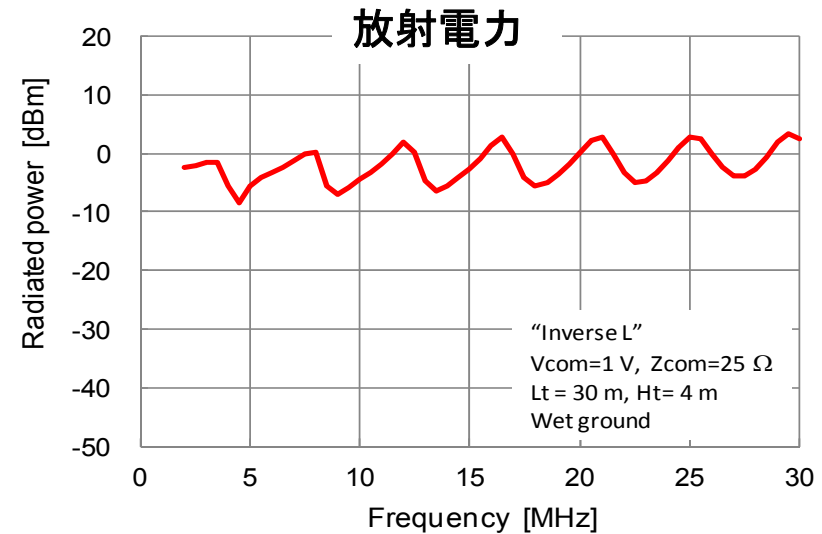
“Inverse L”

$V_{com}=1\text{ V}$, $Z_{com}=25\ \Omega$

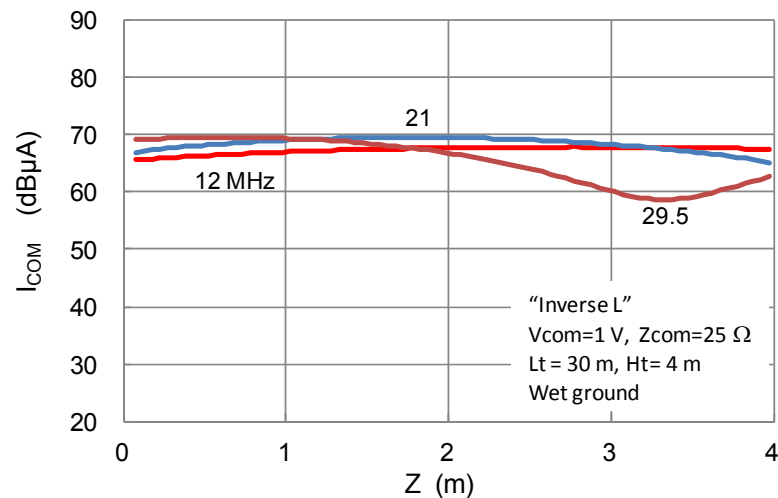
$L_t = 30\text{ m}$, $H_t = 4\text{ m}$

$D_r = 10\text{ m}$, $H_r = 2\text{ m}$

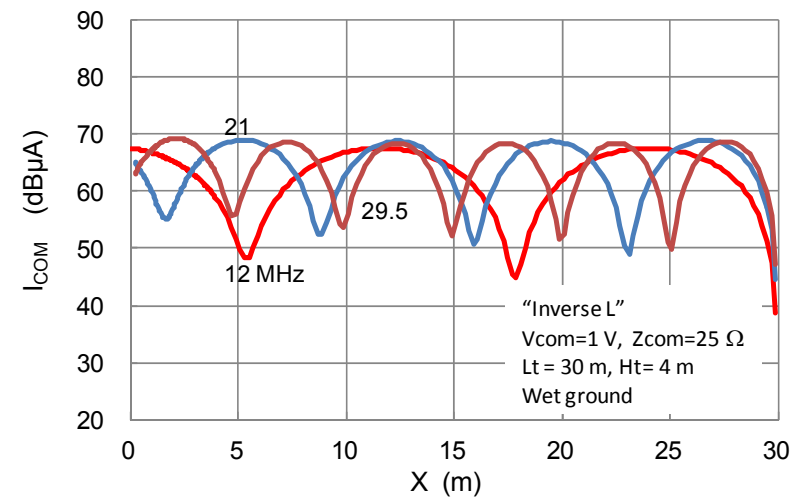
Wet ground



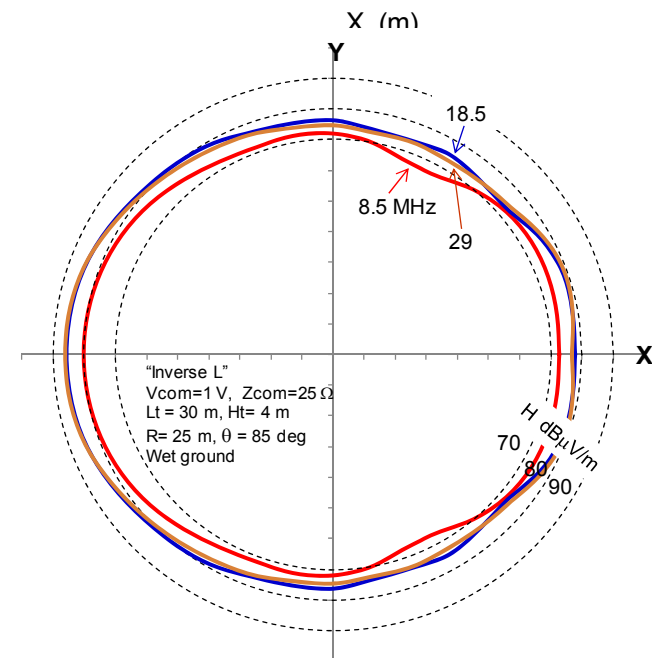
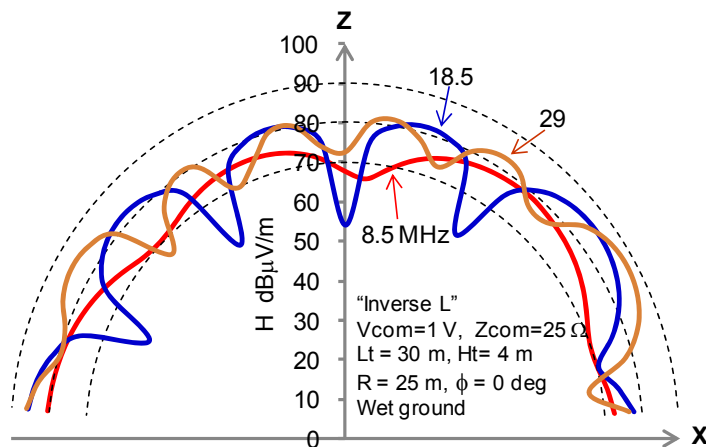
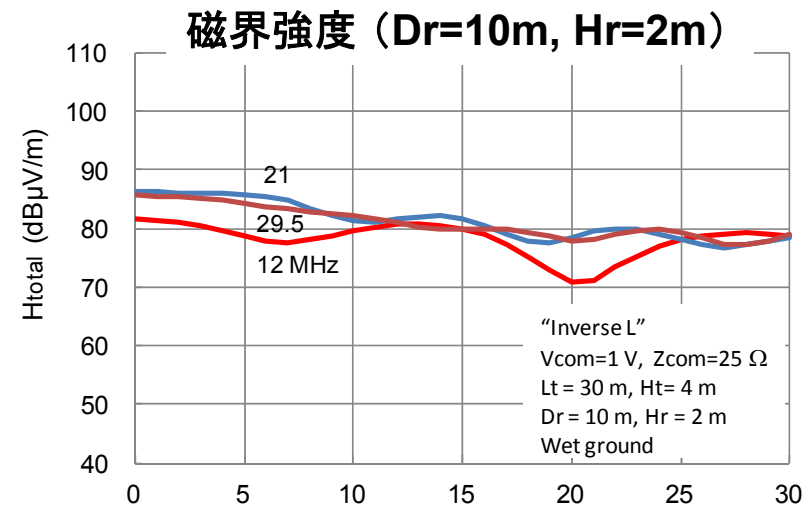
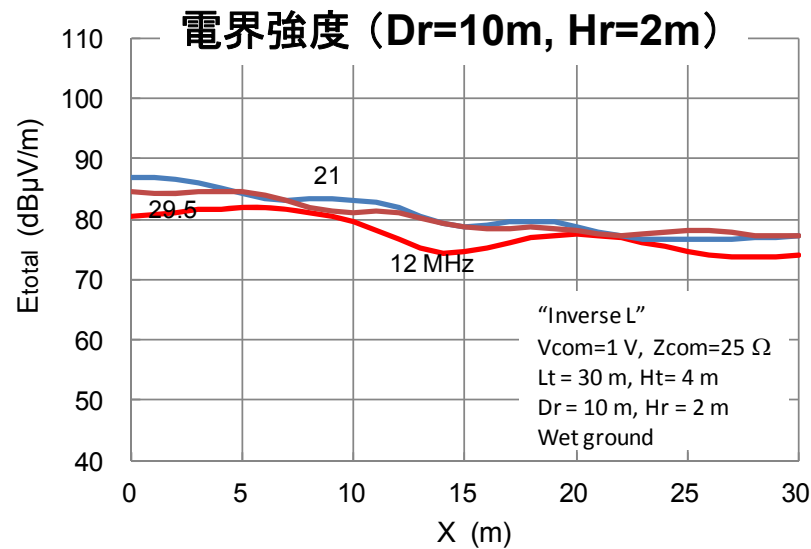
電流 I_c (垂直線路)



電流 I_c (水平線路)



30m架空配線 (Wet ground) 2



100m架空配線 (Wet ground) 1

放射電力

単線モデル

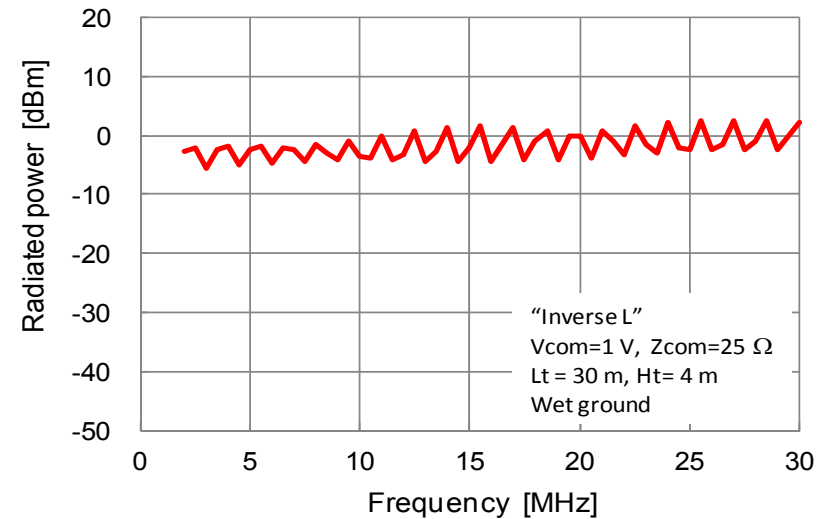
“Inverse L”

$V_{com}=1\text{ V}$, $Z_{com}=25\ \Omega$

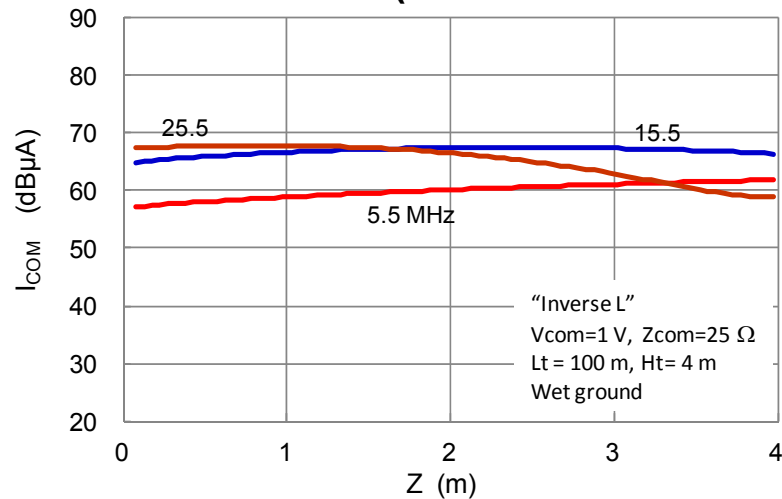
$L_t = 100\text{ m}$, $H_t = 4\text{ m}$

$D_r = 10\text{ m}$, $H_r = 2\text{ m}$

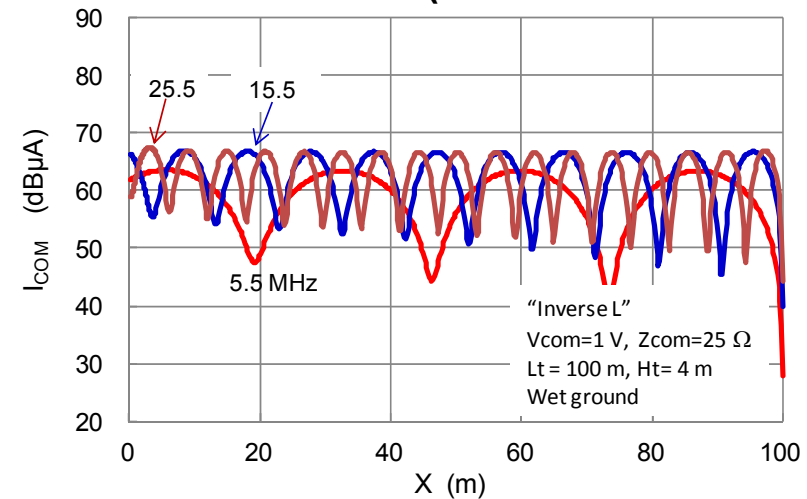
Wet ground



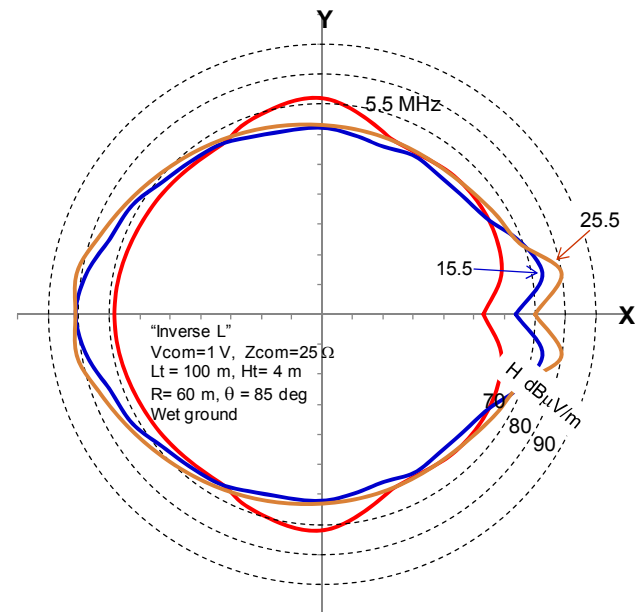
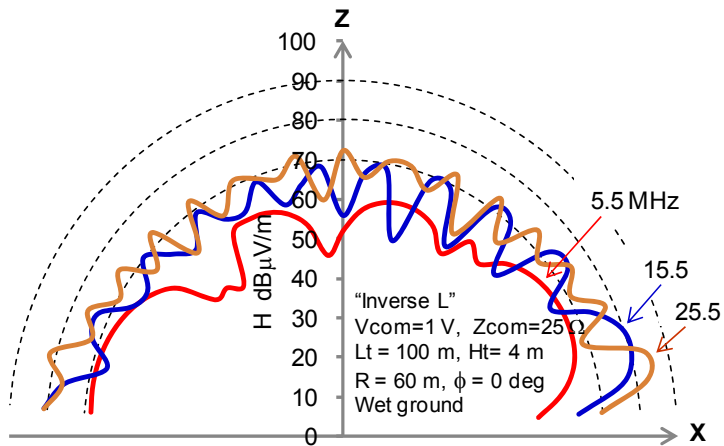
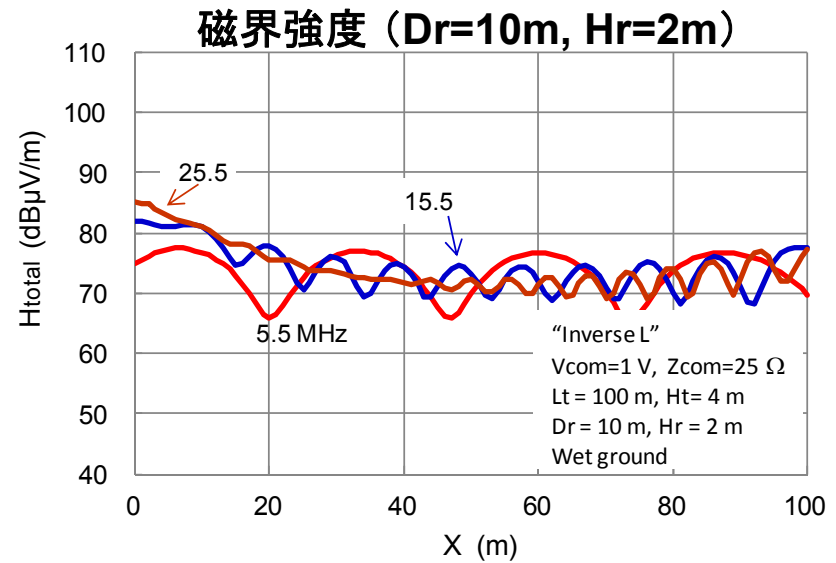
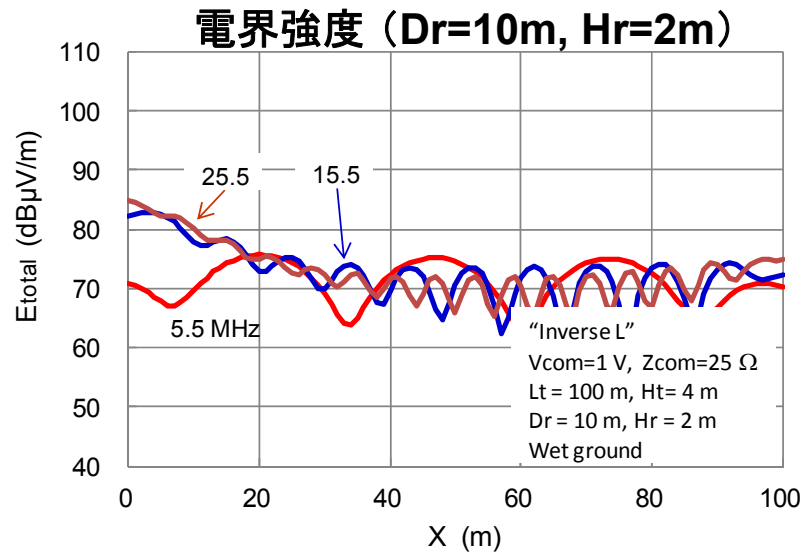
電流 I_c (垂直線路)



電流 I_c (水平線路)

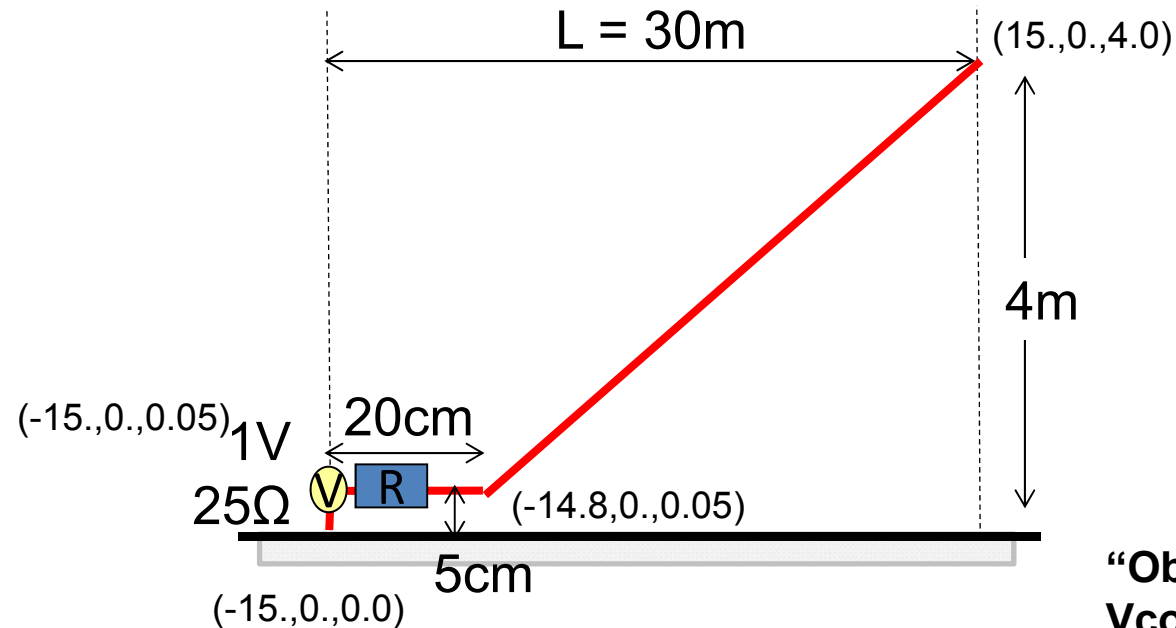


100m架空配線 (Wet ground) 2



30m 傾斜線モデル (Metal ground)

単線モデル



“Oblique”

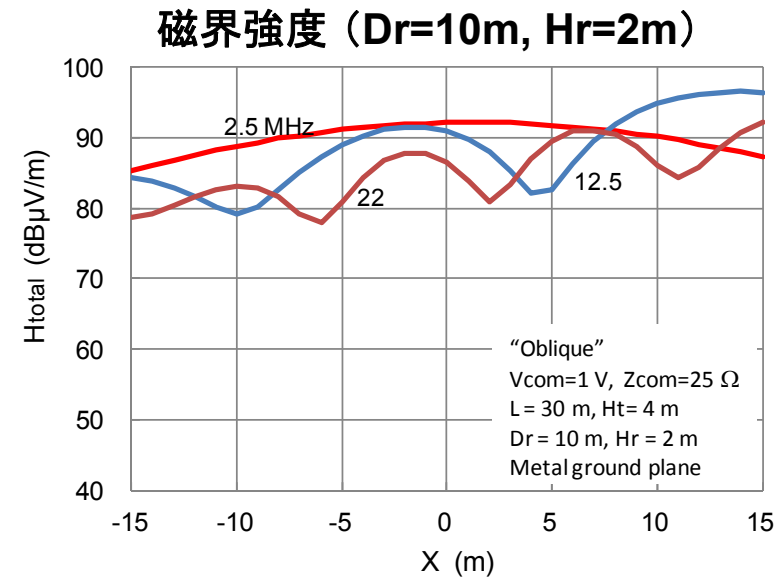
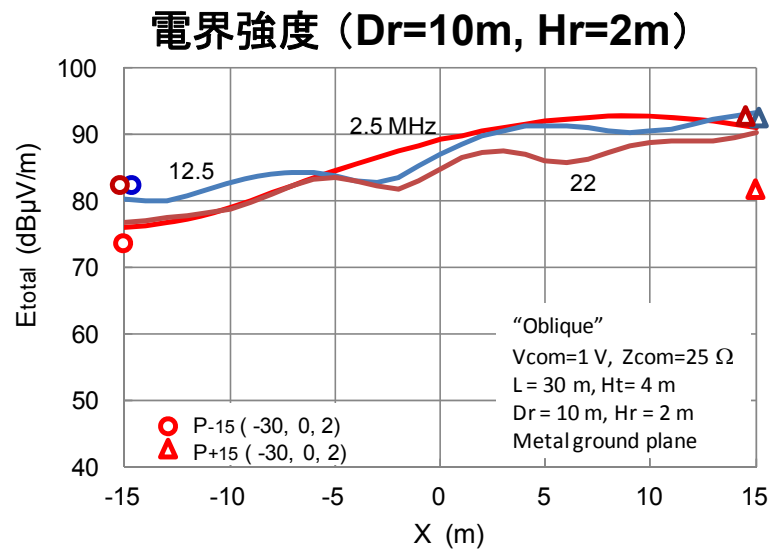
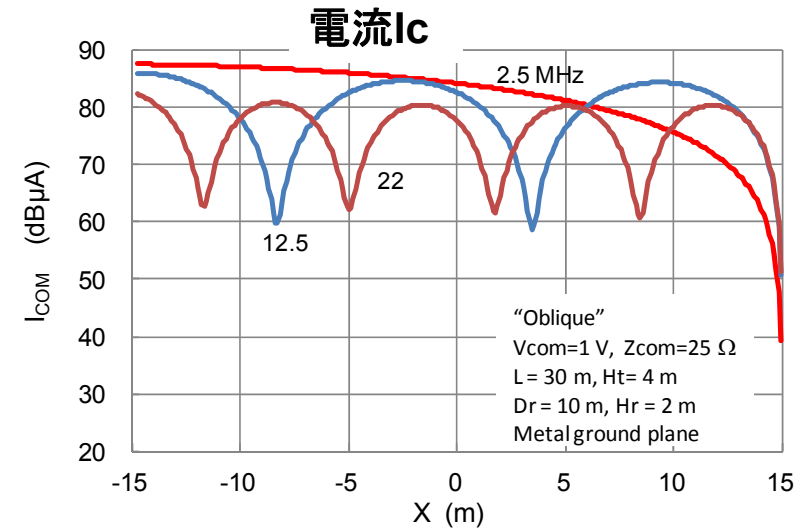
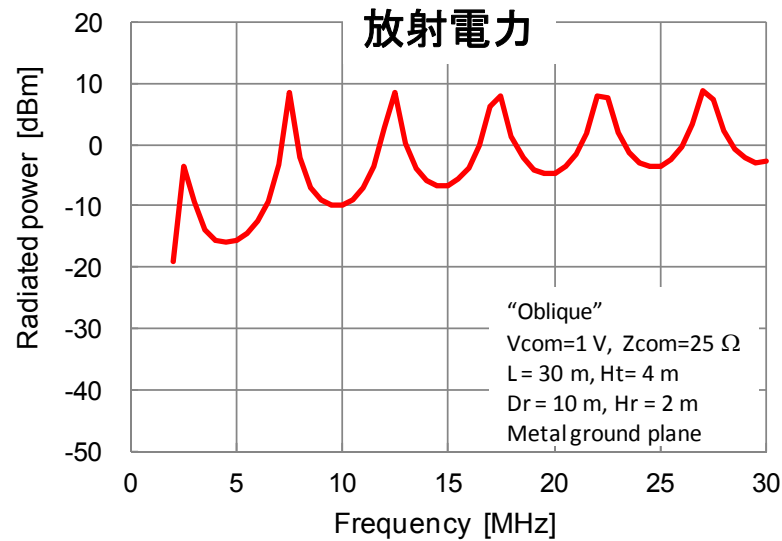
$V_{\text{com}}=1\text{ V}$, $Z_{\text{com}}=25\ \Omega$

$L = 30\text{ m}$, $H_t = 4\text{ m}$

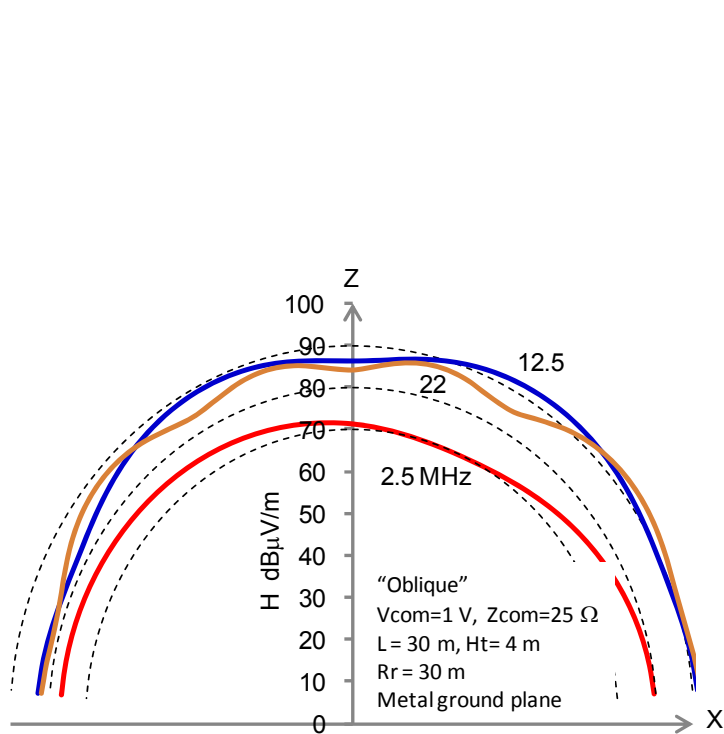
$D_r = 10\text{m}$, $H_r = 2\text{ m}$

Metal ground plane

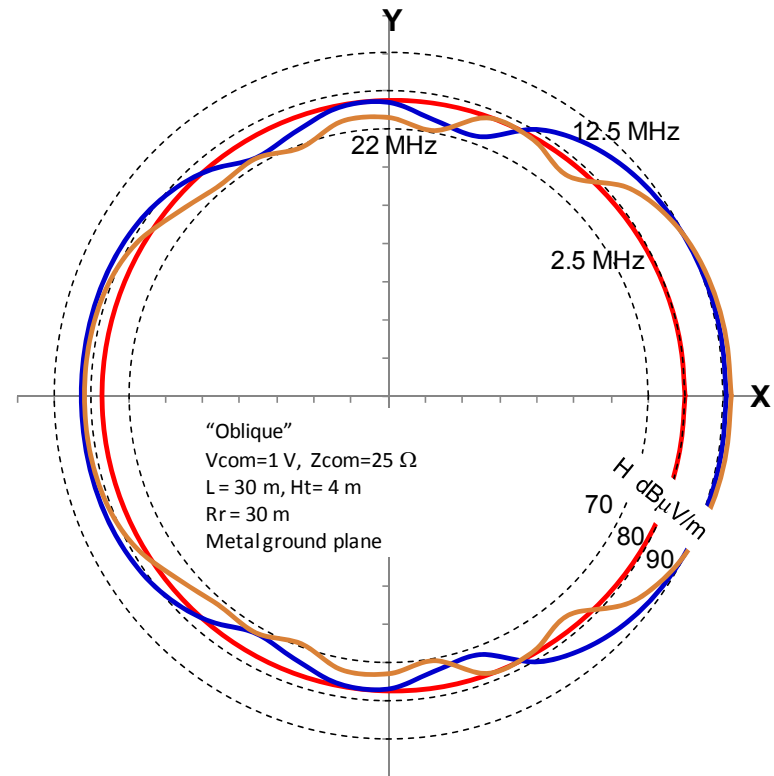
30m 傾斜線 (Metal ground) 1



30m 傾斜線(Metal ground) 2



Θ 方向のパターン ($R_r=30$ m)



Φ 方向のパターン ($R_r=30$ m)

30m 傾斜線 (Wet ground)

単線モデル

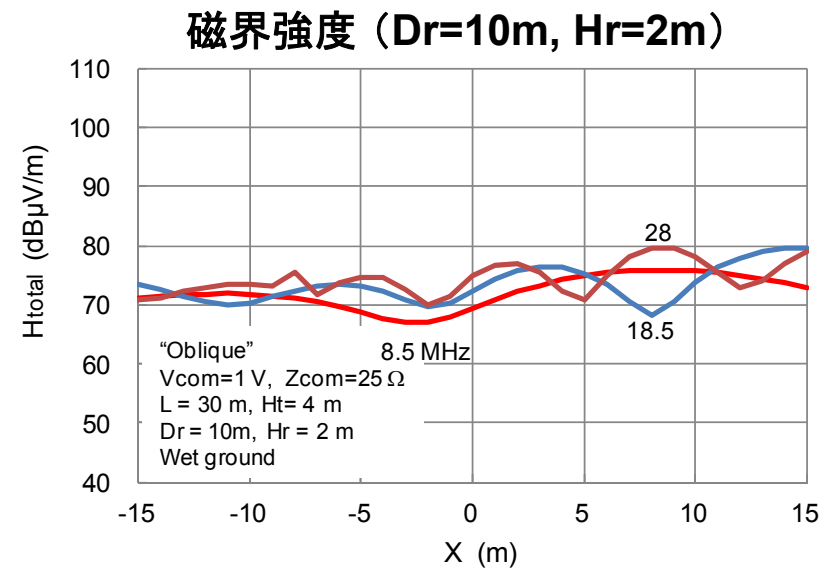
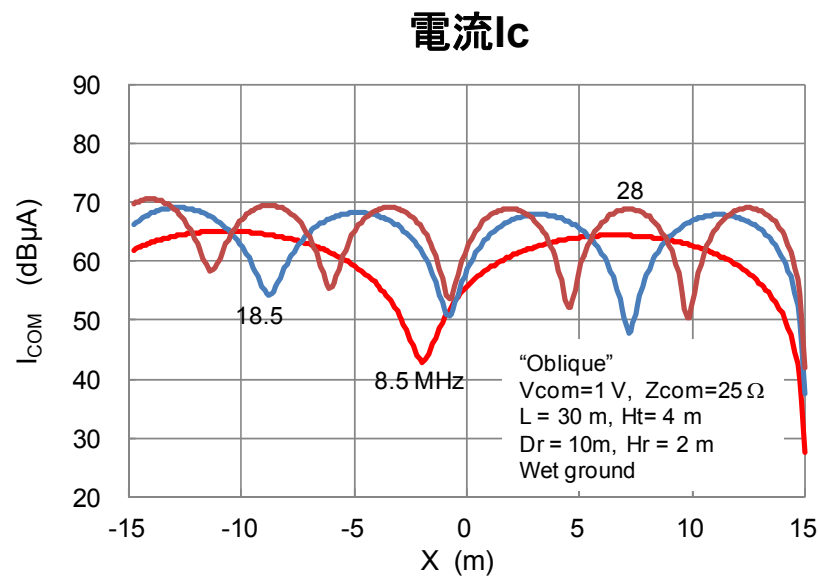
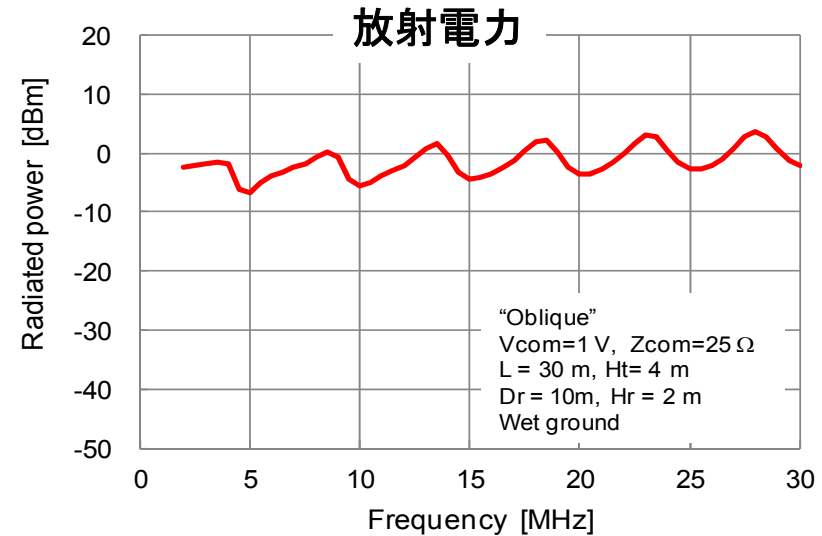
“Oblique”

$V_{com}=1\text{ V}$, $Z_{com}=25\ \Omega$

$L = 30\text{ m}$, $H_t = 4\text{ m}$

$D_r = 10\text{ m}$, $H_r = 2\text{ m}$

Wet ground



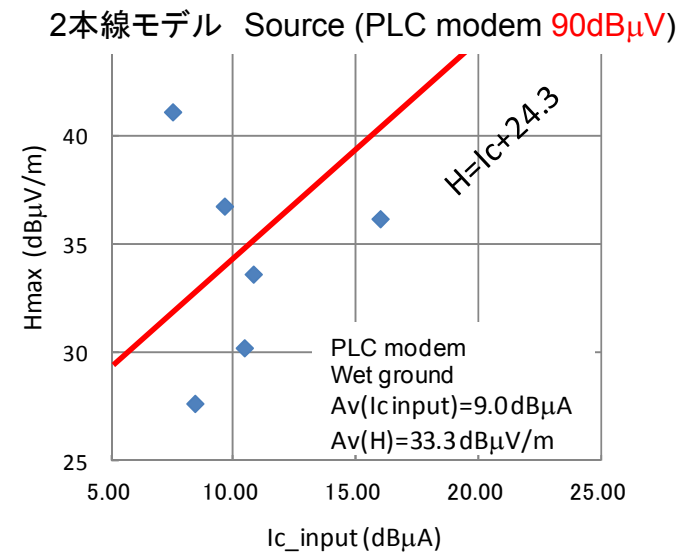
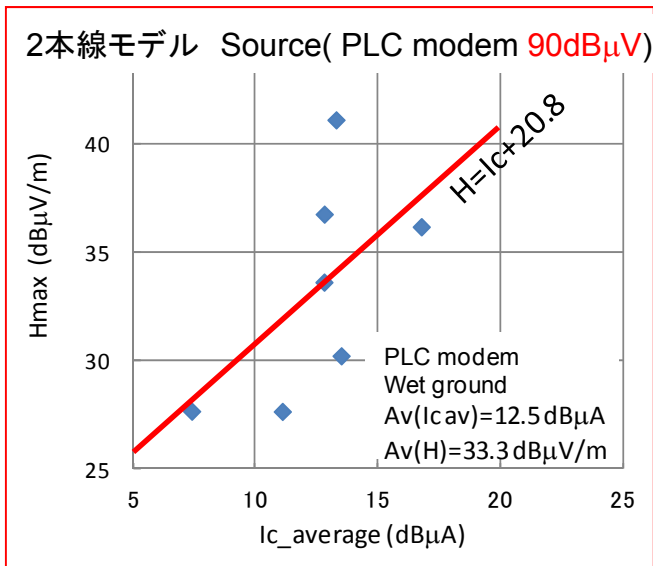
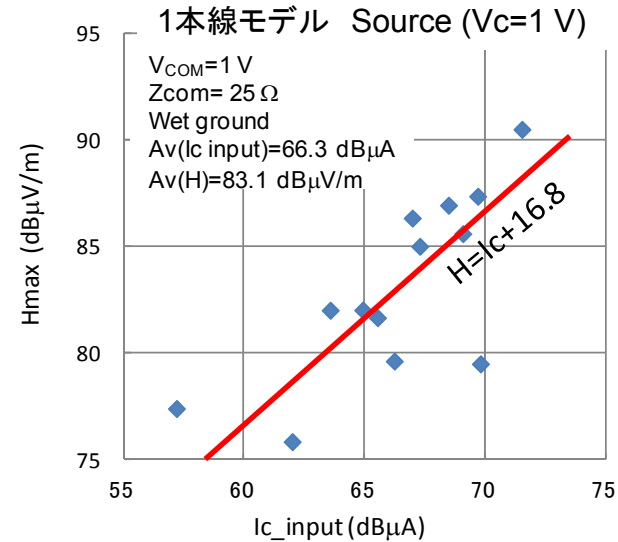
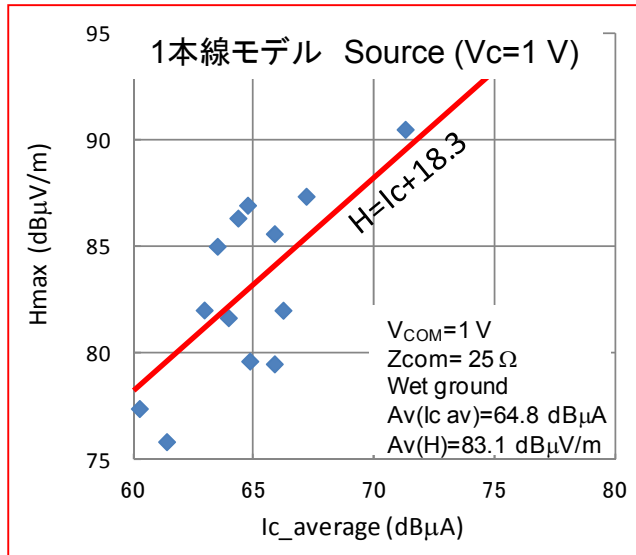
シミュレーション結果のまとめ 1

Vcom=1 V (120dB μ V) Zcom = 25 Ω		Metal Ground Plane		Wet Ground					
		電流 max (dB μ A)	電磁界強度 max (dB μ V/m) Dr=10m, Hr=2m	電流 max (dB μ A)		電磁界強度 max (dB μ V/m) Dr=10m, Hr=2m			
4m-垂直線	f $\leq$ 15 MHz	68.8	88.5	75.7		73.1		電流 (dBmA) Metal-Wet	電磁界強度 (dBmV/m) Metal-Wet
	f>15 MHz	84.4	99.4	71.5		90.5			
10m-L	f $\leq$ 15 MHz	88.7	100.2	68.2		82.0			
	f>15 MHz	79.8	95.6	70.2		87.0			
30m-L	f $\leq$ 15 MHz	82.9	97.1	67.4		81.7			
	f>15 MHz	76.4	93.8	69.4		86.0			
100m-L	f $\leq$ 15 MHz			61.8		77.4			
	f>15 MHz			67.4		85.0			
30m-斜線	f $\leq$ 15 MHz	87.5	96.4	66.0		75.9			
	f>15 MHz	85.8	92.2	70.6		79.5			
平均値	f $\leq$ 15 MHz	82.0	95.6	67.8	+7.9 / -6.0	78.0	+4.0 / -4.9	14.2	17.5
	f>15 MHz	81.6	95.3	69.8	+1.7 / -2.4	85.6	+4.9 / -6.1	11.8	9.7
			f $\leq$ 15 MHz	1 mAの時		70.2			
			f>15 MHz	1 mAの時		75.8			

H17 高速PLC 研究会 報告書 Icom(max) =1 mA	水平距離 D	10 m
	磁界強度 H	10 mA/m (72dB μ V/m)
	電界強度 E	3.8x10 ³ mV/m (72dB μ V/m)

- (1) 金属大地面に比べて、一般大地(Wet ground)の方が、Icom, 電磁界強度は、共に10dB以上低下
- (2) 線路の様々な配置にもかかわらず、Icom(max)=1 mAによって発生する距離10mにおける電磁界強度は、70~76 dBmV/m程度で、H17年度高速PLC研究会報告書に記載の値とほぼ同じである。

シミュレーション結果のまとめ 2



モデム出力端電流と漏えい電磁界の相関は無し

単線モデルのIc回路インピーダンス

$$Z_{cd} = \frac{Z_4 - Z_5}{2} \left(= \frac{66.3 - 33.7}{2} = 16.3 \right) \text{[}$$

$$I_c \approx \frac{E_{PLC}}{Z_{Gdd} + Z_{Ldd}} \frac{Z_{cd}}{Z_{Lcc} + Z_{com}} \approx \frac{31.6 \times 10^3}{100 + 100} \frac{16.3}{25 + Z_{ant}} \approx 20 \text{ dB}(\mu\text{A})$$

Wet Ground上のAntenna Impedance (大地を含む)					
	MHz	Real(Zant)	-Zcom	Imag(Zant)	ABS(Zant)
10L(wet)	8.5	731.1	706.1	-23.8	706.5
	18.5	395.1	370.1	-122.8	389.9
	29.0	319.3	294.3	-143.0	327.2
30L(wet)	12.0	511.2	486.2	-243.8	543.9
	21.0	494.8	469.8	-77.9	476.2
	29.5	323.9	298.9	-176.4	347.1
100L(wet)	5.5	1486.3	1461.3	-14.4	1461.4
	15.5	582.2	557.2	-195.4	590.5
	25.5	385.0	360.0	-230.0	427.2
30V(wet)	8.5	770.0	745.0	-345.1	821.0
	18.5	524.6	499.6	-141.6	519.2
	28.0	316.1	291.1	-147.0	326.1
4m垂直線	6.0	763.2	738.2	-1494.1	1666.5
	10.0	421.2	396.2	-1015.9	1090.4
	14.0	274.5	249.5	-695.0	738.4
	18.0	215.7	190.7	-451.7	490.3
	22.0	209.2	184.2	-237.2	300.3
	26.0	265.4	240.4	-8.1	240.5
	30.0	497.0	472.0	287.6	552.7

↑
Zant=200 ohmの場合

高速電力線搬送通信に関する研究会 1

報告書 2005.12

電力線を流れるコモンモード
電流によって発生する電磁界
の距離減衰特性を計算

電流最大値は
1 mA (60 dB μ A)に固定

大地: wet ground

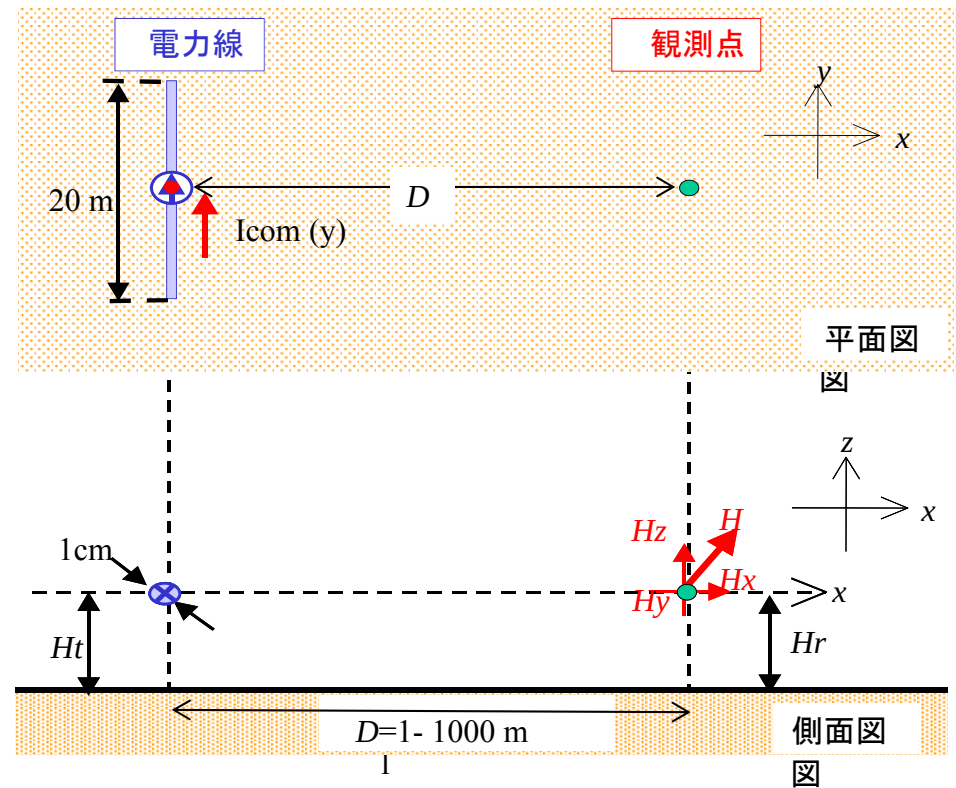


図5-10
水平設置の電力線モデルと観測点

高速電力線搬送通信に関する研究会 2

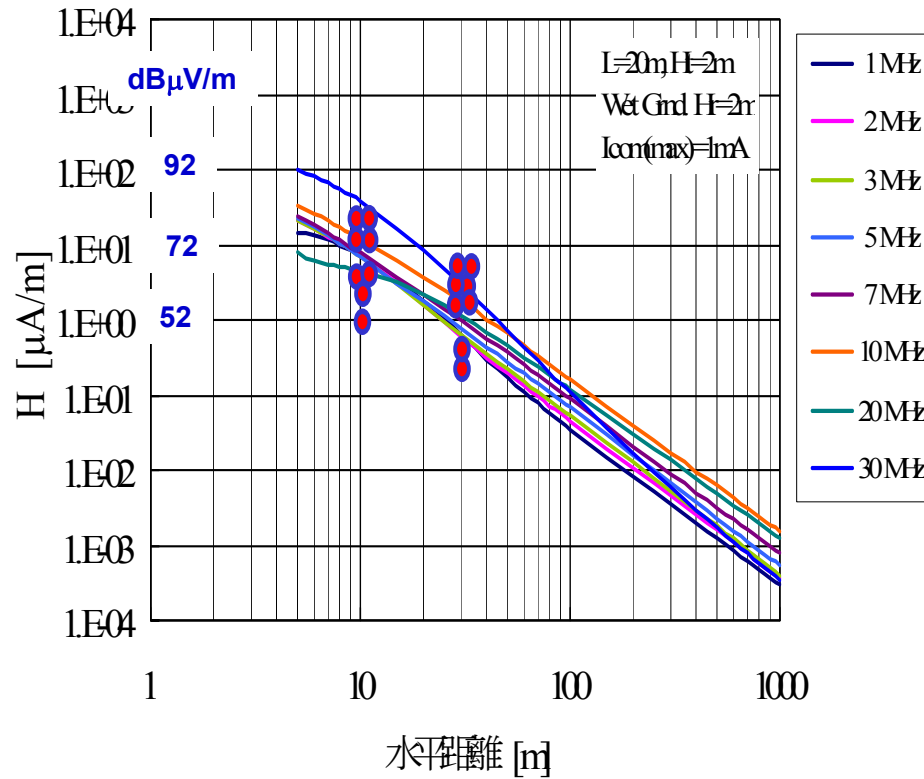


図5-11
水平線路の電流(1mA max)によって生じる磁界の距離特性
(Wet ground, $H_t=2\text{m}$, $H_r=2\text{m}$)

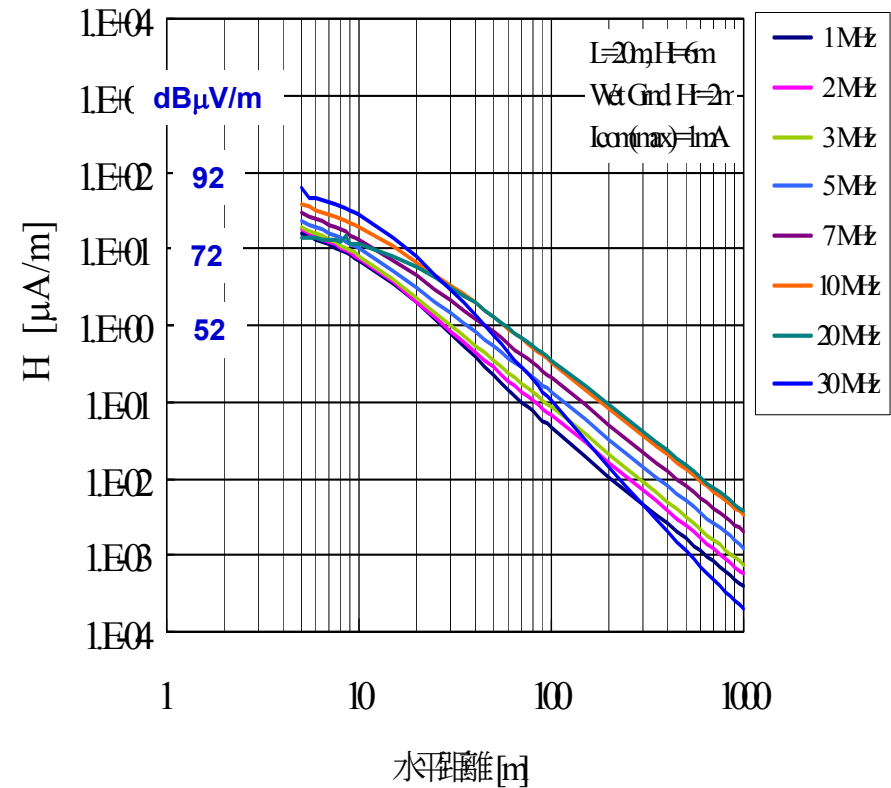


図5-13
水平線路の電流(1mA max)によって生じる磁界の距離特性
(Wet ground, $H_t=6\text{m}$, $H_r=2\text{m}$)

高速電力線搬送通信に関する研究会 3

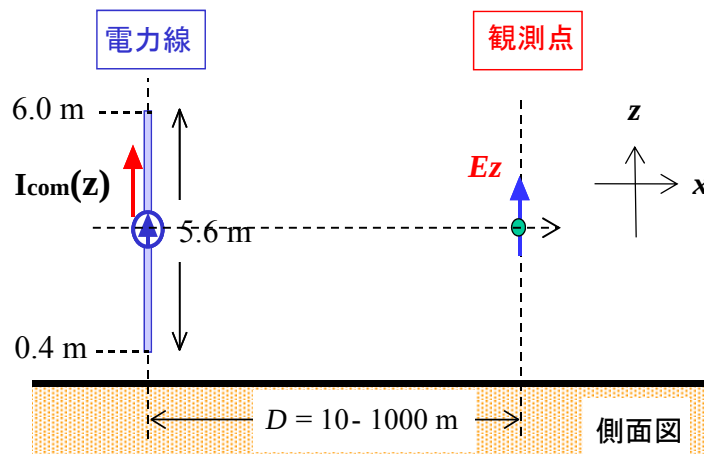


図5-15
垂直設置の電力線モデルと観測点

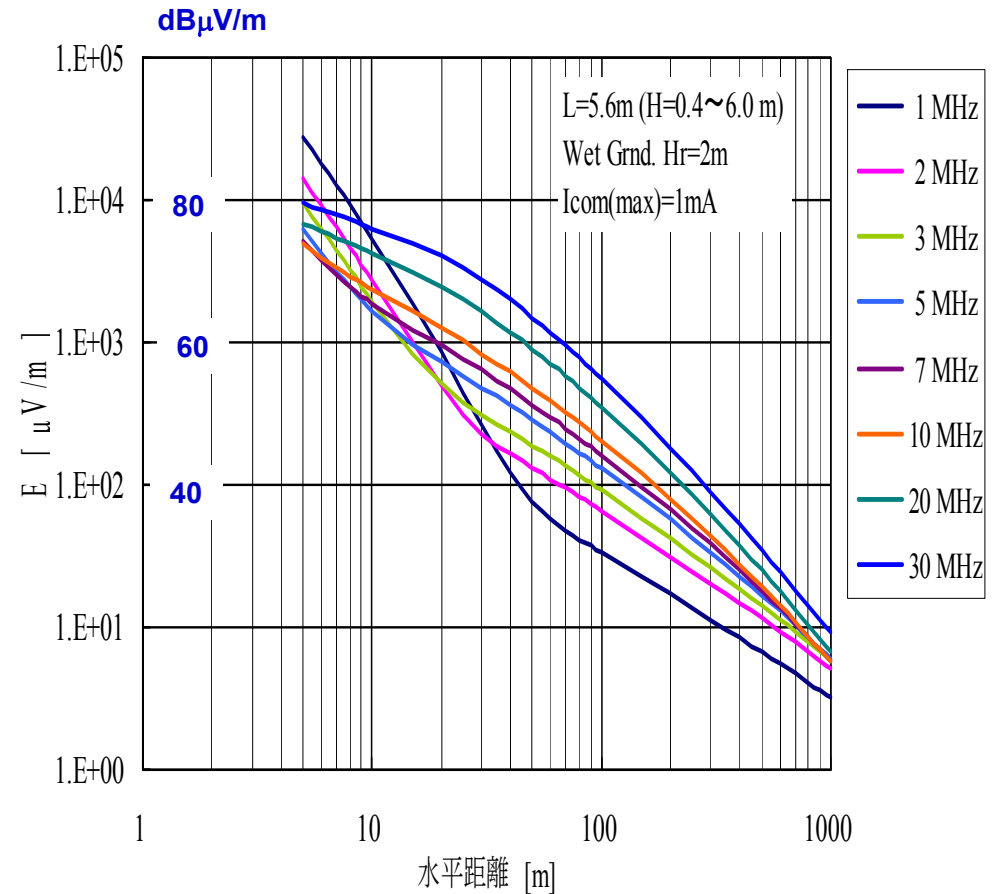


図5-16
垂直線路の電流 (1mA max)によって生じる電界の距離特性
(Wet ground)