

ARP 958 two identical antenna method アンテナ校正における グランド・プレーンの影響

T. Sato

平成 27 年 12 月 29 日

ARP 958^[3] でのアンテナ校正はグランド・プレーン上で行なわれるが、ゲインやアンテナ係数の算出では自由空間伝搬が仮定されており、グランド・プレーンの影響は考慮されていない。また、この規格では、校正時の偏波も明確に述べられていない。ここでは、ARP 958 two identical antenna method でのアンテナ校正における、グランド・プレーンやアンテナの偏波の影響を検討する。

1 ARP 958 two identical antenna method

ARP 958^[3] two identical antenna method でのアンテナ校正は、送受信アンテナをグランド・プレーン上 3 m に置き、アンテナ間距離を 1 m として行なわれる。

直接波の伝搬距離が 1 m であるのに対して、グランド・プレーンでの反射波の伝搬距離は 6 m 強となり、従ってグランド・プレーンの影響は比較的小さくなることが予想されるものの、それでも反射波が測定結果に影響を与え得る。

2 理論的考察

2.1 自由空間での電磁波の伝搬

自由空間においては、電力 P (W) を放射する等方性の放射源から距離 R (m) における電界強度 E (V/m) は、

$$E = \sqrt{30P}/R$$

となる。¹

送信アンテナとして半波長ダイポールを用いた場合、半波長ダイポールのゲインは 1.64 であるので^[4]、そのメインローブの方向における電界強度は、

$$E = \sqrt{49.2P}/R$$

となり、これをデシベルで表現すると、

$$E_{\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}} = 20 \log(\sqrt{49.2P}/R) = 16.92 + P_{\text{dBpW}} - 20 \log R$$

となり、 $P = 0$ dBpW、 $R = 1$ m の場合、

$$E_{\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}} = 20 \log(\sqrt{49.2P}/R) = 16.92 \text{ (dB}\mu\text{V}/\text{m)}$$

となる。

¹等方性アンテナから放射される電磁界は全ての方向に均等に球面状に拡がるので、等方性アンテナから電力 P (W) が放射されているとき、距離 R (m) (球面の表面積は $4\pi R^2$ (m²) となる) における電力密度 P_D (W/m²) は、 $P_D = P/4\pi R^2$ となる。また、自由空間のインピーダンスは 120π (Ω) であり、従って遠方界においては電力密度 P_D と電界強度 E (V/m) は、 $P_D = E^2/(120\pi)$ の関係となることから。

2.2 大地面の影響

2.2.1 水平偏波

ダイポール・アンテナは、H面内では顕著な指向性を持たない^[5]ため、水平偏波の場合、その影響の考慮は不要と考えられる。しかしながら、経路長はアンテナ高に応じて変化するので、その考慮は必要となる。

[1]によると、水平偏波、送信アンテナ高 h_1 、受信アンテナ高 h_2 の条件での、受信アンテナでの受信レベルは、

$$E_{DH} = \sqrt{49.2} \frac{\sqrt{d_2^2 + d_1^2 |\rho_h|^2 + 2d_1 d_2 |\rho_h| \cos(\phi_h - \beta[d_2 - d_1])}}{d_1 d_2}$$

但し、

d_1 は直接波の経路長で、 $d_1 = \sqrt{R^2 + (h_1 - h_2)^2}$

d_2 は反射波の経路長で、 $d_2 = \sqrt{R^2 + (h_1 + h_2)^2}$

R はアンテナ間の水平面上での距離、

ρ_h は大地面の反射係数で、 $\sigma \rightarrow \infty$ の場合、 $\rho_h = \frac{\sin \gamma - \sqrt{K - j60\lambda\sigma - \cos^2 \gamma}}{\sin \gamma + \sqrt{K - j60\lambda\sigma - \cos^2 \gamma}} \simeq -1$

ϕ_h は大地面の反射係数の位相角で、 $\rho_h = |\rho_h| e^{j\phi_h}$

γ は大地面への入射角

K は大地面の比誘電率

σ は大地面の導電率 (S/m) で、金属面の場合は $\sigma \rightarrow \infty$ と仮定できる

β は波数で、 $\beta = 2\pi/\lambda$

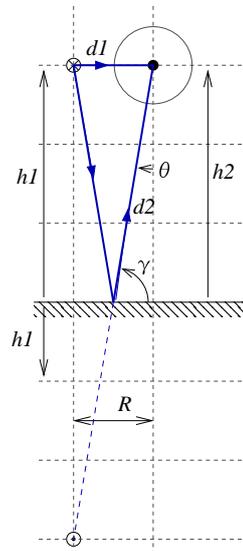


図 1: 直接波と反射波 (水平偏波)

2.2.2 垂直偏波

ダイポール・アンテナも、E面内では顕著な指向性を持つ^[5]ため、垂直偏波の場合、その影響の考慮も必要となる。ダイポール・アンテナの指向性は、 $F(\theta) \simeq \sin \theta = R/d$ で近似できると仮定できる。

[1] によると、垂直偏波、送信アンテナ高 h_1 、受信アンテナ高 h_2 の条件での、受信アンテナでの受信レベルは、

$$E_{DV} = \sqrt{49.2} \frac{R^2 \sqrt{d_2^6 + d_1^6 |\rho_v|^2 + 2d_1^3 d_2^3 |\rho_v| \cos(\phi_v - \beta[d_2 - d_1])}}{d_1^3 d_2^3}$$

但し、

$$\rho_v \text{ は大地面の反射係数で、} \sigma \rightarrow \infty \text{ の場合、} \rho_v = \frac{(K - j60\lambda\sigma) \sin \gamma - \sqrt{K - j60\lambda\sigma - \cos^2 \gamma}}{(K - j60\lambda\sigma) \sin \gamma + \sqrt{K - j60\lambda\sigma - \cos^2 \gamma}} \simeq 1$$

$$\phi_v \text{ は大地面の反射係数の位相角で、} \rho_v = |\rho_v| e^{j\phi_v}$$

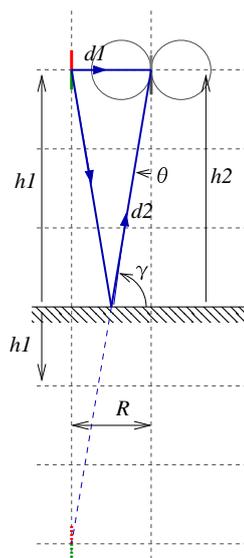


図 2: 直接波と反射波 (垂直偏波)

2.3 計算結果

先に示した式を用いて、 $R = 1$ m、 $h_1 = h_2 = 3$ m における半波長ダイポール・アンテナからの電界強度 E_D を計算した結果を図 3 に示す。

ダイポール・アンテナの場合、その指向性の影響で、

- 垂直偏波においては反射波の影響をあまり受けず²、 16.92 ± 0.04 dB 程度の幅に収まっているが、
- 水平偏波においては反射波の影響がかなり大きくなり、 $16.92_{-1.56}^{+1.32}$ dB 程度³ の大きなリップルを生じる、

という結果となっている。

バイコニカル・アンテナも同様の指向性を持ち、従って同様に測定結果に大地面からの反射波の影響による同程度のリップルを生じることが予想される。また、対数周期アンテナの場合は、H 面内でも指向性を持つことから、この影響はダイポール・アンテナやバイコニカル・アンテナの場合と比較して小さくなることが予想される。

²図 2 で見られるように、反射波の方向はヌルに近く、従ってその方向への放射は小さく、またその方向からの入射に対する感度は小さいものとなる。

³ $\sqrt{1^2 + 3^2} = 6.08$, $20 \log(1 - 1/6.08) = -1.56$, $20 \log(1 + 1/6.08) = +1.32$

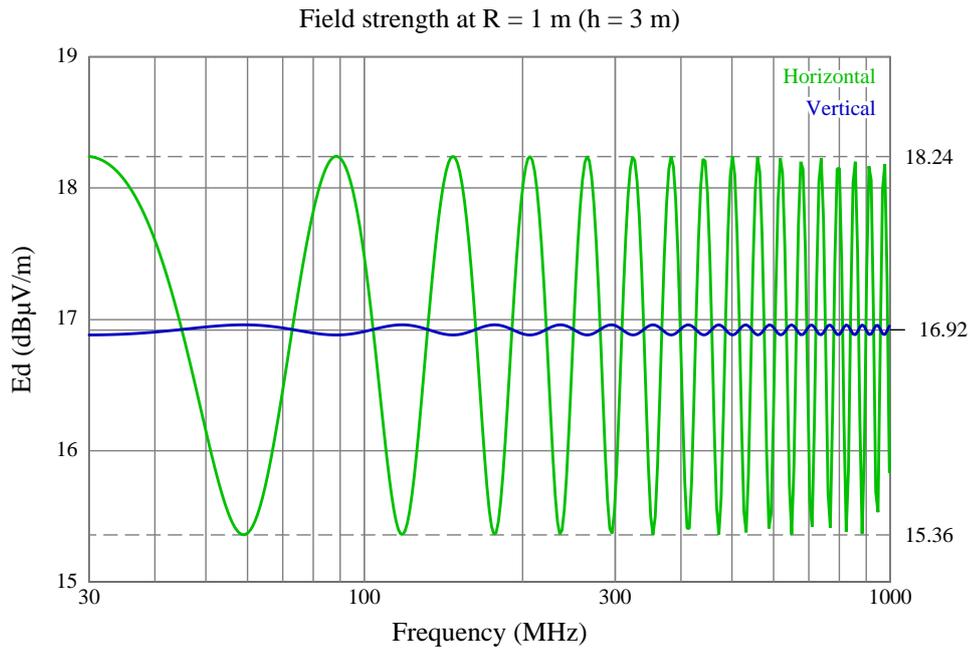


図 3: ダイポール・アンテナから距離 $R = 1$ m における電界強度 ($P = 0$ dBpW, $h = 3$ m)

CISPR 25 ALSE 法では、低い周波数で主要な放射源となる可能性が高いテスト・ハーネスは床面からおおよそ 950 mm に引かれ、受信アンテナはそのおおよそ 50 mm 上に置かれる。実際にはテスト・ハーネスは卓上のグラウンド・プレーンの上に引かれ、従って放射パターンはその影響を強く受けることになる(打ち上げ角が高くなり、床面の反射の影響を受けにくくなることが予想される)。参考までに、単純に、卓上のグラウンド・プレーンが存在せず、送信アンテナが床面から 950 mm、受信アンテナが床面から 1 000 mm の高さに置かれた状況を仮定して先と同様の方法で受信アンテナの位置における電界強度を計算した結果を図 4 に示しておくが、これは、そのジオメトリの違いから、図 3 に示した校正時のジオメトリから予想されるカーブとは全く似ていないものとなっている。

3 まとめ

バイコニカル・アンテナのように、H 面内で顕著な指向性を持たないアンテナの場合、ARP 958 two identical antenna method の方法でアンテナを水平偏波として測定を行なった場合、この校正法で仮定されている自由空間伝搬からの大きな乖離を生じ、測定結果に ± 1.5 dB 前後の大きなリップルを生じることが予想される。

アンテナを垂直偏波とした場合でも若干のリップルは生じるが、水平偏波の場合と比較して反射波の影響が著しく低減されてグラウンド・プレーンからの反射に伴うリップルの大きさは ± 0.04 dB 程度となり、自由空間伝搬の場合にかなり近い結果を得られることが期待できる。

また、ARP 958 two identical antenna method の校正におけるジオメトリは CISPR 25 ALSE 法でのエミッション測定のジオメトリとは全く異なるため、水平偏波で校正を行なうことは、水平偏波での測定結果の改善にも寄与しそうにない。

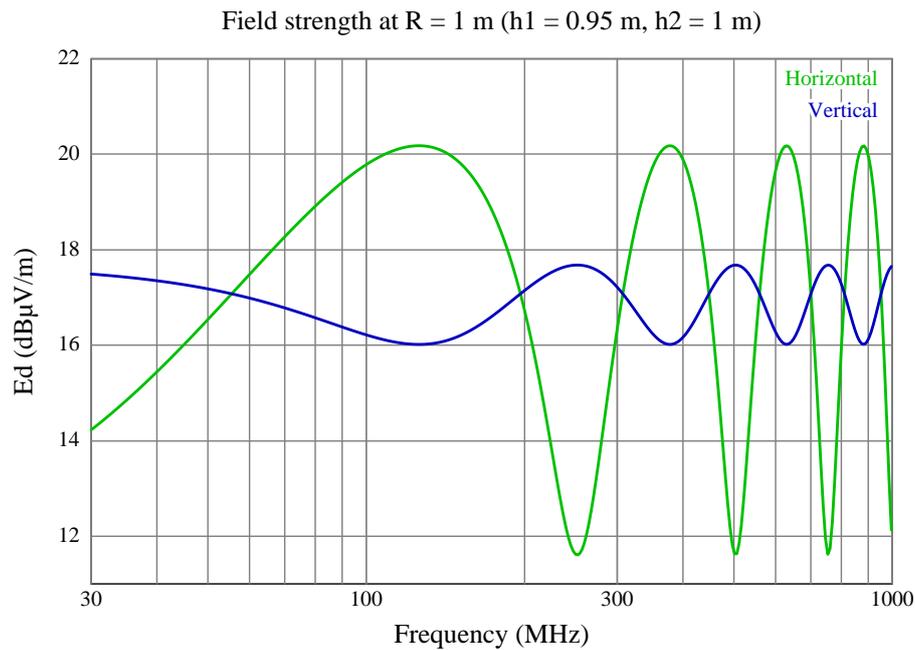


図 4: ダイポール・アンテナから距離 $R = 1$ m における電界強度 ($P = 0$ dBpW, $h_1 = 0.95$ m, $h_2 = 1$ m)

4 参考資料

- [1] *Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors*, Albert A. Smith, Jr et al., IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility (Volume: EMC-24, Issue: 3), IEEE, 1982, DOI: 10.1109/TEMC.1982.304041
- [2] *Searching for the elusive correction factor between 3m and 10m radiated emission tests*, E. Blankenship et al., IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2009, DOI: 10.1109/ISEMC.2009.5284614
- [3] ARP 958D, Electromagnetic Interference Measurement Antennas; Standard Calibration Method, SAE, 2003
- [4] <http://homepage3.nifty.com/tsato/terms/halfwave-dipole.html>
- [5] 測定距離 10 m と 3 m でのエミッション測定の相関, T. Sato, 2015
<http://homepage3.nifty.com/tsato/compliance/correlation-emission-10m-3m.pdf>