EMCの基礎

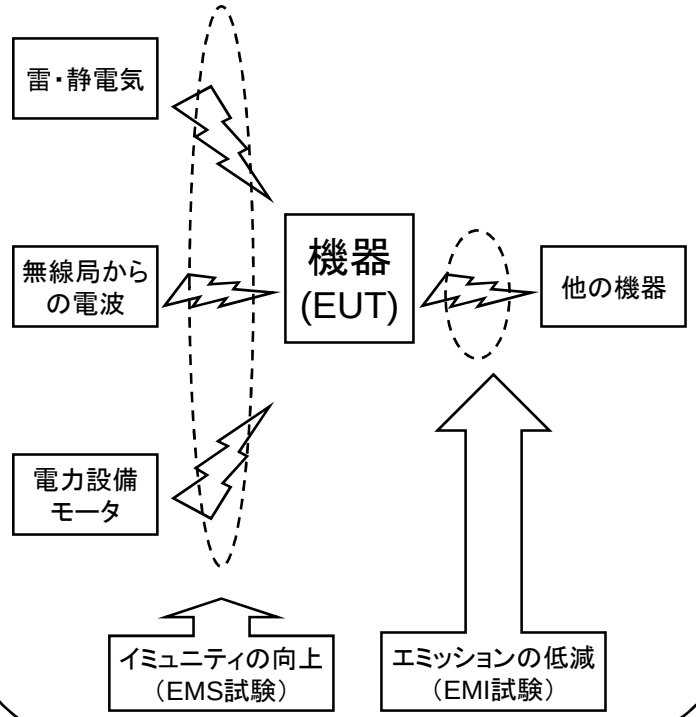
１. EMCとは何か
２. EMC規制の始まり
３. なぜEMCが必要か
４. EMC規格について
（4-1）世界の規格
（4-2）CISPRとEN規格
５. 電波の性質と計算
（実験1）電波の空間伝搬損失
６. EMCの測定方法
（6-1）EMI測定
（実験2）機器から出る放射性妨害ノイズの測定
（6-2）EMS測定

マイクロニクス株式会社

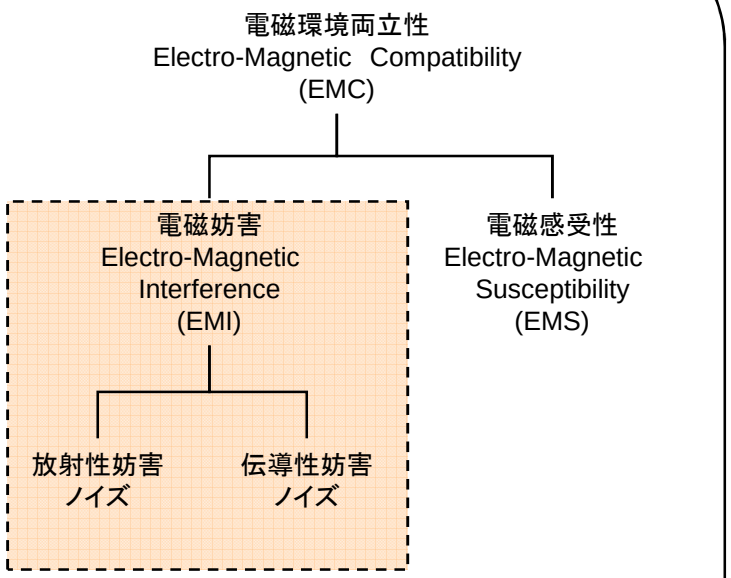
2013年6月

1. EMCとは何か

EMCの世界



EMCの分類



言葉の説明
・イミュニティ（Immunity）：免疫性
・エミッション（Emission）：放射

2. EMC規制の始まり

◆ 始まり:

1950年頃
無線と無線放送に対する規制
↓
ラジオへの雑音混入

◆ 相互干渉:

①周波数が同じ → 目的毎に使用周波数帯規定(ラジオ・テレビ・携帯電話・船舶無線・警察無線・・・)
②近くの機器のパワーが異常に大きい → 目的毎に出力パワー規定, イミュニティの向上
③近くの機器の電源を経由してノイズ混入 → 伝導性妨害ノイズ規制
④近くの機器から空中へ飛び出した電磁波が混入 → 放射性妨害ノイズ規制

◆ 障害の経験:

①オートバイのエンジン音がラジオに混入
②掃除機を使ったらテレビ画面にチラツキ
③航空機内では携帯電話・PCの使用不可
④トラックの違法アンプにより自動車のCPUに穴が開いた
⑤北陸で運転中にラジオを聞いていたら平壌放送が入ってきた

3. なぜEMCが必要か

C & U
CREATIVE
& UNIQUE

①CEマークなしではヨーロッパでの販売は不可

製品の安全・品質など規制統一に関する指令を「ニューアプローチ指令」と呼びますが、この指令の要求事項を満たした印として「CE」マークを製品に貼り付けます。
電子機器では指令の中心を成すものは「EMC指令」です。
ヨーロッパのEU加盟諸国では、CEマークのない製品は販売できません。

②世界各国はEMC規制強化の方向

世界各国は、EMCに関するいろいろな規制を行っています。規格の中心はCISPR規格（国際無線障害特別委員会、通称シスプル）です。日本はVCCI規格（情報処理装置等電波障害自主規制協議会）で規制しています。パソコンなど、ますます規制は強化されます。

③すべての電子機器が対象

工業・科学・医療用高周波装置、自動車、モーターボート、点火式エンジン、家電製品、電動工具、電気照明機器、情報技術装置、車載受信機などあらゆる電気に関する機器が対象です。

4. EMC規格について

(4-1) 世界の規格

EMC規格と言っても、1つに統一されている訳ではない。
しかし、中心は IEC, CISPR(シスプル), EN → この3つの内容はほぼ同じ

規格の種類	規格名称
国際規格	IEC (国際電気標準会議)、CISPR (国際無線障害特別委員会)
地域規格	EN (欧州)、AS／NZS (オセアニア) など
国家規格	FCC (米国)、JIS (日本)、KN (韓国)、GOST (ロシア)、DIN (ドイツ) など
団体規格	VCCI (日本)、VDE (ドイツ)、各工業規格 など
社内規格	各メーカー独自の社内規格

例. 当社製「シグナルアナライザ MSA500シリーズ」

EMC　EMC指令2004/108/ECに適合
・IEC/EN61326-2-1:2012
・CISPR Pub11 Group1, classA

→ CEマーキングに於けるEMCに関する要求事項

→ EMC防護されていない用途のための感度試験及び計測機器の試験構成, 運転条件及び性能基準

→ 上記の中でエミッションの基本規格
（ここでは記載されていないが、イミュニティでは IEC61000-4-3(放射), IEC61000-4-6(伝導)）

(4-2) CISPRとEN規格

世界で最も標準的な規格はCISPR(シスプル)

①CISPR(国際無線委員会)

基本規格		
CISPR16-1	無線妨害波及び、イミュニティの測定装置と測定法の仕様 Part1:無線妨害波及びイミュニティの測定装置	○

製品規格		
CISPR11	工業・科学・医療用高周波装置の妨害特性の許容値及び測定法	○
CISPR12	自動車、ﾓｰﾀﾎﾞｰﾄ及び点火式ｴﾝｼﾞﾝ装置の妨害特性の許容値及び測定法	×
CISPR13	音声及びﾃﾚﾋﾞｼﾞｮﾝ受信機並びに付属装置の妨害特性の許容値及び測定法	△
CISPR14-1	家庭用電気ﾓｰﾀ及び電熱機器、電動工具、類似機器の妨害特性の許容値及び測定法	△
CISPR14-2	家庭用機器、電動工具、類似機器のｲﾐｭﾆﾃｨ特性の許容値及び測定法	×
CISPR15	電気照明機器及び類似機器の妨害特性のｲﾐｭﾆﾃｨの限度値及び測定法	×
CISPR20	音声及びﾃﾚﾋﾞｼﾞｮﾝ受信機並びに付属装置のｲﾐｭﾆﾃｨの限度値及び測定法	×
CISPR22	情報技術装置の妨害特性の許容値及び測定法	○
CISPR24	情報技術装置のｲﾐｭﾆﾃｨの限度値及び測定法	×
CISPR25	車載受信機の保護のための妨害特性の許容値及び測定法	△

②CENELEC(欧州電気標準委員会)
欧州規格とCISPRはほぼ同じ内容です。

欧州規格	対応CISPR規格	
EN55011	CISPR11	○
EN55012	CISPR12	×
EN55013	CISPR13	△
EN55014	CISPR14	△
EN55015	CISPR15	×
EN55020	CISPR20	×
EN55022	CISPR22	○

③FCC(連邦通信委員会/アメリカ)

規格	内 容	
Part15	放送受信機やコンピュータなどを含むさまざまな高周波利用機器の不要電磁波の規定	○
Part18	工業・科学・医療機器に関する規定	△

④VCCI(情報処理装置等電波障害自主規制協議会/日本)

CISPR16-1およびCISPR22を引用	○

※ ○印:標準対応、△印:特注対応、×印:対応せず
※ CISPR12は大型機器用の規格ですので対象外です。
※ CISPR14-2、15、20、24はイミュニティ(EMS試験)規格ですので対象外です。

5. 電波の性質と計算

C & U
CREATIVE
& UNIQUE

<1> 単位について

<2> 電波の空間伝搬損失

<3> 近傍界と遠方界

<4> 電界強度について

<5> レッスンの回答

<1> 単位について

［1］振幅の単位

単位	定　義	V_{rms}への換算	レッスン1
V_{rms}	サイン波の場合、ピーク電圧V_pの1/√2	$V_{rms}=V_p/\sqrt{2}$	2$V_{p\text{-}p}$サイン波=？V_{rms}
dBm	0dBm＝1mW	50Ω系の時，$V_{0dBm}^2/50=10^{-3}$ ∴V_{0dBm}＝223.6 mV_{rms}	-20dBm＝？V_{rms}
dBμ	0dBμ＝1μW	50Ω系の時，$V_{0dB\mu}^2/50=10^{-6}$ ∴$V_{0dB\mu}$＝7.07mV_{rms}	+20dBμ＝？V_{rms}
dBV	0dBV＝1V_{rms}		0.5V_{rms}＝？dBV
dBmV	0dBmV＝1mV_{rms}		10mV_{rms}＝？dBmV
dBμV	0dBμV＝1μV_{rms}		+10dBμV＝？μV_{rms}

［2］dBとは

dBとは単位（絶対量）ではなく、相対的な比率を表わす。

電圧比=20log（V_2 / V_1）、電力比=10log（P_2/P_1）

倍率（比）	電圧比	電力比
1倍	0dB	0dB
2倍（1/2倍）	6dB（-6dB）	3dB（-3dB）
10倍（1/10倍）	20dB（-20dB）	10dB（-10dB)
100倍（1/100倍）	40dB（-40dB）	20dB（-20dB）

レッスン2

入力 / 出力インピーダンス50Ω、電圧利得20dBのアンプに出力インピーダンス50Ωの信号発生器から-20dBmのサイン波を入力しました。
アンプ出力を50Ωで終端したとき 出力は何$V_{p\text{-}p}$か。

<2> 電波の空間伝搬損失

電波は距離が遠くなるほど、また周波数が高くなるほど弱くなります。

$$\text{伝搬損失}L = \frac{\lambda}{4\pi D} \qquad \left(L = 20\log\frac{\lambda}{4\pi D} \quad (\text{dB}) \right)$$

λ: 波長，v＝fλ（v＝3×10^8 m/s）
D ：距離（m）

例. ETCの電波

f ＝5.8GHz → λ＝（3×10^8）/（5.8×10^9）＝0.0517（m）
D ＝3（m）

L＝20log{（0.0517）/（4π×3）}
＝－57.3（dB）

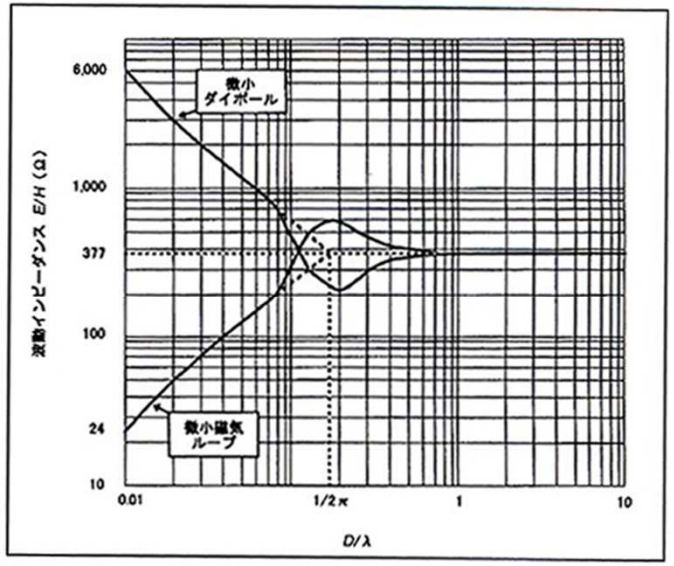
レッスン3

λが大きい程、つまり f が小さい程、空間伝搬損失は少なくなります。
ではなぜ、携帯電話やETCあるいは無線LANは低周波の搬送波を使っていないのでしょうか。

〈3〉近傍界と遠方界

近傍界　$\frac{\lambda}{4\pi D} > \frac{1}{2}$　または　$\left(\frac{D}{\lambda} < \frac{1}{2\pi} \right)$

遠方界　$\frac{\lambda}{4\pi D} < \frac{1}{2}$　または　$\left(\frac{D}{\lambda} > \frac{1}{2\pi} \right)$　⇨伝搬損失の式は遠方界で成立



微小ループと微小ダイポールの波動インピーダンス

レッスン4

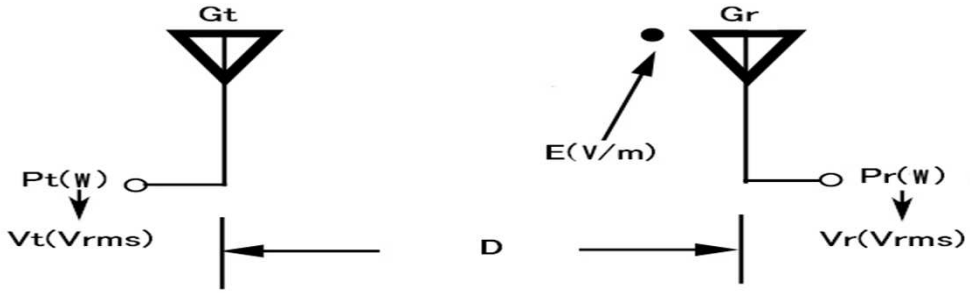
f=5.8MHz
D=3m
の時の空間伝搬損失は何dBで、D/λはいくらか。
また、この2つの計算結果から何が言えるか。

<4> 電界強度について(1/2)

電界強度とは電波の強さを示すもので、単位は次の2種類あります。

(1) V/m (あるいはdBμV/m)

$$\begin{cases} \text{電界強度 } E(V/m) = \dfrac{\sqrt{30 G_t P_t}}{D} & (D:\text{距離}(m), G_t:\text{送信アンテナ絶対利得(倍)}, P_t:\text{送信給電点電力}(W)) \\ \text{受信アンテナ出力電力} P_r(w) = \dfrac{E^2}{120\pi} \cdot \dfrac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_r & (\lambda:\text{波長}(m), G_r:\text{受信アンテナ絶対利得(倍)}) \end{cases}$$



また、上記2式から

$$P_r = \left[\frac{\lambda}{4\pi D}\right]^2 (G_t G_r) P_t(W)$$

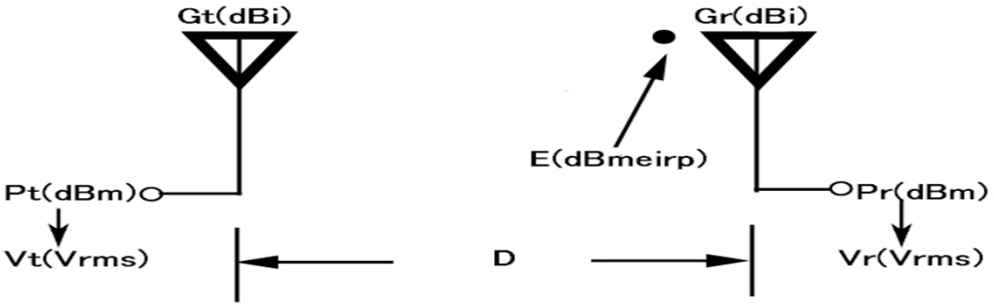
電圧に換算すると、

$$\frac{V_r^2}{50} = \left[\frac{\lambda}{4\pi D}\right]^2 (G_t G_r) \left[\frac{V_t^2}{50}\right] (V_{rms})$$

$$\therefore V_r = \left[\frac{\lambda}{4\pi D}\right] \sqrt{G_t G_r} \cdot V_t \quad (V_{rms})$$

<4> 電界強度について(2/2)

(2)dBmeirp (eirp:等価等方副射電力)
ETCで使用している単位で、これの方が考え易い。



電界強度 E(dBmeirp) ＝ $Pt + Gt + 20\log\left[\frac{\lambda}{4\pi D}\right]$ ← 空間伝搬損失

受信アンテナ出力電力 Pr(dBm) ＝ E + Gr

上記2式より、

$$Pr = Pt + 20\log\left[\frac{\lambda}{4\pi D}\right] + Gt + Gr \ (dBm)$$

電圧に換算すると、

$$\therefore Vr = \left[\frac{\lambda}{4\pi D}\right] \sqrt{Gt'\,Gr'} \cdot Vt\ (V_{rms})\ @Gt',Gr':倍$$

V/m と dBmeirpは同じになる

レッスン5

1GHzの携帯電話において、下記条件の時
基地局は何Km毎に設定すればよいか。

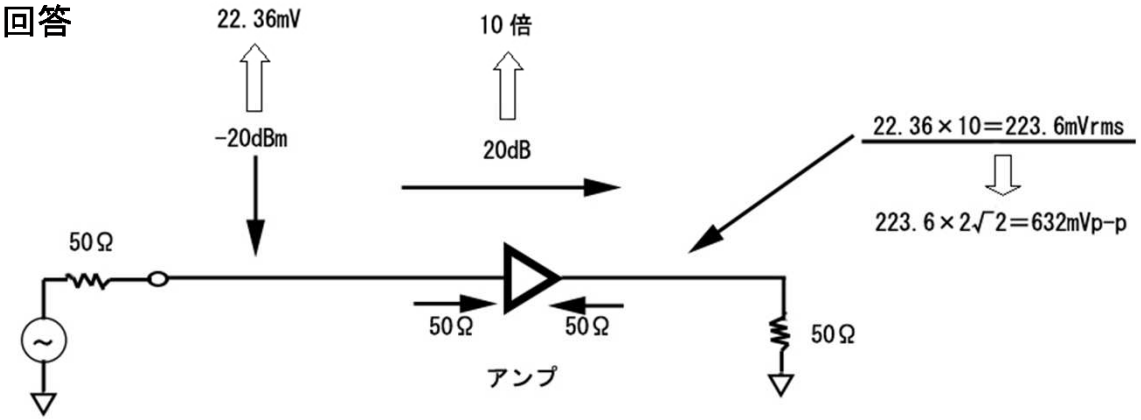
項　目	基地局	移動局
給電点電力	+20dBm	+10dBm
受信感度	-85dBm	-70dBm
アンテナ利得	+10dBi	+2dBi

<5> レッスンの回答(1/3)

レッスン1　の回答

レッスン	回　答
2Vp-pサイン波＝？Vrms	2Vp-p→1Vp ∴1/√2＝0.707Vrms
-20dBm＝？Vrms	0dBm＝223.6mVrms →これの-20dB, つまり1/10 ∴-20dBm=22.36mVrms
+20dBμ＝？Vrms	0dBμ＝7.07mVrms →これの+20dB, つまり10倍 ∴+20dBμ＝70.7mVrms
0.5Vrms＝？dBV	1Vrms＝0dBV →これの1/2, つまり-6dB ∴0.5Vrms＝-6dBV
10mVrms＝？dBmV	1mVrms＝0dBmV →これの10倍, つまり+20dB ∴10mVrms＝+20dBmV
+10dBμV＝？μVrms	0dBμV＝1μVrms →これの+10dB, つまり3.16倍 ∴+10dBμV＝3.16μVrms

レッスン2　の回答



<5> レッスンの回答(2/3)

レッスン3 の回答

（1）アンテナが大きくなり移動局には不向き

1GHz → λ/4アンテナ＝7.5cm
100MHz → λ/4アンテナ＝75cm

（2）データ伝送レートの高速化

データ伝送レート20Mbps ⇒ 占有帯域幅 約50MHz
1GHz → fb / fc ＝ 5%
100MHz → fb / fc ＝ 50%（変調は難しく、アンテナも広帯域となって高価）

（3）周波数資産の枯渇

空いている高周波帯へ利用が移っている
例 無線LAN 2.4GHz帯 → 5GHz帯

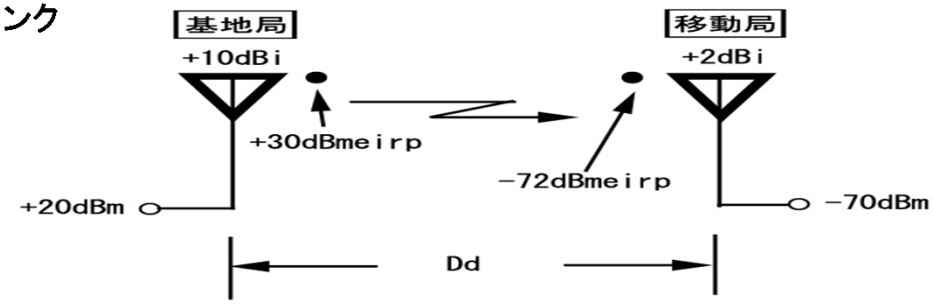
レッスン4 の回答

λ=51.7m
∴L=20log 51.7/（4πx3）
=+2.7dB
一方、D/λ=0.058
空間で信号が増幅することは有り得ない。 D/λが、0.058ということは近傍界。
したがって、近傍界では空間伝搬損失の式は成り立たないことが分かる。

<5> レッスンの回答(3/3)

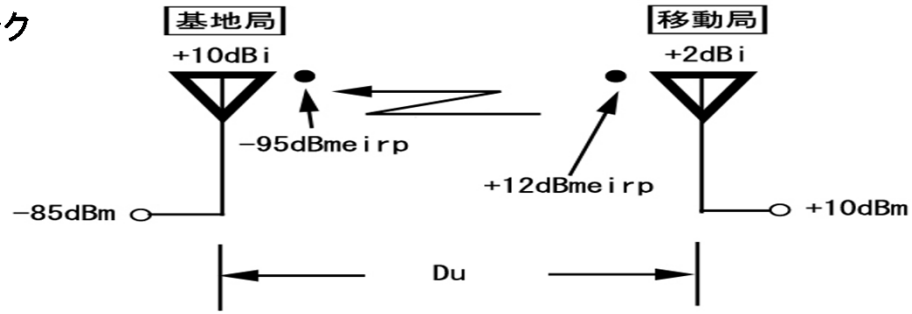
レッスン5　の回答

・ダウンリンク



$$20\log\frac{\lambda}{4\pi Dd} = -30-72 \rightarrow \therefore Dd = 3.0\text{km}$$

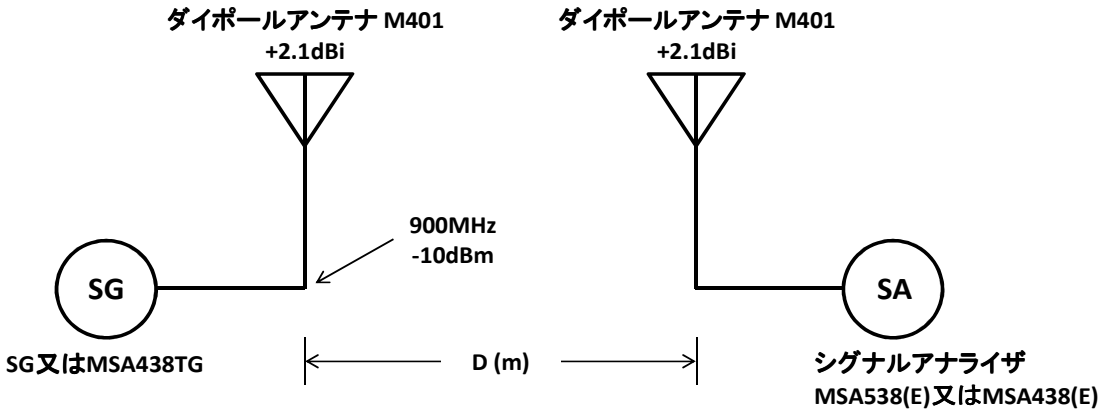
・アップリンク



$$20\log\frac{\lambda}{4\pi Du} = -12-95 \rightarrow \therefore Du = 5.3\text{km}$$

短い距離で決まるのでダウンリンクの3km。よって、隣の基地局までは2倍の6km。
実際には、マージンとハンドオーバーを考慮してこれより短くなる。

<実験1> 電波の空間伝搬損失



$$空間伝搬損失\ L = \frac{\lambda}{4\pi D}$$

$$f = 900\text{MHz} \rightarrow \lambda = 0.333\text{m}\ (\nu = f\lambda \ :\ \nu = 3\times10^{8}\ \text{m/s})$$

$$\therefore L = \begin{cases} 0.0265\ (-34.5\text{dB})\ @\ D = 1\text{m} \\ 0.0133\ (-37.5\text{dB})\ @\ D = 2\text{m} \end{cases}$$

(SAの受信レベル) = (SGの出力レベル) + (M401のアンテナゲイン) + (空間伝搬損失) + (M401のアンテナゲイン)

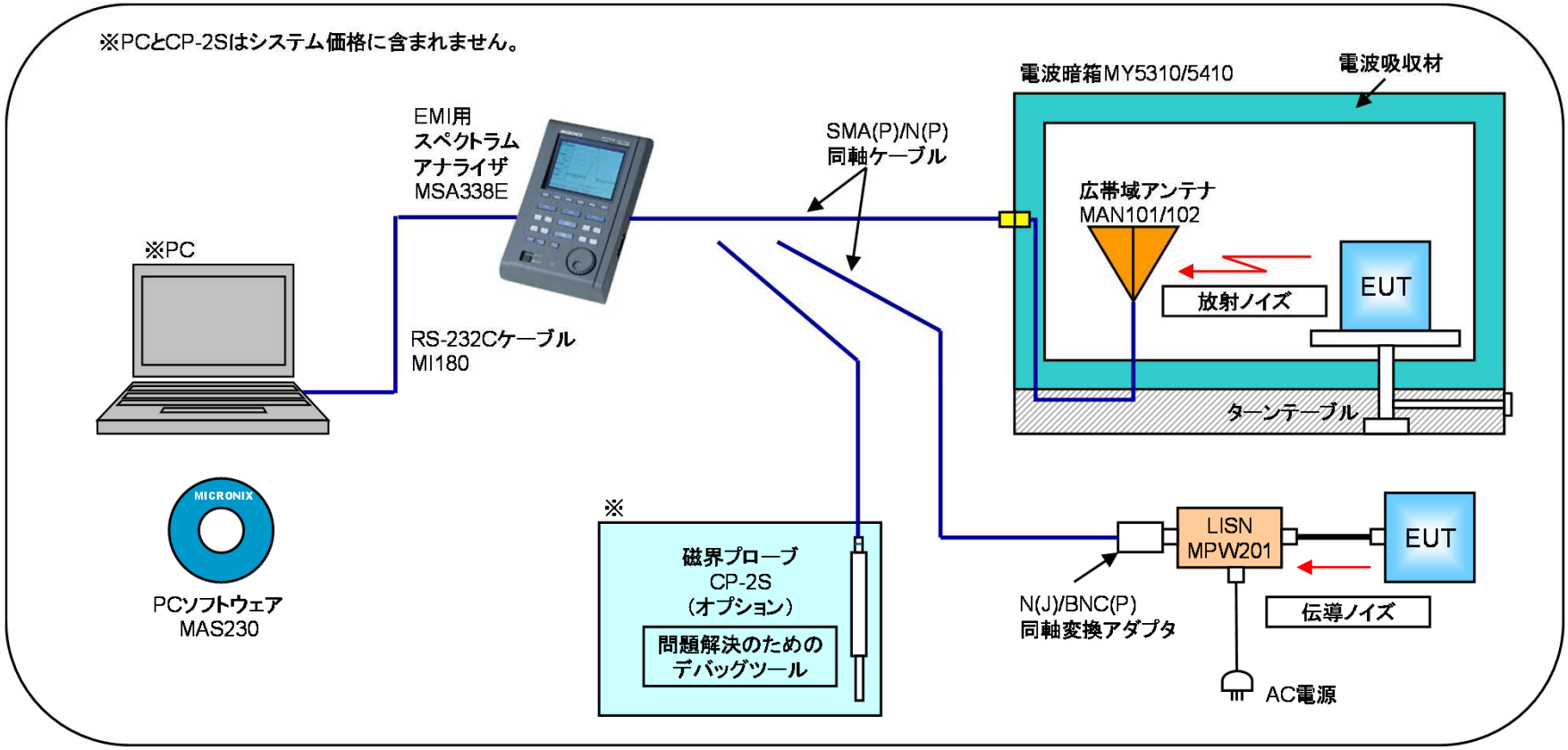
−10dBm　　+2.1dBi　　L　　+2.1dBi

$$\therefore\ SAの受信レベル = \begin{cases} -37.3\text{dBm}\ @\ D = 1\text{m} \\ -43.3\text{dBm}\ @\ D = 2\text{m} \end{cases}$$

また、距離が2倍になればレベルは 1/2 (−6dB) となることもわかる。

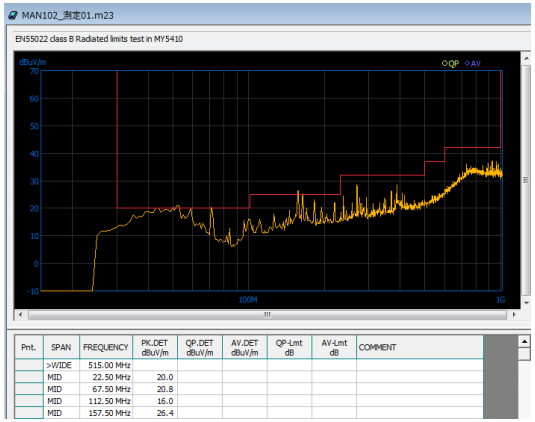
6. EMCの測定方法

(6-1) EMI測定



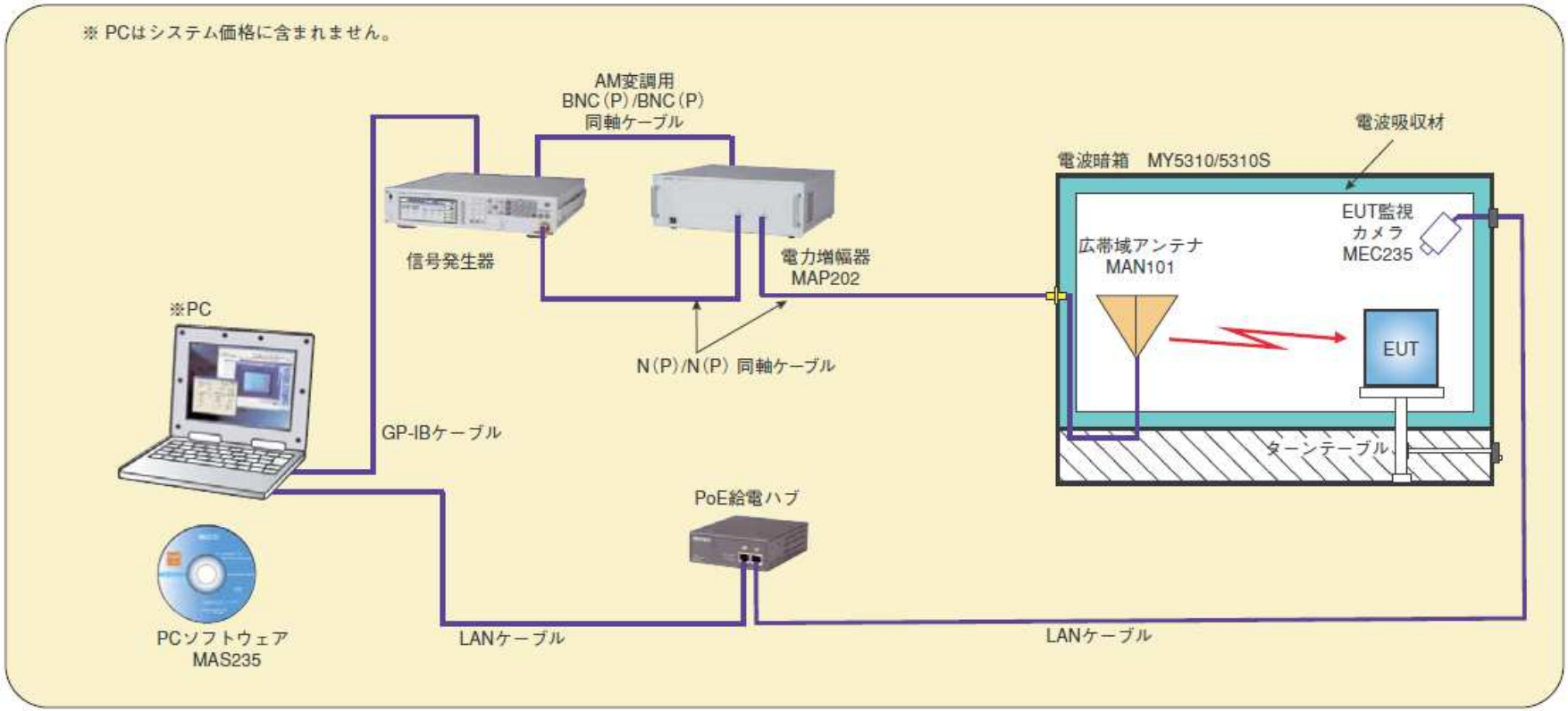
<実験2> 機器から出る放射性妨害ノイズ測定

バイコニカルアンテナ
MAN150



スペクトラムアナライザ
MSA438EまたはMSA538E

(6-2) EMS測定


※ PCはシステム価格に含まれません。
AM変調用
BNC(P)/BNC(P)
同軸ケーブル
電波吸収材
電波暗箱　MY5310/5310S
EUT監視
カメラ
MEC235
広帯域アンテナ
MAN101
EUT
信号発生器
電力増幅器
MAP202
※PC
N(P)/N(P) 同軸ケーブル
GP-IBケーブル
ターンテーブル
PoE給電ハブ
PCソフトウェア
MAS235
LANケーブル
LANケーブル