

IEC 61000-4-3 の概要 — 無線周波放射電磁界に対するイミュニティ試験の方法

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2024 年 7 月 17 日

目次

1	概要	1
2	電界均一面 (UFA)	1
2.1	一般	1
2.2	UFA の電界均一性の検証と電界レベルの設定	3
2.2.1	定電界レベル設定法	3
2.2.2	定電力レベル設定法	3
2.2.3	直線性の確認	4
3	試験	5
3.1	試験セットアップ	5
3.1.1	一般	5
3.1.2	卓上機器の配置	5
3.1.3	床置き機器の配置	5
3.1.4	ケーブルの配置	6
3.1.5	EUT への電磁界の照射	9
3.2	テスト・プラン	9
3.2.1	ドウェル・タイム	10
3.2.2	周波数ステップ	10
3.2.3	変調	10
3.2.4	イミュニティ試験の合否判定の基準	10
3.3	試験前の試験系の確認 (点検)	10
3.4	試験の実施	10
4	試験報告書	11
5	補足	11
5.1	複数の周波数の同時印加	11
5.2	試験レベル	11
5.3	周波数範囲	12
5.4	増幅器の飽和	13
5.5	人体の電磁界への曝露	13
6	参考資料	14

1 概要

IEC 61000-4-3 は放送や無線通信などで用いられるような無線周波電磁界に対するイミュニティの評価のための試験法を定めた規格の 1 つであり、電波暗室内に配置した評価対象の機器やそのケーブルに向けてアンテナから電磁界を照射することに基づく試験の方法を定めている。

この規格は 80 MHz 以上の周波数範囲^{†1}での試験での使用が意図されており、それよりも低い周波数の無線周波電磁界に対するイミュニティの評価には通常は IEC 61000-4-6^[2] が用いられる。

本稿では、この規格の本稿の執筆の時点での最新版である IEC 61000-4-3:2020^[1] について解説する。なお、本稿は規格の内容全てをカバーするものではなく、また正確であるとも限らないので、規格についての正確な情報は規格そのもの^[1] を参照していただきたい。

2 電界均一面 (UFA)

2.1 一般

この規格では電界が管理された面である UFA (uniform field area; 電界均一面) の概念が用いられる。

UFA の大きさは標準的には 1.5 m×1.5 m で、要求を満足させられるならばより大きな寸法 (高さと幅の双方が 0.5 m の整数倍、例えば 1.5 m×2 m、2 m×2 m、... のような) のものとしても良い。また 1 GHz 以下については EUT とその照射で電磁界に

^{†1} IEC 61000-4-3:1995 では 80 MHz~1 GHz、IEC 61000-4-3:2002 では 80 MHz~960 MHz と 1.4~2 GHz、IEC 61000-4-3:2006 では 80 MHz~960 MHz と 1.4~6 GHz となっていたが、この版では周波数の下限のみが規定される形となった。この周波数の下限については §5.3 も参照。

曝されるべきケーブルがその UFA に収まる場合^{†2}に限り、1 GHz 以上についてはそれらが UFA に収まるかどうかと無関係に、最小で 0.5 m×0.5 m までのより小さい UFA (例えば 1.5 m×1 m、1 m×1 m、…、0.5 m×0.5 m のような) を用いても良い。

UFA の下端は任意の高さであって良く、試験時にどの範囲を UFA に入れたいかに応じて決めることができる。^{†3}

高さ 0.8 m のテーブル上に置かれた卓上機器の試験では UFA の下端は 0.8 m で良いだろうが、より低い位置に置かれた機器の下端までを照射するためには下端がより低い UFA が必要となる。だが、床面への電波吸収体の敷設が助けとなるかも知れないものの、床面の近くで UFA を得ることは難しく、工夫や妥協が必要となるかも知れない。

UFA は 0.5 m×0.5 m のグリッドに分割され、そのグリッド点の 75 % 以上、例えば 1.5 m×1.5 m の UFA の場合は 16 ポイント (4×4) のグリッド点のうち 12 ポイント以上での電界強度が -0~+6 dB の範囲に入るように管理される (図1)。但し、UFA の大きさが 0.5 m×0.5 m の場合、その中心の 1 ポイントを加えた 5 ポイント全てでの電界強度が -0~+6 dB の範囲に入ることが必要となる (図2)。

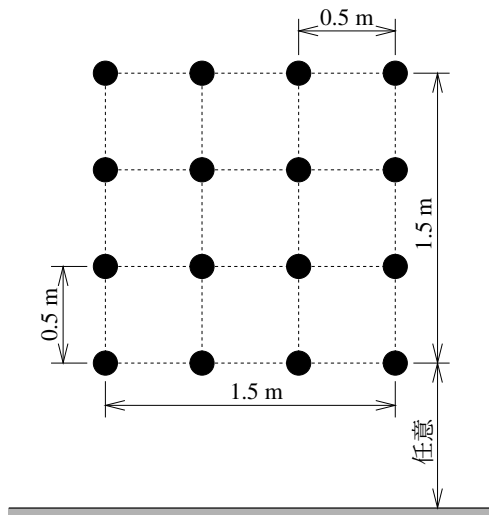


図 1: 1.5 m×1.5 m の UFA

^{†2} 例えばケーブルを持たない小型の内部電源機器は 0.5 m×0.5 m の UFA で問題なく試験できそうである。だが、機器にケーブルが接続される場合、ケーブルの 1 m を UFA 内で電磁界に曝すためには UFA の幅と高さの少なくとも一方は 1 m よりも大きいことが必要となりそうである。

^{†3} IEC 61000-4-3:2006 まででは UFA の下端の高さは 0.8 m となっており、それよりも低い位置を照射するという要求はなかったが、この版では UFA 内に入る領域を最大化するように述べられており、床置き機器の試験のためには UFA がより低い位置までをカバーすることが望ましそうである (§3.1.5)。

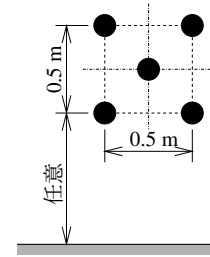


図 2: 0.5 m×0.5 m の UFA

疑義がある場合は -0 dB から +6 dB までの許容差で行なわれた試験が優先するものの、1 GHz までの周波数範囲では、実際の偏差が試験報告書に明記される限り、試験周波数の最大 3 % について +10 dB までの、だが 0 dB を下回らない差が許容される。

UFA と放射アンテナ (バイコニカル・アンテナの中心、その他のアンテナの前端) とのあいだの距離は最小 1 m で、推奨される距離は 3 m である。

UFA の電界均一性の検証と電界レベルの設定 (§2.2) は EUT を置かずに UFA の各グリッド点に電界プローブを置いて行なわれ (図3)、この手順で電界の均一性が確認され、また UFA 内の電界強度とアンテナに印加される進行波電力との関係が同定される。

システムの直線性が維持されている限りは試験に際して必要な進行波電力は電界レベルの設定で得られた進行波電力と電界強度との関係から算出することができ、従って電界レベルの設定は試験レベルと異なる電界強度で行なっても良い。

電界レベルの設定は無変調で行なうが、通常は試験では 80 % AM (§3.2.3) の変調が掛けられた妨害が用いられ、増幅器が試験に際してその妨害を発生できることを確かとする必要がある。このため、この規格では電界レベルの設定は試験レベルの少なくとも 1.8 倍の電界強度で行なうように、またその作業の一部としてその出力まででの直線性の確認を行なうように述べられている (§2.2.3)。

アンテナや電波吸収体などの配置の僅かな相違でさえも電界に著しく影響し得るので、それらの位置を詳細に記録し、試験に際してそれらの位置を正確に再現することが重要である。この結果は使用する暗室や試験機器、またその正確な配置に固有のものとなるので、それらに相違がある場合、あるいは単に位置や形状の異なる UFA が必要な場合、その条

件で UFA の電界均一性の検証と電界レベルの設定のプロセスを繰り返すことが必要となる。

また、電界への影響を防ぐため、また電子機器についてはそれが電界の影響を受けることを防ぐため、電波暗室内に置く必要性のないものを電波暗室内に置くことは避けるべきである。

2.2 UFA の電界均一性の検証と電界レベルの設定

UFA の電界均一性の検証と電界レベルの設定は、無変調で、水平偏波と垂直偏波の双方について行なう。

また、80 % AM (§3.2.3) の変調が掛けられた妨害を発生できることを確かとするため、電界レベルの設定を試験レベルの少なくとも 1.8 倍の電界強度で行なうとともに、そのレベルで試験システムが飽和していない (直線性が維持されている) ことを確認する。

規格では、UFA の電界均一性の検証と電界レベルの設定の具体的な方法として、定電界レベル設定法、及び定電力レベル設定法の 2 つの方法が、1.5 m×1.5 m の UFA を例として示されている。

2.2.1 定電界レベル設定法

1. いずれか 1 つのグリッド点に校正された等方性電界センサーを置き、信号発生器出力の周波数を試験周波数範囲の最小の周波数 (例えば 80 MHz) に設定する (図 3)。
2. 測定された電界がレベル設定の電界強度 E_L と等しくなるように放射アンテナへの進行波電力を調整し、進行波電力の読みを記録する。
3. あらかじめ決めた周波数ステップ (§3.2.2) で周波数を増加させながら試験周波数範囲の上限を超えない範囲で、また試験周波数範囲の上限の周波数で、上のステップを繰り返す。
4. それぞれのグリッド点について上記の一連の手順を繰り返す。

それぞれの周波数について、

1. 各グリッド点で得られた進行波電力の読みを昇順に並べ替える。

2. 最大の値の進行波電力から始めて、グリッド点の少なくとも 75 % (1.5 m×1.5 m の UFA の場合は 16 ポイントのうち少なくとも 12 ポイント) の読みが -6 dB から 0 dB の許容範囲内にあるかどうかを確認する。
3. それが -6 dB から 0 dB の許容範囲内でない場合、次に大きい読みから始めて (先のステップで進行波電力が最大だった点を除外して) 同じ作業を繰り返す。
4. グリッド点の少なくとも 75 % での進行波電力が -6 dB から 0 dB の許容範囲内に入ったならばこの作業を終了し、最大の進行波電力が得られた位置を基準としてその進行波電力を P_L とする。
5. 試験システムが飽和していないことを §2.2.3 で示すような方法で確認する。

2.2.2 定電力レベル設定法

1. いずれか 1 つのグリッド点に校正された等方性電界センサーを置き、信号発生器出力の周波数を試験周波数範囲の最小の周波数 (例えば 80 MHz) に設定する (図 3)。
2. 測定された電界がレベル設定の電界強度 E_L と等しくなるように放射アンテナへの進行波電力を調整し、進行波電力の読みを記録する。
3. あらかじめ決めた周波数ステップ (§3.2.2) で周波数を増加させながら試験周波数範囲の上限を超えない範囲で、また試験周波数範囲の上限の周波数で、上のステップを繰り返す。
4. その他のそれぞれのグリッド点について、電界センサーをそのグリッド点に動かし、それぞれの周波数で上記の手順でその周波数で記録された進行波電力を印加し、電界強度の読みを記録する。

それぞれの周波数について、

1. 各グリッド点で得られた電界強度の読みを昇順に並べ替える。
2. いずれかのグリッド点での電界強度を基準として選択し、他のグリッド点での電界強度のこの基準からの偏差をデシベルで求める。

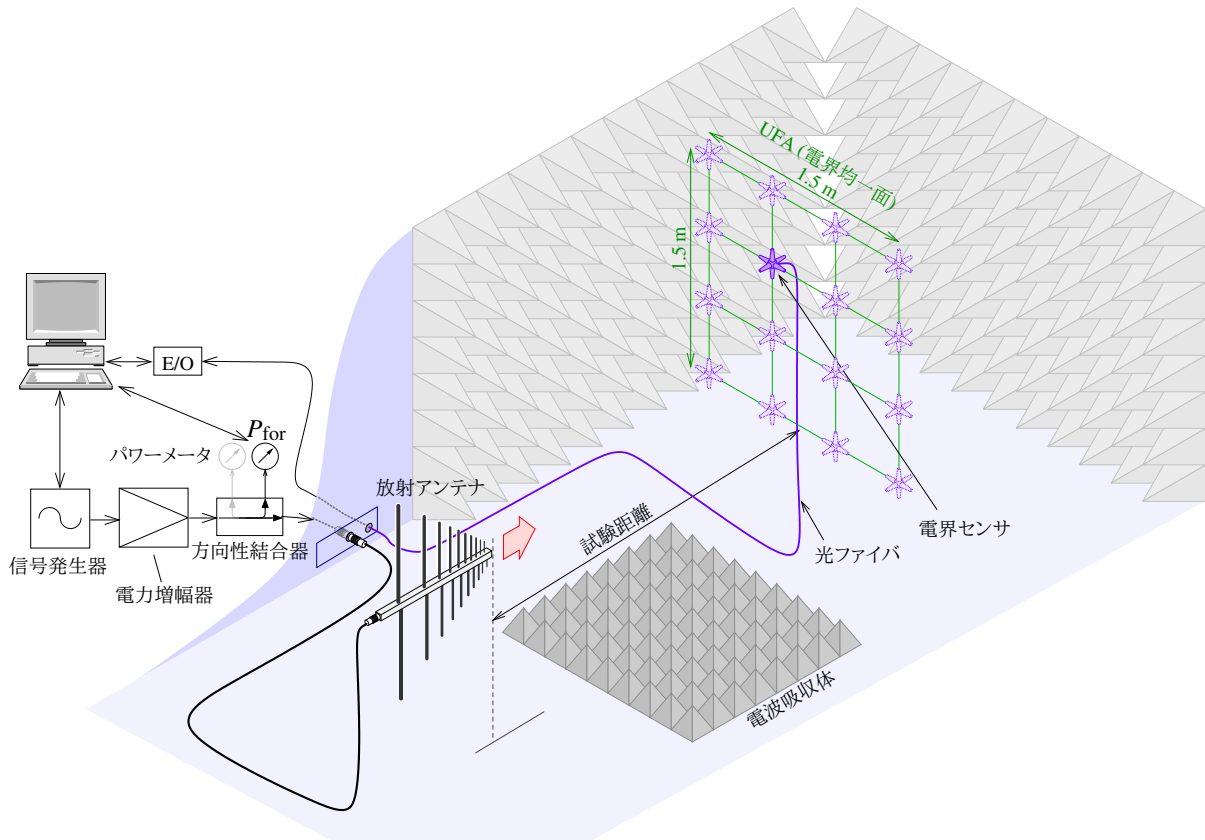


図 3: UFA の電界均一性の検証と電界レベルの設定のセットアップのイメージ

3. 最小の値の電界強度から始めて、グリッド点の少なくとも 75 % (1.5 m×1.5 m の UFA の場合は 16 ポイントのうち少なくとも 12 ポイント) の読みが 0 dB から +6 dB の許容範囲内にあるかどうかを確認する。
4. それが 0 dB から +6 dB の許容範囲内でない場合、次に小さい読みから始めて (先のステップで電界強度が最小だった点を除外して) 同じ作業を繰り返す。
5. グリッド点の少なくとも 75 % での電界強度が 0 dB から +6 dB の許容範囲内に入ったならばこの作業を終了し、最小の電界強度が得られた位置での値を基準として採用する。
6. 基準位置で所望の電界強度を発生させるために必要な進行波電力を算出し、この進行波電力を P_L とする。
7. 試験システムが飽和していないことを §2.2.3 で示すような方法で確認する。

2.2.3 直線性の確認

§2.2.1 や §2.2.2 のような方法での電界レベルの設定の作業の後、試験システム (例えば電力増幅器) が飽和しておらず、直線性が維持されていることを確認するため、電界レベルの設定が行なわれたそれぞれの周波数について次の確認を行なう:

1. 信号発生器の出力を上の手順で同定された進行波電力 P_L の発生に必要なレベルから 5.1 dB 下げる。^{†4}
2. アンテナに印加される進行波電力を記録する。
3. P_L から上のステップで得られた進行波電力を引く。

差が 5.1 dB ± 2 dB (3.1 dB から 7.1 dB) の範囲内であれば、増幅器は十分に直線的であり試験システムは試験に適しているとみなす。さもなければ試験システムは試験に適さない。

^{†4} -5.1 dB は 1/1.8 である。

この規格は高調波歪みの要求は含まない^{†5}が、高調波の確認も行なうことは良い考えと思われる。

増幅器の飽和とその影響については §5.4 でも触れる。

3 試験

3.1 試験セットアップ

3.1.1 一般

- 全ての試験は実際の設置条件に可能な限り近い構成で行なう。
- 実際の使用時にハウジングに収納される機器はハウジングに収納し、その全てのカバーやパネルを取り付ける。
- 接地接続を含めて、使用指示書での指示や推奨事項に従って接続する。
- 試験サンプルを保持する手段が必要な場合、非導電性の、望ましくは低誘電率のものとする。
- EUT が床置きと卓上のコンポーネントから成る場合、正しい相対的な位置関係を維持する。
- 試験に際して、EUT は照射される面が UFA と一致するように配置する。

照射する面を変える際、UFA に EUT のそれぞれの面を合わせるために EUT の配置を調整することが(またいずれかの向きでケーブルを電界と平行に配置して電磁界に曝すためにケーブルの配置を調整することが) 必要となるかも知れない。

- 試験対象の(試験に際して電磁界に曝されるべき) システムの一部ではないが、試験に際して必要となる機器は、電磁界の影響を受ける可能性を下げるために電波暗室の外に置くことができるかも知れない。^{†6}

^{†5} IEC 61000-4-3:2002 §6 にあった電力増幅器の出力での高調波のレベルが基本波よりも 15 dB 以上低いことという、また IEC 61000-4-3:2006 §6 にあった UFA での電界強度の高調波が基本波よりも 6 dB 以上低いことという要求はこの版では削除されており、Annex D (*Amplifier compression and non-linearity* (informative)) としてこれに關係する情報が含まれている。

^{†6} 電波暗室の外にケーブルを引き出そうとする場合、電波暗室のシールド性が損なわれることを防ぐため、ケーブルを引き出した先の部屋もシールド・ルームとする、電波暗室の壁に取り

そのような機器を電波暗室の中に置く場合、電磁界の影響を抑えるために追加のシールドを行なうなどの対応が必要となるかも知れない。

3.1.2 卓上機器の配置

卓上機器は、

- 高さ 0.8 ± 0.05 m の非導電性のテーブル上に置き、UFA 内に配置する (図 4);
- 電界の乱れや電界均一性の悪化の低減のため、テーブルはポリスチレンなどの低誘電率の材料(発泡ポリスチレンのような実効的な誘電率が著しく低いものが望ましい)を用いることが望ましい。

3.1.3 床置き機器の配置

床置き機器は、

- 床の上の厚さ 0.05 m 以上の非導電性の台(金属構造に絶縁性のコーティングを行なったものではなく全体が非導電性のものとするべき)の上に置く (図 5);^{†7†8}
- 配置は UFA 内に入る領域を最大化するように、望ましくは EUT の下端までを含む EUT の全面を UFA に入れるように行なうべき (図 6 (b1), (b2));
- 重さ、大きさ、あるいは安全上の理由から EUT を UFA の高さまで上げることができない(また EUT の下端までが入るような位置に UFA を設けることもできない)場合、できる限り EUT の低い位置までを UFA に入れるようにし、その詳細を試験報告書に記録する (図 6 (c1), (c2));

付けられた適切な貫通フィルタを通す、などの対応が必要となるかも知れない。適切なフィルタはケーブルを介して伝わる妨害が電波暗室外に置かれた機器に悪影響を与えることを防ぐためにも必要となるかも知れない。

^{†7} IEC 61000-4-3:2006 では 0.05 m から 0.15 m となっていたが、この版では高さの上限はなくなった。UFA の下端が床から 0.05 m よりも高い位置にある場合、UFA 内に入る領域を最大化するため、EUT をより高い位置に置くことが望ましい (図 6 (b1))。

^{†8} 非導電性のローラーをこの台として用いても良い。だが、^{†7}で述べたように、その高さが 0.05 m 以上あるとしても、UFA の下端がそれよりも高い位置にある場合、EUT をより高い位置に置くことが望ましいであろう。

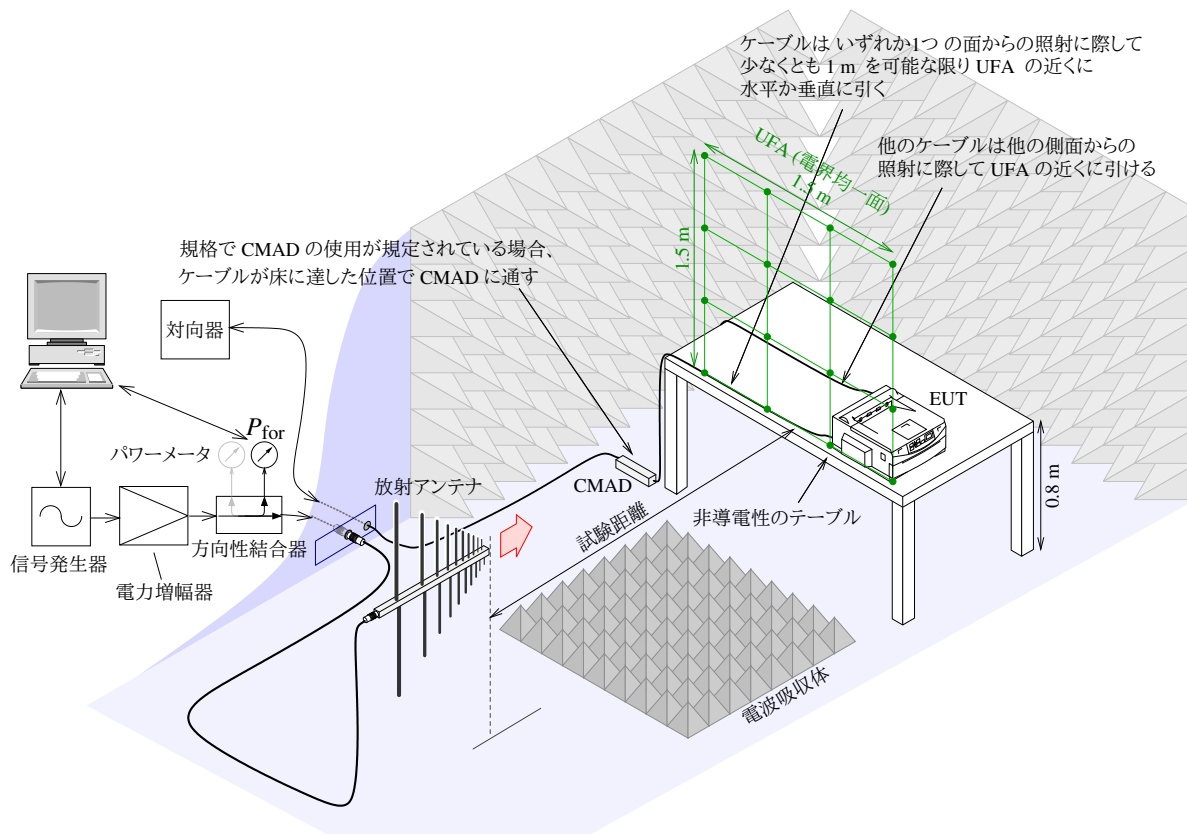


図 4: 卓上機器の試験セットアップのイメージ

- EUT が UFA の下端よりも 0.5 m 以上広がる場合、それぞれのグリッド点の下、UFA の下端の 50 % の高さの電界の大きさを測定し、電界レベルの設定の記録に含めるが、この高さでの電界強度は試験設備の適切さや電界レベルの設定の手順では考慮しない (図 6 (d));

3.1.4 ケーブルの配置

試験時のケーブルの引き回しは次のように行なう:

- ケーブルは可能な限り設置指示書に従い、また典型的な設置/使用を再現するように接続し、配置する。
- 規定されたタイプの配線やコネクタを用いる。配線が規定されていない場合、シールドなしの平行導体を用いる。
- 製品仕様が 1 m 以下^{†9}の配線長を要求する場合、規定された長さを用いる。

^{†9} IEC 61000-4-3:2006 では 3 m 以下となっていた。

規定された長さがそれよりも長い、あるいは規定されていない場合、使用するケーブルの長さは典型的な設置プラクティスに従って選択する。

- 他の規定と矛盾しない限り、いずれか 1 つの向きで、最小 1 m のケーブルを垂直と水平のいずれかで電界と平行に配置して電磁界に曝す。この規定からの逸脱 (例えばケーブルが太い、あるいは硬いためにそのようにできない場合) は試験報告書に明記する。

ケーブルの電磁界に曝す部分は UFA 内に、また可能な限り UFA の近くに引き回す。^{†10†11}これはそれぞれの曝露でのケーブルの再配置を必要とするかも知れない。

^{†10} IEC 61000-4-3:2006 もケーブル 1 m 以上を電磁界に曝すことは求めていたが、その部分を UFA 内に配置することは要求されていない。

^{†11} ケーブルの配置に関する要求は試験周波数とは無関係である。だが、80 MHz では $\lambda/4 \approx 0.94$ m でありケーブルが効率的なアンテナとして振る舞うためには 1 m 程度の長さが必要となりそうであるのに対して、1 GHz では $\lambda/4 = 75$ mm であって 10 cm 程度のケーブルでも効率的なアンテナとして振る舞うことが期待でき、従って 1 GHz 以上についてはケーブルの UFA 内で電磁界に曝される部分が 1 m よりもかなり短くなったとしても試験への重大な影響はなさそうに思われる。

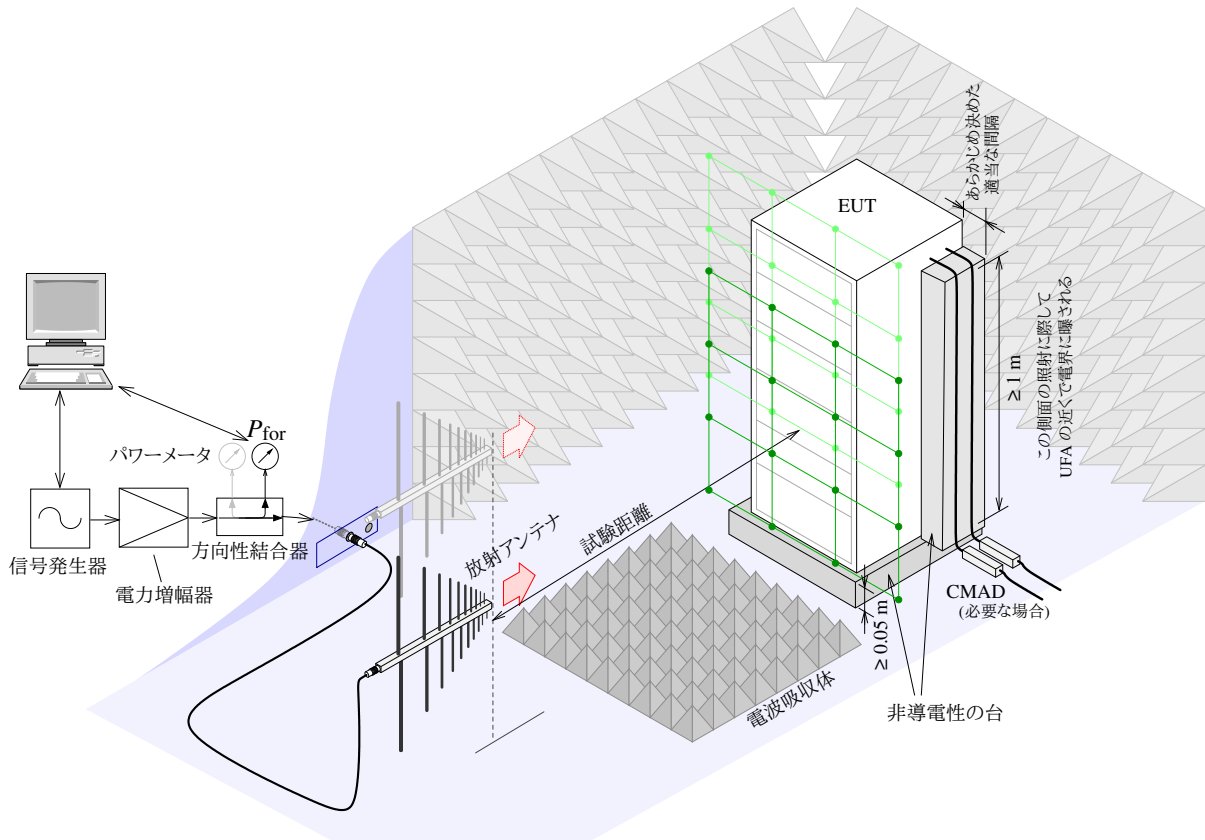


図 5: 床置き機器の試験セットアップのイメージ

- 電磁界に曝すケーブルは他のケーブルに近過ぎる位置に、また金属部の近くに配置しない。
- EUT のユニット間の相互接続ケーブルの余長は概ねその中央でインダクタンスが低くなるように束ねる。

この規定からの逸脱 (例えばケーブルが太い、あるいは硬いためにそのようにできない場合) は試験報告書に明記する。

- EUT に接続されているケーブルの多さが、あるいは典型的な設置プラクティスがケーブルを上記のように配置して電磁界に曝すことを妨げる場合も、それぞれのケーブルを 1 度は電磁界に曝すように務めるべきである。
- ケーブルの余長を減結合する必要があるかどうかは製品委員会が決定する。^{†12}

製品委員会がケーブルの余長 (例えば試験領域から出るケーブルについて) を減結合する必

要があると判断する場合、その減結合の手段は EUT の動作を妨げてはならず、この目的で CISPR 16-1-4 で規定された CMAD^{†13} を使用できるかも知れない。

CMAD が用いられる場合、

- CMAD による減結合は任意のタイプのケーブル (例えば電力、通信、制御) に適用できる。
- CMAD は床の上に置き、試験領域から出るケーブルはそれが床に達したポイントで CMAD に通す。
- 合計で 3 個までの CMAD を使い、減結合されるそれぞれのケーブルに別の CMAD を用いるべきである。
- 試験領域から出るケーブルが 3 本までの場合、それぞれのケーブルを CMAD で減結合すべきである。

^{†12} IEC 61000-4-3:2002 までではケーブルの余長を減結合して曝露長を 1 m とすることが求められていたが、これは IEC 61000-4-3:2006 で削除された。

^{†13} CMAD = common mode absorption device (コモン・モード吸収デバイス)。通常はフェライト・チューブで、30~200 MHz の周波数範囲で CISPR 16-1-4 で規定された特性を持つ。

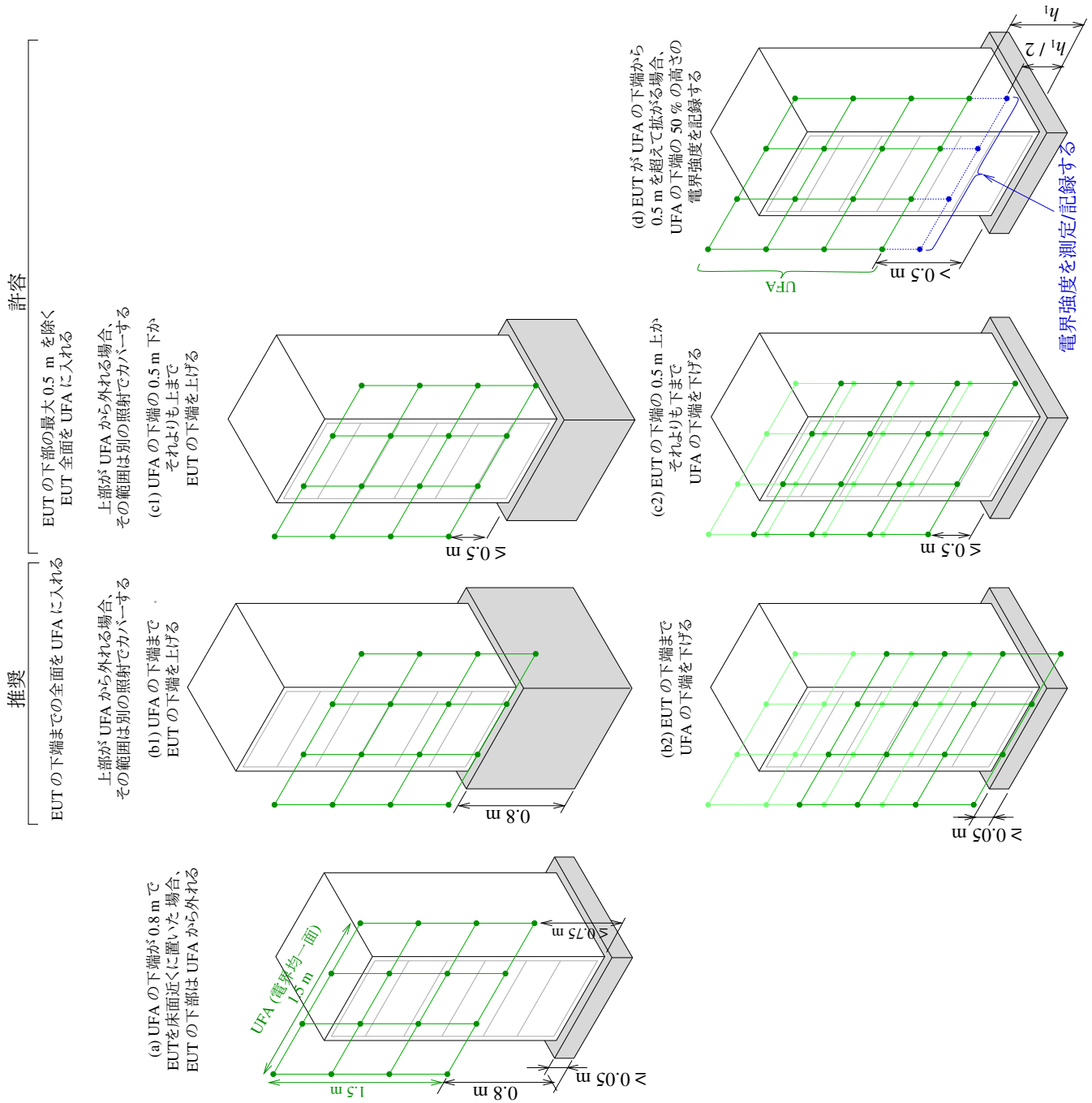


図 6: 床置き機器の照射

試験領域から出るケーブルが3本よりも多い場合、製品委員会が他の規定を設けない限り、電源へのCMADの取り付けを再優先とし、残りのケーブルへのCMADの取り付けはより敏感な信号を含みそうなケーブルを優先とすべきである。

どのケーブルにCMADが適用されたかは試験報告書に文書化する。

規格の Annex G (*Cable layout details* (informative)) と Annex H (*Examples of test setups for large and heavy EUTs* (informative)) では他の情報とともにケーブルの引き回しのいくつかの例が示されている。

3.1.5 EUT への電磁界の照射

1. EUT の面とケーブルの照射対象となる範囲全体が UFA に収まる場合は一度の照射でその全面を照射する全面照射 (full illumination) を行なうことができ、いずれの周波数の試験でもこの方法の使用が推奨される。
2. 全面照射を行なうことができない場合、代替手段として部分照射 (partial illumination)、すなわち下記のいずれかの方法、あるいはそれらの組み合わせ^{†14}による一連の照射によって試験を行なえる:^{†15}
 - 組み合わせられた UFA が照射対象となる範囲をカバーするように、放射アンテナの位置を変えて異なる位置に UFA を実現し、アンテナをそれぞれの位置に置いて EUT を試験を繰り返す;
 - それぞれの部分が少なくとも1回は UFA 内で照射を受けるように EUT を異なる位置に動かして試験を繰り返す。

1 GHz 以下については 1.5 m×1.5 m よりも小さい UFA を用いて部分照射を行なうことはで

きない。1 GHz 以上についてはこの制約はなく、最小 0.5 m×0.5 m の UFA を用いて部分照射を行なうことも許容される。

3. 全面照射と部分照射のいずれの方法を用いた場合も、UFA 内に入る領域を最大化するように、望ましくは EUT の下端までを含む EUT の全面を UFA に入れるようにすべきである。

床置き機器の低い位置を UFA に入れることができない場合、§3.1.3 でも触れるように、

- できる限り EUT の低い位置までを UFA に入れるようにし;
- EUT が UFA の下端よりも 0.5 m 以上広がる場合、それぞれのグリッド点の下、UFA の下端の 50 % の高さの電界の大きさを測定し、電界レベルの設定の記録に含めるが、この高さでの電界強度は試験設備の適切さや電界レベルの設定の手順では考慮しない。

3.2 テスト・プラン

テスト・プランは以下の情報を含むべきである:

- EUT の大きさ
- EUT の代表的な動作条件
- EUT を卓上、床置き、あるいはその組み合わせのいずれで試験するか
- 床置き機器の場合、支持台の高さ
- 使用する試験施設の種類
- 周波数範囲、ドウェル・タイム (§3.2.1)、周波数ステップ (§3.2.2)
- UFA の大きさ、形状、及び高さ
- 部分照射が用いられるかどうか
- 試験レベル、適用される変調 (§3.2.3)
- 使用される相互接続線の種類と数、またそれらが接続されるインターフェース・ポート
- 受け入れ可能な性能基準
- EUT を動作させるための手段の説明

^{†14} 例えば高さや幅の双方が UFA よりも大きい場合に、高さ方向については前者、横方向については後者の方法を用いるような。

^{†15} IEC 61000-4-3:2006 では最小 1.5 m×1.5 m の UFA を用いた部分照射と 0.5 m×0.5 m の UFA を用いた独立ウィンドウ法の2種類があり、独立ウィンドウ法は 1 GHz 以上でのみ適用可能となっていた。IEC 61000-4-3:2020 ではそれらの区別はなくなったが、1.5 m×1.5 m よりも小さい UFA を用いた部分照射を 1 GHz 以下でも使用できるようになったわけではない。

3.2.1 ドウエル・タイム

ドウエル・タイム、すなわちそれぞれの周波数の妨害を印加する時間は、EUT が動作して応答するのに必要な時間よりも長く、またいかなる場合も 0.5 s よりも長い時間とする。

EUT が間欠的に動く機能を持つ場合（例えば通信やセンサーの読み込みを 30 秒毎に行なっている場合のような）や反応に遅れがある場合（例えばセンサー入力が時定数 10 秒のフィルタに通されている場合のような）には、ドウエル・タイムをかなり長くすることが必要となるかも知れない。これは試験時間を長くするので、特に予備試験の段階では、動作周期を短くし、あるいは応答時間を短くした試験用のサンプルを用意することが助けとなるかも知れない。

3.2.2 周波数ステップ

試験 (§3.4)、及び電界レベルの設定 (§2.2) に際しての周波数掃引は前の周波数の 1 % を超えない周波数ステップで行なう。

3.2.3 変調

製品群/製品規格などで別の変調の使用が規定されない限り、全ての周波数の試験で変調周波数 1 kHz±0.1 kHz、変調度 (80±10) % の振幅変調された妨害を用いる (図 7)。^{†16}

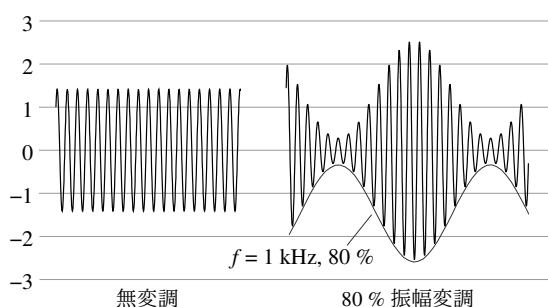


図 7: 振幅変調

^{†16} 1 kHz の振幅変調は AM 放送のような音声周波数で振幅変調された送信を模擬するが、高い周波数ではこのような変調は用いられておらず、低い周波数でもこのような変調の使用は減少している。従って、実際の妨害の模擬の観点ではこの変調はもはや適切とは言えないかも知れない。この変調の選択の論拠は規格の Annex A (Rationale for the choice of modulation for tests related to the protection against RF emissions from digital radio services (informative)) を参照。

変調波形（電圧、あるいは電界強度）の最大実効値は無変調の場合の 1.8 倍、すなわち約 +5.1 dB となり、妨害の発生に使用する電力増幅器などの機器はその電力に対応したものが必要となる。

また、この規格では電界レベルの設定を試験レベルの少なくとも 1.8 倍の電界強度で行なうように、またそのレベルまでの直線性を確認するように述べられている (§2.2)。

3.2.4 イミュニティ試験の合否判定の基準

イミュニティ試験での合否判定の基準は、通常は適用する一般、製品、あるいは製品群規格で規定された性能基準の枠組みに基づいて製造業者が規定する。

この基準は、それに基づいて客観的な判断を行なえるような、具体的な、また可能な場合には定量的なものとするべきである。

3.3 試験前の試験系の確認（点検）

試験に先立って、試験機器/試験システムが正しく動作していることを確認する。

これは、例えば、UFA 内の 1 箇所以上での電界強度を 1 つ以上の周波数で測定することで行なうことができる。

3.4 試験の実施

所望の電界の発生のための基準パラメータとしては進行波電力を用いるべきであり、無変調状態における、それぞれの周波数での照射に際して放射アンテナに注入すべき進行波電力 $P_{T(dBW)}$ は、電界レベルの設定 (§2.2) の際の電界強度 $E_{L(V/m)}$ と進行波電力 $P_{L(dBW)}$ 、また試験レベル $E_{T(V/m)}$ から、

$$P_{T(dBW)} = P_{L(dBW)} - 20 \log \left(\frac{E_{L(V/m)}}{E_{T(V/m)}} \right)$$

のように求めることができる。

EUT は最初はそのいずれかの面が UFA に一致するように、また §3.1 で述べたように配置する。部分照射を適用する場合（この場合、その面全体、もしくは床置き機器の低い位置を除くその面全体の照射を複数回の照射で行なう; §3.1.5 参照）を除き、EUT の照射を受ける面全体、またケーブルの電磁

界に曝す部分が UFA に収まるように配置する必要がある。

EUT をあらかじめ決められた動作条件で動作させ、またその動作を適切な手段で監視した状態で、試験周波数範囲を所定の周波数ステップ (§3.2.2) で掃引しながらそれぞれの周波数の妨害を所定のドウェル・タイム (§3.2.1) のあいだ照射する。試験の適切な実施のために必要な事項はテスト・プランに文書化されているべきである。EUT を動作させるために、また動作の監視を行なうために他の機器や治具などが必要となる場合、それは試験に有害な影響を与えない、また試験で有害な影響を受けないものとする必要がある。

試験は、通常は EUT のそれぞれの側面 (4 面) を放射アンテナに向けて、だが機器が異なる向きで (すなわち縦や横で) 使用できる場合は全ての面 (6 面) をアンテナに向けて、垂直偏波と水平偏波の双方で行なう。

但し、技術的に正当化できる場合、EUT のより少ない面をアンテナに向けて試験することもできる。一方、EUT の性質や大きさ、試験周波数などによっては、4 方向以上の方位角での照射が必要と判断されるかも知れない。

EUT の照射面を変える際、そのままの配置で全体を回転させることもできるかも知れない。だが、それぞれのケーブルを一度は UFA と平行に、望ましくは UFA の近くで電磁界に曝す (§3.1.4) ため、計画的に再配置を行なうことが必要となるかも知れない。

4 試験報告書

試験報告書には試験を再現するために必要な全ての情報、特に以下のものを含める:

- テスト・プランで規定された事項
- EUT と関連機器全ての識別、例えばブランド、型式、製造番号など
- 試験機器の識別、例えばブランド、型式、製造番号など
- 試験が実施された任意の特別な環境条件
- 試験の実施を可能とするために必要な任意の特別な条件

- 製造業者、依頼者、あるいは購入者が規定した性能レベル
- 一般、製品、あるいは製品群規格で規定された性能基準
- 試験妨害の印加中と印加後に観測された EUT への任意の影響、またその影響の持続の期間
- 合否判定の基準 (一般、製品、あるいは製品群規格で規定された性能基準に基づく、あるいは製造業者と購入者のあいだで合意された)
- 使用上の任意の特定の条件、例えば適合の達成のために必要なケーブルの長さや種類、シールドや接地、あるいは EUT の動作条件
- UFA の大きさと位置に対する EUT の位置に関わる任意の追加の情報
- UFA の許容差に関する任意の追加の情報
- ケーブルと機器の位置や向きの説明、及び/もしくは図
- 規格からの任意の逸脱

5 補足

5.1 複数の周波数の同時印加

その合成信号で直線性の要求を満足できる限り、試験時間の節約のために複数の周波数を同時に印加しても良い。これについての説明はこの規格の Annex I (*Testing with multiple signals (informative)*) にある。

5.2 試験レベル

この規格では、電磁環境のクラスが、

- クラス 1: 低レベル電磁放射環境。
ラジオやテレビのローカル放送局が 1 km 以上離れている、低出力の送受信機がある環境で典型的なレベル。
- クラス 2: 穏やかな電磁放射環境。
低出力の可搬型送信機 (典型的には定格 1 W 未満の) が使用されるが、機器に近接しての使用が制限されている。

- クラス 3: 厳しい電磁放射環境。

可搬型送信機 (定格 2 W 以上の) が機器の比較的近くで、だが 1 m 以上離れて使用される。高出力の放送送信機や ISM 機器が近くにあるかも知れない。

- クラス 4: 可搬型送信機が機器から 0.2 m から 1 m の距離で使用される。他の顕著な干渉源が機器から 1 m 以内にあるかも知れない。

のように、また試験レベルが表 1 のように示されている。

レベル	試験電界強度 (V/m)
1	1
2	3
3	10
4	30
x	特殊

表 1: 試験レベル

この規格は機器の試験に際してどの周波数範囲について、またどの試験レベルを適用するかは述べておらず、これらは通常は適用する一般、製品、あるいは製品群規格で (また、個別のテスト・プランで) 規定される。一般規格で規定された試験レベルの例を表 2 に示す。

だが、このような試験レベルでの試験への合格が実際の使用環境で電磁妨害の影響を受けないことを保証するものではないこと、特にそれらの試験レベルは無線送信機や ISM 機器の近傍での使用を想定したものではないことに注意すべきである。

例えば、この規格の Annex E で示されているように、出力 P (W) の放射源から距離 d (m) における電界強度 E (V/m) を、 $k = 7$ とし、

$$E = k \cdot \frac{\sqrt{P}}{d}$$

と仮定する^{†17}と、図 8 に示すように、出力 5 W の送信機から距離 5 m で 3 V/m、1.5 m で 10 V/m に、ごく低出力の 0.2 W の送信機からでも距離 1 m で 3 V/m、0.3 m で 10 V/m に達する計算となる。

現代では携帯電話や無線 LAN 機器に代表されるような小型無線機器が機器の近くに置かれることも

^{†17} $EIRP = \sqrt{30P}/d$ で、放射源が半波長ダイポールかそれと同等のゲインを持つものと仮定すると、半波長ダイポールのゲインは 1.64 であるので、 $k = \sqrt{30 \times 1.64} \approx 7$ 。

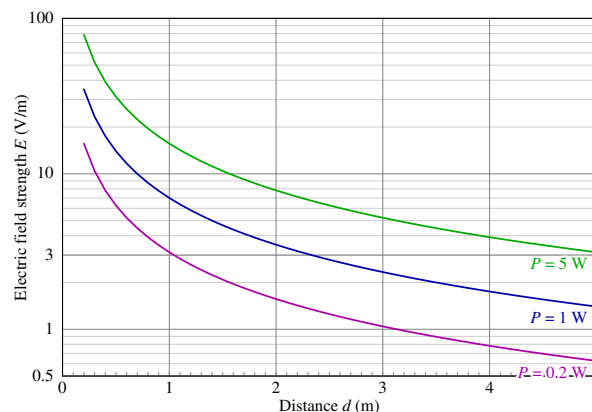


図 8: 送信機からの距離と電界強度

珍しくなく、従って適用を選択した規格に該当する要求が含まれているかどうかと無関係にその影響を考慮することが必要となりそうである。

但し、無線送信機が機器の非常に近くに、場合によっては機器に密着するように置かれることも予期されることもあるだろうが、この規格はそのような状況の模擬には適さない。^{†18} そのような無線送信機の近接の影響の評価には、IEC 61000-4-39^[3] や ISO 11452-9^[4] のような試験法を使用できるかも知れない。

5.3 周波数範囲

80 MHz の電磁波の波長 λ は 3.75 m で、 $\lambda/4$ は 1 m 弱となる。このため、80 MHz 程度以上の周波数では、EUT に接続された 1 m 弱のケーブルでも電磁界を効果的に拾い上げるであろうと、また放射電磁界に対するイミュニティの評価に際してケーブル 1 m (この規格のケーブル 1 m を電磁界に曝露して試験するという要求はこれと整合している) 程度を電磁界に曝せば良いであろうと考えることができる。

だが、より低い周波数について同様の評価を行なおうとした場合、 $\lambda/4$ のケーブルを電磁界に曝そうとするととても実際的とは言えない長さ (例えば 10 MHz では $\lambda/4 = 7.5$ m、150 kHz では $\lambda/4 = 500$ m となる) となるだけでなく、このようなアンテナで照射する方法ではイミュニティ試験に必要な高レベルの電磁界を発生させることも困難となる。

^{†18} この規格が EUT に近接したものではない RF 発生源からの電磁界に対する評価での使用が意図されたものである旨は規格の §1 (Scope) にも明記されている。

	IEC 61000-6-1:2016 住宅・商業・軽工業環境	IEC 61000-6-2:2016 工業環境
80~1000 MHz	3 V/m	10 V/m
1.4~6 GHz	3 V/m	3 V/m

表 2: 試験レベルの例 (一般イミュニティ規格)

また、電磁界に曝される機器の側も、低い周波数では機器とのものへの電磁界の結合よりもそれに接続された長いケーブルがアンテナとして働いて電磁界を拾い上げることに伴う影響が支配的となる傾向がある。^{†19}

このような理由のため、この規格では 80 MHz よりも高い周波数をカバーし、より低い周波数は通常は IEC 61000-4-6^[2] で述べられているようなケーブルに妨害を注入する試験法でカバーされている。

5.4 増幅器の飽和

電力増幅器が出力できる電圧には限界があり、出力の振幅がその電圧に達すると増幅器は飽和して出力波形はピークがクリップされて歪んだものとなり (図 9)、

- 出力信号のレベルは増幅器が飽和しなかった場合に出ることが期待されるものよりも低くなり、従って増幅器のゲインは低下する (図 10);
- 出力信号は高調波成分を多く含むものとなる (図 11)。

等方性電界センサーやパワーメータは周波数選択性を持たず、基本波成分のみでなく高調波成分も含めた電界強度や電力を測定するため、それらの読みを基準として妨害のレベルを目標値に合わせた場合、基本波成分のレベルは目標値よりも低くなる。

後者に関係するのは出力の高調波歪みのレベルであるが、§2.2.3 で触れた、この規格で示された手順では、高調波歪みを直接確認するのではなくその発

生原因となる飽和の指標となるゲイン・コンプレッションのみを確認するようになっている。^{†20†21}

この規格では高調波のレベルの確認の要求はないものの、高調波の確認も行なうことは良い考えと思われる。

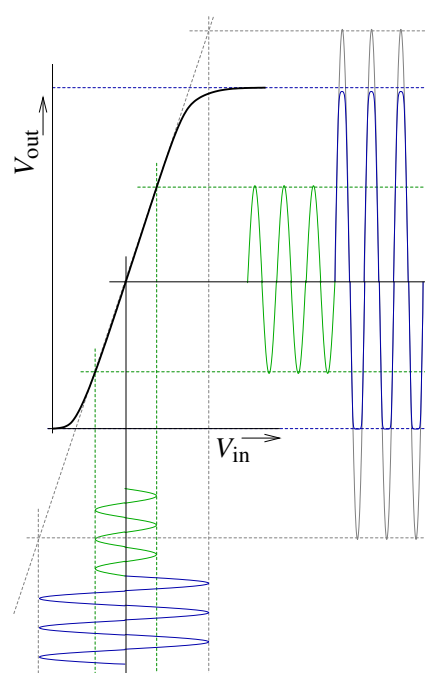


図 9: 増幅器の入出力の非線形性と波形の歪みのイメージ

5.5 人体の電磁界への曝露

リスクの低減のため、また電界の乱れを防ぐため、電界の照射は電波暗室から人を排除した状態でのみ行なうべきである。

^{†20} 但し、増幅器によっては飽和に近付いていない時でも顕著な高調波歪みを発生することもあるので、ゲイン・コンプレッションの小ささが高調波歪みの小ささを意味するとは限らない。

^{†21} この規格上は 2 dB までのゲイン・コンプレッションが許容される (§2.2.3) が、ゲイン・コンプレッションが 1 dB を超えた場合^{†22} は注意した方が良いかも知れない。

^{†22} 1 dB コンプレッション・ポイント (P1dB) は、しばしば増幅器が低歪みで出力可能な最大出力の指標として用いられている。

^{†19} 勿論、必ずそうなるとは限らないし、ケーブルを持たない機器が 80 MHz よりも低い電磁界の影響を受けないというわけでもない。

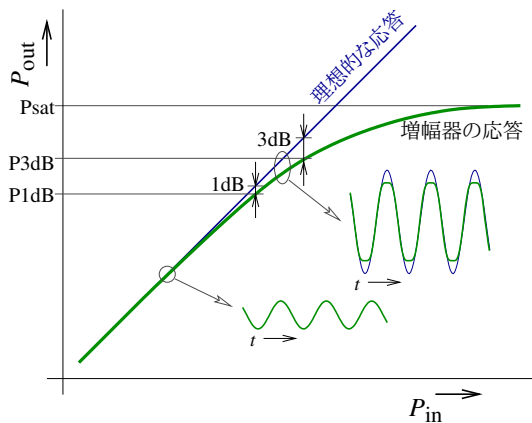


図 10: 増幅器のゲイン・コンプレッションのイメージ

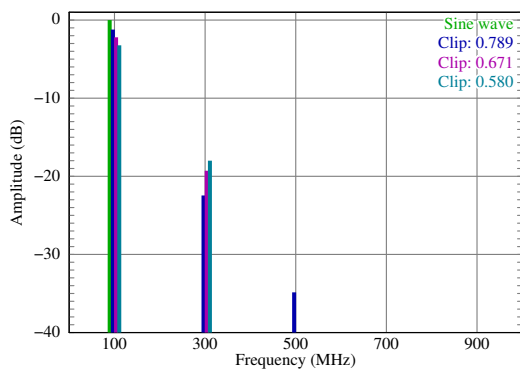
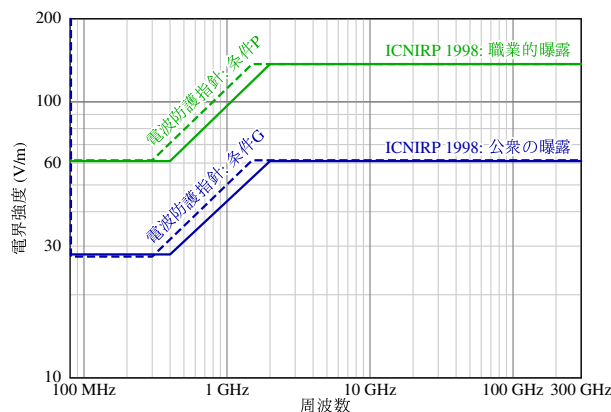


図 11: クリップされた波形のスペクトラムの例 (歪んだ波形の正負が対称で、奇数次の高調波のみを含むと仮定)

無線周波電磁界への人体の曝露の制限の例として、ICNIRP の 1998 年版のガイドライン^[5]と電波防護指針^[6]の無線周波電界に関する参考レベルを図 12 に示す。

図 12: 曝露の制限レベルの例 (ICNIRP 1998^[5] 参考レベル)

アンテナに近い位置では電界はより強くなり、また UFA の位置でも局所的にはより強い電界を生じ

る可能性はあるものの、試験レベル 10 V/m の時に UFA の位置で予期される平均的な電界強度は高々 $10 \text{ V/m} \times 1.8 \times 2 = 36 \text{ V/m}$ 程度と予期され、これは図 12 で示した職業的曝露 (条件 P) の参考レベルよりも低い。

従って、人が電波暗室内に居る状態で照射を行なうことは避けるべきであるものの、この程度のレベルであれば人が居る状態で誤って照射を行なってしまったとしても危険は低そうである。

6 参考資料

- [1] IEC 61000-4-3:2020, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-3: Testing and measurement techniques — Radiated, radio-frequency electromagnetic field immunity test*
- [2] IEC 61000-4-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-6: Testing and measurement techniques — Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*
- [3] IEC 61000-4-39, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-39: Testing and measurement techniques — Radiated fields in close proximity — Immunity test*
- [4] ISO 11452-9, *Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrow-band radiated electromagnetic energy — Part 9: Portable transmitters*
- [5] ICNIRP *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, ICNIRP, 1998, <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>
- [6] 「電波利用における人体の電波防護指針」, 電気通信技術審議会答申 諮問第 38 号, 平成 2 年 6 月, <https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/e/e/medical/protect/>