

低周波磁界に対する曝露の評価 — IEC 62233 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2021 年 10 月 25 日

目次

1	概要	1
1.1	適用範囲	1
1.2	曝露限度	2
2	測定方法	2
2.1	合否の判定	2
2.2	測定距離、センサの位置、動作条件	3
2.2.1	測定距離	3
2.2.2	センサの位置	3
2.2.3	動作条件	3
2.3	磁界の測定	4
2.3.1	タイム・ドメイン評価	4
2.3.2	その他の評価方法	4
2.4	結合係数の適用	4
3	補足	6
3.1	EN 62233:2008 での主な違い	6
3.2	ICNIRP ガイドラインの参考レベルと EN 62233	6
3.3	実際の測定結果の例	6
4	参考資料	6

1 概要

IEC 62233^[1] は人体の電磁界への曝露の評価方法に関する規格のひとつで、10 Hz～400 kHz の磁界に対する曝露の評価を扱う。

本稿ではこの IEC 62233:2005^[1] の要求事項の概要を述べる。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、正確な情報は規格そのもの^[1] や関連する公式な文書を参照されたい。

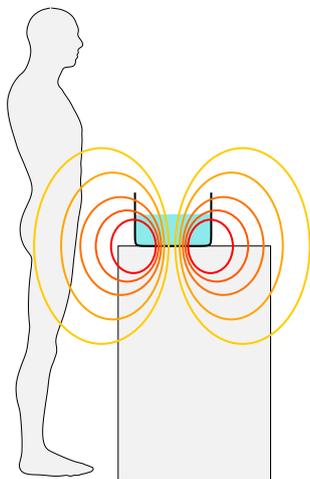
1.1 適用範囲

一般に、家電機器や電気式の工具や玩具など、また普通の家庭での使用を意図していないが公衆の接近が予期される、あるいは非専門家による使用が予期される機器がこの規格の対象となる。

この規格の対象となる機器はモータや加熱素子、また電気/電子回路を含むかも知れず、主電源、バッテリー、あるいはその他の任意の電源で駆動されるかも知れない。

このような機器では、例えば交流電源で直接駆動される単純なモータやヒータなどのように 50 Hz や 60 Hz の電源周波数とその高調波の磁界の、あるいは例えばインバータ駆動機器や電磁調理器などのように数十 kHz 程度までの動作周波数とその高調波の磁界の影響が主となり、電界やそれよりも高い周波数の磁界が顕著な曝露を生じることはないと想定されるかも知れず、この規格はそのような機器の曝露評価に特に適したものとなるだろう。

一方、この規格の対象範囲に入る機器であっても、この規格でカバーされない電磁界への顕著な曝露の可能性が懸念されるような場合はこの規格ではなく他の適切な規格の適用を、あるいはそのような規格の併用を考えることも必要となるだろう。^{†1}



^{†1} 例えば電子レンジではマイクロ波の漏洩が懸念される。電

この規格は以下のものには適用されない:^{†2}

- 重工業用専用に設計されたもの^{†3}
- 建屋の固定的な電気設備の一部として意図されたもの (例えばヒューズ、ブレーカ、ケーブル、スイッチ)
- ラジオやテレビの受信器、オーディオ/ビデオ機器、電子楽器
- 医用電気機器
- パーソナル・コンピュータや類似の機器
- 無線送信機
- 乗り物の中でのみ使用するように設計されたもの

1.2 曝露限度

IEC 62233:2005^[1] は参考情報として ICNIRP の 1998 年のガイドライン^[3] と IEEE C95.6-2002^[4] の曝露限度を示しているが、これらは要求事項の一部ではなく、この規格の本文では単に適切な限度のセットを選択しなければならないとのみ述べられている。

従って、IEC 62233 での評価に際しては適用すべき曝露限度のセットも明確に指定することが必要となる。

適用する曝露限度のセットは、基本制限^{†4}が誘導電流密度で、また参考レベル^{†5}が磁束密度か磁界の強さで規定されていることが想定されている。^{†6}

^{†2} 子レンジの場合は安全規格 (IEC 60335-2-25) がマイクロ波の漏洩に関する要求を含むが、該当する製品規格にこのような要求が含まれていなかったとしても、その機器がユーザーに過剰な曝露を与えないであろうことを何らかの方法で確認することが必要となるであろう。

^{†3} そのような機器についても、低い周波数範囲の磁界に対する曝露の評価が必要な場合はこの規格を準用できるかも知れない。

^{†4} 一般に EMF 指令 2013/35/EU の対象となる。

^{†5} ドシメトリック参照限度、曝露制限値 (ELV) などと呼ばれることもある。

^{†6} 最大許容曝露 (MPE)、アクション・レベル (AL) などと呼ばれることもある。

^{†6} この周波数帯の電磁界の主な影響は電磁界によって体内に誘導された電流による神経や筋肉の刺激によるものと考えられ、その指標となる体内の誘導電流密度が基本制限に用いられている。これは体内の組織を流れる電流であり、その評価は容易ではないため、基本制限の規定に加えて、その場所の磁束密度か磁界の強さがそれを超えなければ誘導電流密度が基本制限を超えないような磁束密度か磁界の強さが参考レベルとして定められている。参考レベルを超えたとしても基本制限を超えるとは限らないが、参考レベルを超えなければそれに対応する基本制限

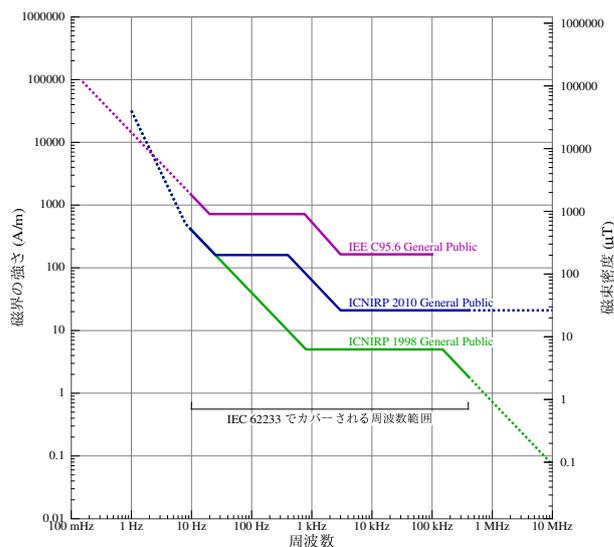


図 1: 低周波磁界に対する曝露限度 (一般公衆の磁界への曝露に関する参考レベル) の例

EN 62233:2008^[2] は IEC 62233:2005 に基づくが、勧告 1999/519/EC^[5] の曝露限度 (ICNIRP の 1998 年のガイドライン^[3] に基づく) が要求の一部となっている。

2 測定方法

磁界の測定は、測定対象の機器を動作状態とし、人が占めるかも知れない領域を磁界プローブで掃引して測定結果が悪くなる場所を探して行なう。

この測定は通常は §2.3.1 で述べるような等方性プローブを用いて行ない、その場合、磁界プローブの向きを変えて測定を繰り返す必要も、また測定対象の機器に対する磁界プローブの向きを気にする必要もない。

2.1 合否の判定

曝露限度に対する判定は次のように行なうことができる:

1. 最大の測定結果が曝露限度のセットに含まれる磁界の限度 (参考レベル) を超えなければ合格
2. それを超えた場合、その測定結果に結合係数 (§2.4) を乗じた結果が限度を超えなければ合格

も超えないものとみなすことができ、この周波数範囲の磁界に限らず、参考レベルでの評価が可能な場合は初期の評価は参考レベルを適用して行なうことが多い。

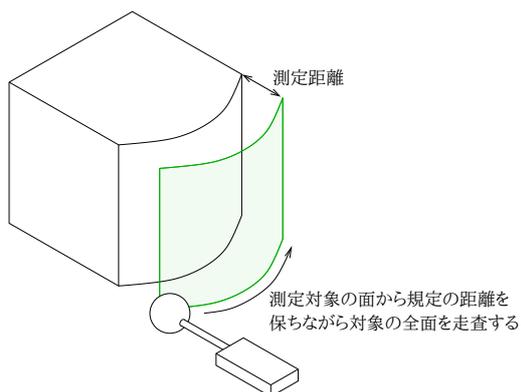


図 2: 機器の正面の測定

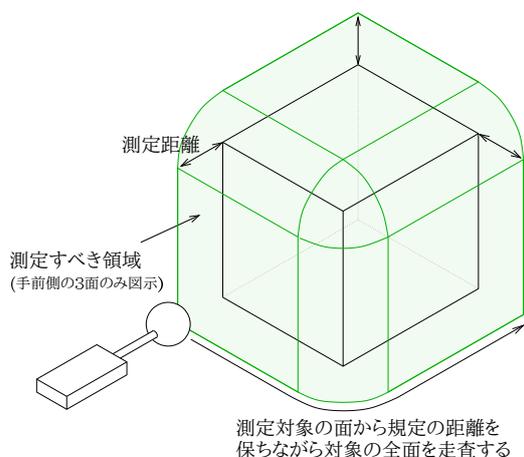


図 3: 機器の周囲の測定 (手前側の 3 面のみを図示)

3. それを超えた場合、誘導電流密度を計算し、その結果が曝露限度のセットに含まれる誘導電流密度の限度 (基本制限) を超えなければ合格;

誘導電流密度の計算は、境界要素法 (BEM)、有限要素法 (FEM)、モーメント法 (MoM) などの手法をこの規格の Annex D で示されているような人体モデルに適用して行なうことができる

2.2 測定距離、センサの位置、動作条件

主要な機器についてはこの測定に際して適用すべき測定距離、センサの位置、動作条件がこの規格の Table A.1 で示されている。但し、その機器の実際の使用で予期される状況などに対してその規定が適当ではない場合 (例えば Table A.1 では測定距離 30 cm となっているが実際の使用では人が密着しての使用が予期される、など) は実際の使用で予期される状況などに応じた状態での測定を追加で行なうことも考えるべきかも知れない。

規格で具体的な規定が示されていない場合、これらは以下のような一般的な原則に従って決定する。

2.2.1 測定距離

通常の使用時の状況に応じて、以下のいずれかを選択する:

- 人体^{†7}に接触して使用する機器 — 0 cm
- その他の機器 — 30 cm

この距離は測定対象の機器の表面と磁界プローブの表面のあいだの距離で、0 cm の場合はプローブを機器の表面に当てた状態で掃引することになる。^{†8}

2.2.2 センサの位置

測定は対象の機器の以下の面について行なう:

- 人体に接触して使用する機器 — 使用者側 (接触面)
- 移動できない大型機器 — 正面 (操作側)、及び人が接近できるその他の面
- その他の機器 — 全周

2.2.3 動作条件

測定は以下の動作状態で行なう:

- 最大の設定
- CISPR 14-1 で規定された動作条件、あるいは可能な場合は無負荷状態

短時間動作に関する製造業者の規定も考慮するが、例えば電源の投入時に発生するような 200 ms 以下の持続の過渡的な磁界は無視する。

電源は定格電圧 $\pm 2\%$ 、定格周波数 $\pm 2\%$ とする。電圧や周波数が範囲で示されている場合は機器の使用が意図された国や地域での公称電圧や公称周波数とする。

^{†7} 基本的に体幹と頭部のみを考慮する。また、一般に体幹と頭部への偶発的な接触を考慮する必要はない。Table A.1 でも手持ち型の工具や掃除機のようなものの測定距離は一般に 30 cm となっている。

^{†8} 磁界プローブはコイルの外側が絶縁体で覆われているので、測定対象の機器とコイルの外周とのあいだの距離はこの距離よりも幾分大きくなる。

2.3 磁界の測定

この測定では、CISPR 14-1 などでのエミッション測定のように電磁界の強さを周波数毎に測定するのではなく、評価対象の周波数範囲の磁界をそれぞれの周波数における曝露限度を考慮して重み付けして合成した値を求めることが必要となる。

この規格では他の評価方法も示されているが、最も基本となるのはタイム・ドメイン評価である。

2.3.1 タイム・ドメイン評価

この規格で示されているタイム・ドメイン評価は概ね次のような処理を伴う：

1. 測定面積 $100 \text{ cm}^2 \pm 5 \text{ cm}^2$ (直径約 8 cm) のコイル 3 つが互いに直交するように配置された磁界プローブ (図 4)^{†9} を用い、直交するそれぞれの方向の磁界を検出する；

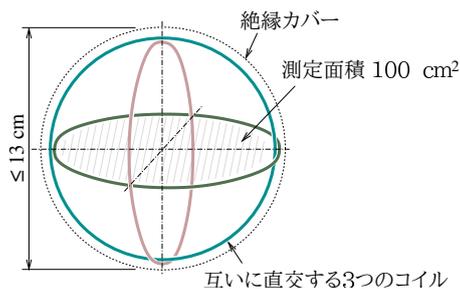


図 4: 等方性磁界プローブのイメージ

2. 磁界に対する応答が周波数 f_{c0} (例えば 50 Hz や 60 Hz) での値を 1 とした適用する曝露限度のカーブを反転させた形の伝達関数 (周波数特性) となるように、フィルタを通して信号を正規化する；

EN 62233 の場合は、適用する曝露限度は 1999/519/EC の参考レベル (ICNIRP の 1998 年のガイドラインの一般公衆に対する参考レベルと同等) で、また $f_{c0} = 50 \text{ Hz}$ となる；

3. 3 軸の信号を自乗し、加算する；
4. 加算された信号をフィルタに通し、平均時間 1 秒で平均化する；
5. 平均化された出力の平方根を求める；

^{†9} コイルの外側は絶縁や機械的な保護のために絶縁体で覆われるだろうが、この外径は 13 cm を超えてはならないと定められている。

6. その結果を周波数 f_{c0} における曝露限度と比較する。

例えば 図 6 のようなこの評価方法に対応した測定器が市販されており、このようなものを用いればその場所の磁界の曝露限度に対する比率をリアル・タイムで測定することができる。但し、このような測定器では曝露限度が測定器に組み込まれているため、適用したい曝露限度への対応は別途確認が必要となるであろう。

2.3.2 その他の評価方法

この規格では他に次のような評価方法も示されている：

- ライン・スペクトラム評価 — 例えば狭帯域の基本波と少数の高調波のみがあるような場合に適用でき、コイルで検出された信号の積分、離散フーリエ変換、3 軸の出力のベクトル合成、それぞれの周波数の磁束密度の曝露限度に対する比率の二乗和平方根の算出を伴う
- 代替試験法 — 電源周波数の磁界のみを発生するような機器は 2 kHz まで試験すれば良く、適用する曝露限度 (参考レベル) が $1/f$ よりも大きくない割合で低下する場合と一定の場合のそれぞれに対する簡易的な評価方法が示されている

だが、これらは適用に制約があるばかりでなく、特にライン・スペクトラム評価はやや煩雑であり、タイム・ドメイン評価を使用できる状況でこれらの評価方法の適用を考える必要性は低いと思われる。

2.4 結合係数の適用

ICNIRP ガイドラインや IEEE C95.6 で示されている磁束密度や磁界の強さの曝露限度は全身が均一な磁界に曝露されると仮定したものである。だが、放射源の近くでの磁界は著しく不均一となり、そのような状況ではこの評価は厳し過ぎるものとなるかも知れない。

IEC 62233 では、このような状況への対応のため、対象の機器が著しく不均一な磁界を発生する場合は Annex C か Table D.3 に従って求められた結合係数 $a_c(r_1)$ を適用できるものとしている。

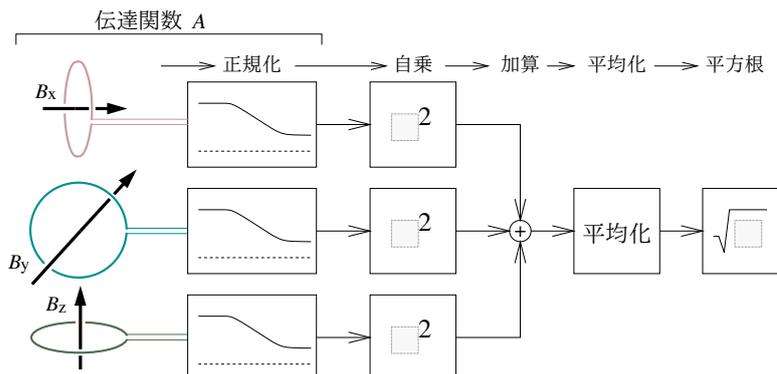


図 5: タイム・ドメイン評価のブロック図

機器のタイプ	測定距離 r_1	結合係数 $a_c(r_1)$	結合係数 $a_c(r_1)$
		ICNIRP	IEEE (60 Hz)
小型	0 cm	1.00	0.330
大型	0 cm	0.15	0.048
小型	10 cm	0.14	0.043
大型	10 cm	0.16	0.051
小型	30 cm	0.14	0.043
大型	30 cm	0.18	0.056

小型: 放射源が機器内の外郭の直下にある

大型: 放射源が機器内の外郭から 10 cm から 40 cm のあいだにある

表 1: 結合係数 $a_c(r_1)$ — IEC 62233:2005 Table D.3 より



図 6: タイム・ドメイン評価に対応した測定器の例 (Narda ELT-400)

この結合係数は、磁界の放射源を円形のコイルで模擬できるものと仮定し、円形コイルからの磁界が体内に誘導させる電流の数値モデルによる計算の結果、及び適用する曝露限度のセットで定められた電流密度に対する限度と磁束密度に対する限度の値とから求められた、磁束密度や磁界の強さの測定結果に乘じるべき係数であり、この規格の Annex C では概ね以下のようなステップでの算出方法が述べられている:

1. 測定面積 $3 \text{ cm}^2 \pm 0.3 \text{ cm}^2$ (直径約 1.4 cm) のプローブを用い、ホット・スポット (最大の磁界が観測された点) から磁界がその 10% に減衰する点までの磁界をその面の接平面に沿って測定する;
2. 等価コイルの半径 r_{coil} をその測定の結果と Table C.1 から求める;
3. 50 Hz における磁束密度に対する体内の最大電流密度の比率 k を、放射源から人体までの距離 r_1 、等価コイルの半径 r_{coil} 、及び Table C.2 から求め、さらに式 (C.6) を用いて必要な周波数における係数 $k(r_1, r_{\text{coil}}, f, \sigma)$ を求める;
4. 電流密度での曝露限度に対する磁束密度での曝露限度の比率を $k(r_1, r_{\text{coil}}, f, \sigma)$ に乗じ、結合係数 $a_c(r_1, r_{\text{coil}}, f, \sigma)$ を求める。

これはやや煩雑であるが、それが適当な場合、このような作業を行わずに、代わりに Table D.3 で示されている結合係数 $a_c(r_1)$ を用いることもできる (表 1)。

また、EN 62233 の場合、主要な機器に適用可能な結合係数 $a_c(r_1)$ が Table A.1 に示されている。

3 補足

3.1 EN 62233:2008 での主な違い

EN 62233:2008 は IEC 62233:2005 に基づくが、例えば次のような相違点がある：

- 勧告 1999/519/EC^[5] の曝露限度 (ICNIRP の 1998 年のガイドライン^[3] に基づく) が要求の一部となっている
- 主要な機器に適用可能な結合係数 $a_c(r_1)$ が Table A.1 に示されている

3.2 ICNIRP ガイドラインの参考レベルと EN 62233

ICNIRP の 1998 年のガイドライン^[3] では 300 GHz までの電界、磁界、電力密度、接触電流、四肢誘導電流の参考レベルが示されているが、EN 62233:2008 ではそのごく一部、10 Hz～400 kHz の磁界に対する曝露のみが扱われている (図 7)。

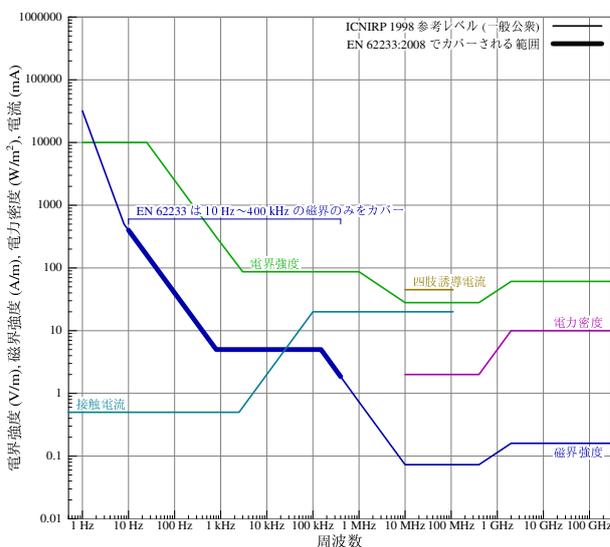


図 7: ICNIRP の 1998 年版のガイドライン (一般公衆の曝露に関する参考レベル) と EN 62233:2008

3.3 実際の測定結果の例

例えば「家電製品から発せられる電磁波測定 (10Hz～400kHz) 調査」^[7] には国内の様々な家電品の ICNIRP の 2010 年のガイドラインの一般公衆の曝露限度に対する評価の結果が示されている。

4 参考資料

- [1] IEC 62233:2005, *Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure*
- [2] EN 62233:2008, *Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure*
- [3] *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>
- [4] IEEE C95.6-2002, *IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 - 3 kHz*
- [5] 1999/519/EC, *Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)*,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:31999H0519>
- [6] 人体の電磁界への曝露の制限 — ICNIRP ガイドライン、IEEE C95.1、電波防護指針などについて、株式会社 e・オータマ、佐藤, 2021,
<http://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [7] 平成 25 年度 家電製品から発せられる電磁波測定 (10Hz～400kHz) 調査, 家電製品協会 技術関連委員会 家電製品から発せられる電磁波検討ワーキンググループ, 2014,
<https://www.aeha.or.jp/safety/emwave.html>