

人体の電磁界への曝露の評価 — IEC 62311 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2021 年 11 月 4 日

目次

1	概要	1
2	曝露限度	1
2.1	職業的曝露と一般公衆の曝露	2
2.2	基本制限と参考レベル	2
3	評価の一般的な手順	2
3.1	評価の方法	4
3.1.1	評価に関する規格の例	4
3.2	考慮すべき特徴やパラメータ	6
3.3	非意図放射器の評価周波数範囲	6
4	補足	7
4.1	低電力除外レベル	7
4.2	参考レベルに対する測定	7
5	参考資料	7

1 概要

IEC 62311^[1] は電子/電気機器からの電磁界への人体の曝露の評価に関する規格のひとつである。この規格は 0 Hz～300 GHz の周波数範囲を、また意図放射器と非意図放射器の双方をカバーし、曝露の評価に関する製品規格や製品群規格がない場合に適用することが意図されている。

だが、この規格は曝露の制限そのものの規定は含まず、適切な曝露限度のセットを別途選択して適用することが必要となる。また、評価の方法についても具体的な規定は含まず、適切な規格の参照が必要となる。

本稿ではこの IEC 62311:2019^[1] 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。

2 曝露限度

この規格は曝露限度を規定していないので、評価に先立って適用すべき曝露限度のセットも決めることが必要となる。

このような曝露限度のセットの例としては以下のようなものがある:^[2]

● ICNIRP ガイドライン

- *ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, 1998^{†1}
- *ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz)*, 2010^{†2}
- *ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)*, 2020^{†3}

● IEEE 規格

- *IEEE C95.6-2002, IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz*
- *IEEE C95.1-2020, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz*

● 欧州委員会勧告 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)*^{†4}

^{†1} <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

^{†2} <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdl.pdf>

^{†3} <https://www.icnirp.org/en/publications/article/ef-guidelines-2020.html>

^{†4} <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:31999H0519>

適用すべき曝露限度は通常は機器の出荷や使用が想定された地域や機器の用途から決まり、複数の曝露限度の適用が必要となることもある。例えば EU の一般消費者向けの機器の場合は 1999/519/EC の適用が、アメリカ向けの場合は IEEE 規格の適用が必要となるだろう。

2.1 職業的曝露と一般公衆の曝露

ICNIRP ガイドラインなどでは、労働者が労働環境で受ける曝露（職業的曝露; occupational exposure）と一般公衆の曝露（general public exposure）とは区別され、後者については前者よりも厳しい曝露限度が設定されている。

IEEE C95.1 では職業的曝露と一般公衆の曝露の代わりに制限環境（restricted environment）と非制限環境（unrestricted environment）という区分^{†5}が用いられている。この非制限環境の制限は「安全プログラム開始レベル」で、該当する安全プログラムのガイダンスと手続きに従った者のみが制限環境（非制限環境の限度は超えるかも知れないが、制限環境の限度は超えない領域）に入ることが許容されるように、またそのような安全プログラムに従わない労働者の曝露は一般公衆と同様に非制限環境の制限を超えないようにすることが意図されている。

2.2 基本制限と参考レベル

曝露限度は通常は基本制限と参考レベルとして規定されている：

- 基本制限（basic restriction）^{†6}

確立された健康影響に基づいて設定された制限で、通常、SAR（比吸収率；電磁界に曝された体組織が吸収するエネルギーを示す）、体内の電流密度などで規定される。

- 参考レベル（reference level）^{†7}

基本制限から導かれた制限で、通常、人体が占めるであろう空間の電界や磁界の強度（電界強

度、磁界の強さか磁束密度、電力密度）、接触電流、四肢電流などの、比較的測定しやすいパラメータで規定される。

一般に基本制限に対する評価よりも参考レベルに対する評価の方が容易であり、曝露のレベルが参考レベルを超えなければそれに対応する基本制限も超えないものとみなすことができるので、参考レベルの適用が可能な場合^{†8}、初期の評価は参考レベルを適用して行なうことが多い。

一方、曝露のレベルが参考レベルを超えたととしても基本制限を超えるとは限らず、参考レベルを超えても基本制限を超えないならば適合と判断できる。

参考のため、ICNIRP の 1998 年のガイドラインの基本制限と参考レベルをグラフ化したものを図 1 と図 2 に示す。

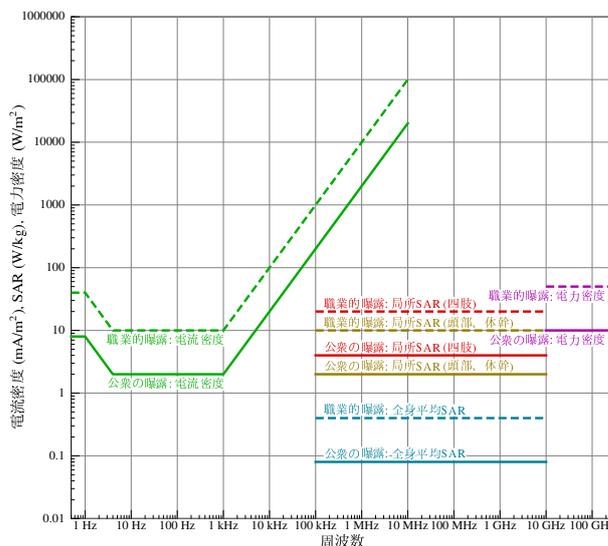


図 1: ICNIRP 1998 基本制限

3 評価の一般的な手順

適合性評価は、§3.1 で示すような評価方法、また §3.2 で示すような情報を考慮して、例えば以下のような手順で行なうことができる（図 3）：

1. 電磁界の放射の性質と予期される使用条件、また機器のどの部分が電磁界を放射するかを同定する。

^{†8} 参考レベルが規定されていてもその適用が適切ではない場合もある。例えば、一般に高い周波数では放射源の著しく近傍（例えば 20 cm 以内）での電界や磁界の評価は適当ではなく、SAR での評価が必要となる可能性がある。

^{†5} IEEE C95.1-2005 や IEEE C95.6-2002 では管理環境（controlled environment）と非管理環境（uncontrolled environment）。

^{†6} 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。

^{†7} 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。

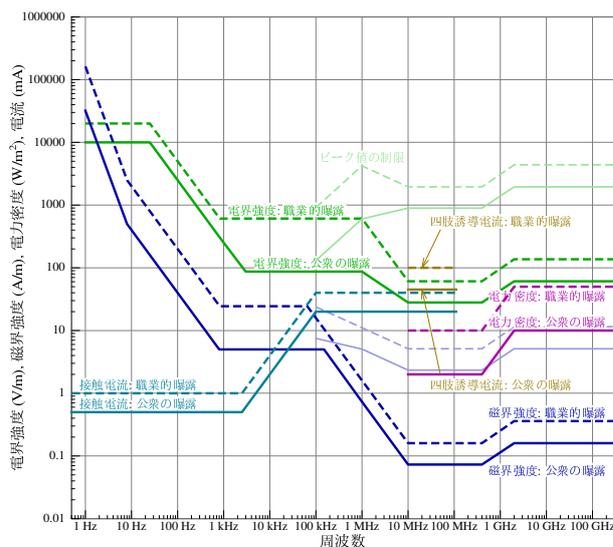


図 2: ICNIRP 1998 参考レベル

この検討では §3.2 で示すようなパラメータの考慮が必要となるかも知れない。

- IEC 62479^{†9} に該当する低電力電子/電気機器は IEC 62479 に適合するならば適合と判断する。

以下のようなものは IEC 62479:2010 に適合する:

- 機器の典型的な使用、設置、及び物理特性がそれを該当する曝露レベルに本質的に適合とするもの、例えば無線送信機を含まない白熱電球、オーディオ/ビデオ機器、情報技術機器、及びマルチメディア機器^{†10}
- 機器への入力電力が放射電力が低電力除外レベル (該当する基本制限への適合を詳細な評価なしに判断できる電力レベル; §4.1 も参照) を超えることがないほど低いもの
- 空中線出力や平均総放射電力が低電力除外レベルを超えないレベルに送信機に対する製品規格によって制限されているもの

^{†9} IEC 62479, *Assessment of the compliance of low-power electronic and electrical equipment with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz to 300 GHz)*

^{†10} 低レベルのデジタルやアナログの信号のみを扱う回路は一般に人体への影響が懸念されるような放射を生じそうにはない。だが、このような機器は IEC 62233^[3] の対象となる家庭用器具や類似の装置と同様に変圧器、モータ、パワー・エレクトロニクス回路などを含むかも知れず、それらからの放射 (特に磁界の放射) の人体への影響の可能性は別途検討が必要かも知れない。

- 空中線出力や平均総放射電力が低電力除外レベルを超えないことが測定や計算によって示されたもの

- その他の製品規格や製品群規格 (例えば IEC 62233^[3] や IEC 62369) でカバーされるものは、該当する規格に適合するならば適合と判断する。^{†11}

- 「低電力」機器、及び本質的に適合するものは適合と判断する。

これは、簡単には、IEC 62479 の対象とならないものについてそれと同様の判断を適用し、本質的に曝露限度を超えることがないと判断できるものはそれ以上の評価なしに適合と判断するものと考えて良いだろう。

- 測定や計算による分析: 評価された量が該当する参考レベルよりも低いならば適合するものと判断する。
- 測定や計算された電磁界の強度や電力密度を製品固有の適合基準と比較し、該当する適合基準よりも低いならば適合するものと判断する。
- 基本制限との比較のためにより詳細な測定、計算、及びモデル化を行ない、曝露が基本制限を超えないならば適合するものと判断する。

評価対象の機器に含まれる様々な潜在的な放射源からの曝露の測定や詳細な計算 (シミュレーションを含む) による評価を広い周波数範囲について、またおそらくは様々なパラメータ (電界、磁界、...) について行なうことは厄介であるので、他のより簡便な手段で適合性を示すことで、測定や詳細な計算による評価が必要な範囲をできる限り絞ることが望ましいだろう。

機器全体を 1 つの方法で評価する必要はなく、放射源や周波数範囲によって異なる方法を用いて評価することもできる。但し、曝露の制限に適合するものを組み合わせたもの全体が曝露の制限に適合するとは限らないので、アセスメントでそのような加算の影響を考慮することは必要となるだろう。

曝露の制限に適合するコンポーネントが機器に組み込まれている場合、そのコンポーネントが唯一の

^{†11} 但し、該当する製品規格や製品群規格でカバーされない現象がある場合 (例えば IEC 62233 の適用範囲に入る機器が 400 kHz よりも高い周波数で有意な曝露を生じる可能性が予想されるような場合)、この規格、あるいはその他の適切な規格の併用を考えることも必要かも知れない。

支配的な曝露源でないならばコンポーネントを含めた機器を評価する。一方、そのコンポーネントが唯一の支配的な曝露源であり、機器の特性の影響を受けないならば、その機器は本質的に適合するとみなされる。^{†12†13}

評価に関しては ECMA TR/97^[4] も参考になるかも知れない。

3.1 評価の方法

適用可能な評価方法として以下のようなものが示されている:

- 簡略化されたアセスメント
 - 最大出力電力 ($f > 10$ MHz)
低電力除外レベル (該当する SAR 限度への適合を詳細な評価なしに判断できる電力レベル; §4.1 も参照) による SAR 推定
 - EIRP (等価等方放射電力)
製品の EIRP、また設置の高さと距離に基づく SAR 推定
- 測定
 - 電磁界強度
参考レベルとの比較、あるいはより詳細なアセスメントのインプットとしての近傍界か遠方界での直接測定
 - 電流
接触電流の直接測定
 - 誘導電流/内部電界 (基本制限)
未策定
 - SAR (基本制限)
ファントムを用いた SAR 測定^{†15}
 - 電力密度 (基本制限)
遠方界では電力密度は電界か磁界の測定によって求められる

^{†12} 勿論、そのコンポーネントが唯一の支配的な曝露源である、すなわちそれ以外に曝露の考慮が必要となる部分がないと判断するためには相応の検討や評価が必要となるだろう。

^{†13} 無線モジュールが複数組み込まれている場合、それらが曝露の制限に適合するとしても、それらが同時に送信する可能性があればその状態での評価を改めて行なうことが必要となるだろう。

^{†15} SAR 測定では、おそらくは複数の配置について、評価対象の周波数での体組織の特性を模擬するように調製された液体で満たされたファントムの中の電磁界の強度の分布を細かく測定することなどが必要で、かなり煩雑である。

- 計算
 - 発生源の数値モデル
所定の距離でのエミッションの計算からの曝露の推定
 - 人体の数値モデル
誘導電流密度/誘導電界、もしくは SAR の計算
 - 電磁界強度
遠方界、もしくは近傍界での電磁界の強度の計算
 - 電流
接触電流の計算
 - 誘導電流/内部電界 (基本制限)
ファントムありでの計算
 - SAR (基本制限)
ファントムあり、あるいはなしでのシミュレーション
 - 電力密度 (基本制限)
遠方界での電力密度の計算

それが評価のために適切なものであれば、他の評価方法を使用しても良い。

3.1.1 評価に関する規格の例

評価に使用できるかも知れない規格の例として以下のものが示されている:

- IEC 61786-2 — 人体の曝露に関する DC 磁界、1 Hz~100 kHz の AC 磁界と AC 電界の測定
- IEC 62110 — AC 電力システムが発生する電界と磁界のレベルの公衆の曝露に関する測定
- IEC 62209-1 — 耳の近くで使用される手持ち型や身体装着型の無線通信デバイスからの無線周波電磁界への人体の曝露の比吸収率 (SAR) の評価 (300 MHz~6 GHz) (→ IEC/IEEE 62209-1528)
- IEC 62209-2 — 人体の近くで使用される手持ち型や身体装着型の無線通信デバイスからの無線周波電磁界への人体の曝露の比吸収率 (SAR) の評価 (30 MHz~6 GHz) (→ IEC/IEEE 62209-1528)

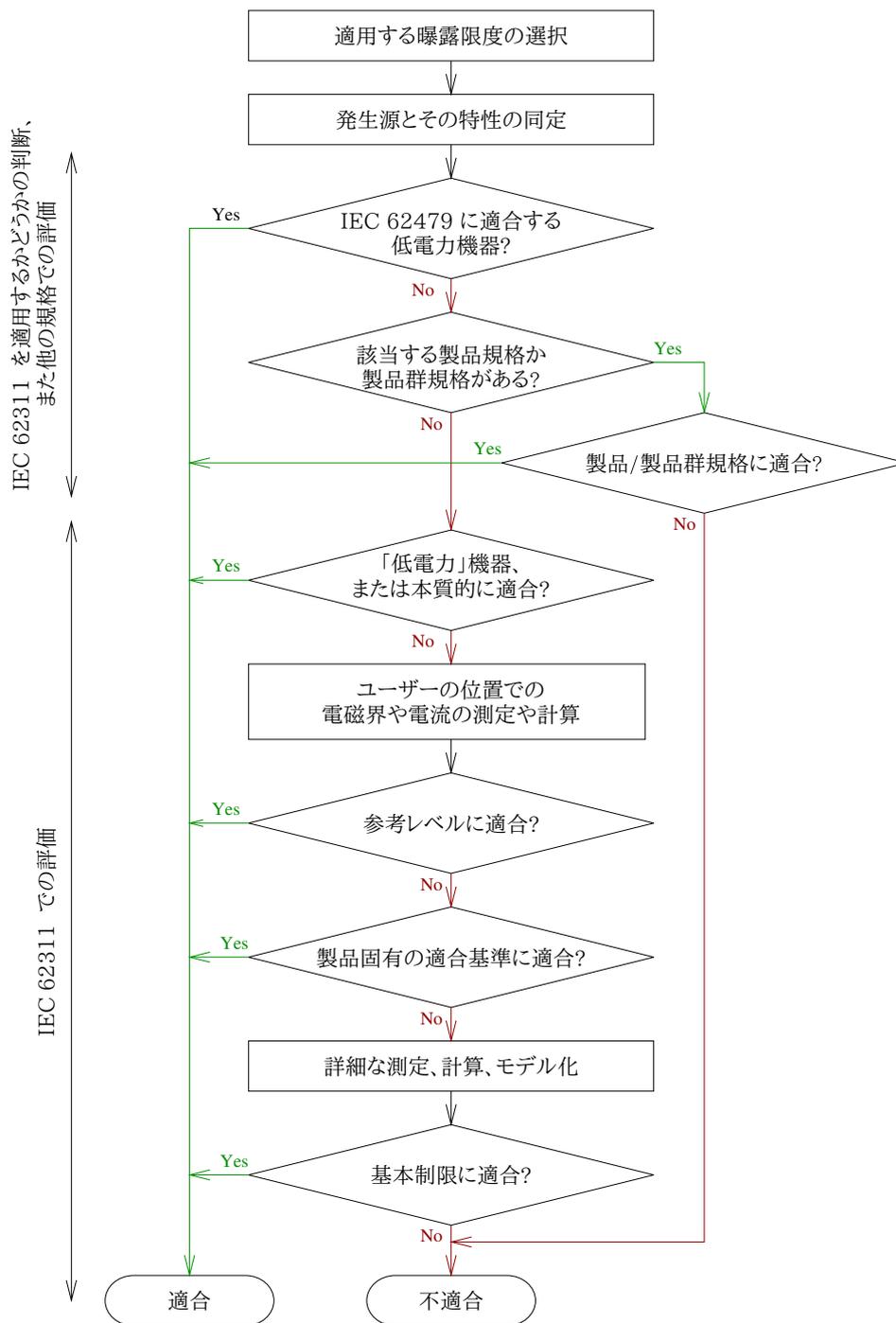


図 3: 評価のフローの例¹⁴

- IEC 62232 — 無線通信基地局の近傍における人体の曝露の評価のための RF 電磁界強度、電力密度、及び SAR の同定
- IEC 62233^[3] — 家庭用器具や類似の装置からの人体の曝露に関する電磁界の測定法
- IEC 62479 — 人体の電磁界への曝露に関する基本制限に対する低電力電子/電気機器の適合性の評価 (10 MHz～300 GHz)
- IEC TR 63167 — 電界、磁界、及び電磁界への人体の曝露に関する接触電流の評価
- IEC TR 63170 — 6～100 GHz で動作する無線通信デバイスからの電磁界への人体の曝露に関する電力密度の評価

3.2 考慮すべき特徴やパラメータ

曝露の評価では評価対象の機器の以下のようなパラメータの考慮が必要となるだろう:

- 周波数 — 放射の周波数
- 波形 — ピーク、及び/もしくは平均放射の確定のための、波形やデューティ比などの情報
- 複数の周波数の発生源 — その機器は複数の周波数での、あるいは強い高調波成分を含む放射を生じるか? それらの放射は同時に生じるか?
- 電界の放射 — 電位差、また例えば異なる電位にある金属面のような結合部
- 磁界の放射 — 電流、また例えばコイル、トランスジューサ、ループのような結合部
- 電磁界の放射 — 高周波信号の発生や伝送、また例えばアンテナ、ループ、トランスジューサ、外部ケーブルのような結合部
- 接触電流 — 電磁界に曝された導電性の物体から人体に流れる電流
- 全身曝露 — 機器が発生する、全身が占める領域にわたる電磁界
- 局所曝露 — 機器が発生する、人体が占める領域の一部のみ、あるいは四肢が占める領域にわたる電磁界
- 持続や時間の変動 — 放射のデューティ比、機器が使用もしくは放射する電力のオン/オフの時間、使用電力や放射の変動
- 均一性 — 人体にわたる、あるいは人体の曝露される領域にわたる電磁界の強度の変動の程度
- 遠方界/近傍界 — 曝露は近傍界か遠方界か?
- パルス/過渡電磁界 — 放射がパルス変調されている、あるいはパルスの繰り返しか? 電磁界に偶発的な、あるいは繰り返し性のトランジェントが含まれるか?
- 物理的寸法 — 顕著な曝露は局所的にのみ生じるほど機器が小さいか? 波長 (動作周波数) に対してはどうか? 異なる部分が独立に曝露に寄与するであろうほど大きいのか?

- 電力 — 放射電力は? 消費電力は? アンテナ・システムがある場合、等価放射電力は?
- 発生源から使用者までの距離 — 使用時の機器と人とのあいだの空間的な関係は?
- 予見可能な使用方法 — その機器は通常どのように使用されるか? 製造業者が規定した合理的に予見可能な使用方法と予期される使用方法の条件は最大の放射や吸収を生じるか? 動作条件は? 使用方法が機器と使用者のあいだの空間的關係にどのように影響するか? 使用方法が機器の放射の特性に影響し得るか? その機器はシステムの一部となり得るか?
- 発生源と使用者の相互作用 — 放射される電磁界は機器が人体の近くにある時に変化するのか? 機器は使用中に人体と結合するか?

3.3 非意図放射器の評価周波数範囲

非意図放射器の電界や磁界は評価対象の機器の最大内部周波数 f_{\max} に応じて下記の周波数までの周波数範囲について、あるいは実際の全ての高調波を評価する:

- $f_{\max} < 10 \text{ kHz}$ — 400 kHz
- $10 \text{ kHz} \leq f_{\max} < 108 \text{ MHz}$ — 1 GHz
- $108 \text{ MHz} \leq f_{\max} < 500 \text{ MHz}$ — 2 GHz
- $500 \text{ MHz} \leq f_{\max} \leq 1 \text{ GHz}$ — 5 GHz
- $1 \text{ GHz} < f_{\max}$ — $5 \times f_{\max}$ 、あるいは 6 GHz のいずれか高い方

これはこの規格の要求事項の一部ではあるが、要求されているのは評価 (アセスメント) の実施であり、直流からその上限の周波数までの電界や磁界などの測定が要求されているわけではない。

例えば機器の CPU の動作クロックが 3 GHz の場合、上記の規則からは 15 GHz までの評価が必要ということになるが、そのクロックが関係する回路は IEC 62479 に適合する (§3の 2a項) と判断できるかも知れず、その場合はそのような高い周波数までの測定は不要となるだろう。

実際に測定による確認が必要かどうか、またどの周波数範囲で何を測定する必要があるかは、§3 で

触れているように、机上での評価に基づいて決定することができるだろう。

4 補足

4.1 低電力除外レベル

機器から電磁界として放出されるエネルギー全てがごく狭い領域の体組織で吸収されたとしても基本制限を超えないと言える場合、それ以上の評価なしにその曝露限度に適合すると判断できる。

例えば、ICNIRP の 1998 年のガイドラインでは一般公衆の頭部と体幹の局所 SAR 限度は体組織 10 g での平均で 2 W/kg となっており、機器から放出されるエネルギーが 20 mW を超えないならばそのエネルギー全てが 10 g 以下の体組織で吸収されたとしてもその SAR 限度を超えないことがわかる。

4.2 参考レベルに対する測定

電界や磁界の強さで規定された参考レベルに対する実測による評価は、IEC 62233^[3] と同様、評価が必要な周波数範囲と適用する参考レベルに対応した重み付けを行なう曝露評価用の測定器が利用可能であれば、実際の使用に際して人体が占めるであろう領域をそのプローブで走査することで行なえるだろう。^{†16†17}

だが、適用するそれぞれの参考レベルに対応した、広い周波数範囲、また電界と磁界のそれぞれ（近傍界では電界と磁界は別に考えることが必要）に対する一連の測定器やプローブをこの測定のために用意してそれぞれでの測定を行なうことはあまり実際的ではないかも知れない。

^{†16} このような曝露評価用の測定器では電磁界の強さの曝露限度に対する割合を直読できると思われる。但し、加算すべき周波数範囲（例えば ICNIRP の 1998 年のガイドラインでは電界や磁界の測定結果は 1 Hz～10 MHz、及び 100 kHz～300 GHz の範囲で所定の方法で加算するように定められている）の測定が分割される場合、そのような測定器で得られた結果を適切な方法で加算した結果から判断を行なうことが必要となるかも知れない。

^{†17} 場合によっては、参考レベルに対応した重み付けを行なう測定器の代わりに広帯域の平坦な応答の測定器を用いて測定を行ない、その周波数範囲内の最も厳しい曝露限度と比較することも可能かも知れない。だが、曝露限度は周波数によって何桁も異なるため、この方法での評価は著しい過剰評価となることが予期される。また、測定器が 1 軸の成分のみを測定するものである場合はプローブの向きを変えて互いに直交する 3 つの方向での測定を行なった結果を合成することが必要となるが、これも過剰評価をもたらすかも知れない。

従って、電界や磁界の測定による評価を行なう方向とする場合、不必要な測定を避けるため、事前に評価対象の機器の性質などを検討して電界と磁界のいずれの測定が必要かを、また測定が必要な周波数範囲を決めることが望ましいと思われる。

例えば、対象の機器の分析の結果、高々 100 kHz 程度までの交番磁界への曝露は懸念されるものの、電界やそれよりも高い周波数の磁界への顕著な曝露は予期されない（本質的に適合とみなせる；§3 も参照）と判断された場合、その規格の適用範囲とは無関係に、実測での評価は IEC 62233^[3]（EU 向けであれば EN 62233）を準用しての 10 Hz～400 kHz の磁界の測定のみで良いと判断できるかも知れない。

また、このような測定を外部に依頼する場合、次のような事項も明確に指定することが必要となるであろう：

- 適用する曝露限度
- 何を、どの周波数範囲について測定するか
- それぞれの測定で参照すべき規格があれば、その指定
- 機器の動作条件
- 測定を行なう範囲（例えば機器の前面と上面、全周のような）、また測定距離

上で述べたように、IEC 62311 と言っただけでは適用すべき曝露限度も評価方法も定まらず、測定は可能な評価方法の 1 つに過ぎず、また測定で適用可能な測定方法も測定対象のパラメータも様々であるので、単に「IEC 62311 の測定」を依頼して希望した測定が行なわれることは期待できそうにない。

5 参考資料

- [1] IEC 62311:2019, *Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)*
- [2] 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-ohatama.jp/emc/reference.html>
- [3] 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、2021、
<http://www.emc-ohatama.jp/emc/reference.html>

- [4] ECMA TR/97, *Guide for assessment of human exposure to electromagnetic fields from multimedia products in accordance with IEC/EN 62311*, Ecma International, 2019,

<https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/technical-reports/ecma-tr-97/>