

ICNIRP ガイドライン(2020)と以前のガイドラインとの違い

1. 序文

国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) は、[電磁界 \(100 kHz-300 GHz\) へのばく露の制限に関するガイドライン \(2020\)](#) を発表しました。これは、ICNIRP ガイドライン (1998) の無線周波数電磁界 (以降、“高周波電磁界”と称する) の部分、および ICNIRP の低周波ガイドライン (2010) の 100 kHz から 10 MHz の部分を更新するものです。ICNIRP に対し、ICNIRP (2020) と以前のガイドラインとの違いについて説明を求める多くの要請があったことから、それらを説明することが本文書の目的です。但し、その意図は、ガイドラインの主な違いについての人々の理解を助けることであり、それらの厳密な説明を提示することではないので、本文書を ICNIRP (2020) に代わるものとして読むべきではありません。従って、ICNIRP (2020) と本文書との間には実際に、または見かけ上の不一致がありますが、ICNIRP (2020) を高周波ガイドラインに関連する唯一の文書と理解しなければなりません。

ICNIRP (2020) と以前のガイドラインは、防護体系の全体的なアプローチ、ならびに制限値そのものの面で比較可能です。全体的なアプローチには、対象範囲、検討された有害な健康影響の種類、防護体系に組み込まれた透明性の度合い、制限値の設定に用いられた物理量、および、防護を提示するための制限値の決定方法、が含まれます。逆に、制限値はこの全体的アプローチの結果であり、有害な健康影響からの防護を担保するために超えてはならない高周波電磁界の一連の数値です。全体的アプローチおよび制限値そのものは別々に検討されます。

2. 防護体系の全体的なアプローチの比較

2.1. 透明性

ICNIRP ガイドライン (2020) の重要な特徴の一つは、全体的なアプローチとその結果としての制限値についての透明性のレベル向上にあります。これは、以前のガイドライン以降に実施された膨大な科学研究によって可能となったもので、その結果は制限値の導出の各ステップで下された判断に見ることができます。それにより、公開協議のプロセスを通じて、ICNIRP が科学界および一般社会との有意義なつながりを持ち、初期草案における軽微な論点と実質的な論点の両方を改善することが可能になり、また、将来の科学の発展に応じてガイドラインを評価できるようにするために必要な詳細が提示されました。このことは、制限値導出プロセスの幾つかの段階での専門家の判断 (有害な健康影響が証明されていると結論付けるかどうか、等) を完全に排除することはできませんが、その決定自体は特定され、仮にその後の研究でその決定が間違いであることが示されれば、ばく露制限に対する影響は容易に特定され、対処することができます。

2.2. 対象範囲

両ガイドラインの対象範囲は非常に似通っており、急性ばく露によるものか慢性ばく露によるものかにかかわらず、年齢または健康状態にかかわらず、また影響の原因となる生物物理学的メカニズムにかかわらず、すべての有害な健康影響に対する防護を提示することです。二つのガイドラインのばく露シナリオも非常に似通っています。潜在的な曖昧さを排除するため、対象範囲についての更なる説明は、ICNIRP (2020) に示されています。例えば、美容的施術が対象範囲に含まれること（適切な医学的監督の下で実施されない場合に限り）、また、医学的処置を受ける人々の「介護者および付き添い者」は対象範囲外であること（そのような人々に対する費用対効果の評価も、処置を受ける人に対するものと同様に、適切な訓練を受けた医療従事者により実施されること）が具体的に示されています。

2.3. 有害な健康影響についての運用上の閾値

以前のガイドラインは、高周波電磁界ばく露によって生じることが示された有害な健康影響に基づいていました。ICNIRP (2020) でも同じアプローチを用いました。今では、ICNIRP (1998) の制限値の範囲内の高周波電磁界ばく露は有害な健康影響を生じないということを確認している文献が相当あります。但し、ICNIRP (1998) の制限値よりも大幅に高いばく露については、特に熱作用の面で、科学的情報の総量は大幅には増えておらず、有害な悪影響についての閾値（即ち、有害な健康影響を生じる最も低い高周波電磁界レベル）を決定することを難しくしています。この状況と、健康に対する他の発生源からの熱の影響に関して説得力のある多数の文献があることを考慮して、ICNIRP (2020) では高周波電磁界文献についての知識を補うため、この熱生理学の知識を用いました。

2.4. 胎児の分類

ICNIRP (1998) と ICNIRP (2010) は、職業ばく露の制限値の面で妊婦と妊娠していない労働者を区別しておらず、その結果として、より保守的な一般公衆に対する制限値を超えて胎児がばく露される可能性がありました。胎児の職業ばく露が有害な健康影響を生じるということを示す証拠はないものの、保守的な対策として、ICNIRP (2020) では胎児を一環公衆のメンバーとして扱い、一般公衆に対する制限値の対象としています。従って、胎児のばく露が一般公衆に対するばく露制限値を超えないことを担保するため、ICNIRP (2020) では妊娠した労働者を一般公衆に対する制限値の対象とするように規定しています。

2.5. 制限値に対する変更の種類

ICNIRP (2020) の制限値には様々な改善がなされており、これには新たな制限値の追加、古い制限値の修正、幾つかの制限値の削除が含まれます。これらの変更は後述する第3章で個別に扱っています。但し、全般的な説明は以下のとおりです。追加的な制限値は、ICNIRP (1998) の制限値では、5G [訳注：第5世代移動通信] 技術の側面のような、新技術の発展が適切に考

慮されないような状況を考慮するために導入されました。既存の制限値の修正は、ばく露の空間的平均化と温度上昇との関連についてのより正確な知識等、1998年以降の科学の進展に基づく精度の向上に基づいて実施されました。さらに、有害な健康影響に対する防護を提示するために特定の制限値が必要ないことが明らかになった状況では、それらの制限値は削除されました。

2.6. 健康の防護に対する制限値の変更の意味

以前の ICNIRP ガイドラインに明記された主な制限値は、現在利用されているような高周波電磁界を発生する技術から生じるばく露からの有害な悪影響に対する防護を提示していることに留意することが重要です。従って、ICNIRP (1998) の主な制限値は依然として防護的であり、新ガイドラインでも大半が残されています。

制限値の精度向上のために実施された軽微な変更は、制限値をより保守的にしましたが、強力的に保守的な制限値そのものに対して、その差は比較的小さいので、これらの変更は現行の高周波電磁界を発生する機器からのばく露に対する健康防護について、さほど大きな違いを生じていません。

但し、ICNIRP (2020) には、健康防護を更に強める可能性のある新たな制限値が二つあります。一つ目は、5G 等の 6 GHz を超える電磁界周波数を利用する技術の発展に関連するもので、身体内の過剰な温度上昇に対するより良い防護のための新たな制限値です。二つ目は、短時間（6 分間未満）の高周波電磁界ばく露に関連するもので、これは一過性の温度上昇が痛みまたは組織への悪影響を生じさせないことを担保するためのものです。ICNIRP (1998) には頭部への短い（およそ 50 ミリ秒の）パルス高周波電磁界に対する制限値はありましたが、今回のガイドラインは 6 分間までの全身に対するばく露時間に対する防護を提示しています。ICNIRP は、1998 年のガイドラインに適合したばく露が健康に有害な影響を及ぼす一過性の温度上昇を生じるような何らかの状況があるとは承知していませんが、今回の新たな制限値は、新たな、または将来の技術の利用が、健康に有害な影響を及ぼさないことを担保することになります。

3. 基本制限に対する技術的変更

3.1. 全身平均のばく露制限

ICNIRP (1998) における全身平均のばく露制限は、SAR（比吸収率）という物理量で設定されました。これは ICNIRP (2020) でも同じです。但し、この制限は ICNIRP (1998) では 10 GHz までしか適用されていませんでしたが、ICNIRP (2020) では 100 kHz から 300 GHz までの範囲全体にわたって適用可能です。これは、新技術からのばく露が身体深部での過剰な温度上昇につながらないことを担保することになります。この制限に対する平均化時間も、深部体温の上昇に要する時間により良くマッチさせるため、ICNIRP (1998) の 6 分間から、ICNIRP (2020)

では 30 分間に変更されました。基本制限値そのものは、当初考えられていたよりも更に保守的であることが研究で示されているので、変更されていません。

3.2. 局所ばく露についての「遷移周波数」に対する変更

局所的な高周波電磁界の制限には、異なる周波数に対して異なる物理量を用いています。ICNIRP (1998) では、10 GHz までは SAR が用いられて、10 GHz 超では「電力密度」が用いられていました。この物理量が変化する周波数は「遷移周波数」と呼ばれます。異なる物理量が用いられる理由は、SAR はより高い周波数での身体表面のばく露を過小評価するかも知れず、他方の電力密度はより低い周波数での深部のばく露を過小評価するかも知れないためです。理想的な遷移周波数はありませんが、ICNIRP (2020) では、実用的なアプローチを取り、遷移周波数を 10 GHz から 6 GHz に引き下げました。これは、そうすることがばく露全体を最も正確に考慮することができるためです。

3.3. 局所、6 分間平均の、遷移周波数までのばく露制限(6 GHz 以下)

どちらのガイドラインも同じく、過剰な局所温度上昇に対する防護のため、6 分間で平均した SAR の基本制限値を用いています。但し、ICNIRP (1998) では 10 g のひとかたまりの同質の組織領域での SAR の平均化を求めているのに対し、ICNIRP (2020) では 10 g の立方体領域での平均化を求めています。この空間的平均化における変更は、温度上昇のより良い近似を提示するためのものです。

ICNIRP (1998) と同様に、ICNIRP (2020) はこの遷移周波数より低い領域について、異なる身体部位に対して異なるばく露限度を提示しています。但し、これらの身体部位の定義方法には微妙な差があります。実際の適合性の観点からの主な違いは、耳介が、脳のようなより厳しい限度を必要とする組織として扱われるのではなく、(皮膚のような)他の表面組織と同様に扱われるという点です。このことは、ばく露評価の単純化のため、頭部および胴体、ならびに四肢に対するばく露制限の設定の際に考慮されます。ここで、ばく露される組織のタイプの詳細を考慮する必要はなく、ばく露が頭部および胴体か、または四肢かだけを考慮します。

3.4. 局所、6 分間平均の、遷移周波数より上でのばく露制限(6 GHz を超える)

6 GHz 超での局所ばく露についての防護体系には若干の変更があります。

第一に、ICNIRP (1998) では「入射電力密度」の物理量を用いていたのに対し、ICNIRP (2020) では「吸収電力密度」を用いています。その理由は、後者は身体のばく露の尺度であり、それゆえに「基本制限」の意図を満たすのに対し、前者は身体のばく露の尺度ではないということによります。これは、入射電力密度は最大で 50%が身体から反射されるためです。

第二に、ICNIRP (1998) では 20 cm² の領域で平均化していたのに対し、ICNIRP (2020) では 4 cm² の領域 (また状況によっては 1 cm² の領域) での平均化を要求しています。この 4 cm² の平均化面積は、SAR の平均化体積 (10 g) の表面とマッチし、6 GHz での一貫性のある遷移

を提示します（3.3節を参照）。この変更は、20 cm²での許容可能なばく露が小さい領域に集中せず、過剰な温度上昇を生じないことの担保するものです。例えば、20 cm²の平均化面積に基づく制限では、4 cm²の領域での均一なばく露は、仮に20 cm²の領域で平均化した場合※1よりも5倍高くなる可能性があります。

【電磁界情報センター脚注】

※1：原文では if averaged over the entire 20cm² region となっているものの、if a homogeneous exposure over the entire 20cm² region と思われるので、「仮に20cm²の領域で平均化した場合」は、「20cm²の領域での均一なばく露の場合」と理解される。

第三に、30 GHz 超で生じ得る、より高度に集中したビームを考慮するため、ICNIRP（2020）では30 GHzを超える周波数について1 cm²の制限も組み込んでいます。集中の度合いは周波数と共に連続的に増加しますが、30 GHz未達の周波数では同様の制限は設定されていません。これは、その周波数ではビームは害を生じるほど「十分に」集中しないためです。第二および第三の点は、5G等の将来の技術の安全性の担保のために特に重要であることに留意して下さい。

第四に、ICNIRP（1998）では周波数の上昇と共に平均化時間を短縮しましたが、ICNIRP（2020）ではこの方法を用いていません。というのは、この方法によって提示される温度上昇の予測が、ICNIRP（2020）で導入された追加的な「短時間のばく露制限」によって提示されるものよりも悪いためです。これについては3.5節で述べています。

第五に、6 GHzを超える周波数での電磁界についての基本制限値（入射電力密度に代えて吸収電力密度）は、6 GHz超および以下での身体の等価最大ばく露を提示するために設定されています。この結果、6 GHzを超える周波数での電磁界については、ICNIRP（1998）よりも基本制限値が高い値になっています。但し、ICNIRP（1998）での20 cm²に対し、今回のガイドラインでは4 cm²の平均化面積を用いているため（上述の第二点を参照）、6 GHzを超える周波数での電磁界に対する身体のピークばく露は、ICNIRP（1998）のガイドラインの場合よりも低くなっています。

3.5. 短時間(6分間未満)、局所ばく露についての制限

短時間の、非常に強い高周波電磁界ばく露は、6分間での平均電力が6分間平均についての制限を越えなくても、局所組織の温度を過剰に上昇させる可能性があります。これは特に30 GHzを超える周波数に関連しますが、下は400 MHzまでの周波数でも生じる可能性があります。従って、ICNIRP（2020）では、短い間隔でのばく露が過剰な温度上昇に至らないことを担保するための追加的な制限を提示しています。この制限はばく露時間の関数として設定され、連続的（例えば正弦波）および非連続的（例えばパルス）な高周波電磁界の両方に適用することができます。400 MHz以下では、これによる過剰な温度上昇が生じる可能性はないので、この制限は400 MHzを超える電磁界周波数に対してのみ実施されています。

400 MHz を超えて 6 GHz までは、この制限は比エネルギー吸収 (SA) で与えられ、6 GHz 超では吸収エネルギー密度 (U_{ab}) で与えられます。これらの制限は、5G 等の、より高い高周波電磁界周波数を利用する新しい技術や将来の技術が、短時間ばく露による過剰な温度上昇を生じさせることがないということを担保します。

3.6. マイクロ波聴覚効果

高周波電磁界のサブミリ秒パルスは可聴音を生じる可能性があります。これは、非常に小さい (およそ 0.00001°C) 温度上昇の結果として熱弾性的な組織の膨張が生じ、これが通常の聴覚に関与しているのと同じプロセスを介して、蝸牛の感覚細胞によって検出されることで生じます。ICNIRP (1998) は、この聴覚現象の可能性を排除するための制限を設定しました。但し、これは聴覚現象を代表するものであり、これが健康に有害な影響となるという証拠はないので、ICNIRP (2020) ではこの制限は用いられていません。3.5 節で述べた短時間のばく露制限が、健康に有害な影響を及ぼすのに十分な強度の高周波電磁界パルスを防護する、ということに留意して下さい。

3.7. 神経刺激の制限 (100 kHz から 10 MHz まで)

ICNIRP (2020) では、神経刺激に対する防護のためにデザインされた ICNIRP (2010) の基本制限の再評価は実施していません。これは 100 kHz から 10 MHz の範囲で生じ、そこでは神経刺激と熱作用の両方があります。代わりに、100 kHz から 300 GHz までの電磁界周波数範囲全体をカバーする基本制限の完全なセットを提示するため、ICNIRP (2010) の神経刺激についての基本制限が、ICNIRP (2020) の他のすべての潜在的に有害な健康影響についての基本制限に追加されました。ICNIRP (2010) のガイドラインでは既に、ICNIRP (1998) の 100 kHz から 10 MHz までの神経刺激に関する基本制限を更新しているので、これに関しては ICNIRP (2020) も ICNIRP (1998) と異なっています。

4. 参考レベルに対する技術的変更

4.1. 追加的な参考レベル

ICNIRP (1998) では、連続的な全身ばく露についての参考レベルを提示しています。これは、例えば、携帯電話基地局等の装置からの高周波電磁界放射に関連するコミュニティにおける適合性の評価の際に関連します。但し、この参考レベルはすべての種類の基本制限をカバーしていたわけではありませんでした。ICNIRP (2020) では、すべての基本制限に対応する参考レベルを提示しています。これにより、すべての基本制限への適合性を単純な手段で評価することができます。但し、近傍界および遠方界の区別に関連した複雑さのため、参考レベルを用いることができないような状況が依然として存在することに留意して下さい。そのような状況はガイドラインに明記されています。

4.2. 参考レベルの削除

ICNIRP (1998) には、全身についての参考レベルが盛り込まれ、10 GHz 超で電界、磁界および電力密度が明記されていました。但し、約 2 GHz 超では電界および磁界の値は必ずしも基本制限値の良い推定値を提示しないので、ICNIRP (2020) では 2 GHz 超の全身についての参考レベルに対して電界および磁界の値は用いられていません。

ICNIRP (1998) には、接触電流についての参考レベルが盛り込まれていました。接触電流は、導体が物理的接触を通じて高周波電磁界を人に向け直す場合に生じ、それによって組織での SAR が高まり、基本制限を超える可能性があります。従って、接触電流によって基本制限を超えることを回避するため、参考レベルを設定することは有益となり得ます。ICNIRP (2020) で述べているように、常に事前に明記することができない様々なパラメータを考慮する必要があるため、そのような参考レベルを提示することはできません。このため、ICNIRP (2020) では、接触電流についての参考レベルを提示しません。参考レベルの代わりに「ガイダンス」を提示し、職業的な高周波電磁界ばく露について責任を負う人々への情報提供を助け、このハザードが理解され、適切な保健安全プログラムが検討されることを担保する上で彼らを支援しています。

4.3. 適合性ルールにより詳細な仕様

ICNIRP (1998) では主に、遠方界ゾーン内での電磁界についての参考レベルを明記していましたが、その参考レベルは近傍界ゾーン内でも用いることができました。但し、特に各々の基本制限にマッチする追加的な参考レベルの導入により、近傍界ゾーン内での電磁界の測定が複雑になっています。従って、遠方界ゾーン、放射近傍界ゾーン、リアクティブ近傍界ゾーンの範囲内の電磁界に対して異なる要求事項を有する参考レベルが明記されました。更に、参考レベルが基本制限に適切に対応する度合いも、ICNIRP (2020) のガイドラインの対象範囲を超える他の要因によって影響されています。その結果、遠方界、放射近傍界およびリアクティブ近傍界の厳密な仕様を、アンテナの形状や大きさ等、ばく露シナリオの他の重要な特徴と「共に」考慮する必要があります。従って、参考レベルと基本制限の一致を担保するため、近傍界および遠方界ゾーンについての厳密な詳述には技術標準化団体からの意見提供が必要であることが明記されています。

一部のばく露シナリオでは、参考レベルが基本制限に対応することを担保するには、電磁界レベルだけでは情報が十分ではない、という点に留意することが重要です。そのような場合、基本制限への適合が必要です。すなわち、適合性の検証に参考レベルを用いることはできません。このことは ICNIRP (2020) に明確に記載されています。例えば、多くの携帯電話端末から発せられ、デバイスの近くで測定されるようなリアクティブ近傍界ゾーン内の 2 GHz 超の電磁界については、適合性の証明に参考レベルを用いることはできません。

4.4. 参考レベルの値における違い

上述のように、ICNIRP (2020) では、ICNIRP (1998) にはなかった様々な新しい参考レベルのカテゴリーを導入しています。これについては詳述しません。

ICNIRP (1998) では、30 MHz 未満についての参考レベルを特定するための利用可能な研究は限られていました。従って、参考レベルは非常に保守的に設定されました。ICNIRP (2010) の低周波ガイドラインでは、上は 10 MHz までの電磁界周波数についての参考レベルが盛り込まれ、ICNIRP (1998) と比較して、100 kHz から 10 MHz までの電界についての参考レベルは引き下げられ、磁界についての参考レベルは引き上げられました。これらの変更は比較的説得力に欠ける科学に基づいており、電界の場合、運用は非常に制限されていました。但し、今では研究によって、基本制限と電界および磁界の両方についての参考レベルとの関係がより良く決定されているので、ICNIRP (2020) では改善された知識を組み込むため、これらの参考レベルを更新しました。このことは基本制限には影響しませんが、今では基本制限に達するにはより高い参考レベル値が必要であることがわかっているので、参考レベルが引き上げられました。その結果、100 kHz から 30 MHz までの周波数範囲では、ICNIRP (2020) の電界および磁界の参考レベルは ICNIRP (1998) よりも高くなっています。更に、ICNIRP (1998) では 20 MHz から周波数が下がるにつれて電界および磁界の参考レベルが上昇していましたが、全身についての基本制限と一致させるため、この上昇は 30 MHz で始まるべきであることが、研究で示されています。これらの違いを図 1 に示します。

図 1 に見られるように、30 MHz 超での全身平均の参考レベルの値については、ICNIRP (1998) と ICNIRP (2020) との違いはありません。但し、この二つのガイドラインでは参考レベルの適用のルールが異なるので、同じ参考レベルの値は人に対して程度が異なるばく露を生じます。つまり、ICNIRP (1998) では遠方界と近傍界ゾーン内でのばく露について個別の参考レベルの値を特定しておらず、代わりに遠方界ゾーンの参考レベルの値を近傍界ゾーン内の電磁界について用いることができました。新たな科学的知識により、ICNIRP (2020) では近傍界と遠方界で個別に参考レベルを適用するためのルールを設定することができました。このことは、近傍界ゾーン内でのばく露が基本制限を超えることはないということを担保します。加えて、ICNIRP (1998) では 100 kHz から 300 GHz までの周波数範囲全体にわたる全身平均の参考レベルについて、電界および磁界を用いることができましたが、この方法は近傍界ゾーン内の約 2 GHz 超の周波数について不正確さを生じる潜在的可能性があるため、新ガイドラインではこれは許容されていません。代わりに電力密度の尺度を用いなければなりません。

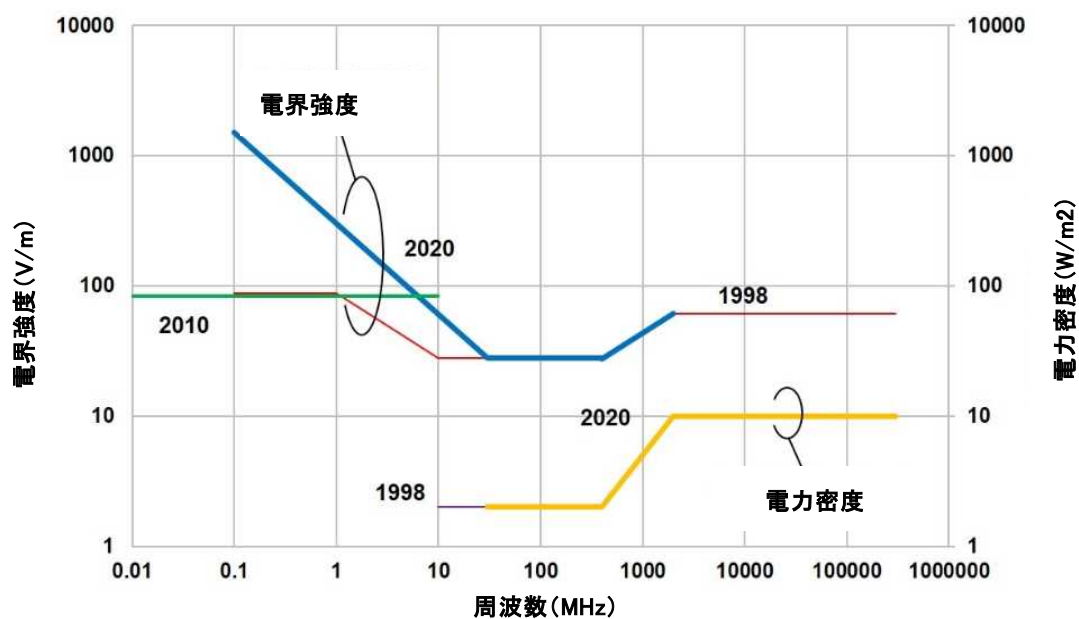


図1 ICNIRP (1998)、ICNIRP (2010) および ICNIRP (2020) のガイドラインでの、100 kHz から 300 GHz までの周波数範囲についての一般公衆に対する全身平均の参考レベル。二つの Y 軸 (即ち、電界および電力密度) はそれぞれ独立している点に留意して下さい。

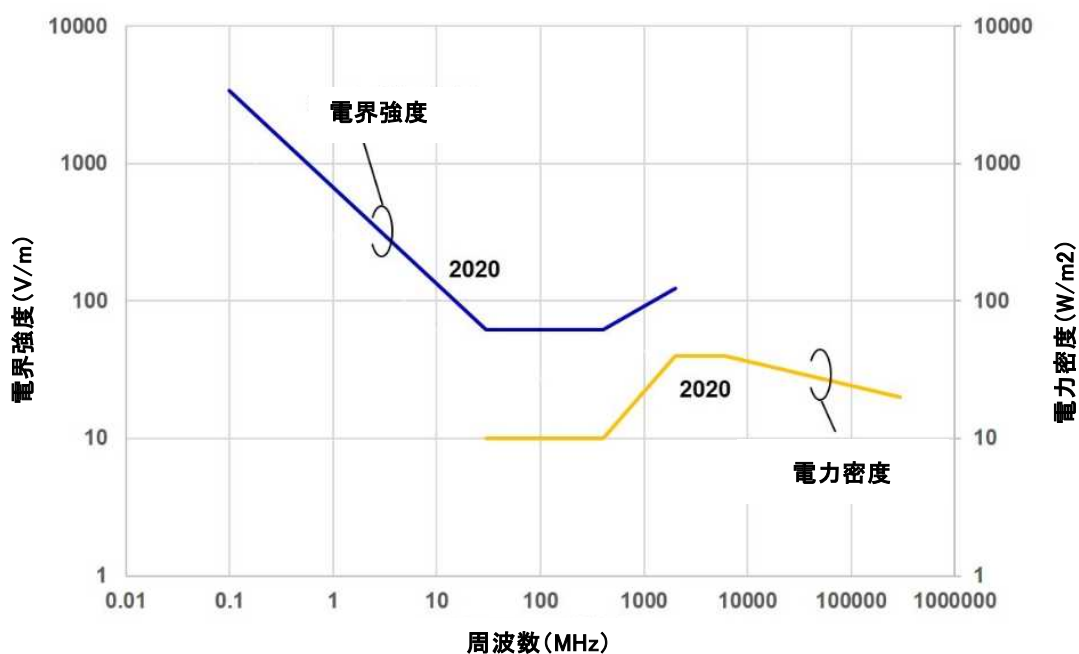


図2 ICNIRP (2020) のガイドラインでの 100 kHz から 300 GHz までの周波数範囲についての、6 分間以上の局所ばく露に適用される一般公衆に対する参考レベル。ICNIRP (1998) および ICNIRP (2010) のガイドラインでは、局所ばく露についての参考レベルは与えられていませんでした。二つの Y 軸 (即ち、電界および電力密度) はそれぞれ独立している点に留意して下さい。

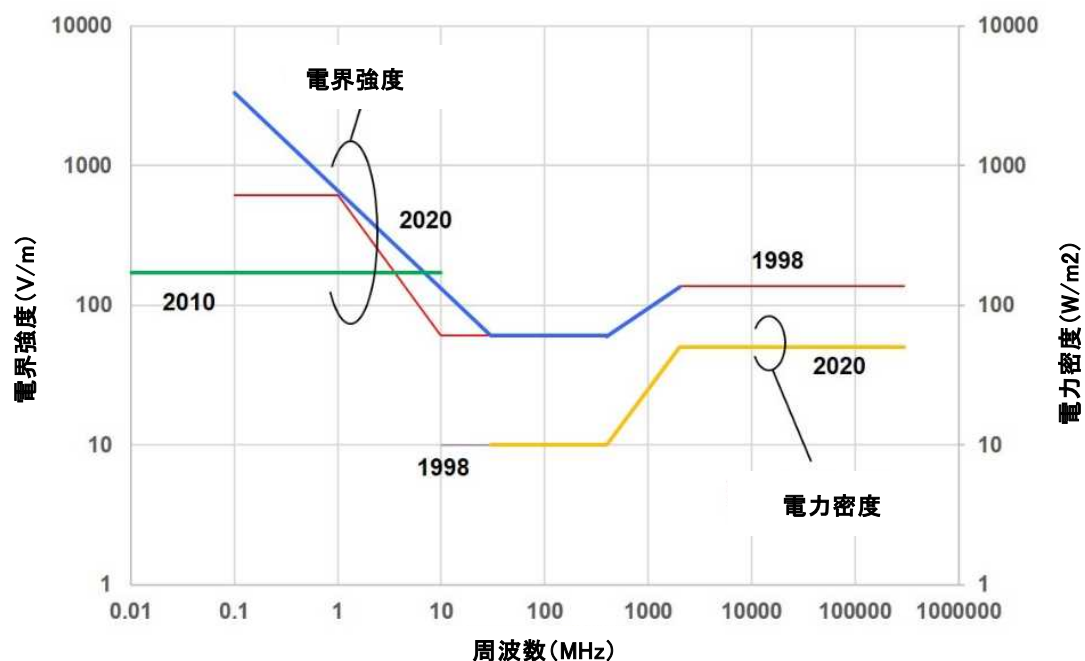


図3 ICNIRP (1998)、ICNIRP (2010) および ICNIRP (2020) のガイドラインでの、100 kHz から 300 GHz までの周波数範囲についての労働者に対する全身平均の参考レベル。二つの Y 軸（即ち、電界および電力密度）はそれぞれ独立している点に留意して下さい。

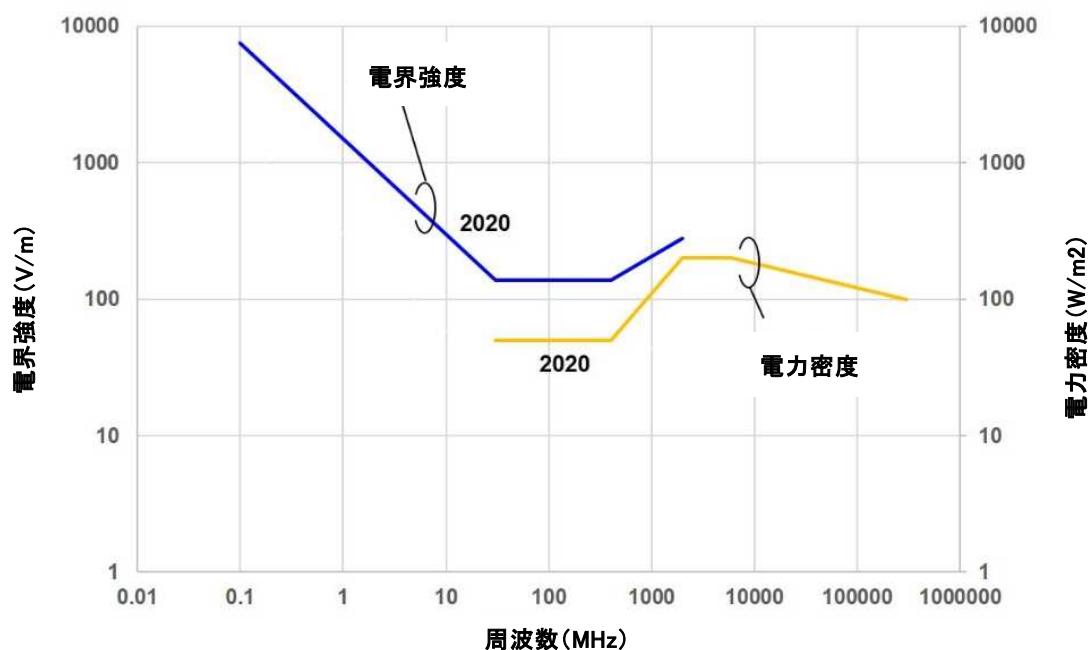


図4 ICNIRP (2020) のガイドラインでの 100 kHz から 300 GHz までの周波数範囲についての、6 分間以上の局所ばく露に適用される労働者に対する参考レベル。ICNIRP (1998) および ICNIRP (2010) のガイドラインでは、局所ばく露についての参考レベルは与えられていませんでした。二つの Y 軸（即ち、電界および電力密度）はそれぞれ独立している点に留意して下さい。

〔翻訳について〕

「ICNIRP ガイドライン（2020）と以前のガイドラインとの違い」の日本語訳は、ICNIRP から正式な承認を得て、電磁界情報センターが原文（英文）にできるだけ忠実に作成いたしました。日本語訳に関する文責は電磁界情報センターにあります。文意は原文（英文）が優先されますので、日本語訳における不明な箇所等につきましては原文（英文）でご確認下さい。

日本語訳に際し、ICNIRP の Main Commission メンバーの渡邊聡一先生（国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所電磁環境研究室長）に詳細にご高閲を賜りました。ここに深謝申し上げます。（2020年7月）