

ファクトシート

時間変化する電界および磁界（1 Hz–100 kHz）へのばく露制限に関するガイドライン （Health Phys 99(6):818-836; 2010 に掲載） について

ICNIRP は、非電離放射線の健康への有害な影響に対する防護のためのガイドラインを制定する、国際的に承認された組織である。このたび、ICNIRP は、時間変化する電界および磁界（1 Hz から 100 kHz まで）へのばく露制限に関するガイドラインを公表した：本ファクトシートは、当該ガイドラインの内容とその科学的背景を述べる。

このガイドラインは、この周波数範囲について ICNIRP が提供した以前の推奨に置き換わるものである。このガイドラインは、広範なレビュー、特に世界保健機関と ICNIRP によるものに記述されている現時点での科学的知識から導き出された。新しい文書で提供される推奨のいくつかは、以前の推奨とは相違している。必要な場合には、この相違点について詳しく説明する。

低周波の時間変化する電界および磁界（EMF）と人体との主な相互作用は、人体組織中での電界の誘導とそれに関連する電流の誘導である。加えて、低周波の電界へのばく露は表面電荷作用を起こすことがある。

低周波の電界および磁界へのばく露により誘導されるものも含めた電氣的刺激に対する電氣的興奮性神経および筋組織の応答は十分に確立されている。末梢神経刺激に対する電界強度の閾値の最小値はおよそ $4-6 \text{ V m}^{-1}$ と計算されている。これは、不均一人体モデルおよび磁気共鳴（MR）装置の切替勾配磁界へのポランテアのばく露から得られたデータを用いて計算された。

直接的な神経や筋の興奮の閾値を下回るレベルで、最も強固に確立された電界の影響は磁気閃光現象、すなわち、視野周辺部に点滅する微弱な光を知覚する現象の誘発である。この現象は、誘導電界と網膜の電氣的興奮性細胞との相互作用によって生じると考えられている。網膜は前脳から派生して形成された組織であり、中枢神経系組織で一般に起きている過程をよく表現している、但し、安全側のモデルと考えることができる。網膜での閃光現象誘発閾値は、20 Hz で、およそ 50 と 100 mV m^{-1} の間と見積もられている。低周波の電界および磁界にばく露されたポランテアにおける脳の電氣的活動、認知、睡眠、気分に関する神経行動学的影響の証拠はそれより遙かに明確さを欠く。

低周波の電界および/または磁界が、人の健康に有害に作用するような神経内分泌系への影響を与えることを、これまでに利用可能な科学的データは示していない。低周波ばく露とパーキンソン病、多発性硬化症および心臓血管系疾患などの疾患との関連について、実質的な証拠はない。低周波ばく露とアルツハイマー病および筋萎縮性側索硬化症との関連について、証拠は決定的ではない。低周波ばく露と発達および生殖への影響との関連について、証拠は非常に弱い。

特に 1980 年代から 1990 年代に公表されたかなりの数の疫学報告は、50–60 Hz 磁界への長期ばく露が小児白血病のリスク上昇と関連するかも知れないことを示した。2つのプール分析は、 $0.3-0.4 \text{ } \mu\text{T}$ を超



える平均ばく露において過剰リスクがあるかも知れないことを示している。しかし、これらの結果は、選択バイアスとある程度の交絡および偶然の組み合わせで説明される可能性がある。加えて、生物物理学的メカニズムは何ら同定されておらず、また動物および細胞研究の実験結果は、50–60 Hz 磁界ばく露が小児白血病の原因であるとする考えを支持しない。

ICNIRP の見解は、低周波の磁界への長期ばく露が小児白血病のリスク上昇と因果的に関連することについての既存の科学的証拠は、ばく露ガイドラインの根拠とするには非常に弱い、ということである。したがって、表面電荷の知覚、神経および筋組織の直接刺激、網膜閃光現象の誘発が、唯一の、十分に確立された健康への有害な影響であり、指針の根拠として利用できる。

以上に要約したような科学的証拠のレビューに基づき、ICNIRP は以下のばく露制限値を推奨する。

職業的ばく露： 網膜閃光現象の誘発を回避するために、10 Hz から 25 Hz の周波数範囲において、職業的ばく露は、頭部の中枢神経系組織（すなわち、脳と網膜）に 50 mV m^{-1} 以下の電界強度を誘導するような電界および磁界に制限される。これらの制限値により、脳機能に対して起きる可能性のある一過性の影響は全て防護されるはずである。これらの影響は健康への有害な影響とは見なされていない。しかしながら、一部の職業的環境においては作業の妨害となるかも知れないので避けるのがよいと ICNIRP は認識するが、追加的な低減係数は適用されない。これより低い周波数範囲では、誘導電界強度の制限値は周波数に反比例して上昇する。これより高く、400 Hz までの周波数範囲では、制限値は周波数に比例して上昇する。400 Hz から 3 kHz までの周波数範囲では、末梢および中枢の有髄神経刺激を回避するために、職業的ばく露は人体の全ての部位に 800 mV m^{-1} 以下の電界強度を誘導するような電界および磁界に制限される。3 kHz 以上の周波数範囲では、制限値は周波数に比例して上昇する。

管理された環境においては、作業者は起きる可能性のある一過性の影響について知識を与られているので、1 Hz から 400 Hz までの周波数範囲でのばく露は、末梢および中枢の有髄神経刺激を回避するために、頭部および体部に 800 mV m^{-1} 以下の電界強度を誘導するような電界および磁界に制限される。この値は、上述の不確かさを考慮するために末梢神経刺激閾値 4 V m^{-1} に対し低減係数 5 を適用したものである。3 kHz 以上でこの制限値は周波数に比例して上昇する。

公衆ばく露： 10 Hz から 25 Hz の周波数範囲では、網膜閃光現象の誘発を回避するために、公衆のばく露は、頭部の中枢神経系組織（すなわち、脳と網膜）に 10 mV m^{-1} 以下の電界強度を誘導するような電界および磁界に制限される。これらの制限値により、脳機能に対して起きる可能性のある一過性の影響は全て防護されるはずである。不確かさを考慮するために、閃光現象の閾値 50 mV m^{-1} に低減係数 5 が適用されたものである。この周波数範囲より高い周波数および低い周波数では基本制限値は上昇する。これは、1000 Hz において、末梢および中枢の有髄神経刺激を防護する基本制限値と交差する。ここで、上述の刺激閾値 4 V m^{-1} に対し低減係数 10 を適用し、 400 mV m^{-1} の基本制限値が得られる。この制限値は人体の全ての部位の組織に適用される。

これらのガイドライン制限値の論拠の全ては、“Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz to 100 Hz) Health Physics 99(6):818-836;2010” で見ることができる。

ICNIRP の以前の推奨と比較して、大きな変更は以下の通りである。

- 基本制限は、誘導電流密度に代わり、生物学的影響を決定する物理量である体内誘導電界に基づくものとなった。以前の健康リスク評価は誘導電流密度に基づいたが、それは、当時の実験データの大半が誘導電流密度に基づいていたためである。現在では、ガイドラインで測定尺度として用いるための、



体内誘導電界に基づく十分な情報が入手可能である。

- 以前のガイドラインは、神経系機能に対する影響の防止を目的として制定され、中枢神経系組織のみにおける誘導電流密度の制限が推奨された。閃光現象を有害な影響であると考えなかった。現在、ICNIRP は、網膜への影響を脳における影響のモデルと考えて、上述に規定したように、閃光現象の閾値はばく露制限の根拠を提供する。加えて、上述のように、末梢および中枢の有髄神経に対する刺激作用が含められた。これらより、人体の全ての部位におけるばく露制限値が導かれる。制限値は現時点での科学的証拠に基づくものであり、誘導電流密度に関する以前のガイダンスから組織の導電率に基づいて単純に換算されたものではない。

表は、基本制限値を要約したものである。

ばく露特性	周波数範囲	体内電界強度 (V m ⁻¹)
職業的ばく露		
頭部の中枢神経系組織	1 Hz - 10 Hz	0.5 / f
	10 Hz - 25 Hz	0.05
	25 Hz - 400 Hz	2 × 10 ⁻³ f
	400 Hz - 3 kHz	0.8
	3 kHz - 10 MHz	2.7 × 10 ⁻⁴ f
頭部と体部の全ての組織	1 Hz - 3 kHz	0.8
	3 kHz - 10 MHz	2.7 × 10 ⁻⁴ f
公衆ばく露		
頭部の中枢神経系組織	1 Hz - 10 Hz	0.1 / f
	10 Hz - 25 Hz	0.01
	25 Hz - 1000 Hz	4 × 10 ⁻⁴ f
	1000 Hz - 3 kHz	0.4
	3 kHz - 10 MHz	1.35 × 10 ⁻⁴ f
頭部と体部の全ての組織	1 Hz - 3 kHz	0.4
	3 kHz - 10 MHz	1.35 × 10 ⁻⁴ f

注:

- f は周波数 (Hz)。
- 全ての値は実効値。
- 100 kHz より高い周波数範囲では、RF に特有な基本制限を追加的に考慮する必要がある。

参考レベル： 参考レベルは、人体が占める空間での電界または磁界の変動が比較的小さい、すなわち一様ばく露というばく露条件のもとで、数学的モデルを用いて決定された。それらの参考レベル値は、ばく露される人体と電界および磁界との結合が最大になる条件のもとで計算されているので、最大限の防護が与えられることになる。周波数依存性とドシメトリの不確かさが考慮に入れられた。商用周波 (50 Hz) において、職業ばく露に対する参考レベル値は電界で 10 kV m⁻¹、磁界で 1 mT である。公衆のばく露に対する参考レベル値は電界で 5 kV m⁻¹、磁界で 200 μT である。

身体から数センチメートルの距離にある非常に局所的な発生源については、ばく露評価のための唯一の現実的な選択肢は、個別にドシメトリ法で誘導電界を決定することである。距離が大きくなるにつれて、



電磁界分布の局在性は少なくなるが、非一様性は残る。そのような場合には、身体に沿うかまたは身体の一部についての空間平均を参考レベルと比較することが可能である。接触電流は電撃および熱傷の傷害を生じるかも知れない。したがって、接触電流に対する参考レベルは、100 kHz^{*}までの周波数について与えられる。

ICNIRP の以前の推奨と比較して、大きな変更は以下の通りである。

- 1998 年のガイドラインでは、ドシメトリの検討は単純な幾何学的モデルに基づいていたが、今回の新しいガイドラインは、解剖学的に詳細な人体モデルに基づいたコンピュータ・シミュレーションから得られたデータを用いている。
- ドシメトリモデルに加えて、基本制限の変更により、参考レベルは、ある周波数範囲で以前のものと異なるものになった。傾向としては、磁界の参考レベルはやや緩和された一方、電界の参考レベルは、いくつかの例外はあるものの、基本的に変わっていない。

電界および磁界への同時ばく露、複数の周波数の電磁界および非正弦波電磁界への同時ばく露の場合におけるガイドラインの適用方法に関して、追加的助言が与えられた。これについては、以前の助言と比較して、根本的変更はない。

防護対策：ICNIRP は、本ガイドラインのすべての事項を満たすことによって電界および磁界へばく露された人体の防護は確保されることを特に言及する。ばく露が結果的に基本制限を超える場合、適切な防護対策を実行しなければならない。制度的管理と併せて工学的管理が実施されることになるであろう。職場では、追加的な個人用防護対策を用いることができるが、あくまでも最後の手段とみなすのがよい。医用電子機器との電磁干渉、電気式爆発装置の起爆、火花放電による可燃性物質の発火の結果として生じる火災および爆発を防止する規則を実施することも重要である。これら全ては従来助言に沿うものである。

長期的影響：上述に指摘したように、疫学研究は、低レベルの商用周波の磁界への毎日の慢性的ばく露が小児白血病のリスク上昇と関連することを見出している。しかしながら、実験研究は磁界と小児白血病のこのような関連を支持しておらず、磁界と小児白血病またはその他のいかなる長期的影響との因果関係も確立されていない。この確立された因果関係がないことが、基本制限で疫学研究の結果を扱わない理由である。このような疫学研究の結果が、多くの国の人々が懸念をもつきっかけとなったことをICNIRP はよく承知している。この懸念に対しては、各国のリスク管理の枠組みの中で最善に対処されるというのが、ICNIRP の見解である。リスク管理は一般に、社会的、経済的、政治的問題を含む多くの異なる局面に基づいている。この状況の中で、ICNIRP は科学に基づいた助言のみを提供する。プレコーナリ対策に関する検討を含むリスク管理上の追加的助言は、例えば、世界保健機関および他の組織によって与えられている。

さらなる詳細は、Health Physics 99(6):818-836;2010 で見ることができる。

^{*}（訳者注）ガイドラインでは、接触電流の参考レベルは 10MHz までの周波数について与えられている。