

情報通信審議会 情報通信技術分科会

電波利用環境委員会 報告（案）

—「電波防護指針の在り方」のうち、「低周波領域（10kHz 以上 10MHz
以下）における電波防護指針の在り方」について—

平成26年12月5日

電波利用環境委員会

目次

I 検討事項	1
II 委員会及び検討作業班の構成	1
III 検討経過	1
IV 検討概要	2
V 検討結果の概要	2
別表 1 (委員会構成員)	3
別表 2 (作業班構成員)	4
別紙 (IV 検討概要)	
第 1 章 検討目的と検討範囲	5
(1) 検討目的	5
(2) 検討範囲	5
第 2 章 低周波領域における指針の改定	6
(1) 概要	6
(2) 基本制限	6
(3) 電磁界強度指針	7
(4) 人体が電磁界に不均一又は局所的にさらされる場合の補助指針	10
(5) 接触電流に関する補助指針	10
(6) 局所吸収指針	13
(7) 複数周波数の電界及び磁界への同時ばく露に対する指針値の適用	14
(8) 指針適用にあたっての注意事項	16
(9) 長期的健康影響について	16
(10) 低周波防護指針の適用手順	16
第 3 章 指針値のリスク管理への適用の在り方	17
第 4 章 今後の課題について	17
別添	19

参考資料 40

- 参考資料 1 ICNIRP ガイドライン 2010 の根拠、電波防護指針との比較等の検討
- 参考資料 2 基礎指針の SAR 指針値とそれに基づく電磁界強度指針値の 100kHz 未満での扱いについて
- 参考資料 3 長期的影響に関する検討
- 参考資料 4 改定前の電波防護指針による刺激作用に対する防護について
- 参考資料 5 電界及び磁界への同時ばく露について
- 参考資料 6 複数周波数の電磁界への同時ばく露及び非正弦波へのばく露について
- 参考資料 7 その他の検討結果、参考情報

参考文献 61

I 検討事項

本委員会（以下、「委員会」という）は、諮問第 2035 号「電波防護指針の在り方」のうち、低周波領域（10kHz 以上 10MHz 以下。以下同じ。）における電波防護指針の在り方について検討を行った。

II 委員会及び検討作業班の構成

委員会の構成は、別表 1 のとおり。

なお、検討の促進を図るため、委員会の下に「電波防護指針の在り方に関する検討作業班」（以下、「検討作業班」という）を設置した。（別表 2）

III 検討経過

（1）委員会での検討

ア 第 14 回（平成 26 年 1 月 14 日）

委員会の運営方法、検討方針、検討項目及び検討スケジュール等について検討を行った。また、検討の促進を図るため、検討作業班を設置することとした。

イ 第 18 回（平成 26 年 12 月 5 日）

委員会報告案について検討を行った。

（2）検討作業班での検討

ア 第 1 回検討作業班（平成 26 年 3 月 5 日）

検討作業班の運営方法、今後のスケジュール等について検討を行った。また、電波からの人体防護に関する国際的なガイドラインである国際非電離放射線防護委員会¹のガイドラインと電波防護指針の低周波領域の概要、職業的ばく露に関する欧州の規制動向、電力関係の規制、鉄道関係の規制等について検討を行った。

イ 第 2 回検討作業班（平成 26 年 5 月 27 日）

刺激作用に関する基準値、接触電流に関する基準値、職業的ばく露に関する規制、対象周波数範囲等について検討を行った。

ウ 第 3 回検討作業班（平成 26 年 7 月 3 日）

低周波領域の電磁界の長期的影響に関する研究動向、電磁過敏症に関する研究動向、低周波領域の電磁界のばく露評価に関する研究動向等について検討を行った。

¹ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection。通称「ICNIRP」。以下「ICNIRP」と記載。ICNIRP のガイドラインは WHO（世界保健機関）が推奨しており、多くの国が電波防護基準として採用している。

エ 第4回検討作業班（平成26年8月1日）

低周波領域における電波防護指針の在り方に関する論点整理、報告書骨子案等について検討を行った。

オ 第5回検討作業班（平成26年9月16日）

検討作業班報告一次案について検討を行った。

IV 検討概要

別紙のとおり。

V 検討結果の概要

検討の結果、諮問第2035号「電波防護指針の在り方」のうち、「低周波領域（10kHz以上10MHz以下）における電波防護指針の在り方」について、別添のとおり電波防護指針の改定案を取りまとめた。

情報通信審議会 情報通信技術分科会 電波利用環境委員会 構成員

(敬称略、専門委員は五十音順)

	氏名	主要現職
主査	多氣 昌生	首都大学東京大学院理工学研究科 教授
主査代理	安藤 眞	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
専門委員	雨宮 不二雄	NTTアドバンステクノロジー(株) EMCチーム
〃	石山 和志	東北大学電気通信研究所 教授
〃	井上 正弘	(一社)KEC関西電子工業振興センター
〃	上野 照剛	東京大学 名誉教授
〃	熊田 亜紀子	東京大学大学院工学系研究科 准教授
〃	黒田 道子	東京工科大学 名誉教授
〃	篠塚 隆	(独)情報通信研究機構 電磁波計測研究所
〃	清水 久恵	北海道科学大学保健医療学部臨床工学科 教授
〃	白井 智之	(福)名古屋市総合リハビリテーション事業団 総合リハビリテーションセンター長
〃	田中 謙治	(一財)テレコムエンジニアリングセンター 事務局長
〃	塚原 仁	日産自動車(株) 電子信頼性グループ主査
〃	徳田 正満	東京大学大学院新領域創成科学研究科 客員共同研究員
〃	野島 俊雄	北海道大学大学院情報科学研究科 特任教授
〃	長谷山 美紀	北海道大学大学院情報科学研究科 教授
〃	林 亮司	三菱電機(株) 情報技術総合研究所 光マイクロ波回路技術部専任
〃	福永 香	(独)情報通信研究機構 電磁波計測研究所 研究マネージャー
〃	堀 和行	ソニー(株) 生産・物流・調達・品質/環境プラットフォーム品質/環境センター
〃	増田 悦子	(社)全国消費生活相談員協会 専務理事
〃	山下 洋治	(一財)電気安全環境研究所 EMC試験センター 所長
〃	渡邊 聡一	(独)情報通信研究機構 電磁波計測研究所 研究マネージャー

(計 22 名)

電波防護指針の在り方に関する検討作業班 構成員

(敬称略、構成員は五十音順)

		主 要 現 職
主 任	おおくぼ ちよじ 大久保 千代次	(一財) 電気安全環境研究所電磁界情報センター所長
主任代理	わたなべ そういち 渡邊 聡一	(独) 情報通信研究機構 電磁波計測研究所電磁環境研究室研究マネージャー
構成員	うがわ よしかず 宇川 義一	福島県立医科大学医学部神経内科学講座教授
"	うしやま あきら 牛山 明	厚生労働省 国立保健医療科学院生活環境研究部 上席主任研究官
"	かみむら よしつぐ 上村 佳嗣	宇都宮大学大学院工学研究科情報システム科学専攻教授
"	くどう のぞみ 工藤 希	(独) 交通安全環境研究所交通システム研究領域主任研究員
"	くぼた ふみと 久保田 文人	(一財) テレコムエンジニアリングセンター松戸試験所統括部長
"	ひらた あきまさ 平田 晃正	名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻准教授
"	みやこし じゅんじ 宮越 順二	京都大学生存圏研究所生存圏開発創成研究系 特定教授
"	やまぐち さち子 山口 さち子	(独) 労働安全衛生総合研究所 健康障害予防研究部主任研究員
"	やまざき けんいち 山崎 健一	(一財) 電力中央研究所 電力技術研究所 雷・電磁環境領域 上席研究員
"	やました ひろはる 山下 洋治	(一財) 電気安全環境研究所 EMC試験センター 所長
"	わけ かなこ 和氣 加奈子	(独) 情報通信研究機構 電磁波計測研究所電磁環境研究室主任研究員

(計 13 名)

検討概要

第1章 検討目的と検討範囲

(1) 検討目的

我が国では、人体に影響を及ぼさない電波の強さの指針値等を「電波防護指針」（電気通信技術審議会答申 諮問第 38 号「電波利用における人体の防護指針」（平成 2 年 6 月）（以下、「平成 2 年答申」という。）、電気通信技術審議会答申 諮問第 89 号「電波利用における人体防護の在り方」（平成 9 年 4 月）（以下、平成 9 年答申という。）及び情報通信審議会答申 諮問第 2030 号「局所吸収指針の在り方」に関する答申」（平成 23 年 5 月））として定め、その指針値の一部を電波法令において規制化することにより、電波利用の安全性の確保を図ってきた。

一方、電波防護に関する近年の動向として、ICNIRP による人体防護に関する国際的なガイドラインである「時間変化する電界、磁界及び電磁界によるばく露を制限するためのガイドライン（1998）」（以下、「ICNIRP ガイドライン 1998」という。）のうち、1Hz 以上 10MHz 以下の周波数領域における刺激作用等からの防護に関する規定が 2010 年に改定された。

本委員会では、この 2010 年に改定された ICNIRP のガイドライン（以下「ICNIRP ガイドライン 2010」という。）の検証・分析等を行うことにより、低周波領域における電波防護指針の在り方について検討を行った（検討の詳細については参考資料 1～7 を参照）。

これにより、電波防護指針の国際的ガイドラインとの調和を維持し、引き続き最新の科学的知見に基づいた適切な人体の防護を確保する。ひいては、電波の安全・安心な利用の促進に資することを目的とする。

(2) 検討範囲

本報告においては、ICNIRP ガイドライン 2010 を受けて、電波防護指針の対象周波数である 10kHz～300GHz のうち、低周波領域（10kHz～10MHz）を検討対象とする。検討対象範囲の詳細は、表 I 「本報告書の検討対象範囲の概観」の通りである。

これまで、電波防護指針は、周波数割当ての現状、電波利用技術の動向等を考慮して、対象周波数の下限を 10kHz としてきた。これについては、引き続き、10kHz 未満の周波数帯について、電波防護指針の対象とはしないこととする。ただし、10kHz 未満の周波数帯における評価が必要な場合は、ICNIRP の各ガイドライン（「静磁界に関するガイドライン」（2009）、「静磁界及び時間変化する 1Hz 未満の磁界内での人体の動きによって生じる電界へのばく露の制限のためのガイドライン」（2014）、「ICNIRP ガイドライン 2010」）における基準値等を参照することができるものとする。

表 I 本報告書の検討対象範囲の概観

	0Hz～10kHz	10kHz～100kHz	100kHz～10MHz	10MHz～300GHz
刺激作用 (瞬時値)	電波防護指針 の適用対象外 (必要な場合 は ICNIRP ガイ ドライン 2010 等を参照)	本報告書の検討対象		
熱作用 (6 分間平 均値)		本報告書によ る検討結果を 受けて削除	平成 2 年、9 年、 23 年の答申の 指針値を引き 続き適用	平成 2 年、9 年、 23 年の答申の 指針値を引き 続き適用
接触電流 (瞬時値)		本報告書の検討対象		
接触電流 (6 分間平 均値)			平成 2 年、9 年、 23 年の答申の 指針値を引き 続き適用	平成 2 年、9 年、23 年の答申 の指針値を引き 続き適用

第 2 章 低周波領域における防護指針の改定

(1) 概要

電波防護指針のうち、低周波領域における防護指針（以下、「低周波防護指針」という。）を以下の通り改定する。なお、10kHz 以上 100kHz 未満の周波数領域については、この低周波防護指針のみを満たすことで人体の防護が図られる（10kHz 以上 100kHz 未満においては、低周波防護指針を満たす場合、従来の熱作用からの防護のための電波防護指針を満たすことが明らかであるため。詳細は参考資料 2 を参照。）。一方、100kHz 以上 10MHz 以下の周波数領域については、低周波防護指針と従来の熱作用からの防護のための電波防護指針の双方を満たすことで、人体の防護が図られる。

(2) 基本制限

ICNIRP ガイドライン 2010 において、「基本制限」(Basic Restriction)とは、“Mandatory limitations on the quantities that closely match all known biophysical interaction mechanisms with tissue that may lead to adverse health effects.”（健康への有害な影響に至る可能性のある、全ての、既知の、身体組織との生物物理学的相互作用メカニズムに直結する物理量に関する、守ることが義務づけられた制限値）と定義されている。この「基本制限」は、人体に生じる生体作用に基づいて示された人体防護に関する指針値であるという点では、従来の電波防護指針における「基礎指針」と共通の概念である。

従来の電波防護指針における「基礎指針」は、適合性が管理指針により確認できない場合に適用される例外的措置のための指針と位置付けられている。一方、ICNIRP ガイド

ライン 2010 における「基本制限」は、積極的に適合性確認に用いられることが想定されており、この点では電波防護指針における「基礎指針」とは位置づけが異なるものである。ただし、低周波領域における基本制限は、実際に測定することが困難な体内電界で定められており、体内電界による基本制限に対する適合性確認方法についての国際規格等は未だ十分に整備されていないのが現状である。

以上により、低周波防護指針においては、ICNIRP ガイドライン 2010 に倣い、従来の「基礎指針」に代えて、「基本制限」という概念を導入することとする。

具体的には、電波防護指針において「基本制限」を「健康への有害な影響に至る可能性のある電波ばく露による生体内現象と直接関連する物理量についての制限値」と定義する。さらに、平成 2 年答申の表 5「基礎指針」の第 3 項を削除し、代わって「基本制限」の指針値を表Ⅱの通り定めることとする（基本制限の導入に関する検討の詳細については参考資料 1 を参照）。

なお、刺激作用からの人体防護に係る基本制限の根拠は、瞬時（典型的には 100μ 秒以下）の生体反応に基づくものであるため、本来であれば、基本制限の指針値は瞬時の値により定義されるべきものである。ただし、ICNIRP ガイドライン 2010 において指針値は実効値で示されているため、低周波防護指針においてもこれに倣い、時間平均を行わない瞬時の測定値を実効値に換算した値により評価を行うものとする。

表Ⅱ：刺激作用からの人体防護に係る基本制限（実効値）

ばく露特性	周波数範囲	管理環境	一般環境
		体内電界 (V/m)	体内電界 (V/m)
頭部と体部の 全組織	10kHz - 10MHz	$2.7 \times 10^{-4} \times f$	$1.35 \times 10^{-4} \times f$

（注 1）f は周波数【Hz】

（注 2）100kHz 以上の周波数範囲では、熱作用の指針値についても考慮することが必要

（3）電磁界強度指針

① ICNIRP ガイドライン 2010 の参考レベル値の採用について

従来の電波防護指針では基礎指針の指針値が示されているが、実際には基礎指針に直接適用できる物理量を算出・測定することは困難である。このため、電波防護指針では、基礎指針に加え、直接算出・測定することが可能な物理量に基づく指針として管理指針を設け、これにより人体防護のための基準値への適合性を評価することとしている。管理指針は、電磁界強度指針、補助指針及び局所吸収指針により構成されているが、このうち電磁界強度指針は実測できる物理量（電界強度、磁界強度、電力密度）で示された指針値であり、電磁界強度指針が満たされている場合には基礎指針を満たしているように策定されている。

一方、ICNIRP ガイドライン 2010 においては、電波防護指針とは異なり、基本制限による評価が基本と位置付けられている。しかし、基本制限で示された体内電界強

度を実際に算出・測定することは難しいため、基本制限の遵守を明確にするために用いることができる実際的または代用的なパラメータとして、「参考レベル」(Reference level)が規定されている。この参考レベルは、基本制限から参考レベルを導出する際に用いられる数値ドシメトリの不確かさを見込んで付加的な低減係数²を設定するなど、人体防護に係る閾値に対して相当程度の余裕をもたせて設定されている。

電波防護指針における基礎指針・電磁界強度指針の関係と、ICNIRP ガイドライン 2010 における基本制限・参考レベルの関係には、その位置づけに異なる点が見られる。具体的には、電波防護指針においては電磁界強度指針による評価が基本（基礎指針による適合性確認は例外的手順）と位置付けられているのに対し、ICNIRP ガイドライン 2010 においては基本制限による評価が基本（参考レベルは参考値的な位置付けであり、基本制限を超えない限りは参考レベルを超えてもよい）と位置付けられている。

一方、電磁界強度指針と参考レベルは多くの共通点を持つ。まず、いずれも適合性確認の容易さを重視して外部電界、外部磁界を指針値として採用しているという点が挙げられる。また、両者は、電波ばく露により人体に有害な健康影響を生じうる物理現象の閾値に比べて相当の安全率（低減係数）を設定した慎重な基準値であるという点においても共通している。さらに、両者の指針値には差違が生じているものの、その根拠は、本質的な観点では整合するものであると考えられる（詳細な両者の比較については参考資料 1 を参照）。

以上より、ICNIRP ガイドライン 2010 の参考レベルは、人体への影響を防止するための実際に評価可能な基準値として、電磁界強度指針と実質的に同等なものとして取り扱うことができると考えられる。そのため、低周波防護指針においては、(2)において人体防護に係る指針値として ICNIRP ガイドライン 2010 の基本制限を採用することとしたのにあわせて、それに対応する電磁界強度指針値として、ICNIRP ガイドライン 2010 の参考レベルの値を採用することとする。なお、管理環境の指針値には ICNIRP ガイドライン 2010 における職業的ばく露に対する参考レベルの値、一般環境の指針値には公衆ばく露に対する参考レベルの値を採用することとする（検討の詳細については参考資料 1 を参照）。これにより、平成 2 年答申の表 2 (b) 及び表 3 (b) (両者とも、10kHz～100kHz において設定された刺激作用防止のための指針) は、下記の表Ⅲに置き換えることとする。

②電磁界強度指針と基本制限の関係について

ICNIRP ガイドライン 2010 の参考レベルの値は、診断画像データ等に基づいて構築された詳細な数値人体モデル(Dimbylow 2005, 2006、Bahr 他 2007、Hirata 他 2009、Nagaoka 他 2004)) に、基本制限として示された実効値を適用して導出されたものである。この際、ばく露される人体と電界及び磁界との結合が最大になる条件のもの

² 指針値に関し、動物実験のデータの人体影響への外挿、影響への許容度の個人差、統計学的不確かさ等により生じる様々な不確かさを補正するために設けられる係数。ただし、適合性評価のための測定や計算における不確かさは含まないものとされている。

とで計算されているため、参考レベルが満たされていれば、基本制限を満たす最大限の防護が得られるとされている。また、従来の電波防護指針においても、電磁界強度指針が満たされている場合には基礎指針を満たしているように設定されている。この点で、電波防護指針における電磁界強度指針の位置づけは、ICNIRP ガイドライン 2010 における参考レベルの位置づけとほぼ同様である。

ICNIRP ガイドライン 2010 を受けて、電波防護指針に基本制限という概念を導入し、あわせて参考レベル値を電磁界強度指針として採用するのであれば、測定値・計算値が電磁界強度指針値を超過する場合には、基本制限を満たすか否かを検証する必要がある。測定・計算により基本制限を満たすことを確認できる場合には、測定値・計算値が電磁界強度指針値を超えたとしても問題はない。一方、測定値・計算値が基本制限を満たすことを確認できない場合には、追加的防護策が必要となる。

③接触電流の防止について

ICNIRP ガイドライン 2010 における公衆ばく露に対する電界強度の参考レベルを満足する場合、電界にばく露された人々の 90% 以上に対して電界による接触電流（電撃と熱傷）を防止することができるかとされている。低周波防護指針においても、この参考レベルの値を電磁界強度指針として採用することとしたため、電磁界強度指針（表Ⅲ）における一般環境の電界に関する指針値を満たすことで、殆どの接触電流からの防護を図ることができる（検討の詳細については参考資料 1 を参照）。

④100kHz 未満の周波数帯における熱作用に関する指針値について

100kHz 未満の周波数帯においては、刺激作用の防止のための電磁界強度指針値を満たせば、従来の熱作用の防止のための指針値を満たすことは明らかである。このため、平成 2 年答申の表 2（a）及び表 3（a）中の 100kHz 未満の周波数帯についての規定を削除する（検討の詳細については参考資料 2 を参照）。

⑤その他

刺激作用からの人体防護に係る電磁界強度指針の値の根拠は、瞬時（典型的には 100 μ 秒以下）の生体反応に基づくものであるため、本来であれば、指針値は瞬時の値により定義されるべきものである。ただし、ICNIRP ガイドライン 2010 では指針値は実効値で示されているため、低周波防護指針においてもこれに倣い、時間平均を行わない瞬時の測定値を実効値に換算した値により評価を行うものとする。

表Ⅲ 刺激作用からの人体防護に係る電磁界強度指針（実効値）

周波数 範囲	管理環境			一般環境		
	電界 強度 (kV/m)	磁界 強度 (A/m)	磁束 密度 (T)	電界 強度 (kV/m)	磁界 強度 (A/m)	磁束 密度 (T)
10kHz -10MHz	1.7×10^{-1}	80	1×10^{-4}	8.3×10^{-2}	21	2.7×10^{-5}

(注) 100kHz 以上の周波数範囲では、熱作用の指針値（平成 2 年答申の表 2（a）、表 3（a））についても考慮することが必要

(4) 人体が電磁界に不均一又は局所的にさらされる場合の補助指針

電波防護指針では、電磁界強度指針を満たしていることを示すことができない場合には、補助指針により適合性を確認することができる」とされている。従来の電波防護指針においては、人体が電磁界に不均一又は局所的にさらされる場合、平成9年答申により改定された補助指針1が適用されてきた。この補助指針1を(3)の電磁界強度指針の改定に伴い以下の通り改定する。

- ・従来の熱作用からの防護のための指針の対象下限周波数を10kHzから100kHzに修正する。
- ・表Ⅲで定めた10kHz以上10MHz以下の刺激作用等からの人体防護に係る電磁界強度指針に対応する規定において、空間平均の計算にICNIRPガイドライン2010で示された計算方法(単純平均)を採用する。具体的には、補助指針1の規定に、「10kHz以上10MHz未満における刺激作用等からの防護に関して、電磁放射源及び金属物体から20cm以上離れた空間において、人体の占める空間に相当する全領域の電界強度又は磁界強度の空間的な平均値(単純平均値)が、対応する環境(管理環境または一般環境)の電磁界強度指針値以下であること。その場合、局所的ばく露は電磁界強度指針を上回ってもよいが、基本制限を上回ってはならない。」との記述を追記する。

(5) 接触電流に関する補助指針

①接触電流に関する新たな指針値について

(3)の③で述べたとおり、表Ⅲの電磁界強度指針値のうち一般環境における電界に関する指針値を満たすのであれば、電界にばく露された人々の90%以上に対して電界による接触電流(電撃と熱傷)を防止することができる。このように新たな電磁界強度指針は接触電流の防止も考慮に入れたものであると言える。

一方、極端に大きな非接地金属体に電流が誘導されるような場合や、磁界の影響による接触電流が想定される場合等には、本項②に定める新たな注意事項に基づき、補助指針への適合を確認することで、接触電流からの防護を確実にすることができる(検討の詳細については参考資料1を参照)。

また、管理環境で接触ハザードが防止されていない場合にも、本項②に定める新たな注意事項に基づき、補助指針への適合を確認することで、接触電流からの防護を確実にすることができる(検討の詳細については参考資料1を参照)。

なお、これらの新たな注意事項の導入に伴い、従来の電磁界強度指針の表2及び表3の注1で定められていた接触ハザードが防止されていない場合の電界強度による指針値は、削除することが可能である。

ただし、これらの新たな注意事項は知覚の防止ではなく、痛みのある電撃の回避を防止するためのものであるため、接触電流の値がこの指針値以下であっても、接触電流の知覚による不快感を覚えることはありうる。そのため、状況に応じて、適切な防護対策を講じることが必要となる場合がある。

なお、この接触電流に関する新たな補助指針の値の根拠は、瞬時(典型的には100 μ 秒以下)の生体反応に基づくものであるため、本来であれば、指針値は瞬時の値に

より定義されるべきものである。ただし、ICNIRP ガイドライン 2010 では指針値は実効値で示されているため、低周波防護指針においてもこれに倣い、時間平均を行わない瞬時の測定値を実効値に換算した値により評価を行うものとする。

②接触電流に関する新たな指針値の導入

①を受け、具体的には、従来の電磁界強度指針の表 2 及び表 3 の注 1 を以下の注意事項のとおり改定する。

接触電流に関する注意事項

15MHz 以下において接触ハザードが防止されていない場合、補助指針 2.2.2(2) を適用することで、接触電流からの防護を確実なものとするができる。

また、補助指針(2)を以下のとおり改定する。

補助指針(2) 接触電流に関する指針

(a) 管理環境で接触ハザードが防止されていない場合

①10kHz から 10MHz までの周波数においては、測定された接触電流が次の条件を満たすこと。

- ・ 10kHz から 100kHz までの周波数においては、 $0.4f$ (kHz) mA 以下 (実効値)。
- ・ 100kHz から 10MHz までの周波数においては、40mA 以下 (実効値)。

ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均 (付属書参照) を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

②100kHz から 15MHz までの周波数においては、測定された接触電流が 100mA 以下 (平均時間 6 分間) であること。ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

※100kHz から 10MHz においては、①と②の両方を満たす必要がある。

(b) 一般環境で接触ハザードが防止されていない場合

①10kHz から 10MHz までの周波数においては、極端に大きな非接地金属体に電流が誘導されるような場合や、磁界の影響による接触電流が想定される場合等においては、測定された接触電流が次の条件を満たすこと。

- ・ 10kHz から 100kHz までの周波数においては、 $0.2f$ (kHz) mA 以下 (実効値)。
- ・ 100kHz から 10MHz までの周波数においては、20mA 以下 (実効値)。

ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均 (付属書参照) を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

②100kHz から 15MHz までの周波数においては、測定された接触電流が 45mA 以下 (平均時間 6 分間) であること。ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

※100kHz から 10MHz においては、①と②の両方を満たす必要がある。

なお、上記のうち、(a)①、(b)①の接触電流がこの指針に対して無視できないレ

ベルの複数の周波数成分からなる場合の規定については、(7)項に基づく注意事項を導入する(詳細については(7)項を参照)。

また、これに伴い、従来の電波防護指針における基礎指針第3項のうち、10kHz以上100kHz未満の周波数帯で定められていた平均時間1秒未満の指針値は削除する(検討の詳細については参考資料1を参照)。

(6) 局所吸収指針

電波防護指針では、100kHz以上の周波数帯において、身体に近接して使用される無線機器等から発射される電磁界に人体の一部が局所的にさらされる場合は、「局所吸収指針」に基づき評価することができるとされている。(2)において適用周波数が100kHzまでである基礎指針に代えて10MHzまで適用される基本制限を導入するに伴い、この局所吸収指針においても、100kHz以上10MHz以下の周波数範囲に、下記のとおり基本制限値(体内電界強度)を追加する必要がある。

管理環境

100 kHz から 10 MHz において体内電界強度が $2.7 \times 10^{-4} \times f(\text{Hz}) \text{ V/m}$ を超えないこと。

ただし、体内電界強度がこの指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均(付属書参照)を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

一般環境

100 kHz から 10 MHz において体内電界強度が $1.35 \times 10^{-4} \times f(\text{Hz}) \text{ V/m}$ を超えないこと。

ただし、体内電界強度がこの指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均(付属書参照)を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

同様に、(5)において瞬時値による接触電流の補助指針を導入するのに伴い、局所吸収指針にもそれに対応する規定を追加する必要がある。具体的には、局所吸収指針に下記記述を追加する。

管理環境

接触ハザードが防止されていない場合、100kHz から 10MHz までの周波数においては、接触電流が 40mA 以下（実効値）。

ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均（付属書参照）を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。

一般環境

接触ハザードが防止されていない場合、100kHz から 10MHz までの周波数においては、接触電流が 20mA 以下（実効値）。

ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均（付属書参照）を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。

なお、これらの追加した指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合の規定については、(7) 項に基づく注意事項を導入する（詳細については(7) 項を参照）。

(7) 複数周波数の電界及び磁界の同時ばく露及び非正弦波のばく露に対する指針値の適用刺激作用に関する電磁界強度指針値（表Ⅲ）を適用するに当たって、異なる周波数の電界及び磁界に同時にばく露される状況においては、各ばく露からの影響をどのように評価するかが重要である。ICNIRP ガイドライン 2010 では、複数周波数の電界及び磁界に同時にばく露される場合、並びに、非正弦波にばく露される場合について、指針への適合の可否を判断するための計算式が定められている。低周波電波防護指針においても、ICNIRP ガイドライン 2010 で示されたこれらの計算式を採用することが妥当である（検討の詳細については参考資料 5、6 を参照）。

なお、低周波防護指針への適用に当たっては、下記の点を追加考慮することが適当である。

- ・ ICNIRP ガイドライン 2010 の計算式では、和を求める対象周波数帯が 1Hz 以上 10MHz とされているが、低周波防護指針においては、その対象周波数の下限が 10kHz であることから、和を求める対象周波数についても、10kHz 以上 10MHz 以下とする。
- ・ ICNIRP ガイドライン 2010 では磁束密度に関する記載がないが、磁束密度は磁界強度に比例するものであり、同じ計算式が適用可能と考えられることから、低周波防護

指針においては磁束密度についても同じ計算式を用いることとする。

- ・熱作用に関する6分間平均の電磁界強度指針値（平成2年答申の表2(a), 3(a)）については、平成2年答申の表2注4、表3注4の記述が引き続き適用される。

以上により、低周波防護指針では下記の注意事項を採用する。

①表Ⅱ．基本制限に下記の注意事項を追加する。

表Ⅱ．基本制限 注意事項

電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、電界強度、磁界強度及び磁束密度に関して、各周波数成分（10kHz 以上 10MHz 以下）の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均を求める（付属書参照）。これらの総和が1を超えてはならない。

②従来の電磁界強度指針の表 2 及び表 3 の注 4 の記述を下記のとおりとする。

電磁界強度指針における複数周波数の電磁界への同時ばく露の場合の注意事項

- ①表 2（又は表 3）(a)について、電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、電界強度及び磁界強度に関しては各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求め、電力密度に関しては各周波数成分の指針値に対する割合の和を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。
- ②表 2（又は表 3）(b)について、電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、電界強度、磁界強度及び磁束密度に関して、各周波数成分（10kHz 以上 10MHz 以下）の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均を求める（付属書参照）。これらの総和が 1 を超えてはならない。

③接触電流に関する補助指針

接触電流についても、上述の ICNIRP ガイドライン 2010 の計算式を適用し、(5)

②に記載の通り定める。

④局所吸収指針における接触電流に関する指針

局所吸収指針において、100kHz 以上 10MHz 以下の周波数領域で、追加した指針値についても、上述の ICNIRP ガイドライン 2010 の計算式を適用し、(6)に記載の通り定める。

(8) 指針適用にあたっての注意事項

医療目的による電波の照射については、患者への医療効果を考慮して判断すべき問題である。したがって、医師が本指針で示された安全性の限界を十分に認識した上で用いる場合に限り、本指針の適用対象とはしない。

また、ペースメーカー装着者、体内に金属を埋め込んでいる人、金属を身につけている人の防護に適用することはできない。（本注意事項は、平成 2 年答申 3. 4 注意事項の考えを踏襲するものである。）

(9) 長期的健康影響について

低周波防護指針は、ICNIRP ガイドライン 2010 における指針値と同様に、長期的な健康影響について検討した結果、指針値の根拠となる長期的な健康影響は確立されていないと結論している。したがって、長期的な健康影響は指針値の根拠としては採用しない。（検討の詳細については参考資料 3 を参照。）

(10) 低周波防護指針の適用手順

本改定で導入された基本制限は、(2) で述べたとおり、定義としては基礎指針と異なるものである。しかし、どちらも管理指針により適合性確認できない場合に用いるこ

とができる生体内現象に基づく基準値であるため、指針の適用手順としては基礎指針と同様に取り扱うことが可能であると考えられる。

そのため、低周波防護指針の適用の手順は、従来の電波防護指針における「1.1.5 防護指針の適用手順」に従うことが適当である。その際、「基礎指針」は「基本制限」と読み替えるものとする。

なお、100kHz～10MHz の周波数帯においては、低周波防護指針の適用による刺激作用からの防護に加えて、従来の電波防護指針の適用による熱作用からの防護についても評価を行うことが必要である。

第3章 指針値のリスク管理への適用の在り方

現在、電波法令による刺激作用を防止するための規制値は、改定前の電波防護指針に基づき規定されている。そのため、低周波防護指針の改定の内容は、速やかに電波法令における電波防護規制に反映されることが望ましい。ただし、従前の規制値により防護が図られてきた既存の無線局及び高周波利用設備については、引き続き従前の規制値を遵守することでも、十分な程度の人体防護は図られていると考えられる（検討の詳細については参考資料4を参照。）。そのため、新たな規制の導入に当たっては、上記を考慮したうえで対象となる無線局等を検討すべきである。

また、電波法令への反映に当たっては、改正後の規制への適合を判定する測定方法等の関係規定を合わせて整備することが必要である。

第4章 今後の課題について

低周波領域（10kHz～10MHz）における電波は、近年、IH 調理器、RFID³機器、電子式商品監視システム（EAS⁴）等の普及により、その利用が進展してきている。さらに、ワイヤレス電力伝送システムなど、新しい電波利用機器の開発が進められており、更なる電波利用の拡大が見込まれている。

一方、この低周波領域は、世界保健機関（以下「WHO⁵」という。）の定義で「中間周波数帯」と呼ばれる周波数帯（300Hz～10MHz）に含まれるが、この中間周波数帯の電波の生体影響に関する調査研究は他の周波数帯に比べて限られており、WHO 等において、「更なる科学的な知見の蓄積が必要」との見解が示されているところである（なお、これまでの研究結果からは、当該周波数帯における電波防護指針の指針値以下の電磁界へのばく露による健康への影響は、長期的影響を含めて確認されていない。検討の詳細については参考資料3を参照。）。

以上の状況を踏まえ、我が国においては、この低周波領域における電波の生体影響、ばく露評価、電波防護指針への適合性評価技術等に関する調査研究を今後積極的に推進することが望ましいと考えられる。なお、この調査研究の実施にあたっては、引き続き

³ Radio Frequency Identification。

⁴ Electronic Article Surveillance。

⁵ World Health Organization。

WHO 等の国際機関を中心とした国際連携体制により推進することが適切である。そのためには、「電磁界の健康影響に関する国際コーディネイト会合」⁶等による定期的な国際機関や各国との情報交換を行っていくとともに、WHO、ICNIRP 等の国際機関への必要な協力・支援を行っていくことが重要である。また、調査研究を通じて得られた適合性評価法や測定技術等については、ITU⁷、IEC⁸等における国際標準に反映すべく、我が国としても積極的に寄与していくべきと考えられる。

これらの取り組みを通じて、我が国における電波防護の取組の国際整合性を引き続き確保していくことは、電波の安全性に対する国民の信頼性の確保にも効果的であると考えられる。また、電波の安全性については、従来から国民の高い関心が寄せられており、電波防護指針に基づく電波防護規制の内容や最新の科学的知見等を正確かつ分かりやすく情報提供していくことが必要である。政府には、広くかつきめ細やかな周知広報施策を継続して推進していくことが期待される。

なお、高周波領域の電磁界については、その健康リスク評価が現在 WHO において進められている。平成 26 年 10 月 1 日には、そのドラフト文書が公表され、同年 12 月 15 日までパブリックコメントの募集が行われたところである。また、ICNIRP の国際的なガイドラインの高周波領域の改定作業についても、この WHO の健康リスク評価作業と連携しつつ進められている。我が国においては、この国際的ガイドラインの改定にあわせて、高周波領域を含む電波防護指針の在り方について改めて検討を行うことが必要である。

⁶ Global Coordination of RF Communications on Research and Health Policy。日韓米欧等や国際機関による研究や各国規制についての情報交換を行う国際会議。通称「GLORE」。

⁷ International Telecommunication Union。国際連合の下部組織である国際電気通信連合。

⁸ International Electrotechnical Commission。国際電気標準会議。

諮問第2035号「電波防護指針の在り方」のうち

「低周波領域（10kHz 以上 10MHz 以下）における電波防護指針の在り方」
について

諮問第 2035 号「電波防護指針の在り方」のうち「低周波領域（10kHz 以上 10MHz 以下）における電波防護指針の在り方」について検討した結果、「電波防護指針」（電気通信技術審議会答申 諮問第 38 号「電波利用における人体の防護指針」（平成 2 年 6 月）、電気通信技術審議会答申 諮問第 89 号「電波利用における人体防護の在り方」（平成 9 年 4 月）及び情報通信審議会答申 諮問第 2030 号「局所吸収指針の在り方」に関する答申」（平成 23 年 5 月）を以下のとおり改定することが適当である。

電波防護指針（低周波領域改定版）

1. 定義

電波防護指針の解釈に関しては、次の各号の定義に従うものとする。

- (1) 「電磁波」とは、電界及び磁界の振動が真空中や物質中を伝搬する波動の総称である。電磁波には低周波の電磁界から、通信に使われているいわゆる電波、太陽より放射される光（赤外線、可視光線、紫外線）、医療に応用される放射線（X線、 γ 線）などが含まれる。紫外線より波長の短い電磁波が電離放射線、波長の長いものが非電離放射線に大別される。
- (2) 「電波」とは、電波法第2条に定められた300万MHz(3,000GHz)以下の周波数の電磁波をいう。電波防護指針においては、10kHzから300GHzまでの周波数の電波を対象とする。
- (3) 「電波防護指針」とは、電波利用において人体が電磁界（周波数の範囲は10kHzから300GHzまでに限る。）にさらされるとき、その電磁波が人体に好ましくないと考えられる生体作用を及ぼさない安全な状況であるために推奨される指針のことをいう。
- (4) 「基礎指針」とは、人体が電磁界にさらされるとき人体に生じる各種の生体作用（体温上昇に伴う熱ストレス、高周波熱傷等）に基づいて、人体の安全性を評価するための指針をいう。
- (5) 「基本制限」とは、健康への有害な影響に至る可能性のある電波ばく露による生体内現象と直接関連する物理量についての制限値をいう。
- (6) 「管理指針」とは、基礎指針を満たすための実測できる物理量（電界強度、磁界強度、電力密度、電流及び比吸収率）で示した、実際の評価に用いる指針のことをいう。管理指針は、さらに電磁界強度指針、補助指針及び局所吸収指針から構成される。
- (7) 「電磁界強度指針」とは、対象とする空間における電界強度、磁界強度及び電力密度によって、当該空間の安全性を評価するための指針をいう。
- (8) 「局所吸収指針」とは、主に身体に極めて近接して使用される無線機器等から発射される電磁波により、身体の一部が集中的に電磁界にさらされる場合において、基礎指針に従った詳細評価を行うために使用する指針をいう。
- (9) 「補助指針」とは、電磁界強度指針を満足しない場合において、基礎指針に従った詳細評価を行なうために使用する指針をいう。電磁界にさらされる状況（不均一、局所、表面など）、対象とする生体作用（接触電流及び誘導電流）、電波発射源の属性（空中線電力及び周波数帯）が明らかな場合、これらの状況に基づき電磁界強度指針の適用を緩和又は除外する形で表した指針である。
- (10) 「管理環境」とは、人体が電磁界にさらされている状況が認識され、電波の放射源を特定できるとともに、これに応じた適切な管理が行える条件を指す。例えば、電波を日常的に取り扱う環境（放送送信所、高周波加工所等）における作業者が、電磁界にさらされているケース等に適用するものである。管理環境は、平成2年の電波防護指針の条件Pに相当する。
- (11) 「一般環境」とは、人体が電磁界にさらされている状況の認識や適正管理等が期待できず、不確定な要因があるケース（環境）を指す。一般の居住環境等において住民が電磁界にさ

らされているケース等がこれに該当する。このため適用する指針においては、一般環境は管理環境に比べて厳しい値となっている。一般環境は、平成2年の電波防護指針の条件Gに相当する。

- (12) 「比吸収率 (SAR: Specific Absorption Rate)」とは、生体が電磁界にさらされることによって単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量をいう。SARを全身にわたり平均したものを「全身平均SAR」、人体局所の任意の組織1gまたは10gにわたり平均したものを「局所SAR」という。
- (13) 「電磁界」とは、電界、磁界の総称をいう。
- (14) 「電界強度」とは、電磁界の電界の強さをいう。
- (15) 「磁界強度」とは、電磁界の磁界の強さをいう。
- (16) 「電力密度」とは、電磁波伝搬の方向に垂直な単位面積当たりの通過電力をいう。
- (17) 「誘導電流」とは、電磁誘導によって流れる電流。ここでは人体が電磁界にさらされることにより人体内部に誘導される電流をいう。
- (18) 「接触電流」とは、電磁界中に置かれた非接地導電物体に接地された人体が触れることによって接触点を介して流れる電流をいう。
- (19) 「接触ハザード」とは、潜在的に接触電流を生じさせるような状況をいう。
- (20) 「非接地条件」とは、誘導電流が大地へ流れないような大地の影響が無視できる条件をいう。
- (21) 「均一ばく露」とは、人体が存在する空間領域の電磁界がほぼ均一とみなせる場合であって、全身がその電磁界にさらされることをいう。この場合、自由空間インピーダンスが 120π [Ω]とならない場合も含まれる。自由空間中では、波源からの距離が身長に比べ十分大きい場合（例えば、0.3MHz以下の周波数では15m以上、0.3MHzから300MHzまでの周波数では10m以上、300MHz以上の周波数では5m以上）であれば均一とみなす。
- (22) 「不均一ばく露」とは、均一ばく露とみなせない場合をいう。
- (23) 「局所ばく露」とは、体の一部が集中的に電磁界にさらされる場合をいう。人体の大きさより小さいアンテナのごく近傍での照射や波長の短い電波によるスポット的な照射などの場合を含む。
- (24) 「全身ばく露」とは、局所に偏らず全身が電磁界にさらされる場合をいう。必ずしも均一とは限らないが局所ばく露ではない場合に相当する。
- (25) 「平均時間」とは、指針値への適合性を評価するために、着目した生体作用に基づき設定した測定のための時間をいう。電波防護指針で用いる平均時間は、刺激作用においては1秒以内、熱作用においては6分間である。
- (26) 「遠方界」とは、電磁波源からの距離が、 $2D^2/\lambda$ 又は $\lambda/2\pi$ のいずれよりも遠い領域にあり、反射又は散乱がない状態の電磁界をいう。ここで、Dはアンテナの最大寸法、 λ は自由空間波長とする。
- (27) 「近傍界」とは、遠方界とならない領域の電磁界をいう。
- (28) 「実効値」とは、周期波形1周期の全体にわたって波形の自乗の平均をとり、その平方根をとった値をいう。周期的に変化する電磁界の電界強度、磁界強度の実効値は、ジュール熱と関連する値である。

(29) 「時間平均値」とは、電界強度又は磁界強度の場合は、実効値指示を瞬時値として平均時間にわたる自乗平均平方根値をいい、電力密度の場合は、実行値指示を瞬時値として平均時間にわたる平均値をいう。

2.1 防護指針の性格と構成

2.1.1 防護指針の基礎とする電磁界の生体作用

人体内の各組織は電磁的にはある電氣的定数を持った誘導体と考えられている。電磁界と生体の相互作用に関しては、この生体の電氣的特性の面から理論的解析が行われているほか、適切な誘電率及び導電率で構成した模擬人体などによる実験的分析手法も確立されている。これらに基づく研究成果によれば、電磁界による生体作用は、表 1 に示すように、熱作用、刺激作用及びその他の作用に大別できる。

表 1 電磁波と生体作用の関係

作用の区分		生体の変化の要因	作用の評価量	電磁波との関係
熱作用	全身加熱	熱調節応答 深部体温加熱 熱ストレス	全身平均 SAR 上昇温度 (深部体温)	マクロな相互作用（線量学的アプローチが可能）
	局所加熱	組織加熱	局所平均 SAR 上昇温度 (局所組織温)	
刺激作用		電流刺激による神経、筋の興奮	体内電界強度	
その他作用		不明	電磁界強度など (変調周波数)	ミクロな相互作用

この生体作用のうち、熱作用及び刺激作用については多くの研究の蓄積があり、電磁界強度との因果関係がほぼ定量的に把握されている。それらによれば、刺激作用は 10MHz 以下の低周波領域において、熱作用は 100kHz 以上の高周波領域において主に影響の発生が確認されている。しかし、熱作用、刺激作用以外のその他の作用については、生体内の現象と関連した状態で確認されたものではなく、人の健康に支障を及ぼすという事実も示されていない。

このため、電波防護指針において対象とする電磁界の生体作用は、熱作用、刺激作用に限定した。この中には、熱作用及び刺激作用の範疇で捉えられるパルス波や変調波などによる作用が含まれている。また、電磁界から直接受ける作用ではないが、電磁界が原因となって生ずる接触電流についても考慮した。

なお、諸外国でも同様な考え方に基づいて防護指針を定めているが、それらの指針の範囲内において、熱作用、刺激作用はもとよりその他の作用についても、健康影響が生じたという事実は、現在まで確立されていない。

2.1.2 防護指針の評価対象量の問題点

電磁界による生体に対する熱作用は、組織内でのジュール熱の発生による体温あるいは組織温の上昇である。この温度上昇は、組織の吸収エネルギー量と密接に関係し、単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量、すなわち比吸収率（SAR）を評価量として用いる。一方、刺激作用は人体組織に誘導される体内電界強度と関係づけられる。比吸収率は、人体組織に誘導される体内電界強度と組織の導電率に依存する現象として捉えられる。

このように、電磁界の生体作用は組織内部の電界強度等と密接な関係がある。しかし、組織内部の電界強度等は直接測定することができないため、なんらかの方法により人体内部の電磁現象を推定しなければならない。現在、この推定を行う手順は一部の無線機器について標準的な測定方法が策定されているのみである。したがって、現時点においては、人体内部の電磁現象を測定の対象量とすることは一般的ではないと言える。

電波防護指針は、我々が電波利用機器とかかわるさまざまな場面において、その安全性を迅速に評価できるようになっている必要があり、直接測定できない人体内部の電磁現象に関する量による表現だけでは、防護指針としての現実的な役割を果たすことはできない。このため、人体内部の電磁現象を測定可能な量（電磁界強度等）に変換し、これによって安全性の評価を行なうことが必要となる。

2.1.3 防護指針の構成

防護指針の適用を必要とする状況は、概ね次の3つのケースに分類できる。

- ① 空間の電磁環境評価の側面
- ② 電波利用機器からの放射及び機器の使い方に関する評価の側面
- ③ 電磁界に対する防護手段の評価の側面

①では、人体の存在しない空間の電磁界が評価の対象である。電波発射源が十分遠方にあり、人体の位置する空間の至近距離に金属などの電波を散乱させる物体がなければ、その位置における人体内部の電磁現象は、その空間に人体が存在しない場合に測定した電界強度及び磁界強度とほぼ一定の関係があるとみなすことができる。このような条件の下では、人体の存在しない空間における電磁界強度を用いて防護指針が設定できる。この指針を電磁界強度指針と呼ぶ。防護指針の対象となる電磁界は、通常、近傍界又は不均一であるため、電磁界強度指針をそのまま適用できる状況は限られている。このような条件を満たさない電磁環境は、空間のみを対象とした評価が適切でない場合である。この場合は、②のケースとして考える。

②では、電磁放射源と人体の相互関係が評価の対象となる。電磁放射源と人体との関係が一定であれば、電磁放射源自体に対する評価とみなすこともできる。すなわち、放射源が遠方にある場合などは①のケースの問題とみなせるが、一般的には人体内部の電磁現象に基づく評価を行う必要がある。このような人体内部の電磁現象に基づく評価（刺激作用からの防護に関する評価を除く）のための指針を基礎指針と呼ぶ。

また、低周波領域（10kHz～10MHz）における刺激作用からの防護において、「健康への有害な影響に至る可能性のある電波ばく露による生体内現象と直接関連する物理量についての制限値」を基本制限と呼ぶ。

しかし、基礎指針及び基本制限には測定が容易にできない量による表現が含まれているため、

②の問題すべてに対して基礎指針又は基本制限による評価を行うとなると、防護指針としての現実的な活用が期待できない。そこで、②の問題に現実的に対処するため、測定可能な評価量による指針を設ける必要がある。また、電磁界強度指針では必ずしも接触ハザードが防止されていない場合の接触電流についての指針を設ける必要がある。これらの指針を補助指針と呼ぶ。補助指針は、基礎指針又は基本制限さらに接触電流に関する国際ガイドラインに基づき電磁界強度指針を補う形で示され、次の3項目から構成する。

- (1) 不均一又は局所的な電磁界にさらされる場合
- (2) 接触電流
- (3) 足首誘導電流

なお、補助指針の(1)と(3)は基礎指針や基本制限に代わる人体内部の電磁現象の簡易評価方法としての性格を有するものであって、本来、基礎指針又は基本制限で扱うべき問題であることを念頭に置く必要がある。

③では、人体内部の電磁現象を直接評価しなくては判断できない問題が含まれる。特に、100 kHz 以上で、人体と電磁放射源が 20cm (300MHz 以上では 10cm) よりも近接した場合には、局所吸収指針による評価を行う。局所吸収指針が適用できない場合には、基礎指針又は基本制限による評価を行う必要であり、研究機関等で慎重に推定・評価を行なう必要がある。

以上のように、防護指針は電磁界強度指針、補助指針、局所吸収指針、基礎指針及び基本制限から構成する。このうち、電磁界強度指針、補助指針及び局所吸収指針は、実際の問題へ具体的に適用するための指針である。この三つの指針を管理指針と呼ぶ。基礎指針及び基本制限は、管理指針の根拠であるとともに、管理指針への適合性を評価できない場合において安全性を判断する際の根拠を与える性格を有する。

防護指針は、現時点の研究成果と電波利用状況の実情を基礎に定められたものである。したがって、これらの状況の変化に応じて補足又は改訂する必要がある。電磁界の生体作用に関する研究の進展は主に基礎指針又は基本制限に反映され、生体内の電磁現象に関する測定法・推定法に関する研究の進展及び電波の利用状況の変化に伴う実社会との整合性については、管理指針に反映される。このような位置づけを考慮すると、基礎指針及び基本制限は容易に改訂される性格のものではないが、管理指針は状況によって適宜変更されるものである。

2.1.4 基本制限と管理指針の2段階構成

防護指針による評価が信頼できるものであるためには、防護指針が適切に用いられ、また、電磁環境の状況に変化がないかどうかを必要に応じ確認できる必要がある。このような状況を確保できる場合は、基礎指針又は基本制限から換算される数値に基づく管理指針（電磁界強度指針及び補助指針）を適用する。しかし、電波利用の状況が正しく認識されていないような場合では、基礎指針又は基本制限を満たさない状況が無意識のうちに生じてしまうおそれがあり、また、電磁界の存在を意識した行動も期待できない。したがって、このような状況下でも十分な安全性を確保するため、諸外国の防護指針などにおいても合理的な対応策として取り入れられている方法と同様に、付加的な安全率を考慮した適切な指針を設ける必要がある。

以上のような観点から、管理指針を防護指針の主旨が生かされ電磁環境が管理されている状

況を対象とする管理環境と、防護指針及び電波利用の状況が認識されていない状況を対象とする一般環境に区分する。一般環境は管理環境に比べ電磁界の管理の不十分さに伴う不確定性を考慮し、管理環境より電力密度に換算しておおむね5倍の付加的安全率を設けている。

また、低周波領域（10kHz～10MHz）における刺激作用からの防護に対する基本制限についても、管理環境に加えて一般環境の指針値が設定されている。

2.1.5 防護指針の適用手順

管理指針（電磁界強度指針、補助指針及び局所吸収指針）、基礎指針及び基本制限で構成される防護指針の適用の手順は次のとおりとする。

実際に評価を行う場合は、放射源等の条件にかかわらず電磁界強度指針を最初に適用する。評価する対象が、電波利用の実情が認識され防護指針の主旨に基づいた電波利用を行うことが可能な場合は、管理環境を適用し、このような条件が満たされない場合は、一般環境を適用する。対象とする全空間（場所）において電磁界強度指針が満足されている場合は、その空間（場所）は安全であると判断する。

対象とする空間の電磁界は、一般的に不均一又は近傍界であることが多く、真の電磁界強度より大きな値として評価される。こうした状況において電磁界強度指針が満たされない場合には、補助指針による詳細な評価を行うことによって、安全かどうかを判断する。さらに、補助指針を適用できない、人体と電磁放射源が近接した場合には、局所吸収指針による評価を行う。

このような手順による評価の結果、一般環境の管理指針を満たさない場合には、管理環境に該当するような管理を行うか、若しくは、指針を満たすよう対策を講ずる。管理指針が満たされていないことが示された場合は、基礎指針又は基本制限を満たさないおそれがあり、これを満たすよう対策を行うか、あるいは人体への障害の可能性をより直接的に判断するために基礎指針又は基本制限に立ち戻った評価を行なう必要がある。

基礎指針又は基本制限による評価には、規定される量に具体的な測定法・推定法が十分に確立されていない量が含まれている場合がある。この場合の評価は、研究機関等で適切と認められている方法に従って行う。

2.2 管理指針

管理指針は、基礎指針及び基本制限に基づいて定められたもので、実際の電磁環境の評価は主に管理指針を用いて行う。この指針は、電磁界強度指針、補助指針及び局所吸収指針から成る。

2.2.1 電磁界強度指針値

(1) 管理環境

管理環境に該当する場合の電磁界強度指針値を表 2(a) 及び表 2(b) に示す。100kHz 以上 10MHz 以下の周波数範囲では、表 2(a) と表 2(b) の両方を満たすことが必要である。また、測定対象空間が局所的にこの表の値を満足しない場合には、2.2.2(1) の補助指針を適用する。

また、表 2(a) 及び 2(b) の指針値をグラフ化したものを図 1 及び図 2 に示す。

表 2 (a) 管理環境の電磁界強度（6分間平均値）の指針値

周波数 f	電界強度の実効値 E [V/m]	磁界強度の実効値 H [A/m]	電力密度 S [mW/cm ²]
100kHz - 3MHz	614	$4.9f \text{ (MHz)}^{-1}$ (49-1.63)	
3MHz - 30MHz	$1,842f \text{ (MHz)}^{-1}$ (614-61.4)	$4.9f \text{ (MHz)}^{-1}$ (1.63-0.163)	
30MHz - 300MHz	61.4	0.163	1
300MHz - 1.5GHz	$3.54f \text{ (MHz)}^{1/2}$ (61.4-137)	$f \text{ (MHz)}^{1/2}/106$ (0.163-0.365)	$f \text{ (MHz)}/300$ (1-5)
1.5GHz - 300GHz	137	0.365	5

表 2 (b) 管理環境の刺激作用からの人体防護に係る電磁界強度の指針値

周波数 f	電界強度の実効値 E (kV/m)	磁界強度の実効値 H (A/m)	磁束密度の実効値 (T)
10kHz - 10MHz	1.7×10^{-1}	80	1×10^{-4}

注 1 : 15MHz 以下において接触ハザードが防止されていない場合、補助指針 2.2.2(2) を適用すること
 とで、接触電流からの防護を確実なものとするができる。

注 2 : 人体の非接地条件を満たさない場合の電磁界強度の実効値（平均時間 6 分間）は、3 MHz から
 30 MHz までの周波数では $3,200 f \text{ (MHz)}^{-3/2} \text{ V/m}$ （すなわち 614V/m~20V/m）、30 MHz から 100 MHz
 までの周波数では 20 V/m、100 MHz から 300 MHz までの周波数では $0.2f \text{ (MHz)} \text{ V/m}$ （すなわち
 20 V/m~61.4 V/m）以下でなければならない。ただし、これを満たさない場合であって、表 2(a)
 の指針値を下回る時は、補助指針 2.2.2(3) を適用することができる。

注 3 : 表 2(a) に示した平均時間内において、電界強度又は磁界強度が変化する場合は平均時間内で
 実効値の自乗平均平方根した値を用い、電力密度が変化する場合は平均時間内での平均値を用
 いる。

注 4 : 表 2(a) について、電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場
 合は、電界強度及び磁界強度に関しては各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求め、
 電力密度に関しては各周波数成分の指針値に対する割合の和を求める。これらの総和が 1 を超
 えてはならない。

表 2(b) について、電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場
 合は、電界強度、磁界強度及び磁束密度に関して、各周波数成分の指針値に対する割合の和を
 求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重
 み付け平均を求める（付属書参照）。これらの総和が 1 を超えてはならない。

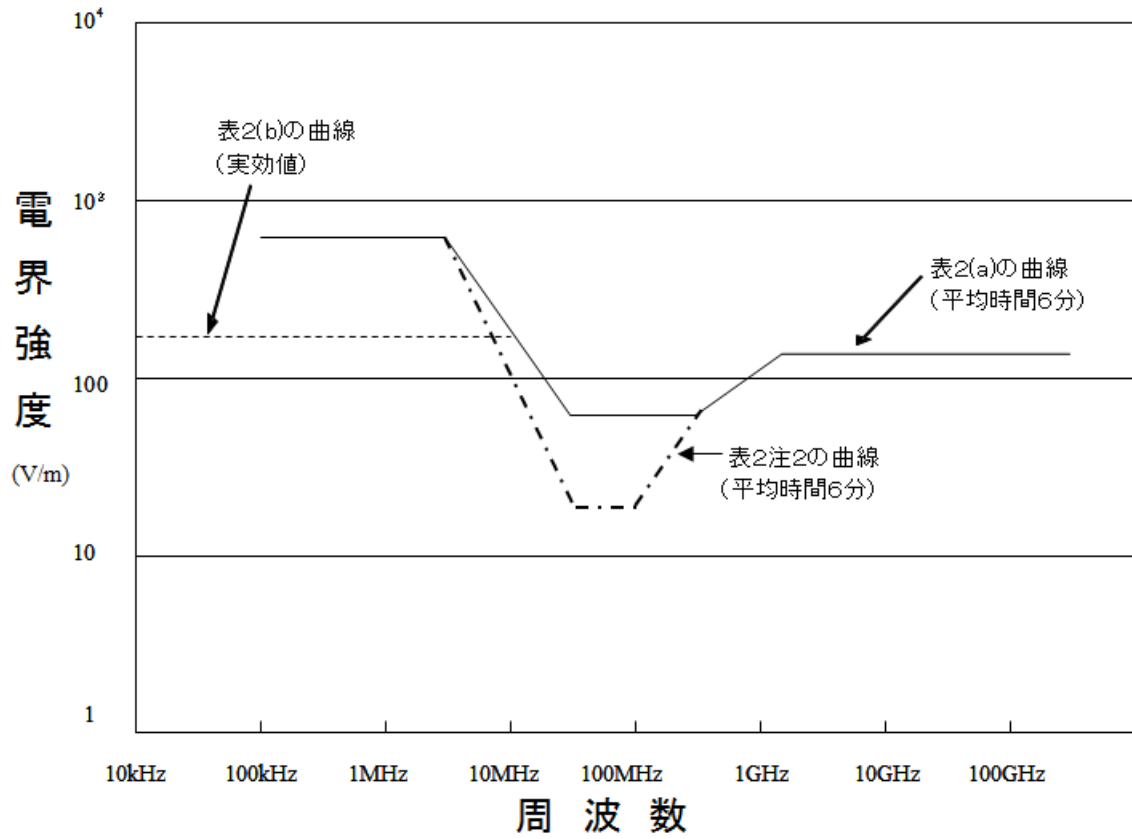


図1 電界強度指針値（管理環境）

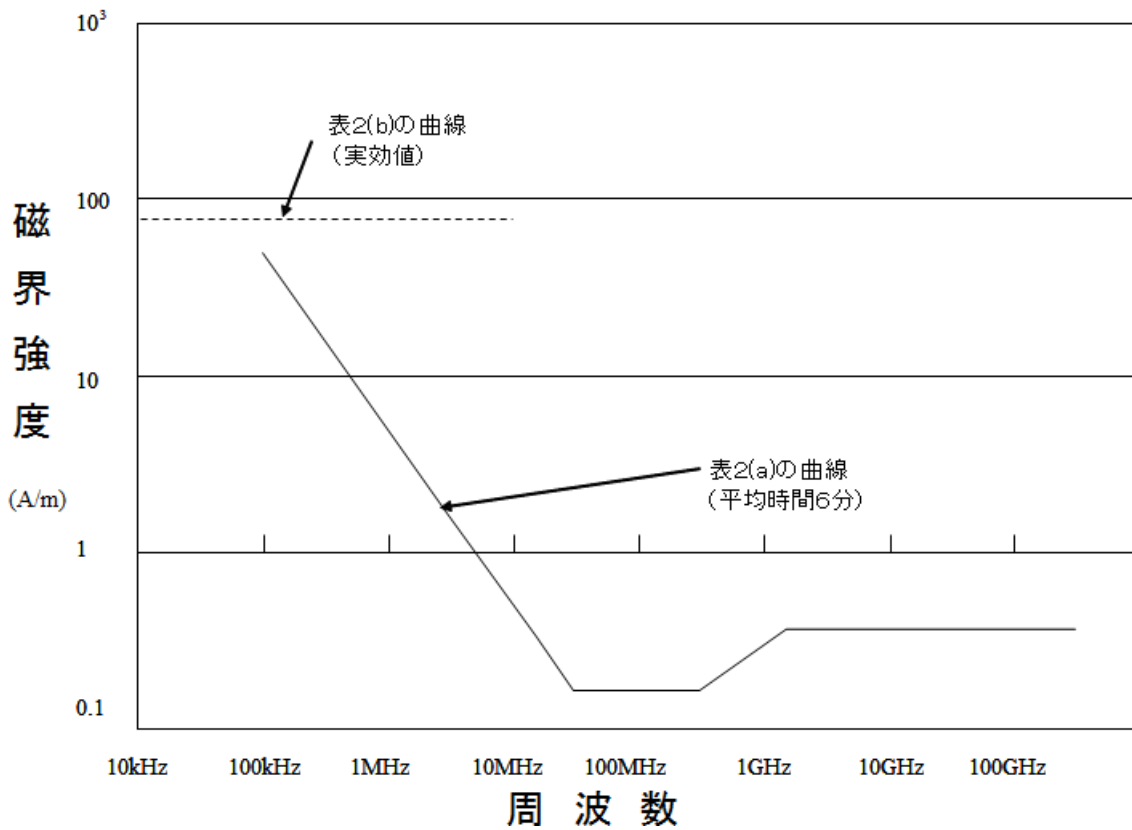


図2 磁界強度指針値（管理環境）

(2) 一般環境

一般環境に該当する場合の電磁界強度指針値を表 3(a) 及び表 3(b) に示す。100kHz 以上 10MHz 以下の周波数範囲では、表 3(a) と表 3(b) の両方を満たすことが必要である。また、測定対象空間が局所的にこの表の値を満足しない場合には、2.2.2(1) の補助指針を適用する。

また、表 3(a) 及び 3(b) の指針値をグラフ化したものを図 3 及び図 4 に示す。

表 3 (a) 一般環境の電磁界強度（6 分間平均値）の指針値

周波数 f	電界強度の実効値 E[V/m]	磁界強度の実効値 H[A/m]	電力密度 S[mW/cm ²]
100kHz - 3MHz	275	$2.18f \text{ (MHz)}^{-1}$ (21.8-0.728)	/
3MHz - 30MHz	$824f \text{ (MHz)}^{-1}$ (275-27.5)	$2.18f \text{ (MHz)}^{-1}$ (0.728-0.0728)	
30MHz - 300MHz	27.5	0.0728	0.2
300MHz - 1.5GHz	$1.585f \text{ (MHz)}^{1/2}$ (27.5-61.4)	$f \text{ (MHz)}^{1/2}/237.8$ (0.0728-0.163)	$f \text{ (MHz)}/1500$ (0.2-1)
1.5GHz - 300GHz	61.4	0.163	1

表 3 (b) 一般環境の刺激作用からの人体防護に係る電磁界強度の指針値

周波数 f	電界強度の実効値 (kV/m)	磁界強度の実効値 (A/m)	磁束密度の実効値 (T)
10kHz - 10MHz	8.3×10^{-2}	21	2.7×10^{-5}

注 1 : 15MHz 以下において接触ハザードが防止されていない場合、補助指針 2.2.2(2) を適用することで、接触電流からの防護を確実なものとするができる。

注 2 : 人体の非接地条件を満たさない場合の電界強度の実効値（平均時間 6 分間）は、3 MHz から 30 MHz までの周波数では $1,430f \text{ (MHz)}^{-3/2} \text{ V/m}$ （すなわち 275 V/m~9 V/m）、30 MHz から 100 MHz までの周波数では 9 V/m、100 MHz から 300 MHz までの周波数では $0.09f \text{ (MHz)} \text{ V/m}$ （すなわち 9 V/m~27 V/m）以下でなければならない。ただし、これを満たさない場合であって、表 3(a) の指針値を下回る時は、補助指針 2.2.2(3) を適用することができる。

注 3 : 表 3(a) に示した平均時間内において、電界強度及び磁界強度が変化する場合は平均時間内で実効値の自乗平均平方根した値を用い、電力密度が変化する場合は平均時間内での平均値を用いる。

注 4 : 表 3(a) について、電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、電界強度及び磁界強度に関しては各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求め、電力密度に関しては各周波数成分の指針値に対する割合の和を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。

表 3(b) について、電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、電界強度、磁界強度及び磁束密度に関して、各周波数成分の指針値に対する割合の和を求め、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均を求める（付属書参照）。これらの総和が 1 を超えてはならない。

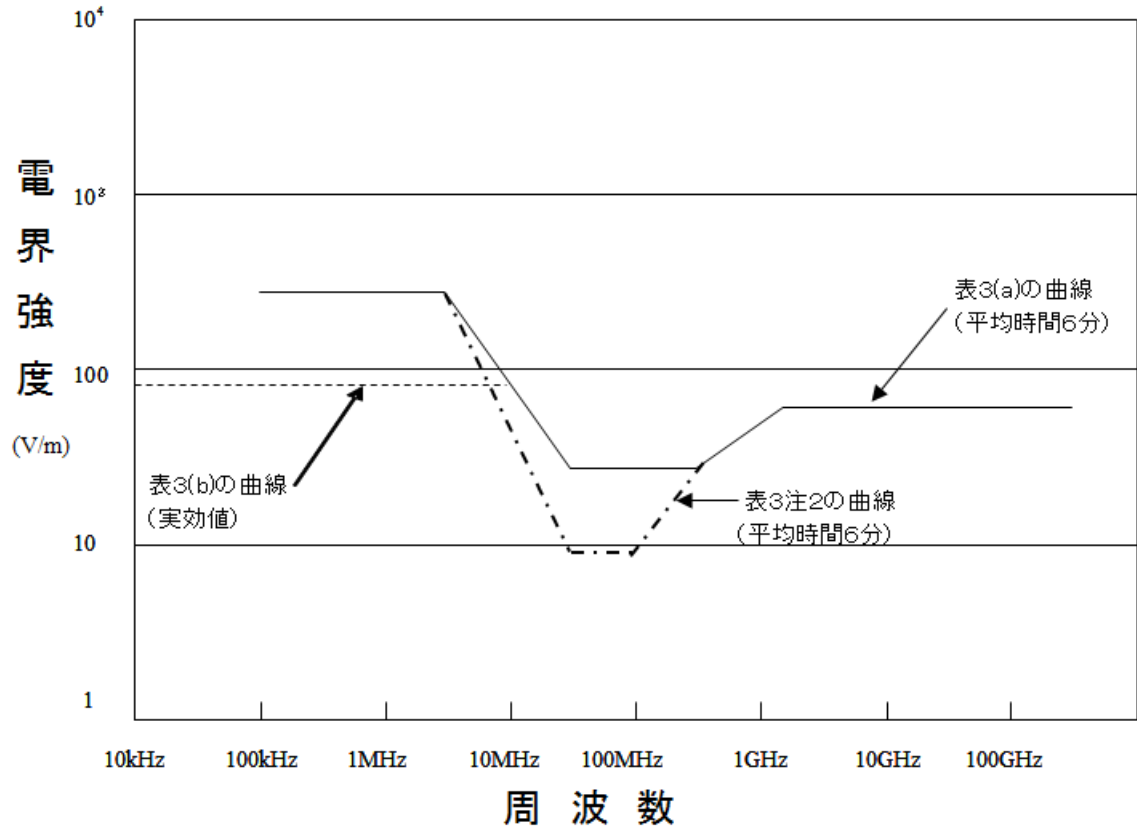


図3 電界強度指針値（一般環境）

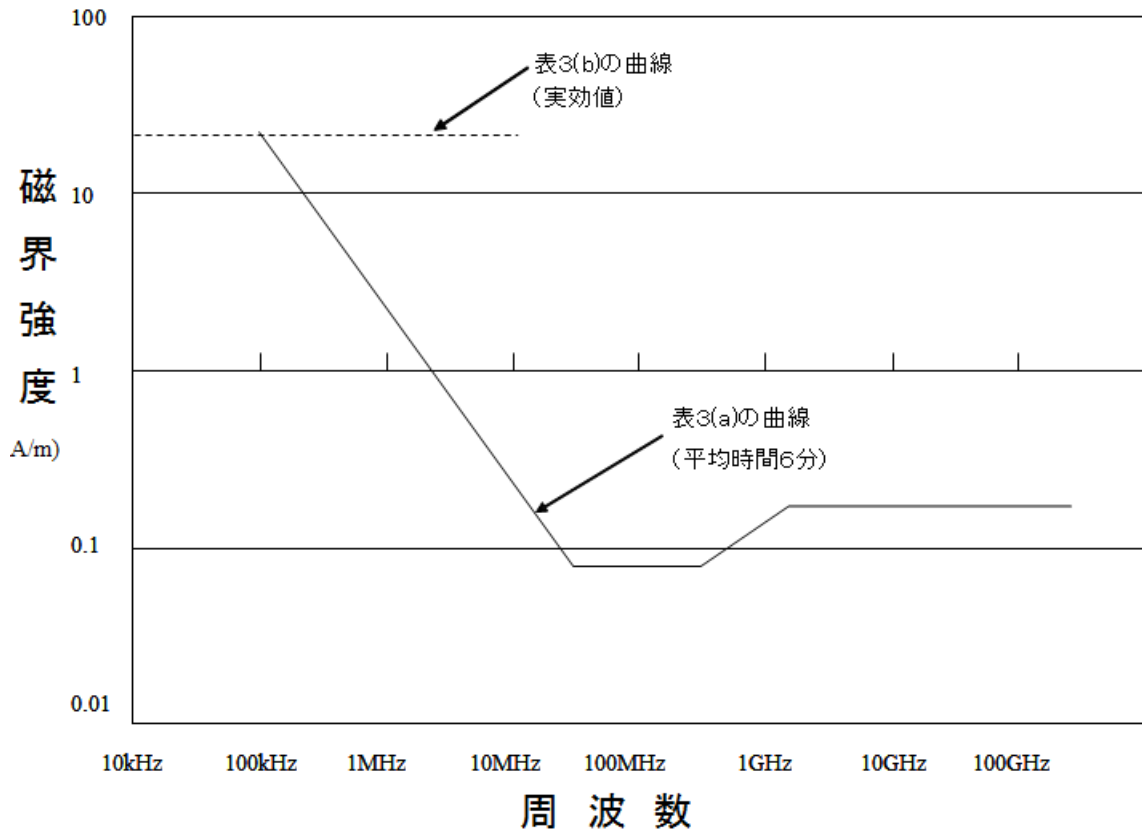


図4 磁界強度指針値（一般環境）

2.2.2 補助指針

電磁界強度指針だけでは防護指針を満たしていることを示すことができない場合に、人体が電磁波にさらされる状況、考慮すべき生体作用等に着目してより厳密に評価するための指針である。

(1) 人体が電磁界に不均一又は局所的にさらされる場合の指針

周波数に応じて該当する条件が全て満たされている場合は、管理指針を満足しているものとみなす。対象とする周波数が以下の区分にまたがって存在する場合は、①(b)、②(a)及び(b)、③(a)及び(b)、並びに④(a)、(b)及び(c)については、電界強度及び磁界強度に関しては各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求め、電力密度に関しては各周波数成分の指針値に対する割合の和を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

なお、人体から20cm以内(300MHz以上の周波数では10cm以内)の空間で使用する機器等については、その状況ごとに個別の判断が必要である。基礎指針を超えるおそれがある場合には、局所吸収指針に基づく評価を行なうことが望ましい。

① 周波数が300MHz以下の場合

(a) 10kHzから10MHz未満における刺激作用からの防護に関して、電磁放射源及び金属物体から20cm以上離れた空間において、人体の占める空間に相当する全領域の電界強度又は磁界強度の空間的な平均値(単純平均値)が、対応する環境(管理環境あるいは一般環境)の電磁界強度指針(2.2.1項表2(b)または表3(b))以下であること。その場合、局所的ばく露は電磁界強度指針値を上回ってもよいが、基本制限を上回ってはならない。

なお、表2あるいは表3の注1と注4は、本項でも適用する。

(b) 100kHzから300MHz未満における熱作用からの防護(平均時間6分間の電磁界強度指針値)に関して、電磁放射源及び金属物体から20cm以上離れた空間において、人体の占める空間に相当する全領域の電力密度分布の空間的な平均値(電界強度又は磁界強度の場合は自乗平均値の平方根である。)が、対応する環境(管理環境あるいは一般環境)の電磁界強度指針(2.2.1項表2(a)または表3(a))以下であること。

なお、表2あるいは表3の注1～注4は、本項でも適用する。

② 周波数が300MHzから1GHz未満の場合

(a) 電磁放射源及び金属物体から10cm以上離れた空間において、人体の占める空間に相当する全領域の電力密度分布の空間的な平均値(電界強度又は磁界強度の場合は自乗平均値の平方根である。)が、対応する環境(管理環境あるいは一般環境)の電磁界強度指針(2.2.1項)以下であること。

なお、表2あるいは表3の注3及び注4は、本項でも適用する。

(b) 四肢を除く人体の占める領域内における電力密度の空間的な最大値が、管理環境では20mW/cm²以下(6分間平均値)、一般環境では4mW/cm²以下(6分間平均値)であること。ただし、電磁放射源及び金属物体から10cm以上離れた空間のみを対象とする。

なお、表2あるいは表3の注3及び注4は、本項でも適用する。

③ 周波数が1GHzから3GHz未満の場合

(a) 電磁放射源及び金属物体から10cm以上離れた空間において、人体の占める空間に相当する全領域の電力密度分布の空間的な平均値(電界強度又は磁界強度の場合は自乗平均値の

平方根である。)が、対応する環境(管理環境あるいは一般環境)の電磁界強度指針(2.2.1項)以下であること。

なお、表2あるいは表3の注3及び注4は、本項でも適用する。

- (b) 四肢を除く人体の占める領域内における電力密度の空間的な最大値が、管理環境では $20\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下(6分間平均値)、一般環境では $4\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下(6分間平均値)であること。ただし、電磁放射源及び金属物体から 10cm 以上離れた空間のみを対象とする。

なお、表2あるいは表3の注3及び注4は、本項でも適用する。

- (c) 頭部に入射する電力密度の空間的な最大値が、管理環境では $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下(6分間平均値)、一般環境では $2\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下(6分間平均値)であること。ただし、電磁放射源及び金属物体から 10cm 以上離れた空間のみを対象とする。

なお、表2あるいは表3の注3及び注4は、本項でも適用する。

④ 周波数が 3GHz 以上の場合

- (a) 電磁放射源及び金属物体から 10cm 以上離れた空間において、人体の占める空間に相当する全領域の電力密度分布の空間的な平均値(電界強度又は磁界強度の場合は自乗平均値の平方根である。)が、対応する環境(管理環境あるいは一般環境)の電磁界強度指針(1.2.1項)以下であること。

なお、表2あるいは表3の注3及び注4は、本項でも適用する。

- (b) 電磁放射源及び金属物体から 10cm 以上離れた空間での体表に入射する電力密度の空間的な最大値が、管理環境の場合は $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下、一般環境の場合は $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下(いずれも6分間平均値)であること。

なお、表2あるいは表3の注3及び注4は、本項でも適用する。

- (c) 電磁放射源及び金属物体から 10cm 以上離れた空間での眼に入射する電力密度が、管理環境の場合は $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下(6分間平均値)、一般環境の場合は $2\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下(6分間平均値)であること。

なお、表2あるいは表3の注3及び注4は、本項でも適用する。

以上の各条件を表4-1に示す

表 4-1 不均一又は局所的にさらされる場合の補助指針

	10kHz ~100kHz	100kHz~ 10MHz	10MHz~ 300MHz	300MHz ~1GHz	1GHz~3GHz	3GHz~ 300GHz
電磁界強度の 単純平均値 (刺激作用)	管理環境：表 2 (b) の電磁 界強度指針値以下 (注 1 と注 4 も適用) 一般環境：表 3 (b) の電磁 界強度指針値以下 (注 1 と注 4 も適用)					
電磁界強度の 空間的平均値 (熱作用)						
電磁界強度の 空間的最大値				四肢以外： 管理環境：20mW/cm ² 一般環境：4mW/cm ²		体表： 管理環境： 50mW/cm ² 一般環境： 10mW/cm ²
						頭部： 管理環境： 10mW/cm ² 一般環境： 2mW/cm ²
適用する空間	電磁放射源、金属物体から 20cm 以上離れた人体の占める空間			電磁放射源、金属物体から 10cm 以上離れた人体の占める空間		

(2) 接触電流に関する指針

(a) 管理環境で接触ハザードが防止されていない場合

①10kHz から 10MHz までの周波数においては、測定された接触電流が次の条件を満たすこと。

□10kHz から 100kHz までの周波数においては、 $0.4f$ (kHz) mA 以下 (実効値)。

□100kHz から 10MHz までの周波数においては、40mA 以下 (実効値)。

ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均 (付属書参照) を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。

②100kHz から 15MHz までの周波数においては、測定された接触電流が 100mA 以下 (平均時間 6 分間) であること。ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求

める。これらの総和が1を超えてはならない。

※100kHz から 10MHz においては、①と②の両方を満たす必要がある。

(b) 一般環境で接触ハザードが防止されていない場合

①10kHz から 10MHz までの周波数において、極端に大きな非接地金属体に電流が誘導されるような場合や、磁界の影響による接触電流が想定される場合等においては、測定された接触電流が次の条件を満たすこと。

- ・ 10kHz から 100kHz までの周波数においては、 $0.2f$ (kHz) mA 以下（実効値）。
- ・ 100kHz から 10MHz までの周波数においては、20mA 以下（実効値）。

ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均（付属書参照）を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

②100kHz から 15MHz までの周波数においては、測定された接触電流が 45mA 以下（平均時間 6 分間）であること。ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

※100kHz から 10MHz においては、①と②の両方を満たす必要がある。

(3) 足首誘導電流に関する指針

(a) 管理環境で非接地条件を満たさない場合

3MHz から 300MHz までの周波数で測定された足首における誘導電流（平均時間 6 分間）が、片足当たりで 100mA 以下であること。

ただし、足首誘導電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

(b) 一般環境で非接地条件を満たさない場合

3MHz から 300MHz までの周波数で測定された足首における誘導電流（平均時間 6 分間）が、片足当たりで 45mA 以下であること。

ただし、誘導電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の自乗和を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

2.2.3 局所吸収指針

(a) 適用範囲

本指針は、周波数 100kHz から 6GHz までに適用する。

局所吸収指針の主な対象は、携帯電話端末等の小型無線機であり、電磁放射源に寄与するアンテナや筐体が人体に極めて近接して使用される場合を想定している。

具体的には、本指針（局所吸収指針）は、電磁放射源（主にアンテナ）や放射に関わる金属（筐体等）と人体との距離が20cm以内の場合に適用される。また、それ以外の距離においても、電磁界強度指針、補助指針又は局所吸収指針のいずれか1つを満たせば基礎指針を満たしていると判断できる。ただし、周波数が300MHz以上300GHz未満であって、10cm以上20cm以内の距離における電磁界強度指針又は補助指針の適用は排除されない。

なお、空中線電力の平均電力が20mW以下の無線局については、仮に無線局の全出力が身体のごく一部に吸収される場合でも、局所SARの電波防護指針を満たしており、評価の必要性はないものと考えられる。また、管理環境においては、同100mW以下の無線局については、評価の必要性がないものと考えられる。

(b) 管理環境

次の要件を全て満たすこと。

- <1> 全身平均SARの任意の6分間平均値が、0.4W/kg以下であること。
- <2> 任意の組織10g当りの局所SAR（6分間平均値）が10W/kg（四肢では20W/kg）を超えないこと。
- <3> 接触ハザードが防止されていない場合は、100kHzから10MHzまでの周波数において接触電流が40mA以下（実効値）であり、100kHzから100MHzまでの周波数において接触電流が100mA以下（平均時間6分間）であること。

ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、100kHzから10MHzまでの周波数については、その各周波数成分の指針値（40mA（実効値））に対する割合の和の総和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均を求める。これらの総和が1を超えてはならない。さらに、100kHzから100MHzまでの周波数については、その各周波数成分の指針値（100mA（平均時間6分間））に対する割合の自乗和を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

- <4> 100kHzから10MHzにおいて体内電界強度が $2.7 \times 10^{-4} \times f$ (Hz) V/mを超えないこと。

ただし、体内電界強度がこの指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均（付属書参照）を求める。これらの総和が1を超えてはならない。

なお、周波数100MHz以上の無線局は、<3>に述べた接触電流に関する指針に基づく評価を行う必要はない。また、周波数10MHz以上の無線局は、<4>に述べた体内電界強度に関する指針に基づく評価を行う必要はない。

(c) 一般環境

次の要件を全て満たすこと。

- <1> 全身平均SARの任意の6分間平均値が、0.08W/kg以下であること。

<2> 任意の組織 10g 当たりの局所 S A R (6 分間平均値) が 2W/kg (四肢では 4W/kg) を超えないこと。

<3> 接触ハザードが防止されていない場合は、100kHz から 10MHz までの周波数において接触電流が 20mA 以下 (実効値) であり、100kHz から 100MHz までの周波数においては接触電流が 45mA 以下 (平均時間 6 分間) であること。

ただし、接触電流がこの指針に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、100 kHz から 10MHz までの周波数については、その各周波数成分の指針値 (20mA (実効値)) に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。さらに、100kHz から 100MHz までの周波数については、その各周波数成分の指針値 (45mA (平均時間 6 分間)) に対する割合の自乗和を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。

<4> 100 kHz から 10 MHz において体内電界強度が $1.35 \times 10^{-4} \times f(\text{Hz})$ V/m を超えないこと。

ただし、体内電界強度がこの指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、その各周波数成分の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均 (付属書参照) を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。

なお、周波数 100MHz 以上の無線局は、<3>に述べた接触電流に関する指針に基づく評価を行う必要はない。また、周波数 10MHz 以上の無線局は、<4>に述べた体内電界強度に関する指針に基づく評価を行う必要はない。

2.3 基礎指針

基礎指針を表5-1に示す。基礎指針は、熱作用からの人体防護についての管理指針の根拠となる概念であるとともに、生体作用発生の可能性を判断するための基礎を与えるものである。

表5-1 基礎指針

1	全身平均 SAR の任意の 6 分間平均値が、0.4W/kg 以下であること。
2	(削除)
3	100kHz から 100MHz までの周波数において、接触電流など対外からの流入電流が 100mA 以下(平均時間 6 分間)であること。
4	上記の(1)(2)及び(3)に加え、次の点に関して注意事項として考慮すること。 (a) 全身平均 SAR の任意の 6 分間平均値が 0.4W/kg 以下であっても、任意の組織 1g 当りの SAR (6 分間平均値) が 8W/kg (体表と四肢では 25W/kg) を超えないことが望ましい。 (b) 3GHz 以上の周波数においては、眼への入射電力密度(6 分間平均)が 10mW/cm ² 以下とすること。

2.4 基本制限

低周波領域における刺激作用からの人体防護について、基本制限を表5-2に示す。基本制限は、健康への有害な影響に至る可能性のある電波ばく露による生体内現象と直接関連する物理量についての制限値と定義する。基礎指針による適合性確認が、管理指針により適合性確認できない場合の例外的措置と位置づけているのに対し、基本制限は積極的に適合性確認に用いることを想定している。

表5-2：刺激作用からの人体防護に係る基本制限（実効値）

ばく露特性	周波数範囲	管理環境	一般環境
		体内電界 (V/m)	体内電界 (V/m)
頭部と体部の 全組織	10kHz - 10MHz	$2.7 \times 10^{-4} \times f$	$1.35 \times 10^{-4} \times f$

(注1) fは周波数【Hz】

(注2) 100kHz以上の周波数範囲では、熱作用の指針値についても考慮することが必要

(注3) 電磁界が指針値に対して無視できないレベルの複数の周波数成分からなる場合は、電界強度、磁界強度及び磁束密度に関して、各周波数成分(10kHz以上10MHz以下)の指針値に対する割合の和を求めるか、各周波数成分の指針値に対する割合について指針値の周波数特性に応じた適切な重み付け平均を求める(付属書参照)。これらの総和が1を超えてはならない。

2.5 注意事項

(1) 医療目的の場合

電磁波を医療目的で用いる場合、医療従事者が電磁界にさらされる状況は本指針の適用の対象となるが、患者に関しては医療効果を考慮して判断すべき問題であり、医師が本指針で示された安全性の限界を十分に認識した上で用いる場合に限り適用の対象とはしない。しかし、例えば膝の関節の治療に有効な電波も眼には有害となる可能性があることから、必要以上に広範囲に電磁波を照射することを避けるとともに、漏洩電磁界には十分注意する必要がある。

(2) ペースメーカー装着者

ペースメーカー装着者が電波利用をする場合は、担当医師の指示に従うべきであり、この指針ではペースメーカー装着者を対象とはしない。

(3) 体内に金属を埋め込んでいる人

体内に金属を埋め込んでいる場合は、指針値以下の電磁界でも予想外の局所的な発熱などを引き起こす可能性があり、注意が必要である。

(4) 体に金属を身につけている人

金属を身につけている場合は、特に誘導加熱炉などの近くでは、指針値以下の電磁界でも金属が発熱する可能性があり、注意が必要である。

付属書. 非正弦波へのばく露

10kHz 以上 10MHz 以下の周波数での非正弦波へのばく露については、以下の通り取り扱うことが可能である。

低周波では、電界及び、特に磁界は、ほとんどの場合、幅広い周波数帯に分布する高調波成分によって歪められている。その結果、電界及び磁界の波形は複雑な（しばしばパルス状の）パターンを示す。そのような電界及び磁界を、例えばフーリエ変換法（FT）を用いて、離散スペクトル成分に分解し、前述の複数周波数に対するルールを適用することが常に可能である。この手法は、スペクトル成分は同位相で加算される、すなわち、全ての最大値は同時点に起きるという仮定に基づいており、その結果、一個の鋭いピーク値が生じる。この仮定が現実的となるのは、スペクトル成分の数が限られていて、それらの位相がコヒーレントでない、すなわちランダムな場合である。位相がコヒーレントに固定されている場合には、この仮定は必要以上に安全側の見積もりとなる。さらに、FT スペクトル解析におけるサンプリングや窓関数によってスプリアス周波数が発生するために、ばく露比の線形総和が人為的に増加する可能性がある。

スペクトル法に代わる選択肢として、基本制限または参考レベルに関連するフィルタ関数を用いて、外部電界及び外部磁界、誘導電界ならびに誘導電流に重み付けをする方法がある（ICNIRP 2003; Jokela 2000）。高調波成分からなる広帯域の電界及び磁界の場合、フィルタリングによって課せられる制限は数学的に次のように表わされる。

$$\left| \sum_i \frac{A_i}{EL_i} \cos(2\pi f_i t + \theta_i + \phi_i) \right| \leq 1 \quad (5)$$

ここで、 t は時間； EL_i は第 i 高調波周波数 f_i でのばく露制限値； A_i 、 θ_i 、及び ϕ_i は、第 i 高調波周波数における電界及び磁界の振幅、位相角、及びフィルタの位相角である。位相角を除き、この方程式は第 2 章 (6) の式 (2)～(4) の加算式と同様である。重み付けの実際的方法（重み付けピーク値ばく露の決定）に関する詳しいガイダンスは、ICNIRP によるガイドライン「時間変化する電界および磁界へのばく露制限に関するガイドライン（1Hz から 100Hz まで）」（2010）の付属書を参照することができる。

参 考 資 料

- 参考資料 1 ICNIRP ガイドライン 2010 の根拠、電波防護指針との比較等の検討
- 参考資料 2 基礎指針の SAR 指針値とそれに基づく電磁界強度指針値の 100kHz 未満での扱いについて
- 参考資料 3 長期的影響に関する検討
- 参考資料 4 改定前の電波防護指針による刺激作用に対する防護について
- 参考資料 5 電界及び磁界への同時ばく露について
- 参考資料 6 複数周波数の電磁界への同時ばく露及び非正弦波へのばく露について
- 参考資料 7 その他の検討結果、参考情報

参考資料 1 ICNIRP ガイドライン 2010 の根拠、電波防護指針との比較等の検討

1 ガイドラインの根拠の検討

ICNIRP ガイドライン 2010 は、急性的及び慢性的な健康影響⁹に関する研究を詳細に精査し、さらに、ばく露量評価（ドシメトリ）の研究を考慮し、ガイドラインを策定するための根拠を次の通り報告している。

1. 1 慢性的（長期的）な健康影響について

WHO/IARC（世界保健機関／国際がん研究機関）は、3Hz 以上 3000kHz 以下の超低周波電磁界の慢性的（長期的）影響に関しては、低周波磁界の発がん性をカテゴリ－2 B（ヒトに対する発がん性があるかもしれない）と分類している。これに対し、低周波数領域の慢性的（長期的）影響について ICNIRP ガイドライン 2010 では、「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。」という見解を示している。

1. 2 急性的（短期的）な健康影響について

ICNIRP ガイドライン 2010 においては、低周波電磁界の急性的（短期的）影響に関して、以下の見解が示されている。

「低周波電磁界の急性的（短期的）影響は、神経及び筋組織の刺激、ならびに網膜閃光現象の誘発が十分に確立された影響である。また、視覚処理と運動の協調のような脳機能への影響についての間接的な科学的証拠が示されている。これらの影響には全て閾値が存在し、閾値以下では影響が生じない。」

誘導電界と網膜の電気的興奮性細胞との相互作用である網膜閃光現象については、網膜は中枢神経である脳から派生して形成された組織であるため、中枢神経組織への影響を測る安全側のモデルとして位置づけている。このため、末梢における有髄神経刺激と網膜閃光現象を回避するための制限が必要と結論している（400Hz 以上の周波数では、網膜閃光現象の閾値は末梢及び中枢の有髄神経刺激の閾値を上回る。それ以下の周波数帯では、網膜閃光現象に基づいた指針値が採用されている。）。なお、一方で、管理された環境では、作業者が網膜閃光現象やある種の脳機能に生じる微小な効果を承知の上で随意的に体験することを許容している。その理由としては、そのような影響は生理的影響のため、長期的または病理的な健康影響を引き起こすことはないと考えられるためとしている。

指針の値の決定に当たっては、検討された科学的データには不確かさ（研究方法の違い、個人間、動物種間、系統間の差異等）が含まれていることも考慮された。これ

⁹ ICNIRP ガイドライン 2010 での「急性的影響」、「慢性的影響」と表現されている事象は、電波防護指針での「短期的影響」、「長期的影響」と同様の事象を指示していると考えられる。本報告では、原則として電波防護指針の用語を採用するが、ICNIRP ガイドライン 2010 の内容について言及する場合は、急性的影響（短期的影響）、慢性的影響（長期的影響）と記述する。

らの不確かさは、同定された健康影響の閾値に対して低減係数を用いることで補正されている。しかしながら、不確かさを生む原因の全てに関して十分な情報があるわけではないため、低減係数を設定するための確固たる根拠は与えられていない。したがって、低減係数の決定において、どの程度までの用心深さが適用されるかは極めて専門的な知見に基づく判断の問題であるとしている。

指針の値の根拠となる、刺激作用を引き起こす人体内部の誘導電界強度と人体に入射する電磁界強度との関係は、数ミリ以下の微細なブロックから構成される数値人体モデルを用いた数値シミュレーションに基づいている (Dimbylow 2005, 2006、Bahr 他 2007、Hirata 他 2009、Nagaoka 他 2004)。これらの数値シミュレーションの不確かさを考慮して、基本制限から参考レベルを導出する際に、付加的な低減係数を加えている。

接触電流に関しては、10MHz までの公衆ばく露に関する電界の参考レベルは、ばく露された人の90%以上に対して接触電流を防止するとされている。これは、電界強度5kV/m (参考レベルの一般環境の電界強度の基準値) の電波環境で、被験者の7%が人体から地面への火花放電による痛みを感じた(Reilly 1998, 1999)ことを踏まえたもの。

2 電波防護指針と ICNIRP ガイドライン 2010 との比較

2. 1 基礎指針 (電波防護指針) と基本制限 (ICNIRP ガイドライン) の比較

ICNIRP ガイドライン 2010 は、電波防護指針の周波数範囲と重なる 10 kHz から 10 MHz においては、末梢の有髄神経への刺激の回避を根拠としている。

その刺激の閾値 (人体内誘導電界強度) については、極低周波領域 (ICNIRP ガイドライン 2010 での定義は 1 Hz 以上 3 kHz 未満) では 4 V/m であり、3 kHz 以上では周波数に比例して閾値が上昇する ($1.3 \times 10^{-3} \times f \text{ [V/m]}$ (f は周波数[Hz])) としている。一方、電波防護指針では、10 kHz 以上において、神経・筋細胞の興奮の閾値 (人体内誘導電流密度) を $0.35 \times 10^{-4} \times f \text{ [mA/cm}^2\text{]}$ としている。この閾値は誘導電流密度で規定されているが、生体組織の導電率を 0.2 [S/m] と想定して ICNIRP ガイドライン 2010 と同じ人体内誘導電界強度に換算すると、 $1.75 \times 10^{-3} \times f \text{ [V/m]}$ となる。よって、根拠となる刺激の閾値はほぼ同程度 (1.3 倍) であると考えられる。

次に、基礎指針値と基本制限値の比較を行う。ICNIRP ガイドライン 2010 では、刺激の閾値に対して、職業的ばく露では低減係数5を適用することで、 $2.7 \times 10^{-4} \times f \text{ [V/m]}$ を基本制限値とし、公衆ばく露では低減係数10を適用することで、 $1.35 \times 10^{-4} \times f \text{ [V/m]}$ を基本制限値としている。一方、電波防護指針では、通常体表付近で最大となる電流密度を閾値以下になるようにすれば、身体内部の重要な組織 (心臓等) は十分に防護されるとし、付加的な安全率を考慮せず、閾値そのもの ($0.35 \times 10^{-4} \times f \text{ [mA/cm}^2\text{]}$) を基礎指針値としている。この値は、ICNIRP ガイドライン 2010 と同じ人体内誘導電界強度に換算する (生体組織の導電率を 0.2 [S/m] と想定) と、 $1.75 \times 10^{-3} \times f \text{ [V/m]}$ となり、6.5 倍の差となる。したがって、基礎指針値と基本制限の違いは、主に安全率 (低減係数) の考え方の違いによるものといえる。

以上より、電波防護指針と ICNIRP ガイドライン 2010 は、根拠となる刺激の閾値は

ほぼ同程度であるが、安全率（低減係数）の考え方の違いにより差が生じているものと考えられる。すなわち、電波防護指針の基礎指針によっても適切な人体の防護が図られていると考えられるが、これを ICNIRP ガイドライン 2010 の基本制限に置き換えることで、体表の刺激までより確実な防護が図られるため、さらなる安全な電波利用が可能になると考えられる。

2. 2 電磁界強度指針（電波防護指針）と参考レベル（ICNIRP ガイドライン）の比較

2. 2. 1 入射電界強度

ICNIRP ガイドライン 2010 では、基本制限をもとに、10 kHz～10 MHz における電界強度の参考レベルを 0.17 [kV/m]（職業的ばく露）又は 0.083 [kV/m]（公衆ばく露）としている。また、このうち公衆ばく露の参考レベルは、ばく露された人々の 90%以上に対して有害な間接的影響（電撃と熱傷）を防止すると記述している。

一方、電波防護指針では、10 kHz～100 kHz における刺激作用に基づく電界強度指針値を 2 [kV/m]（管理環境）又は 0.894 [kV/m]（一般環境）としている。ただし、電波防護指針では接触ハザードが防止されていない場合には、0.137 [kV/m]（管理環境）又は 0.0614 [kV/m] 以下にすると注意事項を設けてしたがって、電波防護指針の接触ハザードに関する注意事項と ICNIRP ガイドライン 2010 の電界強度に関する参考レベルとの差は、一般環境で 0.7 倍となり、ほぼ同等と考えられる。

最新のばく露量評価研究に基づき、接触ハザードの防止も考慮した ICNIRP ガイドラインの電界強度の参考レベルを採用することで、より適切な電波利用が可能になると考えられる。ただし、ICNIRP ガイドライン 2010 では、極端に大きな非接地金属体に電流が誘導されるような場合¹⁰や磁界により接触ハザードが生じる可能性もあるとして、接触電流に関する参考レベルも示していることにも注意する必要がある。

2. 2. 2 入射磁界強度

ICNIRP ガイドライン 2010 では、10 kHz～10 MHz における磁界強度の参考レベルを 80 [A/m]（職業的ばく露）又は 21 [A/m]（公衆ばく露）としている。一方で、電波防護指針では、10 kHz～100 kHz における刺激作用に基づく磁界強度指針値を 163 [A/m]（管理環境）又は 72.8 [A/m]（一般環境）としている。ICNIRP ガイドライン 2010 との差は 2.0 倍（管理環境）と 3.5 倍（一般環境）となる。

これらの差の主な要因は、①前述の基礎指針と基本制限の差異、②基礎指針から電磁界強度指針を求めるばく露評価モデルと、基本制限から参考レベルを求めるばく露評価モデルの違い、③管理環境に対して付加されている一般環境の安全率（電波防護指針）と職業的ばく露に対して付加されている公衆ばく露の低減係数（ICNIRP ガイドライン 2010）の違いによるものと考えられる。なお、これらの要因の一部は、基礎指針と基本制限の差異を相殺する方向に働くため、結果的に磁界強度指針と参考レベル

¹⁰ 電波防護指針や ICNIRP2010 の参考レベルでは、(Chatterjee 他、1986) に基づき、非接地の金属体の最大のものとしてはバスを想定している。

の差異は減少している。

以上より、電波防護指針の磁界強度指針と ICNIRP ガイドライン 2010 の磁界強度の参考レベルは、本質的な根拠は同等であるものの、安全率やばく露評価モデルの違いにより 2.0~3.5 倍の差異が生じているものと考えられる。しかし、この差異は、ICNIRP ガイドライン 2010 の基本制限に考慮されている低減係数（職業的ばく露で 5、公衆ばく露で 10）よりも小さいことから、両者は本質的にはいずれも安全なばく露レベルを示していると考えられる。ただし、ICNIRP ガイドライン 2010 を適用することで、適用される周波数範囲も拡張されるため、最新のばく露評価研究に基づいた、より適切な電波利用が可能になると考えられる。

3 接触電流に関する検討

3. 1 ICNIRP ガイドライン 2010 の根拠

ICNIRP ガイドライン 2010 では接触電流の参考レベルが定められているが、この参考レベルは基本制限から導出したものではない。この接触電流の参考レベルは ICNIRP ガイドライン 1998 と同じ値を採用したものである。1998 年のガイドラインにおいては、実験により確認された、誘導電流により接触した指先に痛みを生ずる閾値（UNEP/WHO/IRPA の EHC137(1993)¹¹を引用）に対し、低減係数をかけて接触電流の参考レベルが定められている（接触電流の子供での閾値は成人男性の 1/2 であることから、公衆ばく露の参考レベル値は、職業的ばく露の参考レベルに低減係数 2 をかけている）。

3. 2 基礎指針 3 及び電磁界強度指針注意事項（電波防護指針）と接触電流の参考レベル（ICNIRP ガイドライン 2010）の比較

電波防護指針（平成 2 年答申）においては、①金属体を握った時の接触電流の感知の閾値が 100kHz 以上で 200mA であること、②一方で指先等による点接触の場合の感知の閾値はそれより低い（Chatterjee 他, 1986）こと、③1kHz 以上の周波数では閾値が周波数に依存すること（斉藤正男, 1988）、④商用周波数における体内流入電流の値が、JIS 規格において「体外からは 1mA」とされていることを考慮し、これらの値を外挿して 10kHz~100kHz の接触電流の基礎指針を $10^{-3}f$ [Hz] mA (10mA~100mA) と設定している（②を考慮し、①の閾値 200mA の 1/2 を採用している。）。この基礎指針値を満足していれば、握り接触における感知を確実に防護できる。また、補助指針においては、管理環境では基礎指針と同じ値を採用しているが、一般環境では、指先での点接触における感知も防止できるものとして、 $1/\sqrt{5}$ 倍の $4.5 \times 10^{-4}f$ [Hz] mA を採用している。

一方、3. 1に記載の通り、ICNIRP ガイドライン 2010 における接触電流の参考レベルは、被験者実験により確かめられた閾値（UNEP/WHO/IRPA1993¹²）をもとに、指先での点接触による痛みを確実に防止することを意図して定められている。

¹¹ WHO: Environmental Health Criteria 137, Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz) (1993).

¹² 当該報告書中では、電波防護指針と同じく（Chatterjee 他, 1986）が根拠として引用されている。

痛み・知覚の閾値についての認識は電波防護指針と ICNIRP ガイドライン 2010 とではほぼ一致しているが、防止を図るべき対象が異なり、ICNIRP ガイドライン 2010 では点接触での痛みを防止するための値が定められているのに対し、電波防護指針では、基礎指針では握り接触での感知、補助指針の一般環境では点接触での感知の防止が意図されている。

これについては、ICNIRP ガイドライン 2010 の参考レベルの公衆ばく露の指針値（参考レベルの公衆ばく露）は、点接触での感知の防止のために設定されたものではないが、低減係数の採用により、実質的には電波防護指針で点接触での感知を防止する値 $4.5 \times 10^{-4} f [\text{Hz}] \text{mA}$ （補助指針の一般環境）より低くなっている（さらに UNEP/WHO/IRPA1993 による点接触での感知の閾値（1kHz で 0.4-0.8mA, 100kHz で 25-40mA）よりも低い）。その上で、点接触での感知の防止のためには更なる低減係数の適用や防護対策を講じることが適切としており、より慎重な立場に立っている。

したがって、ICNIRP の参考レベルを採用することによりこれまで以上に接触電流からの防護を確実に図ることができ、確実な人体防護を図る観点から、より望ましいと考えられる。

また、従来の接触電流に関する補助指針及び基礎指針で 10kHz から 100kHz までにおいて設定されていた指針値（平均時間 1 秒未満）は、新たに導入される ICNIRP の参考レベル値よりも高く設定されているため、これらを削除することが妥当である。

4 検討結果

以上より、ICNIRP ガイドライン 2010 の根拠は、電波防護指針の根拠と本質的な観点では整合するものであり、最新の知見・評価技術に基づき構築されたものであると言える。ゆえに、これまでの電波防護指針によっても人体の防護は確保されているが、これまで以上に適切かつ健全な電波利用を可能とするために、ICNIRP ガイドライン 2010 の内容を参考にして、我が国の電波防護指針を改定することは妥当であると考えられる。

参考資料2 基礎指針の SAR 指針値とそれに基づく電磁界強度指針値の 100kHz 未満での扱いについて

電波防護指針では 10 kHz～300 GHz の周波数範囲で熱作用を考慮した指針値が定められている[1, 2]。一方、ICNIRP のガイドラインでは、熱作用を考慮した指針値は 100 kHz 以上において示されており[3]、100kHz 未満においては刺激作用を考慮した指針値しか示されていない[4]。

ICNIRP ガイドライン 2010 では、刺激作用を考慮した基本制限が体内誘導電界により与えられる[4]。この体内誘導電界の指針値（公衆ばく露）を SAR へ換算した結果を図 1 に示す。その際、換算は(1)式に基づき行った。

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (1)$$

ここで、E は体内誘導電界の実効値、 σ は導電率、 ρ は密度である。換算の際には、生体組織の導電率は、均一人体モデルに用いられる、筋肉の 2/3 の値を、周波数依存性を考慮して用い、密度は 1000 g/m³とした。

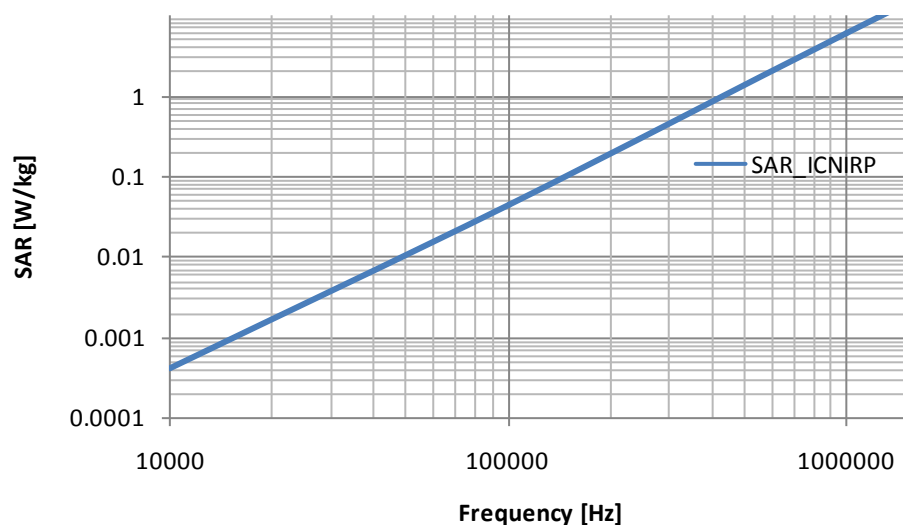


図 1 ICNIRP2010 ガイドライン体内誘導電界指針値の SAR への換算結果

電波防護指針の基礎指針では熱作用に関して、全身平均 SAR が 0.4 W/kg を超えないこと、任意の組織 1g における局所 SAR が 8 W/kg（体表及び四肢では 25 W/kg）を超えないことと定められている。基礎指針には一般環境と管理環境との区別がないが、管理指針では一般環境に管理環境と比べて電力で 5 倍の安全率を付加的に考慮しているため、それに倣い、一般環境における基礎指針の全身平均 SAR を 0.08 W/kg、1g 局所 SAR を 1.6 W/kg と想定する。

これらの値と、図 1 に示す ICNIRP ガイドライン 2010 の体内誘導電界から換算される SAR 値を比較すると、100 kHz での換算値は 0.045 W/kg であり、100 kHz 未満の周波数範囲で

は電波防護指針の基礎指針で示される全身平均 SAR 及び局所 SAR より小さいことがわかる。

なお、ICNIRP ガイドライン 2010 の体内誘導電界は瞬時値で規定されているのに対し、電波防護指針の SAR 等の熱作用に関する指針値は 6 分間平均値で定義されているが、瞬時値の体内誘導電界から算出された SAR 値は、6 分間平均をとってもこの瞬時値を超えることはあり得ない。

したがって、100kHz 未満の周波数範囲において、ICNIRP ガイドライン 2010 の体内誘導電界からの SAR 換算値が電波防護指針の基礎指針を上回るとは想定されない。このことから、100 kHz 未満の周波数範囲において ICNIRP ガイドライン 2010 の体内誘導電界の基本制限を満足していれば、電波防護指針の基礎指針における熱作用を考慮した SAR に関する指針を満足することは自明と言える。

以上より、ICNIRP2010 ガイドラインの基本制限を導入することにより、100 kHz 未満における基礎指針の熱作用を考慮した SAR に関する指針及び管理指針の熱作用を考慮した指針（6 分間平均）の記述を削除することができると考えられる。

なお、ICNIRP のガイドライン「時間変化する電界、磁界及び電磁界によるばく露を制限するためのガイドライン」（1998 年）においては、「低周波電界及び磁界への曝露では、通常、無視しうる程度のエネルギー吸収しか生じず、測定できるような温度上昇はない。しかし約 100kHz 以上の周波数の電磁界への曝露では、顕著なエネルギー吸収及び温度上昇が生じる。」とされており、100kHz 以下の周波数帯では熱作用からの防護に関する基準値は設定されていない。上記の内容は、この ICNIRP の国際ガイドラインの規定と整合するものである。

参考資料 3 長期的影響に関する検討

参考資料 1 でも確認したとおり、ICNIRP ガイドライン 2010 においては、「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。」との見解が示されている。委員会では、主に ICNIRP ガイドライン 2010 以降に発表された研究論文を対象に検討を行い、この見解の現時点での妥当性についての検討を行った。さらに、小児白血病以外の長期的健康影響のリスクについても、これと同様に検討を行った。

1 動物実験研究による検討結果

ICNIRP ガイドライン 2010 の発行以降に発表された論文を対象として、動物実験研究のレビューを行った。この期間における公的機関の見解としては、スウェーデンの政府機関 Swedish Radiation Safety Authority (SSM) から報告書” Recent Research on EMF and Health Risk 2014” が発表され、近年の研究に対して周波数帯ごとのレポートが報告されている。このレポートを参考に、対象期間に発表された論文のうち、実験条件が明確にされているものを抽出して検討を行った。

極低周波帯（ここでは 300Hz 以下）においては、多くの報告がされているが、総合すると、一貫性、再現性のある健康影響に関する報告は見られていないと結論づけられる。そのため、現時点では、疫学研究で示されているような小児白血病との関連性について、動物実験による科学的証拠は見つかっていないと考えられる。

中間周波数帯（300Hz～10MHz）においては、研究報告が非常に少ないため、今後の研究の推進が求められる状況であるが、長期的な健康影響に関する新たなリスクについて、一貫性、再現性のある報告はなされていない。

以上より、これまでに報告されている研究においては、低周波領域の電磁界に長期間ばく露することによる健康影響を示唆する報告は非常に少なく、再現性をもって因果関係を示す証拠は現時点では無いものと考えられる。

2 疫学研究による検討結果

ICNIRP ガイドライン 2010 の発行以降に発表された論文を対象として、疫学研究のレビューを行った。本レビューは、動物実験研究の場合と同様に、スウェーデンの SSM から発行された報告書” Recent Research on EMF and Health Risk 2014” を参照しつつ検討を行った。

その結果、極低周波帯（ここでは 300Hz 以下）においては、以下の通りと認識する。なお、中間周波数帯（300Hz～10MHz）においては、疫学研究の報告は見られない。

- ・ 近年の疫学研究に関する報告においては、発がん性との関連について、先行研究 (A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. epidemiol. Ahlbom A 他) を裏付ける結果である。
- ・ 小児白血病の大規模なフォローアップ研究 (Schuz 他 2012) からは、小児白血病の

生存率に電磁界ばく露は影響されないと報告されている。

- ・ 成人がんで、大規模コホート研究¹³ (Sorahan 他 2012) から電磁界ばく露との関連性は確認されない。
- ・ デンマークの症例対照研究 (Frei P 他 2013) から、電磁界ばく露はアルツハイマー型認知症 (Alzheimer's disease) のリスクを上昇させないと報告されている。75才以下でアルツハイマー型認知症と診断された者に限れば有意ではないハザード比の上昇が報告されているが、対象者が少なすぎるという指摘もある。また、インドの症例対照研究¹⁴ (Das K 他 2012) では、過去の電撃経験で筋萎縮性側索硬化症 (ALS) のリスクの上昇が見られるが、電磁界以外にも喫煙などでも同様のリスクの上昇が見られており、引き続き研究を進めていく必要がある段階であると考えられる。
- ・ 職業的ばく露と神経変性疾患に関する研究のメタ解析¹⁵ (Vergara X 他 2013) によると、アルツハイマー型認知症と、ALS に代表される運動ニューロン疾患で弱い関連性が示されている。しかし、診断基準による対象者の誤分類や、ばく露評価の不確実性等の考慮が必要であり、磁界ばく露が原因であるとは断定できない。

3 細胞研究による検討結果

ICNIRP ガイドライン 2010 の発行以降に発表された論文を対象として、細胞実験研究のレビューを行った。その結果、以下の通りの状況と認識する。

- ・ 10kHz～10MHz の周波数帯における長期ばく露（一世代時間（20～40 時間程度）以上）の細胞研究実績は極めて少ない。
- ・ これまでの発表論文としては、IH 調理器から発生する中間周波数帯電磁波の短期ばく露影響評価論文が我が国から発表されている (Sakurai T, 他 2009)。周波数範囲は 2kHz～60kHz で、主として細胞遺伝毒性に関するものであるが、結果は全て陰性であった。
- ・ 米国、スイス等から、がん細胞や動物個体ばく露による組織や細胞への影響で、治療に結びつく可能性の論文が少数報告されている。
- ・ それ以外には 20kHz 前後の特定周波数領域の論文発表はわずかにあるものの、本周波数帯における細胞研究は、ばく露期間の長短にかかわらず研究実績は極めて少ない。

なお、スウェーデンの SSM から発行された報告書” Recent Research on EMF and Health Risk 2014” においては、細胞研究に関して以下の通り報告されている。中間周波数帯について一部の研究結果について言及されているが、ほとんど研究がなされ

13. コホートとは、ある危険因子に同一期間中、同様のばく露を受けた個人の集団のこと。コホート研究とは、コホートでの健康障害（疾病）の発生を追跡調査し、発症率を比較することによって危険因子と健康障害の関係を明らかにする疫学調査手法のこと。

14. 症例対照研究：疾患に罹患した症例群と罹患していない対照群を対象として、疾患の原因である可能性がある事象（この場合は電磁界ばく露等）に関して過去にさかのぼって両者を調査・比較することで、その事象と疾患発症のリスクとの関連性を分析する手法

15. 独立して行われた複数の臨床研究のデータを収集・統合し、統計的方法を用いて解析した系統的総説。

ておらず、今後の研究が必要とされている。

- ・細胞研究は多くの細胞生物学的指標について研究が行われている。
- ・注目されている極低周波磁界と小児白血病との関連性について、因果関係を検索する細胞研究は極めて少ない。

4 長期的影響に関する見解

以上の検討結果より、現時点において電磁波のばく露による長期的な健康影響のリスクについて、ICNIRP ガイドライン 2010 の見解に対する確かな科学的反証は示されていないため、現在においても引き続きこの見解を支持できると考えられる。また、現時点では中間周波数帯において、ガイドライン以下の電磁界が健康影響を及ぼす明確な作用機序を示す証拠も認められない。そのため、現段階において、電波防護指針において長期的な健康影響は指針値の根拠としては採用すべきではないと考えられる。

参考資料4 改定前の電波防護指針による刺激作用に対する防護について

1 10kHz～100kHzにおける防護

改定前の電波防護指針における刺激作用からの防護に係る基準値の根拠は、①誘導電流密度の基礎指針の根拠、②電磁界強度指針（管理環境）の根拠、③電磁界強度指針（一般環境）の根拠から構成されている。

①誘導電流密度の基礎指針の根拠

平成2年答申の「別紙1 電波防護指針の根拠」の「1 基礎指針の根拠」において、以下の通りとされている。

1.2 基礎指針2の根拠

Bernhardt (Be79) 等によれば、神経・筋肉細胞を興奮させる電流密度の閾値の下限は、およそ $J=0.35 \times 10^{-4} f(\text{Hz}) \text{mA/cm}^2$ [10kHz～100kHz] と推定している。この数値を誘導電流密度の指針値とした。

人体内部の心臓付近で刺激作用の閾値に近い電流密度が生じるとすれば、この作用の重要性を考慮して更に安全率を設けるべきである。しかし、10kHz以上の周波数外部電磁界によって組織内を流れる誘導電流は主に体表付近で大きく、体表面付近でこの値が満たされていれば、人体内部の重要な部分には刺激閾値よりはるかに小さな電流密度しか生じない。したがって、この指針値で人体を十分に防護できる。

刺激作用は1秒以内の時定数の現象と考えられるので、指針値はこの時間内平均値に適用する。

②電磁界強度指針（管理環境）の根拠

平成2年答申の「別紙 電波防護指針の根拠」の「2 管理指針の根拠」「2.1.1 条件Pの場合」において、以下の通りとされている。

(2) 表2(b)について

Hill (Hi85b) 等によれば、接地状態にある人体がその長軸に平行な低周波電界にさらされたとき、人体を流れる電流の大きさは次式で表される。

$$I=275 \times 10^{-9} f(\text{Hz}) E(\text{V/m}) \text{ mA} \quad [60\text{Hz} \sim 200\text{kHz}]$$

このとき、基礎指針③により電流を $I \leq 10^{-3} f(\text{Hz}) \text{mA}$ とすると、電界強度は次式となる。

$$E \leq 3,636 \text{ V/m} \quad [10\text{kHz} \sim 100\text{kHz}]$$

これに基づいて、測定上の不確定さを考慮し、電界の上限を実効値で2,000V/m（安全率1.8）とした。平均時間は、基礎指針に基づき1秒以下とした。

また、基礎指針②により誘導電流密度を $J \leq 0.35 \times 10^{-4} f(\text{Hz}) \text{mA/cm}^2$ とすると、これに相当する磁界強度は、Bernhardt (Be79) より

$$H \leq 800 \text{ A/m} \quad [10\text{kHz} \sim 100\text{kHz}]$$

これに基づき、電界強度の場合と同様に測定上の不確定さを考慮して同程度の安全率を設け、磁界の上限を実効値で163A/m（安全率は1.7）とした。

③電磁界強度指針（条件G）の根拠

平成2年答申の「別紙1 電波防護指針の根拠」の「2 管理指針の根拠」「2.1.2 条件Gの場合」において、以下の通りとされている。

(1) 表3(a)及び表3(b)について

条件Gでは、防護指針に照らした管理が十分になされていない等の状況が含まれる。

この場合、測定が頻繁に行なわれるわけではなく、測定点が十分に網羅されていなかったり、電波を散乱する周辺の物体や建物などの状況が変化することなどによって、放射源が変わらなくても電磁界強度が2倍程度まで変化することが想定される。条件Gでは、このような不確定さを考慮し、条件Pに比べて電力密度で5倍（電界強度又は磁界強度で2.23倍）の安全率を付加的に考慮した。IRPAなどの指針でも、一般公衆のばく露限界を職業的なばく露に比べて同じく電力密度で5倍の付加的な安全率を設けている。

①～③により、改定前の電波防護指針の基準値は、人体内部の重要な組織（心臓や脳）への神経刺激を防止することを目的に、測定やばく露条件の不確かさを考慮した安全率を見込んだ数値であると結論づけられる。そのため、改定前の電波防護指針によっても、適切な人体の防護が図られていたものと考えられる。

2 100kHz～10MHzにおける防護

改定前の電波防護指針においては、100kHzを超える周波数帯に対して、刺激作用からの防護に係る基準値（平均時間<1秒）は設定されていない。そのため、当該周波数帯における刺激作用は、熱作用からの防護に係る基準値（平均時間6分間）により実質的に防護が図られてきた。この一般環境における基準値を表1に示す。

表1 熱作用からの防護に係る電磁界強度指針（一般環境）

周波数	電界強度【V/m】	磁界強度【A/m】
100kHz～3MHz	275	$2.18f^{-1}$ (21.8～0.728)
3MHz～10MHz	$824f^{-1}$ (275～82.4)	$2.18f^{-1}$ (0.728～0.218)

100kHz～10MHzにおいて、これまで電波防護規制の対象とされていた主な無線設備としては、中波放送、短波放送が挙げられる。これらの無線設備は、電磁界強度が瞬間的に大きく変動することは想定されないため、電磁界強度の瞬時値（最大値）は、6分間平均値の（1+変調度）倍を超えることはないと考えられる。さらに、変調度が1を超えることは想定されないため、電磁界強度の瞬時値は、6分間平均値の二倍を超えることはないと考えられる。

改定前の電波防護指針の刺激作用からの防護に係る電磁界強度指針値（10kHz～100kHzにおいて、電界強度：894V/m、磁界強度：72.8A/m）は、100kHzを超える周波数帯に適用されるものではなかったが、これは100kHz以上においては熱作用が支配的であると判断されたためである。この際、仮に、100kHzを超える周波数帯における刺激作用からの防護に係る指針値を設定しようとした場合、10MHz程度以下の周波数帯においては、電界・磁界誘導による体内誘導電流密度は周波数に比例して大きくなるが、刺激作用を感知する閾値も周波数に比例して大きくなることから、刺激作用に係る電磁界強度指針値は周波数によらずほぼ一定値となるため、10kHz～100kHzの指針値をそのまま適用することで適切な人体防護が図られるものと考えられる。

表1の指針値（6分間平均値）を瞬時値に換算するために二倍した値は、改定前の電波防護指針の刺激作用からの防護に係る電磁界強度指針値（10kHz～100kHzにおいて、電界強度：894V/m、磁界強度：72.8A/m）を100kHz～10MHzの全ての場合に大きく下回る。よって、100kHz～10MHzにおいて、改定前の電波防護指針に基づき、熱作用からの防護に関する基準値を満たすことにより、刺激作用からの防護についても、（1）と同様の適切な人体の防護が図られていたものと考えられる。

参考資料5 電界及び磁界への同時ばく露について

刺激作用に関する電磁界強度指針値（表Ⅲ）を適用するに当たっては、異なる周波数の電界及び磁界に同時にばく露される状況において、各ばく露からの影響が加算的であるかどうか判断することが重要である。これについては、ICNIRP ガイドライン 2010 では下記のとおり、電界、磁界を加算的に見積もる必要がある状態は非常に稀であるとしている。

外部電界および外部磁界がそれぞれに誘導した電界成分は組織中でベクトル的に加算される。外部電界と外部磁界を基にしたばく露の解析において、安全側に見積もる方法は、電氣的な誘導電界成分と磁氣的な誘導電界成分が、同位相で、同位置で最大値になると仮定することであると考えられる。このことは、外部電界と外部磁界へのばく露は加算的であることを意味すると考えられる (Cech 他 2008)。しかし、電氣的な誘導電界と磁氣的な誘導電界の分布は大きく異なることを考えると、そのような状況は非常に稀であると思われる。

そのため、ICNIRP ガイドライン 2010 では、電界及び磁界への同時ばく露については、電界と磁界が各々の指針値以下であることを確認することとしており、電界と磁界の寄与を加算的に評価する必要はないとしている。

参考資料 6 複数周波数の電磁界への同時ばく露及び非正弦波へのばく露について

ICNIRP ガイドライン 2010 では、複数周波数の電界及び磁界への同時ばく露については、電界強度、磁界強度及び磁束密度に関して、各周波数成分の指針値に対する割合の和を求め、これらの総和が1を超えないことという制限値を設定し、この制限値が満たされる場合には指針を満たすものとしている。

低周波電波防護指針においても、この ICNIRP ガイドライン 2010 を踏まえた制限値を導入することが妥当である。具体的には、本報告書本文（7）に記載のとおり電波防護指針を改定する。なお、その内容を ICNIRP ガイドライン 2010 の記載方法に倣って記述すると、下記のとおりになる。

10kHz 以上 10 MHz 未満の周波数帯において複数周波数の電界及び磁界へ同時にばく露される場合、

- i) 下記の計算式を満たせば、刺激作用等からの人体防護に係る基本制限（表Ⅱ）に適合しているといえることができる。

$$\sum_{j=10\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_{i,j}}{E_{L,j}} \leq 1$$

ここで、 $E_{i,j}$ は、周波数 j での誘導された体内電界強度。 $E_{L,j}$ は、表Ⅱ で与えられる、周波数 j での誘導電界強度の基本制限。

- ii) 下記の計算式を満たせば、刺激作用等からの人体防護に係る電磁界強度指針（表Ⅲ）に適合しているといえることができる。

$$\sum_{j=10\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_j}{E_{R,j}} \leq 1$$

$$\sum_{j=10\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{H_{R,j}} \leq 1$$

ここで、

E_j = 周波数 j での電界強度。

$E_{R,j}$ = 表Ⅲで与えられる、周波数 j での電界強度の参考レベル。

H_j = 周波数 j での磁界強度。

$H_{R,j}$ = 表Ⅲで与えられる、周波数 j での磁界強度の参考レベル。

- iii) 下記の計算式を満たせば、接触電流に関する補助指針に適合するといえることができる。

$$\sum_{j=10\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{I_j}{I_{L,j}} \leq 1$$

ここで、 I_j は、周波数 j での接触電流成分。 $I_{L,j}$ は、表 4 で与えられる、周波数 j での接触電流の参考レベル。

③ 正弦波へのばく露について

非正弦波へのばく露については、ICNIRP ガイドライン 2010 において、以下の通り記載されている。低周波防護指針においてもこれと同様に取り扱うことが可能である。なお、下記の記述は、10kHz 以上 10MHz 以下の周波数での外部電界、外部磁界、誘導電界、接触電流に適用される。

（中略）低周波では、電界および、特に磁界は、ほとんどの場合、幅広い周波数帯に分布する高調波成分によって歪められている。その結果、電界および磁界の波形は複雑な（しばしばパルス状の）パターンを示す。そのような電界および磁界を、例えばフーリエ変換法（FT）を用いて、離散スペクトル成分に分解し、前述の複数周波数に対するルールを適用することが常に可能である。この手法は、スペクトル成分は同位相で加算される、すなわち、全ての最大値は同時点に起きるという仮定に基づいており、その結果、一個の鋭いピーク値が生じる。この仮定が現実的となるのは、スペクトル成分の数が限られていて、それらの位相がコヒーレントでない、すなわちランダムな場合である。位相がコヒーレントに固定されている場合には、この仮定は必要

以上に安全側の見積もりとなる。さらに、FT スペクトル解析におけるサンプリングや窓関数によってスプリアス周波数が発生するために、ばく露比の線形総和が人為的に増加する可能性がある。

スペクトル法に代わる選択肢として、基本制限または参考レベルに関連するフィルタ関数を用いて、外部電界および外部磁界、誘導電界ならびに誘導電流に重み付けをする方法がある (ICNIRP 2003; Jokela 2000)。高調波成分からなる広帯域の電界および磁界の場合、フィルタリングによって課せられる制限は数学的に次のように表わされる。

$$\left| \sum_i \frac{A_i}{EL_i} \cos(2\pi f_i t + \theta_i + \phi_i) \right| \leq 1 \quad (5)$$

ここで、 t は時間； EL_i は第 i 高調波周波数 f_i でのばく露制限値； A_i 、 θ_i 、および ϕ_i は、第 i 高調波周波数における電界および磁界の振幅、位相角、およびフィルタの位相角である。位相角を除き、この方程式は第 2 章 (6) の式 (2) ~ (4) の加算式と同様である。重み付けの実際的方法 (重み付けピーク値ばく露の決定) に関する詳しいガイダンスは (ICNIRP ガイドライン 2010 の) 付属書 (参考) に記載されている。(以下略)

参考資料7 その他の検討結果、参考情報

1 電磁過敏症に関する検討結果

「電磁過敏症」については、WHO はファクトシート 296 で、「明確な診断基準がなく、電磁過敏症の症状を電磁界ばく露と結び付ける科学的根拠」はないと述べており、我が国でも二重ブラインド法¹⁶により電磁波との因果関係に関して検証を行った結果、携帯電話使用に伴って何らかの健康症状を有すると申告する人とそうでない人との間に電磁波への感受性に差異は認められなかった。近年の研究報告を分析する限り、現時点で確定的な結論は出ておらず、電磁過敏症を惹起する背景に「ノシボ効果」が介在していることが指摘されている。したがって、電磁過敏症発生と電磁波のばく露との因果関係は現時点で立証されていないものと認識する。このため、現時点において電波防護指針に電磁過敏症のリスクを考慮する必要はないと認識する。電磁波過敏症については、WHO のファクトシート 296 に記載のとおり、電磁界の低減や除去ではなく、臨床的対応等の関係者の適切な対応が行われることが望ましい。

2 ばく露評価技術に関する研究動向

ばく露評価とは、電磁界へのばく露により体内に生じる体内誘導量を測定や計算により定量的に求めることであり、電波防護のための指針を検討する上で、非常に重要な基礎技術である。例えば、低周波数帯における刺激作用に対する防護においては、電磁界ばく露により体内に誘導される電界や電流による神経や筋への刺激作用の閾値に基づき、電波防護指針や ICNIRP ガイドライン 2010 が定められているが、これらの策定に当たっては、正確なばく露量の評価が不可欠であった。

平成 2 年（1990 年）に電波防護指針が策定された際、人体を模擬した球に対する解析により電磁界強度指針を求めたのに対し、平成 22 年（2010 年）の ICNIRP ガイドライン 2010 の策定においては、最新の研究結果である詳細な数値人体モデルを用いた解析が取り入れられた結果、より精密なばく露評価に基づいた指針値が定められている。このように、ばく露評価技術の進展により、精密で正確な人体防護が可能となることから、今後とも技術の更なる高度化に関する調査研究を推進していくことが必要であると考えられる。また、近年、ばく露評価技術は、ワイヤレス電力伝送システムなど、新たな電波利用技術への応用や、接触電流のような接触ハザードへの適用も研究されており、今後の進展が期待される。

3 IEEE/ICES の動向

IEEE/ICES(International Committee on Electromagnetic Safety, 電磁界安全に関する IEEE 国際委員会。)において、人体防護については、主に TC(Technical Committee) 95 (人体安全性) 及び TC34 (製品安全性) において検討が行われている。その中で、低周波数帯における刺激作用からの人体防護に関しては、IEEE C95. 6-2002 「0 kHz~3

16. 二重ブラインド法：どの実験の条件化が真の EMF で、どれがそうでないものかを実験参加者からも研究者からも不明に行う方法。

kHz の電磁界への人体ばく露に関する安全レベル」が策定されている)。また、3 kHz から 100 kHz の刺激作用の指針値については、高周波のガイドライン IEEE C95.1-2005 において、3 kHz での接続が考慮され策定されている。これは、J. P. Reilly による神経刺激モデルに関する研究成果 (J. P. Reilly Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulations to Electropathology, Springer, 1998.) に基づいたものであり、楕円断面 (一様媒質を仮定) による解析により導出されているものである。ICNIRP ガイドラインの参考レベルに相当する「最大ばく露許容値」は、ほとんどの周波数帯域で ICNIRP ガイドライン 2010 より高く設定されており、例えば 50/60Hz における磁束密度は $904 \mu\text{T}$ (ICNIRP では $200 \mu\text{T}$) とされている。

現在、IEEE C95.6-2002 は、高周波のガイドラインである IEEE C95.1-2005 と規格を合併する方向で検討されている。その際、低周波・中間周波外部磁界から体内の誘導物理量を導出するために、これまでの楕円モデルから詳細人体モデルに変更することを最重点課題として挙げている。また、一般環境における低減係数の緩和についても検討が進められている。

4 適合性評価法について

低周波防護指針の適合性評価法については、原則として、国際規格等により規定された方法を採用することが望ましい。

特に、指針値の時定数については、ICNIRP2010 では、瞬時値の定義として、APPENDIX において「典型的には 100μ 秒以下」とされており、IEEE では、0.2 秒が採用されている。しかし、この時定数は根拠とする生体反応の時間をもとにしているが、実際の測定を想定した簡便性と正確性の両立を考慮したものではないことには注意が必要である。測定法については、必ずしもこの数値にこだわらず、国際規格等に則り妥当な値を採用すべきである。なお、IEC では、下記の規格が共通規格として規定されている。

IEC 62311 ed1.0 (2007): Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)

また、測定時の平均化時間については、家電製品の磁界測定法に関する下記の IEC 規格に、平均化時間を 1 秒とするとの記述がなされている。

IEC 62233 ed1.0 (2005): Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure

5 個別分野における適用動向

(1) 電力設備関係の規制について

「電気設備に関する技術基準を定める省令」第二十七条の二及び「電気設備の技術基準の解釈」第五十条の一部改正 (施行:平成 23 年 10 月 1 日) により、ICINIRP ガイドライン 2010 における磁束密度の参考レベルに基づいて、商用周波数において、 $200 \mu\text{T}$ を規制値とした規制が導入されている。評価方法は IEC 62110 (2009) に準拠したもの、測定方法は「電気設備の技術基準の解釈」に方法が例示されている。

(2) 鉄道電気設備関係規制について

鉄道電気設備の一部については、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」第五十一条の二（施行：平成 24 年 8 月 1 日）により、ICINIRP ガイドライン 2010 における磁束密度の参考レベルに基づいて、商用周波数において $200\mu\text{T}$ を規制値とした規制が導入されている。測定方法は、IEC/TS 62597(2011)及び IEC 62110(2009)を準用することとされている。

(3) 職業的ばく露に関する諸外国の規制動向について

日本の労働環境の安全に関しては、労働安全衛生法に基づいた規制が行われているが、電磁界ばく露は労働安全衛生法の対象とされていない。現状は、電波防護指針や ICNIRP ガイドライン、諸外国の労働規制等を参考にして、電波産業会（ARIB）において基準が定められるなど、各事業者等が必要に応じて対応を行っているところである。

一方、欧州では、2013 年 6 月 26 日に Directive 2013/35/EU「欧州職業電磁界指令」を発行し、職業電磁界ばく露からの保護に対する限度値とアクションレベルを制定し、EU 加盟各国に国内法転換を義務づけている。EU 加盟各国は、2016 年 7 月 1 日までに、これらに関連する法律、規制及び管理規定の国内法化をする必要がある。なお、このばく露限度値は ICNIRP ガイドラインに準拠したものであるが、一部の国においては、より厳しい基準値を国内規制に採用している国も存在する。また、ばく露限度値を遵守する実証プロセスを簡素化するためのアクションレベルが設定されており、運用上これに基づき防護又は防止対策を講じることが求められている。

■参考文献

全般

1. ICNIRP: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, Health Physics, Vol. 74, No. 4, pp. 494-522 (1998)
2. ICNIRP: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz)”, Health Physics, Vol. 99, No. 6, pp. 818-836 (2010)
3. IEEE C95.6-2002: “IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz” (2002)
4. IEEE: C95.1-1999: “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz” (1999)
5. IEEE C95.1-2005: “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz” (2005)

報告書本文

1. Dimbylow P. J.: “Development of the female voxel phantom, NAOMI and its application to calculations of induced current densities and electric fields from applied low frequency magnetic and electric fields. Phys Med Biol, Vol. 50, No. 6, pp. 1047-1070 (2005)
2. Hirata A, Wake K, Watanabe S, Taki M. In-situ electric field and current density in Japanese male and female models for uniform magnetic field exposures. Radiat Protect Dosim 135:272-275; 2009.
3. Nagaoka T, Watanabe S, Sakurai K, Kunieda E, Watanabe S, Taki M, Yamanaka Y. Development of realistic high resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic field dosimetry. Phys Med Biol 49:1-15; 2004.

参考資料 1 ICNIRP ガイドライン 2010 の根拠の検討

○刺激作用に関する指針値について

1. Dimbylow P. J.: “Development of the female voxel phantom, NAOMI and its application to calculations of induced current densities and electric fields from applied low frequency magnetic and electric fields. Phys Med Biol, Vol. 50, No. 6, pp. 1047-1070 (2005)
2. Bahr A, Bolz T, Hennes C. Numerical dosimetry ELF: Accuracy of the method, variability of models and parameters, and the implication for quantifying guidelines. Health Phys 92:521-530; 2007.

3. Hirata A, Wake K, Watanabe S, Taki M. In-situ electric field and current density in Japanese male and female models for uniform magnetic field exposures. Radiat Protect Dosim 135:272-275; 2009.
4. Nagaoka T, Watanabe S, Sakurai K, Kunieda E, Watanabe S, Taki M, Yamanaka Y. Development of realistic high resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic field dosimetry. Phys Med Biol 49:1-15; 2004.

○接触電流

1. WHO: Environmental Health Criteria 137, Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz), Chap.6 Interaction mechanisms, 6.5 Indirect interactions (1993). (EHC137)
2. I. Chatterjee, D. Wu, O.P. Gandhi: Human Body Impedance and Threshold Currents for Perception and Pain for Contact Hazard Analysis in the VLF-MF Band, IEEE BME-33 (5), pp.486-494 (1986).
3. ANSI: American National Standard Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 kHz to 100 GHz, ANSI-C95.1 (1982).
4. 齊藤正男, 1998, “電磁界の生体への影響”, テレビジョン学会誌 42(9), 945-950

参考資料3 長期的影響に関する検討

1. 動物実験研究による検討結果

Swedish Radiation Safety Authority, Scientific Council on Electromagnetic Fields. 2014:16 Recent Research on EMF and Health Risk. Ninth report 2014.

(<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2014/SSM-Rapport-2014-16.pdf>)

2. 疫学研究による検討結果

(全般)

- ・ Swedish Radiation Safety Authority, Scientific Council on Electromagnetic Fields. 2014:16 Recent Research on EMF and Health Risk. Ninth report 2014. (<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Stralskydd/2014/SSM-Rapport-2014-16.pdf>)
- ・ Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen J, Tynes T, Verkasalo P: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. epidemiol. British Journal of Cancer:2000 83(5), 692-

(小児がんのフォローアップ研究)

- ・ Schuz, J., et al. Extremely low-frequency magnetic fields and survival from childhood acute lymphoblastic leukemia: an international follow-up study. *Blood cancer journal* 2, e98 (2012).

(成人がんコホート)

- ・ Sorahan, T. Cancer incidence in UK electricity generation and transmission workers, 1973–2008. *Occupational medicine* 62, 496–505 (2012).

(デンマークのアルツハイマー病症例対照研究)

- ・ Frei, P., et al. Residential distance to high-voltage power lines and risk of neurodegenerative diseases: a Danish population-based case-control study. *American journal of epidemiology* 177, 970–978 (2013).

(インドの症例対照研究)

- ・ Das, K., Nag, C. & Ghosh, M. Familial, environmental, and occupational risk factors in development of amyotrophic lateral sclerosis. *N Am J Med Sci* 4, 350–355 (2012).

(職業性ばく露と神経変性疾患に関する研究のメタ解析)

- ・ Vergara, X., et al. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and neurodegenerative disease: a meta-analysis. *J Occup Environ Med* 55, 135–146 (2013).

3. 細胞研究による検討結果

- ・ Miyakoshi J, Horiuchi E, Nakahara T, Sakurai T; Magnetic Fields Generated by an Induction Heating (IH) Cook Top do not Cause Genotoxicity In Vitro. *Bioelectromagnetics*. 2007 Oct;28(7):529–37: PMID:17492656
- ・ Nakasono S, Ikehata M, Dateki M, Yoshie S, Shigemitsu T, Negishi T; Intermediate frequency magnetic fields do not have mutagenic, co-mutagenic or gene conversion potentials in microbial genotoxicity tests. *Mutat Res*. 2008 Jan 8;649(1–2):187–200. Epub 2007 Sep 29: PMID:17997348
- ・ Sakurai T, Kiyokawa T, Kikuchi K, Miyakoshi J.; Intermediate frequency magnetic fields generated by an induction heating (IH) cooktop do not affect genotoxicities and expression of heat shock proteins. *Int J Radiat Biol*. 2009;85(10):883–90: PMID:19863202
- ・ Sakurai T, Narita E, Shinohara N, Miyakoshi J.; Alteration of gene expression by exposure to a magnetic field at 23 kHz is not detected in astroglia cells. *J*

- Radiat Res. 2013 Nov 1;54(6):1005–9. doi: 10.1093/jrr/rrt063. Epub 2013 May 30: PMID: 23722077
- Koshkina NV, Briggs K, Palalon F, Curley SA.; Autophagy and Enhanced Chemosensitivity in Experimental Pancreatic Cancers Induced by Noninvasive Radiofrequency Field Treatment. *Cancer*. 2014 Feb 15;120(4):480–91. doi: 10.1002/cncr.28453. Epub 2013 Oct 25: PMID: 24496866
 - Cahana A, Vutskits L, Muller D.; Acute Differential Modulation of Synaptic Transmission and Cell Survival During Exposure to Pulsed and Continuous Radiofrequency Energy. *J Pain*. 2003 May;4(4):197–202. : PMID: 14622704
 - Karkabounas S, Havelas K, Kostoula OK, Vezyraki P, Avdikos A, Binolis J, Hatziavazis G, Metsios A, Verginadis I, Evangelou A.; Effects of low intensity static electromagnetic radiofrequency fields on leiomyosarcoma and smooth muscle cell lines. *Hell J Nucl Med*. 2006 Sep–Dec;9(3):167–72. : PMID: 17160157
 - Nishimura I, Oshima A, Shibuya K, Mitani T, Negishi T.; Absence of reproductive and developmental toxicity in rats following exposure to a 20-kHz or 60-kHz magnetic field. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2012 Dec;64(3):394–401. doi: 10.1016/j.yrtph.2012.10.005. Epub 2012 Oct 13. : PMID: 23069140
 - Recent Research on EMF and Health Risk; Ninth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2014; Report number: 2014: 16 ISSN: 2000–0456
(<http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Strafskydd/2014/SSM-Rapport-2014-16.pdf>)

参考資料 4

- Bernhardt J. , 1979. " The Direct Influence of Electro]magnetic Fields on Nerve and Muscle Cells of Man within the Frequency Range of 1Hz to 30MHz, " *Rad. And Environm. Biophys.* , 16, 309–323.
- Hill D.A. and Walsh J.A. , 1985, "Radiofrequency Current through the feet of a grounded man ", *IEEE Trans. Electromagn, Compat.*, EMC-27, 18–23.

参考資料 7

1. 電磁過敏症に関する検討結果

- http://www.who.int/peh-emf/project/ehs_fs_296_japanese.pdf?ua=1
- Furubayashi T, Ushiyama A, et al. Effects of short-term W-CDMA mobile phone base station exposure on women with or without mobile phone related symptoms. *Bioelectromagnetics*. 2009; 30(2):100–13

- ・ Rubin GJ, Nieto-Hernandez R & Wessely S. Idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (formerly 'electromagnetic hypersensitivity'): An updated systematic review of provocation studies. *Bioelectromagnetics*. 2010; 31(1):1-11

2. ばく露評価技術に関する研究動向

Hirata, K. Wake, S. Watanabe, and M. Taki, "In-situ electric field and current density in Japanese male and female models for a uniform magnetic field, *Radiation Protection Dosimetry*, vol.135, no.4, pp.272-275, 2009.

3. IEEE/ICES の動向

- ・ J. P. Reilly *Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulations to Electropathology* Springer, 1998.

4. 測定方法について

- ・ IEC 62311 ed1.0 (2007): Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)
- ・ IEC 62233 ed1.0 (2005): Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure

5. 個別分野における適用動向

(1) 電力設備関係の規制について

- ・ N. Wertheimer and E. Leeper: "Electrical wiring configurations and childhood cancer", *Am J Epidemiol*, Vol. 109, No. 3, pp. 273-284 (1979)
- ・ WHO: "Extremely Low Frequency Fields", *Environmental Health Criteria* No.238 (2007)
- ・ WHO: "Electromagnetic fields and public health", *Fact sheet* No.322 (2007)
- ・ 経済産業省原子力安全・保安部会電力安全小委員会:「電力設備電磁界対策ワーキンググループ報告書(平成20年6月)
- ・ 電気設備に関する技術基準を定める省令(平成9年3月27日通商産業省令第52号)
- ・ 経済産業省 商務流通保安グループ 電力安全課:「電気設備の技術基準の解釈」
- ・ IEC 62110 Ed.1.0: "Electric and magnetic field levels generated by AC power systems - Measurement procedures with regard to public exposure" (2009)
- ・ 電磁界情報センターホームページ <http://www.jeic-emf.jp/>

(2) 鉄道設備関係の規制について

- ・ 鉄道に関する技術上の基準を定める省令 第五十一条の二(施行:平成24年8月1日)

- ・ IEC/TS 62597 Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure (2011)
- ・ IEC 62110 Electric and magnetic field levels generated by AC power systems – Measurement procedures with regard to public exposure (2009)

(3) 職業的ばく露に関する諸外国の規制動向について

- ・ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. The Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human Body in a Static Magnetic Field and by Time-Varying Magnetic Fields below 1 Hz. 2014; Health Physics. 106(3):418-425.
- ・ EU directive 2013. Directive 2013/35/EU of the European parliament and of the council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. Official Journal of the European Union, Luxembourg, Luxembourg.