

電 波 防 護 指 針

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 24 日

「電波利用における人体防護の在り方」答申

1	はじめに	・・・	2
2	目的と範囲	・・・	3
3	定義	・・・	6
4	人体が電磁波に局所的にさらされる場合等の指針	・・・	8
	4.1 携帯電話端末等の低電力放射源に関する指針の明確化の必要性		
	4.2 管理指針の一部改訂		
	4.3 注意事項		
5	携帯端末等の電磁放射源に対する電磁環境の測定法・推定法	・・・	14
	5.1 測定法		
	5.2 推定法		
6	今後の電波防護指針の取り扱い	・・・	16
	6.1 電波防護指針をめぐる背景		
	6.2 規制導入の是非		
	6.3 規制導入にあたっての考慮条件		
	6.4 規制の対象と適用される電波防護指針値		
	6.5 無線局から放射される電波に関する情報提供		
7	今後研究を進めることが必要な項目	・・・	20
	7.1 ドシメトリ及びばく露システムの研究		
	7.2 生物学的研究		
	7.3 疫学調査		
別紙 1	局所吸収指針等を反映した補助指針	・・・	25
別紙 2	アンテナ利得と空中線電力に基づく簡易評価法	・・・	28

1 はじめに

近年の科学技術及び情報化の著しい進展により、電波利用に対する需要は高まる一方である。特に電波を用いた移動体通信は、国民生活のなかに急速に普及してきており、コードレス電話や携帯電話などは家庭電化製品と同様、日常生活のごく身近な場面において活用されるようになってきている。

我々は、従来より太陽からの電波をはじめ、テレビやラジオの電波、衛星からの電波など四六時中、電波に囲まれた暮らしをしてる。電波利用のますますの進展に伴い、電波による健康への影響に対する一般利用者の関心が年々高まってきている。しかし、電波や電磁波に対する理解が十分でない解説記事も見受けられ、一般利用者が混乱される一因となっている。

電磁波が人体に与える影響については、これまで40年以上にわたって様々な研究がなされてきており、国際的なコンセンサスを得ている項目が数多くある。我が国においては、これらの研究結果に基づき、電波のエネルギーが人体に好ましくない影響を及ぼさないよう、指針となる電波のエネルギー量等に関して、平成2年(1990年)に電気通信技術審議会から「電波利用における人体の防護指針」(通称、「電波防護指針」)が答申されている。防護指針の値は、十分な安全率を考慮した人体防護を前提としたものである。また、この答申に基づき、平成5年(1993年)(財)電波システム開発センター(現在の(社)電波産業会)が「電波防護標準規格」を策定しており、民間レベルのガイドラインとして活用されているところである。

最近の移動体通信の急速な発達、無線機器の小型化に伴う携帯型端末の普及によるところが大きく、これに伴い電波利用形態も大きく変化している。従来、移動体端末を使用する場合は、電波の主な発射源であるアンテナが身体から一定の距離はなれていることが一般的であったが、現在、携帯端末を使用する場合、そのアンテナは身体より近い位置に存在するようになっている。このため、平成8年3月「人体の電波防護の在り方に関する調査研究報告」でも報告されているように、電波防護の考え方も電波の発射源の近傍における伝搬の特性を考慮し、身体の局所における電磁波の吸収量を考慮することが重要となっており、このような点を踏まえ、防護指針を具体化する必要が出てきている。

無線局をはじめとする各種の電波利用設備から発射されている電波は、日常生活の範囲においては、非常に弱いエネルギー分布であり、懸念されているような有害な生体作用が起きることはなく安全であると考えられている。というのは、現在まで、数多くの動物実験・疫学調査等が行われているが、これらの結果を総合的に勘案すると国際的にも電波防護指針を満たす範囲の電波では、がんを含め健康に悪影響を及ぼすという証拠は見つかっていないからである。

しかし、電波が人体に与える影響については、神経系・免疫系などの相当数の実験等が行われながらも、まだ十分に解明されていない部分も残されていることも事実であり、今後研究を進めるべき項目を明らかにし、国際的な連携を図りつつ継続的な研究を進めていることが必要不可欠である。

本答申においては、最近の研究結果、海外における動向等を踏まえ、人体が電磁波に局所的にさらされる場合等の人体の防護指針を提示するとともに、今後の電波防護指針の取り扱いについて考え方を示している。また、今後研究を進めることが必要な項目についても取りまとめを行っている。今後、本答申の主旨に照らし、人体の安全性の確立と電波利用の推進を進めていくことが望ましい。

2 目的と範囲

電波防護指針は、十分な安全率を考慮した人体防護を前提に、電波の強さが人体に好ましくない作用を及ぼさないレベルであるのかどうかの指針を示すことによって、社会・経済的に需要の高まっている電波利用の健全な発展を図ることを目的としている。このため、平成2年に答申された電波防護指針では、人体が電磁波にさらされる場合、その電磁波が人体に好ましくない電磁的現象を及ぼさない状況であるか否かを判断する際の基本的な考え方と、それに基づく指針値、電波利用施設周辺における電磁界強度等の測定法及び推定法を示している。

本答申においては、このような電波防護指針のうち、身体に近接して使われる無線機器等に関する電波防護指針の具体化、それに伴う電波防護指針の構成等の整理、具体化した電波防護指針の適用法と適用のために必要な電波エネルギー吸収量の測定法、推定法の検討を行った。具体的には、電波防護指針の管理指針のうち、補助指針の見直し、さらにこれに関する評価法に関する検討を行っている。

また、今後の電波防護指針の取扱い、並びに電波の人体への影響に関し、今後研究を進めることが必要な項目についても取りまとめを行った。

なお、電波防護の対象とする電磁波の周波数範囲は、電波法第2条に定められている範囲（「電波」とは、300万MHz（3,000GHz）以下の周波数の電磁波という。）を全て網羅することが基本であるが、本答申では現在の周波数の割当て状況、電波利用技術の動向等を考慮して、10kHzから3000GHzまでの周波数を対象としている。（電磁波の周波数と電波の利用例は図1のとおり。）

また、ここで提示される電波防護指針は、膨大な量の研究報告の分析、評価を踏まえ、現時点における国際的審議機関の専門家等の間で、共通の認識に達している事項を基本として検討されている。この指針で示した数値は、十分な安全率

を考慮した人体防護を基本としているので、この数値を超えたからといって、それだけで人体に影響を及ぼすものではないことを理解することが必要である。

しかしながら、今後調査・研究等が進展し、科学的に裏付けされた根拠や新しい考え方が示された場合には、電波利用の状況等に応じて、電波防護指針の内容を改訂する必要があるだろう。

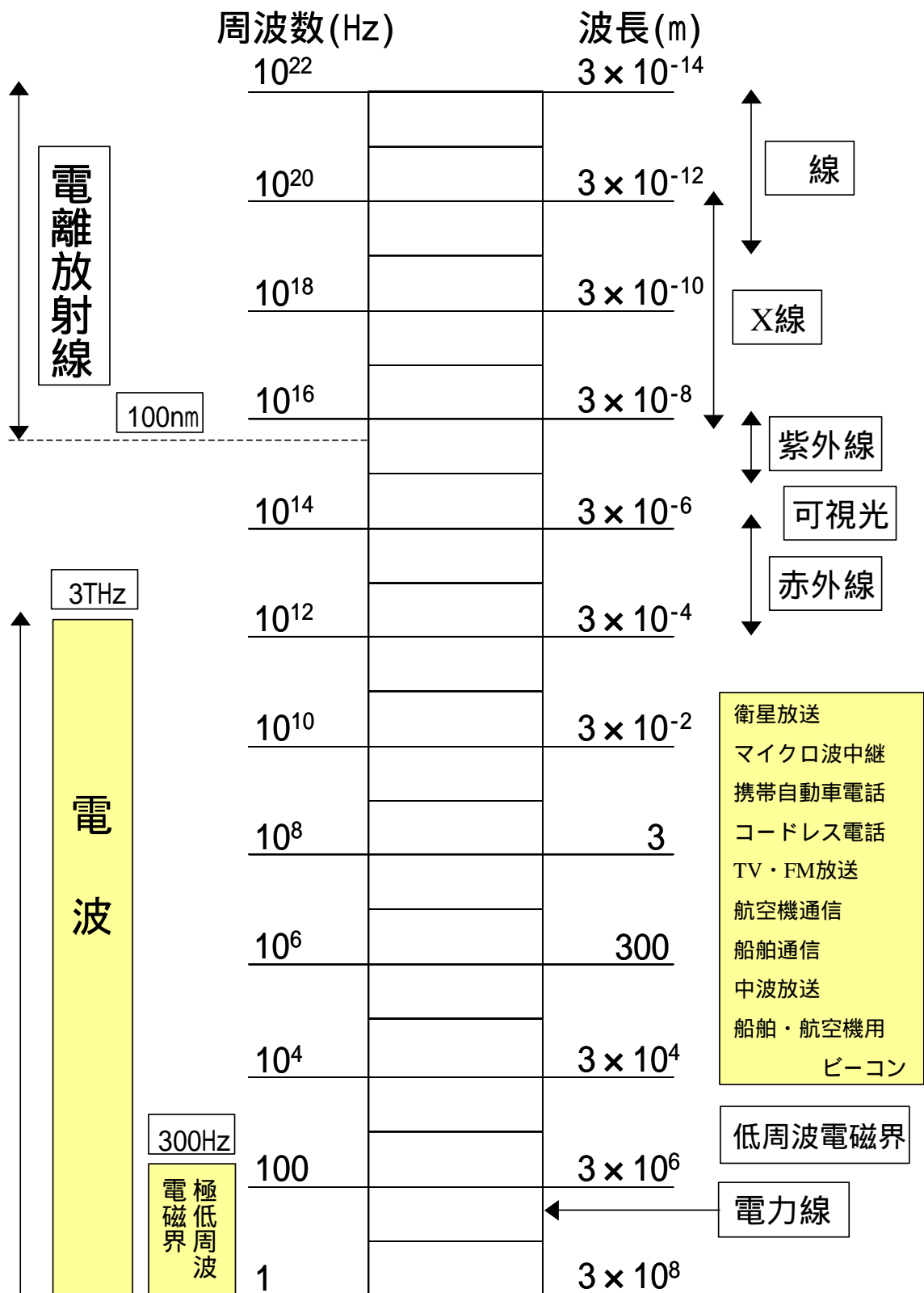


図1 電磁波の周波数と電波の利用例

3 定義

- (1) 「電磁波」とは、電界およ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条で定められた300万MHz以下（3,000GHz）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波（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、電流刺激、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) 「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。
- (6) 「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、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。
- (7) 「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。
- (8) 「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。
- (9) 「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。
- (10) 「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に該当する。
- (11) 「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。

- (12) 「電磁界」とは、電界、磁界の総称をいう。
- (13) 「電界強度」とは、電磁界の電界の強さをいう。
- (14) 「磁界強度」とは、電磁界の磁界の強さをいう。
- (15) 「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。
- (16) 「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。
- (17) 「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。
- (18) 「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。
- (19) 「非接地条件」とは、誘導電流が大地に流れないような大地の影響が無視できる条件という。
- (20) 「低電力放射源」とは、100kHz から 3GHz までの周波数を使用し、出力電力の低い電磁放射源をいう。
- (21) 「ファントム」とは、人体内の SAR を測定する際に用いる、擬似的な人体モデルのことをいう。
- (22) 「等価等方輻射電力 (EIRP : Equivalent Isotropically Radiated Power)」とは、アンテナに供給される電力と与えられた方向における等方性アンテナの絶対利得の積のことをいう。(実効輻射電力の約 1.64 倍となる。)
- (23) 「実効輻射電力 (ERP : Effective Radiated Power)」とは、アンテナに供給される電力と与えられた方向における半波長ダイポールアンテナに対する相対利得の積のことをいう。

4 人体が電磁波に局所的にさらされる場合等の指針

4.1 携帯電話端末等の低電力放射源に関する指針の明確化の必要性

平成2年に電気通信技術審議会が「電波利用における人体の防護指針」を答申して以来、携帯電話端末等無線機器の小型化が飛躍的に進むとともに、一般に広く普及しつつある。これに伴い、低電力放射源からの電磁波を頭部を始とする局所で受ける機会がますます増える傾向にあるが、このような場合に適用する指針は、まだ明確に記述されていない。

一方、携帯電話の小型化と歩調を合わせて、従来はごく限られた専門機関に限定され、また、測定精度も十分でなかった擬似的な人体モデル(ファントム)を用いた電磁波の人体内でのSARを測定する技術も急速に進歩している。このため、一般の利用者に無用な不安や誤解を与えることのないよう、低電力放射源に関し、より具体的な分かり易い指針を早急に作成することが必要となっている。

4.2 管理指針の一部改訂

最近の研究結果、国際動向および携帯電話等の著しい普及を考慮して、平成2年に答申された「電波防護指針」に記載されている管理指針を次のように一部改訂する。

現行の管理指針は、電磁界強度指針と補助指針から構成されているが、国際非電離放射線委員会(ICNIRP)等の国際規格との整合性を考慮するとともに、携帯電話端末等の低電力放射源に対するより分かりやすい指針を明確化するため、新たに「局所吸収指針」を設けることとする。これに伴い、現行の補助指針に記載されている「低電力の電磁放射源に関する指針」は、局所吸収指針に包含されることから削除する。したがって、新しい管理指針は電磁界強度指針、補助指針、局所吸収指針から構成される。

(1) 電磁界強度指針

平成2年に答申された「電波防護指針」どおり。

(2) 補助指針

局所吸収指針を設けること等により、従来の補助指針についても一部に変更が生ずる。変更後の補助指針は、別紙1のとおりとなる。

(3) 局所吸収指針

(3-1) 適用範囲

本指針は、周波数100kHzから3GHz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。

本指針は、電磁放射源（主にアンテナ）や金属（筐体等）と人体との距離が、周波数 100kHz 以上 300MHz 未満で 20cm 以内、周波数 300MHz 以上 3GHz 未満で 10cm 以内の場合に原則として適用される。また、それ以外の距離においても、従来の管理指針（電磁界強度指針および補助指針）あるいは局所吸収指針のどちらか一方を満たせば基礎指針を満たしていると判断できる。

(3-2) 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 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、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。

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。

(3-3) 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 SAR（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 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、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。

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。

4.3 注意事項

電波を医療目的で用いる場合は、ペースメーカー装着者、体内に金属を埋め込んでいる人に対する注意事項は、平成2年に答申された電波防護指針に記されている注意事項と同様である。

最近、一部のマスコミ等で電波がペースメーカー等医用電気機器に与える影響と人体に与える影響とを同一視する報道がなされているが、これは誤った認識である。電波がペースメーカー等医用電気機器に干渉を与えるメカニズムは、電波により電子回路に誘起された信号で、電子回路が誤動作を起こすことに起因するものであり、電波の人体への影響とは同一に取り扱うべきではない。携帯電話端末等無線機が医用電気機器に与える影響を防止するための指針については、不要電波問題対策協議会が平成9年3月に公表した「医用電気機器への電波の影響を防止するための携帯電話端末等の使用に関する指針」を参照されたい。

表 1：管理環境（条件 P）における電磁界強度（平均時間 6 分間）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]
10kHz ~ 30kHz	614	163	/
30kHz ~ 3MHz	614	4.9f[MHz] ⁻¹ (163-1.63)	
3MHz ~ 30MHz	1842f[MHz] ⁻¹ (614-61.4)	4.9f[MHz] ⁻¹ (1.63-0.163)	
30MHz ~ 300MHz	61.4	0.163	1
300MHz ~ 1.5GHz	3.54f[MHz] ^{1/2} (61.4-137)	f[MHz] ^{1/2} /106 (0.163-0.365)	f[MHz]/300 (1-5)
1.5GHz ~ 300GHz	137	0.365	5

表 2：一般環境（条件 G）における電磁界強度（平均時間 6 分間）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]
10kHz ~ 30kHz	275	72.8	/
30kHz ~ 3MHz	275	2.18f[MHz] ⁻¹ (72.8-0.728)	
3MHz ~ 30MHz	824f[MHz] ⁻¹ (275-27.5)	2.18f[MHz] ⁻¹ (0.728-0.0728)	
30MHz ~ 300MHz	27.5	0.0728	0.2
300MHz ~ 1.5GHz	1.585f[MHz] ^{1/2} (27.5-61.4)	f[MHz] ^{1/2} /237.8 (0.0728-0.163)	f[MHz]/1500 (0.2-1)
1.5GHz ~ 300GHz	61.4	0.163	1

(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

	10kHz-300MHz	300MHz-1GHz	1GHz-3GHz	3GHz-300GHz
電磁界強度の空間的平均値	管理環境：表 1 適用 一般環境：表 2 適用			
電磁界強度の空間的最大値		四肢以外： 管理：20mW/cm ² 一般：4mW/cm ²		体表： 管理：50mW/cm ² 一般：10mW/cm ²
			頭部： 管理：10mW/cm ² 一般：2mW/cm ²	眼： 管理：10mW/cm ² 一般：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		
平均時間	6 分間			

(2)接触電流に対する指針

周波数	接触電流
10kHz ~ 100kHz	10 ⁻³ f[Hz]mA (平均時間 < 1 秒間)
	4.5 × 10 ⁻⁴ f[Hz]mA (平均時間 < 1 秒間)
100kHz ~ 15MHz	100mA 以下 (平均時間 6 分間)
	45mA 以下 (平均時間 6 分間)

上段：管理環境 下段；一般環境

(3)足首誘導電流に対する指針

周波数	接触電流
3MHz ~ 30MHz	100mA 以下 (平均時間 6 分間)
	45mA 以下 (平均時間 6 分間)

上段：管理環境 下段：一般環境

局所吸収指針（概要）

【新規追加】

適用範囲： 本指針は、周波数 100kHz から 3GHz までに適用できる。

対象： 身体に近接して使用する小型無線機等に適用できる。

主に、周波数 100kHz 以上 300MHz 未満で、電磁放射源との距離 20cm 以内
周波数 300MHz 以上 3GHz 未満で、電磁放射源との距離 10cm 以内

	管理環境	一般環境
全身平均 S A R	0.4W/kg	0.08W/kg
局所 S A R	任意の組織 10g 当たり 10W/kg 20W/kg（四肢）	任意の組織 10g 当たり 2W/kg 4W/kg（四肢）
接触電流	接触ハザードが防止されていない場合 100kHz から 100MHz までの周波数 100mA	接触ハザードが防止されていない場合 100kHz から 100MHz までの周波数 45mA

（任意の 6 分間平均値）

接触電流に関して、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、その周波数成分の指針値に対する割合での自乗和を求める。これらの総和が 1 を超えてはならない。

5 携帯端末等の電磁放射源に対する電磁環境の測定法・推定法

ここでは、人体が携帯端末等の低電力放射源からの電磁波に、局所的にさらされる場合に対する局所吸収指針への適合性を評価するための測定法と計算推定法について、技術開発の状況を概説するとともに実際の機器評価への適合可能性を検討する。対象とする具体的事例は、例えばハンディ形の携帯無線機のように、電磁放射源が人体頭部等に近接して使用される状況等での局所吸収の評価である。

ただし、低電力放射源に対する評価は必ずしもすべて比吸収率(SAR)で行う必要はなく、電磁界強度指針値による評価が有効な場合もある。電界プローブ等による電磁界強度の評価法については、電波防護指針(平成2年電気通信技術審議会答申)の測定法・推定法の部分に詳細に記述されているので、ここでは省略する。

5.1 測定法

(1) 技術開発状況

実際に人体内のSARを測定することは困難であるため、擬似的な人体モデル(ファントムと呼ばれる)を使用し、実験的にSARを推定することが一般的である。SARを決定する要素は、ファントムの形状、材料の電気的特性、電磁放射源の形状、特にアンテナの形状と放射特性、さらにファントムとアンテナとの位置関係等多数あり、実際のばく露状況をできる限り忠実に模擬することが重要である。

携帯端末等からの局所ばく露におけるSARの測定では、電磁放射源とファントムを実際のばく露条件を模擬した状況に設定し、ファントム内のSAR値に関係する何らかの物理量を測定する。局所吸収指針を満たすかどうかを評価するには、全身平均SARと局所SARの最大値を求める必要があり、いずれもファントム内のSAR分布を求めることで得られる。しかし、このような測定を行うには特殊な設備や装置が必要なため、これまで一部の研究機関に限定されていた。SARを測定するための電界プローブやファントム等が開発・市販され、比較的容易に測定を実施することが可能となりはじめたのはごく最近のことである。

携帯電話に実際に適用されたSAR測定法としては、次のようなものが提案されている。

(a) 電界測定法

ファントム内のSAR分布を電界測定値から導出する方法。

- (b) 温度測定法
ファントム内の SAR 分布を温度測定値から導出する方法。
- (c) 表面磁界測定法
ファントム表面の SAR 分布をファントム表面付近の磁界から導出する方法。

(2) 適用可能性

これらの測定法は、我が国や諸外国での学会で評価を受けた方法であり、ANSI/IEEE や CENELEC 等の測定法の文書中にも紹介されている。しかし、これらの測定法の具体的仕様や測定条件の明確化及び標準化は現在検討中であり、公的に測定を行うサービスについてもまだ実現されていない。最近、電界測定法による SAR 測定システムが商品化されているが、標準測定系として確率されたものとなっているかどうかについては不明である。

(3) 測定法の確立、誤差の取り扱い

これらの測定法の標準化のためには、定格出力の許容誤差等機器の有する不確定さや誤差に加えて、均一ファントムを用いることによる不確定さ、液体ファントムに必要な容器に起因する誤差等の個々の不確定さと誤差要因を明らかにすることが必要である。しかし、最終的には何らかの除去できない総合の測定誤差が残るので、この許容偏差をどのように取り扱うかについて検討する必要がある。ANSI/IEEE や CENELEC、(社)電波産業会では、現在、SAR 測定法の標準化のための作業が進行中であり、状況が明らかになるためには、作業の結論を待つ必要がある。

5.2 推定法

(1) 技術開発状況

電磁波にさらされた人体の内部に生ずる SAR や電流密度が理論的な解析や数値シミュレーションにより推定できる。これらの推定を精度良く行うためには、それぞれのばく露条件に対して適切な人体モデルと推定法を用いる必要がある。

SAR 推定のための代表的な理論推定法を以下に示す。

- (a) 平板・円柱・球モデルに厳密解を適用する方法
- (b) 回転楕円体もでるに近似解法を適用する方法
- (c) ブロック人体モデルに数値シミュレーションを適用する方法

(2) 適用可能性

人体のごく近傍で使用される電磁放射源に対しては人体との結合を考慮した推定が必要である。さらに、携帯電話のように頭部のごく近傍に電磁放射源がある場合には、頭部の形状および媒質分布を詳細に模擬したモデルを用いる必要がある。したがって、このようなばく露条件に対しては、ブロック人体モデルを用いた数値シミュレーションが望ましい。特に、近年の計算機能力の向上により、最も有力な数値シミュレーション手法は有限差分時間領域(FDTD)法(もしくはそれに類似した差分解法)といえる。

(3) 推定法の確立、誤差の取り扱い

FDTD 法などの数値シミュレーションは非常に適用範囲が広いものの、携帯電話などの電磁放射源の数値モデル化や計算条件の設定を適切に行わないと、思わぬ誤差の増大を招く恐れがある。実際のところ、推定法による携帯端末等の電磁放射源に対する生体安全性評価は、計算方法や携帯端末機器の特定を熟知した専門家に限定されるべきである。したがって、これらの推定法を一般に利用可能な評価法として確立するためには、推定値の妥当性や誤差範囲の評価に関する検討や人体モデルの標準化作業などが進めることが必要であろう。

6 今後の電波防護指針の取扱い

6.1 電波防護指針をめぐる背景

電磁波と生体の相互作用に関する研究は40年以上に渡っておこなわれており、数多くの成果報告、科学的知見の蓄積がなされている。電波利用施設から放射される電波は、我々の日常生活の範囲において非常に弱いエネルギー分布であることが通例であるが、いままでに蓄積された科学的知見により、日常生活の範囲での電波の強さを一定レベル以下とすべきであるとのコンセンサスが国際的にも醸成されつつある。

例えば、国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)は1996年4月、今までの研究成果を統括し、「携帯無線電話機と基地局の利用に関わる健康について」という声明を出している。その中でICNIRPは「人体が電磁界にさらされる場合の制限をICNIRP等の示す全身平均SARをおよび局所SARを下回るレベルの電磁波では、がんを含めて健康に悪影響が発生するという証拠はない。

また日常生活における無線局数の急速は増大とともに無線局の電波による健康影響に対する関心が国民の間で急速に高まってきた。それに伴って、電波利用施設の規模や外観等からの電波に対する漠然とした不安や誤解を生ずる可能性も増えてきている。これらの不安・誤解を事前に解消するような施策が早急に望まれる。

電波利用施設から、放射される電波に関する防護指針については、我が国では、(社)電波産業会の電波防護標準規格として定められているように、従来、世界的に民間機関の標準として定めることが一般的であった。しかしながら、近年、これを政府レベルの規制とする動きが出てきている。まず、1996年8月、米国の連邦通信委員会(FCC: Federal Communications Commission)が、FCC規則を改正し、携帯電話基地局等幅広い無線局の電波から人体の安全性を確保するため、従来からの規制対象範囲の拡大を決定している。

また、欧州においても、無線局等の電波の安全性に関する規制導入が検討されている。ドイツでは、1996年11月、連邦参議院が、連邦政府の電磁波に関する命令案を、一部変更提案をつけた上で可決しており、近いうちに規制導入の決定が行われるものと考えられる。さらにオーストラリアにおいても、1997年1月から電気通信政府コードにより、民間標準として定められている電波防護指針に適合していることを地元自治体へ報告する等が要求されている。また、現在審議中の無線通信法の改正案には、周波数監理庁(SMA: Spectrum Management Agency)に人体の電波防護指針に関する基準を定める権限を付与する事項が含まれている。

これらの背景を考慮すると、我が国においても、無線局等電波利用施設から発射される電波が健康に好ましくない影響を及ぼさないよう、規制導入について早急に検討することが必要である。

6.2 規制導入の是非

無線局等の電波利用施設から発射される電波からの安全性を担保するための規制導入に関しては、肯定的な要因と否定的な要因がある。規制導入に肯定的な要因として考えられる事項は、

- (1) 電波の強さが、防護指針を超えたからといって、それだけで直ちに健康に影響があるものではないが、拘束力のある基準を導入することにより、最新の信頼できる学術的知見に基づいた適切な防護措置及び予防措置が必要に応じてくれること、
- (2) 技術の進歩によりこれまでにない様々な電波の利用形態が現れる可能性がある中、電波利用における安全性を担保しつつ、新しい電波利用システムの開発を推進できること、
- (3) 米国、ドイツ等で政府レベルの規制が導入された、あるいは導入されようとしていることを考慮すると、今後、国際的な整合性を図っていく上でも規制導入が望ましい方向であると判断できること、

- (4) 最新の信頼できる学術的知見に基づいた拘束力のある基準を導入することにより、電波利用における安全性に関心を有する国民に安心感を与えることができること、

等があげられる

一方、規制導入に否定的な要因としては、無線局の免許人や政府等の事務量の増大が考えられるが、本件は人体の安全性に関する事項であること、また、近年、電波の安全性に関する照会や確認の事務が増加しており、これらの対応にかなりの負担が必要になってきている状況を考えると、必ずしも規制導入が新たな障害や負担になるのではなく、むしろ負担の軽減につながる可能性もある。

したがって、結論としては、無線局等の電波利用施設から発射される電波からの人体防護に関し、規制を導入することが望ましいと考えられる。

6.3 規制導入にあたっての考慮要件

無線局等の電波利用施設から発射される電波の強さに関しては、一般に測定法も推定法も確立している。しかしながら、携帯電話端末等身体のすぐそばで使用する携帯型等の無線局から出される電磁波エネルギーの人体への吸収量については、測定法、推定法が技術開発の途上であり、我が国では、民間標準化機関でその標準化の審議が始まったばかりの段階であることを考慮する必要がある。

また、電磁界強度指針が適用できる場合のように、測定法および推定法が確立していても、無線局の免許人等の中に、電磁界強度の測定法や推定法に関する十分な知識を有しない者がいる可能性に配慮する必要がある。

さらに、人体の電波防護に関する規制の形態は、合理的で無線局の免許人や政府等の事務量の増大を極力防ぐものにすべきである。

6.4 規制の対象と適用される電波防護指針値

人体の電波防護に関する規制の実効性を担保するためには、電波利用施設が規制を遵守しているかどうかを判断するための測定法あるいは推定法が確立していることが不可欠である。したがって、測定法及び推定法が既に十分確立していると考えられる領域から規制導入を行うべきであり、当面、身体のすぐそばで使用する携帯型等の無線局以外の電波利用施設を対象に、一般国民の安全性を考慮した規制を導入すべきである。

一方、電波防護指針のうち局所吸収指針については、その測定量である SAR

の測定法あるいは推定法が、現時点では必ずしも確立しているとはいえない。したがって、身体のおすぐそばで使用する携帯型等の無線局については、測定法あるいは推定法の確立した段階で、各国における規制の実態を考慮しつつ規制を導入すべきである。

また、規制に際して用いる電波防護指針値としては、平成2年6月の本審議会答申「電波利用における人体の防護指針」及び同答申の具体化を目的として本答申の第4章に述べている局所吸収指針等に基づくべきである。平成2年6月の電波利用における人体の防護指針、本指針の第4章で述べている局所吸収指針等とともに ICNIRP 等の示す全身平均 SAR 及び局所 SAR を満足するような形で定められており、これらに基づくことにより、最新の科学的知見に基づく安全性が担保されることとなる。なお、規制の実施にあたっては、次の事項を十分踏まえる必要がある。

(1) 適用する指針値

平成2年6月の電波防護指針では、電磁界強度の指針値として、電界強度の実効値、磁界強度の実効値、電力密度の3種類の指針値が示されているが、周波数30MHz以上で遠方界と見なせる場合には、これら3つの物理量はお互いに換算可能である。特に、電磁界強度指針値が適用可能な領域で、測定により防護指針への遵守状況を確認する際には、これら全ての物理量の測定を求める必要性はなく、測定可能な1つの物理量を測定すれば十分と考えられる。

(2) 防護指針遵守状況の評価義務の免除が可能な無線局

無線局の設置形態、空中線電力の大きさ等から明らかに電波防護指針を満たすと考えられる無線局が多数ある。これらの無線局全てに電波防護指針の遵守状況の評価を求めることは、無線局の免許人や政府等の事務量の不必要な増大につながるため、明らかに電波防護指針を満たすと考えられる無線局については、評価義務を免除することが適切であろう。(なお、電波防護指針を十分に満たすと考えられる無線局の設置形態等については、別紙2に示す例を参考して決定すべきである。)

(3) 管理環境における電波防護指針の取扱い

管理環境については、対象者が電磁波に対する十分な知識を有する者であり、電波防護指針の遵守については、特に電磁界強度指針値が適用可能な領域では、電波防護に関する知識、情報の普及・啓蒙に努めることで、自主的な管理に委ねることも可能と考えられる。

(4) 十分な周知の必要性

人体の電波防護に関する規則を導入するにあたっては、技術的な理解が不十分なことに起因する混乱を防ぐため、十分な知識が必要である。

6.5 無線局から放射される電波に関する情報提供

無線局等の電波利用施設から放射されている電波に関する専門的知識が十分でない場合、電波に対する漠然とした不安や誤解を生ずる可能性がある。これを防止するため、無線局等の電波利用施設から放射される電波の強さに関する情報提供を進めていくことが必要である。

また、携帯型の無線局の中には、無線放射源を身体から一定の距離はなして使うことを想定している無線局もある。このような無線局に関しては、安全性を一層向上させるため、身体から空中線までの望ましい距離等その使用方法について説明書に記述する等、利用者に対し、電波に関する安全性を考慮した情報提供を行っていくことが必要である。

7 今後研究を進めることが必要な項目

7.1 ドシメトリ及びばく露システムの研究

ここでのドシメトリ(ばく露評価)とは、電磁波にさらされた人体(または実験動物など)に誘導された電流密度や SAR を定量することをいう。ばく露装置とは、7.2 節以降に述べる生物学的研究で対象とする動物または細胞等に電波をばく露するための装置である。これらに関する研究は主に工学分野における知見と手法に基づいている。

(1) 指針との適合性評価法の確立

人体全身が一様な平面電磁波にさらされる場合、いわゆる遠方界ばく露に対するドシメトリについては、これまでに推定・測定法ともに確立されており、代表的な方法については電波防護指針に示されている。また、従来は困難であった近傍放射源による局所的なばく露に対するドシメトリについても研究・開発が進んでいる。しかし、依然として、これらの局所ばく露に対するドシメトリが、指針との適合性を評価するのに十分確立・汎用化されているとはいえない(5章参照)。

したがって、局所ばく露に対するドシメトリに関し、以下の項目について研究・開発を進めることが望まれる。

- a) 局所 SAR 評価用電磁プローブの開発
 - 等方性小型挿入プローブ
 - 組織等価媒質中での校正法
 - 電磁界測定用ファントムの開発

- b) 温度計測に基づく高分解能 SAR 分布測定法の研究
 - 小型高感度温度プローブ

温度画像化手法の開発
温度計測用ファントムの開発

- c) 標準ファントムの開発
 - 生体の電気定数のデータベース
 - 日本人の解剖学的構造の標準モデル（大人、子供）
 - SAR の人体の構造及び不均一による依存性の解明
 - 携帯電話の使用条件の統計的解析（使用位置、使用時間等）

(2) 生物学的実験の精度向上

電磁波の生体に対する影響を直接的に評価する方法としては、小動物などを用いた動物実験が行われている。この場合、実際の人体への電磁波ばく露と等価なばく露を対象とする動物に実現することが必要である。したがって、

- ・動物実験のための高精度ばく露装置の開発

が重要な研究項目として挙げられる。このためには、ばく露装置内の小動物の詳細なドシメトリが必要である。

また、細胞レベルでの実験では、しばしば、ばく露装置内でのシャーレの位置、さらにはシャーレ内の位置によりばく露量が変わることに留意した上で研究することが必要である。さらに、培養細胞を用いた実験の再現性を向上させるためには、ばく露量だけでなく温度、湿度等の環境要因も正確に制御した上で研究を行う必要がある。したがって、これらの要求を満足する。

- ・細胞レベルの実験のばく露装置の SAR 分布の高精度評価と高性能汎用ばく露装置の開発
- が望まれる。

(3) 基礎研究

電磁波の生体に対する影響のメカニズムを考察する場合には電磁波の強度と作用との関係を正確にとらえることが必要不可欠である。特に、電磁波の非熱的な影響の有無を考察する場合には、

- ・ミクروسコピックドシメトリによる細胞レベルでのばく露評価が必要であろう。

また、パルス波による非熱作用の可能性を検討するためには、

- ・パルス波による力学的作用の定量的評価が必要であろう。

7.2 生物学的研究

7.2.1 現在までの試験研究状況

高周波領域に属する電磁波は、強いレベルでばく露させることにより熱を発

生させる。この性質は電子レンジに利用されている。高周波電磁波の生体影響に関する研究が欧米諸国を中心に多数報告されているが、その報告のほとんどが、この熱作用の影響に関する報告であり、これらの研究成果を反映して、各国で電波防護指針が作成されているところである。

非熱作用に関する生物学的研究についても、熱作用に比べると数は少ないとはいえ、今までにかなりの数の研究が行われている。例えばがんに関しては、2,450MHz の電磁波によるマウスの皮膚がん促進の報告のように電磁波とがんの関連を示唆する報告もある。しかしながらその後動物実験でこれは確認されていない。最近の動物実験においても、がんとの関連を示唆する証拠は見つかっていない。また、現在、10 件以上の研究が行われているが、がんとの関連を示唆する研究はない。

免疫系への影響に関しては、熱作用の影響を注意深く管理することが重要である。これについても、幾つかの動物実験が行われ、熱ストレスに起因するものと同様の影響が確認された等の報告もある。しかし、免疫機構に組み込まれた適応性に起因するのか、電波防護指針を満たすレベルの電波により、健康に悪影響を与えることを示唆する報告はない。

遺伝子関連については、電波に遺伝子障害性があるとしたこれまでの報告は、強い電磁波の照射による熱作用に起因するものと考えられる。祖ほのかにも幾つかの研究報告があるが、高周波の電磁波に、熱作用以外の作用による遺伝子障害性があるという確たる証拠は今のところ見つかっていない。

神経系への影響については、細胞のカルシウムの流出、中枢神経機能及び聴覚に関する調査、睡眠パターンの分析、神経活動に関する研究等が行われているが、健康に悪影響があるという確たる証拠は見つかっておらず、今後の研究が待たれる。電流による生理学的機能への影響については、影響がないことが確認されている。松果体のメラトニン分泌に対する影響については、さらに試験研究を進める必要があるだろう。

7.2.2 今度の試験研究項目

変調波等を含む高周波電磁波の影響に関する試験研究については、熱作用に関しては、今後とも準ミリ波あるいはミリ波などより高い周波数を中心に継続する必要がある。今後は熱作用に加え、非熱作用についても注意深く試験研究を推進する必要がある。非熱作用に関する今後の試験研究項目として挙げられるのは以下のとおりである。

(1) 物理学的影響の研究

生体に関する影響の調査の一環として、実験結果に影響を及ぼす可能性が

ある物理学的影響に関して、次の事項を検討することが望ましい。

- a) 原紙イオン化、分子間力、分子運動等に対する電磁波の影響
- b) 実験に使用する容器、溶質、溶媒に対する電磁波の影響

(2) 生物学的影響の研究

生物学的影響については、細胞実験及び動物実験により次のような実験を行う必要がある。

a) 細胞実験

細胞実験の一例としては、超低周波電磁界のばく露による細胞中のカルシウムイオンの細胞外への流出促進作用がいられているが、この現象が人体の健康に悪影響を及ぼす証拠は示されていない。今後、電磁波の作用に関し、研究を行う必要性が高い項目は次のとおりである。

- 1) 細胞周期及び細胞増殖への影響
- 2) DNA合成に対する影響
- 3) 細胞膜機能及び細胞内情報伝達系への影響
- 4) 熱ショック蛋白質発現等のストレス反応に対する影響

b) 動物実験

動物実験については次の試験研究を行う必要がある。

1) 遺伝子関連の研究

- ア) 電磁波を照射された動物に関する遺伝子障害性の研究
- イ) 電磁波を照射された動物の脳細胞の遺伝子的、形態的变化の研究

2) がんの研究

- ア) 正常の動物、あるいは発がん物質の影響下にある動物に対する長時間の電磁波照射によるがん化の研究
- イ) 担がん動物を用いたがんの進行に対する電磁波照射の影響の研究

3) 免疫系への影響

- ア) 電磁波照射の長期ばく露を含む電磁波の免疫機構への影響

4) 神経系への影響

- ア) 生理学的機能及び神経活動に関する研究
- イ) 脳の遺伝子応答の研究による細胞内情報伝達系の研究
- ウ) 脳血液関門に関する電磁波の影響
- エ) メラトニン分泌への影響

5) がん以外の脳神経疾患（てんかん、脳虚血、脳溢血）との関係

(3) 人体に関する影響

ボランティアに対し、次の調査研究を行うことが必要である。

- a) 小型無線機等からパルス性電磁波のばく露による情報伝達レベルを含む神経生理学的影響の調査
- b) 小型無線機等使用者及び基地局近傍在住者で、神経症状を訴える人に対し、パルス性電磁波ばく露による症状誘発の有無の調査
- c) パーソナル通信システムからの長期的電磁波ばく露による睡眠パターンの変化
- d) 小型無線機等からのパルス性電磁波のばく露による免疫系(リンパ球数等)への影響の調査

7.3 疫学調査

これまでに実施された疫学調査は一般人より強いレベルの電波を浴びる可能性のある職業人を対象としたもの、放送用の無線局の周辺に住む住人を対象としたもの、携帯電話の利用者を対象としたもの等かなりの数の調査が行われているが、これらの調査では、個人のばく露量が必ずしも正確に把握されていない、罹患率、死亡率への影響がはっきりと認められないなど、健康への影響に関し、結論を出すには至っていない。

しかしながら、疫学調査は電磁波が健康に好ましくない影響を与えるか否かを決定する上で重要な研究の1つである。異なる地域、民族において実施された複数の疫学調査で、同様の結果が得られるということが因果関係を判断する際の重要な基準となることから考えても、我が国でも信頼性の高い疫学調査を行うことが必要である。ただし、悪性腫瘍等に関しては、数万人以上の対象者を長期間にわたって追跡調査する必要があり、また、医療カルテの公開の問題、疫学調査に必要不可欠な患者の履歴情報の問題もあり、その実施は必ずしも容易ではない。

我が国で、悪性腫瘍等をはじめとする健康影響に関する疫学調査を行う場合には、社会的関心の高い携帯電話の利用と脳腫瘍、聴覚神経腫瘍、唾液腺腫瘍、白血病などさまざまな疾患の増加との関係を見る研究が妥当であろう。この場合、研究の信頼性を左右する最大の要因は、携帯電話による電磁波へのばく露量の時間的推移も含めた正確な把握である。

このように、悪性腫瘍等と電磁波ばく露の関係に関する疫学調査にあたっては、長期にわたって上記疾病の罹患率及び死亡率等の把握を行える研究計画を十分検討し、体制の整備を図った上で行う必要がある。

局所吸収指針等を反映した補助指針

補助指針(1): 人体が電磁界に不均一また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>、<2>(a)及び(b)、<3>(a)及び(b)、並びに<4>(a)、(b)及び(c)につい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うことが望ましい。

<1> 周波数が300MHz未満の場合

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。）

<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（旧指針の3.2.1項）以下であること。

なお、旧指針の表2あるいは表3の注1～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、旧指針の表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（旧指針の 3.2.1 項）以下であること。

なお、旧指針の表 2 あるいは表 3 の注 1 ~ 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、電磁放射線及び金属物体から 10cm 以上離れた空間のみを対象とする。

なお、旧指針の表 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、旧指針の表 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（管理指針あるいは一般環境）の電磁界強度指針（旧指針の 3.2.1 項）以下であること。

なお、旧指針の表 2 あるいは表 3 の注 1 ~ 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、旧指針の表 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）であること。

なお、旧指針の表 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

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

10kHz から 100kHz までの周波数において測定された接触電流が $10^{-3}f$ [Hz]mA 以下 (平均時間 < 1 秒)、100kHz から 15MHz までの周波数においては 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。

(b) 一般環境で接触ハザードが防止されていない場合

10kHz から 100kHz までの周波数において測定された接触電流が $4.5 \times 10^{-4}f$ [Hz]mA 以下 (平均時間 < 1 秒)、100kHz から 15MHz までの周波数においては 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。

補助指針(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。

アンテナ利得と空中線電力に基づく簡易評価法（例）

電磁界強度指針に対する電磁環境の適合性を評価する場合に、当該無線設備のアンテナ利得やその空中線電力の測定結果を基にした簡易な計算推定が、安全性の評価を確認できるので、詳細な計算やいっさいの測定による評価を行う必要はない。ここでは、計算による簡易評価法の二例を概説する。

第一の評価法は、携帯・自動車電話基地局や VHF 帯以上の電波を用いるアマチュア無線局等に適用でき、第二の評価法は、さらに大電力の無線局（基幹系の放送局等）に適用できる。

2.1 第一の評価法

遠方界領域（電磁波源からの距離 R が $2D^2/\lambda$ または $\lambda/2$ のいずれよりも遠い領域、但し D :アンテナ最大長、 λ :電波の波長）において、アンテナが最も強く電波を放射する方向の電力密度または電磁界強度は、アンテナに供給される空中線と利得から容易に計算することができる。すなわち、アンテナの入力電力を P [W]、アンテナの絶対利得を G_i [dB]とすれば、最大放射方向でアンテナから距離 R [m]の点における電力密度 S [W/cm²]との関係は次式で与えられる。

$$S = \frac{P \cdot G_i}{4\pi R^2} \quad (1)$$

ここで、 $P \cdot G_i$ は等価等方輻射電力(EIRP : Equivalent Isotropically Radiated Power)に一致する。 P_{gi} はアンテナ相対利得 G_d を基に計算される実効輻射電力(ERP : Effective Radiated Power) P_{Gd} の 1.64 倍となる。また、電磁界強度の E [V/m]、 H [A/m]と電力密度 S との関係は次式で与えられる。

$$E = \sqrt{120\pi \times S} \quad (2)$$

$$H = \sqrt{\frac{S}{120\pi}} \quad (3)$$

アンテナは電波の発射確度に依存する指向性を有し、最大放射方向以外では利得が減少する。アンテナがある高さを持ったタワー上に設置されるような場合、アンテナの最大放射方向は一般に水平面を向き、タワー基礎部等の一般人が立ち入るアンテナ近接領域を向いていない。式(1)で計算して得られる電力密度の電磁界が、アンテナを中心として半径 R の球面上に均一に形成されると仮定すれば、最大放射方向の水平面以外での実際の電磁界強度は、計算値よりずっと低い値となる。その低下量は、アンテナの指向性減衰量に依存し、タワーの基礎部方

向ではつうじょう 10dB 以上となる。そこで、式(1)で求めた電力密度が電磁界強度指針値に一致するような距離 R' を半径として形成した球空間外側の一般人が立ち入る領域は、管理指針値を十分に下回る電磁環境となる。従って、半径 R' の球空間に一般人が立ち入れないような状況が確保されていなければ、電磁界防護指針は満足されると判断できる。例えばある EIRP のアンテナについて、アンテナタワー高 k から成人の身長（最大 2m 程度）を減じた値が R' 以上であれば指針は十分満足される（すなわち、タワー高 $> R'+2m$ の場合）。

なお、式(1)は遠方界領域でのみ成立するので、近傍界領域（遠方界領域とならない領域： $R < 2D^2/\lambda$ または $\lambda/2$ 、但し D ：アンテナ最大長、 λ ：電波の波長）にも拡張して適用すると、携帯・自動車電話基地局等のアンテナのような多素子アンテナの場合、近傍界領域での実際の電力密度は式(1)で求めた値より低い値となる。このため、管理指針値に一致する電力密度を与える距離として式(1)から求めた R' が多素子アンテナの近傍界内となる場合には R' に基づく評価はより安全側の評価結果を与える。

（評価の具体例）

図 1 及び図 2 はそれぞれ、一般環境及び管理環境の管理指針値と一致するような電力密度を形成する EIRP と距離 R の関係を式(1)を用いて計算した結果の一例である。携帯・自動車電話と MCA 基地局及びポケットベル基地局の評価に適用できる。人が立ち入れる空間とアンテナとの最短距離 R と EIRP 値が、図中の計算結果を示す。各線を越えないような環境が確保されていれば、実際の電磁界測定等の詳細な電磁環境評価を実施する必要はない。しかし、この条件が満足されない可能性があるときには、詳細な計算評価もしくは測定評価が必要である。

なお、図 3 及び図 4 は、最大放射方向（主ビーム放射方向）について EIRP もしくは ERP をパラメータとして、アンテナからの距離と電力密度の関係を式(1)で計算した結果を示す。これらの図から、個々のアンテナ放射について最大電力密度を容易に読みとることができる。

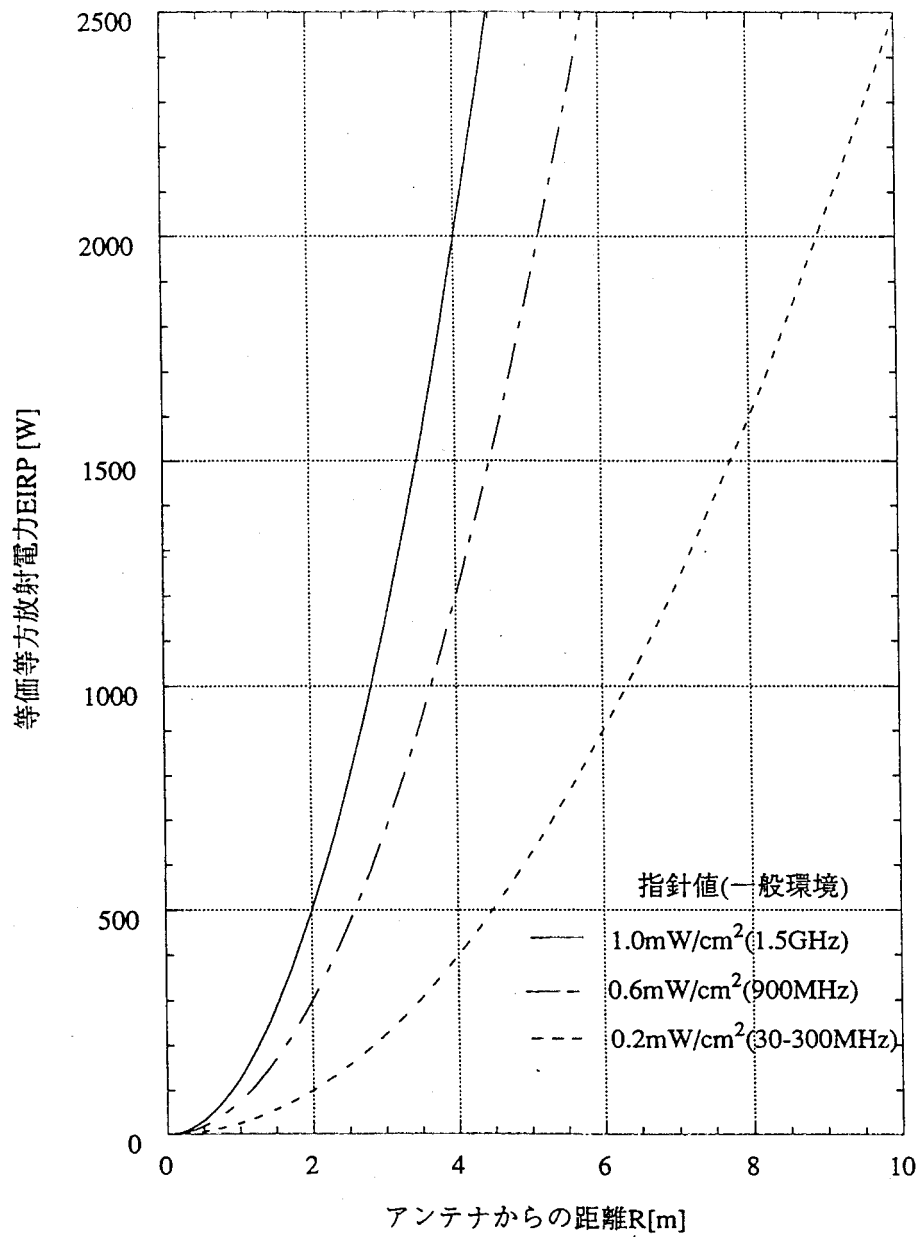


図1 指針値を満たす等価等方放射電力 EIRP とアンテナからの距離 R の関係 (一般環境)

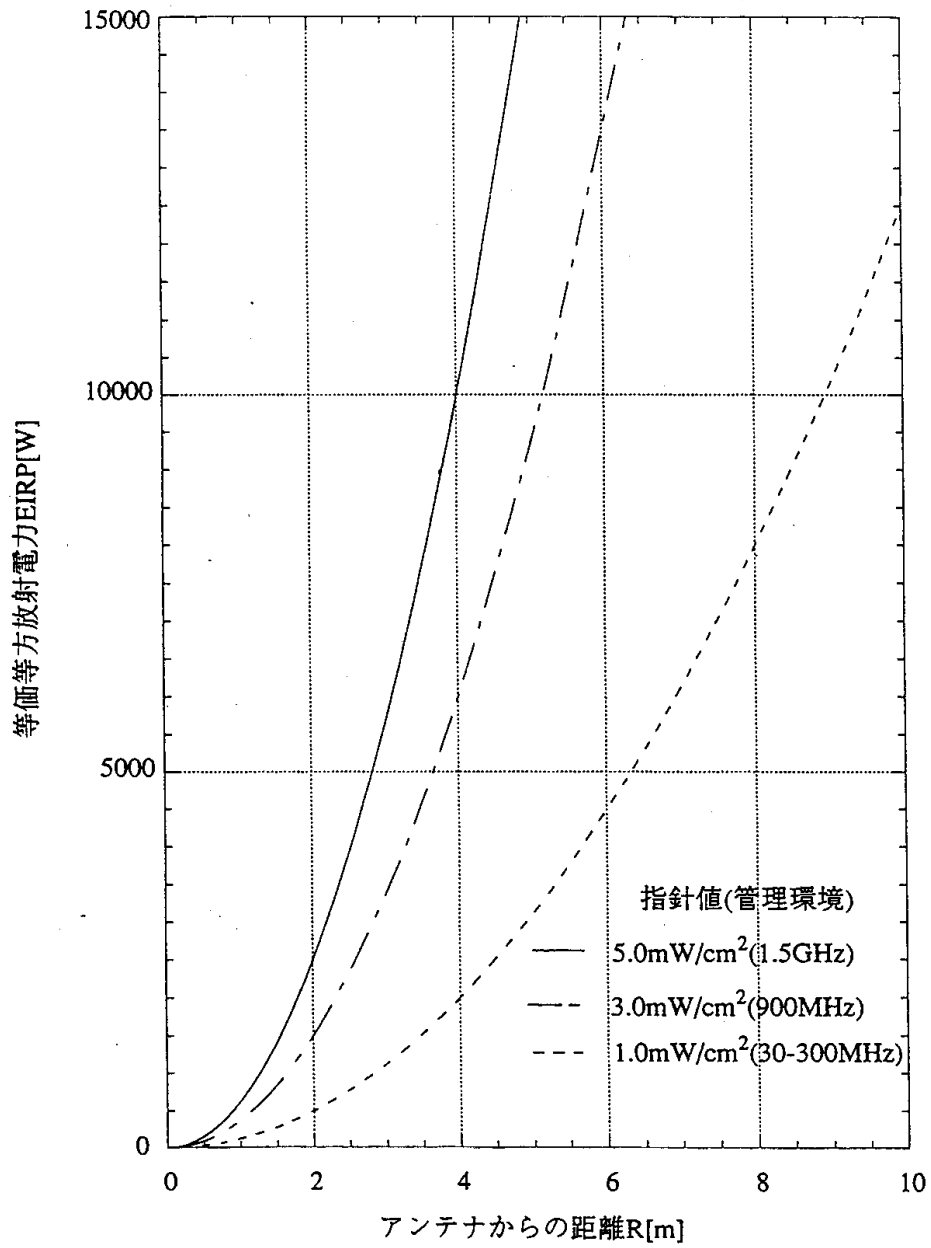


図2 指針値を満たす等価等方放射電力 EIRP とアンテナからの距離 R の関係 (管理環境)

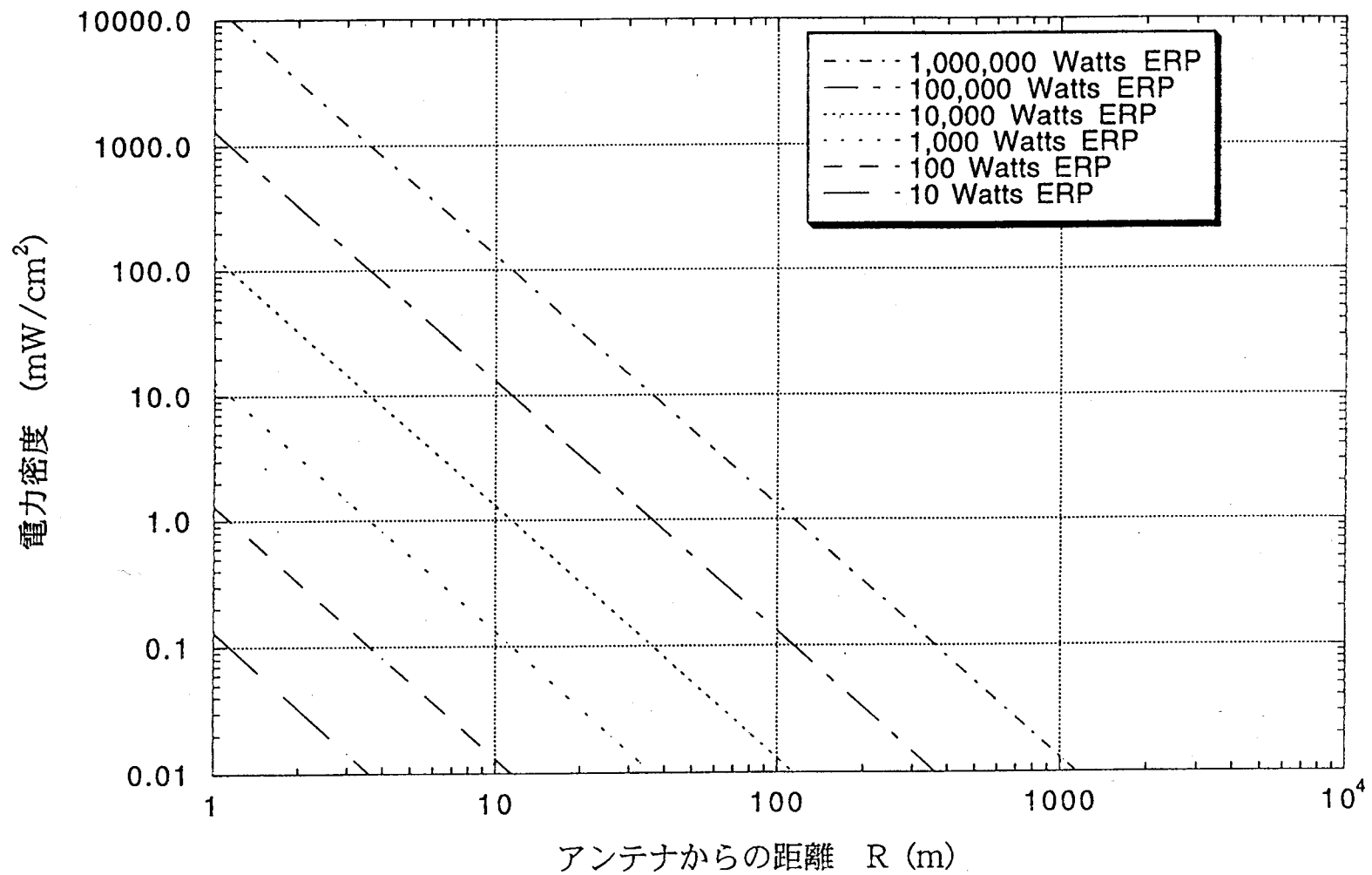


図3 電力密度とアンテナからの距離 R との関係 (ERP)
(最大放射方向で、大地反射なしの場合)

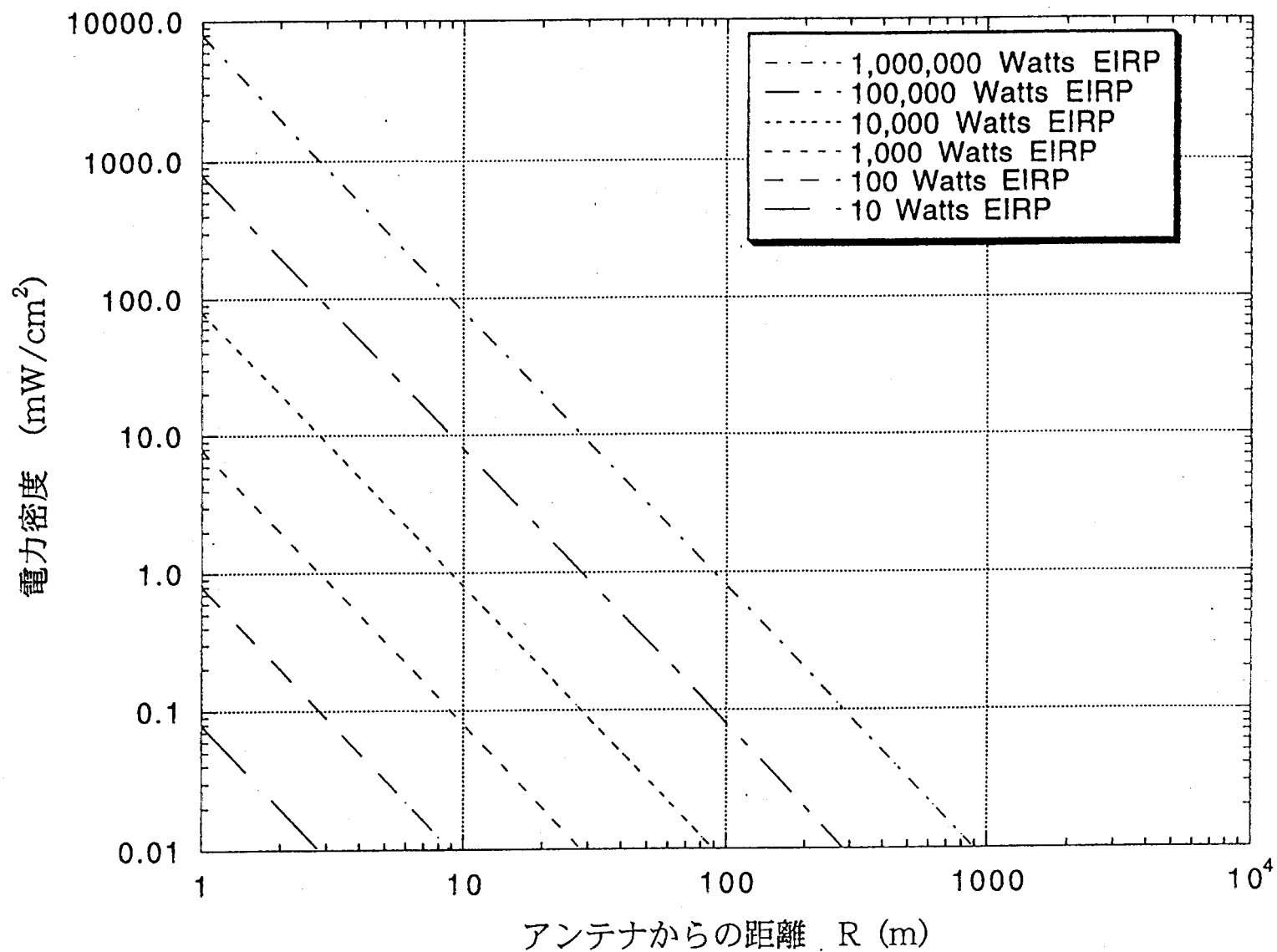


図4 電力密度とアンテナからの距離 R との関係 (EIRP)
(最大放射方向で、大地反射なしの場合)

2.2 第二の評価法

放送局等の場合には、アンテナ指向性減衰量特性を考慮した簡易計算を行うことができる。このとき式(1)は次式のように修正される。

$$S = \frac{P \cdot Gi}{4\pi A_{\theta} R^2} \quad (4)$$

ここで、 $1/A_{\theta}$ は当該アンテナの垂直面内指向性減衰量特性であり、水平面を 0° として下方にとった俯角 θ の関数である。

一方、中波放送局等の近傍電磁界は、アンテナからの距離が波長に比べて短いため、式(4)に代わって電気通信技術審議会諮問第 38 号の答申（平成 2 年 6 月）に示されている次式を用いて行うことができる。

$$E_z = \frac{300\sqrt{Pt \cdot Gt} A_z}{R(1 - \cos 2\pi H_{\lambda})} \quad (5)$$

$$\text{ただし、 } A_z = \sqrt{\left(\frac{r_{\lambda}}{r_{2\lambda}}\right)^2 - 2\left(\frac{r_{\lambda}}{r_{2\lambda}}\right)\cos(2\pi H_{\lambda})\cos 2\pi(r_{2\lambda} - r_{\lambda}) + \cos^2 2\pi H_{\lambda}}$$

TV、中波放送等の一般環境について ERP あるいは送信電力をパラメータとして計算した結果を図 5 から図 7 に示す。

図 5 と図 6 は、TV、FM 局について式(4)で計算した結果である。ここで垂直面指向性減衰量としては、-20dB 程度が得られているので、これにさらに 10dB 程度のマージンを見込み $1/A_{\theta}$ として -10dB を用いた。

図 7 は、中波の代表的なアンテナ高として 100m を想定した場合の式(5)に基づいた計算結果であり、アンテナ基部からの距離と送信電力との関係が周波数をパラメータとして読みとることができる。

これらの結果より、詳細な計算評価や実測評価を必要としない無線局を明確化できる。

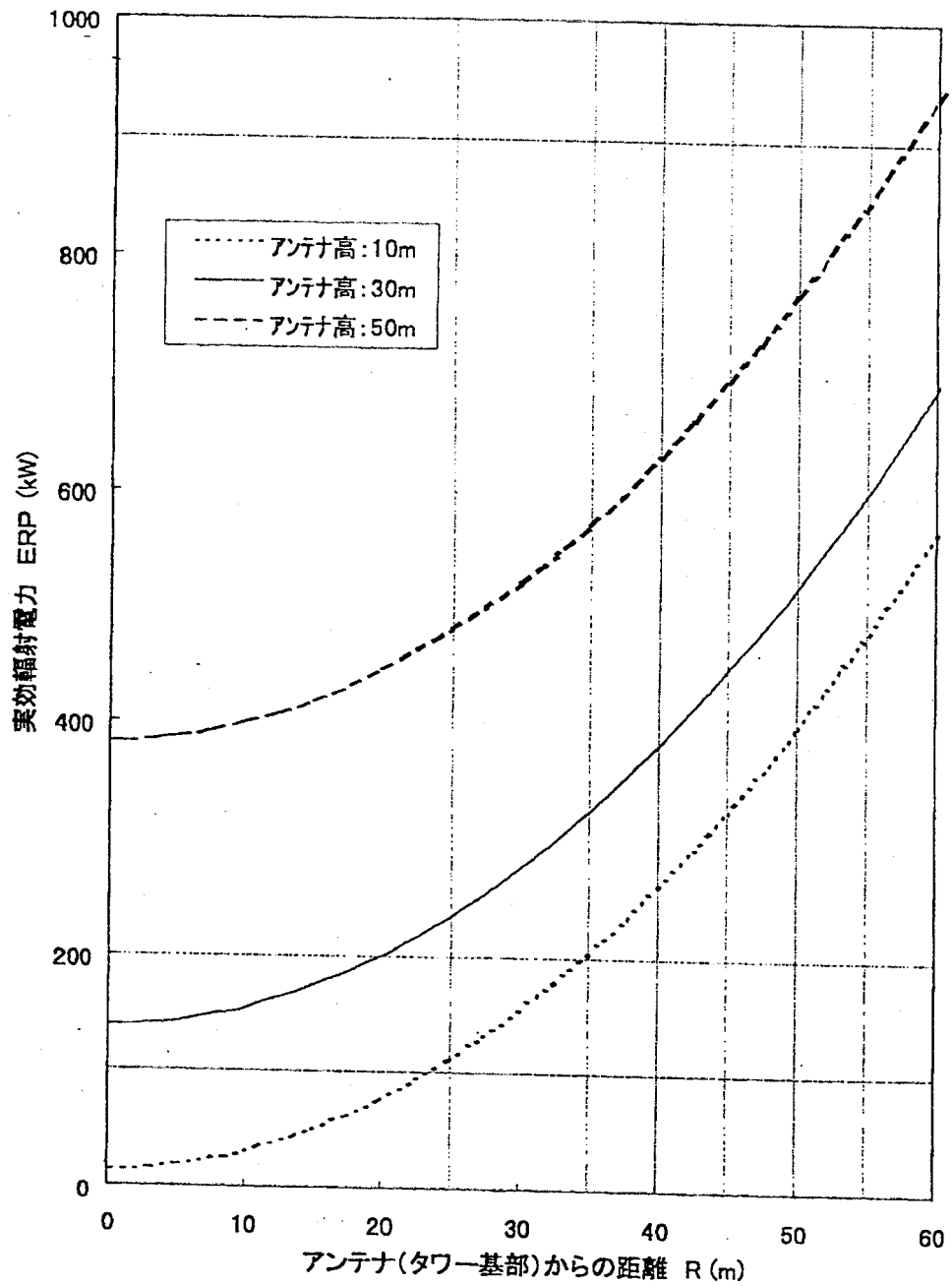


図5 VHF(TV,FM) 指針値を満たす実効輻射電力 ERP とアンテナからの距離 R の関係 (一般環境)

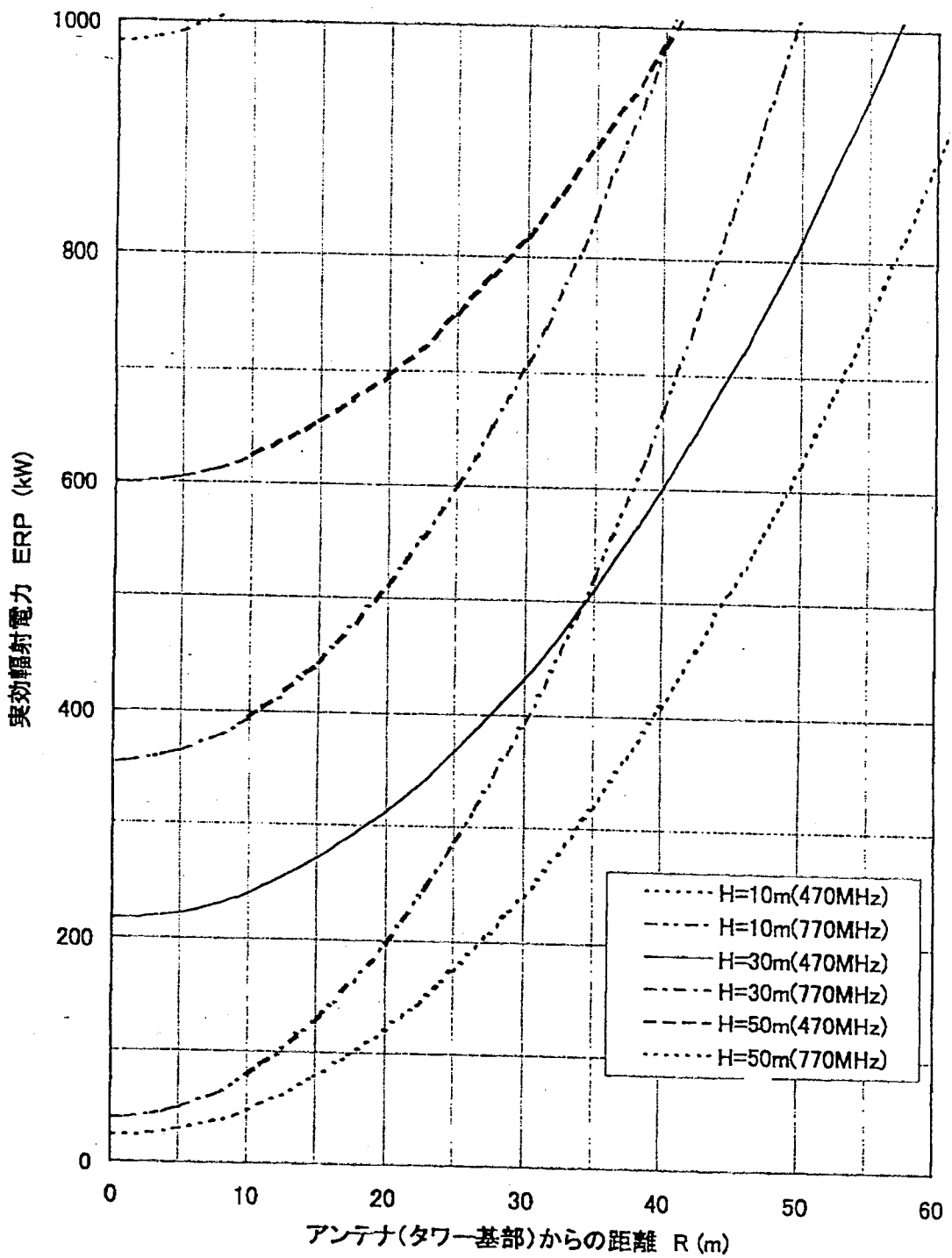


図6 UHF(TV)指針値を満たす実効輻射電力 ERP とアンテナからの距離 R の関係 (一般環境)

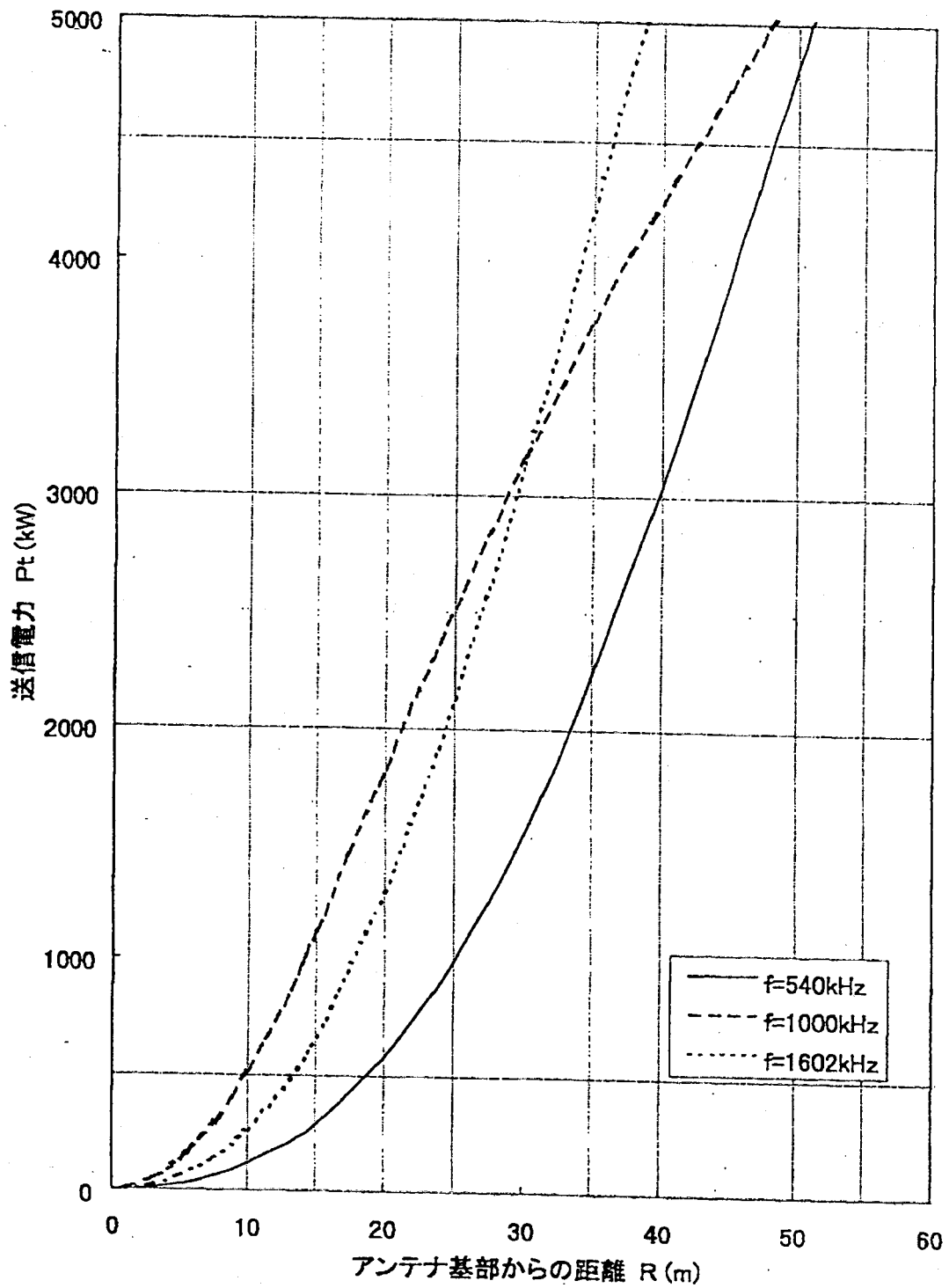


図7 中波 指針を満たす送信電力 P_t とアンテナからの距離 R の関係
($H=100\text{m}, G_t=1.6$) (一般環境)

(参考)

電波防護指針を満たすと考えられる携帯型の無線局

一般環境(条件G)においては、空中線電力が平均電力で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(条件P)においては、空中線電力が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。

(根拠)

2W/kg(条件G)の指針値を10g当たりの電力で考えると20mW、
10w/kg(条件P)の指針値を10g当たりの電力で考えると100mW。

付録1 局所吸収指針の背景・根拠

1. 低電力放射源に関する指針見直しの背景

従来の防護指針では、携帯無線機等に関係するものとして「100kHz から 3GHz までの周波数において定格出力 7W 以下の電磁放射源に関しては、通常の使用状態では基礎指針を満たすものと考えられ、管理指針及び他の補助指針での評価を要しない。」という低電力の電磁放射源に関する指針（補助指針(4)）が定められていた。

その根拠は、800MHz 帯の携帯無線機を用いた頭部モデル実験では通常の使用距離で基礎指針 4 (a)の局所 SAR8W/kg 以下を満たしており、また、均質球モデルによる 3GHz までの実験によれば周波数 3GHz 以下でアンテナから 7cm 以上の距離ならば基礎指針 4(a)を満たしている、というものであった。

アンテナと人体の距離を 7cm 未満に近づけても、周波数が 3GHz より低い場合や通話が短時間の場合、さらには定格出力を 7W より低く抑えた場合には、基礎指針 4(a)を超えないようにすることができる。しかし、この点について旧指針(1990)では注意を喚起するにとどまり、具体的な記述ができなかった。

近年の携帯電話端末の小型化と普及は、当時とは全く異なる状況を生んでいる。そのため、従来の低電力放射源に関する指針は、現在は適用困難な状況になっている。

一方、米国 ANSI では、諸外国の研究成果に基づくドシメトリ分野や生物学的分野における新たな知見等を踏まえ、1992 年に大幅な改定を行い（ANSI/IEEE C95.1(1992)）、低電力機器について 450MHz 以上では周波数に応じて出力を下げること、電磁放射源と人体の距離 2.5cm まで適用可能な除外条項を定めている。さらに、旧版の ANSI 勧告とは異なり、管理環境と非管理環境の 2 段階とし、非管理環境では出力の上限を管理環境の 1/5 にしている。現在の携帯電話は、これまでの研究により基礎指針 4(a)の 1/5 の値を満たすとされている。

しかしながら、アンテナと人体の距離が数 cm 以下になると、アンテナと人体との結合状態が携帯電話端末の機種ごとに大きく異なり、一般的に論じることが困難となる。そこで、最近の SAR 測定技術の進歩に伴い、機種ごとに局所 SAR を直接チェックする方法が各国で検討され、強制規格として採用される動きがある。

以上の理由から、我が国でも補助指針(4)にかわり、管理指針の中での局所 SAR による指針を早急に整備する必要がある。

2 局所吸収指針の新設と指針の新しい構成

従来の低電力放射源に関する指針（補助指針(4)）を削除し、新たな項目として局所 SAR に基づいた指針「局所吸収指針」を新設する。これは補助指針(4)よりも広範囲の内容を持つので、従来の管理指針（電磁界強度指針・補助指針）と並立する項目として位置づけされる。

また、今回新たに導入される「局所吸収指針」においても、一般の利用者に対

して、より高い安全率を考慮してきている従来の管理指針においての考え方(条件G)と同様に、対象者カテゴリーを二つ(管理環境・一般環境)に分ける。(図8)

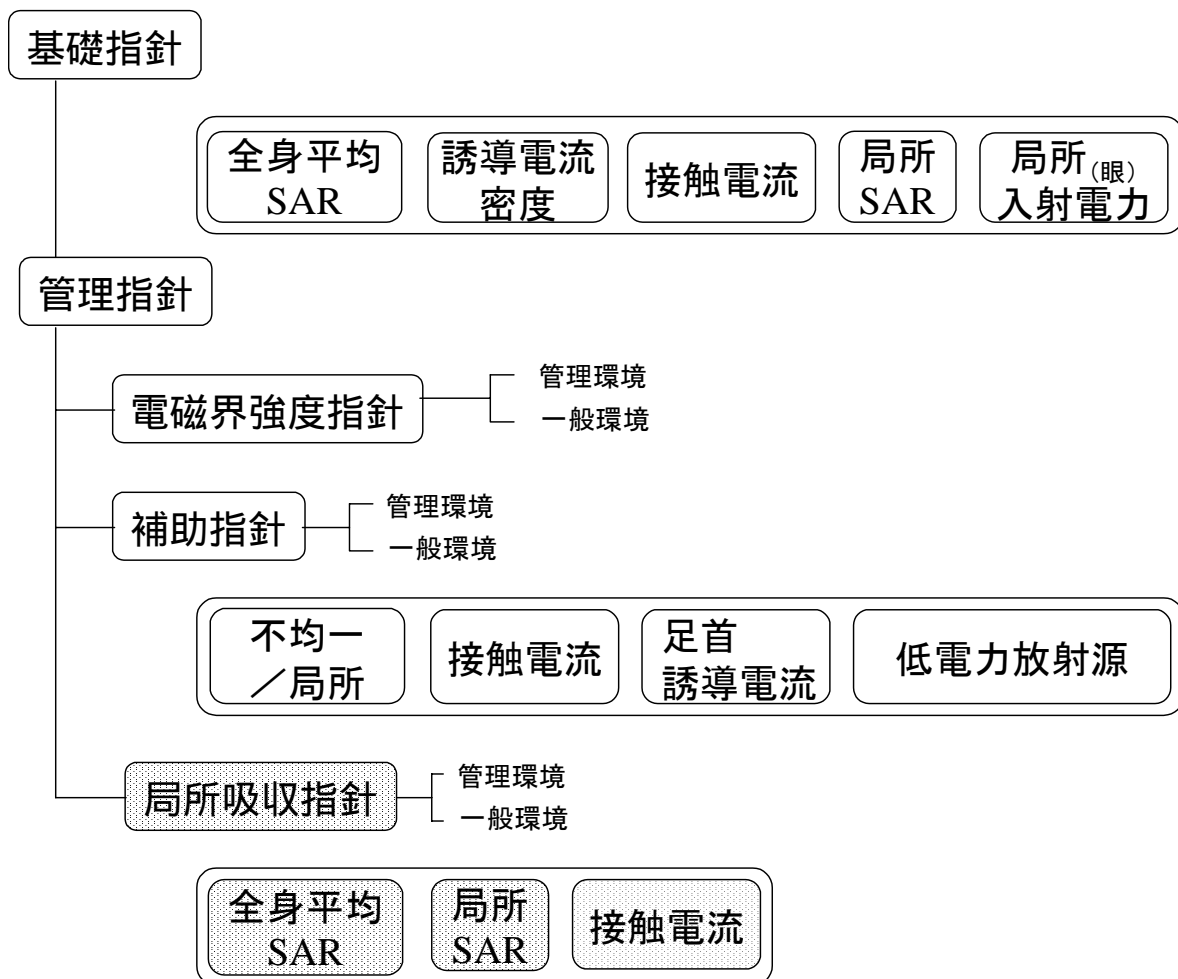


図8 電波防護指針の構成(改正案)

3 「局所吸収指針」の根拠

(a) 管理環境

<1>の根拠

従来の指針の基礎指針 1 及び IRPA/INIRC(1988)における職業的ばく露での基本制限値の全身平均 SAR に関する指針値と同じ値である。

<2>の根拠

局所 SAR に関して、基礎指針では注意事項として「任意の組織 1g 当たりの 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。」としていた。しかし、基礎指針の内容が、具体的に適用される状況においては、計測技術との整合性を考慮する必要がある。

平成 8 年 4 月に国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) により示された『携帯電話に関する健康問題』についての声明において、ICNIRP は任意の組織 1g のブロックでの高分解能計測が必要であるという根拠は明確でなく、身体組織の熱拡散を考慮すれば、任意の組織 10g のブロックの方が生理学的な意味からも、計測上の選択肢の広さからも望ましいと結論している。

なお、動物実験等を含む各種の研究が ICNIRP の指針値に基づいて行われているが、この指針値以下の電磁波のレベルでがんを含めて健康への悪影響が生じるとの科学的な証拠は示されていない。

以上より、ICNIRP の声明で勧告されている局所 SAR 指針値を局所吸収指針値に用いた。

さらに、最近の研究によれば、携帯電話の使用時において、表皮を除く組織 1g あたりの平均した局所 SAR の最大値 (基礎指針の体表を除いた 1g 平均の値) と、体表も含めた頭部全体での任意の 10g の組織で平均した局所 SAR の最大値 (局所吸収指針の四肢を除く 10g 平均の値) はほぼ同程度であることが明らかにされている。

したがって、今回の修正に係る数値は、従来の防護指針値の数値と本質的な差はないものといえる。

なお、局所 SAR に関する評価は、携帯電話端末のように身体に密着して使用する機器の場合には必須のものであり、本質的に差異のない限りにおいて、指針値の国際的な整合を図ることは、計測技術に関する研究体制の確保、機器の国際的な自由流通を促進する視点からも、重要視されるべきである。

<3>の根拠

基礎指針 3 の周波数 100kHz ~ 100MHz までの指針値である。

(b) 一般環境

一般環境では、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。一般環境では、このような使用者、使用状況のばらつきも考慮し、管理指針に比べて電力・SAR で 1/5 倍 (電流で $1/\sqrt{5}=1/2.24$ 倍) の安全率を付加的に考慮した。ICNIRP の指針・声明などでも、一般公衆のばく露限界を

職業的なばく露に比べて同じ電力・SAR で 1/5 倍の付加的な安全率をもうけている。

<1>の根拠

管理環境に比べ、SAR で 1/5 倍の安全率を考慮した。

<2>の根拠

管理環境に比べ、SAR で 1/5 倍の安全率を考慮した。

<3>の根拠

管理環境に比べ、電流値で 1/2.24 倍の安全率を考慮した。

4. 「局所吸収指針の適用範囲」についての補足

「電磁放射源（アンテナ）や金属（筐体等）と人体の距離が、周波数 300MHz 未満で 20cm 以内、周波数 300MHz 以上 3GHz 未満で 10cm 以内」というのは、もともと電磁界強度指針及び補助指針の方の測定距離の限界に由来するものである。これは、波長及び測定用アンテナや測定プローブのサイズに依存している。

携帯電話等の場合、たとえ微少プローブを用いてごく近傍の電磁界を測定したとしても、人体が数 cm まで近づいたときと放射条件が異なるので、電磁界測定による正確なばく露評価は困難となる。

（参考） 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) 10kHz から 100kHz までの周波数では、組織内の誘導電流密度が $0.35 \times 10^{-4}f[\text{Hz}]\text{mA}/\text{cm}^2$ 以下（平均時間 < 1 秒間）
- (3) 10kHz から 100kHz までの周波数では、接触電流などの体外からの流入電流が $10^{-3}f[\text{Hz}]\text{mA}$ 以下（平均時間 < 1 秒間）であること。また、100kHz から 100MHz 間での周波数では、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) 平均電力 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 当たりの 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 分間平均値）が $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下であることが望ましい。

略 語 等

ANSI(American National Standards Institute)

「米国規格協会」

米国内の各種自主規格の作成作業を調整する機関であり、国際標準化活動において米国を代表している。

ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)

「国際非電離放射線防護委員会」

国際非電離放射線防護委員会は、1992年5月に国際放射線防護委員会(IRPA: International Radiation Protection Association)によって設立された独立組織であり、電界、磁界、電波、紫外線より波長の長い全ての光、可聴音を除く音波の人体安全性に関して、社会的な配慮を排除して純粋に科学的な立場から安全性と検討し勧告を行うことを任務とした組織である。ICNIRPはIRPAの他、世界保健機構(WHO)等と協力して活動している。

IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)

「米国電気電子技術者協会」

米国及び世界の電気電子工学の研究を促進する目的で設立された、世界最大の技術者団体。

CENELEC(Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique)

「欧州電気標準化委員会」

欧州における電気分野の統一的な標準作りを行っている組織。

FCC(Federal Communications Commission)

「連邦通信委員会」

米国の有線及び無線通信(国が運用するものを除く)を管理する独立行政機関。

WHO(World Health Organization)

「世界保健機関」

保健衛生の分野を担当する国連の専門機関。

各国の国民の健康・環境影響等に関して、専門家の国際的研究の見解を集大成した、環境保健クライテリア(EHC: Environmental Health Criteria)等の一連の文書を刊行している。

【参考文献】

- (1) WGMTE of CENELEC, "Safety considerations for human exposure to e.m.fs 30MHz – 6GHz" ,European Committee for Electrotechnical Standardization SECRETARIAT TC211/B, 1995.
- (2) ANSI/IEEE, "IEEE recommended practice for the measurement of potentially hazardous electromagnetic fields, 3kHz to 300GHz" ,ANSI/IEEE C95.3 – 1992.
- (3) Ceaveland RF Jr, Athy TW, "Specific Absorption Rate(SAR) in Model of the Human Head Exposed to Hand-held UHF Portable Rsdios", Bioelectromagnetics 10, pp.173 – 186,1985.
- (4) Kobayashi T, Nojima T, Yamada K, Uebayashi S, "Dry Phantom Composed of Ceramics and Its Application to SAR Estimation" ,IEEE Trans. on MTT, vol. MTT – 41, pp.136 – 140, 1993.
- (5) 鈴木、野島、垂澤、 "固形状誘電体と電界プローブを用いた SAR 測定装置", B-4-50, 1997 電子情報通信学会総合大会
- (6) Balzano Q, Garay O, Manning TJ, "Electromagnetic Energy Exposure of Simulated Users of Portable Cellular Telephones" ,IEEE Trans. on VT, vol.44, pp.390-493, 1985.
- (7) Kuster N, "Messung und Berechnung zur absorbierten Hochfrequenzenergie bei koerpernah betriebenen Antennen" ,in Schutz vor electromagnetischer Strahlung beim Mobifunk, SSK, Ed., pp.107-125, 1992
- (8) Hambach V, et al, "The Dependence of Em Emergy Absorption Upon Human Head Modering at 900MHz", IEEE Trans. on MTT, vol. 44 no. 10, pp. 1865-1873, oct. 1996
- (9) Guy AW, Chou C, "Specific Absorption Rates of Energy in Man Models Exposed to Cellular UHF Moblie Antenna Fields" ,IEEE Trans. on MTT, vol. MTT-34, pp.671-680, 1986
- (10) Nojima T, Nishiki S, Kobayashi T, "An Experimental SAR Estimation of Human Head Exposure to UHF Near Fields Using Dry-Phantom Models and a Thermograph" ,IEICE Trans. COMMUN., vol. E77-B, no.6, pp.708-713, 1994
- (11) Kobayashi T, et al, "Dry Phantom Composed of Ceramics and Its Application to SAR Estimation", IEEE Trans, on MTT-41, pp.136-140, Jan.1993.
- (12) Hochuku C, "Procedures for Evaluating Nonperturbing Temperature Probes in Microwave Fields", FDA81-8143, MD 20857, 1981.
- (13) Kuster N, Balzano Q, "Energy Absorption Mechanism by Biological Bodies in the Near Field Reflected off Dipole Antennas Above

- 300MHz” ,IEEE Trans. on VT, vol.41, no.1, pp.17–23, Feb. 1992.
- (14) Hankui E, Harada T, “SAR Estimation with Corrections for Effects of the Magnetic Field Reflected off a Human–Model Surface” ,Proceedings of ISAP 96, Japan, pp.1277–1280, 1996.
 - (15) Foster K, Schwan H, “Dielectric Properties of Tissues” in “Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields”, CRC Press, Boca Raton, FL, pp.27–96, 1986
 - (16) Guy AW, “Analyses of Electromagnetic Fields Induced in Biological Tissues by Thermographic Studies on Equivalent Phantom Model”, IEEE Trans, on MTT, vol.19, pp.205–214, 1971.
 - (17) Hartgrove G, Klaszewski A, Surowiec A, “Simulated Biological Materials for Electromagnetic Radiation Absorption Studies”, Bioelectromagnetics, 8, pp.29–36, 1987.
 - (18) Tamura H, Ishikawa Y, Kobayashi T, Nojima T, “A Dry Phantom Material Composed of Ceramic and Graphite Powder”, IEEE Trans. on EMC, May 1997 to be published.
 - (19) Gabriel C, “Physical models for Experimental EM Dosimetry”, Proceeding of an International Workshops on Voxel Phantom Development, NRPB, 6–7 July 1995.
 - (20) C. C. Johnson and A. W. Guy: “Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems”, Proc. IEEE, 60, 6, pp.692–718 (1972).
 - (21) Chatterjee, M. J. Hagmann and O.P.Gandhi: “Electromagnetic–energy deposition in an inhomogeneous block model of man for near–field irradiation conditions”, IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT–28, 12, pp. 1452–1459(1980).
 - (22) 雨宮、上林 “半波長アンテナ近傍の人体頭部模擬球体内部の吸収電力分布”, 信学論(B), J66–B, 9, pp.1115–1122(1983).
 - (23) R. W. P. King: “Electromagnetic field generated in model of human head by simplified telephone transceiver”, Radio Sci., 30, 1(1995).
 - (24) C. H. Durney: “Electromagnetic dosimetry for models of humans and animals : a review of theoretical and numerical techniques”, Proc. IEEE, 68, 1, pp. 33–40(1980).
 - (25) A. Lakhtakia, M. F. Iskander and C. H. Durney : “An iterative extended boundary condition method for solving the absorption characteristics of lossy dielectric objects of large aspect ratios”, IEEE Trans, Microwave Theory & Tech., MTT–31, 8, pp.640–647(1983).
 - (26) 山田、益子、越場、沢谷、安達 “人体モデルと近傍ダイポールアンテナとの電磁相互作用 表面インピーダンス法による解析 ”, 信学論(B), J71 –B, 2, pp. 246-255(1988).
 - (27) D. E. Livesay and K. – M. Chen: “Electromagnetic fields induced inside

- arbitrarily shaped biological bodies”, IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT –22, 12, pp.1273 –1280(1974).
- (28) J. F. Deford, O. P. Gandhi and M. J. Hagmann: “Moment –method solutions and SAR calculations for inhomogeneous models of man with large number of cells”, IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT –31, 10, pp.848 –851(1983).
- (29) D. T. Borup and O. P. Gandhi: “Fast –fourie –transform method for calculation od SAR distributions in finelt discretized inhomogenous models of biological bodies”, IEEE Trans, Microwave Theory & Tech., 32, 4, pp.355 –360(1984).
- (30) K. S. Kunz and R. J. Luebbers: “The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics”, CRC Press, Boca Raton, Florida(1993).
- (31) M. A. Jensen and Y. Rahmat –Samii: “EM interaction of handset antennas and a human in personal communications”, Proc. IEEE, 83, 1, pp. 7-17(1995).
- (32) I. Chatterjee, O. P. Gandhi, M. J. Hagman and A. Riazi: “Plane –wave spectrum approach for the calculation of electromagnetic absorption under near –field exposure conditions”, Bioelectromagn., 1, pp.363 –377(1980).
- (33) I. Chatterjee, M. J. Hagmann and O. P. Gandhi: “Electromagnetic absorption in a multilayered slab model of tissue under near –field exposure conditions”, Bioelectromagn., 1, pp.379 –388(1980).
- (34) A. Hizal and Y. K. Baykal: “Heat potential distribution in an inhomogeneous spherical model of a cranial structure exposed to microwaves due to loop or dipole antennas”, IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT –26, 8, pp.607 –612(1978).
- (35) M. F. Iskander, P. W. Barder, C. H. Durney and H. Massoudi: “Irradiation of prolate spheroidal models of humans in the near field of a short electric dipole”, IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT –28, 7, pp.801 –807(1980).
- (36) A. lakhtakia, M. F. Iskander, C. H. Durney and H. Massoudi: “Near –field absorption in prolate spheroidal models of humans exposed to a small loop antenna of arbitrary orientation”, IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT –29, 6, pp.588 –594(1981).
- (37) A. Lakhtakia and M. F. Iskander: “Scattering and absorption characteristics of lossy dielectric objects exposed to the near fields of aperture sources”, IEEE Trans. Antennas & Propag., AP –31, 1, pp.111 –120(1983).
- (38) M. F. Iskander, S. C. Olson and J. F. Mccalmont: “Near –field absorption characteristics of biological models in the resonant frequency range”, IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT –35, 8, pp.776 –780(1987).

- (39) S. Watanabe, M. Taki and Y. Kamimura: "Frequency characteristics of energy deposition in human model exposed to near field of an electric or a magnetic dipole", *IEICE Trans. Commun.*, E77 –B, 6, pp. 725 –731(1994).
- (40) S. Watanabe and M. Taki: "SAR distribution in a human model exposed to electromagnetic near field by a short electric dipole", *IEICE, Trans. Commun.*, E79 –B, 1, pp.77-83(1996).
- (41) P. J. Dimbylow: "SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900MHz and 1.8GHz", *Phys. Med. Biol.*, 39, pp. 1537 –1553(1994).
- (42) M. Okoniewski and M. A. Stuchly: "A study of the handset antenna and human body interaction", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, 44, 10, pp. 1855 –1864(1996)
- (43) S. Watanabe, M. Taki, T. Nojima and O. Fujiwara: "Characteristics of the SAR distributions in a head exposed to electromagnetic fields radiated by a hand –held portable radio", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, 44, 10(1996).
- (44) O. P. Gandhi, G. Lazzi and C. M. Furse: "Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900MHz", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, 44, 10, pp. 1884 –1897(1996).
- (45) D. M. Sullivan, D. T. Borup and O. P. Gandhi: "Use of the finite–difference time–domain method in calculating EM absorption in human tissues", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME–34, 2, pp.148–157(1987).
- (46) Szmigielski S, Szudzinski A, Pietraszek A, Bielec M, Wrembel JK: "Accelerated development of spontaneous and benzopyrene–induced skin cancer in mice exposed to 2450MHz microwave radiation." *Bioelectromagnetics*; 3, p.179.(1982).
- (47) International Commission on Non–Ionizing Radiation Protection: "Health issues related to the use of hand–held radiotelephones and base transmitters", *Health Physics* 70: pp.587–593.(1996)
- (48) Salford Lg, Brun A, Persson BRR, Eberhardt J: "Experimental studies of brain tumor development during exposure to continuous and pulses 915 MHz radiofrequency radiation". *Bioelectrochem Bioenerget*; 30, pp 313–318.(1993)
- (49) Adey WR, Byus CV et al: "Brain tumor incidence in rats chronically exposed to digital cellular telephone fields in an initiation–promotion model", June 1996 Victoria meeting of the Bioelectromagnetic Society.(1996)
- (50) Fitzner R, Langer E et al: "Long–term influence of high frequency electromagnetic field on growth behavior of HL60 cells to investigate cancer promoting effects", June 1996 Victria meeting of the Bioelectromagnetic Society.(1996)

- (51) European Commission Expert Group: “Possible health effects related to the use of radiotelephones”, pp47–48(1996)
- (52) Liddle CG, Putnam JP, Ali JS et al: “Alteration of circulating antibody response of mice exposed to 9 GHz pulsed microwaves”, *Bioelectromagnetics*; 1, pp.397–404.(1980)
- (53) Garaj–Vrhovac V, Horvat D, Koren Z: “The effect of microwave radiation on the cell genome”, *Mutat Res*; 243, pp.87–93(1990)
- (54) Eberle P, Erdtmann–Vourliotis M, Diener A et al: “Zellproliferation, Schwesterchromatidaustausche, Chromosomenaberrationen, Mikrokerne und Mutationsrate. FGF”, *Newsletter Edition Wissenschaft*; No 4; pp.5–15.(1996)
- (55) NRPB: “Electromagnetic fields and the risk of cancer, Report of an Advisory Group on Non–ionizing Radiation, National Radiological Protection Board”, *Doc. NRPB*, 3, No.1, pp.1–138.(1992)
- (56) Dolk H, Shaddick G, Walls P et al: “Cancer Incidence near Radio and Television Transmitters in Great Britain”, *American Journal of Epidemiology*, 145, No.1, pp.1–17.(1997)
- (57) 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” : (1990)
- (58) 人体の電波防護指針の在り方に関する調査研究会 : “人体の電波防護の在り方に関する調査研究報告” : (1996)
- (59) Institute of Electrical and Electronics Eng. Inc. : “IEEE Standards for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz”, ANSI C95.1–1992.
- (60) FCC, “FCC Releases Report of Study on Radiofrequency Fields” : Public Notice(1995).
- (61) International Commission on Non–Ionizing Radiation Protection(ICNIRP)”, *Guideline on Limits of Exposure to Time–Varying Electric, Magnetic and Radiofrequency Electromagnetic Fields, 1Hz to 300GHz*” (1996)
- (62) CENELEC, “Safety Consideration for Human Exposure to E.M.S.Fs from Mobile Telecommunication Equipment(MTE) in the Frequency Range 30MHz–6GHz” (DRAFT)