

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
報告概要

諮問第2035号「電波防護指針の在り方」のうち
「吸収電力密度の指針値の導入等」について

検討の背景(第1章関連)

電波を利用する機器・システムは、社会・経済基盤として重要な役割を果たしており、日常生活のあらゆる分野において電波利用が浸透している。このような中で、電波が人体の健康に好ましくない影響を及ぼすのではないかとという不安や疑問も提起されている。

そこで、我が国では、電波防護指針において人体の健康に好ましくない影響を及ぼさない電波の強さの指針値等が定められている。この電波防護指針に基づき電波法令による規制を設けることで、我が国における電波の安全性が確保されている。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として、電波の強さが人体の健康に好ましくない影響（生体作用）を及ぼさないレベルであるかどうかの指針を示すものであり、これまでの答申は次のとおり。

時期	答申	主な内容
平成2年6月	電気通信技術審議会答申「電波利用における人体の防護指針」（諮問第38号）	基本的な考え方とそれに基づく指針値
平成9年4月	電気通信技術審議会答申「電波利用における人体防護の在り方」（諮問第89号）	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（局所吸収指針の追加）
平成23年5月	情報通信審議会から答申された「局所吸収指針の在り方」（諮問第2030号）	SAR（比吸収率）の適用上限となる周波数を3GHzから6GHzに変更
平成27年3月	情報通信審議会一部答申「電波防護指針の在り方」（諮問第2035号）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」	低周波領域の指針値に関する国際ガイドラインへの調和
平成30年9月	「電波防護指針の在り方」（諮問第2035号）のうち、「高周波領域における電波防護指針の在り方」	6GHz以上の周波数に係る入射電力密度の指針値の導入

米国電気電子学会（IEEE）の国際電磁界安全委員会（ICES）が令和元年に改正したC95.1規格（0Hz～300GHzの電界、磁界及び電磁界への人体のばく露に関する安全レベル）や、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）が令和2年に改正した電磁界（100 kHz～300 GHz）へのばく露の制限に関するガイドラインにおいて、6 GHzを超える周波数について吸収電力密度の指針値が定められたことを踏まえ、我が国の電波防護指針を国際ガイドラインと調和させることを念頭に、「吸収電力密度の指針値の導入等」について検討。

現行の電波防護指針の構成(第1章関連)

刺激作用 (10kHz~10MHz)

熱作用 (100kHz~300GHz)

安全率：～10倍

基礎指針

* 注意事項

全身平均SAR <熱作用>、接触電流 <熱作用>、局所SAR* <熱作用>、眼への入射電力密度* <熱作用>

基本制限【管理環境／一般環境※】

体内電界 <刺激作用>

管理指針【管理環境／一般環境※】

電磁界強度指針

(100kHz~300GHz：6分間平均値)

電界強度、磁界強度、電力密度

(10kHz~10MHz：瞬時値)

電界強度、磁界強度、磁束密度

注意事項

1. 接触ハザード
2. 非接地条件
3. 時間変動
4. 複数の周波数成分

補助指針

不均一又は局所的なばく露

接触電流に関する指針

誘導電流に関する指針

局所吸収指針

(100kHz~300GHz)

全身平均SAR

局所SAR (100kHz~6GHz)

入射電力密度 (6GHz~300GHz)

接触電流 (100kHz~100MHz)

体内電界 (100kHz~10MHz)

※一般環境には付加的な安全率（電力密度換算でおおむね5倍）を適用

基礎指針：人体が電磁界にさらされるときに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基礎的な指針
基本制限：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
管理指針：基礎指針及び基本制限を満たすための実測できる物理量
電磁界強度指針：対象とする空間における電界強度、磁界強度、電力密度及び磁束密度によって、当該空間の安全性を評価するための指針
補助指針：電磁界強度指針を満足しない場合において、基礎指針又は基本制限に従った詳細評価を行うために使用する指針
局所吸収指針：携帯電話端末等の人体に近接して使われる無線機器等から発射される電磁波のエネルギーが人体の局所に集中して吸収されるような場合における制限

局所吸収指針の概要(第1章関連)

局所吸収指針は、100kHzから300GHzまでの周波数に適用されるもので、携帯電話端末等の小型無線機を主な対象としており、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にも適用できる制限である。

局所吸収指針は、全身平均SAR、局所SAR、入射電力密度、接触電流及び体内電界のそれぞれの指針値により制限されるが、携帯電話端末や無線LAN端末に適用される主なものは、次のとおりである。

(任意の6分間平均値)

周波数範囲	評価指標	管理環境	一般環境
100kHz-300GHz	全身平均SAR	0.4W/kg	0.08W/kg
100kHz-6GHz	局所SAR	任意の組織 10g当たり10W/kg (四肢では20W/kg)	任意の組織 10g当たり2W/kg (四肢では4W/kg)
6GHz-30GHz	入射電力密度	任意の体表面※ 4cm ² 当たり10mW/cm ²	任意の体表面※ 4cm ² 当たり2mW/cm ²
30GHz-300GHz		任意の体表面※ 1cm ² 当たり10mW/cm ²	任意の体表面※ 1cm ² 当たり2mW/cm ²

※人体の占める空間に相当する領域中の任意の面積に相当

局所入射電力密度の課題(第2章関連)

平成30年9月電波利用環境委員会報告における見解

入射電力密度のうち体内に吸収される透過電力密度の割合は概ね50%以上であるため、透過電力密度の基本制限値の導入による入射電力密度の許容値への影響は周波数により変化するものの約2倍以下であること、かつ局所吸収指針の入射電力密度の指針値（管理環境で10mW/cm²、一般環境で2mW/cm²）は国際ガイドラインの改定版で想定される入射電力密度の指針値（職業ばく露環境で10-20mW/cm²、一般環境で2-4mW/cm²）に対してより制約的に設定していることに留意する必要がある。したがって、これらの国際ガイドラインの改定状況を踏まえ、随時、局所吸収指針を見直すことが重要である。

※平成30年当時の検討では、「透過電力密度」との用語であったが、吸収電力密度と同じ概念である。

国際ガイドラインにおける見解

リアクティブ近傍界については、次のとおり吸収電力密度を用いた評価が推奨されている。

- ✓ 2GHzを超え300GHzまでの周波数範囲におけるリアクティブ近傍界領域内のばく露については、参考レベルの値に適用される物理量は、基本制限への適合性を保証するには不十分として扱われます。そのような場合、基本制限への適合性を評価しなければなりません。（ICNIRP2020）
- ✓ 参考レベルは、均一なばく露の仮定に基づいており、等価平面波電力密度で表される。リアクティブ近傍界領域内では、その関係は成り立たない。（IEEE C95.1-2019）

6GHz以上の指針値の比較(一般環境)

評価指標	平成30年一部答申		ICNIRP2020		IEEE/ICES規格C95.1-2019	
入射電力密度	6-30GHz	20W/m ² @4cm ²	6-300GHz	20-40W/m ² @4cm ²	6-300GHz	20-40W/m ² @4cm ²
	30-300GHz	20W/m ² @1cm ²	30-300GHz	40-60W/m ² @1cm ²	30-300GHz	40-60W/m ² @1cm ²
吸収電力密度	規定なし		6-300GHz	20W/m ² @4cm ²	6-300GHz	20W/m ² @4cm ²
	規定なし		30-300GHz	40W/m ² @1cm ²	30-300GHz	40W/m ² @1cm ²

局所ばく露における吸収電力密度の適用性(第2章関連)

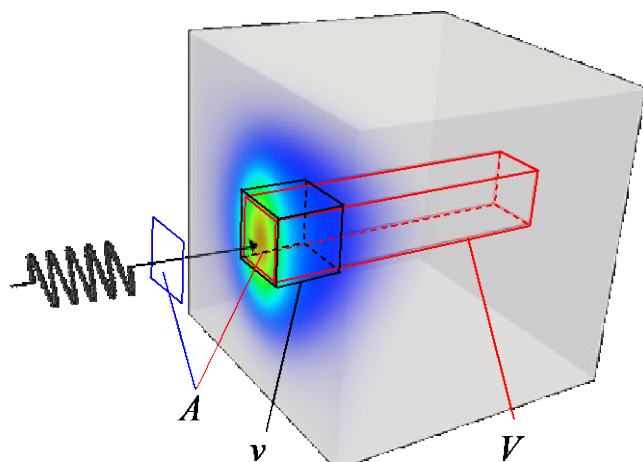
高周波領域の電波は体内で熱を発生することがあるため、この熱による温度上昇を安全なレベルに保つことが重要である。

概ね6GHzを超えると、加熱の大部分は皮膚又はその周辺組織（皮下脂肪等）で生じることから、6GHz超の局所ばく露においては、浸透深さより厚さのある質量10gで平均化された局所SARは局所温度上昇の適切な評価指標とはならず、電力密度が表面温度上昇とよい相関を示すため、皮膚組織に対する吸収電力密度は評価指標として適切である。

6GHzから10GHzまでにおいては、皮膚組織又はより深部の組織でも一定の吸収はあるものの、「吸収電力密度」は、体表面を通過して人体内で単位時間に吸収されるエネルギー量を体表面における単位面積で平均化したものと位置づけられる。

また、SAR及び吸収電力密度のそれぞれについて、温度上昇との関係を分析した研究も報告されており、6GHz以上においては、吸収電力密度の方がより優れた相関があることが示唆されている【1】。

さらに、単位吸収電力密度当たりの温度上昇は、入射角にあまり依存せず、入射電力密度と比較して一貫性のある特性を示すことも確認されている【2】。



局所SAR、入射電力密度及び吸収電力密度の概念図

- 【1】 D. Funahashi, A. Hirata, S. Kodera, and K. R. Foster, “Area-averaged transmitted power density at skin surface as metric to estimate surface temperature elevation,” IEEE Access vol.6, pp.77665-77674, 2018.
- 【2】 Kun Li, Kensuke Sasaki, Soichi Watanabe and Hiroshi Shirai, “Relationship between power density and surface temperature elevation for human skin exposure to electromagnetic waves with oblique incidence angle from 6 GHz to 1 THz”, Physics in Medicine & Biology, Volume 64, Number 6, 2019.

吸収電力密度の平均化面積(第2章関連)

空間的に一様なばく露であれば、いずれの面積で平均化しても平均値は変わらないものの、局所的なばく露を評価対象としていることから、評価する面積の設定によって面積平均最大値が変わるため、平均化するための面積が重要である。

平均化面積を 4cm^2 とした場合には、温度上昇を面積平均の入射電力密度で除した割合は、平面波が均質媒質に入射する状態を想定した1次元解析の値に比べて、約30GHzまでは小さいが、30GHzを超えると大きくなることもあり、その要因は吸収電力の局在化と考えられ、必ずしもより制約的ではない場合もあることが示されている【3】。

国際ガイドラインでは、実用的な観点から、6GHzを超え300GHz以下の範囲での平均化面積に 4cm^2 の正方形を用いた上で、30GHzを超え300GHz以下においては、より小さな面積においても健康への悪影響の運用上の閾値を超過しないことを確実にするために、追加的に 1cm^2 の正方形の空間平均に対する制約を課すこととしている。

また、ダイポールアンテナを用いた数値シミュレーションにより、吸収電力密度の制限値 $20\text{W}/\text{m}^2$ （平均化面積 4cm^2 ）と制限値 $40\text{W}/\text{m}^2$ （平均化面積 1cm^2 ）で、許容される放射電力がおおよそ同じであることも示されており、平均化面積 1cm^2 での制限値について平均化面積 4cm^2 での制限値の2倍とすることの妥当性が確認されている【4】。

【3】 Y. Hashimoto, A. Hirata, R. Morimoto, S. Aonuma, I. Laakso, K. Jokela, and K. R. Foster, "On the averaging area for incident power density for human exposure limits at frequencies over 6 GHz", *Physics in Medicine and Biology*, vol. 62, pp. 3124–3138, 2017.

【4】 D. Funahashi, A. Hirata, S. Kodera, and K. R. Foster, "Area-averaged transmitted power density at skin surface as metric to estimate surface temperature elevation," *IEEE Access* vol.6, pp.77665-77674, 2018.

健康への悪影響の運用上の閾値(第2章関連)

ICNIRPガイドライン(2020)では、41°C以上の局所温度をもたらす電波ばく露を潜在的に有害と扱っている。具体的には、2つの組織タイプに分類した上で、タイプ1及びタイプ2の組織内でそれぞれ5°C及び2°Cの温度上昇を局所ばく露における健康への悪影響の運用上の閾値としている。

6GHzから300GHzまでの範囲においては、電磁界エネルギーの大部分は表層組織に蓄積されるため、この周波数範囲では、皮膚表面(タイプ1組織)の温度上昇について、健康への悪影響の運用上の閾値(5°C)を下回るように制限する。

多層平板モデルへの平面波入射における吸収電力密度に対する加熱係数の研究によれば、最大値が0.025°C・m²/Wであると評価されている【5】。これにより、タイプ1組織については、健康への悪影響の運用上の閾値である5°C上昇させるためには、200W/m²の吸収電力密度が必要となる。

組織タイプと基本制限

組織タイプ	ばく露部位	正常体温時温度	運用上の閾値	左記温度上昇に必要なAPD値		低減係数(安全率)	基本制限				
				6-300 GHz	> 30 GHz		局所ばく露		全身ばく露(30 min)		
				(/6 min・4 cm ²)	(/6 min・1 cm ²)		職業ばく露	一般公衆ばく露	職業ばく露	一般公衆ばく露	
タイプ1	上腕	33°C未満～36°C	dT = 5°C	200 W/m ² (20 mW/cm ²)	400 W/m ² (40 mW/cm ²)	職業ばく露: x 1/2 一般公衆ばく露: x 1/10 ※職業レベルのさらに x 1/5	100 W/m ² (10 mW/cm ²)	20 W/m ² (2 mW/cm ²)			
	前腕										の全ての組織
	手										
	太もも										
	脚										
	足										
	耳介										
	眼の角膜・前房・虹彩										
	表皮・真皮組織										
	脂肪組織										
筋組織											
骨組織											
タイプ2	頭部	38.5°C未満	dT = 2°C								
	眼										の全ての組織(ただしタイプ1の部位を除く)
	腹部										
	背部										
	胸部										
	骨盤部										
全身	平均深部体温37°C	dT = 1°C	全身平均SARで4 W/kg	職業: x1/10 公衆: x1/50			0.4 W/kg	0.08 W/kg			

【5】 Sasaki K, Mizuno M, Wake K, Watanabe S. Monte Carlo simulations of skin exposure to electromagnetic field from 10 GHz to 1 THz. Phys Med Biol 62:6993-7010; 2017.

吸収電力密度の指針値(第2章関連)

国際ガイドラインでは、科学的不確かさ、人口集団全体での熱生理機能の違い、環境条件及び身体活動レベルの変動性が考慮されている。

具体的には、基本制限における職業ばく露（電波防護指針の管理環境に相当）の指針値の設定に当たり、健康への悪影響の運用上の閾値（ $200\text{W}/\text{m}^2$ ）に対する低減係数2が適用されており、職業ばく露の指針値は $100\text{W}/\text{m}^2$ とされている。

一般公衆（電波防護指針の一般環境に相当）には、ばく露に気づくことを求めることはできず、リスク低減対策をとることを求めることはできないこと、また、一般人口集団では熱生理機能の違いもより大きくなると考えられる。このため、一般公衆ばく露には、健康への悪影響の運用上の閾値（ $200\text{W}/\text{m}^2$ ）に対する低減係数10が適用されており、指針値は $20\text{W}/\text{m}^2$ とされている。

我が国の電波防護指針の局所吸収指針においても、国際ガイドラインとの調和を考慮し、6GHzを超え300GHz以下の周波数について、吸収電力密度の指針値を次のとおり設定することが適当である。

吸収電力密度（6分間平均値）の指針値（案）

周波数範囲	管理環境	一般環境
6-300GHz	任意の体表面 4cm^2 当たり $10\text{mW}/\text{cm}^2$	任意の体表面 4cm^2 当たり $2\text{mW}/\text{cm}^2$
30-300GHz	任意の体表面 1cm^2 当たり $20\text{mW}/\text{cm}^2$	任意の体表面 1cm^2 当たり $4\text{mW}/\text{cm}^2$

局所吸収指針の整理(第2章関連)

局所吸収指針の適用除外となる電力

適用除外となる電力は、入射された全ての電力が平均化面積の領域において吸収される最悪条件を想定しており、具体的には、入射電力密度の指針値に対応する平均化面積を乗じたものである(IEC 62479:2010準拠)。

この考え方は、吸収電力密度にも適用できる。30GHzを超え300GHz以下については、2つの平均化面積があるが、指針値との積で小さい方を適用除外とする電力の上限値とすることが、安全側に立った考え方である。

6GHz以上の周波数においては、入射電力密度と吸収電力密度のいずれかの指針値を満たせば、電力密度の観点から評価ができることから、6GHz以上の周波数における局所吸収指針の適用除外となる電力の上限値として、吸収電力密度の指針値に基づく計算結果を採用することができる。

周波数範囲[GHz]	管理環境			一般環境		
	6-30	30-300		6-30	30-300	
吸収電力密度の指針値[mW/cm ²]	10	10	20	2	2	4
平均化面積[cm ²]	4	4	1	4	4	1
指針値×平均化面積	40	40	20	8	8	4
適用除外となる電力[mW]	40		20	8		4

総合照射比

局所吸収指針においては、複数の周波数の電波にばく露する場合について、十分に安全側での評価となるように、それぞれの周波数の電波により最も強くばく露される領域が重なる最悪事例も考慮して、各周波数成分の指針値に対する割合の総和が1を超えてはならないと定められている。吸収電力密度の指針値を導入した場合であっても、同様の考え方が適用されるように取り扱う必要がある。

具体的には、6GHz以下の周波数の電波と6GHzを超える周波数の電波に同時にばく露する場合には、局所SARと電力密度のそれぞれのばく露量の指針値に対する割合を足し合わせて評価することになるが、この場合において、6GHzを超える同一の周波数帯について、入射電力密度と吸収電力密度の両方を評価する必要はない。ただし、吸収電力密度の指針値を用いて評価する場合は、30GHzから300GHzまでについては平均化面積1cm²と4cm²のいずれも評価を行い、指針値に対する割合が高い方により評価することが適当である。

基本制限及び基礎指針の見直し(第2章関連)

基本制限の枠組み

吸収電力密度の指針値は、管理指針の局所吸収指針に組み込まれるべきものである一方で、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」と定義されており、吸収電力密度は、生体内（6GHz超では主に体表面）で吸収される単位面積当たりの電力であり、「生体内現象と直接関連する物理量」にも当てはまる。

ICNIRPガイドライン（2020年）の基本制限には、全身平均SAR（100kHzから300GHzまで）、局所SAR（100kHzから6GHzまで）、局所吸収電力密度（6GHzを超え300GHzまで）といった高周波領域の熱作用に係る評価指標が位置付けられており、国際ガイドラインとの整合の観点からは、我が国の電波防護指針においても、現行では低周波領域の刺激作用に係る評価指標のみが位置付けられている基本制限について、高周波領域の熱作用に係る評価指標である吸収電力密度を組み込むのであれば、全身平均SAR及び局所SARも同様に組み込むことが適当である。

基礎指針の注意事項

基礎指針4 (b)においては、「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 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下とすること。」との注意事項が定められている。

他方、3GHz以上の周波数に関し、電磁界強度指針については、管理環境においては、電力密度（空間最大値）の指針値は、 $5\text{mW}/\text{cm}^2$ とされている。また、補助指針については、管理環境においては、電力密度（空間平均値）の指針値は電磁界強度指針と同様に $5\text{mW}/\text{cm}^2$ とされており、また、眼への入射電力密度（空間最大値）の指針値は $10\text{mW}/\text{cm}^2$ とされている。これらのことから、電磁界強度指針及び補助指針の指針値に適合するのであれば、基礎指針4 (b)の注意事項も満たすことになる。

電波防護指針の適用手順としては、まずは管理指針（電磁界強度指針、補助指針及び局所吸収指針）による評価を行い、それを満たさないことが示された場合に、基礎指針又は基本制限に立ち戻った評価を行うこととされている。手順の重複となることから、基礎指針4 (b)の注意事項については、削除することが適切であると考えられる。

改定後の電波防護指針の全体像(第2章関連)

刺激作用 (10kHz~10MHz)

熱作用 (100kHz~300GHz)

安全率：～10倍

基礎指針

全身平均SAR<熱作用>、局所SAR<熱作用>、接触電流<熱作用>

基本制限【管理環境／一般環境※】

体内電界<刺激作用>、全身平均SAR<熱作用>、局所SAR<熱作用>、吸収電力密度<熱作用>

管理指針【管理環境／一般環境※】

電磁界強度指針

(100kHz~300GHz：6分間平均値)
電界強度、磁界強度、電力密度
(10kHz~10MHz：瞬時値)
電界強度、磁界強度、磁束密度
注意事項

1. 接触ハザード
2. 非接地条件
3. 時間変動
4. 複数の周波数成分

補助指針

不均一又は局所的なばく露
接触電流に関する指針
誘導電流に関する指針

局所吸収指針

(100kHz~300GHz)
全身平均SAR
局所SAR (100kHz~6GHz)
入射電力密度 (6GHz~300GHz)
吸収電力密度 (6GHz~300GHz)
接触電流 (100kHz~100MHz)
体内電界 (100kHz~10MHz)

※一般環境には付加的な安全率（電力密度換算でおおむね5倍）を適用

我が国の吸収電力密度の指針値について、国際ガイドラインとの整合を図りつつ導入する。基本制限及び局所吸収指針における全身平均SARの指針値（管理環境0.4W/kg、一般環境0.08W/kg）については、国際ガイドラインと整合している。また、我が国では、平成2年答申以来、基礎指針において、全身平均SARの指針値を定め、電波防護指針の考え方の根拠を一貫させてきた訳であるが、本検討においてもそれを踏襲する。

入射電力密度については、国際ガイドラインとの差異があるため、今後、整合性に関する検討が必要である。

今後の検討課題(第3章関連)

国際的な動向

①WHO

高周波領域の電磁界については、現在、世界保健機関（WHO）において健康リスク評価が進められており、刺激作用及び熱作用以外の健康リスク（がん等）の評価を含んだ環境保健基準（Environmental Health Criteria）が発刊される見込みである。新たな環境保健基準が発刊された場合には、それを踏まえた対応を検討することが望ましい。

②ICNIRP、IEEE

現行の我が国の電波防護指針において、全身ばく露に対する電磁界強度指針は、ICNIRPガイドラインやIEEE規格との比較では一部に相違があるものの、電磁界強度指針の根拠である基礎指針における全身平均SARの指針値は、ICNIRPガイドラインやIEEE規格と同一である。我が国の電波防護指針について、将来決定されると見込まれるそれらの国際ガイドライン改定版と整合させるよう検討することが望ましい。

研究課題

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として、電波が人体の健康に好ましくない影響（生体作用）を及ぼさないようにするためのものであり、これが適切に運用され、また、新たな科学的知見が見出された場合には、必要に応じて見直されることが望ましい。次のような研究課題について、科学的なアプローチに基づく研究の推進を継続する必要がある。今後の研究推進に当たっても、国際的な協調を視野に入れつつ、我が国として戦略的に取り組んでいくことが適当である。

①ミリ波ばく露による痛覚閾値、②眼障害閾値、③深部温度の上昇、④熱ストレス、熱の影響・障害及び体温調節、⑤接触電流による痛み、⑥人体モデルの開発、⑦参考レベル、⑧短時間ばく露、⑨公衆のばく露実態の把握（モニタリングデータの蓄積）と疫学研究への応用、⑩電磁界ばく露の細胞レベルでの影響解析、⑪国際的な生体電磁環境研究における文献の品質評価とメタ分析 など