

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)【概要】

「電波防護指針の在り方」のうち、  
「高周波領域における電波防護指針の在り方」について

- あらゆる分野での電波利用が急速に進展する中で、電波を安心して安全に利用できる環境を維持しつつ、電波のより一層の利活用を図ることが重要。
- 我が国における電波の人体への影響については、電波防護指針<sup>(※1)</sup>で人体に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ており、これにより我が国における電波の安全性を確保。

(※1) 諮問第38号「電波利用における人体の防護指針」についての電気通信技術審議会答申(平成2年)、  
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」についての情報通信審議会答申(平成27年)

- 我が国では、2020年のサービス開始が予定されている第5世代移動通信システム(5G)をはじめ、今後の携帯電話端末等の無線機器においては今まで人体の近傍で用いられていなかった高い周波数帯(6GHz以上)が使われることが想定されているが、電波防護指針のうち局所吸収指針においては、6GHz以下の周波数帯を適用範囲としており、6GHz以上の周波数帯で人体から10cm以内に近接した場合における指針値が存在しないため、その策定が急務。
- 国際的な動向としては、6GHz以上の周波数帯での指針値を含め、現在、電波ばく露からの人体防護に関する国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)の高周波領域のガイドライン、米国電気電子学会(IEEE)電磁界安全に関わる国際委員会(ICES)のC95.1規格の改定作業が進められている。
- 本委員会では、このような状況を踏まえ、6GHz以上の周波数帯で人体から10cm以内に近接した場合における指針値の策定のため、電波防護指針の在り方について検討を行った。

- 本作業班では、6GHz以上の周波数帯で人体から10cm以内に近接した場合において、電波防護指針の管理指針である「補助指針」及び「局所吸収指針」の改定について主に検討を行った。

### 電波防護指針の構成

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), 接触電流(熱作用), 局所SAR(熱作用)

#### 基本制限

体内電界(刺激作用)

#### 管理指針(管理環境・一般環境(付加的な安全率))

##### 電磁界強度指針

6分間平均値 (100kHz - 300GHz)

瞬時値 (10kHz - 10MHz)

##### 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 - 6GHz)

全身平均SAR

局所SAR

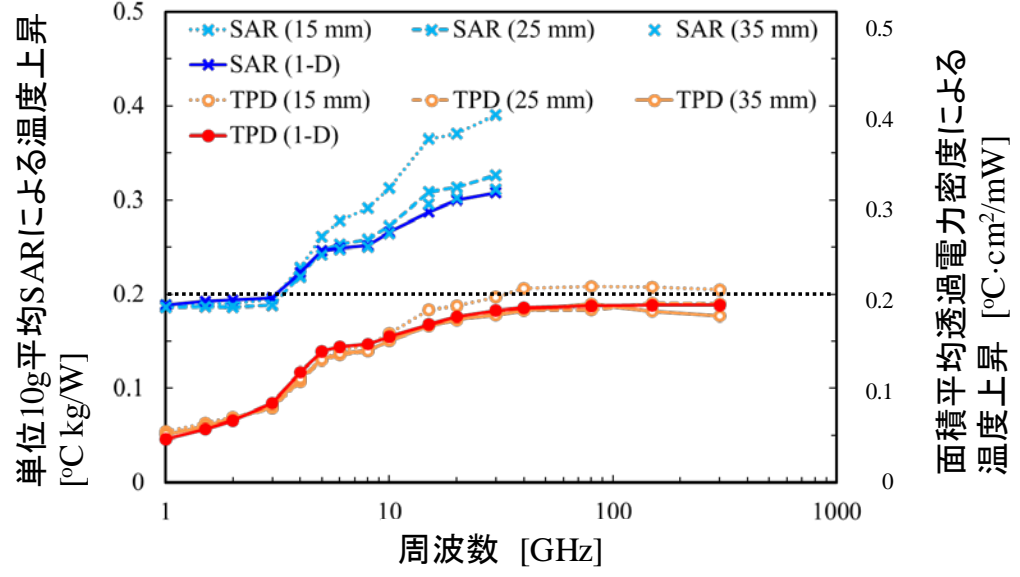
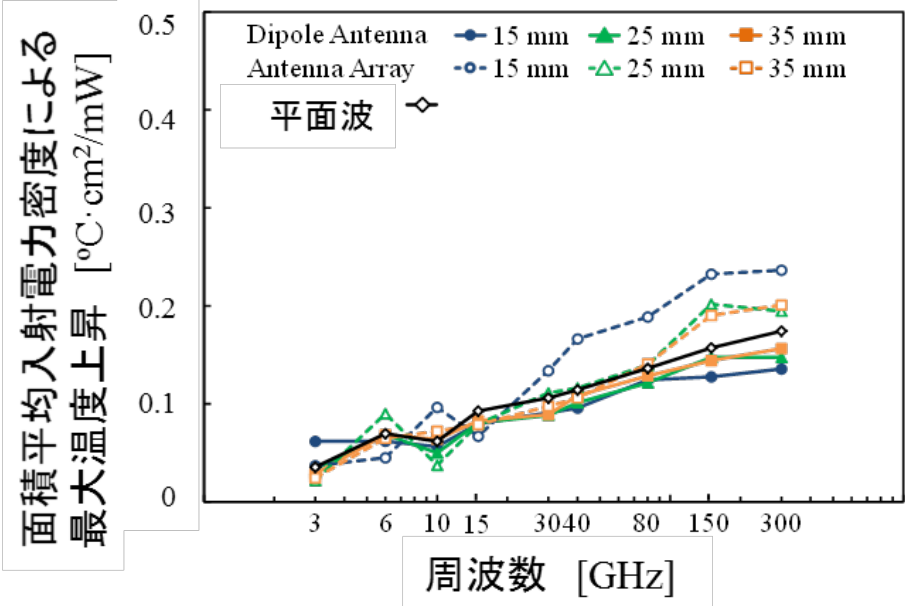
接触電流 (100kHz - 100 MHz)

- 電磁界強度指針及び補助指針は、一般に電磁放射源から10cm以上(300MHz以下では20cm以上)離れた空間で適用される。
- 携帯電話端末等の人体に近接して使用される無線機器のうち、波源が人体と強く相互結合している場合には、波源近傍における高周波領域の電磁界を正確に測定することは困難であり、現状において電磁界強度指針及び補助指針を適用することはできない。
- そのため、我が国の電波防護指針のうち、局所吸収指針では、人体から20cm以内の電磁放射源からの局所的な電波ばく露に関する安全性の指標として、立方体形状の10g組織にわたり平均化された空間最大値による局所SARが用いられているが、その適用上限周波数は6GHzとなっている。
- したがって、6GHz以上の周波数帯においては、電磁放射源より10cm未満の領域における指針値は策定されていない。
- ICNIRPガイドライン及びIEEE規格の動向を注視し、我が国でも同様に、人体から10cm未満に位置する放射源からの皮膚の過度な温度上昇を防護するため、局所吸収指針における新たな指標の導入、適切な指針値の設定、さらには10cm未満での電磁界強度指針の設定について検討することが必要。
- ICNIRPでは、最新のリスク評価に基づいた高周波ガイドライン(100 kHz以上の周波数帯)改定の検討を行っており、6月のBioEM2018会議においては平均化面積等が議論され、7月にパブリックコメントを求めるための文書を公開。

## 2.2.1 入射電力密度の平均化面積

### 2.2.2 局所における入射電力密度の適用性

- ICNIRP及びIEEEでは、入射電力密度の面積平均の空間最大値が用いられている。
- 電力密度の空間平均化に用いる面積については、30GHz以下であれば4cm<sup>2</sup>、それ以上の周波数であれば1cm<sup>2</sup>の面積で平均化することにより、最大温度上昇の指標になり得ることが示唆されている。
- 入射電力密度(例えば、下図では4cm<sup>2</sup>の平均値)を用いた場合、平面波と同等の傾向が得られ、10cm未満において人体とアンテナの相互作用が十分小さいことから、局所における入射電力密度の適用が可能と考えられる。



平均化面積4cm<sup>2</sup>の入射電力密度における温度上昇

10g平均SAR及び透過電力密度(平均化面積4cm<sup>2</sup>)による温度上昇

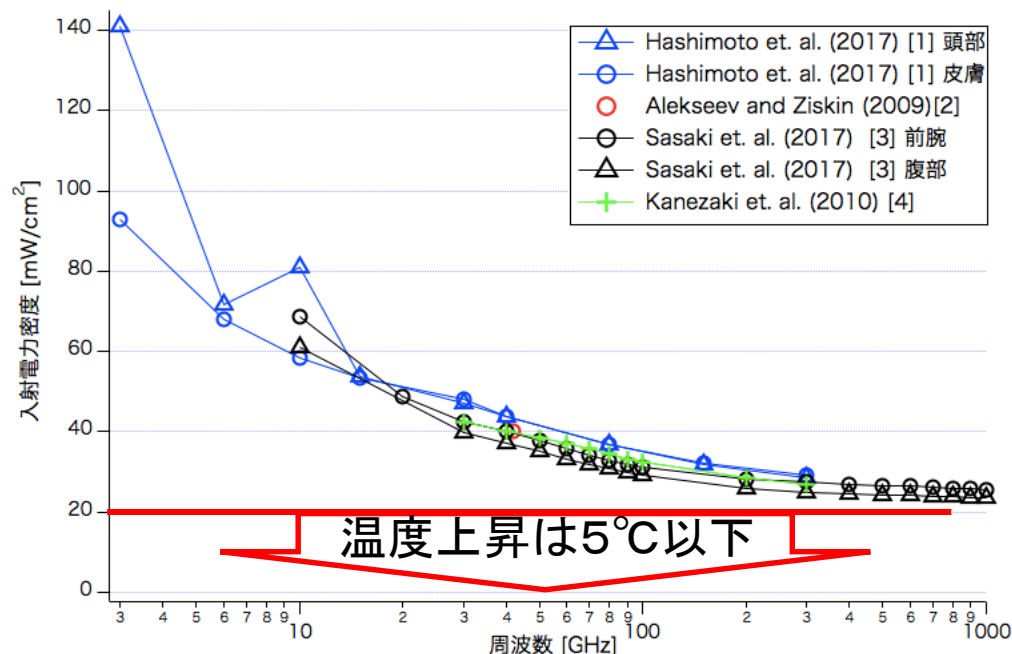
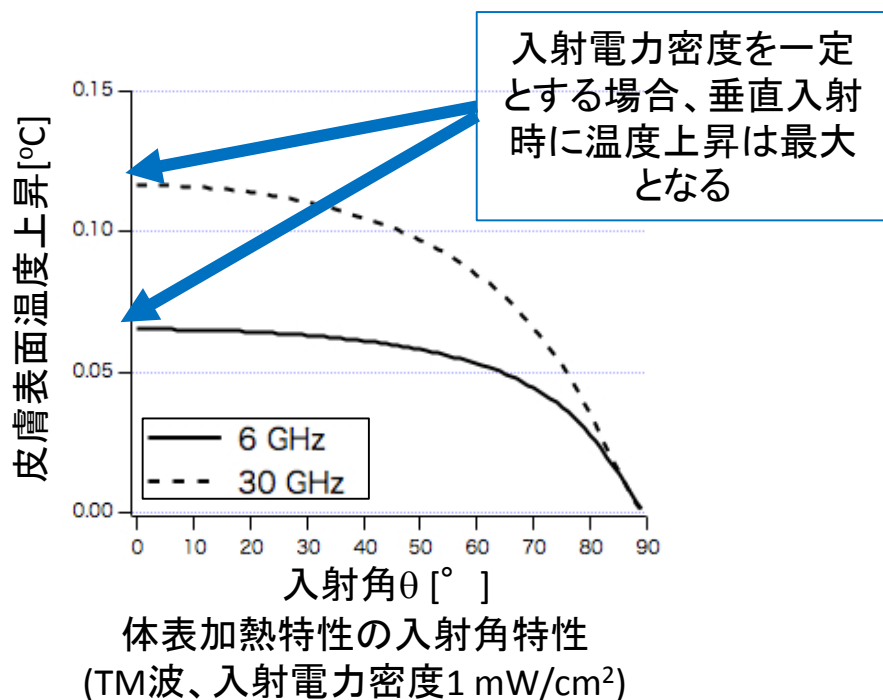
透過電力密度: 単位面積あたりに透過される電力。入射電力密度のうち体内に吸収される透過電力密度の割合は概ね50%以上である。

参考文献: Hashimoto et al, Phys. Med. Biol. 2017

## 2.2.3 入射電力密度の指針値

- 数値シミュレーションに基づいた検討では、皮膚内部へ透過する電力密度は、体表での温度上昇と優れた相関を示す。一方で、測定法の観点より、実測可能な物理量である、人体への入射電力密度に対する指針値が必要。
- 入射電力密度の指針値を定める際、皮膚への垂直入射を基準とすることが適当。
- 国際動向を考慮すると、国際ガイドラインの根拠は熱傷であり、皮膚の熱傷閾値に基づいて、許容できる入射電力密度を規定する必要。

(参考) 均一な電波ばく露条件での20 mW/cm<sup>2</sup>の入射電力密度での体表での温度上昇は5°Cよりも低い (6~300GHz)



5°Cの温度上昇を得るために必要な入射電力密度

- 6GHz以上の局所吸収指針における入射電力密度の平均化面積について、2.2.1節では、30GHz以下であれば $4\text{cm}^2$ 、それ以上の周波数であれば $1\text{cm}^2$ の面積で平均化することにより、最大温度上昇の指標になり得ることが示唆されている。このため、各周波数帯に応じた平均化面積を設定することが必要である。
- 2.2.1節及び2.2.2節では、10cm未満において人体とアンテナの相互作用が十分小さく、かつ周波数に応じた面積平均を行った入射電力密度の適用が可能であるとしている。
- 2.2.3節では、入射電力密度の指針値を定める際、皮膚への垂直入射を基準とすることが適当であることを確認している。また、6GHz以上の周波数においては、周波数によらず $20\text{mW}/\text{cm}^2$ とすれば皮膚表面の温度上昇を $5^\circ\text{C}$ 以下に抑え、安全性を担保できるとしている。この値に適切な安全率(管理環境で2倍、一般環境で10倍)を付与することにより、指針値を設定することができる。
- また、ICNIRPやIEEEでは、全身平均SAR及びそれに対応する電磁界強度指針の適用周波数を6GHzから300GHzへ拡張することについて議論している。6GHz以上の周波数の全身ばく露では深部温度上昇に加えて、皮膚温度上昇も無視できない。一方、深部温度上昇は人体への熱負荷として考えられるため、それ以外の周波数のばく露による重畳効果を考慮するためには300GHzまで拡張する必要がある。
- したがって、我が国の局所吸収指針である入射電力密度や全身平均SARについても国際動向に合わせて、300GHzまで拡張することが適当であると考えられる。

## 2.2.4 局所吸収指針の改定案(概要)

- これまでの検討に基づき、情報通信審議会答申 諮問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」における「2.2.3 局所吸収指針」に関し、以下のとおり改定を行うことが適当と考えられる。

※下線赤字が改定部分

適用範囲: 周波数100kHz以上6GHz300GHz以下。

主な対象: 人体に近接して(20cm以内で)使用される携帯電話端末等の小型無線機。

周波数範囲	要件	管理環境	一般環境
100kHz- <u>300GHz</u>	全身平均SAR <sup>※1</sup>	0.4W/kg	0.08W/kg
100kHz-6GHz	局所SAR <sup>※1</sup>	任意の組織10g 当り 10W/kg (四肢では20W/kg)	任意の組織 10g 当り 2W/kg (四肢では4W/kg)
<u>6GHz-30GHz</u>	<u>入射電力密度<sup>※2</sup></u>	<u>任意の体表面<sup>※3</sup></u> <u>4cm<sup>2</sup>当り10mW/cm<sup>2</sup></u>	<u>任意の体表面<sup>※3</sup></u> <u>4cm<sup>2</sup>当り2mW/cm<sup>2</sup></u>
<u>30GHz超-300GHz</u>		<u>任意の体表面<sup>※3</sup></u> <u>1cm<sup>2</sup>当り10mW/cm<sup>2</sup></u>	<u>任意の体表面<sup>※3</sup></u> <u>1cm<sup>2</sup>当り2mW/cm<sup>2</sup></u>

(いずれの値も任意の6分間平均値)

※1:「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という。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又は10gにわたり平均したものを「局所SAR」という。

※2:「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。入射電力密度の評価は、人のいない状態で人の存在する可能性のある全空間を対象とすることを原則とする。

※3: 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。



## 2.2.4 適用除外となる電力

- 局所吸収指針の適用範囲において、適用除外となる電力が示されている。
- 適用除外となる電力を算出する国際規格(IEC62479)に基づき、全ての電力が平均化面積に集中して入射するという最悪条件を仮定し、6-300GHzの入射電力密度の指針値に対する適用除外となる電力を計算したものを以下に示す。
- 空中線電力の平均電力が適用除外となる電力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、改定案の入射電力密度の電波防護指針を満たしており、入射電力密度を評価する必要がないものと考えられる。

6GHz以上の局所吸収指針の適用除外となる電力

周波数範囲	管理環境		一般環境	
	6GHz-30GHz	30GHz超-300GHz	6GHz-30GHz	30GHz超-300GHz
入射電力密度の指針値 [mW/cm <sup>2</sup> ] <small>(W/m<sup>2</sup>からmW/cm<sup>2</sup>へ単位換算したもの)</small>	10	10	2	2
平均化面積[cm <sup>2</sup> ]	4	1	4	1
適用除外となる電力 [mW]	40	10	8	2

- 電波防護指針では、局所吸収指針以外にも、不均一ばく露に関する補助指針において入射電力密度の指針値が定められている。ただし、不均一ばく露に関する補助指針は波源から10cm以上の距離で適用することとなっている。
- そこで、局所吸収指針に入射電力密度の指針値を導入するのではなく、6GHz以上の不均一ばく露に関する補助指針の適用可能な距離についての条件を削除し、平均化面積の条件を追加することでも同様の防護が図られる可能性がある。
- しかしながら、6GHz以上の不均一ばく露に関する補助指針を変更した場合、6GHzを境に適用可能な距離が異なる状況になること、従来の入射電力密度の空間的な最大値については平均化面積の条件は定められていないこと等から、不均一ばく露に関する補助指針内の一貫性を維持することが困難になる。
- 他方、2.2.4節の局所吸収指針の改定案では、6GHzの上下周波数での適用条件に違いはなく、人体に近接して使用する無線機器を局所吸収指針のみで統一的に評価できる。
- 以上により、補助指針を変更する場合には適用条件の一貫性が維持できない等の課題があり、補助指針ではなく、局所吸収指針を改定することがより合理的であると考えられる。

- 改定案の局所吸収指針の管理環境における全身平均SARの指針値は、基礎指針における全身平均SARの指針値と同一である。
- 改定案の局所吸収指針の管理環境における入射電力密度の指針値は、基礎指針の注意事項における入射電力密度の指針値と同一である。
- 電磁界強度指針の6GHz以上の入射電力密度の指針値は、改定案の6GHz以上の局所吸収指針の入射電力密度の指針値よりも低く設定されている。これは、電磁界強度指針の指針値は、全身平均SARに関する基礎指針を満足するように設定されているため、局所吸収指針の入射電力密度よりも低い数値となっている。
- 改定案の6GHz以上の局所吸収指針の入射電力密度の指針値は、不均一ばく露に関する補助指針の眼に入射する電力密度の空間的最大値と同一である。不均一ばく露に関する補助指針と局所吸収指針の間に不整合はなく、いずれかが満足していれば電波防護指針を満たすことになる。
- 局所吸収指針の6GHz以下の周波数領域において導入されている局所SAR指針値の平均化質量は10gであり、一辺約2.2cmの立方体に相当する。改定案の6-30GHzの周波数領域において導入される入射電力密度の平均化面積 $4\text{cm}^2$  (1辺2cm)と概ね合致し、連続性が担保されていると考えられる。

#### 2.5 ICNIRPガイドライン<sup>(※)</sup>等と電波防護指針の整合性

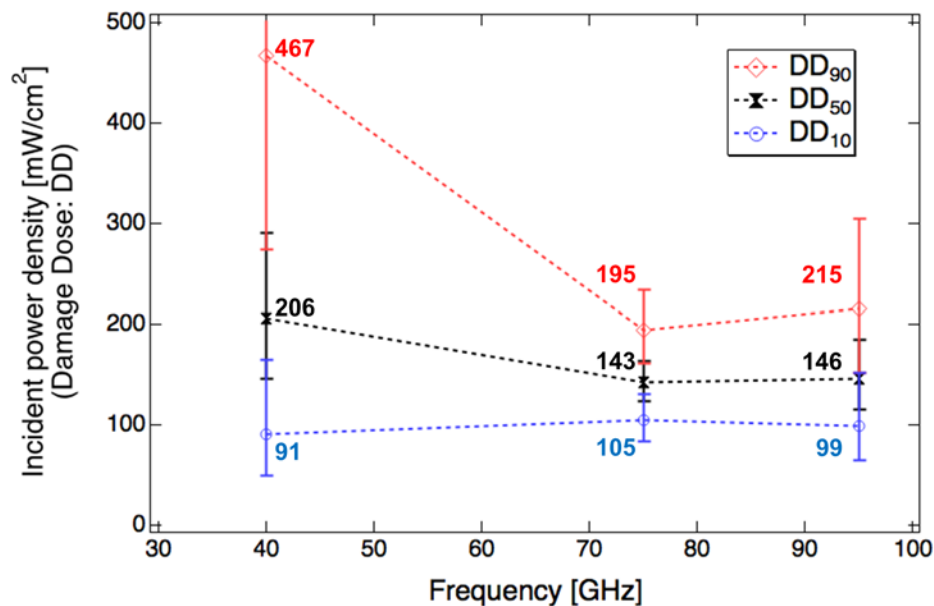
(※)2.5節では1998年のICNIRPガイドラインを指す。

- 改定案の6GHz以上の局所吸収指針の全身平均SARの指針値は、ICNIRPガイドラインの全身平均SAR基本制限値と同一である。
- 10-300GHzの周波数領域におけるICNIRPガイドラインと局所吸収指針の入射電力密度について、直接の比較はできないものの、局所吸収指針の入射電力密度の平均化面積(4cm<sup>2</sup>)は、ICNIRPガイドラインの入射電力密度の平均化面積である1cm<sup>2</sup>と20cm<sup>2</sup>の間になっている。
- 局所吸収指針の4cm<sup>2</sup>の平均化面積の入射電力密度の指針値は、ICNIRPガイドラインの20cm<sup>2</sup>の平均化面積の入射電力密度の基本制限値と同等以上の防護である。
- 10-300GHzの周波数領域において、ICNIRPガイドラインよりも改定案の局所吸収指針の方が制約的と考えられる。

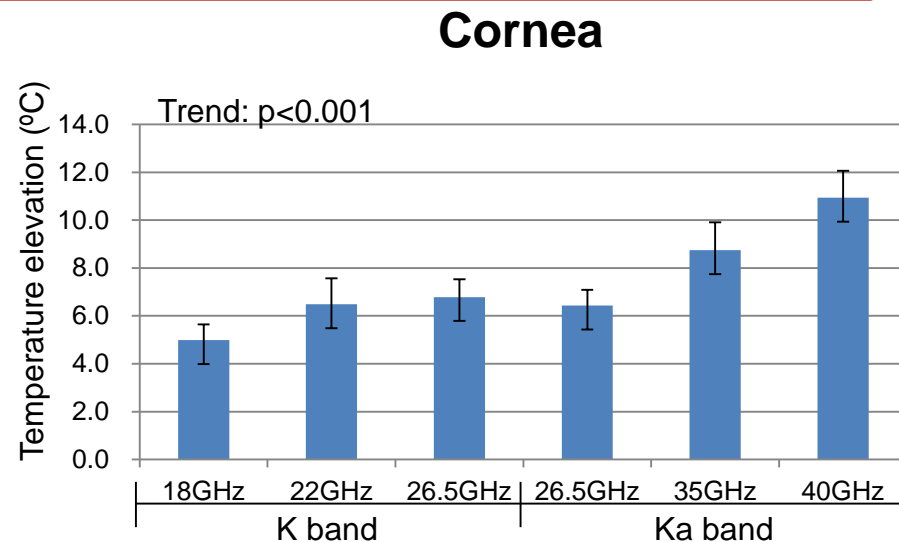
#### 第3章 今後の検討課題

- 今回の局所吸収指針の改定案については、適切な人体の防護を図り、電波の安心・安全な利用の促進に資するため、最新の科学的知見や学術的な論文に基づいて電波防護指針の指針値に十分な根拠を与えるとともに、電波防護指針全体の整合性に加え、ICNIRPガイドラインやIEEE規格との整合性やこれらの改定に向けた動向等を考慮して、より制約的に設定してまとめたもの。
- 我が国は、引き続き国際動向を注視して、必要に応じて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重要である。

- 基礎指針4 (b)及び補助指針は、深部角膜炎 (Deep Keratitis: Rosenthal, 1976) の発症閾値 (>100 mW/cm<sup>2</sup>)を基準に設定されている。
- 眼障害 (Damage Dose)を50%の確率で発生させる眼球への障害閾値は、40、75、95 GHzでそれぞれ206、143、146mW/cm<sup>2</sup>であり、これは眼部の忌避反応を抑制した実験結果である。
- 200 mW/cm<sup>2</sup>ばく露中の家兎角膜温度が、18、22、26.5、35、40 GHzにおいて周波数の上昇とともに有意に上昇したことより、眼障害発生の電力密度に対する閾値は18GHz > 40GHzの関係(周波数が高くなると閾値が低くなる傾向)にあると類推できる。
- 動物実験結果から、現行の電波防護指針の指針値(補助指針の管理環境で3GHz以上における眼への入射電力密度は10 mW/cm<sup>2</sup>以下)は、より制約的に設定されているといえる。



参考文献: Kojima et al, J IRMMW-THz, 2018

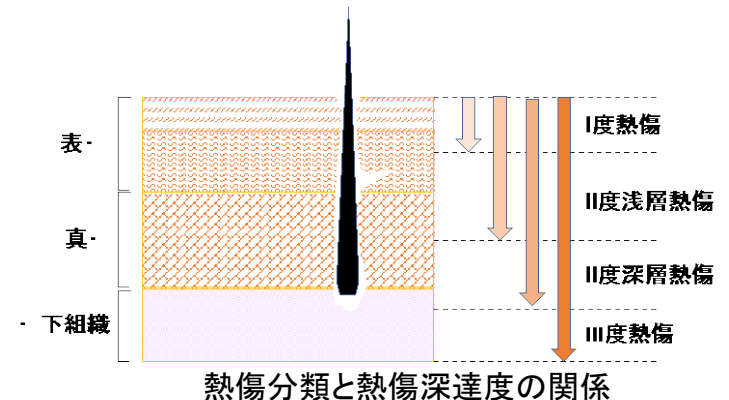


参考文献: Kojima et al, J IRMMW-THz, 2015

- 電波防護指針においては皮膚へのばく露からの防護に対して「熱痛」を根拠とし、「障害」という基準では評価していない。
- 動物実験に基づき、10GHzの電波ばく露による皮膚障害を熱傷分類(深達度)により評価すると、入射電力密度(IPD) 150mW/cm<sup>2</sup>の強度でも影響は認められなかった。
- 皮膚熱傷という点からみても、現行の電波防護指針の指針値(補助指針の管理環境で3GHz以上における体表の入射電力密度は50mW/cm<sup>2</sup>以下)は、より制約的に設定されているといえる。

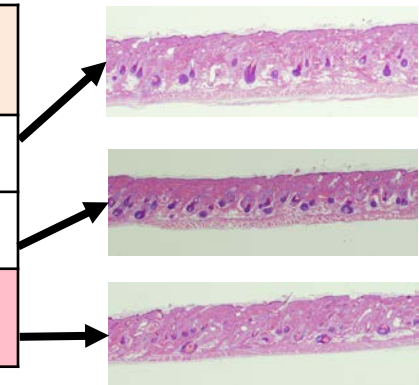
18分間ばく露後の皮膚温度

IPD [mW/cm <sup>2</sup> ]	皮膚温度 (ΔT)
0	33.5°C (+0.5°C)
150	38.6°C (+5.1°C)
250	43.2°C (+10.2°C)

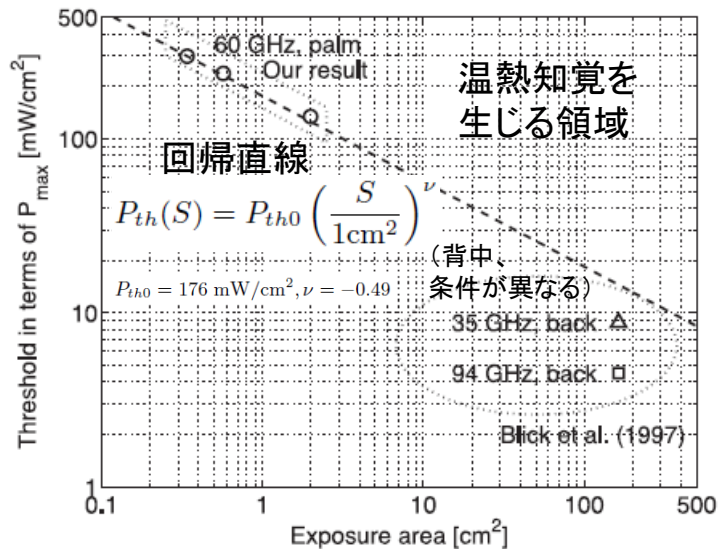


電波ばく露3日後の皮膚の組織学的所見

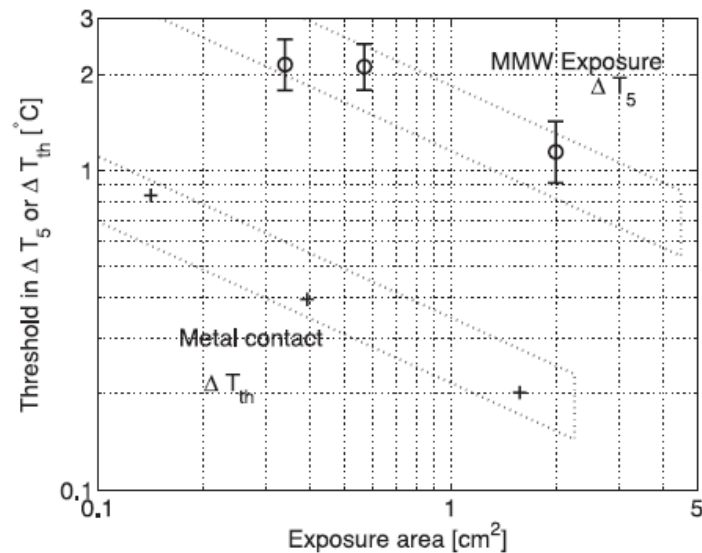
IPD [mW/cm <sup>2</sup> ]	表皮	真皮	皮下組織	毛包	熱傷分類 (深達度から)
0	(-)	(-)	(-)	正常	相当せず
150	(-)	(-)	(-)	正常	相当せず
250	境界不明のわずかな浮腫	浮腫状	筋繊維の肥厚	毛包の縮小 顆粒の消失	III度



- ミリ波帯における電波防護指針は「熱痛」を根拠としている(温感の閾値はそれよりも小さい)。
- ヒトの掌の50%温感閾値(周波数60GHz, ばく露時間10s)は、実験の範囲でばく露面積の平方根に反比例した。
- 特殊な波源を除けば、波源距離が近いほどばく露面積は小さくなることから、管理環境50mW/cm<sup>2</sup>のもとでは波源距離が10cm以内に近づいても新たな温感が生じないと推察される。
- 従って、現行の電波防護指針の指針値(補助指針の管理環境で3GHz以上における体表の入射電力密度は50mW/cm<sup>2</sup>以下)は、より制約的に設定されているといえる。

手のひら ( $f = 60 \text{ GHz}, 10 \text{ s}$ )

温感しきい値の Blick ら [7] による実験値との比較



5秒間のミリ波曝露による温度上昇  $\Delta T_5$  でみた温感しきい値の面積依存性及び金属接触によるしきい値  $\Delta T_{th}$  との比較

## 「電波利用環境委員会」構成員

(敬称略、五十音順)

(主 査)	多氣 昌生	首都大学東京システムデザイン学部教授
	雨宮 不二雄	NTTアドバンステクノロジー株式会社先端プロダクツ事業本部環境ビジネスユニットEMCセンタ
	石山 和志	東北大学電気通信研究所教授
	尾崎 覚	富士電機株式会社パワエレシステム事業本部社会ソリューション事業部技師長
	熊田 亜紀子	東京大学大学院工学系研究科教授
	黒田 道子	東京工科大学名誉教授
	清水 敏久	首都大学東京システムデザイン学部教授
	清水 久恵	北海道科学大学保健医療学部臨床工学科教授
	曾根 秀昭	東北大学サイバーサイエンスセンター教授
	平 和昌	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波研究所所長
	田島 公博	NTTアドバンステクノロジー株式会社先端プロダクツ事業本部環境ビジネスユニットEMCセンタチームリーダー
	田中 謙治	一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター専務理事
	塚原 仁	日産自動車株式会社電子・電動要素開発本部電子システム開発部電子信頼性グループ主査
	野島 俊雄	北海道大学名誉教授
	長谷山 美紀	北海道大学大学院情報科学研究科教授
	平田 晃正	名古屋工業大学大学院工学研究科電気・機械工学専攻教授
	堀 和行	ソニー株式会社品質・環境部プロダクトコンプライアンスグループチーフEMC/RFコンプライアンスマネージャー
	増田 悦子	公益社団法人全国消費生活相談員協会理事長
	山崎 健一	一般財団法人電力中央研究所電力技術研究所雷・電磁環境領域リーダー副研究参事
	山下 洋治	一般財団法人電気安全環境研究所横浜事業所EMC試験センター所長
	和氣 加奈子	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波研究所電磁環境研究室主任研究員
	渡邊 聡一	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波研究所電磁環境研究室研究マネージャー



(敬称略、五十音順)

(主任)	平田 晃正	名古屋工業大学大学院工学研究科電気・機械工学専攻教授
(主任代理)	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
	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
	小島 正美	金沢医科大学総合医学研究所プロジェクト研究センター環境原性視覚病態部教授
	佐々木謙介	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波研究所電磁環境研究室研究員
	寺尾 安生	杏林大学医学部生理系専攻教授
	西方 敦博	東京工業大学工学院准教授
	日景 隆	北海道大学大学院情報科学研究科助教
	増田 悦子	公益社団法人全国消費生活相談員協会理事長
	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任教授
	森松 嘉孝	久留米大学医学部環境医学講座准教授
	渡邊 聡一	国立研究開発法人情報通信研究機構電磁波研究所電磁環境研究室研究マネージャー
(オブザーバ)	多氣 昌生	首都大学東京システムデザイン学部教授

## 1 電波利用環境委員会での検討

- 第32回 (H30.2.20)  
検討の開始、作業班での検討を了承
- 第34回 (H30.7.13)  
意見募集を行う委員会報告案について検討
- 第xx回 (H30.xx.xx)  
意見募集の結果、委員会報告の取りまとめ

## 2 電波防護指針の在り方に関する検討作業班での検討

- 第7回 (H30.2.20)  
電波防護指針とICNIRPガイドラインの概要、国際動向、6GHz以上の人体のばく露評価について検討
- 第8回 (H30.3.16)  
眼及び皮膚に関する研究動向、電磁界強度指針について検討
- 第9回 (H30.4.20)  
皮膚に関する研究動向、入射電力密度の考え方について検討
- 第10回 (H30.6.4)  
6GHz以上で人体から10cm以内に近接した場合の電波防護指針の見直し案について検討
- 第11回 (H30.7.10)  
委員会報告案について検討