

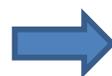
6GHz以上で人体から10cm以内に近接した場合の 電波防護指針の見直しについて(案)

1 検討内容

ICNIRPのガイドライン等の国際的動向や電波利用環境の変化を踏まえた電波防護指針の在り方について

2 検討項目

(1) 低周波領域の電波防護指針の在り方



済み

(2) 高周波領域の電波防護指針の在り方

【主な論点】

・ 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(本報告の検討対象)

・ ICNIRPガイドライン等と電波防護指針との整合性について

(3) その他関連する事項

- 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の「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ところ。

電波防護指針の構成

刺激作用 (10 kHz ~ 10 MHz)

熱作用 (100 kHz ~ 300 GHz)

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 (10 kHz - 300 GHz)

瞬時値 (10 kHz - 10 MHz)

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

(100 kHz - 6 GHz)

全身平均SAR

局所SAR

接触電流 (100 kHz - 100 MHz)

- 電波の人体への影響については、情報通信審議会答申等において、人体に影響を及ぼさない電波の強さの指針値等(電波防護指針)が定められている。電波防護指針で定められた指針値の一部は、電波法令による規制として導入されており、これによって、我が国における電波の安全性を確保している。
- 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)に関し、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)が使われることになる。
- しかしながら、携帯電話端末等のその他の身体で使用される携帯無線端末のほとんどは、10cm未満の波源近傍における高周波数領域の電磁界を正確に測定することは困難であり、我が国の電波防護指針のうち、電磁界強度指針又は補助指針を適用することはできない。また、局所吸収指針に関しては、6GHz以下の周波数では身体から20cm以内の電磁放射源からの局所的な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SARが用いられているが、6GHz以上の周波数では局所吸収指針(SAR)を適用していない。
- 従って、6 GHzから300 GHzまでの周波数において、電波放射源より10cm未満における指針値は十分に整備されているとは言い難い。
- また、国際的な動向として、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改定作業が進められている。
- 上記に鑑み、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ことを目的として、高周波における電波防護指針の在り方について検討を行った。

【検討事項1】 6GHz以上での周波数における熱影響

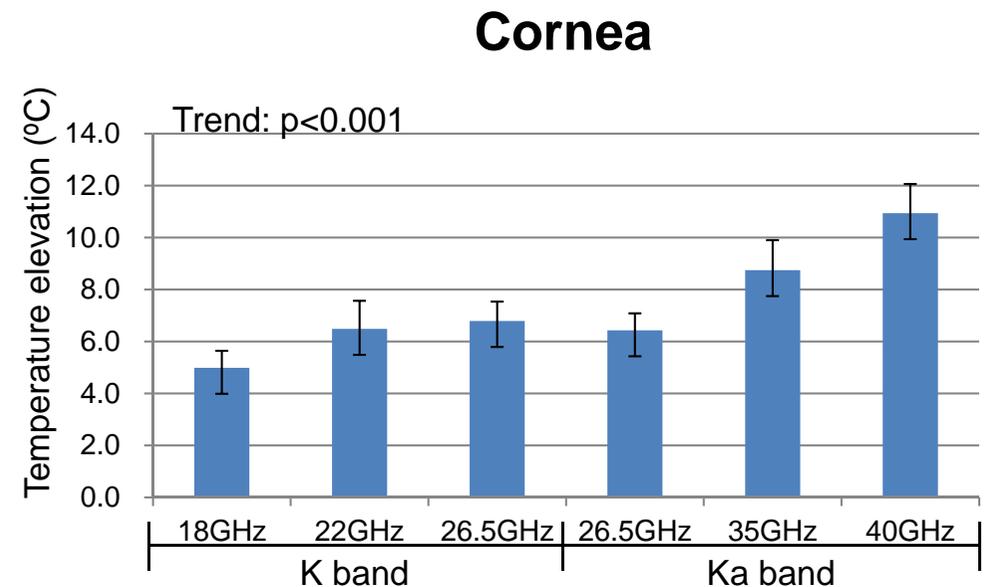
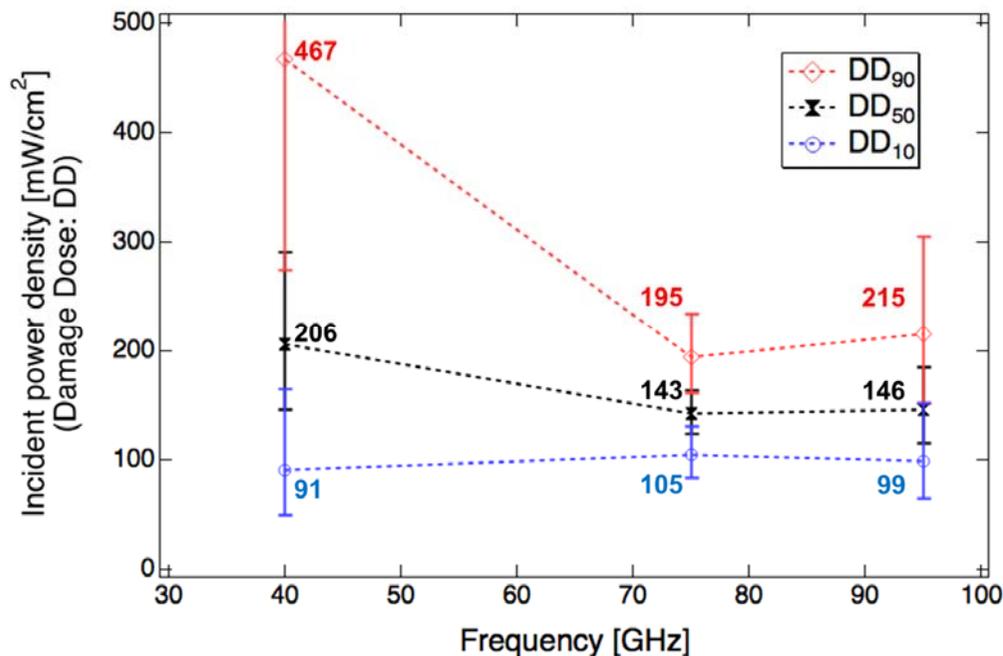
- 1-①
 - a. 眼球への障害閾値の検索(動物)
 - b. 皮膚への障害閾値の検索(動物)
 - c. 皮膚温感閾値の検索(ヒト)

【検討事項2】 6GHz以上での安全性評価

- 2-①
 - a. 局所における入射電力密度の適用性
 - b. 入射電力密度の平均化面積
 - c. 入射電力密度の指針値
- 2-②
 - a. 電波防護指針内での整合性
 - b. ICNIRPガイドライン等と電波防護指針との整合性

1-① a. 眼球への障害閾値の検索(動物)

- 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/cm²)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/cm²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。
- 家兎角膜内に温度プローブを刺入して、18、22、26.5、35、40 GHzを200 mW/cm²ばく露中の角膜温度が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。
- 動物実験結果より類推すると、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/cm²以下)は、安全なレベルに設定されているといえる。



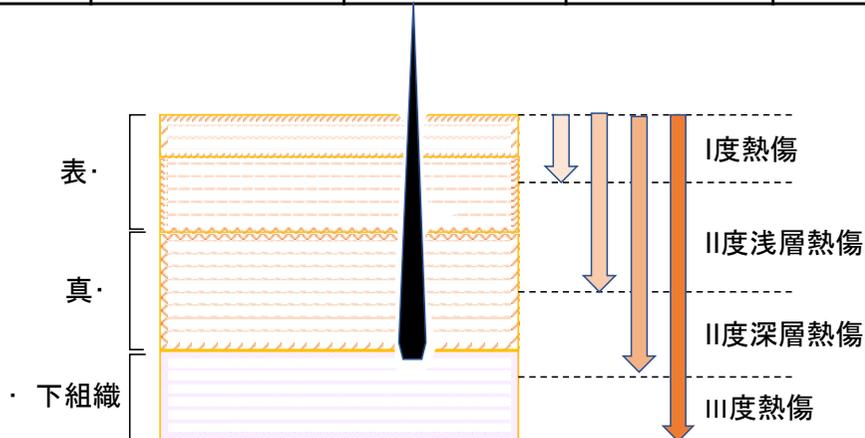
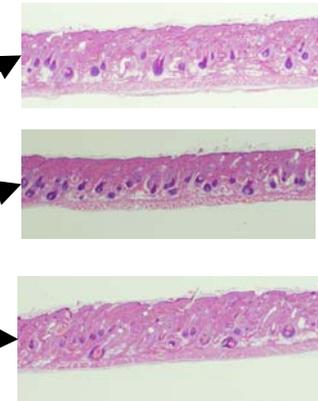
参考文献: Kojima et al, J IRMMW-THz, 2015

参考文献: Kojima et al, J IRMMW-THz, 2018

1-① b.皮膚への障害閾値の検索(動物)

- 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、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、130mW/cm²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/cm²以下)は、安全なレベルに設定されているといえる。

10 GHz		Day 3				
TPD [mW/cm ²]	皮膚温度 (ΔT)	表皮	真皮	皮下組織	毛包	熱傷分類 (深達度から)
0	33.5°C (+0.5°C)	(-)	(-)	(-)	正常	相当せず
130	38.6°C (+5.1°C)	(-)	(-)	(-)	正常	相当せず
220	43.2°C (+10.2°C)	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/cm²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/cm²以下)は、安全なレベルに設定されているといえる。

手のひら (f=60GHz, 10s)

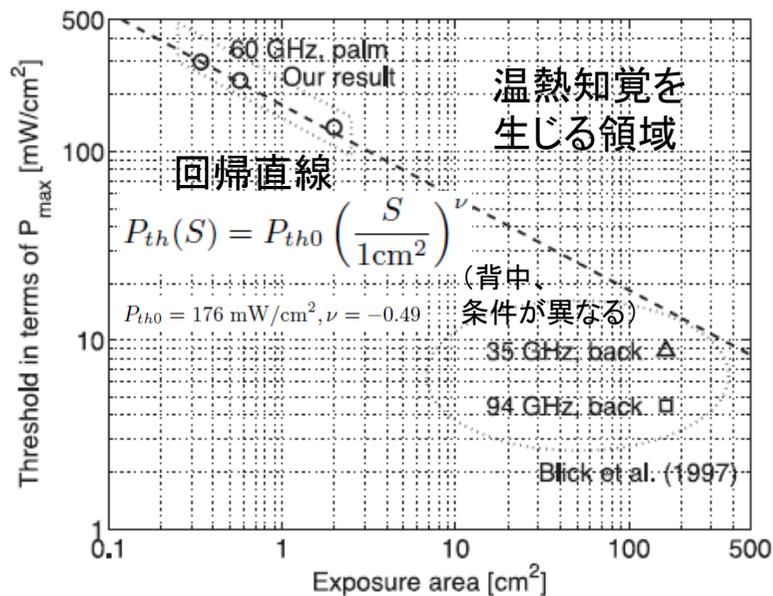


図 11 温感しきい値の Blick ら [7] による実験値との比較

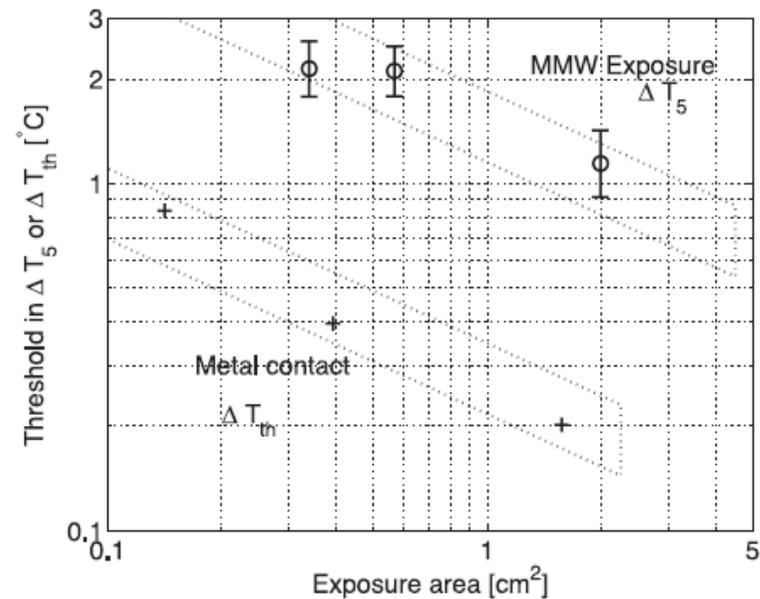


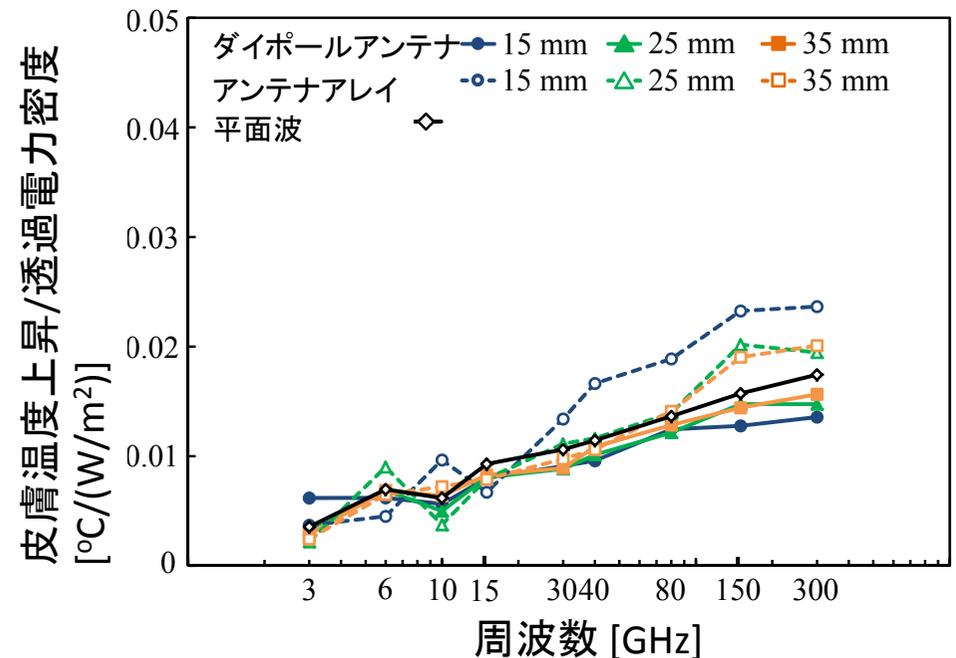
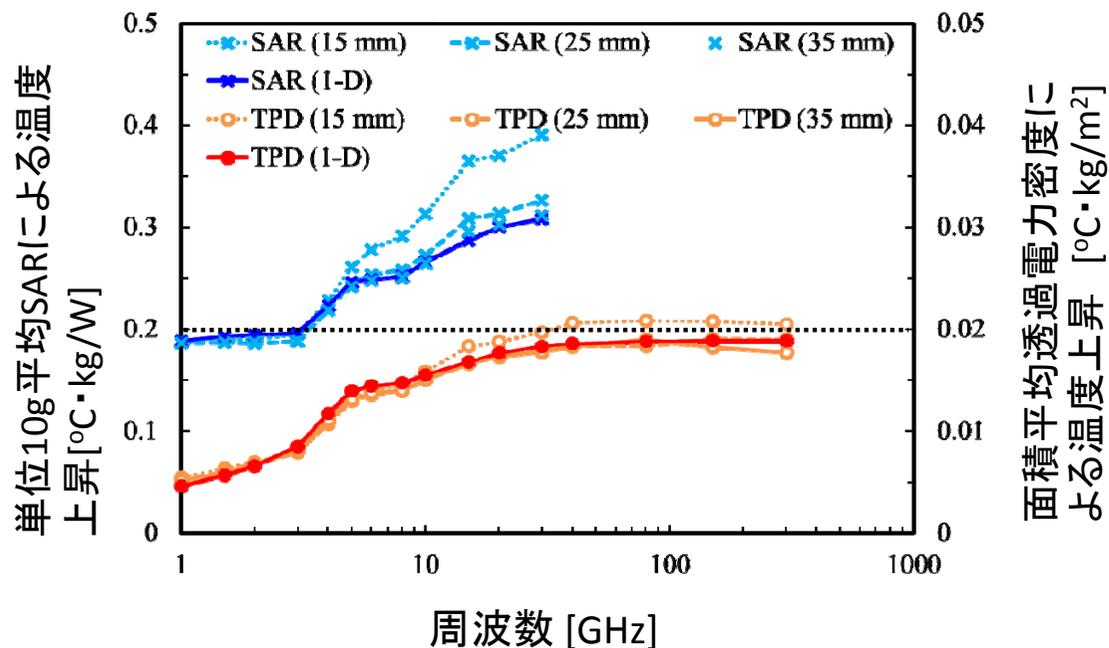
図 12 5秒間のミリ波曝露による温度上昇 ΔT_5 でみた温感しきい値の面積依存性及び金属接触によるしきい値 ΔT_{th} との比較

参考文献:

香西ほか, "60GHzミリ波集束ビーム曝露による掌の温熱感しきい値の測定", 信学論Vol.J93-B, No.10, pp.1456-1465, 2010.

2-① a. 局所における入射電力密度の適用性 b. 入射電力密度の平均化面積

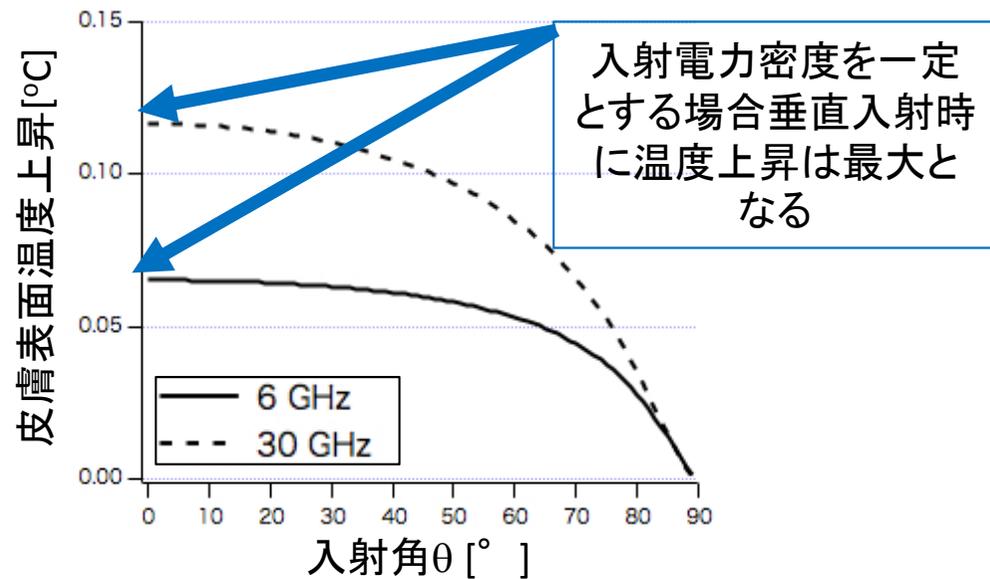
- 身体から10cm未満の波源に適用できる局所吸収指針では、周波数6GHz以下の安全性の指標として、立方形状の10g組織にわたり平均化されたSARが用いられている。
- ICNIRPおよびIEEEが「皮膚への透過電力密度」の導入を提案。6GHz以上の周波数において、皮膚への透過電力密度を4cm²で平均化した場合、皮膚温度上昇と良好な相関。
- 30GHzより高い周波数では、アレイ構造を想定し、より小さい平均化面積(1cm²程度)が必要となる可能性が示唆。
- 面積平均(4cm²)した入射電力密度を用いた場合、15mmにおいても平面波と同等の傾向が得られ、人体近傍における適用が確認できる。



浸透電力密度: 単位密度あたりに吸収される電力

- 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に当たって、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10 mW/cm²の入射電力密度での体表での温度上昇は2°C程度またはそれ以下(6~300GHz)

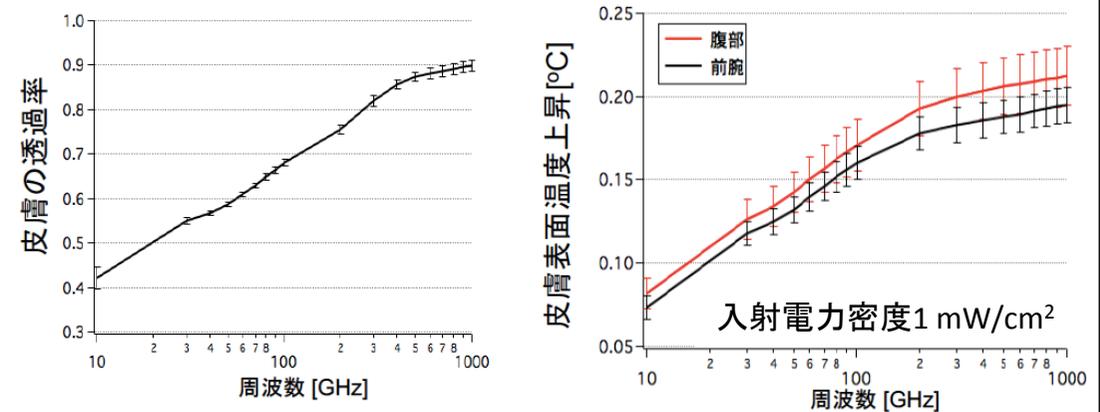


体表加熱特性の入射角特性
(TM波、入射電力密度1 mW/cm²)

準ミリ波・ミリ波帯での人体ばく露特性[1]

皮膚への透過率: 入射電力密度に対して、人体へ透過する電力密度の割合
($1-|R|^2$, $|R|$ は皮膚での反射係数の大きさ)

*図中のエラーバーは組織厚のパラツキの透過率・表面温度上昇への寄与



透過率と体表温度上昇は共に周波数に対して単調増加の傾向を示す。

- ICNIRP及びIEEE ICESでは、入射電力密度の適用周波数を6GHzから300GHzとする議論をしており、我が国の電波防護指針の局所吸収指針についても国際動向に合わせて改定することが適当と考えられる。
- 入射および透過電力密度の適用周波数は、約6GHz以上であるとの根拠が得られ、かつ国際動向と合致している。また、透過電力密度を指標とした場合、6GHzから300GHzまでは周波数特性が一定となるとの研究結果がある。国際基準では、透過電力密度の導入が確定はしておらず、適合性評価の観点から入射電力密度を指標とし、かつ適用範囲の上限を6GHzから300GHzへ改定することが適当と考えられる。
- ICNIRP、IEEE ICESにおける入射電力密度の指針値は、現状では確定していない。また、6GHzから300GHzまでの周波数では、均一な電波ばく露条件での $10\text{mW}/\text{cm}^2 (=100\text{W}/\text{m}^2)$ の入射電力密度での体表での温度上昇は 2°C 程度またはそれ以下という研究結果がある。これらの動向を勘案し、安全側の入射電力密度の指針値を管理環境では $100\text{W}/\text{m}^2$ 、一般環境では更に5倍の安全率を踏まえた $20\text{W}/\text{m}^2$ として設定することが適当と考えられる。
- 入射電力密度の平均化面積は、研究動向を踏まえ、6GHz以上30GHz以下では 4cm^2 、30GHz超300GHz以下では 1cm^2 を導入することが適当と考えられる。

局所吸収指針の改定案(概要)

- これまでの議論を踏まえ、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~~6GHz~~300GHz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- 6GHz <u>300GHz</u>	全身平均SAR ^{※1}	0.4W/kg	0.08W/kg
100kHz-6GHz	局所SAR ^{※1}	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^{※2}</u>	<u>任意の体表面4cm²当り</u> <u>100W/m²</u>	<u>任意の体表面4cm²当り</u> <u>20W/m²</u>
<u>30GHz超-300GHz</u>		<u>任意の体表面1cm²当り</u> <u>100W/m²</u>	<u>任意の体表面1cm²当り</u> <u>20W/m²</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。