

# 基礎指針とICNIRP基本制限との 関係性について

第16回

電波防護指針の在り方に関する検討作業班

小寺 紗千子 平田 晃正  
(名古屋工業大学)

# 吸収電力密度の指針値の位置付け

## 論点整理 (5) 吸収電力密度の指針値の位置付け

今般導入を検討している吸収電力密度の指針値は、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波の評価に用いることを目的としており、局所吸収指針に組み込まれるべきものである。

他方、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」という基本制限の定義にも当てはまることから、基本制限にも位置付けることが適当であると考えられる。

この場合、「基本制限」や「基礎指針」の全体像についても改めて整理が必要。

平成27年3月12日付け一部答申「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」においては、電波防護指針に「基本制限」が導入され、その考え方は次のとおり整理されている。

<電波利用環境委員会報告（平成27年3月12日）より>

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。

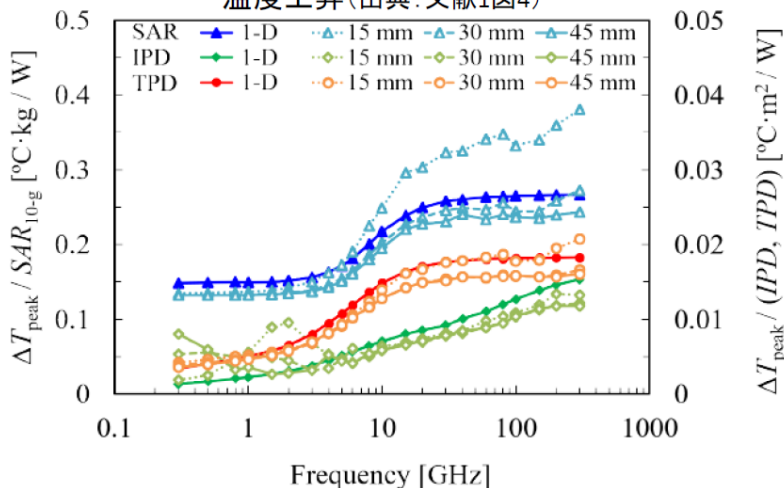
具体的には、電波防護指針において「**基本制限**」を「**健康への有害な影響に至る可能性のある電波ばく露による生体内現象と直接関連する物理量についての制限値**」と定義する。

# 吸収電力密度と局所SARの関係性

## 吸収電力密度の体表温度上昇との相関

- 6GHz超ではSARと温度上昇が必ずしも適切に相関せず、吸収電力密度は6GHz以上で温度上昇とより優れた相関関係を示唆
- 単位吸収電力密度の温度上昇は、ばく露条件にあまり依存せず、入射電力密度と比較して一貫性のある特性

ダイポールアンテナからの近傍ばく露における  
温度上昇(出典:文献1図4)

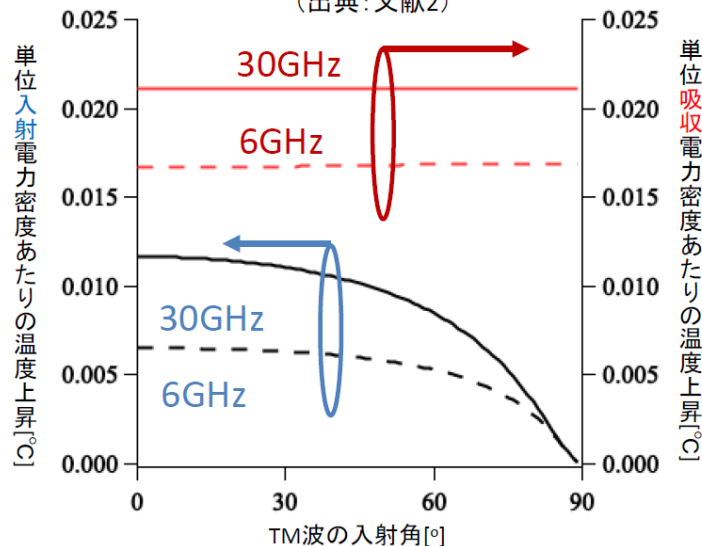


\*TPD(透過電力密度)は、吸収電力密度と等価。

\*IPD(入射電力密度)、SAR(局所比吸収率)。

\*実線(1-D)は、1次元解析結果。点線はアンテナモデル間距離を変化させた場合の3次元解析結果。

多層平板へTM波が入射する場合の温度上昇  
(出典:文献2)



1. D. Funahashi et al., IEEE Access, vol.6, pp. 77665-77674, 2018. DOI:10.1109/ACCESS.2018.2883733 (ICNIRP 2020にて引用).

2. Li K et al., Phys. Med. Biol., vol.64, pii:065016, 2019. DOI:10.1088/1361-6560/ab057a (ICNIRP 2020にて引用)

# 吸収電力密度の指針値の位置付け

## 参考 電波防護指針における吸収電力密度(6~300GHz)の位置付け

電波防護指針は、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に、電磁波が人体の健康に好ましくない影響を及ぼさない安全な状況であるか否かを判断する際の基本的な考え方や、それに基づく指針値などを示しており、「基礎指針」、「基本制限」及び「管理指針」から構成されている。

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：~5倍) )

#### 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 - 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)

基礎指針: 人体が電磁界にさらされると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

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(電界強度、磁界強度、磁束密度、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2

出典: 資料15-2「電波防護指針の見直しの方向性について」

吸収電力密度を  
局所吸収指針  
基本制限  
に位置付けた場合

吸収電力密度に関連の深い局所SARについても、  
局所吸収指針  
基本制限  
に位置付けることが適当であるか？

基礎指針および局所吸収指針の局所SARの関係性について、  
改めて確認する必要性

# 基礎指針とICNIRP基本制限について

- 1990年電波防護指針策定当時、十分なドシメトリによる解析はなかった。

## 基礎指針 4(a)

全身平均SARの任意の6分間平均値が0.4 W/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**8 W/kg**(体表と四肢では25W/kg)を超えないことが望ましい。

- 当時、**眼球**に関する議論が進行中であり、**注意事項**として考慮を求めたもの
- IEEE C95.1規格(2005)においても、**眼球・脳**の議論が存在

## ICNIRP基本制限・局所吸収指針(管理環境)

100kHz-6GHz **任意の組織 10g** 当りの**SAR** **10W/kg**(四肢では20 W/kg)

**体表に相当**

# 基礎指針と脳内温度上昇の対応について

\*熱定常時(30分以上)。温熱調整系を考慮しない場合  
\* $a$ は、回帰直線の傾き( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{kg}/\text{W}$ )

ダイポールアンテナからのばく露における脳内SARと脳内温度上昇との相関

(出典:論文1図4)

ばく露条件(360パターン)

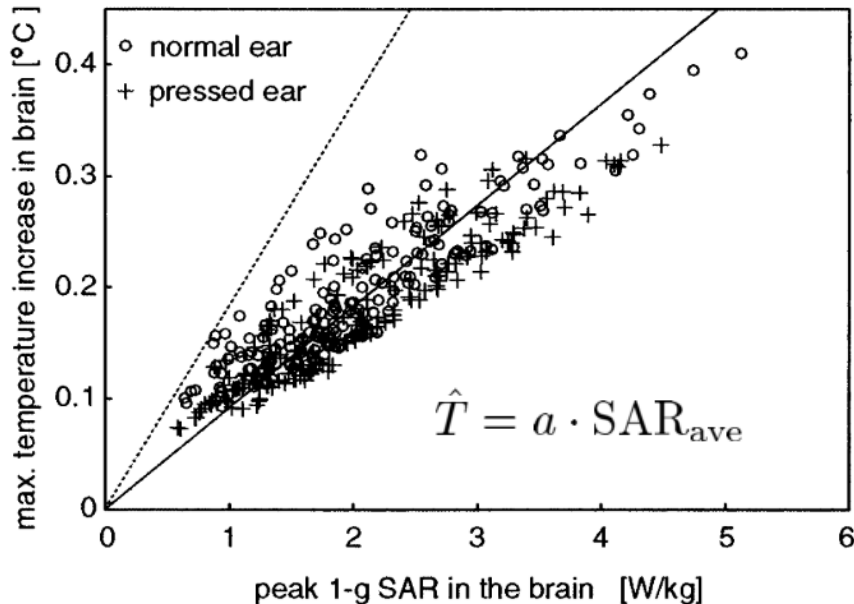
精緻な人体モデル(耳の状態を2種類考慮)

周波数:900 MHz-2.45 GHz

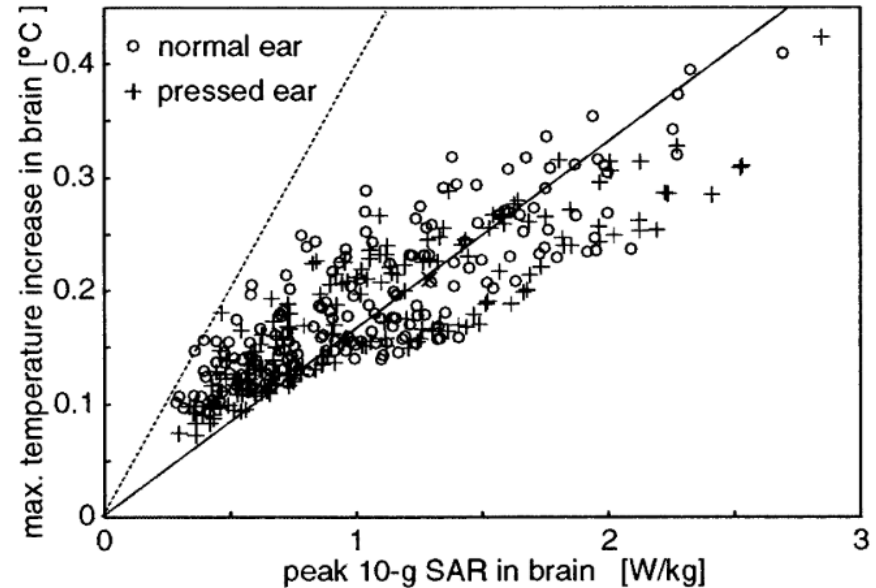
水平偏波, 垂直偏波

給電位置:18パターン

脳内1g平均SARと脳内温度上昇との相関



脳内10g平均SARと脳内温度上昇との相関



# 基礎指針と脳内温度上昇の対応

\*熱定常時(30分以上)。温熱調整系を考慮しない場合  
\*表中の $a$ は、回帰直線の傾き( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{kg}/\text{W}$ )

脳内SARと脳内温度上昇の相関( $n=360$ )  
精緻な人体モデル(耳の状態:2種類)  
周波数:900 MHz-2.45 GHz

(出典:論文1表3(b))

耳の状態	1g SAR [W/kg]		10g SAR [W/kg]	
	$a$	$\bar{r}^2$	$a$	$\bar{r}^2$
Pressed	0.084	0.778	0.156	0.493
Normal	0.091	0.729	0.169	0.470
All	0.088	0.738	0.163	0.474

脳内1g平均SARの方が相関が高い

異なる人体モデルにおける体表10g SARと体表温度上昇、脳内1gSARと脳内温度上昇の相関

(出典:論文1表5)

	head(10g SAR)		brain (1g SAR)	
	$a$	$\bar{r}^2$	$a$	$\bar{r}^2$
Our model	0.198	0.847	0.084	0.778
Brooks model	0.185	0.542	0.207	0.689
Results in [13]	0.197	0.697	0.116	0.736

\*Brooksモデルは死亡後時間が経過したモデルから構築したため、体内組織の精度が十分ではない  
\*表中の文献[13]は、論文2に相当

(左表)体内組織においては、血流量が大きい組織(例えば、脳)が存在するが、周囲組織への熱の拡散距離が小さいため、SARの平均化質量として1gが適している。

(右表)脳における温度上昇 $1^{\circ}\text{C}$ に相当する脳内1g組織平均SARは、周波数および波源の位置で変化するものの、8-12 W/kgである(表はモデル間のばらつき)。

(まとめ)基礎指針「任意の組織1g 当りのSAR8W/kg」は、おおむね脳内温度上昇 $1^{\circ}\text{C}$ (熱定常)に相当

1. A. Hirata and T. Shiozawa, "Correlation of maximum temperature increase and peak SAR in the human head due to handset antennas," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 51, pp.1834-1841, 2003.
2. P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, and E. Piuzzi, "Specific absorption rate and temperature increases in the head of a cellular-phone user," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 48, pp. 1118-1126, July 2000.

# 脳内・水晶体温度上昇1°Cに対応する体表SAR

\*熱定常時(30分以上)。温熱調整系を考慮しない場合

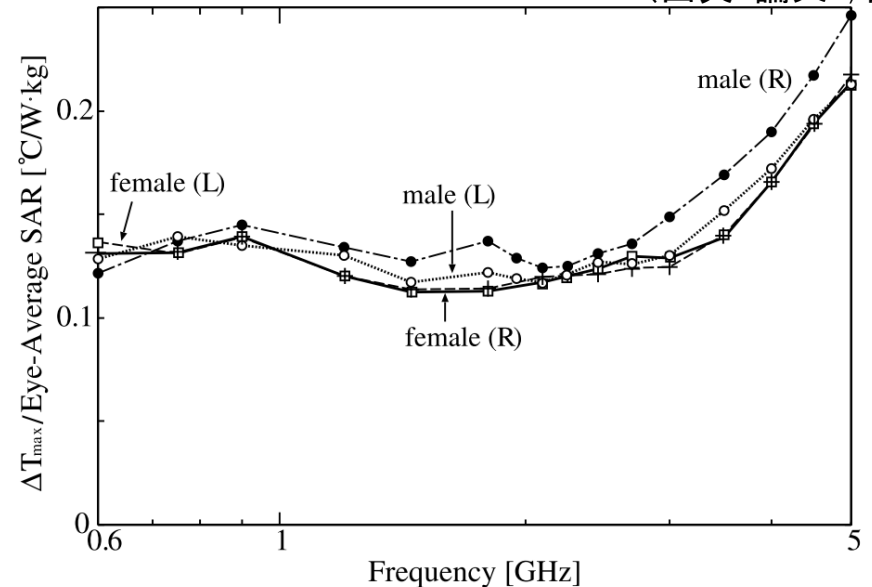
脳内温度上昇と平均SARの相関を求めた際の回帰直線傾きの95%値

(出典:論文1, 表5(c))

	1 g		10 g	
	Osaka Univ.	NIT	Osaka Univ.	NIT
(I)	0.0621	0.0599	0.107	0.107
(II)	0.0259	0.0377	0.0488	0.0611
(III)	0.0485	0.0447	0.0785	0.0871
(IV)	0.0255	0.0372	0.0447	0.0505

21-39W/kg                      11-22 W/kg

レンズ内温度上昇/**眼球**平均SARの周波数特性  
(出典:論文2, 図3)



(左表)皮膚など体表を含む1gでの平均SARとした場合、おおよそ21-39W/kgに対応する。これらの値は、皮膚表面を含む10g平均SARでは、12-22 W/kgに相当する。

(右図)眼球内温度上昇に対応する**眼球全体**の平均SARは、7-9 W/kgとなる。文献3によれば、皮膚を含む場合のSARは約2倍となり、14-18W/kgになると推算。

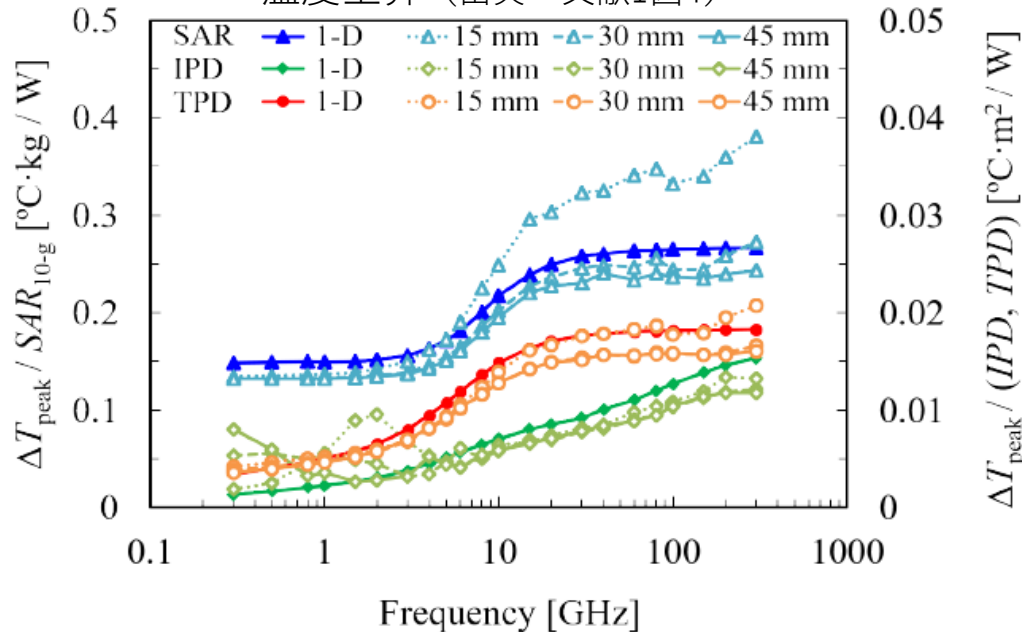
1. A Hirata, M Fujimoto, T Asano, J Wang, O Fujiwara, T Shiozawa, "Correlation between maximum temperature increase and peak SAR with different average schemes and masses," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 48, pp. 569-578, 2006.
2. A Hirata, S Watanabe, O Fujiwara, M Kojima, K Sasaki, T Shiozawa, "Temperature elevation in the eye of anatomically based human head models for plane-wave exposures," Physics in Medicine & Biology, vol.52, no. 21, pp. 6389-6399, 2007.
3. V M M Flyckt, B W Raaymakers, H Kroeze and J J W Lagendijk, "Calculation of SAR and temperature rise in a high-resolution vascularized model of the human eye and orbit when exposed to a dipole antenna at 900, 1500 and 1800 MHz," Physics in Medicine & Biology, vol.52, no. 21, pp. 2691-2701, 2007.



# 体表SARと吸収電力密度の関係性

## 資料13-4(抜粋)

ダイポールアンテナからの近傍ばく露における  
温度上昇 (出典：文献1図4)



\*TPD(透過電力密度)は、吸収電力密度と等価。  
\*IPD (入射電力密度)、SAR(局所比吸収率)。  
\*実線(1-D)は、1次元解析結果、点線はアンテナモデル間距離を  
変化させた場合の3次元解析結果。

1. D. Funahashi et al., IEEE Access, vol.6, pp. 77665-77674, 2018.  
DOI:10.1109/ACCESS.2018.2883733 (ICNIRP 2020にて引用)。

- ICNIRPガイドラインでは、職業環境における体表における許容温度上昇は、2.5°C
- 体表の1°C温度上昇に対応する10g平均SAR(3GHz以下)は、7-8 W/kg (2.5°C温度上昇では18 W/kg)
- 体表の1°C温度上昇に対応する4cm<sup>2</sup>平均吸収電力密度(10GHz以上)は、60-67 W/m<sup>2</sup> (2.5°C温度上昇150 W/m<sup>2</sup>)

(まとめ) 10g平均SAR値11-22 W/kgに対応する4cm<sup>2</sup>平均吸収電力密度は、104-198 W/m<sup>2</sup>

# まとめ

- 基礎指針で示されていたように、熱定常時における体内組織(脳)において、当該組織のみを考えた場合にはより相関がよい
- 約 $1^{\circ}\text{C}$ の脳内温度上昇に対応する脳内1g平均SARは8-12W/kgである。  
この値は基礎指針におおむね相当
- その際の体表組織を含む10g平均SAR値は、11-22 W/kg  
管理環境における基本制限10W/kgにおおむね相当
- 約 $1^{\circ}\text{C}$ の水晶体内温度に対応する体表組織を含む10g平均SAR値は、  
14-18W/kgにおおむね相当
- 10g平均SAR値11-22 W/kgに対応する $4\text{cm}^2$ 平均吸収電力密度は、  
 $104-198\text{ W/m}^2$

現在の解析技術で分析した場合、基本制限は、基礎指針と同等であり、かつ、やや安全側に設定されている。