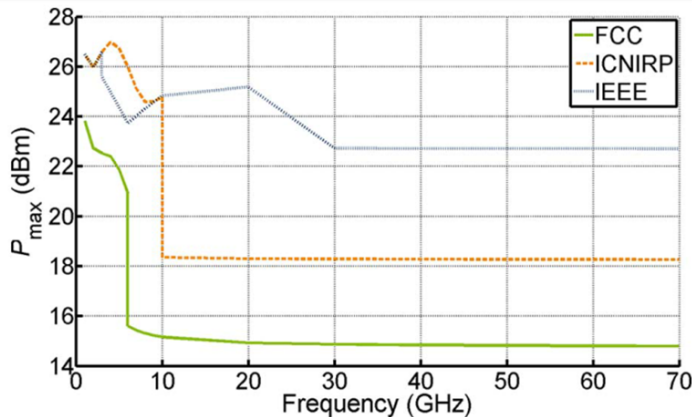
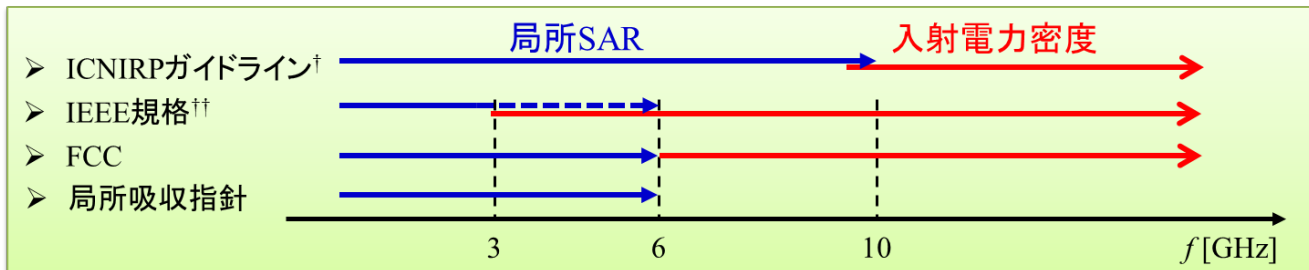


# 6GHz以上の人体のばく露評価について

平田 晃正  
名古屋工業大学

# 1. 局所SARと入射電力密度とのギャップ

- 我が国では、6 GHzから300 GHzまでの周波数において、電波放射源より10 cm未満における指針値はない。
- 高い周波数帯については、電波の体内部への浸透が減って体表の吸収となるため、ICNIRP等で入射電力密度が用いられている。
- 各国際ガイドライン間で規定する入射電力密度の平均化面積も異なっており、当該の文献もない。即ち、SARと比較して、入射電力密度の規定に関する根拠は十分ではない。
- 科学的根拠に基づき、適切な面積で平均化した入射電力密度の指針値を定める必要がある。



入射電力密度および平均化面積を、科学的根拠に基づいて検討する必要性

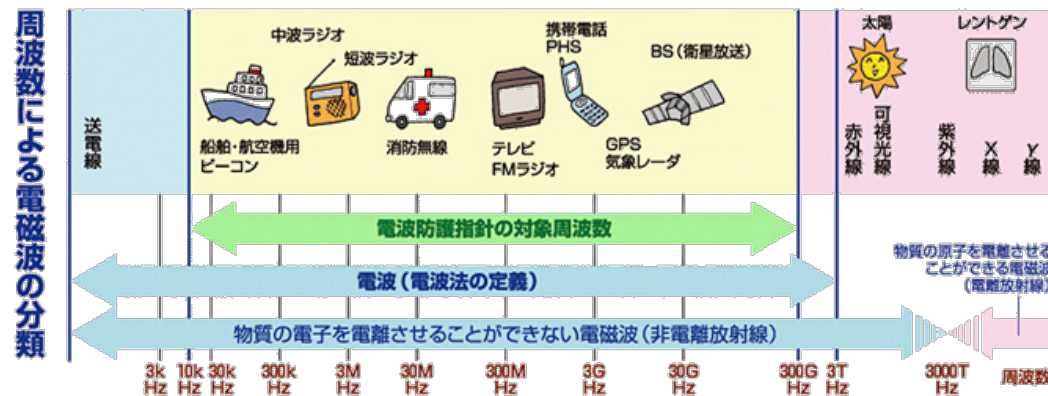
D. Colombi et al, IEEE Antenna & Wireless Propagat. Letts., 2015.

例えば、ICNIRPは、10GHz以下ではSARを用いて24dBm以上となっているが、10GHz以上では入射電力密度を用いて約18dBmとなり、ギャップが生じている。

† ICNIRP: “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)”, Health Phys., vol.74, pp.494-522, 1998.  
 ‡ IEEE C95-1 : “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz”, 2005.

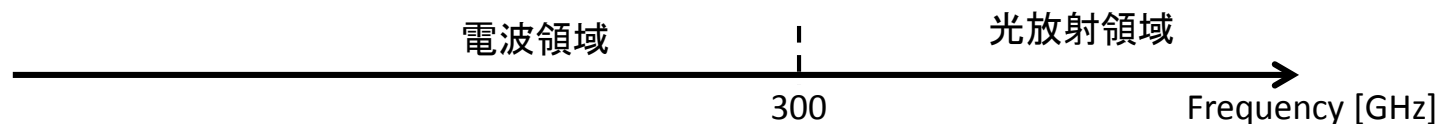
## 2. 電波領域と光領域のギャップ

- ICNIRPは、電波領域(300 GHz以下)<sup>(※1)</sup>と光放射領域(300 GHz以上)<sup>(※2,3)</sup>のガイドラインを有し、光放射領域のガイドラインは、レーザ光以外とレーザ光に対するものに細分される
- 電波領域のガイドラインには、
  - ・職業環境と一般環境の区別
  - ・平均化時間の設定
 があるが、光放射領域のガイドラインにはそれらの設定がなく、両者に相違がある
- 電波領域と光領域の境界における相違を考慮し、ガイドラインを規定することが望ましい



出所)総務省「電波と安全な暮らし」([http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/ele/body/emf\\_pamphlet.pdf](http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/ele/body/emf_pamphlet.pdf))

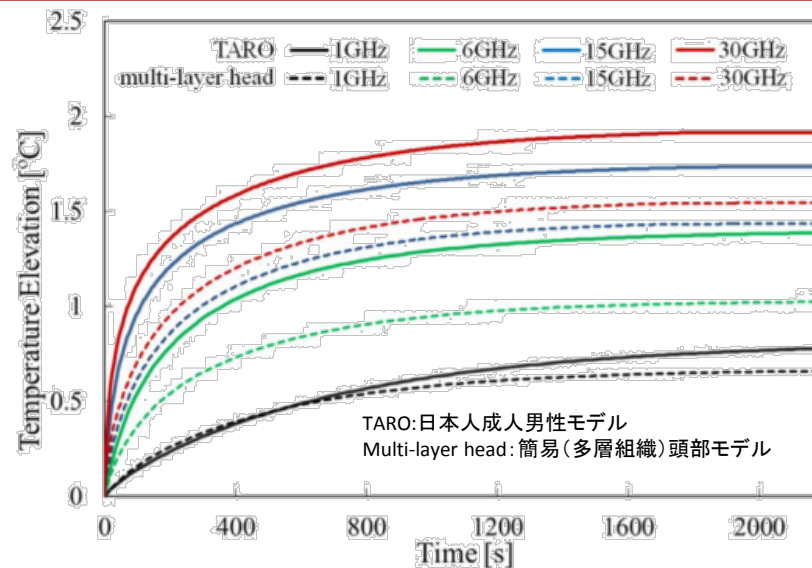
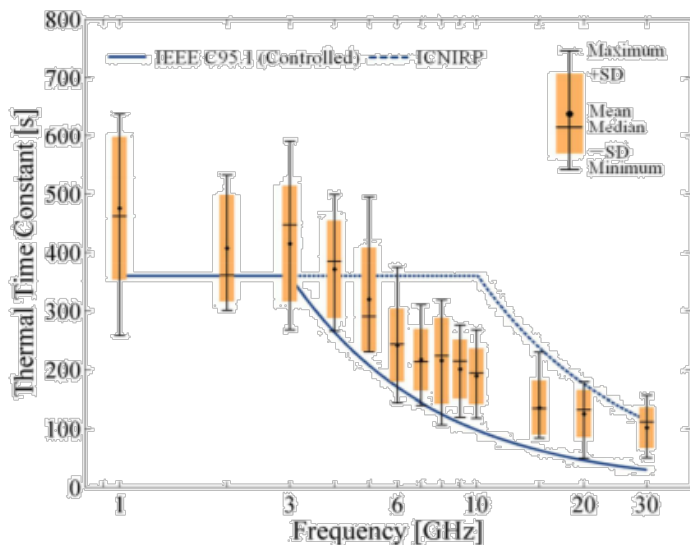
ICNIRPガイドライン



出所) (※1) ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz). Health Phys., vol.74, pp.494-522, 1998.  
 (※2) ICNIRP. Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 μm. Health Phys. 2013; 105(3): 271-95.  
 (※3) ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. Health Phys. 2013; 105(1): 74-96.

### 3. 入射電力密度の平均化時間

- ヒトに入射した電波の一部は人体内で吸収、熱に変換され、体温上昇を引き起こす
- 体温上昇の熱時定数(定常状態の体温上昇の63%の値までに要する時間)は、部位や周波数などにより大きく変化する(※1)
- ICNIRPガイドライン、IEEE規格によって入射電力密度の平均化時間が定められており、3/10 GHzまでは6分、それより高い周波数では周波数が高くなるにつれ小さくなる(※2,3)
- 体温上昇の特性を考慮し、平均化時間を規定することが望ましい



ICNIRPガイドライン、IEEE規格によって入射電力密度の平均化時間が定められている。

熱時定数の周波数依存性と平均化時間

周波数が高くなると、熱時定数が小さくなる。

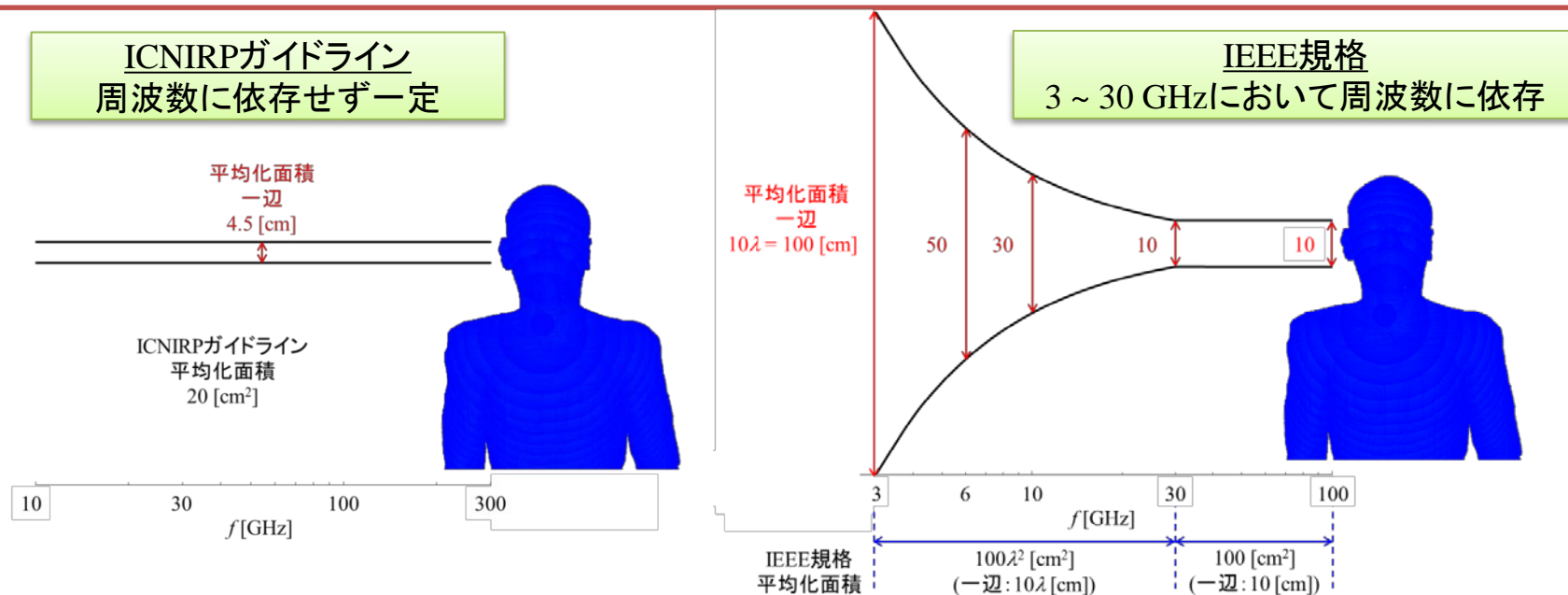
出所) (※1) Morimoto R, Hirata A, Laakso I, Ziskin M C, and Foster K R. Time constants for temperature elevation in human models exposed to dipole antennas and beams in the frequency range from 1 to 30 GHz. Phys. Med. Biol. 2016; 62 (5): 1676-99.

(※2) ICNIRP: "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)", Health Phys., vol.74, pp.494-522, 1998.

(※3) IEEE C95-1: "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz", 2005.

# 4. 入射電力密度の平均化面積

- 入射電力密度の平均化面積がICNIRPガイドライン、IEEE規格によって定められている一方、我が国の局所吸収指針には6GHz以上は規定がない。(※1,2)
- ICNIRPガイドライン、IEEE規格における平均化面積の定義は異なる。
- 近年の研究において、1 cm<sup>2</sup>から4 cm<sup>2</sup>(一辺1cm~2cm)の領域が適当であると報告されている。(※3,4)
- 科学的根拠に基づいた入射電力密度の平均化面積を定義することが望ましい。



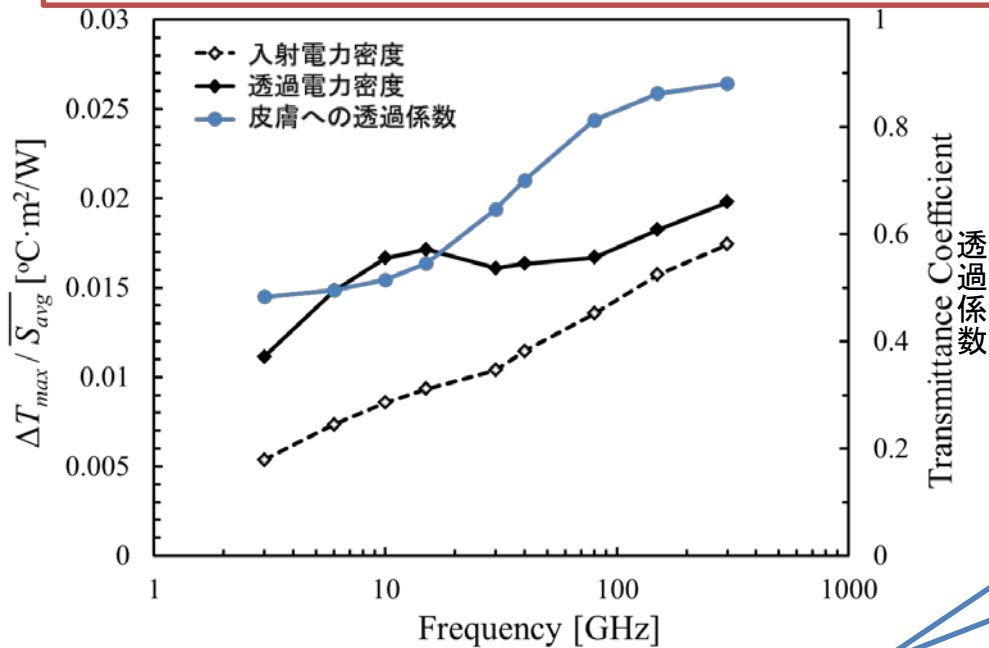
ICNIRPガイドライン、IEEE規格による入射電力密度の平均化面積

出所) (※1) ICNIRP: "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)", Health Phys., vol.74, pp.494-522, 1998.  
 (※2) IEEE C95-1: "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz", 2005.  
 (※3) Hashimoto Y, Hirata A, Morimoto R, Aonuma S, Laakso I, Jokela K, Foster K R. On the averaging area for incident power density for human exposure limits at frequencies over 6 GHz. Phys. Med. Biol. 2017; 62(8): 3124-38.  
 (※4) Foster K R, Ziskin M C, Balzano Q. Thermal modeling for the next generation of radiofrequency exposure limits: commentary. Health Phys. 2017; 113(1): 41-53.

# 5. 局所吸収指針

- 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。
- 6GHz以上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いいがたい。
- ICNIRP/IEEEが「皮膚における浸透電力密度」の導入を提案。これは、皮膚の温度上昇を防護するための指標。
- 局所吸収指針における新たな指標の導入、適切な指針値を設定することが望ましい。

入射電力密度に対する皮膚温度上昇



(透過電力密度) = (入射電力密度) × (透過係数)

外部電磁界である入射電力密度に対し、透過係数を用いて体内吸収量に補正。

6GHz以上では、透過電力密度と体表温度上昇の関係は周波数にほとんど依存しない。

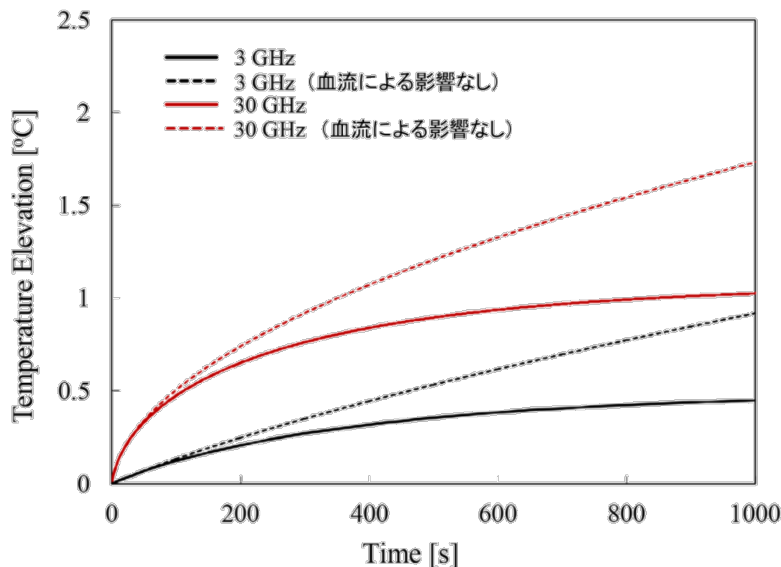
皮膚における浸透電力密度と温度上昇の関係

出所) Hashimoto Y, Hirata A, Morimoto R, Aonuma S, Laakso I, Jokela K, Foster K R. On the averaging area for incident power density for human exposure limits at frequencies over 6 GHz. Phys. Med. Biol. 2017; 62(8): 3124-38.

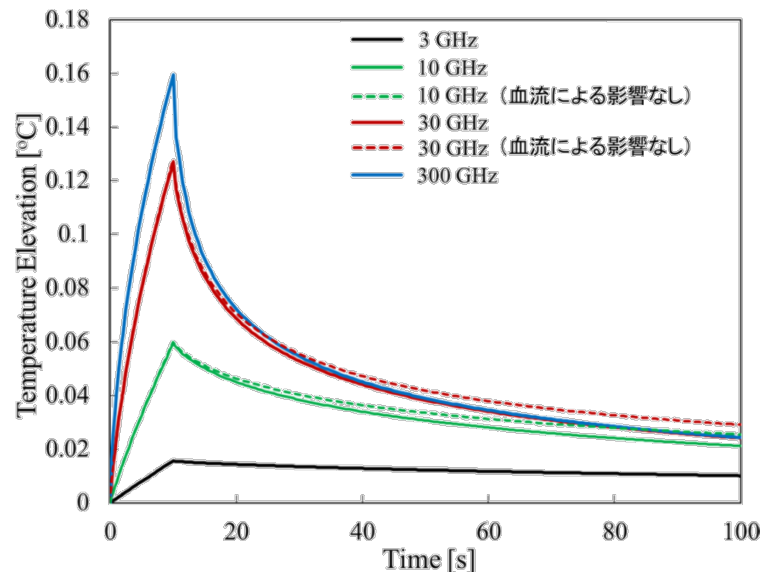
## 6. 大強度短パルスばく露について

- 電磁界強度指針における平均化時間は6分と定められている。国際ガイドラインにおける局所ばく露では、3 GHz－10 GHzを境界に平均時間が減少する。
- 現行の平均化時間は、レーダーなどで用いられる概ね10秒以下の短パルスからの断熱的な過程\*での温度上昇の防護には適切でない可能性がある。
- ICNIRPLレーザガイドラインでは短パルスからの防護に関する制限値が設けられているが、スポット径、持続時間など相違がみられる。将来、国際動向を加味した上で、連続ではない間欠的なばく露からの適切なばく露指標の導入、その指針値の設定が必要となると考えられる。

\*血流による冷却効果が小さく、温度上昇が吸収電力に概ね比例する場合。



数十秒以下のパルスでは血流による冷却効果が小さい



10秒パルスによる体表上昇値の時間応答

高い周波数においては、10秒未満で体温が急上昇する。