

「先進的な無線システムに関する ワーキンググループ」報告書(案) 解説資料

平成30年1月12日

はじめに

第1章 先進的な無線システム等の新たな電波利用動向

- 1.1. 新たな電波利用動向の概要
- 1.2. WPTの動向
- 1.3. 5Gの動向
- 1.4. 60GHz帯無線システム(WiGig等)の動向
- 1.5. 車載レーダの動向

第2章 海外における電波防護に関する検討状況

- 2.1. 各種国際ガイドラインの検討の動向
- 2.2. WHOの動向
- 2.3. ICNIRPの動向
- 2.4. IEEEの動向
- 2.5. IECの動向
- 2.6. 各国の検討状況
 - 2.6.1. FCCの動向
 - 2.6.2. EUの動向

第3章 新たな電波利用に向けた電波防護に関する研究状況

- 3.1. 国内外における主な研究の現状
 - 3.1.1. 現状分析における留意点
 - 3.1.2. 中間周波の影響
 - 3.1.3. 高周波の影響
 - 3.1.4. 超高周波(ミリ波・サブミリ波)の影響
 - 3.1.5. 各周波の研究動向の総括
 - 3.1.6. 生体電磁環境研究及び電波の安全性に関する評価技術研究の動向
- 3.2. 6GHz以上の人体ばく露評価
 - 3.2.1. 局所SARと入射電力密度とのギャップ
 - 3.2.2. 電波領域と光領域のギャップ
 - 3.2.3. 入射電力密度の平均化時間
 - 3.2.4. 入射電力密度の平均化面積

3.3. 防護対象

- 3.3.1. 植込み型の医療機器や金属
 - 3.3.2. 新たな電波利用形態への対応
- 3.4. 今後の研究課題

第4章 新たな電波利用に向けた電波防護指針改定方針

- 4.1. 新たな電波利用に向けた電波防護指針の在り方
 - 4.1.1. 刺激作用を考慮した電波防護指針(10MHz以下)
 - 4.1.2. 熱作用を考慮した電波防護指針(100kHz以上)
 - 4.1.3. 局所吸収指針対象周波数の拡張
 - 4.1.4. 眼への入射規制
- 4.2. 電波防護指針(管理指針)の改定案
 - 4.2.1. 改定の考え方
 - 4.2.2. 電磁界強度指針値の改定
 - 4.2.3. 補助指針の改定
 - 4.2.4. 局所吸収指針の改定
 - 4.2.5. その他

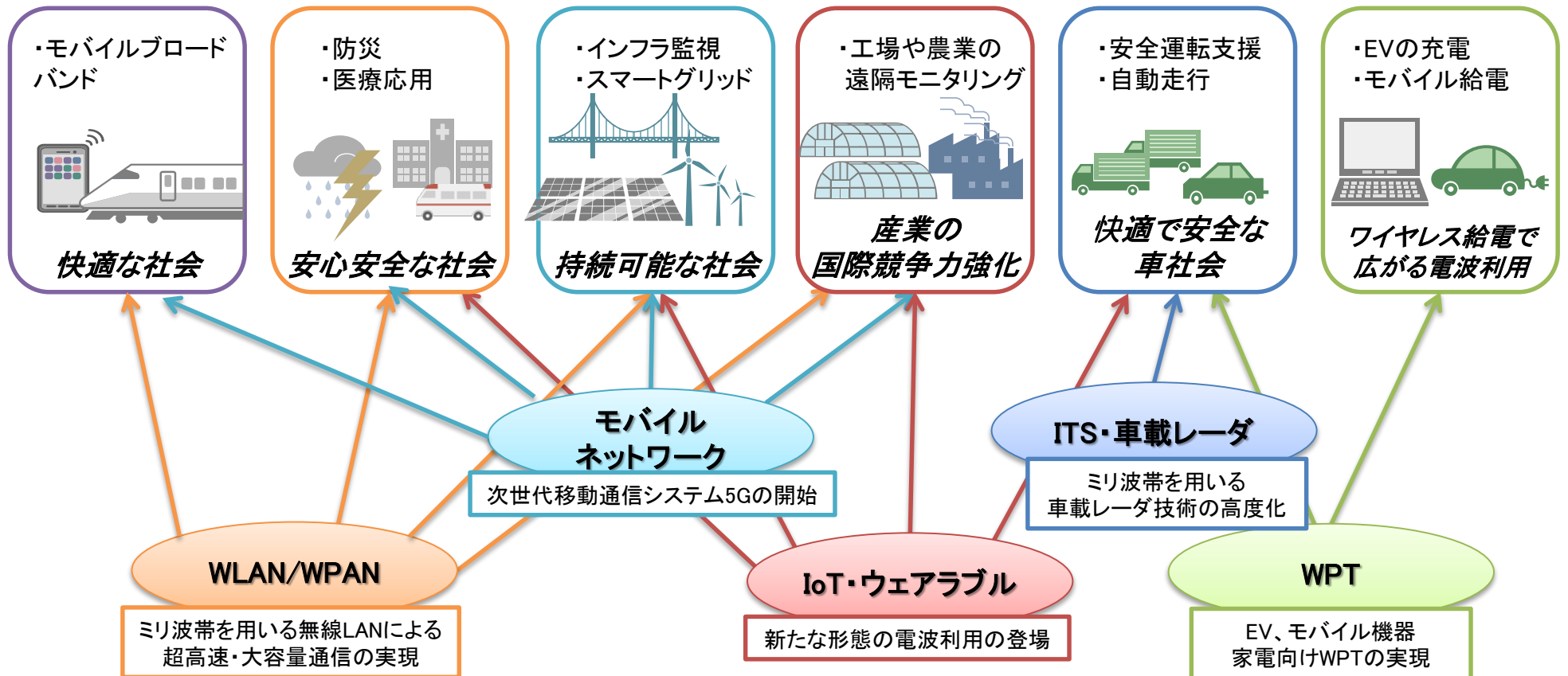
第5章 新たな電波利用に向けた適合性評価方法

- 5.1. 中間周波における適合性評価方法
- 5.2. 高周波(6GHz以上)における適合性評価方法
- 5.3. 高周波(6GHz以上)における数値シミュレーション等による適合性評価方法

第1章 先進的な無線システム等の 新たな電波利用動向

1.1. 新たな電波利用動向の概要

- 電波利用の需要拡大・多様化に伴い、有限な電波資源を最大限に有効活用するため、先進的無線技術に基づく、新たな電波利用システムの実用化が期待されている。
- 第5世代移動通信システム(5G)や超高速無線LANシステムや車載レーダ技術などにおいてミリ波周波数帯が活用される一方、中間周波数帯(300Hz~10MHz)を用いるワイヤレス電力伝送(WPT)も実用化に向けた開発が進められている。



1.2. WPTの動向

- 無線技術を活用して充電を行うWPTは、モバイル・ICT機器から家電、電気自動車(EV)に至るまで、様々な分野での活用が期待されている。
- 伝送方式は、①電磁誘導方式、②磁界結合方式、③電界結合方式、④電波受信方式の4方式が主流となっている。
- 国内では2016年に一部のWPTシステムが制度化されたほか、ITU-R等の国際標準化団体においても各種WPTシステムの利用周波数帯や技術規格の検討が進められている。

国内の制度化実施済みのWPTシステム

対象	電気自動車用 非接触電力伝送装置	一般用非接触電力伝送装置	
		6.7MHz帯磁界結合型 非接触電力伝送装置	400kHz帯電界結合型 非接触電力伝送装置
給電対象・ システム イメージ	電気自動車 	スマートフォン、タブ レットPC等 	ノートPC等 
電力伝送 方式	磁界結合方式		電界結合方式
伝送電力	~7.7kW	~100W	~100W
使用 周波数	79kHz~90kHz	6.765MHz~6.795MHz	425~524 kHz (アマチュア無線、海上無線、 中波ラジオ放送に割り当てら れた周波数帯は除く)
送受電 距離	0~30cm程度	0~30cm程度	0~1cm程度

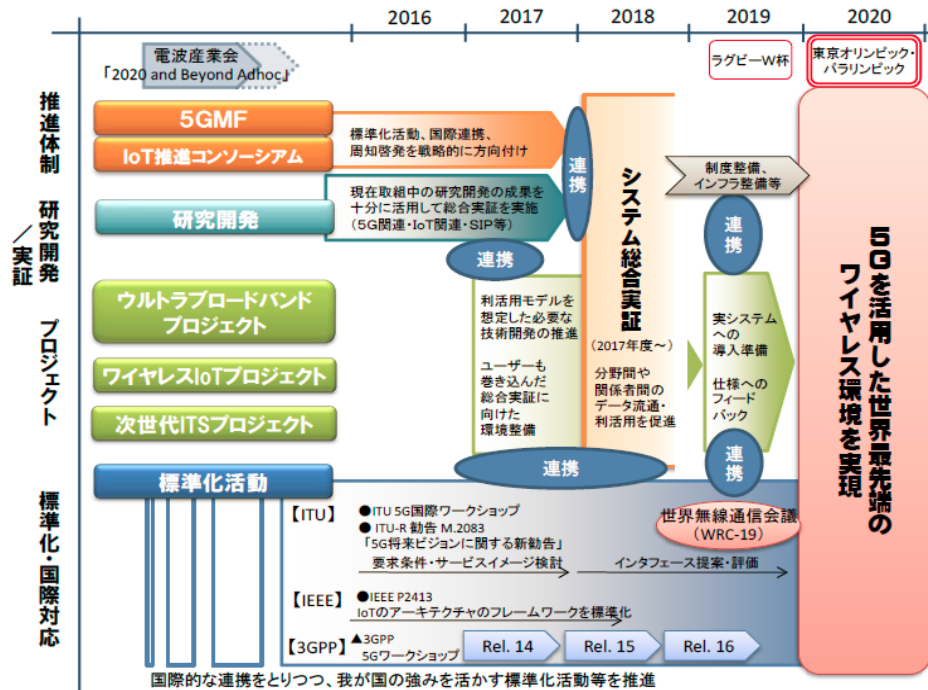
WPTに関する国際標準化の動向

EV	米国SAE Internationalが一般自動車用WPTの製品規格J2954の標準化(2018年発行見込み)を進めているほか、IECでも非接触給電システムに関するIEC 61980の標準化を進めている。
モバイル IT機器	2017年9月のITU-R勧告でモバイル用WPTの周波数範囲については6.78MHz帯と示された。また、Wireless Power Consortium(WPC)の「Qi」(110-205kHz)やAirFuel Allianceの「Rezence」(6.78MHz帯)など業界団体の主導によりワイヤレス充電規格が策定され、すでに多くの製品が市場に流通している。

出所)先進的な無線システムに関するワーキンググループ(第1回)事務局資料

- 5Gは、超高速、超低遅延、多数同時接続といった新たな特徴を持つ次世代の移動通信システムであり、IoT時代のICT基盤として、早期実現が期待されている。
- 5Gではミリ波帯を含む様々な周波数帯の活用が技術的な特徴であり、国際標準化団体や各国において、利用周波数帯及び技術性能要件の検討が進められている。
- 2020年頃の商用サービス開始に向けて、通信事業者をはじめとして産・学・官の実証実験の取組みも活発化している。

5G実現のためのプロジェクト推進のためのロードマップ



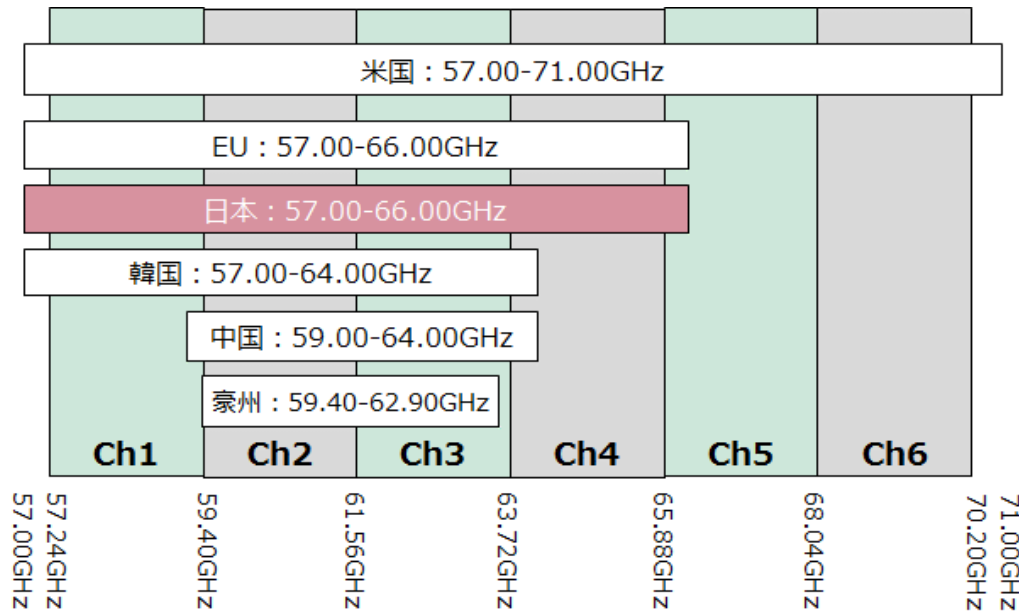
5Gの利用周波数帯の検討状況

ITU	2019年のWRC-19において、議題1.13として2020年以降のIMTの将来開発に向けて、24.25 GHzから86 GHzまでの11の周波数帯について、IMT用周波数として追加特定を検討することで合意。
日本	5Gの候補周波数として、3.7GHz帯及び4.5GHz帯の他、28GHz帯(27.5~29.5GHz)について、ITUや3GPP等における国際標準化動向を踏まえ2018年度末頃までの周波数割当てを目指し、2018年夏頃までに5Gの技術的条件を策定予定。
米国 FCC	24GHz以上の帯域において、①28GHz帯、②37GHz帯、③39GHz帯及び④64-71GHz帯を5G向け周波数帯として特定するとともに、基地局・可搬式基地局・移動局の3つのデバイスに対して、等価等方輻射電力(EIRP)の上限値を規定。

1.4. 60GHz帯無線システム (WiGig等) の動向

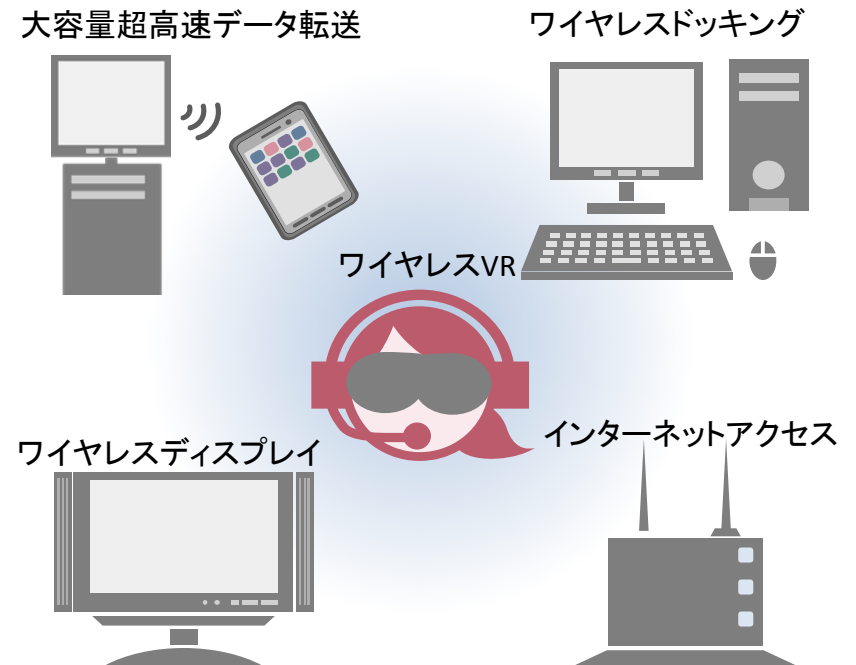
- 60GHz帯は近距離大容量通信用の周波数帯としての利用が期待され、IEEE 802.11ad (WiGig)等の無線通信方式は既に実用化されている。
- 60GHz帯は、近距離・高速データ通信用として、国際的に免許不要帯域として周波数が割り当てられており、様々なユースケースでの利用が期待されている。
- 今後はスマートフォンでの利用やVR技術への活用等、新たな利用形態も広がっていくことが予想される。

各国の60GHz帯の割り当て状況



出所) 60GHz帯の周波数の電波を利用する無線設備の高度化に係る技術的条件(平成27年6月情報通信審議会答申)等を基に作成

WiGigのユースケース



1.5. 車載レーダの動向

- ミリ波帯を使った車載レーダは自動運転や運転支援システムの実現において主要な技術の1つであり、特に79GHz帯を使ったレーダは検知距離が長く、かつ検知精度も高いため、周辺環境が複雑な一般道での適用も期待されている。
- 2015年のWRC-15の結果、79GHz帯においてミリ波レーダに使用できる周波数が拡大されることとなった。レーダの高分解能化が可能となり、自動走行システム実現を加速するものと期待されている。

各種ミリ波車載レーダの特徴

レーダ	周波数 (GHz)	分解能	距離	主な利用用途
24/26GHz UWB	24.25 -29	20cm	30m	後側方障害物警報システム
76GHz	76-77	1-2m	200m	車間距離制御装 衝突回避ブレーキ
79GHz	77-81	7.5cm	100m	一般道の 歩行者検知

79GHz帯高分解能レーダ

79GHz帯(77~81GHz)高分解能レーダー

特徴

- ・100m先の範囲まで、7.5cm程度のものを把握できるよう高性能化し、歩行者等の把握が容易になることが期待
- ・広帯域を活かした高信頼性検知の向上



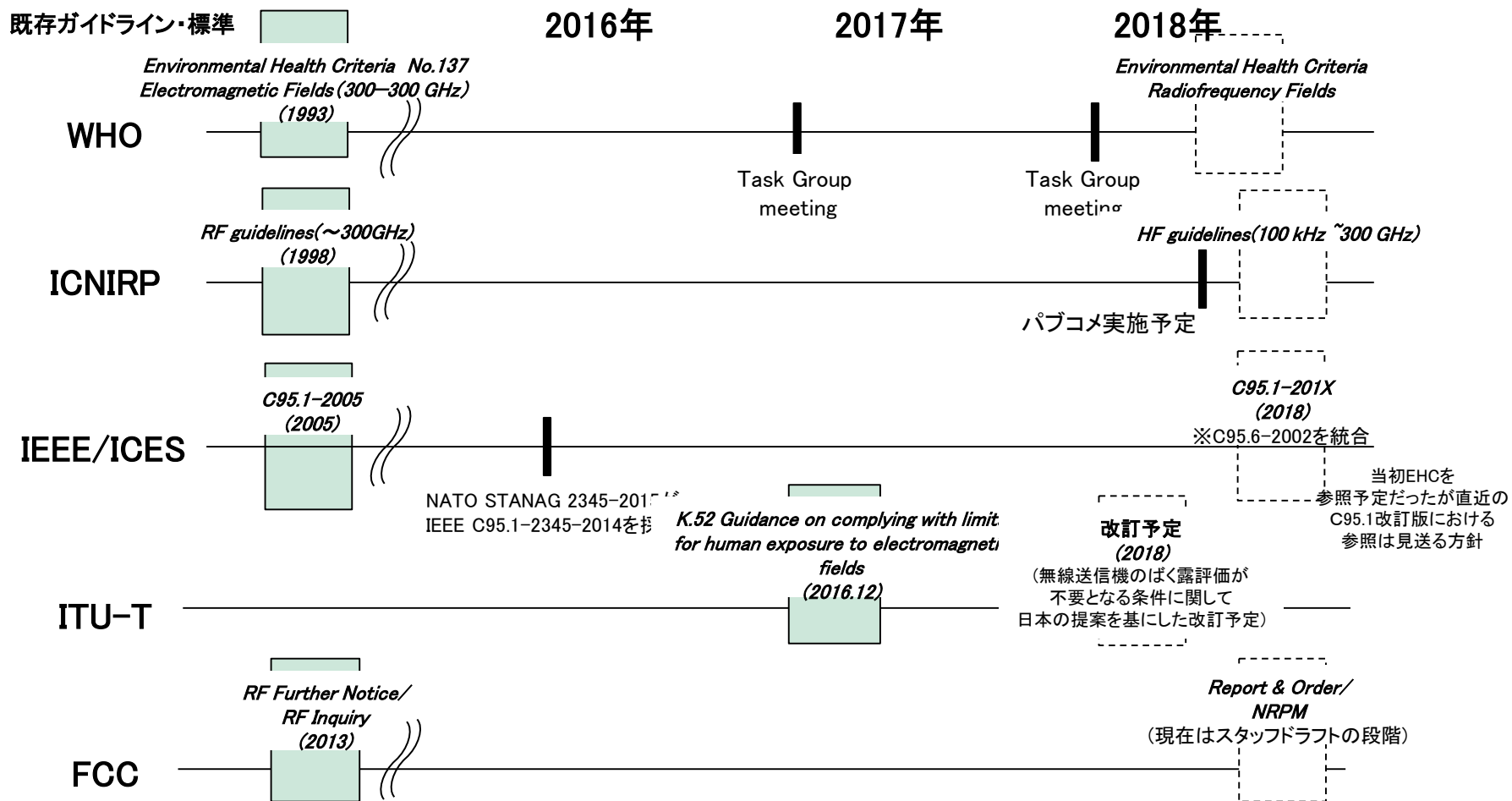
出所)ITUジャーナル「高度道路交通システム(ITS)の世界的調和へのトレンド—WRC-15 議題1.18とWRC-19 議題1.12—」に基づき作成

出所)総務省「ITU 2015年世界無線通信会議(WRC-15)結果概要」

第2章 海外における電波防護に関する 検討状況

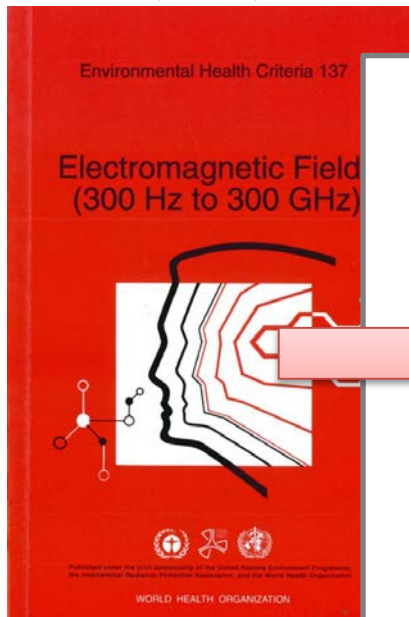
2.1. 各種国際ガイドラインの検討の動向

- 人体への電磁界ばく露に関する国際的ガイドラインを策定する国際機関及び国際標準化団体において、各種ガイドラインの改訂が進められており、2018年以降に新たなガイドラインが相次いで公表される予定となっている。



- 世界保健機構(WHO)の国際電磁界プロジェクト(International EMF Project)は、電磁界ばく露についての健康リスク評価書である「環境保健クライテリア」(Environmental Health Criteria: EHC)を発刊。
- 現在、RF電磁界のばく露に関するEHCの改訂に向けて作業が進められており、2018年以降の発刊が予定されている。

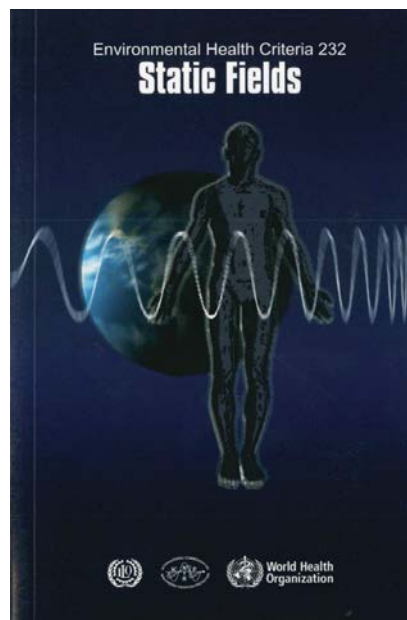
無線周波(RF)電磁界
(1993)



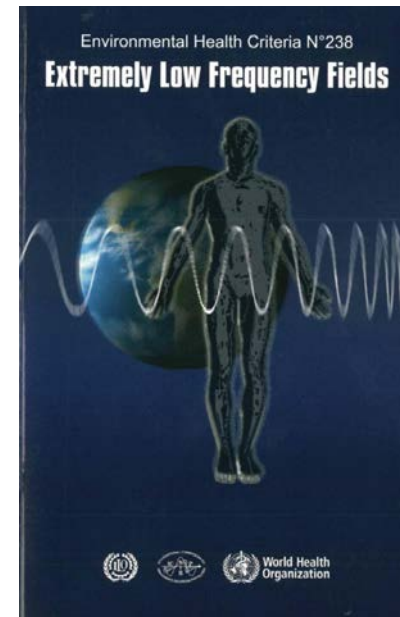
RF電磁界
(2018?)



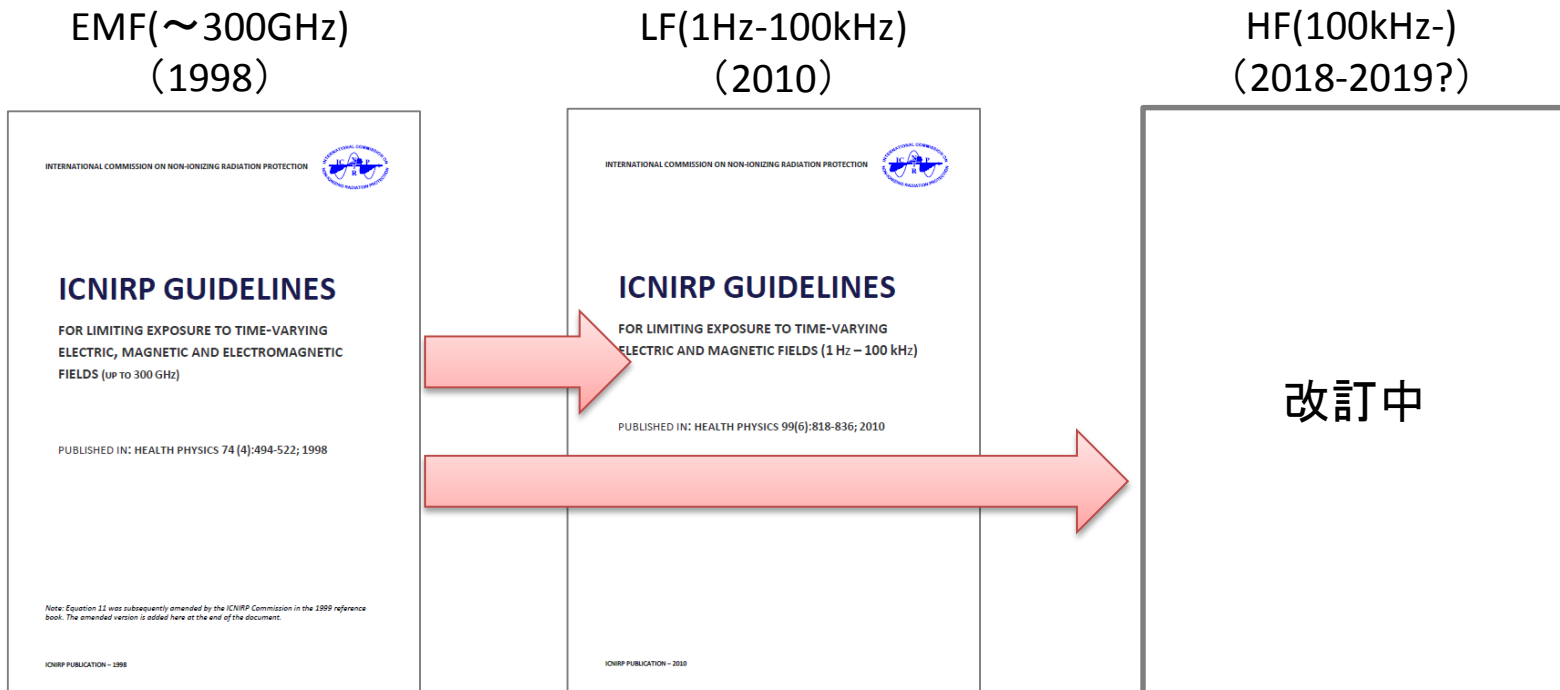
静磁界
(2006)



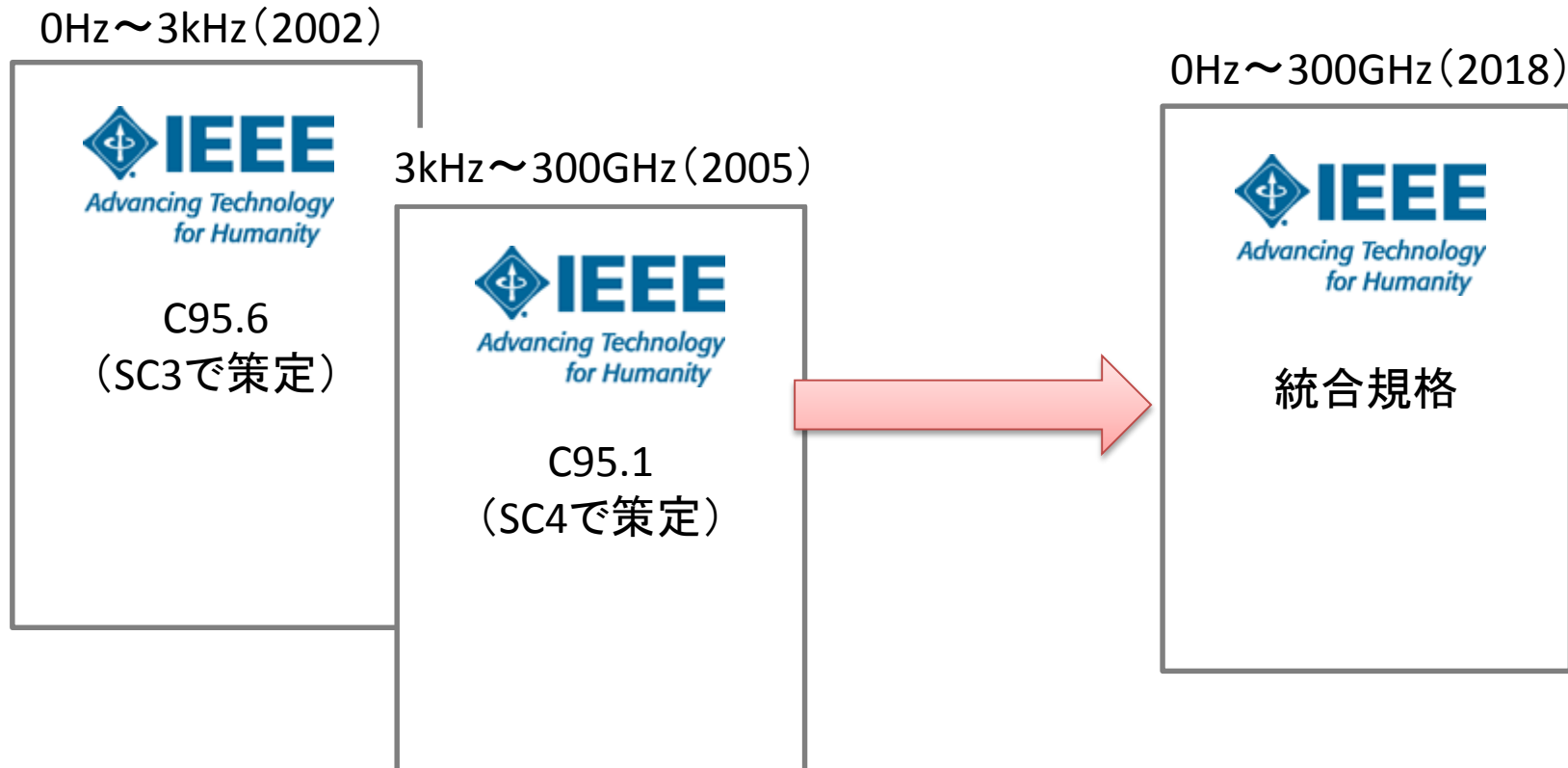
超低周波(ELF)電磁界
(2007)



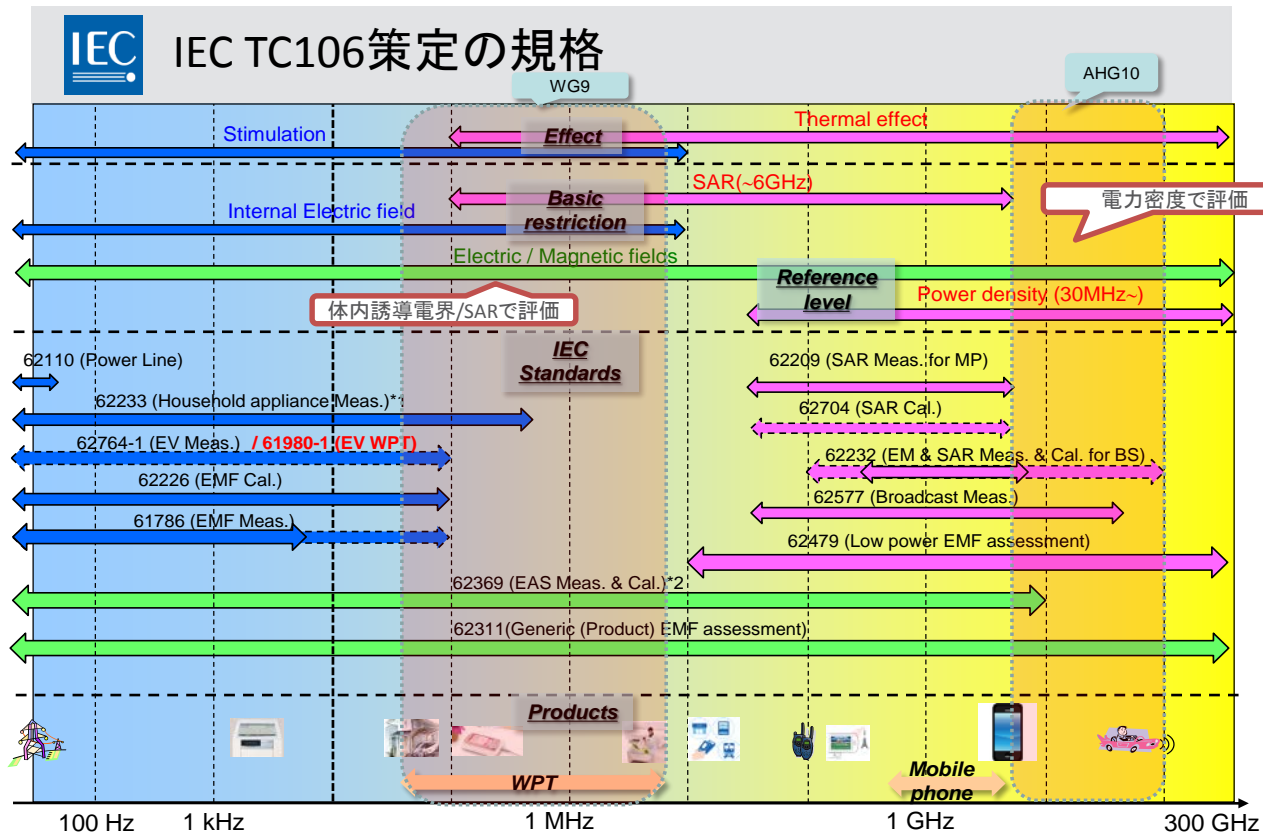
- 国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) は、1998年に、300GHzまでを対象とする「時間的に変動する電磁界の人体ばく露量に関するガイドライン」を発行し、2010年には低周波電磁界 (1Hz-100kHz) に関する改定版を発行している。
- 100kHz以上の高周波電磁界に関しては、前述のWHOのRF電磁界のEHCの改訂に基づくガイドライン改訂の作業が進められており、2018年6月以降に意見募集の実施が予定されている。



- IEEE/ICES 95技術委員会は0Hz-300 GHzの周波数帯の電磁界による生体安全性に関する国際規格を策定している。
- 現行のC95.6「0Hz～3kHzの電磁界への人体ばく露に関する安全レベル」(2002)とC95.1「3kHz～300GHzの無線周波電磁界への人体ばく露に関する安全レベル」(2005)の統合規格を2018年に発行する予定としている。



- IEC(国際電気標準会議)/ TC106は人体ばく露に関する電界、磁界および電磁界の評価方法に関する国際標準規格を発行している。
- 6GHz超の電力密度測定法の検討を行うアドホックグループ(AHG10)が設立され、2018年に技術報告書(TR)を発行し、2019年に国際規格(IS)を発行する予定。
- WG9ではWPTの評価方法に関する検討が行われており、2018年にTRを発行する予定。



出所) 先進的な無線システムに関するワーキンググループ(第6回)IEC TC106国内委員会資料に基づき作成

*1; Frequency range up to 300 GHz and electric and magnetic fields are considered. But only magnetic field measurement procedure 10 Hz to 400 kHz is described.

*2; Frequency range up to 300 GHz are considered. But only procedures up to 10 GHz are described.

2.6.1. FCCの動向

- 米国における電磁界ばく露制限のFCC規則は、連邦規則集(CFR)の「第47編電気通信」のPart 1 - § 1.1307(b), § 1.1310; Part 2 - § 2.1091, § 2.1093に規定されている。
- 2013年3月にFCCが公表した文書FCC 13-39では、RF電磁界ばく露制限の見直しに関して広く一般から調査告示(意見募集)を行っており、現在もFCC内部での検討が続いている。今後5Gなどでの利用が想定されるミリ波帯における電磁界ばく露制限値に関する課題についても、同見直しプロセスの中で検討が行われる予定となっている。

2.6.2. EUの動向

- EU加盟国における電波防護規制は、電磁界の公衆ばく露に関する理事会勧告1999/519/ECおよび職業ばく露に関する新EU指令2013/35/EU(旧EU指令2004/40/ECは2013年6月29日に廃止)に沿って行われる。
- 職業ばく露の新EU指令2013/35/EUにより、各加盟国は同指令に適合する国内の法令、規則、管理規定等を2016年7月1日までに整備・制定するよう要求されており、英国、ドイツ、フランスほか主要国で国内法化が完了している。
- 新無線機器指令(RED)により、各加盟国は2016年6月13日までに同指令に基づく無線設備の基準認証制度の導入が要求されており、多くの加盟国で国内法化が完了している。

第3章 新たな電波利用に向けた 電波防護に関する研究状況

3.1. 国内外における主な研究の現状

3.1.1. 現状分析における留意点

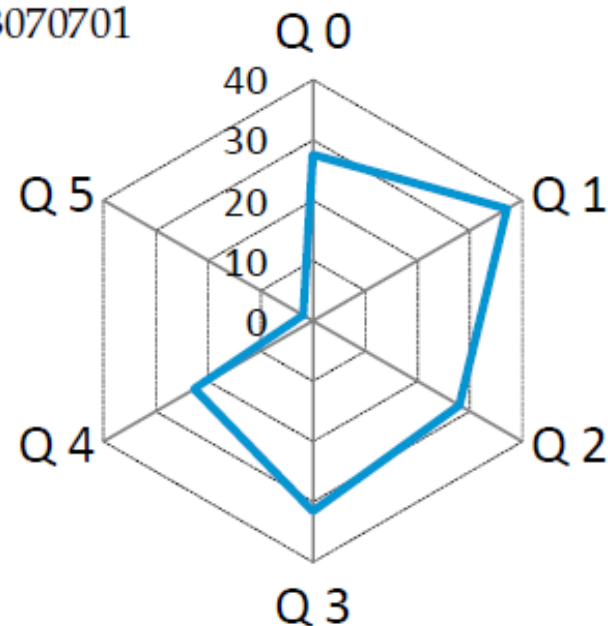
- 生体電磁環境に関する検討会第一次報告書(2015年)以降も多くの研究論文が発表。
- 電波の生体影響を示唆する論文もあるが、多くにおいて方法論やアウトカムが不適切。
- 研究の質は、ばく露装置、周波数、変調方法、ドシメトリ、温度制御、適切な対照群の設定などが明確にされているかで定義できる。
- 電波の生体影響に関する研究論文を精査する際には、結論だけでなく、実験の質に注目をする必要がある。

Int. J. Environ. Res. Public Health 2016, 13, 701; doi:10.3390/ijerph13070701

Quality Matters: Systematic Analysis of Endpoints Related to "Cellular Life" in Vitro Data of Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure

Myrtil Simkó^{1,*}, Daniel Remondini², Olga Zeni³ and Maria Rosaria Scarfi³

高周波の細胞実験で①シャム ②ドシメトリ制御(量反応性) ③温度コントロール ④盲検法 ⑤陽性コントロールを設定しているごとに1ポイントを加算に、論文毎にクオリティスコア(最低0~最大5)を与え、研究結果が陽性だった論文をレーダーチャートにプロットすると、クオリティスコアが高いと、陽性率が低い。(右図)



(c) — % of cellular responses

3.1.2. 中間周波の影響、3.1.3. 高周波の影響、 3.1.4. 超高周波(ミリ波・サブミリ波)の影響

3.1.2. 中間周波の影響

- 中間周波帯の電磁界の健康影響に関する実験的な研究は極めて少なく、現在までの研究結果から結論を導くことは困難。
- 生体電磁環境に関する検討会第一次報告書からは大きな進展はない。
- EVの普及にともない、大電力無線電力伝送の開発や導入も進むため、中間周波数帯の生体電磁環境研究は引き続き重要。

3.1.3. 高周波の影響

- 第一次報告以降、現時点までの研究を総括しても、熱作用以外の影響について明確な影響は見いだされていない。
- 5G等の先進的無線システムで用いられる機器では、現在の携帯電話等の無線通信よりも高い周波数帯を利用するため、生体影響研究もその周波数帯での研究が少なく、引き続きエビデンスの収集が必要。

3.1.4. 超高周波(ミリ波・サブミリ波)の影響

- 超高周波数帯の健康影響に関しては、現状では研究データの蓄積が非常に少ない。
- 一次報告書の時点と変わらず、テラヘルツ帯電磁界のばく露による健康影響については、信頼できる研究結果が不足しているため、現時点では結論を出せる段階にない。
- 体系的でかつ幅広い周波数帯を対象とした研究が今後も引き続き実施されることが望まれる状況。

3.1.5. 各周波の研究動向の総括、

3.1.6. 生体電磁環境研究及び電波の安全性に関する評価技術研究の動向

3.1.5. 各周波の研究動向の総括

- 電波防護指針が対象とする周波数帯(10kHz～300GHz)の電波の健康影響への有無について最新の研究・調査動向を把握した。
- 周波数帯別、研究デザイン別に研究論文を精査したところ、一部で影響ありの研究報告はあるものの、それぞれの科学的根拠は十分ではないため、更なるデータの収集や研究・調査が必要と考えられる。

3.1.6. 生体電磁環境研究及び電波の安全性に関する評価技術研究の動向

- 現在、総務省では、生体電磁環境研究10件および電波の安全性に関する評価技術研究1件を実施し、現行あるいは次世代の電波環境の安全性確保に向けた研究を実施。

課題名
ミリ波ばく露時の温熱知覚閾値に関する研究 (平成27年度～29年度)
無線通信等による電波ばく露の定量的実態把握と脳腫瘍の罹患状況に基づくリスク評価 (平成27年度～29年度)
中間周波数帯の電磁界(特に100kHz帯の磁界)における非熱的生体作用の検討 (平成27年度～29年度)
超高周波の電波ばく露による眼部等の人体への影響に関する定量的調査 (平成28年度～30年度)
局所吸収指針の拡張のための生物学的根拠に関する調査 (平成28年度～30年度)
テラヘルツ波等における非熱作用の有無に関する調査 (平成28年度～30年度)

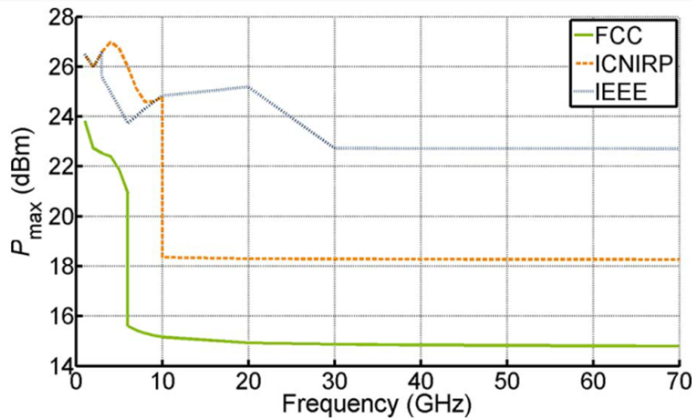
課題名
準ミリ波・ミリ波ばく露時の生体作用の調査 (平成29年度～32年度)
中間周波に係る疫学調査及びばく露量モニタリング調査 (平成29年度～33年度)
中間周波における神経作用(痛覚閾値)の調査 (平成29年度～32年度)
遺伝的背景及び標準評価系を用いた細胞への影響調査 (平成29年度～32年度)
次世代電波利用システムからの電波の人体安全性評価技術に関する調査 (平成28年度～32年度)

出所)各研究課題の公募時の基本計画書に基づき作成

3.2. 6GHz以上の人体ばく露評価

3.2.1. 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

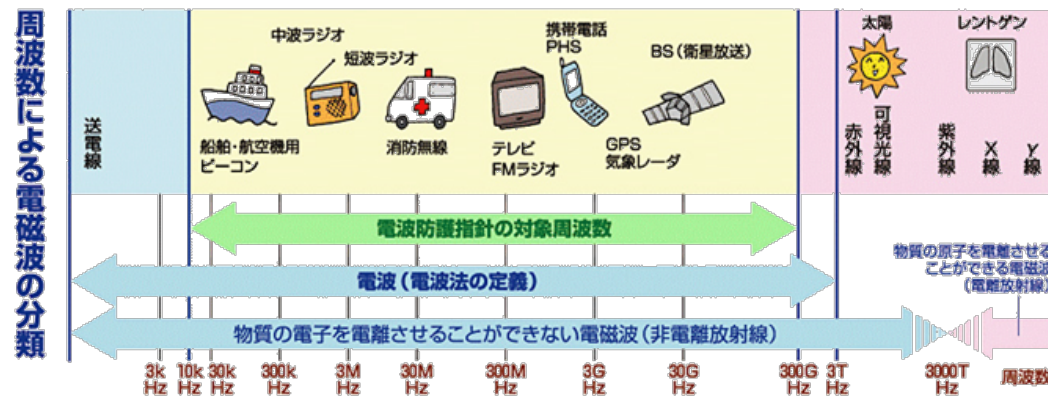
D. Colombi et al, IEEE Antenna & Wireless Propagat. Letts., 2015.

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.

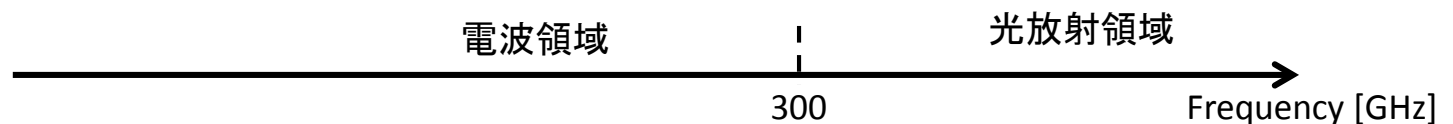
3.2.2. 電波領域と光領域のギャップ

- ICNIRPは、電波領域(300 GHz以下)^(※1)と光放射領域(300 GHz以上)^(※2,3)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)

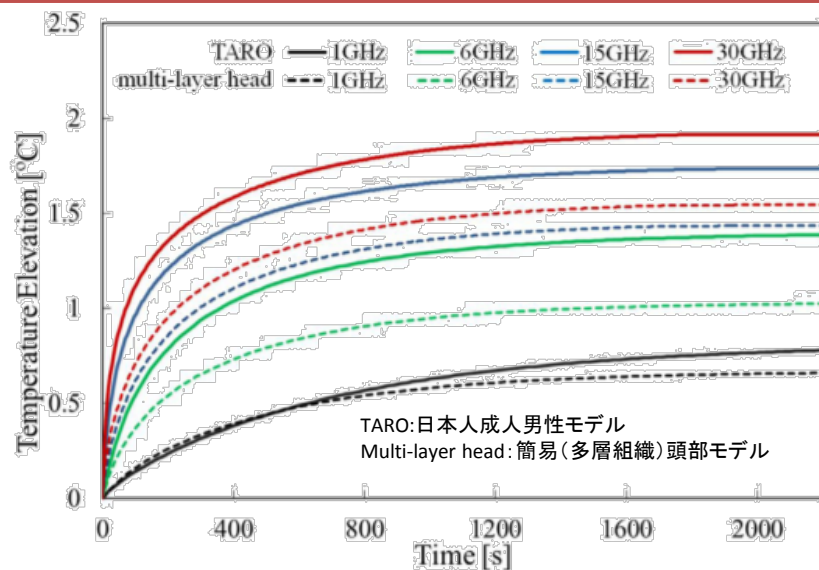
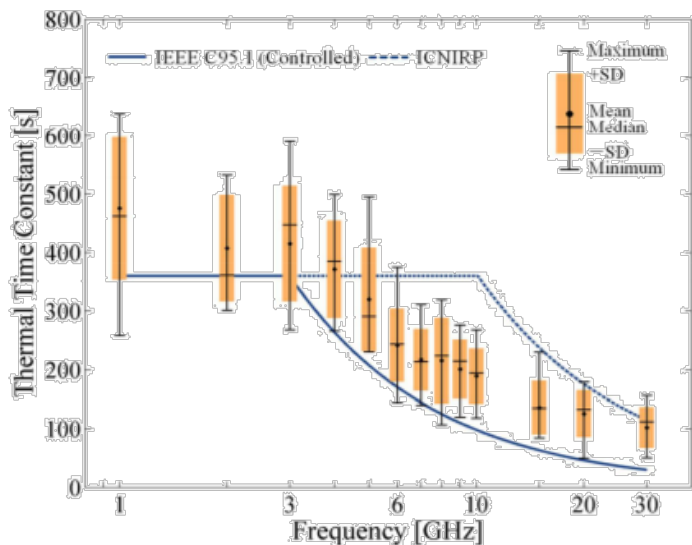
ICNIRPガイドライン



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.

3.2.3. 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。

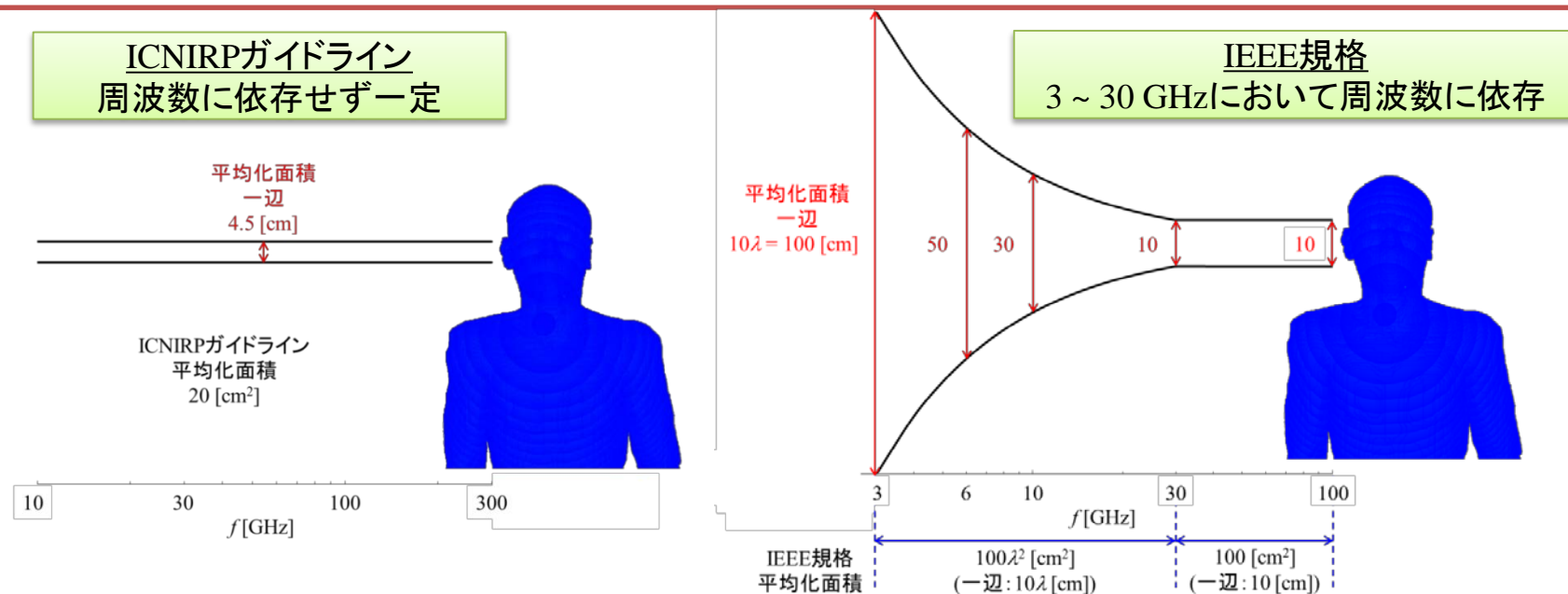
出所) (※1) Morimoto R, Hirata A, Laakso I, Ziskin M C, and Foster K R. Time constants for temperature elevation in human models exposed to dipole antennas and beams in the frequency range from 1 to 30 GHz. Phys. Med. Biol. 2016; 62 (5): 1676-99.

(※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.

3.2.4. 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 cm²から4 cm²(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。



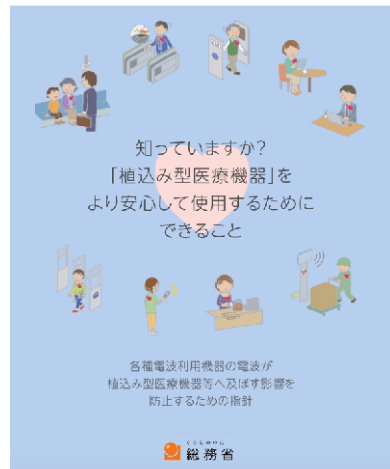
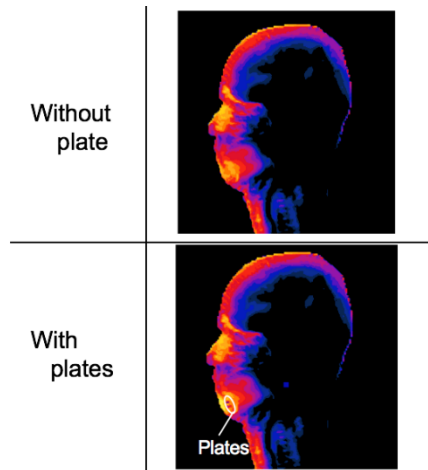
ICNIRPガイドライン、IEEE規格による入射電力密度の平均化面積

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.

3.3. 防護対象

3.3.1. 植込み型の医療機器や金属

- 金属製の器具を体内に埋め込んでいるまたは身につけている場合、あるいは、心臓ペースメーカーや除細動器などの植込み型医療機器を装着している場合には、指針値以下の強度の電波ばく露でも、局所的な発熱、あるいは電磁干渉による誤動作が生じる可能性がある。
- 一方、これらは製品安全性や電磁両立性(EMC)に関する課題であり、電波の人体への影響とは異なるため、同一に取り扱うべきでないと考えられる。
- 電波防護指針(平成2年6月電気通信技術審議会答申)に記されている注意事項の取扱いを踏襲した上で、防護指針に適合した電波ばく露に対して電磁的耐性を有する医療機器の開発等検討がなされることが望ましい。



各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響を防止するための指針



植込み型医療機器のEMI

- 金属製の器具を体内に埋め込んでいる場合、指針値以下の強度の電波ばく露でも、局所的な発熱が生じる可能性

- 国内では、2016年に制度化されたWPTシステムについては、評価方法のパターンごとに電波防護指針等の適用すべき指針値が示されている。
- 今後、異なる方式、大電力化、異なる周波数帯での実用化が予想される状況にあり、個々のシステムに対応した適合性評価方法の確立を行っていく必要がある。
- マイクロ波帯WPTシステムで用いる周波数帯の人体防護のための指針値は既に定められており、熱作用を考慮した指針値への適合性を確認することになる。実用化されるマイクロ波WPTシステムの仕様や利用形態を把握し、それに対する適合性評価方法を確立することが求められる。

- 5Gを搭載する端末について、5Gで利用が想定される周波数帯における既存のSARと電力密度による評価の不整合(ギャップ)、国際ガイドライン・国際標準間における制限値の条件の違いに起因する不一致性が課題となっている。

境界周波数前後における制限値の比較

		ICNIRP	IEEE	FCC
境界周波数 (GHz)		10	3	6
電力密度制限値 (W/m ²) ※境界周波数以上で適用	全身	10 (20cm ² 平均)	10 (f ≤ 30 GHz: 100λ ² 平均) (f ≥ 30 GHz: 100cm ² 平均)	10 (空間ピーク)
	局所	200 (1cm ² 平均)	18.56 f ^{0.699} (f ≤ 30 GHz: 空間ピーク) 200 (f ≥ 30 GHz: 空間ピーク)	
SAR制限値 (W/kg) ※境界周波数以下で適用		2 (10g平均)	2 (10g平均)	1.6 (1g平均)

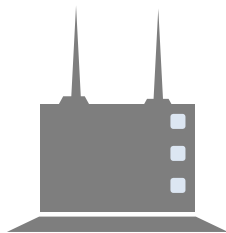
出所) D. Colombi, B. Thors, and C. Törnevik, "Implications of EMF exposure limits on output power levels for 5G devices above 6 GHz," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 14, pp. 1247-1249, 2015

3.3.2.3. 60GHz帯無線システムへの対応

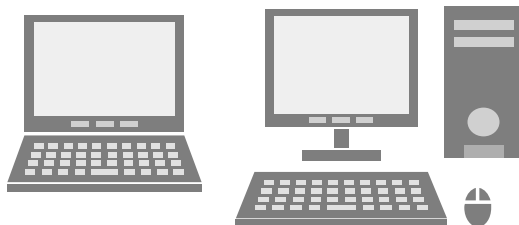
- WiGigで想定されるユースケースにおける電波防護指針の適合の検討では、人体との離隔距離が保てるユースケースでは指針値を満足する結果となったが、人体近傍で利用するユースケースでは、一部指針値を上回る値となるもののビームフォーミング等の機能の実装により、電波の人体へのばく露量を大きく低減させることが可能とされた。
- 人体近傍で利用される端末の場合、まだ標準化された電磁界測定方法はないため、電磁界シミュレーションが適用されている。また、IECのアドホックグループで適合性評価方法の検討が行われている。

WiGigのユースケースにおける電波防護指針への適合

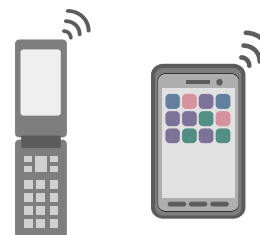
①アクセスポイント(無線LAN)



②PC端末内蔵
(無線LAN、ワイヤレスドック)



③携帯電話端末、
スマートフォン端末内蔵(無線LAN)



固定的に利用され、通常の利用形態では1m以上の距離で使用される。

PC端末と人体との離隔距離は30cm程度

端末と人体との離隔距離は~30cm程度

指針値を満足

一部指針値を上回る想定となったが、ビームフォーミング等の機能の実装により、電波の人体へのばく露量を大きく低減させることが可能

3.3.2.4. 車載レーダへの対応

- 79GHz帯高分解能レーダに関しては、技術的条件の策定の際の電波防護指針の基準値に照らした適合性の検討において、走行中の利用シーンではレーダから電波防護指針の基準値を超える距離に人が立ち入ることは稀であると想定されている。
- ただし、79GHz帯高分解能レーダについては、将来的に一般道における歩行者や自転車等の検知への応用が期待されており、低速走行時や停車時の車両、さらに路側機から電波が発射される利用シーンを想定した検討を別途行っていく必要がある。

79GHz帯高分解能レーダにおいて、電波防護指針を満たす必要離隔距離

前提条件:		
79GHz 帯高分解能レーダの諸元		
・ 送信装置の空中線電力:10mW		
・ 送信空中線の最大輻射方向における絶対利得:35dBi		
電波の強度の算出式		
・ 無線設備から発射される電波の強度の算出方法及び測定方法(告示平成11年4月27日第300号)より引用		
①	全ての反射を考慮しない場合	7cm
②	大地面の反射を考慮する場合	11cm
③	水面等大地面以外の反射を考慮する場合	13cm

3.3.2.5. その他(ウェアラブル端末等)への対応

- 新たな電波利用の形態として、ウェアラブル端末やVR端末においても無線機能を有するものについては、電磁界ばく露制限に関する対応を検討する必要がある。
- eMTC (enhanced Machine Type Communication) 及びNB-IoT (Narrow Band Internet of Things) の移動局に関して、ウェアラブル端末や医療ヘルスケア端末など人体近傍での利用が想定されるものについては、人体におけるSARの許容値の規定が適用される。

eMTC及びNB-IoTの用途における電波防護指針の適用例

利用シーン例	人体との距離
ウェアラブル端末、医療ヘルスケア端末	人体の近傍(例:通常の使用状態で人体との距離が20cm以内) →SARの規定値を適用
スマートメータ、各種センサー、監視カメラ	人体の近傍外(例:通常の使用状態で人体との距離が20cm超)

SARの審査が必要となるかどうかは、工事設計認証等を取得する際に、登録証明機関等において、無線設備毎に判断

出所)LTE-Advanced等の高度化に関する技術的条件(平成29年5月情報通信審議会答申)

3.4. 今後の研究課題

- 「4.1 研究動向」「4.2 6GHz以上の人体ばく露評価」「4.3 防護対象」での議論を踏まえ、医学・生物学分野では、①リスク評価に資する研究領域、②ガイドライン改定に資する研究領域、③その双方にかかる研究領域で多くの研究課題が挙げられる。
- 工学分野における研究課題は、次世代の電波利用技術に対する適合性評価技術、そして医学・生物学的研究の科学的価値を確保するための評価技術に関する課題が挙げられる。
- 今後の研究課題は、多岐にわたり、優先順位、実施時期など多角的要素を考慮し検討していく必要がある。

今後の研究課題ニーズの周波数帯別、研究デザイン別の分類（実数、重複あり）

	細胞実験	動物実験	ヒト実験研究	疫学研究
中間周波	2	3	4	1
高周波	1	2	6	2
超高周波	3	4	5	3

第4章 新たな電波利用に向けた 電波防護指針改定方針

4.1. 新たな電波利用に向けた 電波防護指針の在り方

4.1.1. 刺激作用を考慮した電波防護指針(10MHz以下)

- ICNIRPガイドラインでは0 Hzから規定値が示されているものの、我が国の電波防護指針の対象周波数の下限は10 kHzに設定されているが、10 kHz以上10 MHz以下の周波数帯の刺激作用等からの防護についてICNIRPガイドラインと整合している。
- 我が国の周波数割り当ては、8.3 – 9 kHzが気象援助、9 – 11.3 kHzが無線航空および気象援助となっているものの、実際の使用は行われておらず、将来の需要は不明である。
- 一部10 kHz未満の電波利用技術(EAS、電力設備、家電製品)があるものの、電波法令以外の個別の規制や自主取り組みにより安全性の確保が図られているのが現状である。
- 10 kHz未満についても自主規制がICNIRPガイドライン等と同様の根拠に基づいているものであれば、同じ考えが連続していると考えられ、電波防護指針の対象周波数の下限10 kHzを直ちに見直す必要はないと考えられる。

10 kHz未満で使用されるシステムとその対応状況

システム	対応状況
磁気方式のEAS機器 (万引き防止システム)	無線設備として電波法体系により規制されるとともに、日本万引防止システム協会が自主的取組によりICNIRPガイドラインに準拠する形で人体の安全を担保している。
電力設備	電気設備に関する技術基準を定める省令(ICNIRPガイドラインに準拠)により規制されている。(※1,2)
家電製品	電子レンジ及びIH調理器以外の家電製品については、一般財団法人家電製品協会がICNIRPガイドラインに準拠した技術指針を定めており、加盟メーカーがその指針を遵守している。(※3)
鉄道関連	鉄道に関する技術上の基準を定める省令等(ICNIRPガイドラインに準拠)による規制がある。(※4)

出所) (※1) 経済産業省令第15号「電気設備に関する技術基準を定める省令の一部を改正する省令」(2011年)
 (※2) 原子力安全・保安部会電力安全小委員会「電力設備電磁界対策ワーキンググループ報告書」(2007年)
 (※3) 家電製品協会「家電製品から発せられる電磁波測定(10Hz~400kHz)調査」(2013年)
 (※4) 国土交通省「鉄道に関する技術上の基準を定める省令の一部改正」(2012年)

4.1.2. 熱作用を考慮した電波防護指針(100KHz以上)

- 我が国の電波防護指針の対象周波数の上限は300 GHzに設定されており、ICNIRPガイドラインと同様である。
- 我が国の周波数割り当ては、275～3,000 GHzについては分配されていない。(電波法上の「電波」の定義は、3THz以下の周波数の電磁波。)
- 近年、大容量データ無線通信や非破壊検査・非接触検査を目的として10～3,000 GHzの周波数を使った装置の実用化への取り組みがあり、さらに未踏周波数域を利用するための研究開発も進められているものの、これらの周波数を使用した機器の導入は研究機関や一部機関に限られており、現段階では汎用機器の販売までは進んでいない。
- 現状で電波防指針の対象周波数の上限を直ちに見直す必要はないと考えられるが、将来的には研究開発の動向により技術の導入や普及の見通しが十分得られる場合は、それに合わせた見直しが必要と考えられる。

THz帯におけるシステム例

THz応用機器	周波数(THz)	利用目的
テラヘルツカメラ	0.14、1.4、29、 0.05～0.7	内部構図・生体検査の非破壊・非接触検査 人体に装着可能なウェアラブルカメラ(※1-3)
異物・薬物検査	0.2～3	郵便物内の非破壊検査(※4)
大容量データ無線通信	0.12、0.1～0.5(見込み)	高速無線通信(※5,6)
リモートセンシング(受動)	0.4、0.7	火星の酸素観測(※7)

出所) (※1) Dr. Suzuki et al, "A flexible and wearable terahertz scanner," Nature Photonics, 10.1038/NPHOTON.2016.209, 2016.
 (※2) 東京工業大学「カーボンナノチューブを使い、折れ曲がるテラヘルツカメラを開発—非破壊・非接触検査における新たな手法として期待—」(<https://www.titech.ac.jp/news/2016/036686.html>)
 (※3) Terahertz imaging cameras (<http://terasense.com/products/sub-thz-imaging-cameras/>)
 (※4) 山崎ら「郵便物内の違法薬物の非破壊検査」精密光学会誌, vol.82, no.3, 2016 (https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjspe/82/3/82_217/_article/-char/ja/)
 (※5) 総務省テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会(2011年)
 (※6) 総務省電波資源拡大のための研究開発研究開発課題便覧(2017年4月)
 (※7) 総務省「通信・リモートセンシング衛星の現状と動向について」(2016年9月) (http://www.soumu.go.jp/main_content/000439192.pdf)

4.1.3. 局所吸収指針対象周波数の拡張

- 今後の展開が予想される6 GHz以上の周波数帯での無線通信では、MIMOやビームフォーミングといった技術の適用が検討されており、無線端末の指向性は標準的なダイポールアンテナと比較しより高くなることが想定される。
- 現行の局所吸収指針における適用上限周波数は6 GHzであり、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がない状況。国際ガイドライン(ICNIRP, IEEE)では、6GHzあるいは10GHzよりも高い周波数において、入射電力密度が用いられている。
- 5G(ミリ波帯)では、6 GHzより上の周波数帯における入射電力密度に関してICNIRPガイドラインを暫定的に採用した上で国際動向を考慮しながら整合させる、あるいは、入射電力密度の新たな指針を局所指針に追加する等の改定が望ましい。

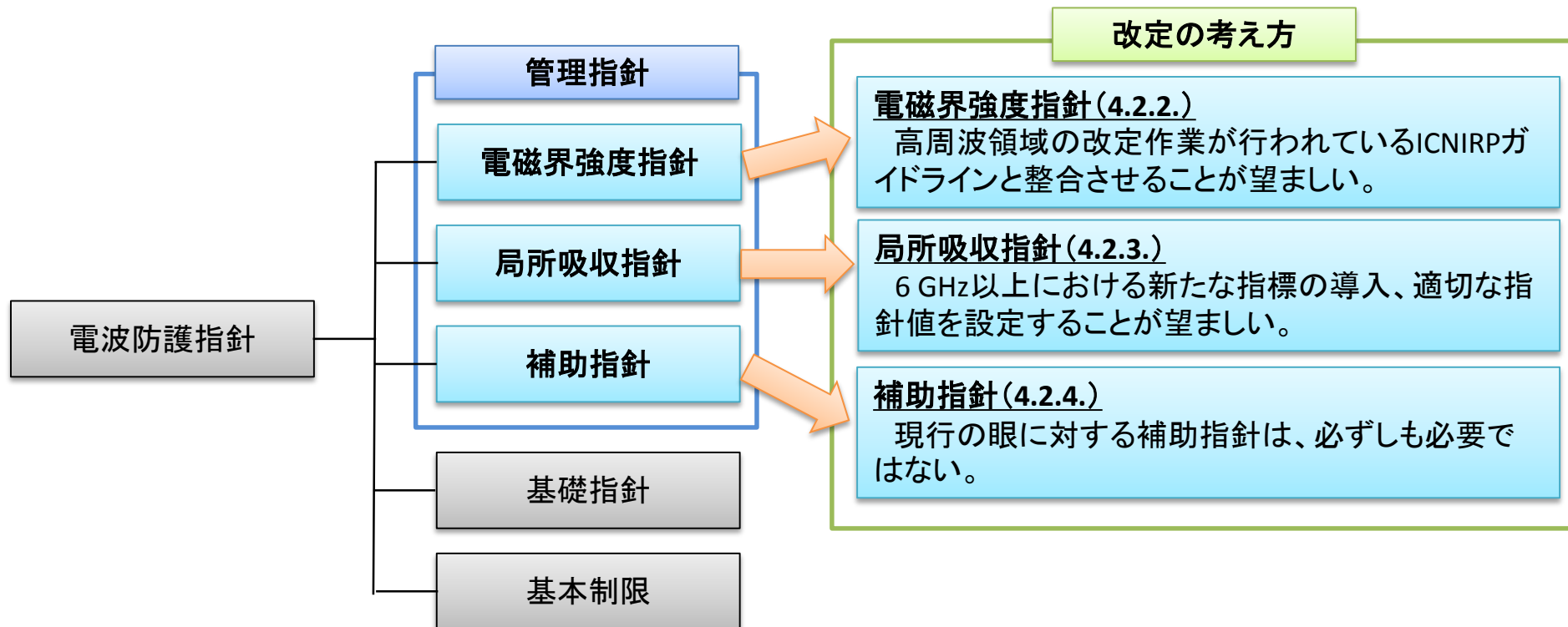
4.1.4. 眼への入射規制

- 現行の防護指針(基礎指針)は重篤な角膜障害の発生を防護している。
- 瞬目の影響や長時間(6分間)にわたり、眼にミリ波ビームが照射し続けるという想定は、光(レーザ)ガイドライン等でも非現実的であるとされていることを考慮すると、現行の眼に対する防護指針(補助指針)は必ずしも必要ではない。
- 眼への入射規制は基礎指針4 (b)で十分であるが、近接波源による電波ばく露の検討が今後必要。

4.2. 電波防護指針(管理指針)の改定案

4.2.1. 改定の考え方

- 電波防護指針は、電磁界強度指針、局所吸収指針、補助指針(以上3つの指針を「管理指針」という)、基礎指針及び基本制限から構成。
- このうち、管理指針は、生体内の電磁現象に関する測定法・推定法に関する研究の進展、電波の利用状況の変化及び国際動向等によって適宜変更されるもの。
- 現在、ICNIRPの国際的ガイドラインの高周波領域の改定作業が進められているため、国際基準との整合を鑑み、この国際的ガイドラインの改定内容に合わせて、高周波領域を含む電波防護指針の管理指針を改定することが望ましい。また、必要に応じて、基礎指針を基本制限に整合させることも検討することが望ましい。



4.2.2. 電磁界強度指針値の改定

- 電磁界防護のため、我が国では電波防護指針の電磁界強度指針値があり、これに相当する指標として、ICNIRPガイドライン、IEEE規格では指針値が異なる。^(※1-3)
- 具体的には、基礎指針となる全身平均SARは同一であるものの、全身ばく露に対する電磁界強度指針は異なる。
- ICNIRPガイドライン、IEEE規格は最新の研究成果に基づいた、より信頼性の高い電磁界強度指針値に相当する値が設定され、かつ整合される可能性が高い。
- これらの国際ガイドラインの最新版と整合させることが望ましい。

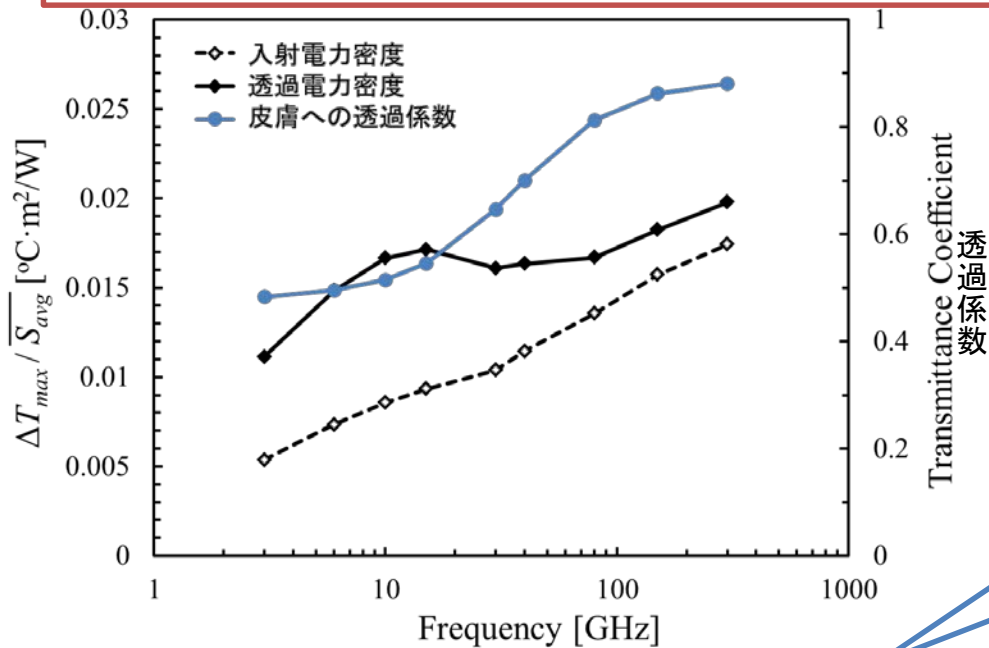
4.2.3. 補助指針の改定

- 眼には鋭敏な忌避反応が備わっている。
- 長時間(6分間)にわたり、眼にミリ波ビームが照射し続けるという想定は、光(レーザ)ガイドライン等でも非現実的であるとされていることを考慮すると、現行の眼に対する防護指針(補助指針)は必ずしも必要ではない。

4.2.4. 局所吸収指針の改定

- 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)

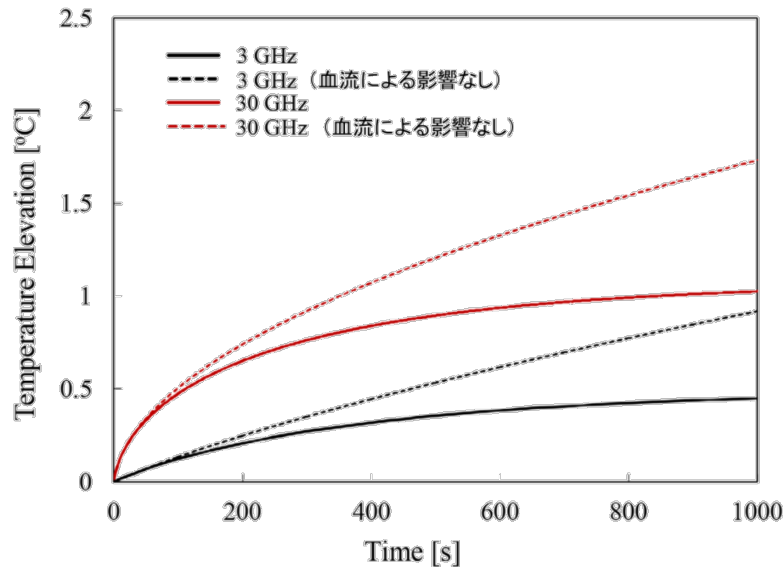
外部電磁界である入射電力密度に対し、透過係数を用いて体内吸収量に補正。

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。

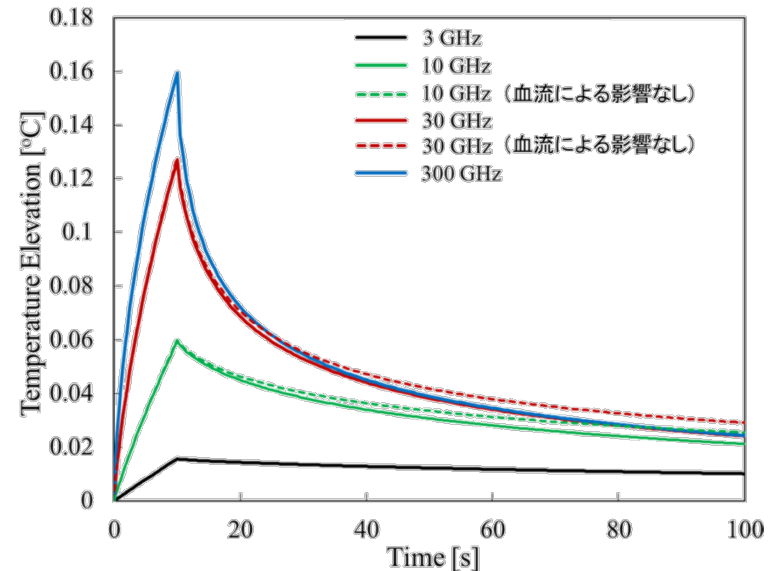
皮膚における浸透電力密度と温度上昇の関係

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.

- 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。
- 電磁界強度平均化時間は、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による温度上昇の防護には適切でない可能性がある。
- ICNIRP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。



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。

第5章 新たな電波利用に向けた 適合性評価方法

- 近年、IH調理器、RFID、EAS、WPTなど中間周波数帯を用いる機器の利用が進んでいる。
- 100 kHzまでの周波数におけるの水平規格として、電磁界測定法がIEC61786に、体内誘導電流計算法がIEC62226に定められている。
- 特定の発生源に対する個別の規格がない場合の評価方法はIEC62311に、IH調理器を含む家電製品の評価方法がIEC62233、RFIDやEASなどについての評価方法がIEC62369に定められている。
- 近年開発が進んでいるWPTに対しては、我が国では電気自動車用WPT、6 MHz帯磁界結合型WPTおよび400 kHz帯電界結合型WPTに対する適合性評価方法を世界に先駆けて策定した一方、国際的な標準化活動としてIEC TC106 WG9において10 MHz以下のWPTシステムに対する適合性評価方法に関する技術報告書の策定を主導している。
 - 現在、技術報告書策定後の新規国際規格化が検討されており、国際規格策定後は我が国で答申されたWPTシステムのための技術的要件における、電波防護指針への適合性の確認方法を国際規格に整合させていく必要があると考えられる。
- また、電波の間接的な影響として接触電流の評価方法についてIEC TC106 WG8において技術文書の作成が行われている。

5.2. 高周波(6GHz以上)における適合性評価方法

- IEC/TC106では、6GHz以上で動作する無線通信器機に対する入射電力密度測定のための技術報告書を2018年第1四半期に発行する見込み。
- IEC/TC106及びIEEE/ICES TC34では、上述の技術報告書に基づいた国際規格策定に向けた活動が予定されている(2019年内に策定する計画としている)。
- 我が国での5Gシステムの導入時期を考慮すると、適合性評価法についてはIECの標準化スケジュールに先行して策定する必要がある。
- 我が国での適合性評価手法に関しては、IEC/TC106 AHG10による技術報告書に基づいて策定することが適当。ただし、一部の評価手順については、IEC/TC106等の動向を踏まえ、今後検討すべき課題として挙げられる。



IEC(国際電気標準会議) / TC106

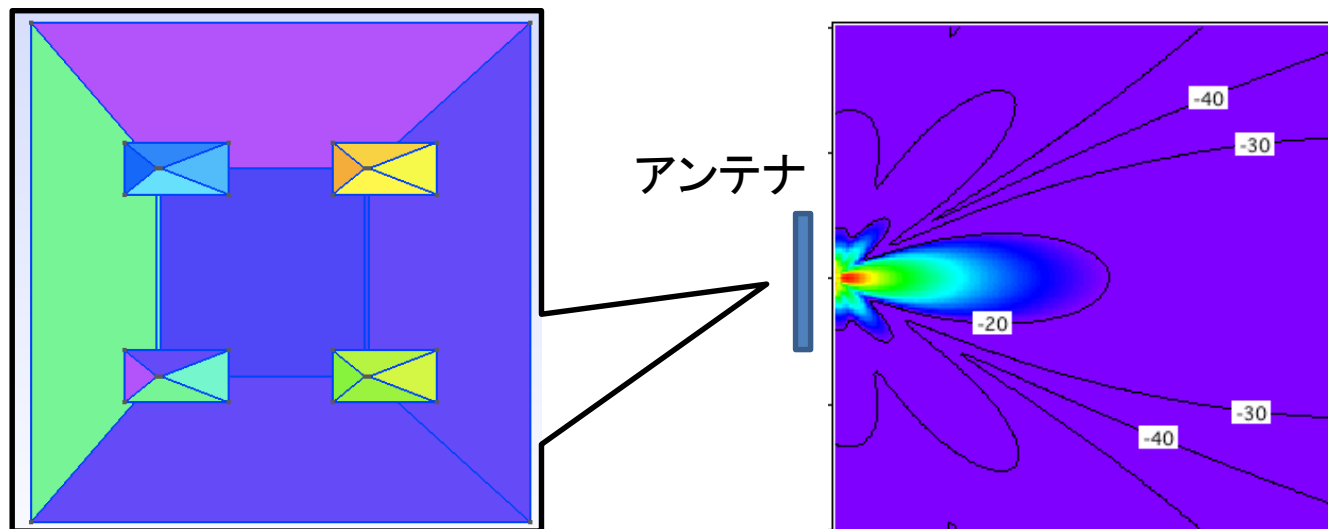
- 人体ばく露に関する電界、磁界および電磁界の評価方法に関する国際標準規格を発行
- 5G(6GHz超)に関する適合性評価方法の検討を開始予定(平成29年にTechnical Report(TR)、平成31/32年にInternational Standardを発行する計画)
- 平成22年、IEC 62209-2 Ed.1(側頭部以外のSAR測定法)を発行。
- 平成28年、IEC 62209-1 Ed.2(側頭部SAR測定法)を改定(平成17年に策定された初版を改定)。
- 情報通信審議会答申を基に、日本主導でワイヤレス電力伝送(WPT)に関するTRを策定中



IEEE/ICES/TC34

- 適合性評価方法に関する国際標準化を実施
- 数値計算に基づく適合性評価方法の標準化等をIECと共同で検討

- 数値シミュレーションによる適合性評価のための国際規格が策定されている一方で、実機との不一致は避けられず、我が国での導入には至っていない。
- IEC TC106およびIEEE/ICES TC34において、6 GHz超の高周波での適合性評価法として、数値シミュレーションを用いた手法の国際規格策定に向けた検討が予定されている。
- 米国FCCではWiGig利用製品の適合性評価手法として、数値電磁界シミュレーションによる手法を採用した経緯がある。
- 従来の測定に基づく適合性評価を基本的な評価方法とするとともに、前述のシミュレーションの課題についての研究動向をふまえ、将来的には適合性評価へのシミュレーション導入の可能性を検討していくことが望ましい。



数値シミュレーションによるアンテナからの電力密度評価例