

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】

「携帯電話端末等の電力密度による評価方法」
のうち
「携帯電話端末等の電力密度の測定方法等」について

1. まえがき

1. 検討の背景

- ① 携帯電話端末等の無線設備に関する技術の進展に伴い、平成32年のサービス開始が期待されている第5世代移動通信システム(5G)をはじめ、6 GHz以上の周波数帯を利用する無線設備が人体に近接して使用されることが想定されている。
- ② また、5Gの携帯電話端末等では、6 GHz以上及び6 GHz以下の周波数帯の電波を同時に発射する機能や、アレイアンテナによりビーム状の電波を発射する機能等、これまでにない新たな人体ばく露条件も考えられる。
- ③ 情報通信審議会では、諮問第2035号「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、平成30年9月に一部答申がなされ、局所吸収指針の6 GHz以上の周波数帯において新たに入射電力密度の指針値を適用する改定が行われたところである。
- ④ そのため、今般、電波利用環境委員会では、6 GHz以上の周波数帯で人体に近接して使用される携帯電話端末等の無線設備の評価方法について検討を行い、諮問第2042号「携帯電話端末等の電力密度による評価方法」のうち、「携帯電話端末等の電力密度の測定方法等」についての検討結果をまとめた。

2. 検討事項

6 GHz以上の周波数帯を利用する携帯電話端末等の電力密度による評価方法について、以下の項目を検討。

- (1) 携帯電話端末等の電力密度の測定方法
- (2) 複数周波数同時ばく露における電力密度と比吸収率(SAR)を指針値とする評価方法

3. 答申事項及びその時期

諮問第2042号
 「携帯電話端末等の電力密度による評価方法」
 のうち
 「携帯電話端末等の電力密度の測定方法等」について
 (平成30年12月頃を予定)

■周波数による指針値の違い

	30 MHz～6 GHz	6 GHz～
近傍	比吸収率(SAR)	入射電力密度を規定 ⇒新たな評価方法が必要
遠方	電界/磁界/電力密度	

2. 目的と範囲

2.1 目的

人体に近接して使用する、6 GHz以上300 GHz以下の周波数帯を用いる携帯電話端末等の無線設備に関する入射電力密度の指針値に対しての適合性評価に使用する標準的な測定方法(以下「本測定方法」という。)及び複数周波数同時ばく露における電力密度とSARを指針値とする評価方法を提示することにより、電波防護指針の円滑な運用を図ることを目的とする。

具体的には、電磁界プローブ※により測定されたデータをもとに電力密度を算出する方法を標準測定方法として採用し、それを使用する上で必要な技術的条件等について規定する。

※…本報告書では、微小プローブ又は導波管プローブをいう。

2.2 範囲

2.2.1 対象機器

本測定方法の対象機器は、手掌を除く、人体に対して通常の使用状態において20 cm以内に近接して使用する無線設備である。

ただし、体内に金属等が挿入されている場合等のばく露については、対象としない。

なお、「通常の使用状態」とは、測定対象無線設備(被測定機)の製造者等が取扱説明書等において明示している使用状態をいう。

2.2.2 周波数範囲

本測定方法は、6 GHz以上300 GHz以下の周波数帯域に適用する。

3. 定義及び用語

情報通信審議会答申 諮問第118号「携帯電話端末等に対する比吸収率の測定方法」のうち「人体側頭部に近接して使用する無線機器等に対する比吸収率の測定方法」(平成27年7月17日)中の用語に加え、今回の報告書で新たに定義をした主な用語は次のとおり。

- **電力密度測定**

電磁界プローブにより測定されたデータをもとに電力密度を算出することをいう。再構築アルゴリズムを利用する場合もある。

- **空間平均電力密度**

評価面における平均化面積に対する、単位面積あたりの電力をいう。空間平均電力密度は評価面で定義される。本報告書では、空間平均電力密度として、空間平均法線電力密度及び空間平均ノルム電力密度の2つを定義する。

- **最大空間平均電力密度**

評価面における空間平均電力密度の最大値をいう。

- **空間平均法線電力密度**

評価面における平均化面積 A_{av} に対して以下の式で与えられる物理量をいう。

$$S_{n,av} = \frac{1}{A_{av}} \iint_{A_{av}} \operatorname{Re}\{\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*\} \cdot \hat{\mathbf{n}} dA$$

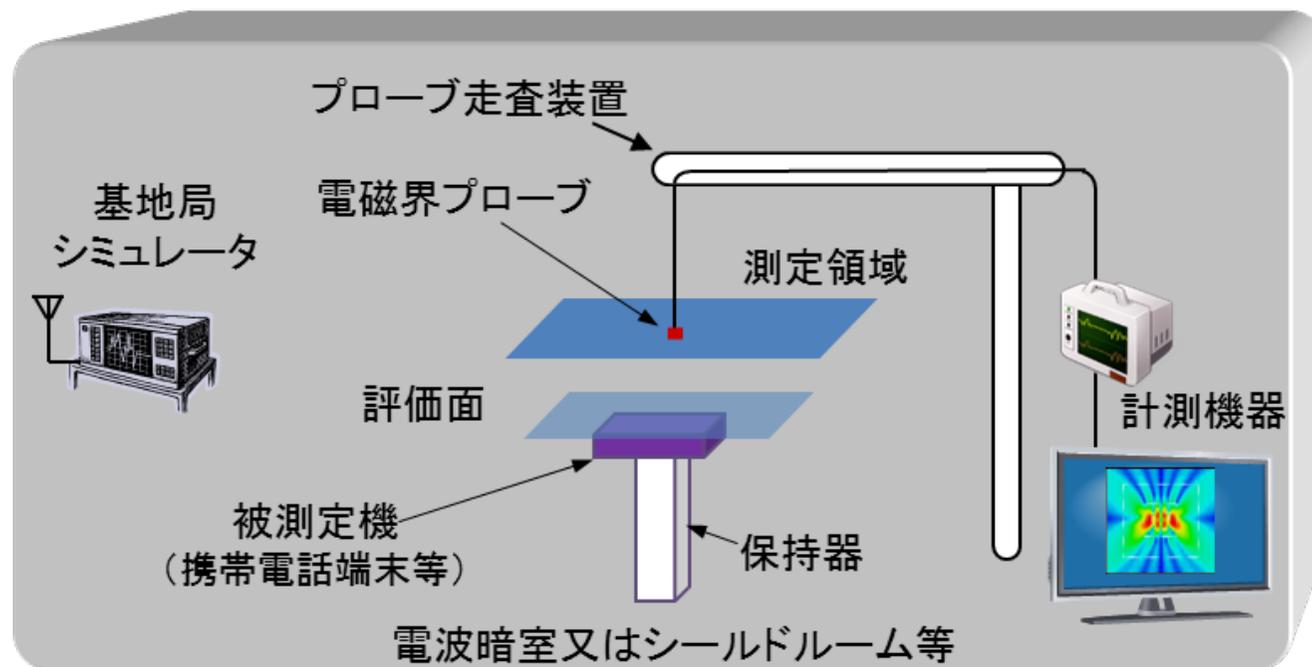
ここで、 $\hat{\mathbf{n}}$ は評価面の単位法線ベクトルである。

- **空間平均ノルム電力密度**

評価面における平均化面積 A_{av} に対して以下の式で与えられる物理量をいう。

$$S_{tot,av} = \frac{1}{A_{av}} \iint_{A_{av}} \|\operatorname{Re}\{\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*\}\| dA$$

- 本測定方法においては、人体が存在するであろう空間の電力密度を実験的に推定する。
- 本測定方法が採用するプローブ走査型電力密度測定方法は、電界分布、磁界分布又はその両方を、**電磁界プローブ**を用いて高精度に測定し、その測定値から**再構築アルゴリズム**などにより、空間平均電力密度を算出することを基本原理とする。
- 測定系は、下図に示すように、電力密度計測装置(電磁界プローブ及び計測機器等)、プローブ走査装置、携帯電話端末等(被測定機)の保持器、基地局シミュレータ等によって構成する。



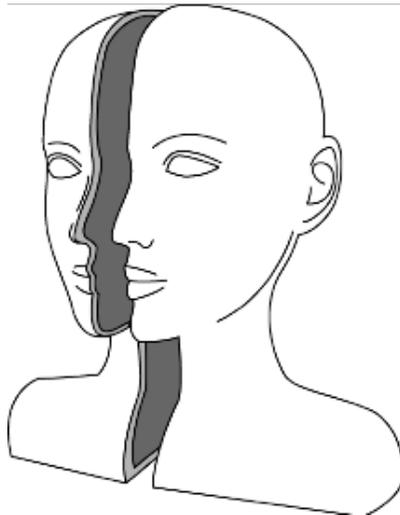
正確な測定のための環境条件を規定

- 周囲温度(18~25 °C)
- 周囲雑音(0.04 mW/cm²未満)
- 反射(0.2 dB未満)

測定系の基本構成図

電力密度を評価するための評価面の大きさや形状は、電力密度値に関わる主要なパラメータであり、人の身体を近似することが望ましいことから、以下の評価面を用いることとする。なお、現時点では再現性良く評価する方法がないため、手のモデル化は行わない。

- 側頭部評価面: 頭部を左右に2分割した形状 (SAR測定方法の頭部モデルと同じ形状)
- 身体評価面: 平らな形状の胴体評価面 (SAR測定方法のフラットモデルと同じ形状)
- 被測定機固有の評価面



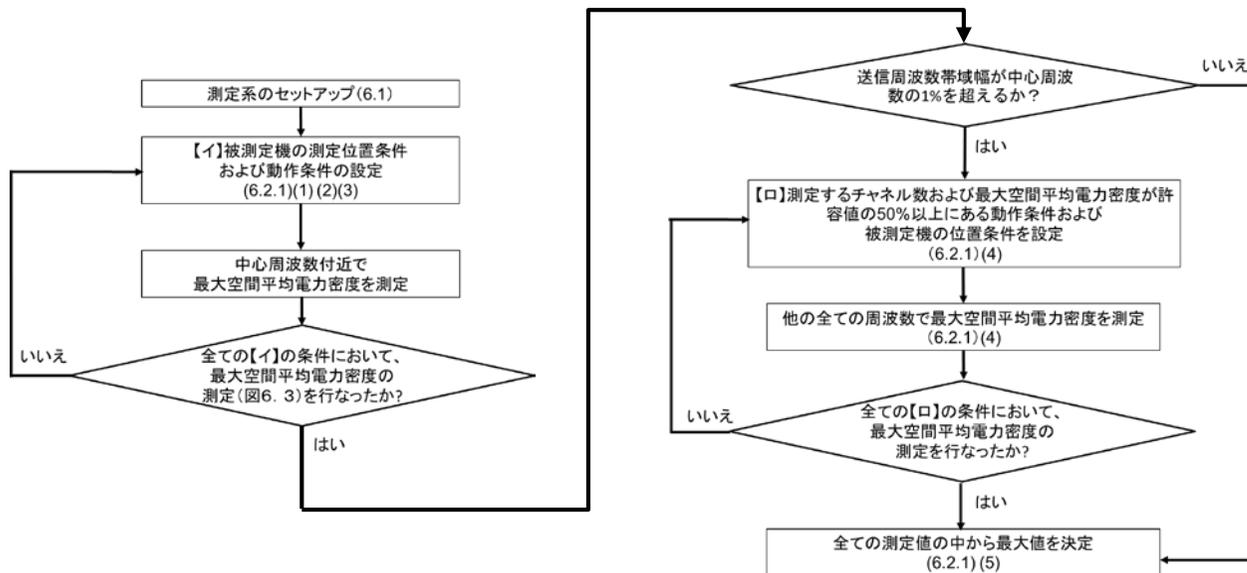
側頭部評価面 (右図はIEC TR63170から引用)



身体評価面 (IEC TR63170から引用)

6. 測定手順

1. 測定にあたっては、各動作帯域の中央付近の周波数を使う。測定は下記の条件に対して行う。
 - ① 測定位置(側頭部評価面(頬の位置・傾斜の位置)、身体評価面、被測定機固有の評価面)
 - ② 被測定機の全ての動作条件(ビーム走査を行う機器の場合は、その全ての条件)
 - ③ マルチモード機能又は複数の使用帯域を持つ被測定機を使用する場合、各送信モード又は帯域
2. 送信周波数帯域幅が中心周波数の1%を超える場合には、最大空間平均電力密度の結果が空間平均電力密度の許容値に対し50%以上(-3 dB以上)にある他の全ての条件に対して、その他の周波数で測定を実施する。
3. 被測定機が複数の送信周波数で同時に動作するもので、プローブ校正の有効な周波数範囲より離れている複数周波数で同時動作する場合は、付録5の手順で評価する。



測定の基本手順

7.2 測定の不確かさ、 7.3 評価方法

- 最大空間平均電力密度測定の不確かさは、ISO/IECガイド98-3：測定における不確かさの表現のガイド（GUM:1995）に規定された方法に基づいて評価する。
- 本測定方法における0.4 mW/cm²から4 mW/cm²までの最大空間平均電力密度測定の拡張不確かさは±2 dB以内とする。ただし、評価した拡張不確かさが規定値を超えた場合には、次式により測定値を補正することができる。

$$S_{corrected} = S_{meas} (1 + U_{meas} - U_{lim}) \quad (1)$$

ここで、

$S_{corrected}$:	補正した最大空間平均電力密度
S_{meas} :	最大空間平均電力密度の測定値
U_{meas} :	拡張不確かさ
U_{lim} :	拡張不確かさの規定値 (dB表示の場合は真数に変換した数値)

- 適合確認の評価においては、測定値と指針値を直接比較する。ただし、拡張不確かさが規定値を超えた場合には、式(1)により最大空間平均電力密度の測定値を補正し、補正した最大空間平均電力密度と指針値を比較する。

8.1 測定系の評価試験

本測定系は、様々な構成部分を有することから、以下の試験を適切に実施することで、測定系が正常に動作していることを確認する必要がある。

- (1) 電力密度測定前に、測定系が仕様の範囲内で正常に動作していることを短時間で確認するために、簡易性能試験を実施すること。(詳細な手順については、付録2参照。)
- (2) 少なくとも年1回あるいはソフトウェアのバージョンアップ等の測定装置の変更があった場合に、測定装置全体が正常に動作していることを確認するために、総合評価試験を行うこと。総合評価試験は、標準波源を用いて行うこととする。(詳細な手順については、付録2参照。)

8.2 電力密度計測装置の較正

- 電力密度計測装置各部の較正に当たっては、電磁界プローブに関わる部分について行う必要がある。電磁界プローブの較正の際には、実際の電力密度測定の際に使用する装置と同じかあるいはこれと等価な較正が可能な測定装置を用いて、測定する周波数帯に対して行うこととする。
- 増幅器やその他の機器については、必要に応じ指定された較正を行うこととする。
- 詳細については、付録7を参照。

9. 今後の課題等

9.1 測定方法の適用対象の拡大

- 本測定方法は、手順を具体的に示す必要性から、現在広く使われている携帯電話端末等の使用形態を前提にしている。携帯電話端末等の高機能化が急速に進んでおり、これまでと異なる使用形態の機器が実用化されることも想定される。
- IECにおいては、平成30年8月に発行されたTR63170に基づき、無線通信機器の電力密度の測定手順に関する国際規格化が進められているところである。
- 今後、無線設備の実用化動向、国際動向等を注視して、継続的に測定方法の検討を行う必要がある。

9.2 電力密度値の取り扱い

本測定方法では、人体に近接して使用する携帯電話端末等に対する入射電力密度の標準的な測定方法を示した。電波防護指針との適合性を統一的に評価する方法を確立するものであり、電波の健康への影響に関する懸念に対して、適切な情報提供を可能にすることが期待される。

特に、以下のことに留意するべきである。

- 本測定方法では、一般的な使用状態で生じ得る入射電力密度の概ね最大値が測定される。実際の使用状態で生じる人体に入射する電力密度は、システムの送信出力制御(通信条件によって端末の出力が自動的に低減されること。)が動作することから、測定値よりさらに小さくなる場合が多い。
- 電波防護指針の指針値は、閾値から十分な安全率を考慮して定められており、入射電力密度値がこの指針値を下回っている場合、入射電力密度値の高低に関わらず人体に対して等しく安全である。
- 本測定方法によって得られる入射電力密度の数値に関して、正しい理解が得られるように努める必要がある。

測定面において取得される電磁界から評価面での電力密度を算出するための方法を示す。再構築アルゴリズムは測定された電磁界を評価面における電力密度に変換するためのアルゴリズムを指す。再構築アルゴリズムには、次の手法の一つ以上が含まれる。

➤ **電磁界情報の推定法:**

電界(磁界)のベクトル成分を推定する手法、電界から磁界(磁界から電界)を推定する手法、又は電界強度(磁界強度)からその位相情報を推定する手法。

➤ **電磁界分布の推定法:**

測定領域の電磁界から評価面における電磁界に伝搬、変換、投影する手法。

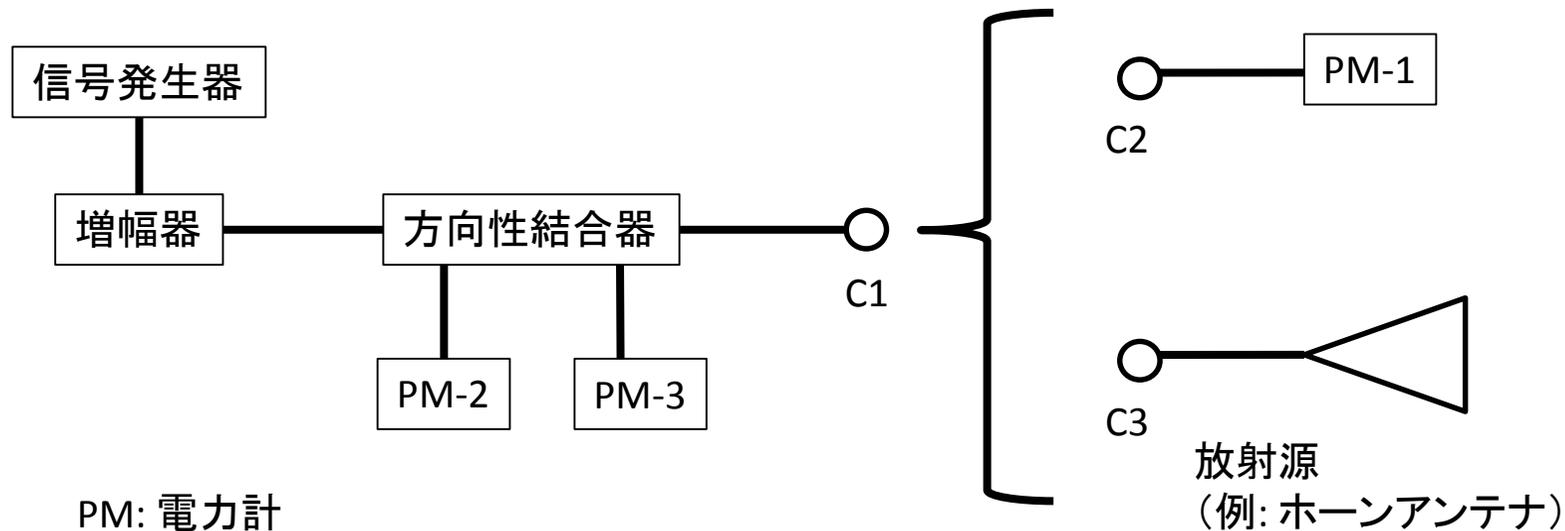
測定系の評価試験は、以下の簡易性能試験及び総合評価試験により行われる。

1 簡易性能試験

簡易性能試験は、一連の電力密度測定前に、測定系が仕様の範囲内で正常に動作していることを短時間で確認(再現性確認)するための試験。

2 総合評価試験

総合評価試験は、少なくとも年1回あるいはソフトウェアのバージョンアップ等の測定装置の変更があった場合に、測定装置全体が正常に動作していることを確認するための試験。



簡易性能試験の基本構成の例及び総合評価試験の基本構成

(付録3) 遠方界法

遠方界においては、以下の方法により電力密度を評価することが可能である。方法1では入力電力とアンテナ利得、方法2では電界もしくは磁界の実効値を用いて電力密度を計算することができる。

方法1) 等価等方輻射電力(EIRP)による評価

方法2) 等価平面波近似による評価

(付録4) 測定数削減

被測定機がMIMOなどの複数アンテナからの送信、及び複数の周波数帯や通信方式などで送信することができる場合、空間平均電力密度を決定するためには多くの測定が必要となり、多大な測定時間を要する。適合性確認の際に以下の方法を用いることにより、合理的に測定数を削減することができる。

方法1) 測定数削減技術を使用することのできる測定条件の選択(有線測定とOTA測定)

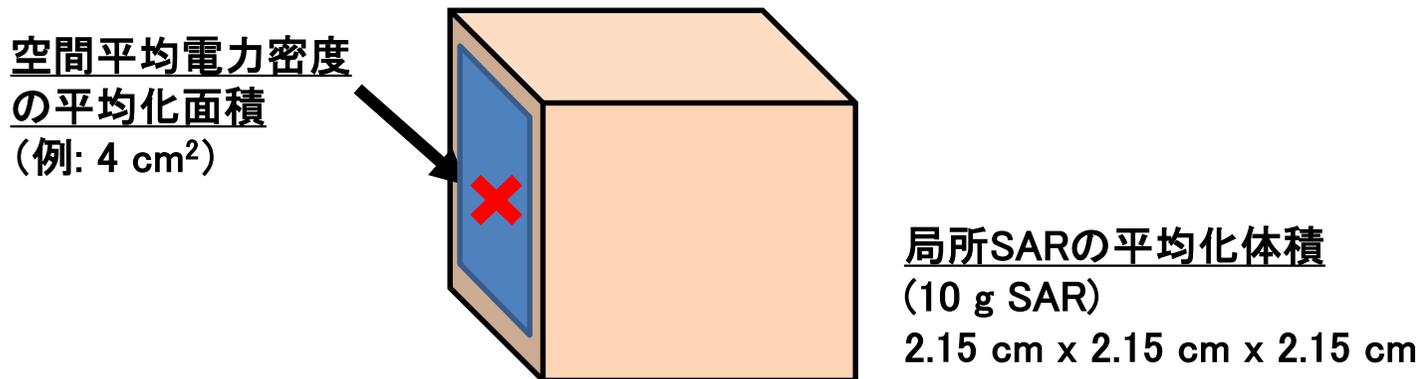
方法2) 被測定機のアンテナ配置、指向性に基づく試験の削減

方法3) 複数アンテナ同時送信時の測定数削減

方法4) 複数帯域同時送信時の測定数削減

- 6 GHz以下の周波数と6 GHz以上の周波数の電波を同時に送信する端末等においては、6 GHz以下はSAR、6 GHz以上は電力密度の各測定値と、各々に対応する指針値の比を足し合わせた結果で適合性を判断する。
- 6 GHz以上の異なる周波数の電波を複数同時に送信する場合も想定される。ここでは複数帯域同時送信時のばく露量の評価手順について示す。
 - 手順1 局所最大SARと最大空間平均電力密度の照射比※の足し合わせによる評価
 - 手順2 電力密度の空間的な照射比の分布を考慮した評価
 - 手順3 SARと電力密度の空間的な照射比の分布を考慮した評価

※照射比 …動作周波数と位置により与えられる電波防護指針の指針値に対するばく露量の比



電力密度と局所SARの合成方法の例

(付録6) 不確かさの評価

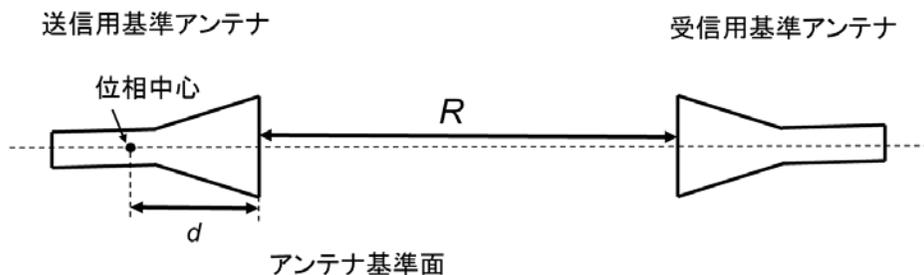
- 無線機器の入射電力密度測定における不確かさの評価は、ISO/IECガイド98-3:測定における不確かさの表現のガイド(GUM: 1995)の原則に基づいて行うものとする。特に規定されない限り、電力密度測定の不確かさは、適用する局所吸収指針で規定される平均化面積について評価する。
- 本付録では、不確かさの各要素の一般的な説明、ガイドライン、近似公式等を提供する。

表1 電力密度測定の不確かさの評価表(一例)

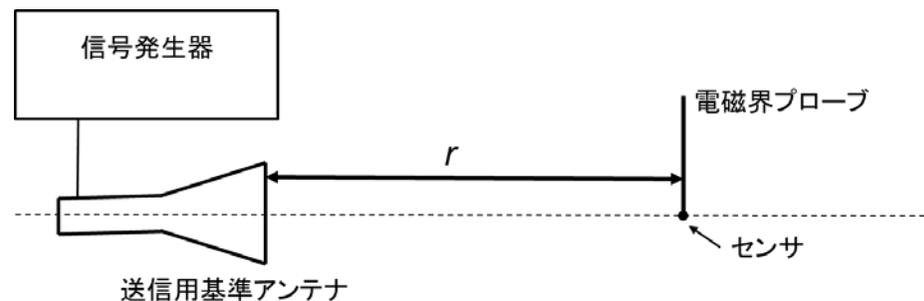
不確かさの要素	説明	公差又は不確かさ [%]	確率分布	除数	感度係数	標準不確かさ [%]	自由度又は有効自由度
測定システムに起因する要素							
電力密度計測装置の較正	2.1.1						
電磁界プローブの補正	2.1.2						
電磁界プローブの等方性	2.1.3						
電磁界プローブによる散乱	2.1.4						
測定システムの直線性	2.1.5						
電磁界プローブの位置決め	2.1.6						
センサの位置	2.1.7						
振幅及び位相のドリフト	2.1.8						
振幅及び位相の雑音	2.1.9						
データの空間分解能	2.1.10						
測定範囲の打ち切り	2.1.11						
再構築アルゴリズム	2.1.12						

不確かさの要素	説明	公差又は不確かさ [%]	確率分布	除数	感度係数	標準不確かさ [%]	自由度又は有効自由度
被測定機と測定環境に起因する要素							
被測定機と電磁界プローブの結合	2.2.1						
変調応答	2.2.2						
積分時間	2.2.3						
被測定機の位置決め	2.2.4						
RF環境条件	2.2.5						
測定システムの耐性/ 二次受信	2.2.6						
被測定機のドリフト	2.2.7						
合成標準不確かさ							
拡張不確かさ (95%の信頼の水準)							

- 電力密度計測装置(電磁界プローブ、増幅器、測定用付属品等)の各構成品は適正な方法で較正しておく必要がある。特に、電力密度評価用の電磁界プローブは高精度な較正が必要。
- プローブの感度は、基準アンテナからの標準電界を利用した手順や電磁界プローブの利得を利用した手順の適用により決定可能。
- 基準アンテナを用いた「標準電界法と2アンテナ法によるプローブの較正手順」
 - 【第1手順】アンテナ利得および位相中心の評価手順
 - 【第2手順】標準電界の導出およびプローブの感度係数の評価手順



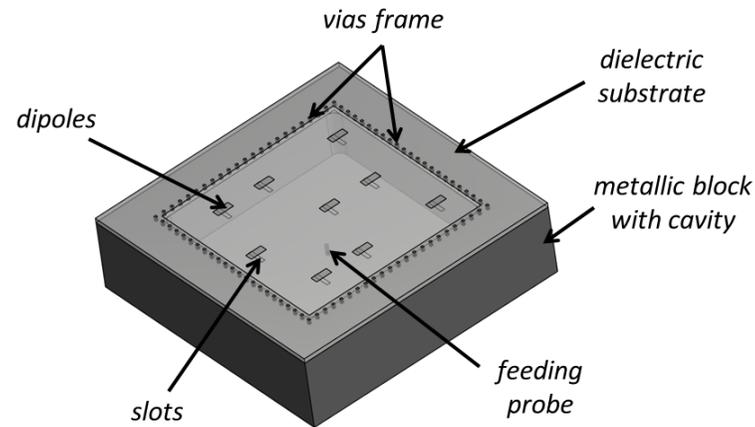
第1手順(標準電界法の例)



第2手順(標準電界法による実験セットアップ例)

プローブの感度評価の測定系の例

総合評価試験に使用する標準アンテナとして、ダイポールアレイアンテナ及びスロットアレイアンテナを利用する。これらの標準アンテナは付録2の要求条件を満たし、付録2に定める周波数に対してそれぞれ規定され、較正することが可能である。



標準アンテナの例(IEC TR63170から引用)

(参考1) 適合性確認に用いる指針値

- 適用する電用波防護指針は、情報通信審議会答申 諮問第2035号「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」(平成30年9月12日)の局所吸収指針の入射電力密度とする。
- 本局所吸収指針の主な対象は、携帯電話端末等の無線設備であり、電磁放射源(主にアンテナ)や放射に関わる金属(筐体)が人体に極めて近接(20 cm以内)して、使用される場合を想定している。
- 複数の周波数の電波に同時にばく露する場合には、各周波数成分の指針値に対する割合の総和が1を超えてはならない。

局所吸収指針(一部抜粋)

周波数範囲	要件	管理環境	一般環境
100 kHz以上 6 GHz以下	局所SAR※ ¹ (6分間平均値)	任意の組織10 g当たり 10 W/kg(四肢では20 W/kg)	任意の組織10 g当たり 2 W/kg(四肢では4 W/kg)
6 GHz以上 30 GHz以下	入射電力密度※ ² (6分間平均値)	任意の体表面※ ³ 4 cm ² 当たり 10 mW/cm ²	任意の体表面※ ³ 4 cm ² 当たり 2 mW/cm ²
30 GHz超 300 GHz以下		任意の体表面※ ³ 1 cm ² 当たり 10 mW/cm ²	任意の体表面※ ³ 1 cm ² 当たり 2 mW/cm ²

※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。人体局所の任意の組織1 g又は10 g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 …「任意の体表面」とは、人体の占める空間に相当する領域中の任意の面積をいう。

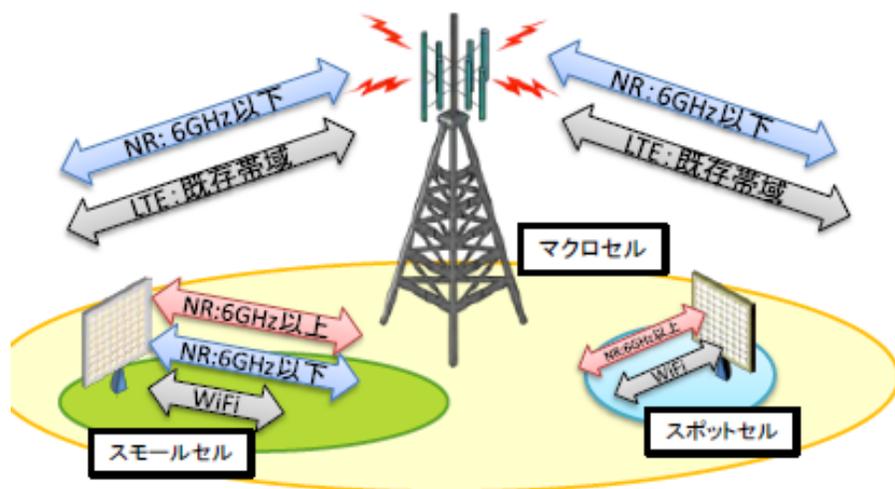
- 局所吸収指針の適用範囲において、適用除外となる電力が示されている。
- 空中線電力の平均電力が適用除外となる電力以下の無線設備については、仮に全出力が身体のごく一部に吸収される場合でも、入射電力密度の電波防護指針を満たしており、評価の必要性がないものと考えられる。

6 GHz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	
	6 GHz以上 30 GHz以下	30 GHz超 300 GHz以下	6 GHz以上 30 GHz以下	30 GHz超 300 GHz以下
入射電力密度の指針値 [mW/cm ²]	10	10	2	2
平均化面積 [cm ²]	4	1	4	1
適用除外となる電力 [mW]	40	10	8	2

今後、以下のような機能等の実現により、新たな人体ばく露条件が想定される。

- 5Gの携帯電話端末等から、6 GHz以下の電波と6 GHz以上の電波を同時に発射する機能
- アレイアンテナによりビーム状の電波を発射する機能

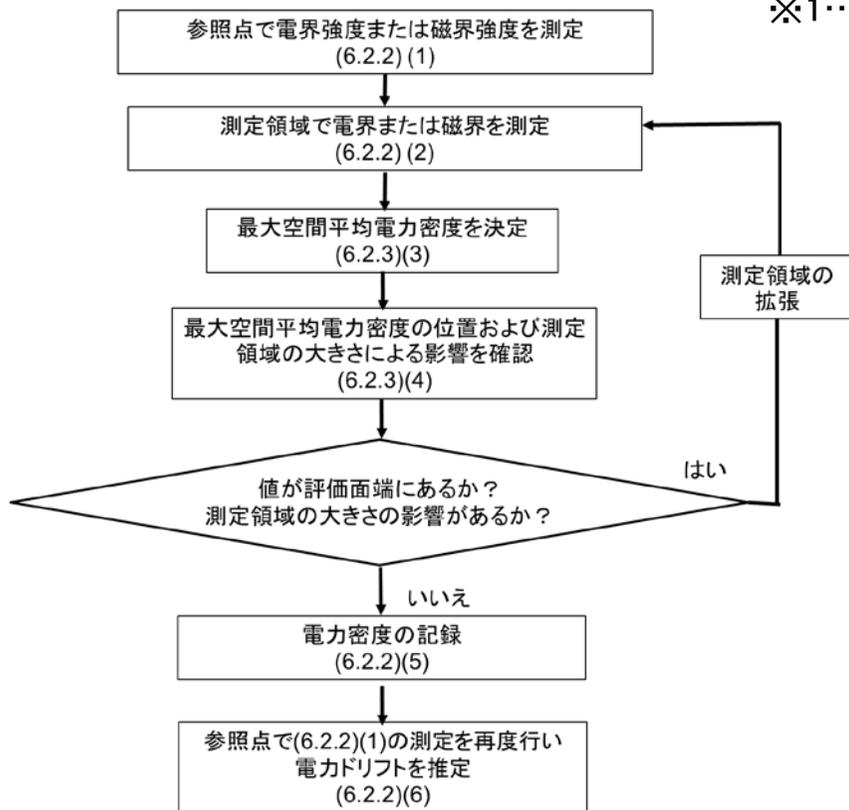


図：ヘテロジニアス・ネットワークの構成イメージ

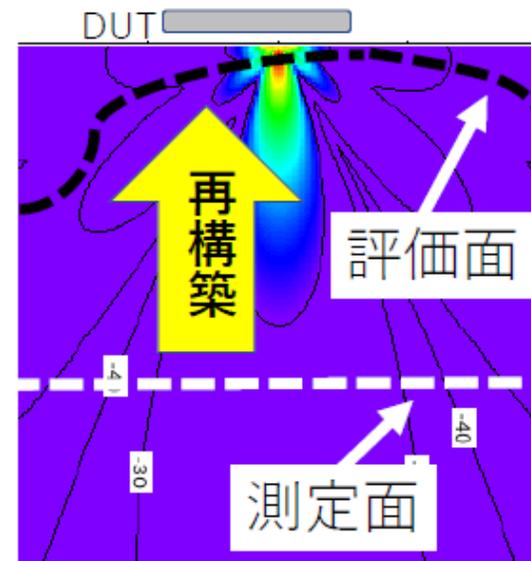


1. 参照点での測定
2. 測定面での測定
3. 再構築アルゴリズム等による最大空間平均電力密度※1の算出
4. 最大空間平均電力密度の妥当性の確認(必要に応じて測定面を変更して再測定)
5. 参照点での測定(必要に応じて、ドリフト補正を実施)

※1…ばく露条件に応じて、適切な空間平均電力密度の定義を用いること



測定手順の詳細



端末からの電力密度評価の例

最大電力密度の測定イメージ※2
(電力密度評価方法作業班資料より抜粋)

※2…この場合、評価面は側頭部の形を示している。