

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

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「6GHz～10GHzにおける吸収電力密度の測定方法等」
について

I 検討事項

電波利用環境委員会（以下「委員会」という。）は、情報通信審議会諮問第2042号「携帯電話端末等の電力密度による評価方法」（平成30年4月25日諮問）のうち、「6GHz～10GHzにおける吸収電力密度の測定方法等」について検討を行った。

なお、電波防護指針の局所吸収指針に吸収電力密度の指針値が導入されることを検討の前提としている。

II 委員会及び作業班の構成

委員会の構成については、別表1のとおり。

なお、検討の促進を図るため、委員会の下の「電力密度評価方法作業班」（以下「作業班」という。）において検討を行った。作業班の構成については、別表2のとおり。

III 検討経過

1 委員会

①第53回（令和4年12月9日）

委員会の運営方法について検討を行ったほか、「6GHz～10GHzにおける吸収電力密度の測定方法等」について検討の促進を図るため、作業班で検討することとした。また、合わせて検討を開始することとされた情報通信審議会諮問第2035号「電波防護指針の在り方」（平成25年12月13日諮問）のうち、「吸収電力密度の指針値の導入等」についても、同時に「電波防護指針の在り方に関する検討作業班」で検討を進めていくこととした。

②第57回（令和6年2月27日）

委員会報告（案）について検討を行った。

③第58回（令和6年4月5日）

委員会報告の取りまとめを行った。

2 作業班

①第7回（令和4年12月26日）

電波防護指針の在り方に関する検討作業班（第12回）との合同会議とし、両作業班の運営方法について検討を行った。また、電波防護指針の概要、国際動向及び6GHz帯無線LAN適合性評価の事例と課題について説明が行われた。

②第8回（令和5年4月13日）

吸収電力密度及び吸収電力密度の評価方法について検討を行った。

③第9回（令和5年6月5日）

6～10GHzの局所SAR測定方法、6～10GHzにおける吸収電力密度測定システム及び6GHzをまたぐ場合における評価について検討を行った。

④第10回（令和6年1月10日）

これまでの作業班における検討結果を踏まえ、作業班報告について検討を行った。

IV 検討結果

検討の結果、別添のとおり、情報通信審議会諮問第2042号「携帯電話端末等の電力密度による評価方法」（平成30年4月25日諮問）のうち、「6GHz～10GHzにおける吸収電力密度の測定方法等」を取りまとめた。

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 構成員

役職	氏名 (敬称略)	主 要 現 職
主査 (R5.1～) 専門委員	平田 晃正	名古屋工業大学 先端医用物理・情報工学研究センター センター長・教授
主査代理 (R5.1～) 専門委員	石上 忍	東北学院大学 工学部 電気電子工学科 教授
委員	長谷山 美紀	北海道大学 副学長・大学院情報科学研究院長
委員	増田 悦子	公益社団法人全国消費生活相談員協会 理事長
専門委員	秋山 佳春	NTT アドバンステクノロジー株式会社 スマートコミュニティ事業本部 スマートエネルギービジネスユニット ビジネスユニット長
専門委員	石山 和志	東北大学 電気通信研究所 教授
専門委員 (R5.1～)	上原 仁	一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター 常務理事
専門委員	大西 輝夫	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁波標準研究センター 電磁環境研究室 研究マネージャー
専門委員	熊田 亜紀子	東京大学 大学院 工学系研究科 電気系工学専攻 教授
専門委員 (R5.1～)	小島原 典子	静岡社会健康医学大学院大学 疫学領域長・教授
専門委員	清水 久恵	北海道科学大学 保健医療学部 臨床工学科 教授
専門委員 (R5.1～)	杉本 千佳	横浜国立大学大学院工学研究院 知的構造の創生部門 准教授
専門委員	曾根 秀昭	東北大学 データシナジー創生機構 特任教授
専門委員	田島 公博	一般社団法人情報通信技術委員会 伝送網・電磁環境専門委員会 情報通信装置のEMC・ソフトウェア SWG リーダ
専門委員	塚原 仁	一般財団法人日本品質保証機構 総合製品安全部門計画室 参与
専門委員	徳田 寛和	富士電機株式会社 技術開発本部 デジタルイノベーション研究所 デジタル プラットフォームセンター システム制御研究部 主査
専門委員	堀 和行	ソニーグループ株式会社 Headquarters 品質マネジメント部 製品安全/環境 コンプライアンスグループ チーフ EMC/RF コンプライアンススペシャリスト
専門委員	松永 真由美	静岡大学 学術院工学領域 准教授
専門委員	山口 さち子	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁波標準研究センター 電磁環境研究室 主任研究員
専門委員	山崎 健一	一般財団法人電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 ファシリテ ィ技術研究部門 副部門長
専門委員	山下 洋治	一般財団法人電気安全環境研究所 関西事業所 副所長
専門委員	和氣 加奈子	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 総合企画室 室長
主査 (～R5.1) 専門委員 (～R5.1)	多氣 昌生	東京都立大学 システムデザイン学部 特別先導教授・名誉教授 (当時)
主査代理 (～R5.1) 専門委員 (～R5.1)	山中 幸雄	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁波標準研究センター 電磁環境研究室 マネージャー (当時)
専門委員 (～R5.1)	平 和昌	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 所長 (当時)
専門委員 (～R5.1)	田中 謙治	一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター 顧問 (当時)

(計 26 名)

別表 2

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
電力密度評価方法作業班 構成員

	氏名（敬称略）	主 要 現 職
主任	大西 輝夫	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁波標準研究センター 電磁環境研究室 研究マネージャー
主任代理	石井 望	新潟大学 工学部工学科知能情報システムプログラム准教授
構成員	伊藤 泰成	KDDI株式会社 技術戦略本部 電波部 電波渉外グループ エキスパート
構成員	鵜飼 佳宏	一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター 技術部主任技師
構成員	大前 彩	一般社団法人電子情報技術産業協会 EMF 専門委員会 副委員長
構成員	柿沼 由佳	公益社団法人全国消費生活相談員協会 IT 研究会 研究員
構成員	金子 美夏	ソニー株式会社 モバイルコミュニケーションズ事業本部 品質保証・カスタマーサービス部門 チーフ規制コンプライアンスマネージャー
構成員	小林 佳和	日本電気株式会社 インフラテックセールス統括部 シニアプロ
構成員 (R6.1～)	嵯峨井 秀聡	ソフトバンク株式会社 モバイルネットワーク本部 電波部 電波環境課 課長
構成員	佐々木 謙介	国立研究開発法人情報通信研究機構 経営企画部 企画戦略室 プランニングマネージャー
構成員	田村 正義	一般社団法人電波産業会 研究開発本部電磁環境グループ
構成員	富樫 浩行	株式会社ディーエスピーリサーチ 認証・技術所管担当部長
構成員 (R6.1～)	野依 祐太	楽天モバイル株式会社 技術戦略本部 電波部 電波技術課
構成員 (～R6.1)	長谷川 亮	ソフトバンク株式会社 モバイルネットワーク本部 電波部 電波環境課 課長
構成員	東 啓二郎	シャープ株式会社 通信事業本部 パーソナル通信事業部 回路開発部（無線回路） 課長
構成員	東山 潤司	株式会社NTTドコモ 6G-IOWN 推進部 無線技術担当 担当課長
構成員 (R5.4～ R6.1)	望月 聡	楽天モバイル株式会社 技術戦略本部 電波部 電波技術課
構成員	山本 慶和	情報通信ネットワーク産業協会 適合性評価委員会 副委員長
構成員 (～R5.4)	柳 雅憲	楽天モバイル株式会社 技術戦略本部電波部電波技術課

(計19名)

別添

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「6GHz～10GHzにおける吸収電力密度の測定方法等」
について

目次

1	まえがき	1
2	目的と範囲	3
2.1	目的	3
2.2	範囲	3
2.2.1	対象機器	3
2.2.2	周波数範囲	3
3	定義及び用語	4
4	測定原理	9
5	測定系の条件	10
5.1	概要	10
5.2	ファントム	11
5.2.1	概要	11
5.2.2	形状と寸法	11
5.2.3	外殻	11
5.2.4	液剤	11
5.3	計測装置	12
5.4	プローブ走査装置	12
5.4.1	概要	12
5.4.2	技術的条件	12
5.5	保持器	13
6	測定手順	14
6.1	測定系のセットアップ	14
6.1.1	一般事項	14
6.1.2	被測定機	14
6.1.3	標準的な測定位置	15
6.2	測定	15
6.2.1	一般条件	15
6.2.2	測定手順の詳細	16
6.2.3	複数帯域同時送信時の測定手順	20
6.2.4	SAR 値の算出	20
6.2.5	最大吸収電力密度の算出	20
7	評価	21
7.1	適合確認に用いる指針値	21
7.2	不確かさ	21
7.3	評価方法	21
8	測定系の評価試験及び較正	22
8.1	測定系の評価試験	22
8.2	計測装置の較正	22
9	今後の課題等	23
9.1	測定方法の適用対象の拡大	23
9.2	吸収電力密度値の取扱い	23
付録 1	複数帯域同時送信時の測定法	24
付録 2	不確かさの評価	27
付録 3	測定系の評価試験	30
付録 4	6GHZ 以下を含む帯域の評価方法	35
付録 5	評価試験用標準アンテナ	37

1 まえがき

無線設備から発射される電波については、人体の健康に好ましくないと考えられる影響を及ぼさないようにその強度等の安全基準である電波防護指針^{1,2}が設けられている。携帯電話端末等の人体に近接して使用される無線設備に対する安全基準としては、電波防護指針のうち局所吸収指針が適用される。また、電波法令においては、この指針に基づいた規制（人体にばく露される電波の許容値）が定められている。

局所吸収指針では、6GHz以下の周波数帯については、国際的な整合性を図り、単位質量の生体組織に単位時間内に吸収される電氣的エネルギー量である比吸収率（SAR：Specific Absorption Rate）の指針値が規定されている。その測定方法については、人体側頭部とそれ以外で異なっており、それぞれ平成27年7月に一部答申された「携帯電話端末等に対する比吸収率の測定方法」（平成12年5月22日付け電気通信技術審議会諮問第118号）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」（以下「平成27年一部答申」という。）と平成23年10月に一部答申された「携帯電話端末等に対する比吸収率の測定方法」（平成12年5月22日付け電気通信技術審議会諮問第118号）のうち「人体側頭部を除く人体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」（以下「平成23年一部答申」という。）により定められている。

また、6GHzを超える周波数帯については、入射電力密度の指針値が規定されている。その測定方法については、平成30年12月に一部答申された「携帯電話端末等の電力密度による評価方法」（平成30年4月25日付け情報通信審議会諮問第2042号）のうち「携帯電話端末等の電力密度の測定方法等」（以下「平成30年一部答申」という。）に定められている。この主な検討契機は28GHz帯を利用する第5世代移動通信システム（5G）であるが、その後も令和4年9月に6GHz帯無線LANが制度化されるなど、人体に近接して使用される無線設備に関して、6GHzを超える周波数の電波利用が拡大している。

他方、昨今の国際的な動向として、米国電気電子学会（IEEE）の国際電磁界安全委員会（ICES）が令和元年に改正したC95.1規格（0Hz～300GHzの電界、磁界及び電磁界への人体のばく露に関する安全レベル）³や、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）が令和2年に改正した電磁界（100 kHz～300 GHz）へのばく露の制限に関するガイドライン⁴において、6 GHzを超える周波数について吸収電力密度の指針値が定められている。また、国際電気標準会議（IEC）では、6GHz～10GHzの周波数におけるSAR測定に基づく吸収電力密度の

¹ 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「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」（平成 27 年 3 月 12 日）

² 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）

³ IEEE Std C95.1-2019 “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz, 2019.

⁴ ICNIRP, “Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz),” Health Phys., vol. 118, no. 5, 2020.

評価方法等について、令和4年に公開仕様書（IEC PAS63446:2022 ED1）⁵を発行している。

今般、こうした状況を踏まえ、測定方法に関する国際的な調和を図るべく、「携帯電話端末等の電力密度による評価方法」のうち「6GHz～10GHzにおける吸収電力密度の測定方法等」について検討を行ったものである。

⁵ IEC PAS 63446 Conversion method of specific absorption rate to absorbed power density for the assessment of human exposure to radio frequency electromagnetic fields from wireless devices in close proximity to the head and body – Frequency range of 6 GHz to 10 GHz, 2022.

2 目的と範囲

2.1 目的

本吸収電力密度測定方法（以下「本測定方法」という。）は、携帯電話端末等の無線設備について、電波防護指針の局所吸収指針のうち、吸収電力密度の指針値に対する適合性評価に使用する標準的な測定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、電界プローブを使用する測定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。

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 20cm 以内に近接して使用する無線設備である。

体内に金属等の異物を挿入している場合⁶等のばく露は対象としない。

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、6GHz を超え 10GHz 以下の周波数帯域に適用する。

⁶ この場合は、電波防護指針の指針値以下の電磁界でも予想外の局所的な発熱などを引き起こす可能性があり、注意が必要である。

3 定義及び用語

- ・ 電磁波

電界及び磁界の振動が真空中や物質中を伝搬する波動の総称である。電磁波には、低周波の電磁界から、通信に使われているいわゆる電波、太陽より放射される光（赤外線、可視光線、紫外線）、医療等に応用される放射線（X線、 γ 線）などが含まれる。紫外線より波長の短い電磁波が電離放射線、波長の長いものが非電離放射線に大別される（紫外線は、低周波側は非電離放射線、高周波側は電離放射線に含まれる。）。

- ・ 電波

電波法第2条に定められた300万MHz（3000GHz）以下の周波数の電磁波をいう。

- ・ 電波防護指針

電波利用において人体が電波（周波数の範囲は10kHzから300GHzまでに限る。）にさらされるとき、その電波が人体の健康に好ましくないと考えられる生体作用を及ぼさない安全な状況であるために推奨される指針のことをいう。

- ・ 局所吸収指針

電波防護指針のうち、主に身体に極めて近接して使用される無線設備から発射される電磁波により、身体の一部が集中的に電磁界にさらされる場合において詳細評価を行うために使用する指針をいう。

- ・ 比吸収率（SAR : Specific Absorption Rate）

生体が電磁界に照射されるとき、単位質量当たりの吸収電力をいう。密度 ρ [kg/m³] の微小体積要素 dV [m³] に含まれる微小質量要素 dm [kg] に吸収されるエネルギー dW [J] の時間微分、すなわち、

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

で与えられる。単位はW/kgで与えられる。

ただし、 σ [S/m] は物質（すなわち生体組織）の導電率、 E [V/m] は当該物質内の電界強度実効値である。

- ・ 平均電力

ある時刻 t_1 から t_2 で時間的に変動する電力 $P(t)$ の平均電力 \bar{P} は、以下の式で与えられる。このとき、積分時間 $t_2 - t_1$ を平均時間と呼ぶ。

$$\bar{P} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

- ・ 平均時間
局所SAR及び吸収電力密度の平均時間は電波防護指針で6分間と規定されている。本測定方法においては、評価対象の携帯電話端末等が6分間にわたって送信のみを持続する条件を想定する。
- ・ 局所SAR
SARは微小体積要素当たりの数値として与えられ、電磁波の照射条件と生体組織内の場所に依存した空間分布関数となる。この分布関数について、任意の質量[g]の組織内で平均したSARを局所SARと呼ぶ。本測定方法では、原則として8gの組織を立方体で定義している。この8gの組織で平均したSARを8g平均局所SARと呼ぶ。適合確認するための吸収電力密度を算出するための局所SARを局所最大SARと呼ぶ。
- ・ 電界強度
電界の強さをいう。単位はV/mで与えられる。
- ・ 磁界強度
磁界の強さをいう。単位はA/mで与えられる。
- ・ ファントム
実験的に吸収電力密度を推定するために用いられる擬似的な人体モデルをいう。モデル全体に渡って同じ材料を用いる場合を均一ファントムと呼ぶ。本測定方法においては、人体形状を模擬するための外殻（容器）とそれに充填される人体の電気的特性を模擬した液剤で構成される均一ファントムを用いる。
- ・ 不確かさ（Uncertainty）
ある量の実測値と真値との差を表わす推定値をいい、平均誤差、確率誤差、標準偏差等で表わされる。
- ・ 拡張不確かさ（Expanded Uncertainty）
測定の結果について、合理的に測定量に結びつけられ得る値の分布の大部分を含むと期待される区間を定める量。本測定方法では95%の信頼区間を想定する。
- ・ 検出限界
測定機器が検出可能な範囲をいう。検出下限値（又は上限値）は、測定機器の最低（又は最大）SAR値により定義される。

- ・誘電率（ ε ）

生体組織やファントムの電気的特性を表す変数であり、電束密度 D と電界強度 E を関係づける下記の式における ε で定義される。単位はF/mで与えられる。

$$D = \varepsilon_r \varepsilon_0 E$$
$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r'' = |\varepsilon_r| e^{-j\delta} = \varepsilon_r' + \frac{\sigma}{j\omega\varepsilon_0}$$

ただし、

ε_0 : 真空中の誘電率

ε_r : 複素比誘電率

ε_r' : 複素比誘電率の実部

ε_r'' : 複素比誘電率の虚部

δ : 複素比誘電率のオイラー表記を使った角度

σ : 導電率

- ・誘電正接

複素比誘電率の実部に対する虚部の比をいう。

- ・導電率（ σ ）

電界強度に対する媒体内の伝導電流密度の比をいう。単位はS/mである。

- ・等方性

任意の電磁波の入射方向に対して、その電磁界強度が同じであれば、同一指示値を与えるプローブ（又はアンテナ）の特性をいう。

- ・直線性

測定範囲における与えられた区間に対して定義された基準直線からの最大偏差をいう。

- ・プローブ走査装置

電界プローブ（センサ部）をファントム内の指定位置に3次元的に移動し、保持するための自動位置決め装置をいう。

- ・電界プローブ

本測定方法では、ファントム液剤中での電界強度を等方性、かつ、高空間分解能で測定する器具をいう。

- ・計測装置

電界プローブによってファントム液剤中の電界強度を測定し、この測定値より局所SARや吸収電力密度を算出する装置をいう。電界プローブ、増幅器、マイクロコンピュータなどで構成される。

・ 基地局シミュレータ

被測定機の動作を電波によって制御するための装置をいう。

・ 浸透深さ

一般に、浸透深さは損失がある半無限領域に平面電磁波が入射した場合に、入射表面での電界強度が $1/e$ に減衰する距離のことをいう。単位はmである。

$$\delta = \frac{1}{\omega} \left[\left(\frac{\mu_0 \varepsilon_r' \varepsilon_0}{2} \right) \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \varepsilon_r' \varepsilon_0} \right)^2} - 1 \right) \right]^{-1/2}$$

ただし、

- δ : 浸透深さ
- ε_0 : 真空中の誘電率
- ε_r' : 複素比誘電率の実部
- μ_0 : 真空中の透磁率
- σ : 導電率
- ω : 角速度

・ 波長

波の進行方向の2つの連続する周期の同じ位相の2点間の距離。単位はmである。波長 λ は位相速度の大きさ v_p と周波数 f に関係し、次式で表される。

$$\lambda = \frac{v_p}{f}$$

・ 複数帯域同時送信

無線機器が複数の送信周波数帯で同時に送信することをいう。

・ ポインティングベクトル

単位面積当たりのエネルギー移送量であって、

$$S = \text{Re}\{E \times H^*\}$$

となる。単位は W/m^2 である。

ただし、E及びHは、電界及び磁界のベクトルであり、その大きさは実効値である。

- ・ 吸収電力密度 (APD : Absorbed Power Density)
体表面を通過して人体内で吸収される電力を体表面における単位面積で平均化したものをいう。吸収電力密度 S_{ab} は、体表面を $z=0$ 、身体の深さを Z_{max} (電波の浸透深さに対して十分に長い深さ : $Z_{max} \gg \delta$) とし、平均化面積を A とすると、次式で表される。

$$S_{ab} = \frac{1}{A} \iint_A \operatorname{Re}[E \times H^*] \cdot ds = \frac{1}{A} \iint_A \int_0^{Z_{max}} \rho \cdot SAR \, dz \, dx \, dy$$

適合確認するための吸収電力密度を最大吸収電力密度と呼ぶ。

- ・ 入射電力密度 (IPD : Incident Power Density)
体表面に入射する電力を体表面における単位面積で平均化したものをいう。
- ・ 被測定機 (DUT : Device Under Test)
本報告書に記載された手順に従い評価される機器をいう。
- ・ 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をいう。
- ・ 総合照射比 (TER: Total Exposure Ratio)
複数周波数同時ばく露における照射比の和をいう。
- ・ 平均化面積
評価される電力密度を平均化する評価面の面積をいう。本報告書では、評価面は正方形とする。

4 測定原理

本測定方法においては、擬似的な人体モデル（ファントム）を用いた模擬的ばく露状態を実現することにより、体表に生ずるであろう吸収電力密度を実験的に推定する。測定系は、実際のばく露状態を良好に模擬でき、しかもより正確な推定値が得られるようなものであることが望ましい。

本測定方法が採用するプローブ走査型の測定方法は、人体の電気的特性を模擬した液剤を充填したファントム内部の電界分布を電界プローブを用いて高精度に測定し、その測定値から8g平均局所SARを算出し、さらにこの局所SARの算出結果から平均化面積4cm²における吸収電力密度を算出することを基本原理とする。測定値の信頼性を確保するために、測定系の条件や吸収電力密度の算出方法等を詳細に決めておくことが必要である。

5 測定系の条件

5.1 概要

測定系は、図5.1に示すように、ファントム、計測装置、プローブ走査装置、被測定機の保持器及び基地局シミュレータから構成される。

測定は、以下の環境条件で行うこと。

- 周囲の温度及びファントム液剤が18°Cから25°Cの範囲にあること。
- SARの測定を行っている間のファントム液剤の温度変化は、2°Cを超えず、かつ、液剤の電気的特性の温度による変動が5%以内になるようにすること⁷。
- 周囲雑音による影響が8g平均局所SARで0.012W/kg以下であること。
- 基地局シミュレータなどの送信設備、床、位置決め装置等からの反射の影響が、8g平均局所SARで0.012W/kg より小さくすること。反射の影響が0.012W/kgより大きい場合は、不確かさに追加すること。

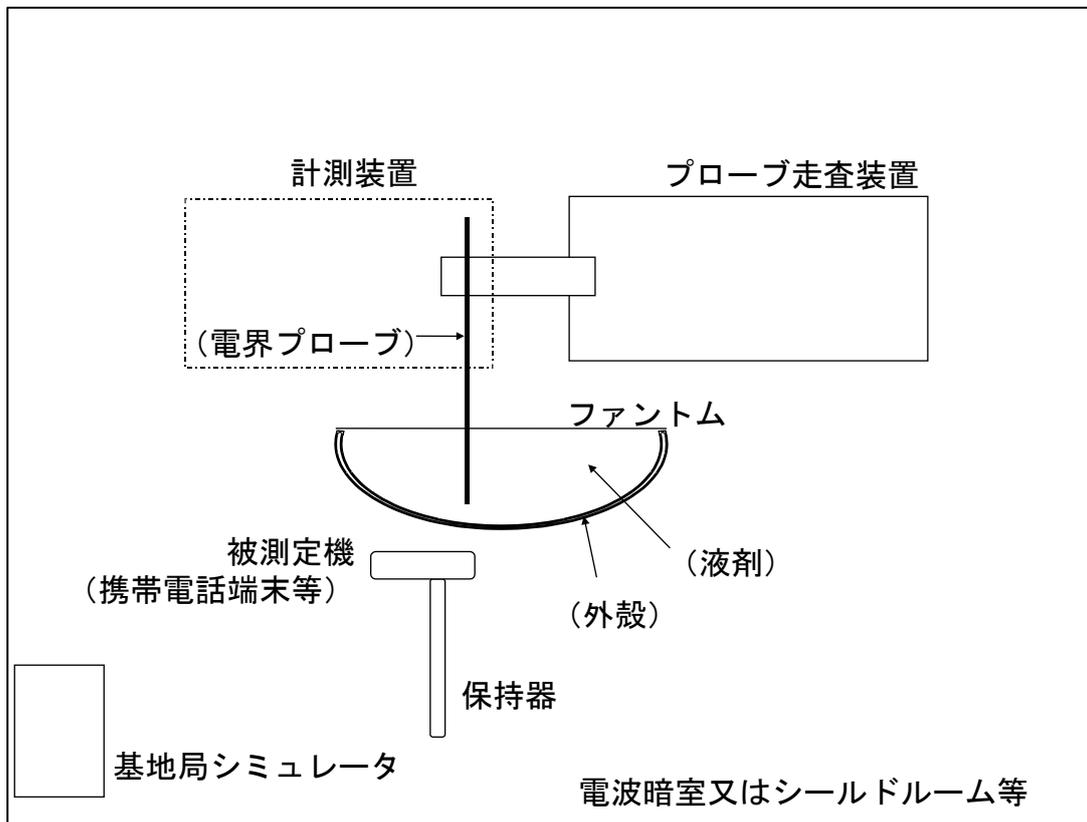


図 5.1 測定系の基本構成図

⁷ 温度による電気的特性の変動は、測定不確かさに含まれる。

5.2 ファントム

5.2.1 概要

ファントムの大きさや形状は、吸収電力密度値に関わる主要なパラメータであることから、人体を近似することが望ましい。また、その電気的特性も人体組織と同様の特性を有することが望ましい。このファントムは、IEC/IEEE 62209-1528:2020⁸にも採用されているものであるが、頭部及び頸部を左右に2分割した形状の人体側頭部ファントム、又は平らな形状の人体（側頭部及び両手を除く）ファントムとする。外殻は形付けられた容器として用い、可能な限り測定に影響を与えないものである。手のモデル化は行わない。

5.2.2 形状と寸法

5.2.2.1 人体側頭部

人の側頭部を近似した側頭部ファントム外殻の形状と寸法は、平成27年一部答申5.2.2のファントム外殻を使用する。吸収電力密度の評価はファントム外殻の内面に対して行われる。

5.2.2.2 人体側頭部以外

側頭部及び手掌を除く身体を近似した人体（側頭部及び両手を除く）ファントム外殻の形状と寸法は、平成23年一部答申5.2.1のファントム外殻を使用する。ただし、IECの規格62209-2は、IEC/IEEE 62209-1528:2020へ読み換えることとする。吸収電力密度の評価は、ファントム外殻の内面に対して行われる。

5.2.3 外殻

外殻材質の誘電正接は、0.05以下であること。外殻材質の複素比誘電率の実部は、3以上5以下であること。その他、側頭部ファントム外殻については、平成27年一部答申5.2.3に従う。また、人体（側頭部及び両手を除く）ファントム外殻については、平成23年一部答申5.2.2に従う。

5.2.4 液剤

ファントムに充填する液剤の電気的特性は、表5.1に従うこと。表の数値間の値については、線形補間で求めること。

⁸ IEC/IEEE 62209-1528 Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-worn wireless communication devices: Human models, instrumentation and procedures (Frequency range of 4 MHz to 10 GHz), 2020.

表5.1 液剤の電気的特性

周波数 (MHz)	複素比誘電率の実部 ϵ_r'	導電率 σ (S/m)
6000	35.1	5.48
6500	34.5	6.07
7000	33.9	6.65
7500	33.3	7.24
8000	32.7	7.84
8500	32.1	8.46
9000	31.6	9.08
9500	31.0	9.71
10000	30.4	10.40

5.3 計測装置

- SARの最小検出限界値は、0.01W/kg以下であること。最大検出限界値は、100W/kgより高いこと。
- 感度、直線性及び等方性は、測定周波数における生体組織の電気的特性を模擬する液剤中にて評価すること。
- 電界プローブセンサ部の保護カバーの外形寸法が $\lambda/3$ 以下であること⁹。ここで λ は液剤中の波長とする。なお、電界プローブは定期的に校正しておくこと。

5.4 プローブ走査装置

5.4.1 概要

ファントム外殻の内面上の吸収電力密度を算出するための3次元SAR分布の評価ができるように、電界プローブを液剤内で走査可能であること。機械的構造が測定を妨げないこと。

5.4.2 技術的条件

(1) 精度

測定範囲に対するプローブ先端の位置決め精度は、 $\pm 0.2\text{mm}$ 以下であること。

(2) 位置決め分解能

1mm以下であること。

⁹ 規定以上の寸法のプローブを用いる場合は、電界強度を15%($k = 2$)未満の不確かさで測定可能であることを示すこと。

5.5 保持器

- 携帯電話端末等を6.1.3に記述する位置に保持できること。
- 誘電正接及び複素比誘電率の実部が、それぞれ0.05以下及び5以下の材質であること。

6 測定手順

6.1 測定系のセットアップ

6.1.1 一般事項

- 一連の吸収電力密度測定前の24時間以内に、ファントム液剤の電気的特性を測定すること。連続して測定する場合は、2日ごとにファントム液剤の電気的特性を測定すること。被測定機の試験が48時間を超える場合は、試験が終了する前にファントム液剤の電気的特性を確認すること。ファントム液剤の電気的特性を保証することができれば、それより少ない頻度でもよいが、その場合でも、測定の間隔は最長1週間とすること。
- ファントム液剤の電気的特性の測定値は、表5.1で指定された値に対して許容偏差±10%の範囲内にあること。ただし、温度変化による変動はこれに含まれない。測定方法はIEC/IEEE 62209-1528:2020等を参照のこと。
- SARの算出には、測定した電気的特性を用いること。なお、測定に用いたファントム液剤の電気的特性と目標値との差を補正するため、IEC/IEEE 62209-1528:2020で定める方法で算出したSARに補正を施すこと（電気的特性の測定値が表5.1で指定された値に対してその差が±5%の範囲内にある場合は、補正を行わなくてよい）。
- 人体側頭部ファントムのファントム液剤の深さは耳の基準点にて15cm以上¹⁰になるように充てんすること。
- 人体（側頭部及び両手を除く）ファントムのファントム液剤は、深さが15cm以上となるまでファントム外殻に充てんすること。
- 測定前にファントム液剤を慎重にかき混ぜ、気泡がないようにすること。
- 走査装置は、ファントム上の少なくとも3点の参照位置を用いてファントムと関連づけられること。これらの点は、使用者から見えるようにし、20cm以上離して配置すること。測定系及び各構成部分が条件どおりに正確に動作していることを確認すること。

6.1.2 被測定機

- 測定に際して被測定機は、それ自身の内部送信機を使うこと。
- アンテナ、バッテリー及び付属品は、被測定機の提供メーカーにより指定されたものであること。
- バッテリーは、各測定前に完全に充電し、外部との接続がないこと。
- 空中線電力及び周波数は、内部試験プログラム又は基地局シミュレータ等を使って制御すること。

¹⁰ 局所最大 SAR の変動が 1%未満であることが示せれば、15 cm 未満でもよい。さらに、1%を超え 3%未満の場合は、不確かさに追加すること。

- 空中線電力は、最大出力値に設定すること。ただし、設定が困難な場合は、それより低出力で測定し、最大出力時の吸収電力密度に換算してもよい。
- 複数のアンテナ又は送信機（単一又は複数のアンテナを有す）が同時に動作する機器の場合、生じる最大空中線電力で測定を行うこと。ただし、送信動作は、擬似的なベースバンド信号等を用い、当該通信方式の信号形式に従った連続送信とすること。

6.1.3 標準的な測定位置

被測定機の測定位置について、人体側頭部ファントムに関しては、平成27年一部答申6.1.3に従う。また、人体（側頭部及び両手を除く）ファントムに関しては、平成23年一部答申6.1.3に従う。ただし、IECの規格62209-1又は62209-2についてはIEC/IEEE 62209-1528:2020に読み換えることとする。

6.2 測定

6.2.1 一般条件

- (1) 測定は、6.1.3で記述した標準的な測定位置に対して、各動作帯域の中央付近の周波数を使って行うこと。
- (2) 被測定機の全ての構成で(1)の試験を行うこと。
- (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測定する場合には、各送信モード又は帯域について対応する最大送信出力で(1)の試験を行うこと。
- (4) 送信周波数帯域幅が中心周波数の1%を超え、かつ、10%以下の場合には、(1)から(3)までの試験で局所SARの最も高い測定値が得られたときの被測定機位置において、送信帯域の最大と最小の周波数について試験すること。さらに、局所SARの測定値を6.2.5に示された方法を利用することにより、吸収電力密度の指針値から局所最大SARに変換した値に対し50%以上（-3dB以上）にある他の全ての条件に対しても同様に行うこと。
- (5) 送信周波数帯域幅が中心周波数の10%を超える場合は、(1)から(3)までの試験で局所SARの最も高い測定値が得られたときの被測定機位置において、以下の式を用いて測定数（試験する周波数の数）を決め試験すること。この際、送信帯域の最大と最小の周波数を含み、周波数間隔はできる限り等間隔にすること。さらに、局所SARの測定値を6.2.5に示された方法を利用することにより、吸収電力密度の指針値から局所最大SARに変換した値に対し50%以上（-3dB以上）にある他の全ての条件に対しても、同様に行うこと。

$$N = 2 \times \text{Roundup}(10 \times (f_h - f_l)/f_c) + 1$$

f_c : 中心周波数

f_h : 帯域内の最高周波数

f_l : 帯域内の最低周波数

N : 測定数

Roundup(x) : 変数 x を次の整数に切り上げる。試験する周波数は、できる限り等間隔にすること。

- (6) 全ての測定値の中から局所最大SARを決定し、6.2.5に示された方法を利用することにより、局所最大SARから最大吸収電力密度へ変換すること。

被測定機が複数の周波数帯や通信方式などを有する場合、最大吸収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ことが予想される。したがって、多くの測定条件から必要な測定を選別する方法として、局所最大SARを決定するために、高速SAR手順を用いることができる。なお、高速SAR手順については、平成27年一部答申付録9を参照すること。ただし、SARの指針値については、吸収電力密度の指針値から局所最大SARに変換した値へ読み換えることとする。

6.2.2 測定手順の詳細

6.2.1に記述した一般条件について、さらに、以下の操作及び測定を実施すること。

- (1) ファントム外殻の内部表面から5mm以内にあり、最小検出限界値より高い測定点（以下「参照点」という。）を1つ選びSARを測定すること。可能であれば、最大SARが生じそうな測定点とする。
- (2) ファントム内のSAR分布を「粗い走査」により測定すること。
測定間隔は $60/f$ [mm] (f は周波数[GHz])であること。内部表面近くでの走査を行う場合は、電界プローブ検出部の中心とファントム内部表面の間の距離は、 $\delta \ln(2)/2$ [mm]未満（偏差 ± 0.5 mm）の範囲内にあること（ δ は平面波の浸透深さ、 $\ln(x)$ は自然対数）。全ての測定ポイントにおいて、表面の法線に対してプローブの角度が、人体（側頭部及び両手を除く）ファントムで 5° 以内（許容誤差 1° ）、人体側頭部ファントムで 20° 以内（許容誤差 1° ）であること。
- (3) 得られたSAR分布から、SAR値が最大となる位置、SAR値が最大SAR値の -2 dB（63%）以上となる全てのSARの位置を割り出すこと。この手順は、局所最大SAR値の検索を行うために必要である。
最大SAR値となる位置において、次の(4)及び(5)の手順を行う。また、このときの局所SAR値が6.2.5に示された方法を利用することにより、吸収電力密度の指針値から局所最大SARに変換した値に対して -2 dB以上になるときのみ、SAR値が最大SAR値の -2 dB（63%）以上となる全ての位置においても、次の(4)及び(5)の手順を行う。

- (4) 最小寸法が $22\text{mm} \times 22\text{mm} \times 22\text{mm}$ である体積内においてSARを「立方体走査」により測定すること。立方体走査において、測定間隔は $24/f$ [mm]以下 (f は周波数 [GHz])とする。ただし、深さ方向の測定間隔は $10/(f-1)$ [mm]以下とする。

垂直方向に可変間隔を利用する場合は、ファントム外殻に近い2箇所の間隔は $12/f$ [mm] (f は周波数 [GHz])以下とする。それ以外の間隔は、隣接する間隔に対して1.5倍を超えない割合で間隔を増加することができる。可変間隔を用いる場合、測定で用いるのと同じ間隔で外挿方法を試験すること。

電界プローブ検出部の中心とファントム内部表面との最大距離は、 $\delta \ln(2)/2$ [mm]とすること (δ は平面波の浸透深さ、 $\ln(x)$ は自然対数)。

立方体走査の領域の底面の中心を検出された最大SAR値の位置に重ねること。全ての測定ポイントにおいて、ファントム外殻内側表面の法線に対してプローブの角度が、人体（側頭部及び両手を除く）ファントムで 5° 以内（許容誤差 1° ）、人体側頭部ファントムで 20° 以内（許容誤差 1° ）であること。

- (5) 6.2.4に示された手順等を使って、質量平均に必要な空間分解能における局所SAR値の最も高い測定値を求める。
- (6) (1)の参照点にてSAR測定を再度行うこと。この測定値と、(1)で得られた測定値とを比べて2つの測定結果の差が5%以内の場合は、不確かさに追加する。5%より差がある場合は、IEC/IEEE 62209-1528:2020に従い補正を施すこと。

以上の条件を含む測定の基本手順を図6.1及び図6.2に示す。なお、これらの測定の基本手順は、人体側頭部ファントム又は人体（側頭部及び両手を除く）ファントムを用いる場合に適用する。

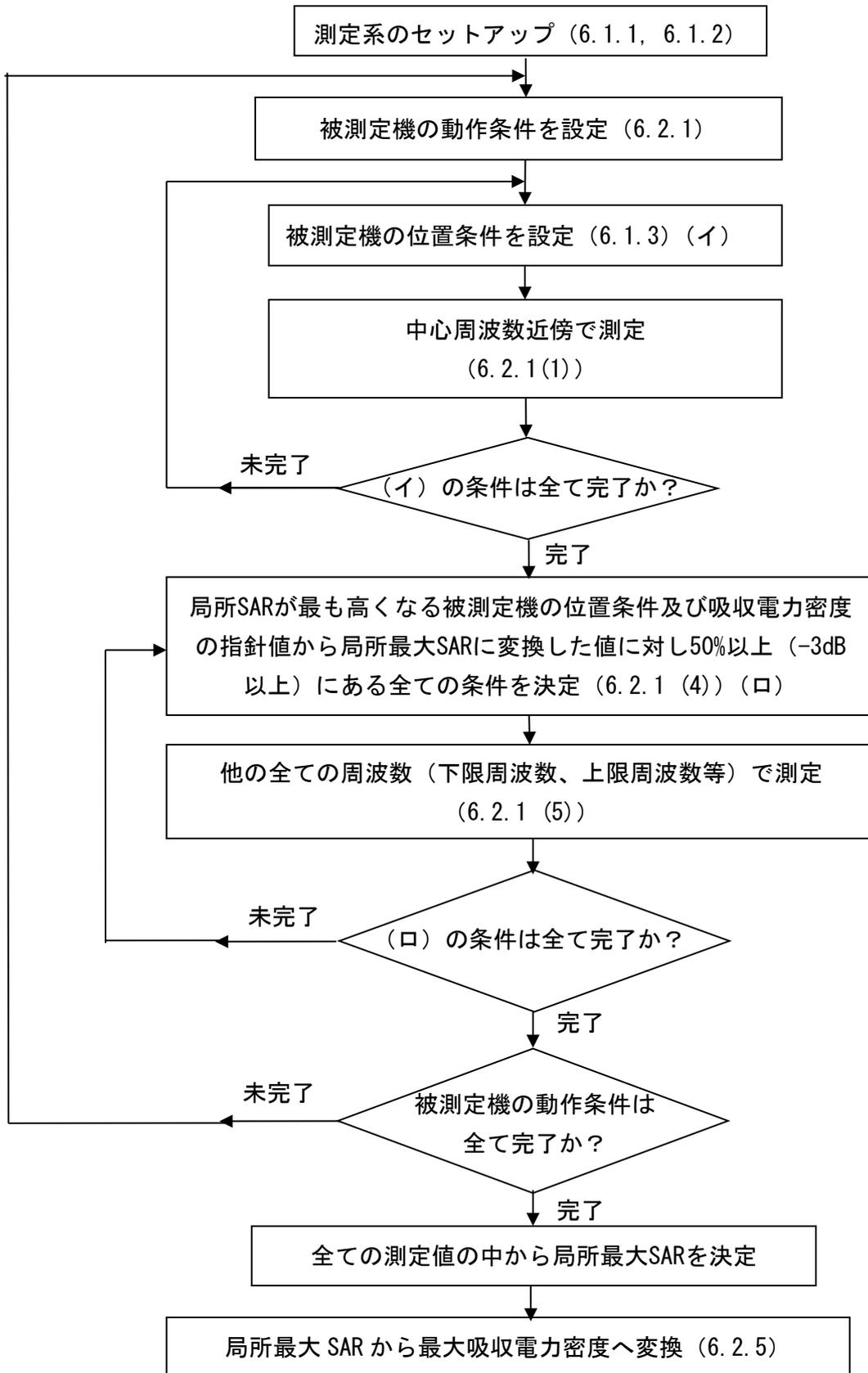


図 6.1 測定の基本手順

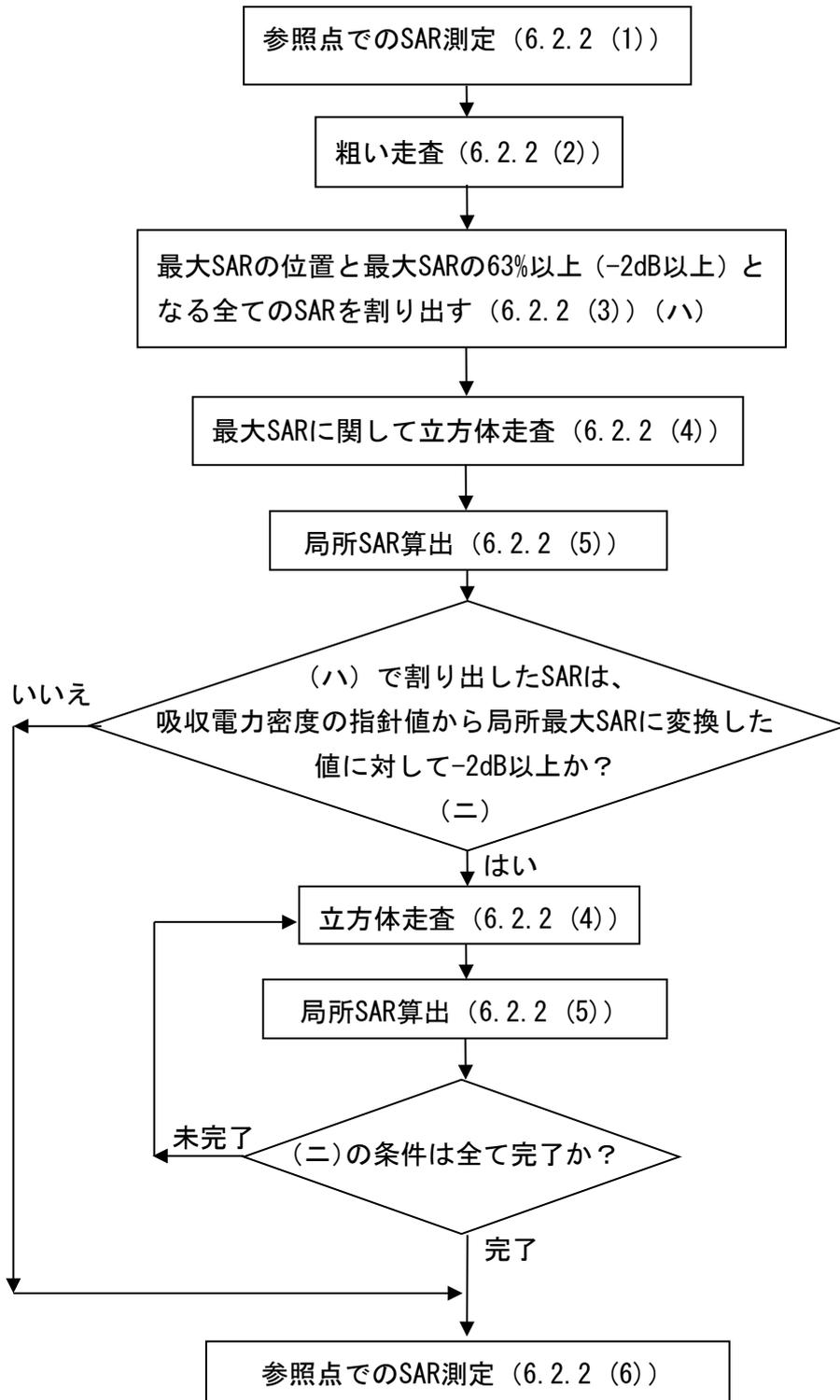


図 6.2 測定手順の詳細

6.2.3 複数帯域同時送信時の測定手順

被測定機が複数の送信周波数で同時に動作するもので、プローブ較正もしくはファントム液剤の有効な周波数範囲より離れている複数周波数（ f_1 、 f_2 など）で同時動作する場合は、付録1のいずれかの方法で測定すること。

6.2.4 SAR値の算出

(1) 補間

局所SARを計算するとき、与えられた質量の平均化領域に対して測定間隔が粗い場合には、測定点間で補間を行うこと。

補間方法の例は平成27年一部答申付録3を参照すること。

(2) 外挿

使用される電界プローブは、通常3つの近接した直交ダイポールを持ち、これらのダイポールは保護管に埋め込まれている。測定点はプローブ先端から数mmの所に設けられており、SARの測定の位置を求める際に、このオフセットを考慮すること。

外挿方法の例は平成27年一部答申付録3を参照すること。

(3) 平均体積

SAR値の算出に関する平均体積については、平成27年一部答申6.2.4に従うこと。ただし、平均体積は8gの立方体領域へ読み換えること。

(4) 最大値の検索

局所SAR値の最も高い測定値が得られた位置の近辺のファントム内部表面上で立方体の位置を平成27年一部答申付録3に従い動かすこと。

局所SAR値の最も高い測定値を持つ立方体が走査空間内の端にないこと。もし端にある場合は、走査領域をずらし、測定をやり直すこと。

6.2.5 最大吸収電力密度の算出

最大吸収電力密度は次式により算出する。

$$APD_{A_{av}} = SAR_M \times F_{A_{av},M}$$

$APD_{A_{av}}$: 平均化面積 A_{av} における最大吸収電力密度

SAR_M : 平均化質量 M における局所最大SAR値

$F_{A_{av},M}$: 局所最大SAR（平均化質量 M ）から最大吸収電力密度（平均化面積 A_{av} ）への変換係数

局所最大SARは測定結果（6.2.4参照）を用いる。変換係数 $F_{A_{av},M}$ は表6.1に適合するものであること。

表6.1 変換係数 $F_{A_{av},M}$

A_{av} [cm ²]	M [g]	$F_{A_{av},M}$ [kg/m ²]
4	8	20

7 評価

7.1 適合確認に用いる指針値

電波防護指針の局所吸収指針における吸収電力密度の指針値を適用する。
なお、適用される環境に応じて、同指針が適用除外となる空中線電力の平均電力の範囲を満たす機器については、適合確認を行う必要がない。

7.2 不確かさ

6GHzを超え10GHz以下の吸収電力密度はSARを測定し変換係数を乗じること
で求まるため、測定の不確かさはSARの測定不確かさと変換係数の不確か
さを用いて計算する。ここで、変換係数の不確かさは、IEC PAS63446:2022
より7.8%と一定である。不確かさについては、IEC資料¹¹に規定された方法
に基づいて評価できる（詳細な評価方法等は付録2を参照）。本測定方法に
おいてSAR測定の拡張不確かさは、平成27年一部答申と同様に30%以下であ
ること。

SAR測定の拡張不確かさが30%を超えた場合は、次式により測定値を補正
する。

$$APD_{corrected} = APD_{meas}(1 + U_{meas} - U_{lim})$$

$APD_{corrected}$: 補正後の最大吸収電力密度値
 APD_{meas} : 最大吸収電力密度の測定値
 U_{meas} : 拡張不確かさ（真数）
 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値）

7.3 評価方法

測定結果を指針値と直接比較すること。測定値が指針値以下である場
合、被測定機が指針値を満足しているものと判定する。

なお、7.2 のとおり、SAR測定の拡張不確かさが30%を超えた場合は、上
式により吸収電力密度値を補正し、補正した吸収電力密度値と指針値とを
比較すること。

¹¹ IEC PAS 63446 Conversion method of specific absorption rate to absorbed power density for the assessment of human exposure to radio frequency electromagnetic fields from wireless devices in close proximity to the head and body – Frequency range of 6 GHz to 10 GHz, 2022.

8 測定系の評価試験及び較正

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、下記に述べるいくつか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) 吸収電力密度測定前に、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。簡易性能試験は、人体（側頭部及び両手を除く）ファントムと標準ダイポールアンテナなどを用いて行うこととする。（詳細な手順については、付録3参照。）
- (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、人体（側頭部及び両手を除く）ファントムと標準ダイポールアンテナなどを用いて行うこととする。（詳細な手順については、付録3参照。）

8.2 計測装置の較正

計測装置各部の較正に当たっては、電界プローブに関わる部分について行う必要がある。電界プローブの較正の際には、実際の吸収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、測定する周波数帯のファントム液剤中で行うこととする。

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。

詳細は平成27年一部答申付録7を参照すること。

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。今後、安全な電波利用のより一層の徹底を図っていくために、本測定方法等が十分活用されることが望ましい。他方、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。また、IEC及びIEEEにおいては、無線通信機器の吸収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、無線機器の実用化動向、国際的な規格化の動向等を踏まえ、継続的に測定方法の検討を行う必要がある。

9.2 吸収電力密度値の取扱い

本測定方法では、人体近傍で使用する携帯電話端末等に対する吸収電力密度の標準的な測定方法を示した。標準化された方法で吸収電力密度を測定し、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、携帯電話端末等から発射される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吸収電力密度の概ね最大値が測定される。したがって、この測定値が局所吸収指針値を超えなければ、電波防護指針に適合していると判断される。実際の使用状態で生じる人体の吸収電力密度は、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、人体に熱を発生させる作用の閾値以下の電波ばく露であれば、人体に元来備わっている体温調節機能を上回る体温上昇は発生しない。したがって、吸収電力密度値が指針値を下回っている場合、吸収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吸収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。

付録 1 : 複数帯域同時送信時の測定法

1 概要

6GHz以下の周波数と6GHz超の周波数の電波を同時に送信する端末等においては、6GHz以下はSAR、6GHzを超え300GHz以下は吸収電力密度又は入射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。ただし、本測定方法は6GHzを超え10GHz以下を範囲とすることに留意すること。なお、単一の送信機から発射される電波の周波数帯が6GHz以下と6GHz超の周波数成分を含む場合の評価手順については付録4に従うこと。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。

2 複数帯域同時送信時のばく露評価の考え方

異なる周波数でのばく露量は相関がないため、空間の任意の場所*r*において各帯域での照射比の合計で総合照射比（TER: Total Exposure Ratio）を求める。TERは、全てのSAR測定値と入射電力密度測定値又は吸収電力密度測定値を組み合わせて計算される。一般的な表現は次式のとおりである。

$$TER = \sum_{n \leq 6\text{GHz}} \frac{SAR_n}{SAR_{n,limit}} + \sum_{6\text{GHz} < m \leq 300\text{GHz}} \frac{S_m}{S_{m,limit}} \quad (1)$$
$$\frac{S_m}{S_{m,limit}} = \begin{cases} \frac{IPD_m}{IPD_{m,limit}} & \text{(入射電力密度で評価する場合)} \\ \frac{APD_m}{APD_{m,limit}} & \text{(吸収電力密度で評価する場合)} \end{cases}$$

ここでは SAR_n は空間の任意の場所*r*における局所SAR値、 S_m は空間の任意の場所*r*における入射電力密度値又は吸収電力密度値とする¹²。 $SAR_{n,limit}$ は局所SARの指針値、 $S_{m,limit}$ は S_m に対応する物理量の指針値とする。また、 n 、 m は周波数帯域を示すインデックスである。局所最大SAR及び吸収電力密度又は入射電力密度の最大値に対応する指針値で除したものを照射比とし、それらの総和であるTERは、1を超えてはならない。

吸収電力密度を足し合わせる手順は、信号が時間的に相関を有するか無相関であるか、また、SARで規定される6GHz以下、あるいは6GHz超の周波数帯域で同時に送信するか否かによって異なる。

¹² (1)式の右辺第2項について、各周波数帯*m*に対応する $S_{m,avg}$ は入射電力密度又は吸収電力密度のいずれかを選択できる。ただし、総合照射比の評価においては、確立された測定方法が必要である。

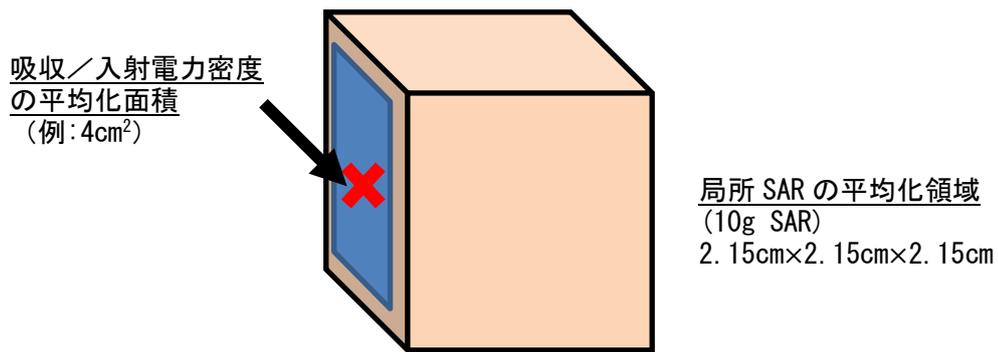


図1 吸収/入射電力密度と局所 SAR の合成方法の例

局所最大SARと最大空間平均電力密度の照射比を足し合わせる際に、相対位置が重要となる。吸収/入射電力密度を評価する評価面と局所最大SARの平均を求める立方体の面を一致させること。図1に例を示す。

3 評価手順

以下のいずれかの手順により評価を行い、適合性を確認する。

3.1 手順1 (局所最大SARと最大電力密度の足し合わせによる評価)

本手順は、空間的位置を考慮せず算出した複数帯域の最大空間平均電力密度の照射比の合計と局所最大SARの合成値の照射比からTERの上限値を決定する最も簡単でかつ最も厳しい評価手順である。複数帯域の吸収電力密度又は入射電力密度の最大値及び局所最大SARからTERの上限値を決定する最も簡単でかつ最も厳しい評価手順である。

$$TER = \frac{SAR_{combined}}{SAR_{limit}} + \sum_{6GHz < m \leq 300GHz} \frac{Max\{S_m\}}{S_{m,limit}} \leq 1 \quad (2)$$

ここで、 $SAR_{combined}$ は「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」で定められる局所最大SARの合成値、 SAR_{limit} は該当する電波防護指針で規定されているSARの指針値とする。また $Max\{S_m\}$ は、吸収電力密度又は入射電力密度の対応する評価面上の最大値である。なお、入射電力密度に対する総合照射比は平成30年一部答申により評価する。

3.2 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)

本手順は、比較的簡単な手順である。多くの場合、局所最大SARと吸収電力密度又は入射電力密度の最大値は異なる空間的位置に存在するため、本手順の結果として得られるTERは過大評価となる。

$$TER = \frac{SAR_{combined}}{SAR_{limit}} + \max_r \left\{ \sum_{m=1}^M \frac{S_m(r)}{S_{m,limit}} \right\} \leq 1 \quad (3)$$

手順1との相違点は、吸収電力密度又は入射電力密度の空間的位置 r を考慮して、複数帯域の最大空間平均電力の照射比を算出しているところである。

3.3 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)

本手順は最も正確である。しかし、評価面上の共通の場所における局所SARと吸収電力密度又は入射電力密度の評価が必要となる。

位置 r で測定した局所SARと吸収電力密度又は入射電力密度の各照射比を合計する。その後で、TERが最大となる位置でのTERを用いる。

$$TER = \max_r \left\{ \frac{\sum_{n=1}^N SAR_n(r)}{psSAR_{limit}} + \sum_{m=1}^M \frac{S_m(r)}{S_{m,limit}} \right\} \leq 1 \quad (4)$$

付録 2 : 不確かさの評価

1 一般事項

1.1 不確かさ評価の概念

無線機器の吸収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)¹³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、吸収電力密度測定の不確かさは、適用する指針値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。それにもかかわらず、複雑な測定に対する不確かさの評価は依然として困難な作業であり、高度な専門知識を必要とする。

また、不確かさの報告に当たっては、報告された結果の計算を独立して繰り返すことができるように使用した全ての情報を提供することが望ましい。

1.2 タイプAとタイプBによる評価

標準的な不確かさの評価には、タイプAとタイプBの両方が使用される。タイプAの評価は一連の観測値の統計的解析による不確かさの評価方法であり、タイプBの評価はタイプA以外の手段による不確かさの評価方法である。

タイプAの標準不確かさは、同じ測定条件の下で得られた互いに独立な観測値に対して統計的解析を行い、平均の実験標準偏差を算出することで得られる。

タイプBの標準不確かさは、入手できる情報（規格で要求された制限値、製造者の仕様等）に対する科学的判断により、確率分布を仮定して標準偏差を推定することで得られる。推定の例は、次のとおりである。

一様分布（矩形分布）：	$u_i = \frac{a}{\sqrt{3}}$
三角分布：	$u_i = \frac{a}{\sqrt{6}}$
正規分布：	$u_i = \frac{a}{k}$
U字分布：	$u_i = \frac{a}{\sqrt{2}}$

ここで、 u_i は標準不確かさ、 a は影響量の限界により決まる区間の半分、 k は包含係数である。

¹³ ISO/IEC GUIDE 98-3:2008, Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995), 2008

1.3 自由度と包含係数

一般的によく使用される2の包含係数は、自由度が30未満の場合、95%の信頼の水準を得るのに適当な定数ではない。しかし、入手できる情報の範囲と信頼性には制限があるため、確率分布を合成するための広範囲にわたる計算は正当化されない。そこで、確率分布はt分布（スチューデントの分布）であると仮定し、その包含係数をWelch-Satterthwaiteの式により求められる有効自由度に基づくt値を使用して次式のとおり決定する。

$$k_p = t_p(v_{eff})$$

ここで、 k_p は確率（信頼の水準） p の包含係数、 $t_p(v_{eff})$ はt分布、 v_{eff} はWelch-Satterthwaiteの次式により求められる有効自由度である。

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^4 u_i^4}{v_i}}$$

2 不確かさに寄与する成分

2.1 一般事項

本測定方法は局所最大SARを測定し、局所最大SARから最大吸収電力密度へ変換する手順をとる。不確かさに寄与する成分は大きく分けて、局所最大SAR測定の不確かさと局所最大SARから最大吸収電力密度へ変換の不確かさとなる。

2.2 局所最大SARから最大吸収電力密度へ変換の不確かさ

局所最大SARから最大吸収電力密度へ変換の不確かさ ($u(F_{Aav,M})$) は、局所最大SARから吸収電力密度へ変換する際に乗じる変換係数に起因するものである。IEC PAS 63446:2022では、数値シミュレーションによる研究に基づいた安全側に見積もられた不確かさについての情報¹⁴がある。

2.3 局所最大SAR測定の不確かさ

局所最大SAR測定の不確かさに寄与する各要素は周波数依存があるため、吸収電力密度測定が実施される周波数帯で評価されるものとする。周波数拡散動作モードでは、不確かさ寄与は、考慮する帯域内の最大値である。不確かさに寄与する各要素は平成27年一部答申付録11に従うこと。また、各要素の評価はIEC/IEEE 62209-1528:2020に基づいて行うこと。

¹⁴ T. Samaras, A. Christ, and N. Kuster, "Compliance Assessment of the Epithelial or Absorbed Power Density Below 10 GHz Using SAR Measurement Systems," *Bioelectromagnetics*, vol. 42, no. 6, pp. 484-490, 2021.

3 不確かさ推定

3.1 合成標準不確かさ及び拡張不確かさ

各不確かさの要素は、その要因、確率分布、感度係数、不確かさ値とともに記録される。結果は、以下の表 1 に記録する。標準不確かさの総和(u_c)は、次式で表される。

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 u_i^2}$$

ここで、 c_i は感度係数、 u_c は合成標準不確かさ、 u_i は標準不確かさである。拡張不確かさ U は、95%の信頼区間を用いて評価を行う。

表 1 吸収電力密度測定の不確かさ評価表 (一例)

a	c	d	e =f(d, k)	f	h =c · f/e	k
不確かさの原因	公差又は不確かさ [%]	確率分布	除数	c_i	標準不確かさ [%]	ν_i 又は ν_{eff}
局所最大SAR測定		N	1	1		∞
局所最大SARから最大吸収電力密度へ変換		R	$\sqrt{3}$	1		∞
合成標準不確かさ		RSS				
拡張不確かさ (95%信頼区間)		$k = t_{95\%}(\nu_{eff})$				

- 1 a-kは、参照パラメータである。
- 2 表中の略語は、次のとおりである。
RSS、N、Rは、2乗和の平方根、正規、一様確率分布である。
Div. は、標準不確かさを得るために用いられる除数である。
 c_i は、感度係数である。
- 3 除数は、確率分布と自由度 (ν_i) と有効自由度 (ν_{eff}) の関数である。
- 4 標準不確かさにおける自由度 (ν_i) と拡張不確かさにおける有効自由度 (ν_{eff}) については1.3を参照すること。
- 5 不確かさ影響量のいくつかは、装置メーカーにより供給される。その他の試験ごとに異なる要素の不確かさは、各々の測定で評価する必要がある。
- 6 この表で示されている不確かさ要素は、本測定方法のために開発された試験手順と方法を基本にしている。試験手順と方法が変化したときは、異なる不確かさ要素を適用してもよい。

付録 3 : 測定系の評価試験

1 概要

測定系の評価試験は、以下の「2 簡易性能試験」及び「3 総合評価試験」により行われる。

2 簡易性能試験

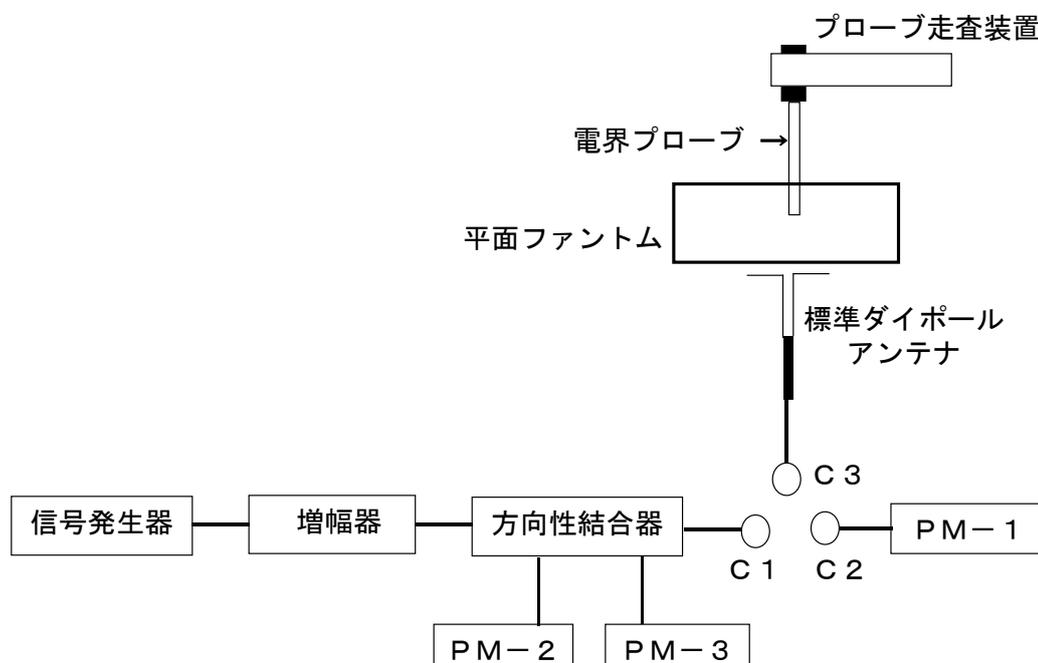
2.1 目的

簡易性能試験は、一連の吸収電力密度測定前に、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）するために実施すること。

2.2 基本構成例

この試験は、人体（側頭部及び両手を除く）ファントムと標準放射源として標準アンテナ等を用いて行う。総合評価試験に用いられる標準ダイポールアンテナ等も簡易性能試験に使用することができる。

ここでは標準放射源の例として、総合評価試験で用いられる標準ダイポールアンテナを使用する場合の基本構成を図 1 に示す。また、この場合の各構成部の条件を 2.2.1 から 2.2.3 までに示す。



PM : 電力計（必要に応じて減衰器を含む。）

図 1 簡易性能試験の基本構成（標準ダイポールアンテナ使用の場合）

2.2.1 ファントム

- 人体（側頭部及び両手を除く）ファントムとする。
- 上面からの反射波の影響が無視できるように、15cm以上ファントム液剤を満たすこと。反射波の測定値への影響が1%未満であれば、15cm以下も可。反射の影響が1%以上3%未満の場合、不確かさの最大値を考慮すること。
- 最低15cmの深さで液剤を外殻に充填した時に、放射源の真上の外殻（底面）のたわみが自由空間波長の1%未満であること。
- 液剤は、吸収電力密度の評価試験に用いるものと同じものを使用すること。

2.2.2 簡易性能試験用の放射源

簡易性能試験に用いる放射源は、位置決め再現性、機械的な安定性及びインピーダンスの整合が良いものを使用する。総合評価試験に用いられる標準ダイポールアンテナを用いる場合、3.2.2の要件を適用すること。

2.2.3 給電装置

図1は、供給する電力の不確かさをできるだけ小さくするために推奨する構成である。アンテナ入力電力の測定値の不確かさができるだけ小さくなるように給電装置を構成すること。これは方向性結合器と電力計を用いることで実現できる（図1参照）。

2.2.4 試験の手順

試験は以下の手順で実施する。

- (1) 局所SARが最大となる測定値を測定し、本文6.2.5に示された方法を利用することにより、吸収電力密度を算出する。
- (2) 得られた吸収電力密度値を標準アンテナ等の入力電力で規格化し、吸収電力密度の基準値（計算値）と比較する。
- (3) 比較した結果の差異が、 $\pm 10\%$ の範囲に収まることを確認する。
- (4) 上記が満足できない場合、吸収電力密度基準値（測定値）からの差異が測定の再現性の拡張不確かさ以内、又は $\pm 5\%$ の範囲の小さい方に収まることを確認する。

3 総合評価試験

3.1 目的

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、人体（側頭部及び両手を除く）ファントムと標準ダイポールアンテナ等を用いて行うこととする。

3.2 基本構成

この試験は、人体（側頭部及び両手を除く）ファントムと標準放射源を用いて行う。基本構成を図1に示す。

3.2.1 ファントム

ファントムは、簡易性能試験と同じ人体（側頭部及び両手を除く）ファントム（「2.2.1 ファントム」参照）を適用する。

3.2.2 標準放射源

標準放射源は、標準ダイポールアンテナとする。これらのアンテナは、付録5に示された仕様であること。付録5に示された仕様以外に、信頼できる研究機関等により示された仕様のアンテナを用いることができる。

以下、標準ダイポールアンテナの要件について述べる。

- ・ダイポールアンテナをファントム底面の長手方向と平行に配置する。なお、アンテナエレメントとファントム底面とは、 $\pm 2^\circ$ 以内で平行であること。
- ・ダイポールアンテナの中心軸上の給電点からファントム液剤までの距離は、5mmとする。なお、この距離については $\pm 0.1\text{mm}$ の精度で一定となるようにすること。
- ・ファントム近傍に配置された時のダイポールアンテナへの給電コネクタ部（図1中のC3）での反射減衰量が20dB以上であること。アンテナ反射特性の改善のために、低損失又は導電性の整合素子をアンテナ素子端部に装荷してもよい。
- ・低損失で誘電率の小さいスペーサーをアンテナとファントム間の距離を確保するために用いること。なお、スペーサーの影響により吸収電力密度測定値が計算による基準値と異なる可能性があるため、実験的に求めた吸収電力密度の基準値を用いること。

3.2.3 給電装置

給電装置は、図1に示す装置とする。給電の手順及び各構成部分の条件は、平成27年一部答申に従うこと。

標準アンテナへの給電の手順は平成27年一部答申に従うこと。

3.3 試験の手順

総合評価試験は以下の手順で実施する。標準波源として標準ダイポールを用いる場合について示す。なお、手順(1)は毎回行う必要があるが、手順(2)から手順(5)までについては毎回必須ではない。また、手順(6)については校正証明書等により同等の情報が得られる場合は省略することができる。

- (1) 局所SAR評価：一連の局所SAR測定を行う。標準ダイポール入力電力は、局所SAR値を0.4W/kgから10W/kgまでの範囲に収まるように調整する。局所SAR値を適合性評価試験で使用される範囲内の周波数で測定する。結果は1Wの等価入力電力で正規化し、付録5の表1の基準値と比較する。付録5の表1に該当する数値が無い場合には、IEC PAS63446:2022や信頼できる研究機関等により示された数値計算結果と比較する。基準値との差は総合評価試験の吸収電力密度測定における拡張不確かさ未満であること。ただし、10%を超えないこと。
- (2) 外挿手順：局所SARが最大となる測定値の評価に使用するのと同じポイント間隔を使用して、標準ダイポールの給電点上を真っ直ぐ垂直軸に沿って測定する。この測定を標準ダイポールの給電点から、水平に2cmずらした位置で繰り返す。ファントム表面でのSARを外挿によって求め、IEC/IEEE 62209-1528:2020や信頼できる研究機関等により示された数値計算結果と比較する。基準値との差は、総合評価試験の局所SAR測定における拡張不確かさ未満であること。ただし、15%を超えないこと。
- (3) プローブの連続波(CW)での直線性：手順(1)の測定を標準ダイポールに異なる電力レベルを入力して繰り返す。各周波数に対して、局所SAR値がおおよそ10W/kg、2W/kg、0.4W/kg、0.12W/kgとなるよう電力レベルを調整する。測定した局所SAR値は1Wの等価入力電力で正規化し、手順(1)において1Wで正規化した値と比較する。これらの値の差は総合評価試験の局所SAR測定における直線性に関する拡張不確かさ未満であること。ただし、10%を超えないこと。
- (4) 規則的パルス変調応答：本評価は、手順(3)の要求を満たした後に行う。手順(1)の測定をデューティ係数0.1及びパルス繰り返し周波数10Hzのパルス変調信号で繰り返す。入力電力は局所SAR値の時間平均値がおおよそ8W/kg、すなわち時間ピーク値ではおおよそ80W/kgとなるように設定する。測定した局所SAR値は、デューティ係数1の場合（連続波）の1Wの入力電力で正規化し、手順(1)の1Wで正規化した値と比較する。これらの値の差は総合評価試験の局所SAR測定における拡張不確かさ未満であること。ただし、10%を超えないこと。

- (5) ランダムな位相振幅特性を持つデジタル変調応答 (CDMA、OFDM等) : 手順(1)の測定を、試験する変調信号で繰り返す。1変調につき1周波数の測定でもよい。入力電力は1g平均SAR値の時間平均値がおよそ8W/kgとなるように設定する。測定信号のピーク対平均電力比 (PAPR) が測定可能なSARの範囲を超える場合、8W/kg以下でもよいが測定可能な最大の電力で測定する。測定した局所SAR値は、デューティ比1の場合 (連続波) の1Wの入力電力で正規化し、手順(1)の1Wで正規化した値と比較する。これらの値の差は総合評価試験の局所SAR測定における拡張不確かさ未満であること。ただし、10%を超えないこと。
- (6) プローブの軸等方性 : プローブを標準ダイポール中心部から真っ直ぐ上方で、ファントムの内側の底面からプローブ直径程度の位置に配置する。プローブを15°以下のステップで最小180°軸のまわりで回転させる。最大と最小のSARの測定値を記録する。最大値と最小値の差は、総合評価試験の局所SAR測定における等方性に関する拡張不確かさ未満であること。ただし、5%を超えないこと。

付録 4 : 6GHz以下を含む帯域の評価方法

1 概要

被測定機から発射される電波の帯域が6GHz以下の周波数を含む場合の評価方法について規定する。

2 基本的な考え方

中心周波数 f_c 、周波数範囲 f_1 から f_2 までの帯域の評価を行う際には、その帯域内に6GHz以下の周波数が含まれる場合(図1)、複数帯域同時送信時の考え方(付録1参照)を拡張し、総合照射比(TER)を計算することを基本的な考え方とする。総合照射比は、以下の式により、6GHz以下の周波数領域における局所SARの総和の局所SARの指針値に対する比と6GHz超の周波数領域における吸収電力密度の総和の吸収電力密度の指針値に対する比の和で表すことができる。

$$TER = \int_{f_1}^{6\text{GHz}} \frac{SAR(f)}{SAR_{limit}} df + \int_{6\text{GHz}}^{f_2} \frac{S(f)}{S_{limit}} df \quad (1)$$

ここで、 $SAR(f)$ 及び SAR_{limit} は、それぞれ10g平均局所最大SARの周波数スペクトル及び10g平均局所SARの指針値を示す。 $S(f)$ 及び S_{limit} は、それぞれ最大吸収電力密度の周波数スペクトル及び吸収電力密度の指針値を示す。

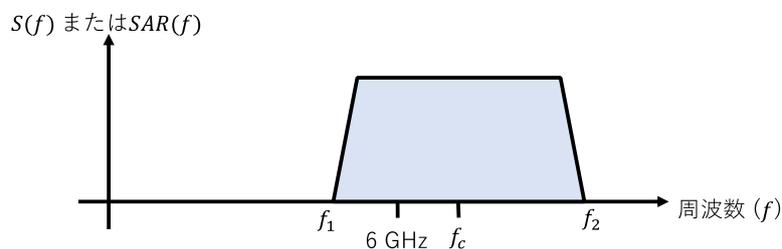


図1 無線設備のスペクトル例(中心周波数 f_c 、周波数範囲 f_1 から f_2 まで)

3 具体的な評価手順

6GHz以下の周波数が含まれる帯域があった場合は、その帯域を6GHz以下と6GHz超に分けて測定することは困難であるため、無線設備の実際の使用状態において、10g平均局所最大SAR及び最大吸収電力密度の両方を同じ帯域(中心周波数 f_c 、周波数範囲 f_1 から f_2 まで)においてそれぞれ測定する。10g平均局所最大SARの測定方法は平成23年一部答申又は平成27年一部答申に従い、最大吸収電力密度の測定は本測定方法に従う。ただし、10g平均局所最大SAR及び最大吸収電力密度のそれぞれの測定に使用する測定系は、評価する周波数範囲に対応していること。

電波防護指針への適合性は、10g平均局所最大SAR及び最大吸収電力密度の両方の測定結果が共に対応する指針値以下となるかを次式により個別に評価することで判断する。

$$\begin{cases} SAR_{meas} \leq SAR_{limit} \\ S_{meas} \leq S_{limit} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 SAR_{meas} 及び S_{meas} は10g平均局所最大SAR及び最大吸収電力密度の測定値をそれぞれ示す。

上式による評価は、基本的な考え方と比較してより安全側な評価結果を提供する。

なお、この場合、総合照射比は次式により与えられる。

$$TER = \max \left\{ \int_{f_1}^{f_2} \frac{SAR(f)}{SAR_{limit}} df, \int_{f_1}^{f_2} \frac{S(f)}{S_{limit}} df \right\} \quad (3)$$

付録 5 : 評価試験用標準アンテナ

総合評価試験に用いる標準ダイポールアンテナはセミリジッドケーブルによるダイポールエレメントと1/4波長折り返しバランにより構成される。代表的な周波数帯におけるアンテナ各部の寸法はIEC PAS63446:2022を参照すること。

総合評価試験では、標準ダイポールアンテナを平面ファントム直下に配置したときの吸収電力密度を測定し、同じ条件を想定した数値シミュレーションによる計算結果と比較する。表1に代表的な周波数での数値シミュレーション結果を示す。

標準ダイポールに対するファントム底面離隔距離は、5mm ± 0.1mmとする。

表1 吸収電力密度[W/m²]及び局所SAR[W/kg]の基準値(計算値)
(1W入力換算)

周波数 [GHz]	4cm ² 平均 吸収電力密度の最大値	8g平均 局所SARの最大値
6.5	1.29 × 10 ³	64.5
7	1.19 × 10 ³	59.5
8	1.09 × 10 ³	54.5
9	0.98 × 10 ³	49.0

※本表の値は、数値解析技術の改良により将来的に変更される可能性がある。
8g平均局所SARの最大値は、4cm²平均吸収電力密度の最大値を変換係数で除した値である。