

# 基地局ばく露評価法 国際規格詳細

IEC TC106 MT3 Expert  
ITU-T SG5 WP1 Q3/5 Delegate  
東山 潤司  
(株式会社NTTドコモ)

# はじめに

- 基地局等から発射される電波の人体ばく露量の評価方法の国際規格であるIEC 62232における、今回の作業班審議に関する内容について、具体的に示す。
- 今回の作業班審議に関する内容
  - ① 局所SAR<sup>\*1</sup>・全身平均SARによる電波ばく露量評価法
  - ② Actual maximum transmitted power or EIRP<sup>\*2</sup>（以下、AMTP/AMEIRP）を考慮した電波ばく露量評価法
  - ③ 通信トラヒック変動下における最大電波ばく露量評価法

\*1: SAR: Specific absorption rate（比吸収率）の略。

\*2: EIRP: Equivalent isotropically radiated power（等価等方放射電力）の略。

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（1）

## - 測定法、局所SAR・全身平均SAR、概要

- 局所SAR及び全身平均SAR測定法は、300 MHz～6 GHzの周波数において有効
- 6 GHz以上の周波数における局所ばく露評価向けに入射電力密度評価法が有効

ばく露の種類	評価指標	周波数	参照規格	評価可能な波源からの距離	評価対象	測定時のファントム (数字は優先度)
局所	局所SAR	300 MHz ～6 GHz	IEC/IEEE 62209-1528 or IEC 62209-3	～1 m (0.2 m超は要補正)	一般ばく露 職業ばく露	1：楕円* <sup>1</sup> or 小箱* <sup>2</sup> or 大箱* <sup>3</sup>
	入射電力密度	6 GHz ～300 GHz	IEC/IEEE 63195-1	～0.2 m	一般ばく露 職業ばく露	-
全身	全身平均SAR	300 MHz ～6 GHz	IEC/IEEE 62209-1528 or IEC 62209-3	～1 m	一般ばく露	1：小箱 2：大箱（条件付、要補正） 3：楕円（条件付、要補正）
					職業ばく露	1：大箱 2：楕円 or 小箱（両者とも条件付、要補正）

表 局所SAR・全身平均SAR測定法の概要

\*1: IEC 62232:2025, Figure B.17, Elliptical phantom

\*2: IEC 62232:2025, Figure B.17, Small box-shaped phantom

\*3: IEC 62232:2025, Figure B.17, Large box-shaped phantom

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（2）

## - 測定法、局所SAR・全身平均SAR、ファントム

- ファントムは、シェルと液剤で構成
- ファントム底面部のシェル厚は2.0 mm（許容差 $\pm 0.2$  mm以内）
- ファントム液剤の電気定数に対する要求は、IEC/IEEE 62209-1528（ワイヤレスデバイスのSAR測定法）と同様

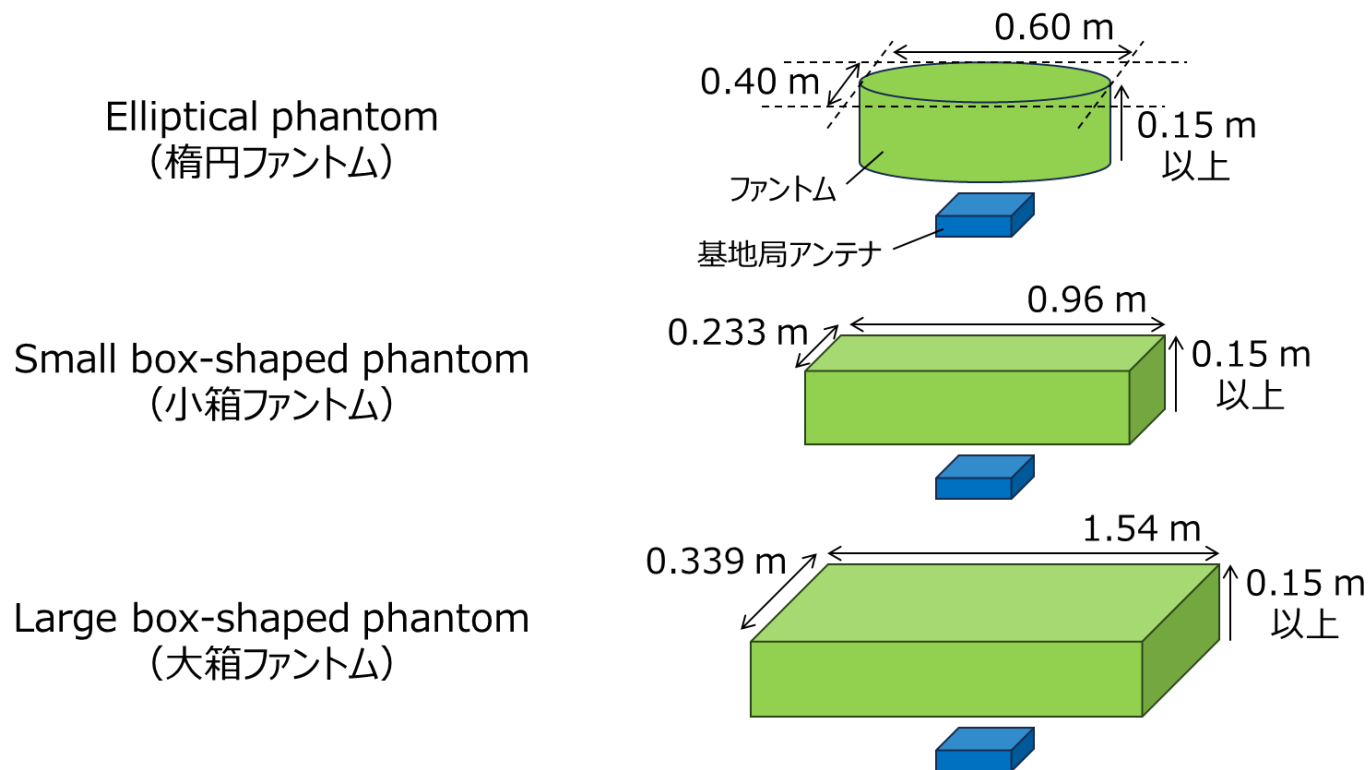


図 局所SAR・全身平均SAR測定に用いるファントムの形状

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（3）

## - 測定法、局所SAR・全身平均SAR、要求事項

- a. 局所SAR、及び/あるいは全身平均SARを考慮しなければならない。
- b. EUT\*<sup>1</sup>が同時送信（複数バンド、複数方式、MIMO\*<sup>2</sup>等）に対応している場合、各波源のSARの寄与を評価し、合算して評価しなければならない。
  - 相関信号を発射するMIMOアンテナについて、試験分離距離が5 cm未満かつ隣接アンテナ間距離が $\lambda/2$ を超える場合、SAR分布の重なりはほぼない。
    - この場合、単独評価における最大SAR値のうち最も高い値を選択する方法、または位相の組合せを固定した状態で全アンテナを同時に励振する方法により、複合ばく露を評価
- c. 最大SARを決定するため、アンテナ、またはアンテナが配置されているEUTの側面をファントムに向けた状態で評価しなければならない。
  - 全身平均SAR評価においては、適切なRF結合を考慮するため、実際の設置状態と同一の関係／向きとなるようにファントムをアンテナに整列させる必要がある場合あり。
- d. 局所SAR測定においては、アンテナ素子がファントムの縁に近接して配置されることを避けるため、EUTの位置をわずかに調整してもよい。EUTの配置は、試験報告書に記載しなければならない。
- e. 適合境界を確立するため、ファントムから最大1,000 mmまでの異なる分離距離において試験を行い、評価構成に対する適切なSAR制限値を下回る距離（適合距離）を決定しなければならない。
  - 異なる電力レベルに対する適合境界は、SARと分離距離の関係曲線を線形スケーリングすることによって求めることができる。

\*1: Equipment under testの略。この場合は、SAR測定対象の基地局装置を指す。

\*2: Multiple-input multiple-outputの略。送信側と受信側の双方が複数のアンテナを使い、高速大容量で安定した無線通信を実現する技術。5

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（4）

## - 測定法、局所SAR・全身平均SAR、共通手順

- a. EUTが使用する各送信機および各送信帯域について、EUTアンテナとファントムシエルとの分離距離をゼロとした状態で、少なくとも中心周波数において測定を行う。
- b. EUTが使用する各送信機および各送信帯域について、最も高いSAR値を与える周波数を用い、SARがばく露許容値を下回るまで、追加の分離距離においてSARを測定する。
  - 試験に用いる最大分離距離は、複合SARを考慮して決定する。
- c. 複合SARがばく露制限値を下回る分離距離を確立する。
- d. 確立された分離距離においてEUTアンテナを配置し、各バンドについて下限周波数、中心周波数および上限周波数におけるSARを測定し、複合SARがばく露許容値を下回っていることを確認する。
  - 必要に応じて、複合SARがばく露許容値を下回るまで、より大きな分離距離において測定を繰り返す。
  - EUT／アンテナの複数の面に対してSAR評価を行う場合には、IEC/IEEE 62209-1528:2020の7.2.4.1節において要求されるすべての面について、中心周波数（デフォルト）または最大送信電力となる周波数（測定されている場合）において測定する。各バンドの下限及び上限周波数における測定は、すべての測定面の中で最も高いSARを示した面に対してのみ実施する。
    - なお、送信周波数帯域の帯域幅が中心周波数の5%を超えない場合には、下限周波数および上限周波数での測定は不要。

※評価後は、95%信頼区間の不確かさ評価も必要

- 不確かさが30%以内：得られた値をばく露許容値と比較
- 不確かさが30%超：得られた値に不確かさを加えてばく露許容値と比較

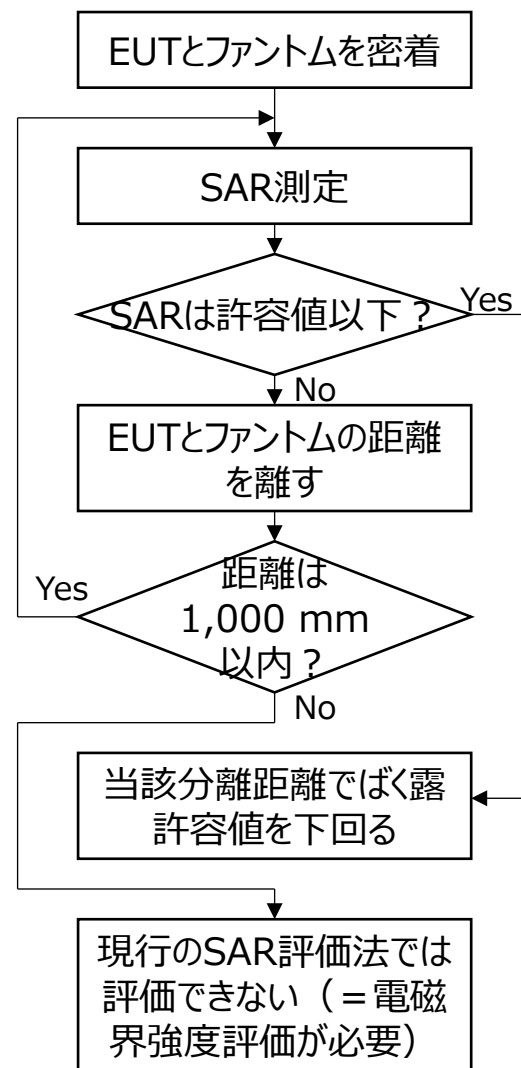


図 EUTとファントム間の分離距離に着目した測定フロー

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（5）

## - 測定法、局所SAR・全身平均SAR、システムチェック・バリデーション

### ●システムチェック

- 適合性試験と同一の組織等価媒質を用い、適合性試験の中間帯域周波数に対して  $\pm 10\%$  または  $\pm 100$  MHz のいずれか大きい方の範囲内にある、選定した固定周波数で実施する。
  - システムチェックは、IEC/IEEE 62209-1528:2020のA.2.5節に規定された判定基準を満たす場合に成功とみなす。

### ●バリデーション

- IEC/IEEE 62209-1528:2020のA.3節に従い、基準ダイポールを用いて実施し、表B.11の列3、4および7に示される数値参照SAR値を考慮しなければならない。測定値と表B.11に示された目標値との差は、全身平均SARシステムバリデーションに対して表B.15に記載されたテンプレートを用いて算出される拡張不確かさ未満でなければならない。

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（6）

## - 測定法、局所SAR、手順

- IEC/IEEE 62209-1528:2020の7.4に規定された測定手順に基づき、規定ファントムを使用して、初期の測定空間平均SAR ( $SAR_m(d)$ ) を決定する。
- IEC/IEEE 62209-1528:2020を参照し、組織の層構造効果による局所SARの増加の可能性を考慮するため、B.22式を用いて補正係数 $CF_1(d)$ を算出する。
- 同一ポートから給電される複数のアンテナ素子が、ファントムによって部分的に負荷される場合には、アンテナ素子の負荷条件の変化に起因する、ファントム—アンテナ間の分離距離が小さい場合の局所SAR 増加の可能性を考慮するため、B.23式を用いて補正係数 $CF_2(d)$ を決定する。
- 式B.24を用いて局所SAR ( $SAR_{psa}(d)$ ) を決定する。

式B.24

$$SAR_{psa}(d) = SAR_m(d) \cdot CF_1(d) \cdot CF_2(d)$$

$SAR_{psa}(d)$  [ $W\ kg^{-1}$ ]: 測定構成に対して、手順a) における平均化方法に従って評価された局所10 g平均最大SAR

$d$  [m]: ファントム液面から EUTまでの距離

$SAR_m(d)$  [ $W/kg$ ]: 10 gで平均化した補正前の測定局所SAR

$CF_1(d)$ : 補正係数

$CF_2(d)$ : 補正係数

$N_e$ : アンテナアレイのエレメント数

式B.22

$$CF_1(d) = \begin{cases} 1 & \text{for } d < 0,2\text{ m} \\ \frac{d}{0,2} & \text{for } 0,2\text{ m} \leq d < 0,4\text{ m} \\ 2 & \text{for } 0,4\text{ m} \leq d \leq 1\text{ m} \end{cases}$$

式B.23

$$CF_2(d) = \begin{cases} 2 & \text{for } d \leq \frac{\lambda}{4} \quad \text{and } N_e > 1 \\ -\frac{4 \times d}{7 \times \lambda} + \frac{15}{7} & \text{for } \frac{\lambda}{4} < d < 2 \times \lambda \quad \text{and } N_e > 1 \\ 1 & \text{for } d \geq 2 \times \lambda \quad \text{or } N_e = 1 \end{cases}$$

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（7）

## - 測定法、全身平均SAR、手順（1）

- a. アンテナからの所定の分離距離において、対象とするばく露構成および使用するファントムにより規定される関連測定体積内で電界強度を測定し、吸収電力 $P_A$ を決定する。適用可能な場合には、IEC/IEEE 62209-1528:2020の7.4に規定された測定手順を、以下に示すグリッド間隔を用いて適用しなければならない。
1. 水平方向の最大グリッド間隔は、周波数3 GHz未満で20 mm、周波数3 GHz以上で $(60/f_{\text{GHz}})$  [mm]。
  2. 鉛直方向のグリッド間隔
    - 均一な間隔とする場合は、周波数3 GHz未満で5 mm以下、周波数3 GHz以上で $(10/(f_{\text{GHz}}-1))$  [mm] 以下かつ5 mm を超えてはならない。
    - 可変間隔を用いる場合は、ファントムシェルに最も近い2点の測定点間の最大間隔は、 $(12/f_{\text{GHz}})$  [mm]以下かつ4 mm を超えてはならない。より離れた測定点間の間隔は、増加係数が1.5を超えない範囲で増加させなければならない。外挿処理は、測定で用いたものと同じの間隔を用いて検証しなければならない。
  3. 全身平均SAR測定に要する時間を短縮するため、1つまたは複数の平面における測定に基づく手順を数値的な電磁界伝搬手法と組み合わせて使用してもよい。ただし、以下の条件を満たすことを前提とする。
    - 当該手順が十分に検証されていること。不確かさが定量化されていること。
- b. 質量 $M$  [kg]を決定する。
- c. 組織の層構造効果による全身平均SARの増加の可能性を考慮するため、B.26式を用いて補正係数 $CF_3(d)$ を算出する。
- d. 児童ばく露構成に対して大箱ファントムを用いて評価した場合において、得られる一般公衆向け全身平均SARにおける偏りの可能性を保証するために、補正係数 $CF_4(f)$ を算出する。該当しない場合は1とする。
- e. 式B.25を用いて全身平均SAR（wbSAR( $d$ ））を評価する。

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（8）

## - 測定法、全身平均SAR、手順（2）

式B.25

$$\text{wbSAR}(d) = \frac{P_A(d) \cdot \text{CF}_3(d) \cdot \text{CF}_4(f)}{M}$$

wbSAR [W kg<sup>-1</sup>]: 全身平均SAR

$P_A(d)$  [W]: ファントム液面からEUTまでの距離 $d$  [m]において測定されたファントム内の吸収電力

$\text{CF}_3(d)$ : 補正係数

$\text{CF}_4(f)$ : 補正係数

$M$  [kg]: 人体の質量

表 質量 $M$ の決定

ばく露評価対象	EUTアンテナの最下部の高さ	$M$ [kg]
一般公衆・職業人	一般公衆が現実的に到達可能な高さから2.2 m以上	46 ※成人を代表する質量
一般公衆	一般公衆が現実的に到達可能な高さから2.2 m未満	12.5 ※4歳女児の第3パーセンタイル体重データとなる質量

式B.26

$$\text{CF}_3(d) = \begin{cases} 1 + \frac{0,8 \times d}{400} & \text{for } d < 400 \text{ mm} \\ 1,8 & \text{for } d \geq 400 \text{ mm} \end{cases}$$

表 補正係数 $\text{CF}_4(f)$ の算出

周波数 [GHz]	0.3	0.45	0.9	1.8	2.6	3.5	6.0
$\text{CF}_4(f)$	2.4	2.3	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2

※データのない周波数に対する $\text{CF}_4(f)$ は、線形補間で算出

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（9）

## - 計算法、局所SAR・全身平均SAR、概要

- 算出式（基本）は、計算条件に応じて、300 MHz～5 GHzまたは600 MHz～2.7 GHzの周波数において有効
- 全波解析（高度）による計算は、110 MHz～6 GHzの周波数において有効。入射電力密度計算は、6～300 GHzの周波数において有効

計算法	ばく露の種類	評価指標	周波数	適用可能な方向	適用可能な距離	評価対象
基本 (算出式)	局所	局所SAR	300 MHz ～5 GHz	Front	A mより大きな距離 Aは、0.2と $\lambda/2\pi$ の大きい方 距離はアンテナエレメントからの値	一般ばく露 職業ばく露
			600 MHz ～2.7 GHz	Back Axial	制約なし 距離はアンテナ背面プレートからの値	一般ばく露 職業ばく露
	全身	全身平均SAR	300 MHz ～5 GHz	Front	制約なし 距離はアンテナエレメントからの値	一般ばく露 職業ばく露
			<del>600 MHz ～2.7 GHz</del>	<del>Back Axial</del>	<del>制約なし 距離はアンテナ背面プレートからの値</del>	<del>一般ばく露 職業ばく露</del>
高度 (全波解析)	局所	局所SAR	110 MHz ～6 GHz	制約なし	制約なし	一般ばく露 職業ばく露
		入射電力密度	6 GHz ～300 GHz	制約なし	制約なし	一般ばく露 職業ばく露
	全身	全身平均SAR	110 MHz ～6 GHz	制約なし	制約なし	一般ばく露 職業ばく露

資料17/8-5から修正

表 局所SAR・全身平均SAR計算法の概要

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（10）

## - 計算法、基本、局所SAR・全身平均SAR、変数

Figure B.25

$h_B$  [m]: アンテナ基部の高さ（基準面からの高さ）  
 $h_U$  [m]: アンテナ素子の前方、水平方向距離 $d$ におけるアンテナビーム上端の高さ（基準面からの高さ）  
 $h_L$  [m]: アンテナ素子の前方、水平方向距離 $d$ におけるアンテナビーム下端の高さ（基準面からの高さ、ビームが基準面に達する場合の最小値は0 m）  
 $h_F$  [m]: 足元の高さ（基準面からの高さ）  
 $L_A$  [m]: 物理的なアンテナアレー長  
 $L_B$  [m]: 人体の長さ  
 $L_{\text{eff}}$  [m]: 人体の有効長（アンテナビームと人体が重なる部分の長さ）  
 $d$  [m]: アンテナ素子から評価点までの最短距離  
 $\Delta\theta_{3\text{dB}}$  [rad]: アンテナの垂直半値幅（3dBビーム幅）

Figure B.25 Description of SAR estimation formulas physical parametersより引用

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法 (11)

## - 計算法、基本、全身平均SAR、Front方向

式B.37

$$wbSAR = A(f, d) \cdot \frac{L_{eff}}{CF_B \cdot L_B} \cdot \frac{P}{\Delta\phi_{3dB} \cdot L_A \cdot d} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{4\pi \cdot d}{\Delta\phi_{3dB} \cdot D_A \cdot L_A} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

表 係数A(f,d)の算出

f [MHz]	d [m]	A(f,d) [m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> ]
300 to 900	0.2 ≤ d ≤ 0.4	$\left( 3,5 + \frac{f - 300}{600} \right) (1 + 2 \times d) \cdot 10^{-4}$
	0.4 < d	$\left( 6,3 + 1,8 \times \frac{f - 300}{600} \right) \cdot 10^{-4}$
900 to 5000	d ≤ 0.4	4,5 × (1 + 2 × d) · 10 <sup>-4</sup>
	0.4 < d	8,1 · 10 <sup>-4</sup>

表 CF<sub>B</sub>及びL<sub>B</sub>の決定

変数	大人向け	子供向け
CF <sub>B</sub> [m]	0.089	0.06
L <sub>B</sub> [m]	1.54	0.96

※複数周波数帯をカバーするアンテナのL<sub>A</sub>については、各周波数帯ごとに個別のアンテナ長を設定

式B.42  $L_{eff} = \max[\min(h_U; h_F + L_R) - \max(h_L; h_F); 0]$

式B.43  $h_U = \max\left[ h_B + L_A; h_B + \frac{L_A}{2} + d \cdot \tan\left(\frac{\Delta\theta_{3dB}}{2}\right) \right]$

式B.44  $h_L = \max\left\{ \min\left[ h_B; h_B + \frac{L}{2} - d \cdot \tan\left(\frac{\Delta\theta_{3dB}}{2}\right) \right]; 0 \right\}$

wbSAR [W kg<sup>-1</sup>]: 大人または子供について評価された全身平均SAR

A(f,d) [m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>]: 係数

CF<sub>B</sub> [m]: 係数

P [W]: 時間平均送信電力

Δφ<sub>3dB</sub> [rad]: アンテナの水平半値幅 (3dBビーム幅)

d [m]: アンテナ素子から評価点までの最短距離 (アンテナ素子までの距離が不明な場合には、保守的にアンテナレドームまでの距離)

D<sub>A</sub>: メインビームにおけるアレイの指向性

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法 (12)

## - 計算法、基本、局所SAR、Front方向

式B.38

$$\text{psSAR}_{10\text{g}} = 25 \times \text{wbSAR} \cdot \frac{L_{\text{B}}}{L_{\text{eff}}} \cdot \frac{1}{\text{CF}_{\text{wb}/10\text{g}}}$$

$\text{psSAR}_{10\text{g}}$  [ $\text{W kg}^{-1}$ ]: 大人または子供について評価された局所10 g平均最大SAR  
 $\text{CF}_{\text{wb}/10\text{g}}$ :  $\text{psSAR}_{10\text{g}}$ に適用可能な係数

※wbSAR、 $L_{\text{B}}$ 、 $L_{\text{eff}}$ は前頁を参照

式B.40

$$\text{CF}_{\text{wb}/10\text{g}} = \begin{cases} 1,5 & \text{for } 300 \text{ MHz} < f \leq 2,5 \text{ GHz} \\ 1 & \text{for } 2,5 \text{ GHz} < f < 5 \text{ GHz} \end{cases}$$

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（13）

## - 計算法、基本、局所SAR、Axial・Back方向

式B.45

$$SAR_{axial} = CF \cdot \frac{P}{N_e \cdot \max(d; 0,01)}$$

式B.46

$$SAR_{back} = \frac{CF}{10} \cdot \frac{P}{N_e \cdot \max(d; 0,01)}$$

CF: 係数

$N_e$ : 評価対象周波数におけるアンテナ素子数

$SAR_{axial}$  [W kg<sup>-1</sup>]: アンテナ軸方向における大人または子供について評価された局所1 gあるいは10 g平均最大SAR  
 $d$  [m]: 最も近いアンテナ素子から評価点までの最短距離  
(保守的な評価として、軸方向については、アンテナレドームからの距離も適用可能)

$SAR_{back}$  [W kg<sup>-1</sup>]: アンテナ背面方向における大人または子供について評価された局所1 gあるいは10 g平均最大SAR  
 $d$  [m]: アンテナ背面プレートから評価点までの距離

※CFは、0.05

※ $N_e$ は、アンテナ素子数が分かればその数を適用。分からない場合は以下の式で得られた値を四捨五入した整数

式B.47

$$N_e = L_A / (0,85 \times \lambda)$$

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（14）

## - 計算法、高度、局所SAR・全身平均SAR

- 複数の高度計算法が規定されている。
  - ・ 近傍界評価には全波解析のいずれかの方法が必要。
  - ・ 市販ソフトウェアの利用も可能。
  - ・ 完全な不確かさ解析が必要（考慮すべき最小限の不確かさパラメータは示されている）。

表 高度計算法とその適用可能領域

方法		適用可能領域		
		Source Region I (近傍界)	Source Region II (放射近傍界)	Source Region III (遠方界)
合成モデルとレイトレーシング			○	○
全波解析	MoM*1	○	○	○
	FDTD*2 method	○	○	○
	FEM*3	○	○	○

- 全波解析の（局所及び全身平均）SAR計算法としては、FDTD法が最も一般的とされている。
  - ・ 一般的な要求と推奨事例については、以下の規格で確認できる。
    - IEC/IEEE 62704-1、IEC/IEEE 62704-2、IEC/IEEE 62704-3、IEC/IEEE 62704-4、IEC/IEEE 63195-2

\*1: Method of momentsの略。

\*2: Finite difference time domainの略。

\*3: Finite element methodの略。

# ①局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法（15）

## - 評価結果の適用

- 得られた局所SAR・全身平均SARとそれらの許容値と比較から、各アンテナ入力に対して、許容値を満足する境界（＝適合境界）が得られる。
- 上記の適合境界情報に基づき、基地局を設置する。
  - （例1）適合境界が密着の場合  
→安全施設の必要なく、基地局を設置可能
  - （例2）適合境界が5 cmの場合  
→5 cm以上の離隔確保が可能な安全施設を確保した上で、基地局を設置可能
    - ✓安全施設：高い位置への設置による離隔確保、アンテナレドーム、柵など

## ②AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法（1） - Actual maximum approach、概要

- 国内制度：基本算出式で電波ばく露量を計算し、許容値以下を確認

### 許容値：単位時間平均値

- ・ 現状、6分間平均値
- ・ 「実際の電波ばく露量の6分間移動平均値の最大値」が許容値以下となる必要あり

差分あり

### 計算値：ワーストケース想定 of 最大値

- ・ 空中線入力電力 $P$ 、主輻射方向の絶対利得 $G$ は、装置仕様の最大値を適用
- ・ 十分に保守的な設計

## ●IEC 62232のActual maximum approach

- ・ 携帯電話基地局において、電波防護の確保と、より現実的なばく露量を得るための計算の確保を両立するための手法

- 開設前
- ①  $P$ に乘じる適切な係数 ( $F_{TDC}$ 、 $F_{PR}$  など) を導出
  - ② 上記係数を乘じた $P$  (= **Actual maximum transmitted power**) の閾値を設定

本資料では「実運用上の最大」と表現

- 開設後
- ③ 実際の空中線入力の6分間移動平均値が常に上記閾値以下となるように、基地局送信電力の継続的なモニタ及び/または制御を実施

資料17/8-5にて「モニタと制御」と記載したが、規格の正確な記載に修正

※空中線入力 $P$ をEIRP\*1 ( $P \times G$ ) に置き換えての議論も可

\*1: Equivalent Isotropic Radiated Power (等価等方放射電力)

## ② AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法 (2)

### - AMTP/AMEIRP閾値に基づく製品設置時の適合性確認手順

基地局を運用開始する前、または BS の設定パラメータに重要な変更が加えられた場合

Step 1: 基地局のセクタ/セル/セグメントにおける実運用上の送信電力/EIRPの累積分布関数 (CDF\*1) を評価する。

同一/類似の構成/環境の基地局の測定結果、当該基地局のプレ運用の測定結果などから

Step 2: 実運用上の最大閾値 (Actual maximum threshold) を定義するために適用可能なパーセンタイルを選択する。

Step 3: 実運用上の最大送信電力の閾値 (Actual maximum transmitted power threshold) 、または実運用上の最大EIRPの閾値 (Actual maximum EIRP threshold) を決定する。

Step 4: 基地局の設定送信電力および送信電力低減パラメータを設定する。

基地局の運用中

Step 5: 実運用上の送信電力またはEIRPをモニタ及び/または制御する。

(必要に応じて) 報告

Step 6: (必要に応じて) 基地局の設定パラメータ、または実運用上の最大送信電力もしくは実運用上の最大EIRPの閾値を変更する。

変更した場合

\*1: Cumulative Distribution Functionの略。

## ② AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法 (3)

### - $P_{TXAM}$ : 実運用上の最大送信電力の導出

式B.62

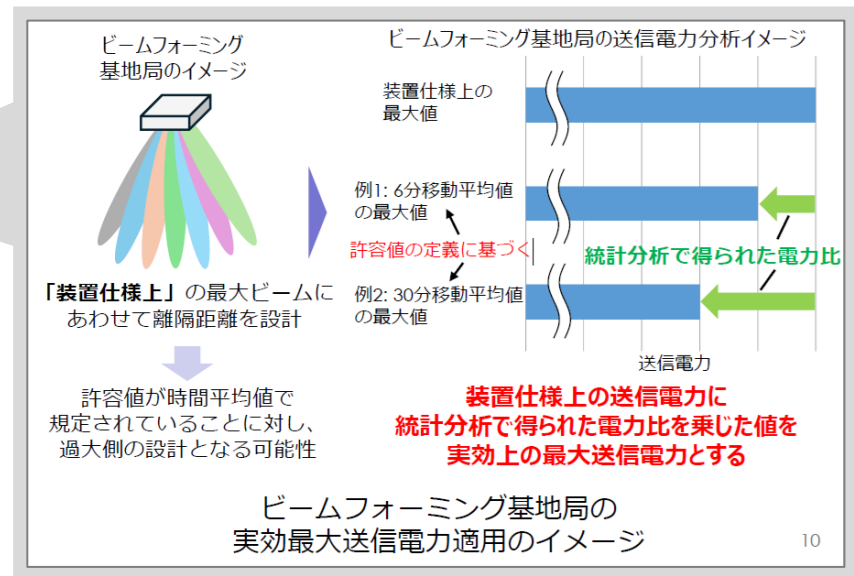
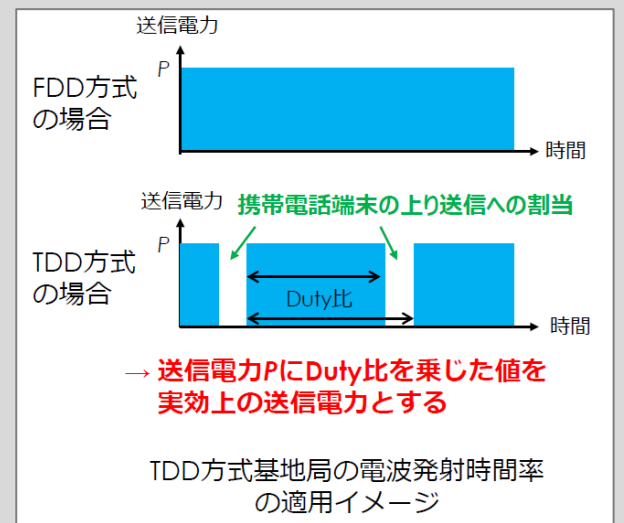
$$P_{TXAM} = P_{TXM} \cdot F_{TDC} \cdot F_{PR}$$

$P_{TXAM}$ : 実運用上の最大送信電力 (AMTP)

$P_{TXM}$ : ダウンリンクで設定された最大送信電力  
 ➤ 国内制度の計算式における $P$ と同意

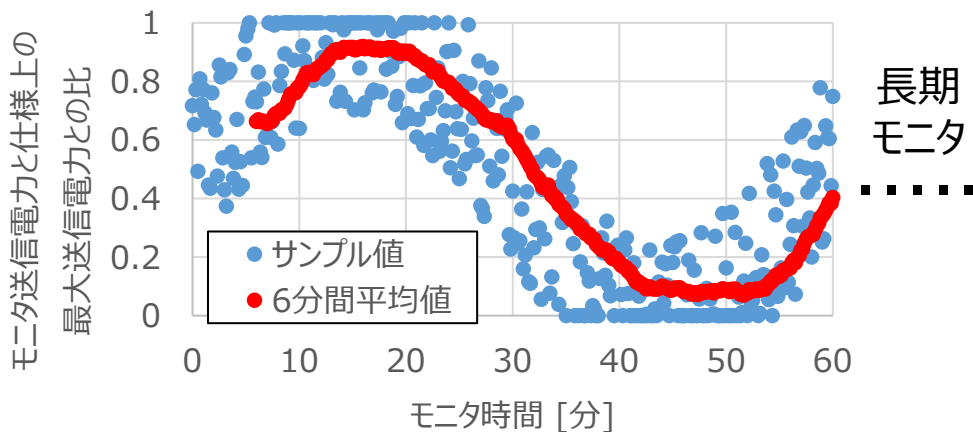
$F_{TDC}$ : 技術的デューティサイクル係数  
 ➤ TDD方式のダウンリンク・アップリンク送信比率などで理論的に導出される係数

$F_{PR}$ : 送信電力低減係数  
 ➤ 実際の送信電力の統計解析 (累積分布関数: CDF) から導出可能  
 ➤ **どのような値を設定したとしても、設定した  $P_{TXAM}$  を超えないように継続的なモニタ及び / または制御が重要**



## ② AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法 (4)

### - $F_{PR}$ : 送信電力低減係数の導出



6分間平均値を昇順に並べて累積分布を検討

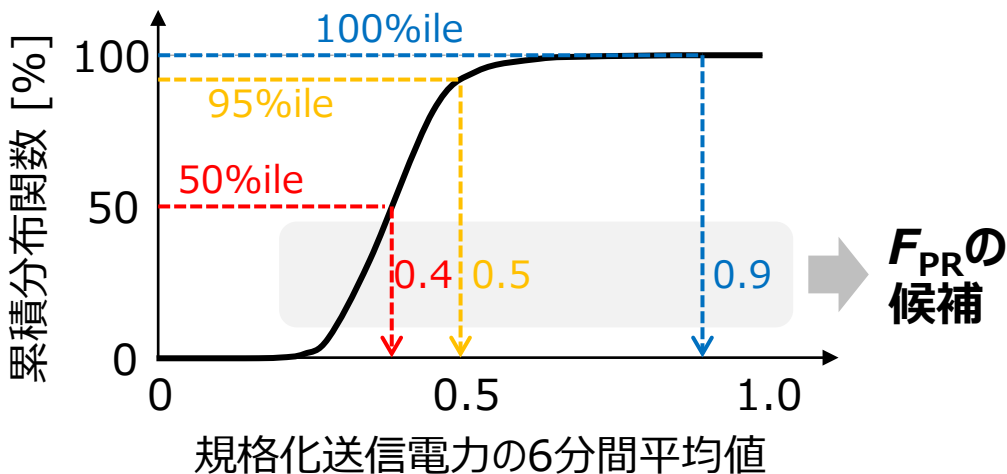


図 開設予定局と同様の構成および環境をもつ基地局の代表的な送信電力サンプルで得られたCDFの例

累積確率の高い値 (100%ileに近い値) を  $F_{PR}$  とする

- 電波防護確保のための基地局送信電力制御がかかることがほとんどない
- 通信リソースへの影響は少ない



累積確率の低い値を  $F_{PR}$  とする

- 電波防護確保のための基地局送信電力制御が高頻度でかかる
- 通信リソースへの影響も大きい



- 電波防護を確保する観点では、 $F_{PR}$  の値自体ではなく、基地局送信電力モニタ及び/または制御により、電波ばく露量が許容値以下であり続けられるかが重要
- $F_{PR}$  の設定は、通信リソースへの影響を事業者がどのように考えるかに依存

## ② AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法（5） - ATP/AEIRPのモニタ及び/または制御（1）

※P19のStep 5においては、実運用上の送信電力/EIRPをモニタし、実測値に関する統計解析を行い、運用中にStep 3で決定した閾値を超えないように、AMTP/AMEIRPを制御する。

### ●モニタ

- 移動体通信ネットワーク管理システム（Network management system）は、システムの性能および運用状態を表すカウンタを、固定されたカウンタ報告時間間隔で提供する。
  - カウンタは、実運用上の送信電力/EIRPをモニタし、それらの値が実際の最大しきい値（Actual maximum threshold）未満に維持されていることを確認するために用いることができる。
- ビームステアリング機能を有する基地局の場合、時間平均された送信電力またはEIRPは、セグメント単位（Figure 19を参照、次頁）で監視することができる。
- モニタ期間の長さは、運用の変動制を正確に反映するものでなければならない。
  - 例：1日または1週間、あるいは観光地における季節変動を考慮したもの

## ② AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法 (6) - ATP/AEIRPのモニタ及び/または制御 (2)

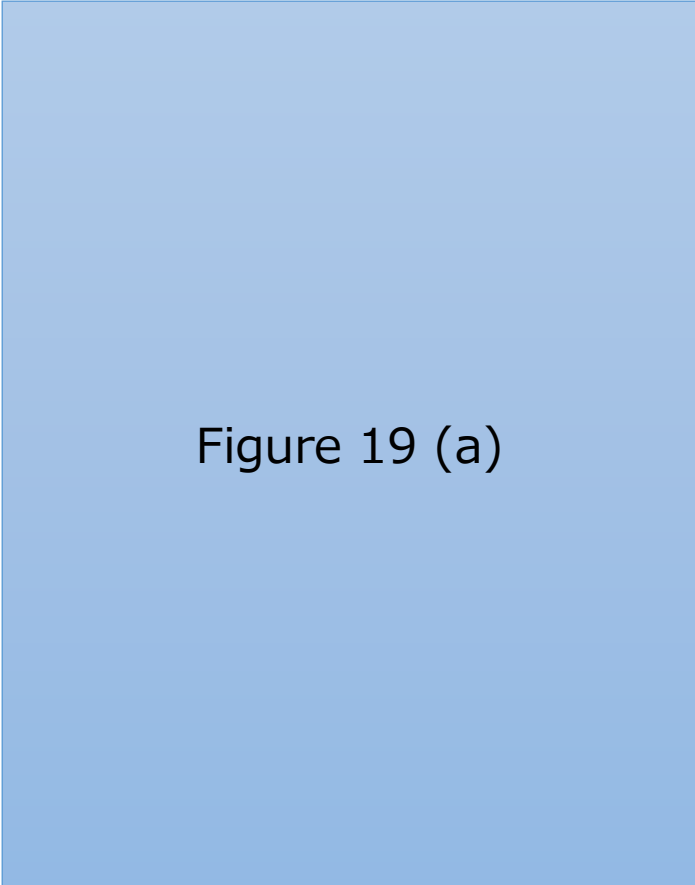


Figure 19 (a)

(a) 3D表示

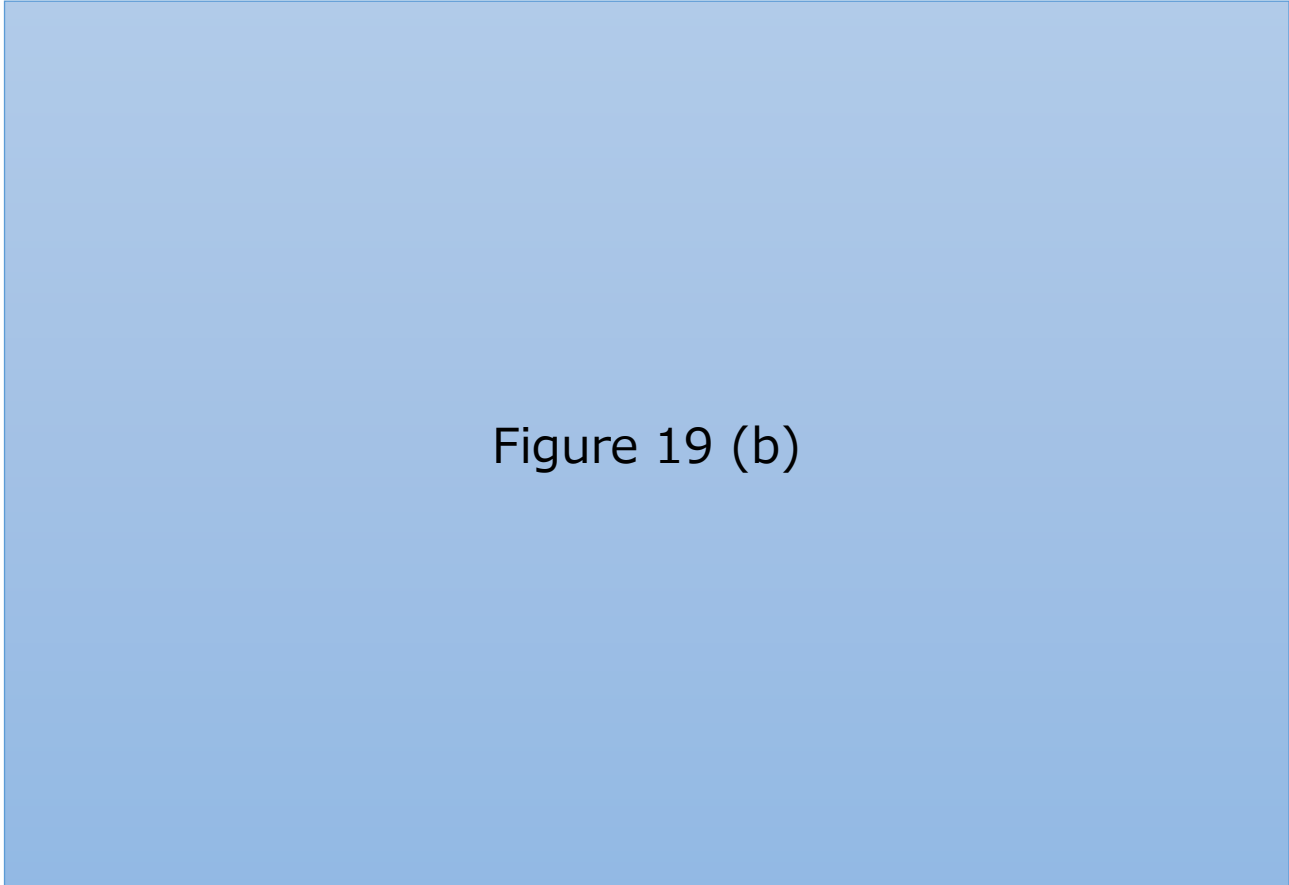


Figure 19 (b)

(b) 基地局から見たメルカトル表示

Figure 19 Example of segments used for monitoring and control of BS using mMIMO or beam steeringより引用

## ② AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法（7） - ATP/AEIRPのモニタ及び/または制御（3）

### ●制御

- 実運用上の送信電力/EIRPを制御するための手段の例として、実運用上の送信電力/EIRPが設定された閾値未満に維持されるよう、基地局が割り当てる無線リソースを制限するシステムなどが含まれるが、これらに限定されるものではない。
  - 無線リソースの例としては、LTE のResource Block（以下、RB）などがある。
- 制御機能は、基地局全体セルセグメント単位、またはビームステアリング機能を有する基地局の場合には個セルセグメント単位で有効化することができる。
- マルチバンドの基地局製品の場合、基地局全体セルセグメント単位、またはセルセグメント単位での制御は、各運用周波数帯ごとに実施しなければならない。
- 実運用上の送信電力/EIRPの閾値は、各周波数帯に対して静的に割り当てることも、運用中の各周波数帯への分配状況に基づいて再配分することもできる。
- あらゆる方向における時間平均送信電力分布を制御することは、実用的でない場合がある。
  - 実運用上の送信電力/EIRPの閾値は、セグメント単位で設定することができる。

## ② AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法（8）

### - 評価結果の適用

#### ●ケース1：TDD方式のダウンリンク・アップリンク送信比率のみを考慮

- 理論的に導出される技術的デューティサイクル係数 ( $F_{TDC}$ ) を適用（例：0.75）
- 送信電力低減係数 ( $F_{PR}$ ) は考慮しないので1
- 得られた実運用上の最大送信電力/EIRPで電波ばく露量が許容値以下となることを確認し、基地局を開設する。



**この場合、P19のStep 1～6は不要**

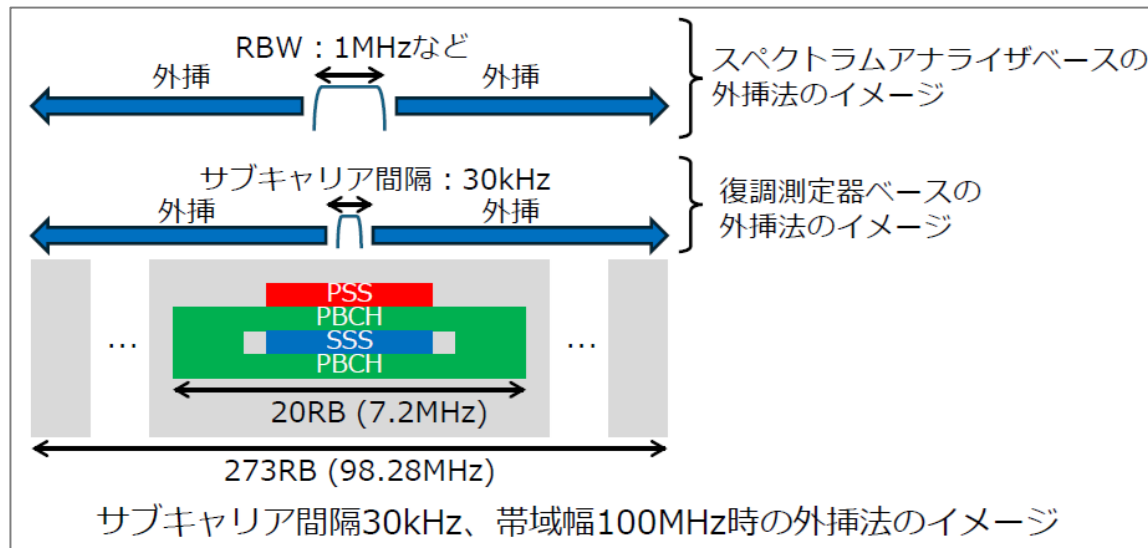
#### ●ケース2：TDD方式のダウンリンク・アップリンク送信比率に加え、ビームフォーミング基地局の送信電力低減係数を考慮

- $F_{TDC}$ を適用
- P19のStep 1～3を実施し、送信電力低減係数 ( $F_{PR}$ ) 及び実運用上の最大送信電力の閾値を決定する。
- P19のStep 4を実施し、得られた実運用上の最大送信電力/EIRPで電波ばく露量が許容値以下となることを確認し、基地局を開設する。
- P19のStep 5（必要に応じてStep 6）を実施し、電波ばく露量が許容値以下となる状況を維持する。

### ③通信トラヒック変動下における最大電波ばく露量評価法（1）

#### - 概要

- 基地局が最大送信電力で電波を発射した場合の電波ばく露量を、通常トラヒック下における測定と、測定値の外挿で得ることができる。
- 通信方式に応じて、評価法が用意されている。
  - 対応方式：NR（5G）、LTE（4G）、WCDMA（3G）、Wi-Fiなど
  - 対応測定器：スペクトラムアナライザ and/or 復調機能を有する測定器
- Actual maximum approachの考え方を適用して、「実運用上の最大送信電力/EIRPにおける最大電波ばく露量」を求めることもできる。



### ③通信トラヒック変動下における最大電波ばく露量評価法 (2) - LTE、復調機能付き測定器を用いる方法

式E.11

$$E_{asmt} = E_{RS} \cdot \sqrt{N_{RS} \cdot F_{TDC} \cdot F_B^{-1}}$$

$E_{asmt}$  [V/m]: 最大電界強度

$E_{RS}$  [V/m]: 1 Resource Element (以下、RE) あたりのReference Signal (以下、RS) の電界強度

$N_{RS}$ : RSに対する外挿係数であり、最大送信電力をRSに対応する1RE当たりの送信電力で割った比

$F_{TDC}$ : 技術的デューティサイクル係数

$F_B$ : RSに対するブースティング係数 (基地局パラメータとして設定可能な値)

※ $E_{RS}$ は、LTEの復調機能付き測定器が測定可能な、RSのRSRP\*1から得られる (送信信号内に配置された全RSの平均値がRSRPとして出力される)

表 チャンネル帯域幅に応じた $N_{RS}$ の一例

チャンネル帯域幅 [MHz]	実際の送信帯域幅 [MHz]	1 RBにおけるREの数	実際の送信帯域幅に おけるRBの数	$N_{RS}$
5	4.5	12	25	300
10	9.0		50	600
20	18.0		100	1200

\*1: RSRP: Reference signal received powerの略。対象とする測定周波数帯域幅内において、セル固有参照信号を担うREの電力寄与 ([W]単位) を線形平均した値。

### ③通信トラフィック変動下における最大電波ばく露量評価法 (3)

#### - LTE、LTE-FDDダウンリンク信号のフレーム構成

---



Figure E.8

Figure E.8 Frame structure of transmission signal for LTE-FDD downlinkより引用

### ③通信トラヒック変動下における最大電波ばく露量評価法 (4) - LTE、スペクトラムアナライザを用いる方法 (1)

式E.13

$$E_{\text{asmt}} = E_{\text{PBCH}} \cdot \sqrt{N_{\text{PBCH}} \cdot F_{\text{TDC}}}$$

式E.14

$$N_{\text{PBCH}} = \frac{N_{\text{RS}}}{72}$$

$E_{\text{asmt}}$  [V/m]: 最大電界強度

$E_{\text{PBCH}}$  [V/m]: Physical broadcast channel (以下、PBCH) の電界強度

$N_{\text{PBCH}}$ : PBCHに対する外挿係数であり、最大送信電力を6個のRBにわたるPBCHに対応する送信電力で割った比

$F_{\text{TDC}}$ : 技術的デューティサイクル係数

※ $F_{\text{TDC}}$ 及び $N_{\text{RS}}$ は、P27を参照

※ $E_{\text{PBCH}}$ を得るための手順は次頁参照

### ③通信トラヒック変動下における最大電波ばく露量評価法 (5) - LTE、スペクトラムアナライザを用いる方法 (2)

#### ● $E_{PBCH}$ を得るための手順

- a. スペクトラムアナライザ (以下、SA) の中心周波数をLTE 信号の中心周波数とする。
- b. 周波数スパンを「ゼロ」(スコープモード) に設定する。
- c. RBW<sup>\*1</sup>を「1 MHz」に設定する (PBCH のスペクトル広がり全体を積分するため) 。
- d. 横軸の掃引時間について、SAの表示ポイント数とシンボル長 (約70  $\mu$ s) との積とほ (ほ等しく設定する (SAの画面上の各ピクセルにおける積分時間をシンボル長に近づけるため)  
➤ (例) 表示ポイント数が 1000 の SAにおいては、掃引時間を約70 ms とする。
- e. 検出器のモードを「RMS<sup>\*2</sup>」に設定する。「RMS」に設定できない場合は、「サンプル」または「ピーク」に設定してもよい。
  - スコープモードにおいて検出器モードを設定できないSAが存在し、その場合は「サンプル」と考えられる。
  - 「RMS」の場合、過小評価を避けるため、VBW<sup>\*3</sup>はRBWと同一またはそれ以上に設定するか、もしくはVBWをオフにする。
  - 「サンプル」または「ピーク」の場合、VBWを3 kHzに設定する (ビデオフィルタの過渡時間とシンボル長の関係から過小評価を避けつつ、信号変動による過大評価を可能な範囲で小さくできる設定) 。
- f. トレースを「最大ホールド」とし、連続掃引により最小でも20秒程度トレースする。



**マーカでピーク値を得ることで $E_{PBCH}$  (あるいはそれに相当する受信電力) が得られる**

\*1: RBW: Resolution bandwidth (分解能帯域幅) の略。入力信号を周波数軸上でどの程度細かく分解して測定できるかのフィルタ設定。

\*2: RMS: Root mean square (二乗平均平方根) の略。検出器の設定値の1つであり、電力実効値を検出する設定値。

\*3: VBW: Video bandwidth (ビデオ帯域幅) の略。検波後の信号波形表示を平滑化するためのローパスフィルタの設定。

### ③通信トラヒック変動下における最大電波ばく露量評価法 (6) - NR、復調機能付き測定器を用いる方法

式E.16

$$E_{asmt} = E_{SSB} \cdot \sqrt{F_{extSSB}} = E_{SSB} \cdot \sqrt{F_{BW} \cdot F_{PR} \cdot F_{TDC} \cdot F_B^{-1}}$$

$E_{asmt}$  [V/m]: 外挿電界強度

$E_{SSB}$  [V/m]: 1REあたりの最も強いSynchronization signal block (以下、SSB\*1) の測定電界強度

$F_{extSSB}$  [V/m]: SSBの外挿係数

$F_{BW}$ : 最大電界強度全キャリア帯域幅とSSBのSubcarrier spacing (以下、SCS) との比

$F_{PR}$  [V/m]: Actual maximum approachが適用される場合の電力低減係数 (適用されない場合は1)

$F_{TDC}$ : 技術的デューティサイクル係数

$F_B$ : SSBシンボルに対して送信される電力と、トラヒックシンボルに対して送信される電力との比 (SSBとトラヒックシンボルの送信電力が同一である場合などは1)

$F_{TDC}$ : 技術的デューティサイクル係数

※ $E_{SSB}$ は、NRの復調機能付き測定器が測定可能な、SSBのSS-RSRP\*2から得られる

表 チャンネル帯域幅とSCSの組合せにおける $F_{BW}$ の一例

(a) サブ6GHz帯

(b) ミリ波帯

SCS (Subcarrier spacing) [kHz]	$F_{BW}$		
	帯域幅 20 MHz	帯域幅 50 MHz	帯域幅 100 MHz
15	1272	3240	-
30	612	1596	3276

SCS [kHz]	$F_{BW}$	
	帯域幅 100 MHz	帯域幅 400 MHz
60	1272	3240
120	612	1596

\*1 SSB: SS、PBCHから構成される同期信号/報知チャンネルブロック。主に端末が通信開始時にセルIDや受信タイミング検出を実施するために周期的に送信され、NRでは各セルの受信品質測定にも流用される。

\*2 SS-RSRP: SS-Reference signal received powerの略。1REあたりのSSの受信電力。

### ③通信トラヒック変動下における最大電波ばく露量評価法 (7) - NR、スペクトラムアナライザを用いる方法

※前頁の方法と同様に、式E.16を用いて $E_{\text{asmt}}$ を求める。

#### ● $E_{\text{SSB}}$ を得るための手順

- a. スペクトラムアナライザ (以下、SA) の中心周波数をSSB信号の中心周波数とする。
- b. 周波数スパンを「ゼロ」(スコープモード) に設定する。
- c. RBWについて、127個のサブキャリア未満、かつ可能な限り広くなるように設定する (RBWを広くするほど、1RE当たりの平均値を高精度に得るため) (例: 1 MHz)。
- d. 横軸の掃引時間について、SAの表示ポイント数とシンボル長 (約70  $\mu\text{s}$ ) との積とほぼ等しく設定する (SAの画面上の各ビクセルにおける積分時間をシンボル長に近づけるため)。
- e. 検出器のモードを「RMS」に設定する。「RMS」に設定できない場合は、「サンプル」または「ピーク」に設定してもよい。
  - スコープモードにおいて検出器モードを設定できないSAが存在し、その場合は「サンプル」と考えられる。
  - 「RMS」の場合、過小評価を避けるため、VBWはRBWと同一またはそれ以上に設定するか、もしくはVBWをオフにする。
  - 「サンプル」または「ピーク」の場合、VBWを10 kHz (サブ6GHz帯でSCS=30kHzの場合)、30 kHz (ミリ波帯でSCS=120kHzの場合) などに設定する (ビデオフィルタの過渡時間とシンボル長の関係から過小評価を避けつつ、信号変動による過大評価を可能な範囲で小さくできる設定)。
- f. RE当たりのRF電界強度を得るため、測定された電界値に対して、係数 $\sqrt{\text{SCS}/\text{RBW}}$ を乗じる。

# まとめ

---

- 基地局等から発射される電波の人体ばく露量の評価方法の国際規格であるIEC 62232における、今回の作業班審議に関する内容について、具体的に示した。
- 今回の作業班審議に関する内容
  - ① 局所SAR・全身平均SARによる電波ばく露量評価法
    - 測定法、計算法、評価結果の適用
  - ② AMTP/AMEIRPを考慮した電波ばく露量評価法
    - Actual maximum approach、製品設置時の適合性確認手順、AMTPの導出、ATP/AEIRPのモニタ及び/または制御、評価結果の適用
  - ③ 通信トラヒック変動下における最大電波ばく露量評価法
    - LTE向け、NR向け