

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 概要

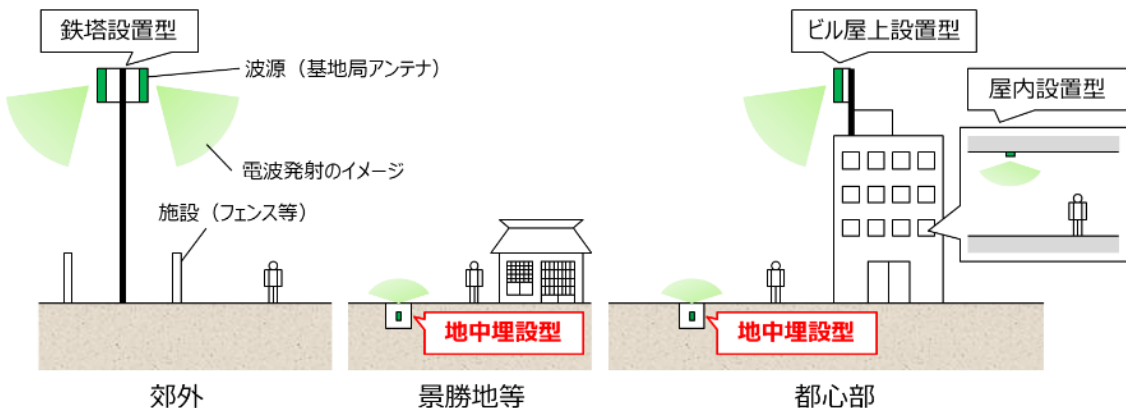
「基地局等から発射される電波の強度等の測定方法及び算出方法」のうち
「地中埋設型基地局等の新たな無線システムから発射される電波の強度等の測定方法及び算出方法に係る技術的条件」

電波利用環境委員会

検討の背景等

- 我が国で利用される移動通信システムでは、高速かつ確実な接続をより広いエリアで実現するため、携帯電話の基地局等が数多く設置されてきた一方で、景勝地等では景観に配慮して基地局の設置が制限される状況もあった。
- 携帯電話事業者等では、そのような場所での通信の確保のため、地中に設置し地上にエリアを構築する「地中埋設型基地局」の導入に向けた検討が行われているが、この場合、空中線が従来のように身体の上方ではなく、より身体に近い下方の位置に設置されることになる。
- 他方、従来、このような電波の利用形態は想定されていなかったため、地中埋設型基地局から発射される電波について、我が国では電波防護指針への適合性評価方法が確立されていない。
- そのため、電波防護指針への適合性評価に必要な、地中埋設型基地局から発射される電波の強度等の測定方法及び算出方法に関する技術的条件等について検討を行った。
- なお、オフィスビル等の窓に設置され屋外に通信サービスエリアを構築するガラス状アンテナを有する基地局等の新たな無線システムについては、これまでの電波利用形態と同様であり、既存の電波防護指針への適合性評価方法が適用可能であることを確認した。

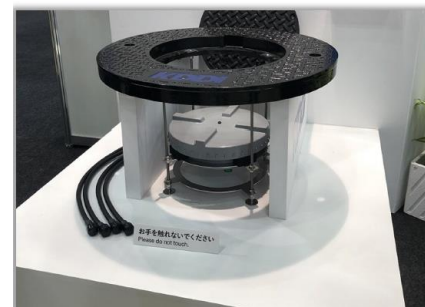
地中埋設型基地局の利用シーン



通信事業者が開発中の地中埋設型基地局



<NTT ドコモ>



<KDDI>

スイス

- スイスにおいては、17サイトにおける試験を経て、2015年から地中埋設型基地局の運用が開始されている。カバレッジは、半径約100m程度。
- また、地中埋設型基地局について、比吸収率(SAR: Specific Absorption Rate)による評価を実施し、我が国の基準値と同等のICNIRP※の定める制限値を満たしていることが確認されている。

スイスにおける地中埋設型基地局の設置状況

※ 国際非電離放射線防護委員会(International Commission on Non-ionizing Radiation Protection): 1992年に設立された非電離放射線の健康/環境影響の防護を目的として、科学的根拠に基づいた指導と助言を行う非営利の科学的専門組織。世界保健機構(WHO)と国際労働機関(ILO)から連携機関として正式に認められている。

Manhole besides Kathrein Street Connect



Ready for service

Unobtrusive



Source: Swisscom



Seamlessly integrated



英国

- Vodafone UKがハンドホールタイプのスモールセルを開発しており、半径約200mのカバレッジを確保している旨が報告されている。

検討事項

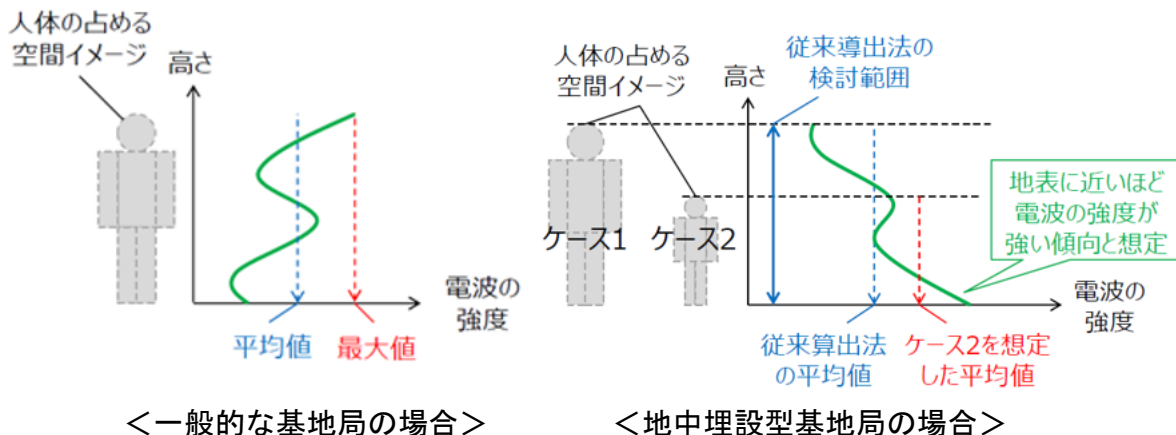
① 空間評価領域

- 現在は、基地局等の無線設備が一般的に人体よりも高い位置にあることを前提として、人体が電波に不均一にばく露される場合の空間評価領域を大地面から200cmまでの範囲内としている。
- 地中埋設型基地局から発射される電波については、大地面に近いほど電波の強度が強い状況が想定されるため、空間上の高さに対する電力束密度の分布を確認した上で、人体の占める空間に対する適切な評価領域を検討することが必要。

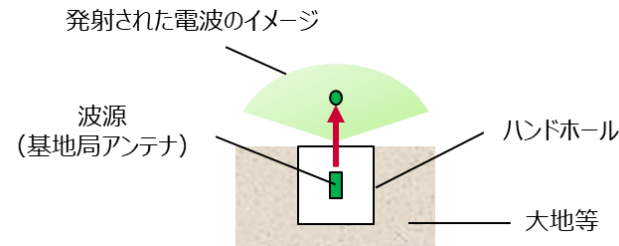
② 電波の強度の算出方法

- 地中埋設型基地局では、現行の基本算出式では想定されていないハンドホール等からの反射や大地面からの透過による影響が考えられるため、電波の強度を適切に算出する方法を検討することが必要。
- 地中埋設型基地局から発射される電波の強度と基本算出式から得られる電波の強度との関係を確認した上で、適切な算出方法を検討することが必要。

人体の占める空間における電波の強度の分布イメージ



地中埋設型基地局周辺の電波状況のイメージ



【基本算出式】

$$S = \frac{PG}{40\pi R^2} \times K$$

S [mW/cm²]: 電力束密度
 P [W]: 空中線入力電力
 G: 送信空中線の最大輻射方向における絶対利得
 R [m]: 送信空中線と算出を行う地点との距離
 K: 大地面等の反射を考慮した係数

実測と基本算出式による電波の強度との関係

実測の目的等

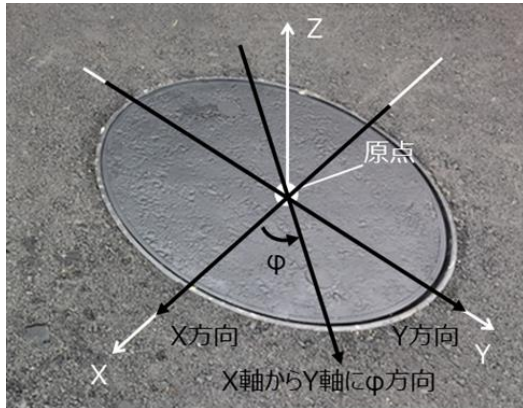
- 地中埋設型基地局から発射される電波の強度と基本算出式※から得られる電波の強度との関係を確認することを目的に、電力束密度の実測を実施。 ※ p3の基本算出式で $K=1$ とした場合のS値

【実測時の環境】

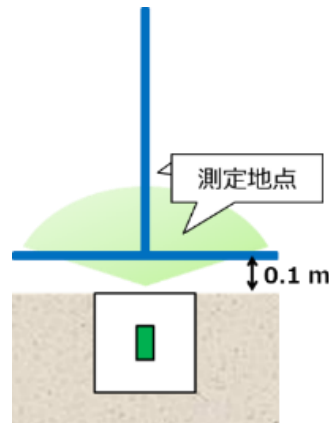
(周波数等) 1.5GHz帯のFDD-LTE方式及び3.5GHz帯のTDD-LTE方式
(空中線) 複数ブランチ、大地面から深部へ10cmオフセットした位置に設置
(各アンテナへの入力電力) 1Wに正規化(基本算出式との比較検討の容易化等のため)

地中埋設型基地局の座標設定及び測定地点

<座標設定>

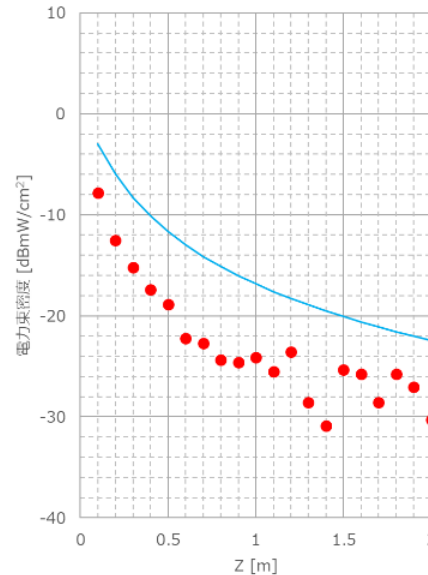


<測定地点>

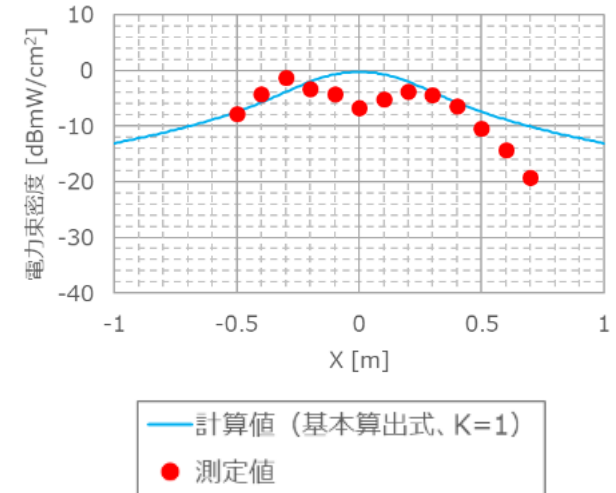


測定結果の例

1.5GHz帯, 空中線の直上 ($X=0m, Y=0m$)



3.5GHz帯,
高さ0.1m地点の水平方向 ($Y=0m, Z=0.1m$)



検討結果

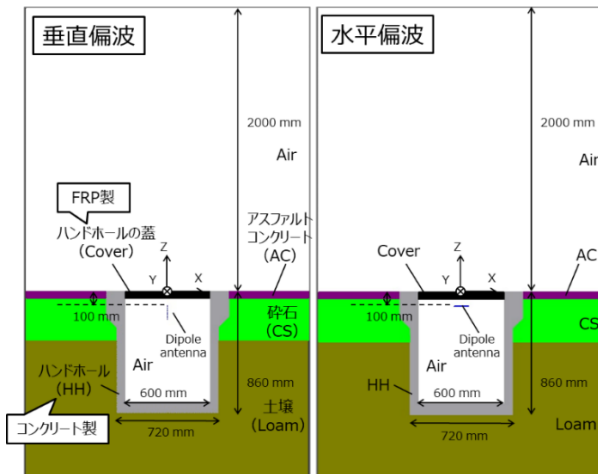
- 地中埋設型基地局から発射される電波の強度は、基本算出式による計算結果と同様の傾向を示しているが、基本算出式で求められる値を上回る場合も存在することを確認。
- 地中埋設型基地局から発射される電波の強度については、十分な安全性確保の観点から、基本算出式に補正係数を乗じることによって算出することが適当。

① 空間評価領域に関する検討

検討の条件

- 地中埋設型基地局から発射される電波について、現行の評価方法※¹を適用した電磁界解析(FDTD法※²)により、空間評価領域を10cmから200cmまでの10cm刻みで変化させた場合の電力束密度の空間的平均値を確認する。
※¹ 平成11年郵政省告示第300号
※² Finite-Difference Time-Domain method: 解析空間における空中線や周囲の散乱体等を高精度に模擬することができる電磁解析手法
- 地中埋設型基地局としての利用が想定される700MHz帯から4.5GHz帯までのうち携帯電話システム用に使用されている周波数帯を検討対象とし、地中埋設型基地局の空中線の位置は、電波発射源が人体に極めて近接されることのないように大地面から10cm以上深部にオフセットすることを条件※³とする。
※³ 300MHz超の周波数帯においては、電磁界強度指針及び補助指針は10cm以上離れた空間で適用できる。

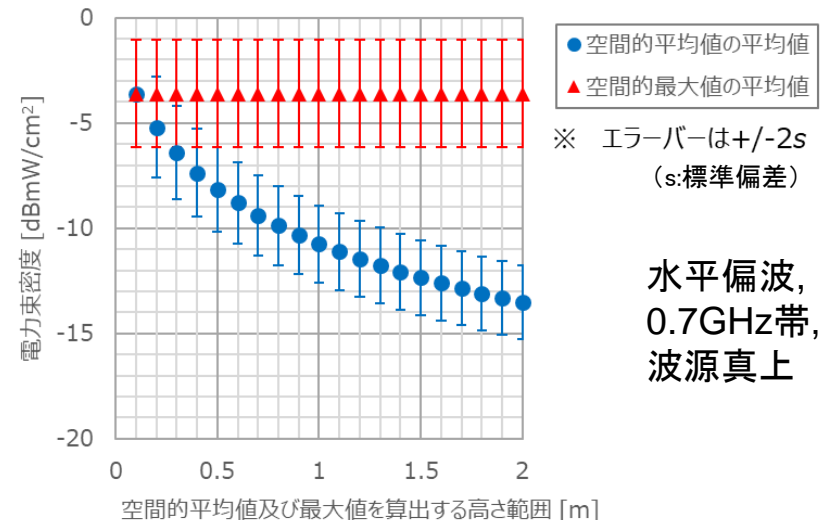
<地中埋設型基地局の数値解析モデル>



* ハンドホールの規格は、国土交通省「公共建築設備工事標準図(電気設備工事編)平成31年版」を参照。

* ハンドホールサイズについては、小さい方が反射による周囲の電磁界強度への影響が大きくなる傾向があるため、空中線を含む装置を内部に収めることができる最低限の大きさの規格で検討を実施。

<空間評価領域を変化させた場合における電力束密度の計算例>



検討結果

- 地中埋設型基地局では大地面に近いほど電磁界強度が大きくなる傾向(実測値でも同様)にあるため、安全性を担保するためには、空間評価領域を現行よりも低く設定することが適当。
- 空間評価領域としては、一般的に歩行可能となる1歳児の平均身長※⁴を念頭に、大地面から70cmとする。

※⁴ 乳幼児身体発育調査、厚生労働省、平成22年 (<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/73-22b.html#gaiyou>)

②電波の強度の算出方法に関する検討（基本算出式に乗じる補正係数の検討）

検討の条件

- 地中埋設型基地局からの電波による電力束密度の算出を行うため、①の検討結果から空間評価領域を70cmとした上で、現行の電波の強度の基本算出式^{※1}（大地面等の反射を考慮した係数Kが1の場合）により求めた電力束密度と、電磁界解析（FDTD法）による電力束密度との結果を比較し、その比を補正係数Aとする。
- 検地中埋設型基地局としての利用が想定される700MHz帯から4.5GHz帯までのうち携帯電話システム用に使用されている周波数帯を検討対象とし、地中埋設型基地局の空中線の位置は、①と同様に大地面から10cm以上深部にオフセットすることを条件とする。

※1 平成11年郵政省告示第300号

<電波の強度の基本算出式>

$$S = \frac{PG}{40\pi R^2} \times A$$

S [mW/cm²]: 電力束密度

P [W]: 空中線入力電力

G: 送信空中線の最大輻射方向における絶対利得

※ヌルの場合は、包絡線で近似

R [m]: 送信空中線と算出を行う地点との距離

A: 補正係数

<電力束密度比の統計処理結果>

- 周波数及びバンドホール周辺の構造体の誘電率をパラメータとして変化させ、FDTD法による電磁界解析を実施。その際、FDTD法による数値計算の不確かさもマージンとして考慮した。
- 電力束密度の比は、最も大きな値が得られた条件下で、最大値が6.76[dB]、95%値^{※2}が7.02[dB]であったことから、基本算出式による計算結果が実際の値より低くなることのないように小数点以下を切り上げ、**6 (> 5.04 = 7.02[dB])**を補正係数Aとして採用。

※2 標本から推定される母集団の平均が95%の確率で含まれる区間の上限値

値の分類	電力束密度比 [dB]	
	垂直偏波	水平偏波
最大値	6.24	6.76
統計的に有意となる95%値	7.02	6.23

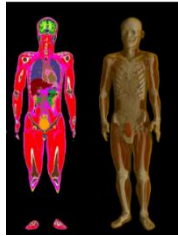
検討結果

- 基本算出式に乗じる補正係数Aの値は、「6(真値)」とする。
- 電磁界解析（FDTD法）結果については、実測値との比較検討を行うことで妥当性を確認。

検討の背景と条件

- 通常の基地局については遠方領域では電磁界強度指針を遵守すれば人体への安全性は担保されるが、地中埋設型基地局についてはその特殊性を考慮し、局所吸収指針への適合性に関しても検証・確認。
- 国内外(200機関以上)で利用実績のある日本人の成人男性モデル及び日本人の3歳児を模擬した小児モデルを用いて電磁界解析を行い、地中埋設型基地局を想定したばく露評価を実施。
- 地中埋設型基地局の直上に人体が立っている状態(立位)を基本とし、特に、小児モデルに関しては、極端なケースとして地中埋設型基地局の上に人体が横になった状態(水平位)についても評価を実施。

<数値人体モデル>



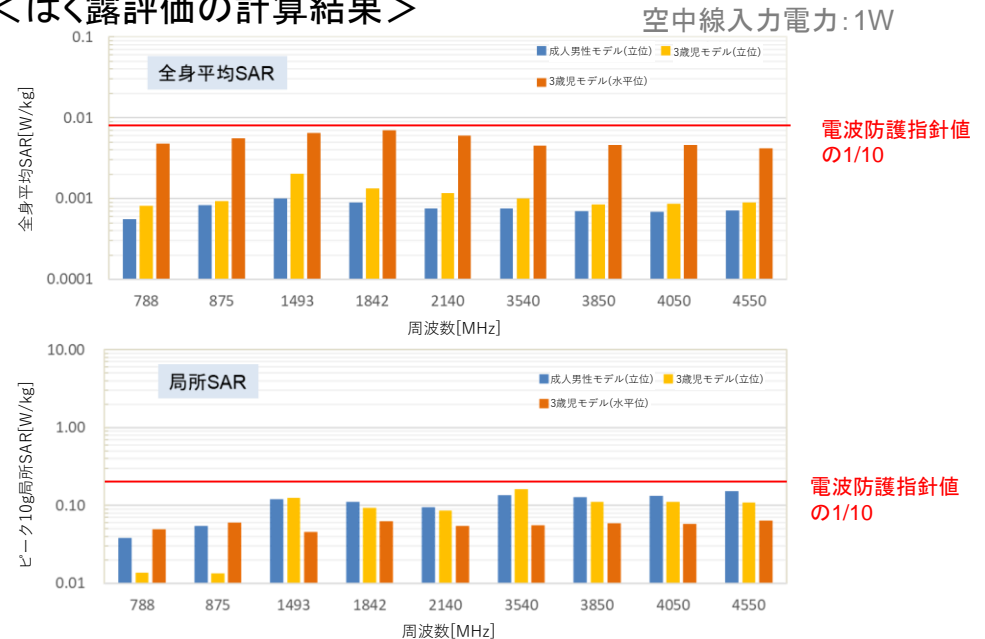
成人男性モデル(TARO)



小児モデル(3歳児)

	成人男性モデル	3歳児モデル
身長(cm)	173.2	94
体重(kg)	65	14
組織数	51	50

<ばく露評価の計算結果>



検討結果

- 立位・水平位いずれのケースでも、空中線入力電力が1Wの場合には、全身平均SAR・局所SARともに局所吸収指針が定める基準値の1/10未満となった。これらの結果は、空中線入力電力が10W以下の場合、局所SAR及び全身平均SARが基準値以下となることを示唆している。
- 一方、前頁で得られた算出式を用いた場合には、SARの基準値を用いた評価に対し約6倍の付加的安全率を考慮しており、本算出式が十分に安全側の評価を与えることを確認。

一般的条件

- (1) 適用の対象
地中埋設型基地局（大地面より下の位置にある空中線から電波発射を行う基地局をいう。）
- (2) 周波数帯の適用範囲
700MHzから4600MHzまでとする。
- (3) 空中線の位置
大地面より10cm以上深部に設置するものとする。

人体が電波に不均一にばく露される場合の空間評価領域

人体が電波に不均一にばく露される場合において電波の強度を算出する際には、大地等から高さ70cmまでの空間的な平均値を求めるとし、算出する値は従前のおりとする。

人体が電波に不均一にばく露される場合において空間的平均値を求めるために電波の強度を測定する際には、測定地点上方10cmから70cmまで10cm間隔で測定することとする。

電力束密度の算出方法

電波の強度の算出に当たっては、次式により電力束密度の値を求めるとし、その補正係数Aは6とする。

$$S = \frac{PG}{40\pi R^2} \times A$$

S [mW/cm²]: 電力束密度

P [W]: 空中線入力電力

G: 送信空中線の最大輻射方向における
絶対利得を電力比率で表したもの

R [m]: 送信空中線と算出を行う地点との距離

A: 反射等に係る補正係数

その他

オフィスビル等の窓に設置され屋外に通信サービスエリアを構築するガラス状アンテナを有する基地局の電波防護指針への適合性評価方法については、従来の一般的な基地局と同等の方法を適用することが可能。

電波利用環境委員会

- ① 第43回（令和元年12月26日）
情報通信審議会への諮問内容について検討を行った。
- ② 第44回（令和2年1月28日）
本委員会の運営方針、調査の進め方について検討を行ったほか、検討の促進を図るため、作業班を設置した。
- ③ 第46回（令和2年10月2日）
基地局等評価方法作業班における検討状況を確認し、検討事項の整理を行った。
- ④ 第47回（令和3年1月19日）
技術的条件の検討を行い、意見募集を行う委員会報告（案）を取りまとめた。
- ⑤ 第48回（令和3年3月4日から同年同月11日まで）（メール審議）
委員会報告（案）に対する意見募集の結果及び考え方について検討を行い、委員会報告を取りまとめ、情報通信技術分科会に報告することとした。

基地局等評価方法作業班

- ① 第1回（令和2年1月28日）
作業班の運営方針及び調査の進め方について検討を行った。
- ② 第2回（令和2年2月27日）
地中埋設型基地局について関係者からヒアリングを行うとともに、今後の検討事項について検討を行った。
- ③ 第3回（令和2年4月2日）
地中埋設型基地局を始めとする新たな無線システムについて関係者からヒアリングを行うとともに、地中埋設型基地局からの電波ばく露量の評価方法について検討を行った。
- ④ 第4回（令和2年6月19日）
地中埋設型基地局からの電波ばく露量の評価方法について検討を行った。
- ⑤ 第5回（令和2年8月27日）
地中埋設型基地局からの電波ばく露量の評価方法について検討を行った。
- ⑥ 第6回（令和2年12月2日）
地中埋設型基地局からの電波ばく露量の評価方法について検討を行い、技術的条件案の取りまとめに向けた検討を行った。
- ⑦ 第7回（令和2年12月23日）
基地局等評価方法作業班報告書案の検討を行った。

(参考) 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

	氏名	所属
主査 専門委員	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
主査代理 専門委員	山中 幸雄	(国研)情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁環境研究室 マネージャー
委員	長谷山 美紀	北海道大学 数理・データサイエンス教育研究センター センター長/大学院情報科学研究院 教授
"	増田 悦子	(公社)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) グローバル事業本部 環境ビジネスユニット ビジネスユニット長
"	石上 忍	東北学院大学 工学部 情報基盤工学科 教授
"	石山 和志	東北大学 電気通信研究所 教授
"	大西 輝夫	(国研)情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁環境研究室 主任研究員
"	尾崎 覚	富士電機(株) パワエレシステム事業本部 社会ソリューション事業部 技師長
"	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
"	清水 久恵	北海道科学大学 保健医療学部 臨床工学科 教授
"	曾根 秀昭	東北大学サイバーサイエンスセンター 教授

	氏名	所属
専門委員	平 和昌	(国研) 情報通信研究機構 電磁波研究所 所長
"	田島 公博	(一社)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
"	田中 謙治	(一財)テレコムエンジニアリングセンター 理事長
"	塚原 仁	(一財)日本品質保証機構 試験部電磁環境試験課 参与
"	平田 晃正	名古屋工業大学大学院工学研究科 電気・機械工学専攻 教授
"	堀 和行	ソニー(株)品質・環境部 製品安全/環境コンプライアンスグループ チーフEMC/RFコンプライアンスマネジャー
"	松永 真由美	東京工科大学 工学部 電気電子工学科 准教授
"	山口 さち子	(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 上席研究員
"	山崎 健一	(一財)電力中央研究所 電力技術研究所 サージ・電磁気現象領域リーダ 副研究参事
"	山下 洋治	(一財)電気安全環境研究所 横浜事業所 EMC試験センター 所長
"	和氣 加奈子	(国研)情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁環境研究室 研究マネージャー

(敬称略。五十音順)

(参考) 電波利用環境委員会 基地局等評価方法作業班 構成員

氏名	所属
(主任) 大西 輝夫	(国研) 情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁環境研究室 主任研究員
(主任代理) 日景 隆	北海道大学 大学院情報科学研究院メディアネットワーク部門 情報通信システム学分野
青木 章 (第4回から)	ソフトバンク(株) モバイルネットワーク本部 電波部
伊藤 泰成	KDDI(株) 技術企画本部 電波部 管理グループ マネージャー/ ARIB 携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hoc
小野 孝司	富士通(株) モバイルシステム事業本部ワイヤレスシステム事業部/ ARIB 携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hoc
柿沼 由佳	(公社) 全国消費生活相談員協会 IT研究会 研究員
佐野 康二	(一財) テレコムエンジニアリングセンター 電磁環境・較正事業本部 電磁環境試験部 部長
多賀谷 裕	(一社) 情報通信ネットワーク産業協会 ICT基盤部/ ARIB 携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hoc

氏名	所属
富樫 浩行	(株) ディーエスピーリサーチ 認証部 技術開発部 部長
長岡 智明	(国研) 情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁環境研究室 主任研究員/ ARIB 携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hoc
東山 潤司	(株) NTTドコモ ネットワークイノベーション研究所 無線技術担当/ ARIB 携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hocリーダー
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 長/大学院工学研究科 電気・機械工学専攻 教授
藤沢 和弘 (第3回まで)	ソフトバンク(株) モバイルネットワーク本部 電波部 企画調整課 担当課長
藤田 祐智	楽天モバイル(株) 技術戦略部 マネージャー
前山 利幸	拓殖大学 工学部 電子システム工学科 教授
吉田 和彦	(一社) 電波産業会 研究開発本部 電磁環境グループ 担当部長

(敬称略。五十音順)