

# 電波産業会（ARIB） 規格会議 第38作業班 携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hocにおける 地中埋設型基地局ばく露評価法の検討状況について

（一社）電波産業会 規格会議 第38作業班  
携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hoc

東山 潤司

（株式会社NTTドコモ ネットワークイノベーション研究所）

- 地中埋設型基地局のばく露評価における課題（再掲）
- 第4回作業班までにご報告・ご提案した内容
- 今回のご報告内容
  - 提案済み算出式の変更提案
  - 更なる数値解析に基づく係数の検討結果
- まとめ

※「携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hoc」については、「基地局Ad-hoc」と示す。

**課題：電波の強度を適切に評価可能な適合確認方法の確保****①：計算法を用いた電波の強度の評価における適切な算出式の確保**

- 従来算出式を地中埋設型基地局に適用した場合、電波の強度を過小評価してしまう可能性がある
  - 従来算出式では想定されていない、**波源周辺の反射**が考えられるため

**②：人体の占める空間における電波の強度の適切な算出法の確保**

- 従来算出法を地中埋設型基地局に適用した場合、比較的身長の高い人が占める空間の電波の強度の最大値及び平均値を過小評価してしまう可能性がある
  - 従来基地局とは異なり、**地表に近いほど電波の強度が強い状況**が考えられるため

### ①：計算法を用いた電波の強度の評価における適切な算出式の確保

- 従来算出式をベースとし、波源周辺の電波反射による電波の強度の上昇分を反映した係数を追加した新たな算出式
  - 上記係数として、数値解析に基づく電磁界強度の比較より、最大6dB程度
  - ただし、提案算出式は、以下の条件を満たす地中埋設型基地局にのみ適用可能なものとする。
    - ハンドホール及びハンドホール蓋の大きさが、H1-6相当からH1-9相当の間のものであること。
    - ハンドホールの材質が、コンクリート相当のものであること。
    - ハンドホール蓋の材質が、FRP相当のものであること。

### ②：人体の占める空間における電波の強度の適切な算出法の確保

- 電磁界強度の空間的平均値及び最大値の算出範囲として、比較的身長  
の低い方を想定した算出範囲の設定
  - ・ 最短で高さ0.7 mの範囲（一般に歩行可能となる1歳児の平均身長  
を参照）

## ①：計算法を用いた電波の強度の評価における適切な算出式の確保

- a. 提案済み算出式の変更提案
- b. 更なる数値解析に基づく係数の検討結果
  - 電界分布に影響を与えるアンテナ周辺構造物の電気的特性について、更にパラメータを増やして検討

**提案内容：大地面等の反射係数Kの削除。**  
**理由：地中埋設型基地局から発射された電波への人体ばく露状況を想定すると、大地面等からの反射を考慮する必要がないため。**

発射された電波のイメージ  
 どの程度影響？  
 「係数」として反映  

$$S = A \frac{PGD_{\theta}K}{40\pi R^2}$$
 S [mW/cm<sup>2</sup>]：電力密度  
 P [W]：アンテナ入力  
 G：アンテナ絶対利得  
 D<sub>θ</sub>：指向性減衰量  
 K：大地面等の反射係数  
 R [m]：波源と評価地点との距離  
 A：係数

波源 (基地局アンテナ)  
 波源周辺の構造物

地中埋設型基地局の波源周辺の状況イメージ

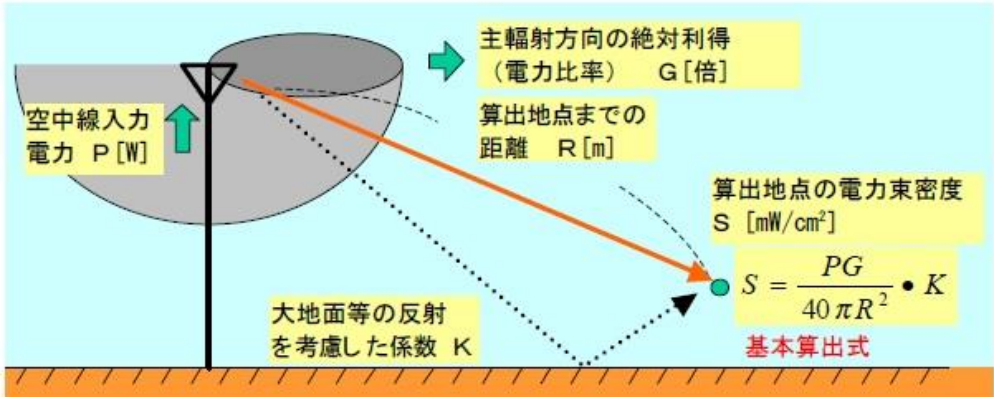
検討中の算出式

## 変更提案式

$$S = A \frac{PGD_{\theta}}{40\pi R^2}$$

第1回作業班資料より抜粋

### 大地面等の反射を考慮すべきばく露状況



総務省, “電波防護のための基準への適合確認の手引き”より抜粋

### 地中埋設型基地局周辺のばく露状況



第1回作業班資料より抜粋

**検討内容：電界分布に影響を与えるアンテナ周辺構造物の電気的特性について、更にパターンを増やして検討**

**理由：算出式の目的である保守的なばく露量を得るための適切な係数を得るため。また、第4回作業班にて頂いたコメントへの回答のため。**

### 具体的な追加検討内容

- ハンドホール（HH）及びハンドホール蓋（Cover）の複素比誘電率について、従来の文献で得られたに加え、実測で得られた複素比誘電率を追加
- 地下の構成物のうち、複素比誘電率を固定していたアスファルトコンクリート（AC）及び砕石（CS）について、土（Loam）と同様の複素比誘電率とするパターンを追加



**上記結果も考慮した上で係数を再提案**



ハンドホール (HH) 及びハンドホール蓋 (Cover) の複素比誘電率について、従来の文献で得られたに加え、実測で得られた複素比誘電率を追加

- 表の中の、赤字が実測に基づく追加分、青字が補足追加分
  - 700及び800MHz帯：15→38パターン
  - その他帯域：12→32パターン

表 数値解析した複素比誘電率の組合せ (地下の構造パターン：AC+CS+Loam)

構造物の 想定状態	複素比誘電率の実部					備考
	Cover	HH	AC	CS	Loam	
乾燥	2.6, 4	2, 2.8, 4, 6	5	7	2	
通常		2, 2.8, 4, 6, 8			5	
		6, 8, 12, 20			10	
湿潤		8, 12, 20			20	
		40	700及び800 MHz帯のみ			

地下の構成物のうち、複素比誘電率を固定していたアスファルトコンクリート (AC) 及び 砕石 (CS) について、土 (Loam) と同様の複素比誘電率とするパターンを追加

- 700及び800MHz帯：0→38パターン
- その他帯域：0→32パターン

表 数値解析した複素比誘電率の組合せ (地下の構造パターン：AC+Loam+Loam)

構造物の 想定状態	複素比誘電率の実部					備考
	Cover	HH	AC	CS	Loam	
乾燥	2.6, 4	2, 2.8, 4, 6	5	2	2	
通常		2, 2.8, 4, 6, 8		5	5	
		6, 8, 12, 20		10	10	
湿潤		8, 12, 20		20	20	
			40	40	700及び800 MHz帯のみ	

表 数値解析した複素比誘電率の組合せ (地下の構造パターン：Loam+Loam+Loam)

構造物の 想定状態	複素比誘電率の実部					備考
	Cover	HH	AC	CS	Loam	
乾燥	2.6, 4	2, 2.8, 4, 6	2	2	2	
通常		2, 2.8, 4, 6, 8	5	5	5	
		6, 8, 12, 20	10	10	10	
湿潤		8, 12, 20	20	20	20	
			40	40	40	700及び800 MHz帯のみ

今回報告の数値解析リストを下表に示す。

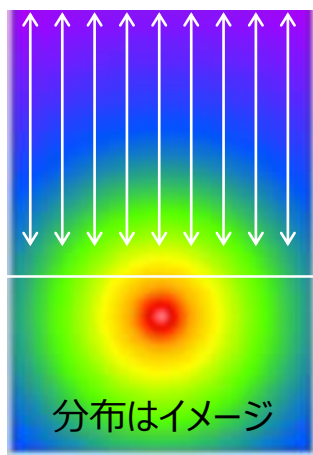
- その他、検討モデル（典型モデル）の情報については、付録1（第3回資料の再掲）参照

周波数帯	地下の構造パターン	HH規格	偏波	第4回作業班報告	今回報告
700 MHz, 800 MHz, 1.5 GHz, 1.7 GHz, 2 GHz, 3.5 GHz, 4.5 GHz	AC+CS+Loam (実測誘電率追加前)	H1-6	垂直	○	
			水平	○	
		H1-9	垂直	○	
			水平	○	
	AC+CS+Loam	H1-6	垂直		○
			水平		○
		H1-9	垂直		○
			水平		○
	AC+Loam+Loam	H1-6	垂直		○
			水平		○
		H1-9	垂直		○
			水平		○
	Loam+Loam+Loam	H1-6	垂直		○
			水平		○

◆ Step1

基本算出式で求めた電力束密度分布の各水平位置において、高さ範囲2.0mの空間的最大値を算出

P=1 W  
G=2.15 dBi  
K=1



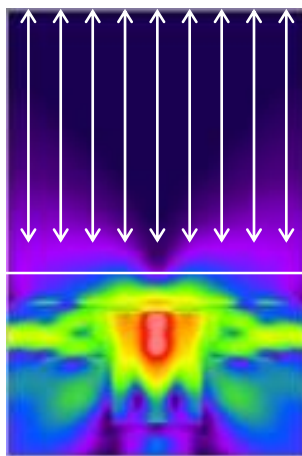
基本算出式  
自由空間

※ 空間的平均値の導出法については、空間的最大値を空間的平均値に読み替える

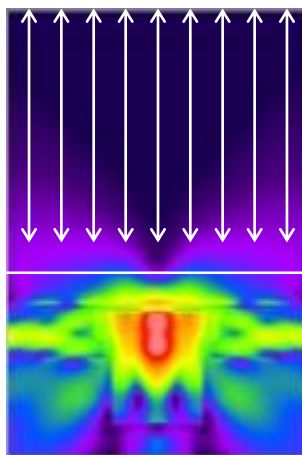
◆ Step2

数値解析で求めた電力束密度分布の各水平位置において、高さ範囲2.0mの空間的最大値を算出

誘電率条件1  
数値解析



誘電率条件N



◆ Step3

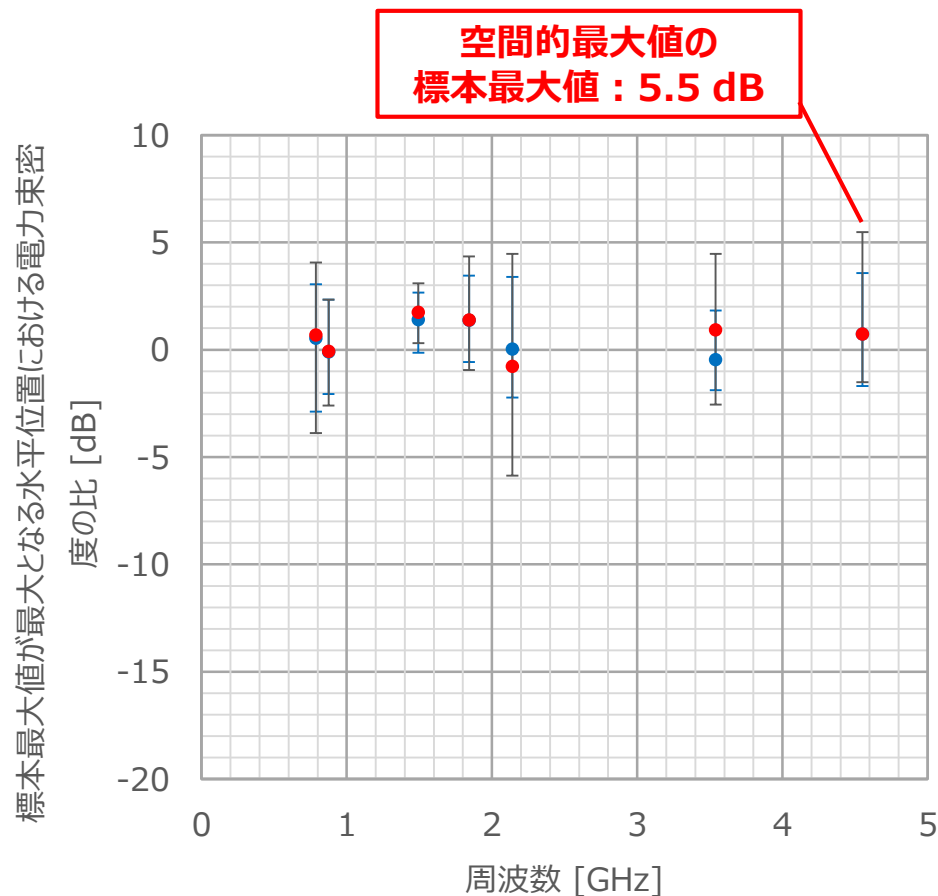
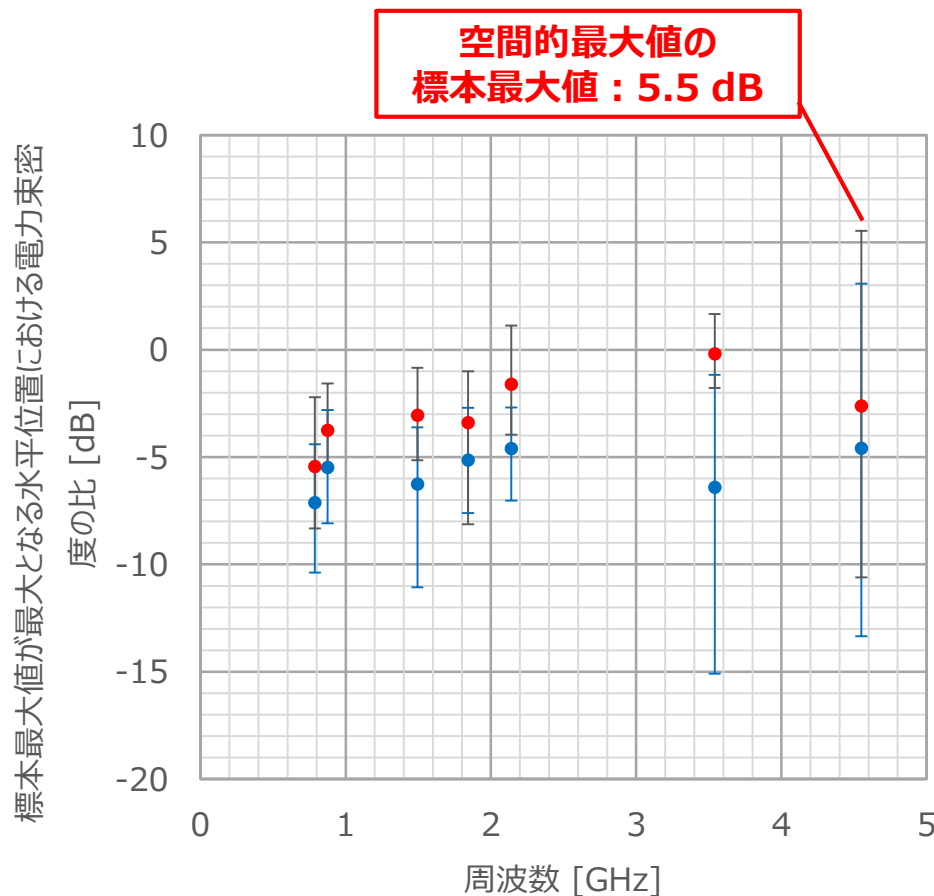
Step1及び2で得た各水平位置における空間的最大値の比について、全誘電率条件における標本最大値及び標本平均値を導出。さらに、母集団の95%値 ( $x+2s$ ,  $s$ は標本標準偏差) を推定

標本標準偏差

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$n$  : 誘電率条件数  
 $x_i$  : 各誘電率条件の空間的最大値の比  
 $\bar{x}$  : 全誘電率条件の空間的最大値の比の平均値  
 $s$  : 全誘電率条件の空間的最大値の比の標本標準偏差

AC+CS+Loam構成/H1-6



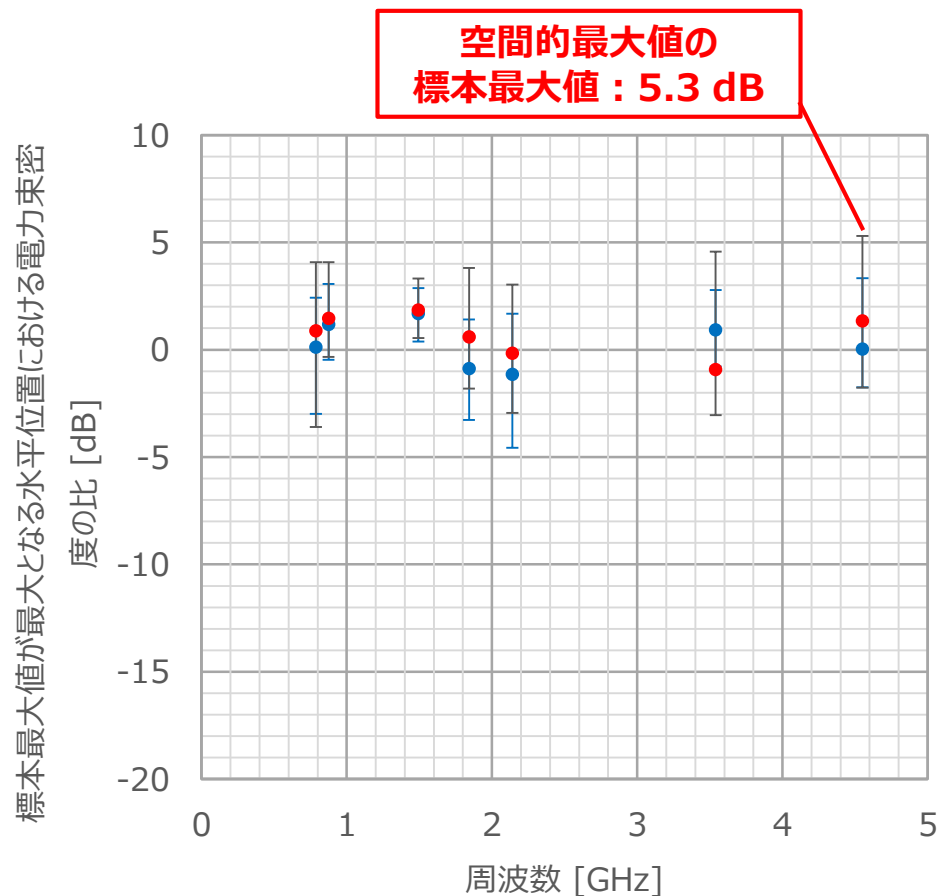
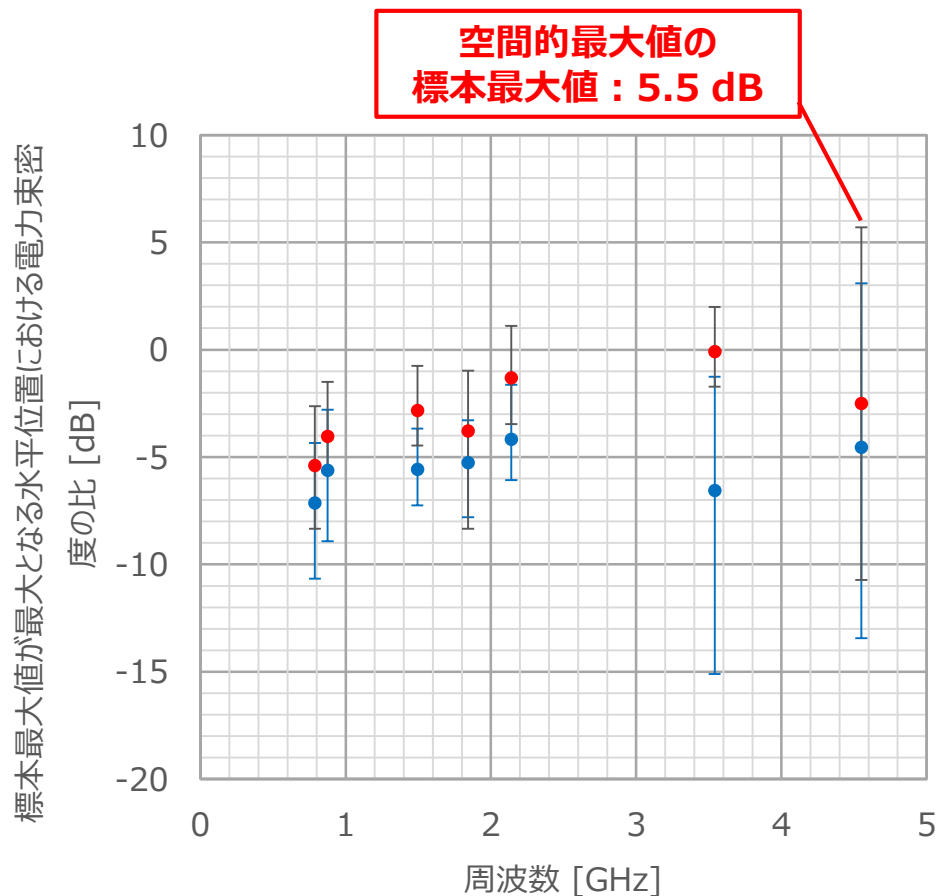
(a) H1-6 / 垂直偏波 / X方向

(b) H1-6 / 水平偏波 / Y方向

図 標本最大値が最大となる水平位置における電力束密度の比

※ グラフのエラーバーは、標本最大値が最大となる水平位置における電力束密度の比の標本最大値及び標本最小値

AC+CS+Loam構成/H1-9



● 空間的 average 値 / 標本 average 値 ● 空間的 maximum 値 / 標本 average 値

● 空間的 average 値 / 標本 average 値 ● 空間的 maximum 値 / 標本 average 値

(a) H1-6 / 垂直偏波

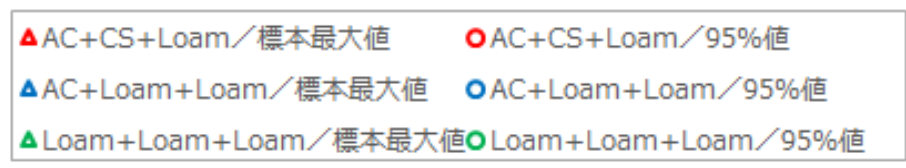
(b) H1-6 / 水平偏波

図 標本 maximum 値が最大となる水平位置における電力束密度の比

※ グラフのエラーバーは、標本 maximum 値が最大となる水平位置における電力束密度の比の標本 maximum 値及び標本 minimum 値

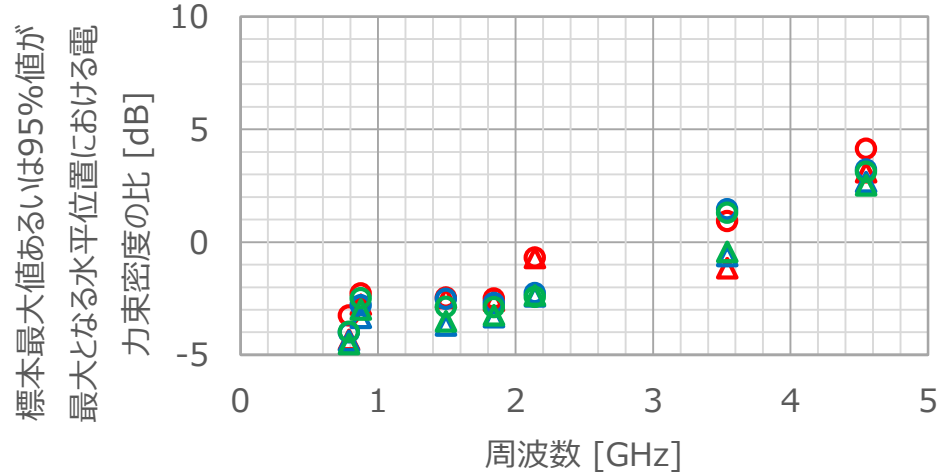
# 更なる数値解析に基づく係数の検討結果 (8) 電力束密度の比の統計結果

- 結果は、H1-6とH1-9の両方を含む
- 最大となる標本最大値は、6.2 dB
- 最大となる95%値は、6.5 dB

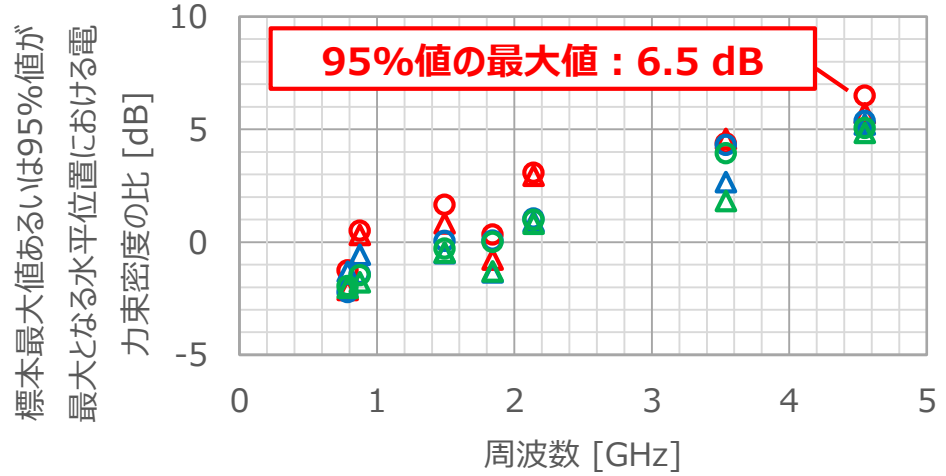


垂直偏波

空間的平均値

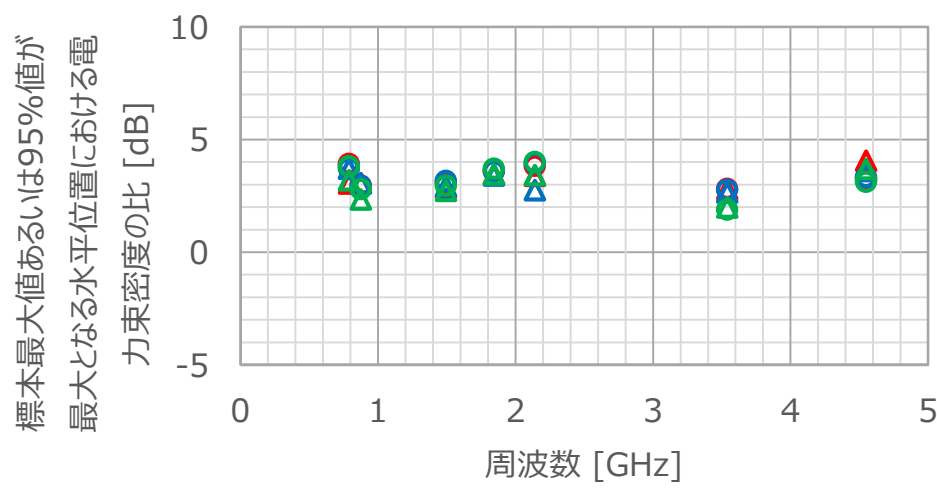


空間的最大値

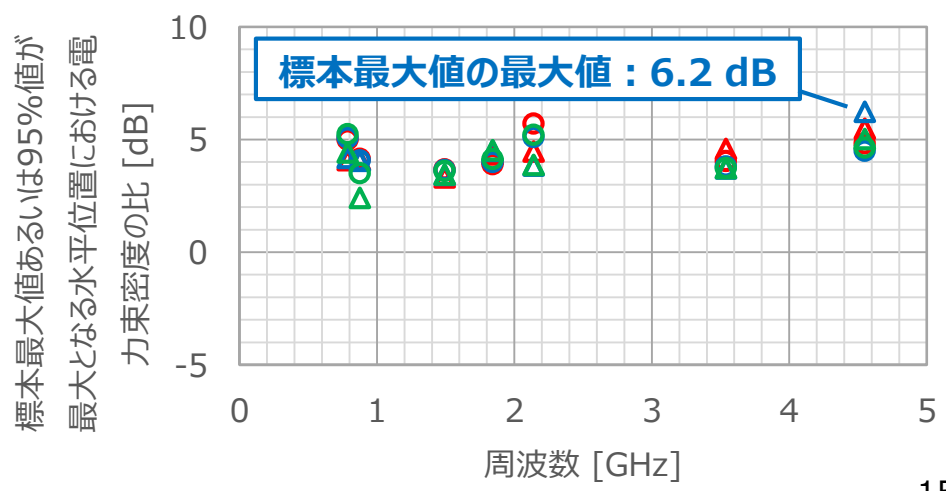


水平偏波

空間的平均値



標本最大値の最大値 : 6.2 dB



## ■ 電力束密度の比について

### ● 最大となる標本最大値は、6.2 dB (4.5GHz帯、水平偏波)

- 場所は、アンテナ真上ではなく、水平方向に0.4m程度離れた地点 (マンホール蓋の外側)
  - 電力束密度の絶対値は、アンテナ真上の方が大きい。
  - **なお、全体的に最も電力束密度が大きくなるアンテナ真上を含むマンホール蓋の内側領域において、比が6.0dBを超える条件はない。**

### ● 最大となる95%値は、6.5 dB (4.5GHz帯、垂直偏波)

- 場所は、アンテナ真上方向、電力束密度の絶対値も最大となる場所
  - **一部の計算条件の値が、他条件より数dB程度大きく、それらが95%値を底上げしている可能性**



- **一部計算条件について、数値解析の精査を実施し、確からしさを今後確認の上、再提案させて頂きたい。**



- 基地局Ad-hocにおける地中埋設型基地局ばく露評価法に係る検討状況及び提案内容を示した。
  - 提案済み算出式について、大地面等の反射を考慮した係数Kの削除を新たに提案した。
  - アンテナ周辺構造物の複素比誘電率の組合せを従来より増やした数値解析を実施した結果を報告した。

## 付録1 検討モデル(1) 典型モデル、構成

- 典型モデルの構成は、下表の通り
- 設置位置は、電磁界強度指針が適用可能で、人体とアンテナ間距離が最も短くなる条件

項目1	項目2	値	備考
アンテナ	種類	半波長ダイポールアンテナ	
	本数	1	NブランチMIMO構成の基地局の場合、アンテナ1本の場合の電力束密度をN倍すればよい
	実効放射電力	1 W	
	偏波	垂直 水平	想定使用形態は、垂直偏波
	設置位置	アンテナ上端が地面から深さ0.1m	
ハンドホール (以下、HH)	規格	H1-6、H1-9	
	素材	コンクリート	
HH蓋 (以下、Cover)	素材	FRP	
HH周辺の道路 (地下)	規格	乗入れ舗装アスコン35型	
	構成	アスファルトコンクリート (以下、AC) 砕石 (以下、CS) 土 (以下、Loam)	

- H1-6の数値解析モデル例は、下図の通り
  - H1-9は、H-6と比べて深さが30cm深い形状

