

# 地中埋設型基地局事例と電波ばく露量の評価結果

株式会社NTTドコモ  
先進技術研究所  
東山 潤司

## （お知らせ）国内初、マンホール型基地局の試作機を開発

-観光地や景勝地など、人の集まる場所への新たな基地局として活用-

<2018年4月11日>

株式会社NTTドコモ（以下、ドコモ）は、観光地や景勝地などの周辺にアンテナ設置に適するような場所がなく、また人の集まる場所における通信速度の低下への対策や、より繋がりやすいサービスエリア構築を目的とした、マンホール型基地局の試作機を国内で初めて※<sub>1</sub> 開発し、2018年3月6日（火曜）より実証実験（以下、本実験）を開始しました。

観光地や景勝地などにおいては、アンテナ設置に適した建物がなく、人の目につかないように通信設備を設置することが難しいため、安定したサービスエリアの構築が困難となっており、そのような場所のエリア化には景観を保護しながら設置が可能な基地局が必要となります。

マンホール型基地局を本格運用するにあたっては、あらゆる環境で下記の3点を満たすことが必要であり、本実験は、これらを満たす技術の確立を目的として実施しております。

- ① お客さまに快適な通信環境を提供できるサービスエリアが確保できること
- ② マンホール上を含むマンホール型基地局周辺の電波の強さが、電波防護指針※<sub>2</sub> に基づく電波法令を順守した値であること
- ③ 設置場所の安全基準※<sub>3</sub> に準拠したマンホール蓋の強度であること

今後ドコモは、2018年度内の本格運用をめざし、基地局設置が難しかった地域への通信環境の改善に取り組み、将来的な5Gへの技術の応用についても並行して検討を進めてまいります。

※以下のURLより抜粋

[https://www.nttdocomo.co.jp/info/news\\_release/2018/04/11\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2018/04/11_00.html)

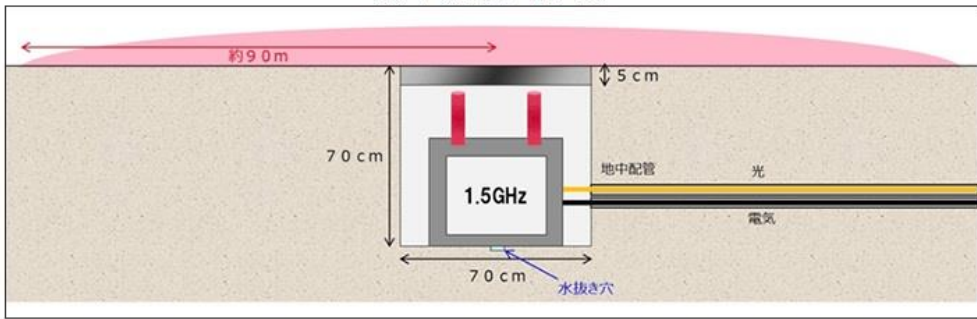
<マンホール型基地局のイメージ>



<基地局からの電波強度測定風景>



<サービスエリアイメージ>



※以下のURLより抜粋

[https://www.nttdocomo.co.jp/info/news\\_release/2018/04/11\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2018/04/11_00.html)

マンホール型基地局スペック (札幌検証局)

方式	FDD-LTE	※ 送信電力、アンテナ指向性などは非開示
周波数	1.5GHz帯 (BAND21)	
帯域幅	15MHz	
MIMO対応	2×2MIMO	
下り変調方式	256QAM	
最大スループット	DL : 150Mbps/UL : 37.5Mbps	
サイズ (埋設部分)	70cm×70cm×70cm	
装置のサイズ	約29cm×約17cm×約7.5cm	
重さ	約15kg	

マンホール蓋のスペック (札幌検証局)

サイズ	直径64.8cm・厚さ5cm
重さ	約27kg
耐荷重	25t (トン)



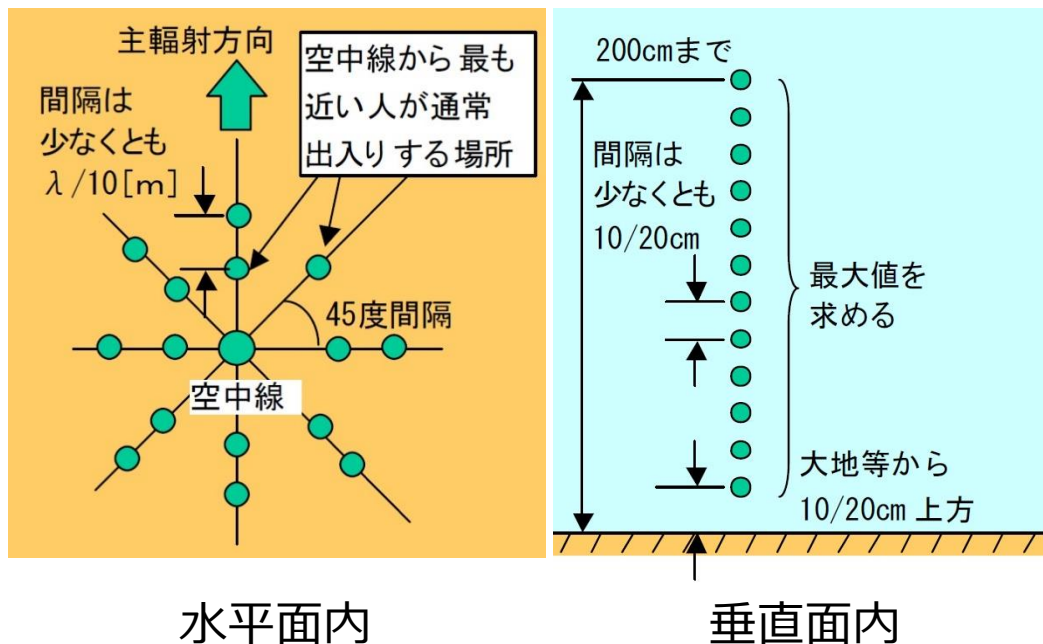
- 実基地局の電波ばく露量について、測定、簡易計算、数値解析の3つの手法で検討
  - 測定：実基地局周辺の電波ばく露量の把握と、電波防護指針への適合性確認
  - 従来算出式による計算：地中埋設型基地局への適用性の確認
  - 数値解析：測定との一致性の確認
- ARIB内の典型モデルを用いた検討では、中心メンバとして貢献

計算結果をARIB内に提示し、議論

周波数	実基地局を用いた検討			典型モデルを用いた検討	
	測定*1, *2	従来算出式による計算*3	数値解析*4	数値解析*4	従来算出式による計算*3
700 MHz帯				○	○
800 MHz帯				○	○
1.5 GHz帯	○	○	○	○	○
1.7 GHz帯				○	○
2 GHz帯				○	○
3.5 GHz帯	○	○	○	○	○

\*1 平成11年郵政省（現 総務省）告示第300号における測定法参照  
 \*2 IEC 62232: 2017参照  
 \*3 \*1の告示第300号における従来算出式参照（自由空間中へのアンテナ設置想定）  
 \*4 FDTD法のソフトウェアXFDTD ver. 7.5（Remcom社）を用いた計算

- 水平面
  - アンテナ真上を中心とし、放射状の評価地点
- 垂直面
  - 水平面上の各評価地点において、地面から高さ0.1m～2.0mの範囲で、0.1m間隔の評価地点



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

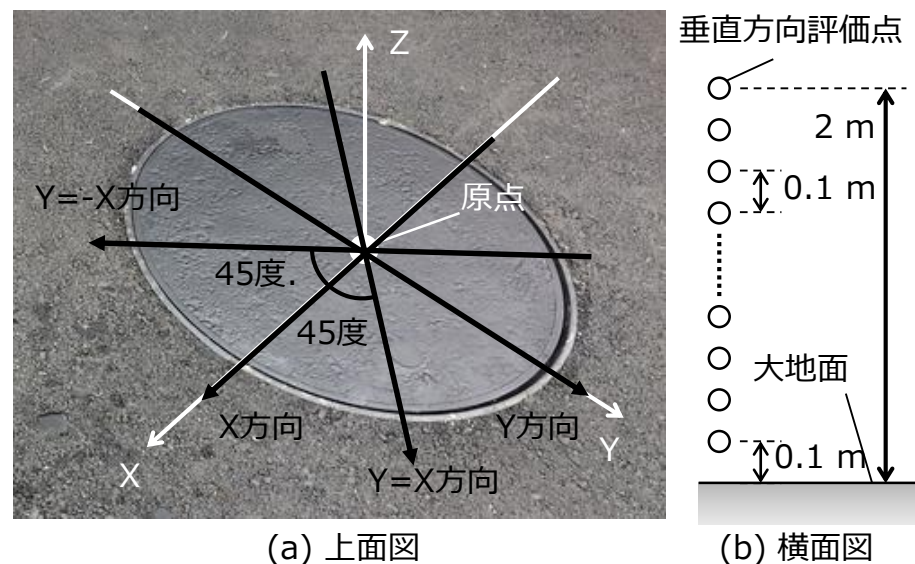


図 規定に基づく実証実験局周辺の評価領域

東山他, 信学技報, EMCJ2019-75, 2019年12月  
より抜粋

## ② 測定装置

測定には、次に示す装置で、定められた条件を満たすものを使用して下さい。

### ア 等方性電磁界プローブ

電磁環境を測定するために設計された、専用の測定器です。プローブ部と表示部で構成されます。



### イ 周波数非同調型測定系

周波数非同調型測定系とは、広い周波数にわたり電磁界強度に対する出力値が均一な応答を示す測定系をいいます。測定用空中線と、検波器等、周波数非同調型測定器（オシロスコープ等）で構成されます。



### ウ 周波数同調型測定系

周波数同調型測定系とは、特定の周波数に同調し、その周波数を中心とした帯域幅内にある電磁界に対してのみ応答する測定系をいいます。測定用空中線と、周波数同調型測定器（スペクトラムアナライザ等）で構成されます。



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



- SRM-3006 (Narda S.T.S社)
  - 電波ばく露量の測定装置として、世界中で広く用いられる
  - FFTタイプスペアナ+3軸等方性電界センサ
  - 対応周波数はセンサに依存（～6GHz）
  - 6分間平均測定対応
  - 周波数ドメイン、時間ドメインの測定その他、FDD-LTE、TDD-LTE、WCDMA方式などの復調測定が可能

測定法	規格等	測定器	特徴
6分間 平均測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>平成11年郵政省告示第300号</li> <li>IEC 62232: 2017</li> </ul>	スペクトラムアナライザ等	<ul style="list-style-type: none"> <li>電波防護指針の基準値は6分間平均の電波ばく露量で規定されており、この規定に基づくばく露量評価が可能</li> </ul>
外挿による 最大トラヒック時 想定測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEC 62232: 2017</li> </ul>	スペクトラムアナライザ	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>最大ばく露量</b>となる、最大トラヒック時を想定したばく露量进行评估可能</li> <li><b>同じ周波数の基地局電波をまとめて評価、分離は不可</b></li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">以下、外挿 (SA)</div>
		復調測定器 (周波数同調型測定系)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>最大ばく露量</b>となる、最大トラヒック時を想定したばく露量进行评估可能</li> <li><b>全ての基地局電波を個別に評価</b></li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">以下、外挿 (復調)</div>

- 測定値が、基準値以下であることを確認
- 測定値が、従来計算式による計算値より大きいことを確認
- 地表に近い方が電波の強度が強い傾向にあることを確認

「波源周辺」の反射影響の確認のため、  
従来算出式における  
「評価地点周辺」の反射影響考慮の係数に、  
暫定的に値を代入して計算

各高さにおける  
水平方向の電波の強度の最大値

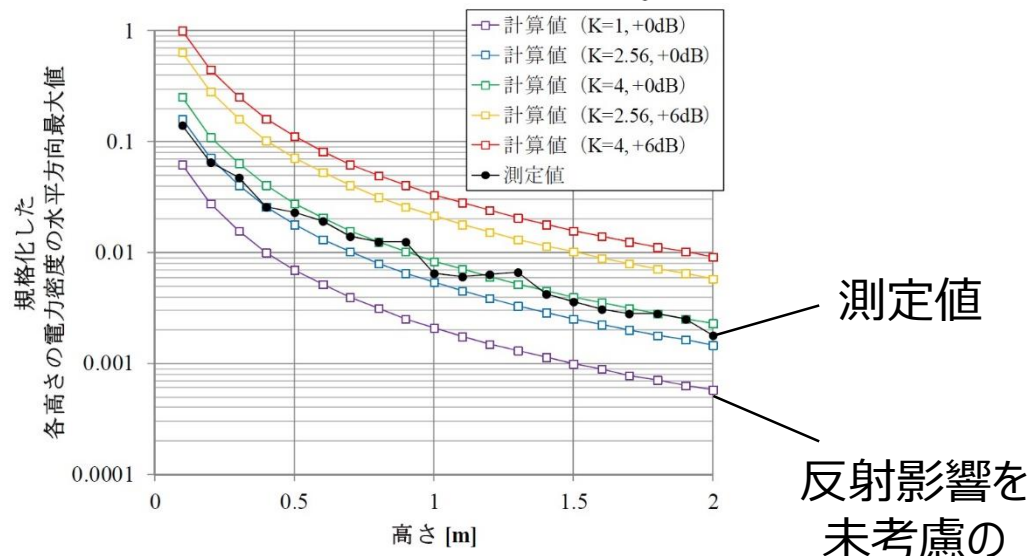
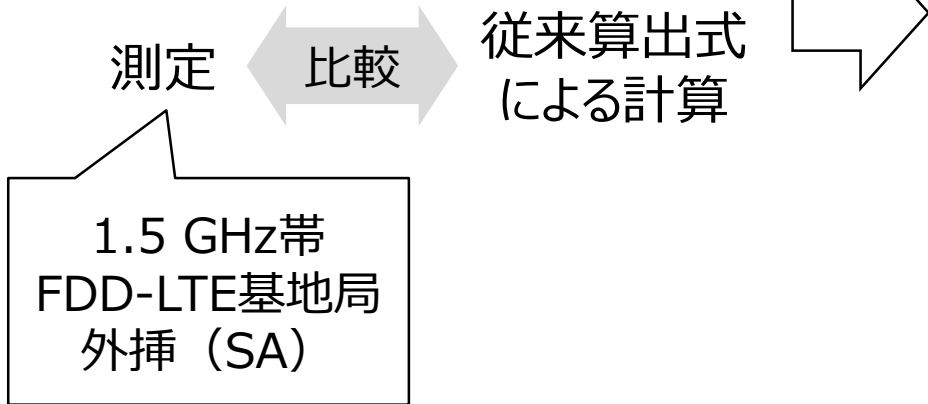


図2 電力密度の測定値および  
反射影響を考慮した計算値の比較

**測定値と従来算出式を用いた計算値の比較**

※東山他、2018信学ソ大, B-4-22, 2018年9月より抜粋 8



- 測定値が、基準値以下であることを確認
- 測定値が、数値解析値と一致傾向にあることを確認

### ■ 数値解析 (FDTD法)

- アンテナ入力：1 W/ブランチ
- 最低限のGrid間隔：各媒質で $\lambda/15$ 以下
- 境界：7層のPMLによる吸収条件
- 計算の収束判定：電界強度ピーク値から40 dBの減衰

1.5 GHz帯  
FDD-LTE基地局  
外挿 (復調)

測定値も  
1 W/ブランチに規格化

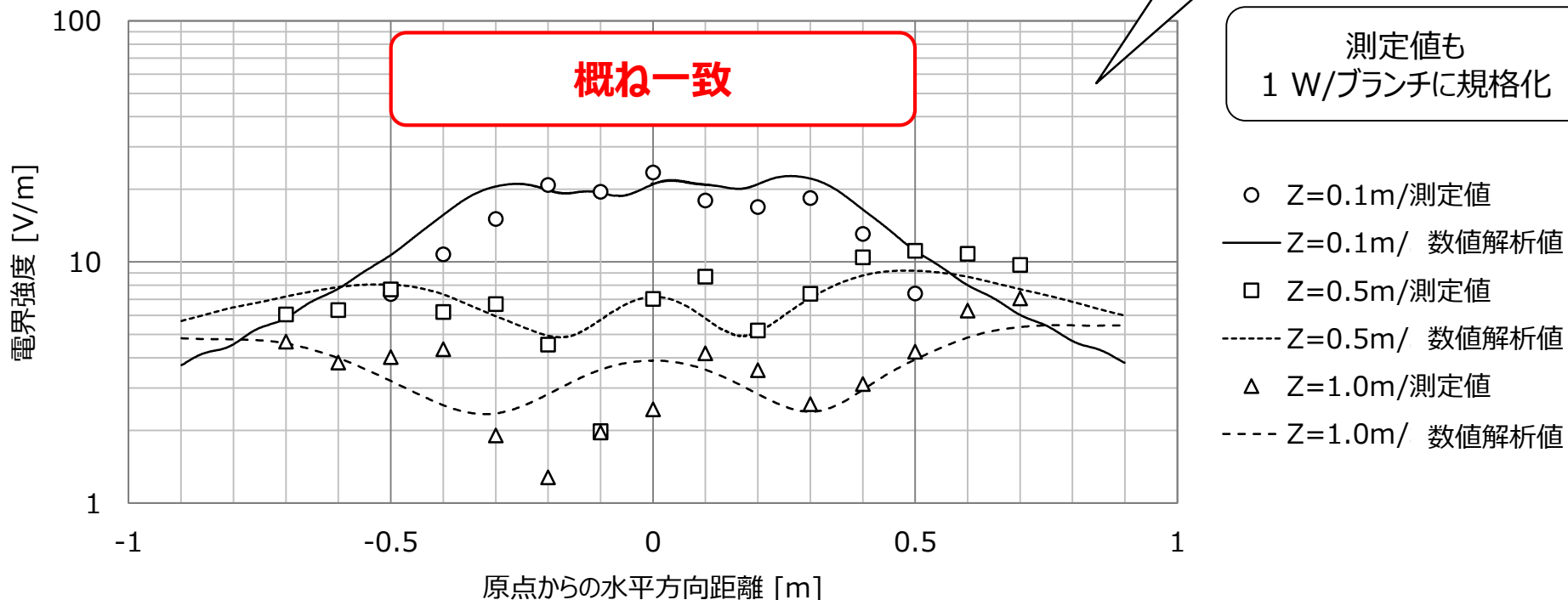


図 実証実験局における電界強度分布の測定値と数値解析値 (Y=X方向)  
東山他、信学技報, EMCJ2019-75, 2019年12月より抜粋

**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**

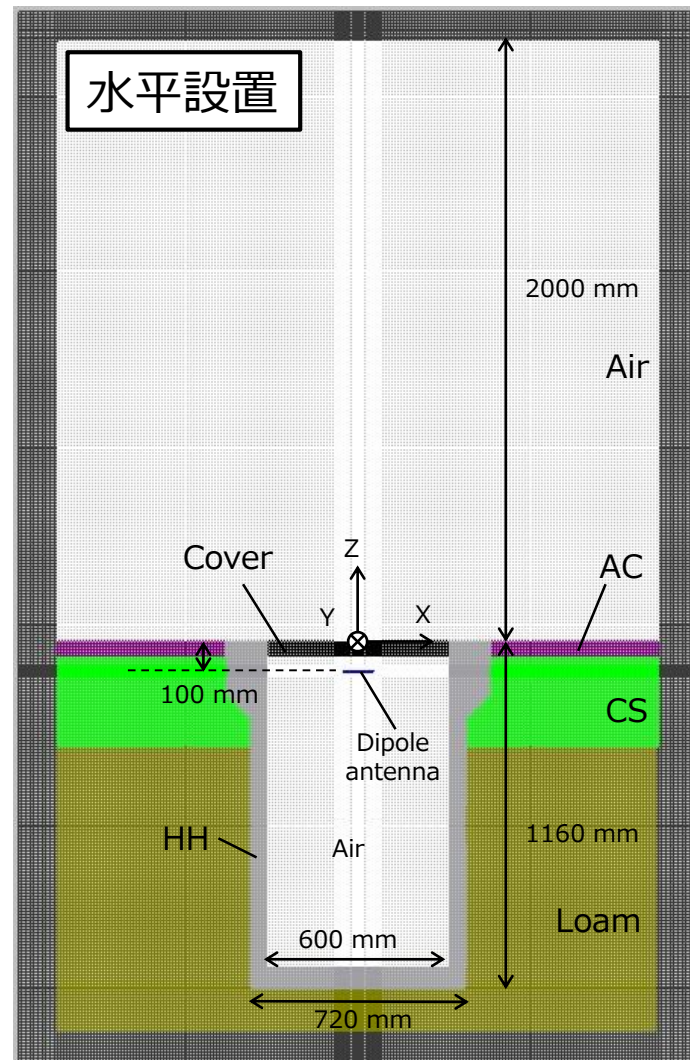
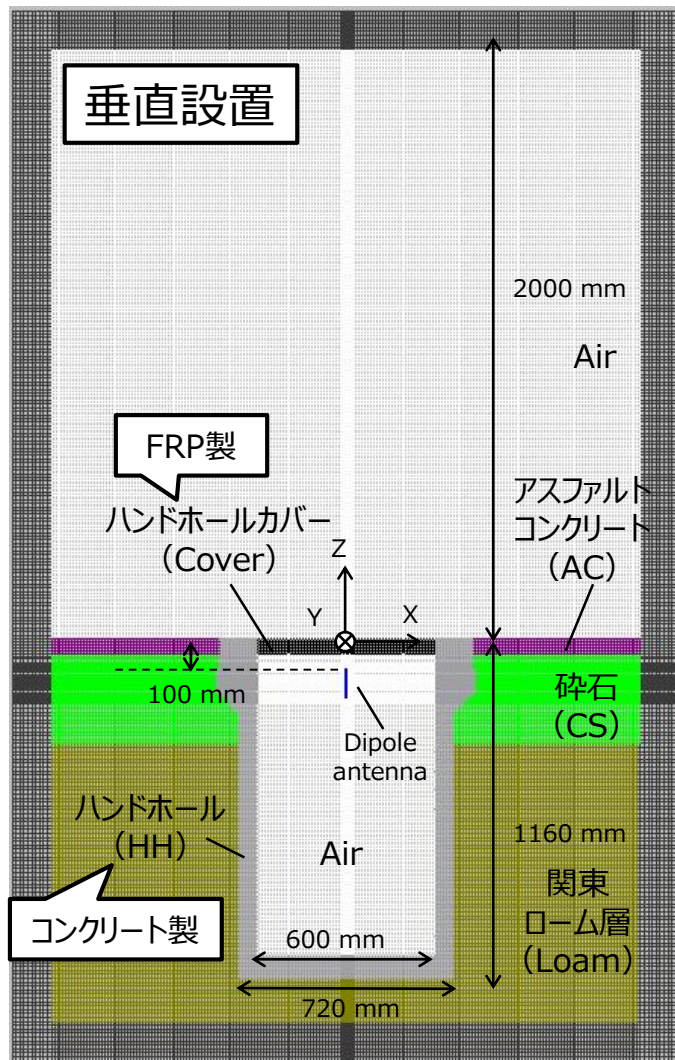
- 従来算出法を地中埋設型基地局に適用した場合、比較的身長の高い人が占める空間の電波の強度の最大値及び平均値を過小評価してしまう可能性がある
  - 従来基地局とは異なり、**地表に近いほど電波の強度が強い状況**が考えられるため

- 空間的平均値及び最大値（課題②）
  - 高さ範囲を0.5m～2.0mまで変化させた場合の平均値と最大値の基準値との比の変化
- 算出式（課題①）
  - 適切な係数を求めるため、アンテナを地中埋設型基地局として設置した場合と、自由空間に設置した場合の比を評価
    - 電磁界強度の比（数値解析と従来算出式）
    - 放射指向性の比（数値解析）
- 電磁界強度指針
  - アンテナと人体との距離が従来基地局より近くなるが、電磁界強度指針の適用領域であり、その適用が適切であることの確認
    - 電磁界強度指針と局所吸収指針のそれぞれ基準値との比の比較（数値解析）

- 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	
	入力	1 W	
	設置方向	垂直設置、水平設置	
	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	H1-9、H1-6	参考1, 2
	素材	コンクリート	
HH蓋（以下、Cover）	素材	FRP	
HH周辺の道路	規格	乗入れ舗装アスコン35型	参考3
	構成	アスファルトコンクリート（以下、AC） 砕石（以下、CS） 関東ローム層（以下、Loam）	

- H1-9の数値解析メッシュ例は、下図の通り
  - (参考) H1-6は、HHの深さが、H1-9に比べ300mm浅い



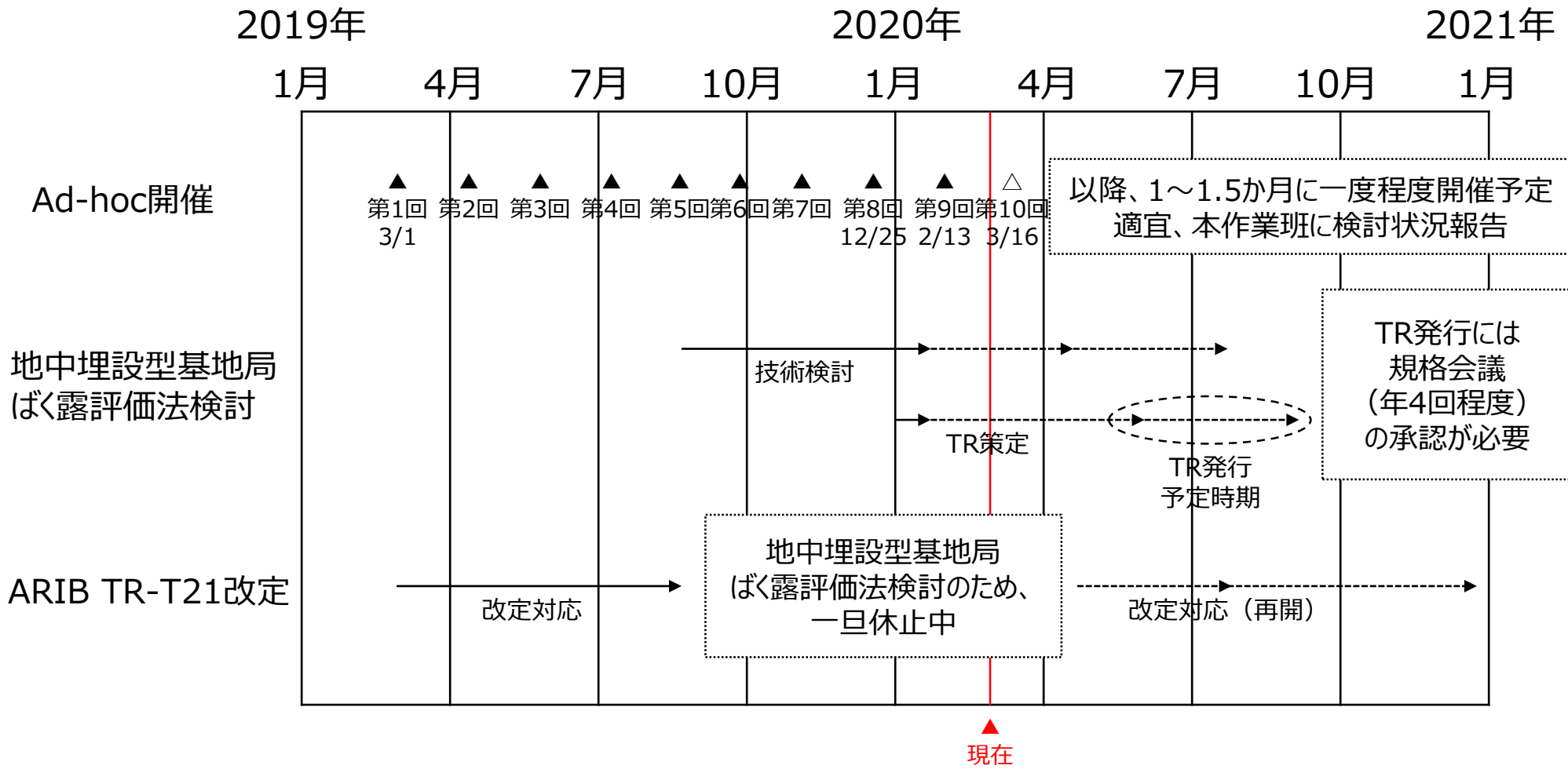
- 数値解析において用いた誘電率は、下表の通り（参考4など参照）
- 水分含有量による電磁界への影響を考慮するため、HH（ハンドホール）とLoam（関東ローム層）については、誘電率を変化させながら数値解析
- 比較のため、自由空間にアンテナを設置した場合の数値解析も実施

構成物	複素比誘電率の実部*1			
	地中埋設型基地局想定			自由空間想定
	乾燥想定	通常想定	湿潤想定	-
HH	4, 6	6, 8	8, 12, 20	1
Loam	2, 5	5, 10	10, 20, 40	1
Cover	4			1
AC	5			1
CS	7			1

\*1 虚部は全て0とした。物質内で電波が減衰しないような電波防護観点でのワーストケース想定のため。

- NTTドコモにおける地中埋設型基地局の電波ばく露量評価法の検討状況について示した
  - 現状の基地局について、測定にて電波防護指針及び電波法令への適合性を確認済み
  - 他、従来算出式による計算、数値解析にて、評価法確立のための基礎検討を実施
  - 地中埋設型基地局の電波ばく露量評価法の課題解決のため、典型モデルを用いた数値解析等で、ARIBでの検討に貢献中
- 次回作業班では、本作業班での議論を踏まえて、ARIB 携帯電話基地局周辺の適合性評価法Ad-hocとして、典型モデルを用いた検討結果を報告させて頂きたい

# 【参考】基地局Ad-hoc検討スケジュール



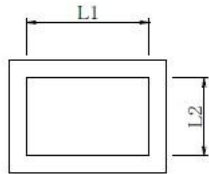


# 参考1 H1-9及びH1-6、規格

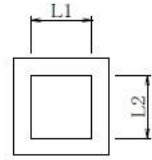
公共建築設備工事標準図（電気設備工事編）平成31年版

地中線8 ブロックマンホール・ブロックハンドホール H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>  
M<sub>3</sub>、M<sub>4</sub>

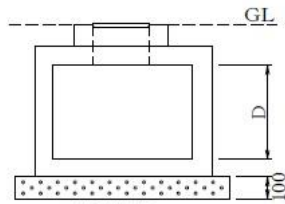
[単位 mm]



(M<sub>3</sub>、M<sub>4</sub>)

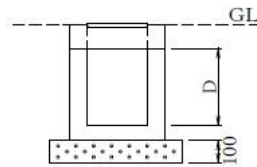


(H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>)



砂利地業

(M<sub>3</sub>、M<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>)



砂利地業

(H<sub>1</sub>)

記号		有効寸法(内部)*			構造体標準厚さ	
		L1	L2	D	側面	底面
マンホール	M <sub>3</sub>	1,800	1,000	1,500	150	200
	M <sub>4</sub>	2,300	1,300	1,500	150	200
ハンドホール	H <sub>1-6</sub>	600	600	600	60	80
	H <sub>1-9</sub>	600	600	900	60	80
	H <sub>2-6</sub>	900	900	600	70	90
	H <sub>2-9</sub>	900	900	900	70	90

- 備考 (1) 図は、一例とし、種別に応じた有効寸法を有するものとする。  
 (2) H<sub>1</sub>及びH<sub>2</sub>は、現場打ハンドホールとすることができる。  
 (3) 構成は、一体形・多分割形いずれでもよい。ただし、多分割形の場合は各部分がずれないように一体化する。  
 (4) 配管用ロックアウトを有するほか、マンホール内には、支持材、ボルト、ケーブルブックを、ハンドホール内には、インサートを設ける。

注 \* L1及びL2は、±5%以内、Dは最小値とする。

国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課, “公共建築設備工事標準図（電気設備工事編）平成31年版,” 国営設第188号, 平成31年3月20日.  
より抜粋

## HAND HOLE

官公庁仕様  
国土交通省

### 国土交通省仕様ハンドホール H1 (600<sup>□</sup>×600, 600<sup>□</sup>×900)

#### ハンドホールH1-6型

型式：MH-S600S-CS600RH 内寸：600<sup>□</sup>×600

標準仕様	オプション
T-20 取付内 1輪 55.0mm	ソケット 方式
マルチ 方式 φ50 インサート	水抜栓 φ50
	逆流防止栓 φ50



参考総重量  
480 kg  
(鉄蓋を含まない)

h = 600mm  
H = 760mm

※ FMH-S600<sup>□</sup>×600RH-J (63ページ)と同一品です。

#### ハンドホールH1-9型

型式：MH-S600S-CS900RH 内寸：600<sup>□</sup>×900

標準仕様	オプション
T-20 取付内 1輪 55.0mm	ソケット 方式
マルチ 方式 φ50 インサート	水抜栓 φ50
	逆流防止栓 φ50

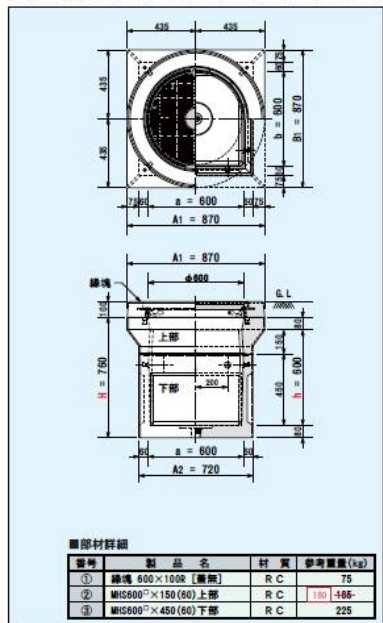


参考総重量  
605 kg  
(鉄蓋を含まない)

h = 900mm  
H = 1,060mm

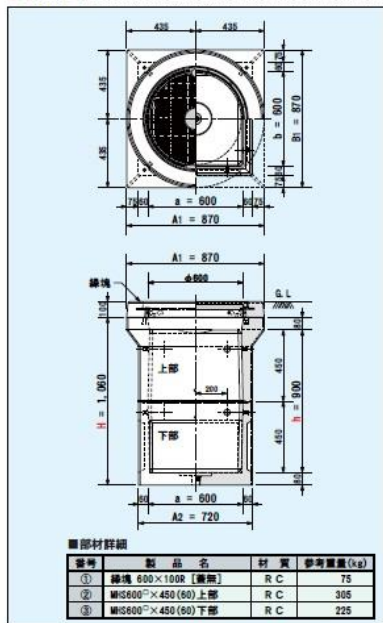
※ FMH-S600<sup>□</sup>×900RH-J (63ページ)と同一品です。

#### ■製品図解



H = 外側高さ, h = 内側高さ

#### ■製品図解

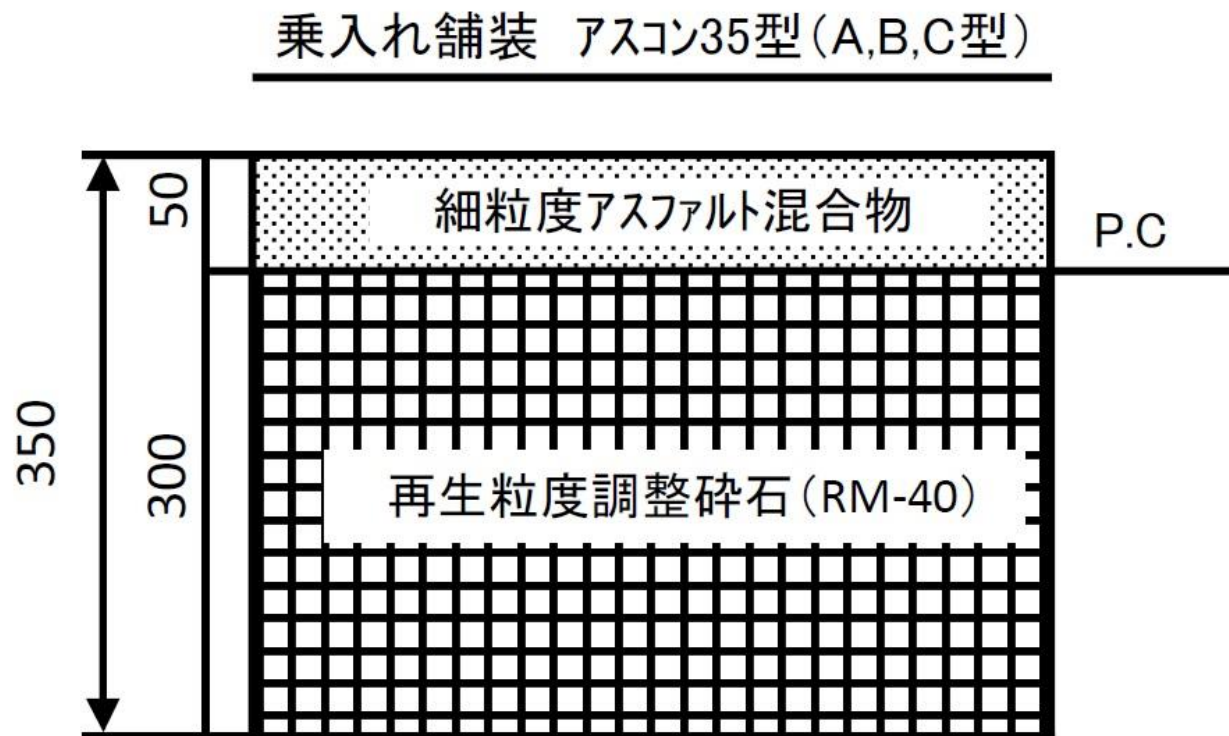


H = 外側高さ, h = 内側高さ

●各アイコンと記号の説明は、2~6ページをご参照下さい。

株式会社マンホール商会, “2018 HAND HOLE総合カタログ.”  
より抜粋

- 下図を参照し、碎石より下は関東ローム層に設定



東京都建設局, “一建管内路線 歩道舗装構造図,” 2019年12月. より抜粋

## 比誘電率について

なお媒質固有の比誘電率 $\epsilon_r$ は、下記表に示す通り媒質によって大きく異なるため、正確な深度を求めるためには、対象とする媒質の比誘電率を正確に求めなければならない。一般的なコンクリートの比誘電率は6～8であり、乾燥していると低く、打設後間もない含水率が高い場合は高い。

### 主な媒体の比誘電率一覧

材質	比誘電率	材質	比誘電率	材質	比誘電率
真空	1	石灰岩（乾燥）	7	関東ローム（湿潤）	10～40
空気	1	石灰岩（湿潤）	8	碎石	5～9
発泡スチロール	1	頁岩（湿潤）	7	永久凍土	6～13
雪（かたまり）	1.4	砂岩（湿潤）	6	コンクリート（乾燥）	4～6
ポリスチレン	2.4～2.7	砂（乾燥）	3～6	コンクリート（標準）	6～8
清水氷	4	砂（湿潤）	10～25	コンクリート（湿潤）	8～20
海水氷	6	土（乾燥）	2～6	アスコン	4～6
御影石（乾燥）	5	土（湿潤）	10～30	清水・海水	81
御影石（湿潤）	7	関東ローム（乾燥）	2～5	導体（金属など）	$\infty$

以下のURLから引用

<https://www.key-t.co.jp/resources/rader-tecinfo/rader02/>