

# 地中レーダー技術に関する調査検討会 報告書

平成29年3月

地中レーダー技術に関する調査検討会



## 目次

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| はじめに .....                               | 1  |
| 1 調査検討の概要 .....                          | 2  |
| 1.1 調査検討の背景 .....                        | 2  |
| 1.2 調査検討会の目的 .....                       | 2  |
| 1.3 調査検討項目 .....                         | 2  |
| 2 地中レーダーの現状 .....                        | 3  |
| 2.1 地中レーダー技術について .....                   | 3  |
| 2.2 利用目的 .....                           | 8  |
| 2.3 地中レーダー機器の形状による類型化 .....              | 12 |
| 2.4 諸外国（米国、欧州等）での規格・認証制度 .....           | 16 |
| 3 地中レーダー技術の調査 .....                      | 18 |
| 3.1 電波暗室（告示第 127 号）での電氣的特性測定 .....       | 19 |
| 3.1.1 測定条件 .....                         | 19 |
| 3.1.2 設置方法 .....                         | 21 |
| 3.1.3 測定結果 .....                         | 24 |
| 3.1.4 まとめ .....                          | 31 |
| 3.2 電波暗室（ITU-R/FCC 参考）での電氣的特性測定 .....    | 32 |
| 3.2.1 測定条件 .....                         | 32 |
| 3.2.2 設置方法 .....                         | 33 |
| 3.2.3 測定結果 .....                         | 34 |
| 3.2.4 まとめ .....                          | 41 |
| 3.3 オープンサイト（ITU-R/FCC 参考）での電氣的特性測定 ..... | 42 |
| 3.3.1 測定条件 .....                         | 42 |
| 3.3.2 設置方法 .....                         | 44 |
| 3.3.3 測定結果 .....                         | 47 |
| 3.3.4 まとめ .....                          | 49 |
| 3.4 電氣的特性のまとめ .....                      | 50 |
| 3.4.1 スペクトラムの比較 .....                    | 50 |
| 3.4.2 地中レーダー機器の放射パターンについて .....          | 57 |
| 3.4.3 電氣的特性測定結果の考察 .....                 | 59 |
| 4 検討とりまとめ .....                          | 60 |
| 資料 .....                                 | 61 |
| 資料 1 開催要綱 .....                          | 61 |
| 資料 2 構成員一覧 .....                         | 62 |
| 資料 3 調査検討会開催状況 .....                     | 63 |
| 参考資料 .....                               | 62 |
| 参考資料 1 アンケート結果 .....                     | 64 |

|        |                                    |    |
|--------|------------------------------------|----|
| 参考資料 2 | 地中レーダー機器の諸元.....                   | 68 |
| 参考資料 3 | 発射する電波が著しく微弱な無線局の電界強度の測定方法.....    | 76 |
| 参考資料 4 | 無線通信規則における電波発射禁止帯域と我が国の電波の使用状況.... | 78 |
| 参考資料 5 | 主な媒質の比誘電率.....                     | 81 |

## はじめに

地中レーダーは 1970 年代に南極の氷層調査、石炭や岩塩の地層調査など電波の透過しやすい媒質に対する応用から始まったが、1980 年代には埋設管検知など、工学的な利用の重要性が認識され、世界中で実用化が進んだ。併せて利用の簡便さや分解能の高さなどを利用して農業、土木、建築、環境などへの応用が広がった。同時に学術的、科学的利用も進んでいる。現在我が国でも相当数の装置が埋設管検知、鉄筋調査、道路保全技術などに利用されている。

一方で地中レーダーは他のレーダーと比較して、極めて近距離の目標物を高分解能で計測する手法であるため、独自の技術的な特徴を有している。特に高分解能を実現するために広い周波数帯域の利用が不可欠であり、このことは他の無線利用機器との共存の上で、非常に重要な検討課題である。

地中レーダーが利用する電波の制度的な整備は地中レーダーの実用化を促進する上でも重要であるという認識が世界的に広がりを見せた。我が国では 1980 年代より自主的な規制により不要輻射を抑制する装置の改良が進められてきた。一方、北米では 2000 年頃より、またそれに続いて欧州で利用者を中心とした団体が政府関係機関と協議しながら地中レーダー装置に関する電波利用の制度化を進める動きがあった。

本調査検討会は、我が国で現在使用されている地中レーダー装置の技術的な特性を明らかにしたうえで、電波法の観点から地中レーダーの電波利用に関して今後あるべき技術要件を明確にすることを目的として活動を開始した。技術的、社会的に周波数資源の有効利用という点でも重要性が高い。

東北地方においては、東日本大震災の復興活動にも地中レーダー技術は多くの場面で利用されてきた。今後地中レーダー技術がより社会に役立つ役割を担うために検討会の成果が利用されることを切望している。

地中レーダー技術に関する調査検討会  
座長 佐藤 源之

## 1 調査検討の概要

### 1.1 調査検討の背景

地中レーダー技術は、地中又は地表面の状況など電波を利用することにより把握することが可能なレーダーシステムである。近年、機器の小型化や信号処理技術の向上等により、様々な目的や形態での利用が進んでいる。道路面の損傷などの効率的な把握や公共インフラの老朽化等に伴うメンテナンス分野等、今後の利用拡大が期待されている。

### 1.2 調査検討会の目的

地中レーダー技術の利用拡大に備え、空間に放射する電波が微弱である事から無線局免許を不要とされている機器を含め、多様な製品の諸元や形状、使用方法等で類型化、各モデル毎の電波強度等の電気的特性を調査・分析し、他の無線局との周波数共用技術条件及び適正な電波環境を担保するために必要な要件についての検討を行う。

地中レーダー技術は、広帯域の周波数を利用し、地中や構造物に向けて電波を発射する装置であり、他の無線局との周波数共用を図るためには、無線設備から空間に漏れる電波が他の無線局の運用に影響を与えないよう配慮する必要がある。

今後の地中レーダー技術の発展、電波利用の促進と周波数の有効活用に貢献するものである。

### 1.3 調査検討項目

- (1) 地中レーダー技術の利活用動向調査
  - ・ 国内で使用されている機器について、使用実態等を調査し、類型化する。
- (2) 地中レーダー技術の検討
  - ・ 測定方法を整理する。
  - ・ 類型化したモデル毎に個々の電気的特性を測定し整理する。
- (3) とりまとめ

## 2 地中レーダーの現状

### 2.1 地中レーダー技術について

#### (1) レーダーとは

一般的なレーダーは目標物に向けて電波を発射し、電波を発射してから反射波が戻ってくるまでの往復時間と電波照射方向から目標物の位置、また反射波の強さから目標物の形状や速度を知る装置である。雨や雲などを計測する気象レーダーや船舶や航空機の位置を検知する目的で多くのレーダー装置が利用されている。地中レーダーは電波を空中ではなく地面や構造物に輻射面を向けて発射し、内部からの反射波を計測（周波数毎の時間、強度、波形）することで埋設物の検知や内部構造物を計測する手法である。

#### [一般的なレーダー]

主な使用周波数帯は、1/3/5/9GHz 帯  
使用周波数帯域幅は数 MHz 以下である。

#### [地中レーダー]

使用周波数帯 50MHz～4.5GHz



図 2-1 レーダーの原理

レーダーはその用途によって、航空管制用、海上監視用、気象用、防衛用等に分類される。これらは、無線航行陸上局、無線航行移動局（あわせて無線航行局）、無線標定陸上局、無線標定移動局等がある。

電波法施行規則第 2 条第 1 項第 32 号では、「レーダー」とは、決定しようとする位置から反射され、又は再発射される無線信号と基準信号との比較を基礎とする無線測位の設備をいう、と定義されている。

レーダーには船舶・航空機の航行のための無線航行用とそれ以外の気象観測や速度測定や物体検知などのための無線標定用がある。

また、自動車の障害物検知用レーダーや防犯用侵入者検知センサーなどもミリ波レーダー用又は移動体検知センサー用として特定小電力無線局として運用されている。

#### (2) 地中レーダーとは

地中レーダー（GPR：Ground Penetrating Radar）は、電磁波（電波）の地下物体からの反射を利用した地下計測法であり、地下構造を高速、高精度に可視化できる手法である。

図 2-2 に実際の地中レーダー機器の写真を示す。



図 2-2 実際の地中レーダー機器

(註) 応用地質 (株)、日本信号 (株)、日本無線 (株) のホームページより抜粋

#### (a) 原理

地中に送信する電波の照射方向を制御することはできない。その代わりにレーダー装置を移動させながら計測することで、送受信アンテナと目標物との相対距離が変わるのでレーダー波形に目標物の形状を捉えることができる。図 2-3 に地中レーダーの計測の原理を示す。

計測した波形は目標物の形状とは異なる散乱波形である。散乱波形から目標物の元の形状を推定するために信号処理 (マイグレーション) を施すこともある。

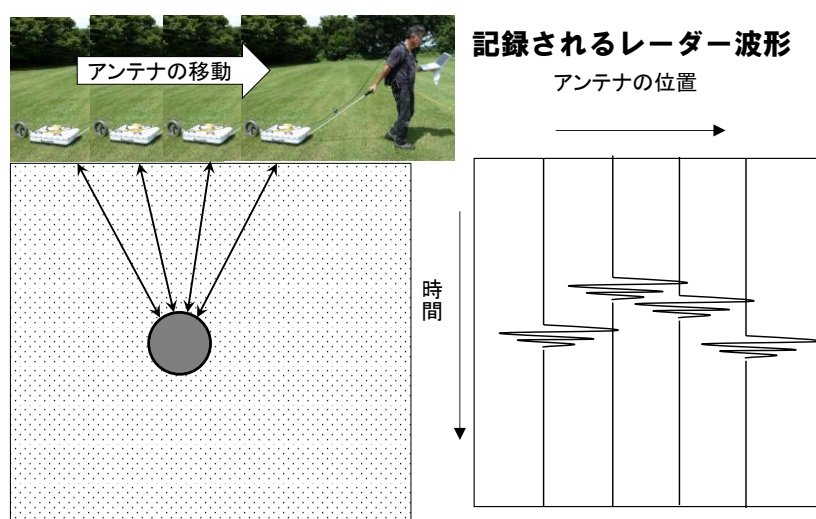


図 2-3 地中レーダー計測の原理

- ア 地中での電磁波速度は媒質の電氣的性質、つまり導電率、誘電率、透磁率によって定まる。地中レーダーは電波の波動的性質を利用した計測法である。周波数  $f$  (Hz) の電磁波に対する波長  $\lambda$  (m) と電磁波速度は次式で関係付けられる。

$$\lambda = vT = v/f \quad (\text{m})$$

また電波の速度は

$$v = c / \sqrt{\varepsilon_r}$$

であるがここで  $c$  は真空中の電波速度、 $\varepsilon_r$  は媒質の比誘電率である。

- イ 地中レーダーでは電磁波パルスを地表に置かれた送信アンテナから地中に放射し、受信アンテナで受信する。送信アンテナから放射された電波は地中を伝搬し、地層境界面などによって反射を受ける。レーダー波の反射強度は地中媒質と対象物の誘電率の比で決まる。受信アンテナが捉えた反射波を記録する。地中の電波速度がわかっている場合、送信電波が反射波として戻ってくる時間  $\tau$  (s) を計測することで反射体の深度  $d$  (m) は次式で推定できる。

$$d = v\tau/2 \quad (\text{m})$$

電波が地中から反射するのは地中に不均質な物質が存在することによる。電波を反射する不均質物体は金属のような導体が最も顕著であるから、パイプやケーブルの地中レーダーによる検出は容易である。

- ウ 分解能と探査距離は周波数に対して相反するため、周波数の選択は計測の特性を支配するもっとも重要な要因である。通常地中レーダーでは 50MHz～4.5GHz 程度の周波数が利用されている。周波数と特性の関係は表 2-1 のとおり。

表 2-1 周波数と特性の関係

|      |     |   |     |
|------|-----|---|-----|
| 周波数  | 低い  | — | 高い  |
| 波長   | 長い  | — | 短い  |
| 減衰量  | 小さい | — | 大きい |
| 分解能  | 低い  | — | 高い  |
| 探査距離 | 大きい | — | 小さい |

尚、代表的な媒質の比誘電率を参考資料 5 に示す。

(b) 構成

地中レーダーの基本的な構成は図 2-4 のとおり。装置は送信機、受信機、それぞれに接続された送受信アンテナ、ならびに波形表示装置などから構成される。これらすべてが一体化された装置と、それぞれの部分が分離している装置がある。

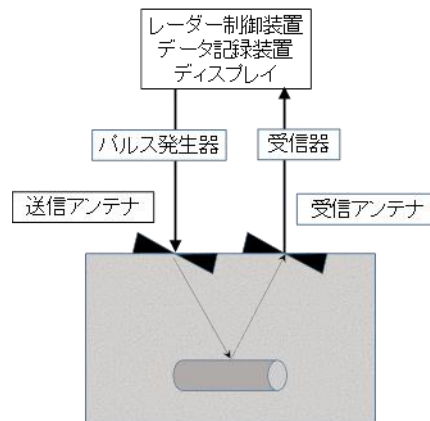


図 2-4 地中レーダー装置の原理図

地中レーダーは電波の地下物体からの反射を利用した地下計測法であり、地下構造を高速、高精度に可視化できる手法である。

（註）レーダーの基礎. [コロナ社, (2017)]（大内和夫 編著） ISBN978-4-339-00894-4  
第 8 章 地中レーダー （佐藤 源之）より抜粋

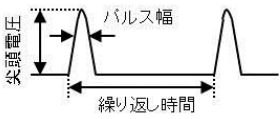
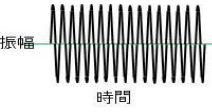
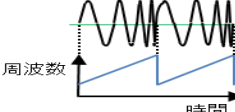
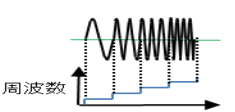
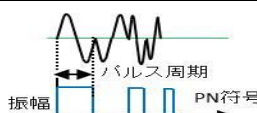
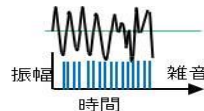
(c) 地中レーダー技術の特徴

- 媒質中の電波伝搬は主として誘電率で定まり、電波と媒質の相互作用を考慮する必要がある。
- 媒質は電波の速度、減衰に影響を及ぼす。
- アンテナ近傍の媒質によってアンテナの特性、特に放射指向性が大きな影響を受ける。
- 近距離で高分解能を要求されるため 50MHz～4.5GHz 程度にわたる広帯域の周波数を利用している。

(d) レーダー方式と特徴

地中レーダー技術の特徴である広帯域システムを実現するためにインパルスレーダーシステムその他、多様な変調方式が利用されている。現状で商用の地中レーダー機器のほとんどがインパルスレーダーシステムであるが、他の変調方式を利用する装置もある。地中レーダーで利用されるレーダー方式、変調方式、特徴は表 2-2 のとおり。

表 2-2 レーダー方式と特徴

| レーダー方式           | 変調方式                    | 送信波形                                                                                | 動作原理                                                             | 特徴                                                                         |
|------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| インパルスレーダーシステム    | 無変調                     |    | 変調をかけない直流パルスを送信し、受信波を時間領域で計測する。                                  | 反射波形が反射体位置・形状に対応するから信号処理を経ずに受信信号から直接反射体の深度や位置を特定できる。                       |
| 無変調連続波方式レーダーシステム | CW<br>(continuous wave) |    | 単一周波数を用いたシステム。                                                   | アンテナに対して固定された物体までの距離情報が特定できない。                                             |
| 変調連続波方式レーダーシステム  | FM-CW<br>(チャープ)         |    | 連続的に周波数を掃引しながら電磁波を送信し、反射波と送信波のビート周波数（差周波数）から、反射波までの距離を検出。        | 反射対距離検出のための帯域フィルタあるいは FFT アルゴリズムなどの信号処理を必要とする。                             |
|                  | SF-CW<br>(ステップ周波数)      |    | 離散的に変化する多周波数において、各周波数毎の送信波に対する反射波の振幅・位相を計測する。                    | 反射体までの距離や反射係数を求めることができ、実際の測定したスペクトルから時間領域波形を得るために FFT アルゴリズムなどの信号処理を必要とする。 |
| 疑似雑音レーダーシステム     | 符号化パルス                  |  | PN(Pseudorandom Noise) 符号を用いて離散的に位相変調を行い、受信時に符号系列の相互相関処理により計測する。 | 反射対距離検出のための FFT アルゴリズムなどの信号処理を必要とする。                                       |
|                  | 疑似雑音                    |  | 雑音を用いて離散的に位相変調を行い、受信時に符号系列の相互相関処理により計測する。                        | 反射対距離検出のための FFT アルゴリズムなどの信号処理を必要とする。                                       |

## 2.2 利用目的

### (1) 利用分野

地中レーダーは表 2-3 のような分野での実用的利用が進んでいる。

表 2-3 利用分野

| 利用分野         | 主な対象物                  |
|--------------|------------------------|
| 埋設物検知        | パイプ・ケーブル<br>埋設投棄物      |
| 非破壊検査        | コンクリート<br>建造物<br>トンネル  |
| 路面保全         | 舗装状態<br>空洞検出           |
| 土木・建設        | 地盤調査<br>掘削前方監視         |
| 環境・農業        | 地下水<br>土壌水分<br>樹木、根の計測 |
| 地質・資源調査、遺跡探査 | 埋設物<br>構造物内部可視化        |
| 社会安全         | 地雷検知                   |

### (2) 利用シーン

主な利用シーンとして、埋設物探査に多く利用されている他、以下の利用がある。

- 地下インフラの埋設工事における先行埋設物の検知
- 壁のボーリングにおける鉄筋位置の確認
- 人工構造物のメンテナンス、路面下空洞調査
- トンネル等のコンクリート内部（天井部含む）の空洞の調査
- 橋床検査
- 構造物（堤防、ダム、道路）、土壌、岩盤内の水分モニタリング等
- 地殻変動調査、活断層調査、地震履歴調査等の地震地質学等の分野
- 沖積低地、地すべり堆積物、河川氾濫原の浅層地下構造の可視化

などで利用されている。利用シーン例は図 2-5 のとおり。

実際の測定例を図 2-6 に示す。

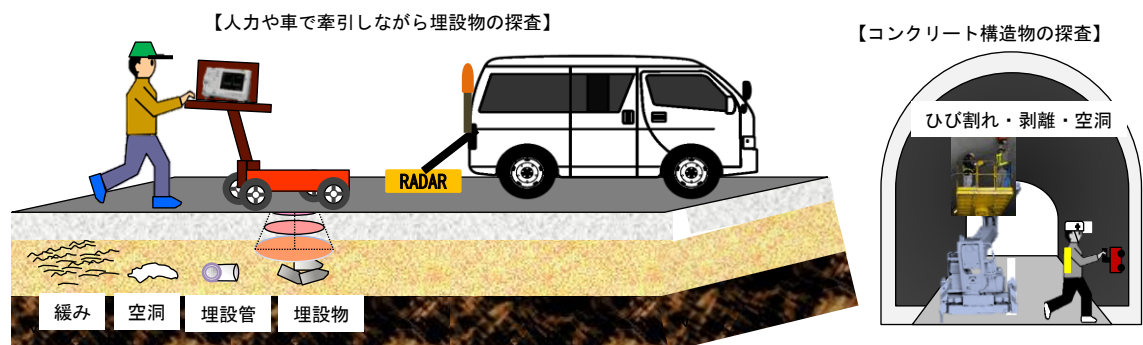


図 2-5 利用シーン

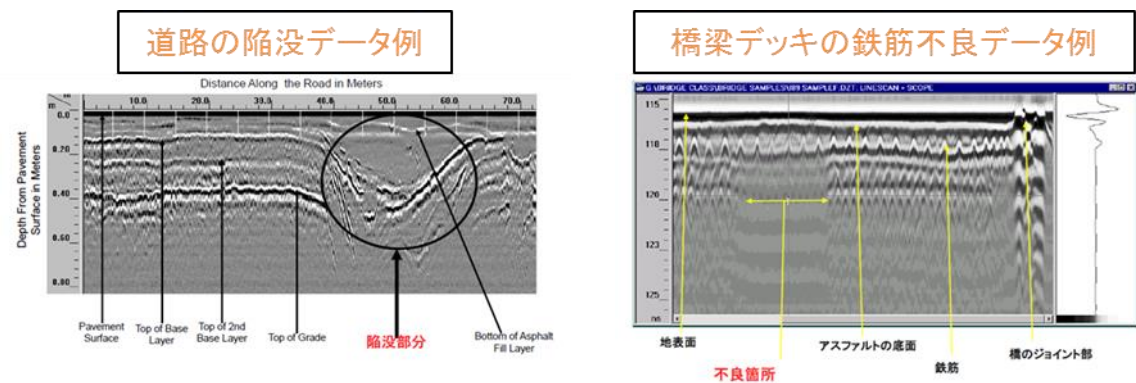


図 2-6 実際の測定例

(註) 応用地質(株)の紹介資料より抜粋。

### (3) 利用動向

#### ア 社会的背景

高度経済成長期に整備された公共インフラ（道路、トンネル、鉄道、港湾、空港、上下水道等）の多くが、設置後 30 年を経過、老朽化への対応が国家的課題になっている。公共インフラの高齢化が進む中、地中レーダー技術等の更なる活用、新技術との複合により、インフラの効率的な維持管理・更新に向けたメンテナンス分野での利用拡大が求められる。

建設後 50 年以上経過する割合は図 2-7 のとおり。

以下にインフラ老朽化の社会的課題の研究会の開催例と概要を示す。



図 2-7 建設後 50 年以上経過する割合

(註) 国土交通省インフラの老朽化の現状より抜粋。

#### (a) 平成 24 年 2 月 総務省行政評価局 「社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視 結果報告書」

1960 年代の高度経済成長期に一齐建設した社会インフラが法定耐用年数（40～50 年）を超え、更新時期を迎えてる。老朽化が進行、財政的な制約が厳しくなり、効率的かつ計画的な維持管理・更新が課題。港湾施設、空港施設、上下水道、河川管理施設等の公共インフラ施設の維持管理及び更新等の実施状況を調査。

(註) 総務省 行政評価局ホームページより抜粋。

[http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/54058.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/54058.html)

(b) 平成 25 年 10 月 関係省庁申合せインフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議の設置

インフラの老朽化対策に関し、関係府省庁が情報交換及び意見交換を行い、連携を図るとともに、必要な施策を検討・推進するため、「インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議」を設置。

同年 11 月、政府、地方公共団体等、あらゆるインフラを対象とした今後の取り組みの全体像を示す「インフラ長寿命化基本計画」を決定、平成 28 年度までに公共インフラの着実な老朽化対策を実施に向けた「インフラ長寿命化計画」を作成することとされた。

(註) 内閣官房ホームページ より

[http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/infra\\_roukyuuka/dai2/index.html](http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/infra_roukyuuka/dai2/index.html)

(4) 利活用の実態

実際に、国土交通省 東北地方整備局では、以下のとおりの実績がある。同じように、他の整備局でも空洞調査として地中レーダー機器を用いた調査を定期的に行っている。

ア 路面地下空洞調査の実績

[車道部]H6～H27 調査延長：約 6,923km

[歩道部]H6～H27 調査延長：約 768km

空洞発見箇所：約 572 カ所

イ 路面下空洞調査

道路に突然に陥没が発生した場合は、重大な事故に直結するので、道路陥没の事故防止のために、電磁波レーダーを搭載した車両などにより、路面下の空洞調査を実施している。

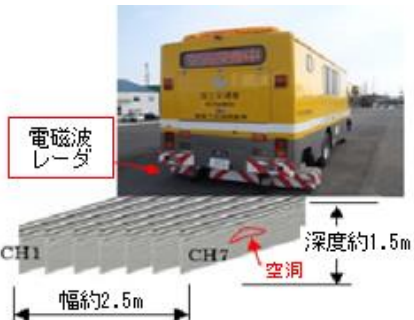
ウ 路面下空洞調査の状況

路面下の空洞を以下の流れによって確認する。調査の流れは表 2-4 のとおり。

(註) 国土交通省 東北地方整備局 東北技術事務所ホームページより抜粋。

<http://www.thr.mlit.go.jp/tougi/kensetsu/hozen/kudou.html>

表 2-4 路面下空洞調査の流れ

| 一次調査                                                                                                                            | 二次調査（詳細調査）                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>電磁波レーダー探査車などを用いて調査を実施、取得したレーダー信号を解析して空洞の可能性のある異常信号を抽出する。</p>                                                                 | <p>一次調査により空洞の可能性のある箇所について、詳細調査を実施。<br/>位置特定調査：空洞の広がりや位置を特定<br/>削孔調査：空洞の深さを特定</p>                                      |
|  <p>車道部は 50km/h で走行しながら非破壊で空洞の可能性のある信号を抽出。</p> |  <p>カート型地中レーダー装置を用いて位置と広がり进行特定。</p> |
|  <p>歩道部は手押式探査車を用いて空洞の可能性のある信号を抽出。</p>         |  <p>位置確認後、道路を削孔し、空洞の深さを調査。</p>    |

#### (5) 期待される活用方法

インフラ等の分野の他に、埋設物の探査に多く利用されている。また、遺跡探査、環境計測、防災・減災等を目的としても利用されている。例えば、遺跡探査では、遺構や遺物と周囲との誘電率の違いが地中レーダー探査の対象となり、空洞遺構や金属の遺物は顕著な反射構造として検出できる。また、遺構の土壌と周囲土壌との間に空隙率や含水率等の違いがあれば探査として有効で、遺跡の発見や保護に役立っている。

その他に、地雷探査や遺留品探査への有効性が確認されている。  
今後、インフラの保守点検分野を中心に、様々な用途への活用が期待される。

## 2.3 地中レーダー機器の形状による類型化

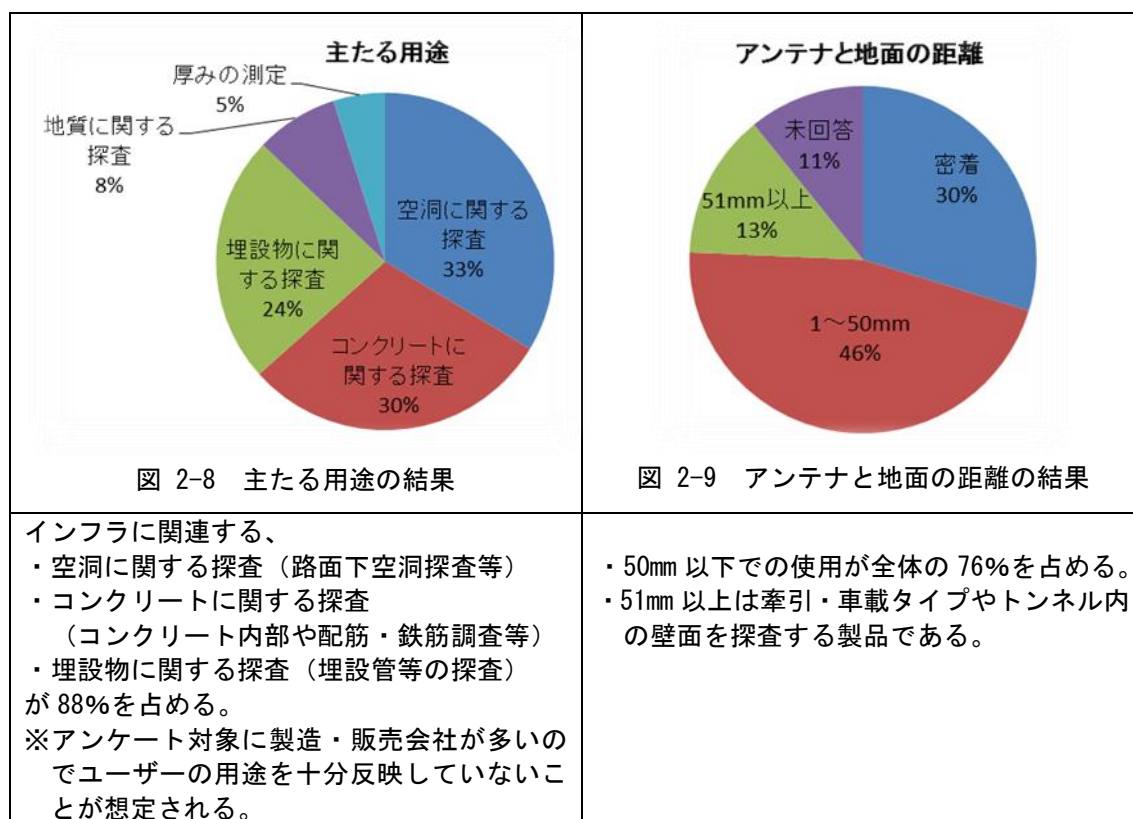
国内の地中レーダー機器の使用実態を調査するため、構成員の協力を得て J-GPR 会員にアンケートを実施した。対象は 26 事業者で回答は 19 事業者であった。回答のあった事業者から地中レーダー機器の類型化を行った。

その他の質問や回答結果は参考資料 1 に示す。

(註) J-GPR とは、GPR 技術に関する 20 社程のコンソーシアム  
事務局：東北大学 東北アジア研究センター 佐藤源之教授

回答のあったメーカーの業務内容は、製造 7 社、販売 8 社、業務委託（コンサルタント調査等）10 社、開発（ハードウェア/ソフトウェア）2 社、マーケティング 1 社のアンケート結果であった。※重複回答あり

図 2-8 に主たる用途、図 2-9 にアンテナと地面の距離に関するアンケート結果を示す。



地中レーダー機器等の類型化は、形状（カートタイプ、ハンディタイプ、車載/牽引タイプ）と、国内外製品で細分化した、合計 15 社（国内メーカー 5 社、海外メーカー 10 社）で取り扱っている 28 製品を分類した。分類した結果を、

表 2-5 にカートタイプ、

表 2-6 にハンディタイプ、

表 2-7 に車載・牽引タイプでまとめた。

尚、不明または開示不可は「－」としている。

参考資料 2 に開示可能な範囲で地中レーダー機器の諸元を示す。

表 2-5 地中レーダー機器の類型化（カートタイプ）

| 形状      | 製造 | メーカー                                   | 製品名                  | 変調方式  | 周波数                                     | 主たる用途                          |
|---------|----|----------------------------------------|----------------------|-------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| カート式タイプ | 国内 | (株) 光電製作所                              | GPR-10C              | インパルス | 350MHz                                  | 地中の埋設管、空洞、構造物                  |
|         |    | 日本信号 (株)                               | グランドシア GN-01         | チャープ  | 50～800MHz                               | 埋設物探査、空洞探査                     |
|         |    |                                        | グランドシア GN-02         | チャープ  | 70～850MHz                               | 埋設物探査、空洞探査                     |
|         |    | 日本無線 (株)                               | NJJ-640              | インパルス | 10～1000MHz                              | 地中の埋設管、空洞、構造物                  |
|         | 海外 | GSSI (Geophysical Survey Systems, Inc) | SIR-3000<br>SIR-4000 | インパルス | 300/400/900MHz<br>1. 6GHz               | 埋設物、路面下空洞、地層構造                 |
|         |    |                                        | ユーティリティ<br>スキャン DF   | インパルス | 2 周波方式<br>300MHz と 800MHz               | 地下埋設管、空洞探査                     |
|         |    |                                        | ストラクチャスキャン           | インパルス | 1. 6/2/2. 6GHz                          | コンクリート中の密集鉄筋や<br>配管・空洞等        |
|         |    | Mala Geoscience                        | RAMAC                | インパルス | 100/200/500/800/<br>2000MHz             | 埋設管（埋設物）、空洞（トン<br>ネル）の検出、考古学調査 |
|         |    | GEOSCANNERS                            | AKULA9000            | —     | 300/400MHz                              | 路面下空洞                          |
|         |    | Sensors & Software                     | NOGGIN Plus          | —     | 100/250/500/1000MHz                     | 鉄筋コンクリート、空洞、<br>配管・埋設物探査       |
|         |    |                                        | Pulse EKKO PRO       | —     | 12. 5/25/50/100/200/<br>250/500/1000MHz | 埋設物探査、遺跡物探査                    |

表 2-6 地中レーダー機器の類型化（ハンディタイプ）

| 形状      | 製造 | メーカー                                   | 製品名                | 変調方式  | 周波数           | 主たる用途                                |
|---------|----|----------------------------------------|--------------------|-------|---------------|--------------------------------------|
| ハンディタイプ | 国内 | (株) 光電製作所                              | KSD-20             | インパルス | 800MHz        | コンクリート空洞厚さ                           |
|         |    |                                        | KSD-8-20W          | インパルス | 1000MHz       | コンクリート構造物背面空洞                        |
|         |    | 日本無線 (株)                               | NJJ-105            | インパルス | 300MHz～2.3GHz | コンクリート内部の埋設物（鉄筋、電配管、等）探査             |
|         |    |                                        | NJJ-200            | インパルス | 800MHz～3.4GHz | コンクリート内部の埋設物（鉄筋、電配管、等）探査             |
|         |    | 三井造船 (株)                               | MPLA-245A          | FM-CW | 100MHz～4.5GHz | コンクリート内埋設物調査                         |
|         | 海外 | GSSI (Geophysical Survey Systems, Inc) | StructuerScan mini | インパルス | 1.6GHz        | コンクリート中の密集鉄筋や配管・空洞等                  |
|         |    | ボッシュ (株)                               | D-TECT 150CNT      | インパルス | 1.8GHz～4GHz   | コンクリート探知機、鉄筋、電気配線、金属、水の入ったプラスチック管、木材 |
|         |    | HILTI                                  | PS 1000 X-scan     | インパルス | 1GHz～4.3GHz   | コンクリート内埋設物調査                         |
|         |    | Sensors & Software                     | Conquest System    | —     | 1000MHz       | コンクリート探知機、鉄筋探査                       |

表 2-7 地中レーダー機器の類型化（車載・牽引タイプ）

| 形状       | 製造 | メーカー                                      | 製品名                                     | 変調方式            | 周波数            | 主たる用途                                |
|----------|----|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------|
| 車載・牽引タイプ | 国内 | 川崎地質（株）                                   | 車両牽引型マルチアレイ<br>チャープ式地中レーダー              | チャープ            | 50MHz～800MHz   | 路面下空洞探査                              |
|          |    |                                           | ステップ式 FM-CW 方式<br>地中レーダー                | ステップ            | 5～160MHz       | 防空壕調査、河川堤防内部構造<br>調査、地質構造調査（断層など）    |
|          |    | 三井造船（株）                                   | 路面下空洞調査用<br>「地中レーダー」                    | FM-CW           | 100MHz～1.5GHz  | 道路下空洞                                |
|          | 海外 | RPS<br>(Radar Portal Systems<br>Pty Ltd)  | 道路用ハイスピード 3D<br>レーダーシステム<br>MiniPod GPR | 符号化パルス<br>+疑似雑音 | 200MHz～4GHz    | 堤防や道路メンテナンス、<br>広範囲の地下探査、高速道路の<br>調査 |
|          |    | GSSI (Geophysical Survey<br>Systems, Inc) | SIR-30                                  | インパルス           | 300/400/900MHz | 路面下空洞                                |
|          |    | IDS<br>(Ingegneria Dei<br>Sistemi)        | RIS Hi-BrigHT                           | インパルス           | 2GHz           | コンクリートスラブ舗装・アス<br>ファルト厚              |
|          |    |                                           | Stream EM                               | インパルス           | 200MHz/600MHz  | 地下埋設物                                |
|          |    | 3D-RADAR                                  | 3d-Radar                                | ステップ<br>周波数方式   | 200MHz～3GHz    | 路面下空洞、床板健全度、<br>埋設管探査、遺跡調査           |

## 2.4 諸外国（米国、欧州等）での規格・認証制度

諸外国(米国、欧州等)の規格、認証制度を抜粋し以下に示す。

### (1) 米国

主要内容以下のとおりであり、免許不要である。

- FCC 02-48 244
  - 準尖頭および平均エミッション測定に於いて GPR と壁面イメージングシステム (wall imaging systems) の放射は Dry Sand pit へ向けると指定している。
  - 20 インチの乾燥した砂に向けられる。乾燥砂は、コンクリート/砂利の試験台よりも確立するのが簡単で、8 インチ毎の不連続を含まない。(深さは約 50cm であるが幅についての記述は無い)
- FCC 02-48 245
  - 接地平面に RF 吸収性材料の使用できる。この吸収性材料が使われた場合、4.7dB を測定結果に加える。
- 47 CFR 15 Subpart F (Section 15.509)
  - GPR はハンドヘルド型及び壁面探査の装置は、送信を停止する手動スイッチを備え、スイッチがリリースされてから 10 秒以内に送信を停止する。

(註) FCC 連邦通信委員会 (FCC: Federal Communications Commission) で、アメリカ合衆国議会の法令によって創設された独立機関である。

### (2) 欧州

#### (a) 経緯

R&TTE ( Radio and Telecommunications Terminal Equipment ) directive 1999/5/EC 指令の範囲に GPR/WPR を含む。これにより、CE マークが必要となる。

ETSI EN 302 066-1 V1.2.1 (2007/12) 及び ETSI EN 302 066-2 V1.2.1 (2008/02) で技術基準が定められている。

#### (b) 主要内容

- ETSI EN 302 066-1 、 EN 302 066-2
  - Sand pit 上での測定と指定されている。(深さは約 50cm であるが幅についての記述は無い)
  - 手動操作の GPR/WPR ( Wall Probing Radar) は、送信を停止する手動スイッチを備える。スイッチがリリースされてから 10 秒以内に送信を停止する。
  - GPR/WPR は、探査面から 1m 以内で操作するように設計されていること。
  - 車両に搭載している場合は 60 秒以内に送信停止する。(Annex B)

(註) ETSI 欧州電気通信標準化機構 (ETSI: European Telecommunications Standards Institute) で、ヨーロッパ圏の電気通信全般の標準仕様を策定する非営利団体のこと。

(3) ITU-R

➤ ITU-R SM.1754 1.5 項

Measurement techniques of ultra-wideband transmissions (2006 年)

- 50cm の深さの Sand bed に向ける。もう一つは、80cm の高さの GPR 装置の下に 500MHz より下のフェライト吸収体を置くか、または、高さ 60cm 以上の吸収体を置く。
- 吸収体で固体ブロックを構成する為に、他の吸収体の上に逆さに置いても構わない。

(註) ITU-R 電気通信分野における国際連合の専門機関である

国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) の無線通信部門 (ITU-R: ITU Radiocommunication Sector) で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則 (RR: Radio Regulations) の改正、無線通信の技術・運用等の問題の研究、勧告の作成及び周波数の割当て・登録等を行っている。

### 3 地中レーダー技術の調査

本検討会では、測定条件を変えた3種類の測定を郵政省告示第127号（昭和63年2月25日）（以下「告示第127号」という。）に則って実施した。

実験概要は表3-1のとおり。

表 3-1 実験概要

| 測定                                                        | 測定方法                                                                                  | 測定場所        | 概要                                                                                                                                                                            | 測定台数<br>(機種) |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1<br>(3.1 電波暗室<br>での(告示第127<br>号)での電氣的<br>特性測定)           | 木の台の上に地<br>中レーダー機器<br>を置いた測定<br>(告示第127号<br>による測定)                                    | 電波暗室        | 被測定器は1.5mの高<br>さに設置する。                                                                                                                                                        | 25 機種        |
| 2<br>(3.2 電波暗室<br>(ITU-R/FCC 参<br>考)での電氣的<br>特性測定)        | 吸収体の上に地<br>中レーダー機器<br>を置いた測定<br>(被測定器の置<br>き方は<br>ITU-R/FCC 参考)                       | 電波暗室        | 諸外国の標準化機関等<br>で推奨する地中レーダ<br>ーの置き方を参考にし<br>た測定。<br>80cm、60cmの高さの<br>GPR 装置の下に高さ<br>60cmの吸収体を置く。<br>(ITU-R SM.1754 1.5<br>項 (2006 年)、FCC<br>02-48 245 (April 22,<br>2002 年)を参考) | 5 機種         |
| 3<br>(3.3 オープン<br>サイト<br>(ITU-R/FCC 参<br>考)での電氣的<br>特性測定) | <参考測定><br>砂の上に地中レ<br>ーダー装置を置<br>いた測定(被測<br>定器の置き方は<br>ITU-R/FCC 参考+<br>アスファルト直<br>置き) | オープン<br>サイト | 諸外国の標準化機関等<br>で推奨する地中レーダ<br>ーの置き方を参考にし<br>た測定。<br>50cmの砂の上に GPR 装<br>置を置く。(ITU-R<br>SM.1754 1.5 項<br>(2006 年)、FCC 02-48<br>245 (April 22, 2002<br>年)を参考)                      | 1 機種         |

### 3.1 電波暗室（告示第 127 号）での電気的特性測定

#### 3.1.1 測定条件

##### (1) 測定に使用した機器

測定に使用した機器一覧は表 3-2 のとおり。

表 3-2 測定に使用した機器

| 品名                           | 仕様等                                                                                                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bi-log アンテナ                  | Bi log :Schwarzbeck VULB9160 、周波数範囲:30MHz-2GHz                                                                                    |
| EMI レシーバー                    | KEYSIGHT N9038A、周波数範囲:20Hz-8.4GHz<br>内蔵プリアンプ (20dB)                                                                               |
| 外付けプリアンプ (50dB)<br>※必要に応じて使用 | STACK Electronics EV892 TYP Gain:50dB<br>周波数範囲 : 30MHz-6GHz<br>NF : 30MHz-100MHz : 7.5dB 以下@+25°C<br>100MHz-6GHz : 5.0dB 以下@+25°C |
| ホーンアンテナ                      | Schwarzbeck BBHA9120E、周波数範囲 : 1-6GHz                                                                                              |

##### (2) 測定構成図

測定構成図は図 3-1、図 3-2 のとおり。30MHz を超えて 1GHz 以下の測定は電波暗室の外の測定室で実施し、1GHz を超える周波数は電波暗室内で測定した。

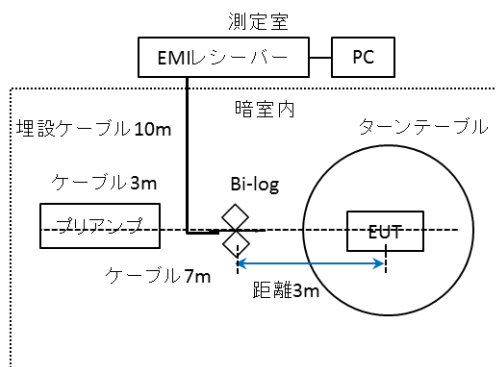


図 3-1 30MHz を超えて 1GHz 以下の測定構成図

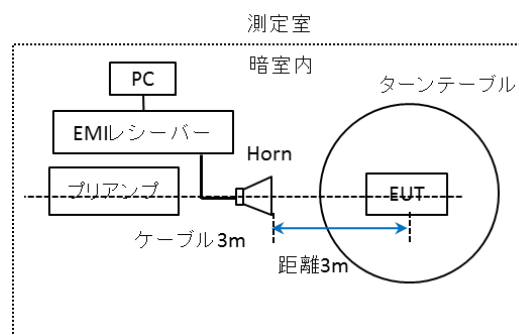


図 3-2 1GHz を超える周波数の測定構成図

(3) 測定した機器

測定した機器は表 3-3 のとおりで、合計 25 機種となる。

表 3-3 測定機器一覧

| 地中レーダー機器<br>提供事業者等                                  | 装置                         |                         |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
|                                                     | 機器名（又は製品名）                 | アンテナ種別又は<br>使用周波数帯      |
| 国立大学法人東北大学<br>(MALA Geoscience)                     | RAMAC                      | 100MHz                  |
|                                                     |                            | 250MHz                  |
|                                                     |                            | 500MHz                  |
|                                                     |                            | 800MHz                  |
| 日本無線（株）                                             | ハンディサーチ/NJJ-105            | 1300MHz 帯               |
|                                                     | ハンディサーチ/NJJ-200            | 2200MHz 帯               |
| 応用地質（株）<br>GSSI(Geophysical Survey<br>Systems, Inc) | SIR-4000                   | 400MHz                  |
|                                                     |                            | 900MHz                  |
|                                                     |                            | 1. 6GHz                 |
|                                                     |                            | 2. 0GHz パーム             |
|                                                     | ユーティリティスキャン                | DF アンテナ<br>300/800MHz 帯 |
|                                                     |                            | 350HS アンテナ              |
| 日本ヒルティ（株）                                           | Hilti PS 1000              | 1GHz～4. 3GHz 帯          |
| ボッシュ（株）                                             | D-TECT150CNT               | 1. 8GHz～4GHz 帯          |
| （株）パスコ                                              | IDS Stream-X               | 200MHz 帯                |
|                                                     | IDS Hi-Mod                 | 200MHz/600MHz 帯         |
|                                                     | IDS RIS Hi-BlighT          | 2GHz 帯                  |
| （株）光電製作所                                            | GPR-10C                    | 350MHz 帯                |
| 日本信号（株）                                             | グランドシア GN-01<br>(モード 2 種類) | 50～800MHz 帯             |
|                                                     | グランドシア GN-02               | 70～850MHz 帯             |
| 三井造船（株）                                             | MPLA-245A                  | 24 素子アレイアンテナ            |
|                                                     | 路面下空洞調査用<br>「地中レーダー」       | 1. 5GHz 帯               |
| （株）RS ダイナミックス・ジ<br>ャパン                              | MinPod                     | 200MHz～4GHz 帯           |
| （株）ジオファイブ                                           | 3d-Radar                   | 200MHz～3GHz 帯           |

(註) 表中は 24 機種だが、日本信号（株）グランドシア GN-01 の利用周波数帯域を切替  
るモード 2 種類もそれぞれ 1 機種としてカウントしたので 25 機種となる。

### 3.1.2 設置方法

被測定器の形状は様々なため、実際の測定では以下の点に注意して測定を進めた。

- 被測定器の設置は、「通常利用時の状態（水平）」、「通常利用時（吸収体有）」「一部が浮いた状態（輻射面を水平に対して 45 度傾けた場合）」、「輻射面を開放した状態（輻射面を垂直にした場合）」の 4 つの測定形態の状態とする。ターンテーブルを回す都合上、物理的形狀等の制約により固定できない場合は人手で押さえる等とするが、それでも落下する危険性がある場合は測定を実施しないこととした。
- 告示第 127 号のマーヅンが確保できない場合、被測定器と受信アンテナの距離を近づけて測定した。測定値は距離 3m における電界強度に補正した。
- フェライト板及び吸収体の設置について  
「通常利用時（吸収体有）」は、金属板からの電波の反射を抑えるのが目的なので、被測定器の真下の床面に、フェライト板 4 枚（約 60cm×60cm）を十字型に置き、その上に吸収体を一番下の机を囲む広さで置いた。およそ、幅 2.4m、奥行き 1.8m の大きさとなる。

また、地中レーダー機器の探査方向を正対 0° 方向として基準とした。図 3-3 に測定形態毎に測定方法をまとめた。

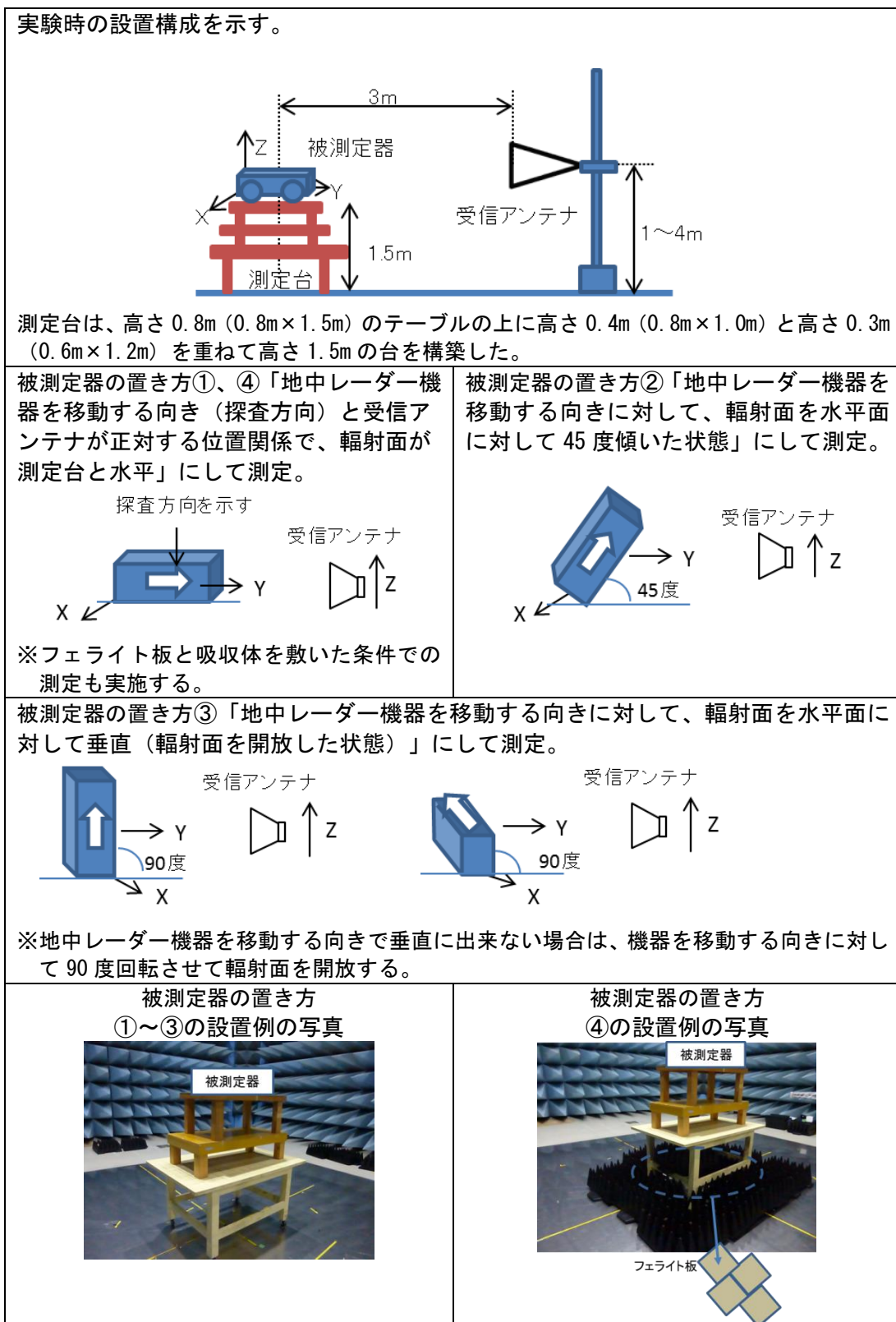


図 3-3 実際の測定環境と測定方法

測定に使用した吸収体の特性を以下に示す。

(株)リケン環境システム

PFP-30 W600×D600×H300mm 2.3kg/個

斜入射減衰特性 500MHz～3GHz：20～30dB、3GHz～10GHz：30～50dB

(ポリプロピレンにカーボンを混練し発泡形成した電波吸収体)

使用する吸収体の写真と特性図は図 3-4、図 3-5 のとおり。



図 3-4 吸収体の写真

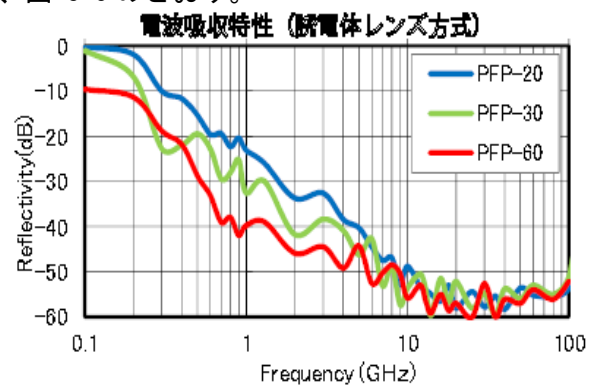


図 3-5 吸収体の特性図

### 3.1.3 測定結果

#### (1) 測定データの計算方法

参考資料 3 に則り最大となる電界強度値を計算した。測定結果は表 3-4 にカートタイプ、表 3-5 にハンディタイプ、表 3-6 に車載・牽引タイプと類型化して示す。

上記、告示第 127 号の測定方法から計算した値であり、30MHz を超え 1GHz 以下の周波数と 1GHz を超える周波数に別けて記載した。

尚、カートタイプ 1 台は 1.5m の高さに設置できなかったため参考測定とし、結果に記載していない。

表 3-4 電波暗室での測定結果（カートタイプ）

| 区分     | 機種 | 上段：電界強度 (dB $\mu$ V/m) 下段：周波数(MHz) |              |                       |              |                       |              |                       |              |
|--------|----|------------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|
|        |    | 通常利用時（水平）                          |              | 通常利用時（吸収体有）           |              | 輻射面を水平面に対し 45 度       |              | 輻射面を開放                |              |
|        |    | 30MHz を超え 1GHz 以下の周波数              | 1GHz を超える周波数 | 30MHz を超え 1GHz 以下の周波数 | 1GHz を超える周波数 | 30MHz を超え 1GHz 以下の周波数 | 1GHz を超える周波数 | 30MHz を超え 1GHz 以下の周波数 | 1GHz を超える周波数 |
| カートタイプ | A  | 61.9                               | 41.4         | 62.1                  | 42.6         | —                     | —            | —                     | —            |
|        |    | 354.0                              | 2383.5       | 324.7                 | 2391.0       | —                     | —            | —                     | —            |
|        | B  | 72.8                               | 46.9         | 75.0                  | 43.5         | —                     | —            | —                     | —            |
|        |    | 322.0                              | 1300.0       | 322.0                 | 1364.0       | —                     | —            | —                     | —            |
|        | C  | 62.8                               | 47.1         | 62.3                  | 45.8         | 67.8                  | 48.4         | 66.8                  | 48.7         |
|        |    | 322.1                              | 1181.5       | 322.0                 | 1181.0       | 338.3                 | 1135.5       | 340.1                 | 1084.0       |
|        | D  | 56.1                               | 51.3         | 53.9                  | 47.5         | 57.1                  | 48.4         | 53.0                  | 48.7         |
|        |    | 844.1                              | 1114.0       | 854.4                 | 1203.5       | 669.8                 | 1135.5       | 328.0                 | 1084.0       |
|        | E  | 57.7                               | 41.5         | 57.2                  | 41.8         | —                     | —            | —                     | —            |
|        |    | 322.1                              | 1596.0       | 322.2                 | 1196.5       | —                     | —            | —                     | —            |
|        | F  | 60.5                               | 47.8         | 59.5                  | 48.8         | 63.1                  | 50.7         | 69.6                  | 51.8         |
|        |    | 399.6                              | 1019.0       | 382.3                 | 1034.5       | 380.6                 | 1000.0       | 351.2                 | 1001.0       |
|        | G  | 61.8                               | 56.8         | 73.9                  | 61.3         | 65.4                  | 59.8         | 65.3                  | 63.1         |
|        |    | 436.9                              | 1036.0       | 351.9                 | 1019.5       | 370.1                 | 1019.0       | 362.9                 | 1019.0       |
|        | H  | 74.4                               | 61.4         | 52.5                  | 45.3         | 76.1                  | 62.6         | 75.8                  | 65.7         |
|        |    | 399.0                              | 1069.5       | 720.0                 | 1232.0       | 358.3                 | 1000.0       | 322.5                 | 1001.5       |
|        | I  | 53.4                               | 46.8         | 41.5                  | 45.5         | 57.0                  | 43.4         | 57.1                  | 44.5         |
|        |    | 676.7                              | 1234.5       | 775.3                 | 1600.5       | 644.4                 | 1601.0       | 594.4                 | 1110.5       |
|        | J  | 23.7                               | 38.4         | 17.6                  | 38.4         | 26.2                  | 38.0         | —                     | —            |
|        |    | 399.2                              | 3999.5       | 327.0                 | 3999.5       | 398.6                 | 4000.0       | —                     | —            |
|        | K  | 24.3                               | 38.4         | 24.0                  | 37.5         | 27.0                  | 38.0         | —                     | —            |
|        |    | 399.2                              | 4000.0       | 398.9                 | 3999.5       | 398.4                 | 1000.0       | —                     | —            |
|        | L  | 42.4                               | 38.6         | 40.3                  | 39.6         | 42.8                  | 37.2         | 42.4                  | 42.9         |
|        |    | 432.2                              | 1000.5       | 395.3                 | 1000.5       | 338.3                 | 1700.0       | 459.6                 | 1000.5       |
|        | M  | 42.2                               | 43.2         | 39.0                  | 42.6         | 41.5                  | 44.6         | 43.3                  | 46.1         |
|        |    | 804.8                              | 1475.5       | 345.2                 | 1632.5       | 788.6                 | 1601.0       | 741.1                 | 1600.0       |
|        | N  | 36.1                               | 42.4         | 57.2                  | 41.8         | 37.2                  | 43.7         | 38.2                  | 42.5         |
|        |    | 412.7                              | 1630.0       | 322.2                 | 1196.5       | 627.9                 | 1633.0       | 627.3                 | 1925.5       |

表 3-5 電波暗室での測定結果（ハンディタイプ）

| 区分      | 機種 | 上段：電界強度（dB $\mu$ V/m） 下段：周波数（MHz） |                     |                                  |                     |                                  |                     |                                  |                     |
|---------|----|-----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
|         |    | 通常利用時（水平）                         |                     | 通常利用時（吸収体有）                      |                     | 輻射面を水平面に<br>対し 45 度              |                     | 輻射面を開放                           |                     |
|         |    | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数  | 1GHz<br>を超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数 | 1GHz<br>を超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数 | 1GHz<br>を超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数 | 1GHz<br>を超える<br>周波数 |
| ハンディタイプ | O  | 37.3                              | 40.0                | 36.4                             | 40.9                | 39.0                             | 40.7                | 39.0                             | 42.4                |
|         |    | 328.6                             | 1980.0              | 328.0                            | 1977.5              | 421.2                            | 1388.5              | 437.0                            | 1493.0              |
|         | P  | 40.2                              | 42.6                | 40.2                             | 41.9                | 41.0                             | 40.1                | 41.6                             | 44.1                |
|         |    | 737.1                             | 1912.0              | 806.7                            | 2083.5              | 761.8                            | 2872.0              | 431.6                            | 3387.5              |
|         | Q  | 24.6                              | 40.0                | 26.5                             | 36.3                | 22.2                             | 37.2                | 27.0                             | 38.6                |
|         |    | 399.6                             | 3200.0              | 399.4                            | 3200.0              | 349.3                            | 3199.5              | 399.3                            | 3401.5              |
|         | R  | 28.5                              | 35.3                | 27.1                             | 34.5                | 28.8                             | 38.3                | 29.4                             | 38.2                |
|         |    | 373.9                             | 3599.5              | 398.7                            | 3799.5              | 423.8                            | 2699.5              | 398.6                            | 2699.5              |
|         | S  | 63.2                              | 95.0                | 64.6                             | 93.6                | 62.0                             | 98.1                | 61.8                             | 99.5                |
|         |    | 830.7                             | 1559.5              | 796.6                            | 2360.0              | 937.7                            | 1907.0              | 938.5                            | 3558.5              |

表 3-6 電波暗室での測定結果（車載・牽引タイプ）

| 区分       | 機種 | 上段：電界強度（dB $\mu$ V/m） 下段：周波数（MHz） |                     |                                  |                     |                                  |                     |                                  |                     |
|----------|----|-----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
|          |    | 通常利用時（水平）                         |                     | 通常利用時（吸収体有）                      |                     | 輻射面を水平面に<br>対し 45 度              |                     | 輻射面を開放                           |                     |
|          |    | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数  | 1GHz<br>を超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数 | 1GHz<br>を超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数 | 1GHz<br>を超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数 | 1GHz<br>を超える<br>周波数 |
| 車載／牽引タイプ | T  | 37.9                              | 49.1                | 37.9                             | 47.4                | 38.8                             | 49.1                | 38.4                             | 49.5                |
|          |    | 359.7                             | 1657.5              | 360.0                            | 1611.0              | 359.6                            | 1400.5              | 359.8                            | 1242.5              |
|          | U  | 60.3                              | 67.7                | 59.3                             | 66.5                | 61.2                             | 70.3                | 62.4                             | 74.1                |
|          |    | 414.9                             | 1519.0              | 393.4                            | 1521.0              | 412.9                            | 1743.5              | 336.7                            | 1578.0              |
|          | V  | 61.1                              | 64.0                | 61.7                             | 63.1                | 60.1                             | 62.3                | —                                | —                   |
|          |    | 359.6                             | 1069.0              | 338.7                            | 1000.0              | 351.5                            | 1582.5              | —                                | —                   |
|          | W  | 57.5                              | 66.2                | 56.7                             | 65.6                | 61.3                             | 64.1                | 63.6                             | 66.5                |
|          |    | 937.4                             | 2187.5              | 937.6                            | 2188.0              | 624.7                            | 3124.5              | 625.2                            | 2499.5              |
|          | X  | 86.7                              | 88.3                | 85.7                             | 88.3                | —                                | —                   | —                                | —                   |
|          |    | 402.0                             | 2498.0              | 322.0                            | 1450.0              | —                                | —                   | —                                | —                   |

(2) 最大電界強度値について

告示第 127 号の測定では、1.5m の高さから電波を放射するが、被測定器が下向きの場合には床面が金属板となっている。そのため、反射波と直接波を受信するので大きな電界強度値となっていると思われる。床面にフェライト板と吸収体を置いた場合は、機種によっては大きくなったり、小さくなったりするので機種に依存性があるものと思われる。同じように、輻射面を傾けたり、開放した時の電界強度値は大きくなる傾向が見られるが、機種によりバラツキがある傾向となった。

(3) 区分による傾向の整理

地中レーダー機器の形状からカートタイプ・ハンディタイプ・車載/牽引タイプに区分し、傾向を整理した。区分による傾向は表 3-7 のとおり。

- カートタイプは 15 機種※あり、電界強度値は若干大きい傾向にある。
- ハンディタイプは 5 機種あり、全般的に電界強度値が小さい傾向にある。その中でも、片手で持てる小型機器は電界強度値が小さい傾向であった。
- 車載/牽引タイプは 5 機種あり、電界強度値は大きい傾向にある。これらのタイプは横幅が比較的大きな形状をしているので、アンテナ中心から 3m で測定しているが、実際よりも測定距離が近い為と想定される。

これらのことより、

- ・ 装置の大きさ（部分探査や広域探査といった目的の違い）
- ・ 用途（探査深度や分解能の違い）

により電界強度値の差が現れたと推察される。

表 3-7 区分による傾向の整理

| 区分       | 電界強度値 | 備考     |
|----------|-------|--------|
| カートタイプ   | △     | 11 機種  |
|          | ○     | 3 機種   |
|          | □     | (参考測定) |
| ハンディタイプ  | ○     | 4 機種   |
|          | □     | 1 機種   |
| 車載/牽引タイプ | △     | 4 機種   |
|          | □     | 1 機種   |

- ：電界強度値が小さい傾向にある。  
△：電界強度値が若干大きい傾向にある。  
□：電界強度値が大きい傾向にある。

※1 機種は参考測定（1.5m の台に載せられなかった為）、利用周波数帯域切替機器も 1 機種としてカウントしているので合計 25 機種

(4) 利用形態による傾向の整理

実際に地中レーダー機器を使用する状態を想定して測定した結果を、それぞれ利用形態により分類し、傾向を整理した。これらのデータは表 3-8、表 3-9、表 3-10 に示す。利用形態は以下の 4 形態である。放射面が下を向いたとき、斜面等で放射面が浮いたときの電力の関係を予想した。

- ・ 通常利用時（水平）
- ・ 通常利用時（吸収体有）
- ・ 輻射面を水平面に対し 45 度
- ・ 輻射面を開放（垂直）

個々の機種を上記 4 形態毎に電界強度の大きさを比較したが、機種ごとにバラツキがあり、以下の関係になると予想したが必ずしも予想した関係にならなかった。

通常利用時（水平）＞通常利用時（吸収体有）

通常利用時（水平）＜輻射面を水平面に対し 45 度＜輻射面を開放（垂直）

これは、機種による依存性があるものと推察される。

区分毎にまとめ、利用形態毎に電界強度の変化を全体の平均/最小値/最大値としてまとめると、ほぼ、電界強度の値は予想通りの関係となった。

通常利用時（水平）と比較して、

- カートタイプは、  
吸収体有で 6dB の電界強度低下、  
輻射面を水平面に対し 45 度傾けることにより 5dB の電界強度増加、  
輻射面を開放することで 9dB の電界強度増加が見られた。
- ハンディタイプは、  
吸収体有で 3.7dB の電界強度の低下、  
輻射面を水平面に対し 45 度傾けることにより 3.1dB の電界強度の増加、  
輻射面を開放することで 4.5dB の電界強度の増加が見られた。(注:1GHz 以上の帯域)
- 車載/牽引タイプは、  
吸収体有で 1.7dB の電界強度低下、  
輻射面を水平面に対し 45 度傾けることにより 3.8dB の電界強度増加、  
輻射面を開放することで 6.4dB の電界強度増加が見られた。

このことから、吸収体があることにより電界強度値は小さくなる傾向にあり、輻射面が 45 度、90 度と傾くことにより放射電力が大きくなる傾向にあることが確認できた。

本測定値は告示第 127 号で求めた最大値（水平偏波及び垂直偏波のいずれか大きい値）と比較している。その為、上記減算は最大値からの差となるので偏波面は考慮されていない。また、最大値となる周波数は測定形態により異なるので同じ周波数で比較していない。単純に告示第 127 号で求めた測定形態毎の最大値を減算した値である。

表 3-8 カートタイプの利用形態の傾向

| 区分     | 機種 | 通常利用時と通常利用時（吸収体有）の比較             |                      | 通常利用時と輻射面を 45 度の比較               |                      | 通常利用時と輻射面を開放の比較                  |                      | 輻射面を 45 度と輻射面を開放の比較              |                      |
|--------|----|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|
|        |    | 通常利用時（吸収体有）－通常利用時の値 (dB)         |                      | 輻射面を 45 度－通常利用時の値 (dB)           |                      | 輻射面を開放－通常利用時の値 (dB)              |                      | 輻射面を開放－輻射面を 45 度の値 (dB)          |                      |
|        |    | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数 | 1GHz を<br>超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の周<br>波数 | 1GHz を<br>超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の周<br>波数 | 1GHz を<br>超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の周<br>波数 | 1GHz を<br>超える<br>周波数 |
| カートタイプ | A  | 0.2                              | 1.2                  | —                                | —                    | —                                | —                    | —                                | —                    |
|        | B  | 2.2                              | -3.4                 | —                                | —                    | —                                | —                    | —                                | —                    |
|        | C  | -0.4                             | -1.3                 | 5.1                              | 1.3                  | 4.0                              | 1.6                  | -1.0                             | 0.3                  |
|        | D  | -2.1                             | -3.8                 | 1.0                              | -2.9                 | -3.1                             | -2.6                 | -4.1                             | 0.3                  |
|        | E  | -1.0                             | 1.0                  | 2.6                              | 2.9                  | 9.1                              | 4.0                  | 6.5                              | 1.1                  |
|        | F  | -0.5                             | 0.9                  | 3.6                              | 3.0                  | 3.5                              | 6.3                  | -0.1                             | 3.3                  |
|        | G  | -0.5                             | -0.1                 | 1.7                              | 1.2                  | 1.4                              | 4.3                  | -0.3                             | 3.1                  |
|        | H  | -0.9                             | -1.5                 | 3.6                              | -3.4                 | 3.7                              | -2.3                 | 0.0                              | 1.1                  |
|        | I  | -0.8                             | 2.3                  | -0.7                             | 1.4                  | 1.1                              | 2.9                  | 1.8                              | 1.5                  |
|        | J  | 2.9                              | 0.2                  | 1.2                              | 1.3                  | 2.1                              | 0.1                  | 0.9                              | -1.2                 |
|        | K  | -0.5                             | 0.3                  | —                                | —                    | —                                | —                    | —                                | —                    |
|        | L  | -6.1                             | 0.0                  | 2.5                              | -0.4                 | —                                | —                    | —                                | —                    |
|        | M  | -0.3                             | -0.9                 | 2.7                              | -0.4                 | —                                | —                    | —                                | —                    |
|        | N  | -2.1                             | 1.0                  | 0.3                              | -1.4                 | 0.0                              | 4.3                  | -0.3                             | 5.7                  |
| 平均値    |    | -0.29                            | 0.00                 | 2.43                             | 0.68                 | 3.67                             | 2.94                 | 1.33                             | 2.16                 |
| 最小値    |    | ①-6.1                            | -3.8                 | -0.7                             | -3.4                 | -3.1                             | -2.6                 | -4.1                             | -1.2                 |
| 最大値    |    | 2.9                              | 2.3                  | ②5.1                             | 3.0                  | ③9.1                             | 6.3                  | 6.5                              | 5.7                  |

※：マイナスの数値は電界強度の低下を示す。

カートタイプは 1GHz 以下が主に使用されている。1GHz 以下で見ると通常利用時（吸収体有）は、①最小値を比較すると吸収体有は最大で 6dB の大きな減衰効果が見られる。②輻射面を 45 度の場合は通常利用時よりも最大 5dB 電界強度値が大きくなる傾向が見られた。③輻射面を開放した場合は通常利用時よりも最大 9dB 電界強度値が大きくなる傾向が見られた。

表 3-9 ハンディタイプの利用形態の傾向

| 区分      | 機種 | 通常利用時と通常利用時（吸収体有）の比較             |                      | 通常利用時と輻射面を 45 度の比較               |                      | 通常利用時と輻射面を開放の比較                  |                      | 輻射面を 45 度と輻射面を開放の比較              |                      |
|---------|----|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|
|         |    | 通常利用時（吸収体有）－通常利用時の値 (dB)         |                      | 輻射面を 45 度－通常利用時の値 (dB)           |                      | 輻射面を開放－通常利用時の値 (dB)              |                      | 輻射面を開放－輻射面を 45 度の値 (dB)          |                      |
|         |    | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の<br>周波数 | 1GHz を<br>超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の周<br>波数 | 1GHz を<br>超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の周<br>波数 | 1GHz を<br>超える<br>周波数 | 30MHz を<br>超え 1GHz<br>以下の周<br>波数 | 1GHz を<br>超える<br>周波数 |
| ハンディタイプ | O  | -0.9                             | 0.9                  | 1.7                              | 0.7                  | 1.6                              | 2.4                  | 0.0                              | 1.7                  |
|         | P  | 0.0                              | -0.7                 | 0.8                              | -2.5                 | 1.4                              | 1.5                  | 0.7                              | 4.0                  |
|         | Q  | 1.9                              | -3.7                 | -2.3                             | -2.8                 | 2.5                              | -1.4                 | 4.8                              | 1.4                  |
|         | R  | -1.4                             | -0.8                 | 0.2                              | 3.0                  | 0.8                              | 2.9                  | 0.6                              | -0.1                 |
|         | S  | 1.4                              | -1.4                 | -1.2                             | 3.1                  | -1.4                             | 4.5                  | -0.2                             | 1.4                  |
| 平均値     |    | 0.38                             | -0.90                | 0.05                             | 1.00                 | 1.17                             | 2.38                 | 1.62                             | 1.89                 |
| 最小値     |    | -1.4                             | ①-3.7                | -2.3                             | -2.8                 | -1.4                             | -1.4                 | -0.2                             | -0.1                 |
| 最大値     |    | 1.9                              | 0.9                  | 1.7                              | ②3.1                 | 2.5                              | ③4.5                 | 4.8                              | 4.0                  |

※：マイナスの数値は電界強度の低下を示す。

ハンディタイプは 1GHz 以上が主に使用されている。1GHz を超える周波数で見ると、①吸収体による電界強度値は 3.7dB の大きな減衰効果が見られる。②輻射面を 45 度の場合は通常利用時よりも最大 3.1dB 電界強度値が大きくなる傾向が見られた。③輻射面を開放した場合は通常利用時よりも最大 4.5dB 電界強度値が大きくなる傾向が見られた。

30MHz を超え 1GHz 以下の周波数は制御装置の漏えい電力と推察される機種もあった。

表 3-10 車載/牽引タイプの利用形態の傾向

| 区分       | 機種 | 通常利用時と通常利用時（吸収体有）の比較     |              | 通常利用時と輻射面を 45 度の比較     |              | 通常利用時と輻射面を開放の比較       |              | 輻射面を 45 度と輻射面を開放の比較     |              |
|----------|----|--------------------------|--------------|------------------------|--------------|-----------------------|--------------|-------------------------|--------------|
|          |    | 通常利用時（吸収体有）－通常利用時の値 (dB) |              | 輻射面を 45 度－通常利用時の値 (dB) |              | 輻射面を開放－通常利用時の値 (dB)   |              | 輻射面を開放－輻射面を 45 度の値 (dB) |              |
|          |    | 30MHz を超え 1GHz 以下の周波数    | 1GHz を超える周波数 | 30MHz を超え 1GHz 以下の周波数  | 1GHz を超える周波数 | 30MHz を超え 1GHz 以下の周波数 | 1GHz を超える周波数 | 30MHz を超え 1GHz 以下の周波数   | 1GHz を超える周波数 |
| 車載／牽引タイプ | T  | 0.0                      | -1.7         | 0.9                    | 0.0          | 0.5                   | 0.4          | -0.3                    | 0.4          |
|          | U  | -1.0                     | -1.2         | 0.9                    | 2.6          | 2.1                   | 6.4          | 1.2                     | 3.8          |
|          | V  | 0.6                      | -0.9         | -1.0                   | -1.7         | —                     | —            | —                       | —            |
|          | W  | -0.8                     | -0.6         | 3.8                    | -2.1         | 6.1                   | 0.3          | 2.3                     | 2.4          |
|          | X  | -1.0                     | 0.0          | —                      | —            | —                     | —            | —                       | —            |
| 平均値      |    | -0.40                    | -0.84        | 1.50                   | 0.12         | 3.59                  | 3.38         | 1.21                    | 2.42         |
| 最小値      |    | -1.0                     | ①-1.7        | -1.0                   | -2.1         | 0.5                   | 0.3          | -0.3                    | 0.4          |
| 最大値      |    | 0.6                      | 0.0          | ②3.8                   | 2.6          | 6.1                   | ③6.4         | 2.3                     | 3.8          |

※：マイナスの数値は電界強度の低下を示す。

車載/牽引タイプは、変化量が少ない。①吸収体による電界強度値は 1GHz を超える周波数が 1.7dB の減衰効果が見られる。②輻射面を 45 度の場合は通常利用時よりも最大 3.8dB 電界強度値が大きくなる傾向が見られた。③輻射面を開放した場合は通常利用時よりも最大 6.4dB 電界強度値が大きくなる傾向が見られた。

#### 3.1.4 まとめ

測定時に以下の不確定要素が見込まれ、測定結果にレベルの変動が含まれると思われる。

- ① 大地面の反射の影響  
電界強度値が小さいので、被測定器と受信アンテナの距離を 1.5m に近づけた場合があり、3m に距離換算しているが、大地面の反射により測定値がさらに 3dB 大きい可能性がある。
- ② 木製の測定台の影響  
被測定器が重量物（最大 100kg）で大きい（長さ 180cm）装置もあるので、発泡スチロールの台では壊れる可能性があるので木製の台を 3 台に積んで高さ 1.5m のテーブルを構成した。この上に被測定機器を載せたが、広帯域のシステムのため木の干渉によるディップや共振が発生した。
- ③ アンテナ形状の影響  
被測定器の中心から受信アンテナまでの距離を 3m としているが、長尺な機器（例えば、牽引タイプ：幅 180cm、車載タイプ：幅 76cm、カートタイプ：幅 125cm）においては、被測定器が大きい為より近い距離で測定した可能性がある。
- ④ 人体による影響  
電波を発射するため、被測定器の車輪を人手で回す等の作業員が補助することによる影響がある可能性がある。
- ⑤ 制御装置の影響  
電波を発射するため、制御装置に接続する必要があり、制御装置の漏えい電力による干渉等の副次発射の影響がある可能性がある。
- ⑥ 距離補正  
被測定器と受信アンテナの距離 1.5m で測定した場合は 6dB の補正を行った。

上記不確定要素を考慮しても、輻射面を下向きにして 1.5m 高で測定することは、電界強度値が大きくなる傾向が見られることと、輻射面が傾いたり開放した利用をするとさらに強い電波が空間に発射される可能性が高いことが確認できた。

### 3.2 電波暗室（ITU-R/FCC 参考）での電气的特性測定

告示第 127 号の測定方法を参考に、被測定器の置き方を諸外国の標準化機関等で推奨する地中レーダー機器の置き方で電界強度を測定した。

（１）ITU-R SM.1754 1.5 項 （2006 年）を参考にする。

80cm の高さの GPR 装置の下に高さ 60cm 以上の吸収体を置く。吸収体で固体ブロックを構成する為に、他の吸収体の上に逆さに置いても良い。

（２）FCC 02-48 245 （April 22, 2002）を参考にする。

接地平面に RF 吸収性材料の使用が出来る。この吸収性材料を使った場合、4.7dB を測定結果に加える。

#### 3.2.1 測定条件

(1) 測定に使用した機器

測定に使用した機器一覧は表 3-11 のとおり。

表 3-11 測定に使用した機器

| 品名                           | 仕様等                                                                                                                               |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bi-log アンテナ                  | Bi log :Schwarzbeck VULB9160、周波数範囲:30MHz-2GHz                                                                                     |
| EMI レシーバー                    | KEYSIGHT N9038A 、周波数範囲:20Hz-8.4GHz<br>内蔵プリアンプ (20dB)                                                                              |
| 外付けプリアンプ (50dB)<br>※必要に応じて使用 | STACK Electronics EV892 TYP Gain:50dB<br>周波数範囲 : 30MHz-6GHz<br>NF : 30MHz-100MHz : 7.5dB 以下@+25°C<br>100MHz-6GHz : 5.0dB 以下@+25°C |
| ホーンアンテナ                      | Schwarzbeck BBHA9120E、周波数範囲 : 1-6GHz                                                                                              |

(2) 測定構成図

測定構成図は図 3-6 のとおり。30MHz を超えて 1GHz 以下の測定は電波暗室の外の測定室で実施し、1GHz を超える周波数は電波暗室内で測定した。

機器の設置は金属のターンテーブルの上ではなく、フリーアクセス上を測定点とした。

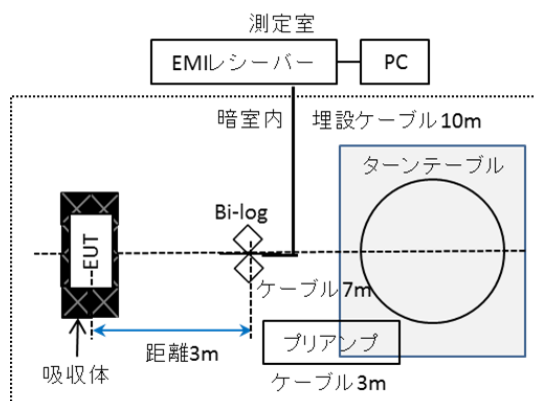


図 3-6 測定構成図

### 3.2.2 設置方法

被測定器の設置例を以下に示す。

被測定器の下に吸収体を置いた例は図 3-7、図 3-8 のとおり、被測定器を直置きにした例は図 3-9、図 3-10 のとおり、吸収体を噛み合わせた場合の例は図 3-11、図 3-12 のとおり。

また、ホーンアンテナを用いる場合は、アンテナをチルトさせて被測定器側に向けて測定をしている。

①被測定器の真下に吸収体 (h=60cm) を置き、被測定器の高さを 80cm、60cm にする。

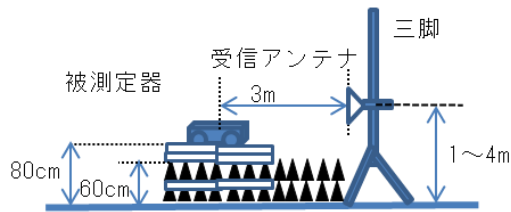


図 3-7 吸収体の上に被測定器

※①a は被測定器の高さ 80cm①b は被測定器の高さ 60cm。保護用発泡スチロールを使い高さを調整した。吸収体は、地中レーダー機器からの床面反射を抑える広さに適時置いた。

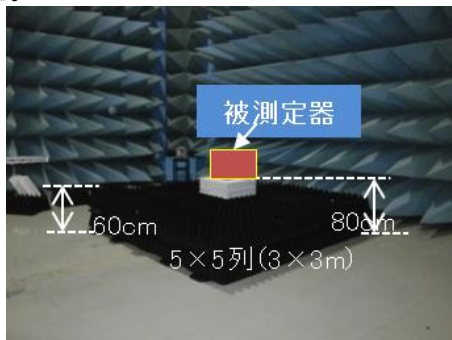


図 3-8 吸収体の上に被測定器を置いた例

②被測定器を床面に直置きとする。

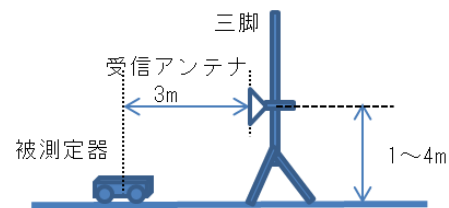


図 3-9 被測定器直置き

※床面下は金属が敷かれている



図 3-10 被測定器直置きの例

③吸収体を噛み合わせて置き、被測定器の高さを 60cm にする。

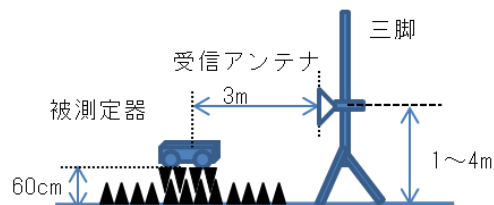


図 3-11 噛み合わせた吸収体の上に被測定器

※吸収体を噛み合わせて置く。他の部分は床面反射を抑える広さに適時置いた。

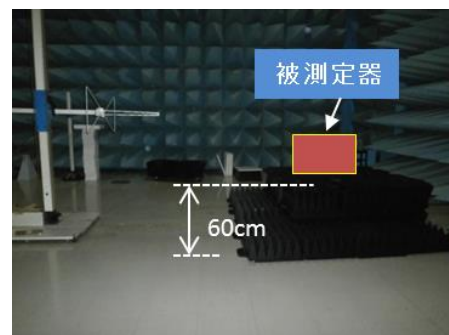


図 3-12 噛み合わせた吸収体の上に被測定器を置いた例

### 3.2.3 測定結果

測定結果を以下に示す。

#### (1) 機種 A

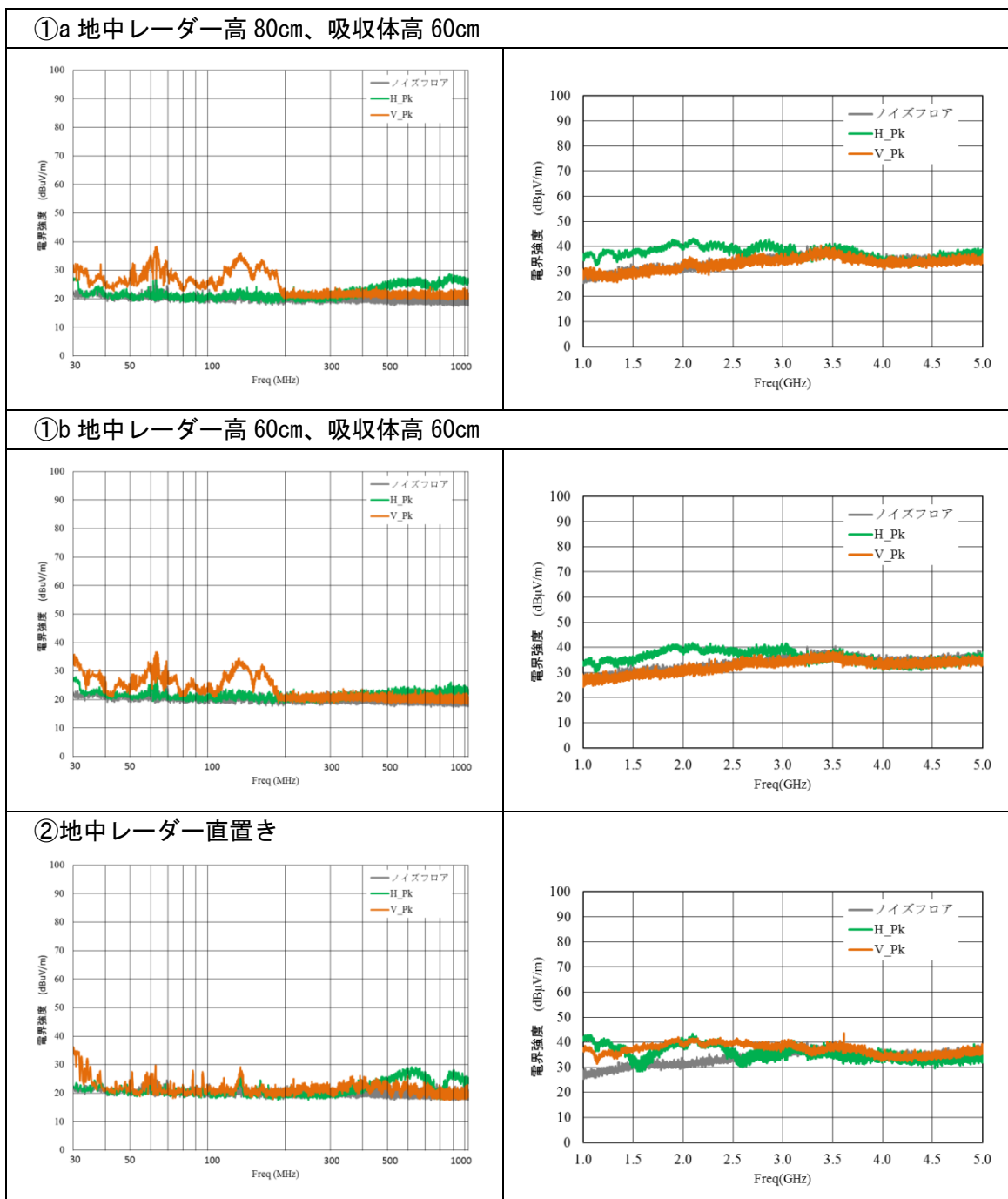


図 3-13 機種 A の測定結果その 1

③吸収体を噛み合わせた場合  
地中レーダー高 60cm、吸収体高 60cm

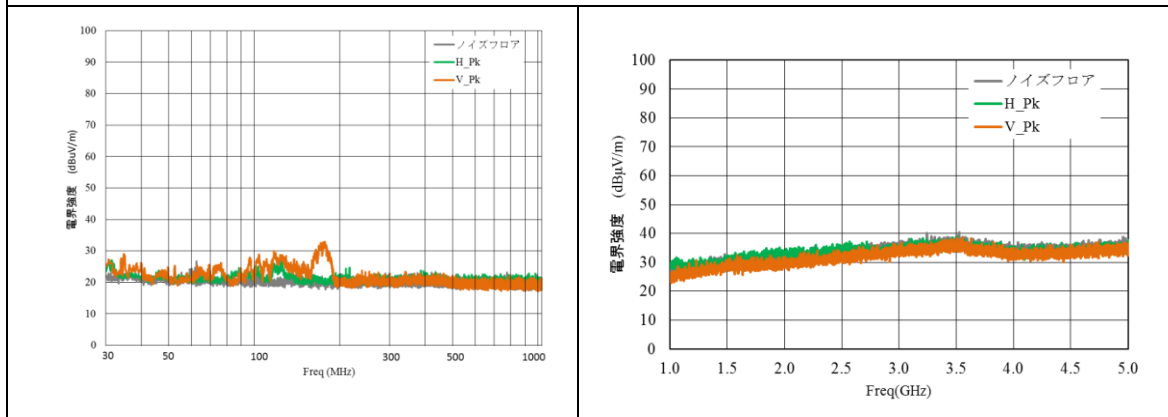
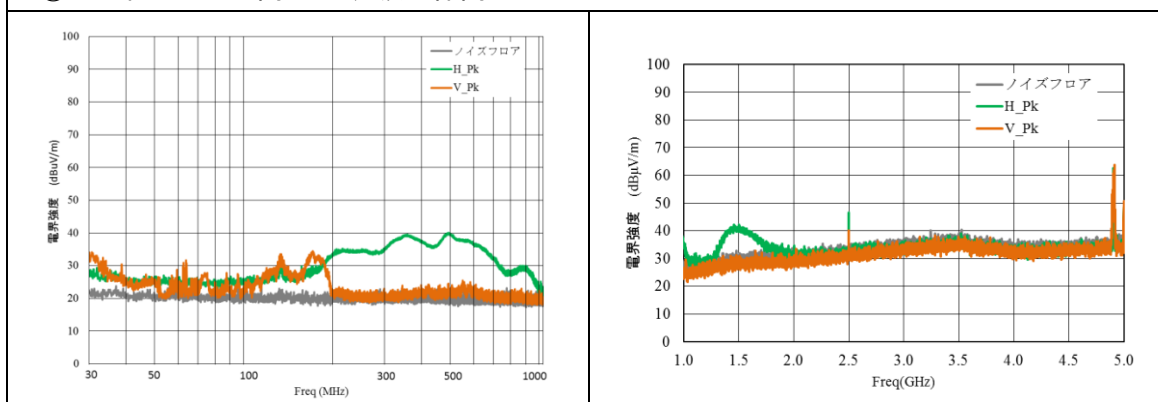


図 3-14 機種 A の測定結果その 2

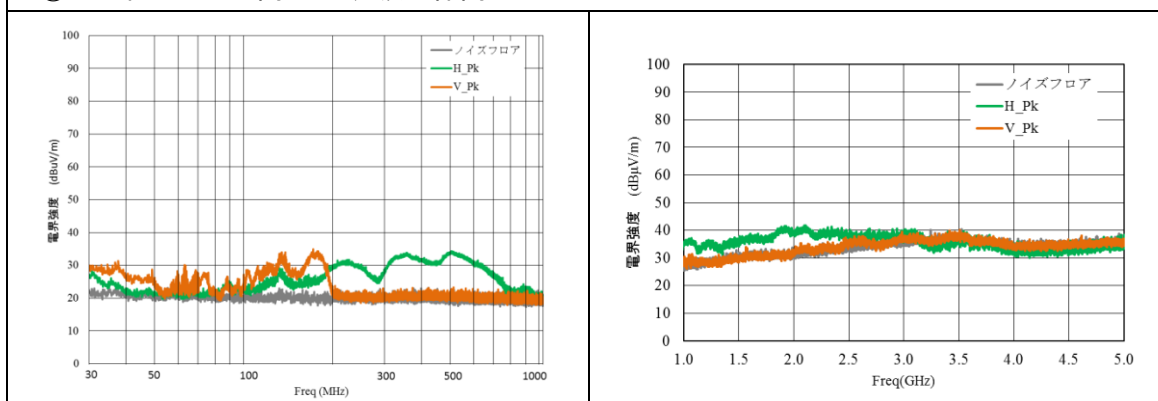
①a、①b、②の 30MHz を超え 1GHz 以下の電界強度値は十分に低い傾向にあるが、1GHz を超える周波数帯では若干高い電界強度値となる傾向にある。③の吸収体を噛み合わせて固体ブロックで構成した場合は、いずれも十分に低い電界強度値となる傾向がある。特に、1GHz を超える周波数帯は、ほぼノイズレベルとなった。

(2) 機種B ※制御装置との通信に 2.4GHz 帯無線 LAN 使用

①a 地中レーダー高 80cm、吸収体高 60cm



①b 地中レーダー高 60cm、吸収体高 60cm



②は実施してない。

③吸収体を噛み合わせた場合  
地中レーダー高 60cm、吸収体高 60cm

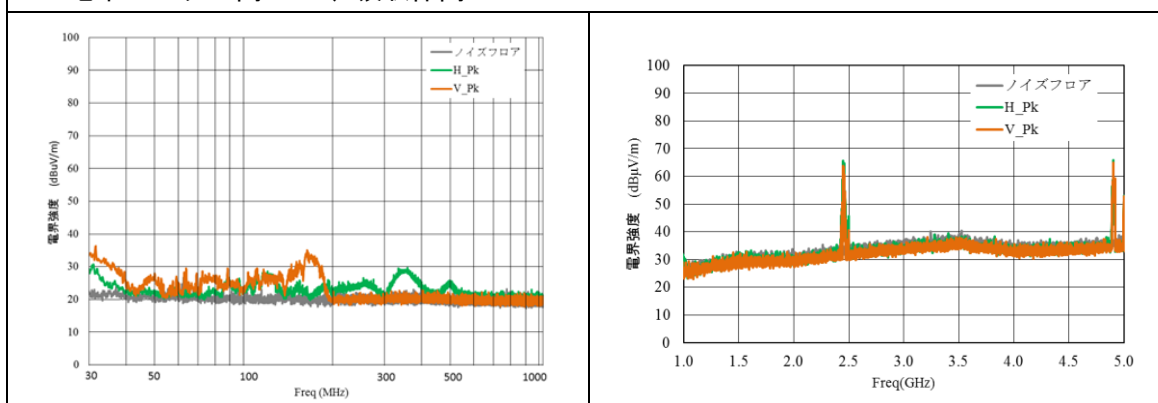
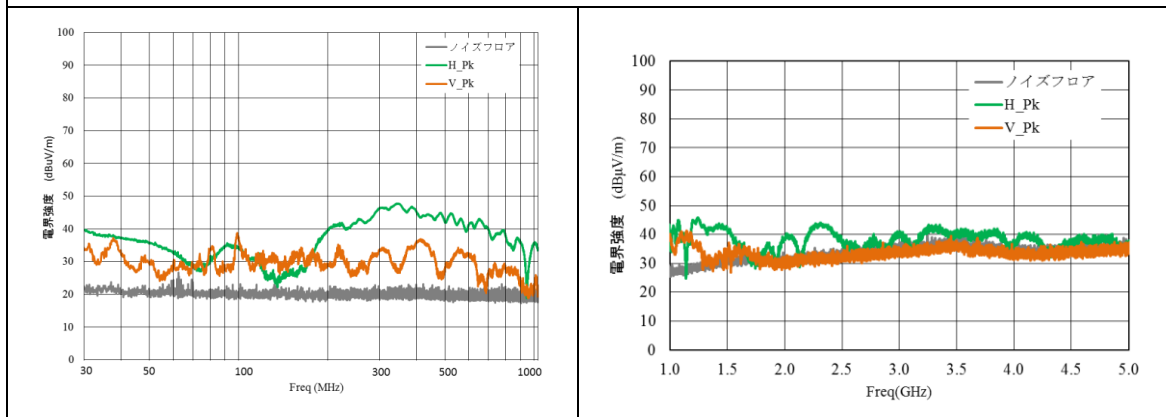


図 3-15 機種Bの測定結果

①a、①b、②はいずれも電界強度値が若干高い傾向であるが、③の吸収体を噛み合わせて固体ブロックで構成した場合は、いずれも十分低い電界強度値となる傾向がある。特に、1GHz を超える周波数帯は、ほぼノイズレベルとなった。

### (3) 機種C

#### ①a 地中レーダー高 80cm、吸収体高 60cm



①b、②は実施していない。

#### ③吸収体を噛み合わせた場合 地中レーダー高 60cm、吸収体高 60cm

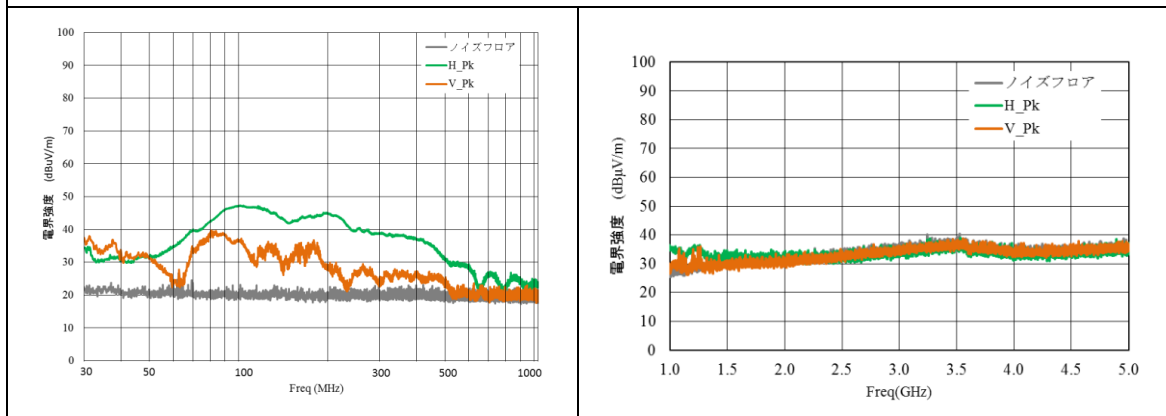
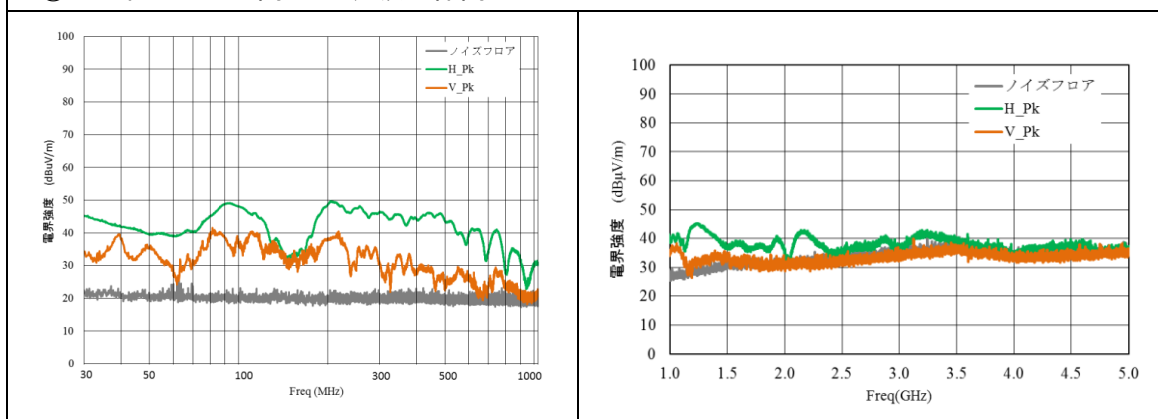


図 3-16 機種Cの測定結果

①a はいずれも若干高い電界強度値となる傾向にある。③の吸収体を噛み合わせて固体ブロックで構成した場合は、十分低い電界強度値となる傾向がある。特に、1GHz を超える周波数帯は、ほぼノイズレベルとなった。

#### (4) 機種D

##### ①a 地中レーダー高 80cm、吸収体高 60cm



①b、②は実施していない。

##### ③吸収体を噛み合わせた場合 地中レーダー高 60cm、吸収体高 60cm

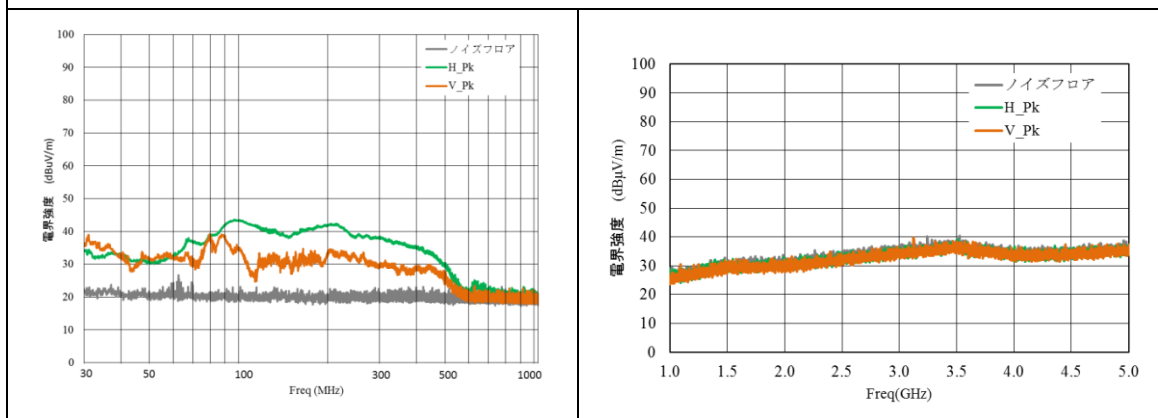


図 3-17 機種Dの測定結果

①a はいずれも微若干高い電界強度値となる傾向にあるが、③の吸収体を噛み合わせて固体ブロックで構成した場合は、いずれも十分に低い電界強度値となる傾向がある。特に、1GHzを超える周波数帯は、ほぼノイズレベルとなった。

(5) 機種 E

①a、①b、②は実施していない。

③吸収体を噛み合わせた場合。地中レーダー高 60cm、吸収体高 60cm

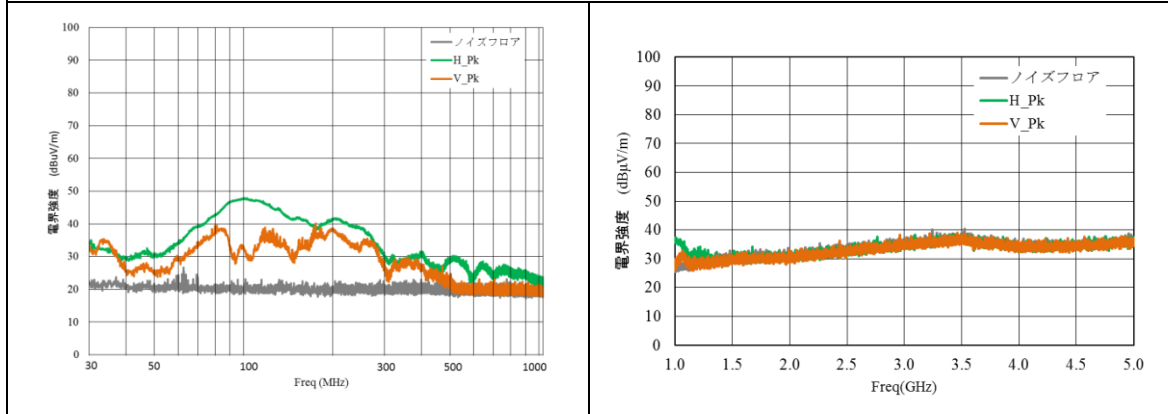


図 3-18 機種 E の測定結果

③の吸収体を噛み合わせて固体ブロックで構成した場合は、十分低い電界強度値となる傾向がある。

(6) 吸収体の置き方による電界強度値の違いについて

図 3-19 に示す通り、図中 (1) は吸収体の吸収特性に期待した構成で、①は吸収体の保護用発泡スチロールを使用して高さ 80cm の尖頭値検波した電界強度のスペクトラムで、②は同じ構成で高さ 60cm とした場合の尖頭値検波した電界強度のスペクトラムである。発泡スチロールを使用して高さを調整しており、高さに依存した電界強度となっていると思われる。

図中 (2) は、吸収体を噛み合わせて構成し、同じ尖頭値検波した電界強度のスペクトラムを③、④に示している。④は②と同じ高さだが、吸収体を噛み合わせた場合にスペクトラムが大きく変わり、電界強度値も小さくなることが確認できた。③は吸収体を噛み合わせて吸収体の上に発泡スチロールで高さ調整し、高さ 80cm としたスペクトラムで、同じ 80cm の高さの①と比較して大きくスペクトラムが変化したが、最大電界強度値は大きく変わらなかった。

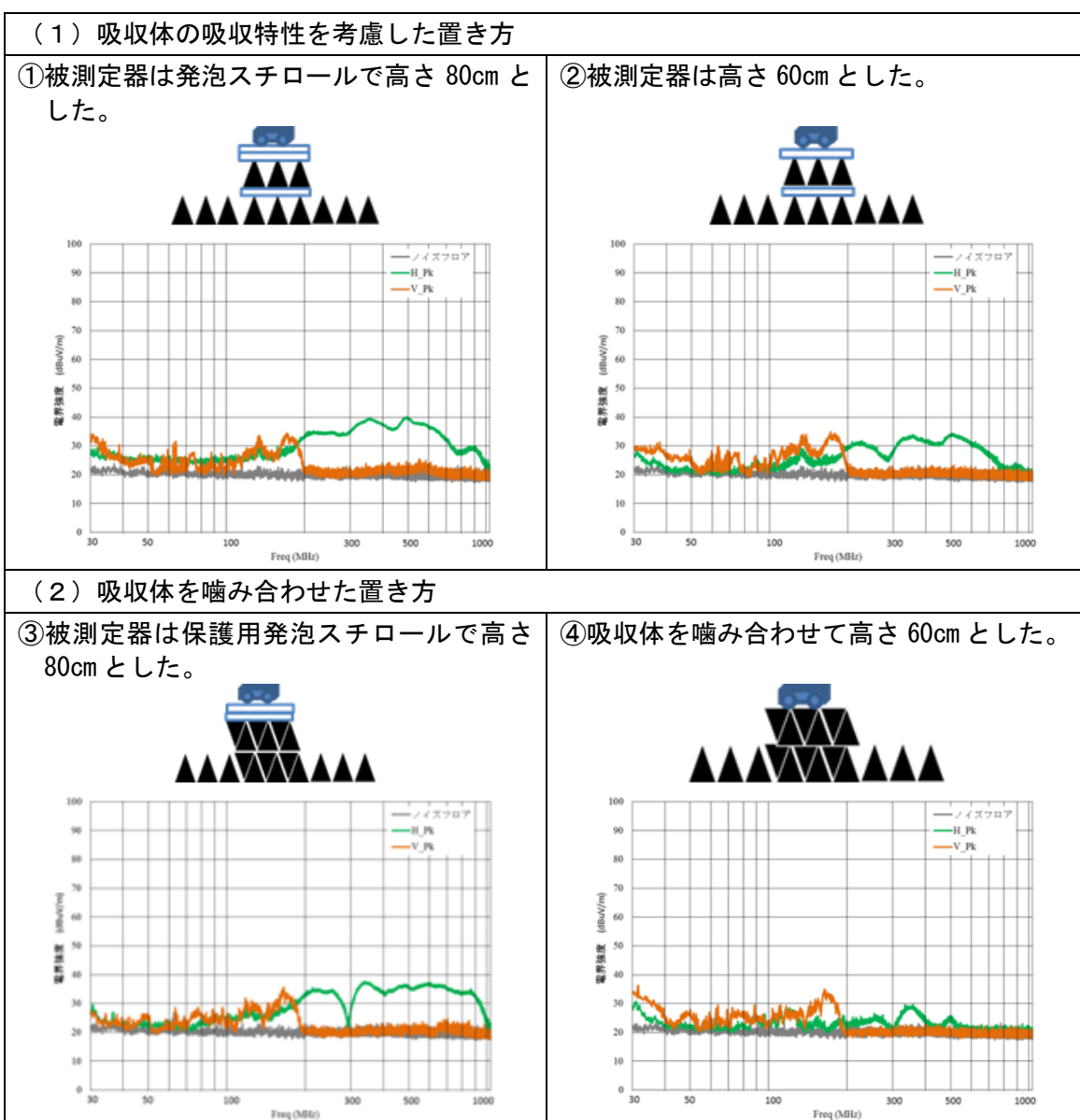


図 3-19 吸収体の構成による電界強度の違い

#### 3.2.4 まとめ

吸収体を使用しない測定と比較し吸収体の特性である吸収特性を活かした置き方では、被測定器からの電波を吸収することで反射波が抑えられていると思われる。吸収体を重ねた測定では、吸収特性よりも吸収体と密着することによる誘電率・導電率の変化により、アンテナの放射パターンが媒質側に鋭くなり、空間への放射が少なくなるとと思われる。

被測定器の輻射面近傍に吸収体を置く事で電界強度値が小さくなる傾向にあることが確認できた。

### 3.3 オープンサイト（ITU-R/FCC 参考）での電气的特性測定

告示第 127 号の測定方法を参考にして、諸外国の標準化機関等で推奨する地中レーダー機器の置き方を参考にオープンサイトで参考測定を行った。

（１）ITU-R SM.1754 1.5 項（2006 年）を参考とする。

GPR の放射は 50cm の深さの Sand bed に向ける。

（２）FCC 02-48 245（April 22, 2002）を参考とする。

GPR の放射は Dry Sand pit へ向ける。

現実的に砂場を構築するのは困難なので、砂袋を重ねた砂場とアスファルトの上に直置きにて測定を行った。一般的に、オープンサイトでは外来波と妨害波の切り分けが非常に難しい。今回は、電界強度測定器（Test Receiver）を用いて周波数を探索して電界強度値を測定している。

#### 3.3.1 測定条件

##### (1) 測定に使用した機器

測定に用いた機器は、  
表 3-12 のとおり。

表 3-12 測定に用いた機器一覧

| 品名                 | 仕様等                                                                                                                             |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| アンテナ               | Biconical Antenna:Schwarzbeck BBA9106、<br>周波数範囲：30-300MHz<br>Log-Periodic Antenna:Schwarzbeck UHALP9108-A、<br>周波数範囲：300～1000MHz |
| EMI レシーバー          | Rohde & Schwarz ESIB7、周波数範囲：20Hz～7GHz                                                                                           |
| 外付けプリアンプ<br>(41dB) | R&K : LA151-RS 周波数範囲：1～6.5GHz、<br>Gain+41dB、Po=+12dBm@4GHz                                                                      |
| ホーンアンテナ            | EATON<br>91888-2、周波数範囲：1～2GHz、<br>91889-2、周波数範囲：1.7～3.6GHz                                                                      |

(2) 測定構成図

オープンサイト実験場所の風景は図 3-20 のとおり。



図 3-20 オープンサイト実験場所写真

### 3.3.2 設置方法

#### (1) 設置条件

設置方法は図 3-21 のとおり。ホーンアンテナを使用する場合は、アンテナをチルトさせて被測定器に向けて測定している。

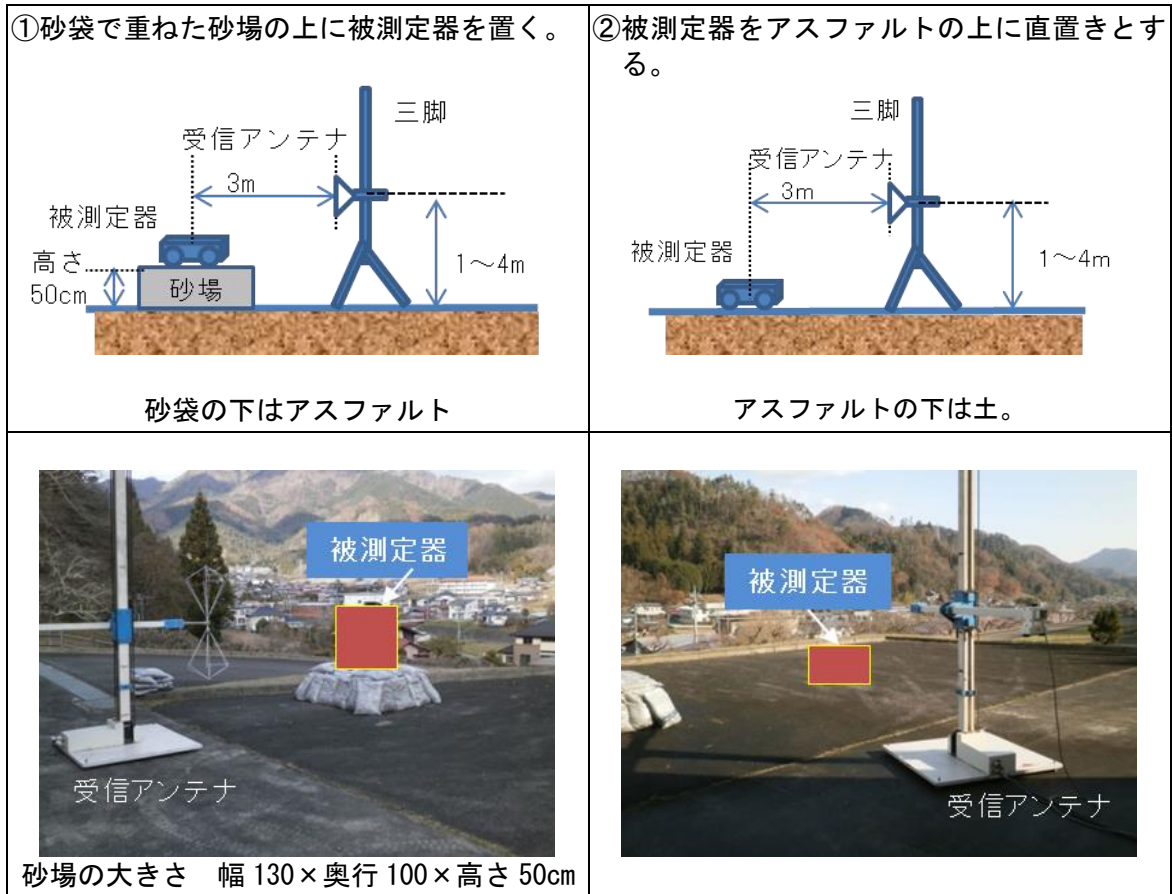


図 3-21 オープンサイトでの測定

#### (2) 砂場の設置について

当初、砂袋が梱包されているビニール袋の上に直接置いて測定したがアスファルトよりも電界強度値が大きかったので中心の 1 袋を破いて、砂面を露出させ、その上に地中レーダー機器を置いた。7dB 程電界強度が小さくなったので、さらに両端の袋を破いて、計 3 袋の砂面を露出させて測定することとした。(ごみ袋に砂を詰めかえた。深さは 5cm である)

砂袋は実験 3 日前に積み上げて砂場を構築した。その為、夜露等で砂が濡れてしまい、かなり水分を含んでしまった状態であった。電界強度値が変化した要因は、現状明確ではないが以下の 2 点が考えられる。一つは水の面がビニールの表面に出来てしまい、かなり高い導電性の反射面が出来てしまった。もう一つは、地面から持ち上げているので、放射波が隙間から出てきて非常に強く空中に放射されるような状況になった事が考えられる。ここでは、砂を他の袋に詰めかえることで電界強度値が下がった。その時の写真は図 3-23 のとおり。砂場の露出状態による電界強度値は図 3-25 のとおりで、電界強度が小さくなる図 3-24 の状態で測定を実施した。

実験に用いた砂は図 3-22 のとおり。



図 3-22 川砂

ホームセンターで販売されている川砂を積み上げて、高さ 50cm の砂場を構築して実験を行った。実験で使用したのは 80 袋で、1.6 t の重さになる。砂場の大きさは、幅 130cm × 奥行 100cm × 高さ 50cm となる。



図 3-23 当初の砂袋の設置状況



図 3-24 最終的な砂場の写真

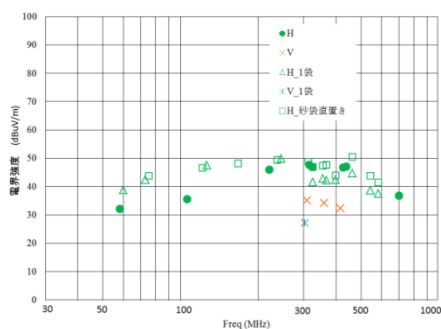


図 3-25 砂袋の露出状況による電界強度の差

- 3 袋露出した砂面
- △ 1 袋だけ露出した砂面
- 砂袋の上に直置き

### (3) 砂場の大きさについて

砂場がもっと大きい場合を疑似的に確認するため、砂場の周辺に吸収体を置いて電界強度の変化を確認した。図 3-26 のとおり、吸収体を置いてみると電界強度が 10dB 程度下がることが確認できた。これは、反射波の影響であると思われる。

このことから、砂場は受信アンテナまで面的に大きい事、地表からかさ上げしないことが必要条件と思われる。

ITU-R SM.1754 では Sand bed、FCC 02-48 245 では Sand pit と記載されており、どちらの勧告でも深さ 50cm となっているが、大きさについては記載されていない。

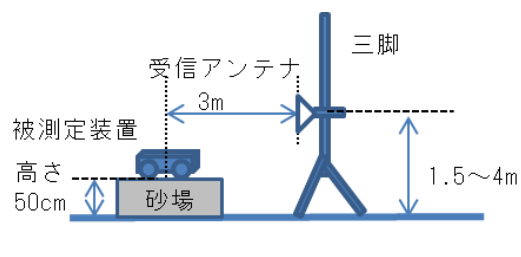
また、袋の状態だと夜露の影響で砂袋の中に水分が溜まってしまい誘電率が変化する可能性もある。その為、砂の品質管理が必要となり、屋外で管理するのは困難であると思われる。



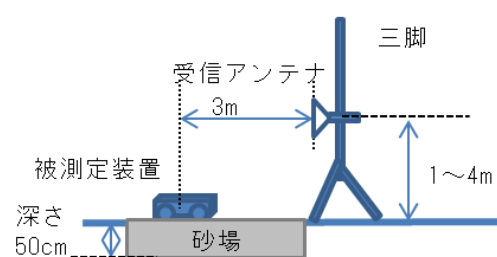
本実験の砂場での測定写真例



反射の影響を確認するため、受信アンテナと砂場の間に吸収体を横に置いてみたが電界強度値に変化はなかったが、砂袋に近づけて吸収体を縦に置いてみたところ、10dB 程度電界強度値が下がった。このことから、受信アンテナまで、面的に砂場である必要があることが確認できた。



※アスファルトの上に砂袋を重ねた砂場  
(Sand bed)



※地面に穴を掘って砂をまいた砂場  
(Sand Pit)

図 3-26 砂場の大きさの検討

### 3.3.3 測定結果

オープンサイトでの測定結果は以下のとおりです。

図 3-27 オープンサイトのノイズレベル測定例

図中の「測定不可」は、レベルが低くて測定出来なかった事を示す。

準尖頭値検波により探し出した周波数と電界強度値を示すが、参考として尖頭値検波したスペクトラムを示す。

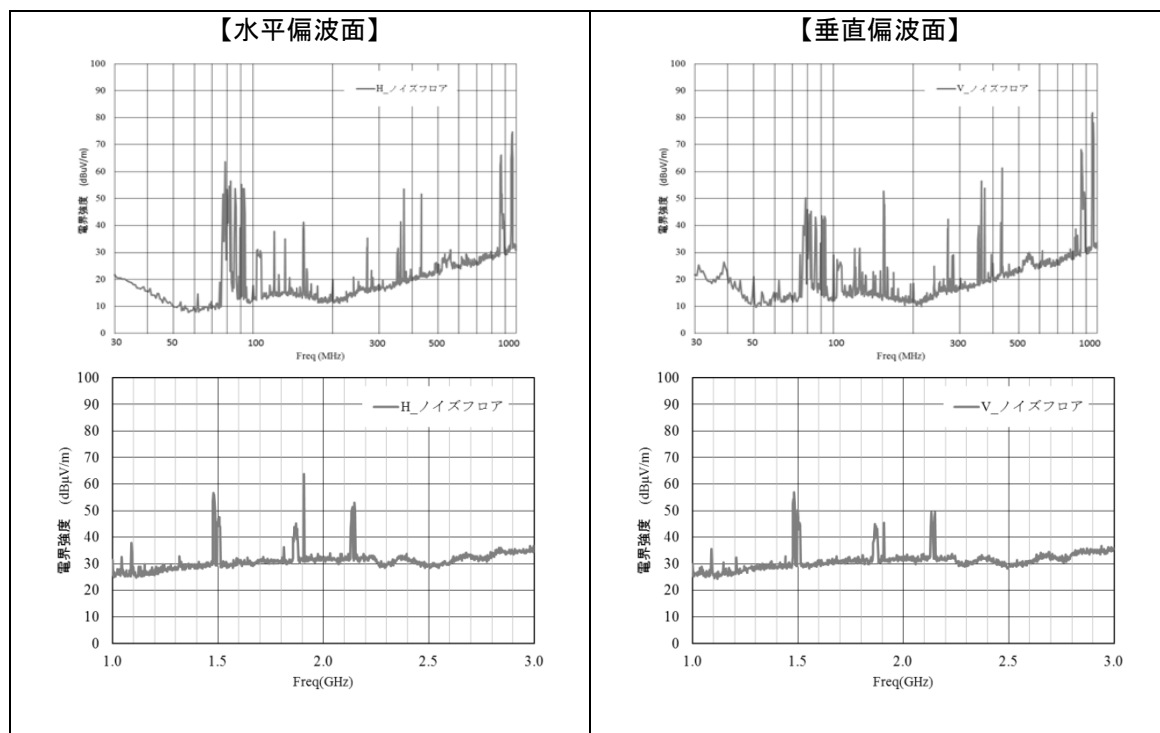


図 3-27 オープンサイトのノイズレベル測定例

(1) 機種 A

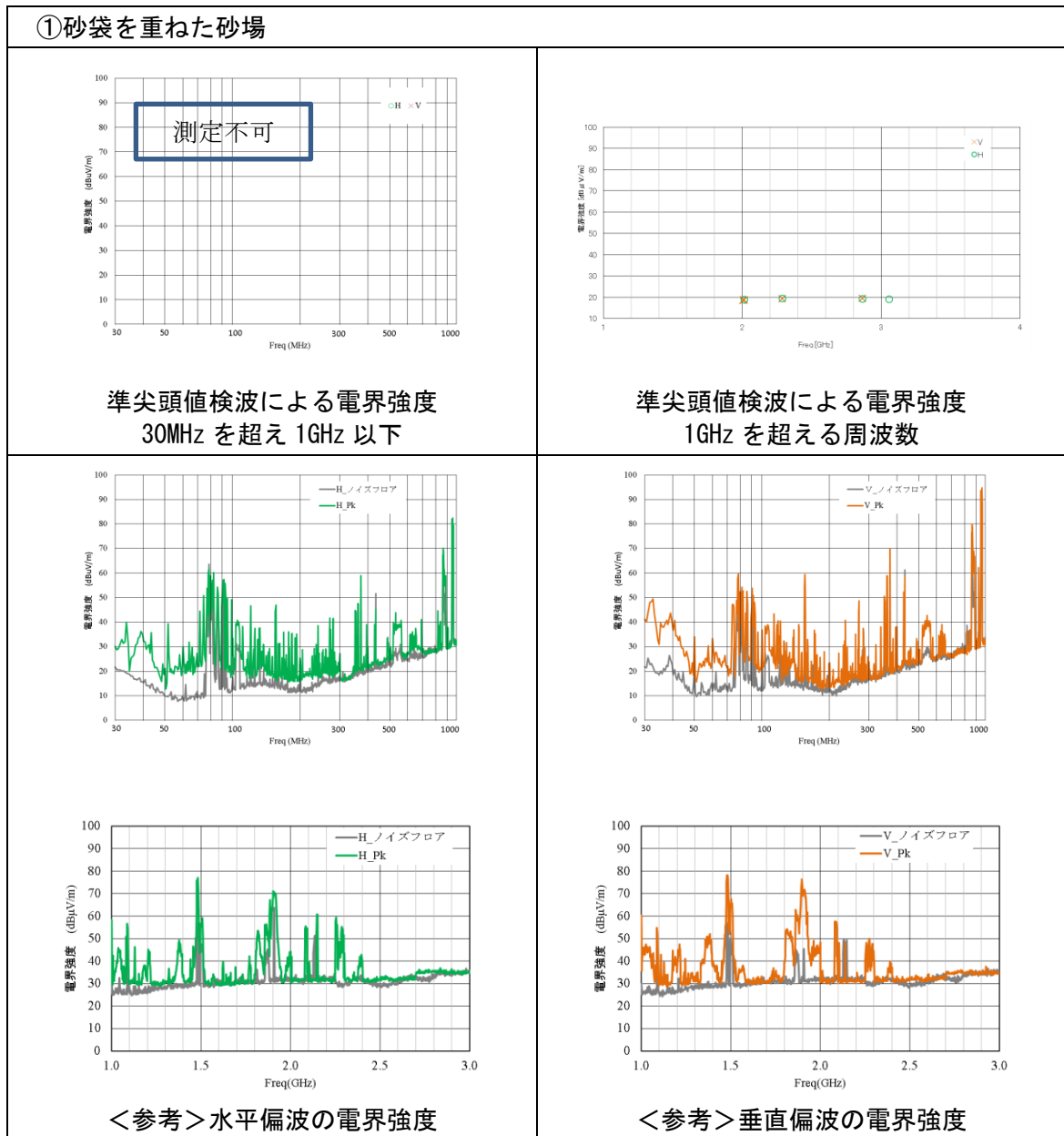
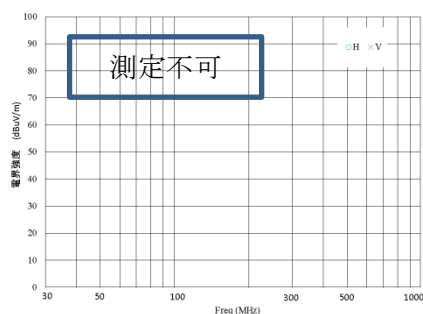
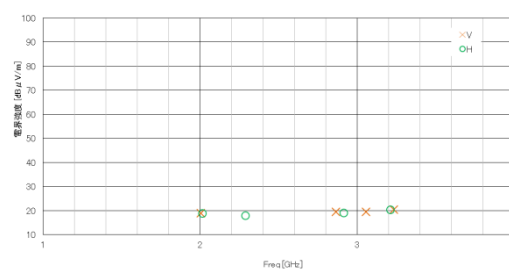


図 3-28 機種 A のオープンサイト測定結果 (砂場)

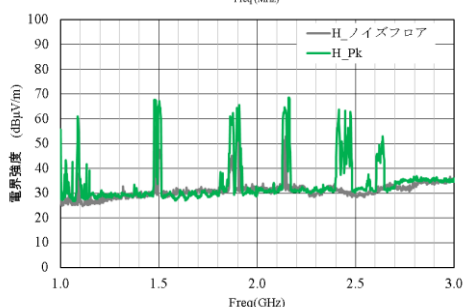
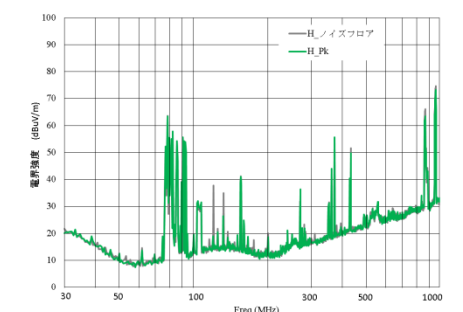
## ②アスファルト直置き



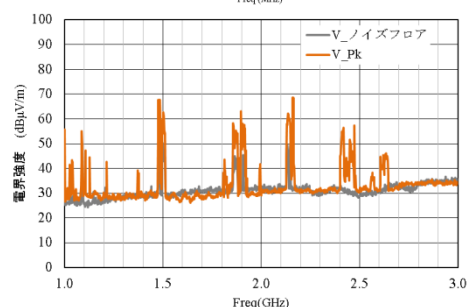
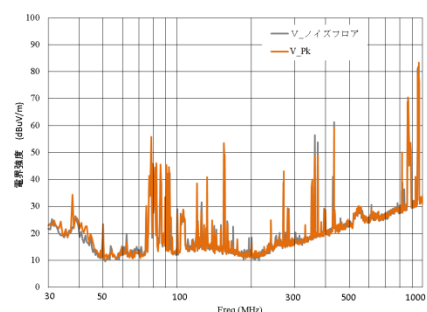
準尖頭値検波による電界強度  
30MHz を超え 1GHz 以下



準尖頭値検波による電界強度  
1GHz 以上の周波数



<参考>水平偏波の電界強度



<参考>垂直偏波の電界強度

図 3-29 機種Aのオープンサイト測定結果（スファルト）

①砂場、②アスファルトの上直置きは、30MHz を超え 1GHz 以下では地中レーダー機器からの電波が弱く測定できなかった。1GHz を超える周波数帯では十分小さい電界強度値である傾向である。

### 3.3.4 まとめ

- (1) オープンサイトでは外来雑音が大きく、一般的に準尖頭値検波した電界強度値を用いており、広帯域に電波を利用する無線設備の測定には適さない。
- (2) オープンサイトでは外来波と妨害波の切り分けが非常に難しい。今回は、電界強度測定器（Test Receiver）を用いて周波数を探索して電界強度値を測定しており、豊富な測定経験と高度な測定技術を要する。
- (3) 砂袋で構築した砂場は、かさ上げすることなく、受信アンテナの近くまで面的に大きく、砂の乾燥状態を保つ為の管理が必要である。

### 3.4 電气的特性的まとめ

#### 3.4.1 スペクトラムの比較

測定条件を変えた3種類の測定を行った。機種毎のスペクトラムを以下のとおり示す。

##### (1) 機種A

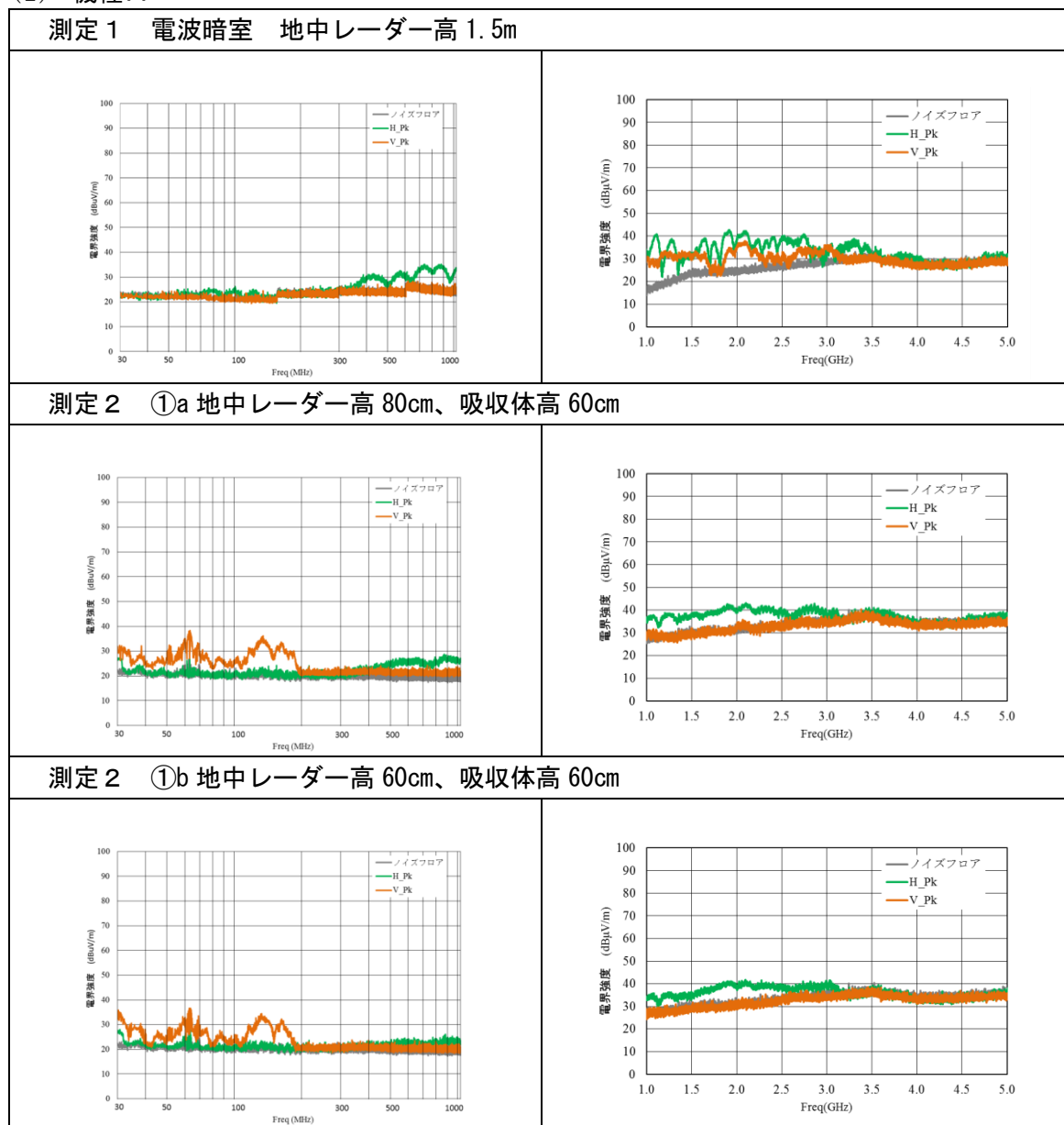


図 3-30 機種Aの測定結果一覧その1

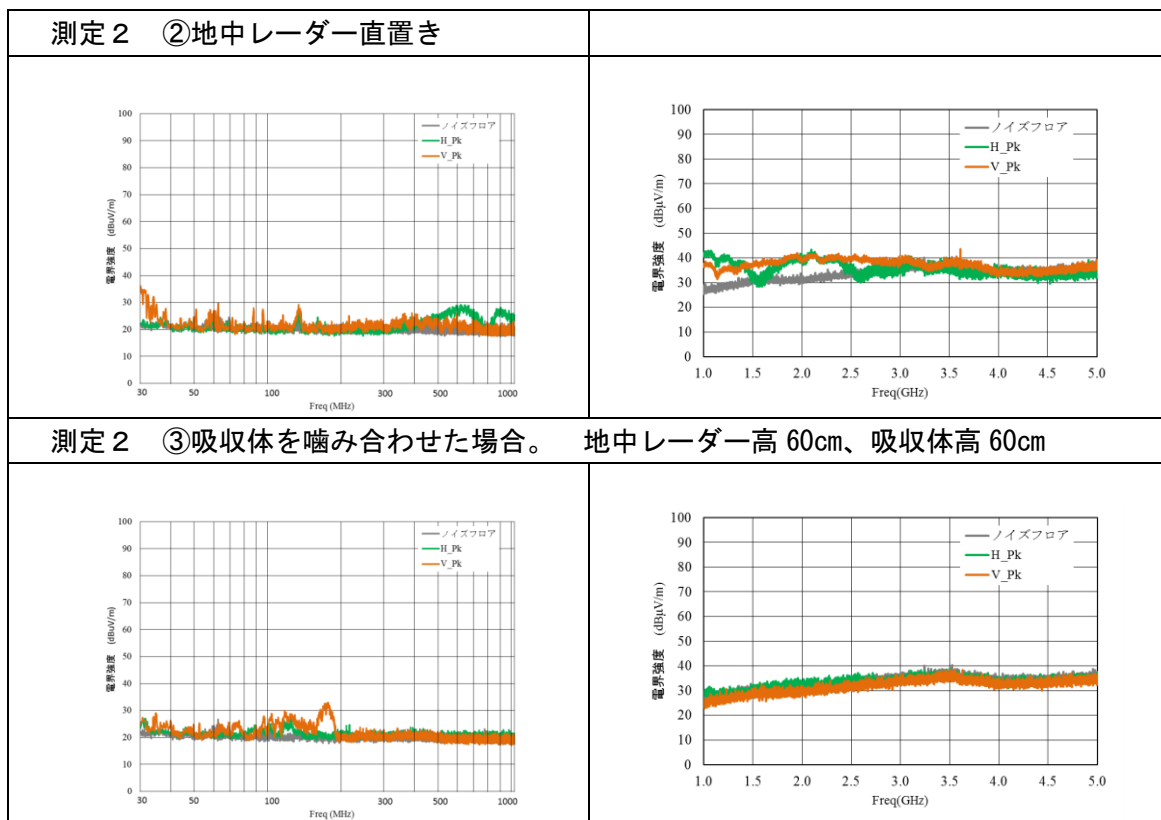


図 3-31 機種 A の測定結果一覧その 2

30MHz を超え 1GHz 以下の帯域では、

- ・測定 1 よりも測定 2 で吸収体に向けて電波を放射することで電界強度値が小さくなる傾向にある。さらに、被測定器 80cm よりも 60cm の設置高が電界強度値が小さくなる傾向にある。また、測定 2 ③の吸収体の置き方を変えた場合にはさらに電界強度値が小さくなる傾向がある。

1GHz を超える帯域では、

- ・測定 1 よりも測定 2 で吸収体に向けて電波を放射することで電界強度値が小さくなる傾向がある。
- ・測定 2 ③の吸収体の置き方を変えた場合は、さらに電界強度値が小さくなりほぼノイズレベルとなった。

## (2) 機種B

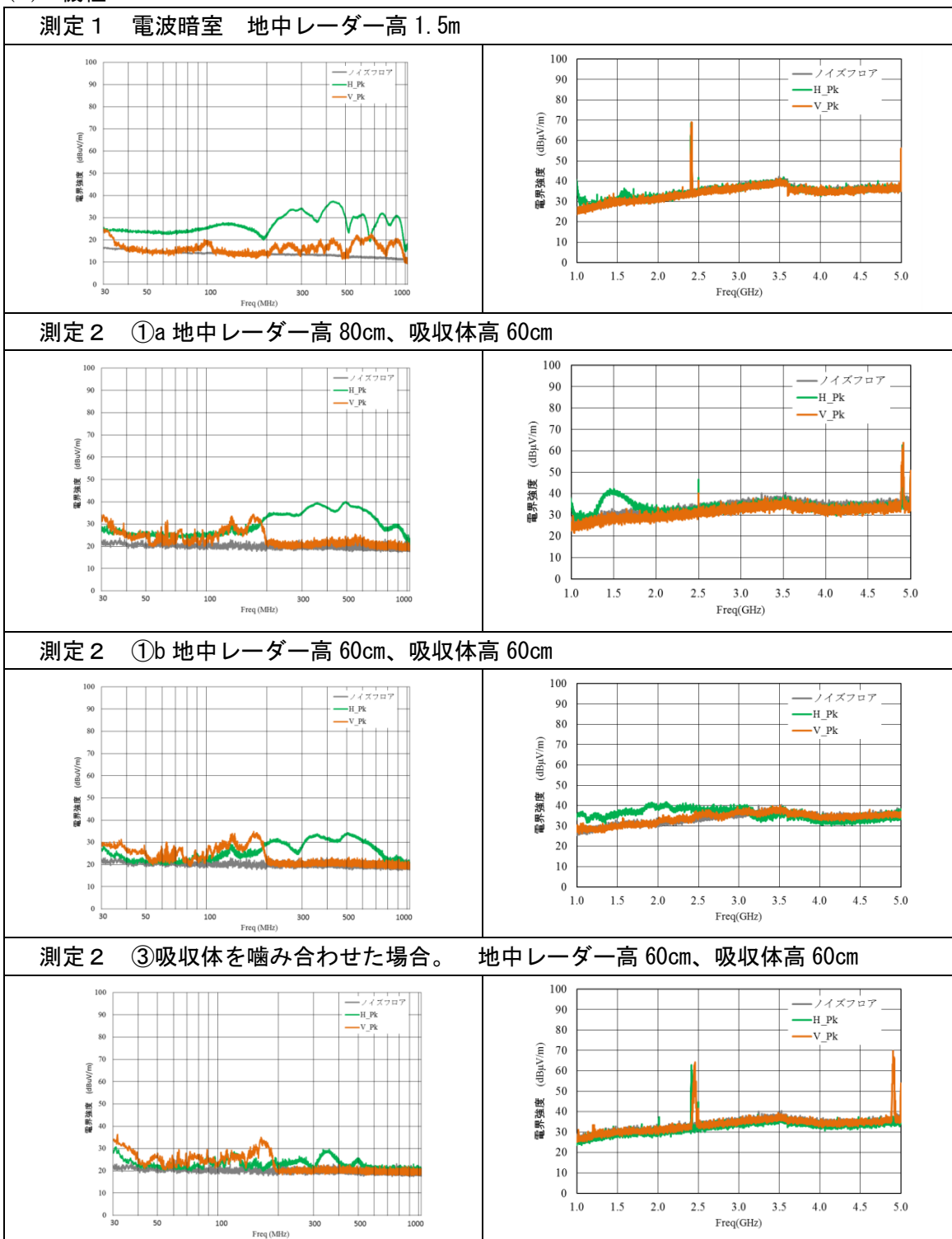


図 3-32 機種Bの測定結果一覧

30MHz を超え 1GHz 以下の帯域では、

- ・ 測定 1 よりも測定 2 で吸収体に向けて電波を放射することで電界強度値が小さくなる傾向がある。さらに、被測定器 80cm よりも 60cm の設置高が電界強度値が小さくなるのが判った。また、測定 2 ③の吸収体の置き方を変えた場合にはさらに電界強度値が小さ

くなる傾向がある。  
1GHz を超える帯域では、

- ・測定 1 よりも測定 2 ①は、電界強度値が一部大きくなっている。
- ・測定 2 ③の吸収体の置き方を変えた場合は、電界強度値が小さくなり、ほぼノイズレベルとなった。

※測定 2 ②は実施してない。

### (3) 機種C

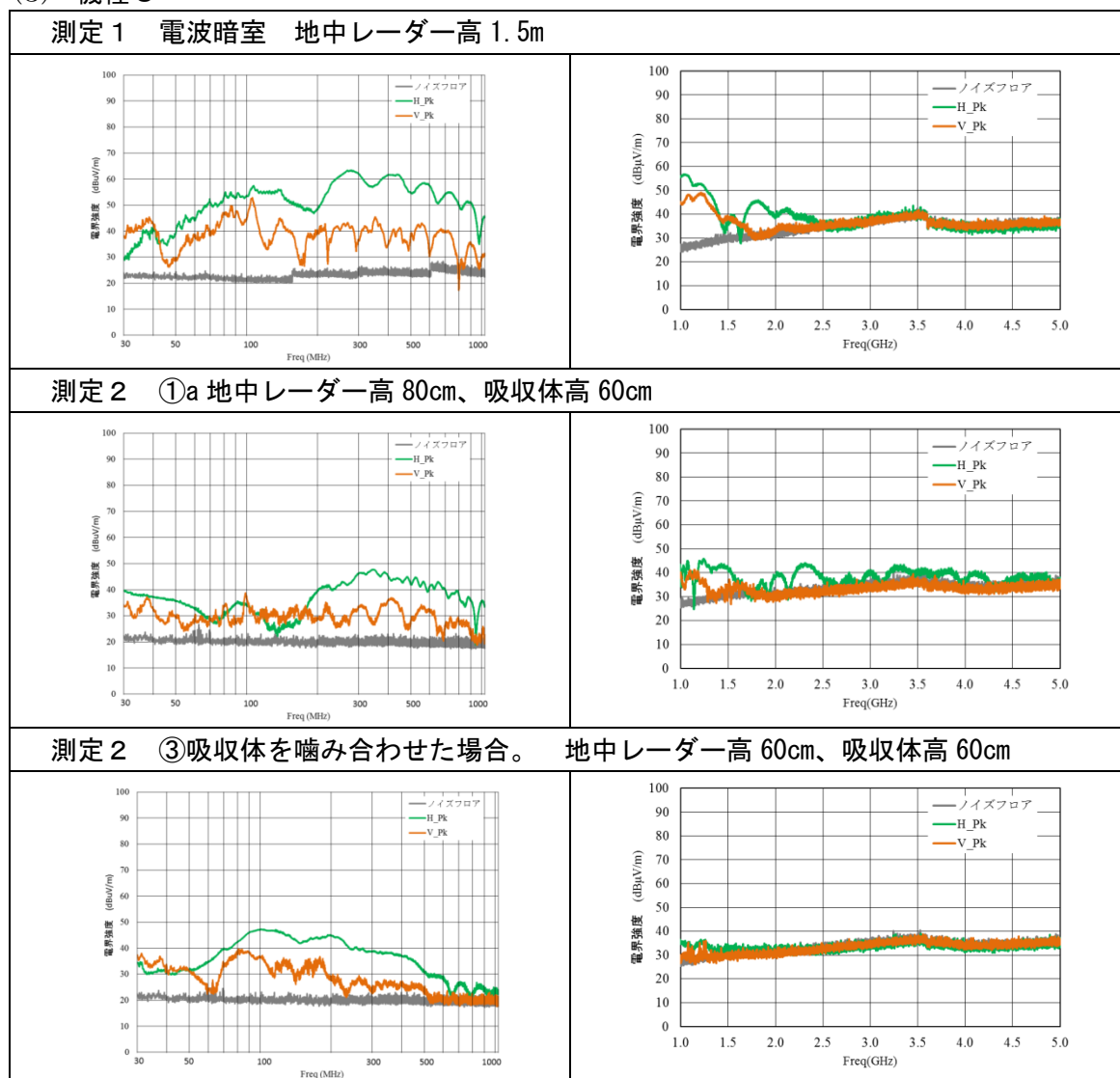


図 3-33 機種Cの測定結果一覧

30MHz を超え 1GHz 以下の帯域では、

- ・ 測定 1 よりも測定 2 で吸収体に向けて電波を放射することで電界強度値が小さくなる傾向がある。また、測定 2 ③の吸収体の置き方を変えた場合にはさらに電界強度値が小さくなる傾向がある。

1GHz を超える帯域では、

- ・ 測定 1 よりも測定 2 で吸収体に向けて電波を放射することで電界強度値が小さくなる傾向がある。
- ・ 測定 2 ③の吸収体の置き方を変えた場合は、電界強度値は小さくなり、ほぼノイズレベルとなった。

※測定 2 ①b と測定 2 ②は実施してない。

#### (4) 機種D

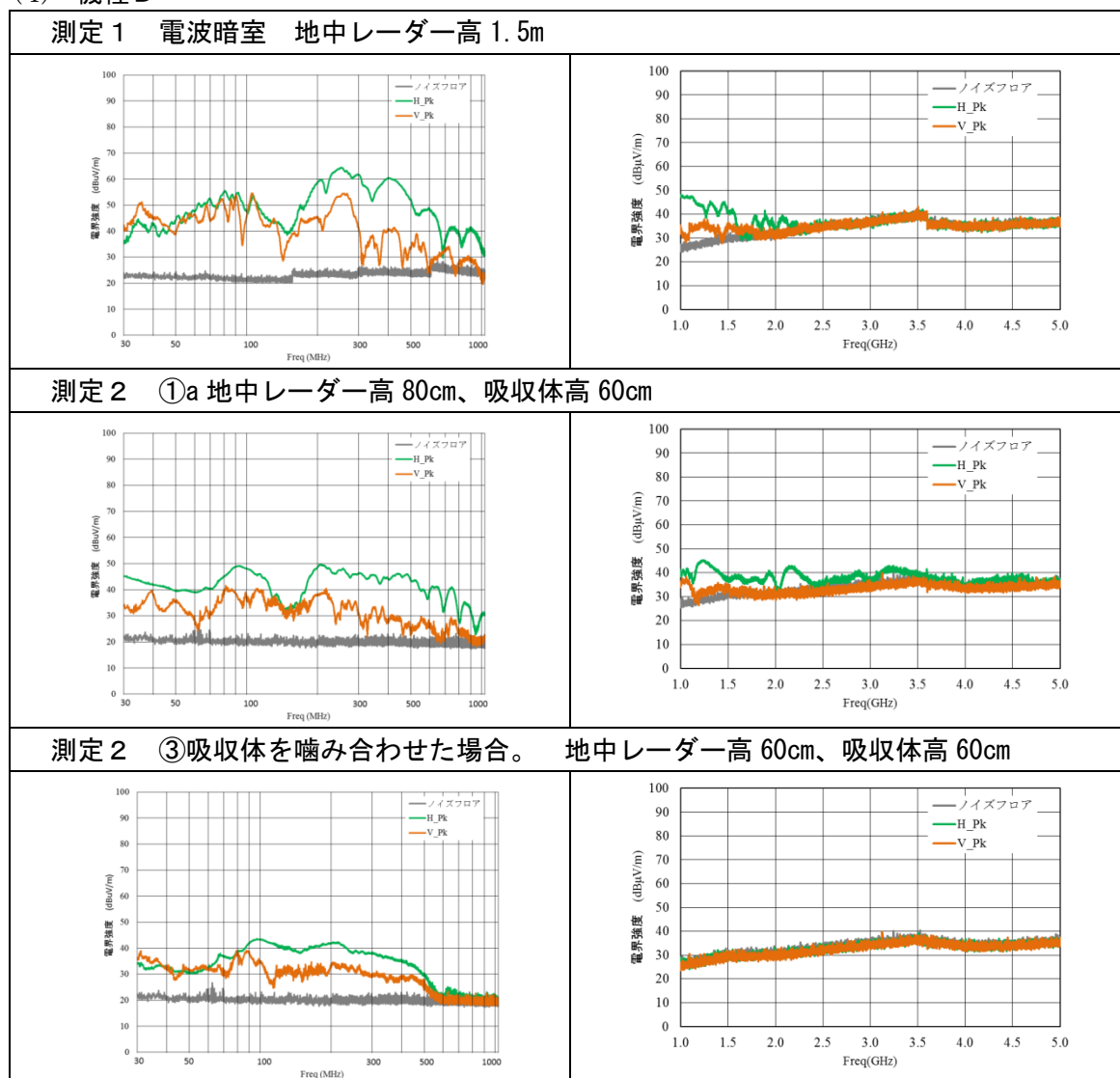


図 3-34 機種Dの測定結果一覧

30MHz を超え 1GHz 以下の帯域では、

- ・ 測定 1 よりも測定 2 で吸収体に向けて電波を放射することで電界強度値が小さくなる傾向がある。また、測定 2 ③の吸収体の置き方を変えた場合にはさらに電界強度値が小さくなる傾向がある。

1GHz を超える帯域では、

- ・ 測定 1 よりも測定 2 で吸収体に向けて電波を放射することで電界強度値が小さくなる傾向がある。
- ・ 測定 2 ③の吸収体の置き方を変えた場合は、電界強度値は小さくなり、ほぼノイズレベルとなった。

※測定 2 ①b と測定 2 ②は実施してない。

(5) 機種E

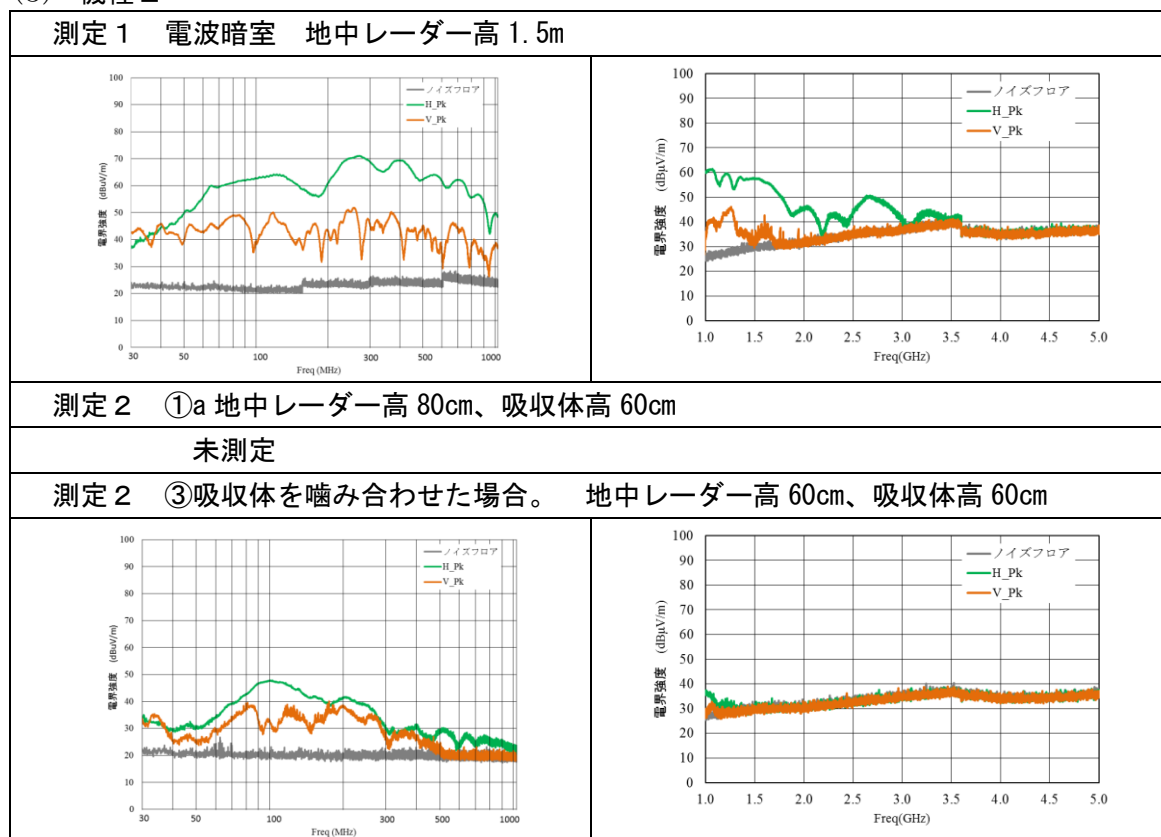


図 3-35 機種Eの測定結果一覧

30MHz を超え 1GHz 以下の帯域では、

- ・測定 1 よりも測定 2 ③で吸収体の置き方を変えた場合には電界強度値が小さくなる傾向にある。

1GHz を超える帯域では、

- ・測定 1 よりも測定 2 ③で吸収体の置き方を変えた場合には電界強度値が小さくなる傾向にある。

※測定 2 ①と測定 2 ②は実施してない。

測定 1 を基準に電界強度値を比較すると、測定 2 の電界強度値は小さくなる傾向が確認できた。電界強度値が変動するのは、設置条件（主に媒質）によってアンテナ放射パターンが媒質側に鋭くなり、空間への放射が小さくなっている為と想定され、媒質の誘電率により、その差が顕著に現れたと思われる。また、誘電率だけでは無く、被測定器の設置高が高いほど直接波・反射波の影響を受けていると思われる。

### 3.4.2 地中レーダー機器の放射パターンについて

FDTD (Finite-difference time-domain) シミュレーションによる電磁界数値シミュレーションによる、媒質からの距離の影響と比誘電率の変化による放射パターンについて参考文献の情報を記載する。

(註) 媒質近傍に置かれたアンテナからの電磁波放射 —地中レーダーへの応用—  
佐藤 源之、高橋 一徳、麻谷 由香、飯塚 泰  
信学技報 IEICE-EMT2015-20

周波数 500MHz、ダイポールアンテナ長 30cm、比誘電率  $\epsilon_r=9$ 、媒質上  $d=5/10/200\text{mm}$  に置かれた半波長ダイポールアンテナについて、アンテナから 700mm 離れた位置での E 面放射電界強度を示す。シミュレーションの計算モデルを図 3-36 に示す。

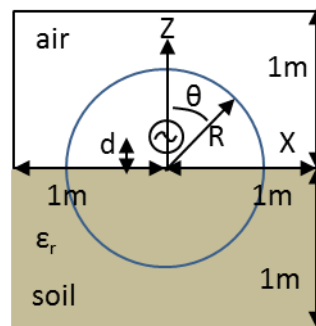


図 3-36 FDTD シミュレーションの計算モデル

アンテナを損失の無い誘電体、この場合は電波吸収体ではなくて完全に乾燥した砂とかを考えている。その上に置いた時の放射パターンを考えると、これは本来、上側と下側は空中であれば対称になるが、媒質があることによって、媒質側に引っ張られる効果がある。これは、純粋に誘電体の効果だけを考えた場合のことだけ示している。

一般的に吸収体を置くと電波を吸収する効果が吸収体にあるから、それによって不要輻射は低減される。

電磁界解析による放射パターン例を図 3-37 に示す。

(a)、(b) は同じ比誘電率であるが、媒質からの距離が異なる例で、距離が小さいほど媒質側に放射パターンが広がり、空間への放射が小さくなる。媒質から距離が離れると、空間の放射が大きくなることがシミュレーション結果として示されている。

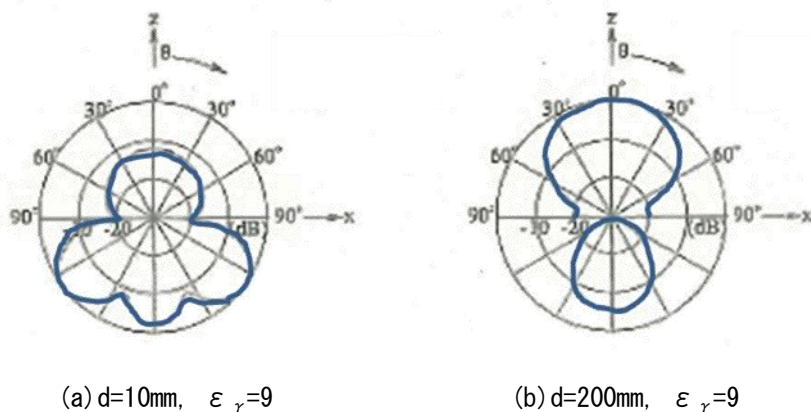


図 3-37 電磁界解析による放射パターン例 (a)、(b)

電磁界解析による放射パターン例を図 3-38 に示す。

(c)、(d) は、媒質と距離が同じ条件で、比誘電率が異なる場合の例を示しており、比誘電率が高いほど媒質側の放射パターンが鋭くなり、空間の放射パターンも小さくなることが示されている。

このことから、地中レーダー機器の電気的特性を評価するには、誘電率がある程度一定であり、媒質に近づけて測定することが必要である。

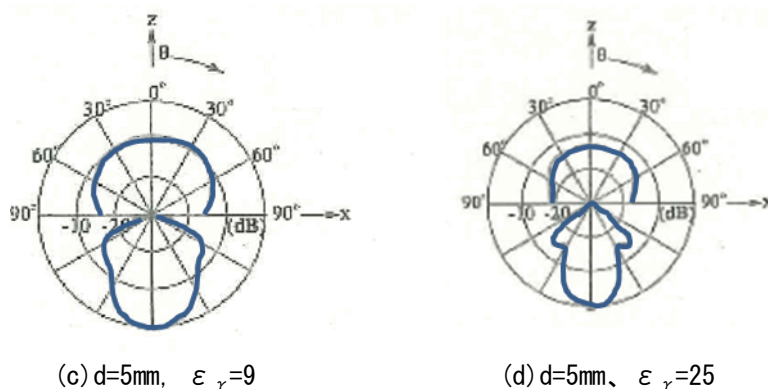


図 3-38 電磁界解析による放射パターン例 (c)、(d)

### 3.4.3 電気的特性測定結果の考察

- (1) 地中レーダー機器の輻射面の方向、媒質との距離、媒質の誘電率等により電界強度値が大きく変動する傾向が 確認出来たので、実利用状況に近い状態での測定が望ましい。
  - 測定 1 における輻射面の状況の違い（輻射面を開放した場合と地表等へ正対させた場合）による測定結果では、他の無線局への影響を考慮すると、実利用状況が地表等の媒質に向けて電波を発射することから、輻射面を媒質に向けた状態で測定することが望ましい。
  - 測定 2 の結果から、地中レーダー機器と媒質の間の空間量により電界強度値が異なる傾向があり、これは直接波と反射波の影響によるもの及び媒質の誘電率等でアンテナ放射パターンが変わることによるものと思われる。したがって、地中レーダー機器の実利用状況に近い状態で媒質である吸収体等と密着した測定が望ましい。
- (2) 安定した測定環境が望ましい。
  - オープンサイトでは外来雑音が大きく、一般的に準尖頭値検波した電界強度値を用いており、広帯域に電波を利用する無線設備の測定には適さないため、電波暗室等で行うのが望ましい。
  - 安定した測定を行うには、屋内等などで誘電率などが一定に保てる媒質としての吸収体等を活用する測定環境が望ましい。

## 4 検討とりまとめ

今回の調査検討を踏まえ、技術的、制度的な検討及び測定方法、測定条件の検討を行ったところ以下のとおりである。

### (1) 技術的、制度的検討

地中レーダーは前述のとおり、地面や壁面に密着した状態で電波を発射して地中や壁中の対象物を計測（検知）するものであり、地面や壁面以外の方向へ電波を発射する必要性はないため、電波の輻射は特定の方向に限定され、それ以外の方向に輻射面が向いた場合には電波発射を抑制することが肝要である。

また、地中レーダーは広範囲の周波数帯を使用することから、広範囲に渡る多数の無線局に混信を与えずに運用する必要があるため、通常の運用状態であってもできるだけ空間へ輻射される電波を抑制することで他の無線システムとの周波数共用を図ることが肝要である。

このため、輻射面が被測定物の方向以外に向いた場合には、自動的に電波の発射を停止する機能やロック機能を備えることが適当であり、例えばこの機能としては、地中レーダーの輻射面にスイッチを取り付け、輻射面が地面等に密着している場合にのみ送信機の電源が入る仕組みなどが考えられる。

また、輻射面以外の筐体のシールドを強化するなどして筐体から発射される電波を可能な限り抑制することや、RR で分配されている電波発射禁止帯域は電波を発射せずに計測可能とする技術的能力を備えることも必要と考えられる。

なお、他の無線システムとの周波数共用にあつては、電波法施行規則第6条第1項にある微弱無線設備の規定値以下であれば一定程度の周波数共用が可能と考えられることから、基本的には地中レーダーから輻射される電波はこの規定値を満足することが適当と考えられる。しかし、今後の利用ニーズから高出力の地中レーダーが求められる場合も想定され、この場合には他の無線システムとの運用を調整しながら周波数共用を図ることから、地中レーダーの運用者の特定、運用状況の把握などを可能とするために無線局制度面における対処も必要と考えられる。

（註）RR（RR: Radio Regulations）で、ITU-Rにより定められている。

### (2) 測定方法、測定条件の検討

地中レーダーは対象物の探査距離や分解能を確保する為に、前述のとおり広範囲の周波数を使用するシステムであり、使用する周波数は、地中レーダーの特性を決める上で非常に重要となり、50MHz～4.5GHzの広範囲な周波数を使用している。

この様に地中レーダーの周波数が広帯域を使用するものであり、他の無線システムとの円滑な共用を図るためには前述のとおり微弱規定値以下が望ましい。このため電波法施行規則第6条第1項に規定する「発射する電波が著しく微弱な無線局の電界強度の測定方法」（告示第127号）による測定方法が定められている。

しかしながら、地中レーダーが地面や壁面に密着して電波を発射する特殊な利用をする装置であること、密着した媒質によりアンテナ放射パターンが変わる等から、現在の告示による測定方法は、地中レーダーの実利用状態とは異なる状態での測定になっている。

従って今後の地中レーダーの電界強度測定については、ITU-RやFCC等の測定方法（輻射面の媒質への密着、砂場や吸収体の使用の推奨等）を参考とし、実際の利用状態を考慮して地中レーダーに相応しい測定方法、測定条件の検討が望ましい。

また、これまでの測定結果及び考察より、安定した測定を行うには、誘電率等を一定に保った電波暗室等の屋内での測定環境の確保が肝要であり、電波暗室等における吸収体等を使用した場合の詳細な測定方法、測定条件の検討が望ましい。





# 資料

## 資料 1 開催要綱

### 「地中レーダー技術に関する調査検討会」 開催要綱

#### 1 名 称

本調査検討会は、「地中レーダー技術に関する調査検討会」（以下「検討会」という。）と称する。

#### 2 目 的

地中レーダー技術は、地中又は地表面の状況など電波を利用することにより把握することが可能なレーダーシステムである。近年、機器の小型化や信号処理技術の向上等により、様々な目的や形態での利用が進んでいる。特に東北地域における東日本大震災の復興工事に伴う道路面の損傷を効率的な把握や公共インフラの老朽化等に伴うメンテナンス分野等、今後の利用拡大が期待されている。

地中レーダー技術の利用拡大に備え、空間に放射する電波が微弱である事から無線局免許を不要とされている機器を含め、多様な製品の諸元や形状、使用方法等で類型化、各モデル毎の電波強度等の電気的特性を調査・分析し、他の無線局との周波数共用技術条件及び適正な電波環境を担保するために必要な要件等についての検討を行う。

#### 3 調査検討事項

- (1) 地中レーダー技術の利活用の動向
- (2) 地中レーダー機器等の電気的特性
- (3) 他の無線局との周波数共用技術条件、適正な電波環境を担保するための必要な要件等
- (4) その他関連事項

#### 4 構 成

- (1) 検討会は、東北総合通信局長が委嘱する委員により構成する。
- (2) 座長及び副座長は、東北総合通信局長が指名する者とする。

#### 5 運 営

- (1) 検討会は、座長が開催し、主宰する。
- (2) 座長は、必要に応じて関係者を招聘することができる。
- (3) 副座長は、座長の補佐を行う。
- (4) その他、運営に関する事項は座長が定める。

#### 6 開催期間

第1回調査検討会を開催する平成28年7月20日から平成29年3月30日までとする。

#### 7 事務局

検討会の事務局は、東北総合通信局無線通信部企画調整課に置く。

以上

## 資料2 構成員一覧

地中レーダー技術に関する調査検討会 構成員  
[五十音順 敬称略] 委員17名

|     | 団体名                                                  | 役 職                        | 氏 名                                                                              |
|-----|------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 座長  | 国立大学法人東北大学<br>東北アジア研究センター                            | 教授                         | さとう もとゆき<br>佐藤 源之                                                                |
| 副座長 | 国立研究開発法人情報通信研究機構<br>電磁波研究所 電磁環境研究室                   | 主任研究員                      | ごとう かおる<br>後藤 薫                                                                  |
|     | ボッシュ株式会社<br>電動工具事業部マーケティング部                          | ゼネラル<br>マネージャー             | おかだ あきひろ<br>岡田 成弘                                                                |
|     | 日本無線株式会社 通信機器事業部<br>オートモーティブ企画グループ                   | 担当部長                       | さとう ただし<br>佐藤 忠                                                                  |
|     | 株式会社<br>トーキンEMCエンジニアリング                              | 主任                         | さとう みのる<br>佐藤 稔                                                                  |
|     | 応用地質株式会社<br>計測システム事業部                                | 副事業部長 兼<br>開発部長            | さ の こう<br>佐野 康                                                                   |
|     | 一般財団法人テレコムエンジニアリング<br>センター 電磁環境・校正事業本部               | 電磁環境試験部長                   | さ の こうじ<br>佐野 康二                                                                 |
|     | 川崎地質株式会社<br>戦略企画本部 技術企画部                             | 課長                         | すずき けいいち<br>鈴木 敬一                                                                |
|     | 株式会社光電製作所<br>産機営業部                                   |                            | すずき もりお<br>鈴木 盛雄                                                                 |
|     | 株式会社<br>RSダイナミックス・ジャパン<br>営業技術課                      | 課長                         | すずむ まさあき<br>進 正明                                                                 |
|     | 日本信号株式会社<br>ビジョナリービジネスセンター<br>EMS事業推進部               |                            | せんが あつお<br>千賀 敦夫                                                                 |
|     | 株式会社ジオファイブ                                           | 専務取締役                      | ながい のぶひと<br>永井 延史                                                                |
|     | 三井造船株式会社<br>機械・システム事業本部<br>社会インフラ総括部 営業グループ          | 主管                         | ば ば さとし<br>馬場 聡                                                                  |
|     | 日本ヒルティ株式会社 技術本部<br>東日本プロジェクト開発課                      | キープロジェクト<br>グループ<br>マネージャー | (H28.7.20 から 9.30 まで)<br>ひさとみ しんご<br>久 富 真悟<br>(H28.10.1 より)<br>みずおち じゅん<br>水落 潤 |
|     | 一般社団法人日本非開削技術協会<br>地下探査技術委員会 委員<br>(株式会社NTEC 東日本営業所) | テクニカル<br>マネージャー            | ますだ じゅんいち<br>増田 順一                                                               |
|     | ジェイアール東日本コンサルタンツ<br>株式会社                             | 取締役<br>防災計画部長              | もりしま ひろゆき<br>森島 啓行                                                               |
|     | 株式会社パスコ<br>パスコ総合研究所                                  | 上級主任研究員                    | よしむら みつのり<br>吉村 充則                                                               |

### 資料3 調査検討会開催状況

| 回   | 開催日時                             | 開催場所                    | 議事概要                                                                                                                                               |
|-----|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第1回 | 平成28年<br>7月20日(水)<br>15:00~17:00 | 仙台駅前ヒューモスファイヴビル8F大会議室   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・調査検討会のスケジュールについて</li> <li>・地中レーダー機器の測定方法について</li> </ul>                                                    |
| 第2回 | 平成28年<br>11月1日(火)<br>13:20~15:25 | 仙台駅前ヒューモスファイヴビル8F大会議室   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地中レーダー機器の測定結果について</li> </ul>                                                                               |
| 第3回 | 平成29年<br>2月14日(月)<br>12:30~14:30 | 東北大学サイバーサイエンスセンター5F大会議室 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・地中レーダー機器の測定結果について</li> <li>・報告書(案)について</li> </ul> ※14:30~15:00に東北大学サイバーサイエンスセンター及び木造建造物非破壊検査用実験施設見学会が行われた。 |
| 第4回 | 平成29年<br>3月13日(月)<br>13:30~15:30 | 仙台駅前ヒューモスファイヴビル8F大会議室   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・報告書のとりまとめについて</li> </ul>                                                                                   |



第1回調査検討会



第2回調査検討会



第3回調査検討会



第4回調査検討会



## 参考資料

## 参考資料１ アンケート結果

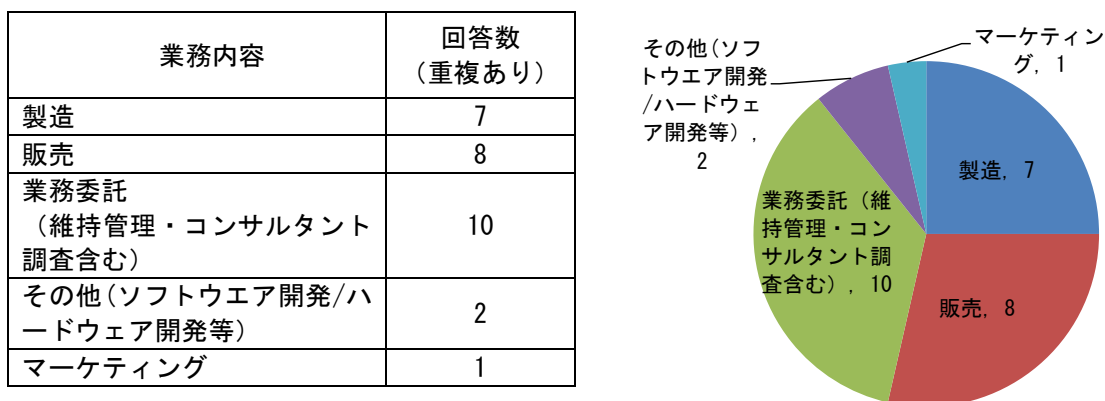
国内の地中レーダー機器の使用実態を調査するため、構成員 13 事業者及び J-GPR（コンソーシアム）13 事業者の合計 26 事業者に対しアンケートを行った。

アンケート結果は以下のとおりだが、地中レーダー機器の諸元、利用状況に関して、一部公けに出来ない事情もあり公開可能な情報のみ掲載する。

アンケートの回答があった製品数は重複を除き 37 製品となる。

表中の※1 の未回答は「不明、カタログ記載以上の開示不可等を含む」値である。

アンケートの回答は 19/26 事業者で 73%であった。業種の内訳を以下に示す。



### (1) 現在、製造／利用／販売している地中レーダーの諸元等について

#### Q 1 現在使用している地中レーダー機器

製造メーカーと製品名を表 4-1 にまとめた。海外製品で 10 事業者、国内メーカーで 5 事業者となる。合計 15 事業者で 40 製品となるが、制御装置に取り付けるアンテナを交換することで、機種としては 64 機種となる。

表 4-1 製造メーカーと製品名一覧

|   | メーカー名（製造/輸入）                    | 製品名                                           |
|---|---------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 | 3D-RADAR 社                      | 3d-Radar                                      |
| 2 | GEOSCANNERS 社                   | AKULA9000                                     |
| 3 | GSSI 社                          | SIR-3000（地中レーダー制御装置）                          |
|   |                                 | SIR-4000（地中レーダー制御装置）                          |
|   |                                 | SIR-30（地中レーダー制御装置）                            |
|   |                                 | ユーティリティスキャン DF 300/800MHz (2 周波)              |
|   |                                 | ストラクチャスキャン                                    |
|   |                                 | ユーティリティスキャン HS 350MHz                         |
|   |                                 | ストラクチャスキャン mini                               |
| 4 | IDS<br>(Ingegneria Dei Sistemi) | RIS Hi-Bright: Ground Penetrating Radar (GPR) |
|   |                                 | Stream EM: Ground Penetrating Radar (GPR)     |
| 5 | Mala GeoScience 社               | RAMAC                                         |
| 6 | Pulse Radar inc.                | 不明(当社名 ロードー)                                  |

|    |                              |                                                                                                                                                                                            |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7  | Radar Portal Systems Pty Ltd | 道路調査用ハイスピード3Dレーダーシステム [MiniPod]                                                                                                                                                            |
| 8  | ボッシュ（株）                      | D-TECT150CNT                                                                                                                                                                               |
| 9  | 川崎地質（株）                      | 車両牽引型マルチアレイチャープ式地中レーダー<br>ステップ式 FM-CW 方式地中レーダー                                                                                                                                             |
| 10 | （株）光電製作所                     | GPR-8<br>地中レーダーアンテナ KSD-20<br>インパルス方式地中レーダー GPR-10C<br>チャープ方式地中レーダー KSD-24<br>インパルス方式地中レーダー KSD-8-20W                                                                                      |
| 11 | 日本信号（株）                      | 地中レーダー グランドシア GN-01<br>地中レーダー グランドシア GN-02                                                                                                                                                 |
| 12 | 日本無線（株）                      | 地中レーダー（JEJ-55A）<br>地中レーダー（NJJ-640）<br>ハンディサーチ NJJ-95A<br>ハンディサーチ NJJ-95B<br>ミニ探査レーダー JEJ-62<br>レーダマン・M（マスター）NJJ-86（メーカー市販機：NJJ-96）<br>スマートフォン対応 RC レーダー ハンディサーチ NJJ-200<br>ハンディサーチ NJJ-105 |
| 13 | 日本ヒルティ（株）                    | PS 1000 X-スキャン システム                                                                                                                                                                        |
| 14 | 三井造船（株）                      | トンネル覆工検査車<br>（CLIC: Concrete Lining Inspection Car）<br>線路下空洞探査車 2 号機（UTRAS2）<br>マルチパスリニアアレイレーダー MPLA-245A<br>路面下空洞調査用「地中レーダー」                                                              |
| 15 | Sensors & Software           | NOGGIN Plus<br>Pulse EKKO PRO<br>Conquest System                                                                                                                                           |

## Q2 レーダー方式

| 変調方式                         | 回答数（製品数） |
|------------------------------|----------|
| インパルス方式                      | 18       |
| FM-CW/符号化パルス/ステップ/<br>チャープ方式 | 12       |
| 未回答 ※1                       | 7        |

Q 3 出力を制御する機能

| 出力を制御する機能   | 回答数（製品数） |
|-------------|----------|
| 走査中のトリガー信号  | 3        |
| デッドマンスイッチ   | 3        |
| スイッチ ON/OFF | 6        |
| ソフトウェアによる制御 | 3        |
| 無           | 13       |
| 未回答 ※1      | 9        |

Q 4 探査深度

| 形状      | 探査深度    | 回答数（製品数） |
|---------|---------|----------|
| ハンディ型   | 1m 以下   | 11       |
|         | 1. 1～2m | 2        |
|         | 2m 以上   | 1        |
| カート型    | 1m 以下   | 2        |
|         | 1. 1～2m | 3        |
|         | 2. 1～3m | 8        |
|         | 5m      | 1        |
|         | 12m     | 1        |
| 車載型     | 1m 以下   | 2        |
|         | 1. 1～2m | 1        |
|         | 5m      | 1        |
| 牽引型     | 2m      | 1        |
|         | 10m     | 1        |
| 未回答 ※ 1 | —       | 2        |

※探査深度は土質により大きく変動するので、上記値は標準値である。

Q 5 分解能

| 分解能      | 回答数（製品数） |
|----------|----------|
| 1cm 未満   | 2        |
| 1～5cm    | 3        |
| 6～10cm   | 2        |
| 11～30cm  | 3        |
| 50～100cm | 1        |
| 未回答 ※ 1  | 26       |

Q 6 輻射低減対策

| 輻射低減対策     | 回答数（製品数） |
|------------|----------|
| 電波吸収体      | 24       |
| 走査面との距離を最小 | 5        |
| 無          | 8        |
| 未回答 ※1     | 4        |

※有効回答数 41

Q 7 アンテナと地面からの距離

| アンテナと地面の距離 | 回答数（製品数） |
|------------|----------|
| 密着         | 11       |
| 1～10mm     | 9        |
| 11～50mm    | 8        |
| 51～100mm   | 3        |
| 101～200mm  | 1        |
| 201～300cm  | 1        |
| 未回答 ※1     | 4        |

Q 8 測距方法

| 測距方法              | 回答数（機種数） |
|-------------------|----------|
| 車輪型<br>（サーベイホイール） | 26       |
| GPS 型（GNSS 含む）    | 1        |
| 車輪+GPS（GNSS 含む）   | 9        |
| 不明                | 1        |

(2) 利用状況について

| 主たる用途               | 重複回答数 |
|---------------------|-------|
| 1. 空洞に関する探査         | 27    |
| 道路面下空洞探査            | 23    |
| 河川堤防（空洞）探査          | 2     |
| 港湾構造物（空洞）探査         | 1     |
| 線路下空洞               | 1     |
| 2. コンクリートに関する探査     | 24    |
| コンクリート内部探査          | 19    |
| 配筋・鉄筋調査             | 4     |
| ジャンカ確認              | 1     |
| 3. 埋設物に関する探査        | 19    |
| 埋設物（埋設管）探査          | 19    |
| 4. 地質に関する探査         | 6     |
| 地下構造物調査             | 2     |
| 防空壕探査               | 2     |
| 地中遺構                | 1     |
| 地質構造調査（断層など）        | 1     |
| 5. 厚みの測定            | 4     |
| コンクリートスラブ舗装・アスファルト厚 | 2     |
| 湖の堆積物厚さ             | 2     |

## 参考資料2 地中レーダー機器の諸元

※本諸元はメーカーのホームページやカタログ、アンケート結果から抜粋した内容です。  
開示不可及び不明な項目は「－」となっている。

(50音順)

| 製造会社名                                                                                                          | 製造国                     |         |             |                                |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|-------------|--------------------------------|------------|
| 3D-RADAR                                                                                                       | 米国                      |         |             |                                |            |
| 製品名                                                                                                            | 用途                      | 変調方式    | 周波数帯        | 外形寸法<br>(cm)                   | 重量<br>(kg) |
| 3d-Radar<br>アンテナ例 DXG1820<br> | ■路面下空洞、床板健全度、埋設管探査、遺跡調査 | ステップ周波数 | 200MHz～3GHz | (L) 93～243<br>(W) 85<br>(D) 15 | 23～43      |

| 製造会社名                                                                                            | 製造国    |      |            |              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|------------|--------------|------------|
| GEOSCANNERS                                                                                      | スウェーデン |      |            |              |            |
| 製品名                                                                                              | 用途     | 変調方式 | 周波数帯       | 外形寸法<br>(cm) | 重量<br>(kg) |
| AKULA9000<br> | ■路面下空洞 | －    | 200～700MHz | －            | －          |

| 製造会社名                                       | 製造国             |       |                                                    |              |            |
|---------------------------------------------|-----------------|-------|----------------------------------------------------|--------------|------------|
| GSSI 社<br>(Geophysical Survey Systems, Inc) | 米国              |       |                                                    |              |            |
| 製品名                                         | 用途              | 変調方式  | 周波数帯                                               | 外形寸法<br>(cm) | 重量<br>(kg) |
| SIR-3000                                    | ■埋設物、路面下空洞、地層構造 | インパルス | 270MHz/<br>400MHz/<br>900MHz/<br>1.6GHz            | －            | －          |
| SIR-4000                                    | ■埋設物、路面下空洞、地層構造 | インパルス | 270MHz/<br>400MHz/<br>900MHz/<br>350MHz/<br>1.6GHz | －            | －          |

|                                                                                                                    |                      |       |                                         |                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------|-----------------------------------------|----------------------------------|-----|
| SIR-30                                                                                                             | ■埋設物、路面下空洞、地層構造      | インパルス | 270MHz/<br>400MHz/<br>900MHz/<br>1.6GHz | —                                | —   |
| ストラクチャスキャン<br>                    | ■コンクリート中の密集鉄筋や配管・空洞等 | インパルス | 1.6/2.6GHz パームアンテナから選択可能                | (H) 38<br>(W) 16.5<br>(D) 10     | 1.8 |
| ユーティリティスキャン DF<br>                | ■地下埋設管、空洞探査          | インパルス | 2周波システム。<br>300MHz と 800MHz             | (L) 33.5<br>(W) 31<br>(H) 15     | —   |
| ストラクチャスキャン mini<br>(GSSI 社製)<br> | ■コンクリート中の密集鉄筋や配管・空洞等 | インパルス | 1.6GHz                                  | (H) 17.5<br>(W) 15.4<br>(L) 23.2 | 1.5 |

SIR 製品の構成品例（アンテナ種別）

|                                                                                                    |                                                                                                    |                                                                                                    |                                                                                                     |                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| アンテナ 270MHz<br> | アンテナ 400MHz<br> | アンテナ 900MHz<br> | アンテナ 1.6GHz<br> | アンテナ 2GHz<br> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|

| 製造会社名                                                                                                                          | 製造国                          |       |                |                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|----------------|----------------------------|------------|
| IDS<br>(Ingegneria<br>Dei Sistemi)                                                                                             | イタリア                         |       |                |                            |            |
| 製品名                                                                                                                            | 用途                           | 変調方式  | 周波数帯           | 外形寸法<br>(cm)               | 重量<br>(kg) |
| RIS Hi-BrigT: Ground<br>Penetrating Radar<br> | ■コンクリートスラ<br>ブ舗装・アスファル<br>ト厚 | インパルス | 2GHz           | (W) 42<br>(D) 93<br>(H) 23 | 18/36      |
| Stream EM: Ground<br>Penetrating Radar<br>   | ■地下埋設物                       | インパルス | 200/<br>600MHz | —                          | —          |

※Stream EMはStream-Xが4台とHi-Modが4台から構成される

| 製造会社名           | 製造国                                                                                                       |       |                                    |              |            |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------|--------------|------------|
| Mala Geoscience | スウェーデン                                                                                                    |       |                                    |              |            |
| 製品名             | 用途                                                                                                        | 変調方式  | 周波数帯                               | 外形寸法<br>(cm) | 重量<br>(kg) |
| RAMAC           | ■土質、岩盤層の検出<br>■埋設管（埋設物）、<br>ケーブル、地下貯蔵タ<br>ンク、空洞（トンネル）<br>の検出<br>■考古学調査<br>■水深測定の研究<br>■氷河と極地調査<br>■堆積学の研究 | インパルス | 100/200/<br>500/<br>800MHz<br>2GHz | —            | —          |

製品の構成品例（アンテナ種別）

|                                                                                             |                                                                                             |                                                                                              |                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100MHz<br> | 250MHz<br> | 500MHz<br> | 800MHz<br> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|

| 製造会社名                                                                                                                       | 製造国                                                                                                    |             |             |           |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|
| Radar Portal Systems Pty Ltd                                                                                                | オーストラリア                                                                                                |             |             |           |                           |
| 製品名                                                                                                                         | 用途                                                                                                     | 変調方式        | 周波数帯        | 外形寸法 (cm) | 重量 (kg)                   |
| 道路用ハイスピード 3D レーダーシステム<br>MiniPod GPR<br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 堤防や道路メンテナンス</li> <li>■ 広範囲の地下探査</li> <li>■ 高速道路の調査</li> </ul> | 符号化パルス＋疑似雑音 | 200MHz～4GHz | —         | 20kg/1ポッド<br>4 又は 8 ポッド構成 |

| 製造会社名                                                                                              | 製造国                                                                      |      |                                                                        |                            |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------|
| Sensors & Software                                                                                 | カナダ                                                                      |      |                                                                        |                            |         |
| 製品名                                                                                                | 用途                                                                       | 変調方式 | 周波数帯                                                                   | 外形寸法 (cm)                  | 重量 (kg) |
| NOGGIN Plus<br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 鉄筋コンクリート、空洞、配管・埋設物探査</li> </ul> | —    | 1000MHz (500–1500 MHz)<br>500MHz (250–500 MHz)<br>250MHz (125–375 MHz) | (W) 63<br>(D) 41<br>(H) 23 | 2.3～7.3 |

|                                                                                                      |                 |   |                                                         |                                                                     |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---|
| Pulse EKKO PRO<br>  | ■埋設物探査、遺跡物探査    | — | 12.5MHz/25MHz/50MHz/100MHz/200MHz/250MHz/500MHz/1000MHz | 12.5MHz : (W) 736 (D) 11.4 (H) 1.6<br>100MHz : (W) 12 (D) 15 (H) 15 | — |
| Conquest System<br> | ■コンクリート探知機、鉄筋探査 | — | 1000MHz                                                 | —                                                                   | — |

| 製造会社名                                                                                                | 製造国                                              |       |          |                       |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------|----------|-----------------------|---------|
| ボッシュ（株）                                                                                              | ドイツ                                              |       |          |                       |         |
| 製品名                                                                                                  | 用途                                               | 変調方式  | 周波数帯     | 外形寸法 (cm)             | 重量 (kg) |
| D-TECT 150CNT<br> | ■コンクリート探知機<br>鉄筋、電気配線、金属、水の入ったプラスチック管、木材、金属、電気配線 | インパルス | 1.8～4GHz | (W) 9.7 (D) 12 (H) 22 | 0.7     |

| 製造会社名                  | 製造国                            |      |           |           |         |
|------------------------|--------------------------------|------|-----------|-----------|---------|
| 川崎地質（株）                | 日本                             |      |           |           |         |
| 製品名                    | 用途                             | 変調方式 | 周波数帯      | 外形寸法 (cm) | 重量 (kg) |
| 車両牽引型マルチアレイチャープ式地中レーダー | ■路面下空洞探査                       | チャープ | 50～800MHz | —         | —       |
| ステップ式 FM-CW 方式地中レーダー   | ■防空壕調査、河川堤防内部構造調査、地質構造調査（断層など） | ステップ | 5～160MHz  | —         | —       |

| 製造会社名                                                                                        | 製造国                 |       |         |                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|---------|----------------------------|------------|
| (株) 光電製作所                                                                                    | 日本                  |       |         |                            |            |
| 製品名                                                                                          | 用途                  | 変調方式  | 周波数帯    | 外形寸法<br>(cm)               | 重量<br>(kg) |
| GPR-8                                                                                        | —                   | インパルス | 350MHz  | —                          | —          |
| GPR-10C<br> | ■ 地中の埋設管、空洞、構造物     | インパルス | 350MHz  | (W) 70<br>(D) 75<br>(H) 78 | 60         |
| KSD-20                                                                                       | ■ コンクリート・空洞<br>厚さ   | インパルス | 800MHz  | —                          | —          |
| KSD-8-20W                                                                                    | ■ コンクリート構造物<br>背面空洞 | インパルス | 1000MHz | —                          | —          |

| 製造会社名                                                                                               | 製造国          |      |               |                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------|---------------|-----------------------------|------------|
| 日本信号 (株)                                                                                            | 日本           |      |               |                             |            |
| 製品名                                                                                                 | 用途           | 変調方式 | 周波数帯          | 外形寸法<br>(cm)                | 重量<br>(kg) |
| グランドシア GN-01<br> | ■ 埋設物探査、空洞探査 | チャープ | 50～<br>800MHz | (W) 64<br>(D) 88<br>(H) 109 | 60         |
| グランドシア GN-02<br> | ■ 埋設物探査、空洞探査 | チャープ | 70～<br>850MHz | (W) 47<br>(D) 61<br>(H) 87  | 30         |

| 製造会社名                                                                                         | 製造国                       |       |               |                                                                        |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|---------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 日本無線（株）                                                                                       | 日本                        |       |               |                                                                        |                                |
| 製品名                                                                                           | 用途                        | 変調方式  | 周波数帯          | 外形寸法<br>(cm)                                                           | 重量<br>(kg)                     |
| NJJ-640<br>  | ■地中の埋設管、空洞、構造物            | インパルス | 10～1000MHz    | (W) 49.5<br>(D) 68.6<br>(H) 89.5                                       | 29                             |
| NJJ-105<br>  | ■コンクリート内部の埋設物（鉄筋、電配管、等）探査 | インパルス | 300MHz～2.3GHz | (W) 14.9<br>(D) 21.6<br>(H) 14.7                                       | 1.2                            |
| NJJ-200<br> | ■コンクリート内部の埋設物（鉄筋、電配管、等）探査 | インパルス | 800MHz～3.4GHz | (W) 14.9<br>(D) 20.3<br>(H) 13.4                                       | 1.0                            |
| JEJ-55A                                                                                       | ■地中の埋設物                   | インパルス | —             | アンテナ<br>(W) 70<br>(D) 88<br>(H) 34<br>本体<br>(W) 43<br>(D) 50<br>(H) 25 | アンテナ<br>約 27kg<br>本体<br>約 20kg |
| JEJ-62                                                                                        | ■コンクリート背面探査               | インパルス | —             | アンテナ<br>(W) 30<br>(D) 37<br>(H) 18<br>本体<br>(W) 22<br>(D) 45<br>(H) 17 | アンテナ<br>約 5kg<br>本体<br>約 10kg  |
| ハンディサーチ<br>NJJ-95B                                                                            | ■コンクリート内部の埋設物（鉄筋、電配管、等）探査 | インパルス | 500～1000MHz   | (W) 14.9<br>(D) 21.6<br>(H) 14.7                                       | 1.1                            |
| ハンディサーチ<br>NJJ-95A                                                                            | ■コンクリート内部の埋設物（鉄筋、電配管、等）探査 | インパルス | 500～1000MHz   | (W) 14.9<br>(D) 21.6<br>(H) 14.7                                       | 1.1                            |
| レーダマン・M（マスター）<br>NJJ-86<br>（市販機：NJJ-96）                                                       | ■コンクリート背面探査               | インパルス | 300MHz        | —                                                                      | —                              |

| 製造会社名                                                                                               | 製造国               |       |          |                            |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------|----------|----------------------------|------------|
| 日本ヒルティ（株）                                                                                           | リヒテンシュタイン<br>公国   |       |          |                            |            |
| 製品名                                                                                                 | 用途                | 変調方式  | 周波数帯     | 外形寸法<br>(cm)               | 重量<br>(kg) |
| PS 1000 X-Scan<br> | ■コンクリート内埋<br>設物調査 | インパルス | 1～4.3GHz | (W) 19<br>(D) 32<br>(H) 14 | 8          |

| 製造会社名                                                                                                                | 製造国                   |                                          |                                         |                            |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|------------|
| 三井造船（株）                                                                                                              | 日本                    |                                          |                                         |                            |            |
| 製品名                                                                                                                  | 用途                    | 変調方式                                     | 周波数帯                                    | 外形寸法<br>(cm)               | 重量<br>(kg) |
| マルチパスリニアアレ<br>イレーダ（MPLA-245A）<br> | ■コンクリート内埋<br>設物調査     | FM-CW                                    | 100MHz<br>～4.5GHz                       | (W) 40<br>(D) 25<br>(H) 25 | 7.8        |
| 路面下空洞調査用「地<br>中レーダー」                                                                                                 | ■道路下空洞                | FM-CW                                    | 100MHz<br>～1.5GHz                       | —                          | —          |
| トンネル覆工検査車<br>(CLIC : Concrete<br>Lining Inspection<br>Car)                                                           | ■トンネルコンクリ<br>ート覆工内部検査 | MPA (Marti<br>path Lina<br>ally)<br>レーダー | 50MHz<br>～3.5GHz                        | —                          | —          |
| 線路下空洞探査車 2 号<br>機 (UTRAS2)                                                                                           | ■線路下空洞、土木構<br>造物（埋設物） | FM-CW                                    | 50MHz～<br>1GHz<br>と<br>50MHz～<br>1.5GHz | —                          | —          |

### 参考資料3 発射する電波が著しく微弱な無線局の電界強度の測定方法

郵政省告示第127号（昭和63年2月25日）を参照。

#### (1) 微弱無線設備の電界強度の測定

微弱無線設備の電界強度の測定は、郵政省告示第127号により以下のとおり定められている。微弱測定の構成図は図4-1のとおり。



図 4-1 微弱測定の構成図

以下に測定に関する規定を抜粋する。

#### 1. 試験場の条件

試験場は周囲に電波を発射する物体がなく、かつ、長径6m、短径5.2mの楕円の範囲内に測定の障害となる金属物体（測定の再現性を向上するために大地面に敷設する金網等を除く）がない平坦な場所であること。

#### 2. 被測定機器の設置条件

木その他の絶縁材料により作られた高さ1.5mの回転台の上に、通常の使用状態に近い状態で設置すること。

#### 3. 測定器の条件（ここでは150kHz以下は省略）

##### (1) 150kHzを超え1GHz以下の周波数

- 準尖頭値検波方式の電界強度測定器及び尖頭値表示が可能なスペクトラムアナライザであること。
- スペクトラムアナライザの分解能帯域幅は、10kHz、100kHz及び1MHzに設定できるものであること。

##### (2) 1GHzを超える周波数

- 尖頭値表示が可能なスペクトラムアナライザであること。分解能帯域幅は1MHzとすること。

#### 4. 測定用空中線の条件

##### (1) 30MHzを超え1GHz以下の周波数

- 80MHzを超える周波数は、測定する周波数に共振する半波長共振型のダイポール空中線であること。
- 他に、広帯域型空中線（複数の周波数の電波の測定を行うことができる）等の直線偏波空中線を用いることができる。

##### (2) 1GHzを超える周波数

- ホーン空中線であること。

#### 5. 測定の方法

##### (1) 30MHzを超え1GHz以下の周波数の測定方法

- ① 地上1.5mの位置に測定用空中線を垂直偏波を受信するように設置する。
- ② 電界強度測定器で測定した電界強度が最大となる方向に回転台を回転させ固定する。

- ③ 測定用空中線の地上高を 1m～4m まで変化させ、電界強度の最大値を測定する。
- ④ ①から③までと同様な方法により、水平偏波の最大値を測定する。
- ⑤ ③の値と④の値のいずれか大きい値が得られる状態において、スペクトラムアナライザにより、分解能帯域幅 100kHz とした時の電界強度  $E_1$ 、及び分解能帯域幅 1MHz とした  $E_{10}$  を測定する。
- ⑥ ⑤で測定した  $E_1$  と  $E_{10}$  の差が 3dB 以下の場合は③④のいずれか大きい値、3dB を超え 7dB 以下の場合は⑤の  $E_{10}$  の値、7dB を超える場合は⑤の  $E_{10}$  の値に 5dB を加えた値をもって被測定機器が発射する電波の電界強度とする。

(2) 1GHz を超える周波数の測定方法

- ① 地上 1.5m の位置に測定用空中線を垂直偏波を受信するように設置する。
- ② 電界強度が最大となる方向に回転台を回転させ固定する。
- ③ 地上高 1.5m で、被測定機器からの水平距離に反比例して電界強度が減衰する位置に測定用空中線を設置し、電界強度を測定する。この場合において、被測定機器と測定用空中線の水平距離が 3m と異なるときは、電界強度は距離に反比例して減衰するものとして、距離 3m における電界強度に補正する。
- ④ ①から③までと同様な方法により、水平偏波の電界強度を測定する。
- ⑤ ③の値と④の値のいずれか大きい値をもって被測定器が発射する電波の電界強度とする。

参考資料 4 無線通信規則における電波発射禁止帯域と我が国の電波の使用状況

電波発射禁止帯域について

無線通信規則 (RR: Radio Regulations) 第 5. 3 4 0 号

以下の周波数帯の発射は、全て禁止する。

1 4 0 0－1 4 2 7 M H z

2 6 9 0－2 7 0 0 M H z (無線通信規則第 5. 4 2 2 号の条件によるものを除く。)

1 0. 6 8－1 0. 7 G H z (無線通信規則第 5. 4 8 3 号の条件によるものを除く。)

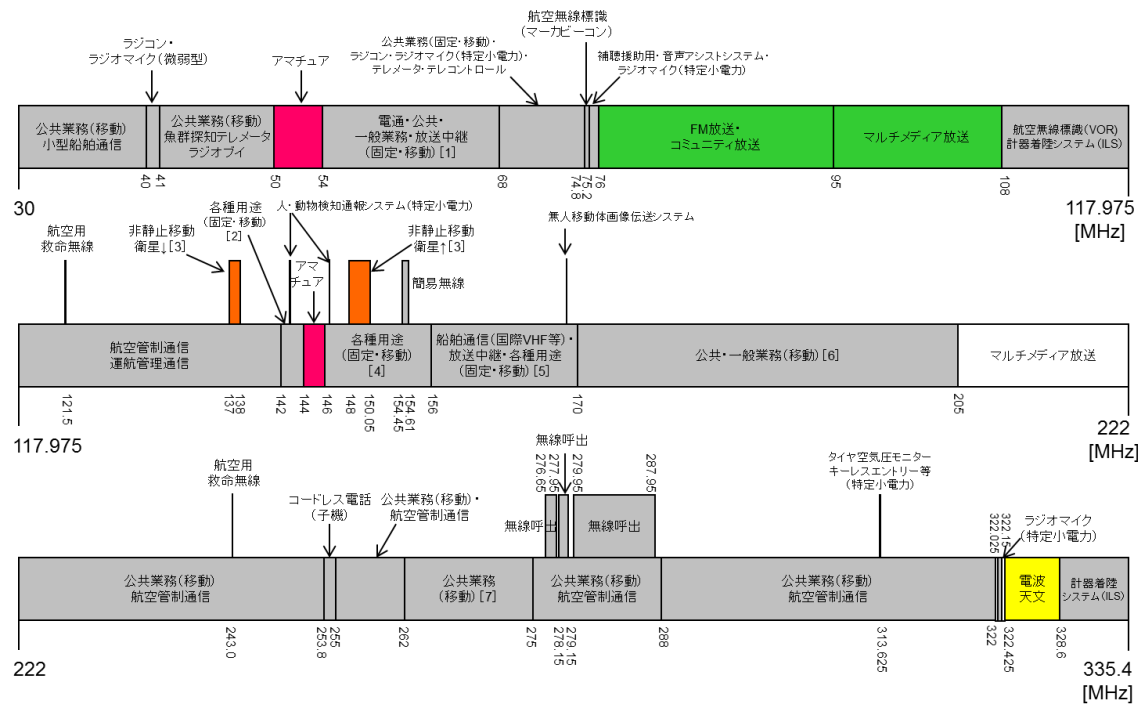
以下省略

電波の使用状況について

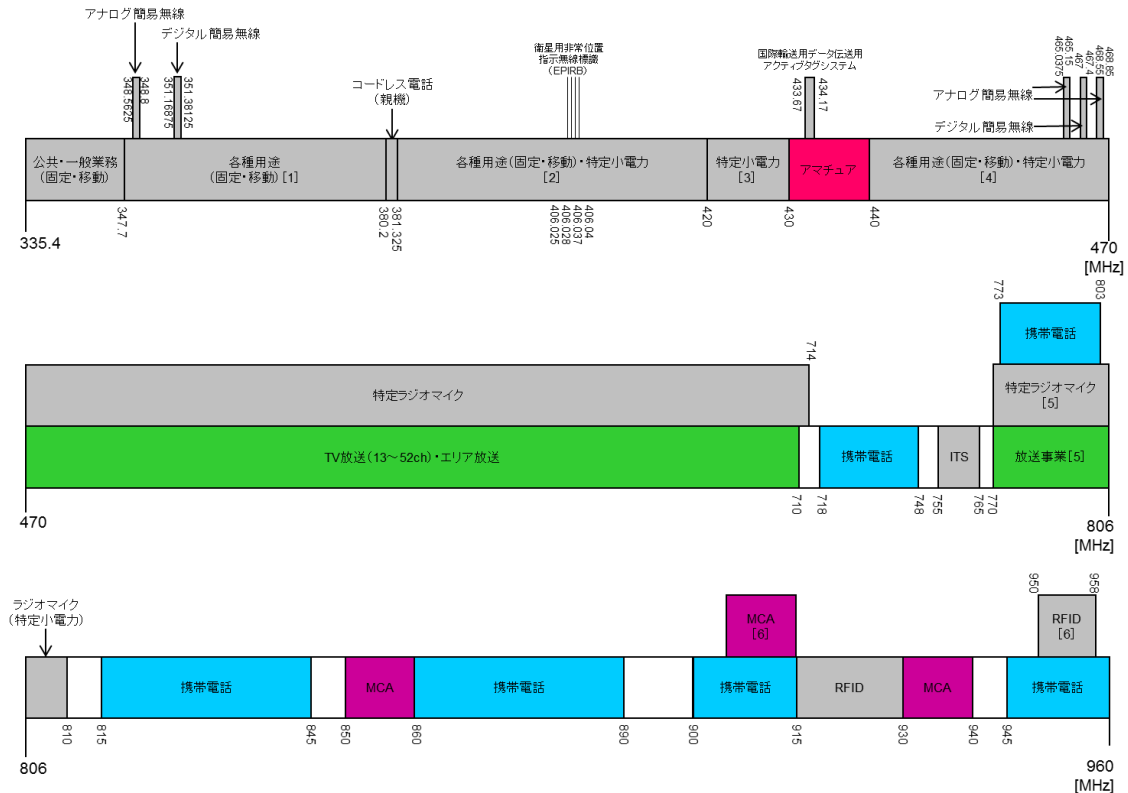
(総務省 電波利用ホームページより抜粋

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/use/> )

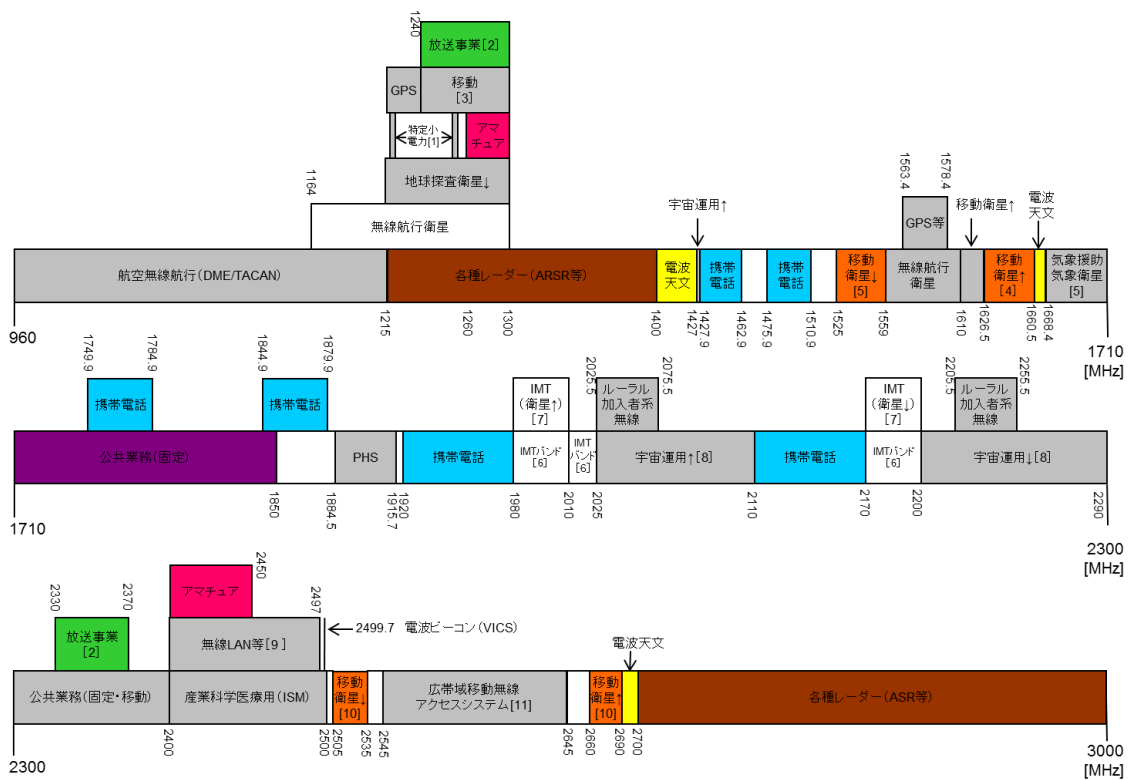
30MHz～335.4MHz



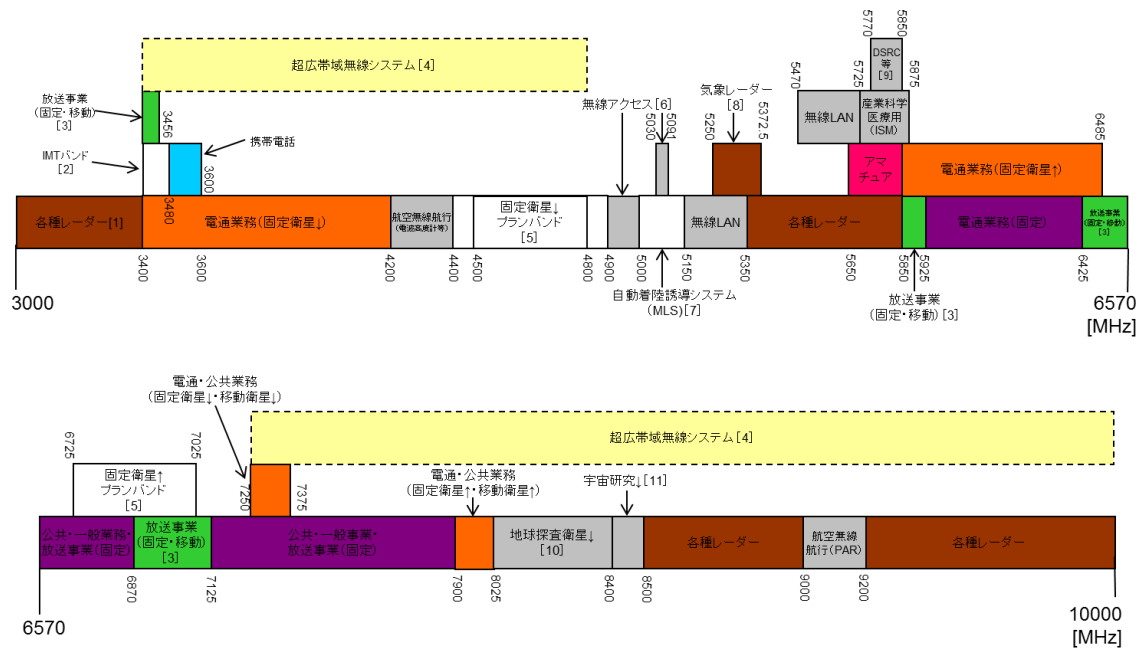
### 335.4MHz～960MHz



### 960MHz～3000MHz



## 3000MHz～10000MHz



参考資料5 主な媒質の比誘電率

| 媒質       | 導電率 (S/m)              |                        | 比誘電率 |       |
|----------|------------------------|------------------------|------|-------|
|          | 乾燥状態                   | 湿潤状態                   | 乾燥状態 | 湿潤状態  |
| 空気       | 0                      |                        | 1    |       |
| 真水       | $10^{-4} \sim 10^{-2}$ |                        | 81   |       |
| 海水       | 4                      |                        | 81   |       |
| 粘土       | $10^{-3} \sim 10^{-1}$ | $10^{-1} \sim 1$       | 2~6  | 15~40 |
| 花崗岩      | $10^{-8} \sim 10^{-6}$ | $10^{-3} \sim 10^{-2}$ | 5    | 7     |
| 土壌(砂質)   | $10^{-4} \sim 10^{-2}$ | $10^{-2} \sim 10^{-1}$ | 4~6  | 15~30 |
| 土壌 (ローム) | $10^{-4} \sim 10^{-3}$ | $10^{-2} \sim 10^{-1}$ | 4~6  | 10~20 |
| 土壌 (粘土質) | $10^{-4} \sim 10^{-1}$ | $10^{-1} \sim 1$       | 4~6  | 10~15 |

参照元 : D. Daniels , Ground Penetrating Radar 2nd Ed. , 2004

