

マルチパスリッチ環境を実現する 電波反射箱

―電波吸収シートを用いた環境制御―

佐々木克守*大島一郎** 唐沢好男***

広帯域無線通信システムでは、マルチパスリッチ環境での性能評価が不可欠で あり、簡易にマルチパスリッチ環境を実現する方法として電波反射箱が提案され ているが、従来の電波反射箱内における伝搬環境特性のコントロールは困難で あった。本報告では、反射箱内部に設置した電波吸収シートの大きさを変化させ ることで、遅延プロファイルや交差偏波識別度などの伝搬特性が容易に変更可能 であることを明らかにする。

なお、本稿は"佐々木克守,大島一郎,唐沢好男,マルチパスリッチ環境を実現 する電波反射箱 [Ⅱ],信学技報 AP2008-77, PP.13-18, 2008.9"の一部を改 編して転載したものである (copyright©2008 IEICE)。

1. はじめに

近年の広帯域無線通信システムにおいては、マルチパ スによる通信品質劣化対策が不可欠となっている。その 一方で、MIMO(Multi-Input Multi-Output)システムのよ うにマルチパスを積極的に利用する研究も進められてお り、既に、無線 LAN などでは実用化されている。

これらの伝送特性評価には、計算機やフェージングシ ミュレータによるシミュレーション、実環境試験など 様々な手段が用いられているが、それぞれ長所短所があ る。計算機シミュレーションは、手軽で再現性が良いな ど多くの利点がある反面、変復調器やアンプの非線形ひ ずみなども含めた無線機の特性を完全にモデル化するこ とが難しい。一方で、フェージングシミュレータは、無 線機の特性評価に好適であるが、一般的にたいへん高価 である。当然、実環境での試験が可能であれば申し分な いが、電波免許の取得や再現性の点で困難が伴うことも 多い。

そこで、シミュレーションと実環境試験の間を埋める ような試験環境として、簡単な構造でマルチパスリッチ 環境を実現する電波反射箱が報告されている^{(1)~(3)}。しか し、電波反射箱の伝搬環境特性は、シールドルームの大 きさや構造に依存するため、伝搬環境特性のパラメータ のコントロールが困難であった。本報告では、電波吸収 シートを電波反射箱内の特定の場所に設置することで、 遅延プロファイルや交差偏波識別度などの伝搬環境特性 が容易に変更可能であることを示す。

2. 電波反射箱の概要

電波反射箱の外形寸法と外観を,図1,写真1に示す。



図1 電波反射箱の外形寸法



写真1 電波反射箱の外観

^{*}機器統括部 技術部

^{**}技術開発統括部 電気通信開発部

^{***}電気通信大学教授

製作した電波反射箱は、6面がアルミニウムのパネル で囲まれた、高さ2m×幅4m×奥行き2mの直方体であ る。アルミニウム製フレームに、アルミニウムのシート がコーティングされた樹脂製の板を取り付けた構造と なっており、軽量かつ十分な強度を持っている。また、文 献(1)の電波反射箱は、2m角の立方体の箱を2つ連結させ て使用していたが、本反射箱においては一体構造として いるため、密閉性が増している。

3. 電波反射箱内の伝搬環境測定

送信アンテナにスリーブアンテナ (垂直偏波), 受信ア ンテナにダイポールアンテナ (垂直偏波となるように設 置)を用い, 図2に示す位置に設置する。受信アンテナを 電動スライダに取り付け, 移動量 dを0~200mm まで 2mm ステップ(合計 101 ポイント)とし, 各位置での伝搬 特性をネットワークアナライザを用いて測定した。移動 量 200mm は, 5.1GHz において約 3.4 波長分に相当する。 測定周波数は 5.0~5.2GHz とし, 移動量 d=0mm のとき の送受信アンテナ間隔は 2.4m とする。・

d=0mmの測定ポイントにおける受信電力の周波数特 性を図3に, f=5.1GHz における受信電力の空間特性を







図3 電搬損失の周波数特性



図4 伝送損失の空間特性

図4にそれぞれ示す。これらの図から、電波反射箱の内 部で、周波数的にも空間的にも、マルチパスによる激し いフェージングが発生していることがよくわかる。

4. 電波反射箱内伝搬環境の統計的性質

4.1 受信レベルの累積確率分布

測定した周波数・空間特性データ(周波数領域1,601 ポ イント×空間領域101 ポイントの合計161,701 ポイント) から算出した伝搬損失の累積確率分布(CDF)を図5に 示す。受信電力分布の中央値は-29.7dBであった。破線 は算出したCDFと同じ中央値を持つレイリー分布理論 値のCDFであり,両者はよく一致している。このことか ら、本反射箱内のマルチパス環境はレイリーフェージン グ環境であると解釈できる。

4.2 遅延プロファイルと交差偏波識別度

次に, 正偏波成分と交差偏波成分の遅延プロファイル



図5 受信レベルの累積確率分布

を求める。交差偏波については、受信アンテナのみを水 平偏波となるよう設置し、垂直偏波の測定時と同様に d=0 ~ 200mm、ステップ 2mm の各位置で伝搬特性を測 定する。

遅延プロファイルは、伝達関数 T (f)の逆フーリエ変換 によって得られたインパルス応答 h (r) により, 文献(4)の 式 (3.22)のように定義される。伝達関数は測定により周 波数特性として得られているので、測定周波数範囲を積 分区間として各測定ポイントのインパルス応答を算出し て電力平均することで、遅延プロファイルを得ることが できる。

算出した遅延プロファイルを図6に示す。 $\tau < 5 \mu s$ の 区間でほぼ直線と見なすことができ、指数関数で近似で きることがわかる。正偏波成分の遅延スプレッドは、文 献(4)の式(3.24)より算出することができ、積分区間を 0 $\leq \tau \leq 5 \mu s$ として計算した結果 0.61 μs となり、屋外に 匹敵する大きな遅延スプレッドが得られている。

本電波反射箱は文献(1)と同じ寸法であるが、より大き な遅延スプレッドが得られている。これは、本反射箱の 密閉度が高く、より電波が漏れにくい構造であるためと 考えられる。

交差偏波成分については、反射を繰り返すことでレベ









ルが上昇し, 遅延時間がおよそ 0.2 ~ 0.3 µs において, 正 偏波成分とほぼ同じレベルに到達している。図7に, 受 信アンテナの偏波を垂直および水平にしたときの累積確 率分布を示す。垂直偏波の受信電力分布中央値が -29.7dBに対して, 水平偏波での中央値は - 31.2dB であ り,本反射箱の交差偏波識別度は 1.5dB であることがわ かった。

4.3 空間相関

d=0mmの測定ポイントでの伝達関数を基準として、 各測定ポイントの受信電力変動の相関係数を算出したグ ラフを図8に示す。横軸は測定ポイントの位置を f=5.1GHz での波長(=58.8mm)で正規化している。また、 破線は、レイリーフェージング環境においてマルチパス 波が角度的に一様に到来する場合の空間相関特性の理論 値であり、文献(4)の式(4.31)より算出したものである。

理論値と測定値は類似しており、本反射箱内の到来角 度分布は、統計的に周囲一様分布であることが推定でき る。

4.4 反射箱内伝搬環境の位置特性

次に,電波反射箱内の受信アンテナ設置位置による伝 搬環境特性の変化について検討する。測定開始位置 d を ずらし、0~300mm まで100mm 刻みで変化させ、同様 の測定を行った。図9に、それぞれの測定開始位置の場 合の累積確率分布を示す。いずれの測定開始位置におい てもほとんど変化は無く、レイリー分布の伝搬環境が実 現できていることが確認できる。

また、各測定開始位置における正偏波成分の遅延スプ レッドを図10に示す。いずれの測定開始位置においても 0.61 µs となった。また、交差偏波識別度を図11に示す。 交差偏波識別度もほとんど変化せず、約1.4~1.5dB と なった。



さらに、図12に空間相関特性を示す。いずれの測定開



図9 測定開始位置をずらした場合の累積確率分布



図10 測定開始位置をずらした場合の遅延スプレッド



図11 測定開始位置をずらした場合の交差偏波識別度



図12 測定開始位置をずらした場合の空間相関特性

始位置においても,空間相関特性の変化が小さいことを 確認できる。

以上より,本反射箱においては,スライドレールの移動方向において,±500mmの範囲内でレイリー分布が保たれ,また,到来角度分布が一様分布であると推測することができる。

5. 電波吸収シートによる伝搬環境制御

5.1 電波吸収シート設置時の伝搬環境

電波反射箱内における遅延スプレッドは、電波反射箱 の大きさや密閉度に依存する。そのため、電波反射箱内 の伝搬環境を変更するためには、電波反射箱の寸法や形 状、壁面の材質などを変更する必要があり、コントロー ルが難しい。

そこで、電波吸収シートによる伝搬環境の制御につい て検討を行った。図 13 に示すように、電波反射箱床面の 中央に電波吸収シートを置き、伝搬環境特性を確認する。 電波吸収シートは、厚みが約 19mm で、5GHz 帯におけ る電波吸収量(垂直入射時)が約 20dB のものを使用し た。電波吸収シートの大きさは、一辺 a を 0.2 ~ 0.6m ま



図13 電波吸収シートの設置位置



図14 電波吸収シート設置時の遅延プロファイル



図15 電波吸収シート設置時の遅延プロファイル



図 16 電波吸収シート設置時の遅延プロファイル

で 0.2m 間隔で変化させて測定を行った。

図 14 ~ 16 に、電波吸収シートの一辺が 0.2m、0.4m、 0.6m の場合の遅延プロファイルを示す。電波吸収シート が大きくなるにつれ、正偏波・交差偏波ともに減衰する 速度が増していることがわかる。

図 17 に、電波吸収シートの大きさに対する遅延スプ レッドの変化を示す。吸収シートを設置しない場合に 0.61 µs であった遅延スプレッドは、一辺が 0.6m の吸収 体を設置することで、0.27 µs まで低下している。比較的 小さな電波吸収シートを床面に設置するだけで、遅延プ ロファイル・遅延スプレッドを大きく変えることができ



図17 電波吸収シートの大きさ特性(遅延スプレッド)



図18 電波吸収シートの大きさ特性(交差偏波識別度)

る。

また、交差偏波成分は、吸収シートを設置しない場合 と同様に、反射を繰り返すことでレベルが上昇しており、 遅延時間がおよそ0.2 ~ 0.3 µs において、正偏波成分と ほぼ同じレベルに到達している。図 18 に、電波吸収シー トの大きさに対する交差偏波識別度の変化を示す。吸収 シートを設置しない場合の交差偏波識別度は 1.5dB 程度 であるが、0.6m 角の吸収シートを設置した場合は、2.6dB まで増加している。

5.2 電波吸収シート設置時の位置特性

電波吸収シート設置時の, 伝搬環境特性の位置特性に ついて検討する。測定開始位置 d をずらし, 0 ~ 300mm まで 100mm 刻みで変化させ測定を行ったときの累積確 率分布・遅延スプレッド・交差偏波識別度・空間相関に ついて考察する。a=0.6m の吸収シートを設置した際の データを示す。

図19に累積確率分布を示す。いずれの測定開始位置に











(電波吸収シート a=0.6m 設置時)



図 22 空間相関特性(電波吸収シート a=0.6m 設置時)

おいても変化が少なく、レイリー分布の伝搬環境である ことが確認できる。受信電力の中央値は、-32.1~ -32.4dBとなり、偏差は小さい。

また,各測定開始位置における正偏波成分の遅延スプ レッドを図20に示す。いずれの測定開始位置においても 0.27 μs となった。また,交差偏波識別度も,図21に示 すように,変化は小さく,約2.6~2.8dB となっている。

さらに, 図 22 に, 空間相関特性を示す。吸収体を設置 する前と比べ, 測定開始位置による変化が大きくなって いる。吸収体の影響により, 到来波の角度分布に影響が 出始めていると考えられる。

以上より,吸収体を設置した場合,スライドレールの 移動方向において,± 500mm の範囲内でレイリー分布 が保たれていることが確認できる。また,到来角度分布 については,吸収体の影響が出始めていることが確認で きる。

6. む す び

電波反射箱内に電波吸収シートを設置し、大きさを変 化させることで、電波反射箱内の遅延プロファイルが容 易に制御できることを示した。一辺が0.6m以下の小さな 電波吸収シートでも、遅延スプレッドが0.27 ~ 0.61 µs の 間で変更可能であることを示した。また、遅延スプレッ ドの変化とともに、交差偏波識別度も変化することを確 認した。遅延スプレッドの減少に伴い、交差偏波識別度 が増加し、約1.5 ~ 2.6dB の間で変化した。

本提案方式では、遅延スプレッドが電波吸収体の大き さに対し単調に変化するため、制御が容易であるといえ る。また、吸収体の設置位置・吸収量によっては到来波 の角度分布や反射箱内の位置特性に影響を及ぼすと考え られるため、吸収体の大きさ・吸収量・設置位置が到来 波の角度分布や反射箱内の位置特性に与える影響につい て、今後詳細に検討していく。 さらに,現状では,遅延スプレッドと交差偏波識別度 が同時に変化してしまうため,今後は,独立に制御する 方法についても検討していく。

文 献

- (1) 篠沢政宏,柏崎大輔,谷口哲樹,唐沢好男:"マルチ パスリッチ環境を実現する電波反射箱,"信学技報 P2006-125, pp.89-94, 2007-01.
- (2) M. Andersson, C. Orlenius, M. Franzen; "Measuring the Impact of Multiple Terminal Antennas on the Bit Rate of Mobile Broadband Systems Using Reverberation Chamber," Small and Smart Antenna Metamaterials and Applications, IWAT' 07 International Workshop, March 2007.
- (3) P-S. Kildal, C. Orlenius; "Characterization of Mobile Terminals in Rayleigh Fading by Using Reverberation Chamber," ICECom 2005. 18th International Conference on, October 2005.
- (4) 唐沢好男:ディジタル移動通信の電波伝搬基礎,コ ロナ社,2003



佐々木克守 平成10年入社 機器統括部 技術部 移動体通信アンテナおよび関連機器の開 発 電子情報通信学会



大島 一郎

唐沢 好男

平成7年入社 技術開発統括部 電気通信開発部 移動体通信アンテナおよびマイクロ波・ ミリ波アンテナの開発 電子情報通信学会



電気通信大学教授 電波伝送・アンテナ・ディジタル伝送方 式の研究。工学博士 IEEE フェロー・電子情報通信学会フェ ロー