

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06428

研究課題名(和文) 移動通信の3次元セル構成のためのビル間干渉量推定の研究

研究課題名(英文) Study of the prediction of interference between buildings for the three-dimensional cell configuration of mobile communication systems

研究代表者

市坪 信一 (Ichitsubo, Shinichi)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30457452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：ビル内の基地局から他のビル内の移動局までの伝搬損失を推定する方法を確立した。この推定法の適用できる周波数帯は150MHzから5.8GHzで、送受信高は1.5mから30mである。窓の外から室内までの建物侵入損失の特性とメカニズムを実環境やスケールモデルによる測定によって明らかにした。また、窓の外から別のビルの窓の外までの損失の周波数特性を実環境の測定によって明らかにした。さらに、都市内の伝搬損失のメカニズムを表す物理モデルを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

携帯電話システムのために屋内から屋内の伝搬損失を推定する方法を確立した。これにより異なるビル内にある基地局間の電波の干渉量を把握できるので、オフィスビル内での3次元的なサービスエリアを構成するための無線回線設計が行える。3次元的なエリア構成によって近年の急激な通信トラフィックの増加に対応できるようになる。伝搬推定の方法を公開することによって全ての携帯電話事業者が平等にシステム設計に活用できる。また、無線を用いたIoTなどの設計にも活用できる

研究成果の概要(英文)：A prediction method of the propagation loss from the base station in the building to the mobile station in other buildings was established. The applicable frequency band of this method is from 150MHz to 5.8 GHz, and the applicable height of a transmitting station or a receiving station is from 1.5 m to 30 m. The characteristics and the mechanisms of building penetration loss were clarified based on the measurement of real environment and a scale mode. In addition, the frequency characteristics of the propagation loss from outside a window to outside a window of another building were clarified based on the measurement of real environment. Furthermore, the physical model representing the mechanism of the propagation loss in urban was proposed.

研究分野：電波伝搬

キーワード：電波伝搬 移動伝搬 移動通信 携帯電話 セル設計 建物侵入損失 伝搬損失

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究の背景

携帯電話の加入者は国内で1億6千万加入を超えて、通信トラフィックは指数関数的に増加している。このような急激な通信トラフィックの対策として、無線通信方式の開発や周波数帯域の拡大などの方法も考えられるが、最も効果的な対策は基地局がカバーする範囲を小さくする極小セルを用いることである。セルを小さくすることで近い距離にある別のセルでも同じ周波数を繰り返し使用できるようになる。この極小セルを人の多いオフィスビル内で3次元的に構成することはトラフィック対策としてかなり有効である。3次元セル構成とは高さ方向も含めた空間的なセル構成であり、従来の地上を2次元的にカバーするセル構成より複雑で高度な方法である。

都市部のようにビルが密集する地域で3次元セル構成を行った場合の問題点は、周辺のビルの屋内にある基地局との電波の干渉である。異なるビル内にある基地局間で電波の干渉が起これば通信そのものが行えないので干渉量の推定が重要になる。電波の干渉量はビル内の送信点から他のビル内の受信点までの伝搬損失によって求めることができるので、この伝搬損失の推定方法が必要になる。3次元セル構成の実現のためにこの推定法の確立が求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は3次元セル構成のために、ビル内の送信点から他のビル内の受信点までの電波干渉量の推定方法を確立することである。ビル内から他のビル内までの伝搬損失は、ビル内から窓の外の屋外までの建物侵入損失と、ビル屋外から他のビル屋外までの伝搬損失の和である。(1) 建物侵入損失はこれまでに多くの研究が行われてきたが、これまでの建物侵入損失の定義は、ビルの周囲の路上での受信レベルとビル内での受信レベルとの差であった。今回の電波干渉量を推定するために、ビルの屋内と同じフロア高の屋外との受信レベル差を新しい建物侵入損失と定義し直して、この損失を明らかにする必要がある。

(2) ビル屋外から他のビル屋外までの伝搬損失についての報告はこれまでにほとんどない。我々は以前に屋外の送信高や受信高が1.5mから30mの範囲での伝搬損失の推定式を提案しているが、これは周波数の適用が2GHzだけであった。広い周波数帯で使えるように改良する必要がある。

3. 研究の方法

屋外から屋外と建物侵入損失の研究のために、実際に伝搬損失を測定して統計的な特性を得る方法や物理的なモデルを立ててメカニズムを明らかにする方法を用いた。測定による方法では実際のビルで実験するだけでなくビルなどの縮尺模型であるスケールモデルを用いた実験も行った。メカニズムの検討では物理モデルを仮定して、それから得られる特性と実際の特性とを比較して物理モデルを評価した。

4. 研究成果

(1) 建物侵入損失

送信された電波は街中のビルによって散乱されて多くの電波に分かれて伝搬する。このため、強さと入射角度が異なる複数の電波が部屋の窓から侵入する。その後室内の壁や床・天井で散乱して室内の受信点に届く。窓の外での受信レベルと室内での受信レベルの差が建物侵入損失である。建物侵入損失には窓を通過するときの損失と室内に入ってからからの損失がある。窓を通過するときは入射角度による回折損失や電波のフレネルゾーンが窓以外の壁で遮蔽される損失がある。

フレネルゾーンの遮蔽損失

フレネルゾーンの遮蔽による損失を調べるために、送信点から窓と受信点が見通しとなる環境での建物侵入損失を測定した。これは直接波が受信レベルのほとんどを決める環境である。大学の構内にあるビルから電波を送信して、ビル4Fの室内で受信した。測定周波数は150MHz、440MHz、1.2GHz、5.8GHzである。図1に測定の様子を示す。この結果から、1.2GHz以上では侵入損失に差が生じないが、150MHzや440MHzの低い周波数では損失が増えることを明らかにしてフレネルゾーンの遮蔽による損失を確認した。

この特性を都市環境にあるビル屋内でも測定によって確かめた。測定した周波数は大学構内の場合と同じである。北九州市小倉地区にある立体駐車場の屋上や途中階から電波を送信して、別の立体駐車場の各階で侵入損失を測定した。立体駐車場は4つで、送受信高をそれぞれ変えた19パターンで測定した。測定車で立体駐車場内を20m程度走行しながら受信レベルを測定した。測定結果は大学構内の場合と同様で150MHzや440MHzの低い周波数で損失が増えた。ビルが立ち並ぶ都市環境でも同様の特性になることを確認した。また、大学構内では送信点が受信する窓から見通しにある場合であったが、小倉の立体駐車場ではどの場合も送信点が見通しではな



(a)送信側

(b)受信側

図1 建物侵入損失の測定(実験室)

った。このことから見通しの有無に関係しない特性であることも明らかになった。

固定損失と距離特性のメカニズム

セルラー環境での建物侵入損失では0.8~8GHzの周波数において、固定損失が10dBで、窓からの距離によって0.6dB/mの損失が生じることが測定によって示されている。これらの損失が生じるメカニズムについてはこれまでほとんど検討されていなかった。

固定損失が生じる原因を検討するために、大学構内のビルで窓への入射角度に対する損失特性を測定して、これを元にした侵入損失のモデルを作成した。損失が生じる原因は主に窓での回折損失である。均一な入射角度分布をもった複数の電波が窓から侵入することで10dB程度の損失が生じることを明らかにした。

窓からの距離による損失が生じる原因を検討するために、室内の1/24縮尺のスケールモデルを作製して24GHzで建物侵入損失の実験を行った。電波の室内への水平と垂直の入射角度を変えて、窓からの距離に対する損失を測定した。図2に測定の様子を、図3に建物侵入損失の距離特性の測定結果を示す。入射角度ごとの波の損失は窓面の回折や部屋側面での正規反射に基づく計算値に近いことがわかった。均一な入射角度分布の電波が窓から侵入すると仮定して測定値に基づいて求めた建物侵入損失は従来の距離損失0.6dB/mに近くなる。このことから部屋に侵入する各波が侵入距離に対する窓回折や壁面の正規反射による損失を受けて距離に対する損失が生じることを明らかにした。簡易なモデルとして、窓の外から受信まで見通しがある電波は損失が無く届き、見通しのない電波は届かないというモデルを示した。この場合も距離損失0.6dB/mに近い結果が得られた。簡易的には窓からの距離が遠くなると直接受信点に届かない電波が増えることによって窓からの距離による損失が生じることを明らかにした。

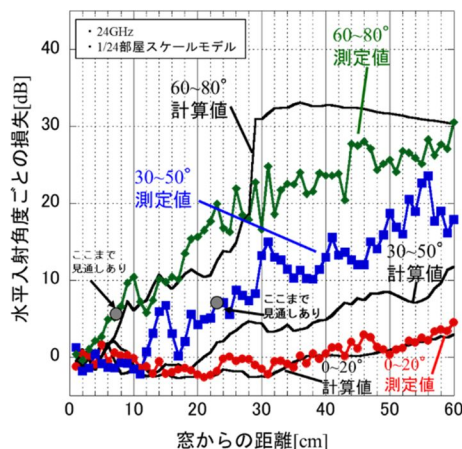


図2 建物侵入損失の測定 (スケールモデル) 図3 建物侵入損失の距離特性 (スケールモデル)

(2) 屋外から屋外 周波数特性

我々は以前にビル屋外から他のビル屋外までの伝搬損失の推定式を提案している。この推定式の適用範囲は、屋外の送信高や受信高が1.5mから30mで、周波数は2GHzだけであった。これを広い周波数帯で使えるように改良するため、これまでに北九州市小倉地区のビル街で周波数特性を測定してきた。2017年度からも150MHzでの追加の実験を行って周波数特性を確認した。図4に測定の様子を、図5に測定で得られた周波数特性を示す。150MHzや440MHzの低い周波数では損失が増える傾向にあるが、概ね $20 \log f$ の周波数特性となることを明らかにした。

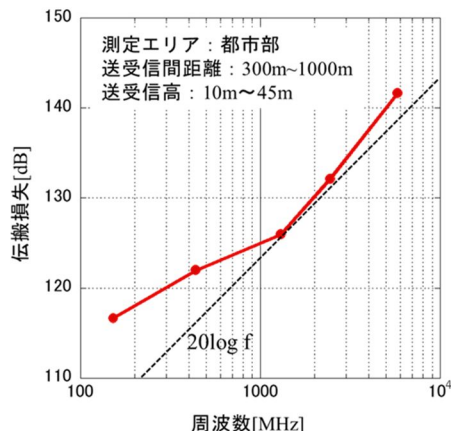


図4 屋外から屋外・建物侵入損失の測定 (立体駐車場)

図5 屋外から屋外の周波数特性

都市内の伝搬メカニズム

屋外から屋外の伝搬損失に関連して、都市部におけるマイクロセル環境での伝搬損失の発生メカニズムについても検討を行った。伝搬損失の物理モデルとして多重スクリーン回折モデルが以前から提案されているが、これはセル半径が大きい(1km以上)マクロセルを対象としている。セル半径が小さい(1km以下)マイクロセルでは基地局高が平均ビル高より高いときは複数のビルによる多重回折が起こらないため、多重スクリーン回折モデルを適用できない。従来からの3つの推定式を元に、路上にいる移動局から基地局を見上げたこときの仰角に対する伝搬損失特性を求めた。また、この特性が生じるメカニズムとして、ビル壁面の反射と反射波の到達距離を元にした物理モデルを提案した。

(1)で述べた建物侵入損失特性と、(2)の屋外から屋外の損失特性によって屋内から屋内の伝搬損失の推定方法を示した。適用できる周波数帯は150MHzから5.8GHzである。この推定式によって屋内から屋内の電波干渉量を推定することができ、3次元セル構成の無線回線設計に用いることができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Katsuki Ishimoto, Shinichi Ichitsubo, Hideki Omote, Teruya Fujii
2. 発表標題 Elevation Angle Characteristics of Clutter Loss in Urban Areas for Mobile Communications
3. 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市坪 信一
2. 発表標題 DISCUSSION DOCUMENT TO ITU-R P.2108
3. 学会等名 情報通信審議会 情報通信技術分科会 ITU部会 電波伝搬委員会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石本克己、市坪 信一、表 英毅、藤井 輝也
2. 発表標題 ミリ波と可視光における都市部クラッター損失の検討
3. 学会等名 第633回URSI-F会合
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石本克月、市坪信一、表英毅、藤井輝也
2. 発表標題 30～100GHzの電波と可視光における都市部クラッター損失の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石本克月、市坪信一、表英毅、藤井輝也
2. 発表標題 都市内マイクロセル伝搬損失の物理モデル
3. 学会等名 2019 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 門脇拓哉、押川幸樹、市坪信一
2. 発表標題 屋内間伝搬のためのスケールモデルを用いた建物侵入損失
3. 学会等名 2019年度第72回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 兼本英男、戸田直喜、石本克月、市坪信一
2. 発表標題 都市内のマイクロセル伝搬のための都市モデルの検討
3. 学会等名 2019年度第72回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野夏輝、齊藤弘起、押川幸樹、市坪信一
2. 発表標題 小倉地区を対象にしたスケールモデルによる伝搬損失の推定精度
3. 学会等名 2019年度第72回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 10～100 GHzにおけるビル反射損失の周波数特性の検討
2. 発表標題 樺田雄紀、松村遼太、市坪信一
3. 学会等名 2019年度第72回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 押川 幸樹、門脇 拓哉、市坪 信一、表 英毅、藤井 輝也
2. 発表標題 スケールモデルによるUHF帯の建物侵入損失のメカニズムの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松村遼太、樺田雄紀、市坪信一、表英毅、藤井輝也
2. 発表標題 10～100GHzにおけるビル反射損失の周波数特性の検討
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 押川幸樹、市坪信一
2. 発表標題 侵入距離に対する建物侵入損失の150MHz-5.8GHzの周波数特性
3. 学会等名 2018 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 押川幸樹、市坪信一
2. 発表標題 屋内基地局間干渉のための150MHz～5GHzの窓からの侵入距離に対する建物侵入損失
3. 学会等名 第627回URSI-F会合
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 脇直道、押川幸樹、柴田昌吾、市坪信一
2. 発表標題 重回帰分析による都市内の伝搬損失の推定式の検討
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊藤弘起、石本克月、三島脩平、兼本英男、市坪信一
2. 発表標題 スケールモデル測定による都市内の伝搬損失推定の検討
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石本克月、齊藤弘起、市坪信一、表英毅、藤井輝也
2. 発表標題 都市部スケールモデルを用いた衛星通信におけるクラッター損失の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石本克月、市坪信一
2. 発表標題 スケールモデルで用いるためのマイクロセルの伝搬損失を対象とした簡易な都市構造モデル
3. 学会等名 2018 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石本克月、市坪信一
2. 発表標題 スケールモデルで用いるためのマイクロセルの伝搬損失を対象とした都市構造モデル
3. 学会等名 第625回URSI -F会合
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 市坪 信一
2. 発表標題 都市の伝搬損失推定法の検討 - 伝搬推定コンテストに参加して -
3. 学会等名 第629回URSI -F会合
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木 俊一、市坪 信一
2. 発表標題 移動伝搬における30MHz ~ 5GHz の周波数特性とVHF 帯の損失の検討
3. 学会等名 2017 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村 亮介、市坪 信一
2. 発表標題 移動伝搬における30MHz ~ 5GHz の周波数特性とVHF 帯の損失の検討
3. 学会等名 2017 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村 亮介、市坪 信一
2. 発表標題 マイクロセル環境における30MHz ~ 5GHzの周波数特性の検討
3. 学会等名 第617回URSI -F会合
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岸田 浩輝、市坪 信一
2. 発表標題 【伝搬モデルコンテスト】伝搬推定コンテストの式と都市モデルの検討
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上畠 圭祐、中村 亮介、市坪 信一
2. 発表標題 移動伝搬におけるマイクロセル内の伝搬路の検討
3. 学会等名 2018 年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----