



Title	多重反射環境の電波伝搬損失特性評価に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	関口, 徹也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15079号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85399
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tetsuya_Sekiguchi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 関口 徹也

学位論文題名

多重反射環境の電波伝搬損失特性評価に関する研究

(A Study on the Evaluation of Radio Propagation Loss Characteristics in Multiple Reflection Environment)

無線通信の高速化・高度化さらに高信頼化に伴い、既存の有線設備の無線代替への需要が高まっている。例えば、従来の有線データ通信サービスを担ってきた ISDN などについては無線通信 MVNO への一部代替が決定しており、また、ミリ波・テラヘルツ帯電波を利用する高速通信は移動体通信だけでなく従来の有線通信の代替として検討が開始されるなど、今後有線設備の無線代替はますます広範囲にかつ急速に拡大していくと考えられる。固定通信と移動体通信の区分けに基づく従来の有線・無線の適用分類は今後大きく変革していくものと考えられている。

これら有線の無線代替については、高速通信の領域だけでなく、有線回路による多数同時接続を代替する技術としても期待されている。例えば、電動化が進み、安全性や快適性の実現あるいは信頼性の担保を実現するために様々なセンサーが具備される現在の乗り物に於けるワイヤハーネスの無線代替は重要な技術課題になっている。すなわち、センサー部品ごとに接続するハーネスは点数が膨大となり、コスト増、重量が増すことによる燃費の悪化、信頼性の低下などが大きな問題となっている。電気自動車を例にあげれば、1 台の車に使われるワイヤハーネスの重量は約 20~50kg にもなり燃費向上にはこれらワイヤの軽量化が重要技術とされている。同様のことは、鉄道、航空機など大型の乗り物になるほど顕著になるため、特に、航空機産業の分野ではワイヤハーネスの無線代替に関する技術開発、規格開発、標準化検討が急ピッチで進んでいる。

航空機におけるワイヤハーネスの無線代替については、航空機内データ通信 (Wireless Avionics Intra-Communications, WAIC) として 4 GHz 帯 (4.2 GHz-4.4 GHz) を割り当てることが世界無線通信会議 (2015 年 WRC-15) において決議されている。WAIC 機器の主目的は航空機の重量低減を図ることによる運航の高効率化にある。ただし、実現には既存の航空機搭載電波利用装置との共用検討が必須であり、すなわち電磁環境評価技術の確立が重要になる。航空機搭載機器の耐電磁干渉特性については、従来明示的で厳密な規格が定められているが、新たに導入される無線機器に関する干渉評価、特に、航空機において設置場所が様々考えられる WAIC のような装置を対象とした電磁干渉特性の評価法は定められていない。例えば、WAIC に割り当てられた 4 GHz 帯は、既存の電波高度計の周波数と同じであることから、自機の WAIC 機器から電波高度計への与干渉評価等に加え、他機の電波高度計への与干渉評価、他機の WAIC からの被干渉評価等、検討項目が多い。加えて、航空機搭載 WAIC 機器からの電波放射は、機内では多重反射環境を伝搬することで、機外では大型の金属構造物による反射・散乱の影響を受けることから、自由空間伝搬とは全く異なる複雑な特性となり、これに基づく干渉特性評価は極めて困難なものとなるため、これまでに航空機全体を対象とした WAIC 機器の与干渉特性検討を行った報告例はない。

これら課題に対して、申請者らは大規模数値シミュレーションを適用した伝搬特性評価法によるアプローチを提案した。すなわち、数値シミュレーションを用いることで、仕様検討段階にある航空

機 WAIC のように放射源の設置位置や偏波特性が未確定な条件であっても、所望の条件を設定した詳細な電波伝搬データが取得できる。ただし、従来、数十から数百メートルを超える空間規模におけるマイクロ波帯電波の伝搬特性評価に用いられているレイトレースに代表される幾何光学的な解析手法では、複雑な境界条件や媒質定数の取り扱いが困難であり、多数の仕器や乗客を含む航空機内のように 3 次元で複雑な形状を有し電波の反射や散乱、吸収特性が異なる複数種類の媒質が混在する空間内の伝搬特性を高精度かつ空間網羅的に評価することは不可能である。したがって、数値シミュレーションを用いた、これら多重反射環境を含む空間での電磁環境評価、電磁干渉特性評価法の確立には至っていないという課題があった。

本研究は、有限差分時間領域法 (FDTD 法) に基づく電磁界シミュレーションと大規模並列演算技術を適用することで、多重反射環境における電波伝搬特性について従来にない高精度な評価を実現し、これに基づく新たな電磁干渉特性推定手法を提案する。FDTD 法は時間領域の電磁界解析手法であり、多重反射環境で生じる多数の反射・屈折波を精度良く評価でき、形状が複雑で電気定数が異なる複数の媒質から構成されているような評価対象であっても詳細に数値モデル化し評価することが可能である。一方、他の解析手法と比べ計算機負荷が大きく、マイクロ波周波数帯の電波伝搬のように評価周波数に対して解析対象空間の寸法が大きい場合、計算機資源が膨大となり汎用計算機などでは解析を実行できない。そこで、大型計算機による並列演算技術を適用することでこの問題を解決し、さらに、大規模多重反射環境である航空機内のマイクロ波帯電波伝搬特性、特に WAIC 電磁干渉特性推定のための伝搬損失評価に関する特性について、航空機全体を対象とした評価結果を明らかにする。

第 1 章は序論として、研究の背景、WAIC システムの概要、干渉評価のための従来手法の課題について解説する。WAIC の周波数共用検討に向けた評価項目、提案する評価手法について述べるとともに、本論文の構成について示す。

第 2 章では、マクスウェルの方程式に基づく時間領域解析手法 (FDTD 法: The Finite-Difference Time-Domain method) について詳細に解説を行う。マクスウェル方程式をコンピュータ上で扱うための定式化、ならびに空間を分割した際の Yee セル上における電磁界成分の配置および媒質の取り扱いについて示す。加えて FDTD 法を使用する場合の基本的な事項であるセル寸法や時間ステップ間隔の制約、さらには吸収境界条件の詳細について示す。

第 3 章では、第 2 章で説明した FDTD 法を大型計算機により取り扱う手法の解説を行う。このときの手法は並列 FDTD 法と呼ばれる。大型計算機による並列処理のアルゴリズムとそれに伴う FDTD 法の改良点、および並列プログラミングの基本事項について示す。

第 4 章では、上記原理による航空機の簡易モデルから機内偏波特性について評価する。また、同モデルを発展させ、大型計算機上で動作する航空機の数値解析モデルを構築する。

第 5 章では、第 4 章で作成した航空機モデルを用いて機内外の伝搬特性および伝搬損失について詳細に評価する。

第 6 章では、WAIC システム電波の電波高度計干渉特性について、3 次元電磁界分布に基づき干渉経路損失について評価する。

第 7 章では、WAIC システムを搭載航空機間の与干渉・被干渉特性の推定を目的として、新たに円周評価面による評価手法を提案し、基本特性を明らかにする。

第 8 章では、本研究で得られた成果についてまとめ結論とする。