



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	<a href="https://hdl.handle.net/2115/85399">https://hdl.handle.net/2115/85399</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Tetsuya_Sekiguchi_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 関口 徹也

審査担当者 主 査 准教授 山本 学  
副 査 教 授 大鐘 武雄  
副 査 教 授 齊藤 晋聖  
副 査 教 授 西村 寿彦

### 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)

無線通信の高速化及び高信頼化に伴い、有線設備の無線代替は今後、広範囲かつ急速に拡大していくと考えられる。有線設備の無線代替は、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、様々なセンサーが具備される現在の乗り物におけるワイヤハーネスの無線代替は重要な技術課題となっている。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・規格開発及び標準化検討が急速に進んでいる。

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ることから、電磁環境評価技術の確立が重要になる。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 からの被干渉評価など、検討項目は多岐にわたる。加えて、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、また、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る。

これらの課題に対して、本論文の著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ている。すなわち、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、数値シミュレーションによって所望の条件を設定した詳細な電波伝搬データを取得できる。ただし、マイクロ波帯電波の伝搬特性評価に従来用いられているレイトレースなどのような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って、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、吸収特性が異なる多種媒質が混在する空間内の伝搬特性を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。

本論文では、有限差分時間領域法 (Finite Difference Time Domain method:以下 FDTD 法と略する) に基づく電磁界シミュレーションに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実現している。FDTD 法は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、他の解析手法に比べて計算機負荷が大きく、評価周波数において解析対象空間の電氣的寸法が大きい場合、計算機資源が膨大となり、汎用計算機では実行不能となる。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上述の問題を解決するとともに、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している。

以下に本論文の構成を示す。

第 1 章は序論であり、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している。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、本論文の構成を示している。

第 2 章では、FDTD 法について詳説している。マクスウェル方程式を計算機上で扱うための定式化を行うとともに、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及び媒質の取り扱いについて述べている。また、FDTD 法を使用する場合のセル寸法や時間ステップ間隔の制約及び吸収境界条件の詳細について示している。

第 3 章では、第 2 章で述べた FDTD 法を大型計算機で取り扱うための並列 FDTD 法について述べている。大型計算機による並列処理ためのアルゴリズムと、それに伴う FDTD 法の改良点及び並列プログラミングの基本事項について示している。

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している。また、同モデルを発展させることで、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している。

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している。

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している。

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している。

第 8 章では、結論を述べ、論文全体の成果を要約している。

これを要するに、著者は、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することで、新たな電磁干渉特性推定手法に関して有益な知見を得たものであり、航空機における有線設備の無線代替に向けた情報通信工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。