

学 位 論 文 題 名

航空通信システムの伝送特性の改善に関する研究

学位論文内容の要旨

航空機が安全かつ円滑に運航するために、管制官による交通整理を中心とした航空交通管制が行われている。航空交通管制では、航空専用の通信、航法、監視の各システムやこれらを円滑に管理する航空交通管理から構成される CNS/ATM (Communication, Navigation and Surveillance / Air Traffic Management) システムにより、管制官とパイロット間で情報交換が行われている。航空機が全世界的に運航する上では国際的調整が必要なため、このシステムは国際民間航空機関 (ICAO) による国際標準や勧告方式に従い、国際的な統一が図られている。近年、航空交通需要の増加に伴って航空機の運航数も増加しており、将来的に航空通信量も増加する可能性があるため、航空用通信システムにおける対応が重要である。

本論文は、航空交通管制システムのうち、特に航空通信システムの伝送特性についての改善を研究対象として、著者がこれまでに実施した航空衛星通信システムの伝送特性の解析と将来予測及びプロトコルに依存する問題の改善策の検討とともに、将来の航空用通信システムに適用される可能性のあるアンテナシステムによる検討についての研究をまとめたものである。

第 1 章は序論であり、研究の背景と本論文の概要について述べる。

第 2 章では航空交通管制システムの概要と共に、特にその中でも着目した航空通信システムの役割や動向、及び将来の航空通信システムの概要について説明する。

第 3 章から第 5 章までは、著者の研究成果を記している。

第 3 章では、航空通信システムのうち運輸多目的衛星 (MTSAT (Multi-functional Transport Satellite)) やインマルサットに代表される静止衛星を利用した既存の航空衛星通信システムに着目し、航空通信量の増加に伴う影響を求めめるため、伝送特性を解析した結果を示す。具体的には、実際に航空機が管制機関に通知した交通情報を利用して通信利用状況を統計分析し、この分析結果を ICAO の国際規格に沿った数値解析シミュレータのパラメータに適用して、伝送特性の一種である伝送遅延時間を示した。さらに、この結果と実際の通信利用状況に基づき、シミュレータの妥当性ととともに、シミュレータを利用した将来予測を行った。

交通情報の統計分析により、時間帯毎の通信中の航空機数を示した。また、交通情報が、定期的に航空機から送信される位置情報の報告通信である ADS (Automatic Dependent Surveillance) レポートだけではなく、航空会社の運航管理用の通信や、パイロットと管制官を結ぶ他のデータリンク通信等、複数種の通信内容で構成されていることを示した。さらに、ADS レポートの送信間隔と受信間隔はともに各時間帯の平均値の指数分布曲線に従うことや、他の複数種の通信の伝送間隔も各時間帯の平均値の指数分布曲線に従う可能性が高いことを示した。これらの分析結果をもとにシミュレータのパラメータを決定し、地上局と衛星各 1 基を経由した航空機の航空衛星通信システムにおける伝送遅延時間の分布をシミュレーションにより求めた。この結果、伝送遅延時間分布が実測データの傾向に近いことを示した。また将来、年率 3 パーセントで航空交通量が増加した場合

の伝送遅延時間の予測結果として、2018 年までは現在とほぼ同様の伝送遅延時間で規定を満足し、通信性能への影響が少ないことを明らかにした。

第 4 章では、航空衛星通信システムのプロトコルに基づき改善すべき課題として、ログオンストーム現象を研究対象とし、この現象の再現と複数の解決策を提案する。ログオンストーム現象とは、多数の航空機がデータ通信の前段階の通信接続(ログオン) 済み状態下で、通信路に不具合が発生して接続が断たれた場合に、ログオン済みの航空機全てが一度に再度ログオン処理を開始し、通信性能が劣化する現象である。この現象が起こると、全ての航空機のログオン完了までに 30 分～1 時間以上経過し、データ通信に大きな遅延を及ぼす。

具体的には、先のシミュレータを改造することで、ログオンストーム現象をシミュレーションにより示した。また、地上側の設備で航空機の通信チャネルの選択確率を不均一にさせた改善策とログオンの伝送速度の向上策、ログオンのチャネル数の増加策の 3 つの解決策をログオンストーム現象の場合と共に、シミュレーションで比較検討した。この結果、どの解決策もログオンストーム現象を改善させるが、地上側の設備で航空機の通信チャネルの選択確率を不均一にさせる改善策が、航空機上の改修が要らず、効果的であり、500 機の航空機の例で、ログオンストーム現象と比較して、再ログオンの所要時間を 1/3 程度以下に改善できることを明らかにした。

第 5 章では、航空分野に MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナシステムを適用する可能性に着目した電波伝搬解析について検討する。ICAO は、汎用通信技術を応用した将来の航空用通信システムの検討結果として、3 つの候補をまとめている。このうち、L バンドにおける航空用データリンクシステムと空港面利用を想定した航空用 WiMAX システムの 2 つの候補は、特性上、回折や反射等に基づく多重波により性能向上させる MIMO アンテナシステムを利用する可能性がある。このため、航空機単独で影響評価でき、空港周辺の建物や空港面等に基づくマルチパスや周囲の無線通信システムの影響がないよう、電波無響室に航空機模型を設置し、航空機模型のプロペラ、翼等の構造物の影響に関して電波伝搬実験を行った。

具体的には、電波吸収材を模型の一部に設置し、模型上で反射、回折する多重波を解析した。実験解析の結果、航空機と地上のアンテナの位置関係により、尾翼、プロペラ、主翼等の反射箇所が変化することを示した。さらに、銅製の平面反射体を航空機と地上のアンテナの間で直接波を妨げない位置に設置した結果、銅板の反射による多重波は航空機自身からの多重波よりも大きく、位相の変動も反射体を設置しない場合より大きいことを明らかにした。以上のように、航空機の機体からの複数の反射波の入射が認められたが、空間多重による伝送速度の向上が可能かどうかは確認できなかった。このため、今後は空間多重による伝送速度の向上について解析することが課題である。

第 6 章では、航空通信システムの動向や本論文における解析結果をもとに、研究対象の将来について展望した。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	小川恭孝
副査	教授	宮永喜一
副査	教授	野島俊雄
副査	教授	小柴正則

学位論文題名

航空通信システムの伝送特性の改善に関する研究

航空交通管制により、航空機は安全、かつ、円滑に運航が可能となっている。このような管制は地上の管制官が、航空機専用のシステムを用いて、航空機上のパイロットと情報交換しながらなされている。航空機専用システムは、航空用に設けられた通信、航法、監視の各システムや、これらを円滑に管理する航空交通管理により構成されている。このうち、通信システムは、主として地上の管制機関と上空の航空機の間での音声やデータの伝送に利用されている。近年では、航空交通需要の増加に伴い、航空機の運航数が増加している。このような運航数の増加は、航空通信量の増加を伴う可能性がある。

本論文は、航空通信システムの伝送特性の改善を目的として、その解析と将来予測、及び、プロトコルに依存する問題の改善策の検討とともに、将来の航空通信システムに適用される可能性のあるマルチアンテナシステムについての研究をまとめたものであり、全体は7章から構成されている。

第1章は序論であり、研究背景と論文概要について述べている。

第2章では、航空交通管制システムの役割や動向、将来必要となるシステムの概要について説明している。

第3章では、静止衛星を利用した既存の航空衛星通信システムに着目し、航空通信量の増加に伴う影響を求めるため、伝送特性を解析した結果を示している。具体的には、実際に航空機が管制機関に通知した交通情報を利用して通信利用状況を統計分析し、その分析結果を国際民間航空機関の国際規格に沿った数値解析シミュレータのパラメータに適用して、伝送遅延時間を示した。その結果、伝送遅延時間分布が実測データの傾向に近いことが示された。また将来、年率3パーセントで航空交通量が増加した場合の伝送遅延時間の

予測結果として、2018 年までは現在とほぼ同様の伝送遅延時間で規定を満足し、通信性能への影響が少ないことを明らかにした。

第 4 章では、航空衛星通信システムのプロトコルに基づきログオンストーム現象を研究対象とし、この現象の再現と複数の解決策を提案している。ログオンストーム現象とは、通信路に不具合が発生して接続が断たれた場合に、航空機全てが一度に再度ログオン処理を開始し、全ての航空機のログオン完了までに 30 分～1 時間以上を経過し、データ通信に大きな遅延を及ぼす現象を言う。本研究では、先のシミュレータを改造することで、ログオンストーム現象をシミュレーションにより示し、地上側の設備で航空機の通信チャネルの選択確率を不均一にさせる改善策が、航空機上の改修が要らず、効果的であることを示している。具体的には、500 機の航空機の例で、ログオンストーム現象と比較して、再ログオンの所要時間を $1/3$ 程度以下に改善できることを明らかにした。

第 5 章では、飛行中の航空機に MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 多重伝送を適用する可能性に着目した電波伝搬解析について検討している。飛行中の航空機の場合、MIMO 伝送に必要となる多重波は航空機胴体、翼、プロペラからの反射波と回折波である。このような MIMO 伝搬チャネル測定のため、電波無響室に航空機模型を設置し、ネットワークアナライザを用いて電波伝搬実験を行った。実験解析の結果、航空機と地上のアンテナの位置関係により、尾翼、プロペラ、主翼等の反射箇所が変化することを示した。しかし、反射波の強度が大きくないため、空間多重による伝送速度の向上が可能かどうかは確認できなかった。この点に関する考察が今後の研究課題である。

第 6 章では、航空通信システムの将来について展望している。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。

これを要するに著者は、航空通信システムにおける、ログオンストームの軽減策を提案するとともに、MIMO 伝搬の基礎的実験検討を行ったものであり、航空通信システムの特性改善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あるものと認める。