

	学位記	文科省報告
2006	4434	甲 乙 2261

早稲田大学大学院国際情報通信研究科

博士論文審査報告書

論文題目

Studies on Performance of Ultra High Speed Free-Space Optical Communication Systems

超高速光空間通信システムにおける伝播特性の研究

申請者

Kamugisha

KAZAURA

氏名

カムギシャ

カザウラ

コース・プロジェクト名
(課程内のみ)

国際情報通信学専攻
モバイルマルチメディア環境システム研究Ⅱ

2007年2月

近年、インターネットによる情報流通の増大、コンテンツの大容量化に伴い、急増するトラフィックを吸収するため、ブロードバンドネットワークの構築が要望され、FTTH、DSL やケーブルインターネット等の高速広帯域ネットワークの建設が増大している。このブロードバンド通信の建設は複雑多様化する経済社会活動を行う上で必要不可欠な社会基盤となっている。なかでも FTTH による光ファイバ網は、通信インフラを支える大動脈であり、わが国では急速に加入世帯が増加しており、世界最先端のアクセスインフラ環境として整備されつつある。

一方、3G 携帯電話の展開や地上デジタル放送等、無線通信や放送分野においても新技術、新サービスが進められ、ユビキタス通信環境の一翼を担っている。

しかしながら、採算性や投資効率の面で光ネットワークの整備が進みにくい地域も多く存在する。都市部においても光ファイバの引き込みの困難な集合住宅、管路や電柱がなく容易に光ファイバの敷設ができない地域も存在する。こうした地域にブロードバンド環境を構築するためには、電波による無線システムが有効であるが、光ファイバとのインタフェース、特に通信速度、プロトコル変換および変復調機能の導入、さらに十分な伝送容量を確保するためには広帯域が必要であるが、電波資源の点で制約が生じる。

これに対し光無線通信は、固定通信と比較して設置が容易であるとともに、電波による無線通信と比較して高速・大容量化が可能であることから、高度情報通信ネットワークのエントランス回線や投資効率等の面で整備の進みにくい地域での低コスト光ネットワーク構築のための有力な手段とされ、その利用が広まってきている。しかしながら、現行の光無線システムは、送受信部分で光/電気変換を行っているため、1.5Gbpsのシステムが主流であり、超高速・大容量化及び波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 等、各種伝送方式に対応する柔軟性の大きな制約要因になっている。このため、映像情報等大容量コンテンツの流通が予想される今後の情報通信環境において、光無線システムの制約要因を解消し、超高速で光ファイバと無線通信のシームレスな接続を可能とする光無線システムの構築が望まれている。

本論文は、上記光無線システムの制約要因を解消し、光ファイバと無線通信のシームレスな接続を実現するため、筆者が本学大学院国際情報通信研究科ならびに国際情報通信研究センターでの研究プロジェクトにおいて、年間を通じた長期フィールド実験により得られたデータに基づき、大気揺らぎ等に影響される超高速光無線通信システムの伝播特性を解析、評価結果を研究成果としてまとめたものである。本研究により、世界初となる10Gbps 光無線通信や無線によるDWDM(Dense WDM) 伝送が可能であることが実証され、次世代のネットワークとして注目されているフル光接続光無線システムの実現性が見通しが得られている。本論文は、次世代無線システムとして注目されているFSO(Free-space optics)による光無線通

信システムを取上げ、その研究の位置づけ、目的、超高速光通信の実証実験および大気の影響による伝播特性実験、データの分析、評価および伝播特性向上に関する提案の全5章で構成されている。以下に各章ごとの概要を述べるが、筆者は留学生であり博士論文および概要書とも英文で記述されている。

第1章は序論であり、次世代フル光接続光無線システム研究の背景、研究の位置づけと目的、現状の技術課題と主な研究内容、構成について述べている。

第2章では、FSOによる光無線通信システムの概要、FSO通信システムの信頼度を向上する技術、従来技術と提案技術との比較、提案技術における受光ビームをSMF (Single-Mode Fiber) に直接導入するための制御技術および追尾システムの速度が述べられている。受光ビームをSMFに直接導入する提案技術では、光ファイバへの入射位置の誤差を光ファイバの開口よりも小さく制御することが必要であることから、大気中に発生する揺らぎに起因するシンチレーション受信電力の変動を抑圧するため、小型で高速制御が可能なFPM (Fine Pointing Mirror)の高速ビーム追尾速度として1 kHzとすることが明らかにされている。このことにより提案技術による安定した超高速通信を可能とする設計データが得られている。

第3章では、FSO通信システムの長期フィールド実験結果による伝播特性とその評価を述べている。具体的には、西早稲田キャンパスと大久保キャンパスの1 km 区間で、年間を通して行われた実験システムの概要、様々な天候条件における大気揺らぎによるシンチレーション、1550nmシステムにおけるBER(Bit Error Rate) と受信パワー特性等に関する長期フィールド実験の結果が述べられている。本実験を通じて、日中正午のシンチレーション受信電力の変動の度合いは、夏季(9月)は冬季(1月)に比べ約2倍の値を示すことを具体的なデータにより明らかにしている。また本実験により、世界初となる10Gbps 光無線通信や4波長、2.5 Gbps 無線によるDWDM伝送が天候条件の良い環境下で安定した通信が可能であることを示している。

第4章では、伝播特性向上のための方法を提案している。従来技術では大気中の乱れを抑圧することで対応しているが、特に、夏季の大気揺らぎが大きい時に生じるバースト的な変動に対する追尾は困難であり、FPMの抑圧能力は減少していた。このため筆者は、MNNP (Multi-layer Neural Network Predictor)に基づくSC(Soft Computing)の使用を提案している。ここでは、FSO通信システムで集められた測定データをトレーニング信号として、提案されたMNNPのデータを将来のパラメータを予測するために使用し、シミュレーションによって、予測されたパラメータ値は、実験による測定値と許容範囲の値を示すことができ、伝播特性向上のために、SCが有効であることを明らかにしている。

第5章では、本研究の結論であり、FSOによる光無線通信システムの大気揺らぎを抑圧するため、長期フィールド実験の結果および今後の課題が述べられている。様々な気象条件で

の受信パワー、BERおよび性能を示すための長期フィールド実験で得られたデータに基づき、より詳細な分析結果が示されている。今後の課題として、超高速FSO通信システムにおいても大気の揺らぎは避けられず、安定的に大気の影響をカバーするシステムの導入が必要なことが述べられている。

以上、要するに本論文は、今後急増する大容量コンテンツに伴うトラフィックを吸収するブロードバンドネットワークの構築において、採算性や投資効率の面で、光ファイバの敷設が困難な地域のブロードバンド化に対して、設置が容易で、高速・大容量通信を実現する光ファイバと空間光を透過的に接続するフル光接続光無線システムを取上げ、年間を通じた長期フィールド実験により、FSO通信システムの性能および無線区間の大気の影響による伝播特性を明らかにしている。主な結果は以下にまとめられる。

- (1) FSO通信システムの貴重な測定データを蓄積すると共に、測定データの分析を行いシンチレーションと光ビーム変動、大気温度と受信パワー、BERの関係等、大気の影響による超高速光空間通信システムの伝播特性を明らかにしていること、
- (2) 世界初となる10Gbps光無線通信や無線によるDWDM伝送が可能であることを、天候条件の良い環境下で安定した通信が可能であることを実証していること、
- (3) 夏季の大気の揺らぎが大きい時のバースト的な変動に対処するために、MNNPに基づくSCの使用を提案し、シミュレーションによる予測されたパラメータの値は、実験による値と許容できる一致を示しており、伝播特性向上のために、SCが有効であることを示していること

等により、通信速度やプロトコルを意識することなく、光ファイバと等価な伝送路を、無線通信区間においても実現できる可能性を示したことから、本論文は、今後フォトリックネットワークと有機的に結合し、柔軟なエントランス回線の提供ならびに採算性や投資効率の面で不利な条件下の地域におけるブロードバンドネットワークの基盤整備の解決方法を示したものとして、高い評価を受けるに値する。すなわち、国際情報通信学の発展に寄与するところ極めて大きい。よって、本論文は博士（国際情報通信学）の学位を授与するに値するものと認める。

2007年2月7日

審査員

(主任)	早稲田大学教授	博士（工学）（早稲田大学）	松本 充司
	早稲田大学教授	工学博士（新潟大学）	佐藤 拓朗
	早稲田大学教授	工学博士（東北大学）	嶋本 薫
	早稲田大学教授	工学博士（東京工業大学）	宇高 勝之
	電気通信大学教授	工学博士（東北大学）	中嶋 信生