

審査の結果の要旨

論文提出者 豊嶋 守生

本論文は、「Lightwave propagation in the presence of random turbulent media and pointing jitter in optical space communications (ランダムな擾乱媒質と指向誤差を伴う光宇宙通信における光波伝搬)」と題し、将来宇宙での使用が期待される空間光通信技術を確立することを目的として、非常に狭いレーザ光を送信した場合の光受信特性を、実際の光衛星回線を用いた実験結果に基づき統計的に解析し、さらに衛星-衛星間及び地上一衛星間の通信回線について解析の方法論について論じている。全体で9章からなり、英文で書かれている。

第1章は「Introduction (序論)」であり、電波による通信システムと比較して空間光通信の本質的な違いが、波長が短いために送信レーザ光の広がり角を非常に狭くすることができる点及び大気ゆらぎと指向ジッタの影響を強く受ける点であることを述べ、内外で行われている光宇宙通信及び光波伝搬研究の歴史と現状から、本研究の位置付けと目的を明らかにし、更に各章内容の関係を述べている。

第2章は「Atmospheric turbulence (大気ゆらぎ)」と題し、大気の屈折率ゆらぎの擾乱がいかに関しレーザ光の空間伝搬に対して光シンチレーションとして影響するのかを、従来の研究成果に基づき説明している。特に大気ゆらぎのコヒーレンス長については、第8章で述べる地上一衛星間の光通信回線において重要な要素なので、解析の前提となる実測データを示している。

第3章は「Downlink lightwave propagation through atmospheric turbulence (大気を介したダウンリンク光波伝搬)」と題し、技術試験衛星 VI 型(ETS-VI)搭載の光通信基礎実験装置(LCE)の送信系を用いた測定データに基づき、衛星-地上間の大気を介したダウンリンクの光波伝搬特性について明らかにしている。ダウンリンクが、衛星における指向方向の誤差の影響を大きく受けることを測定と解析により明らかにし、光ビームの指向利得に対して、指向誤差を考慮したビームパタン評価方法を提案している。

第4章は「Uplink lightwave propagation through atmospheric turbulence (大気を介したアップリンク光波伝搬)」と題し、ETS-VI 搭載の LCE 受信系による測定データに基づき、地上一衛星間の大気を介したアップリンクの光波伝搬特性について明らかにしている。アップリンクにおいては、大気ゆらぎの影響が支配的であることを測定と解析により明らかにし、光シンチレーションの時間相関関数の工学的モデルを提案し、時間積分型受光素子における光シンチレーションの低減効果を明らかにしている。

第5章は「Micro-vibrational disturbance on satellites (衛星微小振動擾乱)」と題し、衛星搭載の光通信システムへ影響を及ぼす微小振動擾乱について、ETS-VI における軌道上での衛星微小振動特性を明らかにしている。また、振動データは衛星-地上間の光回線により伝

送されたもので、目標追尾を高精度で維持しながらの振動データが取得されている。測定結果に基づく微小振動擾乱のパワースペクトルモデルが提案されている。

第6章は「In-orbit pointing error due to wavefront aberration (波面収差による軌道上追尾指向誤差)」と題し、送受信共用の光学系を持つ光通信システムにおいて、波面収差が変化する時の送受信光軸の間に起こるアライメント誤差を明らかにしている。その結果、3次のコマ収差が、送受信光軸のアライメント誤差に対して一番影響が大きいことを示し、波面収差に対する考察から、波面精度を緩和した光アンテナの設計法について明らかにしている。

第7章は「Laser beam propagation with pointing jitter in space (宇宙空間における指向誤差を伴う光波伝搬)」と題し、狭ビーム送信時の指向ジッタによる受信光強度変動に対して、平均BER特性を最小にする関係について明らかにし、その時の送信ビーム広がり角と指向誤差の関係式を提案している。軌道上における長期指向誤差を考慮することで、衛星間光通信回線におけるレーザ光の長期受信確率について検討でき、追尾精度を緩和したシステムの設計や、商用への通信回線の設計にも適用できる。

第8章は「Optical link design for space laser communications (空間光通信回線の設計手法)」と題し、宇宙空間と大気を介する光衛星間通信回線について、平均BER特性を最適にする回線設計手法を明らかにしている。衛星-衛星間の回線に対しては、指向ジッタによる時間変動に対しフェード及びサージ確率を考慮する。それに対し地上一衛星間では大気ゆらぎが存在するため、複数の送信ビームを用いて光シンチレーションの影響を軽減する方法を提案して、妥当な回線設計を得ている。

第9章は「Conclusion (結言)」であり、本研究で得られた成果をまとめるとともに、開発した設計手法が利用される応用分野を衛星通信の需要予測を含めて紹介し、光宇宙通信における将来の研究課題と展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、実測データに基づき、地上一衛星間及び衛星-衛星間の光波伝搬特性を明らかにし、光宇宙通信品質を規定する主要な諸量の定式化を新たに提唱し、光通信回線解析の方法論を論じたものであり、その結果変動する受信信号を統計的に取り扱い最適な光通信システムを設計することが可能となり、今後の衛星通信技術ならびに電子情報通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。