HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	光空間通信のための光位相制御による高位相安定コヒーレント光合波システムの研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	原口, 英介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13989号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78126
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Eisuke_Haraguchi_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　原口　英介

審査担当者　主　査　准教授　関川 太郎
副　査　教　授　森田 隆二
副　査　教　授　足立 智
副　査　教　授　戸田 泰則

学位論文題名

光空間通信のための光位相制御による高位相安定コヒーレント光合波システムの研究
(Study on high phase stable coherent beam combining system by optical phase control for free space optical communication)

衛星の観測データの大容量化にともない、1 Gbps 以上の速度で衛星間データ中継を行うことが求められている。しかし、従来の電波による通信の速度は数百 Mbps に達し、更に高速化するためにはアンテナ開口の巨大化や周波数資源の枯渇が問題となる。そのため、小型且つ高速通信可能な光波による空間光通信が有力な方法である。現在、二つの課題が指摘されている。衛星に光源として搭載されるレーザーの高出力化と指向角制御である。高出力化と指向角制御が同時に可能な方法として、複数の小出力レーザー間の位相を揃えてコヒーレントに合波するコヒーレント合波 (CBC) の研究が進められている。しかし、実用上必要な数の光波を合成し、さらに通信信号を重畳するための光位相制御方法が確立されていない。本論文は、これらの問題を解決すべく、CBC の新しい方法の提案および実証、さらに合波光に通信光を重畳した光空間通信の新しい方法の実証が行われている。

本論文は、4 章からなる。第 1 章は序論であり、CBC の必要性、合成技術の現状と課題、本論文の構成が述べられている。

第 2 章では、CBC の方法の理論的検討とその実証結果が述べられている。CBC の効率を決めるのは、合成する光波間の位相と方向角である。2.1〜2.3 節において、CBC における光波間の位相および方向角のずれと合成効率の関係に対する考察が行われ、CBC に必要な精度が提示される。それらを満たす新しい光位相制御法として、本論文では、セロダイン変調による光位相制御が新しく提案される。そして、実際に 2 分岐した 1550.12 nm のレーザー光を位相同期精度 1/800 波長で CBC することに成功し、セロダイン変調法の有効性を示した。本方法は高ダイナミックレンジと高精度な光位相同期を両立し、さらに光位相制御部の小型化を可能とする点が、既存の方法より優れている。

2.4 と 2.5 節において、CBC される複数光波の光位相と指向角度を同時に制御するため、光波毎に異なる周波数の微弱な位相変調を重畳し、高速応答の 4 象限フォトダイオードを受光に用いることを提案する。本方式は周波数領域で光波を識別する。最初に考察を行い、実用上必要な 100 ビーム識別のためには、1 GHz 以上の信号帯域が必要であることを明らかにした。また、指向角度は 4 象限フォトダイオードの出力の重心値をとることにより測定し、ショット雑音による信号劣化を考慮しても 0.2 μrad の角度精度で検出できることを見いだした。以上の考察に基づき、1 GHz の周波

数帯域をもつ 4 象限フォトダイオードを新たに開発した。これを用いて 2 分岐した 1550.12 nm のレーザーの CBC をおこない、同期精度が 1/800 波長、角度検出精度が 0.072 μrad、合成効率の劣化は 0.1% 以下を達成した。以上により、コヒーレント合成の新しい方法を確立したことになる。

第 3 章では、以上の CBC したレーザー光に加え、異なる波長の光波も合成する (スペクトラム合成) 新しい方法の提案とその実証が述べられている。さらに異なる波長のビームに通信信号を重畳し、空間光通信を行った。3.2 節では、通信信号が重畳された光波から信号を復調する方法の説明と、速度の異なる衛星間通信への適用を考慮し、ドップラー周波数シフトを補償した位相同期の方法の提案と実証が述べられる。3.3 節以降が、スペクトラム合成法の提案と実証となる。3.3 節において、通信信号が重畳した異波長光を含めた CBC の方法を提案する。通信信号光の位相変動もレーザー光と同一なので、位相制御をレーザー光に対して行うことで通信信号光の CBC を実現する。また、以上の提案に基づき、3.4 節において、まず、異波長光を重畳し CBC をおこない、1 波長時と変わらない位相同期精度であること示した。次いで、通信信号を重畳し 3 m 空間伝送した場合、2.5 μrad の角度精度で電子走査による角度制御を行いながら 5.6 Gbps で空間データ伝送できることを示した。さらに伝送データ量を増やすため波長多重化を検討し、実際に通信信号光を 2 波長とした場合もデータ伝送できることを示した。

4 章において論文の研究成果がまとめられる。また、本研究の位置づけと今後の研究の展望が述べられる。

これを要するに、本論文は、複数のレーザービームを波長精度でコヒーレントに重ね合わせる新しい合成方法の提案と実証を行った。さらに合成波に通信信号を重畳して空間光通信を行うための送受信法を提案し、コヒーレント合波光によるデータ転送と伝搬方向の制御を実証した。これらは世界で初めての成果である。理論的検討では、現状でも 100 ビーム程度まで拡張することが可能である。衛星間通信のように光ファイバーで結ばれていない機器間の高速データ通信に、本論文で示された空間光通信の方式の適用が期待され、レーザー物理学を含む応用物理学への寄与は大きい。よって、本論文の著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があると認める。