

# 論文の内容の要旨

論文題目 波長分割多重光ローカルエリアネットワークと  
その要素技術に関する研究

氏 名 塩沢 隆広

本論文では、将来の情報化社会を担うと考えられる全光ネットワークの中で、①県内(Regional)ネットワーク、または、地域(Local)ネットワーク、②加入者(Access)ネットワーク、③企業内ネットワーク(LAN: Local Area Network)への適用が可能であるローカルエリアネットワークの提案を行う。これらの光ネットワークは、波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)技術を基幹技術とする光ローカルエリアネットワークであり、その有効性を理論と実験から明らかにした。

第1章「序論」では、光ネットワークの研究、開発動向について述べる。また、全光ネットワークの構成例を示すとともに、全光ネットワークの中での本研究の位置付けを明確にする。

第2章「光ローカルエリアネットワークの要素技術」では、最初に、光ネットワークに適用される主な多重化技術についてまとめる。次に、波長分割多重(WDM)システムを、光源と波長フィルタの動作モード（固定波長、可変波長）により分類し、各システムの特長および要求される波長チャンネル数について述べる。更に、これら波長分割多重(WDM)システムに用いられる代表的な光源と波長フィルタについてまとめる。最後に、本論文で提案する各光ネットワークについて、この分類における位置付について述べる。

第3章「デマンドアサイン波長分割多重マルチアクセス光ローカルエリアネットワーク」では、DA-WDMA (Demand Assign Wavelength Division Multi-Access)を用いた光 LAN を提案する。本光 LAN は、既存の標準光 LAN とこれに付加される WD チャンネルから構成される。WD チャンネルは、標準光 LAN の伝送速度に依存しない、他チャンネルの影響を受けない独立の伝送路を提供する。また、この光 LAN は、標準 LAN を拡張することにより実現される。本光 LAN は、光源側に可変波長光源を、受信側に可変波長フィルタを用いた WDM 光ネットワークに分類される。更に、第3章では、本光 LAN の WD チャンネル数、レベルダイヤグラムなどのシステム検討を行う。C バンド用  $\text{Er}^{3+}$  ドープ光ファイバアンプの波長帯域幅（約 35nm）と可変波長 ADM (Add Drop Multiplexer)の半値幅から制限される WD チャンネル間隔（数 nm）を考慮すると、十数の WD チャンネルが使用できる。この WD チャンネル数は、実用的光 LAN あるいは、MAN (Metropolitan Area Network)の応用に対して十分な伝送容量を提供する。また、標準光 LAN を用いて DA-WDMA 制御を実現する専用コントローラを開発し、本光 LAN の実用性を示す。可変波長 ADM には、AO (Acoust-Optic)フィルタを用いている。本光 LAN は、オフィス間光ネットワークなどへ適用が可能である。

第4章「WD・TD・SD (Wavelength Division・Time Division・Space Division)複合多重放送局内光ネットワーク」では、波長分割多重を用いた放送局向け映像信号分配ネットワークについて、波長多重光ネットワークを世界で初めて導入したフジテレビジョン新社屋の例を中心に述べる。本光ネットワークは、光源側に固定波長光源を、受信側に可変波長フィルタを用いた WDM 光ネットワークに分類される。最初に、本ネットワークの構成と基本コンセプトについて述べる。次に、本光ネットワークの時分割多重システムと波長分割多重システム的设计、WD チャンネルのクロストークと波長フィルタでの波形歪のシミュレーション、パワーバジェットについて述べる。時分割多重度は、商用システムの最大時分割多

重伝送速度と映像信号の伝送速度により決まる。本光ネットワークでは、SDTV (Standard Definition Television)コンポジット信号の場合、15 チャンネルを、SDTV コンポーネント信号の場合、7 チャンネルを一つの WD チャンネルに時分割多重する。HDTV (High Definition Television)信号の場合、時分割多重は行わない。波長多重度は、光アンプの帯域と可変波長フィルタの特性（隣接 WD チャンネルの抑圧比）により決まる。次に、開発した装置の構成、特性、伝送実験について報告し、本光ネットワークの実用性を示す。

フジテレビジョン新社屋の光ネットワークは、SDTV システムの導入が 1996 年 8 月から始まり、運用試験を経て 1997 年 3 月より本格運用された。また、HDTV システムは、1999 年 4 月より本格運用が開始され、現在両システムともに順調に稼働している。

第 5 章「U-FDMA/D-TDM 光マルチアクセスネットワーク」では、加入者ネットワークへの適用が期待できる U-FDMA/D-TDM (Upstream-Frequency-Division-Multiple Access/Downstream-Time-Division-Multiplexing)光マルチアクセスネットワークを提案する。本ネットワークでは、上りの信号光をスターカプラでサブキャリア多重(SCM: Subcarrier Multiplexing)し、この信号をセントラルオフィスの受信器のバンドパスフィルタにより電氣的に分離(Demultiplexing)する。また、各ネットワークターミネータ(Network Terminator)に単一のキャリア周波数を割当てるので、通常の SCM 方式と比較して、ネットワークターミネータの送信光源に線形性の高いデバイスを必要としない。下りの通信には、TDM (Time Division Multiplexing)を用い、ブロードバンドサービスを放送モードで提供する。また、上りと下りの通信に異なるキャリア周波数を割当てるので、双方向通信が容易に実現できる。本光ネットワークは、波長分割多重 (WDM) 技術を補助的に適用した光ネットワークに分類される。セントラルオフィスの受信器での光ビート雑音を避ける一つの方法としてネットワークターミネータの送信光源に広い光スペクトル幅を持つ SLD (Superluminescent Diode)を用いることを提案し、実験的に有効性を示す。CNR (Carrier to Noise Ratio)と光ファイバの波長分散によるパワーペナルティを計算し、本ネットワークのチャンネル容量を求めた。例として、光ファイバ長 10km, 分岐数 32 に対して、上り約 1.5Mb/s, 下り約 800Mb/s の最大チャンネル容量が得られる。また、上りの通信のビート雑音の影響を回避するために、近年入手可能になった C-WDM 用半導体レーザを用いた場合のチャンネル容量を求めた。この場合、例えば、上り約 180Mb/s, 下り約 1.6Gb/s の最大チャンネル容量が得られる。

第6章「波長アドレスを用いたパケット転送光ネットワーク」では、波長アドレスを用いたパケット転送光ネットワークを提案する。本光ネットワークは、アクセス方式として、スロテッドループ（或は、バス）を採用する。ネットワーク内の各ノードは、互いに異なる波長によってアドレスされ、各ノードでは、自ノードに割当てられたアドレス波長の信号を選択受信する。フレーム同期とアクセス制御は、フレームパルスに割当てられた特定の波長により行われる。本光ネットワークは、光源側に可変波長光源を、受信側に固定波長フィルタを用いた WDM 光ネットワークに分類される。本ネットワークは、①WDM 技術による高スループット、②アクセス制御が簡便、③ハードウェアの実現性が高い、④ハードウェアの低減が可能などの特長がある。光デバイス、制御技術の点から本ネットワークの実現性を検討するとともに、パワーバジェットの設計例を示す。本ネットワークの要素技術として高速の波長切り換え光源がある。高速波長切換光源として二つの可変波長半導体レーザと光スイッチを用いる構成を提案する。例えば、53byte の ATM (Asynchronous Transfer Mode)セル単位でのセル伝送を仮定すると、伝送速度 600Mb/s に対して、波長切換安定化に要求される時間は、700ns 以下となる。次に、この要求時間以内に高速に波長を切換え、安定化する方法として、ファブリペローエタロンを用いた方式を提案し、実験的に動作を確認する。試作した波長切換え光源の特性は、伝送速度 600Mb/s のシステムに充分適用できるものである。更に、高速パケット信号伝送／選択受信の実験を行い、本光ネットワークの実現性を示す。

第7章「結論」では、本研究の成果をまとめるとともに、今後の展開についても述べる。

DA-WDMA 光 LAN には、DA-WDM の回線の代わりに、固定波長光源と可変波長フィルタを用いた回線を用いることが考えられる。また、十分な WD チャネル数を確保できれば、自由度の高い光 LAN を構成することが可能となる。映像信号分配光ネットワークには、大規模光スイッチャや、IP (Internet Protocol)ネットワークの導入も考えられる。加入者系光ネットワークには、WDM デバイスの低価格化による WDM ネットワークへの展開が期待される。WDM パケット転送光ネットワークは、次世代技術を導入した光ネットワークであり、今後の要素技術の進展による実用化が期待される。