

- **次々世代の光符号分割多重方式で超テラビット伝送実験に成功**  
—80 Gbps 光符号分割多重信号を19波長多重化し、世界最大1.52 Tbps伝送—
  - 平成13年6月5日
- 

独立行政法人通信総合研究所(以下CRL、理事長:飯田尚志)は、大阪大学北山研一教授と共同で、光符号分割多重方式を用いて世界で初めて、テラビットを越える容量の多重伝送実験に成功しました。20Gbpsの光符号分割多重信号を同一波長で4チャンネル多重化し、さらに波長多重化することで1.52Tbpsの伝送実験に成功しました。光ファイバ伝送の大容量化やノードの光化などペタビット級ネットワークを実現するための基礎技術として期待されます。

## <背景>

政府が進めるe-Japan重点計画(高度情報通信ネットワーク社会の形成に関する重点計画)では、2010年にはペタビット級の容量を持つ超高速大容量光ネットワークが必要とされています。光符号分割多重(OCDM: Optical Code Division Multiplexing)は、現在の光ネットワークで用いられている光時分割多重(OTDM: Optical Time Division Multiplexing)や近年脚光を浴びている波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)とは異なる新しい多重方式です。OCDMは、同一の波長で同一時刻に複数のチャンネルを多重できる特長があり、光ファイバ伝送の大容量化やノードの光化を実現するブレイクスルー技術として期待されています。しかしこれまでテラビットを超える大容量伝送をOCDMで実現するのは困難でした。

## <本成果の特徴>

1チャンネルあたり20Gbpsの光符号分割多重信号を同一波長上に4チャンネル多重化し(1波長あたり80Gbps)、さらにこれを19波長多重化した1.52Tbps光符号分割多重/波長多重信号の80km伝送実験に成功しました。今回、飛躍的に大容量化を図れたのは、電気処理を行わずにすべて光のまま処理を行う超高速光信号処理技術を随所に駆使したためです。送信部においては、テラビットを超える広帯域光信号を生成し、光信号のまま多波長同時光符号化を行いました。伝送部においては精密な波長分散管理を行いました。受信部においては、復号処理における雑音を抑制する時間ゲート方法として、広帯域かつ超高速動作が可能な光信号処理方式を採用しました。これらの超高速光信号処理技術により初めてテラビットを越えるOCDMの長距離伝送が可能になりました。

## <今後の発展>

CRLは、2005年までにペタビット級ネットワークの基礎技術を確立すべく、基幹系においてさらなる超大容量化を目指します。アクセス系においても、家庭からギガビット級の大容量通信の実現を目指します。

また、この成果を6月26日～29日にイギリスで開催される「ネットワークおよび光通信国際会議(NOC2001)」およびイギリス電子工学会(IEE)発行のElectronics Letters誌上において発表いたします。

---

(お問い合わせ先)

独立行政法人通信総合研究所  
基礎先端部門超高速フォトニックネットワークグループ  
担当: 中條 渉 Tel: TEL:042-327-5552

---

## 【用語の説明】

【Gbps】:bpsはデータ通信における情報の通信速度の単位であり、1秒間に通信することのできるビット数を表す。Gbpsは1秒間に10億ビットの情報を伝送すること。

【Tbps】:1秒間に1兆ビットの情報を伝送すること。

【ペタビット】:Peta bps。1秒間に1000兆ビットの情報を伝送できる速度。1000万世帯が超高速インターネットアクセス網(100メガビット/秒)に同時に常時接続できる。

【光符号分割多重】:光多重通信方式の一種。送信側ではチャンネル毎に異なる光符号で信号を符号化し、受信側では同一の光符号を鍵として復号化することによって、同じ波長の信号を同時に複数のチャンネルに割り当てる多重通信方式。

【光時分割多重】:光多重通信方式の一種。同じ波長の光信号を時間で分割し多数のチャンネルに割り当てる多重通信方式。

【波長多重】:光多重通信方式の一種。与えられた波長帯域を一定の波長間隔で異なる波長に分割して多数のチャンネルを割り当てる多重通信方式。

【光ノード】:ネットワークの接続点(ノード)における様々な伝送処理において、光信号を電気信号に変換することなく光のままで行う技術。

【時間ゲート】:所望の時間だけ信号を通して、残りの時間は信号を通さないようにする技術。これにより、不必要な雑音量を減らすことができる。

【干渉雑音】:多重化された光符号を復号化する際、送信側の光符号と一致しない符号で処理された信号が生成する雑音。

【光ファイバの波長分散】:光ファイバ中を伝搬する光の群速度が波長により異なること。

【光ファイバの非線形性】:光ファイバの屈折率が光パワーに依存して変化すること。

【光信号処理】:光信号を電気信号に変換することなく光のまま処理すること。ペタビット級の情報伝送を実現するためには必要不可欠な技術。

【スーパーコンティニューム光】:光信号のスペクトルを光ファイバの非線形性と波長分散を利用した光信号処理により、元の信号スペクトルよりも拡散させた光。

【高非線形ファイバ】:光ファイバの非線形性はフェムト秒の応答速度を有するため、超高速光信号処理に応用されることが多い。高非線形ファイバは、従来の光ファイバに比べて、5-10倍程度非線形を高めたファイバである。これにより、光源に要求されるパワーが小さくできたり、非線形ファイバの波長分散や偏波モード分散の影響を軽減でき、より柔軟な光信号処理が行える。

【非線形ループミラー光スイッチ】:制御光により出力ポートを切り替えることができる、超高速光制御光スイッチの1種。光ファイバをカップラでリング上に結合し、信号光は時計方向および反時計方向の両方向周りに、制御光はどちらか一方方向に回るように構成する。光ファイバの非線形性を活用することにより、制御光と時間的に重なった信号光のみスイッチする事ができる。



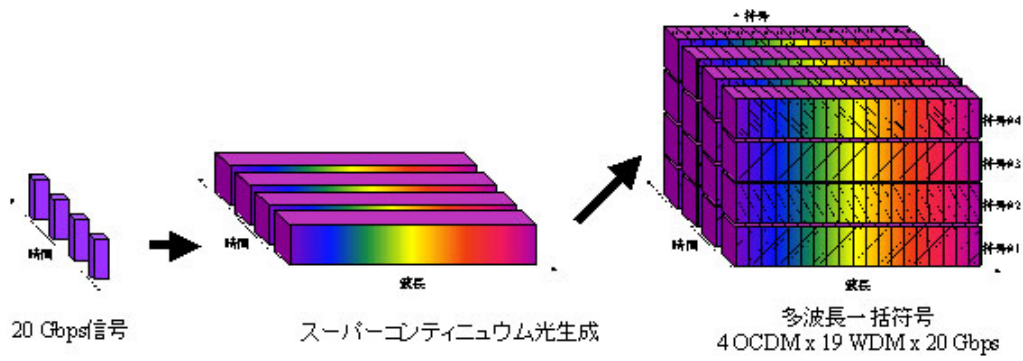


図1 超広帯域光信号生成と多波長一括符号多重(送信部)

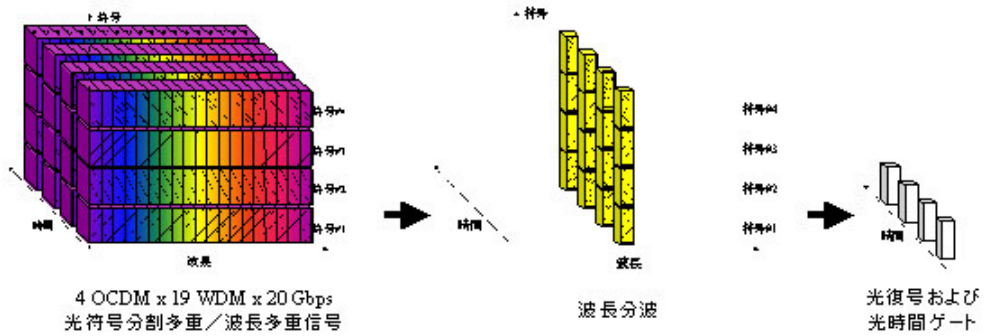


図2 光符号分割多重/波長多重信号復号(受信部)

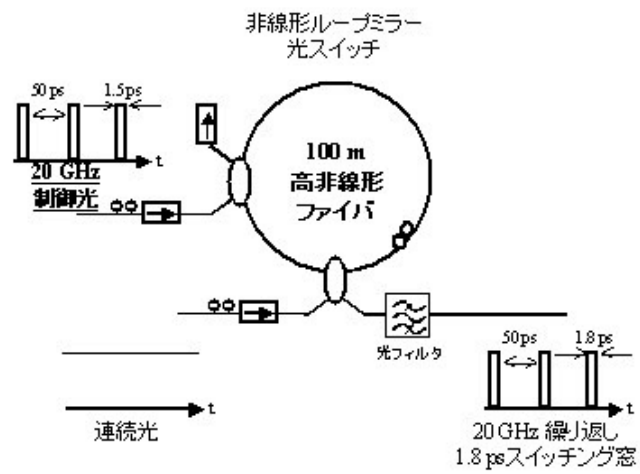


図3 テラビット級光時間ゲート

## [補足説明]

従来の光通信では、光時分割多重(光TDM)や波長多重(WDM)などの光信号分離・多重方式が主に用いられています。光TDMでは、同じ波長の光信号を時間で分割し多数のチャンネルに割り当てる方式です。WDMは、与えられた波長帯域を一定の波長間隔で分割して多数のチャンネルを割り当てる方式です。これらの方式では、同一波長で同一時刻に複数の光信号を多重化することは原理的に不可能でした。これに対して光符号分割多重(OCDM)は、送信側でチャンネル毎に異なる時間波形で符号化し、受信側で同一の符号を鍵として復号化することで情報信号を得る方式です。この原理を応用することの特徴は、送信側と受信側でペアにした固有の符号を用い多数のチャンネル信号を同じ波長帯で一本の光ファイバで同時に送ることができること、非同期のアクセスができることが挙げられます。これは、携帯電話の方式として近年実用化された無線の符号分割多元接続(CDMA)方式の光通信版と言えます。さらにネットワーク特有の機能として、光TDMやWDMにない特徴として従来上位レイヤに任せていたルーティングなど複雑な処理を光領域で行えるなどの高機能化が図れることや、情報を光領域で符号化して伝送するため、通信セキュリティの向上が図れるといった機能を有しています。

通信容量増大に関しては、従来は光TDMとWDMの組み合わせにより大容量化が研究されてきました。しかしながら政府のIT政策(情報通信技術)政策にも述べられているように、今後、通信容量需要のさらなる加速が予想され、WDMをベースとする容量拡大もやがて波長資源の不足が顕在化すると考えられています。無線でも周波数資源の不足が問題となっていますが、その解決法の一つとしてCDMAの導入が考えられています。これと同様に、OCDMは既存のWDMシステムにオーバーレイする事により、伝送容量を増加することができる技術として注目されています。今回、従来の光TDMやWDMとは全く異なる新しいブレイクスルー技術としてのOCDMに超高速光信号処理技術を活用する事により、これまで困難とされてきた大容量化を飛躍的に推し進めることができました。

CRLのOCDMの特徴は、光符号が光波の位相をゼロもしくは $\pi$ だけシフトさせた二相位相シフトキーイング(BPSK: Binary Phase Shift Keying)パルス列を用い、コヒーレント相関検波に基づく光符号器を用いているため、符号・復号化は純光学的に処理できる事、および復号処理に時間ゲートを導入した事にあります。これにより、超高速の光符号・復号化が可能になり、従来に比べて信号対干渉雑音比を大幅に改善できます。この都度の飛躍的な容量増大には、光信号送信部、光伝送部、信号受信部において超高速光信号処理技術が不可欠でした。光ファイバの非線形性を利用したスーパーコンティニューム(超広帯域)光は、簡便な大容量OTDM/WDM光源として研究されていますが、今回これをOCDM/WDM光源として光信号送信部に応用しました。光符号器はそれ自体が波長特性の周期性をもっているため、超広帯域光を利用することで多波長信号を同時に光符号化が行えます。

さらにこのような多波長光符号は広帯域光信号となり、光ファイバの波長分散や非線形性が伝送品質を劣化させる原因となります。これらの影響を押さえるため、伝送路の波長分散を精密に管理すると共に、光信号自体が有する周波数チャープ特性を活用しました。

光受信部においては、時間ゲートの導入により光符号分割多重数を増加する事ができますが、波長多重した場合は広帯域にわたって超高速な時間ゲート特性が要求されます。今回は、従来の光ファイバに比べて非線形性が大きい特殊なファイバを利用することに超高速光スイッチを構成し、広帯域にわたってテラビット級の時間ゲートを実現することができました。

通信容量需要の急激な拡大により、従来のWDM化による容量拡大だけでは波長資源枯渇化が懸念されています。今後は、OCDMを導入することにより、周波数利用効率を拡大することを目指すと共にさらなる大容量化を図ります。また、OCDMを波長多重にオーバーレイしたOCDM/WDM技術に基づき、ペタビット級の基幹ネットワークやギガビット級のアクセスネットワークの実現に向けた研究開発を実施します。