



# ■ EANTC ■

EANTC による Cisco の CloudVerse  
アーキテクチャの独立テスト

パート 4: 長距離オプティカルトランス  
ポート



## LIGHT READING による序文

長距離オプティカルトランスポート領域における王道自慢は、常に、Light Reading の読者にとって熱い討論のトピックとなってきました。最近、私たちが「AlcaLu の 100G 自慢」を取り上げたとき、読者はあっという間に 21 のコメントを投稿してくれました。そのうちのいくつかは、ベンダーはいかにして光トランスポートにおいて他社との差別化を図るかについて詳しく述べていました。

商用の 100G システムは依然として新しく、その領域における Early Mover (アーリームーバー：初期参入企業) と呼べるのはほんの一握りの企業にすぎません。そのようなベンダーには、Alcatel-Lucent、Ciena、Huawei、Cisco などが含まれています。いずれも、電気通信機器業界の大企業です。

ただし、Cisco は 100G のアピール競争で最も活発だったわけではありませんでした。しかしながら、Cisco は自社の機器をテストし、Super Channels (スーパーチャンネル) の開発を実証してポイントを証明しました。つまり、Cisco には依然として、この長距離オプティカルトランスポートレースに出場させる馬があるということです。

「Cisco は、彼らが商用の 100G/秒システムでアーリームーバーであることを実証している」と、Heavy Reading のアナリスト、Sterling Perrin は語っています。「1 波長で 100G のパフォーマンスは依然として市場に実証しなければならない。1 波長で 100G は、Ciena が提唱する 2 波長で 100G のパフォーマンスに並ばないという認識がある。従って、このテストは間違いなくその点に言及するものである」。

騒ぎはこれくらいにして、本レポートの残りのセクションと結論をご覧ください。

### 目次

Light Reading による序文.....	2
FEC と 100 Gbit/秒超長距離.....	2
スーパーチャンネルのデモ.....	5
結論.....	7

### EANTC について

EANTC は 1991 年に設立された独立テスト研究室であり、ドイツのベルリンを拠点として、サービスプロバイダ、政府、大企業のためにベンダー中立の概念実証 / 承認テストを実施しています。EANTC は、オンライン出版と相互運用 / サービスプロバイダの両方を対象に、2000 年度の初めからデータセンターソリューションをテストしてきました。

本プログラムにおける EANTC の役割は、テストの主題を詳細に定義し、Cisco とコミュニケーションをとり、テスト機器ベンダー (Ixia) と連携し、Cisco のサイトでテストを実施することでした。EANTC のエンジニアは結果を広範囲にわたって記録しました。Cisco はその製品に、契約で定義され、制御された環境での厳格なテストを受けさせました。この独立テストに関して、EANTC は Light Reading のみに指示を仰ぎました。Cisco テストは個々のレポートを発表前にレビューしていません。Cisco は全体としてのテスト結果の発表を拒否する権利を持っていましたが、個々のテストケースを拒否する権利は持っていませんでした。

– Carsten Rossenhövel は、ベルリンの独立テスト研究室、European Advanced Networking Test Center AG (EANTC) の常務取締役です。EANTC は、メーカー、サービスプロバイダ、政府、大企業のためにベンダー中立のネットワークテストサービスを提供しています。Carsten は、EANTC のメーカーテスト / 認証グループと相互運用テストイベントを指揮しています。彼はデータネットワークとテストで 20 年を超える経験を持っています。

EANTC の Jonathan Morin はプロジェクトを管理し、各種ベンダーと連携し、記事を共同執筆しました。

## FEC と 100 GBIT/秒超長距離

要約：改良された FEC (Forwarding Error Correction: 順方向誤り訂正) 技術を介して、Cisco のオプティカルソリューションは、3,000 キロメートルにわたり、それぞれ 100Gbit/秒を処理できる 70 のチャンネルを正常に伝送しました。トランスポンダの間のデジタルゲインインコライザはわずか 3 つでした。

パケットベースのネットワークが進化してトランスポートネットワーク要件を組み込む一方で、単純なオプティカルトランスポートにも否定できないニーズがあります。事実、DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing: 高密度波長分割多重方式) システムも継続的に進化し、シングルファイバにますます多くのデータを詰め込み、そのデータをますます遠くに送り出しています。

### オプティカルでクラウド？

あなたはこう尋ねるかもしれません。それがクラウドと何の関係があるのですか？ 私たちにもそれと同じ疑問がありました。Cisco は 2 つのことを主張しました。最初にデータトラフィックの増加です。それに対して Cisco は時間をかけて推定や計算をしていますが、トラフィックが集中するところには DWDM が提供できる帯域キャパシティが必要とされています。Cisco は、クラウドトラフィックは他のネットワークトラフィックに比例して著しく成長し、また、全体的なネットワークの利用を増やすはずだと考えています。

Cisco の 2 つ目の論点は、広大な地理的領域にわたりサービスを提供するクラウドパートナーは、おそらく、複数のデータセンターを計画し、それらを相互接続する必要に迫られるだろうということです。プロバイダがその顧客にクラウドをメインのストレージ空間として使用するように説得した結果、何テラバイトものユーザデータがクラウドに集まるところを想像してください。オフサイトバックアップを毎日作成するところを、あるいは、あるデータセンターが別のデータセンターにすべてのトラフィックを宛てるシナリオを想像してください。高帯域パイプは今すぐは必要ないかもしれませんが、クラウドの利用が増えると思いがけず役に立つかもしれません。

## ラマンは必要ない

テストの主な焦点は、Cisco の高度な FEC (Forwarding Error Correction) アルゴリズムでした。Cisco は、このアルゴリズムがあれば、一般的にトランスポンダの間に置かれている高価なシステムがなくても、より多くの波長（より多くのトラフィック）をより長い距離に送信できると考えています。そのような高価なシステムの 1 つにラマン増幅システムがあります。これは光信号を増幅するだけでなく、信号を劣化させる自然現象である誘導ラマン散乱を補います。そのため、私たちの設定にはラマン増幅がありませんでした。また、散乱を補うようなユニットや、信号を再生成する追加トランスポンダも使用しませんでした。

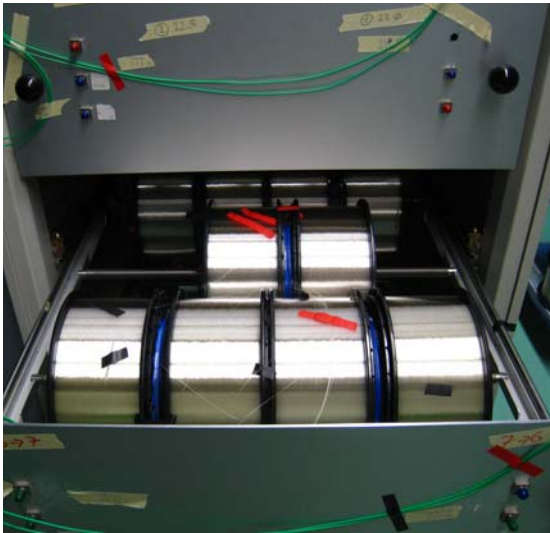


図 1: 3000 キロメートルのファイバ

ると説明しました。

結果、100Gbit/ 秒の 65 のチャンネルが同じデータを送信しました。私たちはこのシステムに全面的に依存しなくなかったので、Ixia の 100Gbit のシングルイーサネットインターフェイスも利用して、66 番目のチャンネルを使用した 2 つ目のトランスポンダカードに送信しました。最後に、Cisco は同社の 100Gbit イーサネットトラフィックジェネレータを 4 つ追加したので、私たちはそのひとつひとつにトランスポンダを設置しました。全部で 70 の 100Gbit/ 秒チャンネルが揃いました。3,000km の設定にわたり、各チャンネルが多重送信されます。増幅器はファイバロール全体で均等に割り当てられました。これは最も現実的な設定とはいえませんが、このような大規模なテストには理にかなうもので、このタイプの設定環境の制限を理解することができました。

## テスト設定

私たちの設定は、Cisco の ONS 15454 100G トランスポンダの間に、3000 キロメートルのファイバ、28 個のエルビウム添加ファイバ増幅器 (EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier)、3 個のデジタルゲインイコライザ (DGE: Digital Gain Equalizer) を置くというものでした。この距離を可能にするために高品質のファイバも必要でした。私たちは超低損失のファイバを使用しました。このファイバのベンダーは、損失は 1 キロメートルにつき、最大でわずか 0.18 dB にすぎないとしています。

増幅器も各方向に使われ、各 DGE 内で 2 回増幅され、信号はトランスポンダクライアントに戻る前に 28 倍に増幅されました。目標は、この巨大な設定で、それぞれ 100Gbit/ 秒を処理できる 70 のチャンネルを送信することでした。

100 Gbit/ 秒のイーサネットで 70 のテストインターフェイスを得るのはやっかいな問題であったため、Cisco チームが社内のツールを利用して、テスト用の信号の生成を手伝ってくれました。50 GHz で C バンドの ITU-T グリッドで 65 個の分布帰還 (DFB: Distributed Feedback) レーザーが使用され、シングルファイバに多重送信されました。その後、この信号は Cisco の 100Gbit トランスポンダカード内のモジュレータに送られました。Cisco は、これでワードまたはデータがコヒーレント偏光差分 4 位相偏移 (CP-DQPSK: Coherent Polarization Differential Quadrature Phase Shift Keying) 変調形式で無作為に生成され、光信号対雑音比 (Optical Signal-to-Noise-Ratio/OSNR) と散乱に対するロバスト性の点から送信が最適化され

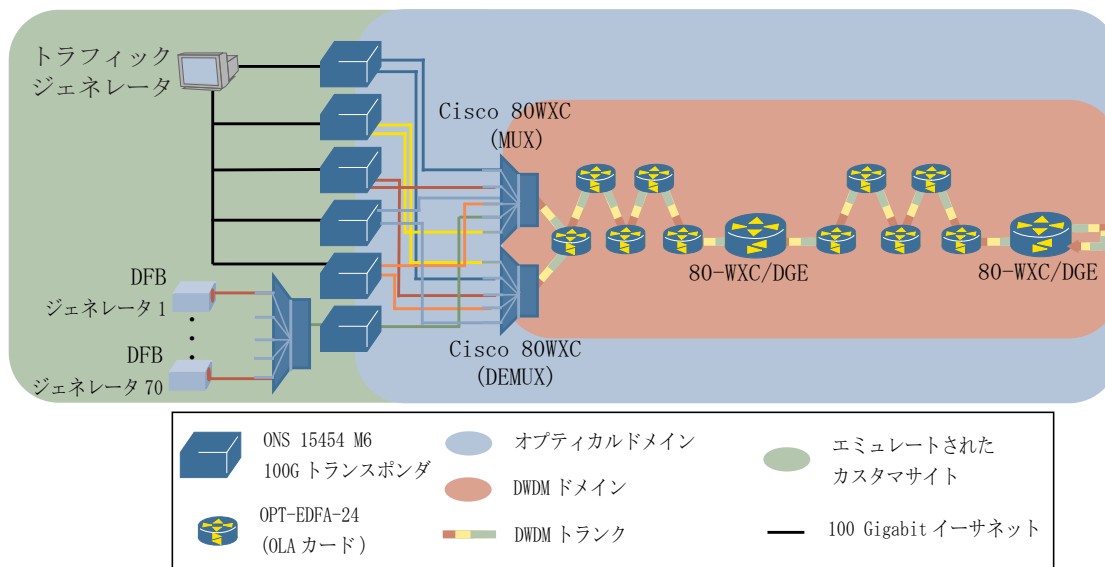


図 2: テスト設定

## テストの手順と結果

私たちは、IMIX トラフィック（フレームサイズ：荷重配分比 - 64:7、512:4、1500:1、9000:1）を利用して 5 つすべての 100Gbit イーサネットインターフェイスでラインレートを送信するようにイーサネットトラフィックジェネレータを構成し、Cisco が生成したトラフィックを使用する他の 65 のチャンネルに並んで 15 分間トラフィックを送信しました。どのテスターもフレーム損失ゼロとエラーゼロを報告しました。基本的に、「FEC 後 (post-FEC)」のエラーは観察されませんでした。しかし、「FEC 前 (pre-FEC)」のエラーについてはどうでしょうか？ いくつかのエラーがライン上のノイズにより発生し、Cisco の FEC により修正されたのでしょうか？ これは内部メカニズムであり、独自開発のアルゴリズムなので、どれくらいのエラーを修正したかを知るには Cisco のシステムに依存するしかありませんでした。テスト下のシステムは当初、 $2.23 \times 10^{-3}$  のビットエラーレート (BER) を報告しました。私たちは、隣接するチャンネルがなかったら BER が改善するのに興味がありました。そこでゆっくりと、隣接周波数上でチャンネルを落としました。隣接周波数の 1 つ目、2 つ目、3 つ目のペアを取り除いた後、Cisco カードは次の BER 値を報告しました。それぞれ  $1.73 \times 10^{-3}$ 、 $1.46 \times 10^{-3}$ 、 $1.29 \times 10^{-3}$  です。実際、隣接するチャンネルがより多くのノイズを作り、エラー率を上げていました。しかしながら、すべてのケースで、FEC がエラーを修正し、テスターはエラーも損失も観察しませんでした。

私たちはまた、一連のフレームサイズに RFC 2544 遅延テストを実施し、ラインレートでトラフィックを流しながらそれぞれの遅延を測定しました。結果はグラフのようになります。15 ミリ秒より少し下になったこれらの値は、トラフィックが流れる距離を考慮すると、大体私たちの予想どおりです。遅延はルータまたはスイッチによって変わるものと予想した一方で、オプティカルトランスポンダではすべてのイーサネットフレームに対して固定のコンテナサイズが使用されたため、一貫性も予想されました。

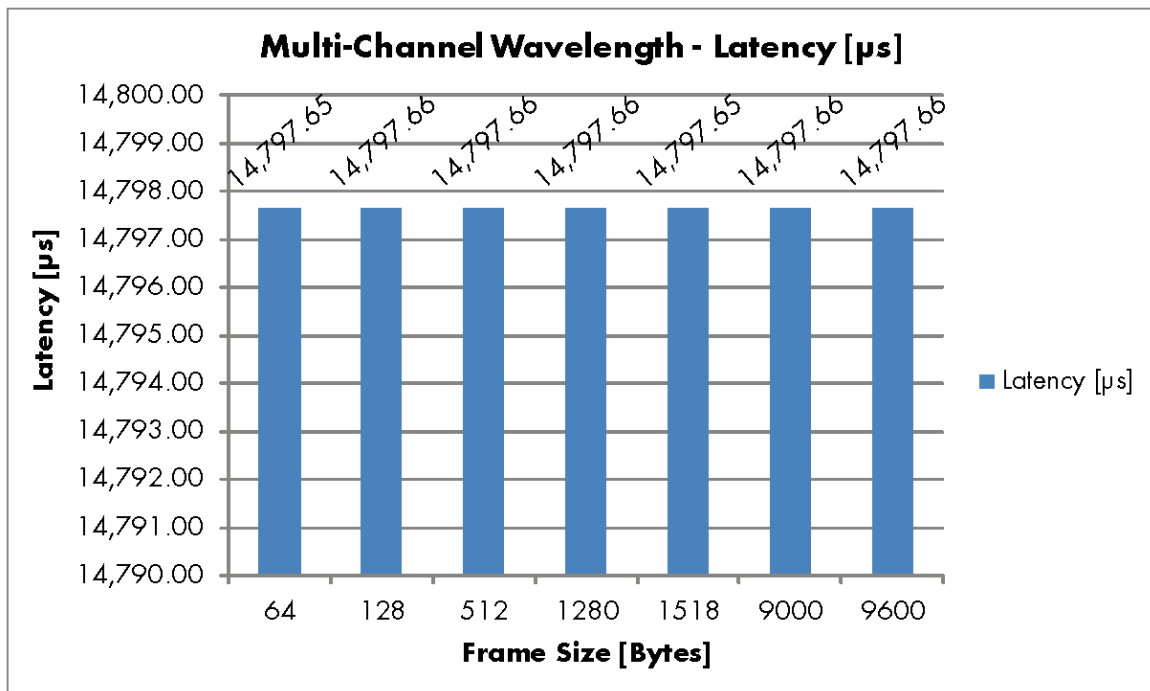


図 3: 遅延結果

ある時点で、私たちは無作為に選んだファイバを曲げて「FEC 前」のエラーを上限超えまで増やそうとしましたが、実際には、ライン上でかなりのパワーが下がり、Cisco チームが信号の完全な損失を観察しました。またそのため、オプティカルサービスチャンネルが壊れ (OAM を考えてください)、70 チャンネル全部の送信が停止しました。数分後、チャンネルは復旧しました。

納得する前に、さらに 2 つのサニティチェック (基本レベルのチェック) テストを考えていました。安定性に関するチェックで、Cisco の 65 のチャンネルをすべて落とし、私たちの 5 つのチャンネルでトラフィックを送信しました。トラフィックを継続して流しながら、65 のチャンネルを戻し、損失もエラーもありませんでした。

これに続き、Ixia が生成するトラフィックが使用している周波数に何も特別なことがないことを確認する必要があります。Ixia 接続のトランスポンダインターフェイスの波長を 1545.72 nm 使用から 1660.21 nm 使用に移しました。依然としてエラーなし、損失なしでした。

光に関してあまり詳しくない方のために簡単に説明すると、Cisco の小さなトランスポンダにとって、これはかなりの偉業でした。シングルラックユニットカードが 100Gbit/秒のイーサネットトラフィックを取り込み、OTU4 コンテナを介してその全部を出力しました。かなりの距離 (3,000 キロメートル) にわたり、69 の同様のチャンネルと並んで信号が送信されました。ラマン増幅器への出費を抑えたいオペレータは、これを希望の兆しとして見ることができます。振り返ってみると、3,000 キロメートルに増幅器を均等に割り当てた私たちの設定は実際の導入形態に一致していたでしょうか? 可能性としてはあるが、おそらく違うでしょう。Cisco は、短距離と長距離を問わず、オプティカルトランスポートトポロジで使用できるように、カードはフリーサイズとして位置付けていると説明しました。このテストはしかしながら、Cisco のオプティカルトランスポンダで可能となるパフォーマンスを示したものと考えます。

## スーパーチャンネルのデモ

要約 :Cisco はスーパーチャンネルの開発を実演し、1Tbit/ 秒と毎秒 400Gbit/ 秒のスーパーチャンネルがシングルファイバ上で 100Gbit/秒のチャンネルと共存するところを実証しました。

超長距離ソリューションのテストの後、Cisco は私たちに研究の最前線で彼らが計画しているものを熱心に見せました。Cisco は、CoreOptics の買収およびトリノ技術専門学校 (Politecnico di Torino) との連携は、オプティカルシステムに対する重点的な取り組みの強化と、100 ギガビットを超えるオプティカル技術の開発に役立ったと語っています。試作システムがまだ開発の最終段階にあり、テストの準備ができていないことを知った上で、私たちは研究室に行き、彼らの計画を見ることに同意しました。

設定環境はリサーチ用のもので、一方向のトラフィックのみがエミュレートされ、オプティカルサービスチャンネル (OSC: Optical Service Channel) は使用されませんでした。変調された分布帰還 (DFB: Distributed Feedback) レーザーがここでも信号をエミュレートするために使用されました。しかしながら、ここでは、異なる変調スキームが使用されており、それが焦点でした。

Cisco はマルチキャリア信号を使用して、コヒーレント伝送を利用するテラビットの隣接「スーパーチャンネル」を作る方法を開発しました。これは、16 直角位相振幅変調 (QAM: Quadrature Amplitude Modulation) と密集波長を利用して、各チャンネルでさらに多くのデータを運ぶために、チャンネルの構築方法を再定義するというアイデアです。結果的に、チャンネル間に固定の 50GHz のスペーシングを定義する ITU-T グリッドに厳密に従わないことになりませんが、それでも、スーパーチャンネルは業界ですます普及しています。下の 2 つのイメージで、1 つは ITU-T グリッド内の 100 チャンネルを表し、1 つはスーパーチャンネルを表しています。

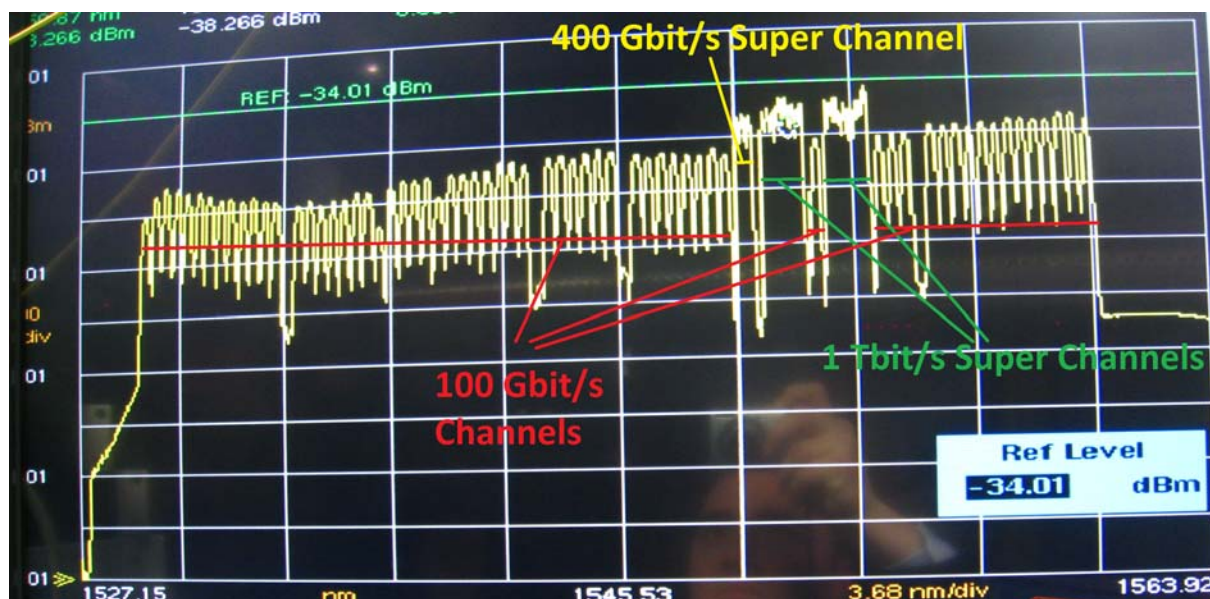


図7: デモンストレーション中のスペクトラム表示

Cisco はまた、ITU-T グリッドに準拠する標準の 100Gbit/s チャンネルはスーパーチャンネルと共存できると言及し、実証しました。設定では、シングルファイバにいくつかの信号が与えられました。

- 16 QAMで変調された10の100Gbit/秒チャンネルから構成される2つのTbit/秒チャンネル
- 16 QAMで変調された4つの100Gbit/秒チャンネルから構成される1つの400Gbit/秒スーパーチャンネル
- 64のITU-Tグリッドベースの100Gbit/秒チャンネル — そのうちの1つは(隣接波長を利用して)2つのテラビットスーパーチャンネルの間に押し込められています。チャンネルの共存を証明するためです。

Cisco の変調された信号が標準のシングルモードファイバの5ロール分(1ロール100キロメートル)の距離を送信されました。ファイバはそれぞれ、エルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier)に取り付けられています。信号の受信端に試作レシーバがあり、さまざまな部品が作業台上に置かれています。試作品はコヒーレント検出を利用して、信号を受信し、デジタル信号処理(DSP: Digital Signal Processing)でエラーをデジタル的に修正していました。Ciscoの設定では、DSPはソフトウェアで行われま

した。しかしながら、Cisco チームは、それで100%の結果が得られたら、本稼働ではハードウェアで構築すると説明しました。この同じシステムはまた、それが修正したエラーの数の報告をしていました。

実際にエラー修正が作動して、設定が私たちの理解どおりであることを確認するサニティチェックとして、私たちは、報告されるビットエラーレート(BER)が低下することを期待して、100キロメートルのファイバを取り外すように要請しました。実際、500キロメートル全部ではシステムは $1.19E-02$ から $1.23E-02$ までの値を報告し、100キロメートルを取り外した後は、合計400キロメートルの距離に対してシステムは $8.75E-03$ から $1.04E-02$ までの値を報告しました。

テストのためこの製品の準備が完全には整っていないながらも、私たちは興味津々でした。8.8Tbit/秒のトラフィックは確かにシングルファイバにとってかなりの負荷です。今日、この負荷を必要とする圧倒的な数のアプリケーションは想像できませんが、過去の経験から、将来のレートを考慮することは無駄ではありません。システムが市場に出て、それをエンドツーエンドでテストする日を楽しみにしています。

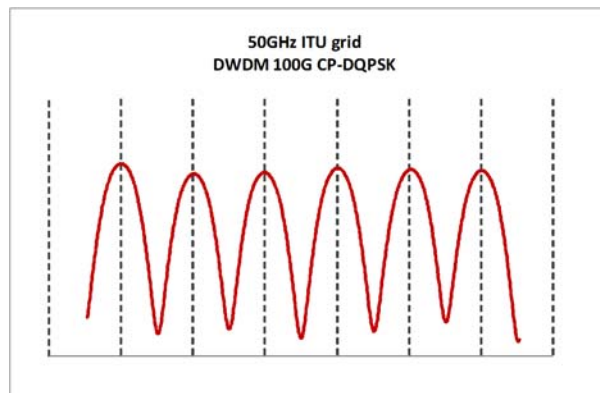


図5: ITU-T グリッド内の波長

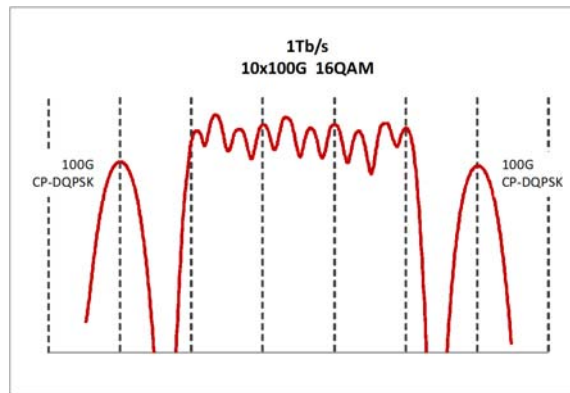


図6: スーパーチャンネル

## 結論

オプティカルトランスポート機器の進化はかなり単純で、より長い距離に渡って、より速いレートでより多くのビットを送信することで、エンベロープを送り出すというものです。これは一般的に、テストの方法論もシンプルであるということの意味ですが、現在、コンポーネントが到達している規模を考慮すると、難しい課題になりえます。

FEC と 100Gbit/ 秒の超長距離をカバーするテストで、私たちは、Cisco のソリューションが、ラマン増幅もその他の散乱を補う手段もなしで、大量のデータを相当の遠くに運ぶことを確認しました。3,000 キロメートルの距離は印象的です。オペレータは一般的に自らのダークファイバ（利用されていない、シングルモードの敷設ファイバ）の活用を試みます。そのため、3,000 キロメートルの高価な超低損失ファイバの敷設に沸き立つ人はあまり多くありませんが、今回使用されたテスト設定はベンチマークとして役立ちます。シングルモードのファイバは簡単に言って短い距離を意味します。そのようなシナリオに興味のある方はテストを受けることを推奨します。

概して、Cisco はオプティカルソリューションに全力を傾けていることを示しました。テストは極めて大規模な設定の元で行われ、銀行に持って行けるような結果となりました。また、そのスーパーチャネルのデモで、Cisco は 100Gbit/ 秒を超えて境界線を押し進めていることを示しました。業界はすでに 100Gbit/ 秒から毎秒マルチテラビットに速度をシフトしています。そのくらいの速度の実現は間違いありません。後は場所と時間の問題です。クラウドパートナーがそれを短時間で有益と見るか否かは彼ら次第です。Cisco はクラウドサービスがトラフィックを押し上げていると見えています。それが本当であれば、Cisco には準備ができています。



EANTC AG  
European Advanced

Salzufer 14  
10587 Berlin, Germany  
電話 :+49 30 3180595-0  
info@eantc.de  
<http://www.eantc.com>



Light Reading  
United Business Media TechWeb の部署

240 West 35th Street, 8th floor  
New York, NY 10001, USA

<http://www.lightreading.com>

本レポートは著作権 (© 2012 United Business Media and EANTC AG) を有しています。正確で完全な文書を発行するために最善の努力が図られていますが、作者は本書に含まれる情報の利用に対して一切の責任を負いません。本書に記載されているすべてのブランド名とロゴは、米国およびその他の国におけるそれぞれの会社の登録商標です。