

SEMINAR REPORT

光アクセスシステム技術はどこに向かうのか



日本電信電話株式会社
アクセスサービスシステム研究所
第一推進プロジェクトマネージャ
木村 秀明 氏

NTT アクセスサービスシステム研究所は、伝送系だけではなく、アクセス系にかかわるところ全般、土木、ファイバなど、有線だけではなく無線も手がけています。それら全てをプレゼンするのは時間的に足りないの、ここでは最初に基盤設備の重要性を簡単に説明して、その後伝送系について詳しく紹介していきたいと思います。

基盤設備の重要性

土木設備というか設備関係は、3.11 地震の津波でファイバ、メタルも含めて全て持っていかれました。被害状況が一番はっきりしているのはケーブルです。ファイバ、通信系のケーブルを守っている管路が地震、津波によってズタズタになりました。

何故この様な話をするのかというと、あれこれ言っても、これらの設備が守られていないと通信は成り立たないということで、設備をしっかり守った上で、ファイバや装置系も考えていかなければいけないということです。また、有線が途切れてしまった状況下でも、モバイルが通信路を確保して守ってくれる。そういう意味では、有線と無線の連携も取り上げていく必要があると思っています。

マンホールやとう道は、新設すると設備投資に莫大な費用がかかるので、これを如何にして維持・メンテナンスしていくかは、現在かなり大きな問題となってきています。阪神大震災の被害状況を受けて、引っ張り方向だけでなくあらゆる方向に引っ張られる、ねじ曲げられることに対して、管路、ファイバを守るためにあれこれと色々なアプローチを取ってきました。これが 3.11 地震では活かされて、地上設備に比べて地下設備の被害率は桁違いに低い、それほど壊れていないという報告がなされています。この当たりの技術を NTT 研究所がしっかり探求してきたことの成果が今回功を奏したということです。

また、点検作業というのは大変な事なのです。敷設してから 30 年、50 年経っている設備が多々あって、電柱、マンホール、

あるいはとう道が、今どういった状況にあるのか調査するのはとてつもなく大変なことです。さらに悪いことに社員数が大幅に減っています。見た瞬間に不具合が判る高スキルな人というのは確かにいるのですが、その人がいなくなったらどうするかという問題があって、これに備えてハイテク化、機械の力で解決しようというのが進められています。コンクリートの非破壊検査という手法で、マイクロ波を使ったり、デジタルカメラ映像を画像処理したり、あるいは超音波を使ったり、これら 3 つの検査を組み合わせて調べている状況です。

地下設備を新しく敷設するとなると多額の投資が必要です。そこで、今ある管路、ケーブルをそのまま活用して、管路の中を洗浄して内部に新しい管路を敷設して、その管路にファイバを通すという技術も開発して、今では事業に導入しています。設備の老朽化は、1950 年代からの設備が未だに残っているというのが現状です。これらの点検も含めて如何にして効率よくリニューアルしていくかが、今日の大きな課題なのです。

伝送系の方向性

(1) 社会背景

装置系の研究開発を今後どの様に推し進めていくべきかというところから紹介したいと思います。まず、考えなければいけないのが社会像です。

モバイルも含めて通信の大容量化が急速な勢いで進んでいます。映像はスタンダードからハイビジョン、さらにはスーパーハイビジョン「4K・8K」へと進むにつれて大容量化が進んでいくことになります。併せて装置の広帯域化も進んでおり、CODEC、符号化技術も異常なくらいの速さで進化しているので、そのあたりを考えた上でアクセス系の伝送容量はどうあるべきか、遅延はどうあるべきかを考えていく必要があると思っています。FMC (Fixed Mobile Convergence) とモバイルの連携では、オンラインゲームにおいては、やはり低遅延化をどうやって実現するかというのが大きな課題の一つです。最近よく言われているのは、ユビキタス化ということで、NTM (Network Traversal with Mobility) もそうですが、1 人が 100 個のノードを持つとして、全人口で 100 億個ぐらいのノード間通信にて何もかも管理して差上げましょうというものもあります。あとは、少々なことでは通信が途絶えないような高信頼性を如何にして担保するかということです。ただし、大量のエネルギーを使って信頼性を上げるとか、多額のコストをかけて信頼性を上げるのではなくて、コスト効率を上げながら、かつ地球に優しい省エネ化をしつつ、どうやって装置系を構成していくかということが大きな課題なのです。

基本的にはこの4つを大きな流れとして、取り組んでいかねばいけません。この大きな流れを図1に示します。

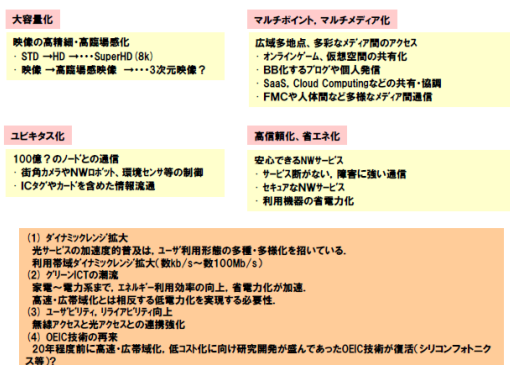


図1 社会像(1) ー大きな流れー

あと、少々気をつけたいといけなは、広ダイナミックレンジ化の問題です。従来、電話は誰も使う、メールも誰も使う、映像系は見る人は見るし、スマートフォンは若い人は使うけれどもお年寄りには使わない。このような状況が益々拡大していくのではないかとというのが当方の読みです。つまり、電話しか使えない人は電話しか使わない。ヘビートラヒックは使う人は使う。要するに、使い方が2極化、3極化、マルチ化していくのではないかとというのが当方の読みです。

従来、ネットワークはどちらかというと最大値設計です。使うか使わないか半ならないものに対して、基準を決めてそれに対して装置を開発していくということでした。この流れを汲むと、確かに平均レートは上がっていくのですが、その中でも使わない人は使わない。だから、使い方が違う人達の分布が変わってくるのではないかと考えております。

また、大きな流れとしては、10年～20年前、OEIC (Optical Electrical Integrated Circuit) で光と電気を融合すればコストが安くなるのではという話が多々あって、当時は雑音の問題でうまくいかなかったところがあったのですが、最近シリコンフォトニクスなどのキーワードをよく聞くと思いますが、シリコンを使って電気と光をインテグレートしていくというのが、たいそう盛んに行われています。東南アジア、国外の話なのですが、この地域が世界をリードしているというところもあって、そこで今日本では、東大を初めとして、追いつき追い越せというような感じで研究開発が進められていると思っています。これらがバックグラウンドして存在する問題なのです。

社会像として次に考えるべきことは、社会基盤としてICTの重要性です。電気、ガス、水道と同じように、通信というのはこれがないとどうにもならないという状況になっています。通信をライフラインとして考えた場合、電気、ガス等とは何が違うのかという観点で図2にまとめてみました。

電気、ガス等はコンセントをひねれば出てきます。通信は契約して、それぞれの契約に応じて色々設定しなければいけないし、大変なのは、ONU (Optical Network Unit)、フレッツなんかがあって、家で使おうとしてもなかなか難しいというのが、やはりここが電気、水道等とは違うところです。

課金には定額制や他に色々ありますが、従量制のような使った分だけ払えば良いでしょうといった課金制度もある。最近では従量課金も重要視されてきていますが、今はこのような固定

課金の状況にあるということです。それで、通信系はどうあるべきかとなると、誰でも簡単に使いたいときに使った分だけ料金を支払うというのを実現していかないと、本当の意味でのライフラインとしては何か足りないのではないかと気がしております。

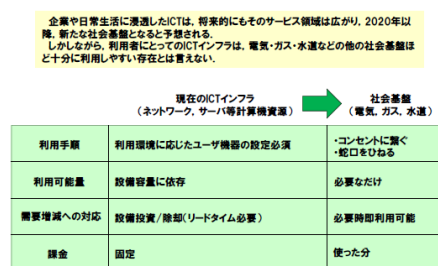


図2 社会像(2) ー社会基盤としてのICTの重要性ー

さらにアクセス系に要求される課題について考える必要性があります。図3に示すように、色々な課題があると思っています。

リッチコンテンツ、帯域を必要とするようなものが普及してきます。昨今話題になっているのはM2M (Machine to Machine)で、これのICTをどうやって高度化していくか。無線は重要なインフラになっているので、無線をどうやって有線に取り込んでいくかを考えていかなければいけません。

それでは、アクセス系で収容しようとしたときにどんな課題があるのかというと、トラヒックの増加、あるいはダイナミックレンジしだいでその分布が変わることに対して、設備をどのように設置していくかを考える必要があります。これに伴って、待機率が上がると電力が上がるという法則があるので、この当たりをどのように抑えていくか。デバイステクノロジーで抑えるという方法がありますが、これ以外にアーキテクチャーや伝送方式、これら3つの組み合わせで如何にして電力を抑えていくかを問われています。

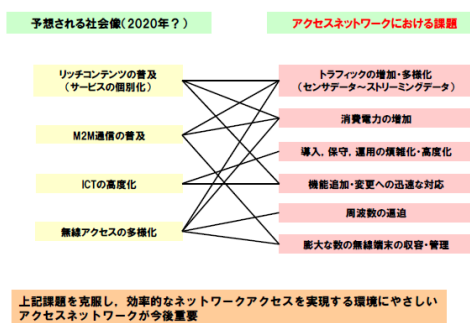


図3 社会像(3) ーアクセス系に要求される様々な課題ー

アルカテル・ルーセントベル研では、今の電力は理論的には1000分の1に抑えるのは可能だといった研究開発も進められていますので、この当たりの考え方が本当に正しいかどうかも含めて、電力については色々探究していく必要があるのではないかと考えています。

あと、よく言われるのは、色々なサービスがリリースされて、

それで色々な機能が欲しくなってきます。この実現のためにハードウェアを替えるというのはやはりコスト的に割が合わないので、機能追加や変更に対してどの様にして簡単にインテグレートしていくのが大きな課題です。

(2) アクセス系の研究開発動向

アクセス系の研究開発の方向性を示したのが図4です。シナリオは色々あったと思いますが、メタルで提供していたものが光になって、サービスの速度に対してネットワークが遅かったということもあって、速度を速くすればそれに見合ったサービスが出てきました。10年前はこういう時代だったわけです。

光アクセスシステムは、経済化可能な時間多重化(TDM)をベースとして、STM-PON、ATM-PON、B-PON、GE-PONと高速・広帯域化が進んできた。
今後従来からの高速・広帯域化トレンドを意識しながら省電力化、サービス追加の容易性、拡張性、信頼性等への対応が求められると考えられている。(TDMによる高速・広帯域化の限界も見え始めている)

■ TDM(Time Division Multiplexing)
従来方式との親和性・技術連続性の観点から10Gb/s程度までは有力方式(?)
■ WDM(Wavelength Division Multiplexing)
アーキテクチャ柔軟化技術という点で有力。
現状、光デバイスコストという面で課題有(?)

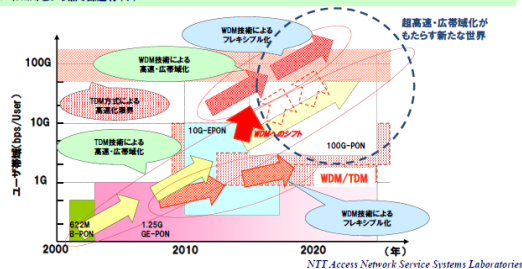


図4 アクセスシステム系研究開発動向

STM-PON (Synchronous Transfer Mode-Passive Optical Network) から ATM-PON (Asynchronous Transfer Mode-PON)、B-PON (Broadband-PON) とあって、今はGE-PON (Gigabit Ethernet-PON) を使っていますが、今後これが10Gb/sになり、その後100Gb/sになると思います。

恐らくスーパーハイビジョン「4K・8K」問題もあって10Gb/sぐらいまでは行くとは思いますが、その先がこのままの流れで行くかどうかは疑問を感じています。確かにモバイル系のトラヒックは増えていますが、アクセス系なのでコア系に集めたところのトラヒックは上がっていきませんが、アクセス系のところが本当に100Gb/s必要かというのは、いささか疑問に思います。そういう意味では、トラヒックの伸びを示す図4の矢印が水平方向に折れ曲がっていますが、こういう流れをたどるであろうと、ある意味で希望的観測を示しております。

もう一つ抑さえておかねばいけないのが、10Gb/sぐらいまではアクセス系は太くなくとも思いますが、それ以降は太くなるプラス何か違う軸でもって進んでいくところです。フレキシブル化というのは、ユーザーのニーズに合わせてネットワークがダイナミックに変わっていく SDN (Software Defined Networking) のようなソフトウェア型のネットワークの一つであるかもしれませんが、どちらかというと、この柔軟性のある方向に舵を切っていく必要があるのではないかなと思っています。

これまではTDM (Time Division Multiplexing) での高速化をずっと続けてきています。TDMではどこに力を入れるかというと、電気デバイスのところ。そういうわけで、GE-PONでは1Gb/sのバースト用レシーバーが必要です。10Gb/sではそのまた10倍のバースト用受信機が必要になる。送信系も同様で、TDMはどちらかというと電気デバイスに依存するところが

ありました。

本当にそれで良いのかというのが最近思うところで、10Gb/s以降は、コア系で使われている技術をアクセス系でも使えるような仕組み、光技術をもう少し活性化する次なる技術を弾込める領域を造っていく必要があるという思いがあって、波長を利用したり光デバイスをうまく利用したりするような技術でもって、フレキシブルなネットワークが作れるのではないかと最近では考えています。結果として、それが産業界を盛り上げて、負のスパイラルではなく正のスパイラルに入って、色々な技術が弾込められて、その当たりも考えながらアクセス系の研究開発を進めていかなければいけないと思っております。

アクセス系の進展はSTM-PONからB-PON、GE-PONと来ていますが、これを振り返っているのが図5に示すFTTx (Fiber To The x) の実用化の歴史です。STM-PON、B-PON、GE-PONと速度を上げながら来ていますが、今のGE-PONが10年ぐらいいは使われるような状況です。

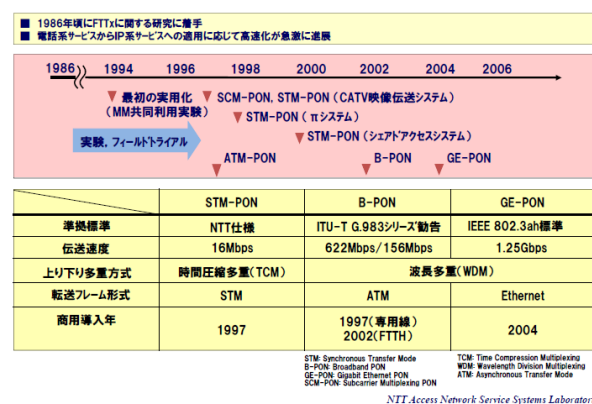


図5 FTTx システム実用化の歴史

このGE-PONの後の10GE-PONの標準化も終わっているの、次は次世代PONが来るだろうということを図6は示しています。

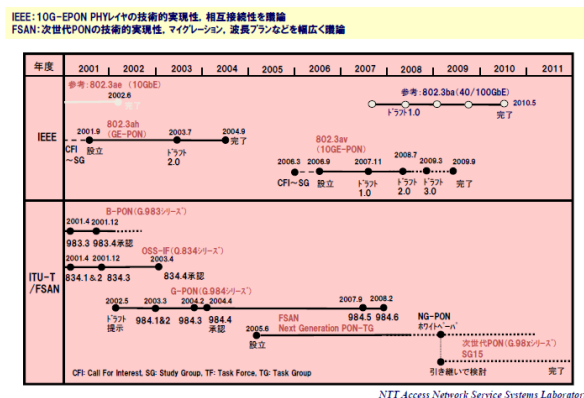


図6 次世代PON システム標準化動向

次世代PONの標準化は、IEEEではベンダー中心で、ITU-T/FSAN (International Telecommunication Union-Telecommunication sector/ Full Service Access Network) では旧キャリアが主体、オペレーターが中心の会合です。ITU-T/FSANではNG-PON (Next Generation-PON) というところで会合が持たれており、この先NG-PON2、さらにPost NG-PON2といった標準化活動が進められると思います。

ITU-T の下にオペレーターが集まって、そこに寄書を出すとか連携を取るような場がFSANです。その中での検討のシナリオを簡単に図7にまとめています。

10GE-PON は NG-PON2 の会合でほぼ決まりました。次なるターゲットは TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexed-PON) と呼ばれていますが、TDM-PON (Time Division Multiplexed-PON) をさらに波長で束ねていくものです。例えば、赤色 (1 波) の TDM-PON で足りなかったら青色 (2 波目) を追加して、それをまた TDM に乗せて 10Gb/s+10Gb/s で計 20Gb/s に、8 色 (8 波) 利用したら計 80Gb/s になる、というような追加型の波長多重を TWDM-PON と呼んでいます。このような方向で検討することが決まっております。ただし、図7の TWDM-PON のところに Option WDM Overlay とありますが、別の考えを持っている人達がいて、コヒーレントを使って距離を延ばすことを考えているようです。TDM ではやはり DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) とかで遅延が生じるので、そういう意味では、モバイル系というのは、今の基準では装置に対する遅延の増加は許されていないところもあるようです。遅延に関する条件が厳しいので、電気制御をしない生の WDM を使って装置間を結んで情報伝達するために、オプションとしての WDM Overlay ということで、コヒーレントも含めて検討に加わっているということです。

この先はあまり見えていないのですが、Post NG-PON2 ということで今は議論がなされようとしています。アメリカの OFC (Optical Fiber Communication Conference and Exposition) 会合でも、この当たりの検討に向けたワークショップが開かれるという状況になっております。

現在、TDMをベースとした10GE-PON、さらなる高速・広帯域化に向けたアクセスシステム実現に向け検討が進んでいる。また、伝送方式とは別に伝送媒体の研究開発も進んでおり、将来は新たな光伝送媒体と伝送方式の連携により従来予想もされなかった新たな光ネットワークシステムの登場があるかも知れない。図1、新たなネットワークサービスも既存サービスをどのようにマイグレーションしていくかも考慮する必要がある。

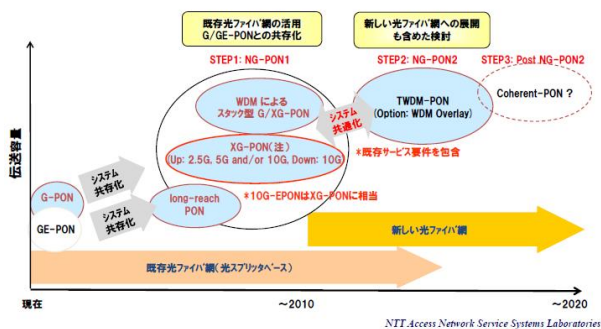


図7 FSAN NG-PON Task Groupでの検討シナリオ

(3) アクセス系への要求条件

アクセス系への要求条件としては、まずはネットワークの信頼性をどうやって担保するかであり、その次は将来のマイグレーションを考えておかねばならないということです。ネットワークは継続して稼働しているものであって、新しいネットワークに移るときのつながりがスムーズに行われるように、初めから考えておかねばならないということです。アクセス系への要求条件を図8に示します。

あとは、最近サービス系からの要求が結構強いというのが挙げられます。「こういうサービスを考えたのだが、ネットワークは今こういうのをサポートできていないので、できるようにしてもらえないのか？」というのが最近の状況です。このようないつ来るかわからない要求に対して、如何にして効率よく動ける

か、効率的に動きやすいネットワークを考えておかねばならないです。“全取替する”⇒“そのような投資は無理”⇒“それではサービスが打てない”⇒“それでは儲からない”これでは負のスパイラルに陥ってしまいます。



NTT Access Network Service Systems Laboratories

図8 アクセス系への要求条件

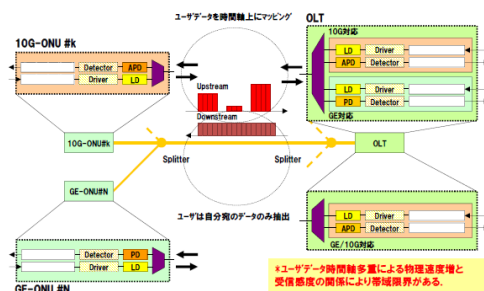
(4) 色々な多重伝送技術

ネットワークで多大な費用がかかるのは、最初は設備投資もそうですが、やはり運用コストです。管理していくのに異常と思えるほどのコストがかかっています。これを如何にして2分の1に、3分の1にしていけるのか、更にどうやって10分の1にしていけるのか、というのが今の課題です。

また、トラヒックが増える、即ち電力が増えるという理論は、今ではもはや通用しません。トラヒックが10倍になっても電力は今と同じ、効率が10分の1にならないと、もはやネットワークは保たないという状況に今やなっているのが実状です。

最初に TDM 伝送技術について簡単に説明します。図9に示します。

TDM-PONは、多重技術として時間多重方式、アーキテクチャとしてPON方式を採用した光アクセス方式。時間多重とは、ユーザデータを時間軸上にスケジューリング、マッピングする方法で、伝送速度は、ユーザ数・ユーザ利用帯域分必要。PON方式とは、光パワーを分岐するスプリッターを利用し、周波数を複数のユーザで共有することで経済化を実現。現在普及しているGE-PONは、伝送速度1Gb/sを32ユーザで利用していることからユーザ当りの平均利用帯域は約30Mb/sである。



NTT Access Network Service Systems Laboratories

図9 伝送技術 Time Division Multiplexing

TDM というのは STM-PON、B-PON も含めてその後採用されてきた時間軸にデータが流れる方式です。下りは OLT (Optical Line Terminal) 側から連続的にユーザーそれぞれに対応したパケットを流して、ユーザーがそれぞれ自分のところを取り出すという方式です。上りが結構難しく、距離が違えば下手をするとスプリッターのところでぶつかってしまいます。そのため、OLT と ONU はぶつからないように伝送時間を測って、スプリッターのところで信号が並ぶように、OLT、ONU の間でタイミングを調整しています。実は欠点があって、距離が異なったり、レーザーの光の質が変わったりしてレベル差が生じると、強い信号の後の弱い信号の抽出が難しくなります。パ

ースト対応という技術が必要で、今のところ 10Gb/s まで対応できている状況です。これを 100Gb/s まで持っていくとなると、LSI のバースト対応は無理だろうということで、TDM の限界が見えてきたような状況です。

次に控えている技術というのが WDM です。これは単純で、時間軸上に並べた場合を図 10 に示していますが、これは別に時間軸で重なっていても構いません。ユーザー当たり 1 波でも 2 波でもよく、それぞれをデータとして取り出す方法です。信号間の干渉は基本的になく、同じ強さの光が連続して来るのでバースト対応能力はそれほど高くなくても良いということです。

図 10 は WDM と言いながら、もう少し複雑にしたもので、OLT から例えば 40Gb/s の信号を送りたいのに 1 波当たり 10Gb/s しか能力がない場合、4 波に分けて送ることで 4 つを集めて 40Gb/s にしてしまうということで、数年前に LSI を試作しました。実はこの LSI は色々な本数の波が出せるということで、色々なレートに対応したフレキシブル MUX ということで、WDM が当たり前になったときのために、NTT 研究所としてはこういった開発を行っていたということの一例です。

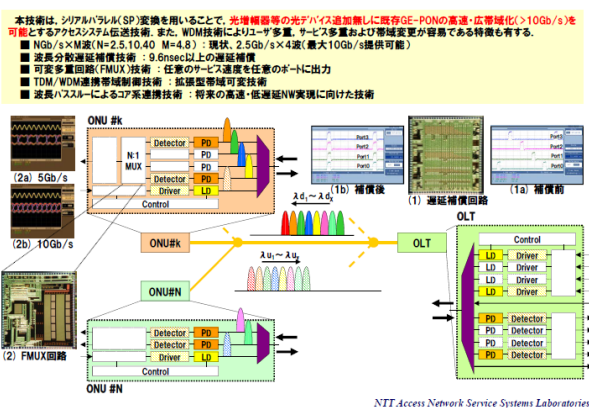


図 10 伝送技術 —Wavelength Division Multiplexing—

さらに FDM (Frequency Division Multiplexing)、周波数多重です。図 11 に示します。

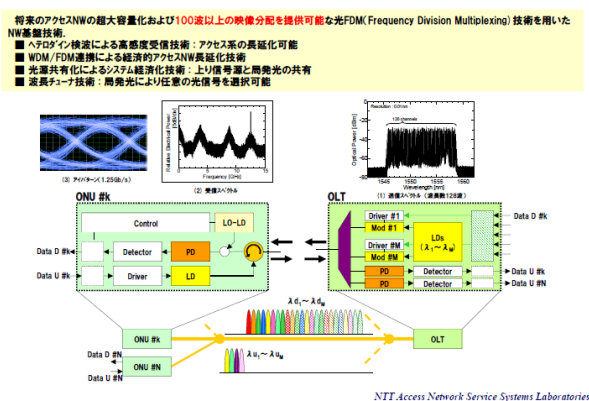


図 11 伝送技術 —Frequency Division Multiplexing—

周波数といっても無線でいうところの周波数とは違い、先ほどのWDMでいうところの波長と同じWavelengthのことです。なにゆえ波長と呼ばないでFrequencyと呼んでいるかという、WDMより波長間隔をもの凄く細かく縮めて、色々なサービスを束ねて送れるものだからです。この方式は、多くのサービスが提供されていて、色々なタイプのユーザーがいて、波長をま

とめて利用するのではなく、個々に細かく割り当てて利用する場合のサービス提供方式としての利用が考えられます。10年ぐらい前から検討しているといった状況です。光テクノロジーを十二分に活用している技術です。

さらにその次の技術というのが、CDM (Code Division Multiplexing)、符号分割多重です。図 12 に示します。光の CDM ということでは OCDM (Optical Code Division Multiplexing)、さらに先の技術を NTT としても検討しているということです。CDM の適用領域は、FDM よりももっと波が重ねられて詰めて使える OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 的な使い方で、さらにセキュリティが向上します。NTT 研究所としては技術的に検討準備しているという状況です。ただし、これが実際に導入されるのは 2030 年頃のことであり、欧州当たりで最初に導入されるのではないかと思います。

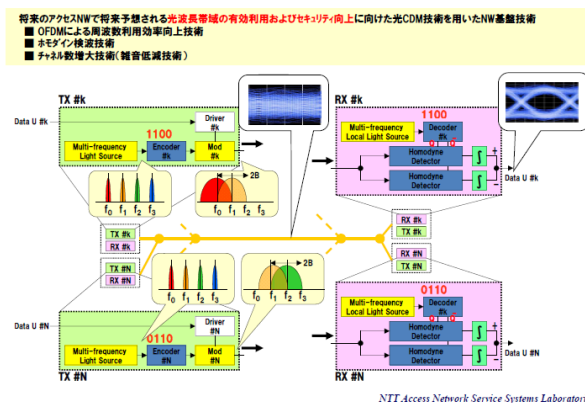


図 12 伝送技術 —Optical Code Division Multiplexing—

アクセス系研究開発の方向性

「想定されるアクセス系研究開発の方向性のシナリオ」というのを図 13 にまとめてみました。2つのシナリオが想定されます。シナリオ 1 は、高速・広帯域化の過去からの流れがそのままずっと続いていくという見方です。シナリオ 2 は、ユーザーの利用形態も考えると、高速・広帯域化の勢いは鈍化するのではないかなという見方です。

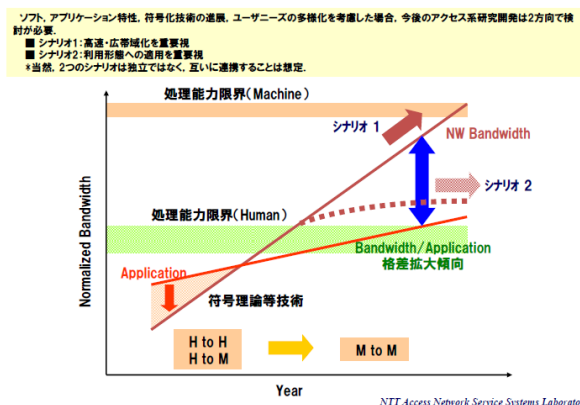


図 13 想定されるアクセス系研究開発の方向性のシナリオ

昔は回線の伝送速度は、アプリケーションが必要とする速さに達していませんでした。それ故、伝送速度は伸びてきたのであって、最近はどうにかという、アプリケーションは伝送帯域をそれほど必要としない方向に向かっているように思います。

Human と Machine の処理能力の限界を考えたとき、回線に要求される帯域はどれぐらいか。テレビを見るときのことを考えてみると、高精細画像にしても人間の目はそんなに処理能力がなく、例えば自分が見ているところだけ高精細にすれば良いのではない。実はこういう技術開発は、20 年ぐらい前にあったのです。要するに、ネットワークはすでに人間の処理能力を超えているのではない。ターゲットとなるのは人間ではなくて Machine to Machine、それも低遅延で処理能力のあるマシンを相手にしたときに高速・広帯域化は必要となる。人間、動物をターゲットにするときは、もっと低いレベルで十分である。ここのところがシナリオ 1 とシナリオ 2 の分かれ目になるのではないのかと思っています。

Human to Human や Human to Machine から分かれて、Machine to Machine の帯域だけが增大するのでしょうか。Machine といってもセンサーなどではなく、コンピュータ間やサーバー間のことを意図しています。

(1) 高速・広帯域化のシナリオ

GE-PON から 10GE-PON まで進んで、その後はどの方向へ向かうかは、どういったサービスが現れるかに依存すると思っています。

「100Gb/s 級超高速・広帯域化がもたらす新たな世界」ということで考えてみました。図 14 に示します。100Gb/s というのは、やはりもの凄く伝送容量なのです。生の情報が伝わってくる。つまり、間に CODEC 処理など何もなく、本当に生で情報が飛んでくる世界では何ができるのだろうかとか色々考えてみました。

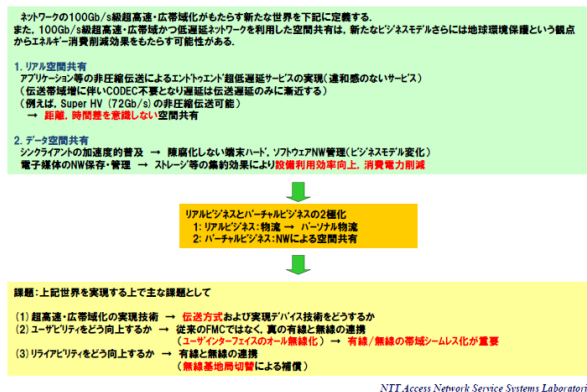


図 14 100Gb/s 級超高速・広帯域化がもたらす新たな世界

最終的にリアルビジネスとバーチャルビジネスに集約されると思います。リアルビジネスである物流は、パーソナル物流へと向かう。通信手段(例えば電話機)さえあれば、コンビニエンスストアから色々な物を宅配が直ちに運んできてくれる。物流がキッチンと発展してさえいけば、通信と物流だけで世の中の役割は終わってしまうという人間味の無い悲しい世界が存在する。これがリアルビジネスです。

バーチャルビジネスというと、最近 Web で色々な買い物が出来るが、デパートに行かなくても行った雰囲気を楽しむことが出来る。伝送路が高速・広帯域になると、これが本当にリアルになってしまい、要するにデパートとかそういった店舗がなくても、家に居ながら欲しい物はどこでもアクセスでき、結局実態のないバーチャルな空間と物を運んでくれる物流だけの世

界になってしまうということです。

本当にこうなったときに、世界の経済や日本の経済がどうなってしまうのかという心配はありますが、伝送路が高速・広帯域になると、突き詰めて考えると本当にこんな世の中になってくる可能性もあるのではないかと考えてみました。

新たな世界というのはさておき、現在の状況を図 15 に示します。

伝送路の高速・広帯域化というのはやはり必要です。現状の B フレッツ光などは GE-PON で構築されており、10 倍に広帯域化される 10GE-PON が次のターゲットということです。NTT は平成 15 年から研究開発しています。現在の状況はスタンバイ状態で、需要があれば今すぐにでも導入できる状態にあると思っています。いただければよろしいかと思います。

ベンダーやメーカーにも 10GE-PON の開発に携わっていた方もおられると思いますが、同様にその方達も待ち遠しいことだと思います。10GE-PON をまずは日本に、場合によっては海外もあるかもしれませんが、導入していきたいと思っています。現在、相互接続性検証が行われている状況です。

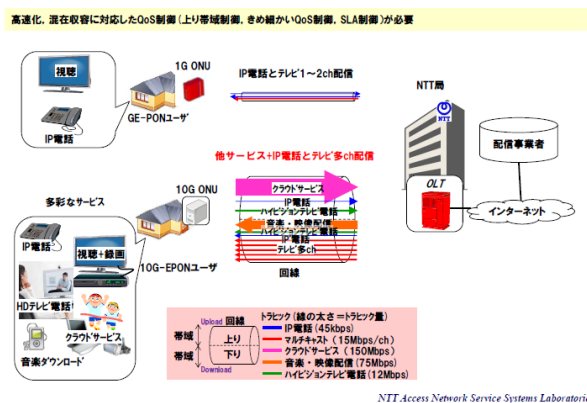


図 15 高速・多種多様なサービス実現に向けて
—10G-EPON—

図 16 が現在 NTT 研究所で所有している 10GE-PON の ONU と OLT の試作機です。10G-ONU は 1G-ONU と同じぐらいのサイズで、消費電力も多少異なる程度です。

10GE-PON は基本的には 64 分岐まで対応しています。128, 250, 512 分岐も可能ですが、距離が短くなります。距離は基本的には 20km まで提供可能です。早く企業に導入していきたいと思っていますが、これはシナリオ 1 の 10Gb/s、あるいはその次の 100Gb/s に向けた話です。

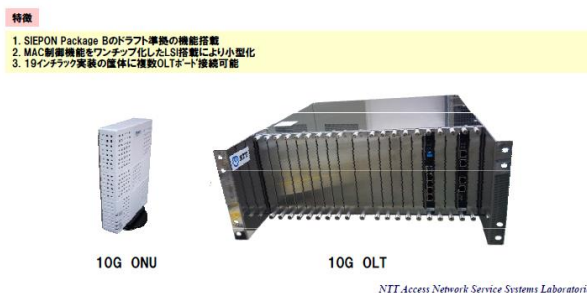


図 16 10G-EPON 研究開発状況 一装置概要—

(2) 帯域フレキシブル化のシナリオ

次にシナリオ 2 ということで、ダイナミックレンジの拡大、

即ち帯域のフレキシブル化について説明します。

図 17 に示す「ダイナミック光ネットワークシステム」というのは、必要帯域に応じて波長を割り当てるといったものです。波長の使い方、その波長の中の時間軸の使い方とも自由なように、全体としてエネルギー効率を上げるようにしています。ユーザーの使い方に合わせて、一人一人が自分のネットワークを持っているようなイメージとなります。

基本的な考え方として、光を使えば電力が下がると一般的には言われています。基本的な理論としてはある意味正しいと思えるので、WDM とかその辺の技術を活性化させて、産業界を活性化するとともに、今まで電気で張られていた回線を光に替えてネットワークを構築することで、電力削減にも貢献することが必要なと思っています。

波長多重技術(WDM)により、サービスの接続装置を変更することが可能となる。光の特性上(受信デバイスの感度周波数依存性)、伝送可能距離は物理速度に比例することから、低速サービスは広域収容が可能となる。本特性を利用することで、装置の収容効率を向上させるとともに、結果としてネットワークの効率化が可能となる。

下図は、エラスティックOLT技術と波長ダイナミック制御技術を用いたオンデマンド型ネットワーク概念を示すものである。本技術と既存TDM技術を連携することで、ユーザ利用形態に適応した新たなネットワークの実現が期待できる。

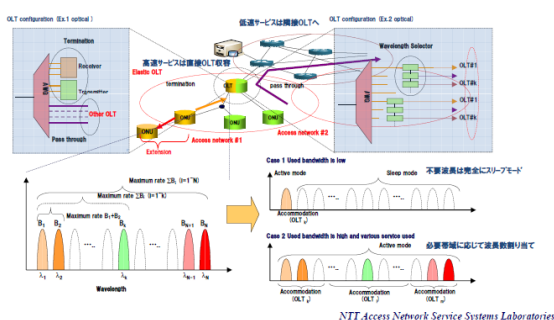


図 17 ダイナミック光ネットワークシステム

中継系のコアネットワークでコヒーレント通信が使われていますが、これをアクセス系にも適用して、物理的な速度は1Gb/s、あるいは10Gb/s しかなくても、伝送容量としては100Gb/s、あるいは多少言い過ぎかもしれませんが1Tb/s を実現する。これぐらいまでは経済的に実現できるということで、現状のコアネットワークの技術をそのままアクセス系に応用していくのも一つの解ということです。世界の動きも皆その方向に向かっていますが、デジタル信号処理を使ってネットワークを如何に高速化していくかを NTT 研究所は問われています。

図 18,19 に多値化のメリット、実験結果を示します。符号化方式は光多値信号と呼ばれており、実験結果を見ると、そのままだでは埋もれてしまっている信号が NTT の技術で製作した適応型等化器を使うと、信号が分離できて高速のデータ通信が転送できています。

多値信号のメリット

- (1) 伝送速度の高速化
 - 電気素子の帯域拡大で伝送の多値度を上げて伝送速度を高速化
 - 光多値信号は将来7nm以降における最適な解決策(？)

- (2) 伝送速度の柔軟化
 - DSPによりフィードバックで多値度を変えることで伝送速度可変
 - ハードウェア依存性が少なく伝送速度の柔軟性の高い光7nmが実現

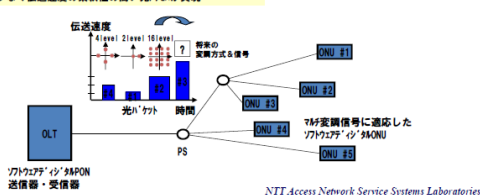


図 18 デジタル信号処理技術 ー多値信号のメリットー

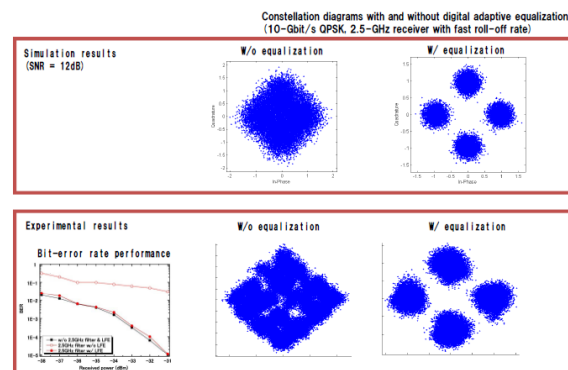


図 19 デジタル信号処理技術 ー適応型等化器(原理確認)ー

帯域可変技術というのを図 20 に紹介します。波長多重というのは、最初からその波長のレーザーを用意しておく必要がある。この技術はそれが要らない。波長スweep光源、普通のレーザーですが、このレーザーにかかる電圧あるいは電流を変えると波長がシフトする。信号に同期させて電圧を変えて、それにそれぞれデータを乗せて、それを時間軸に合わせて乗せて取り出す。ユーザーごとに波長と時間軸が与えられている。

普通のレーザーを利用して、それにかける電圧を制御することで、可変波長光源になってしまうという技術です。ただし、レーザーは電圧をそんなにダイナミックに変えられるように作られていないので、信頼性の観点からは大丈夫かなというところがありますが、研究という意味ではどこかに応用できるのではないかなと思って、前向きに取り組んでいます。

波長スweep技術は、単一の光源/変調器でWDM信号を一括生成し、各チャネルデータを時間軸多重する方式。帯域ニーズに柔軟に対応できることから、可変ネットワークを低コストで実現できる可能性がある。

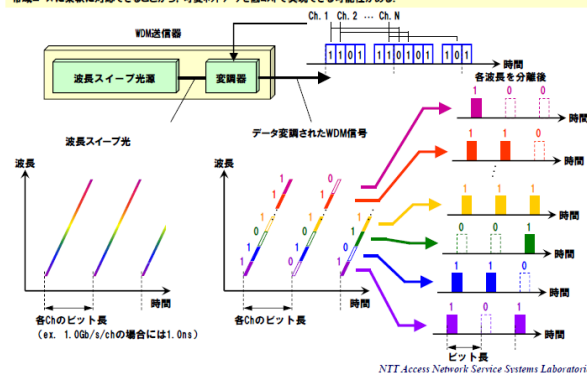


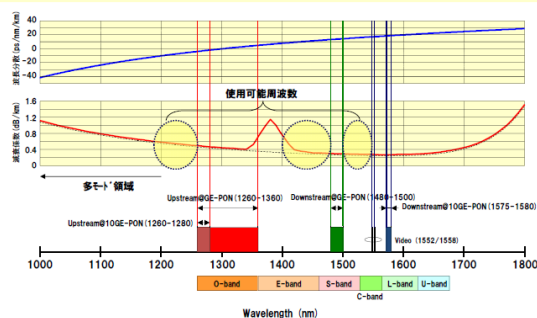
図 20 帯域可変技術 ー波長スweep技術ー

光で通信に使える波長帯は実際にはそんなに無いのです。図 21 を見ると、O-band のところは GE-PON の上りで使っています。S-band と C-band は同じく GE-PON の下りで使っています。10GE-PON では O-band と L-band の波長の短い方を使っています。それなら空いているところを利用すればよいのではとなるのですが、ファイバには吸収帯があって使える帯域は限られている。ファイバの検査のために1,650nm を使っているが、ここから長波長の方は減衰が大きくて距離が稼げない。1,200nm より短波長は多モード領域となって、やはり距離が出せない。概ね1,200nm 帯、1,400nm 帯、1,500nm 帯のところがターゲットとなります。

WDM で利用しても、使い切ってしまったらその先はどうするのか。こんなことも NTT は検討しています。1,100nm 帯の

ところを使ってみたらどうなるのか。正常分散の影響があっても信号は送れるのか。結果として、ファイバによってはこの当たりからマルチモード領域に入るのでは何とか使える。逆に高速・広帯域化ができるのではないかとという結果も出ています。

現行GE-PONは、波長帯として、上り(1260~1360nm等)、下り(1480~1500nm等)、映像系(1552/1558nm)を利用。10GE-PONは、上り(1260~1280nm)、下り(1575~1580nm)を利用。今後、他システムで利用可能とされる波長帯は、実はそんなに広くはない。(無線と同様、OFDM等による波長利用効率向上技術が必要となる可能性が高い)



NTT Access Network Service Systems Laboratories

図 21 波長は足りるのかーシステム利用波長領域ー

将来に向けて

最後に、「将来のネットワークシステムはどうなるか」というイメージ、究極のイメージを図 22 に示します。今クラウドが色々な意味で使われていますが、データというのは基本的にはクラウド上というか、どこかのデータセンターにあり、データセンターが究極的にはワンチップ化して、そのワンチップの中に利用者のデータが全部あって、チップの上で動作している。それを利用者が覗きに行っているという世界が、最終的なネットワークのイメージではないかと考えています。それは実現不可能かもしれませんが。

ネットワークに何が必要かという、利用者がネットワーク上にある自分のバーチャルを見に行くとき、この間を如何にして低遅延で処理していくかが大きなキーになるのではないかと考えています。

1. シームレス化
従来の役割分担: 有線(高速・広帯域サービス) 無線(低速・狭帯域サービス)
*理由: 無線はユーザビリティが高いにも関わらず、伝送帯域低いため
将来: ユーザインターフェイスはオール無線化(高速・広帯域化を仮定)
ONU: 帯域最大100Gb/s級データをそのまま広帯域無線化(有線/無線のシームレス化)
2. リソース共有
ユーザリソースは、NWが所有管理
NWリソース(波長、機能(有線系システム、無線系システム固有機能も含む)等)はNW内装置で分散所有
プロトコル変換等信号処理系は全てNW側処理を実現することで、ユーザ側ハードウェアの複雑化抑制
ONU: 帯域確保+低遅延



NTT Access Network Service Systems Laboratories

図 22 将来のネットワークシステムはどうなるのかーイメージー

本講演録は、平成 25 年 3 月 15 日に開催されました、SCAT主催の「第 89 回テレコム技術情報セミナー」、テーマ「光アクセスシステム技術はどこに向かうのか」の講演要旨です。

*掲載の記事・写真・イラストなど、すべてのコンテンツの無断複写・転載・公衆送信等を禁じます。