

# IW2005

## IP技術者のための光アクセス技術

### ～ FTTxを支えるPON技術とその動向～

草野 俊彦  
t-kusano@ab.jp.nec.com

## 目次

- FTTxを取り巻く環境
- FTTxシステムの概要
- 標準化団体とFTTx
- PONの種類
- PONの要素技術
- 今後の光アクセスの動向
- 今後のサービスとBB

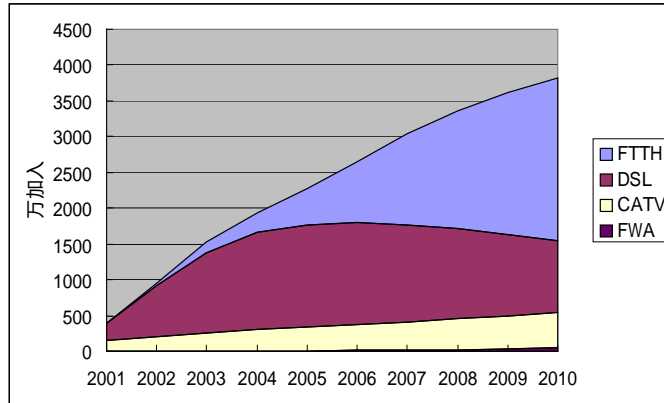
## 第1章 FTTxを取り巻く環境 (市場・政策・海外動向)

### FTTxの種類

- FTTB
  - Fiber To The Building (建物まで光)
  - Fiber To The Business (ビジネス向け光)
- FTTC
  - Fiber To The Curb (路上まで光)
- FTTH
  - Fiber To The Home (家まで光 / 家庭向け光)
- FTTN
  - Fiber To The Node (ノード「装置」まで光)
- FTTP
  - Fiber To The Pedestal (歩道まで光)
  - Fiber To The Premises (家まで光 / 敷地まで光)

## BB加入者予測

- 2010年には光加入者が約2000万人を超える(NTT目標は3000万)
- 今後FTTH加入者の伸びとDSL加入者の減少が見込まれる

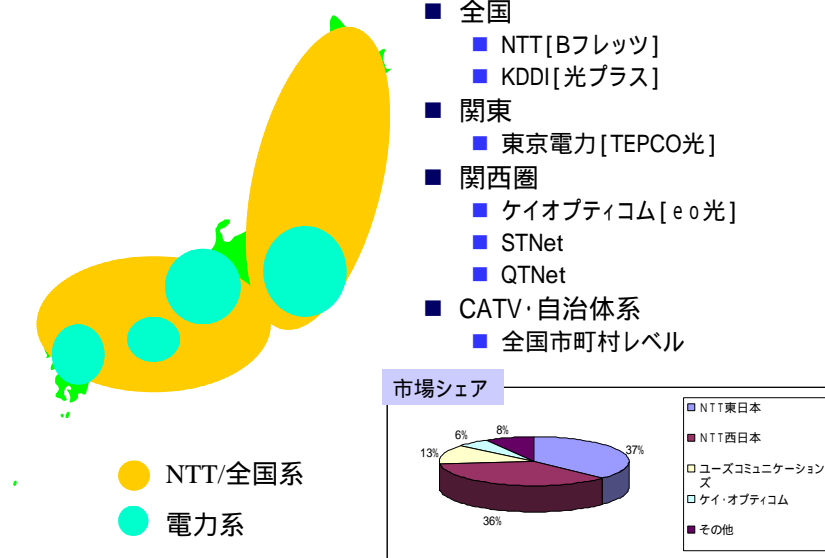


## BBユーザ加入者の増加

- BBユーザは安定的に増加
- 増加率としては、光アクセス(約13%)がADSL(約6%)を上回る



## FTTH国内市場 (Major Players)



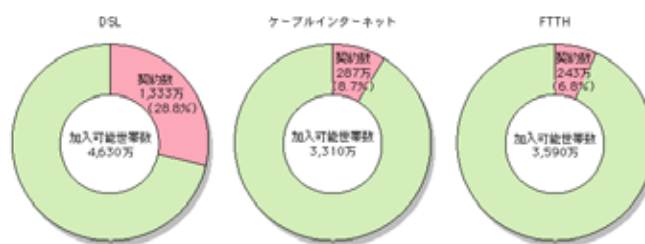
## e-Japan

- IT革命への取り組みに対する出遅れ
- 高度情報通信ネットワーク社会の重点的かつ迅速な形成の推進を目的として、「IT基本法」を制定し、IT戦略本部を設立
- 2001年1月から、「2005年までに世界最先端のIT国家となる」ことを目指す、e-Japan戦略をスタート
- 出遅れが心配されたブロードバンド化は、インフラの整備が予想を上回る早さで進展
- 現状では、世界で最も低廉かつ高速なブロードバンド環境を実現

総務省 H17年情報通信白書から抜粋

## e-Japanでの取り組みと成果

- 平成13年1月「e-Japan戦略」の目標設定
  - 少なくとも高速インターネットアクセス網に3,000万世帯
  - 超高速インターネットアクセス網に1,000万世帯が常時接続可能な環境を整備する
- 平成16年2月時点実績で目標達成
- 加入可能数が、実際の契約数を大幅に上回っている（グラフは、平成16年12月末の数値。加入可能世帯数は、平成17年3月末の数値）



総務省 H17年通信白書

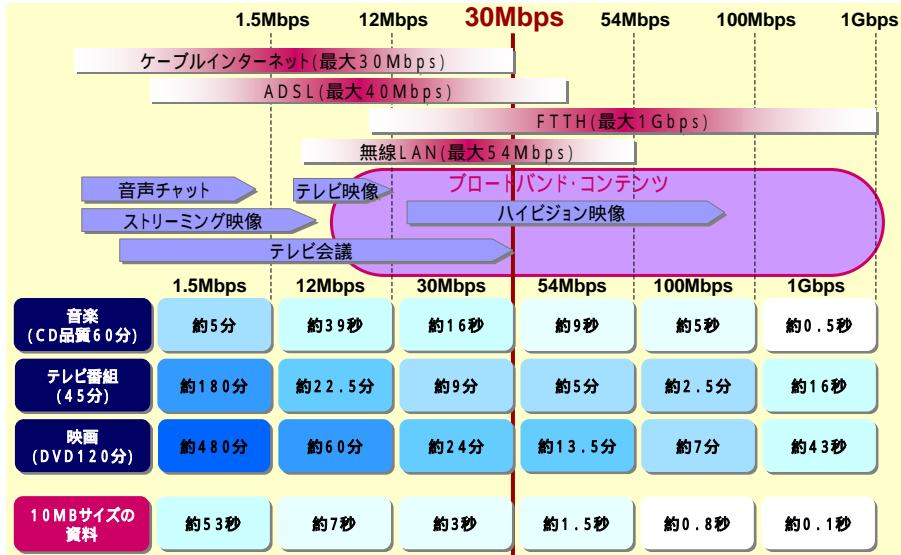
## u-Japan

- 総務省が2004年12月にu-Japan 政策を公表
- 2010年における国家像として、
  - 我が国がキャッチアップ的な発想から脱皮し、
  - 「フロントランナーとして2010年には世界最先端のICT\*国家として先導」
 することを提言
- インフラ面では、
  - 有線中心のブロードバンドと無線ネットワークの融合により
  - 「2010年までに国民の100%が高速又は超高速を利用可能な社会」の実現を目標とする
- 具体的には、30Mbps/人が数値目標

ICT\* Information and Communications Technology

総務省 H17年情報通信白書から抜粋

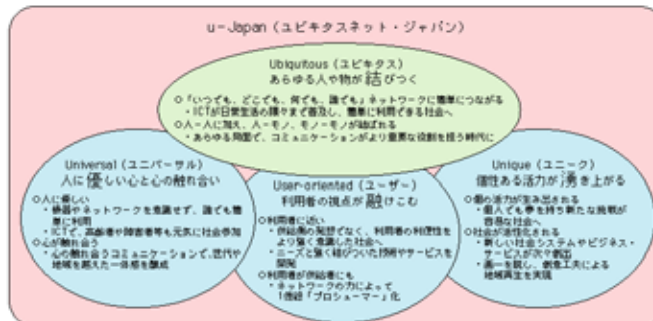
## アプリケーションと帯域



出典：平成15年度版 情報通信白書、NEC加筆

## u-Japanの目標

- 「いつでも、どこでも、何でも、誰とでも」ネットワーク社会構想
- 2010年までに国民の100%が高速又は超高速を利用可能な社会とは、アクセス速度が高速なのは当然として、以下の条件を満足する必要がある。
  - 都市・町村における地域格差がない
  - 世代・男女による利用の格差がない
  - 費用がリーズナブルで世帯間格差がない

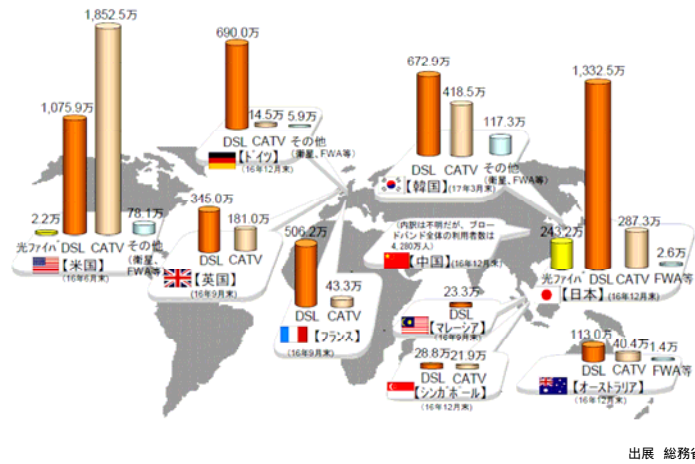


(出典) 経産省「ユビキタスネットワーク社会の実現に向けた政策懇談会最終報告書」

総務省 H17年情報通信白書

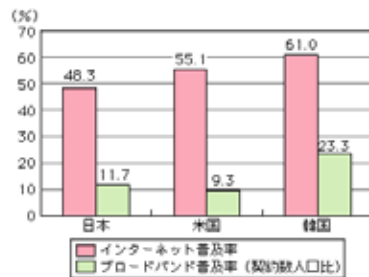
## 世界のBB普及状況

- 現時点の光アクセス先進国は日本
- アメリカはCATVがメジャーで世界の中では特異
- 国毎に状況が異なるものの、世界全体としてはDSLが主流



## 世界のBB普及率と日本

- 米国が圧倒的な加入者数を有する
- 韓国が普及率のトップの状況は変わらないが、トップ国間の差は縮まりつつある
- ブロードバンド普及率(人口に対するブロードバンド契約数の比率)では、韓国が日本の2倍で依然として高い
- BB普及率が韓国並みまで伸びると仮定すれば、契約数の増加余地はある



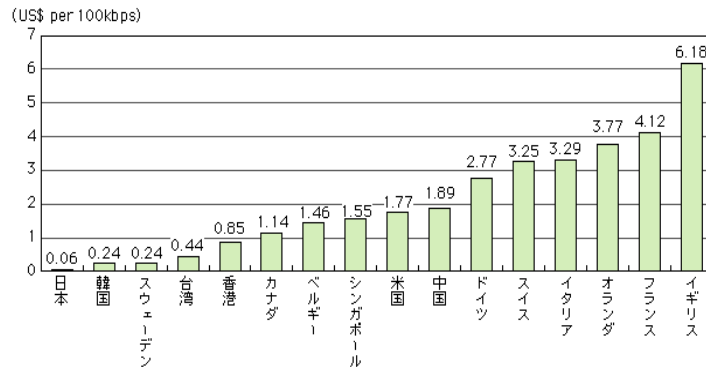
国	人口	BB普及人口
日本	1億27百万	15百万
米国	2億81百万	26百万
韓国	48百万	11百万

※ インターネット普及率はパソコンによるインターネットのみ  
 (出典) ITU 「The Portable Internet」 (2004年9月)

総務省 H17年通信白書

## 帯域当たりの単価比較

- 日本のビットレート当たりの単価は、世界の中で最安値 (100kbps当たり¥7程度)
- 2位の韓国の1/4、アメリカの1/30の価格



出典 総務省 H17年情報通信白書

## 世界各地域の特徴

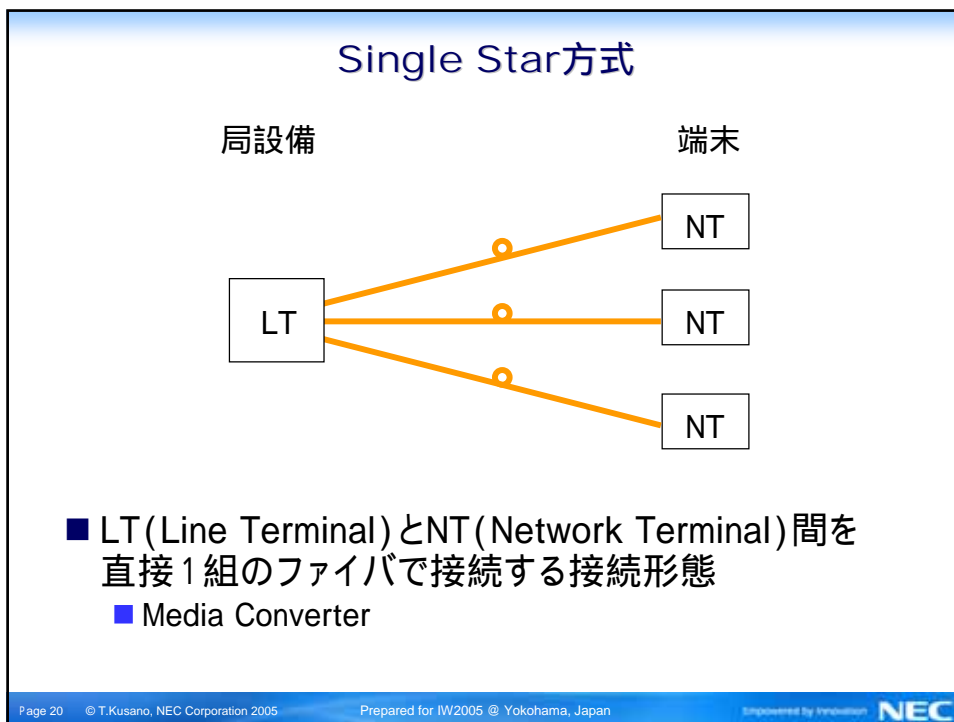
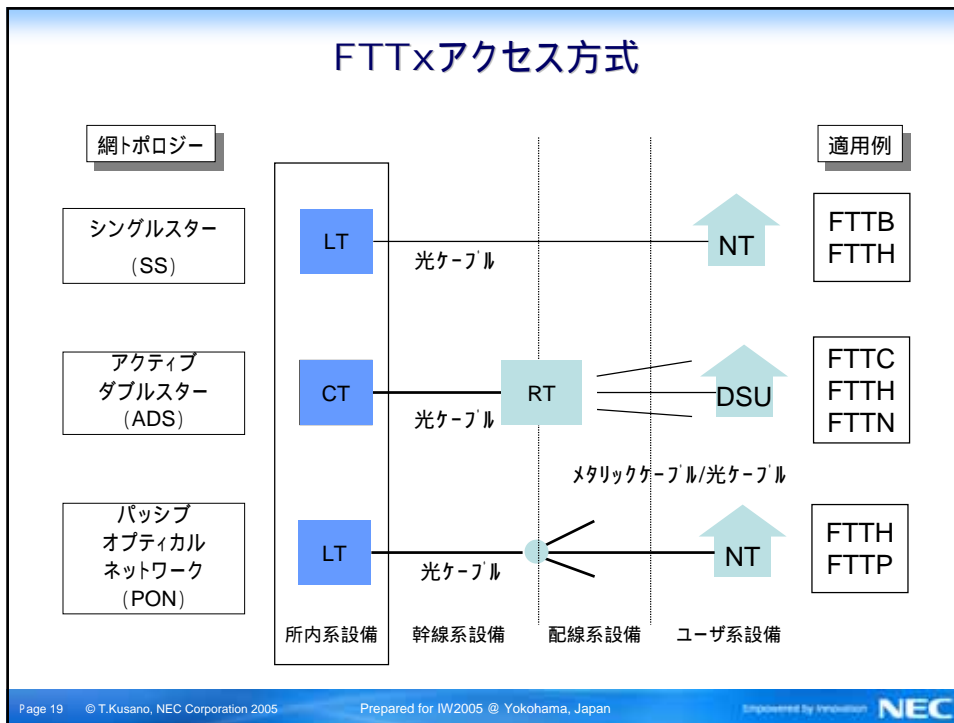
- 北米
  - DSLサービスは北米から始まった
  - ケーブルは、ほぼ全米各戸をカバーしており、BBでも非常に強い
  - FTTxの普及はこれからだが、2大キャリア(SBC、Verizon)のCATV対抗策として急速な普及促進が見込まれる
  - 対CATV策としてTriple Play (Phone, Data, Video)の実現が必須
- アジア
  - 韓国: DSL普及先進国だが、伸びは頭打ち。FTTHへの以降はこれから
  - 中国: DSLの急速な普及
  - 香港: FTTHの導入を検討
- ヨーロッパ
  - DSLが主流
  - 速度別料金制の導入が特徴
- オセアニア
  - オーストラリア: ADSLの普及が進展中。光アクセスは今後。



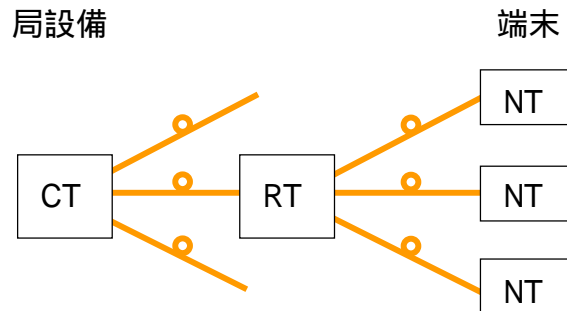
## 北米のFTTx

- CATV事業者が、映像に加え本格的に電話・データサービスを展開
- 通信事業者離れが始まり、固定電話加入者の減少も顕在化
- 旧来のキャリアが大きな危機感
- FTTxの急速な加入促進により、加入者の奪還を目指すため、設備投資を開始
- 提供するサービスは、いわゆるトリプルプレイ(電話・データ・ビデオ)のみ
- FCC(連邦通信委員会)もアンバンドル規制の緩和に動き、キャリア向きの対応

## 第2章 FTTxシステムの概要

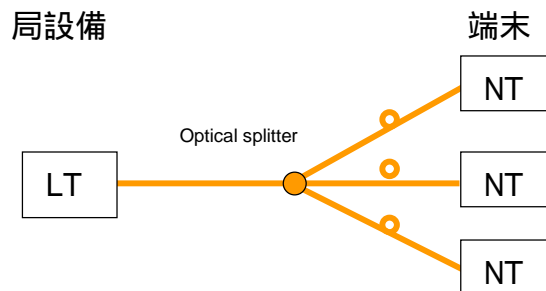


## Active Double Star方式



- CT (Central Terminal) と RT (Remote Terminal) 間を SS 型で接続し、さらに RT-NT 間も SS 型で接続するネットワーク形態
- RT が電源を必要とする Active な素子 (装置) であるため、ADS と呼ばれる

## Passive Optical Network方式



- LT (Line Terminal) と複数の NT (Network Terminal) 間を、光分岐 (Optical splitter) を介して 1 対多接続する形態
- 光分岐が Passive なものであるため、PON と呼ばれる
- ADS の対語として PDS と呼ばれることもある

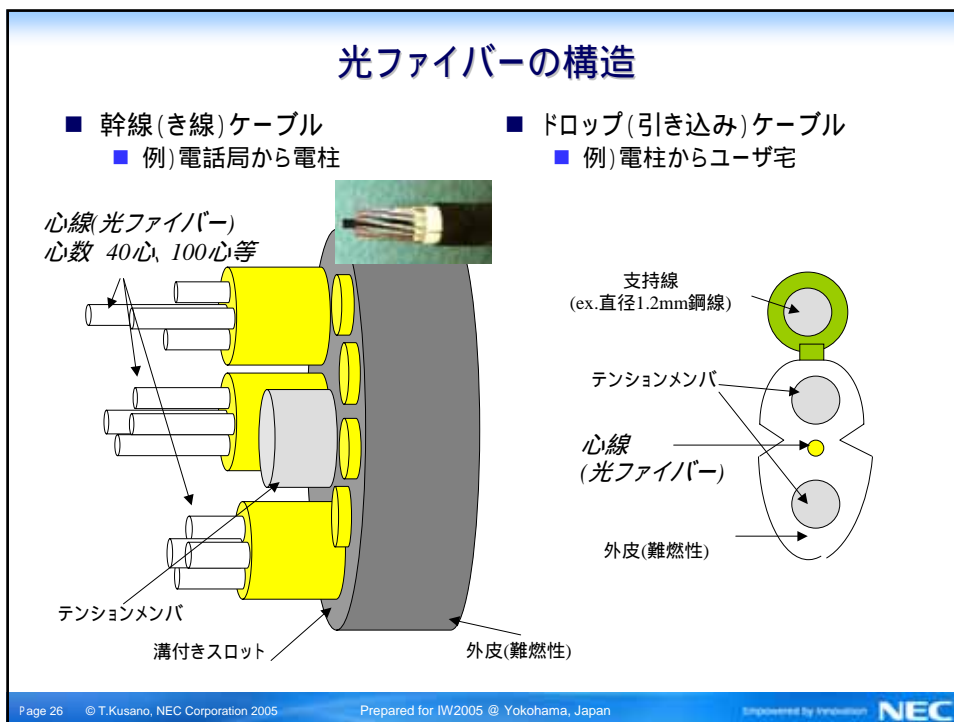
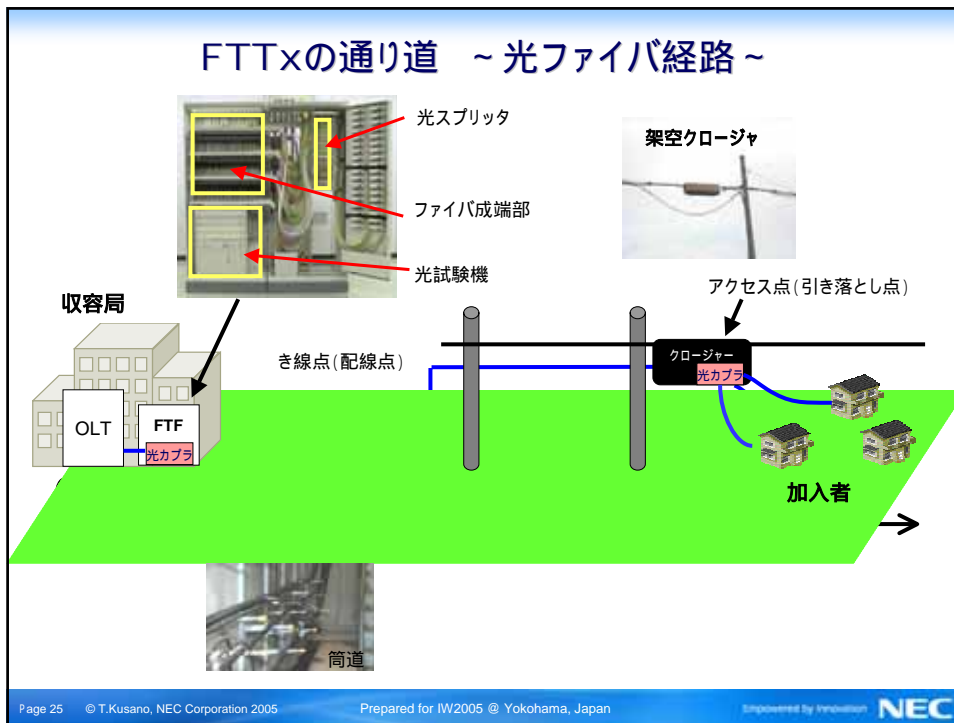
## FTTxトポロジのまとめ

- 技術の進展・コストに応じシステムを選択
- 加入加速のためにはコスト低減が重要 PONが主軸に

トポロジー	システム構成	特徴
<b>SS</b> (Single Star)		双方向高速広帯域化が容易 システム変更容易
<b>ADS</b> (Active Double Star)		センタ設備の遠隔張り出し による長遠化を実現 センタ側の収容効率が良い RTには給電が必要
<b>PON</b> (Passive Optical Network) <b>PDS</b> (Passive Double Star)		光ファイバ/センタ設備を共有 しコスト低減 ただし帯域シェアでサービス性 は低下 無給電の光分岐 密集地に有効

## 組み合わせによるFTTx

- 光 + VDSL
  - 日本ではマンション向けメニューとして普及
    - 既存の建物に、光ファイバを新たに引き回しては採算合わず
  - VDSLの速度で光とのシームレス性をアピール
    - 販売方法も100M等のアクセス速度を強調(もっとも物理速度であって、サービス速度ではない)
- 光 + ADSL
  - 北米で導入する動向(FTTN)
  - 電話局からの距離が遠いとADSLではカバーできない、という課題を光による延伸で解決
  - 提供速度で契約するキャリアに適する 最高速度競争はしない



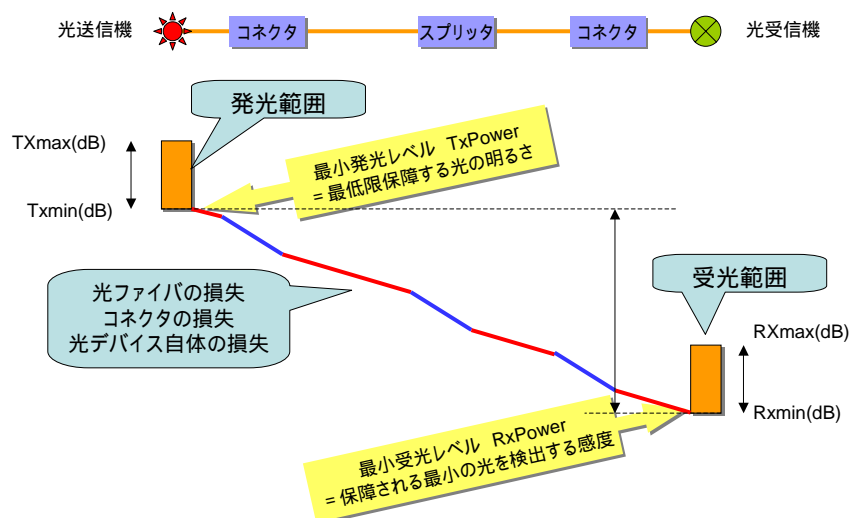
## 光ファイバーの特性

- 光ファイバーには、ITU-T G.652に規定されているシングルモード光ファイバーを使用する。(下表はITU-T G.652の規格の抜粋)

Geometrical Characteristics	
Mode field diameter at 1310nm	8.6-9.5 $\mu\text{m}$
Core/Cladding concentricity error	0.8 $\mu\text{m}$
Cladding diameter	125 $\mu\text{m}$
Optical Characteristics	
Attenuation	0.4dB/km (@1550nm)
	0.3dB/km (@1310nm)
Dispersion slope at 1310nm	0.093 ps/nm <sup>2</sup> /km
Cable cut off wavelength	1260nm
Mechanical Characteristics	
Proof stress	0.69GPa

## Optical Loss

- どこまで届くか… 線路設計が必要



## 線路設計のパラメータ 1

### ■ 伝送距離に大きく影響する事項

- 1.光伝送損失
- 2.光の波長分散

#### 1.光伝送損失(ロス)

光ファイバ距離によるロス	0.3～0.4dB/1km
分岐ロス	2分岐・・・3dB(論理値)/3.5dB(製品) 16分岐・・・12dB(論理値)/14.0dB(製品) 32分岐・・・15dB(論理値)/17.5dB(製品)
結合ロス(融着、コネクタ)	0.1～0.5dB/箇所

#### (参考例)

- ・許容伝送損失23dB、32分岐、コネクタ:2箇所、融着:4箇所の場合  
最大伝送距離 =  $\{23 - (17.5 + 0.2 \times 2 + 0.1 \times 4)\} / 0.35 = 13.4\text{km}$
- ・許容伝送損失23.5dB、16分岐、コネクタ:2箇所、融着:4箇所の場合  
最大伝送距離 =  $\{23.5 - (14 + 0.2 \times 2 + 0.1 \times 4)\} / 0.35 = 24.8\text{km}$

## 線路設計のパラメータ 2

### 2.光の波長分散

波長分散は光送信モジュールのスペクトル幅、および、使用する光ファイバの分散係数による影響が支配的であり、最大伝送距離が確定する。

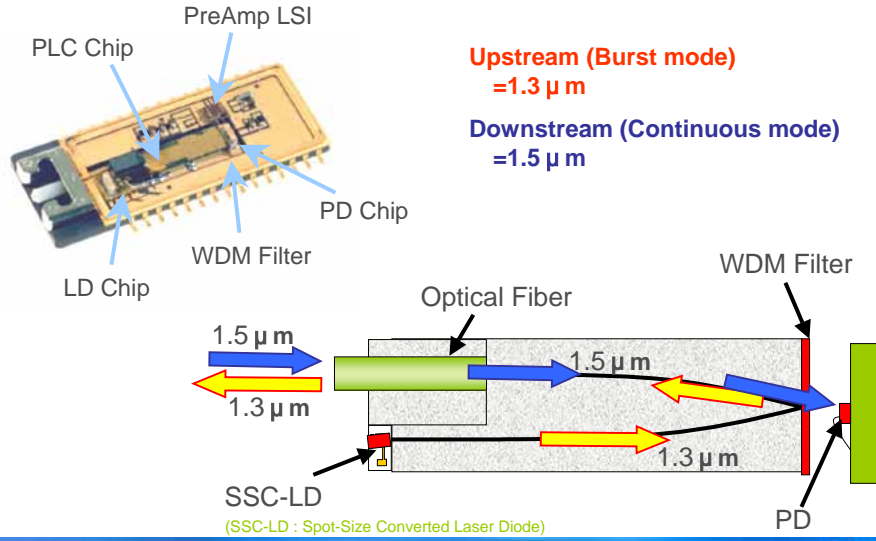
- ・PX10 上り(1.3 μm)・・・10km
- ・PX20 上り(1.3 μm)・・・20km

#### その他の考慮事項

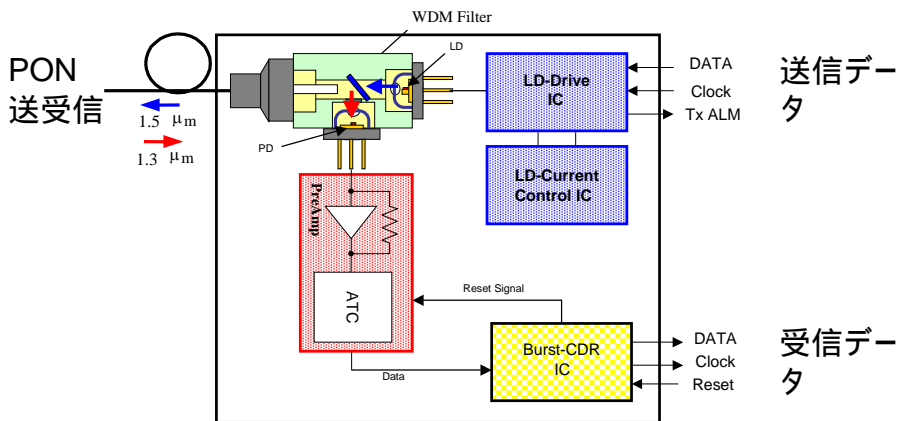
- 3.近距離における強い光受信レベルによる光飽和  
ONU/OLTは出力レベル、受光レベルが各々異なる。  
このため、近距離においては、必ず、10dBのロスが必要となる。
- 4.光のバースト間レベル差(光デバイス特性上考慮必要)  
OLTに光ファイバを介して接続されるONUの位置は異なるため、ONUの光出力レベルが同じでも、OLTに到達する光レベルは異なる。OLTが受信する光レベルの差は13dB以内とすることが必要となる。

## PON用光モジュール

PLC (Planar Lightwave Circuit) Moduleの例



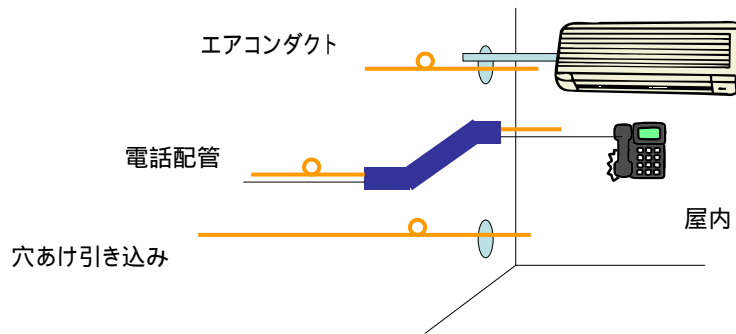
## PON用WDM光トランシーバの構成例





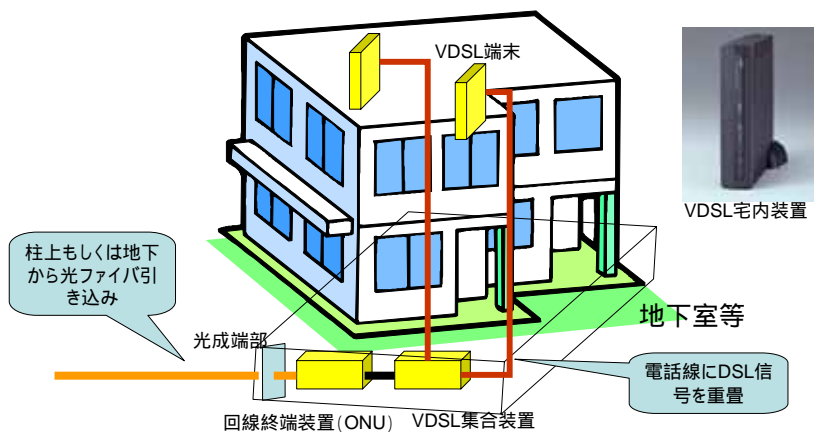
## 光ファイバの導入(戸建・低層ビル)

- 戸建・低層ビルにおける代表的な引き込み方法
  - 電話用の配管から引き込む
  - エアコンダクトから引き込む
  - 壁に穴を開ける



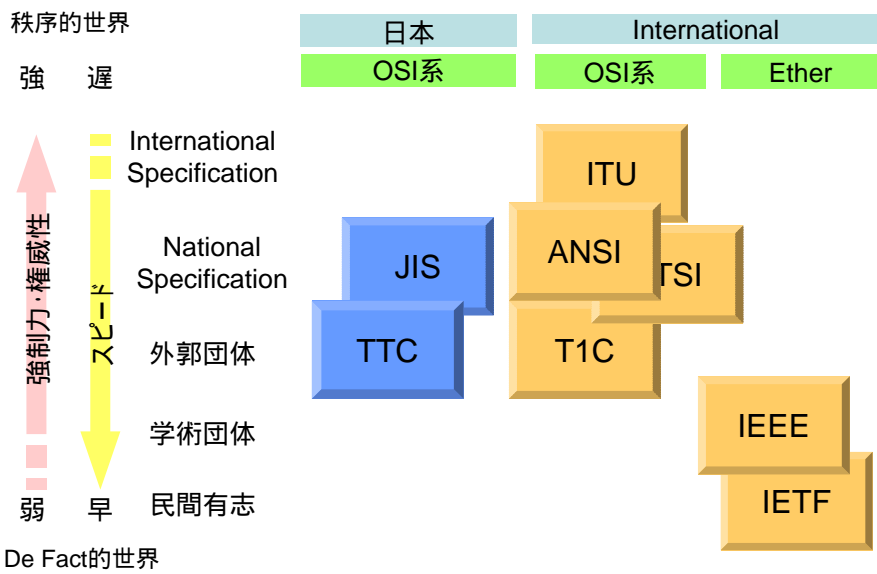
## 光ファイバの導入(ビル)

- 既設ビルに光ファイバを敷設するのは、コストを考えると困難
- 多く見られる方式は、建物内の伝送にVDSLを用い、データ信号を既設の電話用電線に重畳させる。一種のFTTNとも言える。



## 第3章 標準化団体とFTTx

### 標準化団体と特徴



## TTC

### ■ The Telecommunication Technology Committee 情報通信技術委員会

- 日本における、情報通信ネットワークに係る標準化を行う民間団体
- 総務省も参画し、実質的な国内規格を作る
- 多くのITU規定について、翻訳・国内準拠の改変を行いTTCとして規格化

### ■ TTC - 1000

- メディアコンバータに関する国内規定
  - TS-1000(和文)1版 2002年5月23日制定
  - TS-1000(和文)改版 2003年1月29日承認済

## IEEE

### ■ Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc (電気電子学会)

- 本部はアメリカ
- 世界規模の電気・電子関係の技術組織
- 世界130ヶ国、130万人、エレクトロニクス関係では世界最大の学会
- コンピュータ、バイオ、通信、電力、航空、電子等の技術分野で標準化活動を実施
- そのまま国際標準として利用されることが多く、規格としての影響力は強い
  - 特に802.1/802.3は広く知られている

## 802.3ah

- 別名EFM(Ether in the First Mile)
- 目的はファースト(ラスト)マイルサービスにEtherを適用すること
- 802.3(CSMA/CD)のWGとして2001年に活動開始しE-PONに関する規格を策定。2004年7月に活動終了
- ギガE-PON仕様ベースとして広く参照されている
- PONに関する内容としては、以下が関連
  - Point-to-Multipoint
  - OAM (Operations, Administration, and Maintenance)

## ITU

- International Telecommunication Union  
国際電気通信連合
  - 本部はジュネーブ (スイス)
  - 国際連合 (UN) の専門機関
  - 電気通信標準化部門 (ITU-T) / 無線通信部門 (ITU-R) / 電気通信開発部門 (ITU-D)
  - 電気通信の改善と合理的利用のため国際協力を増進し、電気通信業務の能率増進、利用増大を行うための組織
  - 加盟単位は国で、各国の政策を反映させる場
  - 総会での議決権は政府機関 (日本は総務省) が持ち、ナショナルキャリアがその技術的バックアップを担当
  - 加盟国数は189ヶ国

## ITU-T G.983/G.984/Q.834

- PONに関するITUの標準を規定する仕様書群
  
- ITU-T G.983シリーズ
  - A-PON/B-PONに関する標準
  - 伝送方式・OAM・DBA・3波多重・冗長構成等を定義する
- ITU-T G.984シリーズ
  - G-PONに関する標準
  - 伝送方式・OAMを定義する
- ITU-T Q.834シリーズ
  - PONのネットワーク管理に関する標準
  - MIB、IDL及びUMLによるNMSの機能を定義する

## IETF

- The Internet Engineering Task Force
  - RFC (Request For Comment) の活用により、インターネット技術の早期規格化を推進
  - RFCは正式には強制力のある規格ではないため、新規提案・更新・変更が弾力的かつ柔軟に行われている
  - 準規格のInternet-Draft及び、規格のTechnical Specificationを制定
  - 参加者に制約なく、個人名で活動できる
  - メンバーの所属は、企業研究機関・政府機関・学術研究団体・大学等、非常に幅広い

## RFCとFTTx

- 直接FTTxを規定するRFCは無い
- しかしながら、EtherをベースとするFTTxはIETFとの密接な関係を持つ
  - VLAN
  - PPP
  - Multicast
  - DHCP
  - SNMP及びMIB
  - 等

## 第4章 PONの種類と規格

## PONの種類

- A - PON
  - ATM - PON
- B - PON
  - Broadband - PON
- E - PON
  - Ethernet - PON
- G - PON
  - Gigabit - PON

## A-PON/B-PON (ITU)

- A - PON (ATM - PON)
  - 1998年 G.983.1制定。ATMベースのPONシステム
  - 光波長の規定時に、3波多重は考慮外
- B - PON (Broadband - PON)
  - ブロードバンドアクセスネットワーク環境を実現する、ATMベースのPONシステム
    - 下り600M/上り150Mと、上り下り600Mのシステムを追加
    - 3波多重を実現するため、当初規定した光波長帯を変更
    - 動的に帯域を割り当てる方式 (DBA: Dynamic Bandwidth Assignment) を規定
    - TCONT (Traffic CONTainer) と呼ぶ、優先制御に利用するトラフィック振り分け方式を規定

## G-PON (ITU)

### ■ G - PON (Gigabit - PON)

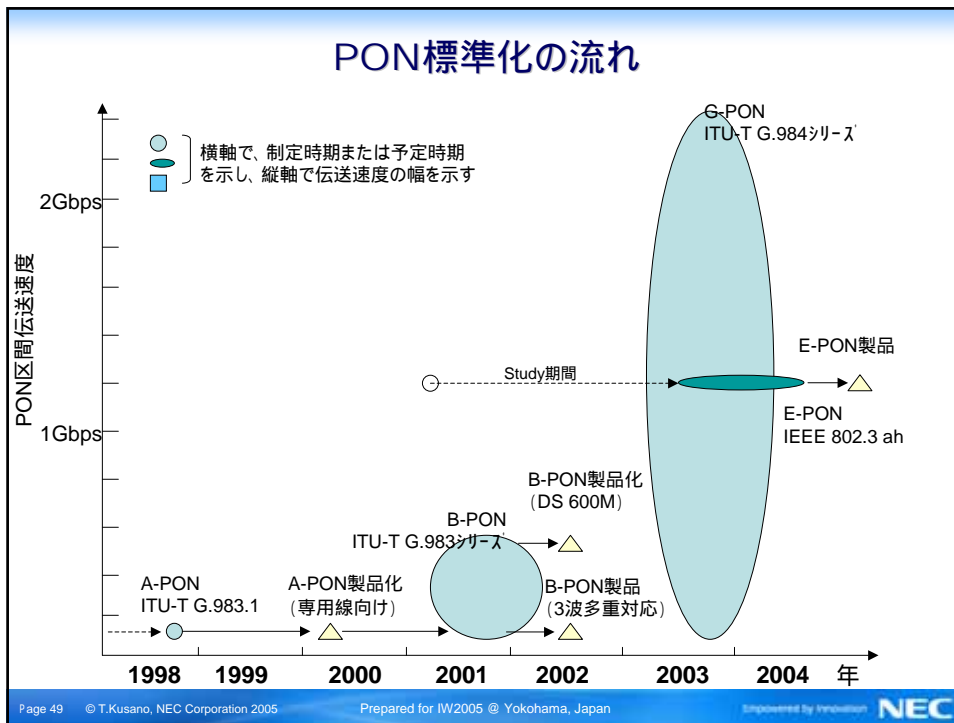
- A/B-PONの延長線上で、さらに高速なPONを実現するために策定されたPON
- 基本的にB-PONの思想を多く受け継ぐ
  - B-PON仕様の参照も少なからず有る
  - ただし、A/B-PONとプロトコルの互換性はない
- GEM(G-PON Encapsulation Method)と呼ぶ、ATM・TDM/ Packetを伝送する方式を新たに定義したことが特徴
- 伝送速度のバリエーションが幅広い
  - 上り伝送速度155Mbps ~ 2.4Gbps
  - 下り伝送速度1.2Gbps,2.4Gbps

## E-PON (IEEE)

### ■ E - PON (Ethernet - PON)

- IEEE802.3の延長として、Point-MultiPointのEtherMACを規定する
- 上り下り双方向の物理速度は1.2Gbpsで、論理情報はGigaEtherコンパチブルな Ethernet ベースのPONシステム
- 2004年7月に802.3として標準化完了





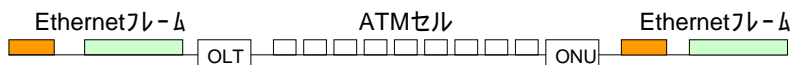
### PON方式比較 (A/B/G/E-PON)

PON System	A - PON (ATM - PON)	B - PON (Broadband - PON)	G - PON (Gigabit - PON)	E - PON (Ethernet - PON)
規格	ITU - T G.983.1	ITU - T G.983.3	ITU - T G.984	IEEE802.3ah
PON レイヤ	ATM	ATM	GEM	Ethernet
速度	Up	155M / 622M	155M / 622M	2.544G*
	Down	155M / 622M	155M / 622M	2.544G*
距離	20km	20km	20km 論理距離60km	10km / 20km 1000Base - 10PX 1000Base - 20PX
分岐数	32	32	128 (64)	規定なし
波長	Up	1310nm	1310nm	1310nm
	Down	1550nm	1490nm (data) 1550nm (video)	1490nm (data) 1550nm (video)

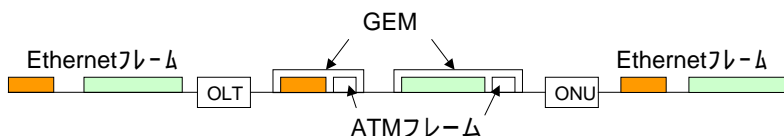
Page 50 © T.Kusano, NEC Corporation 2005 Prepared for IW2005 @ Yokohama, Japan Empowered by Innovation NEC

## PONレイヤの違い(イメージ)

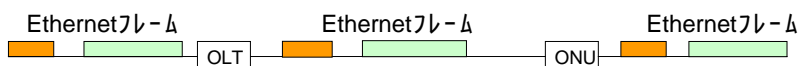
**A/B-PON** ・A/B-PONは、PON OHを付加し53バイトATMセルに分割



**G-PON** ・G-PONでは、ATMサービスはATMフレームで収容、その他はTDM/パケットはGEMに収容し、混在モードで転送可能



**E-PON** ・E-PONは、PON OHを付加した可変長Ethernetフレームを転送

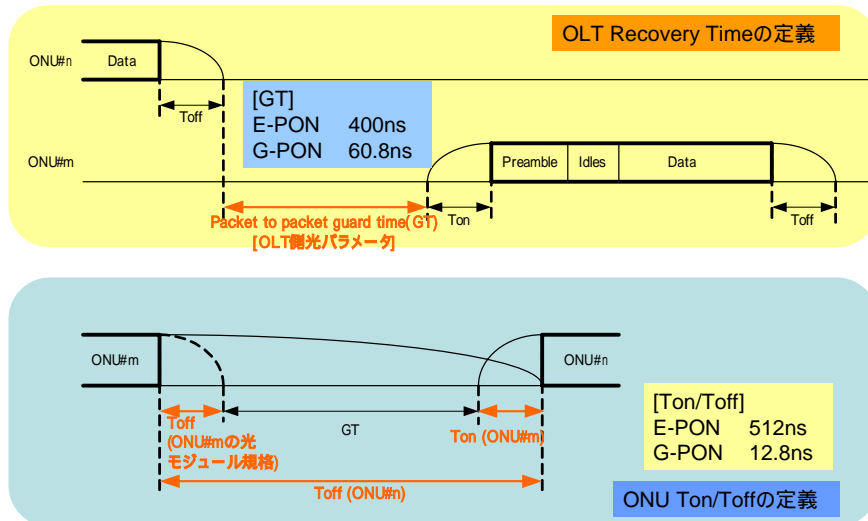


## E-PON/G-PONの光仕様

	E-PON (IEEE803.2ah)		G-PON (ITU-T G.984.2)
	1000BASE-Px10	1000BASE-PX20	
伝送距離	10km:	20km:	20km:メイン,10km:オプション
Attenuation range	5-20dB @ Up stream	10-24dB @Up stream	Class A:5-20dB Class B:10-25dB Class B+:審議中(max28dB目標) Class C:15-30dB
光出力レベル	ONU:-1~+4dBm OLT:-3~+2dBm	ONU:-1~+4dBm OLT:+2~+7dBm	ONU:-2~+3dBm@ClassB OLT:+1~+6dBm@ClassB
受信レベル	ONU:-24~-3dBm OLT:-24~-1dBm	ONU:-24~-3dBm OLT:-27~-6dBm	ONU:-25~-4dBm@ClassB OLT:-28~-7dBm@ClassB
OLT Recovery Time	400nsec	400nsec	60.8nsec (GT32Bit+PR44bit)
ONU Ton/Toff	512nsec/512nsec	512nsec/512nsec	12.8nsec/12.8nsec(16bit)

GT : Guard Time, PR : Preamble

## 光の仕様のポイント



E-PONの方が実現性を優先し、規格としての条件は緩い

## 今後の標準化の動向

### ■ ITU

- 若干の仕様追加があるものの、G-PON仕様策定は基本的に終了
- 今後はInter Operabilityに関する仕様作成
- NGA (Next Generation Access) に関する議論も開始

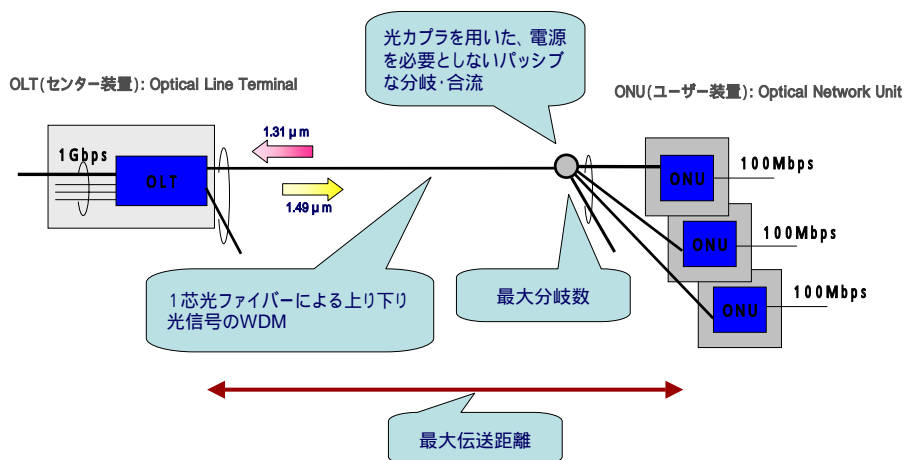
### ■ IEEE

- E-PONに関する活動は終了
- 今後のPONに関する活動については不透明

## 第5章 PONの要素技術

### PON概要

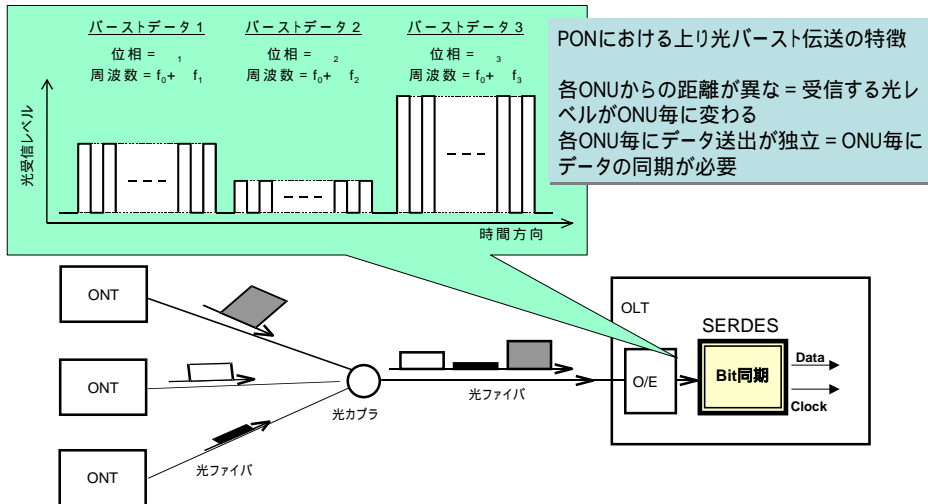
#### ■ PONのキー技術





## Upstreamバースト伝送

- OLTからの接続距離が異なるONUの上り信号を多重し、受信するための、PONの物理レイヤにおける技術的ブレークスルー



## ONUを検出する ~ Ranging ~

- PONのネットワークには自由にONUを接続・取り外しを行うことができる
- ONUが一定の距離範囲内にある限り、どこで分岐接続することも可能



- PONネットワークに接続するONUを検出し、データ送出制御のために、距離を測定する機能が必要

### Normal Ranging

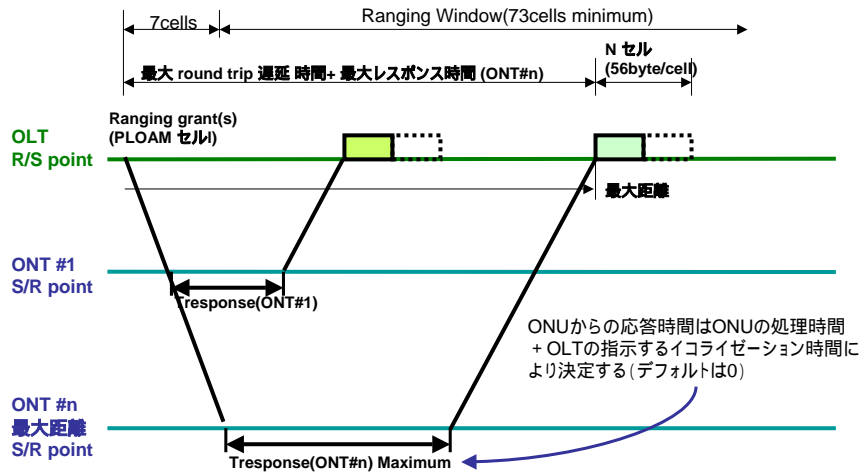
周期的に距離測定を行うため、特定の間隔でRanging窓を開く

### POPUP Ranging

OLTとONT間の伝送路障害が瞬時に発生 / 回復したときに、Rangingを行い再度運用状態にする機能

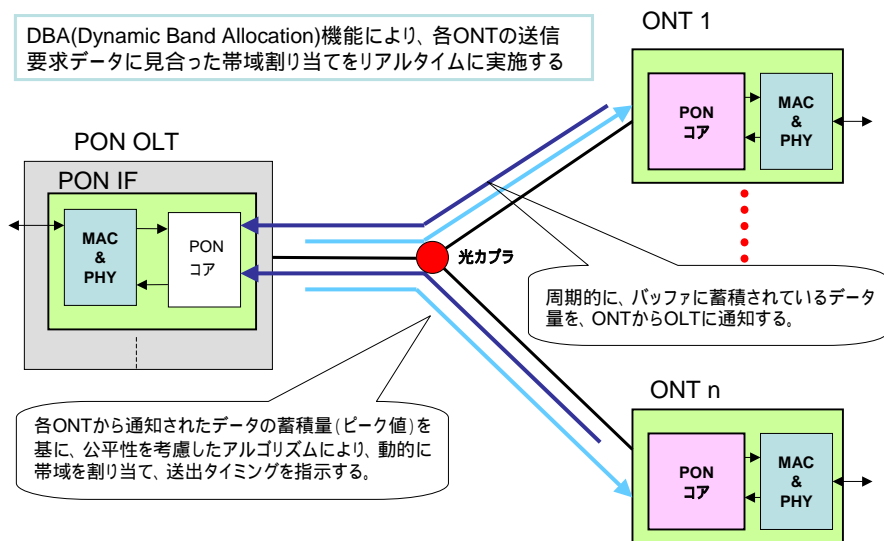
## Rangingによる距離測定 (B-PONの例)

- 距離測定信号の送信時間を基点に、戻り時間を測定する
- 距離情報を、送信タイミング制御に使用する

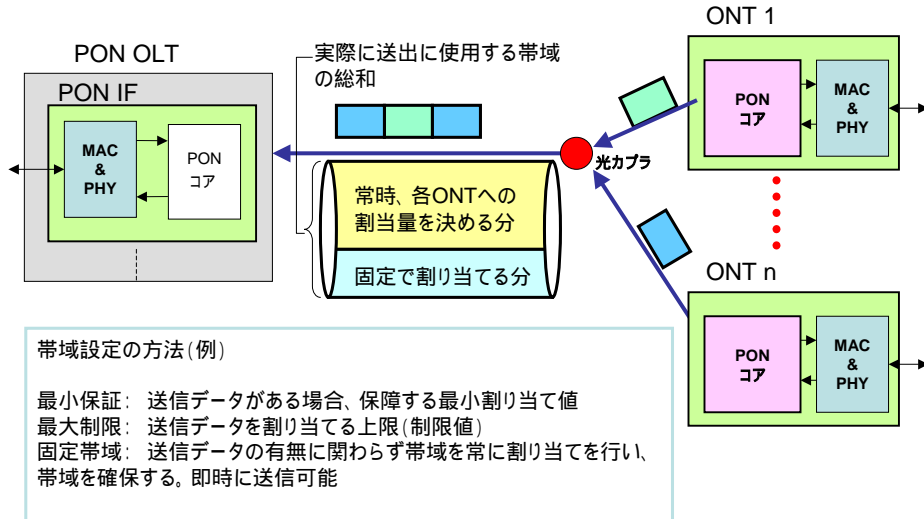


## DBAの概要

DBA(Dynamic Band Allocation)機能により、各ONTの送信要求データに見合った帯域割り当てをリアルタイムに実施する

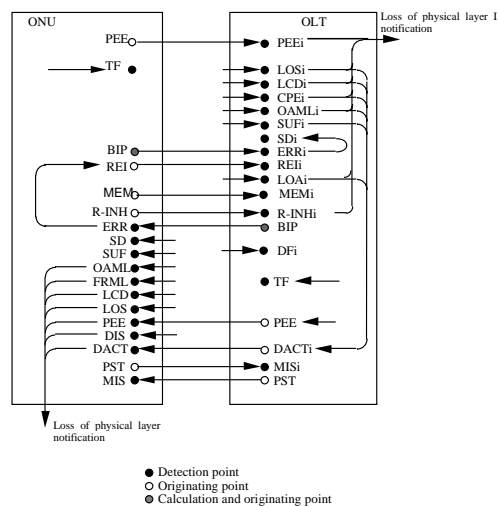


## DBA帯域設定



## PON区間警報転送

- OLT-ONU間で発生する各種異常状態を検出・通知する機能
- 基本的な思想は、従来からあるSDH/SONET伝送装置から引き継ぐ
- 警報等の事象は通常SNMP等により通知される





## 警報の意味 (B-PONの例)

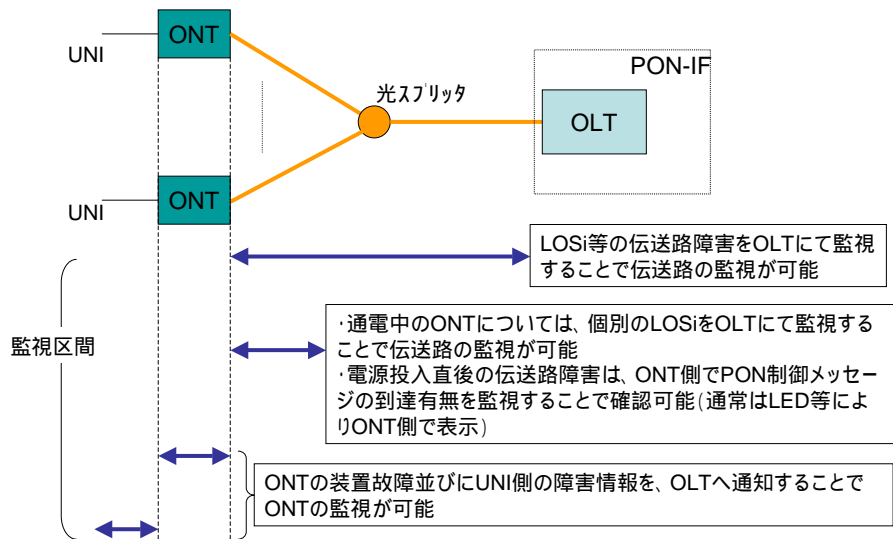
### OLT Alarms

**TF** : Transmitter failure  
**PEEi** : Physical Equipment Error  
**OAMLi** : PLOAM cell loss of ONTi  
**LOSi** : Loss of signal of ONTi  
**DFi** : Deactivate Failure of ONTi  
**SDi** : Signal Degraded of ONTi  
**MEMi** : Message\_Error Message from ONTi  
**R-INHi** : Receive Alarm Inhibit of ONTi  
**SUFi** : Startup failure of ONTi  
**LCDi** : Loss of cell delineation of ONTi  
**CPEi** : Cell phase Error for ONTi  
**LOAi** : Loss of Acknowledge with ONTi  
**ERRi** : Block error detection of ONTi  
**RELi** : Remote Error Indication of ONTi

### ONT Alarms

**TF** : Transmitter failure  
**PEE** : Physical Equipment Error  
**LCD** : Loss of cell delineation  
**ERR** : Block error detection  
**MEM** : Message\_Error Message  
**DIS** : Disabled ONT  
**LOS** : Loss of signal  
**OAML** : PLOAM cell loss  
**FRML** : Loss of downstream frame  
**SD** : Signal Degraded  
**DACT** : Deactivate PON\_ID

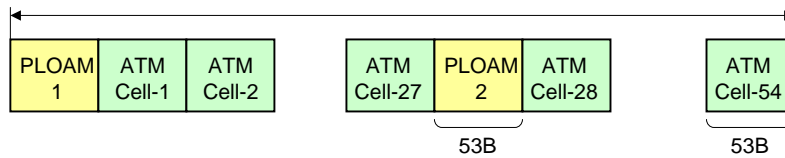
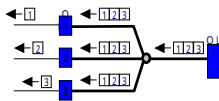
## 警報監視区間



## A-PON/B-PON

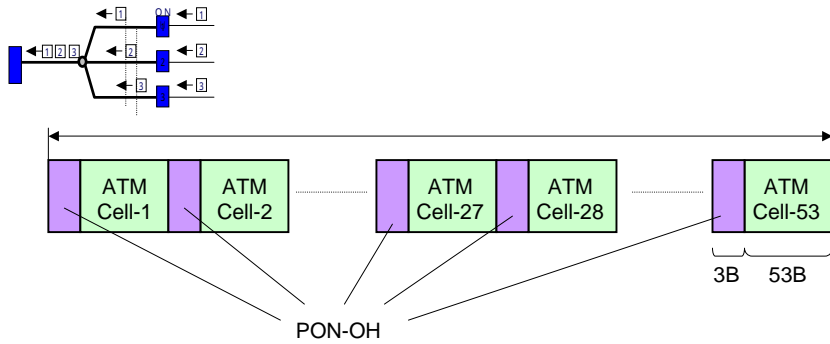
## A-PON/B-PONフレーム

- ATMセルをベースとする
- Downstream(下り)・Upstream(上り)でフレームフォーマットが異なるのが特徴



一例として、ITU-T.983.1で規定されるPONフレームを示す。  
下りは一定周期に53B長のセルを56セル送信。  
このうち2個のセルは、PON区間の制御用で使用されるPLOAMセルとして使用される。(PLOAM:Physical Layer Operation Administration and Maintenance)

## A-PON/B-PON Upstreamフレーム



上りは一定周期に56B長のセルが53セル送出され、各セルにはPONレイヤ用途に3byteのオーバーヘッドが付加される。  
3byteのオーバーヘッドにより同期 / 揺らぎ吸収などを行う。

## A-PONのプロトコルスタック

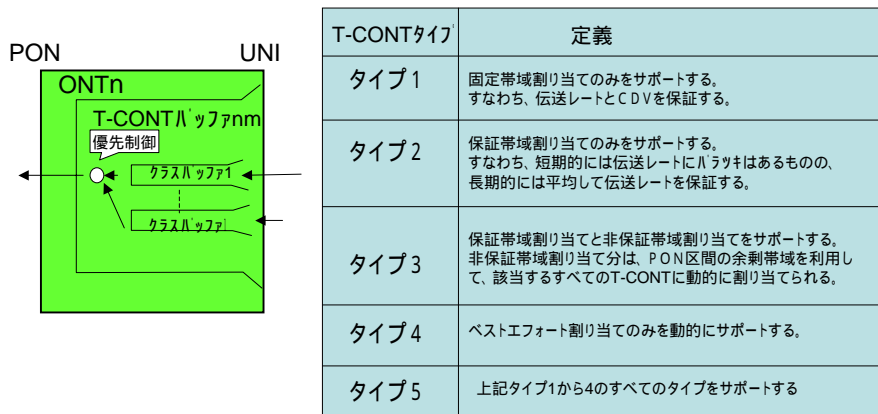


	ONT		OLT	
データリンク層 (レイヤ2)	LLC (IEEE802.2)	LLC encapsulated	LLC encapsulated	LLC (IEEE802.2)
	MAC (IEEE802.3)	AAL5	AAL5	MAC (IEEE802.3)
物理層 (レイヤ1)	10BASE-T/ 100BASE-TX (IEEE802.3)	ATM	ATM	100BASE-TX (IEEE802.3)
		A-PON TC (G.983.1)	A-PON TC (G.983.1)	
		A-PON PMD (G.983.1)	A-PON PMD (G.983.1)	

ITU-T.983.1で規定されるPONをベースにしてEthernetパケット伝送サービスを行う場合の  
プロトコルスタック

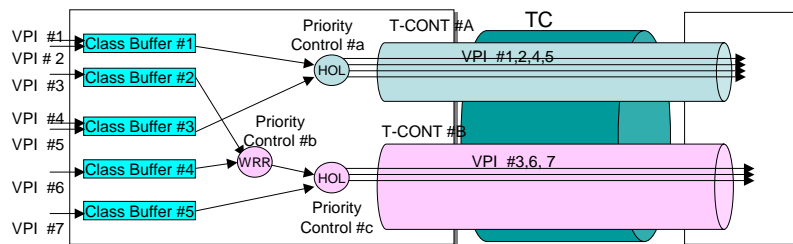
## T-CONTの定義

- T-CONTは Traffic CONTainer の略
- 1つ以上のクラスバッファから構成される
- T-CONTバッファ内に2つ以上のクラスバッファがある場合は、優先制御が必要になる。

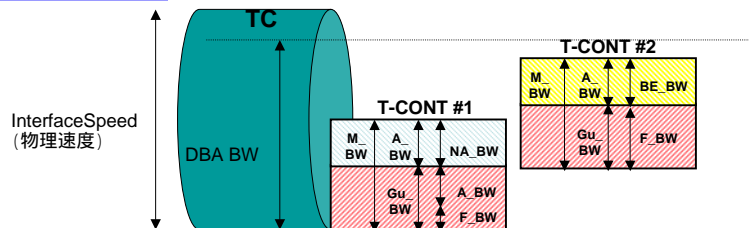


## T-CONTモデル(イメージ)

### バッファ配備



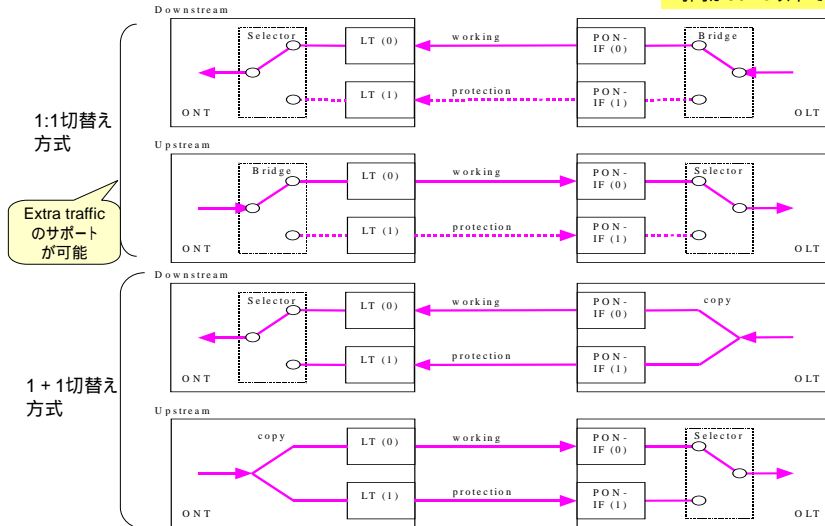
### 帯域割り当て



## G.983.5 Survivability

- 冗長構成の規定
- 実際にはコスト高のため採用されず

性能: Extra trafficを収容する時間も含め、32ONTに対する切替時間が50ms以下であること



## G-PON

## G-PON

- G-PONは各種速度系列を持つ
- 現時点で導入検討されているのは1.2G/2.4G
- 将来は2.4G/2.4Gの実現も視野

### 上り方向速度

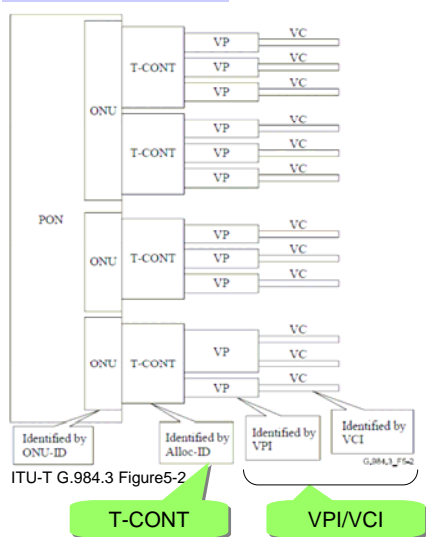
- 155 Mbit/s up,
- 622 Mbit/s up,
- 1.2 Gbit/s up,
- 155 Mbit/s up,
- 622 Mbit/s up,
- 1.2 Gbit/s up,
- 2.4 Gbit/s up,

### 下り方向速度

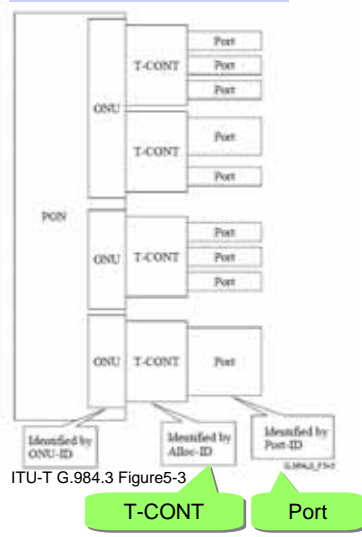
- 1.2 Gbit/s down;
- 1.2 Gbit/s down;
- 1.2 Gbit/s down;
- 2.4 Gbit/s down;
- 2.4 Gbit/s down;
- 2.4 Gbit/s down;
- 2.4 Gbit/s down.

## 多重化構造

### ATMトラフィック



### パケット・TDMトラフィック



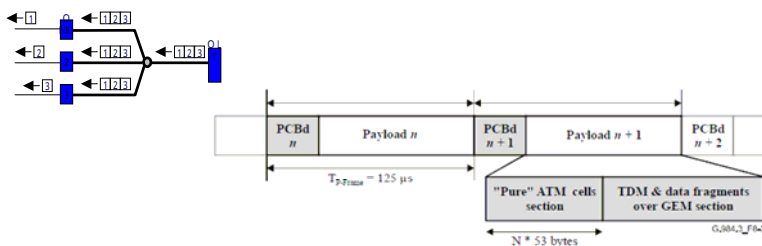
## G-PONフレーム(GTC)

### ■ PON区間の転送モードには、GEM/ATM/Dualの3種ある

- GEMは、パケット・TDMをサポート
- ATMは、従来とおりATMセル転送
- Dualは、ATM/パケットの両者をパーティショニングして転送

		OLT		
		GEM	Dual	ATM
ONU	GEM	X	X	N/A
	Dual	X	X	X
	ATM	N/A	X	X

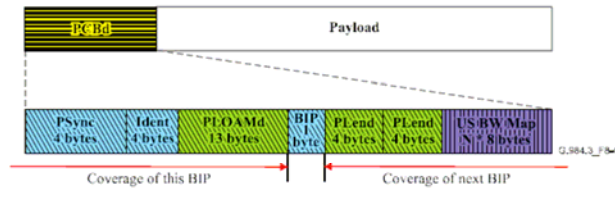
## G-PON Downstream Frame



- PCBPhysical Control Block
- ATM cells section ATMセルを伝送するペイロード
- TDM & data fragments over GEM section  
TDMとパケットを伝送するペイロード

いずれのペイロードを使用しているのかは、PCBで制御する  
PCBは125 μ sec毎に存在 ONUにおける網同期の実現が可能

## PCB Payload Control Block



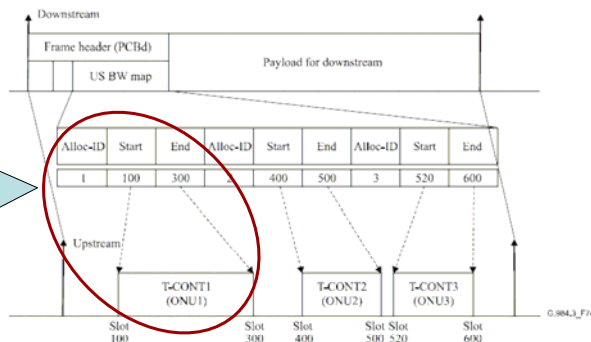
- Psync Physical Synchronization
- Ident Indicate Lager Frame Structure
- PLOAMd Physical Layer OAM
- PLend Payload Length
- US BW Map Upstream Bandwidth Map

d: downstream

## 上り帯域の制御

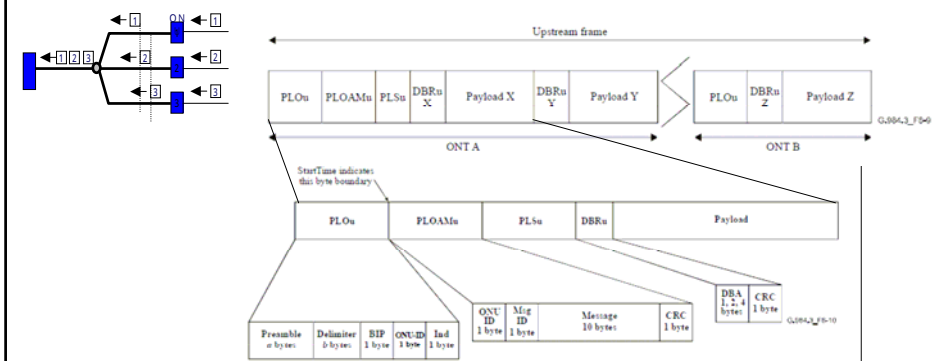
- PCBのUS BW Mapによる上り帯域制御
    - Alloc-ID毎に対応する上りフレームの
      - スタートスロット
      - ストップスロット
- を指定

Alloc-ID=1に対し、  
上りフレームの  
スロット100から開始  
スロット300で終了  
する帯域を割り当てる





## G-PON Upstream Frame

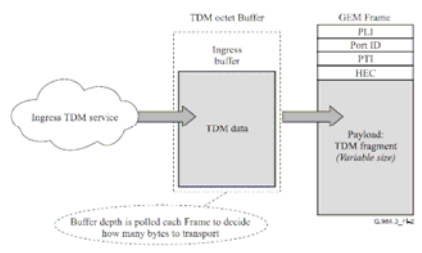


- PLOu Physical Layer Overhead
  - PLOAMu Physical Layer OAM
  - PLSu Power Leveling Sequence
  - DBRu Dynamic Bandwidth Report
- PLOAM以下、どのOHを送信するかは、下りフレームUS B W m a p中のフラグにより制御される
- u : upstream

## TDM/EtherをG-PONで転送する

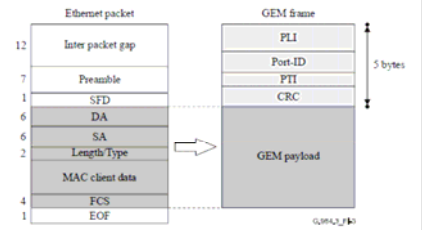
### ■ TDM收容

- バルクデータとしてGEMのペイロードに收容



### ■ Etherパケット收容

- EtherフレームのDAからFCSまでをGEMのペイロードに收容



## E-PON

## E-PONフレーム

- 基本的にEthernetの拡張
- PON用のプリアンプルに特徴あるが、G-PONに比較するとシンプル

8バイト	6バイト	6バイト	4バイト	2バイト	44-1502バイト	4バイト
プリアンプル <PON OH>	宛先 アドレス	送信元 アドレス	VL- AN	L/T	データ領域	FCS

プリアンプル領域: 802.3ahにて規定されるフォーマット。

2バイト 01交番パタン

1バイト SLD(Start of LLID delimiter: d5ハタシ)

2バイト 01交番パタン

2バイト LLIDフィールド

1バイト CRC8

宛先アドレス、送信元アドレス: 802.3準拠。

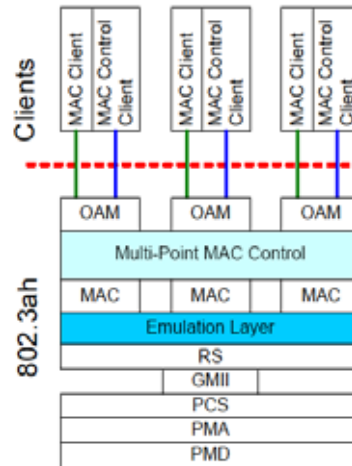
VLAN: 802.1Q準拠。

L or T: 802.3準拠。LengthまたはTypeを示す。

FCS: 802.3準拠。宛先アドレスからデータ領域までのCRC演算結果。

## E-PONレイヤアーキテクチャ

- MACコントロール層を1つとし、複数Clientの処理を一括して行う
- Emulationレイヤが、複数のMAC層を個別に存在する様に見える(エミュレーション)



From kramer\_p2mp\_1\_0902 of EFM meeting presentation

## ONUディスカバリ

- E-PONにおけるRanging処理
- 遅延処理を同時に実施する

GATE message (Discovery, Normal)

OLTが、ONUに信号送出許可を与えるメッセージ

REGISTER\_REQ message

ONUが、Discovery用のGATEメッセージを受信したとき、登録を希望する場合に送信する登録要求メッセージ

REGISTER message

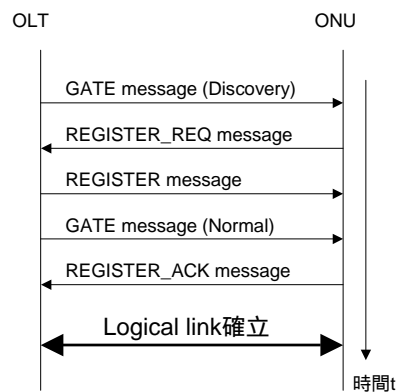
OLTが、登録要求したONUの登録を行う場合に登録許可を与えるメッセージ

REGISTER\_ACK message

ONUが、登録許可メッセージを認識した場合に送信する応答メッセージ

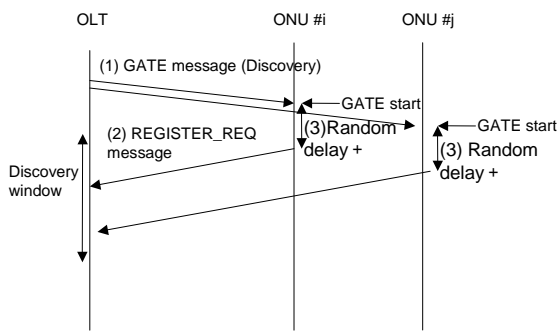
Logical link確立

信号導通のためのパス(LLID)が確立



## 遅延測定

- Rangingと同一の目的だが、ONU側のランダム遅延の挿入により衝突回避を行うのが、E-PONの特徴



遅延測定に、message内の time stampを使用する。

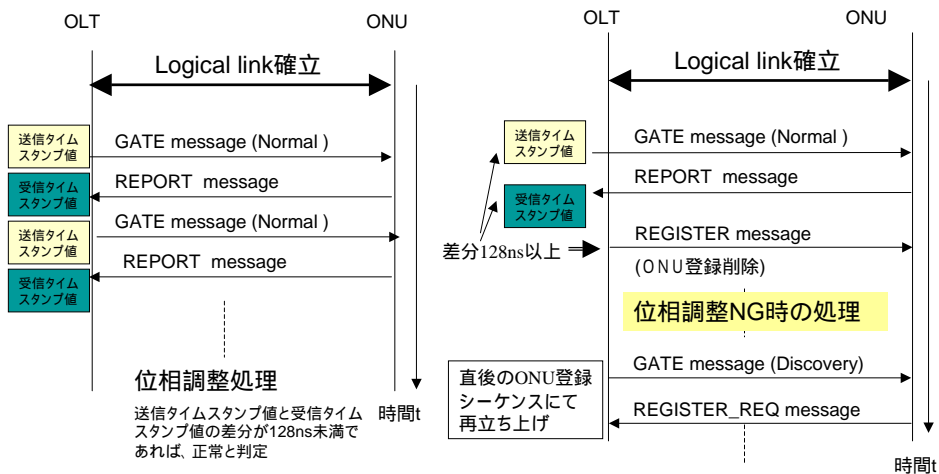
**Discovery Window**  
REGISTER\_REQ messageを受信することが可能な時間

**Random delay**  
他のONUが送出する messageと衝突が発生しないように、ONUが自発的に messageの送信を遅らせる時間。

— ONU内固定遅延値

## E-PONにおける位相調整

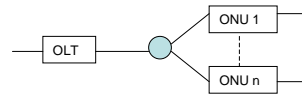
- OLT/ONU間の時刻同期を保つ機能 E-PONの送出制御は「時間」
- 不一致時は再度ディスカバリを行い再同期



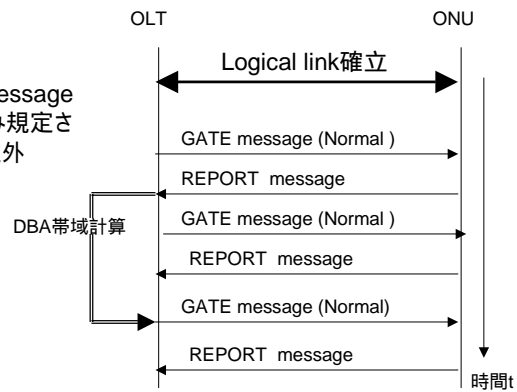
## E-PONにおけるDBA

NEC

REPORT messageにて収集した各ONUの滞留データ量を元にしてOLTで帯域計算を行う  
配下のONUにGATEmessageにより、帯域を割り当てる



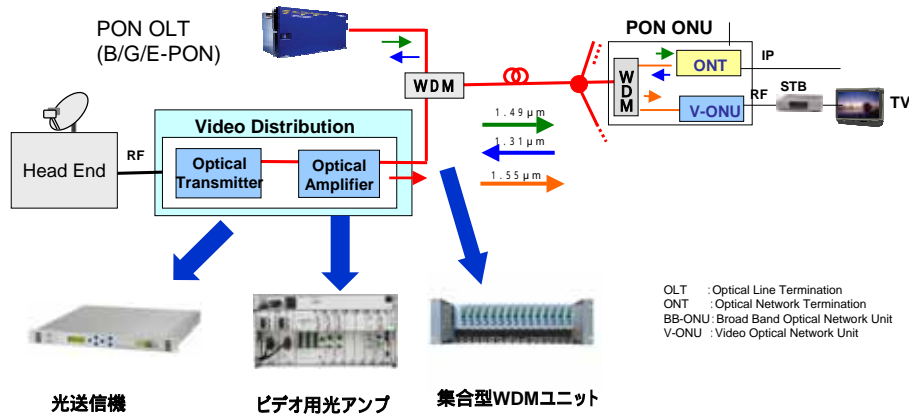
IEEE802.3ahでは、REPORT messageとGATE messageフォーマットのみ規定され、これらをどう使用するかは規定外



## PONに関連する技術

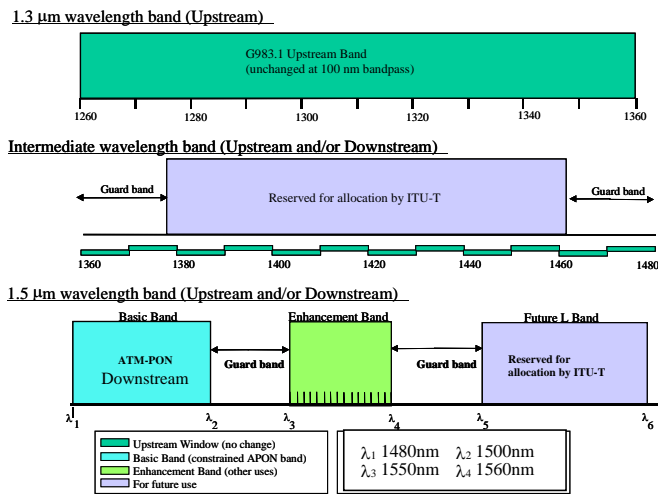
## Video Overlay System

- PONの光区間をデータ通信とビデオ信号で兼用することで、ビデオ配信を行う方式
- スプリッターで光信号を分配するため、放送サービスへの適用が非常に容易
- 別名3波多重とも呼ばれる



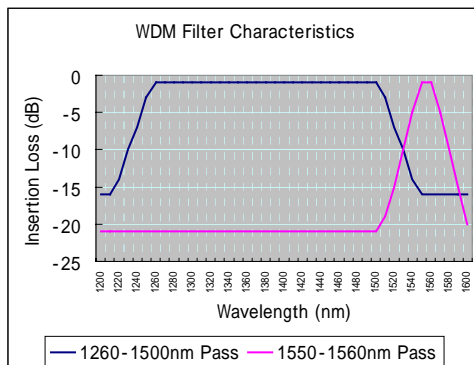
## 3波多重 波長プラン

- ITU-T G.983.3による3波多重の波長プラン



### 3波多重のWDM Filter

- PONのデータ信号とビデオ信号を分離するためのフィルタが必要
- 必要なフィルタ性能はビデオ搬送波により決まる
- 下図はQPSKのビデオ信号用フィルタの特性例



### FEC (Forwarded Error Correction)

- 冗長符号による伝送データの誤り訂正機能
- Read-Solomon符号が用いられる
- E-PON/G-PONの両者とも、FECをオプションとして規定

#### E-PONの例

- IEEE 802.3ah Draft 3.3 Clause 65.2 準拠  
ITU-T G.975 ReadSolomon(255,239,8) 生成符号
- 符号化範囲: プリアンブル+MACフレーム
- 復号化範囲: プリアンブル+MACフレーム(Encrypted)

S_FEC	Preamble/SLD	Frame	FCS	T_FEC_E	PARITY	T_FEC_O
-------	--------------	-------	-----	---------	--------	---------

S\_FEC : FEC Frameのスタートを示す。 Data Patern = /K28.5/D6.4/K28.5/D6.4/S/

T\_FEC\_E : FEC Frameのエンドを示す(Even)。 Data Patern = /T/R/I/T/R/

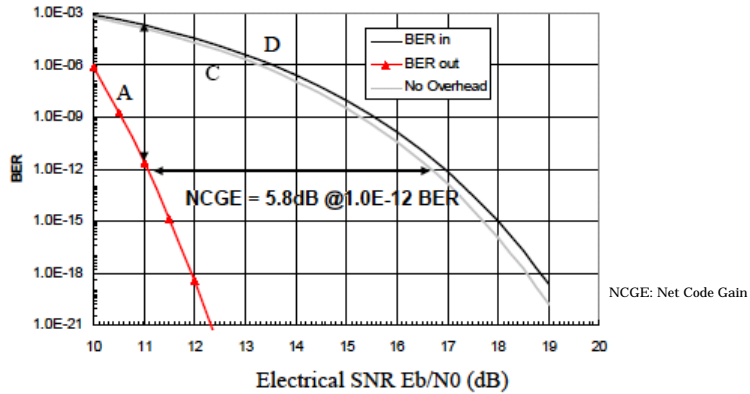
T\_FEC\_O : FEC Frameのエンドを示す(Odd)。 Data Patern = /T/R/R/I/T/R/

FECフレーム内のPARITY部は、Etherパケットを239Byte毎に分割しEncodeした結果生成された16Parityを集めたParityである。

## FECの効果

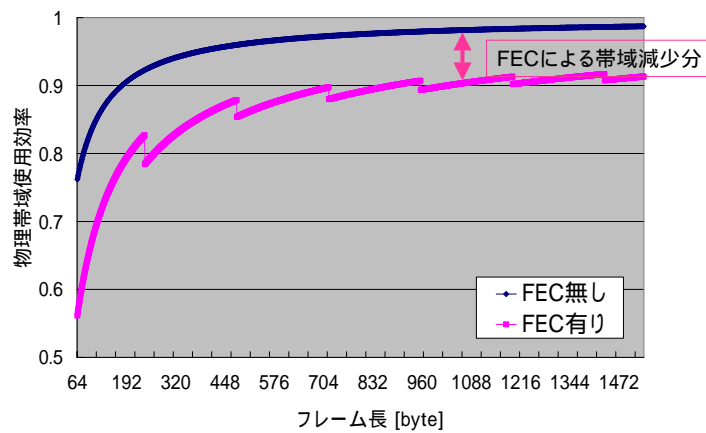
- FECを使用することにより、3～6dB程度のロスバジェットの改善が可能
- 従って、実際の伝送路の特性が満足していない条件でも、改善範囲内であれば必要なエラーレートを確保できる

(下図は、E-PONのBER=1.0E-12以上の伝送特性を満足するために17dBの利得が必要な条件下で、FECの適用により同一エラーレートを11.2dB程度の利得でクリアすることを示す例。この場合FEC無しの実際のエラーレートはBER=1.0E-4に相当する。)



## FECのデメリット

- FECは冗長符号を付加して伝送することにより、エラー検出及び補正を実施する
- そのため、7～20%の物理帯域を消費することになり、ユーザー利用帯域が減少する

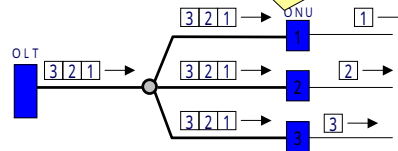




## PONにおける暗号化

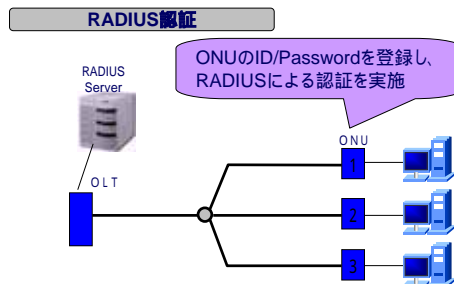
- PONはシェアードメディア型の通信技術であり、全端末が他の端末の通信にアクセスできる
- ONU毎の通信を暗号化することにより、悪意あるユーザーの盗聴を防止する
- AES (Advanced Encryption Standard)
  - AESはDES/3DESと同様に共通鍵暗号の一種であり、各128/192/256bitのブロック長・鍵長を持つ
  - NIST FIPS - 197 AES (Rijndael) 準拠
  - 鍵長: 128bit, 動作モード: CTR
  - 復号化範囲: MACフレーム(DA ~ FCS)

各ONUに与えられる識別子番号をもとに暗号を解除(一般には初期値と識別子を元に演算)。自分宛の信号のみ取得可能。



## Radiusによる認証

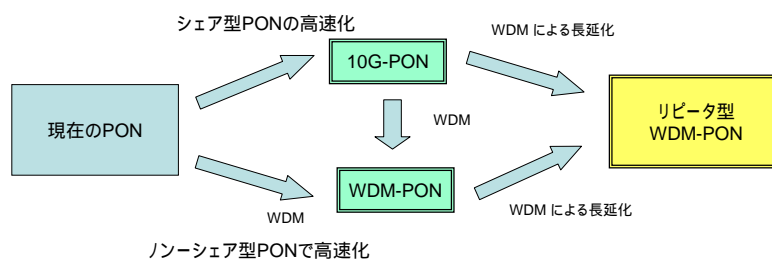
- ユーザの不正使用を防ぐため、また盗聴防止のため、各ONUの起動時にユーザ認証を行う方式が導入されている
- ユーザ情報の一元管理が比較的容易なため、RADIUSを用いたユーザ認証が普及している
- 各ユーザの認識には、MACアドレスやユーザ固有情報が用いられる

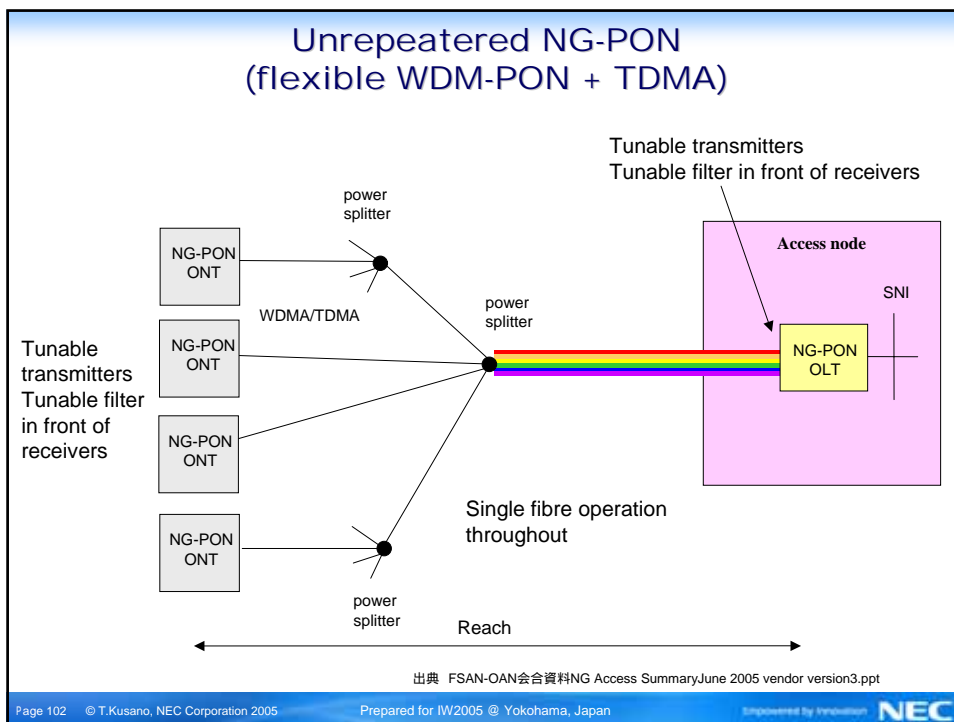
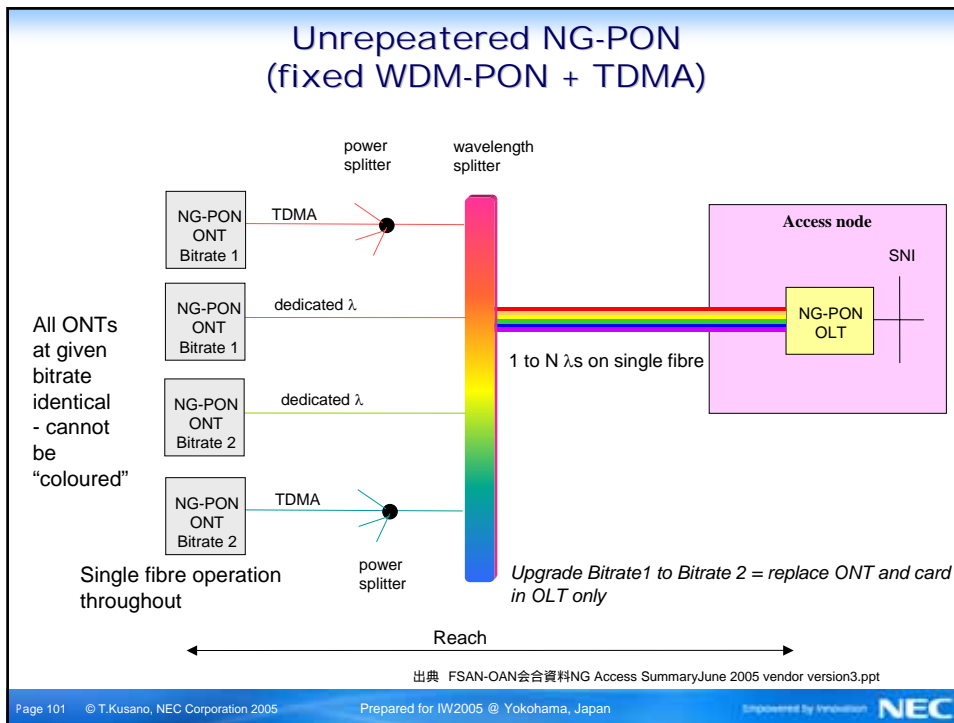


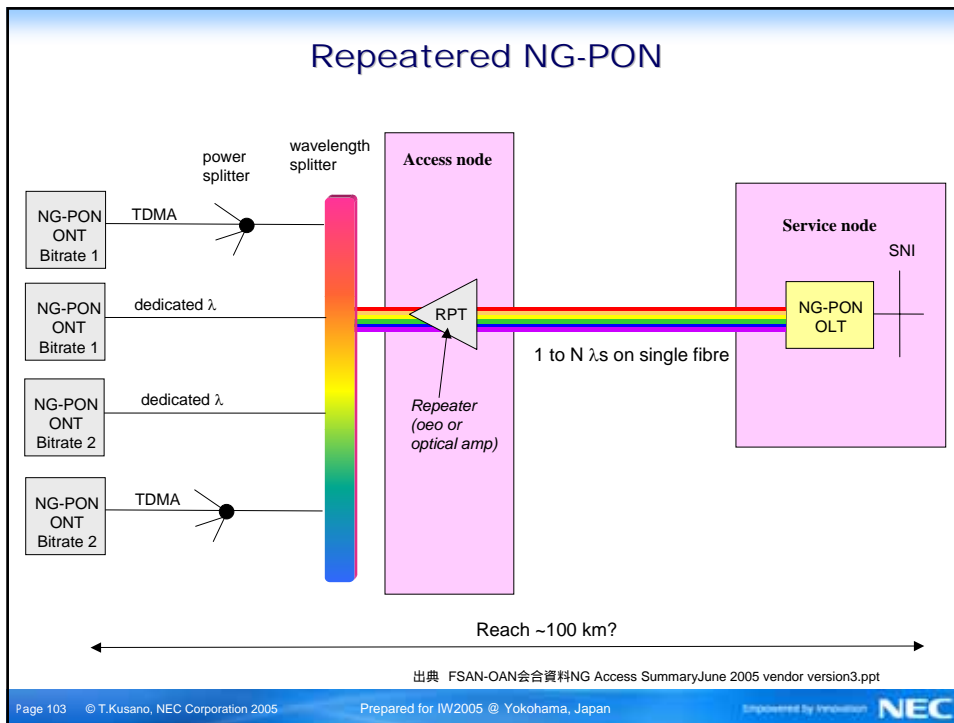
## 第6章 今後の光アクセスの動向

### 高速化・高速化・・・ NG-PON

- NG-PON (Next Generation – PON)
- さらなる高速化の可能性
  - 速度を上げる 10G-PON
  - シェアしない WDM-PON
  - もっと遠くへ リピータによる中間増幅



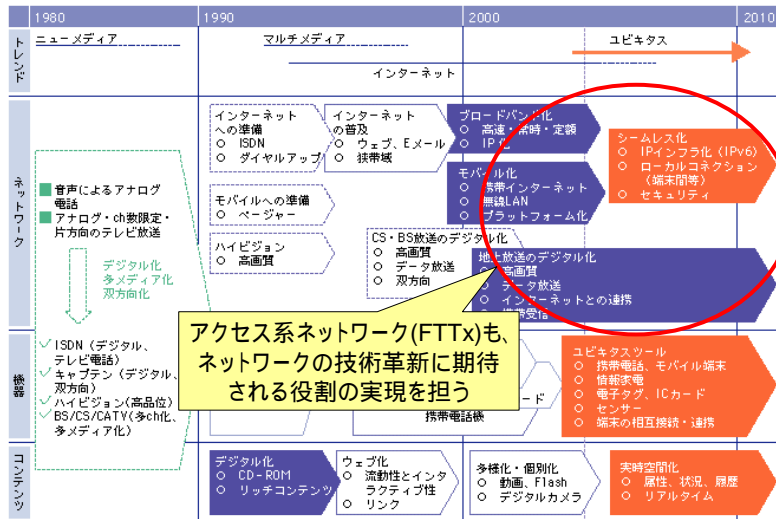




Empowered by Innovation **NEC**

## 第7章 今後のサービスとBB

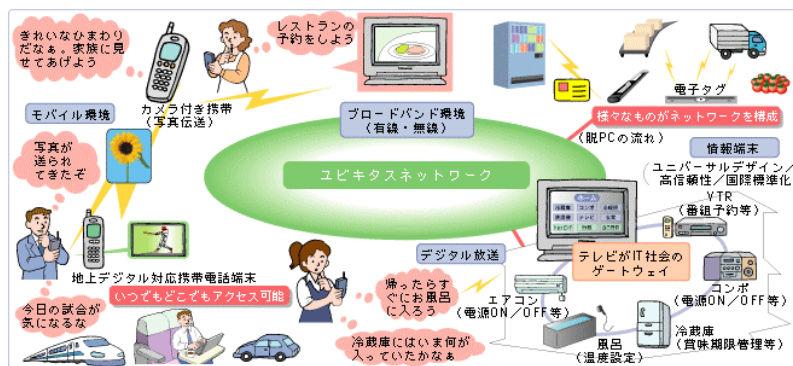
## 技術トレンドとアクセスネットワークの役割



(出典) 「ネットワークの現状と課題に関する調査」  
総務省 H16年通信白書

## Ubiquitous

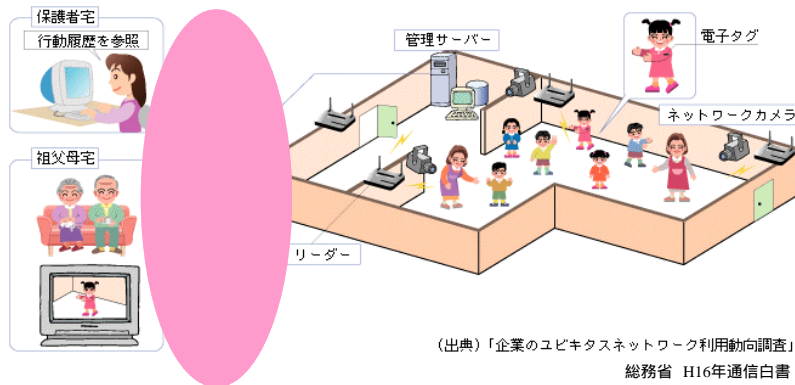
- ユビキタスのインフラとしてのアクセスネットワーク
- リアルタイム・広帯域伝送の提供
- 端末のバリエーション化(モビリティ・情報端末・家電)



(出典) 「ネットワークの現状と課題に関する調査」  
総務省 H16年通信白書

## 具体例

- 安心分野におけるユビキタスの具体化例
- 幼稚園児の安全管理を、ICタグとその情報を転送するブロードバンドネットワークにより構成
- ユビキタスの実現とブロードバンド化は表裏一体

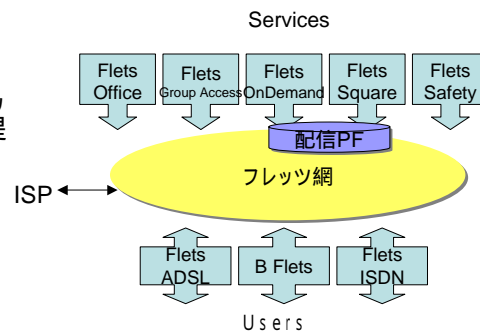


## キャリアの動向

## NTTのBBアクセス網とサービス展開

ISPとのサービス差別化により、単なる通信サービスにとどまらないユーザの自ビジネス内囲い込みを図る

- 元来は都道府県単位のISPへのアクセス網
  - 都道府県単が分割単位の理由は、県間を跨ぐサービスの提供を許されなかったため
- フレッツ網の中では、独自のサービスを展開
  - フレッツスクエアで独自のコンテンツサービス
  - オンデマンドでストリーミング
- 電気通信事業法の改正により、広域網化が認可された
- 広域網としてネットワークをフレッツ網と呼び、閉域網サービスを提供



## 北米光アクセス動向

- 北米の光アクセス導入が本格的に開始するきざし
  - 2強 (SBC / Verizon)
- キャリアにより異なるソリューション
  - FTTH (光 + DSL Solution)
  - FTTP (オール光 Solution)
- 品質を確保した上でのトリプルプレイ (Data / Voice / Video) の実現は、Etherでは難しいと判断
- FCCの規制 (電話サービスの維持・緊急電話) のクリア
- 既存ATMネットワーク資産の最大限の活用
- USの成否が、日本がこの先どちらを向くべきかの試金石になる可能性大

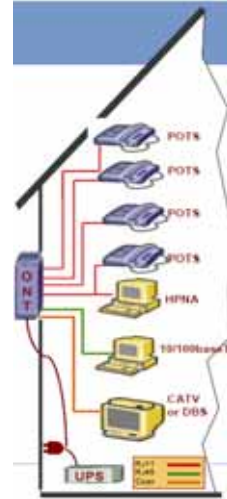
## 北米キャリア動向(Triple Play)

### ■ 北米のFTTPの特徴

- 屋外設置型ONU (建物の外部・ガレージ内の環境条件の厳しい場所に設置)
- UPSを使用したバッテリーバックアップにより、ループ給電と同等の機能を提供

### ■ CATV対抗策

- CATVは既にトリプルプレイをデジタルで実現している
- Digital - RF内蔵し、ビデオアウト装備
- 同軸と同等の容易な取り回しが必要 光は屋外止まりで、屋内はUTPで配線
- 今後はMoCAに



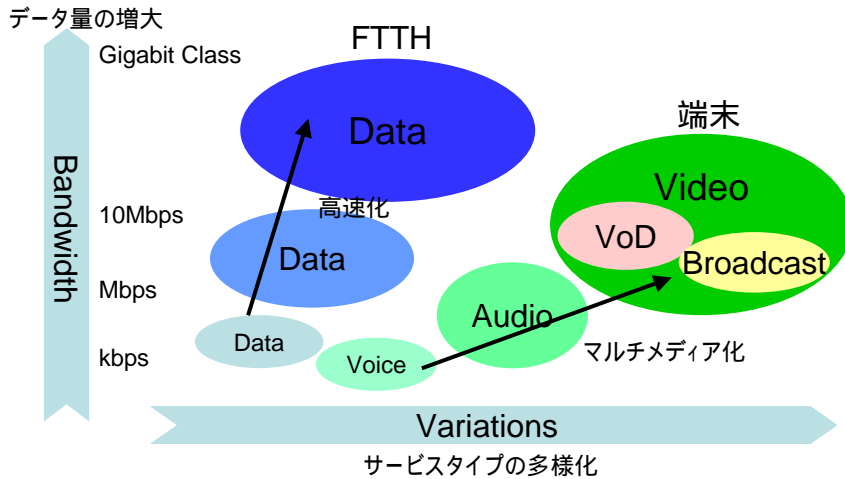
Alcatel FTTP Presentation抜粋

## BBアプリケーション



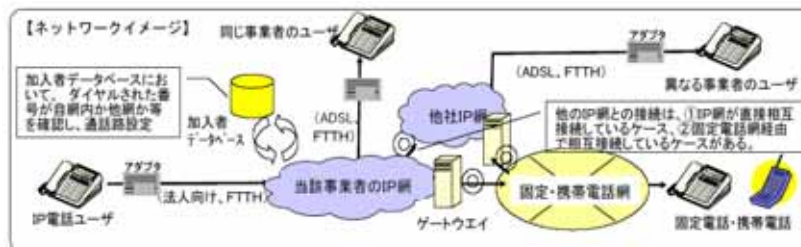
## ユーザアプリの変化

- データ量の増大(テキスト WEB ファイル転送) ギガビットクラスの世界
- データ端末から、マルチメディア対応のサービス端末



## IP電話(VoIP)

- 今までのVoIPは品質をあまり問われない1050が主流だった
- 今後はPOTS並みの品質保証する0ABJでのIP電話サービス競争となる
- 0ABJ実現には、光アクセス化が必要(品質基準の満足が必要)
- 品質確保には上り・下りの両方向通信における優先制御・遅延制御が必須
- 単機能ONUから、VoIP機能を有する高機能ONUへのシフト



## IP電話の必要条件 (OAB-J)

### ■ 総務省によるIP電話の品質条件及び認可条件

	クラスB (携帯電話並)	クラスC
総合音声伝送品質 (R値)	>70	>50
End-to-End 遅延	<150msec	<400msec
呼損率 (接続品質)	<=0.15	<=0.15

**R値の算出方法**  
IP電話網の20個のパラメータを、E-modelという計算式に代入して算出する。R値が大きほど、音声品質が高い。TTC標準では音声の符号化によるひずみ、エコー、遅延以外の17個のパラメータはデフォルト値を使う。

### 総務省が定めているIP電話で「OAB-J」を使うための条件

	条件
(1)	アクセス回線を直接収容し、そのための設備を自前で用意する
(2)	固定電話並みの通話品質と安定性を確保する
(3)	電話番号と発信場所を対応させる
(4)	確実な番号需要に基づいた事業計画を提出する
(5)	加入電話を置き換える場合は、緊急通報に対応する

FTTHサービスとして、OAB-Jを実現するVoIP機能の提供が必要

## IPTV

- IPマルチキャストを利用した、デジタルTV配信の実現
- 映像のデジタル化に伴い、映像サービスを提供する最終的な形態になると考えられている

### アクセス網の役割

1. コピーポイントの提供による上位NWの負荷軽減 (snooping)
2. 不要なマルチキャストトラフィックを流さないトラフィックコントロール及び、ユーザ管理の実施 (proxy)

### IPTVの技術的課題

1. Zapping対策
2. スケールするネットワーク構築 (200CHを超えるTVサービスの実現)
3. DRM (Digital Right Management) 技術の確立

### 融合の実現 (例)

1. 放送内容とリンクした各種のサービス提供
  - バックグラウンド音楽のサーチ・リアルタイムオンライン購入/配信、等
2. 1セグメント放送に代表される、携帯と放送の融合

## 放送と通信の融合の進展と課題

- 2005年7月
  - 情報通信審議会が、光ファイバを使った地上波デジタル放送の配信を答申
  - 難視聴対策のみに限定せず
- 2005年後半～
  - FTTxを使ったSDTV(通常画質放送)再配信実験予定
- 2006年～
  - FTTxを使ったHDTV(高画質放送)再配信開始予定

### 課題

「著作権法上の位置づけの明確化」  
「送信地域を限定する技術面の整備」

#### その1

##### 放送か自動公衆送信か？

放送: 二次使用料の支払いのみ  
自動公衆送信: VoDと同じく、多くの権利者(著作権隣接権者)の承諾と権利金の支払いが発生

#### その2

放送免許が県単位である

全国放送を認めると既存ビジネスモデルが根本から崩れる

## 将来動向

- ユビキタスの進展とブロードバンドアクセスの普及は表裏一体
- ブロードバンド環境を前提としたサービスへの取り組みが始まっている
- 単機能の単なる高速アクセスから、付加価値を提供する複合機能・サービス提供へ
- 通信と放送の融合は未だ揺籃期だが、着実に進むと想定
- FTTxの普及も今後さらに進展する

Empowered by Innovation

**NEC**