

GE-PON開発物語

榊 正彦

近年、FTTH (Fiber To The Home) の普及が進み、総務省の発表によれば2005年9月末時点で、純増数ではADSLを越え、FTTHの回線数は約397万加入以上となっている¹⁾。ブロードバンドサービスの主役がFTTHへ移行し本格普及が始まったことを数字が証明している。

沖電気は、来るべきFTTH本格普及時に備えブロードバンドサービスを提供できる最適な光アクセスシステムを数年前から開発し、世界に先駆けて2003年にGE-PONシステム“MileStar[®]*1)”を商品化し、市場投入を果たした。現在は、MileStarの後継機としてGE-PON II の販売を開始している。

本稿では、GE-PONの開発ストーリーを述べる。

GE-PONシステムの特徴

GE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) システムは、図1に示すように、センター局に設置するOLT (Optical Line Terminal) と加入者宅に設置するONU (Optical Network Unit) から構成されている。両者の間は、1個のOLTとN個のONUを光カプラで接続し、WDM (Wavelength Division Multiplexing : 波長多重) 方式を使って、1本の光ファイバで複数ユーザーへ通信サービスを提供する。GE-PONはこの1本の光ファイバ間をEthernetフレームのまま1Gbit/sの速度で伝送するシステムである。

GE-PONの主なメリットは、

- ① 1本の光ファイバを共有することにより、光ファイバコストを低減できる。
- ② 1Gbit/sの超高速な伝送速度と帯域制御、優先制御機能

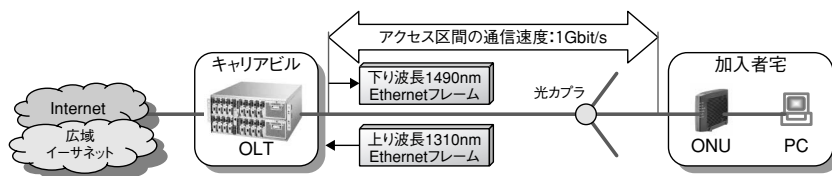


図1 GE-PONシステム構成

*1) MileStarは沖電気工業株式会社の登録商標です。

能により、高速インターネットサービスに加えて、VoIP, VOD (Video On Demand), TV会議等の通信サービス品質を確保できる。

- ③ OLT1ユニットで最大1,024回線収容できるため、センター側の機器設置スペースを削減できる。

次世代光アクセスシステム模索

2001年秋、インターネット通信サービス市場は、インターネットを誰もが手軽に楽しめる通信サービスとしてADSLが普及し始めていた。ADSLの加入者が加速的に増加していく兆候として、2001年9月にはADSLの回線数が60万回線を突破していた。2001年は音声中心の同期網からデータ中心のIPネットワークへ移行する端境期であった。それは、音声系の通信システムを中心に幅広く展開してきた伝送事業の方向性と共に、STM (Synchronous Transfer Mode) /ATM (Asynchronous Transfer Mode) 通信システムを開発してきたエンジニアたちの活躍場所を模索することとなった。自社の有する強みは何か。競争優位性の源泉となる技術は何か。どこの市場に注力するか。昼夜問わず議論を重ねた結果、FTTH市場に目を向けた。しかし、この時のFTTHの加入者数は1万回線にも満たない状況であった。その上、当時のFTTHは、メディアコンバータと呼ばれる収容局と加入者を1対1で接続する装置で実現していた。このような市場状況であったが、FTTHは必ず近い将来立ち上がるとともにFTTHの主力システムはメディアコンバータとは異なるシステムになると考えた。

ADSLが普及しようとしている状況で、FTTHが近い将来立ち上がり、かつその主力システムがメディアコンバータにはならないと予測した主な理由として、

- ADSLは距離に依存して通信速度が変化するため、一定以上の距離ではサービスを提供できない。また、上りの通信速度が広帯域にならない。
- FTTHのサービス価格をADSL並で

実現するには、光ファイバを共用する必要があり、占有型のメディアコンバータでは困難である。

この課題に対するソリューションとしてGE-PONを選択した。それは、前述したGE-PONの特長に加え、OLT・ONU間をEthernetフレームのまま処理するため帯域効率に優れていることと、信号処理を担うLSIの小型化および一般市販品のEthernet用部品の適用によるコスト低減が可能というGE-PONの特徴が、FTTH普及を牽引する役目を果たすと考えた結果であった。

この仮説を元にFTTHの次世代主力システムとしてGE-PONの商品企画に着手した。商品企画段階では、GE-PONが必要だという声は市場からは聞こえてこなかった。しかし、仮説の正当性を商品で証明するという信念の元、光アクセス事業に注力し、GE-PONに賭けてみることにした。エンジニアの生きる場所は物作りであり、当社の強みであるPON技術を筆頭に通信機器の開発で培った技術を活かした自社開発に拘りたかった。「世界で初めてGE-PONを商品化し、FTTH市場をGE-PONで席卷させる」を目標にGE-PON開発プロジェクトを2002年1月に始動させた。

GE-PON開発の始まり

GE-PONは、現在はIEEE802.3委員会で標準化されているが、開発当初は審議中であった。標準化を待っている、FTTHを構築する光アクセスシステムが別製品になってしまう懸念があった。GE-PON市場を呼び起こすためには、FTTHが本格普及する前にFTTH主役候補として立候補させておく必要があったため、開発Stepを2つに分けた。開発計画は、Step1がメディアコンバータからGE-PONに移行させるための起爆剤として早期に市場投入することを目的とした独自規格のGE-PON開発、Step2が本格普及用として標準準拠のGE-PONを開発する2段階計画とした。

IEEE802.3委員会で標準化されている範囲は、PON区間の物理レイヤと制御処理、管理用のインタフェースを規定しており、システムとしての特徴を出すアプリケーション部分は標準外となっている。

したがって、システムとしては標準外の機能をどう作り込むかが商品としての価値を左右することになるため、この部分のシステム仕様を固めるために、提案資料を作成し、マーケットの声を集めることから始めた。

システム仕様を固める上で有用なマーケット情報を収集し、社内で何度も仕様検討会議を重ねた。

「OLTの上位に接続されるスイッチ

は、現状では100Mbit/sであり1Gbit/sはまだまだ先である。WANインタフェースは100Mbit/sでも接続できるようにPON区間の帯域を制限した100M PONを可能にしよう」

「OLTのサイズは、FTTH事業者によっては設置スペースに制限があるから、ピザボックス型とシャーシ型の2種類を用意する」

白熱した議論は深夜まで続くことが多かったが、物作りの醍醐味である自分たちでシステム仕様を決められることに誰もが喜びを感じていた。こうして、作るべき装置の仕様は固まった。

商用機の販売開始時期は、2003年7月のInterop展示会での動態展示に間に合わせるために、2003年6月に設定した。ペットネームはMileStarと名付けた。2002年度が始まろうとしていた。

MileStar実現に向けた課題

MileStar実現には、以下に述べる3つの課題があった。

(1) OLTバースト信号受信

GE-PONは、Point To Multi-point接続で運用するシステムであり、OLTにおけるMulti-point受信では、異なるONUから順次到着する、最小で約1 μ sec長のバースト信号を逐一受信しなければならないため、既存のPoint To Point接続装置にはない、次の機能が必要になる。

- ① ONUごとの受信信号パワーの違いに高速追従する機能
- ② ONUごとの信号位相の違いに高速追従してビット再生する機能

①に関しては、Point To Point接続装置で通常用いられるAGC (Auto Gain Control) 方式では十分な追従速度が得られないため、受信信号のピーク値を検出して動作するATC (Auto Threshold Control) 方式を適用した。

また、②に関しては、受信クロック再生のために高速PLLを選択するとともに、上記ATC採用の効果でバースト信号が正常に再生開始されるタイミングを早めて、PLL引き込み動作に必要な時間を確保するようにした。

さらに、図2のアンプの周波数特性は、1.25Gbit/sの高速信号がアンプを通過するとき、高周波成分を含むパ

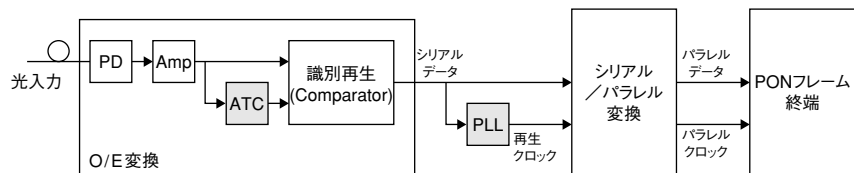


図2 OLT PON受信部ブロック図

ターンの振幅を大きく減少させ、低周波成分を含むパターンを減少させない状態が発生する。この信号パターンによるアンプ出力の振幅変化がATCの最適値への引込を阻害する要因となるので、引込に使用するプリアンプパターンも最適化した。すなわち、ATC引込に使用するプリアンプ前方では、振幅情報を取得するために低周波成分を含むパターンを、PLL引込に使用するプリアンプ後方には、周波数情報を取得するために高周波成分を含むパターンを配置することで解決した。

(2) 動的帯域割当DBA (Dynamic Bandwidth Allocation)

動的帯域割当DBAは、上り (ONU→OLT) 方向の帯域制御技術で、ONUごとに保証帯域、最大帯域、ベストエフォート帯域といった帯域メニューを提供するものである。

GE-PONは、伝送単位が可変長のEthernetフレームであるため、設定帯域量を伝送単位に置き換える手法ではできない。したがって、トラフィック流量を監視し、約330 μ secの高速な周期で流量制御のフィードバックをかけることで、所望の帯域値が得られるような仕組みを実装した。具体的には、ONUに流量監視機能を配置し、Ethernetパケット単位で送信しているPONの帯域が所望の帯域値より大きければOLTへの送信許可要求量を減らして、その結果ONUへの送信許可が減少する動作、逆にPONの帯域が所望の帯域値より小さければOLTへの送信許可要求量を増やして、その結果ONUへの送信許可が減少する動作により機能を実現した。

(3) LSI開発

コスト低減のために主要機能のLSI化が必須になる。いわゆるPONチップと呼ばれるものである。GE-PON市場立ち上げの役目を果たすために、LSI開発の失敗による販売開始時期の遅延を避けなければならなかった。

この対策として、FPGA (Field Programable Gate Array) を使用した試作機を作ることにした。時間がかかるLSIの開発前にFPGAにて実機を作ること、顧客要求フィードバック、ブランドアピールを先行できるメリットを生かしつつ、LSI開発を確実なものにできるという、一石二鳥を狙った。

MileStarの完成

試作機を作ることには認められたが、GE-PON市場が見えないプロジェクトのため開発費を抑える必要があった。この対策として、ODM (Original Design Manufacture) を選択した。ただし、PON固有の技術開発を要するため、設計作業をすべて委託することを避け、PON技術を必要と

する設計を当社、それ以外の設計・製造を台湾ベンダにアウトソーシングすることにした。そのため、設計拠点が2箇所に分かれ、技術的インタフェースの整合に時間を要し、システム検証の期間を圧迫させることになった。この試作機のお客様への納入日が確定していたため、完成品の台湾出発日は一歩も譲れない。当社エンジニアが台湾に常駐し、刻一刻と近づく納入日のプレッシャーと戦いながら、台湾ベンダと共同でシステムを検証し続けた。全ての問題が解決し、完成した時は台湾出発日の朝であった。徹夜明けのエンジニアたちがOLTとONUを背負って日本に向け台湾を出発した。2002年秋のことであった。

完成した試作機を抱えて再びお客様の意見をいただきに通信事業会社巡りを行った。ペーパーで提案していた時とは異なり、GE-PON使用を前提にした意見を多数いただくことができた。商用機開発に向けて再び仕様検討会議を繰り返す日々が続いた。

「企業向けサービスへの適用を考慮して、拡張VLAN機能を追加する」

「ONUの登録用にロータリースイッチを使用した新しい登録機能を載せる」

「商用機販売まで6ヶ月しかないのに、今から機能追加したらLSI開発が間に合わない」

「お客様にGE-PONを認めてもらえなければMileStarを作る意味がない。お客様が必要だという機能はすべて搭載する」

開発陣に追加機能を納得してもらい、商用機用機能をLSIに折り込み、2003年6月に業界初のGE-PONの販売開始を実現した。果たしてFTTH市場はGE-PONに傾くのか。GE-PON布教活動の始まりであった。GE-PONの特長を認めていただきGE-PON採用を決める通信事業会社が1社でも登場すれば、1Gbit/sの高速サービスの対抗上、各社GE-PON導入に踏み切るはずという考えがあった。

GE-PON市場創出のために、完成したMileStarを活用して各通信事業者に対してGE-PON提案活動を実施した。デモンストレーション以外にも展示会出展、通信専門誌への記事掲載、レンタル、あらゆる方策で提案してきた結果、MileStarの販売実績を得ることができた。そして、各方面からの問い合わせも急増し、GE-PONを利用したFTTHサービスが展開されていく気配を感じることができた。2003年秋、試作機完成から一年を要した。

GE-PON II 開発

MileStarの販売活動によりFTTHの市場動向が見え始めてきた。2004年中に各通信事業会社が、GE-PONを使用したFTTHサービスを始めるという情報である。各通信事

業者が求めているのはIEEE802.3委員会の標準に準拠したGE-PONであった。当初の計画通り、Step2として標準準拠のGE-PON開発に着手した。ペットネームはGE-PON II と名付けた。

GE-PON II の開発コンセプトは、高機能的かつ柔軟性があり、FTTHサービスを推進する経済性に優れたシステムであること、それによりアーキテクチャ変更を決断した。

- ①柔軟性を持たせるためにCPUを搭載し、ハード処理とファーム処理で将来の機能拡張に対応できる構成とする。
- ②主要部品を1チップにインテグレーションし、コスト低減を図る。
- ③適用サービス拡大のための機能を追加する。

①、②実現のためにMileStarで開発したLSIを一新し、新たなLSIの開発を決めた。①実現のために、②は絶対条件であった。CPUを搭載して柔軟性を持たせるとはいえ、LSIの中に埋め込まなくては、コストアップに繋がリMileStarより高額になってしまう。CPU以外にも高速クロック・データリカバリを行うSerDes (Serializer/Deserializer), データ処理に用いるパケットバッファなどをLSIにインテグレーションして1チップ化することで、コスト低減を図ることがLSIを一新する最大の目的であった。

③として、標準準拠に変更する以外にMileStarの市場実績によって得たユーザーニーズと今後のFTTHサービスに必要と予測した機能拡充を図った。表1にMileStarとGE-PON II の機能差分を示す。

表1 MileStarとGE-PON II の機能差分

機能	MileStar	GE-PON II
分岐数	32	64
ロスバジェット	26dB	29dB
UNI速度	100Mbit/s	1Gbit/s
DBAメニュー	4種類	6種類
下り帯域制御	-	搭載
ショートカット通信	-	搭載
IGMPスヌーピング	-	搭載
端末制限	-	搭載

アーキテクチャを変更し、ファームウェアに機能を請け負わせたことにより、MileStarの技術資産を活かす苦闘することとなった。GE-PON II は、全社横断プロジェクトを起こし、一丸となって完成を目指した。開発陣は沖電気本庄工場に滞在し、生産部門の強力な支援のもと物作りに没頭した。アーキテクチャ変更の余波は大きく、検証によって発覚した問題とその対策を繰り返すことの連続となり、本庄工場滞在はすべての季節を経験するほどの期間に及んだ。

しかし、開発陣の情熱が萎えることなく、乗り越えられたのは、前年の市場変化が支えであった。

2004年6月にIEEE802.3委員会でGE-PONが標準化され、それに呼応するかのように2004年秋以降、各FTTH事業者が順次GE-PONを使用したFTTHサービスを発表した。2005年には、急激にFTTH加入者が増加し、通信事業者以外自治体も相次いでGE-PON採用を決めた。2005年は、FTTHサービスに使用するシステムとしてGE-PONが主流となる幕開けとなった年である。待ちに待ったFTTH市場でのGE-PON旋風が、その後の悪戦苦闘するプロジェクトメンバの情熱に火を付け、GE-PON II 完成の後押しとなった。

2005年12月にMileStarの後継機としてGE-PON II の販売を開始し、現在は各社に納めさせていただいている。

今後の展望

GE-PON商品企画書作成を着手した時は、FTTH加入者が約1万加入程度であり、「FTTHにはGE-PONだ」と唱えつつも本当に使われるか不安であり、市場動向を眺みながらの開発であった。プロジェクト始動から4年が経過し、GE-PONを商品化するというチャレンジは、各FTTH事業者への導入という実績でひとつの区切りをつけることはできた。

2006年度以降、ADSLからFTTHへの転換、IP化の進展、端末機器の複合化が着実に進み、2010年度末にはFTTH加入者総数が2,380万人に達すると予測されている²⁾。GE-PONは、FTTH市場の成長と共に成長可能なシステムである。たとえば、VoIP端末との統合、回線二重化による信頼性向上など開発アイテムは多数存在する。

また、今後の動向としてGE-PON以外に、G-PON、10GE-PONといったシステムも注目され始め、新しい光アクセスシステムの開発競争は始まっている。GE-PONを進化させていくと共に、新たなPON系システムを開発し、光アクセス事業の発展に寄与していく所存である。



参考文献

- 1) 総務省：ブロードバンドサービス等の契約数（平成17年9月末）
- 2) CIAJ：2005年度 通信機器中期需要予測

筆者紹介

榊正彦：Masahiko Sakaki. 株式会社オー・エフ・ネットワークス 開発1部 担当部長