



ADSL プライムサービスの提供

Provision of ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) Prime Service

尾井 正和*¹
Oi Masakazu

佐々木 慎司*¹
Sasaki Shinji

須田 洋*¹
Suda Hiroshi

佐藤 亮*¹
Sato Ryo

あらまし

当社 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 装置は、2001 年 7 月に ITU-T 勧告 G.992.1 [略称 G.dmt(Discrete Multi Tone)] 方式の採用決定により、業界に先駆けて下り 8 Mbit/s、上り 1 Mbit/s サービスの提供を開始した。

その後、日本では熾烈な速度向上、低価格化競争が繰り返され、DSLAM 装置としての基本設計はそのまま引き継ぎ、ラインインターフェースカード (LIF) 盤および ADSL モデムのハードウェア改版により、ADSL 業界では世界でも類を見ない下り 50M 超/上り 12M を実現する「ADSL プライムサービス」の提供を 2005 年 9 月より実現した。

Abstract

After we decided to employ ITU-T G.992.1 (G.dmt: Discrete Multi Tone) in July 2001, we have succeeded in providing the ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) service with 8 Mbit/s downlink speed and 1 Mbit/s uplink speed ahead of our competitors in the industry.

Despite the intense waves of ADSL speed and price competition in Japan, we have improved the line interface card (LIF) and ADSL modem's hardware while leaving the basic design of the DSLAM device as it is. We have also begun providing the "ADSL Prime Service," with an unprecedented downlink speed of 50 Mbit/s or more and an uplink speed of 12 Mbit/s, since September 2005.

* 1 ユビキタスアクセス事業部 第一技術部

1. ま え が き

当社 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) は 2001 年に、当時 ISDN の伝送速度 64kbit/s をはるかに凌ぐサービスとして、またスプリッタを必要としない小型化可能な G.lite 方式 1.5M を圧倒するサービスとして、業界に先駆けて 8M サービスの提供を実現した。しかしそのサービスを市場展開したことにより、日本の場合、世界でも例を見ない、速度競争開発への幕開けとなっていくことになった。

市場導入を果たし、圧倒的なユーザー支持を受けた ADSL サービスは、当初より光サービスのつなぎの技術として低廉化が求められ、高密度実装によるライン単価低下など局集中のサービスとして発展してきた。

ADSL は局内に DSLAM (DSL Access Multiplexer) 装置を設置し、ユーザー宅にモデムを設置して実現する。特に DSLAM 装置においては、すでに設置されているシステム構成を継承し、更に特性向上を実現する新たな伝送方式を提供する必要がある。このため新しい伝送方式を提供する場合にも、その変更対象を最小限に抑える必要があった。

また、新しい伝送方式は、既存のサービスより更なる性能向上が求められ、高速化が必要である。さらにその高速化は近距離における最大速度だけでなく、設置ユーザー数の多い中距離から遠距離においても特性向上を求められるため、次機種開発においては当然ながらその世代ごとにハードルが高くなっていく。

今回の開発においては LIF (Line InterFace) パッケージおよびモデムを新規開発し、そのほかの構成部品はファームウェアバージョンアップで実現した。

ADSL は低速安価なサービスから高速なサービスを、世代ごとのバージョンアップで対応し、一つのシステム内で混在させるため、既存の LIF パッケージおよび既存のモデムとの互換性を保ちながら、更に業界競争力のある上位技術の提供を実現していく必要があった。

今回開発した「ADSL プライムサービス」は、ADSL 方式としては下り 50M 超と上り 12M という世界最高速度を実現したことを特長としている。

2. 装 置 概 要

2.1 既存システムの構成

DSLAM 装置は、加入者線交換機からの音声信号と ADSL 信号とを分離重畳するスプリッタ盤を 17 枚実装し、ADSL 信号を扱うラインインターフェース盤 (LIF 盤) とを背面でダイレクト接続 (Back to Back 接続) する実装形態をもち、LIF 盤は 32 回線 (安価サービス向けには 40 回線) の実装を実現している。

このため、DSLAM 1 台当たり最大 544 回線 (同 680 回線) の高密度実装を実現している。

これら各種 LIF は 1 枚の制御盤 (COM 盤) で制御される。COM 盤は既存の ADSL 伝送モードをすべてサポートするとともに、680 回線分の ATM セルを多重し、WAN インターフェースへ出力するためのセルスイッチ、多重機能、およびトラフィック制御機能を有し、ATM OC-3 (SONET)、STM-1 (SDH) の 155.52Mbit/s WAN インターフェースを提供する。

また、DSLAM 装置は遠隔より NE-OPS および架前保守端末を利用して制御、保守される。

一方、宅内ユーザーにはその世代ごとに機能拡張したモデムを設置し、ADSL サービスを提供している。

2.2 速度向上実現に向けた活動経緯

低価格なインターネット利用の市場ニーズを受けて、下り速度を上り速度よりも優先させた ADSL は、導入当初から他方式に比べて急速な成長を続け、これまでのブロードバンド環境の牽引役を努めてきた。

2005 年 3 月末の DSL 契約数は 1367 万件に達し、有線インターネット接続サービスのインフラストラクチャーとして中心的な役割を果たしてきた。2005 年に入ってからマンション向けの FTTH 方式導入が増えた結果、加入者契約純増数では FTTH 方式にその座を譲ったが、メタル回線しかない地域ではまだまだ ADSL 方式への依存度は大きい。また一方で ADSL での高速化要求も依然として高く、下り速度向上だけでなく、上り速度の向上についてのニーズも高かった。そこで TTC 専門委員会 スペクトル管理 SWG^{注1)} での標準化制定に向け、各社から上り速度向上に向けた新しい方式提案が成され

注 1) 日本国内のメタル回線間において、既存のシステムへの干渉・妨害などを最小限に抑え、新規システムについては導入規制を設けるなど、通信周波数の割り当てを検討する TTC (情報通信技術委員会) 内の SWG (サブワーキンググループ)。

た。

これまでの議論の中では、ADSL下りスペクトルで使用している周波数帯域に上り周波数をオーバーラップさせる「上り周波数拡張方式」が議論の中心であった。当社でも2004年「上りダブルスペクトル」の採用で、上り速度を3 Mbit/sに拡張したADSL方式を提供した。

一方、より高度な技術を必要とする上り速度拡張方式として、ADSLの周波数帯をVDSLの領域にまで拡大する方式「SUQ (Super Upstream Quad) 方式」がConexant社より提案された。本提案は、VDSLへの漏洩など他社システムへの影響について議論され、整理された。最終的にはTTC標準JJ100.01^{注2)}(第3版)以降に提案された方式として、この第3版に基づく適合性判定計算のクロスチェック結果を受け、距離制限付き(2.25km以内)でのクラス認定を受け、日本での採用が了承された。

また、下り速度向上についても、これまでの技術開発の中心は使用する周波数領域をより高周波域まで拡張することで、速度向上を実現してきた。特にITU-T勧告G.992.1で定める周波数帯域の4倍の高周波領域まで拡張した「クアッドスペクトル」の採用で、ADSL用の下り周波数バンドとして定められている3.75MHzまでの拡張が済んでしまうと、これ以上の速度向上は容易には進められなくなることが明らかとなり、開発はここで打ち止めとなるかに見えた。

しかし、当社の場合は更なる特性向上の可能性をもう一步進め、このたびの下り50M超、上り12Mの速度を達成する「ADSLプライムサービス」の製品化を実現した。

2.3 ADSLの基本技術と従来速度向上施策

当社ADSL装置はDMT (Discrete Multi Tone) 方式を採用している。DMT方式では、横軸(周波数軸)に搬送波(キャリア)が4.3125kHzごとに区切られ、等間隔に割り当てられている。この一つの搬送波で振幅レベルを段階的に意味を持たせた二つのsin波、cos波をQAM変調(Quadrature Amplitude Modulation: 直交振幅変調)すること

注2) IP・ブロードバンド化に向けた電気通信設備のメタル回線上の信号相互間の漏洩に関する技術的条件を定めるために、情報通信審議会答申(2003年6月25日)の要求を受けて再結成されたTTC専門委員会「スペクトル管理SWG」において定められたDSLスペクトル管理標準。

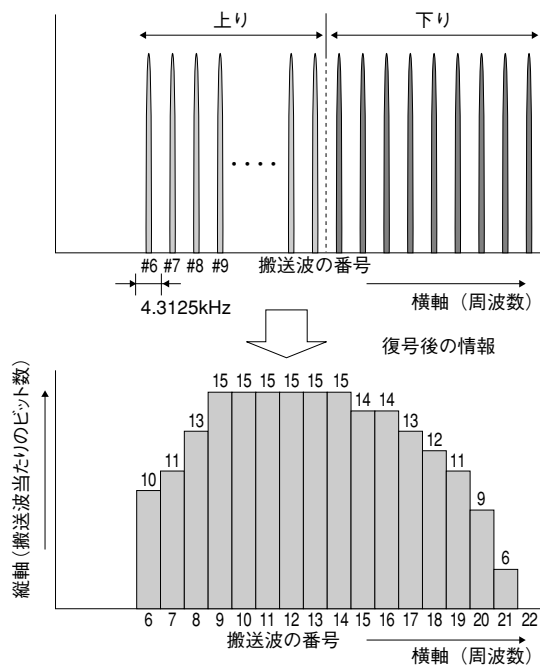


図1 キャリアチャート

で、一つの搬送波で複数ビットのデジタル信号を伝送できる。このDMT方式を利用して得られた情報を、横軸に搬送波(キャリア)番号、縦軸に搬送波当たり送受信可能なビット数に変換した図をキャリアチャート(Carrier Chart)と呼ぶ。

図1にキャリアチャートの例を示す。

この縦軸と横軸の面積が速度となる。キャリアチャートで示される面積は4kHz周期で処理できるビット数である。このため、接続速度はキャリアチャートで示される面積(総ビット数)×4kbit/sで表される。このため、速度向上のためにはキャリアチャートの面積を増やす必要がある。つまり縦軸を増やすか横軸を広げることが実現方法となる。

縦軸を増やすためには、ノイズを減らしてSNR(Signal to Noise Rate: SN比)を確保する、あるいはチップ性能を向上させて分解能を高め、ビット数を増やすことで実現する。ITU-T勧告G.992.1では搬送波当たり8ビットの割り当てを前提にしているが、チップ性能の向上により現在では最大15ビットの割り当てが可能となった。縦軸拡張の実現にはハードウェア的な改善が必要であり、より高性能なLSI開発が重要となる。

一方、横軸拡張の概念は既存の勧告には存在しないため、業界独自のアイデアが先行し、標準化作業

は後手に回る傾向にあった。このため、各社間のスペクトル管理が課題となり、TTCスペクトル管理SWGでの先陣争いが繰り返された。この流れを図2に示す。

上り、下り信号に割り当てる周波数帯域は、開発当初の思想では上り／下りの周波数帯域を完全に分離して使用していた（第1世代）。

しかし、下り速度向上のために上り下り信号周波数帯域をオーバーラップさせ、受信信号から送信側エコー信号をキャンセルさせ分離する技術（エコーキャンセラ）が採用された（第2世代）。当社の場合、更に時間軸上での効率的な運用を付加し、速度向上を実現した。

そして更に下り周波数帯域をこれまでの2倍に広げた「ダブルスペクトル」を採用した（第3世代）。

また、その後下り速度向上のために下り周波数帯

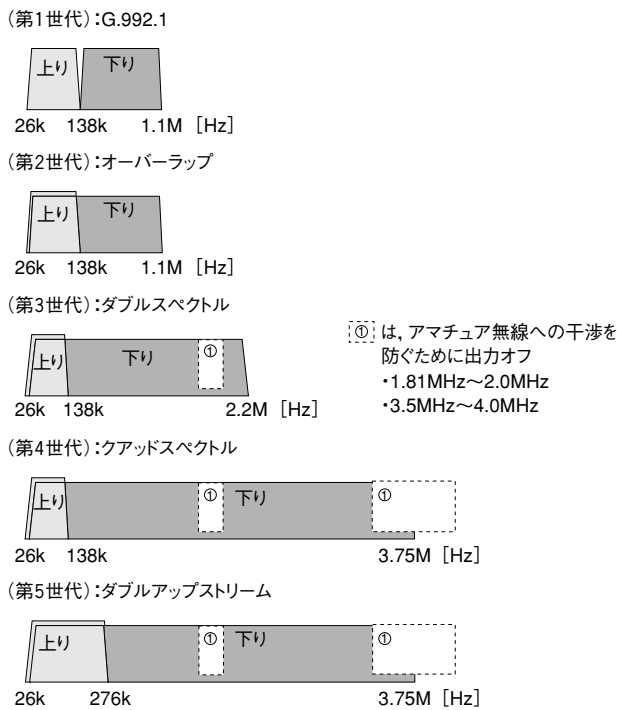


図2 従来方式の速度向上の移り変わり

域を4倍に広げた「クアッドスペクトル」を採用した（第4世代）。

その後は上り速度向上を図るために上り信号周波数帯域を2倍に拡張する「ダブルアップストリーム」を採用した（第5世代）。

そして更なる上り速度向上を求める第6世代への開発へと発展してきた。これらの開発の経緯に従い、表1に各世代での達成速度をまとめたので参照いただきたい。

さて、当社が第6世代として採用した上り拡張方式を図3に沿って説明する。図3は第5世代から第6世代への上り速度向上を実現する技術を比較した。

他社はこれまでの周波数拡張の考えに従い、「クアッドアップストリーム」技術を採用した。当社も採用を検討したが、上り、下り周波数のオーバーラップを前提とした技術は、エコーキャンセル技術の限界もあり、オーバーラップした周波数帯域ではその互いの干渉により、十分なSNRを確保することが難しく、結果的に上り周波数帯域拡張に応じて、下り速度が低下することが大きな懸念材料であった。

また、速度向上の効果も第5世代の上り3Mから上り5M程度のアップにとどまることが想定さ

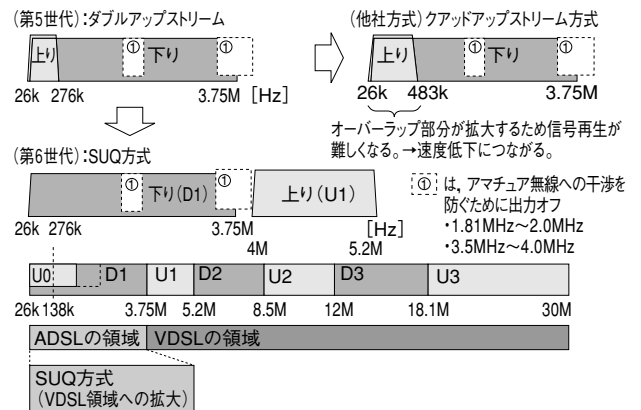


図3 SUQ方式と周波数割り当て

表1 ADSL開発世代ごとの達成速度比較

世代	方式	上り速度	下り速度	備考
採用規格	ITU-T勧告 G.992.1 (G.dmt) 方式	640kbit/s	6144kbit/s	理論値
第1世代	ITU-T勧告 G.992.1 (G.dmt) 方式	1024kbit/s	8064kbit/s	
第2世代	オーバーラップ方式	1024kbit/s	12.5Mbit/s	
第3世代	ダブルスペクトル方式	1088kbit/s	26Mbit/s	
第4世代	クアッドスペクトル方式	1088kbit/s	47Mbit/s	
第5世代	ダブルアップストリーム方式	3072kbit/s	50Mbit/s	
第6世代	SUQ方式	12Mbit/s	50Mbit/s	

れており、市場へのインパクトに欠ける開発となることが予想された。このため、当社は上り速度向上のためSUQ方式を採用し、上り速度を10M超の実現に向けて開発に乗り出した。

3. 新規技術の採用

ADSL プライムサービスはいくつかの新技术を採用し、その結果下り50M超／上り12M速度の達成と更なる特性向上を実現した。

これらADSL装置の新規技術の特長を以下に簡潔にまとめた。

- 1) SUQ方式の採用による上り速度向上
- 2) チップ性能向上による下り速度向上
- 3) ISDN環境下での下り速度向上

3.1 SUQ方式の採用による上り速度向上

図3に示すようにSUQ方式はこれまでADSL用の周波数帯域と考えられていた3.75MHzという制限を破り、VDSLの周波数帯域と考えられていた5.2MHzまでの帯域(=U1帯域)^{注3)}にまで踏み込んだことを特長とする方式である。SUQ方式はダブルアップストリームと比較し、搬送波は4倍以上、クアッドアップストリームと比較して2倍以上に増えるため、上り速度は理論的に10Mbit/s超を実現できることになる。

上り速度向上を実現するために採用したSUQ方式は、第5世代で扱っていたデータ処理量自体が4倍に増えることを意味する。第6世代の開発においては、データ処理能力を向上させるために、チップの性能向上が必要となった。しかし、これは以下に説明する新たな二次的効果をもたらした。

3.2 チップ性能向上による下り速度向上

SUQ方式の採用は、チップ処理速度の向上が必要となる。つまり、上り速度向上はDSLAM装置にとって受信するデータ量が増えることである。このため、信号処理を行うDSP(Digital Signal Processor)チップの変更が必要となった。また、受信周波数帯域の拡張により最大受信周波数がこれまでの276kHzから5.2MHzに変わった。この高周

注3) U1帯域(3.75MHz~5.2MHz)。

参考までにそのほかの帯域は以下の名前で呼ばれる。U0(25kHz~138kHz:25k~552kまでの拡張が提案されている)、D1(138k~1.1MHz:25k~3.75MHzまでの拡張が提案されている)、U1(3.75MHz~5.2MHz)、D2(5.2MHz~8.5MHz)、U2(8.5MHz~12MHz)、D3(12MHz~18.1MHz)、U3(18.1MHz~30MHz)

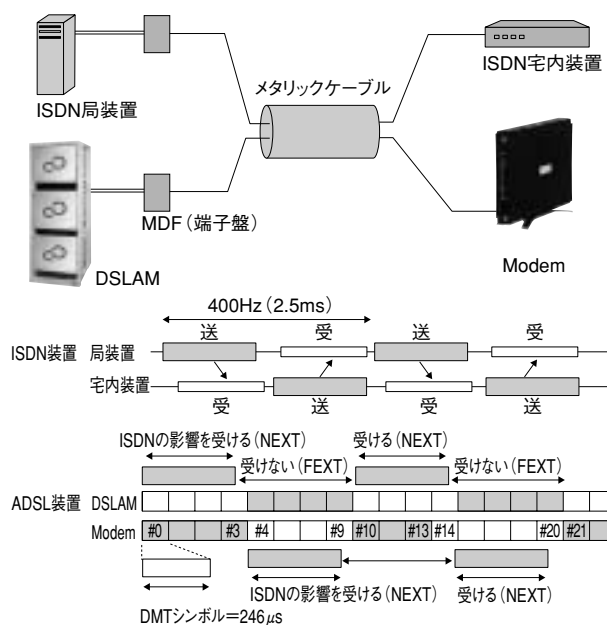


図4 ADSL信号フレーム単位とISDN信号の関係

波帯域への対応により、高周波帯域での受信周波数特性を最適化した結果、受信側でのSNR向上を実現した。また、チップ処理能力の向上は信号の識別能力を向上させ、高周波帯域でのビット数増加を実現した。このように、帯域拡張のために行ったハードウェア変更とそのファームウェアでのチューニングにより、上り速度向上だけでなく下り速度向上となる二次的な効果を生み出した。

3.3 ISDN環境下での下り速度向上

図4に従来の方法によるADSL信号フレームの単位とISDN信号周期との関係を示す。

ISDNは400Hz周期の中で信号を送信する区間と受信する区間を持っている。この中でISDNシステムが信号を送信している区間を「NEXT」^{注4)}区間と呼び、信号を受信している区間を「FEXT」^{注4)}区間と呼ぶ。NEXT区間では隣接するISDN回線からの漏話影響を受けやすいため、ADSL信号の受信SNRは低い。

一方、FEXT区間では、遠方から到達した減衰した信号が漏話源となるため漏話ノイズ量も少な

注4) Near End cross (X) Talk (近端漏話) / Far End cross (X) Talk (遠端漏話)。

簡単な例では、DSLAMの1ポートを基準にした場合、そのメタル回線上で隣接する別のDSLAMポートからの漏話を近端漏話といい、メタル回線上で隣接する遠方にある対向モデム側からの漏話を遠端漏話という。

く、受信信号のSNRを大きく取れる。このためFEXT区間の方が、より多くの信号を受信できる。

図4のDMTシンボルのつながりをISDNの送受信周期である400Hzで区切った場合、ISDNの信号周期(400Hz=2.5ms)とADSLフレーム内の処理単位(=DMTシンボル)^{注5)}との周期(=約246 μ s)^{注6)}は異なっている。

これら周期の公倍数は85msであり、この周期をハイパーフレームという。ハイパーフレーム内にDMTシンボルは合計345あるが、この中のFEXT区間の信号は、第5世代では128/345=約37%の割合にしかならない。これはより多くの信号を受信できるFEXT区間が50%から大きく減らされていることを示す。

第6世代では、このISDN送信信号の影響を受けないFEXT区間を、より効率的に使用することによって、当社はISDNノイズ環境下での速度向上を実現した。その速度はFEXT区間の効率を従来の37%から50%に近づけることで実現する。このため、例えばFEXT区間しか使用しない方式の場合、理論的には下り速度を最大35%向上させることが可能となる(50%÷37%=1.35倍)。

またこの方法により、FEXT区間およびNEXT区間をともに利用するモードにおいてもISDNノイズの影響が大きいユーザーに対して速度向上の効果を発揮する。これはNEXT区間でのISDNノイズにより減らされたビットに比べ、より安定したFEXT区間の速度向上を図ることで、区間全体として平均した場合、結果的に速度向上を図ることができるからである。

例えば、NEXT、FEXT区間共に均等に使用する方式において、ISDNノイズのない環境で10Mの速度を実現できている場合、その速度の63%(6.3M)はNEXT区間で実現し、37%(3.7M)はFEXT区間で実現している。この環境でISDNノイズが印加されNEXT区間の速度が半減する環境を考える。従来の方式ではNEXT区間での速度半減により $6.3M \times 1/2 + 3.7M = 6.85Mbit/s$ となり、10Mが6.85Mまで速度低下する。

しかし、効率的な使用を行った場合、FEXT:NEXT比率は50:50まで上げられるため、5M×

$1/2 + 5M = 7.5Mbit/s$ となり、従来の方式に比べて約10%の速度向上が図れることになる(7.5M÷6.85M=109%となる)。

4. 新規技術採用による効果

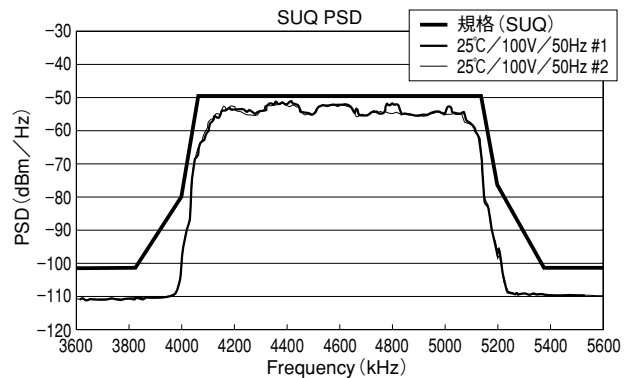
4.1 SUQ方式の採用による上り速度向上効果

これまでの上り速度はダブルアップストリームによる最大約3Mbit/sが最大であったが、SUQ方式の採用によって上り速度12Mbit/s超を実現した。これは商用ADSLとして世界最高の速度を実現した。またその適用領域は、近距離でこれまでのダブルアップストリームを凌駕し、ダブルアップストリーム自体の速度アップも含め、その恩恵をユーザーに与える方式となった。

図5にSUQ方式の送信信号密度を規定するPSD(Pulse Spectrum Density)^{注7)}マスク規格とその実測値を示す。

図6にSUQ方式とダブルアップストリーム方式との上り速度比較結果を示す。

SUQ方式の適用により、商用ADSLとして世界最高速の上り速度の提供を実現した。この結果、例えば、より大容量の画像データを添付したメールの送信、あるいは個人のホームページへの定期的な大容量データのアップロードや動画のアップロードなど、廉価でかつハイスペックなサービスを気軽に利



周波数 (kHz)	PSDマスク式 (dBm/Hz)
$f < 3825$	-101.5
$3825 < f < 4000$	$-101.5 + 333.1 \log_2(f/3825)$
$4000 < f < 4064$	$-80 + 1332 \log_2(f/4000)$
$4064 < f < 5136$	-49.5
$5136 < f < 5200$	$-49.5 + 1551 \log_2(f/5136)$
$5200 < f < 5375$	$-76.5 + 523.5 \log_2(f/5200)$
$5375 < f$	-101.5

図5 SUQ方式のPSDマスクと実測値

注5) ADSLフレーム上のデータ処理単位。

注6) 正確には $1 / (4 \text{ kHz} \times 69 / 68)$ で計算される。

注7) 周波数ごとの送信信号電力レベル。その上限を規定したものをPSDマスクという。

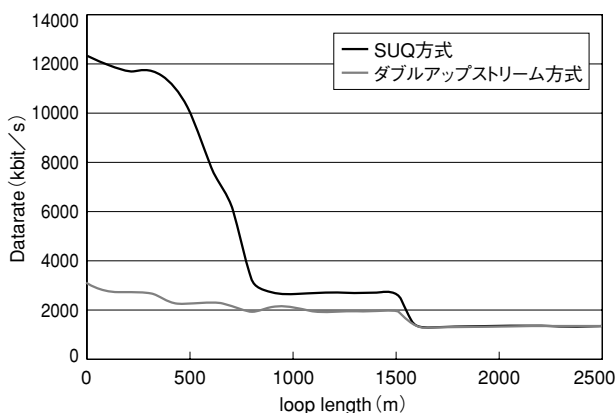


図6 SUQ方式とダブルアップストリーム方式の上りレート比較

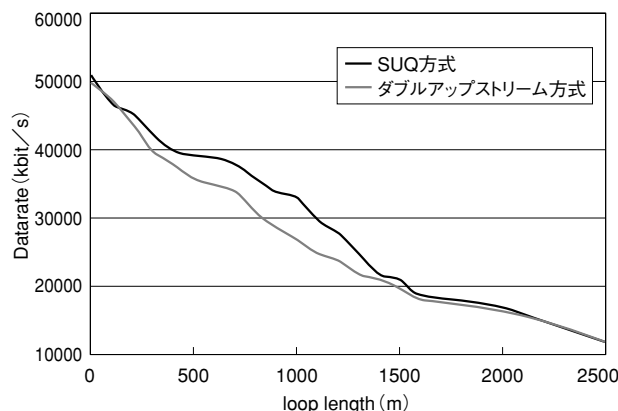
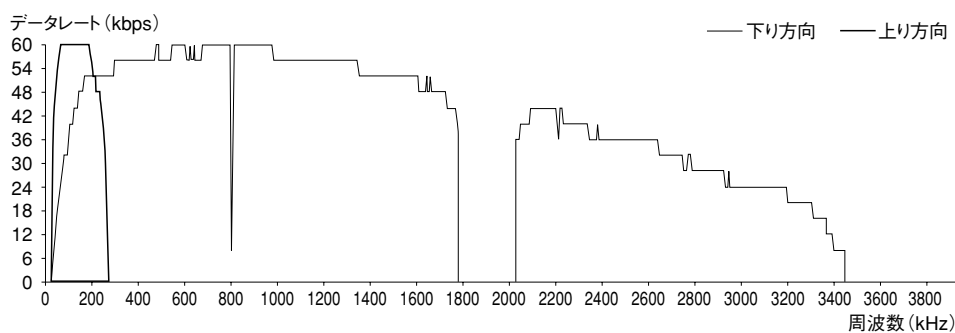
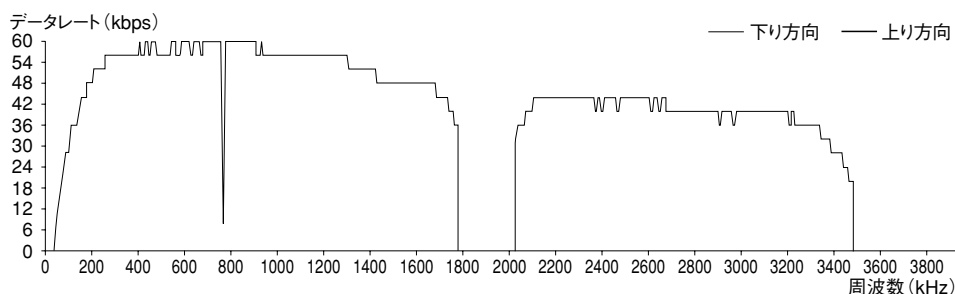


図7 SUQ方式とダブルアップストリーム方式の下りレート比較



a) 第5世代のキャリアチャート(ダブルアップストリーム方式)



b) 第6世代のキャリアチャート(SUQ方式)

図8 新旧下りキャリアチャート比較

用することが可能となった。

4.2 チップ性能向上による下り速度向上効果

図7にSUQ方式とダブルアップストリーム方式との距離ごとの下り速度比較結果を示す。特に近距離での速度向上が顕著である。

この距離において下り速度向上を示すキャリアチャートの比較を行った。図8にその結果を示す。

以前のダブルアップストリームのキャリアチャートと比べ、特に高周波側のビット数増加が見られる。これはチップ性能向上により、特に高周波帯域の受信性能を向上させたことを示しており、その結果短距離での下り速度向上につながっている。

4.3 ISDN環境下での下り速度向上効果

ISDNノイズの影響しないFEXT区間を、より効率的に使用することにより、ISDNノイズ印加状態でも速度向上を図ることが可能となった。

図9に効率的に使用した場合(第6世代)と使用しない場合(第5世代)との速度比較結果を示す。

中距離に比べ、長距離ほど速度向上率が大きい理由として、当社の場合、長距離の伝送モードにはFEXT区間しか使用しないモードを採用しているためである。このため速度向上効果がより大きくなるためである。

日本では2004年度末に798万人のISDNユーザー

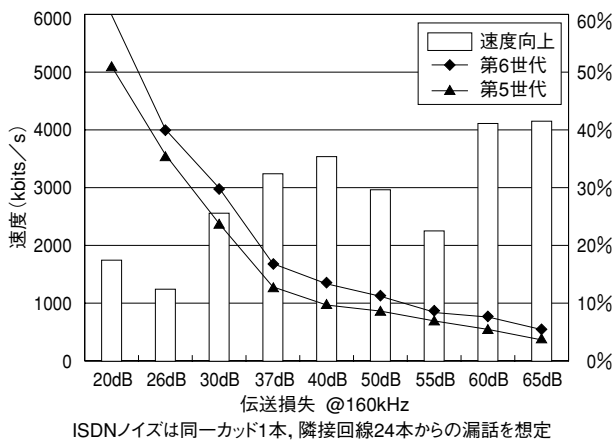


図9 ISDNノイズ漏話環境下での下り速度向上効果

が実在している。その前年度の863万人と比べて減少傾向ではあるが、依然多くのユーザーが使用している。このため、同一ケーブル内に複数のISDNユーザーが混在する環境が多く存在する。ISDNはそのスペクトル成分がもともと大きく、その高調波はADSLの使用周波数帯域と多くの領域で重なっており、その影響は大きい。このためISDNノイズの少ない区間を効率的に使用する方法は、多くのISDNノイズ環境においてその効果を発揮すると考えられる。

5. む す び

このように当社ADSLの第6世代として開発したDSLAM装置は、第1にSUQ方式の採用により商用ADSLとして世界最高速の上り速度を実現したこと、第2に高性能チップの採用により、近距離での下り速度をさらに向上したこと、第3にISDNノイズ影響を受けないFEXT区間をより効率的に使用したことにより、中・長距離ではISDNノイズ環境での速度アップを実現したことを特長とし、日本でのADSL方式として他社と比較しても最も優れたシステムの提供を実現しているものと考えている。

今後のADSL市場として考えた場合、光サービスとの棲み分けが重要な課題となってくる。

光サービスはユーザーの集中している場所において、特にマンション需要において最適なポート数を備え、そのポート数で最も廉価なサービスを提供している。すなわち、特定のエリアに集中した高速化を実現している。しかし、逆にユーザーが分散した地域においては価格面で導入を見合わせている状況である。

ADSLは局集中のシステムとして高密度実装による多数ポートを備えることで、ポート当たりの単価を抑え、廉価で使用しやすいサービスを提供してきた。

今後のADSL展開については、例えばユーザーが分散しているルーラルエリアへの展開など、光サービスでは展開しにくいユーザーへのサービスとして期待される。また、最大下り50M超／上り12Mにまで発展したその高速性から、ISDNユーザーの巻き取りなども可能性として考えられる。

このようにADSLサービスは、光サービスの展開とともに、今後のブロードバンドアクセスサービスを支えていくことと考える。



【開発者】 前列左から、須田、佐藤、
後列左から、尾井、佐々木