

# 高速メタリックIPアクセスシステム：ADSL

## High-speed Metallic IP Access System: ADSL

### あらまし

ADSLは、既存の2線式メタリックケーブルを利用し、局から加入者への下り方向にはメガビットクラス、上り方向へは数百キロビットクラスの非対称な伝送容量を有するデジタル加入者線伝送方式である。下り方向への高速性が、その既存の設備を利用した経済性と相まって、インターネットアクセスの速やかな高速化への要求に応えており、ADSLシステムの導入が活発化している。

富士通は、ITU-T G.992.2(G.lite)に準拠した日本で初の独自のADSL用チップセットを開発し、それを使用して局内装置であるDSLAMと宅内装置であるADSL-DSUを製品化した。512回線を収容し、完全2重化を施したDSLAMは、装置の拡張性・信頼性に富み、さらにATMスイッチを内蔵することによりQoS(Quality of Service)を確保している。また、ADSL-DSUは、高度なIPルーティング機能、ブリッジ機能の双方を備え、ISP(Information Service Provider)ごとに異なるプロトコルスタックに柔軟に対応している。

### Abstract

ADSL is an economical and high-speed digital subscriber line transmission system that uses existing two-wired metallic cables. Its asymmetrical transmission capacity is several megabits per second in the downstream link from the central office to the subscriber and several hundred kilobits per second in the upstream link. Because ADSL satisfies the demand for fast Internet access with its high-speed downstream link and its cost-effective use of existing facilities, ADSL systems are being installed at an increasing rate. Fujitsu has developed Japan's first original ADSL chip set that conforms to ITU-T G.992.2(G.lite). Fujitsu has recently used the chip set to commercialize intra-office DSLAM and ADSL-DSU for private residences. DSLAM can accommodate 512 lines, is fully duplicated, and, therefore, has an excellent expandability and reliability. Moreover, an ATM switch is built into the DSLAM to secure good Quality of Service(QoS). Because the ADSL-DSU has sophisticated IP routing functions and bridge functions, it can work with Information Service Providers( ISPs) that have different protocol stacks.



福田 節(ふくだ みさお)

光システム事業部第一技術部 所属  
現在、デジタル加入者線伝送システムの開発に従事。



元山英幸(もとやま ひでゆき)

光システム事業部第一技術部 所属  
現在、デジタル加入者線伝送システムの開発に従事。



三好清司(みよし せいじ)

基盤技術統括部システム回路開発部 所属  
現在、デジタル加入者線伝送装置の開発に従事。

## まえがき

ビジネス用途から世代を問わないパーソナル用途に至るインターネットの爆発的な広がりにより、IPネットワークの整備に加えて、IP情報通信機器の速やかな高速化、高機能化が求められている。要求に応えるための課題の一つが局とユーザを直接結ぶアクセスラインの高速化であり、その期待を担ってが然注目され、急速に導入が図られつつある技術がADSL(Asymmetrical Digital Subscriber Line)である。

ADSLは、局からユーザ側への下り方向の伝送容量を上り方向よりも大きく取る非対称なデジタル加入者線伝送方式である。Fiber to The Homeの登場を待たずに、アクセス区間のユーザが最も望む経済的な高速化を図るためには、既設の電話回線用メタリックケーブルの有効利用が不可欠であり、またADSLの伝送方式としての非対称性がインターネットアクセスへの高速化要求に合致した方式であることから、最近の活発に導入を図ろうとする状況を生み出していると言える。

本稿では、国内においても2000年から本格的な導入が進むこととなったADSL装置の富士通における開発状況とその製品化について紹介する。

## A D S L

### ADSL技術の展開

ADSL技術は1990年代初頭、スタンフォード大学<sup>(1)</sup>とBellcore<sup>(2)</sup>からメタリックケーブルを利用した究極の高速デジタルアクセス技術として提案された。144 kbpsの伝送容量を持ったISDNに比較し、その10倍以上の高速伝送が可能なADSLは、LSI化デバイス技術、とりわけDSP

LSIの小型化の進展により今日の実用化が可能となった。ADSLによるアクセスシステムの構成を図-1に示す。局とユーザ宅は2線式メタリックケーブルで接続され、局内にはDSLAM(Digital Subscriber Line Access Multiplexer)と呼ばれるADSL加入者端局装置が置かれ、ユーザ宅内にはIPルータやブリッジ機能を有した回線終端装置であるADSL-DSUが置かれる。ADSLシステムの特徴は、POTSスプリッタやインラインフィルタなどを用いることにより、既存の電話サービス(POTS: Plain Old Telephone Service)とADSLによるデータサービスを同一のメタリックケーブルで同時に利用できる点にもある。

ADSLは、当初はその非対称な伝送方式がVoD(Video on Demand)を経済的に実現する方式として注目されたが、インターネットの経済的な高速アクセスに適した方式として脚光を浴び、1999年にG.992.1<sup>(3)</sup>、G.992.2<sup>(4)</sup>として、ITU-Tにおいて標準仕様が制定された。

### ADSL導入の動向

北米では今日、140万回線を超える積極的なADSLの導入が進み、ヨーロッパでも、英、独、仏などでは数百万回線に及ぶADSLサービスの早期導入計画がうたわれている。

国内におけるADSLへの取組みも、同様に活発な動きを見せている。郵政省は、インターネットを早期により快適に利用できるようにと「高速デジタルアクセス技術に関する研究会」を設置し、ADSLの普及を推進している。また、日本電信電話株式会社(NTT)も2000年末からのADSLサービスの本格展開、サービスエリアの拡大をアナウンスした。

### ADSLへの富士通の取組み

富士通はインターネットの利用による情報量の急激な増大に応えるべく、トータルシステムサプライヤとして、い

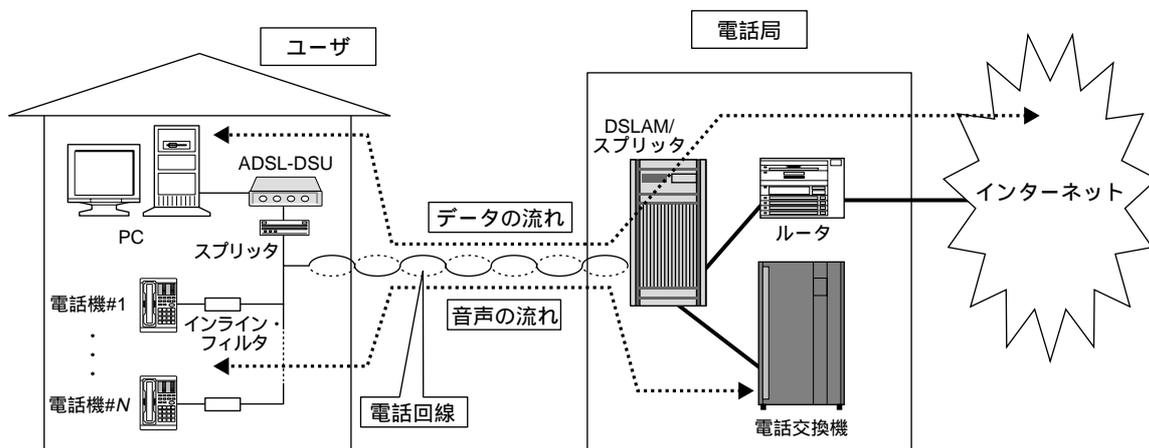


図-1 ADSLアクセスシステムの機器構成  
Fig.1-Equipment configuration of ADSL access system.

ち早くメタリックケーブルの利用によるアクセス系の高速化に注目し、北米ではFujitsu Network Communications, Inc. が、西欧ではFujitsu Telecommunications Europe Ltd. が中心となって各国電話会社向けに広範囲にADSLシステムの提供を進めている。

今回、日本におけるADSLサービスの本格的な導入に呼応し、国内での新たな適用にマッチしたADSL装置を開発し製品化した。日本におけるADSLの本格導入に向けて、配慮せねばならないデジタル加入者線伝送(DSL)の状況として、以下の点を挙げる事ができる。

- (1) インターネットアクセスの高速化が、DSLとしてピンボン方式<sup>(注)</sup>を採用したISDNにより先行し、その普及が今日1,000万回線にもならんとし、さらに勢いを帯びて導入されつつある点がある。
- (2) また、今まさにADSLの本格導入が立ち上がり始めた状況であり、国内各所のADSL事業者によるシステム導入は、小規模なものから大規模なシステムに至るまでまちまちな点がある。
- (3) さらに、ユーザのインターネット利用形態が様々であり、宅内に設置されるADSL-DSUには多種多機能化が求められる点である。

これらに配慮して今回開発し、製品化したADSL装置の特長は以下のとおりである。

- (1) ADSL伝送方式として、ピンボン方式ISDNとの干渉のない国際標準であるITU-T G.992.2 Annex C方式を採用し、富士通独自にADSLコアLSIを開発
- (2) DSLAMは、小規模から大規模システム構成に適した拡張性あるアーキテクチャを導入
- (3) ADSL-DSUでは、ルータ、ブリッジ両機能を具備し、とくにルータ型ADSL-DSUではNAT機能などIP関連機能を網羅
- (4) DSLAM, ADSL-DSUともに遠隔地からソフトウェアのダウンロードができ、オペレーションシステムからの保守性を確保

以下の章では、国内では初めて完成した富士通によるG.992.2用ADSLコアLSIについて、また同LSIを適用したDSLAM, ADSL-DSUの製品化について述べる。

## ADSL チップセットの開発

本章では、ITU-T G.992.2 Annex C(ピンボン方式ISDN DSLからの漏話雑音環境下において、POTSを併設可能

(注) 日本において、ベーシック(144 kbps) ISDNに適用されているデジタル加入者線伝送方式。局と加入者間の信号をバースト状に変換して送受信を行う、時分割方向制御伝送方式。

なスプリッタレス非対称形DSLを規定)、およびG.992.1 Annex H(ピンボン方式ISDN DSLからの漏話雑音環境下においてPOTSと併設可能な対称型DSLを規定)に準拠したトランシーバチップセットについて紹介する。

G.992.2では、ラインコード(通信変調方式)としてDMT(Discrete Multi Tone)方式が採用されており、本チップセットは、そのDMT変復調処理に適したハードアーキテクチャを有している。AFE-LSI(Analog Front End LSI)およびDMTDP-LSI(DMT Data Pump LSI)の2チップで構成された本チップセットにより、512 kbps以上の上り方向への伝送容量と、1.5 Mbps以上の下り方向への伝送容量を実現できる。

### AFE-LSI

AFE-LSIは以下の機能を内蔵し、外付けのアナログ回路が不要で、かつ低消費電力を実現している。

- (1) 高精度な2.2 Msps(samples per second)×2(4.4 Msps×1)のパイプライン型A/D変換器, D/A変換器
- (2) 38 dBまでのアナログAGC(Automatic Gain Control), 送受信プログラマブル4次ローパスフィルタ(150 kHz ~ 1.2 MHz)
- (3) アナログPLL(Phase Locked Loop)制御機能

### DMTDP-LSI

DMTDP-LSIでは、以下のハードアーキテクチャを採用した。

- (1) 時間領域プロセッサ(TD-DSP: Time Domain DSP), 周波数領域プロセッサ(FD-DSP: Frequency Domain DSP), および汎用プロセッサ(Gen-DSP: Generic-DSP)から成る3種のプログラマブルなDSPブロック
- (2) バスコントロール部(BUS-CONT), 高速フーリエ変換部(FFT/IFFT), およびデジタルインタフェース部(DI)の3種の専用ロジック回路ブロック
- (3) 上記の各DSP, 回路ブロックおよびメモリを内部高速バスで接続

本ハードアーキテクチャの採用と、さらに以下の信号処理的な工夫を凝らすことにより、内部メモリ量を最小限に抑えた、低消費電力でフレキシビリティ性の高いフルプログラマブルLSIを実現した。

- (1) DMT信号処理に適した専用インストラクションを有した高性能DSPによる、高速で高効率なコーディング
- (2) 各ブロック間のバス転送をFFT/IFFT処理単位でのデータバースト転送に制限し、その制御をBUS-CONT部のワイヤロジックで実行することにより、各ブ

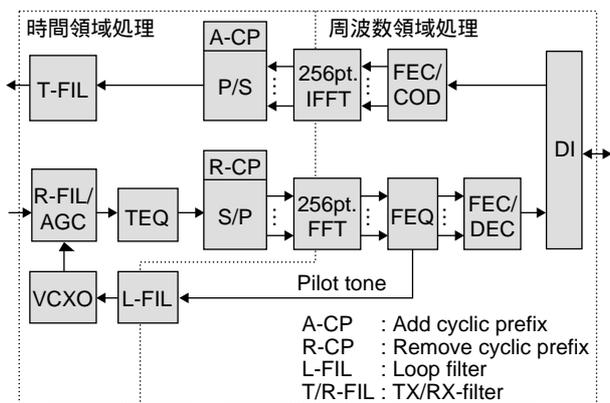


図-2 DMTDP-LSIのブロック構成  
Fig.2-Functional block diagram of DMTDP-LSI.

ロック間データ通信を高速で、かつ効率的に結合

(3) データインタフェースとして、ITU-T標準であるUTOPIAレベル2とSTMシリアルインタフェースの双方に対応

(4) コントローラインタフェースとして、パラレルとシリアル両モードに対応

DMTDP-LSIの機能ブロック構成を図-2に示す。

以下、機能ブロックを説明する。ATM(UTOPIA2)またはSTMシリアル送信データは、DI(Data Interface)部に入力され、FEQ(Forward Error Correction)部によりリードソロモン符号化し、COD(Encode)部において128個のマルチキャリアごとにQAM変調する。得られた周波数領域データを時間領域データに変換(IFFT)し、パラレル/シリアル(P/S)変換後、さらに送信デジタルフィルタ(T-FIL)によって波形整形し、AFE-LSIのD/A変換器へ送られる。一方、受信信号は、AFE-LSIでA/D変換後、受信デジタルフィルタ(R-FIL)およびAGCで最適な振幅に調整され、2線式メタリック回線の歪による符号間干渉を抑えるために適応的な時間領域のFIR(Finite Impulse Response)等化フィルタリング(TEQ)を行う。続いて、シリアル/パラレル(S/P)変換された時間領域データを周波数領域データに変換(FFT)する。得られた周波数領域データは128個の適応的な1タップ等化フィルタ(FEQ)により周波数歪を補正後、マルチキャリアごとにQAM復調して受信データを再生する。

LSI仕様

AFE-LSIとDMTDP-LSIの概略仕様を表-1に示す。

AFE-LSIとDMTDP-LSIの外観を図-3に示す。

## DSLAM, ADSL-DSU の開発

本格的なADSLインターネットアクセスサービスの立上

表-1 AFE-LSIとDMTDP-LSIの概略仕様

	AFE-LSI	DMTDP-LSI
プロセス	0.35 μm CMOS	0.25 μm CMOS
電源電圧	3.3 V	3.3 V/2.5 V
パッケージ	80ピンQFP	176ピンQFP
機能	G.992.2 Annex C FBM (FEXTビットマップモード), DBM (デュアルビットマップモード)の双方に対応 G.992.1 Annex H	
性能	FBM: 上り256 kbps, 下り1,216 kbps DBM: 上り640 kbps, 下り2,048 kbps Annex H: 上り/下り1,216 kbps,	
インタフェース	UTOPIA2, STMシリアル	

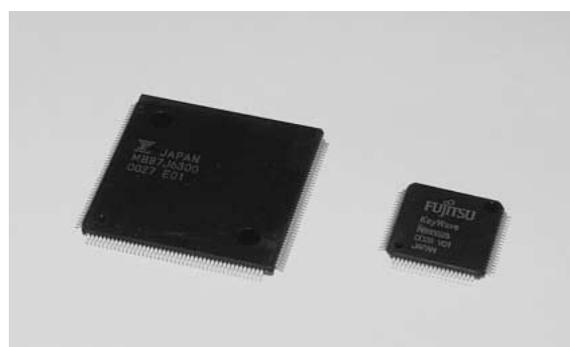


図-3 AFE-LSI(右)とDMTDP-LSI(左)の外観  
Fig.3-Appearance of AFE-LSI(right)and DMTDP-LSI(left)

げ時に、タイムリに局側装置であるDSLAMとユーザ側装置であるADSL-DSUを開発した。本章では、開発におけるポイントと、それらの特徴、仕様について紹介する。

開発のポイントと特徴

【DSLAM】

DSLAMは、収容するADSL回線数により少回線収容時の小規模構成から多回線収容時の大規模構成まで、段階的に増設可能な機構が必要である。また、多数のユーザを収容するアクセス装置であるため、安定稼働を維持する高信頼性も必要である。これらの要求に応えるべく、今回採用した拡張性、信頼性に富み、経済性に優れた装置アーキテクチャについて以下に述べる。

(1) 装置構成

DSLAMの共通部は以下のNIF(Network Interface)部、CREC(Clock Receiver)部、CPU(Central Processing Unit)部、ATM-SW(ATM Switch)部、およびEXTS(Extension)部から成る五つの機能ブロックにより構成される。

- ・ NIF部 : ISP側インタフェース
- ・ CREC部 : ADSL通信の基準クロック、ピンボン伝送方式ISDNとの相互干渉をなくすための位相クロックを受信

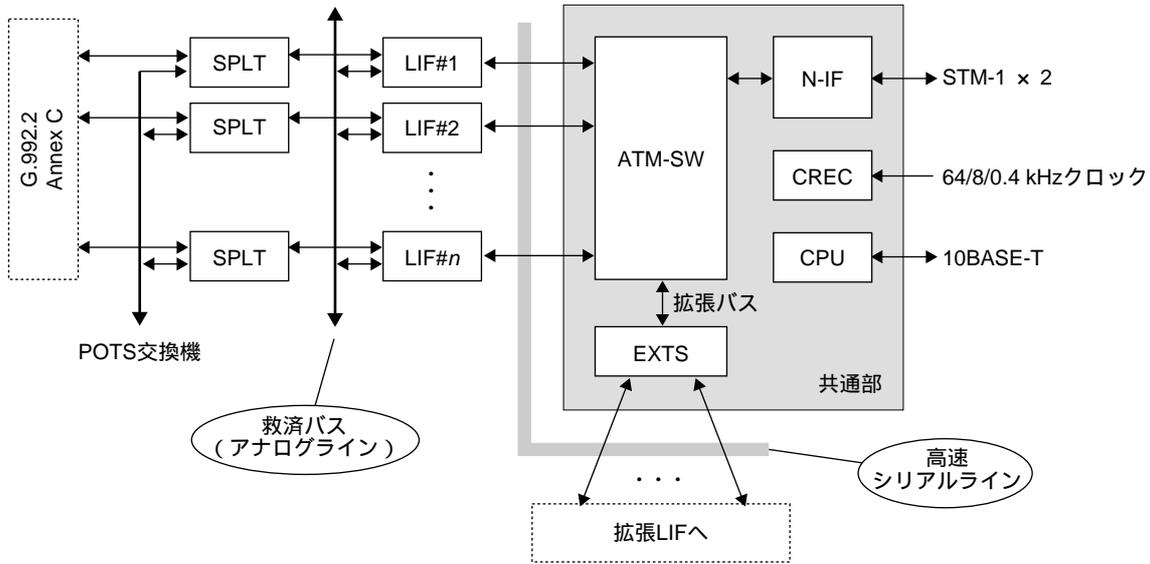


図-4 基本ユニット内機能ブロック構成  
Fig.4-Functional block diagram of DSLAM basic unit.

- CPU部 : 装置全体を監視制御
- ATM-SW部 : ISP間とのデータ通信(実トラヒック)に使用されるATMセルの多重分離とトラヒック制御
- EXTS部 : 後述のLIF( Line Interface )部を更に多接続するための拡張インターフェース

さらに、アナログ回線であるADSLインターフェース部は、ADSLトランシーバが複数チャネル搭載されるLIF部と、POTSに重畳されたADSLの高周波信号を周波数分離するためのSPLT(Splitter)部で構成される。また、LIF部とATM-SW部、およびEXTS部は、高速シリアル伝送方式(LVDS: Low Voltage Differential Signal)により接続される。

各機能部の搭載構成としては、共通部と複数のLIF部を搭載した基本ユニット、LIF部のみを複数搭載した拡張ユニット、およびSPLT部のみを複数搭載したSPLTユニットで構成される。

DSLAMの基本ユニットの機能ブロック構成を図-4に、基本ユニットの実装図を図-5に示す。

(2) 拡張性

DSLAMは収容するADSL回線数により装置規模が異なる。少ない回線数を収容する場合には基本ユニットのみで構成され、EXTS部以外の共通部、および収容回線数分のLIF部を搭載する。DSLAMとして基本ユニット内の回線数を超えた収容が必要となった場合には、共通部にEXTS部を搭載することでLIF部のみを収容した拡張ユニットを増設することができる。

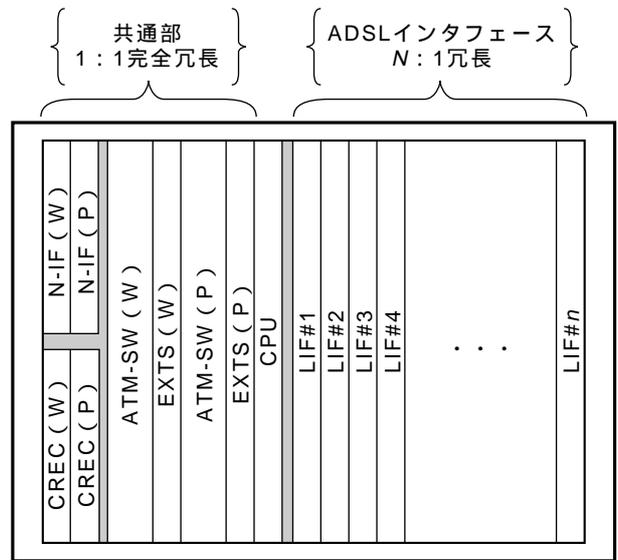


図-5 基本ユニットの実装図  
Fig.5-Mounting diagrams of DSLAM basic unit.

以上、本DSLAMは、LIF部単位での収容回線数の増設と、収容回線数に応じた柔軟なユニット増設機構と、以下に述べる共通部の単純な追加で容易に冗長化が可能であることを特徴としており、拡張性に優れた装置アーキテクチャとなっている。また、収容条件に対し段階的、かつ柔軟に対応できることから経済的なシステムの構築が可能である。

(3) 信頼性

装置の安定な稼働を維持するため、共通部の冗長化、およびLIF部の冗長化が可能である。LIF部の冗長化は、

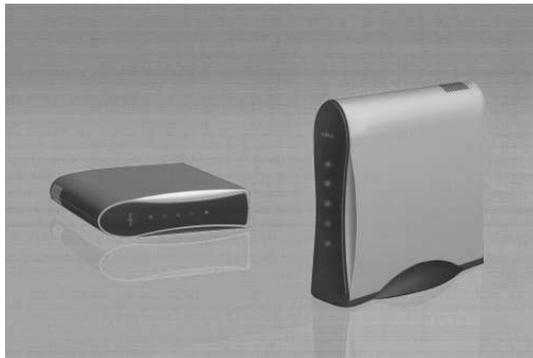


図-6 ADSL-DSUの外観  
Fig.6-Appearance of ADSL-DSU.

図-5のLIF#1を救済用として設定する。まず、障害が発生したLIF部から該当回線が内蔵の切替えスイッチにより切り離される。つぎに、該当回線は、障害発生LIF部に隣接したLIF部に内蔵した回線迂回スイッチにより、図-4に示す基本(拡張)ユニット内の救済バス(アナログライン)を経由して、救済用のLIF#1と自動的に接続することにより障害が回避される。さらに、障害発生LIF部の残り全回線を同様にLIF#1に回避することにより、LIF部障害時の保守(交換)が可能となる。

なお、LIF部の冗長が不要の場合には、救済用LIF#1を通常のサービスにも使用可能である。以上、アナログ回線であるADSLインタフェースを、外部の切替え専用回路を必要とせずLIF部までも冗長化し、機器の障害対策を万全なものとしている。

#### 【ADSL-DSU】

ADSL-DSUの外観を図-6に示す。

ADSL-DSUは、DSLAM経由でISPとATMバスにより接続され、プロトコルスタックによりデータ通信が終端される。ISPからエンドユーザまでのプロトコルスタックは、ISPごとに要求されるタイプが異なる。そのため、ADSL-DSUはIPルーティング機能を装備し、一般のアクセスルータと同等のNAT(NAPT)機能、DHCPサーバ機能などを備え、さらにブリッジ機能も具備することで、ISPごとに異なるプロトコルスタックへの柔軟な対応を可能とした。

また、ADSL-DSUは、その状態、および各種設定内容が遠隔から監視制御できることが強く望まれているため、ADSL-DSUのDSLAMを経由したオペレーションシステムからの遠隔監視制御も可能である。

#### 装置仕様

DSLAMの概略仕様を表-2に、ADSL-DSUの概略仕様を表-3に示す。

表-2 DSLAMの概略仕様

項目	仕様
ユニット構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本ユニット × 1</li> <li>拡張ユニット × 3 (システム最大)</li> </ul>
ATMバス	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大約3,000コネクション</li> <li>トラフィック制御機能 (UBR, CBR, GFR)</li> </ul>
ADSLインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> <li>G.992.2 (G.lite) Annex C</li> <li>下り: 64 k ~ 1.5 Mbps</li> <li>上り: 32 k ~ 512 kbps</li> </ul>
WANインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> <li>STM-1 × 2ポート, APS対応</li> </ul>
監視制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>監視制御装置 (OPS), クラフト端末</li> </ul>
保守	<ul style="list-style-type: none"> <li>ループバック機能</li> <li>ソフトウェアダウンロード (FTP)</li> </ul>
構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>INS架: 600 × 600 × 1,800 (mm)</li> <li>収容回線数: 512回線 (システム最大)</li> </ul>
電源	<ul style="list-style-type: none"> <li>DC-48V</li> </ul>

表-3 ADSL-DSUの概略仕様

項目	仕様
ADSLインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> <li>G.992.2 (G.lite) Annex C × 1</li> <li>下り: 64 k ~ 1.5 Mbps</li> <li>上り: 32 k ~ 512 kbps</li> </ul>
ユーザインタフェース	<ul style="list-style-type: none"> <li>10BASE-T (Ethernet) × 1</li> </ul>
ATMバス	<ul style="list-style-type: none"> <li>8コネクション</li> </ul>
プロトコル	<ul style="list-style-type: none"> <li>IP over AAL5 (RFC1483: ルータ機能)</li> <li>IP over AAL5 (RFC1483: ブリッジ機能)</li> <li>IP over PPP over AAL5 (RFC2364)</li> </ul>
ルータ機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>スタティックルーティング</li> <li>NAT (NAPT), DHCPサーバ, PPPなど</li> </ul>
運用管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>監視制御装置 (OPS), HTTPサーバ</li> </ul>
保守	<ul style="list-style-type: none"> <li>ループバック機能</li> <li>ソフトウェアダウンロード</li> </ul>
構成	<ul style="list-style-type: none"> <li>卓上(縦/横置き)</li> </ul>
電源	<ul style="list-style-type: none"> <li>AC100V: ACアダプタ</li> </ul>

## む す び

本稿では、経済的にインターネットの高速化を達成するADSLと、その富士通における製品化について述べた。Fiber to The Homeの時代が来るまでADSL技術とその技術を取り入れたインターネットアクセス用機器は、今後のSSDSL(Synchronized Symmetric Digital Subscriber Line)や、光ファイバ伝送技術との併用によるVDSL(Very high-bitrate Digital Subscriber Line)技術への進化も含めて、しばらくはインターネットの高速化に寄与していくであろう。また、今後、ADSL機能のパソコンへの実装を始めとした、さらなる普及と経済化を達成するためのかぎを握る技術要素の一つとして、各機器メーカー間のインタオペラビリティの確保が挙げられる。日本において

は、そのデジタル加入者線伝送の状況に見合ったインタオペラビリティの検証の必要性をADSL事業者、機器メーカーが認識し、その確保に努めるべきであろう。

## 参考文献

- (1) P. S. Chow et al. : Performance evaluation of a multichannel transceiver system for ADSL and VHDSL services. *J. of Sel. Area in Commun.* , SAC-9 , No.6 , p.909( 1991 )
- (2) D. L. Waring et al. : The asymmetrical digital subscriber line( ADSL ): A new transport technology for delivering wideband capabilities to the residence. GLOBECOM 91 , 56.3 , p.1979( 1991 )
- (3) ITU-T勧告 : Splitterless asymmetrical digital subscriber line ( ADSL )tranceivers . G.992.2( G.lite )
- (4) ITU-T勧告 : Asymmetrical digital subscriber line( ADSL ) tranceivers . G.992.1( G.dmt )

