

伊那市有線放送網における xDSL 実験報告

浅見 徹

asami@lab.kdd.co.jp

KDD 研究所

〒 356 埼玉県上福岡市大原 2-1- 15

本稿では、有線放送電話網のマルチメディア・ネットワーク化への可能性を探るため、長野県伊那市の有線放送電話網を使って行っている xDSL 公開利用実験とその結果について述べる。まず、現在の有線放送電話網のネットワーク・インフラ、サービス内容、インターネット・サービスとの親和性と、来るべき 21 世紀における有線放送電話網へのビジョンを述べ、それを裏付ける有力技術である xDSL に関する技術検証結果を示す。

キーワード： インターネット，xDSL，リアルタイム通信，マルチキャスト，有線放送電話

Ina xDSL Field Trial and Advanced Networks for Subscribing Services of Communication and Broadcasting

Tohru Asami

asami@lab.kdd.co.jp

KDD R.&D. Labs .

2 - 1 - 05 a r K a m i f u k u o - k s h i ,
S a i t a m a 5 6 J a p a n

This paper presents the summary of xDSL field trial on the network of The Agricultural Association of Ina City on Broadcasting Telephone Services. The main aim of this trial is to investigate the possibility of this network as a high speed multi-media network in the 21st century. The network configurations, services and the adaptability to the Internet access service are discussed before introducing the result of this field trial.

Key Words: The Internet, xDSL, Real time communications, Multi cast

1. はじめに

近年、通信と放送の融合、マルチメディア等のキーワードの下で、種々の新技術の導入、検証が行われているが、有線放送電話網は前者の意味で最初から設計されていた数少ない伝統的ネットワークである。本稿では、特に、有線放送電話網を 21 世紀のマルチメディア網としてどのように位置づけるかの観点から、既存のサービス内容、ネットワーク構造を論じ、xDSL やインターネットとの整合性を述べる。次に、この観点から、長野県伊那市の有線放送電話網を用いて、1997 年 9 月から始まった xDSL の公開実験内容^{[1], [2],[3]}と、10 月 17 日までに収集した回線測定実験の結果について述べ、実験結果から予測できる 21 世紀の有線放送電話網について提案を行う。

2. 有線放送電話事業

有線放送電話事業は、有線放送電話法及び関係諸法令に基づき運用されており、伊那市有線放送農業協同組合のいなあいネットを例に述べると、チャンネル放送 (NHK 第 1, FM 等地上波、ミュージックバード、J-POP 11 等デジタル PCM 音楽放送の再送信、自主放送、緊急放送)、に加えて電話機能 (NTT 市内網との相互通信可能)、インターネット・アクセスなどをサービス範囲に持つ、音声情報サービスである。以下、有線放送電話網の中で最新の機器構成を持つ「いなあいネット」を例に、有線放送電話網の現状を述べる。

2.1 いなあいネットのネットワーク

いなあいネットは、1997 年現在 8,872 加入者を持ち、本局と各支局をシングルモード・ファイバ 4 芯 (2 芯は予備) と銅線 2 回路から成る複合ケーブルでつないだ図 1 のようなネットワークである。

ここで、線路設備は合計 464km (光ケーブル 43km, 銅ケーブル 421km) である。また、美篤局と東春近局へは 32Mbps で他の局は 6.3Mbps で接続している。

2.2 いなあいネットのネットワーク設備

いなあいネットのネットワークの本局と各支局は、図 2 のような設備から構成されている。ネットワー

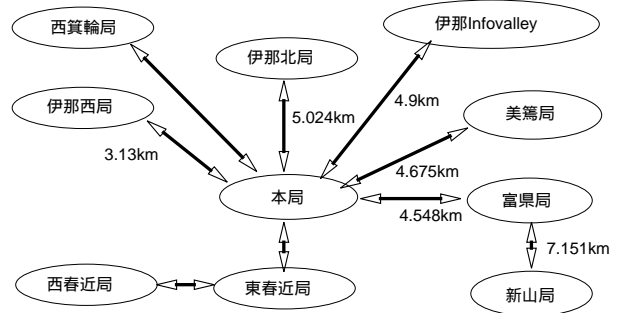


図 1 いなあいネットのネットワーク

ク自体は、デジタル網である。

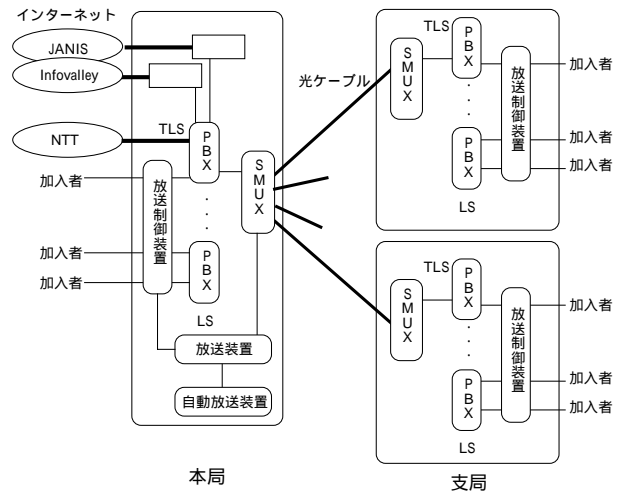


図 2 いなあいネットのネットワーク設備

ここで、PBX は NEC 製 APEX7400 であり、キヤッチホン、指定時刻呼び出し、自動転送、3 者会議電話、固定短縮ダイヤル等のサービスを持つ。全体は、共通線信号方式でシステム全体を運用している。

2.3 いなあいネットの端末設備

いなあいネットの加入者の端末は、図 3 のように 2W 銅ケーブルに接続されたスピーカ (NS-10) とプッシュホン (Dterm25D) から成る。

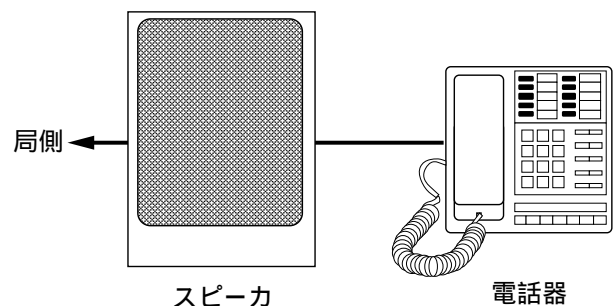


図 3 いなあいネットの端末設備

所謂放送サービスはスピーカ経由で行われており、

この点が公衆電話網との最大の相違点である。

3. インターネットの発展と通信速度

伊那 xDSL 利用公開実験では、有線放送電話の未来を占う技術として、インターネットと xDSL 技術に注目し、検証実験を行った。ここでは、インターネットの発展を通信速度の観点から概観し、xDSL との接点を述べる。

インターネットとマルチメディアとが併せて論じられるようになったのは、バックボーン間が T3(45Mbps) 専用線で接続されるようになった 1990-1995 年の NSFNET の完成期からである。^[4] この時期には CIX(Commercial Internet Exchange) 等インターネット接続サービスが開始され、インターネットの大衆化・商用化が加速されると共に、LAN 経由で PC がインターネット接続されるようになった。これに伴い、利用が一般ユーザに広まり、大量通信需要が喚起された。公衆網でもフレームリレー、SMDS (Switched Multi-MegaBit Data Service) ATM 等の高速通信サービスが出現している。この傾向は現在も進行しており、商用プロバイダのバックボーンは、米国では 1995 年の 45Mbps 以降、155Mbps から 622Mbps へと急速に高速化している。

また、1990 年代以降のインターネットの商用化の時代では、一般加入者用アクセス・ラインに限っても、通信速度の高速化が目覚ましい。1975 年前後のデータ通信として一般的だったテレックスの 50bps、1985 年前後の公衆データ通信サービス普及期の 1,200bps、1995 年頃の V.34 モデムによるインターネット・アクセスを鑑みると、過去 20 年間、エントリ・レベルのユーザの通信速度は、丁度 10 年単位で 24 倍ずつ高速化が達成されてきたことになる。1995 年以降も V.34bis(1996年)、x2(1997年) 等、商用サービスでのアクセス系の高速化が引き続き盛んである。

所謂 xDSL 等の議論もこの延長線上にあるが、インターネットの加入者網の高速化関連で今日話題にされる CATV が、現実のネットワークでは双方向の高速化が困難であるのに対し、xDSL では、CATV で困難な加入者から局への上り方向の通信速度を高速化できること、マンション等の集合住宅でも新た

な配線工事が不要であること、電話サービスとの共存が可能であることなどの特長がある。表 1 に有線電話網で一般的なケーブル(0.5mm 径)で使用可能な xDSL 機器の特徴を示した。^{[5],[6]}

表 1 xDSL 機器

xDSL 種別	伝送速度 (上り/下り)(bps)	最長伝送距離 (km)
HDSL (4W)	1.536M/1.536M 2.048M/2.048M	5.5
ADSL (2W)	16k-640k/1.5M-9M	5.5(1.536Mbps) 4.9(2.048Mbps) 3.7(6.144Mbps) 2.7(8.448Mbps)
SDSL (2W)	1.536M/1.536M 2.048M/2.048M	3.6
VDSL (2W)	1.5M-2.3M/13M-52M	1.4(12.96Mbps) 0.9(25.82Mbps) 0.3(51.84Mbps)

今回の実験では、局間を HDSL(4W ケーブル)を使って接続した。

4. 21 世紀の有線放送電話のビジョン

有線放送電話料金は、定額制であるため、インターネット・アクセスに適しており、既にいなあいネットでは導入済みである。xDSL と有線放送電話の融合は、このメディアを高速インターネット・アクセス網に変貌させる可能性を秘めている。また、このような新しいメディアの導入以外に、立地条件を考えると現在のラジオ放送の再送信に加えて、地上波 TV 放送の再送信も有望なサービスと考えられる。

有線による TV 放送は、従来 CATV の牙城であったが、デジタル化を前提に考えると、下り 1.5Mbps の伝送速度を最長 5.5km まで実現できる ADSL を使えば、有線放送電話網を使った MPEG-1 のデジタル TV 放送は十分可能である。更に、MPEG-2 を想定した場合でも、最長 3.7km(6Mbps) のサービス範囲があり、後で示すように、いなあいネットの場合では、十分利用可能である。また、音声デジタル放送で CD 並みの高音質の音楽番組を圧縮無しで放送した場合でも、約 700kbps あればよいため、このようなサービスを提供することも可能である。

インターネットの枠組みで考えるならば、図4に示すように、放送局(本局)から支局経由で、加入者まで、プログラムをIPマルチキャスト配送することで実現できる。先ず、プログラム・ソースを放送局で適当なマルチキャスト・アドレスを付けて放送する。特定のTV番組を見たい加入者は、対応したマルチキャスト・アドレスを選択すればよい。サービスイメージは、既存テレビのチャンネルの替りにマルチキャスト・アドレスを用いるIPテレビ放送であり、プログラム・ソースを音声に替えれば、音声デジタル放送となる。図4では、新山局の加入者DとEは同一のTVプログラムを受信している。この場合、富県局と新山局間のTVトラヒックは1チャンネル分しか流れない。このように、IPマルチキャストでは、局間を流れるトラヒックは、加入者側で受信選択した「相異なる」プログラムの数だけであり、多チャンネル放送には有利となる。もちろん、ATMを網がサポートしていればマルチポイントで配送すればよい。

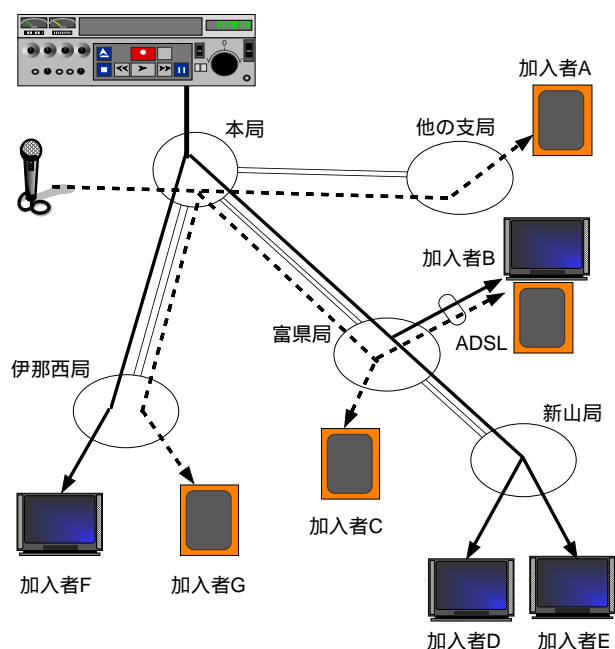


図4 IPマルチキャスト型デジタル有線放送

インターネット上のIPマルチキャストと比べて、有線放送電話網上のIPマルチキャストは次の利点がある。(1) 局間は光ファイバ接続であり、多チャンネル(マルチキャスト・アドレス)の同時配送に十分な伝送容量がある。例えば、155Mbpsで局間を接続していた場合、約100プログラムのTV(MPEG 1)

同時放送が可能である。(2) マルチキャスト・ツリーは、本局をルートにした有線電話網のルーティングに一致するため、本局・支局(例えば、伊那西局)間のトラヒックは支局(伊那西局)の加入者が選択した相異なるプログラムの総数で決まる。例えば、図4では、TVと音声の同時放送中であるが、富県局と新山局間は新山局加入者がTV放送しか受信していないため、TV放送のトラヒックしか流れない。従って、局間を転送されるプログラムは、その時放送している全プログラムの一部になるため、伝送容量的にはさらに負荷が軽くなる。(3) 各支局で加入回線を収容する際、媒体共有型のメディアを避け、スイッチを介してバックボーンにつなぐ構成を採れば、エンド・ツー・エンドのスループット上のボトルネックは(ルータ/スイッチの処理速度を別にすれば)DSLの下り方向の通信速度になる。これは、うまくネットワークを設計していれば1.5Mbps(5.5km)~6Mbps(3.7km)と極めて高速である。従って、輻輳の可能性は低く、特別なQoS制御をしなくても、かなりの放送品質を保つことができる。(4) 現在入手できる多くのDSL機器の端末側インタフェースは10Base-Tであるため、他のメディアに比べてIPマルチキャストによる放送を実現する際の機器コストが安い。また、(5) マルチキャストを実現するルータの機種を統一できるため、運用が容易になる。

DSLの下り回線の速度が1.5Mbpsあれば、有線放送電話網は、MPEG 1デジタルTV放送メディアとして有望である。加入者と局との距離が近く、6Mbps程度でつながっている場合は、MPEG 2放送1プログラム、あるいはMPEG 1放送3プログラムと音声デジタル放送2プログラムの同時受信が可能となる。後者の場合、100プログラムを放送していても、各家庭が同時に選択受信できるプログラム数としては、この程度であれば十分である。もちろん、1Mbps級のより方向の通信速度を使ったTV会議なども十分実現できる。近年、MPEG 1ベースのハードウェア・エンコーダ/デコーダ機能を持つボードが低価格化しているため、このような使い方も現実味を帯びている。既存の加入者宅内の工事をすることなく、上記デジタル放送/通信サービスをし

実現できることが有線放送電話網の最大の利点と云える。

5. 実験内容

5.1 線路特性

線路特性に関しては、ループ抵抗、静電容量、インピーダンス、近端クロストーク、ノイズ、減衰特性等、種々の項目があるが、ここでは、機材、測定環境による制約から、ループ抵抗、静電容量、減衰特性、ノイズ特性を計測した。

抵抗、静電容量を測定したテスターは、METEX 製 M3860D Digital Multi meter と、東海科学工業製 携帯 PBX テスター MODEL 1223C である。

減衰特性は、ヒューレットパッカート社製 33120 A 15MHz FUNCTION/ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR (2台) で発生した信号を、ヒューレットパッカート社製 SPECTRUM ANALYZER 8560E アンリツ製 75 :110 TRANSFORMER MA422 A1 付き)、またはヒューレットパッカート社製 SPECTRUM ANALYZER 3588A (自作 110 対応プローブ) で受信して測定した。また、ノイズ特性に関しても、同じスペクトラムアナライザを使用した。

5.2 対象 xDSL 機器とスループット測定

実験に使用した xDSL 機器は表 2 に示したものである。ここで、種別を「対」欄のカッコ内に H (HDSL), A (ADSL) で示した。ADSL 機器は、Net Speed を除き、全てブリッジタイプである。¹

表 2 では、xDSL 機器を、それぞれ 7, 1, 4 機種からなる 3 ブロックに分け、最初の 2 ブロック (8 機種) をユーザ端末を実際に接続した運用状態で用い、その中で最初のブロック (7 機種) を後述する FTP スループットの測定に使用した。

スループットに関しては、現在の RADS L で最も高速なモード (6-8 Mbps) でリンクの設定を試みたときに実際に得られたリンク速度を測定した。このとき使用した ADSL 機器 (実際は RADS L) が表 2 の第

表 2 実験対象 xDSL 機器

ベンダ	機種	UP (bps) DOWN	対
Sonet	LGHD- 2000D	1.5M 1.5M (H)	2
Sonet	LGHD- 1500D	1.5M 1.5M (H)	3
Net Speed	201/200	1M 6M (A)	2
Net Speed	101/100	1M 2.5M (A)	4
Paradyne	Hot Wire 5100	272K-1.08M 640K-2.56M (A)	3
Westell	FlexCap	91K-1.08M 640K-2.24M (A)	2
住友電工	Mega Bit Gear (プロトタイプ)	384K 4M (A)	3
NEC	NEBAX300 / ATU-R	1Mbps 7M (A)	2
Net Speed	203/202	1M 7M (A)	2
Paradyne	Hot Wire 510 改修版	272K-1.08M 7M (A)	1
AWARE	RADS L	768K 8M (A)	1
住友電工	Mega Bit Gear 改修版	640K 6M (A)	2

3 ブロック (4 機種) であるが、端末側インタフェースは全て 10 Base-T であるため、ADSL 間のスループットや BER (ビットエラーレシオ) の測定は通常の測定器では困難である。そのため、以下の手順で測定した。(1)スループットに関しては、ADSL リンクの両端に FreeBS 2 をインストールした PC を接続し、Netperf^[7]を用いて得られた UDP スループットから求める。(2)BER は、i)KDD が開発した RTP^[8] ベースで任意のトラフィックを発生・解析できる回線特性測定器^[9] を ADSL リンクの両端に接続し、i) (1) で得たスループットの 1/2 の速度でパケットを生成し、i) i) 受信側で 10 分間計り、その間のパケット損失から逆算して求める。(3)スループットと BER は上りと下り方向に対して各々求める。

また、ユーザの体感速度を測定するため、RADS L の速度を比較的遅い 2.2 Mbps で設定した運用状態で、各ユーザに FTP で s v 0 . x d s l v a h f o y d . i n の / t e m p / t e s t フォイル (1,048,576b) をダウンロードしてもらい、リンクの実速度との比較を行った。

¹ AWARE のモデムの正式名称は ADSL-Link Rate Adaptive Intelligent Access Mode m

5.3 実験ネットワーク構造とユーザ規模

今回の実験ネットワークは、29 対向（その内 7 対向は局間）の xDSL（その内 3 対向が HDSL）から構成し、図 5 に示した。局間はファイバを用いる解もあったが、今回の実験目的が xDSL の技術検証にあったため、HDSL の性能を局間回線に使用することによって把握することにした。

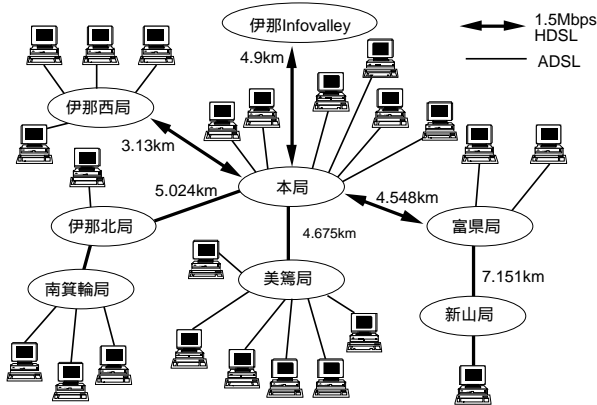


図 5 xDSL 実験ネットワーク

5.4 アプリケーションとサーバ

ここで使用したサーバ機器は表 3 に示す通りである。アプリケーションは、表 4 のアンケート結果から判るように、CU-SeeMe 等の TV 会議、WWW サーバ上の MPEG 1 ファイル（この実験のために特別に作成した高品質画像ファイル）や MPEG 2 ファイルへのアクセス、FTP 等からなる。

表 3 サーバ機器

ホスト名	s0	s1	s2
機種名	SUN Ultra 1	Dragon 5A/433 (DEC α 433MHz)	Dragon 5A/433 (DEC α 433MHz)
主記憶	32MB	128MB	128MB
ディスク	2GB	4GB	8GB
使用目的	DS メール	ビデオサーバ (WWW)	ビデオサーバ (WWW)

6. 実験結果

1997 年 10 月 17 日まで行った線路特性、スループット等の実験データに関して、現在まで判明した事実を以下に列挙する。

6.1 線路特性

図 6 は、KDD が室内測定したケーブルシミュレータ (0.65mm) のデータから 0.5mm 換算した線路抵

抗の予測値と、伊那の有線放送網での実測値である。これから、非常に近似精度が高いことが判る。

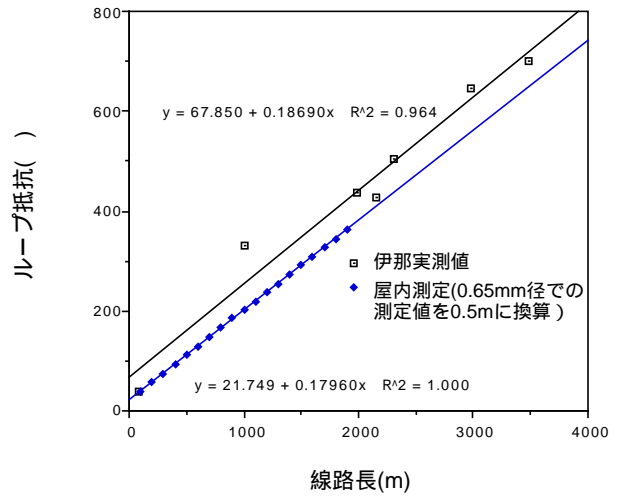


図 6 線路抵抗の予測値と実測値

図 7 は、KDD が測定したケーブルシミュレータ (0.65mm) から得た静電容量と、伊那の有線放送網での実測値である。²

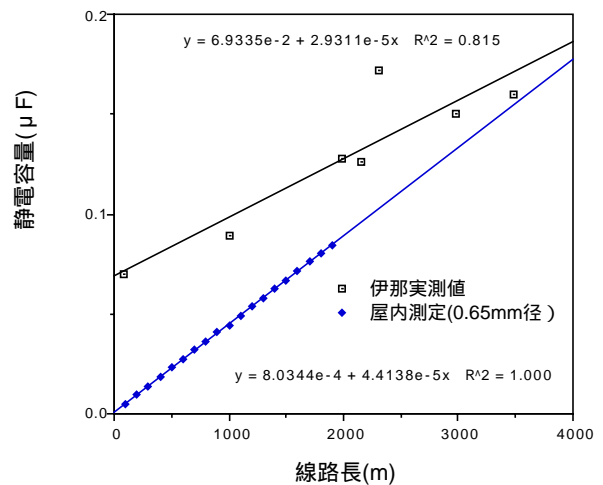


図 7 静電容量の予測値と実測値

測定点 7 箇所について、信号発生器のレベルを 10Vpp と 500mVpp にした場合の減衰特性とノイズフロアを測定した。ここで、減衰特性を広いダイナミックレンジで測定出来る様に（遠い所も広い周波数範囲で、近い所も飽和せずに）この 2 レベルにしている。図 8 と図 9 は、図 10 の 2.3km 地点における下り方向の 10Vpp の減衰特性とノイズフロアである。回線ノイズは、スペアナの MaxHold で測定

² 得られた線路抵抗、静電容量から考えて、宅内配線工事に伴う線路抵抗や静電容量の増加が意外に大きそうである。

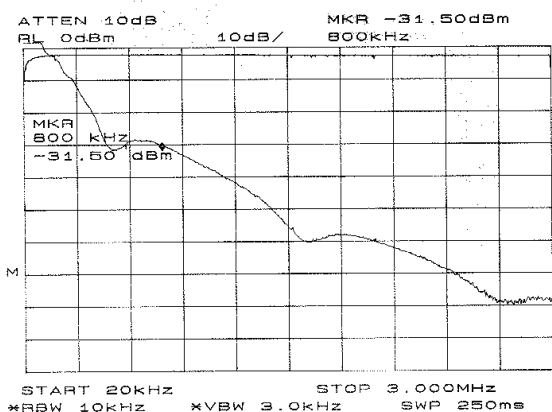


図 8 2.3km 地点での減衰特性 (10Vpp)

した。³

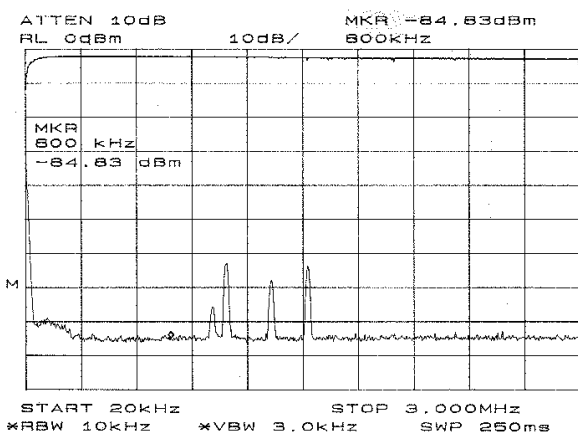


図 9 2.3km地点でのノイズフロア

6.2 伝送レートとFTP スループット

図 10 は、伊那の有線放送網での 6-8Mbps 級 RADSL モデムの下り伝送レートの実測値である。実験に用いたモデムは商品もあるが、商品のファームウェアをこの実験のために暫定的に変更したもの、商品とは異なったコンフィギュレーションにした試作品もあり、このモードでの動作に使う際の完成度がまちまちであった。このため、得たデータを規格化して示すことにする。その手順は、以下である。

(1) 各ベンダ毎に絶対値でスループット対距離をプロットする。(2) 各ベンダ毎にスループットの公称最大値を 1 として上記の縦軸をノーマライズする。

³ Rate Adaptive でない場合は最大値が大切であるが、RADSL を考えるとノイズの実効値レベルの方が重要になり、RMS アベレージで測定すべきだった。回線のノイズの性格にも依るが、恐らく 10dB は違うだろう。

(3) ノーマライズしたデータから各測定距離毎に最大値、平均値、最小値を求めてプロットする。

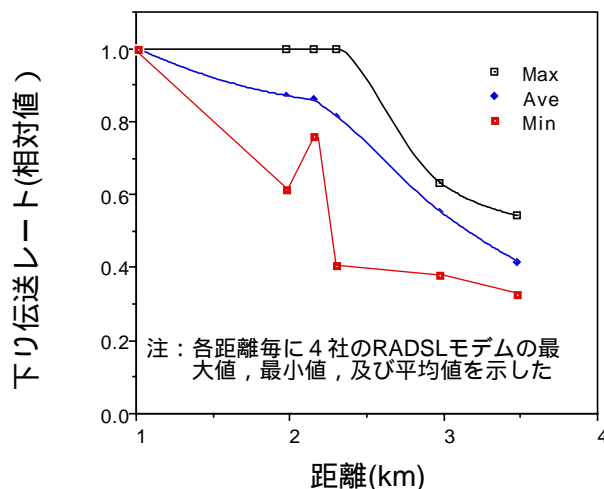


図 10 6-8Mbps 級 RADSL モデムの下り伝送レート (試作モデムを含む)

この図から、最適設計では、少なくとも 2.3km まで最大伝送レートを得られること、3km まで 4Mbps 程度のサービスを提供することができることが判る。いなあいネットの場合、加入者の 85% 程度が局から 3km 以内に存在するため、かなり質の良いデジタル・テレビ伝送が広範に可能であることが判った。

図 11 は、最大伝送レートを 2.2Mbps として RADSL モデムを設定 (トレーニング) した場合の、FTP 転送速度 (FTP アプリケーション から見た速度であり、ヘッダのオーバーヘッドは考慮していない) と、DO WN/UP リンクの伝送レートを線路長に対してプロットしたものである。この図では、3km 以上で DO WN リンクの伝送レートは減少するが、減少速度は比較的小さく、4.6km 地点でも 1.5Mbps 以上が確保され、MPEG 1 程度の伝送はこの距離でも十分可能である。

一方、FTP 転送速度 (スループット) に関しては、ユーザは本局 (4.6km 地点が 1 名) と伊那西局 (3 名)、南箕輪局 (1 名)、美篤局 (2 名) から参加しているため、局間の伝送レートは HDSL 接続、ADSL 接続に関らず約 1.5Mbps (DO WN 方向) となっている。このため、本局にあるサーバ (sv0.xdsl.infall eyad.jp) との間の FTP スループットは、局間がボトルネックとなり、線路長が 4.6km までほぼ一定 (1.46Mbps) となってしまった。

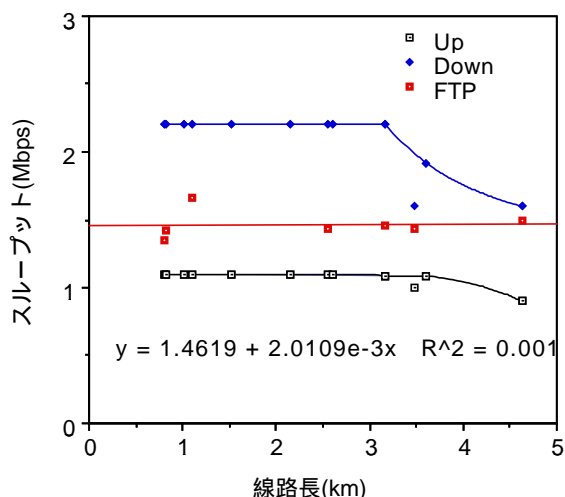


図 11 FTP スループットと RADSL モデムの伝送レート

その他，今回の実験で以下のデータが得られた．

- (1) 今回の ADSL の場合，4.9km までは実稼働 1.5Mbps(全二重)のスループットが得られている．
- (2) 最大伝送レート 2.2Mbps で RADSL をトレーニングした場合，局と加入者間の距離は 85m ~ 4.633km に分布しているが，下り 1.6Mbps 以上，上り 0.9Mbps 以上のスループットを示し，大部分の設置例では下り 2.2Mbps の性能を示した．
- (3) 光ファイバケーブルに組み込まれた，銅線ケーブル(4W)を 2 本ずつ束ねることにより，ADSL で最長接続距離 7.151km(1Mbps DOWN 1Mbps)で接続することに成功した．⁴

6.3 アプリケーションの主観評価とアンケート結果

今回実験にユーザとして参加した INAJI N のメンバーに対して以下のアンケート調査をし，その回答結果の一部を表 4 に示す．ここでアンケートの質問は，それぞれ問 1 :「あなたの端末機器」，問 2 :「あなたの ADSL 機器」，問 3 :「あなたが ADSL 実験前が一番興味をもった内容(3 つあげてください)」，問 4 :「あなたが ADSL 実験を通じて一番つかった内

容(3 つ)」，問 5 :「今後 ADSL でこういった内容はどうかと思うこと(いくつでも)」，問 6 :「もし伊那で ADSL を本格的に使用する場合の条件」，問 7 :「感想，ご意見，問題点など全般的になにかお書きください」から構成されている．

MPEG1 による VOD サービスに関しては，この表から判るように端末機器の未成熟により評価が低いが，ソフトウェア・デコードではなく，実際に Windows 95 に MPEG のハードウェア・デコーダを組み込んで行ったデモでは高い評価が得られた．また，平行して NEC により，ATM ADSL による MPEG 再生のデモも行なわれたが，ここでも，6 Mbps 級の接続による MPEG 再生では十分な品質が得られたとのユーザ評価が得られている．

6.4 設置工数

ADSL のインストール作業は，モデムの最大伝送レート(これ以下で最適伝送レートが RADSL の場合選択される)の設定，ルータ型ではルータ(セントラ側と加入者宅内の)の IP アドレス等の設定が，配線以外に必要である．表 5 に今回の実験で測定した工数を示す．

この結果，加入者 1 人あたり，以下の工数を見積もればよいことが判った．(1 局側での ADSL の事前調整工数に 5 分程度が必要である．(2 局側での ADSL と電話線間の配線工事は約 7 分程度である．(3 加入者宅内での作業時間は，表 5 で使ったブリッジタイプの ADSL で加入者側の IP アドレス等の設定を省けるものでは，1 分程度の工数を見積もればよい．従って，一度 ADSL サービスが始まれば，新規加入者増に対し，移動時間を除いて，21 分程度の工数を見積もればよい．

ただし，モデムの設定工数は，モデムと局との距離にも依存する．図 10 のモデムの伝送レートは，2.3km までの最大伝送レートでつながる場合(以下領域 1 と呼ぶ)と，Rate Adaptive 機能により，回線特性に合った伝送レートでつながる 2.3km 以上の場合(領域 2 と呼ぶ)に分けられる．表 5 は，最大伝送レートを 2.2Mbps として設定を行ったときの領域 1 の工数である．領域 2 では，現状のモデムの Rate

⁴ より対線でないので参考にはならないが，平行銅線ケーブルでも 4W の 2W への束ね方次第で ADSL 長距離接続が可能ながあることが判った．

表 4 ユーザ評価アンケート

問	回答
1	CPU : Pentium 150, Pentium 166 x 2, Pentium 200, MMX Pentium 133 x 2, MMX Pentium 166MHz, MMX Pentium 200, MMX Pentium 233, P55C 200MHz, P54C 200MHz メモリ : 32MB x 3, 40MB, 48MB x 3, 64MB x 4 HDD 容量 : 1GB x 3, 1.6GB, 2GB, 2.3GB, 3GB x 2, 3.7GB, 4.3GB, 13GB OS : WIN. 95 x 10, NT 4.0 ブラウザ : IE3.02 x 4, IE4.0 x 4, Netscape Navigator, Communicator 4.01J x 2 メール : Internet Mail x 2, Postpet, Becky 1, Becky 1.20, Becky 1.21C, Visual Mail, 電信 8号, Microsoft Exchange V4.0.994.56, Outlook Express
3	通信速度 x 5, TV 会議 x 5, ビデオデマンド x 3, ネットワークゲーム x 2, インターネット接続 x 2, 専用線接続環境 x 2, 市内を LAN で結ぶ x 2, ライブカメラ x 2, 使用方法, マスコミの扱い方
4	CU-SeeMe x 6, インターネット接続 x 5, ライブカメラ x 5, ビデオデマンド x 4, メール(常時監視) x 2, アップロード x 2, ネットワークゲーム, ソフトのDL, チャット, ネットミーティング
5	伊那 LAN の仮想空間を歩き回るネットワークゲーム, 他人のハードディスクを一部解放共有する自動転送回覧板アプリケーション, 一人一人でライブカメラ, 写真と音声で構成されたページの作成, もっと高速なTV会議, アプリケーションの共有, 今回予定していた巨頭会談の実行, 地域内ランによる情報の共有, 地域市民サークル発表
6	初期費用 : 2~3万円 x 2, 3万円, 5万円以内, 5万円以内(モデムを含む), 5~7万円, 6~7万円, 入会金2万円 モデム5万円. 月額 : 2千円, 2~3千円, 3千円以下, 3千円, 5千円以下(電話代含め), 5千円(インターネット接続料込み), 5千円以内. 1万円くらい(プロバイダ費用を除く), 固定. CATV アクセスの事例に接続料金6.5千円(固定)でケーブルモデムのレンタル料金込み, 入会金が5千円, 工事費2万6千円があるので参考にすべき. モデムはレンタルでもいい. 内容 : インターネット接続 x 6, 市内拠点間接続, 今回の実験内容が良い, 確実にリアルタイム再生が出来るビデオサーバ, リフレクタの常設, 市内用メールサーバ, 公的機関や企業等にライブカメラの常設, 公的機関のコンピュータのデータ利用, 検索可能な地域情報(数値データ, 地域電話帳等), ビデオライブラリ, 住民参加(見るだけではない INAJIN 型参加). 時期 : できるだけ早く x 3, 早急に x 3, 来月から, 来年度から, 料金・内容次第
7	インターネット接続は速度を落としても良い. MPEG はクライアント側にハードウェアが無いと現状では使い物にならない x 4. 東京との太い回線が欲しい x 2. 今回もっとも気に入ったのは柴田さんが作った電子紙芝居

Adaptive 機能が回線特性に比して伝送レートを高めに設定しがちであること, 再トレーニング開始条件が緩すぎる傾向があることから, 適切な最大伝送

表 5 作業時間

作業内容	数量	総時間 (秒)	時間/件 (秒)
DSLAM ボード取付	8	1288	161
DSLAM ポート設定	6	36	6
RT 機能確認	13	1057	81
スプリッタ機能確認	12	714	60
配線工事	6	2323	387
局側総工数			695
ユーザ側設定	9	5108	566
設置総工数			1261

レートを選んでトレーニングしないと, 伝送途中に頻りに再トレーニングに入ってしまう. このため, 最適設定には Cut&Try が必須である. BER 測定でエラーが許容範囲内に納まる条件で最大の伝送レートを得ようと調整したところ, ユーザ側設定に約 2~3 時間かかった. このため, 運用コストを考えると, モデムの最大伝送レートを上げることは好ましくない. ADSL の多くのトライアルやサービスで最大伝送レートを 1.5 Mbps 程度に抑えているのは, 一つには運用コスト低減があると考えられる.

6.5 設備投資額

いなあいネットに ADSL によるインターネット・サービスを導入するものとして, 次の仮定の下に設備投資額を算定して見る. 仮定 1 : インターネット・サービス加入率を 14%程度とする. 仮定 2 : 各局での収容加入者数が均一とする. 仮定 3 : 加入者の収容は DSLAM で行い, HUB を介してルータにつなぎ, 各ルータ間を HDSL モデムで接続するものとする. 仮定 4 : 局間の接続は図 1 に従うものとする.

この仮定の下で 8,87 加入者を 9 局で分けると, 1 局あたりの ADSL 回線の本数は約 14 (回線でよい). この場合, 局側に DSLAM (一種の集合モデム) が必要になるが, West 社の FlexCap を例にすると, 10 台の DSLAM が必要になるため, POTS スプリッタや電源等を含めて 1 局辺り 2,097 円である. これに HUB (14ポート以上必要であるから 70 万円程度) が加わるため, DSLAM 周辺の機器は 9 局合計で 19,4 万円となる.

8 支局には Ethernet for T1, V.35 型モデム

~2程度のルータ(約50万円)が必要なため、HDSLモデム(1対向約50万円)8対向と合わせて、8局合計で800万円が必要である。

本局のルータはEthernet Port 1でV.35 Serial Port 7程度の使用のもの(約300万円)が必要である。このため、全体の投資総額は、20,567万円となる。従って、ユーザー人当たりの投資額は約16.6万円である。表4によれば、ユーザの望む初期費用の最大値が7万円(半数は5万円以内)、月額最大値1万円(半数は5千円以下)であるから、半数の人を満足するサービス提供を行うには、インターネット接続料金が通常3,000円定額であることを考え、投資の回収には約5年($\frac{166,000-50,000}{5,000-3,000}$ 月)が必要になる。

一方、ユーザ側の負担額はモデムとPOTSスプリッタを含めて13.5万円である。これも、ユーザの望むモデムの最大値が5万円程度であることを考えると、かなり高額である。また、この設計ではDSLAMで集線後、特に局間のHDSLがスループット上のボトルネックになっているのも問題である。

上記から、現状でのサービス提供は無理であると判ったため、以下に解決方法を検討する。先ず、モデムに関しては、急速に低価格化が進んでおり、既にUS\$600程度のものが販売されている。⁵従って、モデムコストによる初期費用の増大は今後急速に解消されていくものと考えられる。センタ設備に関しては、マイクロソフトのWhitePaper^[10]が提唱しているようなATMベースのADSLを使い、局間の光ファイバを使ってDSLAMをOC3cで相互接続する方法が次世代のADSLシステムとして有望である。この構成では、局間のボトルネックが解消されるだけでなく、設備構成が本支局のDSLAM(9台)と本局のルータ(1台)だけとなるため、設備の大幅縮小が可能になる⁶。また、このようなDSLAMの加入者1人あたりの収容コストもUS\$225~\$1,375と公表されている。このため、近い将来ではセンタ設備の加入者1人あたりのコストは最小3万円程度で実現できるであろう。従って、この種の機器の出現後では、表4のユーザ期待価格で十分にサービス

提供できると考えられる。

もちろん、上記の金額には設置料金やケーブル接続料金は含まれない。これらの金額は設置工数から求める必要があるが、移動時間を考慮しなければ、表5に示すように軽微である。

7. おわりに

本稿では、特に、有線放送電話網を21世紀のマルチメディア網としてどのように位置づけるかの観点から、長野県伊那市で行った有線放送電話網を用いたxDSLの公開実験結果を紹介した。現時点までに得られたデータによれば、有線放送電話網はデジタルTV放送、音声デジタル放送にとって有望なメディアであることが期待できる。ATM対応等、この分野の機器の進歩は目覚ましく、現在急速なコストダウン、高機能化が進行しているため、現在の課題である設備費の低減も早晚解決されると考えられる。最後に、伊那xDSL利用実験連絡会に参加して実験網構築運用や回線測定等の作業に参加して頂いた多くの企業、並びにユーザとして種々の有益な情報を提供して頂いたINAJI Nのメンバに感謝する。

参考文献

- [1] 伊那xDSL利用実験連絡会. 有線放送電話網の高度化とxDSL公開利用実験. インターネット研究会第1回ワークショップ, 電子情報通信学会, pp. 83-88, Oct. 1997.
- [2] <http://www.lab.kdd.co.jp/ina/>.
- [3] <http://www.adsl.com/triaatrix.html>.
- [4] 浅見徹. 初夢 - 21世紀における技術情報の発信はこうなる -. 電子情報通信学会誌, pp. 4-9, Jan. 1997.
- [5] <http://www.adsl.com/generaltorial.htm>
- [6] <http://www.adsl.com/adslutorial.htm>
- [7] <http://www.cup.hp.com/netperf/NetperfRge.html>.
- [8] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 1889, IETF, Jan. 1996.
- [9] 伊藤嘉浩, 石倉雅巳, 浅見徹. リアルタイム通信特性評価用トラフィックジェネレータ/アナライザの評価. 信学技報, D97-47, Jun. 1997.
- [10] <http://www.microsoft.com/industry/telecom/whitepaper/adsl2.htm>

⁵ 最大伝送レートを6Mbps以上に設定できるものの場合。

⁶ その他、局側モデム数の削減、PPPダイヤルアップ接続によるルータ設定工数の削減等、副次的効果が多々ある。