

有線と無線の組合せによる 二つのデジタル・ディバイド解消システム に関するフィールド試験について

村田嘉利[†] 真野浩^{††} 森岡仁志^{††}

地上波デジタルテレビ放送および高速インターネットのサービスエリア外である二つのデジタル・ディバイド地域の多くは、人口集中度の低さから電気通信事業者の投資インセンティブが働きにくく、ブロードバンドの促進が図れないという問題がある。同様に地上波デジタル放送を促進する観点では、難視共聴施設を利用する地域住民から設備更新に係る費用問題が出されている。特に東北地域には、こうした二つのデジタル・ディバイドの課題を抱える地域が多く、経済的かつ効率的にこの問題を解決するシステムが求められている。

筆者らは、対象エリア内の住戸配置の状況等に適したネットワークシステムとして、光ファイバーを用いてチェーン状に各戸を結び、対象地域までのエントランス回線として地域 WiMAX を使用するネットワークシステムを提案している。本論文では、本システムと他システムとの経済性比較について述べる。また、これから予定しているフィールド試験について述べる。

Wired and Wireless Combining Communication Network to solve the Two Digital Divides - Field Test -

YOSHITOSHI MURATA[†]
HIROSHI MANO^{††} HITOSHI MORIOKA^{††}

There are many double digital divide areas in Tohoku-Area, Japan. These areas are out of the digital terrestrial broadcasting service and the fast internet service. Because of low population density in these areas, most of network operation carrier will be negative to establish FTTH. The other hand, it will take too much cost to deploy the community receiver units for the digital terrestrial broadcasting. A new network system which economically solves this double digital divide is needed.

We propose a new network system to solve this problem. This system consists of WiMAX as an entrance line and chain connected optical fiber networks as a local area network in the double digital divide area. In this paper, system cost of this system is compared with the existed one, and a field research test plan is introduced.

1. はじめに

地上波デジタルテレビ放送および高速インターネットのサービスエリア外である二つのデジタル・ディバイド地域の多くは、人口集中度の低さから電気通信事業者の投資インセンティブが働きにくく、ブロードバンドの促進が図れないという問題がある。同様に地上波デジタル放送を促進する観点では、難視共聴施設を利用する地域住民から設備更新に係る費用問題が出されている。特に東北地域には、こうした二つのデジタル・ディバイドの課題を抱える地域が多く、経済的かつ効率的にこの問題を解決するシステムが求められている[1]。

従来から研究されている二つのデジタル・ディバイド対策システムとしては、経済的に対象地域をカバーするためには無線が有効であるとの考えから、高速インターネットおよび地上波デジタル放送のサービスエリア内からデジタル・ディバイド対象地域までのエントランスだけでなく、対象エリア内も無線システムを積極的に利用するものが多い[2, 3]。このネットワークアーキテクチャは住戸が面的に広がっている場合には有効であるが、住戸が数本の道路沿いに建っており、その総戸数が数十である場合には必ずしも最適とは言えない。筆者らは、これまでに岩手県盛岡市とその周辺に散在する二つのデジタル・ディバイド地域を実地調査し、住戸数は数十戸以下で、一本道路の特定エリアあるいは交差点付近に集中していることを確認した。また、住戸間の距離は200m以内がほとんどであることを確認している。我々は、このような特徴を有するエリアに適する方式として、住戸間に光ファイバ・ケーブルをチェーン状に渡し、エントランス回線として WiMAX (802.16.e) を利用するネットワーク構成方式を提案している[4, 5]。本方式をチェーン敷設方式と呼んでいる。

これまでの研究において、IP マルチキャスト技術を利用してテレビ番組を4ch再送信し、パソコンで見る限り十分な画質を得られることを室内環境で確認している。その時の伝送帯域から、6chまでは対応できると推定している。また、海底ケーブルを学内の道路に寝かし、自動車等で踏んでも回線断といった問題が起きていないことを確認している[5]。しかし、チェーン敷設方式を市場導入するためには、住民自ら光ファイバ・ケーブルを敷設出来るか否か、実際の生活道路上にケーブルを寝かせた状態で岩手の冬を越しても問題ないかをフィールド試験で確認しておく必要があると考えている。現在、岩手県北上市更木内に存在する二つのデジタル・ディバイド地域の住民の方々の協力を得て、フィールド試験を2009年11月から実施できるよう準備を行っている。

[†] 岩手県立大学
Iwate Prefectural University

^{††} ルート株式会社
Root inc.

本論分では、チェーン敷設方式について既存方式との具体的なコスト比較を行うと共にフィールド試験の計画について述べる。まず、次章において提案方式であるチェーン敷設方式について、ネットワークアーキテクチャ、ネットワーク構築に利用する光ファイバ・ケーブル、加入者集線装置について説明する。続いて3章ではチェーン敷設方式と既存の域内ネットワーク構成方式であるマルチドロップ方式（ケーブルテレビで主に利用）とのコスト比較を概算レベルで行う。第4章において、今回計画しているフィールド試験について、目的、主な試験内容について述べる。第5章では、参考として、平成18年度に岐阜県下呂市で実施された二つのデジタル・ディバイドの解消に向けた伝送路実験について紹介する。最後に第6章でまとめをおこなう。

2. チェーン敷設方式

2.1 ネットワークアーキテクチャ

岩手県盛岡市およびその周辺に存在する二つのデジタル・ディバイド地域、28箇所に対して住戸数、住戸間の距離、住戸間における側溝の状態について調査を行った[5]。その結果、以下のことが分かった。

- 多くの二つのデジタル・ディバイド地域の多くが、交差点周辺や幹線道路の特定エリアに集中しており、その戸数は数十戸以内である。
- 住戸間の距離は、殆どが200m以内である。
- 住戸間には、土を掘っただけの溝が多く、次いでU字溝、小河川があった。
- 各戸は交差点周辺に集まっている場合についても数本の道路に沿ってその両側に建っており、都会のように面的に各戸が広がっている訳ではない。

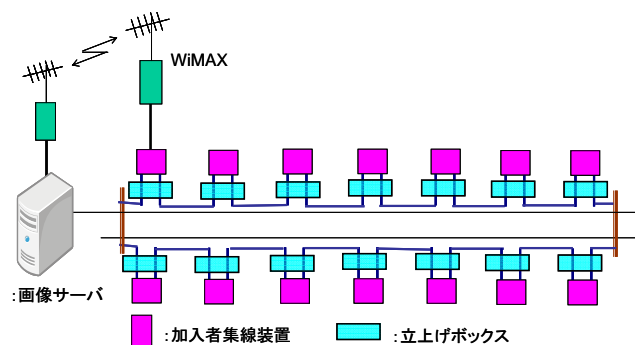


図1. チェーン敷設配線

- 村落の周辺部にいくに従い、隣の住戸との間の距離が長くなる傾向にある。

従来のデジタル・ディバイドとして提案されているネットワークアーキテクチャは、エントランス回線ばかりでなく、域内においても無線LANを利用している[2, 3]。これは、域内におけるネットワーク敷設が容易であり、設備として中継ノードおよび端末との間のアクセスポイントAPだけであることからコストダウンが図れるため、との理由によるものと考えられる。しかし、中継用無線LAN802.11jの装置価格がまだ高価であることに加えて、先に述べたようにデジタル・ディバイド地域における住戸間距離が100m以上離れており、夏季に草木がおい茂る、あるいは冬季に降雪が多いエリアでは、安定した見通し回線を確保することが難しいことから、無線LAN802.11jの導入が進んでいないのが実情である。

以上のことから、筆者らは、域内において無線LANの代わりに光ファイバ・ケーブルを適用し、住民自ら工事可能なネットワークシステムの実現を目指している。具体的には、

- (1) 図1に示すように住戸間を、光ファイバ・ケーブルをチェーン状に結んだ上でループ化する。
- (2) 光ファイバ・ケーブルを民地あるいは道路の側溝に這わせる。
- (3) 光ファイバ・ケーブルとして、50m、100mといった長さで両端にSCコネクタを接続した海底ケーブルを在庫として保管しておく。
- (4) TV放送については、IPマルチキャスト技術を利用して集約配信を行う。

提案理由を以下に示す。

- (1) 光ファイバ・ケーブルを使ってチェーン状に結ぶ方式は、敷設工事は容易だが、どこかでケーブルが切断するとその先にある全ノードに伝送することが出来ず、ケーブル断の影響が大きいと言われている。しかし、2つのデジタル・ディバイド地域の住戸数は数十戸以内であることから、ループ状にしておけばケーブル断の影響を低く抑えることができ、工事の容易性を生かせる。
- (2) 電柱を利用してケーブルを張る場合、特殊車両や特殊工具が必要となることから、住民自ら工事を行うことは困難となり、高価な装柱工事コストがかかってくる。国道の側溝にケーブルに這わせるのは、許可を取るのが大変であるが、対象地域においては多くの住戸を民地渡し可能であり、それが不可能でも村道や市道であれば敷設許可を取るのが容易である。
- (3) 通常、海底ケーブルは、受注生産であり、ドラム巻きで販売されている。敷設場所にあわせて切断し、両端にコネクタ等を取り付けて使用される。これでは、既設ケーブルが切断した際に即応することが出来ない。また、SCコネクタの取り付けに特殊な工具が必要であり、作業にもノウハウが必要であることから、住民

自ら行うことは難しいと考えられる。そのため、住戸間の距離に柔軟に対応でき、切断時に即応できるよう、SCコネクタ付きで長さの異なる数種類のケーブルを在庫として用意しておく。これにより、ケーブルが切断された場合、在庫のケーブルに切り替えるだけで済むようになる。

- (4) エントランスとしての WiMAX の回線帯域が限られていることに加えて、対象エリア内における住戸数が数十と少ないことから IP マルチキャストをおこなってもパケットの輻輳問題はほとんど発生しないと考えられる。

2.2 光ファイバ・ケーブル

光ファイバ・ケーブルを選択するに当たり、自動車等に踏まれてもケーブル断とらないものを選択するため、写真1の丸形海底ケーブルとそれより外的衝撃に強い外装ケーブルを学内の道路に敷き、自動車や人に踏ませる試験をおこなった。その結果、半年を過ぎた時点で、どちらのケーブルにもトラブルはでていない。以上のことから、現在のところ、コストの安い丸形ケーブルで十分利用可能と考えている。また、住戸間の距離に合わせるために複数の海底ケーブルを結合する必要がある。一般的には、写真3に示すような成端箱を用いるが、写真4のように木片上でコネクタ結合し、融着テープで巻きつける工法も検討している。これまでの実験では、このような簡易工

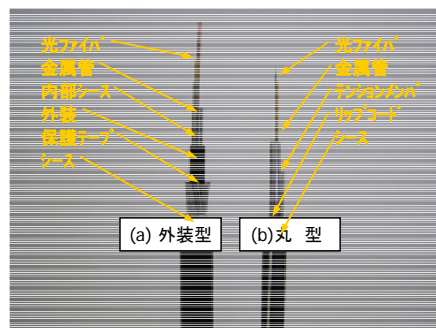


写真1. 検証に利用したケーブル



写真2. 衝撃テスト風景



写真3. 成端箱



写真4. 木片を利用したケーブル連結

法でも問題はでていない。

2.3 加入者集線装置

今回試作した加入者集線装置の構成を図2に示す。域内の有線回線構成として、ループ構成も可能なように光インターフェースを2つ用意した。また、屋外設置を前提としているため、宅内より Power over Ethernet (PoE) によって光スイッチおよびルータ基板に給電することで、屋外電源工事を不要とした。エアコンのダクト等を利用してイーサ・ケーブルを1本通せれば、屋内への引き込み工事也不要となる。ルータ基板には、CPUに Intel IXP425 を搭載、100Base-TX インターフェースを2個搭載しており、OSとして NetBSD が動作している。収納ケースは設置環境によってファンやヒーターを収納できるようスペースを確保している。試作品の外観および内部を写真5に示す。

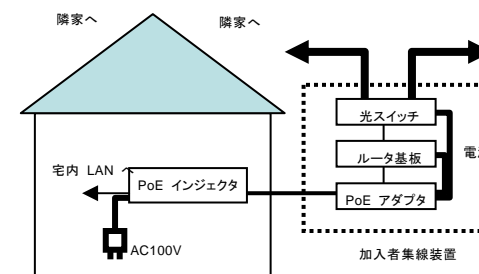


図2. 加入者集線装置構成



写真5. 加入者集線装置の外観と内部

3. 域内ネットワーク構成比較

3.1 定性比較

二つのデジタル・ディバイド域内にある住戸をネットワーク化する方法について比較評価する。既存方式としては、前出の 802.11j 無線 LAN の他、CATV で利用されているマルチドロップ方式[6]、NTT の PON[7-11]がある。これらと今回提案のチェーン敷設方式を比較する。ネットワークの基本構成を図 3 に示す。比較項目としては、以下とした。

- ・ コスト (安 1 ⇔ 3 高)
- ・ 工事の難易度
- ・ 伝送速度 (速 1 ⇔ 3 遅)
- ・ 信頼性
- ・ マルチキャスト対応

比較評価結果を表 1 に示す。

802.11j 無線 LAN による中継方式は、見通しであれば十分なスループットが得られるが、見通しを草木が遮断、アンテナに雪が付着するなどにより、スループットは急激に低下すると言われている。また、マルチキャストではトランスポートレイヤーでの再送が無いことから、無線 LAN のように伝送路誤りが大きい方式ではパケットロスにより画像フレーム抜けが多発する可能性が高い。実際に販売されている 802.11j 無線 LAN はまだ高価である。マルチドロップ方式および PON では、架空配線が標準であることから電柱が必要となる。それに伴い、配線工事に特殊車輛が必要

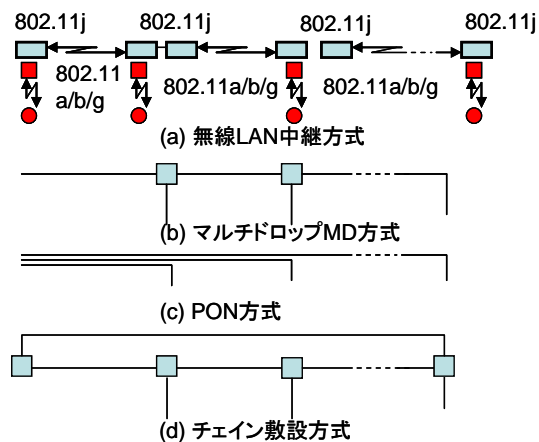


図 3. 域内におけるネットワーク構成候補

となり、住民あるいは町の事業者が行うのは難しいといえる。これらの点からコスト面での問題がある。PON 方式は 2 階層スター配線であることから、集合住宅や多数の住宅が面的に広がっている場合には優位であるが、今回のように数本に道路沿いに 100m 以上離れて住戸が散在する場合にはコスト面で優位とは言えない。

表 1. ネットワーク構成の定性比較

| | 802.11j | マルチドロップ | PON | チェーン |
|-------|---------|---------|-----|------|
| コスト | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 工事 | 難 | 難 | 難 | 易 |
| 伝送速度 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 信頼性 | △ | ◎ | ◎ | ○ |
| MC 対応 | △ | ○ | ○ | ○ |

3.2 コスト比較

筆者の 1 人がケーブルテレビ事業に携わっており、その関係で得た情報を基に、本研究で提案しているチェーン敷設方式とマルチドロップ方式について、コストの概算比較を行った。

比較に当たって、住戸数は 10、住戸間の距離は 100m とする。

【チェーン敷設方式におけるコスト】

チェーン敷設方式におけるコスト要因と概算額を以下に示す。

- ・ 光ファイバ・海底ケーブル 単価 A : 10 万円 / 100m
- ・ 加入者集線装置(L2SW) 単価 B : 2 万円 / 装置

工事を住民自ら行うとした場合、ネットワークをループにしないときのコスト S1 は、

$$S1 = 9 * A + 10 * B \\ = 110 \text{ 万円}$$

ループをつくる場合は、終端同士的位置関係により大きくことなり、

$$120 \text{ 万円} \leq S1 \leq 200 \text{ 万円}$$

となる。

【マルチドロップ方式】

マルチドロップ方式のコスト要因としては、

- ・ 光ファイバ・ケーブル 単価 C = 50 円 / m

- ・ ONU(Optical Network Unit) 単価D = 8万円/装置
- ・ 電柱使用料 単価E = 1.25万円/本/年 (電柱の本数は、3.3m間隔で立っているものとする)と30本)
- ・ ケーブルの引き込み工事費用
 n件目 = 4万円 + 2.5 * (n - 1) 万円

$$5 \text{軒毎の総工事費 } F = \sum_{n=1}^5 (4 + 2.5 * (n - 1)) \text{ 万円}$$

$$= 110 \text{ 万円}$$

ここでは、5軒ずつスター状にドロップするものとする。10軒の場合には、左右にそれぞれ5軒ずつとする。工事を業者に依頼する場合の総コストS2は、

$$S2 = (1000m + 1500m) * C / 10000 + 10 * D$$

$$+ E * 30 + F$$

$$= 12.5 + 80 + 37.5 + 110$$

$$= 240$$

以上より、チェーン敷設方式はケーブル単価がマルチドロップ方式に比べて20倍高価となるが、工事費がゼロとなることにより、総コストは逆転する。なお、前出のコスト計算は、ある工事業者の工賃を基にしていることから工事業者によって工賃に若干の変動はあるが、マルチドロップ方式の方が安価になる可能性は低いと思われる。海底ケーブルの単価が利用エリアの拡大により低減する可能性が高く、保守の際の工事費用、およびランニング費用である電柱使用料を考慮すると、両者のコスト差は更に開くものと考えられる。

4. フィールド試験計画

2009年11月より、先に述べたチェーン敷設方式によるネットワークを構築し、高速インターネットおよびそれを利用したIPマルチキャストによるテレビのストリーム配信実験を行う。今回は、エントランス回線としてのWiMAXを電波免許関係で利用できないこと等から、近くまで光ファイバーがきている2つのデジタル・ディバイド地域ということで、岩手県北上市更木地区でフィールド試験を実施することとした。対象地域は20戸弱の集落であるが、試作した加入者集線装置が10台であったことから、ネットワークを組み易い10家屋の協力を得てフィールド試験を行う予定である。住戸の配置とネットワークトポロジを図4に示す。今回は、対象地域まで、研究に協力頂けることになった北上ケーブルテレビが敷設して

いた光ファイバ・ケーブルに今回調達した海底ケーブルを直接接続することとした。図4から分かるように、ほとんど民地渡しによりケーブルを敷設する予定である。

地上波デジタル放送のストリーム配信が最終目標であるが、設備上の問題等から地上波アナログ放送を再送信することとした。実験に当たっては、岩手県立大学が放送事業者の申請を行い、実施することとした。TVのチャンネル数としては、6chを予定している。システム構成を図5に示す。本局舎では、TV受像機のアナログ出力をビデオコンバータ(カノプスADVC300)に入力し、その出力をエンコードする。L2SWを介してテレビ6ch分を統合し、マルチキャストルータを経由してメディアコンバータに入力する。本局舎から対象地域先に設置する中継局舎まで北上ケーブルテレビの光ファイバーで接続する。中継局舎では、メディアコンバータの出力をL2SWに入力し、その出力端を各住戸にチェーン状に接続していく。PoEインジェクタとしてPoE-ZS251Tを利用する予定である。

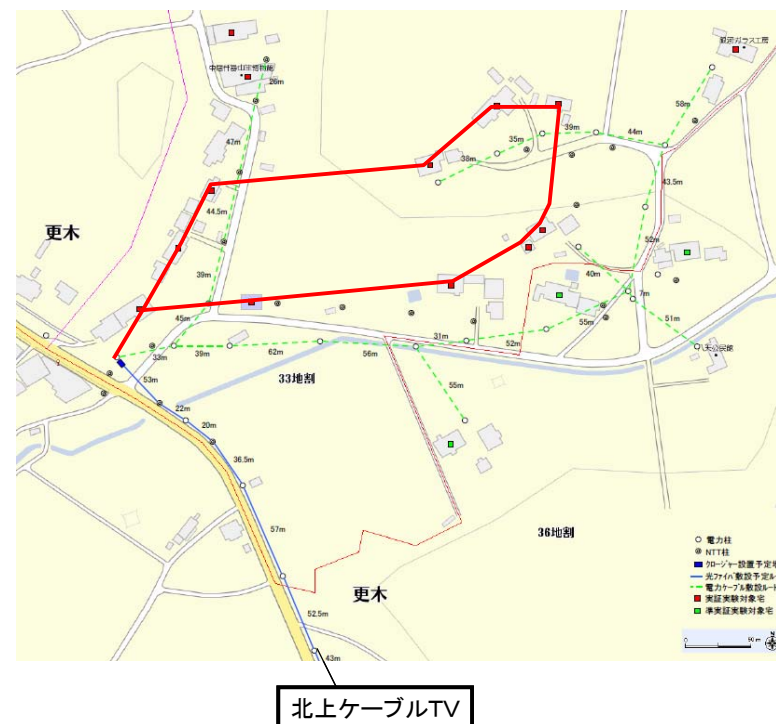


図4. フィールド試験地域のネットワークトポロジ

試験項目としては、以下を考えている。

【チェーン敷設工法】

- ・ 工法の確認：工事業者の他に地元住民および学生がケーブルの敷設に従事することにより、住民あるいは特殊な工事ノウハウを持たない者でもケーブル敷設可能であるか否かを検証する。また、課題を抽出することにより、工法の改善につなげる。
- ・ ケーブル耐久試験：大学で海底ケーブルの耐久性について測定をしてきたが、冬季の試験によりケーブルの耐寒性能を調べる。

【伝送品質】

- ・ IPマルチキャストにより6ch同時に再配信をおこなったときの伝送特性および画質に関する主観評価を行う。
- ・ 上記の状況下においてインターネットアクセス時のスループットを測定する。
- ・ 加入者集線装置を屋外においた時の課題を抽出する。

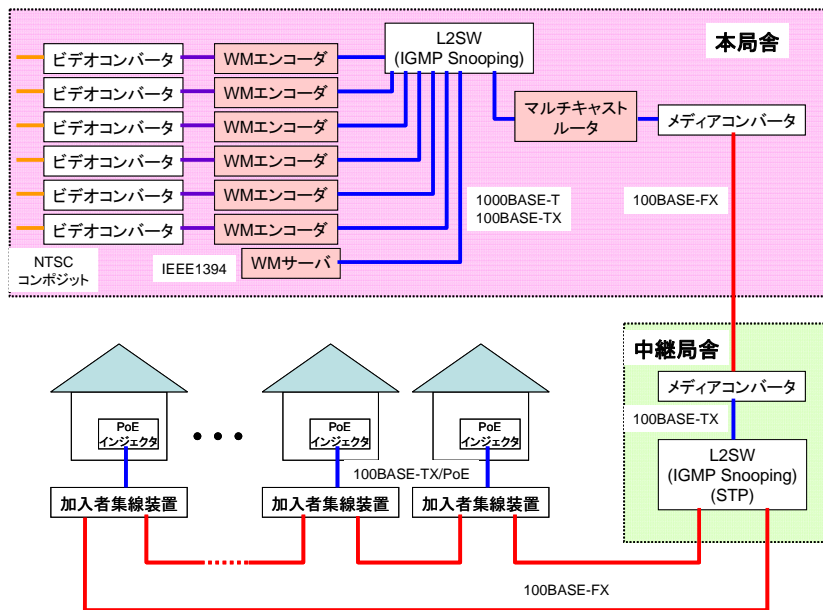


図5. フィールド試験におけるネットワーク構成

5. 関連研究

NTTインフラネットらは、地上デジタル放送の難視聴地域と域内デジタル・ディバイドの同時解消に向けた「通信と放送の伝送路融合型」18/19GHz帯無線アクセスシステムの伝送実験を岐阜県下呂市で行っている[3]. この実験では、図6に示すように、エントランス回線として18/19GHz帯無線システムを利用し、対象エリア内では光ファイバーの他、中継用に802.11j無線LAN、各戸へは802.11g無線LANを利用した伝送路についても実験を行っている。

準ミリ波無線システムの伝送試験は、下呂総合庁舎と約2.6Km離れた古関無線局間で、9ヶ月に渡っておこなっている。実験期間中、CNRが回線設計上の所要値である30dB以上を常に確保できている。伝送路誤りも有線テレビジョン放送法施行規則で定める「受信点におけるビット誤り率の規定値 1×10^{-4} 以下」を上回るようなBERは観測されていない。下りのスループットはFTPで40.49Mbps、UDPで34.69Mbpsとなっている。

この実験では、802.11jを利用して1ホップ中継している。802.11j無線LAN間の距



図6. 「通信と放送の伝送路融合型」18/19GHz帯無線アクセスシステムの伝送実験

離は 0.6Km および 1.2Km である。1 ホップした時のスループットは、上りでは 20% 程度の劣化、下りで 50% 弱の劣化となっている。上りと下りで大きく異なる点に関しては、原因不明とある。各戸を光ファイバーで結ぶ実験における配線形式は CATV のマルチドロップ方式を採用している。当然であるが、伝送品質上の問題はないと報告されている。

動画配信はユニキャストを利用しており、無線 LAN 利用時は 6 台同時接続でも良好に視聴できたとある。なお、画像コーデックは XVD を利用している。

この実験では、準ミリ波帯無線システムをエントランスとして利用しており、見通しでないところに敷設するのが困難となる。無線 LAN とユニキャストによる動画配信では、同時端末数が 6 程度であるので、回線のルートとその本数を適正化する必要がある。また、無線 LAN による伝送中継実験は 0.6Km と 1.2Km の 1 ホップとなっており、100m 程度の間隔で数十の住戸が数珠つなぎになっているエリアへの適応については、中継方法を工夫する必要がある。

6. まとめ

高速インターネットと地上波デジタル TV の 2 つのサービスに対するデジタル・ディバイドを解消するネットワークシステムとして、エントランス回線に無線システム WiMAX を使用し、光ファイバーを使って対象エリア内の住戸をチェーン状に結んでいくシステム（チェーン敷設方式）の開発を進めている。今回、提案方式とケーブルテレビで利用されているマルチドロップ方式とコスト比較を行った結果、提案方式ではケーブルのコストが大幅に増加する一方で、工事費がゼロあるいは大幅に減少することから、チェーン敷設方式の方がトータルコストとしては優位であることを示した。また、本ネットワークシステムを現場に導入できるか実証するために行うフィールド試験の計画についても紹介した。

謝辞

本研究は総務省 平成 20 年度 戦略的情報通信研究開発推進精度(SCOPE) 地域 ICT 振興型研究開発 「有線と無線の組み合わせによる二つのデジタル・ディバイド地域の課題を解消する研究開発 (082302013)」によるものです。ここに記して謝意を表します。

フィールド試験の準備を進めるに当たり、フィールド試験地域の選定から、そこまでの光ファイバーの延長、住民と調整等、と多大なご尽力を頂いた北上ケーブル様に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 「通信と放送の 2 つのデジタル・ディバイドを解消する情報通信技術に関する調査研究会」報告書、東北総合通信局、2007
- [2] 「地域ワイヤレスブロードバンド整備への取組み」、
http://www.itca.or.jp/wireless/contents/00wicbb_kaiin.pdf
- [3] 「岐阜情報スーパーハイウェイを活用した、地上デジタル放送の難視聴地域と域内デジタル・ディバイドの同時解消に向けた「通信と放送の伝送路融合型」18/19GHz 帯無線アクセスシステム実験の結果について」、
http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11120/shw_jikken/shw_h1907.htm
- [4] 村田 嘉利, 真野 浩, 森岡 仁志, 「有線と無線の組み合わせによる二つのデジタル・ディバイド解消システムの提案」, 電子情報通信学会 2009 年全国大会シンポジウム, 愛媛県松山市, 2009 年 3 月
- [5] 村田 嘉利, 真野 浩, 森岡 仁志, 「有線・無線組み合わせによる経済的デジタル・ディバイド解消システムの提案」, 情報処理学会 DICOMO 2009, 大分県別府市, 2009 年 7 月
- [6] 山本浩明, 新保努武, 森倉晋, 「マルチドロップ型光伝送システム（上り系）における伝送品質に関する理論検討」, 電子情報通信学会論文誌 B, 通信, pp. 2274-2280, 2001. 12
- [7] 技術基礎講座「GE-PON 技術 第 1 回 PON とは」, NTT 技術ジャーナル, Vol. 17, No. 8, pp. 71-74, 2005
- [8] 技術基礎講座「GE-PON 技術 第 2 回 IEEE802.3ah 標準企画」, NTT 技術ジャーナル, Vol. 17, No. 9, pp. 91-94, 2005
- [9] 技術基礎講座「GE-PON 技術 第 3 回 DBA 機能」, NTT 技術ジャーナル, Vol. 17, No. 10, pp. 67-70, 2005
- [10] 技術基礎講座「GE-PON 技術 第 4 回 GE-PON のシステム化機能」, NTT 技術ジャーナル, Vol. 17, No. 11, pp. 59-61, 2005
- [11] 技術基礎講座「GE-PON 技術 第 5 回今後の標準化」, NTT 技術ジャーナル, Vol. 17, No. 12, pp. 51-54, 2005