

6 ブロードバンド生涯学習映像配信システムの調査研究

マルチキャスト技術の調査検証を行い、マルチキャストを利用して離れた場所に点在する利用者に生涯学習講座の受講を可能とするブロードバンド生涯学習映像配信システムの利用調査を実施した。

6.1 マルチキャスト技術の調査、検証

6.1.1 IP マルチキャストの概要

マルチキャスト機能は、マルチメディアネットワークによって提供される数多くのサービスで利用される。なかでも、インターネットを利用したマルチキャストは QoS 制御やルーティング制御と密接に関連した重要な技術として近年活発に議論されている。以下、インターネット上での IP マルチキャストの技術概要について述べる。

マルチキャストとは、同一情報を複数のホストに送る配送方式のことである。同一情報を複数のホストに送る手段としては、以下の3つがあげられる。

ユニキャストによる逐次同報配信

ブロードキャスト

マルチキャスト

のユニキャストによる逐次同報配信は、同じ内容のデータを配信数の数だけ同時に配信する方式であり、配信数が増えれば増えるほど配信装置、ネットワーク機器の負荷が大きくなる。また、この方法では配信装置はすべての受信装置の宛先を事前に知りえなければならない。のブロードキャストはブロードキャストアドレスという特殊な宛先を利用するものでネットワーク機器がブロードキャストアドレスを理解し、受け取ったデータを到達可能な全てのメディアに同報する配送方式であり、イーサネット等の低レイヤで利用されている通信方式である。ブロードキャストを利用してデータを配信することで配信装置は単に一配送分のデータを配信するだけでよく、配信装置負荷を低減させることはできるが、受信する必要がないノードもデータを受信してしまったり、ネットワーク全体の負荷をあげてしまったりすることになる。

のマルチキャスト配信はマルチキャストアドレスという特殊な宛先を指定することで、ネットワーク機器が特定のマルチキャストグループだけにデータを同報する方式である。ネットワーク機器がマルチキャストグループを管理する必要がでてくるが、配信装置の負荷を低減すると同時に、ブロードキャストのようなネットワーク全体の負荷を上昇させることなく同報可能な配送方式である。

配信装置が事前に受信装置の宛先を知る必要がなく、ネットワーク全体で通信量を抑えることが可能であることから、これらの配送方式の中で最も効率的に多地点へ配信できるのはマルチキャストであるといえる。

6.1.2 IPv6 マルチキャスト

IP マルチキャストとはマルチキャストを IP レイヤで実現するものである。IPv4 に対応したマルチキャストは IP 通信の拡張として RFC1112 で規定されている。IPv6 においてはマルチキャストは必須の機能であり、ブロードキャストはマルチキャストの一つの形態として統合された。

IPv4 でのマルチキャストは、多数の映像受信装置端末にデータを配信するための IP アドレス数の制約や相互接続性の確保など仕様における課題も少なくなかった。一方 IPv6 は、IPv4 に比べルーティングに係る負荷が小さく、マルチキャストもルーティングに依存する配信方式であることから、IPv6 のほうが IPv4 よりもマルチキャストに適しているという言い方ができる。

(1) 簡素化されたヘッダによる負荷低減

例えば、以下の図 6-1にあるように、IPv6 では IPv4 の斜線部のヘッダが削除されてヘッダ構造が簡素化されている。簡素化されたといってもこれらは必要な場合には拡張ヘッダとして追加されるため機能を低下させたわけではない。

ルータでは基本ヘッダの検査を行いながらパケットの転送処理を繰り返していくので、より簡素化された IPv6 ヘッダの方がルータの負荷は小さくなる。加えて、IPv4 では拡張ヘッダも全て検査対象となっているのに対し、IPv6 では最終のノードに到達するまで拡張ヘッダが検査されることがない。このことから IPv6 は IPv4 に比べ通信経路上のルータの処理負荷を軽くすることができ、このことはマルチキャストにもそのまま適用させることができる。

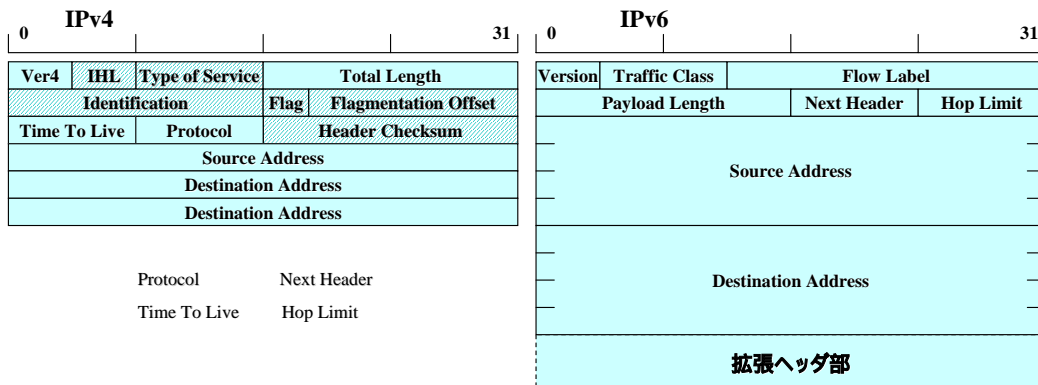


図 6-1 IPv4、IPv6 ヘッダフォーマット

(2) 階層化されたアドレス構造による負荷低減

図 6-2、図 6-3は、それぞれIPv6 アドレス構造、IPv6 階層化アドレスを示したものである。IPv6 では、TLA-ID は大規模プロバイダにアサインされ、NLA-ID は TLA に属するサイトにアサインされ、SLA-ID は NLA 内で自由使用される、といったように予めアドレスが階層化されている。そのため、ルータが持つルーティング情報は省略し簡素化することができる。つまり、NLA に属するルータは、「上位の TLA に属する」という情報だけ持てばよく、TLA に関する詳細な情報を持つ必要がなくなるのである。

これもルータ負荷を低減させている理由の一つである。

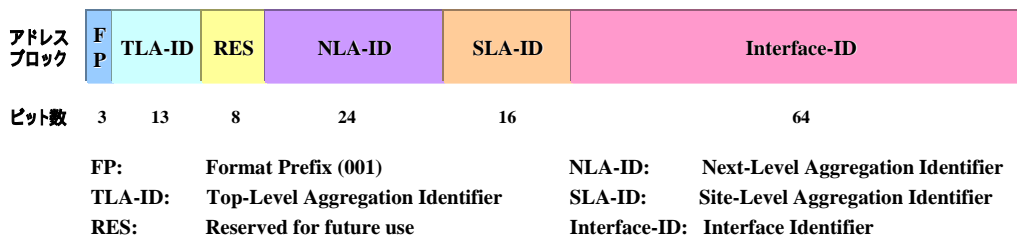


図 6-2 IPv6 アドレス構造

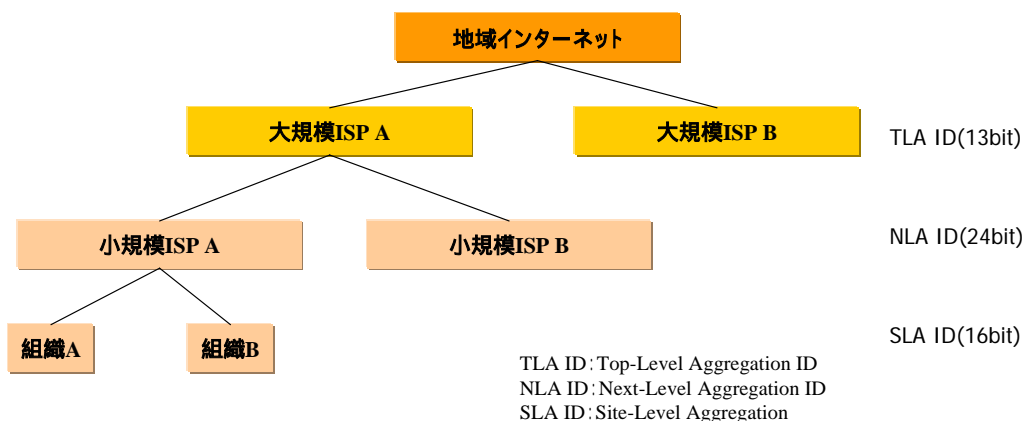


図 6-3 IPv6 階層化アドレス

(3) IP マルチキャストで利用される技術

IP マルチキャストでは、マルチキャストパケットの転送及びマルチキャストグループの管理を実現するために以下の技術を利用する。

マルチキャストルーティングプロトコル

MLD(マルチキャストリスナーディスカバリ)

MLD Snooping (グループマネージメントプロトコル)

はマルチキャストルータ間でマルチキャストを転送するために必要なプロトコルであり、はエッジのマルチキャストルータと end ノード間でマルチキャスト配信を行うためのプロトコルである。はエッジスイッチにおいて受信装置に効率よく配信するための技術である。図 6-4にマルチキャストトラフィックの流れを示す。

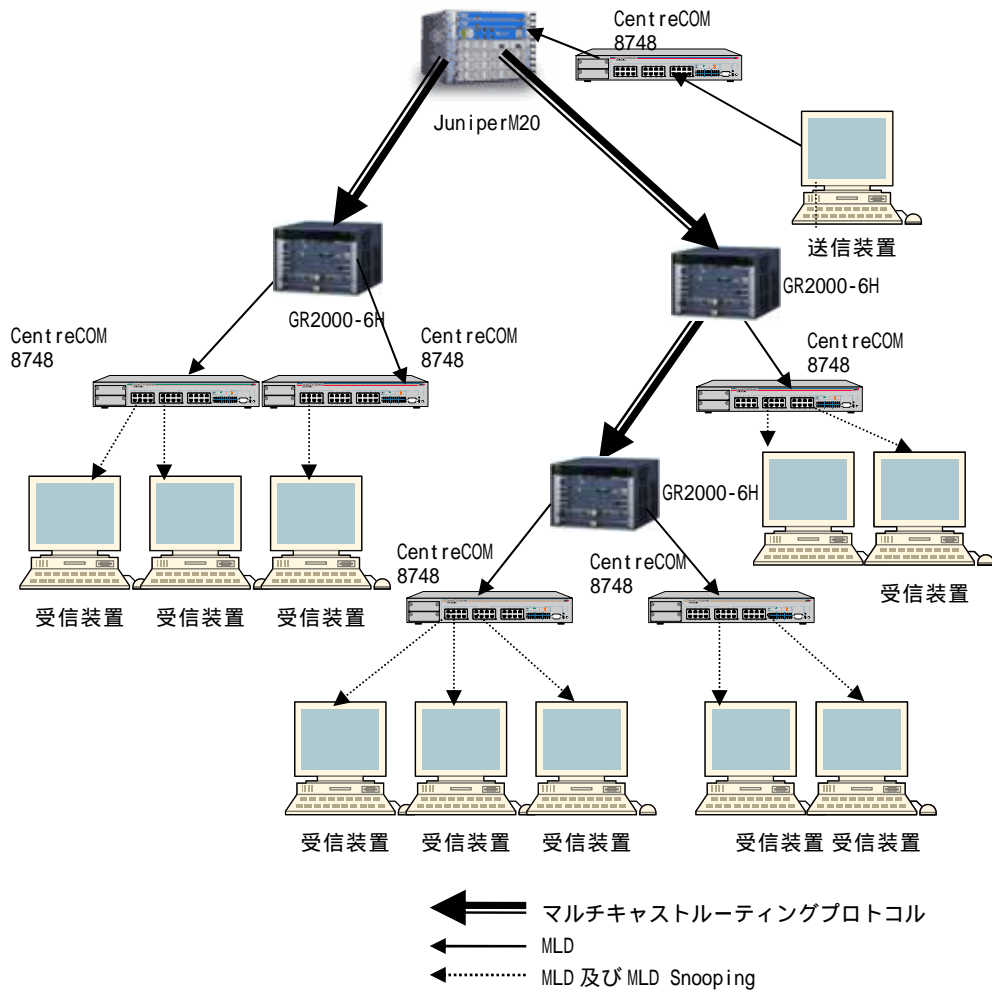


図 6-4 マルチキャストトラフィックの流れ

6.1.3 マルチキャストルーティングプロトコル

マルチキャスト配信経路のことをデリバリツリーという。マルチキャストルーター間でマルチキャストトラフィックを転送するデリバリツリーを形成するためにマルチキャストルーティングプロトコルが利用される。マルチキャストルーター同士はマルチキャストルーティングプロトコルを利用してデリバリツリーの延長や削除を連絡しあう。以下に一般に利用されるマルチキャストルーティングプロトコルである DVMRP と PIM についてその概要を説明する。

6.1.4 DVMRP

(1) リバースパスチェック

DVMRM では新規のマルチキャストアドレス宛のパケットをネットワーク上の全ルータ宛にブロードキャストすることでネットワークの末端までマルチキャストトラフィックの存在を伝える。自分の配下にルータを持たないエッジルータをリーフルータというが、マルチキャストパケットを受信した各リーフルータはそのパケットに対するマルチキャストグループが自分のサブネットに存在しない場合、そのサブネットをデリバリツリーから削除する。そして、デリバリツリーから削除したことを上流ルータに対しプルーンメッセージを送信することで伝達する。プルーンメッセージとはデリバリツリー上から削除してもらうことを要求するメッセージである。この一連の動作をリバースパスチェックという。リバースパスチェックによりマルチキャストデリバリツリーが構成され、デリバリツリーの構成が終了するとそれに沿ってマルチキャスト配信が開始される。

(2) ネイバードィスカバリ

DVMRP ではマルチキャストルータのローカルインタフェースから定期的に全 DVMRP ルータ宛にネイバードィスカバリメッセージを送信し、動的にマルチキャストルータを検出することができる。

(3) グラフトメッセージ

一旦削除されたデリバリツリー上にマルチキャストグループメンバーが加入した場合はグラフトメッセージによりプルーンメッセージを取り消すことができる。マルチキャストルータはそのローカルサブネット上にマルチキャストグループを発見した場合、グラフトメッセージを上流ルータに対して送信することでプルーンメッセージを取り消す。グラフトメッセージを受信した上流ルータはさらにその上流ルータにグラフトメッセージを転送し、デリバリツリーを復活させる。

(4) ルーティングテーブルとフォワーディングテーブル

DVMRP ではユニキャスト用のルーティングテーブルとは別にネイバードィスカバリで取得したルーティングテーブルを持つ。このため、RIP や OSPF などのルーティングプロトコルが動作していなくても全く関係なくマルチキャストルーティングを行うことができる。

DVMRP のマルチキャストルーティングテーブルでは以下の項目が管理される。

送信元ネットワークアドレス サブネットマスク プリビァスホップルータアドレス TTL

図 6-5 DVMRP ルーティングテーブルで管理される項目

また、リバースパスチェックによりデリバリツリーを形成することにより
フォワーディングデータベースが作成される。以下にフォワーディングテー
ブルでの管理項目を示す。

送信元ネットワークアドレス マルチキャストグループアドレス 受信インタフェース 送信インタフェース
--

図 6-6 DVMRP フォワーディングテーブルで管理される項目

6.1.5 PIM-DM

PIM は DVMRP のように独自のルーティングテーブルを持たず、ユニキャスト用
のルーティングテーブルをそのまま利用する。このためプロトコルが簡素化され
ている。デリバリツリーの構成にはプルーンメッセージによるリバースパスチェ
ックを利用するが DVMRP のようにデリバリツリーが構成されるまで配信しない方
式とは異なり、未知のマルチキャストアドレス宛の packets はデリバリツリーが
構成されるまで下流側にルータに配信され続けける。

プルーンメッセージにより削除されたツリー上に新しいマルチキャストメン
バが参加した場合は DVMRP と同様にグラフトメッセージによりツリーの再構築を
行う。

6.1.6 PIM-SM

PIM-SM は PIM-DM より広範囲に配信するためのマルチキャスト用に設計された
プロトコルである。PIM-SM ではデリバリツリーの構成を行うために下流からの
join メッセージを待つ方式を取り入れているために、ツリーが構成されるまでの
間マルチキャストを配信し続ける PIM-DM に比べ過剰なトラフィックを抑制する
ことができる。

(1) ランデブーポイント

PIM-SM の特徴に明示的なランデブーポイントの存在がある。PIM-SM では

送信ホストと受信ホストがマルチキャストパケットのやり取りを行う場合ランデブーポイント (RP:Rendezvous Point) にお互いを登録する必要がある。

RP とは送信、受信ホストがマルチキャストメンバーに参加することを登録することでマルチキャストグループを管理することができるルータのことである。ランデブーポイントには複数のルータがなりうるが一つのマルチキャストアドレスに対し、一つの RP しか存在しない。

(2) マルチキャスト配信の動作

ネットワーク上に新規のマルチキャスト送信ホストが誕生した場合、そのマルチキャストパケットを受信した最寄の PIM-SM ルータは RP に対し、受信したマルチキャストパケットを PIM-Register メッセージでカプセル化してユニキャスト送信する。RP はその PIM-SM ルータに対し PIM-join メッセージを返送することでソーススペース最短パスツリーに参加させる。送信ホストのパケットを転送している PIM-SM ルータはマルチキャスト配信中ずっと送信パケットを PIM-Register メッセージでカプセル化して送り続ける必要がある。

一方、マルチキャストグループに参加する受信ホストを発見した PIM-SM ルータは PIM-join メッセージを RP に向けて送信しデリバリツリーを形成する。また、受信ホストがいなくなった場合はプルーンメッセージを送信しデリバリツリーから削除する。

RP を利用したマルチキャスト配信はルーフルータと RP が直接やり取りを行いデリバリツリーを決定するため途中経路に余計なトラフィックが流れないというメリットがある。

(3) ブートストラップルータ (BSR)

ネットワーク内には複数の RP が存在することができるが、マルチキャストグループに対し RP は 1 つのみである。マルチキャストグループと RP のマッピング情報をネットワーク内の全てのルータに手動で設定するのは非常に労力がかかる作業であり、ネットワーク内のルータ数が増加すればするほど困難になる。

BSR は、マルチキャストグループ/RP マッピング情報をネットワーク内のすべてのルータに配信する。これにより、ネットワーク内のルータまたはスイッチごとに RP 情報を手動で設定する必要がなくなる。

6.1.7 MLD (マルチキャスト・リスナー・ディスカバリ)

IPv6 では、IPv4 の IGMP (Internet Group Management Protocol) に相当する機能が、マルチキャスト受信者探索 MLD (Multicast Listener Discovery) とし

て ICMPv6 に統合されている^[10, 11]。

MLD は、IPv6 のマルチキャストに対応したルータが、配下ネットワークに存在するマルチキャストグループメンバを把握するためのプロトコルである。IPv6 マルチキャストルータは、MLD を通じて知り得た情報をもとに、他のルータから受け取ったマルチキャストパケットをそのルータが直接接続されたセグメントに転送するかどうか判断したり、他のルータに対して特定グループ宛てのパケットを配送してくれるよう要求を送信したりする。

(1) MLD のメッセージフォーマット

MLD メッセージは、メッセージタイプにかかわらずフォーマットが共通で、ICMPv6 (IP プロトコル番号 58) メッセージとして、IPv6 パケットに格納されて送信される。

IPv6 ヘッダの始点アドレスはリンクローカルアドレス、ホップリミットフィールドは 1 にセットされて送信される。また、ホップバイホップオプションヘッダ内にルータアラートオプション (RFC2711) をセットして送信される。

MLD メッセージを表 6-1に示す。また、MLD メッセージフォーマットを図 6-7に示す。

表 6-1 MLD メッセージ

TYPE	名称	内容
130	Multicast Listener Query	サブネット上にどのマルチキャストグループのメンバーがいるかを調べる General Query と、特定グループにメンバーがいるかどうかを調べる Multicast-Address-Specific Query の 2 種類のサブタイプがある。General Query はリンクローカルな全ノードマルチキャストアドレス (ff02::1) に、Multicast-Address-Specific Query は該当グループアドレスに送信される。
131	Multicast Listener Report	特定のマルチキャストグループに所属するホストが、ルータに対し存在を知らせるメッセージ。該当するグループアドレス宛てに送信される。
132	Multicast Listener Done	ホストが特定のグループから脱退することをルータに知らせるメッセージ。リンクローカルな全ルータマルチキャストアドレス (ff02::2) 宛てに送信される。

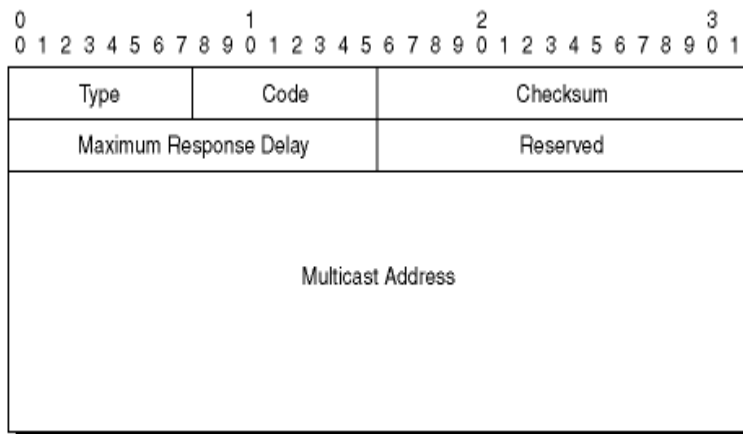


図 6-7 MLD メッセージフォーマット

MLD メッセージフォーマットのフィールドの内容を表 6-2に示す。

表 6-2 MLD メッセージのフィールドの内容

フィールド	ビット長	内容
Type	8	130 (Query) 131 (Report) 132 (Done)
Code	8	0
Checksum	16	チェックサム
Maximum Response Delay	16	受信ノードに対し、Report メッセージ返送までの最大遅延時間 (ミリ秒) を指示するフィールド。Query メッセージでのみ意味を持つ。他のメッセージでは 0 にセットされる。
Reserved	16	予約済み。すべて 0。
Multicast Address	128	General Query では 0、Multicast-Address-Specific Query では問い合わせ先のマルチキャストグループアドレスがセットされる。Report、Done メッセージでは、対象となるマルチキャストグループアドレスがセットされる。

(2) MLD の動作

以下に MLD によるマルチキャストグループへの参加、離脱の動作について示す。

(i) マルチキャストグループへの参加

マルチキャストグループに参加するホストは参加したいマルチキャストアドレス宛に Multicast Listener Report メッセージを送信する。

マルチキャストルータは、ホストから Multicast Listener Report を受信するとメンバーシップリストにそのグループを追加し、マルチキャストパケットの配信を行う。

(ii) マルチキャストメンバーの生存確認

IPv6 マルチキャストルータは IPv6 マルチキャストメンバーシップの情報を得るために、直接接続するインタフェース上に定期的に Multicast Listener Query メッセージをリンクローカル・全ノードアドレス ff02::1 宛てに送信する。

Multicast Listener Query メッセージを受信したホストは送信遅延タイマーをスタートさせる。

送信遅延タイマーがタイムアウトしたホストは Multicast Listener Report メッセージを送信する。

Multicast Listener Report メッセージの送信をマルチキャストグループ内のマルチキャストルータ、ホストが監視する。

マルチキャストルータはホストから Multicast Listener Report メッセージを受信するとメンバーシップリストにそのグループを追加し、マルチキャストパケットの配信を行う。

(iii) マルチキャストグループからの離脱

マルチキャストグループから離脱したいホストは Multicast Listener Done メッセージを送信する。

マルチキャストルータは Multicast Listener Done メッセージを受信するとそのグループをメンバーシップリストから削除する。

6.1.8 MLD Snooping

マルチキャストルータの配下には通常スイッチを経由して複数のマルチキャスト受信映像受信装置が同一のセグメントに存在する。マルチキャストアドレスを識別できないスイッチはマルチキャストトラフィックを全てのポートに一斉に送信（フラッディング）する人が多い。フラッディングはエッジのネットワーク負荷を増大させる。

そこで、マルチキャストルータと受信端末間でやりとりされる MLD メッセージをエッジスイッチの各ポートで監視して、マルチキャストグループのメンバーがどのポートに接続されているかを把握することでフラッディングを行わず効率的に配信する方法がある。これを MLD Snooping（IPv4 では IGMP Snooping）という。

MLD Snooping を用いることで、マルチキャスト宛のトラフィックをそのマルチキャストグループのメンバが接続されているポートのみに送信することでエッジのネットワーク負荷を下げるができる。当然、MLD メッセージのやり取りが観測されないポートへはマルチキャストトラフィックを配信しない。

MLD Snooping 機能を持つスイッチはマルチキャストルータとともに効率的なマルチキャスト配信のために利用される。

6.1.9 IPv6 マルチキャスト実験ネットワーク設計

本調査研究に用いたマルチキャスト配信ネットワークの設計ポリシーについて以下に述べる。

(1) マルチキャストルーティングプロトコルの選定

今回実験ネットワークを構成するに当たって、利用するマルチキャストプロトコルとして広範囲に効率良くマルチキャスト配信が可能な PIM-SM を選定した。そして、今回構築したマルチベンダで構成された IPv6 ネットワーク環境において、ネットワークの構成機器が共通して PIM-SM をサポートしていた。

以下に今回のマルチキャストルーティングのために基本的な設計ポリシーを示す。

マルチキャストルーティングプロトコルとして PIM-SM を利用する。
RP 及び BSR はネットワークに一台のみで御南エリアポイントの GR2000-6H とする
ルータと各グループ間の通信には、MLD プロトコル (RFC2710 準拠) を使用する
エッジスイッチにて MLD Snooping を有効にする^[資料 51]。

(2) 設定項目

(i) 各機器共通設定項目

ネットワーク内の全てのマルチキャストルータに対し、

表 6-3に示す設定を行う。

表 6-3 PIM-SM 共通設定項目

項目	設定値	備考
PIM-SMバージョン	2	変更不可
PIM-SM パケットの宛先	ff02::d	全 PIM ルータリンクローカルアドレス
PIM-SM 設定箇所	-	マルチキャストデータが到達可能なすべてのインターフェイスに PIM-SM を設定する
MLD 動作条件	-	MLD 情報を交換するルータでは IPv6 ユニキャストルーティングプロトコルの動作が前提
Hello 周期	30	-
近隣タイムアウト	105	-
Assert タイムアウト	180	-
Join/Prune	60	-
Join/Prune 保持	210	-
Register 抑止	60	RP にマルチキャストパケットをカプセル化して送信するのを抑止するタイマ。ただし IPv6 マルチキャストルーティングプログラムのスケジューリングのために、±30 秒のずれが生じることがある
RP 候補周期	60	RP が BSR に RP 候補通知メッセージを送信する周期
BSR 周期	60	BSR が周期的に BSR メッセージを送信する周期

(ii) PIM-SM 個別設定項目

ルータによって設定が異なるのは、RP/BSR の設定のみである。図 6-8にデータセンターの JuniperM20 を RP/BSR とした適用構成を示す^[資料 52]。

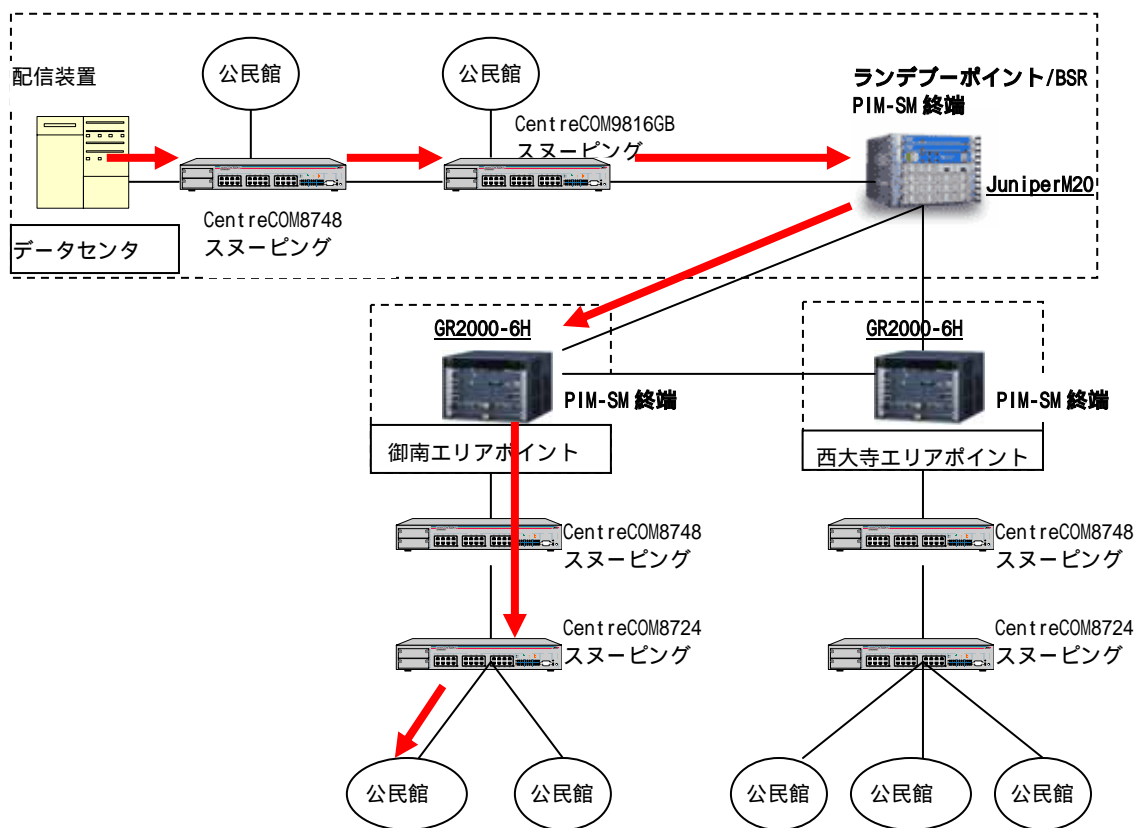


図 6-8 JuniperM20 を RP とする適用構成

図 6-9に御南エリアの GR2000 を RP/BSR とする適用構成を示す。同時に、データセンターの CentreCom9816GB から御南エリアの GR2000-6H への接続を追加する。

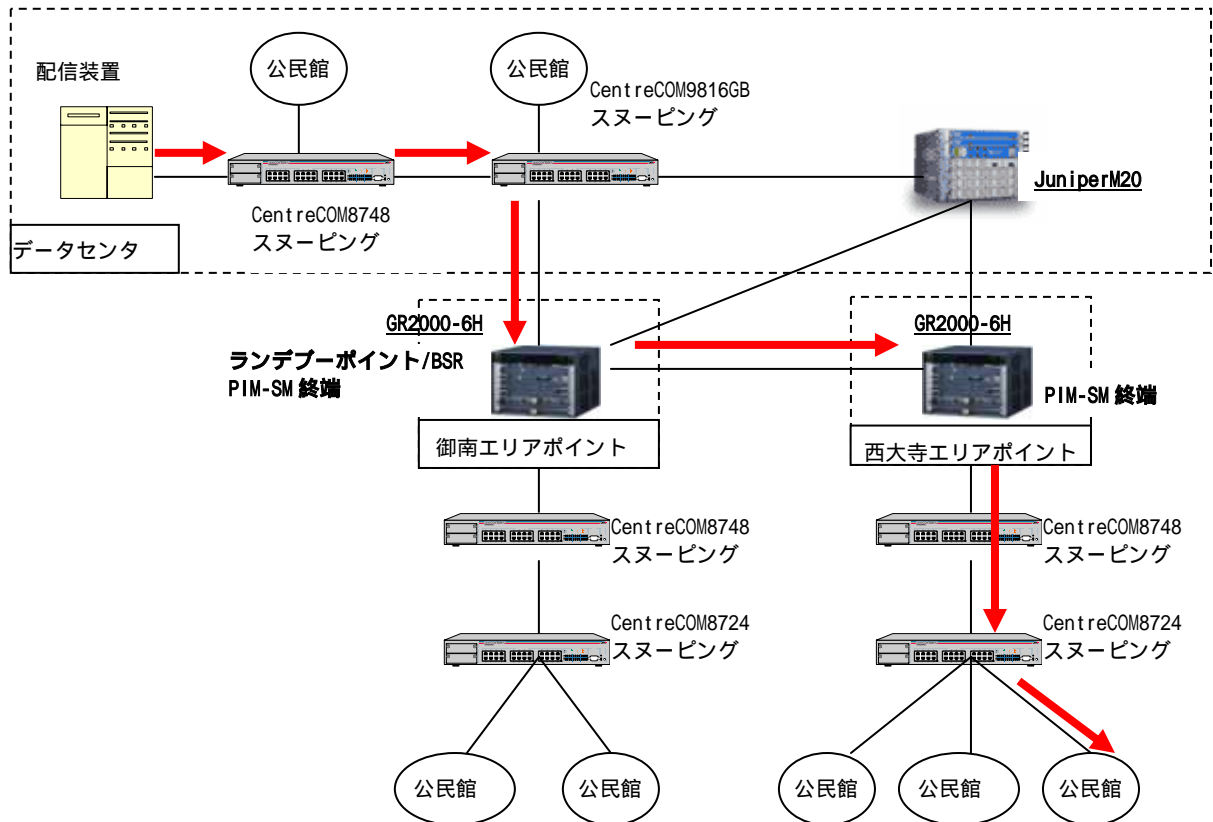


図 6-9 御南エリアの GR2000 を RP とする構成

6.1.10 DVTS

DVTS は IP(RTP)を利用して DV(Digital Video)を伝送する技術であり、WIDE プロジェクトから種々の OS に対応する DVTS ソフトウェアが無償で提供されている。DV の RTP フォーマットは RFC3189 及び RFC3190 で規定されている。

DVTS は、ビデオデッキやカメラといった DV 機器を IEEE1394 インターフェイスを介して端末と接続することで高画質な動画配信システムの構築を行うことができる。

特に WindowsXP 上では、インターネット経由で受信した DV ストリームを直接ディスプレイに描画することができ、広帯域なネットワークで接続された端末環境における高画質な動画放送システムとしても利用することが可能である。DV フォーマットで伝送されるため DVTS の品質は DV そのものである。

6.1.11 DVTS のマルチキャスト

DVTS は IPv6 マルチキャストに対応している^[12]。今回のマルチキャスト映像配信実験において、映像配信装置、映像受信装置およびマルチキャスト配信装置において DVTS を利用するために WIDE プロジェクトが開発した DVTS ソフトをインストールした。表 6-4 に 利用した機器の OS とソフトウェアを示す。

表 6-4 利用した機器の OS とソフトウェア

利用装置	OS	CPU	ソフトウェア
映像送信装置	FreeBSD4.6	Celeron 900MHz	dvts0.9b07
配信映像受信装置	FreeBSD4.6	Celeron 900MHz	dvts0.9b07
マルチキャスト映像配信装置	FreeBSD4.6	Celeron 900MHz	dvts0.9b07
マルチキャスト映像受信装置	WindowsXP	Pentium4 1.8GHz	dvts-xp-02-0724.exe (For winXP)

6.1.12 システム構成

マルチキャスト配信実験の構成を図 6-10に示す。講習会場で撮影された生涯学習の様子は一旦映像送信装置によりユニキャストの DV ストリームとして配信映像受信装置に送信される。配信映像受信装置では dvrecv により受信した DV ストリームを IEEE1394 インタフェースへ DV として出力する。IEEE1394HUB で接続された DV デッキにより映像はビデオテープに録画するとともに、マルチキャスト配信サーバに映像コンテンツを DV で提供する。マルチキャスト配信サーバではその映像をマルチキャスト配信する。映像受信装置（クライアント）はマルチキャスト配信映像を受信することりディスプレイに DV 映像を表示する。

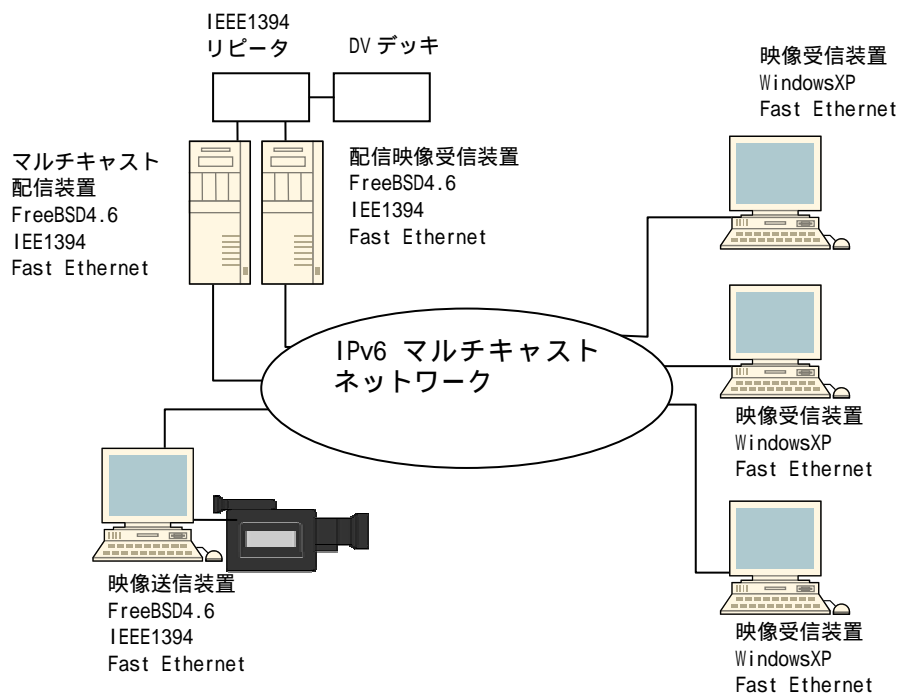


図 6-10 マルチキャスト配信実験の構成

6.1.13 実験内容

今回構築したシステム上で DVTS を IPv6 でマルチキャストする実験を行った。測定に関してはマルチキャスト配信時の各構成機器の負荷及び遅延時間についての測定を行った。

一般にマルチキャスト配信では配信機器の付加はユニキャストで逐次同報するよりも小さくなるが、ネットワーク機器にはユニキャストよりも処理が増加するためネットワーク機器への負荷は増大する。ネットワークを含めたシステム全体としてマルチキャスト配信の負荷について確認する必要がある。

また、映像配信のような UDP を利用した一方向へのデータ送信の場合、一巡遅延時間が小さいことはあまり重要ではなく利用者が要求を行ってから実際に配信が開始・停止するまでの遅延時間が重要となる。そのため本調査研究においてはクライアントが開始・停止リクエストを送出してから実際にマルチキャストが開始・停止されるまでの応答遅延時間の測定を行った。

以下に今回実施した実験項目を示す。

マルチキャスト配信負荷の測定
リクエストに対する応答遅延の測定

6.1.14 マルチキャスト配信負荷の測定

IPv6 マルチキャスト配信装置でマルチキャスト配信を行っているときの CPU 使用率を以下の装置について測定した。

マルチキャスト配信装置
RP
エッジスイッチ
映像受信装置

(1) マルチキャスト配信装置の負荷

(i) 測定方法

マルチキャスト配信装置に IEEE1394 インタフェースから DV 信号を入力し、Fast Ethernet インタフェースから dvsend プログラムにより、マルチキャスト配信を行う場合とユニキャスト配信する場合の CPU 使用率を測定し、両者を比較した^[資料 53-54]。そしてその結果から映像受信装置数が増加した場合の CPU 使用率を計算した。映像送信は dvsend を 29.97 のフルフレームで行った。

(ii) 測定結果

マルチキャスト、ユニキャスト、IPv6、IPv4 に関係なく配信装置の CPU を約 12%使用する。測定結果から計算されるクライアント数が増加した場合の CPU 使用率の変化を

図 6-11に示す。

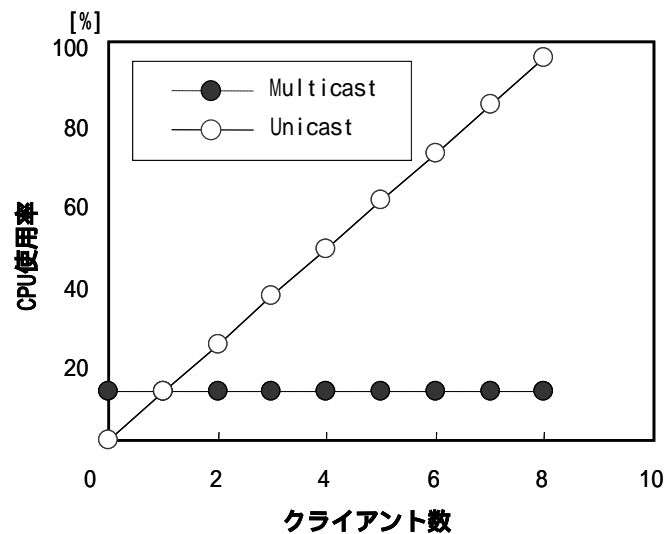


図 6-11 クライアント数が増加した場合の CPU 使用率の変化

図の横軸が映像受信装置数、縦軸が CPU 使用率である。図から分かるようにユニキャスト配信する場合の CPU 使用率は映像受信装置数に応じて増加するのに対し、マルチキャスト配信する場合は映像受信装置数が増加しても変化せずに一定である。上図の場合、ユニキャスト配信で DVTS を配信する場合 8 台が限界である。

(2) ルータの負荷

(i) 測定方法

マルチキャスト配信装置に IEEE1394 インタフェースから DV 信号を入力し、Fast Ethernet インタフェースから dvsend プログラムにより、マルチキャスト配信を行う場合とユニキャスト配信する場合のルータの CPU 使用率を測定し、両者を比較した。そしてその結果から映像受信装置数が増加した場合のルータの使用率を計算した。DV ストリームは 29.97 のフルフレームで送信した。測定に用いたルータは日立製 GR2000-6H である。

(ii) 測定結果

表 6-5に マルチキャストルータの CPU 使用率を示す。

表 6-5 マルチキャストルータの CPU 使用率

	CPU 使用率
DVoverIP マルチキャスト 配信なし	3%
DVoverIP マルチキャスト 1 セグメントに配信時	3%
DVoverIP マルチキャスト 2 セグメントに配信時	3%

今回のように DV ストリームを 1 ストリームだけマルチキャスト配信を行ってもルータの CPU 負荷にほとんど影響がなかった。

(3) エッジスイッチ負荷 (MLD Snooping 負荷) の測定

(i) 測定方法

マルチキャスト配信装置に IEEE1394 インタフェースから DV 信号を入力し、Fast Ethernet インタフェースから dvsend プログラムにより、マルチキャスト配信を行う場合においてエッジスイッチで MLD Snooping を有効にした場合と無効にした場合の、スイッチの CPU 使用率を測定した。クライアント数が増加した場合のスイッチの CPU 使用率変化を図 6-12 に示す。測定は dvsend を 29.97fps のフルフレーム送信で行った。また、測定に用いたスイッチアライドテレシス製 CentreCOM8748XL である。

(ii) 測定結果

下図に MLD Snooping を実施した場合のエッジスイッチの CPU 使用率の変化を示す。図の縦軸がエッジスイッチの CPU 使用率で、横軸が映像受信装置数である。図から分かるように同一セグメント内の映像受信装置が増加してもエッジスイッチの CPU 使用率は 51% で変化はしなかった。

一方、MLD Snooping を無効とした場合、CPU 使用率は 65% となった。これはエッジスイッチの同一セグメントに所属する全ポートに配信しているためである^[資料 55]。

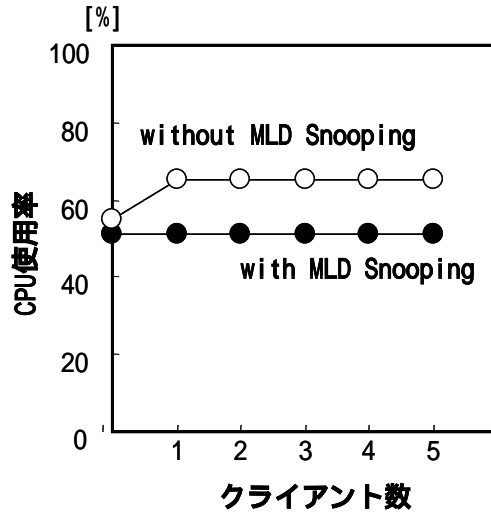


図 6-12 クライアント数が増加した場合のスイッチの CPU 使用率変化

(4) 映像受信装置の負荷

(i) 測定方法

DVTS 映像受信装置でマルチキャスト受信を行い、画面上で再生させる場合と、ユニキャスト受信する場合で映像受信装置の CPU 使用率を測定し比較を行った。

尚、映像受信装置側では画面サイズ、デコードクオリティとも 720 × 480 を用いた。

(ii) 測定結果

表 6-6に DVTS 受信時の映像受信装置 CPU 使用率を示す。映像受信装置の CPU 使用率はマルチキャスト受信、及び映像受信装置受信においてほぼ変わらないことが分かる。これは一旦パケットを受信してしまえばデコード、画面表示といった処理は宛先によらず同一であり当然の結果といえる^[資料 56]。

表 6-6 DVTS 受信時の映像受信装置 CPU 使用率

	DVTS ユニキャスト	DVTS マルチキャスト
CPU 使用率	30 ~ 40%	32 ~ 41%

(5) 測定結果

上記のことから今回構築した IPv6 マルチキャストネットワークにおいては、DVTs のマルチキャスト配信に係る負荷について以下のようにいうことができる。

マルチキャスト映像送信装置負荷は、ユニキャストで送信する場合と、マルチキャスト送信する場合においてほぼ 12%で変化しない。マルチキャストルータの負荷はユニキャストに比して大きくなる。エッジスイッチの MLD Snooping による CPU 負荷は映像受信装置数に依存しない。

映像受信装置の負荷はユニキャスト受信、マルチキャスト受信での差異は見られない。

映像受信装置が増加しても映像送信装置負荷が一定であることから、ユニキャストによる逐次配信に比して装置の負荷は非常に少ない。

6.1.15 応答遅延の測定

映像受信装置がマルチキャスト受信要求を出してから受信が開始されるまでにはマルチキャスト配信がランデブーポイントからどこまで配信されているかによって異なる。クライアントが開始・停止の要求を行ってから開始・停止がクライアントで観測されるまでの応答遅延についての測定を行った。

(1) 既に同一セグメントまで配信されている場合

既に同一セグメントの別のホストに配信されている場合、遅延時間はエッジスイッチの MLD Snooping に依存する。この場合の開始要求及び停止要求時の遅延時間の測定を行った。

(i) 測定方法

図の構成において、映像受信装置から MLD 131 - Group Membership Report を送信した場合、実際に映像の受信が始まるまでに要する時間、及び、MLD 131 - Group Membership Done を送信してから送信されてくる映像が停止されるまでの時間を測定した。映像の送信にはマルチキャスト配信装置を利用して DVTs を FF0E::2000 宛に送信することで行った。また、要求を送信する映像受信装置を映像受信装置 A とし、映像受信装置 A と同一のセグメントに属する絵映像受信装置 B がマルチキャストの DVTs を受信している環境においての遅延時間を測定した。

遅延時間の測定は映像受信装置 A が接続されているエッジスイッチのポー

トを他のポートにミラーリングし、流れているデータをデータ測定用コンソールでキャプチャすることで行った。キャプチャデータの解析にはEthereal0.9.9を利用した。

(ii) 測定結果

映像受信装置 A から要求を送信するまでの間、データ測定用コンソールにおいてマルチキャストパケットの受信は全く観測されなかった。MLD Snooping が有効になっているためである。映像受信装置 A から 131 - Group Membership Report を送信してから約 10msec 後にマルチキャストパケットを受信した。

次に、映像受信装置 A がマルチキャストパケットを受信している状態で、MLD 131 - Group Membership Done メッセージを送信し、実際に映像の送信が停止するまでの時間を測定した。送信が停止するまでに要する時間は約 1400msec であった。これは MLD Snooping が動作したものである^[資料 57]。

(2) 同一セグメントまで配信されていない場合

次に同一セグメント間でマルチキャストパケットを受信しているホストがない場合の遅延時間についての測定結果を示す。

(i) 測定結果

131 Multicast Group Membership Report を送信してから約 1500ms 後に映像が送信された。MLD Snooping による開始遅延は前述の実験により約 10msec であり、この遅延時間に比して大きいことから、測定された遅延時間はパケットの配送遅延に加え、マルチキャストグループメンバーの追加及びフォワーディングデータベースの変更にかかるマルチキャストルータの遅延時間である。測定された遅延時間は本実験ネットワークの設計値の許容範囲内であるため設計どおりの遅延時間となっている。

次にマルチキャストの受信を停止するときに係る遅延時間を示す。

このとき、この同一セグメント内の映像受信装置は 1 台のみであり、マルチキャストグループからの脱退によりマルチキャストルータではメンバの削除が行われ、フォワーディングデータベースから削除される。

測定された配信停止遅延時間は約 1400msec であり、この遅延時間は MLD Snooping による配信停止遅延時間と同一のものである。これは、マルチキャストルータが配信を停止するまえに、MLD Snooping のほうが先に有効になったためであり今回構築したネットワークにおいて、同一セグメントまで既に配信されている場合とそうでない場合において配信停止遅延時間に差異は見られない^[資料 58]。

(3) 測定結果のまとめ

これらの測定結果から マルチキャスト配信開始/停止リクエストに対する応答遅延を表 6-7に示す。

映像の配信開始、配信停止において測定された遅延時間は最大で 1500msec で設計許容範囲内であることを確認できた。また、これらの値は実用上、まったく問題のない数値であることが分かる。

表 6-7 マルチキャスト配信開始/停止リクエストに対する応答遅延

	配信開始遅延時間	配信停止遅延時間
同一セグメント内で既に他の映像受信装置がマルチキャストを受信している場合	10msec	1400msec
同一セグメント内で始めて受信する場合	1500msec	1400msec

6.1.16 まとめ

- (1) 今回構築したマルチベンダー IPv6 環境下で DVTS のマルチキャスト配信実験を行いその良好な動作を実証した。
- (2) マルチキャストによる多地点同報において装置、ネットワーク機器、映像受信装置において、その負荷が、映像受信装置数によらずほぼ一定であることを確認した。ユニキャストによる多配信に比べサーバ負荷が非常に低いことを確認した。
- (3) マルチキャスト配信にかかる遅延時間は MLD Snooping 機能により映像受信装置が配信要求を行ってから約 10msec ~ 1500msec で配信が開始され、停止要求を行ってから 1400msec で停止されることから実用上全く問題ないことを確認した。
- (4) これらの結果から、IPv6 マルチキャストを利用した DVover IP による生涯学習が十分利用可能であることが確認できた。

6.1.17 課題

(1) 配信権の設定

DVoverIP のマルチキャスト配信のように広帯域を要するアプリケーションはネットワークリソースの浪費に繋がる。これを利用した悪意のあるトラフィックを増加させないために、配信権を持つもののみがマルチキャスト配信可能となるような仕組みの考案が必要である。

(2) 受信権の設定や暗号化

マルチキャスト配信はだれでも受信可能であり、視聴権を設定するのが困難である。マルチキャスト配信を利用して行われる多地点での相談システムの実現のため、相談内容を盗聴防止できるよう予め許可された利用者のみ視聴可能であるように IPsec 技術と組み合わせた配信システムの考案も必要である。

6.2 ブロードバンド生涯学習映像配信システムによる業務の効率化

6.2.1 背景

公民館などの社会教育施設では、地域の人々の活発な学習活動が展開されている。また、保健センターなどでは、健康に関する講習会などが頻繁に開催されている。これらの学習は、生活の質を高める上で欠かすことのできない存在であり、さらに学習を通じて人間関係を深め、地域意識を育て、豊かな地域づくりを進めていく上でも重要である。近年、社会が高度化、複雑化する中においてその学習に対するニーズも多様化してきている。しかしながら、その多様化するニーズに応えるべく学習機会を拡大しようにも、一度に限られた場所での提供しか行えないため、地域住民の期待する柔軟・迅速・的確な学習機会を提供することが困難であった。

6.2.2 サービスの概要

ブロードバンド生涯学習映像配信システムは、講習会場にて実施されている各種生涯学習講座の模様を、離れた複数の受講会場で同時に見ることができるシステムである。

6.2.3 実験の目的

本実験では、ブロードバンド生涯学習映像配信サービスを活用することによる効率化について考察することを目的とする。

6.2.4 実験環境

講習会場に映像配信用の装置を設置し、複数受講会場に映像受信用の装置を設置する。受講会場側でマルチキャスト配信の受信設定をしておけば、講習会場の装置から映像と音声をマルチキャスト配信サーバに送ることで、講習会場で撮られた映像は、リアルタイムに複数の受講会場の受信装置で見ることができる。

6.2.5 調査方法

講習会場を利用した講習会とブロードバンド生涯学習映像配信システムを利用した場合の利用者の学習機会1件あたりにかかる諸費用をそれぞれ算出し、比較する。

6.2.6 調査結果

2月、3月という時期は、講座がほとんど終了してしまっている時期でもあり、2月6日のe!市役所実証実験開始以降、本実験ができたのは、以下の1講座のみ

についてであった。

講習会場：西大寺保健センター
講座名：栄養教室 10 回講座
日時：平成 15 年 2 月 21 日（金） AM 10:00~11:10
演題：栄養委員と組織学
講師：有本 祥三 氏（元 美作女子大学短期大学部教授）

本講座は、同時間帯において、中央保健センターほか 5 保健センター、12 の公民館、自宅モニタを受講会場として受講することができた。

栄養教室は、各保健センターで独自に講師をよんで開催している講座である。岡山市では、保健センターが 6 つの管轄（中央、東、西、南、北、西大寺）に分かれており、同様の講座が同時期に 6 つ開かれていることになる。講師料金は、5,000 円～17,930 円（岡山市調べ）であるから、6 箇所別々に開催することにより、30,000 円～107,580 円が必要ということになる。これを 1 箇所分で済むとなると、最大、89,650 円の削減となる。

費用の面において、現状の講座を開催する場合と、ブロードバンド生涯学習映像配信とを比較すると、

- ・講師への謝礼
- ・機器の準備、撤去にかかる人件費
- ・電気代

である。

講師への謝礼については、最小で 25,000 円、最大約 89,650 円の削減となる。

準備、撤去に要する人件費は、1 人で約 30 分（準備 20 分、撤去 10 分）程度であるから、先に計算した職員の時間単金で計算すると、1,840 円/1 センターであるので、6 センター分だと、11,040 円である。

装置に関わる電気代は軽微であるので省略しても問題はないと考える。

以上から、同一の 1 講座（全 6 講座）で少なくとも約 13,960 円、最大で 78,610 円の削減になることが分かった。

6.2.7 まとめ

ブロードバンド映像配信サービスを利用した場合、その設置と撤去に稼働がかかるものの、同じ講座を数箇所で順番に回っていくような講座の場合には 1 度ですむことから、講師料が大きく削減できるため、効率的であることが分かった。

6.3 ブロードバンド生涯学習映像配信サービスの有効性

6.3.1 実験の目的

本実験では、映像対話型遠隔行政相談サービスが市民にとって、講習会での生涯学習と比較して映像対話型でのブロードバンド生涯学習映像配信サービスを受けることによる利便性があるかどうか、を確認することを目的とする。

6.3.2 調査方法

本実験における評価項目と、その評価方法は次のとおりである。

(1) ブロードバンド生涯学習映像配信サービスの利便性

サービスの利便性評価の方法として、利用者へ「アンケート」を配布、回収し、回答結果の集計、分析を行う。なお、モニタには必ず一度は利用することをそのモニタ条件とした。

(2) ブロードバンド生涯学習映像配信サービスの操作性

システムの操作性評価の方法として、職員への「インタビュー」を実施し、現行システムを評価し、より職員の利用しやすいシステムに関する考察を行う。

6.3.3 調査結果

(1) ブロードバンド生涯学習映像配信サービスの利便性

アンケート回収方法やアンケート回答者の属性については、3.3と同じである。

Q お近くの公民館または保健センターから他の保健センターなどで行われている生涯学習講座などを、映像を通じて受講することが出来ることはあなたにとって便利と思えますか。

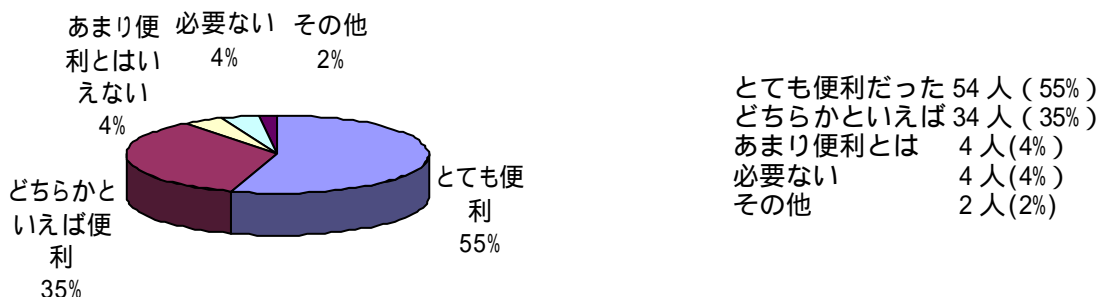


図 6-13 生涯学習について

「とても便利だった」と「どちらかといえば便利であった」とをあわせる

と、アンケート回答者全体の約 9 割の人がブロードバンド生涯学習映像配信サービスに対して、便利なサービスだと感じたことが分かった。

次のグラフは生涯学習についてのアンケート結果を、市役所までの距離別に集計したものである。その結果、距離が遠くなるほど「とても便利」と感じられた人が多くなる傾向があった。逆に、10 分未満の比較的距離が近いところにすんでいる人には、「必要ない」とした割合が他に比べて大きいという結果になった。

(2) ブロードバンド生涯学習映像配信システムの操作性

ブロードバンド生涯学習映像配信サービスを受けた方へのインタビューを実施（平成 15 年 3 月 19 日）した結果、次のような回答があった。

(i) 受信側

配信を受けるときには、その都度設定を行わなければならないので難しい。せめて、ボタンを 1 回押すだけで配信が受けられるようにしてほしい。

(ii) 配信側

装置の設置等大変難しい。今後、サポートがない状態では不安である。

6.3.4 まとめ

(1) ブロードバンド生涯学習映像配信サービスの利便性

全体の約 9 割の人が便利だと感じており、ブロードバンド生涯学習映像配信サービスは市民にとって利便性の高いサービスであることが分かった。

(2) ブロードバンド生涯学習映像配信システムの操作性

配信を受ける側のインタフェースの対処、配信側の装置設置に課題があることが分かった。