

# ネットワーク障害物を乗り越えるテレビ会議用ゲートウェイの開発

岸田 崇志<sup>†</sup>, 前田 香織<sup>††</sup>, 河野 英太郎<sup>††</sup>

テレビ会議など映像コミュニケーションが普及してきたが、現在のインターネットはファイアウォール、NAT、種々の通信プロトコルの混在などのネットワーク障害物により、テレビ会議端末間のネットワーク透過性が確保できない。また、ベストエフォート型ネットワークでは映像品質の劣化も生じ、必ずしもユーザの要望どおりにテレビ会議ができるとは限らない。そこで、我々はテレビ会議システム利用時の課題を解決する機能をゲートウェイとして集約し、テレビ会議用ゲートウェイ“PTGATE”を開発した。これにより、既存の多くのテレビ会議システムを活用しつつ、映像コミュニケーションの利用場面の拡大を目指す。PTGATEはIP-in-IPを用いたプロトコル変換が実装され、FECによるエラー訂正、ポート集約、IPv4/IPv6トンネル、マルチキャスト/ユニキャストトンネルなどの機能を有している。本論文では、PTGATEの開発について述べ、また、基本性能の評価および実証実験を通して、PTGATEの有用性について示す。

## Development of a Videoconference Gateway to Overcome Network Obstructions

TAKASHI KISHIDA,<sup>†</sup> KAORI MAEDA<sup>††</sup> and EITARO KOHNO<sup>††</sup>

Video communications such as videoconferences are being deployed. However, most of users cannot always use videoconference systems according to expectation. For example, there are some network obstructions such as firewalls, NAT and heterogeneous communication protocols in the current Internet. Also, QoS is not guaranteed. Then, we developed a protocol transfer gateway “PTGATE” for integration of functions to solve these problems caused by heterogeneous environments. Our purpose is to extend available scenes of videoconferences with the current resources (videoconference systems and networks) by using PTGATE. PTGATE is implemented by IP-in-IP technology and has the functions such as error recovery by using FEC, port aggregation, tunneling of IPv4 and IPv6 and tunneling of multicast and unicast. In this paper, we show development of PTGATE and its usefulness with some practical experiments using actual networks and evaluations.

### 1. はじめに

インターネット上で利用するテレビ会議システムが数多く開発されている。これにより、地理的、時間的制約を超越した映像コミュニケーションが可能であり、近年、その利用要求は増加している。しかし、テレビ会議システムをインターネット上で利用しようとする、現状ではいくつかの問題点に直面する。

1つは、ネットワーク透過性に関する問題である。エンドユーザはネットワークの構成を意識すること

なくテレビ会議システムを利用したいが、現在のインターネットはエンドシステム間に、ネットワーク層以上に多々の中間デバイスがあり、アプリケーション間のデータの流が阻害され、ネットワーク透過性が小さくなっている。RFC2775<sup>1)</sup>に記述されているように、ネットワークの透過性を阻害するネットワーク障害物がある。たとえば、ファイアウォールやNAT (Network address translation)、種々の通信プロトコルの混在 (IPv4とIPv6やユニキャストとマルチキャストの混在など) である。

2つ目の問題はネットワーク性能による映像品質劣化の問題である。一般的に、テレビ会議システムではUDP (User Datagram Protocol) やRTP (Real-time Transport Protocol) でデータを送受信するものが多く、ベストエフォート型のインターネットでは、パケット損失やジッタによる影響が大きい。この影響で映像や音声の品質が劣化することがある。特に、パー

<sup>†</sup> 広島市立大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

<sup>††</sup> 広島市立大学情報処理センター  
Information Processing Center, Hiroshima City University  
現在、ネットワンシステムズ株式会社  
Presently with Netone Systems Co., Ltd.

スト的なパケット損失は映像や音声の著しい劣化をもたらす。

こうしたネットワークの透過性や映像品質に関する問題を解決する機能をすべてエンドシステム（テレビ会議システム端末）に持たせるのも1つの解決法である。ITU-T 勧告 H.323<sup>2)</sup> を NAT やファイアウォール配下で使用するために2005年8月にITU-TでH.460.18<sup>3)</sup> や H.460.19<sup>4)</sup> が制定され、それに準拠した製品も出ている。しかし、前述の問題を解消する機能をエンドシステムに盛り込むことはシステムの複雑化を招き、異種システム間の互換性の低下につながる。既存のテレビ会議システムにおいても、各々はH.323準拠という仕様であるにもかかわらず、異機種間だけでなく、同一機種でもバージョン間の通信互換性がないものもあり、システムの複雑化はシステム相互の互換性の低下を招きやすい。また、一般的にエンドシステムの機能改善はコストもかかり、時間を要する場合が多い。たとえば、IPv6についてはネットワークの整備は進みつつあるが、エンドシステムの開発は追いつかず、そのため、逆にそれが原因でIPv6の普及促進にブレーキがかかっているといえよう。このようなことから、エンドシステムによる問題解決では、急務であるユーザのテレビ会議システムの利用拡大の要求に対する解決策としては十分とはいえない。

そこで、我々は前述の問題を解決するアプローチとして、テレビ会議システムにとって障害物となるものを解消、あるいは軽減するための機能をゲートウェイに集約することとした。本論文ではネットワーク障害物として、ファイアウォール、NAT、プロトコル（IPv4/IPv6、マルチキャスト通信の有無）の混在、パケット損失やジッタなどの映像品質劣化原因を対象とする。開発したゲートウェイ“PTGATE: Protocol Transfer Gateway”<sup>5)</sup>では、ファイアウォールとNATに対してポート集約機能、IPv4/IPv6の混在やマルチキャスト通信の有無に対してはトンネル機能、また、映像劣化原因に対してはFECによるエラー訂正機能を実現してネットワーク障害物を解決した。PTGATEではプロトコル変換やエラー訂正の処理は既存技術を用いるが、テレビ会議を利用するときの課題に焦点を当て、これらを解消する機能をまとめてPTGATEに組み込んだことで、既存のテレビ会議システムやネットワークを活用し、より高品質なテレビ会議を実施できる。本論文はPTGATEのシステム開発論文である。

本論文の2章では開発したPTGATEの概要を述べ、3章では実証実験としてPTGATEを用いた利用事例を示し、4章でPTGATEの基本性能の評価と

PTGATEの有用性に関して考察を行う。最後に5章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. テレビ会議用ゲートウェイ PTGATE

### 2.1 特 長

開発したPTGATEは、テレビ会議システムをとりまく環境で要求される機能をPTGATEに集約することにより、テレビ会議システムの利用場面の拡大を目指す。このとき、ネットワーク構成にできるだけ影響を与えないように配慮した。PTGATEは既存のテレビ会議システムで実装されている多様なプロトコルフォーマットに対応するために、受信したIPパケットに、IPヘッダ/UDPヘッダなどを付加し、IP-in-IPでトンネリングすることで、プロトコル変換を実現する。これにより、DVTSやPolycomなどの既存の多くのテレビ会議システムに対応することができる。PTGATEは大きく分類して、以下の2つの機能を持つ。

#### (1) ネットワーク透過性のための機能

ネットワーク障害物を取り除くために、PTGATEは以下の機能を持つ。

- ポート集約機能
- マルチキャストトンネル機能
- IPv4/IPv6 トンネル機能

ポート集約機能は、テレビ会議システムが複数のポートを使用する場合、特定の1つのポートに集約する。これにより、管理者はファイアウォールなどの設定変更を最小限にとどめることができる。

マルチキャストトンネル機能は、マルチキャストパケットをPTGATE間でユニキャストでトンネルする機能である。これにより、途中経路でマルチキャストルータの設置は不要となる。本機能は、マルチキャストパケットをトンネルするのみの機能であり、マルチキャストルーティングは行わない。

IPv4/IPv6 トンネル機能は、IPv4パケットをPTGATEにおいてIPv6パケットでカプセル化することによりIPv6ネットワーク上で通信可能とする。逆のカプセル化も可能である。

#### (2) 通信品質改善のための機能

PTGATEにはストリーム伝送の品質を確保するために誤り訂正機能が実装されている。特に、インターネットで起きるパケット損失はバースト的なものが多いため、バースト損失に強いReed-Solomon符号（以降、RS符号と表記）を

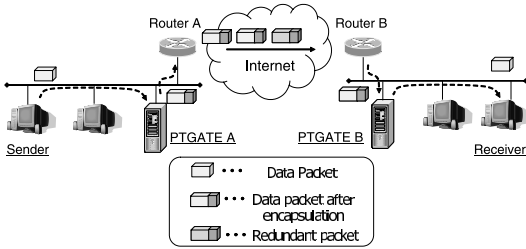


図 1 システム構成

Fig. 1 System configuration.

用いた FEC (Forward Error Correction) を採用した。

### 2.2 構成と動作概要

図 1 にシステム構成を示す。開発したゲートウェイ (図 1 では PTGATE A と PTGATE B に相当) は、ファイアウォール配下や、インターネットのようなパケット損失が起こりやすいネットワークの出入り口などプロトコル変換の必要なネットワーク上に設置される。このとき、テレビ会議システムのデフォルトゲートウェイを PTGATE に向けるよう設定して使用する。

図 1, 図 2, 図 3, を用いて, Sender から Receiver へのパケット転送の概要を以下に示す。図 2 は PTGATE A 内のカプセル化処理のモジュール構成, 図 3 は PTGATE B 内の脱カプセル化処理のモジュール構成である。

- 1) Sender はテレビ会議端末などのストリームの送り側を表す。Sender では通信相手の設定として、通常どおり、Receiver の IP アドレスを指定する。このとき、Sender のデフォルトゲートウェイは PTGATE A とする。
- 2) PTGATE A は Sender が送信した IP パケットを受信すると、受信したパケットの IP ヘッダの宛先アドレスを参照し、プロトコル変換が必要かを判断する。必要な場合は、図 2 の Transmit module のアプリケーション層で PTGATE ヘッダを付加する。その後、ソケットを通じ UDP ヘッダと宛先を PTGATE B とする IP ヘッダを付加し (カプセル化), Router A にそのパケットを転送する。このとき、PTGATE A にはあらかじめ設定コマンドでパケットの転送先である PTGATE B の IP アドレスを設定しておく。PTGATE 間は UDP で通信が行われる。この際、テレビ会議システムが複数のポートを利用する場合は、任意の 1 ポート (デフォルトは 9004 番) に集約される。Sender から送信されたパケットが UDP の場合は、FEC による冗長化が可能である。冗長度など

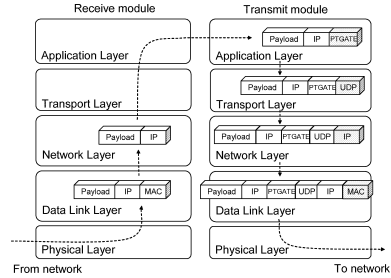


図 2 カプセル化処理

Fig. 2 Encapsulation process.

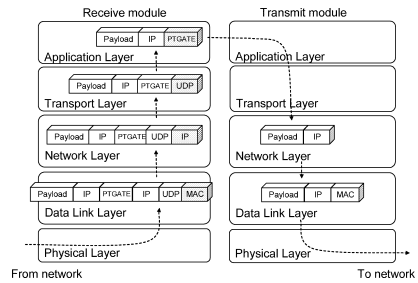


図 3 脱カプセル化処理

Fig. 3 Decapsulation process.

が PTGATE A で設定されていると、PTGATE A は FEC エンコード処理を行い、冗長パケットを生成、送信する。

TCP の場合は、冗長化は行わない。また、プロトコル変換不要なパケットはカプセル化せず、図 2 の Receive Module のネットワーク層から直接 Router A に転送される。

- 3) PTGATE B は受信パケットを図 3 の Receive module のアプリケーション層で脱カプセル化する。PTGATE ヘッダに FEC 用ヘッダが含まれている場合には、データパケットと冗長パケットから FEC 演算を行う。パケット損失などがあれば、誤り訂正を行い、損失したパケットを回復させ、元の IP パケットを取り出す。取り出された IP パケットは本来の宛先である Receiver に送信される。PTGATE のヘッダフォーマットなどのプロトコルの詳細は文献 6) に示す。

### 2.3 設定例

図 1 の構成で、マルチキャストトンネルを行う場合の PTGATE の設定例を示す。マルチキャストパケットをカプセル化するためには PTGATE A で以下のコマンドを実行する。

```
# ptgate -e [PTGATE B の IP アドレス]
-e オプションはマルチキャストカプセル化オプション
```

ンで、続く B のアドレスがパケットの転送先である。転送先は  $-n$  オプションで、ネットワークアドレスとマスクの指定も可能である。デフォルトでは、RS(15,13) 符号を用いた冗長化が適用されるが、 $-t$  オプションにより冗長化の無効化や  $-r$  オプションで冗長化の変更も可能である。

一方、パケットの脱カプセル化するためには PTGATE B で以下のコマンドを実行する。

```
# ptgate -d
```

#### 2.4 開発環境と動作確認

PTGATE の開発環境は、OS は Fedora core 2 (kernel 2.6.9), Redhat Linux 8.0 (kernel 2.4.28), CPU Pentium4 3.2 GHz, Memory 1 GByte の PC 上で C 言語 (gcc-3.3.3) を用い開発を行っている。

PTGATE は、IP-in-IP を用いているので多くのテレビ会議システムと併用して利用可能と想定されるが、現状で動作確認を行ったものは以下のとおりである (括弧内は利用できる代表的な画像符号化方式)。

- VIC/RAT<sup>7)</sup> (H.261)
- VideoLAN<sup>8)</sup> (H.261, MJPEG)
- DVTS<sup>9)</sup> (DV)
- Robst<sup>10)</sup> (MPEG2-SD, HD: High Definition)
- Victor DM-NE300/ND300<sup>11)</sup> (MPEG2-SD)
- OKI Visualcast-SS<sup>12)</sup> (MPEG4)
- Netmeeting<sup>13)</sup> (H.261, H.263)
- Polycom Viewstation<sup>14)</sup> (H.261, H.263)
- Sony PCS-1<sup>15)</sup> (H.261, H.263)

テレビ会議システムの動画像伝送機能だけでなく、Polycom Viewstation では H.281 によるカメラ操作、Netmeeting ではホワイトボードの共有やチャットも PTGATE を介して行えることを確認している。

### 3. PTGATE の実証実験

#### 3.1 マルチキャストトンネル機能

IP マルチキャスト通信では、利用するネットワークの途中経路にマルチキャストルータの設置や設定などのマルチキャストネットワークの整備が必要となる。しかし、これはマルチキャストネットワークが広域にわたるにつれ、より整備が困難となる。また、仮に全ルータを整備できたとしても、複数ベンダの機器が混在すると、相互通信に問題が生じることもある。以降では、この問題に直面した際に PTGATE を用いて解決した事例を述べる。

広島市立大学、広島大学、佐賀大学の 3 大学間で毎年度音声会議システム MRAT<sup>16)</sup> などを用い、週 1 回の遠隔ゼミを実施している。通信環境は IPv6 ネット

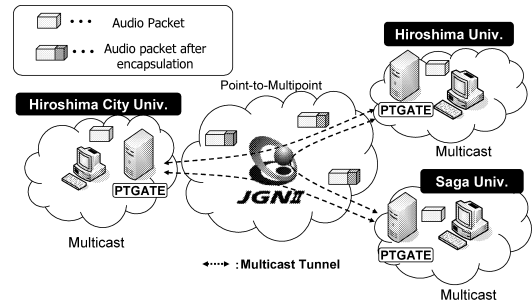


図 4 マルチキャストトンネル機能の利用事例  
Fig. 4 A case study of multicast tunneling.

ワークである JGNv6<sup>17)</sup> を用いることとしていたが、JGNv6 の運用当初、異種ベンダ間のルータ運用の問題により、IPv6 マルチキャストが使えなかった。JGNv6 がマルチキャスト通信に対応するまでの半年間、3 大学に PTGATE を設置し、図 4 の構成でゼミを行った。図 4 の点線で示す区間にマルチキャストトンネルを張り、PTGATE 間ではカプセル化された MRAT のマルチキャストパケットを 1 対多地点ユニキャストで各拠点に送信した。この際、PTGATE 間は FEC 機能により RS(15,13) 符号 (RS 符号の 1 ブロックが 15 個のデータシンボルで、2 個が冗長シンボルを意味する) を用い冗長化を行い、品質改善も行った。

マルチキャスト通信はテレビ会議システムにおいて多地点で通信を行う際に重要な機能だが、前述のようにマルチキャスト環境の整備が困難で使用できない場合が多い。しかし、PTGATE により擬似マルチキャスト通信を行うことで、既存のネットワーク環境で多地点通信を実現できる。

#### 3.2 IPv6 トンネル機能

IPv6 通信を行うためには、エンドシステムおよびネットワークがともに IPv6 通信に対応しなければならない。しかし、現状ではエンドシステムが IPv4 通信にしか対応していない場合も多い。以降では、この問題に直面した際の PTGATE の活用事例を示す。

2005 年 2 月に実施された札幌雪祭り映像配信実験<sup>18)</sup> では、RIBB2 ネットワーク<sup>19)</sup> が IPv6 通信に対応していないため、PTGATE の IPv6/IPv4 トンネル機能を用いた。そのときのネットワーク構成図を図 5 に示す。

札幌からの映像ソースは、IPv6 (マルチキャスト) パケットで JGNv6 網内に送信され、RIBB2 と JGNv6 の間の PTGATE で IPv4 のパケットに変換して、RIBB2 網へ送信した。映像ソースは 25 Mbps の MPEG2-TS (Transport Stream) のストリームで、

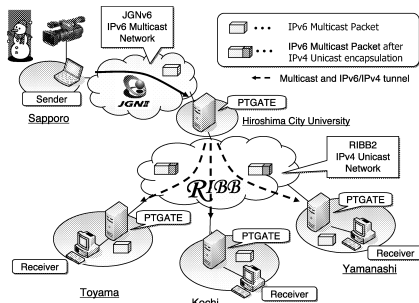


図 5 IPv6 トンネル機能の利用事例  
Fig. 5 A case study of IPv6 tunneling.

表 1 各地の通信状況

Table 1 Transmission condition of each places.

	高知	富山	山梨
パケット損失数 (FEC 前)	59737	59694	59738
パケット損失数 (FEC 後)	446	429	438
パケット損失率 (FEC 前) [%]	0.4504	0.4493	0.4504
パケット損失率 (FEC 後) [%]	0.0034	0.0032	0.0033
ジッタ [ms]	0.8750	1.1020	1.1396

その送信には Robst<sup>10)</sup> を用いた。

各拠点の PTGATE では、IPv4 ヘッダの脱カプセル化を行い、ローカルセグメントに IPv6 マルチキャストパケットを配送した。各地の 100 分間の通信状況を表 1 に示す。IPv6/IPv4 トンネル機能を利用すると同時に FEC 機能も使い、通信経路上で発生していたパケット損失の軽減も行うことができた。本実験で用いた JGNv6 と RIBB2 はいずれも研究開発用のテストベッドネットワークでインターネットに比べるとパケット損失率が小さい。しかし、パースト損失を発生することもあり、映像にモザイクが生じたり、音声途切れたりすることもあった。PTGATE で RS(15,13) の FEC を施すことで、大幅にパケット損失率を改善し、映像ソースとほぼ同品質で視聴することができた。ただし、パケット損失により、ジッタが通常より大きくなっている。ジッタに関しては 4 章で詳細な評価を述べる。

既存のインターネットは、まだ IPv4 スタックを用いて構成されているものが多いが、PTGATE の IPv6/IPv4 トンネルを用いることで疑似的に IPv6 通信を行うことが可能である。

### 3.3 FEC 機能

広島市立大学では、2005 年度から講義などの映像を学内 LAN を経由してアーカイブし利用する映像蓄積端末システムの運用を開始している。しかし、テレビ品質 (MPEG2-SD) の映像アーカイブ機器は同軸や ATM 回線など品質保証のある映像送信用の回線を想

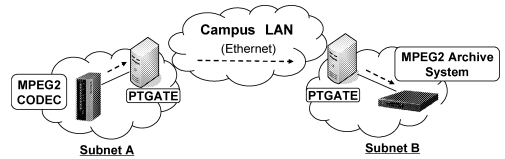


図 6 FEC 機能の利用事例  
Fig. 6 A case study of FEC function.

表 2 MPEG2TS エラー数の変化  
Table 2 The number of MPEG2TS errors.

パケット損失率 (%)	FEC 回復前のパケット損失数	FEC 回復後のパケット損失数	ジッタ (ms)	MPEG2TS エラー数
1	5516	0	0.79	0
2	11257	5	1.03	4
3	16223	15	1.11	83
5	28188	109	1.12	88

定して開発されたものが多いため、学内 LAN、特に、イーサネットを用いる場合の通信劣化の対策は十分でない。たとえば、MPEG2-TS のエラー数が大きいと、その後の MPEG2-PS (Program Stream) パケットへの変換処理が正常に動作しない。そこで、PTGATE を用いることで、MPEG2-TS のエラー数を抑えるための実証実験を行った。検証は、図 6 の構成で行った。MPEG2 CODEC より、8 Mbps の映像ストリームを映像蓄積端末へ向けて送信した。その際、1, 2, 3, 5% の確率で PTGATE A でパケットを rand() 関数を用いてパケット損失を発生させた。

結果を表 2 に示す。PTGATE の FEC 機能を RS(15,13) の冗長度で用いることにより、パケット損失が 1% の場合に 0、また、2% であってもパケット損失数を大幅に少なくすることができ、映像蓄積端末の適用範囲を広げることができた。エラー回復率を 100% にできたのはパケット損失が 1% の場合のときのみだったが、冗長度を増加させることにより、より大きなパケット損失率でも回復率を上げることができる。

学内 LAN や広域イーサネットを用いた映像のアーカイブは、アーカイブの通信コストを小さくするメリットがあり、今後も利用が増えると想定している。映像蓄積端末の改良も期待されるが、個々の端末の改良を待つまでもなく、PTGATE での機能補完が可能である。

### 4. 評価

PTGATE をテレビ会議システムと併用した際にどの程度のストリーム伝送能力を持つかを調べるため、PTGATE を介したときのデータ転送能力やオーバーヘッドの評価実験について述べる。

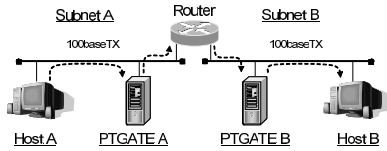


図 7 実験環境

Fig. 7 Experimental environment.

#### 4.1 パケット誤り訂正能力

RS 符号を用いた FEC 機能の検証を行った。PTGATE に実装した機能は文献 [16], [20] と同じ誤り訂正能力を持ち、たとえば、RS(15,13) 符号を用いた場合、パケット損失率 10% を約 4.1% に、また、RS(15,11) 符号を用いた場合、約 0.3% に回復することができる。それぞれの冗長度において FEC 復元前のパケット損失率と FEC 復元後のパケット損失率の理論値と実測値はほぼ等しくなることを確認している<sup>6)</sup>。

#### 4.2 オーバヘッドの測定

PTGATE ではパケット中継時に、パケットをカプセル化するため、そのヘッダ分の帯域増加や FEC 処理による冗長パケット分の帯域増加などのオーバーヘッドが生じる。本節では、PTGATE 使用時の UDP/TCP のスループットおよび PTGATE を通過することにより生じる遅延時間やジッタの測定や分析をした。

##### 4.2.1 実験環境

実験は図 7 で示す構成で行った。表 3 に実験に使用した機器の仕様を示す。図 7 中の Router は、市販ルータ (Allied Telesis 社の CentreCOM AR450s) を使い、実験ネットワークを 2 つのセグメントに分けている。Subnet A はグローバルアドレスで、Subnet B はプライベートアドレスで NAT の配下におかれている。実験では Iperf<sup>22)</sup> を用いて、Host A から Host B に向けて任意の帯域のストリームを送った。Host A は NAT 配下の Host B のプライベートアドレスを宛先としたパケットを送る。Host A からのパケットはすべて PTGATE A に送られ、PTGATE B 宛てのパケットにカプセル化される。Router A では特定のポートのパケットのみがポートフォワーディングにより PTGATE B に転送されるよう設定されている。PTGATE B では転送されてきたパケットが脱カプセル化され、本来の宛先である Host B にパケットが送られる。

##### 4.2.2 スループット測定

テレビ会議システムが PTGATE を介することで、どの程度スループットに影響が出るかについて、UDP と TCP の場合でそれぞれ評価実験を行った。

UDP の場合、測定に使用した Iperf のパラメータ

表 3 測定で用いた PC の仕様

Table 3 Specification of the PCs used in the measurements.

	OS	CPU	Memory
Host A	Vine linux 3.1	Pentium3 1 GHz	512 MB
Host B	Fedora core 3	Pentium3 1 GHz	384 MB
PTGATE A	Redhat linux 8.0	Pentium4 3.2 GHz	1024 MB
PTGATE B	Fedora core 2	Pentium4 3.2 GHz	1024 MB

表 4 UDP と TCP のスループット

Table 4 Throughput of TCP and UDP.

	UDP		TCP	
	Mbps	Kpps	Mbps	
PTGATE なし	94.3	8.42	94.0	
PTGATE 通過	FEC なし	92.7	8.28	90.8
	RS(15,14)	42.6	3.80	
	RS(15,13)	36.1	3.22	
	RS(15,12)	28.2	2.58	

はペイロード長は 1400 byte で、60 秒間パケットを送信し、そのときのパケット損失数を測定した。パケット損失が発生しなかった最大の転送レートを UDP のスループットとした。たとえば、PTGATE なしの場合の測定では、94.3 Mbps までパケット損失が発生せず、94.4 Mbps 以降の測定ではパケット損失が発生したので、この場合のスループットは 94.3 Mbps である。測定時には転送レートは 0.1 Mbps 刻みに変化させた。UDP 測定時のペイロード長は近年テレビ品質のストリーム伝送としてよく利用されている DVTS<sup>9)</sup> のペイロード長 (1400 byte) を意識して設定した。

TCP の場合、ウィンドウサイズは 16 Kbyte (実験に使用した PC のスタックのウィンドウサイズのデフォルト値) で、100 Mbyte のデータの転送時のスループットを測定した。結果を表 4 に示す。表の PPS (Packet per second) は 1 パケットを 1400 byte とし計算したものである。

PTGATE を通過した場合は、通過しない場合に比べ、スループットの最大値が UDP の場合は約 1.6 Mbps、TCP の場合約 3.2 Mbps ほど低下した。これは PTGATE のトンネリングによるヘッダの増加分のオーバーヘッドによる帯域低下である。また、冗長度が大きくなるほど、ストリームの送信レート (PPS) が小さくなっていることが分かる。DVTS は約 30 Mbps (PPS は約 2679) の送信レートなので、本実験に使用した PC の性能では PTGATE を介して DVTS を使用する場合は RS(15,12) 符号より大きい冗長度とすることは難しいことが分かる。

一般に FEC 処理は計算量が増加するために処理負荷が高く、データ転送レートに影響を与える。FEC 処理の CPU 負荷への影響は PC の性能、冗長度、スト

表 5 PTGATE 使用時の帯域増加率

Table 5 Increase rate of the bandwidth by PTGATE.

冗長度	なし	(15,14)	(15,13)	(15,12)	(15,11)
帯域増加率	1.026	1.108	1.193	1.293	1.410

リームのパケット送出間隔,パケット損失率などの条件によって変わる. CPU 負荷の評価や FEC 処理の負荷の傾向はすでに条件ごとに文献 5), 20), 21) で評価され, 明らかにされている.

4.2.3 帯域増加率

PTGATE 間の通信はパケットがカプセル化されるため, オリジナルパケットに比べ, PTGATE の基本ヘッダ分パケットサイズが大きくなる. さらに, 冗長化の場合は冗長化用の FEC 拡張ヘッダと冗長パケット分ほど使用帯域が増加する. PTGATE 基本ヘッダの追加による帯域増加率  $B_t$  を式 (1) で, 冗長化による帯域増加率  $B_r$  を式 (2) で定義し, PTGATE 使用による帯域増加率について調べた. 表 5 はペイロードが 1400 byte 固定長の場合 ( $mps=x_i=1400$ ) の各冗長度の帯域増加率をまとめたものである.  $B_t$  の場合の  $hdr$  は IP ヘッダ長 20 byte, UDP ヘッダ長 8 byte, PTGATE ヘッダの基本ヘッダ 8 byte の和の 36 byte で,  $B_r$  の場合はさらに FEC 拡張ヘッダ 12 byte が加わり, 48 byte となる.

$$B_t = \frac{hdr + PI}{PI} \tag{1}$$

$$B_r = \frac{(hdr + mps)(n - k) + \sum_{i=1}^k (hdr + x_i)}{\sum_{i=1}^k x_i} \tag{2}$$

$hdr$ : IP ヘッダ長, UDP ヘッダ長, PTGATE の基本, 拡張ヘッダ長の和

$PI$ : ペイロード長

$mps$ : 1 ブロック内の最大ペイロード長

$n, k$ : 冗長度 ( $n, k$ ) に対応

$X_i$ : RS 符号 1 ブロック中で  $i$  番目に受信したペイロード長

ペイロードが可変長の場合は,  $x_i$  が変動し, 1 ブロックの最大ペイロード長  $mps$  で RS エンコードの演算処理を行うため, 帯域増加率は表 5 と一致しない.

4.2.4 遅延時間

PTGATE を通過することで, PTGATE を介することによる転送遅延が生じるとともに, PTGATE 内部での処理遅延が増加する. さらに FEC を行う場合はその処理遅延が生じる.

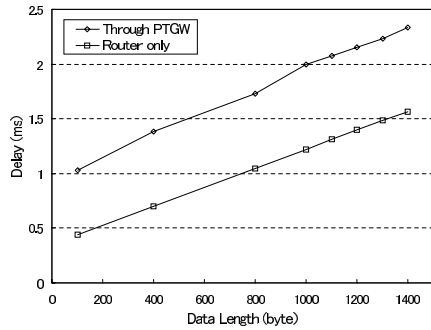


図 8 PTGATE を介することによる RTT の変化  
Fig. 8 Increase of RTT by PTGATE.

表 6 PTGATE のエンコード・デコード処理時間

Table 6 Processing delay by encode and decode of PTGATE.

冗長度	処理時間 (ms)		
	エンコード	デコード	バッファリング
(15,13)	2.7	1.6	32.6
(15,12)	3.2	2.3	29.3
(15,11)	3.3	3.1	26.0

(a) PTGATE の基本処理遅延

PTGATE による転送遅延と PTGATE 内部の処理遅延がどの程度になるか調べるために, ping コマンドを用いて, ICMP echo request/reply パケットの転送における遅延の測定を行った. 本測定では FEC 処理は行っていない. 測定は図 7 の構成で, Host B から Host A に向けて ICMP パケットを送信し, ICMP パケットのデータ長を 100 byte から 1400 byte に変化させ, 各々往復 240 回分の平均値を測定した. 測定結果を図 8 に示す. 図 8 より, PTGATE を通過することで約 0.5 ms 程度の遅延が発生していることが分かる. この遅延時間はカプセル化や脱カプセル化などの PTGATE の基本的な処理によるものである.

(b) FEC による処理遅延

FEC 処理において, エンコード処理, デコード処理, デコード処理の際のバッファリング時間について測定した. 測定では図 7 のルータの代わりに, パケット損失生成用の PC を設置し, そこで必要なパケット損失が発生する. 各処理の測定は PTGATE A と PTGATEB で `gettimeofday()` 関数を用い, 冗長度が (15,13), (15,12), (15,11) の場合について行った. Host A から Host B に送信したビデオストリームは, 圧縮方式 MJPEG, 帯域 3 Mbps, 解像度 640×480 である. 本測定時, パケット損失生成用 PC ではパケット損失率を 0% に設定した. 測定結果を表 6 に示す. 測定値は 1 ブロック分の処理時間である.

表 8 従来方式との機能比較

Table 8 Functional comparison with the related systems

項目	PTGATE	新井らの方式	加島らの方式	屏らの方式	RFC3056	Pernes らの方式
FEC 機能				x	x	x
IPv4/IPv6 トンネル機能		x	x			x
マルチキャストトンネル機能		x	x	x	x	
ポート集約機能		x	x	x	x	

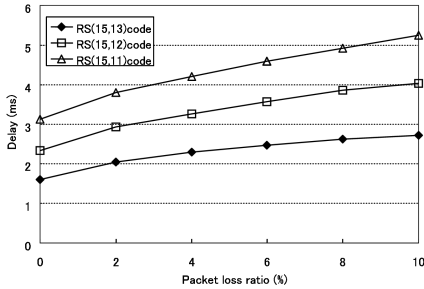


図 9 パケット損失による遅延増加量

Fig. 9 Variation of processing delay by packet loss rate

表 7 PTGATE により生じるジッタ  
Table 7 Jitter caused by PTGATE.

	冗長度	ジッタ (ms)
PTGATE なし	-	0.04
PTGATE 通過	なし	0.11
	(15,14)	0.61
	(15,13)	0.63
	(15,12)	0.83
	(15,11)	1.25

FEC エンコード処理とバッファリング処理はパケット損失により遅延が増加することはないが、FEC デコード処理はパケット損失を起こすと計算量が多くなるため、遅延が増加する。パケット損失発生用 PC で 2, 4, 6, 8, 10% のパケット損失を起こし、各パケット損失率の FEC デコード処理の遅延を測定した。図 9 に測定結果を示す。x 軸はパケット損失率で、y 軸は遅延時間である。これより、冗長度とパケット損失の増加により RS 符号演算の計算量が増えるため、遅延の増加量に変化がでていることが分かる。

4.2.5 ジッタ

PTGATE を通過することにより生じるジッタを測定した。測定に使用した Iperf のパラメータは、ペイロード長 1400 byte, 8 Mbps の UDP, 計測時間は 60 秒である。測定結果を表 7 に示す。PTGATE を通過することで、0.07 ms ジッタが増加する。また、冗長度が増加するにつれ、ジッタが増加している。これは FEC 演算の処理負荷によるものである。

5. 考 察

5.1 従来方式との比較

中間システムを用いた研究は従来より行われている。本節では、PTGATE の設計において、従来方式との差異を示す。PTGATE は 2.1 節で記述したようにネットワーク透過性のための機能として、3 つの機能（ポート転送、マルチキャストトンネル、IPv4/IPv6 トンネル）と通信品質改善のための機能として FEC 機能を持っている。それぞれについて従来方式と比較する。

中間システムを用い、FEC 機能を実現しているものとして、新井らの方式<sup>23)</sup>、加島らの方式<sup>24)</sup>がある。IPv6/IPv4 トンネル機能を実現するものとして、RFC3056<sup>25)</sup> や屏らの方式<sup>26),27)</sup>がある。マルチキャストトンネル機能として、Pernes らの方式がある<sup>28)</sup>。FEC 機能、IPv4/IPv6 トンネル機能、マルチキャストトンネル機能、ポート集約機能の各機能の比較を表 8 に示す。新井らの方式では、呼制御方式に H.323 を用いたものみに、加島らの方式では特定のアプリケーション<sup>29)</sup> のみに対応した実装で、FEC 機能においても利用アプリケーションに制限がある。

以上より、従来方式は、1 章で記述したテレビ会議実施に関する課題に対するテレビ会議システムに必要とされる機能のうち、単独の機能のみを実現している。これに対し、PTGATE は同時に 4 つの機能を満たす。

5.2 有用性と適用範囲

本節では、3 章と 4 章を通して PTGATE の有用性と適用範囲について考察する。

本システムの開発の動機はテレビ会議システム利用時に直面する 2 つの課題（通信品質保証とネットワーク透過性に関する問題）を解決することである。前者に関しては、FEC によるエラー訂正の手法を用い、その効果を 3 章や 4.1 節で示した。後者のネットワーク透過性に関しては実証実験により、異なる通信プロトコルが混在した環境でもそれを意識することなくテレビ会議システムを実施できたことで PTGATE の有用性を示した。いずれの実証実験においても、テレビ会議システム端末はデフォルトゲートウェイの設定先以外の変更を加えることなく、既存のものを活用する



ことができた。NAT やファイアウォールの配下でのテレビ会議システムの利用も PTGATE のポート集約機能を用いることで、ファイアウォールの設定変更を最小限にとどめ、既存のテレビ会議システムを使用することができる。

エンドユーザがテレビ会議システムを利用する環境は、システムの機種やネットワークの性能などが様々で、ヘテロジニアス (heterogeneous) な環境である。実証実験や種々の評価を通して、既存の資源を活用しながら、ヘテロジニアスな環境下で、いかに品質良く、またエンドユーザの手を煩わせることなくテレビ会議を実施することができたかを示した。また、今後、テレビ会議利用に対する新たな要求が発生したとしても、すべての機種やネットワークがその要求を満たすまでの移行期間、PTGATE にその機能を盛り込むことで既存の資源を活用することができ、円滑な移行が可能となる。

次に、PTGATE の適用範囲について考察する。FEC 機能を用いない場合、4 章で示したスループットと帯域増加率によるオーバーヘッドからみても、PTGATE のポート集約、マルチキャストトンネル、IPv4/IPv6 トンネルの各機能は DV 映像やハイビジョン映像の伝送にも十分使用できる。現行の多くのテレビ会議システムは利用する帯域は 2 Mbps 以下なので、PTGATE との併用が可能である。また、4.2.4 項で示した遅延に関しては、PTGATE の基本処理時間 (転送時間を含む) は ITU-T G.114<sup>30)</sup> で勧告されている遅延ガイドラインと比較して十分に小さく、対話にも支障を与えないと考えている。ジッタに関しては、4.2.5 項のとおり、PTGATE を通過することで 0.07 ms ジッタが生じるが、インターネット上での揺らぎに比べて十分小さく、アプリケーションに影響を及ぼさない。

一方、FEC 機能を利用すると、FEC 演算処理の負荷により、表 4 のようにスループットが低下し、ジッタに関しても、冗長度の増加につれジッタが大きくなる。特に PPS の大きいアプリケーションは FEC 機能を使用できるとは限らない。また、デコード時のバッファリング時間は冗長度やパケット損失率によって変化し、実験においても 20~30 ms を要する。エンドシステム間の処理遅延は使用するストリーム・アプリケーションの圧縮方式や使用帯域などに依存して変化するため、アプリケーションによっては FEC 処理付きの PTGATE を介することで会話に支障を生じることもある。

そのほか、テレビ会議システムの種類やネットワーク構成によっては、現在の PTGATE を使用できない。

SIP や H.245 などの呼制御を用いたテレビ会議システムなどで、シグナリングサーバを介する場合は PTGATE は使用できない。また、PTGATE を使用するときエンドシステムのサブネットが異っていなければならない。テレビ会議を行う双方がファイアウォールや NAT など配下でプライベートアドレスを使用する場合、双方が同一サブネットになることもありうるが、互いに異なるサブネットとなるよう調整しなければならない。これらについては今後の課題として検討していきたい。

## 6. おわりに

本論文では既存のテレビ会議システムを活用して、映像コミュニケーションの利用場面の拡大を目指すゲートウェイシステム PTGATE の開発について述べた。また、実証実験と評価を通して、PTGATE を利用することで、ユーザがインターネット上でテレビ会議を行う際に遭遇する制約のいくつかを取り除くことができることを示した。

我々は、テレビ会議システムで想定される制約を回避するための機能を追加するべく、品質面ではパケット損失だけでなく、遅延やジッタなどのパラメータに関しても考慮する必要があると考えている。今後は、他のパラメータの影響も改善するようなゲートウェイのフレームワークを検討していくとともに、さらなる実証実験を行っていきたい。

## 参考文献

- 1) Carpenter, B.: Internet Transparency, RFC2775 (2000).
- 2) ITU-T Recommendation H.323, Packet-based multimedia communications systems, International Telecommunication Union (2000). <http://www.itu.int/>
- 3) ITU-T Recommendation H.460.18, Traversal of H.323 signalling across network address translators and firewalls, International Telecommunication Union (2005). <http://www.itu.int/>
- 4) ITU-T Recommendation H.460.19, Traversal of H.323 media across network address translators and firewalls, International Telecommunication Union (2005). <http://www.itu.int/>
- 5) 岸田崇志, 前田香織, 河野英太郎, 角田良明: プロトコル変換ゲートウェイ PTGW の実証実験と評価, 電子情報通信学会技術研究報告, IA2005-8, pp.7-12 (2005).
- 6) 岸田崇志, 鈴木宏治, 前田香織, 河野英太郎: IP ストリーム伝送のための誤り訂正機能をもつアプ

- リケーションゲートウェイの開発, 情報処理学会研究報告, 2004-DSM-33, pp.81-86 (2004).
- 7) McCanne, S. and Jacobson, V.: vic: A flexible framework for packet video, *ACM Multimedia*, pp.511-522 (1995).
  - 8) VideoLAN. <http://videolan.org/>
  - 9) DVTS. <http://www.dvts.jp/>
  - 10) Robst. <http://net.ipc.hirosima-cu.ac.jp/mpeg2ts/>
  - 11) Victor DM-NE300. <http://www.jvc-victor.co.jp/pr-o/net-enc/dm-ne300/>
  - 12) Visualcast-SS. <http://www.oki.com/jp/SSC/broad-media/Visualcast/>
  - 13) Netmeeting. <http://www.microsoft.com/>
  - 14) Polycom Viewstation. <http://www.polycom.com/>
  - 15) Sony PCS. <http://www.sony.jp/products/Professional/VIDEOCONF/>
  - 16) 岸田崇志, 前田香織, 河野英太郎: 多様なコラレーションを実現する音声伝送システム, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.2, pp.517-525 (2004).
  - 17) 小林和真, 勝野 聡, 美甘幸路, 江崎 浩: JGN IPv6 ネットワーク, 情報処理, Vol.43, No.11, pp.1165-1170 (2002).
  - 18) 近堂 徹, 岸田崇志, 西村浩二, 相原玲二, 前田香織: アプリケーションゲートウェイを利用したハイビジョン映像広域伝送実験, DICO M シンポジウム論文集, pp.521-524 (2005).
  - 19) Regional Internet BackBone. <http://www.ribb.org/>
  - 20) 近堂 徹, 西村浩二, 相原玲二, 前田香織, 大塚玉記: 高品質動画伝送における FEC の性能評価, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.1, pp.84-92 (2004).
  - 21) Kondo, T., Nishimura, K. and Aibara, R.: An Efficient FEC Method for High-Quality Video Transmission on the Broadband Internet, *IEICE Trans. Communications*, Vol.E87-B, No.3, pp.643-349 (2004).
  - 22) Tirumala, A., Qin, F., Dugan, J., Ferguson, J. and Gibbs, L.: Iperf: The TCP/UDP bandwidth measurement tool (1999). <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>
  - 23) 新井雅之, 黒須一司, 福本 聡, 岩崎一彦: 畳み込み符号とエックスキャストを用いた高信頼化 TV 会議システムの実装, 電子情報通信学会研究報告, IN-2002-241, pp.49-54 (2002).
  - 24) 加島伸悟, 後藤幸功, 荒木啓二郎: Reed-Solomon 符号を用いた通信のインターネット音声放送への応用と評価, DICO M2002 シンポジウム論文集, pp.503-506 (2002).
  - 25) Carpenter, B.: Connection of ipv6 domains via ipv4 clouds, RFC3056 (2001).
  - 26) 屏雄一郎, 山崎克之: 自動トンネルを利用した LAN への IPv6 導入手法の検討と評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-B, No.10, pp.1626-1635 (2004).
  - 27) 屏雄一郎, 窪田 歩, 堀田孝男, 山崎克之, 浅見徹: IPv6/IPv4 共存 LAN の構築法と評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-B, No.8, pp.1347-1357 (2002).
  - 28) Parnes, P., Synnes, K. and Schefstrom, D.: Lightweight Application Level Multicast Tunneling using mTunnel, *Computer Communication*, pp.1295-1301 (1998).
  - 29) Icecast. <http://www.icecast.org/>
  - 30) ITU-T Recommendation G.114, One-way transmission time, International Telecommunication Union (2003). <http://www.itu.int/>

(平成 18 年 7 月 5 日受付)

(平成 19 年 1 月 9 日採録)



岸田 崇志 (正会員)

2001 年広島市立大学情報科学部情報工学科卒業。2003 年同大学院情報科学研究科博士前期課程修了。2006 年同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。現在, ネットワンシステムズ株式会社。博士 (情報工学)。IP ネットワーク上の音声伝送技術やマルチメディア応用に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



前田 香織 (正会員)

1982 年広島大学総合科学部卒業。広島大学工学部助手。(財)放射線影響研究所技術員, 広島市立大学情報科学部助手を経て, 1999 年より広島市立大学情報処理センター助教授。博士 (情報工学)。コンピュータネットワーク, マルチメディア情報通信に関する研究に従事。電子情報通信学会, 教育システム情報学会各会員。



河野英太郎 (正会員)

1990 年広島工業大学工学部電気工学科卒業。1992 年東京工業大学大学院修士課程修了。1996 年同博士課程単位取得退学。同年広島市立大学情報処理センター助手。コンピュータネットワークの研究に従事。電子情報通学会員。