

## インターネット動画配信システムの設計とその応答性の評価

後藤, 幸功  
九州大学大学院システム情報科学研究院情報工学部門

荒木, 啓二郎  
九州大学大学院システム情報科学研究院情報工学部門

<https://doi.org/10.15017/1525444>

---

出版情報：九州大学大学院システム情報科学紀要. 7 (1), pp.47-52, 2002-03-26. 九州大学大学院システム情報科学研究院  
バージョン：  
権利関係：

# インターネット動画配信システムの設計とその応答性の評価

後藤 幸功\*・荒木啓二郎\*

## Design of Internet Video Transfer System and Evaluation of Its Response

Yukinori GOTO and Keijiro ARAKI

(Received December 14, 2001)

**Abstract:** On the Internet, many users are using video transfer applications. However a video server can support only a few clients, because video applications use wide bandwidth. Therefore a video server distributes load of video transfer to supports many users. Then we proposed Client-GatewayServer-SourceServer model to reduce server's load, and developed Video Transfer System that has video on demand service and video broadcasting service. We evaluated the response time of this system for user's video operation. It is shown that the response time of this system is faster than existing video transfer applications, though there is a gateway server between clients and servers.

**Keywords:** Internet video transfer system, QoS, VoD, CGS model, Response time

### 1. はじめに

インターネットの広帯域化に伴い、音声動画をを用いたさまざまなサービスをインターネット上で提供することが可能となってきた。しかし、インターネット上のWWW(World Wide Web)サービスを初めとするクライアント・サーバモデルでは利用者の増加に伴ってサーバ側の負荷は大きくなる。従って、利用者へ品質を保証したサービスを提供するために、サーバ側は利用者数に上限値を定めなければならない。従来までの実時間性を必要としないWWWによるホームページへのアクセスでは利用者の通信時間が数秒～数十秒で終了し、また、1利用者あたりの使用帯域も数十Kbps程度であるため、サーバ側に同時利用者数の上限値を設定する必要はない。しかし、音声や動画をを用いた通信サービスの中には実時間性を必要とし、かつ長時間に渡って広い帯域幅を使用する放送型サービスやオンデマンド型通信サービスでは、1利用者がサーバを長時間占有するとともに広帯域幅を使用することがあり、サーバにおいて品質保証したサービスを提供するためには同時利用者数の上限値を設定することが必要となる。このため音声動画をを用いたサービスではWWWのように大多数の利用者へサービスを同時に提供することが困難である。

そこで、本稿ではサーバで設定した同時利用者数の上限値を越える利用者へ品質を保証しかつ実時間に動画データを送信可能とするインターネット動画配信システム(以下、動画配信システムという)の設計を目的とする。この目的を実現するために、サーバとクライアントとの間

にゲートウェイサーバを設け、クライアントからの要求をネットワーク中に分散したゲートウェイサーバで収容し、クライアントからサーバへの要求を集約するモデルを提案する。そして、このモデルに従ったインターネットビデオ・オン・デマンドサービスと、同時に複数の利用者へ同じ動画をリアルタイムで配信するインターネット放送サービスを提供する動画配信システムの設計を行ない、本システムの利用者に対する応答性について評価を行なう。

以下、2節では複数利用者へのビデオデータの提供方法として、Client-GatewayServer-SourceServerモデルの提案と放送型サービスのためのIPマルチキャストの使用に関する課題について述べる。3節では動画配信システムの構成を提案し、4節では提案したシステムを実際のネットワーク上で実証実験を行ないクライアントから動画の再生および早送り、巻戻しなどの操作に関するシステムの応答時間を測定し評価を行なう。最後に、5節で実験結果に対する考察を行ない、提案したシステムが操作の応答性に関して利用者の要求を満たすことを示す。

### 2. 複数利用者へのビデオデータの提供方法

本節では、インターネットビデオ・オン・デマンド(以下、VoDという)サービスと実時間に同時に複数の利用者へ同じ動画を配信するインターネット放送サービスとを提供するための方式として、クライアントとサーバとの間にゲートウェイサーバを置いたClient-GatewayServer-SourceServerモデル(以下、CGSモデルという)とIPマルチキャストを組み合わせた方式を提案する。

### 2.1 ゲートウェイサーバを用いたCGSモデル

一般にサーバから複数の利用者に対して、利用者からの要求があり次第ビデオデータを提供する場合、ビデオデータのデータ量は大きいのでビデオデータを提供するサーバには大きな負荷がかかる。従って、サーバが複数の利用者へ品質を保証したビデオデータを送信することは困難である<sup>1)2)</sup>。動画をオンデマンドに実時間性を保証しつつ通信を行う場合には、サーバはその通信に対して送信間隔を制御しながら通信を行う必要がある<sup>1)</sup>。そのため、単純なファイル転送に比べてサーバの負荷は大きく、またクライアントの接続数にも制限が必要となる。従って、従来のクライアント・サーバモデルを用いたVoDサービスでは多数の利用者へサービスを提供することは不可能である。そこで、本稿ではFig.1に示すように、クライアント、ゲートウェイサーバとソースビデオサーバによるCGSモデルを提案する。

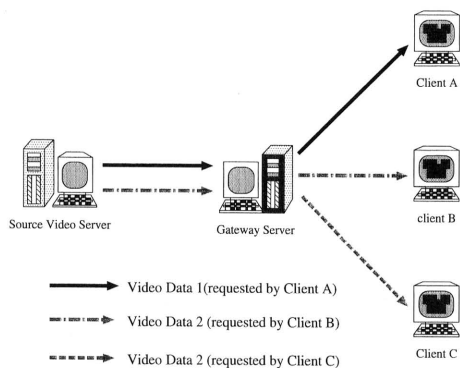


Fig.1 CGS Model

提案するCGSモデルはソースサーバから送信されたデータをゲートウェイサーバが一旦受信し、受信したデータを一時蓄積しながら、クライアントへデータを送信するモデルである。このモデルで取り扱うデータとは通信時に発生する1パケット分のデータではなく、クライアントへ提供された動画のビデオデータ全てである。このモデルはFig.1に示したクライアントBがゲートウェイサーバを介してソースサーバが提供するビデオデータ2を受信した後、クライアントCがゲートウェイサーバを介して同じビデオデータ2を受信するとき、ゲートウェイサーバが一時蓄積したビデオデータ2をソースサーバの代わりにクライアントCへ提供する機能を持つ。この機能によって一時蓄積されたデータについてはソースサーバからの通信を行わないためソースサーバの負荷は軽減される。

また、ゲートウェイサーバを多段に設置することにより、提供可能なクライアントの数はゲートウェイサーバの数に対して指数的に増加する。このCGSモデルにより、利用者からの要求に従って即時にユニキャスト通信を行うVoDについてはゲートウェイサーバが一時蓄積を行なう

ことによりソースサーバの負荷が軽減され、複数の利用者への提供が可能となる。

### 2.2 IPマルチキャストの問題

複数利用者へ同時に実時間放送を行なうインターネット放送サービスについては、一般にクライアントとサーバ間でIPマルチキャストによるデータ通信が提供可能であればよいと考えられている。しかし、IPマルチキャストを使用するためには経路制御に対して規模適応性の問題がある。IPマルチキャストを用いて放送を行うとき、1つのIPアドレスを1つの放送に使用する。このため、複数の放送があるときは大量のIPアドレスが経路表上に必要となり、送信者から世界規模に分散した受信者までの経路を制御することは困難である。また、IPマルチキャスト用のクラスDのIPアドレス(以下、マルチキャストアドレスという)は、通常ユニキャストで使用されるIPアドレスと異なり中央管理されておらず、送信者が自ら決定して利用できる。そのため異なったネットワーク管理区域で使用されたマルチキャストアドレスを把握したり管理することは困難となる。従って、マルチキャストアドレスについて集約した経路制御やIPアドレスの利用状況を世界規模で管理することも困難となる。そこで、本稿では2.1節で提案したCGSモデルを用いてソースサーバからゲートウェイサーバ間はユニキャストを用いてビデオデータを提供し、ゲートウェイサーバからクライアントまでの間は狭いネットワーク区域でIPマルチキャストを用いてビデオデータを提供するように設計した。この設計に従い、ゲートウェイサーバとクライアントをネットワーク管理者の管理区域に設置することで、IPマルチキャストを使用するネットワーク区域がネットワーク管理者の管理管轄内で行うことが可能となる。このため、マルチキャストアドレスの使用状況が把握でき、また狭いエリアのため経路制御も容易になり、IPマルチキャストの経路制御とマルチキャストアドレスの使用に関する問題が解決できる。

### 3. 提案する動画配信システムの構成

前節で述べたように、CGSモデルに従い、かつIPマルチキャストを使用したシステムをFig.2に示す。

このシステムでは、ビデオデータが流れる通信に対してはコネクションレス型の転送プロトコルであるUDP(User Datagram Protocol)<sup>3)</sup>を使用している。そのため、クライアントとゲートウェイサーバの間の通信およびゲートウェイサーバとソースビデオサーバ間のビデオデータが使用する通信はRSVP(Resource Reservation Protocol)<sup>4)5)</sup>を用いて資源予約を行ないビデオデータが流れる通信路の帯域幅を保証することによりデータの損失が発生しにくいように設計されている。一方、クライアントから利用者が指示する再生や早送りなどの操作につ

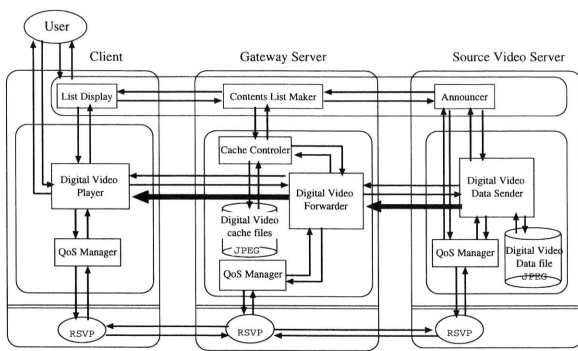


Fig.2 System Configuration

いてはTCP(Transmission Control Protocol)<sup>6)</sup>を使用しておりその通信の帯域幅は保証していない。

VoDサービスについては、利用者の再生や早送りなどの操作に対して個々に対応するためソースビデオサーバとゲートウェイサーバ間、およびゲートウェイサーバとクライアント間ではユニキャスト通信を使用している。また、VoDサービスでは、ゲートウェイサーバで1利用者に一度提供された動画を一時蓄積することにより、ソースビデオサーバへの負荷集中を避け、ソースビデオサーバで設定された上限値以上のクライアントへサービスを提供できる。

インターネット放送サービスについては、実時間放送をソースビデオサーバからゲートウェイサーバを経由してクライアントへ提供するため、ゲートウェイサーバの接続数がソースビデオサーバの同時利用者数の上限値に依存するもの、ゲートウェイサーバからクライアント間はIPマルチキャストを用いているため、ソースビデオサーバで設定された上限値を越える数のクライアントへサービスを提供可能としている。

また、本システムでは動画のデータとしてJPEG(Joint Photographic Coding Experts Group)<sup>7)</sup>を用いており、1秒間に最大30フレームを送信可能とした。

このシステムの詳細な構成および機能に関する考察および評価は文献8)9)で述べている。

#### 4. 実験環境と実験結果

本節では、実験環境とその上で行なわれる実験の目的および実験結果について述べ結果の評価を行なう。

##### 4.1 実験環境

実験環境はATMの回線を使用し、福岡市内の個人宅および福岡ソフトリサーチパーク(SRP)センタービル内の企業、九州大学箱崎キャンパスおよび筑紫キャンパスの研究室に合計12台のクライアントPCと5台のゲートウェイサーバおよび4台のソースビデオサーバを設置し、利用者にVoDサービスとインターネット放送サービスを視聴し

てもらった。この実験環境のネットワーク構成をFig.3に示す。

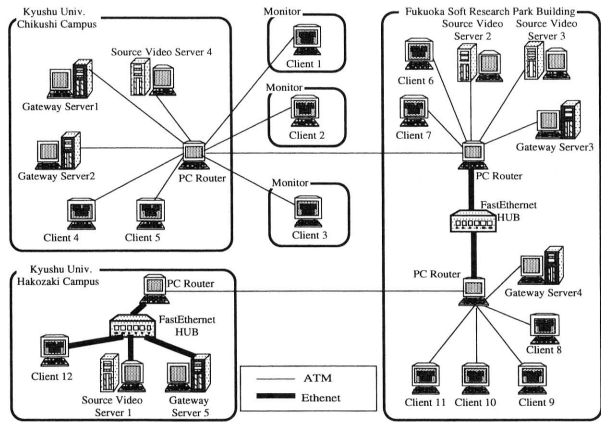


Fig.3 Experiment Network

クライアントは自分から一番近いゲートウェイサーバに接続するように設定した。また、各地点はPCルータで接続されており、各PCルータでRSVPによる資源予約が可能であり、IPマルチキャストの経路制御も行なっている。

##### 4.2 実験内容

本稿の実験目的は、本システムの提供するVoDサービスとインターネット放送サービスが利用者からの操作要求入力(ビデオ再生ボタンや停止ボタンなどの押下)からどれだけの待ち時間で動画の再生を提供するかを評価することである。操作に関する応答時間を評価するために次の2つの実験を行なう。

**実験1** インターネット放送サービスに対して、9箇所のクライアントで同時に再生開始要求ボタンを押してから動画がディスプレイに表示されるまでの時間を各クライアントの利用者がストップウォッチで10回計測する。

**実験2** VoDサービスに対して、再生、早送り、巻戻しの操作を行ない、その応答時間をストップウォッチで計測する。

##### 4.3 実験結果と評価

実験1および実験2の結果をTable 1とTable 2に示す。

###### 4.3.1 実験1の評価

実験1は、9台のクライアントがインターネット放送の番組を要求し再生するまでの受信待ち時間について測定を行なった。各クライアントで測定した受信待ち時間測定値を比較する。但し、Table 1上の×と示した測定失敗の分は外すため、87件の測定結果を対象とした。その結果87件のうち84件が40秒以内に収まっていることが分かった。

**Table 1** Experiment 1 : Response Time on Clients (Unit:second)

	Client1	Client2	Client4	Client5	Client6	Client7	Client8	Client9	Client12
1	29.87	31.21	0.74	1.14	0.33	1.36	1.19	1.19	31.22
2	1.09	0.98	1.06	23.88	2.94	1.57	3.19	1.25	31.28
3	1.00	1.09	0.99	1.25	2.88	0.70	3.24	1.23	31.16
4	0.98	1.06	1.00	0.94	1.22	3.26	3.10	58.90	30.88
5	1.12	×	×	2.68	0.97	1.15	47.00	1.21	31.10
6	31.24	30.64	0.95	0.90	30.85	0.74	1.04	1.24	31.13
7	30.94	25.24	1.11	1.00	31.01	1.10	1.06	1.23	31.23
8	29.99	30.14	1.04	0.91	31.14	0.90	1.14	1.24	31.14
9	3.01	30.19	0.94	35.08	33.00	1.07	18.12	1.27	31.04
10	1.14	1.08	1.00	1.05	30.01	×	65.67	2.43	31.19

**Table 2** Experiment 2 : Number of Response Time

Type	0~1s	1~2s	2~3s	3~5s	over 5s	Error	Total
Play	119	15	2	0	1	1	138
Forward	132	6	0	0	0	0	138
Review	135	3	0	0	0	0	138

これは87件全体の96.5%に相当する。また、結果から受信待ち時間測定値は1秒(57件)、30秒(24件)、60秒(2件)を中心に分布していることが分かった。今回の実験ではIPマルチキャスト経路制御のためのアプリケーションとして経路制御プロトコルDVMRP(Distance Vector Multicast Routing Protocol)<sup>10)</sup>を使用したmroutedを使用したため、この測定値の分布からインターネット放送はIPマルチキャストの経路制御プロトコルのネゴシエーションにかかる最大待ち時間に依存していることが分かった。

以上の実験結果より、IPマルチキャストの経路制御プロトコルに依存するものの、再生までの時間が、早ければ1秒前後で行なわれ、通常のテレビをつけて画像が表示されるまでの時間とほぼ変わらないことを示すことができた。以上のことからCGSモデルを使用したシステムにおいて、ゲートウェイサーバを介した場合でも実時間に動画を配送するインターネット放送の操作応答時間に影響はないことが示された。

#### 4.3.2 実験2の評価

実験2では、本アプリケーションの操作性について評価を行うために、クライアントを利用する実験協力者に対してアンケート形式で調査を行ない、その結果を集計して評価を行った。調査内容は、クライアントでの再生に関する操作である再生、早送り、巻き戻しについての応答時間である。既存のインターネット上で提供されているRealVideoやWindows Media Playerなどは利用者が操作を開始してから最低6秒はバッファリングのために待たされるため、本評価では評価基準値を6秒以下の5秒とし、5

秒以内に操作に対する応答がある場合は本システムは既存のアプリケーションよりも操作性が優れていると判断するものとする。まず、再生に関する応答時間について調査する。集計結果はTable 2に示したように138件中119件が1秒以内に応答し、15件が1秒~2秒以内、2件が2秒~3秒以内、1件が評価基準値を超える5秒以上、1件が障害発生による測定不能という結果であった。この結果より、再生については、138件中136件が規定した評価基準値に収まっており、内1件は障害による計測不能のため、判定対象からはずすと、137件中136件が評価基準値に収まることになる。従って、再生に関する応答時間は、99%以上の割合で評価基準値に収まっていた。この結果から、再生に関する応答時間においては、アプリケーションの操作性に優れていると評価できる。

次に、早送りに関する応答時間について調査する。Table 2から138件中132件が1秒以内に応答し、6件が2秒以内に応答した。この結果より、早送りに関しては、全ての結果が評価基準値に収まっていた。この結果から、早送りに関する応答時間においても、アプリケーションの操作性に優れていると評価できた。

次に、巻き戻しに関する応答時間について同様に評価を行なう。Table 2に示したように138件中135件が1秒以内に応答し、3件が2秒以内に応答した。この結果より、巻き戻しに関しては、全ての結果は評価基準値に収まっていることが示された。この結果から、巻き戻しに関する応答時間においても、アプリケーションの操作性に優れていると評価できた。

以上の結果より、VoDに関する3つの操作についての測定結果が評価基準値に収まり、速い応答時間を提供していることを示すことができた。この結果より、利用者に対するVoDの操作性について優れていることが評価できた。

## 5. 考 察

本節では各実験に関する考察について述べる。

### 5.1 実験1の考察

受信待ち時間測定値に関する考察を行う。実験1の評価からインターネット放送に接続するためにかかる時間は87件の測定回数中96.5%が40秒以内に収まっていることが分かった。しかし、Table 1中のClient9の4回目、Client8の5回目と10回目の3件については40秒以上かかっていた。この40秒以上かかった原因について考察する。40秒以上かかったときの、ソースビデオサーバ、ゲートウェイサーバおよびクライアントでの動作記録(以下、ログという)を調査した結果、次のことが分かった。

本システムは仕様上、ゲートウェイサーバはクライアントからのインターネット放送の番組を要求するメッセージを受信した後、RSVPのパスメッセージ<sup>4)</sup>をIPマルチキャストを用いて送信する処理を行っている。そしてこのIPマルチキャストを用いてパスメッセージを送信するまでの時間が、ゲートウェイサーバとクライアントのログから、1秒以下であることが分かった。従って、クライアントがインターネット放送の要求を出してからゲートウェイサーバが受信するまでの時間は短いことが分かった。一方、クライアントがゲートウェイサーバから送信されたRSVPのパスメッセージを受信するまでの時間は、ゲートウェイサーバがRSVPのパスメッセージを送信してから40秒以上たってからであった。これらのことから40秒以上かかった原因として、ネットワーク中のルータにおいてRSVPのパスメッセージを中継するために時間がかかることが推測できる。

この推測は、IGMP(Internet Group Management Protocol)<sup>11)</sup>の仕様から裏づけできる。IGMPはクライアントがIPマルチキャストのグループに参加するために使用するプロトコルである。IGMPを用いてクライアントはルータへ自分がIPマルチキャストのグループに参加することを通知する。しかし、クライアントがIPマルチキャストのグループに参加した情報からネットワーク中のルータで経路が決定するまでに、10秒以上かかる場合がある。また、RSVPのパスメッセージは約30秒おきに送信される仕様となっている。これらのプロトコルの仕様により、クライアントがIPマルチキャストのグループに入ったことがネットワーク中のルータで認識される前に、RSVPのパスメッセージがゲートウェイサーバから送信されると、クライアントはRSVPのパスメッセージを受信することが

できない。もしIGMPによるルータでのクライアントを認識するためにかかる時間と、RSVPのパスメッセージが送信されるまでの時間が同時である場合は、ゲートウェイサーバが1回目に送信したパスメッセージは、クライアントに届かず、また、30秒後に送信する2回目のパスメッセージもクライアントへ届かないことがある。このような場合は、1回目のパスメッセージの送信から60秒後の3回目のパスメッセージをクライアントは初めて受信することになる。

実際の実験結果においては、この推測のとおり、受信待ち時間測定値は1秒、30秒、60秒を中心に分布していた。従ってこの推測を踏まえて、受信待ち時間測定値が40秒以内に収まらなかった理由として、IGMPによるルータでのクライアントを認識するためにかかる時間と、RSVPのパスメッセージが送信されるまでの時間がほぼ同じであったために、40秒以内にクライアントでRSVPのパスメッセージを受信できなかったと考察できる。

以上の考察から、インターネット放送に接続するためにかかる時間が40秒以上かかる原因は、開発したシステムにはないことが分かった。今後、インターネット放送の受信待ち時間を短くするためには、インターネット放送の受信待ち時間がIPマルチキャストの経路制御に関する処理に依存するため、IPマルチキャストのプロトコルを検討することが必要である。現在、IPマルチキャストの経路情報に関するプロトコルは未完成なものであるため、今後のIPマルチキャストに関するプロトコルの検討、技術開発を行なう予定である。

次に、IPマルチキャスト通信を用いてインターネット放送を実現するためにゲートウェイサーバを設置したシステムの構成について考察する。本実験では各ゲートウェイサーバで測定した送信帯域の結果から、次のことがいえる。ゲートウェイサーバでは、ソースビデオサーバから送信されたユニキャスト通信を一旦受信し、マルチキャストへ変換する処理を行っている。この処理においてビデオデータを送信するときの通信品質がソースビデオサーバから送信された場合と同じように保証されていることが、クライアントでのデジタルビデオを再生した結果を目視することによりわかった。この評価実験では、ゲートウェイサーバとクライアントはできるだけ近いネットワークで構成していた。2.2節で述べたようにマルチキャストアドレスの管理と経路制御の問題のため大規模なIPマルチキャストによるビデオ配信サービスは困難であるが、通信帯域の測定結果とネットワークの構成から、ソースビデオサーバとクライアントの間に、クライアント側に近いところにゲートウェイサーバを設置することで、品質保証された実時間で動画配信システムが提供できた。

以上のことから本システムはCGSモデルと局所的にIPマルチキャストを用いることにより、ゲートウェイサーバ

とクライアント間での経路制御問題によるサービスの困難を避け、多くのクライアントへサービスの提供が可能となり、また品質保証もされているシステムであるといえる。

## 5.2 実験2の考察

実験2の測定結果において、再生時の応答時間が5秒以上かかったものが1件あった。これについて考察する。クライアントからの再生要求については、TCP(Transmission Control Protocol)を用いた通信で実現している。このため、クライアントからの再生要求のメッセージがゲートウェイサーバへ送られたあと、ゲートウェイサーバからは確認応答としてクライアントへTCPのACK(Acknowledgement)を返す。このACKをクライアントが受信することにより、クライアントは次の処理に進む仕様となっている。このACKが戻らない場合は、TCPの機能またはアプリケーションの機能によりメッセージの再送を行う仕様となっている。

今回の実験ではクライアントの設定において、ゲートウェイサーバからACKが戻ってくるまでの待ち時間を5秒に設定した。そのため、ゲートウェイサーバからクライアントにACKが5秒未満であり、かつ5秒に近い時間で返ってきた場合、ACKを受信した後に操作に関する処理が行われる。このACKが帰ってくる時間の問題により、クライアントでのアプリケーションの操作に関する処理に5秒以上の時間がかかる場合がある。

5秒以上ゲートウェイサーバからの応答がない場合は、クライアントは通信障害と判断し次の処理に進むことになっている。今回の実験結果では応答時間が5秒以上かかっていたが、クライアントは通信障害として異常処理を行っていないため、先に述べたようにACKが5秒に近い時間で返ってきたことによりクライアントは正常処理として動作したため調査上5秒以上の結果になったものと判断できる。従って、全ての結果を5秒に収めるためには、クライアント側の設定でゲートウェイサーバからの待ち時間を短くするように設定すれば良いことが考えられる。本システムに対する実験協力者たちの満足度については、アンケート調査では回答を求めているが、実験協力者へ口頭による質問(以下、ヒアリングという)を行った。実験協力者からのヒアリングによる結果から、VoDの早送り巻き戻しに関する満足度は高い評価を得た。特に実験協力者からはネットワークを介した通信を行っているように感じず、クライアントのハードディスクにあるデジタルビデオデータを操作しているように思えたという感想も得た。以上のことから今回設計した本システムについて、操作性に関しては利用者から高い評価を得ることができ、本システムは操作性に優れ、実用的なシステムであることが示

せた。

## 6. ま と め

本稿はクライアント・サーバモデルのインターネット放送サービスおよび従来のVoDサービスではサーバへの負荷が大きくなり大多数の利用者へサービスを提供できないため、クライアントとサーバの間にゲートウェイサーバを設置するCGSモデルを提案し、このモデルに従って動画配信システムの設計し実装を行なった。CGSモデルではクライアントとサーバの間にゲートウェイサーバがあるため、利用者の画像の再生操作に対して遅延が発生する可能性がある。そこで、インターネット放送サービスおよびVoDサービスに対して利用者実際に使用してもらい、操作に対する応答時間を計測し評価を行なった。この結果、既存のアプリケーションよりも操作性が優れていることが示せ、CGSモデルにおいても操作性が損なわれることが無いことを実証実験によって示し、このモデルがサーバの負荷を分散し大多数の利用者へ動画像サービスを提供可能であることを示した。今後は更に大きなネットワーク上で実証実験を継続する予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 後藤幸功; 長野央; 荒木啓二郎: インターネットにおけるQoS保証された動画配信システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌 Vol.40, No.11 pp.4127-4142 (1999)
- 2) 後藤幸功; 長野央; 荒木啓二郎: RSVPを用いたVoD配信システムモデルの提案, 情報処理学会研究報告 情報研報 Vol.98, No.31 pp.79-84 (1998)
- 3) J. Postel: User Datagram Protocol, Request for Comments: 768 (1980)
- 4) R. Braden; L. Zhang; S. Berson; S. Herzog and S. Jamin: Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Version 1 Functional Specification, Request for Comments: 2205 (1997)
- 5) L. Zhang; S. Deering; D. Estrin; S. Shenker and D. Zappala: RSVP: A New Resource ReSerVation Protocol, IEEE Network, Vol.7, No.5 (1993)
- 6) J.Postel: TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL, DARPA INTERNET PROGRAM PROTOCOL SPECIFICATION, Request for Comments: 793 (1981)
- 7) 安田浩: マルチメディア符号化の国際標準, 丸善(1993)
- 8) 後藤幸功; 荒木啓二郎: 資源予約可能なインターネット上でのビデオ放送システムの評価実験とシステム運用, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2001)シンポジウム論文集(2001) pp.175-180
- 9) 後藤幸功; 荒木啓二郎: 資源予約可能なインターネット上でのビデオ放送システムの提案と実装, 火の国シンポジウム2001論文集(2001)pp.286-293
- 10) D. Waitzman; C. Partridge and S. Deering: Distance Vector Multicast Routing Protocol, Request for Comments: 1075 (1988)
- 11) S. Deering: Host Extenltions for IP Multicasting, Request for Comments: 1112 (1989)