

## スムーズなチャンネル切り替えが可能な P2P ストリーム配信システムの提案と実装

小南 英司<sup>†</sup> 寺田 直美<sup>†</sup> 河合 栄治<sup>†</sup> 藤川 和利<sup>†</sup> 砂原 秀樹<sup>†</sup>

<sup>†</sup>奈良先端科学技術大学院大学 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地の 5  
E-mail: <sup>†</sup> {eiji-k, naomi-te, eiji-ka}@is.naist.jp, fujikawa@itc.naist.jp, suna@wide.ad.jp

**あらまし** 近年, P2P 技術を用いてストリーム配信サービスの提供コストを低減する, アプリケーションレベルマルチキャストと呼ばれる配信手法に注目が集まっている. しかし, 既存の P2P ストリーム配信システムは, 視聴するストリームを切り替える際に新たなストリームの配信元ピアを検索するため, ストリームチャンネルの切り替えに時間が掛かるという問題がある.

本研究では, 事前にグループ内で予備リンクと呼ばれるコネクションを張り, この予備リンクを用いてチャンネル切り替え処理を行うことで, スムーズなチャンネル切り替えを実現する. 予備リンクの構築は, 関連度の高いストリームを持つピア同士で行う. さらに本研究では, この手法を用いた P2P ストリーム配信システムを実装し, 提案手法の有効性を検証する.

**キーワード** P2P, ストリーム配信, 予備リンク, グループ化, チャンネル切り替え

## Proposal and Implementation of P2P Streaming System with Smooth Stream Switching Mechanism

Eiji KOMINAMI<sup>†</sup> Naomi TERADA<sup>†</sup> Eiji KAWAI<sup>†</sup>

Kazutoshi FUJIKAWA<sup>†</sup> and Hideki SUNAHARA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Nara Institute of Science and Technology 8916-5 Takayama, Ikoma, NARA 630-0192 JAPAN

E-mail: <sup>†</sup> {eiji-k, naomi-te, eiji-ka}@is.naist.jp, fujikawa@itc.naist.jp, suna@wide.ad.jp

**Abstract** With the spreading of broadband Internet access widely, live contents streaming service is now popular, and besides, Application-Level Multicast using peer to peer technique has been emerged as one of the best solution to reduce distribution costs on a server. However, the existing peer to peer streaming system has problems which cannot switch stream contents smoothly because a peer finds the parent peer which can send new stream contents only after decision of switching.

In this paper, We present the design, implementation, and evaluations of a peer to peer media streaming system with smooth switching. In this system, peers construct backup routes beforehand and use one in case of switching stream channels. Each peer which has similar contents forms a group and constructs the backup routes on the other.

**Keyword** P2P, Media Streaming, backup route, grouping, channel switching

### 1. はじめに

xDSL や光ファイバーに代表されるブロードバンドサービスの急速な普及により, 広帯域・常時接続のインターネット接続が一般的となり, これを背景に音楽や映像などのライブストリームの配信サービスが非常に盛んに行われている. しかし, 多数の視聴者に高品質なストリームコンテンツを提供するためには, 広帯域の回線と高性能な配信サーバが必要であり, このサーバの管理や運用に大きなコストが掛かることが, これ

らのサービスを行う上で非常に大きな問題となっている. このため, P2P 技術を用いて配信コストの低減を可能にする, アプリケーションレベルマルチキャスト (ALM) と呼ばれる配信手法に関する研究が, 近年活発に行われている.

しかし, これまでに提案されている P2P ストリーム配信システムでは, ネットワーク上に流れる複数のライブストリームを相互に切り替えながら見るといった視聴形態は想定されていないため, 切り替えに時間が

掛かるという問題がある。ALM を用いた配信システムは、複数のピアの中から配信元のピアを一意に決めなければならないが、既存の配信システムでは、ストリームを切り替える度に新たなストリームの配信元ピアの検索と決定を行う。このように、配信元ピアの決定に時間が掛かるため、スムーズにチャンネルを切り替えることができない。

本研究では、関連度の高いストリームを持つピア同士であらかじめ予備リンクを構築し、チャンネル切り替えの際に予備リンク先のピアに対して配信要求を行うことで、チャンネル切り替えをスムーズに行うストリーム配信システムを提案する。また、これらの手法を実装し、エミュレーション環境において実験を行うことで、提案手法の有効性を評価する。

## 2. 既存システムにおけるチャンネル切り替え手法と提案システムへの要求事項

### 2.1. 既存のチャンネル切り替え手法

同一配信ネットワーク上で複数のストリームを同時に流通可能な配信システムとして、PeerCast[1]やAnySee[2]などが提案されている。これらのシステムでは、カメラと直接接続してストリームの生成を行うピア（ルートピア）を根とする配信木を、ストリームごとに構築することにより、ストリームの配信を行う。ストリームの視聴を希望するピアは、要求するストリームの配信木に所属し、ストリームを受信する。また、いくつかのピアは、配信の効率性をあげるため、あるいは配信経路を多重化するために、複数の配信木に所属し、同時に複数のストリームを受信する。このように、ストリームごとに配信木を構築し、これをうまく組み合わせることで、複数のストリームを同時に配信可能なシステムを実現している（図1）。

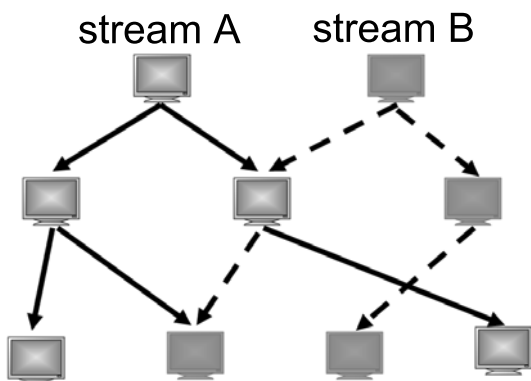


図1 複数ストリームを配信可能な配信システム

しかし、既存の配信システムでは、複数のストリー

ムを頻繁に切り替えて視聴することが想定されていないという問題がある。

PeerCast では、図2のように、ストリームを受信する際に、インデックスサーバにルートピアの情報を問い合わせ、ルートピアから葉に向けてストリームの送信の可否を尋ねながら配信木を下りていく。チャンネル切り替えを行う度にこの動作を繰り返すため、チャンネルの切り替えに時間を要する。したがって、頻繁にチャンネルを切り替えて視聴する視聴形態には適していない。また、受信ピアの数が多くなり配信木が深くなればなるほど、配信元ピアの探索と決定に時間を要するので、視聴者の多いストリームの配信にも適さない。

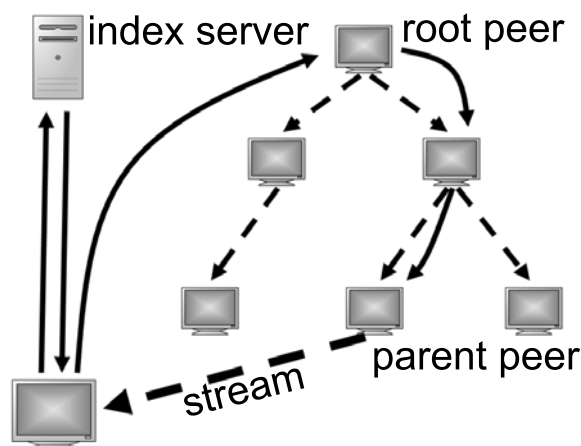


図2 PeerCastにおける配信元ピアの探索

AnySee では、ストリームを相互に切り替えながら視聴する視聴形態は想定されておらず、チャンネルの切り替え方法や、他のストリームの検索方法についての記述がない。

このように、既存手法では複数のライブストリームを短時間で切り替えることは困難である。

### 2.2. 提案システムがみたすべき要求事項

前節で述べた課題を解決し、スムーズなチャンネル切り替えを実現するために必要な、ストリーム配信システムへの要求事項を考察する。

まず、並行して配信される複数のストリームを、単一ネットワーク上で同時に配信することが可能でなくてはならない。また、ネットワーク上に流れるストリームを視聴者が任意のタイミングで自由に切り替えられる必要がある。提案システムではこれらが実現された上で、ストリームの切り替えが非常に短時間で行われなければならない。なぜなら、本システムが配信を行うライブストリームコンテンツは、コンテンツの生成と配信が同時に行われることや、複数のストリームが

同じ時間軸を共有していることから、見逃した部分を後から視聴し直すことが困難であるという特徴があるためである。同じ理由から、ストリームの配信中断時間を極力少なくすることが必要で、ストリームの配信がなんらかの理由で停止してしまった場合でも、配信を早期に再開できることが要求される。

また、視聴者の変動に対応できるスケーラビリティを有していることも、提案システムを設計する上で必要となる。なぜなら、複数のストリームを切り替えながら視聴するために、1ストリームあたりの視聴者数が大きく変動するからである。したがって、視聴者数の変動に対応できるシステムの設計が求められる。

以上をふまえ、提案システムが満たすべき要求事項をまとめると以下ようになる。

- ・同時に複数のストリームを配信ネットワーク上で流せること。
- ・視聴者が任意のタイミングでストリームを切り替えられること。
- ・複数のストリームを短時間で切り替え可能であること。
- ・視聴者数の変動に対応できること。
- ・ストリームの配信の中断を極力減らすこと。

### 3. スムーズなチャンネル切り替えが可能なストリーム配信システムの提案

#### 3.1. 配信木の構築

本研究では、物理ネットワーク上に仮想的に ALM 技術を用いたオーバーレイネットワークを構築し、ルートピアを根、ストリームを受信するピア（受信ピア）を節や葉とする配信木を用いて、ストリームコンテンツの配信を行う。配信木はストリーム別に構築し、配信木を構成するピアのうち葉を除く全てのピアは、ストリームを受信し再生しながら、他のピアにストリームを中継する。また、前節の要求事項を満たすために、以下の設計方針に沿って配信木の構築を行う。

- ・配信木の深さはできるだけ浅くし、中継ピア数を最低限の数にする。
- ・物理ネットワークを考慮し、配信木の構築を行う。
- ・各ピアが中継を担当するストリームをあらかじめ決めておく。
- ・ピアの離脱による配信停止に備えて、バックアップリンクを構築する。
- ・複数のピアに配信要求を分散させることで、ルートピアの負荷軽減を行う。

##### 3.1.1. 配信元ピアの決定

ALM の特徴として、中継ピアがネットワークから離脱すると、そのピアより先のピアへのストリーム配信

が停止する、という点が挙げられる。ALM は、各ピアがストリームの配信に協力することで負荷を分散し、ストリームを流通させる技術であるので、中継に携わるピアの離脱は配信そのものに影響を与える。配信木の深さが深くなればなるほど、途中の中継ピア数が増加し中継ピアの離脱する可能性が増すと考えられるので、本システムでは、ルートピアにできるだけ近いピアからストリームを受信する。同時に、ストリームの遅延や配信木の断絶を防ぐために物理ネットワーク上で最も近い位置にあるピアを配信元ピアとして選出する。

##### 3.1.2. 所属ストリームの決定

各ピアは、配信ネットワークに参加した際に、インデックスサーバによって中継を担当するストリーム（所属ストリーム）を一つ定められる。各ピアは、所属ストリームを中継しながら、他のストリームの受信も行えるため、担当するストリームの中継を中断することなく、任意のストリームを視聴することが可能である。

##### 3.1.3. バックアップリンクの構築

配信木の途中のピアが離脱した際に早期にストリームの配信を再開させるために、既存手法[3]を用いて、バックアップリンクと呼ばれるコネクションを配信木とは別に構築しておく。配信木の再構築などの際にはこのバックアップリンクを利用する。

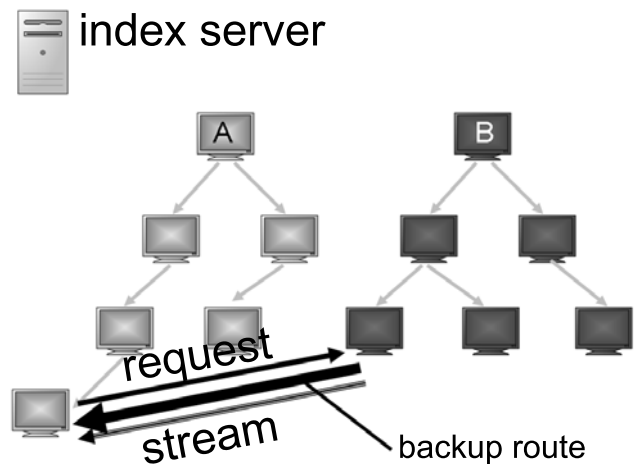


図 3 予備リンクを用いたチャンネル切り替え

#### 3.2. チャンネル切り替え機構

スムーズなチャンネルの切り替えを実現するためには、これから新たに視聴するストリームをどのピアから受信するかを短時間で決定する必要がある。そこで本研究では、他の複数のピアとあらかじめコネクション(予備リンク)を張っておき、ストリームを切り替える際にこの予備リンクを通じて配信要求を行うこと

で、円滑なストリーム配信を実現する（図 3）。

### 3.2.1. ストリームのグループ化

各ピアが他の全てのピアや全てのストリームと予備リンクを構築することは、インデックスサーバへの負荷の増加や、予備リンクを構築したピア同士の生存確認パケットの増大を考慮すると現実的ではない。そこで、本研究では、関連度が高いストリームを持つピアをグループ化して予備リンクを構築する手法を提案する。グループ化は、ストリームに複数のキーワードを登録し、視聴しているストリームが持つキーワードから後述の方法で一つのキーワード(所属キーワード)を選出し、同じ所属キーワードを持つピア同士で行う。

キーワードは、各ストリームに関係するものを複数登録可能で、一つしか登録できず、かつ入力必須である「基本キーワード」と、登録数に制限のない「拡張キーワード」の二つが用意されている。また、基本キーワードは撮影地点の名称とし、同一地点内のストリームをグループ化してスムーズな切り替えを実現する。

ストリーム名	阪神×中日（一塁側）
基本キーワード	阪神甲子園球場
拡張キーワード	一塁側、首位決戦、雨

表 1 登録するキーワードの例

### 3.2.2. 所属キーワードの決定

図 4 に示すように、グループ化はストリームに登録されている複数のキーワードの中から一つの所属キーワードを選択し、このキーワードを持つピア同士で行う。ここで、所属キーワードは過去の視聴履歴上で最も出現頻度の高いキーワードを選ぶ。これは、出現頻度の高いキーワードを含むストリームは、これからも視聴される可能性が高いからである。以下に決定手法を記す。

#### 視聴しているストリームのキーワード群が過去に一度も出現しない場合

視聴履歴が残っていない場合や、現在視聴しているストリームが持つキーワードが過去に一度も出現しない場合は、過去の視聴履歴から視聴パターンが読み取れないため、現在視聴しているストリームの基本キーワードを用いてグループ化を行う。

#### 視聴しているストリームのキーワード群が過去に出現した場合

現在視聴しているストリームの持つキーワードが視聴履歴上に出現している場合は、以下の優先順位で所属キーワードを決定し、所属グループを形成する。

1. 以前に、同一グループ内で構築した予備リンクを

用いて、ストリームチャンネルの切り替えを行ったことがあるキーワード

2. 視聴履歴の中で、直近の基本キーワード
3. 視聴履歴の中で、直近の拡張キーワード

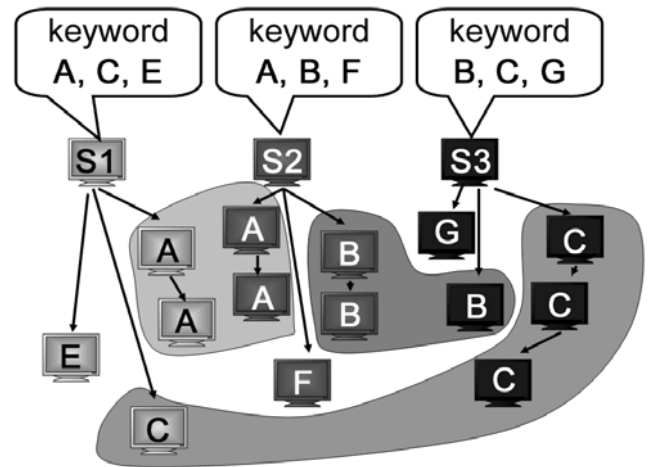


図 4 ストリームのグループ化

各ピアは、現在視聴しているストリームが持つキーワード群から、前述の判定方法を用いて所属ストリームを一意に決定する。例えば、図 4 のストリーム S1 は、'A'、'C'、'E' の 3 つのキーワードを持つが、S1 を受信する各ピアがこのキーワード郡の中から所属キーワードを決定し、図のように所属キーワードごとに複数のピアとグループを形成している。

### 3.2.3. 予備リンクの構築

所属キーワードと受信するストリームの配信元ピアが決定すると、各ピアは受信するストリームごとに形成される配信木に組み込まれ、ストリームの配信が行われる。この際に、所属キーワードごとに部分木が形成され、各ピアはキーワードごとに形成された部分木に配属する（図 4）。したがって、各ピアは同一の所属キーワードを持つピアからストリームを受信し、同一の所属キーワードを持つピアへストリームを中継する。また、配信元ピアは、受信ピアと同じ所属グループに属しており、同じ所属グループの全てのストリームと予備リンクを構築しているので、予備親ピアの探索は、自身の配信元ピアに問い合わせることで実現する。これにより、ピアの探索の際にインデックスサーバに問い合わせることが不要となることから、インデックスサーバへの負荷が低減され、予備リンクの構築を迅速に行なうことが可能となる。なお、予備リンク先の IP アドレスはリンクテーブルと呼ばれる表に格納し、チャンネル切り替え時に参照する。

また、なんらかの理由で、配信元ピアが自身と同一グループに属していない場合は、インデックスサーバ

にルートピアの IP アドレスを問い合わせ、ルートピアから葉の方向へ配信木を下りる過程で予備親ピアを決定する。

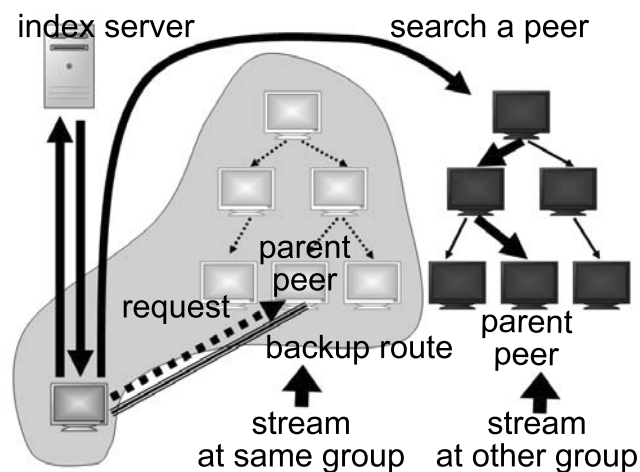


図 5 配信元ピアの決定方法

### 3.2.4. 予備リンクを用いたチャンネル切り替え

ストリームチャンネルを切り替える際は、まず自分が切り替えたいストリームがリンクテーブルに登録されているかどうかを確認する。ここで、リンクテーブルにストリームが登録されていれば登録されている IP アドレス宛に配信要求を行う。予備親ピアは配信要求を受けるとすぐにストリームの配信を開始し、受信ピアではこのストリームの受信と再生が始まる。なお、所属グループ外のストリームへチャンネル切り替えを行う場合は、従来通りインデックスサーバにルートピアの IP アドレスを問い合わせ、配信木を下りながら各ピアに配信要求を行うことで、配信元ピアを決定する(図 5)。したがって、グループ外のストリームとのチャンネル切り替えには従来通りの切り替え時間が掛かる。

### 3.2.5. 予備リンクの維持

予備親ピアがネットワークから離脱した場合は、予備リンクが全く意味を成さなくなってしまう。これを防ぐために、予備リンクを結んだピア同士で定期的に生存確認パケットを送受信し、予備親の生存と予備リンクの有効性を確認する。また、生存確認パケットが一定時間以内に返って来ない場合は、予備親ピアとの接続が断絶したと判断し、新たな予備親ピアを探索する。

## 4. 提案システムの評価と考察

3章で示した提案システムを Java Media Framework API を用いて実装した。本章では、この実装を用いて行った実験の結果を示し、提案システムの有効性を評

価する。また、提案システムの有効性を示すために、従来システムを動作させた場合についても実験を行い、提案システムとの比較を行った。

### 4.1. 実験環境と実験方法

提案システムを実装したプログラムによって、1 マシンあたり数十ピアを立ち上げたサーバを複数用意し、これらのサーバ内で仮想的に立ち上がったピア同士で配信木を構築し、以下の計測を行った。各ピアのエミュレートは、Solaris 10 のインストールされたサーバ上で行われた。また、配信するストリームを生成するカメラは市販の web カメラを用い、解像度は 320pixel × 240pixel、ビットレートは 500kbps (可変長)、フレームレートは 15fps に設定した上で、ルートピアとなるマシンに接続した。

実験は、プログラム上にピアの生成と終了を自動で行いながら評価項目の計測を行うことのできるスクリプトを実装することで行った。プログラムを動作させるサーバを 10 台用意し、各マシンが 5 分に 1 回新たなピアを生成することで、5 分間に 10 ピアずつピアを増加させ、最終的に総ピア数が 1000 台になるまでピアを生成し、評価項目に関する計測を行った。

### 4.2. 実験結果および考察

#### 4.2.1. 切り替え時間

図 6 に、従来の配信システムと提案する配信システムのチャンネル切り替え時間を、図 7 に同一グループ内のストリーム総数とチャンネル切り替え時間の関係を示す。実験結果より、従来システムでは総ノード数の増加に比例して切り替え時間も増加するが、提案システムでは、同一グループ内でチャンネル切り替えが行われた場合には、切り替え時間を大きく短縮できることがわかる。

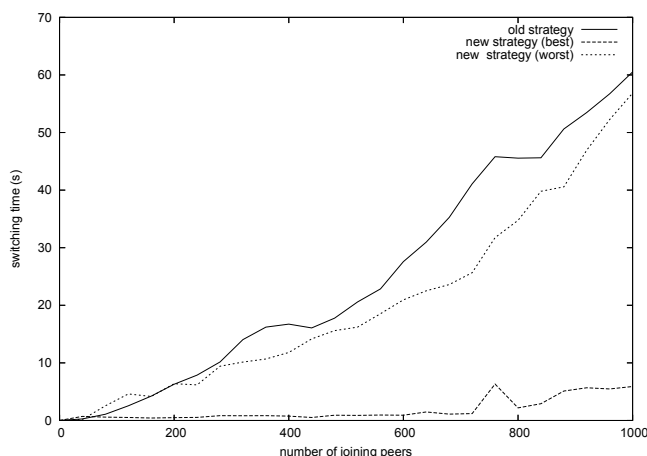


図 6 チャンネル切り替え時間

また、同一グループ外のストリームとチャンネル切

り替えを行なう場合は、時間短縮効果は認められないが、切り替え時間は従来システムと同等かやや短縮されていることがわかる。これは、同一グループ内でのチャンネル切り替えの際に、予備リンクを用いるため、配信元ピアの検索が不要になったためだと考えられる。

さらに、図7の実験結果より、グループ内のストリーム総数が増加してもチャンネル切り替え時間に影響を与えないことが証明された。これは、予備リンクを維持するためのコストがそれほど高くなく、ストリーム数の増加が各ピアへ与える影響が軽微であるからだと考えられる。

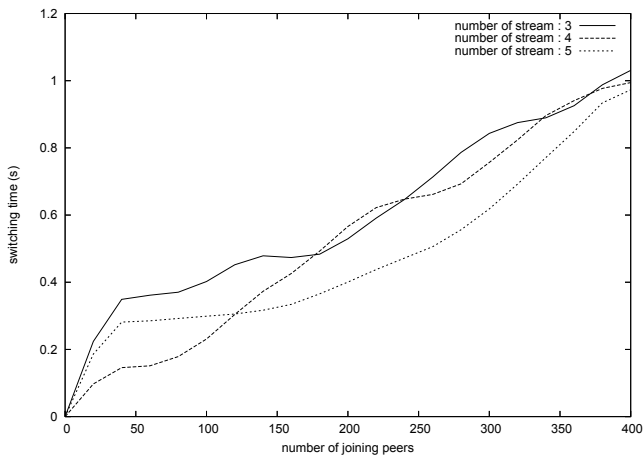


図7 グループ内のストリーム数と切り替え時間

#### 4.2.2. スケーラビリティ

図8に、総ピア数とルートピアが送出するストリームのビットレートとの関係を示す。図9に、総ピア数とルートピアが送出する総送信データ量との関係を示す。

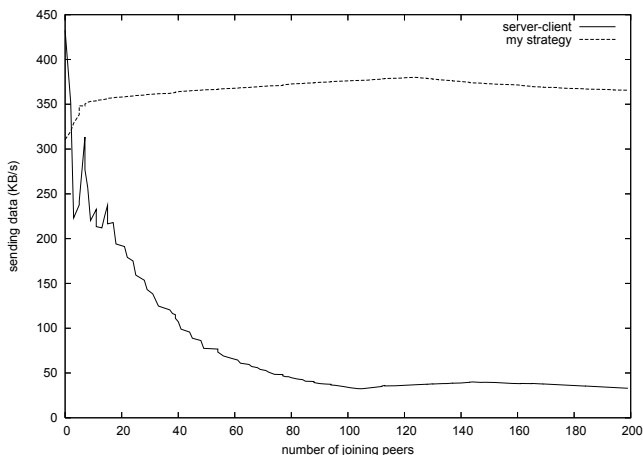


図8 ルートピアが送出するストリームのビットレート

実験結果より、サーバ/クライアント型配信システムでは、全ての受信ピアがルートピアに対して配信要求をおこなうので、送信するストリーム数の増大によって各ストリームのビットレートが急激に低下したのに

対して、提案システムでは各ピアがストリームを中継することで全てのピアに配信するので、ルートピアが配信するデータ量やストリームのビットレートはほぼ変わらず一定であることがわかる。この結果は、ストリームの配信に ALM 技術を用いることで、システムのスケラビリティが確保されることを示している。なお、図9で、サーバ/クライアント型配信システムの送信データ量が一時減少しているのは、図8で示す通り、各ストリームのビットレートが低く抑えられ、1ストリームあたりの送信データ量が減少しているためである。ビットレートが 50kbps 前後の下限値まで低下し底を打つと、総送信データ量は再び上昇する。

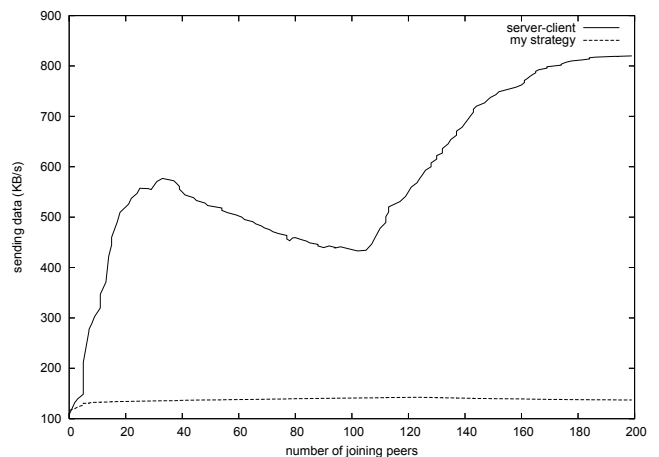


図9 ルートピアが送出する総送信データ量

#### 5. まとめ

本稿では、予備リンクを用いてチャンネル切り替え時間の短縮を行う、スムーズなチャンネル切り替えが可能なストリーム配信システムの提案を行った。予備リンクの接続は、関連度の高いピア同士で行われ、関連度の判定は、各ピアが受信するストリームが持つキーワードを用いて行った。

また、提案システムを実装したプログラムを用いて実験を行い、この有効性を検証した。実験の結果、チャンネル切り替え時間の短縮や高いスケラビリティが証明された。

#### 文 献

- [1] PeerCast, <http://www.peercast.org/>.
- [2] Chao Zhang, Hai Jin, Dafu Deng, Sirui Yang, Quan Yuan, and Zuoning Yin. Anysee: Multicast-based Peer-to-Peer Media Streaming Service System. IEEE Communications, 2005 Asia-Pacific Conference, pp. 274-278, Oct. 2005.
- [3] Kusumoto.T, Kunichika.Y, Katto.J, and Okubo.S. Proactive Route Maintenance and Overhead Reduction for Application Layer Multicast. Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services, 2005. ICAS-ICNS 2005. Joint International Conference on 17, Dec.2005.