

# 没入型コンテンツの放送型配信における 再生時間を考慮したスケジューリング手法

後藤 佑介<sup>1</sup> 義久 智樹<sup>2</sup> 谷口 秀夫<sup>1</sup> 金澤 正憲<sup>3</sup>

**概要**：近年，3D 放送に代表されるコンテンツの高臨場化にともない，視界全体に表示された映像空間に没入してコンテンツを楽しむ没入型コンテンツの放送型配信に対する注目が高まっている．没入型コンテンツの放送型配信では，視聴者は立体的な映像コンテンツを視聴できるが，データサイズが非常に大きくなるため，クライアントがデータを再生する間に発生する待ち時間は非常に長くなり，問題である．そこで，本論文では，没入型コンテンツの放送型配信において，コンテンツの再生時間を考慮して待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案する．提案手法では，没入型コンテンツを連続的に変化するデータと変化しないデータに分けた上で，再生前の待ち時間とコンテンツ間の待ち時間に上限をそれぞれ設定することで，効率的な放送スケジューリングを実現する．

## A Scheduling Method for Immersive Contents Broadcasting Considering Playing Time

YUSUKE GOTOH<sup>1</sup> TOMOKI YOSHIHISA<sup>2</sup> HIDEO TANIGUCHI<sup>1</sup> MASANORI KANAZAWA<sup>3</sup>

### 1. はじめに

近年，3D 放送に代表されるコンテンツの高臨場化にともない，没入型ディスプレイを用いた立体型コンテンツの放送型配信に対する注目が高まっている [1]．立体型コンテンツの放送型配信では，視聴者は立体的な映像コンテンツを視聴できるが，視点が固定され，視界の一部にしか映像が表示されないため，臨場感に乏しい．そこで，本研究では没入型コンテンツの放送型配信に着目する．没入型コンテンツは，以下の特徴をもつ臨場感の高いコンテンツである．

- 特徴 1：視界全体に表示された映像の空間に没入することで，視聴者はコンテンツを楽しむことができる．例えば，ドラマのワンシーンで，まるで自分自身が登場人物の一人となり，目の前でストーリーが進行してい

くような臨場感を得ることができる．

- 特徴 2：視聴者の体の向きや位置を把握することで，視聴者が首を振ったり移動して任意の視点の映像を楽しむことができる．例えば，通信販売の番組で，欲しい商品の色や材質をさまざまな角度から確認できる．

没入型コンテンツの視聴には没入型ディスプレイが必要となるが，頭部に装着して使用する没入型ディスプレイは開発されており，家庭で没入型コンテンツを楽しむことは可能である [2]．同様に，立体視用眼鏡を装着して視聴する 3D 放送が普及しており，次世代 3D 放送において，没入型コンテンツの放送型配信は現実的になっている．

没入型コンテンツの放送型配信では，サーバは立体空間の映像情報をクライアントに配信するため，データサイズは非常に大きくなる．一方で，クライアントはデータを途切れなく再生できることが重要になるため，クライアントがデータ再生中に発生する待ち時間は非常に長くなり，問題である．このため，没入型コンテンツのデータ再生時に発生する待ち時間を短縮するスケジューリング手法をこれまでに提案してきた [3]．このスケジューリング手法では，没入型コンテンツを連続的に変化する連続変化データと変

<sup>1</sup> 岡山大学大学院自然科学研究科  
Graduate School of Natural Science and Technology,  
Okayama University

<sup>2</sup> 大阪大学サイバーメディアセンター  
Cybermedia Center, Osaka University

<sup>3</sup> 京都情報大学院大学  
The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics

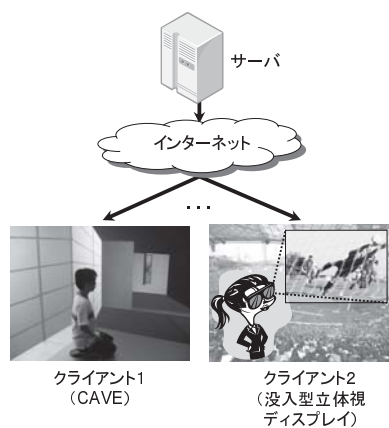


図 1 没入型コンテンツの放送型配信の構成

Fig. 1 Assuming structure of immersive broadcasting

化しない非連続変化データの 2 種類に分けた上で、非連続変化データの受信が完了した後に連続変化データを受信しながら再生するようにスケジューリングすることで、没入型コンテンツの待ち時間を短縮する。しかし、番組を構成する複数の没入型コンテンツを連続して再生する場合、コンテンツ間で発生する待ち時間が長大化すると、ユーザは視聴意欲を失う可能性がある。ユーザが没入型コンテンツを楽しむためには、コンテンツの流れを妨げないことが望ましく、これらの待ち時間を短縮する必要がある。

本論文では、没入型コンテンツの放送型配信において再生中の待ち時間を短縮するスケジューリング手法を提案する。提案手法では、没入型コンテンツを連続的に変化するデータと変化しないデータに分け、コンテンツ間の待ち時間に上限を設定してそれぞれのデータを効率的にスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。

本論文は、以下のように構成される。2 章で没入型コンテンツについて説明し、3 章で関連研究について説明する。4 章では提案手法を説明し、5 章で評価を行う。最後に 6 章で本論文をまとめる。

## 2. 没入型コンテンツ

### 2.1 概要

本論文で想定する没入型コンテンツの放送型配信の構成を図 1 に示す。サーバは、インターネットを経由して没入型コンテンツのデータをクライアントに配信する。配信されたデータは、CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment) [4] や没入型立体視ディスプレイに代表される没入型ディスプレイに表示され、クライアントは、没入型ディスプレイの 3D 映像を視聴する。

### 2.2 使用するデータ

没入型コンテンツでは、ユーザは没入型ディスプレイを用いて 3D 映像を視聴する。立体空間に映像を表示するため、没入型コンテンツのデータサイズは非常に大きくなる。

このため、ユーザが没入型コンテンツの受信を要求してから再生を開始するまでの番組開始待ち時間は非常に長くなり、ユーザの視聴意欲を低下させる問題がある。

そこで、没入型コンテンツを連続変化データと非連続変化データの 2 種類のデータに分けて、それぞれのデータを放送型で配信することを考える。

各データの詳細を以下に述べる。

- 連続変化データ

人物や移動物体のように連続的に変化する物体のデータである。連続的に変化するため、データサイズは非常に大きくなる。このため、できる限り広い帯域幅を用いて配信する必要がある。

- 非連続変化データ

建物や自然物のように連続的に変化しない背景となるデータである。非連続変化データは、コンテンツごとに 1 回配信する。非連続変化データを事前に受信して、連続変化データを受信しながらコンテンツを再生することで、配信するデータサイズを削減できる。

ユーザは、非連続変化データの受信が完了すれば、対応するコンテンツの連続変化データを受信しながら再生できる。コンテンツを 2 種類のデータに分割して配信することで、コンテンツのデータすべてを受信してから再生する従来の放送型配信に比べて、再生開始までの待ち時間を短縮できる。

### 2.3 待ち時間が発生する仕組み

本節では、再生中に待ち時間が発生する仕組みについて説明する。放送型配信では、クライアントがデータの受信をサーバに要求してから受信を完了して再生を開始するまでの間に待ち時間が発生する。また、データの再生を開始しても、再生が終了するまでに次のコンテンツの受信を完了できない場合、コンテンツ間で視聴中に待ち時間が発生する。例えば、データを連続変化データと非連続変化データの 2 つに分割せずに放送する場合の放送スケジュールの例を図 2 に示す。この例では、108 Mbps (2 cm あたり 1 ドットの 3 m<sup>3</sup> のフルカラーデータ) の没入型コンテンツを地上波デジタル放送を想定した 5.6 Mbps の放送帯域で配信する場合を考えている。1 秒のデータの配信には 108 Mbps / 5.6 Mbps = 19.3 秒かかるため、1 秒のデータ再生ごとに待ち時間が 19.3 - 1.0 = 18.3 秒発生する。このように、従来の放送型配信方式では待ち時間が非常に長くなり、ユーザの視聴意欲は低下する。

そこで、連続変化データと非連続変化データに分けて配信する場合を考える。非連続変化データは背景となるデータであり、コンテンツごとに変化する 13.5 M バイトのデータとする。各コンテンツの再生開始前に非連続変化データを配信する単純な放送スケジュールの例を図 3 に示す。コンテンツは  $S_1, \dots, S_5$  の 5 つを配信し、各コンテン

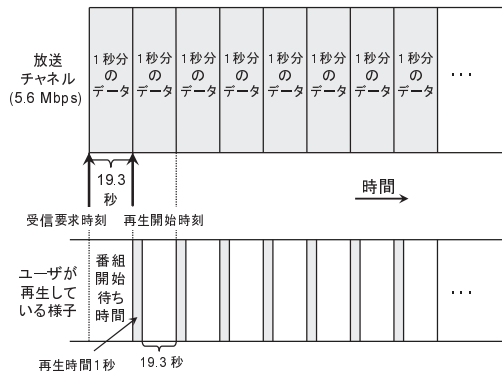


図 2 没入型コンテンツを分けない場合の例

Fig. 2 Example of broadcasting situation without separating immersive contents

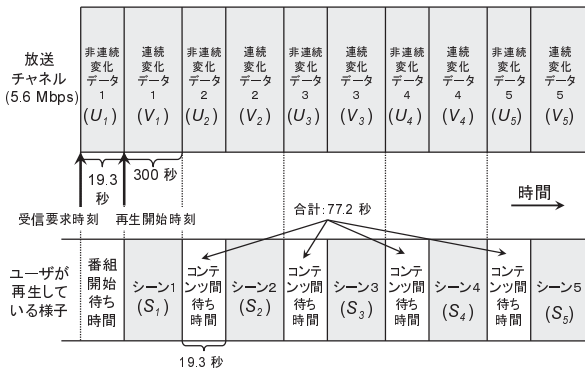


図 3 没入型コンテンツを分けた場合の例

Fig. 3 Example of a broadcast schedule with separating immersive contents

の再生時間は 300 秒とする。このとき、サーバは連続変化データ  $V_1, \dots, V_5$  および非連続変化データ  $U_1, \dots, U_5$  を配信する。この例では、背景と物体を重ねるように、クライアントは非連続変化データ（背景）を蓄積し、後で連続変化データ（物体）と重ね合わせて再生する蓄積再生を行うことで、没入型コンテンツを再生する。図 3 に示すように、5.6 Mbps の放送帯域を用いると配信に 19.3 秒かかるため、コンテンツが変わるごとに 19.3 秒の待ち時間が発生する。連続変化データの配信にはすべての放送帯域を使用できるため、5.6 Mbps の帯域幅で連続変化データを配信できる。没入型コンテンツの再生中に待ち時間は発生するが、従来方式に比べてユーザーの視聴意欲は向上する。本研究では、連続変化データと非連続変化データを効率的にスケジューリングすることで、待ち時間を短縮する。

## 2.4 没入型コンテンツの放送型配信における待ち時間

没入型コンテンツの放送型配信において、待ち時間を短縮するスケジューリング手法はこれまでに提案されてきた [3]。しかし、クライアントが番組を再生する間に発生する待ち時間はすべて同じと考えていた。

本研究では、没入型コンテンツの放送型配信で発生する待ち時間を 2 種類に分類する。一つ目は、視聴する番組の

受信要求を出してから最初のコンテンツが再生されるまでの番組開始前の待ち時間であり、本論文では**番組開始待ち時間 ( $W_p$ )**と呼ぶ。二つ目は、現在再生中のコンテンツが終了してから次のコンテンツの再生を開始するまでの番組視聴中の待ち時間であり、**コンテンツ間待ち時間 ( $W_c$ )**と呼ぶ。例えば、ドラマ番組で、いくつかの没入型コンテンツのコンテンツを連続して視聴する場合、番組の受信要求を出してから最初のコンテンツが再生されるまでの待ち時間と、現在再生中のコンテンツが終了してから次のコンテンツが再生されるまでの待ち時間がある。これらの待ち時間は、実際の視聴時には広告を放送したりコンテンツの説明などで利用される。また、数種類の実験データを没入型コンテンツで連続して視聴する場合、初めに実験概要や評価項目について説明が行われる。次に、没入型コンテンツの再生が終了すると、次のコンテンツの詳細を説明する時間が発生する。このように、実際にクライアントが視聴する環境を考慮した上でこれら 2 種類の待ち時間を有効に利用することで、効率的な放送スケジュールを作成できる。

## 3. 関連研究

没入型コンテンツを用いたサービスはいくつか提案されている。没入型立体視ディスプレイ [2] は、コンピュータで制作した立体映像と、カメラで取り込んだ実空間を合成して表示する。手で操作する領域内における立体化に適しており、3D 映像を違和感なく視聴できる。没入型 3 次元仮想現実体感システム CAVE [4] は、ユーザーの視野をディスプレイで覆い、両眼視差を利用して立体表現された仮想の 3 次元空間を生成する。臨場感や没入感を得ることができ、3 次元映像や視覚的情報などの情報理解にも有効である。しかし、これらのシステムにおいて、データ再生中に発生する待ち時間を短縮する放送スケジューリングはこれまで提案されていなかった。

再生中に途切れが発生しない連続メディアデータの放送型配信において、待ち時間を短縮するためのスケジューリング手法はいくつか提案されている [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]。HB (Harmonic Broadcasting) 法 [13] では、連続メディアデータを  $N$  個の部分に等分割する。分割したデータをセグメントと呼び、初めのセグメントから順に  $S_1, \dots, S_N$  で示す。さらに、 $S_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) を  $M$  個のサブセグメント  $S_{i,1}, \dots, S_{i,M}$  に等分割し、 $N$  個のチャンネル  $C_1, \dots, C_N$  を用いて  $C_i$  で  $S_{i,1}, \dots, S_{i,M}$  を繰り返して放送する。例えば、MPEG2 で符号化された 5.0 Mbps の 60 分の連続メディアデータを衛星デジタル放送を想定した 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合、 $N = 67$  となり、67 個のチャンネルが必要になる。

BE-AHB (Bandwidth Equivalent-Asynchronous Harmonic Broadcasting) 法 [14] は、分割放送型配信におけるスケジューリング手法である。サーバが使用できる帯域

幅とクライアントの再生レートをもとに、連続メディアデータをいくつかの部分に分割することで、クライアントはデータを途切れなく再生できる。

また、ユーザがコンテンツを選択して視聴する選択型コンテンツの放送型配信におけるスケジューリング手法として、CCB-CB (Contents Cumulated Broadcasting Considering Bandwidth) 法 [15] がある。CCB-CB 法では、選択型コンテンツの放送型配信において、再生レートと等しい帯域幅のチャンネルをできるだけ確保し、待ち時間を短縮している。根から順に、各深さで状態数が一番小さいコンテンツを視聴順序として選択した場合に、途切れなく再生できることを考慮し、視聴順序上のコンテンツを優先的に放送する。

我々の研究グループでは、連続メディアデータの放送型配信において、待ち時間を短縮するスケジューリング手法をこれまでに提案してきた [16], [17]。これらの手法では、連続メディアデータを複数の部分に分割して複数のチャンネルで繰り返し放送することで待ち時間を短縮しているが、没入型コンテンツの放送型配信に着目したスケジューリングではない。

## 4. 提案手法

### 4.1 概要

没入型コンテンツの放送型配信における待ち時間短縮手法として、ICB-CP (Immersive Contents Broadcasting Considering Playing time) 法を提案する。提案手法では、データを連続変化データと非連続変化データに分割した上で、番組開始待ち時間とコンテンツ間待ち時間の 2 種類の待ち時間を考慮してこれらのデータをスケジューリングすることで、データ再生中の待ち時間を短縮する。

### 4.2 想定環境

スケジューリング手法を提案するにあたって、想定する環境を箇条書きで示す。

- 放送する番組は、没入型コンテンツである。
- 連続変化データと非連続変化データの 2 種類のデータを配信する。
- 番組は複数のコンテンツで構成され、クライアントは順番に視聴する。
- コンテンツの再生時間はすべて同じである。
- 放送帯域には制限がある。
- クライアントはコンテンツの蓄積に十分な容量のバッファをもつ。
- クライアントは番組の放送が始まってから、その番組のコンテンツを受信する。

### 4.3 導入方法

本節では、没入型コンテンツの放送型配信における待ち時間短縮手法について説明する。用いる記号を表 1 に

表 1 定式化のための変数

Table 1 Variables for formulation

記号	説明
$r$	再生レート
$n$	コンテンツ数
$S_i$	コンテンツデータ, $i = 1, \dots, n$
$V_i$	連続変化データ
$U_i$	非連続変化データ
$D_V$	$V_i$ のデータサイズ
$D_U$	$U_i$ のデータサイズ
$T$	コンテンツの再生時間
$B$	サーバが使用できる帯域幅
$v$	$V_i$ の分割比率, $v = \frac{D_V}{D_V + D_U}$
$u$	$U_i$ の分割比率, $u = \frac{D_U}{D_V + D_U}$
$t_{V_i}$	$V_i$ の放送時間
$t_{U_i}$	$U_i$ の放送時間
$W_p$	番組開始待ち時間
$W_c$	コンテンツ間待ち時間

示す。

### 4.4 スケジューリング手順

本節では、提案手法のスケジューリング手順について説明する。提案手法の放送スケジュールは、以下の手順である。

(1)  $D_U, D_V$  を下記の式で算出する。

$$\begin{cases} D_U = B \times \frac{W_p + (n-1) \times (T + W_c)}{n + (n-1) \times \frac{v}{u}} \\ D_V = D_U \times \frac{v}{u}. \end{cases} \quad (1)$$

(2)  $U_1$  を帯域幅  $B$  で  $t_{U_1}$  の間スケジューリングする。

$$t_{U_1} = \frac{D_U}{B}. \quad (2)$$

(3)  $n = 1$  であれば、 $V_1$  を帯域幅  $B$  で  $t_{V_1} = \frac{D_V}{B}$  の間スケジューリングして終了。そうでなければ、4.へ。

(4)  $V_i$  ( $i = 1, \dots, n-1$ ) を  $t_{V_i} = T + \frac{W_p - t_{U_1}}{n-1}$  の間、帯域幅  $\frac{D_V}{t_{V_i}}$  でスケジューリングする。また、 $U_{i+1}$  ( $i = 1, \dots, n-1$ ) を帯域幅  $B - \frac{D_V}{t_{V_i}}$  で  $t_{V_i}$  の間スケジューリングし、残りを帯域幅  $B$  で  $W_c$  の間スケジューリングする。

(5)  $V_n$  を帯域幅  $B$  で  $t_{V_n} = \frac{D_V}{B}$  の間スケジューリングして、終了する。

以上の手順でスケジューリングを行う。

### 4.5 導入例

没入型コンテンツは、各コンテンツを連続変化データと非連続変化データを分けてスケジューリングされる。また、ICB-CP 法で作成した放送スケジュールをもとに、サーバは放送チャンネルでデータを繰り返し配信する。

図 4 に、ICB-CP 法で配信する場合の放送スケジュールを示す。今回の例では、コンテンツ数  $n = 4$ 、放送に使用で

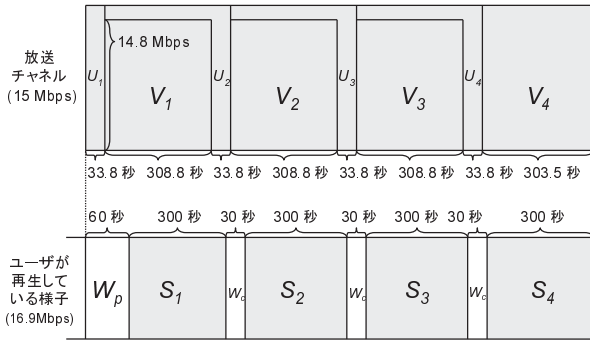


図 4 ICB-CP 法の放送スケジュール例

Fig. 4 Example of a broadcast schedule under the ICB-CP method

きる帯域幅  $B = 15\text{Mbps}$ ,  $W_p = 60$  秒,  $W_c = 30$  秒,  $u : v = 1 : 9$  とする. まず, ステップ 1 では,  $D_U$  と  $D_V$  のデータサイズを求める. 次に, ステップ 2 では,  $U_1$  を帯域幅  $B$  で  $t_{U1} = 506.3/15 = 33.8$  秒間スケジューリングする. ステップ 3 では,  $n = 4$  であるため, ステップ 4 へ移る. ステップ 4 では,  $V_1, V_2, V_3$  および  $U_3, U_4$  のスケジューリングを行う.  $V_1$  について,  $t_{V1} = 300 + (60 - 33.8)/3 = 308.8$  秒間の間,  $D_V/t_{V1} = 4556.3/308.8 = 14.8\text{Mbps}$  の帯域幅でスケジューリングする. また,  $U_2$  を帯域幅  $0.2\text{Mbps}$  で  $308.8$  秒間スケジューリングし, 残りを帯域幅  $15\text{Mbps}$  を  $30$  秒間スケジューリングする. 同様に,  $V_2, U_3, V_3, U_4, V_4$  をスケジューリングする. 最後に, ステップ 5 で,  $V_4$  を帯域幅  $15\text{Mbps}$  で  $4556.3/15 = 303.5$  秒間スケジューリングして, 終了する.

この例では,  $W_p = 60$  秒の間待つことができるため, サーバは  $W_p - t_{U1} = 26.2$  秒の間,  $V_1$  を放送できる. また, ユーザが番組開始待ち時間として  $60$  秒, およびコンテンツ間待ち時間として  $30$  秒を確保することで, コンテンツの再生中に途切れが発生しないように  $U_i$  と  $V_i$  のデータサイズを決定できる.

一方, ユーザは, 再生時間が  $300$  秒のコンテンツを  $5$  個再生する. まず,  $60$  秒の番組開始待ち時間の後,  $S_1$  を再生する. このとき, 再生レートは  $16.9\text{Mbps}$  となる. また, クライアントは,  $30$  秒の待ち時間の後に  $S_2, S_3$  をそれぞれ再生でき,  $V_4$  の受信終了と同時に  $S_4$  の再生が終了する.

## 5. 評価

### 5.1 概要

本章では, 提案する ICB-CP 法の評価を行う. 初めに, 再生レートに応じた没入型コンテンツの再生時間, 使用できる帯域幅の大きさに応じたデータ圧縮率, および非連続変化データの割合に応じた番組開始待ち時間  $W_p$  の大きさについて評価を行う. グラフに示す評価結果は, 計算機シミュレーションによる結果である. “ICBCP” は, 提案手法 ICB-CP 法の場合, “Simple” は, 単純な放送スケジュー

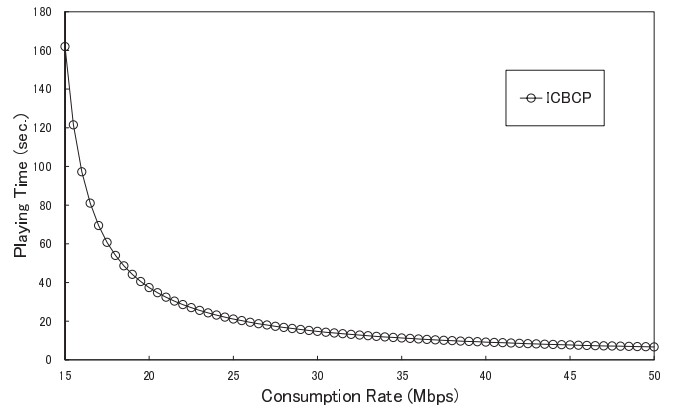


図 5 再生レートとコンテンツの再生時間

Fig. 5 Consumption rate and playing time

リング (単純手法) の場合である. 単純手法については, 同じ条件において ICB-CP 法で算出した  $U_i$  と  $V_i$  のデータサイズの和をコンテンツのデータサイズとして用いた. 単純手法では, クライアントはコンテンツの受信が完了しないと再生できない.

### 5.2 再生レートとコンテンツの再生時間

提案手法 ICB-CP 法では, 再生レートが増加すると, 再生に必要となるデータサイズが増加するため, 同じデータサイズだと再生時間は短くなる. 番組開始待ち時間やコンテンツ間待ち時間を考慮して放送スケジュールを作成するため, クライアントの視聴環境を考慮して再生レートを設定する必要がある.

再生レートを変化させた場合のコンテンツの再生時間について, 評価結果を図 5 に示す. 横軸は再生レート, 縦軸はコンテンツの再生時間とする. コンテンツの再生時間を  $180$  秒とし, コンテンツ数は  $5$  とする. また, 使用できる帯域幅を  $30\text{Mbps}$ ,  $u$  と  $v$  のデータ比は  $1 : 9$ ,  $W_p = 60$  秒,  $W_c = 30$  秒とする.

図 5 より, 再生レートが増加するのにもない, コンテンツの再生時間は短くなるのが分かる. ICB-CP 法では, 番組開始待ち時間やコンテンツ間待ち時間を利用して連続変化データを配信するため, 再生レートが増加すると, 配信に必要なデータサイズは大きくなり, 同じ再生品質だと再生時間は短縮する. 例えば, 再生レートが  $25\text{Mbps}$  のとき, 再生時間は  $21.1$  秒だが,  $50\text{Mbps}$  のときは  $6.7$  秒となり,  $68.2\%$  減少することが分かる.

### 5.3 使用できる帯域幅とデータ圧縮率

サーバが使用できる帯域幅が増加すると, 同じ時間で配信できるデータサイズは大きくなる. 提案手法 ICB-CP 法では, 番組開始待ち時間やコンテンツ間待ち時間を考慮して, コンテンツの再生中に途切れが発生しないようにスケジューリングするため, ユーザが再生するときのデータサ

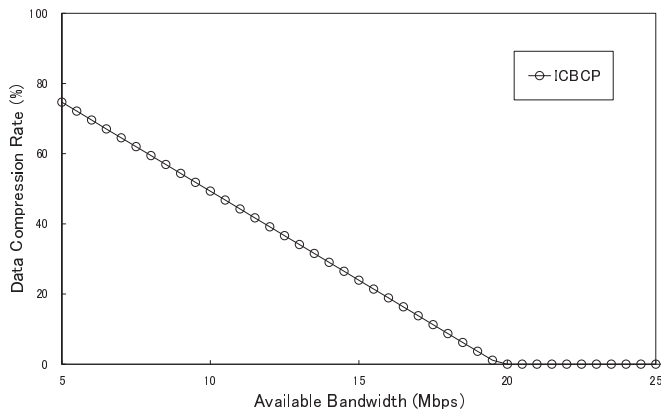


図 6 使用できる帯域幅とデータ圧縮率

Fig. 6 Available bandwidth and data compression rate

イズは減少する。この減少分はデータ圧縮率と考えることができ、データ圧縮率が大きくなると映像の画質や動画の品質低下といった影響が発生するため、問題である。そこで、使用できる帯域幅に応じたデータ圧縮率の変化について、評価を行った。

評価結果を図 6 に示す。横軸は使用できる帯域幅、縦軸は配信前のデータサイズに対するデータ圧縮率とする。コンテンツの再生時間を 300 秒とし、コンテンツ数は 5 とする。また、使用できる帯域幅を 108Mbps,  $u : v = 1 : 4$ ,  $W_p = 60$  秒,  $W_c = 30$  秒とする。

図 6 より、使用できる帯域幅が増加すると圧縮率は低下する。また、使用できる帯域幅が 20Mbps のとき、圧縮せずに元の動画データと同じ品質でデータを配信できることが分かる。ICB-CP 法において、スケジューリングに使用できる時間は、コンテンツの配信時間、番組開始待ち時間、およびコンテンツ間待ち時間の合計である。使用できる帯域幅が小さい場合、コンテンツの配信に必要となる時間は反比例的に長大化するため、同じ放送時間で配信できるデータサイズは小さくなる。

#### 5.4 非連続変化データの割合と番組開始待ち時間

提案手法 ICB-CP 法では、非連続変化データを先に受信し、連続変化データを受信しながらコンテンツを再生することで、待ち時間を短縮している。連続変化データに対する非連続変化データのサイズが大きくなると、放送スケジュールは変化する。一方、単純手法では、コンテンツのデータサイズをすべて受信完了しないと再生できないため、待ち時間は長大化する。実際のサービスでは、番組開始待ち時間を考慮して配信するコンテンツのデータサイズや再生レートを決定する必要があるため、評価を行った。

連続変化データに対する非連続変化データのデータサイズの割合を変化させた場合の番組開始待ち時間の評価結果を図 7 に示す。横軸はコンテンツのデータサイズに対する非連続変化データの割合とし、縦軸は番組開始待ち時間と

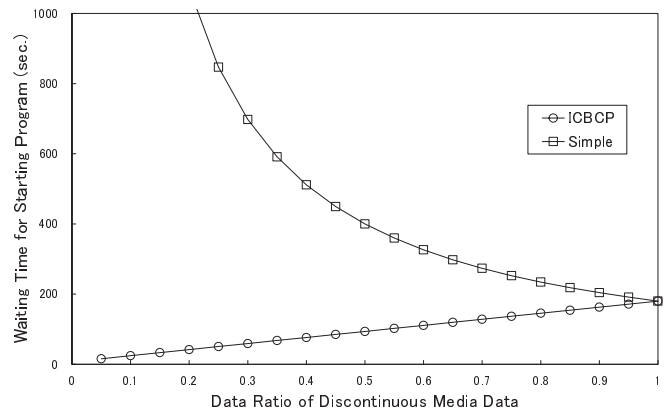


図 7 非連続変化データの割合と番組開始待ち時間

Fig. 7 Discontinuous media data and waiting time for starting program

する。コンテンツの再生時間を 180 秒とし、コンテンツ数は 5 とする。また、使用できる帯域幅を 54Mbps,  $u : v = 1 : 9$ ,  $W_p = 30$  秒,  $W_c = 15$  秒とする。

図 7 より、ICB-CP 法では、非連続変化データの割合が小さい場合に番組開始待ち時間は小さくなる。放送スケジュールの手順で説明したように、ICB-CP 法は、使用できる帯域幅をすべて使用して  $U_1$  を配信する。このため、番組開始待ち時間は  $U_1$  の受信時間のみとなる。一方、単純手法では、 $U_1$  と  $V_1$  を合わせた  $S_1$  をすべて受信しなければ再生を開始できない。このため、番組開始待ち時間は提案手法より長くなる。例えば、 $u : v = 2 : 3$  で放送する場合、番組開始待ち時間は、ICB-CP 法で 76.3 秒、単純手法で 511.4 秒となり、単純手法に比べて 85.1% 短縮されている。

また、非連続変化データの割合が大きくなると、 $U_1$  のデータサイズが大きくなるため、ICB-CP 法では番組開始待ち時間が長大化する。実際に、没入型コンテンツを放送型で配信する場合は、許容される番組開始待ち時間をあらかじめ求めておくことで、配信する映像の品質やコンテンツ間の待ち時間を放送開始前に見積もることができる。

## 6. おわりに

本論文では、没入型コンテンツの放送型配信において、再生中の待ち時間を短縮するスケジューリング手法である ICB-CP 法を提案した。提案手法では、没入型コンテンツを連続変化データと非連続変化データに分けた上で、再生前の待ち時間とコンテンツ間の待ち時間の 2 種類の待ち時間に上限を設定することで、効率的な放送スケジューリングを実現する。計算機シミュレーションによる評価の結果、提案手法では、 $u : v = 2 : 3$  で再生時間が 180 秒の 5 個のコンテンツを放送する場合、番組開始待ち時間は、ICB-CP 法で 76.3 秒、単純手法で 511.4 秒となり、単純手法に比べて 85.1% 短縮できることが分かった。

今後の予定として、コンテンツごとの再生時間が異なる

場合のスケジューリング手法や、コンテンツの優先度を考慮したスケジューリング手法を考えている。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費（挑戦的萌芽研究）「再生途切れない没入型コンテンツの放送型配信に関する研究」（課題番号：23650050）の研究助成による成果である。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] スカチャン 3D.  
<http://www.skyperfectv.co.jp/3dch/>.
- [2] 没入型ヘッドマウントディスプレイ nVisor SX60.  
<http://www.nihonbinary.co.jp/039nVisor5.html>.
- [3] Gotoh Y., Yoshihisa T., Taniguchi H., and Kanazawa M.: A Scheduling Method to Reduce Waiting Time on Immersive Contents Broadcasting, 3rd International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS 2012), pp.357-362 (2012).
- [4] Cruz-Neira C., Sandin D.J., and DeFanti T.A.: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, *Proc. SIGGRAPH'93*, pp.135-142 (1993).
- [5] Jinsuk B., and Jehan F.P.: A Tree-Based Reliable Multicast Scheme Exploiting the Temporal Locality of Transmission Errors, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC2005)*, pp.275-282 (2005).
- [6] Juhn L.-S., and Tseng L.M.: Fast data broadcasting and receiving scheme for popular video service, *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.44, no.1, pp.100-105 (1998).
- [7] Paris J.-F., Carter S.W., and Long D.D.E.: A hybrid broadcasting protocol for video on demand, *Proc. Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN'99)*, pp.317-326 (1999).
- [8] Paris J.-F., Long D.D.E., and Mantey P.E.: Zero-delay broadcasting protocols for video-on-demand, *Proc. ACM Int. Multimedia Conf. (Multimedia'99)*, pp.189-197 (1999).
- [9] Paris J.-F.: An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC'01)*, pp.347-353 (2001).
- [10] Viswanathan S., and Imilelinski T.: Pyramid broadcasting for video on demand service, *Proc. SPIE Multimedia Computing and Networking Conf. (MMCN'95)*, pp.66-77 (1995).
- [11] Shi L., Sessini P., Mahanti A., Li Z., and Eager D.L.: Scalable Streaming for Heterogeneous Clients, *Proc. ACM Multimedia*, pp.22-27 (2006).
- [12] Zhao Y., Eager D.L., and Vernon M.K.: Scalable On-Demand Streaming of Non-Linear Media, *Proc. of IEEE INFOCOM*, vol.3, pp.1522-1533 (2004).
- [13] Janakiraman R., and Waldvogel M.: Fuzzycast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.920-929 (2002).
- [14] 義久智樹, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 再生単位を考慮したスケジューリング手法における使用チャンネル数について, 日本データベース学会 Letters, vol.4, no.3, pp.5-8 (2005).
- [15] Gotoh Y., Yoshihisa T., Kanazawa M., and Taka-

hashi Y.: A Broadcasting Scheme for Selective Contents Considering Available Bandwidth, *IEEE Trans. Broadcasting*, vol.55, issue 2, pp.460-467 (2009).

[16] 後藤佑介, 義久智樹, 金澤正憲: 異種クライアント環境における連続メディアデータ放送のための待ち時間短縮手法, 電子情報通信学会論文誌 D, vol.J91-D, no.03, pp.667-676 (2008).

[17] Gotoh Y., Suzuki K., Yoshihisa T. and Kanazawa M.: A Scheduling Method to Reduce Waiting Time for P2P Streaming Systems, *Journal of Mobile Multimedia*, vol.5, no.3, pp.255-270 (2009).