

研究論文

デジタルコンテンツ配信における再生中断制御に関する考察と評価

義久 智樹^{1,a)}

受付日 2013年1月15日, 採録日 2013年5月27日

概要: 近年のインターネットの普及により, 映像や音声といったデジタルコンテンツをインターネットを介して配信するサービスが普及している. インターネットの通信帯域がデジタルコンテンツの配信に十分でない場合, デジタルコンテンツの再生中に中断が発生する. このため, 再生中断時間を短縮するための様々な手法が提案されている. しかし, 再生中断に向けられる注意やデジタルコンテンツへの集中度で変化する心理的に知覚する再生中断時間を考慮しておらず, 再生中断により視聴意欲が大きく低下することがあった. そこで本研究では, デジタルコンテンツ配信における視聴意欲の低下を軽減するための再生中断制御に関して考察と評価を行う. 評価の結果, 再生中断時間を短くしたり, 再生中断中に広告を表示することで, 視聴意欲の低下を軽減できることを確認した. さらに, 再生中断制御を行うように既存手法を拡張し, 再生中断に関する性能評価を行った.

キーワード: ビデオオンデマンド, ストリーミング, 映像配信, 放送通信融合環境

Study and Evaluations on a Control of Playback Interruptions on Digital Contents Delivery

TOMOKI YOSHIHISA^{1,a)}

Received: January 15, 2013, Accepted: May 27, 2013

Abstract: Due to the recent development of the Internet, many services to deliver digital contents such as video or audio via the Internet have started. Interruptions occur during playing digital contents when the Internet bandwidth is insufficient for the digital contents delivery. Hence, various methods to reduce the interruption time have been proposed. However, they do not consider the psychological interruption time which changes according to the attention to interruptions or the concentration to digital contents. Therefore, the viewers' motivations for playing digital contents can decrease largely in the existing methods. In this paper, we discuss and evaluate a control of interruptions on digital contents delivery. Our evaluations show that the decrease of the viewers' motivations can be relieved by reducing the interruption time or showing commercial videos while interruptions. Moreover, we extended previous methods to control interruptions and evaluated their performances for interruptions.

Keywords: video on demand, streaming, video delivery, broadcast and communication integration environments

1. はじめに

近年のインターネットの普及により, 映像や音声といったデジタルコンテンツをインターネットを介して配信する

サービスが普及している. ダウンロード型の配信では, 視聴者はデジタルコンテンツのすべてのデータをインターネットから, 自身のパソコンやスマートフォンといった再生端末にダウンロードする. ダウンロードしてから再生することで, 再生端末にすべてのデータが保存されるため, 中断のない再生が可能になる. しかし, ダウンロードが完了するまで再生を開始できないため, 視聴者が視聴要求を

¹ 大阪大学サイバーメディアセンター
Cybermedia Center, Osaka University, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

^{a)} yoshihisa@cmc.osaka-u.ac.jp

出してから再生開始まで長時間待つ場合がある。待ち時間が長くなると、視聴意欲が低下する。視聴意欲とは、視聴者がデジタルコンテンツを視聴しようとする意欲を指す。一方、ストリーミング型の配信では、デジタルコンテンツのデータはブロックと呼ばれる細かなデータに分割される。ブロックごとに再生できるため、各ブロックの再生中に次のブロックを受信完了することで、ブロックを続けて再生できる。すべてのデータのダウンロード完了を待つ必要がないため、視聴者が視聴要求を出してから、ダウンロード型に比べて短時間で再生を開始できる。しかし、インターネットの通信帯域がデジタルコンテンツの配信に十分でない場合、各ブロックの再生開始時刻になっても受信完了できずに再生が中断されることがある。ダウンロード完了を待つ必要がないため、YouTube^{*1}などのインターネットを介したデジタルコンテンツ配信ではストリーミング型を採用しており、本研究においてもストリーミング型を対象とする。

ストリーミング型のデジタルコンテンツ配信における視聴意欲低下を防ぐために、再生中断時間を短縮する様々な配信手法が研究されている ([1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10])。再生中断時間とは、デジタルコンテンツの再生が中断されている合計時間を指す。これらの研究では、絶対時間で計測される再生中断時間（絶対的再生中断時間）の短縮を目的としているが、視聴意欲低下の要因としてほかにあり、心理的に知覚する再生中断時間（心理的再生中断時間）が長いほど、視聴意欲は低下すると考えられる。たとえば、以下のようにして視聴意欲が低下することが考えられる。

- 再生が中断されている間デジタルコンテンツに変化がなく、再生中断に注意が向くと心理的再生中断時間が長くなって、視聴意欲が大きく低下する。
- 登場人物の会話中などの視聴者が集中している場面で再生が中断されると、視聴意欲が低下する。

これらの例のように、再生中断による視聴意欲は、絶対的再生中断時間だけでなく、再生中断に向けられる注意やデジタルコンテンツへの集中度で変化する心理的再生中断時間にも依存する。しかし、これまでの手法では、心理的再生中断時間を考慮していなかった。

そこで本研究では、デジタルコンテンツ配信における視聴意欲の低下を軽減するための再生中断制御に関して考察と評価を行う。心理的に知覚する時間は、心理学の分野で心理的時間と呼ばれ、心理的時間は4つの要因で変化するといわれている。これらの要因を再生中断の観点から考察すると、絶対的再生中断時間と、再生中断に向けられる注意、デジタルコンテンツへの集中度といった3つの要因にまとめられる。これまでの研究では、視聴意欲低下を防ぐ

ために絶対的再生中断時間の短縮を目的としてきたが、本研究では、心理的再生中断時間に注目している点が新しく、視聴意欲低下の軽減に貢献できる。評価の結果、絶対的再生中断時間を短くしたり、再生中断中に広告を表示することで、視聴意欲の低下を軽減できることを確認した。さらに、再生中断制御を行うように既存手法を拡張し、再生中断に関する性能評価を行った。

以降、2章で関連研究を説明し、3章で再生中断による視聴意欲低下の要因を議論する。4章で再生中断制御に関して考察を行い、5章で評価を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

絶対的再生中断時間を短縮する様々な配信手法が提案されている。1章で述べたように、これらの手法では、デジタルコンテンツのデータはブロックと呼ばれる細かなデータに分割される。図1では、MPEG2で符号化された再生レートが448Kbpsの30分の映像を0.5秒ごとにブロックに分割している。ブロックの数は3,600個になる。再生端末はブロックをインターネットから受信しながらブロックごとに再生する。再生端末がブロックの再生開始時刻までにできる限り受信完了できるようにブロックを配信することで絶対的再生中断時間を短縮できる。これらの手法は、P2Pストリーミング手法と放送型配信手法に大きく分けられる。

P2Pストリーミング手法では、デジタルコンテンツの配信サーバからブロックを受信するだけでなく、すでにブロックを受信完了した再生端末からブロックを受信する。図2の左側の例では、4台の再生端末A、…、Dがあり、この順番に視聴要求を出して、すでにいくつかのブロックを受信している。早く受信要求を出した方が長時間ブロックを受信できるため、再生端末A、…、Dの順で多くのブロックを受信しており、順番に4、3、2、1個のブロックを

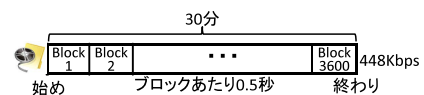


図1 ブロックの例

Fig. 1 An example of blocks.

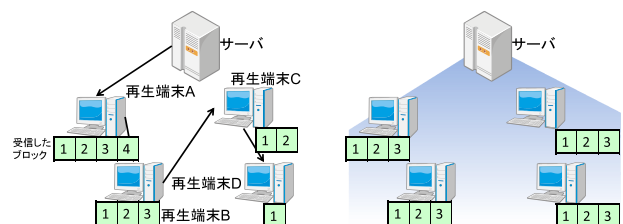


図2 P2Pストリーミング手法(左)と放送型配信手法(右)

Fig. 2 A P2P streaming scheme (left) and a broadcasting scheme (right).

*1 YouTube — Broadcast Yourself, <http://www.youtube.com/>.

受信している。サーバはすべてのブロックを持っている。このとき、再生端末 B は未受信のブロックで再生開始時刻が早いブロック 4 を、サーバから受信するのではなく、再生端末 A から受信する。同様に、再生端末 C は再生端末 B からブロック 3 を受信し、再生端末 D は再生端末 C からブロック 2 を受信する。サーバにかかる通信負荷を、他の再生端末に分散させられるため、再生開始時刻までにブロックを受信完了できる可能性が高くなる。受信するブロックと受信先の再生端末を効果的に選択する様々な手法が提案されている ([1], [2], [3])。

放送型配信手法では、あるブロックを受信完了していない複数の再生端末がある場合に、それらの再生端末にまとめてブロックを配信する。図 2 の右側の例では、サーバが放送型配信を用いてすべての再生端末に同じブロックを配信している。放送型配信として、インターネットのブロードキャストアドレスを用いる場合や、テレビなどの電波放送を用いる場合がある。まとめて配信することにより、個々の再生端末がブロックを受信するために消費されていた通信帯域をまとめられるため、再生開始時刻までにブロックを受信完了できる可能性が高くなる。放送するブロックの順番や使用する放送チャンネルの数が異なる様々な手法が提案されている ([4], [5], [6])。P2P ストリーミング手法と組み合わせた手法も提案されている ([7], [8], [9], [10])。しかし、これらの手法では、再生中断に向けられる注意やデジタルコンテンツへの集中度といった、絶対的再生中断時間以外の視聴意欲低下の要因を考慮していなかった。

視聴意欲の低下に関連して、広告挿入位置に関する研究が行われている。コンテンツへの視聴意欲を維持しつつ広告を最後まで視聴させるように、視聴者のコメントに基づいて挿入位置を決定する手法 ([11]) や、映像変化度や音圧などのコンテンツの特徴を遺伝的アルゴリズムによりとらえて挿入位置を決定する手法 ([12]) が提案されている。これらの研究では、提案手法で算出した広告挿入位置が適切かどうかアンケート評価を行っているが、広告挿入や再生中断位置による視聴意欲の変化そのものの考察や評価を行っていない。

3. 再生中断による視聴意欲低下の要因

1 章で述べたように、心理的に知覚する再生中断時間が長いほど、視聴意欲は低下すると考えられる。文献 [13], [14] にあるように、心理的に知覚する時間は、心理学の分野で心理的時間と呼ばれ、心理的時間の知覚は以下の 4 つの要因で変化するといわれている。

3.1 絶対的時間

実際の時間が長いほど心理的時間も長くなる。再生中断の観点からみると、絶対時間で計測される絶対的再生中断時間に相当する。心理的な再生中断時間が長いほど視聴意

欲が低下するため、デジタルコンテンツ配信では、絶対的再生中断時間が長いほど視聴意欲が低下する。このため、絶対的再生中断時間を短くすることで心理的再生中断時間を短縮できると考えられる。直感的な要因であり、絶対的再生中断時間を短くする多数の研究が行われている。

3.2 時間経過に向けられる注意

時間経過に注意が向けられているほど心理的時間が長くなる。たとえば、人を待っているときに時間を気にすると、心理的時間が長くなる。再生中断の観点からみると、再生中断に向けられる注意に相当する。デジタルコンテンツ配信では、再生中断中に映像に変化がなければ、再生中断に注意が向けられて心理的時間が長くなり、視聴意欲が大きく低下する。このため、再生中断に注意が向かないようにすることで心理的再生中断時間を短縮できると考えられる。

3.3 神経生理学的な興奮

人が興奮しているほど心理的時間が長くなる。たとえば、運動中や、体温が高いときには心理的時間が長くなる。デジタルコンテンツの再生中に視聴者が興奮する場面として、登場人物の会話中やスポーツの得点シーンといった視聴者がデジタルコンテンツに集中する場面があげられる。再生中断の観点からみると、デジタルコンテンツへの集中度に相当する。デジタルコンテンツ配信では、デジタルコンテンツへの集中度が高い場面で再生中断が発生すると、心理的時間が長くなって、視聴意欲が大きく低下する。このため、視聴者が集中しない場面で再生中断が発生するように考慮することで心理的再生中断時間を短縮できると考えられる。

3.4 時間以外の情報量

時間経過中に、時間以外の情報が多いほど心理的時間が長くなる。たとえば、旅行先に行くのにかかる時間は、初めて見る風景が多いため、帰りにかかる時間に比べて長く感じる。デジタルコンテンツ配信では、再生中断中に多くの情報を再生しない方が心理的時間を短くできる。

再生中断中にあらかじめ受信しておいた他の映像を再生することが考えられるが、他の映像を再生することは、時間経過に注意が向かないようにして心理的時間を短くする効果と、時間以外の情報量が多くなることにより心理的時間が長くなる効果がある。しかし、他の映像を再生する程度であれば、情報量が多すぎることはなく、心理的時間が長くなる効果よりも短くする効果の方が大きいと考える。たとえば、再生中断中に真っ暗な画面を再生していれば、時間以外の情報量を少なくできるが、それよりも他の映像を再生する方が、時間経過に注意が向かないようになって心理的時間が短くなる。

以上より、デジタルコンテンツ配信における再生中断に

よる視聴意欲低下の要因として、絶対的再生中断時間、再生中断に向けられる注意、デジタルコンテンツへの集中度があげられる。

4. 再生中断制御に関する考察

前章の議論より、視聴意欲低下を防ぐために、絶対的再生中断時間を短くして、再生中断に注意が向かないようにして、視聴者が集中しない場面で再生が中断するように再生中断を制御することが望ましい。

4.1 絶対的再生中断時間の短縮

視聴意欲低下を防ぐために絶対的再生中断時間を短縮することは、直感的な要因であり、これまでの研究においても絶対的再生中断時間を短縮する様々な手法が提案されてきた。2章で説明した既存手法を用いることで絶対的再生中断時間を短縮できる。

4.2 再生中断に注意を向けない

デジタルコンテンツ配信では、映像再生の有無のみが情報を提供する手段であって、再生中断に注意を向けないために再生中断中にあらかじめ準備してある他のデジタルコンテンツを再生することが考えられる。再生中断中に時間経過に注意が向かないようにするために、再生中断中に周りの人が話かけることなどが考えられるが、本研究では、デジタルコンテンツ配信のシステムが制御できるもののみを対象とする。

4.2.1 再生中断中に再生する他の映像

あらかじめ視聴者が再生するデジタルコンテンツが分かっている場合、ダウンロード型を用いてすべてのデータをダウンロードすると考えられる。本研究では、あらかじめ視聴者が再生するデジタルコンテンツが分からないストリーミング型を想定している。このため、ストリーミング型であらかじめ準備しておく他の映像は、視聴者が再生しているデジタルコンテンツと関係があるとは限らない。たとえば、広告や他の映像のダイジェスト、一問クイズといったデジタルコンテンツをあらかじめ準備する。

4.2.2 再生中断中に再生する他の映像の配信方法

視聴者がデジタルコンテンツの再生中に、再生中断が発生する箇所を予測できないため、再生開始前に配信完了する。たとえば、初めのブロック (0.5 秒) の再生終了後に再生中断が発生する可能性もある。再生開始前に配信完了するために、視聴者がデジタルコンテンツ配信システムに接続するとすぐに配信することが考えられる。

4.3 視聴者が集中しない場面での再生中断

デジタルコンテンツの再生中に視聴者が興奮する場面として、登場人物の会話中やスポーツの得点シーンといった視聴者が集中する場面 (集中場面) が考えられる。通信帯

域がデジタルコンテンツの配信に十分でなく、集中場面で再生中断が発生しそうな場合には、その場面が始まる前に意図的に再生を中断し、中断中に、これから再生するブロックを十分に受信完了しておくことで、視聴者が集中する場面で再生中断が発生しないようにできる。このように、中断が発生する再生位置を考慮して再生中断を制御する必要がある。

4.3.1 意図的な再生中断による再生中断時間

集中場面が始まる前に意図的に発生させる再生中断による再生中断時間は、意図的に再生中断を発生させなかった場合に生ずる再生中断の原因によって異なる。

P2P ストリーミング手法では、通信帯域がデジタルコンテンツの配信に十分でないために再生が中断される。通信帯域は、他の再生端末の通信状況やデジタルコンテンツ配信以外の通信にも依存して時々刻々と変化している。このため、意図的に再生中断を発生させなかった場合に生ずる再生中断時間と同じ時間だけ、集中場面が始まる前に意図的に待てば、その場面で再生中断が発生しないとは限らない。たとえば、意図的に再生中断を発生させなかった場合、集中場面で t_n の再生中断時間があり、このときの通信帯域が平均 b_n とすると、データ量が $b_n t_n$ 分のブロックの受信完了が再生開始時刻に間に合わなかったことになる。集中場面で再生中断が発生しないようにするためには、その場面が始まる前に $b_n t_n$ のデータを受信完了する必要がある。そのときの通信帯域を平均 b_i とすると、 $b_n t_n / b_i$ の再生中断時間となる。集中場面で再生中断が発生しないための意図的な再生中断時間が通信帯域に依存することが分かる。

放送型配信手法では、ブロックの放送が再生開始時刻に間に合わないために再生が中断される。ほとんどの放送型配信手法では、ブロックを放送する順番は決まっておらず、ブロックの放送開始時刻は変わらない。このため、意図的に再生中断を発生させなかった場合に発生する再生中断時間と同じ時間だけ、集中場面が始まる前に意図的に待てば、その場面で再生中断が発生しない。たとえば、意図的に再生中断を発生させなかった場合、集中場面で t_m の再生中断時間があると、あるブロックが再生開始時刻から t_m 遅れて放送されることになる。集中場面で再生中断が発生しないようにするためには、その場面が始まる前に t_m 待てば、ブロックの放送が再生開始時刻に間に合って再生が中断されない。再生開始前に再生中断時間分を待つ (初期再生バッファを増やす) ことでも集中場面が始まる前に意図的に待つことができ、後の 5.2 節で意図的に待つ場合の評価を行っている。

4.3.2 集中場面の認識

デジタルコンテンツのどの部分が集中場面か認識する方法は 3 種類考えられる。

まず、手動で集中場面を設定する方法がある。集中場面の開始時刻と終了時刻をあらかじめ記述した XML などの

ファイルを用意しておき、そのファイルを参照することで、集中場面と考えられる場面を認識できる。デジタルコンテンツ制作者がこのファイルを用意する場合や、デジタルコンテンツ視聴者が集中場面を判断して複数の視聴者でそのファイルを編集していく場合が考えられる。人手で集中場面を認識するため、集中場面を精度良く認識できるが、ファイルの準備に時間がかかる。

一方、自動的に集中場面を認識する方法がある。デジタルコンテンツの登場人物の会話中や映像に変化が多い場面といった、集中場面によくある特徴を、デジタルコンテンツのデータを解析して発見して集中場面と考えられる場面を認識できる。デジタルコンテンツ公開時に解析することで、集中場面の開始時刻と終了時刻を記述したファイルを用意できる。自動的に認識するため、手動に比べて解析時の手間がかからないが、集中場面の特徴をとらえていなければ、認識精度が悪くなる。

最後に、これらを組み合わせて自動で集中場面を認識したあと、手動で修正して集中場面の認識精度を向上させる方法がある。

4.3.3 考察のまとめ

以上より、心理的再生中断時間を短縮するために次のように再生中断を制御することで、デジタルコンテンツ配信における視聴意欲の低下を軽減できる。

- (1) 絶対的再生中断時間を短縮する。
- (2) 再生中断中に他のデジタルコンテンツを再生する。
- (3) 集中場面で再生中断を発生させない。

これまでの研究では(1)のみを目的としていたが、拡張することで、(2)や(3)も実施できる。本研究では、この拡張をIC (Interruption Control) 拡張と呼び、後に5.2節で評価を行う。

5. 評価

本章では、4.3.3項でまとめた再生中断制御の効果を調査するため、5.1節で再生中断制御の評価、5.2節でIC拡張を行った既存手法の再生中断に関して性能評価を行う。

5.1 再生中断制御の評価

視聴意欲を定量的に計測することは困難なため、本評価では、複数の被験者への視聴意欲に関するアンケート調査により再生中断制御を評価する。

5.1.1 実験に用いたデジタルコンテンツ

ストリーミング型のデジタルコンテンツ配信における再生中断は、1章で述べたように、ブロックの受信が再生に間に合わないことで発生する。インターネットの通信帯域がデジタルコンテンツの配信に十分でない状況においてブロックの受信が再生に間に合わなくなるが、このような状況は再現性に乏しく、複数の被験者に対して同じ状況を再現できない。そこで、本研究では、ストリーミング型の

表 1 作成した映像の特徴

Table 1 The features of the prepared movies.

評価指針	A	B	C	D	E
再生中断	20 秒	20 秒	20 秒	20 秒	0 秒
広告	無	無	有	有	-
中断位置	会話中	会話間	会話間	会話中	-

デジタルコンテンツ配信における再生中断を想定し、デジタルコンテンツの再生が途切れる5個の映像ファイルA, ..., Eを作成した。再生時間と再生中断時間の、場合の数は無限にあるため、すべての長さに対して実験を行うことは不可能である。一例として、各映像は、再生時間が約1分(再生中断時間を含まない)のアニメーション映像とし、再生中断時間は20秒と、最短の0秒の映像を作成した。

映像Aでは、従来のストリーミング型のデジタルコンテンツ配信を想定し、映像開始から約30秒後に登場人物が会話している場面で再生中断が発生する。再生中断中は黒い映像を表示し、再生中断時間は20秒とした。

映像Bでは、映像Aと比較して(3)集中場面で再生中断を発生させない効果を評価するために、映像開始から約30秒後で会話と会話の間で再生中断が発生する。再生中断中は黒い画面を表示し、再生中断時間は20秒とした。

映像Cでは、映像Bと比較して(2)再生中断中に他のデジタルコンテンツを再生する効果を評価するために、映像開始から約30秒後の会話と会話の間で再生中断が発生するが再生中断中に広告が再生される。広告の再生時間は20秒である。

映像Dでは、映像Cと比較して(3)集中場面で再生中断を発生させない効果を評価するために、映像開始から約30秒後に登場人物が会話している場面で再生中断が発生して広告が再生される。広告の再生時間は同じく20秒である。

映像Eでは、(1)絶対的再生中断時間を短縮する効果を評価するために、再生中断が発生しない映像とする。

作成した映像についてまとめると表1になる。4.3.3項の各要因に対する評価指針は、(1)は再生中断の有無、(2)は広告の有無、(3)は会話中での再生中断、それぞれが視聴意欲に及ぼす影響を調査することである。Eは再生中断がなく広告や中断位置は無関係なため「-」と記した。

5.1.2 実験方法

20代前半の大学生男性18名と大学生女性2名の合計20名を被験者として実験を行った。分散分析を行った結果(5.1.4項)有意水準5%で結果に差があることが認められ、多重比較を行った結果(5.1.5項)、最低視聴意欲と順位で同じ結果が得られており、各映像の視聴意欲への影響を分析するために十分なサンプル数は得られている。

本研究では、デジタルコンテンツ配信サービスの質を向上させるために視聴意欲低下の軽減を目標としている。サービス対象者はデジタルコンテンツ配信サービスの利用

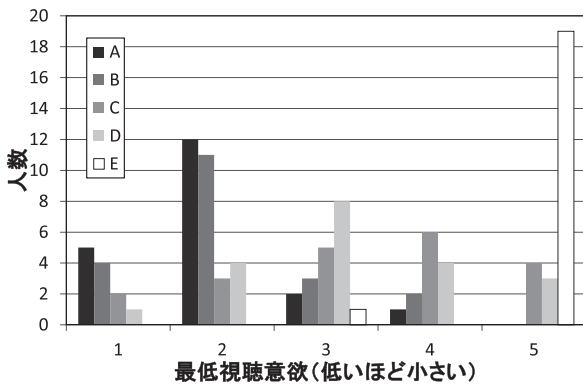


図 3 最低視聴意欲と回答数

Fig. 3 The minimum viewers' motivations and the number.

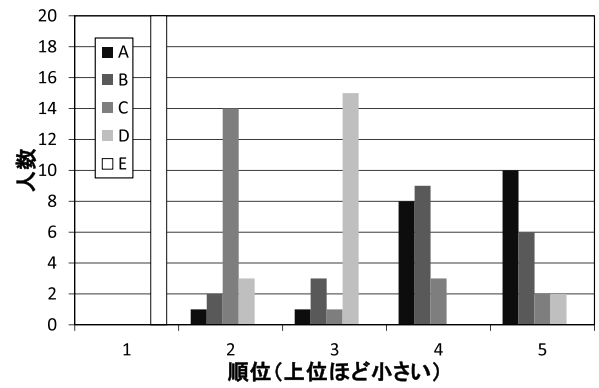


図 4 視聴意欲が低下しなかった映像の順位と回答数

Fig. 4 The ranks of the movies that do not decrease the viewers' motivations and the number.

者となる。このため、本研究の目的から見てデジタルコンテンツ配信サービスをふだんから利用している被験者が実験に適している。本実験の被験者は、情報系の大学生に偏っているが、デジタルコンテンツ配信サービスをふだんから利用しており、実験に適していると考えられる。ふだんからデジタルコンテンツ配信サービスを利用していれば、再生中断が発生しても待っていれば再開されるといったデジタルコンテンツ配信の特徴を理解しており、年齢などが変わっても実験結果に大きな影響は与えないと考える。

被験者が1個の映像のみを視聴して実験を行うとデータ数が非常に少なくなるため、本研究では、被験者は映像A, ..., Eのすべての映像を視聴する。ただし、視聴の順番が評価結果に与える影響(順序効果)を相殺するため、これらの映像は、同じタイトルのアニメーションだが異なる場面の映像とした。さらに、ランダムな視聴の順番を10パターン作成し、それぞれの逆の順番のパターンも含めて、重複のない20パターンを各被験者に割り当てて実験を行った。被験者は、各映像の視聴後に各映像の視聴意欲の最低の程度を、1: 視聴意欲がなくなった, 5: 低下していない, として5段階で理由とともに回答する。さらに、被験者はすべての映像の視聴後に、視聴する意欲が低下しなかった順に映像A, ..., Eに順位を付け、映像内容への興味を調査するため、1: 非常につまらなかった, 5: 非常に面白かった, の5段階で回答する。

5.1.3 実験結果

最低視聴意欲の実験結果を図3に示す。小さい値ほど視聴意欲が低下したことを示す。視聴意欲が最低になった理由の回答から、最低視聴意欲には再生中断が関連していることを確認している。

最低視聴意欲が1の回答が5人で最も多い映像Aの視聴意欲が最も低い傾向にあり、映像Bの視聴意欲も同程度に低いことが分かる。映像Aでは、会話している場面で黒い再生中断が20秒発生しており、心理的再生中断時間が他の映像に比べて長くなったためと考えられる。映像Aの最低視聴意欲が1と回答した理由として、「途切れが長い

ほどイライラがたまっていた」、「真っ暗な時間が長いと視聴意欲が低くなる」といった回答が得られた。映像Bでは、会話と会話の間で中断が発生しており、映像Bの最低視聴意欲が1と回答した理由として、「途切れて見る気がなくなった」、「画面が暗くなって最低になった」といった映像Aと同じような理由が得られている。

最低視聴意欲が3の回答が8人で最も多い映像Dの視聴意欲が映像A, Bに続いて低く、映像Cの視聴意欲も同程度に低いことが分かる。映像Dでは、会話している場面で再生中断が発生して広告が20秒表示されており、再生中断中に他のデジタルコンテンツを再生する再生中断制御が効果的に働き、心理的再生中断時間を映像A, Bと比べて短くできたためと考えられる。映像Dの最低視聴意欲が3と回答した理由として、「別の映像があって見る気が出た」、「少し低下したがCMを見てた」といった回答が得られた。映像Cでは、会話と会話の間で中断が発生しており、映像Cの最低視聴意欲が3と回答した理由として、「Dと同じ」、「安定して再生できていたので、意欲はそのまま」といった映像Dと同じような理由が多く得られている。

映像Eの最低視聴意欲は19人の被験者が5と答えている。映像Eでは再生中断が発生しておらず、絶対的再生中断時間をなくす再生中断制御が効果的に働き、心理的再生中断時間も短くなったためと考えられる。

視聴意欲が低下しなかった映像の順位を図4に示す。小さい値ほど視聴意欲が低下しなかったことを示す。最低視聴意欲の結果と同様に、映像E, C, D, B, Aの順に視聴意欲が低下していることが分かる。

映像内容への興味に関する回答の平均は3.80であり、分散は0.66であった。回答が正規分布に従うと仮定し、 χ^2 検定により分布への適合度を検定すると、 χ^2 値は0.022であり、有意水準5%の境界値は3.84であることから、回答は正規分布と差がなく、全員が興味があるといった大きな偏りがなかったといえる。

表 2 実験結果の平均と分散

Table 2 The averages and the variances for the exp. results.

	A	B	C	D	E	平均
最低視聴意欲の平均	1.95	2.15	3.35	3.20	4.90	3.11
最低視聴意欲の分散	0.548	0.728	1.53	1.16	0.190	0.831
順位の平均	4.35	3.95	2.65	3.05	1.00	3.00
順位の分散	0.628	0.848	1.13	0.548	0.00	0.630

表 3 最低視聴意欲の実験結果の分散分析表

Table 3 The ANOVA table for the minimum viewers' motivations.

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	分散比
映像	111	4.00	27.7	31.7
誤差	83.1	95.0	0.874	-
全体	194	99.0	-	-

表 4 順位の実験結果の分散分析表

Table 4 The ANOVA table for the movie ranks.

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	分散比
映像	137	4.00	34.3	51.7
誤差	63.0	95.0	0.663	-
全体	200	99.0	-	-

5.1.4 分散分析

実験結果において、映像間で最低視聴意欲および順位に差があるか確認するため、分散分析を行った。分散分析は、各群（本実験では各映像）の実験結果に有意差があるか判定する検定手法である。分散分析の詳細は文献 [15] に記述されている。まず、実験結果の基本的な値である平均と分散を表 2 に示す。

分散分析では、統計値をまとめた分散分析表が用いられる。表 2 の値から算出した、最低視聴意欲の実験結果の分散分析表を表 3、順位の実験結果の分散分析表を表 4 に示す。分散比は、映像の平均平方を誤差の平均平方で除した値である。不要な部分は「-」を記した。分散分析では、分散比が F 境界値より大きければ、有意差があると見なす。一般的な検定と合わせて有意水準を 5% とすると、F 分布表より F 境界値は 2.47 になる。最低視聴意欲および順位の分散比が F 境界値より大きいため、映像間の最低視聴意欲および順位に有意に差があるといえる。

5.1.5 多重比較

5.1.4 項の分散分析により、映像間の最低視聴意欲および順位に差があることが認められた。さらに本項ではどの映像間に差があるか確認するために多重比較を行う。多重比較は、群の対（本実験では映像対）の実験結果に有意差があるか判定する検定手法である。多重比較には、各群のデータ数が等しい場合に広く用いられているチューキー法を用いた。チューキー法の詳細は文献 [15] に記述されている。チューキー法における最低視聴意欲の検定統計量 t を表 5 に示す。行の項目から列の項目の平均値を引いた値が

表 5 最低視聴意欲の多重比較結果

Table 5 The multiple comparison results for the minimum viewers' motivations.

	A	B	C	D
B	0.676	-	-	-
C	*4.74	*4.06	-	-
D	*4.23	*3.55	-0.507	-
E	*9.98	*9.30	*5.24	*5.75

表 6 順位の多重比較結果

Table 6 The multiple comparison results for the ranks.

	A	B	C	D
B	1.55	-	-	-
C	*6.60	*5.05	-	-
D	*5.05	*3.49	-1.55	-
E	*13.0	*11.5	*6.41	*7.96

負の場合に t も負になる。上三角成分は下三角成分の符号を反転したものになるため省略した。チューキー法では、 t の絶対値が、「ステューデント化した範囲の表」から得られる q 値を $\sqrt{2}$ で除した値より大きければ、有意差があると見なす。一般的な検定と合わせて有意水準を 5% とし、自由度が 95 であることから $q/\sqrt{2} = 2.78$ となり、有意差がある比較には、*印を付加した。また、順位の検定統計量 t を表 6 に示す。

比較結果より、映像 A と B の視聴意欲に有意差がないことと、映像 C と D の視聴意欲に有意差がないことが分かる。映像 A と D では、集中場面で再生中断を発生させない再生中断制御を行っておらず、映像 B と C では行っていることから、この再生中断制御による視聴意欲への影響は大きくないといえる。しかし、映像 D の最低視聴意欲が映像 C の最低視聴意欲より小さく回答した被験者が、映像 D の最低視聴意欲の回答の理由として「セリフの途中だったのでイラッとした」、「話の途中で広告が入った」と回答しており、集中場面で再生中断を発生させない再生中断制御に効果がないとはいえない。

以上より、4.3.3 項でまとめた再生中断制御による視聴意欲への影響に関して、(1) 絶対的再生中断時間を短縮する要因と (2) 再生中断中に他のデジタルコンテンツを再生する要因は有意に差がある程度に視聴意欲低下の軽減に効果を与え、(3) 集中場面で再生中断を発生させない要因の効果は大きくないといえる。

5.1.6 再生時間と再生中断時間に関する議論

再生時間に関して、再生時間が 1 分でなく、30 秒、3 分、5 分など様々な再生時間があるが、再生時間そのものより、再生時間が異なることで変わる、映像に対する興味によって視聴意欲が影響を受けると考えられる。たとえば、再生時間が 30 秒の映像で再生中断が発生すると、その映像に興味がある場合の最低視聴意欲はあまり低下せず、興味が

ない場合は視聴意欲がなくなって視聴を止める、といった実験結果が考えられる。映像内容が同じであっても、30秒の視聴だと興味が出なかったが、3分視聴している間に興味が出てきたり、5分視聴していると長すぎて興味が低くなって、再生中断発生時の視聴意欲に影響を与える実験結果になると考えられる。異なる再生時間で実験を行うと、映像が多くなって興味の幅も広がり、今回の実験よりさらに結果の一般性が担保できない評価になる。できる限り一般性を担保するため、評価では一例として再生時間1分で実験を行った。

再生中断時間に関して、再生中断時間が20秒でなく、10秒、60秒など様々な再生中断時間があるが、実験結果で「時間が経つにつれてどんどん視聴意欲は下がっていった」、「徐々に減った」といった回答が得られており、再生中断時間に比例して視聴意欲が低下する。たとえば、再生中断時間が10秒の場合の最低視聴意欲が20秒の場合より高く、60秒の場合のほうが低くなる実験結果が考えられる。再生中断時間が極端に短かったり長い状況でなければ、視聴意欲が変化して20秒の場合と同様の実験結果が得られ、一般性が担保される。数ミリ秒など再生中断時間が極端に短く、視聴者が再生中断中の広告や再生中断そのものを認識できない場合には、映像Eのような実験結果が考えられる。数時間など再生中断時間が極端に長く、許容できる再生中断時間を超えると、視聴意欲がなくなって映像の視聴を止める実験結果が考えられる。許容できる再生中断時間は、視聴者の映像への興味や、暇な時間といった視聴にかけられる時間の長さなどに依存すると推測される。

5.2 IC 拡張の評価

本節では、IC 拡張が及ぼす既存手法の性能への影響を調べる。IC 拡張では、既存手法を、再生中断中に他のデジタルコンテンツを再生したり、集中場面で再生中断を発生させないように拡張する。1章にあるように、再生中断時間はデジタルコンテンツの再生が中断されている合計時間を指し、絶対的再生中断時間は、絶対時間で計測される再生中断時間である。本章では、絶対的再生中断時間を評価指標として用いており、再生中断中に他のデジタルコンテンツを再生しても、視聴していたデジタルコンテンツの絶対的再生中断時間自体は変わらず、評価結果に影響を及ぼさない。そこで本章では、集中場面で再生中断を発生させないように、再生中に意図的に中断を発生させた場合の再生中断時間と回数をシミュレーションにより計測した。

5.2.1 評価環境

近年放送通信融合環境が注目されており、P2P ストリーミング手法と放送型配信を組み合わせた手法がさかんに研究されている ([7], [8], [9], [10])。そこで、放送通信融合環境においてデジタルコンテンツを配信する場合を想定して評価を行った。評価パラメータを表 7 に示す。放送

表 7 評価パラメータ

Table 7 Evaluation parameters.

項目	値
放送帯域	1.4 Mbps
通信帯域	5 Mbps
再生レート	448 Kbps
映像の再生委時間	30 分
ブロックサイズ	0.5 秒
シミュレーション時間	6 時間

は地上波デジタル放送の1セグメントを想定し、放送帯域を1.4Mbpsで与える。通信はインターネットを想定してそのボトルネックリンクを5Mbpsとする。デジタルコンテンツについて、インターネットでよく用いられているMPEG4で符号化された映像を想定して、ビットレートが448Kbpsの30分の映像データとする。ブロックはMPEGのGOPに基づき、0.5秒のデータとする。視聴要求の平均要求到着間隔は、他の再生要求の影響を受けないため、ポアソン分布で与える。絶対的再生中断時間が十分に収束されることが確認できた6時間分までシミュレーションを行った。文献 [1], [7], [8] といったこれまでの研究において、絶対的再生中断時間はある程度の幅を持って収束することを確認しているため、収束時の平均絶対的再生中断時間を評価指標として主に用いる。

5.2.2 評価に用いる手法

放送通信融合環境において絶対的再生中断時間を短縮するDSM, DTSM ([8]) 法およびカラーセル法を用いる。DSM, DTSM 法は、再生端末のブロックの受信状況に応じて放送するブロックを動的に決定する手法である。再生端末の数が多き場合には、シーケンシャルモードと呼ばれる、連続したブロックを放送することで絶対的再生中断時間を短縮でき、DSM 法では、再生端末の数が閾値より多い場合のみブロックを連続して放送する。DTSM 法では、再生端末の数が一度閾値より多くなると、最後のブロックまで連続して放送する。カラーセル法は、ブロックを順番に繰り返して放送する手法である。再生端末の数が多き場合にはDTSM 法、少ない場合にはカラーセル法の絶対的再生中断時間がこれらの中で最も短くなる。

5.2.3 絶対的再生中断時間

視聴要求の平均到着間隔を変化させて絶対的再生中断時間をシミュレーションした。意図的に再生中断を発生させない場合の絶対的再生中断時間を図 5 に示す。横軸は平均到着間隔であり、縦軸が平均絶対的再生中断時間である。このグラフより、視聴要求の平均到着間隔が長いほど平均絶対的再生中断時間が短くなっていることが分かる。たとえば、平均到着間隔が20秒の場合、平均絶対的再生中断時間はDSM 法では55秒、DTSM 法では45秒、カラーセル法では42秒になっている。約1分程度の平均絶対的再生中断時間になっていることが分かる。

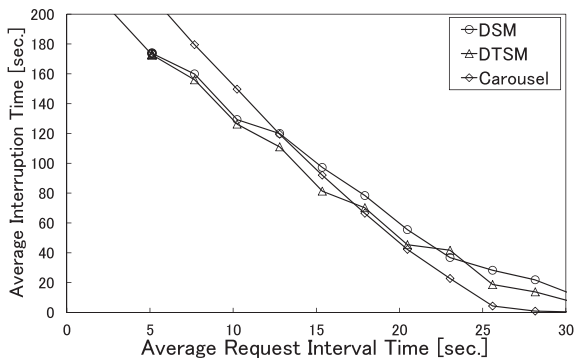


図 5 意図的な再生中断がない場合

Fig. 5 In case of no intentional playback interruption.

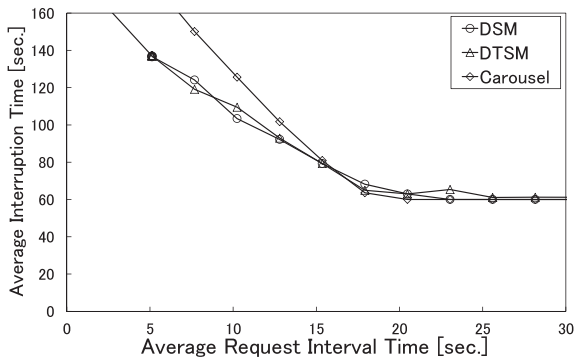


図 6 初めのブロックの再生開始前に 1 分中断する場合

Fig. 6 In case of 1 minute interruption before playing the first block.

ここで、IC 拡張を行い、初めのブロックの再生開始前に 1 分の再生中断を設けた場合の平均絶対的再生中断時間を図 6 に示す。必ず 1 分は再生中断が発生するため、平均絶対的再生中断時間は 1 分以上になるが、平均到着間隔が短い場合に、意図的な再生中断がない場合に比べて平均絶対的再生中断時間を短縮できていることが分かる。これは、初めに中断している間にブロックを受信することで、中断しない場合に再生開始時刻までに受信が間に合わなかったブロックを、間に合うように受信できるためである。カルーセル法では順番にブロックを配信するため、多くの再生端末が持っているブロックを放送している場合があり、効率良く配信できずに平均絶対的再生中断時間が他の手法に比べて長くなっている。

さらに、映像の半分を配信したところから集中場面が始まると想定し、見どころの直前の 1,800 番目のブロックを再生する直前に 1 分の再生中断を意図的に発生させた場合の平均絶対的再生中断時間を図 7 に示す。再生開始前に 1 分中断する場合や意図的な中断を行わない場合に比べて平均絶対的再生中断時間が長くなっていることが分かる。これは、映像の半分を配信するまでに何度か再生中断が発生し、その後、すでに再生中断が発生しないほど十分にブロックを受信完了していても、途中で 1 分間の再生中断が発生してしまうためである。冗長な中断が発生し、絶対的

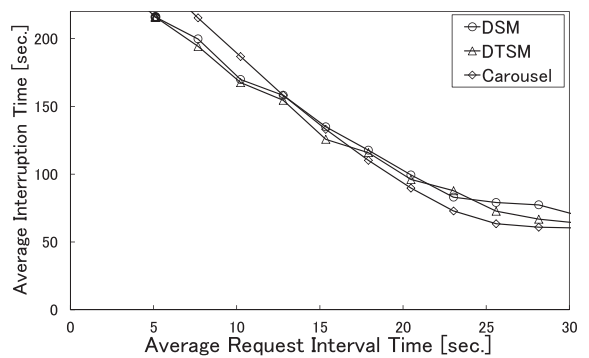


図 7 1,800 番目のブロックの再生開始前に 1 分中断する場合
Fig. 7 In case of 1 minute interruption before playing the 1,800th block.

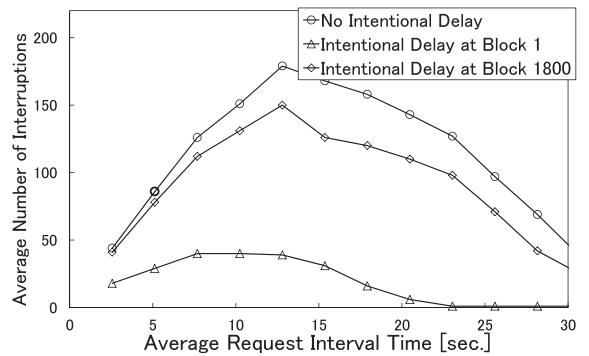


図 8 DTSM 法の平均再生中断回数

Fig. 8 The average number of interruptions under the DTSM method.

再生中断時間が長くなる。

このため、意図的に中断を発生させるのであれば、前の方で発生させた方が平均絶対的再生中断時間を短縮できるといえる。

意図的な再生中断はないが、通信速度が変化した場合の評価結果は文献 [8] に掲載されており、通信速度が大きくなるほど平均再生中断時間が短くなることが分かる。意図的な再生中断を発生させても、通信速度が大きくなるほど速くブロックを受信できるため、平均再生中断時間が短くなる。ただし、意図的に発生させた中断時間が平均再生中断時間の下限となる。

5.2.4 再生中断回数

前章で平均到着間隔が短いほとんどの場合に最短の平均絶対的再生中断時間を与えている DTSM 法において IC 拡張を行った際の平均再生中断回数を図 8 に示す。このグラフより、平均到着間隔が短い場合に平均再生中断回数が少なくなっていることが分かる。これは、1 回の再生中断時間が長く、その間に他のブロックを放送から受信完了できるためである。また、平均到着間隔が長くなると、十分な通信帯域が確保できて平均再生中断回数が減っている。さらに、初めのブロックの再生前に意図的に再生中断させることで、他のブロックを再生開始時刻までに受信完了でき

て、意図的に再生中断しない場合よりも平均再生中断回数も減少していることが分かる。半分を再生したところで中断を発生させても、複数の再生中断を1回にまとめられるため、平均再生中断回数が減少している。

通信速度が変化した場合、平均再生中断時間の傾向と同じく、平均再生中断回数についても、通信速度が大きくなるほど、速くブロックを受信できるため平均再生中断回数が少なくなる。

6. まとめ

デジタルコンテンツ配信における再生中断時間を短縮するこれまでの手法では、心理的再生中断時間を考慮しておらず、再生中断により視聴意欲が大きく低下することがあった。そこで本研究では、視聴意欲の低下を軽減するための再生中断制御に関して考察と評価を行った。評価の結果、絶対的再生中断時間を短縮し、再生中断中に他のデジタルコンテンツを再生することで視聴意欲の低下を軽減できることを確認した。さらに、再生中断制御を行うように既存手法を拡張して評価を行い、絶対的再生中断時間や再生中断回数を削減できることを確認した。

今後、映像への興味が視聴意欲に与える影響の調査や、再生中断中に表示するデジタルコンテンツの再生時間に合わせて再生中断を制御する手法などを考えている。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究A)「次世代オンデマンド型視聴形態のためのコンテンツ配信方式」(課題番号:23680007)および(挑戦的萌芽研究)「再生途切れの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)による成果である。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Taniguchi, H. and Kanazawa, M.: A Scheduling Method for Waiting Time Reduction in Node Relay-based Webcast Considering Available Bandwidth, *Int'l Journal of Grid and Utility Computing*, Vol.2, No.4, pp.295-302 (2011).
- [2] Magharei, N. and Rejaie, R.: PRIME: Peer-to-Peer Receiver-driven Mesh-based Streaming, *Proc. IEEE INFOCOM2007* (2007).
- [3] Zhang, X., Liu, J. and Li, B.: DONet/CoolStreaming: A Data-driven Overlay Network for Live Media Streaming, *Proc. IEEE INFOCOM2005*, Vol.3, pp.2102-2111 (2005).
- [4] Kwon, J.B.: Proxy-Assisted Scalable Periodic Broadcasting of Videos for Heterogeneous Clients, *Multimedia Tools and Applications*, Springer, Vol.51, No.3, pp.1105-1125 (2011).
- [5] Liaskos, C.K., Petridou, S.G. and Papadimitriou, G.I.: Cost-Aware Wireless Data Broadcasting, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.56, Issue 1, pp.66-76 (2010).
- [6] Yoshihisa, T., Tsukamoto, M. and Nishio, S.: A Broadcasting Scheme Considering Units to Play Continuous Media Data, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.53, Issue 3,

- pp.628-636 (2007).
- [7] 義久智樹, 西尾章治郎: 放送通信融合環境におけるデータ受信時間を考慮した映像配信手法, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.5, pp.1522-1531 (2012).
- [8] 義久智樹, 西尾章治郎: 放送通信融合環境における映像再生端末数を考慮したストリーミング配信手法, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.2 (2013).
- [9] Hefeeda, M.M., Bhargava, B.K. and Yau, D.K.Y.: A Hybrid Architecture for Cost-effective On-demand Media Streaming, *ACM Computer Networks*, Vol.44, Issue 3, pp.353-382 (2004).
- [10] Taleb, T., Kato, N. and Nemoto, Y.: Neighbors-Buffering-Based Video-on-Demand Architecture, *Signal Processing: Image Communication*, Vol.18, Issue 7, pp.515-526 (2003).
- [11] 齊藤義仰, 村山優子: 視聴者コメントを用いた広告動画挿入タイミング決定アルゴリズムの提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.2, pp.520-528 (2011).
- [12] 岡安優弥, 濱川 礼: 遺伝的アルゴリズムによる動画コンテンツへの広告挿入位置の最適化, 電子情報通信学会技術研究報告 CQ, Vol.111, No.11, pp.83-88 (2011).
- [13] 前田 泉: 待ち時間革命, 日本評論社, p.150 (2010).
- [14] 松田文子, 調枝孝治, 甲村和三, 神宮英夫, 山崎勝之, 平 伸二: 心理的時間—その広くて深いなぞ, p.551, 北大路書房 (1996).
- [15] 栗原伸一: 入門 統計学—検定から多変量解析・実験計画法まで, p.336, オーム社 (2011).



義久 智樹 (正会員)

2002年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2003年同大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了, 2005年同専攻博士後期課程修了。博士(情報科学)。2005年京都大学学術情報メディアセンター助教。2008年大阪大学サイバーメディアセンター講師を経て2009年より同准教授, 現在に至る。この間カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員。デジタルコンテンツ配信およびセンサネットワーク関連の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。