

# データの分割に関する制約を考慮した 連続メディアデータ放送におけるスケジューリング手法

義久 智樹<sup>†</sup> 塚本 昌彦<sup>†</sup> 西尾 章治郎<sup>†</sup>

近年、デジタル放送の普及により、連続メディアデータを擬似オンデマンド型で配信する研究がさかんに行われている。擬似オンデマンド型では、データを繰り返して放送するため、クライアントはデータの受信開始から再生開始まで待つ必要がある。これらの研究では、この待ち時間を短縮することを主たる目的とし、データを等分割するといったように、既定のデータサイズに分割して初めの方を頻繁に放送することで平均待ち時間を短縮している。しかし、データを分割するうえで制約があり、既定のデータサイズに分割できない場合がある。たとえば、MPEG-2 で符号化されたデータは、GOP (Group of Pictures) ごとに再生可能なため、既定のサイズに分割することは困難である。そこで、本稿では、データの分割に関する制約を考慮してクライアントの平均待ち時間を短縮する手法を提案する。提案手法は、独立して再生できるデータサイズごとに連続メディアデータを分割し、分割したデータを再生開始時刻までに受信完了できるようにスケジューリングして平均待ち時間を短縮する。

## A Scheduling Scheme on Continuous Media Data Broadcast Considering Restrictions of Data Division

TOMOKI YOSHIHISA,<sup>†</sup> MASAHIKO TSUKAMOTO<sup>†</sup> and SHOJIRO NISHIO<sup>†</sup>

Due to the recent proliferation of digital broadcasting, various schemes for delivering continuous media data with near-on-demand systems have been studied. In such systems, since the data is broadcasted repeatedly, clients have to wait until their desiring data is broadcasted. These schemes reduce this waiting time by dividing the data into given data sizes, and broadcasting precedent segments frequently. However, the data often unable to be divided into given data sizes by the restrictions of data division. For example, since an MPEG-2 encoded data can be played starting from a GOP (Group of Pictures), it is reasonable to separate the data with the head of a GOP from the viewpoint of an efficient implementation. In this paper, we suppose a scheme to reduce the waiting time considering such restrictions. Our scheme divides a continuous media data for every necessary data size to play the data and schedules divided data so that clients finish receiving the data until start playing the data. Thus the waiting time is reduced.

### 1. はじめに

近年普及しているデジタル放送<sup>16)</sup>は、アナログ放送に比べて雑音の影響が少ないため、24 Mbps 程度の広い帯域幅を確保でき、また、多重化が容易なため、複数のチャンネルを同時に扱える<sup>10)</sup>。このような特徴を持つデジタル放送網を用いて、音楽や映画といった連続メディアデータを擬似オンデマンド型で配信する研究がさかんに行われている<sup>1)~3),5),7)~9),11)~15),17)</sup>。擬似オンデマンド型では、サーバは複数のチャンネルを

用いてそれぞれのチャンネルでデータを周期的に繰り返して放送する。この方式では、クライアントの数が増加してもシステムの負荷がほとんど変わらないという利点があるが、クライアントは必要なデータが放送されるまで待つ必要がある。特に、連続メディアデータ配信では、データを最後まで途切れずに再生できることが重要になるため、従来研究ではこの条件を考慮したうえで、平均待ち時間を短縮している。

これらの研究では、受信したデータは即座に再生できると想定して、データを等分割するといったように、連続メディアデータを既定のデータサイズに分割し、初めの方を頻繁に放送することで平均待ち時間を短縮している。しかし、多くの場合、受信したデータは即座に再生できず、ある程度受信しなければ再生で

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻  
Department of Multimedia Engineering, Graduate  
School of Information Science and Technology, Osaka  
University

きない。たとえば、MPEG-2 で符号化されたデータは GOP ( Group of Pictures ) ごとに再生可能なため、GOP の受信完了までその GOP を再生できない<sup>6)</sup>。このことは、データを既定のサイズに分割しても分割したデータごとに独立して再生できず、再生するために必要なデータの受信完了を待たなければならないという制約としてとらえることができる。

そこで、本稿では、データの分割に関するこのような制約を考慮してクライアントの平均待ち時間を短縮する手法を提案する。提案手法では、再生に必要なデータサイズがあらかじめ定められ、そのデータサイズごとにデータを分割し、分割したデータを再生開始時刻までに受信完了できるようにスケジューリングして平均待ち時間を短縮する。

以下、2章では、関連研究について述べ、3章では提案手法を説明する。4章では、提案手法の解析を行い、5章で評価を行う。6章で提案手法の議論を行い、最後に7章で本稿のまとめを行う。

## 2. 関連研究

擬似オンデマンド型の放送で連続メディアデータを配信する場合に、ユーザがクライアントにデータの受信要求を出してから、クライアントがデータの再生を開始するまでの平均待ち時間を短縮する様々な手法が提案されている。これらの研究では、データの受信開始と同時にデータを再生できると想定している。

HB ( Harmonic Broadcasting ) 法<sup>8)</sup>では、連続メディアデータを  $N$  個のセグメントに等分割する。分割したセグメントを  $S_1, \dots, S_N$  で表す。添え字は時間軸に沿って増加する。さらに  $S_i (i = 1, \dots, N)$  を  $i$  個のサブセグメントに分割し、サブセグメントを  $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$  で表す。セグメントやサブセグメントは受信開始と同時に再生でき、また、途中から受信できず初めから受信しなければならない。 $N$  個のチャンネル  $C_1, \dots, C_N$  を用い、 $C_i$  の帯域幅を  $b/i$  とする。ここで、 $b$  は連続メディアデータの再生レートであり、たとえば、MPEG-2 で符号化された 5 Mbps の連続メディアデータを放送する場合、 $b = 5$  Mbps となる。 $C_i$  で  $S_{i,1}, \dots, S_{i,i}$  を繰り返し放送すると、 $C_1$  で  $S_1$  が頻りに放送されるため、クライアントの平均待ち時間を短縮できる。たとえば、 $N = 4$  の HB 法の放送スケジュールは図 1 のようになる。

HB 法では、 $S_1$  の受信開始と同時に再生を開始すると、最後まで途切れずに再生できないという問題がある。たとえば、図 1 の時刻  $t_1$  で受信要求を出し、 $t_2$  で  $S_1$  の受信と同時に再生を開始すると、 $S_{2,1}$  の再生

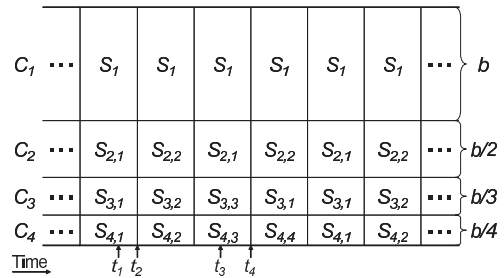


図 1 HB 法の放送スケジュール ( $N = 4$ )

Fig. 1 A broadcast schedule of the HB scheme ( $N = 4$ ).

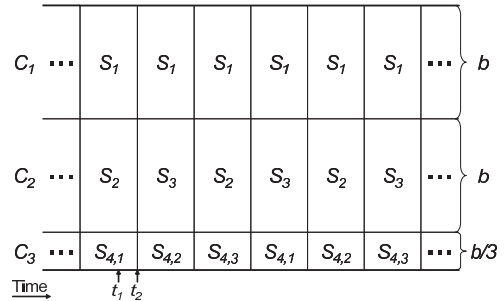


図 2 CHB 法の放送スケジュール ( $N = 4$ )

Fig. 2 A broadcast schedule of the CHB scheme ( $N = 4$ ).

終了時刻は  $t_3$  となるが、 $S_{2,1}$  の受信完了時刻は  $t_4$  となるため、 $S_{2,1}$  が再生までに受信できないことが分かる。この問題を考慮して CHB ( Cautious Harmonic Broadcasting ) 法<sup>14)</sup>が提案されている。

CHB 法は、 $S_j (j = 4, \dots, N)$  を  $j-1$  個のサブセグメント  $S_{j,1}, \dots, S_{j,j-1}$  に分割し、 $N-1$  個のチャンネルを用いる。 $C_1$  および  $C_2$  の帯域幅を  $b$  とし、 $C_k (k = 3, \dots, N-1)$  の帯域幅を  $b/k$  とする。 $C_1$  で  $S_1$ 、 $C_2$  で  $S_2$  と  $S_3$ 、 $C_k$  で  $S_{k+1,1}, \dots, S_{k+1,k}$  を順番に繰り返し放送する。こうすることで、 $S_k$  の再生開始時刻までに  $S_k$  を受信完了できるため、 $S_1$  の受信開始と同時に再生を開始しても、最後まで途切れずに再生できる。ただし、同じ分割数では HB 法よりも必要な帯域幅は大きくなる。たとえば、 $N = 4$  の CHB 法の放送スケジュールは図 2 のようになる。

本稿では、データの受信開始と同時にデータを再生できると想定せず、再生に必要なデータサイズがあらかじめ定められていると考え、以下の議論をすすめる。

## 3. 提案手法

再生に必要なデータサイズがあらかじめ定められている場合にクライアントの平均待ち時間を短縮するスケジューリング手法として AHB ( Asynchronous Harmonic Broadcasting ) 法を提案する。AHB 法は HB 法を拡張した手法であり、分割したデータを再生

開始時刻までに配信できるように各チャンネルの帯域幅を調整するというHB法のアイデアを利用し、再生に必要なデータサイズごとにデータをセグメントに分割し、セグメントをスケジューリングする。

3.1 想定環境

- 連続メディアデータは、受信開始と同時に再生できず、ある程度受信しなければ再生を開始できない。
- サーバは擬似オンデマンド型の放送を行い、複数の論理的なチャンネルを用いてセグメントを周期的に繰り返し放送する。
- クライアントは複数のチャンネルから同時にデータを受信できる。
- クライアントはデータの受信に十分な容量のバッファを持つ。
- クライアントは放送されているデータをつねに受信せず、ユーザが受信要求を出してから受信を開始する。

このような環境として、たとえば、MPEG-2で符号化された動画データを衛星デジタル放送で配信する場合が考えられる。1章で述べたように、衛星デジタル放送では複数のチャンネルを同時に扱え、また、MPEG-2では受信と同時に再生できず、GOPを受信完了しなければそのGOPを再生できない。

3.2 スケジューリング手順

連続メディアデータの再生時間を  $D$ 、再生中の再生レートは一定(CBR)で  $r$  とする。連続メディアデータの再生に必要なデータサイズを初めから順に  $a_1, \dots, a_N$  とし、このサイズの  $N$  個のセグメント  $S_1, \dots, S_N$  に分割する。このとき、 $S_i (i = 1, \dots, N)$  の再生時間  $p_i$  は  $a_i/r$  となり、 $D = p_1 + \dots + p_N = (a_1 + \dots + a_N)/r$  となる。以下の手順に従って放送スケジュールを作成する。

- (1) 連続メディアデータをデータサイズが  $a_1, \dots, a_N$  の  $N$  個のセグメント  $S_1, \dots, S_N$  に分割する。
- (2)  $N$  個のチャンネル  $C_1, \dots, C_N$  を用い、 $C_1$  の帯域幅を  $b_1$ 、 $C_j (j = 2, \dots, N)$  の帯域幅  $b_j$  を以下の式で与える。

$$b_j = \frac{a_j}{\frac{a_1}{b_1} + p_1 + \dots + p_{j-1}} \quad (1)$$

- (3)  $C_i$  で  $S_i$  を繰り返し放送する。ただし、セグメントは途中から受信できないため、 $S_1$  と同期して受信できるように  $S_j$  を  $S_1$  の放送間隔と同じ間隔で放送できるいくつかのサブセグメントに分割して放送する。

$b_1$  の値は使用できる帯域幅に合わせて調整する。帯

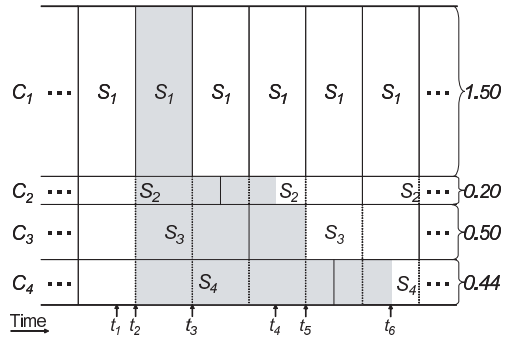


図3 AHB法の放送スケジュール例  
Fig. 3 An example of broadcast schedule of the AHB scheme.

域幅を式(1)で与えることで、 $S_j$ の再生開始時刻までに  $S_j$ を受信完了できる。たとえば  $r = 1, b_1 = 1.5, a_1 = 3, a_2 = 1, a_3 = 3, a_4 = 4$ のAHB法の放送スケジュールは図3のようになる。点線がサブセグメントの区切りを示し、灰色の部分は  $t_1$ で受信要求を出す場合に受信するデータを示す。

3.3 導入方法

連続メディアデータ配信者は再生に必要なデータサイズごとに連続メディアデータを分割し、使用できる帯域幅に合わせて  $b_1$ を調整して、AHB法で作成した放送スケジュールに従ってデータを繰り返し放送する。セグメントを放送する際、そのセグメントが含まれる連続メディアデータの識別子とセグメントの番号が分かるように、これらの情報をデータの初めに付加する。こうすることで、複数の連続メディアデータも同時に放送できる。付加情報のデータサイズはセグメントのデータサイズに比べて非常に小さいため、本稿では付加情報の放送にかかる時間は無視する。

ユーザがクライアントに連続メディアデータの受信要求を出すと、クライアントは放送されている連続メディアデータの中から、指定された連続メディアデータの受信を開始し、その連続メディアデータの  $S_1$ の受信完了と同時に再生を開始する。再生中にも放送されているデータを受信し、バッファに保存する。 $S_i (i = 2, \dots, N)$ のサブセグメントをすべて受信すると、それらを結合して  $S_i$ を再生できるようにする。データをつなげるだけのため、非常に短い時間で結合できる。 $S_{i-1}$ の再生終了後、バッファにある結合された  $S_i$ を即座に続けて再生する。こうすることで、クライアントは連続メディアデータを最後まで途切れずに再生できる。たとえば、図3において、時刻  $t_1$ で受信要求を出し、クライアントが  $t_2$ で  $S_1$ の受信を開始し、 $t_3$ で  $S_1$ の受信完了と同時に再生を開始す

る場合を考える． $b_1 = 1.5$  のため， $S_1$  の再生時間は放送にかかる時間より長く， $t_4$  で  $S_1$  の再生を終了する． $t_4$  に  $S_2$  を受信完了するため， $S_1$  の再生終了後，続けて  $S_2$  を再生できる． $S_2$  の再生終了時刻  $t_5$  には  $S_3$  を受信完了しており， $S_3$  再生終了時刻  $t_6$  においても， $S_4$  を受信完了しているため，途切れずに最後まで再生できる．

#### 4. 解 析

提案手法の解析を行う．

##### 4.1 必要となる帯域幅

連続メディアデータの放送に必要な帯域幅  $B$  は

$$B = \sum_{i=1}^N b_i = b_1 + \sum_{i=2}^N \frac{a_i}{\frac{a_1}{b_1} + p_1 + \dots + p_{i-1}}$$

$$= b_1 + \sum_{i=2}^N \frac{a_i b_1 r}{a_1 r + (a_1 + \dots + a_{i-1}) b_1} \quad (2)$$

となる．

##### 4.2 待ち時間

$S_1$  が  $a_1/b_1$  間隔で放送されているため，クライアントが連続メディアデータの再生を開始するまでの最大の待ち時間  $W_{max}$  は  $S_1$  の放送開始直後にユーザがクライアントに受信要求を出してから  $S_1$  を受信完了するまでの時間に等しく，

$$W_{max} = \frac{2a_1}{b_1} \quad (3)$$

で与えられる．最小の待ち時間  $W_{min}$  は  $S_1$  の放送開始直前にユーザがクライアントに受信要求を出す場合であり，

$$W_{min} = \frac{a_1}{b_1} \quad (4)$$

となる．待ち時間は一様に分布しているため，平均待ち時間  $W_{ave}$  は

$$W_{ave} = \frac{3a_1}{2b_1} \quad (5)$$

となる．

##### 4.3 途切れない再生

AHB 法で作成した放送スケジュールでは，クライアントは  $S_1$  の受信完了と同時に  $S_1$  の再生を開始しても最後まで途切れずに再生できる．この理由を以下に示す．

クライアントは  $S_1$  の受信開始から  $a_1/b_1$  後に  $S_1$  を受信完了し，再生を開始する． $S_1$  の再生開始から  $p_1 + \dots + p_{i-1}$  後に  $S_i$  ( $i = 2, \dots, N$ ) の再生を開始する．すなわち，受信開始から  $S_i$  の再生開始

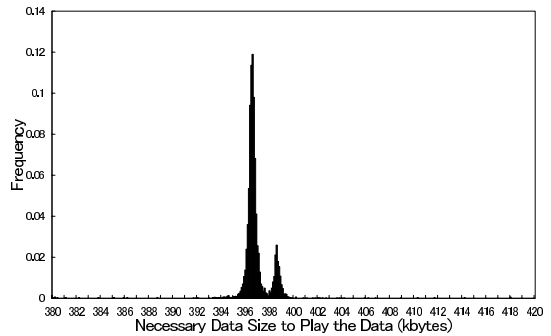


図 4 再生に必要なデータサイズのヒストグラム

Fig. 4 The histogram of necessary data size to play the data.

表 1 評価に用いたデータの統計値

Table 1 The statistics of the data for evaluation.

最小値 (k バイト)	70
最大値 (k バイト)	458
平均値 (k バイト)	392
分散 (k バイト) <sup>2</sup>	1,163
総和 (M バイト)	2,349
セグメントの数 (個)	5,994

まで  $a_1/b_1 + p_1 + \dots + p_{i-1}$  かかる．一方， $S_i$  を放送する  $C_i$  の帯域幅を式 (1) で与えると， $S_i$  は  $a_1/b_1 + p_1 + \dots + p_{i-1}$  間隔で放送され，クライアントは  $S_1$  の受信開始と同時に  $S_i$  のサブセグメントの受信を開始できるため， $S_i$  の受信に  $a_1/b_1 + p_1 + \dots + p_{i-1}$  だけかかる．よって， $S_i$  の再生開始時刻に  $S_i$  を受信完了できるため，クライアントは連続メディアデータを最後まで途切れずに再生できる．

このように， $S_i$  の放送間隔が  $S_1$  の放送間隔の整数倍になっておらず， $S_1$  と  $S_i$  の放送間隔に同期がとれていないことが，AHB 法と名づけた理由である．

#### 5. 評 価

提案手法のパラメータ  $b_1$  が，必要となる帯域幅や平均待ち時間に与える影響の評価や，HB 法や CHB 法で再生が途切れない時刻まで待ってから再生する場合との比較を行う．評価には 60 分の連続メディアデータを MPEG-2 で符号化したデータを用い，GOP ごとに再生できるため， $a_1, \dots, a_N$  を GOP のデータサイズとした．衛星デジタル放送の動画配信で一般的な 5 Mbps の再生レート<sup>4)</sup> ( $r = 5$  Mbps) で符号化した場合の，再生に必要なデータサイズのヒストグラムを図 4 に示し，統計値を表 1 に示す．再生に必要なデータサイズの分布が必ずしもこのような分布になるとは限らないが，再生に必要なデータサイズは一定でないことが分かる．

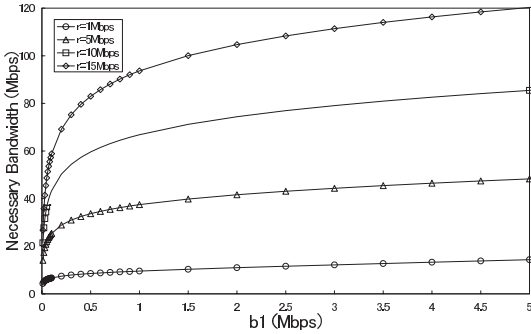


図 5 AHB 法で必要となる帯域幅  
Fig. 5 Necessary bandwidth of the AHB scheme.

5.1 必要となる帯域幅

AHB 法で連続メディアデータを放送する際に必要となる帯域幅を図 5 に示す．横軸は  $C_1$  の帯域幅  $b_1$  とし，縦軸は必要となる帯域幅とした．このグラフより， $b_1$  の値が大きいほど必要となる帯域幅は大きくなるが， $b_1$  が比較的小さい場合には，増加量が大きいことが分かる．たとえば， $r = 5$  Mbps の場合， $b_1 = 0.1$  Mbps では 25 Mbps の帯域幅が必要になり， $0.2$  Mbps では 28 Mbps の帯域幅が必要になるが， $b_1 = 0.9$  Mbps では 36 Mbps， $1.0$  Mbps では 37 Mbps となっている．これは， $b_1$  に反比例して  $S_1$  の放送間隔 ( $a_1/b_1$ ) が短くなるためで， $b_1$  が比較的小さい場合には  $S_1$  の放送間隔の減少量が大きく，式 (1) で与えられる他のチャンネルの帯域幅の増加量が大きくなるためである． $C_1$  以外のチャンネルの帯域幅も  $b_1$  に依存するため，必要な帯域幅は  $b_1$  に正比例しない．

たとえば， $r = 5$  Mbps， $b_1 = 80$  kbps の場合，24 Mbps の帯域幅が必要なが分かる．衛星デジタル放送における動画配信の帯域幅が 24 Mbps であり，現在でも再生レートの数倍の帯域幅を用いて放送開始時刻をずらして放送する場合があるため， $r = 5$  Mbps の動画を 24 Mbps の帯域幅を用いて放送することは現実的といえる<sup>4)</sup>．

5.2 平均待ち時間

AHB 法の平均待ち時間を図 6 に示す．横軸は  $b_1$  とし，縦軸は平均待ち時間とした．このグラフより， $b_1$  が大きいほど平均待ち時間が短くなるのが分かる．これは， $b_1$  が大きいほど  $S_1$  の放送間隔が短くなり，クライアントの  $S_1$  を受信完了するまでの時間が短くなるためである．

図 5 と図 6 から導出した AHB 法の帯域幅と平均待ち時間の関係を図 7 に示す．横軸は使用する帯域幅とし，縦軸は平均待ち時間とした．たとえば，MPEG-2 で符号化された再生レートが 5 Mbps の連続メディア

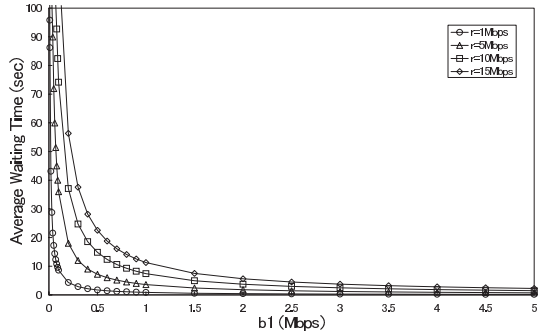


図 6 AHB 法の平均待ち時間  
Fig. 6 Average waiting time of the AHB scheme.

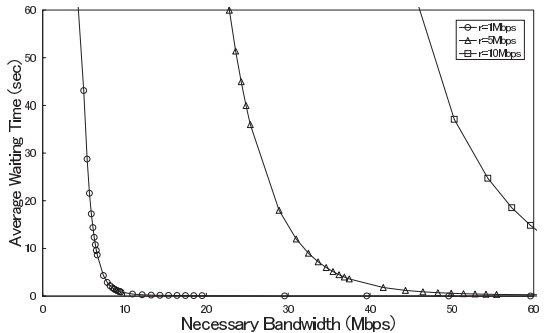


図 7 AHB 法の帯域幅と平均待ち時間  
Fig. 7 The relationship between bandwidth and average waiting time of the AHB scheme.

データを 24 Mbps の衛星デジタル網で放送する場合，平均待ち時間は 47.3 秒になる．

5.3 HB 法や CHB 法との比較

HB 法や CHB 法は，データの受信開始と同時にデータを再生できると想定しているため，ある程度受信しなければ再生できない場合には，再生に必要なデータをそのデータの再生開始時刻までに受信完了できない可能性がある．このため， $S_1$  を受信完了しても，再生開始時刻までに必要なデータを受信完了できるように待つ必要があり，データの受信開始と同時にデータを再生できると想定した場合とは異なる待ち時間となる．たとえば， $a_1 = 3$ ， $a_2 = 1$ ， $a_3 = 3$ ， $a_4 = 4$  の場合，AHB 法では再生に必要なデータサイズ  $a_1, \dots, a_4$  と合わせて  $S_1, \dots, S_4$  に分割するが，HB 法では， $a_1, \dots, a_4$  とは関係なく  $S'_1, \dots, S'_4$  に分割し，図 8 に示すように放送する．時刻  $t_1$  で受信を開始したクライアントが  $t_2$  で  $S_1$  の受信完了 ( $S'_2$  に含まれる  $S_1$  の後の部分は， $C_2$  で受信済み) と同時に再生を開始する場合，再生が途切れないためには  $S_4$  を  $t_3$  までに受信する必要があるが， $t_4$  で  $S'_4$  を受信完了するため， $S_4$  の再生開始時刻までに  $S_4$  を受信完



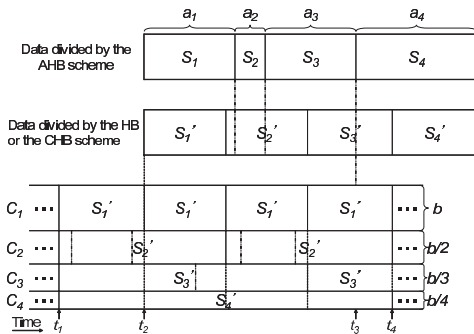


図 8 AHB 法と HB 法, CHB 法のデータの分割例

Fig. 8 An example of data division by the AHB scheme, the HB scheme and the CHB scheme.

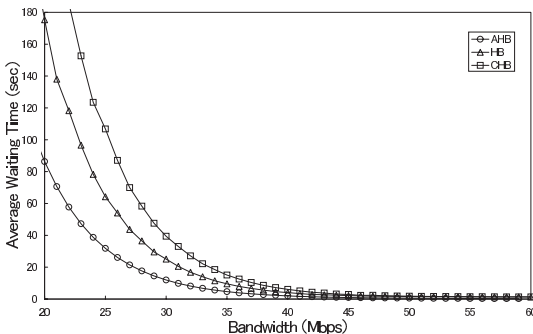


図 9 AHB 法や HB 法, CHB 法の平均待ち時間

Fig. 9 Average waiting time of the AHB scheme, the HB scheme and the CHB scheme.

できない。この場合、 $S'_1$  を受信完了してから  $t_4 - t_3$  後に再生を開始すると、最後まで途切れずに再生できる。そこで、HB 法や CHB 法で最後まで途切れずに再生できるまで待つてから再生を開始する場合の平均待ち時間と比較を行った。結果を図 9 に示す。横軸は使用する帯域幅、縦軸は平均待ち時間を示す。AHB 法のパラメータ  $b_1$  と、HB 法や CHB 法の連続メディアデータの分割数は、使用できる帯域幅に合わせて調整した。このグラフより、HB 法や CHB 法では、再生に必要なデータサイズを考慮しないため、AHB 法に比べて平均待ち時間が長くなる事が分かる。また、HB 法の平均待ち時間が CHB 法の平均待ち時間より短い。これは、同じ帯域幅では HB 法の分割数が CHB 法の分割数より大きく、 $S_1$  の放送間隔が短くなり、頻繁に放送されるためと考えられる。ただし、平均待ち時間は、再生に必要なデータサイズと、再生に必要なデータを含むセグメントの放送間隔に依存するため、必ずしも CHB 法より HB 法の平均待ち時間が短くない。たとえば、 $r = 1, a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 1$  で、再生レートの 2.34 倍の帯域幅を使用できる場合、HB 法よりも CHB 法の平均待ち時間が短い。

MPEG-2 で符号化された再生レートが 5 Mbps の連続メディアデータを 24 Mbps の衛星デジタル網で放送する場合、AHB 法では平均待ち時間は 47.3 秒だが、HB 法では 78.3 秒、CHB 法では 123 秒になることが分かる。

## 6. 議 論

AHB 法は、再生に必要なデータサイズがあらかじめ定められている場合に、平均待ち時間を短縮するスケジュールを作成する。 $b_1$  の値を変更することで、使用できる帯域幅に合わせて必要となる帯域幅を調整できる。

### 6.1 既存手法との比較

既存の HB 法や CHB 法と比較した結果、AHB 法の平均待ち時間が短いことが分かる。このように、再生に必要なデータサイズを考慮せず、受信したデータはすぐに再生できると想定している手法では、平均待ち時間が AHB 法よりも長くなると考えられる。

### 6.2 再生に必要なデータサイズと平均待ち時間

5 章では、実際に MPEG-2 で符号化したデータを用いて  $a_1, \dots, a_N$  の値を決定して評価を行ったが、AHB 法の平均待ち時間はこれらの値に依存するため、再生に必要なデータサイズの分布が与える平均待ち時間への影響について議論を行う。

#### 6.2.1 セグメントの数の平均待ち時間への影響

セグメントの数  $N$  が与える平均待ち時間への影響について議論を行う。

$r = 5$  Mbps の 60 分の連続メディアデータを 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合を想定し、再生に必要なデータサイズは一定値  $a$  として ( $a_1 = \dots = a_N = a$ ) 平均待ち時間を算出した。この一定値は  $a_1, \dots, a_N$  の総和が  $5 \text{ M} \times 60 \times 60 / 8 = 2250 \text{ M}$  バイトになるように調整した。また、AHB 法で 30 分の連続メディアデータを放送する場合 (総和は 1125 M バイト) の平均待ち時間も算出した。セグメントの数の平均待ち時間への影響を図 10 に示す。横軸は  $N$ 、縦軸は平均待ち時間とした。このグラフより、AHB 法では  $N$  が大きいほど平均待ち時間は短くなるが、 $N$  が比較的大きい場合には、減少量が小さいことが分かる。これは、 $N$  に反比例して各セグメントのデータサイズが小さくなるため、 $N$  が比較的大きい場合には、このデータサイズの減少量が小さいために、各チャンネルの帯域幅の減少量も少なく  $S_1$  の放送間隔が大きく減少しないため、平均待ち時間も大きく減少しない。たとえば、60 分のデータを放送する場合、 $N = 50$  では、 $a = 45 \text{ M}$  バイト、 $b_1 = 5.96 \text{ Mbps}$  とすることで

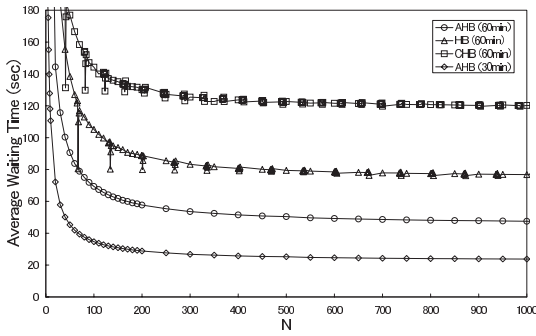


図 10 セグメントの数と平均待ち時間

Fig. 10 The relationship between the number of segments and average waiting time.

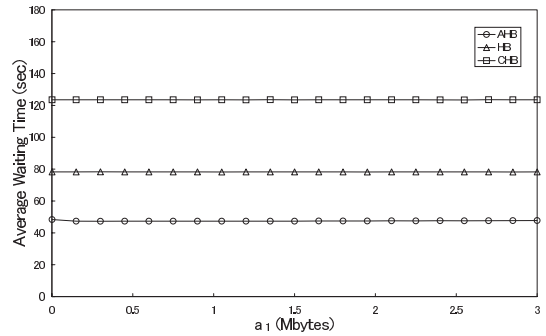
必要な帯域幅は 24 Mbps となり、平待ち時間は  $(3 \times 45 \text{ M} \times 8) / (2 \times 5.96 \text{ M}) = 90.6$  秒になり、 $N = 100$  では、 $a = 22.5 \text{ M}$  バイト、 $b_1 = 3.89 \text{ Mbps}$ 、平均待ち時間は  $(3 \times 22.5 \text{ M} \times 8) / (2 \times 3.89 \text{ M}) = 69.4$  秒になるが、 $N = 950$  では、 $a = 2.37 \text{ M}$  バイト、 $b_1 = 596 \text{ kbps}$ 、平均待ち時間は  $(3 \times 2.37 \text{ M} \times 8) / (2 \times 596) = 47.7$  秒になり、 $N = 1000$  では、 $a = 2.25 \text{ M}$  バイト、 $b_1 = 568 \text{ kbps}$ 、平均待ち時間は  $(3 \times 2.25 \text{ M} \times 8) / (2 \times 568) = 47.5$  秒になる。このように  $N$  の変化量が 50 でも、 $a_1$  や  $b_1$  の減少量が異なるため、平均待ち時間の減少量に差が出る。

データを等分割する手法である HB 法や CHB 法では、周期的に平均待ち時間が急激に短くなることが分かる。これは、等分割の分割位置と再生の単位となるデータの分割位置が一致し、待ち時間が最長の場合でも、分割したデータの最初の部分（図 8 における  $S'_1$ ）の受信完了と同時に再生を開始できるためである。24 Mbps の帯域幅を使用するために、HB 法ではデータを 67 等分、CHB 法では 41 等分しており、 $N$  がこの分割数の整数倍の場合に、平均待ち時間が急激に短くなっている。特に、 $N = 67$  の場合のように、 $N$  が HB 法の分割数と等しく、再生に必要なデータサイズが一定の場合には AHB 法と HB 法の放送スケジュールは同じになり、平均待ち時間も等しくなる。

### 6.2.2 $a_1$ の平均待ち時間への影響

AHB 法の平均待ち時間を与える式 (5) に  $a_1$  が直接現れているため、 $a_1$  が平均待ち時間に大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで、 $a_1$  のみを変化させた場合の平均待ち時間の変化について議論する。

5 章で用いたデータと合わせて  $N = 5,994$ 、 $r = 5 \text{ Mbps}$  とし、 $a_1$  のみを変化させ、 $a_2, \dots, a_N$  を一定として平均待ち時間を算出した。この一定値は、 $a_1, \dots, a_N$  の総和が 2,349 M バイトになるように調整し

図 11  $a_1$  のデータサイズと平均待ち時間Fig. 11 The relationship between the data size of  $a_1$  and average waiting time.

た。この場合の平均待ち時間を図 11 に示す。 $a_1$  の値が 3 M バイトの場合、 $S_1$  は 4.8 秒のデータに相当する。1 個の GOP の再生時間は通常 0.5 秒であり、再生の単位がこれほど長くなることは一般的ではないが、評価を行ううえで十分大きくした<sup>6)</sup>。このグラフより、 $a_1$  が変化しても平均待ち時間が大きく変わらないことが分かる。 $a_1$  が大きくなると  $a_2, \dots, a_N$  が小さくなるが、その減少量は  $a_1$  の増加量に比べて小さいため、式 (1) で与えられる  $C_2, \dots, C_N$  の帯域幅が減少する。結局、 $b_1$  を大きくできるため、 $S_1$  の放送にかかる時間は大きく変わらず、平均待ち時間も大きく変わらない。たとえば、 $a_1 = 100 \text{ k}$  バイトの場合、 $b_1 = 25.4 \text{ kbps}$  とすることで必要な帯域幅は 24 Mbps、平均待ち時間は 47.3 秒になり、また、 $a_1$  が 1 M バイトの場合、 $b_1 = 253 \text{ k}$  バイトとすることで必要な帯域幅は 24 Mbps、平均待ち時間は 47.4 秒になる。 $a_1$  が 10 倍になると、 $b_1$  もほぼ 10 倍になり、平均待ち時間が大きく変わらないことが分かる。ただし、 $a_1$  がさらに大きい場合には、 $a_1$  の増加率に比べて  $b_1$  の増加率が小さくなり、平均待ち時間が大きく変化する。たとえば、 $a_1 = 100 \text{ M}$  バイト（再生時間は 2 分 40 秒）の場合、 $b_1 = 10.1 \text{ Mbps}$  とすることで必要な帯域幅は 24 Mbps、平均待ち時間は 119 秒になり、 $a_1 = 1,000 \text{ M}$  バイトの場合、 $b_1 = 20.3 \text{ Mbps}$  とすることで必要な帯域幅は 24 Mbps、平均待ち時間は 591 秒になる。 $a_1$  を 10 倍しても、 $b_1$  が 2 倍程度しか増えず、平均待ち時間が大きく増加していることが分かる。

HB 法や CHB 法において平均待ち時間が大きく変わらない点については、総和が等しく  $N$  が大きいために、等分割の分割位置と再生の単位となるデータの分割位置の差（図 8 における  $t_4 - t_3$ ）が各セグメントについて平均するとそれほど変わらないため

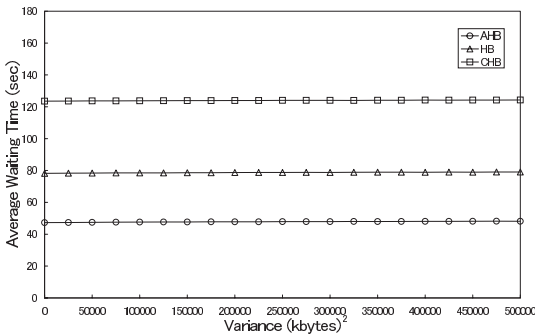


図 12  $a_1, \dots, a_N$  の分散と平均待ち時間

Fig. 12 The relationship between the variance of  $a_1, \dots, a_N$  and average waiting time.

表 2 図 12 で用いた  $a_1, \dots, a_N$  の統計値  
Table 2 The statistics of the Fig. 12.

分散 (k バイト) <sup>2</sup>	0	$5 \times 10^5$
最小値 (k バイト)	392	1.1
最大値 (k バイト)	392	3065
平均値 (k バイト)	392	733
総和 (M バイト)	2,349	2,349
セグメントの数 (個)	5,994	3,202

ある。

### 6.2.3 分散の平均待ち時間への影響

$a_1, \dots, a_N$  の分散が与える平均待ち時間への影響について議論を行う。

5 章で用いたデータと合わせて  $r = 5 \text{ Mbps}$  とし、 $a_1, \dots, a_N$  を平均値が 392 k バイトの正規分布で発生させ、 $N$  は  $a_1, \dots, a_N$  の総和が 2349 M バイト程度になるように調整した。負の値が発生した場合には、その値を無効にした。このようにして発生させたデータを 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合の平均待ち時間を図 12 に示し、発生させたデータの分散が  $0 \text{ (k バイト)}^2$  と  $5 \times 10^5 \text{ (k バイト)}^2$  の場合の統計値を表 2 に示す。横軸は分散、縦軸は平均待ち時間とした。このグラフより、AHB 法では、分散が変化しても平均待ち時間は大きく変わらないことが分かる。これは、セグメントのデータサイズにばらつきがある場合でも、総和がほぼ等しく、セグメントの数  $N$  が大きいため、 $S_1$  の放送にかかる時間がそれほど変わらないためである。セグメントのデータサイズが変化すると、そのセグメントを放送するチャンネルの帯域幅も変化する。この変化量を全チャンネルについて足し合わせると、必要となる全体の帯域幅が大きく変わらず、 $S_1$  の放送にかかる時間も大きく変わらない。たとえば、分散が  $0 \text{ (k バイト)}^2$  の場合、 $a_1 = \dots = a_N = 392 \text{ k}$  バイトとなり、 $b_1 = 99 \text{ kbps}$ 、平均待ち時間は 47.5 秒

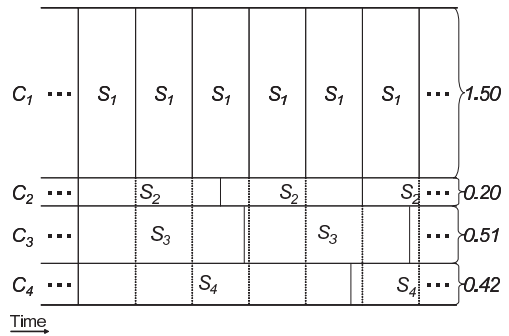


図 13 VBR を考慮した AHB 法の放送スケジュール

Fig. 13 A broadcast schedule of the AHB scheme considering VBR.

となる。また、分散が  $5 \times 10^5 \text{ (k バイト)}^2$  の場合、 $a_1 = 724 \text{ k}$  バイトになっており、 $b_1 = 180 \text{ kbps}$ 、平均待ち時間は 48.3 秒となる。このように、 $a_1$  が大きくなると  $b_1$  も大きくなり、平均待ち時間は大きく変わらない。

以上より、 $N$  が比較的大きく、1 個の GOP の再生時間が 0.5 秒のように、再生に必要なデータサイズが一般的な場合には、 $a_1, \dots, a_N$  の分布は AHB 法の平均待ち時間に大きく影響しないことが分かる。たとえば、図 10 より再生レートが 5 Mbps の 60 分の連続メディアデータを 24 Mbps の帯域幅を用いて放送する場合には、 $N$  が 500 程度以上であれば、 $a_1, \dots, a_N$  の分布は平均待ち時間に大きく影響しない。

### 6.3 VBR への応用

MPEG にはデータを再生している間、再生レートが一定の CBR (Constant Bit Rate) と再生中に再生レートが変化する VBR (Variable Bit Rate) がある。本稿では、CBR を想定して議論をすすめてきたが、ここでは VBR で符号化されたデータを AHB 法で放送する手法について説明する。VBR では再生に必要なデータごとに再生レートが異なるため、 $S_i (i = 1, \dots, N)$  の再生レートを  $r_i$  とする。VBR の場合にも 4.3 節で述べた議論が成立するため、 $C_j (j = 2, \dots, N)$  の帯域幅  $b_j$  を式 (1) で与えることで、クライアントは  $S_1$  の受信完了と同時に再生を開始しても、連続メディアデータを最後まで途切れずに再生できる。ただし、この場合  $p_i = a_i/r_i$  となる。このため、必要となる帯域幅は、式 (2) では与えられず、

$$B = b_1 + \sum_{i=2}^N \frac{a_i b_1}{a_1 + \left( \frac{a_1}{r_1} + \dots + \frac{a_{i-1}}{r_{i-1}} \right) b_1} \quad (6)$$

で与えられる。たとえば、 $b_1, a_1, \dots, a_4$  の値は図 3



の例と等しく、各セグメントの再生レートが  $r_1 = 1.0$ ,  $r_2 = 1.2$ ,  $r_3 = 0.8$ ,  $r_4 = 1.0$  の場合の放送スケジュールは図 13 のようになる。

## 7. 結 論

多くの場合、データを既定のサイズに分割しても分割したデータごとに独立して再生できず、再生するために必要なデータの受信完了を待たなければならないという制約がある。本稿では、データの分割に関するこのような制約を考慮して、ユーザが連続メディアデータの受信要求を出してから、再生開始するまでの待ち時間を短縮する手法を提案した。提案手法 AHB 法は、分割できるデータサイズがあらかじめ定まっている場合に、分割したデータの再生開始時刻までに受信完了できるようにスケジューリングして放送することで、クライアントが最後まで途切れずに再生できるという条件を満たしたうえで、平均待ち時間を短縮する。

受信したデータが即座に再生できると想定している既存の HB 法や CHB 法と比較した結果、AHB 法の方が平均待ち時間を短くすることが分かった。

今後の課題として、使用するチャンネルの数を少なくして導入を容易にすることや、複数の連続メディアデータを放送する際に、データごとのアクセス頻度を考慮して平均待ち時間を短縮することがあげられる。

謝辞 本研究は、文部科学省科学技術振興調整費「モバイル環境向 P2P 型情報共有基盤の確立」、文部科学省特定領域研究(C)「Grid 技術を適応した新しい研究手法とデータ管理技術の研究」(課題番号: 13224059)、および文部科学省 21 世紀 COE プログラム(研究拠点形成費補助金)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) Aggarwal, C.C., Wolf, J.L. and Yu, P.S.: A permutation-based pyramid broadcasting scheme for video-on-demand system, *Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems (ICMCS '96)*, pp.118-126 (1996).
- 2) Almeroth, K.C. and Ammar, M.H.: On the use of multicast delivery to provide a scalable and interactive video-on-demand service, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.14, pp.1110-1122 (1996).
- 3) Eager, D.L. and Vernon, M.K.: Dynamic skyscraper broadcasts for video-on-demand, *Proc. 4th Int. Workshop on Multimedia Information Systems (MIS '98)*, pp.18-32 (1998).

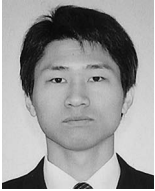
- 4) 橋本和彦: デジタル衛星放送の技術と動向, 電子情報通信学会誌, Vol.81, No.1, pp.86-88 (1998).
- 5) Hua, K.A. and Sheu, S.: Skyscraper broadcasting: A new broadcasting scheme for metropolitan video-on-demand systems, *Proc. ACM SIGCOMM*, pp.89-100 (1997).
- 6) 藤原 洋: 最新 MPEG 教科書, マルチメディア通信研究会, p.98, アスキー出版局, 東京 (1997).
- 7) Janakiraman, R. and Waldvogel, M.: Fuzzy-cast: Efficient Video-on-Demand over Multicast, *Proc. IEEE Infocom* (2002).
- 8) Juhn, L.-S. and Tseng, L.M.: Harmonic broadcasting for video-on-demand service, *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol.43, No.3, pp.268-271 (1997).
- 9) 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).
- 10) 関東総合通信局: BS デジタル放送の技術紹介. [http://www.kanto-bt.go.jp/faq/bs\\_digi/bsdi\\_02.html](http://www.kanto-bt.go.jp/faq/bs_digi/bsdi_02.html)
- 11) Paris, J.-F.: A Simple Low-Bandwidth Broadcasting Protocol for Video-on-Demand, *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N '99)*, pp.118-123 (1999).
- 12) 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).
- 13) 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).
- 14) Paris, J.-F., Carter, S.W. and Long, D.D.E.: Efficient Broadcasting Protocols for Video on Demand, *Proc. Int. Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS '98)*, pp.127-132 (1998).
- 15) 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).
- 16) 総務省: 地上デジタル放送懇談会報告書 (1998). [http://www.soumu.go.jp/joho\\_tsusin/pressrelease/japanese/housou/981026d701.html](http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/pressrelease/japanese/housou/981026d701.html)
- 17) 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).

(平成 14 年 10 月 1 日受付)

(平成 15 年 1 月 9 日採録)

(担当編集委員 飯沢 篤志)



義久 智樹

1979 年生。2002 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。同年、同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻入学。衛星デジタル放送に興味を持つ。



塚本 昌彦 (正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、シャープ(株)入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師を経て、1996 年同専攻助教授。2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授となり、現在に至る。工学博士。ウェアラブルコンピューティング・ユビキタスコンピューティングに興味を持つ。ACM, IEEE 等 8 学会の会員。



西尾章治郎 (正会員)

1975 年京都大学工学部数理工学科卒業。1980 年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手、大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授を経て、1992 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授。2002 年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり、現在に至る。2000 年より大阪大学サイバーメディアセンター長を併任。この間、カナダ・ウォータールー大学、ビクトリア大学客員。データベース、知識ベース、分散システムの研究に従事。現在、ACM Trans. on Internet Technology, Data & Knowledge Engineering, Data Mining and Knowledge Discovery 等の論文誌編集委員。本学会フェロー含め ACM, IEEE 等 8 学会の会員。