

## 定額制 VOD 形 IP 放送における事業者収入とユーザ便益の妥結点

手塚 一貴<sup>1</sup> 別所 浩資<sup>1</sup> 矢守 恭子<sup>2,1</sup> 田中 良明<sup>1,3</sup>

1 早稲田大学大学院国際情報通信研究科/国際情報通信研究センター  
〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10

2 朝日大学経営学部情報管理学科 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851

3 早稲田大学理工学研究所 〒162-0044 東京都新宿区喜久井町 17

E-mail: kazutaka\_tezuka@suou.waseda.jp, h-bessho@m6.gyao.ne.jp,

kyamori@alice.asahi-u.ac.jp, ytanaka@waseda.jp

あらまし インターネット上で映像コンテンツ配信を行う IP 放送が開始されているが、その視聴料金体系や視聴料金設定に関する議論は少ない。本稿では VOD 形の IP 放送サービスにおける定額制の視聴料金について、ゲーム理論の交渉問題を用いて、IP 放送事業者の収入とユーザ便益の妥結点を求めている。具体的には、IP 放送のサービス品質として呼損率に着目し、ユーザと事業者との交渉モデルを定義し、呼損率ごとの妥結点をエージェントシミュレータにより明らかにしている。

キーワード IP 放送, VOD, 妥結点, ゲーム理論, 視聴料金

## Point of Agreement between Provider's Revenue and User's Benefit in Flat-Rate VOD Type IP Broadcast Services

Kazutaka TEZUKA<sup>1</sup>, Hiroshi BESSHO<sup>1</sup>, Kyoko YAMORI<sup>2,1</sup>, and Yoshiaki TANAKA<sup>1,3</sup>

1 Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University  
1-3-10 Nishi-Waseda, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan

2 Department of Business Administration, Asahi University  
1851 Hozumi, Mizuho-shi, Gifu, 501-0296 Japan

3 Research Institute for Science and Engineering, Waseda University  
17 Kikuicho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0044 Japan

E-mail: kazutaka\_tezuka@suou.waseda.jp, h-bessho@m6.gyao.ne.jp,

kyamori@alice.asahi-u.ac.jp, ytanaka@waseda.jp

**Abstract** IP broadcast services are becoming popular in the Internet. However, the optimal pricing method for IP broadcasting is not discussed. This paper analyses flat-rate price of VOD type IP broadcast services, and examines the point of agreement between provider's revenue and user's benefit by using the negotiation problem of game theory. This analysis pays attention to the request blocking rate as the quality of service. The negotiation model between user and provider is defined, and the points of agreement for various request blocking rates are obtained by the agent simulator. As a result, the optimal prices are shown.

**Keyword** IP broadcast, VOD, Video on demand, Point of agreement, Game theory, Pricing

### 1. まえがき

VOD (Video on Demand) 形 IP 放送サービスは、ユニキャストで配信するため、サーバの規模に応じて同時送出可能ストリーム数に制限がある。同時送出可能ストリーム数の制限を上回る配信要求は呼損として扱われるため、呼損が多くなるとサービスに対するユーザ満足度 (効用) は低下し、結果としてサービスから

離脱するユーザが増加する。

筆者らは、VOD 形 IP 放送の視聴料金に関して、アンケート調査により、視聴料金の価格弾力性を明らかにし、事業者収入が最大となる視聴料金を明らかにしている [1]。視聴料金が低ければ加入するユーザは多いが、呼損が多くなる。すると、ユーザ効用が低下してサービスから離脱するユーザも多くなる。また、視聴

料金が高ければ加入するユーザは少ない。すると、呼損も少ないので、ユーザの効用は高くなる。

事業者にとっては、収入最大となるように視聴料金の値を設定するのがよい。一方、ユーザにとっては、ユーザ便益すなわちユーザ効用から視聴料金を引いた値が最大となるように視聴料金の値を設定するのがよい。これらの値は一般には一致しないので、妥協を図る必要がある。

本稿では、定額制の VOD 形 IP 放送サービスの視聴料金設定について、ゲーム理論の交渉問題を用いてユーザ便益と事業者収入との妥結点を求める。ここでは、与えられたサービス品質ごとに視聴料金とナッシュ積の関係を示し、妥結点となる最適視聴料金を明らかにする。

## 2. IP 放送サービス

### 2.1 二つの配信方式

IP 放送とは、IP (Internet Protocol) を用いて映像コンテンツ配信を行うサービスである。IP 放送の配信方式としては、ユニキャストの VOD 形とマルチキャストの放送形の二つが存在する[2]。VOD 形の IP 放送は、ユーザに対して一つの映像ストリームをユニキャストで配信する。一方、放送形は、複数ユーザに対して、マルチキャストで映像ストリームを配信する。VOD 形は、ユーザの配信要求ごとに映像配信が行われるため、いつでも好きな時間に視聴できるのに対し、放送形は決められた番組表に基づき配信が行われる。

このように、IP 放送には二つの配信方式が存在するが、本稿では VOD 形の IP 放送について議論する。

### 2.2 視聴料金設定とユーザ行動

IP 放送サービスの視聴料金は、大きく分けて、無料、月額定額制、時間従量制の 3 種類があり、更にサービスごとに様々な視聴料金体系が存在する。本稿では、定額制の視聴料金体系について検討する。

ユーザのサービスへの加入・離脱などの意思決定は、定額制の場合、月ごとに行われる。ユーザは加入している月に受けたサービス品質に対し、得られた効用が高ければサービスに参加し続けるが、品質が悪くなると効用が下がるためサービスから離脱する。VOD 形の場合、同時送出可能ストリーム数以上の配信要求は呼損として扱われるため、ユーザの効用は、呼損となった回数に応じて変化する。

IP 放送事業者の収入は、視聴料金と加入するユーザ数の積で与えられる。視聴料金が低ければサービスに加入するユーザは多くなるが、配信要求数が多くなり過ぎると呼損となる確率が高くなり、他の IP 放送事業者に移る可能性がある。一方、視聴料金を高くすれば、加入するユーザが減少し、呼損となる確率は小さくなるが、事業者の収入が減少する可能性がある。

## 3. ゲーム理論の交渉問題

### 3.1 交渉問題と妥結点

ゲーム理論とは、自らの戦略に対して相手が存在し、お互いがそれぞれの戦略に対して相手の得られる利得と自分の得られる利得を十分考慮した上で、戦略を決定すると一つの結果に定まるという数学的理論である[3]。ゲーム理論における交渉問題とは、プレーヤが交渉を行い、お互いに納得できる妥結点で利得を配分する問題のことである。

IP 放送サービスにおいて、事業者の利得は収入であり、ユーザの利得は便益すなわち効用から視聴を引いた値である。事業者の利得が最大になる視聴料金の値と、ユーザの利得が最大になる視聴料金の値は、一般には異なる。事業者は、収入最大となるように視聴料金設定を行えば当面最適といえるが、ユーザ便益が低ければ長期的には事業者の評価が下がる。

したがって、事業者とユーザの妥協を図る必要がある。そこで、両者の妥結点で利得を配分することは、両者にとって妥当な配分方法となる[4]。このお互いが納得できる妥結点を最適点と考える。そこで、ユーザ便益と事業者収入との妥結点を求め、妥結点における視聴料金を最適視聴料金として明らかにする。

### 3.2 妥結点とナッシュ交渉解

交渉問題では、利得の組合せを  $u=(u_1, u_2)$ 、交渉が決裂したときに得られる利得である基準点を  $d=(d_1, d_2)$  とするとき、次式をナッシュ積という。

$$(u_1 - d_1)(u_2 - d_2) \quad (1)$$

このナッシュ積を最大化する解をナッシュ交渉解といい、ナッシュ交渉解となる点を妥結点と呼ぶ。

実現可能集合を  $U$  とすると、ナッシュ交渉解及び妥結点は、次式の計算によって得られる。

$$\max_{u \in U: u \geq d} (u_1 - d_1)(u_2 - d_2) \quad (2)$$

### 3.3 ナッシュ交渉解の性質

ナッシュ交渉解には四つの公理があるが、その前提として以下の三つの条件がある。

前提 1:  $U$  は平面上の有界閉な凸集合である。

前提 2: 基準点  $d$  を  $U$  に想定することができる。

前提 3:  $u_1 > d_1$ ,  $u_2 > d_2$  となるような  $(u_1, u_2)$  が少なくとも一つ  $U$  に存在する。

以上の三つの前提条件を踏まえた上で、ナッシュ交渉解の四つの公理を以下に示す。

- (1) パレート最適性: 妥結点はパレート最適性を満たすという公理。パレート最適性とは、ある戦略の組  $s$  が存在し、戦略  $s$  を支配する組が存在しないとき、その戦略  $s$  はパレート最適であるといわれ、パレート最適性を満たすという。
- (2) 正アフィン変換からの独立性: 各プレーヤ利得のスケールをそれぞれ、正アフィン変換  $\alpha_1 u_1 + \beta_1$ ,  $\alpha_2 u_2 + \beta_2$  (ここで  $\alpha_1, \alpha_2 > 0$ ) にしたがって変えても、妥結点の結果はそのスケールで変換されるだけで、本質的には変わらない。
- (3) 対称性: 二人のプレーヤにとって実現可能集合が対称なときは同じ利得を与える。
- (4) 無関係な代替案からの独立性: 実現可能集合が縮小しても元の妥結点が新しい実現可能集合の中にとどまるならば、それが縮小したゲームでも妥結点になる。

## 4. 検討モデル

### 4.1 システムモデル

IP 放送のシステムモデルとして図 1 を仮定する。

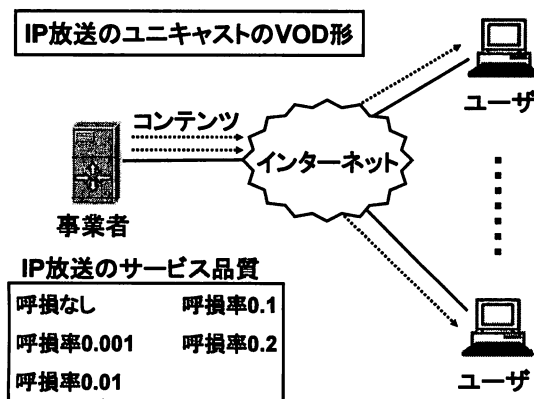


図 1 システムモデル

配信方式は、ユニキャストとし、事業者の数は一つとする。サービスに加入しているユーザは複数存在し、それぞれがサーバに対して配信要求を発生させる。

本稿では、ユニキャストでの配信を想定しているため、呼損率をサービス品質とする。ここでは、呼損なし、0.001、0.01、0.1、0.2の5種類の品質について検討する。

### 4.2 交渉モデル

ユーザと事業者との交渉モデルを図 2 に示す。図 2 では、事業者がユーザに対して、月の初めに定額視聴料金を提示する。ユーザはサービス品質に対する支払意思額と、提示された定額視聴料金を比較し、利得を求める。支払意思額の方が小さければ、利得が負になるので交渉が決裂しユーザは加入しない。逆に支払意思額の方が大きければ利得が正になるので、交渉が成立しユーザはサービスに加入する。支払意思額とは、あるサービスに対して支払ってもよいという金額のことであり、ユーザ効用を表す。ユーザの利得は、便益すなわち効用から視聴料金を引いた値のことであり、これは支払意思額から視聴料金を引いた値になる。

以上の交渉をすべてのユーザに対して行い、IP 放送サービスに対する加入者数をシミュレーションにより求める。

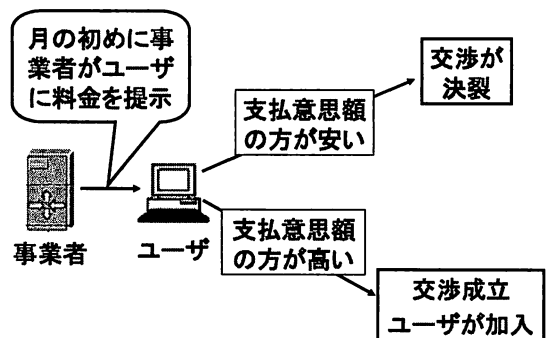


図 2 ユーザと事業者との交渉モデル

### 4.3 ユーザ行動のゲーム理論への適用

本稿でのプレーヤはユーザと IP 放送事業者であり、それぞれの利得の組合せは、ユーザ便益と事業者収入である。

あるユーザ  $n$  のユーザ便益を  $B_n$ 、ある月  $m$  の事業者収入を  $I_m$  とすると、利得の組合せは  $u=(B_n, I_m)$  となる。また交渉が決裂したときは、ユーザと事業者ともに利得を得られないので基準点は  $d=(0, 0)$  となる。よって、ナッシュ積は式(1)より次式ようになる。

$$(B_n - 0) \cdot (I_m - 0) = B_n \cdot I_m \quad (3)$$

ここで、ユーザ便益  $B_n$  と事業者収入  $I_m$  をそれぞれ式(4)、式(5)とする。

$$B_n = w_n - p_m \quad (4)$$

$$I_m = e_m \times p_m \quad (5)$$

$w_n$  はあるユーザ  $n$  の支払意思額、 $p_m$  は月額定額視聴料金、 $e_m$  はある月  $m$  のユーザの加入者数である。以上のことから、式(4)と式(5)を式(3)に代入して式(6)が得られる。

$$(w_n - p_m) \cdot (e_m \times p_m) \quad (6)$$

式(6)は定額制 VOD 形 IP 放送における事業者収入とユーザ便益のナッシュ積を表す。

## 5. 視聴料金の支払意思額調査

### 5.1 調査概要

本稿では、ユーザの支払意思額について、文献[1]の IP 放送サービスにおける視聴料金の支払意思額調査結果を用いて議論する。文献[1]では、アンケート調査会社を利用し、インターネット調査によりサンプルデータを収集している。文献[1]のアンケートの概要を表 1 に示す。

このアンケートでは、まず IP 放送サービスの概要を被験者に詳しく説明し、対象となるサービスを理解してもらっている。次に、ここで想定している IP 放送サービスについて、以下の四つの条件を説明している。

- (1) 視聴料金設定は月額定額制とする。そのため、サービスに加入した場合、月々の基本視聴料金を支払えば、その月の間、好きなだけ映像コンテンツを視聴することができる。
- (2) このサービスでは多彩なジャンルの映像コンテンツが配信されており、ユーザの見たいた映像コンテンツを視聴することができる。
- (3) アクセスが集中し輻輳した場合、映像コンテンツを見られなくなる場合がある。そのため、輻輳しているときは、サーバは間隔を空けてから配信要

求を受付けるため、次の配信要求を受付けてもらうまで待つ必要がある。

- (4) 配信される映像コンテンツの画質は、テレビ画像と同等の画質とする。

表 1 文献[1]におけるアンケートの概要

調査目的	IP 放送の視聴料金の支払意思額の調査
調査方法	インターネット調査
調査期間	2007 年 12 月 13 日～2007 年 12 月 17 日
調査対象	全国 男女 20 歳以上
調査項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IP 放送サービスの基本料金視聴料金の支払意思額</li> <li>• 呼損の頻度とそのサービスに対する基本料金視聴料金の支払意思額</li> <li>• 属性（性別/年齢/居住都道府県/職業/子どもの有無）</li> </ul>

設問では、サービス品質を 8 種類用意し、それぞれの品質に対して、加入希望の有無や支払意思額を自由回答形式で質問している。ここで、加入してもいいが視聴料金を支払いたくない場合は 0 円を回答するように説明している。また、視聴料金は月額定額制の基本料金としている。

サービス品質は呼損率とし、呼損が発生しない場合、呼損する確率が 1000 回に 1 回、100 回に 1 回、10 回に 1 回、5 回に 1 回、2 回に 1 回、1.5 回に 1 回、10 回に 9 回の 8 種類の品質について調査している。

### 5.2 調査結果

文献[1]のアンケートの回答者の平均年齢は 40.7 歳（最低 20 歳、最高 74 歳）で、有効回答数は 201（男 114 人、女 87 人）であった。

このアンケート結果より得られた呼損率と支払意思額の関係を図 3 に示す。ここでは呼損が 0 のときの支払意思額を基準として正規化した値が示されている。図 3 上のプロットは、有効回答から得られた平均値を示しており、呼損率が 0.001 のときユーザは約 0.7 の月額視聴料金なら支払ってもよいということを示している。ここで、支払意思額を 0 円、若しくは「加入しない」と回答したサンプルについては、両者とも加入の意思がないものとし、その合計値を加入しないユー

ザとして扱っている。

また、図3より、呼損率が0.5を超えるとサービスに加入するユーザ数が0に近いことが分かる。よって、呼損率が0.5以上となるサービス品質については無視して議論する。

文献[1]では、呼損率と支払意思額を定量化するために、近似式を求めている。ここでは支払意思額と呼損率について最小二乗法による線形近似を用いて近似式を求めている。ただし、近似には、呼損率が0.001, 0.01, 0.1, 0.2における支払意思額を用いている。得られた近似式を以下に示す[1]。

$$W = v(-0.174 \ln r - 0.140) \quad (7)$$

$W$ は支払意思額、 $r$ は呼損率、 $v$ は呼損率が0のときの支払意思額を示す。ただし、 $0 \leq W \leq v$ とする。式(7)における寄与率は0.978となり、非常に強い正の相関を示している。

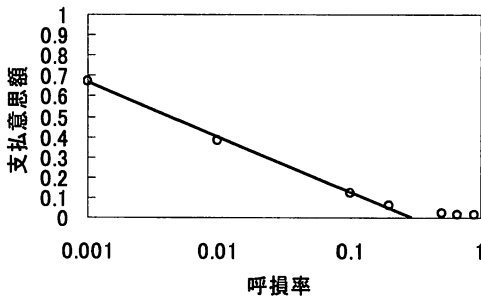


図3 IP放送における呼損率と支払意思額の関係

## 6. シミュレーション

### 6.1 シミュレーション条件

本稿では、配信方式はユニキャスト、課金方式は月額定額制、事業者数は一つ、ユーザ数は1000人、各ユーザの支払意思額は正規分布からランダムに与える。正規分布の平均と分散にはアンケート結果を用いることとする。

### 6.2 シミュレーションの流れ

マルチエージェントシミュレータ KK-MAS[5]を用いて、視聴料金ごとにナッシュ積を求める。シミュレーションの流れを図4に示す。まず視聴料金0に対して、ユーザに支払意思額を正規分布の範囲でランダムに与える。正規分布の平均と分散はアンケート結果を

用いる。視聴料金と支払意思額から各ユーザの便益を計算し、便益が正となるユーザはサービスに加入するものとする。すべてのユーザについて加入判定を行い、その月のユーザ数を決定する。

次に、視聴料金と支払意思額を式(6)に代入して、ナッシュ積を求める。式(6)に代入する支払意思額は、加入したユーザの支払意思額の平均とする。以下、視聴料金を0.1ずつ増加させ、それを視聴料金1まで行い、各視聴料金に対するナッシュ積を求める。

このシミュレーションでは、呼損率0, 0.001, 0.01, 0.1, 0.2の5種類の条件で行い、それぞれの支払意思額の正規分布はアンケートから得られた結果を使用するものとする。

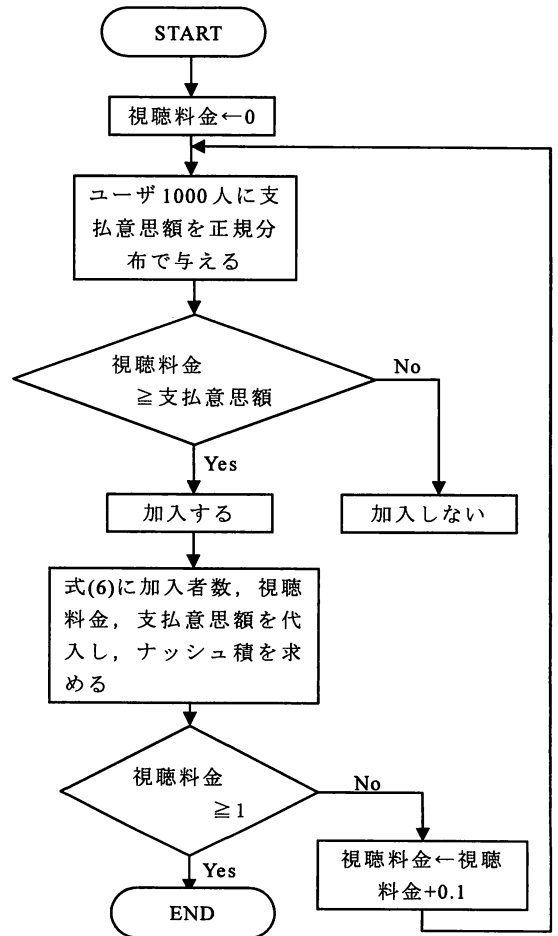


図4 シミュレーションの流れ

### 6.3 シミュレーション結果

図5にシミュレーションの結果を示す。縦軸はナッシュ積、横軸は月額視聴料金を表す。ナッシュ積は視聴料金ごとに100回シミュレーションを行った平均値を示している。図5の矢印は各呼損率ごとのナッシュ交渉解であり、妥結点を示している。

図5から、呼損率0, 0.001, 0.01, 0.1, 0.2に対する妥結点は、それぞれ視聴料金0.5, 0.3, 0.3, 0.2, 0.1のときであり、これらの視聴料金がそれぞれの呼損率に対する最適視聴料金であることが分かる。

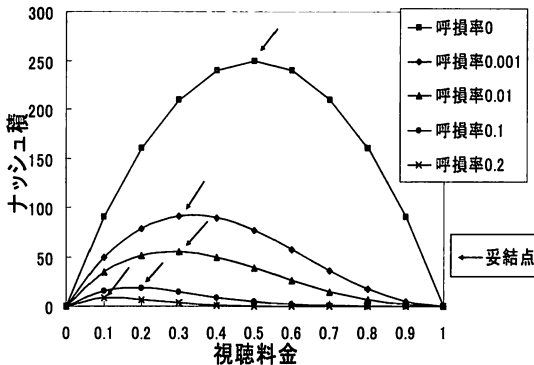


図5 IP放送における視聴料金とナッシュ積との関係

図5から、呼損率が大きければ大きいほどほど、妥結点となる視聴料金は低くなっていることが分かる。その理由は、呼損率が大きいほど、あるユーザー  $n$  の支払意思額  $w_n$  が低くなり、高い視聴料金  $p_m$  におけるユーザー便益  $B_n = w_n - p_m$  がマイナスとなる可能性が高くなる。よって、サービスへ加入するユーザー数は減少し、加入したとしてもユーザー便益は低くなる。それゆえ、ナッシュ積も低くなっていると考えられる。

呼損率が大きい場合、図5のグラフが示す山は非常に低くなっている。妥結点の値が大きいときは両者の利得が大きいときであるが、小さいときは双方の利得が少ない状態である。妥結点が非常に小さいならば、ユーザーと事業者の双方とも利益がない状態といえる。IP放送における両者の利得をできるだけ大きくするためには、呼損率をいかに下げることが問題になってくる。

また、呼損率0における妥結点は視聴料金が0.5であることから、最適視聴料金が0.5より高い視聴料金

になることはないことが分かる。事業者収入とユーザー便益の間には、これ以外に複雑な関係があると予想されるが、ゲーム理論の交渉問題を用いることによって得られた妥結点における視聴料金は、事業者とユーザーの両方の利得を考慮に入れているため、有効な視聴料金設定の一つの手法といえる。

### 7. むすび

本稿では、定額制VOD形のIP放送について、ユーザーの加入判定にゲーム理論の交渉問題を適用させ、各呼損率ごとの事業者収入とユーザー便益の妥結点をシミュレーションにより示した。

シミュレーション結果から、呼損率0, 0.001, 0.01, 0.1, 0.2に対する妥結点は、それぞれ視聴料金が0.5, 0.3, 0.3, 0.2, 0.1のときであり、これらの視聴料金がそれぞれの呼損率に対する最適視聴料金であることを示した。

本稿におけるシミュレーションは簡単なモデルで行ったが、今後はより現実的なモデルでの検討が必要となろう。また、時間従量制のモデルでの検討、時間従量制と月額定額制の二つの課金方式を比較、より大きい利得を得られる課金方式の検討なども課題である。

本稿ではユーザーが複数に対して、事業者は一つのモデルであったが、事業者が複数存在した場合の検討なども課題となる。

また、本稿では呼損に着目したIP放送の支払意思額のアンケート調査結果を用いたが、支払意思額はコンテンツの内容やコンテンツ数によっても変わってくるので、それらに着目するなど、シミュレーション条件を様々に変化させて比較検討を行うことも今後の課題であろう。

### 文 献

- [1] 別所浩資, 矢守恭子, 田中良明, “VOD形IP放送におけるサーバ規模と事業者収入の関係,” 信学技法, no.IN2007-145, pp.17-22, Feb. 2008.
- [2] 宮地悟史, “IPTV関連技術と国際標準化動向,” 信学技報, no.CQ2006-49, pp.81-86, Sept. 2006.
- [3] 船木由喜彦, 演習ゲーム理論, pp204-205, 新世社, 東京, 2005.
- [4] 岡田章, ゲーム理論, 有斐閣, 東京, 1996.
- [5] 構造計画研究所, KK-MAS, <http://mas.kke.co.jp/>