

携帯電話サービス利用料金に対するユーザ効用の測定と ユーザ効用に応じた無線リソースマネジメントの提案

†片山 洋明 出雲 伸幸 東野 武史 塚本 勝俊 小牧 省三

大阪大学大学院 工学研究科 〒565-0871 大阪府 吹田市 山田丘 2-1

E-mail: †k_hiro@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし 携帯電話でのコンテンツダウンロードサービスにおけるユーザ効用は、コンテンツ取得までの待ち時間とコンテンツの属性、サービス利用料金に大きく依存する。本稿では、ユーザ効用に基づいてサービス利用料金毎に最適なサービス設定を行うための効用関数を主観評価実験により測定し、コンテンツ属性ならびにサービス利用料金に対する効用関数の違いについて明らかにする。さらに得られた効用関数を用いてサービス利用料金の異なるユーザ間に発生するユーザ効用のばらつきの公平化を目的とする無線リソースマネジメントを提案し、計算機シミュレーションにより評価する。

キーワード 携帯電話, コンテンツ, 待ち時間, 料金, ユーザ効用, 無線リソースマネジメント

Measurements of User Utility in Cellular Phone Service and its Application to Radio Resource Managements considering Service Charge

†Hiroaki KATAYAMA Nobuyuki SHUTTO Takeshi HIGASHINO Katsutoshi TSUKAMOTO
and Shozo KOMAKI

Division of Electrical, Electronic and Information Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University,
2-1 Yamadaoka, Suita-shi, Osaka, 565-0871 Japan

E-mail: †k_hiro@roms.comm.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract When users download contents by cellular phone, the utility is depends on the following three points: latency, contents attributes and service charge. It is necessary to measure utility functions for latency, contents attributes and service charges to make the best service setting on cellular phone contents download service. In this paper, we measured utility functions and clarified the difference of utility functions for contents attributes and service charges. Moreover, we propose a radio resource Managements based on utility functions to keep the fairness of utilities between users with difference service charges, and evaluate the availability of proposed scheme by computer simulation.

Keyword Cellular phone, Contents, Latency, Charge, Utility, Radio resource management

1. まえがき

携帯電話の高機能化, 多機能化が進み, 携帯電話を介して提供されるコンテンツの種類, ならびにユーザの携帯電話の利用モデルも多様化している。第二世代から第三世代への移行による通信速度の高速化により, ウェブページの閲覧をはじめとする, 音楽, 動画といった従来では困難であったコンテンツの高速なダウンロードも可能になり, ユーザの携帯電話の利用モデルの多様化はさらに進むと考えられる。一方, 通信事業者はユーザに対して第二世代と第三世代では異なる料金体系と通信速度をもつ様々なサービスプランを提示している。今後は通信事業の新規参入もあり, ユーザの利用モデルに応じたより多彩なサービスプランが提

供されると考えられる。

さて, ユーザがサービスプランを選択する際, 判断基準として通信速度や利用料金が上げられるが, これらはサービス品質を直接示す指標ではないので, ユーザが自身の満足度の最も高くなる最適なサービスプランを選択することは困難である。また, 通信事業者が利用料金と通信速度が異なる複数のサービスプランを提供する際, サービス設定の方法としては, 単純に利用料金に比例させて割り当てる通信速度を決定するという方法が考えられるが, このようなサービス設定を行った場合, 利用料金の異なるユーザ間の通信速度に対する公平性を保つことはできるものの, ユーザのサービスに対する満足度が通信速度に必ずしも直結する

とは限らないので、利用料金の異なるユーザ間でサービスに対する満足度に不公平が発生すると考えられる。つまり、通信速度や利用料金はそれだけではユーザが自身の最も満足できるサービスプランを選択するための判断基準としては不十分であり、さらに、通信事業者がサービスに対する満足度に不公平の無いサービスを提供するのは困難である。

以上に述べた問題に対し、本稿ではサービス品質の指標としてユーザ効用を適用するという解決策を提案する。ユーザ効用とはあるサービス品質に対するユーザの主観的な満足の度合いであり、あるサービス品質とユーザ効用の関係を関数にしたものが効用関数である。ユーザ効用をサービス品質の指標とすることによって、ユーザは自身の満足度の高くなるサービスプランを選択することが可能になる。また、通信事業者はユーザ効用に基づいた無線リソースマネジメントを行うことによって、サービス利用料金の異なるユーザ間で満足度の公平性を保つようなサービスを提供することが可能になる。

ユーザ効用に基づく無線リソースマネジメントを行うためには、サービス利用料金とコンテンツの種類、待ち時間に依りて異なる効用関数を明らかにする必要がある。文献[1]ではダウンロードするコンテンツの種類と待ち時間、ダウンロードサービスを利用するための料金の関係をアンケート調査を用いて測定しており、コンテンツの種類によって待ち時間、あるいは料金に対するユーザ効用が異なることを明らかにしている。しかしこれはダウンロードサービスを利用する端末に関しては考慮されておらず、携帯電話特有の効用関数があると考えられる状況への適用には不十分である。

本稿では、まず、コンテンツの種類とサービス利用料金に対する効用関数の違いを主観評価実験によって明らかにする。さらに、得られた効用関数を用いて、利用料金の異なるユーザ間に発生するユーザ効用のばらつきを公平にするための無線リソースマネジメントを提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより評価する。

2. 主観評価実験

実験では、携帯電話でのコンテンツダウンロードを想定した主観評価を行い、ダウンロードするコンテンツの種類とサービス利用料金がユーザ効用に与える影響を求めた。

測定では被験者にダウンロードするコンテンツとサービス利用料金を通知し、待ち時間に対するユーザ効用を測定した。5種類のコンテンツ（メール、添付ファイル付きメール、ウェブページ、音楽、動画）と、2種類のサービス利用料金（端末使用料金を含む月額定額サービス利用料金を含めた4000円、または7000円）を組み合わせた10種類の実験条件にそれぞれ8種類の待ち時間を与え、80種類のコンテンツダウンロードを提供した。サービス利用料金の設定は、“端末使用料金を含む月額定額サービス利用料金を含めた7000円”は第三世代の携帯電話を利用する場合の料金、“端末使用料金を含む月額定額サービス利用料金を含めた4000円”は無線LANのホットスポットを利用する場合の料金を仮定し、コンテンツ自体の料金は発生しないものとした。



図1：実験画面1

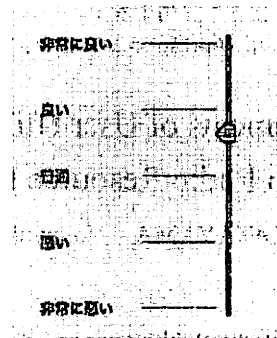


図2：実験画面2

円)を組み合わせた10種類の実験条件にそれぞれ8種類の待ち時間を与え、80種類のコンテンツダウンロードを提供した。サービス利用料金の設定は、“端末使用料金を含む月額定額サービス利用料金を含めた7000円”は第三世代の携帯電話を利用する場合の料金、“端末使用料金を含む月額定額サービス利用料金を含めた4000円”は無線LANのホットスポットを利用する場合の料金を仮定し、コンテンツ自体の料金は発生しないものとした。

実験に用いた画面を図1と図2に示す。最初に“ダウンロード条件”（ダウンロードするコンテンツとサービス利用料金）を確認した後、“ダウンロード”ボタンをクリックするとダウンロードが開始される。設定した待ち時間の後、ダウンロードしたコンテンツが表示される。次に“評価画面へ”ボタンをクリックすると評価画面に移り、主観評価を行う。これを1回の評価とし、80回の評価を行う。直前に行った評価の影響を低減するため、被験者毎に提供するダウンロードサービスの順序をランダムに変えた。また、待ち時間を通知することによってユーザ効用が上昇することが文献[2]によって確認されているので、ダウンロード中におおよそのダウンロードの待ち時間をプログレスバー

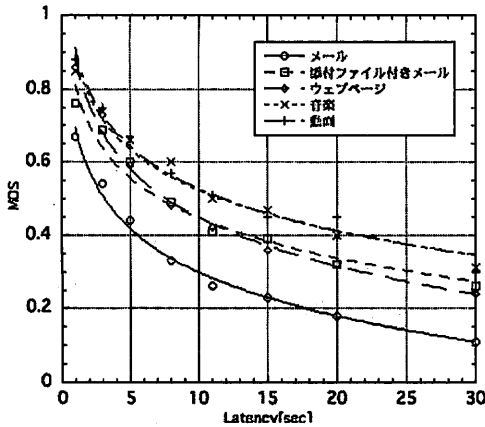


図3：料金4000円でのMOS値と待ち時間の関係

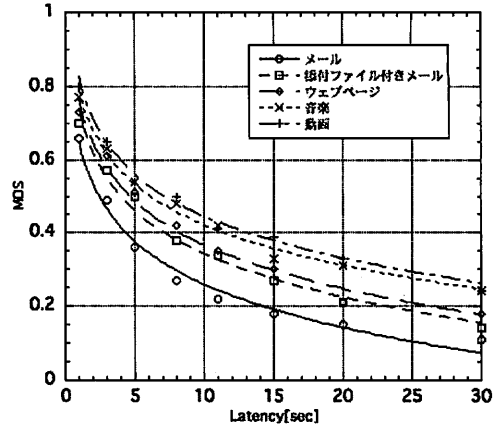


図4：料金7000円でのMOS値と待ち時間の関係

で通知した。

主観評価は文献[3]に示される5段階品質尺度に従い実施し、ダウンロードするコンテンツの品質（画品質、音品質）については評価に加味しないように通知した。被験者は図2に示す評価スライダーを操作して回答する。スライダーはグラフ上ならどこにでも設定できるため実際には連続尺度となっている。評価値は最小値を0、最大値を1とした。

3. 実験結果

あるサービス品質に対するユーザ効用の平均がMOS(Mean Opinion Score)であり、被験者数 n 、被験者 i のユーザ効用を a_i として次のように求まる。

$$MOS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (1)$$

実験結果よりサービス利用料金、コンテンツ、待ち時間とMOS値の関係を表す効用関数を推定する。実験の被験者は35人（男性28人、女性7人）で本学大学院の学生および教員であり、日常的に携帯電話を利用している。実験の測定結果より算出したコンテンツ毎のMOS値を図3と図4に示す。横軸はボタンを押してからコンテンツが表示されるまでの待ち時間[sec]、縦軸はそれに対するMOS値である。同図にはコンテンツの種類ごとの結果を示す。

得られた結果をそれぞれ最小二乗法により対数関数で近似する。サービス利用料金が“端末使用料金にパケット定額サービス利用料金を含めた4000円”の場合は次のようになる。

- メール: $MOS = 0.695 - 0.396 \log(t)$ (2)
- 添付ファイル: $MOS = 0.812 - 0.365 \log(t)$ (3)
- ウェブページ: $MOS = 0.889 - 0.440 \log(t)$ (4)
- 音楽: $MOS = 0.893 - 0.370 \log(t)$ (5)
- 動画: $MOS = 0.912 - 0.384 \log(t)$ (6)

寄与率はそれぞれ0.992, 0.992, 0.991, 0.995, 0.992であり、これは元のデータによく当てはまっているといえる。サービス利用料金が“端末使用料金にパケット定額サービス利用料金を含めた7000円”の場合は次のようになる。

- メール: $MOS = 0.650 - 0.392 \log(t)$ (7)
- 添付ファイル: $MOS = 0.736 - 0.392 \log(t)$ (8)
- ウェブページ: $MOS = 0.769 - 0.398 \log(t)$ (9)
- 音楽: $MOS = 0.790 - 0.369 \log(t)$ (10)
- 動画: $MOS = 0.827 - 0.381 \log(t)$ (11)

寄与率はそれぞれ0.995, 0.981, 0.994, 0.986, 0.988であり、これは元のデータによく当てはまっているといえる。

得られた関数はいずれも

$$MOS = A - B \log(t) \quad (12)$$

の形とし、いずれの実験条件でも待ち時間の増加に伴ってMOS値が待ち時間の対数値に従って減少する一般式を用いた。

図3と図4から分かるように、サービス利用料金の安い方がMOS値は高くなる。ただし、コンテンツ毎にMOS値の差はそれぞれ異なり、特にコンテンツがメールの場合ではその差が小さいことが分かる。この結果より、コンテンツによって料金に対するユーザ効用が異なることが分かる。これはコンテンツ取得に必要な待ち時間に対する先入観がユーザ効用に大きな影響を与えているためと推測される。また、待ち時間の増加によるMOS値の減少率はサービス利用料金による差が少なく、サービス利用料金はコンテンツ毎のMOS値の最大値(上記の式では $t=1$ のときのMOS値)に大きな影響を与えていることが分かる。

また、あるMOS値を達成する場合に許容できる待ち時間はコンテンツとサービス利用料金によって異なる。

ることが分かる。コンテンツの種類が $i(i=1,2,3,4,5)$ で、サービス利用料金が $j(j=1,2)$ の場合のユーザ効用を U_{ij} とすると、許容待ち時間 $t(U_{ij})$ は式(12)より

$$t(U_{ij}) = 10^{\frac{A-U_{ij}}{B}} \quad (13)$$

となる。

実験では図2に示す尺度で評価を行ったため、 $U_{ij} \geq 0.5$ であればユーザは不満を持たないといえる。 $U_{ij} \geq 0.5$ を達成するためのコンテンツ毎に許容できる待ち時間を図5に示す。この表から分かるように、料金によって許容できる待ち時間が異なり、特にメールではその差が小さいことが分かる。この結果はコンテンツによって料金に対する効用関数が異なることと対応している。

ユーザ効用 U_{ij} となるようにコンテンツをダウンロードするためにはデータサイズ M_i [kbit] を許容待ち時間 $t(U_{ij})$ [sec] で送らなければならない。このとき必要スループット $T(M_i, t(U_{ij}))$ [kbps] は式(13)より

$$T(M_i, t(U_{ij})) = \frac{M_i}{10^{\frac{A-U_{ij}}{B}}} \quad (14)$$

となる。ただしこの場合のデータサイズはアプリケーション層のみを考慮する。それぞれコンテンツのデータサイズを仮定して、 $U_{ij} = 0.5$ を達成するために必要なスループットを表1に示す。同表より同じユーザ効用を達成するために必要なスループットはコンテンツによって異なる。特に動画の所定 MOS 値を達成するためには高速伝送が必要となり、例えば動画のデータサイズを 1000[kB]とした場合、少なくとも一人のユーザの満足度を 0.5 以上にするために必要なスループットは式(15)より、サービス利用料金が 4000 円の場合は 675[kbps]以上、7000 円の場合は 1109[kbps]以上となる。この結果より、携帯電話で動画等のデータサイズの大きいコンテンツをダウンロードする場合、ユーザ効用を 0.5 以上にするためには高速な無線通信方式を必要とすることが分かる。

4. 無線リソースマネジメントへの適用

4.1. システム構成

図6に提案するシステム構成を示す。システムは物理層に依存せず、MAC層に 802.11e を使い、アクセス制御方式は HCCA(HCF Controlled Channel Access)とする。ユーザがコンテンツダウンロードを要求すると、端末はユーザが利用しているサービスの情報とダウンロードするコンテンツの情報を電波エージェント[4]に送信する。電波エージェントは受信したコンテンツの情報とサービス情報に基づいて TXOP(Transmission Opportunity)を割り当てる。TXOPを割り当てることによってユーザに任意のスループットを割り当てることができる。

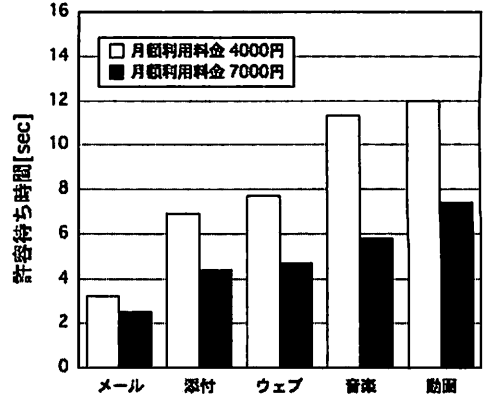


図5：料金毎の許容待ち時間(MOS=0.5)

表1：MOS ≥ 0.5 を達成するために必要なスループット

コンテンツ	仮定データサイズ[kB]	4000円での必要スループット[kbps]	7000円での必要スループット[kbps]
メール	10	25.7	33.1
添付ファイル	50	55.6	100.3
ウェブページ	100	104.4	171.9
音楽	500	345.6	650.0
動画	1000	675.7	1109.1

4.2. 帯域割当てアルゴリズム

各ユーザに割り与えられるスループットは表1に示すユーザの満足度が 0.5 以上にするために必要なスループットに応じて与えられるものとする。コンテンツ $i(i=1,2,3,4,5)$ をダウンロードするサービス利用料金 $j(j=1,2)$ のユーザに必要なスループットを T_{ij} 、ダウンロード中のユーザ数を N 、各ユーザの必要スループットを $T'_n (n=1,2,\dots,N)$ 、システム全体の無線リソースを T とすると、コンテンツ i をダウンロードするサービス利用料金 j の k 番目のユーザに割り与えられるスループット T_{ik} は次の式で与えられる。

$$T_{ik} = \frac{T_{ij}}{N \sum_{n=1}^N T'_n} T \quad (15)$$

表1から分かるように、提案方式ではサービス利用料金の高いユーザがデータサイズの大きいコンテンツをするほどスループットが多く割り当てられ、優先的にダウンロードが完了する。

4.3. シミュレーション諸元

本稿では、1つの無線スポット内で複数のユーザがコンテンツダウンロードサービスを利用する場合の待ち時間とユーザ効用の MOS 値について計算機シミュレーションにより評価を行った。無線リンクで要する

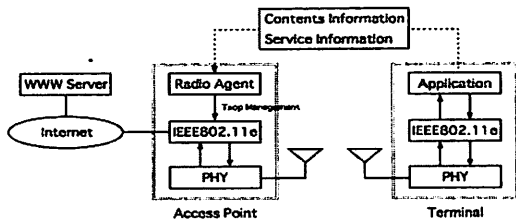


図 6 : システム構成

表 2 : シミュレーション諸元

周波数帯	5.2GHz
伝送帯域幅	4MHz
無線通信路	AWGN
受信SN比	7~27[dB]
スポットサイズ	半径: 50m
ユーザの要求間隔	指数分布(平均12[sec])
各コンテンツのデータサイズ	表 1 に示す仮定データサイズの軌

待ち時間のみを考慮し、コンテンツのデータサイズは表 1 に示すコンテンツ毎の仮定データサイズの値とした。シミュレーション諸元を表 2 に示す。本シミュレーションではサービススポットを基地局を中心とする円形とした。スポット内にはサービス利用料金が 4000 円のユーザと 7000 円のユーザが均等な確率で発生するものとし、各々が独立な指数分布に従う時間間隔でコンテンツダウンロードを要求するものとした。ただし、ユーザはダウンロード中のデータ受信が完了するまで次のデータを要求できないものとし、同時にダウンロードできるデータは 1 つまでとした。

4.4. シミュレーション結果

主観評価実験では図 2 に示す尺度で評価を行ったため、ユーザ効用の値が 0.5 以上であればユーザは不満を持たないといえる。よってシミュレーション結果をユーザ効用が 0.5 以上となるユーザ数について評価する。各ユーザのユーザ効用の評価は式 (2)~(11) を用い、コンテンツの取得に要した時間からユーザ効用を算出する。ユーザが特に待ち時間を意識するコンテンツであるウェブページ、音楽、動画に対してユーザ効用が 0.5 以上となる確率を示す。横軸はスポット内に存在するユーザ数[人]、縦軸はスポット内に存在するユーザ効用が 0.5 以上となるユーザ数[人]を表す。ユーザ効用を考慮してユーザ間の公平性を保つようにスループットを割り当てる方式を提案方式として図 10~12 に示し、比較のためにユーザ効用を考慮せずに単にサービス利用料金に比例させてスループットを均等に割り当てる方式を料金比例割当て方式として図 7~9 に示す。

図 7~9 から明らかのように、料金比例割当て方式

では、ウェブページでは 7000 円のユーザの方が、音楽と動画では 4000 円のユーザの方がサービスを不満無く利用できる人数が多く、サービス利用料金が異なるユーザ間にユーザ効用のばらつきが発生している。これに対し、図 10~12 に示す提案方式ではウェブページ、音楽、動画のいずれにおいてもサービスを不満無く利用できる人数に 4000 円と 7000 円のユーザの間で大きな差がなく、サービス利用料金の異なるユーザ間に発生するユーザ効用のばらつきを公平化できていることが分かる。

5. あとがき

本稿では、携帯電話でのコンテンツダウンロードサービスにおいてサービス利用料金が異なるユーザ間に発生するユーザ効用のばらつきを公平にするための無線リソースマネジメントを行うために必要な効用関数を主観評価実験によって測定し、コンテンツの種類とサービス利用料金に対するユーザ効用関数の違いについて明らかにした。さらに、得られたユーザ効用関数を用いてユーザ間の効用を公平化する無線リソースマネジメントを提案した。今後の課題としては、ダウンロードするコンテンツのデータサイズを考慮した無線リソースの割り当てが挙げられる。

6. 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会、科学研究費補助金、基盤研究(B) (課題番号 19360174) による補助のもとで行われた。

文 献

- [1] 矢守恭子, 野村一智, 富田健, 田中良明, “コンテンツ属性と配信待ち時間に対する効用の関係,” 信学論(B) no.SB-7-2, pp.S-38, 2003.
- [2] 飯田有慈, 義田佑紀, 梶孝規, 塚本勝俊, 小牧省三, “待ち時間に対するユーザ効用の測定と無線リソースマネジメントへの適用方法,” 信学技報, MoMuC2005-4, 2005 年 5 月.
- [3] 成田長人, 杉浦幸, “品質変動を伴う画像の主観評価法に関する考察,” 信学論(B), Vol.J82-B No.6, pp.1168-1176, 1999.
- [4] 小牧省三 他, “無線 LAN とユビキタスネットワーク,” pp.280-294, 丸善株式会社, 2004.
- [5] T. Kaji, Y. Minoda, K. Tsukamoto, S. Komaki, “Radio Agent Realizing User Utility-based Resource Allocation in Wireless Spot Access,” Proc. of ISCT 2004, pp.286-289, Sapporo, Japan, Oct. 2004.
- [6] 出雲伸幸, 飯田有慈, 東野武史, 塚本勝俊, 小牧省三, “動画ダウンロードサービスに対する効用関数の測定とサービスマネジメントへの適用に関する検討,” 信学技報, pp7-12, 2006 年 9 月.
- [7] 矢守恭子, 田中良明, “優先制御によるデータ転送のユーザ効用最大化,” 信学論(B), vol.J86-B, no.11, pp2041-2052, Oct. 2003.
- [8] 林健太, “ブロードバンドネットワークのプライシング:定額料金制 vs 従量料金制,” 情報通信学会年報, pp39-48, 2007.

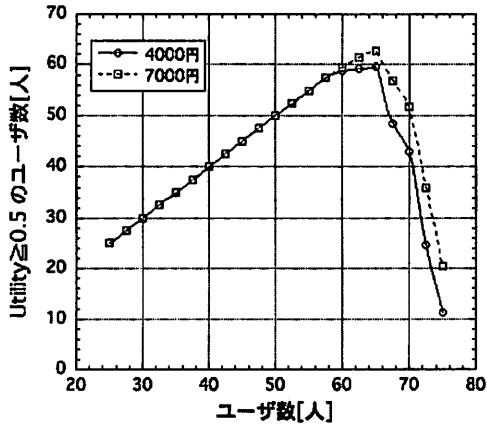


図 7 : 料金比例割当て方式 - ウェブページ

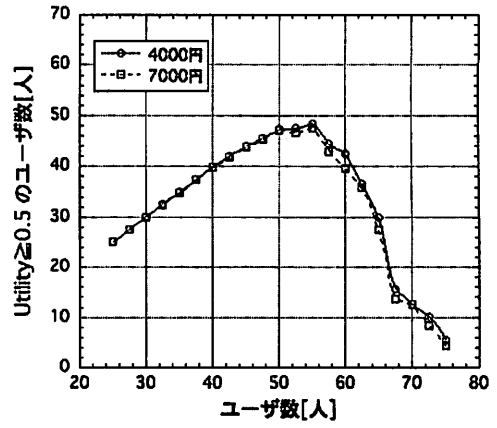


図 10 : 提案方式 - ウェブページ

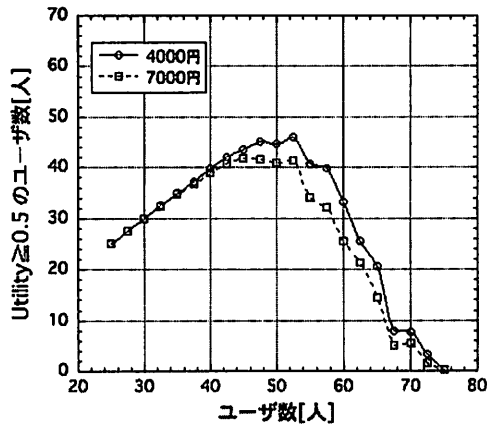


図 8 : 料金比例割当て方式 - 音楽

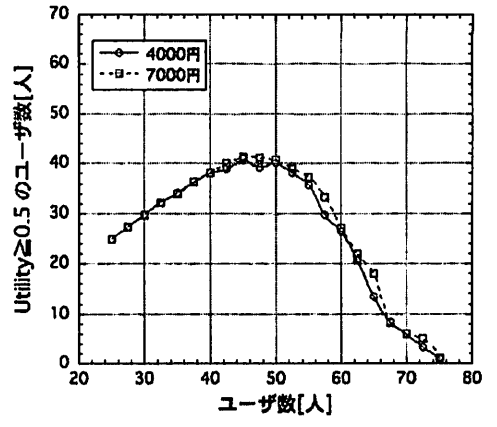


図 11 : 提案方式 - 音楽

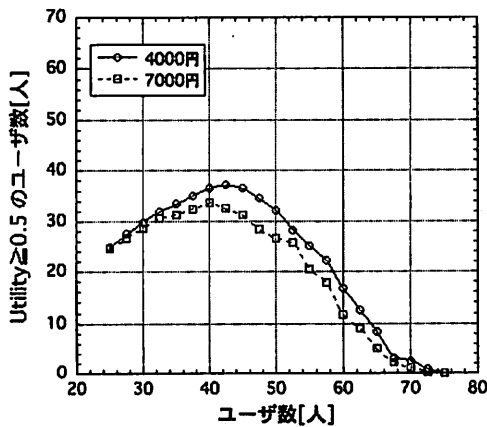


図 9 : 料金比例割当て方式 - 動画

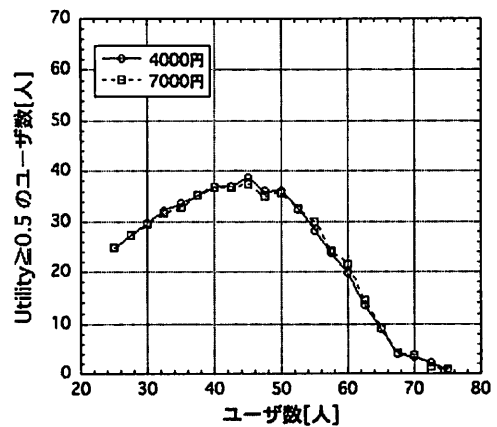


図 12 : 提案方式 - 動画