

会議室予約システムのための組合せオークション方式

小野 智 弘[†] 西 山 智^{††} 堀 内 浩 規[†]

本論文では、会議室のタイムスロットの予約を組合せオークションを利用して実現する方式を検討する。ここでは、買い手からの複数の連続するスロットに対する要求と、スロットの割当て期限近くに到着する要求の双方を取り込む必要があるが、既存の英国式オークション方式や組合せオークション方式ではいずれかの要求しか満たすことはできない。そこで、筆者らは、いずれかの商品の割当て期限が来るたびに現在と未来の組合せ入札を考慮して商品割当てを決定することにより双方の要求条件を満足可能な組合せオークション方式 (SAA: Sequentially Arriving Auction) を提案し、同方式を実行可能な会議室予約オークションシステムを実装した。また、売り手が得られる利潤の観点からのシミュレーション評価を行い、提案方式の妥当性を確認した。

Sequentially Arriving Auction for Meeting Room Reservation

CHIHIRO ONO,[†] SATOSHI NISHIYAMA^{††} and HIROKI HORIUCHI[†]

This paper describes an online auction-based reservation system for the time slots of meeting room. Although this system is required to consider both the demands for multiple slots and demands which arrive just before the deadline of each time slot, existing auctions such as English Auction and Combinatorial Auction are not sufficient as neither meets both requirements. Here, we propose a combinatorial auction mechanism which performs allocation of slots whenever the deadline of each slot is reached by taking account of current and future bids, and implement an auction platform which realizes the proposed mechanism. We also show the effectiveness of the mechanism through the evaluation.

1. はじめに

企業や各種機関等において共同で利用する会議室予約の需要はユーザごとに異なり、均等に分散する場合も集中する場合もある。また、時期や曜日、時間帯、業務の状況等により頻繁に変化する。このため、オンラインでの会議室の予約システムの構築には、市場原理に基づいて商品の割当てと価格を決定するオークション形式を利用することが適していると考えられる。

オークション方式は単一の商品に対して競り上げ式の入札を行う英国式オークション (EA: English Auction) 以外にも数多く検討されており^{1)~3)}、近年は複数の商品を効率的に扱う組合せオークション (CA: Combinatorial Auction) 方式が FCC の周波数割当て^{4),5)} や鉄道の通過権⁶⁾、スケジューリング⁷⁾ 等様々な分野で活用されつつある。CA 方式は、売り手が複数の異なる商品を登録し、買い手の中から任意の

商品の組合せを指定して入札し、受け付けた入札の集合から最大の合計利潤を得られる入札群にそれぞれ商品を割り当てるものである。

会議室の予約をオークションで実施するには会議室を時間帯ごとにスロットに区切って販売することとなるが、ここでは大きく 2 つの特徴を考慮する必要がある。第 1 に、スロットを 1 つだけ必要とする買い手のみでなく、複数の連続するスロットが必要な買い手も存在する。第 2 に、売り手にとって各スロットはそれぞれの開始直前までに売ればよく、各スロット開始に近づいてから買い手の需要が生じることも多い。

第 1 の特徴に対処するためには、ある時刻 (たとえば第 1 スロットの開始前) を締切りとしてすべてのスロットを対象とした CA を開催することが考えられる。ところがこの方式は、各スロットの開始間際に生じる買い手の需要は取り込むことができない。

一方、第 2 の特徴に対処するために、個々のスロットごとに EA 等の単一商品を扱うオークションを実施することが考えられる。ところが、複数スロットを希望する買い手はその一部のスロットだけを落札してしまう危険があるため、入札を避けてしまう。

[†] 株式会社 KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories Inc.

^{††} YRP コビキタスネットワークング研究所
YRP Ubiquitous Networking Laboratory

たとえば、10時から12時までの会議室のオークションを考える。ユーザAが10:00–11:00のスポットを800円、ユーザBが11:00–12:00のスポットを700円、ユーザCが10:00–12:00のスポットを1,600円で要求とする。この場合、売り手の利潤を最大化するために9:50にCA方式で販売し、ユーザAとBの入札金額の和とユーザCの入札金額を比較してCに割当てを決定することが考えられるが、11:00–12:00のスポットを必要とするユーザDの要求が9:50以降（たとえば10:20）に到着した場合は仮に入札金額が大きくても（たとえば900円）、これを反映することはできない。一方、10:00–11:00のスポットを9:50を締切りとするEA方式で販売、11:00–12:00のスポットを10:50を締切りとするEA方式で販売した場合、ユーザA、B、Dは入札可能となるが、ユーザCはそれぞれのオークションに入札すると片方だけ落札してしまうというリスクがあるため、入札はできない。

そこで本論文では、第1と第2の両方の特徴を同時に満たすための方式（SAA: Sequentially Arriving Auction）を検討し、同方式を実行可能な会議室予約オークションシステムを実装する。以下、2章では扱う問題の記述と課題設定を行い、3章ではSAAの設計を述べる。4章では実装した会議室予約オークションシステムを概説する。5章では評価を行い、6章で考察、7章でまとめを述べる。

2. 問題の記述と課題

2.1 商品の定義

本オークションで販売する商品を、会議室の1つの区切られた時間（＝スポット）とし、買い手は1つまたは連続した複数のスポットを要求することとする。たとえば n をスポット数とし、 $n = 3$ とすると、スポットの割当て候補は、 $\{1, 2, 3\}$ 、 $\{1, 2\}$ と $\{3\}$ 、 $\{1\}$ と $\{2, 3\}$ 、 $\{1\}$ と $\{2\}$ と $\{3\}$ となる。概念図を図1に示す。 t_0 をオークションの開始時刻、 t_i をスポット i の割当て期限とする。また時刻 t_i と時刻 t_{i+1} の間の入札を受け付ける期間をステージ i とし、この長さを l_i とする。

2.2 売り手・買い手の設定

本論文では売り手、買い手、オークションの3種類を扱う。売り手は1つの会議室の複数のスポットを売りに出し、合計販売価格が最大となるようにスポットが売れることを望む。買い手は1つまたは複数の連続するスポットを希望し、そのスポットの組合せと合計金額を指定して入札を行う。買い手に関する仮定を以下のとおりとする：

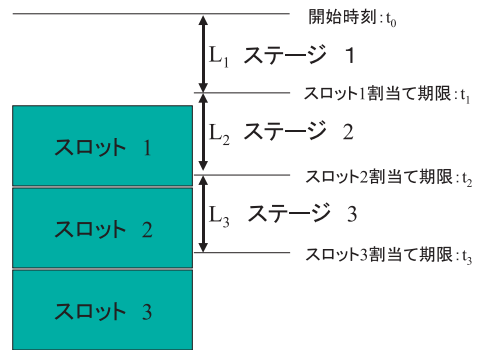


図1 スロットとステージ
Fig. 1 Slots and stages.

- (1) 各買い手は、1つまたはそれ以上の連続するスポットを希望する。
- (2) 各買い手は、希望するスポット（またはその組合せ）以外には興味はない。たとえば、 $\{1, 2\}$ を希望する買い手は、 $\{1\}$ だけに対する価値も $\{2\}$ だけに対する価値も0とする。
- (3) 各買い手の希望は独立で、他の買い手の希望に依存しない。
- (4) 各組合せを欲する買い手は、各組合せごとに一定確率で独立で現れる。
- (5) 各買い手はオークションに到着後、希望する組合せに対して支払い希望価格をそのまま即座に入札する。つまり、価格とタイミングに関する駆引きは行わない。
- (6) 買い手のスポット購入期限＝売り手のスポット割当て期限とは限らない。たとえば、売り手は会議室はスポット開始の5分前に売ればよいが、遠方の買い手にとっては、最低1時間前に購入する必要がある。

オークションは売り手の代わりにオークションを開催して買い手からの入札を受け付け、受け付けた入札の中から合計入札価格が最大となるようにスポットを買い手に割り当てる。

2.3 方式設計のための課題

本論文では、上記商品、参加者の仮定に基づき、次の2つの課題を満たす方式としてSAAを設計することを目標とする。

- 課題1) 既存のオークション方式に比べてより多くの潜在的入札者を取り込めること
- 課題2) 既存のオークション方式に比べて売り手がより高い利潤を得られること

3. SAA の設計

3.1 SAA の設計方針

SAA の設計にあたり、2 つの課題を以下の方針で解決することとする。

第 1 の課題のために、任意の時点で任意のスポットの組合せに対する入札を受け付け、いずれかのスポットの割当て期限が来るごとに割当て決定処理を行い、該当スポットの割当てを実行する方式を設計する。さらに、売り手のスポット割当て期限が買い手のスポット購入期限ではない場合があることを考慮し、買い手の入札パラメータとして、希望するスポットの組合せと価格に加え、入札の「有効期限」を指定可能とする。たとえば売り手は会議室は 5 分前に売ればよいが、遠方の買い手にとっては、最低 1 時間前に購入する必要がある場合の対処となる。

第 2 の課題については、第 1 の設計方針の効果により多くの潜在的入札者を取り込むことが可能となるため、入札の絶対数の増加により高い入札金額が期待できる。さらに、オークシヨニアはスポットの割当て計算時にスポットを過不足なく最も合計利潤を高く売ることのできる組合せを求めることとなるが、この際に、入札の傾向が予測可能である場合には、すでに受け付けた入札に加えて、未来に受け付ける可能性のある入札を考慮し、未来に高い入札が期待できるものについてはその時点で割り当てず、次のステージに持ち越すこととする。

3.2 SAA 方式

図 2 に SAA 方式の流れをオークシヨニアの処理手順として示す。各処理の概要は以下のとおり。

1. オークションの設定：売り手が事前にオークシヨニアに対して、オークション名、販売を希望するスポット数、スポットの長さ（図 1 の l_i ）スポットの割当て期限（図 1 の t_i ）、開始・終了日時等のオークションの実行に関する情報を設定する。
2. オークションの開始：時刻 t_0 にオークションを開始する。
3. 入札受付処理：買い手からの入札を受け付ける。買い手はオークションに到着後、希望するスポットの組合せに入札する。ステージ i においては、スポット i 以降の任意のスポットが入札対象となる。
4. スポットの割当て計算処理：時刻 t_i において、オークシヨニアはそれまでに受け付けたすべての入札を用いて、スポットの割当て計算を行う。ここでは、実際に受け付けた入札のみで判定する場

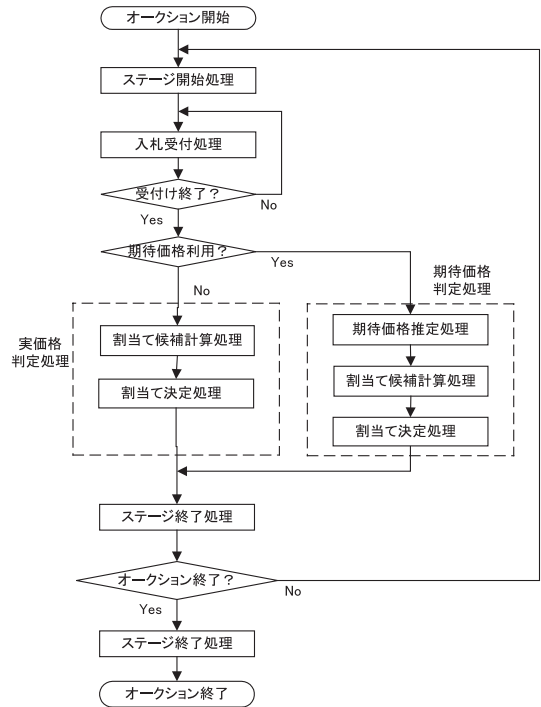


図 2 オークシヨニアの詳細処理手順
Fig. 2 Handling process at auctioneer.

合（＝実価格判定処理）と、未来の入札を考慮して判定する場合（＝期待価格判定処理）の 2 種類の方式を用意する。どちらの判定方法を用いるかは「1. オークション設定」で指定する。

5. ステージ終了処理：オークシヨニアは割当てが決定されたスポットの割当てを実行し、結果を買い手へ通知する。スポットが残っている場合はオークションを再開する。

上記手順をすべてのスポットの割当てが完了するまで繰り返す。

3.3 スポットの割当て計算処理

図 2 に示すように「1. オークションの設定」での設定内容に応じて実価格判定処理または期待価格判定処理を実施する。実価格判定処理では、実価格に基づく「割当て候補の計算」、候補に基づく「割当て決定」の 2 段階で実施し、期待価格判定処理では「期待価格の推定」、期待価格に基づく「割当て候補の計算」、候補に基づく「割当て決定」の 3 段階で実施する。各処理は以下のとおり。

[期待価格の推定] 期待価格判定処理の場合のみ実施する。ここでは、入札対象となるスポットの組合せごとに、その時点から各スポットの割当て期限までに受け付けることが期待される最高入札額（＝期待価格）

を推定する．ここで割当て期限となるスロットを含む組合せの期待価格は 0 となる．期待価格の推定には様々な手法が考えられるが，代表的なものとして，締切りまでの期間の長さに基づいて受け付けた入札の入札額に上乘せをする手法等が考えられる．

[割当て候補の計算] ここでは，全スロットに対する合計入札価格を最大とする入札群 (= 割当て候補) を求める．実価格判定処理では，スロットの組合せごとにこれまでに受け付けた最高入札額を抽出し，スロットが重ならないように入札価格の合計を最大とする割当て候補を選定する．一方，期待価格判定処理では，スロットの組合せごとに期待価格とこれまで受け付けた入札の最高額を比較し，高額な方を判定価格とし，スロットが重ならないように判定価格の合計を最大とする割当て候補を選定する．

[割当て決定] ここでは割当て候補となった入札群の中から実際に割り当てる入札を決定する．実価格判定処理では，有効期限の設定を許可するか否かに応じて以下の方針で実施する．

- 有効期限の設定を許可する場合：
締切りが来るスロットを含む組合せに対する入札と，有効期限が来る入札を割り当てる．その他は割り当てない．
- 有効期限の設定を許可しない場合：
締切りの来るスロットを含む組合せに対する入札のみを割り当てる．

期待価格判定処理の場合には，まず，割当て候補内のスロットの組合せそれぞれについて，判定価格 = 期待価格であれば割当て候補から除外する．残りの候補については有効期限の設定を許可するか否かに応じて，実価格判定処理と同様の処理を実施する．

3.4 ステージ終了処理

ここでは，1) 割当てが決定された入札，2) 割当て期限となったスロットを含む組合せに対する入札，3) 有効期限を超過した入札，のすべてをオークションアのデータベースから削除し，残った入札を次のステージでの判定に繰り越す．ここで次のステージとは，割り当てられていないスロットのうち最も割当て期限の早いスロットに対応する入札ステージとする．

また，フィードバック情報として，スロットが割り当てられた買い手に対してはその旨を，割り当てられなかった買い手には参考入札情報を伝える．参考入札価格とは，買い手が希望したスロットの組合せに対し，落札可能であった入札金額 (= フィードバック価格) とする．具体的には，オークションアが受け付けた全入札から，買い手が指定したスロットを含む入札を取

表 1 t_1 における入札履歴
Table 1 Bidding history at t_1 .

x	BP	EP	VP
{1}	800	-	800
{2}	600	660	660
{3}	400	480	480
{4}	300	400	400
{1, 2}	1,500	-	1,500
{2, 3}	1,800	1,980	1,980
{3, 4}	1,400	1,690	1,690
{1, 2, 3}	2,500	-	2,500
{2, 3, 4}	2,200	2,400	2,400
{1, 2, 3, 4}	3,000	-	3,000

り除いた状態で最高合計入札額を求め，合計落札金額からその額を差し引いた金額を，フィードバック価格とする．

3.5 割当て計算の実施例

ここでは $n = 4$ の場合について，実価格判定処理ならびに期待価格判定処理に基づく割当て計算の実施例を述べる．とりうる組合せは， $\{1\}$ ， $\{2\}$ ， $\{3\}$ ， $\{4\}$ ， $\{1, 2\}$ ， $\{2, 3\}$ ， $\{3, 4\}$ ， $\{1, 2, 3\}$ ， $\{2, 3, 4\}$ ， $\{1, 2, 3, 4\}$ である． $l_i = 1$ とする．表 1 に時刻 t_1 における， t_1 までに受け付けた最高入札額 (BP(x))， t_1 から組合せの締切り時刻までの期待価格 (EP(x))，判定価格 (VP(x)) を示す．期待価格の上乗せ率はそれぞれの最高額に対して定数値 (ここでは 1.1) を締切りまでのスロット数乗じた額とした．なお，上乗せ率に応じた売り手の利潤の影響については 5 章で述べる．

実価格判定処理の場合，時刻 t_1 において BP(x) の値を用いて「割当て候補計算」を実施すると $\{1, 2, 3, 4\}$ が 3,000 円で最も高額となるため割当て候補となる．続いて「割当て決定」では $\{1, 2, 3, 4\}$ は締切りスロットである $\{1\}$ を含むため，同組合せに対する最高入札者へスロットを割り当て，オークションを終了する．

期待価格判定処理の場合，時刻 t_1 において「期待価格の推定」で，スロットへの組合せごとに BP(x) の値から EP(x)，VP(x) を求める「割当て候補計算」では VP(x) の値を用いて割当ての候補計算を行うと $\{1, 2\}$ と $\{3, 4\}$ の組合せが $1,500 + 1,690 = 3,190$ 円で最高額となるため，割当て候補となる．続いて「割当て決定」では $\{3, 4\}$ が判定価格 = 期待価格であるため割当て候補から除外し， $\{1, 2\}$ は締切りスロットである $\{1\}$ を含むため，同組合せに対する最高入札者へスロットを割り当て， t_3 を次の締切り時刻に設定する．次に， $\{3, 4\}$ が残ったと仮定し， t_1 と t_3 の間で， $\{3\}$ に対して 400 円， $\{4\}$ に対して 700 円， $\{3, 4\}$

表 2 t_3 における入札履歴
Table 2 Bidding history at t_3 .

x	BP	EP	VP
{3}	400	-	400
{4}	700	770	770
{3, 4}	1,900	-	1,900

に対して 1,900 円の入札があったとする．すると， t_3 における入札履歴は表 2 のようになる．ここで、「期待価格の推定」で {4} に対する期待価格，判定価格を求める．続いて「割当て候補計算」では $VP(x)$ の値を用いて割当て候補の計算を行うと {3, 4} が最高額となり，割当て候補となる．続いて「割当て決定」では，{3, 4} は締切りスロットである {3} を含むため，同組合せに対する最高入札者へスロットを割り当て，オークションを終了する．

この結果，オークションの設定時に売り手が実価格判定処理を指定した場合は t_1 で {1, 2, 3, 4} が 3,000 円で割り当てられてオークションを終了し，売り手は 3,000 円獲得できる．期待価格判定処理を指定した場合には t_1 で {1, 2} が 1,500 円で割り当てられ， t_3 で {3, 4} が 1,900 円で割り当てられてオークションが終了し，売り手は 3,400 円獲得できることとなる．

本実施例では $t_1 \sim t_3$ の間に {3, 4} に対して 1,900 円の入札があったため期待価格判定処理を実施した場合の方が売り手が高い利潤を得られたが，仮に t_1 以降新たな入札がなかった場合には，{3, 4} が t_3 で 1,400 円で売れ，総額が 2,900 円となり，売り手が得られる価格は実価格判定処理の場合よりも低くなってしまふ．

4. 会議室予約オークションシステム

本章では，3 章で設計した SAA 方式に基づいて実装した会議室予約オークションシステムを概説する．

図 3 にシステムの全体構成を示す．売り手によるオークションの設定や買い手からの入札を受け付ける Web ベースのクライアントインタフェース，SAA 方式や CA 方式，EA 方式の実行制御を行うフロー管理機能，オークションやスロットの開始・終了を管理するイベント管理機能，スロットの割当てを計算する割当て計算機能，ユーザや実行中のオークション情報を管理するデータベース，から構成される．新たなオークション方式の導入にはフロー管理機能を拡張することで容易に対応可能であり，新たなスロット割当て計算方式については割当て計算機能を入れ替えることにより容易に対応可能となっている．クライアントインタフェースの画面をそれぞれ図 4，図 5 に示す．

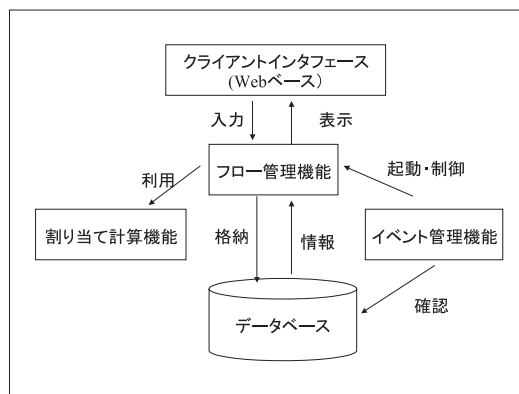


図 3 システム全体構成
Fig.3 System overview.

図 4 は売り手による SAA 方式に基づく会議室オークションの設定画面で，売り手はオークションパラメータとしてオークション名とその説明に加えて，スロット数，オークション開始日時，第 1 ステージの開始日時，1 スロットあたりの長さ，割当て判定方法（実価格のみ利用または期待価格を利用）を設定する．

図 5 は買い手による SAA 方式に基づく会議室オークションの入札画面で，買い手は希望するスロット（複数または単数）を選択し，希望する合計金額を入力する．図では現在第 2 ステージで，スロット {1} は“ono”さんが落札済みで，“gen”さんがスロット {2, 3} に対して 500 円を入札しようとしている状況を示している．

5. 評価

本章では設計した SAA 方式の妥当性を，売り手が得られる総利潤の観点からシミュレーションにより評価する．

5.1 評価方法

シミュレーションでは，SAA 方式について，1) 買い手の性質（スロットあたりの入札数（ $= m$ ），入札内容の偏りの有無）2) 売り手の設定内容（販売するスロット数（ $= n$ ），有効期限を許可するか否か），3) スロット割当て方式（期待価格を考慮するか否か）に応じた売り手の総利潤を，同様のパラメータにて実行した他の CA 方式や EA 方式で得られる売り手の利潤と比較した．具体的には以下の 5 つの評価を実施した．

- [評価 1] 1 スロットあたりの入札数の影響
- [評価 2] 入札内容の偏りの影響
- [評価 3] 販売するスロット数の影響
- [評価 4] 買い手に有効期限の設定を許容した場合の影響

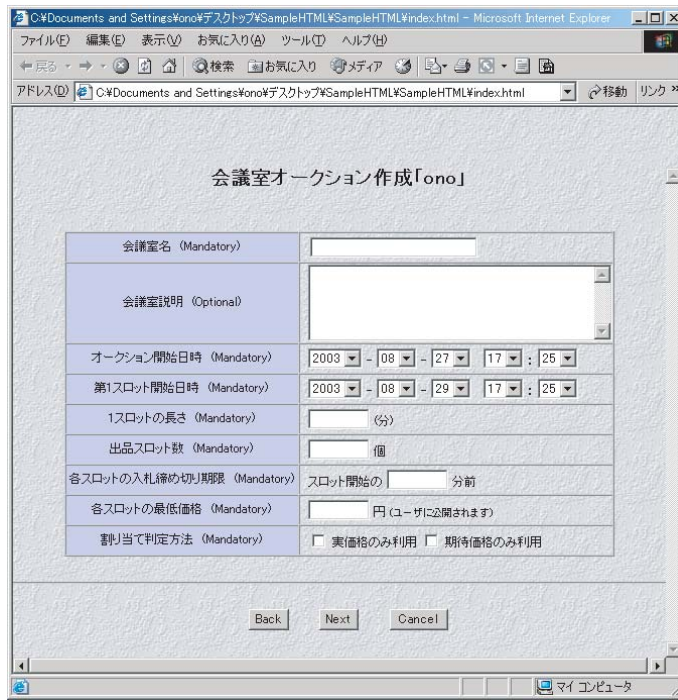


図 4 オークション設定画面

Fig. 4 Interface for parameter setting.



図 5 オークション入札画面

Fig. 5 Interface for bidding.

[評価 5] 割当て計算時の期待価格利用の影響

シミュレーションでは買い手の擬似入札を 2.2 節での仮定ならびに上記パラメータに基づきオークションの開始 (t_0) から終了 (t_n) までに各ステージごとに

m 個発生させ, SAA, CA, EA の 3 方式でオークションを実行し, それぞれの 1 スロットあたりの平均販売価格を算出した. なお, CA 方式では第 1 ステージ終了時にすべてのスロットを割り当て, 総利潤を計算し

た．EA 方式では生成した擬似入札の中で入札対象スロット数が 1 つのもののみを受け付け，ステージ i において i に対する入札の最高額を割り当て，その和を総利潤とした．

擬似入札は入札対象，入札額と有効期限から構成し，スロットへの需要がランダムに発生すると仮定したパターン（重みなし）と，実際の環境での入札の振舞いを考慮して発生内容に重み付けをしたパターン（重みあり）の 2 通りを生成した．入札対象については，ステージ i では i 番以降の連続したスロットとなる．重みなしの場合，開始スロットとして i から n までの数字をランダムに選択し，連続数として 1 から $(n-i)$ 個を選択した．重みありの場合は上記範囲内で， C を重み付け係数とし， y 軸と C ($1 \leq C \leq 2$) で交わる直線で定義される $[0, 1]$ 分布でランダムに値を選択し，結果的に開始スロットとして小さいものを選択し，連続数として少ないものを選択する割合が多くなるように設定した．

入札額については，1 スロットあたり最低額を 0 円，最高額を 1,000 円として生成した．つまり 3 方式とも理論上の m スロットの売却合計上限値は $1000 * m$ 円となる．重みなしの場合は入札対象スロットの個数を K とすると，平均 $1000 * K / 2$ で実質的に 0 から $1000 * K$ の範囲でデータが生成される正規分布で生成した．重みありの場合は，上記範囲内で重み付け係数 C に従い対象スロット数が多く，開始スロットが小さいほど高い金額を選択するように設定した．

各評価は乱数のシードを変えてそれぞれ 100 回試行し，平均をとった．

5.2 評価結果

以下に評価 1~5 の結果を示す．なお，特に断りのない場合は以下の固定パラメータとした．

- 1) 1 スロットあたりの入札数 (m) = 50
- 2) 擬似入札 = 重みなし
- 3) 売却スロット数 = 10
- 4) 有効期限の設定 = 否
- 5) 割当て計算時の期待価格利用 = 否

また，各評価での縦軸は売り手の 1 スロットあたりの平均利潤とした．

5.2.1 評価 1：1 スロットあたりの入札数の影響について

図 6 に， m を 10 から 5000 まで変化させた場合の SAA，CA，EA の 3 方式での平均利潤を示す． m が小さい状態では，SAA 方式が CA 方式，EA 方式に比べて高い利潤を得られており， m が大きくなるに従い差が縮まり， $m = 1,000$ 個を超えたあたりからは

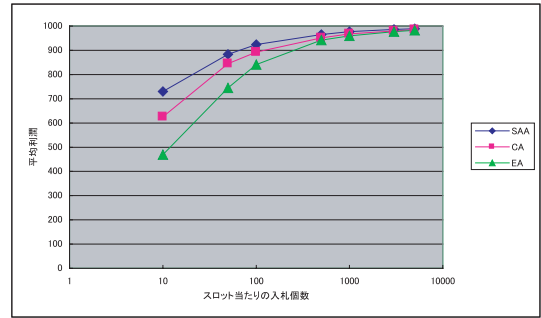


図 6 評価 1：1 スロットあたりの入札数の影響

Fig. 6 Eval 1: effect of number of bids per slot.

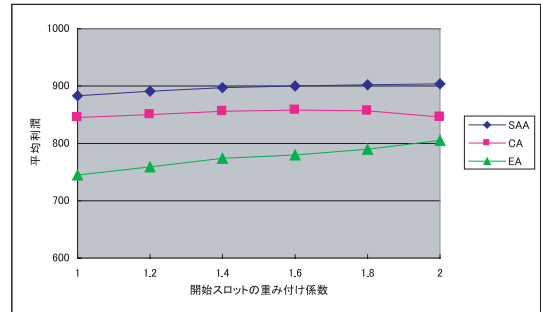


図 7 評価 2：入札内容の偏りの影響（開始スロット）

Fig. 7 Eval 2: effect of weighted bids in case of start slots.

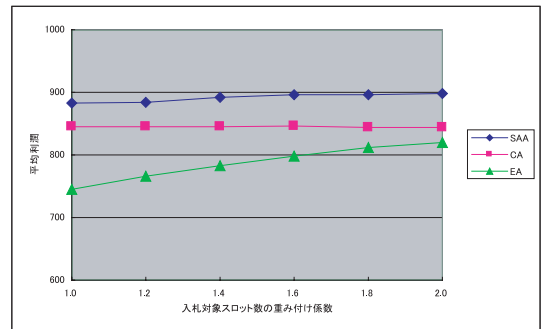


図 8 評価 2：入札内容の偏りの影響（対象スロット数）

Fig. 8 Eval 2: effect of weighted bids in case of number of target slots.

とんど差がなくなり，いずれの方式も理論上の最高値（1,000 円）に近づく．これは，CA 方式も EA 方式も SAA 方式に比べて潜在的需要に対して受け付けられる入札の総数が少ないことから総利潤は低くなり， m が小さい場合にはその差は顕著となるためである．この結果，特に $m < 100$ において SAA 方式を利用すると効果的であるといえる．

5.2.2 評価 2：入札内容の偏りの影響について

図 7，図 8 に重み付けした擬似入札を用いた場合の SAA，CA，EA の 3 方式での平均利潤を示す．図 7

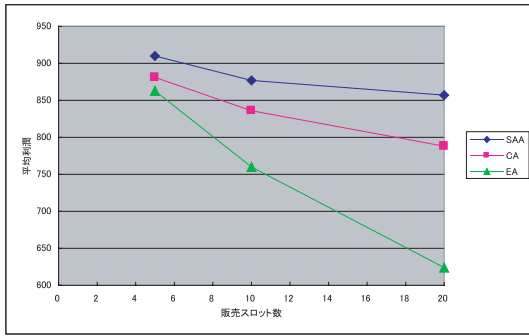


図 9 評価 3: 販売スロット数の影響

Fig. 9 Eval 3: effect of number of slots on sale.

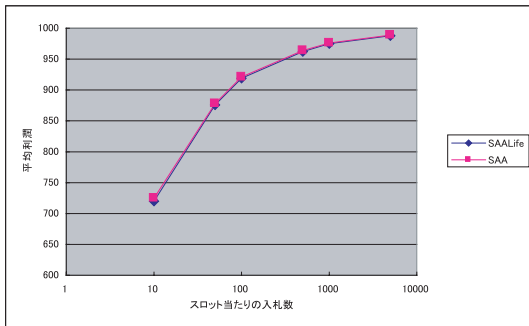


図 10 評価 4: 有効期限許可の影響

Fig. 10 Eval 4: effect of lifetime of bids.

は、入札対象となる開始スロットの選び方を変化させたもので、横軸を開始スロットを対象とした重み付け係数(= C)とした。図 8 は、スロットの連続数を変化させたもので、横軸をスロットの連続数を対象とした重み付け係数(= C)とした。ここで $1 \leq C \leq 2$ とし、 $C = 1$ は「重みなし」と同等となる。いずれの場合も C の増加にともない SAA 方式と EA 方式の利潤が高くなるが、3 方式の順序関係としてはつねに SAA 方式が最も高く、CA 方式が 2 番目のままである。

5.2.3 評価 3: 販売スロット数の影響について

図 9 に販売するスロット数を変化させた場合の SAA, CA, EA の 3 方式での平均利潤を示す。ここでは m を 50 で固定したため、スロット数の増加にともなって入札対象の選択肢が増えることにより平均利潤が減少する。どの場合も SAA 方式の値が CA 方式や EA 方式の場合よりも優れており、かつ、スロットの増加にともなう値の減少度合いも少ない。

5.2.4 評価 4: 有効期限の設定を許容した場合の影響について

図 10 に買い手に有効期限の設定を許容する場合 (SAALife) と許容しない場合 (SAA) の平均利潤を

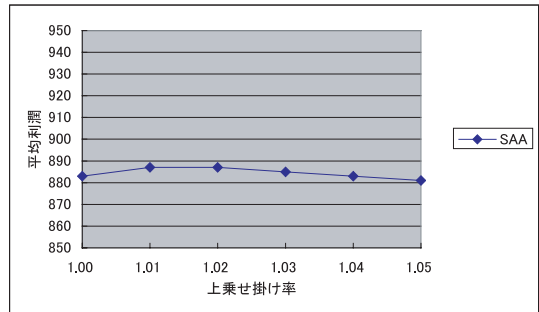


図 11 評価 5: 期待価格利用の影響 (重みなし入札)

Fig. 11 Eval 5: effect of considering expected value.

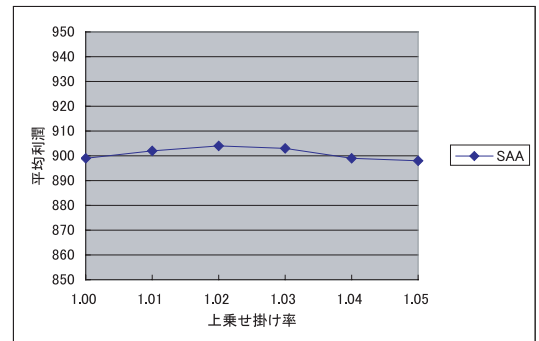


図 12 評価 5: 期待価格利用の影響 (重みづけ入札)

Fig. 12 Eval 5: effect of considering expected value.

示す。ここでは両者の値がほとんど重なっており、有効期限を許容する場合もしない場合も平均利潤には有為な差は見られなかった。したがって、買い手の利便性を向上のために有効期限を許容しても問題ないといえる。

5.2.5 評価 5: 割当て計算時の期待価格利用の影響について

図 11, 図 12 に SAA において割当て計算に期待価格を利用した場合の平均利潤を示す。前者は擬似入札に重みがない場合で、後者は重み付けをした場合である。期待価格の計算方法は固定値の上乗せ方法とし、上乗せ値を横軸とした。いずれの場合も期待価格を利用しない場合(横軸の値 = 1 に相当)に比べていくつかの値において上昇が見られた。ただし、最大で 0.5 ~ 1% の上昇にとどまったため、有為な差であるとはいえない。

5.2.6 評価のまとめ

評価 1 ~ 評価 5 により、あらゆるパラメータや条件において、提案した SAA 方式は従来の CA 方式や EA 方式よりも良い利潤を獲得できることを示せた。また、SAA 方式自身の特性についてはパラメータに応じて

変化するため、適用ドメインに応じて検討する必要がある。

6. 考察

6.1 買い手の利便性について

5章で実施した評価において、SAA方式がCA方式やEA方式に比べて高い利潤が得られることを示し、売り手がSAA方式を採用するメリットを確認した。一方、買い手にとっての利便性の観点で考えると、生成した擬似入札をSAA方式ではすべて取り込めるのに対し、CA方式に取り込めたのは t_1 までの入札のみであり、EA方式に取り込めたのは単一スロットに対する入札のみで、重みなしの擬似入札の場合で全体の20%程度、重みありの擬似入札の場合で22%程度であった。また、SAAで成約したスロットのうち、たとえば評価1の $m=100$ の場合では、成約したスロットの平均スロット連続数が2.2個となり、複数スロットへの要求も適切に反映されていることが確認できた。したがって、売り手の利潤面から効果の少ない $m > 100$ の場合でも、SAAは多くの買い手に入札の機会を与えられるという点で有効であるといえる。買い手による入札への有効期限の設定については、評価4に示したとおり、許容した場合もしない場合も売り手の利潤は大きな変化はないため、買い手の利便性の面から有効期限の設定を許容することは有効であると考えられる。

6.2 期待価格利用の効果について

本論文では、受け付けた入札のうち締切りの来ないものについて一定割合を乗じたものを期待価格として利用したが、評価5に示したようにいくつかの重み付け係数において実価格利用に比べて効果がみられたものの、大きな効果は得られなかった。実際のシステムにおいては、今までに受け付けた入札履歴に基づいてその時点から割当て期限までに期待できる推定入札価格を予測する手法等、適用先のドメインでのユーザの行動の学習等が適切に実施可能であればそれを反映することにより、より良い期待価格が計算可能となる。また、実際の効用を確認するために被験者を用いた実験を行うことも今後の課題となる。

6.3 計算量について

本オークションでは、入札対象となる複数のスロットは連続しているという仮定を設けたため、入札対象としてとりうる場合の数はたかだか $(n(n+1)/2)$ であり、扱うスロット数が増加しても割当ての計算量は問題とならない。一方、上記の制約を取り除いた場合、たとえば $\{1, 3\}$ 等を許可する場合の計算量は、通常

のCAと同様に入札を $b_j = (g_j, p_j(g_j))$ 、 $p_j(g_j)$ を組み合わせ g_i への入札価格、 $S \in G$ とすると下記の式で表現され、NP完全問題となる。

$$\max \sum_{[i, S] \in X} p_i(S)$$

$$\text{such that } \chi = \{[i, S] | S \cap S' = \phi, \forall S, S' \in \chi\}$$

これについてはこれまでの計算量削減手法^{8)~11)}を適用することにより解決可能である。

実際の運用では連続するスロットのみを入札可能とする制限以外にも、入札対象を入札時点から一定スロット先に限定する(たとえばスロット1の時点ではスロット10までの入札に限る等)こと等により、計算量のさらなる削減が可能である。

6.4 複数の会議室を扱う場合について

本論文では、1人の売り手が1つの会議室の複数のスロットを販売する場合を扱った。本オークションでは、1人の売り手が複数の会議室を所有している場合は、各会議室それぞれについてSAA方式でのオークションを実施することとなる。この場合、複数の会議室を複数のタイムスロット分確保したい(たとえば、隣どろしの会議室を3時間確保したい)という要求には応えられない。このような場合への対処として、異なる商品それぞれ複数個に対する入札を可能とするオークション方式(Multi-Unit Combinatorial Auction⁹⁾)を参考として「商品の種類 = タイムスロット、同一商品の個数 = それぞれの時間帯に必要な会議室数」と読み替えることにより対応可能であると考えられる。この場合は、割当て計算のための計算量がさらに膨大となるため、考慮が必要となる。

7. おわりに

本論文では、会議室予約のための組合せオークションの実現方式として、いずれかのスロットの割当て期限が来るとに現在と未来の組合せ入札を考慮して割当てを決定する方式(SAA: Sequentially Arriving Auction)を検討し、システムの実装と評価を行った。本方式は既存のEA方式やCA方式に比べ、買い手にとって利便性が増すことに加え、売り手の設定項目や買い手の性質にかかわらず売り手が得られる総利潤も大きくなるという利点を確認できた。

同一組織内の共用会議室の割当て等において金銭による入札に問題がある場合は、たとえば各部署に1カ月に一定の持ち点が与えられ、その持ち点の範囲内で緊急度や重要度に応じて入札点数を判断しながら入札をするという運用方法も考えられる。

本オークションは、会議室予約以外にも「個々の商

品ごとに異なる割当て期限がある」商品のためのオークションに幅広く応用可能である。今後は被験者を用いた評価を行うとともに、期待価格の計算方法、不正入札への対処等の検討を行っていく予定である。

謝辞 最後に日頃ご指導いただく(株)KDDI研究所浅見徹代表取締役所長、および松本修一取締役役に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Klemperer, P.: Auction theory: a guide to the literature, *Journal of Economic Surveys*, pp.227-286 (1999).
- 2) McAfee, R.P. and McMillan, J.: Auctions and Bidding, *Journal of Economic Literature*, Vol.25, No.2, pp.699-738 (1987).
- 3) Vickrey, W.: Counterspeculation, auctions and competitive sealed tenders, *Journal of Finance*, Vol.16, pp.8-37 (1961).
- 4) McMillan, J.: Selling spectrum rights, *Journal of Economic Perspectives*, Vol.8, No.3, pp.145-162 (1994).
- 5) McAfee, R.P. and McMillan, J.: Analyzing the airwaves auction, *Journal of Economic Perspectives*, Vol.10, pp.159-176 (1996).
- 6) Brewer, P.J. and Plott, C.R.: A binary conflict ascending price (BICAP) mechanism for the decentralized allocation of the right to use railroad tracks, *International Journal of Industrial Organization*, Vol.14, pp.857-886 (1996).
- 7) Wellman, M.P., Walsh, W.E., Wurman, P.R. and MacKie-Mason, J.K.: Auction protocols for decentralized scheduling, *Games and Economic Behavior*, Vol.35, No.1/2, pp.271-303 (2001).
- 8) Ono, C., Nishiyama, S. and Horiuchi, H.: Reducing Complexity in Winner Determination for Combinatorial Ascending Auction, *Journal of Electronic Commerce Research and Applications*, Vol.2, pp.176-186 (2003).
- 9) Fujishjima, Y., Leyton-Brown, K. and Shoham, Y.: Taming the Computational Complexity of Combinatorial Auctions: Optimal and Approximate Approaches, *Proc. IJCAI* (1999).
- 10) Sandholm, T.: An Algorithm for Optimal Winner Determination in Combinatorial Auctions, *Proc. IJCAI* (1999).
- 11) Andersson, A., Tenhunen, M. and Ygge, F.: Integer programming for auctions with bids for combinations, *Proc. ICMAS'00* (2000).
- 12) Leyton-Brown, K., et al: An Algorithm for Multi-Unit Combinatorial Auctions, *Proc. AAAI-2000*, pp.56-61 (2000).

(平成 15 年 5 月 22 日受付)

(平成 15 年 12 月 2 日採録)



小野 智弘 (正会員)

平成 4 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。平成 6 年慶應義塾大学大学院理工学研究科計算機科学専攻修士課程修了。同年国際電信電話(株)(現 KDDI(株))入社。平成 11 年~12 年スタンフォード大学電気工学科客員研究員。現在(株)KDDI 研究所テキスト情報処理グループ研究主査。この間、通信用データベース、ネットワーク管理、ソフトウェアエージェントの研究に従事。平成 8 年情報処理学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会会員。



西山 智 (正会員)

昭和 59 年東京大学工学部電気工学科卒業。同年国際電信電話(株)(現 KDDI(株))入社。平成 3 年米国テキサス大学オースチン校計算機科学科修士課程修了。現在(株)横須賀テレコムリサーチパークユビキタスネットワーク研究所基盤プロトコル研究室長、文部省メディア教育開発センター客員助教授。この間、データベース、ネットワーク管理、ITS、ソフトウェアエージェント、ユビキタス通信システムの研究に従事。平成 5 年度電子情報通信学会学術奨励賞、本学会第 63 回大会優秀賞受賞。電子情報通信学会会員。



堀内 浩規 (正会員)

昭和 58 年名古屋大学工学部電気工学科卒業。昭和 60 年名古屋大学大学院情報工学専攻修士課程修了。同年国際電信電話(株)(現 KDDI(株))入社。現在(株)KDDI 研究所ユビキタスネットワークグループリーダー。工学博士。この間、ネットワークアーキテクチャ、通信プロトコルの形式記述、ネットワーク管理、分散処理、ITS(高度道路交通システム)の研究開発に従事。電子情報通信学会平成 4 年度学術奨励賞、情報処理学会平成 8 年度ならびに平成 12 年度全国大会優秀賞を各受賞。電子情報通信学会会員。