

架空名義入札者発見に基づく不正入札に頑健な オークションメカニズム

A Robust Combinatorial Auction Mechanism based on Detecting Shill Bidders
against Fraud Bids

松尾 徳朗¹
Tokuro MATSUO¹

伊藤 孝行²
Takayuki ITO²

Robert W. DAY³
Robert W. DAY³

新谷 虎松²
Toramatsu SHINTANI²

*¹宮城大学事業構想学部デザイン情報学科
School of Project Design, Miyagi University

*²名古屋工業大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

*³コネチカット大学ビジネススクール
School of Business, University of Connecticut

This paper presents a method for discovering and detecting shill bids in combinatorial auctions. Our mechanism can judge whether there might be a shill bid from the results of the VCG procedure. We prove a theorem stating that shill bidders cannot increase their utilities unless all shill bidders win in the auction. Based on this theorem, our proposed mechanism compares the agents' utilities in a conventional auction with those in an auction where a shill bidder does not join in the auction. When these agents' utilities are different between the above cases, such agents might be shill bidders. Then, our mechanism allocates items to the shill bidders as a group from the set of items obtained through successful bids by the agent in the conventional auction. This process prevents shill bidders from increasing unfair profits. Furthermore, even though shill bidders participate in the auction, the seller's profit does not decrease using our proposed method. Thus, our mechanism detects shill bids when it only detects the possibility of shill bids.

1. はじめに

人工知能やマルチエージェントの分野において、リソースの効率的な分配などの問題解決のためにオークションメカニズムの研究などが注目を集めている [9]。オークション理論は、近年多くの研究者により注目されている研究分野である。本論文では、不正入札者の発見に基づいた架空名義入札に頑健な組み合わせオークションプロトコルに関して議論する。

組み合わせオークションは、広く研究されている重要なオークションの一形態である。組み合わせオークションの参加者は、財を出品するオークションと入札を行う入札者（エージェント）であり、入札者は複数の財をバンドルとして入札する。オークションの勝者決定において、一般的には、オークションの参加者全員の効用が最大化される財の割当が効率的であるとされる。Vickrey-Clarke-Groves (VCG) メカニズムは、入札者が財に対して真の申告をすることが支配戦略となる性質である誘因両立性、および割当に関して Pareto 効率性の特徴を持った組み合わせオークションプロトコルである [5]。オークション理論において多くの研究では、誘因両立性の性質を持っているので VCG に焦点が当てられている。

横尾らは、インターネットオークションにおいて同一人物（スキーマ）が異なる e-mail アカウントを持つことで、架空名義入札が可能となることを指摘している [9]。また、VCG が架空名義入札に対する頑健性を満たさないことを証明している [8]。さらに、架空名義入札に対する頑健性、Pareto 効率性、誘因両立性および個人合理性などの性質が同時に満たされるオークションプロトコルが存在しないことを証明している。ここでは架空名義入札に対する頑健性の性質を満たすオークションプロトコルを提案している。横尾らのアプローチでは、オー

クションプロトコルやメカニズムを開発することに焦点が当てられている。しかし、そこでのメカニズムでは Pareto 効率性を犠牲にすることで、誘因両立性および架空名義入札に対する頑健性の性質を満たすメカニズムが構築されている。

一方、本論文では組み合わせオークションにおいて架空名義入札を防止できる新しいアプローチを提案する。提案メカニズムは、架空名義入札者が存在したとしても、既存の研究 [8] のように複雑なメカニズムではなく、VCG メカニズムをそのまま利用できる。本論文で示すメカニズムは、VCG の手続きの結果から入札者が架空名義入札を行っているかどうかを判定し、財の割当および支払額を決定する。

本論文で提案するメカニズムは、主として次の 2 つのステップから構成される [4]。一つ目は、メカニズムはオークションの結果に基づき架空名義入札者を発見する。まず、通常の VCG メカニズムに基づくオークションを実施する。仮に、一人ずつ順番に入札者の評価値をゼロ（つまり、オークションに参加しないと考える）としてオークションを実施し、評価値をゼロにした入札者以外の効用を計算する。ここで、それぞれの入札者に関して、前者の通常のオークションにおける効用と後者のオークションにおける効用を比較する。前者のオークションでの効用に対して、後者のオークションにおける効用が減少している入札者が存在するかどうかを判定する。これらの架空名義入札者をグループとして財はセットでグループに割り当てられ、セットの財に対してグループ内でオークションを実施して財を割り当てることで、不当な効用の増加を防ぐことを実現する。架空名義入札者を発見し、1 つのグループと見なすことによって、汎用の VCG メカニズムを変化させることなくそのまま利用できる。本論文では、さらに架空名義入札に関して、それに関わる入札者は全員が勝者にならなければ効用が増加できないことを証明する [3]。また、提案メカニズムにおいては、すべての入札者にとって誘因両立性および架空名義入札をしない方が弱支配戦略となることが証明する。

連絡先: 松尾徳朗, 宮城大学事業構想学部デザイン情報学科,
981-3298 宮城県黒川郡大和町学苑 1 番, 022-377-8351,
matsuo@myu.ac.jp

本論文の構成は、2章で、定義およびオークションに関して説明し、3章で、架空名義入札の特長に関して説明する。4章では、勝者を除外した効用の比較に基づいた架空名義入札者発見手法およびそれを用いたオークションメカニズムを示す。5章で、議論として本論文で提案した手法の妥当性を示す。6章で、本論文をまとめる。

2. 準備

2.1 モデル

本論文で提案するメカニズムに関する定義および仮定を示す。オークションへの参加者はオークションおよび入札者とする。オークションは複数の財を準備し、入札者は購入したい財に対し正の評価値を入札する。

- オークションにおいて、参加する入札者の集合を $N = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$ とし、財の集合を $G = \{a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_m\}$ とする。
- $v_i^{a_k}$ は i 番目の入札者が k 番目の財に対する評価値である (但し, $1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq m$) 。
- $v_i(B_i^{a_k, a_l})$ は、入札者 i が財 a_k および a_l の財にバンドルとして入札したときの入札者 i の評価値である (但し, $1 \leq i \leq n, 1 \leq k, l \leq m$) 。
- $p_i^{a_k}$ は、入札者 i が財 a_k を落札したときの支払額である。入札者 i がバンドルで入札した商品を落札したとき、支払額は $p_i(B_i^{a_k, a_l})$ のように表される。
- 割当の集合は、 $G = \{(G_1, \dots, G_n) : G_i \cap G_j = \phi, G_i \subseteq G\}$ とする。 G_i は、入札者 i に対する商品の割当である。

Assumption 1 (準線形の効用) 入札者 i の効用 u_i は、入札者 i に割り当てられる財に対する支払い額 p_i と入札者 i の評価値 v_i の差 $u_i = v_i - p_i$ で表される。このような効用を準線形の効用と呼び、本論文では準線形の効用を仮定する。

Assumption 2 (個人価値の財) 財の価値は、入札者ごとに異なり、入札者 i のある財 a_k に対する評価値は、他の入札者の評価値に影響を受けないとする。つまり、各入札者の評価値は独立である。

Assumption 3 (Single-minded bidders) 入札者 i は、複数のバンドル (財) にうちただ一つのバンドル (財) を得ようとする入札を行うとする。つまり、もし $B_i \subseteq B$ なら、 $v_i(B, \theta_i) = v_i$ 、もしくは $v_i(B, \theta_i) = 0$ 。ただし、 θ_i は入札者 i のタイプである。

それぞれの入札者 i は財およびバンドルで表される財の部分集合 $G_i \subseteq G$ に対する選好を持つ。形式的に、それぞれの入札者 i はタイプの集合 Θ において、自らのタイプ θ_i を持つ。そのタイプに基づいて、入札者が割当の集合 G_i を $p_i^{G_i}$ で購入するとき、入札者の効用 $v_i(G_i, \theta_i) - p_i^{G_i}$ が表される (但し、入札者 i のバンドル $G_i \subseteq G$ に対する評価値は $v_i(G_i, \theta_i)$) 。

2.2 VCG: Vickrey-Clarke-Groves Mechanism

Vickrey-Clarke-Groves メカニズムは、架空名義入札が存在しない状況において、誘因両立性および Pareto 効率性の特長を持っている [1][2][6]。オークションプロトコルが Pareto 効率であるとは、オークションに参加するすべてのエージェ

ントの効用の総和すなわち社会的総余剰が最大となる性質を持つことである。もし、財の数が一つであるとき、財は最大の評価値を付けた入札者に割り当てられる。VCG において、まず入札者はオークションに対して、財に対する評価値 $v_i(G_i, \theta_i)$ を申告する。本論文では簡単のため“タイプ”による記述を省略し、 $v_i(G_i, \theta_i) = v_i(G_i)$ で表す。効率的な割当は、評価値の総和が最大化される割当として計算される。 $G^* = \arg \max_{G=(G_1, \dots, G_n)} \sum_{i \in N} v_i(G_i)$ 。オークションは入札者に支払額を告げる。入札者 i の支払額 p_i は次式で定義される。 $p_i = \sum_{i \neq j} v_j(G_{\sim i}^*) - \sum_{i \neq j} v_j(G^*)$ 。 $G_{\sim i}^*$ は入札者 i 以外のすべての入札者の評価値の総和が最大化される組み合わせである。入札者 i を除いた場合の、他の入札者の評価値の総和が最大化される割当は次式で定義される。 $G_{\sim i}^* = \arg \max_{G \setminus G_i} \sum_{N-i} v_j(G_j)$ 。

3. 架空名義入札者の発見と財の割り当て

3.1 架空名義入札

オークション研究において、いくつかの研究は VCG のような組み合わせオークションにおいて、架空名義の影響を分析している [8]。

オークションにおいて2つの財が出品され、2人の入札者が参加した場合を考える。それぞれの入札者はいかに示すようにバンドル $\{a_1, a_2, (a_1, a_2)\}$ として入札する。

入札者1の評価値 $v_1(B_1^{a_1, a_2}) : \{\$6, \$6, \$12\}$

入札者2の評価値 $v_2(B_2^{a_1, a_2}) : \{\$0, \$0, \$8\}$

この場合、両方の財が入札者1によって8ドルで購入される。入札者1の効用は $12 - 8 = 4$ となる。もし入札者1が架空名義入札者3をたてた場合、入札者1の効用は増加する。

入札者1の評価値 $v_1(B_1^{a_1, a_2}) : \{\$6, \$0, \$6\}$

入札者2の評価値 $v_2(B_2^{a_1, a_2}) : \{\$0, \$0, \$8\}$

入札者3の評価値 $v_3(B_3^{a_1, a_2}) : \{\$0, \$6, \$6\}$

この場合、入札者1は財 a_1 を落札し、入札者3 (入札者1と同一) は財 a_2 を落札する。それぞれの入札者の支払額は $8 - 6 = 2$ となり、効用は $6 - 2 = 4$ で計算される。つまり、入札者1の効用は入札者3の効用を足して8ドルとなる。

横尾らは、組み合わせオークションにおける架空名義入札の影響を分析している [8]。架空名義入札は、ある一人の入札者が複数の e-mail アカウトのような複数のインターネットオークションの ID を用いてオークションに参加することをいう。上記の研究で得られた結果は以下のように要約される。(1) 誘因両立性および Pareto 効率性である Vickrey-Clarke-Groves (VCG) メカニズムは、架空名義入札に対して頑健ではない。(2) Pareto 効率性を満たす架空名義入札に頑健な組み合わせオークションプロトコルは存在しない。

3.2 勝者を除外した効用比較に基づく架空名義入札者発見手法

著者らの架空名義入札に関する分析 [3] に基づけば、架空名義入札は、それに関わっているできるだけ多くの入札者がオークションの勝者にならない場合は、スキーマは効用を増加させることができない。そこで、組み合わせオークションにおける参加者を擬似的に参加させない場合と実際の結果を比較することで架空名義入札に関わる入札者を発見することができる。提案手法においては架空名義入札者の効用は通常の VCG と比べて減少する。

本論文で提案するメカニズムの概要を示す。まず、実際に VCG による財の割当を計算する。勝者の効用を計算する。その後、それぞれの勝者に関して仮に参加していない場合の

オークションを実施し、財の割当および効用を計算する。実際のオークションと勝者を一人ずつ除外した場合のオークションにおける効用の差を計算し、その場合、共通に効用が減少する入札者を探索し、架空名義入札者を発見する。オークションは架空名義入札者以外の入札者にはそのまま財を割り当て、架空名義入札者グループにはセットで財を割り当てる。ここで、セットで割り当てる理由は、偶然架空名義入札者グループに偽架空名義入札者が含まれている可能性が存在するからである。架空名義入札者ではない入札者が架空名義入札者グループに属している場合、無実の入札者を特定することは不可能である。そこで、財を入札者個人に割り当てるという伝統的なオークション手法ではなく、架空名義のものに対処するために入札者グループに財をセットで割り当てることを許す。このようにすることで、メカニズムの特長は架空名義入札者を発見できるだけでなく、VCG の性質をそのまま保つことができる。

Input: evaluation values of bundles for each player.
Output: Allocation.

Function Detecting a Skill bid

begin

Determining winners and calculating payments based on VCG.

for each player Determining winners and calculating payments based on VCG at excluding a player's evaluation values.

$u_{ex \sim i} :=$ the utility of excluding agent i .

$u_{sum \sim i} :=$ sum of the utilities except for player i before excluding the player.

if $u_{ex \sim i} < u_{sum \sim i}$

then a set of items is allocated to the player group whose utilities decreases and other items are allocated to individual players.

else items are allocated to individual players.

end.

以下に、具体的に流れを示す。

[Algorithm] (Step 1) n 人の入札者が参加したオークションにおいて、まず、VCG の方法に基づいて、勝者を決定する。勝者は、評価値の総和が最大化される割当 $G^* = \arg \max_{G=(G_1, \dots, G_n)} \sum_{i \in N} v_i(G_i)$ として計算される。入札者 i の支払額 p_i は $p_i = \sum_{i \neq j} v_j(G_{i^*}) - \sum_{i \neq j} v_j(G^*)$ で定義される。 G_{i^*} は入札者 i 以外のすべての入札者の評価値の総和が最大化される組み合わせである。入札者 i を除いた場合の、他の入札者の評価値の総和が最大化される割当は $G_{i^*} = \arg \max_{G \setminus G_i} \sum_{N-i} v_j(G_j)$ で定義される。(Step 2) 勝者の効用を計算する。勝者の集合を簡単のため $W = \{1, 2, \dots, \ell, \dots, \theta\}$ とする。それぞれの勝者の効用を u_i とする。(Step 3) 入札者 θ が参加しなかった場合のオークションを試みる。本オークションにおける割当は、 $G_{\sim \theta} = \arg \max_{G=(G_1, \dots, G_n)} \sum_{N-\theta} v_i(G_i)$ となる。この割当において、実際のオークションにおける勝者 $W = \{1, 2, \dots, \ell, \dots, \theta-1\}$ に関して、効用を計算する。(Step 4) 実際のオークションにおけるそれぞれの勝者の効用 u_i から、自分自身が参加しないオークション以外（例えば、 θ が参加しないオークション）でのそれぞれの勝者の効用 $u_i^{\sim \theta}$ の差 $u_i - u_i^{\sim \theta}$ を計算する。効用の差 $u_i - u_i^{\sim \theta}$ が存在する勝者の集合 $\{w_{\sim i}\} \in W$ を発見する。(Step 5) (Step 4) における結果に関して、 $(\{w_{\sim i} \setminus \theta\} \in W) = (\{w_{\sim \theta} \setminus i\} \in W)$ のような共通の場合に効用が減少する入札者をリストアップされる。オークションは、リストアップされた入札者以外の勝者 $W \setminus w$ にはそのまま財を割り当てる。(Step 6) (Step 5) でリストアップ

された入札者 w の評価値はマージされ、架空名義入札をしない状況における入札者のグループとしての評価値で支払額が計算され、その支払額でグループに対してセットで財が割り当てられる。

3.3 架空名義入札に頑健なオークションメカニズム

提案メカニズムは2段階のオークションにより構成されている。第一ステージでは、VCG オークションが行われる。その後、先述の手法により架空名義入札者が発見される。架空名義入札者を一つのグループとして、支払額が計算される。架空名義入札を行っていない入札者に対して財が割り当てられる。ここで、架空名義入札者を一つのグループとして計算された支払額は留保価格とされる。第二ステージにおいて、疑わしい入札者は、財のセットに対して評価値を入札する。Vickrey オークションメカニズムに基づき勝者が決定される。最も高い評価値を入札した入札者の評価値が、上述の留保価格以上の場合、財は第二価格または留保価格により割り当てられる。

ここで、以下に第二段階オークションの具体的な割当手法に関して詳述する。提案手法は、入札者が財のセットに対して単一の評価値を入札する単一財オークションを用いている。財のセットは、最も高い評価値を入札した入札者に対して、第二価格で割り当てられる。本質的に、Vickrey オークションと同じである。

ここで、架空名義入札者グループは入札者 $w = \{i'_1, \dots, i'_\ell, \dots, i'_n\}$ により構成されているものと仮定する。 i'_ℓ は ℓ 番目の入札者である。グループに属する入札者の評価値は $\{v_{i'_1}, \dots, v_{i'_\ell}, \dots, v_{i'_n}\}$ であるものとする。入札者の支払額の集合は $\{p_{i'_1}, \dots, p_{i'_\ell}, \dots, p_{i'_n}\}$ とする。また、入札者の効用の集合は $\{u_{i'_1}, \dots, u_{i'_\ell}, \dots, u_{i'_n}\}$ であるものとする。売り手の留保価格は、第一ステージのオークションにおける架空名義入札者グループとしての支払額で定義されるものとする。財のセットを $A' \subset A$ とする。

[Algorithm] (Step 1) 架空名義入札者グループに属する入札者は財のセット A' に対して、評価値 $v_{i'_\ell}$ を入札する。(Step 2) 簡単のため、入札者の評価値を高い順に $\{v_{i'_1} > v_{i'_2} > \dots > v_{i'_\ell} > \dots > v_{i'_n}\}$ と仮定する。もし入札者の評価値 $v_{i'_2}$ が留保価格以上でない場合、財は割り当てられない。そうでない場合、(Step 3) に移る。(Step 3) 入札者の評価値 $v_{i'_2}$ が留保価格より高く、架空名義入札者グループに属するある最も高い評価値を入札した入札者がオークションの勝者となる。つまり、入札者 i'_1 の支払額 $p_{i'_1}$ は $v_{i'_2}$ である。

4. 議論

4.1 メカニズムの PORF での記述

文献 [7] において、オークションメカニズムが誘因両立性を満たすようなメカニズム構築のフレームワークとして、PORF プロトコルが提案されている。PORF プロトコルに包含されるメカニズムは、誘因両立性であり戦略的に操作不可能である。勝者除外法を用いたメカニズムに関して PORF が成立することは以下の3つにより示される。

(1) まず、定義としてある i 番目の入札者を入札者 i とする。架空名義入札に関与している入札者を i' で表す。架空名義入札者グループを w とする。勝者除外法を用いたメカニズムにおいてすべての入札者および架空名義入札者グループに属する入札者の支払額は、自分の評価値に依存しない。すなわち、strategy-proof がいえる。

(2) 次に、バンドルの価格は、一般（架空名義入札者ではない）の入札者 i に対しては VCG の価格、架空名義入札者 i' に

対しては、2段階目での留保価格 $r(=p_w)$ となる。留保価格 r は、そこに属する入札者の評価値とは独立である。

(3) Allocation feasibility に関しては、一般の入札者 i については VCG と同じであるため保証される。なお架空名義入札者 i' については、グループ内の一人に落札されるので保証される。

以上は PORF を満足している。なお、架空名義入札者グループに属さない入札者の評価値が架空名義入札者グループの支払額に影響を与えることは可能であるが、定理 1 により支払額を下げる影響を与えることは不可能である。

4.2 弱支配戦略

提案したメカニズムにおけるスキーマが架空名義入札者を作成する誘因を持たないことに関する命題を与える。スキーマの支配戦略は架空名義入札者を作成しないことである。

Assumption 4 (戦略空間) ここでは、架空名義入札をするか否かの2種類の戦略空間が存在していると仮定する。

Proposition 1 (弱支配戦略) 提案するメカニズムにおいてスキーマの弱支配戦略は架空名義入札者を作成しないことである。

[Proof] 本メカニズムにおいて、架空名義入札者を発見したのち、財のセットに対する第二価格オークションが入札者の評価値および留保価格に基づき行われる。本オークションにおいて、もし勝者が存在すれば、勝者の支払額はオークションにおける第二価格が留保価格以上でなければならないので、留保価格 r' がそれ以上である。つまり、 $p_{i'} = v_{i'} \geq r'$ が成立する。留保価格は本質的に入札者が架空名義入札をしない(マージされた)場合の支払額と同じである。

まず、スキーマによって作成された架空名義入札者だけで構成される架空名義入札者グループが存在する場合を考える。もし、スキーマが架空名義入札を元々していない場合は、第一ステージのオークションで財を r' で得ることができる。一方、もしスキーマが架空名義入札者を作成している場合、第二ステージのオークションの結果、入札者の支払額は r' またはそれ以上の価格である。ある架空名義入札者が第二ステージにおいて $v_{i'}$ の評価値を入札しオークションの勝者になったとしても、効用 $u_{i'}$ は $v_{i'} - v_{i'}$ となる。一方、スキーマが架空名義入札をしない場合、第一ステージにおいてスキーマは勝者となり、そのときの効用 $u_{i'}$ は $v_{i'} - r'$ である。明らかに、 $v_{i'} - v_{i'} < v_{i'} - r'$ である。従って、この状況においてはスキーマは架空名義入札者を作成する誘因を持たない。

次に、架空名義入札者グループがスキーマによって作成された架空名義入札者および偽架空名義入札者(無実の入札者)が混在し、構成されている状況を考える。この状況では、次の2種類のケースが存在すると考えられる。(1) スキーマ(または、ある架空名義入札者)が第二ステージのオークションにおいて勝者になる。(2) スキーマ(または、ある架空名義入札者)が第二ステージのオークションにおいて勝者にならない。

前者の場合、先述の仮定に基づけば、スキーマが勝者になった場合、 $p_{i'} = v_{i'} \geq r'$ がスキーマの支払額である。スキーマの効用 $u_{i'}$ は、 $v_{i'} - v_{i'}$ である。一方、スキーマが架空名義入札者を作成しない場合、効用 $u_{i'}$ は $v_{i'} - r'$ となる。明らかに、 $v_{i'} - v_{i'} < v_{i'} - r'$ である。

後者の場合は、財を得ることができないのでスキーマの効用は0である。もし、スキーマが架空名義入札者を作成しない場合、スキーマは第一ステージのオークションにおいて、勝者とな

ることができる。この場合は、スキーマの効用は $v_{i'} - r' (> 0)$ であることは明らかである。

以上のようにして、スキーマは架空名義入札者を作成する誘因を持たない。いかなる場合においても、スキーマの効用は(架空名義入札を行うことで)増加することはない。つまり、スキーマにとって架空名義入札を行わないことが弱支配戦略となる。□

提案したメカニズムにおいて、入札者が架空名義入札を行ったとしても、行わない場合に比べて効用を増加させることはできない。架空名義入札者グループに属する入札者の評価値がマージされ、架空名義入札を行っていない状況と同じになってしまうためである。現実のインターネットオークションを想定して考えた場合、架空名義入札者を作ろうとすればオークションに参加するためのID取得などを考えれば、多少のコストがかかる。従って、少なくともその状況においては、架空名義入札者を立てないことが強い意味での支配戦略となる。

5. おわりに

本論文では、組み合わせオークションにおいて架空名義入札を防止するために、架空名義入札者の発見に基づいたオークションメカニズムを構築した。提案するアルゴリズムは VCG における手続きの結果から架空名義入札者として疑わしい入札者を判定し、架空名義入札者を仮想的に除外して除外した入札者以外の入札者の効用を計算し、除外しない場合の効用と比較した。架空名義入札者を一グループとして財はセットでグループに割り当てられ、不当な効用の増加を防ぐことを実現した。架空名義入札に関しては、それに関わる入札者は全員が勝者にならなければ効用が増加できないことを証明した。提案メカニズムにおいては、すべての入札者にとって誘因両立性および架空名義入札をしない方が弱支配戦略となることが証明された。

謝辞

本研究に対して、有意義なコメントをくださった九州大学大学院システム情報科学研究 横尾真 教授に感謝致します。

参考文献

- [1] Clarke, E. H. 1971. Multipart pricing of public goods. *Public Choice* 11:17-33.
- [2] Groves, T. 1973. Incentives in teams. *Econometrica* 41:617-631.
- [3] Matsuo, T.; Ito, T.; Day, R. W.; Shintani, T. 2006. A Robust Combinatorial Auction Mechanism against Shill Bidders In *Proc. of the Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents & Multi Agent Systems (AAMAS-2006)*.
- [4] Matsuo, T.; Ito, T.; Day, R. W.; Shintani, T. 2006. A Two-Stage Robust Combinatorial Auction Mechanism against False-name Bids In *Proc. of the IEEE Pacific Rim International Workshop on Electronic Commerce (IEEE-PRIWEC 2006)*, 41-58.
- [5] Milgrom, P. 2004. *Putting Auction Theory to Work*. Cambridge University Press.
- [6] Vickrey, W. 1961. Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders. *Journal of Finance* XVI:8-37.
- [7] Yokoo, M. 2003. The characterization of strategy/false-name proof combinatorial auction protocols: Price-oriented, rationing-free protocol. In *Proceedings of the 18th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2003)*.
- [8] Yokoo, M.; Sakurai, Y.; and Matsubara, S. 2004. The effect of false-name bids in combinatorial auctions: New fraud in Internet auctions. *Games and Economic Behavior* 46(1):174-188.
- [9] 横尾真. 2000. インターネットオークションの理論と応用. *人工知能学会誌*, 15(2): 404-411.