バーチャルエンタープライズ環境下における企業間の 合意形成過程に関する研究 —基本特性解析*

貝原 俊也[†]・藤井 進[‡]

A Study on Negotiation Process amongst Business Units in Virtual Enterprise Environment —Basic Analysis*

Toshiya KAIHARA[†] and Susumu FUJII[‡]

Virtual enterprise is a temporary alliance of enterprises that come together to share skills, core competencies or resources in order to better respond to cope with demand of customers, and whose cooperation is supported by computer networks. It is very important and difficult activity in forming a virtual enterprise to select appropriate business partners, because each enterprise considers not only pursuing its profit but also sharing the risk to join the virtual enterprise. In this study, we focus on the negotiation process in virtual enterprise formulation as the basic research to clarify its effective management. We develop a computer simulation model to form a virtual enterprise through multiple negotiations amongst several potential members in the negotiation domain, and finally clarify the formulation dynamism with the negotiation process.

1. はじめに

現在の消費者主体の市場において、情報ネットワークを活用したアウトソーシングの発展的形態としてバーチャルエンタープライズ(以下、VE)が提案され、様々な観点からの議論、研究がなされている[1]。VEとは情報ネットワークを活用し、特定分野で強みをもつ企業が連合することにより、競争力の高い製品やサービスを市場に供給するものである。VEを構成する場合、企業は他の参加企業と様々な契約活動を行う必要がある。しかし契約を行う場合、企業は相手企業とどのような情報のやり取りを行い、何を基準にして契約相手を選択するのかといった契約時における意思決定の方法が明らかにされていない。また、各企業は自分の利益を追求する一方で、構成されるVEの目的に応じた意思決定も行わねばならない。各企業の意思決定がうまく行われていない場合、VE自体の利点をいかすことも困難となる[2]。

そこで本論文では、企業間の合意形成過程が最終的に形成されるVEの特性に与える影響について明らかにすることを目的とする。各企業をエージェントとしてとらえ基本的な交渉モデルの構築を行い、シミュレーション実験により得られる合意形成過程、および形成されたVEの持つ特性について分析し、企業の意思決定がどのようにVEに影響するかの考察を行う。

2. バーチャルエンタープライズ(VE)

2.1 VEの概念

VEとは「技術やコストを共有し、コンピュータネットワークによって結ばれた独立企業の一時的な企業連合」と定義される[1]。企業連合は従来より存在しているが、コミュニケーション手段をコンピュータネットワークにより行うという点がVEの特徴の一つとなっている。このコンピュータネットワークの発展により、外部資源を使用することの相対的コストが下がる。これにより企業は自社の得意領域に経営資源を集中投入し、それ以外の領域に関しては徹底的に外部資源を活用する経営方法が有利となる[3]。また、コンピュータネットワークを活用することにより世界中から自社のニーズを満たすビジネスパートナーを探し連合することにより、グローバルに競争力の高い商品を提供することが可能となる[4]。

* 原稿受付 2000年3月6日

[†] 流通科学大学 情報学部 Faculty of Information Science, University of Marketing and Distribution Sciences; 3-1, Gakuen-nishi, Nishi, Kobe, Hyogo 651-2188, JAPAN

[‡] 神戸大学 工学部 Faculty of Engineering, Kobe University; Rokkodai-cho, Nada, Kobe, Hyogo 657-8501, JAPAN

Key Words: virtual enterprise, multi agent, manufacturing system, contract-net protocol, supply chain.

VEはその性質により様々な視点から分類される[1].

- (1) 存続期間: Single Business / Long Term Alliance
- (2) 形態: Dynamic Nature / Fixed Structure
- (3) 参加方法: Single Alliance / Multiple Alliance
- (4) 調整: Star-like Structure / Democratic Alliance
- (5) 視野: Single Level / Multi Level

2.2 契約相手の選択

VEにおける交渉は一对一ではなく一対多, もしくは多対多となる. 交渉可能なすべての契約を同時に進行させることは困難であり, また無駄である場合が多い. そこで各企業は自社の目的に応じた契約活動を行うことが求められる. 以下に, 受注/発注側それぞれの立場での意思決定について述べる.

受注側の選択

受注側の企業が利益を得るためには値段が高いものをより多く売ることが求められる. しかし, 発注された価格や量に対して必要以上に高くなる, あるいは多くなるといふ返答を行ったのでは契約を勝ち取ることはできない. 一方で, 契約を勝ち取るために価格を下げると経費を回収できず損をしたり, 価格を下げるために大量生産を行うと過剰在庫をかかえたりする結果となりうる.

発注側の選択

発注側の企業が利益を得るためには安い材料を購入し, 製造原価を下げるのが重要である. しかし, 原価を下げるために大量に仕入れたのでは過剰在庫が発生することになる.

このように, VE環境下において企業間で契約交渉を行う場合, 自社の利益を追求するだけでは安定的な収益は望めない. 利益を追求しながらも経営資源を無駄なく, また過剰在庫などをできるだけ抑えろといった様々な要素を考慮した意思決定が求められる. そして, 状況に応じて有効な合意形成を行うためには, 合意形成過程がその結果として構成されるVEの特徴に与える影響を解析することが重要となる.

3. エージェントの交渉戦略

3.1 対象モデル

本論文では, 分類された各項目について以下のような要件を満たすVEを想定する. なおこのモデルは, 現実には多種多様なVEが存在する中で, まずは基礎研究として, 存続期間・形態・参加方法の点からプリミティブであり, かつ調整・視野の点から自律性が高いものを対象としている.

存続期間: Single Business

ある取引が終了すると即座に解散するものとする.

形態: Fixed Structure

参加メンバーが固定された市場においてVEを形成することを想定する.

参加方法: Single Alliance

企業は同時に複数のVEへは参加できない.

調整: Democratic Alliance

それぞれが独立した意思決定に基づき交渉を進める場合を対象とする.

視野: Single Level

VEにおける自社の上流, 下流それぞれ一つの層に属する企業とのみ交渉可能とする. これは市場に存在する全企業の情報を得ることは非現実的であるからである.

本論文で想定した市場の概念図をFig. 1に示す. VEに参加可能な各企業をユニット(unit)と定義し, 層数を N とし, 第 n 層は m_n 個からなる市場を考える. この市場において各層一つずつのユニットからなるVEを構成するものとする. また, 初期タスク告示(task announcement)は第0層のUnit 00からなされるものとする. よってFig. 1において, あるユニットに対してUnit 00に近い右側のユニットを上位のユニット, 左側のユニットを下位のユニットと呼ぶ. なおUnit 00は最終消費者に相当する.

Fig. 1 Virtual enterprise model

Unit 00からタスク告示が第1層のユニットに対して行われると, 第1層のユニットはそのタスクを実現するために必要なタスク告示を下位の第2層のユニットに対して行う. 第2層のユニットはタスクの実現に必要なタスク告示を第3層のユニットに対して行う. このように順次下位層のユニットに対してタスク告示を行っていく. また, タスク告示を受けたユニットは下位のユニットにタスク告示を行うとともに, 上位のユニットへの入札値を作成し, 入札を行う. このように第 i 層に属するユニットは一つ上位の層である第 $i-1$ 層に属するユニットと一つ下位の層である第 $i+1$ 層とのみ交渉を行う. その際, 前者との契約の場合はコントラクタとして振る舞い, 後者の場合にはマネージャとして振る舞う. 最終的に第0層のUnit 00からなされた初期タスク告示に対して一連

のVEを構築するものとする。

ユニットの概念図をFig. 2に示す。ユニットはタスク告示が行われた場合、そのタスクに対応するコントラクタ、マネージャを作成する。コントラクタは、タスク告示に対して入札し契約を行う。マネージャはその入札を行うために必要なタスクを下位のユニットに対してタスク告示を行い、契約を行う。

Fig. 2 Unit structure

3.2 交渉アルゴリズム

本論文では交渉プロトコルとして、マルチエージェントプログラミング[5]の一つであり人間の契約行為をメタファアとする契約ネットプロトコル[6]（以下、契約ネット）を用いる。以下にユニット内でのコントラクタ、マネージャのアルゴリズムを示し、Fig. 3にその流れを示す。

コントラクタのアルゴリズム

Step C1. 入札予定値を作成。

Step C2.a 入札。

Step C2.b タスク告示をマネージャに依頼。

マネージャのアルゴリズム

Step M1. 入札予定値をもとにタスクを作成。

Step M2. タスク告示を実施。

Step M3. 入札期間終了後、入札値の中で一定基準を満たすものを選択。満たすものがあればStep M5へ、なければStep M4へ。

Step M4. タスクを再設定し、Step M2へ。

Step M5. 落札基準に基づいて落札者を決定。

Fig. 3は第 n 層 m 番目のユニット（以下 $Unit_{nm}$ ）にタスク告示 $TA_{(n-1)l}^{k1}$ が行われた場合の流れを示している。 TA_{nm}^{ij} は第 n 層の m 番目のユニットの $Manager_i$ から行われた j 回目のタスク告示を表す。よって $TA_{(n-1)l}^{k1}$ は第 $n-1$ 層 l 番目のユニットの $Manager_k$ から行われた新規タスク告示を意味する。図中[]で示す記号は上記の各Stepに対応している。また図中の $Bid(a), Bid(b)$ は入札のタイミングとして2通りが考えられることを示している。この説明に関しては後述する。

Fig. 3 Negotiation process flow

$TA_{(n-1)l}^{k1}$ は $Unit_{nm}$ にとって i 番目の新規タスク告示であると想定し、 $Unit_{nm}$ は i 番目の $Contractor_i$ と $Manager_i$ を作成する。まず $Contractor_i$ では $TA_{(n-1)l}^{k1}$ に対して入札を行うための予定入札値を作成する(C1)。次にその予定入札値をもとに新たに下位層のユニットに対して行う新規タスク告示を $Manager_i$ に依頼する(C2.b)。また $Contractor_i$ は $TA_{(n-1)l}^{k1}$ に対して入札(Bid)を行う(C2.a)。入札のタイミングについては後述する。 $Manager_i$ は新規タスクを作成し(M1)、下位層に対して TA_{nm}^{i1} を行う(M2)。その入札期間(bidding period)終了後、複数の入札の中からある基準を満たすものの選択を行い(M3)、基準を満たすものが存在しなければタスクを変更し(M4)、2回目のタスク告示 TA_{nm}^{i2} を行う。また、基準を満たすものが存在するならば、その中から自分の落札基準に基づいて落札者を決定する(M5)。このようにタスク告示を繰り返すことにより、マネージャは落札者を決定する。交渉プロトコルとして契約ネットを用いる場合、「入札値の作成方法」、「タスクの作成方法」、「入札基準」、「落札基準」等を明確にする必要があり、以下にそれらの定式化を示す。

3.3 入札値の作成

契約の請負側であるコントラクタは上位のユニットから提示されたタスク告示をもとにそれぞれ入札値を作成する。本論文ではユニットは提示されたタスク告示の価格、量に対してどちらを優先させるかという判断をまず行う。その優先させた項目を一定の割合($plus_p, plus_v$)で増加させ、一方を減少させることとする((1)-(4)式)。 i, j, k はFig. 3に示すタスク告示(TA)の添字に対応している。価格を P, p 、量を V, v で表現し、 P, V はマネージャが作成するタスク告示に示される値を表し、 p, v はコントラクタが作成する入札に示される値を表すものとする。

$$\text{価格優先: } p_{nm}^{ij} = P_{(n-1)l}^{kj} \times (1 + plus_p) \quad (1)$$

$$v_{nm}^{ij} = P_{(n-1)l}^{kj} \times V_{(n-1)l}^{kj} / p_{nm}^{ij} \quad (2)$$

$$\text{量優先: } v_{nm}^{ij} = V_{(n-1)l}^{kj} \times (1 + \text{plus}_v) \quad (3)$$

$$p_{nm}^{ij} = P_{(n-1)l}^{kj} - \text{cost} \times (1/V_{(n-1)l}^{kj} - 1/v_{nm}^{ij}) \times \alpha \quad (4)$$

ただし,

- p_{nm}^{ij} : Unit_{nm} の Contractor_i の j 回目入札価格
- v_{nm}^{ij} : Unit_{nm} の Contractor_i の j 回目入札量
- $P_{(n-1)l}^{kj}$: Unit_{(n-1)l} の Manager_k から j 回目の TA_{(n-1)l}^{kj} で示された提示価格
- $V_{(n-1)l}^{kj}$: Unit_{(n-1)l} の Manager_k から j 回目の TA_{(n-1)l}^{kj} で示された提示量
- plus_p : 価格の増加率 ($0 \leq \text{plus}_p \leq 1$)
- plus_v : 量の増加率 ($0 \leq \text{plus}_v \leq 1$)
- cost : ある時間あたりの製造コスト
- α : 製造単価減少分の価格反映率 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

価格を優先した場合には、予算が一定となるように設定を行う。(1)式ではタスク告示で示された価格 $P_{(n-1)l}^{kj}$ に対して plus_p 分増加させた価格を入札の価格として設定する。次に(2)式は、入札の価格との積がタスク告示された量と価格の積と一定になるように入札量の設定を行う。量を優先した場合では、価格を優先した場合と同様に、タスク告示で示された量 $V_{(n-1)l}^{kj}$ に対して plus_v 分増加させた量を入札量として設定する((3)式)。量が増加するため製品一つあたりの製造単価 ($\text{cost} \times (1/V_{(n-1)l}^{kj} - 1/v_{nm}^{ij})$) が減少するものとし、その減少分のうち一定割合 (α) をタスク告示価格から差し引いて価格 p_{nm}^{ij} を設定する((4)式)。この結果、製造単価 ($\text{cost} \times (1/V_{(n-1)l}^{kj} - 1/v_{nm}^{ij}) \times (1 - \alpha)$) は Unit_{nm} の利益となる。

また、下位のユニットとの契約が確定後入札を行う場合、在庫の削減を図るために(5)式に従い最終的な入札量 v_{nm}^{ij} を設定するものとする。

$$v_{nm}^{ij} = v_{nm}^{ij} + (v_{(n+1)m}^i - v_{nm}^{ij})/2 \quad (5)$$

ただし,

- $v_{(n+1)m}^i$: Unit_{(n+1)m} の Manager_i が落札した入札量

3.4 Task の作成方法

マネージャは以下の(6)式、(7)式に従い、上位のユニットへの(予定)入札値をもとに下位のユニットに対して行うタスクの作成を行う。本論文ではコントラクタが作成した(予定)入札値を実現するための仕入れを行うことがマネージャの目的となる。

$$V_{nm}^{il} = v_{nm}^{il} \times (1 + \beta) \quad (6)$$

$$P_{nm}^{il} = ((1 - \text{profit}) \times p_{nm}^{il} \times v_{nm}^{il} - \text{cost})/V_{nm}^{il} \quad (7)$$

ただし,

- V_{nm}^{il} : Unit_{nm}, Manager_i の TA_{nm}^{il} 初期量
- P_{nm}^{il} : Unit_{nm}, Manager_i の TA_{nm}^{il} 初期価格
- profit : 利益設定率 ($0 \leq \text{profit} \leq 1$)
- β : 予定入札値に対する仕入れ増加率 ($0 \leq \beta \leq 1$)

マネージャは予定入札値の場合には入札予定量より β 分割増しを行った仕入れを行う((6)式)。これは上位のユニットとの契約時に入札予定値が変化する場合に対応するためである。そのため入札が確定している場合には $\beta = 0$ となる。ここで(7)式は次の(8)式より導かれる。

$$p_{nm}^{il} \times v_{nm}^{il} - P_{nm}^{il} \times V_{nm}^{il} - \text{cost} = p_{nm}^{il} \times v_{nm}^{il} \times \text{profit} \quad (8)$$

(8)式は、利益の売上占める割合が profit であることを示している。

3.5 コントラクタの入札タイミングと入札基準

(予定)入札値の作成を行った後、ユニットはタスク告示が行われた上位のユニットに対して入札を行う。まず入札を行うタイミングは、Fig. 3において Bid(a)、Bid(b)で示される2種類が考えられる。

Bid(a) 上位ユニットとの契約完了後、下位ユニットへタ

スク告示: コントラクタはマネージャに対して上位ユニットとの契約が完了するまで新規タスク告示を依頼しない。従って作成を依頼する場合は予定入札値ではなく入札値(落札値)となり、その値をもとにマネージャはタスク告示を行うことになる。

Bid(b) 下位との契約完了後、上位ユニットに対して入

札: タスク告示が行われると、予定入札値をもとに新規タスク告示を行い、下位との契約交渉に入る。上位ユニットとの契約が確定していないため、見込みに基づく契約を行うこととなる。

提案されているタスク告示が複数存在する場合、どれに対して入札を行うのかを決定しなければならない。本論文ではこの入札基準として、数量的な評価基準である売上げと入札量について、それぞれを最大とする2種類の入札基準を準備する。

3.6 マネージャの落札基準とタスク告示再設定

マネージャは入札期間終了後、入札の中から落札者を決定する。この流れを以下に示す。

Step 1 ある規定の水準を満たす入札を探索

本論文で用いる二つの基準を以下に示す。なお、一部添字を省略している。

$$v_{(n+1)h} > v_{nm} \quad (9)$$

$$p_{(n+1)h} < P_{nm} \times (1 + \text{permit}) \quad (10)$$

ただし,

$v_{(n+1)h}$: Unit_{(n+1)h} の入札量

$p_{(n+1)h}$: Unit_{(n+1)h} の入札価格

v_{nm} : Unit_{nm} の入札予定量

P_{nm} : Unit_{nm} のタスク告示価格

$permit$: 入札価格の許容率 ($0 \leq permit \leq 1$)

(9) 式は仕入れ量に関する制約であり, (10) 式は仕入れ価格に関する制約である. この2式を満たすことにより, 必要最低限の仕入れ量を確保し, 必要以上に高い値段で購入することを防ぐ.

Step 2 落札基準を満たす入札から落札を決定

本論文では基本実験という位置づけから, 以下に示す数量的な落札基準を用いる.

- 購入費用 (入札値の価格と量の積) 最少規則
- 入札量最小規則

もし落札基準を満たす入札が存在しない場合, マネージャはタスクの内容を変更する必要がある. なお, タスクの変更により入札値は変化するが落札基準は変化しないものとする. タスクの変更は以下の手順で行われる.

Step 1 入札値の検討

タスクの値が不適性と判断し, 価格・量どちらの基準を満たさない入札が多かったかを調べる.

Step 2 タスクの変更

価格の基準を満たさない入札, 量の基準を満たさない入札, が多い場合について, それぞれ (11) 式と (12) 式に従い, タスクの変更を行う.

$$P_{nm}^{i(j+1)} = P_{nm}^{ij} - \frac{\sum_{x=1}^{num_{ij}} |p^x - P_{nm}^{ij}|}{num_{ij}} \quad (11)$$

$$V_{nm}^{i(j+1)} = V_{nm}^{ij} + \frac{\sum_{x=1}^{num_{ij}} |V_{nm}^{ij} - v^x|}{num_{ij}} \quad (12)$$

ただし,

P_{nm}^{ij} : TA_{nm}^{ij} で示される価格

p^x : TA_{nm}^{ij} に対する x 番目の入札価格

num_{ij} : TA_{nm}^{ij} に対して行われた入札の数

V_{nm}^{ij} : TA_{nm}^{ij} で示される量

v^x : TA_{nm}^{ij} に対する x 番目の入札量

(11) 式は入札価格とタスク告示で示した価格の差の平均より適切な価格を設定し, 量を変更せずに再タスク告示を行うことを意味する. また, (12) 式では, 入札量とタスク告示で示した量との差の平均より適切な量を設定し, 価格の変更を行わずに再タスク告示を行うことを示す.

マネージャは満足の得られる入札が行われるまで, 以上のようなタスクの再設定を繰り返しながら交渉を行う.

4. VE の特性解析

4.1 シミュレーションモデル

シミュレーション対象となる市場のモデルについて述べる. まず, 対象とする市場は Fig. 4 に示すような層数が5, 各層に含まれるユニット数が3と仮定する. なおこれは, 3.1 で述べた対象モデルの一形態となっている.

Fig. 4 Simulation model

各ユニット内のマネージャ, コントラクタが使用する (1) 式から (10) 式内のパラメータは Table 1 に示される正規分布に従い各ユニットごとに設定を行う. また各ユニットは売上に対して平均3割の利益を設定する.

Table 1 Experimental parameters

	Mean	Variance
<i>profit</i>	0.3	0.025
<i>plus_p</i>	0.025	0.015
<i>plus_v</i>	0.05	0.015
<i>permit</i>	0.9	0.015
α	0.45	0.075
β	0.05	0.075

これらのユニットから構成される市場において Unit00 に初期タスクが平均1000円, 1000個, 分散0.25の正規分布に従って行われる場合についてシミュレーションを行う. なお, シミュレーション回数は100回とし, 数値結果はその平均値とする.

4.2 ユニットの交渉戦略

まず, 交渉時の効用特性に基づくユニットタイプとして以下に示す二つのものを定義する.

ユニットタイプ1: 利益の増大を優先

ユニットタイプ2: 在庫の削減を優先

これらの効用特性は, 入札値の作成, 入札・落札時におけるユニットの価値基準に相当する.

ユニットタイプ1

入札値の作成: タスク告示に対して価格を上げ, 量を減らす (価格優先:(1) 式, (2) 式).

入札基準: 売上が最大となるタスク告示に対して入札.

落札基準: 支出が最小である入札に対して落札.

ユニットタイプ2

入札値の作成: タスク告示に対して量を増やし, 価格を下げる (量優先:(3) 式, (4) 式).

入札基準：入札量が最大となるタスク告示に対して入札。

落札基準：入札量が最小である入札に対して落札。

つぎに、ユニットの持つ交渉戦略として契約の遂行手順を取り上げ、以下の状況を想定する。

Type A：上位のユニットとの契約完了後、下位のユニットに対してタスク告示を行う (Fig. 3 の Bid(a)).

Type B：下位のユニットとの契約完了後、上位のユニットに対して入札を行う (Fig. 3 の Bid(b)).

Type C：各タスクに対応するマネージャ、コントラクターが独立に契約を行う。

以下これらの場合についてシミュレーションを行い、エージェントの持つ戦略と形成される VE 特性との関係を明らかにする。

4.3 評価式

本論文では個々のユニットは独自の価値基準で判断を下し契約を行っている。しかし、個々のユニットが最善な判断を下したうえで構成された VE が最適なものとは限らない。そこで構成された VE の評価として

- VE 全体の利益
- ROA(Return On Assets)
- ユニットごとの利益
- ユニットごとの在庫量

で評価を行う。なお、一般に ROA は (13) 式で示される。本実験ではスループットと運営経費はそれぞれ利益と製造コストで、在庫資産は各ユニットでの製品 1 個あたりの製造コストと仕入れ代の和と在庫量との積で示される。

$$ROA = \frac{\text{スループット} - \text{運営経費}}{\text{在庫資産}} \quad (13)$$

4.4 実験 1：ユニットタイプが 1 種類の場合

市場に存在するユニットの効用特性および契約遂行手順の影響を検討する。まずは基本特性を把握するために、市場に存在するユニットタイプが 1 種類の場合を想定し VE 特性の解析を行う。なお、VE を構成するユニットのうち第 0 層、第 4 層は一つのタスクに対してマネージャ、コントラクターのどちらか一方が存在しないため、本論文ではこの 2 層については考慮しないものとする。

4.4.1 ユニットタイプ 1 のみが存在する場合

交渉の結果形成された VE の特性について Table 2 に示す。また、形成された VE の各層ごとの利益と在庫の平均値をそれぞれ Fig. 5, Fig. 6 に示す。

以下に、ユニットの交渉戦略ごとに形成された VE の持つ特徴をまとめる。

Type A: 上位から契約を確定

Table 2 より、ROA の値が最も良い値を示す場合が Type A である。ROA の値が良いのは、在庫量が少ない

Table 2 Evaluation of VE (unit type=1)

Type	ROA	Profit
A	58.69	461,498
B	5.33	508,596
C	7.70	464,853

Fig. 5 Profit in each layer(unit type=1)

Fig. 6 Stock in each layer (unit type=1)

ことに起因する (Fig. 6)。Type A の在庫量が少なくなる理由は二つ存在する。

- (1) タスク告示される量が少ない：これは、Type A では契約は上位のユニットから確定を行っていくため、ある層のユニットがタスク告示を行う場合、上位との契約が確定されている。そのため (6) 式内の仕入れ増加率 β は 0 となり、余分な在庫を抱える確率は低くなる。
- (2) 入札値の影響：ユニットタイプ 1 の入札値は (1) 式、(2) 式に従い、タスク告示に対して価格を上げ、量を減らすというものである。Type A ではタスク告示に示される量は、最低仕入れ量を示している。しかし、ユニットタイプ 1 では量を減らすため、1 回目のタスク告示では満足の得られる入札値は存在しない。そのためマネージャはタスク告示を再度行うことにより、入札値に示される量を増加させるを試みる。その結果、ユニットタイプ 1 の場合入札量に示される量が必要以上に多くはならない。

在庫は減少し ROA が増加する一方、利益は最も低い。これはマネージャが上位との契約で確定された量を仕入れるためにタスク告示を繰り返す間に、仕入れ価格が上昇するためである。

さらに Type A の場合、あるユニットが VE のメンバ

になるためには、まずコントラクターが契約を確定させなければならない。そのため入札値を作成するパラメータ $plus_p$ が大きな影響をもつことが明らかとなった。

Type B：下位から契約を確定

Type Bでは、Type Aの場合に比べて再タスク告示の回数が減るため、各ユニットは(10)式に示す許容範囲内において、安い価格で多くの量を仕入れ、売ることとなる。そのためVE全体および各層のユニットの利益ともに最も多くなる。

また、Type Bの場合にあるユニットがVEを構成するメンバになるためには、新規タスク告示を作成するパラメータのうち仕入れ増加率 β が大きな影響をもつ。ユニットタイプがすべて1であるため下位のユニットから示された入札量はタスク告示で示した量よりも減少する。そこで、仕入れ増加率 β の値が大きいものが予定入札量を早く満足でき契約を確定しやすい。この交渉過程の結果、全体的に入札される量が多くなり、上位の層になればなるほど在庫量を抱えてしまうこととなる。

Type C：独立に契約を確定

Type Cでは上位の契約、下位の契約の状況にかかわらずマネージャ、コントラクターが独立に契約を行う。Type A, Bで契約を行う上で様々な制約が存在するのに対して、Type Cでは制約は存在せず、すべての契約が同時に進行することになる。従ってROAやProfitは、Type A, Bの中庸的な特徴をもつVEが形成される。

4.4.2 ユニットタイプ2のみが存在する場合

交渉の結果形成されたVEの特性についてTable 3に示す。また、VEの各層ごとの利益と在庫の平均値をそれぞれFig. 7, Fig. 8に示す。

Type A：上位から契約を確定

ユニットタイプが1のみの場合と同様に三つのTypeの中ではROAの値が良く、各層ごとの在庫量が最も少なくなる。しかし、Table 2のROAと比べてかなりの減少が見られる。これはユニットタイプがすべて2であるため、入札値は(3)式に従い最初のタスク告示に示した量に対して多い量を示す入札が行われ1回目のタスク告示で必要量の確保が行えるが、この結果ユニットタイプ1の場合と比較して在庫量が増加するためである。なお、Type Aにおいてパラメータ $plus_v$ の値が最も小さいユニットが選ばれる。これは $plus_v$ の値が大きいと入札量を増加させてしまい、落札されないためである。

Type B：下位から契約を確定

Type Bではユニットタイプ1のみの場合と比べて各層に含まれるユニットの在庫量が増加する。これは、あるユニットがタスク告示を行う場合、コントラクターが作成した予定入札量に対して(6)式に従い量の割増しを行っ

Table 3 Evaluation of VE (unit type=2)

Type	ROA	Profit
A	11.60	449,857
B	2.75	581,916
C	3.18	450,185

Fig. 7 Profit in each layer (unit type=2)

Fig. 8 Stock in each layer (unit type=2)

た上に、そのタスク告示に対して入札された入札量は(3)式に従ってより大きな値が設定されるためである。また、上位のユニットの契約になると入札数が少なくなり選択肢が少なくなることも在庫量を増加させる原因となる。

一方、ユニットタイプが1のみの場合と比べて利益が増大するのは、製品1個あたりの利益の減少が見られるがその分販売量が増加したためである。

Type C：独立に契約を確定

在庫量が増えるのは上記のType A, Bの場合と同様である。Type Bに比べて在庫量が増加するのはType Bが下位との契約後、入札予定値を変更し、在庫量を減らすようにしているためである。

4.4.3 ユニットタイプが1種類の場合の特徴

これらの結果を以下にまとめる。

- Type A：上位から契約を確定
 - － 利益は少ないがROAの値は高い。
 - － 入札値作成時におけるパラメータ ($plus_p, plus_v$) の小さいものが有利である。
- Type B：下位から契約を確定
 - － ROAは低い利益は多い。
 - － ユニットタイプ1のみの場合には仕入れ増加率 β の大きいものが有利であるが、上位層では入札の数が限られるためその影響は低くなる。
- Type C：独立に契約を確定

－ Type A と Type B の中庸的特徴を持つ VE が形成される。

また構成するユニットタイプ別の VE 特性を以下に示す。

● ユニットタイプ 1

全体の利益、個々のユニットの利益は減少するが、在庫量は減少し ROA の値が大きくなる。

● ユニットタイプ 2

全体の利益、個々のユニットの利益は増加する場合もあるが在庫量も増加し、ROA の値が小さくなる。

これらの結果、VE 特性に対してコントラクターの戦略がより強く影響することが明らかとなった。

4.5 実験 2：ユニットタイプが複数の場合

4.5.1 基本特性

ここでは、2 種類のユニットタイプが混在する場合の特性解析を行う。各層のユニットタイプを Table 4 に示す。なおこれは乱数により設定を行った。

交渉の結果形成された VE の特性について Table 5 に示す。また、VE の各層ごとの利益と在庫の平均値をそれぞれ Fig. 9、Fig. 10 に示す。

Type A：上位から契約を確定

すべてのユニットタイプが同一の場合と同様に各 Type に比べて ROA の値が高く、各層の在庫量が少ない結果が得られた。構成された VE に着目すると、Table 6 に示すようにすべてユニットタイプ 2 のユニットから VE が構成されている。これはユニットタイプ 1 は利益を優先するため、(1) 式に従いタスク告示に提示された価格を上げ、(2) 式に従って量を減らした入札を行う。しかし、Type A で作成されるタスク告示は上位との契約を満たす必要最低限の量を設定するため、タスク告示に示した量より入札値の量が減った場合その入札を選択することがない。そのため量の基準を満たす入札はユニットタイプ 2 に限定される。しかし、ユニットタイプ 2 をもつユニットは (3) 式に従いタスク告示された量より多めの入札を行うため、基準を満たす中で最小の量を示す入札を選択したとしてもタスク告示に示した量より多くなるため在庫をかかえることになる。またユニットタイプ 2 が複数存在する場合には、ユニットタイプ 2 のみの場合の結果と同様にパラメータ $plus_v$ の値が小さいものが選択される。

Type B：下位から契約を確定

Type B の場合、タスク告示で示す量はコントラクターが作成した予定入札値より多めに設定されているため、(2) 式に従って量を減らした入札を行うユニットタイプ 1 が選ばれることが可能である。ユニットタイプを固定した場合の結果からわかるように、ユニットタイプ 1 を選択すると、在庫量の削減が図ることが可能となる。これ

Table 4 Unit type

Number	Layer			
	1	2	3	4
0	1	1	2	1
1	2	2	1	1
2	1	2	2	2

Table 5 Evaluation of VE (unit type=1,2)

Type	ROA	Profit
A	12.17	485,62
B	4.64	509,965
C	7.07	465,951

Fig. 9 Profit in each layer (unit type=1,2)

Fig. 10 Stock in each layer (unit type=1,2)

は下位層のユニットになるほどその傾向が強くなり、第 3 層においては Fig. 10 に示すように Type A の場合より在庫量を削減することができる。

Type C：独立に契約を確定

Type B の場合と同様にユニットタイプ 1 が選択されることが多くなっている。ユニットタイプ 1 が選択されるため、ユニットタイプ 2 のみの場合と比べて在庫量が減っている。

最後に Unit00 からの初期タスクに対して最終的に VE を形成するまでの延ベタスク告示回数と契約確定回数、キャンセル回数について Table 7 に示す。

Type A：上位から契約を確定

Type A では各層の契約において再タスク告示が行われず、すべての契約が 1 度で決定している。また見込みによる交渉は行わないため、キャンセルは発生していない。

Type B：下位から契約を確定

Type B では下位との契約が確定した場合のみ上位との契約交渉に入るため、上位のユニット間の契約では入札

Table 6 Unit type propotion

Type	1	2
A	0.00	1.00
B	0.75	0.25
C	0.75	0.25

Table 7 Contract and cancellation

Type	TA	Contract	Cacellation
A	4	4	0
B	140	6	2
C	40	40	36

が少なくなり、(9)式、(10)式を満たす入札を得ることができない場合や入札期間中に入札が行われない場合が発生し、再タスク告示回数が増加する。

Type C：独立に契約を確定

Type Cで行われるタスク告示と契約確定数は同数である。これは Type A と同様に再タスク告示が行われることがなかったことを示す。Unit00 と第1層の契約が一つのため、この契約が確定した時点で入札に失敗したユニットはすでに確定している他の契約をキャンセルする必要が生じ、この結果多くのキャンセルが発生している。

現実には、契約のキャンセルはユニット間の信頼関係を損ない次回以降の契約に悪影響を及ぼすと考えられる。この過程の解析には信頼関係を含んだエージェントの戦略について検討することが重要となる。

4.5.2 ユニットタイプが2種類の場合の特徴

これらの結果を以下にまとめる。

- Type A：上位から契約を確定
 - －在庫の削減、ROA を優先する場合に有効。
 - －ユニットタイプ2のユニットのみでVE形成。
 - －キャンセルが発生しない。
- Type B：下位から契約を確定
 - －VE全体、各層のユニットの利益を優先する場合に有効。
 - －ユニットタイプ1が選択される確率が高い。
 - －キャンセルが発生する。
- Type C：独立に契約を確定
 - －契約に無駄が多く、キャンセルが頻繁に発生する。

またユニットタイプ別の特徴を以下に示す。

- ユニットタイプ1の占める割合が多い場合
 - 全体の利益、個々のユニットの利益は減少するが、在庫量は減少しROAの値が増加。
- ユニットタイプ2の占める割合が多い場合
 - 全体の利益、個々のユニットの利益は増加するが、在庫量が増加しROAの値が減少。

5. おわりに

本論文では、多種多様な形態が存在するVEの中から各企業が高い自律性を有する基本的な形態に着目し、企業間の合意形成過程が最終的に形成されるVEの特性に与える影響について基本特性を明らかにした。まず各企業（ユニット）をエージェントとしてとらえ、契約ネットをベースとするユニットの交渉戦略を定式化した後、戦略特性としてユニットの効用と契約手順に着目し、シミュレーション実験によりユニットの戦略とVE特性との関係について解析・考察を行った。この結果、基本レベルで状況に応じた交渉戦略を選択することが可能となった。

謝 辞

本研究に協力してくれた神戸大学大学院生坂中真弓氏に対してここに感謝の意を示す。

参考文献

- [1] H. Afsarmanesh and L. M. Camarinha-Motos: *The Virtual Enterprise Concept*, Kluwer Academic Publishers, London (1999)
- [2] 藤井, 貝原, 坂中: パーチャルエンタープライズ環境下における企業間の合意形成に関する研究; 第42回自動制御連合講演会論文集, pp. 271-272 (1999)
- [3] M. S. Malone and W. H. Davidow: *The Virtual Enterprise Corporation*, Harper Business (1992)
- [4] 貝原, 岡田, 乾: インターネット上における企業間電子商取引サーバの有効性について; 計測自動制御学会システム情報部門シンポジウム講演論文集, pp. 97-102 (1999)
- [5] 石田, 片桐, 桑原: 分散人工知能, コロナ社 (1995)
- [6] R. G. Smith: The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver; *IEEE Trans. on Computers*, Vol. 29, No. 12, pp. 1104-1113 (1980)