

電子調達のための共適応マッチメイキング

菱山 玲子[†] 石田 亨[†]

インターネット上での電子調達を「調達側と供給側による財やサービスの仕様の交渉過程」と位置づけ、適合フィードバックに基づく共適応マッチメイキングモデルを提案する。まず、現実社会の事例を分析し、電子調達が仕様自体を変化させていく交渉過程(共適応マッチメイキング)であり、仕様が固定のネットオークションとは異なることを示す。次に、情報検索の手法である適合フィードバックを仕様の検索に適用し、調達側と供給側の交渉過程を漸次的な相互選択過程としてモデル化する。さらに、この計算モデルの性質を調べるためのシミュレーションを行い、取引市場の変化に応じて、適合フィードバックのしきい値を適応的に設定することにより、良好な収束性能が得られることを示す。

Co-adaptive Matchmaking for e-Procurement

REIKO HISHIYAMA[†] and TORU ISHIDA[†]

In this study, we propose a co-adaptive matchmaking model based on relevance feedback by characterizing e-procurement on the Internet as a negotiation process concerning goods and services by buyers and suppliers. First, we analyze a real-world example, then we show that e-procurement is a negotiation process to change specification mutually (Co-adaptive Matchmaking) and it differs essentially from Internet auctions in that it is conducted by fixed specification. Next, we apply relevance feedback for the specification search and we model the negotiation process among buyers and suppliers as a gradual mutual selection process. Additionally, we present a multi-agent system to simulate understanding the features of the model. As a result of the experiment, we show that the setting of an adaptive threshold of relevance feedback depending on changes in the market result in better convergence performance.

1. はじめに

企業間(B2B)電子調達は、財やサービスの交渉過程をとまなうインターネット上の企業活動と位置づけることができる。企業間電子調達は一般に取引規模が大きく、財やサービスの仕様は調達に固有であったり、複数の財やサービスを統合したものであったりすることが多い。したがって、その交渉過程では、調達側企業と供給側企業は協調的な問題解決を必要とする。また、交渉過程で仕様が動的に変化していくため、あらかじめ固定された財やサービスを想定して行う取引(たとえば電子オークション)では当事者のニーズを満たすことはできない。本研究では、電子調達を「価格を探る交渉過程」ではなく「仕様を探る交渉過程」ととらえる。すなわち、電子オークションが価格を探る交渉過程であるとするならば、電子調達は仕様を探る交渉過程なのである。不特定多数の調達側企業と供給側企業が集うインターネット上の電子調達では、独

自の効用関数を持つ多数の交渉者が存在する市場で、最適な取引相手を相互に選択していくことができる。これが成功すれば、調達対象が数十社に限られている現状を打破し、その対象を数百社に広げることが可能となる。

市場に存在する財やサービスを検索する研究としては、エージェントによるマッチメイキングが知られる。構文的・意味的なマッチメイキングを実行するもの⁵⁾、サービスを動詞と名詞のペアによる表現し、サービスプロバイダを検索するもの¹⁾、 $IF \times IDF$ によるプロファイルの類似度マッチングやシグニチャ・マッチング、包括制約によるフィルタリング^{7),8)}が研究されている。多属性のマッチメイキング過程を実現するGRAPPA¹⁰⁾では、語の重みやマッチング関数を適応的に変化させる方式を採用している。これらの手法がいずれも、財やサービスの検索を仲介機構に委ねる

行政機関の調達は、入札—落札過程で仕様の変更が生じないため、オークションと変わるところがない。しなしながら、我々の経験と調査によれば、企業間調達はそうではない。企業間調達は、調達側、供給側のそれぞれが、最適な構成要素とその組合せを産み出していく創造的な過程である。

[†] 京都大学情報学研究所社会情報学専攻
Department of Social Informatics, Kyoto University

ものであったのに対し、本研究が対象とする電子調達は、交渉者が直接関与する漸次的なマッチメーカー過程である。一方、Kasbah⁴⁾はマーケットプレイスを想定した売り手と買い手によるバイラテラルな交渉の自動化を試みている。Kasbahにおける交渉対象は価格である。ユーザは売却期限や最低売却価格などのパラメータを設定し、価格交渉をエージェントに委託する。またBarbuceanuら³⁾は、多属性効用理論を用いて合意形成を目指すエージェント間の取引を研究している。これらは、財やサービスの価格の交渉を扱ったものであり、本研究が扱う仕様のマッチメーカーとは、交渉の対象を異にしている。

このように本研究は、従来の研究とは異なり、インターネット上での大規模な企業間電子調達の支援を目的とするもので、その研究の特徴は以下のとおりである。

- (1) 企業間電子調達を、調達側と供給側による財やサービスの仕様の交渉過程ととらえる。
- (2) 上記交渉過程を実現する漸次的、相互選択的な計算モデルを提案する。
- (3) 上記計算モデルの収束特性など、基本的な性質を明らかにし、その性能を評価する。

以下では(1)エージェントに電子調達を委託することを前提とした、共通マッチメーカーを提案する。次に(2)エージェントが市場に適応しながら人間の意図に沿った調達を行うための計算モデルとして、適合フィードバックに基づく、財やサービスの相互選択過程を提案する(3)マルチエージェント・シミュレーションでこの計算モデルを模擬実行し、共通マッチメーカーを実現するための条件、計算モデルの性能を明らかにする。

2. 電子調達

2.1 電子調達のモデル

資材調達を電子商取引で扱うことが難しいのは、発注決定過程で調達側企業と供給側企業の間で発注仕様の作り込みが必要となるからである。作り込む仕様の内容により調達コストが影響を受けるため、仕様の決定に調達側企業のニーズや供給側企業の技術的情報の交換が必要となる。

図1に仕様の作り込みの実例を示す。この例において、カッコ内は調達側の意図に相当する。実際に作成される調達仕様概要書にはカッコ内の調達側の意図が記述されることはない。しかし、調達の自動化を目指す電子調達のモデルでは、調達側の意図の記述が必要である。また、どのような代替案があるかに関しては、

〔事例：データセンター事業者による19インチラックの調達〕

データセンター用ラックは、以下のような特徴を持つ品目である。

- 汎用品であるが、ニーズにより特注仕様による発注が可能。
- オプション数が多く、調達上のバリエーション大である。
- コンポーネントの汎用規格として多様な選択肢が存在する。

調達企業は当初、エンドユーザへの信頼性や利便性向上のためにコストにかかわらず確保したい仕様として、以下の発注仕様を決定した。

- (エンドユーザがラックに発熱量大の通信機器をマウントすることが想定されるため)、信頼性確保のため換気ファンを増設：特注仕様
- (エンドユーザが電源の許容量を超える通信機器の電源をコンセントから取った場合、電力機器から電力を受電し複数台のラックに電流を分岐供給している分電盤のブレーカの遮断を未然に防止するため)、アラームユニットをラック側に搭載：特注仕様
- (ラック設置予定位置の状況に応じ)、ハンドル取付け位置、扉開閉方向を変更：特注仕様

調達企業は後日、コスト増分の圧縮を図るために、以下の仕様を追加した。

- (設置予定のデータセンターは低層の建物であり、耐震強度は上層階を基準とする設計仕様では過剰スベックであるため)、耐震性を向上させるための溶接のうち過剰スベックと考えられる一部の溶接を供給側企業のアドバイスを待ってカット：特注仕様

図1 仕様の作り込みの実例

Fig.1 Case study: Creation of specification.

供給側の意図が反映される。

最近の調達に関する研究では、調達側からみた供給側との取引関係は、より創造的な提携化概念に基づく取引相手の決定過程をたどることが重要であるとの認識(creative collaboration⁹⁾)に移行している。さらに、財やサービスの調達は、図1の事例にみられるように、信頼性や利便性の確保をも含む多属性効用を考慮すべきである。また、こうした評価をインターネット上のマーケットプレイスで行う場合、異なる効用関数を持つ取引主体が複数存在する状況を考慮する必要がある。

調達におけるマッチメーカーは、調達側、供給側の双方が自律的に仕様を決定し、市場の変化に応じて自ら選択的に変えていくことによって実現される。仕様は相互の選択を通じて双方向に改善され、複数企業との協働による創造的行為が促進される。調達におけるマッチメーカーは、相互の問題解決、共有といった社会化の過程を通じて意図を説明し、共有してゆく¹¹⁾過程である。なお、調達取引において、価格は非常に重要な情報である。図1の事例に示したようなオプションの選択有無や品質の変更など、仕様の調整内容は、購入価格を左右する。本研究は、こうした仕様の交渉を取り扱うことで、間接的に価格という重要

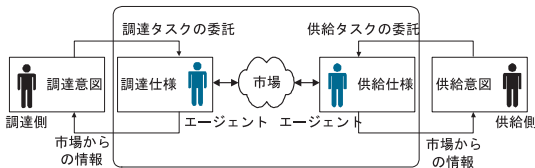


図 2 共通適応マッチメイキング

Fig.2 Co-adaptive matchmaking.

表 1 電子調達過程の 4 要素

Table 1 Four functions of e-procurement.

要素		定義
調達側	調達意図	調達側による調達意図.
	調達仕様	エージェントに委託される調達仕様. 調達意図を市場に表明するためのもの.
供給側	供給意図	供給側による提案意図
	供給仕様	エージェントに委託される提案仕様. 提案意図を市場に表明するためのもの.

なファクタをも交渉するものであり、価格交渉を背景に売り手と買い手が自らの効用最大化を自律的に図ってゆく過程を取り扱うものである。

2.2 共通適応マッチメイキング

電子調達は、調達側、供給側の意図の表現(すなわち仕様)を改善する過程を含む必要がある。そこで、調達側・供給側の意図と、エージェントに委託される調達仕様・供給仕様を分離して考える。エージェントによる仕様の提示が市場を構成し、調達側、供給側は、エージェントへの仕様の委託を通して相互に適応し、仕様の改善を行う。本稿では、この仕様の改善過程を、共通適応マッチメイキングと呼ぶ。

図 2 にこの様子を示す。調達側は意図する仕様をエージェントに委託し、この調達仕様を漸次的に改善しながら供給仕様を検索する。供給側は提供可能な仕様をエージェントに委託し、供給側の仕様が適合する調達側を検索するとともに、この供給仕様を市場にあわせて漸次、改善する。この過程は、調達側が作成した仕様概要書を供給側の力を借りて洗練し、供給側が提示する仕様提案を調達側のニーズに合わせて洗練するという現実社会の電子調達の工程で行われる交渉過程をモデル化している。

すなわち、このモデルにおいては、「調達意図」「調達仕様」「供給意図」「供給仕様」が基本的な要素となる。表 1 にこれをまとめる。なお以下では、検索に着目する場合には、調達意図と供給意図を「検索意図」と呼び、検索式を構成する調達仕様と供給仕様を「検索仕様」と呼ぶ。また、その結果、検索される調達仕様と供給仕様を「被検索仕様」と呼ぶこととする。また、調達者と供給者を「検索者」と呼ぶ。

3. 電子調達の計算モデル

エージェントの漸次的な相互選択過程を、情報検索での検索式の改善過程を用いて計算する。すなわち、情報検索で利用される適合フィードバック(Relevance Feedback^{2),6})を用いて仕様を改善する計算モデルを構成する。

3.1 適合フィードバック

適合フィードバックは情報検索の分野で広く利用されている手法である。情報検索では、文書 $d_i (i = 1, \dots, n)$ における語 $t_k (k = 1, \dots, l)$ の重みを w_{ik} とし、文書 d_i の主題表現を l 次元ベクトル $(w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{il})^T$ として表すのが一般的である。たとえば、各文書内において語の出現頻度(TF)と、一般語などの重要性を低めるために用いる逆文書頻度(IDF)を用いて語の重み w_{ij} を $TF \times IDF$ で計算する。検索式 q_j も同様に l 次元ベクトル $(w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jl})^T$ として表現できる。

検索式 q_j と文書 d_i の類似度は、以下の余弦係数を用いて計算し、この値が一定以上の文書を検索結果とするのが一般的である。

$$Similarity(q_j, d_i) = \frac{\sum_{k=1}^l w_{ik} w_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^l w_{ik}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^l w_{jk}^2}} \tag{1}$$

さて、検索結果は利用者の検索意図に照らして、利用者が必要とする適合文書と、必要としない非適合文書に分類される。この分類は利用者によって行われる。次に分類結果を教師信号として、検索式の改善が試みられる。これを適合フィードバックと呼ぶ。

検索式 q_j に対する検索結果のうち、適合文書の集合を D^+ とし、 $d_1^+, \dots, d_{|D^+|}^+$ をその要素とする。同様に、非適合文書の集合を D^- とし、 $d_1^-, \dots, d_{|D^-|}^-$ をその要素とする。適合フィードバックによる新たな検索式は以下の式により計算される⁶⁾。

$$\alpha \cdot q_j + \frac{\beta}{|D^+|} \sum_{i=1}^{|D^+|} d_i^+ - \frac{\gamma}{|D^-|} \sum_{i=1}^{|D^-|} d_i^- \tag{2}$$

一般に、文書検索では、適合文書に含まれる情報は非適合文書により含まれる情報より重要であることから、 $\beta > \gamma$ が望ましいとされている。

3.2 適合フィードバックによる相互選択過程

まず、調達側の調達意図と調達仕様、供給側の供給

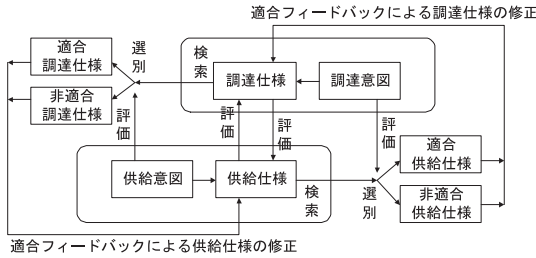


図 3 適合フィードバックによる交渉過程

Fig. 3 Negotiation process using the relevance feedback updating mechanism.

意図と供給仕様の 4 要素を、多次元のベクトルにより表現する。以下では、調達者を $i (i = 1, \dots, m)$ で、供給者を $j (j = 1, \dots, n)$ で表す。調達者 i の調達意図を \hat{b}_i で、その表現である調達仕様を b_i で表す。同様に供給者 j の供給意図を \hat{s}_j で、その表現である供給仕様を s_j で表す。

本稿では適合フィードバックを文書にではなく、調達仕様、供給仕様に適用する。マッチメイキングは、調達側エージェントによる供給仕様の検索と、供給側エージェントによる調達仕様の検索という、相互選択を通じた交渉過程と考える。いま、調達仕様 $b_i (i = 1, \dots, n)$ における機能項目 $t_k (k = 1, \dots, l)$ の重みを w_{ik} とすると、各仕様 b_i は l 次元ベクトル $(w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{il})^T$ として表される。供給仕様 s_j に関しても同様である。

図 3 に適合フィードバックによる交渉過程を示す。調達仕様と供給仕様は、相互選択の過程で検索式として用いられる一方、市場において検索される対象ともなる。本稿の範囲では、調達意図と供給意図は計算過程で変化しない。調達意図と供給意図は潜在的なものであって、調達者自身、供給者自身、明示的に理解しているわけではない。市場との相互作用を通じて、調達仕様、供給仕様として表現され、適合フィードバックによって改善されるものとする。

さて、調達者は調達意図 \hat{b}_i を背景に、調達側エージェントに調達仕様 b_i を委託する。調達側エージェントは調達仕様 b_i を市場に提示するとともに、 b_i を検索仕様として市場にある供給仕様の集合 S を検索する。検索結果を S_{b_i} とする。ここで、 $S_{b_i} = \{s | Similarity(b_i, s) > \theta, s \in S\}$ 、 θ は検索における類似度判定のしきい値である。同様に、供給者は供給意図 \hat{s}_j を背景に、供給側エージェントに供給仕様 s_j を委託する。供給側エージェントは供給仕様 s_j を市場に提示するとともに、 s_j を検索仕様として市場にある調達仕様の集合 B を検索する。検索結果を B_{s_j} とする。ここで、 $B_{s_j} = \{b | Similarity(s_j, b) > \theta, b \in B\}$

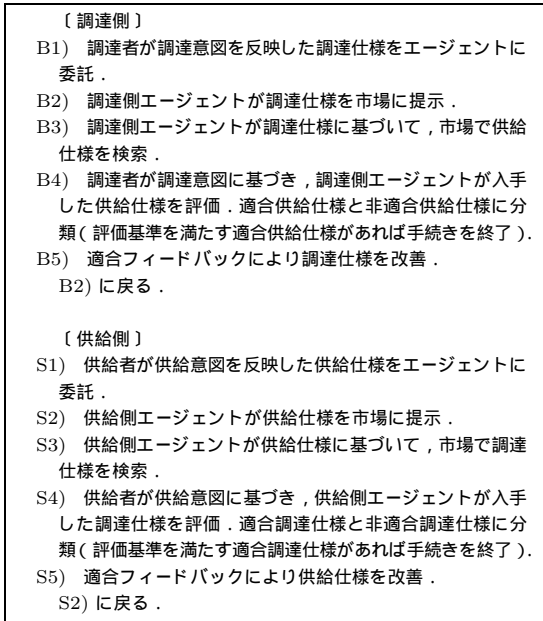


図 4 適合フィードバックによる電子調達

Fig. 4 e-Procurement transaction process based on relevance feedback.

である。

調達側エージェントの検索結果 S_{b_i} は、調達者によって適合供給仕様の集合 $S_{b_i}^+$ と非適合供給仕様の集合 $S_{b_i}^-$ に分類される。同様に、供給側エージェントの検索結果 B_{s_j} は、供給者によって適合調達仕様の集合 $B_{s_j}^+$ と非適合調達仕様の集合 $B_{s_j}^-$ に分類される。

調達側エージェントは適合供給仕様の集合 $S_{b_i}^+$ と非適合供給仕様の集合 $S_{b_i}^-$ を用いて適合フィードバックを行い、調達仕様 b_i を精練する。同様に、供給側エージェントは適合調達仕様の集合 $B_{s_j}^+$ と非適合調達仕様の集合 $B_{s_j}^-$ を用いて適合フィードバックを行い、供給仕様 s_j を精練する。

適合仕様がいない場合には検索仕様の修正は行わない。適合フィードバックの評価は、検索意図と検索仕様の類似度の変化を時系列的に調べることによって行うことができる。

図 4 にこの手続きを示す。この計算モデルは、通常の文書検索とは異なっている。文書検索では、質問は可変だが文書は不変である。本計算モデルでは、質問に相当する検索仕様が可変であることに加えて、文書に相当する被検索仕様も可変となっており、検索仕様と被検索仕様の双方にフィードバックがかかる。これまで、適合フィードバックを相互に適応させた研究例は知られていない。そのため、本計算モデルがどのように振る舞うかをシミュレーションを通じて検証する

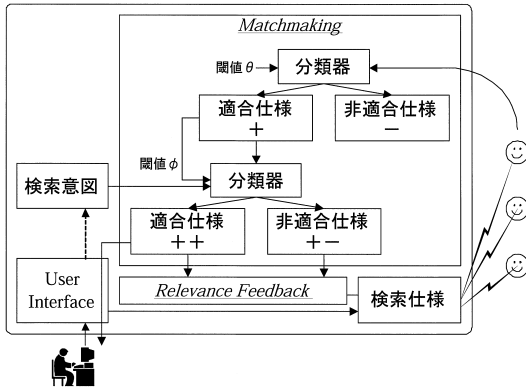


図5 マッチメイキングのためのエージェントモデル
Fig.5 Agent model for co-adaptive matchmaking.

必要がある。

4. シミュレーション

共適応マッチメイキングの性質を調べるため、前章の計算モデルを実装しシミュレーション実施した。シミュレーションに用いたエージェントシステムの構成を図5に示す。

シミュレーションの設定は以下のとおりである。エージェント数については、調達側10エージェント、供給側100エージェントとした。調達者、供給者の調達意図、供給意図は本来明示的に表現されないものであるが、シミュレーションでは5次元のランダムな2値ベクトルで表現した。これは、機能項目数を5とし、意図をその有無のみで定義することを意味する。同様に、調達仕様、供給仕様の初期値も、5次元のランダムな2値ベクトルで表現した。検索結果は、調達者、供給者によって、適合仕様と非適合仕様に分類される。シミュレーションでは、調達者、供給者による分類を調達意図、供給意図との類似度判定で計算した。すなわち、 $S_{b_i}^+ = \{s | Similarity(\hat{b}_i, s) > \varphi, s \in S_{b_i}\}$, $B_{s_j}^+ = \{b | Similarity(\hat{s}_j, b) > \varphi, b \in B_{s_j}\}$, φ は類似度判定のしきい値とした。

検索時の類似度判定のしきい値 θ は、検索仕様に基づいて被検索仕様を分類するためのものであり0.5とした。一方、検索意図に基づいて被検索仕様を適合仕様と非適合仕様に分類するしきい値 φ は、以下のように2つの異なる場合をシミュレーションの対象とした。

(1) 固定検索者

しきい値 φ を0.5に固定する。これを上回る被検索仕様を適合仕様とし、下回る被検索仕様を非適合仕様とする。

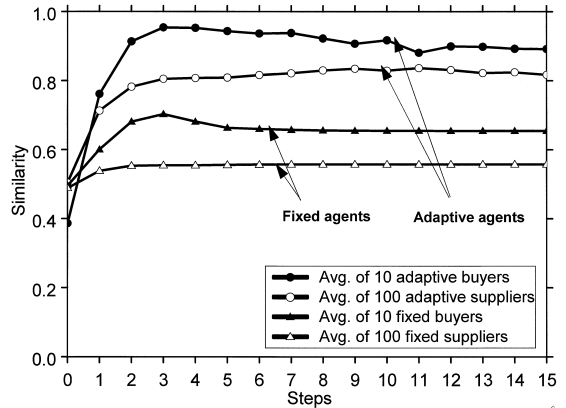


図6 検索意図と検索仕様の類似度の時間変化
Fig.6 Time-series similarity between intention and specification.

(2) 適応検索者

しきい値 φ を適応的に変化させる。検索意図と被検索仕様との類似度が、検索仕様とすべての被検索仕様との平均類似度を上回る場合に、その被検索仕様を適合仕様とし、下回る場合に非適合仕様とする。たとえば、調達側での分類においては、以下のようにしきい値 φ を設定する。

$$\varphi = \frac{\sum_{s \in S_{b_i}} Similarity(\hat{b}_i, s)}{|S_{b_i}|} \quad (3)$$

仕様の検索や分類、交渉による仕様の改善活動はこれまで本来人間が行ってきたものである。本システムでこれらの活動をエージェントが代理する場合、エージェントは人間活動を反映し効果的にこれらの活動を行う必要がある。2タイプの検索者を設定し比較する理由は、この効果に関するシステムの必要条件を探るためのものである。

このシミュレーション結果を図6、図7に示す。

図6は検索意図と検索仕様の類似度を時系列で比較した結果である。固定検索者の場合には、検索意図と市場に提示される検索仕様の類似度は向上しない。検索仕様は検索者の意図を適切に反映することができない。固定検索者は市場の変化をとらえることが難しいため、検索仕様を適応的に改善することができない。適応検索者の場合には、マッチメイキングは良好な結果をもたらし、検索意図と検索仕様との類似度は固定検索者に比べ著しく向上する。また調達側は供給側に比べ、検索意図と検索仕様との類似度が高い。市場におけるマッチメイキングの対象利用者数の拡大が、相

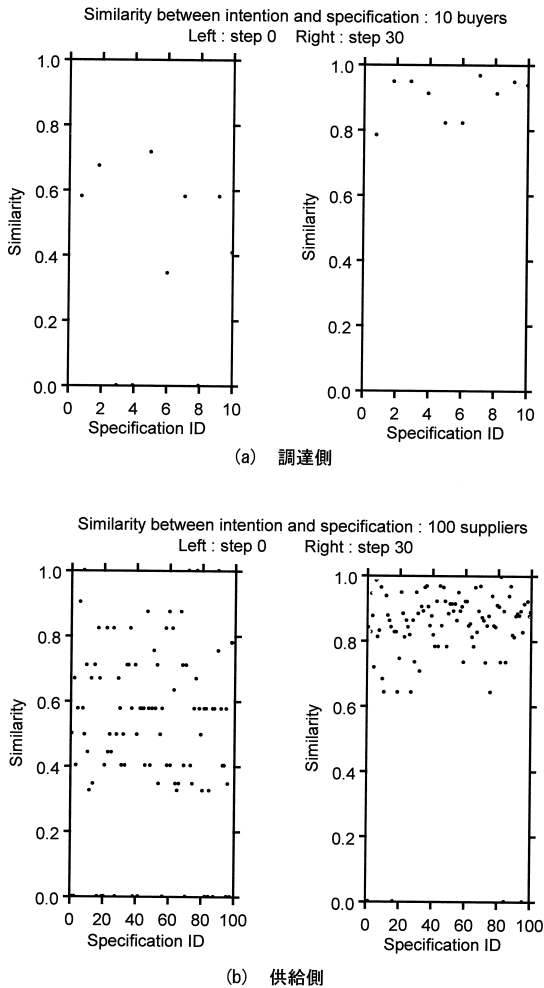


図 7 検索意図と検索仕様の類似度の分布

Fig. 7 Similarity distribution between intention and specification.

互選択の可能性を高めていることが分かる。エージェントにとっては、市場が大きいほど検索仕様の改善が進むことが分かる。

図 7 は、適応検索者の場合のシステムの振舞いを詳しく調べたものである。図 7(a) は、調達側 10 エージェントについて、初期値(左)と 30 回の適合フィードバックの後(右)の、検索意図と検索仕様との類似度を示している。また図 7(b) は供給側 100 エージェントについて、同様に検索意図と検索仕様との類似度を示している。いずれも繰返しを行うことで、類似度が向上していることが分かる。このことは、市場に提示される検索仕様は漸次的な相互選択過程により検索意図に沿ったものに改善されていることを示している。

5. 調達事例を用いた実験

5.1 問題の説明と実験設定

現実社会の調達プロセス事例を拡張し、広域的なネットワーク空間での調達活動を想定し実験する。

まず、本実験では J 社のモノクロ複写機のリース調達事例を拡張し調達シナリオを構成する。調達仕様はパラメータと属性値の対の集合からなり、各仕様項目について包括的な判断を必要とする。

調達意図は普遍的で記述が難しい目標概念であり、たとえば以下のようなものである。

複写スピード=おおむね 1 分間 80 枚前後の性能+ファーストコピータイムはなるべく速いこと、機種リプレースによる複写スピードの低下は利用社員のストレスと不満を招くため避けたい。
保守レベル=少なくとも連絡から 3 時間程度で CE に来訪してほしい。
占有面積=同じ性能ならコンパクトであることが望ましい。
コスト=機器代+コピーチャージで算定し、3 年相当のトータルランニングコストが安いほどよい。
リース会社=別途選定するため指定会社がないことが条件。

これに対して、調達者の要求仕様は、たとえば以下のように表される。

ファーストコピータイム=3 秒程度、印刷速度=1 分間 80 枚程度、保守対応=平日 CE オンサイト対応要、面積=コンパクトタイプ希望、リース会社=任意指定希望

この調達仕様は最低限の記述であり、本来調達したい人間の意図を背景としているものの、人間の調達意図を完全に満たすものではない。このため調達仕様から実際に収集できる供給仕様にはばらつきがあり、多様な提案を受け入れることになる。多様な提案は調達者に新たな視点を与え、調達者は調達仕様をニーズにあったものへと改善してゆくことができる。

本実験ではランダムに調達意図と調達仕様の 5 次元ベクトルを生成する。同様に、供給意図と供給仕様も生成する。ベクトルの成分としての各パラメータは 6 つの異なる属性値のバリエーションを持つものとし、0 から 5 までの値に記号化して置き換える。

この置き換えは、データマイニングにおける記号化や部品の体系化手法を通じて、現実社会の調達活動と関連づけることができる。デザイン、技術といった各評価項目に対するスコアリングから、相性の良い供給企業を類型化したり発見したりする活動と関連づけることも可能であり、応用範囲は広いと考えられる。

表 2 に、本実験のために生成した 5 次元の初期ベクトル(調達側 10 エージェント)を示す。各 \hat{b}_i が各調

表 2 10 調達エージェントの意図 \hat{b}_i と仕様 b_i , 類似度 (交渉開始前)

Table 2 Intentions and specifications of 10 buyer agents (before starting negotiation).

	面積 (W)	面積 (D)	印刷速度	First copy time	保守対応	$\hat{b}_i b_i$ 類似度
意図 \hat{b}_1	5	1	5	2	2	-
\hat{b}_2	4	1	4	2	0	-
\hat{b}_3	4	3	3	1	1	-
\hat{b}_4	1	1	2	0	3	-
\hat{b}_5	5	1	1	4	3	-
\hat{b}_6	2	1	0	0	2	-
\hat{b}_7	0	0	1	3	0	-
\hat{b}_8	3	1	2	5	1	-
\hat{b}_9	0	1	4	3	0	-
\hat{b}_{10}	4	3	1	4	1	-
仕様 b_1	2	4	4	3	1	0.806
b_2	1	4	0	3	5	0.322
b_3	2	3	1	1	1	0.917
b_4	4	4	0	0	0	0.365
b_5	2	3	2	1	1	0.700
b_6	1	0	1	1	4	0.765
b_7	0	3	1	4	0	0.806
b_8	2	4	3	1	5	0.554
b_9	0	3	2	1	2	0.647
b_{10}	4	4	4	2	4	0.814

達企業の目標事例 (調達したい財のイメージ) に相当する。適応探索者としての調達エージェントは、ランダムに作成された供給仕様が存在する市場空間からこの目標概念と同一ないし近似した事例を、比較的少ない交渉で探索することを目標とする。

5.2 実験結果

調達側の 10 エージェントの中から、交渉前に調達意図 \hat{b}_i と調達仕様 b_i との類似度が低かった調達エージェント 4 (調達意図 $\hat{b}_4 = (1, 1, 2, 0, 3)$) (調達仕様 $b_4 = (4, 4, 0, 0, 0)$) について、どのように交渉が進んだかを分析する。エージェント 4 の調達意図 \hat{b}_4 は、保守対応を重視し、ファーストコピータイムは重視しないタイプの仕様を検索することを目標としている。

表 3 は、エージェント 4 の調達仕様 b_4 の改善過程を示したものである。調達仕様は繰返しにより調達意図との類似度が向上し、ほぼ調達意図に沿ったものへ改善されている。保守対応を最重要視し、ファーストコピータイムを重視しないタイプの調達仕様であることが表現されており、調達者の意図の特徴をとらえたものとなっている。

望ましいマッチメイキングを成立させるため、調達

交渉開始前の \hat{b}_i と b_i , \hat{s}_j と s_j をそれぞれ独立でランダムに作成する理由は、調達者の意図の、仕様へ反映の不正確さを示すためであり、必ずしも初期値としての一致を必要としない。

表 3 調達仕様 b_4 の各属性の変化, 意図と仕様の類似度

Table 3 Change of specification b_4 , similarity between intention and specification.

Steps : 対象	w1	w2	w3	w4	w5	類似度
調達意図 \hat{b}_4	0.333	0.333	0.667	0	1	-
0: 調達仕様	4	4	0	0	0	0.3652
1: 調達仕様	0.831	1	0.315	0	0.611	0.7538
2: 調達仕様	0.657	0.874	0.67	0	1	0.9322
3: 調達仕様	0.479	0.645	0.648	0	1	0.9738
4: 調達仕様	0.378	0.616	0.661	0	1	0.9806
5: 調達仕様	0.255	0.563	0.572	0	1	0.9800
6: 調達仕様	0.547	0.489	0.502	0	1	0.9727

表 4 \hat{b}_4 と各 \hat{s}_i の類似度評価によるマッチング候補

Table 4 10 candidates of selection based on similarity.

順位	仕様番号 (\hat{s}_i)	w1	w2	w3	w4	w5	\hat{b}_4 と \hat{s}_i の類似度
1	20	1	2	3	1	4	0.974
2	29	1	2	4	2	5	0.949
3	81	4	2	3	0	5	0.948
4	62	3	1	4	1	4	0.945
5	8	3	3	5	2	5	0.943
6	33	3	1	2	1	4	0.927
7	99	3	3	2	0	4	0.921
8	10	0	2	2	1	3	0.913
9	31	4	3	3	0	4	0.913
10	96	4	4	4	0	4	0.904

意図と供給意図が一致する取引相手を抽出できれば都合がよい。表 4 に、エージェント 4 の調達意図 \hat{b}_4 に対して、これと類似した供給意図 \hat{s}_i を持つ供給者を、その類似度の高い順に示した。つまり、表 4 は \hat{b}_4 にとって望ましいマッチング相手の候補一覧と考えられる。

表 5 は、エージェント 4 が実際に検索し抽出した適合供給仕様集合 $S_{b_i}^+$ のうち、調達意図との類似度が高かった供給仕様の上位 15 仕様を類似度で降順にランキングしたものである。各回の類似度は、それぞれの繰返し回数における調達者の検索意図と供給者の供給仕様 (被検索仕様) の類似度を示している。市場環境の変化によりランキングされる仕様はつねに入れ替わっているが、ランキングの上位はつねに類似度の高いもので占められている。また、同じランキング位置で繰返し 1 回目の直後と繰返し 6 回目の直後を比較すると類似度は上昇しており、ランキング位置が低いほど類似度の上昇率が高く、改善がよく行われている。表 5 において、表 4 にリストアップされた供給者からの供給仕様である場合には、その仕様番号に*を付した。繰返し回数 6 回目の直後の時点でエージェントが

交渉開始前の調達仕様 $b_4 = (4, 4, 0, 0, 0)$ を除き、各ベクトルの属性値は基準化されている。

表 5 調達意図（検索意図）と供給仕様（被検索仕様）との類似度の変化⁴
Table 5 Matching analysis of buyer's intention and supplier's specification.

順位	繰返し 1 回目直後		繰返し 2 回目直後		繰返し 3 回目直後		繰返し 4 回目直後		繰返し 5 回目直後		繰返し 6 回目直後		類似度		上昇率
	仕様番号	類似度	仕様番号	類似度	仕様番号	類似度	仕様番号	類似度	仕様番号	類似度	仕様番号	類似度	1 回目	6 回目	
1	100	0.924	88	0.963	*20	0.953	*81	0.979	*62	0.998	*62	0.953	0.924	0.953	103.146
2	49	0.915	66	0.957	51	0.950	*20	0.965	84	0.985	1	0.950	0.915	0.950	103.831
3	91	0.915	15	0.943	88	0.945	13	0.963	48	0.977	*81	0.941	0.915	0.941	102.840
4	45	0.906	32	0.939	*62	0.926	*62	0.961	*20	0.948	35	0.939	0.906	0.939	103.727
5	57	0.893	100	0.937	1	0.920	51	0.951	13	0.946	13	0.918	0.893	0.918	102.832
6	19	0.885	89	0.924	6	0.914	1	0.947	51	0.944	*20	0.917	0.885	0.917	103.602
7	23	0.877	6	0.911	32	0.914	*99	0.920	1	0.937	*96	0.911	0.877	0.911	103.967
8	41	0.873	91	0.895	5	0.912	84	0.916	*99	0.930	51	0.910	0.873	0.910	104.243
9	59	0.854	45	0.889	22	0.905	94	0.909	94	0.926	*99	0.909	0.854	0.909	106.498
10	18	0.852	2	0.885	15	0.897	*10	0.882	95	0.902	*31	0.905	0.852	0.905	106.178
11	*20	0.835	19	0.884	14	0.891	66	0.871	35	0.898	84	0.878	0.835	0.878	105.130
12	51	0.829	41	0.883	64	0.878	76	0.866	*8	0.893	*8	0.873	0.829	0.873	105.371
13	92	0.808	57	0.882	67	0.867	73	0.865	73	0.884	*10	0.872	0.808	0.872	107.885
14	97	0.807	74	0.872	*99	0.866	17	0.859	*10	0.875	52	0.872	0.807	0.872	107.974
15	*62	0.807	49	0.868	28	0.863	5	0.846	*96	0.862	*33	0.871	0.807	0.871	107.911

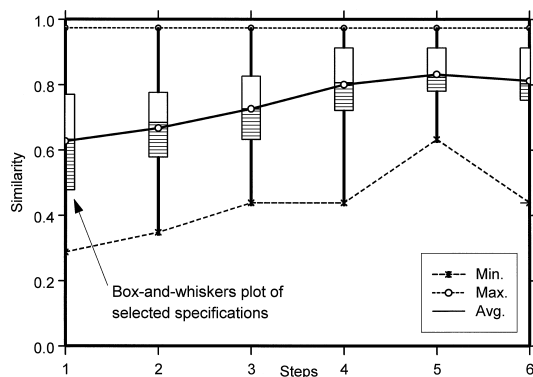


図 8 調達意図と抽出された被検索仕様の類似度

Fig. 8 Similarity between buyer's intention and selected specification.

抽出して示した上位 15 位の被検索仕様のうち、表 4 にリストアップされた供給者からの提示仕様は 9 仕様であった。この結果は、表 4 の上位 10 位までの供給者からの仕様のうち、9 仕様を検索できていることを示すものである。

図 8 に、エージェント 4 の調達意図と抽出された全供給仕様（被検索仕様）の類似度の変化を示した。抽出された全供給仕様（被検索仕様）の平均類似度は向上しているものの、類似度が低いものも含まれていることが分かる。この状況に対応するために、安定的に類似度の高い、ランキングの上位 3~8 程度の仕様のみをショートリスト作成のために利用するという方針が考えられる。つまり、一定のマッチメイキングの後、類似度の高いいくつかの仕様を、類似度が高い順に単純抽出し、人間の評価が可能な程度に問題空間を絞り込むことを併用するのである。これにより、調達者の持つ知識をこのマッチメイキングと併用し、ショートリストからより望ましい調達の可能性を探ることが可能となるものと考えられる。また、類似度の高い仕

様の中には、マッチングの候補ではない仕様も含まれている。これらの仕様は少なくとも調達者のニーズに合ったものであり、かつ、供給者が市場からの情報を利用して調達者のために作成した仕様であることから、市場で広くニーズのある財のイメージを含有しているものと考えられる。こうした財に注目することで、調達者は今まで能動的に把握することが難しかった市場全体における供給資材の供給傾向を知ることができる。

6. む す び

電子商取引に適合フィードバックを適用する試みは、本研究が初めてであり、電子調達に有効な計算モデルであることを示せたと考えている。本研究の貢献は以下の 3 点である。

- (1) 現実世界の調達事例を参考に、エージェントに電子調達を委託することを前提として、調達側、供給側の検索意図とそれをエージェントに委託するための検索仕様を分離した共通適応マッチメイキングを提案した。
- (2) 共通適応マッチメイキングを実現するため、情報検索の手法である適合フィードバックを相互かつ漸次的に適用することにより、調達側、供給側の検索仕様を改善する計算モデルを提案した。
- (3) 計算モデルを実際に適用した場合の問題点を探るためシミュレーション実験を行い、調達者、供給者の適応的な市場への対応が、共通適応マッチメイキング収束させる要件であることを明らかにした。さらに、その効果を現実社会の調達活動を拡張したシナリオによる実験から検証した。本研究で提案した手法は、複数の多様な仕様につい

⁴ 仕様番号の前に*を付したものは、表 4 のマッチング候補であることを示す。

て、複数の相手と同時並行的な繰返し交渉を実現し、環境が変化する市場において頑強に適合仕様を抽出する。また、適合フィードバックは、仕様評価のような現実社会の意味的な広がりを持った情報検索に有効である。この性質は、インターネット上の市場で、取り扱う情報が不確実で非明示的である場合に、異種多様な仕様から意味的に似た仕様を探索することに向いており、電子化の進む社会において十分に価値のある検索手法となりうると考えている。

取引のオープン化は調達者の選択肢の幅を広げ、問題解決のための推論の多様性に寄与するものである。一方、少量多品種の生産を得意とし、良い製品を持ちながら取引機会が限られるような中小供給企業に対して、本研究の考える調達基盤は新たな取引機会を創出することができるものと考えている。

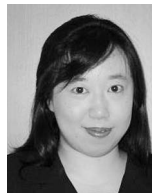
謝辞 本稿の執筆にあたって有益な示唆・助言をいただきました京都大学情報学研究科田中克己教授、守屋和幸教授、小山聡助手に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Arisha, K., et al.: Impact: A Platform for Collaborating Agents, *IEEE Intelligent Systems*, Vol.10, No.2, pp.64-72 (2000).
- 2) Baeza-Yates, R. and Ribeiro-Neto, B.: *Modern Information Retrieval*, ACM Press (1999).
- 3) Barbuceanu, M. and Lo, W.: A Multi-attribute Utility Theoretic Negotiation for Electronic Commerce, *Proc. 4th International Conference on Autonomous agents*, pp.239-246 (2000).
- 4) Chavez, A. and Maes, P.: Kasbah: An agent marketplace for buying and selling goods, *Proc. 1st International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM-96)*, pp.75-90 (1996).
- 5) Nodine, M.H., et al.: Active Information Gathering in Infosleuth, *International Journal of Cooperative Information Systems (IJCIS)*, Vol.9, No.1-2, pp.3-28 (2000).
- 6) Salton, G.: *The SMART Retrieval System — Experiments in Automatic Document Processing*, Prentice Hall Inc. (1971).
- 7) Sycara, K. and Zeng, D.: Coordination of Multiple Intelligent Software Agents, *International Journal of Cooperative Information Systems*, Vol.5, No.2-3, pp.181-211 (1996).
- 8) Sycara, K., Widoff, S., Klusch, M. and Lu, J.: LARKS: Dynamic Matchmaking Among Heterogeneous Software Agents in Cyberspace, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol.5, pp.173-203 (2002).
- 9) Tully, S.: Purchasing's New Muscle, *Fortune*, February 20, pp.75-83 (1995).
- 10) Veit, D., Müller, J.P. and Weinhardt, C.: Multidimensional Matchmaking for Electronic Markets, *Journal of Applied Artificial Intelligence*, Vol.16, No.9-10, pp.853-869 (2002).
- 11) Walker, D. and Hampson, K. (Eds.): *Procurement Strategies*, Blackwell Publishing (2003).

(平成 15 年 7 月 14 日受付)

(平成 16 年 5 月 11 日採録)



菱山 玲子

平成 12 年筑波大学大学院修士課程修了。日本テレコム(株)にて資材調達業務に従事。現在、京都大学大学院社会情報学専攻博士課程。マルチエージェントシステムの応用研究に興味を持つ。



石田 亨(正会員)

昭和 51 年京都大学工学部情報工学科卒業、昭和 53 年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社電気通信研究所入所。現在、京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻教授。工学博士。人工知能、社会情報学に興味を持つ。