

# 複数論点交渉問題における効率的な部分的合意形成プロセスの提案

水谷 信泰\*      藤田 桂英\* ‡      伊藤 孝行 †

\* 名古屋工業大学大学院情報工学専攻      † 名古屋工業大学大学院産業戦略工学専攻

‡ マサチューセッツ工科大学スローン経営大学院

## 1 はじめに

マルチエージェントの研究分野において複数の論点が存在する交渉問題（複数論点交渉問題：Multi-issue negotiation problem）が重要な研究課題となっている。実世界での交渉問題では、論点同士が相互依存関係にある場合が多い。そこで、本論文では複数の論点相互依存関係にある複雑な効用空間をもつ複数論点交渉問題を対象とする。この場合、各エージェントの効用関数は非線形の関数で定義される。

非線形効用関数に基づく複数論点交渉問題に関する研究はこれまでに行われている [1][2]。既存の研究では、論点間の相互依存関係などを用いて、より実世界に近い交渉モデルを扱っている。しかし、例えば、自動車の共同設計において、価格や性能はすぐに合意に至ったがデザインがなかなか合意に至らないなど、ある一部の論点に関してのみ部分的な合意に至る場合や部分的な合意を繰り返すことで段階的に合意に至る場合が考えられる（図1）。そこで、本論文では、複雑な複数論点交渉問題に対して部分的合意形成プロセスを提案する。



図1: 部分的, 段階的合意形成の例

## 2 非線形効用関数に基づく交渉

本論文では、 $N$  個のエージェントが合意形成を試みる交渉の状況を考える。論点が  $M$  個存在し、個々の論

点を  $i_j \in I$  と表す。論点  $i_j$  は  $[0, X]$  の範囲の整数を値として持つ（すなわち、 $s_j \in [0, X]$ ）。交渉の結果得られる合意案は、各論点の値のベクトル  $\vec{s} = (s_1, \dots, s_M)$  として表現される。エージェントの効用関数は制約を用いて表現する。 $l$  個の制約が存在するとし、個々の制約は  $c_k \in C$  と表す。制約は、単一、もしくは複数の次元（論点）に関して、制約充足条件となる値の範囲、および効用値を持つ。制約  $c_k$  は、合意  $\vec{s}$  によって充足される場合にのみ、 $w_i(c_k, \vec{s})$  を効用値として持つことができる。交渉に参加する全てのエージェントは、独自に制約集合を持つ。合意  $\vec{s}$  に関するエージェント  $i$  の効用を  $u_i(\vec{s}) = \sum_{c_k \in C, \vec{s} \in x(c_k)} w_i(c_k, \vec{s})$  と定義する。ここで、 $x(c_k)$  は、制約  $c_k$  を充足可能な合意案の集合である。この効用表現により、凹凸のある非線形の効用空間が形成される。効用空間では、より多くの制約を充足可能な地点は効用が高くなり、逆に充足する制約数が少ない地点では、効用が低くなることで、空間内に効用値による高低が生じる。

## 3 部分的合意形成プロセス

本論文で提案する部分的合意形成プロセスは、実世界の交渉における、部分的な合意形成や部分的な合意形成を繰り返すことによる段階的な合意形成を複雑な交渉モデルに導入することを目的とする。本手法では、複数の論点をグループ化し、グループ内の論点に関して合意形成を行うことで、一部の論点について部分的な合意に至る過程を実現する。また、グループごとの部分的な合意形成をどのような順に実施するかを決定することで段階的な合意に至る過程を実現する。本手法では、どのように論点をグループ化し、また、どのような順番で合意形成を行うかの決定方法が重要である。そこで、本手法では論点間の相互依存関係に注目した手法を提案する。以下の Step1, Step2, 及び Step3 で本手法の流れを示す。

**Step1:** 論点間の相互依存関係に注目した論点のグループ分けを行う。エージェントがそれぞれ持つ制約集合から論点間の依存度を求める。依存度の計算は、全ての制約に対して各制約に関わる 2 論点間の依存度を求める。この依存度を評価値として、依存関係の強い論点間の繋がりを損なわないように、論点を複数のグ

Proposal of Efficient Partial Consensus Building Process for Multi-issue Negotiation

Nobuyasu Mizutani \*    Katsuhide Fujita \* ‡    Takayuki Ito †

\* Computer Science and Engineering, Nagoya Institute of Technology

† School of Techno-Business Administration, Nagoya Institute of Technology

‡ Salon School of Management, Massachusetts Institute of Technology

グループに分ける．ここでは，論点をグループ分けした場合に評価値が出来るだけ大きくなるようにグループを決める．グループ分けされた複数の論点で構成されたグループを論点グループと呼ぶ．

**Step2:** 論点グループの合意形成を行う順番を決定する．論点グループの合意形成を行う順番は，段階的な合意形成に関わる重要な部分である．そこで，本手法では **Step1** の論点グループの決定と同様に論点間の相互依存関係に注目する．本論文が対象とする交渉問題を複雑にする重要な要因である論点間の相互依存関係を有効に利用することで，より良い合意形成が期待出来る．本論文では，2つの手法を示す(図2)．まずは，論点グループごとの依存度を用いる手法である．この手法では，ある論点グループ内に属する全ての論点間の依存度の合計値を評価値として，合意形成順を決定する．ここでは，**Step1** で求めた論点間の依存度を利用する．次に，論点グループごとの論点数を用いる手法である．この手法では，ある論点グループに属する論点の数を評価値として，合意形成順を決定する．

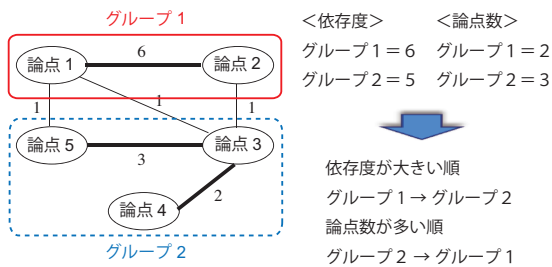


図2: 論点グループの合意形成順の決定方法

**Step3:** **Step1** で決定した論点グループを，**Step2** で決定した順番で合意形成を行う．基本的には，遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて，複雑な効用空間からより良い合意案を探索する．また，部分的な合意形成や段階的な合意形成の特徴を活かすため，ある論点グループの部分的な合意形成で得られた結果を以降の論点グループでの合意形成に引き継ぐ．具体的には，部分的な合意に至った論点の値を，以降の合意形成におけるGAの遺伝子に反映させる．最終的に部分的な合意形成を段階的に進めた結果，最も効用値の高い合意案を最終的な合意とする．

#### 4 評価実験

本実験では，ランダムに生成された効用関数をもつエージェント間の交渉を50回試作した結果の平均値をとる．ここでは，論点数が変化した場合の，依存度による部分的合意形成手法及び論点数による部分的合意

形成手法の結果を評価する．また，各手法の合意形成順は降順と昇順に論点グループをソートした結果を示す．また，比較用に論点をランダムにグループ化しランダムに合意形成順を決定した手法により得られた合意案の効用値を1.0として評価の基準とする．

実験で変化させる場合を除いて，論点数は10，エージェント数は6である．各エージェントにおける効用関数の制約数は10(単項制約)，5(単項制約を除く各次元)とし，制約の最大効用は300\*(論点数)，制約の最大範囲は7である．

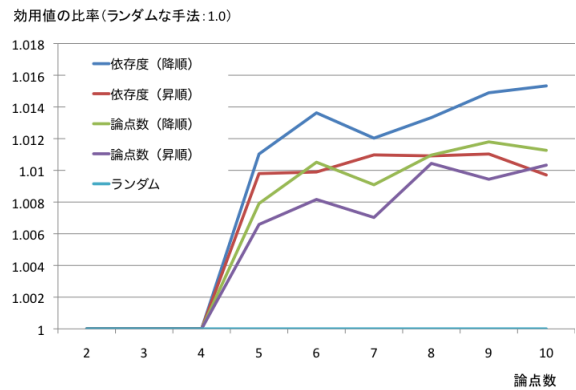


図3: 論点数ごとの実験結果

図3のように，依存度による手法及び論点数による手法の両方がランダムな手法を上回っている．よって，論点の相互依存関係に注目した論点のグループ分けや合意形成順の決定が有効であることを示している．また，依存度，論点数共に降順ソートの方が効果的である．

#### 5 まとめ

本論文では，論点を相互依存関係に基づいてグループ化して段階的に合意形成を行うことで，複数論点交渉問題に部分的な合意形成プロセスを導入した．評価実験により，論点間の相互依存関係に注目した手法が部分的な合意形成に有効であることを示した．今後の課題としては，手法のさらなる改善と実際のシステムへの応用などが考えられる．

#### 参考文献

- [1] 服部宏充, 伊藤孝行, Mark Klein: “非線形効用関数を持つエージェントのためのオークションに基づく交渉プロトコル”, 電子情報通信学会論文誌 D-I, 電子情報通信学会, VOL. J89-D, (2006)
- [2] 水谷信泰, 藤田桂英, 伊藤孝行, “グループ効用最適化のための論点クラスターと分散GAを用いた手法”, 第24回人工知能学会全国大会 (JSAI2010), (2010)