

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04216

研究課題名（和文）交渉ダイアログからのマルチエージェント自動交渉による合意形成支援

研究課題名（英文）Consensus Support based on Multi-agent Automated Negotiation from Dialogs

研究代表者

藤田 桂英 (Fujita, Katsuhide)

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：00625676

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、エージェントが人間同士の自然言語による交渉に介入し、適切な合意案をフィードバックする方法論を明らかにすることを目標とした。さらに、人間の交渉参加者同士が自然言語での交渉中に人工知能が交渉参加者の効用を自動的に推定し、合意案を予測しながら、適切にフィードバックを行うWebシステムの実現を目指した。上記の実現のために、交渉ダイアログからの効用推定、合意案の予測、合意形成のためのフィードバック方法の解明、システムとしての実装とその検証に関する解明を学術研究の観点から行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在社会において交渉はスケジュールの決定や売買における価格決定など重要な要素となっている。しかし、現実の交渉は時間がかかり、合意できない場合があるなど大変コストが高い。そこで、エージェントが交渉を支援することで大規模・大多数の交渉を並列に実施できる可能性がでてくる。これまでの学術研究では閉じた設定でのエージェント同士の交渉に関する研究されていたが、本研究を通じてオンラインチャット等で行われる自然言語の人間同士の交渉から相手の考えや好みを解析して自動交渉を現実の交渉に適用させる可能性が見出せた。今後、自動交渉による調整を基盤として、AI間やAIと人間の協調を実現できる。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to clarify the approaches in which the agent supports the negotiation using natural language among humans and leads to the appropriate consensus. In addition, it aimed to realize the web system that automatically estimates the participants' preferences during the negotiation, assumes the agreements, and provides appropriate feedback to participants. In order to realize the above scenario, we proposed the breakthrough of elicitation from the negotiation dialogues, estimation of the agreements, implementation and evaluation of a web system from the academic view.

研究分野：人工知能

キーワード：マルチエージェントシステム 自動交渉 自然言語処理 合意形成支援

### 1. 研究開始当初の背景

現在社会において交渉はスケジュールの決定や売買における価格決定など重要な要素となっている。しかし、交渉は時間がかかり、合意できない場合があるなど大変コストが高い。そこで、エージェントが現実の交渉を支援することが重要となりつつある。これは、エージェントが交渉を支援し合意案を発見することで、人間のみの場合と比較して高速に交渉シミュレーションが行えるため、小規模・大多数の交渉を並列に実施し、新たな合意案を発見できる可能性がある。学術研究においては、いくつか閉じた設定でのエージェント同士の交渉は研究され始めているが、オンラインチャット等で行われる自然言語の人間同士の交渉から相手の考えや好みを解析して支援する仕組みはできていない。また、これまでの学術研究におけるエージェントは明確な効用（自己の消費する物質的な手段やサービスから受ける満足の度合いを数量的に表現したもの）を仮定しているが、実際の人間の効用はあいまいである。さらに、エージェントが導出した合意案を現実世界の交渉へフィードバックする方法に関する知見も少ない。以上のように、人間の交渉に対して、エージェントによる適切な支援を目的とした学術研究や、それらを応用した Web システムを実現した例はほとんどない。人間社会で必須であるエージェントによる交渉支援に関する研究も不十分であり、さらなる学術研究の推進と Web システムやサービスとしての実現は急務である。

### 2. 研究の目的

エージェントが人間同士の自然言語による交渉に介入し、適切な合意案をフィードバックする方法論を明らかにする。さらに、人間の交渉参加者同士が自然言語で交渉をしている最中に、エージェントが交渉参加者の効用を自動的に推定し、合意案を予測しながら、予測結果を適切な形でフィードバックする Web システムの実現を目指す。しかし、上記のシナリオの実現のためには、自然言語の交渉ダイアログからの効用推定、合意案の予測、フィードバックに関して、学術的観点からの解明が必要となる。また、これらを Web システムとして実現し、現実問題へ適用するための検証も必要となる。

上記の問いを達成するために、以下の4つの目的を設定する。

- 目的(1): 自然言語交渉ダイアログからの効用推定法を解明
- 目的(2): 交渉シミュレーションによる適切な合意案の予測法の解明
- 目的(3): 現実の人間同士の交渉を合意へ導くフィードバック法の解明
- 目的(4): (1)～(3)を融合した Web システムの構築と現実問題への適用可能性の検証

### 3. 研究の方法

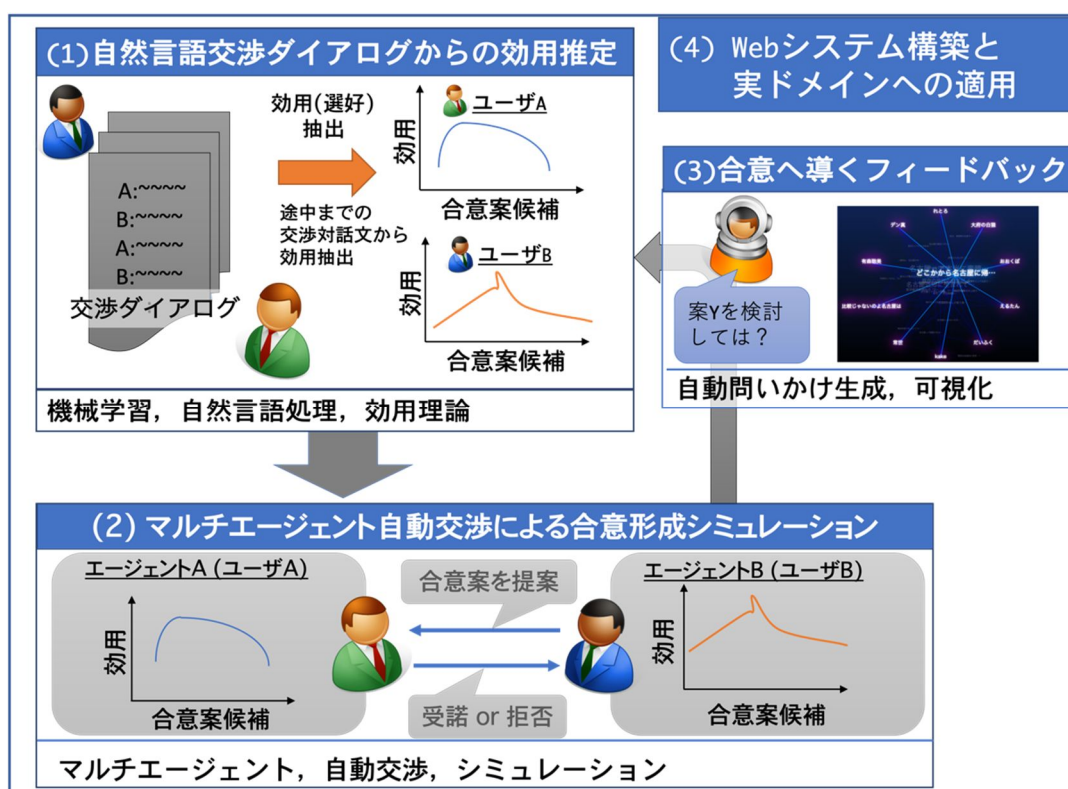


図 1: 研究の方法の流れ

図1は本研究の方法の流れを示すものである。以下に目的ごとに詳細を示す。

#### 目的(1) 自然言語交渉ダイアログからの効用推定法の開拓

本研究では、交渉における論点数が多い場合や論点間に依存関係がある場合のような複雑な交渉ダイアログデータの作成とそれらのデータにおいて高い効用推定を行うことが可能な手法の開拓を行う。まず、クラウドソーシングを活用し、複雑な交渉ダイアログデータ作成を行う。次に、すでに研究代表者が提案している深層学習モデルを発展させることで目標とする精度を達成する。最終的に、現実的な交渉問題設定(論点数が多い、論点間に依存関係が存在)において、新たに提案する手法が、高い精度で交渉参加者の効用を推定できることを明らかにする。

#### 目的(2) マルチエージェント自動交渉による交渉シミュレーション法の実現

マルチエージェントシステムにおける自動交渉の研究を発展させ交渉シミュレーションによる将来の合意案予測に発展させる。特に、近年発展が目覚ましい強化学習を自動交渉と融合させ、高速かつ高性能な交渉シミュレーションを実現する。最終的に、現実的なリスボンスタイムでシミュレーションを行い、適切な合意案を発見できることを明らかにする。

#### 目的(3) 現実の人間同士の交渉を合意へ導くフィードバック法の開拓

人間の交渉は自然言語であることから、まずは、自然言語文による問いかけでフィードバックすることを検証する。問いかけ文の自動生成には、大規模言語モデルによる自動文書生成、もしくは、問いかけテンプレート活用した手法を用いる。さらに、交渉過程の可視化や複数の合意案候補とその選択理由を示すフィードバックも検討する。最終的に、様々な方法でのフィードバックに対して、現実世界の交渉や合意形成に影響を与えるかを解析し明らかにする。

#### 目的(4) Web システム構築と実ドメインへの適用

ユーザがフォームに自然言語で投稿し、交渉を行いながら、適切なタイミングで目的(1)~(3)の各機能が動作する Web システムを構築する。さらに、実ドメインを一つ決定し、そこで構築したシステムを動作させ、有効性を評価する。

上記の目的(1)-(4)の達成のために、研究代表者の他に、大学院生を研究協力者として加えた計10名程度で遂行する。また、国内外のマルチエージェント自動交渉や Argumentation Mining の専門家らを中心に外部連携も行う。

## 4. 研究成果

#### 目的(1) 自然言語交渉ダイアログからの効用推定法の開拓

議論および交渉ダイアログデータの収集、拡張、アノテーションを行った。これまでの交渉に特化した自然言語対話コーパスは、問題設定が単純化されているうえに規模が小さいため、深層学習等には向いていない。そこで、既存コーパスより大規模で、より複雑な交渉を扱ったデータセットをクラウドソーシング等で生成した。さらに、独自のアノテーションスキームを提案し、効率的かつ質の高いアノテーションを実施した。アノテーションする各文章のスキームとして、オファーおよびカウンターオファー、質疑応答、挨拶など自動交渉研究から想定される要素の種別のスキームとともに、質問-回答など各要素同士の関係スキームを新たに定義した。多人数でのアノテーションを実施し、アノテーション時に意見の齟齬が発生した場合は議論により決定するなど、質の高いタグつきコーパスの作成を行なった。本研究成果は、国際会議 LREC2020 などで発表した。

最新の深層学習モデルを中心に、交渉の成否判定に有効な要素と構造情報(特に発言したユーザ情報)を生かした学習モデルを構築し、大幅な性能向上を目指した。新たに、大規模言語モデルである BERT を Fine Tuning するアプローチと交渉独自の流れのモデルである Constrained flow 取り入れた GRU による分類・抽出手法を提案した。これらの提案手法は、最先端の手法と比較して大幅な性能向上を実現している。本研究成果は、国際会議 EACL2021 などで発表した。

#### 目的(2) マルチエージェント自動交渉による交渉シミュレーション法の実現

基盤となる交渉プラットフォームとして NegoSim を国際共同研究により開発した(図2)。NegoSim は最先端の EUBOA(elicitation strategy, user modeling, bidding strategy, opponent modeling, acceptance strategy)と呼ばれる交渉戦略モデルの開発を支援しながら、交渉エージェントの開発者が容易に使える API とその解析ツールを導入している。本成果は国際論文誌 Applied Sciences にて発表した。

自動交渉戦略の獲得のために深層強化学習に基づいた新たな End-to-End の学習フレームワークを考案し、既存交渉エージェントとの交渉シミュレーションにより提案したアプローチに基づくエージェントが高性能な交渉戦略であることを示した(図3)。さらに、提案した学習フレームワークが交渉ドメインの大きさに対してスケールしない課題を解決するために、交渉問題独自の特徴を活用した Policy ベースの深層強化学習モデル MiPN (Multi-

Issue Policy Network) を提案し、評価実験を通じて提案手法 MiPN の有効性を示した。また、深層強化学習により学習したエージェント戦略の動作の特徴を解析により明らかにした。本研究成果は国際会議 AAAI2022, AAAI2023 など で発表した。

### 目的(3) 現実の人間同士の交渉を合意へ導くフィードバック法の開拓

人間の交渉は自然言語であることから、自然言語文による問いかけでフィードバックすること検証した。問いかけ文の自動生成には、End-to-End 深層学習による自然言語文生成手法の検討を中心に行なった。

### 目的(4) Web システム構築と実ドメインへの適用

ユーザがフォームに自然言語で投稿し、交渉を行いながら、適切なタイミングで各機能が動作するシステムの構築を目指して、製造サプライチェーンの並列交渉をユースケースを対象とした。

本研究期間中に自動交渉エージェント戦略の共通評価プラットフォームの確立のため、国際自動交渉エージェント競技会(ANAC)を Delft University of Technology (オランダ)の Catholijn M. Jonker 教授、Centrum Wiskunde & Informatica (オランダ)の Tim Baarslag 博士、Ozyegin University (トルコ)の Reyhan Aydoğan 博士と共同実施した。ANAC において、本研究成果の実ドメイン適用を目指すために、製造バリューチェーンにおける自動交渉エージェントを想定した競技会であるサプライチェーンマネジメントリーグ(SCML)を新たに立ち上げた。SCML を含めた ANAC の概要および競技会結果に関しては、国際会議 IJCAI-22 の Proceedings や人工知能学会誌などで発表した。

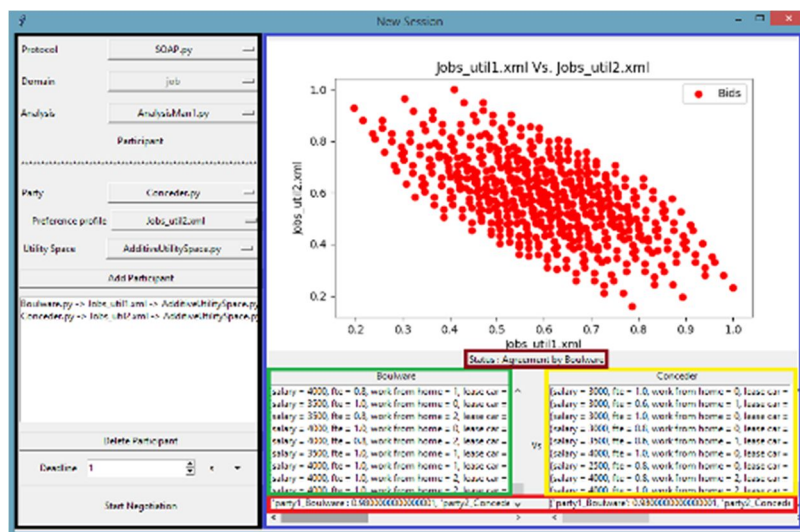


図 2: NegoSim のユーザーインターフェース画面

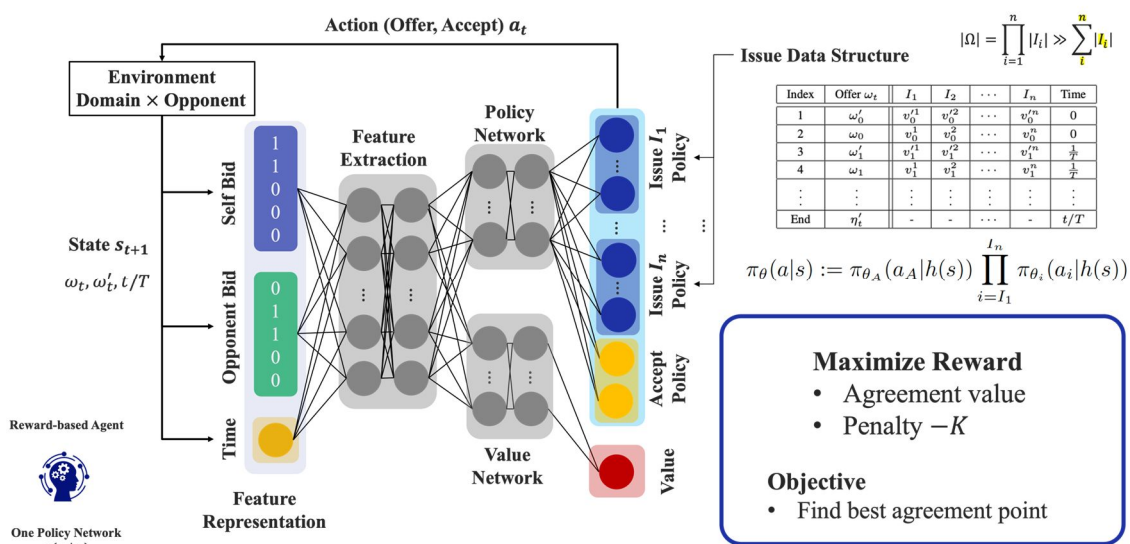


図 3: MiPN の深層強化学習フレームワーク

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 モハマッド ヤセル、中台 慎二、森永 聡、藤田 桂英	4. 巻 35
2. 論文標題 サプライチェーンマネジメントリーグ (SCML) 製造バリューチェーンにおける自動交渉エージェントを想定した競技会	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 351 ~ 358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11517/jjsai.35.3_351	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yuta Hosokawa, Katsuhide Fujita	4. 巻 E103.D
2. 論文標題 Opponent's Preference Estimation Considering Their Offer Transition in Multi-Issue Closed Negotiations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2531 ~ 2539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2020SAP0001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ryohei Kawata, Katsuhide Fujita	4. 巻 E103.D
2. 論文標題 Meta-Strategy Based on Multi-Armed Bandit Approach for Multi-Time Negotiation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2540 ~ 2548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2020SAP0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Aydogan Reyhan, Baarslag Tim, Fujita Katsuhide, Mell Johnathan, Gratch Jonathan, de Jonge Dave, Mohammad Yasser, Nakadai Shinji, Morinaga Satoshi, Osawa Hirotaka, Aranha Claus, Jonker Catholijn M.	4. 巻 1
2. 論文標題 Challenges and Main Results of the Automated Negotiating Agents Competition (ANAC) 2019	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Multi-Agent Systems and Agreement Technologies (AT-2020)	6. 最初と最後の頁 366 ~ 381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-66412-1_23	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Egawa Ryo, Morio Gaku, Fujita Katsuhide	4. 巻 1
2. 論文標題 Corpus for Modeling User Interactions in Online Persuasive Discussions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 12th Language Resources and Evaluation Conference (LREC-2020)	6. 最初と最後の頁 1135 ~ 1141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Atsuki Yamaguchi, Kosui Iwasa, Katsuhide Fujita	4. 巻 -
2. 論文標題 Dialogue Act-based Breakdown Detection in Negotiation Dialogues	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL-2021)	6. 最初と最後の頁 745 ~ 757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18653/v1/2021.eacl-main.63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Toki, Higa Ryota, Fujita Katsuhide, Nakadai Shinji	4. 巻 36
2. 論文標題 VeNAS: Versatile Negotiating Agent Strategy via Deep Reinforcement Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the Thirty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-22)	6. 最初と最後の頁 13065 ~ 13066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/aaai.v36i11.21669	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ebrahimnezhad Arash, Fujita Katsuhide	4. 巻 13
2. 論文標題 NegoSim: A Modular and Extendable Automated Negotiation Simulation Platform Considering EUBOA	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app13010642	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 藤田 桂英	4. 巻 67(1)
2. 論文標題 マルチエージェントシステムにおける自動交渉の研究動向	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 システム制御情報学会誌	6. 最初と最後の頁 25～32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Takumu Shimizu, Ryota Higa, Toki Takahashi, Katsuhide Fujita and Shinji Nakadai
2. 発表標題 Scalable Negotiating Agent Strategy via Multi-issue Policy Network
3. 学会等名 AAAI-23: Thirty-Seventh AAAI Conference on Artificial Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryota Higa, Katsuhide Fujita, Toki Takahashi, Takumu Shimizu, Shinji Nakadai
2. 発表標題 Reward-based Negotiating Agent Strategies
3. 学会等名 AAAI-23: Thirty-Seventh AAAI Conference on Artificial Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 学習装置、学習システム、提案決定装置、学習方法及びプログラム	発明者 高橋 唐樹, 比嘉 亮太, 藤田 桂英, 中台 慎二	権利者 日本電気株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特開2023-035039	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オランダ	Delft University of Technology	Centrum Wiskunde & Informatica (CWI)		
トルコ	Ozyegin University			