

心理的効果を用いた人間とエージェントの 繰り返し交渉戦略

Strategy using psychological effects for multi-round human-agent
negotiation

松下 昌悟

Shogo MATSUSHITA

(2017 年度入学, 17268508)



指導教員 藤田 桂英 准教授

東京農工大学 工学部 情報工学科

2018 年度卒業論文

(平成 31 年 1 月 31 日提出)

題目 心理的效果を用いた人間とエージェントの繰り返し交渉戦略

Strategy using psychological effects for multi-round human-agent negotiation

学籍番号 17268508 氏名 松下 昌悟 (Shogo MATSUSHITA)

提出日 平成 31 年 1 月 31 日

交渉スキルは友人への頼みごと等の小規模な問題だけでなく企業の提携, 国家間の取引等の大規模な問題を解決する際に必要である。しかし, 交渉スキルを高めるには専門家による指導を受け, 実践する必要があるため習得コストが非常に高い。特に, 交渉はビジネス, 衝突解消, AI など複数の分野で研究されているが, 近年では交渉スキルの教育ツールなどへ応用が可能であるため, 人間とエージェントとの交渉への関心が高まっている。

人間とエージェントの交渉では感情表現が及ぼす効果や, 単一の交渉において効果のある戦略等が研究されている。一方で, 繰り返し行われる交渉に対応できる戦略が少ないのが現状である。

そこで本論文では, 同じ対戦相手に繰り返し行われる交渉に対する戦略として, 人間の心理的效果を利用した交渉術である段階的要請法と譲歩的要請法を組み合わせた手法を提案する。提案手法では, 1 回の交渉内では時間が経過するごとに提案を受諾する水準を変化させ, 同時に相手との交渉回数が増加するごとに水準を変化させる。2 つの水準の変化に対して段階的要請法, 譲歩的要請法, 水準を変化させない方法の 3 種類からそれぞれ 1 つずつ適用し, これらを組み合わせた 8 種類の戦略を提案し, IAGO のサンプルエージェントと比較を行う。評価実験を行う前に予備実験を実施し, 8 種類の戦略を適用したエージェントと予備実験用のエージェントでそれぞれ交渉を行い, 段階的要請法と譲歩的要請法に用いるパラメータを決定した。

さらに, 決定したパラメータを用いて 9 人の被験者に対してエージェントと交渉する実験を行った。評価実験において, 8 種類の戦略のうち 4 種が IAGO のサンプルエージェントよりも高い効用を得ることを示した。また, エージェントと人間が得られた効用の差を比較すると 8 種類の戦略すべてが IAGO のサンプルエージェントより高いことを示した。

目 次

第 1 章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	本研究の目的	1
1.3	本論文の構成	1
第 2 章	関連研究	2
2.1	自動交渉エージェント競技会 (ANAC)	2
2.1.1	ANAC	2
2.1.2	IAGO	2
2.2	自動交渉における心理的効果に関する研究	2
第 3 章	問題設定	4
3.1	複数論点交渉問題	4
3.2	繰り返し交渉問題	5
第 4 章	心理的効果を用いた人間とエージェントの繰り返し交渉戦略	6
4.1	段階的要請法 (Foot-in-the-Door technique)	6
4.2	譲歩的要請法 (Door-in-the-Face technique)	7
4.3	段階的要請法と譲歩的要請法を組み合わせた交渉戦略の提案	7
第 5 章	予備実験	10
5.1	目的と概要	10
5.2	実験設定	10
5.3	実験結果と考察	12
5.3.1	パラメータ α の実験結果と考察	15
5.3.2	パラメータ β の実験結果と考察	20

第 6 章	評価実験	24
6.1	実験設定	24
6.1.1	実験で使⽤したドメイン	24
6.1.2	パラメータ設定	24
6.2	実験結果と考察	24
第 7 章	おわりに	26
7.1	まとめ	26
7.2	今後の課題	26

図 目 次

2.1	IAGO のインタフェース	3
4.1	段階的要請法の概要	6
4.2	譲歩的要請法の概要	7
4.3	提案手法の概要	8
5.1	提案手法のエージェントの個人効用	13
5.2	エージェントの社会的余剰	13
5.3	提案手法のエージェントの交渉決裂率	14
5.4	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (1)	15
5.5	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (2)	16
5.6	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (3)	16
5.7	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (1)	17
5.8	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (2)	17
5.9	提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (3)	18
5.10	α の更新回数に対する個人効用	19
5.11	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (1)	20
5.12	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (2)	20
5.13	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (3)	21
5.14	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (1)	21
5.15	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (2)	22
5.16	提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (3)	22
6.1	エージェントと被験者の得られた効用の差分	24
6.2	エージェントと被験者の社会的余剰	25
6.3	エージェントの交渉決裂率	25

表 目 次

4.1	戦略の組み合わせ	9
5.1	予備実験で用いるドメイン	10
5.2	予備実験で用いるパラメータ	10
5.3	各論点の価値	11
5.4	予備実験用のエージェントに用いるパラメータ	12

第1章 はじめに

1.1 背景

交渉スキルは友人への頼みごと等の小規模な問題だけでなく企業の提携，国家間の取引等の大規模な問題を解決する際に必要である．しかし，交渉スキルを高めるには専門家による指導を受け，実践する必要があるため習得コストが非常に高い．交渉はビジネス，衝突解消，AIなど複数の分野で研究されているが，近年では交渉スキルの教育ツールなどへ応用が可能であるため，人間とエージェントとの交渉への関心が高まっている．

人間とエージェントとの交渉では感情表現が及ぼす効果や，単一の交渉において効果のある戦略等が研究されている．一方で，繰り返し行われる交渉に対応できる戦略が少ないのが現状である．

1.2 本研究の目的

本研究では，人間の心理的効果を利用した交渉術である段階的要請法および譲歩的要請法に着目し，これらの手法を人間とエージェントの自動交渉に用いることで繰り返し交渉に対応可能な戦略を提案する．

また，提案手法および IAGO のベースラインのエージェントと人間による交渉を行う実験を実施し評価を行うことで，提案手法の有効性を示すことを目的とする．

1.3 本論文の構成

以下に本論文の構成を述べる．第2章では，関連研究として，自動交渉エージェント競技会の概要と IAGO の概要について述べる．第3章では，提案手法の詳細として，段階的要請法および譲歩的要請法とこれらを組み合わせた繰り返し戦略について述べる．第4章では繰り返し戦略に用いるパラメータを決定する予備実験の結果について述べる．その後，第5章では評価実験についての結果と考察を示す．最後に，第6章では本研究のまとめと今後の課題を示す．

第2章 関連研究

2.1 自動交渉エージェント競技会 (ANAC)

2.1.1 ANAC

自動交渉エージェント競技会 (Automated Negotiation Agent Competition)[1]

2.1.2 IAGO

IAGO(Interactive Arbitration Guide Online) は ANAC の Human-agent Negotiation リーグで使用される自動交渉のプラットフォームである。IAGO のインタフェースを図 2.1 に示す。IAGO では、人間と交渉を行うエージェントおよび交渉のドメインを作成することが可能である。IAGO の特徴として以下の 3 点が挙げられる [2]。

1. WEB 上で動作する
2. API が公開されている
3. 人間同士の交渉で用いられるチャンネルが利用可能

第 1 の特徴により、エージェントと交渉を行うクライアントは WEB ブラウザ上で交渉を行うことが可能である。したがって、クライアントはソフトウェアのインストールなどを行うことなく交渉を開始することができる。第 2 の特徴により、競技会や研究のためのエージェントおよび交渉ドメインの設計を容易に行うことが可能となる。第 3 の特徴により、エージェントおよびクライアントは感情の表出、メッセージの送信、選好の公開および誘発などを交渉中に行うことが可能となる。これにより、人間同士の交渉で用いられるチャンネルによる交渉結果への影響を研究することおよびこれらのチャンネルを利用した交渉を行うエージェントを作成することが容易となる。

2.2 自動交渉における心理的效果に関する研究

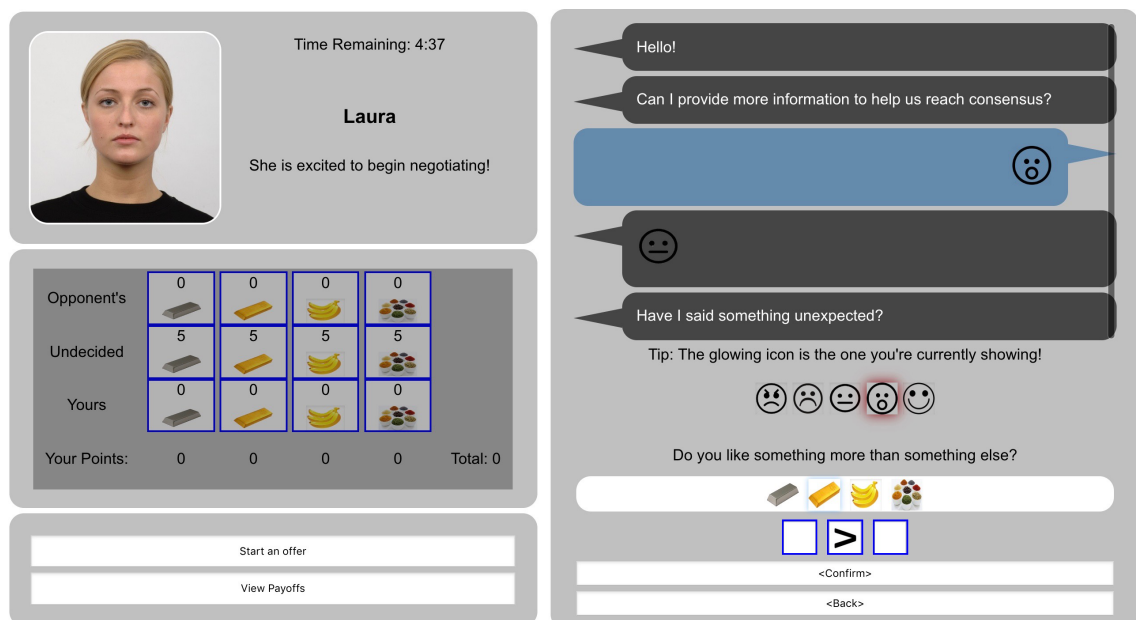


図 2.1: IAGO のインタフェース

第3章 問題設定

3.1 複数論点交渉問題

本研究では、交渉問題の中でも論点が複数存在する複数論点交渉問題を扱う。エージェント A_1 と A_2 が交渉を行う場合を考える。エージェント $a \in \{A_1, A_2\}$ の目的関数 f は、 a の効用関数 U_a と全ての合意案候補集合 S を用いると式 3.1 と表すことができる。

$$f = \arg \max_{s \in S} U_a(s) \quad (3.1)$$

複数論点交渉問題の場合、目的関数 g は式 3.2 で表され、この目的関数の値は社会的余剰と呼ばれる。

$$g = \arg \max_{s \in S} \sum_{a \in \{A_1, A_2\}} U_a(s) \quad (3.2)$$

一つの交渉問題はそれぞれドメインと呼ばれ、論点数 N のドメインは固有の論点集合 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_N\}$ を持つ。また、論点 $i_k \in I$ は選択枝集合 $V_k = \{v_{k1}, v_{k2}, \dots, v_{kn_k}\}$ を持つ。ただし、論点 i_k の選択枝数を n_k と定義する。

各論点 $i_k \in I$ についてそれぞれ選択枝 $v_k \in V_k$ を一つずつ選んだものを合意案候補 (Bid) と呼び、 $s = (v_1, v_2, \dots, v_N)$ として表現される。また、全ての合意案候補集合 S は式 3.3 と表すことができる。

$$S = \{s = (v_1, v_2, \dots, v_N) \mid v_k \in V_k, 1 \leq k \leq N\} \quad (3.3)$$

エージェントは各論点 i_k について重み w_k ($\sum_{k=1}^N w_k = 1$) および選択枝の評価値 $eval(v_k \in V_k)$ を持つ。ただし、 $eval(v_k \in V_k)$ は最大値が1となるように正規化されているものとする。このとき、エージェントの効用関数 U は式 3.4 となる。

$$U(s) = \sum_{k=1}^N w_k \cdot eval(v_k) \quad (3.4)$$

また、各エージェントに対し留保価格 (reservation value) 設定される場合がある。留保価格は合意形成に失敗した際にエージェントが獲得できる効用値である。

3.2 繰り返し交渉問題

本研究では、繰り返し交渉問題を扱う。繰り返し交渉問題は、交渉問題の中でエージェント A_1 と A_2 が複数回交渉を行うものを指す。本研究では、繰り返し交渉問題の中でも特に、以下の2つの関係を満たす交渉問題について取り扱う。

1. 各交渉において各論点における各選択肢の一番高い値をエージェント A_1 が選択した場合の効用 U_1 と A_2 が選択した場合の効用 U_2 は等しい
2. $1, 2, \dots, n$ 回目の交渉において U_1 および U_2 の値は不変である

エージェント $a = \{A_1, A_2\}$ にとっての論点 i_k についての選択肢の実際の価値を $val(v_{ak} \in V_{ak})$ とすると、各交渉におけるエージェント A_1 と A_2 の効用値の関係は式 3.5 となる。

$$\sum_{k=1}^N w_{A_1 k} \cdot val(v_{A_1 k}) = \sum_{k=1}^N w_{A_2 k} \cdot val(v_{A_2 k}) \quad (3.5)$$

また、 n 回目の交渉におけるエージェント $a = \{A_1, A_2\}$ にとっての論点 i_k についての重みを $w_{A_1 k}^n$ 選択肢の実際の価値を $val(v_{ak}^n \in V_{ak}^n)$ とすると、 $1, 2, \dots, n$ 回目の交渉における効用値の関係は式 3.6 となる。

$$\sum_{k=1}^N w_{ak}^1 \cdot val(v_{ak}^1) = \sum_{k=1}^N w_{ak}^2 \cdot val(v_{ak}^2) = \dots = \sum_{k=1}^N w_{ak}^n \cdot val(v_{ak}^n) \quad (3.6)$$

第4章 心理的効果を用いた人間とエージェントの 繰り返し交渉戦略

4.1 段階的要請法 (Foot-in-the-Door technique)

段階的要請法は交渉の際に用いられる心理的手法である。段階的要請法の概要を図 4.1 に示す。段階的要請法では、最初に相手に対して小さい要求を行い、徐々に要求を上げていく手法である。この手法は自分の行動を一貫したものにしたいという人間の「一貫性の原理」を利用した交渉術である。

図 4.1 では売り手は買い手に対して話を聞いてもらうという小さな要求を行い、次にこの要求を承諾した買い手に対して商品を購入してもらうという大きな要求を行なっている。このように、段階的要請法では事前に小さな要求を相手に承諾させることで真の要求を相手に拒否させづらくさせることが可能である。

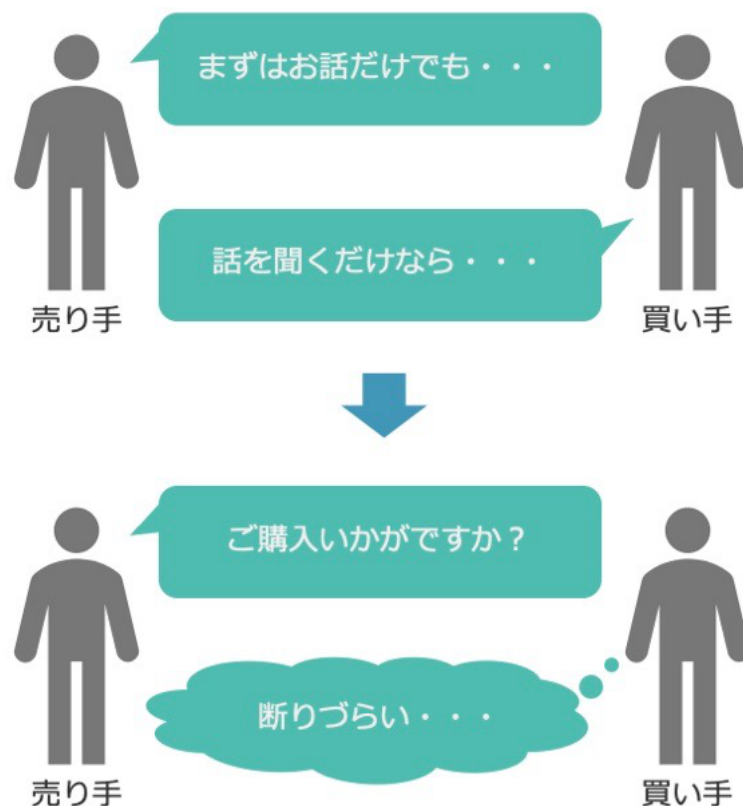


図 4.1: 段階的要請法の概要

4.2 譲歩的要請法 (Door-in-the-Face technique)

譲歩的要請法は交渉の際に用いられる心理的手法である。譲歩的要請法の概要を図 4.2 に示す。譲歩的要請法では、段階的要請法とは対照的に最初に相手に対して大きい要求を行い、徐々に要求を下げていく手法である。この手法は相手が譲歩してきたため自分も譲歩した方が良いという人間の返報性の原理を利用した交渉術である。

図 4.2 では売り手は買い手に対して 3 万円で商品を買ってもらおうという大きな要求を行い、次にこの要求を拒否した買い手に対して商品を値下げし 2 万円で商品を買ってもらおうという小さな要求を行なっている。このように、譲歩的要請法では事前に大きな要求を行い、相手に要求を拒否させることで真の要求を相手に拒否させづらくさせることが可能である。

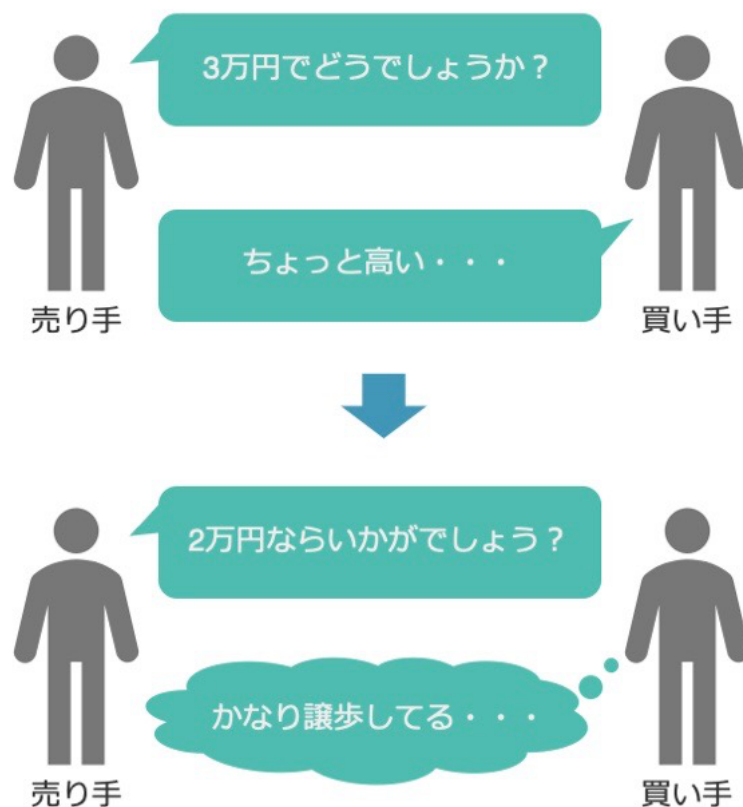


図 4.2: 譲歩的要請法の概要

4.3 段階的要請法と譲歩的要請法を組み合わせた交渉戦略の提案

本稿では、先述した段階的要請法と譲歩的要請法を組み合わせることで繰り返し交渉に対応した戦略を提案する。提案手法の概要を図 4.3 に示す。以下、1 回目の交渉開始時に相手の提案を受諾する水準を L 、交渉の時間経過に伴って水準 L に加算する値を α 、交渉回数の増加に伴って水準 L に

加算する値を β と定義する.なお L は相手から送信された提案における相手の推定効用の値である.提案手法では相手の提案を受諾する水準を変化させる.1回の交渉ごとでは,時間経過に伴って水準を変化させる.すなわち,図4.3のように交渉開始時の水準が L であった場合,時間経過によって水準を $L \pm \alpha$ に変化させる.以下, α を内側のパラメータ, α を使用する戦略を内側の戦略と記述する.また,同時に交渉回数の増加に伴って水準を変化させる.すなわち,図4.3のように交渉開始時の水準が L であった場合,2回目の交渉開始時の水準を $L \pm \beta$ に変化させる.以下, β を外側のパラメータ, β を使用する戦略を外側の戦略と記述する.

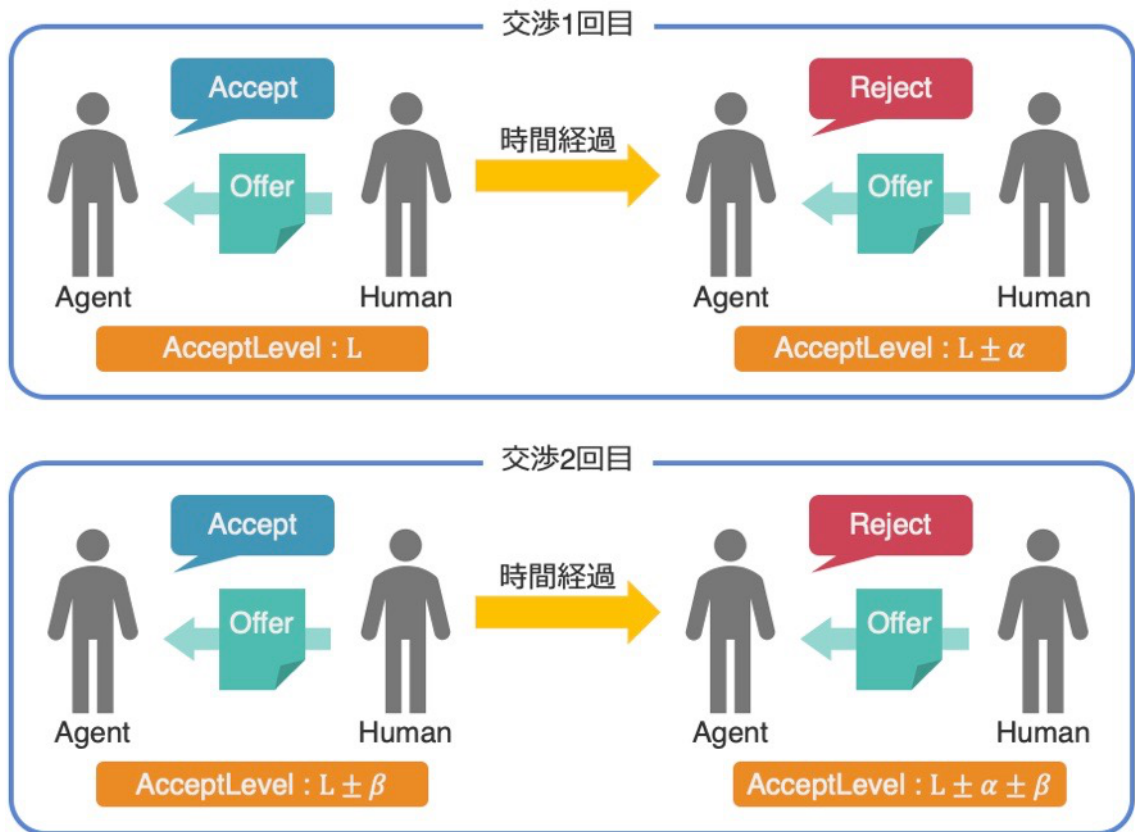


図 4.3: 提案手法の概要

提案手法では, これら 2 種類の水準の変化を組み合わせることで, 繰り返し交渉に対応する. 水準の変化にそれぞれ段階的要請法, 譲歩的要請法, 水準を変化させない方法の 3 種類を適用した 9 種類の戦略を提案する. 戦略の組み合わせと対応する戦略名を表 4.1 に示す. 表 4.1 の 9 種の戦略の内, 内側および外側の戦略がどちらも変化しない NotNot はベースラインとして使用し, NotNot を除外した 8 種類の戦略を提案手法とし, 第 4 章の予備実験および第 5 章の評価実験を行う.

表 4.1: 戦略の組み合わせ

戦略名	内側の戦略	外側の戦略	α の値	β の値
NotNot	なし	なし	0	0
NotFoot		段階的要請法		> 0
NotDoor		譲歩的要請法		< 0
FootNot	段階的要請法	なし	> 0	0
FootFoot		段階的要請法		> 0
FootDoor		譲歩的要請法		< 0
DoorNot	譲歩的要請法	なし	< 0	0
DoorFoot		段階的要請法		> 0
DoorDoor		譲歩的要請法		< 0

第5章 予備実験

5.1 目的と概要

提案手法に用いる各種パラメータを決定することを目的としてエージェント同士での交渉を行う実験を行う。具体的には提案手法の戦略を適用した8つのエージェントと予備実験用の戦略を適用したエージェントでそれぞれ交渉を行う。本実験では、提案手法の戦略を適用したエージェントの個人効用が高いほど良いパラメータであると評価する。

5.2 実験設定

本実験では、各論点が0～5の計6つの選択肢を有する、4つの論点について交渉を行う。

本実験で用いるドメインの詳細およびパラメータを表5.1、表5.2にそれぞれ示す。

表 5.1: 予備実験で用いるドメイン

論点数	各論点の選択肢数	繰り返し回数	留保価格
4	6	5	4

表 5.2: 予備実験で用いるパラメータ

	α の初期値	α の増分	β の初期値	β の増分	α の更新回数
取りうる値	0.0 ～ 8.0	0.5 ～ 4.0	0.0 ～ 8.0	0.5 ～ 4.0	1 ～ 10
刻み幅	1.0	0.5	1.0	0.5	1
取りうる値の総数	9	8	9	8	10

本実験では表5.1に示したように、1セット5回の交渉を行う。各論点の価値は1セットごとにランダムに変化させるが、各論点の価値は1～4の間の整数値で重複はない。また、提案手法のエージェントにとって価値が一番高いものは予備実験用のエージェントにとって一番価値が低いといったように、一方にとって価値が高いものはもう一方にとって価値が低くなるように設定する。各論点の価値の例を表5.3に示す。論点1を例にとると、提案手法のエージェントにとっての価値は4であり、一番価値がある論点となる。対して予備実験用のエージェントにとっての価値は1であり、

一番価値がない論点となる。本実験では各論点に対して 0 から 5 の計 6 つの選択肢が存在し、提案手法のエージェントと予備実験用エージェントは同一の論点において選択肢の値の合計は 5 以下でなければならない。例として、提案手法のエージェントが論点 1 において選択肢 3 を選択した場合、予備実験用エージェントは論点 1 において選択肢 3,4,5 を選択することはできない。最終的に全ての論点において両エージェントの選択肢数の合計が 5 となった提案 (FullOffer) が受諾された場合、交渉は終了する。時間内に全ての論点における両エージェントの選択肢数の合計が 5 にならなかった場合、両エージェントは留保価格が個人効用となる。本実験では交渉が合意に至った場合、交渉終了時の選択肢の値に各論点の価値を乗じた値がエージェントの個人効用となる。すなわち、式 3.5 の w_{ak} が論点の価値、 $val(v_{ak})$ が各論点の選択肢の値としたものが個人効用となる。表 5.3 でそれぞれの価値が与えられている場合、提案手法のエージェントが論点 1 で選択肢 3、論点 2 と論点 3 で選択肢 4、論点 4 で選択肢 0 を選択していた場合、個人効用は 32 となる。一方で、予備実験用エージェントは論点 1 で選択肢 2、論点 2 と論点 3 で選択肢 1、論点 4 で選択肢 5 を選択しているため、個人効用は 27 となる。この場合、提案手法のエージェントが論点 1 および論点 3 で選択肢 5、予備実験用エージェントが論点 2 および論点 4 で選択肢 5 を選択した場合社会的余剰が最大となる。社会的余剰が最大となるような提案で合意した場合、エージェントの個人効用は両者ともに 35、社会的余剰は 70 となる。

表 5.3: 各論点の価値

	論点 1 の価値	論点 2 の価値	論点 3 の価値	論点 4 の価値
提案手法のエージェント	4	2	3	1
予備実験用エージェント	1	3	2	4

この実験では 300 ターンで 1 回の交渉が構成されている。1 ターンで各エージェントは以下の行動のいずれかを行う。

1. 両エージェントは自分の選好の相対的な関係を 1 つ相手に伝える
2. 一方のエージェントはもう一方のエージェントに提案を行う
3. 自分に送られてきた提案を受諾もしくは拒否する

(1) に関しては 10% の確率で (2),(3) が行われる前に実行される。(2),(3) に関しては提案手法のエージェントと予備実験用エージェントのどちらか一方が必ず行う。(2) によって自分に対して提案が行われていた場合は (3)、提案が行われていない場合は (2) を行う。(2) または (3) が行われ

た場合,1 ターンが終了し次のターンが開始する. (3) で受諾した提案が FullOffer であった場合, 交渉は終了し次の交渉が開始する. 交渉は各戦略について同じパラメータの組み合わせが 10 回程度現れることが期待される回数行になっている. すなわち, FootFoot, FootDoor, DoorFoot, DoorDoor については合計で

$$9 \times 8 \times 9 \times 8 \times 10 \times 10 \times 5 \times 4 \approx 12500000 \text{ 回}$$

の交渉を行い, NotFoot, NotDoor, FootNot, DoorNot については合計で

$$9 \times 8 \times 10 \times 10 \times 5 \times 4 \approx 150000 \text{ 回}$$

の交渉を行った. また, 予備実験用のエージェントは, NotNot の戦略をベースとし, 交渉時間が経過するにつれて譲歩を行うような戦略をとる. このような戦略をとることで, 交渉時間を十分に活用することで譲歩を促す [3] ため, 交渉の早い段階で合意をするべきではないという Harold H. Kelly の交渉に関する論文 [4] で提案されている交渉原則を再現している. 予備実験用のエージェントに用いた各パラメータの値を表 5.4 に示す.

表 5.4: 予備実験用のエージェントに用いるパラメータ

α の初期値	α の増分	β の初期値	β の増分	α の更新回数
0.0	-1.0	0.0	0.0	15

5.3 実験結果と考察

予備実験において, 提案手法のエージェントの個人効用の平均値とその分散, 提案手法と予備実験用のエージェントの社会的余剰の平均とその分散, 提案手法のエージェントの交渉決裂率の平均とその分散をそれぞれ図 5.1, 図 5.2, 図 5.3 に示す.

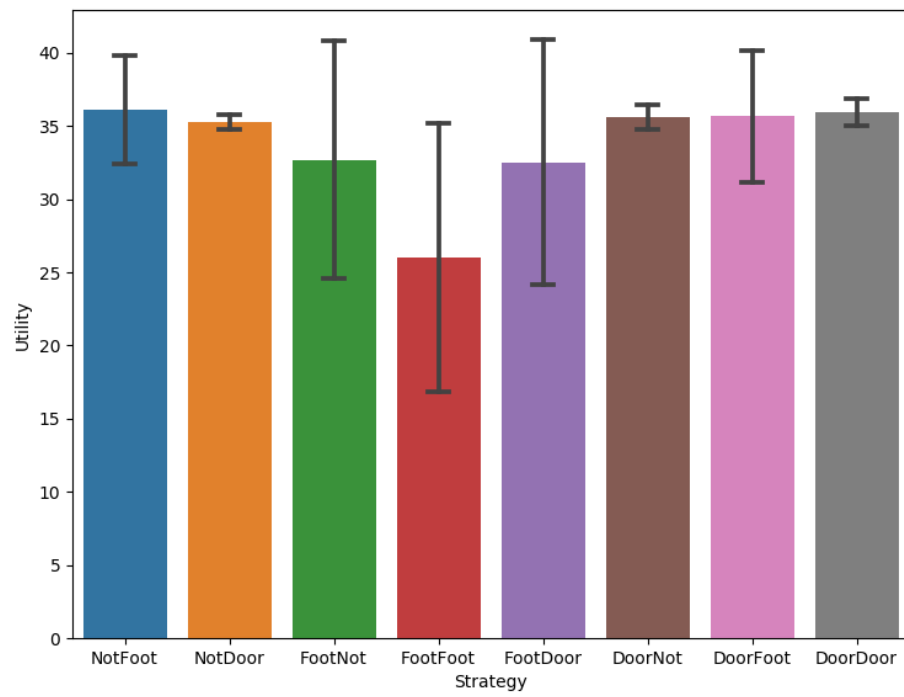


図 5.1: 提案手法のエージェントの個人効用

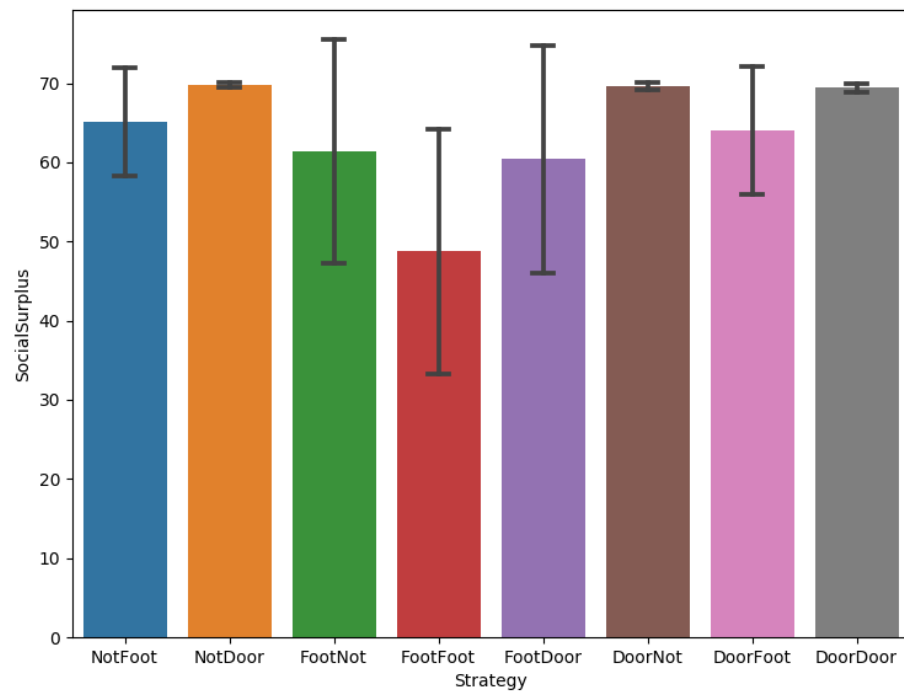


図 5.2: エージェントの社会的余剰

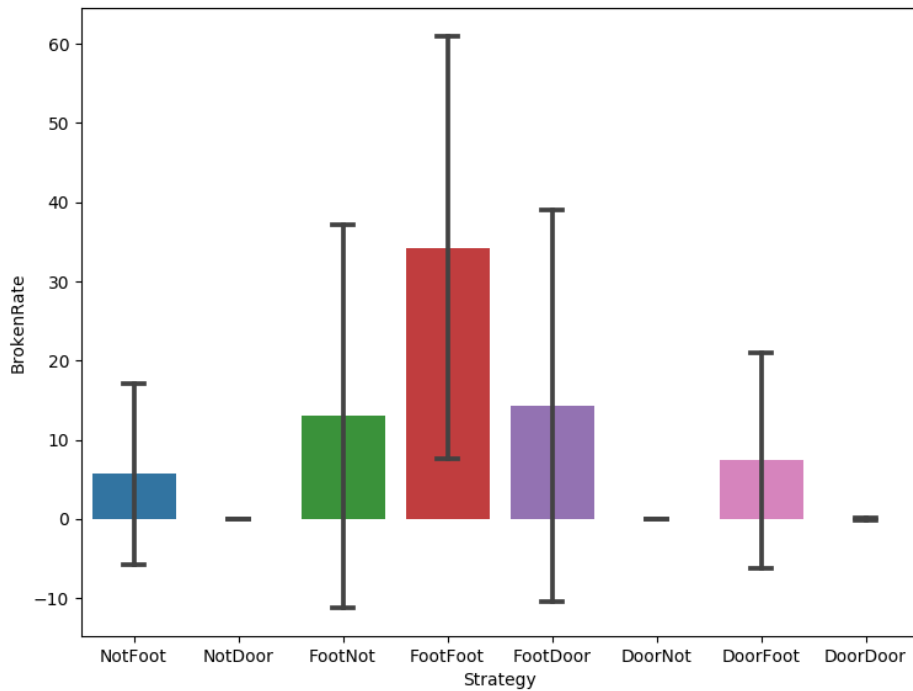


図 5.3: 提案手法のエージェントの交渉決裂率

図 5.3 のように, FootFoot は他の戦略と比較して交渉決裂率の平均値が約 40% と高く, 一方で NotDoor, DoorNot, DoorDoor は約 0%, NotFoot, DoorFoot は約 5%, FootNot, FootDoor は約 15% となった. FootFoot は, 相手の提案に対して自らが譲歩することがなく相手の提案を受諾する水準は単調に増加していくため, 予備実験用エージェントが譲歩しても合意できない場合が多く交渉決裂率が高くなったと考えられる. FootFoot は交渉決裂率が高いため, これに伴って他の戦略と比較してエージェントの個人効用および社会的余剰が低くなってしまったと考えられる.

一方の NotDoor, DoorNot, DoorDoor はいずれも交渉回数および交渉時間に応じて相手の提案を受諾する水準は単調に減少していき, 予備実験用エージェントも譲歩していくため最終的にほとんどの交渉において合意に至ったと考えられる. これらの戦略は交渉が決裂することが少なかったため, FootFoot と比較してエージェントの効用および社会的余剰が高くなったと考えられる. また, これらの戦略はエージェントの個人効用が平均値が約 35, 社会的余剰の平均値が約 70 となっており, 分散も小さい. したがって, これらの戦略では安定して社会的余剰が最大となる合意案に達することが可能であると考えられる.

NotFoot, DoorFoot はいずれも外側の戦略が Foot であり, 交渉時間に応じて相手の提案を受諾する水準は単調に増加していくが, 内側の戦略では単調減少または変化なしである. そのため, 外

側の戦略が同じく Foot である FootFoot と比較して交渉決裂率が低くなったと考えられる。また、これらの戦略は NotDoor, DoorNot, DoorDoor よりも交渉決裂率が高いにも関わらずエージェントの個人効用の平均値は約 35 である。したがって、NotFoot, DoorFoot の戦略は交渉が合意に至らない可能性があるが代わりに個人効用が高くなりやすい戦略であると考えられる。

FootNot, FootDoor はいずれも内側の戦略が Foot であり、交渉回数に応じて相手の提案を受諾する水準は単調に増加していくが、内側の戦略では単調減少または変化なしである。そのため、外側の戦略が同じく Foot である FootFoot と比較して交渉決裂率が低くなったと考えられる。また、これらの戦略は NotFoot, DoorFoot よりもエージェントの個人効用および社会的余剰の平均値が低くなっている。これは、外側の戦略では 4 回水準が増加するのに対して、本実験では内側の戦略は平均で 5 回水準が増加するからであると考えられる。したがって、水準の更新回数が多い内側の戦略に Foot を用いている FootNot, FootDoor は NotFoot, DoorFoot よりエージェントの個人効用および社会的余剰の平均値が低くなってしまったと考えられる。

5.3.1 パラメータ α の実験結果と考察

予備実験において、パラメータ α の増分および初期値ごとの提案手法のエージェントの効用値を図 5.4, 図 5.5, 図 5.6 に、交渉決裂率を図 5.7, 図 5.8, 図 5.9 にそれぞれ示す。図 5.4, 図 5.5, 図 5.6 は縦軸が α の増分、横軸が α の初期値、色が個人効用を表しており、青に近いほど低い値、赤に近いほど高い値となる。図 5.7, 図 5.8, 図 5.9 は縦軸が α の増分、横軸が α の初期値、色が交渉決裂率を表しており、青に近いほど低い値、赤に近いほど高い値となる。

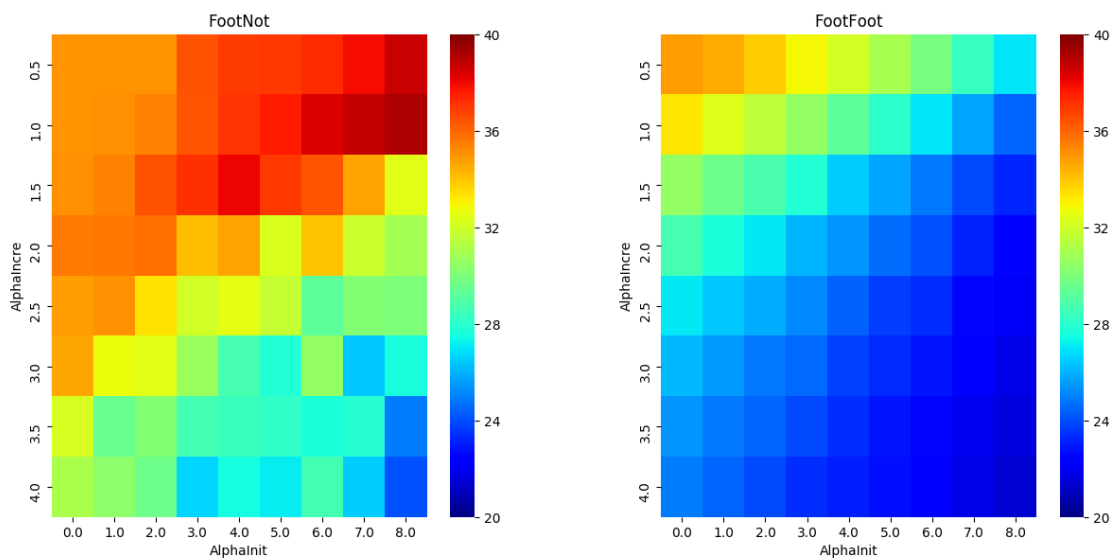


図 5.4: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (1)

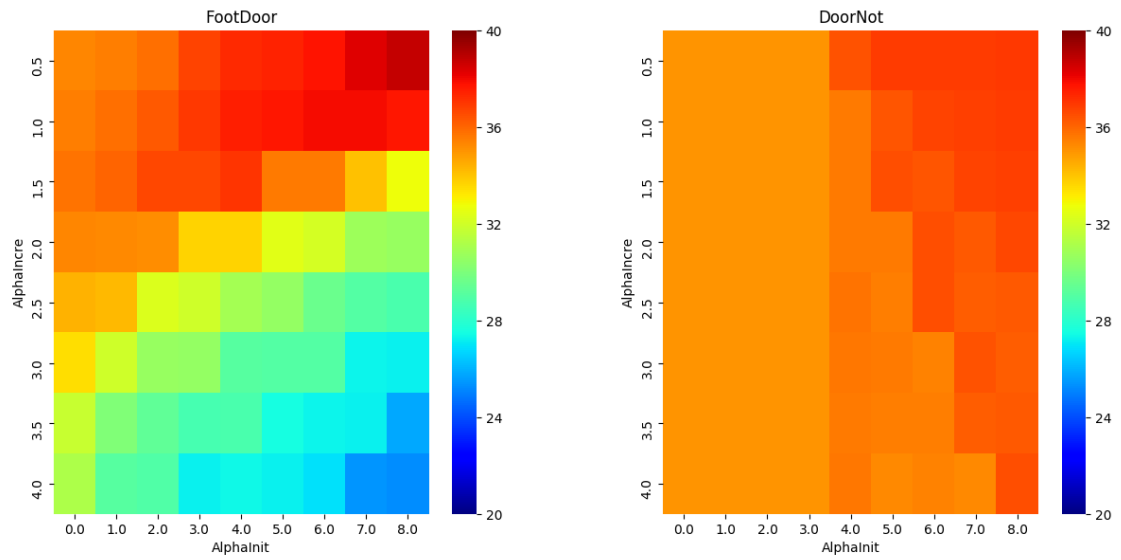


図 5.5: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (2)

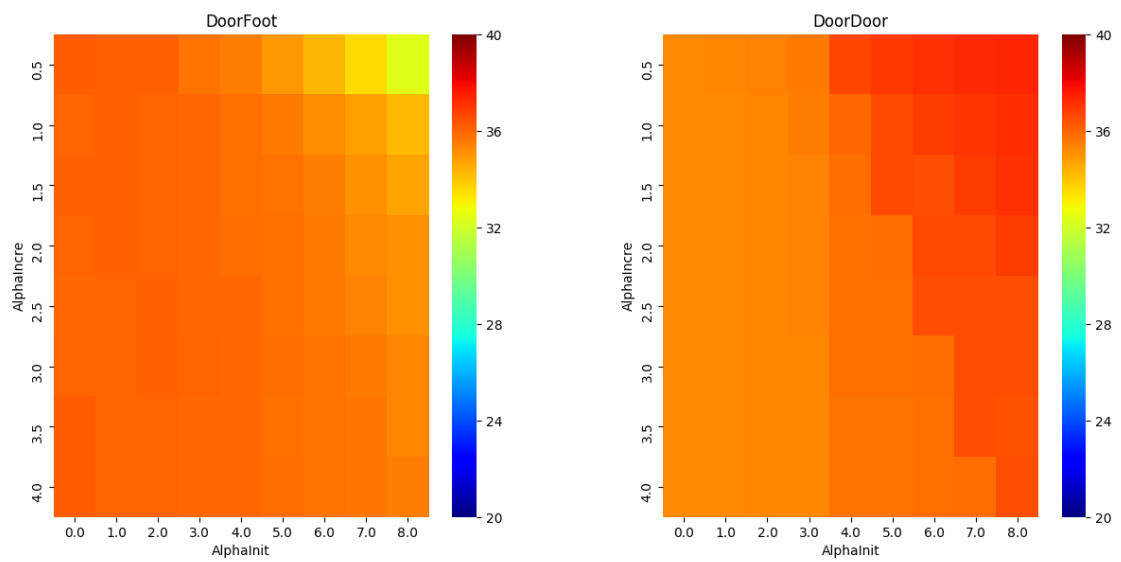


図 5.6: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する個人効用 (3)

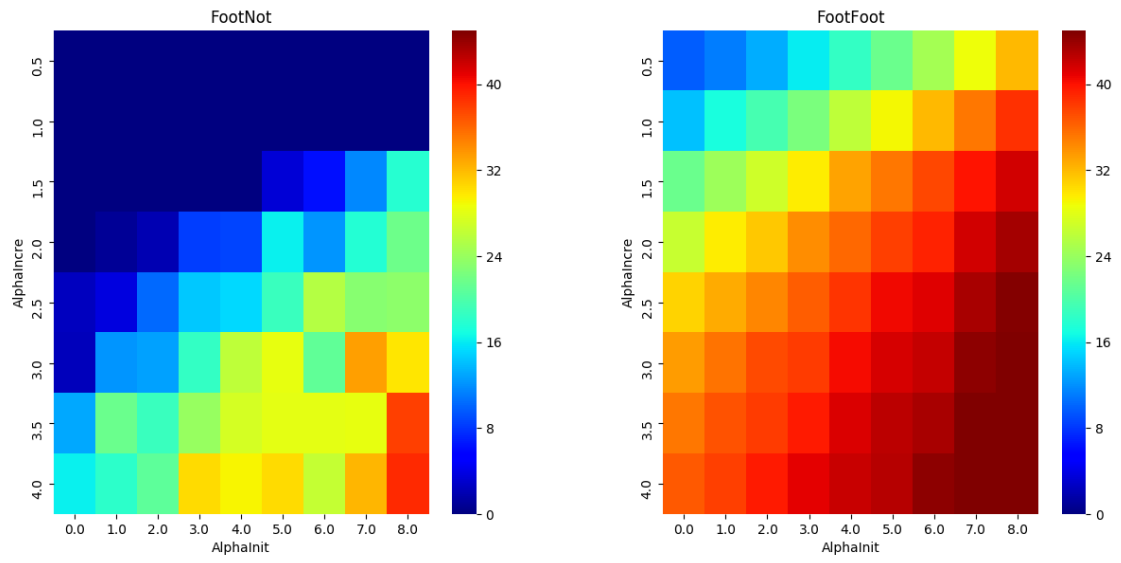


図 5.7: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (1)

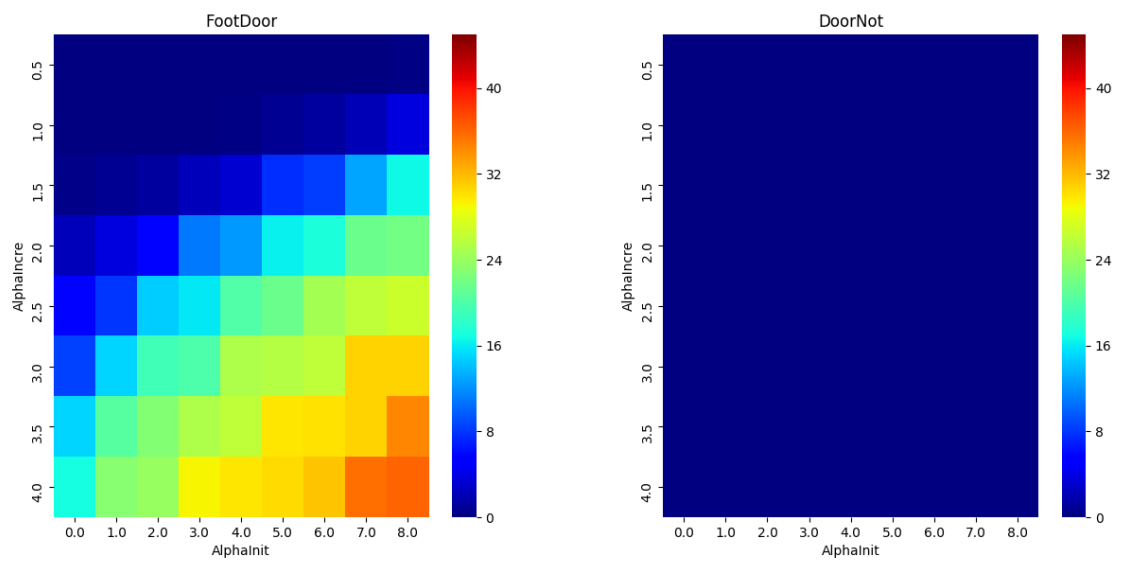


図 5.8: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (2)

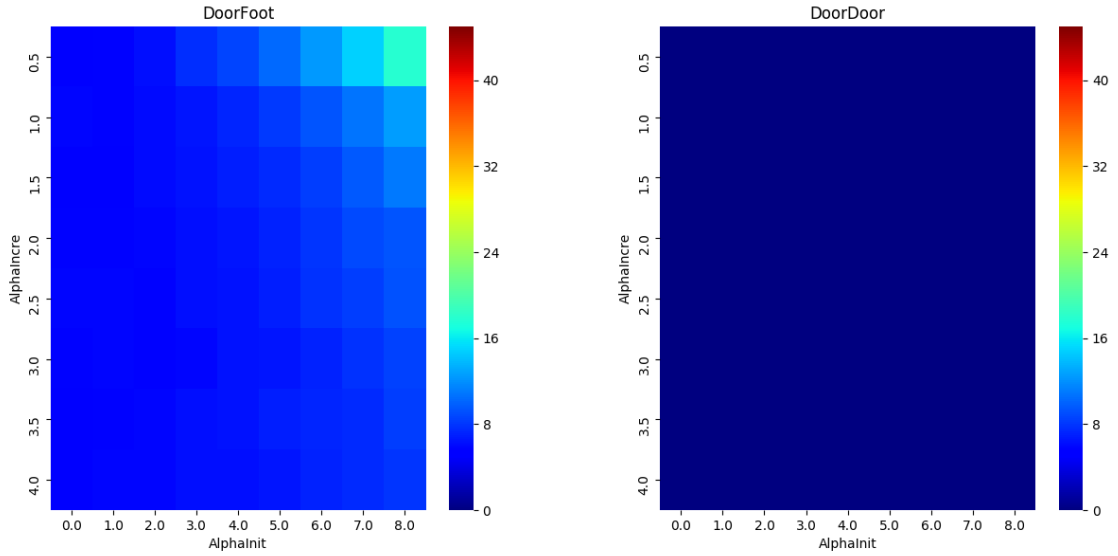


図 5.9: 提案手法のパラメータ α における増分・初期値に対する交渉決裂率 (3)

FootNot, FootDoor は α の増分が 0.5, 1.0 の場合は α の初期値が高くなるにつれて個人効用は高くなり, α の増分が 1.5 以上の場合は α の初期値が高くなるにつれて個人効用が低くなった. α の増分が低い場合は初期値が高くても相手が譲歩して合意に至ることができたと考えられる. また, α の初期値が高い方がエージェントの受諾水準が高くなるため, α の増分が低く初期値が高い場合に合意できたときは個人効用が高い値になったと考えられる. 一方で, α の増分が高い場合は相手が譲歩しても受諾水準が高すぎて合意に至ることができなかつたと考えられる. そのため, 初期値が高くなるにつれて交渉決裂率が高くなり個人効用が低くなつたと考えられる.

FootFoot は α の増分および初期値が非常に低い場合のみが個人効用が高くなつた. FootFoot は外側の戦略にも Foot を用いているため, α の増分および初期値が低い値でないと受諾水準が高くなりすぎてしまうと考えられる. したがって, α の増分および初期値が高い場合は交渉決裂率が非常に高くなり, その結果個人効用が低くなつと考えられる. 一方で, α の増分および初期値が非常に低い場合は相手の譲歩を十分に引き出すことができないため, 合意に至つたとしても個人効用が FootNot, FootDoor と比較して低くなつたと考えられる.

DoorNot, DoorDoor は α の初期値が 3.0 以下のとき α の増分に関わらず個人効用はほぼ一定となり, α の初期値が 4.0 以上のときは α の増分が低いほど個人効用が高くなつた. Door 戦略は受諾水準を単調に減少させるため, α の初期値が低いと受諾水準が下がりすぎてしまい, 合意に至ることはできるが相手の譲歩を引き出すことができず, 個人効用が低くなつてしまうと考えられる. α の初期値が高い場合であっても増分が大きい場合も同様に相手の譲歩を引き出すことができず,

個人効用が低くなると考えられる。

DoorFoot は α の初期値が高く、増分が小さいほど個人効用が低くなった。DoorFoot は外側の戦略に Foot を用いているため、 α の初期値が高く、増分が小さい場合は受諾水準が高くなりすぎてしまい、交渉決裂率が上昇し個人効用が低くなると考えられる。それ以外の場合は、個人効用の値および交渉決裂率があまり変化していない。これは DoorNot, DoorDoor と同様の理由で受諾水準が下がりすぎてしまい相手の譲歩を引き出すことができず、個人効用が低くなると考えられる。

また、 α の更新回数ごとの提案手法のエージェントの個人効用の平均値を図 5.10 に示す。縦軸がエージェントの個人効用、横軸が α の更新回数である。

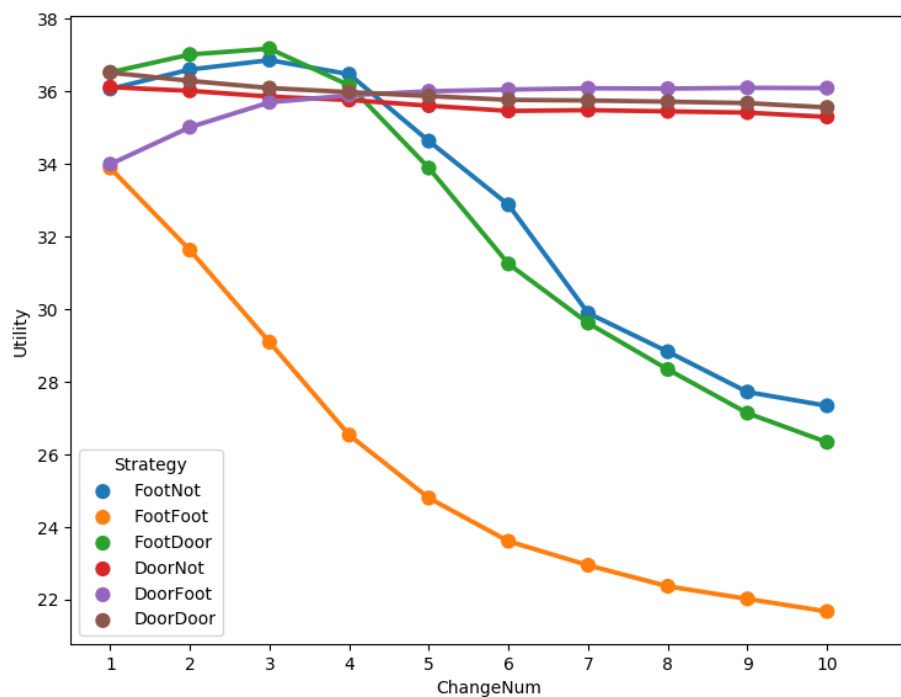


図 5.10: α の更新回数に対する個人効用

全体的に α の更新回数が多いほど個人効用は下がっていった。 α の更新回数が多いと外側の戦略が Foot の場合は受諾水準が上昇し、交渉決裂率が上昇するため、個人効用が減少し、外側の戦略が Door の場合は受諾水準が減少し、相手の譲歩が引き出せないため個人効用が減少すると考えられる。FootFoot と FootDoor は他の戦略と比較して α の更新回数を変化させた場合の個人効用の変化率が高くなっている。これらは共通して内側の戦略に Foot を用いており、FootFoot は

5.3.2 パラメータ β の実験結果と考察

予備実験において、パラメータ β の増分および初期値ごとの提案手法のエージェントの個人効用を図 5.11, 図 5.12, 図 5.13 に、交渉決裂率を図 5.14, 図 5.15, 図 5.16 にそれぞれ示す。図 5.11, 図 5.12, 図 5.13 は縦軸が β の増分、横軸が β の初期値、色が個人効用を表しており、青に近いほど低い値、赤に近いほど高い値となる。図 5.14, 図 5.15, 図 5.16 は縦軸が β の増分、横軸が β の初期値、色が交渉決裂率を表しており、青に近いほど低い値、赤に近いほど高い値となる。

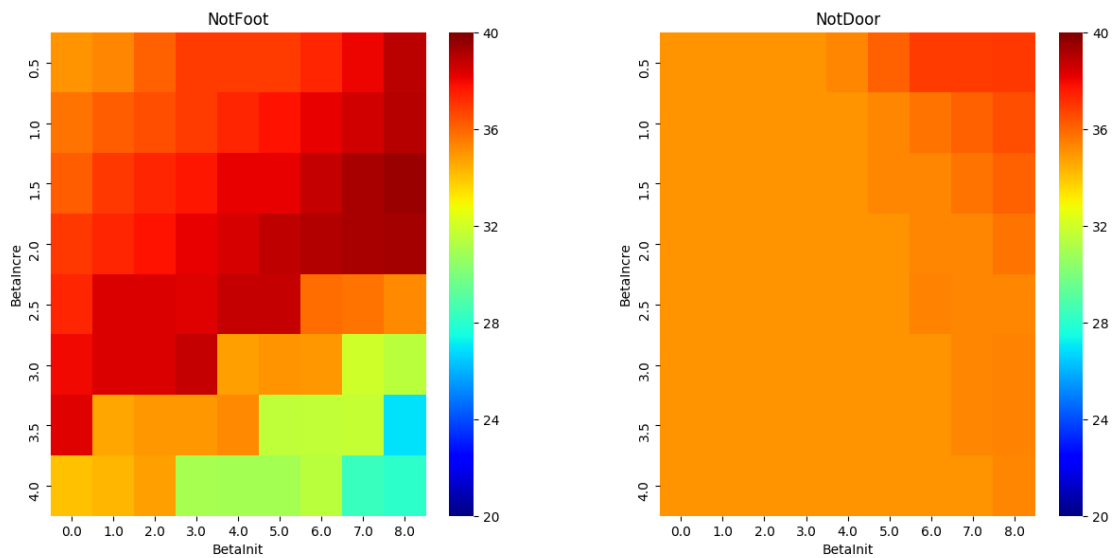


図 5.11: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (1)

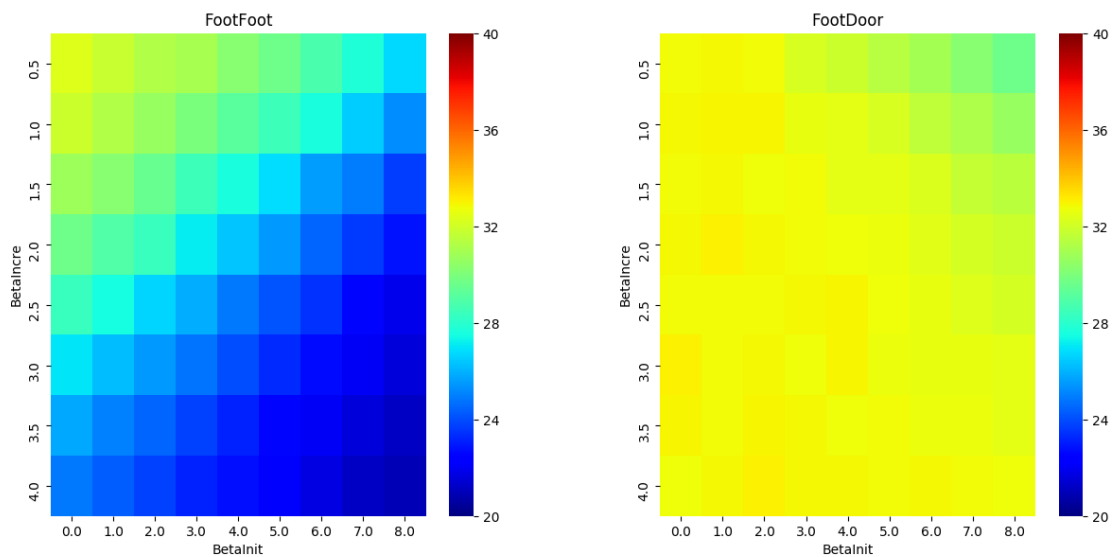


図 5.12: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (2)

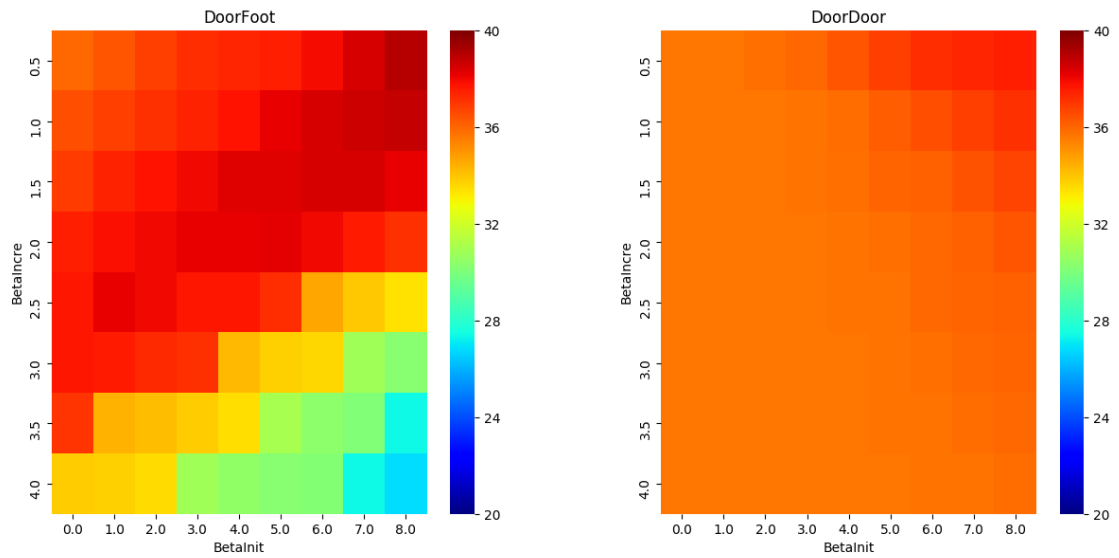


図 5.13: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する個人効用 (3)

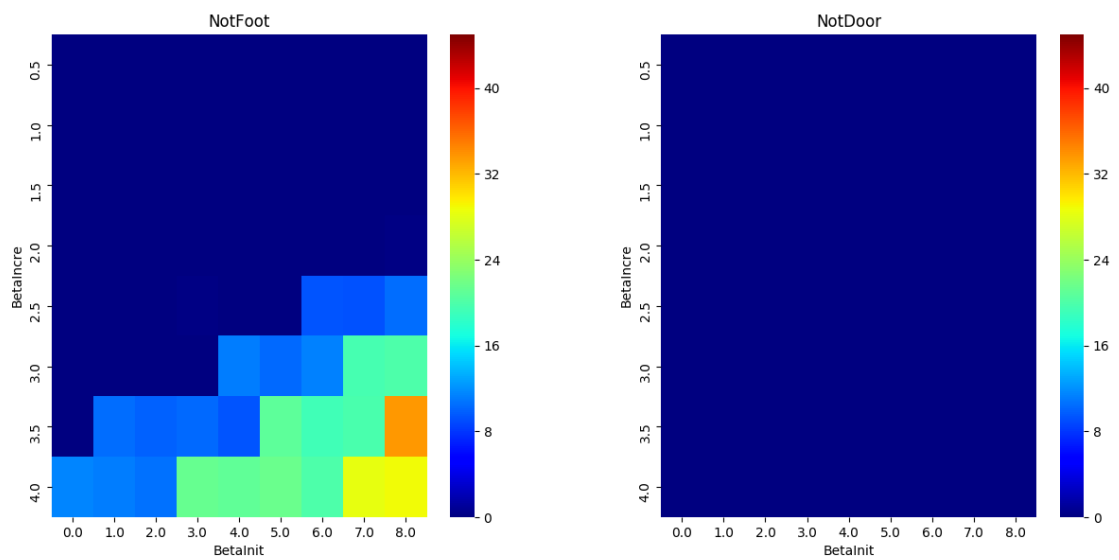


図 5.14: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (1)

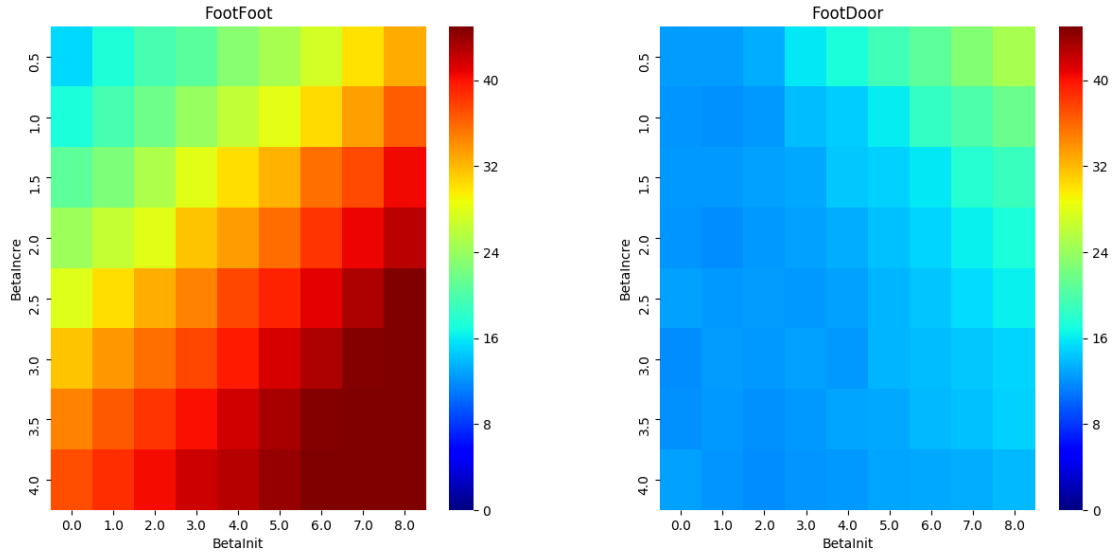


図 5.15: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (2)

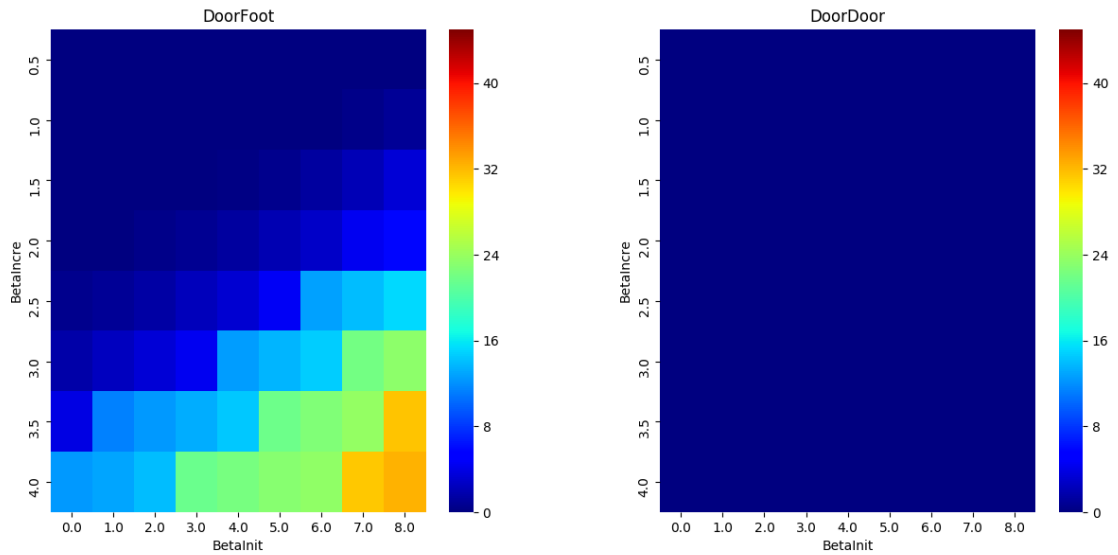


図 5.16: 提案手法のパラメータ β における増分・初期値に対する交渉決裂率 (3)

NotFoot, DoorFoot は β の増分が 1.5 から 2.0 以下の場合 β の初期値が高くなるにつれて個人効用は高くなり, β の増分が 2.0 から 2.5 以上の場合 β の初期値が高くなるにつれて個人効用が低くなった. β の増分が低い場合は初期値が高くても相手が譲歩して合意に至ることができたと考えられる. また, β の初期値が高い方がエージェントの受諾水準が高くなるため, β の増分が低く初期値が高い場合に合意できたときは個人効用が高い値になったと考えられる. 一方で, β の増分が高い場合は相手が譲歩しても受諾水準が高すぎて合意に至ることができなかったと考えられる. そのため, 初期値が高くなるにつれて交渉決裂率が高くなり個人効用が低くなったと考えられる.

FootFoot は β の増分および初期値が非常に低い場合のみが個人効用が高くなった。FootFoot は内側の戦略にも Foot を用いているため、 β の増分および初期値が低い値でないと受諾水準が高くなりすぎてしまうと考えられる。したがって、 β の増分および初期値が高い場合は交渉決裂率が非常に高くなり、その結果個人効用が低くなると考えられる。一方で、 β の増分および初期値が非常に低い場合は相手の譲歩を十分に引き出すことができないため、合意に至ったとしても個人効用が NotFoot,DoorFoot と比較して低くなったと考えられる。

NotDoor,DoorDoor は β の初期値が 3.0 以下のとき β の増分に関わらず個人効用はほぼ一定となり、 β の初期値が 4.0 以上のときは β の増分が低いほど個人効用が高くなった。Door 戦略は受諾水準を単調に減少させるため、 β の初期値が低いと受諾水準が下がりすぎてしまい、合意に至ることはできるが相手の譲歩を引き出すことができず、個人効用が低くなってしまうと考えられる。 β の初期値が高い場合であっても増分が大きい場合も同様に相手の譲歩を引き出すことができず、個人効用が低くなると考えられる。

FootDoor は β の初期値が高く、増分が小さいほど個人効用が低くなった。FootDoor は内側の戦略に Foot を用いているため、 β の初期値が高く、増分が小さい場合は受諾水準が高くなりすぎてしまい、交渉決裂率が上昇し個人効用が低くなると考えられる。それ以外の場合は、個人効用の値および交渉決裂率があまり変化していない。これは NotDoor,DoorDoor と同様の理由で受諾水準が下がりすぎてしまい相手の譲歩を引き出すことができず、個人効用が低くなると考えられる。また、図 5.12 は全体的に効用の平均値があまり変化していないのに対して図 5.5 は効用の値はばらつきが大きい。このことから、FootDoor に関しては内側のパラメータによって個人効用が大きく左右されると考えられる。

第6章 評価実験

6.1 実験設定

6.1.1 実験で使ったドメイン

6.1.2 パラメータ設定

6.2 実験結果と考察

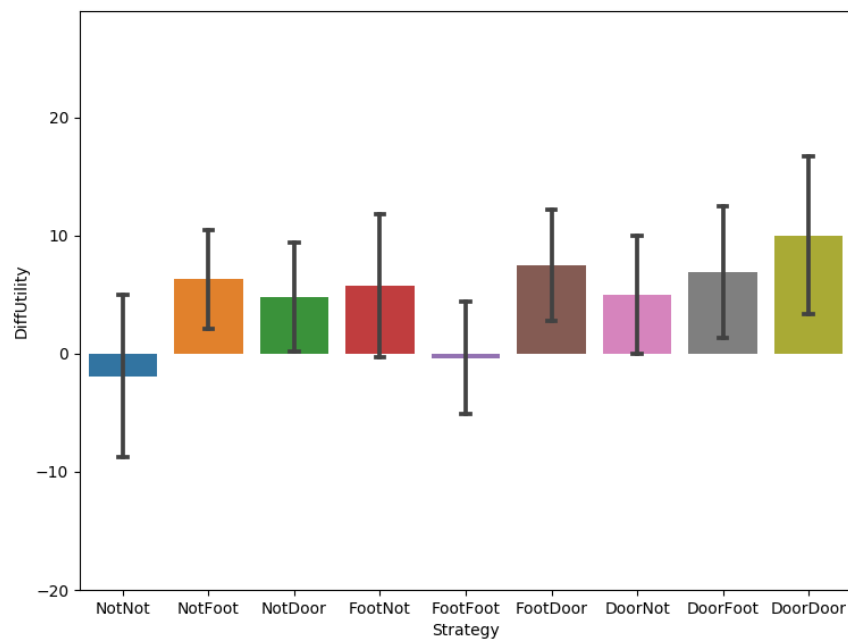


図 6.1: エージェントと被験者の得られた効用の差分

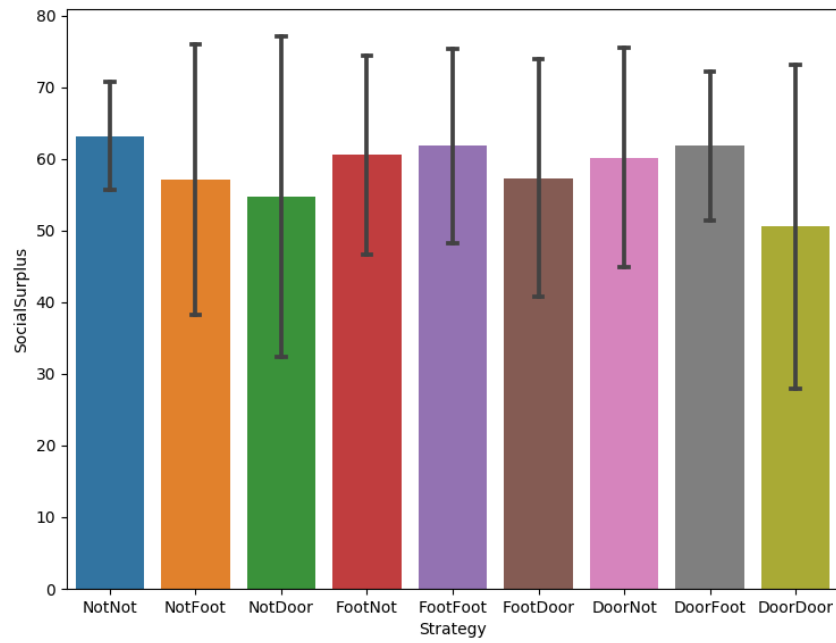


図 6.2: エージェントと被験者の社会的余剰

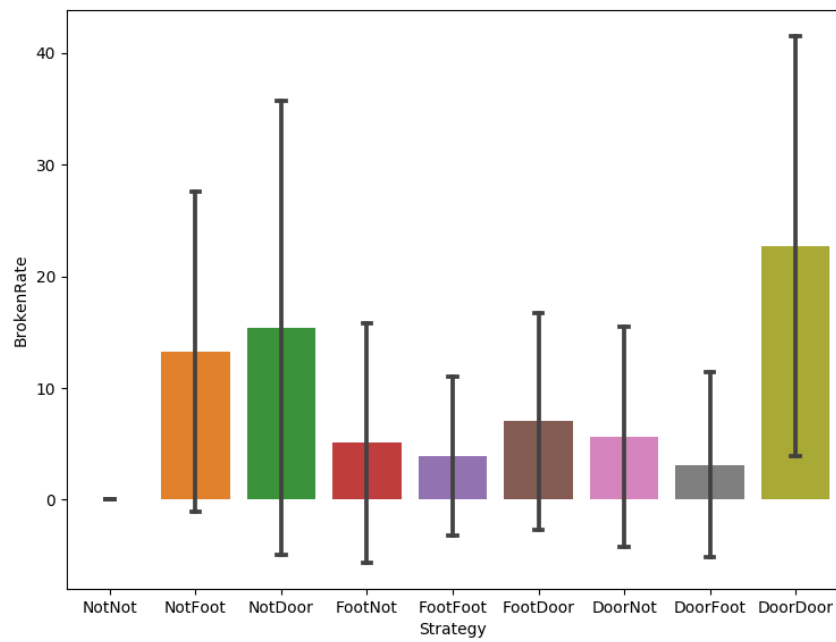


図 6.3: エージェントの交渉決裂率

第7章 おわりに

7.1 まとめ

7.2 今後の課題

謝辞

本論文を執筆するにあたり，多数の方々からご指導・ご協力いただきましたことを，心より御礼申し上げます．

指導教員である藤田桂英准教授には，研究の機会を与えていただき，研究の方針に関する助言や発表練習等の多大なるご指導や助言をいただきましたことを深く感謝いたします．

研究に関する知識のご教示に加えて，本実験の準備を行うにあたって WEB サーバを構築する際にお力添えいただいた松根鷹生様に深く感謝申し上げます．また，藤田桂英研究室の皆様には研究に必要な知識や意見等をいただいたことを心より感謝いたします．

本実験を行うにあたってお忙しい中ご協力いただいた同期の編入生の方々，および安井貴規様がいなければ本論文は完成に至りませんでした．心より御礼申し上げます．

最後に，様々な面で私を支えていただいた家族に，心より感謝いたします．ありがとうございました．

参考文献

- [1] Johnathan Mell and Jonathan Gratch. IAGO: Interactive Arbitration Guide Online (Demonstration). In *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems*, Singapore, 9-13 May 2016.
- [2] Johnathan Mell and Jonathan Gratch. Grumpy & Pinocchio: Answering Human-Agent Negotiation Questions through Realistic Agent Design. In *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, So Paulo, Brazil, 8-12 May 2017.
- [3] A. F. Stuhlmacher, T. L. Gillespie, and M. V. Champagne. The Impact of Time Pressure in Negotiation: A Meta-Analysis. In *The International Journal of Conflict Management*, Vol. 9, pp. 97–116, 1998.
- [4] Harold H. Kelley. A classroom study of the dilemmas in interpersonal negotiations. In *Strategic interaction and conflict*, pp. 49–73, 1966.