

マルチエージェント環境において意図的に言語行為を遂行する 合理的エージェントの基本設計

高田 司郎[†] 五十嵐新女^{†,††} 新出 尚之^{††} 榎本 美香^{†,†††}
間瀬 健二[†] 中津 良平[†]

Design of Rational Agents for Performing Speech Acts Intentionally in Multi-Agent Environments

Shiro TAKATA[†], Yoshime IGARASHI^{†,††}, Naoyuki NIDE^{††}, Mika ENOMOTO^{†,†††},
Kenji MASE[†], and Ryohei NAKATSU[†]

あらまし 本論文では、マルチエージェント環境において、人間または他のエージェントと協調して問題解決を行うために、言語行為を意図的に遂行する合理的エージェントの基本設計を提案する。我々は、信念 (belief)、願望 (desire)、意図 (intention) に基づく BDI アーキテクチャを用いた合理的エージェントの構築を目標としている。合理的エージェントは、与えられた目標を達成するために、自らの信念を用いてプランを熟考して選択し、将来の熟考を制約する心的状態として、選択したプランを意図として形成する。そして、意図の事前条件が満たされれば、その意図を構成する言語行為を意図的に遂行する。本論文では、まず、FIPA に準拠した基本通信行為とプロトコルをエージェントの言語行為として採用し、この言語行為を用いて遂行されるエージェント間のコミュニケーションで発生する条件分岐やメッセージを待つ同期などを、プラン本体に、直接、表現できるように拡張した BDI アーキテクチャを提案する。次に、研究所見学案内システムにおける研究者秘書エージェントの情報フィルタリングを用いて、提案手法が有効であることを示す。最後に、将来、重要な課題となる「利用者の丁寧な要求に対する合理的エージェントの拒否応答」に関する問題提起を行う。

キーワード 合理的エージェント、BDI 論理/アーキテクチャ、FIPA、言語行為、個人化エージェント

1. ま え が き

広域情報ネットワークの発展に伴い、その上で十分に組織化されていない不特定多数の人々の活動を支援するコミュニティウェア [1]~[3] の必要性が認識され始めている。角ら [4] は、C-MAP と呼ぶ実世界コンテキストを利用したモバイルアシスタントの実現を目指したプロジェクトにおいて、コミュニティウェアの具体例を示しつつその方向性を提案している。

そこで、我々は、コミュニティウェアの構築技術の開発を目指して、

- (1) ヘルパーエージェント^(注1) [5]
- (2) 合理的エージェント [6]~[8]
- (3) エージェント間のコミュニケーション [9], [10]
- (4) 秘書エージェント^(注2) の情報フィルタリング
- (5) パーソナルエージェントの情報検索と学習
- (6) 秘書エージェントの丁寧な要求拒否応答

などを課題として取り上げ、図 1 の研究所見学案内システムをテストベッドとして、これら課題に対する実

[†] ATR 知能映像通信研究所, 京都府

ATR Media Integration & Communications Research Laboratories, 2-2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto-fu, 619-0288 Japan

^{††} 奈良女子大学大学院人間文化研究科, 奈良市

Graduate School of Human Culture, Nara Women's University, Kitauoyanishimachi, Nara-shi, 630-8506 Japan

^{†††} 千葉大学大学院自然科学研究科, 千葉市

Graduate School of Science and Technology, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, 163-8522 Japan

(注1): コミュニティウェアの一つとして、複数の人間と対話能力をもち人間を助けるという社会的役割をもつエージェント。

(注2): 我々は、personal agent には二つのタイプがあると考え、利用者の意図を実現するために利用者の個人情報積極的に活用してサービスを行うエージェントは“パーソナルエージェント”、権利委譲を受けた人間の目標を達成することに主眼において利用者の個人情報に依存したサービスを行うエージェントは“秘書エージェント”と、それぞれ呼ぶ。本論文は秘書エージェントに焦点を当てる。

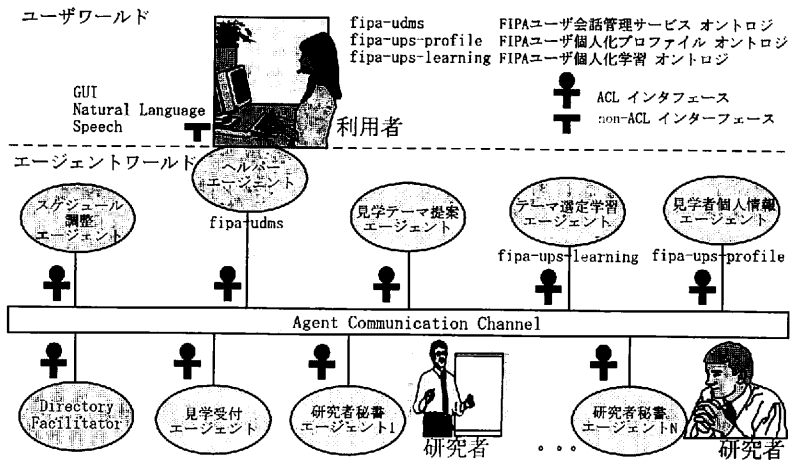


図1 研究所見学案内システム

Fig. 1 Guide system for laboratory tours.

現手法の提案に取り組んでいる [11], [12].

課題 (1) に対し, 利用者とエージェントの対話を仲介し, 自然言語対話をそのエージェントと分散処理するヘルパーエージェントを提案した. 仲介されたエージェントの対話プランは, FIPA [13] に準拠した基本通信行為とプロトコルなどの言語行為 [14] から構成され, プロダクションシステムの前提条件を起動条件としたスクリプトを用いて記述することを提案した [11].

しかし, 動的に変化する状況を不完全にしかとらえられない環境下では, 前提条件のみで未来を完全に予測するのは不可能である. Bratman [15] の意図の理論によれば, 人間は, そのような環境下でも目標を達成するために, まず, 熟考して選択したプランを意図として形成する. その後, その意図の支配のもとに, そのプランを実施するための実践的な手段やサブプランを推論したり, その時がくればそれらプランを意図的に実行して目標を達成しようと努力する. Rao ら [16] はこの意図の理論を熟考型エージェントの内部アーキテクチャに適用した BDI アーキテクチャを提案している.

本論文では, マルチエージェント環境において人間または他のエージェントと協調して問題解決を行うために, 対話プランを意図として形成し, 時がくればその対話プランを構成する言語行為を意図的に遂行する合理的エージェントの基本設計を課題として取り上げ, この課題に対する実現手法の提案と問題提起を行う.

具体的には FIPA に準拠した言語行為を用いて遂行

されるエージェント間のコミュニケーションにおいて, 発生する条件分岐やメッセージを待つ同期などをプラン本体に, 直接, 表現できるように拡張した BDI アーキテクチャを提案する. 次に, 研究所見学案内システムにおける研究者秘書エージェントの情報フィルタリング事例を用いて, 提案手法が有効であることを示す. 最後に, 上記課題 (6) の利用者の丁寧な要求に対するエージェントの丁寧な拒否応答に関する問題提起を行う. 以下, 2. では意図的な合理的エージェントの要求仕様を, 3. では BDI logic と BDI アーキテクチャの概要を, 4. では FIPA の採用理由と基本通信行為及び相互作用プロトコルの分類を, 5. では拡張 BDI アーキテクチャの提案手法を, 6. では提案手法の有効性を示すために, 研究所秘書エージェントの事例を, 7. では提案手法に対する考察と上記課題 (6) の問題提起を, それぞれ, 述べ, 最後に 8. でまとめる. なお, 本論文を読むに当たっては 1 階述語論理と時相論理 [20] の初歩的な知識を仮定している.

2. 合理的エージェントの要求仕様

本章では, 広域情報ネットワーク上で不特定多数の人々の活動を支援するために, マルチエージェント環境において意図的に言語行為を遂行する合理的エージェントの基本設計に関する要求仕様を述べる. そのため, 事例として「研究所見学案内システム」の概要を述べ, そこで使用される「研究者秘書エージェント」をモデルとして, 意図的に言語行為を遂行する合理的

エージェントに対する基本的な要求仕様を列挙する。

2.1 研究所見学案内システム

研究所見学案内システムは、不特定多数の利用者に対する“見学受付業務サービス”及び研究所の見学者に対する“見学案内業務サービス”を行う。

ヘルパーエージェント [11] は、利用者の発話を“行為指示行為”と解釈すると、そのサービスを提供するエージェントの推薦を Directory Facilitator (DF) から受け、そのエージェントに利用者の発話に対する提案を要求する。エージェントは、仲介された発話を自然言語処理して利用者の意図を解釈し、その意図に応じて問題解決した返答を利用者へ通知するようヘルパーエージェントに要求する。このように、本システムでは、エージェント間のコミュニケーションを、相互の目標を達成するために意図的に遂行する言語行為とみなす。また、各エージェントは、DF に広告 (advertise) したサービスの範囲内で利用者からの発話を受け付け、必要なら白らの自然言語処理を通じて利用者の意図を解釈し問題解決を行う。

見学受付エージェントは、“見学受付業務サービス”及び“見学案内業務サービス”の窓口を行うエージェントで、利用者からの“見学テーマ提案依頼”や“スケジュール調整依頼”などの発話を受け付け、それぞれ、「見学テーマ提案エージェント」と「スケジュール調整エージェント」に利用者への提案を要求する。

見学テーマ提案エージェントは、「見学者個人情報エージェント」から得た利用者の興味やシステム利用履歴などの個人情報をもとに、情報フィルタリングされた研究テーマと研究者名を「テーマ選定学習エージェント」から得る。次に、これら研究者名に対して DF から得たすべての研究者秘書エージェントに、該当する研究テーマに関する見学対応の交渉を契約ネットプロトコル [17] を用いて行う。そして、落札したエージェントは、研究テーマと概要説明を利用者に通知するようヘルパーエージェントに要求する。この処理は、利用者が見学テーマを決定するまで繰り返される。スケジュール調整エージェントの概要は省略する。

2.2 意図的な合理的エージェントの要求仕様

意図的な合理的エージェントとして、研究所見学システムにおける研究者秘書エージェントを取り上げ、その要求仕様を述べる。研究者秘書エージェントは、権利委譲を受けた研究者の見学対応に対する目標を達成することを主眼において、利用者の個人情報に依存した情報フィルタリングを行う秘書エージェントであ

る。具体的には、見学テーマ提案エージェントから依頼された「見学対応交渉」に対して、研究者の見学対応に対する目標を達成すると判断すれば、承諾する。ただし、見学対応がダブルブッキングしたときは、研究者の信念 (価値基準) に従って、どちらかをキャンセルするものとする。例えば、以下のようなシナリオを考える。

研究者秘書エージェントは、権利委譲を受けた研究者 X から「研究者と X の研究テーマである C-MAP について議論したい」という目標が与えられ、この目標を達成するために構築された対話プラン「研究者への見学対応」を意図として形成する。同様に、「博物館など学芸員に対して、C-MAP を売込みたい」という目標も与えられ、この目標を達成するために構築された対話プラン「学芸員への見学対応」を意図として形成する。その後、見学テーマ提案エージェントから、契約ネットプロトコルを用いた“研究者 Y に対する C-MAP 見学対応告知”があり、“無条件で研究者 Y への見学対応”に「入札」して、見学テーマ提案エージェントからの「落札」を待っている。その間に、見学テーマ提案エージェントから、新たに、“学芸員 Z に対する C-MAP 見学対応告知”があったため、研究者 X の信念「議論よりは売込みの方が重要である」に従って、研究者 Y への見学対応より、学芸員 Z への見学対応を優先すると判断して、以前に「入札」した“無条件で研究者 Y への見学対応”をキャンセルし、“無条件で学芸員 Z への見学対応”に「入札」して、見学テーマ提案エージェントからの「落札」を待つ。以上のシナリオから、合理的エージェントに対する基本的な要求仕様を列挙する。

- (1) 権利委譲者の目標、信念、プランなどをエージェントに登録できる。
- (2) 権利委譲者から目標が与えられると、その目標を追加し、その目標を達成するための最良のプランを熟考し、意図として形成する。そして、目標を達成するために、この意図の持続を制御できる。
- (3) 前提条件が満たされる意図を順次選択して実行し、目標を達成すれば、目標及び意図を消去する。
- (4) 広域情報ネットワーク上で意味の規定された相互作用及び通信を行うことができる。
- (5) 契約ネットプロトコルなどのあらかじめ規定されたエージェント間の相互作用プロトコルや基本通信行為を、対話プランの言語行為として登録し、環境及び心的状態に依存して実行することができる。

我々は、(1), (2), (3) の実現手法として BDI アーキテクチャを、(4) の実現手法として FIPA を、それぞれ採用する。(5) の実現手法として FIPA 準拠の基本通信行為と相互作用プロトコルを言語行為とした対話プランを実行できるように拡張した BDI アーキテクチャの基本設計を提案する。

3. BDI Logic/アーキテクチャ

本章では、BDI logic と BDI アーキテクチャの概要を、それぞれ記述する。

3.1 BDI Logic

BDI logic [18], [19] は、エージェントの過去から未来に至る信念・目標(願望)・意図などの心的状態や行為などを自然に記述することができる時相論理体系の一つである。分岐時間命題時相論理の一つである CTL* [20] に、信念・目標・意図といった心的状態を表す様相オペレータ BEL, GOAL, INTEND を導入し、更に、述語論理に拡張した体系である。時相オペレータとしては X (nexttime), F (sometime), U (until), E (ある未来で), A (あらゆる未来で) などをもつ。Rao と Georgeff は、Bratman [15] が分析した心的状態の整合性に関する公理や意図の持続性のタイプに関するコミットメント戦略などを、以下のように BDI logic を用いて自然に表現している [18]。

- 心的状態の整合性公理

- (A1) $GOAL(\alpha) \supset BEL(\alpha)$
- (A2) $INTEND(\alpha) \supset GOAL(\alpha)$
- (A3) $INTEND(does(e)) \supset does(e)$
- (A4) $INTEND(\phi) \supset BEL(INTEND(\phi))$
- (A5) $GOAL(\phi) \supset BEL(GOAL(\phi))$
- (A6) $INTEND(\phi) \supset GOAL(INTEND(\phi))$
- (A7) $done(e) \supset BEL(done(e))$
- (A8) $INTEND(\phi) \supset AF(\neg INTEND(\phi))$

- コミットメント戦略

- (A9A) $INTEND(AF \phi) \supset$
 $A(INTEND(AF \phi) \cup BEL(\phi))$
- (A9B) $INTEND(AF \phi) \supset$
 $A(INTEND(AF \phi) \cup (BEL(\phi) \vee \neg BEL(EF \phi)))$
- (A9C) $INTEND(AF \phi) \supset$
 $A(INTEND(AF \phi) \cup (BEL(\phi) \vee \neg GOAL(EF \phi)))$

例えば、(A5), (A9C) は、それぞれ、直感的には「 ϕ という状態の達成が目標であるならば、 ϕ という状態の達成が目標であることを信じている」「 ϕ という状態をあらゆる未来でいつか達成するという意図を形成

しているならば、あらゆる未来で ϕ という状態を達成したと信じるか、または、 ϕ という状態を目標から撤回するまでその意図を持続する」という意味である。

3.2 BDI アーキテクチャ

BDI アーキテクチャ [16] は、限られた計算資源環境において動的に変化する環境を知覚し合理的に問題解決を行うために事前にプランを立てる熟考型エージェントの内部アーキテクチャである。

エージェントの信念・目標・意図をそれぞれ陽に表現する動的なデータ構造 B, G, I やプランライブラリ、イベントキュー、及び、それらデータ構造を参照・更新するインタプリタから構成される。

プランライブラリは、複雑なプランに関する信念を B から分離したもので、タイプ、連想 (invocation) 条件 (プラン形成条件)、前提条件 (プラン実行条件)、add/delete list (プラン実行の成功時に B に加除される信念)、本体 (実現手段) などをスロットとしてもつプランの集合である。プラン本体は、基本行為 (実行可能な行為) とサブゴール (当プランの部分目標となるプラン) を辺にもつ構造をしている。

4. FIPA

本章では、FIPA の採用理由、基本通信行為と相互作用プロトコルの分類を述べる。

4.1 FIPA の採用理由

Agent Communication Language (ACL) としては、KQML, KIF, Ontolingua [21] などの標準が既に確立されている。しかし、我々はコミュニティウェアの構築には、広域情報ネットワーク上で相互運用性を保証したエージェントの外部インタフェースの規定が必須であると考え、これら ACL には規定されていない。そこで、TCP/IP 上で相互運用性を保証するためにエージェントの外部インタフェースを規定した FIPA [13] の ACL を採用する。

FIPA の基本通信行為は、信念、願望、意図に基づいた言語行為として、KD45 の構造をもつ SL と呼ぶ様相論理を用いて形式的に定義されている。その定義中には、その行動を計画するために満たさなければならない「可能事前条件」とその行動が選択された理由となる「合理的な効果期待」の記述があり、それぞれ、BDI アーキテクチャの「前提条件」と「add/delete list」に相当する。そこで、他のエージェントと通信することによって協調動作を行うように分類された FIPA の基本通信行為や相互作用プロトコルを BDI

アーキテクチャのプランの本体に記述できれば、信念、目標（願望）、意図に基づいて、他のエージェントと協調動作を行う合理的エージェントが構築できるのではないかというアイデアからも FIPA を採用する。

4.2 基本通信行為と相互作用プロトコルの分類

FIPA では、基本通信行為として、受理、同意、取り消し、実行の申込み、確信の通知、否定の通知、失敗、通知、真偽の通知、参照の通知、理解不能、提案、真偽の質問、参照の質問、拒否、提案の却下、要求、条件を満たす時点で実施を要求、条件を満たすごとに実施を要求、及び、登録の申込みなどが、形式的に定義されている。また、上記の基本通信行為を組み合わせて、FIPA-request, FIPA-query, FIPA-request-when, FIPA-contact-net, FIPA-iterated-contact-net, FIPA-auction-english, 及び、FIPA-auction-dutch などの相互作用プロトコルが定義されている。このようにあらかじめ規定された相互作用プロトコルを使うことで、単に注意深くプロトコルに従うだけで、他のエージェントと意味のある言語行為を行うことができる。

5. 拡張 BDI アーキテクチャ

従来の BDI アーキテクチャ [16] のプラン本体には、基本行為とサブゴールしか記述できないため、これらの“条件分岐”^(注3)や他のエージェントからのメッセージを待つ“同期”などを表現することができない。例えば、エージェント間のコミュニケーションをプランとして記述しようとした場合、交換されるメッセージを連想条件にもつプランを複数に分けて記述するしかなく、エージェント間の本来連続した言語行為の関連が不明瞭となるばかりでなく、不自然な記述になるという問題点がある。そこで、マルチエージェント環境において、エージェント間のコミュニケーションをプラン本体に、直接、表現できるように、以下のような BDI アーキテクチャの拡張を提案する。

5.1 プラン本体の拡張

プラン本体は、以下の「文」を刃とする木構造に拡張する。

```

文 ::= 単文 [{add/delete-list}]
    | { 文 ; 文 ; ... 文 }
    | if 条件 then 文 [else 文]
    | (待ち条件1 ? ; 文1 | ... | 待ち条件n ? ; 文n)
単文 ::= 基本行為 | サブゴール
待ち条件 ::= イベント
    
```

```

Type: call-for-proposal
Invocation: g-add(:propose(M, 提案内容))
Precondition: true
Add List: {done(提案内容)}
Body:
:propose(M, 提案内容){done(propose)}
(:accept-proposal ?)
    if too-late then cancel
        else :inform(done(契約内容))
[:reject-proposal ?; fail]
    
```

図 2 契約ネットプロトコルのプラン例
Fig. 2 A sample plan of contact net.

上記の文定義の最後の待ち条件などを記述する文は、「待機文」と呼び、イベントキューに到着した他のエージェントからのメッセージなどの外部イベント及び内部イベントを対象に、待ち条件_{1~n} を先頭から順に、最初に、単一化した待ち条件_n に対応する文_n を選択して実行する。拡張したプラン本体の記述例として、FIPA-contact-net (契約ネットプロトコル) のプラン記述例を図 2 に示す。この例は、マネージャ M からの「タスク告知」に対して「入札」するサブプランである。このエージェントが「提案内容」を添付して「入札」を行い、マネージャ M からの「落札」を待つ。そして、マネージャが落札した場合で、その連絡があまりに遅いときは、cancel する。そうでないときは、マネージャに「終了報告」を行うプランである。また、落札されなかったときは、fail して、このサブプランは失敗する。本論文では、FIPA の言語行為は : で始まる基本行為として記述する。

従来の BDI アーキテクチャでは、

- 「propose (M, 提案内容) を本体にもち (done(propose))」を add list にもつプラン
- accept-proposal イベントがきて、かつ、前提条件 too-late が成立しているときに選択され、cancel を本体にもつプラン
- 同様に、前提条件 ¬too-late が成立しているときに選択されて、inform を本体にもつプラン
- reject-proposal イベントがきたとき選択されて、fail を本体にもつプラン

の四つのプランに分けて記述する必要がある。これらが、他のエージェントとの交渉を行う一連の言語行為であることは明示的に表現できないため、どのような意味があるのかもわかりにくい。これに対して、拡張

(注3) : 従来のプラン本体は木構造であるが、CTL* の未来への時間分岐を表現しているにすぎない。

BDI アーキテクチャでは、エージェント間の相互作用を自然に表現することができる。

5.2 拡張 BDI アーキテクチャの実現方式

本節では、プラン本体の拡張に伴う BDI アーキテクチャの実現方式を述べる。

まず、BDI アーキテクチャの構成要素に、プラン本体の待機文を登録する「待ちリスト」を追加する。次に、以下の3個の関数を、それぞれ、次のように拡張及び追加する。option-generator は、待ちリストに登録されている待機文の待ち条件と単一化できるイベントがくれば、その文をプラン本体にもつ意図を次に実行可能な意図の候補に加える。update-intentions は、プラン本体の各文を以下のように評価する。

- 単文 (add/delete list が付いている文を含む) の場合は、その文を次に実行する文として意図 I を更新する。
- 複文の場合は、その先頭の文を再帰的に評価する。
- if 文の場合は、条件の真偽に応じて、then 部/else 部のいずれかの文を再帰的に評価する。
- 待機文の場合は、単一化した待ち条件に対応する文を再帰的に評価する。そして、該当する待機文を待ちリストから削除する。また、すべての待ち条件に単一化しない場合は何もしない。

最後に、実行中の意図の先頭に待機文がきている場合、1 回だけ待ちリストに登録する update-waiting-list を追加する。ただし、その意図が達成不能になっている場合は、待ちリストから該当する待機文を削除する。

5.3 拡張 BDI アーキテクチャの基本設計

本節では、BDI アーキテクチャ [16] をベースに変

更・拡張した「拡張 BDI アーキテクチャ」の基本設計を提案する。

まず、拡張 BDI アーキテクチャを図 3 に示す。

心的状態 B, G, I やプランの前提条件, add/delete list, 及び、プラン本体の if 文の条件などは、BDI logic を用いて表現する。

拡張 BDI アーキテクチャのインタプリタは、以下のループ構造とする。

```

initialize-state();
do
  options := option-generator (event-queue,
                               waiting-list, B, G, I);
  selected-option := deliberate (options,
                                 B, G, I);
  update-intentions (selected-option,
                    B, G, I, waiting-list);
  execute(I);
  get-new-external-events();
  drop-successful-attitudes(B, G, I);
  drop-impossible-attitudes(B, G, I);
  update-waiting-list(I, waiting-list);
until quit.
    
```

5.3.1 option-generator (意図の形成)

option-generator は、event-queue のイベントを解析して、g-add イベント (目標の追加) の場合は、その目標を G に追加する。更に、理想条件とマッチするプランを意図として I に形成する。また、waiting-list に登録された待機文の待ち条件と単一化できるイベントの場合は、その文を本体にもつ意図を次に実行可能な意図の候補として options リストに追加する。更に、上記及び既に形成されている意図の前提条件が、B から真と推論できる意図を options リストに追加する。

5.3.2 deliberate (意図の選択)

deliberate は、B, G, I やプランを選択するためのプランであるメタレベルプラン [16] を使って、option-generator で選択された options リストの中から次に実行する意図の一つ selected-option に選択する。ただし、選択基準は個々のアプリケーションに依存する。

5.3.3 update-intentions (意図の更新)

update-intentions は、deliberate で選択された意図の本体から 5.2 で述べた評価方法を用いて、次に実行すべき基本行為またはサブゴールを決定し、本体の次に実行すべき行為を指し示すように、その意図の制御情報を更新する。そして、waiting-list に登録された待機文の待ち条件を使用した場合は、その待機文を、waiting-list から消去する。また、次に実行すべき本

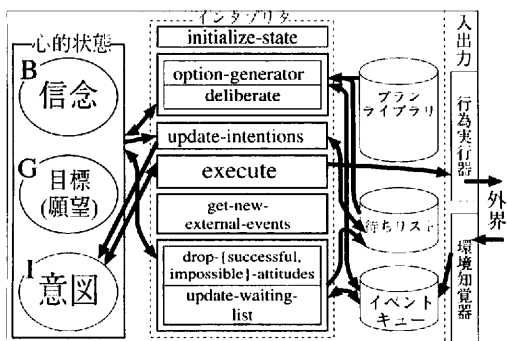


図 3 拡張 BDI アーキテクチャ
Fig. 3 Extended BDI architecture.

体がサブゴールの場合は、このサブゴールを g-add 内部イベントとして event-queue に加え、このサブゴールが終了するまで、選択された意図を I 中の意図スタックにプッシュしておく。

5.3.4 execute (意図の実行)

execute は、update-intentions で更新された制御情報を使って、次に実行する意図の本体が基本行為であれば、その基本行為を実行する。サブゴールであれば何もしない。

5.3.5 get-new-external-events

get-new-external-events は、環境知覚器に、event-queue への外部イベントの書き込み命令を発行する。

5.3.6 心的状態の更新 (drop-*-attitudes)

drop-successfull-attitudes 及び drop-impossible-attitudes は、達成・撤回したと信じる目標及び対応する意図を、それぞれ G 及び I から取り除く。また、サブゴールが終了したときは、update-intentions でプッシュした意図を意図スタックからポップする。

5.3.7 update-waiting-list

update-waiting-list は、5.2 で述べたように待機文を waiting-lists へ登録する。

以上の各関数は BDI logic を用いて推論する。例えば、option-generator は意図の前提条件の真偽を B を参照して推論する。このとき、目標に関する前提条件 (g-add イベントの存在) を B を参照して推論することの正当性は、3.1 の公理 (A5) によって保証されている。また、drop-*-intentions は、B を参照して目標の達成・撤回を推論する。これは、意図が実行されるコミットメント戦略、3.1 の (A9A), (A9B), (A9C) によって、それぞれ、 $BEL(\phi)$, $BEL(\phi) \vee \neg BEL(EF \phi)$, $BEL(\phi) \vee \neg GOAL(EF \phi)$ を証明すればよい。

5.3.8 拡張アーキテクチャの動作例

5.1 の例文を本体にもつプランを、意図として実行する拡張アーキテクチャの一連の動作概要を述べる。まず、execute において、先頭の propose を実行して、次に実行する文を次の待機文にする。そして、update-waiting-list において 1 回だけ待機文を待ちリストに登録して応答を待つ。ただし、その意図が達成不能になっている場合は、待ちリストから該当する待機文を削除する。次に、待ちリストの待機文に対応する他のエージェントからのメッセージが外部イベントとして到着して option-generator と deliberate により選択されると、update-intentions が待機文を評価する。例えば、accept-proposal がきていれば、too-late

の真偽を判定して cancel か inform を I に加え、それを execute で実行する。

6. 研究者秘書エージェントの情報フィルタリング事例

本章では、研究者秘書エージェントの情報フィルタリングの事例を通じて、5. で提案した拡張 BDI アーキテクチャが、人間または他のエージェントと協調して問題解決を行うために対話プランを構成する言語行為を意図的に遂行する合理的エージェントの基本設計に有効であることを示す。

6.1 研究者秘書エージェントの基本設計

研究者秘書エージェントの基本設計は、拡張 BDI アーキテクチャを用いれば、利用者の個人情報に依存して情報フィルタリングを行うための研究者がもっている信念、目標 (願望)、及び、対話プランを分析し、研究者秘書エージェントの心的状態として登録することである。例えば、権利委譲した研究者がもっている信念、目標、対話プランを、図 4、図 5 のように登録する。(G1),(B1),(P3) は、それぞれ、「研究者と C-MAP に関する議論をしたい」という願望、「議論より売込みの方が重要である」という信念、「見学者が研究者の場合は、C-MAP 見学対応を申し込む」という対話プランである。特に、対話プランは、研究者の目標に対応したトップレベルのプラン、その予約行為の仕方の一つとして、このサブゴールを達成する「見学対応調整」サブプラン、及び、そのサブゴールである見学テーマ提案エージェントとの交渉を行うサブプランの 3 階層とした。これは、それぞれのレベルで、そ

目標 (願望)
(G1) discuss(研究者, C-MAP)
(G2) promote(学芸員, C-MAP)
信念
(B1) more_important(promote, discuss)
(B2) have-interest(学芸員, [CG, VR, パーソナルエージェント])
(B3) have-interest(研究者, [協調, コミュニティウェア])
(B4) is-summary-of(summary-for-researcher, C-MAP)
(B5) is-summary-of(summary-for-promotion, C-MAP)
(B6) include(summary-for-researcher, コミュニティウェア)
(B7) include(summary-for-promotion, 見学案内)
(B8) include(S,K)Ahave-interest(V,K)
▷ have-interest(V,S)
(B9) is-summary-of(S,T)Ahave-interest(V,S)
▷ have-interest(V,T)

図 4 研究者秘書エージェントの心的状態
Fig. 4 Mental state of personal agent.

```

(P1)
Type: 研究者への見学対応
Invocation: g-add(discuss(研究者, C-MAP))
Precondition: true
Add List: {EF discuss(研究者, C-MAP)}
Body:
  appointment(研究者, 日時)
  :inform(権利委譲した研究者, 研究者, 日時)
(P2)
Type: 研究者への見学対応調整
Invocation: g-add(appointment(研究者, 日時))
Precondition: ¬sick(権利委譲した研究者)
Add List: {appointment(研究者, 日時)}
Body:
  propose(研究者, C-MAP)
  if BEL(propose(研究者, C-MAP))
    then arrange(研究者, 日時)
    else fail
(P3)
Type: 研究者への見学対応交渉
Invocation: g-add(propose(研究者, C-MAP))
Precondition:
  received-cfp(見学テーマ提案AG, 研究者への対応)
Add List: {propose(研究者, C-MAP)}
Body:
  :propose(見学テーマ提案AG, 研究者への対応)
  (:accept-proposal ?;
    if ¬BEL (EF propose(研究者, C-MAP))
      then {:cancel; fail}
      else :inform(見学テーマ提案AG,
                  研究者向けC-MAP 概要)
  | :reject-proposal ?; fail)
(P4)
Type: 学芸員への見学対応
Invocation: g-add(promote(学芸員, C-MAP))
  ...
(P6)
Type: 学芸員への見学対応交渉
Invocation: g-add(propose(学芸員, C-MAP))
Precondition:
  received-cfp(見学テーマ提案AG, 学芸員への対応)
Add List: {propose(学芸員, C-MAP)}
Body:
  :propose(見学テーマ提案AG, 学芸員への対応)
  (:accept-proposal ?;
    :inform(見学テーマ提案AG, C-MAP活用方法)
  | :reject-proposal ?; fail)

```

図5 秘書エージェントのプランライブラリ
Fig.5 Plan library of personal agent.

れら行為の実践的な手段に選択肢があるためである。また、提示文は、図6のようにデータベース化して使用する。

6.2 秘書エージェントの処理概要

本節では、2.2のシナリオに基づいて、「秘書エージェント」の「見学テーマ提案エージェント」との拡張BDIアーキテクチャを用いたコミュニケーション

```

概要データベース
<summary-for-promotion>
見学案内に威力を発揮するパーソナルエージェントです
</summary-for-promotion>
<summary-for-researcher>
実世界コンテキストに埋め込まれたコミュニティウェアの研究です
</summary-for-researcher>
  ...

```

図6 C-MAPの概要
Fig.6 Summary of C-MAP.

例を示す。

まず、研究者秘書エージェントは、自らに与えられた研究者Xの目標(G1)を達成するために、対話プラン(P1)「研究者への見学対応」を意図として形成する。そして、プラン本体のサブゴール appointment を達成するために、g-add 内部イベントを発行し、(P2)「研究者への見学対応調整」を意図として形成する。研究者Xは病気ではないので、同様に、サブゴール propose を達成するために(P3)「研究者への見学対応交渉」を意図として形成する。

同様に、与えられた目標(G2)から対話プラン(P4)「学芸員への見学対応」、サブプラン(P5)「学芸員への見学対応調整」、サブプラン(P6)「学芸員への見学対応交渉」を順次、意図として形成する。

その後、見学テーマ提案エージェントからの見学対応告知により、連想条件にマッチするプラン(プラン記述は省略)によって received-cfp(見学テーマ提案AG, 研究者Yへの対応)と received-cfp(見学テーマ提案AG, 学芸員Zへの対応)が、信念に追加される。

そして、プラン(P3)の前提条件がBから真と推論でき、options リストに追加され、“研究者Yに対するC-MAP見学対応告知”に対する入札 propose を実行する。対話プラン(P3)の待機文は、update-waiting-list によって待ちリストに書き込まれる。

その後、見学テーマ提案エージェントからの“研究者YへのC-MAP見学対応入札を受理する”という外部イベントは待ちリスト中の対話プラン(P3)の待機文と単一化したので、options リストに選択される。また、プラン(P6)の前提条件がBから真と推論できるので、options リストに追加される。そして、deliberate において、「議論より売込みの方が重要」という信念(B1)を用いて(P6)を次に実行することを選択し、¬(EF propose(研究者, C-MAP))を信念

に追加するようなメタレベルプラン [16] を適用する。このメタレベルプランの記述は省略する。そして、プラン (P6) の「学芸員への見学対応交渉」を実行することで学芸員 Z への見学対応を入札する。

次サイクルの deliberate でプラン (P3) が選択され update-intentions で待機文の評価を行い、if 文の条件 \neg (EF propose (研究者, C-MAP)) は B から真と推論でき、cancel が次の execute で実行される。これらの交渉により、見学対応のダブルブッキングは回避された。

以上、研究者秘書エージェントとテーマ提案エージェントとの合理的なコミュニケーション例を示し、拡張 BDI アーキテクチャで記述された対話プランの有効性を示した。

7. 考 察

本章では、本論文の提案手法に対する考察と秘書エージェントの丁寧な要求拒否応答の問題提起を、それぞれ述べる。

7.1 拡張 BDI アーキテクチャ

Rao らも [16] にて、マルチエージェント間の相互作用の様相を、直接、BDI アーキテクチャで扱う方法を課題として取り上げている。我々の提案は、FIPA の基本通信行為やプロトコルなどの言語行為を通して、エージェント間の相互作用を、直接、プラン本体に表現できるように、BDI アーキテクチャを拡張したものである。現在、多重世界が容易に記述できる CGAEA [22] を用いて、BEL 以外の様相オペレータが記述された BDI logic の証明と動的コミットメント戦略を除いて、拡張 BDI アーキテクチャの実装を終了している。また、2.1 の研究所見学案内システムを試作して、拡張 BDI アーキテクチャの検証もほぼ終了している。

また、我々の目標はコミュニティウェアの構築技術であり、拡張 BDI アーキテクチャの自然言語対話システムへの応用を目指している。そのため、他のエージェントのプラン推論を行う必要がある。プランのロットに未来指向的意図 [23] の形成条件を追加して、それまでの文脈と照らし合わせる方法が考えられる。例えば、旅行サービスシステムにおいて、利用者とその秘書エージェントが、「おはようございます」「おはようございます」「中津さんが出張します」「そうですか」「東京でホテルを探しているんだけど」「わかりました」...「新幹線の切符も取って欲しいのだけれど」

『わかりました』などの対話を考える。

まず、利用者の発話を毎回、文脈に蓄える。次に、すべてのプランの意図形成条件に記述された「利用者要求」を対象として、それまでの文脈から、それら要求を検出する。例えば、「ホテルを探しているんだけど」、「切符も取って欲しいのだけれど」などの要求発話を手がかりとする。そして、利用者の要求 (プラン) が検出できれば、その意図形成条件をもつプランを意図として形成する。そして、以後の対話は、それら形成された意図を実行して、利用者の要求を達成するように進められる。現在、このシステムを試作中である。

7.2 利用者の要求発話に対する丁寧な拒否発話

次に、5. では、研究者秘書エージェントは、見学テーマ提案エージェントからの「研究者への C-MAP 見学対応告知」に対して、いったん、入札する提案をしたにもかかわらず、後で、明示的に cancel する例を示した。

しかし、利用者が合理的エージェントを人間の代理人であると認識するような状況を想定すると、合理的エージェントは、実世界における利用者と被代理人との円滑な対人関係を配慮して、利用者の要求発話に対して丁寧に拒否するためには、どのような発話を生成するべきであるかという問題が生じる。

人間対人間の要求—拒否発話では、対人関係に即して拒否発話に用いられる文脈情報は異なり、要求—拒否という言語行為が円滑なコミュニケーションをもたらすには、対話相手に対する配慮のもとに生成される。

要求の表現形態には、要求をするに至る前提条件があり、この条件を文脈情報から判断し否定することによって拒否も成立すると考えられている [24]。例えば、利用者が「研究所見学を申し出るときに用いた表現形態“明日見学に行きたいんだけど”では、その要求の背景として、利用者は『研究者が「明日見学を受け入れる時間がある」、「見学を受け入れる制度がある」、「見学を受け入れることに対して協力的である」と思っている』などの前提を想定している。研究者がこの要求を拒否するには、“明日は見学を受け入れる時間がない,” “見学を受け入れる制度がない,” “明日は見学にきてほしくない”など利用者の前提を否定する表現が挙げられる。しかし、どの表現を用いるかは、利用者と研究者の対人関係などの状況に応じて、その丁寧度に変化する中で決定されると考えられる [25]。

利用者と研究者が初対面であれば、『研究者が「見学を受け入れることに対して協力的である」と思っ

いる』という前提が成立しないため、その前提を否定するような“明日は見学に来てほしくない”という表現が用いられることはない。利用者と研究者が親しい場合には、この表現は使用可能である。しかし、そこにシステムが介在する場合、利用者と研究者の対人関係をもとにした発話生成プロセスが応用できるであろうか。利用者対エージェントの要求—拒否発話の場合は、まず、エージェントが利用者に対してどのような立場であるのかを改めて考える必要がある。そして、エージェントが研究者と同一視されていれば、円滑な対人関係を考慮した拒否発話を生成する必要がある。一方、代理人とは切り離された機械的なエージェントとして受け取られていれば、対人関係に即した拒否発話をしたほうが好ましい印象を与える可能性がある。これらを検討することは今後の課題である。

8. む す び

本論文では、FIPA に準拠した言語行為を用いて遂行されるエージェント間のコミュニケーションを、プラン本体に表現できるように拡張した BDI アーキテクチャを提案した。提案手法を用いれば、コミュニティウェア構築技術の一つとして、人間または他のエージェントと協調して問題解決を行うために、対話プランを構成する言語行為を意図的に遂行する合理的エージェントの基本設計に有効である。秘書エージェントの情報フィルタリングを通じて、この手法の有効性を示した。今後の課題としては、BDI logic の証明方式、プラン推論、及び、秘書エージェントの丁寧な要求拒否応答などが挙げられる。

謝辞 本研究に有意義な御助言を頂いた ATR 経営企画部の片桐恭弘次長に深く感謝致します。

文 献

- [1] T. Ishida, ed., *Community Computing: Collaboration over Global Information Networks*, John Wiley & Sons, 1998.
- [2] T. Ishida, T. Nishida, and F. Hattori, "Overview of community computing," in T. Ishida [1], chapter 1, pp.1-11.
- [3] K. Kuwabara, H. Yamaki, H. Ishiguro, and T. Ishida, "Agent networks for connecting people together," in T. Ishida [1], chapter 2, pp.13-53.
- [4] 角 康之, 間瀬健二, "実世界コンテキストに埋め込まれたコミュニティウェアの構築," インタラクシオン 2000 情報処理学会, pp.123-130, 2000.
- [5] K. Isbister, H. Nakanishi, T. Ishida, and C. Nass, "Helper agent: Designing an assistant for human-human interaction in a virtual meeting space," Proc. International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI-2000), pp.57-64, 2000.
- [6] M. Wooldridge, *Reasoning about Rational Agents*, The MIT Press, 2000.
- [7] M. Wooldridge and A. Rao, eds., "Foundations of rational agency," vol.14 of Applied Logic Series, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [8] 大沢英一, マルチエージェント環境における協調スキームに関する研究, PhD Thesis, 慶應大, 1995.
- [9] P.R. Cohen and H.J. Levesque, "Communicative actions for artificial agents," *Software Agents*, pp.419-436, The MIT Press, 1997.
- [10] D.R. Traum, "Speech acts for dialogue agents," in M. Wooldridge and Rao [7], pp.169-201.
- [11] 高田司郎, 五十嵐新女, 中津良平, "インターネット上における自然言語対話システムの分散処理について," 信学技報, NLC2000-9, 2000.
- [12] 高田司郎, 新出尚之, 五十嵐新女, 間瀬健二, "動的なコミットメント戦略を考慮した BDI アーキテクチャ," 情処研報, 2000-MPS-31, pp.45-48, 2000.
- [13] <http://www.fipa.org>.
- [14] J.R. Searle, *Speech acts: An Essay in the Philosophy of Language*, Cambridge University Press, 1969. 坂本百大, 土屋 俊 (訳), 言語行為—言語哲学への試論, 勁草書房, 1986).
- [15] M.E. Bratman, *Intention, Plans, and Practical Reason*, Harvard University Press, 1987. (角脇俊介, 高橋久一郎 (訳), 意図と行為—合理性, 計画, 実践的推論, 産業図書, 1994).
- [16] M.P. Singh, A.S. Rao, and M.P. Georgeff, "Formal methods in DAI: Logic-based representation and reasoning," *Multiagent Systems*, pp.331-376, The MIT Press, 1999.
- [17] R.G. Smith, "The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver," *IEEE Trans. Comput.*, vol.29, no.12, pp.1104-1113, 1980.
- [18] A.S. Rao and M.P. Georgeff, "Modeling rational agents within a BDI-architecture," *Proc. International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, pp.473-484, 1991.
- [19] A.S. Rao and M.P. Georgeff, "Decision procedures for BDI logics," *J. Logic and Computation*, vol.8, no.3, pp.292-343, 1998.
- [20] E.A. Emerson and J. Srinivasan, "Branching time temporal logic," in *Linear Time, Branching Time and Partial Order in Logics and Models for Concurrency*, ed. J. de Bakker, W. de Roever, and G. Rozenberg, pp.123-172, Springer-Verlag, 1989.
- [21] T. Finin, Y. Labrou, and J. Mayfield, "KQML as an agent communication language," *Software Agents*, pp.291-316, The MIT Press, 1997.
- [22] <http://www.aist.go.jp/E/FL/ctl/captain/gaea/>.
- [23] M.E. Bratman, D.J. Israel and M.E. Pollack, "Plans and resource-bounded practical reasoning," *Techni-*

cal Report Technical Note 425R, SRI International, 1988.

- [24] 仲真紀子, 無藤 隆, “間接的要求の理解における文脈の効果,” 教育心理学研究, vol.30, no.3, pp.175-184, 1983.
- [25] 榎本美香, “状況に埋め込まれた聞き手はどのような拒否発話をするか,” 第63回大会日本心理学会, p.681, 1999. (平成12年9月18日受付, 13年1月26日再受付)



高田 司郎

1979 阪大・基礎工・情報卒, 1993 奈良先端大・情報科学研究科前期課程入学, 1999 同科後期課程了, 1979 (株)CSK 入社, 1993より(株)けいはんな, 1999より(株)ATR 知能映像通信研究所客員研究員, 現在に至る, 博士(工学), エキスパートシステム, オブジェクト指向, 形式的仕様記述, 合理的エージェントなどの研究に従事, 情報処理学会, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, 日本ロボット学会, IEEE 各会員.



五十嵐新女

1999 奈良女子大・理・情報科学卒, 同年同大学院人間文化研究科情報科学専攻修士課程入学, 2000より(株)ATR 知能映像通信研究所学外実習生, 現在に至る, エージェントの推論, エージェント間のインタラクションに興味をもつ.



新出 尚之

1986 京大・理卒, 1988 同大学院理学研究科数理解析専攻修士課程了, 同年同専攻博士後期課程中退, 同年京大情報処理教育センター助手, 1992より奈良女子大理学部情報科学科講師, 現在に至る, 興味をもつ分野は, 時相論理による証明及びプログラミングシステムの構築, 日本ソフトウェア科学会正会員.



榎本 美香

1995 神戸大・教育・初等教育卒, 1997 奈良女子大大学院文学研究科修士(心理)課程了, 同年千葉大大学院自然科学研究科博士(情報科学)課程入学, 2000より(株)ATR 知能映像通信研究所第四研究室研修研究員, 現在に至る, コーパスを利用した対話, 対人コミュニケーションの研究など, 日本心理学会, 認知科学会各学生会員.



間瀬 健二 (正員)

1979 名大・工・電気卒, 1981 同大学院工学研究科修士(情報)課程了, 同年日本電信電話公社(現 NTT)入社, 1988~89 米国 MIT メディア研究所客員研究員, 1995より(株)ATR 知能映像通信研究所第二研究室室長, 現在に至る, コミュニケーション支援のためのインタフェースエージェントの研究を推進している, 人工知能学会 1999 年度論文賞, IEEE, ACM, 情報処理学会, VR 学会各会員, 博士(工学).



中津 良平 (正員)

1969 京大・工・電子卒, 1970 同大学院修士課程了, 同年日本電信電話公社(現 NTT) 武蔵野電気通信研究所入所, 1980 横須賀電気通信研究所, 主として音声認識の基礎研究, 応用研究に従事, 1990NTT 基礎研究所研究企画部長, 1991NTT 基礎研究所情報科学研究部長, 1994より ATR に移り, 現在(株)ATR 知能映像通信研究所代表取締役社長, マルチメディア要素技術の研究及びマルチメディア技術を応用した通信方式の研究などに従事, 工博(京大), 1978 年度本会学術奨励賞, 1996IEEE Multimedia Systems and Computing'96 最優秀論文賞, 1997 ロレアル賞, 1999 映像情報メディア学会論文賞, 1999, 2000 テレコムシステム技術賞, 日本バーチャルリアリティ学会論文賞, 2000 人工知能学会論文賞受賞, IEEE フェロー, 日本音響学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 画像電子学会, 日本バーチャルリアリティ学会, 映像情報メディア学会, 日本芸術科学会, 日本情報考古学会各会員.