

マルチエージェントによるワークフロー制御とヘルプデスクへの応用

榎 木 浩^{†,††} 辰 巳 昭 治^{††}

オフィス業務の効率化を図る手段として、CTI (Computer Telephony Integration) システムが導入されているが、顧客も含めた利用者の多様化がいつそう進むにつれ、アプリケーションに柔軟性を持たせること (カスタマイズ) が重要になってきている。また、オフィス業務の自動化として注目されているワークフロー管理システムも、ビジネスプロセスの並列性、分散性、および自律性への対応が必要となってきている。本論文では、オフィス業務におけるアプリケーションのカスタマイズを容易にし、ビジネスプロセスの自律・分散化に対応できるワークフロー管理システムの仕組みとして、マルチエージェントによりワークフローを制御する方法を提案する。そして、CTI の代表的なアプリケーションの 1 つであるヘルプデスクシステムに本方法を適用した場合の実装方法を述べる。ヘルプデスクシステムの制御部分を実装したシミュレーションによる評価では、マルチエージェントによるワークフロー制御方法の有効性と、ヘルプデスクシステムでのカスタマイズの容易性を確認した。

Workflow Management with a Multi-agent System and an Application to a Helpdesk System

HIROSHI ENOKI^{†,††} and SHOJI TATSUMI^{††}

The CTI (Computer Telephony Integration) systems are introduced as the expedient, which assures the improvement of efficiency of back-office operations. It is becoming important to give pliability to application, i.e., customized, as diversification of the user whom also the customer includes advances more. Moreover, parallelism, decentralization, and autonomy of business processes are needed also for the workflow management system that is observed as automation of office works. In this paper, a method of controlling a workflow by the multi-agent system is proposed as making easy customize of the application in back-office operations, and structure of the workflow management system that be able to respond to the autonomous decentralization of business processes. Also, we describe an implementation when this method is applied to a help desk system as a typical application for CTI systems. The validity of the method by the multi-agent system and the ease of customize of a help desk system were verified, in evaluation by the simulation which implemented the control portion of a help desk system.

1. はじめに

近年、オフィス業務の効率化を図るため、CTI (Computer Telephony Integration) システムが導入されているが、利用者の多様化がいつそう進むにつれ、業務モデルに合わせたシステムの柔軟なカスタマイズや拡張性が求められている。また、顧客満足度向上の観点から、CRM (Customer Relationship Management) により、多種多様のチャネルで顧客との接点を持ち、一人ひとりに着目した顧客中心のビジネス・モ

デルを実現することで、顧客満足度と高い信頼を獲得し、継続した収益向上を図っている¹³⁾。

一方、オフィス業務の自動化においては、情報技術の進展とともに、ワークフローが有効な方式として注目されている²³⁾。ワークフローとは、複数の担当者がネットワークを介して仕事を行う際に、担当者間で受け渡される情報の流れを管理し、自動化することといわれている。このワークフローを制御する有効な仕組みの 1 つとして、マルチエージェントシステムをあげることができる¹⁹⁾。ワークフローのもととなるビジネスプロセスの並列性、分散性、自律性等がマルチエージェントシステムの特長に合うためである。

ビジネスプロセスをエージェントシステムで制御する試みはさかんに行われている^{14),21),22)}。これまでの

† 富士通関西中部ネットテック株式会社

FUJITSU KANSAI-CHUBU NET-TECH LIMITED

†† 大阪市立大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Osaka City University

ワークフローシステムは、ワークフローの管理と実行が一体で制御され、実行する主体となる組織や担当者もワークフロー制御の一部として組み込まれたシステムがほとんどである。ワークフロー、組織、および担当者というエンティティが相互に依存し合ったワークフローシステムでは、あるエンティティを変更しようとしたとき、他のエンティティも影響を受け変更しなければならない。ワークフローシステムのカスタマイズは可能ではあるが困難な作業となる。また、ワークフローを実行する担当者の決定においても、要求者のニーズが多様な場合、時間スケジュールや過去の業務履歴だけでは、その時点で最適な担当者を決定できない場合がある。たとえば、重要な要求である場合、あるいは特殊技能が必要な場合、要求の優先度や担当者のスキルを考慮しなければならない。また、仕事の空き状況やスキルをもとに割当てを行えば、仕事を素早くこなす高いスキルを持った特定の人に集中する場合もでてくる。ビジネスプロセス依頼者の要求と担当者の状況に応じて、臨機応変に、かつ適切な担当者の決定方法が必要である。

我々は、このような観点から、CTI アプリケーションの実行基盤として、ワークフローとマルチエージェントの仕組みを連携させたシステムの研究開発を行っている。その中で、ビジネスプロセスのもととなるオフィス業務モデルとして、組織の中の役割に着目した役割指向型組織モデルを提案している⁵⁾。このモデルでは、役割と組織の個人を分離し、個人のワークスタイルに影響されないビジネスプロセスの実行が可能となっている。本研究では、役割指向型組織モデルをもとにして、ビジネスプロセスを制御するためのマルチエージェントシステムを実現し、オフィス業務の支援と効率化、ならびにアプリケーションのカスタマイズを容易にすることを目的としている。

本論文では、オフィス業務を業務オブジェクトという機能単位に階層的に分解し、業務オブジェクト群をビジネスプロセスとし、業務オブジェクトを遂行するための複数のエージェントからなるマルチエージェントシステムにより、ワークフローを制御する方法を提案する。また、オフィス業務の中で、顧客と担当者を基本構成とする代表的な業務システムであるヘルプデスクシステムに提案するワークフロー制御方法を適用し、シミュレーションシステムにより本制御方法の有効性を評価する。

以下、2章では CTI、ワークフロー、およびエージェントシステムの連携についての関連研究と利点を述べ、3章において、マルチエージェントシステムに

よるワークフローの制御方法を述べる。4章では、その応用としてヘルプデスクシステムでの実装形態を示し、5章でシミュレーションシステムによる評価結果と考察を述べる。6章は本論文のまとめである。

2. CTI・ワークフロー・エージェントの連携

2.1 CTI アプリケーション

CTI システムは、PBX (Private Branch Exchange), IVR (Interactive Voice Response) や ACD (Automatic Call Distribution) 等の電話系のシステムと、グループウェアやデータベース等の業務アプリケーションを制御するコンピュータシステムを連携させたものである。この両システムの連携を実現する標準的なインタフェースとして、TAPI (Telephony Application Programming Interface) や TSAPI (Telephony Service Application Programming Interface) 等があり、アプリケーションの開発を容易にしている。

CTI アプリケーションにおいて、エージェントを用いたワークフロー管理の研究としては、Balzier ら¹⁾ が、コールセンタにおける 24 時間サービスでのクライアントリクエストに対し、手続きの決定や、その手続きやリソースのスケジューリングに対して、プロセスの部分的な自動化を実現している。Rostal¹⁷⁾ は、コールセンタアプリケーションのワークフローを構成するコンポーネントとビジネスプロセスを、自律エージェントによって実装する方法を報告している。

CTI システムは、オフィスの基幹系業務の効率化を図るための道具としても用いられ、ビジネスプロセスによる基幹システムの情報化や、コミュニケーション環境の整備に役立ってきた。最近では、顧客満足度向上の観点からコールセンタをコンタクトセンタとして位置付け、顧客との接点をどうするかに関心が移ってきている^{2),15),18)}。このためには、オフィス内のビジネスプロセスの仕組みを顧客向けにも活用できる CTI プラットホームやアプリケーションの効率的な開発が望まれる。

2.2 CTI アプリケーションとワークフロー管理

企業等での基幹システムで、業務の自動化を図る技術にワークフロー管理システムがあげられる。近年では、ワークフロー管理システムの標準化を目指して、WfMC (the Workflow Management Coalition) が組織され、標準化活動が行われている²⁶⁾。WfMC では、ワークフローを「ビジネスプロセス全体あるいは一部の自動化であり、これによって文書、情報、タスクが、手続き規則によって担当者から担当者へ引き継

られる」と定義している。

ワークフロー管理システムは、業務の自動化、効率化の観点から、多くの業務分野に適用され、すでに多くの製品も開発されている。しかし、その対象はオフィス内の業務が多く、CTIシステムが目指しているような、顧客を含んだシステムではない。CTIシステムを構築するうえで、顧客を意識したビジネスプロセスを実行できるワークフロー管理システムが求められる。

2.3 ワークフロー管理とエージェント

組織の個人やリソースは、単一の業務でなく複数の業務に同時に携わっている。また、業務の対象は、1つの組織から複数の組織が連携する場へと広がっている。このような業務システムの仕組みの1つとして、マルチエージェントシステムの研究が活発である。マルチエージェントシステムの並列性、自律性、分散性、適応性等が、業務システムが対象とする分散して並列に活動する組織によく適合するため、その理由は次のとおりである。

- 1つのビジネスプロセスには複数の組織が関わる。
- 組織は物理的に分散している。
- 組織の情報やリソースの所有者は集中しない。
- 組織の各グループは自律的に活動する。
- 互いに関連するプロセスが同時進行する。
- ビジネスプロセスはモニタリングされる。

たとえば、自律エージェントによる協同行動的アプローチ^{3),9),11),20)}、リアクティブなエージェント間の協調による分散的アプローチ^{10),24)}、モバイルエージェントによるワークフローの移動^{4),12)}等があげられる。

組織は、役割や機能で分けられた多数の下部の組織で構成される階層構造体である。その役割や機能にエージェントを割り当て、ビジネスプロセスを制御するエージェントシステムが求められる。役割に着目した研究として、RIDE-VE'99⁶⁾では、電子商取引のプラットフォームとしての仮想組織におけるワークフロー制御について議論されている。RM-ODP (Reference Model for Open Distributed Processing)⁸⁾をもとにした役割ベースのモデル化や仮想組織の管理方法が提案されているが、RM-ODPの適用事例はまだ少ない。エージェント指向システムを構築するフレームワークとして、Wagner²⁵⁾は、エージェント指向システム構築のためのメタモデル AOR (Agent-Object-Relationship) を提案している。エージェントを動的なアスペクトでインタラクティブに動作するものとして、静的なオブジェクトとの関係を定義できるのが特徴である。Wooldridge²⁸⁾は、permissions, responsibilities, および protocols からなる役割モデル

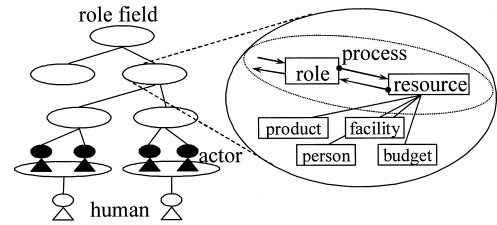


図 1 役割指向型組織モデルの概念図

Fig. 1 A concept of role-oriented organization model.

をもとに、システムを役割とインタラクションの各モデルで分析し、それをエージェント、サービス、知識の各モデルで設計する方法を示している。Yu²⁹⁾は、役割を目標、資格、責任、権限、プロトコル等で構成し、その役割をエージェントに割り当て、役割間のインタラクションをエージェント間コミュニケーションで実現するフレームワークを提案している。

我々は、組織が保有する機能に着目した役割指向型組織モデルを提案している⁵⁾。このモデルは役割をもとにしたビジネスプロセスのオブジェクトモデルである。図 1 に示すように、役割指向型組織モデルは、役割をオブジェクトとしてとらえ、オブジェクトの属性、操作、関係により組織構成と組織活動プロセスを詳細化したものである。このモデルでは、組織の機能単位に着目し、それらの連携により組織構造を表現するアプローチを採り、役割空間 (Role Field) という機能単位を定義している。役割を詳細化していくと、これ以上詳細化する必要のない最小の役割に到達する。この最小の役割の担い手として、“actor” という仮想的な活動者を設ける。actor 自身は最小の役割空間となる。役割空間における組織活動は、個人が actor とやりとりすることを契機にして、役割に呼応する活動プロセスに従って行われる。一方、個人は独自のワークスタイルで活動できる。そのスタイルの中で、actor とのインタラクションにより、個人活動と役割空間の活動が関係づけられる。したがって、役割指向型組織モデルは組織活動プロセスが個人のワークスタイルに影響されないモデルとなっている。本研究は、この役割空間と actor をエージェントとして実現し、自律分散可能なワークフローシステムによる組織での業務活動を目的とする。

3. マルチエージェントによるワークフロー制御

3.1 ビジネスプロセスの表現

マルチエージェントシステムによるワークフロー制御方法を示す前に、ワークフロー管理における語彙を、

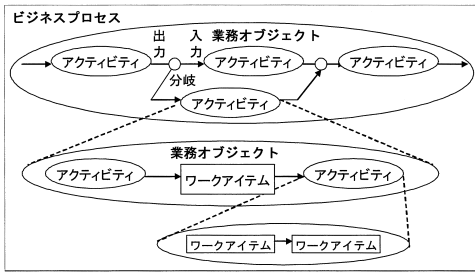


図 2 業務オブジェクトによるビジネスプロセス表現
 Fig. 2 An explanation of business processes using business objects.

WFMC の定義²⁷⁾ を参照して整理しておく .

● ビジネスプロセス

業務目的を実現するために、複数の手続きや仕事が結合した構造体 .

● プロセス定義

ワークフロー管理システム実行という自動化操作を目的としたビジネスプロセスの表現 .

● アクティビティ

ビジネスプロセス内で、1 つの論理的なステップを形作っている仕事 .

● ワークアイテム

1 つのアクティビティで処理する仕事を具体的に表現したもので、実際に担当者が遂行する仕事を構成する単位 .

業務目的ごとに複数の手続きや仕事が結合したビジネスプロセスは、役割指向型組織モデルと類似する . この役割指向型組織モデルをもとにしてビジネスプロセスを表すため、ある 1 つの役割を持った手続きや仕事を業務オブジェクトと定義し、図 2 のように業務オブジェクトの階層としてビジネスプロセスを表現する .

業務オブジェクトは、アクティビティまたはワークアイテム (以下、総称してタスクと呼ぶ)、入出力データ、および分岐条件からなる . ある 1 つの業務オブジェクトは、その役割を詳細化した下位の業務オブジェクトの集合で表される . 業務オブジェクトを単位としてビジネスプロセスを管理することにより、ワークフローの独立性を高められる .

3.2 ビジネスプロセスへのエージェントの配置

タスクの作業者は、通常、人やアプリケーションプログラムである . タスクの実行を制御、管理するために、2 種類のエージェントを設ける . 1 つは業務オブジェクトの遂行主体となるワークフロー・エージェント、もう 1 つは業務オブジェクトを遂行するためのワークスペースを提供し、協働作業を行うワークスペース・エージェントである . これらのエージェントは、前者

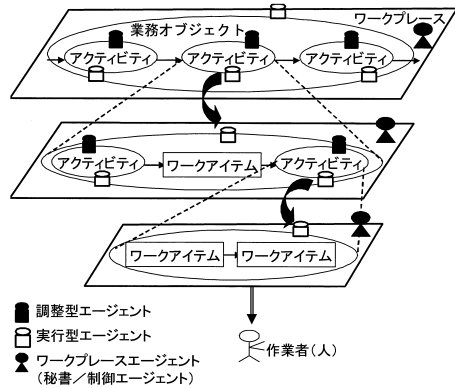


図 3 ビジネスプロセスへのエージェントの割当て
 Fig. 3 Assignment of agents to business processes.

は実行型エージェントと調整型エージェント、1 つのアクティビティで処理する仕事を具体的に表現したもので、実際に担当者が遂行する仕事を構成する単位 . 後者は秘書エージェントと制御エージェントからなる . 各エージェントの性質を以下に示し、図 3 にビジネスプロセスにおけるエージェントの配置形態を示す .

(1) 実行型エージェント (worker)

業務オブジェクトを遂行するエージェントである . 実行型エージェントは、業務オブジェクトにアクティビティがある場合は、アクティビティごとに調整型エージェントを生成する .

(2) 調整型エージェント (manager)

調整型エージェントは、ワークスペース・エージェントとの交渉により、アクティビティを遂行するためのワークスペースを決定する . ワークスペースが決まれば、実行型エージェントを生成し、そのワークスペースへ移動させてアクティビティ、すなわち 1 つ下位の業務オブジェクトを遂行させる .

(3) 秘書エージェント (assistant)

秘書エージェントは、ワークスペースに移動してきた実行型エージェントが持つアクティビティの遂行を支援する . また、秘書エージェントが請け負った実行型エージェントのアクティビティの内容や進行状況の一覧を、作業員に対し To Do リストとして提供する . 秘書エージェントは作業員 1 人に対応し、作業員の秘書としての役割を担う .

(4) 制御エージェント (controller)

制御エージェントは、ワークスペースに移動してきた実行型エージェントが持つアクティビティの自動実行を支援する . 人の介在しないアクティビティは、すべて制御エージェントで実行される .

これらのエージェントは、業務オブジェクトを基準

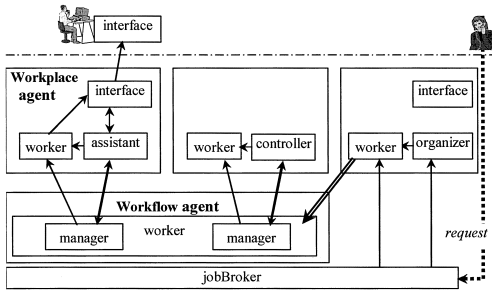


図 4 マルチエージェントシステム構成

Fig. 4 An architecture of a multi-agent system.

に構成されており、実際の組織構成や人の構成からは独立した論理的なオブジェクトである。作業者は、秘書エージェントと 1 対 1 に対応しており、部や課等組織の構造を示す情報は、秘書エージェントの属性として保持する。人や組織に関する情報は、秘書エージェントに隠蔽され、ワークフローシステムを実現するうえで、ビジネスプロセス、組織、および人を互いに独立させて管理できる。

このほかに、ワークフローシステムを実装するうえで、システム全体を機能させるために、次のエージェントを用意する。

(5) ジョブ仲介エージェント (jobBroker)

要求があったビジネスプロセスの開始/終了を制御するエージェントである。

(6) ジョブアシスタント (organizer)

ビジネスプロセスの要求ごとに 1 つ生成される非常駐型の秘書エージェントで、顧客等のビジネスプロセス要求者のアシスタントとして働く。

(7) インタフェースエージェント (interface agent)

タスクを実行する人の居場所、利用機器、および環境にあったコミュニケーション方法を提供する。機器によっては、その機能の一部は、タスクを実行する人が利用する機器に常駐する。

3.3 エージェントによるビジネスプロセス制御

図 4 にマルチエージェントシステムの構成を示す。ジョブ仲介エージェントは外部システムからのイベントを受信して、ビジネスプロセス全体を表す業務オブジェクトを持った実行型エージェントを生成する。次に、その業務オブジェクトを実行するワークスペースに相当するジョブアシスタントを生成し、業務オブジェクトを実行するためのワークスペースに実行型エージェントを移動させる。

業務オブジェクトを遂行する実行型エージェントは、その業務オブジェクトにアクティビティがあるとき、アクティビティごとに調整型エージェントを生成する。

調整型エージェントは、アクティビティを遂行する実行型エージェントを生成し、適当なワークスペースを決め移動させる。このエージェントの生成と移動は、業務オブジェクトにアクティビティがなくなるまで繰り返し実行される。実行型エージェントがプロセス定義に従ってアクティビティを実行することにより、ビジネスプロセスが遂行される。

実行型エージェントは、ワークスペースでのアクティビティ実行を終えると、実行結果を移動元の調整型エージェントに報告する。調整型エージェントは、自身を生成した実行型エージェントに報告する。以下同様に、生成と逆の順序で上位のエージェントへの報告を繰り返す。

次に、調整型エージェントがワークスペースを決定する方法を示す。決定方法には、契約ネットプロトコル (以下、契約ネット) に基づく交渉を用いる。契約ネットは、複数の処理ノード間での交渉 (告示、入札、落札等) を通じて、タスクを割り当てるモデルである⁷⁾。ワークスペース・エージェントの決定に契約ネットを用いて、調整型エージェントと、ワークスペース・エージェント各々の状況や戦略に基づいた割り当てを行う。調整型エージェントは、アクティビティを割り当てるために交渉用にあらかじめ定義した戦略定義に基づき、入札したワークスペース・エージェントに対応する作業者のスキルや、空塞・稼働状況等をふまえて、最も適したワークスペースを決定する。アクティビティごとの戦略定義は、ビジネスプロセス定義とあわせてパラメータを定義する。パラメータは、入札資格である資格要素とその順位、入札仕様、標準入札の入札要素とその順位および重み付けである。ここで、要素の順位とは、要素の値の間での割り当ての順位を示し、順位の高い値を持った入札を高く評価する。また要素の重み付けとは、アクティビティの割り当てに際する要素の重要度を示し、重み付けが高い要素を持った入札を高く評価する。一方、秘書エージェントの割り当ての評価基準には、静的な状態と動的な状態がある。静的な状態は、秘書エージェントのプロファイルであり、組織情報として、職種、役職、能力のパラメータを具備する。動的な状態は、タスクに依存しない作業者の状態、位置、場所、利用可能なメディアデバイスとその状態である。

図 5 に秘書エージェントの決定方法を示す。調整型エージェントは、アクティビティごとにあらかじめ定義した戦略定義情報に基づいて、告示メッセージを作成し、秘書エージェント A, B, C に告示する。告示を受けた秘書エージェント A, B, C は、各々エー

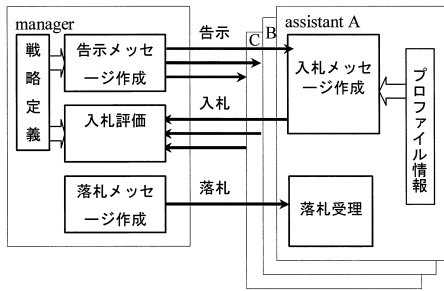


図 5 秘書エージェント決定の処理概要

Fig. 5 A flow for allocation of an assistant.

エージェントのプロファイルをもとに入札メッセージを作成し、調整型エージェントに入札する。入札を受けた調整型エージェントは、戦略定義の標準入札情報に基づき、標準入札と比較して最も高位にある入札を計算する。それぞれの入札における入札ポイント Q 、標準入札値 n 、入札値 m 、入札パラメータの重要度 p 、入札パラメータ数 j とすると、

$$Q = \sum_{i=1}^j p_i (m_i - n_i) \quad (1)$$

の式により、 Q の値が最も高い入札をした秘書エージェントに落札する。式 (1) の $m_i - n_i$ は、要素 i に対する入札値と標準値の順位の差で、その差が大きいかつその要素 i の重要度 p_i が高ければ、 Q の値は高くなる。したがって、重要度が高い要素に対する入札値が標準値以上である数の多い最適なエージェントが割り当てられる。また、要素の重要度に差がない場合でも、より多くの入札値が標準値以上であるエージェントが割り当てられ、最適性が保たれる。

アクティビティの内容から、あらかじめ落札すべきワークスペース・エージェントが特定される場合は、契約ネットにおける指名落札プロトコルを用いて、直接ワークスペース・エージェントを指定する。

4. ヘルプデスクシステムへの応用

4.1 ヘルプデスク業務

CTI システムが適用される代表的業務であり、顧客を含めた業務フローとして表現が容易なヘルプデスク業務に対して、マルチエージェントによるワークフロー制御方法を適用し、その方法の有効性を評価する。CTI システムが適用される業務には、テレマーケティング（顧客や見込み客へ電話をかけるタイプのアウトバウンド業務、顧客や見込み客からの電話を受信するタイプのイントバウンド業務）、営業支援、受注業務、督促業務等がある。いずれの業務も、顧客、顧客を受

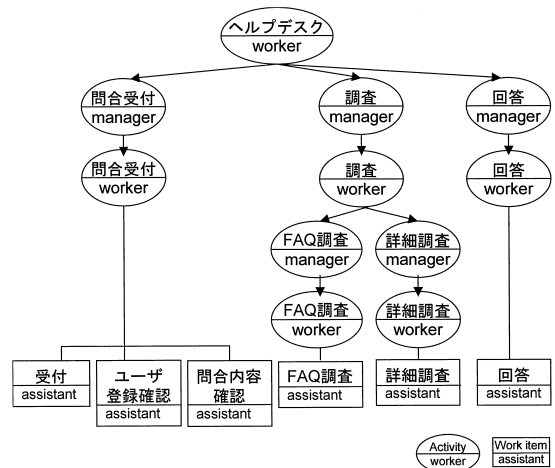


図 6 ヘルプデスクの業務オブジェクトとエージェント

Fig. 6 Business objects for a help desk system and agents.

け付けるオペレータ等によるフロントオフィス業務、および顧客の要求を実際に処理するバックオフィス業務で構成される。したがって、ワークフローの基本構造は同じである。その代表例であるヘルプデスクシステムで検証することで、他業務への適用も可能である。他業務では、業務オブジェクトのインスタンスを業務に応じて定義すればよい。

ヘルプデスク業務は、受付、回答、調査の役割に分類される。たとえば、顧客からの電話を受け付け、顧客のユーザ登録情報を確認する。もし、登録ユーザでなければその旨を通知する。登録ユーザの場合は、顧客に問合せの内容を確認し、その問合せに応じた FAQ (Frequently Asked Questions) を検索する。該当する FAQ があった場合は、その内容を回答する。FAQ がない場合は、詳細に調査を行い、その結果を回答する。ヘルプデスクにおける業務オブジェクトとエージェントの配置を図 6 に示す。

4.2 ヘルプデスクシステムの機能要件

ヘルプデスクシステムでは、3.3 節の業務オブジェクトによるビジネスプロセスの制御以外に、ヘルプデスクで取り扱う各種メディアの処理、業務状況のモニタリング、履歴管理等が必要である。次にそれらの機能要件と実現方法について示す。

(1) メディア制御

CTI システムでは、入出力に電話、mail、WWW 等多様なメディアを扱う。メディア制御では、ヘルプデスクの利用者から、任意のメディアによる要求を受信し、ジョブ仲介エージェントにメディアに依存しない統一したインタフェースで要求を送信する。一方、ヘルプデスクの作業員（オペレータや調査担当等）へ

は、秘書エージェントから送られた要求事項を、利用可能なメディアに変換して送信する。このとき、秘書エージェントと作業者の間のインタフェースエージェントにより、作業者の端末の物理的状態を管理し、秘書エージェントに端末を意識させないようにする。

(2) ビジネスプロセスのモニタリング

業務オブジェクトの管理責任者が調整型エージェントで、実行責任者が実行型エージェントである。ビジネスプロセスの進行状況は、これらのワークフロー・エージェントに問い合わせることでモニタリングする。

(3) ビジネスプロセスの履歴管理

過去の状況を把握するためには、プロセス完了時に履歴を保存する必要がある。ビジネスプロセスの中のある1つのタスク実行が終了すれば、動的なエージェントであるワークフロー・エージェントは消去されるが、ワークフロー・エージェントはタスク実行結果を上位のワークフロー・エージェントに順次に報告し、その結果はすべて最終的にジョブ仲介エージェントに集約される。その結果をビジネスプロセスの履歴管理データとして保存する。

(4) 既存業務アプリケーションとの連携

業務オブジェクト内のアクティビティ間の入出力データは、URLで参照されるデータとして管理することにより、WWWブラウザに対応している業務アプリケーションであれば連携できる。URLで示されるデータを表示する指示を秘書エージェントに出すと、秘書エージェントはWWWブラウザを利用してその情報を表示させることができる。

4.3 ヘルプデスクシステムの構成

ヘルプデスクシステムは、ビジネスプロセスを制御するサーバ、各種アプリケーションサーバ、電話網と相互接続するCTIサーバ、および各作業者のクライアント（携帯端末や在宅端末を含む）からなる分散システムである。ヘルプデスクシステムにおけるビジネスプロセス制御、アプリケーションおよびクライアントの機能構成を図7に示す。

作業側側のクライアントは、ビジネスプロセスインタフェース、ユーザインタフェース、および一般のアプリケーションプログラムで構成される。ビジネスプロセスインタフェースは、秘書エージェントが担当した仕事を管理するためのTo Doリストを処理する。ユーザインタフェースは、To Doリストによる作業側へのタスク到着の通知や、作業側のTo Doリストへの指示の受け付け等、To Doリストと作業側とのやりとりを制御する。アプリケーションプログラムは、WWWブラウザ、メール、チャット等のクライアント

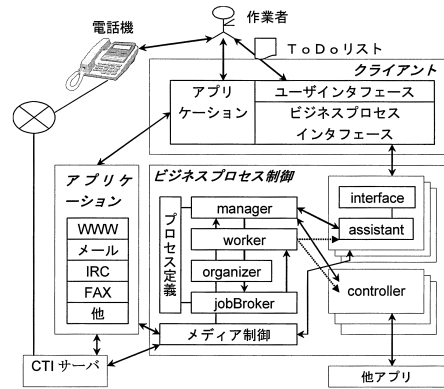


図7 ヘルプデスクシステムの機能構成

Fig. 7 A functional architecture of a helpdesk system.

アプリケーションで、作業者がタスク実行時に使用するものである。

ビジネスプロセスを制御するサーバは、エージェント群、プロセス定義、およびメディア制御で構成される。このうち、エージェント群は分散配置可能である。ビジネスプロセスは、これらのサーバとクライアントの連携により実行される。

5. シミュレーションシステムによる評価

ビジネスプロセス制御の自律分散性とカスタマイズの容易性を確認するために、ヘルプデスクシステムにおけるビジネスプロセス制御部分を実装し、シミュレーションにより評価した。

5.1 実施環境

シミュレーションシステムでは、エージェントの通信基盤としてCORBAを用いた。エージェント間通信言語には、形式、内容記述ともにXML(Extensible Markup Language)を用いた。開発言語はJavaとC++で、ワークフローの記述には、Visual Basic Scriptを使用している。システム構成は、CORBAサーバを搭載しLANに接続したWindowsNTサーバ4台に、それぞれ4つの秘書エージェントとインタフェースエージェントを活性化させた。なお、使用ツールの環境、およびメモリの制約のため、サーバ1台に最大8エージェントのみの動作となった。

ヘルプデスク業務を実行するうえで必要となる組織情報として、職種(J)、役職(T)、および能力(C)の属性に対して次の属性値を与える。

$$J = \{operator, analyst, supervisor\}$$

$$T = \{employee, part, leader, manager\}$$

$$C = \{average, expert, beginner\}$$

秘書エージェントのプロファイル情報には、この3

つの属性ごとにそれぞれ 1 つの属性値を XML により記述する．また、プロフィール情報には動的な状態を表す属性として、作業者の状態 (S)、位置 (L)、メディアデバイス (M)、メディアアドレス (A)、およびメディアデバイス状態 (MS) を次の属性値により定義する．

$$S = \{idle, busy, absence\}$$

$$L = \{desk, soho, mobile\}$$

$$M = \{telephone, fax, mail, chat\}$$

$$A = \{“telephone number”, “fax number”, “mail address”, “user id”\}$$

$$MS = \{idle, busy\}$$

一方、調整型エージェントが秘書エージェントを決定する際に用いる戦略定義には、各属性 J, T, C, L, A, M, MS の属性値をもとにして、アクティビティごとに入札可能な条件、入札仕様、および標準入札を記述する．入札可能な条件は、各属性の属性値と属性値間の優先順序を表す．たとえば、あるアクティビティの入札で、属性 J に対してすべての属性値が入札可能な場合、割当ての順位を $operator > analyst > supervisor$ とすることを優先順序という．入札仕様は、入札する際に必要となる属性を表す．標準入札は、入札される属性の属性値と、属性の間での優先度を示す重み付けをあらかじめ閾値として設けておくものである．たとえば、あるアクティビティにおいて属性 J, T, C が入札されるときに、属性値を $operator \in J, employee \in T, average \in C$ とし、 C の入札値を最も重要とする場合、 C に対して一番高い重み付けのポイントをつける．この実験では重み付けを 5 段階で設定した．図 8 に記述例を示す．

また、秘書エージェントが同じ条件や状態のときに割当てを可変にする仕組みとして、従来から用いられている空き時間による割当て機能を入れ、最も長く空いている秘書エージェントを割り当てることにした．

5.2 シミュレーション結果

シミュレーションでは、実行型エージェントがアクティビティを持って、分散したワークスペースに移動しワークフローを自律的に実行することを確認する．また、自律分散した各エージェントの動作、秘書エージェント数の増減、およびビジネスプロセスの並列実行を確認することによりビジネスプロセス制御の自律分散性を評価する．一方、入札条件・応札条件の変更とワークフローの変更方法、その変更がビジネスプロセス制御や秘書エージェントの割当てに及ぼす影響を確認することにより、カスタマイズの容易性を評価する．なお、シミュレーションシステムでは、疑似 request

```
<contract>
<message type="task_announcement"/>
<taskAnnouncement>
<eligibility>
<organization>
<job jobName="supervisor" jobOrder="1"/>
  <job jobName="operator" jobOrder="2"/>
  <job jobName="analyst" jobOrder="3"/>
  <title titleName="leader" titleOrder="1"/>
  <title titleName="manager" titleOrder="2"/>
  <title titleName="employee" titleOrder="3"/>
  <title titleName="part" titleOrder="4"/>
  <capability capabilityName="expert" capabilityOrder="1"/>
  <capability capabilityName="average" capabilityOrder="2"/>
  <capability capabilityName="beginner" capabilityOrder="3"/>
</organization>
</eligibility>
</taskAnnouncement>
<n_bidSpec>
<n_orgSpec>
<n_job jobName="operator" jobOrder="1" priority="3"/>
<n_title titleName="employee" titleOrder="1" priority="2"/>
<n_capability capabilityName="average" capabilityOrder="1"
priority="3"/>
</n_orgSpec>
</n_bidSpec>
</contract>
```

図 8 戦略定義の XML 記述例

Fig. 8 A description of a strategy definition by XML.

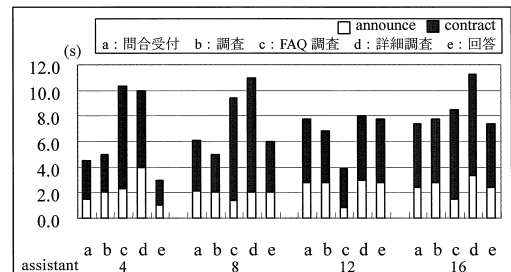


図 9 シミュレーションによる交渉時間の推移

Fig. 9 Negotiation times from simulations.

イベントにより jobBroker を起動してビジネスプロセスを開始させる．

(1) 秘書エージェントの増減

秘書エージェントを各サーバで 1 エージェントから 1 つずつ増やし、システム全体に 4, 8, 12, および 16 個の秘書エージェントが活性化する 4 つの状態で行うワークフローを実行させる．

図 9 に秘書エージェントの数ごとによるエージェント間の交渉時間結果を示す．白抜きの announce の部分は、ビジネスプロセス起動から告示完了までの時間である．網掛けの contract の部分は、秘書エージェントから調整型エージェントへの入札と調整型エージェントから秘書エージェントへの落札完了の時間を示す．合計は、1 つのアクティビティの開始から終了までの時間となる．その結果、秘書エージェント数の増減は実行時間に影響はしていないことが分かる．ま

た、FAQ 調査と詳細調査が、他のアクティビティと比較して時間がかかっているのは、ともに調査の子アクティビティであり、同時に活性化している調整型エージェント、実行型エージェントが多いため、使用メモリ、CPU 負荷がともに大きくなったことによる影響である。

(2) ビジネスプロセスの並列実行

16 個の秘書エージェントが活性化している状態で、ビジネスプロセスを逐次かつ連続に繰り返し実行する方法と、いっせいで同時にビジネスプロセスを実行する方法で、プロセスの並列実行を評価する。秘書エージェントは、 J, T, C の組合せですべて異なる秘書エージェントの組織情報として実施する。

1 プロセス実行に約 2 分要したため、逐次連続な実行では 30 秒間隔でプロセスを起動させ、最大同時に 4 プロセス実行する条件で実施した。4 プロセス以上の同時実行は、メモリの制約で不可能であった。実施回数は 1 回につき 2 時間で計 10 回実施した。このときの実行結果では、すべてのアクティビティが 3.3 節で示した評価値 Q が最も高い秘書エージェントに割り当てられていることを確認した。たとえば、組織情報として最も点数の高い秘書エージェントでも *busy* の状態であれば、*idle* の状態にある中で最も点数の高い秘書エージェントに割り当てが行われた。これは、状態の重み付けが最大の 5 であるからである。

一方、いっせいで同時に実行する場合は、4 プロセスを同時に実行させ、すべてのプロセスが終了後に再度繰り返し実行させた。実施回数は計 10 回実施した。このときも、すべてのアクティビティが、評価値 Q が最も高い秘書エージェントに割り当てられていることを確認した。ただし、すべてのプロセスが終了後に繰り返しているため、いずれの回も同じ秘書エージェントが割り当てられている。これは、すべて条件が異なる秘書エージェントのため、空き時間による割当て機能が作用していないからである。

(3) 入札可能な条件・標準入札値の変更

ビジネスプロセスを逐次かつ連続に繰り返し実行している状態で、アクティビティの入札可能な条件、入札仕様、および標準入札を次のパターンで XML 記述を書き換える。

- (a) 16 の秘書エージェントのプロファイルがすべて異なる（属性値のすべての組合せから抜粋）。
- (b) 入札可能な条件をすべて同じにする（属性値の間の優先度なし）。
- (c) 秘書エージェントの組織情報を同じにする。
- (d) 空きのエージェントをなくす。

- (e) 標準入札値を最低条件、または最高条件にする。

最適な割当ての妥当性確認は、システム内に蓄積した評価値 Q 、該当するアクティビティの戦略定義、および秘書エージェントのプロファイルをプロセス実行後に机上で照合することにより行う。

その結果、(a) の条件では、すべてのアクティビティが 3.3 節で示した評価値 Q が最も高い秘書エージェントに割り当てられていることを確認した。(b) では、すべての秘書エージェントが入札可能となるため、標準入札での重み付けと空き時間による割当て機能が作用した結果の割当てとなった。したがって、重み付けを高く設定した組織情報を持つ秘書エージェントが優先して割り当てられた。(c) では、評価値 Q はすべて同じとなるため、空き時間による割当て機能が作用した結果の割当てとなった。(d) では入札が行われても *busy* 状態であるため処理が行われなため、プロセスはすべて中断した。しかし、アクティビティはすでに *busy* 状態を評価値に含めて最も点数の高い秘書エージェントに割り当てられており、その秘書エージェントが空き状態になれば中断していたプロセスが再開された。(e) の場合、最低条件のときは落札可能な秘書エージェントが多いため、割当ては可能であったが、最高条件のときは落札可能な秘書エージェントが少ないため、落札できない場合があった。この場合には、条件を満たさないが次点となる秘書エージェント、あるいは空いている秘書エージェントに割り当てる仕組みを入れれば、プロセスの実行継続が可能である。

(4) ワークフローの変更

ワークフローを変更するために、アクティビティを追加あるいは削除して、ビジネスプロセスを実行させる。アクティビティの追加は、アクティビティの戦略定義の記述を追加することと、ワークフローのスクリプトに追加することのみで可能であった。ワークフロー実行のプロセス制御部分や秘書エージェントに関わる部分への変更は必要なかった。アクティビティの削除も同様である。

5.3 考察

(1) ワークフローの自律分散性

WfMC のワークフロー管理システム参照モデルでは、ワークフローサーバと外部システムのインタフェースが、プル型、リモートプロシージャコール型、プッシュ型と多様である。また、ワークフローエンジンが備える業務プロセスを管理するワークフローの管理機能と、アプリケーション起動やワークリスト管理等のワークフローを実行する機能が、ともに同じワークフローサーバ内にある。分散ワークフローでは、管理と

実行が分離した構成や、管理主体と実行主体のコミュニケーションが必要となる。シミュレーションシステムでの評価結果により、実行型エージェントがアクティビティとともに移動することによる管理主体と実行主体のコミュニケーションの実現が確認できた。ビジネスプロセスは、アクティビティが分散配置された秘書エージェントのもとで実行され、その出力をもとに次のアクティビティを実行する秘書エージェントへとプロセスが引き継がれることが可能であることが検証できた。この結果は、分散ワークフローとしての要件を満たしている。また、秘書エージェントの増減や、複数プロセスの並列実行も確認できており、実装方法や性能面の向上を図ることにより、運用として問題なく動作するビジネスプロセス制御方法であると考えられる。

(2) ワークフローのカスタマイズの容易性

オフィス業務の共通的な基盤となるワークフローシステムは、効率性やカスタマイズ性を考慮すると、サーバアプリケーションやクライアントアプリケーションの入れ替え、業務定義やその変更、ならびに実行者の決定がワークフローエンジンを知らなくても容易にできなければならない。シミュレーション結果(3)、(4)より、本システムは、ワークフロー制御部分を隠蔽してカスタマイズできることが確認できた。業務定義やその変更は、ビジネスプロセスのスキプトの追加変更で行える。実行者の決定は、割当てアルゴリズムを変えることなく、秘書エージェントのプロファイル情報、および入札等の戦略情報の変更で対応できている。このため、あらかじめ割当てのための詳細なルールを記述しておかなくてよい。また、それらの記述にXMLを用いたことにより、変更追加のユーザインタフェースも容易に実現できる見通しを得た。

6. おわりに

本論文では、ワークフローシステムの分散性、カスタマイズの容易性を実現するために、マルチエージェントシステムを用いてワークフローを制御する方法を提案した。またその応用として、顧客を含めたオフィス業務の自動化、効率化を目指しているCTIシステムの1つであるヘルプデスクへこの方法を適用し、シミュレーションにより評価した。

ワークフロー制御は、メディアや組織等の環境に依存しない構成となっており、ワークフローに基づいた業務アプリケーションのカスタマイズや拡張は、ワークフローのアクティビティの定義や、エージェント間交渉用の戦略定義の変更のみで容易に対処できる。また、組織や人の変更においても、作業者の追加や削除

は秘書エージェントの追加と削除で対応でき、組織構造の変更は、秘書エージェントのパラメータの変更のみで対応できる。

また、ワークフローの調整主体と実行主体がともにエージェントとして独立し、かつ実行型エージェントはワークスペースに移動できる仕組みを備えているため、ワークフローシステムが分散している場合でも対応でき、分散システムでのワークフローに基づいた業務アプリケーションの構築が可能である。

今後は、ヘルプデスクの機能要件で示した機能や、クライアントでのインタフェース等を実装し、システム全体としての性能評価を実施していく。また、交渉部分についても、エージェントの公平性に着目した市場モデルに基づく決定方法について検討を進める。市場モデルでは、すべてのエージェントが他のエージェントに対して羨望のない割当ての状態(これを *envy-free* という)、かつその割当てがパレート効率である状態(全体の効用が最適な状態)が成り立つとき、公平な割当てが可能とされている¹⁶⁾。公平な割当ては、効用の最適化が図れ、エージェント自身の満足度はもちろんのこと、顧客や企業にとっても利益をもたらすことが期待できる。

参 考 文 献

- 1) Balzier, F.M.T., et al.: Distributed Scheduling to Support a Call Centre: a Co-operative Multi-Agent Approach, *Proc. PAAM'98*, pp.555-576 (1998).
- 2) Bradshaw, D. and Brash, C.: Surviving in the e-Business world—How to personalise customer relationships for increased profitability, white paper, Ovnm (2000).
- 3) Chiu, D.: Workflow management systems as mate-agents in multi-agent information systems, *Proc. AOIS'2001*, pp.1-12 (2001).
- 4) Cichocki, A. and Rusinkiewicz, M.: Migrating Workflows, *Workflow Management Systems and Interoperability*, Dogac, A., et al. (Eds.), pp.339-355, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg (1998).
- 5) Enoki, H., et al.: Role-Oriented Organization Model and Its Implementation with Agent System, *Proc. HCI International'97*, pp.65-68 (1997).
- 6) Institute for New Generation Computer Technology: *Proc. 9th Workshop on Research Issues on Data Engineering: Information Technology for Virtual Enterprises* (1999).
- 7) 石田亨ほか: 分散人工知能, コロナ社 (1996).
- 8) ISO/IEC JTC1/SC7/WG17: *Information*

- Technology—Open Distributed Processing—Reference Model: overview* (1998).
- 9) Jennings, N.R., et al.: Implementing a business process management systems using ADEPT: a real-world case study, *Int'l journal of Applied Artificial Intelligence*, Vol.14, No.5, pp.421–465 (2000).
 - 10) Joeris, G.: Decentralized and flexible workflow enactment based on task coordination agents, *Proc. AOIS'2000 (CAiSE*00)*, pp.41–62 (2000).
 - 11) Maamar, Z., et al.: Software Agents for Workflows Support, *The Journal of Conceptual Modeling*, No.12 (2000).
 - 12) Merz, M., et al.: Inter-organizational workflow management with mobile agents in COSM, *Proc. PAAM'96*, pp.405–420 (1996).
 - 13) 森田 進ほか: エンタープライズコンピューティング, プレンティスホール (1998).
 - 14) Papazoglou, M.P.: Agent-Oriented Technology in Support of E-Business, *Comm. ACM*, Vol.44, No.4, pp.31–41 (2001).
 - 15) Petersen, G.: CRM 入門, 東洋経済新報社 (2000).
 - 16) Peyton, H.Y.: *Equity in Theory and Practice*, Princeton University Press (1994).
 - 17) Rostal, P.: Agent-oriented workflow: an experience report, Business Object Design and Implementation V, *Proc. OOPSLA'99 Workshop*, Springer (1999).
 - 18) 酒井之子: CRM 基本構想の策定と実現のための業務改革, *IBM ProVISION*, No.24 (2000).
 - 19) Sandholm, T.: Distributed rational decision making, *Multiagent Systems: A Modern Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Weiss, G.(Ed.), pp.201–258, MIT Press (1999).
 - 20) Singh, M.P. and Huhns, M.N.: Multiagent Systems for Workflow, *Int'l Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, Vol.8, pp.105–117 (1999).
 - 21) 垂水浩幸ほか: エージェントによるワークフローの動的再計画, *情報処理学会論文誌*, Vol.39, No.7, pp.2361–2369 (1998).
 - 22) 垂水浩幸: エージェント技術とエンタープライズモデリング, *人工知能学会誌*, Vol.13, No.6, pp.880–887 (1998).
 - 23) 戸田保一ほか: ワークフロー—ビジネスプロセスの変革に向けて, 日科技連出版 (1998).
 - 24) Tombros, D., et al.: Semantics of Reactive Components in EventDriven Workflow Execution, in Olive, *Proc. 9th Int'l. Conf. on Advanced Information System Engineering (CAiSE'97)*, Pastor, J. (Ed.), pp.409–420, Springer (1997).
 - 25) Wagner, G.: Agent-oriented enterprise and business process modeling, *Proc. 1st Int'l Workshop on Enterprise Management and Resource Planning Systems (EMRPS'99)* (1999).
 - 26) WfMC: *The Workflow Reference Model, TC00-1003, Issue 1.1* (1995).
 - 27) WfMC: *Terminology and Glossary, TC-1011, Issue 3.0* (1999).
 - 28) Wooldridge, M., et al.: A methodology for agent-oriented analysis and design, *Proc. 3rd Int'l Conference on Autonomous Agents (Agents'99)*, pp.69–76 (1999).
 - 29) Yu, L. and Schmid, B.F.: A conceptual framework for agent oriented and role based workflow management, *Proc. Int'l Bi-conference workshop on Agent-Oriented Information Systems (AOIS'99)* (1999).

(平成 14 年 2 月 21 日受付)

(平成 14 年 9 月 5 日採録)

榎木 浩 (正会員)



1984 年山口大学理学部数学科卒業。同年富士通関西通信システム(株)入社。1992 年より(株)エイ・ティ・アール通信システム研究所に出向。現在、富士通関西中部ネット

テック(株), および大阪市立大学大学院工学研究科在籍。マルチエージェントシステム応用の研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会, ソフトウェア科学会各会員。

辰巳 昭治 (正会員)



1970 年大阪大学工学部通信工学科卒業。1972 年同大学院工学研究科通信工学専攻修士課程修了。1972 年川崎重工業(株)入社。1978 年大阪大学大学院工学研究科通信工学専

攻博士課程修了。工学博士。豊橋技術科学大学を経て、現在、大阪市立大学大学院工学研究科電子情報系専攻教授。統計的パターン認識, 意思決定問題, 画像処理用並列プロセッサの開発, VLSI 向き相互結合網の構成法等の研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会, ソフトウェア科学会, IEEE 等各会員。