

# 企画作業の協調作業モデルとコーディネーションコストを低減する協調方式の提案と実現

宮地 泰造<sup>†,☆</sup> 白鳥 則郎<sup>†</sup>

計算機間のネットワーク化が急速に進み、業務プロセスや組織構造まで変えるまったく新しいコーディネーションによる協調作業が可能になってきた。本稿では、次の3つの特徴を持ち、組織の未来を決めるという点で重要な企画作業を明示的に表現できる効果的なモデルを、連帯性と調整性とを導入してマルチエージェントに基づいて提案し、その有効性を検証する。(1) 非同期通信に基づいた作業が複数の作業者に跨る、(2) 途中で1つの課題に複数人が共同で取り組む、(3) 責任者が複数人に跨っていく。また、この協調作業で発生しオーバーヘッドとなるコーディネーションに対してコーディネーションコストを導入し、そのコストを低減するための協調方式を提案して有効性を試作システムにより検証する。この協調方式では、マシンに信念を持たせて、環境変化への人間の対応を一部分代行する手法も提案している。

## A Proposal and Implementation of a Collaboration Model of Planning and an Architecture for the Collaboration with Reduced Coordination Cost

TAIZO MIYACHI<sup>†,☆</sup> and NORIO SHIRATORI<sup>†</sup>

The rapid progress of computer network systems has been enabling us to collaborate in a quite new style which changes business processes and structures of organizations. In this article, we propose and verify effectiveness of a new multi-agent model with solidarity and adjustment to explicitly represent a collaboration in planning which is important because it decides future position of the organization and has next 3 characteristics. (1) works flow among several workers through asynchronous communication, (2) the workers tackle subjects together during the planning, (3) the responsibility of each work often lies over plural workers. Next, "coordination cost" is introduced to the coordination which is a kind of overhead for a collaboration represented by the model and an architecture is proposed to reduce the coordination cost. This architecture includes a method that machine corresponds to a change of environments in place of human according to a belief given by workers. We verify effectiveness of the architecture by an experimental system.

### 1. はじめに

実際の業務プロセスへのマルチエージェントシステムの適用の研究として、オフィスの定型業務のように非同期通信に基づき複数のユーザ間に書類が流れる形態の業務を扱えるマルチエージェントのモデルとこれに基づいた開発環境の提案がある<sup>3)</sup>。また、この関連の実用システムとしては、ワークフローシステム<sup>4),5)</sup>がある。

一方、事務・企画・研究開発を行うオフィスでは、逐次的に処理される定型業務のほかに、組織の将来を決めるという点で重要な企画作業がある。この企画作業を既存のモデル<sup>3)~6)</sup>で表現しようとすると、限界があり明示的な記述ができない。すなわち、複数のユーザ間で書類が共有されたり流れたりする間に複数人が同時に1つの課題に取り組む作業の形態を表現するためには、連帯性や調整性を表現できることが必要であり、複数のユーザが同一のユーザ環境内で行う連携作業の表現も必要になる。

本稿では、既存モデルの限界を越えて、連帯性と調整性とを導入によりこの企画作業を明示的に記述できる効果的なモデルを提案しその有効性を示す。この提案したモデルにより表現される協調作業では、コー

<sup>†</sup> 東北大学電気通信研究所  
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

<sup>☆</sup> 現在、三菱電機株式会社ビジョン開発本部  
Presently with Corporate R&D, Mitsubishi Electric Co.

ディネーション<sup>1)</sup>のオーバーヘッドに問題が出る。そこで、コーディネーションコストを導入する。また、オーバーヘッドとなるコーディネーションコストを低減するための協調方式を提案して、その有効性を評価する。

本稿の構成は、2章で、オフィスにおける協調企画作業のモデルを提案し、3章では、マルチエージェントシステムのコーディネーションとそのコストについて説明し、4章では、コーディネーションコストを低減する方式とユーザインタフェース例を説明し、5章では、組織化エージェント<sup>2)</sup>に信念を持たせて環境変化時に人間の一部の代行ができるコーディネーションを説明、6章で、提案したモデルに基づき、コーディネーションコストを低減するアプリケーションの実現例とその評価を説明して、一般的な他への利用可能性についても説明する。

## 2. 協調企画作業のマルチエージェントモデル

### 2.1 人間の協調作業のモデル

オフィスでは、定型業務のほかに、組織の未来を決める企画作業という重要な協調作業がある。企画作業には、年度計画、未来計画、プロジェクト計画、技術公開計画、健康増進計画という多くのXX計画があり、一般に複数の企画作業が並行に進められている。依頼者は、組織の外または内において、依頼文書および回答用紙を依頼時に組織に送付する。企画作業は図1のような手続きに従って実行される。

オフィスでの企画作業では、書類の作成・送付・受理・評価<sup>3)</sup>に加えて案作成・内容検討の6種類が必要になる。内容検討は複数の関係者で行うため、協調作業のモデルで直接表現するためには、複数のユーザの1つのユーザ環境内での協調関係を表現できなければならない。また、内容検討が必要になる作業では、新事業開拓のように企画自体が難解なため途中で作業が

- (1) 依頼者が依頼・回答用紙を作成する
- (2) 依頼者が依頼・回答用紙を該当部門長経由で回答者へ送付する
- (3) 部門長が依頼と回答用紙を受理する
- (4) 部門長が依頼を評価して、回答者を選択して送付する
- (5) 回答者が依頼を評価する
- (6) 回答者が回答案を作成する
- (7) 回答者が部門長と回答案内容を検討する
- (8) 回答者が最終回答を作成して、部門長に送付する
- (9) 部門長が部内の回答をまとめて、回答を依頼者に送付する
- (10) 依頼者が回答を受理して、評価する。

図1 計画立案の依頼/回答の手続き

Fig. 1 A procedure of request/answer for planning.

実質的に停滞し、責任の共有や移動にともない実質的な責任の所在が不明になることが少なくない。また、停滞の原因が不明になるとともに、関連作業に悪影響を及ぼすこともあるため、停滞を発見・回避したり円滑に企画作業全体を推進するための協調作業モデルが重要になる。ここでは独立性と局所性<sup>3)</sup>のほかに、連帯性と調整性が重要になる。

連帯性とは、協調作業を実行するために複数人に跨って責任が共有されることである。実行リーダーの設定などにより実行の効率化も可能である。

調整性とは、協調作業を実行する上での複数人/複数組織間でのズレや重複をなくすための調整が必要であることである。調整の必要性を事前に予測したり調整日時を決めておくことで、効率化が果たせる。

### 2.2 連帯性と調整性を導入した協調作業のマルチエージェントモデル

本稿では、文献3)と同様に、独立性を満足するシステムの要素をすべて、ユーザも含めてエージェントと呼ばれる自己完備なモジュールとして表現することにする。すなわち、システムの構成要素はモジュール化され、ユーザは必要なモジュールだけを参照すればシステムが利用できる。オフィスの企画作業では、一般に複数の関連分野・部門が関係し、複数ユーザに書類や責任が移動したり共有されたりする間に複数人が同時に1つの課題に取り組む作業の形態がある。この中では責任者の交代や、責任者に何らかの指針を与えている潜在責任者の存在がある。全体としては非同期通信に基づいて複数のユーザ間に跨る仕事を逐次的に行い、途中で1つの課題を複数ユーザが共同で処理できるモデルであり、Micheleの協調作業モデル<sup>3)</sup>を拡張して図2のように構成する。

エージェントは、固有の内部状態を持ち、そのエージェントに関するすべての手続きをメソッドとして持つものである。活動状態は6種類がありdead状態になると消滅する。ユーザ環境とはユーザが所有する環境であり、ユーザは環境内のエージェントを所有してアクセスすることができる。ユーザは、ユーザエージェントとしてユーザ環境内に1つ以上存在する。

ここで、Micheleモデルの拡張部分である連帯性の表現を可能にするために、(エージェントの状態)に“責任者”とともに“潜在責任者”を新たに導入する。活動状態が“責任者”であるエージェントは、ユーザ環境内のすべての処理の責任者となる。“潜在責任者”のエージェントは、連帯責任者の役割を担い、責任者の承認を得てユーザ環境内のシステムエージェントをアクセスできる。複数分野に跨る難解な企画作業では責

```

<マルチエージェントシステム> ::=
  <マルチエージェント> +
<マルチエージェント名> ::= <マルチエージェント名>
  <エージェント名リスト>
  FIELD(<ユーザ環境名> [<初期値>])
  AFTERPROCESS(<変更記述>
    <マルチエージェント>)
  METHOD(<メソッド名> <引数の並び>
    <メソッドの説明> <メソッドの手続>)+
<エージェント名リスト> ::= [<エージェント名>
  <エージェントの状態>]+
<エージェントの状態> ::= "責任者" | "潜在責任者" |
  "引渡し完了" | <エージェント名> | "ready" |
  "occupied-by" | <エージェント名> | "dead"
<変更記述> ::= "add" | "delete"

```

図2 マルチエージェントシステムの定義

Fig. 2 A definition of multi-agent system.

任者の移動があり、より事情に詳しい前の責任者や上長という潜在責任者の強い影響力のために、協調作業が停滞する場合がある。潜在責任者の記述は停滞作業の回避や原因説明の問合せに有用になる。システムで用意されたエージェントをシステムエージェントと呼ぶ。システムエージェントは計画書などの書類かまたは特定の機能モジュールであり、システムの分散ファイルから取り出されるかまたはユーザ環境の作成時にシステムから提供を受ける。処理終了時に“handed to”で規定される責任者に引き継がれる。締切り日が過ぎて引継ぎの記述がない場合停滞作業として容易に検出される。ユーザ環境は複数の責任者にも共有される。

調整性の規定は、マルチエージェントの追加・削除を“AFTERPROCESS((変更記述)(マルチエージェント))”でマルチエージェントの連鎖として再帰的に表現する。ここで連続する同一ユーザ環境では、目標達成のための作業の経過が規定される。複数人の責任者がいる作業は1つの課題を複数人で取り組む共同作業である。本稿では、単に共同作業というとき、以後この共同作業を意味することにする。調整性は、共同作業が複数個ある場合や、後からの追加がある場合に、協調作業全体の把握を可能にするため非常に重要である。なおエージェント間の通信は文献3)と同様にすべてメソッドコールとして実行され、異なるユーザ環境間ではメソッドコールは手続きの並びとして送られるものとする。

【例1】連帯性(図3) 課の次年度計画立案を、課長(K1K)と部長(B)が行う場合、課の年度計画立案の責任は、課長と部長の両者にあると考えられる。は

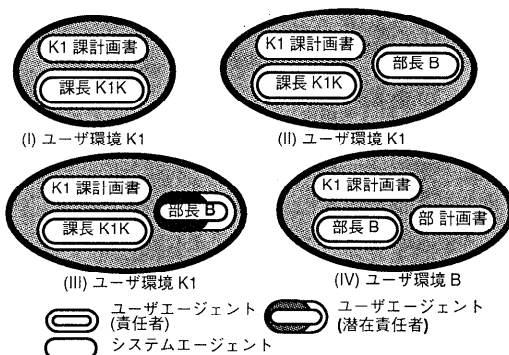


図3 責任者と潜在責任者の連帯性

Fig. 3 A solidarity among responsible persons and an embedded responsible person.

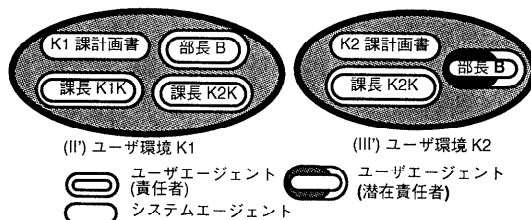


図4 責任者の調整性と潜在責任者

Fig. 4 An adjustment among responsible persons, and an embedded responsible person.

じめに、課長(K1K)がユーザ環境K1において、K1課計画案を立案する。ここでは、計画立案作業の責任は、K1Kにある(I)。計画案ができた後、部長(B)と課長(K1K)が会議を開いて計画案の内容検討をユーザ環境K1で行う(II)。このときの責任者は部長と課長の両者である。その後、K1Kは、ユーザ環境K1で課K1の最終計画を作成する。ここでは、計画立案の責任者はK1Kであるが、潜在責任者として部長(B)が意見を出している(III)。課(K1)の最終計画書ができた後は、部長(B)が課(K1)の計画書をユーザ環境K1からユーザ環境Bに受け取り、それを部の計画に入れて部の計画書を作成する(IV)。この時点での、計画立案の責任者は部長(B)になる。

この例で分かるように、提案したモデルでは、各ユーザ環境の状態の保持により、各時点(I)~(IV)における行為の責任者と潜在責任者が記述でき、作業が(I)~(IV)のどこまで進んでいるかを容易に把握できる。また問題を検出した時に責任者あるいは責任者が不在の場合は潜在責任者に問合せを行える。このような問合せは協調作業がうまく進んでいる場合には必ずしも必要ないが、問題が起きて何らかのコーディネーションが必要になった場合に非常に有効になる。

【例2】調整性(図4) 例1の(II)まで進んだ

とき、部長 (B) は、2 人の課長 (K1K, K2K) と部長 (B) との共同検討会の必要に気づき共同検討会を追加する (II')。この場合、重複部分の検討の責任者は課長 (K1K, K2K) と部長 (B) の 3 者になる。追加された共同検討会のプロセスの AFTERPROCESS の〈変更記述〉が追加 “add” となる。共同検討会の終了後は、課長 (K1K) は (III) と (K2K) は各課の最終計画を作成する (III')。2 つの課 (K1, K2) の最終計画書の完成後、ユーザ環境 B での (IV) の作業に移行する。

この例では、協調作業の途中で新たな共同作業を追加するとき、追加した作業と関連する作業の関係を表現できるとともに、容易にその連携関係を確認できる。

### 3. コーディネーションのコストとその低減

企画作業のモデルを柔軟性の高いマルチエージェントに基づいて 2 章で提案した。しかし、非常に高い柔軟性には、一般に多くのコーディネーションが必要になる。本章では、コーディネーションまで含めて効率が良い人間とマシンの協調システムの条件を、新たに導入した連帯性と協調性を含めて考察する。なお本論文で、マシンとは計算機上のエージェントを含む計算機を示すものとする。

連帯性を伴うユーザ環境では、複数の責任者は価値観や立場が異なるため、意見が必ずしも一致しないが、より大きな目標を掲げることで大きな力が得られる。この力を結集する過程では一般に多くのコミュニケーションや準備作業が発生するので、コミュニケーションを含むコーディネーションをできるだけ少なくすることが重要である。次に、調整性を伴うユーザ環境では、時を得た適切な調整により協調作業全体を進展させてより大きな成果を創造できるが、調整のためのコーディネーションが必要になる。また、すでに責任者間に重複や大きいギャップがある場合や突然問題が起きた場合もある。ここでは、適当な時期に適切な調整を少ないコーディネーションで行い、問題解決に力を振り向けることが重要である。

#### 3.1 コーディネーションのコスト

「コーディネーションとは行為間の相互依存関係を管理すること」<sup>1)</sup>との定義がある。コーディネーションに関する研究では、ゴールの分解、業務の繋がり<sup>8)</sup>、業務割当て、資源配分<sup>6)</sup>というプロセスの研究、作業のコスト<sup>11), 12)</sup>の研究が行われてきたが、協調作業全体にわたるコーディネーションのコストの研究は行われていない。対象を拡大して、連帯性と調整性を伴う非定型な協調作業全体を対象にすると、いままで人間に委ねられてきたコーディネーションは実処理と同

様にコストを必要とし、時として実処理以上にもなり、実処理の増大にも繋がっていることが見えてくる。そこで、本節ではこの連帯性と調整性に関するコーディネーションのコストを新たに導入し、人間とマシンが協調するシステムのオーバーヘッドとなるコーディネーションのコスト低減について考察する。

##### 3.1.1 ゴールの実行コストとコーディネーションのコスト

最初に、人間とマシンの協調作業を比較すると、前者は、目標の達成を目指すときに、多くのコミュニケーションや時間が掛かって様々な方法を駆使して処理を完了することに適しており、割込みにより作業効率が低下する<sup>7)</sup>。後者は、明確な目標を決まった機能により少ないコミュニケーションの下で高速処理することに適しており、割込みが多くても作業効率に影響がない一方で人間との情報交換には時間がかかる、といえる。

以上のことから、目標 (ゴール) 達成のための実行コストとコーディネーションコストを次のように定義できる。

**定義 1 (ゴールの実行コスト):** ゴール  $g$  を実現するための人間の行為 (メソッド) の系列  $[Xh_i]_{(i=1, \dots, n)}$  に必要になるコーディネーション (メソッド) の系列  $[Yh_j]_{(j=1, \dots, m)}$ 、コーディネーションによる割込み (メソッド) の系列  $[Zh_k]_{(k=1, \dots, l)}$  とすると人間のゴール実現コストを次のように定義できる。

$$\text{cost}H(g) = \text{cost}(Xh) + \text{cost}(Yh) + \text{cost}(Zh)$$

ここで、 $\text{cost}(Xh) = \sum_{i=1, \dots, n} \text{cost}(Xh_i)$ 。

すなわち、 $\text{cost}(Xh)$  はあるエージェントがゴール  $g$  の達成のために行為  $Xh_i$  を実行するコストの累積コストである。同様に、 $\text{cost}(Yh)$  はコーディネーションの累積コスト、 $\text{cost}(Zh)$  は割込みからの回復の累積コストである。

次に、ゴール  $g$  を実現するためのマシンの行為 (メソッド) の系列  $[Xc_p]_{(p=1, \dots, n')}$  に必要になるコーディネーション (メソッド) の系列  $[Yc_q]_{(q=1, \dots, m')}$ 、人間との情報交換 (メソッド) の系列を  $[Zc_r]_{(r=1, \dots, l')}$  とするとマシンのゴール実現コストを同様に定義できる。

$$\text{cost}C(g) = \text{cost}(Xc) + \text{cost}(Yc) + \text{cost}(Zc)$$

すなわち、マシンにおける目標達成のコストは、行為の累積コスト、コーディネーションの累積コスト、人間との情報交換の累積コストの和である。

ここで、ゴール  $g$  の実現コストは、 $\text{cost}(g) = \text{cost}H(g) + \text{cost}C(g)$  となる (一般に企画や研究計画作成においては、 $\text{cost}H(g) \gg \text{cost}C(g)$ )。

その中で、コーディネーションコストは次のように

定義できる。

**定義 2** (コーディネーションコスト): 定義 1 の  $[Y_hj], [Z_hk], [Y_cq], [Z_cr]$  に対して, ゴール  $g$  を達成するためのコーディネーションコスト  $co-cost(g)$  は,  $co-cost(g) = cost(Y_h) + cost(Y_c) + cost(Z_h) + cost(Z_c)$  すなわち, コーディネーションコストは, 人間とマシンとが実行するコーディネーションの累積コストと, 人間が割込まれた後に作業を再開できるまでに回復するための累積コスト, そして, マシンが実行した情報を人間と情報交換する累積コストを合わせたものである。ここで, 連帯性のためのメソッドに対して値を持つとき  $cost$  を  $costS$ , 調整性のためのメソッドに対して値を持つとき  $cost$  を  $costA$  と記述することになると,  $co-cost(g) = costS(Y_h) + costA(Y_h) + costS(Y_c) + costA(Y_c) + costS(Z_h) + costA(Z_h) + costS(Z_c) + costA(Z_c)$  と表現できる。

### 3.1.2 コーディネーションコストの式から見た基本的低減

これまでの定義から, 連帯性に対しては, 連帯性のためのコーディネーションを人間  $costS(Y_h)$  からマシン  $costS(Y_c)$  へ移すことによりコーディネーションコストの和  $costS(Y_h) + costS(Y_c)$  を低減し, 人間は最初から複数責任者間の創造的な連携に集中して, 人間の実行コスト  $cost(X_h)$  の削減と創造力の相乗効果を得て追加価値  $worth(\delta g)$  を高めることが重要である。

また, 調整性に対しては, 調整作業の追加のコーディネーションを人間  $costA(Y_h)$  からマシン  $costA(Y_c)$  へ移してコーディネーションコストの和  $costA(Y_h) + costA(Y_c)$  を低減し, また割込みの削減も果たして割込みからの回復コスト  $costA(Z_h)$  を低減する。削減した割込みを複数責任者間の創造的な連携の機会に転換して創造力の相乗効果を得, 追加価値  $worth(\delta g)$  を高めることが重要である。

### 3.2 コーディネーションコストの式から見た低減のための改善点

3.1 節のコーディネーションのコストと付加率に関する考察から, 連帯性と調整性に対して, 主に次の 5 つの改善策が提案できる。

- (A1) 人間にしかできない作業とマシンへの作業の委譲: 依頼者の作業の大枠の指定に従い, 定例的に発生する非定型作業の依頼, 分配, 資源確保, 成果のとりまとめ時期の設定というコーディネーションをマシンに代行させる機構を提供する。
- (A2) 個々のコーディネーションの小型単体化: コーディネーションの大部分はマシンが行い, 人間には短時間の修正を行えばよい機構を提供する。

(A3) 人間への割込みの削除: たとえば 1 日に 15~16 回の電話の割込みがあると作業はまったく進まないことになる<sup>7)</sup>。マシンが, 協調作業の依頼時と調整時に関係者の作業時間と必要資源を確保して, 依頼情報を関係者に同時配布する機構を提供する。調整の簡単容易化により, 割込みを感じさせない処理にする。

(A4) 作業のモデルに基づいた状況や関連情報の提供: 協調作業モデルに基づき, 協調作業全体の流れと部分作業の進捗を明示して問題点も分かりやすく示す方法を提供する。

(A5) マシンの知的化による人間の作業の一部分の代行や補完: 突然の環境変化に対して人間が通常使用している信念をマシンに与え, 人間が作業困難な場合にも簡単なコーディネーションをマシンに代行・補完させる機構を提供する。

連帯性については, A1 は依頼時のオーバーヘッドであるコーディネーションを削減して関係する責任者が創造的な連携を即開始できるように導くために重要である。また, A2 は状況に合わせて複数責任者間のうまい連携を容易に実現する点で重要である。A3 は既定の進捗の確認さらには責任者による進捗の停滞の発見において重要である。A5 は相互の信頼や連携の維持を可能にするので重要である。

次に調整性については, A2 は頻繁な調整でも容易に行えて協調作業全体を進展させていく点で重要である。A3 は協調作業全体のどこに適切な調整を行う共同作業を追加したかの把握を容易にできる点, A4 は責任者の作業への集中が大きな追加価値を生む環境を提供する点で重要である。A5 は環境変化時の妥当な調整を可能にするので重要である。

## 4. コーディネーションコストを低減する人間とマシンの協調システムの構築

現在のワークフローシステムでは定型業務を担当組織に流す支援を行っているが, 連帯性と調整性を伴う非定型業務では, 対象が協調作業に参加する個人になり, しかも個人や共同作業場所のスケジュールの予約・変更に合わせて, 目標達成のために協調作業の全工程にわたるコーディネーションが必要になる。しかしこのコーディネーションは既存のワークフローシステムでは直接扱えない。そこで, これまで人間に委ねられていた柔軟なコーディネーションを, 協調作業中に適時実現するための支援機構を, 実際に必要なコーディネーション機能を含めて提案する。

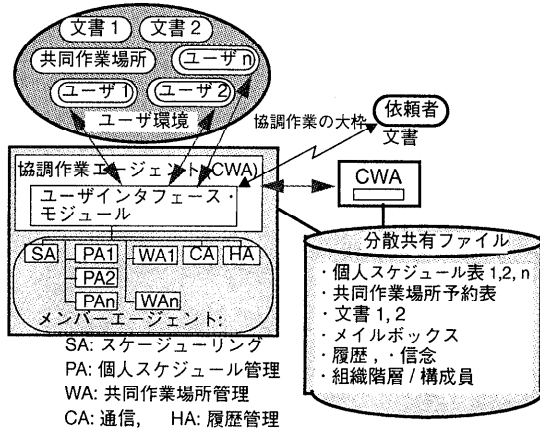


図5 協調作業エージェントによる方式  
Fig. 5 An architecture by collaboration agent.

#### 4.1 グループエージェントに基づくマシンのマルチエージェントシステム

マルチエージェントの構成に関する研究として、グループエージェント (GA) の概念が柔軟なコミュニケーションシステムに対して提案されている<sup>2)</sup>。GAでは、組織化エージェントの監視下で複数のメンバーエージェントが協調的に問題解決を行え、GAは他のGAのメンバーエージェントにもなれるため、組織化された柔軟な機能を全体制御の利く構造で提供でき、価値観の異なる複数のユーザが必要とする様々な調整を組織的に実現するシステムに適すと考えられる。そこで、マシンの協調システムをグループエージェントで構成し、協調の起動と監視を組織化エージェントに行わせる方式を提案する。

#### 4.2 システム構成

連帯性と調整性が必要とするコーディネーションのために、様々な機能の起動と処理状況の適応型管理を行い、かつ人間と情報交換を行う組織化エージェントを準備して、これを「協調作業エージェント」と呼ぶ。協調作業エージェントは、スケジューリング、個人スケジュール管理、共同作業場所管理、通信、履歴管理をそれぞれ行う機能エージェントをメンバーエージェントとして持つ (図5)。

#### 4.3 グループエージェントによるコーディネーションコストの低減

連帯性と調整性を必要とする協調作業に対して、協調作業エージェント方式により3.2節の(A1)~(A5)を実現することにより、コーディネーションコストを低減した人間とマシンの協調作業支援システムの実現を行う。

(A1) 人間にしかできない作業とマシンへの作業の

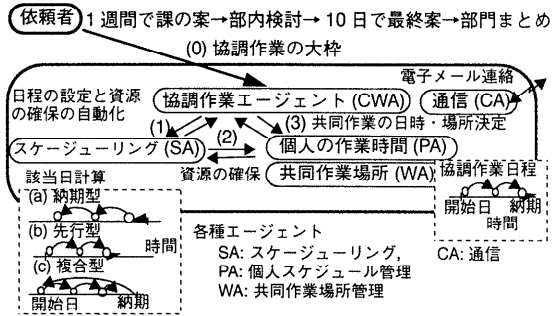


図6 協調作業エージェントによる協調作業の設定  
Fig. 6 Arranging a collaboration by a collaboration agent.

委譲：一定の期間で行う協調作業で全体から見て重要な各共同作業とその準備作業の実施日程決めと必要資源の確保を行う機能を提供して、企画作業全体に対する推進管理と後工程での作業時間の不足の回避を支援する。また協調作業開始での早い予約による、ダブルブッキングの回避も支援する。さらに個人作業の準備時間の明示により、多忙時の過度の作業量を回避して個人作業と共同作業との質の低下の回避を支援する。たとえば定例的に発生する協調作業では、依頼者の協調作業の手順の大枠の指定に基づき、協調作業エージェント (CWA) がスケジュールと必要な資源を決定・確保する方式により、コーディネーション低減を実現する。協調作業エージェント方式では、スケジューリングエージェント (SA) がスケジューリングの型 (納期型など) に従い休日を含む実働日を計算して各開始可能月日を設定する。続いて、個人スケジュール管理エージェント (PA) が協調作業参加者の作業日時の候補を、共同作業場所管理エージェント (WA) は共同作業場所の予約可能な日時を、それぞれ条件に合う規定数 (たとえば20個) を見つける。CWAはこれらの候補から最適な共同作業日時を1つ選択し決定する (図6参照)。

この一連の処理を実施される共同作業の数だけ繰り返すことにより、個人の準備作業を組み込んだ協調作業全体の作業日程と必要な資源がCWAにより確保される。その結果、企画作業に対するプロジェクト管理を可能にし、他の企画作業への影響の基本情報を示す。続いて、設定された予定を電子メールで送信して出張先から見ることを可能にする。

(A2) 個々のコーディネーションの小型単純化：環境変化や問題に対応するために、協調作業者に協調作業の円滑化や補強のための簡単な調整機能を提供する。作業の伝搬を伴う場合には、途中の到達点に基づき、市場をよく把握していたり実ユーザとの強い関係関係

図7 協調作業エージェントのインタフェース画面(登録, 調整)

Fig. 7 Interface windows of the collaboration agent for a request and an adjustment.

を持つ協調作業推進者を参照させて、企画の内容や所要期間の改善を容易に可能にする。そのために、(a)修正の指定の容易化、(b)追加作業の設定の容易化、(c)追加作業の日程の自動設定と資源の自動確保、(d)電子メールによる連絡により、個々のコーディネーションの小型・簡単化を実現する。(a)では、既定の作業や協調作業者の情報をシステム側から示して、ユーザによる容易な選択・修正を実現する。(b)では、必ずしも協調作業全体の現状を把握できていないユーザに協調作業全体と部分の繋がりを示して、追加作業と他の共同作業との関係を容易に確認して修正できる機構を提供する。(c)は(A1)で機能したエージェントに準備作業を含む共同作業を与えて起動することにより実現する。準備作業の明示により、予定成果の明確化と、過剰な個人作業の回避の支援を行う。

(A3) 人間への割込みの削除: 組織では部門長への情報・仕事の集中、および部門長からの割込みによる作業効率の低下と創造的活動の中断<sup>13)</sup>が起きやすい。そこで、協調作業依頼時での最初の一連の割込みと、協調作業推進中に発生する割込みの両方の回避を実現する。前者のためには(a)組織の階層構造に従わない自動一斉通知の依頼機構、および(b)代表者による先行処理を準備する。代表者の解決例の活用と代表者の到達した先のレベルでの共同作業も可能になる。後者のためには、(c)エージェントへの修正依頼・エージェントの自動計算・自動検索・修正自動通知の機構を準備する。さらに、割込みになるコーディネーションを十分に小型簡単化して、他作業の実質的な中断を回避する機構を準備する。これらを可能にするために、(A1)、(A2)の実現は不可欠である。

(A4) 作業のモデル化に基づいた状況や関連情報の提供: 協調作業エージェントは、依頼者と協調作業者との容易な情報交換のために、(1)依頼受付、(2)進捗状況報告の画面インタフェースを提供する。基本は、(a)全体の流れと詳細情報を1つの基本画面で一目で見られる、(b)必要な処理をナビゲーションする画面を基本画面から呼び出せる、である<sup>14)</sup>。(1)では、コーディネーションコストを低減するマウスによる選択を採用した。たとえば、部内の課長はマーク付きウィジェットにして並べリーダーの指定をマウスクリックで簡単に選択できる。また、プロジェクトを指定するとプロジェクト関係者名が組織データから入力される。(2)では、協調モデルの共有に基づき、協調作業者間での協調作業全体と各作業の進捗の把握を容易するために、各共同作業名のウィジェットを時系列順に並べ、その横に潜在責任者を含む共同作業の詳細情報を並べた。ここでは企画における協調作業のプロジェクト管理が容易になり、簡単な停滞作業の発見、容易な状況把握により潜在責任者や関係者を含めた原因究明や調整が可能になる。前者のためには、共同作業の予定所要時間の後ろに実績所要時間を表示して作業の終了が一目で分かるようにした。また準備作業量の認識を促して個人の過剰作業の回避を支援する。共同作業追加・修正、共同作業終了入力、会議室予約には、必要な処理をナビゲートしてくれる画面を呼び出せるボタンを準備した。協調作業の修正では、時系列順に並んだ各共同作業を示すウィジェットを、マウス選択により、削除したり、その直前に新たな共同作業を追加できるようにした(図7)。

また、文書の流れと共有に基づく協調作業を実現す

るために、書類にコミュニケーション属性を与える。書類のコミュニケーション属性は、基本属性、変更属性、拡張属性から成る。基本属性は、協調作業名、依頼者名を含む基本協調作業属性、個々の共同作業を規定する個別共同作業属性、そして、共同作業の準備を規定する個別準備作業属性により構成される。後の2属性は、予想所要時間、実際に要した実績所要時間、責任者、潜在責任者、信念を規定する。協調作業推進中には、各作業の終了と停滞を示し、推進要請先になる責任者も示す。信念については5章に説明する。拡張属性は、連帯性のための属性であり、リーダーの設置やプロジェクトチームの指定による効率化を規定する。変更属性では各作業の追加・削除・修正の情報を保持して、次の作業への属性の標準的な改善情報とする。

## 5. エージェントへの信念の導入と環境変化への対応

仮説や信念の管理による論理的無矛盾な世界での問題解決<sup>9)</sup>や心的状態のモデル化における信念を用いた意図の論理的定式化の研究が行われているが、連帯性と調整性を伴う協調作業の推進のための信念の研究はまだまだ行われていない。協調作業にとって重要なことは、突然の環境変化時の、大きなコストの消耗/信頼関係の崩壊/最悪の状況の発生の回避である。そのために、マシン内のエージェントに信念を与え、突然の環境変化時にマシンがコーディネーションを代行する手法を提案する。信念の意味は、コーディネーションを必要とする点において意味を持つことにする。すなわち、協調作業の推進において何らかの調整や変更を必要とする場合に、その条件と調整・変更に対する協調作業者の合意が信念である。

エージェントの行為をメソッドで表現するとき、メソッドの引数に信念の記述を持つ引数（「信念引数」と呼ぶ）を準備する。また、信念引数の値の動的変更により、行為の実行中の環境変化への動的な対応を可能にする。これにより、個人の都合や人間間の関係にまでも適切な調整を実現でき、責任者間の連携も効率化できるので、調整性と連帯性に有用である。

信念引数の主な記述内容は、主に次の3つが考えられる。

(1) 環境変化への対応を決めるための複数エージェントの行為間の依存関係：エージェントBが目標を達成するために異なるエージェントAの目標達成が同時に必要である場合、Bを「依存エージェント」と呼ぶ。具体的には、依存エージェントと依存される

エージェントを示す引数と対応処理を規定すればよい。

[例3] 複数部門の共同作業で、基盤部を検討するエージェントAが欠席になると、Aの検討結果に立脚して企画するエージェントBの作業は進まなくなる。協調作業エージェントはこの状況を検出して、共同作業の実施を延期したり代わりにの実施日時を確保できる。実際、共同作業の直前は共同作業をスケジュールに入れたために作業やコーディネータは忙しくなっており、突然の対応ができない場合が多い。このようなときに即時に適切なコーディネーションがマシンにより代行できる。また、欠席を扱うメソッドの記述例としては、`inform_absent([a],[b,c],...)`のように第1引数に依存されるエージェント、第2引数が依存エージェントをそれぞれリスト形式で記述する方法がある。

次の2種類の信念の記述には、引数に適切な数値や変更可能を示すコードを与えればよい。

(2) 共同作業の必要最低エージェント数：会議の議決や企画の評価・検討には、最低限の参加者が目標達成に必要である。共同作業の追加の必要性も出てくる。この場合メソッドの引数に必要最低参加者数を持つことにより、条件が満足されなくなった時(1)と同様にマシンによる共同作業の自動再設定を行う。

(3) エージェントの行為の開始時間や所要時間の変更可能性または変更可能時間：非常に多忙なユーザが幾つかの行為を連続して行う場合、ユーザ自身や協調作業者の環境変化により連続する行為が衝突することがある。行為の開始時間、所要時間の変更可能性、変更可能な範囲値をメソッドの引数に持たせて変更への信念とすることにより、関係者が不在の場合でも、マシンが衝突を回避するコーディネーションを行う。

## 6. 試作システムと評価

### 6.1 試作システム

試作システムは、基本的には4.2.1項のシステム構成に従い、協調作業エージェントの制御下に、自律的に機能する5種類の機能エージェントを配置した。ユーザとの情報交換には4章の(A4)ユーザインタフェースを準備した。協調作業の依頼者および協調作業者は、これを介して協調作業エージェントに依頼の設定、各作業の終了報告/進捗確認、協調作業の調整を行える。プログラミング言語は Tcl/Tk を使用して、外部の必要なライブラリを呼ぶ構成にした。

### 6.2 評価

#### 6.2.1 企画業務のモデル化の評価

部門計画書、プロジェクト計画書という書類を介す連帯性と調整性を伴う非定型な協調作業は、本稿で提



- 1) 依頼者が依頼・計画用紙を該当部門長経由で課長に送付する
- 2) 鈴木課長が鈴木課年度計画案を作成し、佐藤部長へ送付する
- 3) 鈴木課長が佐藤部長と鈴木課年度計画書案を検討する
- 4) 佐藤部長が鈴木課長に中村課長を加えた検討会の開催を決める
- 5) 鈴木課長が鈴木課年度計画書案を修正し、佐藤部長へ送付する
- 6) 佐藤部長が鈴木課長に中村課長を加えた検討会を開催する
- 7) 鈴木課長、中村課長が課年度計画書を完成し、佐藤部長へ送付する
- 8) 佐藤部長が部年度計画書を完成し、依頼者へ送付する

図8 年度計画立案の依頼/回答の手続き

Fig. 8 A procedure of request/answer for fiscal year planning.

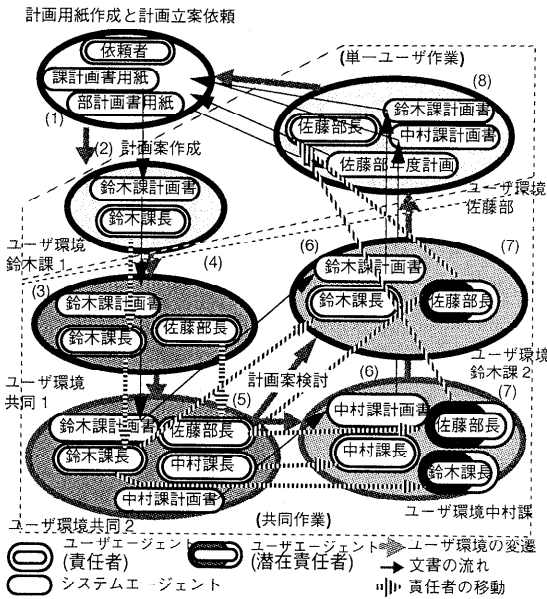


図9 計画立案の依頼と共同作業の流れ

Fig.9 A request of planning and flows of collaboration.

案したエージェントモデルを用いて容易にモデル化できる。たとえば、研究部門での年度計画作りは、図8のような手続きにより処理される。

図8のような手続きに基づく協調企画作業は、本稿で提案したモデルにより図9のように表現される。

鈴木課長による計画内容の叩き台作成作業(2)から始まる各作業段階では、複数の共同作業の繋がりを表現でき、連帯性における複数の責任者と単一責任者との繋がりと責任者の広がりや推移が表現される。影響力のある潜在責任者である佐藤部長や途中で増えた潜在責任者の鈴木課長の関係が明らかになった。これにより早期の停滞作業の発見と問題発生時の早急な原因究明および潜在責任者や関係者を含めた早急な対策検討による推進支援が可能になることが確認できた。ま

た、調整性における共同作業や準備作業の追加も表現できている。一方、協調作業モデルに基づく作業状況の表示画面では協調作業全体と各作業の終了を示す実績所要時間が表示され、全体の進捗と調整が容易に分かった。

### 6.2.2 協調作業エージェントシステムの評価

[評価内容] 割込み回数の削減とコーディネーションコストの低減を、部門内企画作業と、専門技術を異にする部門に跨る企画作業との2種類の協調作業で評価する。

[環境設定] 研究室のSUN SPARC2, PCを利用して、実際に業務を担当している部課長と依頼者を対象にして、次の手順で、協調作業エージェントシステムを評価した。評価では、ソフトウェアシステム、通信システム、電子技術、個人機器、デザインの5研究部門を対象に評価を実施した。

(1) 5つの研究部門における、実データである複数の課長の過去のスケジュール表を入力した。これにより、実際のスケジュールと評価者の体験が入っている環境を準備できた。

(2) 計画書作成業務として、問題1(毎年定例の企画作業)と問題2(新事業発掘の企画作業)の2種類を依頼する。問題1は部門内に閉じた企画作業であり、問題2は複数部門に跨る企画作業である。(1)の課長スケジュールに対して、問題1では3部門を対象に、問題2では4部門を対象にした2チームを編成し、次の2通りの方法で実施する。

- (a) 協調作業エージェントシステムを利用して依頼を出し、協調作業を進める。
- (b) スケジュール管理ツール、グループ活動管理ツール、会議室管理ツール、電子メール、ファイル共有ツールで資源確保と連絡を行い協調作業を進める。

[結果] 試行の結果、5個の共同作業を含む協調作業に対して、以下の同様な結果が得られた。

#### 問題1: 部門内協調作業

(a)では、依頼者は連帯性における“全課同時”/“リーダー選択”のメニュー選択、作業名と準備/作業時間の単純入力を約2~3分で、コーディネーションの実行と電子メールによる連絡を約1分で終了できた(表1参照)。協調作業全体の設定を一度に行え、協調作業全体にわたる重要な作業の作業時間を後工程分を含めて早い時期に確保できた。早い時期での予約により、初期設定時のダブルブッキングが回避でき、後での予約の重複も回避しやすくなった。この早い時期での予約や準備作業量の明示により、仕事の進め方や取込み方

表1 依頼および追加/修正の所要時間と問題点  
Table 1 Time and problems for a request and a modification.

(単位:分)

	協調作業エージェント	スケジュール・共同作業場所管理, & E-mail
i) 依頼側	約3~4分 (2~3+1) 眼疲労なし 割込みなし DBBなし	約11~15分 ((1+0.2)×n+4) 眼疲労あり 割込み発生の場合あり ダブルブッキング(DBB)解除時間要
ii) 受取り側での追加・修正	(1+1)	(1+0.2+4)
iii) 受取り側での依頼	(2~3+1)	((1+0.2)×n+4)

の適正化が図れた。調整のための共同作業の追加は、協調作業全体での追加位置と参加者の選択および準備作業時間の入力が入力約1分、実行が約1分で終了した。協調作業全体、現作業、そして準備作業の関係の明示により追加時期を容易に確認できるため、頭を使わないで楽に短時間で追加設定できるとともに、出張者も変化を容易に把握できた。調整の小型簡単化では、頭を使わないで楽にできるレベルを実現でき、作業の中断をほとんど起こさないことが確認できた。

(b)では、協調作業の設定は、約11~15分を要し、おおよその内訳は(約1分(入力:日数数え、該当日選択、予約選択、次の日の選択、共同作業名入力を含む)+約0.2分(実行選択と実行))×n(共同作業数)+約4分(電子メール作成・送付)であった。作業者の割込み回数は(a)同様0(ゼロ)であったが、依頼者は、個々の共同作業ごとに設定作業を繰り返さなければならない。まず休日を含んだ準備作業日数を計算し、カレンダー上を目視で数えて共同作業日を見つける。これを繰り返すのでかなり目が疲れた。次に電子メールでの連絡が自動的に出せないツールでは、出張先への連絡のために別途、約4分かけて電子メールを出す作業が必要になった。また、協調作業全体の設定を最初に一度で行わない場合、途中で協調作業者の作業量を増加することになり結果的に時間不足による質の低下を招いてしまった。調整作業は、容易に約1分で行えたが、協調作業全体の進捗を同時に見られないため全体の進捗状況を確認しての調整は行えなかった。別途、電子メールの送付も必要になった。

以上のように(a)では、4.1.2項の(A1)~(A4)の有効性が確認できた。依頼に関しては、主に(A1)、(A3)と入力を容易にした(A4)、調整では主に(A2)と(A4)が有効であった。

## 問題2:複数部門に跨るコーディネーション作業

(a)では、複数部門に跨る複雑な場合でも依頼作業は情報入力に約5分、実行に約1分で、問題1の場合と同様にほとんど疲労感がなく依頼作業を一度で終了して、電子メールでの共同作業自動案内で出張先へも連絡を行えた。新メンバーの追加のための入力時間が必要であるが離れた部門間での有効性が確認できた。調整のための共同作業の追加も、約1分の設定の後約1分で処理を終了した。協調作業全体の流れ、個々の共同作業と準備作業を所要時間とともに見られるため、全体のプロジェクト進捗管理と、全体を見ての必要な処理の適切な時期での設定が容易になった。また必要な準備作業時間の自動確保と、その明示により過度の作業量の回避が可能になり、時間不足からくる質の低い成果を削減できた。またダブルブッキングの回避も問題1と同様にでき、スケジュールの変更が多い作業者からは、早い時期の予約が多いことは予約を調整しやすいとの声が聞けた。さらに文書の引継ぎ期限から停滞作業が容易に検出できて、記載されている責任者、潜在責任者、関係者による原因の早期究明を容易に追加でき、また補強により協調作業を推進できた。ここでは協調作業が途中まで進んで状況が分かりにくい場合に、多忙な関連作業者が人の繋がりや容易にたどって、協調作業を推進できる場合もあった。

また、突然の環境変化への対応については、欠席者から届け出を受けたとき、マシンによる欠席者への依存性の検出と代替日時の設定で、突然の環境変化への対応が可能であることが確認できた。ここでは、突然の環境変化に対して、マシンが多忙な人間の代行が行えること、個人の都合や個人間の関係を考慮した調整が可能になることが確認できた。

(b)では、離れた協調作業者のスケジュールが同時に見えるファイルを共有できる場合には、問題1の場合と同様の時間を要した。別途、電子メールの送付も必要であった。作業者への割り込み回数はゼロであったが、準備日数を考慮した共同作業日を見つける作業と目視で空き時間を見つける作業が発生して、目の疲れが感じられた。また、個々の共同作業ごとの設定になった場合、ダブルブッキングや欠席が起きやすい状況になった。一方、スケジュールファイルを共有している場合、関係部門ごとや個人ごとのスケジュールファイルを、順に開くための待ち時間と、空き時間探索、空き時間のメモ取り、共通空き時間の擦り合わせで約20分以上に作業量が増大して割込み作業が発生した。

以上のように(a)では、4.3節の(A1)~(A4)と3.2

節の(A5)すべての有効性が確認できた。複数部門に跨る新企画の立案では、部門の追加や前回の共同作業結果を反映するための多くの調整が必要になったため、依頼に関しては、主に(A1)、(A3)、(A4)、調整では主に(A2)ととくに(A4)が有効であり、急な環境変化時には(A5)が有効であった。

### 6.2.3 依頼へのフィードバック

協調作業エージェントシステムでは、依頼作業の処理途中にも共同作業の追加・変更状況がモニタでき、作業の進め方の変更・進捗状況・作業負荷が分かり、共同作業の時期や回数を含む依頼方法を容易に調整できた。履歴は次回の依頼時の設定に役立てられる。

### 6.3 議論

評価の途中で分かったことは、対象とした研究開発部門の課長は、1日全部を長期間にわたって共同作業で予約されていなかったため、追加の共同作業の時間を取れたことがある。しかし、ある期間は1日中共同作業で埋まっていた。この期間について、さらに分かったことは2週間前であれば予約が取れるし、特別な人を除くと1週間前でも日時を指定しなければ共同作業予約できることも分かった。部門長との定期的な会議の曜日が決まっており、会議をなるべく入れない曜日や時間帯の課長間での暗黙の連携も会議予約をとりやすくする一因となっている。日時を指定する場合は、早い時期に一度に重要作業の設定と資源確保を行うことが必要であることが分かった。今回提案した協調作業エージェントの対象は、ある程度の期間にわたる協調作業であるので、依頼者が依頼を作業開始の2週間前に出せればよいといえる。また、今回は、部門内と複数部門に跨る企画作業を対象に評価を行ったが、組織の企画作業には、「複数人が各人の時間軸の中に協同作業を配置して、それぞれの役割を果たしていく協同作業」が多くあり、途中にいくつかの、検討会議、セミナー、合宿、編集、評価、点検、発表が入る協調作業がある。本稿で提案した方式は、これらほとんどを対象にできるため、どの組織でも有効であるといえる。

### 7. まとめ

企画作業において責任者が移ったりや途中で共同作業が入る協調作業のモデルを連帯性と調整性を追加して提案した。また、このモデルを実現する効率良い人間とマシンの協調を実現するために、コーディネーションコストを導入し、それに基づいてコーディネーションを低減する人間とマシンの協調システムを提案して、その有効性を示した。今後の課題としては、組

織の特徴や構成員の能力とその実質的向上までを考慮して、さらにコーディネーションコストを低減するとともに、目標の価値や追加価値を高めるコーディネーションの方式の追求がある。

謝辞 研究の機会をいただいた三菱電機(株)開発本部尾形部長、貴重なコメントやご協力をいただいた同社宮崎研究員と皆様、東北大学白鳥研究室の皆様へ深謝いたします。

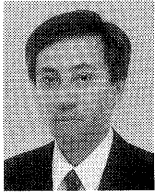
### 参考文献

- 1) Malone, T.W. and Crowston, K.: The Interdisciplinary Study of Coordination, Working Paper #157, MIT Center for Coordination Science (Nov. 1993).
- 2) Shiratori, N., Sugawara, K., et al.: Flexible Networks: Basic Concepts and Architecture, *Journal of IEICE*, Vol.E77-B, No.11 (1994).
- 3) 中内, 伊藤, 安西: Michele: マルチエージェントモデルに基づく協調作業の新しい枠組, コンピュータソフトウェア, Vol.9, No.5, pp.403-415 (1992).
- 4) Staffware User Manual, Staffware plc (1994).
- 5) LotusNotes Reference Manuals, Lotus Development Corporation (1993).
- 6) Kraemer, K.Y. and Malone, T.W.: Object Lens: A "Spreadsheet" for Cooperative Work, *Proc. CSCW'88*, Portland, Oregon, ACM, pp.115-124 (1988).
- 7) DeMacro, T. and Lister, T.: *Peopleware: Productive Projects and Teams*, p.224, Dorset House Publishing (1987).
- 8) Croft, W.B. and Lefkowitz, L.S.: Using a Planner to Support Office Work, *Proc. ACM Conference on Office Information Systems*, pp.55-62 (1988).
- 9) de Kleer, J.: Problem Solvings with the ATMS, *Artif. Intell.*, Vol.28, pp.197-224 (1986).
- 10) Cohen, P.R. and Levesque, H.J.: Cofirmations and Joint Action, *Proc. 12th IJCAI*, pp.951-957 (1991).
- 11) Davis, R. and Smith, R.G.: Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving, *Artificial Intelligence*, Vol.20, pp.63-109 (1983).
- 12) 大沢英一: 合理的エージェントによる共同プランスキーマ, コンピュータソフトウェア, Vol.12, No.1, pp.52-63 (1995).
- 13) 宮地, 白鳥: 作業の質を高める快適な作業環境の一検討, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp.34-42 (Oct. 1994).
- 14) 宮地, 白鳥: VisuMotion: コミュニケーションのための情報の内容の構造化方式の一考察, マルチ

メディア通信と分散処理研究会, 67-3, pp.13-18  
(1994).

(平成 8 年 6 月 21 日受付)

(平成 9 年 7 月 1 日採録)



宮地 泰造 (正会員)

1954 年生。1979 年東北大学大学院修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。1982~1985 年(財)新世代コンピュータ技術開発機構へ出向。1997 年東北大学大学院博士課程情報基礎科学専攻修了。現在三菱電機(株)ビジョン 21 事業化推進センター勤務。知識獲得, インタラクティブシステム, コーディネーションに興味を持つ。情報処理学会 25 周年記念論文賞受賞。日本応用数理学会会員。



白鳥 則郎 (正会員)

1946 年生。1977 年東北大学大学院博士課程修了。1984 年同大学助教授(電気通信研究所)。1990 年同大学教授(工学部情報工学科)。1993 年同大学教授(電気通信研究所)。情報通信システム, ソフトウェア開発環境, ヒューマンインタフェースの研究に従事。1993 年情報処理学会マルチメディアと分散処理研究会主査。情報処理学会 25 周年記念論文賞受賞。平成 8 年度情報処理学会論文賞受賞。現在, 情報処理学会理事。