コミュニケーションを用いた作業プロセスの動的な獲得

井 上 創 造[†] 岩井原 瑞穂[††]

本論文では，コミュニケーションプロセス，つまり，プロセスの構造があらかじめ明確には定義されないまま実行され，実行と並行して人間同士の議論によって定義が詳細化されるプロセスを管理する M-Trans システムを述べ，その方式の有効性の評価結果を示す．コミュニケーションプロセスは設計と並行して実行される可能性があり，設計と実行の間にやりとりが行われることも考えられる．コミュニケーションプロセスの管理は，ワークフローの例外処理や動的再構築を含めた，予測困難な状況への適応を実現するという意味で重要である．本システムはプロセスとコミュニケーションを統合的に記述するモデルに基づいており，プロセスの例外的な，あるいは未定義の動作に対してその動作を局所的に許す方法と，過去の局所的な動作の記録に基づいてプロセスの仕様を変更する方法をコミュニケーション支援に提供することによって作業プロセスを参加者が動的に獲得できる．

Dynamic Process Specification Using Communication Based Processes

Sozo Inoue[†] and Mizuho Iwaihara[††]

In this paper, we introduce the notion of a communicative process, which is a process to be executed without complete specification and designed in a discussion in parallel with the process. The execution of the communicative process may be performed on parallel with the design process, and the design process and the implementation may have interactions for coordination. Managing communicative processes is important since it realizes adaptation to unexpected situations, including exception handling and dynamic re-composition of a process in WfMS. We introduce the M-Trans System, which manages communicative processes on the model that provides integrated specification of a process and communication. The system provides communication support for localizing unexpected or undefined behavior of a process, and for dynamically capturing process specifications by generalizing the record of once localized processes.

1. はじめに

現実の世界においては，ワークフロー管理システム（Workflow Management System，**WfMS**）において扱うことが難しい協調作業が存在する．本論文ではそのような作業を扱うモデルとしてコミュニケーションプロセスを導入する．**コミュニケーションプロセス**は，プロセスの構造があらかじめ明確には定義されないまま実行され，実行と並行して人間同士の議論によって定義が詳細化されるプロセスである．以下では，プロセスを定義するための議論を，**設計プロセス**と呼び，定義されたプロセスの仕様を**プロセス仕様**，プロセスの実体を**プロセスインスタンス**と呼ぶ．コミュニケーションプロセスは，**図 1** (a) のようにプロセスインスタンスと設計プロセスの間にやりとりが行われることもある．

コミュニケーションプロセスの管理は，ワークフローの例外処理[2),7)]や動的再構築[16),18)]を含めた，予測困難な状況への適応を実現するという意味で重要である．なぜなら，予測困難な状況においては，その場で適応方法が検討され実行されるため，適応方法の検討が設計プロセスであり，適応自身がプロセスインスタンスといえるためである．現実の世界は，頻繁に変わりうる環境や予測困難な人間の行動にさらされるため，柔軟なプロセス管理が WfMS における重要な要求である．

M-Trans システムは，プロセスとその設計プロセスを統一的に扱い，参加者間のコミュニケーションの記録を元にコミュニケーションプロセスを支援するシステムである．本論文では，設計プロセスとプロセスインスタンスの間のやりとりに注目し，設計プロセスと

† 九州大学大学院システム情報科学研究科情報工学専攻
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
†† 京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻
Graduate School of Informatics, Kyoto University

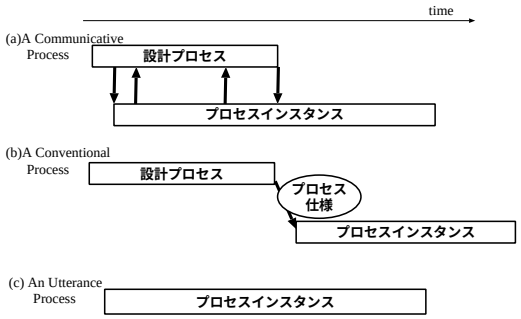


図 1 プロセスの設計の分類
Fig. 1 A classification of a process design.

1 つ以上のプロセスインスタンスの間に整合性がとれなくなる場合に設計プロセスとプロセスインスタンスの双方を調整して整合性を確保する方法を提案する．設計プロセスとプロセスインスタンスの不整合は，プロセスに例外が発生した場合や，プロセスインスタンスの実行が設計プロセスより先行する場合に起きる．提案する手法では，次の方法を用いる．

- **局所化**：プロセスインスタンスが，設計プロセスに反した，あるいは未定義の動作をする場合に，その動作を局所的に許す方法である．
- **一般化**：いったん局所化されたプロセスインスタンスをプロセス仕様に取り込み，他のプロセスインスタンスからも利用できるようにする方法である．

提案する手法では，設計プロセスとプロセスインスタンスが不整合の場合に，局所化を行う方法と，プロセス仕様を変更して整合性を確保する方法を用意する．プロセス仕様を変更する方法は，過去に局所化されたプロセスインスタンスを設計プロセスの参加者に提示し選択させ，選択されたプロセスインスタンスをシステムが一般化することにより行う．つまり，過去のプロセスインスタンスの記録を利用してプロセス仕様を詳細化，あるいは修正する方法を設計プロセスに対して実現するものである．また，一般化をプロセス仕様の動的な獲得ととらえると，プロセスインスタンスの動作が 2 度以上繰り返されるまではプロセス仕様にたよらずに局所化して実行できるので，実際に繰り返される動作のみをプロセス仕様に採用することのできる，効率の良い方法である．

M-Trans システムは，プロセスと利用者間のコミュニケーションを統合的に記述するモデル[8),9),20)]に基づく．我々は文献 8)，20) で，参加者間の議論をトランザクションと考え，参加者の発言の分類に基づきトランザクションを動的に構築する手法を提案しており，文献 9) では，議論のトランザクションとプロセスを統合したシステムにおいて，プロセスの例外を議論のトランザクションを用いて解決する方法を示した．これらの手法における議論のトランザクションとプロセスは，それぞれ本論文における設計プロセスおよびコミュニケーションプロセスで実現できるが，本論文ではさらにコミュニケーションプロセスが設計プロセスに先行する場合に有効な方法を提案する．

本論文の構成は，次のとおりである．2 章ではコミュニケーションプロセスとその設計プロセスを議論し，3 章で M-Trans システムのモデルとその実行について述べる．4 章ではプロセスの実行記録を用いてプロセスを動的に獲得する手法を述べる．5 章ではその手法を実際の電子メールの蓄積に適用した結果を述べる．6 章では関連研究を述べ，7 章でまとめを述べる．

2. コミュニケーションプロセス

この章では，コミュニケーションプロセスの性質を明らかにし，技術的な課題を明らかにする．

協調作業の例として，学術会議のプログラムを作成する場合を考える．プログラムを作成する担当の人々が，定められた手順に従い発表者に論文情報を請求し収集する．収集のためのプロセスは，それぞれの著者に応じて異なることが考えられる．ある著者は電子メールで提出するかもしれないし，別の著者は FAX で提出するかもしれない．また著者によってはタイトルと著者情報を別々に送るかもしれないし，著者によっては誤りの修正のための例外的な処理が必要である可能性がある．このための議論は，著者とプログラム委員の間の提案や質問といった交渉により決定される．タイトルがそろった時点で，プログラム作成の担当者は発表をセッションに分け，セッションの座長を割り当てる．

2.1 プロセスの設計の分類

コミュニケーションプロセスは，プロセスの構造があらかじめ明確には定義されず，作業の参加者同士の合意によって定義され実行されるプロセスである．以下では，他のプロセスを設計するために行われる意思決定のプロセスを，**設計プロセス**と呼ぶ．また，設計されたプロセスの定義を**プロセス仕様**と呼び，プロセス仕様をもとに生成されたプロセスの実体を**プロセスインスタンス**と呼ぶ．1 つのプロセス仕様に対し，プロセスインスタンスは複数個存在してよいものとする．コミュニケーションプロセスの例を，図 1 (a) に示す．

ワークフロープロセス（Conventional Process）は，設計者によってあらかじめプロセス仕様が決定されて

実行されるプロセスである．たとえば，タイトルを要求する方法は，プログラムを作成する担当の人々がその手順をワークフローで記述することが可能である．通常の WfMS は，あらかじめ設計者がプロセスを定義していることを想定している．図 1 (b) はワークフロープロセスを示している．設計プロセスはプロセスインスタンスのためのプロセス仕様を出力し，プロセスインスタンスの実行は設計プロセスが終了した後に行われる．

文献 1)，5)，11)，12) では，発言自体により実行されるプロセスが議論されている．上記の例で座長を打診する発言は，打診した時点で返答を期待しているため，要求に引き続く返答というプロセスを実行していると考えることができる．このように参加者の発言により生成され実行されるプロセスを，**発言プロセス**（Utterance Process）と呼ぶ．質問，提案といった参加者の発言の分類がシステムの支援の対象である．図 1 (c) は発言プロセスを示している．発言プロセスは，設計プロセスを独立して持たず，参加者の発言によりその場で生成され実行される．発言プロセスのプロセス仕様は，システムに静的に記述されている．

コミュニケーションプロセスの特徴は次のとおりである．

- プロセスは，議論によって設計され，その中で採用されたプロセス仕様が実行される．上記の例では，論文情報を提出する方法は，プログラム委員と各著者との間の交渉により決定される．
- プロセスインスタンスの実行が設計プロセスよりも先に行われる可能性がある．設計プロセスは，議論がその大半を占めるため，プロセス仕様や対象領域の知識を完全に記述する時間がないことが考えられる．たとえば，タイトルの間違いは後続の作業の遅延を防ぐために早急に修正されなければならないため，プロセス仕様が完全に定義されないまま実行される可能性がある．
- 設計プロセスは，単独で実行できずに，むしろそのプロセスインスタンスに依存する場合がある．プロセスインスタンスが設計プロセスより先行してしまう場合，設計プロセスにおける主な議論はプロセスインスタンスの正当性や，他のプロセスインスタンスへの影響の検討になるはずである．たとえば，プログラム委員が，著者情報を FAX で再送してもらうように，例外的な処理として著者に要求した後には，その行為が設計プロセスで了承され，例外を通常処理に組み込むかどうかが決定される必要がある．もし組み込まれるなら，FAX で再送するという処理がプロセス仕様に組み込まれる．
- コミュニケーションプロセスは，発言プロセスやワークフロープロセスと混在する．上記の例では，プログラム委員と各著者の交渉は発言プロセスにより行われる．またプログラムを作成する全体のプロセスは，著者情報収集後にプログラムを編集し座長を割り当てるというように，WfMS により管理されることも考えられる．

2.2 設計プロセスと実行の一貫した管理

コミュニケーションプロセスについての前節に示した特徴から，設計プロセスの結果のプロセス仕様とプロセスインスタンスの間の整合性を保ちつつ，柔軟な管理を行うことが重要である．しかし伝統的な WfMS では，プロセスが設計プロセスが終了した後に実行されるというトップダウンの方法しか保証しない．コミュニケーションプロセスを支援するためには，プロセスインスタンスから得られる情報を活用することが重要である．

本論文では，設計プロセスの中ではプロセスインスタンスから得られる情報が次のように利用されると考える．

- 整合性の検査（Consistency Check）：まず，プロセス仕様とそのプロセスインスタンスの間で整合性を検査する手法が必要である．コミュニケーションプロセスにおいては，プロセスインスタンスが実行されるときだけではなく，設計プロセスが進行する際にも既存のプロセスインスタンスとの間にこの検査が必要である．
- 局所化（Localization）：プロセス仕様とプロセスインスタンスの不整合を防ぐための，単純で，強力な方法は，プロセス仕様とプロセスインスタンスを独立させ，プロセスインスタンスをその場限りの実行と見なしてしまう方法である．たとえば，論文情報を再送することは，特定の著者に限った臨機応変の対応であると見なす方法である．**図 2** (b) は，図 2 (a) のような状態から実行された実行が，プロセス仕様に対応する部分がないような場合に，局所化により整合をとる例である．
- 一般化（Generalization）：局所化は，しばしば危険な状況をもたらす．なぜなら，他のプロセスインスタンスで，プログラム委員の承認があれば著者情報の再送が認められるというような場合に，局所化されていたプロセスインスタンスが他のプロセスインスタンスの進行から孤立してしまうためである．そのため，本論文ではプロセスインス

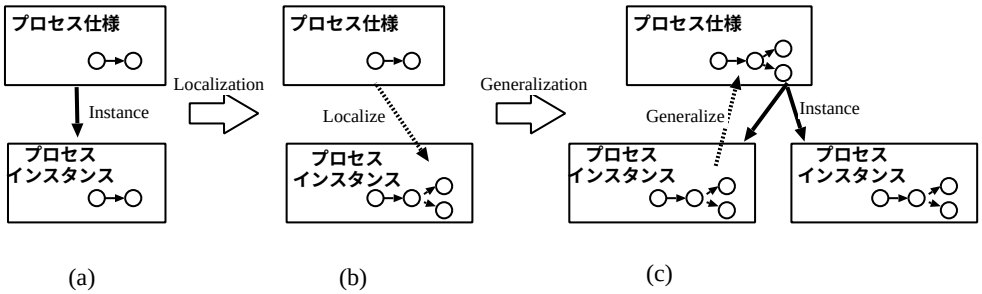


図 2 コミュニケーションプロセスの局所化と一般化
Fig. 2 Localization and generalization of a communication process.

タンスの一般化を導入する．一般化は，局所化されたプロセスインスタンスをプロセス仕様に取り込み，他のプロセスインスタンスからも利用できるようにする方法である．一般化は，次のように利用される．すなわち，設計プロセスとプロセスインスタンスの不整合が発生したときに，過去に局所化されたプロセスインスタンスのうち不整合を解決できるものを一般化し，プロセス仕様を変更して整合性を確保する．たとえば，著者情報の再送が繰り返されたときに，1 度目のプロセスインスタンスを一般化することにより，プロセス仕様の変更から孤立してしまうことを避けることができる．図 2 (c) は，局所化されたプロセスを一般化し，他のプロセスインスタンスに適用する例である．

コミュニケーションプロセスの管理は，ワークフローの例外処理[2),7)]や動的再構築[16),18)]を含めた，予測困難な状況への適応を実現するという意味で重要である．現実の世界は，頻繁に変わりうる環境や予測困難な人間の行動にさらされる．柔軟なプロセス管理が WfMS において重要な要求である．予測困難な状況においては，その場で適応が検討され実行されるため，適応自身がコミュニケーションプロセスの一部といえる．

2.3 設計プロセス

図 3 は我々のモデルにおけるコミュニケーションプロセスの枠組みを示す．設計プロセスは，**設計プロセス仕様**に従って進行する．設計プロセス仕様は，設計プロセスの仕様を記述したものである．本システムでは，設計プロセス仕様を記述するために MG-テンプレートというモデルを用いる．設計プロセスの実行記録は，プロセス仕様として見ることが可能である．プロセス仕様も設計プロセス仕様と同様に，MG-テンプレートで記述される．プロセスインスタンスは，通常，プロセス仕様と整合性をとりながら生成され実行される．

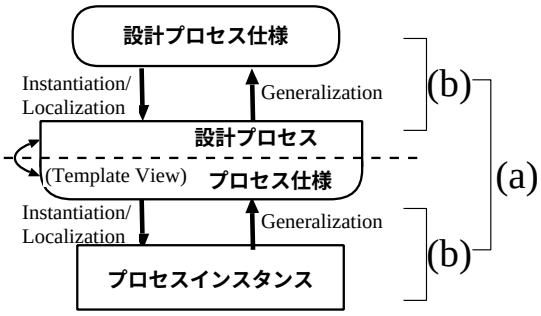


図 3 M-Trans システムにおけるプロセスの構成
Fig. 3 The process architecture in M-Trans system.

設計プロセスの実行記録からプロセス仕様に変換する方法は本論文では扱わないが，iDCSS[14)]などで用いられている意思決定支援とプロセス設計支援を組み合わせた手法を用いることができる．

また本システムでは，プロセス仕様と設計プロセス仕様，プロセスインスタンスと設計プロセスにそれぞれ同一のデータモデルを用いるため，局所化と一般化の機構を 2 つのレベルに用いることが可能である．つまり，図 3 の (b) に示すように，設計プロセス—設計プロセス仕様の間，そしてプロセス仕様—プロセスインスタンスの間の両方に適用可能にする．ただし以下では簡単のため，プロセス仕様とプロセスインスタンス間の局所化と一般化に限定して議論する．

3. M-Trans システム

本章では，M-Trans システムを説明する．

現在の M-Trans システムは Java 言語で実装されており，Java applet と Java servlet が協調して動作する．利用者は Web browser 上で利用可能である．**図 4** は，M-Trans システムのユーザインタフェースである．システムで扱うデータは XML（eXtensible Markup Language）で記述される．XML を用いることにより，普及している XML のツールを用いてシス

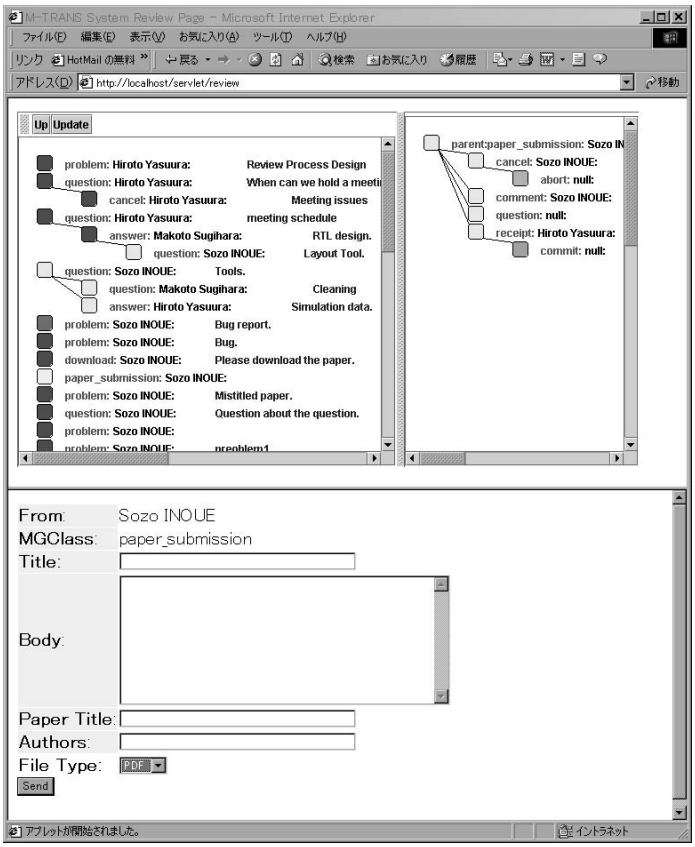


図 4 M-Trans システムのユーザインタフェース
Fig. 4 Main user interface of M-Trans system.

テムのデータを流通させることが可能である．

以下では，3.1 節でプロセスインスタンスのモデルであるメッセージグループを述べる．また，3.2 節で MG-テンプレートを述べ，3.3 節でメッセージグループと MG-テンプレートの間の整合性について議論する．この節では，設計プロセスと他のプロセスインスタンスは区別せず，MG-テンプレートとメッセージグループの関係に注目する．つまり，図 3 の (a) の違いは区別せず，(b) の関係に着目する．

3.1 メッセージグループ

本システムでは，メッセージやプロセスは**メッセージグループ（MG）**として統一的に扱う．**図 5** (b) は MG の例である．**MG** は，タプル：

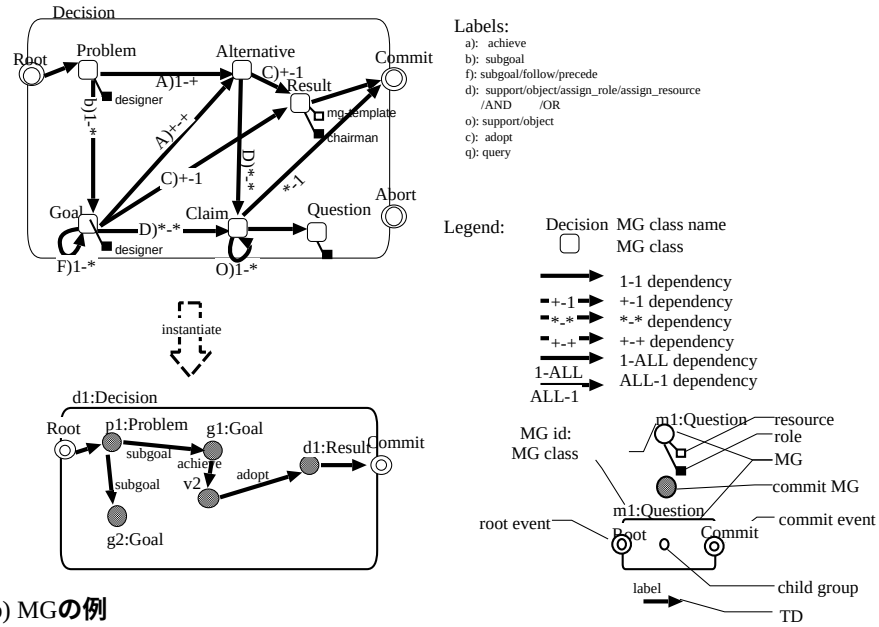
$[m_id, m_class, Children, Tdeps, body, Roles, Rscs]$.

である．m_id は MG の識別子である．$body$ は文章，音声，動画といった任意の媒体による参加者のメッセージである．m_class は **MG-クラス**と呼ばれ，発言者の意図や，プロセスの目的を表す．MG-クラスの例として，「Issue」「Argument」「Position」といった構造化議論モデル（IBIS）[4]で用いられているものや，ソフトウェアプロセス[13]における「バグ発見」「改善要求」「設計変更」「評価結果」があげられる．MG は，複数の MG を $Children$ に**子グループ**として持つことができ，$Children$ と後述する $Tdeps$ により，一連のメッセージのやりとりを表すことができる．m_class は，MG を生成した参加者が与える．場合によっては複数のメッセージが発言者の意図やプロセスの目的に対応することがあるが，その場合は，複数の MG を $Children$ に含む MG を生成することで表現することができる．このための MG も含め，MG の生成は，MG を子グループに持つ MG の参加者に許される．

$Children$ に加えることのできる子グループの種類は，3.2 節で導入する MG-テンプレートで指定する．子グループの $Children$ にもさらに子グループを加えることが可能なので，階層的な構造を持つ MG も記述可能である．

MG m が生成される事象を root，m の子グループが生成される事象を m の「実行」，意図を達成して終了する事象を commit，達成せずに終了する事象を abort と呼ぶ．MG はすべての子グループが「終了」，

(a)MG-**テンプレートの例**



(b) MG**の例**

図 5　MG と MG-テンプレートの例
Fig. 5　An example of MGs and MG-templates.

つまり commit または abort した後に commit することが許される．また MG は，MG への参加者を**役割**，使用するデータの情報を**リソース**，として複数個持つことができる．Rscs は**役割**の集合，Roles は**リソース**の集合である．

$Tdeps$ は，**トランザクション従属性（TD）**である．図 5 では，MG 間に与えられる有向枝で示されている．TD は，MG の実行に関する MG 間の従属性である．MG m_1 から MG m_2 への TD を $label(m_1 \rightarrow m_2)$ のように表す．TD が，いずれかが終了していない MG の間に割り当てられている場合，TD は WfMS におけるアクティビティ間のコントロールフローと同じ意味を持ち，始点が commit した後でなければ終点は実行されない．一方，両端の MG が終了している場合，TD は，終点が始点の内容を参照していることを意味する．TD は，あらかじめ決められた文字列の集合の要素を $label$ として持つ．図中で，root，commit および，abort は，二重円で示されている．

3.2　MG-テンプレート

この節では，MG-テンプレートを定義する．**MG-テンプレート**は，MG の仕様を記述したものであり，次のタプルで表される．

$[t_id, t_class, TChild, TDTmpls, TRscs, TRoles]$.

t_id は MG-テンプレートの識別子，t_class は MG-クラス，$TChild$ は MG-クラスの集合，$TDTmpls$ は TD-テンプレートの集合，$TRscs$ はリソースの集合，$TRoles$ は役割の集合である．これらは本節内で説明する．MG-テンプレートは，1 つの MG-クラスに対し，1 つ対応付けられる．以下では，MG-クラス c を t_class に持つ MG-テンプレートを，$mgTmplate(c)$ と表す．図 5 (a) は MG-クラス `Decision` に対する $mgTmplate(c)$ である．`Decision` の意味的な構造は SIBYL [15]から導入した．

MG-テンプレートは MG の定義と似ているが，以下の点で異なる：MG-テンプレートは，子グループの代わりに MG-クラスの集合を持ち，TD の集合の代わりに TD-テンプレートの集合を持つ．

MG-テンプレート T の定義に従い MG が生成されることを**インスタンス化**と呼び，インスタンス化された MGm を T のインスタンスと呼ぶ．逆に，T は m の $mgTmplate$であると呼ぶ．ある MG m の**インスタンス化**とは，ある MGm_{parent} の m_class の値 m_class_{parent} について，$mgTmplate(m_class_{parent})$ 中の $TChild$ に属する MG-クラスを持つ MGm を利用者あるいはシステムが生成し，m_{parent} の子グループに加えることである．$TChild$ に属する MG-クラスを t_class とする MG-テンプレートを用意することで,「MG の子グループの子グループ」のように MG

の階層を定義できる．

図 5 (b) の有向枝は，MG-テンプレートのインスタンスがインスタンス化されたときに与えられる TD を表し，**TD-テンプレート**と呼ぶ．TD-テンプレートは

$$label(m_1[multi_1 \rightarrow multi_2]m_2)$$

で表される．$label$ は，あらかじめ決められた文字列集合の要素であり，m_1 と m_2 は両端の MG を表す．$multi_1$ と $multi_2$ は，TD-テンプレートの両端に与えられる，後述する多重度制約である．TD-テンプレートには，AND-split，OR-join といった分岐と結合を与えることができる．AND-split は，始点が commit した後にすべての終点がインスタンス化されることを意味し，OR-join は，始点のうち 1 つでも commit すれば終点がインスタンス化可能であることを意味する．

TD-テンプレートの両端には，TD-テンプレートの属する MG-テンプレートからインスタンス化された MG に関する多重度制約を与える．**多重度制約**とは，次のものである．この TD-テンプレートからインスタンス化された TD の両端の MG が commit する際に：

- 1：反対側に接する MG 1 つに対し，同じ側の MG が 1 つ存在する．
- *：反対側に接する MG 1 つに対し，同じ側の MG が 0 個以上の任意個存在する．
- +：反対側に接する MG 1 つに対し，同じ側の MG が 1 つ以上存在する．

AND(OR)-split(join) は，MG のインスタンス化のときに検査され，多重度制約は，MG が commit する際に検査される．MG のインスタンス化の状況によっては，commit 時に多重度制約を満たさないことがあるが，この場合は 4 章で述べる局所化や一般化の機構を用いて多重度制約を保証する．

図 4 では，左上の領域に MG を表示している．ここで，各 MG が root であるか，commit，abort したかが四角の色で塗り分けられる．図では，`Paper_submission` を持つ MG，最上段の `Problem`，`Bug_report` をタイトルに持つ `Problem` が，それぞれ root，commit，abort の色である．また右上の領域には，利用者が注目する MG に関する MG-テンプレートが表示され，commit と abort は別の色で区別される．下の領域には，利用者が注目する MG の内容が表示される．

3.3 MG と MG-テンプレートの整合性

MG-テンプレートがインスタンス化され，MG-クラスから MG が生成されると，その MG の MG-クラスを終点に持つ TD-テンプレートのインスタンスも，インスタンス化される．この際，終点のインスタンス化は，始点が commit した後に行われる．

しかし，コミュニケーションプロセスにおいては，MG-テンプレートに反して MG がインスタンス化される可能性がある．そのため，MG と MG-テンプレートの整合性を定義する．

定義 1 MG m: $[m_id,\ m_class,\ Children,\ Tdeps,\ body,\ Rscs,\ Roles]$ が以下の条件を満たすとき，**整合**であると呼ぶ．ただし $mgTmplate(m_class)$: を $[t_id,\ t_class,\ TChild,\ TDTmpls,\ TRscs,\ TRoles]$ とする．

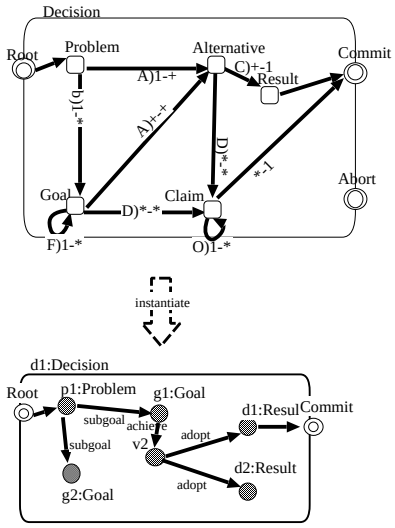
- 任意の $child \in Children$ について，$child$ の MG-クラスが $TChild$ に存在する．
- 任意の $tdtmpl \in TDTmpls$ について，その多重度制約を満たす．
- 任意の TD-テンプレート $tlabel(t_class_1[multi_1 \rightarrow multi_2]t_class_2) \in TDTmpls$ および，$Children$ の中でそれぞれ t_class_1，t_class_2 を持つ任意の MG m_1 と m_2 について，TD $(m_1 \rightarrow m_2)$ が $Tdeps$ に存在する．ただし，$tlabel$，$multi_1$，$multi_2$ は任意の値とする．
- 任意の $rsc \in Rscs$ が $TRscs$ に存在する．
- 任意の $role \in Roles$ が $TRoles$ に存在する．
- 任意の $child \in Children$ が整合する． □

この定義は，MG の MG-クラス，多重度制約，リソース，役割，そして再帰的な子グループについて整合性を定義している．**図 6** では，整合ではない MG の例を示している．図の MG は，$g2$ から `Alternative` に接続される TD が存在しないので，`achieve` (`Goal` $[+ \rightarrow +]$ `Alternative`) について整合である．これは現実の場面では，解決策がすべての部分問題に対しては検討されていないことに相当する．さらに，$v2$ に接する `Result` が 2 つ存在するので，`adopt` (`Alternative` $[+ \rightarrow 1]$ `Result`) についても整合ではない．これは，設計プロセスにおいて 2 つの結論が決定されたことに相当する．

MG が整合であるかを検査し，整合しない場合はその原因となる部分を得るアルゴリズム **match** を示す．**match** の中では，MG 中の TD-テンプレート t に関して，MG m が多重度制約を満たすかどうかを検査するサブルーチンを **checkMultiplicity** (t, m) と記述する．このサブルーチンの詳細は省略するが，t の種類に応じて m の構成要素の数を数え上げればよい．

入力： MG m：$[m_id, m_class, Children, Tdeps, body, Rscs, Roles]$,
MG-テンプレート：$[t_id, t_class, TChild, TDTmpls, TRscs, TRoles]$

(a)MG-**テンプレート**



(b)"achieve(Goal[+ ->+]Alternative)"
and "adopt(Alternatie[+->1]Result)"**について不整合**

図 6 整合でない MG の例
Fig. 6 An illegal MG.

出力： m と m の再帰的な子グループのうち，整合でない部分の集合

アルゴリズム： **match**

(1) 空集合 ret を用意する．

(2) **if** $(m_class \neq t_class)$ **then** m を ret に加え ret を出力し終了．

(3) **foreach** $child \in Children$,

(a) **if** $(class_{child} \notin TChild)$ **then** $child$ を ret に追加（ただし $class_{child}$ は $child$ の MG-クラスとする）．

(b) **if match**$(child, tmpl_{child})$≠空集合 **then** その出力を ret に追加（ただし $tmpl_{child}$ を $mgTmplate(class_{child})$ とする）．

(4) **foreach** TD $(m_1 \rightarrow m_2) \in Tdeps$,

- **if** (ある $TDT \notin TDTmpls$) **then** $(m_1 \rightarrow m_2)$ を ret に追加（ただし TDT は，m_class_1，m_class_2 をそれぞれ m_1，m_2 の MG-クラスとし，$multi_1$，$multi_2$ は任意の多重度制約としたときの TD-テンプレート $(m_class_1[multi_1 \rightarrow multi_2]\ m_class_2)$）．

(5) **foreach** $tdtmpl \in TDTmpls$,

- **if** $(\mathbf{checkMultiplicity}(tdep, m) = false)$ **then** m を ret に追加．

(6) **foreach** each $rsc \in Rscs$,

- **if** $(rsc \notin TRscs)$ **then** rsc を ret に追加．

(7) **foreach** $role \in Roles$,

- **if** $(role \notin TRoles)$ **then** $role$ を ret に追加．

(8) ret を出力して終了．

4. MG-テンプレートの動的な獲得

この章では，2.2 節で述べた局所化と一般化の機構を用いて MG と MG-テンプレートの間の整合性を柔軟に管理する手法を述べる．本システムでは，局所化と一般化の機構を，MG-テンプレートと MG の間に実現する．MG-テンプレートと MG の組合せは，設計プロセス仕様と設計プロセス，プロセス仕様とプロセスインスタンスのどちらの組合せも実現するため，図 3 に示した 2 つのレベルにおける局所化と一般化が実現できる．

利用者の MG に対する要求は，システムに **MG-操作列**として伝えられる．**MG-操作列**は，MG に対する操作の列である．MG に対する操作は，MG の内容の更新，commit，abort のいずれかである．MG の内容の更新は，MG-クラスの変更または，子グループ，TD，リソース，役割のいずれかの追加，削除である．

MG-操作列に対し，システムはその時点で MG-操作列が安全，つまり MG-操作列を適用してもすべての MG が整合であるかを検査する．もし安全なら，MG-操作列は即時に適用される．そうでないなら，システムは，MG-操作列を要求した利用者に対して不整合となる原因を示し，次の選択肢を与える．

- （キャンセル）MG-操作列をキャンセルし，破棄する．
- （局所化）MG-操作列を局所化として適用し，対象の MG がテンプレートに影響してしまうことを避ける．
- （一般化）対象の MG のテンプレートを共有し，すでに局所化されたインスタンスのうち，一般化することによって対象の MG が整合になるものを，利用者に選択させ，一般化をする．

この方法をプロセス仕様の動的な獲得ととらえると，プロセスインスタンスの動作が 2 度以上繰り返されるまではプロセス仕様にたよらずに局所化して実行できるので，この方法は，実際に繰り返される動作のみをプロセス仕様に採用することのできるという効率の良

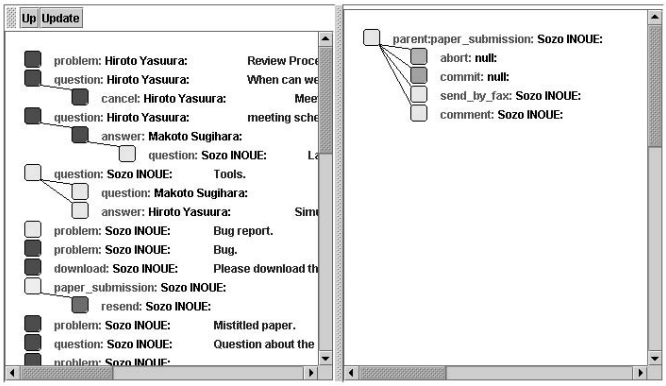


図 7 不整合となる箇所の表示と一般化の候補の提示
Fig. 7 Visualizing the unsafety and candidates for generalization.

い方法である．

以下では，MG-操作列の安全性の検査，不整合の原因を利用者に提示する方法，MG-操作列の局所化，局所化された MG のテンプレートへの一般化を説明する．

安全性の検査

システムは，MG-操作列の各列について，順に **match** を用いて安全性の検査を行う．MG-操作列の各列 i の操作対象を x_i とする．MG-操作列の各列は，たとえば,「MG m を生成する」という内容であり，このときの捜査対象は m となる．x_i の型は，MG，リソース，役割，TD のいずれかである．i 列までを適用した時点での，x_i を含む MG を m_{x_i} とする．また，このときの m_{x_i} のテンプレートを $T_{m_{x_i}}$ とする．MG-操作列の各列を適用した結果について，**match** $(m_{x_i}, T_{m_{x_i}})$ を適用する．MG-操作列内のすべての列について **match** が空集合であれば，MG-操作列は安全である．そうでなければ，**match** の出力の和集合が，不整合の原因である．

不整合の可視化

MG-操作列が安全なら，MG-操作列は即時に適用されるが，そうでなければ，システムは，その原因を利用者に視覚的に表示する．**図 7** は，その原因を表示する例である．左のフレームで，MG-操作列によって変更される部分，つまりこの場合は論文を再送するという追加処理が強調された色で表示される．

この画面は，m_x の参加者が閲覧することが可能である．この画面に続いて，利用者は,「キャンセル」,「局所化」,「一般化」のいずれかを選択することができる．「キャンセル」を選ぶと，システムは，MG-操作列を消去して MG-操作列の適用を破棄する．残りの 2 つについては次の 2 つの節で述べる．

局 所 化

利用者が「局所化」を選ぶと，システムは MG-操作列を実行するが，操作の対象となる MG は，以降の **match** では無視される．

一 般 化

MG の構成要素 x を MG-テンプレート T に一般化する方法を説明する．x を，MG，リソース，役割，TD のいずれかとする．一般化の手続きは，次のとおりである．

(1) x がリソース，または役割なら，x を，それぞれ T の $TRscs$，$TRoles$ に追加する．
(2) x が MG なら，
  (a) x に対応する新しい MG-クラス c を作り，T の $TChild$ に追加する．
  (b) c に対応する新しい MG-テンプレート T_c を作る．
  (c) x の各子グループと T_c にこの手続きを再帰的に適用することで，一般化する．
(3) x が TD なら，TD-テンプレート “$c_s(1 \rightarrow 1)c_d$” を T に加える．ただし c_s，c_d はそれぞれ x の始点と終点の MG-クラスである．

一般化された後の MG-テンプレート T' について，x および既存のインスタンスが整合なら，T は T' と置き換えることができる．

システムは，MG-テンプレートと置換え可能な MG-テンプレートの候補を探索し，もとの MG-テンプレートからの変化を利用者に表示する．図 7 は，視覚的に表示された候補の例である．図では，右の領域に一般化可能な MG-テンプレート `Abort`，`Commit`，`Send_by_FAX`，`Comment` が表示されている．

利用者が MG の候補を 1 つ選択すると，システムは MG を一般化し T と置き換える．ただ，この際に

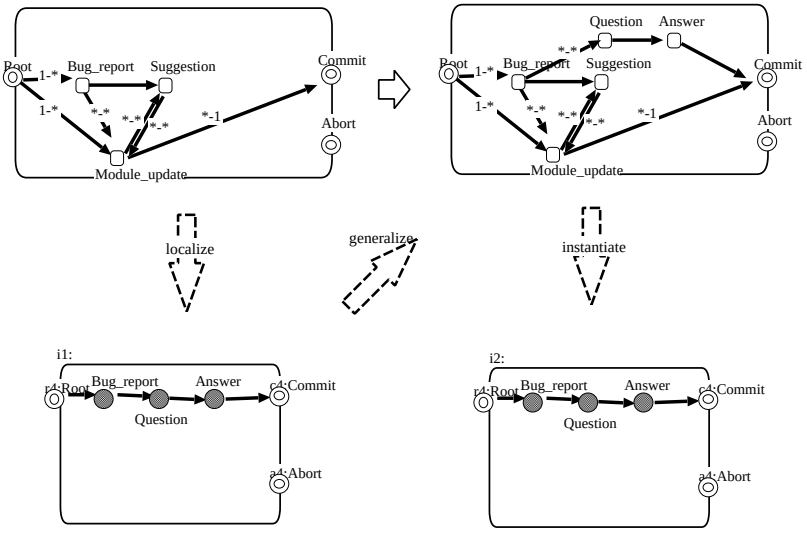


図 8 プロセスインスタンスの一般化の例
Fig. 8 An example of generalization.

既存の T のインスタンスのうち不整合となる MG ができてしまう可能性がある．この場合には，次の 3 つの対応が考えられる．

- （キャンセル）当初の MG-操作列と一般化を破棄する．
- （局所化）既存の T のインスタンスを局所化する．これにより既存の MG は以降 T との整合性の検査対象から外されるが，一般化の候補の探索対象にはなりうる．この方法は，次に述べるテンプレートのバージョンを分離すべきかどうかを判断できない場合に有用である．
- （バージョンの分離）一般化された MG-テンプレートを T と置き換えず，新しいバージョン T' とする．これにより，既存のインスタンスは T' の影響を受けないようになるが，後に T' に関する一般化が発生したときに T の情報を利用できないという問題がある．

この対応の選択は，通常の MG-操作列に不整合が生じたときと同じように利用者が選択する．これらを実現するために，システムは一般化に対し，通常の操作と同様に「安全性の検査」,「不整合の可視化」,「局所化」の機構を提供する．そして一般化が選択された場合に，MG-操作列の要求に対する処理の入れ子としてこれらの機構が呼び出される．

最後に，MG-操作列が適用される．**図 8** は一般化の例を示している．

5. 電子メール蓄積への適用結果

我々は，提案する手法をソフトウェア開発プロジェクトで流れた電子メールの蓄積に適用し，その効果を評価した．プロジェクトは 9 人の開発者と 15 人のテストユーザが参加するもので，約 2 週間に流れた 130 通の電子メールを解析した．

各電子メールに対し，その内容を考慮し MG-クラスを割り当て，各電子メールを MG と想定した．今回は，局所化と一般化の効果を計るため，はじめ空の MG-テンプレートのみを用意し，局所化と一般化の手法を用いて MG-テンプレートを構築していった．また，電子メールのヘッダから参照関係を導き，それを TD と想定した．そして，各 MG の生成がインスタンス化，局所化，一般化のいずれの契機となったかを分類し，その個数を調べた．各電子メールを MG と想定しており，また，MG の生成はインスタンス化，局所化，一般化のいずれかの契機となりうるため，これらの契機の総数は 130 である．

図 9 に，解析の結果を示す．図のグラフは，単位期間にやりとりされた電子メールのうちインスタンス化，局所化，一般化それぞれの契機となった電子メールの割合を示すものである．単位期間は 2 日とした．図より，局所化により生成された MG が多くの割合で存在することから，局所化の必要性が分かる．一般化の割合は，大部分が全体の 10%以内であり，一般化の結果生成された MG-テンプレートからのインスタンス化の割合は，一般化よりも大きく，大部分が全体

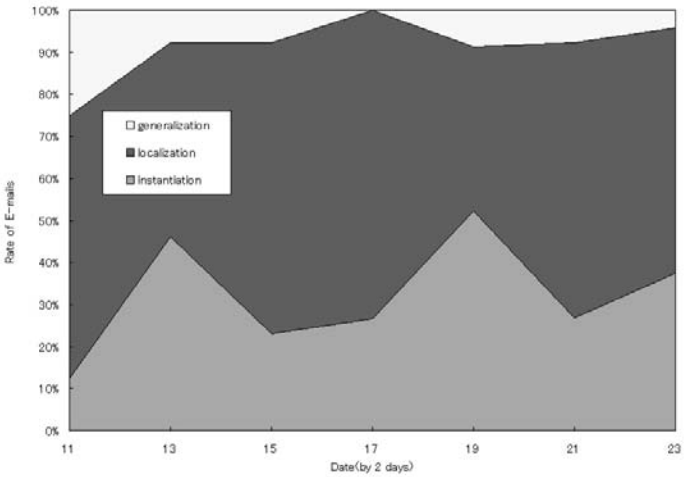


図 9 インスタンス化，局所化，一般化の占める割合の推移
Fig. 9 The rate of e-mails in each category.

の 20%以上である．このことから，一般化を用いることにより，一般化の約 2 倍の MG が通常のワークフロープロセスと同様の支援を受けることができることが観察できる．また，時間の進行とともに，一般化の割合はわずかながら減少する傾向にあり，インスタンス化の割合は概して増加する傾向にある．このことから，長期的なプロセスになればさらに一般化の有効性が増すと推測できる．図 8 は，解析で見つかった一般化の一例である．

6. 関 連 研 究

協調作業支援における要求の 1 つとして，予期しない状況への適応があげられる．現実の世界は頻繁に変化する環境や予測困難な人間の行動にさらされる．プロセス管理技術においては，例外的な状況に対応するための動的ワークフロー[18]や適応可能ワークフロー[19]が提案されている．文献 16) では，木構造を持つ作業のトランザクションに対し，形式的な分割結合操作を定義することで動的に構造を変更する手法を提案している．文献 6) では，プロセスの仕様を部分的に記述したものを蓄積しておき，例外時にその記述を詳細化することによって適応する方法が導入されている．さらにこの文献では，多数の作業者にコピー可能なアクティビティや，定められた期間に何度でも実行可能なアクティビティという拡張を行っている．このように適応の形式化は議論されているが，設計プロセス，つまり議論の結果や組織間の合意といった，プロセスの設計の背景にある人間の意思決定のプロセスを利用することは考慮されていない．これに対し本論文の手法は，設計プロセスをも統一的に扱うことで設計プロセスの柔軟な実行を許し，また設計プロセスとプロセスインスタンスとの整合性を管理するため，予期しない状況をプロセス仕様の変更を含めて処理できる．文献 3) では過去のプロセスを拡張したり，ECA ルールを用いて例外処理を記述したりすることにより再利用性を促進する方法を提案しているが，コミュニケーションプロセスにおいては，あらかじめ定義される必要のある ECA ルールは用いることができない．

文献 10) では，プロセス仕様の変更を柔軟に管理し，プロセスインスタンスに柔軟に関連付ける方法が提案されている．積極的伝播（eager propagation）では，プロセス仕様の変更がすべてのプロセスインスタンスに即時に反映され，消極的伝播（lazy propagation）では，既存のプロセスインスタンスには反映されない．一般化に相当する上向き伝播（upward propagation）も提案されている．この手法は，上向き伝播を導入している部分は本論文の手法と同じ主張であるが，本論文の手法は，いったん局所化された MG も一般化することにより再利用を可能にすることにより，いわば局所化された MG も MG-テンプレートの一部と考えて積極的に利用する，という具体的な利用法を示し，その効果を確かめた．また本手法は，局所化と一般化を設計プロセスにも適用する部分が文献 10) と異なる．

設計プロセスを支援するシステムの 1 つとして，意思決定のための議論を支援するシステムが考えられる．が考えられる．文献 1)，5)，11)，12) では「提案」,「約束」,「取り消し」といった発言をプロセスの生成，または進行と見なしている．つまり発言プロセ

スを支援するシステムである．議論の構造を記録することを目的としたシステム[4]では，発言は議論の状態を表すととらえている．また，ゴール指向議論モデル[15),17]は，問題や要求を，部分問題（subgoal）や解決（achieve），評価（support，deny）といった語彙を用いて詳細化していく．しかしこれらのモデルは，議論の結果得られる成果物をプロセス仕様に限定していないため，議論の記録を動的にプロセス仕様に変換する必要のある設計プロセスに用いるには不十分である．文献 14) では特に，“Has-Subtask”，“Has-Temporal-Relationship”，“Has-Attribute” といった，プロセスを具体化するための語彙を用意している．しかしこの手法では設計プロセス仕様が固定されているため，設計プロセス仕様自体に例外的な状況が発生した場合の対応が難しい．設計プロセスはプロセスインスタンスの進捗状況などの要因に影響されることが考えられるので，本手法のように，局所化や一般化といった手法を用いて設計プロセス自体の例外的な状況に対応できる必要がある．

7. おわりに

M-Trans システムは，MG と MG-テンプレートを柔軟に管理することにより，コミュニケーションプロセスにおける設計プロセスとプロセスインスタンスの整合性を保ったまま協調作業の予測困難な状況に対応できるプロセス管理システムである．本論文では，局所化された MG の記録と一般化とを組み合わせて MG-テンプレートと MG の整合性を保つ方法を示し，電子メールの蓄積に適用して有効性を調べた．その結果，プロセスインスタンスの局所化が頻繁に発生し，プロセスインスタンスの一般化を用いてプロセス仕様を獲得する方法が有効に利用されることを示した．M-Trans システムは，ワークフロープロセス，発言プロセスも扱うことが可能であるため，広い応用領域を持つことが考えられる．

参考文献

1) Bogia, D.P., Tolone, W.J., Kaplan, S.M. and de la Tribouille, E.: Supporting dynamic interdependencies among collaborative activities, *Proc. ACM Conf. Organizational Computing Systems*, pp.108–118 (1993).
2) Casati, F., Ceri, S., Parabosci, S. and Pozzi, G.: Specification and Implementation of Exceptions in Workflow Management Systems, *ACM Trans. Database Syst.*, 3, Vol.24, pp.401–451 (1999).
3) Chiu, D.K.W., Karlapalem, K. and Li, Q.: E-ADOME: A Framework for enacting E-Services, *Proc. 1st Workshop on Technologies for E-Services*, Egypt (2000).
4) Conklin, J. and Begeman, M.L.: gIBIS: A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussion, *ACM Trans. Office Information Systems*, 4, Vol.6, pp.303–331 (1988).
5) Flores, F., Graves, M., Hartfield, B. and Wingrad, T.: Computer Systems and the Design of Organizational Interaction, *ACM Trans. Office Information Systems*, 2, Vol.6, pp.153–172 (1988).
6) Georgakopoulos, D., Schuster, H., Baker, D. and Cichocki, A.: Managing Escalation of Collaboration Processes in Crisis Mitigation Situations, *Proc. 16th Int'l Conf. Data Engineering*, pp.45–56 (2000).
7) Elmagarid (Ed-in-chief), Number, V., Hagen, P. and Alonso, G.: Flexible Exception Handling in the OPERA Process Support System (1998).
8) Inoue, S. and Iwaihara, M.: Structured Message Management for Group Interaction, *Proc. Int'l Workshop New Database Technologies for CSCW and Spatio-Temporal Data Management* (*NewDB'98*), Singapore (1998).
9) Inoue, S. and Iwaihara, M.: Adapting Transactions to Exceptional Situations Using Structured Messages, *Proc. Int'l Symp. Database Applications in Non-Traditional Environments* (*DANTE'99*), Kyoto, pp.264–271, IEEE Press (1999).
10) Joeris, G. and Herzog, O.: Managing Evolving Workflow Specifications, *Proc. 3rd IFCIS Int'l Conference on Cooperative Information Systems* (*CoopIS '98*), New York (1998).
11) Kaplan, S.M., Carrol, A.M. and MacGregor, K.J.: Supporting Collaborative Process with ConversationBuilder, *Proc. ACM Conf. Organizational Computing Systems*, pp.69–79 (1991).
12) Kaplan, S.M., Tolone, W.J., Bogia, D.P. and Bignoli, C.: Flexible, Active Support for Collaborative Work with ConversationBuilder, *Proc. ACM Conf. Computer-supported Cooperative Work*, pp.378–385 (1992).
13) Kellner, M.I., et al.: Software Process Modeling Example Problem, *Proc. 6th Int'l Software Process Workshop*, pp.19–29 (1990).
14) Klein, M.: iDCSS: Integrating Workflow, Conflict and Rationale-based Concurrent Engineering Coordination Technologies, *CERAs* (1995).
15) Lee, J.: SIBYL: A tool for Managing Group Decision Rationale, *Proc. Conf. Computer-supported collaborative work*, pp.79–92 (1990).

16) Liu, L. and Pu, C.: Methodological Restructuring of Complex Workflow Activities, *Proc. 14th Int'l Conf. Data Engineering*, California, pp.342–350 (1998).
17) Mylopoulos, J., Chung, L. and Nixon, B.: Representing and Using Nonfunctional Requirements: A Process-Oriented Approach, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.18 No.6, pp.483-497 (June 1992).
18) Reichert, M. and Dadam, P.: ADEPT$_{flex}$ — Supporting Dynamic Changes of Workflows Without Loosing Control, *Journal of Intelligent Information Systems*, Kluwer Academic Publishers (1997).
19) Sheth, A.: From Contemporary Workflow Process Automation to Adaptive and Dynamic Work Activity Coordination and Collaboration, *Proc. Int'l Conf. Database and Expert Systems Applications*, Toulouse, pp.24–27 (1997).
20) 井上創造，岩井原瑞穂：非同期型コミュニケーションにおけるトランザクションの動的構築，情報処理学会論文誌:データベース，Vol.40, No.SIG 8 (TOD 4), pp.1–12 (1999).

(平成 13 年 6 月 25 日受付)
(平成 13 年 10 月 1 日採録)

（担当編集委員　宝珍 輝尚）

井上　創造（学生会員）

平成 9 年九州大学工学部情報工学科卒業．平成 11 年同大学院システム情報科学研究科情報工学専攻修士課程修了．同年 4 月より同専攻博士後期課程に在籍．データベースの協調作業支援への応用の研究に従事．

岩井原瑞穂（正会員）

昭和 63 年九州大学工学部情報工学科卒業．平成 2 年同大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了，平成 5 年同博士後期課程修了，博士（工学）．平成 5 年 4 月より九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻助手，平成 8 年 5 月より同大学院システム情報科学研究科情報工学専攻助教授．平成 13 年 4 月より京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻助教授．データベース質問言語，質問処理，協調作業支援システムの研究に従事．電子情報通信学会，ACM，IEEE 会員．