ネットワークを介した共同作業の支援環境構築にむけて

落水 浩一郎

1997 年 4 月 11 日
IS-RR-97-0017S

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科
〒 923-12 石川県能美郡辰口町旭台 15
ochimizu@jaist.ac.jp

ISSN 0918-7553

ネットワークを介した共同作業の支援環境構築にむけて

落水 浩一郎
北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科
〒923-12 石川県能美郡辰口町旭台 1-1
Phone: +81-761-51-1260
Fax: +81-761-51-1149
e-mail: ochimizu@jaist.ac.jp

概要

本論文では、ソフトウェア・プロセス実行の支援とコミュニケーションの支援を統合した機構を提供することで、ネットワークを介した共同作業を円滑に支援する計算機支援環境の参照モデルを提案する。環境開発の目標は、開発方法論の明解性、個人の作業環境の独立性、コミュニケーションの円滑性、作業場所の任意性 (計算環境の携帯性)、作業遂行に必要な知識・ツールの獲得容易性 (遍在情報へのアクセス容易性) の五つの特性で特徴づけられる「**快適性の向上**」である。

環境の構成は以下の通りである。共同作業を通じて生成・変更されていく中間成果物や決定事項と**それ等の状態**を、現実世界の状況を正確に反映しつつ管理する情報リポジトリを中心に置く。次に、そのまわりに共同作業者間の協調や調整を可能にする目的で、中間生成物や決定事項の矛盾に満ちた状態を把握し、それを減少させるための機能を配置する。そのような機能の支援の下に、チーム構成員の分散度や作業の規模等のパラメータに応じてＣＡＳＥツールやグループウェアを配置する機構を置き、さらに、上記環境の種々の内部状態を視覚的に把握することを支援するユーザインタフェースを置く。

本報告で提案する「自在」CSCSD モデルは、上記環境の構成に対するフレームワークであり、また、そのような環境を容易に構築するためのオブジェクト群を整備していくための手掛りでもある。

以下、1 章では、「自在」プロジェクトの目的と目標を明らかにする。2 章では、モデルを定義し、環境を構築するための原則と考え方を明確にするために、ソフトウェア設計方法論、CSCW、ソフトウェア・プロセス・モデルに関する現状の問題点と今後の課題を検討する。3 章では、「自在」CSCSD モデルの構成と詳細を説明する。4 章では、「自在」CSCSD モデルに従って開発中の自在プロトタイプの進捗状況を紹介する。5 章で今後の課題をまとめる。

目 次

1 「自在」プロジェクトの目的

ソフトウェア諸技術を、明解な構成原理を持つ建築や音楽のように、より健全で我々の感動を呼ぶものにするためには、我々は今、何をするべきであろうか？　まず、小島氏によるイタリアの建築に関する随筆[29]を紹介しよう。彼の建築論に関する考察は、ソフトウェア環境論の考察にあたって、類推により得られるいくつかの有用な視点を我々に示唆してくれるだろう。

- 建築論とは、建築によって何を表現するか？、よい建築とは何か？、そしていかによい建築を作るか？である。古代ローマ帝国における建築が表現し続けていたのは「力」であった。「力」は物量すなわち「大きさ」によって表現された。物理的な大きさを建築の「大きさ」として感じさせるため、形体は単純化された。古代ローマの建築は幅、奥行、高さなどの比率が注意深く検討された直方体と円筒を基本にしている。それを可能した技術はセメントであった。ルネサンスの建築に求められたものは「調和」であった。「調和」とは空間全体が整理され、秩序が感じられる状態といってよい。この「調和」は「比例」によってつくりだされた。建築の各部分の寸法がそれぞれ比例によって整えられ、それによって空間の秩序がつくられた。初期のルネサンス建築では最も単純な比例、*1*：*1*が基本となった。具体的には平面なら正方形と円、立体では立方体と球の形をとる

類推により、我々はソフトウェア開発環境によって何を表現するか？、よいソフトウェア開発環境とは何か？、そしていかにしてよいソフトウェア開発環境を作ることができるか？ という問いかけを設定することができる。何を表現すべきかを明らかにすることは、時代の共感を呼び次の時代に生き残るソフトウェア開発環境を創出するために必要である。ソフトウェア工学の世界では、速さ、堅牢さ、柔軟性などの目標が検討され続けてきた。著者は、次の時代に重要となる一つの目標は「快適性の向上」であると考える。

目標達成のための技術課題を設定するためには、快適なソフトウェア開発環境が持つべき特性を論じることが必要である。。著者は、少なくとも明解性、独立性、円滑性、携帯性、増幅性の五つの要因が必要であると考えている[50]。明解性とは、「設計対象が評価可能であり、開発手順が明確かつ具体的であること」。独立性とは、「必要なコミュニケーションを保証しつつも、個人の作業の独立性が保持できること」。円滑性とは、「チームの構成員間のコミュニケーションが円滑であること」。携帯性とは、「活動の場から、必要な情報に迅速にアクセスできること、さらには活動の場にそれを支える情報が追随できること」、増幅性とは、「ネットワーク上に遍在する作業遂行に必要な情報にタイムリーにアクセスできること」、をそれぞれ意味する。

2 ソフトウェア設計方法論、CSCW、ソフトウェア・プロセスの研究分野において解決されるべきいくつかの課題

本章では明解性、円滑性、独立性が快適性の重要な要因であると考えるにいたった理由を述べる。携帯性と増幅性については第4章で述べる。

2.1 ソフトウェア設計方法論におけるソフトウェア・アーキテクチャの役割

小島氏の随筆に戻ろう。

- 建築の様式とは、「空間の組立て方」と「特徴的な細部」とからなる。細部の少ない建築は様式の変革期に現われ、空間の組み立て方を中心とした新しい様式が生みだされた。一方、変革のない時代には、多様な細部が発展した。一方、変革を推し進めなかった建築もあった。ビザンティン、ゴシックなどに分類される中世の建築やバロックの建築は建築空間に支配されない多様な細部を持っている。

建築における「空間の構成法」は、ソフトウェア設計においては「ソフトウェア・アーキテクチャ」に対応する。著者はソフトウェア・アーキテクチャに関する研究を充実させることが、開発対象および設計方

法論の明確化に最も貢献すると考えている。ここで、ソフトウェア・アーキテクチャという用語を吟味してみよう。

ソフトウェア・アーキテクチャという用語の定義は人により様々である。 CMU の David Garlan は、彼の論文中で [17]、大規模システムの設計においてクリティカルな問題、計算要素とそれら要素間の相互作用を高レベルの抽象度で構成すること、を論じた。彼は、ＳＥＩの研究グループによる定義に基づき、ソフトウェア・アーキテクチャの定義を以下のように与えている。「プログラムやシステムの構成要素の構造、構成要素間の相互関係、設計やその変更を支配する原理やガイドライン」。

彼は、ソフトウェア・アーキテクチャに関する研究動向を以下の二つに分類した。

1. 複雑なソフトウェア・システムを構造化するための手段、技法、パターン、いいまわし (idioms) などの、設計者間で共有される様々な共有レパートリーを開発する。これらの用語はシステムの厳密な定義を与えることはほとんどできないが、システムの全体像を理解可能にする抽象を用いて、複雑なシステムを設計者たちが記述するのを可能にする。
2. 一群の製品に対して再利用可能なフレームワークを提供する特別なドメインを開拓する。その根拠は、「共有されるデザインを実体化することで、互いに関連する一群のシステムの共通部分を、比較的低コストで構築できる」という考え方にある。代表的な例としては、コンパイラの標準的分解、標準化された通信規約、第 4 世代言語における共通パターンなどがあげられる。

彼はまた、ソフトウェア・アーキテクチャに関する研究の関心を以下のように整理した。

- 全体的構造と大域的制御構造
- 通信プロトコル、同期、データ・アクセス
- 設計要素への機能の割り当て
- 物理的分散
- 設計要素の構成法
- 規模への対応と性能
- 設計代替案の選択

おおざっぱな言い方をすれば、設計方法論およびソフトウェア・アーキテクチャ共、その目的は、要求と実現の間のギャップを埋めることにある。違いは以下の点にある。ソフトウェア設計方法論はある問題クラスをその解に変換するステップを定義する。ソフトウェア・アーキテクチャは要求と実現の間に独立して存在し、D.Garlan によって与えられた論点を検討し、可能なアーキテクチャのクラスから最適なものを選択することを可能にする。設計方法論とソフトウェア・アーキテクチャは互いに補完的な役割を果す。

筆者等は、設計方法論の効果と問題点を認識するために、SA/SD や OMT などの既存のソフトウェア設計方法論を実世界における大規模モデリング問題や設計問題に適用した経験を持つ [31]、[32]、[43]。しかし、ほとんどの既存の設計方法論は、ソフトウェア・アーキテクチャ設計フェーズを明解かつ具体的に定義していないので、以下のような評価を既存の方法論に与えた。

- **既存の設計方法論は、問題依存の解を類形化された部品 (例えば、オブジェクト・ライブラリ) に接続する役割を果たすにすぎない**

次に、ソフトウェア・アーキテクチャの柔軟性の問題を論じよう。オペレーティング・システムやオンライン・リアルタイム・システムなどの様々なモニュメントが構築された時代における価値感は、「大きさ」にあった。ソフトウェア工学は「大きさ」と「複雑さ」を制御するために生まれた。そのための原理として

は「分割統治」や「機能の階層構成」が採用された。階層は「抽象のレベル分け」によって達成される。階層構成においては、ある特定の層の実装法を効率改善のために変更することは容易である。しかし、ソフトウェアにおける抽象は「最適化」を伴なうため、「階層構造自体の再構成」は困難である [44]。細部の手直しの積み重ねによっては「空間の再構成」はなしがたい。

その反省を受け、「類形化」を目標とするオブジェクト指向技術が試みられている。その構築原理は「型」の概念に基づく。デザインパターンに関する研究の成果を待った上で結論を下す必要があるが、オブジェクト指向方法論においてはシステムの構築がボトムアップになり空間の構成が困難である。さらに、ネットワーク時代においては、計算要素間の相互通信からなるネットワークにまたがる計算構造の柔軟性を保証する、新しい目標と構成原理が必要である。

次の時代における「計算」が以下に述べる形態をとることに関しては、我々は合意できると思う。

- 計算要素はオブジェクトにより表現され、その間の相互作用はメッセージ通信によってなされる (全体的構造と大域的制御構造)。制御は分散制御になり、制御およびデータの授受に関する通信プロトコルは標準化される。永続オブジェクトの管理は一貫性保持の目的から多分集中管理されるだろう。CSCW アプリケーションの発展により、アプリケーションオブジェクトと永続オブジェクト間の交信はロングトランザクションが主流となるだろう [9]。ネットワークの遅延を考慮に入れた書き込み制御技術も発展するだろう [10]。

上記の諸機能を実現するための基礎 /応用研究はすでに、世界の各地で実施されている。これらの研究があるレベルにまで達した時、次に問題になるのは何であろうか?

とくに、ネットワークを介した共同作業を支援する分野に話題を絞る時、重要な問題の一つとして「規模への対応 (アーキテクチャを規模対応に整備すること)」が挙げられる。アーキテクチャの設計において、「規模」を特徴づける主要なパラメータは何であろうか? 「遅延時間」は重要なパラメータの一つである。「遅延時間」はネットワークの規模により大きく異なり、システムの性能に大きな影響を与える。

「規模」に応じたソフトウェア・アーキテクチャのクラス分けをまず実施し、次に、設計者にシステム構築の枠組と部品を提供するために、全体的構造と大域的制御構造、通信プロトコル、同期、データ・アクセスなどの諸機能を支援する制御オブジェクトを整備・提供する必要がある。この時、分散度を考慮しつつ、アプリケーション・ドメインのオブジェクトを、物理的配置に割り当てる設計方法論および記述言語を開発する必要がある。

2.2 コミュニケーションはいつ、どのような条件下で成立し、かつ進行するのか?

グループウェアは以下のような技術を開発することにより、コミュニケーションにおける時間／空間分散を克服する手段を我々に提供してきた [11]。すなわち、リアルタイム・グループウェアによる即時性、臨場感の向上。マルチメディアによる適切な情報表現手段の提供。人間間の face-to-face コミュニケーションの前段階におけるコーディネーション・コストの e-mail による低減 [13]。各自の仕事の独立性を保証しつつ必要なコミュニケーションを達成させる非同期コミュニケーション (電子メール) の効果も広く世の中に受け入れられている。

しかし、これらの効果だけでは膨大なネットワーク設備に対する社会的コスト投入の見返りが少なすぎる。コミュニケーションにおける「知性増幅」の道具として、計算機とネットワークを最大限に活用するアプリケーション分野を、我々はさらに開拓する必要がある。

新しい領域を開拓する一つの手掛りは、「会話の背景状況」を明示的に取り扱い、かつ関係者間で共有させることにある。例えばソフトウェ開発においては、ほとんどの会話は膨大な量の文書や設計者やプログラマの知識の一部分に関連しており、それ等の状態に基づいて様々な活動や会話が駆動される。既存のグループウェアは、頼む、伝える、説明するなどの一つ一つの会話を支援することはできるが、その背景情報や状態関しては、例えば文書を例にとると、今、我々ができることは、関連する文書をスクリーンに表示し操作する程度のことである。ソフトウェア文書の量が膨大であり、記述内容の相互関係も複雑であることを

考えにいれると、既存のグループウェアの能力は必ずしも十分でないように思える。大量の情報とそれに付随する状況を参加者間で共有でき、かつフォアグランドで取り扱うことができるような機能をグループウェアは充実すべきであろう。

以上述べた問題点を明確に指摘した論文がある。C. Ellis は [12]、ソフトウェア・モデリングに関する研究成果に基づいて、グループウェアに対する三つのユーザ視点モデルを定義・検討することにより、上記の問題点に関する今後の研究方向を示唆した。それらは、ユーザが操作可能なオブジェクトの静的記述であるオントロジカルモデル (Ontological Model)、ユーザによって実行されるべき活動を構造的に表現した調整モデル (Coordination Model)、システムとユーザおよびユーザ間のインタフェースであるユーザインタフェースモデルである。

オントロジカルモデルによって、会話の背景情報の内、静的情報を保持するリポジトリを定義する。一般に誰も全体のことは知らない。多くの場合、各会話参加者はリポジトリの内容の一部を知っており、さらに、それらの情報の一部は他人と共有されている。誰かが各自が保持する情報内容の理解に差があることを認知した時に、コミュニケーションの契機が成立し、情報の均一化の試み (会話) が始まる。会話の内容は、各参加者が持つコンテクストに依存して理解される。構造的コンテキスト (structual context) は「リポジトリの動的状態」を表現する。社会的コンテキスト (social context) や組織コンテキスト (organizational context) は、「会議参加者の動的心理状態と社会的背景情報」をそれぞれ表現する。コンテクストにより会話の流れが制御される。話合いのルールや常識的な手順 (プロセス) を調整モデルが表現する。ユーザインタフェースモデルが、関連資料、会話の内容、会議の進行状態などを視覚的手段で会話参加者に提供する。

ここで、考察の範囲を「会話に通じて下される決定事項」に限定しよう。例えば、ソフトウェア開発過程は「決定の積み重ね」であるとみなしうる。各自は各自の仕事の責任範囲において、みずからが下した決定を管理している。例えば、ソフトウェア設計者は、設計対象に関する仕様を作成しプログラマに引き渡す。プログラマはその仕様に従ってデータ構造や制御構造を設計しコードを書く。決定 (引き渡される仕様) は、引き渡された時点から、設計者とプログラマの間で共有されることになる。引き渡されたものの内容の理解に関してギャップが存在する時に、いろいろな種類の会話が発生する。また、プロジェクトマネージャとデザイナやプログラマ達と、主に時間資源の管理に関する決定について様々な話題が生じる。

この時、会話の流れを円滑にするためには、以下ような情報が必要になる。

- 決定事項の全体像の表現
- プロジェクトの目標に対する進捗状況
- ある話題に対する、部分的決定の積み重ねの構造とそれらの決定の際に存在したさまざまの前提条件
- 一つの部分的決定に関する確信度と手間

これらの要請は、相互理解や決定の変更管理支援のために、**決定事項とその状態**を、その全体像から詳細レベルにいたる決定の粒度で、系統的に管理できるソフトウェア・リポジトリの必要性を示唆している。リポジトリのモデリングにおいては、決定の時間的特性を考慮に入れるべきである。多くの場合、決定は一時的なものである。時間がたち、状況が変化するにつれて、合意が不合意になり、不合意が合意に変化することはしばしば経験されることである。

決定事項の管理技術を現在のグループウェアの成果に併合することにより、長期間にわたる会話を円滑にし、参加者の間に一体感を作りだす効果を期待できる。

2.3 ソフトウェア・プロセス・モデルでは何を記述すべきか？

ソフトウェア・プロセスに関する研究分野においては、「プロセス記述言語とその実行環境」および「プロセス成熟度」に関する二つの主要な研究成果がある。前者は開発工程設計の道具を与え、後者は、組織の開発能力の判定基準、開発プロセス改善へのガイドラインを与える [45]。本節では、ソフトウェア・プロセス・モデリングの必要性、有効性に関する筆者の意見をもとに、今後の研究方向を論じる。

ソフトウェア・プロセス記述のねらいの一つは、ソフトウェア設計方法論の形式化にある。これは成功するであろうか？ この議論を進めるにあたり、ソフトウェア設計方法論そのものの有効性と、ソフトウェア設計方法論の形式記述の有効性の問題は注意深く区別する必要がある。ほとんどのソフトウェア設計方法論はソフトウェア開発にあたってのガイドラインを与えているにすぎないので、ソフトウェア・プロセス・モデル (ソフトウェア設計方法論の形式記述) も当然同じ欠点を持つ。ここで我々が議論したいことは、形式的記述そのものの有効性である。

本題に戻ろう。「ソフトウェア設計方法論の形式化が有効であるか？」という問いは、「手続きの抽象は有効であるか？」という問いと同じ意味を持つ。ソフトウェア・プロセス・モデルは、(操作、入力、出力) の 3 組で表現される「活動」の集合と、それらを構造化する制御構造からなる。(操作 1、入力 1、出力 1) と (操作 2、入力 2、出力 2) に、「型」と「ポリモルフィズム」の概念を適用することにより、抽象表現 (操作、入力、出力) を得ることができる。オブジェクト指向法では、さらに、(操作-x, di, do) と (操作-y, di, do) を ([操作-x, 操作-y], di, do) としてまとめることにより一つの表現単位を得る。しかし、これらはプログラミング言語分野での成果であり、ソフトウェア・プロセス・モデリングに固有のものではない。制御構造に関しては、ソフトウェア・プロセス・モデリングに特有な特徴をいくつか観測できる。その一つに「反復」または「バックトラッキング」がある。ソフトウェア・プロセスにおいては、反復における戻り先は、その非決定性の特徴よりあらかじめ決定することはできない。戻り先は動的に決定される [42]、[28]。

プロセスの実行時変更もソフトウェア・プロセス・モデリングに特有の性質である。人間の行動は不確実で再現性がないので、プロセス実行時にその実行順序や実行内容が状況に応じてしばしば変更される。すなはち、「非決定性」や「不確定さ」の記述が、プロセス・モデリングに固有の特徴である [25]。

これらの制御構造を記述する見返りとして我々は何を期待できるのであろうか？この点について、はっきりした見通しを我々は持たないように思える。例えば、ウオータフォール・モデルにおいてもオブジェクト指向開発法においても、「反復」は必ず出現する。繰り返しは、前者では悪であり、後者では善である違いがあるだけにすぎない。ソフトウェア・プロセスを形式的に記述することは、ウォータフォール・モデルの欠点を定量的に評価することを可能にするのだろうか？ オブジェクト指向ソフトウェア開発におけるプロトタイピング・アプローチに対して、有用で具体的なガイドラインを提供できるのだろうか？ 柔軟な標準開発工程の設計を助けてくれるのであろうか？ そのような効果を期待できないとすると、形式化は、実世界の活動を別の世界の言葉で単に表現しなおしているにすぎない。

問題の起源に立ち帰る必要がある。人間は完全なものを一度には完成できないので、繰り返しが発生する。その度合は、ソフトウェアの規模が増大するにつれて大きくなる。また、人間は機械ではないので、その振舞いを予測し再現するのが困難である。ソフトウェア・プロセス・モデリングにおいては、これらの人間要因を考慮に入れる必要がある。

我々のアプローチでは、手順を書き下すことではなく、仕事の静的/動的コンテキストを定義することに力点を置く。試行錯誤は自然なものであるとして、達成目標 (品質基準)、犯してはならない制約や規則、他人との仕事のつながりとその優先度などを各自の作業環境のまわりに配置する。品質基準はオブジェクトベース中のオブジェクトの属性とする。制約、規則、他人との仕事の関係は作業インタフェースの属性とする。上記の事柄に違反した際の調整支援は今後の重要な研究課題である。

プロセス成熟度に関する関する研究は、実世界における様々な開発プロセスを改善するための有用なガイドラインを提供しうるだろうか？ F.Cattaneo は論文 [5] で、CMMの適用が必ずしも現実の改善にはつながりないことを指摘している。何が原因なのであろうか？

いくつかの可能性のうち、ここでは、問題発生源の一つとして、個人の活動とチームの目標の間の「調整」の問題を吟味してみよう。例えば、他人のやった仕事を引き継ぐ。他人に仕事を引き渡す。社内やプロジェクト固有の規則を順守する。一定の品質が保証されたプロダクトを生成するなどの例がある。最も重要なことは、これらすべてのことを納期にあわせて、限られた時間資源で実行しなければならないことである。

個人の目標をプロジェクトの目標の間には大きなひらきがある。前者は、「自身の能力の範囲内で納得しながら良い仕事を楽にする」という自己中心の仕事のタイプを容認し、後者は、「限られた時間範囲内に

すべての仕事を終了する」という自己犠牲、献身型の仕事のタイプを要求する。双方を同時に達成できる人もいるがそれは稀な例である。われわれは、そのようなノウハウの共有を可能にする理論とシステムを、事例推論とモデル推論を利用して開発したことがある [46]、[55]。しかし、膨大なコストを必要とするので現在のところ実用化の見通しはない。個人の目標とプロジェクト・チームの目標をつなぐことができる調整支援のためのプロセス・モデルが必要である。

2.4 2章のまとめ

本章では、ソフトウェア・エンジニアリング活動を対象として、計算機ネットワークを介した共同作業支援のためのモデルを定義し、環境を構築するにあたっての基本方針と原理を述べた。我々の目標は、以下の五つの特性で特徴づけられる「環境の快適性の向上」にある。

明解性: 中間成果物の評価が可能であり、その手順が明確かつ具体的である設計方法論を利用できること

独立性: 必要なコミュニケーションを保証しつつも、個人の作業の独立性が保持できること

円滑性: チームの構成員間のコミュニケーションが円滑であること

携帯性: 活動の場から、必要な情報に迅速にアクセスできること、さらには活動の場にそれを支える情報が追随できること

増幅性: ネットワーク上に遍在する作業遂行に必要な情報・ツールに要求に応じてタイムリーにアクセスできること。すなわち、個人の能力を拡大し得るようなツールが必要であり、それを開発できる環境が整いつつある。

次に、今後解決されるべき研究課題を洗いだす目的で、ソフトウェア設計方法論、CSCW, ソフトウェア・プロセス・モデリングの分野における研究現状を吟味した。その結果、以下のような課題を認識した。

- ネットワークにまたがる計算構造を前提として、規模に応じたソフトウェア・アーキテクチャ・クラスを整備すること
- 長期間にわたる会話を円滑にし一体感を生みだすために、リポジトリ管理技術 (特に決定事項の管理技術) を既存のグループウェアの研究成果に融合させること。この際、決定事項に関する状態 (確信度、完遂度など) を合せて管理することが必要である。
- 個人の目標とプロジェクト・チームの目標をつなぐことができる調整支援を目的としたプロセス・モデルを開発すること
- 予測不可能性、非再現性、不完全性などの人間要因を上記のモデルや環境の開発にあたって十分に考慮すること

3 CSCSD モデル

我々の共同活動の主要な要素は何であろうか？ それらはどのように関連して共同活動を成立させているのだろうか？ 少なくとも、プロダクト、コミュニケーション、プロセス、人間の四つを挙げることができる。本節における考察の目標は、これらそれぞれの要素が共同作業で果たす役割を吟味し、要素間の相互関係を定義することである。考察の結果として、CSCSD モデルと名付けた共同作業の参照モデルを提案する。

著者はすでに、ソフトウェア・エンジニアリング諸活動を支援するためにソフトウェア・リポジトリで管理されるべき情報を検討し、(コミュニケーション支援、プロセス管理支援、プロダクト管理支援)x(個人レベル、チームレベル、プロジェクトレベル) の 9 つの分類した [47]。本論文では、それに加えて、第 2 章で議論した以下の要因を加味した考察を行なう。

- 一体感を生みだし、かみくだく過程を支援することの必要性
- その振舞いは予測しにくく、完全なものを一度には完成できず、その過程には、一般に再現性がないという人間の能力の限界への配慮
- 個人 (自身の能力の範囲内で仕事を進める) とプロジェクト (限られた期限内に成果物を達成する) 間の目標のひらき

これらの要請を満たす筋道の通った解が存在するのであろうか？ もし存在すれば、それが CSCSD モデル構築の基礎を与える。その解の実行にあたって、計算機の特徴を活用できる場面は何であろうか？ これは「自在」環境設計の基礎を与える。

本節では、まず、分散計算システム上に共同作業支援環境を構築するにあたっての一つの切り口を示すことから始め、決定事項の管理を基にしたソフトウェア・プロセス実行支援とコミュニケーション支援の統合法を検討しつつ、上記問題解決への一アプローチをまとめる。その考察結果を基にして、共同作業支援の参照モデルである「CSCSD モデル」(Computer Supported Cooperative Software Development model) を提案する。

さて、技術的、経済的に以下のような利点を持つ分散計算システムは、今後ますます普及していくものと思われる [1]：

- 分散アーキテクチャは、多くのアプリケーションとその利用者に固有の、地理的分散をより良く反映する
- 複雑な問題を、複数の計算機上で並列に解くことで性能向上が達成された
- 独立なジョブを異なる計算機上で並行実行することにより、スループッツが改善された
- 情報、プログラム、プロセッサ等の共有により、資源効用が増大した
- データ資源やプログラム資源を複写することにより、可用性が増大した
- プロセッサや記憶装置を、増大する負荷に応じて、増強することが可能になった
- 冗長な計算資源により信頼性が増大した

他のエンジニアリング分野と同様に、分散システム設計における中心的課題はコストに対して利益をバランスさせることである。単一の計算機設計に比べて、分散アーキテクチャは並行性、可用性、故障許容性等において利益を与えるが、これらの利益はアーキテクチャの複雑さや性能オーバヘッドの増大の代償の下に達成されるものである（図 1下部参照)。

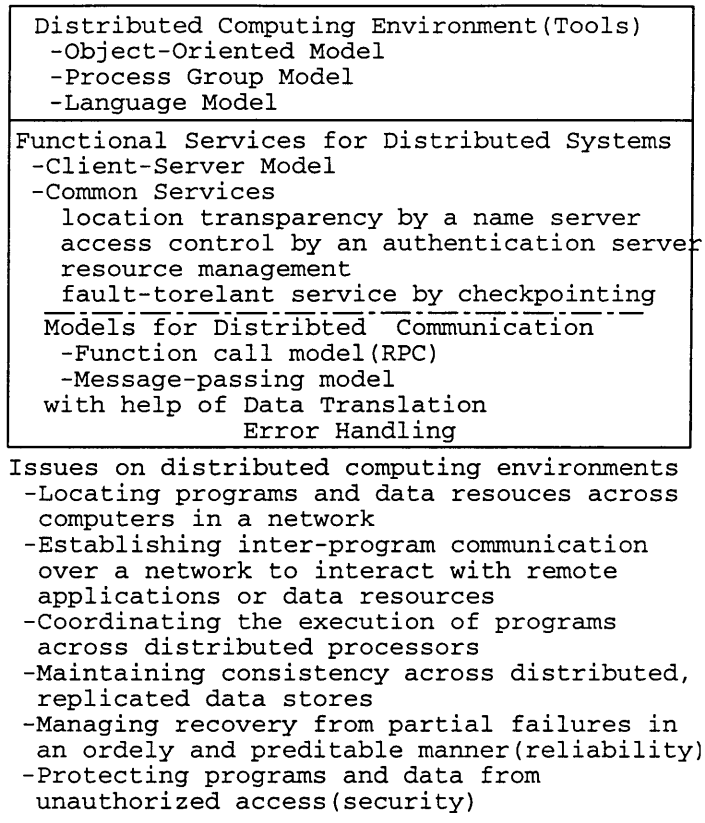


図 1: 分散計算環境における課題と研究成果

ところで、資源共有、一貫性保持、安全性、耐故障性、負荷バランス等の問題を理想的に解決する分散仮想計算機構が実現されたと仮定して、人間間の協調作業の実現にあたってそれでも残る「分散に依存する問題」は何であろうか?その一つとして、「協調活動の状態を共有することの困難さ」が挙げられる (図 2)。

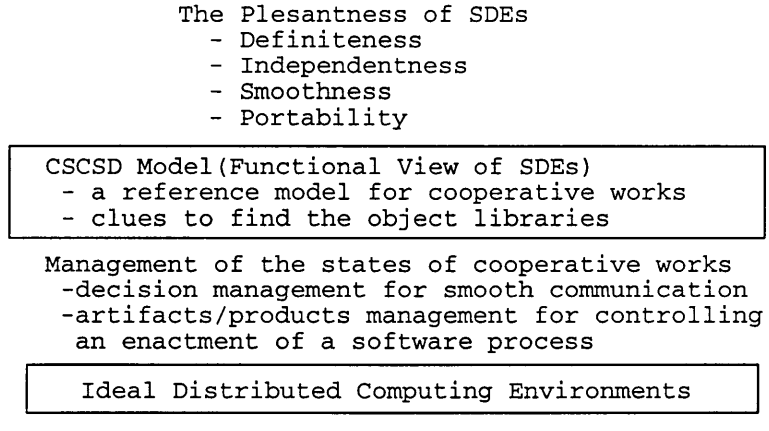


図 2: CSCSD モデルの役割

例えば、決定事項とその状態の共有はコミュニケーションを円滑にするために重要であり、また中間生成物とその状態の管理と関係者間での共有は作業の進行を適切に制御するために必要である。ＣＳＣＳＤモデルの狙いは、明解性、独立性、円滑性、携帯性、増幅性の諸要因を支援するための情報リポジトリの

構成とそれを利用した調整機能を、協調活動に関する状態の共有に基づいて構築することにある。この際、人間要因をモデル化の直接の対象とはしない。ここまで述べてきた協調を阻害する、様々な人間要因に基づく混乱を低減または緩和させ得るものを土台に置く。すなわち、共同作業によって生成される「もの」(中間生成物や決定事項など) を基にしてモデル化を試みる。

3.1 決定事項の管理に基づくプロセスとコミュニケーション支援の統合

ソフトウェア・プロセスの実行時に下される様々な決定と、プロダクトやコミュニケーションとの関係を明らかにしつつ、決定事項の記録・管理法について考察する。

3.1.1 決定とは

ソフトウェア開発における決定事項は 2 種類ある。一つは、設計者やプログラマによって作成され、検査チームによって検証される中間生成物や製品である。もう一つは、そのような中間生成物や製品を作成していく過程でなされる決定、すなはちいくつかの代替案の中からの一つの案を選択する過程でなされる決定である。前者は、後者が複数個集まって構造化されたものである。後者の型の決定 (デザイン・ラッショナレ) は伝達コストの安い会話によってなされる傾向がある。

共同作業においては、参加者各自が、現在の状況が全体目標に対してどのような位置づけにあるのかを理解できることが重要である。また、「完全なものを一度には作成できない」という人間の特性に起因して、決定事項はしばしば変更される。そこで、決定は多くの場合一時的であり、「完全な決定」はありえない。決定の変更とその波及の解析が容易に行なえる記録スキーマが必要である。

会話によってなされる決定事項を、中間生成物とその依存関係に統合する形で記録・管理することが必要である。両者の型の決定をどのように記録管理すべきであろうか？ これが CSCSD モデル定義にあたっての主要な論点となる。

3.1.2 会話の何を記録すべきか

ほとんどの研究者は、デザイン・ラッショナレを管理するのに、会話内容そのものをその流れに沿って記録すれば良い、または、すべての会話内容を構造的に記録すれば良いという立場を取る [6]。しかし、これは冗長である。なぜならば、このような会話は、内容をかみくだいて説明したり (パラフレージング)、正確に内容を理解してもらうための質疑応答を数多く含むからである。まず、コミュニケーションの重要な要因である、「かみくだく過程の支援」や「一体感の形成」についての取り扱いを明確にする必要がある。共同問題解決活動に携わる場合、結論にいたる速度、質は人によって異なる。早く達成した人が、ゆっくり、かみくだくように、要点を「他人の能力」を勘案しつつ説明する状況が話合いでは良く出現する。これを「かみくだく過程」と呼ぶことにする。かみくだく過程は、話者相互間で、理解の差や決定内容に関するくい違いが自覚され、それをなくそうとする努力がなされている場合にも生じる。

かみくだく過程において発生する会話を記録することは、その内容が人の経験・知識・体調等に依存するものであり再現性がないので、あまり意義はないと思われる。もちろん、かみくだく過程を支援することは重要であり、参加者の間に「一体感」を生み出し、進行状況や次の議論の目的 (決定事項と未決事項) の共有を助ける。かみくだく過程の支援はグループウェアやユーザインタフェースの役割であると判断する。

会話の流れは会話参加者の関心の推移を表現する。そこでは参加者の間で最も関心の高い事項から会話が始まる。その会話の前提条件の欠落に途中で気付き、一時話題がそちらに移ることもある。ある話題について話が一段落した時、続いて話合うべきことが話題として持ち上がる。一度の話し合いでは結論に達せず話を中断することもよくある。この時、別の話題に話が移った後で、突然、あることに気付いて、話題がもとに戻ることもある。このような会話の流れの中で決定されていく事項をどのように記録すれば良いのだろうか。日記を書くように、会話の流れに沿って記録することは一番容易であるが、決定事項間の因果関係を明示的に表現できない欠点がある。

我々は、話合いの途中で、そこまでの話を整理し、解決された問題とそうでないものを整理した上で次に話し合うべきことを決定するような場面をよく経験する。この時、我々は以下のような情報を整理していることが多い。

- すでに決定されたことと、これから決定されるべきことに対する全体像
- 全体像に対する、現状の位置づけ
- 最終目標に対する進捗状況
- 次に話し合うべき話題

このような事柄は当然記録の対象とすべきであろう。

ところで、議論が進むにつれてそのような整理結果が変化することを考慮に入れる必要がある。また、いったん決定したことが不完全であったことに後になって気付くこともしばしばある。討議結果の再構成や蒸し返しを支援できる情報も記録の対象に入れるべきである。そのためには以下のような情報を記録しておくことが必要である。

- ある話題に対する、部分決定の積み重ねの構造とそれらの決定にあたって必要なさまざまの前提条件
- 一つの部分的決定に関する確信度と手間

さらに、話し合いの話題はソフトウェア・オブジェクトに起因するので、

- 中間生成物や中間生成物間の依存関係との関連

を記録対象とする必要性は明白であろう。

3.1.3 中間生成物間の粗粒度レベルの依存関係を統合の土台とすることについて

分析・設計活動においては、ある中間生成物が入力され、既存の成果物、標準規約、品質基準等を参照しつつ、ツールによる変換や人間の思考によって、出力となる中間生成物や製品が生成される。すなわち、中間生成物や製品の間には入出力に関する依存関係が存在する。

粗粒度レベルの依存関係は、仕様書や設計書などの文書間の入出力依存関係を定義する。細粒度レベルの依存関係は、それら文書中の項目間の「利用する／される」または「参照する／される」という依存関係を定義し、設計根拠を理解するための基礎を与える。このような理由で、我々は、中間生成物間の粗粒度レベルの依存関係をソフトウェア・プロセス・モデルの定義とコミュニケーションの記録を統合する基礎として採用する。

もちろん、中間生成物間の粗粒度レベルの依存関係が上記の機能実現の土台として必要十分であるとはいいがたい。しかし、変換作業の実行順序の設計にあたって制約を与え、会話の発生順序に関する概略を与えている意味において、統合の主要な土台の一つであると考える。

3.1.4 粗粒度レベルの依存関係を基にしたタスクとソフトウェア・プロセスの定義

中間生成物／製品の部分集合を、チーム構成員それぞれに各自の役割に応じて割り当てる。これをタスクと呼ぶ。それぞれのタスクは、例えば、割り当てられた中間生成物や製品の記述に関する様式や規約、作業遂行上の制約、他人との仕事の関係、タスク開始／終了条件、品質基準などの属性を持つ。属性定義の詳細は個々の組織やプロジェクトに依存するので、ここでは、プロジェクト・マネージメントに有用な、すべてのタスク属性定義に必要となる共通性質を検討する。少なくとも、以下の機能の実現に必要な情報をタスク属性として定義すべきであると考える。

- 順守すべき制約事項が妥当で明確であること。

- 制約が犯された場合には、システムがそれを検知できること。
- 制約違反に対しては、システムが適切な対応を指示できること
- その処置が他人に悪影響をおよぼす場合には、その調整をシステムが支援できること。

中間生成物／製品間の粗粒度レベルの依存関係に基づき、それを基にして作業遂行者への仕事の割り当てを定義したタスク間に、実行順序を付加することにより、ソフトウェア・プロセスを定義する。プロジェクト全体に割り付けられる時間資源と、能力や容量に応じて各自が必要とする時間資源をバランスさせるところにプロセス定義の難しさがある。

3.1.5 ソフトウェア・プロセスの実行と発生するコミュニケーションの関係について

ところで、コミュニケーションを通じて決定されていく事柄の間の因果関係[1]と、タスク間の時間的順序関係は同じ構造を持つのであろうか？ 後の例に述べるように、話題が状態に依存して発生することがあるので、討議空間の構造はタスクの実行順序の構造と必ずしも一致しない。そこで、「決定事項間の因果関係」と「タスクの実行順序関係」はそれぞれ独立に管理する必要がある。

討議の流れとタスクの実行構造が対応する場合

タスクに割り当てられた人間が複数人である場合と、タスク間で中間生成物が直接または間接に共有される場合にコミュニケーションが発生する。発生するコミュニケーションにはいくつかの種類がある。例えば以下の例は代表的である。

- 複数人で一つの仕事を共同で実施する場合、それぞれが持つ専門知識を交換するため、代替案の中から解候補を選択するため、スキルや経験の差を補うため (かみくだく過程) にコミュニケーションが発生する
- タスク間で中間生成物が共有されている場合、生成物の伝達のため、伝達内容に関する合意形成のため、中間生成物の不完全さに起因する誤りを検知・修正するためにコミュニケーションが発生する

この場合、討議の流れは、タスクまたはタスク間の構造に直接関係する。

討議の流れとタスクの実行構造が対応しない場合

機能仕様書は複数の機能要求から成り立っている。設計段階において、それらの機能の内、一部は性能要求を満たすため早いプロセッサに割り付けられ、残りの機能は遅いプロセッサに割り付けられる。それぞれはまとめられてモジュールになる。それらのモジュル一間のインタフェースが決定され、大域データと各モジュールのデータ構造が決定され、各モジュールが実装される。テスト時にロードモジュールが十分な性能を出せなかったとしよう。すでになされた以下の 2 種類の決定を変更しなければならない。

- 粗粒度レベルの決定：機能仕様書、性能仕様書、プロセッサの選択、二つのモジュール、ロードモジュール。
- 細粒度レベルの決定：ある機能のプロセッサへの割りつけ、割りつけられた機能のモジュールへの統合、モジュール間インタフェース・データの選択、データ構造とアルゴリズムの選択。

プロセッサの選択は妥当であったか？ 機能の振り分けは妥当であったか？データやアルゴリズムの選択は妥当であったか？ という疑問に関連する決定事項を再検討しなければならない。

結果として、さまざまの仕様書やプログラムを変更する必要がでてくる。これに対しては、独立した討議を起動し、その討議のサブ討議として、関連する仕様書やプログラムに関する決定内容を検討し、必要なら変更した上で、変更結果をその理由と共に追加記録することになる。

[1] これを後に討議空間として定義する

この例のように、予測不能な異常状態が出現した場合には、ソフトウェア・プロセスとは独立した討議を起動する必要がある。すなわち、一般に「決定事項間の因果関係」と「タスクの実行順序関係」は異なるものである。

3.2 情報リポジトリへの要請

「自在」環境の中核となる情報リポジトリにおいては、「共同作業を通じて生成・変更されていく中間成果物や決定事項とそれ等の状態を、現実世界の状況を正確に反映しつつ管理すること」を目標にしている。すでに述べたように、予測不可能性、非再現性、不完全性などの人間要因に基づく混乱を軽減させる一つの手段は、共同作業によって生成されていく生産物とその状態を関係者間で共有させることが「自在」情報リポジトリの目的である。

このとき、粗粒度レベルの文書間の依存関係を、作業遂行に関する基本的な制約としつつも、

1. 共同作業参加者の各自の責任範囲と他者との関係の明示
2. 共有情報の生成と変更の管理
3. それらに関して発生するコミュニケーションの円滑な支援

等が情報リポジトリ設計の基本的な要請である。このため、自在における情報リポジトリでは、中間生成物や決定事項にそれぞれ状態遷移図を付加することにより、状態に関する情報を明示的に記録・管理し、また、それにより現実世界の状況の変化を正確に反映することを試みる。最終的には、振舞いに関する制約の基に並行動作する自律オブジェクト群の管理機構として定式化することが目標であり、故障オブジェクトの出現にともなうネットワークワイドな故障検出機構として調整支援機能を実現することが目標であるが、ここではその目標達成のための基礎考察を行なう。

3.2.1 各自の責任範囲をタスクとして定義することについて

独立性 (独立性という用語は「他人との間で不必要なコミュニケーションや相互干渉を持つことなく、各自が自身の仕事を進められること」という意味合いで使用している) という目標を達成するための一つの課題として、共有情報の管理法が挙げられる。

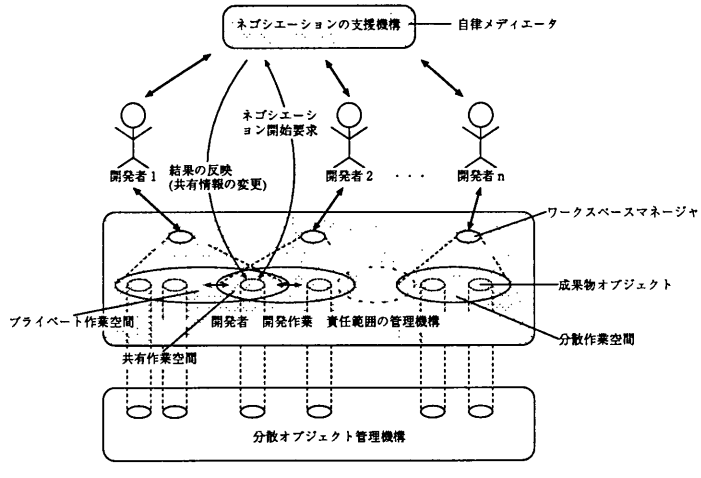
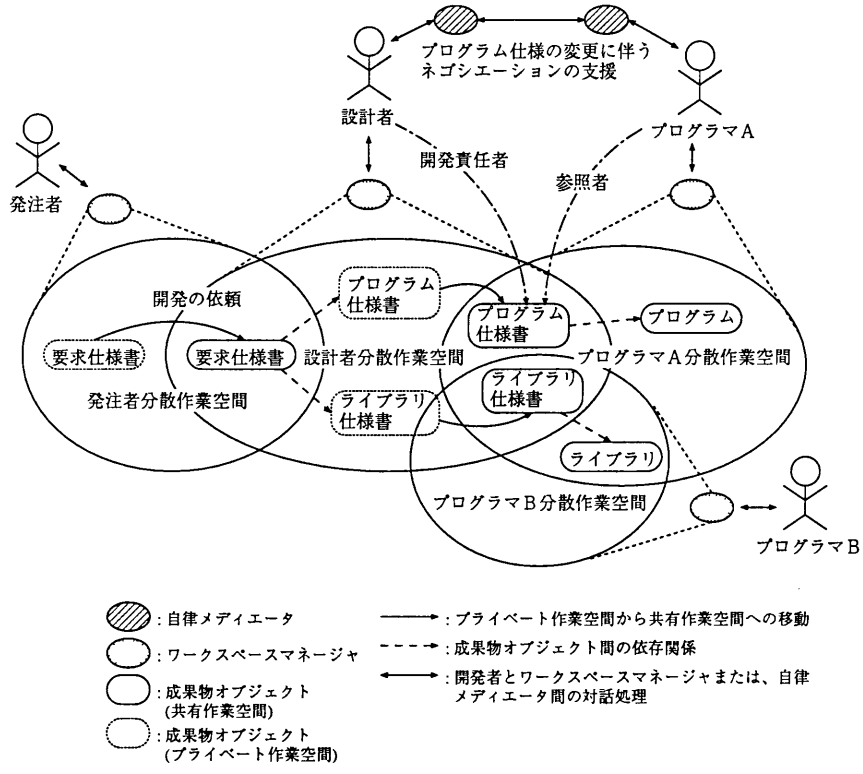


図 3: 共有情報の管理機構

図 3に我々のアプローチを示す。図 3において、共同作業で生成される中間成果物オブジェクト (文書等) 全体の部分集合を「仕事の責任範囲」として定義し、各参加者に割り当てる。この部分集合を分散作業

空間 (またはタスク) と呼び、作業空間管理者オブジェクトが管理する。共有情報は分散作業空間の積集合として定義しこれを共有作業空間と呼ぶ。共有作業空間に属する中間成果物オブジェクトはそれぞれアクセスリストを持ち、許可されていないアクセスに対しては作業空間管理者オブジェクトを介して自律メディエター・オブジェクトを起動し、関連者間での一時的な権限の委譲に関するネゴシエーションを支援する。

我々はすでに、作業空間管理オブジェクト、自律メディエターと名付けた二つの制御オブジェクトを定義・開発した [20]、[21]。作業空間管理オブジェクト、自律メディエターの主な特徴を図 4に示す。



	ベースオブジェクト	メタオブジェクト
自律 メディエータ	・開発者への問い合わせ ・他のオブジェクトのメソッド呼出し	・ハーフプロトコル（状態遷移図）によるベースオブジェクトのメソッドの起動制御
ワーク スペース マネージャ	・作業空間属内の成果物オブジェクトの管理（プライベート⇔共有作業空間の移動とそれに伴うアクセス権の変更） ・開発者による成果物オブジェクトへのアクセス要求の受付け	・共有作業空間に属する成果物オブジェクトへの変更許可を求める、管理責任者のメタワークスペースマネージャとのネゴシエーション ・ネゴシエーションを支援するための自律メディエータの起動
成果物 オブジェクト	・中間成果物の管理	・開発者毎のメソッドレベルのアクセス制御

図 4: 各オブジェクトの役割

図 4において、

1. 作業空間管理者オブジェクトと中間成果物オブジェクトは、ソフトウェア開発者各自の仕事の責任範囲を規定し、共有データの管理を支援する
2. 自律メディエター・オブジェクトは、共有データの変更にともなって発生するソフトウェア開発者間のネゴシエーションを支援する
3. それぞれのオブジェクトは, 対応するメタ・オブジェクトを持ち、状況に応じて適切な振舞いを動的に選択することを可能にする

これらのオブジェクトを利用することにより、ソフトウェア技術者が、彼の責任範囲に直接関係する知識と、彼とデータを共有する人との関連のみに注意を払って仕事を進めれるようにすることが目標であり、このとき、データ共有に関する方針を協調的かつ柔軟に変更することを支援することも目標である。

中間成果物オブジェクトに図 5に示す状態遷移図をそれぞれ内蔵させることにより、中間成果物の進捗状況を反映させる。

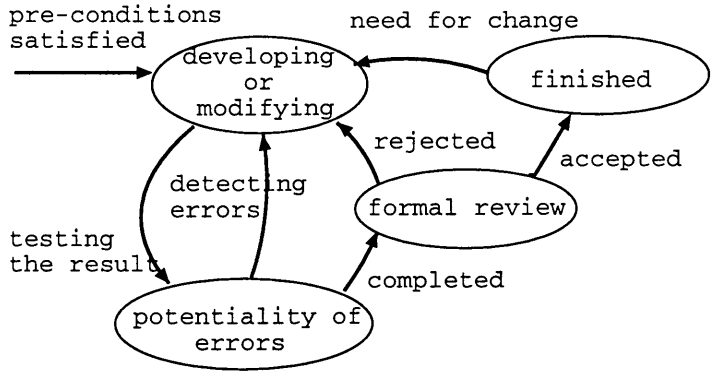


図 5: 中間生成物に付加される状態遷移図

3.2.2 粒度の異なる決定事項を系統的に管理することについて

会話を通じてなされる決定事項を、図 6に示すように、討議空間、討議プロセス、討議の型からなる 3 層記録スキーマで管理する [23]、[48]。

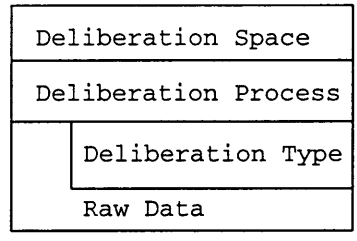


図 6: 会話を通じてなされる決定事項の管理法

上記スキーマを持つリポジトリをグループウェア・ベースと呼ぶ。次節以降に、討議空間、討議プロセス、討議の型をそれぞれ説明する。

3.2.3 討議空間

- それぞれの話題に対する決定事項間の因果関係を討議空間で表現する。その役割は、決定事項の全体像と最終目標に対する現在の議論の適切な位置づけを我々に提供することにある。

討議空間は、後に定義する討議プロセスのグラフであり、節は討議プロセス、枝は討議プロセス発生の原因を表現する。

図 7は討議空間の一例を示している。長方形の箱は討議プロセスを表わしている。正方形の箱は、長方形で表現された討議プロセスを遂行するために発生した子討議プロセスを表わしている。 枝には三つの型がある。

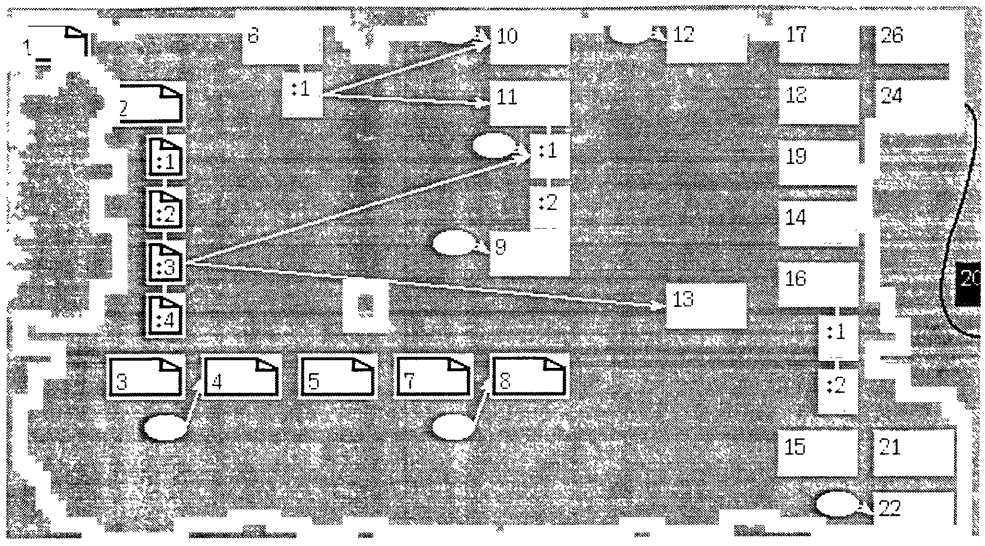


図 7: 討議空間

継続 ある討議プロセスが、別の討議プロセスの完了に伴ない発生する

詳細化 ある話題に関する討議を完結するためには、いくつかの部分話題を討議する必要がある。

相互関連 二つの討議プロセスが、ある内容を共有して並行に走行している。

討議プロセスに割り当てられた数はプロセス ID である。プロセス ID が 1 から 8 の討議プロセスは決定事項を文書中の状態にある。他の討議は現在進行中である。他の状態は色によって区別される。箱をクリックすることによって、討議の型でグループ化された発言内容を確認することができる。発言の内いくつかは、討議の型を介さず箱に直接つながっている。楕円の記号は「コンテキスト」と呼び、利用されたグループウェアを使用しない状態で発言された内容を保持している。

3.2.4 討議プロセス

- ある話題に対する一連の会話を討議プロセスで管理する。その役割は、討議の型を話題対応に討議プロセスとしてまとめることにより、ある話題に対する、部分決定の積み重ねの構造と、それらの決定にあたって必要なさまざまの前提条件を管理することにある。

討議されるべき話題は数多くあり、その一つ一つが討議を生成する。いくつかの話題に対するそれぞれの討議内容は通常まざりあっている。討議の参加者がそれぞれの話題に対応する討議の進捗と筋道を把握できることは有用である。同じ話題に対する発言や会話をグループ化するものとして討議プロセスを導入する。

討議プロセスは、図 8に示す状態遷移図にしたがって推移する。討議プロセスは、それぞれの話題に対して生成され、討議の期間中生存する。討議はいくつかの前提条件が満たされたとき開始される。前提条件の例として必要な資料の準備、関連する人々の参加、指定された時間の到来などが挙げられる。いくつかの会話が状態「討議」においてなされる。権利を持つ誰かが宣言することで、討議は終了し、結果 (討議を通じてなされた決定) が文書化される。

3.2.5 討議の型

- 田中等 [54] による、会話の型に関する研究成果に基づいて、我々は会話の型を：伝達と整合、決定、

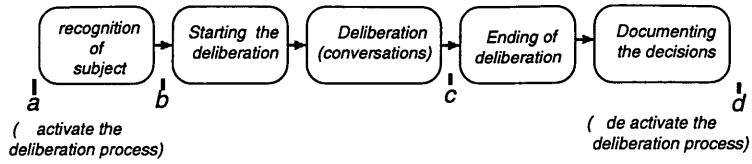


図 8: 討議プロセスに付随する状態遷移図

創造の三つに分類した。会話中の一連の発言を伝達・整合、決定、創造などの討議の型で管理する[2]。ソフトウェア開発プロセス時に発生するほとんどの会話は以下の三つの型に整理することができる。良く知っている人がそうでない人に決定事項や知識を「伝達」する。お互いの言い分を聞きながら、いくつかの代替案の中から一つの案を「選択・決定」する。部分的な知識を持つ人々が、それらを統合して新しい情報を「創造」する。討議の型の役割は、一つの部分的決定に関する確信度と手間を記録することにある。伝達・整合、決定、創造などの討議の型はいくつかの状態を持ち、どの状態で会話が中断・終了したかにより、確信度や完遂度を判定できる。時間属性や発言の回数は決定に要したコストを表現できる。

伝達・整合の図式表現

「伝達・整合」の目的は、質疑応答を繰り返すことにより、情報や知識が共有された状態に達することである。図 9の図式表現を状態遷移図により示す。

まず、アイデア、指示、生産物の提示・引き渡し等に駆動されて会話がはじまる。受け手はその内容を吟味する。もし、受け手が内容を理解した場合は、それを受理し、送り手と受け手は「相互理解」の状態になる。もし受け手が態度を鮮明にしない場合には「不一致の可能性」がある。そこで、受け手が何らかの質問を送り手に対して発する。この段階で送り手と受け手は「不一致」の状態になる。ここで、送り手と受け手の間でギャップを埋めるための努力が、例えば、いくつかの質疑応答を通じて開始される。会話は「受理」または「不一致」のどちらかの状態で終了するだろう。前者は伝達・整合の成功を意味し、後者は伝達・整合の失敗を意味する。

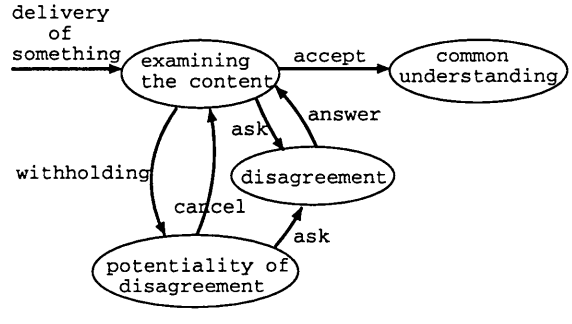


図 9: 伝達・整合

例 1：生産物の引き渡し

それぞれが定められた役割を持つ二人の人間の存在を仮定する。図 10 にソフトウェア開発のドメインからの例を示す。ソフトウェア設計者は仕様を定義しそれをプログラマに渡す。この時、仕様内容について

[2]それぞれは会話の筋道を記録する上で基本的かつ重要なものであるが、もちろんすべての会話の型をカバーするわけではない

共通理解を達成するためにコミュニケーションの初期の段階で伝達・整合の会話が発生する。

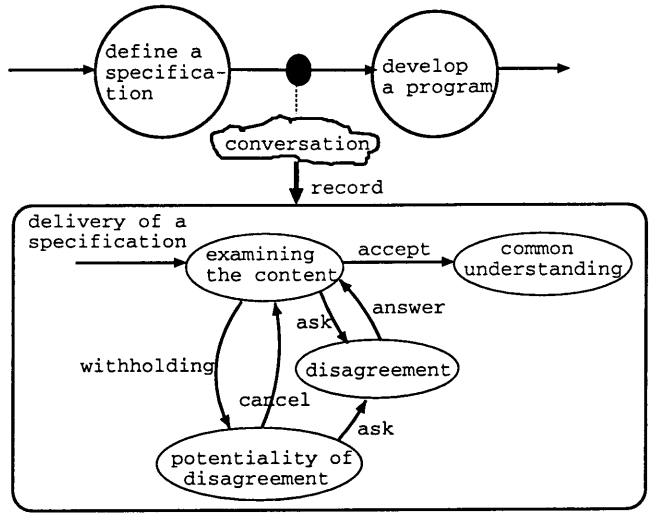


図 10: 生産物の引き渡し

両者または、後に関与することになるその時点での第三者にとって、何が合意され何が合意されていないかを明確にしておくことは有用である。通常、この型の情報は生産物の引き渡し後には消滅することが多く、種々の問題を引き起す場合が多い。

決定の図式表現

「決定」の目的は、図 11に示すように、解に対するいくつかの候補の中から、適切なものを一つ選択することにある。この型の会話は解に対する複数の解候補が存在し、選択・決定が必要であることから発生する。その意味で、初期状態は「複数の解候補の存在」とする。参加者の内誰かが、議論の対象範囲を狭めるため、理由と共に意見を開陳する。その意見を吟味した後、ある場合には、それが拒否され、またある場合にはそれが受理される。前者の場合はさらに他の意見が表明されるだろう。いくつかの議論を経た後、会話は収束し、候補の内のどれか一つが解として選択されることになる。

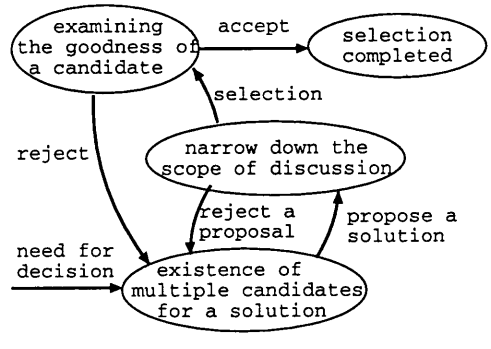


図 11: 決定

例 2：ソフトウェアレビュー

図 12もソフトウェア開発のドメインから取った例である。ソフトウェアレビューのプロセスはソフトウェア開発者とレビューアの間の意思決定のためのコミュニケーションプロセスである。

まず初期には、「受理」か「拒否」かの二つの可能性がある。意見はレビュー対象物のすべての欠陥を明示的に洗い出す形で表明される。もし結果が拒否であった場合は、これらの意見の内のいくつかがレビュー対象が拒否された理由と記録される。

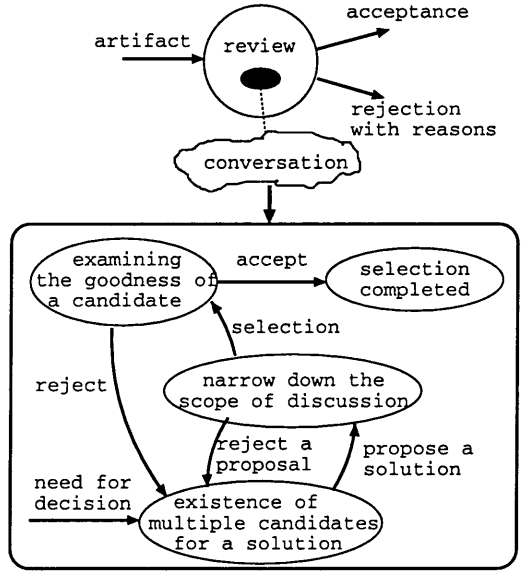


図 12: 決定

創造の図式表現

「創造」の目的は何か新しいものを創ることにある。「創造」に対する図式表現は「伝達・整合」と「決定」を合成することで図 13のように表現される。

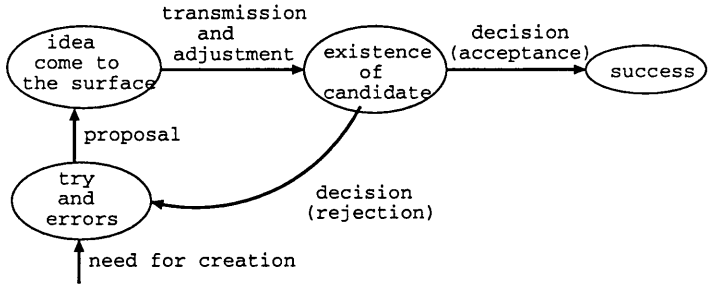


図 13: 創造

討議の型の組み合せ

いくつかの会話は、以下のような、討議の型の組み合せによって表現される。

「決定」と「伝達・整合」の組み合わせ

チームの構成や方針にしたがって、決定のあるものについては、チーム構成員の内、主要メンバーによってなされることがある。この場合には、「決定」後、数多くの「伝達・整合」の会話を利用して、全体的コンセンサスを得るための努力が決定に関した人以外のメンバに対してなされる。

「伝達・整合」と「決定」の組み合わせ

図 10に示す例においては、最初は伝達・整合の目的で開始された会話が、送り手と受け手の間での厳しい対立が発生し、会話は「伝達・整合」のみによっては終了せず、「決定」の型の会話が開始される。この時、「伝達・整合」の会話の状態は「不一致」の状態に留まる。

3.2.6 グループウェアベース

上記スキーマを持つソフトウェアリポジトリを、我々は**グループウェアベース**と呼ぶ。グループウェアベースは、図 14に示すような管理ページの集合である。管理ページは各討議プロセスごとに作成される。図 14において、項目 5 は議論の蒸し返しを支援するための情報を保持しており、項目 12 は討議の型のインスタンスに対するリンクを保持している。項目 14 の値は、完了、延期、キャンセルされた、開始されていない、の四つの内のどれかの値をとる。

1	process ID
2	subject
3	goal of a deliberation
4	preconditions for a deliberation
5	resteaming
6	coordinator
7	decision maker
8	participants
9	time resources for a deliberation
10	activation time
11	starting time

12	history of the deliberation(types)
13	deactivation time
14	achivement level
15	the time for documenting the decisions
16	decisions
17	raw data
18	parent process ID
19	child process ID
20	successive process ID
21	co-related process ID

図 14: 管理ページ：グループウェアベースの記録単位

3.3 共同作業のモデル：CSCSD モデル

前章までに検討した環境構成の諸要素を図 15に示すように、階層構造として構造化する。

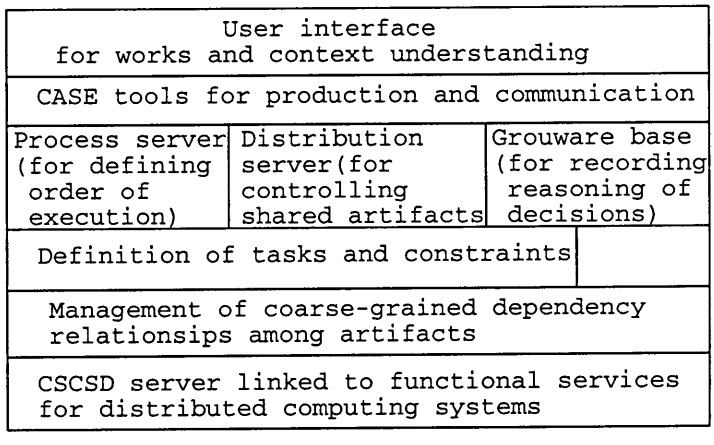


図 15: CSCSD モデル

図15において、

ユーザインタフェース (最上層): ユーザインタフェースには、分散サーバ、グループウェア・ベース、プロセス・サーバの状態が表示されると共に、 Ellis が指摘した各種情報、構造的コンテキスト、社会コンテキスト、組織コンテキストが必要に応じて表示され操作される。共同作業の参加者が、「一体感」を形成することを補助する。

ツールキット層 (第 2 層): 作業の自動化の度合を高める CASE tool や、「かみくだく過程を支援するグループウェアを置く。これらはチーム構成員の分散度や作業の規模等のパラメータに応じて配置される。ツール統合機構により作業の連続性を保証する。また、アクティブ・チャネルのような新しいアプリケーションもこの層におかれる。

分散サーバとグループウェア・ベース (第 3 層): 分散サーバ、グループウェア・ベースを置く。分散サーバはさらにプロセス・サーバと分散作業空間からなる。プロセス・サーバは、タスクとその実行順序、消費可能資源等を定義する。分散作業空間は、作業分担と責任の範囲を明確にし共有情報の管理を行なう。グループウェア・ベースは、会話による決定事項とその間の因果関係を保持する。

中間生成物間の依存関係の管理 (第 4 層): 中間生成物間の依存関係を管理する。上層の分散サーバを構築する際、作業のガイドラインや各自の作業に関する制約を定義し、またグループウェア・ベースに対してはコミュニケーション記録にあたって、会話内容がどの中間生成物やその依存関係に関与するのかを定義する土台を与える。

CSCSD サーバ (最下層): 規模への対応、非均一性への対応、計算機環境への対応などを支援する。

4 自在プロトタイプの研究現状

本章では、1章、2章、3章における問題提起に一つの解を与える目的で進めている、落水研究室における「自在プロジェクト」[49] の進捗状況を紹介する。

ユーザインタフェース (最上層): におけるプロトタイプはまだ存在しない

ツールキット層 (第 2 層): においてはPCTEによるツール統合技術を試行している段階である。また、アクティブ・チャネルに関してはフィルタリング対象がその利用につれて拡大されていくような情報フィルタリング技術について調査を終了した段階である。

分散サーバとグループウェア・ベース (第 3 層): については、それぞれプロトタイプ「群舞」と「栞」が稼働しておりその評価実験を開始する段階である。後に詳述する。

中間生成物間の依存関係の管理 (第 4 層): については、すでに多くの研究成果があり、プロトタイプ開発の対象としない。

CSCSD サーバ (最下層): については、当面、様々な計算環境で市販または試験的に提供されているサーバ群を利用する予定である。

本節では、まず、上記の内、CSCSD モデルに基づくプロトタイプ「自在」の開発現状を以下の 4 つに関して紹介する。

- 「携帯性向上」のための CSCSD サーバ：インタネットワーキング、移動計算環境、遍在情報環境などの新しい計算環境下において、データの非均一性を吸収することにより、個人の計算環境の携帯性を増加させる。プロトタイプ「飛翔」を開発中である。
- 「独立性を保証する」分散サーバー：「分散作業空間オブジェクト」や「自律仲裁オブジェクト」などの制御オブジェクトにより、共有情報の管理を支援する。モデルとプロトタイプ「群舞」をすでに開発した。
- 「円滑性を保証する」グループウェア・ベース：討議の進捗と筋道を記録することにより、決定事項の管理を支援する。決定の粒度に基づいて構成された 3 層スキーマを定義し、プロトタイプシステム「栞」を開発した。
- 「探求的学習支援」のためのアクティブ・チャネル：上記サーバ上で稼働する新しいアプリケーション。プロトタイプ「探求」を開発中である。

次に、分散に依存する問題点をより精密に把握し、快適性の既存の要因を評価し、さらに新たな要因を発見する目的で実施しているプロトコル解析実験の中間結果を紹介する。

4.1 携帯性向上のための CSCSD サーバ

インタネットワーキング、移動計算環境、遍在情報環境などの、新しい計算環境に対する基盤が発展しつつある。これら一群の新しい計算機環境は、どのような新しい可能性を我々にもたらすのであろうか。一口でいえば、「活動の場から、必要な情報に迅速にアクセスできること、さらには活動の場にそれを支える情報が追随できること」であろう。これらの新しい計算機環境の特徴の一つは非均一性である。自在プロジェクトの一貫として開発中の CSCSD サーバの目的は、インターネットと移動体通信技術、移動計算環境と遍在計算環境を活用できるインフラストラクチャを提供することである。

このようなサーバを構築するにあたって考慮すべき点がいくつかある。例えば、データの非均一性や操作の非同期性への対応がある。Gio Wiederhold は、この問題に対して、従来の Client-Server モデルを、Client と Server の中間に Mediator をおく Mediatted Architecture に拡張することを提案している [56]。

Mediatorは、適切な情報資源へのアクセス、データ選択、フォーマット変換、データを共通抽象レベルで整理すること、異なる情報資源からの情報を統合すること、アプリケーションの目的に応じたメタ情報を準備することなどを支援する。

このようなソフトウェアは一般にミドルウェアと呼ばれ、すでに、CORBA(Common Object Request Broker Architecture)、DOE(Distributed Objects Everywhere)、ILE(Inter-Language Unification)、KQML(Knowledge Query and Manipulation Language)、OLE(Object Linking and Embedding)、OpenDoc(Open Document Exchange)、PDES(Product Data Exchange using STEP) などの商品が出ており、今後標準化が推進される (http://isx.com/pub/I3)。

また、S. Heilerは、大規模分散システムにおける相互互換性 (interoperability) の問題を指摘している [19]。非均一なシステム構成でサービスやデータを交換するために、通常の、メッセージパッシングプロトコル、手続き名、エラーコード、引数の型などの合意に加えて意味的レベルの互換性も保証する必要がある。たとえば、データ名の与え方の問題に関して、2人のデータベース設計者がいるとして、それぞれはドメイン・エキスパートでもあるとする。このとき、同じドメインの同じデータ要素であっても、それに対して同じ名前が与えられる確率は7%から18%の間であるという事実を例にあげていて興味深い。

Frank Manolaは情報システムをオブジェクト指向アーキテクチャで構築する際の相互互換性の問題を論じている [36]。古典的な情報システム構築法は、例えば、D.PascottによるDATARUN方法論 [51] で述べられているように、ほぼ完成の域に近づいたといえる。均一な世界においてはこの手法で十分であるが、大規模分散システムでは、世界はヘテロになり、その間でデータ交換等が保証されなければならない。データベース、共有サービス、アプリケーションの各レベルで、データ表現、オブジェクト・インタフェースなどの相互互換性が保証されるべきである。

開発されるべきCSCSDサーバに対する機能要請をまとめると以下のようになる。

(1) **規模への対応:** 規模 (遅延時間) に応じて、大域的制御構造、通信プロトコル、同期、データ・アクセス法などを適切に設定できること。または、基本部品を基に、規模に応じた適切なサーバを容易に構築できること

(2) **非均一性への対応:** 適切な情報資源へのアクセス、データ選択、フォーマット変換などが保証されること

(3) **計算機環境への対応:** マルチプラットフォーム上で稼働可能なこと

(4) **アーキテクチャの柔軟性の保証:** オブジェクト指向アーキテクチャに基づいて設計されていること

4.2 独立性を保証するための分散サーバ

すでに説明した、作業空間管理者オブジェクトと自律メディエター・オブジェクトを実装し、「協調書き込み」と名付けた動作の有効性を確認した (図16)。

次の研究段階では、作業空間管理者オブジェクト、自律メディエター・オブジェクトに一定のレベルの知性を付加することにあり、トリオ環境 [35]、[3] における研究成果を適用することを予定している。トリオ環境における研究成果は、その振舞いが時制論理で仕様化されたオブジェクトの並行制御とコミュニケーションの問題を検討することでソフトウェアプロセスモデルに拡張可能であると思われる。例えばトリオ環境では、オブジェクトの振舞いは以下のセマンティックスを表現することで形式化される。「事象Aの発生に伴ない、事象BがX秒以内に発生しなければならない」。

トリオ環境の成果をソフトウェアプロセスモデルに適用する場合には、検討されるべき点が二つある。まず第一は、トリオモデルではWFFは「単一の現在時刻」を基準にして表現される。ソフトウェア・プロセス・モデリングにおいては、それぞれのオブジェクトが固有の現在時間 (仕事の開始時間) を事前条件と共に持つように定義する方が自然である。また、ソフトウェア・プロセスの実行中に生じるオブジェクト間のコミュニケーションも定義する必要がある。これは、並行実行制御とコミュニケーションの問題である。

二番目は、ソフトウェア・プロセス・モデリングにおいては、「…時間以内」に「必ず…しなければならない」という表現はプロジェクト管理者の単なる期待であることにある。人間の行動は予測し難く、また再現性がない。

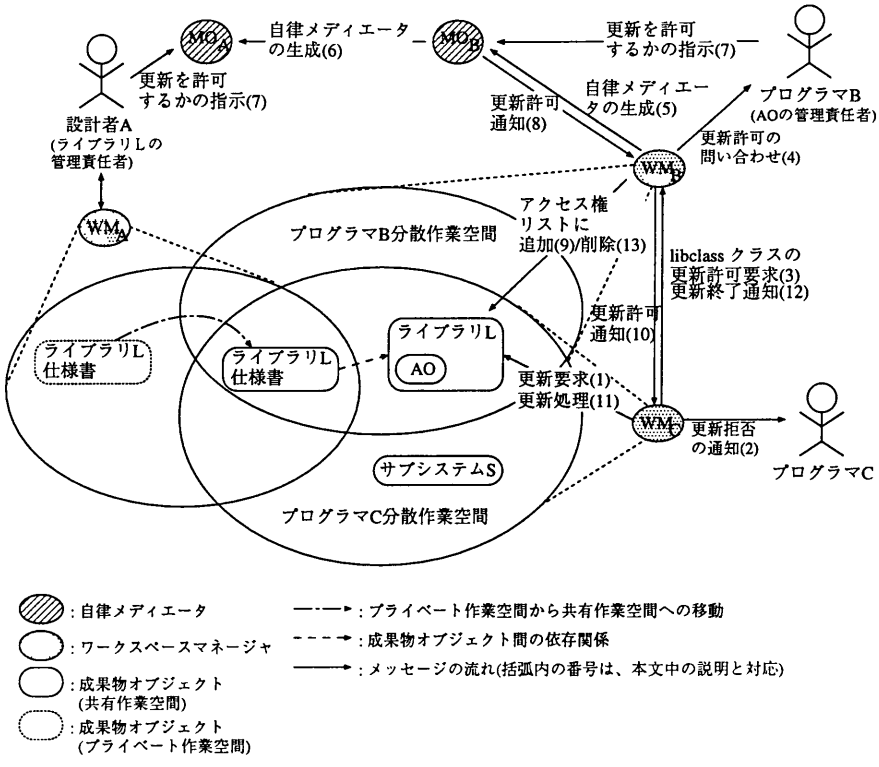


図 16: 協調書き込み

4.3 円滑性を提供するためのグループウェアベース

我々はすでに、上記のモデルに基づいてプロトタイプ・システム「栞」を開発済みである [30]。プロトタイプは、メーリングリストを利用した電子会議を対象として、討議参加者間のさまざまな意見の喰い違いの調整を支援し、また、決定事項の管理の不十分さに起因する冗長な会話の発生を減少させる目的で開発した (図 17)。

4.4 探求的学習を支援するアクティブチャネル

自在を利用した先進的ソフトウェア開発環境は、良いソフトウェアを開発するのに必要な日常活動; news や e-mail による情報の発信と獲得、内外の研究者とのディスカション、電子会議による合意形成・意思決定・共同設計作業、研究成果のリアルタイムな発表などの活動をネットワークを介して実施することも支援する [26]。この目的のために開発中のアプリケーションが、遍在情報に対するアクティブ・チャネルである。

今後、ネットワークに点在する膨大な量のデータの中から必要な情報のみを抽出・利用する情報フィルタリング技術を基にした情報検索技術の革新がおこるだろう。すでに WWW の普及により、ネットワークの各ノードに様々な情報が蓄積されつつある。このような情報を仮に遍在情報と呼ぼう。各地に散在する遍在情報の中から、情報獲得に関してごく限られた知識しか持ち合わせない人が、計算機の助けを借りて問題を解決する探求的学習の支援は今後の大事なアプリケーションの一つであると思われる。探求的学習を支援するツールをアクティブ・チャネルと呼ぶ。ここでチャネルとは情報の検索要求に応じて動的に張

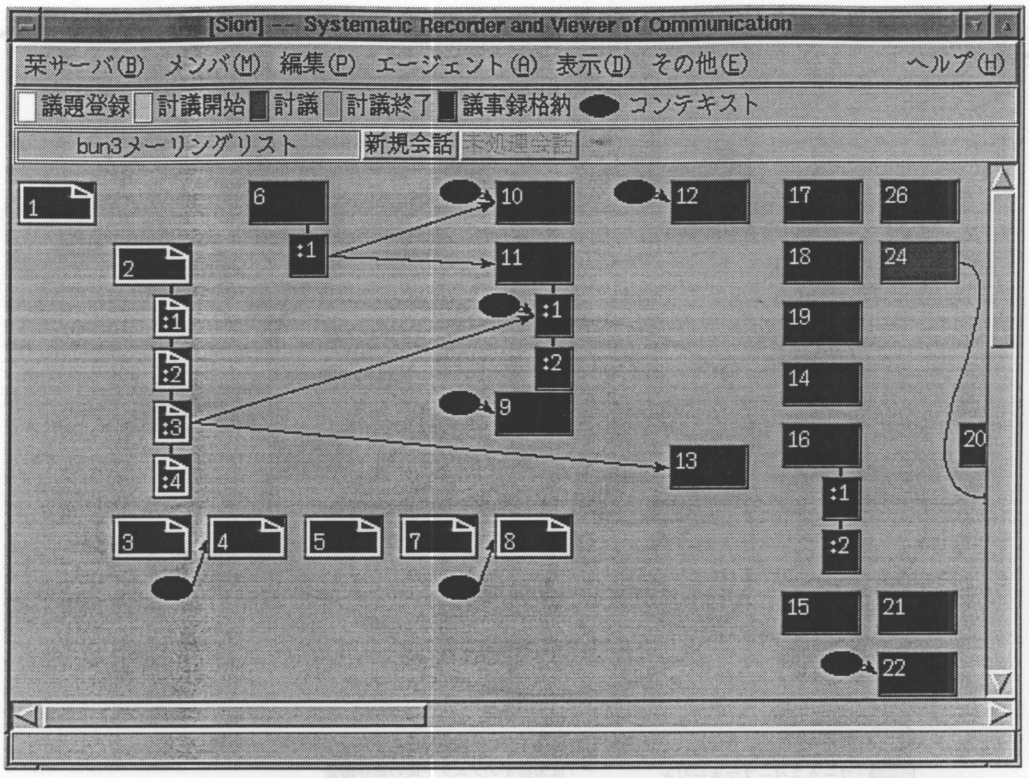


図 17: 栞クライアント

られる情報検索・フィルタリングのためのリンクを意味し、アクティブとは、一回の検索ごとに検索やフィルタリングに有用な情報が増加することを指す。

探求的学習に関する基本的な機能要請は Jennings によって議論されている [22]。Jennings は CSCW のタスクドメインを「手段」、「情報交換の媒体」、「探求的学習の支援」の 3 つに分け、各ドメインにおけるソフトウェア・エージェントが果たすべき役割を論じている。

(1) ここで、「手段」とは、既知のタスク・ドメインで、ある特定のゴールを達成する (出力を得る) 手段として CSCW を利用することである。

(2) 何が出力として得られるかは必ずしも予知できないが、それを達成するための手段を知っている場合には、CSCW は「情報交換の媒体」として利用される。ゴールはシステム利用者間のインタラクションによって達成される。

(3) 利用者はタスク・ドメインやある話題について、ごく限られた知識しか持ち合わせていず、かつ、特別な出力を持つわけではない。

第 3 番目のドメインに対するアプローチの一つとして協調的フィルタリングがある。協調的フィルタリングに関する研究動向を川瀬のサベイ [27] に基づき紹介する。

コンピュータ・ネットワークの著しい発達に伴い、コンピュータ環境下での知的生産活動においては、電子メール、ネットニュース、WWW を利用して多種・多量の情報を手にすることが可能になっている。しかし一方では、その情報の多種・多量性は爆発的に増大し続けており、もはや個人がそれらの情報すべてを処理するのは、事実上不可能になりつつある。したがって、ネットワークを流れている情報源から、自分にとって必要であると思われる情報を優先的に選択する何らかの手段を講じない限り、情報の収集・吟味に割く時間と労力は増加の一途を辿る羽目になる。知的生産活動における情報収集は、ある最終的な目的へ

至るためには不可欠ではあるが過渡的な作業である。したがって、その作業の負担を軽減することにより、活動がより生産的なものになるように支援することが可能になるのである。

こうした要求に対する具体的な技術として、情報フィルタリングが研究され用いられてきた。情報フィルタリングの基本的な考え方は次のようなものである。「ユーザのニーズ・興味・嗜好をプロファイルとして記述しておく。そして、コンピュータ・ネットワークに流れている大量の情報に対して、そのプロファイルを用いてふるいをかける (すなはち、フィルタにかける) ことによって、ユーザが必要とする情報だけを優先的に選択し、提供する」。

川の流れのように絶え間なく流通しているネットワーク上の情報群から、新しくかつ必要な情報を日常的に取り出すには、逐一検索するというよりもフィルタによってふるいにかけるというアプローチが有効である [4]。とは言え、情報フィルタリングのために必要な技術と情報検索のためのそれとでは、共通する部分が多く、両システムの最終的な目的は本質的には等しい [4]。実際に、WWW の有用なページを見つける場合は、検索というスタイルをとることが多い。すなはち、情報フィルタリングと情報検索は相まって機能すべきものである。

フィルタリング法は、ユーザが如何にして情報を選択あるいはふるいにかけるのかを基にして分類した、Malone による 3 つの分類 [33] がある。

Cognitive filtering 情報そのものの内容とユーザのニーズに基づいたプロファイルとをマッチングさせることで、ユーザに適切な情報を提供する。そのための方法としては、AND、OR、NOT のブーリアン操作子を使ったキーワード列からなるプロファイルを利用したり [33]、語彙間の関連性を空間ベクトルで表現したプロファイルを利用するものがある [14]。ユーザの振舞いをフィードバックすることで、自動的にプロファイルをアップデートするテクニックを持ったフィルタリングもある。たとえば、記事の注視時間の長さによってトピックスへの興味の度合を計り、それをプロファイルに反映させるものがある [37]。

Social filtering 社会的な人間関係と個人の主観による判断に基づいてフィルタリングを行う。つまり、この人はこの道の権威なのでこの人が言ったことには信憑性があるとか、ボスから来たメールは要注意だ、などの判断を用いる。

Economic filtering ある情報を得ることに、どれだけコストが掛かるかによってふるいにかける。このコストとは、情報何バイトにつきいくら、といった明示的な課金として表されることもあるし、「この情報は大勢の人に向けられたものだから情報単価は安い」とするような表現もある。

情報フィルタリングを用いる際の問題点は以下の通りである。

個人プロファイルのみに依存した場合の限界 先に述べたように、一般に情報フィルタリングは、ユーザが必要とする情報を優先的に収集するために、そのユーザのニーズ・興味・嗜好を反映させたプロファイルに基づいて行なわれる。しかし一方で、ユーザ個人のプロファイルのみに依存する場合、ユーザ個人の価値観によって限定された情報収集を繰り返すことになる。このことは、知識の広がりの硬直化を招くことになる。そして、新しい知識に出くわす楽しみを味わったり、積極的な探求欲求を刺激したりするのを狭めてしまう危険性がある [37]。

ゼロから新しい知識を求めるときの困難さ 個人が自分にとって未知の分野に関する情報を入手しようとするとき、何をキーワードにして情報源に当たればよいのかはっきりしない場合が多々ある [4]。

上記 2 つの問題点を克服するために、「協調的フィルタリング (collaborative filtering)」というアプローチが最近注目を集めている。その骨子は、以下の通りである。「ある情報に対して、それが有益であるのか、信頼性はあるのか、同僚にとっても役に立つのかなどの評価やコメントを、ユーザがつける。そして、その評価やコメントを仲間や同僚間で共有し参照できるようにしたり、評価結果を集計して順位付けの表示をし

たりすることで、フィルタリングの機能を果たす」。すなわち、協調的フィルタリング方式は、自分が情報を入手するときに他人の意見を参考にするという、我々が日常よく行っている行為に立脚している。

協調的フィルタリングは、前述の cognitive filtering と social filtering とを組み合わせたものであるとも言える。キーワードマッチングなどの機械的な処理やヒューリスティックな評価/コメントは cognitive filtering として行われ、新たに情報を得る際に評価/コメントを参考にすることについては social filtering として行われることになる。

協調的フィルタリングを利用したシステムは、既に幾つか登場しており、それぞれ成果をあげている。以下に 4 つの例を挙げる。

Tapestry [18] メールとニュースのためのシステムである。ユーザは読んだ記事に自由文の注釈(annotation)を付けることができる。この注釈は、記事本体と共にシステム内に保持される。そして、情報を欲するユーザは、query を発行することによって、記事内容だけでなく記事に付与されている注釈に基づいて記事を選択をすることができる。例えば、山田さんが fj.comp.music で何か面白そうな記事を探そうとしているとする。そこで、彼は query として 'midi' というキーワードを設定する。また、山田さんは、同僚の鈴木さんがこの手の分野に詳しくてニュースグループをいつもチェックしているということを知っているので、鈴木さんが注釈を付けた記事を探すための query も記述する。かくして山田さんは query に基づいてフィルタリングされた新たな記事を得ることが出来る。この場合、query がプロファイルとして機能している。また、鈴木さんが注釈を付け、それを山田さんが参考にすることで協調的フィルタリングが機能していることになる。このシステムは、query を記述する際に、SQL ライクな専用言語を使用する必要がある。そのため、何が知りたいのかを予めはっきりさせておくことが要求されてしまう。

Grouplens [52] ニュースのためのシステムである。ユーザは記事に対してその価値を例えば 5 点満点で投票する。そして、そうして行われた投票の履歴から、似たような評価傾向にある人、つまり興味の方向性が似ている人を割出し、その人達同士による評価を参考にすることができるようにする。例えば、木下さんが fj.soc.history の記事を Grouplens 用に改造されたニュースリーダで読んでいるとする。彼が行う採点は、Better Bit Bureaus と呼ばれるサーバに送られる。そのサーバでは、評価が集計され、どのユーザが似たような評価をしているのかが計算される。その結果、山本さんというユーザが浮かび上がった。そこで、木下さんが既に評価していて山本さんが未読であるような記事について、山本さんのためにその記事の予測スコアを BBB サーバは計算して配送する。予測スコアの計算は、木下さんと山本さんの類似度と木下さんの評価をもとになされる。その予測スコアは、改造ニュースリーダに表示され、山本さんにとってはその予測スコアが高いものほど有用な記事であろうことがわかる。木下さんが未読で山本さんが評価済みであるような記事に関しても同様である。なお、実際にこのシステムを利用するに当たっては、プライバシーの問題のため、実名ではなく匿名・変名を用いる。このシステムでは、評価履歴がプロファイルになっている。そして、評価を重ねていくことが、協調的フィルタリングを効果的に機能させる要となっている。このシステムは、ユーザが大人数存在しなければ十分に機能しない。そのために、対象となる情報ソースが限られてしまう。また、フィルタリングの機能を享受するまでに、ある程度時間がかかる。

Firefly [53] ユーザの興味を引きそうな映画・音楽に関する情報を提供するためのシステムである。これは WWW 上で展開されている。また、ユーザは変名を使用する。ユーザは Firefly のページにて、自分が今まで観たり聴いたりした映画・音楽作品について、7 点満点の評価点を付ける。その評価傾向に基づき、そのユーザが好みそうな作品が予測され、表示される。評価の集計とその結果を用いた予測計算のアルゴリズムは、Grouplens と似たものになっている。また、具体的な作品名などを query として与えれば、それに付けられた評価点・コメント・傾向が似ている作品名といった情報を手に入れることができる。さらに、ユーザ各人はページを持っており、そこに好きな作品名・アーティスト名・評論などを記述することができる。それによって、自分と似たような興味を持つ人の見識を参考にする

ことができる。このシステムでは、Grouplens と同じく評価履歴がプロファイルとなり、それによって協調的フィルタリングが機能する。また、自分でコメントを付けたり他人の意見を見たりすることもでき、そうした行為によってもフィルタリングの機能は増強される。このシステムは、Grouplens と同様に、大人数のユーザが必要である。また、評価がほとんどなされていない作品については、フィルタリングの効果が期待できないという点も、Grouplens と同様である。

Pointers and Digests [34] 小規模グループ内で、有用な情報を効率よく共有するためのシステムである。このシステムは、Lotus Notes の環境上で機能する。ユーザは、pointer なるファイルを作成する。この pointer は、a) 有用な情報本体へのハイパーテキストリンク b) その情報のタイトル、日付、保持されているデータベースの名前 c) pointer を作成した人によるコメント をパッケージングしたものである。pointer は、同僚や仲間にメールとして送信することもできるし、Information Digest なる形態で共有データベース化することもできる。このシステムでは、「ある特定の人物から送られる pointer を受け取りたい」あるいは「自分はある特定の仲間に pointer を送る」という設定が、プロファイルとしての役割になっている。なお、このシステムは、Firefly と同様に'recommender' と呼ばれることもある。このシステムを利用するためには、Lotus Notes を導入しなければならない。また、外部のネットワークに流れている情報群に対しての有効な機械的なフィルタリングをサポートしていない。

今後、従来の情報フィルタリングの技術に加えて、フィルタリング対象世界の拡大機能を追加することによりその効果の一層の増大をはかることが必要であろう。

4.5 評価のためのプロトコル解析実験

本論文においては、開発対象とその手段の明確化、作業の独立性の保証、コミュニケーションの円滑化、作業遂行に必要な知識の獲得、計算機環境の携帯性の向上、で特徴づけられる計算機環境の「快適性」を追求してきた。しかし、定義されたモデルや開発されたプロトタイプ環境の有用性を評価するには、評価のための手段・尺度が必要である。これらを発見・整備していく手段としてプロトコル解析が有用であると思われる。プロトコル解析実験の目的を次の三つに設定する。

分散に依存する問題とその評価尺度の発見

快適性を特徴づける別の特性の発見： 携帯性、明確性、独立性、円滑性、増幅性を含め、快適性の要因を再吟味する

独立性や円滑性などの評価尺度の開発： 上記各特性に対する代替メトリクスを発見する

4.5.1 分散に依存する問題とその評価尺度の発見

「分散」プロジェクトは、北陸先端大、九州大、東工大間の共同プロジェクトである [2]。「分散」プロジェクトの目的は、研究室における基礎的な研究成果をネットワーク上で評価する場を設けることである。北陸先端大では、「自在」プロジェクトのフィールドテスト環境としてして位置づけ、分散に依存する問題とその対応策について基本的な知見を得る立場で参加している。分散プロジェクトでは、以下のような共同実験を実施してきた。

- 遠隔プレゼンテーション、遠隔形式仕様レビュー、遠隔共同プログラミングなどを Internet、 ATM などのネットワーク設備上で、既存のマルチキャスト・ツールを利用して実施してきた。実験の目的は、既存のマルチキャスト・ツールやネットワーク設備に関する問題点を発見することにあった。すでに第一期の一連の実験を終え、ネットワーク層における遅延の問題、人間系におけるコミュニケーション・プロトコルの問題等、今後の研究・技術開発に有用な知見が得られた。

4.5.2 快適性を特徴づける特性とその評価尺度の発見

ネットワークを介した共同作業の阻害要因を把握するためのプロトコル解析実験も実施してきた[38],[39],[40],[41]。現在、一度の投げかける話題の量 (複雑さ) と会話における話題の完遂度との関係について基本的な成果が得られつつある。

4.6 3章のまとめ

決定事項の管理とその生成・変更の支援をモデル化の中心として、下記のような機能階層からなる共同作業の参照モデル CSCSD モデルを提案し、さらに、現在進行中の「自在」プロトタイプを紹介した。

ユーザインタフェース (最上層): ユーザインタフェースには、下層の各システム (分散サーバ、グループウェア・ベース、プロセス・サーバ) の状態が表示されると共に、Ellis が指摘した各種情報、構造的コンテキスト、社会コンテキスト、組織コンテキストが必要に応じて表示され操作される。共同作業の参加者間に「一体感」を形成することを補助する目的を持つ。

ツールキット層 (第 2 層): 作業の自動化の度合を高める CASE tool や、「かみくだく過程を支援するグループウェアを置く。これらはチーム構成員の分散度や作業の規模等のパラメータに応じて配置される。ツール統合機構により作業の連続性を保証する。また、アクティブ・チャネルのような新しいアプリケーションもこの層におく。

分散サーバとグループウェア・ベース (第 3 層): 分散サーバ、グループウェア・ベースを置く。分散サーバはさらにプロセス・サーバと分散作業空間からなる。プロセス・サーバは、タスクとその実行順序、消費可能資源等を定義する。分散作業空間は、作業分担と責任の範囲を明確にし共有情報の管理を行なう。グループウェア・ベースは、会話による決定事項とその間の因果関係を保持する。

中間生成物間の依存関係の管理 (第 4 層): 中間生成物間の依存関係を管理する。上層の分散サーバを構築する際、作業のガイドラインや各自の作業に関する制約を定義し、またグループウェア・ベースに対してはコミュニケーション記録にあたって、会話内容がどの中間生成物やその依存関係に関与するのかを定義する土台を与える。

CSCSD サーバ (最下層): 規模への対応、非均一性への対応、計算機環境への対応などを支援する。

5 まとめと今後の課題

本論文では、ソフトウェア・エンジニアリング活動を対象として、計算機ネットワークを介した共同作業支援のためのモデルを定義し、環境を構築するにあたっての基本方針と原理を述べた。我々の目標は、明解性、独立性、円滑性、携帯性、増幅性の五つの特性で特徴づけられる、環境の快適性の向上である。その実現のために解決されるべき課題は以下の通りである。

- 規模に応じたソフトウェア・アーキテクチャ・クラスの整備
- リポジトリ管理技術 (特に決定事項の管理技術) とグループウェアの融合
- 調整支援を目的としたプロセス・モデルの開発
- 予測不可能性、非再現性、不完全性などの人間要因の考慮

次に、決定事項の管理に基づく共同作業のモデル、CSCSD モデルを提案した。CSCSD モデルは 6 層の階層構造から成る。それらは、ユーザインタフェース層、ツールキット層、分散サーバとグループウェア・ベース、タスク定義層、中間生成物間の依存関係の管理、CSCSD サーバである。

現在、「自在」プロトタイプについては分散サーバおよびグループウェアベースについて初期の研究開発が終了した段階である。新しい計算機環境と開発スタイルに対応できるソフトウェア開発環境の実現という目標に対して、今後の進展させるべき課題は以下の通りである。

5.1 一貫性管理層を追加したCSCSDモデルによる調整支援

前章までに、ネットワークを介した共同作業を支援するための情報リポジトリの構成法について考察を重ねてきた。ところで、情報リポジトリに記録される中間生成物と決定事項およびそれらの状態は矛盾に満ちたものであり、矛盾の存在を前提とした上での共同作業推進の支援機構がミラノ工科大学との共同研究として開始されたところである。図18に示すように、CSCSDモデルの情報リポジトリ層とツール層の間に、情報リポジトリ内容間および現実世界との矛盾を検出し可能なら解消する層を設ける。これにより、一貫性管理に浪費され作業者の負担を低減することが期待される。

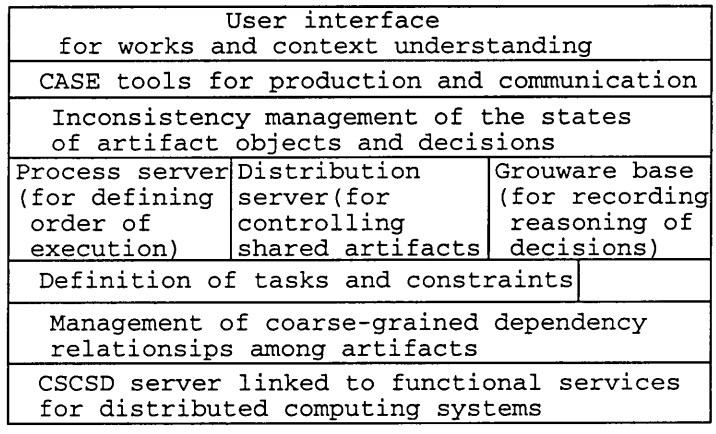


図18: 一貫性管理層を追加したCSCSDモデル

すでに述べたように、協調的ソフトウェアプロセスの実行を制御する一つの確実な方法は中間生成物や製品の状態を観測することにある。一貫性管理層に置かれるコーディネータオブジェクトは、

- 振舞いに関する制約の下に互いに相互作用しながら、時間軸にそって状態を変化させていく並行動作実体群

の状態を監視する。

コーディネータオブジェクトは、状態を監視することにより、

- いくつかのオブジェクトにわたる状態間の一貫性(外部制約)を維持することを試み、また、あるオブジェクトの内部状態間の一貫性(内部制約)を維持することを試みる。
- 実体の動作履歴や関連と制約を利用して異常状態発生の犯人(または故障オブジェクト)の検出を試みる。

コーディネータオブジェクトは以下のデータベースを利用する。

- 粗粒度レベルの依存関係
- 実体の状態遷移の履歴と実事象の履歴

われわれのモデリングにおいては、

1. 実体は、設計に関する中間生成物や成果物オブジェクト、および会話を通じてなされる決定事項であり、双方とも進捗状況を表現する状態遷移図を内蔵した自律オブジェクトとして形式化する予定である。許容される遷移や禁止される遷移および例外処理を表現するための時間に関する制約が、状態遷移図のそれぞれの遷移に割り当てられる (内部制約)。
2. 入出力依存関係グラフは、外部制約を表現するために使われる
3. 中間成果物オブジェクトの活動履歴は、実際に発生した事象/遷移の系列を版管理機構で管理する

コーディネータオブジェクトの主要な機能は以下の通りである。

- グループロールバック：故障オブジェクトが検出された時、それによる悪い副作用を可能なかぎり消去する。例えば、「中間生成物の集合に属する任意の A と B に対して、もし B が A から派生する時、B の状態が" 完了" であるならば、A の状態も" 完了" でなければならない」という粗粒度レベルの依存関係上で定義された制約に基づいて、関連する中間生成物の状態をすべてロールバックさせる。
- deviation[7]：いくつかのオブジェクトは、実事象の発生を待つことなくその事象の発生を仮定して遷移を進めることができる。実事象の発生後、もし矛盾が発生した場合は、それに関連する推移系列を検出し解消する。

5.2 オブジェクト管理システムの構成法

図 18の各層において、

- 中間成果物または製品間の入出力依存関係 (グラフ構造)
- 中間成果物のチーム構成員への割り当ての関係 (集合) とそれらを管理するオブジェクト群
- 上記集合をノードとする実行順序関係 (グラフ構造)
- 決定事項を文書化したものの間の依存関係 (階層グラフ構造)
- パラメータに応じてカスタマイズされる一群の同じ型のツール群 (集合)
- 上記各種構造間の対応関係
- 中間成果物や決定事項に貼り付けられる状態遷移図
- それらの状態遷移図の状態をモニタし制御するオブジェクト群

等の要素が存在する。それらを単一のスキーマを持つ単一のオブジェクト管理システムで管理するのは容易ではない。特に一部の変更に伴ないあちこち手直しする必要が生じる場合が予想される。複数のスキーマの提供とその管理を容易にするような、メタレベルアーキテクチャに基づくオブジェクト管理機構が必要である [15],[16]。

5.3 分散に依存する問題のより精密な把握

群舞と栞を中心とする自在プロトタイプの第 1 版を早期に完成し、「作業の独立性の保持」、「コミュニケーションの円滑化」に対する効果を評価するためのフィールドテストおよびプロトコル解析を実施する。例えば、

- 栞に関しては、「伝達・整合」、「決定」、「創造」の各討議の型毎にプロトコル解析実験を実施し、現在のグループウェアスキーマの有用性と改良されるべき問題点を把握・評価する必要がある

- 群舞に関しては、アクセスリストによる共有情報の変更管理にのみ限定せず、共有情報の管理に関して発生する問題点とその対応策を読み切るためのフィールドテストを実施する必要がある

現在のCSCSDモデルでは、共同作業における作業進捗の調整を、作業や会話を通じて生成される中間成果物や決定事項の状態の管理にもとづいて実施することを基本的な切り口としている。とこれで、「状態の管理」は分散開発でなくとも対応すべき問題であり、その意味ではネットワークを介した共同作業を適確に支援するための必要条件ではあるが、それですべてではない。

分散に依存する問題を適確に認識することこそ最も肝要な事柄である。思考実験、プロトコル解析、現実世界の観測と分析等のさまざまな手段を通じて、多面的により良い切り口を定め、それを精密化していく必要がある。

本学篠田助教授が阪神大震災のような大規模災害時に、通信衛星を使った臨時回線への切り替え、被災者の安否確認データベースの開発と全国規模の問い合せへの対応等を目的とするソフトウェアを、WIDEグループの仲間と電子メールのみを利用して開発した経験がある。彼の経験によると、このような本格的な分散開発において問題になったのは、モジュール間インタフェースの不整合の続発とそのような不整合を除去するためのコミュニケーションの遅延の拡大であった。一つのインタフェースの不整合を除去するのにやく半日かかり、状況を共有するのが困難であったとの感想がある。

5.4 分散開発時代に適合する方法論とプロセスモデルの定義

オブジェクト指向方法論、オブジェクト指向アーキテクチャを前提にして下記のような調査研究を実施することにより、分散システムの設計方法論、分散開発時代に適合するプロセスモデルの定義についての研究を今後開始する予定である。

- 「規模への対応」を考慮したソフトウェア・アーキテクチャに関する研究について、さらに詳細な調査研究を実施すること
- 「柔軟な」ソフトウェア・アーキテクチャの構成法とオブジェクト指向アーキテクチャに関する研究の現状を調査すること
- 上記2つの調査結果ををもとに、ソフトウェア・アーキテクチャのクラスを定義すること
- アーキテクチャ構成部品(制御オブジェクト)の整備方針を検討すること
- システムへの統合法に関して考察を深めること
- その後で、いくつかの事例研究を実施し、オブジェクト指向ソフトウェア開発方法論におけるソフトウェア・アーキテクチャ設計の位置づけを明確かつ具体的にすること
- ソフトウェア・プロセスに関する研究に関して、ポリシーや制約の表現法を検討した研究成果をサベイすること
- また、決定事項の管理の問題に関して、管理の粒度、保護や安全性の度合等に関する現実世界の状況を調査・把握し、モデル化にあたっての具体的目標を設定すること

謝辞

本報告の基本構想はミラノ工科大学に文部省長期在外研究員として滞在した期間における著者の思索によって得られた。思索の過程における Carlo Ghezzi 教授による「一貫性管理」に関する示唆と、Stefano Ceri 教授の「群舞」に関する有益なコメントに対して心より謝意を表する。

参考文献

[1] R.M.Adler and R.C.Paslay,"Design of Distributed Systems", Encyclopedia of Software Engineering, John Wiley and Sons.

[2] 荒木、岡村、佐伯、三浦、落水、篠田、海谷:「ネットワークを介した協調活動の実現にむけて」, 情報処理学会、サマー・ワークショップ・イン・立山報告集, pp.105-112, 1995.

[3] S.Bandinelli, A.Fuggetta, C.Ghezzi: "Software Process Model Evolution in the SPADE Environment",IEEE Trans. on SE, Vol.19 NO.12, pp.1128-1144, Dec.1993.

[4] Belkin, Croft "Information Filtering and Information Retrieval: Two Sides of the Same Coin?", CACM, 35, 12, pp29-38, 1992.

[5] F.Cattaneo,A.Fuggetta,L.Lavazza: "An experience in process assesment", Proc. of 17th ICSE, pp.115-121,1995.

[6] J.Conklin and M.Begeman:"gIBIS: A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussin", CSCW'88, pp.140-152, 1988.

[7] G.Cugola,E.Di Nitto Frank,C.Ghezzi: "How to deal With Deviations During Process Model Enactment", Proc. of ICSE 17, pp.265-273, April 1995.

[8] G.Cugola,E.Di Nitto Frank,A.Fuggetta,C.Ghezzi: "A Framework for Formalizing Inconsistencies and Deviations in Human-Centered Systems", (submitted to TOSEM).

[9] U. Dayal, M. Hsu and R. Ladin: "A Transaction Model for Long-Running Activities", Proc. of 17th International Conference of VLDB, pp.113-122,1991.

[10] C.A. Ellis and S.J.Gibbs: "Concurrency Control in Groupware Systems", Proc. of the ACM SIGMOD'89, pp.399-407, May 1989.

[11] C.A. Ellis and S.J.Gibbs and G.L.Rein: "Groupware: Some Issues and Experiences", Comm. of the ACM, Vol.34, NO.1, pp.38-58, Jan. 1991.

[12] Clarence Ellis, Jacques Wainer: "A Conceptual Model of Groupware", Proc. of CSCW 94, pp.79-88, 1994.

[13] Martha S Feldman: "Constraints on Communication and Electronic Mail", Proc. of CSCW 86, pp.73-90, 1986.

[14] Foltz, Duans "Personalized Information Deliverty: An Analysis of Information Filtering Methods", CACM, 35, 12, pp51-60, 1992.

[15] 藤枝, 落水,"メタレベルアーキテクチャを利用したオブジェクト管理システムの構成法について", 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会, Vol.94 No.99, pp.41-48, 1994.

[16] 藤枝, 落水, "メタレベル・アーキテクチャを利用したオブジェクト管理システムのバージョン管理機構の構成法", 日本ソフトウェア科学会 第12回大会論文集, pp.109-112, 1995.

[17] David Garlan, "Research Directions in Software Architecture", ACM Computing Surveys, Vol.27, No.2, pp.257-261,June 1995.

[18] D.Goldberg, D.Nichols, B.M.Oki, D.Terry "Using Collaborative Filtering to Weave an Information Tapestry" Communications of the ACM, Vol 35, No.12, pp61-70 (1992).

[19] Sandra Heiler: "Semantic Interoperability", ACM Computing Surveys, Vol.27, No.2, pp.271-273,June 1995.

[20] 堀, 落水:「ソフトウェア開発における自己反映オブジェクト指向モデルに基づく共有情報の管理法」, コンピュータ・ソフトウェア,Vol.13, NO.1, pp.37-54,1996.

[21] M.Hori, Y.Shinoda, K,Ochimizu: "Shared Data Management Mechanism for Distributed Software Development Based on a Reflective Object-Oriented Model", LNCS 1080, Advanced Information Systems Engineering, pp.362-382, 1996.

[22] D.Jennings:"On the Definition and Desirability of Autonomous User Agents in CSCW", CSCW and Artificial Intelligence, Springer Verlag, 1994.

[23] 門脇, 落水:「ソフトウェア・プロセス実行における系統的コミュニケーション支援の一方式」, Jaist Research Report, IS-RR-97-0009S, ISSN 0918-7553, March 1997.

[24] C.Kadowaki, K.Ochimizu: "Recording the Progress and the Reasoning of Deliberations",(under submission).

[25] 片山:「ソフトウェアプロセスとその研究課題」, 日本ソフトウェア科学会第11会大会論文集, pp.433-436t, October 1994.

[26] 川上, 川瀬, 小寺, 鈴木, 萩原, 橋本, 落水:「ネットワークを介した協調活動の支援環境」, Jaist Research Report, IS-RR-96-0012S, 1996.

[27] 川瀬、篠田:「協調フィルタリングに関する研究動向」、研究室内部資料, 1996.

[28] K.Kishida, T.Katayama, M.Matsuo, I.Miyamoto, K.Ochimizu, N.Saito, J.H.Sayler, K.Torii, L.G. Williams: "SDA: A Novel Approach to Software Environment Design and Construction", Proc. of 10th ICSE, pp.69-78, 1988.

[29] 小島:「建築」, イタリア, 新潮社.

[30] 近野, 門脇, 落水:「グループウェアベース「栞」を用いた電子会議内容の進捗把握と文書化の支援」, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会資料、107-12,1996.

[31] 倉谷、門脇、西山、落水:構造化分析の事例研究(生産管理システム)、Seamail Vol.8 NO. 8-9, pp.3-40, 1994.

[32] 倉谷、東田、藤枝、鈴木、落水:オブジェクト指向分析の事例研究(生産管理システム)、Seamail Vol.8 NO. 8-9, pp.41-76, 1994.

[33] Malone, Grant, "Intelligent Information Sharing Systems" CACM, 30, 5, pp390-402 (1987).

[34] D.Maltz, K.Ehrlich "Pointing The Way: Active Collaborative Filtering", Proc. of CHI '95, pp202-209 (1995).

[35] D.Mandrioli, A.Morzenti, P.San Pietro, E.Crivelli: "Specification and verification of real-time systems in a logic framework: the TRIO environment", , Vol., No., pp.-,.

[36] Frank Manola: "Interoperability issues in Large-Scale Distributed Object Systems", ACM Computing Surveys, Vol.27, No.2, pp.268-270,June 1995.

[37] 森田、篠田 「情報に対する行動の分析と情報フィルタリングへの適用に関する研究」, JAIST 修士論文, 1994.

[38] 村越, 海谷, 落水,"ネットワークを介した共同作業における阻害要因の分析", 日本ソフトウェア科学会第 12 回大会論文集, pp.233-236, 1995.

[39] H.Murakoshi, H.Kaiya, K.Ochimizu: "An Analysis of Obstruction in Cooperative Work over a Computer Network", Proc. of CICS'95, pp.98-103, Oct. 1995.

[40] 村越, 海谷, 落水, 佐伯,"非同期型のコミュニケーションを用いた共同作業における阻害要因の分析", 情報処理学会ソフトウェア工学研究会, 109-4, pp.25-32, 1996.

[41] 村越, 海谷, 落水, "共同ソフトウェア開発における非同期型コミュニケーションの生産物への影響", 近代科学社, ソフトウェア工学の基礎 III(日本ソフトウェア科学会 FOSE'96 報告集), pp.166-169, 1996.

[42] A.Ohki, K.Ochimizu: "Process Programming with Prolog", Proc. of 4th ISPW, pp.118-121, 1988.

[43] 落水、東田:「オブジェクト・モデリング」, ジャストシステム, 1995.

[44] 落水: 「ソフトウェア工学実践の基礎-分析・設計・プログラミング」, 日科技連出版

[45] 落水:「ソフトウェア・プロセスに関する研究の概要」, 情報処理,Vol.36, NO.5, pp.379-391, 1995.

[46] K.Ochimizu,T.Yamaguchi: "A Process Oriented Architecture with Knowledge Acquisition and Refinement Mechanisms on Software Process", Proc. of 6th ISPW, pp.145-147, 1991.

[47] 落水:「ソフトウェア・レポジトリ」, 情報処理,Vol.35, NO.2, pp.140-149, 1994.

[48] K.Ochimizu and C.Kadowaki:"A Framework of a Support Environment for Cooperative works over Distributed Computing System based on a Decision Management",Jaist Research Report, IS-97-0013S, ISSN 0918-7553, March 1997.

[49] 落水, 門脇, 藤枝, 堀:「ソフトウェア分散開発支援環境「自在」のアーキテクチャ設計」, 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会資料, SS94-18, 1994.

[50] K.Ochimizu,"Constructing a Support Environment for Cooperative works over a Computer Network by Integrating Software Process Enactment Support and Communication Support",Jaist Research Report, IS-97-0012S, ISSN 0918-7553, March 1997.

[51] D.Pascot 著、落水訳: 「C/S データベース設計入門」, 日経ＢＰ社,1997.

[52] P.Resnick, N.Iacovou, M.Suchak, P.Bergstorm, J.Riedl "GroupLens: An Open Architecture for Collaborative Filtering of NetNews", Proc. of ACM 1994 Conference on CSCW, pp175-186(1994).

[53] U.Shardananda, P.Maes "Social Information Filtering: Algorithm for Automating "Word of Mouth "", Proc. of CHI '95, pp210-217 (1995).

[54] H.Tanaka, K.Araki, Y.Masuda:"Relationship between Interpersonal Communication and Effects of Communication Media", IPSJ SIG on GW 93-GW-4, pp.53-60, 1993(in Japanese).

[55] 山口、榑松、下津、中尾、落水: "事例に基づく推論とモデル推論の統合に基づく知識獲得支援システム（２）-ソフトウェアプロセス知識の獲得-", 人工知能学会誌, Vol.11 No.4, pp.97-103, 1996.

[56] Gio Wiederhold: "Mediation in Information Systems", ACM Computing Surveys, Vol.27, No.2, pp.265-267,June 1995.