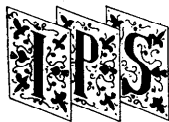


解 説



2010年マルチメディアコミュニケーションと社会

### 3.1 知識型設計支援パラダイムとその進化<sup>†</sup>

木下 哲男<sup>††</sup>

#### 1. はじめに

1994年7月に彗星群SL9が木星に連続的に衝突する現象が観測された。そのとき、彗星衝突の(画像を含む)最新の情報をNASAのサーバから検索し手元のワークステーションで閲覧された方も多いと思う。このとき改めて気がついたのは、そこでは、最新の情報へアクセスしようとする利用サイドの要求、情報提供サイドの情報環境や情報管理体制、インターネットをベースとした分散処理機能などの諸要件がうまく整合/調和して、情報検索サービスが成り立っていることである。こうした事例を見ると、もっと高度な要求に応えられるサービスはあるのか、所望のサービスをどのように探すのか、また、要求に適したサービスはどう作るのか、というように次々と新たな要求が生じてくる。そして、現在、多様な要求を抱える利用者に対して適切なサービスが提供できる次世代分散システムへの期待は一段と高まりつつある。ところが、一方では、利用者要求が多様化し、実現すべき機能も高度で複雑なものとなるのともなって、利用者に適した分散システムの実現はますます困難な仕事となり、その設計開発環境にも新たな変革が求められる時代となっている<sup>1)</sup>。そこで、本稿では、知識情報処理技術に基づくシステム設計という視点から、2010年に向けた分散システム設計支援技術とその進化について考える。

#### 2. 分散システム設計における課題とは

考察を進める手掛かりとして、分散システムとそれを取り巻く環境で今後予想されるいくつかの

変化を列挙してみよう。まず、システム環境では、(1)利用者要求の高度化と多様化、(2)設計者層の変化と拡大(利用者参加設計型へのシフト)、(3)情報や知識の分散化/偏在化、(4)新技術導入にともなう選択や創造の機会拡大、(5)社会や組織、情報環境や制度の変化の常態化、が指摘されている。また、分散システムに対しても、(6)システムの大規模/複雑化、(7)ホモジニアスからヘテロジニアスへのシフト、(8)能動的/知的なシステムへのシフト、(9)知識に基づく高付加価値サービスの需要拡大、(10)システムの時空間的発展やライフサイクルの重視、といった変化が予想される。

これらの変化を背景とした分散システム構築上の課題を次の2つの観点から整理してみる。すなわち、設計開発の方法論的側面では、(a)利用者 と設計者の視点ギャップの補完、(b)従来型設計手法の限界の認識と克服、(c)設計知識の獲得/共有/再利用の促進と高度化、などがあげられる。一方、設計目標となる分散システムの側面では、(d)知識型次世代分散システムのアーキテクチャの確立、(e)大規模システムの運用や保守の効果的支援、(f)システムとその環境に内在する危険性・脆弱性への対処など、大規模・複雑システムの構築や運用に共通する課題が山積している。現在、ソフトウェア工学、計算機工学、システム工学、人工知能/知識工学など、分散システム構築に関連した様々の技術分野で、これらの課題の解決に向けた研究開発が精力的に進められているが、いまだ十分満足すべき解は得られていない。本稿では、とりあえず方法論的側面からのアプローチとして、様々な知識の効果的活用に基づく分散システム設計を目指す立場から、**知識型設計方法論**と呼ばれる枠組み<sup>2)</sup>を叩き台として、次世代分散システム設計支援の枠組みを探ってみる。

<sup>†</sup> Knowledge-based Design Support Paradigm and Its Evolution by Tetsuo KINOSHITA (Media Laboratories, Oki Electric Industry Co., Ltd.).

<sup>††</sup> 沖電気工業(株)マルチメディア研究所

### 3. 知識型設計方法論に基づく分散システム設計

知識型設計方法論は、設計タスクに係わる様々な知識を活用し、利用者要求を必要十分に反映した設計目標(利用者指向システムと呼ぶ)を系統的に導出する手法として提案されたものである<sup>2)</sup>。

本方法論の特徴は、設計タスクを問題解決タスクとして捉え、利用者要求や設計条件を重要な知識と見なし、熟練設計者の発見的/経験的知識と共に問題解決の過程で活用する点にある。これらの知識は、知識モデル、マッピング、および背景知識という3種類の形態で表現・利用される。

知識モデルは、利用者要求や設計条件、あるいは導出途上の設計目標などの形式的記述を与えるもので、対象設計タスクに応じて定義された固有の知識表現形式を持つ。また、マッピングは、2つの知識モデルの相互関係に基づいて整理された設計問題解決知識であり、知識モデルの操作・変換・導出などを行う。さらに、背景知識は、マッピングの過程で参照・利用される種々の領域知識である。

対象設計タスクの設計プロセスは、これらの知識群をプロセス構成要素として、要求指向(top-down)かつ漸進的(incremental)な問題解決プロセス(知識型設計プロセスと呼ぶ)として定式

化される。そして、利用者視点から設計要求を表現した知識モデルの系統的な変換によって、設計者視点から設計目標の詳細設計仕様や実装仕様を表現した知識モデルが導出される。

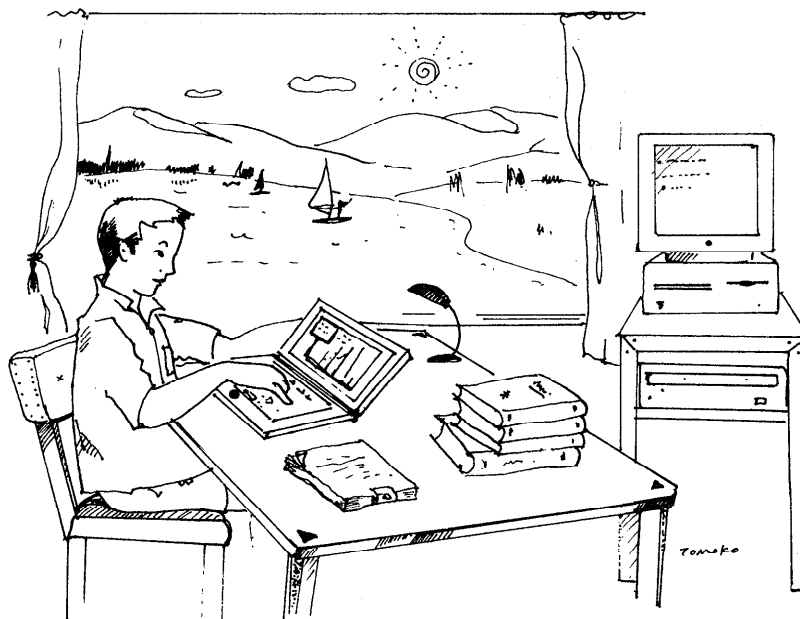
これまで、知識型設計方法論を適用することにより、分散システム設計における利用者要求定義、プロトコル仕様設計、ヒューマンインタフェース設計、あるいは分散アプリケーションソフトウェア設計などの設計タスクに対する知識型設計支援の枠組みが構成され、本方法論の有効性が確認されている。

## 4. 2010年の知識型設計支援パラダイム

### 4.1 設計目標の進化

知識型設計方法論では、分散システム設計の方法論的課題に対して、設計タスクの高度化や効率化という側面からその部分解を与えた。しかし、2010年に向けた分散システム設計支援においては、さらに、設計目標や設計環境の様々な変化も考慮した新たな枠組みを工夫する必要がある。そこで、まず、設計開発の目標となる2010年の分散システムのイメージについて述べる。

(a) 利用者のメディアとしての分散システム: 利用者の仕事や活動(利用者タスク)は外部環境(他の人々や社会)との様々な相互関係に立脚している。分散システムの導入により利用者-



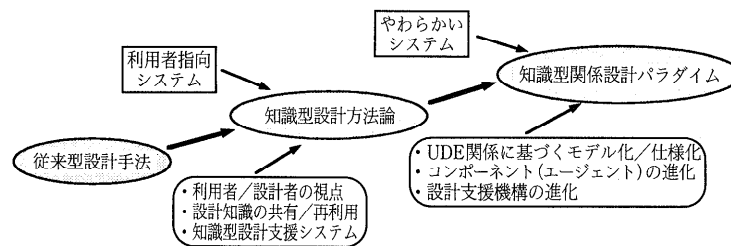


図-1 知識型設計支援パラダイムの進化

分散システム—環境の新たな相互関係が生じる。したがって、分散システムは、この相互関係をベースとした利用者タスクの円滑な遂行・達成を支援・強化するメディア、あるいはフィールドとしてデザインされる。

(b) 利用者に満足感を与える分散システム：今後予想される利用サイドの質的变化を考えると、単にシステムの機能や効率の追及に留まらず、システム特性と利用者特性（利用目的、技能、感性など）とがうまく適合・調和し、利用者に対して安心感や満足感を与えられる分散システムがいつそう重要となる。

(c) 利用者と環境の変化に対応する分散システム：ある時点で利用者と適合しているシステムであっても、前述した様々な変化要因によって適合の度合が徐々に変化してしまう。したがって、設計途上や稼働後に生起する変化への対処を考慮したゆとりあるデザインが必要となる。

上述した設計目標を具体的に設定するのは難しい問題だが、最近提案されたやわらかいシステム<sup>3)</sup>の概念は1つの有益な手掛かりを与える。すなわち、やわらかいシステムは、知性、恒常性、発展性を基本特性として備え、システムとその外部環境で生起する様々な変化に適切に対処しながら、安定的に発展・進化するシステムである。これは、設計目標である2010年の分散システムのモデルとして利用できる。

#### 4.2 設計支援パラダイムの進化

それでは、2010年に向けて分散システムの設計タスクの形態はどのように進化してゆくのだろうか。本稿では、以下の3つの要素の進化を前提とした知識型関係設計パラダイムを提案したい(図-1)。

(a) モデル化/仕様化のレベル：利用者—分散システム—環境の相互関係に着目した新たな設

計モデルが導入される。その鍵は、都市（社会）や生体系といった大規模・複雑システムの機能的アナロジーに基づく分散システムのモデル化と仕様化にある。そこでは、多種多様な構成要素（サブシステムや部品）が共生し協調するための機能、システムの開放性や情報・知識の流れを反映した構成要素の相互関係、および、その相互関係に基づいて実現されるシステム機能がモデル化され、仕様化される。これは、前述したやわらかいシステムの特徴を備えたやわらかい分散システムのモデリングを指向するものである。

(b) コンポーネント：現在、種々の部品（コンポーネント）を利用/再利用するシステム設計法が提案・利用されている。今後、より多様なコンポーネント（用途、機能、動作条件/環境、粒度、実装形態などの多様性）が提供され、その内部に埋め込まれた知識に基づいて動作する自律的で知的なコンポーネント（エージェント<sup>4)</sup>も出現するだろう。こうしたコンポーネントの進化によって、システム設計におけるモデル化や仕様化のレベルが高まり、知識型設計支援機構の導入も容易となる。

(c) 協調設計機構：多様な形態で表現・蓄積された設計知識を効果的に共有/再利用しながら、協調的に設計問題解決を行う機構が実現される。そのとき、様々なコンポーネントは、設計経験や設計知識の継承/共有/再利用のためのピークルとしての役割も果たす。さらに、コンポーネント群を自己組織的に組み合わせる創発メカニズムや、メタ知識に基づく設計プロセスや支援機能の再構成メカニズムの導入なども考えられる。

知識型関係設計パラダイムは、上記3要素の進化をベースとした知識型設計方法論の拡張として位置付けられる。すなわち、本パラダイムにおける関係とは、設計目標で実現される利用者タスク

の機能や構造を、利用者分散システム（設計目標）－環境の相互関係のレベルで仕様化したもの（UDE 関係と呼ぶ）、関係設計とは、UDE 関係を利用者視点に基づく要求仕様として解釈し、様々な設計知識に基づいて、所与の UDE 関係を機能要素（コンポーネント）の関係構造に写像して設計目標を構成する設計法を指す。また、知識型とは、設計プロセス定式化の基盤として知識型設計方法論を用いることを意味する。さらに、設計目標モデリングに対してやわらかいシステム概念を導入することにより、知識型設計方法論における利用者指向システム概念を包含した次世代分散システムの実現を目指す。

#### 4.3 知識型関係設計支援の実現に向けて

知識型関係設計パラダイムでは、UDE 関係に基づく設計目標の仕様化、各種の設計階層におけるコンポーネントの設計、UDE 関係やコンポーネントの変化にともなう再設計など、様々な設計タスクが状況に応じて協調的に起動・実行される。このことは、設計プロセスに対しても、柔軟性や可塑性（やわらかさ）が要請されることを意味する。そこで、知識型関係設計のプロセスモデルとして、知識型設計方法論に基づいて定義された種々の知識モデルが、それらを関係付けるマッピングによって相互にループ状に結合されたモデル（知識型関係設計プロセスモデル）を導入する。

このモデルは 2 種類の設計プロセスの重ね合わせとなっている。1 つは、利用者要求（UDE 関係）を表現した知識モデル（KM 0）から、種々のレベルの設計仕様を表現する知識モデル群（KM 1, KM 2, …）と最終的な実装仕様を与える知識モデル（KM  $n$ ）をトップダウンに導出するプロセス（要求指向マッピングによる順方向プロセス）である。もう 1 つは、詳細設計仕様や実装仕様を表す知識モデル（KM  $n$  など）の要素として記述される種々の制約条件や環境条件を、上流工程の知識モデル（KM 1, KM 2, … など）へボトムアップに伝播してゆくプロセス（制約指向マッピングによる逆方向プロセス）である。

こうした双方向のマッピングにより、各知識モデルの情報が順次他の知識モデルに伝播され、各工程における設計対象の詳細化や調整が行われる。その過程で発生する設計上の競合は、各知識

モデルの導出（実体化）過程で解決（競合解消）が試みられる。そして、知識モデルの実体化が完了した時点で、設計目標のプロトタイプが生成される。また、要求仕様/設計条件/動作環境における種々の変化（UDE 関係の変動）は、通常、知識モデル KM 0 の変化として捉えられ、それが各知識モデルへの更新要求として伝播される。そして、前述した競合解消と同様の手順で更新要求を処理することにより、種々のコンポーネント群とその関係構造が変更/再構成され、設計目標が再設計される。

ここで、知識型関係設計プロセスの適用イメージについて、利用者指向分散システムの応用層プロトコル設計仕様定義プロセスの簡略化モデルを例として述べる。まず、トップダウンプロセスでは、利用者指向分散システムの要求仕様知識モデル（UDE 関係）から抽出された利用者指向通信サービス（応用層プロトコル）を論理的に実現する機能要素（コンポーネント）系列に対して、マッピングに基づく変換・分割・詳細化を施し、応用層プロトコルの概念仕様知識モデルと詳細仕様知識モデルを段階的に導出する。一方、ボトムアッププロセスでは、種々の設計条件（プラットフォーム環境、分散リソース、通信ネットワークに付随する利用条件や実装条件など）を反映した詳細仕様知識モデルの部分記述や導出条件が生成され、これらの情報が詳細仕様知識モデルを導出するトップダウンマッピングの背景知識として利用される。これによって、設計要求と設計条件との協調的な調整や、設計類型（標準的な応用層プロトコルの流用、下位層通信サービスに基づく合成、新規設計など）に応じたコンポーネントの詳細/実装設計が実現される。

一方、知識型関係設計プロセスの実装法としては、協調的に動作する多数の設計モジュール（設計エージェント）を用いて設計支援機構を構成する方法が有望である。ここで、設計エージェントとは、特定の設計タスク実行に必要なマッピングと背景知識を内蔵した専用の設計問題解決システムであり、これらが知識型関係設計プロセスに基づいて組織化され、所与の設計問題に適したマルチエージェント型の知識型関係設計システムが構成される。これによって、設計プロセスの再編成をとまなう大幅な変化にもエージェント組織の変

更によって対処できる知識型設計システムの実現が期待されるが、同時に、設計エージェントの協調制御機構、知識型設計モデリング支援機構、コンポーネント構築支援機構、自己組織型再利用知識ベース、知的シミュレーション（設計結果や波及効果の推定/確認）機能、設計プロセス合成機能など、検討を要する多くの課題も残されている。

これまでの議論では、支援対象としてシステム設計開発者を暗黙的に想定していたが、今後、設計機能や設計支援環境がさらに進化すれば、利用者によるシステム設計/再設計の支援も可能となる。たとえば、知的ヒューマンインタフェース、分散システムへの知識型関係設計機構の埋め込み、あるいはコンポーネントやサブシステムレベルでの創発メカニズム（自己組織的設計機構）などの実現により、利用者自身が、利用目的の変化や新規要求の発生に応じて、既存サービスの変更や新規サービスの合成をインタラクティブに行えるシステム環境が提供されるようになるだろう。

## 5. おわりに

本稿では、2010年に向けた分散システム設計支援の枠組みについて考察し、知識型設計方法論をベースとした知識型関係設計パラダイムを提案した。本パラダイムのドライビングフォースは、分散システムの進化に対応した設計目標のモデル化/仕様化の進化、コンポーネントの進化、およ

び協調設計機構の進化である。現在、これらの進化を支える基盤技術としての協調分散問題解決、知識の獲得/共有/再利用、エージェント指向コンピューティング、大規模知識ベースなどに関する研究開発が着実に進展しており、その成果を活かした知識型設計支援技術の今後の発展が大いに期待できる。

## 参考文献

- 1) AAI, Special Issue: AI and Design, AI Mag., Vol. 11, No. 4, AAI(1990).
  - 2) Kinoshita, T., Sugawara, K. and Shiratori, N.: Knowledge-based Design Support System for Computer Communication System, IEEE Journal SAC, Vol. 6, No. 5, pp. 850-861(1988).
  - 3) 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎: やわらかいシステムの形式化に関する一考察, 信学技報 AI 93-84(1994).
  - 4) ACM, Special Issue: Intelligent Agents, CACM, Vol. 37, No. 7(1994).
- (平成6年11月14日受付)



木下 哲男 (正会員)

昭和28年生。昭和54年東北大学大学院修士課程修了。同年沖電気工業(株)入社。現在、同社研究開発本部マルチメディア研究所主任研究員。知識表現、知識型設計支援システム、ヒューマンインタフェース、協調分散システムなどの研究開発に従事。本会平成元年度研究賞受賞。工学博士。電子情報通信学会、人工知能学会、日本認知科学会、ACL、AAAI各会員。