

人間系や環境を含む大規模システムの上流設計と評価を行う方法と、設計支援ツール SI-CAD を開発した。この方法では、目的からシステム機能・構成を展開するトップダウン設計と複数の部分システム仕様を全体のシステムに統合するボトムアップ設計の二つを連携すること、システムに対する複数の観点を統合するしくみを提供すること、および上流設計段階でシステム評価を行うことにより考慮漏れのないシステムを設計することを可能にしている。SI-CAD を電子商取引の支払システムに適用して、上流設計段階で性能評価ができることを確認し、SI-CAD が広くりエンジニアリング(BPR)や社会システム設計においても有効な支援ツールになる可能性を示した。

We have developed methodologies and a computer-aided system design tool (SI-CAD) for large, complex systems. The method has three distinct technologies : design space sharing with multiple system views, top-down and bottom-up design harmonization, and system evaluation at the concept design stage.

We verified the usefulness of SI-CAD not only in the field of electrical engineering but also in more general fields including business process reengineering and social system design.

1 まえがき

計算機とそのネットワークを利用したサービスが日常生活に浸透するにつれ、システムは大規模・複雑化し、システム設計はますます困難になっている。また、計算機技術の発達は情報処理システムだけでなく、企業における仕事のやりかたや日常生活を含む社会環境までも急激に変えており、迅速なシステム開発が望まれている。

ここでは、このような大規模システムの設計における課題を整理し、必要な支援項目を明らかにする。そして、これらの支援項目を備えたシステム設計の枠組みとして開発している“大規模システム設計フレームワーク”と支援ツール SI(System Integration)-CAD の有効性を示す。

2 システムの大規模化と課題

2.1 システムイメージと問題構造のあいまい化

システムの大規模化は、設計段階や設計者の担当範囲によってシステムのとらえかたがまちまちになるので、ユーザー、設計者、開発者の間でのシステムイメージの共有を困難にする。また、システムの複雑化は、解決すべき問題の内部構造や問題と解決手段との対応づけの把握を困難にする。

これらの問題点はシステム設計時の考察漏れを誘引し、結果としてシステム開発のコストや時間の増加だけでなく品質の低下を引き起す。

2.2 ダイナミックに変化する環境と技術

環境基準の改訂などの外部環境の変化に伴うシステム変更や、ネットワーク技術、通信プロトコル、オープン化技術などの基盤技術の進歩を取り込むためのシステム改良は、コンペティタ(競争相手)に勝つための必須(す)要件であり、システム設計技術はこれらの環境や技術のダイナミックな変化にこたえなくてはならない。

2.3 社会システムに要求される性能と信頼性

システムが扱う対象もネットワーク化に伴い、一企業の範囲を超えて複数の企業や公共機関を巻き込んだグローバルなものになる。このような社会システムにおいては、システム停止などの影響が大きくなるが、逆にシステムの守備範囲やその評価基準が見えにくくなるので、システム設計段階での妥当性や性能・信頼性の評価が難しくなる。

2.4 システム設計の従来取組みと課題

従来システム上流設計の支援としては、ISO 9000 に代表される汎(はん)用のシステム設計方法論がある。これらは、必要な作業手順と内容およびドキュメントを定義したガイドラインであり、設計の妥当性の評価や計算機による支援技術までは規定していない。一方、設計作業が進んで、必要な機能構造やデータ構造が抽出されれば機能やデータに関するモデルを利用した設計支援手法が適用できる^{(1),(2)}。

システムの上流設計に要求されるのは、機能やデータが抽出される前段階での、また、要求仕様に未決定部分が多く変更が頻繁に行われる状況下での、システムのモデル化

技術と設計支援機能である。

3 大規模システム設計技術の要件

以上の検討に基づき大規模システム設計支援技術に対する要求を、上流段階での考察漏れの防止、環境や技術の変化に対応できる設計技術、上流段階でのシステム品質の確保、の三つの観点から以下のような四つの支援項目として抽出した。

- (1) 上流段階での考察漏れの防止
 - (a) システムイメージの観点間での共有 設計者はさまざまな観点(機能、プロセス、状態など)からシステムを見て設計を行い、これらの複数の観点を柔軟に組み合わせて全体の仕様を作り込む。これら複数の観点からのシステムイメージを共有化するしくみが必要である。
 - (b) トップダウン設計とボトムアップ設計の連携
問題構造の複雑化に対応するために、大目的から中小目的へ、大機能から中小機能へと詳細化するトップダウン設計と、詳細化された機能を全体のシステムへと統合するボトムアップ設計の連携を密にするしくみが必要である。
- (2) 環境や技術の変化に対応できる設計技術
 - (a) システム設計の効率化 環境や技術が変化しても容易にシステムを再設計するために、個々の機能部品だけではなく、機能部品を組み合わせた“システム部品”を取り扱うしくみが必要である。
- (3) 上流段階でのシステム品質の確保
 - (a) 上流工程でシステム評価を行う(品質の可視化)
上流設計では、仕様に未決定部分が多く変更も多い。上流設計で品質を確保するためには、少ない情報で、かつ設計変更と一体となったシステム評価のしくみが必要である。

4 大規模システム設計フレームワーク

従来の支援機能の課題を克服すべく、上記の支援項目を備えた“大規模システム設計フレームワーク”を開発した(図1)。設計者の観点や設計段階ごとにさまざまなモデリング方法を許し、これらを連携させるしくみによるシステムイメージの共有、設計の妥当性の評価や部品化支援を特長としている。

設計フレームワークでは、ユーザーの基本要素から物理的な仕様が作成されるまでのさまざまな設計・評価過程を、それぞれの過程で用いられるモデル、ダイアグラム、フロー、属性情報などの統一データ表現である“統合記述モデル”を中心にしたピラミッドの広がりとして表現して

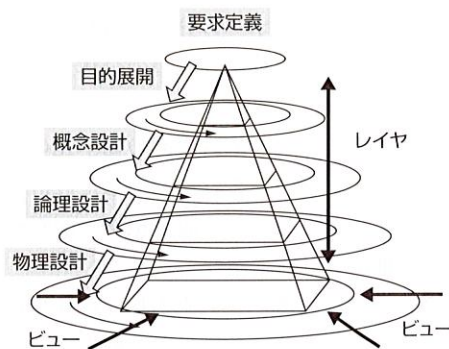


図1. システム設計フレームワーク レイヤはシステム設計の段階を、ビューは観点を表している。
System design framework

いる。ピラミッドの垂直方向は、システム設計・評価の段階を表しており、要求定義、概念設計、論理設計、物理設計の各段階に対応するレイヤがある。水平方向は設計者の観点を表しており、機能ビュー、プロセスビュー、リソースビュー、システム評価ビューなどから構成される。統合記述モデルは、これらの設計・評価の過程および観点でのシステム記述間の連携を記述する。

3章で挙げた支援項目に対して、設計フレームワークでは以下の5種類のシステム設計機能を用意する。

- (1) マルチプルビュー設計 設計者は設計の段階や目的に応じて適切なビューを選択し設計を行う。マルチプルビュー設計機能は、各ビューのモデルとそれらの間の整合性保持機能をもっており、ビュー間に成立する関係制約によって一つのビューからの設計結果を他のビューに反映する。統合記述モデルはこの整合性保持機能の構築を容易にする設計情報のデータ表現である。
- (2) 活動モデルによるシステム概念設計(トップダウン設計) 上流工程においては機能要素間の入出力、順序、階層関係が分化しておらず、機能間の関係ネットワークとしてシステムを記述する。この抽象度の高い機能要素を“活動モデル”と呼ぶ。トップダウン設計では、活動に関する設計データベースを利用して、要求仕様から、問題点の絞り込み、目的の設定、目的の分解、想定状況の設定、解決手段の探索と適用を繰り返しながら具体的なサブシステムに展開する。展開の履歴や展開時に考慮した想定状況、制約、機能選択の理由を“設計根拠”として記録できることを特長としている。得られたサブシステムは、ある特定の状況下のシステム挙動であり“シナリオ”と呼ぶ。
- (3) シナリオ統合(ボトムアップ設計) トップダウン設計の結果得られたシナリオの集合に対し、設計根拠の記録や個々の機能の入出力・リソースの関連付けを

参照してサブシナリオへの分割，組替え，グループ化を行なって，構造を抽出し一つの全体システムとして統合する。

- (4) 部品の活用 システム設計の効率化のために設計結果の部品化を行い，これを利用した設計を行う。システム部品の例としては，設計根拠の記録やシナリオ統合時に抽出される構造などがある。
- (5) 上流システム評価 上流工程では仕様未決定な部分が多いので，評価モデルと評価用データの整備が困難である。そこで，上流の設計情報からシステム評価モデルを自動生成するしくみと，システム全体に要求される性能・信頼性の目標を個々のサブシステムへ分配して評価用データを補完するしくみを用意する。

5 システム設計支援ツール SI-CAD

SI-CAD は設計フレームワークに準拠した設計支援ツールである。現在，フレームワークの機能のうちマルチプルビュー設計と上流システム評価を実装している。

5.1 マルチプルビュー設計

SI-CAD では機能ビュー(IDEF^(注1)0 で記述)，プロセスビュー(IDEF 3 で記述)，リソースビュー，性能評価ビュー，信頼性評価ビューの5種類の観点からの設計機能を実装している(図2)。

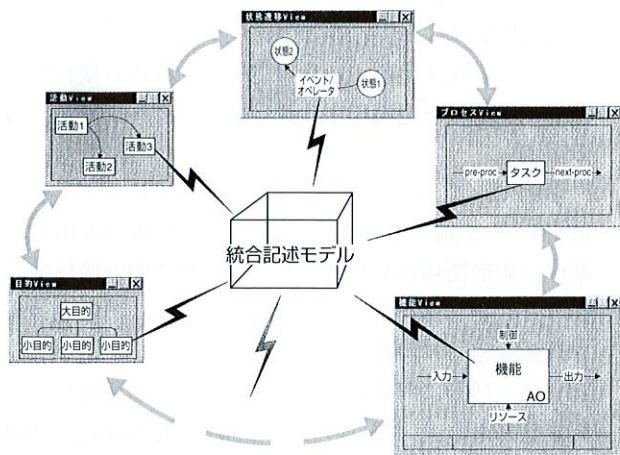


図2. マルチプルビュー設計 複数の観点(ビュー)から並行して設計できる。

Multiple-view design

統合記述モデルは，システム設計フレームワークが想定する個々のビューに対応する属性項目を合わせもつ統合データ表現で，オブジェクト指向に基づいている。統合記述

モデルに基づいて，異なるビュー間で整合性を保持する機能を実装した。具体的にはビュー間でのオブジェクトの生成や消去，オブジェクト間の制約(配置の制限など)を管理する。例えば，機能ビュー(入出力リソースの関係を記述)において，機能 A, B 間に入出力関係がある場合，プロセスビュー(順序を記述)においても，A, B 間に順序制約が設定される(B が動くのは A の後)。また，SI-CAD 以外のエンジニアリングツールのデータも，SI-CAD のビュー群へ変換を行うことにより利用できるようになっている。

5.2 システム評価

システム評価に関しては，性能評価・信頼性評価用のビューをマルチプルビュー機能上に実装している。これにより設計と並行して性能・信頼性評価を行うことができる。

5.2.1 システム性能評価 SI-CAD ではビューの一つとして“雲水”モデルと整合性のある性能評価ビューを実装した。“雲水”は，待ち行列網を利用したシミュレーション型性能評価ツールであり，性能評価用の部品を組み合わせる柔軟に性能評価モデルが作成できる機能をもつ。郵便振替システムや電力系統監視制御システムの性能評価に適用し，性能ボトルネックの発見を行なってきた³⁾。

5.2.2 システム信頼性評価 信頼性を評価する手法としてFTA(Fault Tree Analysis)，FMEA(Failure Modes Effects Analysis)を上流システム設計に適用した。設計情報を利用して信頼性評価モデルを自動生成する機能の実装，およびシステム全体の目標とする信頼度から個々の機能の信頼度を見積もる機能や，FT(Fault Tree)の最下事象のうち重要な最下事象を求めるための確率重要度計算機能をもつことを特長としている。

6 適用例

電子商取引における支払システム設計を例にして，SI-CAD を利用して設計と並行して性能評価を行う方法を述べる。設計者は機能設計(機能抽出と入力・出力・リソース間の関連付け)を機能ビュー(図3)で行い，プロセス設計(機能の実行順序と同期のタイミング設定)をプロセスビュー(図4)で行う。これら二つのビューは統合記述モデルを通じて連携しており，互いの変更が反映される。

このときの性能評価ビューを図5に示す。性能評価ビューは，統合記述モデルに基づき機能ビューとプロセスビューの設計成果から自動生成される。八角形は機能を，実線は入出力関係を，点線は実行順序を表しており，八角形のノードに性能評価用のシミュレーションモデル要素が対応している。

(注1) IDEF: ICAM DEFinition 米国空軍プロジェクト ICAM(Integrated Computer Aided Manufacturing)のモデル記述言語体系。

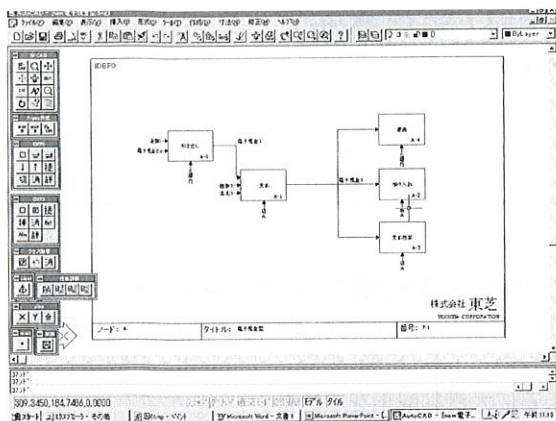


図3. 機能ビュー 機能(箱)が入力・出力・リソースで関連付けられる。

Design from function view

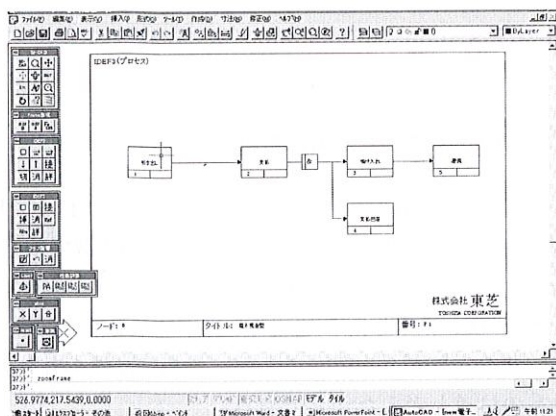


図4. プロセスビュー 機能の実行順序が記述される。

Design from process view

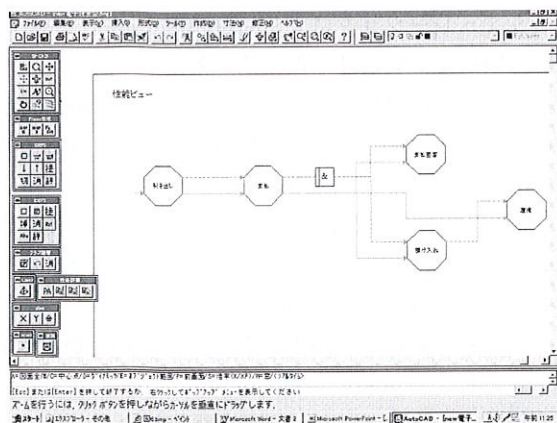


図5. 性能評価ビュー 機能・プロセスから生成された性能評価ビューを示す。

Performance view generated from function and process views

支払システムとして、クレジットカード型、プリペイドカード型、電子現金型の3種類を上流設計・評価する状況を考える。評価実施の例として、三つの支払方式における利用者の割合と頻度を設定してシミュレーションを行なった結果、比率が変わればそれぞれの計算機への負荷が変化することがわかり、ボトルネックを発見できた。また、別の実施例として、クレジットカード方式で参照と売上げを順番に行うシナリオと同時に行うシナリオを二種類用意してこれらを比較した結果、応答時間は後者のほうが短いことが確認できた。

7 あとがき

大規模システムの設計方法と設計支援ツール SI-CAD を開発した。上流工程でのシステム設計支援は、製品設計のリードタイム削減に貢献するとともに、構想段階での顧客との意思疎通の円滑化によって要求仕様の品質向上を可能にする。今後はシナリオ統合、活動モデルを利用した概念設計機能を順次実装して業務システムのリエンジニアリングや、高度道路交通システム、プラントにおける系統制御システムなどの大規模システム設計に展開していく。

文献

- (1) The Government Performance and Results Act of 1993 (GPRA). 米国政府文書.
- (2) D.Pascot, 他. C/S データベース設計入門. 東京, 日経 BP 社. 1996, 382 p.
- (3) 飯田晴彦, 他. 計算機システムの計画・設計のためのシミュレーション技術. 東芝レビュー. 50, 7, 1995, p.532-535.



岩政 幹人 IWAMASA Mikito

研究開発センター システム技術ラボラトリー研究主務。システム設計技術、知識処理技術の研究に従事。人工知能学会、IEEE 会員。
System Engineering Lab.



清島 義雄 KIYOSHIMA Yoshio

電力システム社 府中電力システム工場 電力計算機システム部主務。
電力用系統監視制御システムの開発・設計に従事。
Fuchu Operations-Power Systems



浪岡 保男 NAMIOKA Yasuo

研究開発センター システム技術ラボラトリー研究主務。システム設計技術、知識処理技術の研究に従事。情報処理学会、電気情報通信学会、人工知能学会、IEEE、AAAI 会員。
System Engineering Lab.