

ラピッド・プロトタイピングによる情報ネットの検討手法†

幡野 秀正^{††} 武田 元一^{††} 熊沢 春生^{††}
越田 一郎^{††} 伊吹 公夫^{††}

情報ネットワークシステムの実用性を検証するには、産業界での大規模な現場試験を待たねばならないが、参照モデルなどの基本構造を研究する段階では、パイロットシステムを用いた試行錯誤的検討が、学術研究機関でも広く行われることが望ましい。なぜなら、情報処理と通信とが融合したサービスでは、利用者ニーズが多様かつ複雑で、そのニーズの全体像は、広範囲の研究によってはじめて把握できるからである。このためには試行錯誤の容易に繰り返せる簡便な研究手段が望まれている。筆者らは、このような目的に適した汎用ラピッド・プロトタイピング・システムを考案し、ネットワークモデルやサービス形態の研究に利用した。そして、プロトタイピングで機能検討、シミュレーションで性能検討と分担し、効率よく研究できる手段が得られることを確認した。本論文では、このプロトタイピング・システム側の構成を紹介するとともに、実際にこれを使用したネットワークモデルの研究を例にとり、その活用手法と実験結果を報告している。

1. はじめに

プロトコルを規定する OSI 参照モデルに加え、最近の国際標準研究機関では、処理を含んだネットワークサービス形態を検討するための DOAM^{1),2)} などの検討を行っている。さらに、シーズから出発したネットワークモデルだけでなく、ニーズ把握が大切だと認識の基に、利用者要求を把握する作業グループを設立し、システムモデル TOSM の検討も開始している³⁾。

このような基礎段階のモデルを確立するには、小回りが利かない大規模システムの現場試験だけでなく、初期段階での幅広い研究も大切である。あらゆる産業で情報化が進行している現状を踏まえて、情報処理と通信に跨るシステムの適切な構築には、多様な角度からのニーズ把握が必要である。提供者側が提示したサービスの意見聴取だけでなく、利用者側に立つ多くの人々の着想が迅速に生かされることが望ましいからである。

ところで、ネットワークに分散したシステムの実用規模試験を、研究段階とするのは不経済で試行範囲が限定される。大学などの学術研究機関で利用できる汎用的で簡便な手段が欠けており、研究者間に興味を持たれながらも、実際の研究活動は低調であった。この事態を克服するには、大学などでも実行可能な汎用研究手段の確立が必要である。

そのためには、小規模なパイロットモデルでの効率の良い試行錯誤的検討手段が求められる。しかも、各クライアントやエンドユーザにサービス形態を理解してもらうには、使用状態でのネットワーク状況やサービス形態が視覚的に把握できるとともに、定量的なサービス状況やそれに対応した価格の目安が握ることが望ましい。

通信ネットワークの場合には、施設提供者の経済設計の性能把握にネットワークのシミュレータ⁴⁾ が広く使われている。しかし、上に述べた情報処理と通信とを融合したネットワークの検討では、性能よりも利用者要求機能の把握が大切であり、また、ソフト・ハード・ネットワークを総合した手法も必要で、コンピュータ・シミュレーションには限界がある。一方、ソフトウェア工学の分野では、利用者要求の機能把握にコンピュータ・プログラム上でのラピッド・プロトタイピング⁵⁾ が活用されている。これをネットワーク・システムにまで拡張することが、いま述べた問題を解決する道である。

そこで、定性的機能の把握に汎用ラピッド・プロトタイピング・システムを、定量的諸元の検討には汎用シミュレータを使い分け併用する研究手段を考案し、ネットワークの研究に適用した。本論文では、このうち、この目的で考案した汎用ラピッド・プロトタイピング・システムの構成を紹介するとともに、実際に使用したネットワークモデルを例にとり、その活用法や手法の確認結果を報告する。

2. ネットワーク・モデル

ネットワーク・モデル自身の議論は本論文の主題か

† A Network System Study Method Using Rapid-Prototyping by HIDEMASA HATANO, MOTOKAZU TAKEDA, HARUO KUMAZAWA, ICHIRO KOSHIDA and KIMIO IBUKI (Tokyo Engineering University).

†† 東京工科大学

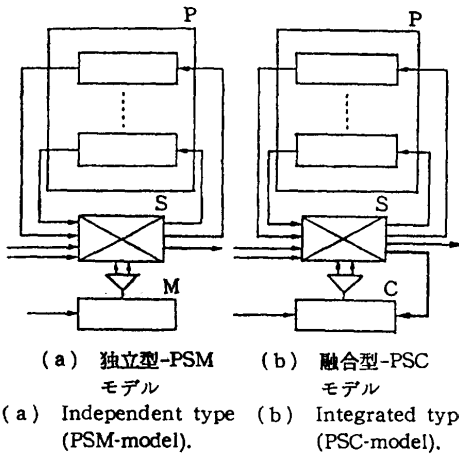


図1 ネットワークレベルの構造モデル
Fig. 1 Structured model for network hierarchical level.

ら離れるので、詳細は文献に譲るが⁶⁾、例にとるモデルのことに簡単に触れておく。サービスに依存しない抽象化のできるモデルは、通信と処理との融合の仕方を簡潔な構造で、インタフェースを規定できることが望ましい。これは参照モデルとして重要な要件でもある。このような見地から、

- (a) 通信と情報処理が独立なモデル
- (b) 両者が融合するモデル

との二つに大別すると、図1の2形式に集約できる。ネットワーク研究のプロトタイピング手法の説明には、このモデルの確認研究過程を例にとる。

3. 情報ネットワークの研究手法

さて、情報システムアーキテクチャの確立には一般に図2に示すようなメジャ・ライフサイクルが必要である⁷⁾。機能実現や構造抽出など、情報システムの初期研究段階で、多種のシステムを比較しながら試作検討する際に、個々に完全なシステムを構築すると、非常に多くの試作工数が必要で実現不可能になる。そこで、一つのシステムをいくつかの評価項目に分け、項目ごとに限定省略した手法を行い、複数の異なったアプローチをとることにより、全体として効率的な検討をする。

次に説明するように、プロトタイピングとシミュレーションを併用し、それぞれの特徴を生かして使い分けるのである。システム構成上の検討は全面的にシミュレーションで分担し、プロトタイピングは実際の構成とは独立に、サー

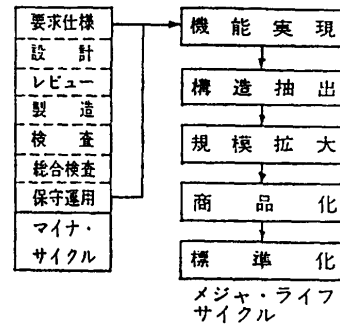


図2 アーキテクチャ確立のライフサイクル
Fig. 2 Lifecycle for architecture standardization.

ビスイメージの把握だけに焦点を絞り、大胆な省略や修飾をすることで、数多くの例を取り扱う試作効率、つまり、ラビッド性を満足することができる。

情報システムサービスを検討するには、人間関係の面から捉える立場と、ハード・ソフトなどのシステム要素をどうネットワーク上に構成するかという立場との二つがある。これらを図3のような流れで、定性的な機能の満足度と定量的な性能の満足度や経済的評価の両面から検討するのである。

図3の左側は機能中心であり、右側は性能中心である。全体の概要や図の右側に当たるシミュレーション結果については文献4)で報告した。本稿では、図の左側に当たるプロトタイピングの試行結果を中心に報告する。

4. 汎用プロトタイピング・システム

4.1 システム構成

ここで報告する汎用プロトタイピング・システムは図4のように、ネットワークのスイッチとネットワーク機能を表示するランプや図盤を装備した汎用プロ

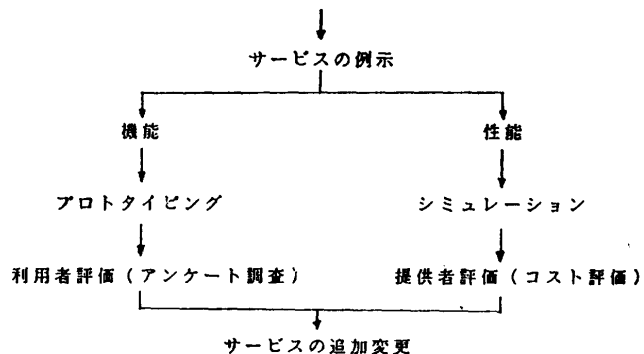


図3 ネットワークサービスの検討フロー
Fig. 3 Investigation flow for network system.

タイピング・ボードとこれを制御するパーソナルコンピュータから構成されている。

利用者がシステム機能を定性的に把握するには、正

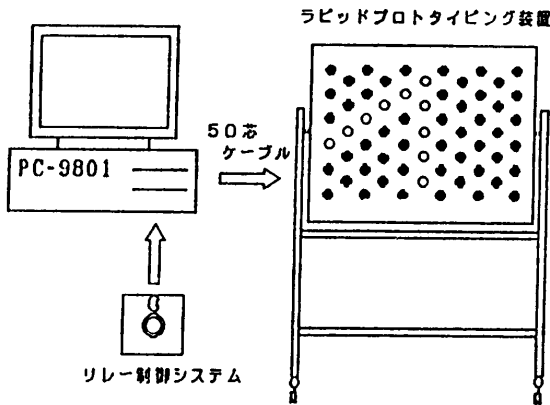


図4 プロトタイピング・システム
Fig. 4 Prototyping system.

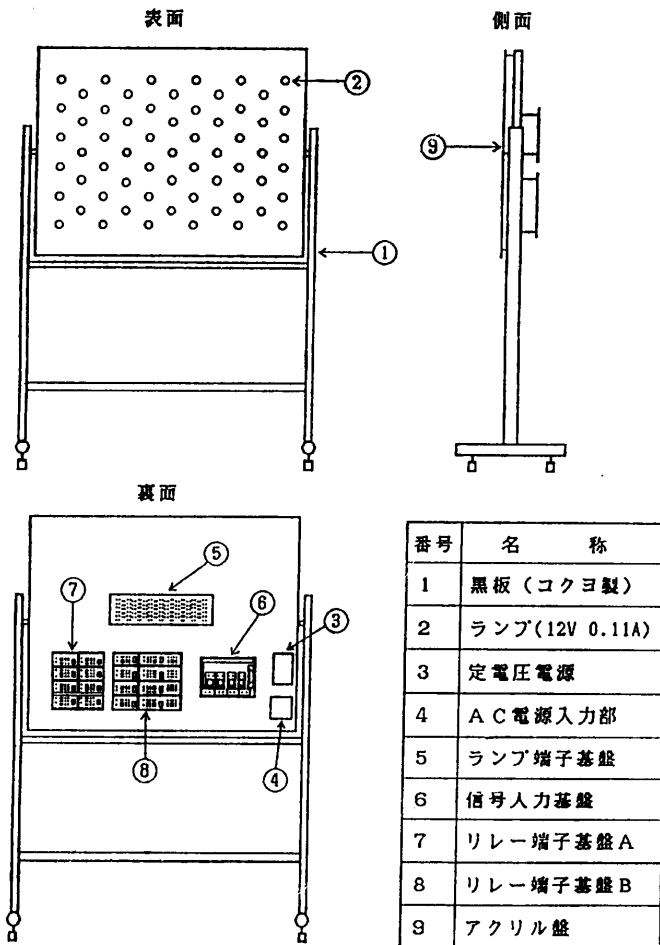


図5 汎用プロトタイピング・ボード
Fig. 5 General purpose prototyping board.

確な動作でなくても、簡便な試作で概略のイメージを掴める手段のあることが望ましい。このようなものがラピッド・プロトタイピングである。これは次のような条件を満足する必要がある。

汎用性：汎用的である。

ラピッド性：ハード・ソフトが早く試作できる。

動作表現力：動作イメージが掴める。

これらの条件を満足する具体的手段を以下の項目に分けて述べる。

4.2 ハードの汎用とラピッド実現手段(汎用プロトタイピング・ボード)

まず、図4のシステムの中で、汎用プロトタイピング・ボードの部分を図5に取り出して説明する。ネットワーク構成の汎用性を持たせるため、汎用プロトタイピング・ボードでは端子基盤間をチップ付き布線自由にネットワークを構成するリレーが結合できるようにしている。

このことはハード試作のラピッド性も満たしているが、さらに、AVなどマルチメディアサービスも扱えるように、リレーが端子盤を介して、AVなど関連機器とも容易に接続し制御操作ができる。

4.3 ソフトの汎用とラピッドの実現手段(使用言語とライブラリ)

次に、制御用ソフトウェアのラピッド作成対策を述べる。利用者が手軽にネットワーク制御のソフトウェアが作成できるようにするには、作成言語の充実が必要である。本システムの試作を繰り返す過程で過去の蓄積を活用して効率を上げるには、過去の試作資産をライブラリとして保存し、後の試作に活用することが大切である。このためライブラリ拡充が容易なC言語を採用し、必要なファンクションのライブラリを用意した。つまり、使用実績を積むほど使いやすくなるようにC言語のファンクション登録機能を活用する。また、即習しやすい利用者マニュアルを用意し、試作期間の短縮を図った。最初にシステムとして用意した基本的なファンクション例を図6に挙げる。

4.4 動作表現の実現手段(ネットワーク変化の表現)

動作イメージの表現性を高めるには、ネットワークの動作や状態が視覚的に把握できる

関数名	ry_get(r)
機能	指定されたリレーの動作状態を取得する
引数	int r...リレー番号
戻り値	int...0: オフ 1: オン -1: リレー番号が無効
関数名	ry_on(r)
機能	指定されたリレーをオンにする
引数	int r...リレー番号
戻り値	int...0: 正常終了 -1: リレー番号が無効
関数名	ry_off(r)
機能	指定されたリレーをオフにする
引数	int r...リレー番号
戻り値	int...0: 正常終了 -1: リレー番号が無効
関数名	ry_onal()
機能	すべてのリレーをオンにする
引数	なし
戻り値	なし
関数名	ry_offal()
機能	すべてのリレーをオフにする
引数	なし
戻り値	なし

図 6 プロトタイピング用基本ファンクション
Fig. 6 Basic function set for prototyping board operation.

ようにランプを使用し、ネットワークと連動させたり、独立に点滅できるように、リレーを介してパーソナルコンピュータで制御する。そして、動作イメージが揺れるように、ランプ表示とボード上の絵でネットワークの動きが表示できるようにしている。

通話路を構成する多端子リレー接点とランプとは独立に実装しており、リレー接点は通話路構成とランプ操作との両方に使える。しかも、それぞれの布線はチップ付き布線で独立に論理回路が組めるようにしてあるので、ネットワークとランプ表示との関係は自由な配合ができる。

4.2 節で述べたように、通話路構成とランプ表示との関係は自由に配合できるので、交換接続の動作と状態とを別々に表示できる。接続の表示は接続時の動的な表現と接続状態の静的な表現とがあり、それぞれ次のように表現することによりネットワークの動作イメージを利用者が把

握することを容易にしている。

接続動作：一定期間リレーでランプを点滅し、リレーの動作音とランプの点滅光と言う聴覚・視覚両面から接続動作を表現した。

接続状態：ボード上の紙に端末の絵を描き、その間をランプの点灯列で結んだ。

(ランプは紙を通して十分明るいものを用いている。) 図 7 にその一例を示す。

4.5 サービス機能の表現

サービスの表現は絵に画けるように、アクリル盤のボードを用いた。これとランプを併用しシステムの動作も表現できる。また、リレーで制御できる機器を接続して固有のサービス機能も表現することもできる。紙を通して点滅が判る通常のランプを用いている。図 8 にサービス機能表示の一例を示す。

4.6 シミュレーションとの併用

プロトタイピング装置は利用者の機能イメージ把握とそれに対する意見聴取を主眼にしてパイロット試作の効率を重視するので、実システムの動作や構成に必ずしも忠実でない。その結果、パイロットに基づいた定量的な価格評価には適しない。そこで、シミュレータと併用して、プロトタイピング装置の定量的性能把握の不足を補う。両者によって、サービス機能と価格

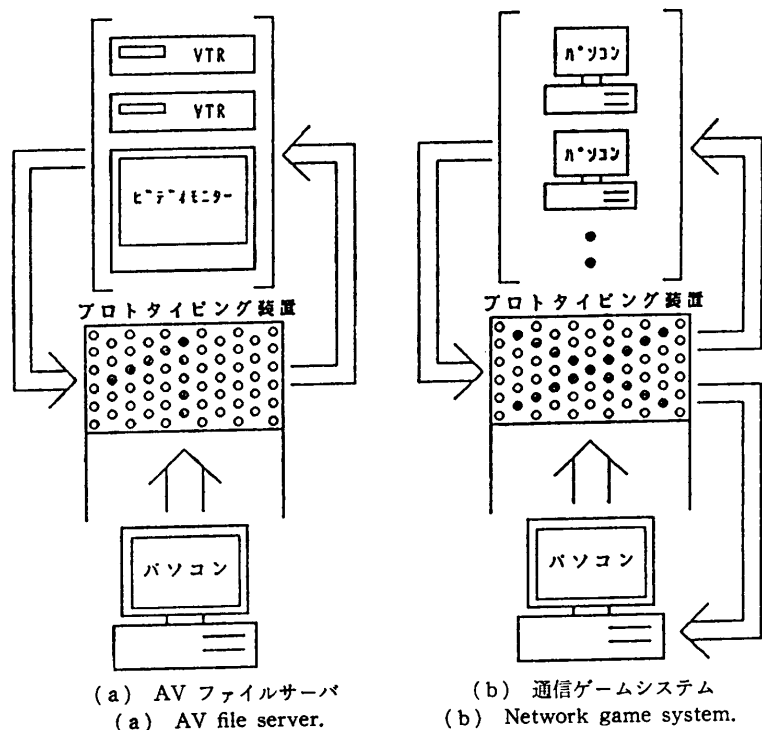


図 7 通話路と接続状況の表示
Fig. 7 Representation of network connection.

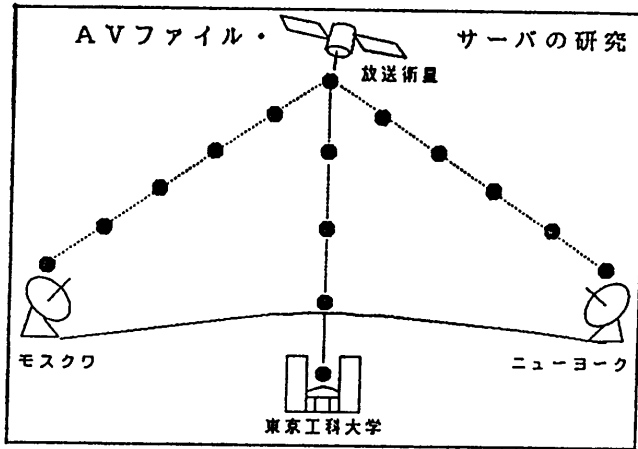


図 8 サービス機能の表示
Fig. 8 Representation of service.

との関係がどのように変化するかを総合的な評価が行える。

5. プロトタイピングの実際

2章で述べた二つのモデルに分け、代表例を試作し、利用者の意見聴取に便利な学園祭を活用して、利用者調査を行った。使用法の実際をこの具体例で説明する。

5.1 PSM モデルの例

AV ファイル・サーバを取る。

(1) サービス形態とシステム構成

例にとった AV ファイル・サーバとは、設備費や運用費のかかるファイルをネットワーク上のユーティリティとして共用し、各クライアントに通信設備を介してサービスを提供するシステムである。海外旅行先

のホテルで時差を克服して母国のテレビニュースが到着時にみられる AV ファイル・サーバのサービスイメージや設備との関係など、ユーザにとって、ネットワークの具体的な使用イメージや、共通設備の込み方と価格の関係などの判断資料があると都合がよい。

図 9 にシステム構成を示す。

(2) サービスのプロトタイピング表現

4.4 節で述べたネットワークの接続動作と接続状態の表現法をこの例で具体的に説明しよう。

(a) 接続動作の表現：ランプの点滅とリレーの接続音

接続時のリレー音だけでは短いので、ランプの点滅をリレーで操作し、約 10 秒間この操作を続けることによって聴覚的にも接続動作を表現するとともに、放送局より端末方向へ情報が伝送されることを視覚的に把握できるように、3相に分けてランプの点滅操作を行うことにより、点灯ランプの動きで情報の動きを表現した。

(b) 接続状態の表現：ランプ点灯列で表現
この表示に

(a) サーバ-ユーザ (クライアント向き表現)

(b) 放送局-ユーザ (エンド・ユーザ向き表現)

の二つの表示法が考えられる。クライアントは運用上やコスト上の構成メカニズムに関心を持つが、エンド・ユーザは時差を超越して放送を見るという機能に興味の中心があり、その構成メカニズムには関心が薄い。意見聴取の対象がクライアントか、エンド・ユー

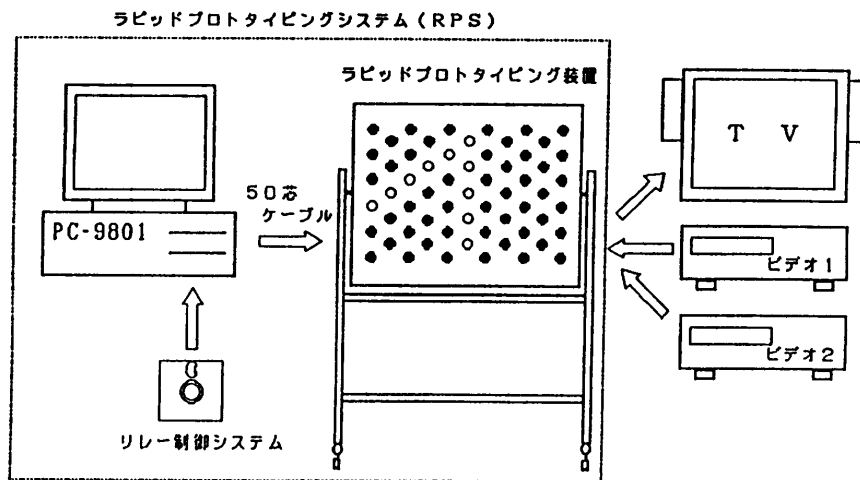


図 9 PSM モデルの例
Fig. 9 An example of PSM-model.

ザかにより、関心の対象が異なる。このシステムではボード上に貼る絵を目的に応じて変えるだけで、どちらの表示もできる。

今回の学園祭を利用した調査はエンドユーザを対象にしたので、クライアントが関心を持つ価格評価にはシミュレーションを利用し、プロトタイピング例は図8のようなエンドユーザ向き表現を用いた。

(3) 試作手段

このような機能を実現するため、ランプやリレー、TV 接続替は 4.2 節で述べた布線ボードを用い、また、リレー操作については 4.3 節で述べたC言語のライブラリを使用した。

(4) シミュレーションとの併用

クライアントに対しては価格見通しが必要であり、これを求めるにはサービスの視聴覚的表示は要らないのでシミュレーションにより行う。その結果、図10のようなサービス尺度（呼損率）とサーバ数との関係を求め表示した。

5.2 PSC モデルの例

ネットワーク型通信ゲームを例にとる。

(1) サービス形態とシステム構成
通常の通信ゲームでは勝敗によって通信相手の変更はない。したがって通信路の設定が終わり、処理中にネットワーク構成の変更はなく、PSM モデルでも十分である。しかし、トーナメント戦やスイス戦などでは、固定ネットワークという制限条件を取り払う必要があり、PSC モデルを用いる。

図11に示す4台のゲーム用コンピュータと2台の電子交換機（プロトタイピング・ボードによるパソコン制御の交換機と既設構内交換機）とを複合連動させるシステムで、端末のコンピュータ処理の結果によって、電子交換機が起動されることになる。対戦結果を電子交換機が判断し、勝者同士、敗者同士が自動的に接続され対戦できる。

(2) サービスのプロトタイピング表現

図11中央の交換機に示すように、ゲームの進行によって変わっていく

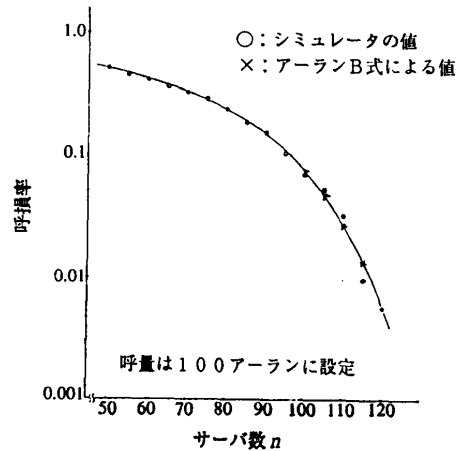


図10 サービス尺度とサーバ数との関係
Fig. 10 Relation between service grade and number of servers.

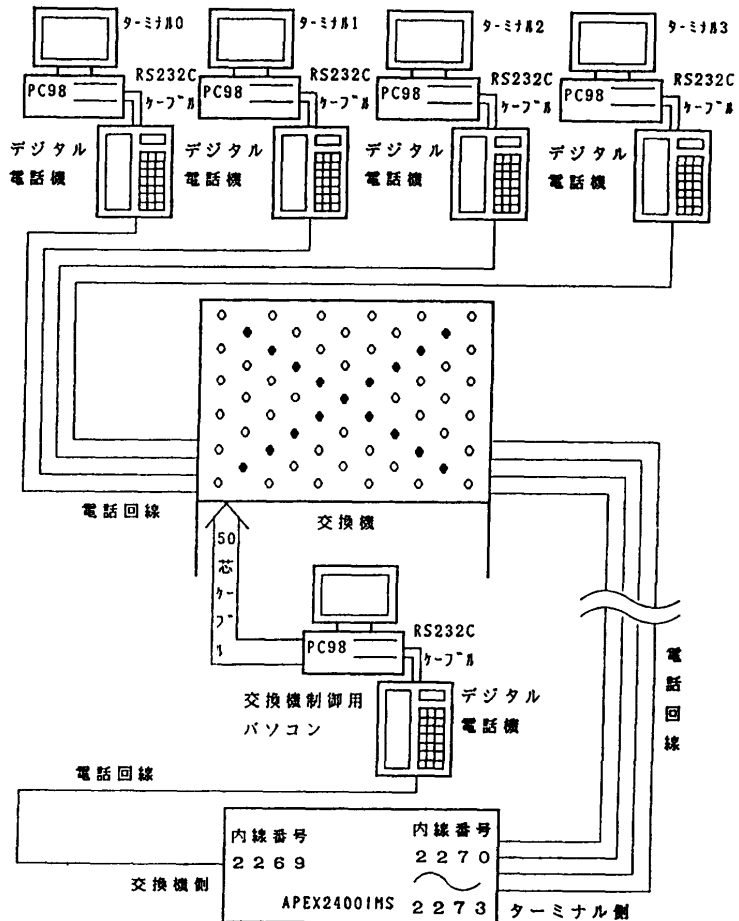


図11 PSCモデルの例
Fig. 11 An example of PSC-model.

ネットワークの状態をランプ表示で表現している。

(a) 接続動作の表現

聴覚的表現には電話のベル呼び出し音を用いた。これはプロトタイピング・ボードを図 11 のように構内電子交換機に接続して、この機能を利用した。(ただし、この実験に際して既設の構内交換機機能の変更はしていない。)

(b) 接続状態の表現

利用者がディスプレイのところに座るので、ネットワークの状態が変化する接続時には端末のディスプレイ上に表現した。対戦中はプロトタイピング・ボードを利用者の位置から見えるところに置き、ネットワークの接続状態イメージをランプ列と絵で表現した。

(3) 試作手段

布線ボードの使用やプログラム・ライブラリの活用については PSM モデルの場合と同様である。

6. 利用者評価

(1) 調査方法

利用者の反応を知るユーザの意見聴取には、上に説明したパイロットモデルの実演を体験してもらい、このシステムの上でサービスイメージを展示、アンケート調査を行った。

(2) 結果

利用者から寄せられたアンケートでは、「段級位や競技時刻を登録した競技者を広域から捜して見合ったものを接続する電子基会所にも PSC タイプは活用できないか」等のコメントがあり、PSM タイプだけでは十分でなく、PSC タイプを必要とするユーザ需要の高いサービスがあるなどが確認された。

7. 適用条件の評価

情報ネットの検討には、2章で述べたように、現場試験だけでなく、プロトタイピング、シミュレーション、机上の理論検討などの手法がある。それぞれの特徴を生かし総合的に満足できる結果を得るには、これらの適用指針となる条件が明らかになっていることが望ましい。そこで、今回の試用経験を基に、4.1 節で挙げた 3 条件を中心に相互評価を行う。

7.1 ラビッド性の評価

PSC モデルは 4 台のコンピュータと 2 台の電子交換機 (1 台は既存構内交換機をそのまま利用) とを複合連動させる高度な機能を持ったシステムであるが、プロトタイピング・システムの設計者自身が使用した

ので、2 人約 50 日間で完成した。PSM モデルは AV を含むマルチメディア・サービスであったが、プロトタイピング・システム設計者以外の学生が使用し、設計者によるシステムの講習期間も含め約 20 日間で完成した。両者からプロトタイピングのラビッド性は満足されたものと考えられる。

後者の場合は前者の場合に作成した C 言語のファンクションを活用している。ファンクション登録機能をライブラリとして活用し、利用するたびに試作のラビッド性が高まっていく改良も確認できた。

PSM モデルの定量的なトラヒック特性については、シミュレーションと理論計算 (コンピュータ利用) の両面から行った。両者併せて準備期間も含め約 20 日間で完成しており、定量的問題の解決には、こちらが適していることが確認できた。なお、シミュレータで機能面での同等な効果を挙げることも試みたが、1 年かかっても完成には至らなかった。

また、現場試験には通常 100 人年以上の工数が必要であり、約 1,000 分の 1 である。

7.2 汎用性の評価

上に説明したように、全く異なる二つのサービスが共通のシステムで実現できた。これは、処理と通信制御に汎用コンピュータを用い、その処理制御の汎用性を活用したこと、自由に布線できる汎用リレーボードを通信路に採用し、通信路形成の汎用性を得たこととの結果である。

なお、複数ボードを用いて、ある程度まで端末数の拡大はできるが、量的な問題を本格的に扱うにはリレーボードは不向きであり、これにはシミュレーションや理論検討を併用するのが適している。また、本格的な調査には現場試験が必要である。

汎用リレーボードはリレー数 (試作品は 1 ボード当たり 16 個) から量的制約があり、1 ボードの場合 4 回線、2 ボードの場合 5 回線で、大きなネットワークの実験はできないが、5 回線までの処理サービスと関連した機能の利用者意見調査には十分である。機能確認の最低回線数を利用者サービス形態ごとにみると、

特定二者間通信	処理 2 = 2
不特定二者間通信	処理 2 + 通信制御 1 = 3
特定グループ間通信	処理 3 + 通信制御 1 = 4
通信グループ間のダイナミックな編成	
	処理 2 を 2 組 + 通信制御 1 = 5

であり、一つの加入者交換機に収容する定性的機能評価対象として最低限の回線数を具備していることにな

る。

今回の実験では、一つの交換機に収容した場合を取り扱ったのでシミュレーションと理論検討の双方が利用でき、図 10 のように比較できたが、複数交換機の場合は理論的取り扱いの限界を越える場合もあり、シミュレーションが有効である。

7.3 利用者の機能把握度の評価

分担して広く調査するには、作成者が常駐せずに意見聴取できることが必要である。これには、説明がなくてもサービス・イメージが的確に把握できる手段が大切である。今回の実施結果で説明した二つのモデルのどちらの場合も、6章で述べたように、このシステムの展示だけで概ね理解された。このことから機能把握性が確認できた。また、7.2 節で挙げた4種のサービスに必要な標準インタフェースを検討するための構造モデルの確認にも利用している⁹⁾。

7.4 検討手法の使い分け

「プロトタイピング」と「シミュレーション」との使い分けについては、以上の実験結果と検討から、図 3 の検討フローが妥当であることを確認した。

「机上検討」では利用者の意識調査はできないので、設計者の考えを越えることができない。「プロトタイピング+シミュレーション」や「現場試験」はこのために必要であるが、効率の良い検討には両者の使い分けが大切である。

網構成やサービスの大綱は、効率の良い「プロトタイピング+シミュレーション」を用いた数多くの試行錯誤を通じ改善し、細部のヒューマン・インタフェースの調査改善は、この大綱を受けて構成したシステムの「現場試験」で実施するという役割分担が適切である。

8. おわりに

ネットワーク・モデルや各種インタフェースの検討など、学術機関でも試作研究できる簡便で汎用的な手段が提供できた。サービスに関する具体的なアンケート結果が多いことから、参照モデルだけでなく、個別の調査にも利用できることが判明した。また、今後このシステムを使い込み、ファンクションライブラリを拡充することによって、ラビッド性が増し、ネットワーク研究がさらに容易になっていくことも期待できる。他方、7章で述べた適用条件は、現状技術での比較であり、技術進歩により変動する。シミュレーションの機能高度化やトラヒック理論の進展も今後の課題

であり、各手法の進歩でネットワーク研究がさらに容易になることが望まれる。

大組織でなく大学の研究室単位でも、手軽に使えるネットワークサービスの調査研究手法を報告したが、本報告が、この種の研究を試みられる方々の、いささかでも参考になれば幸甚である。

謝辞 汎用ラビッド・プロトタイピング・ボードの検討に製造上から有益な討議をいただいた日本教育システム田中氏、AV ファイル・サーバとして利用いただいた東京工科大学渡部優教授をはじめ、佐野真郷、高田尚、酒井浩介、戸野塚博宣氏、シミュレータを提供していただいた森川拓次、新井正樹氏、アンケート調査をしていただいた杉山栄一氏、および、今回調査でアンケートに回答いただいた多数の方々に感謝する。

参 考 文 献

- 1) ISO: Information Technology-Text Communication-Distributed Office Applications Model Part 1: General Model, ISO/IEC DIS 10031-1 (1989).
- 2) ISO: Information Technology-Text Communication-Distributed Office Applications Model Part 2: Referenced Data Transfer, ISO/IEC DIS 10031-2 (1989).
- 3) ISO: Text and Office System Model (1990).
- 4) 越田一郎, 武田元一, 森川拓次, 幡野秀正, 新井正樹, 伊吹公夫: DOAM ファイルサーバのシミュレーションとシステム評価, 利用者指向の情報システムシンポジウム, pp. 119-126 (1989).
- 5) 有沢 誠: ソフトウェアプロトタイピング, 近代科学社 (1986).
- 6) 伊吹公夫: 情報処理理論, 森北出版 (1990).
- 7) 伊吹公夫: 情報システム・インタフェース開発のライフサイクル, 利用者指向の情報システムシンポジウム, pp. 201-210 (1989).
- 8) 山口泰史, 池本修司, 近藤哲史, 大貫 誠, 梅村正幸, 伊吹公夫: システムモデルの利用者要求からみた検討, 第 42 回情報処理学会全国大会論文集, pp. 1-137-138 (1991).

(平成 2 年 12 月 13 日受付)

(平成 3 年 4 月 9 日採録)

**榎野 秀正**

1967年生。1990年東京工科大学情報工学科卒業。同年富士通(株)に入社。現在、同社ソフトウェア事業部第2開発部第4開発課に勤務。

**武田 元一**

1966年生。1990年東京工科大学情報工学科卒業。同年(株)日立製作所に入社。現在、同社神奈川工場開発第1部第5グループに勤務。

**熊沢 春生**

1966年生。1990年東京工科大学情報工学科卒業。同年日本通信建設(コムシス)(株)に入社。現在、同社第1交換システム部に勤務。

**越田 一郎 (正会員)**

1957年生。1985年東京大学大学院博士課程修了。工学博士。1986年東京工科大学講師。1990年同助教授。シミュレーション、オブジェクト指向言語、OS インタフェース等の研究に従事。電子情報通信学会、人工知能学会各会員。

**伊吹 公夫 (正会員)**

1932年生。1955年京都大学工学部電気工学科卒業。1957年同大学院修士課程修了。NTT を経て、1986年東京工科大学工学部情報工学科教授。現在に至る。工学博士。情報システムなどの研究に従事。著書「情報処理理論」「ソフトウェア学通論」など。電子情報通信学会、ソフトウェア科学会各会員。