



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	パーソナルコンピューティング時代におけるAPLを用いた連続系シミュレーションパッケージの基本設計概念とアルゴリズム
Author(s)	松浦, 茂
Citation	北海道大学工学部研究報告, 113, 45-56
Issue Date	1983-02-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41787
Type	departmental bulletin paper
File Information	113_45-56.pdf



パーソナルコンピューティング時代における APL を用いた連続系 シミュレーションパッケージの基本設計概念とアルゴリズム

松浦 茂

(昭和 57 年 9 月 30 日受理)

Architecture and Algorithm of APL Based Package Program for Continuous System Simulation in Personal Computing Age

Shigeru MATSUURA

(Received September 30, 1982)

Abstract

In this paper, a self-contained package software for computer simulation of varied types of continuous system is proposed.

First, a historical survey is made as to the transition of simulation concepts and its practical applications. As a result, it seems that the most important point for a simulation model is to have a one-to-one correspondence between the elements, or submodels, of the model and those of the real physical system.

To attain this point in practical simulation technique, the author proposes to start with a circuit representation of a physical system. Then a signal flow graph is conveniently employed in completing an algorithm which enables us to automatically form a purely digital simulation model for the original physical system, even if it contains elements with a widely separated time constant.

Since APL language is used in the final self-contained package software, and since it consists of a set of module programs, it can be adapted to any type of conventional computers, to say nothing of personal computers, in interpretive uses.

In this sense, this package, reported here in detail, can be said to be a novel type of software suitable to the forthcoming personal computing age.

1. ま え が き

近年におけるマイクロプロセッサを始めメモリや周辺機器の発展により、大型機でのクローズドショップ的な技術計算のあり方から各ユーザが独占使用形態のパーソナルコンピューティング時代に入ってきた。アナログコンピュータの時代に始まったシミュレーションの概念もコンピュータの発展に伴い変貌をとげ、シミュレーションという言葉の使い方も単に結果的対応が得られればシミュレーションであると表現されるようになってきている。また、特定問題における定形入力と結果表示のみのブラックボックス化したシミュレーションパッケージなど、初

期のシミュレーション概念の確立時に第一義的に想定され、現在でも重要な意義をもつモデルでの一対一の対応概念の必要性などは、姿を消したかに見える。

そこで、大型機の使用可能者のみならずシミュレーションを実務の上で利用するパーソナルコンピュータ使用者にとっても、メモリ容量的な点を除いては差別なくどちらでも使用可能なパーソナル時代でのシミュレーションパッケージを開発するにあたって、一度シミュレーションの原点に立ち帰って考え今後のあり方も含めて検討を試みてみたので、試作パッケージの人間・建物・設備系の適用例を含め報告するものである。

2. シミュレーション概念の変遷とパーソナルコンピューティング時代でのそのあり方

連続系にとってのシミュレーションの概念は、方程式の形が等しいからとするアナロジーによる電気回路網などを用いた他分野の物理現象の直接相似実験で巧まずして得られた一対一の対応性を通じてのシステムの位相幾何学的構造表示の有効性の認識から芽生え、次のアナログコンピュータの利用にあたって単に微分方程式解析機としての $\frac{d^n f(x)}{dt^n} = a_0 \frac{d^{n-1} f(x)}{dt^{n-1}} + \dots$ の形の演算器接続をするのではなく、一対一の対応性あるモデル構成とその演算器接続をもってシミュレーションが達成されるとして、概念の確立がはかられた時期があった。

しかし、シミュレーションは、アナログコンピュータにおけるプログラムの保存や再現性、演算精度、大規模システムの対応性などの点から漸次デジタルコンピュータの発展に伴い移行し、アナログコンピュータの演算器を模擬する形のブロックダイアグラム指向のシミュレーション言語が作られ、後にはデジタルコンピュータ利用者の好みに合った数式指向のシミュレーション言語へと変貌してきた。そこでは、アナログ時代におけるパッチ盤やポテンショメータによる即時的な会話的使用からの要請であったモデルの対応性への重要視は、バッチ処理の中で薄れ去ってしまった。

このような状況は、シミュレーションが研究者個人の道具として用いられる段階ではそれ程大きな問題点ではないが、コンピュータの普及により、今までの静特性に基づく設計から動特性による検討を可能とし、かつ要請される時代になってきた現状では、次のような問題点がある。

設計は必要特性に合致したシステムを求めるというシンセシスであり、与えられたシステムの動的特性を得るというアナリシスでは、如何にその結果が理解されやすいグラフ化表示などがなされたとしても、現在のコンピュータが解析の方向にしか演算できない以上、シンセシスは人がその結果をモデルに反映させ、その必要とする性能が求められるまで収束させるという疑似的シンセシスを取らざるを得ない。このフィールドバックループの中で問題となるのは、モデルへの返還路の認識とその作業性の容易さであろう。この仕事は熟達した専門家にとってはそれほど問題とされないかもしれないが、一般の実務者にとってはその難易度は設計の成否に関わる重要なことである。また、設計での大事な一面である検討過程を含めた全体像の第三者への伝達ということを考えるなら、専門家の頭脳でモデル認識された過程などを第三者に伝えたり実務者自身がそのような過程を経る能力を養うことを数式モデルのみで行なわんとするのは、設計図の伴わない架空の実体を設計仕様書のみによって行なわんとすると同様であり、その非能率的であることは明らかである。

これらのことから考えると、アナログ時代の原点に再び立ち帰って、一対一の対応モデルの作成を意識するのみならず、拘束的に誘導されるアルゴリズムと構造情報の表示が要請されるであろう。また、この歴史的過程の必然性についてもっと突っ込んだ検討考察を加える必要があろう。

それは、その根底に右脳的と左脳的な思考法の違いが大きく影響していると考えられる。すな

わち、右脳が得意とする形の認識、立体感覚、直感的・総合的な考え方、想像的・創造的な考え、音楽や芸術、情熱的な感情に対し、左脳での話すこと、言葉の理解、論理や数学的な考え方、順序立ててものを考える、分析的な考え方、読む、書く、計算するなどの思考分担を考えるなら、アナログとデジタル両コンピュータの性格に起因するその取扱性とその使用者の適合性によるものであることがわかる。その意味においては、デジタルコンピュータ時代におけるシミュレーションでは、右脳の思考を如何にして確保するかという観点から検討すべきであると考ええる。また、この観点を新たにコンピュータ言語分類のカテゴリーに加えるなら、右脳の思考処理形態を得意とするものに APL 言語があり、他は左脳的思考処理言語であると思われる。このことと我国における現在の左脳優先偏向の教育のあり方と合せ考えるなら、日本での APL 言語の好みにおける極端性や普及の遅さもうなずけるところである。

シミュレーションの実務での利用に伴い、その要請は二極化されてきたといえる。一つは、大規模システムへの適用や詳細性能解析への要求へとより高速・大メモリ演算での大型機指向で、一つはエンドユーザにおける現場でのパーソナル使用の方向である。しかし、この両極化への対応は別個のものではなく、むしろ解決策的には同一指向のものである。なぜならば、先に述べた如く、シミュレーションの本質の一つは広い意味でのマンマシンのインタフェースの取り方にあるといえる。そのためには、大型機指向であれ、従来のバッチ処理型から数値計算を大型機で演算こそすれ、その入出力データ処理はインテリジェンスを有するターミナルによる分散処理での会話が望ましく、また、このインテリジェントターミナルをスタンドアロンでも使用可能なパーソナルコンピュータで行なうなら、両者の対応策としては軌を一にするものである。

そして、ここでの使用言語としては、機種に依存しない汎用高級言語であること、また会話型言語であると同時に他の言語ともリンク可能であること、さらにシステム記述言語的にパッケージ利用時に必ずしもその言語を知らなくてもよいことが望まれるが、APL 言語はそのデータの処理性の良さや右脳の性格を含め非常に目的に合致するものと考えられる。

ハード的には、高解像度のグラフィック能力を有する大画面を有し、その画面上ではマルチタスクの各プロセッサに対応する仮想ディスプレイ画面の多重表示が可能であり、各仮想画面の重ね表示の順序の変更や、スクロール、拡大・縮小などの個別独立操作のみならず、画面上の合成やコピーを通じて直接プロセッサ間のデータ移動が可能であるなどの機能が望まれる。また、これらの作業の一連のものをマクロ化して定義使用可能なファンクションキーを含めた多くの直接的な機能キーを備えていることである。

以上の機能を通じて、大量データの表示や加工処理のみならず、過去のデータとの比較やシステムの構造的グラフィック表示などを含め、同一画面上での多重表示と多重処理、さらに数値データと画像データの同時処理変換など、あたかも人の左右脳が脳梁を通じて協調することによって効果を発揮する如き同一効果を得ることが可能である。コンピュータ援用ということは頭脳の外延としてのコンピュータ利用であることも考え得るから、このようなターミナルは、シミュレーションにおけるマンマシンインタフェースのみならず、CAD・CAE・CAI などのターミナルとしても共通のものとして利用可能な訳である。

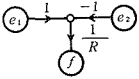
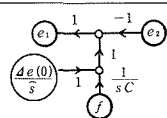
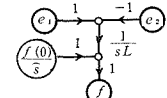
3. 思考・演算アルゴリズム

シミュレーションパッケージで中核となるべきものは、モデルでの一対一の対応認識を通じて、結果をモデルにフィードバック可能にする過程を、確実に使用者の要求レベルに応じて誘導確保できるアルゴリズムであると考ええる。そのためのアルゴリズムとして、物理回路モデル表現から

構造対応をもつ拡張シグナルフローグラフ表示へ、またその上での APL 言語の行列演算の能率を考慮したデジタル演算アルゴリズムの表示とその等価行列演算表示という過程を考え、各レベルでの処理・表現内容の違いこそあれ一貫して位相構造的対応を存続させることによって、上記で意図した明示的かつ拘束性をもつものが実現し得たと思う。その思考・演算アルゴリズムを、簡単なタンク・パイプモデルに例をとって具体的に示す。

3.1 回路表示の基本 回路表示にあたって、古くは数式記述形が同一形をとるということに着目したアナロジー表現が存在するが、ここでは単なる類似形という立場ではなく、一般物理変数は位差量と流通量という2種類に分類でき、また対象の特性の最小構成素子として理想化素子で近似とする一般物理回路表現法にもとづくものとする。その表示の概略を表1に示す。ここで、 $1/s$ はミクシンスキーの演算子の立場で記述しているので、演算子としての数の一部としてであり、今までの数表現に含ませて表示してある。また、 $1/s$ は演算子ではなく、 $\delta(t)$ に $1/s$ が作用してできた $u(t)$ 、すなわち信号そのものであるので、 $1/s$ と区別するための筆者の表現法である。

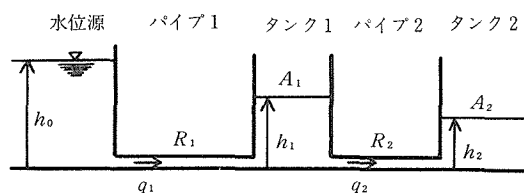
表1 基本回路表示とそのシグナルフローグラフ表示

種 類	表 示
変 数	位 差 量 e 電圧、速度、圧力、温度、濃度など。 閉回路を一巡して、 $\sum \Delta e = 0$ が成立つ。
	流 通 量 f 電流、力、流量、熱流、拡散流束など。 節点について $\sum f = 0$ が成立つ。
源	位 差 量 源 (記号表示)  $\frac{e_0}{s}$ (シグナルフローグラフ表示) 
	流 通 量 源 (記号表示)  $\frac{f_0}{s}$ (シグナルフローグラフ表示) 
素 子	抵 抗 素 子 (記号表示)  (シグナルフローグラフ表示) 
	容 量 素 子 (記号表示)  (シグナルフローグラフ表示) 
	インダクタンス素子 (記号表示)  (シグナルフローグラフ表示) 

3.2 アルゴリズム

(1) 対象システム

パイプ内での流速が遅く層流であり、線形性が成立し、かつ流れの質量の有する慣性を無視できる場合を考える。



h_0, h_1, h_2 : 水位
 q_1, q_2 : 流量
 A_1, A_2 : タンク断面積
 $R_1 (=1/G_1), R_2 (=1/G_2)$: パイプ抵抗
 水位源 (h_0) は一定
 $t=0$ で $h_1(0), h_2(0)$

図1 対象システム

(2) モデル表示

位差量や流通量の法則から、水位が位差量となり、流量が流通量となる。また、タンクが容量素子、パイプが低抗素子となる。これらの表示を図 2 に示す。

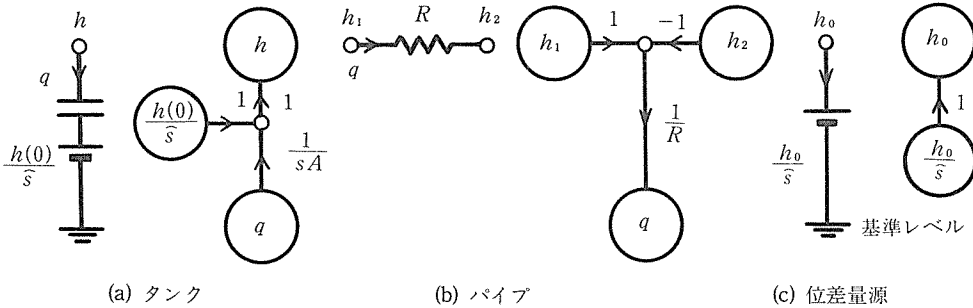


図 2 素子表示

システムの各素子に対応する回路素子の接合点で、位差量・流通量を等しくなるように素子を結合連結させることで全体回路とシグナルフローグラフがつけられる。これを図 3 に示す。

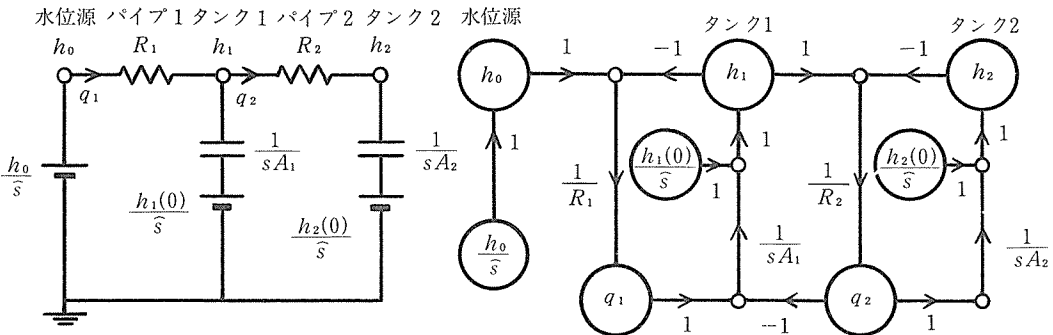


図 3 回路表示モデルとそのシグナルフローグラフ表示

図 3 のグラフにスケール変換をほどこせば、アナログコンピュータの演算器接続図そのものであるからアナコンでシミュレーションも簡単である。

(3) シグナルフローグラフのデジタル演算化

シグナルフローグラフ上でのデジタル演算のアルゴリズムは、 $1/s$ の演算子をどう取扱うかということである。

1 番簡単なアルゴリズムは、 Δt 時間流通量を一定とする矩形積分法で $1/s$ を考え、 $z^{-1} = \exp(-s\Delta t)$ の z 形式表現を取入れるなら、図 4 となる。この積分関係を図示すれば図 5 (a) であり、これは数値演算法的には現時点での接線で補外する前進オイラー法に相当する。前進オイラー法では時間きざみ幅 Δt は局部時定数との兼ねいで幅を大きくすることにより、精度が落ちたり発散計算になってしまう。

図 4 で流通量にかかわる z^{-1} を 1 に変えた場

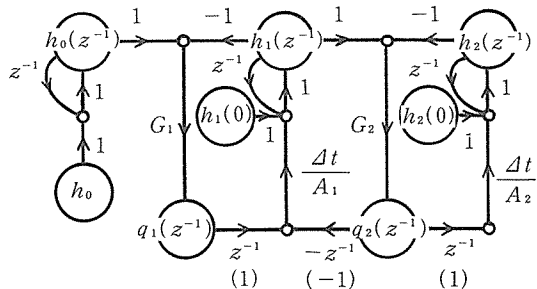


図 4 矩形積分法の演算化グラフ

合は後退オイラー法で図 5 (b)に相当し、計算精度を別にすれば Δt を自由に大きくとれるが、その演算はエクスプリシットからインプリシットに変わり、グラフ上では z^{-1} によって消えたループが生ずることになり、連立方程式上ではそれを解くが必要になる。

(4) 収束過程のシグナルフローグラフ上での表現

定常状態を求めるにあたって、収束演算で求める一方法として、過度現象の終りが定常値であるから矩形積分法でできるだけ早く定常値に到達させるため、グラフのループでの循環量を消滅させること、すなわち個々の容量と Δt を適当に組合せ選ぶことで可能である。そして、そのときの容量を仮想演算容量と呼ぶことにする。この演算は、関数分枝の逆転での困難さをそのまま等価的演算に置き換えたり、内部のブラックボックス的グラフの他グラフとの接続で起き得る突き合わせの接続不能の解消を収束的に行なわせることへの拡張利用ができる。これをタンク・パイプモデルに適用してみると、

$$h_1 z^{-1} - \frac{\Delta t}{A_1} (G_1 + G_2) h_1 z^{-1} = 0$$

$$h_2 z^{-1} - \frac{\Delta t}{A_2} G_2 h_2 z^{-1} = 0$$

より

$$\frac{\Delta t}{A_1} = \frac{1}{G_1 + G_2}, \quad \frac{\Delta t}{A_2} = \frac{1}{G_2}$$

を得る。この値は少々違っていても、多少収束演算回数が増えるだけである。この収束過程

を z^{-1} を y^{-1} に変えることで表わすことにすると図 6 になる。

非線形の場合でもこの方法は使用でき、たとえばパイプの抵抗が乱流で流量の関数であるときは、 G_1 、 G_2 が収束計算途中で変化するのでそれに合わせてその都度置き換えてやればよい。

(5) 高精度演算アルゴリズム

矩形積分法では演算精度が悪いので、もっと精度のよい演算アルゴリズムを用いるにあたって、シグナルフローグラフ上での延長表現が可能であるものを考えるなら、行列演算的にも思考的にも非常に取扱い易くなる。ここではシグナルフローグラフでのループの解釈として、状態変数(積分演算子)の初期値や源からのステップ信号がグラフ分枝の矢印に沿ってグラフ上を拡がっていく場合、演算子 $1/s$ を通過する度に積分され、 $t^n/n!$ というように信号形が 0 時近くでは変形縮小させられていき、循環消滅する取扱とする。そして、各々の信号値はその点での消滅までの通過信号値の重ね合せ値であるから、そのときの適当なきざみ幅 Δt での値は $\Delta t^n/n!$ に経路伝達率が乗ぜられた級数和の形で求まる。その収束演算をグラフ上で示せば図 7 の如くなる。

また、この演算過程を行列で表現するなら(ただし、APL 演算上ではもっと能率よく演算可能である)

$$\begin{bmatrix} h_1(\Delta t) \\ h_2(\Delta t) \end{bmatrix} = \left(\underline{E} + \frac{\Delta t}{1!} \underline{M} + \frac{\Delta t^2}{2!} \underline{M}^2 + \dots + \frac{\Delta t^n}{n!} \underline{M}^n \right) \begin{bmatrix} h_1(0) \\ h_2(0) \end{bmatrix}$$

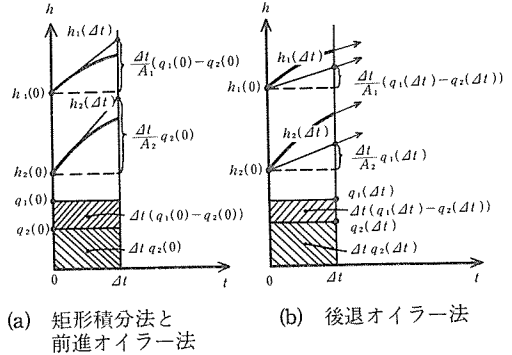


図 5 演算概念図

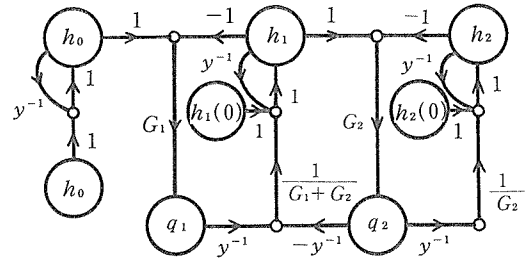


図 6 収束演算アルゴリズムのシグナルフローグラフ表示

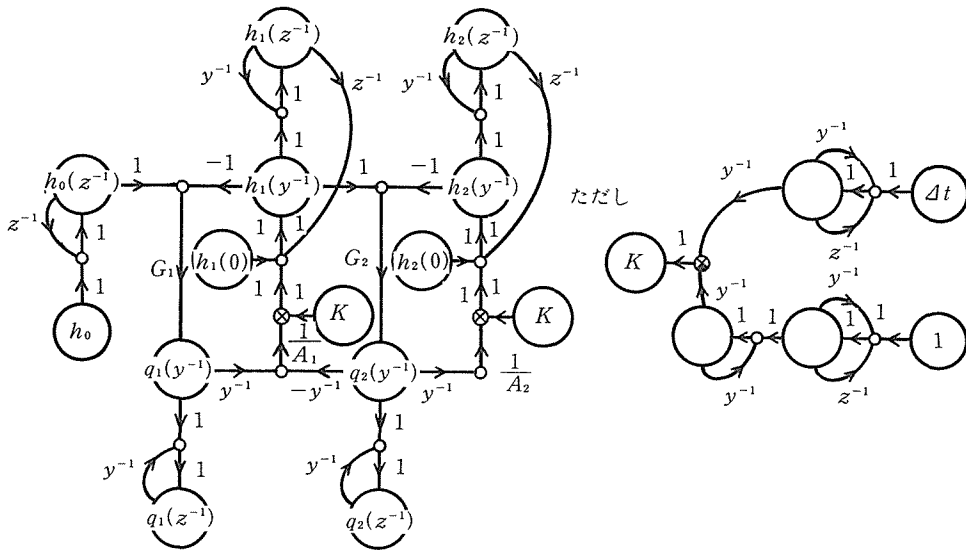


図7 高精度演算アルゴリズムのシグナルフローグラフ表示

$$\begin{aligned}
 & + \left(\frac{\Delta t}{1!} \underline{E} + \frac{\Delta t^2}{2!} \underline{M} + \dots + \frac{\Delta t^n}{n!} \underline{M}^{n-1} \right) \begin{bmatrix} G_1/A_1 \\ 0 \end{bmatrix} h_0 \\
 & = \underline{M}_t \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1(0) \\ h_2(0) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

ただし

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} -(G_1 + G_2)/A_1 & G_2/A_1 \\ G_2/A_2 & -G_2/A_2 \end{bmatrix}, \quad \underline{E} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

となる。

もしシステムが線形であるなら、この求められた推移行列ともいえる $\underline{M}_t$ を掛けることで Δt 時間後の変数の推移値が順次求まる。

(6) 部分時系列化法

システムダイナミックスの演算にあたって、精度向上と演算時間の節約の一方向として、モデル化上でシステムの局部的時定数なるべくばらつきのないように小さな時定数の部分は省略するのが普通であったが、近年に至り、解析性能範囲の拡大や適用問題によってはその時定数分布にばらつきのあるものの演算が要求されることが多くなった。

そのときのきざみ幅 Δt は最小時定数をもつ部分によって決定されるので、システムが線形であるならその演算精度を確保しながら、かつ必要であるなら入力変数を含めた任意の変数の情報を時系列の形で残しながら、 $\underline{M}_t$ を m 回掛け合わせて時間きざみ幅を $\Delta T = m\Delta t$ としその新たな推移行列 $\underline{M}_T$ に拡張することによって、全体の時定数に合致したきざみ幅で演算が可能となり、その演算時間も大幅に節約可能となる。

その例を $m=3$ の場合で示せば、図8の如くなる。

また、行列で表現すれば次式のようになる。

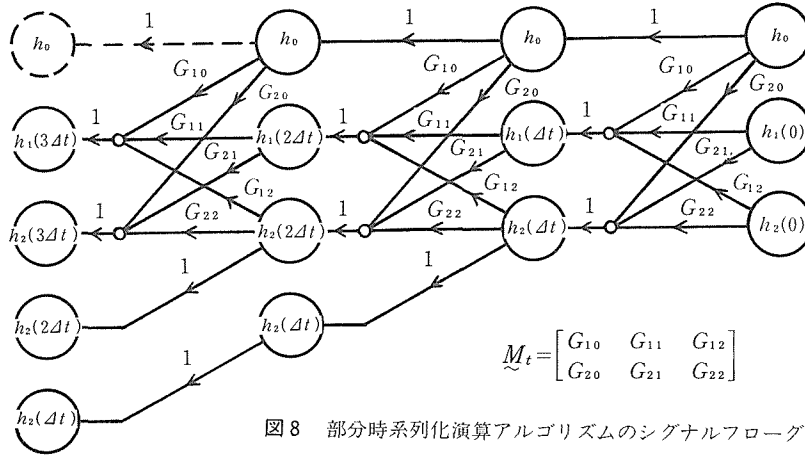


図8 部分時系列化演算アルゴリズムのシグナルフローグラフ表示

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1(3\Delta t) \\ h_2(3\Delta t) \\ h_2(2\Delta t) \\ h_2(\Delta t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ G_{10} & G_{11} & G_{12} & 0 \\ G_{20} & G_{21} & G_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ G_{10} & G_{11} & G_{12} \\ G_{20} & G_{21} & G_{22} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ G_{10} & G_{11} & G_{12} \\ G_{20} & G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1(0) \\ h_2(0) \end{bmatrix} \\
 &= \tilde{M}_T \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1(0) \\ h_2(0) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

もしシステムが非線形部分を含む場合は、線形部分と非線形部分を分離し、線形部分では上記の演算を適用し、非線形部分の演算値との接合にあたってはエクスプリシット演算、すなわち相互に演算干渉を生ぜしめないステップ信号の前進形入力として取扱うものとすれば、その演算精度をなるべく確保するためにその部分に関しては必要に応じて小さなきざみ幅の時系列部による接続演算にすることも可能である。

4. パッケージの開発での留意点

上記の検討を踏まえて、APL を記述言語として用いたパッケージの試作を行なってみた。開発を始めた昭和 52 年初期では国産大型機では APL 言語は使用できず、また実務一般の立場での使用では経済的見地も必要とされるので、8 ビットマイクロプロセッサ使用の APL のサブセットを ROM にもつ 48 KBRAM 実装の APL マシンともいえるべきポータブル型パーソナルコンピュータで行なった。この開発にあたって特に留意された点について簡単に述べてみる。

4.1 汎用モジュール化 APL 言語ではユーザの作るプログラムは定義関数と呼ばれ、その取扱いは組込関数と何等差別されず、その関数名と必要引数さえキーインすれば即座に単独でも実行されるし、また他の関数中で使用されてもよいし、単に次の関数の引数を演算するという形で連結使用されてもよい。このことはモジュール構造を意図しないでも関数そのものがモジュールであり、それは随時単独でも組合せでも会話的にその処理機能を必要とされる引数さえ与えてやれば必要とする結果が得られるので、エンドユーザは APL 言語や演算数学的な知識がなくても

マクロな機能をもつコマンド言語やジェネレータの感覚で使用可能である。そこで、モジュールの製作にあたって、できる限りこのパッケージ用のみならず他のパッケージ用のためや単独でのデータ処理に使用できるよう汎用性をもたせることにした。

4.2 モデル構成の自由性 モデル構成の自由性を最大限に残して数値演算の自動化をということになると、現在の数式指向のシミュレーション言語の形となる。この場合、使用者は対象に対する数式化能力や結果に対する洞察能力など高度の専門的知識と能力が要求されることになり、また大型機でなければ使用できず、一般ユーザ向けとは言い難い。一方、それを避けるため、特定問題における定形入出力の形である定まったパターンで問題を解くことを可能にしたものが問題別のパッケージである。ここでは初歩者であっても比較的簡単に動的解が得られるので、特定問題に関与する実務者にとって望ましいものと考えられがちである。しかし、ここで注意しなければならないのは、その結果は解析であって、設計などシンセシスを考える者には有効な道具とはなり得ないことである。

また、回路記述方式もその意味においては、マクロな物理現象は位差量・流通量とシステムの基本性質を表わす素子でもって物理回路の形に記述することは可能であるが、電気回路網分野以外では微分方程式記述能力と同様に回路記述能力を必要とする。一方、一般分野では、エンドユーザにマクロ機能要素として認識されるものはいくつかの回路素子で構成される要素（コンポーネント）であり、必ずしも素子（エレメント）レベルではない。そこで、この要素レベルで既に用意されているなら、その要素を実物対応の形で組合せ構成すればよいから比較的容易な手続となり、またそこでの要素パラメータの関係がシグナルフローグラフ構造としてすぐ示されることになれば、結果を対象へとフィールドバックして洞察することは実務者にとってもそう難しいものではなくなる。また、この方式でのモデル構成法は、あたかも住宅を建てるとき、コンクリートや木材などの素材から出発する構法、壁パネルが既に工場生産されて現場でそれを接着して建物を建てるパネル工法によるプレハブ構法、あるいは種々の室ユニットを組合せて構築するユニット住宅構法などがあり、その間取りや形の自由性は後者ほど少なくなるが後者ほど簡単に専門的能力を有しないでそれなりの建物を建てることができるのと同様である。もし、回路表現法を用いたパッケージにおいて、これらの全過程を有し次節で述べられる入力での多レベル性が与えられるなら、上記の研究者や実務者での両者に亘って必要に応じた使い勝手が可能となる。

4.3 マンマシンインタフェース シミュレーション思考が右脳の外延であるという立場にたつなら、相互に理解し合える会話のやりとりの場での試行錯誤の容易性の中で初めてそのもてる能力を発揮できる訳であるから、その入出力関係での係わり方、すなわちマンマシンインタフェースのあり方は非常に重大である。そして、その能力はコンピュータ側の OS やハードに負う所が大であり、APL 言語が OS 的取扱い含みのマシンインディペンダントな言語であるとはいえ、この点に関してはハードの影響がないとはいえない。APL のもとでの汎用性を考え機種能力の最大公約数的な立場をとるなら不満足なものとなり、またハードの発展に追従するのみであるなら汎用性を失うことになってしまう。

ここでは、その解決法として入出力のあり方に階層性をもたせることとした。それはあたかもコンピュータ言語におけるアセンブラから高級言語に至るように、ハードの能力に合わせた多レベルでの入出力が可能であり、かつ相互間にトランスレート可能な形を考えるなら、個々の使用者の状況に合わせて適合可能である。試作では、まず回路記述を数値表現とし、そして先に述べた認識や使用レベルでの自由性と簡便性を確保するため、コンピュータによる登録番号の自動発生という形で使用者の意図的努力がなくても自動管理による操作の簡便性と誘導性を可能とし

た。その概略を、次章の適用例における入力過程の一部である表2で示す。当然のことながら、この入力表や要素表・素子表は常に会話的に取扱われ、一度作成されてからも別個に修正や削除が可能であり、そのときは各表の関連部は自動的に修正・削除が連動されるようになっている。

5. 人間・建物・設備系への適用例

試作されたパッケージの適用として、筆者の関連分野である省エネルギー問題としての人間・建物・設備系への応用例を挙げてみる。

5.1 実用的精度の検証 自然環境の中での現場施工物を対象とする場合、絶対精度の問題点よりシステムの動的性格理解や相対的比較などで一層有効な手段となるものであるが、実務設計の

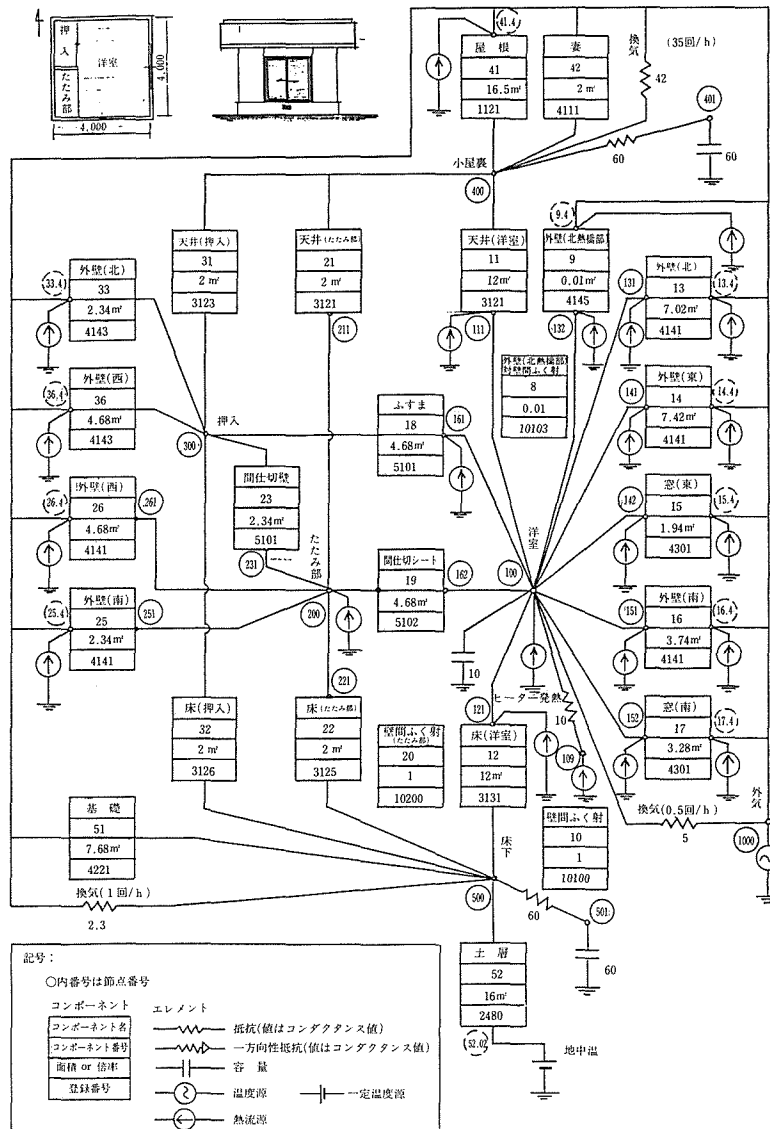


図9 実験住宅1の建物概要と回路モデル

立場から今までの定常計算設計で目的に行なわれていた設計からリミットデザインへとつながる意味において検討を要することであろう。実物との対応でのシミュレーションの比較精度は、単に演算精度のみならず、モデル化での仮定や近似的粗さ、システムパラメータの施工精度を含めた把握、自然条件の把握とその代表性、測定精度などが総合され反映されて、個々の原因別に分けるのは困難である。

ここでは実用的立場からの比較検証がなされた。したがって、結果論的な両者の合致のためのパラメータ値の変更調整は行なわず、シミュレーションで行なわれた設計物がどの程度実物で実

表 2 入力関係表の相互関連

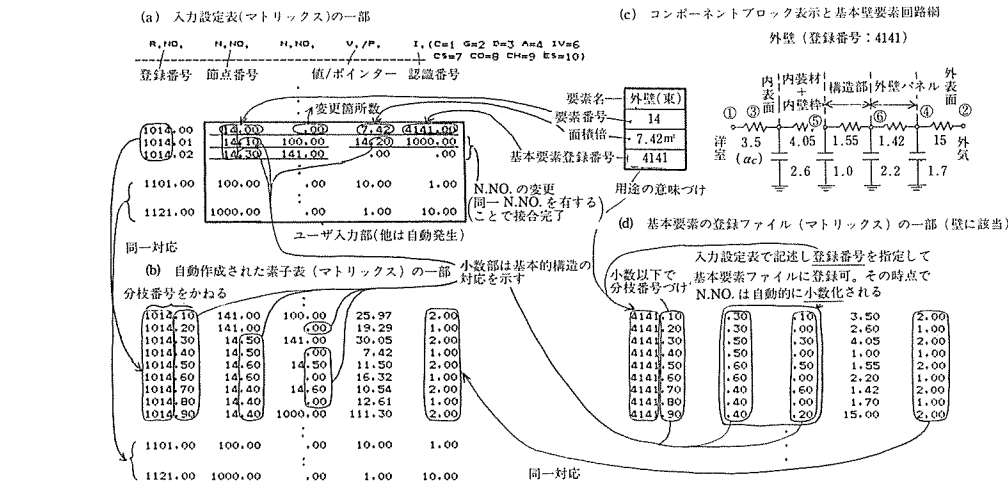


表 3 実験住宅 1 の自然放置時における実測値とシミュレーション値との比較(6月7日)

時 期	外 気 温	水 平 面 全 天 日 射 量	水 平 面 直 接 日 射 量	水 平 面 間 接 日 射 量	水 平 面 天 空 散 乱 日 射 量	洋 室 温	洋 室 外 壁 内 表 面 温	洋 室 東 窓 内 表 面 温	小 屋 裏 温	床 下 温	地 温 (30cm 深 度)
	(測定値)	(測定値)	(測定値)	(測定値)	(測定値)	(測定値)	(測定値)	(測定値)	(測定値)	(測定値)	(測定値)
7月10日	16.5	0	0	0	0	21.3	22.8	21.6	23.2	19.4	20.7
7月11日	16.2	0	0	0	0	20.5	21.7	20.8	22.0	18.9	19.9
7月21日	16.1	0	0	0	0	19.9	21.3	20.4	21.5	18.4	19.5
7月23日	15.9	0	0	0	0	19.7	20.8	20.0	21.1	18.2	19.2
7月31日	15.6	0	0	0	0	19.3	20.4	19.7	20.6	17.9	18.8
7月31日	15.3	0	0	0	0	19.1	20.0	19.3	20.2	17.6	18.0
7月41日	15.0	0	0	0	0	18.7	19.6	19.0	19.9	17.3	18.1
7月43日	14.6	0	0	0	0	18.5	19.3	18.7	19.5	16.9	17.7
7月51日	14.8	4	0	4	18.1	19.0	18.5	19.2	16.9	17.6	18.0
7月53日	14.9	32	2	30	18.7	18.9	18.4	19.0	17.2	17.7	18.4
7月61日	15.7	74	13	61	19.7	19.0	18.6	19.1	18.9	18.4	19.7
7月63日	16.9	133	35	98	20.8	19.5	19.1	19.5	21.0	19.5	16.4
7月71日	17.3	176	50	126	20.6	20.1	19.8	20.0	22.0	20.1	17.6
7月73日	18.7	267	95	172	22.1	21.0	21.1	20.9	23.9	21.7	19.0
7月81日	19.8	340	132	208	23.7	22.1	22.6	22.0	26.7	23.0	21.0
7月83日	21.4	441	197	244	25.3	23.4	24.4	23.4	28.9	24.8	23.7
7月91日	22.7	515	243	272	27.1	24.8	26.0	24.8	30.6	26.3	26.1
7月93日	23.1	577	281	296	28.2	26.1	27.4	26.2	31.4	27.2	28.4
7月101日	23.8	637	323	314	28.6	27.3	28.3	27.5	31.8	28.2	30.3
7月103日	24.6	684	356	328	29.0	28.5	28.7	28.7	32.5	29.1	32.5
7月111日	26.2	712	373	339	29.5	29.7	29.2	29.9	32.9	30.2	34.2
7月113日	26.5	668	315	353	30.1	30.6	29.5	30.9	30.3	30.6	36.2
7月121日	26.8	489	167	322	30.3	31.2	29.9	31.5	30.2	30.8	36.7
7月123日	27.8	636	285	351	31.1	32.1	30.5	32.3	30.8	31.9	37.3
7月131日	28.7	700	363	337	31.9	33.0	30.9	33.1	31.4	32.7	38.7
7月133日	28.4	523	205	318	32.3	33.4	31.4	33.7	31.4	32.8	38.6
7月141日	28.9	632	326	306	32.8	34.0	31.9	34.2	32.2	33.3	39.0
7月143日	29.5	583	299	284	33.3	34.4	32.3	34.6	32.4	33.7	39.4
7月151日	28.4	487	224	263	33.6	34.5	32.6	34.9	32.5	33.3	39.4
7月153日	27.9	433	199	234	33.6	34.5	32.8	34.9	31.9	33.0	37.4
7月161日	27.9	394	198	196	33.4	34.4	32.7	34.8	31.8	32.8	36.6
7月163日	27.7	274	107	167	33.0	34.1	32.6	34.5	31.3	32.4	35.4
7月171日	27.1	231	87	134	32.7	33.7	32.3	34.1	31.0	31.8	34.6
7月173日	26.9	171	70	101	32.2	33.2	32.0	33.6	30.5	31.3	34.1
7月181日	26.1	99	24	75	31.5	32.6	31.6	33.0	29.8	30.9	33.4
7月183日	25.0	48	2	46	30.7	31.8	31.0	32.3	28.9	29.5	32.1
7月191日	24.2	16	0	16	29.9	30.3	30.5	31.5	27.9	28.6	29.8
7月193日	23.3	0	0	0	29.1	30.0	29.4	30.6	27.7	28.4	29.1
7月201日	22.6	0	0	0	28.4	29.2	28.7	29.7	26.3	26.9	28.0
7月203日	21.8	0	0	0	27.7	28.4	28.1	28.9	25.6	26.1	26.7
7月211日	21.3	0	0	0	27.0	27.6	27.4	28.1	25.0	25.4	25.7
7月213日	20.4	0	0	0	26.5	26.8	26.8	27.1	24.3	24.6	25.1
7月221日	19.9	0	0	0	25.6	26.1	26.1	26.5	23.5	24.0	23.8
7月223日	19.3	0	0	0	25.0	25.4	25.5	25.8	23.0	23.3	23.2
7月231日	18.5	0	0	0	24.4	24.7	24.8	25.1	22.3	22.6	22.4
7月233日	18.4	0	0	0	23.9	24.3	24.3	24.6	21.9	22.2	21.7
8月01日	17.8	0	0	0	23.4	23.5	23.7	23.9	21.4	21.6	20.9
7月10日	21.7	5488	2490	2998	26.3	26.7	26.1	27.0	25.6	25.6	26.5
7月11日	21.4	5488	2490	2998	26.3	26.7	26.1	27.0	25.6	25.6	26.5

現性をもっているかという立場がとられている。比較された建物の概要とその回路モデルを図9、入力過程の一部を表2、比較検証の一部（全体の比較点約50点）を表3に示す。

5.2 実験住宅のシミュレーションによる検討 壁内通気構造をもつ省エネルギー住宅の建設にあたって、その効果の評価のため人間・建物・設備のトータルシステムとしてのパーソナルコンピュータによるシミュレーション¹⁾を行なった。この住宅は総2階で延床面積約145㎡の5室の建物（状態変数約40個のモデル）で、居間・寝室・非暖房室の異なる暖房運転パターンのもとで居間における暖房方式の比較評価でのファンコイルユニット方式の場合の室温・熱流などの時間経過やナイトセットバック制御での1時間予熱時の必要最大機器容量、日使用エネルギー量などのシミュレーションの一部を表4に示す。また、人体相当形状モデルにおけるふく射効果を考慮した乾性熱収支のバランスを着衣量のclo値表示（冬期の合服で1clo）される温感モデルによる温感分布図を図10に示す。

表4 実験住宅2の居間におけるファンコイルユニット方式の場合のシミュレーション

時 刻 TIME D: H: M	外気温 T _e (°C)	居 間			外壁面 窓 面		
		ファンコイルエ ニットの熱量	温感指標	室 温	温 度	温 度	温 度
		TC (°C)	HKC/HJ	C[CLO]	TC (°C)	TC (°C)	TC (°C)
5: 1: 0	-12.8	22	1.50	17.0	16.6	14.1	
5: 2: 0	-12.8	408	1.50	17.6	16.3	14.3	
5: 3: 0	-13.3	827	1.50	17.8	16.2	14.3	
5: 4: 0	-13.8	934	1.50	17.9	16.1	14.3	
5: 5: 0	-14.1	994	1.50	18.0	16.1	14.3	
5: 6: 0	-14.1	1030	1.50	18.0	16.1	14.3	
5: 7: 0	-14.4	2408	1.05	22.5	18.5	17.5	
5: 8: 0	-14.8	2308	1.02	23.0	19.3	7.9	
5: 9: 0	-13.1	2041	1.00	22.9	19.6	8.6	
5: 10: 0	-10.6	1769	1.00	22.7	19.8	9.5	
5: 11: 0	-9.2	1639	1.00	22.5	19.9	10.0	
5: 12: 0	-8.4	1568	1.00	22.4	19.9	10.3	
5: 13: 0	-7.9	1524	1.00	22.4	19.9	10.4	
5: 14: 0	-7.3	1487	1.00	22.3	19.9	10.7	
5: 15: 0	-7.3	1472	1.00	22.3	20.0	10.6	
5: 16: 0	-7.7	1471	1.00	22.3	20.0	10.5	
5: 17: 0	-8.1	1473	1.00	22.3	20.0	10.4	
5: 18: 0	-9.1	1494	1.00	22.3	20.0	10.0	
5: 19: 0	-9.6	970	1.00	21.6	19.8	18.0	
5: 20: 0	-9.9	1032	1.00	21.6	19.8	18.0	
5: 21: 0	-10.3	1059	1.00	21.7	19.8	17.9	
5: 22: 0	-11.1	1079	1.00	21.7	19.7	17.9	
5: 23: 0	-11.4	1088	1.00	21.7	19.7	17.8	
6: 0: 0	-11.9	0	1.33	18.3	17.9	15.3	
T.L. A.T.	-11.0	30377	1.14	21.0	18.8	13.2	

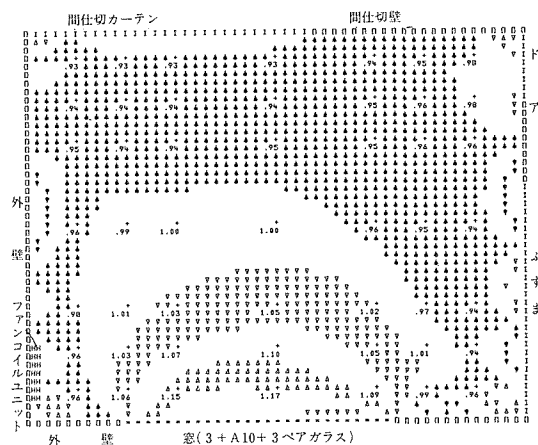


図10 実験住宅2の居間におけるファンコイルユニット方式の場合の温感分布図（18時）

6. あとがき

ソフトの設計概念に重点が置かれ、紙面の都合で筆者の工夫による拡張シグナルフローグラフなど理論面での記述が不足し解りづらいものとなり、パッケージの内容や適用についても不十分な記述となってしまいました。詳しくは、参考文献²⁾を含めた関連発表論文に記載してあります。

なお、入出力での文字やグラフィックを手段とする上位モジュールの開発中であり、それと関連したシミュレーションターミナルとも言えるべきハードの開発を現在検討中であり、シミュレーションをCAIやCAEへと応用を目指しているため、御助言を戴ければ幸いです。

参考文献

- 1) 松浦茂, 他: ケーススタディハウス No. 1 に関する報告(1)(2)(3), 空気調和・衛生工学会道支部学術講演会論文集, (昭和54-3); 同(4)(5)(6), 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, (昭和54-10); 同(7), 空気調和・衛生工学会道支部学術講演会論文集, (昭和55-3)
- 2) 松浦茂: 人間・建物・設備システムシミュレーションバンクの提案, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, (昭和55-10)