

# 仮想実験室の構築(その1)

(ユーザインターフェイスと実行制御)

元石 浩二\*・山田 貴裕\*・安岡 宏典\*\*

## Construction of the Virtual Laboratory

(1st Report: User Interface and Execution Control)

Kohji MOTOISHI, Takahiro YAMADA and Hironori YASUOKA

### Abstract

In this report, we describe the structure of a virtual laboratory designed for the computer-aided education. The virtual laboratory has the same environment as a real laboratory and is programmed with the object-oriented language C++.

In a circuit modeling mode, we can put icons of various instruments (such as delays, multipliers, adders, function generators, oscilloscopes and frequency analyzers) on a workbench window and connect each instrument with lines by using a mouse and a cursor. The sub-circuit can be moved and deleted.

In an execution mode, the integrity of the circuit is checked and a control panel is shown. The execution sequence is automatically resolved before running. When we press the icon button of a function generator, a setting window is opened. The output frequency, amplitude and wave form are easily set using dials and buttons in the setting window. The time wave and the frequency spectrum at arbitrary points in the circuit are displayed in the corresponding observation windows of oscilloscopes and frequency analyzers.

The execution speed can be continuously varied in order to match the comprehension level of the students.

**Key Words:** Computer Aided Instruction, Virtual Reality, Object Oriented Language

### 1. はじめに

現在、仮想現実という名で計算機上に模擬世界を構築する試みが盛んに行われている。我々が行っている仮想研究室の構築もその一種とみなすことができるが、発想はもう少し現実的なことに根ざしている。すなわち、講義で種々の原理を考えるが、学生にとってどうしても具体的なイメージを得難いことがよくある。このような場合に備えて実験、演習が計画されているが、どちらも準備にかなりの時間と手間を要する。計算機上に実験室の環境が整っていれば手軽に実験が行なえ、原理の理解に役立つのではないかと考えたのが仮想研究室の構築に関する研究の発端である。

幸いなことに、パソコン画面を通常の講義室のスクリーンに投射できる高輝度・高解像度のビデオプロジェクターの価格が急速に安くなり、また、大画面ディスプレイを備えた教室も増える等、仮想研究室を用いた一種のマルチメディア授業を行なえる環境が整ってきている。

勿論、回路解析用としてSPICE、離散的事象の解析用としてSLAM, GPSS, またLabView等の優れたソフトウェアが多数ある。しかしながら、これらはシミュレーションを目的としたもので教育用としては操作が難しいといった欠点がある。また、画面表示機器として主としてディスプレイを用いるものとして考えられているので、スクリーンに投射したときの図形が小さく、教室の後ろの方の学生が見づらいといった問題がある。我々として

は、対象とする回路の振る舞いを高速かつ正確にシミュレーションするよりも、むしろ見やすく操作が簡単でしかも原理が直感的に分かる方が学生に理解し易い授業を行う上で望ましいと考えた。

この目的を達成するためには、実際の実験室と同様に直感的に操作ができること、機器の配置や結線がその時々授業の内容や状況によって異なるので動的なプログラミングが可能であること、この二点の実現が仮想研究室を構築する上で重要である。我々は、この問題をグラフィカルユーザインターフェイスと個々の機器を一つのオブジェクトとみなし、動的なプログラミングが可能なオブジェクト指向言語C++<sup>(1,2)</sup>を用いることによって解決した。また、授業支援を目的としているので、教室の後ろの学生にも見やすいように回路の作成モードでは大きめのアイコンを用い、設定・観測ウィンドウも分かり易い表示ができるように配慮した。

## 2. 仮想研究室について

我々は、色々な授業で使用できるように仮想研究室を構築することを目指している。この為には授業毎に別々のソフトを作成する安易な方法もあるが、我々は一つの研究室に複数の実験室を備え、これらの実験室を個別に或いは同時に使用できるようにした。現在想定している実験室は次のようなものである。

- ・デジタル信号処理実験室
- ・論理回路実験室
- ・音声実験室
- ・画像実験室
- ・電子機器実験室

フィルタの内部構造を扱うデジタル信号処理の実験室と変復調器等の電子機器実験室とは全く異なるように見えるが、視点を変えて見れば取り扱う機器の種類が異なるだけでその基盤となる制御、構造は同一と言える。すなわち、機器の出力データを次の機器で受け取り一定のデータ変換を行って出力へ出すという構造は同じであり、違いは機器のデータ処理の仕方だけである。また、機器の配置や結線といった作業や実行制御の手順は各実験室に共通である。

従って、機器の配置・結線に関するユーザインターフェイスや実行制御といった共通基盤をきちんと構築しておけば、機器毎にそれぞれのデータ処理プログラムを用意することで各種の仮想実験室を比較的容易に実現できる。

## 3. ユーザインターフェイス

操作の簡便さと実験室の具体的なイメージを持たせ易くするために、メニュー形式とマウスを用いたグラフィカル・ユーザインターフェイスを併用することとした。メニューは画面上部にあるメニューバーにプルダウン形式で表示され、表1~5の内容を持っている。なお、表中の\*印の機能は現在未実装である。

### 3.1 メニュー表示

表-1 ファイルメニュー

新規 開く	新しい実験室環境を作る。 以前保存した実験室環境を開く*
閉じる	現在の実験室環境を閉じる。
保存	実験室環境を保存する*
別名で保存	実験室環境を別名で保存する*
保存書類復帰	変更前の実験室環境に復帰する*
用紙設定	印刷用紙の設定を行う*
印刷	実験回路及び結果を印刷する*
終了	仮想実験室の終了。

表-2 編集メニュー

取り消し	直前の操作を無効にする。
切り取り	選択した部分をクリップボード移動。
コピー	選択した部分をクリップボード複写。
張り付け	クリップボードの回路を張り付ける*
全てを選択	全ての回路部分を張り付ける。
消去	選択した回路部分を消去する。

表-3 モードメニュー

モード選択	回路作成モード/回路実行モード
選択	部品を選択する。
配置	部品を作業台上に配置する。
結線	部品どうしを結線する。
プローブ	測定器プローブを接続する。
ステップ実行	1ステップのみ実行する。
開始/再開	実験を開始または再開する。
一時停止	実験を一時停止する。
リセット	実験を停止し、回路をリセットする。
デバッグ	デバッグモードで実行する。

表-4 オプションメニュー

横整列	選択した部品を水平に並べる。
縦整列	選択した部品を垂直に並べる。
最背面に移動	選択した一番後ろへ移動。
グループ化	部品類を一つの部品にする*
グループ解除	グループ化された部品を分解する。
作業台の色	作業台の色を変更する。

表-5 ウィンドウメニュー

ツール コントロール 本棚	図3および図4のウィンドウを表示 図11の制御ウィンドウを表示 本棚ウィンドウを表示
メモリーメータ メモ	使用メモリーの量を表示 実験に関するメモ

表-1のファイルメニューの「新規」に関しては、どの実験室を開くかを選択するサブメニューが更に開くようになっている。デジタル信号処理実験室を選択した場合、図-1の作業台と呼ばれるウィンドウが現われる。このとき、内部的には実験室オブジェクトが作成される。表-2の編集メニュー中の「消去」は選択した回路部品を作業台上のゴミ箱に捨てるのと同じ動作を行い、ゴミ箱のアイコンは図-2のようにふくらんだ状態に変化する。この状態のときに編集メニュー中の取り消しを行えば、回路は部品が捨てられる前の状態に戻り、ゴミ箱は空になる。表-3のモードメニュー中の「モード選択」は回路作成モードか回路実行モードかの切替えを行い、作業台ウィンドウ上の電源アイコンと同じ働きをする。すなわち、部品の配置・結線が終わった状態で作業台上の電源スイッチを入れれば実行モードとなり、再度スイッチを押せば回路作成モードに変わる。なお、回路作成モードではメニュー中の「ステップ実行」、「開始/再開」、「一時停止」、「リセット」は薄いグレーで表示され、使用不可となる。逆に回路実行モードでは「選択」、「配置」、「結

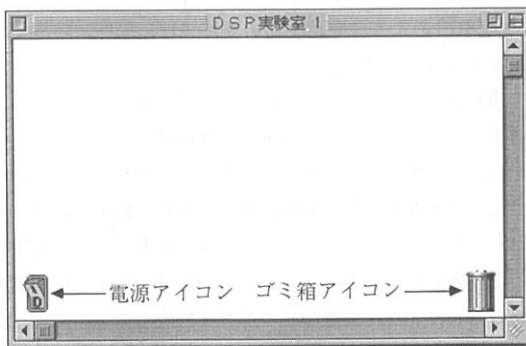


図-1 作業台ウィンドウ



図-2 部品が捨てられ、膨らんだゴミ箱

線」、「プローブ」がグレー表示され、使用不可となる。なお、デバッグモードでは実行は更に細かいレベルで制御され、それぞれの部品の出力データの値がデバッグ・ウィンドウに表示されるようになっている。表-4のオプションメニュー中の「作業台の色」を選択すれば、RGB形式のカラーダイヤルが表示され、作業台ウィンドウを任意の色に着色することができる。これは、同じような回路を別々の作業台ウィンドウに作成したとき、作業台の色を変えることにより回路の動作の違いを学生に印象づけるのに効果的である。表-5のウィンドウメニュー中の「メモリーメータ」は、あとどの位の部品を回路に付け加えることができるかを知るのに便利である。多数の部品を使用する場合には、仮想研究室に割り当てられるメモリ量を予め増やしておかなければならない。

### 3. 2 回路の作成

実験室を最初に開いたとき、あるいは回路実行モードにおいて作業台上の電源スイッチを切るかモードメニューのモード選択を切り替えたとき、その実験室は回路作成モードとなり、図-3に示す道具棚のウィンドウが現れる。道具棚ウィンドウ上には選択、配置、結線、プローブの4つのボタンがあり、モードメニューのメニュー項目にそれぞれ対応している。これらのボタンはプッシュ式で、押されるとボタンが押し下げられるように画面が変化し、選択されたことが分かるようになっている。また、これらのボタンはラジオボタン方式を採用しており、どれか1つのボタンが押されると他のボタンは自動的に戻るようになっている。

配置ボタンを押すと部品の配置モードとなり、図-4に示す部品棚のウィンドウが現われる。デジタル信号処理実験室の部品棚には、発振器(ファンクション・ジェネレータ)、遅延器、加算器、乗算器、シンクロスコープ、

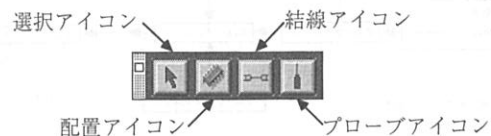


図-3 道具棚ウィンドウ



図-4 部品棚ウィンドウ

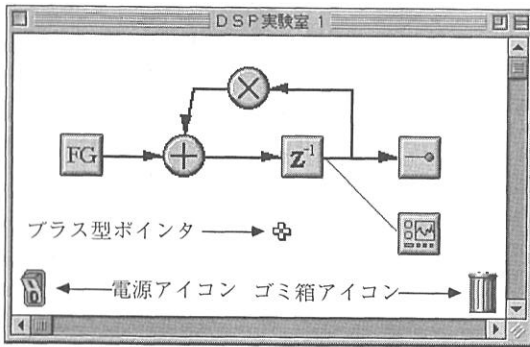


図-5 部品の配置

周波数分析器、終端器の部品が載っており、ボタンを押すことにより任意の部品を選択できる。このとき、作業台上のポインタは図-5のようにプラス型に変化し、配置モードにあることを示すようになっている。マウスをクリックすれば、ポインタのある位置に選択されている部品が配置される。このとき、内部的にはアイコン・オブジェクトと対応する部品オブジェクトが互いにリンクして作成され、部品オブジェクトは図-6(a)に示すように実験室オブジェクトのPartsListにリンクされる。アイコンオブジェクトは作業台上のアイコン表示、部品オブジェクトは実際のデータ処理に関する部分を司る。また、ファンクション・ジェネレータやシンクロスコープのように設定ウィンドウや観測ウィンドウを持つ部品の場合には、ビューアオブジェクトが同時に作成され、部品オブジェクトにリンクされる。

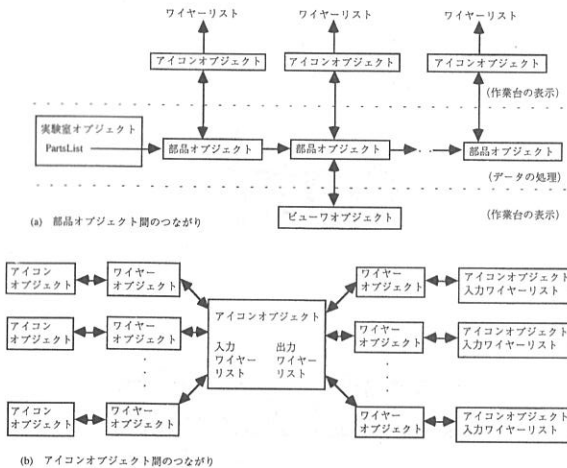


図-6 内部構造

道具棚上の結配ボタンを押すと結線モードに切替わり、部品棚ウィンドウは消え、ポインタは矢印に変わる。結線元の部品にポインタが移動したとき、その部品の出力条件が自動的に検査され、出力可能ならばポインタは図-7(a)のようにプラグ形に変化する。この状態のとき、そのマウスをクリックすれば結線が開始される。なお、シンクロスコープや終端器のように出力がない部品ではポインタは変化せず、結線を始めことはできない。結線は、部品以外の場所をクリックしていくことにより、図-7(b)に示すように任意の折れ線として表現できる。なお、シフトキーを押しておけば、水平または垂直の線を引くことができる。ポインタが部品に移動したとき、その部品の入力条件が自動的に検査され、入力可能であればポインタは図-7(c)に示すように矢印からプラグ形に変化する。この状態のとき、マウスをクリックすれば結線は完了し、ワイヤオブジェクトが作成される。このため、ある部品からファンクション・ジェネレータのように入力不可の部品に結線されるというミスは起こり得ない。内部的には、図-6(b)に示すように作成されたワイヤオブジェクトは結線元のアイコンオブジェクトの出力ワイヤリスト及び結線先のアイコンオブジェクトの入力ワイヤリストにリンクされる。なお、折点の情報は全てワイヤオブジェクトに保持されている。

道具棚上のプローブボタンを押せば、シンクロスコープや周波数分析器のような観測装置からのプローブ結線のモードに切替わる。観測装置上でポインタが図-8(a)に示すように変化し、観測すべきワイヤ上でポインタが図-8(b)のように変化するのを除けば、動作は結線モードとほぼ同じである。

道具棚上の選択ボタンを押せば、部品及びワイヤの選択モードに切替わる。選択すべき部品またはワイヤ上にポインタ(矢印)を持ってきてマウスをクリックすることにより選択が行われ、選択された部品またはワイヤはグレー表示される。シフトキーを押しながら対象となる部品をクリックしていくかまたはマーカーを利用することにより、複数部品の選択も可能である。すなわち、マーカーで囲われた長方形内の部品は全て選択される。複数選択された状態でオプションメニューの整列を選べば選択された部品は縦または横に整列する。なお、選択された部品またはワイヤ上にきたポインタは図-9(a)のように開いた手の形に変化する。この状態でマウスをドラッグすれば、図-9(b)に示すようにポインタは握った手の形に変化し、選択された部品の移動が行

われる。なお部品の移動または整理後に図-9(c)のようにそれぞれのアイコンオブジェクトの入力ワイヤーリストと出力ワイヤーリストを用いて自動的に再結線が行われる。また、ゴミ箱にドラッグすれば、部品及びその部品に結線されたワイヤーは全て消去される。消去の取り消し及び再実行は可能である。

選択されたワイヤーの折点上ではポイントが×印に変化するので、ドラッグすることにより図-10(a)に示すよ

うに折線の形状を変えることができる。また、選択されたワイヤー上でオプションキーを押せば、ポイントは図-10(b)のように変化し、その点に折点を追加することができる。逆に、折点上でオプションキーとシフトキーを同時に押せばポイントは図-10(c)のように変化し、その折点を除去することができる。

### 3. 3 回路の実行

回路の作成が終わり、実行モードに切替えるためには、作業台上の電源スイッチを押すかまたはモードメニューのモード選択を用いる。このとき、道具棚及び部品棚のウィンドウが消えて次の処理が自動的に行われる。

(1) 全ての部品の入出力線数が調べられ、定められた制限内に入っているかどうかチェックされる。例えば、ファンクション・ジェネレータの出力数は1以上、加算器の入力数は2以上、係数乗算器、遅延器、終端器の入力数はそれぞれ1と定められている。従って、入力数が制限値以下の部品があればこの段階でチェックされ、対応する部品のアイコンがグレー表示されると共に警告メッセージが出されて回路作成モードに戻る。

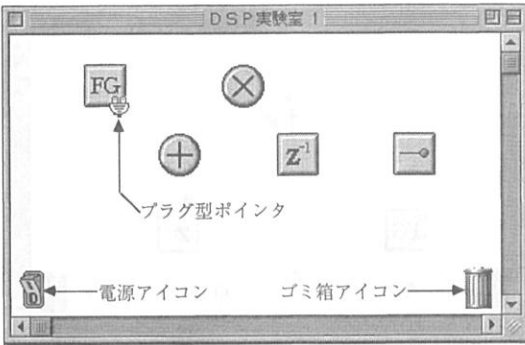


図-7 (a)部品の結線 (始め)

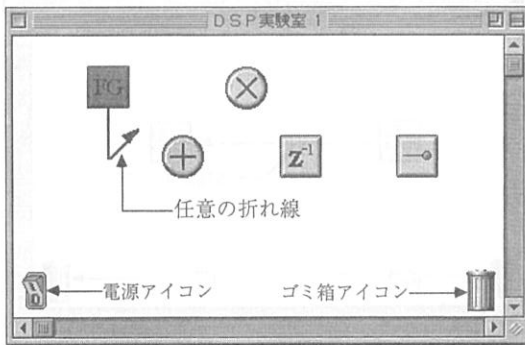


図-7 (b)部品の結線 (途中)

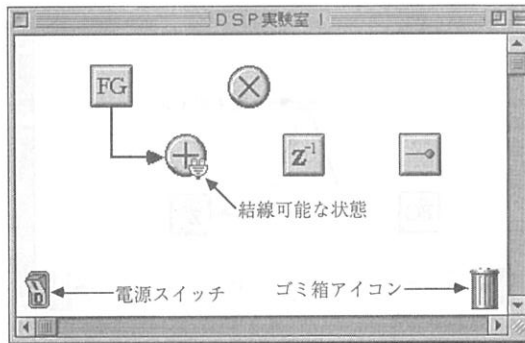


図-7 (c)部品の結線 (終わり)

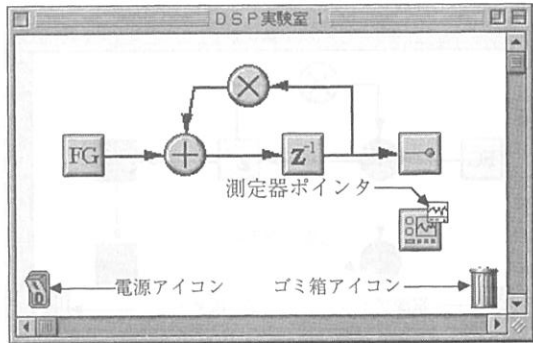


図-8 (a)プローブ結線 (始め)

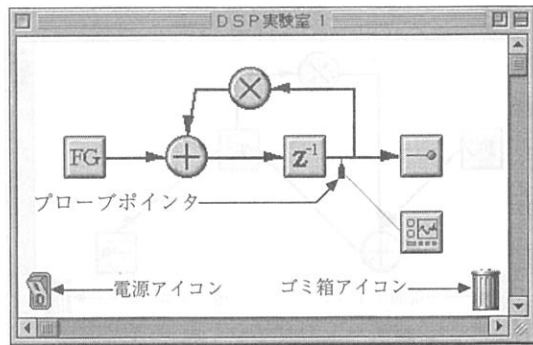


図-8 (b)プローブ結線 (終わり)

なお、結線時にも入出力のチェックが自動的に行われているので、定められた入出力数を越えて結線を行うことは不可能である。

(2) 回路の結線関係からデータの処理順序が決定される。このとき、実行不能な形の回路を含んでいることが検出されれば警告メッセージが出されて回路作成モードに戻る。なお、詳細は4章で述べる。

上記の処理が満足に終了すれば回路実行モードとなり

図-11に示す制御パネルが現れる。回路はリセット状態で停止しており、制御パネル上のボタンを用いてステップ実行、連続実行、一時停止、リセットを行うことができる。なお、これらのボタンはモードメニューの項目とそれぞれ対応している。また、連続実行のスピードは制御パネル上のスライダーを用いて連続的に変えることができる。

作業台上にある所望の部品のアイコンを押すことによ

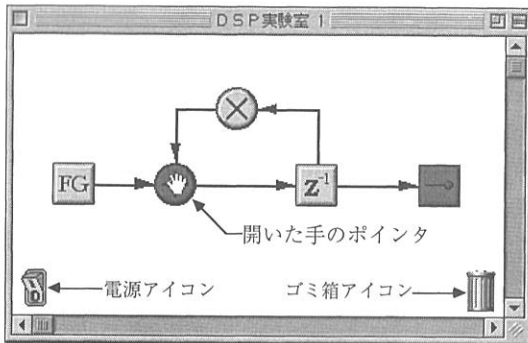


図-9 (a) 移動前 (複数選択)

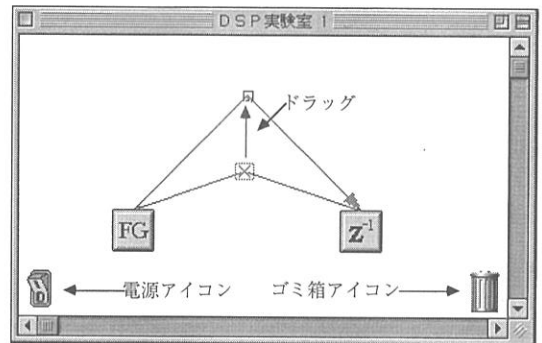


図-10 (a) 折点のドラッグ

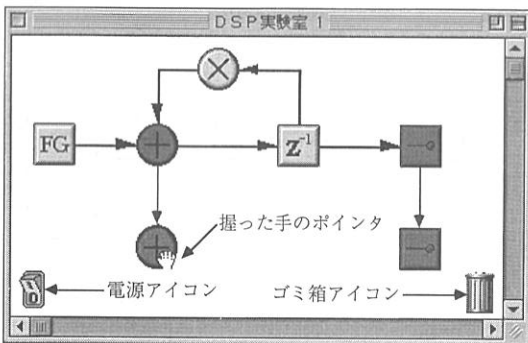


図-9 (b) 移動中 (複数選択)

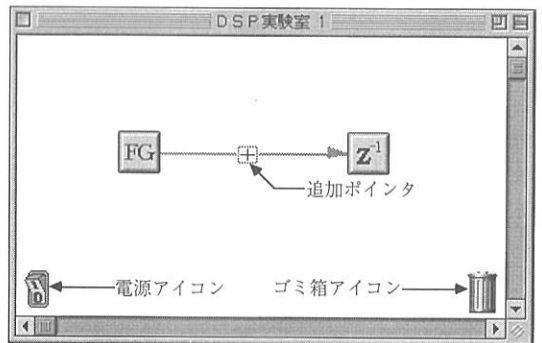


図-10 (b) 折点の追加

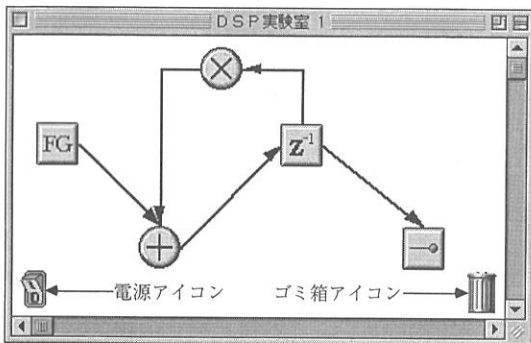


図-9 (c) 移動後

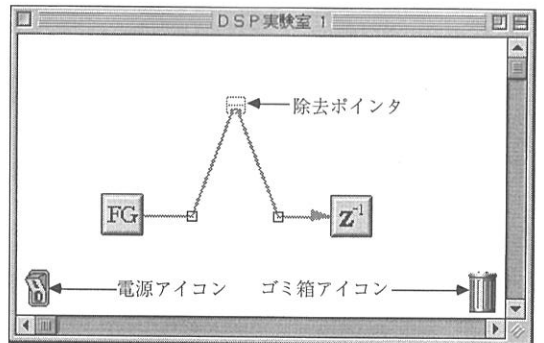


図-10 (c) 折点の除去

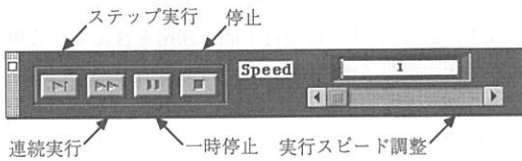


図-11 制御パネルウィンドウ

り設定または観測ウィンドウが現れ、値の設定やデータの観測を行うことができる。図-12にファンクション・ジェネレータの設定ウィンドウの例を示す。これらのウィンドウが現れているとき、対応する部品アイコンは押し下げられた形で表示され、もう一度押せばアイコンが元に戻ると共にウィンドウが消える。また、設定または観測ウィンドウの左上部にあるクローズボックスをクリックしてもウィンドウは消え、アイコンが元に戻る。なお、ウィンドウが消えても設定値等は保持されており、データ処理は続けられている。

回路に使用できる部品の個数に制限はないが、それぞれの部品のオブジェクトが作成される度にメモリを使うので、メモリを使い切った段階でアプリケーションがクラッシュする。これをさけるために、メモリの空き容量を監視するために図-13のメモリメータを備えている。また、実験中のコメントを書き込めるようにメモ帳のウィンドウも備えている。

#### 4. 実行制御

回路の部品は、入力から取り込んだデータに対して定められた処理を行い出力に出す。回路図の上では、このデータ処理は各部品が同時に行うことになっているが、

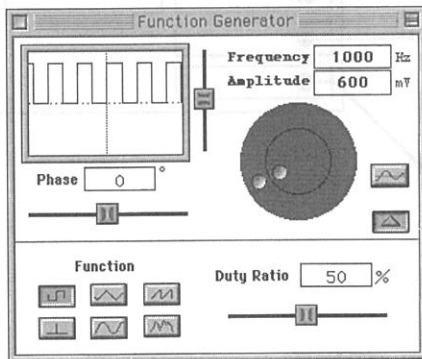


図-12 ファンクション・ジェネレータの設定ウィンドウ

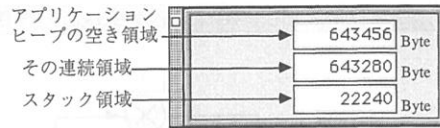


図-13 メトリメータ

計算機上では順次処理をしていかなければならない。従って、どのような順序で処理をしていくかを決定しておく必要があるが、どのような回路が作成されるかは予め決められず、回路の構造は回路作成中に何度も変えられる可能性がある。このため、実行直前に回路の結線関係を調べて実行順序を決定する必要がある。また、できる限り各実験室を共通な制御機構とすることが望ましい。そこで、次の前提をおくことにする。

「前提」データは入力から出力へ方向に流れる。

この前提条件はかなり一般的で、受動素子からなる電気回路の実験を除くほとんどの実験で成り立つものと思われる。具体的には、共通の制御機構の上にデジタル信号処理実験室の他に論理回路実験室、音声処理実験室、画像処理実験室等の実装を予定している。

前提条件を満足する実験室では回路図にそってデータ処理の流れをたどっていくことができる。その基本的な考えは、ファンクション・ジェネレータや遅延器のようにある時点において出力値が確定している部品から始めて入力値が全て確定した部品のデータ処理を順次行っていくというものである。

具体的には次の手順に従って実行順序を決定する。なお説明の都合上、バッファを備えた装置や遅延器、フリップ・フロップのように以前の入力によって出力が決定される部品をラッチ型の部品と呼ぶことにする。また、回路の作成が終了した時点で、図-6(a)に示したように作業台上の全ての部品は実験室オブジェクトのPartsListに配置順にリンクされていることに注意する。

(1) PartsList上の全ての部品オブジェクトの実行フラグを偽に、ExecList, LatchList, ObserverListを空に初期設定する。

(2) シンクロスコープや周波数分析器等の観測機器は実行順序に関係しないので、これらの部品オブジェクトの実行フラグを真にし、ObserverListにリンクする。

(3) ファンクション・ジェネレータ等の入力を持たない部品オブジェクトの実行フラグを真にし、ExecListにリンクする。

(4) デジタル信号処理回路における遅延器や論理回

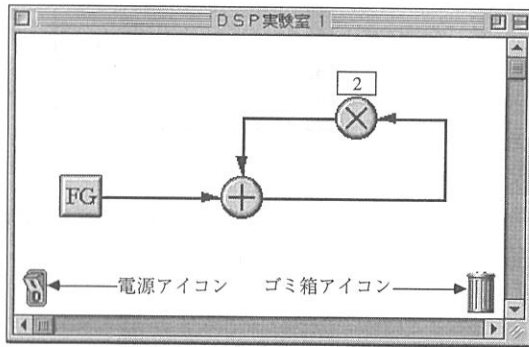


図-14 実行不能な回路例

路におけるフリップフロップ等のラッチ型の部品は出力が確定しているため、これらの部品オブジェクトの実行フラグを真にし、ExecList及びLatchListにリンクする。

(5) PartsListにそって、実行フラグが偽の部品オブジェクトを順次検索する。図-6(b)に示した入力ワイヤリストからワイヤオブジェクトを介して、入力先の部品オブジェクトの状態を調べることができる。この入力先の部品オブジェクトの実行フラグが全て真のとき、検索中の部品オブジェクトは実行可能であるため、この部品のオブジェクトの実行フラグを真にしてExecListにリンクする。このステップ(5)を高々部品個数回だけ繰

り返すことにより、実行順序の決定は終了する。

なお、図-14のように実行不能な回路を含んでいる場合、上記手順終了後にも実行フラグが偽のままの部品オブジェクトとして検出されるので、警告メッセージを出して回路作成モードに戻る。

実行制御は、次の3つのフェーズを1ステップとして行われ、連続またはステップ実行される。

- (1) ExecListにリンクされた部品オブジェクトをリストに従って順次実行する。
- (2) LatchListにリンクされた部品オブジェクトに対し、入力をラッチする。
- (3) ObserverListにリンクされた観測機器に結果を表示する。

なお、部品オブジェクト間のデータの受け渡しは効率の観点から実際には行っていない。図-6(b)のリンクをたどって入力先の部品オブジェクトを探すことができるので、入力バッファには図-15に示すように入力先の出力バッファへのポインタが入れられている。このポインタの設定は実行順序の決定後に行われる。音声実験室や画像実験室では、出力バッファが配列となる。

### 5. おわりに

講義の中で簡単に実験が行なえるよう、計算機上に仮

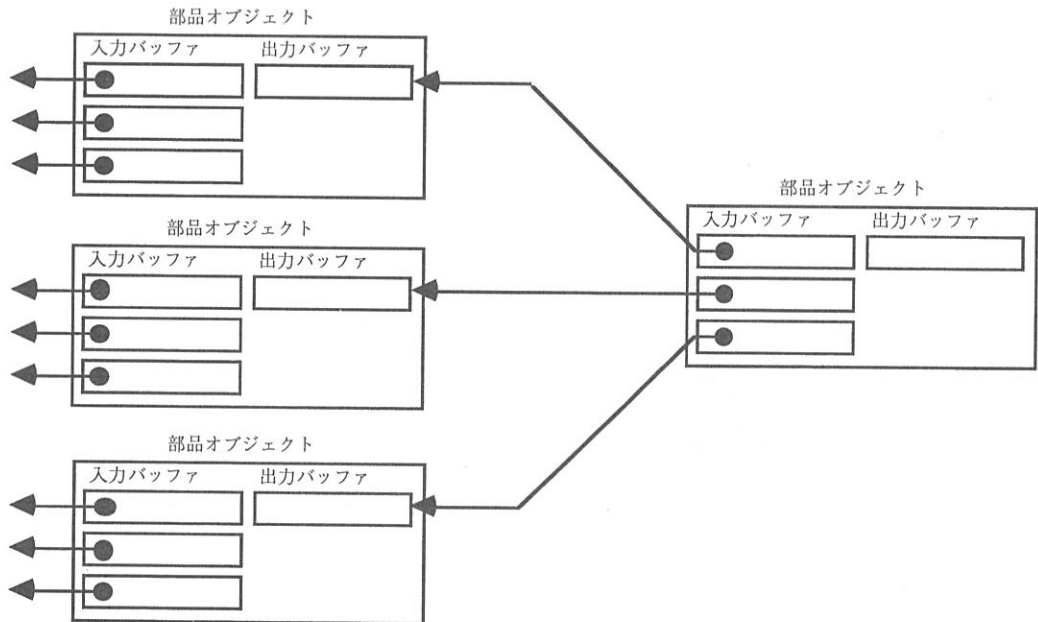


図-15 データの受け渡し法



想研究室を構築した。この仮想研究室は、色々な授業で使用できるように複数の仮想実験室を含ませることができるようになっている。ここでは、各仮想実験室に共通なユーザインターフェイスと実行制御機構についてデジタル信号処理実験室を例にとって説明した。デジタル信号処理実験室の詳細及びそれを実際の「デジタル信号処理」の授業に用いた例については別稿<sup>3)</sup>で報告する。

なお、開発環境としてはマッキントッシュ9500/120<sup>4)</sup>、使用言語としてSymantec社のC++を用いている。また、現在までにクラス総数は62クラス、コーディング行数は213,512行にのぼる。

最後に、仮想研究室の構築に協力して頂いた平成7～9年度の卒研生諸君、特に井上、釘崎君に謝意を表す

る。

#### 参考文献

- (1) B・ストラウストラップ：プログラミング言語C++，アジソン・ウェスレイ・トッパン（1993）
- (2) R・S・ウィナー，L・J・ピンソン：C++オブジェクト指向プログラミング，アジソン・ウェスレイ・トッパン（1988）
- (3) 元石，山田，安岡：仮想研究室の構築（その2）（デジタル信号処理実験室の実装と授業例）
- (4) Inside Macintosh: Vol. I-VI, Apple Computer Inc. (1992)
- (5) Symantec C++ユーザーズガイド（1995）