

解説



2. ユーザインタフェース管理システムの適用事例

2.2 ユーザインタフェース管理
システムの制御システムへの適用†

谷 正之†† 平 沢 宏太郎†††

1. はじめに

原子力、化学、鉄鋼などのプラントでは制御の遠隔集中化が進み、大規模なプラントでも数人のオペレータで運転されている。それにともないオペレータの負担が増大する傾向にある。操作室のCRTにはプラントの状態を示す大量の情報が集約表示され、オペレータはそれらさまざまな情報を監視しながら、プラントの状態を総合的に把握しなければならない。何か異常が見つければ、その原因や何をなすべきかを迅速に判断し、的確に操作することが必要である。こうしたオペレータの作業を支援し、負担を軽減するためにユーザインタフェースの役割が重要になっている。

よりよいユーザインタフェースを効率よく構築するためのシステムとして UIMS が 1980 年代初めより注目を集めてきた。UIMS はこれまで主にオフィスシステムに適用されてきたが、UIMS の考え方は制御システムにも効果的に適用できる。制御システムはユーザインタフェースである操作室と、応用プログラム本体であるプラントの現場とが物理的、地理的に分離されており、ユーザインタフェース部分を応用プログラム本体から分離するという UIMS の基本概念を自然に適用できる。また、遠隔集中化の進んでいる制御システムではユーザインタフェースの規模が大きくなり、UIMS のような構築支援ツールなしではユーザインタフェースを構築しにくくなっている。

一方、制御システムのユーザインタフェースは、計算機を介して現実の世界（物理現象や化学反応など）と人間とを媒介するものであり、計算

機の中にある抽象的なモデルと人間とを媒介するオフィスシステムのユーザインタフェースとは異なる特徴、制約をもっている。小文では、制御システムに UIMS を適用するうえでの考慮すべき課題として、(1) 高応答実行時システムの実現、(2) 非定形ユーザインタフェースの構築支援、(3) 臨場感情報の融合を取り上げそれらの解決策について解説する。

2. 制御システムのユーザインタフェース

オフィスシステムのユーザインタフェースに比べ、制御システムのユーザインタフェースは下記の特徴をもつ。

(1) 規模が大きい

プラントの大規模化、センサ技術の進歩、通信容量の増加にともないオペレータが監視すべき情報量が増大する一方で、オペレータの小人数化、CRT 表示への集約化が進んだため、制御システムではユーザインタフェースの規模が大きくなっている。発電システムや鉄鋼圧延システムのユーザインタフェースは数百画面から構成される。一画面当りに表示されるデータ点数も多く、100 点以上になる場合もある。

(2) 応答性能に対する要求が厳しい

制御システムのユーザインタフェースは現実世界の変化に追従できるだけの応答性能がなければならない。制御対象によっては数 10 msec で制御データが更新される。それに対応して画面に表示されているメータの針やカウンタの値も人間が認知できる限界の速度、すなわち 100~200 msec 程度⁶⁾で更新できることが望ましい。また、オペレータは必要な情報を数百画面の中から選びださなければならない。画面をすばやく切り替えられる必要がある。オペレータが表示要求を出してから 1 秒以内に一画面全体の表示を終了できることが

† Applying UIMSs to Plant Control Systems by Masayuki TANI (Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.) and Koutarou HIRASAWA (Omika Works, Hitachi, Ltd.).

†† (株)日立製作所日立研究所

††† (株)日立製作所大みか工場

望ましい。

(3) 定形的なウィジェットからだけでは構築できない

制御対象とする現実世界が何であるかによってユーザインタフェースの表現形態が大きく異なる。たとえば、化学プラントでは図-1(a)のような系統図を画面に表示し、電力系統制御システムでは図-1(b)のような系統図を画面に表示する。両者の画面を構成するシンボルも異なれば、システムの状態を表現する方法も異なる。こうした制御対象に依存した部分をわれわれは非定形ユーザインタフェースと呼んでいる²⁾。非定形ユーザインタフェースは、メニューやスクロールバーなどの共通のグラフィカルウィジェットの組み合わせだけでは構築できない。

(4) 臨場感が必要

遠隔にある現場の状況はデジタル化され、操作室のCRTに集約表示される。オペレータはCRTのグラフィック表示を見ながら現場の状況を分析し、それに基づいて必要な操作を行う。しかし、運転員に必要な情報全てを数値化できるわけではない。蒸気の出方を見たり、モータの振動音を聞いたりといったように、現場の様子を目や耳で直接確認しなければならない場合がある。そのため、現場の映像や音を利用し、操作室にいながら現場にいるかのような感覚で操作できるような臨場感のあるユーザインタフェースが必要である。

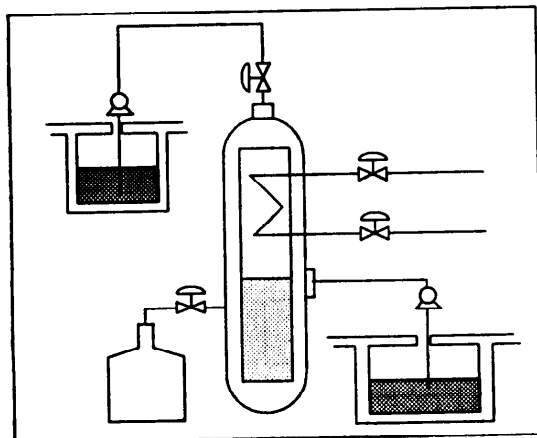
上記特徴を考慮すると、制御システムに UIMS

を適用する際の課題は、1)画面の切り替えやデータ表示の更新を高速にできる実行時システムを実現すること、2)大規模かつ非定形なユーザインタフェースを効率良く構築できるようにすること、3)映像のような現場の臨場感を伝えられる情報を扱えること、になる。以下では、これらの課題の解決策について述べる。

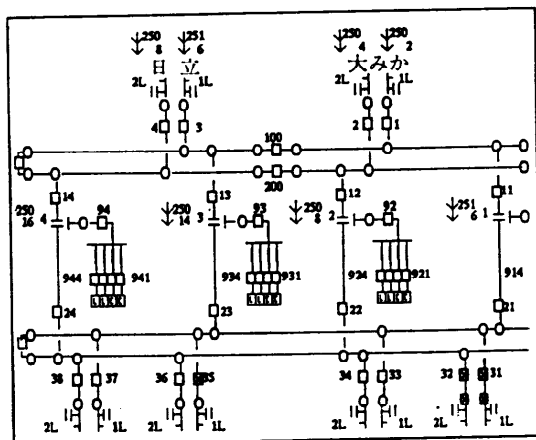
3. 高応答実行時システムの実現

UIMS の基本モデルである Seeheim モデルは、応用プログラムをユーザインタフェースと応用プログラム本体とに分け、ユーザインタフェースをプレゼンテーション部、対話制御部、応用プログラムインタフェースモデルに分割することを提案している¹⁰⁾。このように分割する目的は各部のモジュラリティを向上させ、ユーザインタフェース部分を応用プログラム本体と独立に作成、変更できるようにすることにある。Seeheim モデルはあくまでも論理モデルであり、それを実際のシステムにどのようにマッピングするか、すなわち UIMS の実行時システムの構成方法については、あまり議論されていない。しかし、高応答なユーザインタフェースを実現するには実行時システムの構成を検討することが重要である。

制御システムでは図-2 に示すように、制御システム本体、対話処理プロセッサ、グラフィック端末からなる分散システム構成をとる場合が多い⁸⁾。制御システム本体は、現場に配置された各



(a) 化学プラントの系統図例



(b) 電力系統制御システムの系統図例

図-1 系統図表示画面の例

種コントローラやプロセスコンピュータを LAN で接続した構成になっている。コントローラは直接機器の制御を行うコンピュータである。プロセスコンピュータはコントローラのパラメータ設定、生産管理、シミュレーションなどを行う。ユーザインタフェースは対話処理プロセッサとグラフィック端末から構成される。対話処理プロセッサは制御データを収集、加工し、その表示をグラフィック端末に依頼する。グラフィック端末は対話処理プロセッサからの依頼に従って実際に画面に描画する。また、グラフィック端末はキーボードやタッチパネルなどの入力デバイスを管理し、オペレータからの入力を対話処理プロセッサに伝える。対話処理プロセッサはオペレータからの入力に基づいて、画面を管理したり、制御システム本体の処理を起動する。

図-2 は、Seeheim モデルのプレゼンテーション部と、対話制御部および応用プログラムインタフェースモデルとを独立したプロセッサに割り当てたような分散システム構成になっている。こうした分散構成では、応答性能を向上するために、CPU 負荷を最適に分散（処理の並列度を上げる）し、各プロセッサ間の通信量を減らすように、グラフィック端末と対話処理プロセッサ間の機能分担およびデータ配置を決めなければならない。

制御システムでは一つの対話処理プロセッサに複数の端末を接続することが多いため、対話処理プロセッサが個々の端末に向けて全ての描画データを準備していると対話処理プロセッサの負荷が

重たくなる。また、描画データの転送量も多くなる。そこで、制御用グラフィック端末では描画データの準備を端末側でできるようなインタフェースを用意している。すなわち、直線、円などの図形プリミティブの描画インタフェースだけでなく、複数の図形や描画のための属性をひとまとめにして端末側に登録し、対話処理プロセッサ側から名前を指定するだけで呼び出せるようなインタフェースをもっている⁴⁾。たとえば、数値を数字で表示する場合には、表示位置、フォントの種類、大きさ、色などをあらかじめ端末側に名前を付けて登録しておく。対話処理プロセッサは収集したデータを名前と一緒に端末に転送するだけでよい。

画面を背景と前景に分けて、背景の描画データを端末側に登録しておく手法も有効である^{4),5)}。前景はプラントの状態変化にともない動的に変化する部分であり、背景は変化しない部分である。メータを例にとると、針は前景であり、枠や目盛りは背景である。背景を描画する際にはいつも同じ描画データを発行すればよく、あらかじめ描画データを記憶しておくことができる。前景は描画時のプラントの状態を調べてからでないと描画データを作成できない。そこで、背景の描画データをあらかじめ端末のメモリに常駐させておく。ある画面の表示要求がきたら、対話処理プロセッサは端末にその画面の背景の描画を依頼する。端末が背景を描画している間に対話処理プロセッサは前景の表示に必要な制御データを収集し、前景

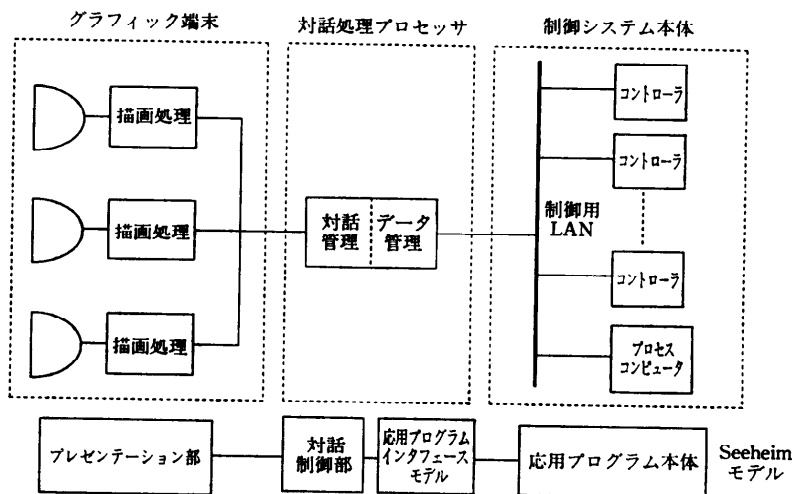


図-2 制御システムの構成と Seeheim モデル

の描画データを準備する。背景の描画と前景の描画データの準備とを並列にできるため画面の描画を高速化できる。また、背景の描画データを描画時に転送する必要がないため、端末と対話処理プロセッサ間の通信量も少なくてすむ。

描画データだけでなく、前景の描画時に必要な制御データもあらかじめ（表示前から）端末側にコピーしておけば、前景の表示も高速化することができる。しかし、全ての制御データを置くわけにはいかない。そのデータが表示されているにかかわらず、制御データが変化すると端末側のコピーも更新しなければならなくなるからである。端末側に置くことと応答性能を上げるのに効果的なものとして、トレンドグラフに表示する制御データがある。トレンドグラフとは、ある一定時間のデータの変化を折れ線などで表示するグラフであり、他のウィジェットに比べ表示に必要な制御データの量が多い。トレンドグラフの表示要求があってから、グラフの表示に必要なデータを収集して、グラフィック端末に転送していたのでは遅くなる。一方、トレンドグラフの制御データは現在値（グラフの先頭の値）だけを更新すればよく、更新に必要な通信負荷は少なくてすむ。

以上、描画処理と対話処理とを別々のプロセッサ上に実現する場合について述べたが、グラフィック端末と対話処理プロセッサとを一つのグラフィックワークステーション上に実現した図-3のような構成も考えられる⁹⁾。この場合には必要なCRTの数だけグラフィックワークステーションが必要になり、現状では図-2の専用グラフィック端末を用いた構成よりコストが高くなる。最近では高性能ワークステーションの低価格化が急速に進みつつあり、近い将来は図-3の構成も現実的になるとと思われる。

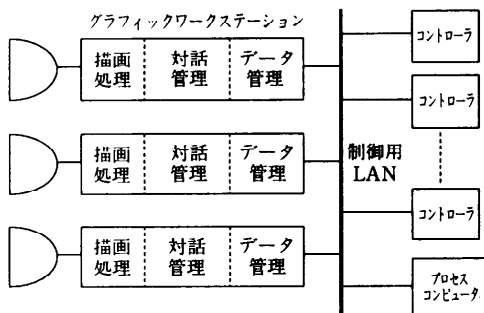


図-3 グラフィックワークステーションによる構成

4. 非定形ユーザインタフェースの構築支援

制御システムのユーザインタフェースは規模が大きく、ユーザインタフェースの開発には構築支援ツールが不可欠である。特に、制御システムでは図-1のような制御対象に依存した非定形なユーザインタフェースの開発が必要であり、制御用UIMSでは、標準のウィジェットを組み合わせてユーザインタフェースを構築する機能に加え、非定形ユーザインタフェースを効率良く構築できる仕掛けを提供することが必要である。すなわち、ユーザインタフェースの外観、動作を自由に定義できること、直接操作による画面定義機能だけでなく、制御対象の記述から画面を自動生成できることが望まれる。

自由な外観をもったユーザインタフェースを開発するには、画面上に静的な絵としてユーザインタフェースを作画しておき、後から作画した図形に動作を定義する手法が有効である^{11,12)}。この手法では通常の直接操作型図形編集ツールを用いてユーザインタフェースの外観を定義する。メータの針や、タンク内の液体のように実行時に変化する部分もとりあえず静的な図形として定義しておく。実行時の動作は、図形の属性（位置、向き、色、塗りつぶし領域、大きさなど）をどのように変化させるか指定することによって定義する。すなわち、動作の種別およびその動作に必要なパラメータを指定する。たとえば、メータの針の場合には、針の部分の図形に回転という動作種別と、回転の中心、回転角の範囲、値の範囲といったパラメータを指定する。また、画面上に表示したタンク（図-4）内の液体を実際の液量に合わせて増減させたい場合には、液体を表す図形に塗りつぶし領域を変化させる動作種別と、塗りつぶしの方向（下から上へ）、液量の範囲といったパラメータ

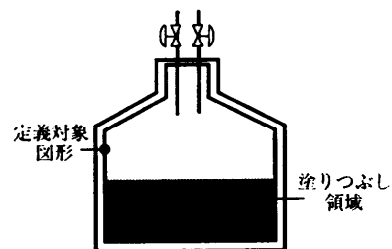


図-4 図形の動作定義

タを指定する。

外観は非定形だが動作は定形という場合も多い。たとえば、スライダは図-5のようにシステムごとにさまざまな外観のものが使われるが、つまみを動かして値を設定するという動作は変わらない。この場合は定形的な動作だけを抽象的なウィジェットとして用意しておくことによって、動作定義を簡便にできる⁷⁾。この方法では、スライダの図形を自由に描いておいて、後から、その図形がスライダであることと、つまみに対応するのはどの図形かを宣言すればよい。

制御システムの画面を作成、編集するときには、特定の規則に従ってオブジェクトをレイアウトしたい場合や、同じような編集操作を繰り返さなければならない場合がある。たとえば、図-1(b)に示したような電力系統制御システムの系統図を作図するには、遮断機や変圧器などの多数の構成要素を規則正しく結線する必要がある。これを多くの UIMS が提供している直接操作型図形編集ツールで作図するのは手間がかかるしミスもしやすい。直接操作型図形編集ツールは図形やウィジェットの位置、大きさをポインティングデバイスを用いて画面上で直接指定することができ、自由に画面を編集するには適しているが、規則に従ったレイアウトや編集操作の繰り返しは全て人手でやらなければならないと不便である。そこで、規則に従った画面は UIMS が自動的に生成することが考えられる。Foley らは電力系統図を機器の

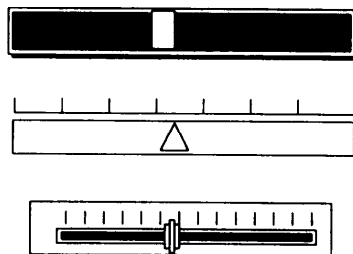


図-5 各種スライダの外観

結線データから自動的に生成し、その後人手でより見やすい系統図に編集し直す方法を提案している⁹⁾。このような画面の自動生成は強力な方法であるが、制御対象ごとに自動生成プログラムを開発しなければならない点が問題である。より一般的なユーザインタフェースの自動生成手法も研究されている¹⁰⁾が、手続きのインタフェース（引数の型）に基づいてグラフィカルインタフェースを生成するといったシンタックスレベルのユーザインタフェースを生成できるに留まっている。系統図のような、応用プログラムの内部モデルに基づいたユーザインタフェースを自動生成する一般的な方法はまだ確立されていない。

5. 臨場感情報の融合

制御システムではオフィスシステムと同じようにグラフィックスを主体としたユーザインタフェースが使われている。オペレータは CRT にグラフィックスとして表示された計器類やグラフを

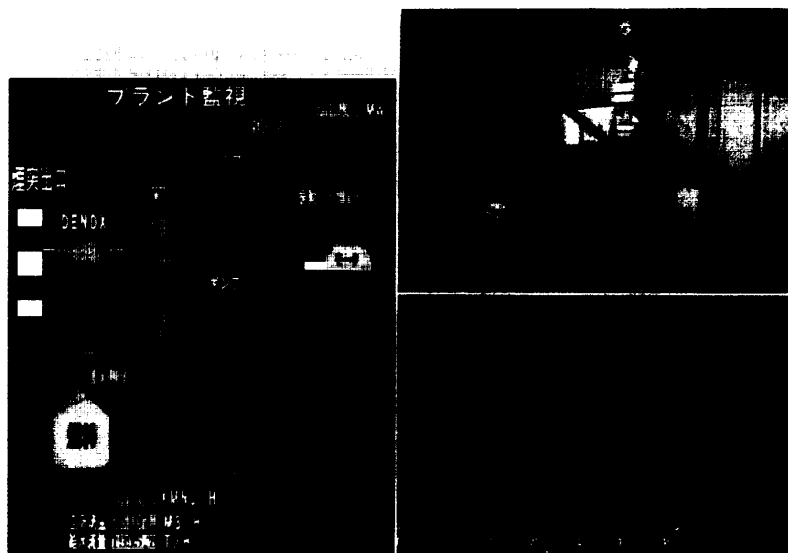


図-6 MU で作成した画面例

見ながらプラントの状態を監視し、必要に応じてタッチパネルやタブレットを用いて現場の機器を遠隔操作したり、制御パラメータを設定する。このようなグラフィックスを主体としたユーザインタフェースの問題点は、現場の状況や雰囲気などの臨場感が伝わりにくいことである。そこで、従来より、現場の状況を目視によって監視するため、監視カメラの映像（以後、監視映像と呼ぶ）が用いられてきた。監視映像によってグラフィックスにはない臨場感を補うことができる。しかし、監視映像はグラフィックスとは別な CRT に表示され、グラフィカルユーザインタフェース (GUI) とまったく独立に管理されていた。このため、グラフィックスによる制御データの表示や制御パラメータの設定操作と、監視映像とを連係して利用するのが難しかった。

UIMS がグラフィックスだけでなく映像も統一的に管理できれば、グラフィックスとして表示される制御データと、映像として表示される臨場感情報とを関連付けて参照できるようになる。そのような UIMS の例として、われわれの開発している UIMS, MU を紹介する。MU では映像を単にグラフィックスと同じ画面に表示するだけでなく、映像に映っている被写体をグラフィカルオブジェクトと同様なオブジェクトとして定義できる。すなわち、映像に映っている機器をポインティングしたり、他のオブジェクトとリンクしたりできる³⁾。われわれはこのようなオブジェクトを定義した映像をオブジェクト指向ビデオとよんでいる¹²⁾。図-6 に MU を用いて作成したユーザインタフェースの画面例を示す。画面左はプラントの系統図、画面右上は現場の監視映像、画面右下は制御データのグラフ表示である。系統図上で機器を指定するとその機器を監視しているカメラの映像が右上に表示される。その映像に映っている機器を画面上でポインティングするとその機器に関連する情報が表示される。たとえば、監視映像に映っているボイラのバーナ部分をポインティングすると、バーナの点火手順マニュアルが映像上に表示される。さらに、遠隔操作機能と組み合わせることにより、映像に映っている操作器

を直接操作できる。たとえば、ポインティングデバイスで操作することにより映像に映っているボタンを押したり、つまみを動かしたりできる。

MU では、図-7 のように、映像のどこに何が映っているかの情報（被写体モデルと呼ぶ）を定義することによって、被写体を対話可能なオブジェクトとして扱えるようにしている。被写体モデルは GUI と同様の方法で定義できる。GUI を構築する場合には、まず図形編集ツールを用いて画面上に図形やウィジェットなどのグラフィカルオブジェクトをレイアウトする。次に、対話操作に必要なコールバックルーチンを定義する。同様の手順を所望の映像上で行えば、映像に対する対話操作を定義できる。すなわち、監視映像に映っている被写体の概形を、図形編集ツールを使って

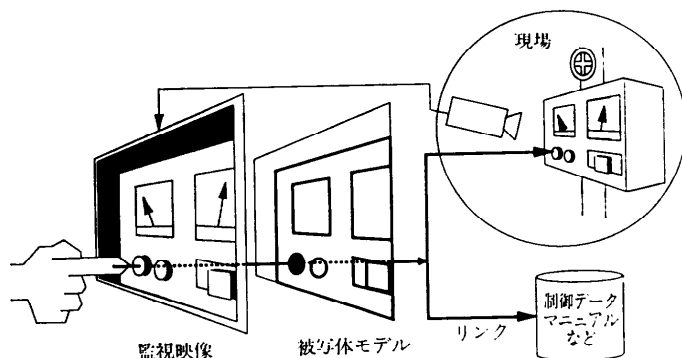


図-7 被写体モデル

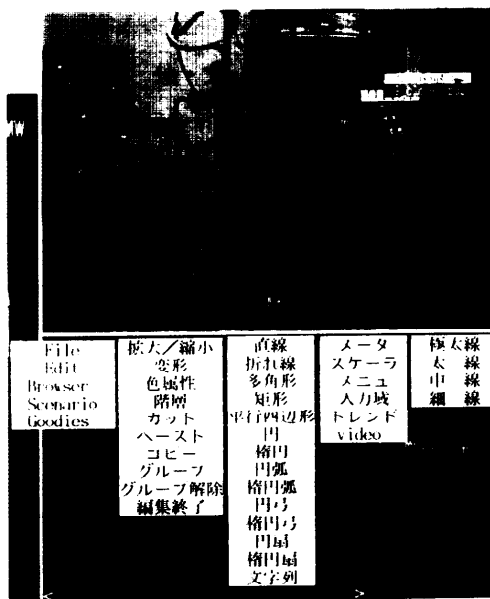


図-8 被写体モデルの定義

映像上でなぞる(図-8)。次に、概形を定義した図形にコールバックルーチンを定義する。MUは映像上に作画されたオブジェクトおよびそのコールバックルーチンと、それらがレイアウトされた映像(カメラに関する情報:カメラの識別名,撮影方向,姿勢,ズームの度合など)とを対にして記憶する。実行時にオペレータが監視映像に映っている機器をポインティングすると、MUはその映像の背景に定義された被写体モデルを調べてポインティングされた位置にあるオブジェクトのコールバックルーチンを実行する。以上のように、MUでは系統図上などのグラフィカルオブジェクトだけでなく監視映像に映っている機器にも直接操作が可能なユーザインタフェースを簡単に構築することができる。

5. おわりに

制御システムでは、雇用難、3K忌避対策などの観点からオペレータの小人数化がますます進みつつあり、それに対応できるように、ユーザインタフェースの高度化も必要になっている。小人数のオペレータが有効に協力しあえるような協同作業支援技術や、より多くの作業を遠隔から行えるような人工現実感技術などが導入されていくであろう。UIMSの今後の課題の一つは、こうした新しいユーザインタフェース技術を順次取り込み、応用システムが手軽に利用できるようにすることである。

参考文献

- 1) 稲垣: リアルタイムに動作する画面を設計できるGUI構築ツール, 日経コンピュータ 1991.3.25, pp. 197-202 (1991).
- 2) 谷越, 荒井, 谷, 横山, 谷藤: 非定形 UIMS の概念, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 9, pp. 1366-1374 (Sep. 1990).
- 3) 谷, 山足, 谷越, 二川, 谷藤: 映像への直接操作を用いたプラント運転監視用マン・マシンインタフェース, 電学論 D, Vol. 111, No. 12, pp. 1366-1374 (Dec. 1991).
- 4) 宮崎: グラフィックモニタシステム HIZAC GM-4000, ファクトリ・オートメーション, Vol. 9, No. 8, 日本工業出版 (July 1991).
- 5) 森岡, 末木, 村山, 小中: ヒューマンインタフェースを担う高速・高精細 CRT 装置, 日立評論, Vol. 74, 日立評論社 (Feb. 1992).
- 6) Card, S. K.: Human Limits and the VDI Computer Interface, In Baecker, R. M. and Buxton, W. A. S. (Eds.), Readings in Human-Computer Interaction, Los Altos, California, Morgan Kaufmann Publishers, pp. 180-191 (1987).
- 7) DeSoi, F., Lively, W. M. and Sheppard, S. V.: Graphical Specification of User Interfaces with Behavior Abstraction, CHI '89 Conference Proceedings (Austin, Texas, April 30-May 4). ACM, New York, pp. 139-143 (Apr. 1989).
- 8) Davidson, W. G., Keller, C. L. and Evans, J. W.: Architectural Implications of Full Graphics in Energy Management Systems, IFAC Symposium on Power Systems and Power Plant Control, pp. 768-770 (1989).
- 9) Foley, M., Bose, A., Mitchell, W. and Faustini, A.: An Object Based Graphical User Interface for Power Systems, 92 WM 183-4 PWRs, IEEE (1992).
- 10) Green, M.: The University of Alberta User Interface Management System, SIGGRAPH '85 Conference Proceedings (San Francisco, California, July 22-26), ACM, New York, pp. 205-213 (1985).
- 11) Myers, B. A.: User-Interface Tools: Introduction and Survey, IEEE Software, pp. 15-23 (Jan. 1989).
- 12) Tani, et al.: Object-Oriented Video: Interaction with Real-World Objects through Live Video, CHI '92 Conference Proceedings (Monterey, California, May 3-7, 1992). ACM, New York, pp. 593-598, pp. 711-712 (May 1992).

(平成4年7月10日受付)



谷 正之 (正会員)

1956年生。1980年東京工業大学工学部電気・電子工学科卒業。1982年同大学総合理工学研究科(物理情報専攻)修了。現在、(株)日立製作所日立研究所にてヒューマンインタフェースの研究に従事。電子情報通信学会、電気学会、ACM各会員。



平沢宏太郎 (正会員)

昭和39年九州大学工学部電気工学科卒業。昭和41年九州大学大学院工学研究科(電気工学専攻)修了。工学博士。(株)日立製作所大みか工場主管技師長。システムと制御の研究開発に従事。最近、大規模システムの制御およびこのための基本技術に今後展開すると予想される脳科学、神経情報処理、分子生物学、遺伝システム論などに関心がある。電気学会、計測自動制御学会、米国IEEE各会員。