

計算機時代における土木設計の趨勢

丸安隆和*・村井俊治**・若林芳夫***・嶋田厚二***

まえがき

複雑化する社会環境、絶え間なく進歩する技術が“設計”の分野にますます多くの要求を課することになってきた。設計者は、このような状況のもとで、その存在を価値づけて行くためには、常に新しい技術について学び、かつ正しい認識をもつように努力し続けなければならない。

社会の複雑な問題についての非常に多くのデータを集め、これらを迅速に処理し、その中から最適解を得るためには、従来のような直感や経験だけではとうてい不可能であって、新しい方法や道具を導入することが必要となってきた。この意味で電子計算機は、設計者がどうしても利用することを考えなければならない道具となり、設計は明らかに情報処理の領域に入ったといえる。

多くの場合、設計者が設計に関する問題を解くのに、まずその構想をたて、それを具体化し、その構成が明確になると、そのあとに続く作業の大部分は機械的な作業となる。計算機はこれらの退屈で時間のかかる仕事から設計者を解放し、より多くの時間を構想を練り、判断を下すという高度な仕事に没頭させることを可能にする。たとえば自動製図機を用いれば自動的に製図することが可能となり、さらにグラフィック ディスプレー（ブラウン管に自由に図を描き出させる装置）によって任意の方向から見た透視図を描かせることができる。3次元の模型が必要であれば、ミリングマシンによって、自動的に切削して、これをつくることもできる。

このような可能性は、設計者がその解を検討することをきわめて容易にするし、これによって構造物が、コンクリートやスチールで実際につくられる前に検討し、改善し、新たに出発することを可能にする。これは、設計者にとってはきわめて重要なことであり、“よい設計”を生むための必要条件である。

また、計算機は単に人間の手作業を肩代りするだけでなく、無限に近い情報処理を可能にし、設計問題にお

ける必要条件やそれらの関連性を解析することができる。計算機を用いている分野は、工学計算、事務計算だけではなく、印刷・美術などきわめて広範囲におよんでいるが、特に有効に利用できるのは、たとえば設計時に図を描かせてその解を検討するという場合のように、設計者と計算機とが互いに対話しながらその構想をかためて行けるような分野であろう。その意味では土木工学における電子計算機の利用は特に有効である。

計算機は一般用として使われだしたのが1950年であることを考えると、確かに計算機技術は最近の発明である。しかし、この約10年間に標準的な電子データ処理装置は10倍も小さくなり、100倍も速くなり、演算に要する費用が1000倍も少なくなった。multiprogramming および time sharing system の発達によって、一人一人の利用者が、それぞれの事務所、実験室または家庭の仕事場に備えた入力装置を用いて、数百人もの人が時間分割して使用できるようになり、計算機を知識や技術のプールとして役立たせ、だれでも必要に応じてこれらを引き出して利用できるようになった。

また計算機技術に熟練していない設計者が“どうしたら計算機が使えるか”という問題は、幸いなことに段々重要なことでなくなってきた。将来は書きまたは話した言葉がそのまま計算機に入力できるようになるだろう。そして、電話の自動交換機や通話の機構を知らなくて通話ができるような程度に計算機を使いこなすことができるようになるという。

計算機は、これからどのように設計やわれわれの環境に影響するだろうか。今日の設計者は計算機時代に処して行かなければならないし、従来の慣れた保護から脱して、新しい方法を学んで行かなければならない。設計者の問題を解くために、計算機の専門家を置く必要のないよう、設計者は自ら計算機技術を学びとらねばならない。

筆者らは、一貫して電子計算機と人間とが助け合うことによって、土木設計作業の最適化を図るシステム——Man-Machine System——を提唱してきたが、最近アメリカにおける計算機の応用に関する新しい技法を Design Quarterly 1966/67 が特集した。その中から、特に土木工学に関連のあると思われるいくつかの記事をここ

* 正会員 東京大学教授 生産技術研究所

** 正会員 東京大学助手 生産技術研究所

*** 学生会員 東京大学大学院 生産技術研究所

に抜萃して紹介することにした。

1. M.I.T. の開発した Man Machine System

(1) Sketchpad System を用いた Man Machine System の考え方

M.I.T. の S.A. Coons 助教授は、設計の創作過程における人間と機械の役割について、つぎのような意見を述べている。

“設計者は当初、設計するものについて、明確な概念を持っているわけではない。一般に、漠然としているか、全くつかみどころのないものであるかが普通である。このような意味で、設計過程とは、学びつつ発展させる過程といえよう。この過程の中で、発見というエキサイティングな場面のおこることも期待できるが、単調で時間のかかる機械的な仕事のために、その機会をみすみす逃してしまうことがよくある。したがって、設計者には、人間が得意とする仕事にだけ没頭させ、非創造の仕事は、計算機に肩代りさせることが正しいあり方である”。

“設計過程における人間的な面は、創意にあるといえる。創意とは、はじめはぼんやりしていて明確でない夢のような計画を、把握し、これを具体化して、量的に評価できるような形にすることなのである”。

“このような人間の役割に対して、機械的な面とは、解析手段そのものであり、数学の計算はその一例である。人間は、数学の証明の詳細な計算部分を、紙と鉛筆または、その他の機械的手段を用いなければフォローすることはできないが、一方数学的問題を組み立てたり、それを設計の手段として利用する方法を考えたりすることのような創造の仕事は、機械にはできないものである。すなわち、人間がすることが可能であり、しかもしなければならぬことと、機械的であるがゆえに、機械がすべきものとは、当然分離しなければならないものである”。

“工学分野の設計者は、美学よりも数学を取扱うことの方を好むが、数学者でさえ、その証明に美学的センスを利用するという。いわんや工学分野のあらゆる設計者は、美学に興味があるなしにかかわらず、設計の過程の中で、美学的センスを十分にとり入れなければならないのである”。

(2) Man Machine System の必要条件

設計する際の非創造的分野を計算機に肩代りさせ、機械のできないことを人間が行ない、人間のできないことを機械にさせるというようにして、人間と機械が協力しあって設計をすすめるためには、つぎのような条件が必

要とされる。

① 設計者と機械が自然な形で話しあえること。

情報交換の方法の中には、図解的な伝達方法も、もちろん含まれる。

② 設計者が即座に計算機を使用できること。

これは、経済的に採算がとれなければならない。ただ一人の設計者が、いつも計算機を占有していたならば、設計問題を解くには莫大な費用がかかることになる。したがって、多人数の設計者が時間を分割して一台の計算機を共用し、しかも、個々の設計者は、あたかも自分一人が計算機と応答しているかのように迅速に問題を処理するシステム、いわゆる Time Sharing System が必要となる。

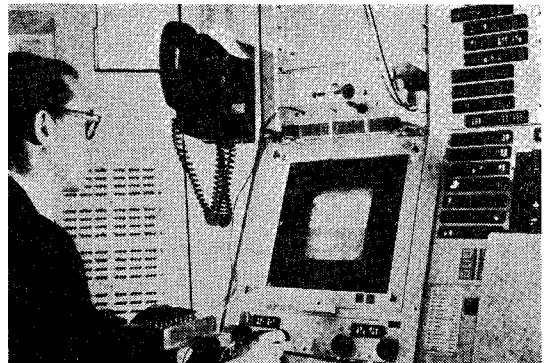
かくして、設計者は計算機に連結された端末装置（これを Console という）の前に座り、図、文字、数字などを用いて、計算機とあらゆる型の対話を行ないながら、合理的な設計をすすめることができるのである。

(3) Sketchpad System

Sketchpad System とは、前に述べたような Man Machine System を行なうのに、ブラウン管 (Cathod Ray Tube : 以下略して CRT と呼ぶ) をとおして図解的な対話を行なう方法である (写真一)。

設計者は Console の前に座って、計算機が演算した結果を CRT 上に映し出すこともできるし、CRT 上に設計者の描いた図形を計算機の中にデジタルな形で憶え込ませることもできる。また、CRT 上に描かれた図形に対して、ある指令を与えることによって、この図形を回転させたり、変形させたりすることもできる。この場合、何度も使用する基本的な図形の原型、たとえば直角のようなものは一回つくるだけでよい。Sketchpad System では、幾何学的な図形の入出力のほかに、たとえば、“2本の直線を平行にせよ”とか、“円を描け”というような指令を、像 (Icon) として CRT 上に描いておき、この像をライトペンで示すことによって、この

写真一 Sketchpad System における機械と人間の対話



指令を行なうことができる(写真-2)。

また、たとえばトラス橋の図を CRT 上に描き、このトラスのある部材にある荷重が作用したとき、各部材にどれだけの応力およびたわみが発生するかを、CRT 上で知ることができる(写真-3)。

新しく開発された Sketchpad-3 では、CRT を4つの象限に分割して、平面図、正面図、側面図を描けば、自動的に任意方向から見た透視図を描けくことができるだけでなく、設計者が4つの象限のどれか1つに修正を加えると、その結果は自動的に他の3つの象限にあらわ

写真-2 Sketchpad System における Icon の例

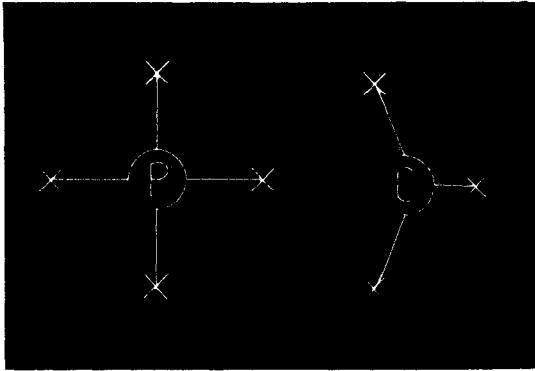


写真-3 Sketchpad System によるトラスの応力とたわみの解析

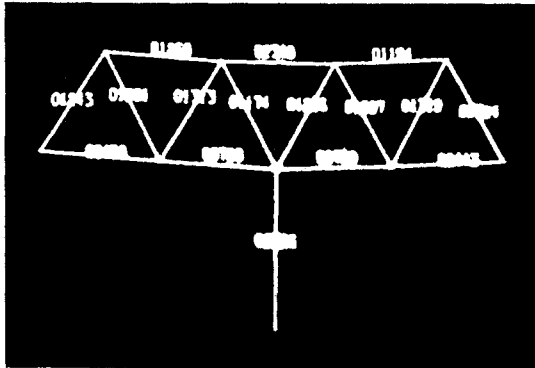
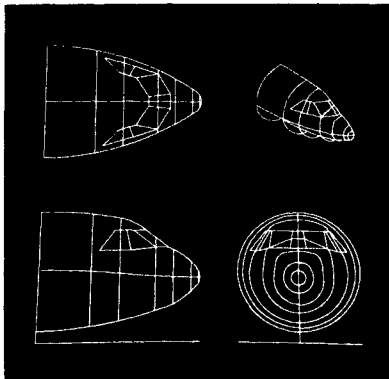


写真-4 Sketchpad System における透視図の作例



れるのである(写真-4)。

このようにして設計者は、設計するものをあたかも手にのせてみるかのように、いろいろな方向からこれを眺めかつ数学的な解析を行ない、改良を重ねながら設計をすすめることができるのである。

2. ボーイング社の開発した Computer Graphics System

(1) Computer Graphics の概要

Computer Graphics とは、1. で述べた M.I.T. の Sketchpad System と同じく、設計機と人間との間の伝達を視覚に訴えるシステムである。

ボーイング社では視覚に訴える方法として、自動製図機による図面、写真フィルム、またこれらの内容を CRT 上に描く方法をとっている。たとえば、計算機とオンラインしている Illustromat 1100 という自動製図装置は、水平な机の上でデータを修正し、前部の Console で計算プログラムを実行させることにより、垂直な製図板上に自動製図を行なわせるようになっている(写真-5)。

William A. Fetter は Computer Graphics という論文の中で、Computer Graphics の基本的なプロセジュアは、つぎのような流れにしたがって行なわれることを示している。

① 適用性の確認

与えられた問題を Computer Graphics で解くのが最適であるか否かを確認する。

② 伝達方法の設計

伝達方法、およびその順序等を決める。

③ データ リストの作成

測定値を計算機に入るように書き換え、さらにパンチカードを作成する。

④ 計算およびプログラミング

上のパンチカードと、Computer Graphics 用のプロ

写真-5 Illustromat 1100

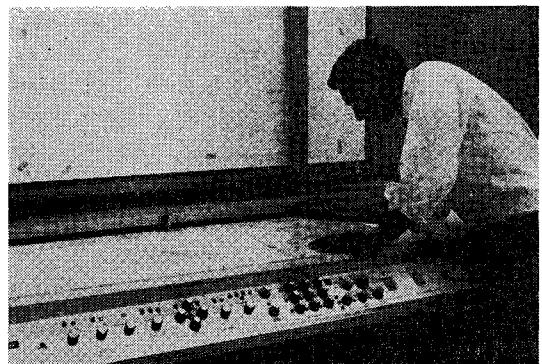
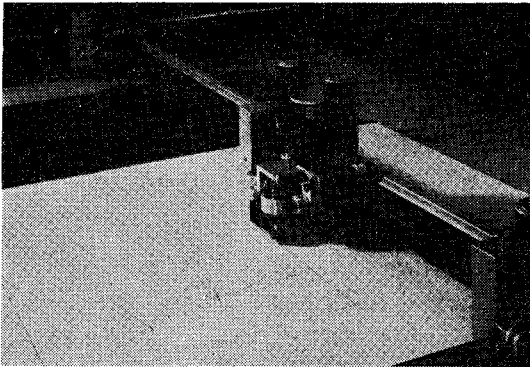


写真-6 自動製図装置



グラミング カードとが計算機内で合わされ、Computer Graphics 用のマグネティック テープをつくり出す。

⑤ 自動製図

④ でつくられたマグネティック テープによって自動製図装置を動かし、自動的に製図する(写真-6)。

⑥ 最終仕上げ

自動製図されたものに文字を加えたり、アニメーションして映画をつくったり、さらにフィルムにとって複写できるようにする。

(2) Computer Graphis の応用例

W.A. Fetter のあげているいくつかの応用例のうち、つぎの3つを紹介することにする。

a) 配置計画

ニューイングランドの山岳地帯に、ある飛行機が地形にそって 500 ft (約 150 m) および 200 ft (約 60 m) の低空飛行をしてきたという想定のもとに、この飛行機を3つのレーダーでとらえるためには、どのような地形障害があるか、またどの位置にレーダー基地を配置したらよいかを決定するという配置計画が生じた(写真-7 (a))。

この問題を解くために、まず原等高線地区から必要最小限の等高線上の点、および飛行機の航跡点をデータとしてとる。これらのデータにより Computer Graphics を用いて、任意の高度から見た透視図を作成し、これを修正することによって、山岳地形と航跡の見える部分とを知ることができる。たとえば、写真-7 (b) は等高線および航跡のデータであり、写真-7 (c) はこれを高度 20 000 ft (約 6 000 m)、地図中心から 6 mile (約 9 600 m) 離れた点から見た透視図であり、写真-7 (d) は陰影部の線を消し、山の外形線を加え、さらに飛行機の航跡のうち見える部分だけを残したものである。

こうして、任意の位置にあるレーダーから見たときの、飛行機の航跡およびその地形障害を検討することができる。写真-8 は、あるレーダー基地から見た航跡の

写真-7 Computer Graphics による配置計画の一例 (上から (a) (b) (c) (d) 図を示す)

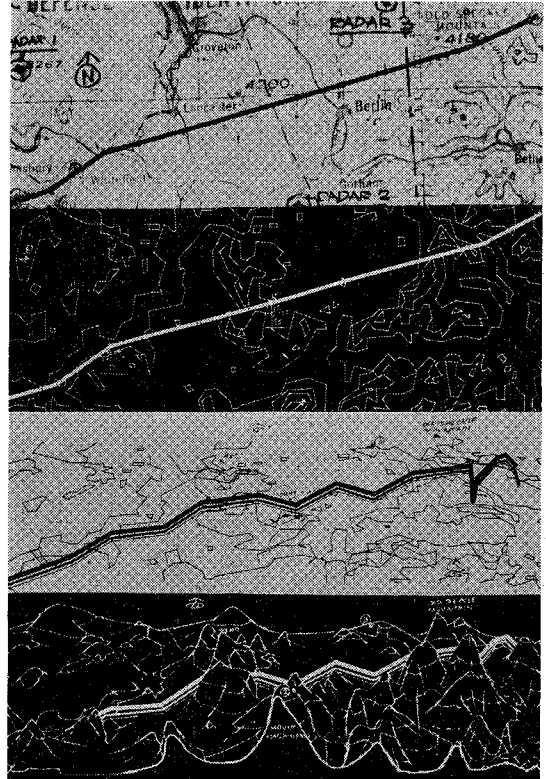


写真-8 Computer Graphics による飛行機の航跡、地形障害の検討

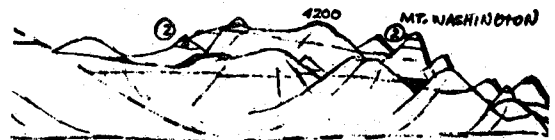
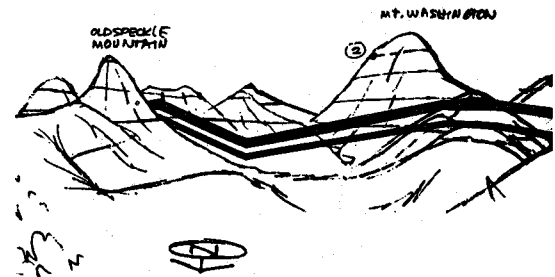


写真-9 Computer Graphics によってえられた飛行機の航跡



見える部分（ぬりつぶした部分）を示して、この基地からはほとんど見える部分がないが、他のレーダー基地から見ると、写真-9 のように飛行機の航跡をよくとらえることができる。このようにして、3つのレーダー基地を合せれば、航跡全体をとらえるようにレーダー基地を配置することが可能となる。

b) 人間工学への応用

飛行機の操縦席の設計を行なう際に、どのような座席をつくれれば視界がよくなるかを検討する問題が出てくる。

操縦士が座った状態でどの程度の視界があるかを知るために、いろいろな姿勢をしたときの視界の包絡線をつくれれば、その座席の優劣が判断できる。写真-10 (a) は、座ったままの姿勢で見える範囲を示し、黒い部分は視界が遮断された部分を示している。写真-10 (b) は操縦士が頭だけをまわしたとき、視界が拡大されたことを示し、さらに 写真-10 (c) は操縦士が上体を動かしたときの視界を示している。

また、Computer Graphics は標準的な人体の測定データをもとにして、任意の動きをしたときの人体の姿勢をつくり出すことができる。写真-10 (d)(e) は普通に座っている状態と同時に、手をいっばいに伸ばしたときの姿勢を示している。このようにして、Computer Graphics は人間工学の研究に応用することができるのである。

c) 動 画

飛行機が滑走路に着陸しようとするときに、操縦席か

写真-10 Computer Graphics の人間工学への応用例
(左側上から (a) (b) (c)、右側上から (d) (e) を示す)

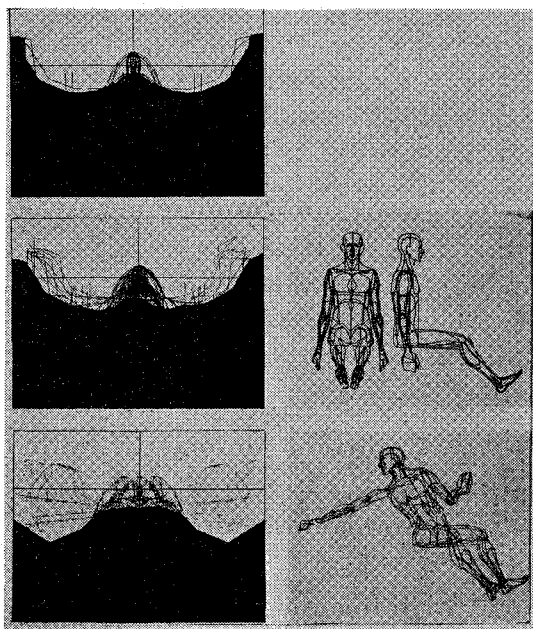
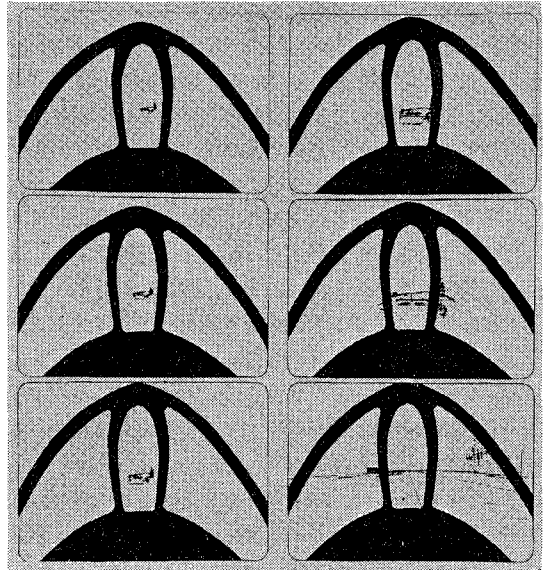


写真-11 Computer Graphics による動画の例



ら滑走路がどのように見えるかを検討する必要がある。飛行機の各方向の揺れやスピード、降下角、着陸時の衝撃を考慮して、一秒きざみの滑走路の姿を描き、これに飛行機の前頭部のために見えない部分も同時に書き入れる。各状態の多数枚の画を映画のように連続して映し出すことによって、写真-11 に示すような操縦席から見た着陸状態をつくり出すことができる。Computer Graphics は、このような動画をつくり出すことによって、動的な実験を行なうことができるのである。

以上の応用例に示された技術は、土木工学のいくつかの部門で応用できるであろう。たとえば、道路の建設前に、道路透視図を連続的につくり出すことによって得られた動画を眺めながら、道路線形の検討を行なうことができる。また、ある展望台から眺めた観光道路や橋の景観を論ずることもできるのである。

3. GM 社の開発した Man-machine Communication System

(1) DAC-1 system の概要

GM 社が開発した man-machine communication system は DAC-1 (Design Augmented by Computers の略称) と呼ばれ、つぎのような機能をもっている。

① 高速電子計算機を通じて、迅速で正確な図形データの入出力ができる。

② 柔軟性のあるプログラミングシステムにより、man-machine communication が可能である。

図解的伝達方式に関し、GM 社の Edwin L. Jacks

は“Design Augmented by Computers”という論文の中で、つぎのうよな意見を述べている。

“1つの製品を完成するまでの各段階で、工学的な図面は、重要な役割を果たしている。すなわち、デザインの提案、それに続く工学的な解析、デザインの改良、および原型の作製などの段階における技術者と設計者の間の意志疎通は、図解的伝達方式にたよっているのである。デザインされたものをどのように工作するにしろ、製作技術者にとっては図面だけがたよりのものである。最終的な図面がかかれる前に、素描、製図、設計書などを通じて多くのアイデアが交換されるのが常である。工学設計では、工学的な解析を行なう人と図面をつくる人は同一の場合が多い。なぜならば、図面をつくるということは、設計の際にうかんだアイデアを具体化する道にほかならないからである”。

DAC-1 system は、以上述べた思想をとり入れて、設計者のアイデアと計算機の理論的解析の結果を図解的な手段によって伝達し合うことを目標としている。

この system の hardware としては、主につぎの3つをあげることができる(写真-12)。

㊤ IBM 7094

disk および drum をとり付けて記憶容量を大きくしている。

㊦ IBM 7960 図形処理装置

図形データの入出力ができる装置である。

㊧ Graphic Console

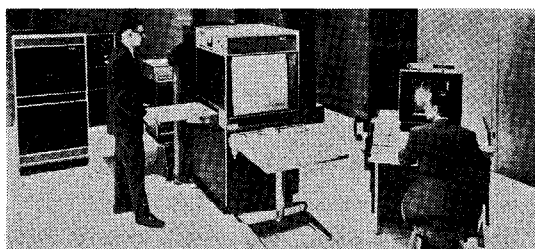
CRT、カードリーダー、キーボード、プログラム命令スイッチ、指示灯などからなっており、設計者と計算機が図解的な情報を交換できるようになっている。

一方、soft ware では、DAC-1 system に柔軟性を与えるためと、もう一つは、社内的な計算機需要を考えて、つぎのようなシステムをとっている。

① Multi programming system

設計者が CRT 上に写し出された図形を見て考えている間、計算機がなにもしないで待機しているというのでは大変不経済である。そこで、GM 社では、1/1000 秒単位で一つのプログラムから他のプログラムへの切り換えを行ない、絶えず計算機を働かせておく time sharing

写真-12 Man-machine communication system における hardware の一例



system を採用している。

㊨ Monitor-system

上に述べた time share 1/1000 秒より速い応答速度で図形処理を行なうために考え出されたもので、DAC-1 用と、それ以外の目的のプログラムにおける磁気コア、および data channel の使用区分を決め、割り込みプログラムを処理し、数多くのプログラムを待避させたり、呼び出したりすることを動的に行なえるようにしている。

㊩ disc library program

図形データを自由に入出力し、それを変形したり、修正するためには、数多くのプログラムや、サブルーチンプログラムを自由に呼び出せ、同時に、CRT に映し出された細部のデータを格納できなくてはならない。disc library はこれらの指令やデータを disc にファイルするものである。

以上のような機能を満たすシステムによって初めて、設計時の人間の独創性を生かす計算機の使い方ができ、図解的な設計問題を処理できるのである。

(2) DAC-1 system の図形処理方法

DAC-1 の使い方はつぎの順序にしたがう。

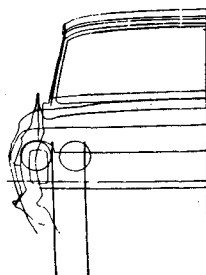
① まず、設計者は、スケッチとか図面をたよりにして設計問題のステートメントを設計用語 (design language) に書き直す。そして、それをカードにパンチし計算機に覚え込ませる。

② つぎに、人間と機械をつなぐ console を通じて、プログラムの実行を命令する。

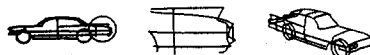
③ プログラムが実行されると、計算機はステートメントの文法的な誤りを探し、もし誤りがあれば、エラーコメントを出す。

④ ステートメントの修正が終ると、計算機は CRT 上にその答を図にして映し出す。

⑤ 設計者は、CRT 上の図を、たとえば写真-13に写真-13 Man-machine communication system による図形処理



Changes in the shape of the front of the car as the design evolves. The design is shown in the original perspective.



示されているように拡大したり、好きな方向から見た透視図を映し出させたりして、十分に検討を加えた後、もしそれが満足すべきものでなければ、線を加えたり、パラメ

ーターを変えたりして、console 上で修正することができる。もし満足すべき解が得られた場合は、フィルムをつくるように計算機に指示することも、さらに、自動製図機用の制御テープをつくらせることもできるのである。

DAC-1 における図形処理方式の目的は、図面を通じて、人間と人間が意見を交換し合っていると同一ことを人間と計算機にさせることである。これを可能にするために、人間-機械間の伝達方法として、つぎにあげる4つのことが考え出された。

㊸ 静的図形処理

これは、CRT に映し出された図のハードコピーをつくらったり、CRT に映し出されている図をデジタルな形で読みとらせることである。

㊹ 動的図形処理

設計者達が話し合いながら、製図をするという人間同志の伝達方法と同じような方式で設計を行なえるシステムである。これは、CRT と位置指示ペンを用いて動的な図形処理を可能にしている。

㊺ 図形比較

情報の相違や類似の度合を比較するために、2つの図形を重複して写し出せる。

㊻ 非図形情報の処理

これは、alpha-numeric なデータを入力するためのキーボード、プログラムを制御するキー、および人間に計算機が合図を送るための合図灯などを使って非図形的な情報を処理するのである。

(3) Man-machine communication のあり方

人間-機械間の図解的な伝達方式のもつ長所の一つは、それによって、問題のどの部分が計算機によって解決でき、どの部分が人間によって解決されねばならないかをはっきりと知ることができることである。従来の計算機の用い方は、“人間を計算機に近づける”という考え方に立ち、計算機に直接質問するという一方通行的なものが多かった。しかし、人間-機械間に図解的な伝達方式を用いることにより、計算機が console の前にいる人間につぎに行なうべき指示を求めるようなプログラムをつくるのが可能になった。すなわち、計算機につぎのようなことをやらせることもできるのである。

“私のつぎの仕事は何か？ここに答を出します。つぎは？”とか、“私には、全部を理解することはできなかったが、わかるかぎりの答をここに示します”というようにことを計算機にいわせることもできるのである。

4. 土木計画および設計における Problem Solving Process

(1) Problem Solving Process の考え方

Problem Solving Process (以下 P.S. Process と略称)とは、計算機を使って複雑な設計問題を解くための system と考えて良い。高速道路、インターチェンジ、都市計画、輸送計画など、土木工学における設計問題は数多くの要素が非常に複雑に関連しあっているため、唯一の数学モデルを組み立て、その解を求めるだけでは不十分である場合が多い。

たとえば、輸送計画を立てる場合にも、つぎのような問題がおきる。

① 要素の多様性

設備、作業様式など考えるべき要素は非常に多く、すべてを列挙しつづすのは困難である。

② 考慮せねばならない影響の多様性

維持管理費、税収入、人口変動、および社会構造の変化というようなことの輸送計画に与える影響は複雑で、理論式で表現できるものは少なく、最適設計における制約関数を数学的に表わすことは困難である。

③ 数多くの複雑な相対関係

輸送モデルが異なれば、それらがいかに影響し合うか予知することはむずかしく、新しい選択が行なわれたときの望ましさを測ることは困難である。それゆえ、唯一の目的関数を組み立てるだけでは、最適輸送計画問題を解決することはできない。

そこで、P.S. Process では、理論化できない (ill defined) 問題を解くために、「探索 (Search)」と「選択 (Selection)」と呼ばれる「手続き (Procedure)」を繰り返すことにより設計問題をテストし、評価した後、修正するという方法で最適な解を求めるという考え方をする。

(2) P.S. Process のモデル

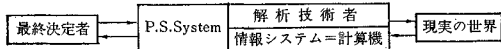
P.S. Process は、計算機の利用方法によって「データ」と「手続き」の2つに大別できる。ここでいう「データ」とは、計算機システムの「ファイル」に相当するもので、後に説明する「処置 (Action)」から「ゴール」に至るすべてのものを含んでいる。「手続き」はさらに「探索」と「選択」に大別でき、「選択」はさらに「予知 (Prediction)」「評価 (Evaluation)」「選定 (Choice)」に分けられる。「手続き」により得られた結果から、新しい「ファイル」が作り出されるのである。

a) P.S. Process の「手続き」

P.S. Process は現実の世界において選択可能な計画、すなわち「処置」を取扱うものである。まず、数個の「処置」が考え出され、それらに対して優劣順位が設定される。もしこれらの「処置」のなかに、最も望ましい

ものがあれば Process はここで終了し、もしそうでなければ「探索」が繰り返され、新しい「処置」が引き出される。こうして、現実の世界で実行でき、十分に満足に行くものになるまで繰り返される。これをわかりやすく表わすと 図-1 のようになるであろう。

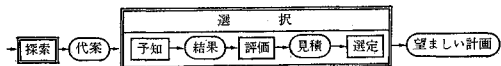
図-1 P.S. Process の基本構成



このように、P.S. Process は「探索」して「選択」するという試行錯誤の方法が基本になっている。この考え方は、一つの数学的モデルを解くことによって直接に最適解を求めるという考え方とは対立するものであろうが、後者をただ1回の「探索」および「選択」の操作に対応するものと考えれば、P.S. Process は広義の最適化の方法であると考えられることもできる。

P.S. Process の基本的な過程を 図-2 に示す。この

図-2 基本的な P.S. Process



構成図 からわかるように「選択」の手続きは、「予知」「評価」および「選定」の3つからなる。「予知」とは、ある「処置」が、仮りに現実に実行されると、どんな結果が得られるかを予知することであり、たとえば、構造設計における材料の信頼度や重量の計算にあたる。「評価」とは、予知された結果の相対的な優劣を決めることである。評価のための尺度は、たとえば、コスト、安全性、美観など多様であり、唯一の価値尺度であるとは限らない。「選定」は、数個の「処置」に対して行なわれた評価にもとづいて決められた優劣順位によって、1つの「処置」を選定する手続きである。P.S. Process の「手続き」には、「探索」と「選択」のほかにつぎのようなものがある。

① 「ゴール (Goal)」

最適な解を求める手続きであるが、P.S. Process の実行にしたがい、最適解に対する条件が急激に変わることも考えられる。それゆえ、「ゴール」の手続きでは、目的関数の公式化と修正が最も重要な問題となる。

② 情報分析

現実の情報を検討する手続きであって、流入する情報にしたがって、実行不可能な「処置」を、ファイルから消し、あるいは、新しいデータをつけ加えたり、修正したりする手続きである。

③ 仮説設定、検査および検証

予知とか評価において使われるモデルや計画を開発するのに必要な手続きである。

④ 分解 (Decomposition) と再成 (Restruction)

問題の解析を容易にするためには、いかにすれば、小問題に分解でき、また、その小問題から得られた部分解をいかにして全体の解に合成するかという問題を扱おう「手続き」である。

⑤ 総合手続

P.S. Process の総合的な実行を制御する手続きである。P.S. Process のどの時点においても、選択可能で有効な手続きは数多くあるが、総合手続により、そのうちのどれを用いるかを決定する。

P.S. Process の応用例として、高速道路の路線選定の問題をつぎにあげる。問題は、マサチューセッツ州のスプリングフィールドからノーザンプトンに至る 32 km の高速道路の路線選定を行なうものである。このために、26 個の要因を設定し、これらの要因を図-3 のように分類分解することによって、全体の解Aを求めるわけである。

これらの要因を図-3 の構成にしたがって小問題に分解し、解決しながら、最終解にもってゆく。たとえば、図-3 中のPという部分解は下に述べる 1, 3, 10, 25 の要因と合成することによって、写真-14 のようにして得られ、また最終的な解Aは写真-15 のようにして求められる。写真-16 はこの結果を地図に書き込んだものである。

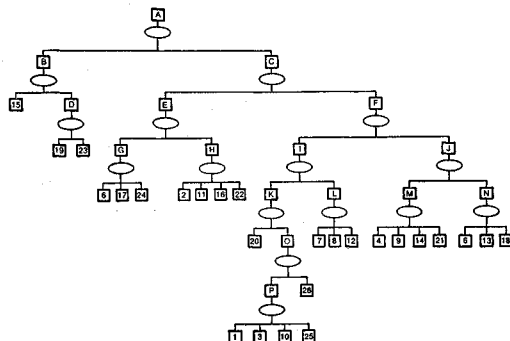
(3) P.S. Process の原理

最後に P.S. Process の原理をまとめてみよう。

① P.S. Process は種々の手続きの応用である。

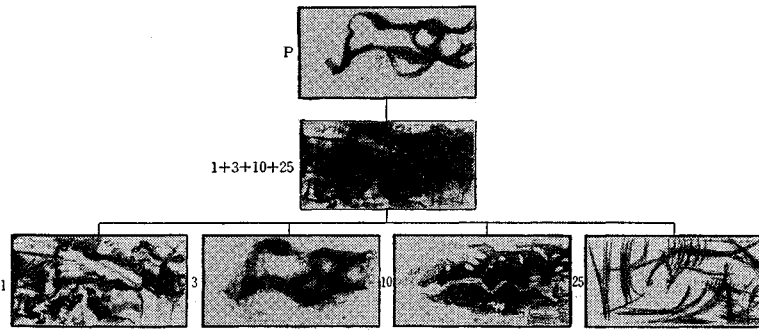
すでに述べた問題を解くためのマンマシンシステムを考えるならば、すべての手続きを使いこなさなければならぬ。

図-3 要因の分類・分解

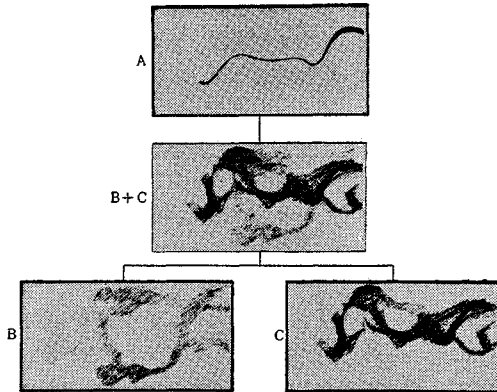


- 1 土工費 2 快適性および安全性 3 地域開発性 4 局地開発性
- 5 荒地 6 建設時の障害 7 ユーザコスト 8 サービス 9 交通時間
- 10 舗装および路盤工費 11 排水パターン 12 橋梁費
- 13 用地費 14 美観 15 騒音 16 排気ガス 17 気候 18 補償できない公私の損失
- 19 公共投資 20 現況の交通需要 21 流域
- 22 接近可能性と開発度 23 将来の輸送システム 24 現在の輸送システム
- 25 施設の重複 26 誘発性

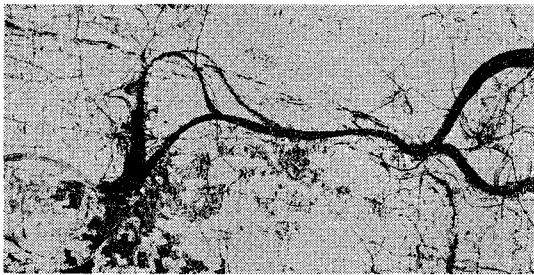
写真—15 P.S. Process による路線選定・部分分解の合成



写真—15 P.S. Process による路線選定・最終的な解



写真—16 P.S. Process による路線選定・地図へ記入したものと



② 人間と機械の役割は P.S. Process のそれぞれの手続きにおいて異なっている。

P.S. Process においては、人間と機械の役割のバランスをはかることが一番重要なことである。人間のもつインスピレーションと合理性は共存し得るものであり、全体を通じての目的は、独創性を増すことである。P.S. Process のうち、「予知」の手続きにおいては、計算機を最大限に使えるであろうし、「選定」にはほとんど使えないであろう。「探索」と「評価」には一部使用できるであろう。

③ 手続きのなかには、一般的なものがあり、種々の設計、計画に応用できる。

「予知」の手続きのほとんどは固有性の強いものであるが、「探索」および「評価」の手続きの中には、たと

えば、「山登りの方法」「勾配傾斜法」「数学的プログラミング」、クリストファー アレキサンダーの「分類分解法」などがある。「評価」の手続きの中には、経済学的公式などのように汎用性のあるものがある。また「選定」「総合手続」「ゴール修正」「情報分析」はかなり一般的なものになるであろう。

④ P.S. Process は柔軟性

のあるものでなければならない。

P.S. Process はあらかじめ完全に順序づけられた手続きではないのであって、設計者は絶えず問題のイメージを検討し、新しい目的を見つけ、古いものを修正してゆかねばならない。設計者は今まで考えていた「処置」とは全く異なった「処置」を考えても良いし、それまで考えていたアプローチの方法をすべて放棄しても良い。

⑤ 設計者は、ただ一つの最適「処置」を得ることはできないのであって、ただ最適過程を得るのみである。

すなわち、最適な「処置」を選び出すための唯一の規準はないのであって、最適な「処置」というものを意味づけることは困難である。重要なのはむしろ問題を解く過程である。

⑥ 各手続きは連続して、もしくは平行して実行される。

multi processor や time sharing などの電子計算機技術によって数多くの手続きが平行して処理できるようになった。たとえば、「探索」と「選択」の手続きが実行されている間に、新しく人ってきた情報が分析され、ゴールの修正が行なわれる一方、「総合手続」はつぎに何をすべきかを指示するというように迅速な処理が可能になるのである。

むすび

この紹介論文は前述のように Design Quarterly を抜萃したものである。本文に紹介したどの研究者も、電子計算機時代における設計者の役割についての認識を強調し、新しい計算機の応用の方法をあげている。われわれ、電子計算機時代に生きる土木技術者にとり、大いに参考になるところが数多くあった。本文にあげたような新技術によって、合理的で、精度の高い計画や設計が可能となり、われわれの生活環境にも大きな影響をおよぼすようになるであろう。それとともに、かれわれの果たすべき役割も、一層重大なものになるのである。本文がなんらかの参考になれば幸いである。(1968.5.1・受付)