

建築教育におけるパーソナル・コンピュータ 利用の可能性について

A Note on C.A.I. in the Architectural Education

Okinori TANIGUCHI and Tomoyuki YOKOI

谷 口 興 紀* 横 井 友 幸*

序

ここ一、二年のパーソナル・コンピュータ（以下パソコンと記す）の普及は目ざましく、パソコン用CAI [Computer Assisted (or Aided) Instruction: コンピュータと対話しながら学習する教育システム] プログラムもソフト産業等により種々、次々と開発され市販されるに及んでいる。好むと好まざるとにかかわらず、正規教育の中へもCAIが登場してくるのは時間の問題であり、このことはもはやメガトレンドと言えよう。

本ノートは建築教育におけるパソコン利用を考えるにあたり、コンピュータを教育へ持ち込む危険性を検討し、筆者等の研究室で従来開発されまたされつつある学習ソフトを整理し、より望ましいシステムに発展させる為の種々の問題点などを思いつくままに記したものである。見落した重要な問題点などを御指摘願えれば幸いである。

1. 建築教育におけるパソコン利用について

まず「情報とは何か」を明らかにしておこう。

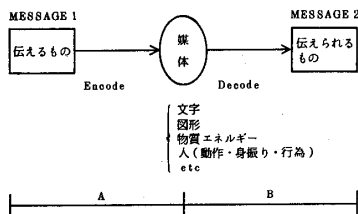


図 1 情報模式化

それは図1の様に模式化される。Aの部分は送り手に属し、伝える情報 MESSAGE 1 が媒体に合わせて Encode される。Bの部分は受け手に属し、媒体を通して伝えられる MESSAGE 2 に Decode される。この二つの情報が一致もしくは極く近似して初めて送り手の意図が受け手に伝達されたことになる。コミュニケーション(通信)とはこの情報伝達が双方向になされて成り立つと考えられる。

次に、本学での建築教育の現状を分析してみよう。様々な学問体系に対してカリキュラムが作られ、授業時間割が組まれ時間をかけて専門知識を教え込む活動が行なわれるわけであるが、それをより完全に機能させたい。現状では、まず教育制度としては、図1のAの部分だけ(講義で話す、資料を渡す、ものやスライドを見せる等々)に注意が集中し、Bの部分は当然できるであろうという期待または要求によっている。

授業中に私語している者は媒体としての音声(自分達の音声への意識)の中に埋め込ませているし、静かに聞いている者も Decode をしていないかまたは Decode できない。またその逆も生じている可能性もある。すなわち、学生は授業のどの部分が判らないかということ(私語をするなり、試験で誤答を書いたり、白紙を出したり、レポートを出さなかったり、という彼等の広義の言語体系に Encode して MESSAGE を伝えようとしているが、教師側が Decode できないか、「基礎学力が無い」、「やる気がない」等々と異った Decode をしていると

* 建築学科

これらの状況は、いわば MESSAGE 1 ≠ MESSAGE 2 という意味で教師と学生との間に通信が成り立っていないと言うことである。従って同一の言語体系で意思疎通が計られなければならない。では、どのようにすれば良き通信回路を実現できるか。それには、まず MESSAGE 1 と MESSAGE 2 との比較をできるだけ多く何度も小刻みにして、Decode がなされているか、また異ってなされているとかをチェックし、誤りを正し、共通の言語体系を獲得することであろう。

そのような一種のフィードバックをかける装置として、パソコンという媒体を位置付けたい。

それでは、コンピュータで学習させるということの危険性を考えてみよう。

次の様な例がある。

建築物の構造計算を早い段階からコンピュータを使ってやっている人は、それを紙と鉛筆と計算尺を用いて数多く行った人に比較して構造の感覚において劣ると言われる。例えば前者は 特定の柱の断面を細くしたいと言われたとき、その代りどこの柱を太くするかとか、どこの梁の断面を増さねばならないかということが即座に答えられない。それは何故か。

その理由は、計算結果を出す途中経過に立ち会っているかいないかの相違であるという考え方があろう。構造計算では、設計される建築物の部材断面の寸法を仮定して荷重を算定し、応力計算により部材に生ずる応力を求め、それにより部材の断面を設計して安全性を確認する。仮定した断面寸法が小さく、構造全体や部材の安全性が得られない場合には、仮定断面を変更して再計算しなければならない。この一連の計算や更には再計算という過程を度重ねて経験するうちに種々の条件下における計算結果の数値パターンやその推移のパターンが把握でき記憶できることになる。このことは、構造計算や構造物全体がそれに含まれる様々な要素や要因にいろいろな角度から分節化され、それらに関係付けが行われ、更にそれらを再び一つに再構成するという術が身につくと考えられないだろうか、つまりある柱断面の変化に対して「分節化—要素・要因間の関係付け—再構成」という思考の結果、影響を受ける柱、梁が即座に答えられると。これが途中経過に立ち会っているということの結果であろう。

このような事柄は処理の表面には現われてこないものである。特にコンピュータを用いる場合、計算のアルゴリズムさえ使用者には見えない。コンピ

ュータとは我々利用者にとってはブラックボックスなのだから。

CAIを考える場合これらを表面に出現せしめるか、あるいはそれと同じ効果を持たず方法を考えるのは必然であろう。例えば、ある事柄あるいは知識の応用力という観点からは、それがあつた種の要素の組合せまたは構成による場合には

- (1) それらの要素への分節化の仕方
- (2) 分節化された要素同士を関係付ける仕方
- (3) それらによって再構成したものを再び全体的なものを読み換える仕方

という三つの点を行う能力をつけることができれば、応用がきくということになる。この三つの点を把握するという事は先に途中経過に立ち会うということであろうと考えたが、これは知識習得の一つの基本的モデルと言えないだろうか。

さて、典型的なCAIの一つである問題演習プログラムでは、入力された解答の正誤を判定するのみで、その過程を問い誤りの原因を指摘するところまで組込んだものは少なからう。たとえ誤答時に過程をたどる設問を組込んだとしても、学習者の考えた解法過程と一致するとは限らない。解法過程を表示して解説する場合も同様に学習者の意図するものと異なり、かえって混乱を招く事態になるかも知れないし、また種々の可能性を一つに限定してしまいかねない危険性もあろう。

「その過程が重要であり、どう教え、どう学ぶかのコミュニケーションが教育であろう。CAIは単なる知識習得の道具としては有用であるが、教育としては適応の範囲が狭すぎる」という意見もある。

ところで、ここ数年来知識工学あるいは人工知能研究の発展が著しく、人工知能を応用したCAI [とくに ICAI すなわち Intelligent CAI と呼ぶ：人間との対話の中でたんに人間の間違ひを見つけて正すというだけでなくその間違ひから人間の知識の程度を計量し、それに従ってカリキュラムを組直し、個人々々にあつた教育をしてゆく。また人間の持っている知識モデル(それは矛盾したり間違っているかも知れない)を推量して、なぜ間違ひをしたのか、その根源はどこにあるのかといったことを分析する機能を持つシステム]が研究されつつある。人工知能には、知識を用いて推論し、問題(入力)に対する解答を演繹する機能が求められるだろうが、前述の三つの能力も期待したい。この分野の技術(知的処理)を応用すれば、上述の危険性をかなり取り除くことが期待できよう。

2. CAI プログラム開発の現況

現在、開発されまたされつつあるCAIプログラムは

- ① 構造力学の簡単な問題演習プログラム（計算問題）
- ② 同基本事項学習プログラム（択一式解答）
- ③ 設計製図図面についてのコメント表示プログラム

等である。建築教育としての特質をしいて挙げれば、構造力学では、図が不可欠かつ計算問題が主であり、問題に内在する基本事項が多く、従って解法過程が多岐にわたるといふことである（しかしこのようなことは他の分野でも十分にあり得るだろう）。また、建築の主たる設計製図では、対象とするデータが図形であり、その判定には一種のパターン認識が必要となる。特にここで前者と異なる点は課題に対する解が各学習者にとっては一つであるかも知れないが、全体には無数に存在し、力学の問題のように決まりきった解は存在しないという点であろう。

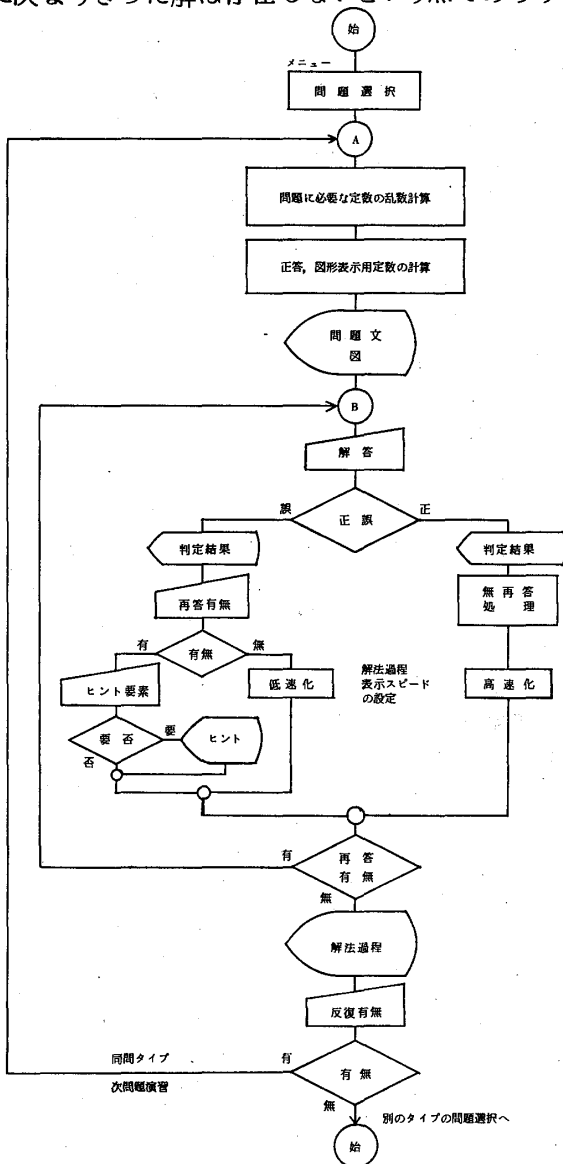
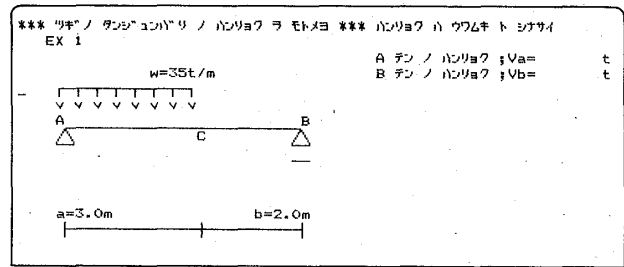
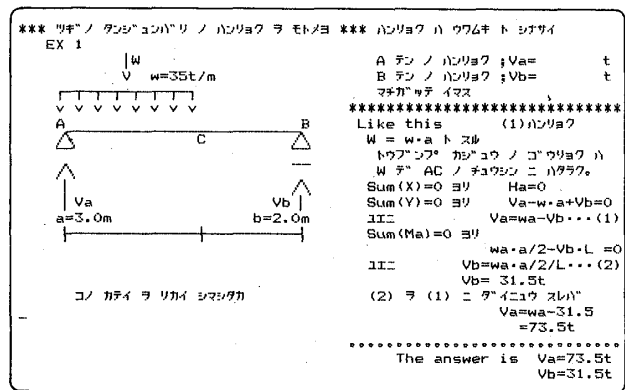


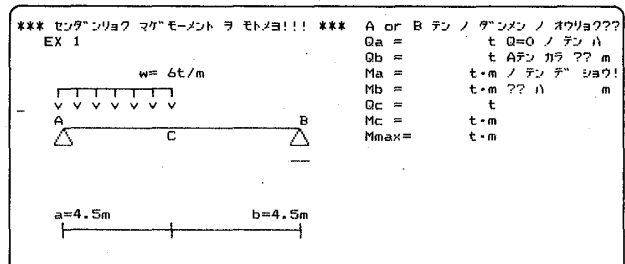
図 2 タイプ①基本フローチャート



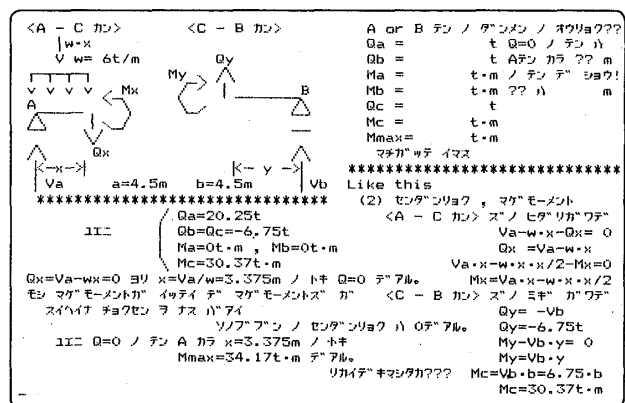
(a) 設問時



(b) 解法過程表示終了時



(c) 次設問時



(d) 解法過程表示終了時

図 3 タイプ①CRT表示例
(SORD M 100 ACEW LEVEL W BASICによる)

図2は①の基本的流れ図であり、図3はCRT表示の例である。このタイプは、反復学習を目的とし、一つの課程に沿って設問ごとに解答を入力し、正誤判定・誤答時反復の後には解法の過程を表示するという極く単純なものである。プログラムは各問題ごとに作られ、比較的プログラミングが容易であるが、問題が殖えるにつれて記録媒体 (floppy disk) の容量がなくなり、一度に選択できる問題数が少ないという欠点がある。

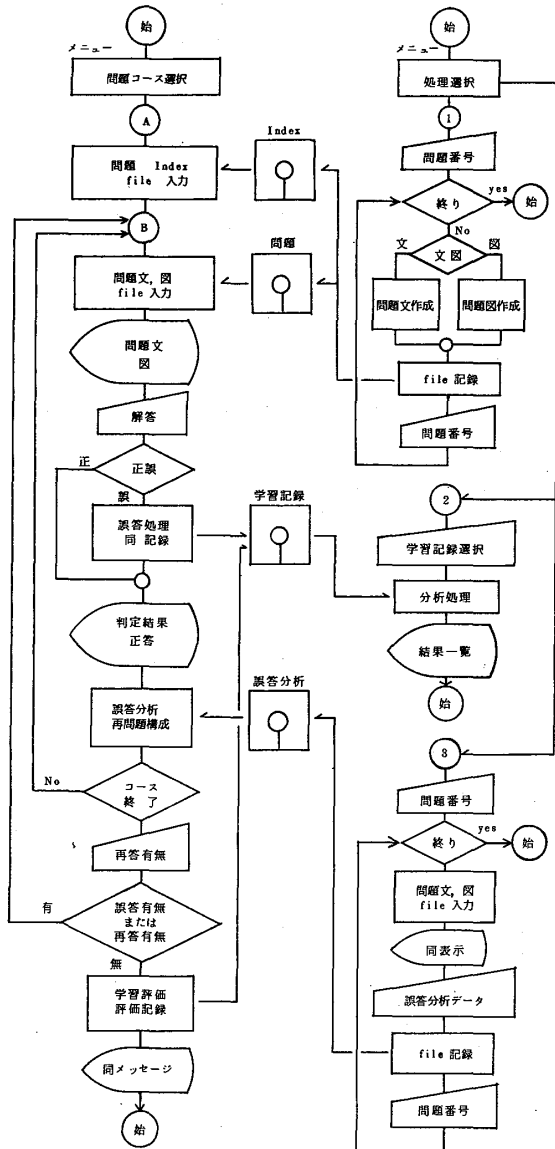


図4 タイプ②基本フローチャート

図4は②の基本的流れ図である。ここでは、問題と学習プログラムは独立しており、問題すなわち教材は別の問題作成プログラムにより作成され、学習プログラムの data として floppy disk に記録される。問題文と正答はスクリーンエディット形式で作成され、文の各行の表示位置等は自動的に計

算されデータの一部となる。問題図は、各問題で表現される様々な図形を種々の要素に分解し、それらの要素を描画させるコマンドの集合としてデータ化される。その作成法は問題文のときと同様である。その他、各問題の file 記録位置を Index file として別に用意し、Index を参照することにより任意の問題を読み出せる。また、各問題とそれに含まれる学習項目、学習目標等の一覧表の評価分析 data file を作成すれば、誤答分析並びに誤答後の問題を再構成でき、学習評価も適切に行うことが可能となる。このタイプは教材を変えればどの教科にも利用できるという汎用性を有するが、問題の性質によっては実行の流れに問題作成の仕方が拘束されるかも知れない。

②は計算問題を扱わない。①の各プログラムは基本的に②と同じ構造であり、②と同様のタイプに改造することはさほど困難ではない。

ここで、今までのソフト開発において感じた問題点を挙げよう。

a. ハード面

○ CRT画面の広さ、使用可能な文字、記号、表示可能な図形パターンなど最初から十分に検討しておく必要がある。一どきに表示できる問題情報の量は問題作成の仕方を拘束する。意外とCRT画面は狭い。多くの情報を必要とするならば、ソフト的に画面スクロールとか画面の多重化の処置を構じねばなるまい。

○ 扱うパソコンの特有機能活用の是非も問題であろう。ソフトの移植性をとるか性能100%引出しをとるか。

b. ソフト面

○ 計算問題の定数を乱数で決めることの是非
乱数により問題に必要な定数を決めると解答数値が小数になりやすい。従って計算は簡単に暗算で行う訳に行かない場合も生じる。パソコンで問題演習をしながら学習する時、更に電卓を使って答えを求める必要があるのだろうか。

○ プログラミングの方法について考えれば、当然のことながら常に改良し発展させ易い形をとることが望ましい。学習実行の処理パターンは多様性に富む。それらに対応するには初めから修正を予測してプログラミングしなければならない。各処理を十分に分析して最小不可分のモジュールの集合という形に構成するのが望ましかろう。

○ 採用するプログラミング言語について コンピュータの内部では、BASIC であれ、LISP であれ、

PROLOG であれすべて1.0の並びであるが、我々の思考作業の結果そのアルゴリズムを記述するにあたっては、より我々の言語に近い記述性を持つものがよいのは当然であろう。そういったものを採用することによって、途労から解放され、より思考する時間が持てるのだから。このことはこれから付加してCAIシステムを発展させようと

応答解析部は、同様に学習資料と照合しながら分節化された入力データの関係性を解析し、不足する知識があればベースより何度もとり出す。また分節化が不十分であれば再度入力解析を行う。この結果、解析不能な要素（すなわち未知の知識）が生じればそれを新たな知識として吸収する措置をとる。こうした解析の結果が出力解析部へ渡され、Decode 型

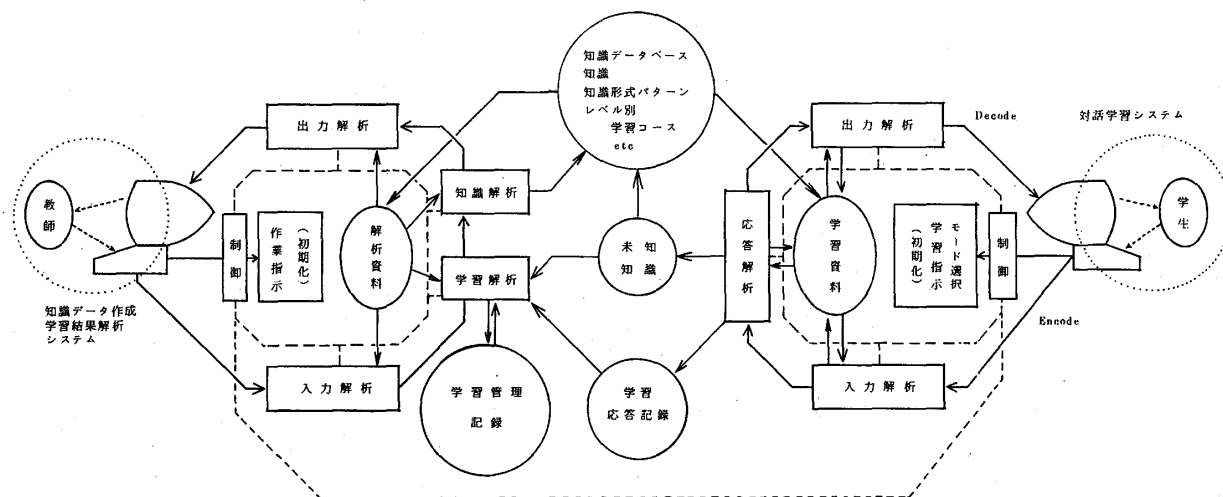


図5 ICAIモデル

する知的処理を考える上で非常に重要なことであろう。

3. ICAI システムの構想

前節CAIプログラムを発展させ、知的処理すなわち知識データベースと推論機構を備えたICAIシステムを構想しよう。それは図5のように模式化される。

図右側部分は学習システムを表わす。学習者とコンピュータとの対話学習は、学生あるいは教師により学習指示をコンピュータに与えることにより始まり、まず必要なデータを種々の知識ベースより学習資料として読み込んで初期化される。学習形態は、コンピュータから働きかける（作用する）場合と、学習者から作用する場合の二通りが考えられ、前者をDecode型、後者をEncode型と呼ぶことにしよう。各解析部は推論機能をもつものとする。

出力解析部は、知識ベースから読み込んだものや他の解析部より生じた様々なデータすなわち学習資料をその関係性を吟味しながら構成し、適切かつ自然な表現として出力し、学習者に提供する。

入力解析部は、必要に応じて入力データを学習資料を参照して分節化し、応答解析部へ渡す。

であれば判定された学習者の応答を表示すると同時に次の作用へ進む。また、Encode型であれば学習者の作用に応答し、その結果を提示して次の作用を待つ。もし未知の知識があった場合には、その知識の説明を学習者に要求し、その吸収を試みる。

図の左部分はデータベースに知識を入力したり、実行された学習内容を分析するシステムである。

知識解析部は入力された新知識データを既知と未知な要素に分節化し、未知のものに対しては前述の吸収措置と同様の処理を行う。こうして完全になった知識をデータベースへ書き込む。

学習解析部は、既に実行された学習の履歴データなどからその学習経過状態を分析し学習管理記録をとったり、吸収された新しい知識の検討を行いながら知識形成パターンを修正したりする。その他の機構は学習システムと同様である。

これらの処理には、知識の分節化された要素の関係付け、それらの再構成化あるいは学習という現象のモデル化等が要求されよう。それを可能ならしめるには、知識のモデル化、推論機構のモデル化などを検討しなければならない。

知識モデルの表現には種々の方法があろうが、単

なる規則や論理的関係ばかりではなく事実をより詳しく記述できるものとして、述語論理がある。これを使えば複雑な事柄もたいい表現できる。これは有力な道具となろう。

3-1 Decode 型

ここでは、コンピュータから学習者へ作用する Decode 型の最も典型的なものとして、問題演習システムについて述べよう。これは主として構造系の学習に適する。なぜならば、解の唯一性を保証できる問題が殆んどであるから、また、解法過程が幾通りもある場合でも、有限個であり、それも通常五指に満たない程度であろう。

CAIタイプ②の発展形であるところのこのシステムの概要は図5に示された通りであるが、もう少し詳細に言及すれば、タイプ②と異なり出力解析部において問題の文章や図、正答、解法過程などが単純な学習コースデータから種々の学習資料を参照して作成される。知識データベースには、基本知識（すなわち学習項目とそれらの関係性の記述等）、図形要素、基本問題形、レベル別学習コース、文章表現変換則、定数値計算則、図形要素構成則、CRT画面配列則等の情報が格納され、出力解析部はそれらを参照することにより問題を作成できる。

そして、応答解析部は出力解析部で作成された正答、解法過程の標準形や問題作成時の参照データと入力された解答（必要に応じて分節化された）とを照合し、誤答時には、知識ベース内の知識形式パターンデータや誤り探索応答則を含めて誤答原因探索を起動する。探索の結果、学習者の知識理解の程度に応じた次の出題が可能となる。

このような処理を可能にするシステムは先に述べた危険性を幾分なりとも取り除くであろう。その為には、前述の様々な問題点を徹底的に分析しなければならない。これがこれからの大きな課題である。

3-2 Encode 型

設計製図の授業においては、建物別の課題が与えられ、それについて学生は解答（提案といったほうが良いかもしれない）を図形（スケッチや図面）として提出することにより、そしてそれについての批評（草案批評）を受けることによって“設計する。”とはどういうことかということ学習する。したがって、設計製図の授業においては、先ず学生の側にこういうものを造りたいという意図がなければならぬ。また、その意図が図形として描かれねばならない。図形が描かれてはじめて意図していることと描かれていることとの異同について批評が可能とな

る。それは、教員による学生の図形の読み取りである。学生側から言えば、教員にその意図が伝わるように Encode することが求められる。これは、設計製図の授業のすべてではないが、また設計製図以外の授業においても当然学生が、Encode する場面であろう。けれども、ここでは、草案批評において学生と教師との間に実際にどのような対話が行なわれているかを採録することによって明らかにし、そのような対話のどの部分がCAIシステムに組み入れられるか、また一般化されるかを考える資料としたい。その一例を、学生の草案と共に付録にのせた。

そこでは、「指示代名詞」がしばしば出てくるが、図面の特定の部分を指すことによって実際には明示的であるが、パソコンではどう表現すべきか。

提案を提示するときには、図面の空白部分または、図に重ねて鉛筆で図が教師によって描かれる。またトレーシングペーパーを重ねてその上に色マジックで描かれる。パソコンのカラーグラフィックの使用が考えられる。

対話の内容を列挙すると

1. 書かれている文の誤字・表現の不適切性の指摘
 2. 学生の考えていること（文で表現された設計主旨）と図に描かれていることとの対応関係の適否
 3. 交通室（廊下・階段等）のあり方を主要動線という点から評価
 4. 各部屋の性格規定との関係の評価
 5. 各階の平面図間の整合性の評価
- 等であるが、これらをどのようにプログラム化できるか。

付録の図は、学生の草案をディジタイザーで座標値を読み取り、MULTI 16にキーインし、コマンドLINEとCIRCLEで表現し、L COPYしたものである。したがって、上述の「指示代名詞」は、座標値の順序対に置き換えることができる。しかし、それ以外の述語については、これからの検討課題である。ただ、その方向として、先ず図を計算機用語で記述する言語体系の作成が必要であることは言うまでもないが、量記号を含む述語論理式への変換というプロセスを挿入することによって、ある種の精密さを導入することを試みたい。

4. 運用上の問題

上述のようなCAIシステムを、カリキュラム・時間割等の中にどのように組み込むかということについて述べておこう。ただし、現行のカリキュラム・時間割等を根本から組み立てなおすというより、補

充的に考えてという点からである。

1. 通常授業+予習としてのCAIシステム

通常の授業を受ける前にCAIシステムによって、あらかじめ予習をしておくことが義務づけられると、通常の授業は、予習をして理解のできなかった点を聞いて疑問点を解消するということになり、それだけ授業を聞く態度・心構えが今までとは異なったものになる。教師側から言えば、CAIシステムのプログラムの不備な点やどうしてもプログラム化できないような事柄等を補足説明したり、またあらかじめ、CAIシステムから、学生が予習の段階でどの点が理解しにくいかという情報を得ておけば、授業中に重点的に補足説明することができよう。また、出席の返事の代わりに予習済みの合言葉で答えれば、出席のための出席という無益な事が解消できよう。

2. 通常授業+復習としてのCAIシステム

復習は補習という性格をもつ場合もあるが、もし授業中に理解ができれば、授業中に習ったことの応用ということになり3の場合になる。

3. 通常授業+自己学習としてのCAIシステム

これは、授業で言わないこと——高度なことや応用や特殊なこと——を、もっと勉強したいという学生が自分で学習を進めることを支援するものである。

これらの位置づけが十分に働くためには、施設・設備面の充実が伴わなければならない。学生が通常の授業を終えた後に使えるような施設・設備の充実や、また、パソコンが普及すれば、フロッピーディスクの複写を行なって、自宅でCAIシステムによる予習・復習・自己学習を行なうことも考えられよう。

付 録

課題：情報センター

教師：T

学生：S

——番 S君！ [設計主旨] 学生が主体となってこの情報センターをもちいるものであって、図書館を主に使うので1平平面に主階にして他との部室とのつながりを考えて、学生が使いやすいように導線のこんぎつをなくして使いやすいものにする。[誤字等は原文のまま]

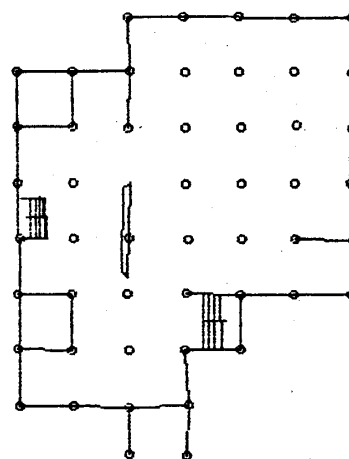


図 6 一階平面スケッチ

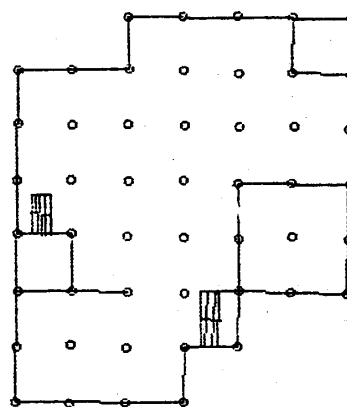


図 7 二階平面スケッチ

これは何と書いてあるのかね。「カイ」です。
「カイ」という字はどんな字を書いているのかね。「平」を書いています。
違うね。こうだ。
平面「に」ではなくて平面「を」だろう。はい。
他の部屋とのつながりを考えて。学生〔使用者〕が使いやすいように。
動線という字がちがうね。
君は前にもこんな「導線」を書いていたね。はい。
動線は「動く」という字だよ。はい。
カウンター、喫煙者閲覧室、事務室、開架閲覧室、レファレンス、ラウンジ、ロッカー、——〔図面上で各部屋の位置関係をたどる〕
二階に上ると〔二階平面図に話

しの世界を移す]。

ここを通っていかなければ、この階段に行けないのところが。はい。何故か。はっ？

通らなくても行けるという方が良いとは思わないか。はい、通って行った方が良いと思います。

通って行った方が良い〔と君は思うのか〕？ 別に通って行かなく

〔この階段を使うのにこの部屋 ても良い。

を通って〕行かなくても良いね。

何故かという、たとえば、ここを閉め切ってこの階段を使おうとしてもこの図面のようにできない。

もし独立に廊下ができていれば、また、ここを仕切って、ここを開けることができれば〔そういうことはない〕ということか。

〔と問題点を解消する代案を提示する〕

この階段は事務職員専用ということかな。はい。

学生は使わないかな。いいえ。

ここも同じだな。こう奥へ行くと小さな部屋があるというより、こちら側にあると何かと都合が良いのところがかな。

ここは〔何の部屋かな〕 あ、〔書籍等の〕受理〔の部屋〕です。

こことここは閲覧でも性格が違おうだろう。はい。

ここは、ここを通ってこちらに行く。もしここからだったら両方に対して管理というか、サービスができる。開架閲覧室といえ、本の書架、書棚をどうならべるかによって管理・サービスの問題も出てくるな。はい。どう並べる〔と考えている〕か。真中に書架を並べそうすると壁を作ることになる。ね。または、こうならべていって、間々に閲覧席をもうけるか。

〔学生の案の批評と代案を提示することによって、多くの代替の作成とその中から最上のもの

を選択することを期待する

この上は何になるのか。 自習室です。

自習室というのは騒がしいか静かか。

静かというか個人的に、自分が、自分で進んで自習をするという〔性格の部屋です〕。

まあそれだけでもまとまりをもつ。

もう一つは、これをここにもって来たら、これだけが閲覧・書庫・開架書架として大きなまとまり、小さなまとまり、小さなまとまり、小さなまとまりとなるだろう。

はい。

平面図としては、秩序だっているように思わないか。こうなってこういう閲覧室だというよりは、物を配置するにしても何をするにしても、照明器具一つにしても、たとえば、この部分だけを一つの単位として考えれば良い。

配置の扱い方ですか。

ということは、ここだけか。いや各階の平面図においてもいえるかもしれないね。上の階にいったらこっちに行くのか。じゃあ、もしこれがここに来て、これがここに来たらいい訳か。

はい。

このカウンターは、真中に来て、そこに座わっている人が、こう見まわせば良いという訳か。

はい。

というようにやりながら、各階が同じ平面パターンになれば、更に良くなる。

各用途は顔を出して来たのだからその用途をどのように編成していくか、まとまるものはまとめてゆくということがこれからの作業方針ということだ。トレーニングペーパーに書いて各階を重ね合わせるということによってやってごらん。

ただし〔 〕の中は、状況や暗黙の了解等の説明であり、この批評の所要時間は、8分23秒である。