

第 3 章

教材開発の手法

3 - 1 教材開発とそのシステム

3 - 2 C A I 教材

- (1) C A I 教材とは
- (2) C A I 設計理論の歴史
- (3) 授業設計と C A I
- (4) コンピュータ機能と C A I

3 - 3 教材開発システム

- (1) T I C C I Tにおける教材開発
- (2) 我が国の大学における教材開発
- (3) 企業における教材開発
- (4) 教材開発システムと各工程

3-1 教材開発とそのシステム

職業訓練研究センターにおける教材開発は、すでに8年の歴史がある。これまでにプログラム学習による教材、実学一体による教材、モジュール訓練用の教材などに関する一連の認定教科書の開発、作成を行ってきたところである。この報告書においては、従来の成果をふまえて、その目的および方法などについて整理することが大切である、と考える。ここでは、まず標題の意味について明確にしたい。

教材開発とは、教材についての研究を基盤としてその実用化を図ることである。このことは、教材における新しいものを生む営み、すなわち研究とその実用化という二つの分野から構成される。また本報告書では、教材開発を全体としてとらえ、効率よく、効果的に機能するようにそのシステムを検討してゆくものとする。

教材という用語はどんな意味があるのであろうか、辞書によれば、教科書、ビデオ、映画、実験装置など授業に直接それらについて教える材料となるもの、あるいは教授および学習にあつて、教師と生徒の間を媒介し、教育活動を成立させているものとして使われる。このような一般的な見方に対し、専門的な立場としての教育工学では、教材という用語の使い方の分類として、次の3つをあげている。⁽¹⁾

- ① 学習させるべき教授内容……例えば、教材配列、教材研究
- ② 学習・教授のための資料、教科……普通の使い方で、例えばスライドそのものは教材、スライド映写機は教具というように、教具として対比される。

- ③ 教材と教具の両方を含めている場合……例えば、視聴覚教材等
- また、教材の一般的な特性として、次のような使い方をする場合もある。⁽²⁾

- ① 内容の媒介者としての教材
- ② 情報としての教材（学習する内容の構造を代表する情報を提供すること）
- ③ 事例としての教材（学習者に提示される具体例、資料である）
- ④ 媒体としての教材（黒板、プリントのような事例の物的基礎で、教具と同意義である）

その他に、いろいろな使い方があるが、以上のような、教材の意味とその分類を

前提として、芦葉氏（国立教育研究所）が提案した教材の定義を紹介する。

芦葉氏によれば、図 3 - 1 のように、授業の要素として、教材をモデル化している。教材は、教授者と学習者との間に介在するものとして把握している。

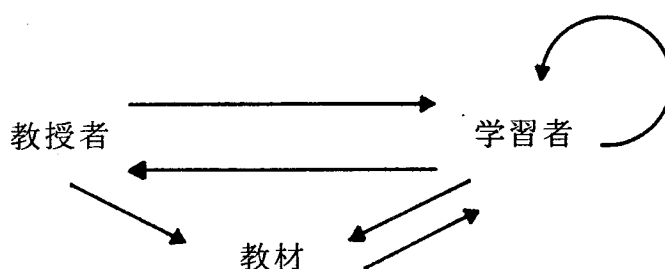


図 3 - 1 授業の要素

教材は、学習すべき教授内容の具体物であり、教授・学習過程にかかわる諸要素に関係している。教授者には、教えようとする主題がある。この主題を一定の時間に、教える内容と方法を具体的に選択し、学習者に働きかける。これが教授である。学習者は教授者の提示に対し、学習すると同時に自ら学習しようとしている。これが学習である。授業は、教授と学習が混在しながら進行していくので、教授・学習過程として表現されている。教授・学習過程にかかわる諸要素とは、まず授業目標がある。授業目標は、その授業が終えたときに、学習者が到達すべき状態をいう。さらにそれにともなう評価、授業内容、授業方法、学習者に内在している諸要素、そして学習する環境などであると説明されている。

授業過程は、授業の要素から構成されている。学習者に特定の学習が成立することを意図して行われる教授者の働きかけが、授業であり、学習者に伝達する教育活動である。

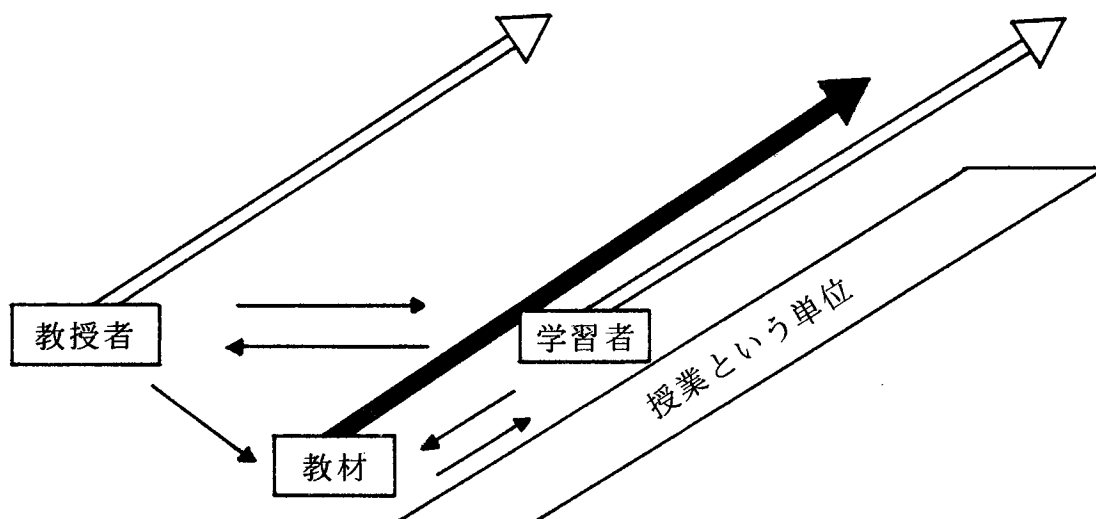


図 3 - 2 授業過程

授業は、教授と学習が混在しながら進行しているが、実はいつでも教材をひきずっているのが授業過程となろう。学習者が、見たり、聞いたり、触れたり、そして考えたりする具体物としての教材を、授業過程の視点から、我々は、整理してゆくのである。この視点では、授業の要素に注目し、教授・学習過程の諸要素と教材との関連を重要視してゆくのである。そこで、実際の授業過程での教材の使い方を見ると、授業過程での教材は、教授者と学習者が、その使用の意思決定をする。学習者においては、作成された教材を利用するかどうか、彼らの意思にある。教授者は、授業過程を設計しているし、教材そのものも自作できる。また、あるビデオ教材を開発した結果、その教材が良いビデオとするか否かは、教授者が簡単に決定することができる。教授者が教授・学習過程の諸要素を考慮し判定する。また、そのビデオが、学習者の興味を引きおこす点、理解を助ける点においても完全であったとして、これをいかに授業で効果的に利用し、その効果をどのように判定するか等は、教授者のみが主体的にかかわりあうものである。教材は、授業過程なしには、意味をなさないという常識的な見方になる。⁽⁴⁾

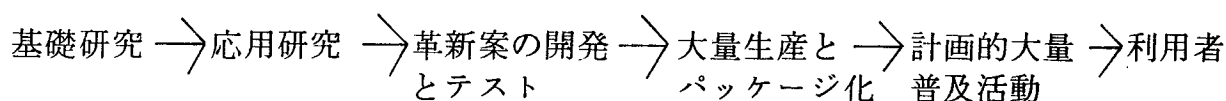
つまり、その開発は、授業過程を中心においてその内容を検討しなければならない。このことから、教材開発は、授業過程そのものの開発に深く関係していることがいえよう。

また、その教材開発をシステムとして考えると、組織的に実用化を展開する場合には、具体的な物としての、生産という見方が必要である。生産とは、物を作

成するという意味としよう。現実には、教育訓練の場に教材としての物が、多量に購入され、その関連する企業が存在しているのに注目すれば、生産という見方そのものは新しいことではない。多数の関係者が協力して教材開発のために組織として働く以上は、総合的なシステムとして計画しておくことを強調したい。教材の実用化においては、その関連を整理しておかねばならないことである。

教育訓練技法としてC A Iを導入する方策を検討することは、教育訓練の効果を高めるという意味において、革新としてとらえられる。教育訓練の革新の普及は、基礎研究の知見が開発研究を通して、実践の場に有用な革新に変換され、その有効性が検討された後に、パッケージ化され、大量生産されて潜在的な採用者に普及する過程としてとらえる。この考え方は、ハーベロックの革新のモデルの1つである。平田氏（愛知教育大）は、次のようにその紹介をしている。⁵⁾

このモデルは、教育革新の普及が、研究－開発－普及の一連した活動と見なすのである。



このモデルの仮定は、革新の普及が研究→開発→パッケージ化→普及という方向で進行する系列があり、その進行には、長期にわたる大規模な計画が必要である。この計画の進行には、広く社会の分担と協力が必要とする等としている。このモデルは、革新の開発過程に主点をおき、その普及の前提は、質の高いすぐれた革新を作りだすことにあるとしている。よい革新は、それを利用する人々を見出すという考え方にもとづいている。しかし、革新の利用者としての教師や学校の要求を反映されるチャンネルが明確でなく、異なる目的と価値を有する関係組織の間の役割分担と協力を有機的に結合するメカニズムなどに問題があるなどとして説明されているのである。

教材開発のシステムは、この考え方を参考にすれば、次の4段階が含まれるシステムの構築を考えられる。



さらにまた、あらゆる教材は、教材を実際に授業場面で実施し、その評価を実行し、見直すという一連の検証の過程を含んでいる。従来の教材開発は、経験的、または主観的に行われている例が多いとされ、また単なる物の製造とは違い、生きている人を対象とすることから、研究と開発の流れでとらえることが、困難とされている。しかしながら、この教材開発システムでは、できるだけ有効な検証という手段を重要視していく方向をとる。

以上のように、教材開発システムは、次の二点を基軸とし、その構築を計画することが重要であると思われる。

- ① 教材開発は、授業過程そのものの開発に深く関係していること。
- ② 教材開発システムの中には、常に評価するという過程を組み入れておくこと。

3 - 2 C A I 教材

(1) C A I 教材とは

C A I 教材は、コンピュータに植え込んだ教材であり、コンピュータと対話しながら人が学習する教材を意味する場合が多い。⁽⁶⁾ コンピュータに実現した教材は、コンピュータに植え込むプログラム群のみならず、コンピュータ機能の入出力機能を利用した、授業過程の具体物であり、これをC A I 教材とする。

このようにすれば、図3-3①のコンピュータは、前述の図3-1における教材となる。

C A I 教材(図3-3②)は、コンピュータに、教授者がその授業過程の一部を植え込んだものとなる。

C A I 教材の中に彼の授業過程が、組み込まれたとすれば、その後日常では教授者とC A I 教材との直接的な関係がなくなる。教授者は、学習者の反応や観察を通じ、C A I 教材とかかわりをもつようになる。普通にいわれるコンピュータ画面を通して学習する冷たい、かたい、無機質なC A I のイメージとは違い、C A I 教材が独立し、教授者は、直接に学習者と密接な関係を有し、さらに、人間的な深まりをお互いに期待できるモデルとなる。そして授業過程の組み込み(授業設計)が、教授者の意図に添ったC A I 教材となることが期待されるので

ある。

いうまでもなくこのC A I教材の開発主体(図3-3③)は、教授者にあることが前提であろう。

結局のところ、ここでは授業の要素としては、図3-3④のようになる。

教授者の一部が投影されたものが、C A I教材として考えられる。

ということは、C A I教材を設計することは、教授者の授業設計の構想を検討するのが、まず必要である。そして、その構想のどの部分がC A I教材に移植されるのか、その限界を知り、植え込む具体的な手法を知る必要がある。そこで、このように整理していくとすれば、次のことを検討する必要がある。

第一にC A I教材の設計理論の歴史を簡単に調べ、第二に教授者の授業の構想は、どのような構成になっているかの概要を知り、第三にC A I教材とコンピュータ機能との実現可能性を要約する。

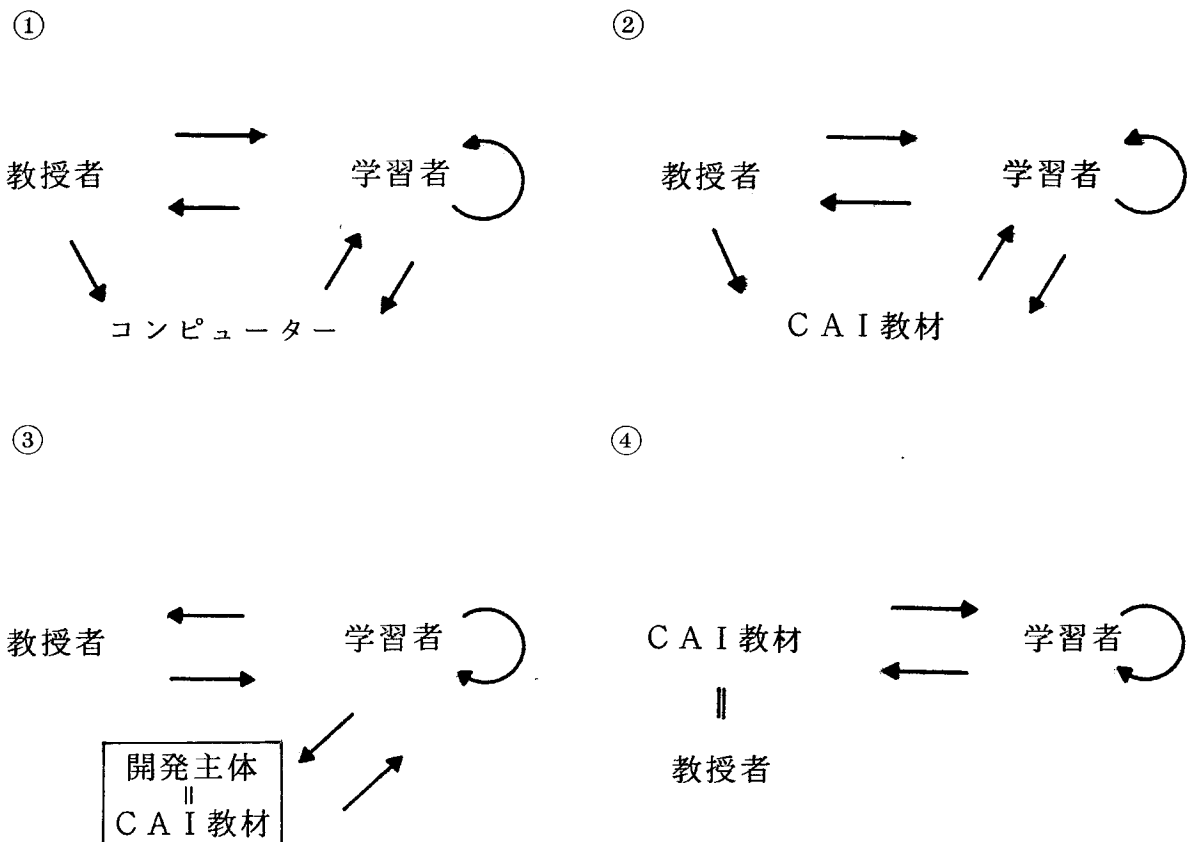


図3-3 授業の要素とC A I教材

(2) C A I 設計理論の歴史

C A I 史上、最初に開発されたイリノイ大学の S O C R A T E S の設計者の L. M. Stolurow は、次のようなことをいっている。

『機械そのものよりむしろ一般的なモデルを試みるのが最も有益であるように思える。望むらくは、これを行うに際して、馬が荷馬車の前におかれるように、ティーチングマシンの概念が機械そのものに先んずることにある。⁽⁷⁾』この例えは、古くとも、正鵠を得ているのではないだろうか。

機械はたえず進歩している。ソフトを含めて、最近のパソコンの機能とその周辺機器は、めまぐるしく変化し、向上している。用途が限定されていない道具といわれるコンピュータを、教育訓練に利用しようとするのが C A I である。そのアイデア（着想）、コンセプト（概念）が、それぞれの時代での索引車として先導的な役割を果たしてきた。

教える機械 Teaching Machine（以下 T M とする。）の着想は、19 世紀後半に、Spelling Machine（H. Skinner. 1866）として現れたという。⁽⁸⁾

今から 61 年前の 1924 年、オハイオ州立大学の Y. L. Presse は T M を試作した。Presse の T M は、図 3-4 のように、問題を提示するドラムと窓があり、学習者が押す 4 つのキーがある。学習者は、問題を窓から読んで、自分が正解と思う箇所のキーを押す。正しいと、ドラムが回転でき、次の問題を示すが、まちがっていると動かない。これは、4 つの答から正しい答を選択するもので、4 岐選択法といわれる。この T M は、

- ① 各個人別のテスト、
学習、採点が可能である。
- ② 回答は多岐選択法である。
- ③ すぐに正誤の評価

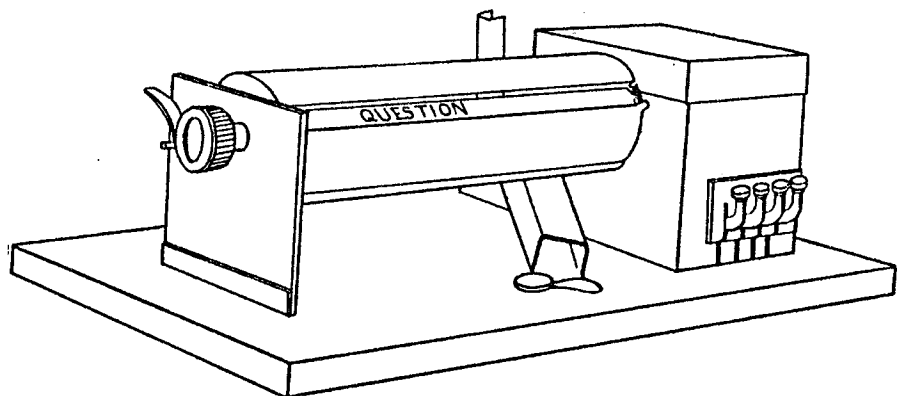


図 3-4 ティーチングマシーン
（講座 教育の現代化と教育工学 4、P.59 より引用）

のようになっている。

1954年、B.F. Skinnerは、*Presse*の②の回答の多岐選択法を否定して、学習者が自分で正しい答を書き込み回答する、図3-5のようなTMを発表した。Qの部分に問題が現われ、学習者はR1の部分に正しいと思う回答を記入する。レバーを上にあげると、Aに正答が現われ、R1はR2へ移動する。学習者は、QとAとR2を見て、納得すれば、レバーを右に押すと、Qに次の問題が現われるようになっている。⁽¹⁰⁾

*Presse*とSkinnerのTMは、同じ順序で問題が出ることから、直線式のプログラムといっている。

これらに対して、N.A.Crowderは、プログラムをマイクロフィルムに収め、図3-6のように、学習者がそれぞれの問題ごとに、自分の答に相当するボタンを押し、学習者の答によって、次の問題が、変化するよう設計した。Crowderは、学習者が誤答したときにヒントを与え、もう1度答を要求するようになっている。このように提示する問題が、誤答の種類によって、分岐していくので、分岐型のプログラムといわれる。⁽¹¹⁾

プログラム学習におけるSkinnerの直線型から、Crowderの分岐型への発展のうえに、コンピュータを用いた高度なTMとして初期のCAIが誕生した。

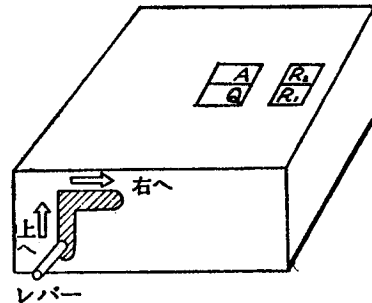


図3-5 SkinnerのTM

(講座 教育のシステム化2、P.81より引用)

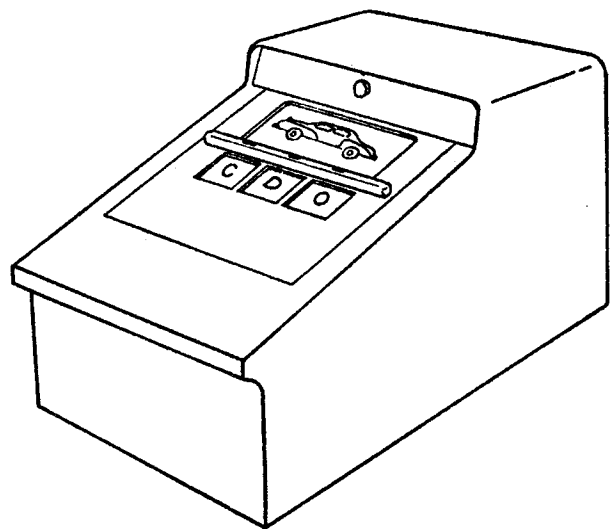


図3-6 CrowderのTM

(講座 教育の現代化と教育工学4、P.62より引用)

菅井氏（茨城大学）によれば、CAIの研究開発は、3つの段階を経て、CAIの設計理論が下図のように変遷してきたとしている。⁽¹²⁾ そのプロトタイプ（原型）を引用し、その概要を見る。

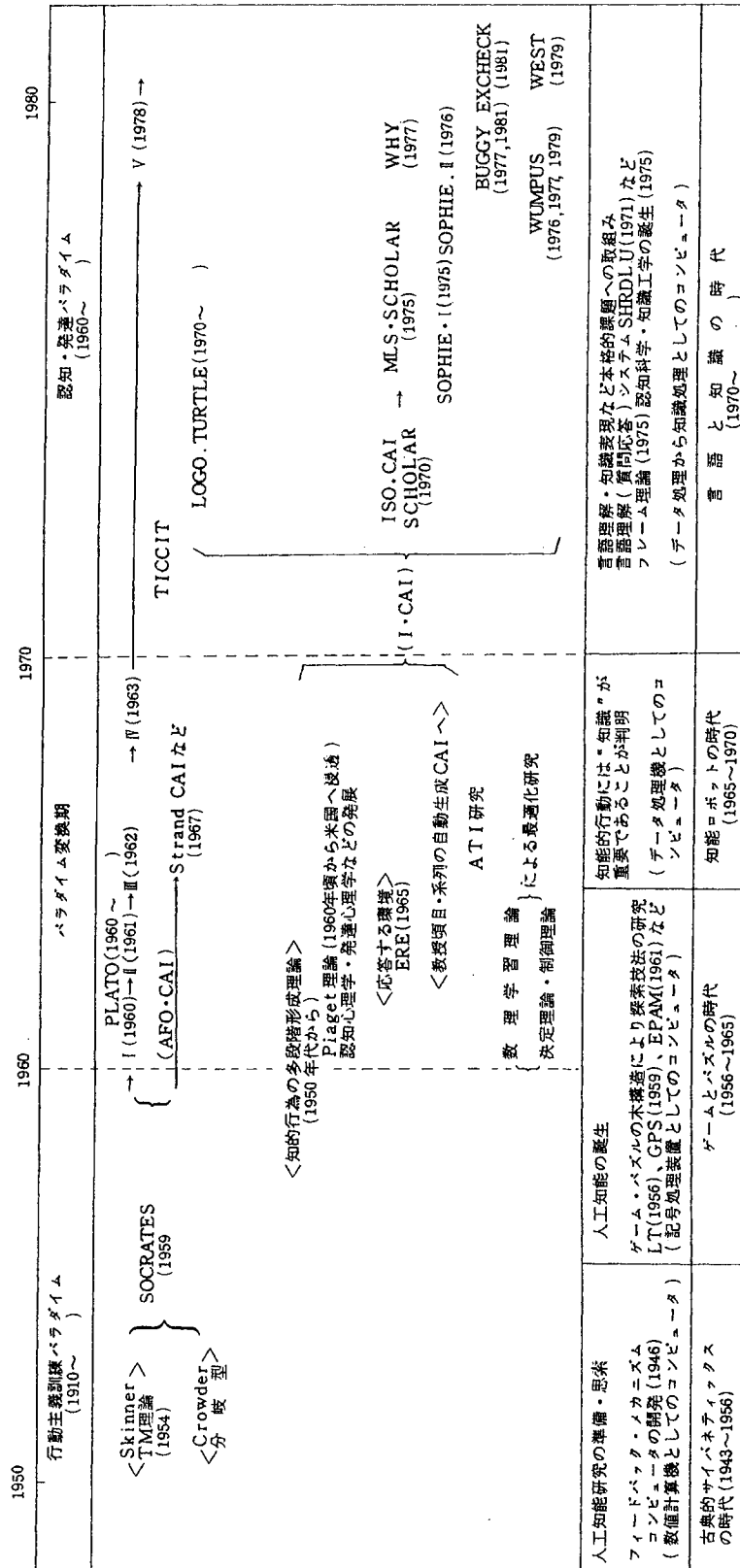


図3-7 パラダイム変換によるCAI研究の変遷（人工知能の時代区分などについては淵[1976]から借用）

① 行動主義訓練パラダイム（～1959）

行動主義系学習理論と訓練研究をベースに、プログラム学習の発展による高度なTMとしてCAIが誕生する。

そのプロトタイプとして、SOCRATESをあげている。

SOCRATES（1959年、イリノイ大）

SOCRATES（図3-8）は、1959年、イリノイ訓練研究所のStolurrowが、それ以前に開発されていた前記のようなTMから、適応性のあるTMシステム（addaptive teaching machine system）として開発したものである。端末機は15台のランダムアクセス可能な1,500のフレームの35mmフィルムストリップで、各端末機に、画像が投影されるようになっている。学習者の反応は、15個のボタンの選択でコンピュータに伝えられる。その結果は端末機に、緑（正）か赤（誤）のランプで直ちに表示するようになっている。使用言語は、FORTRANであった。⁽¹³⁾

このCAIの原型とでもいえるべきものは、当時のコンピュータ機能から制約された教育訓練機能しかもっていなかったが、その着想は、現在でも注目される基本的な制御論理を提案しているのである。それまでのTMのような固定された内容とコースウェア構造でなく、学習の個別化、最適化をめざす適応性のあるTMとした。⁽¹⁴⁾

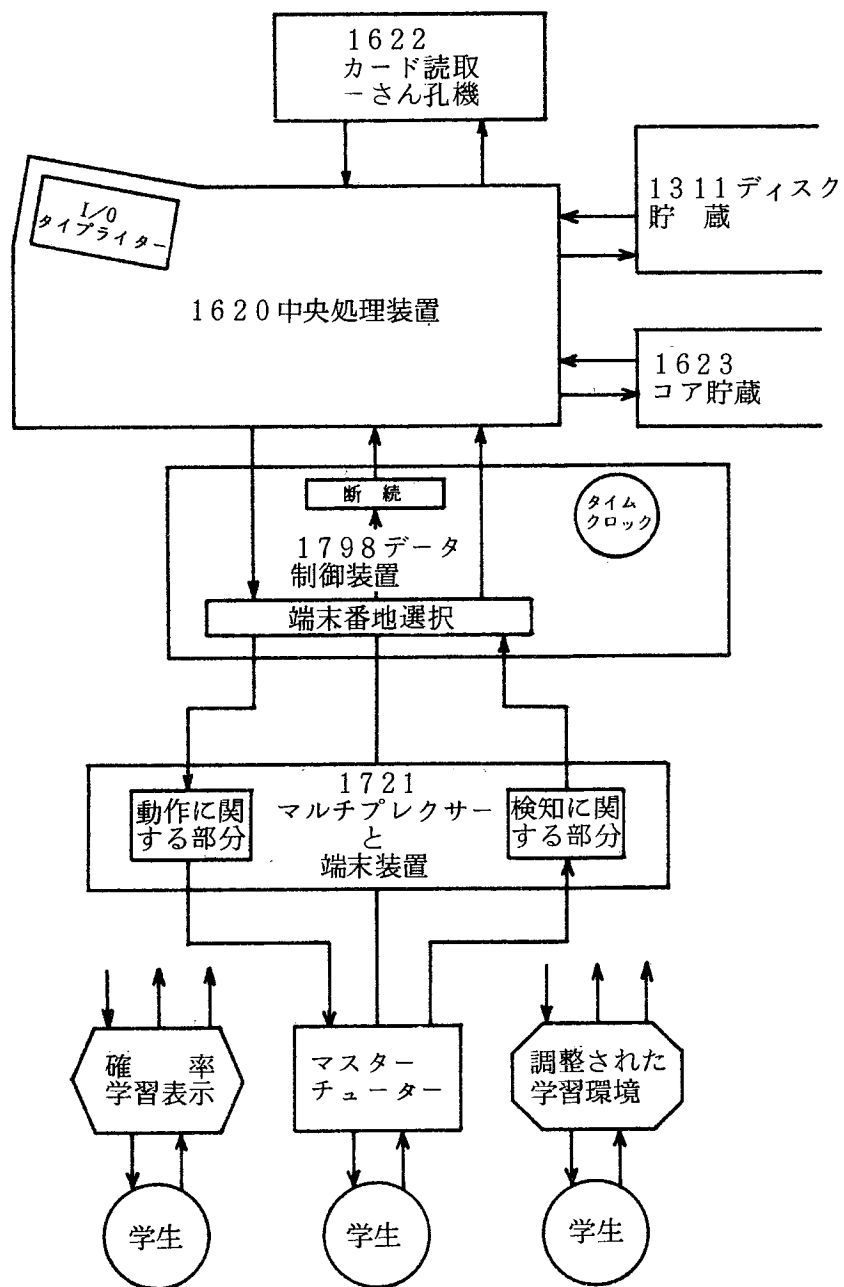


図 3 - 8 SOCRATES
(教育工学新論、 P.204 より引用)

SOCRATES の特徴は図 3 - 9 に示される。

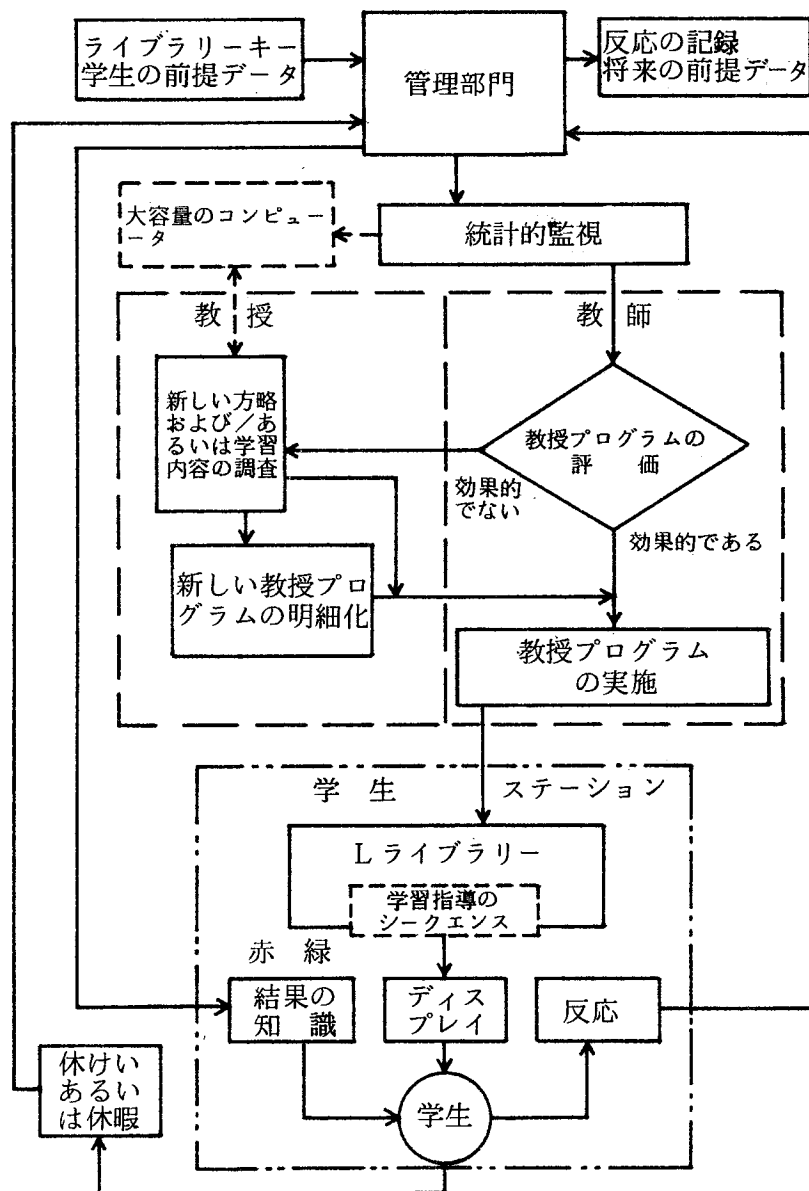


図 3 - 9 SOCRATES システムの流れ図
(教育工学新論、P.203 より引用)

その特徴とは、評価の機能 (Professor; 図中の教授) と選択の機能 (Teacher; 図中の教師) である。Teacher は、当面のプログラムの実施を意味し、Professor は、当該プログラムに効果がない場合に、新しいプログラムを探す。管理部門は、全過程を制御している。このオンラインで処理できないときには、別の大容量のコンピュータで処理する。学習者が端末機を離れるときに

は、その状態（提示の最後のフレーム、課題、方略など）が、管理部門に登録される。管理部門は、個々の学習者の反応を蓄積し、提示するステップとその接続時間などを決定する。反応経歴を考慮して、Teacher は、ライブラリー・キーから提示するステップを決めるなどである。⁽¹⁵⁾

② パラダイム変換期（１９６０～１９６９）

行動主義系訓練パラダイムから認知発達パラダイムへの移行期として、訓練用フレーム型CAIの洗練化、観察学習理論などの進歩によるシミュレーション様式のCAIの登場、認知発達パラダイムの先駆けとしての発達理論による応答する環境型CAIなどが登場した。

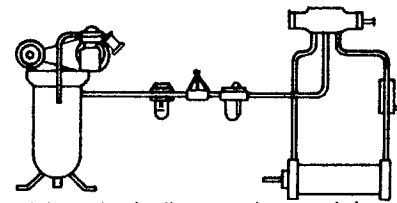
そのプロトタイプとして、PLATO、STRANDCAI、EREをあげている。

PLATO（１９６０年～、イリノイ大学）

イリノイ大学のCERL（Computer Education Research Laboratory）のCAI研究開発は、１９６０年から出発し、現在、第Ⅵ期にある。主に大学教育用のCAIコースが開発されていたが、地域市民の高等教育にも利用されている。全体としては、PLATOⅣとパソコン端末のPLATOⅥとがあるが、後者が世界各地に普及している。PLATOシステムは、同大学を中心とするネットワークとCDC社によるネットワークとがある。その教材の最近の例を見てみよう。

- a. ドリル演習様式の例（図３－１０）
- b. チュートリアル様式の例（図３－１１）
- c. シミュレーション様式の例（図３－１２）

	Air receiver		Double-acting cylinder
	Compressor		Directional control valve
	Intake filter		Bypass valve
	Conductor		Lubricator
	Separator-filter		Regulator

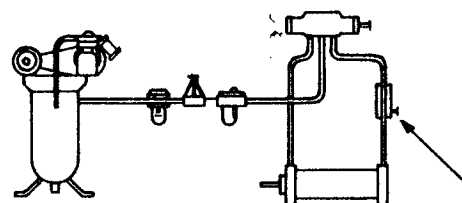


When used in a circuit diagram, these symbols show where the components are located and how they are connected to one another by conductors.

HELP is available.

Press **NEXT** to proceed, **DATA** to replot, or **BACK** to review

a	Air receive	f	Double-acting cylinder
b	Compressor	g	Directional control valve
c	Intake filter	h	Bypass valve
d	Conductor	i	Lubricator
e	Separator-filter	j	Regulator



Press **DATA** to replot.

＊ 最初に空圧シンボルの部品の図とその名称および回路図が示される。NEXTキーで、部品の図が削除される。学習者は、矢印にあたるものが、どこにあるか指でタッチすることで、その解答をする。⁽¹⁶⁾

図 3 - 1 0 空圧コースの例

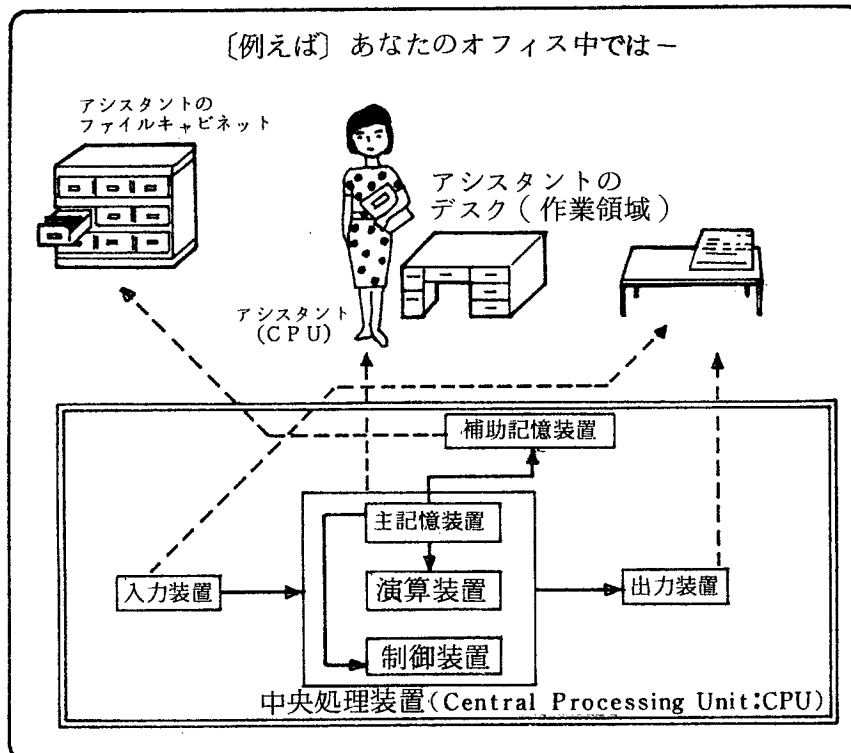
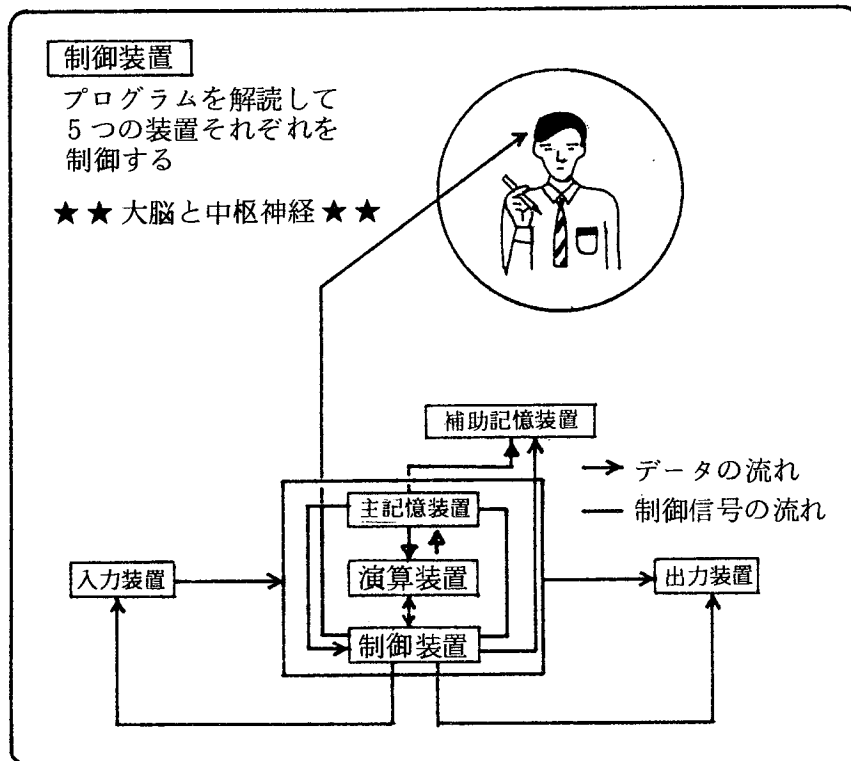


図 3 - 1 1 コンピュータのしくみ⁽¹⁷⁾

(ボーイング747ジャンボ・ジェット機の操縦訓練コースより)

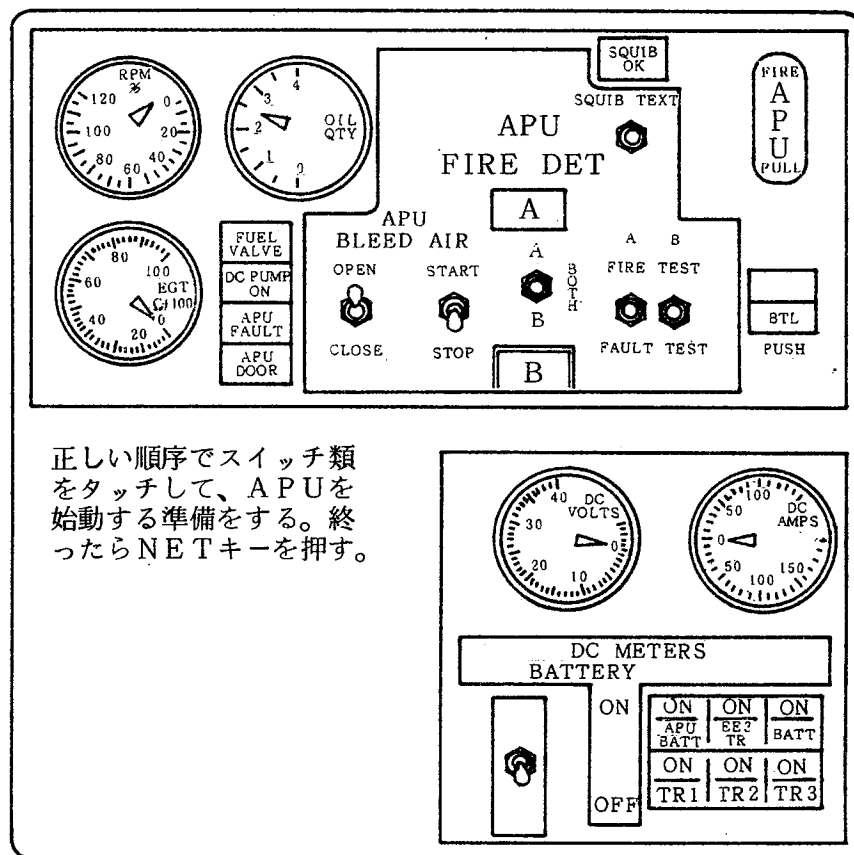


図 3 - 1 2 フライトシミュレーション⁽¹⁸⁾

STRANDCAI (1967年～、スタンフォード大学)⁽¹⁹⁾

スタンフォード大学の社会科学数学研究所 (The Institute for Mathematical Studies in the Social Science) が開発した小学校1年から6年までの体系的な算数ドリル演習様式のプログラムで、正規の教室授業に対し補助的役割を果たすように設計されている。小学1年から6年までの算数カリキュラムをブロック化して、系統的に配列してある。これを概念ブロック方式といっている。プログラムは、各学年水準ごとに、20～27個の概念ブロックから構成される。

表 3 - 1 小学校 1 ～ 6 年用概念ブロック
様式プログラム (1966 ～ 1967)
—— 小 学 1 年 ——

ブロック	内 容
1	数を数える：0 ～ 9 までの数
2	順々に数を数える
3	4 までの和
4	4 までの和：縦書き形式、混合型
5	4 までの差：縦書き形式、混合型
6	6 までの和：縦書き形式、混合型
7	7 までの和：縦書き形式、混合型
8	7 までの差：縦書き形式、混合型
9	9 までの和：縦書き形式、混合型
10	10 までの和：縦書き形式のみ
11	10 までの差：縦書き形式のみ
12	10 までの和：変数項がある型
13	10 までの差：変数項がある型
14	10 までの和と差：横書き形式
15	10 までの和と差：縦書き形式
16	10 までの和と差：変数項がある型
17	10 までの和：3 数のたし算
18	位ごとのたし算：10 以上 20 未満の数でくり上りなし
19	位ごとのひき算：くり下りなし
20	たし算とひき算の混合型、位ごとの計算、和・差が 10 になる
21	たし算とひき算の混合型、大小比較
22	1 位数と 2 位数の位ごとのたし算とひき算
23	10 までの和： $a + b = c + d$ 型
24	10 までの和：変数項がある $a + b = c + d$ 型
25	特別なたし算とひき算
27	特別な混合ドリル

それぞれの概念ブロックは、事前テスト、5 日間のドリル、事後テスト、復習ドリルが含まれている。大学内のコンピュータに電話回線で接続されたテレタイプにより、学習者は、個別のドリル問題を受け取り、応答する。

第 1 日目に、事前テストが与えられる。ドリルの困難度水準は、事前テストにより決定され、学習者の正答率が 80 % 以上だと、翌日のドリルの困難度が 1 水準上がり、59 % 以下の成績であれば、翌日は 1 水準下がったドリルに分

岐し、それ以外の場合は、前日と同じ困難度水準のままである。

表 3 - 2 枝分れの基準

事前テストからドリル*		ドリルからドリル	
正答率 (%)	ドリル指定水準	ドリル D_i 正答率 (%)	ドリル D_{i+1} で指定される水準
0 ~ 19	1		
20 ~ 39	2	0 ~ 59	1 水準下げる
40 ~ 59	3	60 ~ 79	前項と同じ水準
60 ~ 79	4	80 ~ 100	1 水準上げる
80 ~ 100	5		

＊ 事後テストから復習ドリルへ移るときも同じ規則を用いる

第 2 日目から第 5 日目はドリル上の枝分れの水準により、図 3 - 1 3 のように与えられる。

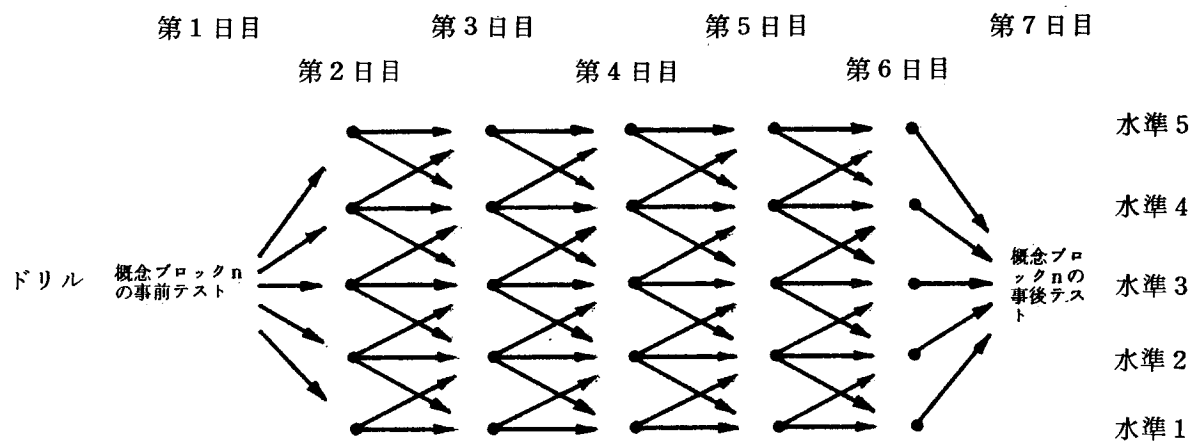
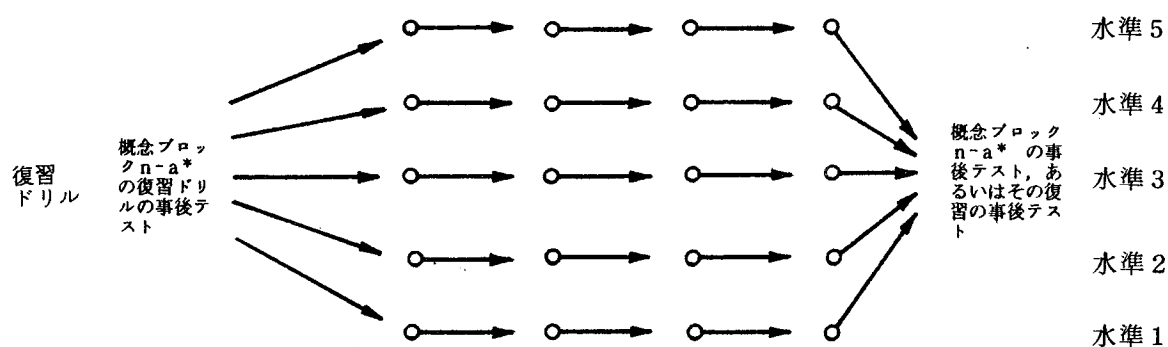


図 3 - 1 3 概念ブロック

復習ドリルは、4 日間固定されるが、そのレベルは、事後テストの得点がもっとも低い概念ブロックの内容に対応するように与えられる。



* n-a ブロックは事後テストの成績が最低のブロック

図 3 - 1 4 7 日間の概念ブロックの枝分れ構造

会話の例は、図 3 - 1 5 のようにテレタイプが 1 つずつ問題を提示し、その後、学習者が答をタイプする。

学年	ブロック	問 題	学年	ブロック	問 題
1	1	HOW MANY M'S R M R R M M -- M R M M R M	1	2	3 6 2.3
1	2	--- COUNT. 10 11 -- 13	4	6	3 YD. AND 2 FT. = -- FT.
1	4	3+1=--	4	9	$36 \times (28+34) = (- \times 28) + (- \times 34)$
2	4	9+1=5+--	5	4	-- $\times 11=33$
2	5	7+N=9 N=--	5	5	2 9 4 -- $\times 4$
2	9	1 1 + 2 --	5	6	1/3 OF 18=--
2	9	1 0 - 3 -- + 35=38	6	4	5/95
3	1	2 3 1 4 + 2 1 --	6	5	TYPE THE MISSING NUMERATOR OR DENOMINATOR. 2/3=-- 19
3	4		6	6	TYPE<OR=OR> 3 + 8 -- 9+4
			6	7	(17 $\times$ --)+9=28722

図 3 - 1 5 会話の例

その特色は、個人の成績に応じて、ドリルの困難度水準が変化し、復習の概念ブロックは、個人の過去の成績に従って選択される。

1966年度からの同システムの利用状況は、4年間にわたり、12,000人以上参加した。同システムのハードウェアの構成は、図3-16の通りである。⁽²⁰⁾

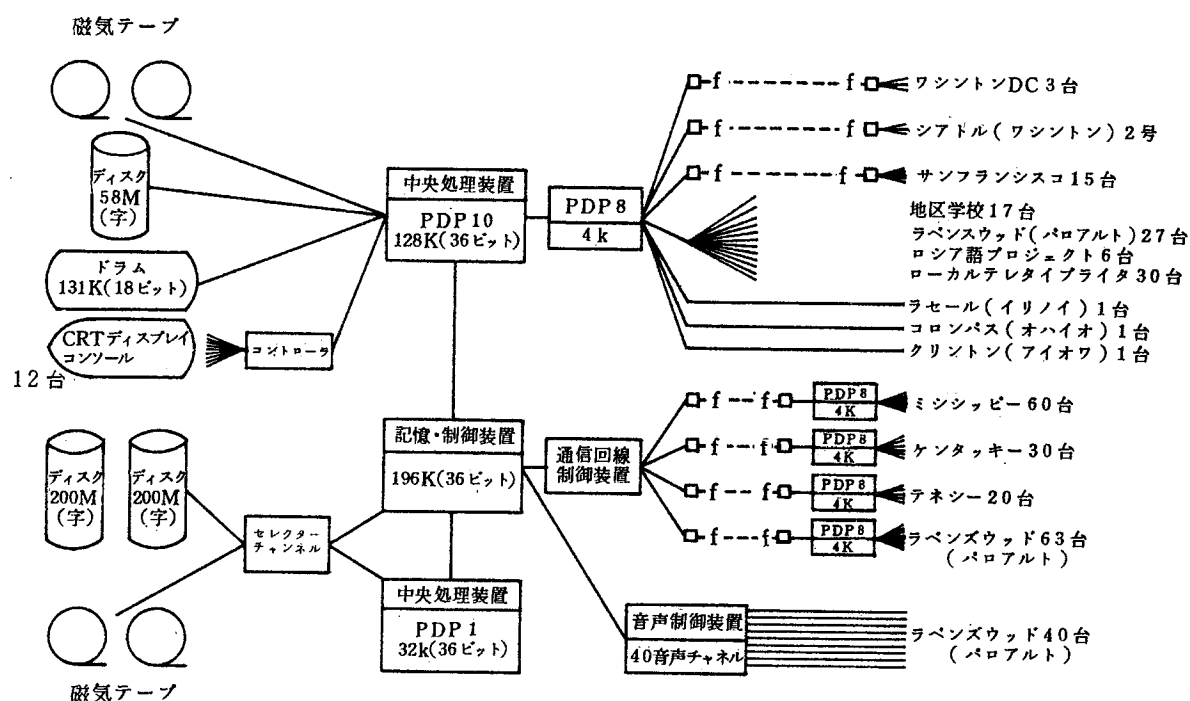


図3-16 1965～1969年のスタンフォード大学 IMSSSのCAI システム

ERE (1965年): Edison Responsive Environment ⁽²¹⁾

1965年、Mooreが、2～6歳の幼児に、言語学習をするための電動式のタイプライターを設計した。これは、トーキングタイプライターといっている。

タイプライターのキーを押すと、タイプライターの上方についているスクリーンに、その文字が出てくると同時に、その都度、その文字の発音が聞こえる。

子どもは、このタイプライターを自由にさわることができるので、例えば、Aを押すと、「エー」と発音するのが聞こえ、いろいろなキーをおもしろがって打つ。

子どもが、その行動に飽きるころに、タイプライターの刺激提示窓に、文字が出てきて、続いてその発音が聞こえてくる。タイプライターの刺激提示窓に、Bが出ると、「ビー」と聞こえてくる。この時、すべてのキーは働かなくなる。子どもが、その正しいキーBをみつけだして打つと、その文字Bがタイプされ、そして再びその文字の発音「ビー」と聞こえる。このようにして次々と、アルファベットの各文字や句読点が出てくるので、子どもは、ゲームをするように、意識せずに学習していく。

子どもが、その行動に飽きてくるころ、次は提示窓に、1つの文字の代りに、単語があらわれる。例えば、提示窓に「CAT」が突然、提示される。この提示される文字は、あらかじめ、子どもの興味を示す単語から選択されている。この時最初の文字の「C」のところには、赤い矢印がついている。そして、「シー」、「エー」、「テー」、「キャット」という発音が聞こえる。子どもが正しい順序でその文字をタイプした時のみ、キーは働き、そのタイプされた文字が出てきて、そして、再び、「シー」、「エー」、「テー」、「キャット」という発音が聞こえる。子どもの興味を示す単語が次々と、繰り返される。

トーキングタイプライターと、このようなゲームをすることにより、子どもは、言語をしらずしらずに学習してゆく。

ここでの環境（トーキングタイプライター）は、子どもが自ら問題を見つけ出し、さらにその解決を自分で発見するようにしている。積極的に自由に子どもに、環境を探索させ、自分で問題を見つける機会を提供する。子どもの行った反応は、ただちにその結果を明示する。このような環境をMooreは、応答的環境といっている。

③ 認知発達パラダイム（1970～）

認知理論、発達理論をベースに種々のC A Iが開発される。ことに人工知能研究と接近し、認知科学、知識工学の誕生とともに、知的C A Iの開発が盛んになる。

そのプロトタイプとして、LOGO・TURTLE、SOPHIE、WEST、BUGGYをあげている。

LOGO・TURTLE (1970年、マサチューセッツ工科大学)⁽²²⁾

マサチューセッツ工科大学の人工知識研究所のS.Papertは、1970年にLOGOというプログラム言語を開発した。

Papertは、Piagetとジュネーブにおいて研究を共にし、Piagetの影響を強く受けたといわれる。Piagetは、子どもは天性の優れた学習者であり、自分自身の行為や体験を通して知能を獲得していくのだという考えをしているといわれる。Papertは、この考えから、タートル(亀)をつくった。タートルは、子どもに代って動きまわる。子どもが、タートルになったつもりで、右に、左に、上に、下へとタートルを動かす。子どもは、タートルを自由に動かすことにより、自分で考えて、幾何や力学などの知識について、体験的、直観的に習得できる小世界(マイクロワールド)を作りあげる。その道具としてLOGOを作成した。LOGOは、BASICに代る基本的なプログラム言語として、急速に学校に導入されているといわれる。

タートルを使い、円や多角形などを描き、図形の性質、定理を学習する算数、また理科、国語、英語、そして音楽、制御、アニメーション、自然言語処理、など問題解決能力、理解力、判断力などの学習ができるといわれている。

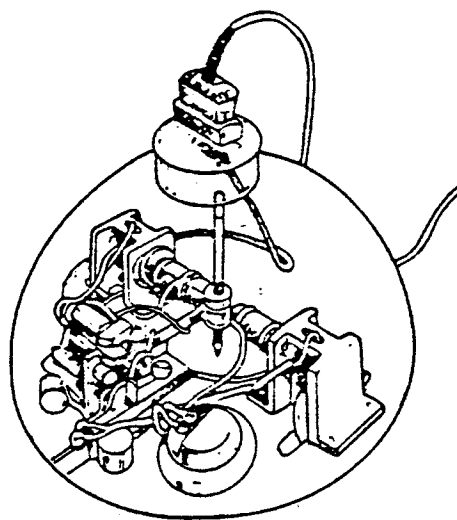


図3-17 タートル

SOPHIE (1970年) : J.S.Brown R.Burton J.Kler⁽²³⁾

SOPHIEでは、故障した電子装置を学生に与え、それを測定させ、コンピュータと会話しながら故障を発見させる。学生は、教えられて学ぶのではなく、自分の考え方が正しいかどうか試してみることにより学習するという、リアクティブ(反応的)な環境が与えられる。コンピュータは、学生の質問に答え、学生の解答の経路に批評を加え、そのとき学生が提出した仮説を検定する。その対話例は、次の通りである。SOPHIEの出力は、*でしめす。原文は英語である。

* SOPHIEへようこそ、SOPHIEは、あなたと一緒に学習いたします。あなたが研究する装置は、安定化電源です。

～はい

* 装置は故障しております、現在設定されている制御値を下に示します。

CC	1.0	[制御電流]
CR	HIGH	[電流切換スイッチ]
LOAD	20	[負荷抵抗(オーム)]
VC	1.0	[制御電圧]
VR	HIGH	[電圧切換スイッチ]

～出力はどのくらいですか？

* 出力電圧は、11.7ボルトです。

～故障のない装置は、それはどのくらいですか？

* 正常な場合の回路の出力電圧は、19.9ボルトです。

～R8とQ1間の電圧はどれくらいですか？

* N1の電圧は、47.6ボルトです。

～定電圧トランジスタのベースエミッタ電圧はどれくらいですか？

* Q5のベースエミッタ電圧は、-0.037ミリボルトです。

～定電流トランジスタはどうですか？

* Q5のベースエミッタ電圧は、0.349ボルトです。

～それは、どのくらいあるべきですか？

* 正常な回路では、Q6のベースエミッタ電圧は、0.593ボルトです。

(以下略)

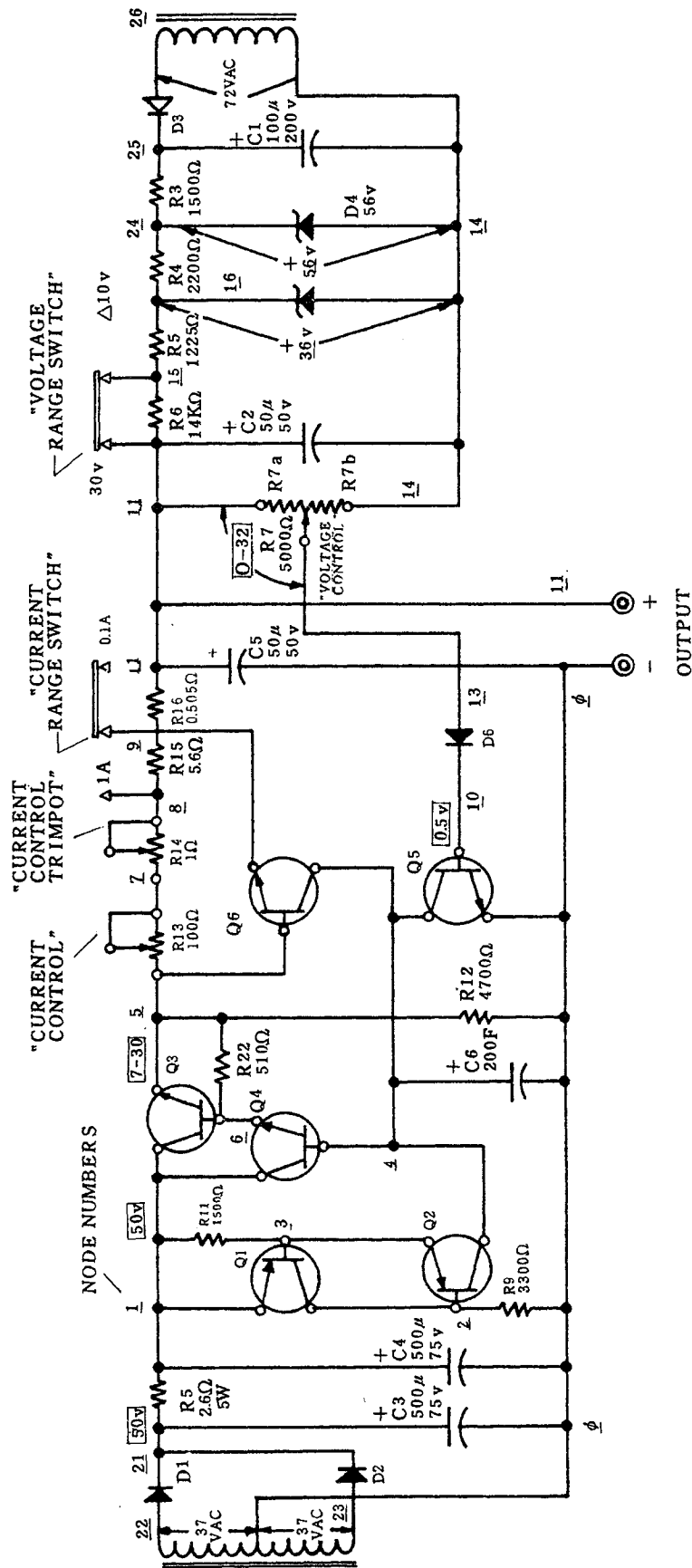


図 3 - 1 8 回路構成図

これは、定電流および定電圧の両方を供給できる、適度な複雑さをもつ Heathkit IP 型の安定化電圧である。これら二種類の相互干渉をもつフィードバックループによって、故障の修理手続きが相当複雑になっている。

SCHOLAR(1970年): J.R. Carbonell⁽²⁴⁾

SCHOLARは、南アメリカの地理について、学習者の知識を復習するように設計された。SCHOLARは、学生に助言を与え、学生が入力した文がわからないときには、それを指摘する。学生の質問に答え、学生に質問する。このようなコンピュータと学習者が、互いに主導権を取り、質問できることを相互主導権といっている。その対話例は、次の通りである。

* ではジョーンズさん、始めましょう。

チリとは何ですか。

～国です～

* よろしい。下の質問の対してリストから1つの数を選んで下さい。

214000 8003000 49883 63690

チリの面積はおよそどれくらいですか。

～800300～

* まちがいです。正しい答えは214000です。

チリの人口はおよそ8500000です。これは正しいですか誤りですか。

～正しい～

* その通りです。

次のうち1つが答えになっているのですが……

スクレ語 フランス語 アルゼンチン語 スペイン語

チリの言語はなんですか。

～

* 長く考えすぎです。

～スペイン語です～

* スペイン語と書いて下さい。

大変結構

チリの首都はサンチャゴです。

正しいですか誤りですか。

～正しい～

* その通りです。

ブラジルの面積はおよそどれくらいですか。

～2500000平方マイルです～

* 誤りです。

次の言い方が正しいか誤りか示して下さい。

パラグアイの面積はおよそ47432平方マイルです。

～

～ブラジルの面積はどれくらいですか～

* だいたい3600000平方マイルです。

それでは今答えなかった質問に答えて下さい。

～うそです～

* 言いかえて下さい。理解できません。

～誤りです～

* 大変結構。

パラグアイの面積はおよそ157000平方マイルです。

ブラジルの言語はフランス語です。

正しいですか誤りですか。

～誤りです～

* 結構です。

ブラジルの言語はポルトガル語です。

ブラジルの首都がブラジリアだというのは本当ですか。

～はい～

* ブラジルの人口はおよそいくらですか。

(以下略)

WEST(1970年): R. Burton J.S. Brown⁽²⁵⁾

これは、小学校における算数のドリル演習を与えるゲームである。WESTは、子どもがゲームに熱中しているとき、上達のために批評や助言を時々子どもに与えることができ、子どもが発見するようにしむける。案内された発見に

よる学習といている。

ゲームは、2人で進行する。それぞれの手番に、WESTから3つの数（スピナー）をえて、＋、－、×、÷の算術式を作り、その答えが、絵コマの移動する数で、終端にどちらかが到着するとゲームは終了する。

画面には、町が10コマごとに、6つあり、子どもが町にちょうど着くと、次の町へ行ける。また、近道に止まると、近道の一方の端へ行ける。相手のコマに停止すると、2つだけ後戻りさせられる。

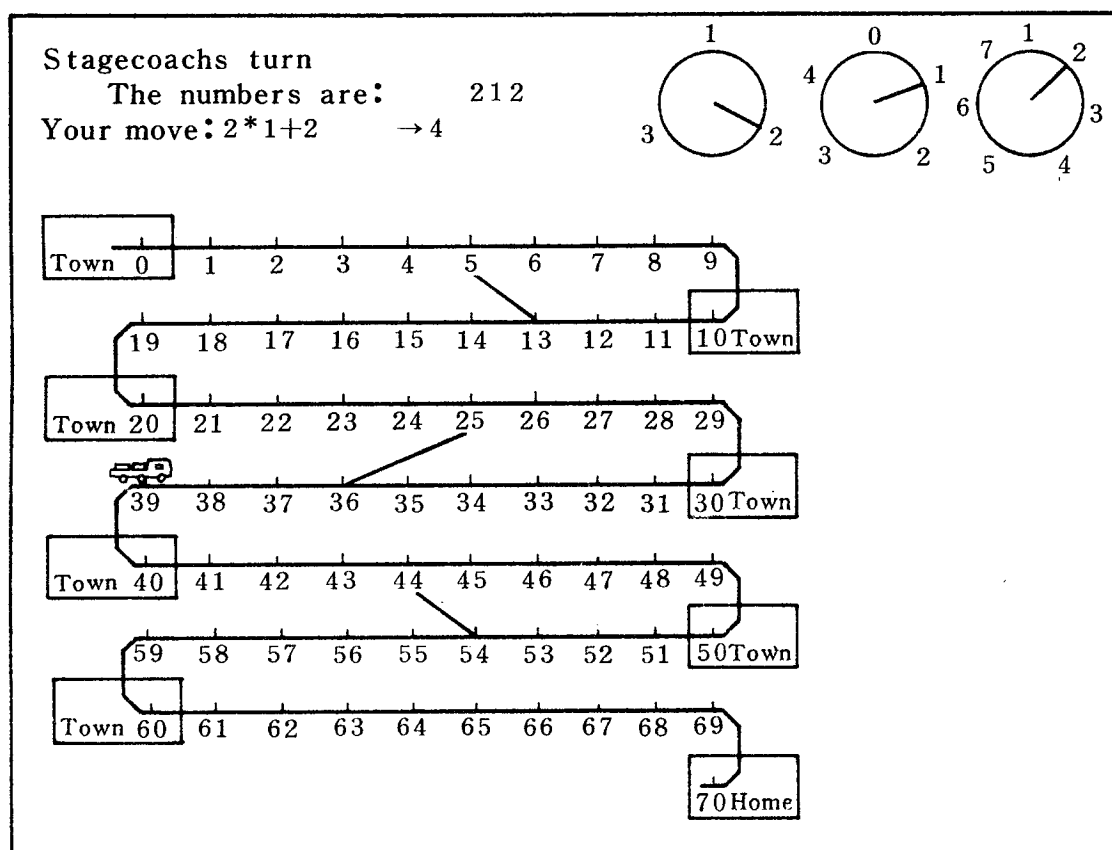


図 3 - 1 9 WEST

BUGGY(1977年): J.S.Brown R.Burton K.M.Larkin⁽²⁶⁾

これは、基礎的な算数技能（加算、減算）に関して、学習者の誤答を診断したり、BUGGYから提示された誤答を教授者がその誤答がどのようなタイプなのかを、指摘させる訓練に使用される。この誤答をバグ（BUG：虫）とい

っている。その対話例は、次の通りである。

Bugland ようこそ。私はある虫を選んでいきます。これがその虫の一例です

$$\begin{array}{r} 17 \\ + 5 \\ \hline 13 \end{array}$$

ここで、あなたは私にその虫を決定するための問題を与えることができます

$$\begin{array}{r} ** \quad 18 \quad 43 \\ + 6 \quad + 79 \\ \hline 15 \quad 23 \end{array}$$

虫がわかった！

虫についてのあなたの定理をテストするためのいくつかの問題を示します

$$\begin{array}{r} 21 \\ + 39 \\ \hline ** \quad 51 \end{array}$$

これは、私が持っている虫ではありません。私の虫を使うと以下の通りです

$$\begin{array}{r} 21 \\ + 39 \\ \hline 15 \end{array}$$

もっと例を私に与えなさい

$$\begin{array}{r} ** \quad 51 \quad 99 \quad 68 \\ ** \quad + 1,707 \quad + 99 \quad + 9 \\ \hline 21 \quad 36 \quad 23 \end{array}$$

** 虫がみつかりました

私の虫をあなたがどう考えているか、どうぞ述べてください

** 学生は、すべての数字をいっしょに加算しています

虫に関するあなたの定理をテストする問題を示します

$$\begin{array}{r} 33 \quad 1,091 \quad 8 \quad 28 \quad 90 \\ + 99 \quad + 60 \quad + 34 \quad + 70 \quad + 6 \\ \hline ** \quad 24 \quad 17 \quad 15 \quad 17 \quad 15 \end{array}$$

大変よろしい。その虫の私の記述は次の通りです：学生は、つねに、列に関係なくすべての数字を加算している

以上のようなプロトタイプを概観すると、CAIシステムは大きく発展してきていることがわかる。CAIシステムの構想、すなわち設計理論は、その基礎を心理学を中心とした学習に関する理論が背景に流れている。後で取りあげるように、心理学は、行動主義系心理学（行動系）から認知主義系心理学（認知系）へ

と展開してきた。それらの科学は、人間の学習をどのように説明するかという点に集約される。

コンピュータのハードウェアはもちろんだが、ソフトウェアと教育訓練の理論の3つの分野が共に進展してきた。コンピュータに植え込むのは、教育訓練に関する情報である。その構築に必要な構成要素は、次の3つであるといわれる。⁽²⁷⁾

- a. 問題解決の専門知識……教育訓練の目的とする固有領域の知識またはカリキュラム（学習者に対して伝えようとする知識）に関するプログラム
- b. 学習モデル……学習者の理解状態（学習者が何を知っていて何を知らないかを示す）を表すプログラム
- c. 指導方略……効果的な指導、問答法、会話法を展開するプログラム

これらの構成要素は、プロトタイプのいずれにも見い出せる。TMおよび初期のCAIでは、Skinner流（直線式）あるいはCrowder流（分岐式）の学習プログラムをコンピュータに実行させた。提示される教授情報、学習者の応答情報および評価情報は、あらかじめ予想し作成されているものである。そのプログラムは、固定化され、系列化されたものである。すなわち、教授者だけに、b.の学習者モデルはある。

STRAND CAIは、すでに見たSOCRATESと違い、アイテムジェネレータという自動生成機構がある。学習者に提示する説明や問題などの教授情報、KR情報を明確に構造化し、モデル化している。このデータから、コンピュータが自動的に具体的な情報を育成し、再構成する。そこでは、元の情報を再構成することがあっても、新しい性格の情報を生み出すことはないが、初期のCAIでは見られないこのような機能が出現した。すなわち、b.の学習者モデルである。

SCHOLARでは、人工知能型CAIを取り入れた。このシステムは、自然言語による応答処理ばかりでなく、相互主導型という考えをとった。学習者とコンピュータとがより適応的に、発見的に実行できるようになってきたのである。

a.の教育対象領域の知識は、意味ネットワークで、コンピュータに植え込まれる。意味ネットワークとは、ネットワークに特定の意味をもたせるようにしたデータ構造である。知識のいろいろな概念対象をノードで表し、アークで概念対象間の関係を表し、ネットワーク全体としてある特定の意味をもつ知識体系を表現

する。この意味ネットワークは、SCHOLARにおいて、南米の地理の知識である。その一部は次のように紹介されている。⁽²⁸⁾

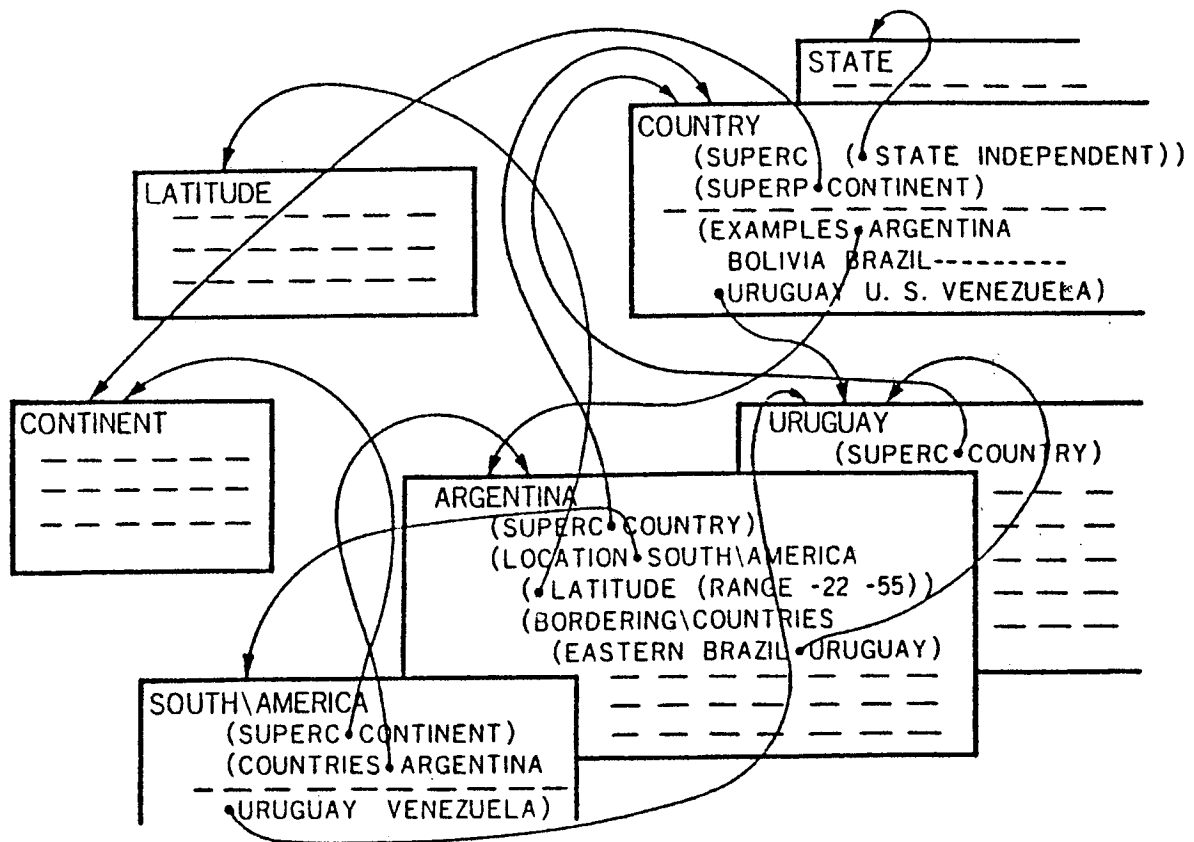


図 3 - 2 0 南米のネットワークの一部の表現

この意味ネットワークが、コンピュータで処理できるように体系化してある。コンピュータは、意味ネットワークにより、知識間の意味的なつながりを理解する。SCHOLARでの意味ネットワークは、学習者の質問に答えることと、c. の指導方略を決める助けとして用いられる。b. の学習者モデルは、a. と同じく、意味ネットワークが使われネットワークのノードに、学習者が理解した知識との対応を取り、学習済みのノードには、フラグという記号を記入するようになっている。学習者からの質問は、意味ネットワークを探索し、推論し答えることができる。それまでの固定的、系列的、場当りのCAI（アドホックCAI）とは違う知的なシステムとなった。

SOPHIEでの特徴は、比較的に自由な対話が、コンピュータと学習者との

間で可能である。SOPHIEは、学習者によって入力された文について、3秒以内に応答する。この場合では、測定、回路素子、トランジスタなどのように限定した実際にある概念に意味的な分類を行い、利用している。コンピュータは入力された文を、名詞、動詞句などの構文的な範ちゅうでなく、意味的なカテゴリーとして理解する。その概念数は、50程度である。この自然言語の処理は、学習者の入力する文が、1語、数語の省略のような抜け落ちや言葉をコンピュータで補い、推測することができる。また回路シミュレータがある。学習者が仮説として質問すると、回路シミュレータは変更した回路モデルを作成し、回答する。例をあげると、『コンデンサ2が短絡されると出力電圧はゼロになるか』のときに、回路シミュレータは変更した回路モデルを作成することができ、回答する。学習者の仮説について評価したり、助言を求めてきたときにも、コンピュータは、仮説を生成することもできる。⁽²⁹⁾

1980年代になると、CAIは、従来取り扱ってきた事実に知識を教えることより、学習者の経験にもとづく知識を扱うようになってきた。つまり、知識表現についての各種の手法（意味ネットワークなど）を採用し推論機構を整備してきているのである。

学習者モデルは、何を教えられたのかということにとどまらず、なにを学んだのかということを表示する学習者モデルの構築へと研究が展開されている。

指導方略においては、学習者に対し効果的なアドバイスの提示、因果関係を追及する会話、学習者の誤りや思い違いに対して、学習者自身で知識の再構築を与えるような方略などへと発展してきている。⁽³⁰⁾

(3) 授業設計とCAI

教授者の構想する授業過程は、数多くの要素が関係する。

例えば、1単位の授業において、

授業目標（なにを教えるのか、学習させるのか）

授業内容（どのような内容を）

授業方法（どのような方法で）

授業評価（どんな成果を期待するのか）

学習者の諸要素（だれに）

学習する環境（どこで）

などの要素がある。

これらの各要素は多くの変数を持っている。例えば学習者の要素や変数としては、知能、認知スタイル、レディネス、構え、学習意欲、習慣、年齢、性、社会的適応性、問題解決能力、経験、操作能力等となる。それらの一つをとっても、広大な問題領域となる。ここでの授業設計の意味としては、授業場面におけるコンピュータの利用、すなわち、授業場面における教授者のもつ機能のコンピュータによる代用、あるいは、教授者のためのコンピュータによる援助について、ごく限定された手法の整理である。その手法として、取りあげる要素の内容等は、教授者が構想する授業により、それぞれ異なる。⁽³¹⁾

すべての手法を知らなくとも、日常の授業はできるし、実践されている。またすべての手法を知ったとしても、よりよい、わかりやすい授業にはつながるわけではない。さらに、強調しておかなければならないことは、コンピュータの機能である明確な論理構造によって学習者の学習そのものが切断され、無視されるようなことがあってはならない。それらを考慮しつつ、教授者の構想する授業過程の要素の概略とC A Iとの関係を知っておく必要がある。

① 授業目標、授業内容における分析の手法

授業での、学習者に対する働きかけの結果、期待される学習者の変化が授業目標である。

能力開発では、訓練目標がこれに該当する。訓練目標の設定の目安としてあげられているのは、

- a. 職業訓練に関する基準
- b. 当該地域の産業の要請、認定職業訓練の場合はその企業の訓練ニーズ
- c. 教科編成指導要領

の3つが示されている。⁽³²⁾ 教科編成指導要領では、訓練科、訓練期間、訓練目標、また訓練基準として、教科、訓練時間、および教科科目の細目が定められている。この場合での訓練目標は総括的目標である。このままでは、具体的な

授業での目標にはならない。総括的目標を分析した下位目標群が必要である。
下位目標群に分析する手法は、代表的なものとしては4種類ある。

- | | | |
|--------------|-----------|--------------------------|
| a. 行動分析法 | 1965、矢口 新 | 能力開発センター ⁽³³⁾ |
| b. 論理分析法 | 1968、沼野一男 | 玉川大学 ⁽³⁴⁾ |
| c. 次元分け法 | 1973、坂元 昂 | 東京工業大学 ⁽³⁵⁾ |
| d. ISM教材構造化法 | 1980、佐藤隆博 | 日本電気 ⁽³⁶⁾ |

a. の行動分析法(矢口 新)は、熟練した人の行動をモデルとして、その観察をすることにより、目標行動の構造化をする。その手順の概要は、

- | | |
|---------------|---|
| イ. 目標行動の設定 | 訓練生の習得目標として、その範囲と程度を具体的に決める。 |
| ロ. 表現行動の観察記述 | 熟練技能者を対象に、目標行動に含まれている行動を作業手順に従って明らかにする。この場合の表現行動とは、表に現わした、目にうつった行動をいう。 |
| ハ. 測定行動の析出 | 目に見えない行動について、何のためか、なぜその行動をとったか、またその表現行動を行うときの思考過程として、注意、見わけと判断の尺度および最低の知識を記述する。 |
| ニ. 要素行動の分類と整理 | 測定行動の記述をもとに、小さなまとまりの出来上り状態の予測をまとめる。 |
| ホ. 目標行動の構成と把握 | 要素行動の依存関係を把握する。 |

安江氏(職業訓練研究センター)によれば、行動分析法による学習システムの特徴として、次の3つをあげている。

第1点は、熟練技能者の行動を分析することにより、学習目標を明確にとらえ、これに適した実学融合カリキュラムを編成できる。第2点は、作業順序と学習順序とは必ずしも一致しないことを前提としてカリキュラムを組むことである。第3点は、教材のシステム化を図ることによって自学自習も可能にする。

b. の論理分析法(沼野一男)は、到達目標に到達するために不可欠な下位目標を明らかにし、行動を形成する順序を組立てる。例えば、長方形の面積の計算ができる学習者を対象として、面積計算の求め方を学習する場合の分析例は、学習目標の設定、目標行動の論理分析、形成関係図の作成というように、作業をすすめる。

イ. 学習目標の設定

学習者が学習の結果何ができるようになったかを、具体的な行動でしめす。図3-21のような図形面積をもとめることができ、その際、図形を三つの長方形の集まりと見て解くか、図形を一部が欠けた長方形と見て解くかの2つの方法がとれる。

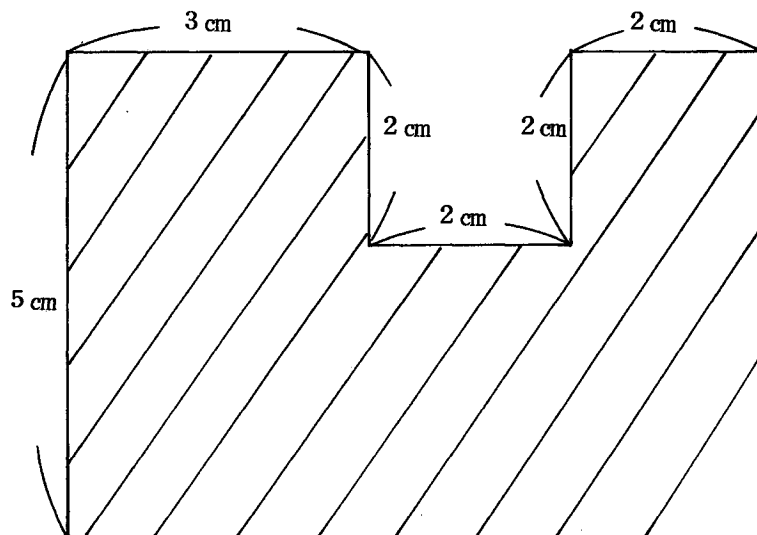
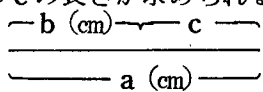


図3-21 論理分析法の例題

ロ. 目標行動の論理分析

学習目標として設定した目標行動から出発して、順次、下位の目標行動を決定していく。

表 3 - 3 目標行動の論理分析

ノード 番 号	ノード名	タイプ	目 標 行 動
G 0	出題図の図形の面積		出題図の図形を長方形の組み合わせと見て面積を求めることができる。
1	和と考える		出題図の図形を三つの長方形の和と考えて面積を求めることができる。
2	差と考える		出題図の図形を一部が欠けた長方形と考えて面積を求めることができる。
3	分割ができる	R	出題図の図形を三つの長方形に分割する方法を二つ以上指摘できる。
4	各々の面積		各々の長方形の面積が求められる。
5	全体の面積は和	R	分割した図形の面積の和が図形全体の面積であると指摘できる。
G 1	長方形の面積		たて、よこの長さが与えられた長方形の面積が求められる。
7	各々の辺の長さ		各々の長方形の辺の長さが計算できる。
8	対辺は等しい	R	長方形の対辺の長さが等しいことを指摘できる。
9	長さの差	R	下図の c の長さが求められる  $\overbrace{\text{---} b \text{ (cm)} \text{---} c \text{ ---}}^{\text{---} a \text{ (cm)} \text{---}}$
10	「欠けた形」の概念		出題図の図形は長方形の一部が欠けた図形であると指摘できる。
11	全体の面積		欠けた部分を合わせた長方形の面積が求められる。
12	欠けた部分の面積		欠けた部分の面積が求められる。
13	面積の差	R	一部が欠けた図形の面積は (全体の面積) - (欠けた部分の面積) であると指定できる。
14	全体の形の指摘	R	出題図の欠けた部分の両角を結んだ形が長方形であるといえる。
15	欠けた部分の形	R	欠けた部分が長方形であるといえる。

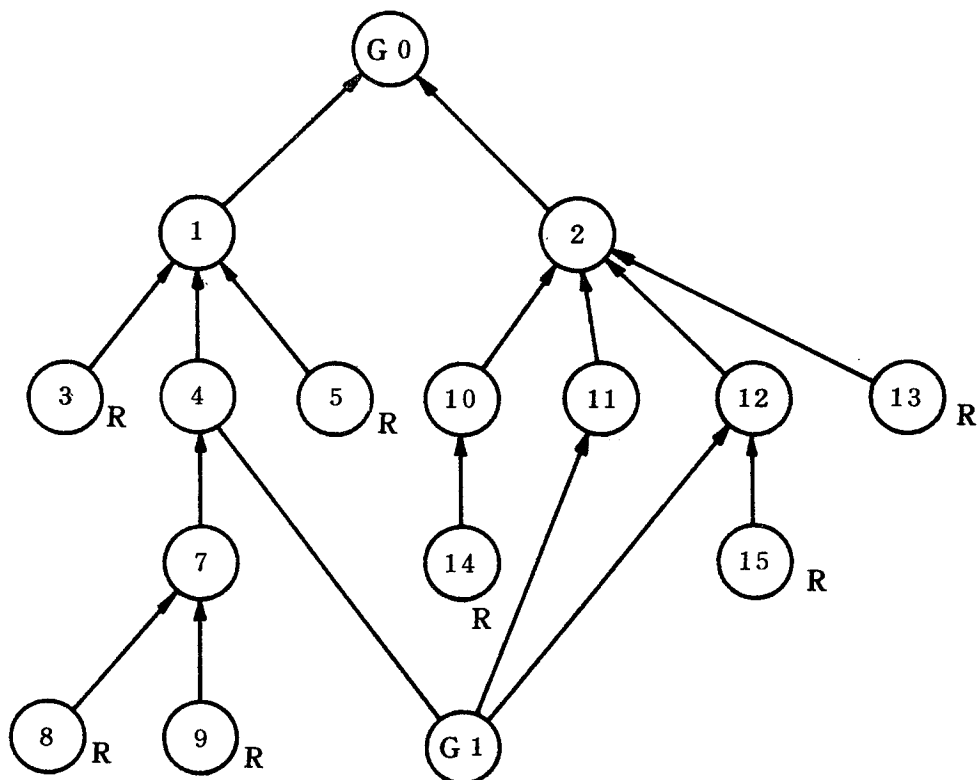
G 0 : 上位の目標行動

G 1 : 下位の目標行動

R : 前提行動を意味し、分析者が、これ以上分析しないことに決定した行動のこと。

ノード : 次ページの形成関係図のように○のなかに文字または数字を入れた記号で示したもので、この記号で示される行動のことをノードと呼ぶ。

ハ. 目標行動と下位目標行動の全体の形成関係図を作成する。



(ノード G1 は別の形成関係図に展開する)

図 3 - 2 2 形成関係図の作成

以上のように、論理分析法の手順の要約は次の通りとなる。

- イ. 目標行動の決定妥当性のある明確なものすべてを列挙しておく。
- ロ. 下位目標行動を論理的に分析決定する。学習者の前提行動（レディネス）に達するまで、目標行動の形成に直接必要で十分な下位の行動を順次決定し、記述する。
- ハ. 目標行動と下位目標行動の全体の形成関係図を作成する。
 - c. の次元分け法(坂元 昂)は、教材の構成を適切次元と不適切次元に判別し、適切次元をさらに正の事例と負の事例に図 3 - 2 3 のように分析して、正の事例を、行動マトリクスとしコースを組立てる。

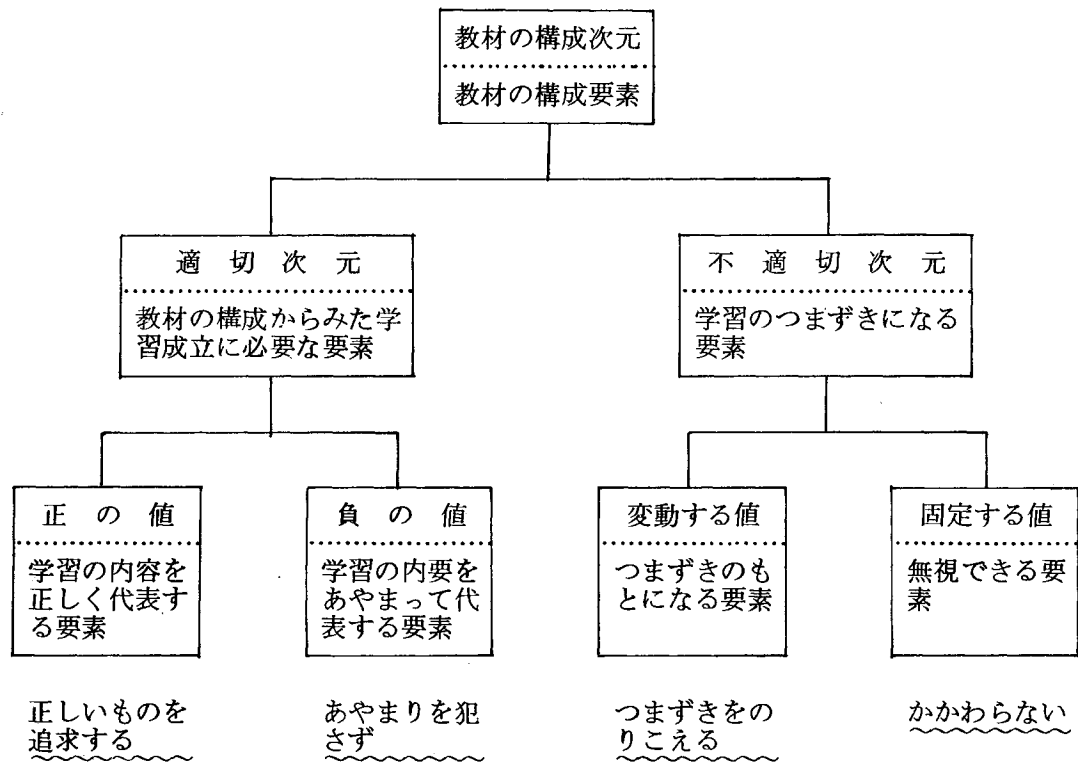


図 3 - 2 3 教材の構成要素

次元分けの手順は、表 3 - 4 の通りである。

表 3 - 4 教材の次元分けの手順

I 事例の抽出	1.	主目標となる内容のとり出し
	2.	内容に関連した事例の列挙
	3.	内容を代表する正事例と負事例の分類
II 適切次元の決定	1.	正事例に共通して存在するが、負事例に共通しない特性を抽出して、教材の適切次元の正值とする
	2.	負事例には存在するが、正事例に共通しない特性を抽出して、教材の適切次元の負値とする
	3.	正值と負値を対応させ、両者を値として、一次元上に含みこむ適切次元を複数命名する

Ⅲ 不 適 切 次 元 の 決 定	1. 正事例にも負事例にもある事例間の変動を一次元上で規定する特性を抽出して、不適切次元とする 2. 変動する値を複数とり出す 3. 不適切次元のうち、学習困難およびとり扱い困難な次元を固定する 4. 固定する値を一次元一つに決定する
---	---

この手法は、COMET法による授業設計で用いられ、数学や理科によく活用している。COMET法とは、次の略である。C；Child（子供）、O；Objective（目標）、ME；Method（方法）、T；Teacher（教師）

d. のISM教材構造化法（佐藤 隆博）は、Interpretive Structural Modeling 法の略で、システム工学で開発されたシステムの構造モデル化法の1つであるISM法を応用したものである。次はその手順の例である。

異分母の分数の加減に関する、教科書の小見出しとそれに準ずる次元の要素から、まず下位要素を抽出する。これから各要素間を直感、主観、または、合意により関連づける。

表 3 - 5 「異分母の分数の加減」

要素番号	要 素 の 内 容
①	分数の意味
②	真分数
③	数直線
④	帯分数
⑤	仮分数
⑥	同分母の真分数の大小
⑦	同じ大きさの分数
⑧	約分と通分の基礎
⑨	同分母の真分数の加減
⑩	同分母の分数の加減
⑪	約数
⑫	倍数
⑬	最大公約数・最小公倍数
⑭	通分
⑮	約分
⑯	異分母の分数の加減

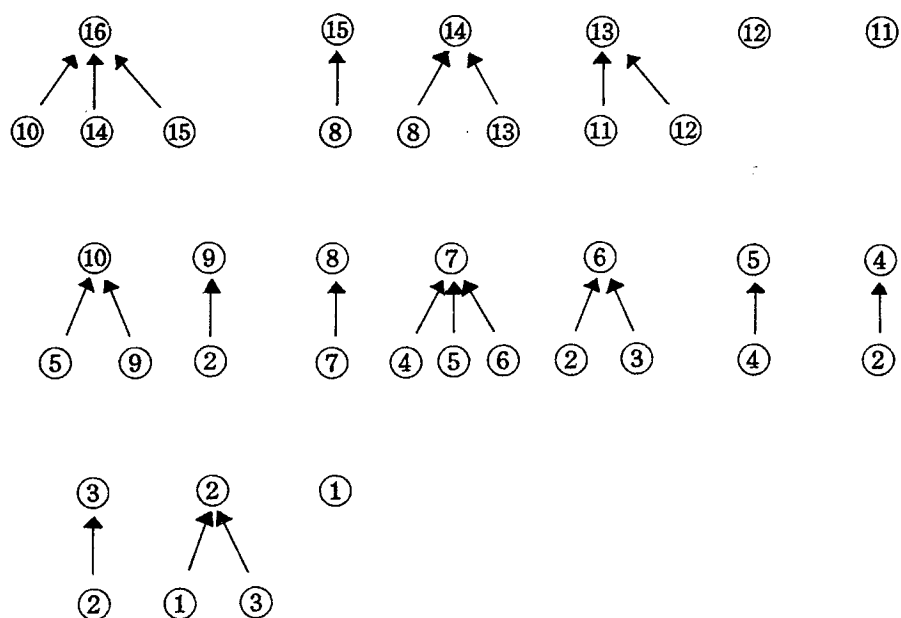


図 3 - 2 4 各要素間の直接形成関係

各要素についてそれぞれに直接関連する下位要素を決める

(隣接マトリクス)

Si	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図 3 - 2 5 直接関係マトリクス

次に、下位要素の要素番号を直接関係マトリクスに整理する。これらの要素間の関係データをパソコンに入力し、コンピュータによる演算をする。

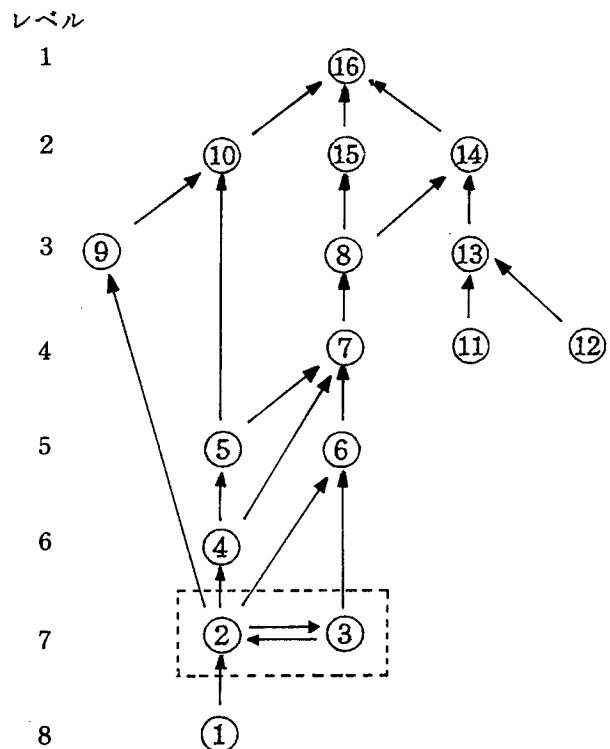


図 3 - 2 6 階層的有向グラフ(階層的形成関係図)

コンピュータからの処理出力としてはレベル 1, 2, ..., 8 に対応した要素番号が打ち出されるので、直接関係マトリクスを見ながら要素間の直接関連を結ぶ

これから要素間の階層的配置図が、パソコンで出力され、要素間の辺を結び全体の関係を図示する。これを教材構造チャートと呼んでいる。さらにこのチャートの中で、部分の関係を吟味、検討し、必要に応じて要素間の関係づけを修正する。

この手順は、要約すると、

- イ. 学習目標（教材要素）の抽出をする。
- ロ. 学習目標間の関連づけを行う。
- ハ. 全学習目標の関連構造を視覚的に判読しやすいように構造図に描かれる。
- ニ. 全学習目標間の関連づけの部分的な修正追加を行う。場合によっては、学習目標の細分化を見直す。そして再び構造図が描かれる。

佐藤氏によれば、ISM法の特徴を3つあげている。

- イ. 要素間の関係づけを行うだけで、コンピュータによって自動的に効率よく階層的構造図を得ることができる。
- ロ. 教師や教材作成者がもっている教材構造に関する意識を具象化して示すことができるので、関係者の意識を調べながら互いの合意を求めて構造化ができる。
- ハ. 構造化の過程において、教師や教材作成などの関係者の経験に基づく直感や総合判断力など、人間のもっている優れた特性を利用することができる。

以上のような教育（訓練）目標の分析の手法が、授業内容の基礎となっている。それぞれの手法は、歴史もあり、具体的な科目への適用は、教授者自身で更に自から検討し、選択することが必要である。

② 授業評価における手法

授業の評価は、教授者の教えることと、学習者の学ぶこととを結びつけて、その機能を評価することにある。すなわち、学習者にとって最善となるようなCAI教材にフィードバックさせようとする構想を検討することになる。

実際にCAIにおける教育訓練での評価の手法は、パソコンレベルにおいて、次のような処理が可能となっており、既に実用化している。

- a. 学習者の現在の学習進捗状況を見る個人学習状況
- b. 学習者の現在までの学習経過を追跡する学習シーケンスリスト
- c. 学習者の現在までの学習状況を詳しく知る推移順学習履歴表
- d. 学習者の現在までの学習経過を詳しく知るモジュール別学習履歴表
- e. 特定ユニットについての学習者集団の学習状況を同時に見る集団学習状況
- f. 学習集団の現在までの学習状況を大まかに把握する学習進展一覧表
- g. 特定ユニットについての学習者集団の評価成績を同時に見る評価成績一覧表
- h. 各学習者の学習パターンとコースウェアの利用パターンを分析するモジュール使用状況一覧表
- i. 各モジュールの学習時間と得点率の平均およびバラツキを調べるモジュールデータ集計表
- j. 学習者集団の中で累積学習時間のバラツキを調べる累積学習時間度数分布表
- k. 学習者集団の中で評価成績のバラツキを調べる評価成績度数分布表
- l. 学習者集団のモジュール学習状況や、コースウェアのモジュール設定の適否などを分析するS-P表

③ 授業方法などについて⁽⁸⁸⁾

どのような教科を、どのような方法で、教え、学習させようとしているのが、授業方法、授業内容である。しかし、これらとCAI教材とのそれぞれの整理は明確ではない。その内容、方法は、個々の教授者によることと、CAI教材そのものが発展途上にあるからのように思われる。学習者とCAI教材とは、それぞれの固有の形式で取り扱う課題、問題などの情報を保有し、変換し、付加することによってそれぞれの処理を進めるので、学習者と教授者の2人の師弟関係は、その場にはない。あるのは、コンピュータと学習者のマンマシンシステムである。学習者側での内部形式や変換アルゴリズムがどのように行われているか、人間の知的活動としての生理学的、心理学的に研究は進められているが必ずしも定かでない。これに対して、コンピュータ側での内部形式や変換アルゴリズムは明確である。そのデータ構造を最適に近づけるようにしてい

るのが、C A I 教材である。

C A I 教材には、教授者の授業設計の一部を取り入れようとする。では、よい授業とはどういうことなのか、どんな要素から成立しているのか、どういう構造になっているのか、という授業のモデルが非常に関係してくる。カリキュラムや授業を構成したり、教材を選んだり、教授者の活動を指示したりするパターンあるいは計画が、授業のモデルであるとしB.JoyceとM.Wellは、授業のモデルとして、大きく4つのグループにわけて、15のモデルを抽出した。⁽³⁹⁾ 参考にその名称だけあげると、

a. 社会的相互作用を源とするもの

社会的関係や人と文化との関係等を扱う授業に関するモデルである。

グループ研究モデル、法理学的モデル、社会的探求モデル、Tグループ
(Training Group)モデル

b. 情報処理を源とするもの

学習者の情報処理能力の改善をめざすもの

概念獲得モデル、帰納的モデル、探求訓練モデル、生物科学探求モデル、
先行オルグモデル

c. 人格を源とするもの

人格の発達に焦点をあて、個人が自分自身について知る過程を重視する。

非指示的教授モデル、教室出会いモデル、サイネクティックスモデル(創造性を発達させるモデル)、意識訓練モデル

d. 行動変容を源とするもの

学習活動の系列化や教科の操作によって行動を形成しようとするものである。

オペラント条件づけモデル

(4) コンピュータ機能とC A I

現在のC A I システムの開発研究は、A I 手法のC A I、認知主義的な概念や数理モデルを用いた方法などが発表されている。特に最近の知識ベース型C A I においては、従来のシステム分類が明確とならずに、ソフトウェアとコースウェア

アの一体化した傾向がある。

C A I システムの分類は、流動的ではあるが、次の 3 つの基本構成要素から成っている。

- ① ハードウェア (hardware) ; HW
- ② ソフトウェア (software) ; SW
- ③ コースウェア (courseware) ; CW

ハードウェアは、大きく分けると、次の 3 つの装置からなる。

- (HW - 1) 学習運用装置
- (HW - 2) データ通信装置
- (HW - 3) 学習端末装置

また、ソフトウェアは次の 2 つから構成される。

- (SW - 1) OS / エグゼキュータ
- (SW - 2) 言語プロセッサ

そしてコースウェアは、普通、学習プログラムとして、もっとも重要であり次のように分類する。

- (CW - 1) 教材開発支援機能
- (CW - 2) 教授学習管理機能

(HW - 1) 学習運用装置

学習運用装置は、通常コンピュータシステムを用い、システムの規模を問わず、4 つのブロックから成る。キーボードやマウスのような入力装置、プリンターやディスプレイのような出力装置、および記憶装置と中央処理装置である。

規模からの分類は、3 種類である。

- ① 汎用コンピュータ：汎用機といわれるもので、超小型機から超大型機まで、通常、ソフトウェアの両立性が補償されているものをいう。
- ② ミニコンピュータ：汎用機が持っている本質的な機能の重要なものを抜き出し、小型、低価格にしたものである。

- ③ パーソナルコンピュータ（パソコン）：シリコンチップ上に実装したマイクロプロセッサ（中央処理装置）を中心に、記憶、入力、出力ブロックをチップとして構成したものである。

また、データの処理方式からみると、次のようになる。

- ① スタンドアロン型：完全に独立したパソコンをいう。
- ② ローカルエリアネットワーク型：スタンドアロン型を多数接続し、中央に比較的、のコンピュータより、容量の大きな記憶装置をつける中央集中型をいう。
- ③ オンラインネットワーク型：大型コンピュータを設置し、大規模に通信回線を利用し、運用する形態をいう。

C A I システムは、大学などの大規模システムを除き、主流はスタンドアロン型である。その特色は、次のようである。①小規模なシステム構築が可能。②増設や機器の拡張性に優れている。③低価格。④付帯設備を必要としない。

学習進行から見ると、ホストコンピュータを使用するか否かにより、次のように現在のC A I システムは分類できる。⁽⁴⁰⁾

- ① ホストコンピュータを使用しない形態

a. 簡易型

親機として中央にパソコンを置き、それに学習者側にハンドヘルドコンピュータを多数接続する形態のものである。ハンドヘルドコンピュータは、電池を用いて使用する携帯用である。表示部が液晶表示であるために、図形や文字の表示には限度がある。

ハンドヘルドコンピュータの表示部には、学習するページが提示され、学習者は学習内容を記述したカードを持っている。回答部に、回答に対応するメッセージが表示される。ハンドヘルドコンピュータには、学習プログラムデータと学習進行プログラムが記憶されている。欠点として、電池の消耗が早いことである。

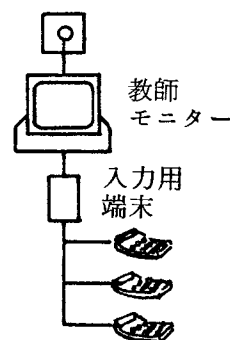


図 3 - 2 7 簡易型

b. パソコンスタンドアロン型

パソコンを1台1台独立して使用する形態のものである。それぞれのパソコンに学習プログラムと学習進行プログラムや、学習の記録を直接フロッピーディスクに記憶していく。この形態の利点は、反応速度がはやい。欠点としては、フロッピーディスクの枚数が多くなり、台数が増えると、管理が困難となる。

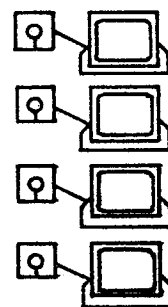


図 3 - 2 8

c. パソコンネットワーク型

教授者用と学習者用のパソコンと容量の大きなディスクのローカルネットワークをくむ形態のものをいう。教材は、容量の大きなディスクで一元管理され、すべての学習者に対して、ディスクから教材をロードして提示する。学習者の記録は、教授者のディスクに集計し、結果の分析管理をすることができる。教材等のロードの方法は、2つの形態がある。

スタンドアロン型

1つは、学習者の必要に応じて、教授者側の比較的大容量のディスクから分配され、学習記録なども、ディスクに記憶しておく。

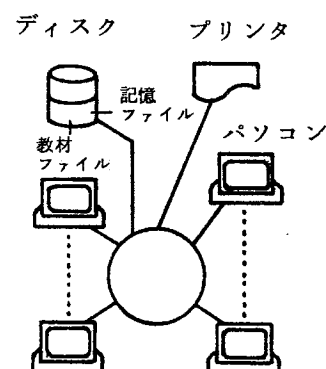


図 3 - 2 9

ネットワーク型

もう1つは、学習開始時に、その時間の学習プログラムを各パソコンが読み込み、学習の記録を各パソコンに記録する。この学習記録は、学習終了時に各パソコンからディスクに送り返す。

② ホストコンピュータを使う形態

ホストコンピュータとして、大型、中型の汎用コンピュータを用い、汎用コンピュータの高機能、大容量ファイル処理を有効に活用する。学習者はパソコ

ンを学習端末機として用い、その特色ある機能を有効に使い学習する。学習者側からみると、パソコンを主役として、ホストコンピュータを脇役とする分散処理型のC A Iとなる。ホストコンピュータでは、教材をデータベースで一元管理し、多角的な分析、検索などが可能である。

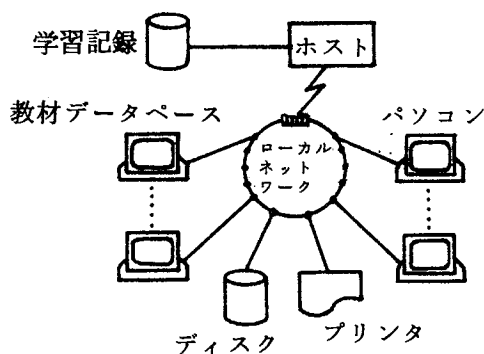


図 3 - 3 0 LAN型

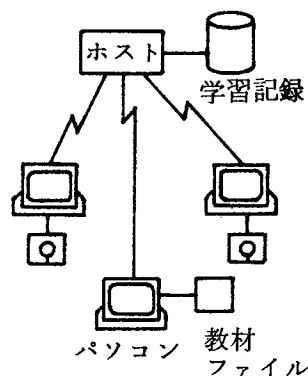


図 3 - 3 1 ホスト型

(HW-2) データ通信装置

遠隔地に設置された多数の学習端末機と、コンピュータとのデータの入出力を制御するシステムが、大規模C A Iに装備されている。これには、電話回線を使う通常のシステムから、通信衛星を用いて広い地域の多数の学習端末機を制御するシステムまでである。データ通信装置は、コンピュータ相互間と既設の通信網と学習端末機を組み合わせ技術であるといえる。その通信技術は数多くの種類がある。

パソコンが、相互に接続され、通信機能を持つことをネットワークといっているが、この形態は、その規模により2種類ある。音響カプラとモデムである。音響カプラは、コンピュータのRS-232C端子と電話機の受話器を介するもので、データ通信と可聴周波数を変換するものである。モデムは、機能は同じだがコンピュータと電話回線を電話機を通さずに直結できるものである。

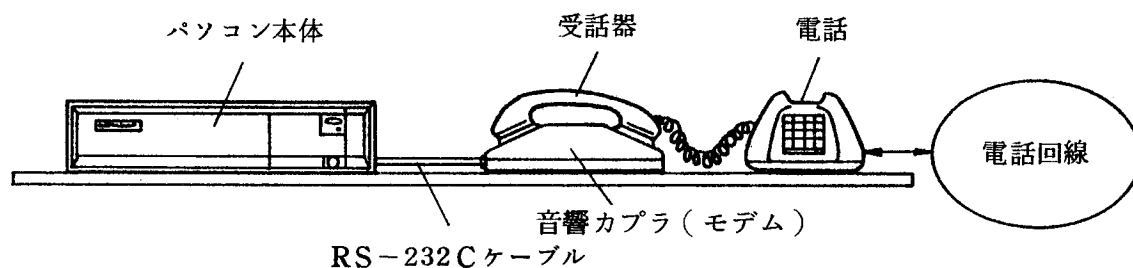


図 3 - 3 2 音響カプラ

(HW-3) 学習端末装置⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾

学習者が、CAIシステムに接する媒体が、学習端末装置である。これは、学習者に対して柔軟に、各種の文字、記号、式、図形、音声、動画、などを出力し、また学習者が学習端末装置から種々の応答情報が入力できる豊富な入力できる豊富な入力形態が必要である。学習者が学習しやすいように、人間工学的に十分に配慮されて設計されていなければならない装置でもある。さまざまな装置が開発されている。コンピュータから制御出力される教授情報、学習展開情報などを表示する表示部、学習者が諸回答、諸要求などを入力する入力操作部からなる。

- ① プリンタ：プリンタはコンピュータから出力を機械的なメカニズムで印刷するインパクトプリンタとそれ以外の原理で印刷するノンインパクトプリンタとがある。またタイプライタのように1字ずつ印字するシリアルプリンタと1行単位で印刷するラインプリンタがある。印字方式による分類は図3-33の通りである。

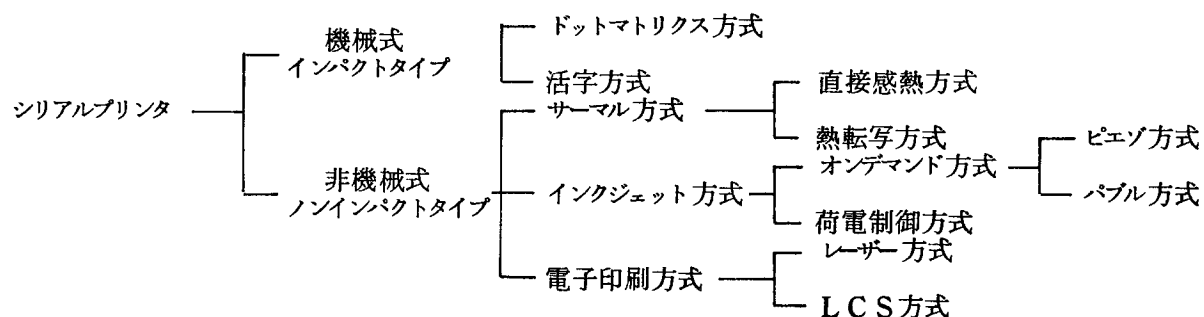


図 3 - 3 3 プリンタの種類

- a. ドットインパクトプリンタ：これは、文字を数十個の点で表現する。印字ヘッドは、縦1列に細いピンが並び、電磁石の吸着力で、ピンを付き出し縦1列ごとに1ドットずつ印字していく。縦24×横24ドットが使われ、ピンはニードルワイヤとも呼ばれる。
 - b. サーマルプリンタ：ピンの代りに超小型の発熱素子を数個配列してある。専用の感熱紙、またはリボンのインクを焼きつけ転写する2つの方式がある。
 - c. インクジェットプリンタ：この方式は、2つあり、ピンの代りにノズルを並べ、紙にインクの粒子を吹きつけて印字オンデマント方式と1本のノズルから超音波振動子によるインク粒子を連続的に噴出させ、インク粒子を帯電させておき、電圧で偏向させて縦1列に印字するものである。中間色のカラーが可能である。
 - d. レーザー方式：多角形の回転鏡により、レーザービームを静電ドラム上に焼きつける。これは、超高速（20000行／分）、低騒音であり、今後の主流になる。
 - e. 液晶式：ドットラインの液晶で画像を形成し、光をあてて静電ドラム上に焼きつける。レーザー方式に比べ安い。
 - f. LED方式：発光ダイオード（LED）を光源とした電子写真式プリンタである。高解像度、高速で、機械的部分がないので小形化、保守性に優れた高級機である。
- ② プロッタ：ペンを上下左右に動かして、図形などを描く。紙が固定されているフラットベッド型と紙が上下に動くピンフィード型がある。

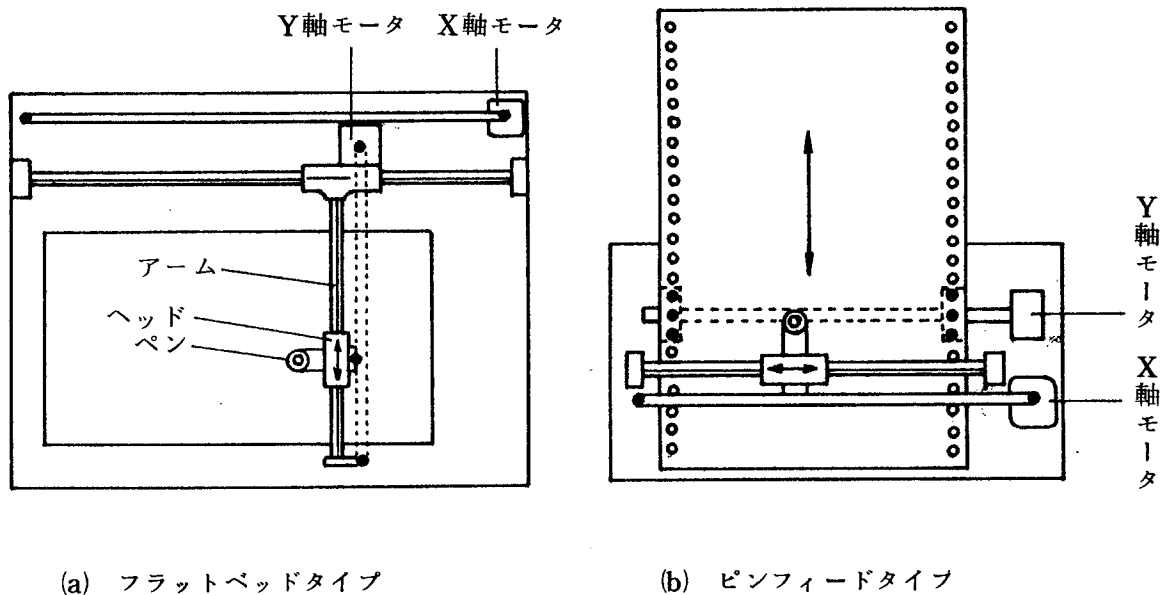


図 3 - 3 4 プロッタ

- ③ ディスプレイ：カラーディスプレイは、蛍光面に3つの蛍光体が塗付されているが、そのドットピッチの構成から、ストライプとドットトリオの2つの方式がある。ドットトリオの方が解像度が優れている。蛍光体の同色の間隔をドットピッチというが、この間隔が狭いと高解像度のディスプレイとなる。

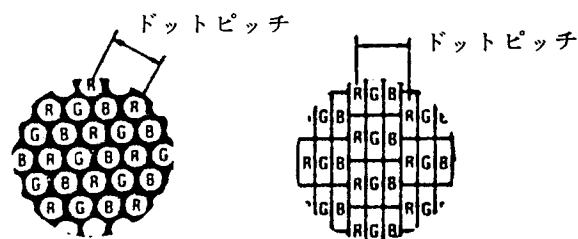


図 3 - 3 5 ドットピッチ

プレイとなる。画像信号としては、ビデオ、RF、RGBの各信号がある。ビデオ信号は、画像信号と同期信号を合成したものである。RF信号は、テレビの信号（搬送波）を加えたものをいう。標準的には、赤、緑、青の各信号と同期信号を別々に入力するRGB方式である。

- a. 高解像度ディスプレイ：ドットピッチのグレードは、 0.21 mm 、 0.25 mm （CAD、CAM用）、 0.31 mm （オフコン、高級コンピュータ用）、 0.4

～0.5 mm (パソコン、ワープロ用)、0.5 mm (テレビ用)となる。

- b. 高品位テレビ用ディスプレイ：信号の走査線が、従来の約2倍となり、画面の縦横比が3：4から3：5の広がる方式をいう。コンピュータ端末として注目していく必要がある。
- c. デジタルテレビ：従来のテレビの映像回路をデジタル化したものである。画質が向上し、各種の画面再生が付加されている。テレビよりもコンピュータの端末として可能性がある。
- d. 高解像度三次元グラフィックディスプレイ：三次元グラフィックは従来ホストコンピュータ側で処理されていたが、この機能を端末側で処理できるようにしたものである。CAD/CAMシステムに利用されている。
- e. 高精細度ビデオプロジェクタ：コンピュータ出力の画面や端末の機器の画面を高精細度で大画面に表示する大型ディスプレイである。これは、一斉授業におけるCAI端末の1形態として非常に注目される。
- f. フラットディスプレイ：これは、液晶パネル、カラー液晶パネル、薄膜ELパネル、プラズマディスプレイ、エレクトロクロミックディスプレイ (ECD)、ブルミアンブルーなどの平板な表示装置をいう。

- ④ フロッピーディスクドライブ (FDD)：外部記憶装置として普及している。モータに直結された開閉ハブに連動して、上下するコレットにより正確にはさまれて回転する。ディスクは、5インチ、8インチ、(3および3.5インチ)があり、回転速度は5回転/秒(5インチ)、6回転/秒(8インチ)とがある。原理はテープレコーダと同じであり、ディスクを磁化することでデジタル信号を記録する。

- ⑤ ハードディスクドライブ (HDD)：FDDと違い、金属製ディスクを使用し、記憶密度をあげている。5インチ、8インチ、14インチがあるが、パソコンでは、5インチを使用し、FDDに比べ記憶容量は、10～20倍となる。データの転送速度は、5 Mbps (ディスクにデータを読み書きできる速度を表す。毎秒の記憶ビット数で示す。この場合は1秒間に500万回のビットの読み書きできる)である。カートリッジ式もある。

- ⑥ データレコーダ：カセットテープで、データを記録する。性能的に非常に安定し、高機能になっている。

⑦ ポインティングデバイス：

図3-36のように、直径1インチのボールとX-Y軸方向のローラとエンコーダよりなり、マウスの移動量を読み取る。

トラックボールは、マウスを上下に逆にしたものである。ボールを転がして、その回転量を入力するものである。広範囲に高速で移動させることができ、ディスプレイに入力できる。手のひらや膝の上で使える簡便性があり、医療機器、産業機器、一部のパソコンに見られる。

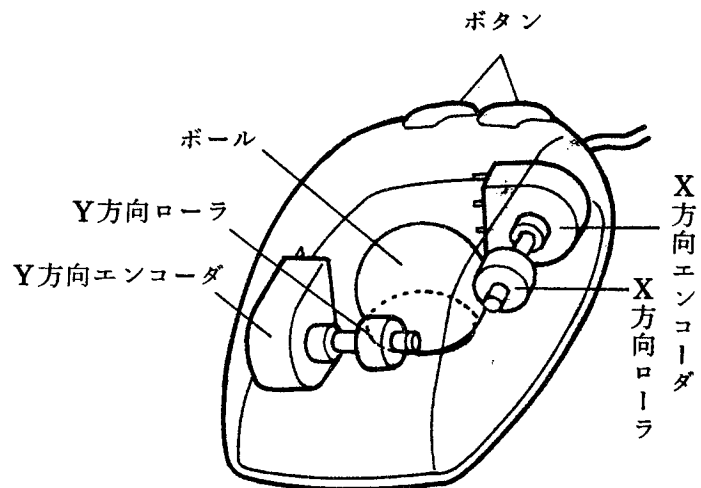


図3-36 マウスの構造

- ⑧ デジタイザ：0.1 mm以下の単位で正確な読み取りができる。座標の読み取る方式は、電磁誘導型、静電結合型、抵抗型などである。

- ⑨ 画像入力装置：画像入力装置は、原稿を直接光学的に読み取り、明暗を数値化して取り込むものである。ビデオカメラで原稿を直接読み取る方式と原稿面を部分的に走査して順々に読み取るイメージスキャン方式とがある。

- ⑩ 音声入力（認識）装置：音声の入力者が、あらかじめ、自分の声を標準パターンとして登録しておく特定話者認識装置は、物流仕分け、品質管理、検査などのFA用として実用化している。日本語のすべてを単音節で入力する特定話者離散単音節入力装置は、日本語ワープロとして開発されている。だれにでも入力できる不特定話者離散単語入力装置は、銀行等で稼働している。

- ⑪ 手書き漢字入力（認識）装置：現在、タブレット方式とOCR方式があり、データ入力として使用される。タブレット方式は、銀行やワープロに応用される。
- ⑫ 音声出力（合成）装置：プログラムデバック、身体障害者用パソコン、警報指示装置作業指示などのFA用、また音声入力装置と組み合わせて音声認識応答システム、その他にファクシミリ、テレックス、玩具、留守番電話、ガス警報、自動車、自動販売機、時計等に広く利用されている。
- ⑬ タッチパネル：これは、ディスプレイ面に指でタッチして入力するための装置で、透明電極、表面センサー、ひずみゲージ、静電容量、表面弾性波等を利用している。
- ⑭ ライトペン：ディスプレイ面上に直接タッチして入力するためのペン型入力装置であり、コンピュータやCADで古くから使用されている。

（SW-1）OS／エグゼキュータ

コンピュータを構成している各種の周辺装置を使用者が意識せずに、便利に使えるようにするのが、オペレーティングシステム（Operating System：OS）である。エグゼキュータ（Executor）とは、作成された学習プログラム（コースウェア）を、コンピュータに実行させるプログラムである。すでに（HW-1）でみた通り、学習者の背後にあるシステムは、ホストコンピュータがあるかないかにより分類される。大規模なオンライン型から、スタンドアロン型に共通に見られる最近の特徴は、ソフトウェアとコースウェアが一体化してきており、その区別は明確でなくなっている。と同時に、データベース的志向になってきている。すなわち、CAIでは、コースウェアを大量のデータの構造の集合としてとらえるデータベース型のCAIが構築されていく方向になってきている。

スタンドアロン型でのOSは、機種に依存しない上位のOSを採用する傾向にある。標準的なパソコンは、BASIC（Beginners All purpose Symbolic Code）を、パソコンに組み込ませるROM（Read Only Memory）の書

き込んだチップを利用している。パソコンを始動すると、直ちにコンピュータのメモリーROMから呼び込まれ、キーボードの監視（モニター）を開始する。キーボードからの入力、一行一文の言語構造をもっており、プログラムは、一行づつコンピュータが解釈して実行する。このようなデータの処理形態をインタプリタといい、BASICを高級言語といっている。この場合、使用する機種に固定され、作成したBASICプログラムは、他機種には使用できない。スタンドアロン型のOSには、上記以外に現在MSX、MS-DOS、CP/M、PC-UX、OS-9、UNIX V、などがある。このようなOSの下で、CAIシステム開発がされている。このことは、教材内容を独立に管理し、教授方法（教授ロジック）をデータとして作成し、エグゼキュータにより教材内容を検索し、画面を提示し実行させるという方法をとっている。

現在、市販されているパソコンCAIシステムのほとんどは、基本的には上記のいずれかのOSを使用し、FD（フロッピーディスク）に教材内容を作成し、エグゼキュータは別のFDで管理するようになっている。

大学を中心とした、日本を代表する大規模なCAIシステムのOSは、汎用のTSSモニター（コンピュータが備える装置、機能などを不特定多数の学習者等に時分割で均等に使用させることをタイムシェアリングといい、交互に複数個のプログラムを並列処理している。モニターは、それらの監視、制御するプログラム群をいう。）と比較的機能の高い言語のもとに、大規模なデータベース的なCAI、あるいは、知識ベース的なCAIをめざしている。ここでは、筑波大学⁽⁴³⁾、金沢大学⁽⁴⁴⁾、九州大学⁽⁴⁵⁾を簡単に見てみる。

筑波大学のMILESTONE CAI（Microcomputer and Laser video based STAND ALONE/online CAI）では、そのソフトウェアが、入出力（I/O）制御を除き、全てAPL言語（後述）で構成される。端末側モニターはDOS（デスクオペレーティングシステム）に一般的な、BASIC I/O制御（CP/Mとコンパチブル）を含み、APL言語で多様な制御ができるようにサブモニターを設けて、スタンドアロン型とTSS型CAIの両方で使い分けられるようになっている。汎用のTSSモニター下で他の汎用言語と同じレベルでCAIエグゼキューを構成し、CAIプログラムコマンドを必要に応じて定義、構成できる。CAIを実行管理する各種の情報が、TSSモニター下でデータベ

ース管理プログラムに渡され、制御されるようになっている。

MILESTONE

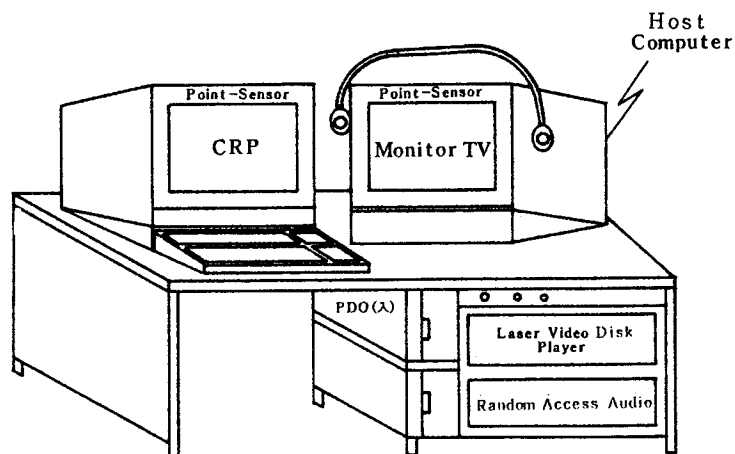
では、A P Lをベースとして次のようなシステムを構築している。システムは3つから構成される。

①C A I コースを教授学的概念ネット（ICNET）で知識表現し、知識データベースを構築する。

②学習者モデルは、
図 3 - 3 7 MILESTONE CAI システム端末装置
学習者の概念に対

する理解習得状況、演習課題に対する達成状態とその推移に対する更新コースを設定する。③それらに基づいて、テキスト、演習問題を選択提示するカリキュラムジェネレータを用意する。これらによって学習者に適合したC A I コースを育成して、情報処理教育に利用している。

金沢大学のKAPITAL (Kanazawa Institute Support System for Individualized Teaching and Learning) においては、分散型ローカルネットワーク構成となっている。そのソフトウェアは、汎用T S S モニターとして、O S N / F 4 M S P ・ A I M で運用され、その配下として各種のR D B (リレーショナルデータベース) テーブル、例えば教材管理、学籍簿、学習者管理、学習記録追跡のテーブルが設計されている。学習者の端末は、C P / M - 8 6 配下に、B A S I C で運用される。



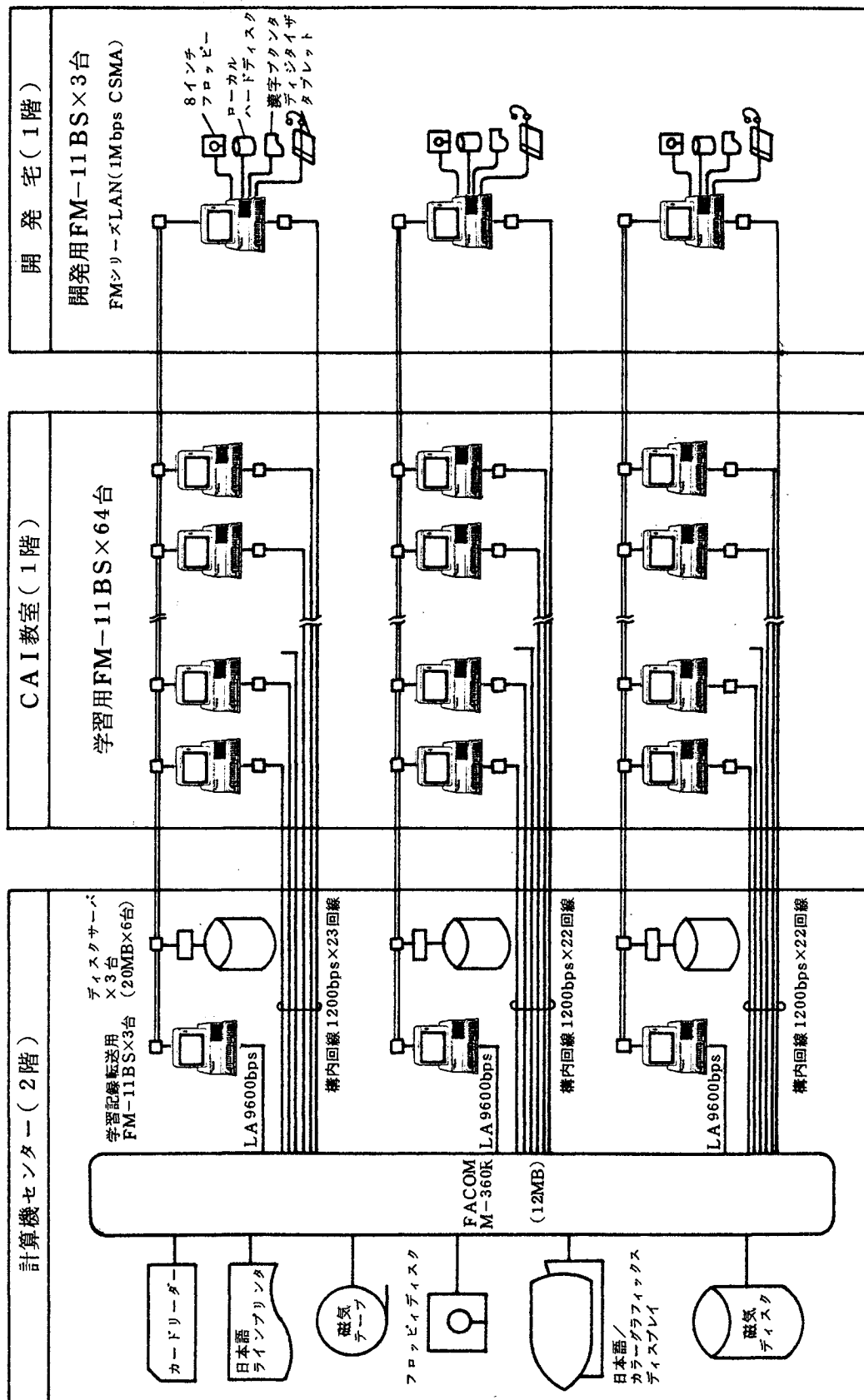


図 3-38 KAPITAL

知識ベース的なシステム例としては、九州大学のBOOKがある。これは、図3-39のような構造で、BOOKという名の本の階層でつながれている。例えば、FORTRAN言語教育において、学習の途中で、学習者が疑問をもつと、普通の話しことば（英文）で入力できる。CAIシステムは、この自然言語を理解して、推論機構を通して、その回答を出し、再び自説言語を使い返答することができる。このシステムは、画面と知識と教材運用プログラム、コースウェアプログラム、問題プログラム、学習状態プログラムおよびBOOKマネージャからなる。これらのシステムは、PROLOG（後述）とLISP（後述）の関数群からなる。

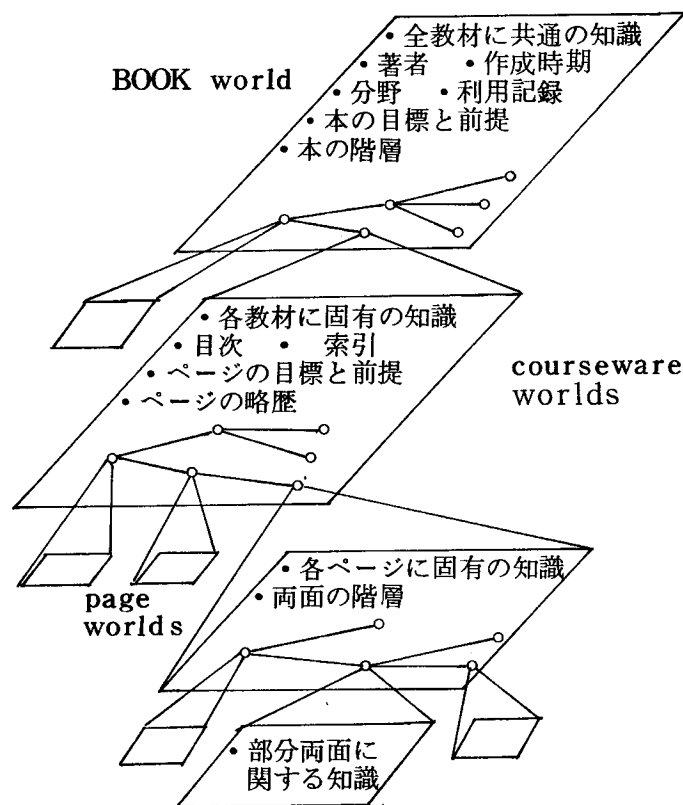


図3-39 コースウェア・データベースの知識の階層

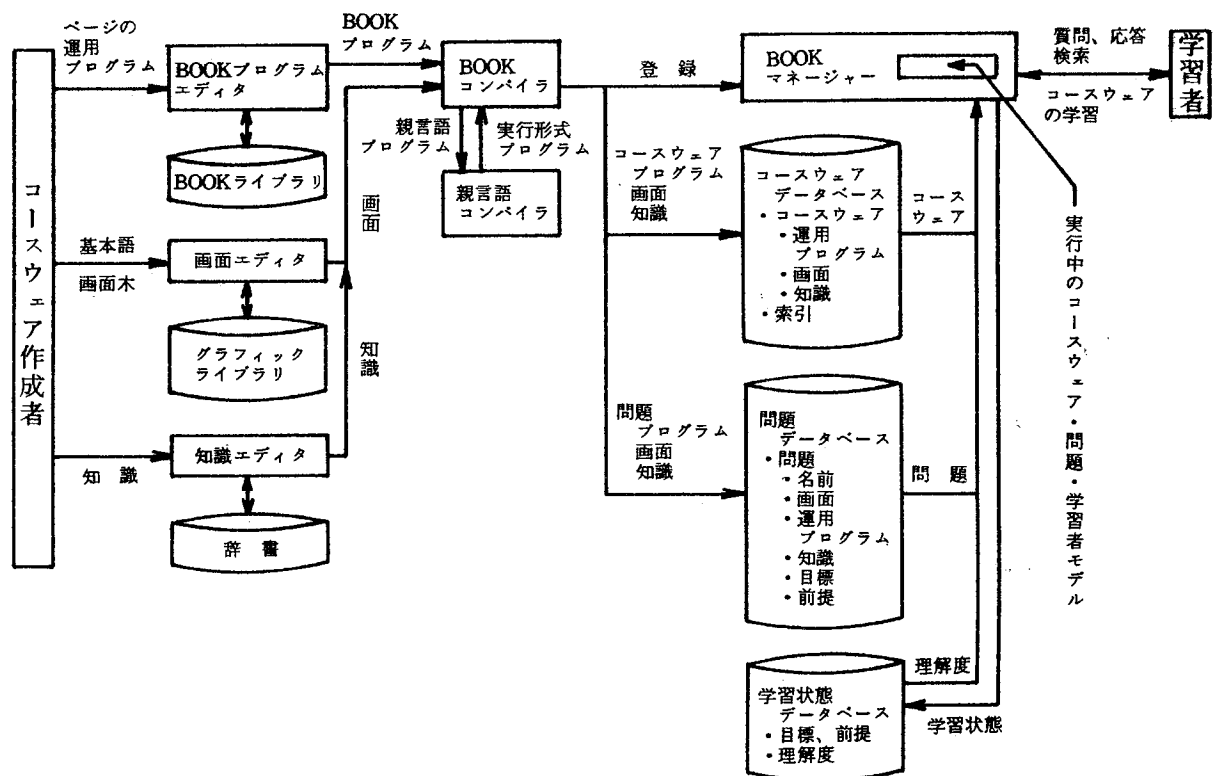


図 3 - 4 0 BOOKシステムの概要

(SW - 2) 言語プロセッサ (46)

コンピュータと学習者との会話型相互交渉によって展開されるすべての行動と内容、つまり学習プログラムをコンピュータに解釈可能な形に書き換え、それを実行可能にする言語関係のソフトウェアをCAIではとくにCAI言語といっている。CAI言語以外に、従来の高級言語が、パソコンレベルに使用できるようになっている。

ある言語で書いたプログラムを実行するとき、言語処理系というソフトウェアが必要となる。この処理系は、インタプリタ、コンパイラ、それに中間コード処理系の3つである。インタプリタはBASIC、LISP、PROLOG、FORTH、中間コード処理系はPASCAL、コンパイラとしてはCOBOL、PL/1、C.LOGOなどである。

インタプリタは、それ自体、メモリに占有されて実行速度が遅い。しかし、画

面が編集できる機能（エディタ）が含まれ、プログラムの修正が簡単で手軽である。

コンパイラは、プログラムの入力作成から実行までに、4段階の手順が必要である。その4段階は、①エディタによりプログラムを入力し、編集修正し、②コンパイラである目的（オブジェクト）プログラムに変換し、③目的プログラムを、すぐに実行できるように、リンカーを使い、ロードプログラムとする。④このロードプログラムを実行する。この場合、実行速度は早く、また多人数で分担する大規模なプログラム開発や既成のプログラムを連結するのが簡単である。

中間コード処理系は、インタプリタとコンパイラの間で、機械語の代わりに中間コードへの変換を行い、中間コードをインタプリタで解釈しながら実行するという形で処理が行われる。

パソコンにおいて利用可能な言語の特色等を列記すると（数値は、汎用機での開発時期を示す）

① COBOL : 1959

（COmmon Business Oriented Language）

COBOLは、共通事務向き言語で、事務処理の転記、計算等の作業の手順を記述する手続き言語である。大量のデータを一括して処理する（バッチ処理）場合には適し、コンパイラ方式をとる。

② FORTRAN : 1954

（FORmula TRANslation）

FORTRANは科学技術用として数式等の記述を得意とし、コンパイラ方式である。

③ PASCAL : 1971

PASCALは、まとまりのあるきれいなプログラムを記述するのにすぐれた言語だといわれる。プログラム自身が整然としており、他の機種への移植、プログラムメンテナンス、仕様変更に対応できる。

④ C : 1973

C言語は、OSやコンパイラや各種のソフトウェアの開発用プログラムを記述できるシステム記述用の言語である。アセンブラ言語と違い、異機種間の互換性はかなり高い。OS用として最近使用が広がってきている。Cは処理系としてコンパイラであるが、Cコンパイラは大型機のOSであるUNIXのみならずパソコン用OSのCP/MやMS/DOSにも開発されている。

⑤ Ada : 1980

Adaは、大規模なプログラムの作成とリアルタイム処理を目的とする言語で、書きやすさより読みやすさに重点があるといわれる。

⑥ LOGO : 1970 (前述)

⑦ PROLOG : 1970

数値データを主に扱う言語とは違い、文字列などの複雑なデータ構造を操作するプログラム言語である。処理系は、インタプリタ方式が普通である。AI研究の主流言語である。

⑧ LISP : 1960

処理系は、インタプリタ方式で、データとプログラムもリストといい、複雑なデータ構造を操作する。手続き型言語と違い、用意された関数を使い新しい関数を作り出す自己増殖的な特徴と、自分の定義の中に自分自身を入れてしまいう再帰的定義ができ、アルゴリズムが簡単に表現できる。自然言語処理や知識ベースシステムが主な分野である。

⑨ APL : 1965

(A Programming Language)

汎用大型機のオンラインシステムで各端末から、大型機にアクセスできる対話型式のプログラム言語である。すべての操作が関数の集まりで表現され、数学的な言語でコンピュータグラフィックス (CG) の分野で強力な言語である。

以上の他に、パソコンレベルで利用できる言語はあるが、いずれも教材作成の用途に応じた（言語処理、数式計算、シミュレーション）特徴のある言語の使用と複合した機能を利用していくものと考えられる。

従来のCAI言語は、CAI開発研究開始以来多く開発されてきたが、その機能は、簡易化され、柔軟性のあるものが残っている。すなわちCAI言語は、限られたシステムでしか利用できない状況では、対応できなくなっている。その例は、イリノイ大学のCAI言語のTUTORは、応答文の文字処理、演算機能、画面管理機能等が拡充され、スタンドアロン型にも利用できるようになっている。

汎用機に限らず、言語をめぐる状況は、教材の構造化、記号処理言語を用いてコースを記述し、教材作成は、特別に簡易化されたコマンドを用いて、直接会話モードで作成、構築していく傾向がある。

（CW-1）教材開発支援機能

パソコンレベルで教材開発支援機能をもつものは、コンピュータの知識がなくとも教材作成ができる。教授ロジック（コースウェアの分岐先指定、応答処理）を教授内容から分離、作成できる会話型教材作成法となっている。

その例としては、CAIシステムの一部として下記のように販売されている。

日本ユニバック情報システムk.k	ラーンアップシステム
大塚商会	PC-CAIシステム
トヨシマビジネス	グローリアCAIシステム
富士通k.k	SCHOOL-ACE
日立k.k	MIGHTY CAL
CDC（コントロールデータ社）	オーサー
SCC（ソフトウェアコンサルタント社）	PINE-CAI
TDK	TDKチューター
DEC	プロデューサー
セイコーシステム	ES-900

があるが、現在は、各社がその開発を急いでいるので、この他にも各種のものが販売され、他のメディアと複合する傾向がある。

これらの教材内容を記述したプログラムはコースウェアとなるが、このコースウェアを作成するために、使用するプログラムのことをオーサリングシステムとっている。市販のオーサリングシステムは、コースウェアの制御様式が、固定的な教授様式によることを前提としている。したがって、その教授様式以外の自由な記述は、困難である。

その例として、S社のオーサリングシステムの概要は次の通りである。⁽⁴⁷⁾
このシステムは、前記のエグゼキュータ(学習実行システム)、教材作成システム、および前述の教授学習管理支援機能(CMI)の3つから構成される。全体の構成は、図3-41の通りである。

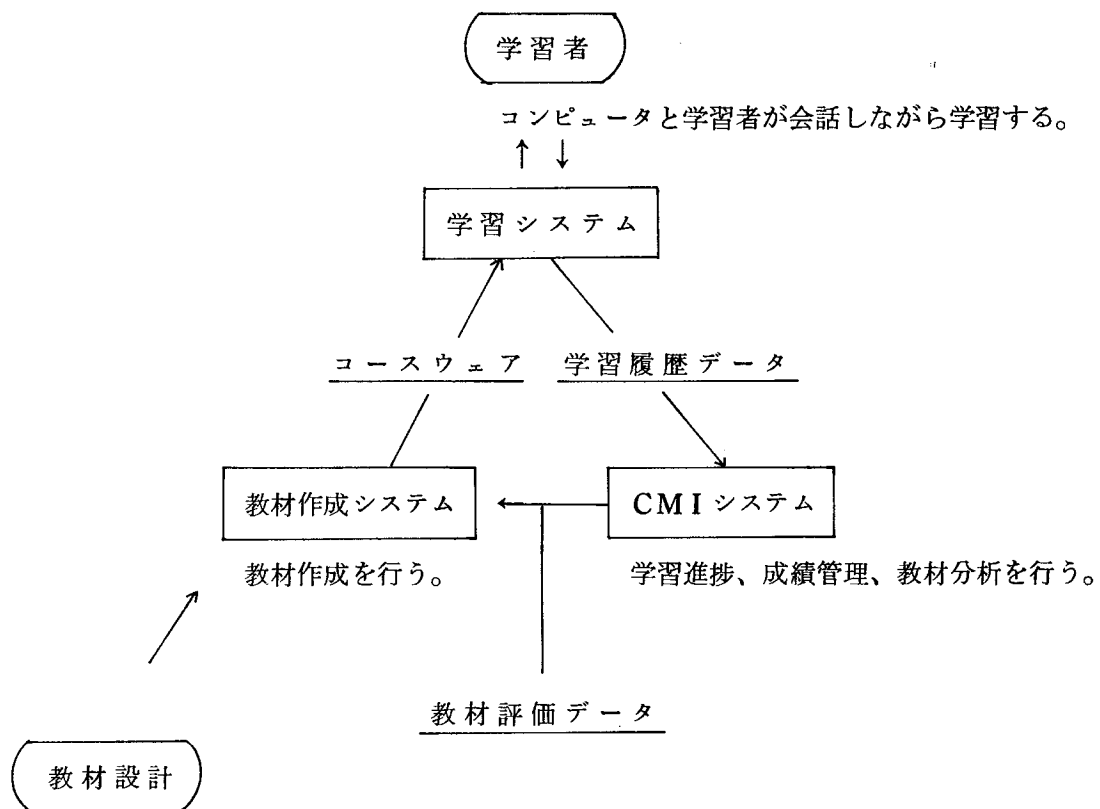


図3-41 オーサリングシステムの例

(各社ともにその機能は類似したものである。)

授業目標のところで検討した、何を、どう、学習させるのか(以下 概要設計)をもとにどのようにコースウェアを作るかを定めるのが、オーサである。このコースウェアは、次のような論理的な階層構造になっている。

構 成 単 位	階 層	例
コース	教科, 編	COBOL入門編
ユニット	章	COBOLの概要、COBOLの基本文法
コンポーネント	学習の単位	入出力命令
モジュール	教授行為の単位	OPEN命令、WRITE命令
ブロック	教授行動の単位	READの説明、READの形式、READの例
フレーム	画面表示の単位	物理的な1画面
アイテム	画面表示の部品	物理的な画面の部品

その設計はコースからアイテム（トップダウン）あるいはその逆にアイテムからコース（ボトムアップ）の2つの方法がとれ、混用もできる。その手順の概要は次の通りである。

- ① コースウェアの概要設計（授業目標の項参照）
- ② コースウェアの詳細設計
 - a. コース設計（コースのユニット構成とユニットの順序の決定）
 - b. ユニット設計
 - イ. モジュール構成の決定
 - ロ. モジュールの学習順序の決定
 - ハ. コンポーネントの設定
 - c. モジュール設計
 - イ. ストーリー作り
 - ロ. ブロックの設定
 - ハ. フレーム、アイテムの設計
 - ニ. 問題設計
- ③ フレーム制御
 - a. 画面フレーム
 - b. 予想反応
 - c. 応答制御

④ コース制御、モジュール制御

⑤ KRメッセージ、外字登録、グラフィックパターン入力

詳細設計は、概略次の通りである。

a. コース設計 概要設計をもとに、ユニットを設定する。

b. ユニット設計 ユニットの学習内容を記述する。

◦ 学習内容のまとまりとしてのモジュールを設定する。

◦ ユニット内の学習内容の流れを決定し、そのフローチャートを書く。

◦ 必要な場所にコンポーネントの入口を設定する。その入口は、その点から学習が始まっても矛盾の生じない位置にする。

c. モジュール設計 画面に示す内容を考えながらモジュールの学習のストーリーを作る。

◦ 一つのまとまりのある目的を持ったフレームの集まりとしてブロックを設定し、ブロックの流れをフローチャートに書く。

◦ シナリオは、各ブロックの画面の動きを記述し、フレームおよびアイテムの構成、表示順序などを決定する。

◦ 問題設計 問題の目的および方針を決定する。

◦ 応答制御（予想反応の範囲、回答回数、正答に対する対応、誤答に対する対応、配点）の方針を決定する。

◦ ヒント、正答表示、などのブロックを設計する。

以上の詳細設計は、専用の用紙に記入する。その後、コーディングする。

コーディングは、コース制御情報、モジュール制御情報、フレーム制御情報、KR情報、外字登録、グラフィックパターンなどを設計用紙から記述する。

（CW-2）教授学習管理実行機能

教授学習管理実行機能は、学習状況を管理し、必要に応じて学習進行を促し、関係部所へのレポート作成やシステムダウン時に対処する機能である。また学習者のコース登録や教材の登録、学習過程中的の反応データの保存と編集機能、CAI学習データに関する統計解析のプログラムである。すでに、その一部については、前述した。実行機能とは、学習者が目の前にする画面がどう進行するかということである。

パソコンレベルでのこの実行機能の例は、次の通りである。学習形態（モード）は、コースの最初から順々に学習を進め、評価をともらう G モード（Guided mode）がある。評価は、優秀、合格、再履修の 3 段階があり、再履修の判定がでると、次の学習に進めない。このモードでは、学習結果の履歴が学習履歴ファイルに自動的に登録される。コースの途中で学習が終了したときは、次の学習は前回の終了時点から開始される。その他のモードとしては、S モード（Solo mode）、D モード（Drillmode）、I モード（Inquiry mode）がある。S モードは評価のない学習形態で、任意の項目が学習できる。この場合の学習記録は残らない。D モードは、説明画面を省略して、問題だけ学習する。S モードは上記のすべてのモードで学習しているときに、いつでも検索キーワードを指定して、内容の検索ができる。

学習時のキーは、学習者自身で操作する。その操作キーとして、ファンクションキーを使う。そのキーは、終了（学習が終了したときに使用）、中断（学習をしばらく中断するときに使用）、再開、了解（検索やヒントまたは後退処理の実行を途中で終了するときに使用）、後退（直前に表示された画面を再度表示して確認したいときに使用）、電卓（簡単な四則演算をするときに使用）、ヒント（問題の解答入力でヒントを参照するときに使用）、降参（問題をいくら考えてもわからないときに使用）、検索（あるキーワードについて説明などを見たいときに使用）、解答などが用意されている。スタンドアロン型での学習の流れは、図 3 - 4 2 の通りである。

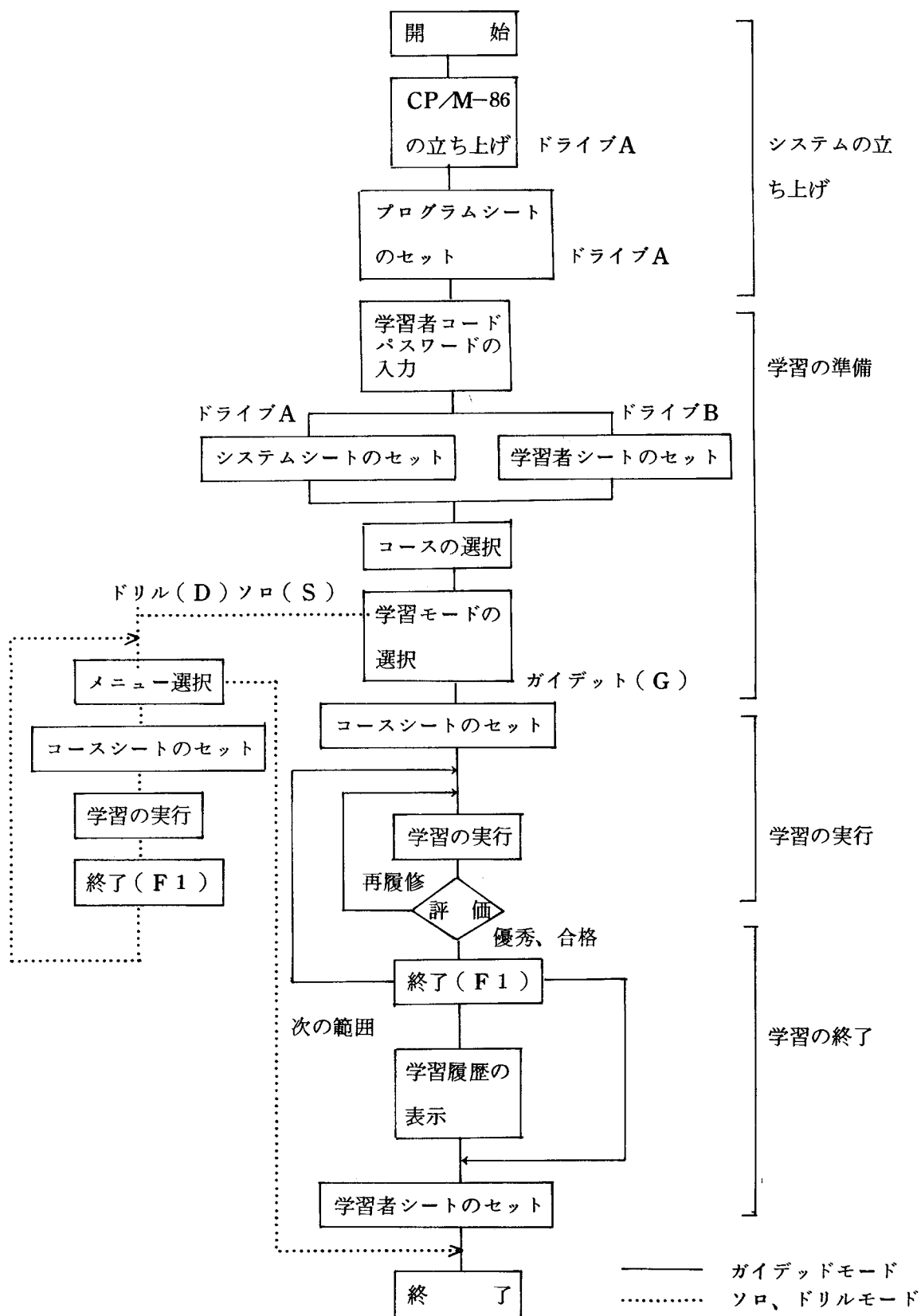


図 3 - 4 2 学習の流れ

準備するフロッピーディスク類は、OS、学習実行プログラム、学習者シート、コースウェアである。操作の手順は、OSを起動し、CAIモニターを起動する。その後、学習実行プログラムを起動する。学習者コード番号とパスワードを入力する。次の画面には、コース選択メニューが表示されるので、選択し、学習モードをG.S.Dどれかを入力し、学習に入る。学習を終了するときには、終了キーを押す。以上がその概略である。ソフトウェアの構成は図3-43の通りである。

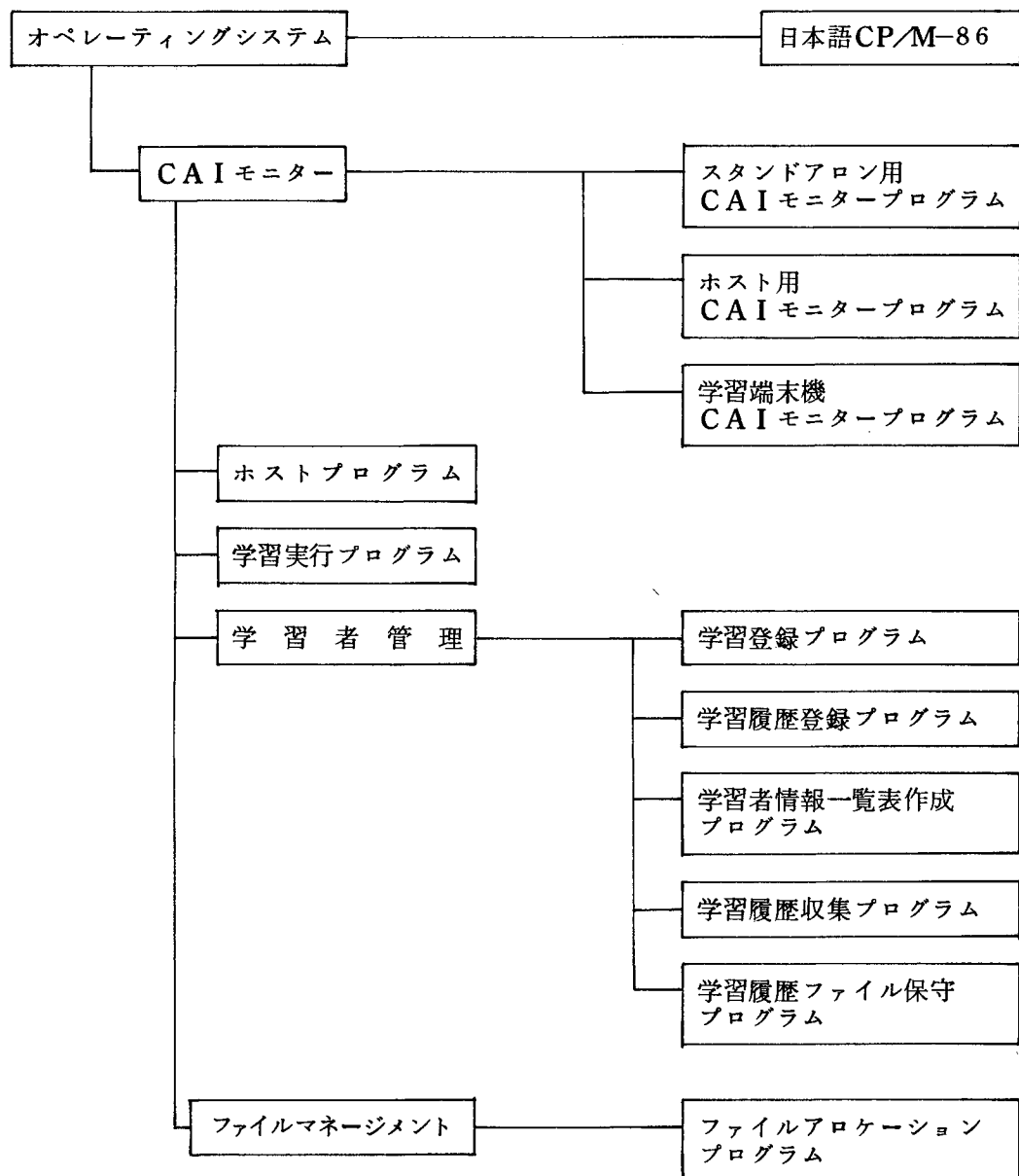


図3-43 学習実行システムのソフトウェア構成

5 - 3 教材開発システム

(1) T I C C I Tにおける教材開発

すでにP L A T Oの歴史や国内でのC A Iの歴史などを調査した。それらをシステムとして見ると長期にわたり活動し、その成長は大規模になってきている。ここでは、C A I教材の開発が、システムとして、どのような組織と方法で実施してきたかを要約する。

まず企業と大学などの研究機関とが提携した例として、T I C C I T（ティキット）を見る。⁽⁴⁸⁾ T I C C I Tは、1971年より本格的に開始された。アメリカのシンクタンクの1つであるマイター社（M I T E R社）は、家庭のテレビと中心になるコンピュータセンターとをケーブルで接続し、双方向に通信できるインタラクティブテレビジョンを開発した。当時のこのようなシステムは、多くの技術的問題をかかえたが、マイター社は、Reston通信会社の協力によってその改造に成功した。このシステムの目的は、周辺のコミュニティカレッジに従来よりも安いコストでよい教育を提供しようとするものであり、また教室の補助的な使い方としてでなく、コンピュータを中心に利用するものであった。T I C C I Tは、最初から地域社会を中心に、ケーブルを利用し広範な普及をめざしたのである。この開発研究に注目した国立科学研究財団N F S（National Science Foundation）は、資金の援助を決定した。

N S Fの資金援助（500万ドル）を受けて1974年9月から5年間にわたってT I C C I Tは、ケーブルテレビジョンを利用したC A Iシステムを開発した。150万ドルはBrigham大学において教材開発をし、150万ドルは、同システムの開発、200万ドルはシステムエンジニアリングとソフトウェアの開発にあてられた。

システムの特徴は、ハードウェアおよびソフトウェアの両方に見られる。ハードウェアでは、2つのミニコン（N O V A）で制御され、2つのコミュニティカレッジにそれぞれ128台の学習端末を持ち、7色カラーのC R Tとビデオおよびキーボード、ライトペンよりなる。システムの教材は、学習者制御という考え

方に基づいて生産された。学習者制御とは、キーボードに、学習制御ボタンという9つのボタンから構成され、学習者自身が自分の学習を制御できるようになっている。その考え方は、特色のあるものだが、ここでは、教材開発システムを中心にとりあげる。

教材開発の指揮をした同大学C.V.BundersonはT I C C I Tの特色について次の2つをあげている。

- ① 教育の諸問題のために専門的な見地からのアプローチ
- ② 企業・大学・研究所でのそれぞれの開発者と研究者との相互協力

Bunderson は、そのプロジェクトについて、以下のような6段階の設計手段を適用した。

- a. 教育的必要の分析
- b. プロジェクトの目標の設定
- c. 設計方策

教育システムの設計

コースウェア、ソフトウェア、ハードウェア

組織の検討（教師などの役割）

評価法の設計

- d. コースウェア、ソフトウェア、ハードウェアの設計の実践ならびに人間と機械の組織化
- e. サブシステムの統合および実験
- f. システムの統合および実験

c. の設計方策の概略は次の通りと報告されている。

T I C C I Tのコースウェア、ハードウェアおよびソフトウェアの設計目標は、下記の4つになる。

- イ. 費用目標 1 接触時間あたり1ドル。
- ロ. 内容目標 小刻みな内容の漸近、目的の明確化、設計の柔軟性。
- ハ. 学生のための目標 学生の85%が熟練のレベルになる。

自発的なアプローチ、忌避の減少、責任感の向上、効率の上昇。

- ニ. 教育者の目標 管理助言における新しい役割の設定

継続的ないしは協調的教育における人間的価値観を実施するための教師の役割。

開発における新しい専門的な役割の設定。

コンピュータを手段とする教育の研究。

教材開発の指揮は、Bunderson 教授が中心となって図 3-44 のような教材開発のプロセスをフローチャートで示した。これから開発しようとする教科の専門家のほかに、その補助者が題目、法則、概念、内容および実例をファイルし、学習計画者が学習形式の指定とパッケージングの企画を示し、さらに文筆家による文章の推敲、イラスト画家による画面の調整、編集者によるプログラムの編集が行われ、校閲と修正の過程を得て完全にする。このプロセスの人員は、90人といわれる。

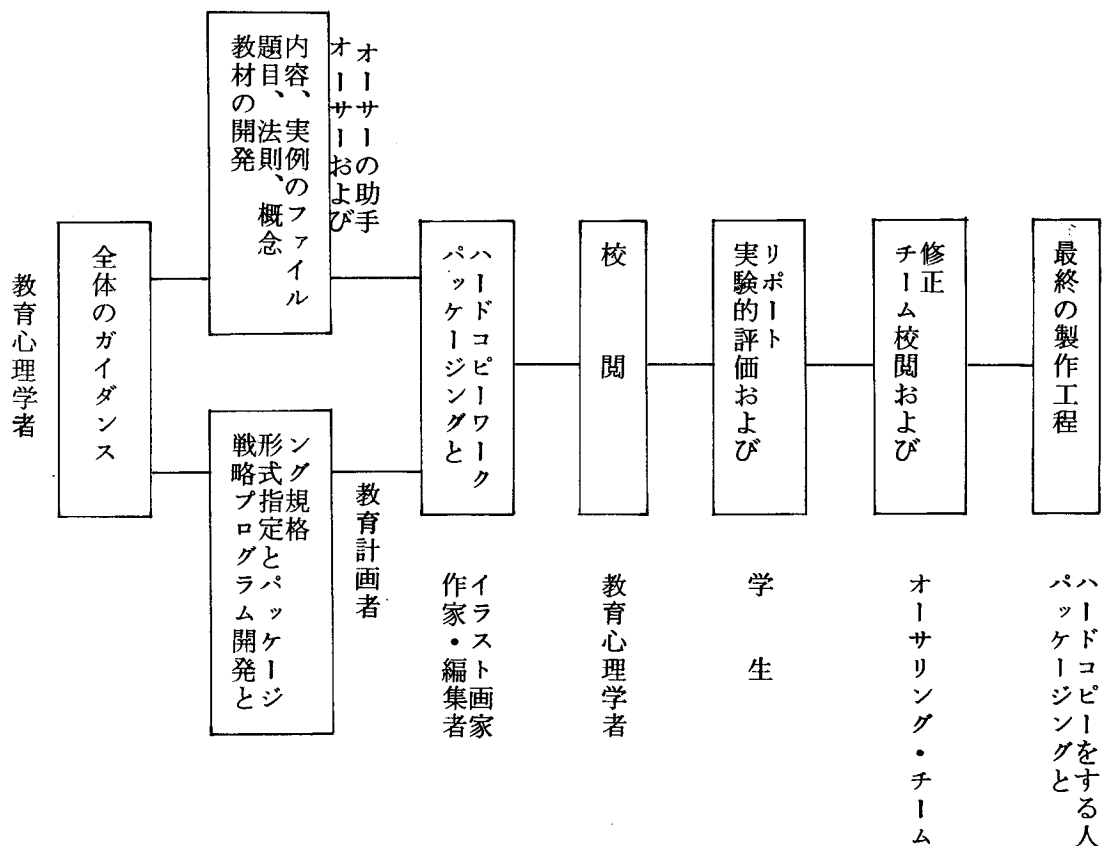


図 3-44 教材開発のプロセス

T I C C I Tの評価は、NSFでなされ(1 9 7 5、7 6)同システムの学習者制御方式(C A L)が、学習者の学習における有効な手段として潜在的可能性をもっていると確認されたとしている。その後、軍事訓練や特殊教育において適用されているが、教材を増す計画は、現在ないと報告されている。

すなわち、この教材開発システムを概観するとき、その特徴は次のようになるう。

〔研究においては〕

- ① 大学での研究者が、具体的な設計目標を公表している。
- ② 学習者制御という研究の目的が明確であり、またマイター社でのインタラクティブテレビジョンという方法と結合している。
- ③ その組織が大学がかりでなく、他の研究機関と協力している。
- ④ 資金が国家から大量に投入されている。

〔開発においては〕

- ⑤ 地域社会に密着したどこの家庭にもあるテレビを利用したシステムである。
- ⑥ その時点での技術的な困難点は、協力会社により解決している。
- ⑦ 教材開発は、多数の専門家の協力で構成している。
- ⑧ 開発資金が分散されている。
- ⑨ 第3者機関による評価システムが存在する。

プロジェクトは、リーダーのもとに、大学、研究所、企業、地域社会、国などがみごとにシステム化している。それぞれのサブシステムは、明確な目標と計画を持っており、構成員のそれぞれのシステムでの役割が記述されているところに特徴がある。

(2) 我が国の大学における教材開発

教材開発システムという発想のより所の1つは、教育工学にある。そこでの研究の進展をみると、次のようになる。⁽⁴⁹⁾

教育工学という言葉は、日本では、25年程前から使われ始めたといわれる。これは、文部省の科学研究費による特定研究科学教育の研究の1つとして1968

年から開始されたことによる。

個々の研究課題を公募して、その中から審査会で選定する。最初の1968年において、教育工学では、2班が発足した。その後、年度をおって研究班は増加し、1975年には、27の研究班となり、予算も最初の3千万円から2億円になった。

数多くの研究班の中で、その例として、ある大学におけるシステムを、研究機構などから見ると次のようになる。⁽⁵⁰⁾

- 1967年 TM委員会の発足
- 1969年 文部省からの運営経費の処置
- 1971年 他大学の分担研究とCMIシステムの学内設置
- 1972年 付属教育工学センターの設置
- 1974年 研究班の組織の拡大
- 1975年 カリキュラム開発研究センターの設置

1975年の例では、研究プロジェクトとして、4テーマを設定している。その中で、CMIによる教授学習の分析と設計では、研究代表者1名、研究分担者5名、研究協力者81名であった。システムのハードウェアは、TOSBAC40-Cとし、システム目的用に工夫されていた。

文部省科学研究費による研究助成を受けた大学でのCAI研究の組織的な特徴は、次の7つになろう。

- ① 研究者チームが、地域的あるいは全国的な作業集団として組織されている。
- ② 文部省教科調査官や、国の研究機関が、現場に直接、研究参画している。
- ③ 指導的な教師群が多数現場にいる。
- ④ 企業ばかりでなく、システム開発においては、他の大学などの協力関係が密接である。
- ⑤ 特定研究を受けた者は、学会活動として公表されること、また、国内にとどまらずに、その国際交流も盛んである。
- ⑥ 研究誌や専門誌が研究者に流通している。
- ⑦ 学内の組織においては、全学的に（教科担当者、教務課、コンピュータセンター、CAI教室の運営者など）組織が定着していると同時に学内のコンセン

サスがある。

勿論、数多くある研究は、それぞれの目的、内容、方法、およびその組織は異なるのは当然だが、ほとんどが教育現場から研究対象を得ている。その成果を現場で実践し、直接、授業に生かされている点が特徴である。

(3) 企業における教材開発

民間企業と大学等の研究機関ともしっかりとした違いは、営業的な部門と研究的な部門の比重がまったく逆である傾向がみられる。

最近の企業におけるCAIのとらえかたは、ニューメディアの有力なサービスとして、あるいは、CATV、VAN、INSなどのニューソフトとして、開発体制を整備しつつある。企業では、CAIについて、既に実用化をむかえていると判断している。現在のCAIシステムに関する商品化動向、開発動向、関連機器の普及動向が営業感覚で吟味されながら、その教材開発システムへの展開がされている。教材開発として参加している企業は、主要コンピュータ関連メーカ、その他関連企業や団体、また通信教育業者、学習塾、予備校などがある。その構成は、必ずしも1社で構成しているわけではなく、それぞれの特色をもった関連企業でグループ化されている場合が多い。

標準的な開発の手順の例をしてみる。この場合のシステムは、普通、マルチメディアシステムといわれる光ディスクの映像開発を含んでいる。

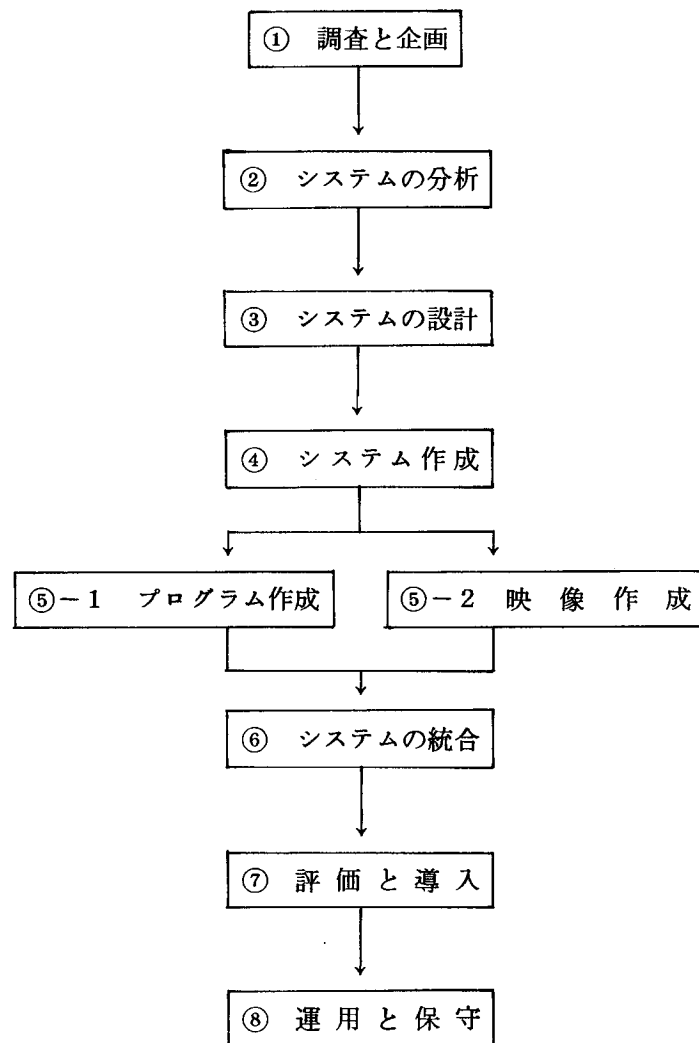


図 3 - 4 5 標準的な開発の手順

それぞれの工程の概略は、次の通りである。⁶¹⁾

① 調査と企画

- 予備調査を実施し、開発の概要を決定する。その構成メンバーは、顧客、映像専門家、コンピュータ専門家とし、何を、どのように、いつ表示し、どのような状況で使用するか、またその予算および工程の概算見積りをする。

② システムの分析

- システムの使用目的を分析する。その分析内容は、学習者状況の分析、学習者の分析、学習優先順位の分析、学習内容の分析、学習計画の作成、学習順序の分析等である。

③ システムの設計

- システム開発の計画（工程、開発工数など）を作成する。
- システムの使用目的を明確に定義して、内容の概要、各単位ごとの内容、各単位の間係を決定する。
- システムの使う状況とその目的に応じて、最適なメディア（ビデオディスク、音声、コンピュータ出力）を決定する。
- コースウェアの構造設計、機能設計、メディア選択、サンプル例の作成、イメージ合わせ、シナリオの設計などである。

④ システム作成

- シナリオを各画面毎に作成する。
- そのナレーション、ビデオ、プログラムの分担を決定する。
- そのシナリオおよびビデオ映像、コンピュータ映像を確定する。

⑤－１ プログラム作成

- システム設計段階の絵コンテに基づいて、プログラム設計および作成作業を実施する。ミニコン上で、コンピュータ画像の開発、システムのフロー制御部の開発、テストおよびプロトタイプテストをして、現場での使用環境を検証する。

⑤－２ 映像作成

- 各単位ごとのシステムの流れを設計し、各ショット毎にビデオ映像とコンピュータ出力とに分離して、絵コンテおよびスクリプトを作成する。
- ビデオテープの映像の撮影、編集、音入れをする。

⑥ システムの統合

- ビデオ映像とコンピュータ映像の同期およびナレーションとの整合をとる。

⑦ 評価と導入

- フィールドテスト

⑧ 運用と保守

開発チームの構成は、プロジェクトリーダー、システム設計者、システム開発者、プログラマー、ビデオクルー（カメラマン、照明スタッフ、ディレクターなど）、シナリオライター、教育専門家、イラストレーター、心理学専門家などである。

企業におけるC A I 教材の開発での特徴は、次の通りとなろう。

- ① コストが最優先となる。その開発期間は、長くて1年程度であり、短期間である。
- ② 普通、教材開発を専門の主力製品とする企業はない。C A I 教材を提供する企業の主力製品は別分野にある。
- ③ その教材の普及は、その企業独自で開拓するわけではなく既成の販売ルートを通じて提供される。
- ④ その教材の生産は、義務教育などにおける従来の印刷教材の生産の延長上にあつて、その補充的な教材が主力である。

(4) 教材開発システムと各工程

教材開発の3つの例を通し、一連のC A I 教材が、物として生まれる過程とその組織を概観した。ここでは前に記述したようにC A I 教材が普及するまでの一連の段階を工程といいかえよう。すなわち、一連の工程は、次の4段階になる。

研究 → 開発 → 生産 → 普及

この4段階のそれぞれの機能が、有機的に働くようにするためには組織的な教材開発システムが必要になる。その教材開発システムは、図3-46のように整理する。

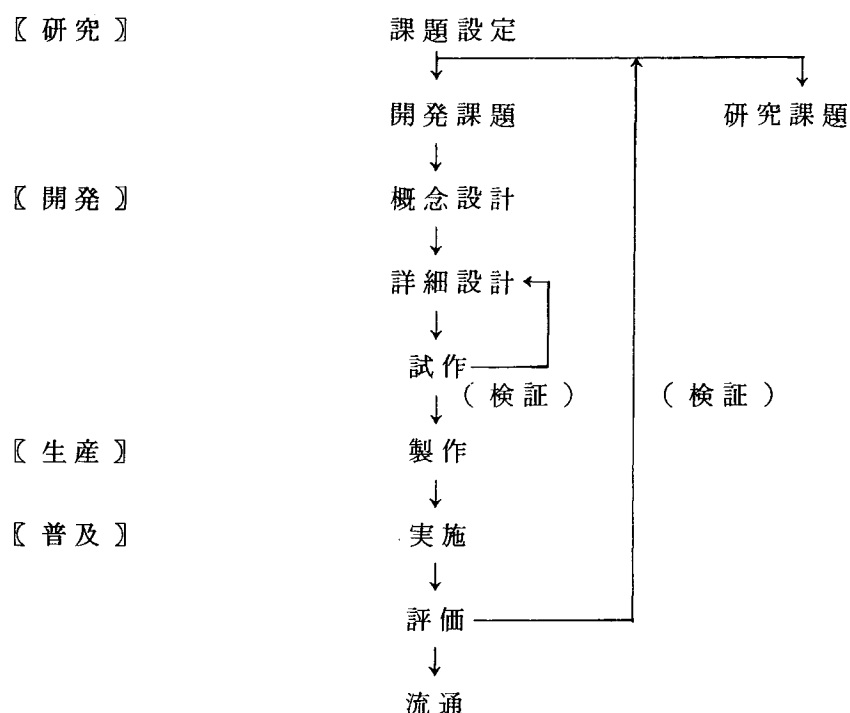


図3-46 教材開発システム

〔研究〕は、システムの核である。質の良い革新を生み出すという意味でシステムのかなめである。研究の手法は、広く教育に関する学問分野、すなわち教育方法論、教育評価、教育心理学などの視点に立ったものでなければならない。現在の課題は、教科内容である工学の領域と教育訓練に関する領域の、両方を結ぶことである。R.M.Belbinのいう訓練設計者、⁶²⁾Gagneのいう教授設計者が、CAI教材に欠かせない条件である。また研究の特色としては、教室等の現場施設における実践・研究という点にある。研究室や研究者が単独に機能するのではなく多くの協力者と機関が参加することに特徴がある。

〔開発〕は、CAI教材の実践を誘導する各種の方略と方策を実現することである。開発の手法は、前掲の3つの例から次の通りになる。

- ① 複合している組織 T I C C I Tのように企業、大学、地域社会をシステム化している場合
- ② 単一の組織 大学とその関係するものをシステム化している場合
- ③ 企業組織 可変する需要に応じるようにシステム化している場合

開発は、次の生産に必要な一連の設計書の作成が主要な作業となる。一連の設

計画は、概要設計書と詳細設計書から構成される。これは教材の試作段階でも同様に必要である。CAI教材の開発は、従来の教科書開発とは、本質的に違うものとなろう。教科書は、その汎用性と標準性に特徴がある。CAI教材には、そのような特徴が比較的少なくなろう。

〔生産〕は、そのイメージから、同じ物を大量に作るということでとらえられているのが普通である。出版会社の教科書等の教材等は、生産そのものである。CAI教材では、いまだそのような体制がないように思われがちであるが、実際はすでに商品として、生産されている物がある。開発の結果、図面等をもとにして効率良く作成することを生産というのである。次の普及工程を考えると生産は場所と時間を考慮しておく必要がある。

〔普及〕は、非常に重要な意味がある。施設現場で製作、使用されているCAI教材に関する各種の情報を提供する方策がぜひとも必要である。質の高い教材は、宣伝をしなくとも広く使用されるという常識がある。しかし、その前提には、すぐれた質の高い教材があるという情報を使用者がつかんでいなければならない。

引用文献

- (1) 大内茂男 (1979) 教育学講座 6 教育工学 学習研究社 P 122
- (2) 坂元 昂他 (1977) 教育工学の新しい展開 第一法規 P 68 ~ 69
- (3) 芦場浪久 (197) 教材教具の方法論 国立教育研究所紀要 P 45 ~ 57
- (4) 前掲書 (1) P 216
- (5) 前掲書 (1) P 278
- (6) 大槻説乎 (1984) コンピュートロール 10月号 P 174
- (7) Robert Glaser (1970) 教育工学新論 教育工学社 P 161
- (8) 前掲書 (7) P 162
- (9) 山口昭穂 (1971) 講座 教育のシステム化 2 P 78 ~ 112
- (10) 前掲書 (9) P 314
- (11) 前掲書 (9) P 62
- (12) 菅井勝雄 (1983) CAI研究の可能性と今後の課題 日本教育工学雑誌 P 71 ~ 172
- (13) 前掲書 (7) P 161 ~ 210
- (14) 前掲書 (2) P 314

- (15) 前掲書 (7) P 161 ~ 210
- (16) Mocarthyほか Computer Based Education Industry P 293 ~ 296
- (17) PLATO 教育訓練システムの概要 日本シーデージー株式会社
- (18) 前掲書 (17)
- (19) V.H.Hohzman 昭和52年度 CAI システム II 共立出版 P 3 ~ 13
- (20) 前掲書 (2) P 284
- (21) 波多野、稲垣 (1971) 発達と教育における内発的動機づけ明治図書 P 77 ~ 80
- (22) 学習プログラム (LOGO言語) 昭和58年 21世紀教育の会
- (23) 淵 一博監訳 人工知能の基礎 近代科学社 P 288 ~ 321
- (24) 前掲書 (23) P 301 ~ 319
- (25) D.Sleeman他 Intelligent Tutoring System Academic Press P 86
- (26) 田中幸吉監訳 人工知能ハンドブック 第II巻 P 381 ~ 387
- (27) 前掲書 (26) P 301 ~ 319
- (28) 前掲書 (23) P 391
- (29) 前掲書 (23) P 391
- (30) 木村捨雄他 (1985) 知的CAI システムにおける学習者モデルの動向 CAI 学会
- (31) 例えば授業改革辞典(1), (2)などを参照 第一法規
- (32) 労働省編 職業訓練における指導の理論と実際 職業訓練教材研究会
- (33) 谷口 新 能力開発のシステム 教育工学入門 国土社
- (34) 沼野和雄 授業の設計入門 国土社
- (35) 前掲書 (2) P 62 ~ 98
- (36) 佐藤隆博 (1974) INS法による学習要素の階層的構造の決定 日本教育工学誌
- (37) PINE-CAI CMI説明書 SCCソフトウェアコンサルタント
- (38) 前掲書 (31)など
- (39) 前掲書 (1) P 61 ~ 75
- (40) CAI システム (1985) FACOMジャーナル 5月号 P 40 ~ 48
- (41) 月刊雑誌 アスキーなどから引用
- (42) 85年度版注目マンマシンインターフェース機器市場動向調査 シードプランニング株式会社
- (43) 木村捨雄他 (1982) MILESTONE CAI システム電気通信学会ET11
- (44) 木村捨雄他 (1982) 知識ベースMILESTONE CAI システム日本科学教育学会論文集
- (45) 大規説乎他 (1981) CAIのための総合システムBOOKの構成と今後の問題 CAI 学会雑誌 P 34 ~ 44
- (46) パソコン言語学 石田 晴久 監修 アスキー
- (47) PINE-CAI 取扱説明書 SCCソフトウェアコンサルタント
- (48) 渡辺 茂他 昭和49年 CAI カリキュラムの開発研究(財)余暇開発センター
- (49) 芦場浪久他 (1976) 特定研究科学教育における教育工学研究の経過と展望 日本教育工学雑誌
- (50) 前掲書 (2) P 102
- (51) IVISシステムの説明書 日本デジタルイクイップメント株式会社
- (52) R.M. Belbin 著 昭和51年度 発見学習法-再訓練の国際的比較 調査研究資料22号 職業訓練訓練大学校調査研究部