

第1章 コンピュータ援用学習

1-1 はじめに

コンピュータを使った学習指導の一方法にコンピュータ援用学習(Computer Assisted Instruction)があるが、これまでに発表された研究成果を整理すると、

① コースウェアによる学習

② コンピュータ・グラフィックスを活用したシミュレーション教材による学習

に大別される。しかしながら、最近の人工知能研究の成果と相まって、エキスパート・システムの構築も盛んであり、教育の分野においてもこのシステムの活用が考えられる。そこで本研究では、上記の2つに加えて、

③ エキスパート・システムによる知的シミュレーション教材による学習
を第3の分野として位置づける。

さて、上記①の「コースウェアによる学習」における最大の問題は、如何に質の高い教材(コースウェア)を作成するかということであり、そのためには、学習者はどのような潜在的評価イメージをコースウェアに対して持っているのかを明らかにしておくことは非常に重要である。また、②については、コンピュータ・グラフィックス・シミュレーション・ソフトウェアを支援教具として用いることは、教授法の1つとしてどの様に位置づけが出来るのかを明確にしておくことが必要であろう。さらに、③についても、エキスパート・システムが知的シミュレーション教材としてどのような役割を果たすかを考察しておくことも大切である。

そこで、本章ではこれらの点を明らかにするため、①については材料力学を例にとってコースウェアを試作し、因子分析により学習者のもつ評価イメージを抽出し、学習者はどのような基準によりコースウェアを評価するのかを考察する。ついで②については、マン・マシン・インタフェイスを十分に考慮した、「グロースタータ式蛍光灯の回路の構成と点灯のしくみ」に関連したグラフィックス・シミュレーション・ソフトウェアを開発し、これを支援教具として用いた場合の有用性、ならびに生徒たちの反応についても考察する。そして③については、「木材加工学実習」における制作実習課題(製品)を学生が決定する際の支援システム(エキスパート・システム)を具体例として取り上げ、エキスパート・システムがコンピュータ援用学習においてどのような役割を果たすのか、また、その導入がどのような意義を持つのかを明らかにする。

1-2 CAIコースウェアに対し学習者のもつ潜在的な評価イメージ

1-2-1 緒言

パーソナルコンピュータの高性能化と低廉化、通信市場解放にともなうパソコンネットワークの構築とその普及、および高度情報化社会に向かいつつある現状に呼応して、各種分野においてはその適切な対応が必要とされる趨勢にある。教育の分野においては、個別的、開放的、近代的教育の実施が期待できるコンピュータ支援学習CAI*が再び注目さ

* コンピュータを援用して学習することを考えればCAL(Computer Assisted Learning)のほうが、またより積極的にコンピュータシステムを利用した教育の場合にはCBE(Computer Based Education)と呼ぶほうが良いと思われるが、一般にはCAIで通っているので、ここではCAIと呼ぶことにする。

れだされており、学校教育、企業教育、さらには在宅学習や生涯学習に向かって次第に浸透しつつあるように思われる。

さて、学校教育におけるCAIは、けして教師にとって代わるものではなく、あくまでも教育の一手段として教師が如何にCAIを活用するかが問題となろう。すなわちCAI導入により①グラフィックスによるシミュレーション、②個別学習すなわち個々の学習者の理解度のチェックとその結果にもとづく学習の流れのフィードフォワードまたはフィードバックコントロール、③採点・記録・成績管理の自動化により生ずる時間的ゆとりなどが十分に期待でき、学生と教師との間のふれあいはよりきめ細かく、適切かつ豊になろう。

ところで、CAIシステムは大別して3つのシステム、すなわち教材(コースウェア)作成支援システム、学習実行システム、学習データの管理・分析システムからなり、かなり大規模なシステムから非常に劣悪なシステムまで市販されている。そのため、CAIシステムの導入においては、これらシステムの適正な評価が重要である。また、いま1つの問題は如何に質の良い教材を制作するかということであり、そのためには、制作者は常に「主人公は学習者であり、学習者が必要とし、かつ興味をもって利用できるコースウェアを開発する必要があり、これによってのみ学習者の自発的学習が期待できる」ことを念頭に置く必要があろう。したがって、コースウェアの開発と多面的評価あるいは選定は非常に重要な問題となる。

そこで本研究では、現在開講中の材料力学を例にとり、コースウェアを試作し、学習者はどのような潜在的評価イメージによりコースウェアを評価するのかを因子分析により考察してみる。なお、本研究で使用する計算機はNEC製・PC-9801vmであり、使用言語はBASICである。

1-2-2 理論(材料力学:平等強さのはり)

「材料力学」は、その内容が非常に論理的であるため、コースウェアの企画と構成(たとえば、表示画面や学習フローの設計など)および実施と評価ならびに改善が比較的やりやすく、上記の研究目的には適切な対象である。また、「平等強さのはり」は基礎理論の応用が必要とされる分野であり、基礎理論の理解度のチェックや復習にも役立ち、個々の学生が任意の時間に学べるというCAIの一大特質をもあわせ考えると、実施と評価ならびに改善という面からも極めて良い対象と言えよう。なお、ここで対象とする学習内容の範囲は①片持ちはり、②荷重は集中荷重あるいは分布荷重の何れか、③はりの断面は矩形であり高さ h あるいは幅 b が一定の場合とする。

以下に、一例として、集中荷重、はりの高さ h が一定の場合の理論^[1]を概説する(図1-2-1参照)。

① 断面が矩形の長さ l なる片持ちはりの先端に集中加重 W が加わるとき、荷重端から距離 x の位置における曲げモーメント M は、

$$M = Wx \quad (1)$$

断面係数 Z は、はりの高さを h 、幅を b とすれば、

$$Z = bh^2/6 \quad (2)$$

CAI学会では一般消費者が市販の学習ソフトウェアを購入する際のチェックリストとして、「パソコン学習ソフトの品質評価基準案」(59年9月)を公表した。これはコースウェア開発に対しても有意義な指針を与えてはいるが、これらの基準が学習者からみた基準ではなく、コースウェアの設計者からみた基準である点に留意する必要がある。

したがって、はりの任意断面における最大応力 σ_{max} は

$$\sigma_{max} = \frac{M}{Z} = \frac{6Wx}{bh^2} \quad (3)$$

で与えられる。

② はりが長さ方向に沿って同一寸法であると、この σ_{max} は位置によって異なり、ある断面では必要以上の強度を持つようになる。したがって、はりの長さに沿って σ_{max} が一定となるようにはりの寸法、形状を決めれば無駄な材料を使わずにすみ経済的であるし、また軽くもなる。この様なはりにするためには上式からわかるように、 M/Z 、すなわち x/bh^2 を一定にすればよい。この様につくられたはりを平等強さのはりという。

③ 上記の基礎理論をもとに、はりの高さ h を一定とした場合の平等強さのはりの形状を求めてみる。 h が一定であるから、 x/bh^2 を一定にするには x/b を一定にすればよい。すなわち、自由端から固定端にむかって、はりの幅を直線的に増加させればよい。したがって、一定応力を σ とすると、固定端の幅を b_0 として、

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6W}{b_0 h^2} \quad (4)$$

よって、

$$b_0 = \frac{6W}{\sigma h^2} \quad (5)$$

を得る。

1-2-3 コースウェア

CAI コースウェアは、普通、ドリルアンドプラクティス型とチュートリアル型に大別されるが、コースウェアの企画、開発の容易さという観点から、現状においては、そのほとんどがドリルアンドプラクティス型である。しかしながら、CAIの本来の目的からはコースウェアはチュートリアル型であることが望ましいため、本研究では「解説」と「演習」の2つの学習コースからなるコースウェアを開発する。なお、ここで対象としている学習内容の性格上、材料力学を初めて学習する者は対象にはしていないが、応力、曲げモーメント、断面2次モーメント、断面係数などの基礎的事項に関しては、コースウェア実行中に学習者が要求すれば、ヒントあるいはその項目に必要なサブコースウェアにジャンプし、終了後、元のコースに戻れるように設計されている。これに加え、本研究のCAIシステムは、①解答方法が多肢選択式ではなく、学習者が自由に数式あるいは数値で解答できるようになっている。②誤答にたいしては適切なフィードバックまたはヒントを用意している。③マウスによる操作性の向上を図っており、これにより学習者はキーボード操作から完全に開放され、ヒューマンインタフェイスが可能な限り考慮されたシステム設計がしてあるなどの特徴をもっている。

さて、コースウェアの画面数(フレーム数)は93面あり、うち初期設定に関するフレームが5面、解説ならびに演習の主たるフレームがそれぞれ16面ずつ、KR(Knowledge of Results)情報が5面、残り51面がHINT、サブコースウェアのフレームあるいは不十分な答えや誤答などの際に必要な誘導フレーム(正解に到達するように誘導するため

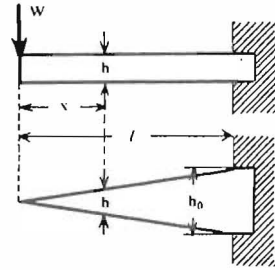


図1-2-1 平等強さの片持ちはり

の表示フレーム) などである。

オートスタートによる第一画面はタイトル画面、第2画面は本コースウェアの説明、そして第3画面はマウスの使用法について解説している。このとき学習者は画面上のマウスカーソル(矢印)を通常画面右下に位置するメニューにあわせ、マウスのボタンを押すことにより希望する入力(処理)を容易に実行でき、操作性の向上を図っている。なお、コースウェアが入力を要求するときはブザーが2回、入力を受け取ればブザーが1回鳴るといふ、耳からの情報によるヒューマンインタフェイスも考慮されている。ついで第4画面(写真1-2-1)においては学習者の学籍番号の入力が要求され、日時、学習回数などと共にファイルに登録される。なお、学習者は画面上に表示されているテンキーにより、入力したい数字を選択し、マウスのボタンを押すことにより、自分の学籍番号を入力出来る。また、このファイルには学習者の辿った学習コースの履歴も記録され、学習者の理解度の把握や採点・成績管理などに供用出来る。そして第5画面において、「解説と演習」、「解説」、「演習」の3つのコースの選択メニューが示され、学習者はこれらのうちから何れか1つを選択して学習を始める。

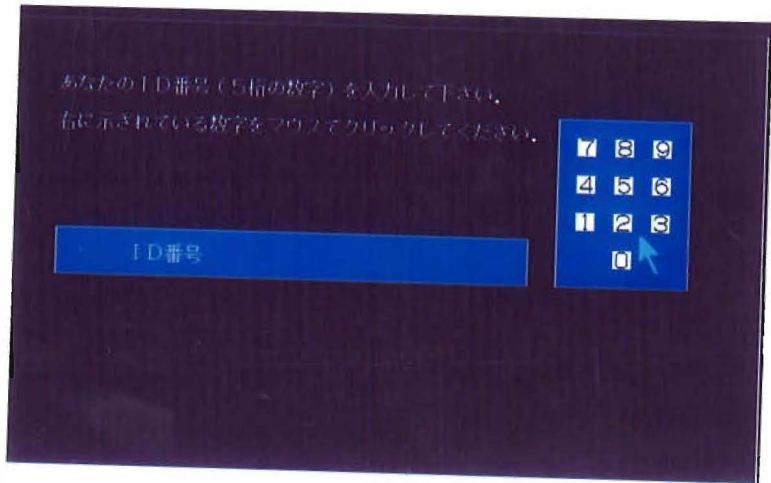


写真1-2-1 フレーム 4

「解説」は第21画面で終了し、第6画面から第9画面までが導入部、第10画面から第15画面までが理論の解説(Ⅱの①と②の範囲)、第16画面以降は例題による解説(Ⅱの③の範囲)とその理解の確認である。なお、第5画面で「解説」を選択した場合はここで学習を終了する。また、学習所要時間は約15分である。ところで、本コースウェアでは上述の特徴を有する他、グラフィックスおよび重要な語句や式はカラー表示され、とくに注意を喚起したい場合にはフラッシングや1文字ずつゆっくり表示するなどの配慮がなされている。たとえば第10画面(写真1-2-2)の場合、まず3行にわたる文章とばかりの図(矩形の部分)が呈示され、マウスのボタンを押すことにより、曲げモーメント図(三角形の部分)がゆっくりと描かれ、最後に固定端における曲げモーメントの大きさを表す直線がフラッシングをし、学習者に注意を促す。その後、2秒程して4行目以下の文章が表示されるように設計されている。また、すでに理解済みとみなされている曲げモーメントについて復習をしたければ、HELPを選択することにより可能であり、復習後再

びこの画面に戻ってくる。

第22画面から第37画面までは問題に関するフレームであり、正解を続けた場合の学習所要時間は20分程度である。なお、第5画面で「演習」を選択した場合はここから始まる。ここでは、不十分な答えや誤答に対して適切にフィードフォワードまたはフィードバックが出来るように、コースが複雑に分岐している。さらに解答方法も多肢選択式ではなく、数式あるいは数値による解答ができるように設計されており、加えて不十分な答えの場合には所定の答えに到達できるように、また、あらかじめ想定された誤答に対してはHINTを呈示し、その後適切な画面にジャンプするように考慮されている。たとえば第23画面(写真1-2-3)の場合、

$$\sigma = \frac{M}{Z} = -\frac{6Wx}{bh^2} \quad (3)'$$

さて、断面の形状が一樣である片持りの場合の曲げモーメント図は左下の様に表されます。ボタンを押すと作図します。

曲げモーメントについて知りたければ、[HELP](#)を選んで下さい。

この図には、固定端に最大の曲げモーメントが働くことがわかります。

一樣な断面では、固定端で最大曲げモーメントに耐え得る強度があります。荷重端へ行くほど曲げモーメントは小さくなるので、荷重端に近くなるほど余分な強度を持つこととなります。

[NEXT](#) [BACK](#) [HELP](#)

写真1-2-2 フレーム 10

では、これから問題を解いていきましょう。

まず、第一問は

幅bが一定なる片持りの先端に集中荷重Wが加わる場合の等強さの梁の形状を求めてみましょう。

幅bが一定なので上から見れば図の様になります。

荷重Wが一定になればよかったですか？ 式で答えて下さい。

答えは

[リターン](#) σ M Z W x b h l 2 [リターン](#) [数字](#) [訂正](#)

写真1-2-3 フレーム 23

なる関係があり、したがって正解は x/h^2 である。しかしながら、この他にも σ 、 M/Z 、 $-6Wx/bh^2$ 、 x/bh^2 など間違いではない。そこでこれらの解答に対して、それぞれ正解へと導くためのフレーム、すなわち誘導フレームが用意されており、たとえば、 M/Z なる解答に対しては写真1-2-4のような画面が呈示される。一方、予想不可能な誤答の場合には、IIの②に対応した解説フレームに跳び、そのフレームを終了後、再び第23画面に戻る。また誘導フレームにおける誤答に対しては、直前のフレームへ別の誘導フレームを介してフィードバックされ、正解へと導かれる。なお第23画面に対しては、10面の誘導フレーム、2面のHINTと3面のKR情報が用意されている。ところで、写真1-2-3または1-2-4にみられるように、画面下には文字または数字のメニューが呈示されている。写真1-2-3において、数字が必要な場合はメニュー右端の「数字」を選択することにより写真1-2-4と同じ数字列が呈示され、同時に「数字」が「文字」に変わり、これにより文字列と数字列のメニューの切り替えを交互にすることが出来る。

KR情報は5面あり、正解にはその程度に応じて3面用意し、誤答に対しては直前のフレームに戻る場合と、新たなフレームに進む場合との2面が用意されている。

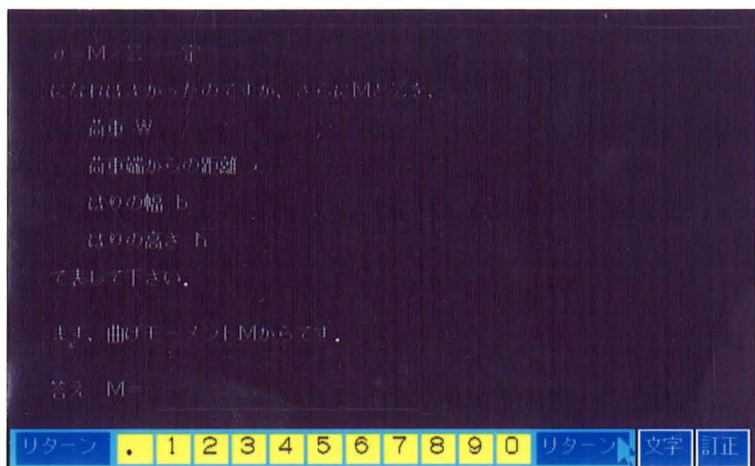


写真1-2-4 フレーム 23-2

1-2-4 因子分析による評価

質の良いコースウェアを制作するためには、学習者はどのような潜在的評価イメージをコースウェアに対してもっているのかを明らかにしておく必要がある。そこで、本研究では因子分析により学習者のもつ評価イメージを抽出する^[2]。

因子分析を行うためには、まず評価指標の作成が必要である。指標は意味をできるだけ代表するように注意深く選定されなければならないし、実際に有効であるサイズで十分に小さくなければならない。そのためには予備実験によって被験者(学習者)からまえもって十分に引き出されなければならない。そこで本研究では7名の被験者(男子大学生)に想起される指標を列挙してもらい、そのうち明らかに同義のものは1つにまとめ、それぞれの指標に対し対語をつくり、さらに意味弁別の感度を増すために、対にしたそれぞれに-3から3までの7段階の尺度を導入した(図1-2-2)。これにより、被験者は判断の方向だけでなしに強さも示すことが出来る。さて、被験者168名(工業高校の学生)によ

項 目		評 価							
		-3	-2	-1	0	1	2	3	
1. 目が疲れにくい	疲れ易い	・	・	・	*	・	・	・	疲れにくい
2. フィードバックは適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切
3. 入力しやすい	しにくい	・	・	・	*	・	・	・	しやすい
4. 開始、終了は簡単にできるか	困難	・	・	・	*	・	・	・	簡単
5. 図は分かりやすい	分かりにくい	・	・	・	*	・	・	・	分かりやすい
6. 回答入力の方法は適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切
7. 解説と図のバランスは適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切
8. 任意の画面の表示	できない	・	・	・	*	・	・	・	できる
9. 表示速度は適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切
10. 文章は適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切
11. ヒントの機能があるか	ない	・	・	・	*	・	・	・	ある
12. 中断はできるか	できない	・	・	・	*	・	・	・	できる
13. 解説、設問のバランスは適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切
14. 所用時間は適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切
15. カラー表示は適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切
16. 誤答に対する処置は適切か	不適切	・	・	・	*	・	・	・	適切

図1-2-2 アンケート用紙

る評価結果を因子分析にかけ、バリマックス法によって直交回転したところ、表1-2-1に示す4つの因子が抽出された。これら4因子の累積寄与率は約80%であり、また共有性も比較的高いため、これら4因子で、学習者のもつ評価イメージをほぼ解釈できると考えられる。そこでこれら4因子の解釈をすると、第1因子は「受け入れ易さ」、第2因子は「見かけの良さ」、第3因子は「ヒューマンインタフェイス」、第4因子は「学習の流れ」を表す因子であるといえよう。なお第3因子を除く他の因子は、教材としての内容に関わる因子でもある。CAIにおいては、ディスプレイというハードウェアを介してコースウェアと対話をするため、まず何よりもハード+ソフトからなるシステムに慣れる（いわゆるコンピュータアレルギーにならない）ことが重要であり、そのためには学習者が何の違和感もなくシステムを受け入れられることが重要なポイントとなろう。また、呈示された画面も色彩的、構図的にも学習者を魅了するものであることが望ましく、画面に対する第一印象（見かけの良さ）は大切なポイントである。さらに学習者とハードウェアとの接点を円滑にするためには、ヒューマンインタフェイスが大切であり、これら3つの因子が満足されて、初めて教材としての内容、すなわち柔軟性に富んだ「学習の流れ」に評価が及

表1-2-1 因子分析の結果

評定項目	因子1	因子2	因子3	因子4	共有性
開始、終了	0.851	0.081	-0.108	0.243	0.801
図	0.781	0.168	-0.132	-0.032	0.657
解答入力の方法	0.650	0.151	-0.439	-0.451	0.841
解説と設問のバランス	0.825	0.274	-0.288	-0.029	0.840
所要時間	0.867	0.225	0.070	0.195	0.845
解説と図のバランス	0.226	0.889	-0.051	0.240	0.902
表示速度	0.288	0.632	-0.146	-0.103	0.514
文章	-0.110	0.852	0.216	0.253	0.849
ヒントの機能	0.238	0.665	0.066	0.533	0.787
カラー表示	0.284	0.674	0.390	-0.194	0.725
目の疲労	0.072	0.201	0.916	0.053	0.887
入力の難易度	0.398	0.071	-0.767	0.007	0.752
誤答に対する処置	-0.172	0.061	0.797	-0.037	0.669
フィードバック	0.423	-0.129	0.440	-0.715	0.901
任意画面の表示	0.184	0.187	0.013	0.881	0.846
中断	0.612	0.018	0.203	0.709	0.919
因子負荷量	4.253	3.097	2.832	2.551	
累積寄与率(%)	34.1	55.1	69.5	79.6	

ぶようになり、その結果学習内容を自発的に学ぶようになると言えよう。したがって、コースウェアを企画、開発する場合には、これらの因子に属する評価指標にまず注目し、学習者が潜在的に持っている概念を満たす必要があろう。

1-2-5 おわりに

本研究では、コースウェアに対する学習者の潜在的評価イメージを因子分析により抽出した。その結果、学習者は「受け入れ易さ」、「見かけの良さ」、「ヒューマンインタフェース」、および「学習の流れ」の4つの因子によりコースウェアを評価することが示唆された。したがって、高品質なコースウェアを造り出すことが効果的なCAI成立のための鍵であることを考えれば、教授法、評価法、教材設計法に加えて、学習者とコンピュータ間の接点に関する知識がバランスよく体系化され、かつ画面が視覚的にも魅力あることが必要といえよう。

通信技術の進歩と通信市場の完全開放を契機として、今後CAIオンラインシステムの導入が増え、在宅学習、学習塾のCAIネットワーク化が推進され、加えて国立教育研究所での「教育情報データベース」の全国ネット構想も合わせ考えれば、コンピュータ支援学習CAIは益々社会に浸透し、近い将来外国の大学とのオンライン学習もあたりまえの現象になるであろう。

参考文献

- [1] 中山秀太郎 (1981) 大学課程 材料力学 オーム社
 [2] 斉藤幸子 (1978) セマンテック・ディファレンシャル (SD) 法、人間工学、14 :

- [3] 小鹿丈夫 他 (1986) 教育系における情報科学教育・研究とそのセンター構想に関する一試案 —教育情報システム研究センターの基本構想について— 大阪教育大学紀要、35 : 121-132

その他、C A I に関する参考図書

- ① 学校法人産業能率大学総合研究所教育工学センター (1985) C A I のすべて 教育はコンピュータによってどう変わるか 産業能率大学出版部
- ② 雨宮正彦 (1985) 教育はコンピュータを必要とするか エム・アイ・エー
- ③ 栗田昭平 (1985) C A I ビジネス コンピュータによる教育革命 日本経済新聞社
- ④ 三宅なほみ 編 (1985) 教室にマイコンをもちこむ前に 新曜社
- ⑤ ピーター・コバーン 他 横川三郎 訳 (1984) 学校教育とコンピュータ アメリカの現状に学ぶ導入と利用の手引 啓学出版
- ⑥ S. パパート (著)、奥村貴世子 (訳) (1982) マインドストーム 未来社
- ⑦ 財団法人機械振興協会 (1975) アメリカにおけるC A I の現状
- ⑧ 財団法人機械振興協会 (1977) イギリスにおけるC A L (Computer Assisted Learning) の現状
- ⑨ 財団法人機械振興協会 (1978) ヨーロッパにおける教育工学の現状
- ⑩ 財団法人機械振興協会 (1975) C A I 学習プログラムのデザイン
- ⑪ 財団法人機械振興協会 (1977) C A I 学習プログラム 開発と評価
- ⑫ 財団法人機械振興協会 (1977) C A I 用学習プログラムの評価
- ⑬ 財団法人機械振興協会 (1978) C A I システム (P L A T O IV) の評価
- ⑭ 財団法人機械振興協会 (1979) C A I システム

付録 (C A I の沿革と現状)

C A I システムに関する研究は、米国において「現状の教育方法では変化の速い社会の要求にもはや適切に対応できず、教育の近代化を図るにはコンピュータに支援された教育システムを開発する必要がある」との考えから、企業内教育を念頭においた I B M (1 9 5 8 年)、および学校教育を対象とした、イリノイ大学とコントロールデータ社の共同研究* (1 9 5 9 年) にその端を発する。しかしながら当時のコンピュータは非常に高価であり、かつソフトウェア (コースウェア) もドリル機能しか供えていなかったため、ページめくり機と酷評され、普及には至らなかった。しかし、個別学習の必要性を認識し、コンピュータをその目的のために使おうという試みは、その後のC A I システムの発展に大きな影響を与えた。その後上記共同研究は着実に継続され、1 9 7 8 年にはP L A T O V システムが完成し、現在ではクラスタ型C B E システムが開発されている。一方M I T のL O G O 言語の発表 (1 9 6 7 年) ならびにアップル社のパーソナルコンピュータの発売 (1 9 7 7 年) を契機としたパソコン時代の到来が教育の現場にも変革をもたらし、これらの導入と活用が進められている。

ところで日本におけるC A I システムの研究と開発は、通産省電子技術総合研究所による「標準C A I 言語の開発」(1 9 6 6 年) に始まり、翌年には同省監督下の機械振興協

* P L A T O (プレイト) と呼ばれ、イリノイ大学では Programmed Logic for Automatic Teaching Operation の、またコントロールデータ社 (C D C) では Personal Learning and Training Opportunity の頭文字をそれぞれとっている。

会によるプロジェクトが開始され、コンピュータ関係やシステム工学関係などの、主として大学における講義や企業での研修用コースウェアの開発が進められた。さらに、教育現場においては、国立教育研究所を中心とした東京都の中学校におけるCAI実験授業（数学）が開始（1974年）されたのを皮切りに、本格的なCAIシステムが神田外語学院（1975年）、金沢工業大学（1978年）、および竹園東小学校（筑波大学が中心、1979年）などにおいて導入され、その後、全国の幼稚園、小学校、中学校、高等学校などで次第に導入されつつある。このような動きを受けて、文部省では「学習情報課」を設置し（1984年）、翌年には文部省社会教育審議会教育放送分科会より「教育におけるマイクロコンピュータの利用について」の報告（上記文献[3]参照）が出され、これを昭和60年度からの教育行政の重点施策の1つとして取り上げ、昭和60年度予算に新規事業「新教育機器教育方法の開発」として20億円を計上し、①新教育機器教育方法開発研究委託（コンピュータを利用した学習システム導入やソフトウェア開発のあり方についての研究委託）、および②教育方法開発特別設備費補助（公立の小・中・高校・特殊教育諸学校を対象とした、コンピュータなどの設備機器を導入する際の経費の補助）等の事業を開始した。一方、企業のCAI教育に対する取り組みは、NTT中央電気通信学園に始まる（1969年）。ここでは講義を理解するための補助ツールとしてCAIシステムをとらえており、学習者の知識レベルを揃えたり、新しい知識取得や講義の復習に活用され、注目すべき実績を有している。また全日空においては、既述のPLATOシステムを用いたシミュレーターにより乗員の訓練を実施している（1982年）。これは操縦席の操作パネルの実態がそっくりそのままディスプレイ上に映し出され、パイロットは画面上のスイッチ類を手で触れることによって、離陸前の地上操作から、降下、着陸に至るまでのすべての操作を模擬することができ、すぐれたマンマシンインタフェースの成功とともに学習訓練期間の短縮にも成功している。その他、社員教育と専門技術教育を目的として青木建設、日立ソフトウェアエンジニアリング、三井物産（以上、1983年）、日本IBM、富士通（以上、1984年）などにおいて、それぞれ独自のCAIシステムの導入がはかられ効果的に活用されている。

1-3 シミュレーション教具としてのコンピュータ・グラフィックスの活用

1-3-1 緒言

中学校技術科における学習内容は、諸科学の総合的、応用的学習の色彩が強い。そのため、基礎知識の習得状態が極めて重要なファクタとなる。例えば中学校第3学年における電気分野の場合、その基礎的学習は、すでに「小学校の理科」および「中学校の理科第1分野」において済ませている。しかしながら、このとき「電気に関する学習は難しい」というイメージを持つ生徒が多いようである。これは電気そのものが目に見えない現象であるため、実物の教材、教具もしくはOHPなどに描かれた図表では視覚的な呈示が不十分であることなどに起因しているものと考えられる。このとき、学習の内容をより分かりやすく説明できるとともに、より容易に理解できるようにするための1つの方法として、パーソナルコンピュータ（以下、パソコンと呼ぶ）のグラフィックス動画を活用した視覚的シミュレーションを導入することが考えられる。

本研究では、中学校技術科「電気1」領域における「グロースターク式蛍光灯の回路の構成と点灯のしくみ」をとりあげ、これに関連したシミュレーション・ソフトウェアを開

発し、これを授業における支援教具として利用することにより、このような授業が生徒の学習内容の理解度および意識や感情などに、どのような影響や効果をもたらすかについて考察するとともに、蛍光灯の展開パネルなど実物模型を用いて学習した場合との比較も行う。

1-3-2 実験授業

1 題材

技術科における学習単元の1つに、「グロースタータ式蛍光灯の回路構成と点灯のしくみ」^[1]がある。この学習においては、一般には蛍光灯の展開パネルなど実物模型を用いて学習することが多く、したがって適切な時点で現象を停止させて説明を加え、その後再び現象を継続するなどということは不可能である。しかしながら、コンピュータで制御されたグラフィックス・シミュレーションでは、これが可能であり、その導入効果が十分に期待できると思われるため、ここでの題材とする。

2 学習の目標

ここでは、

- ① 蛍光灯の回路を知る
- ② 構成要素（部品）の名称・記号とはたらきを知る
- ③ 点灯のしくみを知る
- ④ 蛍光ランプ内の様子（放電現象）を知る

ことを目標とする。ただし、安定器、コンデンサのはたらきについては、簡単な口頭説明にとどめる。なお、授業の流れについては、文献[2]を参照されたい。

3 実験授業の対象者と群構成

公立中学校の3年生男子生徒147名（7学級）を対象とし、表1-3-1に示すような群構成で実験授業を実施した。

なお、学級を組合せるに当たっては、群の間に統計的な差異を生じないように配慮している。すなわち、電圧、電流などの基礎事項に関する事前テストの成績および兵庫県版学力検査（数学、理科）^{*}の成績それぞれについて、等分散性ならびに平均値の差の検定（Fならびにt検定^[3]）を行うため、統計量FおよびTを求めた。その結果を表1-3-2に示す。表1-3-2より、 $F = 1.39 < F_{1, 88}(0.05) = 1.41 < F_{8, 83}(0.05)^{**}$ ならびに $T = 0.64 < t(0.10) = 1.645 < t_{1, 45}(0.10)$ であり、いずれの成績についても有意水準5%で群間に有意差の無

表1-3-1 群構成

群	学習形態	対象者	備考
パソコン	シミュレーション画像を見て学習 （教師による集中制御方式）	3学級 63名	生徒2人に1台のディスプレイを割り当てる
実物模型	実物の展開パネルを見て学習	4学級 84名	展開パネル1台が教卓上に置かれている

* 技術科における学習内容に密接に関わった教科として考えている。

** 正しくは $F_{8, 83}(0.025)$ とした方がよいが、この値より $F_{8, 83}(0.05)$ の方が小さいことは明かであるので、 $1.39 < F_{8, 83}(0.025)$ になる。

表1-3-2 成績ならびに統計量の算出結果

	事前テスト		学力検査	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
パソコン群	61.7	28.7	49.3	25.4
実物模型群	64.9	28.7	52.2	25.0
F	1.04		1.01	
T	0.98		0.66	

注) 100点満点に換算した結果

いことが確かめられている。ただし、t検定では「優れているといえるかどうか」を検定するために片側検定を行っている。

4 授業の形態

シミュレーション・ソフトウェアを支援教具として使う場合、その主体が教師である場合と生徒である場合が考えられる。そこで、本研究では教師用、生徒用それぞれのバージョンを開発したが、設備の制約から、パソコン群の授業は教師用バージョンによった。すなわち、1台のディスプレイが生徒2人に割り当てられ、教師により制御された画像を生徒が観察し、生徒自身ではなんら操作できない形態をとっている。これに対し実物模型群の場合には、教卓に置かれたデモンストレーション用の展開パネルを見て学習する。

1-3-3 ソフトウェア

蛍光灯の回路や点灯のしくみ（点灯に至るまでの過程や蛍光ランプ内での放電現象）など、2に述べた学習目標についてコンピュータ援用学習を進めるため、以下のようなシミュレーション・ソフトウェアを開発した。

支援教具としてのシミュレーション・ソフトウェアでは、とくに学習内容の視認性および画面の流れの制御操作が容易であること、すなわち優れたマン・マシン・インタフェイスが実現されていることが重要である。そのため、ここではカラーグラフィックス画面の色彩と構成について十分考慮すると共に、マウスにより画面の流れを容易に制御できるようにシステム設計を行う。以下に、シミュレーション過程における画面を例示して、説明を加える。

写真1-3-1は、電源を入れる過程（回路左下の赤で示されたスイッチが開放状態〔写真1-3-10に示されているように、上方に位置している〕から下方に移動をして、回路が閉じて電流が流れるまでの過程）に続く画面であり、画面中央に位置するグロースタート（マウスカーソル〔黄色の矢印〕で指示している部品）が放電をしているところを模擬している。このとき、回路中を電流が流れていることを赤色で示した矩形が連続的に移動することで表現する*とともに、グロースタートが放電していることを黄色で示した放射状の線

* 電流の流れる経路が、点灯に至るまでの過程においてどのように変化するかを示すために表現している。しかしながら、実製品では交流が流れているため流れる方向が絶えず反転するが、これを表現するとかえって生徒に混乱を招くと判断して、ここでは直流のように表現している。そのため、実際には一方向のみに流れているのではないことを説明する必要がある。

分の点滅で表現している。なお、画面下にある1～7までの項目は蛍光ランプ点灯に至るまでのステップを示しており、現在「2 グロースタータの電極間で放電中」であることが項目の赤色反転でわかるとともに、次のステップは「3 放電による発熱でグロースタータのバイメタルの可動電極が曲がり、固定電極に接触し、回路が短絡する」ことであることがわかる、いわば教師用のメモである。また、マウスカーソルは教師が画面上で説明する際のポインティングデバイスとなり、説明しようとする対象を的確に指し示すことができるため、授業を展開して行く上で非常に有効である。

さて、画面右下の矢印（以下、アイコンと呼ぶ）にマウスカーソルを合わせ、マウスのボタン（左右いずれでも良い）を押す（この操作をクリックと呼ぶ）と、「3 GS短絡」のステップに進み、グロースタータの可動電極が曲がり始め、次第に固定電極に近ずき、最後に接触する過程が呈示される。この途中の過程を写真1-3-2に示す。なお、写真1-3-2の状態では可動電極はまだ移動の途中であるため、「4 フィラメント加熱」のステップへのマウスによる前進命令をコンピュータが受け付けないように設計してある、と共に、この状態にあることを教師に知らせるため、アイコンはダークグレイに変色している。

そして、電極が接触すると同時にアイコンが白色に変わり、マウスによる前進命令が受け付けられるようになる。そこでアイコンを再びクリックすると、「4 フィラメント加熱」の項目が赤色反転し、蛍光ランプのフィラメント（画面中、青色で表された半円の部分、左右2カ所）が次第に赤色に変わり、加熱された状態が呈示される。もちろん、この過程においては、グロースタータの電極が接触することで接触以前よりも大きな電流が流れ、フィラメントが加熱されることを教師は説明する必要があることは言うまでもない。

再びアイコンをクリックすると、写真1-3-3に示すように、加熱されているフィラメントから熱電子が放出（後のステップ、「6 GS開放」、「7 蛍光ランプの点灯」での「放電現象」との混流を避けるために、「発生」と教える場合もある）される状態が呈示される。このとき、教師は、グロースタータの電極の接触によりグロースタータの中の放電が止まり、可動電極が冷えてもとの状態にもどるであろうことも生徒に説明しておく必要がある。

そこで、アイコンをクリックして次のステップに前進すると、予想通りグロースタータがもとの状態、すなわち開放の状態にもどることが呈示される。

この結果、すなわち開放の瞬間、フィラメントの間を結んでいる回路の電流が断たれ、回路図右下に示されている安定器の両端に数百ボルトの高い電圧が生じて（この理由については学習はしない）蛍光ランプに加わり、蛍光ランプの放電が始まる。このことを生徒に説明した上でアイコンをクリックすると、「7 蛍光ランプ点灯」の様子が観察できる（写真1-3-4参照）。

さて、このような一連のシミュレーション画面を再度呈示したければ、マウスカーソルをスイッチに合わせ、ボタンをクリックすることで再現できる。一方、グロースタータあるいは電極間の放電について解説したければ、マウスカーソルをグロースタータに合わせ、ボタンをクリックすればよい。これにより、写真1-3-5に示したようなサブメニュー画面が表示される。ここで「グロースタータ」を選べば、写真1-3-6から写真1-3-9に示した様な画面が呈示される。なお、写真1-3-9は動的グラフィックスである。また、サブメニュー画面で「放電」を選べば、写真1-3-10に示すウインドウ画面が表示される。ここでは、左右の三角（白色）により左側の電極（赤色三角と白色矩形）を左右に移動させることができるとともに、上下の三角により電極間に加わる電圧も変化させることができるため、