

写真1-3-1

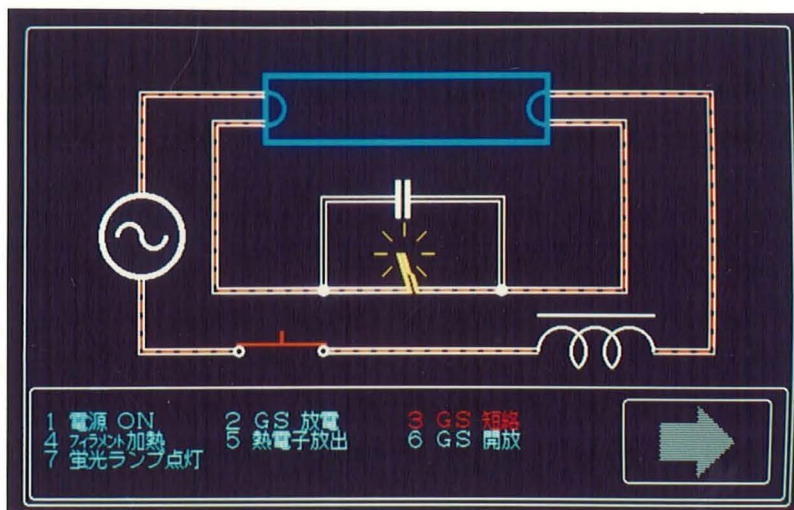


写真1-3-2

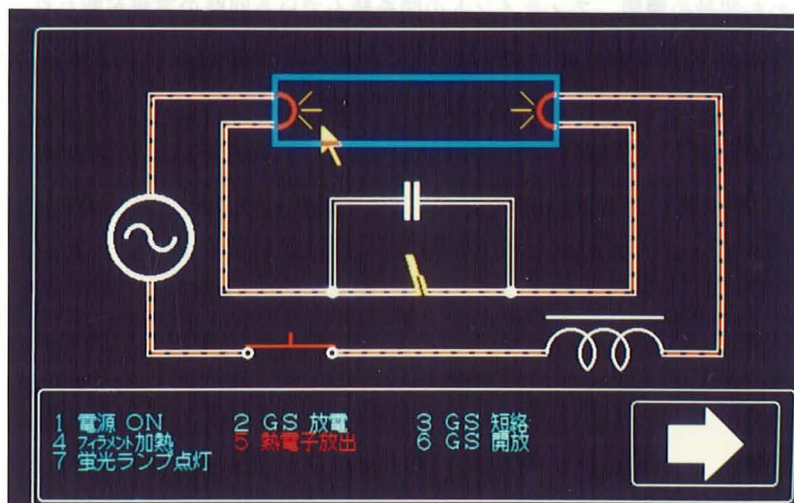


写真1-3-3

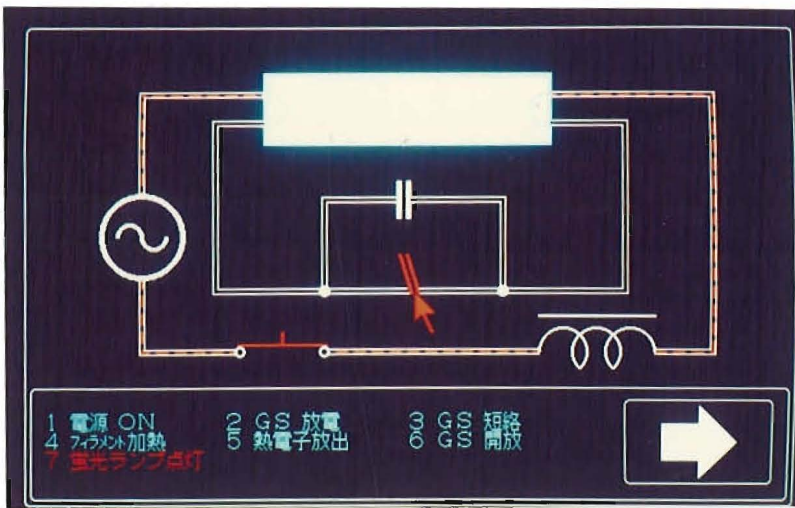


写真1-3-4

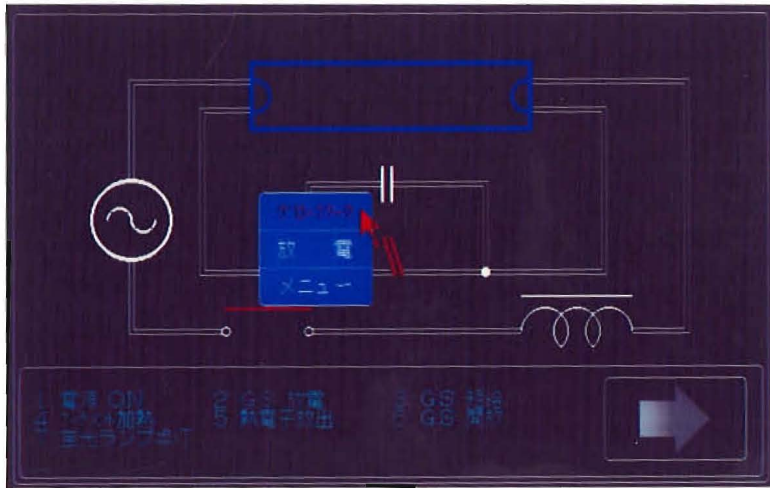


写真1-3-5

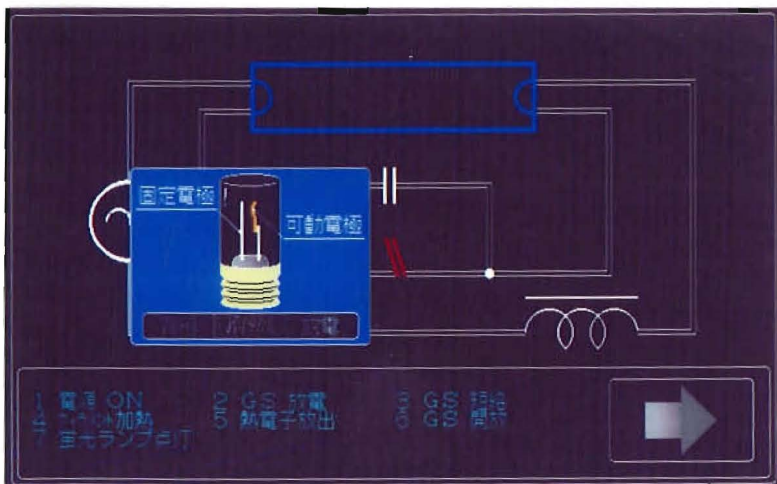


写真1-3-6

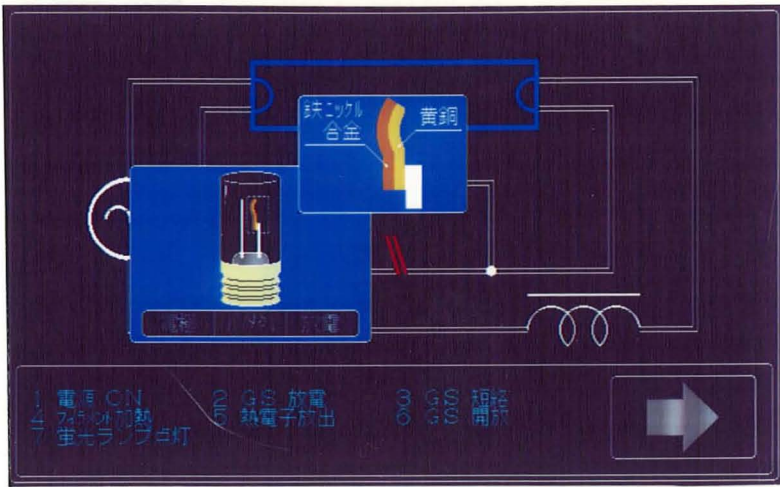


写真1-3-7

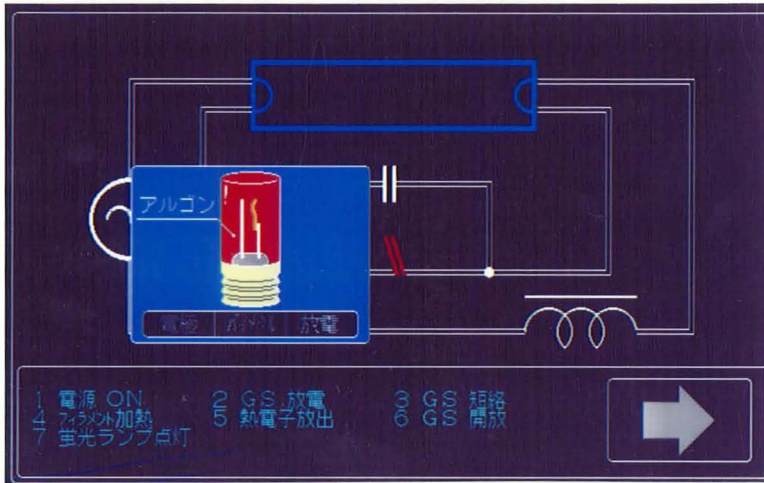


写真1-3-8

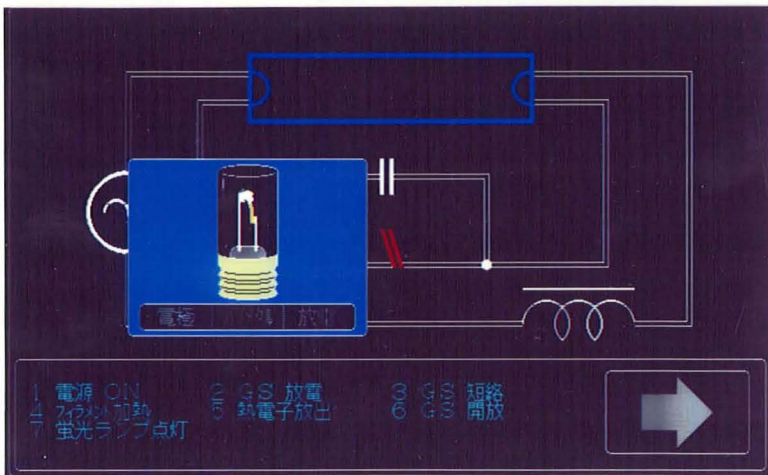


写真1-3-9

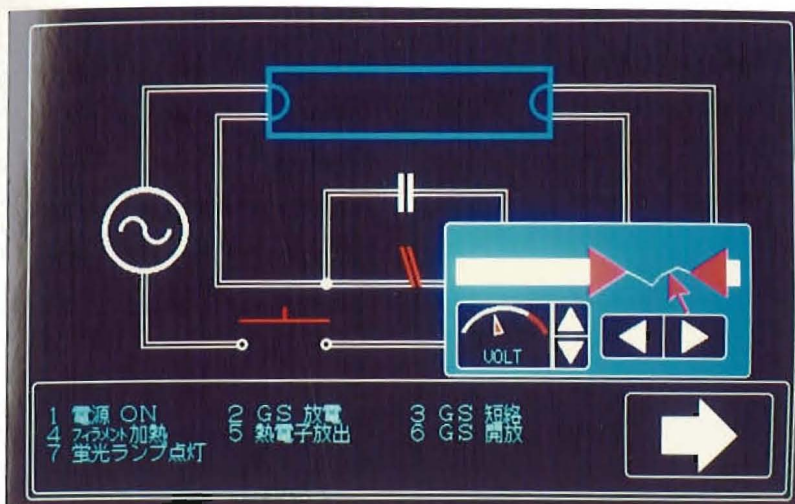


写真1-3-10

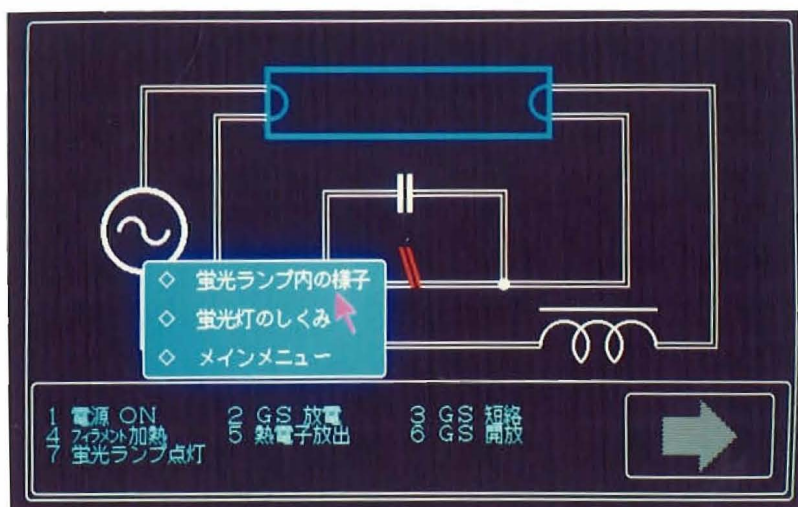


写真1-3-11



写真1-3-12

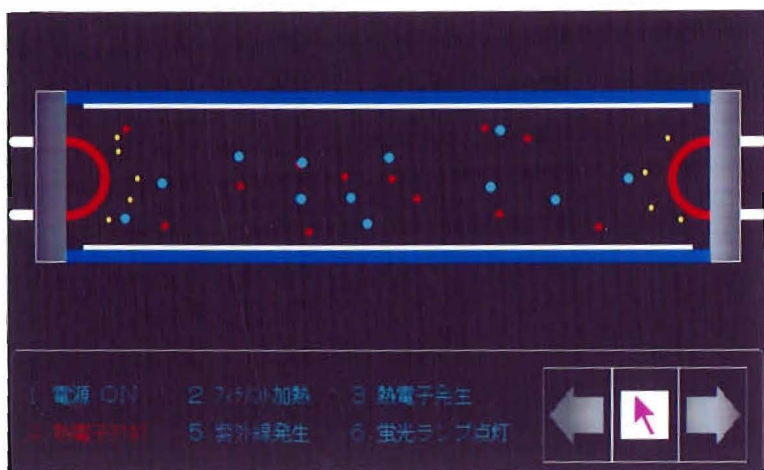


写真1-3-13

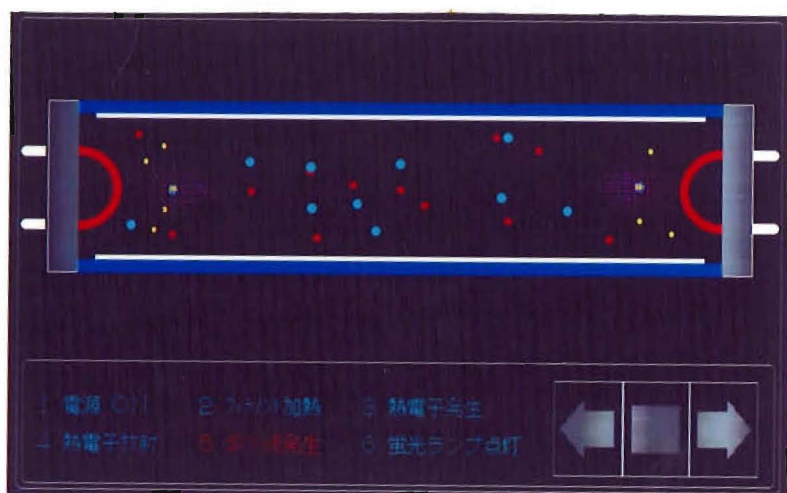


写真1-3-14

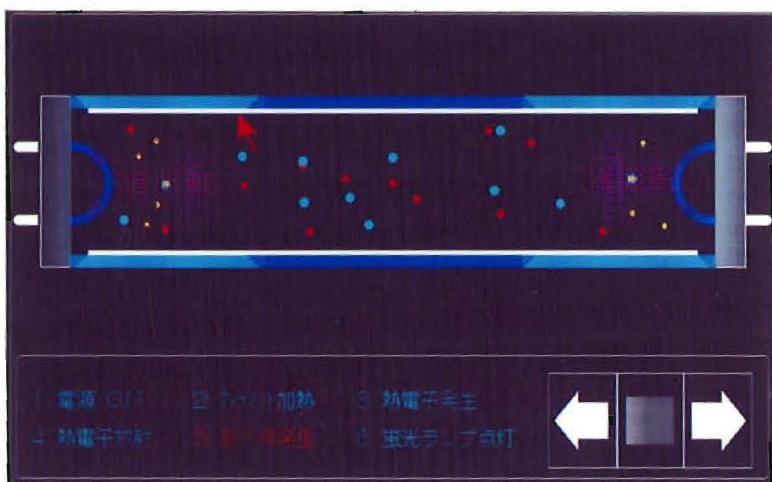


写真1-3-15

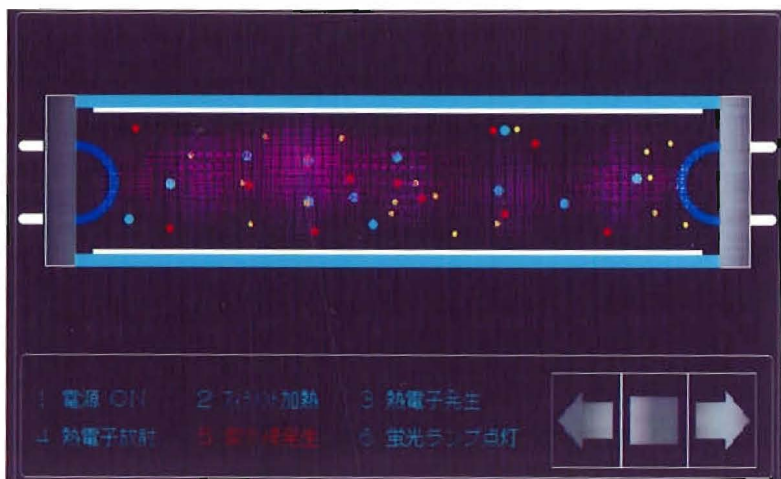


写真1-3-16



写真1-3-17

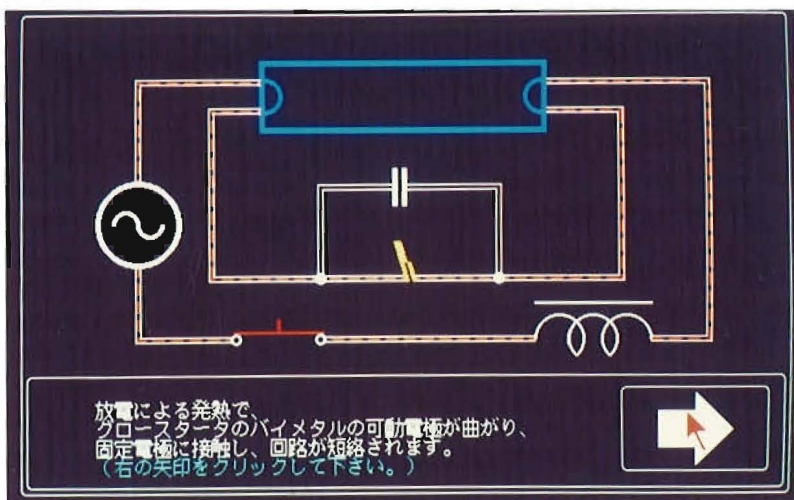


写真1-3-18

電極間の距離と電圧を任意に変化させて放電現象を模擬できる。なお、放電時には疑似音も出るようにしてある。

写真1-3-5から写真1-3-10の、いずれの画面についても、右下のアイコンをクリックすれば、写真1-3-11が呈示される。ここで、再度上記の一連のシミュレーション画面を呈示したければ、マウスカーソルを「蛍光灯のしくみ」に合わせ、マウスボタンをクリックすればよい。また、「蛍光ランプ内の様子」をクリックすれば、蛍光ランプ内での放電・発光現象のシミュレーション画面が呈示される。

写真1-3-12は、蛍光ランプ内の状態が示されている。この画面では、たとえば赤い丸印をマウスカーソルでクリックすると、その物質の名称「アルゴン」（放電を容易にするはたらきがある）が表示され、また逆に「アルゴン」という名称をクリックすると赤丸がピー音とともに点滅するように設計されている。これにより、ランプ内にある4つの物質の名称記憶の定着を図ることができる。

さて、画面右下にあるアイコンを順次クリックすると、フィラメントが加熱され、熱電子が発生し、写真1-3-13に示すような「4 熱電子放出」の過程が呈示される。ここで、画面右下にある「左右の矢印とそれらに挟まれた正方形」は、黄色の丸印で表された熱電子が放出される過程を動的に模擬した画面の動きを、それぞれ後退、前進、停止させる場合に用いる。これにより、熱電子の放出から紫外線放射までの連続した動的プロセスが、生徒の要求に従って任意の状態で、たとえば後退、前進により同じプロセスを繰り返し呈示することができ、その結果、理解の促進と知識の定着が図れる。

さて、写真1-3-14は、放電によって、電子が水銀蒸気にあたると紫外線が発生するプロセスを呈示している。そして、この紫外線がランプ内面の蛍光物質にあたって発光する現象が写真1-3-15に示されている。写真1-3-16は、ランプ内の至るところで紫外線が発生し、蛍光物質にあたって発光している状態が模擬されており、結果として写真1-3-17に示すように、蛍光ランプが点灯する。この画面でアイコンをクリックすると、写真1-3-11と同様のウィンドウメニューが表示され、再度、任意のメニューを選択できる。なお、終了するときにはメインメニューをクリックすればよい。

なお、参考のため、写真1-3-18、に生徒用バージョンの例を示しておく。これは写真1-3-2に対応しており、教師用のメモが呈示されていた画面下覧には解説文が表示されるように設計されており、C A I的要素をもたせている。

1-3-4 結果と考察

グラフィックス・シミュレーションの導入効果を事後テストの成績から明らかにすると共に、学習内容の理解度に対する生徒自信の自己評価および教材としてのシミュレーション・ソフトウェアに対する生徒の意識・感情を調査し、これらがどのような特質を有しているかを因子分析により明らかにする。

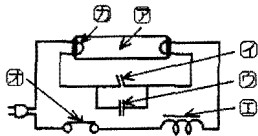
1 事後テストの結果と考察

実験授業の終了直後に、図1-3-1に示すような(I)蛍光灯を構成している要素(部品)の名称および(II)そのはたらきについての事後テストを実施した。なお、パソコン群と実物模型群の学習到達度をテストの成績で比較するため、いずれの群にも偏らない基本的かつ共通的な設問にとどめた。したがって、たとえば点灯に至るまでの各部品の作動順序や蛍光ランプ内の様子などについての設問はパソコン群に有利に働くと考え、あえて設けなかった。

事後テスト

3年 組 番 氏名 _____

図をみて、各問に答えなさい。



(I) 図に示された⑦～⑦の部品を、解答欄(I)に書きなさい。

(II) 下記の①～⑥の説明文は、⑦～⑦の部品のはたらきを説明しています。もっともよく説明していると思う番号を、解答欄(II)に書きなさい。

解答欄

	(I)	(II)
⑦		
⑦		
⑦		
①		
②		
③		

- ① 高い電圧を発生させる。
- ② 両極は加熱され、熱電子がとびだす。
- ③ 発生した紫外線が蛍光物質に当たって、可視光線となり、発光する。
- ④ 電気をたくわえ、雑音を防止する。
- ⑤ この回路の電流の断続を行う。
- ⑥ 高い電圧を発生させるためのスイッチのはたらきをする。

図1-3-1 事後テストの内容

事後テストの結果を表1-3-3に示す。同表から、以下の諸点が明らかになった。

- ① 構成要素(部品)の「名称」ならびに「はたらき」について、ともに表1-3-2の場合と同様に $F < F_{0.05}$ (0.05) であり、この結果、パソコン群と実物模型群の間の等分散性が有意水準5%で認められた。
- ② そこで、つぎに平均値の差の検定を行うと、構成要素(部品)の名称については、 $T < t_{1.45}$ (0.10) が得られ、パソコン群と実物模型群の間には有意差が認められない。
- ③ しかしながら、構成要素(部品)のはたらきについては、 $T > t_{1.45}$ (0.10) となり、パソコン群と実物模型群の間に有意差が認められる。

表1-3-3 事後テストの成績と統計量の算出結果

	事後テスト(名称)		事後テスト(はたらき)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
パソコン群	72.8	24.9	82.5	23.1
実物模型群	75.2	21.1	74.8	27.3
F	1.39		1.39	
T	0.64		1.80	

注) 100点満点に換算した結果

④したがって、学習目標が「名称を知る」というような場合には、シミュレーション・ソフトウェア、実物模型、いずれの教具を用いても知識の定着率には大差は無いといえる。しかしながら、「部品のはたらきを知る」というような場合には、表1-3-3に示された成績の結果も合わせ考えれば、パソコン群のほうが優れている、すなわち知識の定着率が高いことがいえる。この結果は、「部品のはたらきを知る」ことが、どのような過程を経て点灯に至るかという「点灯のしくみを知る」あるいは「蛍光ランプ内の様子を知る」とことと密接に関係があるため、動的に進行する現象の学習にはグラフィックス・シミュレーションの導入効果が十分に期待できることを示唆している。したがって、とくに諸科学の成果を人間の生活との関わりにおいて総合的、応用的に発展させることを教授する技術科の場合、コンピュータによる制御性の容易さと現象のグラフィックスによる直感的な理解が相まって、知識の一層の定着をはかれる教具としてグラフィックス・シミュレーションは重要視されなければならないであろう。

2 意識調査の結果と考察

「学習内容の理解度に対する生徒自身の自己評価」、「教材としてのシミュレーション・ソフトウェアに対する生徒の意識・感情」を考察するために、それぞれ表1-3-4(1)、表1-3-4(2)および表1-3-5(1)、表1-3-5(2)に示す評価項目（アンケート用紙上では、ランダムに並べてある）についてアンケート調査をした。調査にあたっては、5段階（-2, -1, 0, 1, 2）で区分された評価値の該当する値を○で囲むように指示した。なお、表1-3-4(1)、表1-3-4(2)においては、各項目について「全くわからなかった」場合が-2、「非常によくわかった」場合が+2に対応し、表1-3-5(1)、表1-3-5(2)においては、その項目が強く否定されれば-2、強く肯定されれば+2に対応している。また、アンケート用紙には、たとえば評価値2の横に（非常に）などという形容詞を併記し、さらに回答の具体的方法も例示することで、生徒のマークミスを避けるように配慮してある。

ところで、表1-3-4(1)、表1-3-4(2)において、評価項目「グロースタータは、点灯のためのスイッチのはたらきをしていること」は「グロースタータのはたらき」に包含されてしまう項目ではあるが、この項目はグロースタータ式蛍光灯の「点灯のしくみ」を学習する上での重要なポイントであるので、あえて評価項目に加えた。なお、この項目は学習すべき知識そのものであるため、アンケートに際しては最後の設問項目とした。

2・1 「学習内容の理解度に対する生徒自身の自己評価」について

評価の結果を図1-3-2に示す。同図より、以下のことが明らかになった。

(1) 「コンデンサのはたらき」を除くすべての項目において、パソコン群の生徒の方が実物模型群の生徒より、よく理解していると判断しており、とくに「フィラメントのはたらき」、「グロースタータのはたらき」、「安定器のはたらき」以外の項目では、パソコン群は実物模型群に比べて倍以上の評価をしている。

(2) また、パソコン群の生徒の場合、「蛍光灯の回路」、「蛍光ランプのしくみ」、「放電現象が、どのようにしておこるか」の3項目については、評価値が0.8前後であり、ほぼ理解できていると判断しているのに対し、実物模型群の生徒の場合、「紫外線が、どのようにして発生するか」、「熱電子のはたらき」および「アルゴン、水銀のはたらき」については、評価値が-0.5前後であり、あまり理解していないと判断している。

(3) 加えて、実物模型群の評価値がマイナスである（理解していないと判断している）のに対し、パソコン群の評価値がプラスである（理解していると判断している）という、全く対象的な評価をしている項目は、「グロースタータのしくみ」、「紫外線が、どのよ

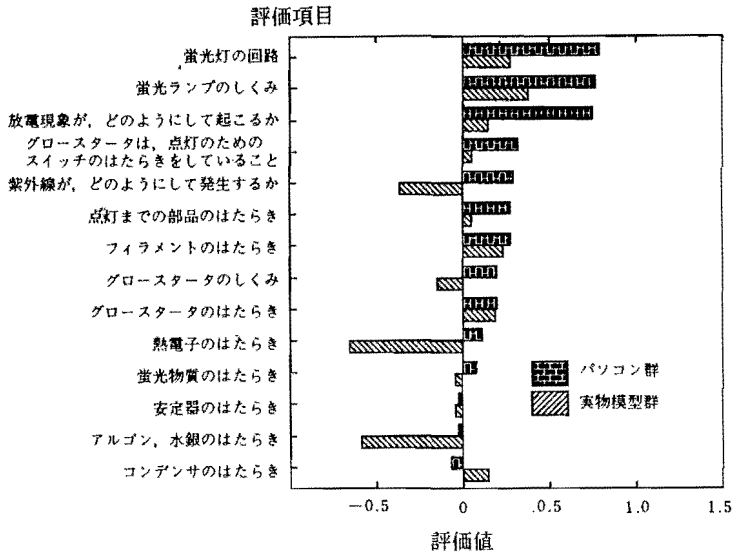


図1-3-2 理解度に係わる自己評価の結果

うにして発生するか」、「熱電子のはたらき」、「蛍光物質のはたらき」である。

(4) ところで、蛍光ランプが点灯するに際して重要な役割を果たす「グロースタータのはたらき」についての自己評価は、実物模型群もパソコン群も、ほぼ同程度である。しかしながら、この評価値と「グロースタータは、点灯のためのスイッチのはたらきをしていること」の評価値を比較すると、実物模型群の場合、「グロースタータのはたらき」が0.19であるにもかかわらず、その後に回答した「グロースタータは、点灯のためのスイッチのはたらきをしていること」が0.06と減少しており、理解しているつもりでいたが、実のところわかっていなかったことが認められる。これに対し、パソコン群の場合には、それぞれ0.2、0.32であり、逆にさほど理解していないつもりが、実際にはよく分かっていたことが推察される。この事実は、グラフィックス・シミュレーション導入の成否について論ずる際の極めて重要なファクターとなろう。

(5) 以上の諸結果は、実物模型群の場合には、グロースタータおよび蛍光ランプの点灯(放電)だけしか視覚的に観察できないのに対し、パソコン群の場合には、写真1-3-1～1-3-4、1-3-6～1-3-10、1-3-12～1-3-17に示したように、点灯に至るプロセス、とくにグロースタータの放電現象と可動電極のはたらき、ならびに蛍光ランプ内の様子がグラフィックス・シミュレーションされ、視覚的に理解がしやすかったため、自己評価が高くなったことを示唆している。なお、自己評価が高いことは、生徒の学習意欲や自信を高揚させるきっかけにも成り得るため、この意味においてもグラフィックス・シミュレーションの導入は効果的であろう。

つぎに、因子分析の結果を表1-3-4(1) (パソコン群) および表1-3-4(2) (実物模型群) に示す。なお、因子軸の回転に際しては、累積の因子寄与率が85%程度を目安とし、回転はバリマックス法によっている。同表より、つぎの諸点が考察された。

(1) パソコン群の場合、表1-3-4(1)に示すように、3つの因子が抽出された。そこで、これらの因子の意味づけを行うと、第1因子は「点灯までのプロセスに関する因子」、第

表1-3-4(1) 因子負荷量と因子の解釈 (パソコン群)

評定項目	因子1	因子2	因子3	因子の解釈
グロースタータのしくみ	0.680	0.209	0.226	点灯までのプロセスに関する因子
蛍光灯のしくみ	0.683	0.034	0.413	
放電現象が、どのようにして起こるか	0.582	0.318	0.077	
蛍光灯の回路	0.666	-0.095	0.413	
紫外線が、どのようにして発生するか	0.525	0.338	0.253	
グロースタータのはたらき	0.598	0.417	0.090	
グロースタータは、点灯のためのスイッチのはたらきをしていること	0.555	0.391	0.003	
点灯までの部品のはたらき	0.365	0.356	0.355	
蛍光物質のはたらき	0.222	0.761	0.097	蛍光灯内の要素のはたらきに関する因子
アルゴン、水銀のはたらき	0.187	0.705	0.289	
熱電子のはたらき	0.126	0.553	0.495	
安定器のはたらき	0.132	0.141	0.640	簡単に説明した部品のはたらきに関する因子
コンデンサのはたらき	0.214	0.177	0.703	
フィラメントのはたらき	0.395	0.333	0.417	

表1-3-4(2) 因子負荷量と因子の解釈 (実物模型群)

評定項目	因子1	因子2	因子の解釈
フィラメントのはたらき	0.695	-0.113	知的理解に関する因子
アルゴン、水銀のはたらき	0.645	-0.101	
紫外線が、どのようにして発生するか	0.580	-0.140	
コンデンサのはたらき	0.593	-0.154	
放電現象が、どのようにして起こるか	0.673	-0.249	
蛍光物質のはたらき	0.544	-0.247	
熱電子のはたらき	0.564	-0.302	
点灯までの部品のはたらき	0.539	-0.409	
安定器のはたらき	0.426	-0.307	
蛍光灯の回路	0.574	-0.510	
蛍光灯のしくみ	0.505	-0.487	
グロースタータのはたらき	0.097	-0.884	
グロースタータのしくみ	0.173	-0.817	視覚的理解に関する因子
グロースタータは、点灯のためのスイッチのはたらきをしていること	0.326	-0.675	

2因子は「蛍光灯内の要素のはたらきに関する因子」、第3因子は「簡単に説明した部品のはたらきに関する因子」と表すことができる。すなわち、第1因子には、学習の最終目標である「点灯に至るまでのプロセスを、回路構成、部品のしくみとはたらきなどを学習することで、論理的に理解」するために必要な基本的事項のすべてが属しており、第2因子には、第1因子の内、とくに蛍光灯内での放電に関わる要素のはたらきについての事項が、さらに第3因子には、内容が中学生にとっては高度であるがため極めて簡単に説明をした部品のはたらきに関する事項が属している。ここで、3因子が抽出された点は極めて注目に値するであろう。すなわち、2・2の学習目標で述べた①～③の目標と④の目標が、それぞれ第1因子と第2因子という形で生徒たちによって明確に分離されて捉えられたこと、ならびに②の目標のうち簡単な説明で終えた部品については1つの独立した因子として捉えられたことは、教師の指導目標を生徒たちが明確に受け止めていることを示唆しており、学習指導の上で非常に重要な意味を持つ。

(2) これに対し実物模型群の場合には、表1-3-4(2)に示すように「知的理解」および「視覚的理解」とそれぞれ意味づけできる2つの因子が抽出された。「視覚的理解」を表わす因子はグロースタータに関する項目からなり、その他の項目は「知的理解」を表わす因子に属する。生徒たちは、蛍光灯(実物模型)のスイッチを入れれば、まずグロースタータが点灯(放電)し、ついで蛍光灯が点灯(放電)するという現象を視覚的に観察するが、これ以外の事象については視覚的には観察していない。すなわち、グロースタータの放電現象を目で直接観察することから、グロースタータが蛍光灯点灯のための重要な部品であることを認識する。そこで、学習の結果、生徒たちは視覚的に観察されたグロースタータの点灯(放電)に関わる事象を1つの因子として強くとらえ、その他の項目については視覚的に観察できないため知識として認識し、理解していることが推察される。なお、このような「視覚的理解」は、現象の動的変化を視覚的に捉えて学習するという点で、グラフィックス・シミュレーションと共通の基盤を有している。

2・2 「教材としてのシミュレーション・ソフトウェアに対する生徒の意識・感情」について

図1-3-3に示した評価結果より、以下のことが明らかになった。なお、評価項目「所要時間が長い」については、その評価値が0である場合がもっとも適切な長さであることを意味し、また「疲れる」および「いらいらする」については、マイナス側の評価が最良であることを留意する必要がある。

(1) 「何回でも見たい」ならびに「おもしろい」の評価項目を除く項目については、パソコン群のほうが肯定的な回答が強い。

(2) とくに「学習内容がわかりやすい」、「学習するのに効果的である」、「教具としてよかった」などの評価項目においては、パソコン群の生徒は実物模型群の生徒よりも、より強く肯定的である。

(3) 項目「おもしろい」の場合、パソコン群より実物模型群のほうが肯定的な回答をしているが、これはグラフィックス・シミュレーションを生徒自身で使えなかったため「おもしろくなかった」という評価がされたためと考えられる。これは、「自分で使ってみたい」という欲求がパソコン群の場合非常に強いという評価結果からもいえることである。

つぎに、因子分析の結果を表1-3-5(1)(パソコン群)および表1-3-5(2)(実物模型群)に示す。

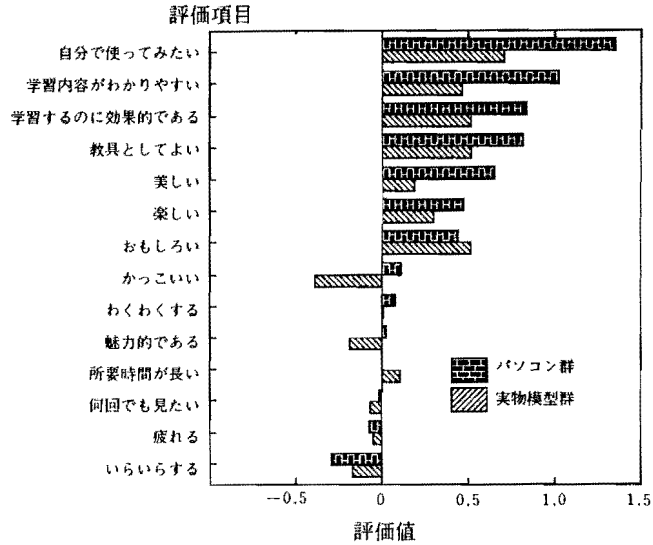


図1-3-3 生徒の意識・感情に係わる評価結果

(1) パソコン群の場合、表1-3-5(1)に示すように、3つの因子が抽出された。そこで、これらの因子の意味づけを行うと、「情緒的要素に関する因子」、「教具としての因子」、「ストレスに関する因子」と表すことができる。

(2) 同様に実物模型群の場合、表1-3-5(2)に示すように、「教具としての因子」ならびに「ストレスに関する因子」とそれぞれ意味づけられる、2つの因子が抽出された。

(3) したがって、パソコン群の場合、「情緒的な要素に関する因子」と「教具としての因子」を明確に区別して捉えているのに対し、実物模型群の場合、これらを明確に区別していないことがわかる。

(4) 以上の諸結果より、シミュレーション・ソフトウェアの設計においては、情緒的な要因を十分に考慮する必要があるといえる。

1-3-5 結言

本研究では、マン・マシン・インタフェイスを十分に配慮した、教具としてのシミュレーション・ソフトウェアを開発し、これを用いた実験授業を通して、以下の諸結果を得た。

(1) グラフィックス・シミュレーションは、実物模型を使って学習する場合に比べ、時間的に変動する現象を学習するには非常に効果的な教具となるが、名称を学習する場合にはそれほど有益な教具とはならないことが、事後テストの結果から明らかになった。

(2) 学習内容の理解度に対する生徒自身の自己評価はパソコン群の方が高く、また、生徒は教師の指導目標を明確に捉えていることが因子分析の結果から明らかにされ、グラフィックス・シミュレーションの導入は学習指導の上でも積極的に考慮されなければならないことが考察された。これに対し実物模型群の場合には、視覚的に強く観察された事象を1つの因子として捉え、その他の事象については知識として理解していることが考察された。

(3) シミュレーション・ソフトウェアを教材として導入したことに對する生徒の意識

表1-3-5(1) 因子負荷量と因子の解釈 (パソコン群)

評定項目	因子1	因子2	因子3	因子の解釈
おもしろい	0.746	0.206	0.103	情緒的要素に関する因子
かっこいい	0.681	0.166	-0.125	
楽しい	0.781	0.286	0.138	
美しい	0.734	0.249	0.172	
魅力的である	0.709	0.232	0.317	
わくわくする	0.744	0.109	0.452	
学習内容がわかりやすい	0.162	0.770	0.112	教具(狭義)としての因子
学習するのに効果的である	0.198	0.803	0.136	
教具としてよい	0.209	0.747	0.355	
所要時間が長い	0.129	0.532	0.172	
自分で使ってみたい	0.153	0.216	-0.021	
何回でも見たい	0.404	0.465	-0.119	ストレスに関する因子
疲れる	0.032	0.237	0.785	
いらいらする	0.191	0.074	0.721	

表1-3-5(2) 因子負荷量と因子の解釈 (実物模型群)

評定項目	因子1	因子2	因子の解釈
おもしろい	0.724	0.119	教具(広義)としての因子
わくわくする	0.692	0.088	
魅力的である	0.687	0.088	
楽しい	0.676	0.101	
かっこいい	0.586	-0.073	
自分で使ってみたい	0.525	0.044	
学習するのに効果的である	0.591	0.214	
美しい	0.485	0.135	
教具としてよかった	0.547	0.240	
学習内容がわかりやすい	0.428	0.256	
何回でも見たい	0.490	0.342	ストレスに関する因子
疲れる	0.002	0.780	
いらいらする	0.105	0.766	
所要時間が長い	0.078	0.257	

・感情についても、パソコン群の方がより強く肯定的である。また、因子分析の結果から、シミュレーション・ソフトウェアの設計においては、生徒たちが抱く情緒的な要素を十分に考慮する必要があることが明白になった。

(4) 以上の結果から、グラフィックス・シミュレーションによる学習では、教師の意図した学習目標が生徒に的確に捉えられている点でとくに優れた教具であり、その結果、学習内容の理解度に対する生徒自身の自己評価も高く、この結果が生徒たちの学習に対する興味・関心、意欲、さらには自信をも引き出せる可能性を有するため、積極的な導入の検討が必要であるといえる。

技術科においては、「情報基礎」という新領域設置の方向が打ち出され、今後の在り方が模索されているなかで、この種のソフトウェアを授業の展開において使用することは、教具として優れているのみならず、教師ならびに生徒たちがコンピュータ・システムになんら抵抗なく適応して行ける1つの手段ともなろう。また、自分で操作をしながら学習したいという生徒が多数いたことから、生徒たちの今後のコンピュータに対する関心や展開も興味深いところである。ここでの研究は、コンピュータ援用学習の1つでもあるが、使い方を誤ると画一的で機械中心の授業になる恐れが十分に考えられるため、教師が利用目的を明確にして活用することが大切であろう。

謝 辞

本研究は、姫路市教育委員会教育研究所ならびに教育諸機関の暖かいご援助に支えられて進めたものであり、関係者各位に深謝致します。とくに、実験授業においては姫路市立琴陵中学校の生徒諸君と秋本隆夫教諭に、またコンピュータ施設の利用に際しては姫路市立姫路高等学校の川本清教諭に御協力頂いた。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 馬場信雄 他 (1984) 改訂 新しい技術・家庭 下 東京書籍 東京
- [2] 松本英敏・秋本隆夫 (1987) 「電気1」領域におけるパソコンを利用した授業研究(蛍光灯のしくみと放電作用を学ぶ教材支援ソフト) 第15回兵庫県中学校技術・家庭科研究会・第18回西播地区中学校技術・家庭科研究会 研究紀要 34-36
- [3] 牧野都治 (1970) 初等情報処理講座2 統計の知識 森北出版 東京

1-4 知的シミュレータとしてのエキスパート・システムの活用 (On Expert System as Intelligent Simulator)

本研究では、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1つの重要な役割を果たすことを明らかにしている。具体例として、「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)を取り上げている。このシステムは、専門家(教師)の知識のみならず課題制作者(学生)の個人的な趣味なども十分に反映された推奨課題(結論)を提案でき、かつ製品の構想図なども表示することによって課題の具体的なイメージを把握し易いように開発されている。本システムを7つの項目について評価したところ、十分に高い評価が得られ、とくに知的シミュレータ(トレーナ)としての価値が非常に優れていることが明白になった。すなわち、システムとの対話を通して、その質問が「なぜ」されたのか、あるいは

「如何なるプロセスで」その結論が導き出されたのかを知ることにより、専門家の思考過程の理解や専門家との考え方の相違点の分析、さらに思考過程の理解などにおいて必要となる学習事項の復習などが十分に期待できることが示唆された。

1-4-1 Introduction

An appropriate correspondence is required in various fields, in response to such a present situation conditioned by ① the high efficiency and the inexpensiveness of a personal computer, ② the diffusion of a personal computer network accompanied by a release of a communication market, ③ and the advanced technetronic society. In the field of education, computer aided education that is expected to enforce individual, open and modern education is worthy of attention again and seems to be gradually infiltrating school education, company education, home study and life study. It is conceivable that the practical use of a personal computer in school education is represented by two phases; one is a study based on coursewear (it seems that the study in a drill mode is the most popular) and the other is a study based on educational material such as a computer graphics simulation.

The research in "Artificial Intelligence" started, that tries to construct an intelligent activity of human beings in engineering terms, together with the birth of a computer. In an application field of "Artificial Intelligence" such as machine translation, image processing, robot etc., an expert system has mostly practical uses. An expert system is able to be utilized in an educational phase which differs from the two phases mentioned above if the system is able to answer user's questions; why the system asked such a question or how the system got the conclusion.

In this paper, the authors developed an expert system that assists a user trying to decide a subject in "Practice in Woodworking" by using the Japanese expert shell "Sogen", and will clarify what kind of role the expert system plays in computer aided education.

1-4-2 Expert system and Expert shell

An expert system implies an intelligent program, in which an expert's special knowledge, in a particular field is constructed as rules, and which solves a problem by using rules as if an expert would. In other words, an expert system is composed of the Knowledge Base and the Inference Engine as shown in Figure 1-4-1. A knowledge engineer arranges an expert's fragmentary knowledge and stores them as rules in the Knowledge Base. The Inference Engine leads the problem to the conclusion by combining rules.

The most important problem is how to express knowledge because the incorporation of an expert's knowledge to the Knowledge Base with some sort of systematic form is needed. There is the production rule method to express knowledge. This rule consists of "Assumption (if)" and "Conclusion

(then)", and a set of rules composes the Knowledge Base in Figure 1-4-1. The production rule is characterized by the following properties. ① The comprehension is intuitive because the production rule is quite agreeable to a human thinking process and also it is easy to systematically organize knowledge. ② The modular nature of knowledge is excellent,

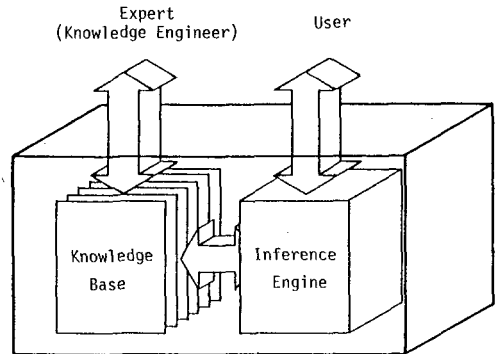


Figure 1-4-1 Expert system

therefore a confusion when a system is expanded is avoided because an addition or a change of knowledge is quite easy. ③ Such characteristics as so-called "an explosion phenomenon peculiar to a combination" scarcely occurs as for the basis of the Knowledge Base, unlike an algorithm form, even if a combination of a condition increases^[1].

A remarkable characteristic of an expert system is that the Knowledge Base and the Inference Engine are separated clearly, that is to say, an expert system in various fields is easily created by only preparing appropriate rules in the Knowledge Base. Such software called "Expert shell" as prepares the Inference Engine and the empty Knowledge Base is available. The Japanese expert shell "Sogen" is used in this paper. A user is able to solve a problem through a conversation between he/she and the system that is constructed in the shell. The system displays questions and the conclusion. The user is able to inquire why such questions are asked and how the conclusion was led, by carrying out the WHY function and the HOW function of the system, respectively. The WHY function explains the bases of questions and also the HOW function explains how the user's answer affected the conclusion and which rules were applied to the conclusion (including interim conclusions)^[2].

1-4-3 Example

The Department of Technology opens the Practice in Woodworking class. The main theme of this class is how to reflect knowledge obtained through "Woodworking I" and "Laboratory in Engineering I (a field concerned in Woodworking I)" in a practice subject (product). Usually students consult an instructor on his/her subject in the class. At this time, an instructor's advice to a student, for instance advice regarding how to bond materials or which machine is appropriate, is equivalent to an expert's one, then we may say that an expert system exists in this case. We cannot help, incidentally, say, that the sufficient correspondence is not taken in consequence of time

restriction for the individual guidance. Therefore, it is desirable to develop an expert system in engineering terms, from which each student is able to receive advice whenever he/she wants. The system developed here is able to consider personal motives such as an interest, a distinction of a home or a lodging, the necessity to tidy up a room, practicality of product and so on, and also is able to consider such parameters from the viewpoint of education as are time, cost, materials, bonding methods and machines. The system prepares 63 subjects (products) as shown in Table 1-4-1 and 268 rules [3,4]. Rules are not, however mentioned in this paper for convenience sake of a space.

An instance of a conversation between a user and the expert system is outlined below.

- ① The title frame is displayed as follows.
- ② Subsequently, the system asks a question* as shown in Photo 1-4-1. In this case, the user chooses the item (1).
- ③ The system asks that "The field of your interest is
 - (1) Music
 - (2) Art/Craftwork
 - (3) Literature
 - (4) Science and Engineering

Table 1-4-1 Practice subject (goal)

speaker box	slipper rack	bookcase 5
cassette rack	footstool	bookcase 6
record case	legless chair	bookcase 7
audio rack	checkerboard	bookcase 8
AV board	chessboard	bookcase 9
cabinet for television	frame	bookcase 10
micro-computer rack	easel	bookcase 11
space box	accessory box	bookcase 12
magazine rack	sewing box	bookcase 13
document filing box	bench	bookcase 14
slide type folding chair	bench chest	bookcase 15
rocking chair	work seat	bookcase 16
stool	flowerpot box	bookstand 1
hanger stand	kennel	bookstand 2
display shelf	work table	desk
tableware shelf	toolbox	writing bureau
convenience wagon	mailbox	chair
counter wagon	bookcase 1	table
service tray	bookcase 2	extra table
shoe box	bookcase 3	telephone table
umbrella stand	bookcase 4	trash basket

* The system asks only necessary questions at the time. Paradoxically speaking, the system has rules which will be never questioned according to the user's response.

I (this system) will help you making a decision about your subject (product) that you are going to produce in the Practice in Woodworking class. In other words, I will propose subjects (products) which are suitable to your taste and intention.

I will ask you some questions. Choose the corresponding item with cursor keys, then push the return key, please.

Now, I will execute in the following order.

- (1) First of all, I will ask you about your interest, practicality of product; your life style and so on. Then I will narrow down the range of subjects that will be proposed considering your replies to these questions and will display the result as "The conclusion based on your personal motive", if you need.
- (2) I will ask you some questions from the viewpoint of reflecting upon knowledge obtained through "Woodworking I" and "Laboratory in Engineering I)" in the subject which you are going to produce. Then, I will narrow down the range of subjects just like stage (1), and will show you the result as "The conclusion based on the viewpoint of education", if you need.
- (3) Finally, I will propose to you subjects considering comprehensively the results obtained at stage (1) and (2). And also you may watch the sketch drawing of the subject, if you need.

Also, I prepare educational functions such as the WHY function and the HOW function. Use the WHY function when you would like to know why such a question was asked, and use the HOW function when you would like to know how the conclusion was obtained. So you are able to comprehend my thought and are able to analyze the difference in thinking processes between you and I, through a conversation with me. I would like to suggest that you should try to use these functions.

Then, push the F10 key and advance to the next frame, please.

(5) Game

(6) Others".

In this case, (2) is chosen.

④ The system asks whether the user's room is necessary to be tidied up or not, then choose "necessary".

⑤ Choose (2) for the question; (1) product for practical use, (2) decorative product.

⑥ Reply "home" for the question "home/lodging".

⑦ At this stage, the system asks whether "The conclusion based on your

personal motive" should be displayed or not. When "indication" is chosen, the output frame is displayed as shown in Photo 1-4-2. In this way, the product that was suggested on the basis of a personal motive is displayed.

⑧ The system asks the question about the cost required to produce, then answer "from 2000 yen to 4000 yen".

⑨ Subsequently, the question "I want to use (1) plain, flat cut boards, (2) square columns, mainly" is posed, then answer (1).

⑩ "Do you use a machine for woodworking?" is questioned, then reply "yes".

⑪ At this stage, the system asks whether "The conclusion based on the viewpoint of education" is needed to display or not. Therefore, the output frame is displayed as shown in Photo 1-4-3, if "indication" is chosen. In this way, the user finds products in which knowledge obtained through "Woodworking I" and "Laboratory in Engineering I" is reflected. The bookcase #9 and the bookcase #10 should also be the subject in addition to these 4 subjects shown in



Photo 1-4-1

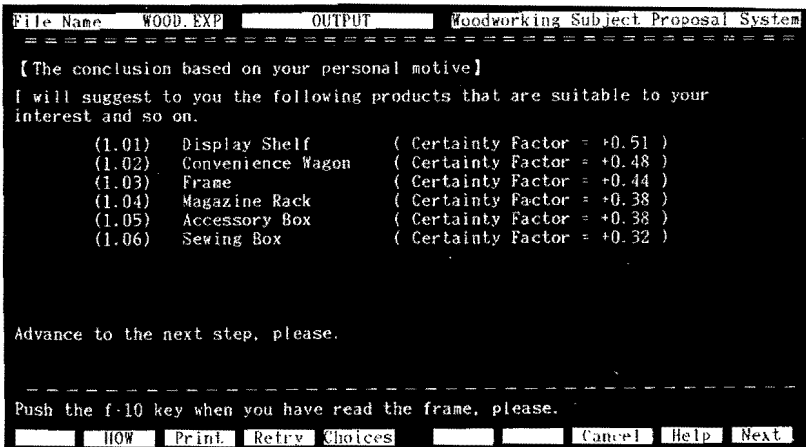


Photo 1-4-2

Photo 1-4-3. However, the value of the Certainty Factor* of these bookcases is 0.21, so these products are eliminated from the recommendation. This is because that the minimum value of the Certainty Factor is set up with 0.4 in this system.

⑫ "The comprehensive conclusion" is displayed as shown in Photo 1-4-4, after "The conclusion based on your personal motive" and "The conclusion based on the viewpoint of education" were obtained through stages mentioned above. At this stage, meta-knowledge (meta-rules) is used to control knowledge (rules).

⑬ Finally, the system asks whether the output frame of the sketch drawing of the proposed subject is required or not, then answer "yes".

⑭ As a result, the sketch drawing shown in Photo 1-4-5 is displayed as an example.

Through a conversation with the system, users are able to learn why such a question was asked at each stage ②~⑥ and ⑧~⑩ by using the WHY function and through what kind of process the conclusion was led at each stage ⑦, ⑪ and ⑫ by using the HOW function. Therefore, users are able to acquire the expert's thought, are able to review the contents of study items that were related to the subject and are able to find the difference in thinking processes between the user and the expert.

The WHY frame is displayed as shown in Photo 1-4-6, when a user tries to learn why the system asked the question shown in Photo 1-4-1 by using the WHY function** as an example. According to Photo 1-4-6, the user finds that making a decision about "The product that you want to produce is < choices >." is necessary for deciding "The interim conclusion (the relation between the interest and the product) < choices >". In other words, the user finds that the system requires to recognize whether the product which the user wants to produce concerns his/her interest or not, when the system infers from rule #1 (the system examines whether the rule is effective or not, in the order of rule number from #1). Furthermore, by the repetition of this procedure, the user is able to comprehend that deciding "The interim conclusion (the relation between the interest and the product) < choices >" is necessary for deciding "I will suggest to you the following products that are suitable to your interest and so on < choices >." and that deciding this rule is necessary for deciding "Comprehensively, the following products are suggested < choices >." (goal).

The HOW frame is displayed as shown in Photo 1-4-7, when the user tried to know how the display shelf (see Photo 1-4-4) was proposed as a subject by

* The content of the fact which we always experience is so ambiguous that the Certainty Factor is able to be added to a rule by using the value from -1.0 (complete negation) to 1.0 (complete affirmation) to express the certainty

** Execute by pushing the f-1 key.

```

File Name  WOOD.EXP  OUTPUT  Woodworking Subject Proposal System
=====
【The conclusion based on the viewpoint of education】
I will suggest to you the following products judging from the viewpoint of
education.

(1.01)  Display Shelf      ( Certainty Factor = +0.57 )
(1.02)  Convenience Wagon ( Certainty Factor = +0.54 )
(1.03)  Speaker Box       ( Certainty Factor = +0.51 )
(1.04)  Bookcase II       ( Certainty Factor = +0.43 )

Advance to the next step, please.

-----
Push the f-10 key when you have read the frame, please.
HOW  Print  Retrv  Choices  Cancel  Help  Next

```

Photo 1-4-3

```

File Name  WOOD.EXP  OUTPUT  Woodworking Subject Proposal System
=====
【The comprehensive conclusion】
It is my great pleasure to show you the subjects and their summaries.
I hope you are willing to accept my proposal.

(1.01)  Comprehensively, the following products are suggested.
        Display Shelf      ( Certainty Fator = +0.51 )
        【A cabinet-type display shelf to decorate a wall.】
        The following conditions are recommended.
        The staggered shelf.
        Joint      : box joint, boused joint and mitred corner.
        Front edge : moulding.

(1.02)  Comprehensively, the following products are suggested.
        Convenience Wagon  ( Certainty Fator = +0.48 )
        【A convenience wagon to arrange tools etc. at work.】

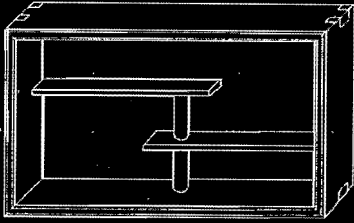
----- ( continued ) -----
Push the f-10 key when you have read the frame, please.
HOW  Print  Retrv  Choices  Cancel  Help  Next

```

Photo 1-4-4

```

File Name  WOOD.EXP  OUTPUT  Woodworking Subject Proposal System
=====
【The Sketch Drawing】
I will show you an example.



-----
Push the f-10 key when you have read the frame, please.
      Print  Retrv  Choices  Cancel  Help  Next

```

Photo 1-4-5

using the HOW function*. According to Photo 1-4-7, it is found that rule #120 (meta-rule) was applied. Furthermore, when the user tries to know how the 1st assumption of rule #120 was applied for instance, he/she finds rule #33 (Photo 1-4-8) was applied, and as for the 1st assumption of rule #33 for instance, he/she finds rule #2 (Photo 1-4-9) was applied. Finally, the system displays that the user's interest, that is the field of art/craftwork, was given by him/her in case of the 2nd assumption in rule #2, and the execution of the HOW function ends. Also, when the user tries to know how the 2nd assumption of rule #120 (see Photo 1-4-7) was applied for instance, he/she finds rule #99 (Photo 1-4-10) was applied, and similarly, when the user tries to know how the 2nd assumption of rule #99 was applied, he/she finds that 2 rules, rule #72 (Photo 1-4-11) and rule #81 (Photo 1-4-12) were applied**. Furthermore, as for the assumption of rule #72 (see Photo 1-4-11), the user finds that rule #66 (Photo 1-4-13) was applied. Finally, the system displays; "It was given by you that you want to use plain, flat cut boards, mainly." in the case of the assumption of rule #81(see Photo 1-4-12), and "It was given by you that the cost for the product is from 2000 yen to 4000 yen per student." in the case of the assumption of rule #66 (see Photo 1-4-13), then the execution of the HOW function ends.

Thus the user is able to comprehend how products were proposed as subjects by tracing the progress of the inference under various conditions and also is able to comprehend the changes of the Certainty Factor.

1-4-4 Evaluation of the system and Discussion

35 students who are studying or have studied "Practice in Woodworking" made good use of this system and filled out questionnaires on the following scale labels (evaluation items). The evaluation by 5 point scale (evaluation index; -2, -1, 0, 1, 2) ranging from inferior to superior, was adopted (Figure 1-4-2).

① The feelings of satisfaction of one's own taste represented by one's interest etc.: Whether the products (usually, plural) that were suggested as "The conclusion based on your personal motive" are agreeable to one's interest the practicality of the product and one's life style or not.

② The feelings of the attainment of one's intention based on the viewpoint of education: Whether knowledge obtained through "Woodworking I" and "Laboratory in Engineering I (a field concerned in Woodworking I)" is reflected in the product or not.

③ The value as a consultation system: Whether the system is valuable as a consultant or not.

④ The comprehension of the intention of the question (the WHY function): How well the user is able to comprehend the expert's thought. In other words,

* Execute by pushing the f+2 key.

** Note that the Certainty Factor is indicated by the negative (minus) sign.

```

File Name  WOOD.EXP  [ ]  WH1 (1)  Woodworking Subject Proposal System
=====
Making a decision about
"The product that you want to produce is <Choices> ."
is necessary for deciding
"The interim conclusion (the relation between the interest and the product)
<Choices> ."
This is decided by the following rule.

Rule 1
If
  1) The product that you want to produce is concerning your interest.
      ( +0.20 = Certainty Factor ( = +1.00 ) )
and 2) The field of your interest is Music.
      ( +0.20 = Certainty Factor ( = +1.00 ) )
then
  3) The interim conclusion (the relation between the interest and the
      product) Music. ( Certainty Factor = +0.80 )
-----
Return to the previous frame : Push the f-8 key, please.
Return to the original frame : Push the f-10 key, please.
[ ]  [ ]  Print  Rule  [ ]  [ ]  [ ]  Cancel  Help  Orig. F

```

Photo 1-4-6

```

File Name  WOOD.EXP  [ ]  H05 (1)  Woodworking Subject Proposal System
=====
"Comprehensively, the following products are suggested. Display Shelf"
( Certainty Factor = +0.51 )
was led by applying the following rule.
The Certainty Factor becomes +0.51 by applying the following rule.

Rule 120
If
  1) I will suggest to you the following products that are suitable to your
      interest and so on. Display Shelf ( +0.2 (= Certainty Factor ( = +1.00 ) )
and 2) I will suggest to you the following products judging from the viewpoint
      of education. Display Shelf ( +0.2 (= Certainty Factor ( = +1.00 ) )
then
  3) Comprehensively, the following products are suggested. Display Shelf
      ( Certainty Factor = +1.00 )
-----
Return to the previous frame : Push the f-8 key, please.
Return to the original frame : Push the f-10 key, please.
[ ]  [ ]  Print  Rule  [ ]  [ ]  [ ]  Cancel  Help  Orig. F

```

Photo 1-4-7

```

File Name  WOOD.EXP  [ ]  H05 (2)  Woodworking Subject Proposal System
=====
"I will suggest to you the following products that are suitable to your interest
and so on. Display Shelf" ( Certainty Factor = +0.51 )
was led by applying the following rule.
The Certainty Factor becomes +0.51 by applying the following rule.

Rule 33
If
  1) The interim conclusion (the relation between the interest and the
      product) Art/Craftwork. ( +0.20 (= Certainty Factor ( = +1.00 ) )
and 2) The interim conclusion (the relation between your living environment and
      wood product) Others, Home. ( +0.20 (= Certainty Factor ( = +1.00 ) ) or
  3) The interim conclusion (the relation between your living environment and
      wood product) Others, Lodging. ( +0.20 (= Certainty Factor ( = +1.00 ) )
then
  4) I will suggest to you the following products that are suitable to your
      interest and so on. Display Shelf ( Certainty Factor = +0.80 )
-----
( continued ) -----
Return to the previous frame : Push the f-8 key, please.
Return to the original frame : Push the f-10 key, please.
[ ]  [ ]  Print  Rule  [ ]  [ ]  [ ]  Cancel  Help  Orig. F

```

Photo 1-4-8


```

File Name  GOOD.EXP  How 121  Woodworking Subject Proposal System
=====
"The interim conclusion (the relation between the interest and the product) Art/
Craftwork." ( Certainty Factor = +0.80 )
was led by the following rule.
The Certainty Factor becomes +0.80 by applying the following rule.
Rule 2
If
  1) The product that you want to produce is concerning your interest.
      ( +0.20 <= Certainty Factor <= +1.00 )
and 2) The field of your interest is Art/Craftwork.
      ( +0.20 <= Certainty Factor <= +1.00 )
then
  3) The interim conclusion (the relation between the interest and the
product) Art/Craftwork. ( Certainty Factor = +0.80 )
-----
Return to the previous frame : Push the f-8 key, please.
Return to the original frame : Push the f-10 key, please.
How  Print  Rule  Cancel  Help  Orig. F

```

Photo 1-4-9

```

File Name  GOOD.EXP  How 121  Woodworking Subject Proposal System
=====
"I will suggest to you the following products judging from the viewpoint of
education. Display Shelf" ( Certainty Factor = +0.57 )
was led by applying the following rule.
The Certainty Factor becomes +0.57 by applying the following rule.
Rule 99
If
  1) I want to adopt more than 3 types of joints.
      ( +0.50 <= Certainty Factor <= +0.90 )
and 2) I do NOT want to use the hollow-chisel mortiser.
      ( +0.30 <= Certainty Factor <= +0.70 )
and 3) I want to use the jig saw.
      ( +0.50 <= Certainty Factor <= +0.90 )
then
  4) I will suggest to you the following products judging from the viewpoint
of education. Display Shelf ( Certainty Factor = +0.90 )
-----
Return to the previous frame : Push the f-8 key, please.
Return to the original frame : Push the f-10 key, please.
How  Print  Rule  Cancel  Help  Orig. F

```

Photo 1-4-10

```

File Name  GOOD.EXP  How 121  Woodworking Subject Proposal System
=====
"I want to use the hollow-chisel mortiser." ( Certainty Factor = +0.64 )
was led by applying two rules.
I will show you the 1st one.
The Certainty Factor becomes +0.72 by applying the following rule.
Rule 72
If
  1) I want to spend time from 20 hours to 30 hours.
      ( +0.50 <= Certainty Factor <= +1.00 )
then
  2) I want to use the hollow-chisel mortiser.
      ( Certainty Factor = +0.90 )
-----
↑ : Previous Rule      ↓ : Next Rule
Return to the previous frame : Push the f-8 key, please.
Return to the original frame : Push the f-10 key, please.
How  Print  Rule  Cancel  Help  Orig. F

```

Photo 1-4-11

```

File Name  WOOD.EXP  How (5)  Woodworking Subject Proposal System
=====
"I want to use the hollow-chisel mortiser." ( Certainty Factor = -0.64 )
was led by applying two rules.
I will show you the 2nd one.
The Certainty Factor becomes -0.64 by applying the following rule.
Rule 81
If
1) I want to use plain, flat cut boards, mainly.
   ( +0.50 <= Certainty Factor <= +1.00 )
then
2) I do NOT want to use the hollow-chisel mortiser.
   ( Certainty Factor = +0.90 )
3) I do NOT want to use the wood-turning lathe.
   ( Certainty Factor = +0.90 )
-----
↑ : Previous Rule      ↓ : Next Rule
Return to the previous frame : Push the f-8 key, please.
Return to the original frame : Push the f-10 key, please.
HOW  Print  Rule  Cancel  Help  Orig. F

```

Photo 1-4-12

```

File Name  WOOD.EXP  How (1)  Woodworking Subject Proposal System
=====
"I want to spend time from 20 hours to 30 hours." ( Certainty Factor = +0.80 )
was led by applying the following rule.
The Certainty Factor becomes +0.80 by applying the following rule.
Rule 66
If
1) I want to spend money from 2000 yen to 4000 yen.
   ( +0.5 <= Certainty Factor <= +1.00 )
then
2) I want to spend time from 20 hours to 30 hours.
   ( Certainty Factor = +0.80 )
-----
Return to the previous frame : Push the f-8 key, please.
Return to the original frame : Push the f-10 key, please.
HOW  Print  Rule  Cancel  Help  Orig. F

```

Photo 1-4-13

how well the user is able to comprehend the points which the expert thinks important.

⑤ The comprehension of the expert's thinking process (the HOW function): How well the user is able to analyze the difference of the thinking process between the expert and the user by tracing back the process.

⑥ The review of study items: How well the user is able to review the content that studied in "Woodworking I" and "Laboratory in Engineering I (a field concerned in Woodworking I)" through the explanation about the proposed subject.

⑦ The value as a trainer: How well the application, the development and the settlement of knowledge regarding Woodworking are able to be expected owing to the user's ability to experience various situations easily by changing the interest variously for example and how well the proposed subjects,

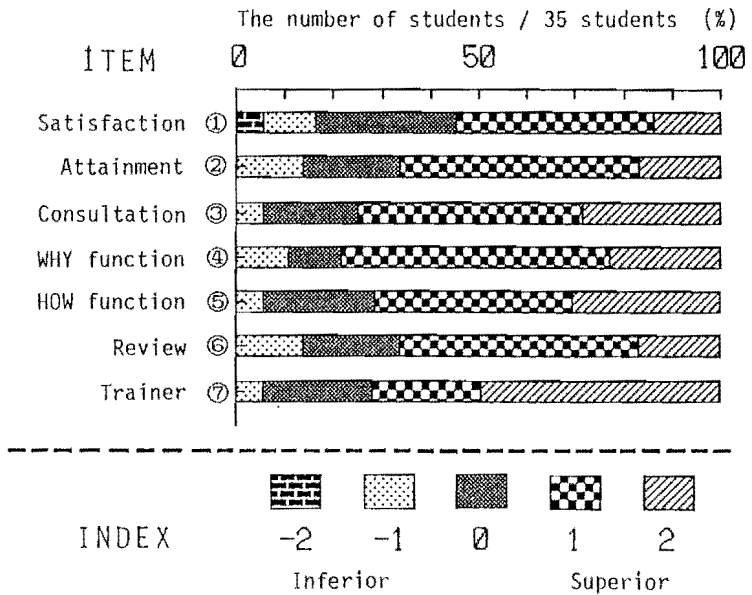


Figure 1-4-2 Results of evaluation

the thinking process and so on for each situation are able to be learn.

Figure 1-4-2 shows that more than 55% of the students evaluated this system superior (the evaluation index 1 and 2 in the figure) on every evaluation item. This result implies that the expert system plays an important role in computer aided education. In regard to each of 4 items such as "③ the value as a consultaion system", "④ the WHY function", "⑤ the HOW function" and "⑦ the value as a trainer", it should be especially noticed that more than 70% of the students evaluated this system superior. In addition, the remarkable difference between "the value as a trainer" and another 3 items is observed as follows. As to "the value as a trainer", about 50% of the students showed a highly positive attitude scored 2 and this percentage is above 2 times as much as that of the index 1. In the case of another 3 items, the percentage of the index 2 is less than that of the index 1. From these results, it should be emphasized that "the value as a trainer" is in many ways superior. On the other hand, we must pay attention to the fact that there are students who evaluated the system inferior (the index -1 and -2) on every item, though the percentage is less than 15%. This result suggest that we must recognize the limit in application of the expert system. As a result, it is considered that primarily individualized and high quality education will be expected to introduce the expert system because the instructor is thereby able to spend appropriately more time on individual education owing to the fact that he/she is not needed to guide each students conventionally.

1-4-5 Conclusion

An expert system was constructed by using an expert shell (a tool to construct an expert system) in this paper. The system is able to show the conclusion (the practice subject) with its sketch drawing and prepares the certainty based on the expert's experience in "Practice in Woodworking". Through a conversation with the system, a user is able to ask the intention of the question and is able to learn what kind of rule was applied in the process of inference. As a result, it is admitted that the system is especially valuable as a trainer. Furthermore, it is considered that the utility value as a trainer will be expected similarly in other educational fields such as the adjustment of a gasoline engine (a relation between knocking and a cause, for example) or the malfunction diagnosis in an electric circuit (a relation between a symptom and a cause) and so on.

Reference

- [1] A special issue "An expert system" (in Japanese) (1986) ASCII, 10 (9): 100-112.
- [2] A. I. SOFT (1986) Guide to an expert system (in Japanese).
- [3] Hashimoto T., Izumoto Y., and Ojika T. (1986) Expert System Supporting Determination of Subject of Woodworking (I) (in Japanese with English resume) Memoirs of Osaka Kyoiku University, Ser. III, 35: 203-216
- [4] Hashimoto T., Izumoto Y., Ojika T., Saito H., and Teraishi M. (1986) Expert System Supporting Determination of Subject of Woodworking (II) (in Japanese with English resume) Memoirs of Osaka Kyoiku University, Ser. III, 36: 47-55

1-5 おわりに

まず、「コースウェアによる学習」について考察するため、コースウェアの企画と構成および実施と評価ならびに改善という面から極めて良い対象と考えられる材料力学における平等強さのはりの場合を取り上げ、まずコースウェアを開発し、ついで因子分析のための評定指標の策定を行なった。そしてこれらの指標に基づき、アンケート調査した結果を因子分析したところ、学習者がコースウェアに対し潜在的に持っている評価因子は4つあり、それらは「受け入れ易さ」、「見かけの良さ」、「ヒューマンインタフェイス」および「学習の流れ」であることが明らかになった。したがって、コースウェアの設計に際しては、これらの因子を設計規範とた十分な配慮が大切であることを明らかにした。

ついで、「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」について考察した結果、グラフィックス・シミュレーションは、実物模型を使って学習する場合に比べ、部品の名称を学習するにはそれほど有益ではないが、時間的に変動する現象を学習するには非常に効果的な教具であることが事後テストの成績から認められるとともに、学習内容の理解度に対する生徒自身の自己評価も高いことがわか

った。さらに、アンケート調査の結果を因子分析したところ、グラフィックス・シミュレーションにより学習した生徒たちは、教師の意図した学習目標を的確に捉えており、とくにこの点で優れた教具であること、またシミュレーション・ソフトウェアの設計においては、生徒たちが抱く情緒的な要素を十分に考慮する必要があることなども明らかになった。

最後に、エキスパート・システムはコンピュータ援用学習において1つの重要な役割を果たすことを、「木材加工学実習における課題決定」の場合について実証した。ここで開発したシステムは、専門家（教師）の知識のみならず課題制作者（学生）の個人的な趣味なども十分に反映された推奨課題（結論）を提案でき、かつ製品の構想図なども表示することによって課題の具体的なイメージを把握し易いように開発されている。そして7つの項目について評価したところ、十分に高い評価が得られ、とくに教育用シミュレータとしての価値が非常に優れていることが明白になった。すなわち、システムとの対話を通して、その質問が「なぜ」されたのか、あるいは「如何なるプロセスで」その結論が導き出されたのかを知ることにより、専門家の思考過程の理解や専門家との考え方の相違点の分析、さらに思考過程の理解などに於て必要となる学習事項の復習などが十分に期待できることが示唆され、この意味において非常に意義ある教育手段であることが示された。