

# パソコンのグラフィック機能の応用による化学教育

服部 憲治郎\* 高橋 圭子\*\*

## Chemical Education Applying Graphic Function of Personal Computers

Kenjiro HATTORI and Keiko TAKAHASHI

A study of chemical education applying the graphic function of personal computers was carried out in various ways for the 120 students who were major in the Applied Chemistry in this Institute. The software program of molecular structure displaying a molecular shape accompanying rotation, partial rotation, enlargement, reduction, and the change of the substituents. The students used these programs in the Exercise for the Organic Stereochemistry. For this CAI course, 63% of the student recognized perfectly the operation of the soft- and hardware and 83% of them was stimulated and interested in the Stereochemistry. Another commercially available CAI softwares were tried to use including in the field such as "distillation" and "periodical table". PLATO CAI systems and BASIC programming were also adopted in the Exercise. The problems of the present CAI in the Tokyo Institute of Polytechnics, are discussed and the future CAI systems for this Institute are suggested.

### I. 序

本研究開始の背景は次の1)~3)の要因による。

1) 本格的な情報化時代の到来とともに教育界におけるそれへの対応も急務である。臨時教育審議会の第3次答申「情報化への対応」<sup>1)</sup> およびこれを受けた文部省の方針の具体化案<sup>2)</sup>、社会教育審議会教育メディア分科会から「教育におけるマイクロコンピュータの利用について」<sup>3)</sup> が打出され、教育課程審議会から「情報化社会に対応すべくコンピュータを活用した情報学カリキュラム」<sup>4)</sup> が提唱され、たとえば具体的な初中等教育課程カリキュラムとして表Iのような案が京都教育大・西之園により提出されている<sup>5)</sup>。先駆的なCAI (Computer Assisted Instruction) の実験教育の

成功例も数多く報告されつつある<sup>6)</sup>。近い将来、コンピュータについて一通りの知識、技能について教育された学生を大学教育課程で迎える訳で、これに対するわれわれの対応として、教育目標の新たな設定や教育方法の改善が必要である。

2) 本学の教育課題として工学基礎科目において学生個別に習熟度を上げるべく演習、実験教育を充実させる必要性があった。いわゆるフレッシュマン教育の充実が数年来の懸案である。教員の熟練した指導法や根気よく説明を繰り返す努力が切望されている。そこで高レベルで確立した教育技術をなるべく保存し、効率よく再現するための教具としてしての機器を活用するためにCAIやその他メディアの有効利用による教育方法が提案できる。パソコン利用教育の場合、学生個々の立場を分析した上で、適切なソフトウェアの製作、利用がなされるならば有効である。CAIが学力向

\*工業化学科 助教授 \*\*講師  
昭和 62 年 9 月 28 日受理

表 1 情報学カリキュラムの領域<sup>4)</sup>

教育区分	領域	主として関連する教科	主な概念・能力	
情報教育	情報学教育	情報科学基礎	理科, 算数・数学	情報量, 記憶, アルゴリズム連続量と離散量, etc.
		情報技術基礎(処理)	技術, 家庭科, 職業科理科	コンピュータ, ファイル, キー操作, 通信 etc.
	情報社会教育	情報社会理解	社会, 国語, 外国語	組織と情報, 世界経済と情報 etc.
		情報文化	美術, 音楽, 国語, 外国語	コンピュータ・グラフィックス etc.
		情報社会倫理	道徳, 社会	人権, 著作権, プライバシー犯罪 etc.

上に有効なことはその必要経費まで考慮に入れた評価で Levin らにより確認されている<sup>7,8)</sup>。小学生レベルの学力増加は、上級生が下級生に定期的にチュータリングすることが最も効果的でありついで CAI がよく、大人によるチュータリング、単純な授業時間の増加、学級規模の縮小は、経費効果上有効でない。パソコンというハードウェアそのものは決して教員の代替となりえないが、周到に用意された教材ソフトウェアおよびその“ユーザウェア”ともいべき学習管理によって、個別に分析的に学生を把握したのち学習を実行させ、学生の対応に応じて評価して KR (Knowledge of Result) を返すこともできる。教育工学の見地から学生の立場と教材の分析を適確に対応させることが肝要である<sup>9~11)</sup>。要は学生一人一人が興味を持ち学習できる教具としてのパソコン利用が望まれる。

3) これからの工学教育として単に現在の工学知識技能に堪能であることだけでなく、新しい技術成果を産む創造性マインドを個々の学生に植えつけて、なるべく多く種々の角度から創造を実践させることが必要である。一定のレベルでコンピュータを操ることのできる学生にはこうした知的ひらめきの展開を行えるツールとしてコンピュータ利用教育を行う積極的な根拠がある。最近のパソコンは 16 ビット機が発売以来 5 年しか経過していないにも拘わらず、高速化、大容量化とともに低価格化して普及されるに至っている。漢字表示や高解像度カラー表示も可能となり、画像を利用した教育も容易となった。創造的な知的作業の 1 つが現象のイメージ的展開にあるのでグラフィック

表示による教育、とくに物理、化学的現象の本質理解や新しいイメージへの予測などに有効である。有機無機分子の構造表示や経時変化、実験のシミュレーションにより単純な現象の理解以上にイメージの拡張に利用できる<sup>12,13)</sup>。パソコンを反復練習の教具として役立てる以上に、こうした高機能教育機器を学生が自主的に自由に使いこなして、自ら発見の喜びを見出してゆく方向を定めることが、想像的かつ創造的教育の推進に CAI が役立つときである。

## II. 目的および期待される効果

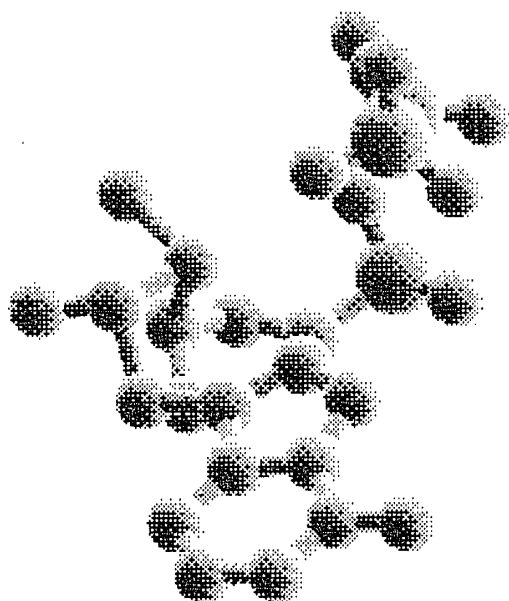
本研究の直接目的として期待したことは、1) 有機化合物の分子構造的イメージの理解と立体化学の基本知識の習熟 2) 実験シミュレーションによる原理、実験操作、安全の理解 3) 化学知識の習熟と練習 4) 初歩的コンピュータプログラミングの学習などである。こうした CAI 教育方式の開発、試行による波及効果として、次の項目が挙げられる。1) パソコンのグラフィック装置の活用により化学のみならず、グラフィック機能を活用する他の基礎科目の CAI 教育に応用できる。2) 大学のカリキュラムに即した包括的な教材ソフトウェアを順次整備してゆく方向を見出す。3) 学生の個別的理解度、習熟度を把握してフィードバックできる教材作成システムを確立する。4) CAI 方式と従来の教育方式との教育効果上の得失を比較し、検討して今後の教育方法の有効な指針を得る。

## III. 方法および結果

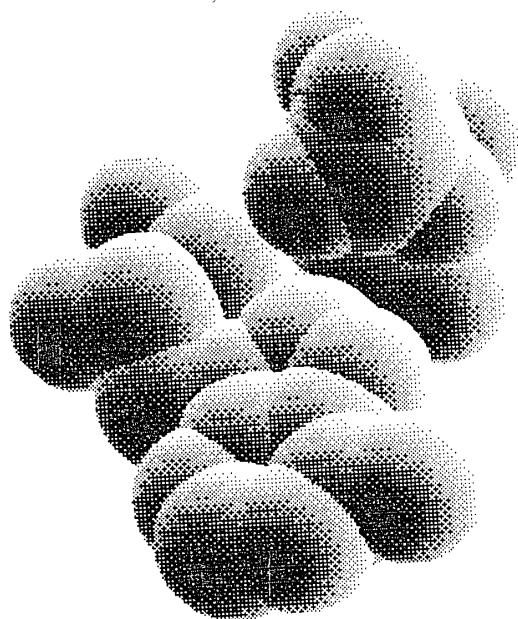
### 1. コンピュータグラフィックスの利用による

## 分子構造モデルの表示

分子構造の表示ソフトウェアとして徳島大・山本米雄による「分子の組み立て」<sup>14)</sup>(プログラム名: CAMD-1) およびこれに連動して使用可能な姫路工大・中野英彦「分子の空間充填模型表示」<sup>15)</sup>(プログラム名: MODRAST)を用いた。これらのプログラムを用いて分子の表示, 回転, 部分回転, 拡大, 縮小, 置換基の交換が可能である。X線解析から原子配置の  $x, y, z$  座標が得られているなら



a) 球棒モデル



b) 空間充填モデル

図 1 ATP 分子の陰影つき分子構造表示

ば, 新規分子のデータ入力も可能であり総原子数 2,700, 分子の総結合数 4,000 まで表示可能である。BASIC などコンピュータ言語をまったく知らなくても対話形式ではほぼ思い通りの分子表示ができ, かつそれを紙面へプリントもできる。数値的な分子情報も表示できる。したがって通常の有機化学の分子の範囲で立体構造を組み立て, 種々の立体化学的考察が可能である。さらに空間充填表示「MODRAST」により陰影つきに表示され分子の立体感が示される。これにより学習者はかなりの臨場感のある分子構造を観察できる。実際の表示例をアデノシン三リン酸 (ATP) 分子で図 1 に a) 球棒モデル, b) 空間充填モデルとして示した。ディスプレイ上では各原子固有のカラーで示され一層鮮明になる。学習内容, 学生の反応については後述する。

## 2. 既製 CAI 教材による化学学習

## 2-1) メディア社「CAL システム」の利用

大学化学の基礎教育に適した唯一の日本語ソフトウェアが最近メディア社から, 日本化学会の監

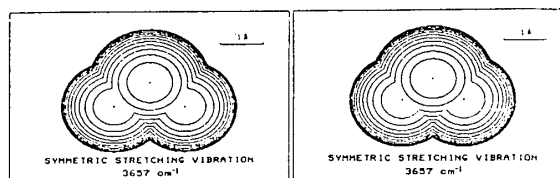


図 2 分子振動—水分子の対称伸縮振動

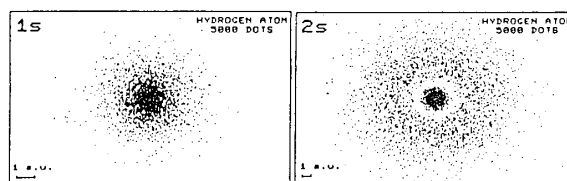


図 3 電子雲—水素原子の 1s, 2s 軌道

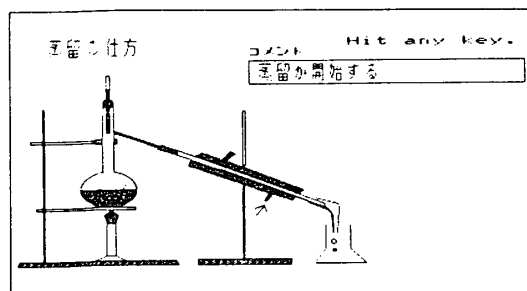


図 4 蒸留

修をうけて市販された。これらの教材はすでに公表されてきた化学的な課題について各論的に作成されたプログラムを発展させ<sup>16-21)</sup>，集大成し，カリキュラムコースとしている。いずれも CAI の特性を生かして工夫，洗練された良心的なプログラムである。コンピュータ・グラフィックスを用いた画像表示により，図2のように水分子の結合の対称伸縮を動きのある分子振動として示したり，図3のように水素原子の s, p, d 各軌道の電子雲モデルを5,000点で順次，確率的に存在を示す。これらは大教室での大画面演示にも適する。画面表示により実験シミュレーション型の蒸留操作や電子の発見についての CAI も作成されている。図4に示すように実験操作手順に従って画面が変化し，学習者に最も人気の高い教材であった。演習問題を中心とした周期表や元素名，元素記号の教材プログラムも利用した。誤答の場合には反復して解答を試みるようになっており最後に正解率を表示する。こうしたプログラムが整備され大学化学課程全体に網羅され，演習ないし実験シミュレーションに利用ができれば福音である。

## 2-2) PLATO システム<sup>22)</sup>

以前の PLATO システムはアメリカで約 20 年の歴史をもちイリノイ大学と CDC 社のネットワークで全米 4,000 台以上の端末をもち各端末は中央計算機と結ばれた大規模 CAI システムであった。教材のプログラムもほとんどの教科にわたり，合計 10,000 時間以上の内容が準備されている。教材の数が多いのみならず，目的に応じて個別学習様式や練習演習様式や問題解決様式などの CAI のタイプを採用して優れた教材を作りあげている。長時間かけて練りあげられているので単なるプログラム学習ではなく，学習者の解答に応じてきめ細かく分岐している。また図形グラフィックス，KR を効果的にとり入れ，学生が興味をもって学習できる工夫が随所になされている。現在最高水準の CAI システムとして，今後の日本の教育の CAI 化の範とすべきものである。近年のパソコンの普及とともに各パソコンで独立して使用できるディスクプログラム教材が市販され，日本 CDC 社で PC 9801 版に移植した「CHEMISTRY 1, 2」(英語版)が供された。この内容を表2および

表 2 (PLATO, CHEMISTRY-1) CAI コースウェアの内容

A	A1 計量系	1.はじめに 2.計量単位 3.温度の換算 4.まとめ	C	C2 原子の構造	1.はじめに 2.原子構造 3.記号 4.練習問題 5.まとめ
	A2 測定の不確定性	1.はじめに 2.正確さと精度 3.有効数字 4.計算での有効数字 5.まとめ		C3 質量と相対質量	1.はじめに 2.原子量 3.化学的原子量 4.分子量 5.質量単位の換算 6.まとめ
	A3 次元解析	1.はじめに 2.次元と単位 3.密度の関係 4.単位の換算 5.単位換算の練習 6.まとめ		D	D1 化学の命名法
B	B1 物質の状態	1.はじめに 2.ろ過 3.蒸留 4.クロマトグラフィー 5.まとめ	D2 モル		1.はじめに 2.モル 3.モル地図 4.問題 5.まとめ
	B2 混合物の分類		D3 実験式と分子式 (I)		1.はじめに 2.式 3.モル量 4.質量パーセント 5.練習問題 6.まとめ
C	C1 原子論	1.はじめに 2.化学の法則 3.物質の状態 4.まとめ			

D	D4 実験式と分子式 (Ⅱ)	1.はじめに 2.実験式 3.分子式 4.練習問題 5.まとめ	F	F3 理想気体の法則 (Ⅰ)	1.はじめに 2.理想気体の法則の導出 3.理想気体の定数 4. $PV=nRT$ を用いる問題 5.練習問題 6.まとめ
	D5 化学方程式のバランス	1.はじめに 2.化学方程式 3.式のバランス 4.練習問題 5.まとめ		F4 理想気体の法則 (Ⅱ)	1.はじめに 2.理想気体の密度 3.理想気体のモル質量 4.ダルトンの法則 5.まとめ
	D6 反応における質量の関係	1.はじめに 2.モル関係 3.練習問題 4.まとめ		F5 気体の分子運動論	1.はじめに 2.気体運動論の仮定 3.分子の速度分布 4.平均運動エネルギーにたいする気体温度の関係 5.グラハムの法則 6.まとめ
	D7 限界試薬	1.はじめに 2.限界試薬 3.実収量パーセント 4.練習問題 5.まとめ		G1 量子論への実験的基礎	
	D8 モル数	1.はじめに 2.体積とモル 3.調製と希釈 4.練習問題 5.まとめ		G2 水素原子のエネルギー軌道	1.はじめに 2.水素原子に対するボーア理論 3.線スペクトル 4.水素原子類のエネルギー 5.練習問題 6.まとめ
	D9 測定	1.はじめに 2.一般概念 3.モル数の決定 4.質量の決定 5.まとめ		G3 原子間の電子遷移	1.はじめに 2.物質波 3.不確定性原理 4.量子数 5.練習問題 6.まとめ
E	E1 ヘッスの法則	1.はじめに 2.エンタルピー 3.ヘッスの法則 4.練習問題 5.まとめ	G	G4 多電子原子	1.はじめに 2.電子の配置 3.簡便な表現 4.励起状態 5.単原子イオン 6.まとめ
	E2 生成熱	1.はじめに 2.生成でのエンタルピー変化 3.燃焼でのエンタルピー変化 4.練習問題 5.まとめ		G5 周期律	1.はじめに 2.価電子 3.価電子の配置 4.イオンの生成 5.まとめ
	E3 結合エネルギー	1.はじめに 2.結合エンタルピー 3.生成熱 4.練習問題 5.まとめ		G6 原子の性質の傾向	1.はじめに 2.原子半径の周期性 3.イオン化エネルギーと電子親和性 4.まとめ
	E4 カロリー計算	1.はじめに 2.熱容量 3.カロリー計算 4.反応熱 5.練習問題 6.まとめ		G7 ルイスの記号とオクテット則	1.はじめに 2.価電子 3.原子のルイス構造 4.イオンのルイス構造 5.まとめ
F	F1 ガスの性質	1.はじめに 2.ガスの体積 3.圧力の測定 4.圧力の単位 5.まとめ	H	H1 イオン結合	1.はじめに 2.単原子カチオンとアニオン 3.イオン間の吸引と反発 4.まとめ
	F2 P, V, T, n の相互の関係	1.はじめに 2.ボイルの関係 3.シャルルの関係 4.気体の新たな関係 5.練習問題 6.まとめ		H2 共有結合	1.はじめに 2.共有結合 3.多重結合 4.まとめ

H	H3 共鳴構造	1.はじめに 2.形式荷電 3.形式荷電概念の適用 4.共鳴 5.まとめ	I	I2 相平衡(II): 相ダイアグラム	1.はじめに 2.相ダイアグラムの解釈 3.相ダイアグラムの構成 4.まとめ
	H4 オクテット則の例外	1.はじめに 2.オクテット則の例外 3.練習問題 4.まとめ		I3 相平衡(III): エネルギー変化	1.はじめに 2.相変化の $\Delta H$ 3.加熱と冷却の $\Delta H$ 4.練習問題 5.まとめ
	H5 分子の姿の予測(I)	1.はじめに 2.分子のジオメトリー 3.孤立電子対と多重結合の効果 4.まとめ		I4 結晶性固体	1.はじめに 2.格子と単位セル 3.単純結晶構造 4.立方充填ジオメトリー 5.練習問題 6.まとめ
	H6 分子の姿の予測(II)			J	J1 濃度の表現
	H7 対称性と双極子モーメント	1.はじめに 2.分子の双極子モーメント 3.対称性理論 4.対称則 5.練習問題 6.まとめ	J3 溶解性と電解質溶液		1.はじめに 2.イオン化合物の溶解性 3.問題 4.電解質 5.まとめ
H8 混成	1.はじめに 2.シグマ結合とパイ結合 3.軌道の混成 4.束縛回転 5.まとめ	J4 正味のイオン方程式	1.はじめに 2.正味のイオン方程式の書き方 3.イオン方程式の生成物予測 4.練習問題 5.まとめ		
	H9 分子軌道	1.はじめに 2.分子軌道の形成 3.分子軌道エネルギーダイアグラム 4.結合の長さとの強さ 5.まとめ	J5 束一的性質	1.はじめに 2.束一的性質概観 3.モル質量の決定 4.強電解質 5.弱電解質 6.まとめ	
I	I1 相平衡(I): 相	1.はじめに 2.動的平衡 3.蒸気圧対温度 4.蒸気圧の計算 5.まとめ			

び表3に示した。「CHEMISTRY 1」ではA~J 10枚、「CHEMISTRY 2」ではA~H 8枚それぞれ1MBのフロッピーディスクに収められている膨大なものである。「CHEMISTRY 1」の内容は本学1年次の化学カリキュラムに対応し、「CHEMISTRY 2」の内容は2年次の化学カリキュラムに対応する。また教材学習の所要時間は少く見積っても通年1コマ分(1 $\frac{1}{2}$ 時間 $\times$ 30=45時間)以上と推定される。しかし英語版のためそのまま使用することができず、4年次学生および大学院生の演習用として活用している。

### 3. PLATO コースウェアの日本語移植化の試み

コースウェア「CHEMISTRY 1, 2」は本学で

使用するには質量ともに十分なカリキュラム体系をもち、学生が興味をもって学習できる工夫が随所にみられ、日本語移植化の手間を払って直訳し、使用に供する価値があると判断した。改訂を重ねれば、わが国の教育事情に適し汎用性の高いものに完成されうる。PLATO システムの詳細を我国でも使用可能とすることはCAI 推進の一助となる。移植化の作業手順は次のとおりである。

1) 各画面コピー 2) 和訳 3) レッソンのデザイン 4) 評価システムのデザイン 5) オーサリング(画面の日本語書き込み) 6) 編集 7) 用語、内容の監修、修正、8) 実地使用による検討、9) 外部公開。教材作成のためのソフトウェアとして同じく日本 CDC 社の PLATO システムの1つである

表 3 (PLATO, CHEMISTRY 2) CAI コースウェアの内容

教材	章	教材	章
A. 化学反応速度	A1. 反応速度 A2. 速度則 A3. 温度依存性と衝突論 A4. 機構と触媒作用	E. 自由エネルギー, エントロピー, 平衡	E1. 自発的過程と熱力学第二法則 E2. エントロピーと熱力学第三法則 E3. ギブスの自由エネルギー E4. 自由エネルギーと平衡定数
B. 気相平衡	B1. 平衡への速度論的アプローチ B2. 平衡定数 B3. 平衡計算 B4. ルシャトリエの原理	F. 電気化学	F1. 酸化-還元反応 F2. ボルタ電池 F3. ネルンストの式 F4. 電気分解とファラデーの法則
C. 酸と塩基	C1. 酸-塩基の概念 C2. 強酸, 強塩基と弱酸, 弱塩基 C3. pHの尺度 C4. 強酸, 強塩基の滴定 C5. ルイスの酸と塩基	G. 主な族の化学	G1. 主な族の元素: 概観, 第1部と第2部 G2. VII A族とVIII A族の元素: 第1部と第2部 G3. VIA族の元素 G4. VA族の元素 G5. IVA族とIIIA族の元素: 第1部, 炭素族と第2部 G6. IA族とIIA族の元素: アルカリ金属とアルカリ土類金属
D. 溶液平衡	D1. 平衡の型 D2. 弱酸, 弱塩基: 単純な計算 D3. 弱酸, 弱塩基: 複雑な平衡計算 D4. 緩衝溶液 D6. 溶解度積 D7. 錯体イオン平衡	H. 配位化学	H1. 遷移元素: 概観 H2. 命名法 H3. 構造と異性体 H4. 結晶場理論 H5. 磁場とスペクトル

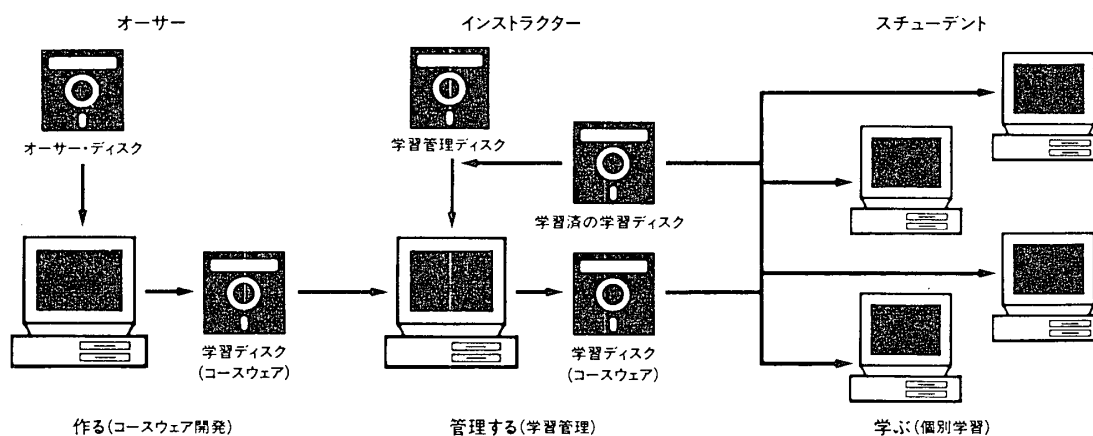


図 5 CAI システム

「ATM (Advanced Tutorial Model)」を用いた。「ATM」の機能は日本語文章入力の他に図形の表示, アニメーション, 分岐によるレッスンの流れの制御が可能である。画面の静止, コピー編集, 図形のライブラリー化, 質問形式についても二者択一, 多岐選択, 語一致, タッチ選択のいずれもできる。教材作成ソフトウェアの使用マニュアル<sup>23)</sup>の勉強会を教員に4年次学生をまじえて5回に分けて開き修得をはかった。しかし習熟にはさらに時間を要する。当初の移植化の対象として

「CHEMISTRY 1」(教材の「原子論」「原子の構造」「質量と相対質量」)に取り組んだ。現在のところ図形, 分岐をふくむ数十画面について作成が終了した。このコースウェアに対し今後とも忍耐強く長期にわたり移植作業を継続してゆく必要がある。また各学習者の演習の評価を把握するための学習管理システム (CMI) も利用してゆく必要がある。図5にその関係を示した。

#### 4. BASIC プログラミング教育

本学では現在のところ FORTRAN や PASCAL

など汎用言語のみが教育されているがパソコン用 BASIC プログラミングの言語学習は次の点で効果的であると川畑により提案されている<sup>24)</sup>。

- 1) 学生の自主的学習によりパソコンが活用される。
- 2) BASIC 言語ではグラフィックスが可能であり関数のグラフ表示やシミュレーション実験ができる。
- 3) アルゴリズムの理解により FORTRAN などの言語修得が容易となる。

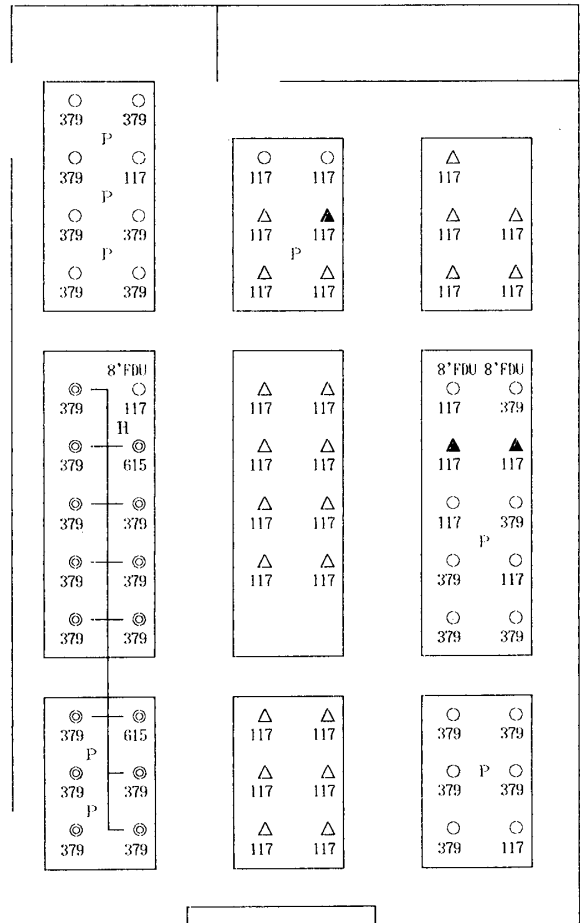
化学関連課題のデータ整理についても BASIC 言語を用いた例示が多く<sup>25~28)</sup> 実験科目や卒業研究、卒業演習などで学生が BASIC プログラムを活用する機会を増加することは有益である。このような観点から入門的なプログラミング学習について実施した。時間的制約から基本コマンドの理解と習熟のみを目的とした。このような BASIC プログラミング教育についても解説、演習、評価を備えた本格的な CAI プログラムが市販されており<sup>29~31)</sup>、将来導入の検討に値する。

5. 工業化学演習における CAI 実施例

1) 学習対象者 本学工業化学科2年次学生、週1回5週間、60名×2クラス、約120名の学生のうちこれまでパソコンに一度も触れたことのない学生が34%であった。しかし BASIC などの言語でプログラムを組んだことのある学生が20%、さらに高校でコンピュータ関係の実習を受けた学生が6%存在する。

2) ハードウェア 本学マイコン室の PC 9801 の機能種別を図6に示す。その機能レベルから A~C 3機種に大別される。

A) PC 9801 VM 系 (図6で◎印, 15台) 高解像度カラーディスプレイを備え、漢字表示ができる。5'2HD のフロッピーディスクユニットをもち、メモリー容量は379K バイトあり、通常の図形表示ソフトウェアに適しており、CAI の標準的な機能レベルである。このうちの1台を40MB の固定ディスクを備えた親機とし、12台を子機とするネットワーク (LAN) が完了している。このレベルでのみ PLATO CAI システムおよびメディア社 CAI プログラムが使用可であり、教材作成ソフトウェアも使用できる。将来、教材のパソコン間移動やクラス全体の学習管理がネットワーク



◎PC 9801 VM 高解像度、カラー、漢字表示 5'2HD FDU  
 ○PC 9801 E 高解像度、カラー、漢字表示 5'2D FDU  
 ▲PC 9801 高解像度、白黒、漢字非表示 5'2D FDU  
 △PC 9801 低解像度、白黒、漢字非表示 5'2D FDU  
 P: プリンター、H: 固定ディスク (40MB)、数字はメモリー容量 (KB)

図6 本学マイコン室のハードウェア現況 (1987年9月現在)

を通じて可能である。すでに導入され、準備された PLATO LAN 用のソフトウェア体系を図7に示す。

B) PC 9801 E 系 (図6で○印 25台) 高解像度、カラーディスプレイを備え、漢字表示ができる。しかし 5'2D (0.3MB) フロッピーディスクユニットでメモリー容量は379KB である。旧式の5'2D フロッピーディスクでは使用できるソフトウェアの種類は限定される。この機種で主に分子構造モデルの表示 CAI を行った。

C) PC 9801 系 (図6で△および▲, 25台) ほとんどが低解像度ディスプレイで白黒、漢字表示はできず 5'2D (0.3MB) フロッピーディスクユニットでメモリー容量は117KB である。この



MS-DOS 3.1 オペレーティングシステム	
MS-NETWORK	PLATO クラスター コントロール システム
PLATO 教材作成 システム (ATM)	PLATO 学習管理 システム (CMI)
PLATO 学習教材 (コースウェア)	

図 7 PLATO クラスターネットワークシステム (LAN) における各ソフトウェアの関係

機種は通常の CAI に適さないがプログラミング学習には充分適しているので、初歩的な BASIC プログラミングに用いた。

学生 60 名を 5 グループに分け、A 機種を用いてメディア社 CAI プログラムを 1 週、B 機種を用いて分子構造モデル表示 CAI を 2 週、C 機種を用いて BASIC プログラミングを 2 週行った。この他、各学生の自習時間を 3 週、別に設定した。

### 3) 学習課題

A) 次の CAI 学習事項の要点をメモ書きして提出せよ。

- 「周期表」……元素の周期性を示す物性を示せ。
- 「元素名、元素記号の演習」……上級、英語版で 80% 以上の正解をせよ。
- 「電子の発見」「蒸留」……重要点をノートせよ。
- 「電子雲」「分子振動」……参考。

B-1) a) 「CAMD-1」のマニュアルを参照し

て習熟せよ。

b) ethane を表示せよ。ethanol に change せよ。回転、縮小、拡大をディスプレイ上で行え。

c) *n*-butane を表示し C-C 軸を回転し、anti および *ganche* の conformation を明示せよ。

d) glycine から D- および L-alanine に change せよ。

e) cyclohexane から axial 位に水酸基を置換せよ。equatorial 位ではどうか。

B-2) a) 上の課題 c)~e) のいずれかひとつを print して提出せよ。

b) 「CAMD-1」と「MODRAST」を連動させて、自問自答し、結果をプリントして提出せよ。

C-1) 理想体重を求めるプログラムを入力し、完全に作動することを確認せよ。マニュアル「BASIC プログラミング入門」を参照して基礎事項に習熟せよ。

C-2) マニュアルを参照して「試験結果一覧表」およびそのプログラムをプリントして提出せよ。余裕があれば各自でこのプログラムを改良せよ。これらの課題を全学生がほぼ完全にこれらの課題を実行することができた。

### 4) 学生の反応

以上の CAI 教育に対する学生の反応はアンケート結果によると次の通りである。

A) メディア社の CAI 教材に対し、学生が興味を抱いた順に挙げると、蒸留 46%、元素名、元素記号 17%、分子振動 13%、周期表 12%、電子の発見 7%、原子雲 6% であった。ここに含まれる演習問題のレベルは比較的難しいと感じる学生が 49% であったが問題には難易の分布があり、完全に正解することは難しいという意味で妥当なレベルと思われる。他の分野の教材があれば学習したいと希望する学生が 79% あり、今後も良質の教材を準備することが期待される。

B) 分子構造モデル表示 CAI について、ほぼ完全にプログラムの操作を掌握した学生が 63%、立体化学に新たな興味を抱いた学生が 86% の高きに達した。

C) BASIC プログラミング教育について 33% の学生が当初のパソコン操作、プログラムの理解

でまごついたが、2つの簡単で基本的なプログラムは75%の学生が入力でき、作動させることができた。

以上3課題で最も興味がある課題は60%の学生が分子構造モデル表示を挙げた。次がBASICプログラミングであった。また今後も機会があればパソコンを利用して行ってみたい事はプログラミングや分子構造モデルの他に、グラフィックス、反応索引、データ処理、円棒グラフなど多彩な利用希望が続出した。

学生の感想と指導者の観察をまとめると次の通りである。

1) 全ての学生が驚くばかりに熱中し、時間外にも使用希望者が殺到した。コンピュータ世代学生の教育法の一助として有効である。

2) 個別的、段階的に繰返し学習可能であるので、かなりレベルの高い問題にも学生が挑戦できた。

3) 良質なソフトウェアの準備が肝要である。自己完結的で体系的な教材ソフトウェアの開発を急務とする必要がある。

4) 学生の学習意欲にこたえて、自習CAIを可能とする必要がある。

5) 各学生の個別的な進歩の把握、評価、およびこれらを記録した上での学生への個別指導、教材作成にフィードバックする必要がある。

## 6. 今後の課題と方向

パソコンのグラフィック機能を応用した分子モデル表示による立体化学の学習は当初の予想以上の効果を得た。さらに進めて包括的な化学学習へのCAI展開は次のような諸観点からの準備が必要である<sup>24,32)</sup>。

### 1) 教材ソフトウェアの開発

BASIC言語による本学独自の教材システムの開発すなわち「川畑方式」<sup>33)</sup>により物理の演習問題と学習管理が行われた。化学の演習についてもその方式が適用できる範囲で応用を計る。またNEC社の教材作成システムソフトウェア「Lesson Writer」についても導入を計り、教材作成の簡易化と学内の幅広い層への教材作成を期待する。また既存のCDC社教材作成システム「PLATO

ATM」も活用をはかり教材作成を行う。PLATOコースウェア「CHEMISTRY 1, 2」の日本語移植作業も引続き行う必要がある。

### 2) 設備の充実と活用

今後CAI機能パソコンに代替されるに従いCAIの充実を計ることができると思われる。15台のPC 9801 VM機とネットワークを駆使した試行と実績の上に本格的で広汎なCAIが推進されると期待される。

### 3) 運用体制の拡充と利用者の拡大

物理、化学の演習科目のみならず学内各レベルの基礎演習科目、実験科目への適用が期待される。化学実験への適用の成果については外部発表済である<sup>34)</sup>。学内での事例説明会、教材作成法の講習会、PR活動を充実する必要がある<sup>35)</sup>。

4) 「情報処理センター」機関によるCAIの恒常的推進

東工大・牟田によるとCAIの運営に必要な経費は、機器購入はわずか25%であり、残り75%は人件費メンテナンス、ソフトウェア教材作成である<sup>8)</sup>。CAIを普及させるにはハードウェア購入のみならず、運用のための経常経費や教員の負担の分散方法も同時に考慮する必要がある。このために各学科から独立した「情報処理センター」が組織され、その機能の一環としてパソコンの教育利用についても恒常的に推進してゆくことが将来に向けての最善策と考えられる。

### 5) CAI教育をめぐる動き

コンピュータを化学教育にとり入れることは、先年、東京での第8回国際化学教育会議でも重要テーマとして採択された。豊橋技科大、Eastern Michigan大、Nice大の例が講演発表された<sup>36)</sup>。本学近隣の、東海大、産業能率大、幾徳工大においても情報関係学科が中心となりCAIの成果を活発に公開している<sup>37)</sup>。わが国で最も早く9年前からCAIと取組んできた金沢工大の例<sup>38)</sup>は著名である。コンピュータを個別学習による学力向上のための教具と規定し、語学、数学、物理、機械、電気、経営、土木、建築、電子、情報処理各専門分野のコースウェアを30種、利用学生は延べ3万人で158台のパソコンをネットワーク化して利

用している。図形、動きを伴う画面、学習履歴の記録、解析ができるなど優れた CAI を構築しており、われわれの範とするべき実績をもっている。本学の努力の方向も教材の高度化、AI によるインテリジェント CAI を創出してゆくことが目標である。本小文が本格的 CAI の出発点になれば幸いである。

謝辞 本研究の遂行にあたり私学振興財団より「特色ある教育研究」昭和 60 年～62 年度にわたり経費援助をいただいたことを感謝いたします。また本学電算機運営委員会に施設面から御助言と御指導をいただいたことを感謝いたします。本教育研究の推進に御協力いただいた方々に感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 臨時教育審議会「第 3 次答申」62 年 4 月。
- 2) 日本経済新聞、62 年 9 月 4 日「大学すべてに実習設備—全学生にパソコン教育」。
- 3) 文部省社会教育審議会、60 年 3 月 29 日。
- 4) 文部省教育課程審議会、「教育課程基準の改善に関する基本方針について」61 年 10 月 20 日。
- 5) 西之園晴夫、日本教育工学会シンポジウム「情報化に対する教育」62 年 6 月東京。
- 6) 朝日 CAI シンポジウム「CAI の可能性を探る」62 年 7 月東京。
- 7) H. M. Levin “Cost and Cost Effectiveness of CAI” in “Computers and Education” (1986) pp. 156-174.
- 8) 牟田博光「CAI の効果」日本教育工学会シンポジウム 62 年 8 月東京。
- 9) 佐藤隆博「教育情報工学のすすめ」日本電気文化センター。
- 10) 高橋省己「教育工学」日本文化科学社。
- 11) 坂本昂「現代社会における教育工学」大日本図書。
- 12) 田口寛「研究教育へのパソコンの応用と活用」化学同人。
- 13) 化学 PC 研究会「化学領域のパソコン-1, -2」丸善。
- 14) 山本米雄「分子の組み立て」(1984) 講談社サイエンティフィック。
- 15) 中野英彦「分子グラフィックス」サイエンスハウ
- 16) 吉村忠与志「BASIC による化学ドライラボ入門」共立出版。
- 17) 吉村忠与志「BASIC による化学実験シミュレーション」共立出版。
- 18) 菊池修「BASIC による化学」共立出版。
- 19) 佐々木慎一、大沢隆「化学実験と教師のためのコンピュータガイド」日本化学会編(1985)丸善。
- 20) 江口至洋、麻生陽一「BASIC による生化学」共立出版。
- 21) 吉村忠与志編「化学 PC 用ソフトウェア集」(1985, 1986) 化学 PC 研究会。
- 22) 日本 CDC 社、カタログ。
- 23) 日本 CDC 社「PLATO 教育訓練システム」。
- 24) 東京工芸大学工学部 CAI 懇談会中間報告資料「本学におけるパソコン利用教育—現状と将来 No. 2」1987. 1. 20.
- 25) 大江修造「実験データの整理」講談社。
- 26) 間室規、関沢恒男、須藤義孝「工業化学実験データの整理法」日刊工業新聞社。
- 27) 中東美明「マイコンによるデータ整理」培風館。
- 28) 大島英次監修「工業化学のための BASIC プログラミング」。
- 29) 姫路独協大学情報科学センター「BASIC 基礎法」。
- 30) (株) TDK「BASIC プログラミング」。
- 31) (株) 情報数理研究所「IMS CAST BASIC」。
- 32) 東京工芸大学工学部 CAI 懇談会中間報告資料「本学におけるパソコン利用教育—現状と将来 No. 1」1985. 12. 17.
- 33) 徳川陽子、川畑州一、山田八千代、東京工芸大学紀要、本誌。
- 34) 植村允勝「化学教育における有効数学の取扱い」日本化学会第 54 春季年会教育部会(1987. 4. 2) 東京。
- 35) 東京工芸大学工学部 CAI 懇談会、CAI 実物展示説明会「ここまできたパソコン利用教育」(1987. 3. 6)。
- 36) The Eighth International Conference on Chemical Education, “Widening the Scope of Chemistry” (1985. 8. 23) Tokyo.
- 37) 私立大学等情報処理教育連絡協議会、第 8 回教育ソフトウェア発表会(60 年 9 月 3 日)～第 1 回私情協大会(62 年 8 月 31 日)。
- 38) 日本経済新聞、62 年 4 月 19 日、CAI 特集「CAI 導入—成果上げる」。