

総合視聴覚システムの構築と教育への有効利用(7)

—パソコンによる状態方程式の立体図とその提示方法—

笹村 泰昭*・小鹿 正夫**・遠藤 俊二***・宇野 克志****

A Construction of Intergrated Audio-Visual System and its effective Use for Education(7)

—The three-dimensional Delineation for the Equations of State the Personal Computer and its Presentation Merhodo—

Yasuaki SASAMURA, Masao KOSHIKA, Shunji ENDOH and Katsushi UNO

要 旨

パソコンを用いて状態方程式学習のための P-v-T 関係を表す立体図を描いた。授業時間内に演示出来る様プログラムを工夫した。教材として提示する場合には、連続的に視点を変えた50枚の静止画としてビデオフロッピーに取り込み連続的な動画として再生すると立体感が増し式の三次元空間を把握するのに効果的であった。

Abstract

Using the personal computer, we drew the three-dimensional curved surfaces of P-v-T relations of the cubic equations of state.

In the each case, 50 copies of the resulting pictures were taken into a video floppy disk. We tried to show the pictures in the video floppy continuously so that it looks like a stereoscopy. It is useful to study the three dimensional relationships of P-v-T.

1. は じ め に

状態方程式のグラフ表現は一般に温度 T をパラメーターとし v-P 等温線図として描かれる。グラフ化によって各温度ごとの実測値との差などを視覚的に比較出来るので式の理解を深めるうえで好都合であった^{1) 2)}。更に X-Y プロッターを用いて P-v-T を三次元的に一枚の立体図あるいは面として表現した³⁾。三次元表現は“一目”で式の全体像が把握出来る。立体表現は物理化学の教科書にわずかに理想気体の場合について載っている^{4) 5)}。もしこの様な立体図をパソコンで簡単に描く事が出来れば状態方程式学習に役立てる

ことが出来ると考えた。さらに授業の際の教材の提示に工夫をすると一層理解が深まる。状態方程式の学習は「熱力学」「化学工学」等の科目へと発展するので専門を問わず工学の分野に於て大切である。本報では Cubic 型の状態方程式の立体表現とそれを授業で利用する場合の提示方法について検討した結果である。

2 . Cubic 型の状態方程式

van der Waals 式に代表される展開すると体積 v の三次式となる状態方程式は(1)式で表される⁶⁾。

$$P = \frac{RT}{(v-b)} - \frac{aT^{-h}}{v(v+c)} \cdots (1)$$

ただし(1)式において a, b, c, h は定数で全ての定数が 0 の時理想気体式, c = 0, h = 0 の場

* 助教授 工業化学科

** 助教授 一般教科

*** 技 官 工業化学科

**** 教 授 工業化学科

合が van der Waals 式, $c = b$, $h = 0.5$ の場合が Redlich-Kwong 式である。

3. 立体図を描くプログラムの工夫

パソコンは NEC-PC-9801-RA および 9801-UV を使用した。立体図を描くための座標の計算方法は伊藤らのワイヤーフレームによる 3 次元グラフィックスの BASIC プログラム⁷⁾を参考に TURBO-PASCAL に変換し基本とした。基本プログラムは小鹿が数学で関数学習の為に作成し $z = f(x, y)$ で表されている⁸⁾。状態方程式の場合には $P = f(v, T)$ に置き換えるだけで良い。描図に要する時間をおおよそ $1/20$ に短縮出来

た。(1)式に於て温度 T , 体積 v を与えて圧力 P を求めることは特に難しい計算ではない。まずグラフ化のための領域と表示の条件を吟味した。体積データの範囲と分割数, 特に体積補正項 $(v - b)$ が非常に小さい場合や負になる場合には図-1 の様に圧力 P の値が極端に変化するので取り扱わないことにした。プログラム作成の初期の段階で, 見る方向や位置, 体積, 温度データの範囲と分割数を色々変えて見た。領域幅は体積 $v(x)$ と温度 $T(y)$ を 2.0, 圧力 $P(z)$ を 1.6 とした。図-2 は体積 v の範囲を 12 等分, 温度 T の範囲を 10 等分している。図-3 はそれぞれ 24, 20 等分して描いた理想気体式の立体図である。図-3 の方が見やすかった。それ以上分割を増やしても曲面と

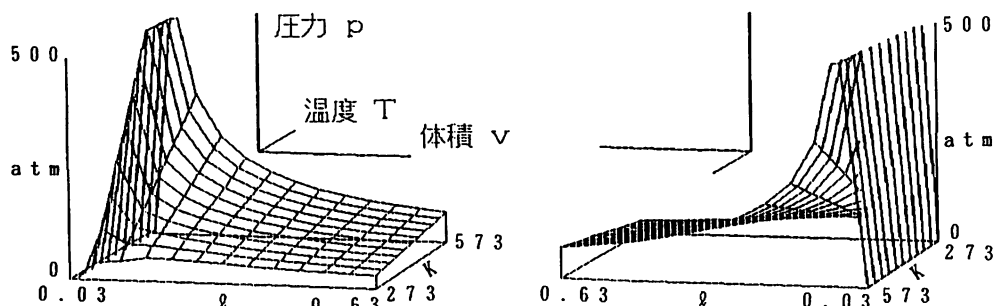


図1 van der Waals 式による二酸化炭素の立体図

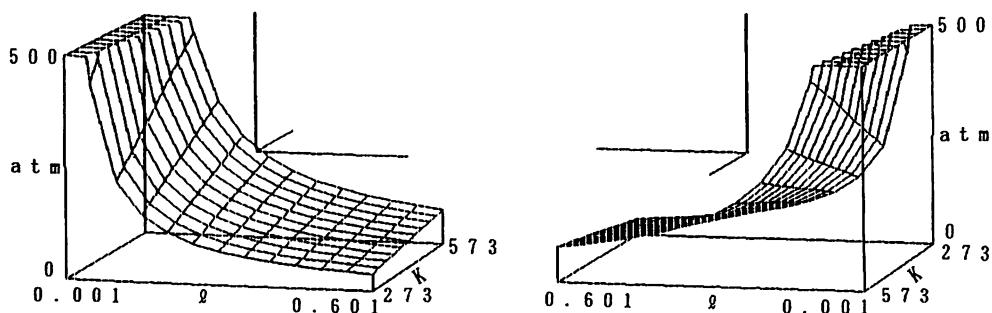


図2 理想気体式の立体図 (分割数12*10)

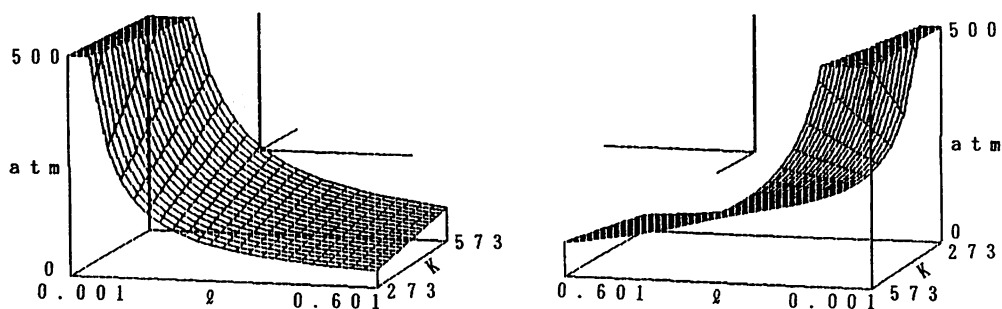


図3 理想気体式の立体図 (分割数24*20)

して見えるのみで肝心の立体感が促進されるとは言いがたかった。図-1~3で左の図は視点の座標の x 軸方向の初期値 $v_0(x_0)=30$, y 軸方向の初期値 $T_0(y_0)=-120$, $P_0(z_0)=20$, 右の図は視点が $v-T$ 平面の丁度反対側に相当しそれぞれ座標の値が $v(x)=-30$, $T(y)=120$, $P(z)=20$ である。即ち見る位置の高さ(圧力方向)は変えないで、中央にある状態方程式の立体を、少し右よりの外側上から見、時計回りと反対方向に等間隔ずつ移動しながら見ていることになる。従って、 P 座標=20は一定で、

$$v(x) \text{ 座標} = v_0 \cos \beta - T_0 \sin \beta$$

$$T(y) \text{ 座標} = T_0 \cos \beta - v_0 \sin \beta$$

で表される。ただし β はスタートの位置からの回転角である。図面の線は少し太目のほうが見やすかった。陰線処理の精度は二分法で計算する繰り返しの程度を予め入力することが出来る。描図の際には裏側の陰線に相当する部分は青い色付きで表示される様にした。ディスプレイ上に立体図を描くことが出来るようになったので更に描かれた図を授業で役立てる為の提示の方法について検討を加えた。MIPP⁹⁾や簡易放送型教材提示システム^{10) 11)}等を用いて立体感の違いを比べて見た。しかし立体感がXYプロッターで描いた図³⁾ほど明瞭に伝わって来なかった。当初は例えば2つの異なる式の立体像をディスプレイ上で色を変えて重ね合わせることで比較が可能ではないかと予想していた。それは到底無理で通常のパソコンのディスプレイの640×400ドットの静止画で立体感を表現することは不可能であると判断した。しかし静止画像では立体感を出すことは難しいが授業の中で色々の方向から見た図を示すことで立体的

なイメージを感じとってもらえるのではないかと考えた。図そのものをパソコン上で回転させることが出来ると好都合であるがプログラムの工夫の手がかりが見いだされなかった。そこで手輕なVF (Video Floppy) を用いることにした。即ち視点を変えて描いた連続した図を予めVFに収めプレーヤーで色々と速度を変えて連続的に提示する方法を試みることにした。その結果、期待する立体感が得られた。VFに置き換える教材作りの手間が必要ではあるが、授業中の提示にも好都合であると考えた。

4. VF教材の作成

VFへの画像の取り込みはセクター、ナショナルIA800を用いた小鹿の自動取り込み方法¹³⁾で行った。ビデオ信号への変換はデジタルアーツ社製DSCO1を用いた。従来から用いているビデオロン社製PC/L860B型に比べ解像度は劣るが価格の面で手ごろであり今後一斉授業に用いる場合の問題点を知る目的もあってあえて試用してみた。図-4, 5にVF教材作成および提示のシステムを示した。

体積、温度範囲は図の中に示した。これらの値はディスプレイ上には表示されていない。表示の位置を見る方向によって変えなければならない煩雑さがあるため授業の際に教師が説明の中で付け加えるものとした。体積 v の領域は既報³⁾とほぼ同様で図-1の様な体積 $v(x$ 座標)が定数 b よりも小さい値、即ち $(v-b)$ の値が負になる領域を避け(1)式が立体あることのみを強調するための教材とした。温度 $T(y$ 座標)は化学便覧¹²⁾

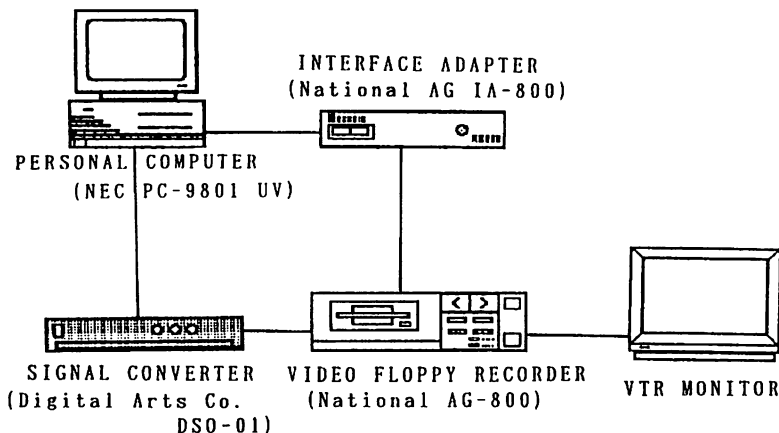


図4 ビデオフロッピー教材作成システム

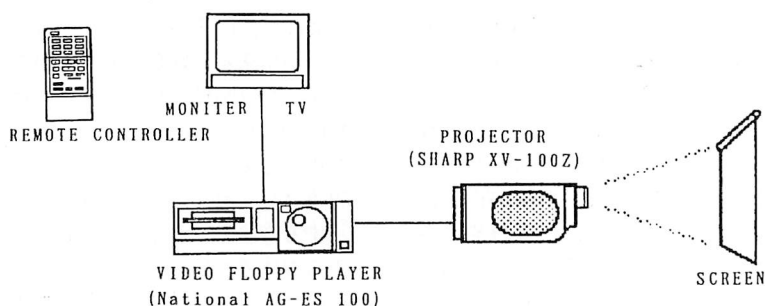


図5 ビデオフロッピー教材提示システム

の実測データをもとに範囲を決めた。圧力 P (z 座標)は全体像が把握出来る範囲として $0 \sim 500$ atmとした。 500 atm以上圧力が高くなっても図に大きな違いは無い。表示の条件は視点を、見る位置(v , T , P)座標 $(30, -120, 20)$ をスタート地点とし、回転分割数49で元へ戻るように連続的に変化させた。すなわち一枚のVFに視点を変えた49種の状態方程式の立体図が描かれ保存される。一番目と50番目の図は全く同じとなる。一枚の図を描くのに要する時間はPC-9801-U Vを用いても約3.6分であった。この時間は、データ入力時間を考慮しても授業の際の例示でその進行を妨げることは無い。また見る位置を連続的

に変えた50の静止図が取り込まれている一枚のVF作成に約3時間を要した。しかしこの所要時間はVFへの取り込みは自動的に行われるので特に手間はかからない。図-6はvan der Waals式の二酸化炭素の場合で視点を変えた12枚の連続画で示している。VF教材として仕上げたのは理想気体式の他van der Waals式、Redrich-Kwong式についてそれぞれ二酸化炭素の他にメタン、エチレンの場合について取り上げ計10枚である。図-7~11にその一部を示した。この様にパソコンで得られた状態方程式の立体図をVFに収め、提示用教材に作り替え動的画面として見ると三次元空間の立体として認識することが出来

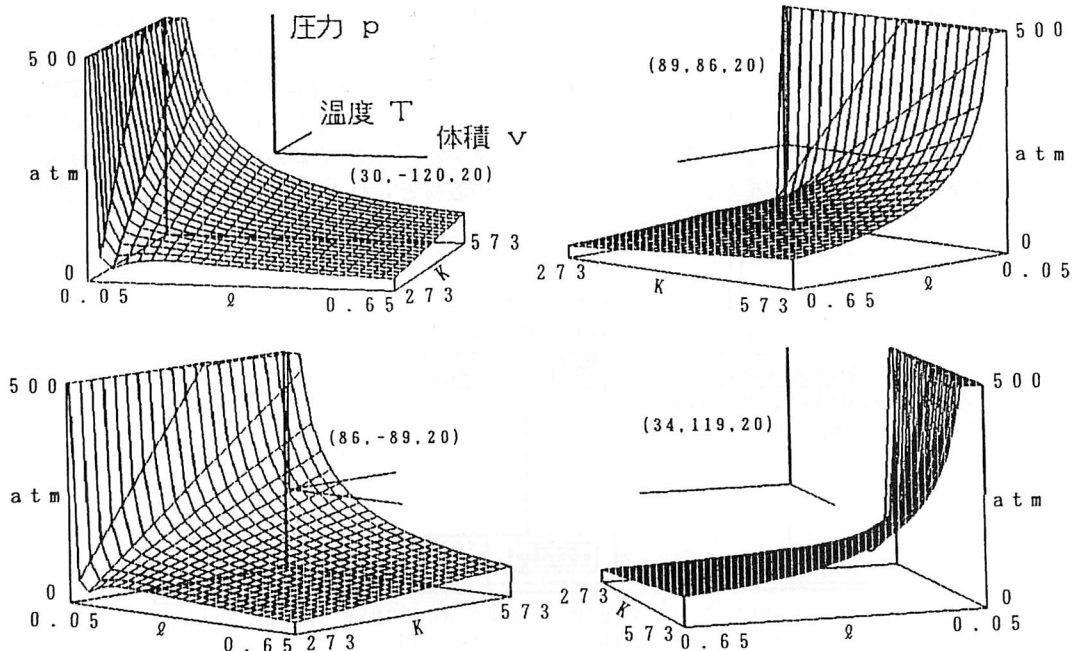


図6 van der Waalsによる二酸化炭素の立体図(視点の座標)

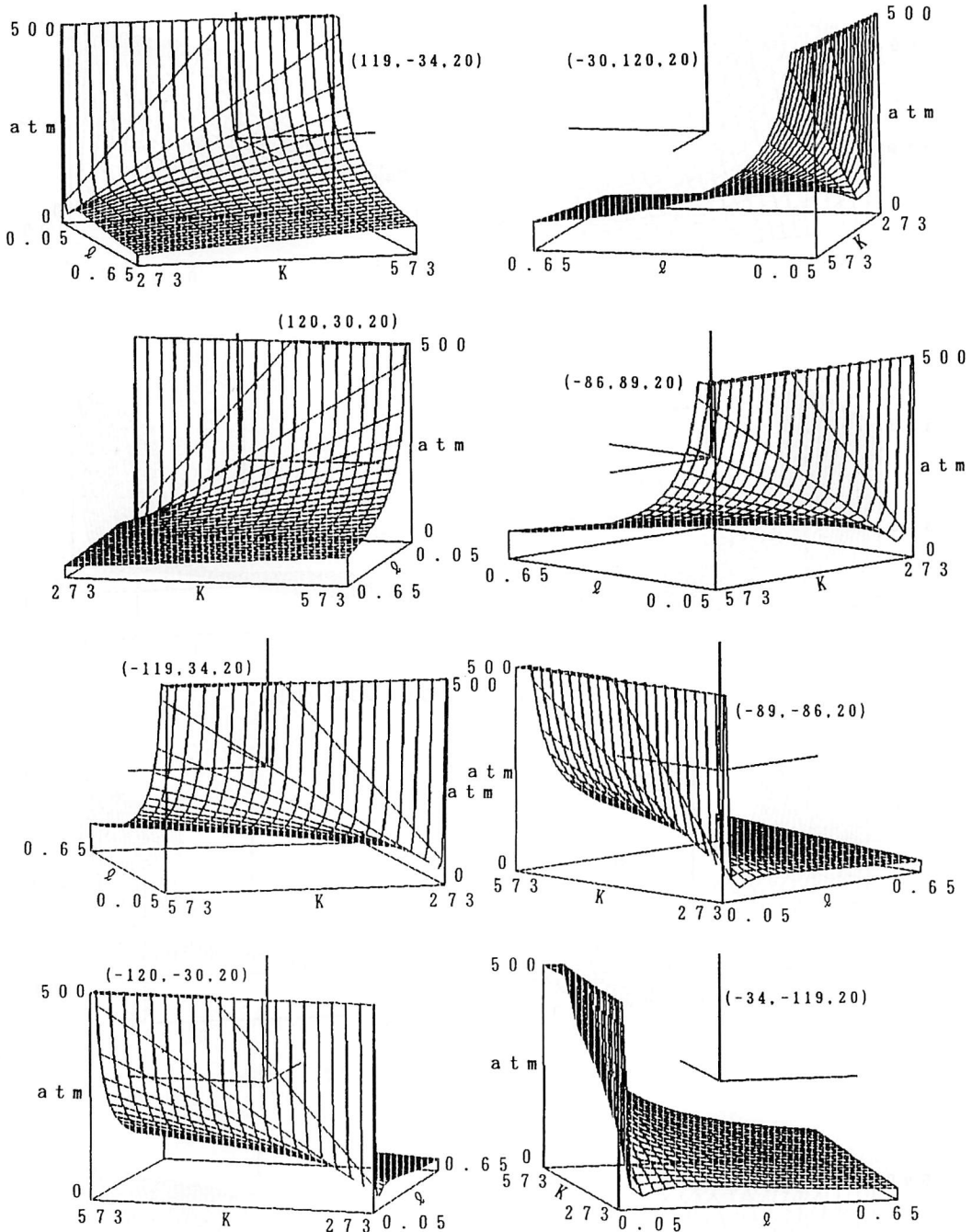


図6 (続き) van der Waals による二酸化炭素の立体図(視点の座標)

た。VF による動的な提示で立体感が増し三次元空間の状態方程式を想像することが出来ることは、状態方程式の理解の向上につながる。通常の黒板とチョークによる説明の後一度 VF の動的画面で三次元表現の立体図として見る。授業の際

には VF の静止画でゆっくり学生の反応に合わせて説明することが可能である。更に興味がある場合には実際にパソコンと信号変換機を教室に持ち込みパラメータを変更して描いた図を直接 TV 画面に提示することも容易に出来る。しかし本報

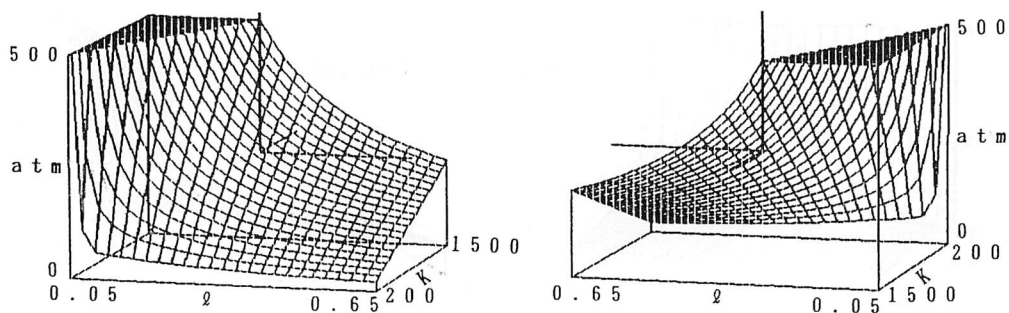


図7 van der Waals 式によるメタンの立体図

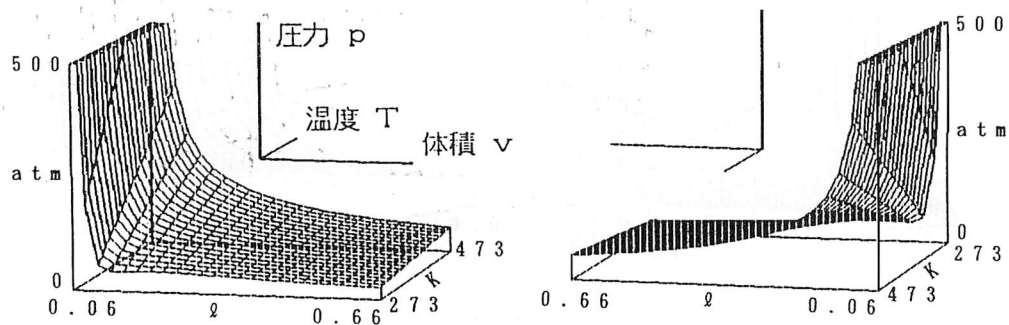


図8 van der Waals 式によるエチレンの立体図

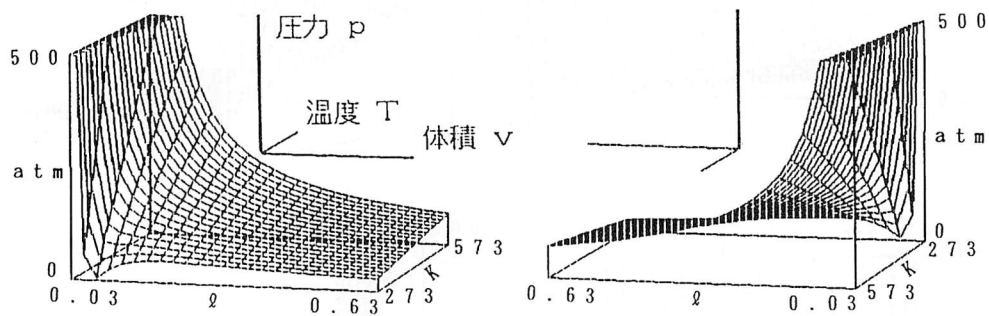


図9 Redlich - Kwong 式による二酸化炭素の立体図

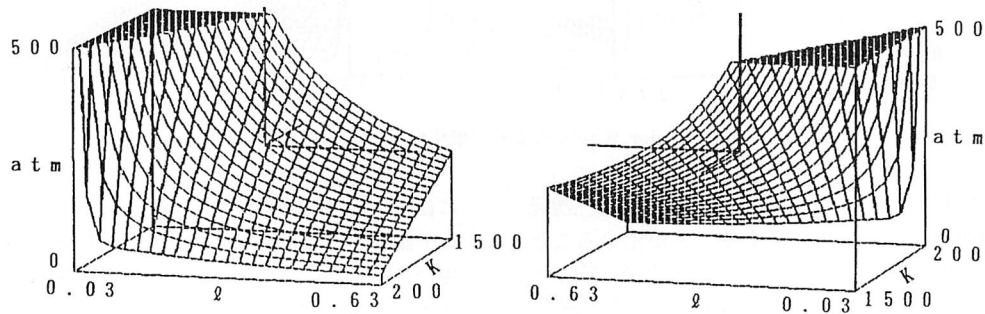


図10 Redlich - Kwong 式によるメタンの立体図

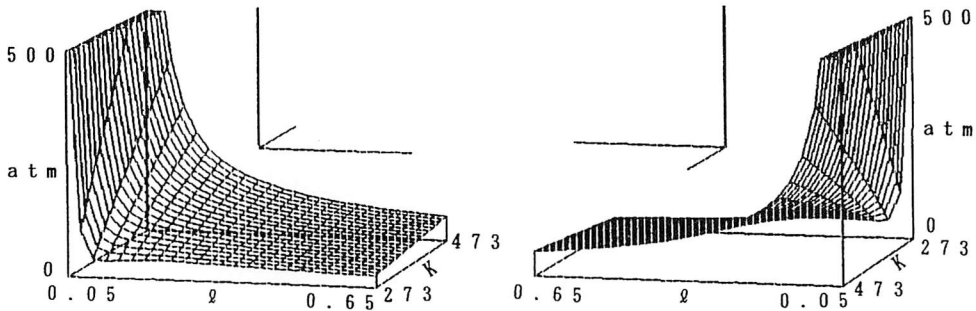


図11 Redlich - Kwong 式によるエチレンの立体図

での検討の結果の範囲内からは色々の状態方程式の良否を論ずることは難しかった。

5. ま と め

予め色々の角度から見た状態方程式の立体図をVFに取り込みそれを高速VFプレーヤーで連続的に提示する方法を試みた。目には動的な立体図として見え、静止画では得られない三次元空間を連想得する事が出来た。教師の臨機応変の対応が可能であること、個別の説明の繰り返しにも利用出来、式の学習に役立った。著者らは黒板とチョークによる教室での伝統的授業方法に加え、学生に少しでも分かりやすい、あるいはより理解が深まるような教材提示の方法を模索している。本報では状態方程式の学習にパソコンによる立体図を描くことを取り上げた。状態方程式の良悪しは実測値と比較することで判定され、当初は立体の色を変えてずれを見る方法、さらには P - z - T 曲面、 P - r - z - T 曲面を描くことも期待したがパソコンのディスプレイ上では無理であった。パソコンでの計算結果をグラフ化しその結果をVFに取り込む方法は

- ① 黒板とチョークでは描き切れない複雑な教材
 - ② 描く過程は重要でないが結果のみを見せる教材
 - ③ 計算と描図に時間がかかる教材
- には特に有効である。本報は日本化学会秋季年会¹³⁾にて発表した内容に一部加筆したものである。

文 献

- 1) 笹村泰昭・宇野克志, 本校紀要, 第17号, p. 83, (1981)
- 2) 笹村泰昭・宇野克志, 本校紀要, 第18号, p. 35, (1982)
- 3) 笹村泰昭・宇野克志, 本校紀要, 第20号, p. 45, (1985)
- 4) 藤代亮一訳「 μ - γ 物理化学」東京化学同人, p. 18 (1964)
- 5) G. M. Barrow 著「PHYSICAL CHEMISTRY」McGRAW-HILL KOUGAKUSHA, LTD. p. 6 (1979)
- 6) 笹村泰昭・宇野克志, 日本化学会北海道支部1983夏季研究発表会要旨集, A07 (於函館)
- 7) 伊藤貢司・伊東直基著「3Dスーパーグラフィクス」秀和システムトレーディング株式会社, p. 114~131 (1986)
- 8) 小鹿正夫, 上木政美, 藤島勝弘, 本校紀要, 第27号, p. 123 (1992)
- 9) 中津正志・高橋達男, 精密機械, 51, 1870 (1985)
- 10) 藤井清志・佐藤義則・笹村泰昭・中津正志・前川静男, 本校紀要, 第25号, p. 57 (1990)
- 11) 笹村泰昭・藤井清志・遠藤俊二・佐藤義則・三河佳紀・小鹿正夫・山口和美・中津正志・宇野克志, 本校紀要, 第26号, p. 61 (1991)
- 12) 日本化学会編「化学便覧基礎編Ⅱ」丸善, p. 490 (1966)
- 13) 笹村泰昭・小鹿正夫・遠藤俊二・宇野克志, 日本化学会第62秋季年会予稿集, p. 445, 2 A106 (1991) 札幌

(平成3年11月18日受理)

