

工学部特別研究報告書

「工学における立体画像解析システムの開発・ 応用に関する研究」

畑 田 豊 彦*¹ 高 梨 隆 雄*¹ 石 川 和 夫*³ 吉 田 広 行*³
大 場 正 昭*² 木 下 照 弘*² 近 藤 邦 雄*² 鈴 木 英 佐*³

Study on Applications of Three-Dimensional Image Processing and Computer Graphic Techn for Engineering

Toyohiko HATADA, Takao TAKANASHI, Kazuo ISHIKAWA, Hiroyuki YOSHIDA,
Masaaki OHBA, Teruhiro KINOSHITA, Kunio KONDO, Eisuke SUZUKI

The great development of computers and their rconnected terminals is producing the development of image technology and also the easy operation by networks for users. Given assistance of the special fiscal 1988 and 1989 budgets in the Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Polytechnics, this project started in cooperation with the laboratories interested in the application of the image information. In order to fulfill graphic functions and image processor simultaneously by one system, which will be the most powerful research tool in the near future, IRIS 4D/50GT graphic computer and NEXUS image processor were purchased and connected with VME BUS so that a part of the multi-functional system was completed. As several analysis about the information of the three-dimensional image were conducted using the system, the abstract is reported.

1. 序

最近のコンピュータとその周辺機器の進歩は、画像情報に関する技術の発展とその利用環境の整備をもたらしつつある。本学においても、画像情報に関する技術の発展とその利用環境の整備をもたらしつつある。本学においても画像情報を利用する各学科の研究室の協力により、1988年と1989年の2ケ年にわたり工学部特別研究「工学における立体画像解析システムの開発・応用に関する研究」として研究費助成を得て、多機能な図形・画像処理が可能なシステムの一部を構築した。本報

平成3年9月4日受理

告では、このシステムの概要を述べた後に、本システムを利用して、立体画像情報に基づく様々な解析研究が始められたので、その結果の一端を紹介する。

今回報告する内容は、1)感性工学への応用としての自転車デザイン、2)2次元断面情報から3次元再構成化の高速処理手法による顔画像作成、3)視覚特性も含めたカラー画像評価チャートの作成、4)高密度磁気記録による磁気ヘッドの3次元磁界分布の解析、5)可視化された空気の流れの解析装置の開発などの応用研究報告に加えて、本画像解析システムでの画像情報の有効利用を目的として、6)グラフィック・ライブラリーの開発、7)

立体表示法の開発についても報告する。これらの報告をベースに、立体画像解析の更なる発展とシステム全体の完熟に向けて努力して行きたいと考える。(畑田)

2. 多機能高速図形・画像処理システムの概説

本システムは図-1と図-2に示すように画像入出力部、画像処理部、制御演算部及び図形処理部の4ブロックから構成されている。画像処理部のNEXUS 6810 画像処理機と図形処理部のIRIS 4 D/50 GT グラフィックステーションとはVMEバスで直結され、相互のイメージメモリーに直接マッピングすることができる。主な機能は次の通りである。

(1) 図形処理システム

IRIS 4 D/50 GT はグラフィックスエンジンを搭載した上位機種で、1670 万色モードでのダブルバッファ動作や透明度表示のアルファバッファを

持ち、3次元図形処理を行うことができる。画素数は1280×1024。作成した図形はカラープリンタで出力される。

(2) 画像処理システム

画像処理システムはNEXUS 6810 の画像処理部、NEWS 1850 ワークステーションの制御演算部及びビデオ画像入出力部とから構成される。ビデオ画像の入力は、まずタイムコードジェネレータによりタイムコードをビデオテープに記録させてビデオ映像を自動コマ送りサンプリングできるように編集した後、時間軸補正器で取り込み周波数を整えて、NEXUS 6810 画像処理機で8ビットA/D変換される。これにより1コマの映像を横512個、縦480個の画素数に分解し、白黒映像の場合、映像信号は最小値(黒)を0.0、最大値(白)を1.0の画像信号にデジタル変換される。画像の座標点はデジタイザで読み取り、画像解析結果はカラービデオプリンタで出力される。画像処理は四則演算、論理演算の他に画像の特徴抽出と粒子解析ができる。

(3) CADシステム

CADソフトとしてNEWSワークステーションにAutoCAD CX-3を搭載している。図形の入力はA1サイズのデジタイザから0.02mmの分解能で読み取りされ、3次元の線分、多角形、ポリライン機能により3次元図形を作成できる。作図結果はXYプロッターで出力される。

なお、これらのシステムは9号館2Fの情報処理教育研究センターの特別入出力装置室に設置さ

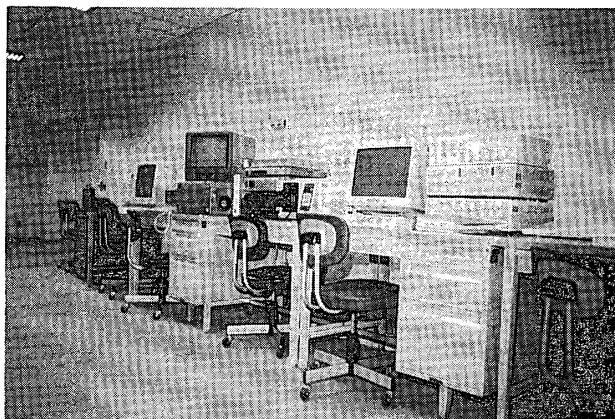
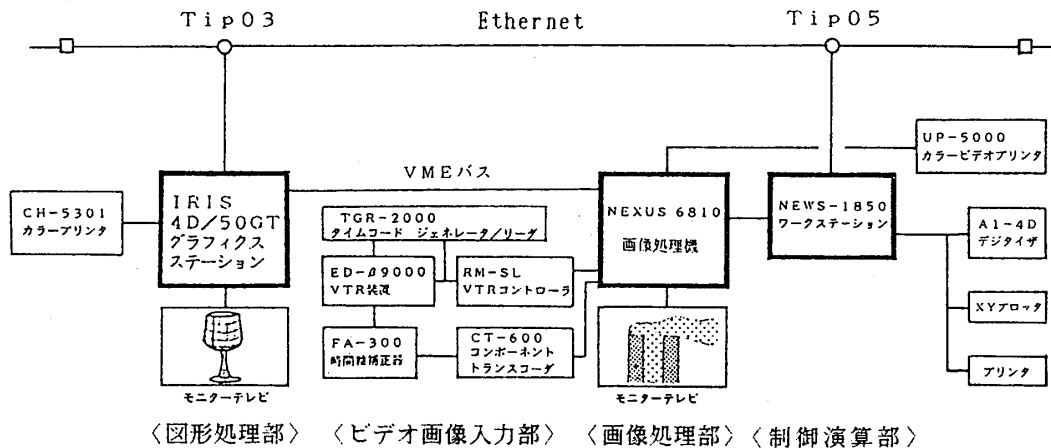


図-1 多機能高速図形・画像処理システム



〈図形処理部〉 〈ビデオ画像入力部〉 〈画像処理部〉 〈制御演算部〉

図-2 多機能高速図形・画像処理システムの構成図

れているので、卒業研究生は情報処理教育研究センターに申請手続きすれば利用できる。(鈴木)

3. 立体画像解析システムを用いた応用研究

3.1 AutoCAD による自転車デザイン

一般に、CAD によるデザイン設計の援用としては、機械設計としての導入が主であるが、ここでは特に曲面形態を造形の主題としたレンダーのデザイン検証に使用した例について報告する。

これからの自転車デザインでは、ルイジコラーニに代表される有機的な曲面形態のトレンドが予測される。したがって、本報告では、自転車の本体を曲面形態を造形主題とした「穴のあいたシェル状自由形態」と設定し、デザイン設計した。図

-3 に示すレンダーは、デザイナーの感性によって画かれた完成予想図で、実際の製品形態としての設計諸条件を検証する必要がある。そこで、自由形態を三面の等高線としてとらえ、AutoCAD の UCS 概念を UCS-TL (Transver Line) UCS-BL (Buttoc Line) UCS-WL (Water Line) と定義し、「設計美学による多重曲率半径を有する流線の手法」を用いて疑似的に造形し、図-4 に示す自転車本体の外形三面図を設計した。その外形三面図から視点をレンダーの視点に合わせて図-5 の造形パース図をプロットアウトした。結果としては、隠線消去、ハイライト線図などの適用はできなかったが、自転車本体の外形三面図などにより、

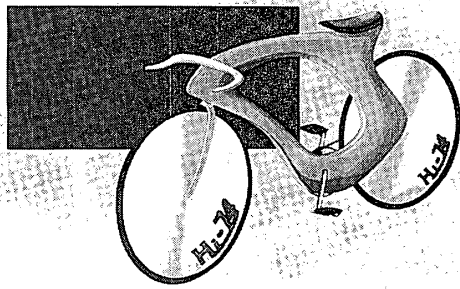


図-3 自転車デザインのレンダー

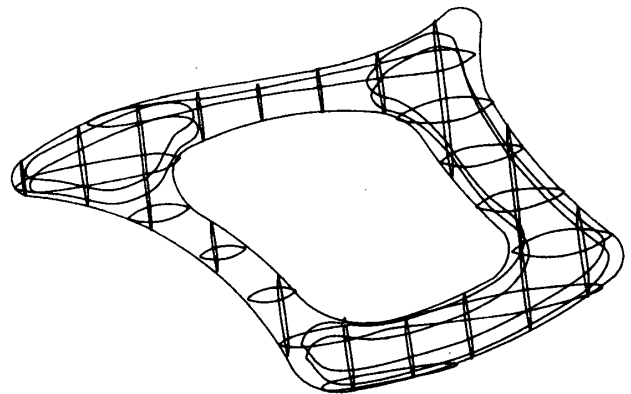


図-5 自転車フレームの造形パース図

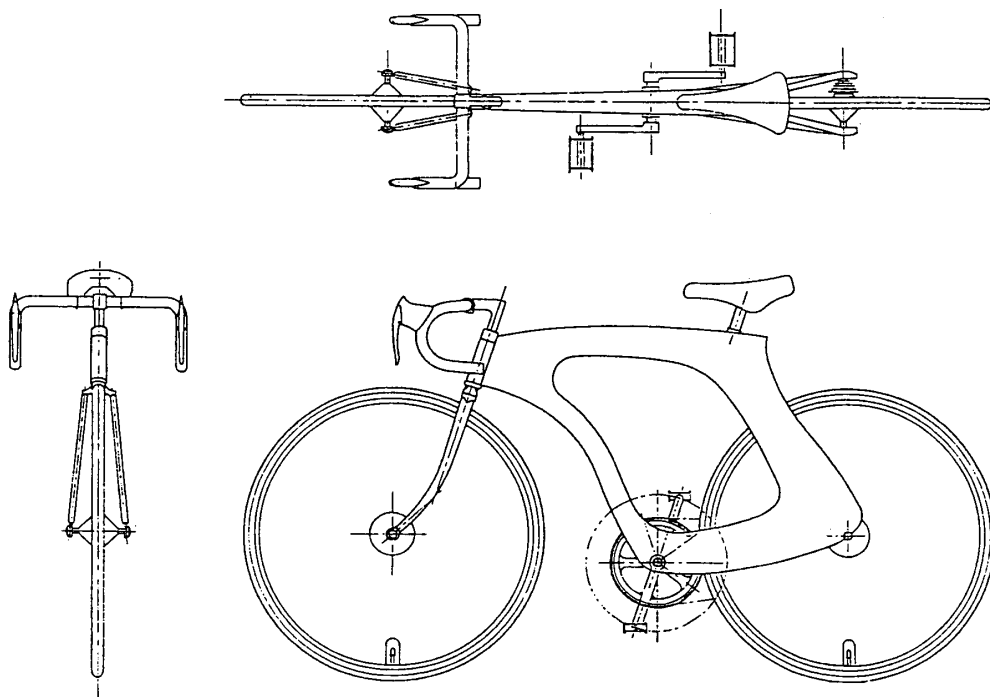


図-4 自転車本体の外形三面図

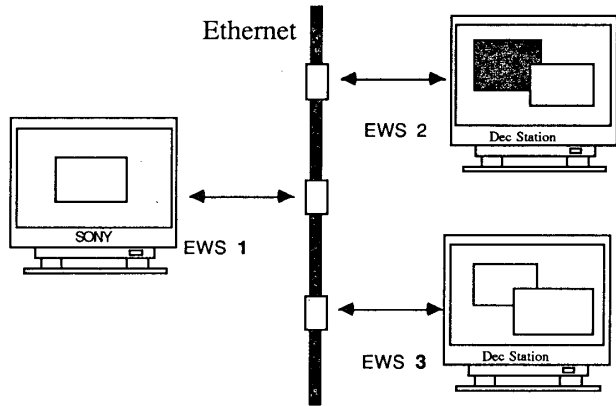


図-6 プロパティによる通信

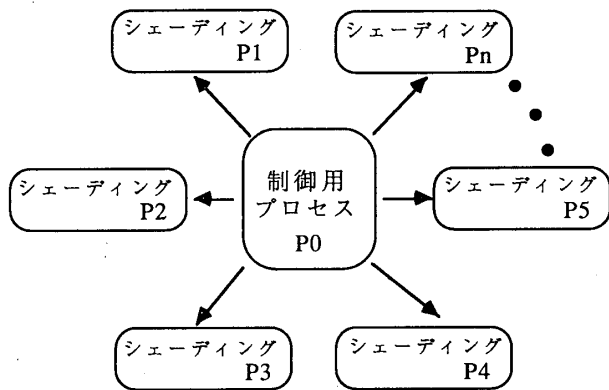


図-7 シェーディングの分散処理

レンダラーにおける形態設計上のデザイン検証は可能であることが知れた。

なお、これからの CAD は、設計・製造などでの構造解析での利用から、製品イメージをデザインする感性の具体化レベルでの利用へと移行して行くことは必至である。そこでは、形状モデルだけでなく、感性による「属性モデル」が必要となってくる。

ここで提示した「設計美学による多重曲率半径を有する流線の手法」によるレンダリングにおける属性モデル」のプログラミング化の必要性が予測されてくる。(高梨)

NEWS による顔画像の生成

近年、医療分野において、CT スキャナなどから取り込まれた 3 次元物体の断面の系列から 3 次元画像を再構成することや、再構成された画像をリアルタイムで変形することが、手術シミュレーションなどにおいて有益であることが認められ、活発に研究がなされている。ところが、このよう

にして得られる 3 次元画像はデータ量が膨大であるため、通常のエンジニアリング・ワークステーション (EWS) を用いた場合には、処理速度の制限により画像の生成速度が遅くなってしまいうという欠点がある。一方、最近ではネットワーク上に多数の EWS が接続された環境が一般的になりつつある。従って、これらの EWS 間で画像生成処理を分散・並列に実行することにより、高速処理を実現することが望ましい。

ここでは、3 次元画像の生成処理を、幾つかの並列に処理できる部分処理に分割し、各々の部分処理を異なる EWS 上に分散して並列に処理し、結果を結合することにより、画像生成速度を向上させる方法を開発した。理論上は、分散並列処理を行うワークステーションの台数は無制限である。実際には、NEWS ワークステーションにイーサネットに接続された DecStation-3100 10 台からなるネットワーク上で、図-6 に示すような X ウィンドウの通信機能のひとつであるプロパティを用いて分散並列処理による画像生成を行なった。

原画像は、CT スキャナ (島津製 SCT-1000 T) を使用してマネキンの頭部を 4 ミリおきに撮影した断面の輪郭線データを用いた。この輪郭線画像から、頭部の形状を多角形で近似して、頭部画像の 3 次元再構成を行った。この際、立体感を出すためにシェーディング (陰影付け) を行うが、この処理は各多角形ごとに独立に処理できるため、この部分を上記の方法で並列・分散に処理した。図-7 にシェーディングの分散処理を示す。すなわち、あらかじめ顔面像のデータを各 EWS 上に分散配置し、各 EWS が、管理プログラムが指定した領域の多角形を独立にシェーディング処理する。最終的に各部分をつなぎ合わせて図-8 の再構成像が得られる。

同一画像で実験を行った結果、1 台の場合の処理時間が 609 秒、CPU 占有率が 48% であるのに比較して、11 台の場合には処理時間が 56 秒、CPU 占有率が 84% と、処理時間で約 90%、CPU 占有率が約 75% の向上がみられた。今後は、より大規模な場合の実験と、各 EWS の負荷の変動に応じ

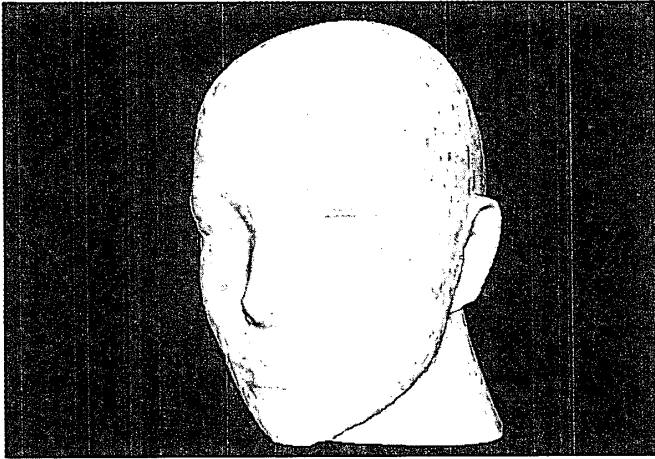


図-8 顔画像の再構成像

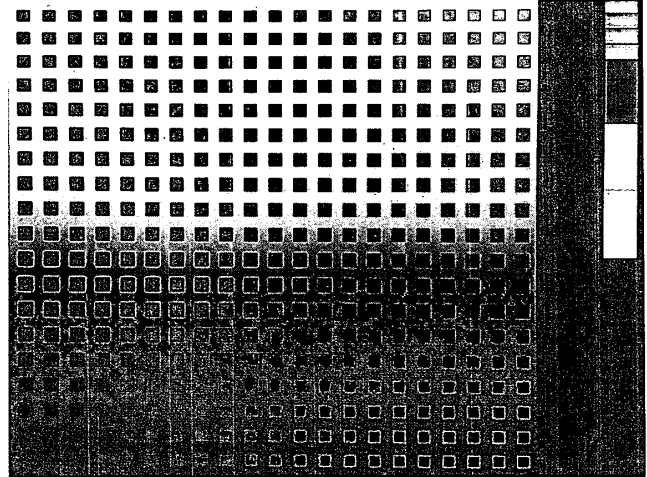


図-9 明るさ感の較正用カラーチャート

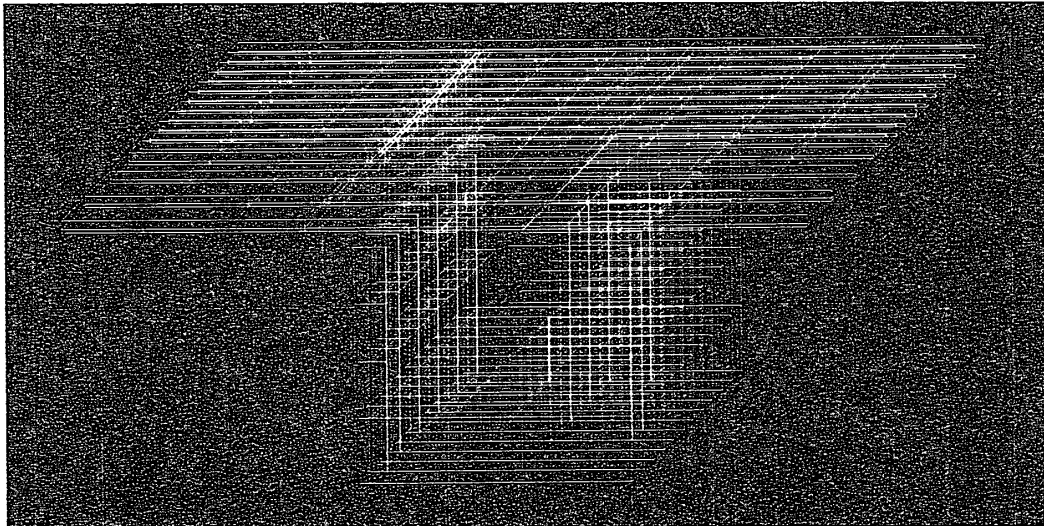


図-10 ヘッド媒体の要素分割

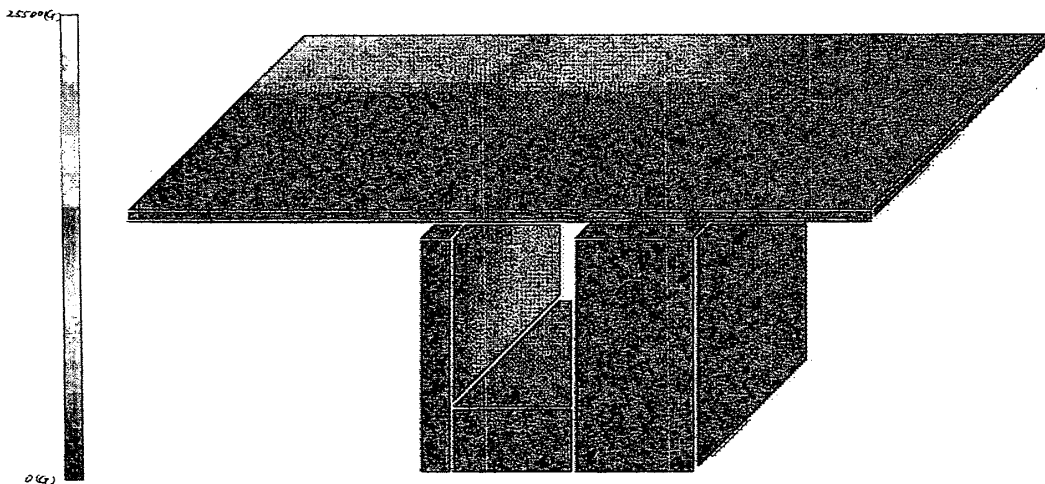


図-11 ヘッドと裏打ち層の磁界分布

て、動的に負荷分散を行なう機構を付加することが必要である(吉田)

3.3 NEXUSによるカラーチャートの作成

カラー画像における色の再現は、色再現範囲や発色方式によりその色調が異なる。再現系の中で、カラーCRTは条件を変化させながら画像を評価することができるので、較正用カラーチャートを図-9のように試作し、カラーCRTの色再現特性と人間の知覚と特性を調べて視覚系に適した色表示条件を検討した。実験の弁別尺度は明るさ、色味及び輪郭の3つとした。

等輝度で色相の異なる表示色においては、明るさと輪郭の弁別特性は似た傾向を示し、表示色の補色を増すと弁別いきは小さくなった。しかし、表示色の発光強度が強くなると彩度の増加は知覚されにくかった。

次に明度と彩度の異なる表示色では、表示色の彩度を増すと明るさと輪郭は知覚され易くなるが、色味は逆の傾向を示した。一般に知覚されにくい色信号変化は青信号で、明るさと輪郭では緑信号が、色味では赤信号の変化が知覚されにくかった。

このような視覚特性を基礎に、マルチメディア間での適正色再現条件が較正可能なチャート作成を行っている。(石川)

3.4 垂直磁気ヘッド磁界の3次元シミュレーション

情報処理装置におけるデータの量は増大する一方である。それらのデータの保存方法として磁気テープ、磁気ディスクが利用されているが、これらの磁気装置は記録方式として磁気ヘッドの作る磁界が記録媒体と平行になっているので、より高密度に記録する方法として、記録媒体と記録磁界を垂直にした記録方式が注目されている。ここでは、有限要素法により垂直記録ヘッド領域のヘッド磁界を計算した。計算では記録磁界方向を z 、媒体進行方向を x 、トラック方向を y で表示し、その要素の磁束密度分布を3次元カラーグラフィック表示することによりトラック密度について検討を行った。図-10と図-11に結果を示す。分割数は各方向14で、要素数2744、節点数3375、バンド幅

242であった。メモリとして10MB以上の容量を必要とするので、VAX 8350を利用して計算を実行した。次に各要素の磁束密度を算出し、その結果だけを図形表示装置IRISにDECnetを介して転送しグラフィック表示を行った。各要素ごとに表示するため磁気ヘッド、媒体の各部分の磁束密度を視覚的に把握できる。従って、トラック幅を最小とする最適モデルを推定するのに有効であった。なお、磁界計算にはVAX 8350で約150分を要したが、本年導入されるCONVEX C2-Jでは2分程度で実行できると期待される。(鈴木)

3.5 ビデオ画像による汚染空気の測定法の開発

最近の高層集合住宅ではボイド型と称して吹抜け中庭をもつ設計が増えつつある。この中庭空間は住戸と住棟の通風・換気用に位置づけられることが多く、汚染空気を中庭空間に排出する場合には換気量も限られるので、中庭空間であるボイド空間の換気計画には慎重を要する。ところで、建物周りの汚染物質拡散を測定する風洞模型実験では、従来から炭化水素分析計によるトレーサガス測定が多用されている。しかし、測定は1点ごとのポイント測定によるので、空間の濃度分布を得るには多大な労力が必要である。ビデオ画像計測手法は画像処理機により映像の1画面を約25万個の画素数に分解して、測定場を乱すことなく同時に多数の点から流れの情報を抽出できる。また、汎用のビデオ装置は1秒間に30コマの映像を撮影できるので、15Hzまでの濃度変動を解析することも可能である。本研究は高層建物の中央部に直方体形状のボイド空間を有する集合住宅模型において、汚染空気の流れをレーザーシートを用いて可視化し、ビデオ画像処理技術によりボイド空間の風力換気性状を検討した。

図-12にビデオ画像計測システムを示す。ボイド空間内にオンジナ油のミスト粒子を排出して、ビデオカメラで煙パターンをモノクロ撮影した。照明はアルゴンイオンレーザーのレーザー光を光ファイバで風洞まで伝送して、風洞上部に取り付けた小さな反射鏡をスキヤニングさせることにより幅1mmのレーザーシートを作成した。レーザー出力は

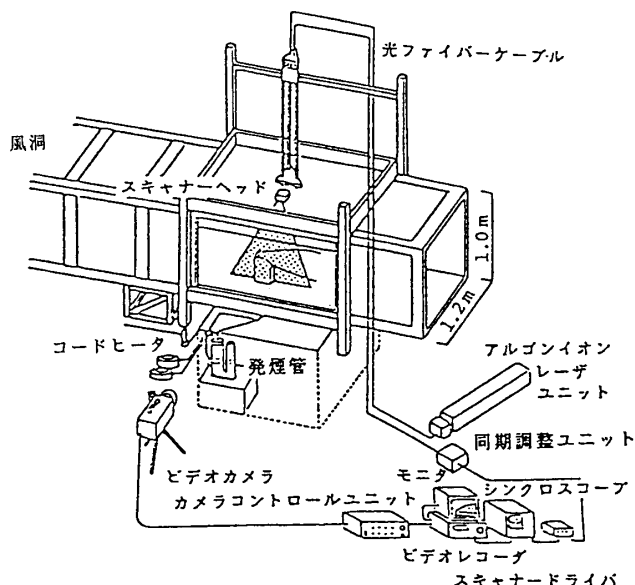


図-12 ビデオ画像計測システム

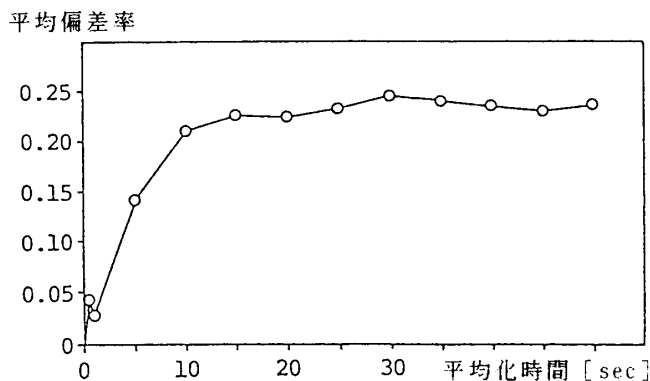


図-14 画像信号の平均偏差率と平均化時間との関係

時間は15秒で十分であることが判る。なお、単独煙突の排煙拡散現象では、画像信号を1/30秒間隔で取り込んだ場合、平均化時間は8秒で十分であるとの結果を得ている。

図-15にボイド空間の画像写真を示す。軒高風速3 m/sで下部開口の開閉条件を変えてボイド内の換気性状に及ぼす下部開口条件の影響を調べた。画像信号平均値は較正式でガス濃度に変換した。両側閉口条件の場合、下層域で12500 ppm以上の高濃度領域が存在し、その面積はボイド空間全体の23.5%を占める。風上側頂端部でも1000 ppm ≤ 画像濃度 < 2000 ppmのゾーンが生じていることから、煙は風上側頂端部まで逆流することが判る。風上側開口条件では5000 ppm以上の高い濃度域はボイド内風下側の模型高さの半分以下に存在し、下部開口付近の画像濃度は下部開口から侵入する風で減少する。両側開口条件になると中層域より低い領域で画像濃度は減少し、3000 ppm ≤ 画像濃度 < 4000 ppmの領域が全体で33.6%を占める。

以下の結果から、ミスト粒子をトレーサに用いたビデオ画像計測手法は、実験の再現精度にまだ改善すべき点を有するが、ガス濃度分析計の測定を補完する形で十分に使用できるので、今後、ボイド空間の換気モデルの作成に利用して行きたいと考える。(大場)

3.6 グラフィックス・ライブラリの開発

数値計算により得られたデータを視的に捕らえることは、現象を把握する上で重要な手段である。データの描画にはXYプロッタが用いられるが、

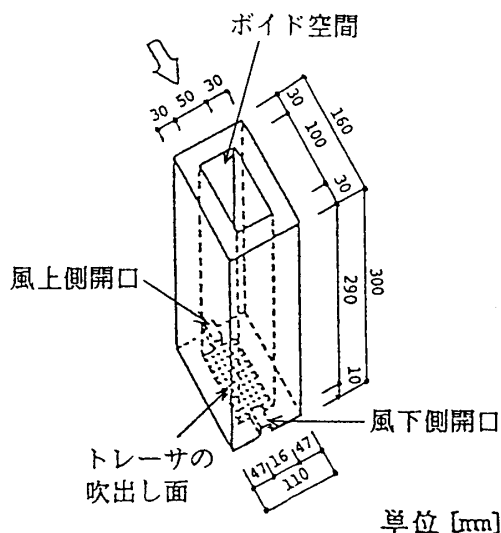


図-13 高層集合住宅模型

4 W. 建物は平面33 m × 48 mで軒高90 mの集合住宅建物を想定し、縮尺1/300の模型を作成した。図-13に示す。下部流入口面積とボイド空間頂部開口面積との比は約1/31。住戸から排出される汚染空気は、実験の簡易化を図るためにボイド空間下部から排出されるものとし、トレーサチャンバ部をボイド下部に設けた。

図-14に画像信号値の平均化時間を示す。解析はビデオの映像を0.2秒間隔に51秒間255コマ取り込んで、画像信号の平均化時間を検討した。ボイド空間内の画素数は18,912点で、平均偏差率を求めた。0.2秒間隔で映像を取り込んだ場合、半閉鎖的なボイド空間での画像信号値分布の平均化

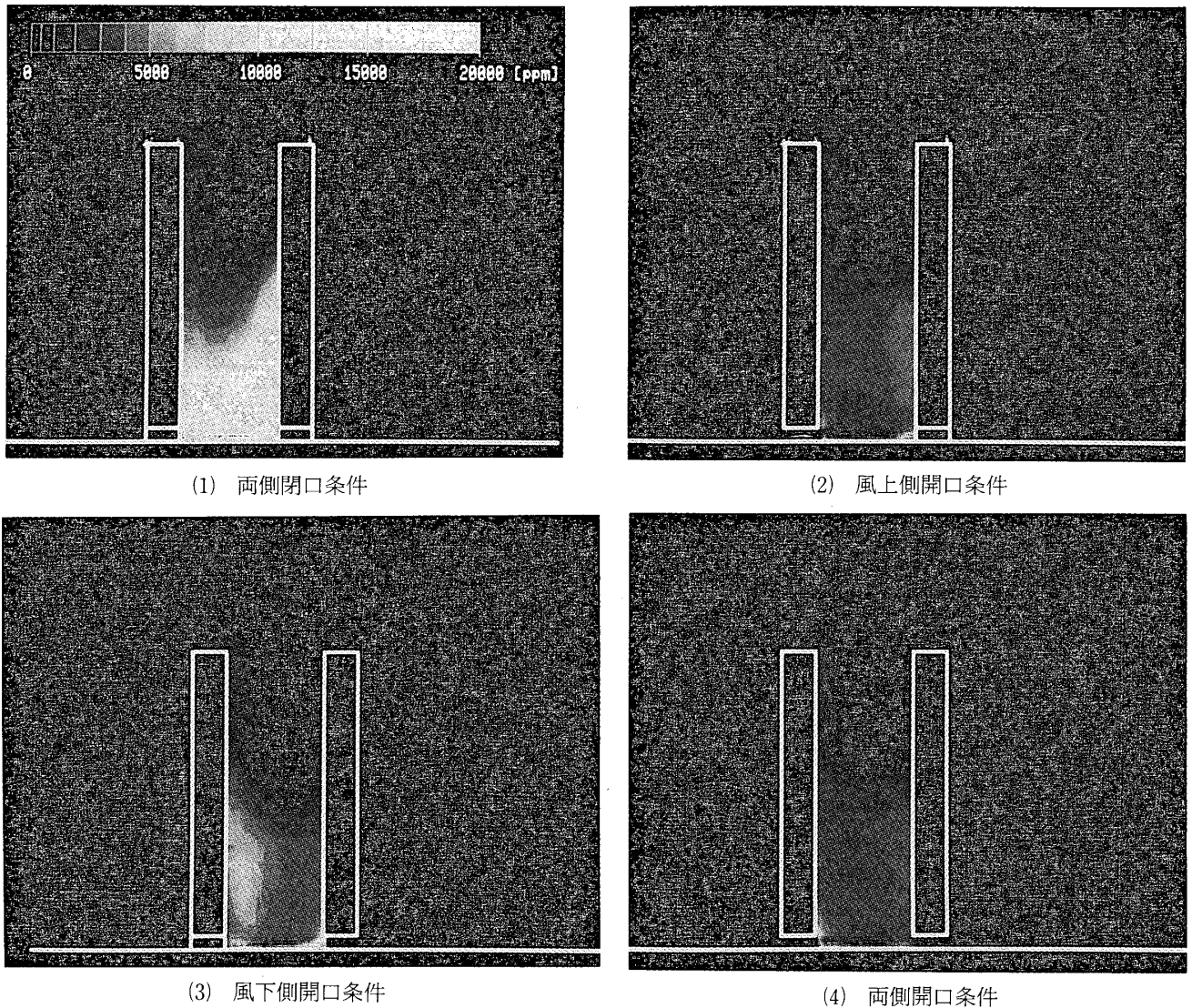


図-15 高層集合住宅ボイド空間の風力
換気性状と下部開口条件との関係

処理速度が低速であり、その図形が必要であるか、不必要であるかの判断に時間を要すると同時に資源を無駄使いすることにもなりかねない。ここでは、IRIS、NEWSのグラフィックス機能を利用し、2次元の図形を画面に表示するライブラリを作成したので報告する。これらは、XYプロッタのエミュレーションをグラフィックス画面上で行うものであり、CあるいはFORTRAN言語から呼び出して使用することができる。具体的には、X11ウインドウシステム上でリアルタイムで図形を描き出す一連の手続きと、ポストスクリプト形式のファイルを生成することにより実行後に図形を表示する手続き群の2通りのライブラリを開

発した。

(1) X11上でのグラフィックス・ライブラリ
ユーザが作成するプログラムからサブルーチンとしてライブラリをコールすることによりプログラムの実行時にリアルタイムで結果を表示できることから、このライブラリは比較的計算時間の短い処理に向いている。計算時間を必要とする場合には、一端、実行結果をファイル上に作成しておき、実行結果を読み取りながらこのグラフィックスルーチンをコールするプログラムを別に用意することも考えられる。

(2) ポストスクリプトファイルを生成するグラフィックス・ライブラリ


```

call pinit(10,'curve.ps')
call xscale(-5.0, 25.0)
call yscale(-5.0, 2.0)
call line(0.0, -1.5, 0.0, 1.5)
call line(0.0, 0.0, 20.0, 0.0)

do 10 x = 0, 20, 5
call line(x, 0.0, x, 0.04)
call moveto(x-0.25, -0.125)
call numb(x, 2, -1)
10 continue

do 20 y = -1.0, 1.0, 0.5
call line(0.0, y, 0.1, y)
call moveto(-2.0, y-0.05)
call numb(y, 4, 1)
20 continue

call moveto(10.0, 1.0)
call string('y = exp(-', 9)
call symb('a', 1)
call string('**t)*cos(t)', 10)

call moveto(-2.5, 0.75)
call symang(90)
call string('y', 1)
call symang(0)

call moveto(5.0, -1.0)
call symb('a', 1)
call string(':', 1)

call pen(1)
call moveto(6.0, -1.0)
call numb(0.1, 3, 1)
call line(8.0, -0.97, 10.0, -0.97)
call fread('a.dat', 1, 2)

call pen(2)
call moveto(6.0, -1.2)
call numb(0.2, 3, 1)
call line(8.0, -1.17, 10.0, 01.17)
call fread('a.dat', 1, 3)

call pend
stop
end

```

図-16 プログラム例

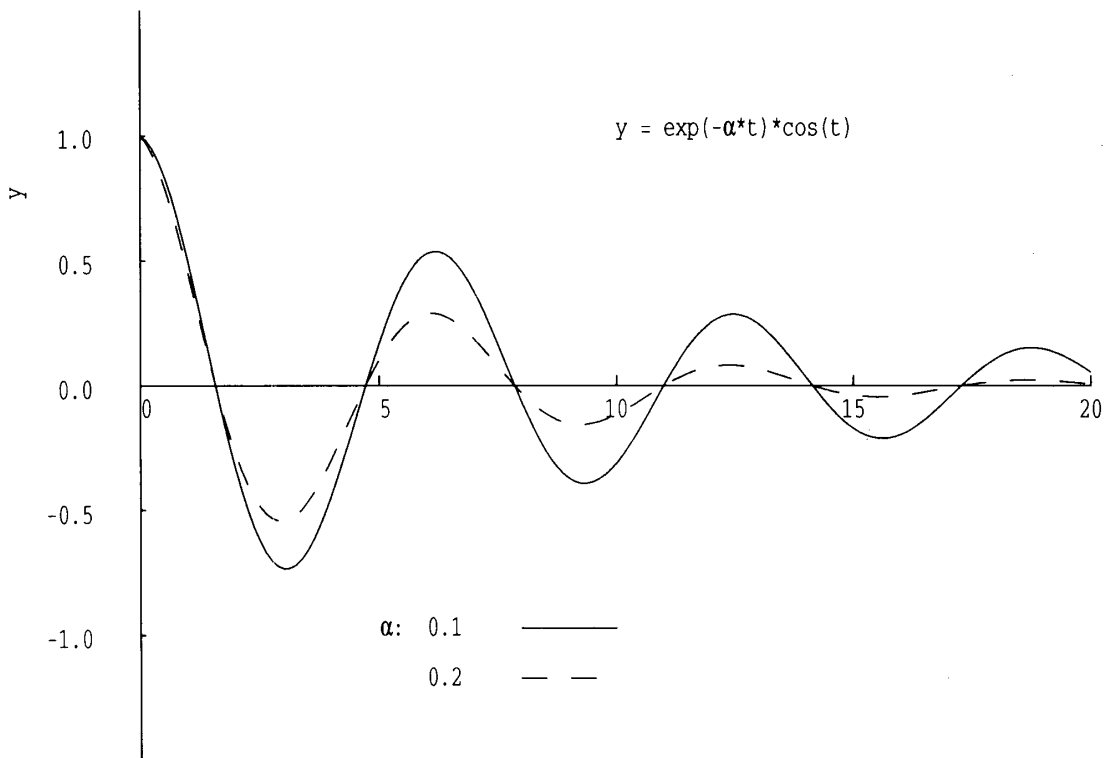


図-17 XYプロッタの出力結果例

図-16 と図-17 にプログラム例とその出力結果を示す。描いた図形をレーザービームプリンタなど高品質なプリンタを用いて出力する目的で開発したものである。手続きをコールすることにより図形情報はポストスクリプト言語に変換され、あら

かじめ指定したファイルに保存される。実行が終わった時点でこのファイルの内容をポストスクリプト・プレビューアに読ませれば計算機の画面の上に描くことができる。また、ポストスクリプト・プリンタに書き出せば紙の上に図形を描くことが

できる。IRIS ワークステーションにはポストスクリプト・シェル (psh) が用意されているのでこれを用いて画面上に表示し、カラーハードコピーをとることができる。また、ポストスクリプトファイルを生成するプログラムは VT 200 のようなグラフィックス機能を持たない端末装置上でも実行可能である。

ここで開発したライブラリは XY プロッタをエミュレートするものであり、線で構成された図を描くものである。物理現象を数値計算によりシミュレートし、得られた結果を視覚的に表現する目的で卒業研究などで利用している。計算機の処理速度の向上により、物理現象の計算機シミュレーションは 2 次元から 3 次元、さらに、時間的変化へとその応用可能な範囲が広がってきている。これにともない、データの表現方法も従来の紙の上の白と黒 2 階調から、カラー、ビデオ装置を使用した方法へと多様性を増している。このような状況に応じた、汎用性のあるグラフィックスライブラリの開発は今後の課題である。(木下)

3.7 IRIS による立体表示法の開発

立体表示のプログラムの開発を進めた。扱う題材として、布のような柔らかい形状のものと自由曲面を扱った。立体表示は 3 次元座標を 2 次元座標に変換することである。これらの例題では透視図表現を行った。VAX では平行投影、軸測図、立体視図などのプログラムを開発した。

(1) 柔らかい形状モデルの生成と陰影表現

計算機で取扱いが難しいといわれている柔らかい形状のモデルの生成とその表示方法を考案することを目的として、形状生成法並びに透視投影法、陰影表示法を開発した。布のように拘束点によって変化する形状は人に予測のつきにくい形状になる場合もある。このとき、誤解を生じないように表示を行うことが大切である。この表示に IRIS を利用した。PC 9800 で 30 分から 1 時間かかるものが非常に高速に表示できた。作図例を図-18 に示す。

(2) 自由曲面の濃淡表現

計算機内部データとして記憶されている自由曲面を人に対して分かりやすく示す陰影表現法を提案

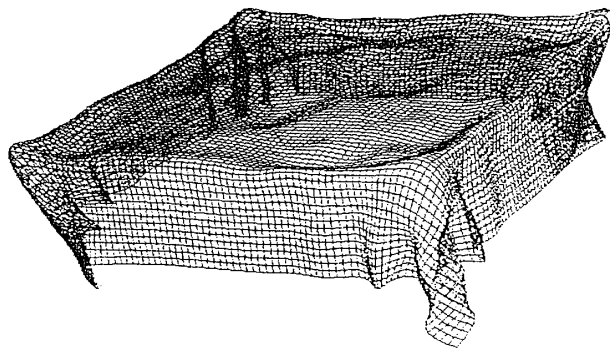


図-18 柔らかい形状モデルの生成

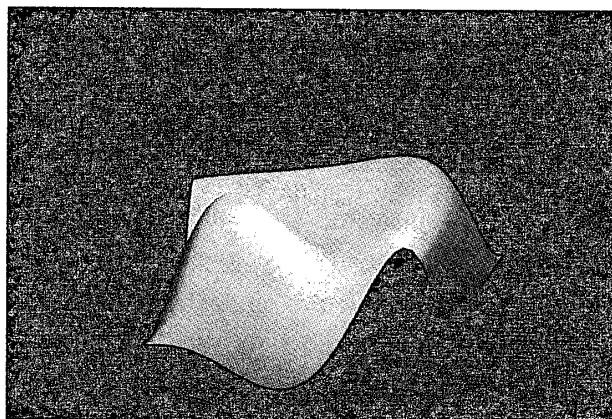


図-19 自由曲面の濃淡表現

することを目的とし、表現されたものから容易に形状が分かるような手法を開発することを行った。従来の手法は意図した図形を作画するために試行錯誤を行わなければならなかったり、またその結果でも意図したものが得られないということがあった。このことから、人が意図することを直接、図形に反映することのできる作画方法を開発することにした。IRIS はこの表示技術の開発と作図された図の評価に有効であった。作図例を図-19 に示す。(近藤)

4. 結 語

ここで報告した画像処理・解析システムをより利用価値の高いものに発展させるためには図-20 に示す画像情報システム全体を完成させる必要がある。特に画像情報の入力・表示部に独創的な技術を開発し、より多くの研究分野の有機的な結合状態を作り出して行きたい。関係各位の御協力と御教示を期待しております。(畑田)

付録 関連卒業研究リスト

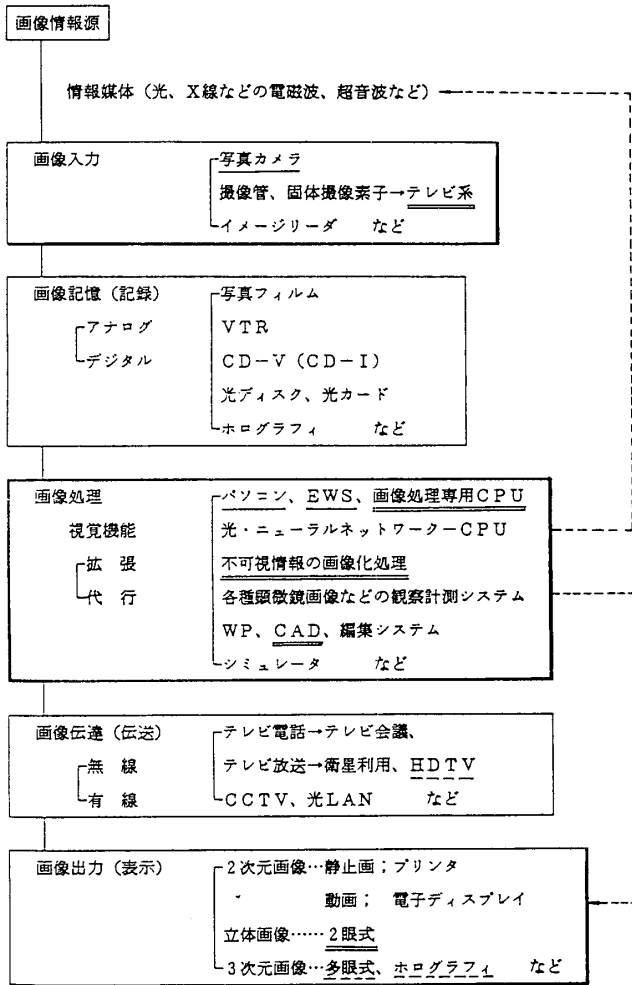


図-20 画像情報システム

1) 画像解析研究室 (畑田, 石川)

- ① 小江, デジタル色信号による色弁別特性, 1989
- ② 神戸, カラー-CRTの色信号変化による主観的色の見え方, 1990

2) 高梨研究室

- ① 下山, 庄司, 福島, 設計美学による形態設計の実験的研究—自転車デザインの形態設計を例とした光弾性現象と官能検査による実験的研究—, 1990
- ② 松本, 小山, 設計美学による形態設計の実験的研究—自転車デザインの形態設計を例とした光弾性現象と官能検査による実験的研究

—, 1991

3) 光情報処理研究室 (吉田)

- ① 財津, 顔の3次元立体表示, 1990
- ② 田中, 大野, 顔画像の分散処理生成, 1991

4) 建築設備研究室 (大場)

- ① 鳴海, 野沢, 画像計測による単独煙突の排煙拡散解析に関する基礎的研究, 1989
- ② 中島, 中村, 画像計測による2次元室内気流パターン解析に関する基礎的研究, 1989
- ③ 酒井, 渡辺, 画像計測による室内風速の測定精度と室内流れパターンの最小レイノルズ数に関する基礎的研究, 1990
- ④ 佐藤, 松本, 宮本, 画像計測による煙突排煙の拡散解析に関する基礎的研究, 1990
- ⑤ 小西, 山本, 画像計測による直立体ボイド空間の換気性状解析に関する研究, 1991
- ⑥ 大野, 小原, 画像計測による高層集合住宅ボイド空間の換気性状解析に関する研究, 1991

5) 通信工学研究室 (木下)

- ① 岩沢, X-Yプロッタエミュレーションプログラムの作成, 1989

6) 電子計算機工学研究室 (近藤)

- ① 露木, 2次元形状モデルの立体視による表現, 1989
- ② 鈴木, 自由曲面の濃淡表現に関する研究, 1989
- ③ 山本, 3次元図形作画システムの作成, 1989

7) 電子回路研究室 (鈴木)

- ① 喜古, 垂直記録ヘッドの拡大モデルによる研究, 1988
- ② 遠藤, 垂直記録ヘッド磁界の有限要素法による3次元解析, 1988
- ③ 柴山, 垂直記録ヘッド磁界の有限要素法による3次元シミュレーション, 1989
- ④ 川崎, 垂直記録ヘッドの磁界分布シミュレーション, 1990