

## NTT通研におけるCGの研究

山川 修三 成瀬 正 末永 康仁

NTT 電気通信研究所

NTT電気通信研究所におけるコンピュータ・グラフィックス (CG) の研究の概要を報告する。CGの研究は、以下の3つの部門に分かれて行われている。

- (1) 応用研究部門では、CGを応用したマッピングシステム、図面入力方式、標準仕様のソフトウェア (GKSほか) 等について研究開発を行っている。
- (2) 基礎研究部門では、三次元形状の入力法、光束追跡法、光線追跡法専用計算機SIGHT等について研究を行っている。
- (3) 基盤技術研究部門では、CG基本技術、人物像の処理、景観画像の処理等の基礎技術について研究を行っている。

## Researches of Computer Graphics in NTT Electrical Communications Laboratories

Shuzo Yamakawa, Tadashi Naruse and Yasuhito Suenaga

NTT Electrical Communications Laboratories

This paper describes researches of CG in NTT ECLs.

Researches of CG are categorized to three classes as follows; -

- (1) computer mapping system, drawing capture functions and standardized softwares as applications of CG,
- (2) three dimension input, high speed rendering algorithm and SIGHT as basic researches of CG,
- (3) CG fundamental technologies, human image processing, landscape image processing as fundamental technologies of CG.

## 第1章 概要

NTT電気通信研究所では、CGの研究を系統的に行っており、基礎理論の分野から、システムの基本となる基盤技術の分野、実業務で利用する応用分野までカバーしている。各々の分野対応に研究部門があり、分担して研究を進めている。

第2章では応用研究部門、第3章では基礎研究部門、第4章では基盤技術研究部門の研究内容について報告する。

## 第2章 CG応用システムと標準化

CG応用研究について述べる。CGの応用分野であるCADやマッピングでの利用に向けたCG応用システムとこれを構成するソフトウェア、ハードウェアの研究開発を進めている。CG応用として以下の3種類の検討課題がある。

- ①マッピング・システム
- ②図面入力方式
- ③標準仕様ソフトウェア

### 2.1 マッピング・システム

図形処理技術の進展により、地図情報が計算機システムに格納できるようになり、地図をベースとした設備設計や管理等地図情報の多面利用に向けた各種マッピング・システムのニーズが高まっている。

これらのニーズを満足するマッピング・システムを実現するために、自動入力された既存の図面やCAD機能を用いて設計された図面のデータベース化と、多種多様の検索・更新を可能とする、NTTマッピング・システム(NTT MAP VISION)を開発した(図1)〔文献1、

2、3〕。本マッピング・システムはホスト用とパソコン用の図面管理パッケージを基に構成されている。

ホスト計算機用の図面管理パッケージは、適当なサイズに細分化(メッシュ分割)すると同時に、情報種別毎に層分け(レイヤ分割)した図面を、リレーショナル型のマルチメディア・データベース管理システムを用いてデータベース化し、図面構造を管理する(図2)。さらに、この図面に対して多種多様のアクセス機能を提供するとともに、メッシュ単位で図面のアクセスの排他制御を行う。このため、全てのパソコンは、自分自身の都合だけを考慮して図面を検索し、長時間にわたって図面を更新することができる。

パソコン用の図面管理パッケージは、特定の1メッシュ・レイヤだけでなく、隣接するメッシュをつなぎ合わせたり、同一メッシュ内の複数レイヤを重ね合わせて、図面の検索や表示制御を行う。さらに、図面はパソコン内でローカルに仮更新し、更新終了後にホスト計算機の図面を一括して実更新する。

まとめると以下の機能を実現している。

- (1)多数のパソコンの収容を可能とし、ホスト計算機とパソコン間の図面管理機能の分散。
- (2)メッシュ・レイヤ単位で図面の効率的な管理を可能とする図面構造管理。
- (3)メッシュ単位の図面アクセス排他制御
- (4)処理能力の低いパソコンにおける、大容量図面の表示操作の高速化。

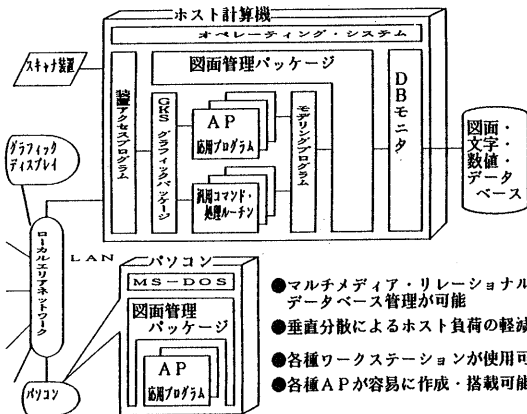


図1 NTTマッピングシステム(NTT MAP VISION)の構成

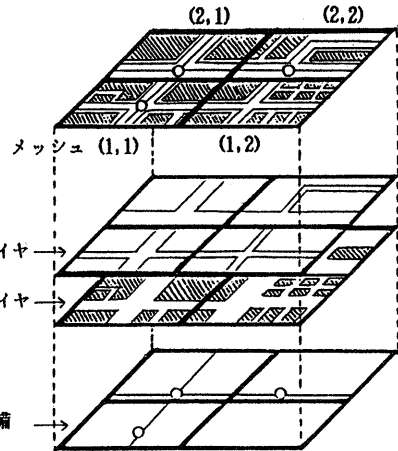


図2 図面のメッシュ・レイヤ構成

### 2.2 図面入力方式

図面入力方式の基本的な考え方として、人間の得意なことは人間にまかせ、機械の得意なことは機械にまかせる。即ち、図面の理解は人間が行い、人間が入力したい図形の位置と種類およびその意味を機械に教えてやる事により、計算機

はイメージデータを追跡しベクトルデータに変換する。このとき、追跡すべき図形の形状と意味が分かっているため図面の品質が多少悪くても、重畳図形の分離ベクトル化と同時に構造化データを作成することができる。

この考えに沿って、追跡ベクトル化機能を持った入力処理用のCADシステム（CHASER）を開発した〔文献4、5〕（図3）。本システムは、図面入力を全て自動化するのではなく、CADでデジタイザを使用する部分を計算機によるベクトル化処理に置き換えることにより、広範囲の図面を効率よく入力できる。

通常のCAD処理における点入力機能には、指定点（新規の点）入力と既存点（すでに入力済の点）入力がある。指定点入力では指示した点がそのまま入力される。従って、正確な図面入力には、正確な点指示が要求されるため、時間の増大をまねくとともに、入力作業の疲労原因の一つとなっていた。これに対し、入力点の近傍のランレグスベクトル

（RLV）データを探索し輪郭線を求め、その形状をもとに、入力座標点を決定することで、正確な指示をしなくとも、イメージデータ上の線（線上の近傍点）や特徴点（角点、交差点、T字路点等）が正確に指示できるようなる（図4）。

具体的オペレーションは各処理に対応するコマンドを画面メニューより選択し（図5）、RLVで表示された対象図形の近傍を指示することになる。本処理では、多くの場合1点の入力により、多点を有する折線、多角形、円（CADでは3点指示が必要）などが入力できるので、手作業入力に比べて、入力操作回数の削減、入力時間の節約がはかれる。また、自動入力ではできなかった重畳図形の分離ベクトル化が可能となる。

上記の半自動入力方式に加え、より認識しやすい図面の入力用の全自動入力方式についても研究開発を行っている。

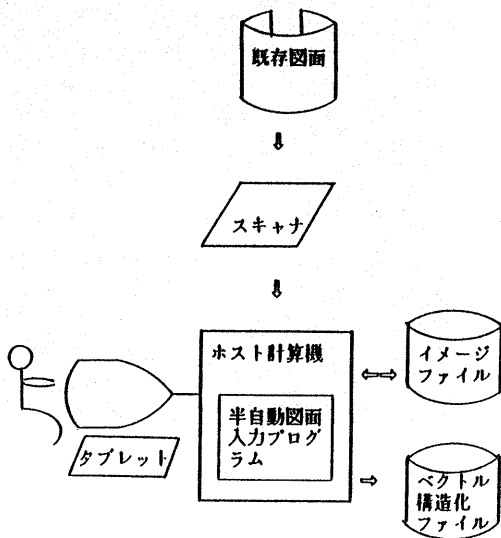
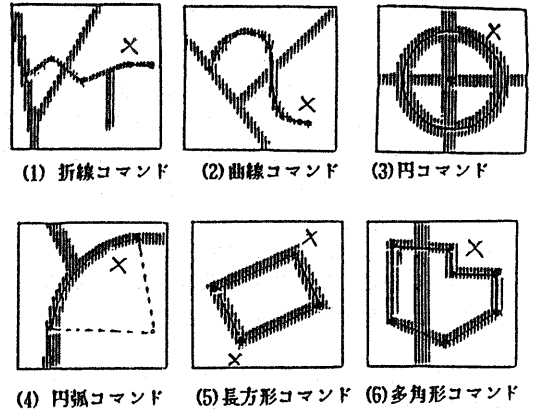


図3 図面入力方式のシステム構成



×：指示点（オペレータが入力した点）  
●：追跡処理による入力座標点

図4 主な追跡処理コマンドの例

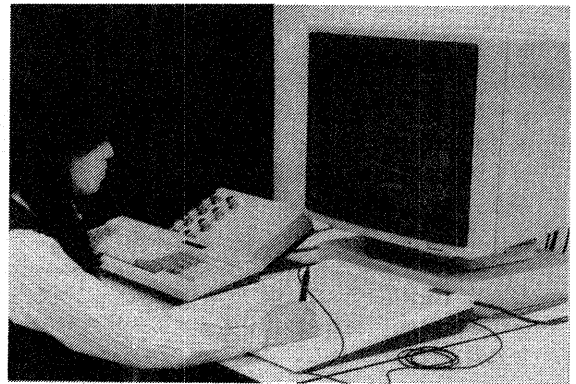


図5 図面入力のオペレーション

### 2.3 標準仕様ソフトウェア（GKS等）

グラフィックディスプレイやプロットへの応用プログラムからのアクセス・インタフェースに国際標準仕様のGKSを採用し、これをマルチウィンドウシステムと一体的に利用可能なソフトウェア等を開発した〔文献6、7〕。

また標準仕様を採用することで、応用プログラムの可搬性を高められると同時にパッケージプログラムのOS/装置依存を極小化できる効果が得られるため、GKSだけでなくPHIGSの概念をマッピング・システムのモデリングプログラムに利用したり、図形入出力装置インタフェースをCGIの概念を基に規定する等の国際標準の利用を進めている。更に、NTTでは、CGシステムの研究開発に国際標準を利用するだけでなく、CGの国際標準化、国内標準化の各種活動に参加し、研究開発の成果のフィードバックに努めている〔文献8〕。

### 第3章 CG基礎研究

CG基礎研究について述べる。ここではコンピュータグラフィックス（CG）、文字図形の認識・理解、情景理解、地下埋設物体などの不可視物体の画像化等の画像情報処理に関する研究を遂行している。以下では、CGグループの研究を紹介する。

CGグループでは、豊かなマン・マシンインタフェースの提供を目的として、その基盤技術となる次の三つの課題について研究を進めている。

- 1) 三次元形状の入力法：三次元曲線を軸とする対称性"Generalized Symmetry"に基づく三次元形状復元法
- 2) Rendering Algorithm：近軸光線の理論に基づいたrendering algorithm「光束追跡法」
- 3) 専用計算機：画素レベルと演算レベルの2レベル並列処理を実現した「光線追跡法専用計算機SIGHT」

これらについて、概要を以下に述べる。

#### 三次元形状入力法[9]

CGの利用分野が広がるにつれ、三次元空間の曲面形状を簡便に入力する手法が求められている。平面図形から三次元曲面形状を復元できれば、容易に形状入力ができるものと期待される。工業製品や自然物の中には対称性を持つものが数多くみられる。この対称性を形状復元の拘束条件として用いることにより、広い範囲の形状入力に適用することが可能であると考えられる。そこで、三次元曲線を軸とする対称性"Generalized Symmetry"を仮定して平面に描かれた線画から三次元形状を復元する手法を提案し、その有効性を検討している。"Generalized Symmetry"はKANADE [10] の"Skewed Symmetry"の曲面への拡張と位置付けられる。

形状復元例を図6に示す。図左の曲線を、Generalized Symmetryの関係にある三次元曲線がXY平面に正射影された曲線である、と仮定して形状復元を行なう。射影像からは一方の曲線上のある点が他方のどの点と対称関係にあるかは決定できない。そこで、対称関係を示すために補助線を与える。また、Z軸方向の情報は失われているので、補助線がXY面となす角度を与える。これらの付加情報と対称性から図右に示すような三次元曲面が復元される。付加情報に断面形状を加えることにより、図7に示すように線画から複雑な三次元形状が復元できる。複数の補助線と角度を与えることにより、図8のようにねじれた形状も復元できる。

#### Rendering Algorithm [1]

光線追跡法の課題として、計算コストの削減、表現能力の向上などが挙げられる。これらの解決のため、光束追跡法(Pencil Tracing)と呼ぶ新しいRendering Algorithmを提案した。光束追跡法は光学における近軸光線の理論をRenderingに応用したものであり、光線の束を効率よく追

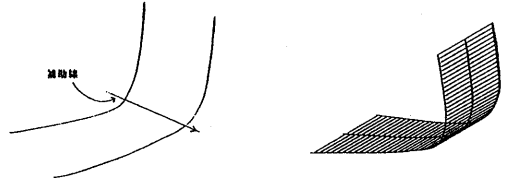


図6 復元例1

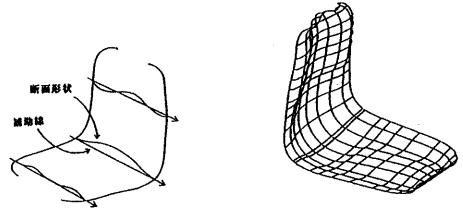


図7 復元例2

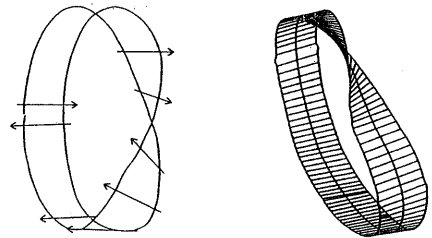


図8 復元例3

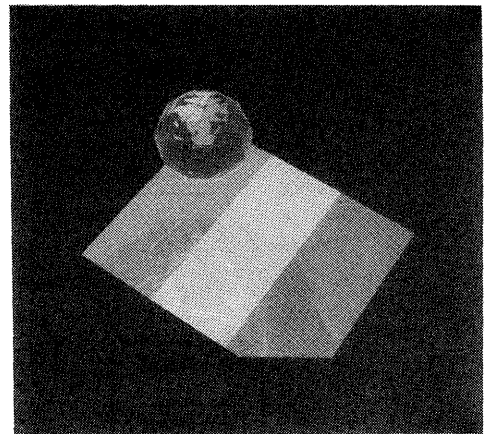


図9 画像生成例

跡することにより、高速に画像を生成する手法である。

近軸光線の追跡はシステムマトリクスと呼ばれる $4 \times 4$ マトリクスにより定式化できる。すなわち、近軸光線の伝播、反射、屈折は、システムマトリクスにより一意に記述でき、伝播、反射、屈折を繰り返す近軸光線は、システムマトリクスの積として一意に記述できる。従って、軸光線を光線追跡法により追跡してシステムマトリクスを求めれば、近軸光線の振る舞いは、システムマトリクスにより簡単に求められる。すなわち、軸光線に対応する画素の近傍画素の値は極めて高速に計算できる。これにより、光線追跡法に比し計算時間の大幅な短縮が可能となる。

誤差解析により、近軸光線で近似可能な領域を定める近軸光線の拡がり角を与えた。これにより、必要な精度を保証した画像生成ができる。

光束追跡法は、従来のAdvanced ray tracing methodsに理論的基盤を与えると共に、

- (1) システムマトリクスを用いた光線追跡法
- (2) 補間法による光線追跡法
- (3) 一般化透視変換  
(以上、光線追跡法の高速化)
- (4) 厳密な照度計算

等の新手法に適用される。図9に光束追跡法による画像生成例を示す。

#### 専用計算機[2]

光線追跡法の高速実行を目的とした専用計算機SIGHTの開発を行なっている。SIGHTの特長は、「光線追跡法では光線と物体の交点計算が処理全体の90%以上を占めることに着目し、その並列処理による高速化を行なった」ことにある。

従来、光線追跡法は、追跡する各光線が独立に計算することに着目し、マルチプロセッサによる並列処理が行われてきた(画素レベルの並列処理)。その代表として、阪大のLINKS-1がある。

一方、光線の追跡計算を詳細に解析すると、それは、内積、マトリクスとベクトルの積等を主体とする三次元空間のベクトル演算であり、X,Y,Z軸に関して対称な演算であることがわかる。この対称性を利用して、複数の演算器によるベクトル演算の並列処理ができる(演算レベルの並列処理)。SIGHTでは、3個の演算器と3個のレジスタファイルを簡単なネットワークで結合したTARAIユニットにより、この並列処理を効率よく行なっている。もちろん、マルチプロセッサ構成により画素レベルの並列処理も行なっている。図10にSIGHTのPEの構成図を示す。この図において、MPユニットはアドレス計算、TARAIユニットの制御、ホスト計算機との通信等を行ない、TARAIユニットと並列に動作する。データベースメモリ(DBM)には画像プリミティブデータが格納される。

現在、1PEが稼働しており(図11)、その性能は、TARAIユニットが4MFLOPS、MPが8MIPSである。光線追跡法をインプリメントしてVAX-11/780(浮動小数点演算器付)と速度比較し、対VAX比約8倍の性能を得ている。

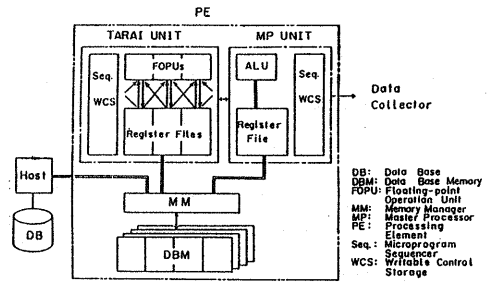


図10 PE構成図

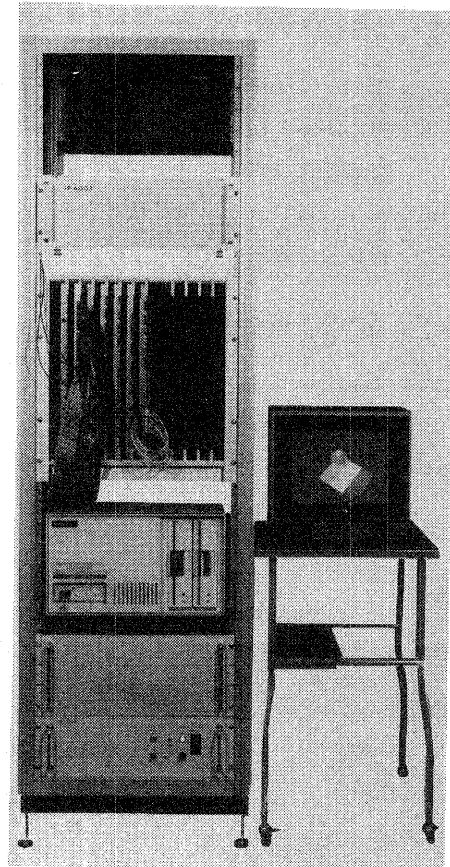


図11 SIGHT試作機

## 第4章 CGとCV

CG基盤技術研究について述べる。より優れた人間・機械インタフェースの実現を目指し、人間の視覚機能に相当するコンピュータビジョン(CV)との結合を重視しつつCGの系統的研究を進めている。

現在の検討項目は以下の3種類に分類される。

- (1) CG基本技術
- (2) 人物像の処理
- (3) 景観画像の処理

### ICG基本技術

リアルな3次元画像の生成に必要なCG基本技術について、以下の3項目を中心に検討を進めている。

- (1) 画像記述法 [文献13]

画像生成に必要な物体データを分かりやすい形で階層的に記述し、会話的に物体の3次元形状と属性データ(色、反射特性など)を入力する方法を検討中である。

また、従来から知られている代表的な画像生成手法によるレンダリング実験ツールを整備し、手法の確認と能力評価を行っている。

- (2) 高速画像生成アルゴリズム

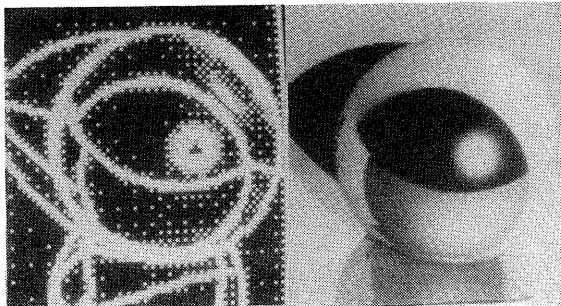
光線追跡法は、透明あるいは半透明物体での光の反射や屈折までを含む現象を最も忠実に再現できる優れた画像生成手法であるが、膨大な処理時間が必要になるといふ欠点がある。

そこで、我々は光線追跡法の利点を生かしたままでこれを高速化する方法について検討をすすめてきている。これまでに、以下の2種類の方法を提案している。

- (2-1) 画素選択型光線追跡法 [文献14, 15]

小領域における画素間の輝度の相関が高いことに着目し、正確に輝度を求める必要がある画素についてのみ光線追跡演算を行う、他は補間で求めることによって高速化を行う方法である。

最初は比較的あらい間隔で選ばれた画素について光線追跡を行い、それらの画素の輝度がある条件をみたすならば中間の画素の輝度を補間で求め、



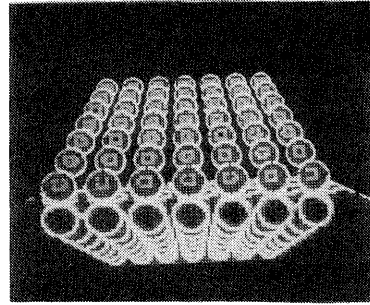
(a) 光線追跡適用画素 (b) 生成画像

図12 画素選択型光線追跡法 [文献14, 15]

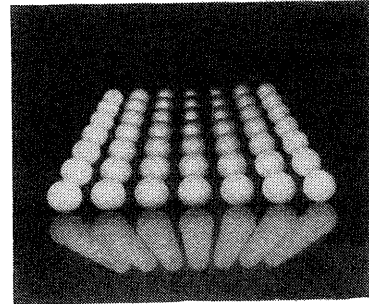
そうでなければ光線追跡で求める。これを再帰的にくりかえすことにより全画素の輝度を求める。実験の結果、光線追跡が判っている。高速化を達成できることが判っている。

- (2-2) 境界光線追跡法(Border Ray Tracing) [文献16, 17]

表示物体の透視投影像を予め生成し、これを用いて物体境界付近の画素の他の部分は補間による輝度計算を行うこと、および高速化を図る方法とを比較する。実験の結果、本手法は従来より光線追跡法と比較して、10~30倍高速であることが確認されている。



(a) 光線追跡適用画素



(b) 生成画像

図13 境界光線追跡法(Border Ray Tracing) [文献16, 17]

- (3) 高速画像生成装置 MAGIC [文献18, 19]

画像生成処理の膨大な浮動小数点演算を高速で実行するための実験ツールとして高速画像生成装置MAGIC(Multi-processor based All-round Graphic Image Computer)を試作した。これは、画像生成に必要なベクトル/行列演算を高速に行うベクトル演算機構をもつ処理ユニットで構成されるマルチプロセッサシステムである。

光線追跡法とスキャンライン法の2種類の画像生成ソフトウェアを本装置にインプリメントした結果、一つの処理ユニットで32ビットスーパーミニコン(浮動小数点演算器付VAX-11/780)の15倍以上の処理能力を有することが確認された。今後、処理ユニットの増設により、さらに高速な会話型画像生成が可能となる。

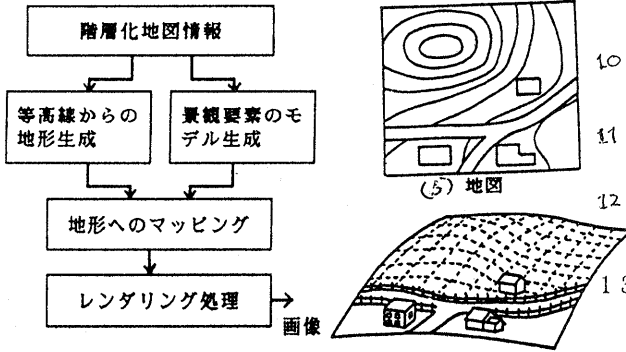


### III 景観画像の処理

より自然な人間・機械インタフェースの実現を目指し、複雑な現実の景観を僅かな情報で表現・記述し、これをもとに風景や町並みなどの3次元景観画像を生成する技術について検討を進めている。

#### (1) 景観画像合成 [文献26]

地図と航空写真にもとづくリアルな景観画像の合成を目指し、航空写真からの景観の構造や特徴を抽出する手法と、地図からの景観に関する情報、知識の抽出方法の基本検討を進めている。



(a) 景観画像合成法

(c) 地図と合成した景観画像

図18 景観画像合成 [文献26]

#### (2) 逆透視変換利用の景観シミュレーション [文献27]

コンピュータ・ビジョン(CV)技術を利用した景観画像処理の1つの例として、実際の空間中におかれた人工の指標の映像と逆透視変換とを利用した景観シミュレーションの検討を進めている。これは、任意の物体や製品を任意の場所で実際の情景と正確に合成して表示することを目指すものである。

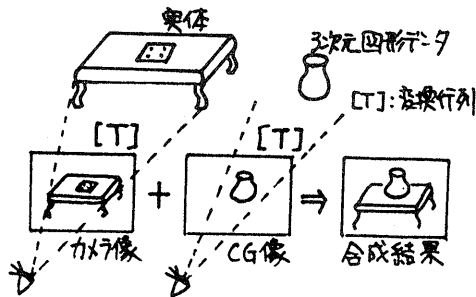


図19 逆透視変換利用の景観シミュレーション [文献27]

#### [参考文献]

- 市河：“図形処理システムにおける機能分散方式について”、情処オブレイング研究会、28-3 (1985)
- 山本、杉山、市河：“図面管理における機能分散の手法”、情処34回大会

- 高橋、高橋、上甲：“CADシステム向き地図ファイル管理方式について”、情処34回大会
- 小田、矢田、藤田、山川：“半自動図面入力プログラム”、情処グラフィックスとCADシミュレーション(1986)
- 山川、小田：“会話型図面入力システム”、日経CG 1987.4
- 水町、北川、稲垣、山川：“CADシステムにおけるGKSの実現方式”、情処グラフィックスとCADシミュレーション(1984)
- 水町：“GKSにおけるマルチウィンドウ機能の実現方式に関する一考察”、情処32回大会
- 稲垣、川合：“CGIとCGMの標準化動向”、情処グラフィックスとCAD研究会、24-5 (1986)
- 田中、内藤、高橋、増田：“Generalized Symmetryに基づく三次元曲面形状の復元”、信学技報、PRU86-5、(1986-5)
- T.Kanade：“Recovery of the Three-Dimensional Shape of an Object from Single View”, Artificial Intelligence, Vol.17, pp.409-460(1981)
- M.Shinya, T.Takahashi, S.Naito：“Principles and Applications of Pencil Tracing”、SIGGRAPH '87で発表予定
- 成瀬、吉田、高橋、金子：“グラフィックス計算機SIGHTの基本構想”、信学論(D), Vol.J69-D, No.3, pp.474-476, (1986.3)
- 秋本、玉邑、末永：共通中間言語を利用した3次元画像記述の手法と高速画像生成装置MAGICへの適用”、情報処理学会グラフィックスとCAD研資 (July 1987)
- 秋本、間瀬、末永：“隣接画素の類似性にもとづく光線追跡法の高速度化”、情報処理学会全大、4J-4, (March 1987)
- 秋本、間瀬：“画素選択型光線追跡法”、信学論、Vol.J69-D, No.12 (Dec 1986)
- 橋本、間瀬、秋本：“ボーダー・レイトレーシング法”、信学技報 PRU86-110 (Feb.1987)
- 橋本、末永：“ボーダー・レイトレーシング法の画質と高速化率”、情報処理学会グラフィックスとCAD研資 (July 1987)
- 秋本、玉邑、三ツ矢：“高速画像合成プロセッサユニットの構成”、情報処理学会第33回全大、39-2, (Oct. 1986)
- 玉邑、秋本、三ツ矢：“高速画像生成装置-MAGIC-の動作と性能”、情報処理学会グラフィックスとCAD研資 (July 1987)
- 間瀬、末永：“顔画像の動き検出の手法”、情報処理学会第30回(昭和60年度前期)全国大会、7M-5, (March 1985)
- 間瀬、末永：“顔画像処理による頭の動作識別法”、情報処理学会コンピュータビジョン研資 (March 1987)
- 村上、市原：“知能画像通信方式の一構成法”、信学会画像工学研資、EID87-2, (June 1987)
- 秋本、間瀬：“動きを表現するための顔画像生成方法の基礎検討”、昭和61信学総合全大、1647 (March 1986)
- 秋本、“あごの3次元モデルと表皮の自動変形による表情と動きを持つ顔画像の生成”、NICOGRAPI'87論文集, (Nov.1986)
- 山名、末永：“異方性反射モデルを用いた頭髪表現”、信学会パターン認識と学習研資、PRU87-3, (May 1987)
- 玉邑、末永：“地図に基づく景観要素モデルの生成法”、信学会創立70周年記念総合全大、NO.1624, (March 1987)
- 間瀬、末永：“逆透視変換を利用した景観モニター”、信学会創立70周年記念総合全大、NO.1625, (March 1987)