

コンピュータグラフィックスによる 製品ビジュアライゼーション

Products Visualization by Means of Computer Graphics

計画あるいは設計段階などでまだ存在しない製品を、その設置環境も含めて映像化することによって、製品のイメージが明確になり、製造者と使用者の間の意図の不一致が削減される。製品の映像化、すなわちビジュアライゼーションは、CG(コンピュータグラフィックス)技術によって実現される。

最近急激に低価格が進んでいるグラフィックワークステーションとAV(Audio Visual)機器の活用で、形状だけでなく、アニメーションによって動きの可視化も可能である。しかし、アニメーション作成には膨大な数の画像作成が必要であり、また自動化の困難な人手による作業が伴う。

ビジュアライゼーションは、試作のできない大きな製品、感覚的評価のたいせつな家電機器などで効果を発揮している。

谷中雅雄* Masao Yanaka
武内良三* Ryôzô Takeuchi
宇佐美芳明* Yoshiaki Usami

1 緒言

近年の社会ニーズの多様化に伴い、製品製造技術の進展とあいまって、社会に「商品」として売り出される製品の種類・数量は膨大なものである。この商品の多様化の傾向は製品寿命の短命化を助長し、製品の企画、設計、製造・販売の期間短縮が必要になっている。

設計、製造の期間短縮はCAD/CAMの進展によって確実に達成されつつあるが、企画や販売・保守への計算機支援はまだまだ不十分である。

メーカーが製造した製品を商品として市場に出し、ユーザーの評価に基づいて設計変更を行って改良品を製造する、というサイクルによって真にユーザーの欲する商品が作られる。このサイクルを短くするためには、設計者とユーザーの間のコミュニケーションが十分に行われなければならない。

設計者の製品イメージと、ユーザーが商品に期待するイメージの整合に必要な時間を短くすることが、製品開発期間の短縮には必要である。両者のイメージを製品そのもの、あるいは製品の試作品を介さずに一致させるには、何らかの手段でイメージの具象化を図らなければならない。

このイメージの具象化は、より具体的な場面でもたいへん重要である。例えば、メーカー内での設計担当者と管理者の間、簡単には試作できない大きな製品の製造者とその発注者の間、あるいは設計者自身のイメージの明確化などである。

具象化の方法としては、スケッチ図を描く、縮尺モデルを

作る、原寸大のモックアップを作る、コンピュータグラフィックスによって映像化する、などの方法が用いられる。

近年のCRTディスプレイ技術の発展を考えると、CG(コンピュータグラフィックス)によって、リアルな映像をCRT画面に作り出すことは、そのリアリティ、柔軟性、パブリシティなどあらゆる面で効果的である。また、二次元画面であることの制限はあるものの、大画面プロジェクタの出現によって、数メートルのものでも実物大の映像が作れるようになり、実物感がたいせつな製品にも適用可能になりつつある。

本稿ではグラフィックワークステーションによるCGを用いて、まだ存在しない製品のイメージをより明確にする製品ビジュアライゼーションについて述べる。解析データの可視化、現象の可視化など^{1),2)}については触れない。

2 ビジュアライゼーションの技術

計算機内のデータとして存在する物体をCRT画面に表示するのに必要な技術を図1に整理し、特にビジュアライゼーションに特有の技術を2.2節で説明する。以下、ハードウェア技術、ソフトウェア技術に分けて説明する。

2.1 ハードウェア技術

ビジュアライゼーションが脚光を浴びる要因の一つでもあるが、近年のパーソナルコンピュータやワークステーションのグラフィック機能の向上はたいへん著しい。ビジュアライゼー

* 日立製作所 日立研究所

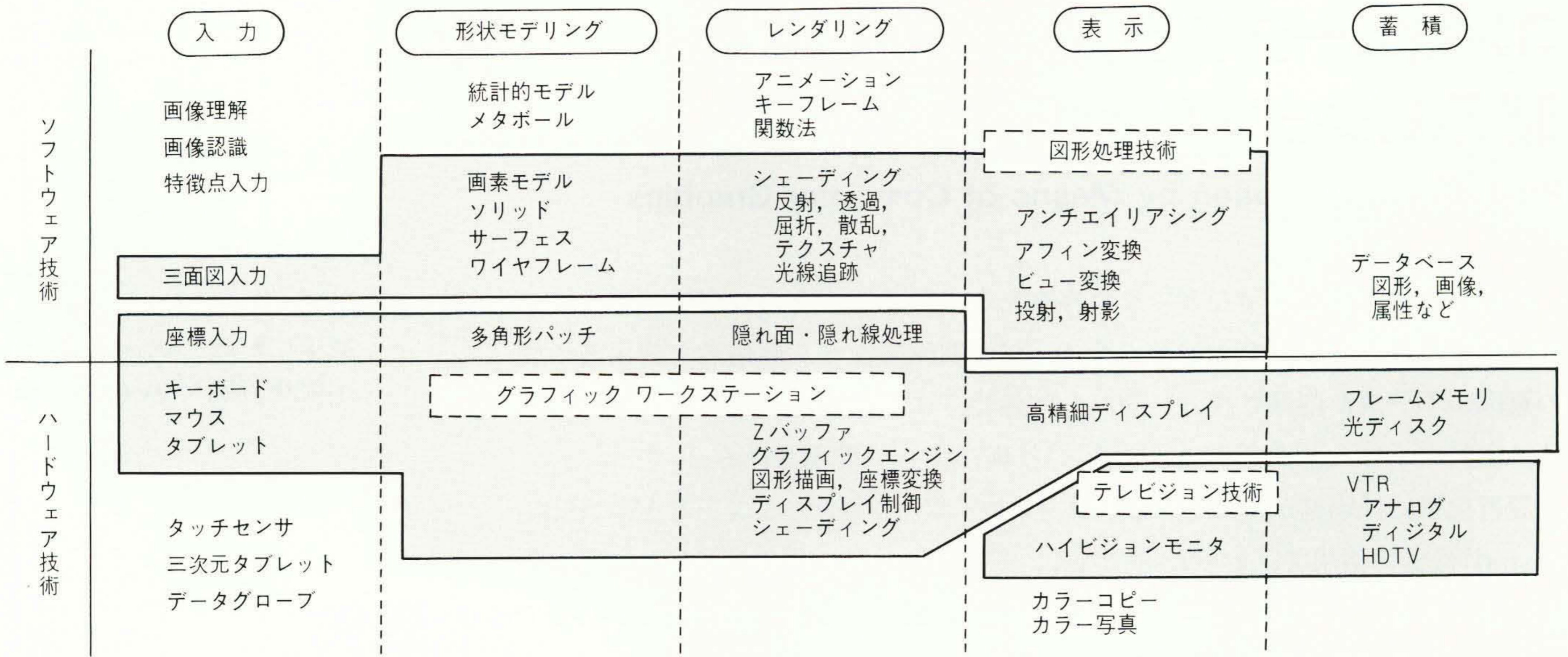


図1 ビジュアリゼーション関連技術 ソフトウェア，ハードウェアの多くの技術が関連する。ハードウェア技術ではアニメーション関連でテレビジョン技術の進歩の影響が大きい。

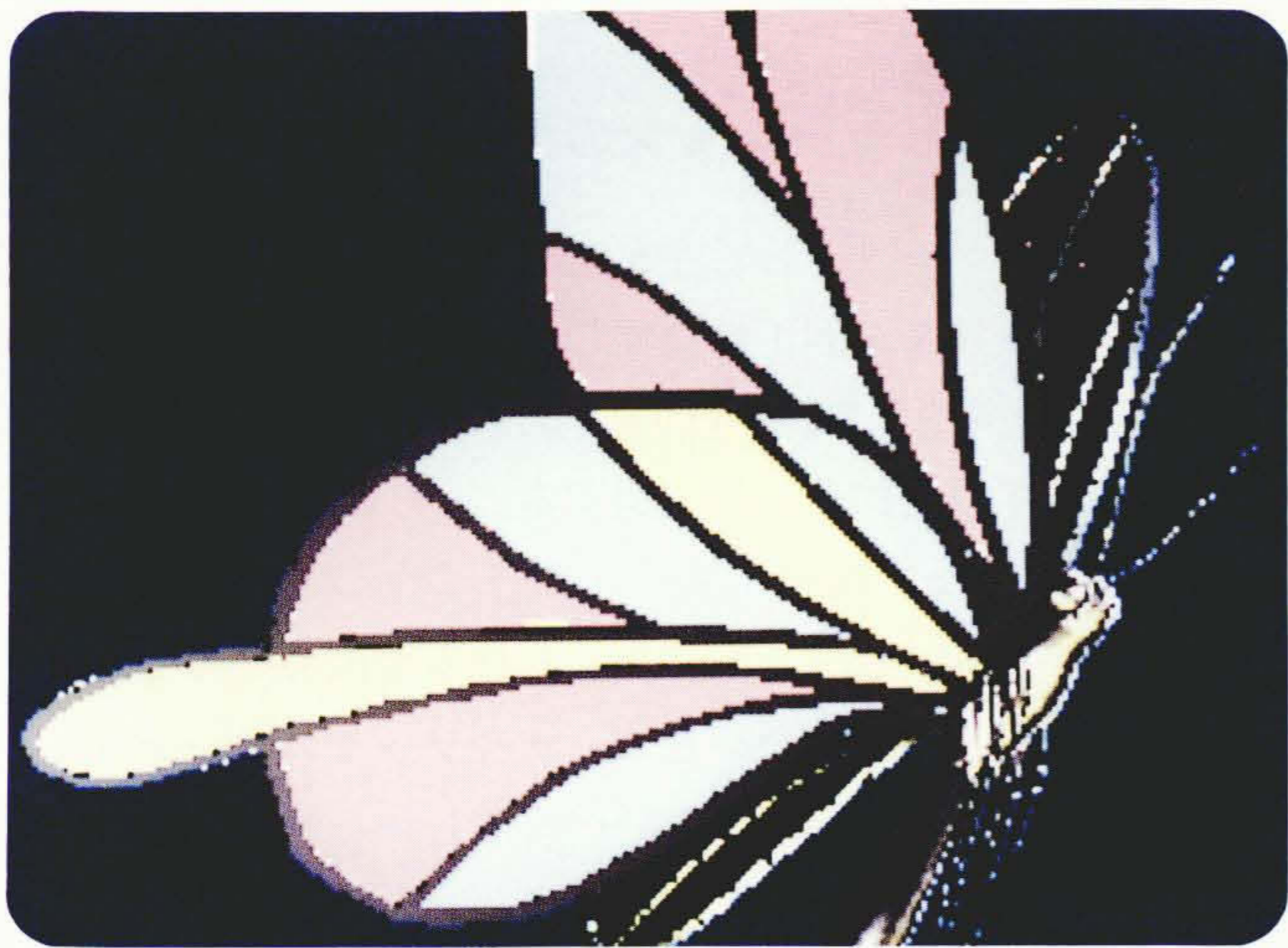
シヨンのハードウェア技術の中心はテレビジョン技術とグラフィックワークステーションである。

リアルな表示は赤，緑，青の各原色当たり256階調(各色8ビット，全体で24ビット，約1,670万色)必要である。一つの画面ではこれほどの階調は必要ないが，各フレームで色の変化するアニメーション表示には必須(す)である。NTSC (National Television System Committee)方式のテレビジョンでは伝送帯域圧縮のために，特に色情報が縮減されているが，CRTそのものはこの1,670万色を表現できる。

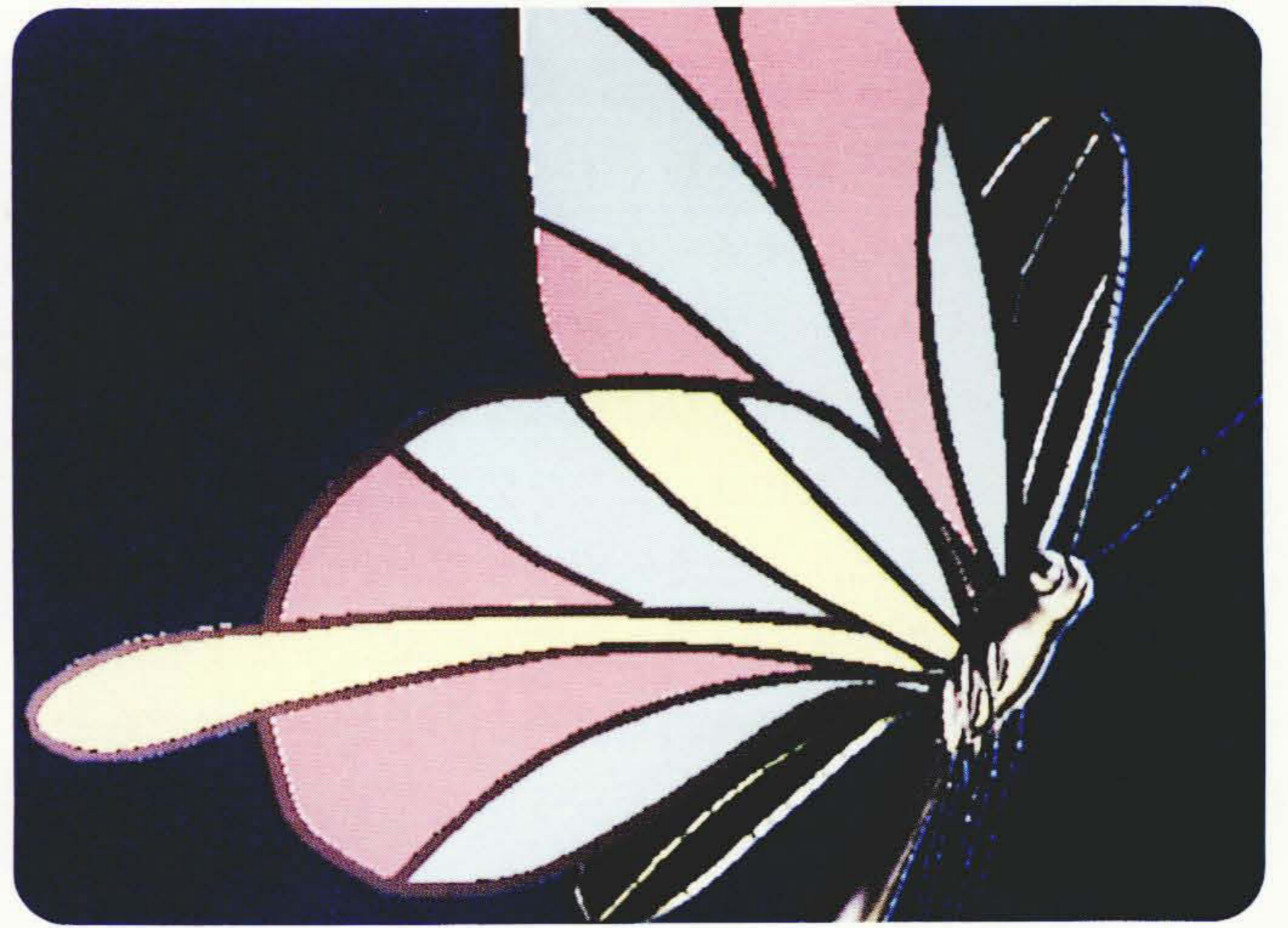
画像はディスプレイに画素の集合として表示されるので，画素数によって映像の精細度が決まる。NTSC方式では走査線数が525本(垂直帰線期間があるので画面上では480本)であ

るので，20形クラスのCRTではミリメートル当たり1.5本ぐらいとなる。したがって，通常の使用距離から走査線が明確に認識されてしまい，斜線はぎざぎざの階段状に表示される(CGの分野では，これをエイリアシングと言う)。

グラフィックワークステーションでは，解像度を倍にした高精細ディスプレイが使用されている。走査線数は約1,000本であり，エイリアシングはわずかに視認されるが，動画表示には十分な精細度である。高精細ディスプレイに同一画像を512本で出力したものと，1,024本で出力したものを図2に示す。いずれも20形のCRT映像を半分に縮尺し，さらに半分トリミングした大きさである。1,024本のは，ビジュアリゼーション用として許容できる精細度であると考えられる。



(a) 512本



(b) 1,024本

図2 走査線数の違い (a), (b)は，いずれも縮尺 $\frac{1}{2}$ ，半分にトリミングしたものである。

グラフィックワークステーション内蔵の基本機能として、Zバッファ、図形描画、3D/2D座標変換、さらにスムーズシェーディングなどが提供されるようになりつつある³⁾。可視化すべき製品のデータはすでに計算機ファイル内に存在しているので、新たな入力の手段は必要としない。しかし、可視化のために必要な付随的情報の入力手段としてキーボード、マウス、タブレットなどが使われる。

ビジュアリゼーションで映像をアニメーション化することによって、可視化の効果は非常に向上する。動画には1秒当たり30コマの映像が必要であるが、現在のワークステーションの性能ではリアルタイムで作ることはできない。VTRへのコマ撮り録画が必要である。映画フィルムへのコマ撮りは画像技術として完成されているが、即時性でVTRに劣るので、すでにVTRが主流になりつつある。

最近のVTR技術の進歩は大きく、製品ビジュアリゼーションの要求に近づきつつある。現在のVTRはNTSC方式(PAL (Phase Alternation by Line), SECAM (Séquential Couleur á Mémoire)でも大差ない。)を基にしており、走査線本数、サンプリング時間も決して十分ではない。よりリアルな表現が必要な分野ではHDTV(ハイビジョン、画素数1,920×1,035)の普及が待たれる。

2.2 ソフトウェア技術

ビジュアリゼーション特有の技術は主にソフトウェアであり、表1に示したようなものである⁴⁾。

まず最初は、仮想的な三次元空間内のデータ群として存在する可視化対象物体について、同一空間内で視点の位置と方向およびスクリーン座標を決め、そのスクリーン座標への投影計算が必要である。

表1 ビジュアリゼーション特有の技術 No. 1, 2は幾何学的計算であり、No. 3～5は光学的計算である。No. 6, 7の処理には光学的要素のほかに人間の心理的要素を加えなければならない。

No.	処理技術	処理内容
1	ビュー変換	三次元物体としての「製品」を、視点から見たときのCRT画面への投影二次元像の生成……座標変換
2	隠れ面処理	投影像のデータについて、視点から見て手前にある面のデータを抽出(見えない面を削除)……前後検定
3	陰影付け	投影像を構成する面の画素ごとの色(3元色の各成分光の強度)の計算
4	影付け	「製品構成面」と光源の間での影の計算と、そのビュー変換
5	光学的処理	「製品」と周囲環境の間での反射、屈折、透過などの処理
6	アニメーション	視点移動、物体移動などの「動き」による像の変化の計算
7	テクスチャマッピング	物体表面の材質感表現のために行う面の色の局所の変更

投影された図形に彩色し、陰影を付け、そして影を付ける機能をレンダリングと総称する。レンダリングは光源や材質との関係で決まるものであり、これら形状以外の環境情報は、属性として入力する必要がある。人工物体を対象とした汎(はん)用的なレンダリング手法としては、Zバッファ法、レイトラッキング法、そしてラジオシティ法などが実用化されている⁵⁾。風景、動植物、布、自然現象などの可視化は形状とレンダリングとを分離するのが難しく、まだ技術的に確立されていない。しかし、製品のビジュアリゼーションとしては、まず人工物体が扱えればよく、物体表面に使われる布、毛皮、木目などはマッピングの手法で表現することができる。

映像の画素数不足によるエイリアシングの発生は、急激な輝度あるいは色の変化する輪郭線部で顕著である。図3に示すように、輝度を周囲の画素と平均化することによってエイリアシングは軽減される。これはアンチエイリアシング処理と呼ばれ、空間周波に対する平滑フィルタによる積分処理として種々の方法が適用されている⁴⁾。

アニメーションとシミュレーションの違いは、後者では物理法則に忠実に時間経過を計算するのに対し、前者では製作者が動きをも設計することである。アニメーションならば自動車が空を飛び、カットモデルが正常に動作し、そして人間が壁を通り抜けることが可能である。

製品ビジュアリゼーションでのアニメーションの技術としては、視点移動に伴う変更画像の生成、キーフレーム間の補間画像による動きの生成、の二つの技術が重要である。三次元CGとしては、前者は座標変換であり、後者はキーフレームの間で位置が移動した物体の自然な軌跡を求めることである。自然な軌跡を求めるには、物理的シミュレーションによるか、関数補間が可能なくらいに人手によってキーフレームの細分を行うことが必要である。部分的に物理シミュレーションを

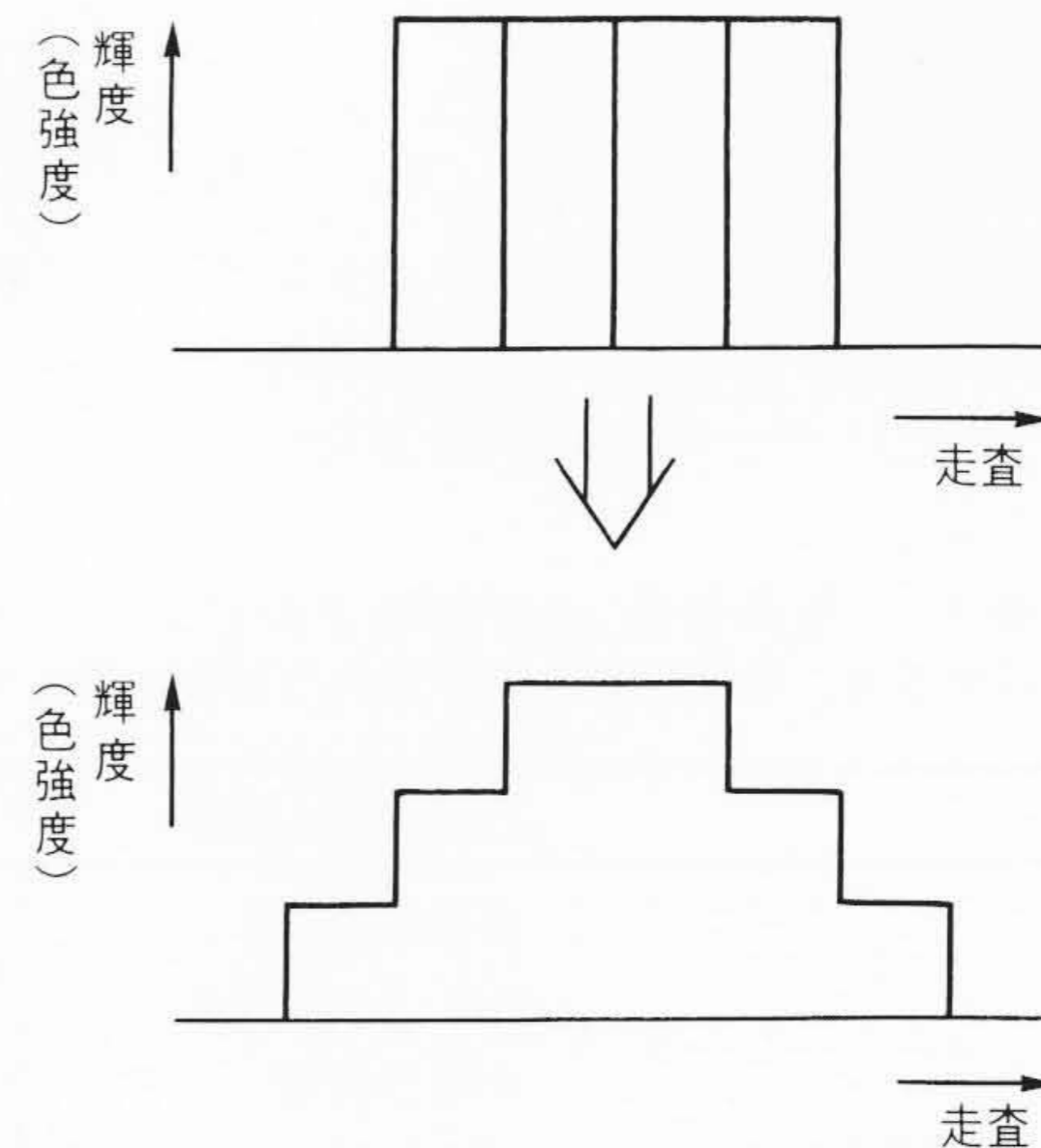


図3 平滑化によるアンチエイリアシング処理 空間的な輝度変化を滑らかにすること、すなわち一種のぼかし処理である。

適用することは、キーフレーム作成の手間が削減され、アニメーションコストの低下に役立つ。今はキーフレーム法が主流であるが、物理シミュレーション法は今後実用化が期待される技術である⁹⁾。

3 製品のビジュアライゼーション

製品の設計・製造の進行段階に沿って、ビジュアライゼーションへの要求、およびその効用を表2に整理して示す。

企画・計画段階は詳細形状、正確な動きなどが、まだ決定していない段階であるので、リアルな映像よりは全体的イメージが伝達できる映像が要求される。計画者自身のイメージ固めのため、製造者と依頼者の間でのイメージの伝達などに用いられる。すなわち、イメージの具象化手段としてのビジュアライゼーションである。

詳細設計の段階でのビジュアライゼーションは、設計データから直接映像化することによって、設計データの細部の検証、完成状態の感覚的チェックに使用される。イメージの具象化のほかに、試作の代替の役割をも果たすことができる。

試作の代替の役割は生産段階で特に発揮される。すなわち、試作が困難な製品については製造手順のチェック、加工仕上りの検証などに有効である。NC(数値制御)加工でのビジュアライゼーションについては本号の別稿を参照されたい。

製造後でも保守マニュアル、使用法講習などで、写真では撮影困難な状態を映像化できるメリットがある。故障状態、動作状態での機器内部の可視化が可能である。すなわち、特異状態設定あるいは動作状態の説明としてのビジュアライゼーションの効果は大きい。

4 ビジュアライゼーション支援システム

4.1 システム構成

ビジュアライゼーションの形態としては、

- (1) ハードコピーで何枚かの組絵を作る。
- (2) ソフトコピーとして、ビデオテープにアニメーションを作り、CRTに動画表示する。
- (3) デジタルデータセットとして、三次元グラフィックワークステーション内に形状を定義し、レンダリング映像をCRT

に表示する。

の三とおりが考えられる。

第一の形態はスケッチ描画の自動化と考えてよく、ビジュアライゼーションとしては初歩的である。第二の形態のビデオテープは、動きが表現できるので効果大きい。いろいろな視点からの概観、内部へ入ったと仮定しての映像、さらには動作状態での内部構造などを可視化できる。しかし、1秒間当たり30こまの映像を作成しなければ動画とはならない。

第三の形態はビデオへの記録を行わず、ワークステーション内のデータをCRTに表示することで可視化するものであり、その場で視点変更、縮小・拡大、分解・組立などを見せることが可能である。

第二、第三の形態のビジュアライゼーションを実行するためのシステム構成を図4に示す。

4.1.1 ハードウェア構成

ハードウェアはレンダリングなどの処理を行うグラフィックワークステーション2050Gを中心にして構成した。ネットワーク接続装置は可視化対象データのオンライン受信に用いられ、VTRおよびVTR編集制御装置はアニメーション作成のこま撮りに必要である。レンダリング処理をワークステーションで行う場合、数分から数時間必要であるので、処理した画像データをデジタル形式でファイルしておくことのできる大容量のデータファイルが有用である。現時点ではハードディスクおよび光ディスクを使用している。

VTRとしては家庭用のものではこま撮り機能が貧弱であるので、業務用のものを用いた。映像の編集・再利用を考えるとデジタルVTRが良いが、近年のVTR技術の進歩は著しいものがあり、価格との対比ではS-VHSでも十分に有用である。

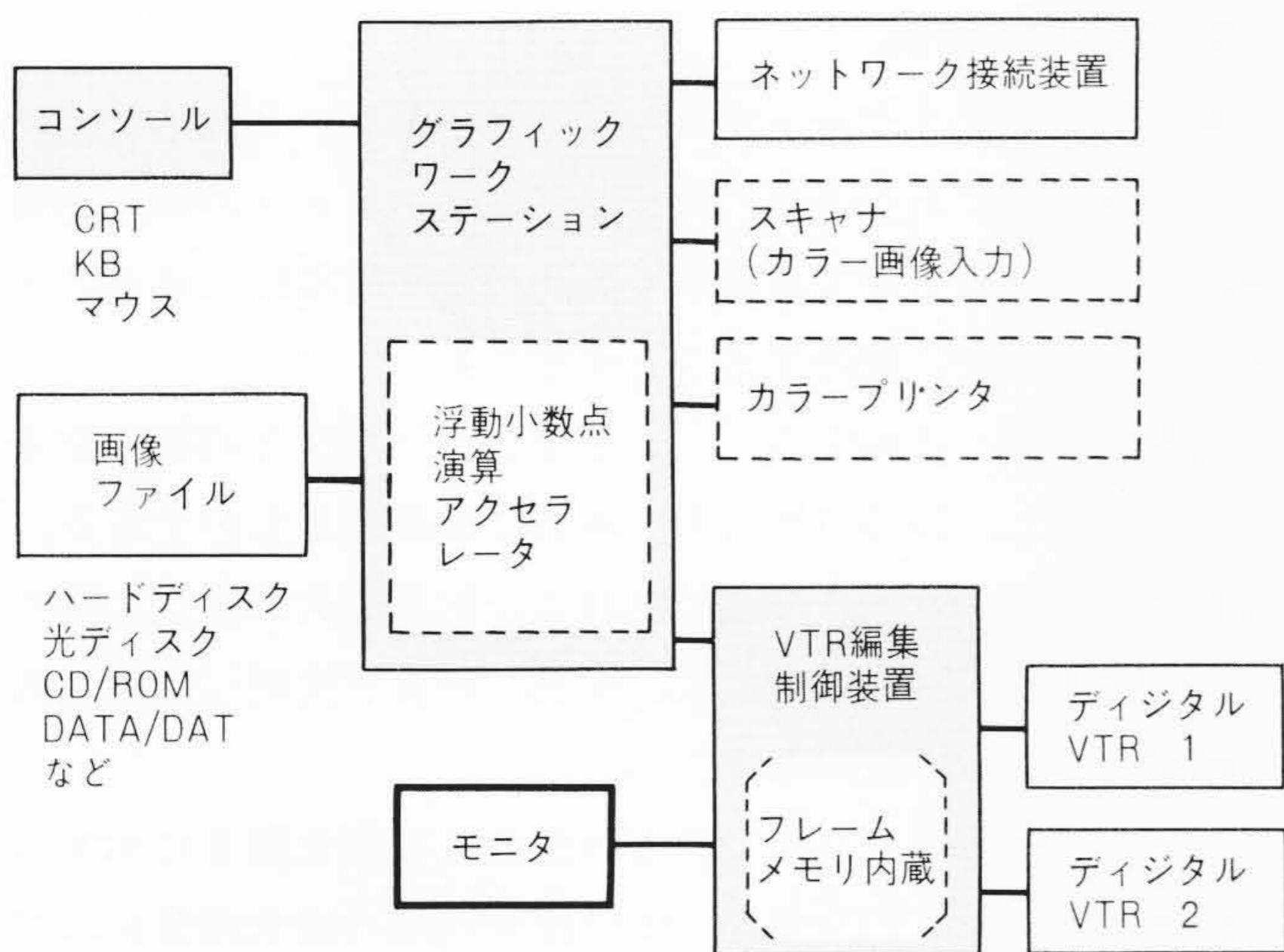
必須の装置ではないが、可視化映像での背景あるいは可視化対象物体にマッピングする絵柄を二次元画像で入力するためのスキャナ、レンダリング映像をハードコピーとして見るためのカラープリンタも接続している。

4.1.2 ソフトウェア構成

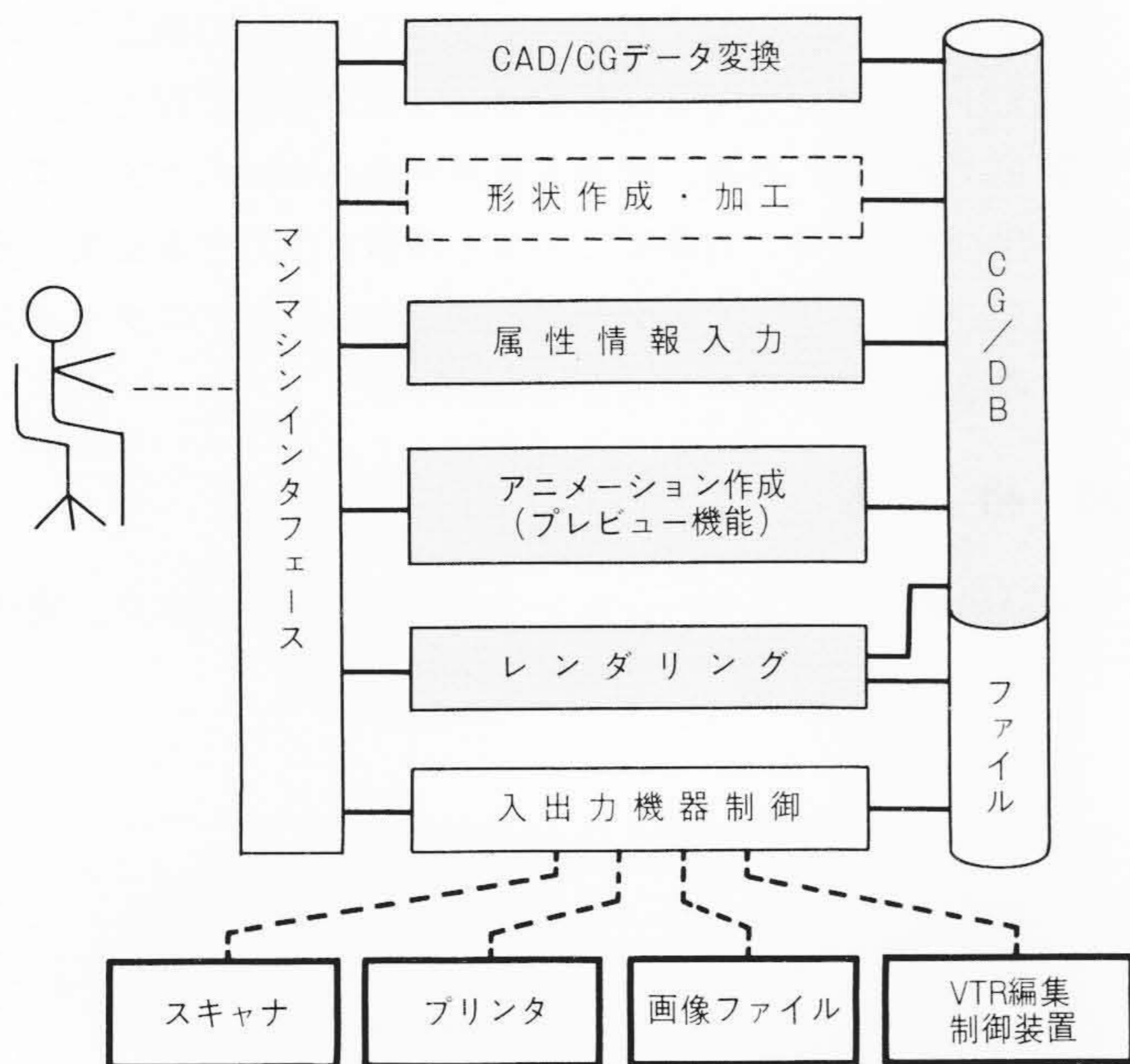
ワークステーション内のソフトウェアは図4(b)に示すように、マンマシンインタフェース、各処理プログラム、データベース・ファイルの三部分で構成した。

表2 「製品製造」の各段階でのビジュアライゼーションの役割
製品の形状を映像化するだけでなく、製造の意図、設計思想、動作説明など多面的な役割を果たすことができる。

	企画・計画	設計	製造	販売・保守
ユーザーニーズ	● 要求の明示	● 要求の確認	—	● 使用者教育の効率化
メーカーニーズ	● イメージ固め ● 意思伝達	● 細部の検証 ● 感覚的チェック	● 手順チェック ● 仕上り評価	● 保守マニュアルの映像化
具体的効用 (適用形態)	● イメージの具象化 ● 動作説明	● イメージの具象化 ● 試作の代替	● 試作の代替	● 特異状態の設定 ● 動作説明



(a) ハードウェア構成



(b) ソフトウェア構成

注：略語説明 CG (Computer Graphics), KB (Key Board)
DAT (Digital Audio Tape)

図4 ビジュアルリゼーション支援システム 淡い網目部分が主要な構成要素である。VTR編集制御は将来ワークステーションに内蔵される機能である。マンマシンインタフェースはワークステーションの基本機能を用いる。

各処理を効率よく、統一的行うために共通のデータベースを設けた。各プログラムは、ワークステーションのマンマシンインタフェースを介して入力される使用者のコマンドを解釈し、データベース内のデータに対して各処理を行い、またデータベースに結果を格納する。処理プログラムでは、(1) CAD/CGデータ変換プログラム、(2)レンダリングプログラム、(3)アニメーション作成時に動きを生成するプログラム、および(4)入出力機器制御が主要なものである。

可視化対象のデータはCADシステムから入力されるので、

CAD/CG変換プログラムでCAD系のデータフォーマットから、ビジュアルリゼーションに不要な部分を削除し、レンダリングなどに便利な形式に変換される。

レンダリング処理された画像データは膨大な量となるので、データベースには格納せず、一時的なファイルを経由して直接フレームバッファへ転送され、モニタへの表示あるいはVTRへの録画が行われる。大容量の画像ファイルを持つ場合には、そこに蓄積後VTRへのこま撮り録画を行う方法が採用できる。ヘリカルスキャン方式のVTRでは、こま撮り待ち時間が3分程度に制限されるので、画像作成に3分以上必要な場合には重要な方法である。

点線枠で示した形状作成・加工はビジュアルリゼーションとしては必須ではないが、CAD系からのデータに手を加えて、デフォルメする要求にこたえるものである。

4.1.3 データベース

ビジュアルリゼーションを静止画で行う場合には、作成画像の数はたかだか数十枚であろうが、アニメーションを作成する場合には1回のビジュアルリゼーションに対して、1秒当たり30枚の画像作成が必要になる。したがって、数分のアニメーションでは、実撮影映像や静止画を取り入れることによって削減に努めたとしても、数千枚の画像作成が必要になる。

この膨大な画像作成の効率化は、各画像の共通部分は繰り返し使用することで達成される。繰り返し使用を統一的行うためにデータベースが必要である。試作したシステムのCGデータベースとしては、

- (1) アニメーションに向けた構造
 - (2) データの部品化
 - (3) 多階層表現
 - (4) ユーザーによる動きの関数定義
 - (5) 属性データ記述の柔軟性
- などの特長を持たせた。

(1)では特に可視化対象の時間的変化をも取り入れて、四次元データとして扱う構造としている。(2)と(3)については、アニメーションの対象には複雑な可動構造を持ったものが現れることを想定して、いろいろなシーンを構成するデータを、多階層の制約関係を持った部品として扱っている。(4)については、対象物やカメラの局所的な動きだけでなく、光源の変化(時間軸上での動き)なども関数表現することによってキーフレーム補間を容易にした。

(5)については、属性付与の結果はレンダリングした後でなければ確認できないので、再試行しやすいことが必要である。画像の構図、可視化対象物の材質感、色彩の調和などは属性付与によって決定されるが、これらはいずれも定量化が困難な感覚的な指標であり、やり直しによって最適値が得られる。

4.2 アニメーション作成処理

ビジュアルリゼーションの最も効果的な手法はアニメーション

ン作成であり、また最も難しいのもアニメーションである。

キーフレーム法を適用する場合には、まずある時間間隔での映像、すなわち「キーフレーム」を計算・生成する。次にその各時刻の映像間に対して、対応点間を二次元的に補間する映像を1秒当たり30枚作成する。したがって、ビジュアライゼーションのためには、この補間映像をVTRで再生、映写した場合にリアルな動きとなるように補間することが重要である。三次元空間内での各構成要素の軌跡が、直線から二次曲線、さらにスプライン曲線になるように補間することによって滑らかな動きが生成できる。

キーフレーム画像の作成に当たっては、構図すなわちキーフレームを構成する「物体」の二次元的な配置をすべて人手で決定しなければならない。このようにキーフレーム法はたいへん人手がかかるが、どのような動きでも生成することができる。

可視化対象によっては対象の動きを容易に自動生成することができる。平面上を直線運動する自動車、回転する電動機、多少複雑ではあるがリンクの動き、などは条件を近似することによって力学的に動きをシミュレートできる。アニメーションでのより複雑な動きの自動生成の研究は行われている⁷⁾が、多種多様な対象物に適用できる汎用的な手法はない。しかし、人工物のメカニクな動きを部分的に生成するには有用である。

4.3 画像出力の例

製品ビジュアライゼーションの画像例を図5～9に示す。いずれも静止画であるので、ビジュアライゼーションの効果を明確に示すには不十分であるが、設計の途中段階に完成品のイメージを感覚的に検討することができる。

図5は企画・計画中の「ラジカセ」の三面図と斜視図を4分割で表示し、製品の外観を全体的に把握するものである。図6は同じラジカセについて色および材質感を変更した例である。図7は視点を固定して、配色、材質を変更して感覚的に検討している作業画面⁸⁾である。

プラント配管のビジュアライゼーションの例を図8に示す。同図(a)はプラントの全景を、(b)は配管内部の拡大画像を示すものである。このように試作が困難なものについてはCGによるビジュアライゼーションの効果は大きい。(b)に示すように図中に等身大の人形を配することによって、配管の構造と同時に作業性などについても視覚的チェックが容易に行える。

図9は建築物の外観、配置を視点を変えながらチェックする場合の例である。対話形で次々と映像を出力する必要があるため、現在のワークステーションでもほぼリアルタイム生成が可能なワイヤフレームを用いている。

5 結 言

製品のビジュアライゼーションについて概要を述べた。実用

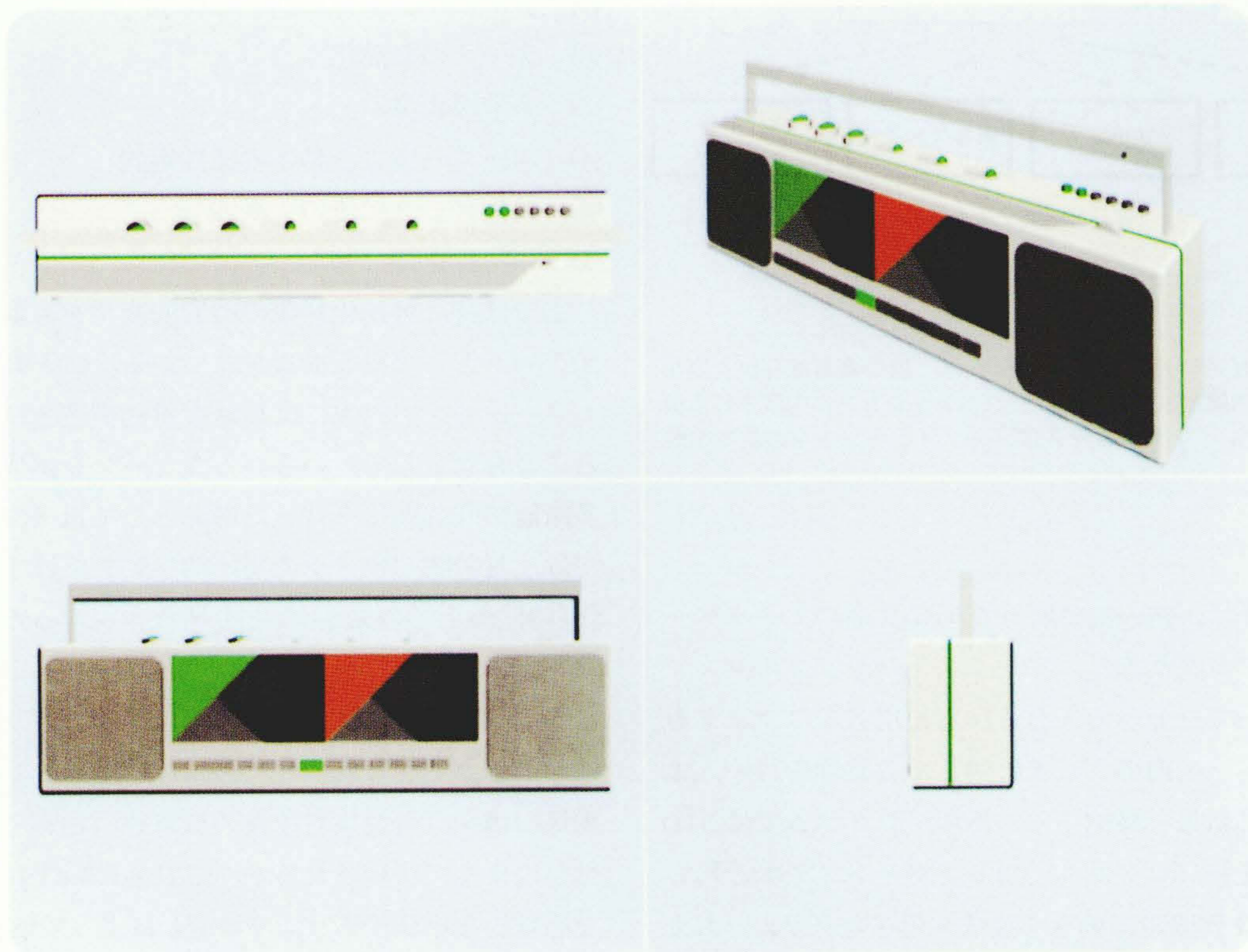
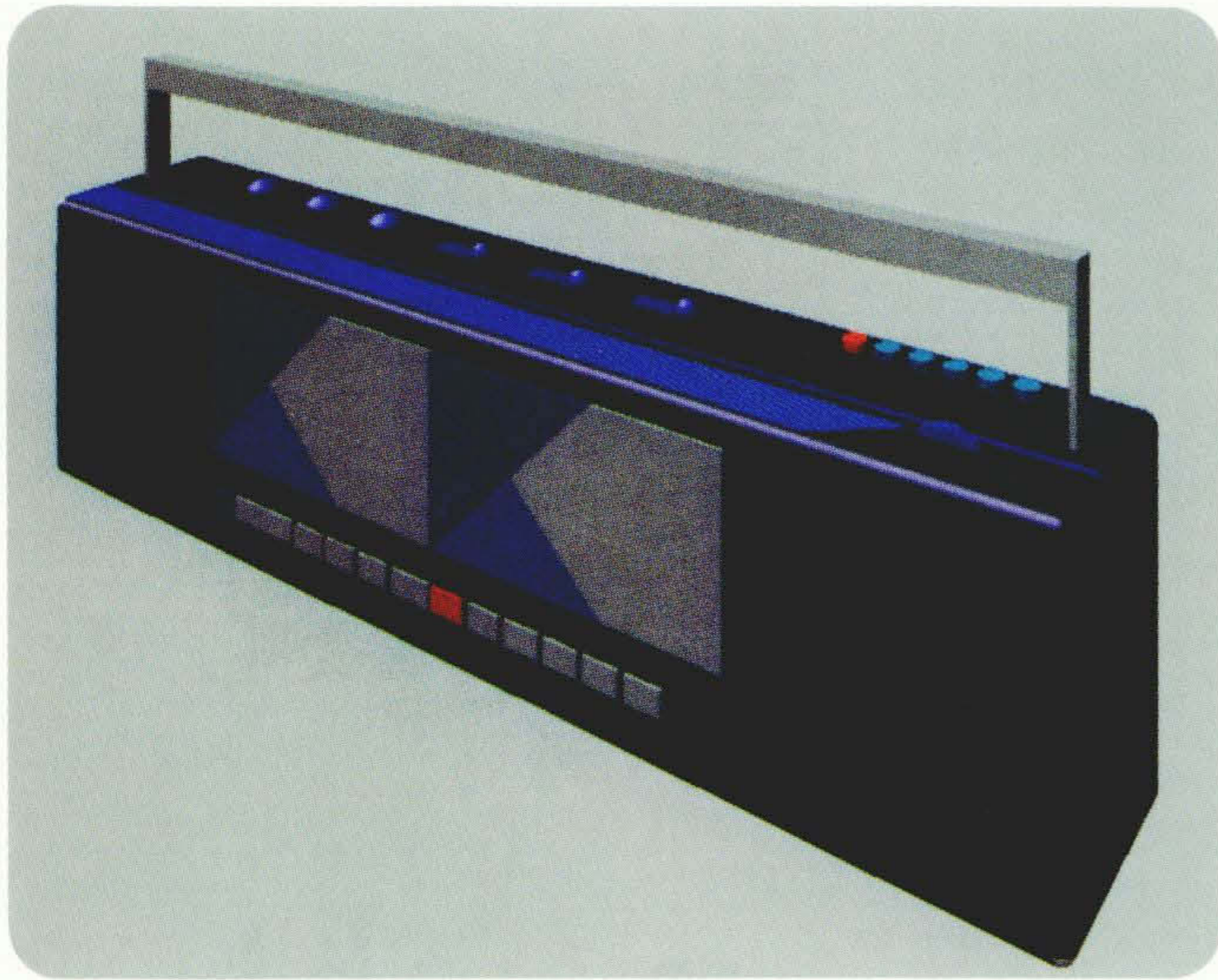
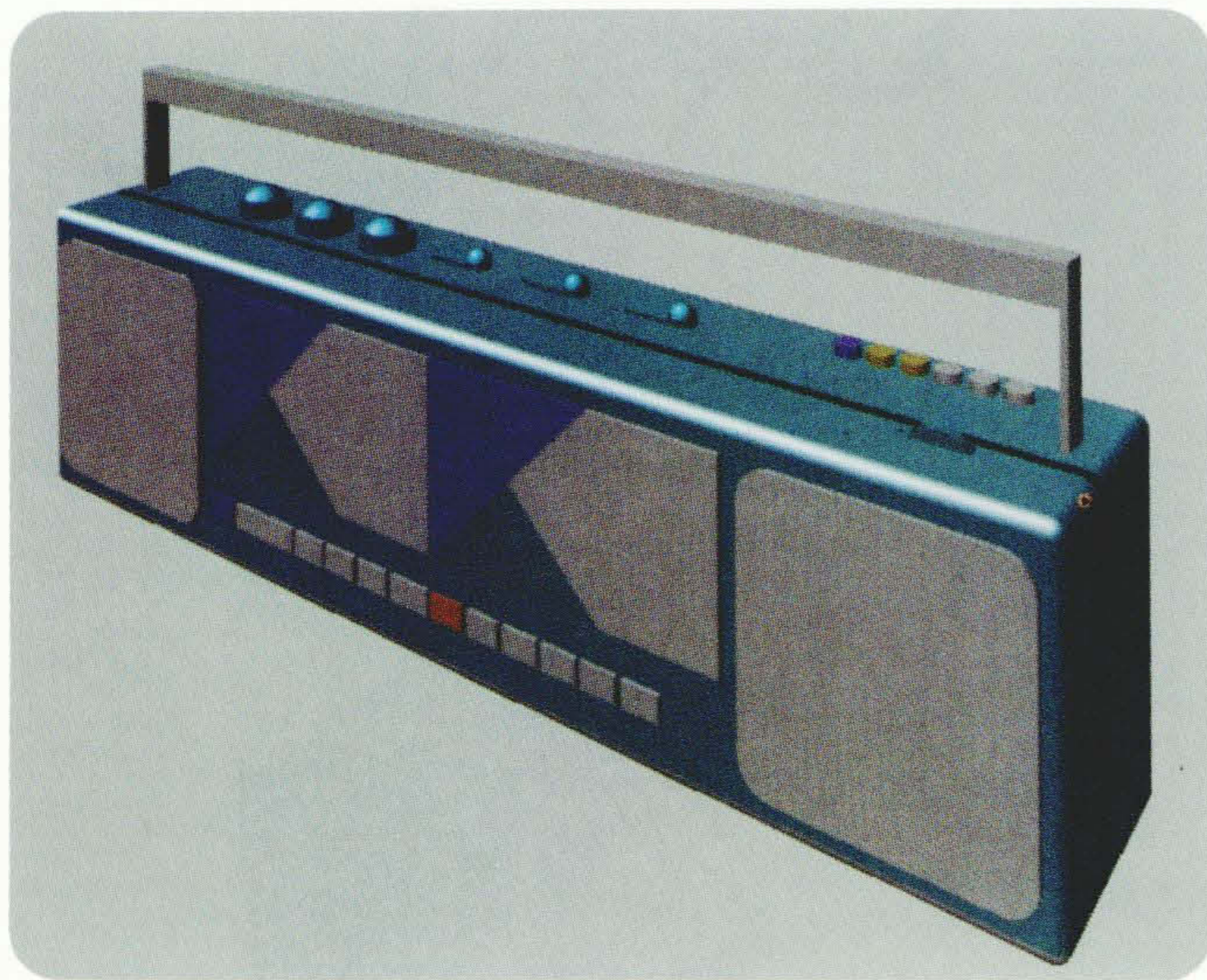


図5 「ラジカセ」の三面図表示の例 画面を4分割して、レンダリング画像を見ることによって、形状と配色の関係を感覚的にチェックできる。



(a) プラスチック



(b) メタリック

図6 「ラジカセ」レンダリング表示の例 レンダリングによって材質感が変わる。

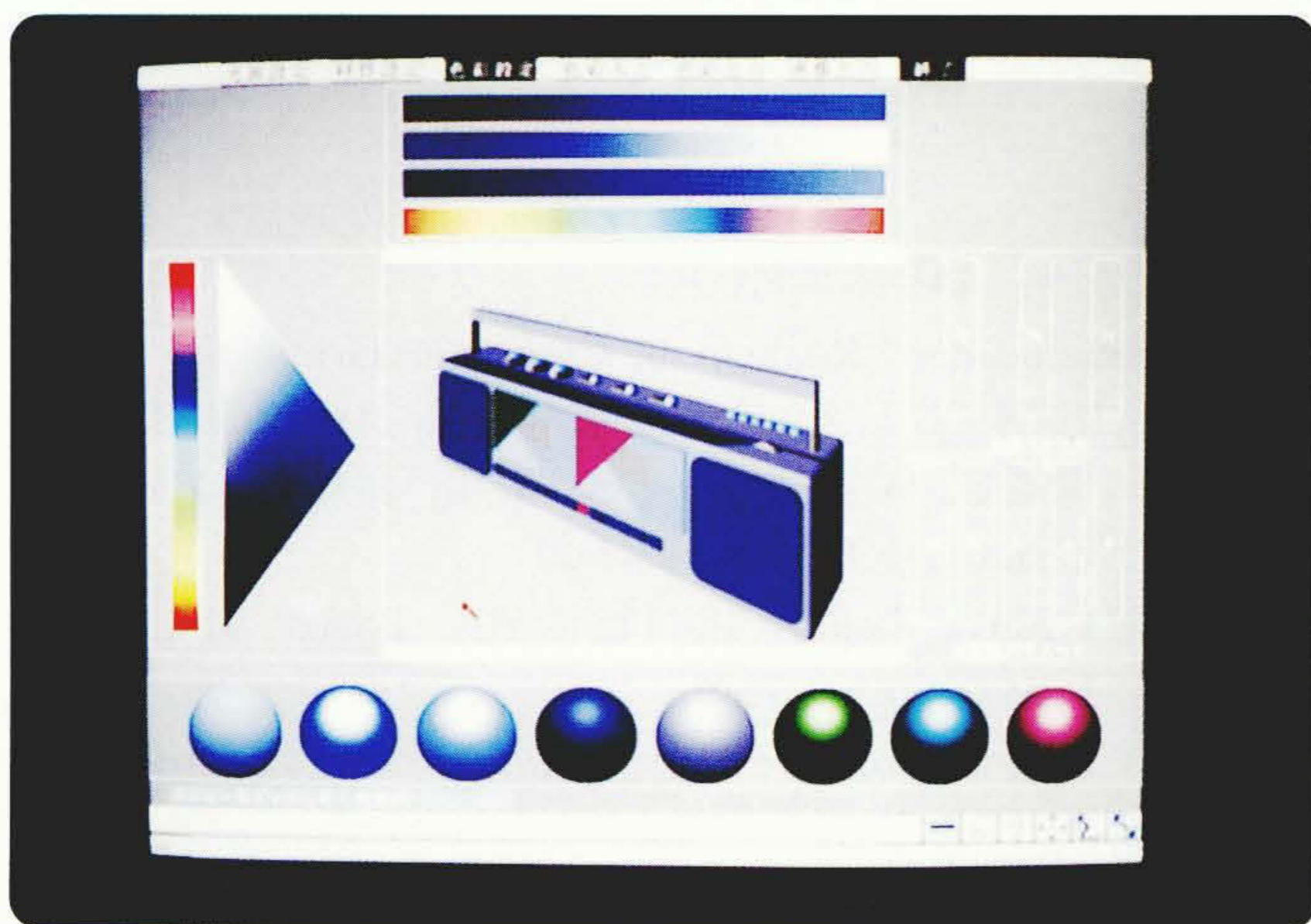
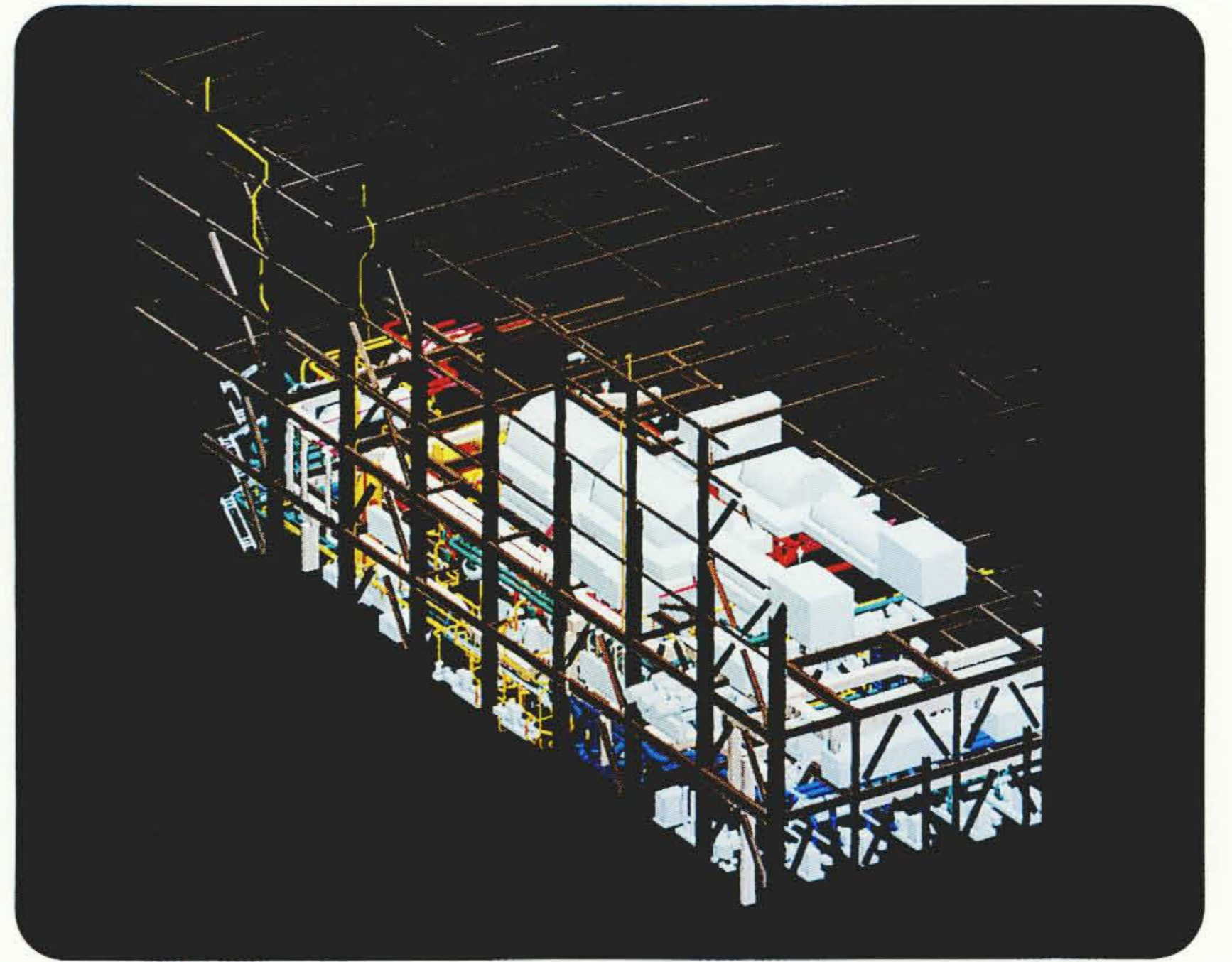
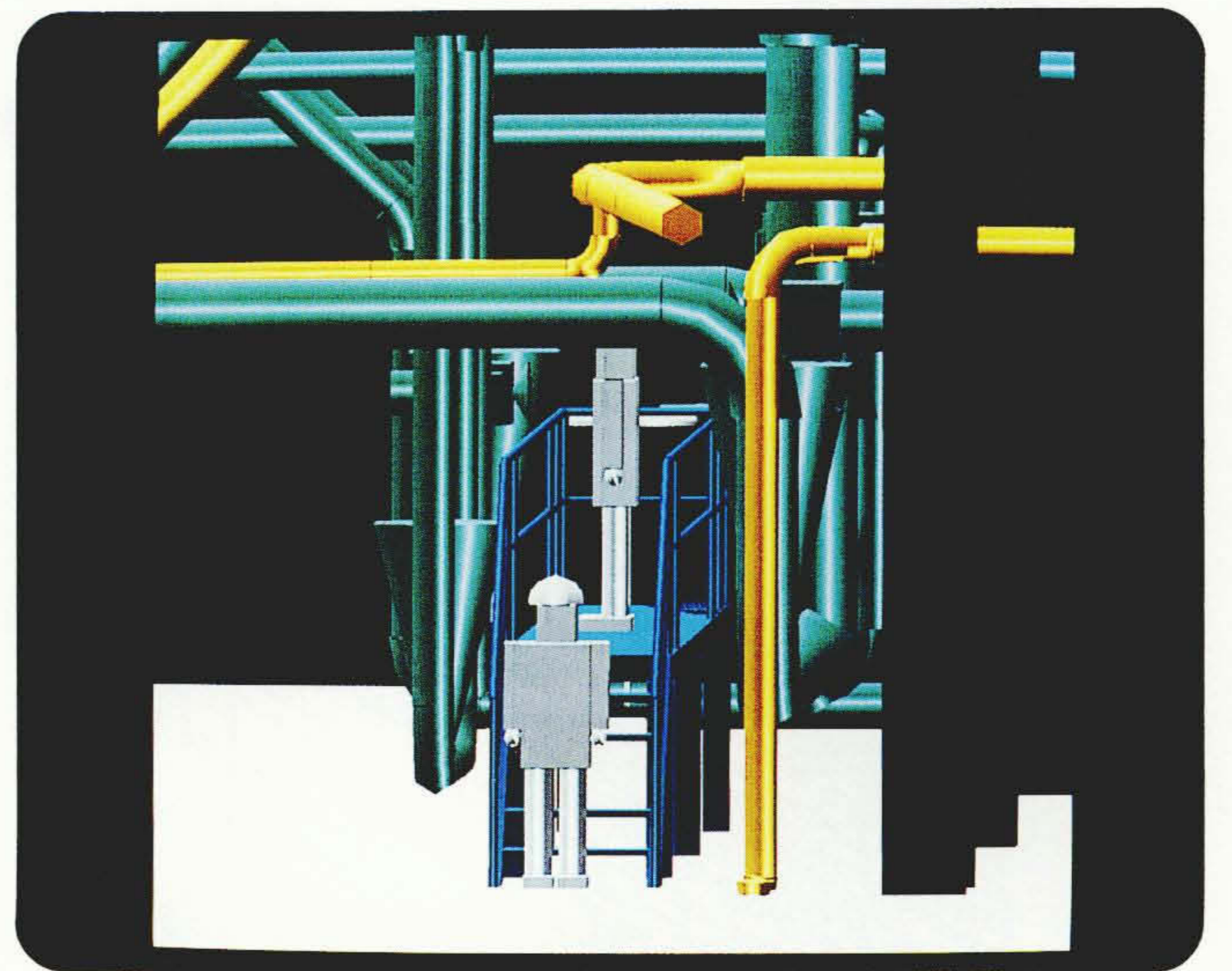


図7 配色作業画面 中央左のウィンドウで「色」を選択し、下の球で材質感を確認してから、中央の製品の色変更部に彩色する。



(a) 全 体



(b) 部分拡大

図8 プラント配管ビジュアライゼーションの例 計算時間短縮および見やすさのため、影なしのスムーズシェーディングを行っている。

的には多種多様な製品を一つの汎用的なビジュアライゼーション支援システムで可視化することは困難であり、また良い方法ではない。CGおよびビデオの両技術を中心にして、可視化対象の製品群に適したビジュアライゼーション支援システムを構築すべきであると考え。

本稿では日立製作所が構築しつつある大きなプラントや機械部品、あるいは家電機器を可視化対象と想定しているシステムについて概要を述べた。よりファッション性の高い製品に対しては異なった要素技術が必要となろう。造園とか衣装などの製品ビジュアライゼーションでは、「自然物」のモデリングおよびレンダリング技術に対して、より高度な機能が必要となる。

ビジュアライゼーション作業をデザイナーやアニメーターなどではなく、一般の設計者や事務職員が行えるためには、本

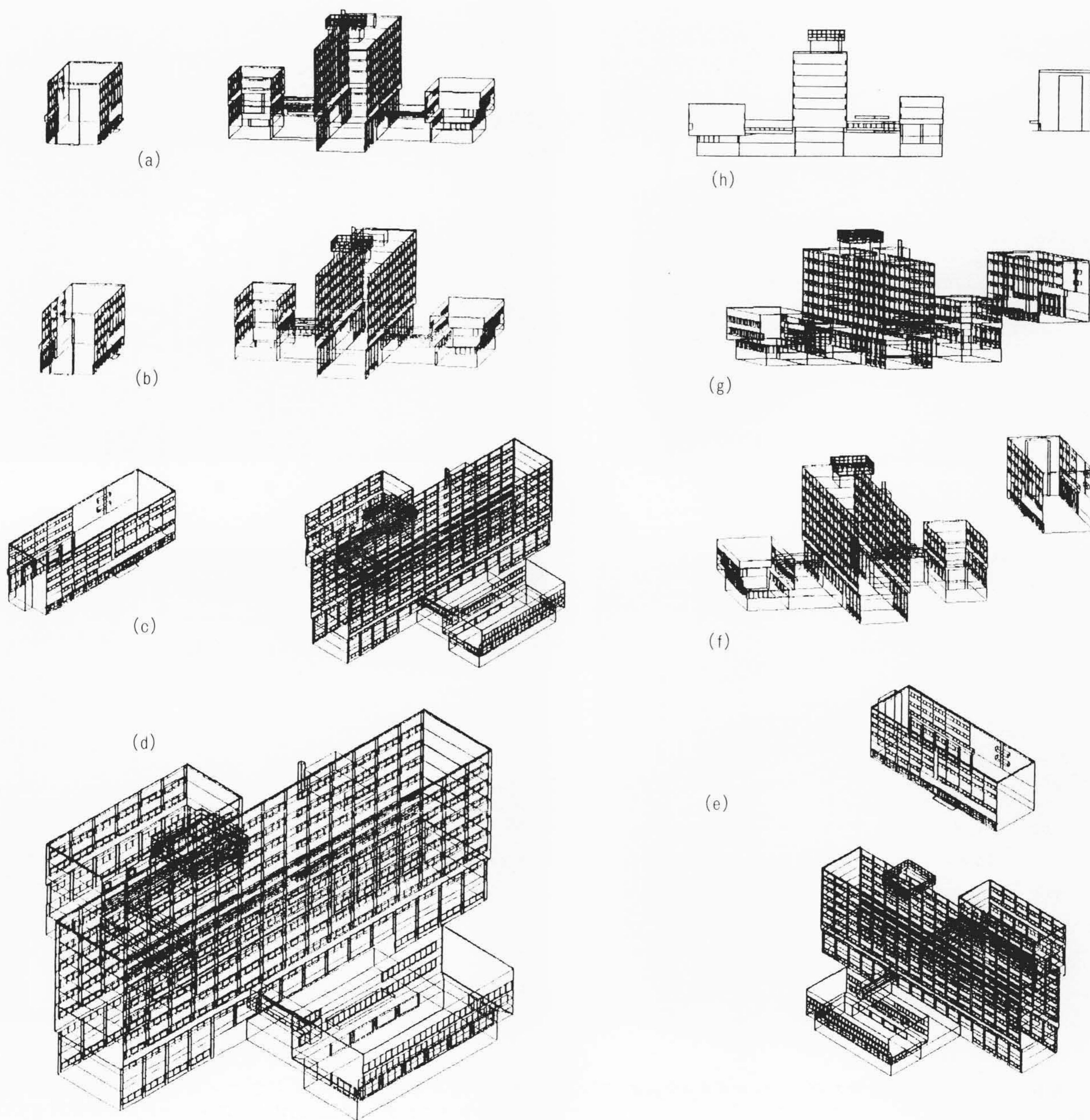


図9 日立製作所日立研究所本館のワイヤフレームによる平行投影像を示す[(d)は(c)の拡大表示]。

(a)から(h)へ視点を西, 南, 東および低, 高, 低と移動した場合の例を示す

稿で述べた支援システムの使い勝手の良さのよりいっそうの向上が必要と考える。

参考文献

- 1) 栗原, 外: 画像生成におけるスーパーコンピュータの応用例, 日立評論, 69, 12, 1139~1144(昭62-12)
- 2) 特別小特集: いまどき見る技術がおもしろい—情報の視覚化—, 電子情報通信学会誌, Vol.72, No.9, pp.953~984(平1-9)

- 3) 北原: グラフィック・ワークステーションの処理能力, PIXEL No.75, pp.79~94(昭63-12)
- 4) J. Amanatides: Realism in Computer Graphics: A Survey, IEEE CG & A, Vol.7, No.1, pp.44~56(1987-1)
- 5) 塚田: 最新ビジュアライゼーション技術, 日経エレクトロニクス, No.468, pp.127~138(平1-3)
- 6) A. H. Barr: Topics in Physically Based Modeling, ACM Press, Spring 1989.
- 7) J. Wilhelms: Toward Automatic Motion Control IEEE CG & A, Vol.7, No.4, pp.11~22(1987-2)
- 8) 宇佐美, 外: 3次元CGのための配色エディタ, 情報処理学会論文誌, Vol.31, No. 3 (平2-3)