(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3761263号
(P3761263)
(45)発行日　平成18年3月29日(2006.3.29)　(24)登録日　平成18年1月20日(2006.1.20)

(51)Int.Cl.　　F I
G06T 11/00 (2006.01)　　G06T 11/00 １１０
G06T 15/00 (2006.01)　　G06T 15/00 １００Ａ

請求項の数 6　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願平8-304443
(22)出願日　平成8年11月15日(1996.11.15)
(65)公開番号　特開平10-143675
(43)公開日　平成10年5月29日(1998.5.29)
審査請求日　平成15年1月27日(2003.1.27)

(73)特許権者　000005201
富士写真フイルム株式会社
神奈川県南足柄市中沼２１０番地
(74)代理人　100080159
弁理士　渡辺　望稔
(72)発明者　依田　　章
神奈川県足柄上郡開成町宮台７９８番地
富士写真フイルム株式会社内
審査官　伊知地　和之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】コンピュータグラフィックス再現方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
コンピュータグラフィックスによって、３次元座標空間内に作成した仮想物体の３次元画像を、前記仮想空間内の仮想観察者から見た２次元画像として再現するコンピュータグラフィックス再現方法であって、
前記３次元座標空間内には、前記仮想物体、前記仮想観察者、および前記仮想物体を照射するための仮想光源が配置され、
前記仮想観察者に関する情報として、前記仮想光源に応じて定まる前記仮想観察者の仮想順応白色パラメータおよび前記仮想光源に応じて定まる前記仮想観察者の仮想順応輝度パラメータの少なくともいずれか一方を含む仮想観察者情報が設定されており、
前記３次元座標空間内における仮想物体情報、仮想光源情報、および前記仮想観察者情報に基づき、前記３次元座標空間内の任意の平面に射影された２次元画像を仮想観察者が観察した際に、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値で示される２次元画像データを算出するステップと、
画像再現手段による再現画像を観察者が観察した際に、前記観察者が知覚するアピアランス３刺激値が、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値と同じとなるよう、画像再現用の２次元画像データを生成するステップと、
を有することを特徴とするコンピュータグラフィックス再現方法。
【請求項２】
前記仮想観察者情報は、前記仮想順応白色パラメータおよび前記仮想順応輝度パラメー

タの少なくともいずれか一方に加え、前記仮想観察者の視覚情報および前記仮想観察者の３次元位置情報を少なくとも含み、

前記アピアランス３刺激値で示される２次元画像データを算出するステップでは、

前記３次元座標空間内における仮想物体情報、仮想光源情報、前記仮想観察者の視覚情報、および前記仮想観察者の３次元位置情報に基づき、前記３次元座標空間内の任意の平面に射影された２次元画像の３刺激値で示される２次元画像データを得て、

前記２次元画像の３刺激値で示される２次元画像データと、前記仮想順応白色パラメータおよび前記仮想順応輝度パラメータの少なくともいずれか一方と、に基づき、前記アピアランス３刺激値で示される２次元画像データを算出することを特徴とする請求項１記載のコンピュータグラフィックス再現方法。

【請求項３】

前記観察者が前記再現画像を観察する際の、前記観察者の順応白色パラメータ、および前記観察者の順応輝度パラメータの少なくともいずれか一方が、観察者情報として設定されており、

前記画像再現用の２次元画像データを生成するステップでは、前記観察者が知覚するアピアランス３刺激値が、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値と同じとなるよう、前記観察者情報を用いて、画像再現用の２次元画像データを生成することを特徴とする請求項１または２記載のコンピュータグラフィックス再現方法。

【請求項４】

前記画像再現手段は、プリンタ信号に応じたハードコピー画像を出力するプリンタであって、

プリンタ信号と、プリンタ信号に応じて出力されるハードコピー画像の３刺激値と、の対応関係が予め既知であり、

前記画像再現用の２次元画像データを生成するステップでは、

前記観察者が知覚するアピアランス３刺激値が、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値と同じとなるよう、前記観察者情報に基づき、再現されたハードコピー画像が有すべき２次元画像の３刺激値を求め、

前記対応関係に基づいて、求めた前記２次元画像の３刺激値を有するハードコピー２次元画像を出力するためのプリンタ信号を、前記画像再現用の２次元画像データとして生成することを特徴とする請求項３記載のコンピュータグラフィックス再現方法。

【請求項５】

前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値をα、β、γとし、

ＸＹＺ表色系で表した、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値をＸ、Ｙ、Ｚとし、

ＸＹＺ表色系で表した、前記仮想観察者の仮想順応白色パラメータをX_w、Y_w、Z_wとし、

前記仮想観察者の仮想順応輝度パラメータをＰとしたとき、

前記α、β、γは、下記式（１）で表されることを特徴とする請求項１～４のいずれか１項に記載のコンピュータグラフィックスの再現方法。

$$\left.\begin{aligned}\alpha &= l_0\left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)}\\ \beta &= a_0\left[\left(\frac{X}{X_w}\right)^{\gamma(P)}-\left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)}\right]\\ \gamma &= b_0\left[\left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)}-\left(\frac{Z}{Z_w}\right)^{\gamma(P)}\right]\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

ただし、l_0、a_0、b_0は定数であり、
かつ、γ（ｐ）は、前記仮想観察者の仮想順応輝度パラメータＰの関数であって、前記仮想観察者の仮想順応輝度パラメータＰが０．０１～１００まで４桁変化したとき、γ（ｐ）は０．３～０．５の間で直線的に変化する関数である。

【請求項６】
前記仮想物体情報が、少なくとも、前記仮想物体の形状を示す３次元位置情報と、前記仮想物体の表面状態を示す１次元～多次元の表面色情報とを有し、
前記仮想光源情報が、少なくとも、前記仮想光源の３次元位置情報と、前記仮想光源の大きさを示す情報と、分光輝度率分布情報とを有し、
前記仮想観察者情報が、少なくとも、前記仮想観察者の３次元位置情報と、視覚情報とを有することを特徴とする請求項１～５のいずれかに記載のコンピュータグラフィックス再現方法。

【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、コンピュータグラフィックスで作成した画像を、ディスプレイやハードコピーに再現する画像再現の技術分野に属する。
【０００２】
【従来の技術】
ＣＲＴ等の画面上に３次元的な物体画像を表示するコンピュータグラフィックス（以下、ＣＧとする）においては、ＣＧの仮想空間（シュミレーション空間）の３次元座標にマップされた物体の表面から観察者の方向に反射する光をレイトレーシング法（光線追跡法）等で計算し、これより、観察者が観察するであろう像の輝度を計算して、これを表示装置が表示する輝度情報に対応する２次元画像に変換して表示することが一般に行われている。また、より現実感のある画像を得るために、物体間の多重反射や、物体表面の散乱性等も考慮に入れて画像を表示する方法も各種行われている。
【０００３】
一方、カタログやパンフレット等のハードコピーにおいては、実際に物体を写真に撮影して、この写真をハードコピーに再現することが行われている。
ここで、ハードコピーにおいても、より現実感が高く、その物体の特徴を的確に強調した画像が要求されるのは当然のことである。これを実現するために、ハードコピーでは、写真を撮影する際のライティングの調整や、撮影された写真をハードコピーに再現する際の階調調整等の各種の処理が施されている。
【０００４】
前者では、照明光源の数（単一灯から２灯、４灯灯の多灯）や照明角度を切り替えることにより、対象となる物体の陰影コントラストを弱めたり強めたりする方法が例示される。また、指向性の強い光線とするか、拡散板などを用いて拡散性を強めるか等も、類似の効果を出す手段として用いられている。
この場合、記録媒体であるフィルムの特性を考慮してライティングの設定を行わないと、目的としている表現意図に合う画像を作ることはできない。例えば、リバーサルフィルムに記録できる露光量のレンジは、光量の対数値で２～２．５程度であり、このレンジを超えたライティング設定を行っても、撮影シーンとしては好ましい設定であってもハードコピーとしては再現できない。一例として、人物撮影で白いドレス等の陰影を強調するために強い補助灯を加えても、顔や肌に最適化した露出で撮影すると白の部分は飽和してしまい、結果として白のコントラストは良好に再現されない。
このような撮影ライティングでの不備は、後述する画像処理で修正を加えることが極めて困難であるため、これらの特性を考慮した撮影のできる熟練したカメラマンが必要になる。
【０００５】
また後者では、撮影、現像されたフィルム原稿（多くの場合はリバーサルフィルム）をス

キャナで光電的に読み取り、ハードコピーの色再現範囲やダイナミックレンジを考慮して、デジタル画像に処理を加えることが行われる。
例えば、代表的な４色オフセット印刷では、最大反射濃度は１．８～２．２の範囲であるが、リバーサルフィルムの最大濃度は３．２～４．０にも及ぶ。そのため、スキャナの操作者は、そのシーンにおける表現目的である被写体の陰影コントラストが最適となるように、濃度域を圧縮する比率を調整する。
これらの比率の調整は、その最終制作物である印刷物の表現目的によって変わる他に、デジタル化する際の原稿であるフィルムの仕上り状態にも依存する。また、ハードコピーとリバーサルフィルム、さらにスキャナに付属しているＣＲＴ等のディスプレイとでは、観察者の画像知覚特性が異なっている。
このため、一般的に濃度条件や測色値が同一になるように再現しても、画像が知覚される状態は同じにならない。
これらの知覚特性については以前より研究されており、例えば明るさに関しては、J.C.Stevens らの研究結果が報告されている(J.C.Stevens,S.S.Stevens;Opt.Soc.Amer.53(3),1963)。これによれば、周囲が暗い時（例えば映画館等）と日中の屋外とでは、コントラスト知覚特性が１．３倍程度変わることが報告されている。これは、明るさに関する一例であるが、色知覚も周囲環境条件によって特性が変化することも多数報告されている。
熟練したスキャナオペレータは、経験的にこの特性を知っており、例えば、夏の海岸シーンを再現するときには、通常よりもコントラストを高めに仕上げ、室内の静物等では低めに仕上げる等の処理を行っている。こうした処理により、より現実感のあるハードコピー再現が得られる。

【０００６】

ところが、ハードコピーの目的に応じた画像再現を可能にするライティング設備は高価であり、しかも、前述のように、ライティング調整を適切に行ってハードコピーの目的に応じた的確な写真を撮影できるプロのカメラマンに撮影を依頼すると、コストが高くなってしまうことを避けることができない。
また、撮影された写真がハードコピーの目的に対して不適切であった場合には、画像処理等で対応することは不可能であり、写真の取り直しになってしまうことがほとんどである。

【０００７】

このような調整を効率よく行い、かつ自由度を広げることが期待される方法として、ＣＧによって、３次元画像データからなる物体のモデルを作成し、レイトレーシングによって仮想的な撮影シーンを作成して２次元の画像データとし、必要に応じて、ハードコピーの目的に対応して物体の特徴を的確に表現するための画像処理を施して、得られた画像データをハードコピーに再現するための画像データに変換して、ハードコピーを作成することが行われている。
この方法によれば、高価なライティング設備やプロのカメラマンは不要であり、また、作成されたハードコピーが不適切なものであっても、画像データ処理によって、画像を再作成することが可能である。
さらに、物体モデルのデータをシーンと個別に持つことにより物体モデルの再利用やレイアウトの再構成などが容易になる等のメリットも期待されている。

【０００８】

このようにＣＧ画像をハードコピーに再現する際でも、現実感が高いことが要求されるのは当然のことであり、写真から作成されたハードコピーと同等あるいはそれ以上の現実感を有する画像を得るために、様々な処理が施されている。
しかしながら、現状では、ＣＧからハードコピーを作成しても、必ずしも、写真から作成したハードコピーのように現実感の高い画像が得られない。

【０００９】

ＣＧでは３次元座標にマップされた物体の表面形状データを基に、レイトレーシング法等で観察者方向から観測される輝度を計算して、それをそのままＣＲＴ等のディスプレイに

再現するようにしている。例えば、モデルの中で計算される最大輝度の点をディスプレイの最大値に設定し、光の到達しない点を輝度ゼロとして計算する。
しかしながら、表示（観察）面での外光の反射によるフレアや暗電流によるオフセット等があるため、ディスプレイの輝度レンジは最低輝度がゼロとはならず、実際は輝度比としては１：１０～１：１００の範囲となる。
このような状態で、例えばモデル物体として光沢のある表面を持つ物などを設定した場合には、正反射などで輝度が高い極一部の部分のみでは理想的な階調再現が得られるが、殆どの部分で調子が失われ、写真画像としてはいかにも不自然な仕上りとなる。
【００１０】
従来の写真処理およびスキャナ等の処理では、カメラ側の露光設定で最適化を行い、また、最高輝度領域でも階調性を失わないように経験的に作られた特性曲線を持つ感光材料を使用し、また、プリントで最適に再現されるように経験的に設定されたスキャナの階調変換カーブを通して処理されている。また、カメラレンズの焦点進度を変えたり、焦点位置を変えたりして、細部を強調すべきものとソフトに仕上げるものとを区別してコントロールしている。
しかしながら、こうした処理を２次元のデジタル画像になってから施す事は、奥行に関する情報が無くなっているので、極めて困難な処理となる。
【００１１】
また、先に述べたように、写真や映画の撮影では、仕上がった画像の観察環境を考慮してライティング等を調整しており、同じシーンを撮影した場合であっても、映画のフィルムとカタログ等に使用される写真とではライティングが全く異なり、従って、仕上がった画像も異なる。
これに対し、現在行われているＣＧは、ＣＲＴ等のディスプレイ表示を目的としたレイトレーシング計算が主であるため、ディスプレイに表示された画像をそのままハードコピーに再現しても高い現実感は得られず、さらに、ＣＧの画面上からハードコピーの仕上り状態を予測できないことも、高い現実感を得られない一因になっていると考えられる。
【００１２】
【発明が解決しようとする課題】
本発明の目的は、前記従来技術の問題点を解決することにあり、コンピュータグラフィックスで作成した３次元画像を、印刷物等のハードコピーに再現するに際し、実際に物体を撮影した写真を用いて作成したハードコピーと同等あるいはそれ以上の現実感を有する画像が再現されたハードコピーが得られるコンピュータグラフィックスの再現方法、言い換えれば、コンピュータグラフィックスで作成した物体を、コンピュータグラフィックスの仮想空間内で実際に観察者が見ている状態に極めて近いアピアランスを与える画像をハードコピーに再現できるコンピュータグラフィックスの再現方法を提供することにある。
【００１３】
【課題を解決するための手段】
前記目的を達成するために、本発明は、コンピュータグラフィックスによって、３次元座標空間内に作成した仮想物体の３次元画像を、前記仮想空間内の仮想観察者から見た２次元画像として再現するコンピュータグラフィックス再現方法であって、前記３次元座標空間内には、前記仮想物体、前記仮想観察者、および前記仮想物体を照射するための仮想光源が配置され、前記仮想観察者に関する情報として、前記仮想光源に応じて定まる前記仮想観察者の仮想順応白色パラメータおよび前記仮想光源に応じて定まる前記仮想観察者の仮想順応輝度パラメータの少なくともいずれか一方を含む仮想観察者情報が設定されており、前記３次元座標空間内における仮想物体情報、仮想光源情報、および前記仮想観察者情報に基づき、前記３次元座標空間内の任意の平面に射影された２次元画像を仮想観察者が観察した際に、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値で示される２次元画像データを算出するステップと、画像再現手段による再現画像を観察者が観察した際に、前記観察者が知覚するアピアランス３刺激値が、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値と同じとなるよう、画像再現用の２次元画像データを生成するステップと、を有

することを特徴とするコンピュータグラフィックス再現方法を提供する。

【００１４】

また、前記仮想観察者情報は、前記仮想順応白色パラメータおよび前記仮想順応輝度パラメータの少なくともいずれか一方に加え、前記仮想観察者の視覚情報および前記仮想観察者の３次元位置情報を少なくとも含み、前記アピアランス３刺激値で示される２次元画像データを算出するステップでは、前記３次元座標空間内における仮想物体情報、仮想光源情報、前記仮想観察者の視覚情報、および前記仮想観察者の３次元位置情報に基づき、前記３次元座標空間内の任意の平面に射影された２次元画像の３刺激値で示される２次元画像データを得て、前記２次元画像の３刺激値で示される２次元画像データと、前記仮想順応白色パラメータおよび前記仮想順応輝度パラメータの少なくともいずれか一方と、に基づき、前記アピアランス３刺激値で示される２次元画像データを算出することが好ましい。

また、前記観察者が前記再現画像を観察する際の、前記観察者の順応白色パラメータ、および前記観察者の順応輝度パラメータの少なくともいずれか一方が、観察者情報として設定されており、前記画像再現用の２次元画像データを生成するステップでは、前記観察者が知覚するアピアランス３刺激値が、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値と同じとなるよう、前記観察者情報を用いて、画像再現用の２次元画像データを生成することが好ましい。

なお、前記画像再現手段は、プリンタ信号に応じたハードコピー画像を出力するプリンタであって、プリンタ信号と、プリンタ信号に応じて出力されるハードコピー画像の３刺激値と、の対応関係が予め既知であり、前記画像再現用の２次元画像データを生成するステップでは、前記観察者が知覚するアピアランス３刺激値が、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値と同じとなるよう、前記観察者情報に基づき、再現されたハードコピー画像が有すべき２次元画像の３刺激値を求め、前記対応関係に基づいて、求めた前記２次元画像の３刺激値を有するハードコピー２次元画像を出力するためのプリンタ信号を、前記画像再現用の２次元画像データとして生成することが好ましい。

また、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値をα、β、γとし、ＸＹＺ表色系で表した、前記仮想観察者が知覚するアピアランス３刺激値をＸ、Ｙ、Ｚとし、ＸＹＺ表色系で表した、前記仮想観察者の仮想順応白色パラメータをX_w、Y_w、Z_wとし、前記仮想観察者の仮想順応輝度パラメータをＰとしたとき、前記α、β、γは、下記式（１）で表されることが好ましい。

$$\left.\begin{aligned}\alpha &= l_0\left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)}\\ \beta &= a_0\left[\left(\frac{X}{X_w}\right)^{\gamma(P)}-\left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)}\right]\\ \gamma &= b_0\left[\left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)}-\left(\frac{Z}{Z_w}\right)^{\gamma(P)}\right]\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

ただし、l_0、a_0、b_0は定数であり、かつ、γ（ｐ）は、前記仮想観察者の仮想順応輝度パラメータＰの関数であって、前記仮想観察者の仮想順応輝度パラメータＰが０．０１～１００まで４桁変化したとき、γ（ｐ）は０．３～０．５の間で直線的に変化する関数である。

また、前記仮想物体情報が、少なくとも、前記仮想物体の形状を示す３次元位置情報と、前記仮想物体の表面状態を示す１次元～多次元の表面色情報とを有し、前記仮想光源情報が、少なくとも、前記仮想光源の３次元位置情報と、前記仮想光源の大きさを示す情報と、分光輝度率分布情報とを有し、前記仮想観察者情報が、少なくとも、前記仮想観察者

の３次元位置情報と、視覚情報とを有することが好ましい。

【００１５】

【発明の実施の形態】

以下、本発明のコンピュータグラフィックス再現方法について添付の図面に示される好適実施例を基に詳細に説明する。

【００１６】

図１に、本発明のコンピュータグラフィックス再現方法を概念的に示す。

本発明のコンピュータグラフィックス（以下、ＣＧとする）再現方法は、ＣＧの仮想空間（シュミレーション空間）に作成したＣＧ画像をハードコピーに再現するに際し、ＣＧ空間の３次元座標（ｘ，ｙ，ｚ）における、物体１０の情報、光源１２の情報、ならびに観察者１４の情報から、ＣＧの仮想空間内に任意に作成された平面１６に射影された二次元画像を示すアピアランス３刺激値すなわちアピアランス信号α，β，γを得、アピアランス信号α，β，γから、このアピアランス３刺激値と同じアピアランスが得られる画像となるプリンタ信号を作成して、ハードコピーを作成することにより、ＣＧから、写真を原稿としたハードコピーと同等あるいはそれ以上に現実感の高いハードコピーを作成することを可能にしたものである。

【００１７】

図４に従来のＣＧ画像のハードコピーへの再現方法を概念的に示す。

従来の再現方法では、基本的に、点光源５０を有するＣＧの仮想空間内（図４中点線で示される空間）に作成した物体５２の画像を、ＣＲＴ等のディスプレイ５４で観察者５６が見る画像として再現して、このディスプレイ５４に再現された画像の画像データをプリンタＰによる画像出力に対応する画像データに変換することにより、ＣＧ画像をハードコピーに再現している。

しかしながら、この方法では、仮想空間内、ディスプレイ５４、およびハードコピーのそれぞれにおける観察環境や条件の違い等に起因して、現実感の高い画像をハードコピーに再現することはできない。

【００１８】

これに対し、本発明のＣＧ再現方法においては、前述の物体情報、光源情報ならびに観察者情報を用い、ＣＧの仮想的な３次元空間において、大きさを有する仮想的な光源１２によって照射された物体１０（ＣＧによって３次元空間内に作成された物体）の反射光を、任意に決定された二次元的な平面１６に射影して２次元画像とし、この２次元画像を同じ３次元空間内にいる仮想的な観察者１４が見た際の画像データ、すなわち光源１２や観察者１４や観察条件が反映された画像データであるアピアランス信号α，β，γとする。

次いで、例えば、このＣＧのアピアランス信号α，β，γを変換して、プリント画像すなわちＣＧ再現画像のアピアランス信号α_h，β_h，γ_hを得、これよりプリンタ信号（プリンタの画像出力に応じた画像データ）を作成し、ハードコピーを作成することにより、光源や観察条件等の違いを吸収した現実感の高い画像、すなわち、ＣＧのアピアランスと同じアピアランスの画像をハードコピーに再現することができる。

【００１９】

光源１２の情報は、輝度の次元を持つ情報であり、基本的に、光源１２から射出される光の波長λ、偏角θ、さらに、ＣＧの三次元空間における光源１２の位置x_s，y_s，z_sをパラメータとする関数Ｓで示される。

Ｓ（λ，θ，x_s，y_s，z_s）

なお、図１に示されるように、光源１２は点光源ではなく、ある大きさを持った光源である。

【００２０】

物体１０の情報は、物体１０のある点ｒにおいて、ある方向に反射される光の反射率の情報であり、基本的に、波長λ、偏角θ、三次元空間におけるｒの位置x_n，y_n，z_n、さらに、物体１０が有する面の法線x_m，y_m，z_mをパラメータとする関数Ｒで示される。

$R(\lambda, \theta, x_n, y_n, z_n, x_m, y_m, z_m)$
なお、この三次元空間中の物体の位置x_n，y_n，z_nの取り込み方法には特に限定はなく、コンピュータで画像データを作成する方法や、ホログラムによる２次元情報を走査する方法等、ＣＧで用いられている公知の方法が各種利用可能である。
また、物体のある角度方向に対する分光反射率を、偏角分光測光等の方法により求めておけば、法線方向X_m，Y_m，Z_mに対する分光反射率を算出することが可能である。
【００２１】
観察者１４の情報は、基本的に、三次元空間における観察者１４の位置x_i，y_i，z_i、観察者１４の視覚情報たとえば人間の眼の等色関数$x(\lambda)$，$y(\lambda)$，$z(\lambda)$、観察者１４の順応白色X_W，Y_W，Z_W、さらに、観察者１４の順応輝度Ｐで示される。
なお、順応白色X_W，Y_W，Z_Wとは、その空間内で観察者１４が白と感じる色であり、例えば、光源１２の３刺激値または色度値で示される。
また、順応輝度Ｐとは、その空間内で、光源１２に対して観察者１４が馴染んでいる輝度である。例えば、その空間（光源）が真夏の太陽の下なのか、室内であるのかによって、観察者１４が馴染んでいる輝度が異なるので、そのシーンの中で観察者が馴染んでいる輝度を順応輝度Ｐとする。
【００２２】
前述のように、本発明の再現方法においては、光源１２から射出されて物体１０に反射された光を、前記３次元空間内に任意に設定した平面１６に射影することにより、ＣＧの３次元画像から２次元画像を得る。
この平面１６に射影された画像の各点（画素）の位置を、平面１６の二次元座標の位置x_p，y_pで示す。
【００２３】
本発明のＣＧ再現方法では、これらを用いてＣＧで作成された画像を２次元画像に再現するためのアピアランス信号を算出するが、以下に示す例においては、まず、光源情報である関数Ｓ、物体情報である関数Ｒ、観察者位置x_i，y_i，z_i、等色関数$x(\lambda)$，$y(\lambda)$，$z(\lambda)$、および二次元座標の位置x_p，y_pを用いて、平面１６に射影された二次元画像の３刺激値Ｘ，Ｙ，Ｚを算出する。
３刺激値Ｘ，Ｙ，Ｚは、ＣＩＥ(Commission Internationale I'Eclairage 国際照明委員会）の３刺激値の算出方法に準拠して算出すればよく、例えば、下記式で示されるように、関数Ｓと等色関数（観察者１４の視覚情報）$x(\lambda)$，$y(\lambda)$，$z(\lambda)$とを積分することにより算出することができる。このように、関数Ｓを積分することで、光源１２の大きさに対応する。

$$X = \iint x(\lambda)\, S \cdot Rf(x_i, y_i, z_i, x_p, y_p)\, ds\, d\lambda$$
$$Y = \iint y(\lambda)\, S \cdot Rf(x_i, y_i, z_i, x_p, y_p)\, ds\, d\lambda$$
$$Z = \iint z(\lambda)\, S \cdot Rf(x_i, y_i, z_i, x_p, y_p)\, ds\, d\lambda$$

上記式に示されるように、Ｘ，Ｙ，Ｚは、x_p，y_pの関数になっており、すなわち、Ｘ，Ｙ，Ｚ（後述するアピアランス信号α，β，γ）は平面１６に射影された二次元画像の点（画素）x_p，y_pの画像データである。
【００２４】
次いで、この３刺激値Ｘ，Ｙ，Ｚと、順応白色X_W，Y_W，Z_Wおよび順応輝度Ｐをパラメータとして用いる所定の関数Ａ，ＢおよびＣで、平面１６に射影されて観察者１４が見た二次元画像のデータすなわちアピアランス信号（アピアランス３刺激値）α，β，γを算出する。

$$\alpha = A(X, Y, Z, X_W, Y_W, Z_W, P)$$
$$\beta = B(X, Y, Z, X_W, Y_W, Z_W, P)$$
$$\gamma = C(X, Y, Z, X_W, Y_W, Z_W, P)$$

【００２５】
アピアランス信号α，β，γを算出する関数Ａ，ＢおよびＣとしては、各種のものが考えられるが、一例として、ＣＩＥ準拠の測色値L^* a^* b^*の算出方法を利用する、下記の

式が例示される。

【数１】

$$\alpha = l_0\left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)}$$

$$\beta = a_0\left[\left(\frac{X}{X_w}\right)^{\gamma(P)} - \left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)}\right]$$

$$\gamma = b_0\left[\left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\gamma(P)} - \left(\frac{Z}{Z_w}\right)^{\gamma(P)}\right]$$

【００２６】

上記式において、l_0，a_0 および b_0 は、ＣＥＩの算出方法に準拠して、l_0 ＝１１６、a_0 ＝５００、b_0 ＝２００とする。

また、γ（Ｐ）は順応輝度Ｐをパラメータとして関数化したものであり、例えば、図２に示されるように、順応輝度Ｐが０．０１～１００まで４桁変動する間に、γ（Ｐ）が０．３～０．５くらいの間で直線的に変動する関数である。

【００２７】

次いで、このようにして得られた二次元画像のアピアランス信号α，β，γを変換して、プリント画像（すなわちＣＧのハードコピー再現画像）のアピアランス信号 α_h，β_h，γ_h を得、このアピアランス信号 α_h，β_h，γ_h から、プリンタ信号を得る。

【００２８】

プリント画像のアピアランス信号 α_h，β_h，γ_h は、基本的に、前記ＣＧの二次元画像のアピアランス信号α，β，γと同様に得ることができる。

すなわち、最初に、プリンタ信号、例えば、C_i（シアン），M_i（マゼンタ），Y_i（イエロー）の三原色および K_i（黒）の各画像データ（画像濃度、あるいはそれをデジタル化した画像データ）から、公知の方法でプリンタによる画像の３刺激値 X_{hi}，Y_{hi}，Z_{hi} を求める。

$X_{hi} = X_h$（C_i，M_i，Y_i，K_i）

$Y_{hi} = Y_h$（C_i，M_i，Y_i，K_i）

$Z_{hi} = Z_h$（C_i，M_i，Y_i，K_i）

次いで、パラメータとして、この３刺激値 X_{hi}，Y_{hi}，Z_{hi} と、観察者がプリントを観察する際の順応白色 X_{hW}，Y_{hW}，Z_{hW} および順応輝度 P_h とを用いる関数Ａ，ＢおよびＣによって、プリント画像のアピアランス信号 α_h，β_h，γ_h を算出することができる。

$\alpha_h = A(X_{hi}, Y_{hi}, Z_{hi}, X_{hW}, Y_{hW}, Z_{hW}, P_h)$

$\beta_h = B(X_{hi}, Y_{hi}, Z_{hi}, X_{hW}, Y_{hW}, Z_{hW}, P_h)$

$\gamma_h = C(X_{hi}, Y_{hi}, Z_{hi}, X_{hW}, Y_{hW}, Z_{hW}, P_h)$

この関数Ａ，ＢおよびＣは、前述の物体のアピアランス信号α，β，γを算出した関数Ａ，ＢおよびＣと同じ関数である。

【００２９】

従って、前述のアピアランス信号α，β，γを変換してプリント画像のアピアランス信号 α_h，β_h，γ_h とし、このアピアランス信号 α_h，β_h，γ_h から逆算して、プリンタ信号（プリンタの画像出力に応じた画像データ）を算出し、このプリンタ信号を用いてハードコピーを作成することにより、光源や観察条件等の違いを吸収した現実感の高い画像

を得ることができる。

【００３０】

ＣＧの２次元画像のアピアランス信号α，β，γから、プリント画像のアピアランス信号α_h，β_h，γ_hへの変換は、α＝α_h、β＝β_h、γ＝γ_hとなるように、両者を１：１で変換するのが基本である。例えば、図３中にａ（一点鎖線）で示されるような、αとα_hとの関係が傾き１の直線となる変換テーブルを作成し、これを用いて変換する。

しかしながら、ＣＧのアピアランス再現域（色再現域）と、ハードコピーのアピアランス再現域とが一致しない場合も多く、図３に点線で示されるように、一般的にＣＧのほうがハードコピーよりアピアランス再現域が広い。

そのため、例えば、図３中にｂ（二点鎖線）で示されるように、傾きの調整等、ハードコピーのアピアランス再現域に合わせてアピアランスの圧縮を行い、ハードコピーのアピアランス再現域に合わせた変換テーブルを作成して、アピアランス信号α，β，γから、プリンタのアピアランス信号α_h，β_h，γ_hへの変換を行うのが好ましい。

【００３１】

ここで、物体が光沢を有する際には、観察方向によっては直接反射またはそれに近い最高輝度を持つ画素が観測される場合がある。このような場合に、この最高輝度領域からトーンを忠実に再現しようとすると、プリントあるいはディスプレイの再現範囲の制約から良好な画像再現は難しくなる。

この場合には、仮装空間において、観察方向に対して適当な角度で置いた完全拡散反射板を想定し、そのＸ，Ｙ，Ｚ３刺激値を順応白色X_W，Y_W，Z_Wとすることによって、アピアランス信号のレンジを適切に設定することができる。この際には、最高輝度点は順応白色よりも高輝度となるが、この領域について、アピアランスの圧縮を特に強くする事で、重要被写体に最適に再現可能なレンジを割り当てることができる。

また、この順応白色X_W，Y_W，Z_Wを以下のように設定することで、さらに最適なアピアランス信号を得ることができる。まず、観察される２次元画像のＹ値の平均値Y_{avg}を求め、その値の４～６倍の値を順応白色のY_W値とする。次いで、光源のＸ，Ｙ，Ｚ値と比率が同じになるように、X_WおよびZ_W値を設定する。このようにすることで、平均的なシーンに対して良好なアピアランス３刺激値のレンジ設定が可能となる。

【００３２】

さらに、好ましくは、ＣＧの三次元座標空間において、重要な物体（いわゆる重要被写体）の設定を行えるように構成して、それに応じてアピアランスの圧縮が行われる変換テーブルを作成し、これを用いてアピアランス信号α，β，γをプリント画像のアピアランス信号α_h，β_h，γ_hに変換する。

高画質な画像を再現するためには、重要被写体のアピアランスの差が重要になる。そのため、アピアランス信号α_h，β_h，γ_hへの変換が行われた後であっても、この重要被写体のアピアランスの差を確保するのが好ましい。

そのため、例えば、重要被写体がＣＧのアピアランス再現域の領域ｃの画像である場合には、図３中にｃ（実線）で示されるように、この領域は傾き１を確保して、それ以外の領域で圧縮を行って、ハードコピーのアピアランス再現域に合わせた変換テーブルを作成するのが好ましい。

【００３３】

さらに、このような圧縮は、変換テーブルで行うのみならず、ＣＧの三次元座標空間における仮想的な光源１２の大きさ、光量、数等を調整して、光源情報を変えることで行ってもよく、あるいは変換テーブルの圧縮と光源１２の調整の両者を併用して行ってもよい。例えば、光源１２の光量やサイズを大きく、数を増やす等の操作をすることにより、実際の写真撮影におけるレフ板や補助灯の追加のと同様に、ＣＧ画像のコントラストを弱めることができ、すなわち、結果的に、ＣＧのアピアランス再現域を圧縮することができる。一例として、アピアランス信号のヒストグラムを作成し、その分布を平均化するように、光源の大きさ、拡散性、光源数、角度などの照明条件を自動的に変化させることにより、良好な画面を作ることが可能となる。また、ある照明の初期状態に対して、形状は変化し

ているがアピアランス信号としての変化が少ない部分を計算によって求めて、その部分に陰影がつくように光源位置を再配置することも可能である。

【００３４】

本発明のＣＧ再現方法においては、得られたアピアランス信号（α，β，γもしくはα_h，β_h，γ_h）から、プリンタ信号を算出するのみならず、これをＣＲＴ等のディスプレイの表示信号に変換して、ハードコピーに再現される画像をディスプレイに表示してもよい。

これにより、ディスプレイ画像を参照して、各種の画像情報処理を行い、ハードコピーに再現される画像の調整を、ディスプレイ上で行うようにすることが可能になり、より安定的に高画質なＣＧの画像をハードコピーに再現することができる。

【００３５】

また、本発明の方法で作成した２次元画像データを保存することにより、物体モデルの再利用やレイアウトの再構成などが容易となり好ましい結果を得る。この際には、以下のような形式で保存し、伝送するのが、加工性および効率の両面で最も好ましい。

１）３次元の位置座標と、その表面素材インデックスで記述される物体形状データ
２）偏角分光反射率情報で記述される表面素材インデックスファイル
３）３次元の位置座標と、各方向における分光輝度とにより記述される光源データ
４）順応白色および順応輝度データ
５）アピアランス信号への変換関数およびパラメータ
６）プリント信号と３刺激値との対応テーブル
７）プリントの順応白色および順応輝度データ
８）プリントアピアランス信号への変換関数およびパラメータ

このうち１）～５）は、２次元画像のオリジナルとして十分な情報を有しており、所望のプリント媒体に合わせた６）～８）を使用することによって、各種のプリントメディアに対して最適な画像再現が得られる。

さらに、このような構成でデータを持つことにより、３次元物体レベルでの編集、加工を容易に行うことができる。例えば、Ａ画像に含まれるａという物体をＢ画像の中に配置する場合、ａの１）および２）情報をＢ画像に加えて編集することで、Ｂ画像の撮影条件の中で、違和感の無い画像合成が可能になる。また、Ｂ画像の３）～５）のデータをＡ画像に用いることにより、Ａ画像とＢ画像の仕上りを整える等の処理が可能になる。

【００３６】

以上、本発明のコンピュータグラフィックス（ＣＧ）再現方法について詳細に説明したが、本発明は上述の例に限定はされず、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の変更および改良を行ってもよいのはもちろんである。

【００３７】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、コンピュータグラフィックスで作成した３次元画像から、実際に物体を撮影した写真を用いて作成したハードコピーと同等あるいはそれ以上の現実感を有するハードコピーとして再現、言い換えれば、コンピュータグラフィックスで作成した物体を、コンピュータグラフィックスの仮想空間内で実際に観察者が見ている状態に極めて近いアピアランスを与えるハードコピーを作成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明のコンピュータグラフィックス（ＣＧ）再現方法を説明するための概念図である。

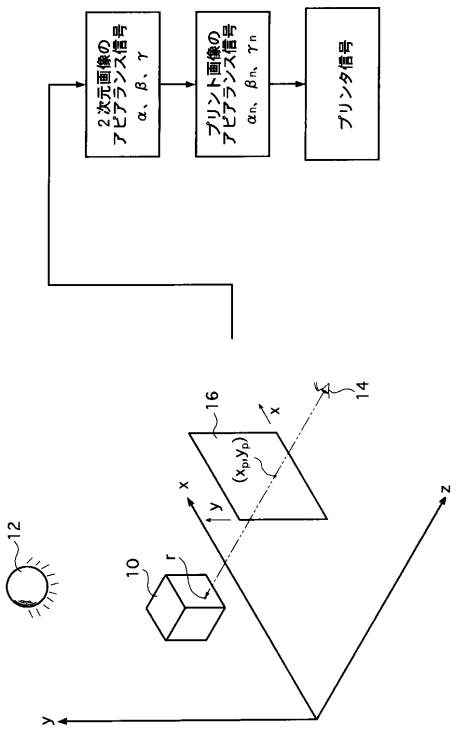
【図２】本発明のコンピュータグラフィックス再現方法におけるアピアランス信号を算出する式の一例を説明するためのグラフである。

【図３】本発明のコンピュータグラフィックス再現方法におけるアピアランス信号の変換テーブルの一例である。

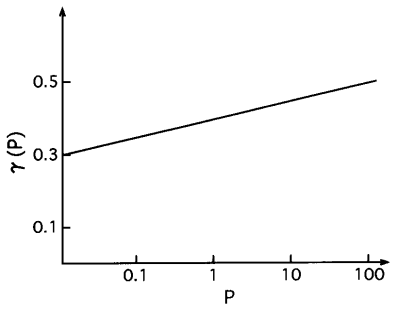
【図４】従来のコンピュータグラフィックス再現方法を示す概念図である。

【符号の説明】
１０，５２　物体
１２，５０　光源
１４，５６　観察者
１６　平面
５４　ディスプレイ

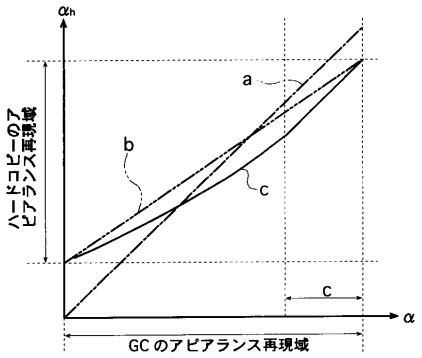
【図１】



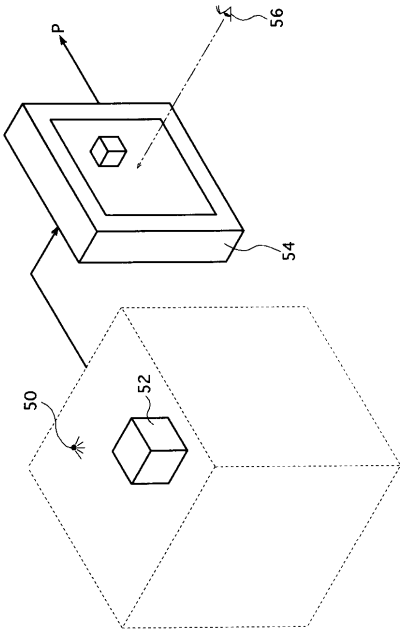
【図２】



【図３】



【図４】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０８－１２３９７８（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－２８１５２３（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－２３４１５８（ＪＰ，Ａ）
特開平７－１５４６２３（ＪＰ，Ａ）
米国特許第４５００９１９（ＵＳ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G06T 11/00
G06T 15/00
G06T 1/00
H04N 1/40 - 1/40,104
H04N 1/46