

高精細インテグラルフォトグラフィ用3次元画像入力システム

佐々木 晋[†], 谷中 一 寿[†]
春日 秀 雄[†] 星野 坦 之^{††}

特別な眼鏡を必要とせず、上下左右に視点が移動してもそれに応じた立体像を見ることができる IP (インテグラルフォトグラフィ) は、理想的な 3 次元表示技術の 1 つである。従来、IP 画像はレンズアレイを通して撮像素子で撮影することにより作成されていた。しかしながらその作成法では、レンズの数と要素画像の画素数との積が撮像素子の画素数になるので、高精細と多視点を両立させることが困難であった。そこで本論文では、高精細と多視点とを両立可能な静止画向けの IP 用画像入力方式を提案する。その原理は、まず撮像素子を 2 次元的に移動させて複数回撮影することにより異なる視点から見た多数の静止画像を得る。次にそれらの静止画像をもとに実空間に置かれた仮想的な IP 画像の各画素と、仮想的なピンホールを通る光線が実在のオブジェクトと交わる点のうち、視点から見えている点の画素値を計算により求め、これを IP 画像のその画素値とするものである。実験では、小型カラー CCD カメラを XY プロッタにペンの代わりに取り付け、パソコンでその位置を制御する。カメラを水平垂直に動かし $32 \times 32 = 1,024$ 枚の画像を取り込む。次にそれらの画像を合成して 1 枚の IP 画像を得る。その IP 画像を透明シートにプリントし、またピンホールアレイを別な透明シートにプリントする。それら 2 枚の透明シートの間に透明板を挟み下からバックライトにより照明を当てて上から観察し、立体像を表示した。提案方式により作成された IP 画像で立体像が観察できることが確認された。

3D Image Input System for High Resolution Integral Photography

SUSUMU SASAKI,[†] KAZUHISA YANAKA,[†] HIDEO KASUGA[†]
and YASUSHI HOSHINO^{††}

IP (integral photography) is one of ideal 3D display technologies because viewers can see stereoscopic figures from arbitrary viewpoints without wearing special glasses. The IP image was made by taking a picture through a lens array so far. In this case however, it is difficult to make high-resolution united to multi-viewpoint, because the product of the number of lenses and the number of pixels of an element image is limited. Therefore this paper proposes a 3D image input system for still images that can achieve not only ultra-high-density but also multi viewpoint display. The principle is as follows. First of all many still pictures from various viewpoints are taken by moving a camera in two dimensional space. Next the pixel value of the observable intersection point of a real object with a ray which connects a pixel of the virtual IP image and a virtual pinhole is calculated, and the value is set to the pixel of the IP image. In our experiment a small color CCD camera is installed in an XY-plotter instead of a pen, so that the position is controlled by a personal computer. As the camera moves horizontally and vertically, $32 \times 32 = 1,024$ pictures are taken, and they are then synthesized to an IP image by our algorithm. The IP image is printed on a transparent sheet and the pinhole array is printed on another transparent sheet. A transparent board is inserted between the two transparent sheets, and they are illuminated by a backlight. It was confirmed that a proper 3D image can be observed by the proposed method.

1. はじめに

通信や情報処理など多くの分野において、高い臨場感が得られる立体表示技術^{1)~5)} が強く求められている。立体視の主要な要因は左右の眼の網膜に写る像の違い、すなわち両眼視差である。両眼視差を利用した立体表示方式は、特殊な眼鏡を必要とするものと、必要としないものに分類される。特殊な眼鏡なしに立体

[†] 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

^{††} 日本工業大学
Nippon Institute of Technology
現在、株式会社ジャパンテクニカルソフトウェア
Presently with Japan Technical Software Co., Ltd.

視が可能な方式としては、レンティキュラーレンズ方式、IP（インテグラルフォトグラフィ）方式、ホログラフィ方式などが知られているが、その中で IP 方式は、視点が上下左右に移動してもそれに応じた立体像を見ることができ、かつレーザ技術などを必要としない点で実現が容易な方式である。また、フルカラー表示が容易に実現できる利点がある。

IP 画像は、高精細プリンタを用いて透明シート上に IP 画像とピンホールアレイをプリントすることによる、だれもが容易に入手できる機材のみを用いた簡易な立体表示方式^{9)~13)}が提案されたことで、安価に作成できるようになってきている。ここで IP 画像とは、IP 方式の 3 次元表示に必要な情報を 1 枚の画像に集積した画像である。

IP 用立体データの作成方法は、CG（コンピュータグラフィックス）を用いる方法と、実写による方法に大別される。このうち実写による方法は、商品などの実物をそのまま立体画像として取り込むような場合に非常に有効である。従来、フライアイレンズの後方に映像記録部を置く方法^{4);5)}が知られているが、撮影された要素画像すなわちレンズ 1 個あたりの画像を各領域ごとに点対称に反転する変換処理が必要である。またすべての要素画像を 1 つの撮像素子で撮影するため、要素画像の数と要素画像あたりの画素数との積が限られているので、多視点と高精細を両立させることは困難である。一方、入力時にフライアイレンズを使用せず、複数のカメラを用いたり、カメラを移動したりする方式も知られており、さらにカメラを動かさずに 1 個のピンホールを動かす方法についても提案されている⁶⁾。しかしながら、これらの方式では、表示画素や取得したい光線の角度に合わせてカメラの位置や方向を精密に制御する必要があるとされている。

近年、カメラで撮影した画像をもとに、コンピュータを用いた計算により任意視点・任意焦点画像を構成するイメージベースレンダリングの研究が進展しており、IP をその入力系として用いる研究⁷⁾や、光線空間を再パラメータ化することで IP 画像を生成する研究⁸⁾などが行われている。筆者らは実空間に置かれた仮想的な IP 画像の各画素と、仮想的なピンホールを通る光線が実在のオブジェクトと交わる点のうち、視点から見えている点の画素値を CCD カメラでとらえ、これを IP 画像の画素とすることにより、少なくとも陽には光線空間の概念を用いることなく IP 画像を作成する方法を提案する。

本研究では、静止画像ではあるが非常に高精細な IP を実現することを目標としているので、高精細な IP

画像を必要としている。そこで、1 台の CCD カメラを、物理的に移動させることにより視点数を増やすことができ、かつカメラの移動方向が平行移動のみでよく回転移動が不要な点で実現が容易な方式を採用した。実験では、小型の NTSC 方式カラー CCD カメラ（以下、カメラ）を XY プロッタに取り付け、そのカメラの位置を PC（パーソナルコンピュータ）から制御することにより高精細かつ多視点の画像入力を実現している¹²⁾。こうして多視点から撮影した多数の画像をもとに、IP 画像を作成した。実験の結果、提案方式により作成した IP 画像の立体視が可能なことを確認した。

2. 簡易な立体表示方式の原理

本論文で想定する簡易な 3 次元表示方式^{9)~11)}の原理を図 1 に示す。この方式は OHP シートのような透明シート 2 枚、透明板 1 枚、およびバックライト 1 台で構成されている。ここで、上側透明シートにはピンホールアレイが、また下側透明シートには IP 画像があらかじめプリントされている。これら上下 2 枚の透明シートの間に厚さ約 1 ミリの透明板を挟み、下部からバックライトで光を当てると、下側透明シートから発した光は上側透明シートのピンホールを通り視点へ到達するので、上部から観察することでフルカラー 3 次元画像が浮かび上がる。

観察者にとっては、たとえば図 1 において右目に入る光が、IP 画像の点 Q から出たのか、それとも 3 次元物体上の点 S から出たのか区別できない。同様に、左目に入る光が、IP 画像の点 R から出たのか、それとも 3 次元物体上の点 S から出たのか区別できない。したがって両眼視差によってあたかも点 S に物体があるように見えるため立体視が可能となる。この関係が

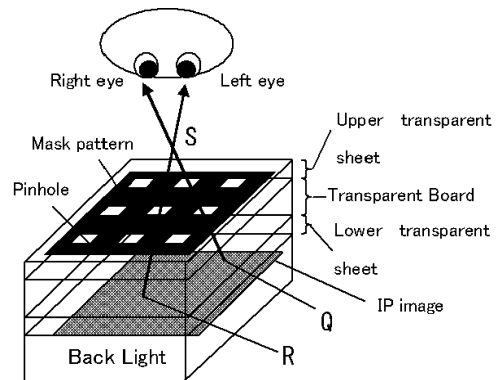


図 1 本論文が想定する 3D 方式の原理

Fig. 1 Principle of the 3D display system assumed in this paper.

すべてのピンホールに対して成り立つので、3次元空間に物体が存在するように感じることができると考えられる。

3. 画像入力方式

CGによりIP画像を作成する場合⁹⁾⁻¹¹⁾には、CGアプリケーションの3次元空間内で仮想的なカメラを動かし、3次元物体を含むシーンをレンダリングした。実在の物体を撮影する場合¹²⁾も、基本原理は同じである。しかしながら次のような問題が生ずる。

(a) CGアプリケーションの場合には平行投影が可能な仮想的なカメラが存在するのに対し、実写の場合にはそれが実在しない。もっとも、望遠レンズを装着すれば近似的に平行投影に近づけることはできる。しかしながら、その場合遠方から撮影する必要があり、カメラの移動距離が長くなり装置が大型になってしまう。

(b) CGアプリケーションの場合は仮想的なカメラの3次元空間内の位置だけでなく、方向も容易に制御することが可能である。これに対し、実写の場合にはカメラの方向を変えることは装置の複雑化を招く。

以上に述べた2つの問題を解決する方式を以下に提案する。

まず(a)については光線1本ごとに処理を行うことによって、平行投影が行えないカメラを使用できるようにした。また(b)については、カメラが視野角を有するので正面だけでなく斜め方向も撮影されることを利用し、カメラの方向は一定として上下左右に平行移動することとした。

図2に本論文で述べる3次元画像入力装置の構成を、図3にその外観を示す。カメラを2次的に移動させるため、製図などに用いられる市販のXYプロッタを用いた。XYプロッタを地面と垂直に置き、被写体との距離がほぼ一定になるようにした。このXYプロッタの仕様を表1に示す。このXYプロッタは、RS-232CインタフェースでPCと接続され、日本のグラフィック(株)が開発したGP-GLというプロッタ言語により、PCから制御される。GP-GLには、XYプロッタのペンを、絶対座標系でペンを上げて移動するためのMコマンドが用意されており、その仕様を表2に示す。

本研究ではペンの代わりにカメラを取り付けることによって、カメラをXYプロッタ上の任意の位置に動かせるようにした。その位置の設定はPCで制御できるので、プログラムでパラメータを変更することにより、カメラの上下左右の位置を任意かつ高精度に設定することが可能である。PC側のアプリケーションは、

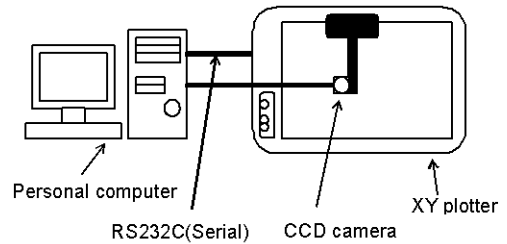


図2 3次元画像入力装置の構成図
Fig. 2 Block diagram of 3D image input system.



図3 3次元画像入力装置の外観
Fig. 3 Appearance of 3D image input system.

表1 XYプロッタの仕様
Table 1 XY plotter specification.

品名	マイプロット MP5300 (グラフィック製)
有効作図範囲	432(W) × 297(H) mm
メカニカルス テップサイズ	0.005 mm
最大作図速度	70 cm/s (全方向)
外形寸法	670(W) × 449(D) × 130(H) mm
インタフェース	RS-232C, セントロニクス I/F
コマンドの種類	GP-GL, HP-GL

表2 Mコマンドの仕様
Table 2 M command specification.

コマンド記号	M
入力形式	Mx, y
解説	このコマンドはペンの現在位置 (X_0 , Y_0) からペンを上げて (X , Y) で指定された座標まで絶対座標でペンの移動をする。

Microsoft Visual Basic で開発した。

一方、カメラで撮影された画像はアナログビデオ信号としてPCに内蔵されたキャプチャボードに送られ、

PC のハードディスクドライブに横 640 × 縦 480 画素の bitmap 形式で格納される。本研究ではこの装置を用いて縦、横それぞれ n 通りの位置制御を行い $n \times n$ 枚の静止画像を取り込む。後述の実験では $n = 32$ とした。以上述べたように、XY プロッタの制御と、画像のキャプチャを、1 台の PC で行うことができる。

4. IP 画像の合成方法

次に、キャプチャされた画像を合成して IP 画像を得る処理について述べる。そのため、実在の物体やカメラが存在する 3 次元空間に、図 4 のような座標系を導入する。カメラは、XY 平面に平行で、かつ $z = d$ となる平面内の (黒丸) の点上を $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ の順に移動するものとする。ここで d はカメラと XY 平面との距離である。また原点を通る XY 平面内に仮想的なピンホールアレイが、またそれよりもわずかに後方に仮想的な IP 画像が置かれているものとする。

ここで「仮想的」という意味は、実際にそこにピンホールアレイや IP 画像が存在しているわけではないが、あたかもそこに存在するものとして、計算を行うということである。したがって、仮想的なピンホールアレイは、実在のピンホールアレイと同じ大きさである必要はなく、また仮想的な IP 画像は、実在の IP 画像と同じ大きさである必要はない。これは、従来の銀塩写真において、実在の被写体の大きさと、フィルムに撮影された像の大きさが、一般に異なっても何ら差し支えないのと同じである。ただし、ピンホールアレイと IP 画像は一緒に使われるものであるから、両者は同じ縮尺でなければならない。また、仮想的なピンホールアレイと実在のピンホールアレイの大きさが異なる場合、実在の被写体と、それを再生した 3 次元の像の大きさも、それに応じて異なることになる。たとえば実在の小さな人形を使って IP 画像を作成し、その IP 画像を拡大して再生すると、大きな人形の像が得られる。その場合においても、相似形になるので、形状の歪は生じない。

このとき、点 $H(x_h, y_h, z_h)$ はある仮想的なピンホールの座標であり、点 $E(x_e, y_e, z_e)$ はそのピンホールに関する仮想的な要素画像のうちの 1 画素の座標である。ただし、点 H は XY 平面上に存在するため z_h は 0 である。

このとき、IP 画像を作成する処理の手順は以下のとおりである。

1. $n \times n$ のカメラ位置から、要素画像の各画素と、ピンホールとを通る直線に最も近いカメラ位置を探す。
2. 前述のカメラ位置で撮影された画像内において、ピ

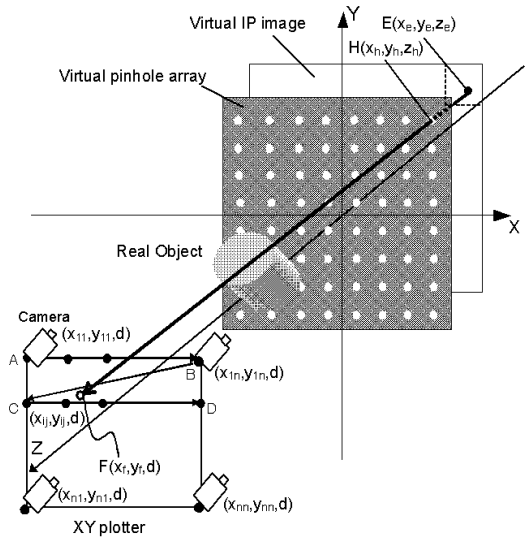


図 4 カメラ位置を求める方法
Fig. 4 Method for searching a camera position.

ンホールとカメラとを結ぶ直線上にある画素の値を求め、その値を要素画像の画素値とする。

以下、図 4 に基づいて詳細に説明する。まず、点 E と点 H を結ぶ直線の方程式は t を媒介変数として次の式で表すことができる。

$$x = x_e + (x_h - x_e)t \tag{1}$$

$$y = y_e + (y_h - y_e)t \tag{2}$$

$$z = z_e + (z_h - z_e)t \tag{3}$$

次に、この直線とカメラが移動する平面とが交わる点の座標を求める。そのために式 (3) に $z = d$ および $z_h = 0$ を代入すると $t = 1 - \frac{d}{z_e}$ となるので、これを式 (1), (2) に代入すると交点の座標 $F(x_f, y_f, d)$ における x_f, y_f は次のように表すことができる。

$$x_f = x_e + (x_h - x_e) \left(1 - \frac{d}{z_e}\right) \tag{4}$$

$$y_f = y_e + (y_h - y_e) \left(1 - \frac{d}{z_e}\right) \tag{5}$$

$n \times n$ カ所のカメラ位置のうち、今求めた交点 $F(x_f, y_f, d)$ に最も近いカメラ位置を求め、その座標を (x_{ij}, y_{ij}, d) とする。ここで $1 \leq i, j \leq n$ である。このカメラ位置から撮影した画像にピンホール(点 H) が写っていれば、そのピンホールの向こうにある要素画像の画素(点 E)の色や明るさが、そのピンホールを通して見えるはずであるから、そのカメラ位置から撮った画像に写っているはずである。

そこで、図 5 を用いて、そのカメラ位置 (x_{ij}, y_{ij}, d) から撮影した画像の画素と、ピンホールアレイとの対応関係を求める。カメラの視野は通常は約 3 : 4 の横

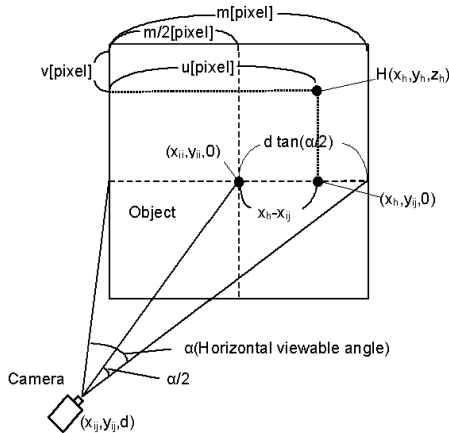


図5 ピンホールとカメラで撮影した画像内の画素の関係

Fig. 5 Relation between a pinhole and a pixel of an image captured by the camera.

長であるが、以下、議論を簡単化するため、カメラの視野が正方形であると仮定し、かつカメラの水平方向の視野角を α とする。このとき、図5に示すように、ピンホールアレイはカメラから距離 d だけ離れた位置にあるので、この位置において、CCDカメラの視野の大きさは $2d \tan(\alpha/2)$ になる。一方、カメラで撮影した画像の画素数を $m \times m$ とする。この場合、ピンホールアレイの位置において m 画素が $2d \tan(\alpha/2)$ の距離に対応する。カメラの視野の中心点 $(x_{ij}, y_{ij}, 0)$ がそのカメラ位置で撮影した画像の中心に対応すること、ピンホールの中心点 $H(x_h, y_h, z_h)$ 、ただし $(z_h = 0)$ はカメラの視野の中心点 $(x_{ij}, y_{ij}, 0)$ より x 軸の正方向に $x_h - x_{ij}$ 、 y 軸の正方向に $y_h - y_{ij}$ だけずれていることを考慮すれば、点 H のピンホール (x_h, y_h, z_h) は、カメラで撮影した画像の左上を基点として右に u 画素、下に v 画素目の画素に対応する。ここで u, v は以下のとおりである。

$$u = \frac{m-1}{2} \left(1 + \frac{x_h - x_{ij}}{d \tan(\frac{\alpha}{2})} \right) \quad (6)$$

$$v = \frac{m-1}{2} \left(1 - \frac{y_h - y_{ij}}{d \tan(\frac{\alpha}{2})} \right) \quad (7)$$

ここで式(6)と式(7)の形が異なるのは、 u と x はいずれも右方向が正であるのに対し、 v と y は正の方向が異なる、すなわち、 v は下方向、 y は上方向が正であるからである。

したがって、カメラで撮影した画像の左上を基点として右に u 画素、下に v 画素目の画素の値を取得して、ピンホールの向こう側のIP画像の画素 $E(x_e, y_e, z_e)$ の値とする。なお式(6)と式(7)で求めた u と v の

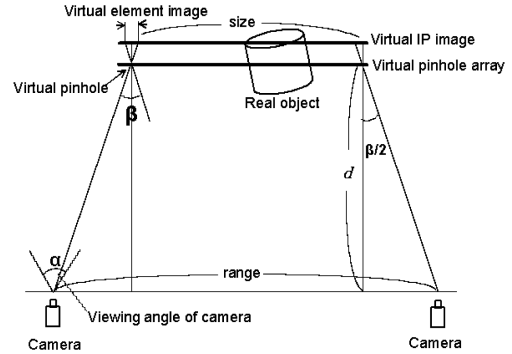


図6 サイズと視野角の関係

Fig. 6 Relation between sizes and viewing angles.

値は必ずしも整数になるとは限らないのに対し、カメラで撮影した画像の画素位置は整数値に限定されているので、近傍の4画素より重み付き平均による補完処理を行うこととする。以上の処理をIP画像のすべての画素に対して行う。

図6は図4を上から見た図であり、 α はカメラの水平方向視野角、 β はIP画像の視野角、 d はピンホールアレイとカメラとの距離、 $size$ は仮想IP画像の横幅、 $range$ はカメラの横方向移動距離である。ここで、 β は、仮想IP画像の要素画像の横方向の大きさと、仮想IP画像とピンホールアレイとの距離から決まる値である。

このとき、仮想IP画像のすべての画素の値が決定されるためには、次の2つの条件が満たされる必要がある。

$$\alpha \geq \beta \quad (8)$$

$$range \geq size + 2d \tan \frac{\beta}{2} \quad (9)$$

式(8)は、IP画像の横方向視野角よりもカメラの横方向視野角のほうが広くなければならないことを表している。また式(9)は、カメラの横方向移動距離は、仮想IP画像の横幅よりも $2d \tan \frac{\beta}{2}$ 以上大きくなければならないことを表している。以上は横方向についての考察であるが、縦方向についても同様の条件が満たされる必要がある。

5. 実験結果

まず本論文で提案した実写によるIP画像作成方式(以下実写方式という)を有効性を確認するため、図7に示すように、実空間に物体を配置して提案方式を適用した。図7において、 XZ 平面と XY 平面には格

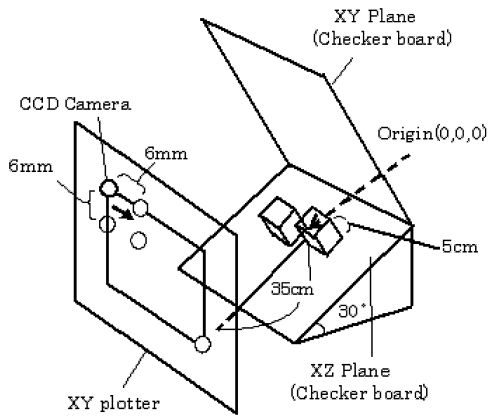


図 7 物体の配置
Fig. 7 Layout drawing of objects.

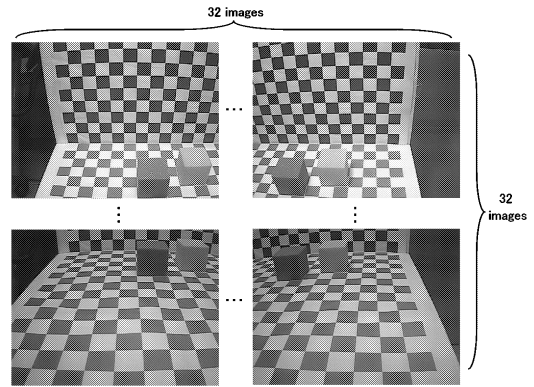


図 9 撮影された 1,024 枚の画像の一部 (四隅の画像)
Fig. 9 Parts of 1,024 images (Images in four corners).

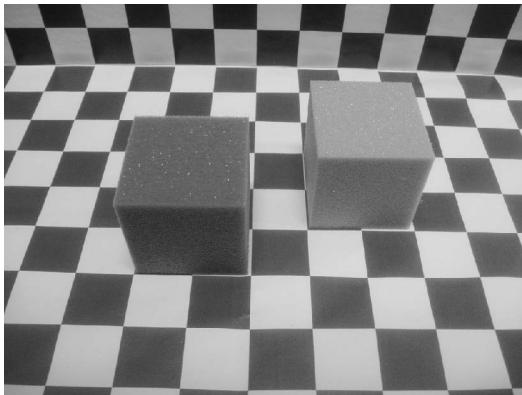


図 8 実在物体の配置 (写真)
Fig. 8 Layout of real objects.

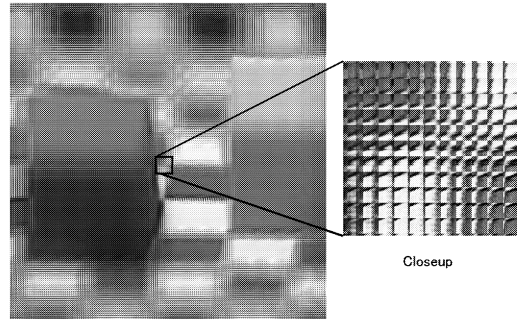


図 10 IP 画像とその拡大図
Fig. 10 IP image and the closeup.

子状のパターン (チェッカーボード) が描かれている。一方, XZ 平面上には, 1 辺が 2.5 cm のスポンジでできた立方体が 2 個配置されている。これらの平面や物体は, X 軸を中心にして 30 度傾けられている。その写真を図 8 に示す。この物体を本論文で提案する入力装置で入力した。

実験では n の値を 32 とし, カメラ位置の間隔は横方向, 縦方向とも 6 mm とした。カメラで撮影した画像を縦 480 画素 \times 横 640 画素の bitmap 静止画像として $32 \times 32 = 1,024$ 枚 PC に取り込んだ。その四隅の画像を図 9 に示す。これらの静止画像をもとに, 図 10 に示すような IP 画像を作成した。これを図 1 の方法で表示し, 視点を横方向に変えて観察した結果を図 11, 図 12 に示す。また視点を縦方向に変えた場合にも像が変化するので, IP が実現できていることが確認できた。

次に, 提案方式と従来の CG による IP 画像作成方式 (以下 CG 方式という) と比較するため, フリーの

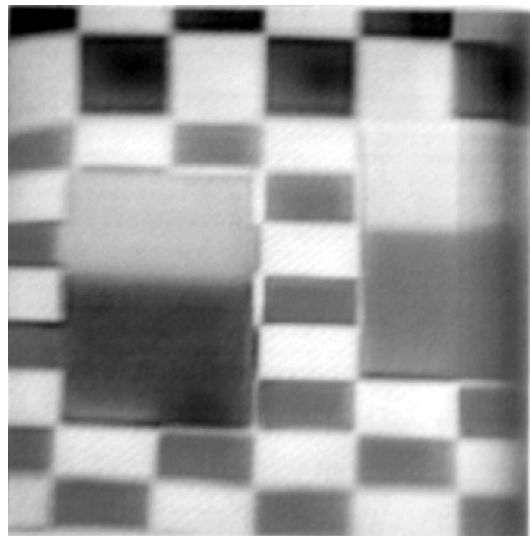


図 11 提案方式により作成された立体像 (立方体 1)
Fig. 11 Observed 3D image produced by the proposed system (Cube 1).

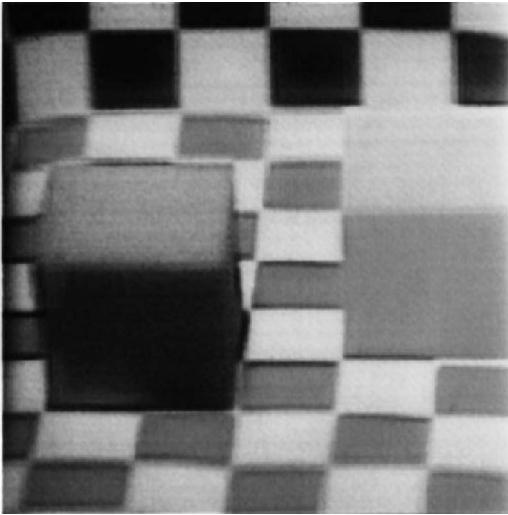


図 12 提案方式により作成された立体像 (立方体 2)

Fig. 12 Observed 3D image produced by the proposed system (Cube 2).

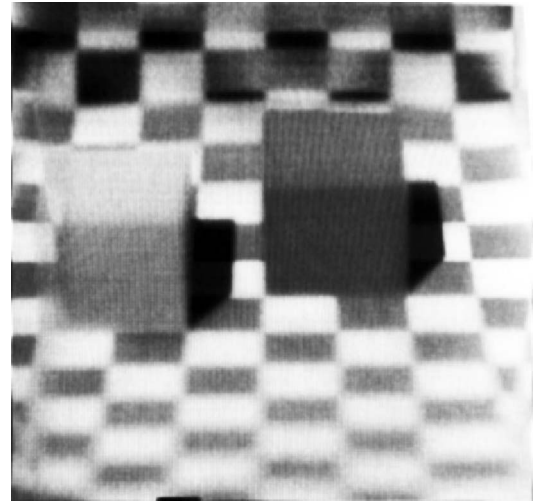


図 14 POV-Ray により作成された立体像 (1)

Fig. 14 Observed 3D image produced by POV-Ray (1).

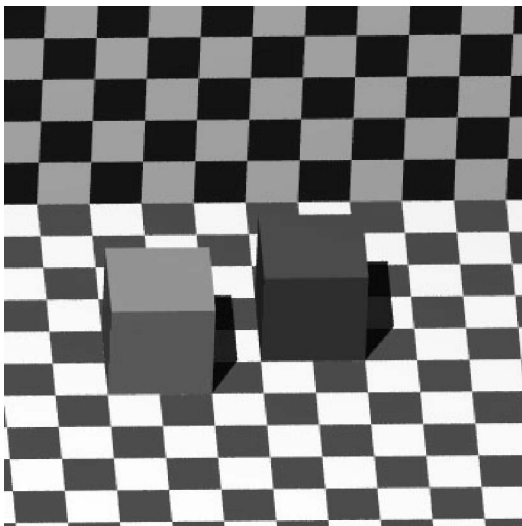


図 13 POV-Ray で作成した物体

Fig. 13 Objects produced by POV-Ray.

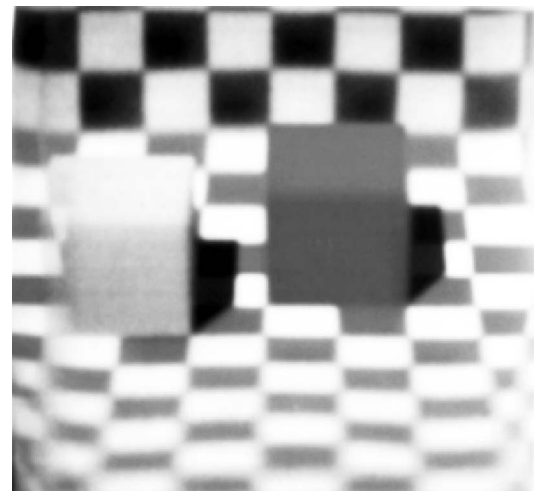


図 15 POV-Ray により作成された立体像 (2)

Fig. 15 Observed 3D image produced by POV-Ray (2).

GG アプリケーションである POV-Ray を用いて図 7 と同じ物体配置を CG で作成した。そのレンダリング結果の一例を図 13 に、また多数の視点からのレンダリング結果に基づいて既存の方式で IP 画像を合成し、観察した結果を図 14、図 15 に示す。これらの結果を、提案方式の結果と比較することにより、従来 CG で実現されていたのと同様な IP 画像作成が、提案方式により実写によっても実現できることが確認された。

図 16、図 17 に実写で作成した立体像を上下方向に視点を移動させて観察した画像を示す。被写体は格

子状模様を有する生地を背景とし、その手前に花を置いたものである。この場合においても立体感のある画像が表示できることが確認できた。

なお、被写体を高精細で入力するためには、被写体をカメラの近くに置くことが有利であるが、近づけすぎるとレンズの歪の影響が出やすくなる。これを解決するための 1 つの方法は、レンズの歪を補正する手段を導入することであると考えられるが、この点は今後の課題として残されている。

6. おわりに

本論文では、高精細と多視点とを両立させることが

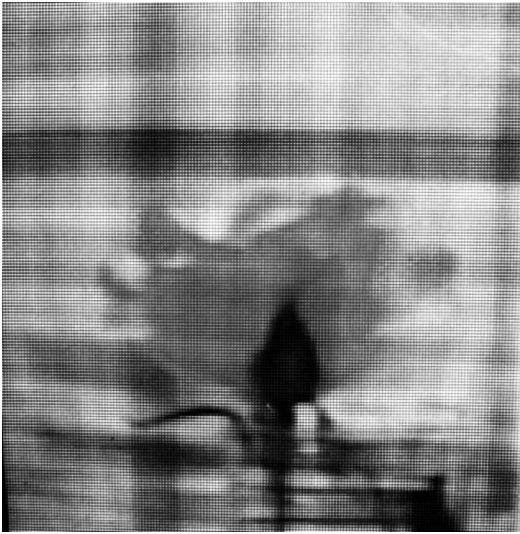


図 16 提案方式により作成された立体像 (花 1)

Fig. 16 Observed 3D image produced by the proposed system (Flower 1).

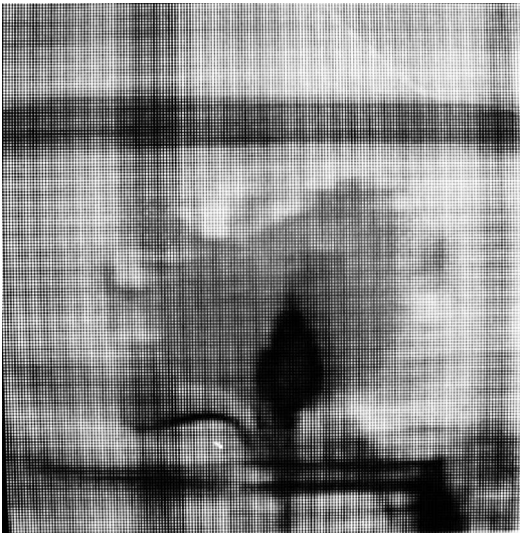


図 17 提案方式により作成された立体像 (花 2)

Fig. 17 Observed 3D image produced by the proposed system (Flower 2).

可能な静止画向けの IP 方式を提案した。その原理は、まず撮像素子を 2 次元的に移動させて複数回撮影することにより異なる視点から見た多数の静止画像を得る。次にそれらの静止画像をもとに実空間に置かれた仮想的な IP 画像の各画素と、仮想的なピンホールを通る光線が実在のオブジェクトと交わる点のうち、視点から見えている点の画素値を計算により求め、これを IP 画像の画素とするものである。実験では、カラー CCD カメラを XY プロッタに取り付け、カメラの位

置を PC から制御することにより多視点から撮影し、それらの画像をもとに IP 画像を合成した。実験の結果、提案方式により作成した IP 画像の立体視が可能であることを確認した。本研究により、商品などの実物をそのまま立体画像として容易に取り込めるようになったので、IP による立体表示の適用分野がいつそう広がると期待できる。なお本研究ではピンホールアレイを用いた IP を想定したが、すでに知られているようにピンホールと凸レンズは機能的に等価なので、本論文で提案した IP 画像の作成方法自体は、フライアイレンズを用いる場合にも適用できる。

参 考 文 献

- 1) 増田千尋：3次元ディスプレイ，産業図書（1990）.
- 2) 泉 武博（監修）：3次元映像の基礎，NHK 放送技術研究所（編），オーム社（1995）.
- 3) 志水英二，岸本俊一：ここまできた立体映像技術，工業調査会（2000）.
- 4) 谷 千束（責任編集）：高臨場感ディスプレイ，共立出版（2001）.
- 5) 洗井 淳，岡野文男，星野春男，湯山一郎：屈折率分布レンズを用いたインテグラルフォトグラフィ撮像方式の基礎検討，映像情報メディア学会誌，Vol.51, No.11, pp.1927-1934（1997）.
- 6) 高橋秀也，木邑光夫，志水英二：平行投影画像を用いた 3 次元画像入力システム，電子情報通信学会論文誌，Vol.J87-A, No.3, pp.391-398（2004）.
- 7) 吉田達哉，苗村 健，原島 博：インテグラルフォトグラフィを用いた 3 次元 CG の合成，映像情報メディア学会誌，Vol.55, No.3, pp.474-478（2001）.
- 8) Isaksen, A., McMillan, L. and Gortler, S.J.: Dynamically reparameterized light fields, *ACM SIGGRAPH2000*, pp.297-306 (Aug. 2000).
- 9) Sasaki, S., Kasuga, H., Yanaka, K. and Hoshino, Y.: 3D display system using high resolution transparent printer output, *Proc. IS&T's NIP18*, San Diego, pp.807-810 (Sep.-Oct. 2002).
- 10) 谷中一寿，佐々木晋，春日秀雄，星野坦之：インクジェットプリンタを用いた立体表示，電子情報通信学会電子ディスプレイ研究会資料，Vol.102, No.642, EID2002-124, pp.17-20（2003）.
- 11) 佐々木晋，谷中一寿，春日秀雄，星野坦之：高解像度プリンタを用いたインテグラルフォトグラフィ方式，日本画像学会誌，Vol.43, No.1, pp.4-9（2004）.
- 12) Kasuga, H., Yanaka, K., Sasaki, S. and Hoshino, Y.: 3D Image Input System for High Resolution Integral Photography, *Proc. IS&T's NIP19*, New Orleans, pp.846-849 (Sep.-Oct. 2003).

- 13) 谷中一寿, 春日秀雄, 太向 巧, 波木井健, 黒田浩一郎, 佐藤浩一: Shade によるインテグラルフォトグラフィ画像の合成, 3次元画像コンファレンス 2004 講演論文集 P2-5, pp.173-176 (2004).

(平成 17 年 3 月 14 日受付)

(平成 17 年 11 月 1 日採録)



佐々木 晋

2001 年神奈川工科大学工学部情報工学科卒業. 2003 年同大学大学院博士前期課程修了. 同年(株)ジャパンテクニカルソフトウェア入社. 神奈川工科大学大学院在学中に, 三次元画像表示の研究に従事.

元画像表示の研究に従事.



谷中 一寿(正会員)

1977 年東京大学工学部電子工学科卒業. 1982 年同大学大学院博士課程(電気)修了. 同年日本電信電話公社(現 NTT)入社. 以来, 画像通信の研究開発に従事. 1997 年

神奈川工科大学教授. 工学博士. 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 画像電子学会, 日本画像学会, IEEE 各会員.



春日 秀雄(正会員)

1995 年信州大学工学部情報工学科卒業. 2000 年同大学大学院博士課程修了. 同年信州大学助手を経て, 神奈川工科大学助手. 2005 年同大学専任講師. 画像処理の研究に従事. 博士(工学). 電子情報通信学会会員.



星野 坦之(正会員)

1970 年東京大学工学部物理工学科卒業. 1972 年同大学大学院修士課程修了. 同年日本電信電話公社(現 NTT)入社. 以来, LED プリンタ, レーザプリンタ, イオンフロープリンタの研究開発に従事. 1994 年日本工業大学教授. 工学博士. 日本画像学会, IEEE, IS&T, 応用物理学会各会員.