

Plenoptic 原理を用いた裸眼立体ディスプレイ

岩根 透

株式会社ニコン 映像カンパニ 歌川研究室 〒140-8601 東京都品川区西大井 1-6-4

E-mail: iwane@nikongw.nikon.co.jp

あらまし マイクロレンズアレイ光学系—Plenoptics の原理—を用いた裸眼立体表示装置を作成した。これは、3次元表示装置としては従来の IP タイプとハード構成はほぼ同一であるが、3次元立体ではなくいわゆる像面を再生するものである。具体的には Plenoptic camera による撮影で得られた畳み込み 2D 像を 3D 像面へとレンズアレイでデコードする形式を持つ。本実験装置により視認角度が広く視覚矛盾のない立体像を観察することができた。

キーワード プレンオブティクス、3D ディスプレイ、ライトフィールドカメラ

Integral 3D Display using plenoptic principles

Toru IWANE

Advanced Digital Imaging Laboratory, NIKON CORPORATION 1-6-3 Nishi-Oi Shinagawa-ku Tokyo Japan

E-mail: iwane@nikongw.nikon.co.jp

Abstract This paper presents our developing integral 3D display which has some analogies with a light-field camera in the cause of transformation between 3D and 2D information. As is widely known, a light-field camera has ability to record 3D images in a 2D plane of detector based on plenoptic principles. And this display decodes this 2D information of “encoded 3D images” into 3D images in reverse, using plenoptic principles. This transformation means that this display reproduces 3D image planes, instead of 3D real images. Nevertheless you could find this type of display gives you natural 3D images on the screen.

Keyword Plenoptics, 3D display, Light Field camera

1. はじめに

昨今、マイクロレンズを用い、後処理によって焦点を変化させた画像を合成する Light_Field_Camera (Plenoptic_Camera) が知られるようになってきた。奥行き情報を含んだ撮影画像から 2 次元像を切り出すというシステムである。1),2) こうしたカメラで得られた“画像”は奥行きつまり立体情報を含んでいるから、この切り出しは畳み込まれた 3 次元情報から特定の高さの 2 次元情報を合成することに他ならない。ここで、このカメラの光の進行方向を逆にして考えてみると、3 次元情報を畳み込んだ合成前の“画像”を畳み込んだマイクロレンズアレイによって 3 次元像に復元できることになる。このような考えに基づく 3 次元表示装置を製作したので報告する。

2. 原理の簡単な説明

2.1. plenoptics による 3 次元表現

理解を容易にするために、まず、Plenoptic_Camera を簡単に説明する。このカメラは、次のような原理に基づき空中にある光点を 2 次元平面上すなわち撮像素

子に記録する。光点は光束が集積する位置であり、光点の集合は三次元の像となる。

図 1 に示すようにマイクロレンズアレイはその焦点を撮像素子上に持つように設置されている。図中右は撮像素子である。ひとつのマイクロレンズは縦横 10 画素から 20 画素程度の大きさを持ち、これらの画素を被覆している。光点があるマイクロレンズ頂点付近にあるとき、この光点を通る光束はすべてそのマイクロレンズの被覆する画素の中に入射する。しかし、光点がマイクロレンズの上方、または下方にあるときには、周辺の複数のマイクロレンズ領域にわたって入射することになる。図 1 にそのときの光束の様子を示す。これを 2 次元で観察したものを‘パターン’と呼ぶことにする。図 2a,b はマイクロレンズの焦点距離の 4 倍の高さに光点があるときの撮像素子に入射する光束を示している。a は入射側 4f の位置、b は出射側に 4f の位置に光点がある場合を示している。マイクロレンズの配列は正方形で破線はマイクロレンズの境界を示している。このパターンは、マイクロレンズの配列光点の高さとその直下のマイクロレンズ中心に対する相対的な座標から決まる。

簡単のために、あるマイクロレンズ中心の直上に光点があるとする。光点の高さを y 、マイクロレンズのピッチを d 、マイクロレンズ中心から距離を x 、マイクロレンズの焦点距離を f とし、 n を n 番目に隣接するマイクロレンズを特定する数とすると

$$\frac{y}{n \cdot d} = \frac{f}{x} \tag{1}$$

の式で x の位置の画素がどの隣接するマイクロレンズの領域に属するかが求められる。

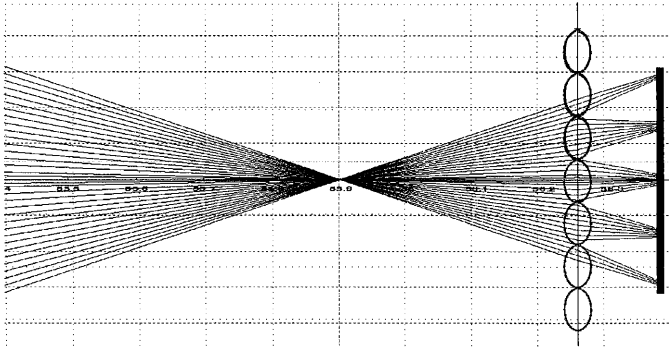


図 1

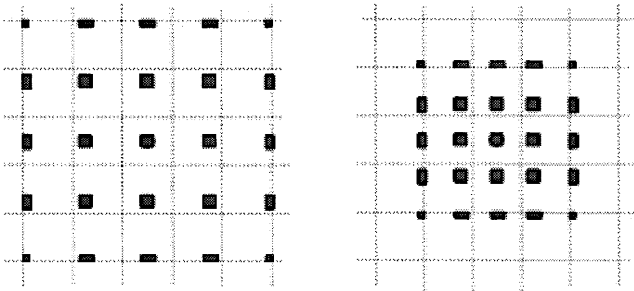


図 2a(左),b(右)

ここで撮像素子の位置に表示素子において、マイクロレンズを通した光の進行方向が逆になった場合を考える。たとえば、図2で示されるようなパターンを表示素子上に表せば、マイクロレンズ面に対して特定の3次元位置に光点が現れることになる。先に述べたように、こうした光点の集合が像であるから、像を合成する光点それぞれに関するパターンを表示素子上に(重畳的に)表せば、3次元の像がマイクロレンズ周辺に形成されることになる。この重畳されたパターンは plenoptic Camera で得る“画像”でもある。

2.2. パターン像の取得

表示のための畳み込まれた3次元像の作成はそれほど難しくはない。もちろん、コンピュータグラフィックの3次元像を計算によってパターン像として合成することはできるけれども、先に述べた Plenoptic_Camera によって撮影された画像に多少の加工を加えれば、そのままパターン像となる。

Plenoptic_Camera によって撮影された像は、先に述

べた原理で撮像レンズによって形成された3次元の像面をマイクロレンズで2次元撮像素子上に畳み込んだものである。この光の進行を逆にすれば、当然に元の3次元像面となる。問題は、再生像面の向きである。光の進行が逆なので観察は撮像素子の反対側となり、立体再現像では近点にあるものが遠方に、遠方にあるものが近くに観察されることになる。これは立体像を裏から見ていることになる。これから、立体を現実認識するためには、再現された立体像面の遠近を逆転させる必要がある。

この操作はそれほど困難ではない。図2の a,b はマイクロレンズの上方に光点がある場合と下方にある場合のパターンを示しているが、これが各マイクロレンズについてその領域を逆転すれば同一のパターンになることは容易にわかる。各マイクロレンズについて、Plenoptic_Camera で得られたパターン像をレンズ中について反転すれば、立体像を再現するための表示用のパターンが得られることになる。図7

2.3. 表示装置の構造

今回試作した表示装置の構造は単純なものである。4K2K相当の高精細ディスプレイの表示面上に、ハニカム配置のマイクロレンズアレイが装備されている。位置関係から云うと、各マイクロレンズの焦点が、ほぼディスプレイの液晶面に来るように設計されている。この構造は、ハード上では多くのインテグラル方式の3Dディスプレイ、もしくはレンチキュラータイプを含むステレオ視差方式のディスプレイと基本的に違いはないのである。

下に表示器とレンズアレイのディメンジョンを示しておく。

構成要素	画素数	備考
液晶表示装置	3840X2400	IBM t221
レンズアレイ	548X200	擬似ハニカム配置

このディスプレイをパソコンの副画面として稼働させる。撮像系が一眼レフカメラを改造した plenoptic camera であることから、表示は基本的に静止画像を対象としている。

2.4. 像面の高さと立体

ここで、本表示装置の特徴である。像面の再現で立体表示を実現する問題について述べることにする。立体空中像は2.5で示すような形で実現できるのであるが、ここではあえてマイクロレンズ面付近に再現する立体像面再現を採用している。

まず、構造的な奥行き再現についてであるが、マイクロレンズアレイシステムを用いた立体取得、再現システムは、立体を復元できる範囲に制限がある。マイ

クロレンズが被覆する画素が幅あたり 10 画素だとすると、近傍 10 マイクロレンズまでしかそのパターンを広げられない。したがって、再現できる奥行きは、マイクロレンズ焦点距離の 10 倍程度に限定されることになる。表示素子のレンズの焦点距離を 10mm とするなら 100mm 程度の範囲で 3 次元が再現される。

Plenoptic_Camera で、予定結像面付近に形成される 3 次元像面は、撮像レンズによって“圧縮”されている。そして、この圧縮された 3 次元の像面がマイクロレンズアレイによって 2 次元の撮像素子上に畳み込まれるのである。したがって、このカメラで撮影した像を本発表の 3D ディスプレイで表示するなら、再現される立体像は、本来の 3 次元の被写体ではなく、それが“圧縮された”3 次元の像面ということになる。

ここで問題になるのは 3 次元の像面の再現が、一般に期待される 3 次元像の再現に代替し得るかという点である。これをさらに、空中像に伸張する必要はないかという点である。結論から言うと代替し得るし、こうした系ではそれがむしろ望ましいと考える。

具体的に示すと、3 次元被写体が表示画面上に実際の m 倍で映るとすると、 m^2 倍の奥行きを持てば、観察者の網膜上では、実際の立体被写体と同じ像の高さを持つことになる。奥行きが投影倍率と同じく m 倍ならば、網膜上の高さが大きくなって箱庭効果を持つことになる。

ステレオ型などの視差方式の問題は、いわゆる 3 次元酔いが長時間視聴に付随することである。これは像を形成する位置と融像する位置が異なることによる

視覚矛盾が原因であると言われている。そうすると撮影時の実際の距離位置に空中像を形成するのが望ましいことになる。しかし、ホログラムなどにも言えるこ

とであるが、像の形成位置は表示をおこなう部材の近傍であるほうが、像の品質は高まる。

そこで、表示素子近傍に像面を形成させ、同じ立体効果を得ることを考える。表示倍率の二乗に圧縮された像面を、表示器の近傍に形成すれば、眼の焦点位置は異なるものの、網膜において実際の 3 次元被写体の像と同じとなる像が得られることになる。（図 3a）

こうした圧縮された立体表示形式は、実はそれほど目新しいものではない。硬貨に彫られた肖像や、古代のペルセポリスなどの浮き彫りは、こうした圧縮を非自覚的におこなってきた例であると云えよう。これらは限られた像面の幅の中に、圧縮された奥行きを刻んでいながら、矛盾を感じさせないものである。

2.5 空中像への変換

もちろん、こうしたいわば、レリーフのような方法

より、やはり王道の空中像の表示が望ましいと考えるのも自然である。先に述べたように縦倍率と横倍率の問題だけなので、簡単に空中像式のディスプレイとすることができる。

ディスプレイの前面にフレネルレンズなどの大口径の凸レンズを設け、このレンズを通して表示像の虚像を観察するような系(図 4)とすれば、これは、“立体像”をそれがあべき位置に還元するようなディスプレイとなる。ただ、網膜上での像は基本的に虚像レンズがない場合と変化しない。

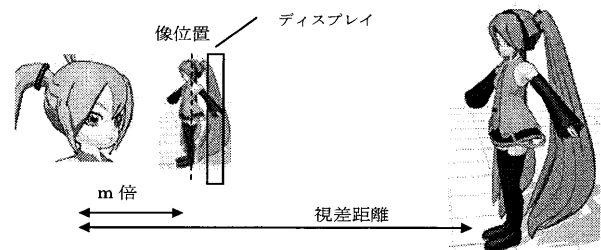


図 3a

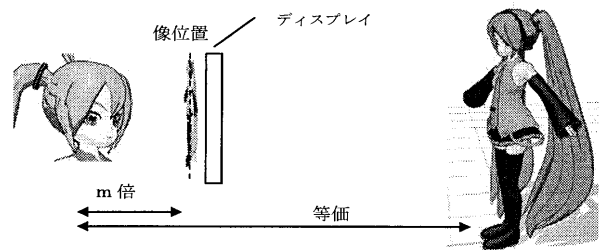


図 3b

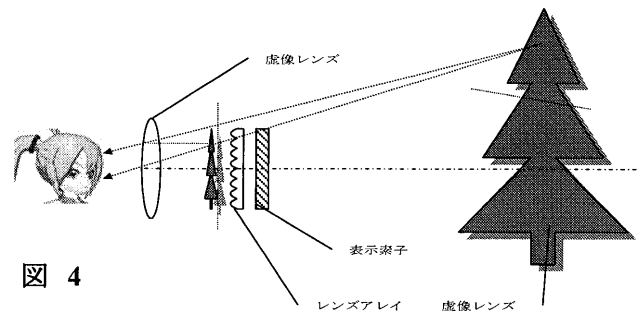


図 4

3. 結果と課題

このディスプレイの表示像は図 5 に示すような立体像となった。図 6 の a,b は視線方向による表示像の変化を示している。この円で囲んだ部分に注意すると、花と葉の間の関係から視差が発生していることがわかる。この方式は視差式ではないが、当然に視線方向によって画像が変化している。図 7 はこの部分のマイクロレンズを通さない表示器への出力パターンである。

課題はマイクロレンズの焦点面が前述したように

表示面と同じであるために、ストライプ上に配列された RGB の色ピクセルが分離されて、いわば色モアレになることである。現在は、解像感等を多少犠牲にし、焦点面から若干ずらしてマイクロレンズを設置する方法を選んでいる。レンズがディフォーカスすればモアレは発生しない。けれども、これは暫定的な方法ではないことは明らかで、もう少し本質的な方法で解決しなければならないであろう。4)

今回は、静止画の再現をおこなったが、基本的に Plenoptic カメラ画像の処理は軽いので、カメラならびに出力フォーマットが動画に対応できれば、動画の再生は困難ではない。

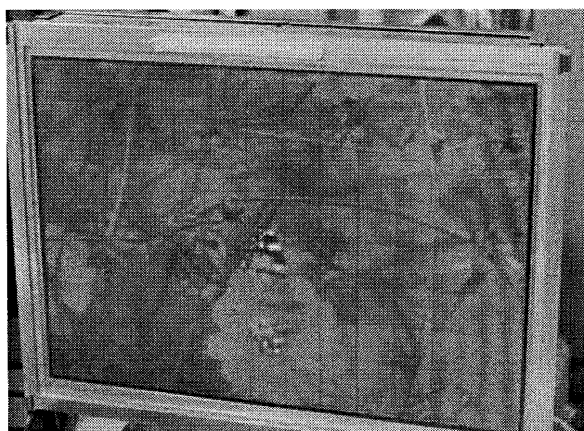


図 5

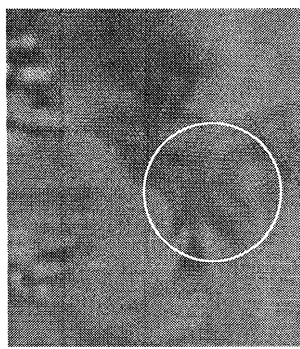
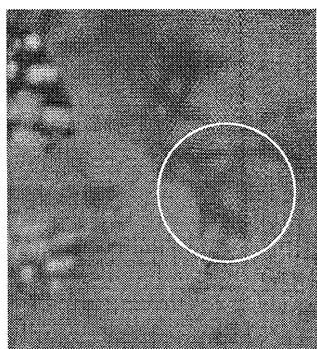


図 6a(左),b(右)

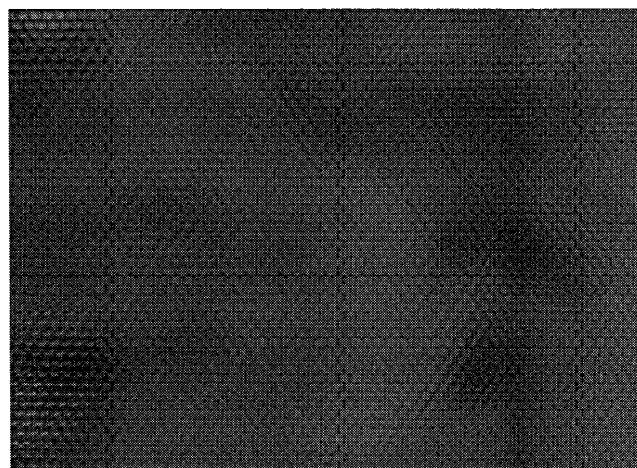


図 7

文 献

- 1) Ren Ng, etc, 2005. Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera *Stanford Tech Report CTSR 2005-02*
- 2) Ren Ng, 2005. Fourier Slice Photography *ACM SIGGRAPH*
- 3) 歌川, 2007. 特開 2007-4471
- 4) 小林、奥井, etc, 2005 インテグラル立体テレビでの色モアレ低減手法, 映情学会誌, vol. 59, NO. 3, pp439-447

初音ミク、亞北ネル アニマサ氏