

# 裸眼立体視技術の 最新動向

東京電機大学情報環境学部

ネプラス (株)

新津 靖 [yniitsu@cck.dendai.ac.jp](mailto:yniitsu@cck.dendai.ac.jp)



昨年度、立体映像産業推進協議会<sup>1)</sup>と3Dコンソーシアム<sup>2)</sup>が設立され、立体表示技術、特に特殊なメガネを必要としない裸眼立体表示技術の普及を図ろうとする活動が本格化しはじめてきた。過去にも3次元立体表示が可能なディスプレイがブームになった時期があるが、技術的にも、またコンテンツ制作においても課題が多く、普及にまでいたらなかった。しかし、ここ数年の技術的進歩はめざましく<sup>3)</sup>、近い将来、立体ディスプレイや立体テレビが家庭にまで普及する可能性があると期待するメーカーや技術者が増えてきている。事実、表示技術としては、高精細なハイビジョンの次にくる技術は立体表示しかないと考えたメーカーや技術者・研究者がほとんどである。このような機運から、表示デバイスの開発で世界をリードしてきた日本で、立体ディスプレイの開発や普及を進めていこうとする活動が出てくることは自然なことでもある。

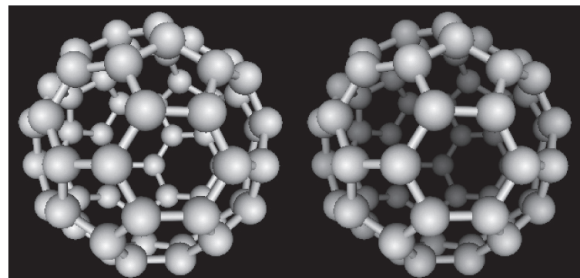
ここでは、立体表示技術、特に裸眼立体表示について、そのハードウェアを中心に最近の動向をお話したい。

## 立体表示について

私たちは、3次元の空間上で常に立体を見ている。その観点からすると、テレビや絵画についても立体的に見たいというのは自然なことである。しかし、2次元平面上や空間上に立体的に映像を表示することはたやすいことではない。私たちが立体を立体として認識する主な原理は、「両眼視差」といって、左右の目に入る映像のわずかな違いから奥行き感を得るものである。これ以外にも眼球の角度調整（輻輳）や焦点距離調整の具合、それらに関係する筋肉の緊張・弛緩が空間中の前後関係を認識する原因となる。

### 【単眼視】

巨匠と呼ばれる画家たちは、2次元のキャンバス上に、3次元空間をいかに立体的に描くかを競ってきたといっても過言ではない。絵画のように1枚の画像で立体的に見せる手法は「単眼視」の立体表示法であり、人間の視覚の心理的・記憶的要因や経験的要因を利用して立体的に見せる手法である。これについては、3次元CGの表示効果にそのほとんどが網羅されている。近くのを大きく見せる透視投影や遠近法はもちろんのこと、注視しているものより手前や遠くのをぼかしたり、霧がかかったような効果をつけたり、近くのもののが速く動いたかのように見せる手法（モーションブラー）などがある。例として、高速表示が要求されるインタラクティブ表示でよく使われる Depth Cue と呼ばれる手法を示す。これは、遠くのものに霧がかかったように見せる方法であり、ソフトウェア的には3次元的に遠くにある部分の色を背景色に近づけるようにする。図-1は、Depth Cue を付けないもの(図-1(a))と付けたもの(図-1(b))の比較を示している。



(a) Depth Cue なし

(b) Depth Cue 付き

図-1 Depth Cue による立体感の強調

## 【両眼視差】

左右の目にわずかにずらした映像を見せることで、擬似的に立体感を与える方法が、立体表示技術の主流である。ユニバーサルスタジオやディズニーランド、IMAXシアターなどで多くの人を経験している立体映像シアターでは、偏光メガネをかけて鑑賞する方式が使われている。メガネの左右にそれぞれ直交する直線偏光フィルタを置き、左右の映像を分けている。偏光フィルタの角度により映像を分けているため、顔を傾けると立体感がなくなってしまう。中には円偏光フィルタをメガネに組み込んで顔を傾けても立体感が損なわれないタイプのものもある。CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment) と呼ばれる正面だけでなく左右や上下の壁まで立体映像で囲むタイプの立体表示装置では円偏光メガネが使用される。このように特殊なメガネやヘッドマウント装置を装着して左右の映像をコントロールする方法は技術的にも確立しており、個人で購入できる程度の安価なものも出ている(図-2)。立体映像の鑑賞では、スクリーンやCRTあるいは液晶ディスプレイなどの表示部分に、左右の視差をつけた映像を表示し、鑑賞者が装着したメガネで左右の目にそれぞれの映像を分けて入れる方法をとる。左右の映像を分ける方法としては、前述の偏光を利用した方法、補色の色フィルタを左右の目の前に置き色で画像を分けるアナグリフと呼ばれる方法、液晶シャッターを用いて左右の映像を時間を区切って映す方法がある。液晶シャッター法では、映像と液晶シャッターの動作を同期させるために表示装置と液晶シャッターを有線または無線で接続する必要がある。それらの方法の特徴を以下に示す。

### (1) 偏光メガネ方式

長所：メガネが軽く鑑賞者の負担が少ない。大型ディスプレイが可能。短所：表示装置が高価。

### (2) アナグリフ方式

長所：通常のスクリーンや表示装置が使える。安価。短所：色の再現性や表現に制約がある。

### (3) 液晶シャッター方式

長所：表示装置が比較的安価。大型ディスプレイによる表示は困難。短所：ヘッドマウントが高価。

## 【映像の空中投影】

映像を空中に投影することで、眼球の角度(輻輳)を平面でなく空間上に向かせることができる。その結果、背景や背後の物体と視差が生じ、擬似的に立体感を与えることが可能になる。透明なショーウインドウなどに、半透明な光拡散膜を置き、バックから映像を投影させる

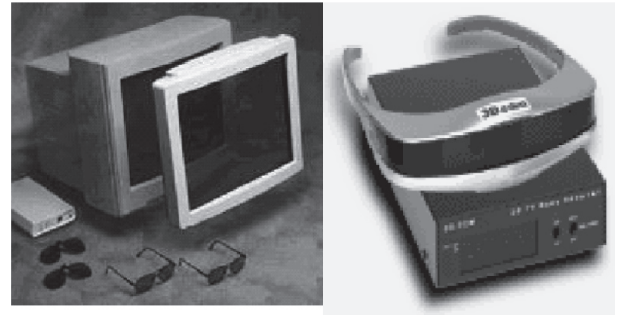


図-2 特殊なメガネをかけて鑑賞するタイプの立体ディスプレイの例

ディスプレイを最近よく見かける。これも空中に映像が浮いて見えるため、立体感を持った人もいると思う。日立製作所<sup>4)</sup>は全周360度を24方向から撮った映像を空中に投影する表示装置を開発した。24枚で全周であるからこの空中の映像には視差はない。つまり両目には同じ映像が見えているはずである。しかし、空中に投影されていることから立体的に見えるものと思われる。著者は実物を見ていないのでその立体感を実感してはいないが、似たものとして電通テック<sup>5)</sup>のデルビジョンやマジックビジョンなどがある。これらに関しては映像を空中に配置することで確かに立体感が得られることを著者も実感している。

デルビジョンなどはハーフミラーを使って1枚の映像を空中に浮かび上がらせている。このため裏から見ることはできないが、日立の開発したものは360度どの方向からも見える点が特徴である。もし将来、100枚以上の視差画像を空中に表示できるようになれば、両目視差も与えることができるユニークな裸眼立体表示技術になる可能性がある。

## 裸眼立体ディスプレイの種類と特徴

立体テレビ・立体ディスプレイは、10年以上前から松下電器、ソニー、キヤノン、三洋電機など日本の多くの家電メーカーが開発に取り組んできた。その目標は、裸眼立体ディスプレイであった。しかし、それらの会社で発売までにいたっているのは三洋電機<sup>6)</sup>のみであり、ほとんどの会社が撤退した。最近では、一度開発を中止した会社でも、調査や開発を再開する動きがあるようである。

立体の認知には、両眼にわずかに異なる画像が入る必要がある。すなわち、両眼間隔の約65mmで別々の画像が到達する必要がある。裸眼の場合には、特殊なメガネによる目の前での細工ができないため、空間的にこの視差画像が存在しなければならない。その意味で、裸眼

開発元・発売元	立体表示方式	視差数
シャープ	液晶バリアー	2
DTI*・リアルビズ	レンチキラー	2
リアルビズ	レンチキラー	2
3D.COM*	レンチキラー	2
三洋電機	斜めバリアー	4, 7
X3D Tech.・ネプラス	斜めバリアー	8
Stereo Graphics・日商エレクトロニクス	レンチキラー	9

\* 最近、液晶バリアー方式を採用（詳細は不明）

表-1 各社の立体ディスプレイの方式と視差数

式の立体ディスプレイとメガネ方式の立体ディスプレイは根本的に異なる装置であると考えべきである。

ここでは、両眼視差を与える方法で立体視を実現する方法と表示装置について説明する。裸眼タイプの立体表示にはいくつかの方法が研究開発されている。しかし、製品化されている方法は、次のレンチキラーレンズとバリアー方式およびそれらを発展させたものがほとんどである。表-1に現在製品化されている主な裸眼立体ディスプレイの開発元、発売元と表示方式および視差数を示す。またそれらの特徴を以下に示す。

### 【レンチキラーレンズ方式】

通称「かまぼこレンズ」とも呼ばれているシート状のレンズである。このレンズを画面の前面に配置し、背面の左右の画像をレンズで分離して観察者の両目に入れる方法である。お菓子のおまけにも使われているので見たことがある人も多いと思うが、原理的にはまったく同じものである。一般に縦長のかまぼこ状レンズを使用する。図-3にその原理図を示す。図では画像が左右の2画像だけであるが、複数の視差画像を置くことで原理的には多眼視の立体表示も可能である。多眼視タイプのものは、単純に縦長のレンチキラーレンズを使った場合、横方向の画像の分解能が極端に落ちてしまうため、斜めにレンズを配置して、横と縦の分解能を均等に落とすようにしている。

この方式の立体ディスプレイとしては、日商エレクトロニクス（Stereo Graphics社）<sup>7)</sup>、3D.COM社<sup>8)</sup>、リアルビズ社<sup>9)</sup>（DTI社、SeeReal社）などから発売されている。このうち、Stereo Graphics社の裸眼立体ディスプレイは多眼視タイプである。図-4に各社が市販している立体ディスプレイを示す。

### 【バリアー方式】

バリアー方式は、図-5に示すように液晶やプラズマ

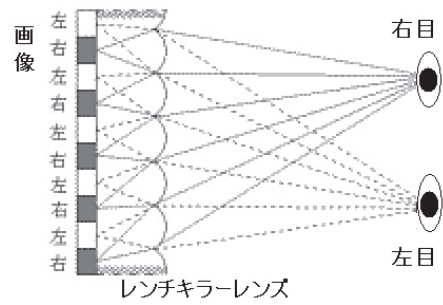


図-3 レンチキラーレンズ方式



図-4 レンチキラーレンズ方式の裸眼立体ディスプレイ

ディスプレイの前に、左右の画像を分けるバリアー状のフィルタを置く方法である。

図-5は画像が左右の画像だけであるが、レンチキラーレンズ式と同様に、複数の視差画像を置くことで原理的には多眼視の立体表示も可能である。この方式の立体ディスプレイも製品化されており、代表的な製品としては、ネプラス社<sup>10)</sup>（X3D Technologies社）、シャープ<sup>11)</sup>、三洋電機<sup>6)</sup>から発売されている。このうち、シャープの立体ディスプレイは2画像タイプ（2眼式）で、バリアーパネル自体に液晶を採用しており、バリアーのON-OFFで立体ディスプレイと通常のディスプレイ表示を切り替えることができる構造をしている。携帯電話の表示画面に採用され100万台以上販売された。最近、15インチの立体ディスプレイを搭載したノートパソコンを発売している。X3D Tech社と三洋電機の裸眼立体ディスプレイは多眼視タイプである。三洋電機の裸眼立体ディスプレイはパララックスバリアーと呼ばれる斜めに

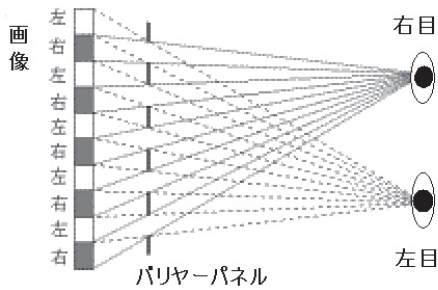


図-5 バリヤー方式



図-6 バリヤー方式の裸眼立体ディスプレイ

バリヤーを配置したものを使用しており、7 視差タイプ (20 インチ高解像度液晶ディスプレイ) と 4 視差タイプ (42 インチ液晶および 50 インチプラズマディスプレイ) の 2 種類を製品化している。X3D Tech 社は、WLSFA (Wavelength Selective Filter Array) と呼ばれるものをバリヤーとして使用しており、8 視差タイプの 17 インチおよび 19 インチ液晶ディスプレイと同じく 8 視差タイプの 43 インチおよび 50 インチプラズマディスプレイを製品化している。X3D Tech 社の立体ディスプレイは標準 8 視差であるが、4 視差、8 視差、16 視差、24 視差の 4 種類を選択できる。また、WLSFA の特徴は、モアレ縞が現れず、高い奥行き感が得られることである。

バリヤー方式の特徴は、多眼式が可能なことであるが、問題点はバリヤーにより遮光されるため、画面の輝度が落ちることである。図-6 に各社の立体ディスプレイを示す。

### 【その他の裸眼立体表示法】

レンチカラーレンズやバリヤー方式以外の立体表示方法としては、ハーフミラー合成式やホログラフィ式などがある。シーフォン社<sup>12)</sup> は 2 画面をミラーで合成する方式を開発し製品化している。ホログラフィ法は、理想的な裸眼立体表示法であるが、実写撮影にはレーザーが不可欠なこと、信号 (データ) が従来のテレビ方式と互換性がないこと、情報量が非常に多く、また、記録デバ

イス、表示デバイスとして実用的に使えるものがないことなど表示装置として製品化するめどはまだ立っていない。製品化を視野に入れたものとしては、浜松フォトンクスが開発を進めているものがあるが、共役像を見えなくするためにメガネをかける必要がある。

東芝はインテグラルイメージング方式と呼ばれる多眼視タイプの裸眼立体ディスプレイを発表した。表示原理は不明であるが、32 視差タイプであり、その画質からバリヤー方式に近いものと思われる。

三菱電機は、2 視差タイプでありながら、逆視を解決した方法を開発している。表示原理は不明であるが、これは、正面から見たときにのみ左右の目に視差映像が見えるもので、その位置から外れると立体映像に見えないようになっている。つまり片目用の映像のみが見えるようになっている。

## 2 眼式立体表示と多眼式立体表示

立体映像というと両眼視差映像を使用して実現するものと思われがちである。裸眼立体表示では、レンチカラーレンズやバリヤーの場合、2 眼式を考えると、両目の間隔だけ左右に移動することで、左右の目に逆の映像が入ってしまう「逆視」の状態になり、立体感が失われるだけでなく目が疲れる。すなわち、わずかに移動するだけで立体視ができなくなる。それだけではなく、画面の右端と左端を見込む角度内で逆視が起きやすくなり、大画面での立体視は困難である。つまり、2 眼式の裸眼立体表示には、「立体視できる位置が固定される」、「大画面化が技術的に困難である」という問題点がある。一方、これを解決する方法が多眼式立体表示である。

多眼式は複数枚の視差映像を空間上に配置し、そのうちの 2 枚の視差映像を両目で見ることで立体感を与える方法である。このため、立つ位置が、多少前後左右に移動しても、逆視にならず立体映像を観察することができる。図-7 にその様子を図示したものを示す。たとえば 8 眼視タイプの場合、適正距離で、両目間隔 (約 6.5cm) に隣り合う視差映像が投影されるので、約 50cm の間で左右に移動しても逆視が起きないことになる。また、適正距離の半分まで画面に近づいても、25cm 程度左右に移動しても立体感が得られることになる。逆視になる位置が限定されることで、広い範囲で立体感が得られるようになり、その結果として、大勢の人が同時に立体映像を見ることができるようになる。またそれだけでなく、2 眼式で問題になっていた大画面化も多眼式では可能になる。事実、40 インチ以上の大画面の裸眼立体ディ

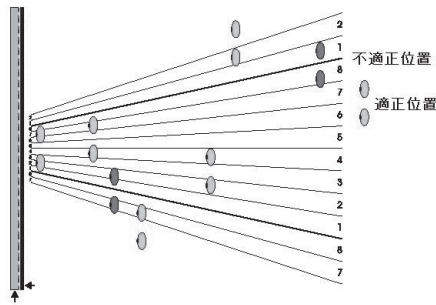


図-7 多眼式立体表示における逆視位置

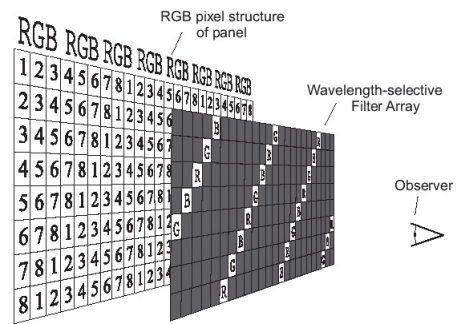


図-8 WLSFAフィルタの構造

スプレイはすべて多眼式である。具体的には X3D Tech 社（ネプラス社）の 8 眼式 50 インチプラズマディスプレイ、三洋電機の 4 眼式 50 インチプラズマディスプレイ、Stereo Graphics 社（日商エレクトロニクス社）の 9 眼式 43 インチプラズマディスプレイが商品化されている。

100 インチあるいはそれ以上の大きさの裸眼立体表示技術も多眼化が進むことで可能になるものと期待される。X3D Tech 社（ネプラス社）の販売している 50 インチ立体ディスプレイは、8 眼式と書いたが、最大で 24 眼視まで可能な構造になっている。また、前述したように東芝は 32 眼式の技術を開発しており、今後、超多眼の立体表示技術が開発され、さらなる大画面化が実現するであろう。近い将来、200 インチや 300 インチといった劇場で使用できるような大型裸眼立体ディスプレイが可能になるものと期待される。

### 裸眼立体ディスプレイへの立体画像の表示方法

多くの読者にとって興味があるのは、立体ディスプレイへの立体画像の表示方法であろう。これに関しては、各社の技術内容にかかわるため、ほとんどが非公開となっている。そのため、ここでは、著者が関係している X3D Tech 社の表示方法について紹介したい。他社の立体ディスプレイについてもレンチカラーレンズ方式とバリエーション方式については 1 画像中に複数の視差画像を埋め込むため、ソフトウェアの処理に大きな差はないものと思われる。X3D Tech 社の表示方法は複雑な部類に入るとと思われる。三洋電機やステレオグラフィックス社の表示方法については、公開されていないため事例として記述できない旨を理解していただきたい。

X3D Tech 社が採用している WLSFA フィルタはピクセルの放射光の RGB 成分をそれぞれ別の方向に放射する機能がある。図-8 にその様子を示す。液晶あるいはプラズマの放射光はバリエーション状のフィルタを通ると、ある方向から観察した場合、斜めの RGB 列部分だけが

透過してくる。別の方向には、別の斜めの RGB 列部分が透過する。図-8 中の数字は、放射される方向を示している。横方向に 8 視差あるので、ある点からこのフィルタを見た場合には横に 2.667 ドットごとに放射光が観察される。すなわち横の解像度は 2.667 分の 1 に落ちることが分かる。また、各光の透過する窓が単色なので、カラー画像として認識するためには 3 つの窓が必要である。このフィルタでは、縦に 3 つまとめることで RGB の 3 原色になる。すなわち、縦には解像度が 3 分の 1 に落ちることになる。縦と横の解像度が落ちることによって平面としての画像の解像度は 8 分の 1 に落ちる計算になる。また、輝度も 8 分の 1 に落ちる。このように多眼式の場合は通常、視差数分の 1 に解像度が落ちると考えてよい。

図-8 のフィルタ構造は開発初期のものである。現在市販している X3D Tech 社の立体ディスプレイのフィルタ構造はこのような単純な構造ではないが、原理は同じである。また、プラズマディスプレイと液晶ディスプレイではフィルタの構造が若干異なっている。

上述の表示原理より、立体画像の合成には複数枚の視差画像が必要なことが分かる。図-9 は 8 枚の視差画像を合成して立体画像を生成する方法を示している。図に見られるように近くのもの右に動き、遠くのもの左に動く回転映像を合成することで立体画像を作ることができる。ここで問題になるのが回転角度である。理論的には各カメラ間の間隔は両眼間隔でなければならないが、焦点距離などのカメラの条件が人間の目とは異なることや、裸眼立体ディスプレイの特性から、3 次元 CG で視差画像を生成する場合は、通常はカメラ間の回転角度を 0.4 度から 2.0 度の間に設定する。経験的には 0.8 度前後で良好な立体画像が得られることが分かっている。ネプラス社と X3D Tech 社では、一部のソフトについて Depth Buffer（奥行きデータ）を利用した動的な視差角調整を採用している。これは、手前の物体の飛び出し感を制限し、違和感のない疲れにくい立体画像

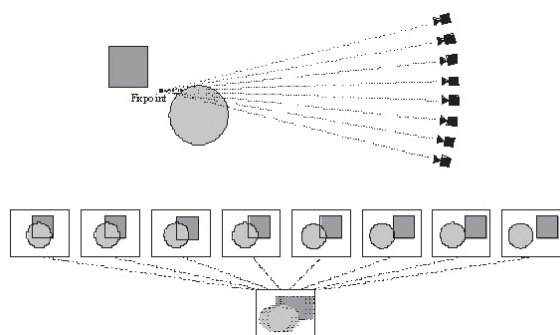


図-9 立体画像の生成方法

を得る方法である。このような方法が必要な理由は、裸眼立体ディスプレイでは大きな視差の画像を合成した場合、はっきりと別々の画像が左右の目に投影させることができず、観察者はぼやけた映像を見ることになる。このため、適度な立体感が得られ、かつ見やすい映像を生成するため、手前の物体が視点に近づいてきた場合に視差角を減らす手法が開発された。

## 裸眼立体ディスプレイ用ソフトウェア

裸眼立体表示が、今後の立体表示の中心的役割を果たすことが期待されているが、裸眼立体表示が今後発展するには、表示装置であるハードウェアとともに、ソフトウェア技術も重要な要素である。裸眼立体表示においては、多眼視が主流になるものと考えられ、従来の2眼式の技術がそのまま流用できない。このため、多眼式のコンテンツ制作や表示用ソフトウェアの開発が、裸眼立体ディスプレイの普及にとって重要になってくるものと考えられる。前述したように多眼の裸眼立体ディスプレイでは製品により必要とする視差画像数が異なり、コンテンツやソフトウェアを共通に使用できないのが現状である。

今後要求されてくるソフトウェア技術としては、(1): 3D-CG や CAD データから立体表示用コンテンツを生成する技術、(2): 多眼式立体表示用コンテンツの共通フォーマットの策定と各種ディスプレイへの表示ソフトウェアの開発、(3): 2次元映像の自動あるいは半自動3次元化技術などが挙げられる。また、DirectX や OpenGL などの3次元表示用ライブラリに裸眼立体表示機能を組み込む努力も進められている。興味深い開発例としては、マーキュリー社<sup>13)</sup>の2次元映像の自動3次元化ソフト、日本SGI<sup>14)</sup>のOpenGL立体表示用ライブラリ、ネプラス社とX3D Tech社のDirectXドライバとOpenGLドライバなどがある。どれもリアルタイム

で立体表示を可能にするソフトウェアやライブラリであり、既存の画像や3次元コンテンツを立体表示するものである。

## まとめ

昨年の3月に、シャープ、三洋電機、伊藤忠などが中心になって「3D コンソーシアム」<sup>2)</sup>が設立され、多くの企業が参加して、主に裸眼立体表示を普及させる活動を開始した。そこでは、立体表示の安全性や、コンテンツ制作、表示技術等について調査や基準の策定などが進められている。また、昨年5月にはNTT、NHK、松下電工、ナムコ、ソリッドレイ研究所などが集まり、千葉大学の本田教授を中心に、立体映像産業推進協議会(立体協)<sup>1)</sup>が発足した。3D コンソーシアムと同様に多くの企業や大学の研究者が集まり、ソフトウェアの共同開発やコンテンツ制作の普及を目指して活動している。著者はネプラス社の代表として上記の2つの活動とともに参加し活動してきた。両者とも裸眼立体表示技術の普及を目指していると著者は認識している。過去にも立体表示がブームになったこともあったが、その多くが経済的効果まで呼ばずに去っていった。しかし、昨年からは起きているブームでは、経済的効果を見据えて情報交換や活動が進められている感がある。著者も立体協のワーキング活動の1つとして「3D コンテンツビューワ開発WG」のリーダーを務めており、各社の立体ディスプレイの構造など技術情報の収集と共通の表示ソフトウェア開発の資料作り、ソフトウェア開発の準備を行っている。情報のオープンにはまだ時間がかかると思われるが、1年後をめどに、企業の同意が得られた部分からオープンにしていきたいと考えている。

読者の中からも、裸眼立体表示に興味を持ち、関係する業務や研究開発に就かれる方々が出てくることを期待する。

### 参考 Web ページ

- 1) 立体映像産業推進協議会; <http://rittaikeyo.jp/>
- 2) 3D コンソーシアム; <http://www.3dc.gr.jp/>
- 3) 3次元画像カンファレンス; <http://www.3d-conf.org/>
- 4) 日立製作所; <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/040224a.html>
- 5) 電通テック; <http://www.tenjiplaza.com/>
- 6) 三洋電機; <http://www.sanyo.co.jp/koho/hypertext4/0209news-j/0910-1.html>
- 7) 日商エレクトロニクス; <http://www.nissho-ele.co.jp/product/p09.html>
- 8) 3D.COM 社; <http://www.j-3d.com/products/3dtft.html>
- 9) リアルビズ社; <http://www.realviz.co.jp/>
- 10) ネプラス社; <http://www.n-plus.co.jp/index/ragan.htm>
- 11) シャープ; <http://www.sharp.co.jp/products/device/about/technology/>
- 12) シーフォン社; <http://home.att.net/~SeaPhone/nvrc/products.htm>
- 13) マーキュリーシステム; <http://www.mercury3d.co.jp/>
- 14) 日本SGI; [http://www.sgi.co.jp/solutions/visualization/viz\\_theater/isl/](http://www.sgi.co.jp/solutions/visualization/viz_theater/isl/)

(平成16年3月29日受付)