

Technology Reports

ユーザインタフェース研究特集 —ケータイの新たなカタチ—

自然な立体映像を実現するモバイル型 3D ディスプレイ技術

近年、立体表示に対応した映画が相次いで公開され、話題となっている。モバイル機器においても立体映像に対する期待が高まる中、ドコモは高密度指向性表示方式のモバイル立体ディスプレイを試作した。試作ディスプレイは、小さな画面サイズ、実在感の再現、広い視域が考慮され、特に、現在主流となっているステレオ方式では実現できない、頭の動きやディスプレイの傾きに応じて見え方が変わるという特長をもつ。

本技術により、実際に実物を手に持っているような感覚を実現でき、モバイル環境に適した立体映像の表示が可能となる。

先進技術研究所 壺井 雅史 堀越 力

1. まえがき

近年、ハイビジョン映像などの映像の高精細化に次ぐ新たな映像表現の方法として、立体映像に対する期待が高まっている。特に、映画の分野においては、家庭環境では楽しめない映像コンテンツとしての、立体映像そのものの付加価値による集客効果の向上もさることながら、コンテンツ制作に多額を投じることが可能であるがゆえのコンテンツの質の高さと、長年映画業界が悩まされてきた盗撮防止にも効果があることなどの理由により、非常に多くの映画が立体映像として上映されている。立体映画を上映可能な映画館も増加

傾向にあり、本格的に立体映画が普及する段階に入っている。立体映像の効果としては臨場感・没入感の向上が挙げられ、これまでの2Dの映像とは一線を画すものとなっている。さらに、立体映像による広告効果の向上や、映像コンテンツの高付加価値化を期待して、映画のみならず、家庭用テレビやデジタルサイネージ*1などの据置き機器、携帯電話などのモバイル機器にも、立体(3D)ディスプレイの搭載が拡がりつつある。

ドコモでは、「いつでも」「どこでも」立体映像を楽しむことが可能な環境の実現を目指し、3Dディスプレイの研究を行っている[1]。特に、

テレビや映画館などの据置き型のディスプレイとの違いに着目し、モバイル環境に適したディスプレイ技術の検討を進めている。具体的には、眼鏡が不要であること、据置き型とは異なる小さな画面でも効果的な立体映像を表現できること、手持ちであるというモバイル環境を活かしたアプリケーションを実現可能であることなどの特長をもつ技術を研究している。

本稿では、映画館や家庭のテレビなどの据置き型ディスプレイと、携帯電話などに搭載されるモバイル型ディスプレイとの違いに着目した、高密度指向性表示方式のモバイル型3Dディスプレイ技術について解説

※本誌表紙に掲載の3Dディスプレイ上の映像コンテンツは、株式会社ロココンの提供による。

*1 デジタルサイネージ：デジタル技術を用いた広告媒体のこと。ディスプレイやプロジェクタを用い、時間や場所などに応じて表示する広告内容を変化させることが可能であり、従来のポスターなどとは異なる広告メディアとして注目されている。

する。また、実際に試作したディスプレイについて解説するとともに、光学測定により試作ディスプレイを客観的に評価し、その有効性を示す。

2. モバイル機器における立体映像の要件

2.1 立体映像の市場

ハイビジョン映像の次世代の映像表現として、立体映像が注目されている。家電メーカーやディスプレイメーカーならびに大学をはじめとする各種研究機関では、さかんに立体映像提示技術の研究開発が進められている。近年では、立体映像に対応した映画やゲームなども制作されており、立体映像という、新たな市場が立ち上がりつつある。

一方で、高速・大容量データのやりとりを可能とする無線技術の進歩や、ワンセグ受信を可能とするモバイル機器の高機能化に伴い、携帯電話などにおいても、大容量の動画コンテンツやデジタル放送の視聴環境が整っている。これらの進化に伴い、次世代の映像表現として、モバイル機器においても立体映像が新たな市場を生み出すことは十分に考えられる。しかしながら、モバイル機器における映像メディアは、映画館や家庭用テレビなどにおける映像メディアとは異なる視聴環境で利用され、そのアプリケーションも異なる。

2.2 モバイル環境の特徴

モバイル環境の最も大きな特徴の

1つとして、サイズの制約がある。映画館をはじめとする画面サイズの大きな視聴環境では、広大なシーンを表示することで観察者にあたかもそのシーン内にいるかのような没入感を与えることができ、さらに立体映像と組み合わせることで、より高度なリアリティを表現できる。例えば、立体映像を提示する方式としては、映画館やテレビなどの比較的大きなディスプレイにおいて、偏光フィルタ^{*2}や液晶シャッターを用いた眼鏡を必要とするタイプが、現在主流となっている。これらの方式は、観察位置によらず、すべての観察者に同一の立体映像を提示することができるため、同一のシーンを複数の観察者に同時に提示することができる。しかし、モバイル環境の場合は、画面サイズの制約上、広大なシーンの中にいるかのような没入感を与えることは難しい。

2.3 モバイル環境に適した3Dディスプレイの要件

前述の理由により、モバイル環境における立体映像には、大画面映像で実現可能な、あたかも広大なシーンの中にいるような感覚よりも、むしろ実物大に近いサイズの物体がそこにあるかのような感覚、例えば素材の質感や物体の細部が伝わるような実在感を再現することが重要になると考えられる。立体物を観察する際、観察位置が変化することで見え方が変わる現象は、運動視差^{*3}と呼ばれ、人が立体を知覚する主要な要因の1つである。この運動視差があ

ることで、人は水面や宝石のきらめきなど、物体の質感を感じることができ、眼鏡を用いた大画面の3Dディスプレイの場合には、この運動視差を実現することはできない。

これらの特徴を踏まえたうえで、モバイル環境を想定した3Dディスプレイの要件を整理する。まず、手持ちサイズが前提であるモバイル機器には、画面サイズの制約のみならず、ハードウェア全体の大きさに対する物理的制約が存在する。そして、モバイル機器の利用環境として、ディスプレイと観察者の距離が近く、しかも容易に観察距離や観察位置が変化する。さらに、小型のディスプレイであっても、質感や物体の実在感を再現できることが挙げられる。

3. 要件に沿った立体表示方式

3.1 高密度指向性表示方式

前述の画面サイズの制約から、モバイル環境では、3Dディスプレイは小型の装置でなければならない。この要件に則し、さまざまな立体映像提示システムの中で、小型かつ薄型の構成が可能な高密度指向性表示方式が、モバイル型3Dディスプレイに適していると考えた。

高密度指向性表示は、多数の画像を同時に表示することで観察者に立体映像を提示する。従来の立体表示方式は、左右の眼に2枚の異なる映像を投影するステレオ方式が主流であったが、本方式では、頭の動きやディスプレイの傾きに応じて観察さ

*2 偏光フィルタ：光の偏光方向に応じて、透過する光と透過しない光を制御することのできるフィルタ。既存の3Dディスプレイの中には、この偏光フィルタを用いた眼鏡によって、右目と左目に異なる映像を映すものがある。

*3 運動視差：人が立体を認識する要因の1つで、観察位置が移動することにより見え方が変化する。他の要因としては、右眼と左眼で異なる映像が見えることにより立体を知覚する両眼視差などがある。

れる映像が変化するため、運動視差を実現できる[2]。特に、高精細な液晶ディスプレイに斜めにレンチキュラーレンズ*4を貼り付けることで、水平方向に高密度指向性表示が実現できる。この原理を図1に示す。

液晶ディスプレイ中の各画素から出た光は、液晶ディスプレイ表面のレンチキュラーレンズによって光の方向が制御され、特定の角度からしか観察されないようになる。レンチキュラーレンズの背面には、複数の画素が存在するため、ディスプレイの観察者は、観察角度によって異なる映像を観察することになる。このようにして観察される映像を、物体を同じ角度から観察される映像と同じものにするようにすることで、右眼と左眼にそれぞれ対応する映像が提示されることになり、その結果、観察者に眼

鏡のようなデバイスを装着させることなく、自然な立体映像を提示することが可能となる。特に、高密度指向性表示では、このように表示される複数視点の映像を、例えば1度程度の微細な角度間隔で多数表示する。そのため観察位置がわずかに変化しただけでも、観察される映像の視点が変化し、滑らかな運動視差が実現できる。

3.2 高密度指向性表示方式の特長

本方式は、液晶ディスプレイとレンチキュラーレンズの組合せという、非常に簡易な構成で実現できる。また、高密度に指向性画像を表示することにより、滑らかな運動視差が実現できるため、宝石のきらめきや水面での光の反射、布表面の滑

らかさなど、物質の質感を表現できる[3]。さらに、指向性画像を表示する間隔を高密度にし、観察者の眼により、同時に複数の指向性画像が観察される状態にすることで、観察者のピント調節が可能となり、自然な立体映像が表示できる[4]。

これらの特長は、前述のモバイル機器での3Dディスプレイの要件を満たすと考えられる。第1に、簡易なハードウェア構成は、既存の装置との親和性を高め、小型の装置であるという要件を満たす。第2に、滑らかな運動視差と質感表現により、ディスプレイに表示されたオブジェクトの細部をより正確に表現することができるようになり、物体を表示した際の実在感の再現を容易にする。第3に、広い視域で立体映像を観察できるため、観察距離や観察位置の制約が少ない。

これらの特長のうち、滑らかな運動視差を得られる点、および広い視域で立体映像を観察できる点について詳しく述べる。ディスプレイ表面のある1点から発せられた指向性画像に注目すると、観察者は、指向性画像の一部を、縦長の短冊形に切り取った画像を観察する(図2)。また、ディスプレイ表面の別の位置では、同様に短冊状に切り取られた別の指向性画像の一部が観察されることになる。

観察者は、ディスプレイ全体について、このようにして切り取られた短冊状の指向性画像を複数組み合わせた画像を観察することになる。

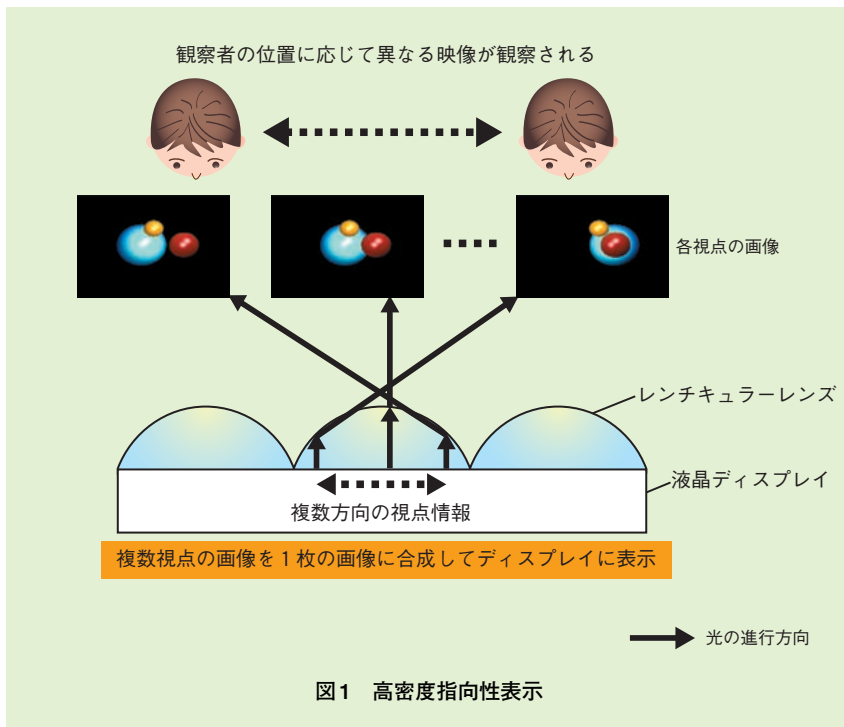


図1 高密度指向性表示

*4 レンチキュラーレンズ：シリンドリカルレンズと呼ばれる、かまぼこ型のレンズを複数並べたもの。シリンドリカルレンズは、横方向にのみレンズの役割を果たすが、縦方向には単なるガラス板として作用する。

3.3 評価指標

高密度指向性表示では、前述のように、観察者の眼に映る映像が短冊状の画像の組合せとなることが大きな特徴であり、その特徴ゆえに非常に滑らかな運動視差を得ることができる。それと同時に、複数の画像の組合せを観察するという特徴上、短冊状の指向性画像の境界部分が重なり合うことになり、観察される映像に「輝度ムラ」が発生することがある。すなわち、高密度指向性表示を用いた3Dディスプレイでは、この輝度ムラを評価・検証することが重要になる。

なお、レンチキュラーレンズを用いたステレオ方式のディスプレイでも、モアレ^{*5}状のしま模様が発生することがあり、ステレオ方式ディスプレイの性能評価にあたっては、このモアレを評価することが1つの評価指標として提案されている[5]。しかしながら、従来の指標として提案されているモアレは、レンチキュラーレンズの周期性と、LCD (Liquid Crystal Display) パネルの画素の周期性により発生するモアレであり、前述の輝度ムラとは異なる。そのため、高密度指向性表示においては、いわゆるモアレとは別に輝度ムラを評価することが重要となる。

4. モバイル3Dディスプレイの試作および評価

4.1 レンチキュラーレンズの設計

モバイル向け3Dディスプレイと

して、7.2型、4.5型、2.5型の3種類の液晶ディスプレイパネルを採用し、これらのパネル仕様に基づき、それぞれ対応するレンチキュラーレンズを設計した。

試作に用いた3種類のパネル仕様を表1に示す。

これらのパネルに、斜めにレンチキュラーレンズを貼り付けることで、高密度指向性表示を実現する。まず、ある程度の運動視差を実現するため、想定する観察距離と、両眼

視差可能な領域を設定し、それに合わせて指向性画像の表示領域を決定した。観察距離は、実際の移動端末を用いた実験により、およそ300～400 mmと決定し、目標視域は、観察者が頭1つ分移動しても、視域を出ないようにするために200～250 mmと設定した。パラメータとして設定した値を表2に示す。

7.2型のパネル、4.5型のパネルについては、滑らかな運動視差を実現するため、指向性画像表示刻みが約

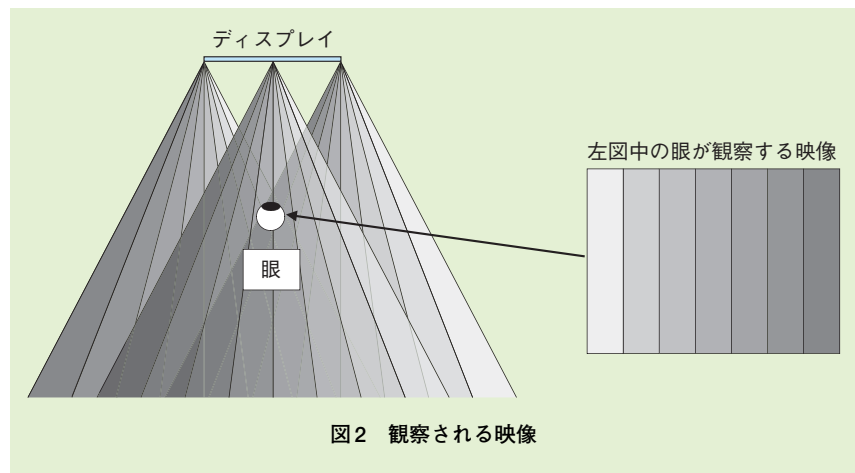


図2 観察される映像

表1 液晶ディスプレイパネル仕様

画面サイズ (型)	7.2	4.5	2.5
水平画素数 (pix)	1,280	1,024	480
垂直画素数 (pix)	768	600	690
画素密度 (ppi)	207	265	332

表2 3Dディスプレイ設計値

	7.2型	4.5型	2.5型
想定観察距離 (mm)	400	400	300
目標視域 (mm)	200	250	200
指向性画像数 (枚)	30	30	24
視野角 (degree)	28.07	34.71	36.87
指向性画像表示刻み (degree)	0.94	1.16	1.54
指向性画像水平画素数 (pix)	256	200	120
指向性画像垂直画素数 (pix)	128	100	115

*5 モアレ：規則正しいしま模様が複数重なったときに、双方のしま模様の周期のずれにより観察される新たなしま模様。

1度となるように設計した結果、指向性画像数は30となった。一方、2.5型については、他の2種のパネルに比べると元の液晶パネルの画素数が劣るため、指向性画像数を24とし、立体映像の画素数が水平、垂直共に100 pix以上となるよう仕様を決定した結果、指向性画像表示刻みが約1.54 degreeとなった。

これらの設定したパラメータに従って、レンチキュラーレンズを設計した。レンズ設計においては、色収差^{*6}を極力抑えられるよう最適化を行った。

4.2 ディスプレイの試作

前述の3種類のパネルに、設計したレンチキュラーレンズを貼り付け、立体映像を表示した結果を図3に示す。それぞれのディスプレイを、異なる角度から撮影した結果であり、観察位置に応じて映像が変化し、運動視差が実現できていることが分かる。また、4.5型試作ディスプレイに表示される30枚の指向性画像のうち、1枚のみを表示し、残りの29枚の映像は表示しない場合の映像を写真1に示す。写真1より、1枚の指向性画像は、観察される映像のうち一部の領域のみに表示されていることが分かり、観察者は複数の映像を組み合わせて観察しているということが分かる。

4.3 光学測定による評価

試作したディスプレイを光学測定により客観的に評価した。3章で示したとおり、高密度指向性表示を用



図3 試作ディスプレイ

いた3Dディスプレイにおいては、複数の指向性画像を同時に観察することを原因とする輝度ムラが特に重要となる。そこで、試作ディスプレイ表面の輝度分布を計測することにより、輝度ムラを評価した。計測は、1枚の指向性画像のみ、すべて白（RGB各色を輝度255に点灯）の状態とし、その他の指向性画像はすべて黒（RGB各色の輝度0）とした状態で、全指向性画像をそれぞれ点灯した場合の輝度値を計測した。計測結果の一例として、7.2型試作デ



写真1 指向性画像表示例

ィスプレイを計測した結果を図4に示す。グラフ中における横軸はディスプレイ正面位置を0度とした角度であり、縦軸は輝度の最大値を100

*6 色収差：レンズの素材が、光の波長ごとに屈折率が異なることにより発生するレンズ性能の低下。本稿では、液晶ディスプレイから生じる赤/緑/青の3色について、色収差を極力抑えるよう最適化を行った。

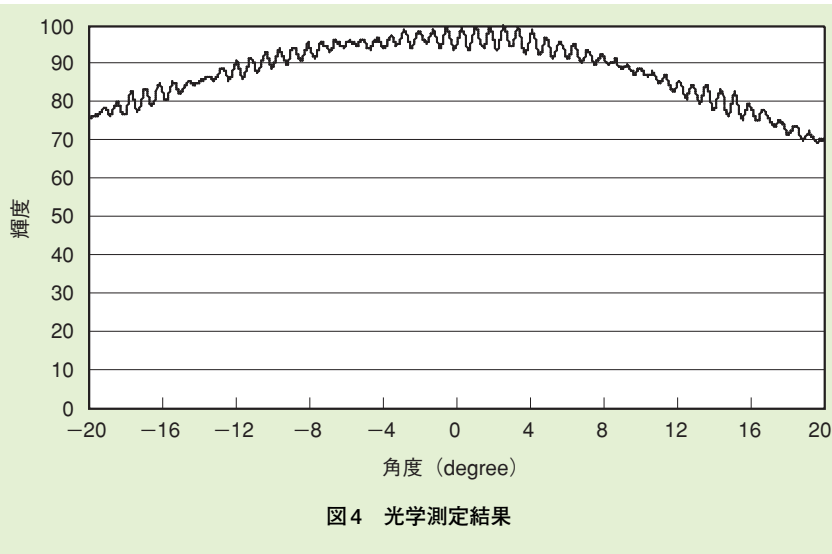


図4 光学測定結果

として正規化した輝度を表している。

図4より、輝度ムラが発生していることが分かるが、ムラのレベルとしては、輝度分布全体の10%にも満たない程度であり、この程度のムラであれば、実用上問題ないといえる。また、4.5型、2.5型の試作ディスプレイについても、輝度ムラは7.2型ディスプレイより少ないレベルであった。

5. あとがき

映画館や家庭用テレビなど、比較的大型の表示領域が確保できる据置き型のディスプレイと、モバイル機

器のディスプレイとの視聴環境やアプリケーションの違いから、モバイル向け立体映像の必要要件を検討し、その必要要件を満たすよう高密度指向性表示方式による3Dディスプレイを設計、試作した。今回試作したディスプレイは、既存のモバイル機器との親和性が高く、広い観察可能範囲と、滑らかな運動視差をもつため、モバイル環境の要件を十分に満たした自然な立体映像の表示が可能になる。また、光学測定により、客観的にディスプレイの輝度ムラを測定した。その結果、発生する輝度ムラは実用上問題ないレベルで

あることが確認できた。

今後は、試作したディスプレイを用いた主観評価実験などを通じて、モバイル環境に適した3Dディスプレイの実現を目指す。

文献

- [1] 壺井, ほか: “モバイル用3Dディスプレイの視域拡大と擬似フルパララックス化,” 本誌, Vol.14, No.3, pp.55-58, Oct. 2006.
- [2] Y. Takaki: “Thin-type natural three-dimensional display with 72 directional images,” Proc. of SPIE, Vol.5664, pp.56-63, Jan. 2005.
- [3] 大力 孟司, 畑田 豊彦, 高木 康博: “VGA解像度高密度指向性ディスプレイによる質感表現に関する主観評価,” 3次元画像コンファレンス2006, pp.69-72, Jul. 2006.
- [4] 梶木 義裕, 吉川 浩, 本田 捷夫: “集束化光源列 (FLA) による超多眼式立体ディスプレイ,” 3次元画像コンファレンス1996, pp.108-113, Jul. 1996.
- [5] S. Uehara, K. Taira, G. Hamagishi, K. Izumi, T. Nomura, K. Mashitani, A. Miyazawa, T. Koike, A. Yuuki, T. Horikoshi and H. Ujike: “Methodology of Optical Measurement for Autostereoscopic Displays,” Proc. of IDW'08, pp.1107-1110, Dec. 2008.