

原著論文

3D モバイル端末における視認性評価 - 裸眼方式の立体映像の認知と立体文字の可読性 -

○塩見友樹¹⁾, 堀弘樹¹⁾, 佐野峻太²⁾, 丹羽南²⁾, 宮尾克¹⁾

¹⁾名古屋大学大学院情報科学研究科, ²⁾名古屋大学工学部電気電子情報学科

Visibility Evaluation of 3D Mobile Devices

- Perception of Glass-free Stereoscopic Vision and Readability of 3D Character -

○Tomoki SHIOMI¹⁾, Hiroki HORI¹⁾, Shunta SANO²⁾, Minami NIWA²⁾, Masaru MIYAO¹⁾

¹⁾Graduate School of Information Science, Nagoya University

²⁾School of Engineering, Nagoya University

Abstract: Recently, three-dimensional images rapidly spread in public, they have come to be used in mobile devices. In this study, we evaluated the visibility of the 3D mobile phone LYNX 3D SH-03C. As a concrete item, we examined capabilities of 3D stereognosis according to age, relationship between popup distance and pupil distance, and visibility and readability of solid character in each evaluation, deflection angle, and turning angle. As a result, capabilities of stereognosis didn't depend on the age, and popup distance and pupil distance followed the theory value. Moreover, about the visibility and the readability of solid character of each angle, it has been understood that stereognosis and reading out become difficult increases of the angle.

Keywords: stereoscopic vision, 3D mobile phone, parallax barrier, visibility and readability

キーワード: 立体視, 3D ケータイ, パララックスバリア方式, 視認性, 可読性

1. はじめに

3D テレビの店頭販売, 映画「アバター」の記録的な大ヒットなど, 立体映像技術は現在, 急速にその普及が進んでいる。立体映像には視聴に眼精疲労や3D酔いといった悪影響を伴うことがあり, この原因については特定されていない[1,2,3]等, 課題も残るが, 今後社会への普及がますます進んでゆくことは確実であろう。このような立体映像は二眼式が主流となっており, パララックスバリア方式(図 1)もその中に分類される。これは液晶シャッター方式やアナグリフ方式とは異なり裸眼で立体映像を見ることができるといった点の特徴となっている[4,5]。

この特徴のため, パララックスバリア方式はケータイのような小型モバイル端末にもよく応用される。2010年12月にSHARPより裸眼で立体映像の見られる世界初の3DケータイというコンセプトでLYNX 3D SH-03C(図 2)が発売されている。SHARPに続き, 今後も各メーカーが携帯電話のようなモバイル端末に立体映像技術を導入していくことは容易に想像ができる。

このような背景もあり, 景色などの立体表示のみならず, 文

2011年1月31日受理. 2011年3月10日, 11日 シンポジウム「モバイル'11」にて発表

パララックスバリア方式

- 裸眼で立体視可能
- 左右の目がそれぞれの画像を見て立体を融像

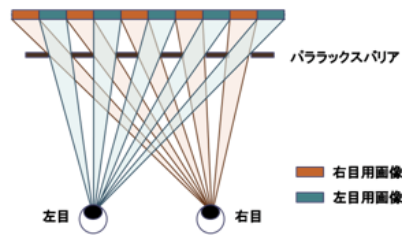


図 1: パララックスバリア方式



図 2: LYNX 3D SH-03C の外観

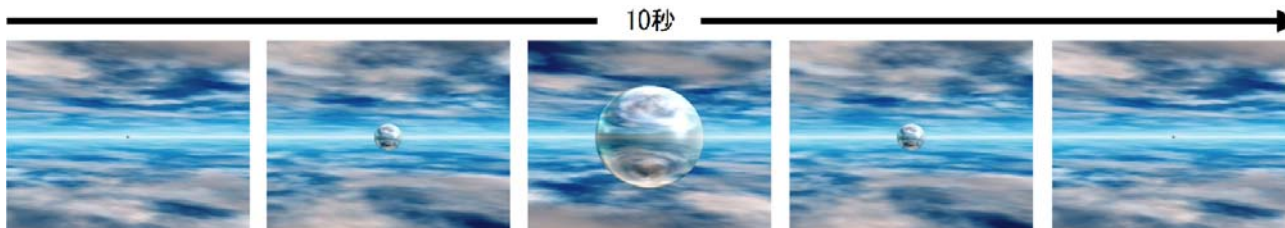


図 3: 実験 I の提示画像(中央の球体が 10 秒周期で遠近運動を繰り返す)

字の 3D 表示も今後は普及することが予想される。

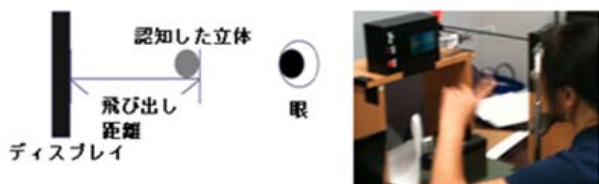
したがって立体表示のモバイル端末テキストの視認性・可読性を調査することは非常に有用であり、それらの指標も必要となる。

本研究では、SHARPより発売されているLYNX 3D SH-03Cの試作機を使用して、立体文字を表示し、それらに対する可読性の測定を行った。また視認性の調査として立体表示文字の認知までにかかる時間、それらの立体表示の文字を読み終わるまでの時間、立体の飛び出し距離(ディスプレイからの飛び出した距離)を評価した。まずそれらの評価と被験者の年齢とを比較した結果を報告する。そしてもう一つ、ディスプレイの角度を変化させたときの立体表示の文字列の探索を行い、このときの視認性の評価についても報告する。

この研究を行う背景には、実際の携帯電話の使用状況の想定がある。SHARPのLYNX 3D SH-03Cで採用されているパララックスバリア方式はディスプレイ上の遮光バリアを用いて立体視を可能としている。そのため有効視点位置が限られてしまうということが分かっている[4, 5]。モバイル端末においては、使用状況や姿勢によってディスプレイの角度が変化することは多々あるが、このようなパララックスバリア方式の特性が視認性にどのような影響を与えるかは明らかにされていないためである。

2. 実験方法

実験は事前に被験者に対して十分にインフォームドコンセントを行っており、名古屋大学情報科学研究科の倫理審査委員会の承認を得ている。また実験に使用したLYNX 3D SH-03Cの試作機の輝度は正面から測定を行った場合、白い背景部分の輝度は94.74cd/m²、黒い文字の部分には約2.05cd/m²であった。



立体認知可能な被験者のみ最近接時の距離を測定

図 4: 立体の飛び出し距離の計測

2.1 実験 I : 立体認知と飛び出し距離

20 歳から 78 歳の男女 109 名を被験者として、被験者の瞳孔間距離の測定を行った。そして被験者の眼前から 40cm の位置にLYNX 3D SH-03Cの試作機(解像度:800×480, 画面サイズ:3.8 インチ)を置き、球体が徐々に手前へ浮き上がる立体映像(図 3)を提示し、最も大きく飛び出したと被験者が認知した場所を直接指で示させ、ディスプレイからの距離を計測することで、立体として認知できるかどうか、そして立体として認知できた被験者が、提示した立体がどの程度の飛び出し距離であると認知したのかを一度計測した(図 4)。なおこのときの実験環境の照度は約 500 lx であった。

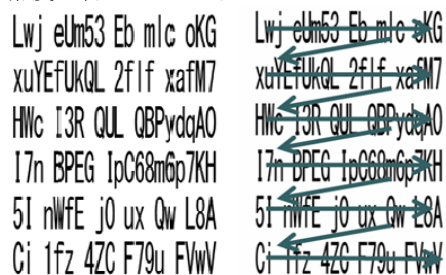


図 5: 提示した文字画像と指示した探索法

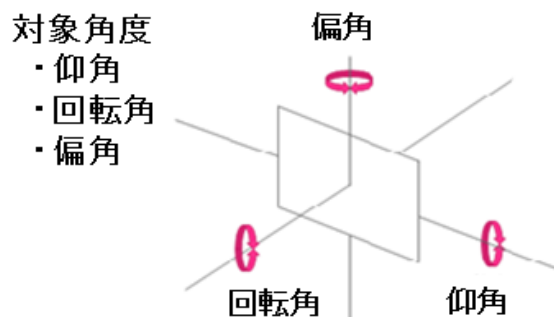


図 6: 対象とした角度

2.2 実験 II : 立体文字の認知と可読性

被験者は実験 I と同じく、20 歳から 78 歳の男女 109 名を被験者として一人につき、一度計測を行った。LYNX 3D SH-03C の試作機を最初に何も表示していない状態で提示し、そして合図とともに立体の、アルファベットと数字の混同した無意味文字列(図 5 左)を表示した。このとき、被験者自身に立体を認知できた瞬間を申告させ、無意味文字列の表示から

その申告までの時間を、その画像を立体として認知できるまでの潜時として測定した。提示した文字のサイズは大小 2 種類でそれぞれ大は縦 5.0mm×横 1.3mm, 小は縦 2.5mm×横 0.63mm であった。そして立体の認知が可能であった 20 歳から 78 歳の男女 49 名を対象に立体に表示した文字列の中から「A」を探索する作業を行わせ、その探索時間を計測した。なお探索は図 5 右のように左から右へ、上から下探索するよう指示をした。表示する文字のサイズは先ほどと同じく大小の 2 種類である。また、同じ文字のサイズの 2D 表示(立体ではない通常の文字表示)においても文字を探索する時間を計測した。

なおこの文字列探索は一人の被験者に対して、文字の大小、2D と 3D の組み合わせで、合計 4 回行うが、全て違う文字列を提示し、被験者ごとによっても提示する順番をランダム化した。また実験環境の照度は約 520 lx であった。

2.3 実験Ⅲ：ディスプレイの角度変化と認知、視認性の関係

被験者は 20 代から 40 代までの健常者 16 名である。LYNX 3D SH-03C の試作機を被験者の眼前から 40cm の位置に置き、実験Ⅱと同じく何も表示していない状態から合図とともに立体の文字を提示して、その立体認知の可否を調べた。各角度ともに、認知できたか否かを正確に把握するため、十分に注視時間はとられていた。このとき実験Ⅱのように正面、つまり角度 0 度だけでなく仰角、偏角、回転角(図 6)をそれぞれ変化させ測定を行った。また立体視が可能ならば実験Ⅱと同じ画像を用いて、同様の手順で「A」を探索させる作業を行わせた。

仰角は上向きを+として、-70 度から+70 度まで、回転角はディスプレイが時計回りに回転する方向を+とし、-50 度から+50 度まで、どちらも 10 度刻みで測定を行った。偏角はディスプレイを利き目に対して近づける方向を+とし、-12 度から+12 度まで角度を 3 度刻みで変化させつつ計測を行った。

3. 実験結果

3.1 実験Ⅰ：立体認知と飛び出し距離

本実験の結果を図 7, 8 に示す。図 7 は年齢層別の立体認知の可否を表したグラフである。横軸は被験者の年齢層を、縦軸は立体認知が可能であった、または不可能であった被験者の人数を表している。

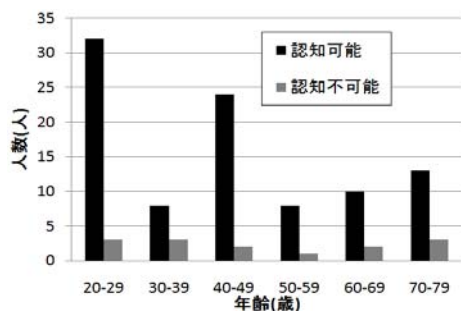


図 7: 立体認知の可否と年齢

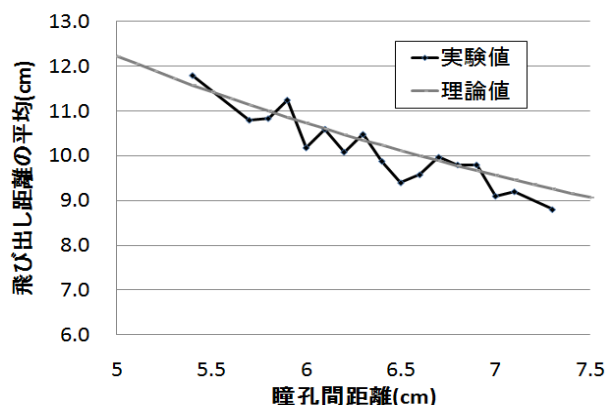


図 8: 立体飛び出しの平均距離と瞳孔間距離

立体認知が可能であった被験者は全体の 87.2% であり、12.8% の被験者が立体映像を立体として認知できなかった。図 8 は立体認知が可能であった被験者の知覚した、画面からの飛び出し距離と被験者の瞳孔間距離を表したグラフである。横軸には被験者の瞳孔間距離を、縦軸は被験者の知覚した飛び出し距離を表している。また被験者の瞳孔間距離と画面までの距離がわかっており、最も飛び出している際の視差も固定であるので、これらと三角形の相似の関係より各被験者が知覚する飛び出し距離を求められる。その値を理論値として図 8 に記載する。この理論値と実測して得た値はよく一致していることが分かる。

3.2 実験Ⅱ：立体文字の認知と可読性

図 9 に文字サイズごとの立体認知の潜時を年齢別に求めたものを示す。文字のサイズが小さい場合は 60 歳以上の被験者において立体認知の潜時がほかの年齢層に比べ時間を要する傾向にあり、一元配置分散分析を行ったところ、有意水準 $p < 0.05$ で有意に差がある結果となった。また、70 歳以上の年齢層において文字サイズの大と小のペアに対して t 検定を行ったところ、 $p < 0.01$ で有意な差があるという結果となった。なお、立体の文字の認知が可能であった被験者は、文字サイズが大の時全体の 78.3% で、文字サイズが小の時は 77.4% であり、立体認知の可否に有意な差は見られなかった。

図 10 に 3D 表示、2D 表示の、文字サイズがそれぞれ大と小の物における文字列探索終了までの時間を示す。3D 表示のものの所要時間とは立体認知後から文字列探索終了までの所要時間を示したものである。50 歳までの年齢層では文字の表示形式やサイズによらず、その所要時間にはほとんど差異は見られなかった。しかし 50 歳以降の年齢では、これらの違いにより、かなり異なる値をとっており、3D 表示の文字において、50 歳以上の年齢層において、文字サイズの違いによる所要時間を対象に t 検定を行うと、 $p < 0.01$ で有意差が認められ、文字サイズが大きいと探索時間が短かった。また表示する文字が小さい場合には 40 歳未満では差が見られなかったが、60 歳以上で 2D 表示よりも 3D 表示の文字のほうが読む時間

が長くなる傾向が見られた。なお全ての被験者を対象に 3D 表示と 2D 表示のペアで、文字サイズが大と小のものとの所要時間を対象に t 検定を行ったところ、文字サイズ小では全体として $p < 0.05$ で有意な差があったことに対して、文字サイズ大では 70 歳以上ではやや差があるように見えるが、全体としては、統計的に有意差は見られなかった。

3.3 実験Ⅲ：ディスプレイの角度変化と認知、視認性の関係

図 11 に仰角の、図 12 に偏角の、図 13 に回転角の実験結果を示す。それぞれ縦軸が立体認知のできた人数、横軸が被験者から見たディスプレイの角度を表している。また仰角に関して、図 11 の仰角における実験結果では、全く立体視ができなかった被験者は 3 名であった。また被験者が立体視できたのは -70 度から +40 度の範囲であった。立体視が可能であった被験者全員が立体と認知できた角度は -30 度から +10 度であった。また角度が大きくなるにつれ立体視ができなくなる被験者は多くなった。

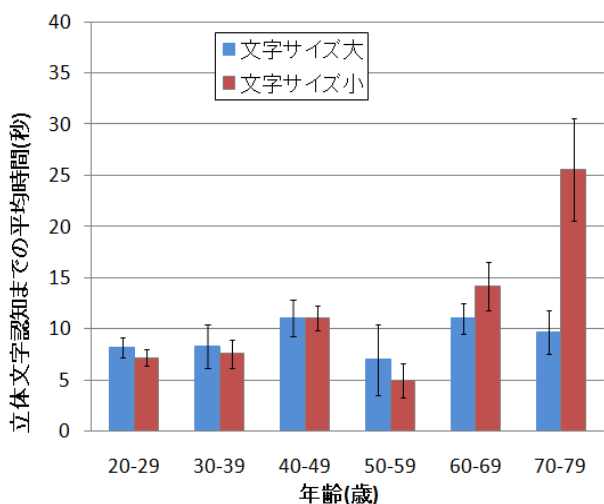


図 9: 年齢別の立体認知の潜時

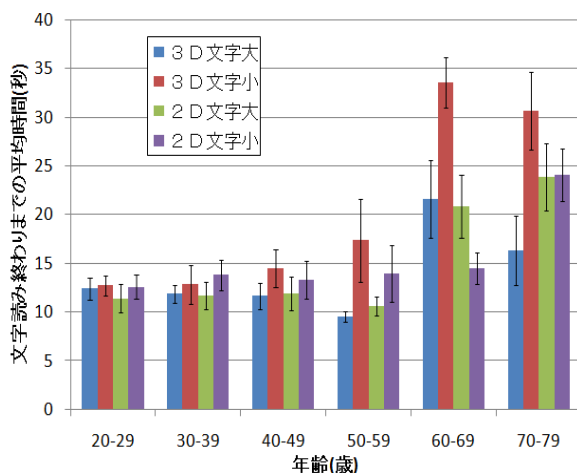


図 10: 文字列探索時間

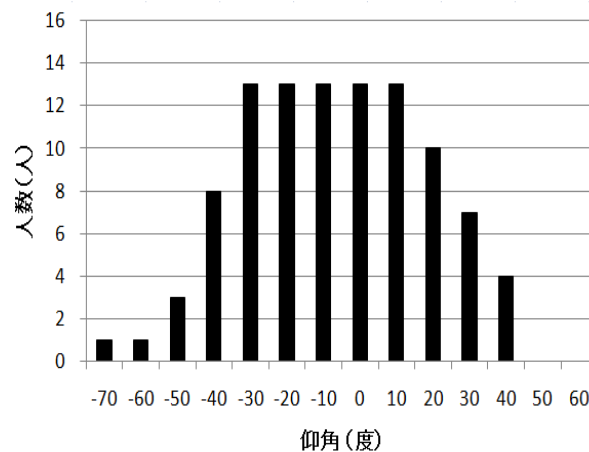


図 11: 仰角における立体認知の可否

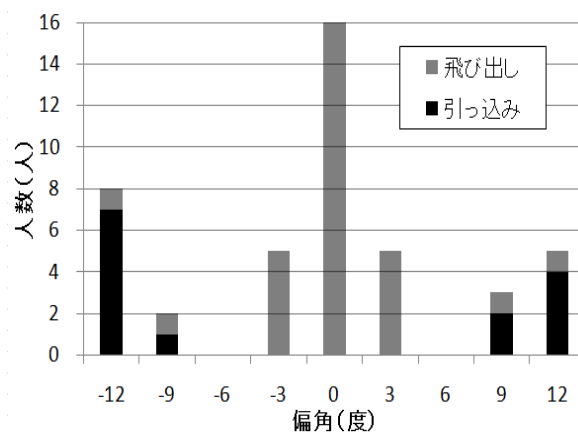


図 12: 偏角における立体認知の可否

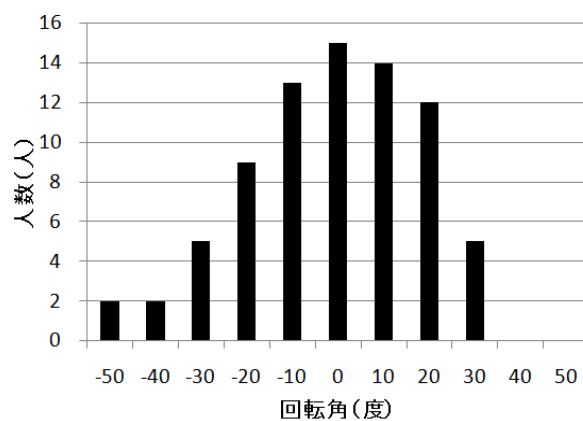


図 13: 回転角における立体認知の可否

図 12 の偏角における実験結果では、全く立体視ができなかった被験者は一人もおらず、角度 0 度、つまり正面から見た場合では全員が、立体視ができたと言っている。また ±3 度では 5 人の被験者が、立体視が可能であり、±6 度では誰も立体視できなかった。また ±9, 12 度では立体文字が飛び出しではなく引っ込みで見えた被験者が -9 度では 1 名、+9 度では 2 名、

-12度では7名,+12度では4名存在した。

図13の回転角における実験結果では、全く立体視ができない被験者が1名存在した。立体視ができたのは-50度から+30度の範囲であり、全員が立体視できたのは角度0度のみであった。

4. 考察

実験Ⅰでは年齢層別の立体認知の可否を調べている。立体認知の可否を年齢別に調べた図7によると、どの年齢層においても一定の割合で立体視ができない被験者が存在しており、全体で平均して12.8%の人間が立体視をできなかった。一般に約12%の人が、立体視ができないという報告がされているが[6]、実際に計測を行って得た、この実験結果はその報告にほぼ沿う形になったと言ってよいだろう。また江本、矢野ら[7]は、両眼立体視の機能を5段階に階層的に捕らえ、12の項目を調べることで正常な機能を持っているかを調べることができることを報告している。それにより個人々々の立体視ができなかった原因を探ることも可能であり、今回立体視が不可能であった被験者も、原因に依存するであろうが、ある程度立体視が可能となるように、改善が可能なのではないかということが考えられる。

図8の立体映像の飛び出し距離と被験者の瞳孔間距離の関係を表したグラフでは、映像の視差と瞳孔間距離から求めた飛び出し距離の理論値に実測値がかなり合致する結果となり、この3D携帯において、被験者が正しく立体認知ができていたということが分かる。また図9は年齢別の立体認知の潜時を表しているが、年齢層が若い層では文字の大小により、認知の潜時に影響は見られない。しかしながら、特に70歳以上の層で顕著であったが、高年齢層では文字が小さいと認知に時間がかかる傾向がみられた。これはVrensenら[8]、比留間ら[9]も言っているように年齢の増加に伴う視機能低下の影響ではないかとみられる。

実験Ⅱについて、図9より高年齢の被験者では文字サイズが小さい場合、立体認知の潜時が有意に遅くなっているが、これはVrensen、比留間ら[8,9]が視機能低下について述べる中で、加齢に伴い眼球の水晶体が弾性を失っていく、ということの特に言及しているおり、これにより、高年齢層では若年齢層と比較して被写界深度が浅くなり、その結果、適切な視角の確保が困難になってしまうため、小さな文字の場合、立体認知の潜時が増加してしまっただけではないかと考えられる。これより立体映像を認知する際には映像を適切なサイズで表示する必要があるとと言えるだろう。

また図10より文字のサイズが大きい場合、文字の探索時間は2D表示と3D表示に有意な差はなかった。このことから適切な文字サイズで提示を行えば、表示方法が可読性に影響を与えることはないのではないかと考えられ、ここでも適切な文

字サイズでの提示の重要性が示唆される。

また実験Ⅰに比べ、実験開始前の立体視の試行時に、立体視が困難という意見が多かった。このことから始めから視差がある映像よりも徐々に視差を付けていく方が、認知が容易になるのではないかとすることも考えられるので、今後の検討すべき課題としたい。

実験Ⅲについて、図11は仰角の変化について表したグラフだが、他の角度を変化させた際と比較すると、16人のうち3人は全く立体視のできない被験者であったが、それ以外の実験に参加した被験者全員が立体視可能であった範囲が大きく、その頑健性が認められる。その理由として、パララックスバリア方式のディスプレイはディスプレイ上に遮光バリアを置き、両眼に入る映像をそれぞれ分離しているのだが、その遮光バリアはディスプレイの縦方向に縞状になって配置されている[10,11,12]ことが考えられる。つまり仰角を変化させた場合、遮光バリアは配置が変わるわけではないので、被験者は水平方向の有効視点位置から外れないため、ある程度の頑健性がみられるのではないかと考えられる。それでも仰角が-50度や+40度よりも範囲が大きくなった場合は被験者の半数以上が、立体視が不可能となることを述べているが、これはパララックスバリア方式の性質上[11,12]、ディスプレイ輝度が通常のディスプレイに比べ低いことに加え、天井側に照明があるため、仰角を変化させることで照度が著しく増加、または減少してしまい被験者が許容できる範囲を超えてしまったことが考えられる。さらに表示されている文字についても、正面からではなく上下方向からの注視する形となり、文字がつぶれて見えなくなってしまうのではないかとということが考えられる。

図12では偏角の変化について表しているが、これはほかの二つの角度変化に比べ、立体視への影響が非常に大きく、わずかな角度の変化でも立体視が困難となった。これは偏角の変化によりディスプレイ上の遮光バリアが左右像の分離をうまく行えなくなることが原因と考えられる。また±6度では立体視が行えた被験者が存在しないことに対し、±9度、12度では立体視が可能であった被験者が存在した。このことから有効視点位置が不連続であるのではないかとことが示唆される。

図13

は回転角の変化について表したグラフである。このグラフをみると±20度の範囲では半数以上の被験者が、立体視が可能であった。矢野[13]は両眼視の左右像の融像には、融合可能な範囲があることを述べており、今回の実験結果で回転角が変化していても立体視が可能であった被験者は、回転角の変化による左右像のずれが左右像の融合可能領域に収まっていたためであることが考えられる。回転角の変化が大きくなるにつれ、立体視が困難になる被験者が段階的に増えているのは、被験者により融合可能領域に個人差があるためであろう。

5. まとめ

本研究ではまだ発売されて間もない 3D ケータイである LYNX 3D SH-03C の試作機の視認性の評価を行った。その結果、ある一定の割合の人間が立体視できないという従来までの課題はいまだ残っているものの、正常な立体視機能を持つ人についてはこのモバイル端末での立体認知は十分に可能であることがわかった。また適切なサイズで文字を表示すれば 2D 表示と 3D 表示における違いの可読性への影響はなく、立体認知の潜時における実験においても、十分な大きさのある文字では潜時が短くなり、適切なサイズでの表示の重要性が示唆された。また正面からだけではなく、様々な角度からの視認性の評価を行った実験では、仰角の変化に関しては、立体認知はある程度の頑健性が認められたが、偏角、回転角の変化に関してはわずかな変化でも容易に立体認知困難を惹起することが示された。

今後の課題として、提示する瞬間から視差がある映像よりも、視差を徐々につけた方が、立体認知が容易となるのかといったような立体視の手がかりを与える方法や、また被験者の注視する角度の変化に関しても、左右眼の視力の違いにより影響がどの程度であるのか、また個人の効き目の違いなども関連があるのかということを検討していきたい。

参考文献

- [1] 3D コンテンツに関する調査研究報告書, pp.72-88, (財)デジタルコンテンツ協会(2008)
- [2] 氏家: 知っておきたいキーワード, 映像酔い, 映像情報メディア学会誌 Vol.61, No.8, pp.1122-1124(2007)
- [3] 斎田: 人にやさしい映像~その評価と国際基準~, 映像情報メディア学会誌 Vol.58, No.10, pp.1356-1359(2004)
- [4] Kunio Sakamoto, Rieko Kimura: Elimination of Pseudoscopic Region of Parallax Barrier 3D Display, Journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, Vol.58, No.11, pp.1669-1671 (2004)
- [5] Jung-Young Son, Bahram Javidi, et.al.: Viewing zones in three-dimensional imaging systems based on lenticular, parallax-barrier, and microlens-array plates, Optical Society of America, Vol. 43, No. 26, pp.4985-4992(2004)
- [6] 苗村, 畑田 他: 立体視テクノロジー-次世代立体表示技術の最前線-, pp.23-26, NTS(2008)
- [7] 江本, 矢野 他: 立体映像標準チャートの制作-視機能検査チャート-, 映像メディア情報学会年次大会, pp.218-219, (1998)
- [8] Dubbelmana, Vrensen, et.al.: Changes in the internal structure of the human crystalline lens with age and accommodation, Vision research, Vol.43, No.22, pp.2363-2375 (2003)
- [9] 原, 比留間: 両眼融合式立体画像に対する高齢者

の眼の焦点調節, 映像メディア情報学会誌, Vol.24, No.26, pp.13-18(2000)

- [10] 3D コンテンツに関する調査研究報告書, pp.72-88, (財)デジタルコンテンツ協会(2008)
- [11] Miyao et. al.: The effect of Mini-Stereoscopic 3D Displays on Visual Function, WWWDU' 97 Fifth International Scientific Conference, Proceedings of WWWDU'97, pp. 61-62, (1997)
- [12] 浜岸 他: イメージスプリッタ方式メガネなし 3D ディスプレイ, 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.7, pp.1070-1078(1997)
- [13] 矢野: 両眼融合可能な視差の範囲-指標の大きさと空間周波数の変化に対する検討-, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J75-D-II, pp.1720-1728(1992)

著者紹介

塩見 友樹(学生会員)

1986年3月16日生まれ。2010年立命館大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年名古屋大学情報科学研究科博士後期課程入学、現在に至る。立体映像視聴時の視機能測定に関する研究に従事。修士(理学)。バーチャルリアリティ学会会員。



堀 弘樹(学生会員)

1987年5月27日生まれ。2010年名古屋工業大学工学部情報工学科卒業。同年名古屋大学情報科学研究科博士前期課程入学、現在に至る。機械学習やデータマイニングにおける、述語論理を応用した関係型データマイニングの研究を経て、現在は人間工学、特に立体映像の生体特性に関する研究に従事。学士(工学)。バーチャルリアリティ学会、日本視覚学会学生会員。



佐野 峻太(非会員)

2011年名古屋大学工学部電気電子情報学科卒業。同年名古屋大学大学院情報科学研究科前期課程入学、現在に至る。主に多言語翻訳システム、モバイル機器の視認性や可読性について研究を行っている。



丹羽 南(非会員)

2011年名古屋大学工学部電気電子情報学科卒業。同年名古屋大学大学院情報科学研究科前期課程入学、現在に至る。主にオブジェクト指向計算、書き換え型計算モデルの研究を行っている。





宮尾 克(正会員)

1977年名古屋大学医学部医学科卒。
1982年医学博士。同大学医学部助手・
講師・助教授・教授(多元数理科学・情
報連携基盤センター)を経て, 2009年情
報科学研究科教授, 現在に至る。人間
工学・公衆衛生学を通じ, 3D映像の生
体影響, ケータイ・モバイル機器のユー
ザビリティ, 多言語情報システムを研究。

日本人間工学会評議員, 日本社会医学会理事, 日本学校保
健学会理事・事務局長。モバイル学会 理事、副会長。