

令和 2 年 6 月 2 4 日現在

機関番号： 1 5 2 0 1

研究種目： 基盤研究(C)（一般）

研究期間： 2016 ~ 2019

課題番号： 1 6 K 0 0 2 3 8

研究課題名（和文）輻輳・調節機能に基づく 3 次元画像の視覚疲労の研究

研究課題名（英文）Study on Visual Fatigue of Three-Dimensional Images Based on Convergence and Accommodation Functions

研究代表者

矢野 澄男（Yano, Sumio）

島根大学・学術研究院理工学系・教授

研究者番号： 3 0 4 6 6 2 3 9

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）：計算機をベースとしたインテグラルフォトグラフィ、および、1次元インテグラルフォトグラフィに関して2つの生成方法を開発した。試作機器による表示画像に関して、奥行き距離の直線性、および、表示画像に対する輻輳・調節の機能を評価した。実験結果から、インテグラルフォトグラフィでは、奥行き距離を線形的に再生することが可能であり、また、輻輳・調節の乖離がないことから視覚疲労が生じないと推測された。さらに、これらの結果に基づき、RGB-Dカメラによって撮像した被写体の3次元モデルを生成し、生成した3次元モデルを3次元画像として表示し、自然で見やすい3次元画像の表示を可能なシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの光学素子と電子デバイスによるインテグラルフォトグラフィの研究とは異なり、計算機ベースとしたソフトウェア、および、高密度な液晶パネルを用いてインテグラルフォトグラフィの表示が可能なことを実証した。

さらに、試作機器により、インテグラルフォトグラフィでの線形的な奥行き情報の表示機能や輻輳・調節に乖離がないことを実験的に見出した。そのうえで、RGB-Dカメラによる被写体の3次元モデル化を行い、3次元モデルを自然で見やすい3次元画像表示を可能なシステムの構築を行った。このことにより、レンズ近傍のみでの明瞭な3次元画像が表示可能なインテグラルフォトグラフィに新たな活用方法を実証した。

研究成果の概要（英文）：Two generation methods were developed for computer-based integral photography and one-dimensional integral photography. On the display image by the prototype display equipment, linearity of the depth distance and function of convergence and accommodation for the display image were evaluated. From the experimental results, the depth distance can be reproduced linearly by integral photography, and there is no divergence between convergence and accommodation, so that visual fatigue is not generated. Based on these results, a three-dimensional model of the object captured by the RGB-D camera was generated, and the generated three-dimensional model was displayed as a three-dimensional image.

研究分野： 画像工学

キーワード： インテグラルフォトグラフィ 3次元画像 奥行き知覚 輻輳・調節 視覚疲労

1．研究開始当初の背景

両眼融合によって奥行き情報を表示するのではなく、自然な外界の物体と同じように奥行き情報を表示する方法も検討され、Light Field Reproduction として知られている。この方法での代表的な方法はインテグラルフォトグラフィである。インテグラルフォトグラフィの基本的なアイディアは 1900 年代初頭に提案されている。これまでも、光学デバイス、電子デバイスを基礎とした研究が進められてきたが、視覚特性に基礎を置いた研究はなされてはいなかった。本研究は、計算機をベースとしてインテグラルフォトグラフィを試作し、その表示画像の視覚系への影響を調べる研究である。

2．研究の目的

Light Field Reproduction に基づき 3 次元画像を表示する方法では、表示画像の奥行き情報に歪みがなく、かつ、輻輳・調節の乖離も生じないために、視覚疲労も生じないと言われている。しかしながら、Light Field Reproduction の原理に基づく 3 次元画像表示の代表的な方法であるインテグラルフォトグラフィの研究では、これまでは、ハードウェアを用いた表示機器の研究開発が中心であり、視覚系の機能からみた研究例はほとんど見られなかった。

本研究では、計算機をベースとしたインテグラルフォトグラフィの生成方法を開発し、その表示画像に関して、奥行き情報の直線性、および、表示画像にかかわる輻輳・調節の機能を測定し、視覚疲労の生起の有無に関して検討する。さらに、これらの実験的な検討結果に基づき、RGB-D カメラによる 3 次元モデルを生成し、3 次元モデルを 3 次元画像として表示することにより、自然画像を撮像、表示したこれまでのインテグラルフォトグラフィとは異なる 3 次元画像システムの構築を図る。

3．研究の方法

計算機をベースとしたインテグラルフォトグラフィの生成方法を開発する。次に、開発した方法によるインテグラルフォトグラフィの 3 次元画像を用いて、奥行き情報の線形性に関して、尺度法を用いた主観評価実験により検討を行う。また、3 次元画像にかかわるピント調節機能を測定し、輻輳・調節の乖離の有無を実験的に検討する。

さらに、これらの検討を基礎にして、インテグラルフォトグラフィで、3 次元モデルを RGB-D カメラによって生成し、開発したインテグラルフォトグラフィに 3 次元画像として表示し、自然で見やすい 3 次元画像の表示が可能なことを検証する。

4．研究成果

(1) インテグラルフォトグラフィの生成方法

(a) 画素位置変換法によるインテグラルフォトグラフィの生成方法

計算機内にカメラアレイを設置する。カメラアレイの各光軸をカメラアレイ前方の任意の点に向け、これを固視点とする。したがって、カメラアレイに対応した画像群からなる図 1 左図のような多眼立体画像を得ることになる。次に、多眼立体画像から画素位置変換を行い、図 1 右図に示すインテグラルフォトグラフィの要素画像を得る。液晶パネルに配列された要素画像に対してレンズアレイを付加することによってインテグラルフォトグラフィでの 3 次元画像が表示可能となる。試作したインテグラルフォトグラフィの仕様を図 2 に示す。

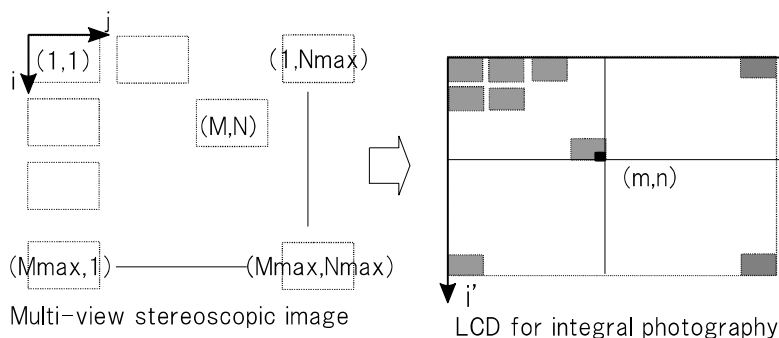


図 1 画素位置変換による要素画像の生成

Integral photography equipment	
Panel	4.8inch LCD(HDTV format) [Ortus Technology Co. Ltd.]
	Dot pitch 55.50 μ m
Lens array	1mmx1mm square alignment Focal length 3.3mm
Integral photography display	
Spatial Resolution	106 dot x 60 line
Elemental image	18 x 18 dot

図 2 試作装置の仕様

(b) 平行撮像によるインテグラルフォトグラフィの生成方法

平行撮像のインテグラルフォトグラフィでは、使用するレンズアレイのピッチ、液晶パネルのドットピッチから算出される要素画像サイズのカメラからなるカメラアレイを想定する。カメラアレイのサイズは、液晶パネルの画素数を要素画像の画素数で除算することによって求められる。なお、各カメラの光軸は、平行とする。

(2) 1次元インテグラルフォトグラフィの生成方法

(a) 画素位置変換法によるインテグラルフォトグラフィの生成方法

1次元インテグラルフォトグラフィを生成するために撮像では、水平方向に配列した1次元カメラアレイを用いる。1次元カメラアレイによって、図3左図の多眼立体画像を得る。得られた多眼立体画像から画素位置変換による画素位置変換を行えば、1次元インテグラルフォトグラフィの要素画像を図3右図に示すように得られる。試作した1次元インテグラルフォトグラフィの主な仕様を図4に示す。

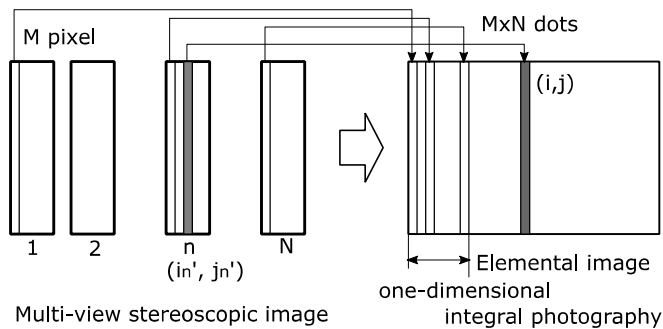


図3 画素位置変換による要素画像の生成

LCD	
Num. of dot	4K 3840(H)x2160(V) (SONY SO-03H)
Size	5.5inch
Dot pitch	31.51 μm
Lenticular sheet	
Lens Dia.	400 μm
FL	2.2mm
Image	
Resolution	320(H)x2160(V)
Elemental im.	12(H)x2160(V)

図4 試作装置の仕様

(b) 平行撮像によるインテグラルフォトグラフィの生成方法

平行撮像では、表示に用いる液晶パネルの画素数、および、レンズアレイ（レンチキュラスクリーン）で決められる要素画像の数のカメラからなる1次元カメラアレイを用いる。また、各カメラの光軸は平行とする。

(3) インテグラルフォトグラフィでの表示画像の奥行き知覚の線形性

(a) インテグラルフォトグラフィでの奥行き知覚

多眼立体画像を得て、画素位置変換によって得られるインテグラルフォトグラフィでの奥行き距離に関して主観評価実験を行った。被写体を点とし、かつ、カメラアレイの固視点よりも手前にある場合は、表示画面よりも手前に再生され、固視点より後方にある場合は奥に再生される。図5に、試作したインテグラルフォトグラフィで表示される奥行き距離の計算値を示す。図6に、尺度評価法による主観評価実験によって明らかにした奥行き距離の知覚の結果を示す。

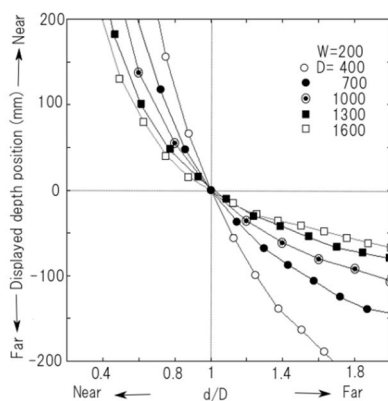


図5 表示される奥行き距離（計算値）

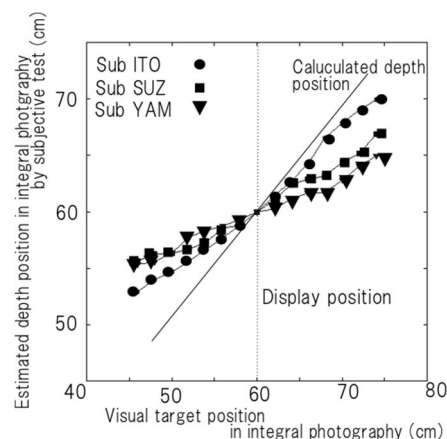


図6 知覚される奥行き距離（実験値）

(b) 1次元インテグラルフォトグラフィでの奥行き知覚

1次元インテグラルフォトグラフィでの奥行き距離の計算方法は、インテグラルフォトグラフィの場合と同様に計算することができる。図7に試作した1次元インテグラルフォトグラフィで再生表示される奥行き情報の計算結果を示す。図8に、尺度評価法による主観評価実験によって明らかにした奥行き距離の知覚の結果を示す。

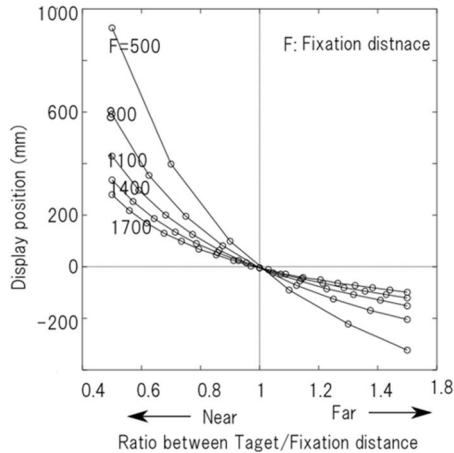


図7 表示される奥行き距離（計算値）

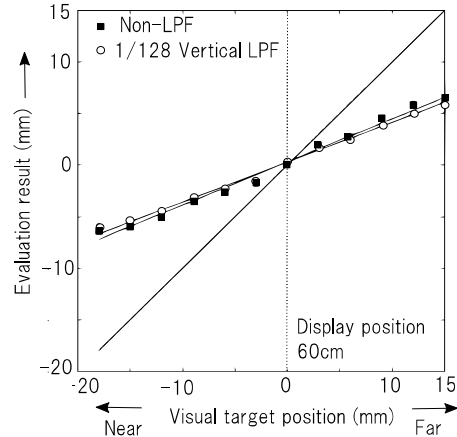


図8 知覚される奥行き距離（実験値）

(4) インテグラルフォトグラフィでの輻輳・調節の測定

(a) インテグラルフォトグラフィに対するピント調節応答

インテグラルフォトグラフィでの輻輳・調節応答の測定を行った．図9に，インテグラルフォトグラフィでの調節応答の測定条件を示す．実験結果を図10に示す．同図では，横軸は視標の奥行き距離を示す．単位はMeter Angle(以下，MA と略す)である．縦軸は，調節応答の測定値である．単位はDipoter(以下，D と略す)である．また，縦線で表示装置の位置，および，焦点深度の範囲を示す．表示装置の位置は MA で，1.67MA，焦点深度は 1.87MA(53.4cm)から 1.47MA(68.0cm)の範囲となる．同図での実線は計算上の輻輳・調節の一致点を示す．同図に示すように，3人の被験者に関して調節応答の結果は，焦点深度の範囲のみならず，焦点深度の範囲外においても，視標の位置に応じて直線的に変化している．この結果，インテグラルフォトグラフィでは輻輳・調節は乖離しなく，したがって，この要因に起因する視覚疲労は生じないと推測される．

Integral photography equipment	
Panel	4.89inch HDTV Format
Lens	1mmx1mm square alignment
Integral display	
Resolution	106 x60 dots
Elemental image	18 x 18 dots
Visual target	
Maltese Cross	400pel x 300 line
Change by 2cm	Near 14cm(46cm)
	Far 14cm(74cm)
Viewing distance	60cm
Data sets	5times x 5sec period

図9 調節測定にかかわる実験条件

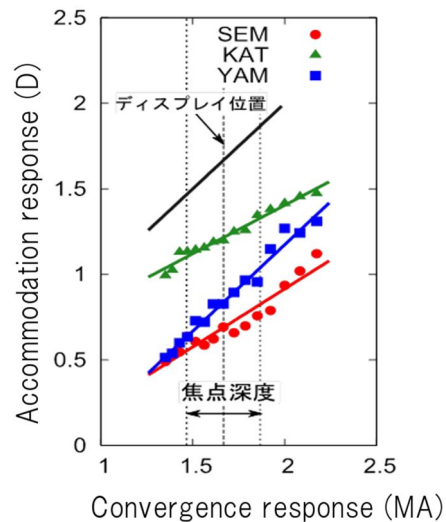


図10 実験結果

(b) 1次元インテグラルフォトグラフィにおける輻輳・調節の測定

4K 液晶パネルを用いて試作した1次元インテグラルフォトグラフィに関してもピント調節の測定を行い，輻輳・調節の乖離の有無について実験的に検討を行った．図11にピント調節の測定条件を示す．測定結果を図12に示す．同図より，2人の被験者はともに，視標の奥行き位置の変化に伴い，調節の位置が直線的に変化することが示されている．調節の振る舞いは焦点深度の範囲内外で大きくは変わらない．この結果から，1次元インテグラルフォトグラフィにおいても，輻輳・調節の乖離は見られない．したがって，1次元インテグラルフォトグラフィでは，輻輳・調節の乖離を要因とする視覚疲労は生じないと推測される．

Experimental condition	
Visual target	Maltese cross
Display position (Viewing distance)	50 cm
Target position	Near 35, 38, 44, 50 cm Far 56, 62, 68 cm
Measurement tool	WAM-5500 (Shigiya)
Subject	Two persons

図 11 調節測定にかかわる実験条件

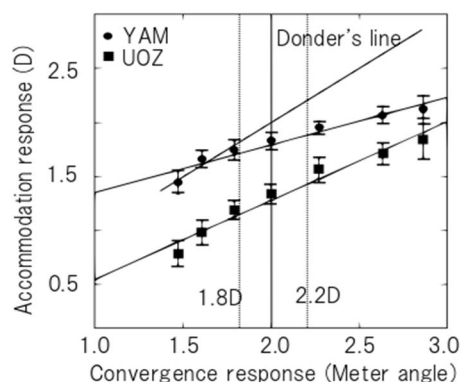


図 12 調節応答の測定の実験結果

(5) 3次元モデルの取得とインテグラルフォトグラフィでの表示

多眼立体画像の撮像に際しては、カメラアレイに対して固視点を設定しているために、カメラアレイの左右両端方向カメラが交差角度の大きい交差法による撮影となっている。このため、この交差法による撮影の歪みの影響を知るために、カメラアレイの中心軸に奥行き方向、および、横方向に同一固定サイズの被写体を置き、撮像・表示を通して、歪みの発生具合を検討した。

これらの結果を参考にして、RGB-DカメラとしてKinect Ver1を用いて、3次元モデルを生成し、試作したインテグラルフォトグラフィによって3次元画像として表示するシステムの構築を図った。まず、Kinect Ver1.0を撮像デバイスとして用い、Kinect Fusionで得た被写体のply形式のファイルデータに関して、MeshLabに読み込み、不要なデータを削除した。引き続きMeshLabにより、3次元モデルデータとして、ply形式から、メッシュデータをobj形式、テクスチャデータをpng形式に変換した。次に、PoseRayによって、objファイル、および、pngファイルを読み込み、PovRayスクリプトに変換を施した。さらに、PovRayによって多眼立体画像へのレンダリングを行った。最後に、得られた多眼立体画像に関して、Octaveによって画素位置変換を施し、要素画像を得た。得られた要素画像群を液晶パネルに展開、レンズアレイを付加し、インテグラルフォトグラフィを得た。図13に被写体を示し、図14にインテグラルフォトグラフィで表示した被写体を示す。



図 13 被写体の実写真

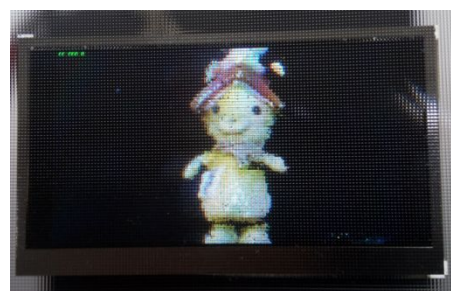


図 14 再生表示した3次元画像

引用文献

- 三橋哲雄 他：画像と視覚情報科学，オーム社（2009）
 S. Yano, H. Imai, M.-C. Park: Requirement for measurement of accommodation response based image blur due to the integral photography, SPIE DCS 2016, SPIE Proceedings Volume 9867, 98670X (2016)
 A. Hasegawa, S. Yano, M.-C. Park: Development of One-Dimensional Integral Photography, IDW '18, VHFp5/3DSAp3-3L, Proceedings of the International Display Workshops Volume 26 (2018)
 Sumio Yano, Hyoung Lee, Min-Chul Park, Jung Young Son: Development of integral photography image with RGB-Depth camera, Proceedings Volume 11369, SPIE Proceedings Volume 11369 (2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sumio Yano, Hiromichi Imai, Min-Chul Park	4. 巻 57
2. 論文標題 Measurement of accommodation response in integral photography images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 061617-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.0E.57.6.061617	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 4件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 矢野澄男, 長野斗夢, Min-Chul Park
2. 発表標題 インテグラルフォトグラフィでの奥行き距離の再現性
3. 学会等名 映像情報メディア学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sumio Yano, Yuta Katayose, Hyung Lee, Min-Chul Park
2. 発表標題 Depth and width reproducibility of integral photography from multi-view stereoscopic image
3. 学会等名 SPIE DCS 2018（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川慧, 矢野澄男
2. 発表標題 1次元インテグラルフォトグラフィでの垂直解像度の影響
3. 学会等名 第69回電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2018年

1．発表者名 矢野澄男, 長谷川 慧, Min-Chul Park
2．発表標題 1次元インテグラルフォトグラフィの試作
3．学会等名 電子情報通信学会
4．発表年 2018年

1．発表者名 A. Hasegawa, S. Yano, M.-C. Park
2．発表標題 Development of One-Dimensional Integral Photography
3．学会等名 IDW '18 (国際学会)
4．発表年 2018年

1．発表者名 矢野澄男, 長谷川慧
2．発表標題 1次元インテグラルフォトグラフィでの奥行き距離の知覚
3．学会等名 日本視覚学会
4．発表年 2019年

1．発表者名 長谷川慧, 矢野澄男
2．発表標題 4Kディスプレイによる1次元インテグラルフォトグラフィの開発
3．学会等名 平成29年度(第68回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4．発表年 2017年

1 . 発表者名 A. Nagano, Y. Katayose, S. Yano, M.-C. Park
2 . 発表標題 Examination of Computation and Subjective Test Result for Depth Distance in Integral Photography
3 . 学会等名 The 24th International Display Workshops (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Yano, H.Imai, M.-C. Park
2 . 発表標題 Requirement for measurement of accommodation response based image blur due to the integral photography
3 . 学会等名 SPIE DSS (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 矢野澄男, 鈴木 真, Min-Chul Park
2 . 発表標題 眼球運動から見たインテグラルホログラフィでの奥行き知覚
3 . 学会等名 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 加藤将太郎 , 矢野澄男
2 . 発表標題 4K LCDを用いたインテグラルフォトグラフィの開発
3 . 学会等名 第67回電気・情報関連学会中国支部連合大会
4 . 発表年 2016年

1．発表者名 Sumio Yano, Akira Hasegawa, Min-Chul Park
2．発表標題 Reproducibility of depth distance by one-dimensional integral photography
3．学会等名 SPIE DSS (招待講演) (国際学会)
4．発表年 2019年

1．発表者名 小山裕也, 矢野澄男
2．発表標題 インテグラルフォトグラフィでの空間歪みの低減化
3．学会等名 第70回電気・情報関連中国支部連合大会
4．発表年 2019年

1．発表者名 矢野澄男, 小山裕也, Min-Chul Park
2．発表標題 RGB-Dカメラによるインテグラルフォトグラフィの生成
3．学会等名 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会
4．発表年 2019年

1．発表者名 Sumio Yano, Hyoungh Lee, Min-Chul Park, Jung Young Son
2．発表標題 Development of integral photography image with RGB-Depth camera
3．学会等名 Fourteenth International Conference on Correlation Optics (招待講演) (国際学会)
4．発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----