

平成29年度 卒業論文

魚眼カメラとHMDを用いた片目失明者
のための視野サポートシステム

指導教員
舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 情報工学科
平成26年度入学 26115076番

鈴木 護

目次

第1章	はじめに	1
第2章	人間の視野特性	3
第3章	消失視野の収縮と保持視野への揭示	6
3.1	提案手法の方針と概要	6
3.2	本来の視野と収縮加工後の視野	6
第4章	実験	11
4.1	実験概要	11
4.2	実験手順	12
4.3	結果と考察	14
第5章	むすび	20
	謝辞	21
	参考文献	22

第1章 はじめに

近年、ヘッド・マウント・ディスプレイ (Head mounted display; 以下 HMD) は、通常の映像モニターより臨場感あふれる映像空間を体験することが可能な映像提示装置として様々な企業が製品化しており、医療現場においても利用されるようになってきている [1]。リハビリテーション分野においても、VR 環境による新たなアプローチ方法の開発が行われている [2]。

また、我が国では糖尿病や緑内障の疾病などにより後天的に視覚障害を患う人が急増している。国内の視覚障害者は、厚生労働省の調査によると 31 万人である [3]。片目のみの障害では視覚障害には当てはまらないため実際の規模は不明ではあるが、少なくない人が片目の視野障害を患っていると予想される。片目を失明した場合でも、片方の目の視力が 0.6 以上 [4] であれば障がい者手帳は発行されないため厚生労働省からの保障は受けることができず、職業の面でも警察官、消防士、自衛隊になることはできない [5][6]。また実生活においても両目に比べて遠近感覚が分かりにくいため物が掴みにくかったり慣れるまではまっすぐ歩く事すらままならない上に、視界が狭まることにより障害物に気付くのが遅れてしまい障害物に衝突する可能性が高いという問題点がある。加えて視野の拡大に目を向けた研究はあれど [7]、片目視覚障がい者に対するサポートに焦点を当てた研究は例が見られなく、十分な考察がなされていない。車のバックミラーのように鏡を使うことで、片目の失明で見えなくなってしまった視野（以下、消失視野）を部分的に回復することは可能であるが鏡を固定する為の装備を作り、固定する必要があるだけでなく電車など人が混雑する場所では他者の迷惑になり、また鏡に慣れるための訓練も必要であり、現実的ではない。そこで本論文では、片目失明者の視野が狭くなってしまうという問題を解決する手法、システムを提案する。魚眼カメラで前方 180° のライブ映像を取得し、消失視野部分の映像を裸眼で見えている視野（以下、保持視野）内に画像収縮

することにより提示してHMDに映し出すことで、通常に近い視野を確保する。消失視野の全てを収縮して提示しようとするすると収縮率が高くなり、視認が困難にある恐れがある。そこでまず、人間の視野領域や特性を調べて、保持視野に提示すべき消失視野の範囲について検討する。なお実験で用いるHMDは、そもそも人間の視野全てを網羅しているわけではないため、提案手法の妥当性を検証することを目的に、想定よりも狭い視野を対象に実験を行う。現在はHMDを用いているが、将来的にはより軽量なシースルーグラスを用いることで装着時の負担や持ち運びに必要な手間を省き、また画像収縮のない通常提示部分については光学透過機能によりそのまま提示することにより、異常動作時でも安全性に問題のないシステムを提案していきたい。

本論文では、第2章において人間の視野特性について説明し、第3章では消失視野の収縮と保持視野への提示について述べる。第4章では3章の記述をもとに構築したシステムを用いて行った実験とその結果について述べる。そして第5章では、本論文のまとめ、今後の課題について述べる。

第2章 人間の視野特性

人間の視野は水平方向に ± 100 度近く開けている (図 2.1[8]). ここで, $+100$ 度とは右に 100 度であることを表し, -100 度は左に 100 度であることを表す. 物体が詳細に見える $\pm 2 \sim 3$ 度の視野を弁別視野と呼び, 眼球を瞬時に動かし, 人間は注視対象物をこの弁別視野内に入れることで注視, 視認している. ± 15 度以内の視野を有効視野, 眼球運動と頭部運動により無理なく視認できる $\pm 30 \sim 45$ 度の視野を安定注視野と呼ぶ. 以上にあげた視野のうち ± 15 度までの視野は物を瞬時に見ることができ領域であり, 日常生活を送る上では特に重要な部分であると考えられている.

補助視野と呼ばれている $\pm 30 \sim 45$ 度以上の視野は物体を明確に視認することはできないが, 何かが存在することを感知できる領域である. そのため視界の端に見える物体に気づくことで目を向けられるので, 近づいてくる人にぶつからないように避けたり, 車が近づいてくるのであれば止まることで迫りくる危険から回避することができる. また物を詳細に見ている領域は中心視とも呼び, その周辺の領域を周辺視と呼ぶが, 石垣によれば「周辺視を制限するという方法を用いて, ボール投げ, フリースローについて調べたのであるが, 2つの運動技能とも周辺視が制限されるに従ってパフォーマンスが低下したことから, これらの運動技能にとって周辺視は何らかの働きをしていることが推測された。」とある [9]. 周辺視の中には有効視野以上の視野が含まれることから補助視野についても同様のことが言え, 補助視野も人間の行動模様にとって重要な要素であると考えられる.

ところで片目のみの視野領域は両目を見た場合と比べて小さくなるため, 左目のみの場合では右目側へ $+60$ 度程しか見えなくなり両目の時に比べて補助視野は部分的に見ることができなくなる (図 2.2). 上で述べたとおり, 片方の目の補助視野がない状態で生活することは様々な状況において危険が予想される.

そこで, 次章では, 片目を失明してしまった状態を想定し, もう一方の目のみでこ

の失明した目の補助視野部分も見えるような仕組みについて提案する。なお、 ± 15 度の視野については日常生活をおくる上で特に重要な部分であると考えられるため、本来の視野をそのまま確保する。以降では説明を簡単にするために、右目を失明した状態で、左目の視野は正常な状態を想定し、右目の補助視野（の一部）を左目で確認するための仕組みとして説明する。

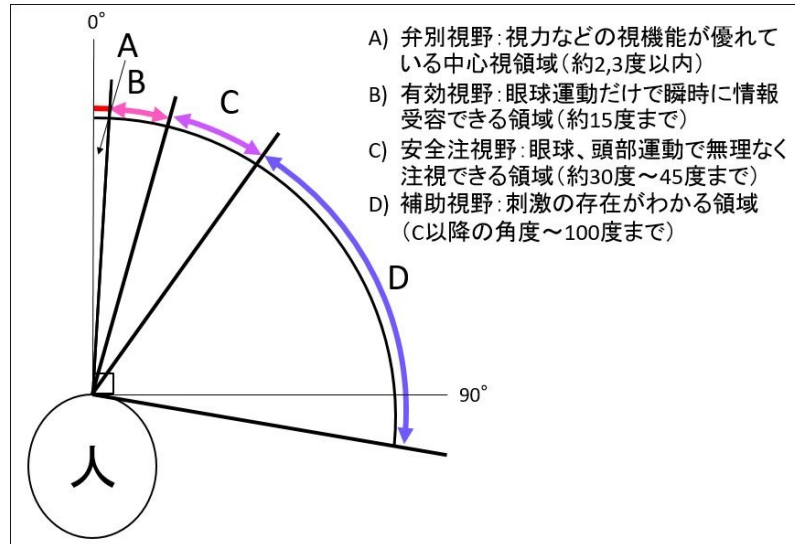


図 2.1: 視野内での情報受容特性

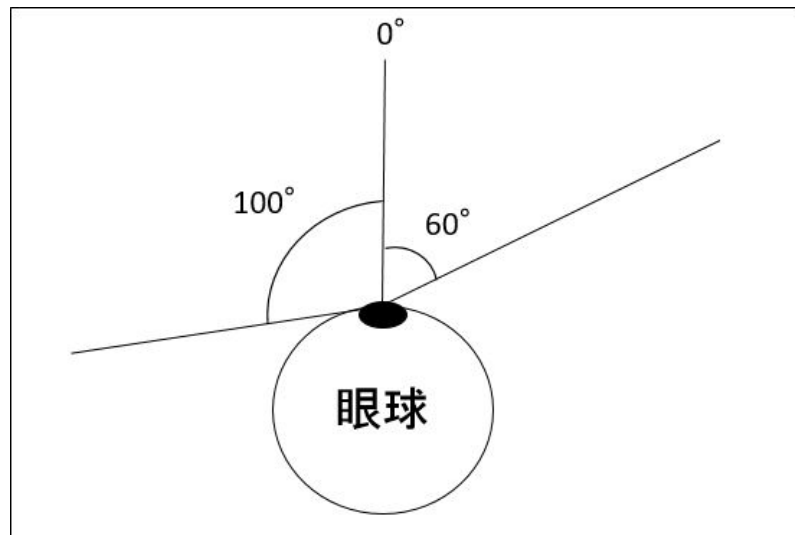


図 2.2: 左目の視野

第3章 消失視野の収縮と保持視野への揭示

3.1 提案手法の方針と概要

まず，右目を失明しており，また左目は正常な視野を有している状態を想定する．図3.1に，本来の右目の視野と左目の視野を示す．右目視野のうち，左目視野に含まれない部分を斜線で示す．この斜線部分を，左目視野の右側の，水玉部分に含めて提示したい（図3.2）．ところで，視野の中心付近は注視する領域であり，なんらかの画像加工を施すと物体を視認しにくくなりストレスとなる可能性があるため，特に加工することなく提示したい．また，補助視野は物体を視認する領域ではなく物体の存在を感知する領域であり，詳細が見える必要はないと考えられる．そこで，左目の右側の補助視野部分に，左目右側補助視野と右目右側周辺視野を，画像収縮した状態で提示することを検討する．

上記を踏まえて，視野の中心を0度としたとき，無加工とする部分の境界を α ，左目視野右端を β ，右目視野右端を γ とする（図3.3）．また，本来の視野におけるある対象物の方位角を θ と表したとき（図3.1），この対象物が収縮加工を施した画像上での方位角を ϕ （図3.2）と表す．

3.2 本来の視野と収縮加工後の視野

まず $0 \leq \theta \leq \alpha$ のとき，画像収縮は施さずに本来の視野を提示する．すなわち次式とする．

$$\phi = \theta \quad (0 \leq \theta \leq \alpha) \quad (3.1)$$

そして $\alpha \leq \theta \leq \gamma$ のときは，対象物を $\alpha \leq \phi \leq \beta$ の間に対応付けることで左右に収縮した視界を提示する．このとき，境界 α 付近では不自然な視界とならないように収縮率を低くし，正面0度から遠ざかるに従い収縮率が高くなるような画像加工

を施したい。そこで、この範囲においては予備実験より経験的に2次曲線を仮定し、点 (γ, β) と点 (α, α) を通り、点 (α, α) における接線が式3.1となるように次式の通りとする。

$$\phi = \frac{\beta - \gamma}{(\gamma - \alpha)^2} \theta^2 + \left\{ \frac{\gamma^2 - 2\alpha\beta + \alpha^2}{(\gamma - \alpha)^2} \right\} \theta + \frac{\beta - \gamma}{(\gamma - \alpha)^2} \alpha^2 \quad (3.2)$$

両式のグラフを図3.4に示す。なお、2次曲線の頂点が $\theta = \gamma$ 以上である必要がある。また、頂点が $\theta = \gamma$ となるのは、 $\alpha = 2\beta - \gamma$ を満たすときである。

半球状のスクリーンを考え、さらにそのうちの右半分だけを考える。図3.5は、本来の視界を表しており、各線は等間隔の経度 θ を表している。左目の視界の右側部分だけでなく、右目の視界の90度まで描かれている。これを、式3.1と式3.2により変換した半球スクリーンを、経度 ϕ の経線により図3.6に示す。角度 α よりも外側の経線が、中心よりに移動していることが分かる。図3.5の角度 γ の経線が図3.6の角度 β に移動し、図3.5の角度 β の経線は図3.6の $\alpha < \phi < \beta$ の範囲に移動している。

次章から上記の手法を用いて具体的なシステムを考え、実験を行っていく。

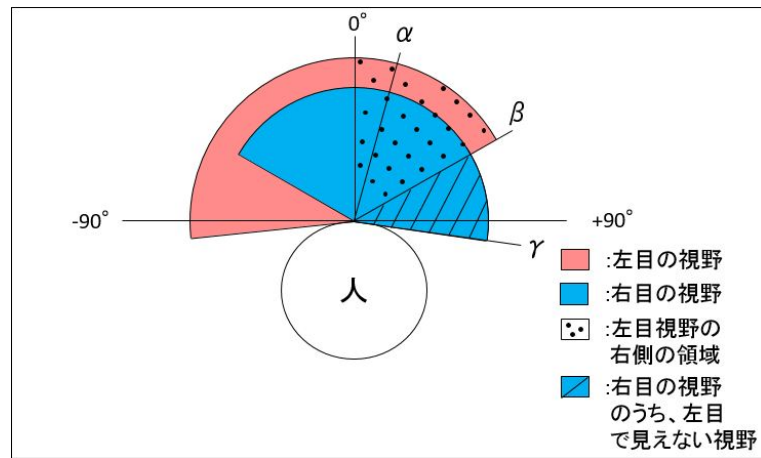


図 3.3: 各角度の定義

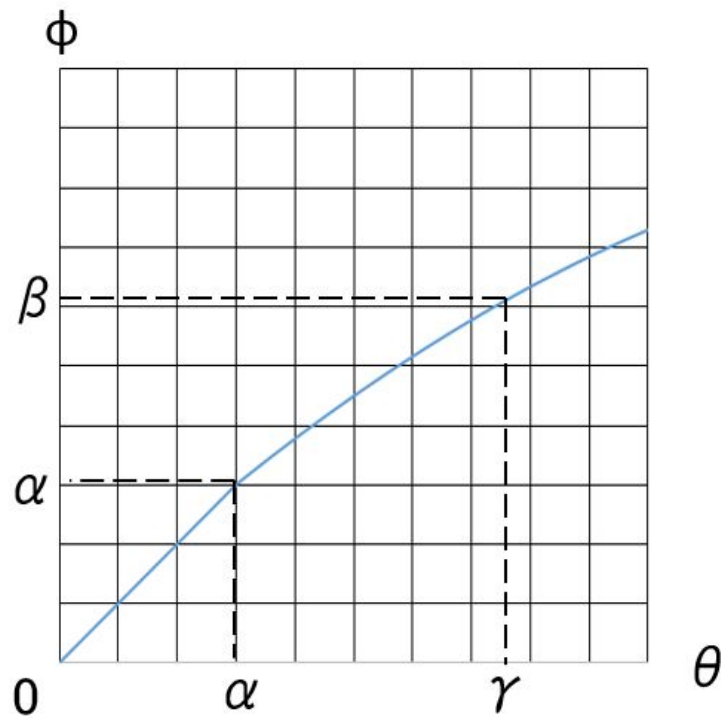


図 3.4: 本来の方位角と画像収縮後の方位角

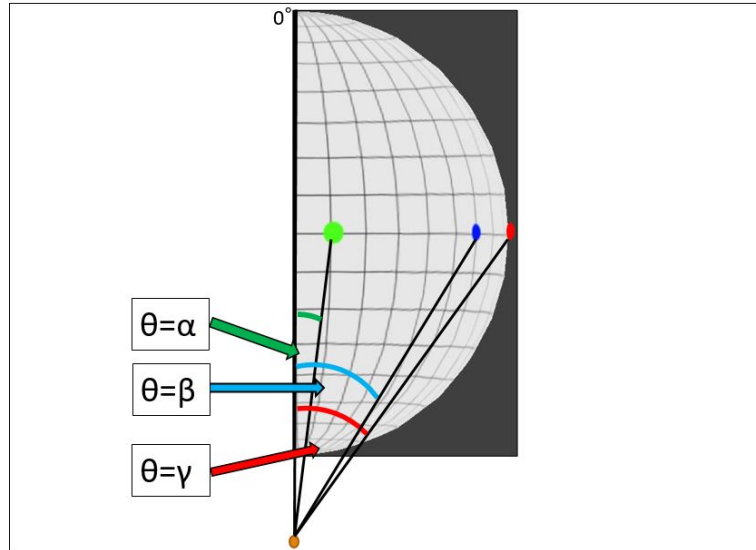


図 3.5: 元の視野

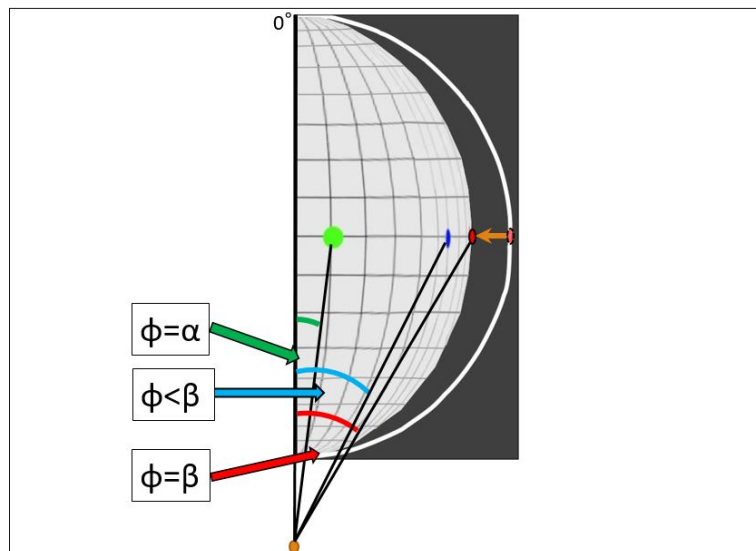


図 3.6: 収縮後の視野

第4章 実験

本研究で提案した魚眼カメラとHMDを用いた片目失明者のための視野サポートシステムについて、実用の可能性を検証する。具体的には、1章で述べた車のバックミラーのような簡易的な「鏡による視野サポート」を行う環境も構築して、比較実験を行うことで、提案手法の有用性を確かめる。

4.1 実験概要

提案手法を実験で確認するための環境構築を行う。Blenderにより天球モデルを作成し、UV展開して、そのUVマップを式3.1と式3.2を用いて収縮後の視野に変換する。そしてUnityを用いて仮想空間上に半天球を設置して、その内側に収縮視野のテクスチャを適用する。具体的には、全天球カメラであるThetaから前方180度の映像を取得し、半天球内部に投影する。天球の中心にOculusRiftと連動した視点を設定して、その映像をOculusRiftに提示することで被験者に収縮した視野を見せる。

実験では $\alpha=15$ 、 $\beta=37.5$ 、 $\gamma=60$ として式3.2を用いた。 α については2章で述べたように日常生活をおくる上で特に重要な視野であると考えられるため、本来の視野をそのまま提示する。 β 、 γ は本来であれば左目視野の右側限界視野である60度を β 、右目の補助視野の右端である100度を γ として設定したいが、OculusRiftの左目視野の右側視野限界が予備実験での経験から30~40度であったためそのまま適用することが出来ない。そこで β と γ の比率を維持したまま β がOculusRiftの左目限界視野に入るように β 、 γ を設定した。この環境において良好な結果が得られれば、広視野なHMDと理想的なパラメータにおいて実用の可能性が期待出来る。

本システムでは、左目の視野の右側視野に右目の補助視野の画像を収縮して映すことで左目のみでも片目失明者のためのサポートを行う(図4.1)。そこで本システムの比較対象として鏡を用いることにする。鏡は車のバックミラーのように用いるこ

とで消失視野を部分的に回復することが出来るが、反射して映る対象物の距離感とその実際の方位を把握できるようになるまで慣れを要するものだと一般的に考えられる。本システムと鏡を用いた実験により、消失視野を回復する手段として二つを比べた場合にどちらが提示された環境に慣れやすいか検証する。

4.2 実験手順

実験は図 4.2, 4.3 で示す状況で行なった。正面を向いた被験者に対して斜めになるようにホワイトボードを設置し、磁石を貼り付けたうえで正面を0度とした時の角度を鏡と、システムを用いて解答してもらおう。鏡を用いる場合はホワイトボードの右端から左端が映るように左目のこめかみに設置し、鏡のみを見て解答してもらおう。システムの場合は Theta が上部に設置された OculusRift をかぶり、投影される映像を見て解答してもらおう。ホワイトボードに貼り付ける磁石の範囲は15度~60度とし、5度刻みで貼り付けることを被験者に伝えている。また実験を行う前に一度正しい角度を例示することで、被験者には準備作業として事前に方位角の感覚を把握してもらった。短期記憶を用いて解答されることを防ぐために鏡の準備作業を行なったあとシステムの準備作業を行い、その後、鏡の本実験を行い、交互に試行を繰り返した(図 4.4)。また2つの実験では共通して右目をアイマスクで隠し、疑似的に右目失明者として扱うことにした。ただし、鏡の実験を行う際にはシステムの左目の右側視野限界視野を $\beta=37.5$ 度としていることから左目の視野もシステムと同等になるように一部隠した。

ところで2章でも述べたように、視野の中心では物体ははっきりと見え、中心から離れていくに従い明確に物を視認できなくなっていく。視野の端に現れた物体は視認しにくく、その方位角を感覚で正確にとらえることは視野の中心に比べて困難である。そこで正解判定を行う際の許容誤差を設定する。視野の中心では許容誤差は小さく、端では大きくすることで解答された方位角が少しずれていたとしても正答として扱う。そこでまず、本来の視野における許容誤差を簡易的な実験により測定する(表 4.1)。実験では15度未満の値は用いないのでここでは省略する。

システム上に描写される左目の右側視野は非線形的に収縮されていくため線型的

に対応させることは厳密ではないが，ここでは簡潔にするためシステム上の視野を3等分して上記の表に対応させる（表4.2）。

次に鏡を用いた上での許容誤差について考える．実験では鏡は図4.5のように設置する．このような状態において鏡に映る物体の方位角（以下，鏡中角）の絶対値はホワイトボードに提示されている物体の方位角（以下，提示角）の絶対値より大きくなる．提示角が15度，30度，45度，60度の時の鏡中角を実際に計測したところ，表4.3の通りであった．提示角15度，30度において鏡中角は22度，40度と実際の角度より大きいが，表4.1より許容誤差は5度である．同様にして提示角45度から60度における許容誤差は10度である．次に許容誤差5度と10度の境界を求めたい．提示角15度から30度までの鏡中角の変化量と，30度から45度までの変化量が等しいことを考えると鏡中角の45度は提示角約35度となる．こちらにおいても簡潔となるように線型的に表4.1に対応させた．鏡の許容誤差を表4.4に示す．

表 4.1: 本来の視野における許容誤差

方位角	15～45	46～75	76～100
許容誤差	5度	10度	15度

表 4.2: システム上での許容誤差

方位角	15～30	31～45	46～60
許容誤差	5度	10度	15度

表 4.3: 提示角と鏡中角の関係

提示角	15	30	45	60
鏡中角	22	40	58	73

表 4.4: 鏡での許容誤差

方位角	15～35	36～60
許容誤差	5度	10度

4.3 結果と考察

実験の結果を表 4.5, 4.6 に示す. またこれらの表に許容誤差を考慮して正誤判定した結果を表 4.7, 4.8 に示す. 表 4.5, 4.6 の結果から全体の平均誤差のみを考えるとシステムのほうが新しい視野環境に適応しやすいことが期待できることを示す. ただしその平均誤差の差は約 2 度程度であり, 個人の慣れの速さの問題が関与している可能性も否定できない. 続いて表 4.7 と表 4.8 の結果を考察する. これらからも, システムの方が新しい視野環境に適応しやすいことが期待出来る. ところで, 中心視野に近いほど物が詳細に見えるので方位角の感覚は高いと考えていたが, 鏡で不正解のあった方位角は 15~35 度の範囲のみであり, システムも不正解のあった方位角は 15~30 度の範囲で, 中心視に近い領域であった. この結果から考えられる理由は二つある. 一つは正誤判定のための許容誤差の設定間違いである. もう一つは弁別視野以外の視野は事前に考えていたより方位角の感覚が無いということである. しかし, 不正解のない視野領域はすべて実験で用いた角度の中では大きい角度のため, 方位角の感覚が無い, という理由は考えづらい. また二つの実験中に解答してもらった角度についてその都度正解を知らせることはしなかったが, 仮に教えていたとすると少しずつ感覚をつかむことで試行回数を重ねるごとに正確さが増していくという傾向がみられたかもしれない.

表 4.5: 鏡の実験結果

回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
提示した角度	20	55	30	40	25
被験者 1	20	60	45	50	30
被験者 2	30	60	45	40	35
被験者 3	25	55	40	50	35
被験者 4	30	45	30	45	30
被験者 5	15	45	30	45	30
被験者 6	30	60	45	50	35
被験者 7	25	60	35	45	30
全体の平均誤差	6.86				

表 4.6: システムの実験結果

回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
提示した角度	25	45	15	40	55
被験者 1	25	45	20	50	60
被験者 2	45	55	20	35	60
被験者 3	25	50	20	50	60
被験者 4	40	50	30	45	60
被験者 5	30	45	15	45	60
被験者 6	30	45	20	50	60
被験者 7	30	55	15	45	60
全体の平均誤差	4.85				

表 4.7: 鏡の正誤判定

回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
提示した角度	20	55	30	40	25
被験者 1	○	○	×	○	○
被験者 2	×	○	×	○	×
被験者 3	○	○	×	○	×
被験者 4	×	○	○	○	○
被験者 5	○	○	○	○	○
被験者 6	×	○	×	○	×
被験者 7	○	○	○	○	○

表 4.8: システムの正誤判定

回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
提示した角度	25	45	15	40	55
被験者 1	○	○	○	○	○
被験者 2	×	○	○	○	○
被験者 3	○	○	○	○	○
被験者 4	×	○	×	○	○
被験者 5	○	○	○	○	○
被験者 6	○	○	○	○	○
被験者 7	○	○	○	○	○



図 4.1: OculusRift に映る映像

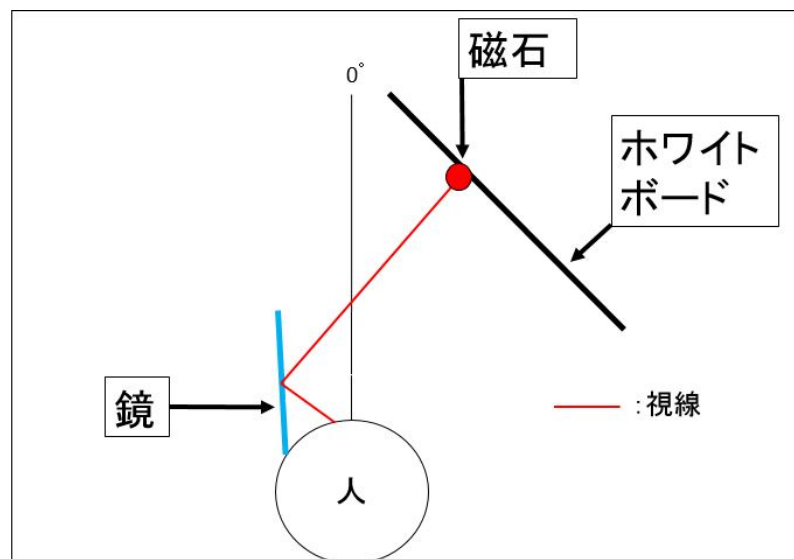


図 4.2: 実験風景の模式図 (鏡)

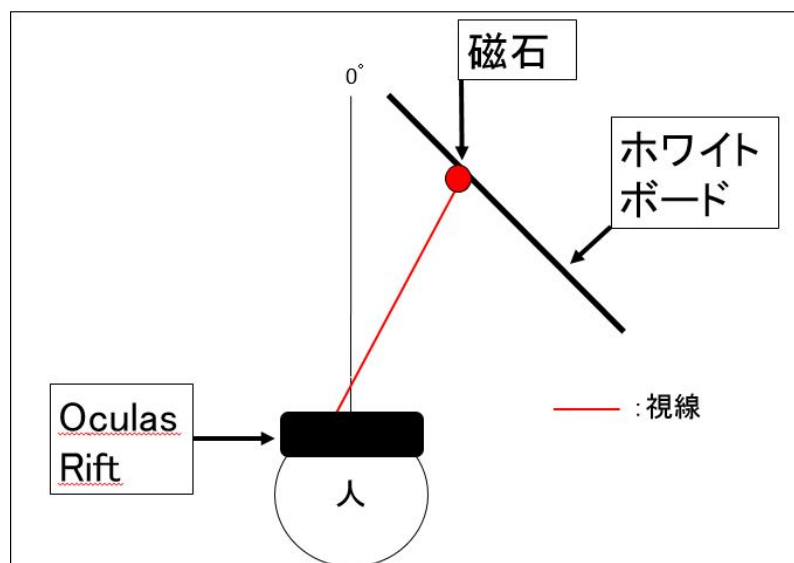


図 4.3: 実験風景の模式図 (システム)



図 4.4: 実験風景

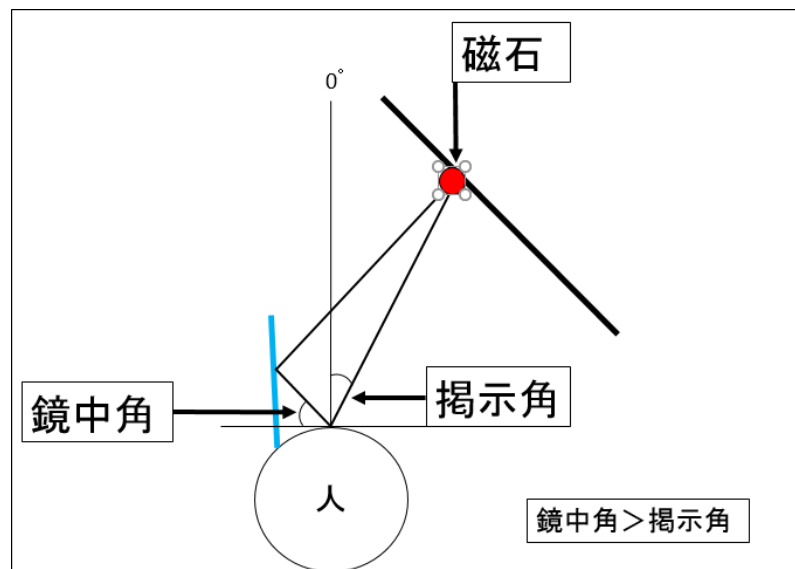


図 4.5: 鏡中角と揭示角の差

第5章 むすび

本研究では片目失明者の視野が狭くなってしまいう問題を解決するために消失視野部分の映像を他方の目の保持視野内に画像収縮して提示することにより、通常に近い視野を確保する手法を提案した。確保した視野の慣れの問題を検証するために鏡との対照実験を行ない、評価を行った。その結果、鏡と比べて本システムの方が短い練習時間でも提示された角度を正確に答えることと平均誤差も小さくなることが確認できた。本手法を用いることで片目失明者へのサポートを期待できる。本研究の課題として、実験検証のための許容誤差を再検討することでより詳しく有用性や問題点を考察したい。また HMD による視野の再現ではなく軽量なシースルーグラスを用いることで可搬性や装着時の負担軽減についても考慮したい。さらに画像を収縮せずに提示している領域については光学透過機能によりそのまま提示することにより、異常動作時でも安全性に問題のないシステムを提案していきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたって、日頃から多大な御尽力を頂き、御指導を賜りました名古屋工業大学、舟橋健司 准教授、伊藤宏隆 助教に心から感謝致します。最後に、本研究に多大な御協力頂きました舟橋研究室諸氏に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 小林 正佳, 畑崎 聖二, ”内視鏡下頭蓋底手術へのヘッドマウントディスプレイの応用”, 耳鼻咽喉科展望, 59(6), pp.324-328, 2016
- [2] Hunter G. Hoffman, Walter J. Meyer III, Maribel Ramirez, Linda Roberts, Eric J. Seibel, Barbara Atzori, Sam R. Sharar, and David R. Patterson, ”Feasibility of Articulated Arm Mounted Oculus Rift Virtual Reality Goggles for Adjunctive Pain Control During Occupational Therapy in Pediatric Burn Patients”, Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 17(6), pp. 397-401, June 2014,
- [3] 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果厚生労働省, pp. 3
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/index.html>
- [4] 障害者の範囲 (参考資料) - 厚生労働省, pp. 22-23
http://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/10/dl/s1031-10e_0001.pdf
- [5] 採用案内 (警察官) -身体要件
<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/saiyo/29/recruit/info-police.html>
- [6] 平成 29 年度 東京消防庁職員採用試験 (選考) 日程, pp. 3
http://tfd-saiyo.jp/pdf/H29_専門系採用選考案内.pdf
- [7] Jason Orlosky, Qifan Wu, Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura, Christian Nitschke, ”Fisheye vision: peripheral spatial compression for improved field of view in head mounted displays”, SUI '14, pp. 54-61, October 2014
- [8] 大鹿 洪司, ”眼・色・光より優れた色再現を求めて”, JAGAT, pp. 9, 2007
- [9] 石垣 尚男, ”周辺視の制限が運動技能に及ぼす影響”, 愛知工業大学研究報告会, pp. 57, 1986