

## 交差法による立体視状態における眼球角度の特性

長谷川 栄人・東 恒人\*・島田 恭宏\*

中西 泰章\*\* 中島 結城\*\*\*・高見 正利\*\*\*\*

岡山理科大学大学院工学研究科情報工学専攻

\*岡山理科大学工学部情報工学科

\*\*ホンダ四輪販売岡山

\*\*\* JA佐賀県神崎郡農業共同組合

\*\*\*\*岡山理科大学工学部福祉システム工学科

(2003年11月7日 受理)

### 1. まえがき

近年、立体映像を見ることのできる機器が開発<sup>1)</sup>され、立体映像を見る機会が増加しつつあるが、まだ、一般的ではない。一方、装置を用いずに、立体視を簡単に体験するための方法として、古くから、裸眼立体視法<sup>2)</sup>が用いられており、絵本や建築図面などで、立体像を見せるための手法として用いられている。

裸眼立体視法として交差法と平行法があるが、交差法の方が平行法に比べて、訓練の必要もなく実施しやすい。そこで、研究室に配属された学生に対して、交差法による立体視を試みてもらった結果、立体視のできない人が、平成13年度には10人中5人、平成14年度には11人中6人であり、立体視ができない人が少なくないようである。立体視状態における眼球運動に関する報告例<sup>3),4)</sup>はあるが、なぜ交差法による立体視ができないのか、明らかではないようである。

そこで、本論文では、まず、立体視状態および注視状態におけるそれぞれの眼球角度の時間変動特性を計測し、得られた計測結果から、立体視状態における眼球角度の頻度分布ならびに眼球角度の停留時間の頻度分布を明らかにするとともに、これらの分布から、立体視ができる人と立体視ができない人の違いについて論じている。

### 2. 交差法における眼球角度

モニタ上の図形を注視している場合には、被験者の眼球角度 $\theta_1$ は、図1に示すように、状態①(真直ぐ見ている状態)から、状態②(モニタ上の図形を見ている状態)に変化する。

交差法により立体視を行っている場合には、図2に示すように、左眼で右眼用図形を、右眼で左眼用図形を見ることにより、右眼用図形と左眼用図形の重なり合

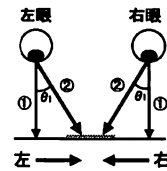


図1 注視状態における眼球角度

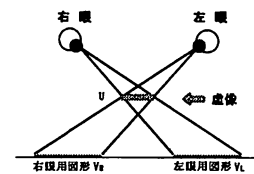


図2 交差法による立体視の原理

う地点(眼と図形の間)に虚像を知覚する。このとき、虚像は右眼用図形と左眼用図形の視差により立体的に見える。この状態での被験者の眼球角度は、図3に示すように、状態①(真直ぐ見ている状態)から、状態②(モニタ上の図形を見ている状態)に変化する。

立体視状態では、被験者に対して、日常経験しないような眼球角度を強いるので、注視状態における眼球角度 $\theta_1$ と立体視状態における眼球角度 $\theta_2$ が異なる。

### 3. 計測方法

#### 3.1 計測条件

被験者の頭にアイマークレコーダ(ナック製 EMR-8)<sup>5)</sup>を装着し、図4に示すように、モニタ表面から30cmの視距離になるように椅子に座り、あご置き台にあごをのせて、モニタに表示されている呈示図形を見る。

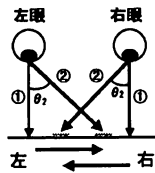


図3 立体視状態における眼球角度

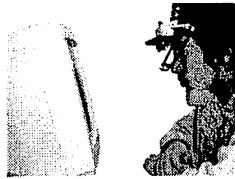


図4 被験者の姿勢

モニタ上には、呈示図形として、注視用図形(図5(a))、立体視用図形(図5(b))、視線開放用図形(図5(c))が表示される。

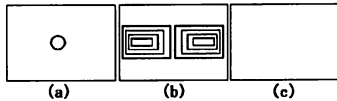


図5 被験者に呈示される図形

両状態における眼球角度の違いに注目し、立体視に必要な眼球角度を調査する。

3.2 計測パターン

眼球運動を図6に示す二種類のパターンで計測する。注視用図形を呈示している時間帯を注視時間帯と呼称し、立体視用図形を呈示している時間帯を立体視時間帯と呼称すると、注視時間帯と立体視時間帯を一組にして1セットと呼称する。

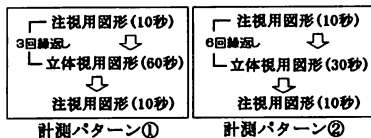


図6 計測パターン

計測パターン①では、注視用図形を10秒間呈示した後、立体視用図形を60秒間呈示し、これを1セットとして、3セット繰返す。計測パターン②では、注視用図形を10秒間呈示した後、立体視用図形を30秒間呈示し、これを1セットとして、6セット繰返す。各計測パターン終了後、注視用図形を10秒間呈示し、さらに視線開放用図形(図5(c))を10秒間呈示し、眼球を休めさせてから計測を終了する。

計測パターン①の特徴は、立体視時間帯は長いが、セット数が少なく、計測パターン②の特徴は、立体視

時間帯は短い、セット数が多いので、”立体視時間帯による眼球運動への影響”、”セット数による眼球運動への影響”を調べることができると考えられる。なお、両計測パターンの立体視時間帯の総計を等しくしている。

3.3 計測データの前処理

図7に、眼球角度  $\theta_L, \theta_R$  の時間変動特性のモデルを示す。図中に記載した記号 a, b はそれぞれ注視時間帯、立体視時間帯を意味し、R, L は右眼に関するデータ、左眼に関するデータを意味する。

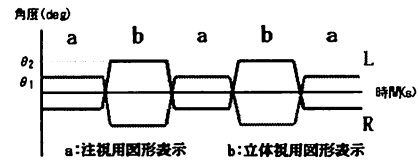


図7 眼球角度の時間的変動特性のモデル

図7に示すように、注視時間帯と立体視時間帯が切り替わる毎に、眼球角度  $\theta_L, \theta_R$  が交差すれば、被験者が交差法を実行していることになる。

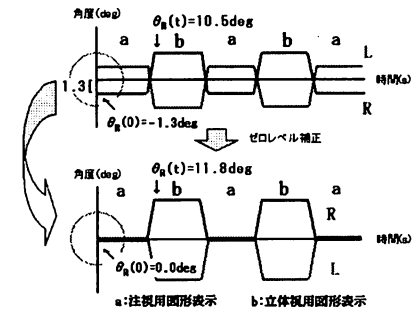


図8 ゼロレベル補正の手順

計測開始時には注視用図形が呈示されるので、そのときの眼球角度 ( $\theta_L(0), \theta_R(0)$ ) は、一般に、被験者毎に異なる。

そこで、被験者毎の計測開始条件を揃えることによって、被験者毎の眼球角度の時間変動特性を比較できるようにするために、図8に示すように、時間1における眼球角度 ( $\theta_L(1), \theta_R(1)$ ) から、計測開始時の眼球角度 ( $\theta_L(0), \theta_R(0)$ ) を減算することにより、計測開始時間の眼球角度を0度に揃える。この操作をゼロレベル補正と呼称する。右眼の眼球角度のゼロレベル補正の例を表1に示す。

4. 計測結果

表1 ゼロレベル補正前後の数値の例

角度	補正前	補正後
$\theta_R(0)$	$-1.3^\circ$	$0.0^\circ$
$\theta_R(1)$	$-1.6^\circ$	$-0.3^\circ$
$\theta_R(2)$	$-1.0^\circ$	$0.3^\circ$
.	.	.
.	.	.
$\theta_R(t)$	$10.5^\circ$	$11.8^\circ$

4.1 眼球角度の時間変動特性

立体視ができる被験者Aの眼球角度の時間変動特性として、計測パターン①の場合の例を図9の上段に、計測パターン②の場合の例を図10の上段に示す。

立体視ができない被験者Bの眼球角度の時間変動特性として、計測パターン①の場合の例を図11の上段に、計測パターン②の場合の例を図12の上段に示す。

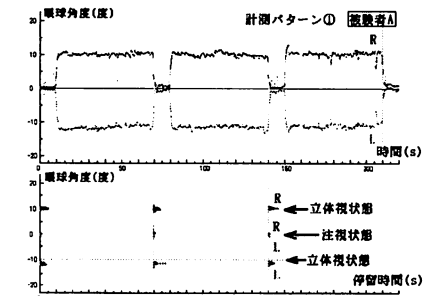


図9 計測パターン①の場合に被験者Aが示した特性の例

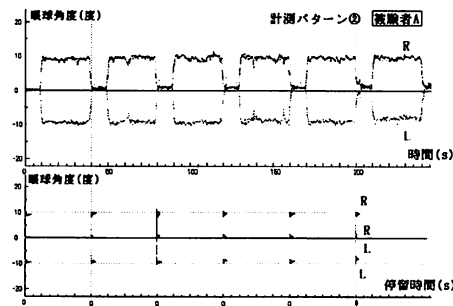


図10 計測パターン②の場合に被験者Aが示した特性の例

立体視ができる被験者Aの眼球角度の時間変動特性(図9, 図10の上段)の値は、比較的長時間にわたって10deg付近を維持している。

しかし、立体視を試みている時間帯において、立体視ができない被験者Bの眼球角度の時間変動特性(図11, 図12の上段)の値は、立体視が可能な被験者Aの眼球角度の時間変動特性に比べて、非常に不安定である。

なお、立体視ができない被験者Bの眼球角度は、一瞬、約10degとなるが、この眼球角度を満たす時間が一瞬で

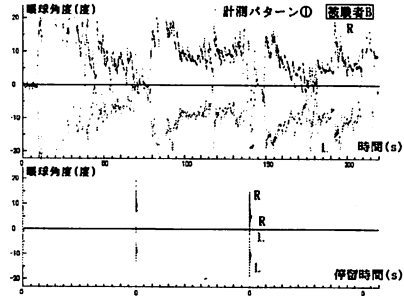


図11 計測パターン①の場合に被験者Bが示した特性の例

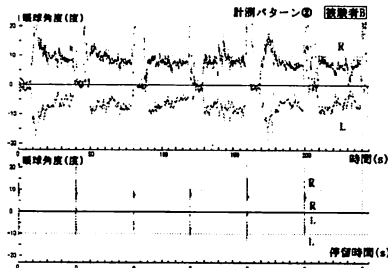


図12 計測パターン②の場合に被験者Bが示した特性の例

あるので、図形を立体的に知覚することができなかったと考えられる。

4.2 眼球角度の頻度分布

眼球角度の頻度分布は、任意の角度毎に、その角度を維持している累積時間を算出することによって得られる。

眼球角度の時間変動特性から、注視時間帯および立体視時間帯における左右の眼球角度( $\theta_L(t)$ ,  $\theta_R(t)$ )について、セット毎に眼球角度の頻度分布を算出する。

図9~図12について、各図の上段に対応させて、算出例をそれぞれの下段に示す。

眼球角度の頻度分布については、立体視ができる被験者の場合の方が、立体視ができない被験者の場合に比べて、眼球角度の分布の範囲が狭く、安定して眼球角度が維持されていることがわかる。

4.3 眼球角度の平均値

各セットについて、注視時間帯および立体視時間帯毎に、眼球角度の平均値を算出する。

立体視ができる被験者Aと立体視ができない被験者Bについて、計測パターン①における眼球角度の平均値の例を、それぞれ表2と表3に示す。

立体視のできない被験者の眼球角度の平均値は、セット毎にばらついているのに対して、立体視のできる

被験者の眼球角度の平均値は、セット毎に変動しているが、ほぼ10deg程度である。この結果は、4.1と4.2で述べた結果を裏付けている。

表2 被験者Aが示した眼球角度の平均値

計測パターン①(被験者A)					
注視時間帯			立体視時間帯		
セット	右眼	左眼	セット	右眼	左眼
1セット	0.4283	0.1623	1セット	11.496	10.025
2セット	0.8745	0.7442	2セット	11.4299	9.949
3セット	1.5216	0.6823	3セット	11.0533	10.2672

表3 被験者Bが示した眼球角度の平均値

計測パターン①(被験者B)					
注視時間帯			立体視時間帯		
セット	右眼	左眼	セット	右眼	左眼
1セット	1.5017	0.8913	1セット	8.46466	9.5711
2セット	0.7846	2.2608	2セット	9.39838	10.425
3セット	5.216	4.7027	3セット	11.02011	6.064

#### 4.4 眼球角度の標準偏差

各セットについて、注視時間帯および立体視時間帯毎に、眼球角度の標準偏差を算出する。

眼球角度の標準偏差の例として、計測パターン①について、立体視ができる被験者Aの場合の結果を図13に、立体視ができない被験者Bの場合の結果を図14に示す。なお、両図には、両眼に関する眼球角度の時間変動特性を一括して得られた標準偏差を示している。

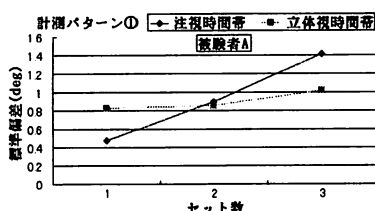


図13 計測パターン①の場合に被験者Aが示した眼球角度に関する標準偏差

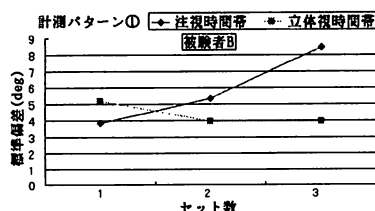


図14 計測パターン①の場合に被験者Bが示した眼球角度に関する標準偏差

これらの結果から、標準偏差については、立体視ができる被験者の方が、立体視ができない被験者

の場合に比べて、値は小さいので、眼球角度のばらつきが小さいことが明確である。

この結果は、4.1と4.2で述べた結果を裏付けている。

#### 4.5 停留時間の頻度分布

停留時間の頻度分布とは、ある眼球角度に留まっている時間の頻度を累計した値である。

立体視ができる被験者(6人)および立体視ができない被験者(11人)について、1セット目の両眼に関する眼球角度の時間変動特性を一括して、眼球角度毎の停留時間の頻度分布を算出した。図15に計測パターン①において得られた停留時間の頻度分布を示し、図16に計測パターン①において得られた停留時間の頻度分布を示す。また、図17と図18には、それぞれ計測パターン①と計測パターン②において得られた0.56秒以上の停留時間の頻度分布を示す。

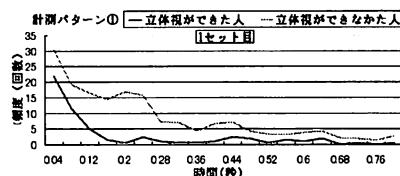


図15 計測パターン①における眼球角度の停留時間の頻度分布

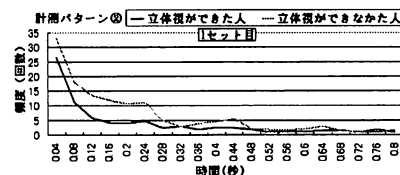


図16 計測パターン②における眼球角度の停留時間の頻度分布

計測パターン①の場合(図15)よりも、注視回数の多い計測パターン②の場合(図16)の方が、0.12秒未満の停留時間の頻度は高い値を示している。これは、人間が注視している場合に、眼球は、常に微小な運動を続けるという通常の眼球運動に類似している<sup>6)</sup>。

図15と図16より、0.12秒から0.28秒までの停留時間の頻度は、立体視ができる被験者の方が、立体視ができない被験者の場合よりも、低い値で推移していることがわかる。

一方、図17と図18より、1.6秒以上の停留時間の頻度は、立体視ができる被験者の方ができない被験者の場合よりも、極端に高い値を示していることがわかる。この傾向は、立体視ができる被験者は立体視用図形を注視している証拠であるといえる。

以上のことから、立体視ができない被験者の眼球角

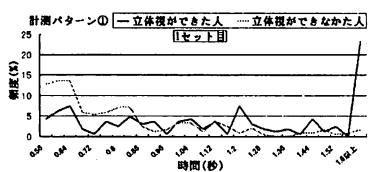


図17 計測パターン①における眼球角度の長時間停留時間の頻度分布

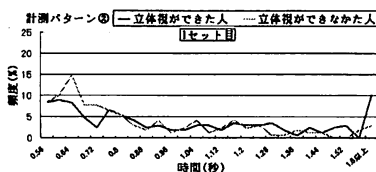


図18 計測パターン②における眼球角度の長時間停留時間の頻度分布

度の停留時間は短く、眼球角度が変動するのに対して、立体視ができる被験者の眼球角度の停留時間は長く、眼球角度を一定に保持して呈示図形を注視し、図形を立体的に知覚しているといえる。

### 5. 立体視における眼球運動の特徴

#### 5.1 立体視のために要求される眼球運動

4.1~4.2の結果から、図形を立体的に知覚するには、眼球角度を一定の角度に維持する能力が必要であることがわかる。

立体視ができない被験者Cは、図19に示すように、眼球角度を一定に保持することができるが、図形を立体的に知覚できなかった。このことから、図形を立体的に知覚するには、呈示図形に対応した角度に眼球を維持する能力が必要であることがわかる。なお、同図は、計測パターン②の場合に得られた眼球角度の時間変動特性である。

図19のような傾向を示す人に対しては、訓練により、立体視が可能になる可能性がある。

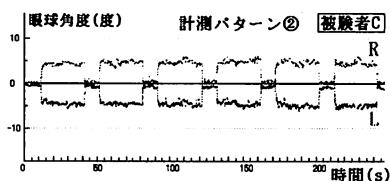


図19 立体視ができない被験者Cが示した特殊な特性

また、4.5で述べたように、立体視ができる被験者の眼球角度は、平均値に対してばらつきが少なく、安定に維持されている。また、立体視が実現できていると、長い時間にわたって眼球角度を停留させることも必要である。

### 6. まとめ

被験者にアイマークレコーダを装着してもらい、モニタ画面から30cmの距離で、モニタ上の呈示図形を注視している状態および交差法によって立体視している状態での被験者の眼球角度の時間変動特性を計測し、以下の結果を得た。

呈示図形から立体的な図形を知覚するためには、呈示図形に対応して、一定の角度範囲内で、一定の時間以上に、眼球角度を維持することが必要である。

道具を使用することなく立体視を行うという方法は、情報を伝える手段として重要であるので、今後、上記の結果を考慮して、立体視ができない人を対象として、立体視が可能となるような訓練方法を考案する必要がある。

### 参考文献

- 1) マーク アルバート: もっとリアルに! 熱帯びる立体テレビ研究, ウエイブ, 日経サイエンス, 2, pp.130-132(2003).
- 2) 原島博著: 3次元画像と人間の科学, オーム社, pp.238-241(2000).
- 3) 下野孝一: 輻輳運動と両眼ステレオプシス, 光学, 23, 1, pp.17-22(1994).
- 4) 片岡 修, 中村洋一, 東 恒人: 立体視における眼球運動特性, 1997信学全大, D-7-10, (1997).
- 5) (株) ナック: ナックアイマークレコーダ取扱説明書
- 6) 福田忠彦著: 生体情報システム論, 産業図書, pp.35-38(1995).

## Characteristics of angle of the eyeball at the state of binocular vision by the intersection method

Eito HASEGAWA, Tsunehito HIGASHI\*, Yasuhiro SHIMADA\*,  
Yasuharu NAKANISHI\*\*, Yuuki NAKASHIMA \*\*\* and Masatoshi TAKAMI\*\*\*\*

*Graduate School of Engineering,*

*\*Department of Information & Computer Engineering,*

*Faculty of Engineering, Okayama University of Science,*

*Ridai-cho 1-1, Okayama-shi, 700-0005 Japan*

*\*\* Honda Yonrin Okayama Co. Ltd., Okayama-shi, 701-0144 Japan ,*

*\*\*\* JA Saga., Saga-ken, 810-0073 Japan ,*

*\*\*\*\*Department of Assistive and Rehabilitation Engineering,*

*Faculty of Engineering, Okayama University of Science,*

*Ridai-cho 1-1, Okayama-shi, 700-0005 Japan*

(Received November 7, 2003)

In order to clarify the characteristics concerning the angle of the eyeball at the state of binocular vision achieved using the intersection method, the time variation characteristics of the angle of the eyeball were measured at the state of gaze and the state of binocular vision, and the frequency distribution of the angle and the frequency distribution of the duration of staying are clarified.