

眼球運動の速度に関する研究

佐々木 弘*・長谷川 健**・村 井 一 寛***

A Study on the Velocity of Eye Movements

Hiroshi Sasaki, Takeshi Hasegawa and Kazuhiro Murai

Both human's eyeballs always move simultaneously. It is well known that the adduction of left eyeball and the abduction of right eyeball occur when we look at right side. Adduction is the movement of the eyeball toward the nose, and abduction is the movement of the eyeball toward the ear. As for the velocity of each eyeball, there is a difference between both eyeballs. In this study, we are focused on this difference by using the corneo-retinal potential of the eyeball, in order to investigate about the velocity difference between the left eyeball and the right eyeball at the mutual gazing. Finally, we obtained significant results in cases when both eyeballs were opened, and when one eyeball was covered, and so on.

1. はじめに

人間の眼球は直径が約 20～25 mm の球形であり、左右一対でその機能を担っている。眼球は外眼筋の作用によって動いており、この外眼筋の変動は筋電を測定することにより調べることができる。しかし、この方法を用いて眼球の微細な動きを解析することは難しい。一方、眼球の角膜と網膜間には電位差が生じており、角膜側がプラスに網膜側がマイナスになっている。この電位は角膜網膜電位と呼ばれており、眼球運動によって変化するので、この電位変動を眼振計によって増幅し眼振図として記録することができる。眼振計の利点は、閉眼や暗所開眼状態でも眼球の動きが測定できることである。

眼球運動において両眼球は常に同じ動きをしている。例えば、右を見る時には左眼球の内転（鼻側への動き）と同時に右眼球の外転（耳側への動き）が起こる。このような運動を共同性眼球運動と言い、さらに、共同性眼球運動は次の2つのタイプに分けることができる。視野内に現れる物体を見ようとして注視点を変える時に起こる速い眼球運動（衝動性眼球運動）と、目の前をゆっくりと動く物体を追従している時に起こる遅い眼球運動（滑動性眼球運動）である。

眼球運動の特性については、今までにいくつかの研究成果^{1)～5)}が報告されているが、眼球運動の速度に関する測定データを解析したものは少ない。本研究では、衝動性眼球運動（水平方向の場合）における左右眼球の速度差について、両眼球が開放状態、片眼球が遮閉状態の条件下で、角膜網膜電位を用いた測定を行い、データ解析をすることにより、興味ある結果を得ている。

* 電気電子工学科 ** 電気工学専攻大学院生 *** 大学事務局

2. 測定方法

- (1) 被検者は24才の視覚正常の男性である。
- (2) 眼球運動の水平成分分析用電極を左右の目尻外側5mmの部位と両眼間の部位の3箇所、アース電極を顎にそれぞれ装着する。(図1)
- (3) 被検者を椅子に座らせ、測定中に頭部が無意識に動揺するのを防ぐために、顎当て台で固定する。
- (4) 視標追跡装置の中心視標が、被検者の視線の中心に位置するようにセットする。
- (5) 下記に示す測定①、測定②、測定③の3パターンで、交互に点灯する2つの視標を被検者に約10秒間追従させる。視標の交互点灯間隔は1秒とする。
- (6) 測定は、①-A～③-Cの全部で7種類の条件で行い、視標の変化に対して左右の眼球で生ずる角膜網膜電位を電気眼振計に取り込み増幅させ、データ処理装置で解析する。
- (7) 測定システムを図2、図3、図4に、測定時の眼球状態を表1に示す。また、測定で使用した銀・塩化銀電極を図5に、測定風景を図6に示す。

測定① 左15度視標と右15度視標の交互注視

①-A 両眼開放

測定② 中心視標と左30度視標の交互注視

②-A 両眼開放

②-B 右眼遮閉

②-C 左眼遮閉

測定③ 中心視標と右30度視標の交互注視

③-A 両眼開放

③-B 右眼遮閉

③-C 左眼遮閉

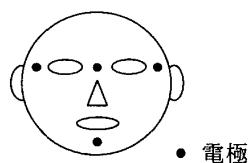


図1 電極配置部位

表1 測定時の眼球状態

A 両眼開放	B 右眼遮閉	C 左眼遮閉

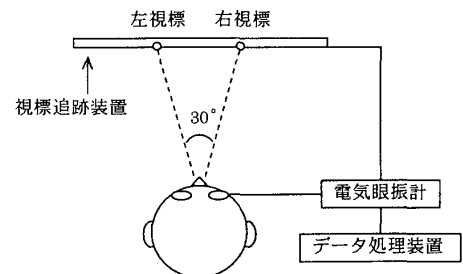


図2 測定システム (測定①の場合)

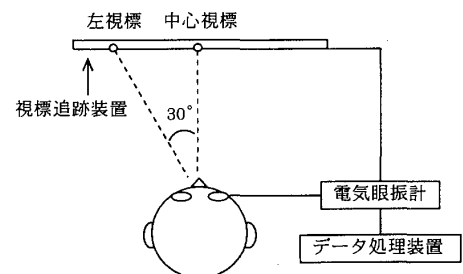


図3 測定システム (測定②の場合)

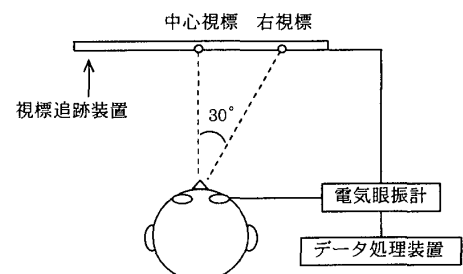


図4 測定システム (測定③の場合)

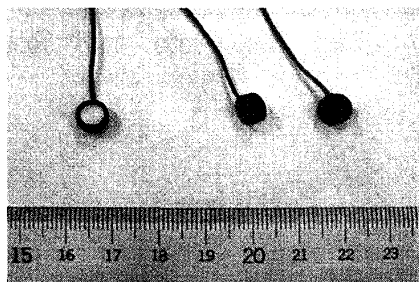


図5 銀・塩化銀電極



図6 測定風景

3. 結果・考察

測定結果の例として、① - A の場合の視標の変化に対する左右の眼球運動の原波形を図7に、この時の数値データを表2に示す。そして、7種類の条件における各数値データをグラフに表したものを図8～図14にそれぞれ示す。これらの図から次のようなことが分かる。

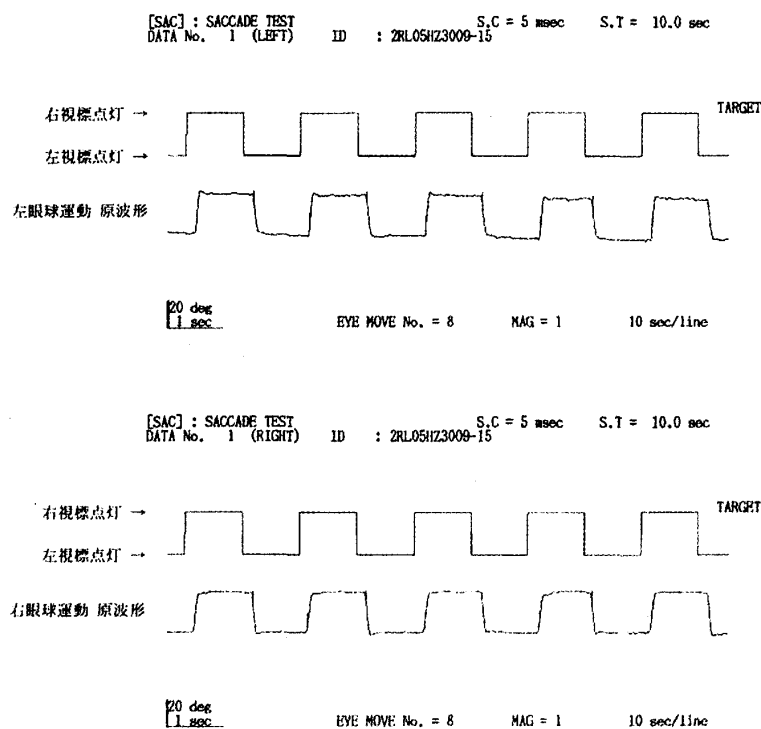


図7 視標の変化に対する眼球運動の原波形 (① - A の場合)

表2 数値データ (① - A の場合)

点灯時間 [msec]	左眼球		右眼球	
(◆ 左視標)	潜時	速度	潜時	速度
(◇ 右視標)	[msec]	[deg/sec]	[msec]	[deg/sec]
◆ 1325	205	-355.6	210	-428.0
◇ 2345	180	478.7	170	361.3
◆ 3360	175	-368.0	180	-408.5
◇ 4375	210	475.4	205	364.0
◆ 5390	205	-350.0	215	-411.4
◇ 6405	245	433.7	240	358.0
◆ 7425	150	-321.2	155	-388.6
◇ 8440	205	478.7	200	381.7

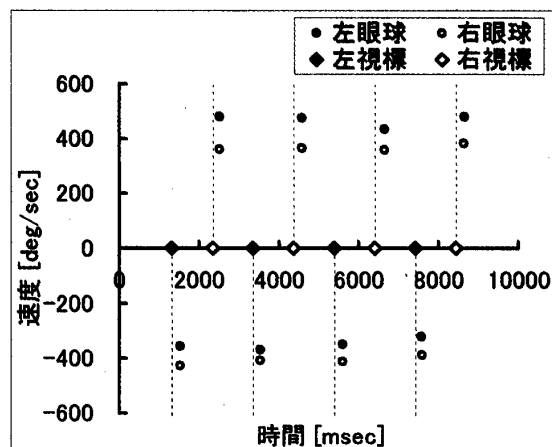


図8 眼球運動の速度 (① - A の場合)

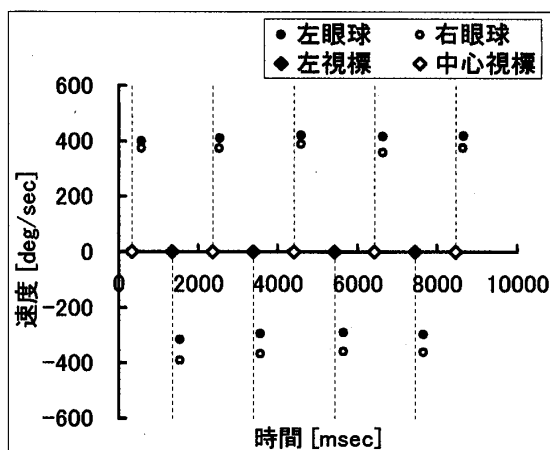


図9 眼球運動の速度 (② - A の場合)

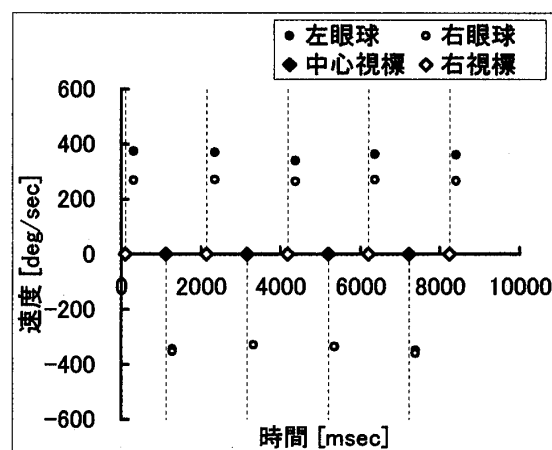


図12 眼球運動の速度 (③ - A の場合)

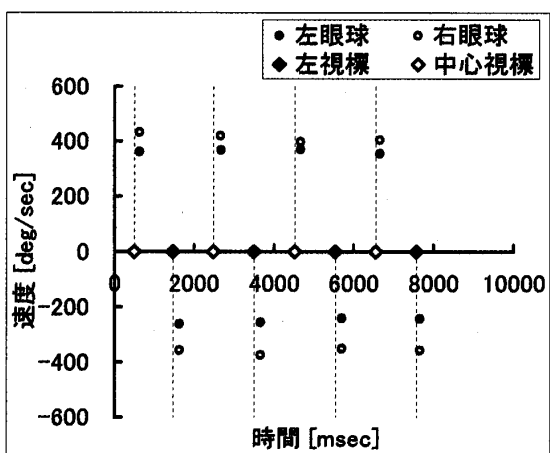


図10 眼球運動の速度 (② - B の場合)

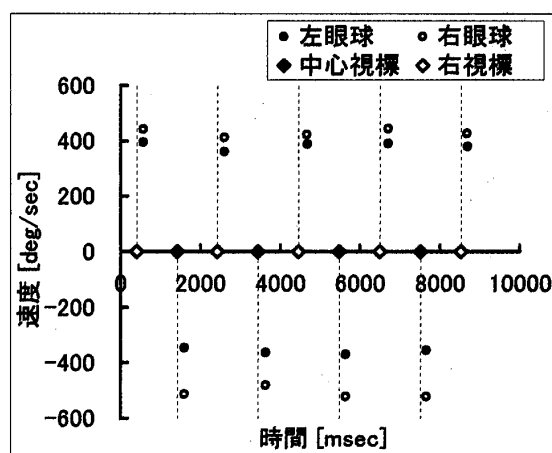


図13 眼球運動の速度 (③ - B の場合)

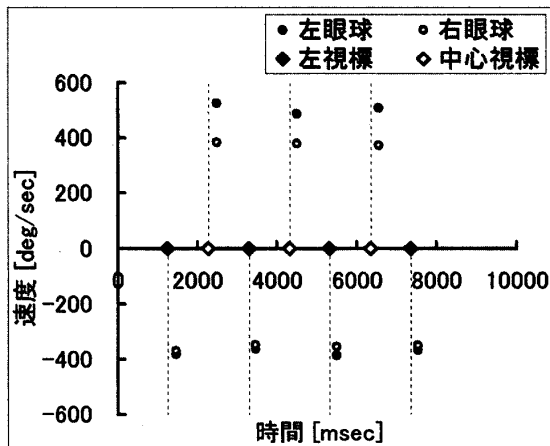


図 11 眼球運動の速度 (② - C の場合)

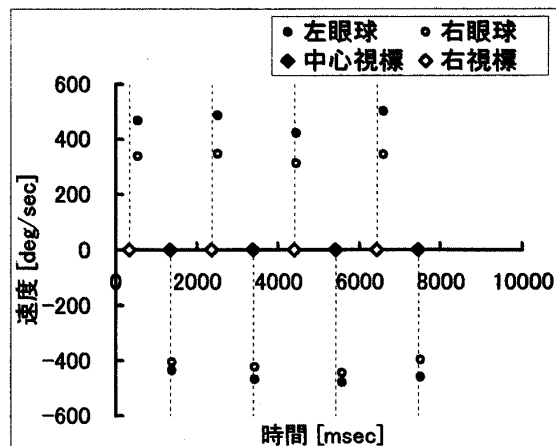


図 14 眼球運動の速度 (③ - C の場合)

3.1 両眼開放の場合

図 8 は左視標と右視標の交互注視の場合である。視標が左から右へ切り換わる時は、左眼球の方が右眼球より、視標が右から左へ切り換わる時は、右眼球の方が左眼球よりも速度が速くなっている。また、左眼球と右眼球の速度差については、それぞれの場合において、ほとんど同じぐらいの差になっている。

図 9 は中心視標と左視標の交互注視の場合であるが、視標が中心から左へ切り換わる時は、内転の動きをしている右眼球の速度は、外転の動きをしている左眼球の速度よりも速くなっており、その差は約 70 deg/sec である。また、視標が左から中心へ切り換わる時は、両眼球は正面視に戻るだけであり、左眼球と右眼球の速度差は約 40 deg/sec と減少している。

図 12 は中心視標と右視標の交互注視の場合であるが、視標が中心から右へ切り換わる時は、内転の動きをしている左眼球の速度は、外転の動きをしている右眼球の速度よりも速くなっている。また、視標が右から中心へ切り換わる時は、図 9 の場合の視標が左から中心へ切り換わる時と同様、左眼球と右眼球の速度差はわずかなものとなっている。

以上の測定結果より、眼球が内転する時の速度の方が外転する時の速度よりも速いということが分かる。

3.2 片眼遮閉の場合

図 10 と図 11 は中心視標と左視標の交互注視の場合である。さらに、図 10 は右眼球が遮閉状態にある場合の測定結果であり、視標が中心から左へ切り換わる時は、遮閉状態の右眼球は実際に視標を追うことができないが、共同性眼球運動により開放状態の左眼球に連動して左方向へ動いている。この時、遮閉状態の右眼球の速度が開放状態の左眼球の速度よりも速くなっている。これは、遮閉状態の右眼球が内転の動きをしているという影響もあるが、右眼球が左眼球につられて動いているだけであり、自らをコントロールできないためである。また、視標が左から中心へ切り換わる時は、遮閉状態の右眼球の速度が開放状態の左眼球の速度よりもわずかなではあるが速くなっている。これも遮閉状態の右眼球が共同性眼球運動により動いているだけであり、自らをコントロールできないためである。次に、図 11 は左眼球が遮閉状態にある場合の測定結果であり、視標

が中心から左へ切り換わる時は、遮閉状態の左眼球は実際に視標を追うことができないが、共同性眼球運動により開放状態の右眼球に連動して左方向へ動いている。この時、遮閉状態の左眼球は外転の動きをしているのにも関わらず、内転の動きをしている開放状態の右眼球よりも速度がわずかではあるが速くなっている。また、視標が左から中心へ切り換わる時は、遮閉状態の左眼球の速度が開放状態の右眼球の速度よりも速くなっている。

図 13 と図 14 は中心視標と右視標の交互注視の場合である。さらに、図 13 は右眼球が遮閉状態にある場合の測定結果であり、図 14 は左眼球が遮閉状態にある場合の測定結果である。これらの場合においても、図 10、図 11 の場合と同じようなことがいえる。

以上の測定結果より、遮閉状態にある眼球の速度の方が開放状態にある眼球の速度よりも速いということが分かる。さらに、遮閉状態にある眼球は実際に視標を追うことはできないが、開放状態にある眼球に連動しており、その角膜網膜電位も変化しているということが分かる。

4. まとめ

交互注視時における眼球運動の速度について、角膜網膜電位を用いた測定を行い調べた結果、次のようなことが分かった。

- (1) 両眼球が開放状態にある場合、眼球が内転する時の速度は眼球が外転する時の速度よりも速い。
- (2) 片眼球が遮閉状態にある場合、遮閉状態にある眼球の速度は開放状態にある眼球の速度よりも速い。

このように、本研究を通して、共同性眼球運動のメカニズムについての有意義なデータを得ることができ、さらに理解を深めることができた。

参考文献

- 1) Clark, J.J.: "Spatial Attention and Latencies of Saccadic Eye Movements", Vision Res., vol.39, pp.583, 1999
- 2) Kalesnykas, R.P.: "Retinal Eccentricity and the Latency of Eye Saccades", Vision Res., vol.34, pp.517, 1994
- 3) Ditchburn, R.W.: "The Function of Small Saccade", Vision Res., vol.20, pp.217, 1980
- 4) H.Daveson.: Physiology of the Eye (Fifth Edition). Macmillan Press, London, 1990
- 5) E.R.Berman.: Biochemistry of the Eye. Plenum Press, New York, 1991

(平成19年 3 月24日受理)