

瞬き・眼球運動を実現する眼窩エピテーゼの開発

Development of an orbital epithesis with blink and eye movement

○野々宮由美香*, 高橋日向子*, 田中清志*, 南斉俊佑*,
星崎みどり*, 福田雅幸*, 長縄明大*

○Yumika Nonomiya*, Kanako Takahashi*, Kiyoshi Tanaka*, Shunsuke Nansai*,
Midori Hoshizaki*, Masayuki Fukuda*, Akihiro Naganawa*

*秋田大学

*Akita University

キーワード： 眼窩エピテーゼ (Orbital Epithesis), 瞬き動作 (Blinking Action), 眼球運動 (Eye Movement), 眼電位 (Ocular Potential), 信号分離 (Signal Separation)

連絡先： 〒 010-8502 秋田市手形学園町 1-1 秋田大学大学院理工学研究科
長縄 明大, Tel.: (018)-889-2726 E-mail: naganawa@gipc.akita-u.ac.jp

1. 緒言

エピテーゼは、悪性腫瘍や外傷等の要因による身体の欠損を補うため、体に装着する人工の補綴物である。眼窩エピテーゼは瞬き・眼球運動といった動作を持たず、また表情がないため、他者とのコミュニケーションにおいて違和感を与えてしまう。よって、エピテーゼの眼が健側に同調して瞬きすることが求められている。違和感のないエピテーゼは“エピテーゼの目が健側と同調して瞬きする”，もしくは“エピテーゼの視線が健側と一致する”必要がある。過去に本田らが開発を試みた瞬きエピテーゼでは、エピテーゼ内に全ての装置を一体化して収めることができず、人体の解剖学的構造を再現することが困難であった¹⁾。また、瞬き眼球運動するロボットは存在するが、空気圧アクチュエータによって駆動していることが多く、設置空間が限られているため、それらに用いられるアク

チュエータを使用することは困難である。以上より、実用化された瞬き眼球運動するエピテーゼは現在存在しない²⁾ので本研究ではその実現を目指す。

本研究では、眼窩を含む欠損部がある場合に使われるエピテーゼについて、健側と同調して瞬きおよび眼球運動を行う装置を開発することを目的とする。瞬き・眼球運動機能を有する眼窩エピテーゼを実現するため、健側の眼電位を測定して瞬きと眼球運動に分離し、これを駆動信号として瞬きおよび眼球運動を実現する。目標として、小型化で自然に見えるエピテーゼの設計。また、瞬き駆動の遅れの問題の解決し、健側に同期し、瞬きを再現できる瞬き駆動システムの改良を行う。眼球運動に関しては、本研究では左右方向の運動を検討する。



Fig. 1: 眼窩エピテーゼ Orbital Prosthesis

2. システムの構成

本研究で考案したシステム構成図を Fig. 2 に示す。

2.1 検出方法

瞬き・眼球運動駆動システムにおける瞬き検定の手法については、眼電図法という手法を用いて測定する。これは、人の眼球の角膜側が常に正、網膜側が負に帯電していることを利用して、眼の周辺の皮膚に電極を貼り付けて測定する方法になる。眼球運動は眼球が外側に動くときに目尻に貼った方の電極が正の方向へ、鼻根部に貼った電極が負の方向へ動作するときに電位を測定。瞬きの測定は、瞬きに伴って瞼が角膜の上を覆うと、角膜上の正の電荷が瞼部に移動することにより、眼上部の皮膚の電位が上昇し、陽性波が得られることによって測定が可能となる³⁾。は、表面電極をは左の目頭付近、目尻付近、耳の本実験付け根付近（基準電極）の3ヶ所に周囲に貼付し、眼輪筋の筋電を測定する。本研究で考案したエピテーゼの検出手順を Fig.

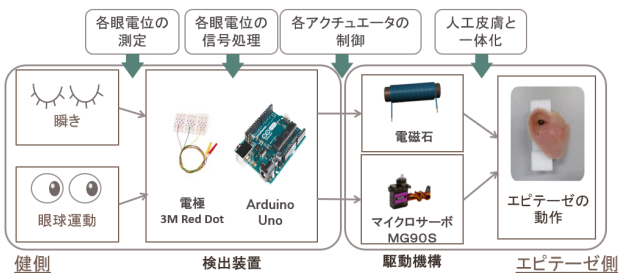


Fig. 2: システム構成図 System Configuration Diagram

3に示す。瞬き・眼球運動の筋電位は数十 μV から数 mV と非常に小さい電位であるため、計装アンプで増幅を行う。そしてマイコン内でフィルタをかけノイズの除去を行い、瞬き・眼球運動を検出した場合にマイコンからアクチュエータへ駆動電流を出力する。この駆動電流により、エピテーゼの取り付けられたアクチュエータが動作することで、エピテーゼの瞼が閉じ、健側の瞬きと同時に動作する。眼球運動も同様である。また、駆動システムは健側の瞬きを検出する同調パートとアクチュエータを駆動する駆動パートに分かれており、統合を行うことでシステムが完成する。しかし、眼電図は瞬きの信号以外に眼球運動による信号も含まれるため、瞬き・眼球運動を測定し、それぞれ瞬きのみ眼球運動のみを検出できるか検証する。対象とする瞬きは、意識的に行われる瞬きである随意性瞬き、固視する位置を瞬間的に変化させる高速な眼球運動である衝動性眼球運動を対象に行った。瞬き・眼球運動の眼電位の例を Fig. 4 に示す。

2.2 駆動システム

瞬き・眼球運動検出装置と駆動装置を接続し、瞬きと左右方向の眼球運動の再現を検討する。検出手順は眼電位を測定し、フィルタ処理を行った後、駆動信号を駆動装置に出力する。眼電位のノイズはマイコン内でフィルタ処理を行う。

<ローパスフィルタの伝達関数>

$$G(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{1 - a}{1 - az^{-1}} \quad (1)$$

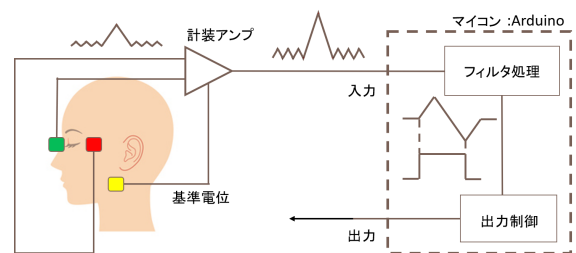


Fig. 3: 検出手順 detection procedure

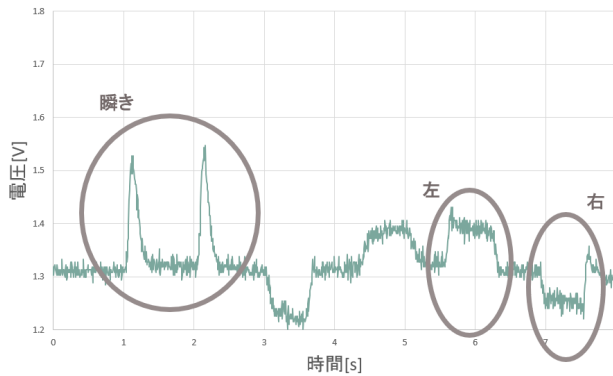


Fig. 4: 瞬き・眼球運動の眼電位
Electrooculographic Potentials of Blinking and Eye Movements

<ハイパスフィルタの伝達関数>

$$G(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = 1 - z^{-b} \quad (2)$$

a は任意の定数, b は正の整数であり, 検出試験の前の設定時に個人に合わせて変更することができる. このバンドパスフィルタの特徴として, フィルタ処理をマイコン内で行えるようにプログラム化している. また, ハイパスフィルタは現在値から b サンプル前のデータとの差分をとることでフィルタ処理をおこなっており, 比較的容易に処理をすることができる. 瞬きのフィルタ処理は上記の2つのフィルタからなるバンドパスフィルタを適用し, 眼球運動のフィルタ処理は上記のローパスフィルタを重ねたものを適用した. フィルタを使用した結果をそれぞれ, 瞬きの場合を Fig. 5 に, 眼球運動の場合を Fig. 6 に示す. 検出は, 瞬きおよび衝動性眼球運動に重点をおき, 眼球運動は高速で眼を動かすものとした際の眼電位を計測した. 駆動装置への出力信号は瞬き・眼球運動共に, 2つの閾値 V_H , V_L を設定することで制御し, V_H を超えたサンプルから駆動信号の出力をはじめ, V_L を下回るサンプルで出力を終えるようにした.

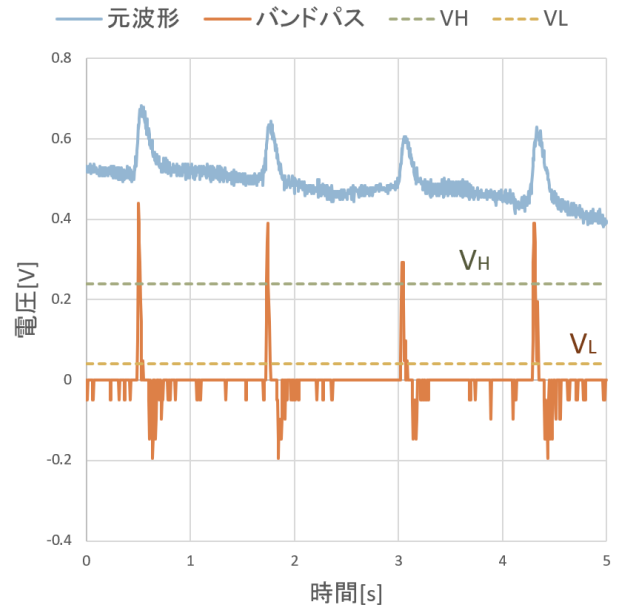


Fig. 5: 検出結果 1.1 Detection Results 1.1

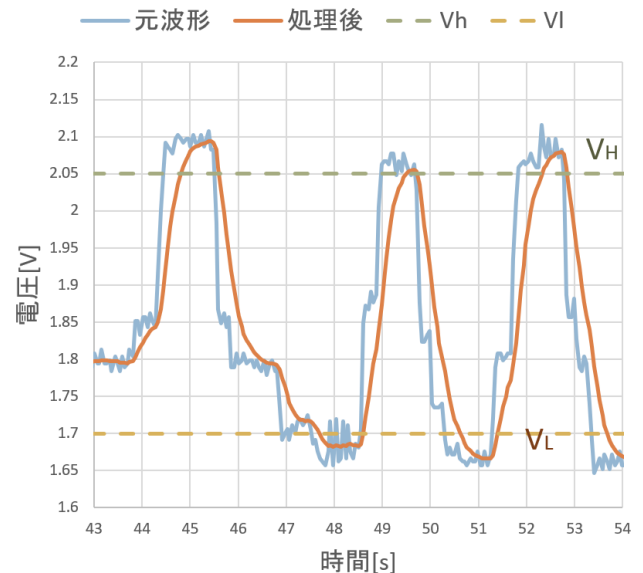


Fig. 6: 検出結果 1.2 Detection Results 1.2

2.3 瞬き・眼球運動駆動機構

人間の眼球は, 上下左右に様々な角度で回転し, また, その速度も眼球運動の種類によって異なる. ここでは, 通常的生活場面でよく起こる衝動性眼球運動に重点を置き, 高速かつ振幅が 25 度の眼球運動を行える機構の検討を行う. 瞬き・眼球運動駆動機構は, 3次元 CAD と 3D プリンタを用いて製作した. Fig. 7a, Fig. 7b, Fig. 7c, Fig. 7d に瞬き・眼球運動の駆動機構を示す. 駆動機構は, 瞼フレームと義眼によって構

成され、瞬きの動作は、内部には電磁石を組み込んだ。瞼フレームは、電磁石の反発および吸着を利用して、瞼を開閉するようにした。また、眼球運動の動作は、サーボモーターで眼球の左右方向の動きをするようにした。眼球パーツはその垂直の回転軸を中心に回転する機構になっている。この動作を正面から見ると、眼球は左右を向いているように見える。

2.4 人工皮膚

本研究で使用した人工皮膚について示す。瞼部の人工皮膚に折しわを設けて、引き出す構造に改良することで人工皮膚を引き延ばす必要がなく、小さな発生力でも駆動可能であると考えられる。瞼部分の人工皮膚は接合なしの1枚で折れしわは1ヶ所で、折しわ部分を伸ばすと閉眼するものである。また、人工皮膚と駆動装置を連動させた動作の様子を Fig. 8 に示す。

3. 駆動試験

本試験は健常者1名を対象とし、瞬き・眼球運動をした際の眼電位を測定した。なお、電極は3M社製の RedDatTM2269TP を用いた。初めに中心・左・右の順に視線移動した際の眼電

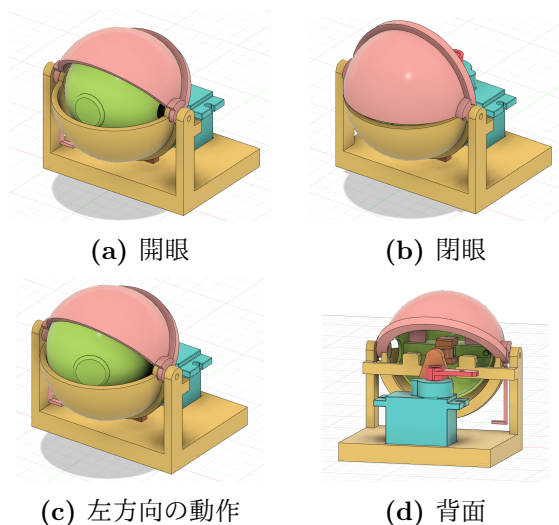


Fig. 7: 瞬き・眼球運動駆動機構 Mechanism of Blinking and Eye Movements

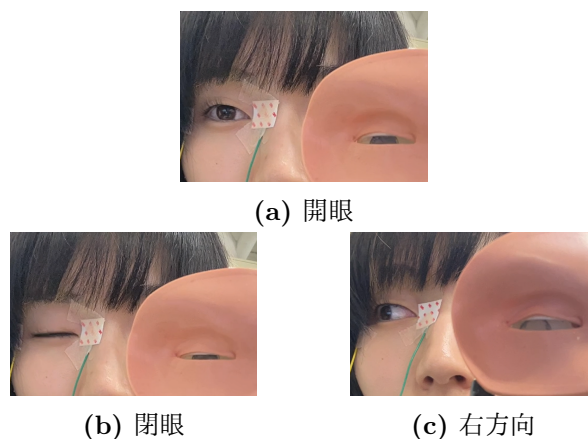


Fig. 8: 動作の様子 Operation Status

位を測定し、同期したエピテーゼの動作を行った。視線ガイドから 40 cm の位置に座り、マーカーに視線を移動させる。マーカーは垂直方向 ± 30 度とした。また、瞬きの眼電位を測定、同期したエピテーゼの動作を行った。測定した眼電位とサーボモーターの回転角の関係を Fig. 9 に示す。眼電位の上昇に伴いサーボモーターの角度も上昇していることが分かる。また閾値の違いによる角度の上昇し方の違いも読み取ることができる。しかし、図からもわかるように眼電位とサーボモーターの動作の誤差が生じてしまっているのが分かる。これは、筋電センサを用いて計測した眼電位をフィルタを用いて処理する際に発生する時間がこの誤差に関係しているのではないかと考えられる。

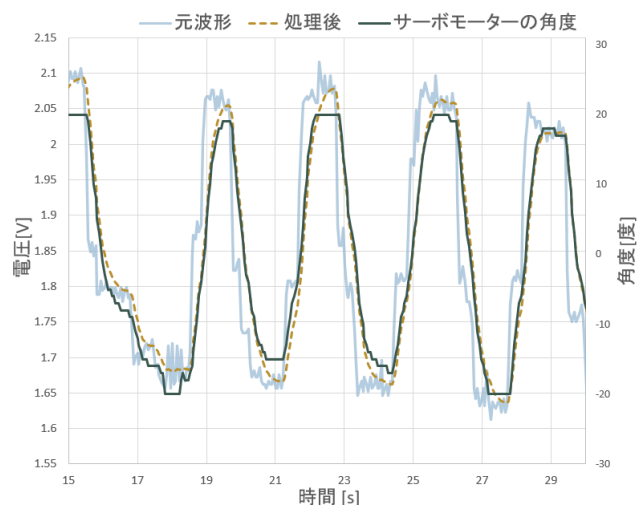


Fig. 9: 検出結果 2 Detection Results 2

4. 結果

眼電図法を用いて、健側の瞬き・眼球運動の測定を行った。フィルタによる処理を行うことで、ノイズやドリフトの影響を減らすことが可能であった。また、フィルタ処理した波形から各動作の判別が可能となる結果が得られた。実際に駆動装置に組み込む際に必要となることについて考察を行う。現在の検出システムでは衝動性眼球運動のみに着目しているため、顕著な変化が確認された。電圧変化が遅くなるため、健側と同調させる際考慮する必要がある。また、瞬きは、本実験では随意性瞬きを測定したが、日常的な動作は無意識的に行われる不随意性瞬きである。したがって、対象とする瞬きを駆動するフィルタを考慮する必要がある。

5. 結言

本研究では、健側と同期した瞬き・眼球運動機能を有する眼窩エピテーゼを開発するため、瞬き・眼球運動の検出ならびに瞬き・眼球運動駆動装置について検討した。今後の計画として、瞬き・眼球運動駆動装置のさらなる改善並びに瞬き・眼球運動の信号分離の改善、瞼を完全に閉じる人工皮膚の設計、機構部分と人工皮膚を一体化する手法の確立を目指し、健常な眼の瞬き・眼球運動の速度に近づけられる事を目指す。

参考文献

- 1) 本田雅規, 新美敦, 野阪泰弘, 上田実, 柏田耕志, 福本一朗: オッセオインテグレートッドインプラントを維持源とした能動眼瞼付きエピテーゼの1例, 日本口腔外科学会雑誌, Vol.42, No.4, pp454-456, 1996
- 2) 宮崎高行, 大月佳代子, 黒川悦郎, 大西正俊: 純チタン製人工歯根および磁石を維持固定源とした眼窩エピテーゼ, 日本口腔外科学会雑誌, Vol.39, No.10, pp1087-1089, 1993.
- 3) 柏田耕志, 上田実, 福本一朗, : 能動眼瞼付きエピテーゼ: 眼輪筋表面筋電圧による瞬目検出法, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.93, No.209, pp123-130, 1993