

# 上肢トラッキング動作時における 眼球運動の測定と解析

小堀 聡

龍谷大学工学部電子情報学科

## 1. はじめに

手動制御系において、ディスプレイ上の目標値入力に対してポインティングデバイスを用いて出力を追従させるという、上肢トラッキング動作については、既にいくつかの研究がなされているが、運動機能障害を対象とした臨床応用例は少ない。

これまでの研究<sup>1), 2)</sup>では、上肢トラッキング動作の単独の実験を行い、入出力データを中心に解析を行ったが、視覚系の役割も重要であると考え、新たに眼球注視点も同時に測定できるシステムを開発した。そして、このシステムにより健常者を対象に実験を行い、動作特性を解析し、また、解析システムの作成を行った。さらに、臨床へ応用する際の問題点についても検討した。

## 2. 実験システム

実験システム(図1)としては、パーソナルコンピュータを中心にして、ポインティングデバイスとしてマウスを用い、アイカメラ(ナック:アイマークレコーダEMR-Vおよびその関連機器)により、上肢トラッキング動作における入出力のデータと眼球注視点を同時に測定できるシステムを開発した。

上肢トラッキング動作に関しては、追従制御系の実験を行うことにした。目標値データとしては、ランダムで滑らかな変化をする2次元データを用いた。ただし、制御対象が通常の比例要素の場合では、健常者において個人差や学習効果が現れにくいという予想から、反転要素や積分要素での実験を行うとともに、比例要素については目標の移動速度をパラメータとすることにした。

次に、眼球運動に関しては、アイカメラで測定し、断続性運動(サッケード)と随従運動を分析することにした。

Measurement and Analysis of Eye Movements  
in Manual Tracking Motion

Satoshi Kobori

Faculty of Science and Technology, Ryukoku University  
Seta, Otsu 520-21, Japan

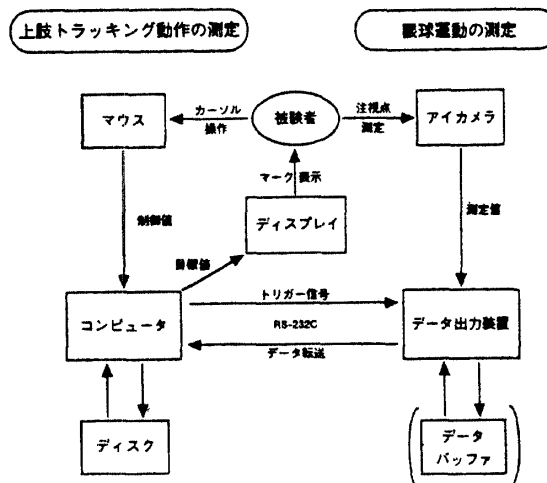


図1 システム構成図

なお、このシステムでは、コンピュータのインターバルタイマ割り込みを用いて、アイカメラによる測定のサンプリング周期と同じ周期で上肢トラッキング動作の測定が行えるようにし、上肢トラッキング動作の測定と同時に眼球注視点の測定を開始し、測定終了後、眼球注視点の座標データをコンピュータに送信するようにした。

また、アイカメラによって測定した注視点データを、被験者が注視したディスプレイの座標に対応させなければならないが、この作業には、撮影倍率を調整するハードウェア・キャリブレーションと注視点データをディスプレイ上の対応する点の座標に変換するソフトウェア・キャリブレーションという2つの段階がある。本研究では、独自に開発したソフトウェアを用いて、ハードウェア・キャリブレーションを行うとともに、ソフトウェア・キャリブレーションのための注視点データも測定するようにした。

## 3. 実験の方法

予備実験として、23歳の健常な男子学生1名を対象に、制御対象により、比例要素、左右反転要素、上下反転要素、積分要素の4種類で実験を実施した。また、比例要素に関しては、移動速度を4段階に変化させた実験も実施した。

制御対象が左右反転、上下反転、積分要素の場合はそれぞれ10回ずつ、速度をパラメータとする場

合は4回連続で測定した。1回の試行は30secである。

実験に際しては、被験者に対して、「目標マークの動きにマウスカーソルをできるだけ正確に追従させよ」という課題を与えて、実験を行った。

#### 4. 解析の方法

予備実験のデータに対する解析としては、まず、目標値、制御値、注視点の3つの時系列データのx軸、y軸それぞれの変化を表示する方法を基本とし、目標値と制御値との誤差や動作パターン（遅れ動作および逆動作）の判別も表示させることにした。さらに、目標値と制御値の時間微分値（速度）を求めるとともに、注視点の速度から眼球運動の種類を判別し、表示するようにした。これらのデータは、メニューにより比較したいものを選んで表示できる。また、平面上での誤差、動作パターン、速度も算出、表示できるようにした。

一方、上肢運動機能自体の評価方法としては、従来の平均誤差と動作パターンの割合を各試行ごとに計算した。

#### 5. 実験の結果と検討

紙面の都合上、ここでは結果のグラフとしては1例だけを紹介する。図2は、制御対象が積分要素の場合の5回目の試行の結果について、x軸方向の目標値、制御値、注視点、目標値と制御値の誤差を選んで表示したものである。

このグラフから、積分要素の制御動作に完全に習熟しておらず、随所に誤差が大きくなる場所が見られること、そして、その場合の眼球注視点の動きを読み取ることができる。

実験の結果より、一般に目標の移動速度が小さい場合や移動方向があまり変化しない場合、もしくは、反転要素や積分要素に習熟している場合には、目標値と制御値の誤差は比較的小さく保たれ、逆の場合は大きくなることが多いといえる。

そして、その誤差の大小によって眼球運動のパターンに、次のような違いが見られた。

- ・ 誤差が比較的小さい場合、注視点データは、細かな変化を繰り返す。つまり、視線が目標マークあるいはマウスカーソルのどちらかをとらえる際には随従運動が見られるが、他方に視線を移すときには、小さな断続性運動が見られる。
- ・ 誤差が大きい場合、注視点データには、大きな変化が随所に現れる。つまり、大きく離れた他

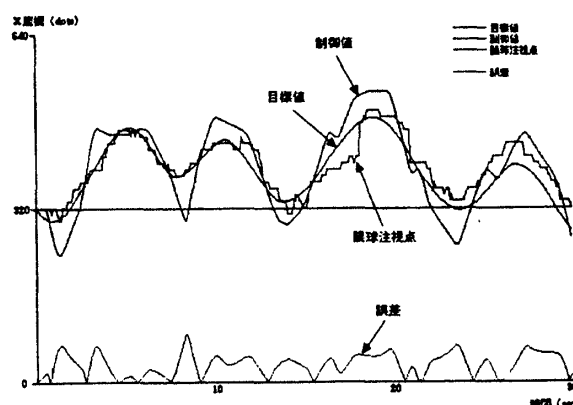


図2 実験結果のグラフの例

方に視線を移すときに、大きな断続性運動が見られる。

このような視線の移動により、目標マークとマウスカーソルの動きや位置関係を把握し、誤差を小さくする動作をしているといえる。これは手と目の協調によるものである。

#### 6. 今後の課題

臨床へ応用するとなると、アイカメラの装着とキャリブレーションに時間がかかること、また、アイカメラは、装着すると重く、圧迫感があることなどの問題点がある。

これらに対して、簡便なキャリブレーションの方法を検討するとともに、被験者の負担を軽減し、かつ、頭部を安定させ、より正確な測定をするために、あご台を製作し、利用することにした。

今後は、このあご台を使用して、健常者での実験と解析、モデル化を行い、臨床応用の際の基準データを収集し、臨床側からの意見を参考にしたいうえで、臨床への応用も検討する予定である。

なお、本研究は、(財)立石科学技術振興財団の平成5年度の研究助成によるものである。また、アイカメラは大阪大学医学部附属病院理学療法部所有のものを使用した。それぞれに感謝の意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) S.Kobori et al., "Evaluation of Upper Limb Motor Function by means of Tracking Motion on Reversal Element", The Transaction of the IEICE, Vol.E74, No.5, pp.1047~1050, 1991.
- 2) 小堀 聡, "反転要素を制御対象とした上肢トラッキング動作の学習過程", 人間工学, Vol.28, No.5, pp.243~249, 1992.