

6 超小型視線検出モジュールによる目視確認サポート装置の開発（第3報）

車載模擬環境での頭部移動実験及び実用化検討

橋本晃司, 古本浩章, 後藤孝文, 門藤至宏, 打田澄雄

Development of visual confirmation support system using ultra small size eye tracking module. (3rd Report)

The experiment confirming the effect of a head sway and Feasibility study in automobile use.

HASHIMOTO Koji, FURUMOTO Hiroaki, GOTOU Takafumi, MONDOU Munehiro and UCHIDA Sumio

The system which alerts driver fatigue and distraction comes into wide use in luxury cars. On the other hand, the information to a driver increases by advancement of the traffic informatics. As a result, an instrument panel and an operation method to reduce the burden to a driver are expected. The operation by eyes is expected as one technique. The effect of a head sway was confirmed in this experiment. The trial production of camera for cars which utilized 3D printer, and eye-tracking system using small size board camera are reported.

キーワード：視線検出, 目視確認, 視線操作, 車載, 3Dプリンタ, プルキニエ像

1 結 言

自動車での先進安全技術の一つとして、車載カメラで頭部や眼を撮像して居眠りや脇見を警告するシステムが、一部の高級車種に搭載されるようになった。

一方で、ICT (Information and Communication Technology) や車々間通信といった交通情報システムの高度化により、運転者への情報量が過多となるため、身体負担を軽減する表示及び操作体系の構築が望まれている。このため、ヘッド・アップ・ディスプレイでの前方視界情報やナビゲーション画面について、視線方向によって表示情報の選択や操作を行うための視線操作技術が期待されている。しかし、居眠りや脇見に比べて、視線操作は高い精度が必要であることや、キャリブレーションの必要性から実用化が遅れている。

本研究ではアイマウス¹⁾を自動車や家電、医療や工場現場等で利用するための小型・低コスト化と、これに必要なHMI (ヒューマン・マシン・インターフェース)を開発し、具体的な実用化の一例として車載活用を目指している²⁾。

前報³⁾では、車載模擬実験場でのタブレットを操作対象とした視線検出精度検証と、視線検出ソフトウェアの開発及び視線操作テストについて報告した。

本報では、前半で車載模擬環境での頭部移動実験について述べ、後半で車載実用化を想定した車載用カメラの試作および小型ボードカメラの検討について報告する。

2 車載模擬環境での頭部移動実験

2.1 実験環境および実験手順

運転者が頭部を動かす事で、目がカメラの撮影範囲から外れる、または頭部が元の位置へ戻った際に視線検出ができなくなる場合がある。

そこで、前報の静止状態での視線検出精度検証に対し、今回は、頭部移動の前後での精度検証を行った。実験環境は、車載模擬環境とし、視線検出には前報で使用した開発品 (特殊電子回路(株)の Spartan-6 評価ボード (TKDN-SP6-45) と Aptina Imaging 社のカメラモジュール (MT9T031C12STCH ES) および、連結基板を組み合わせたモジュール) と視線検出ソフトウェアを用いた。実験環境での被験者とカメラやモニタの位置関係について示す (図1)。カメラは、被験者の両眼中心の延長線上に固定

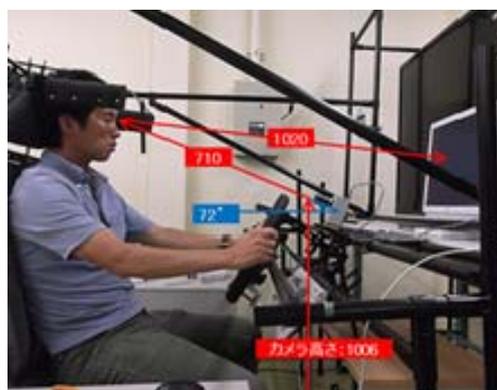


図1 頭部移動実験の配置

し、右眼を撮像するために雲台の調整機能によりロール方向へ72°、ヨー方向へ2°とし、高さはステアリングコラムカバー上となる1,006mm、眼～レンズ間距離を約710mm（被験者毎に眼～レンズ間距離は異なる）とした。近赤外線LEDは、レンズ中心から80mm下にカメラ角度に合わせて固定した。

操作対象となるモニタについて、前報の実験では瞳孔検出確認と視線操作の2台が必要であったが、モニタ1台で行えるようにGUIを改良し、また視線操作だけでなく脇見等の運転視界も検証するために、眼～モニタ距離を1,020mmとして実験した。

頭部固定具は、頭部移動の振幅を一定にするため左右に70mmの隙間を設けた。また、前方視野位置に戻ったことを、視覚的に認識するための前方中心指示棒と、体感的に確認するための頭頂中心突起を施した。前方中心指示棒は、頭部の前方向移動距離を一定とする役目もある。

被験者は、男性27～42歳で身長168～174cmの3名とした。

実験方法は、まず視線検出のキャリブレーションを行ったのち、16個のボタンを表示したテストGUIを表示し、前方視野位置での各ボタンへの視線移動テストを確認する。次に、頭部を右方向のサイドバーへ側頭部が触れるよう約70mm移動して、2秒後に前方視野位置へ戻し、再び視線移動テストを行った。

続いて同様に左方向から前方視野位置へ戻した際のテストを行い、最後に前方向へ、鼻先が前方中心指示棒に触れる約80mm移動して、前方視野位置へ戻してテストを行った（図2）。GUIのボタンは、実験開始時は白とし、視線方向を重畳したポインタがボタン上に移動するとピンクになるようにした。

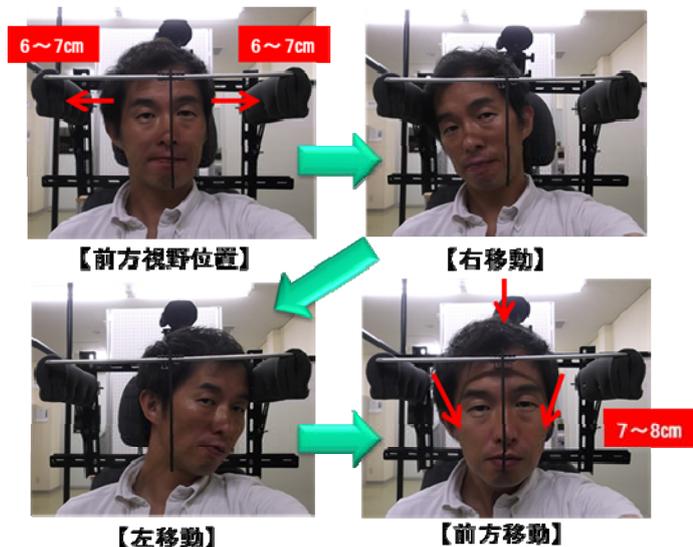


図2 頭部移動実験の手順

2.2 実験結果

頭部の右移動後の実験に使用したテストGUI画面を示す（図3）。頭部の移動後にも16個のボタンに視線移動が可能であった。左移動後、前方移動後についても同様の結果となり、頭部移動の前後でも視線検出精度を保つことが可能であった。

また、被験者の交代により座高や眼～カメラ間距離が変化するが、キャリブレーションを行わなくても視線検出を再開可能なことが示唆された。これは、眉や鼻を含む眼周辺画像から片眼領域を切り出す際に、頭部移動によっても片眼に追従する方法が機能したためと考えられる。



図3 右移動後の実験でのテストGUI画面

この方法は、ある範囲に頭部移動域が制約され、操作対象が低精度であることが条件であるが、GUIを工夫することで車載に必要とする操作性が得られる方法を、この実験から考案することに至った。

3 車載用カメラの試作

3.1 車載用カメラ筐体の検討

運転者の視線検出実験を行うために、車載用カメラ筐体を試作した。頭部移動実験では、雲台固定ネジを付けた市販筐体に開発品を内含して三脚等に取付けて使用した（図4左）。また、近赤外線LEDは、角度調節可能な市販のクリップ付きボックスに内含してカメラ筐体に後付けした。

試作した車載用カメラ筐体では、小径で高さを抑えた角度調節スタンドを作成し、カメラ筐体と上下方向に首振り可能な近赤外線LEDボックスを一体化することによって、頭部移動実験時の筐体よりも小型化することを検討した（図4右）。



図4 頭部移動実験時(左)と試作した筐体(右)

3.2 三次元 CAD と 3D プリンタによる試作

筐体の小型化のため、Think3 社の三次元 CAD (Think Design) を使用して開発品や近赤外線 LED の組付け方法を三次元的に検討しながら設計した (図5)。

また設計したデジタルデータを基に、Stratasys 社の 3D プリンタ装置 (Dimension Elite) を使用して ABS 樹脂製のモデルを作成して組付けすることで、開発品や近赤外線 LED 等のサイズを確認しながら、効率的に試作検討することができた。

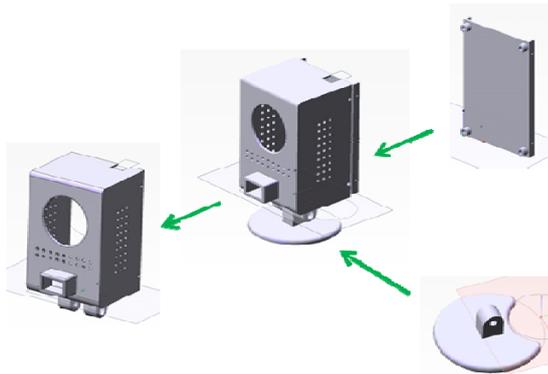


図5 車載用カメラ筐体の三次元 CAD 設計

3.3 車載用カメラ筐体の試作結果



図6 車載用カメラでの視線検出実験

試作した車載用カメラ筐体は、幅 57 mm、奥行 48 mm、高さ 82 mm で、頭部移動実験時に使用したものより容積比で約 15% 減とすることができた。

また、試作した車載用カメラを取付けて運転者の視線検出実験を行うことができた (図6)。

4 小型ボードカメラの検討

前節で開発品を内含した車載用カメラ筐体の小型化を検討したが、さらに小型化できれば、設置場所の選択肢が増え、運転者・同乗者の視界確保・車内空間確保などメリットは大きい。そこで、これまでの開発品よりも安価で小型なカメラを用いた場合の視線検出について検討した。

検討した小型ボードカメラを表1に示す。開発品のように、レンズマウントがCマウントの場合、レンズのサイズの制約のため、カメラとレンズ一体の小型化が困難である。そこで、レンズの小型化を優先して、Sマウント (M12×0.5) レンズが装着可能なボードカメラを選定した。ボードカメラとPCとの接続はUSB2.0で、ボードカメラから視線検出ソフトウェアへの画像入力には、フリーソフトウェアのEWCLIBとOpenCVを活用した。入力画像は、両ボードカメラとも片目を撮影したVGA画像とした。

表1 開発品と小型ボードカメラの比較

| | 開発品 | ボードカメラ① | ボードカメラ② |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 外観(側面) | | | |
| 縦×横×レンズ方向[mm] | 72×50×92 | 21×40×36 | 28×28×52 |
| カメラ型番 | Aptinaカメラモジュール+連結基板+特電FPGAボード | シキノハイテック KBCR-M06VU | NET-Japan KS1300CU |
| 撮像素子サイズ[mm] 画素数[pixel] | 6.55×4.92 QXGA (2054×1536) | 3.84×2.88 VGA (640×480) | 6.55×4.92 QXGA (2054×1536) |
| レンズマウント | Cマウント | Sマウント | |
| 装着レンズ | M2514MP | BLH-2525 | |

顔の前方から近赤外線を照射して、ボードカメラ①または②で撮影した画像を視線検出ソフトウェアで処理した結果を図7に示す。どちらのカメラにおいても明るさの微調整は必要であったが、瞳孔輪郭およびプルキニエ像を問題なく検出できた。

ボードカメラ②では、QXGA サイズまでの撮影が可能であることから、ソフトウェア側で目周辺部のVGA画像の

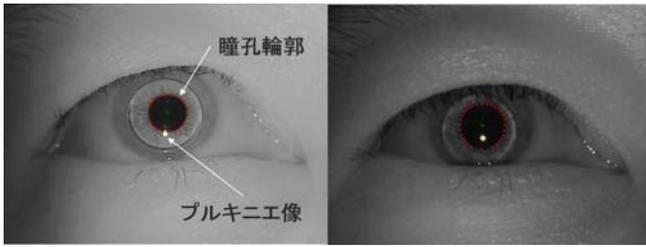


図7 視線検出結果(左:ボードカメラ①:右:ボードカメラ②)

切り出し位置を調整することにより、被験者の頭が上下左右に多少揺れても、視線方向の推定が可能である。

ボードカメラ①とタブレットPC (Dell Venue 8 Pro) を使って作成した視線検出装置を図8に示す。瞳孔中心とプルキニエ像の位置関係から、被験者の視線方向を推定する手法を視線検出ソフトウェアに実装した。今後、この手法を活用した視線アプリケーションを提案していく予定である。



図8 タブレットを使った視線検出装置

5 結 言

本報告では、車載模擬環境での頭部移動実験および実用化に向けての車載用カメラ試作と小型ボードカメラ検討を行い、以下のことが分かった。

- 1) ソフトウェア版での頭部移動実験を行い、頭部移動後にも16個のボタンを表示したテストGUIの操作について視線検出精度を保つことが可能であった。
- 2) 被験者の交代により座高や眼～カメラ間距離が変化した際に、キャリブレーションを行わなくても視線検出を再開可能であり、片眼に追従するプログラムにより、被験者変更や頭部の左右前後移動への一定程度の対応が可能になった。
- 3) ある程度に頭部移動域が制約され、操作対象が低精度であることが条件であるが、GUIを工夫することで車載に必要とする精度が得られた。
- 4) 試作した車載用カメラ筐体は、頭部移動実験時のものより容積比で約15%減とすることができた。また、試作した車載用カメラを取付けて運転者の視線検出実験を行うことができた。
- 5) 選定した2機種のボードカメラと視線検出ソフトウェアを用いて、瞳孔輪郭およびプルキニエ像の検出が可能であった。
- 6) 瞳孔中心とプルキニエ像の位置関係から、被験者の視線方向を推定する簡単なデモアプリを作成した。

文 献

- 1) 武田他：広島県西部工技研究報告 48(2005), 60
- 2) 橋本他：広島県西部工技研究報告 55(2012), 13
- 3) 橋本他：広島県西部工技研究報告 56(2013), 33