

# 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1報）

## 4 視線検出精度の計測と小型視線検出モジュールの開発

橋本晃司, 古本浩章, 後藤孝文, 打田澄雄

Development of view check support machine by super small size eye tracking module. (1st Report)  
Measurement of view check accuracy and development of small size eye tracking module.

HASHIMOTO Koji, FURUMOTO Hiroaki, GOTOH Takafumi and UCHIDA Sumio

The visual safety check is performed in various fields, such as automobile driving, an assembly plant, medical spot. Although the equipment which enables a visual safety check is called for, there is only expensive and large equipment for the handicapped. Micro modularization of the eye tracking device "eye mouse" is carried out with FPGA technology, and the visual check support equipment which can be mounted in automobile operation or an assembly plant is developed. Verification of look detection accuracy and the about 35% miniaturization of main part size were completed.

キーワード：目視確認, アイマウス, 視線検出システム, F P G A

### 1 結 言

自動車運転や組立工場、医療現場等で目視確認が行われているが、疲労や慣れによる見落としのリスクがある。例えば、原付以上運転者（第1当事者）の法令違反別死亡事故件数では、視覚認知に関するもの（漫然、脇見、安全不確認）の割合が全体の4割を占めている<sup>1)</sup>。また、組立工場では複雑な作業を秒刻みで行うために、自動化が困難であり、就労者のストレスになっている。

これに対して、視線を検出して安全性や作業性向上を可能とする装置が求められているが、高価で大掛りな装置しかない。これまでに手脚の不自由な身障者が眼球運動だけでエアコンやテレビを操作可能とすることを目的に、(株)システムアートウェアや広島大学と「アイマウス<sup>2)</sup>」を開発してきた。アイマウスは、近赤外光を照射した状態で顔を撮影し、眼球に映った点光源の像（プルキニエ像）と瞳孔中心からの視線情報<sup>3)</sup>により、PC画面上のポインタを動かして家電の操作等を行うことが出来る（図1）。この装置をFPGA技術により超小型モジュール

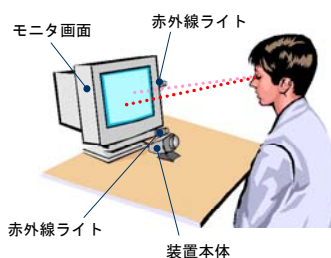


図1 アイマウス

ル化し、自動車運転や組立工場で利用可能な目視確認サポート装置を開発する。アイマウスの車載や屋外使用では、外乱光や身体の揺れへの対策やモジュールの小型化が必要である。本報では車載実験に向けた視線検出精度の検証に関して前半で述べ、後半では視線検出モジュールの小型化について報告する。

### 2 視線検出精度の検証

#### 2.1 運転視野での視線検出域の検討

現状のアイマウスは身障者の環境制御を目的に、机上の18~23インチモニタ上での視線検出が主である。運転者の視線検出では、より広範な視線検出が求められる。

自動車運転での視野範囲は70 km/hでは65度、100 km/hでは40度とされ<sup>4)</sup>、運転者とフロントガラスの距離を約1.5mとした場合には、幅72cm~120cmが必要となる。

プロジェクタのズーム機能でアイマウスのキャリブレーション画面を拡大し、運転視野での視線検出域を検証した。着座した被験者の前方にスクリーンを設置し、リアプロジェクタから映写して行った。アイマウスはキャリブレーション画面（図2）上で、中心と上下左右の5

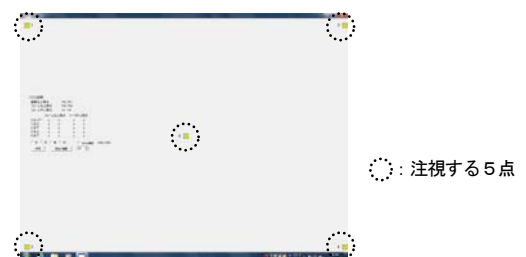


図2 キャリブレーション画面

点を注視してポインタを移動させることにより校正する。画面を23インチモニターサイズから幅120cm程度まで順次拡大し、校正可能な最大サイズを視線検出域とした。この結果、被験者とスクリーン間距離を150cmとした状態で、幅107cm(縦85cm)まで視線検出可能と分かった。

## 2.2 視線検出特性の調査

次にマウスの視線検出特性について、市販のゲーム機を用いて調査した。画面サイズの検証と同様にスクリーンを使用して、後方から1台のリアプロジェクタは運転ゲームを映写し、もう1台はマウスによる視線検出画面を重ね映して調査した(図3)。ドアミラーに視線を移すと視線検出を示すポインタが追従し、キャリブレーション画面での5点への注視に比べて、動体視力への追従に良い反応を示した(図4)。しかし、マウスは眼球に映るプルキニエ像と瞳孔中心の角度から視線位置を検出するが、運転ゲームの操作ではプルキニエ像が瞳孔から外れて不検出になることが多く(図5)、カメラや頭部を固定して照度を一定とした状態で検出精度評価し、眼精疲労の影響を確かめることとした。

## 2.3 位置固定とシールによる精度検証予備実験

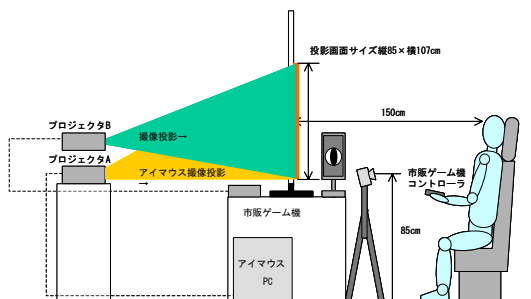


図3 視線検出特性の調査方法



図4 ミラーへの視線追従

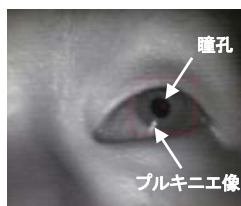


図5 不検出の状態

カメラ位置や頭部固定、遮光し、一定照度の条件にて精度検証を行った(図6)。被験者はA(38才)、B(25才)、C(39才)、D(40才)の4名で、頭上での照度を870lxとした。実験方法は、被験者がキャリブレーション画面の5つの点を注視し、ポインタが最も点に近づいた位置にシールを貼り、点との誤差を測った。また、眼の疲れが少ない10時と、5時間後の15時に計測し眼精疲労の影響を検証した。

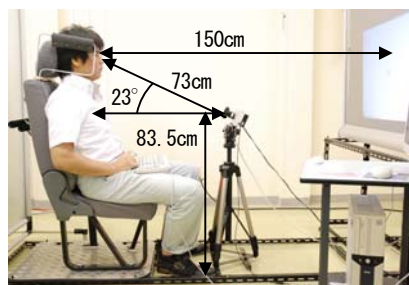


図6 検出位置設定

この結果、被験者4名の平均で、10時がX方向±15.2mm、Y方向±11.4mm、15時でX方向±10.0mm、Y方向±13.5mmの誤差であり眼精疲労の影響は見られなかった。

## 2.4 精度検出自動プログラムの作成

シールを貼っての実験では誤差や計測時間を要するため、精度検出自動プログラムを作成した。注視点をプロットすることで座標のXY位置情報を自動で抽出する。

また、運転視野や操作パネル域での視線検出等、目的に合わせた精度検証のために、キャリブレーション画面内での校正域を任意に拡大縮小可能とした。

## 2.5 60型テレビでの視線検出域の検証

さらに、スクリーンでの実験では歪みによる誤差もあり、60型テレビを導入して、精度検出自動プログラムでpixel単位での視線位置情報をプロットし、値変換で0.00mm単位の精度で検証を行った。カメラ位置等や被験者は予備実験と同様とした。車載環境を再現するためにテレビを予備実験より高めに設置した(図7)。

実験では運転視野を模したa(W:745mm×H:512mm)とb(W:675mm×H:465mm)、操作パネルを想定したc(W:606mm×H:416mm)とd(W:468mm×H:309mm)の校正域を作成し、注視点とプロット点の誤差を計測した(図8)。



図7 60型テレビでの視線検出域の検証

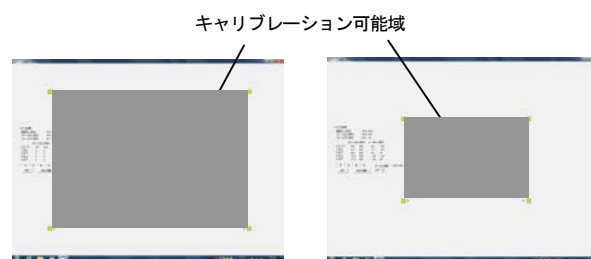


図8 校正域a(左)とd(右)

被験者 4 人共に a, b, c で誤差が大きく, d は X 方向 ±16.67mm, Y 方向 ±7.03mm と予備実験と同等の結果が得られた (表 1)。特に上部の注視点で検出精度が低かったのは図 5 にあるようなプルキニエ像が検出外となることが原因であり, 車載環境再現のためにテレビを高くしたことが起因した。上部での検出精度向上のため, 今後はカメラ位置や角度や広角レンズの検討を進める。

表 1 視線検出範囲と精度検証の結果

校正域 (mm)	X 方向誤差 (mm)	Y 方向誤差 (mm)
a(W:745×H:512)	±214.86	±124.30
b(W:675×H:465)	±145.86	±95.56
c(W:606×H:416)	±74.34	±52.81
d(W:468×H:309)	±16.76	±7.03

### 3 視線検出システムの開発

#### 3.1 小型視線検出モジュールの概要

既開発のアイマウスは, 同様の機能を有する他製品と比べて安価だが, 自動車運転や組立工場での利用を想定した場合, より低価格化を目指す必要がある。加えて頭揺れ対応など新たな課題を解決する必要もある。

そこで本年度は, まずアイマウスの小型化・低価格化を目標とし, 既存製品の組み合わせによる小型化を検討した。小型かつアイマウスの機能を移植可能なボードとして, 特殊電子回路(株)の Spartan-6 評価ボード (TKDN-SP6-45) を採用し, これに Aptina Imaging 社のカメラモジュール (MT9T031C12STCH ES) および連結基板 (図 9) を組みあわせて<sup>5)</sup> (以下, 「開発品」とする), 視線検出モジュールとした。

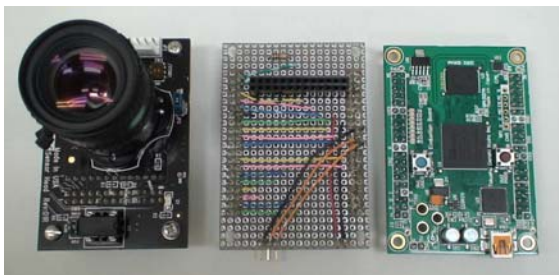


図 9 開発品の構成 (左からカメラモジュール, 連結基板, Spartan-6 評価ボード)

図 10 に開発品とアイマウスとの比較を示す。開発品はアイマウスと比べて, レンズ突起部を除いた本体の容積を約 35%小さくすることができた。

#### 3.2 カメラ画像取得のためのシステム構築

カメラ画像取得のためのシステム構成を図 11 に示す。FPGA 設計は, Xilinx 社の ISE WebPack と EDK を使用し,

	開発品	アイマウス
外観		
FPGA メーカーシリーズ (ブレード)	Xilinx 社 Spartan-6 (45nm)	Altera 社 Cyclone (130nm)
ソフトコア CPU	MicroBlaze	Nios II
撮像素子画素数階調	MT9T031 2048×1536 画素 10bit	MT9T001 2048×1536 画素 10bit
メモリ	DDR2 SDRAM 512Mbit	非公表
レンズ	f=25mm	f=25mm
サイズ	縦 8.5cm×横 6.0cm 奥行*4.5cm	縦 9.0cm×横 13.0cm 奥行*3.0cm
本体容積	229.5cm <sup>3</sup>	351.0cm <sup>3</sup>

※レンズの突起部を除く

図 10 開発品とアイマウス

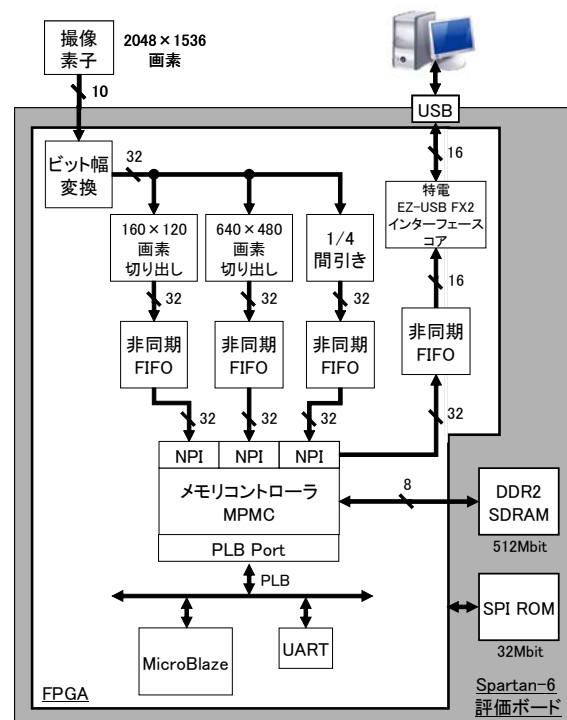


図 11 開発品のシステム構成図

ソフトコア CPU の MicroBlaze やメモリコントローラの MPMC (Multi Port Memory Controller) などを実装した。USB インターフェース部分は, 特殊電子回路(株)より提供されている特電 EZ-USB FX2 インターフェースコア<sup>6)</sup>を使用した。なお MicroBlaze は, 視線検出の各種演算に必要なため, あらかじめ実装した。

撮像素子から出力される画像信号の流れを簡単に説明する。画像信号の上位 8bit を 4 つまとめて, 非同期 FIFO に入力し, 32bit 幅の NPI (Native Port Interface) ポー



トから DDR2 メモリに保存する。そしてパソコンから読み出し要求があれば、保存した画像データを NPI ポートから読み出して、USB 経由でパソコンに送る。

開発品はパソコンからの読み出し要求信号を受信すると、撮像素子からの画像信号を DDR2 メモリに保存するのを止めて、DDR2 メモリからデータを読み出す状態に切り替わる。読み出しに切り替わるタイミングを図 12 に示す。カメラの垂直同期信号 (VSYNC) の立ち上がりで、読み出し要求信号 (uif\_wr\_req) を確認し、この値が '1' であれば、DDR2 メモリからデータを読み出す。

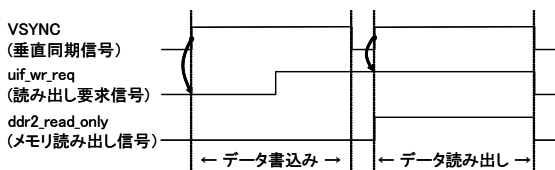


図 12 データ読み書きの切り替えタイミング

パソコンと開発品を接続して、画像取得した結果を図 13 に示す。①はフルサイズの 1/4 縮小画像(512×384 画素)、②と③は、①の枠の部分フルサイズから切り出した画像(②640×480 画素、③160×120 画素)である。3 種類の画像データは、FPGA の中で別々に作成し、異なる 3 つの NPI ポートから DDR2 メモリに書き込み、読み出しは 1 つの NPI ポートからのみ行った。3 つの画像を問題なく読み出せることが確認できた。

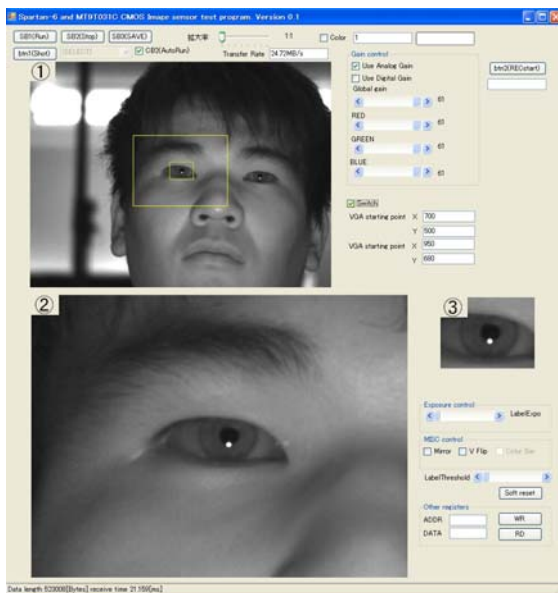


図 13 カメラ画像取得結果 (①512×384 画素、②640×480 画素、③160×120 画素)

### 3.3 視線検出システムの検証

開発品と近赤外照明を使って撮影した画像にノイズ除去等の補正を加え、パソコンで視線検出アルゴリズムを

実行した結果を図 14 に示す。瞳孔とプルキニエ像の抽出手法は文献 3 と同じ手法を用いて、瞳孔とプルキニエ像を検出できることが確認できた。

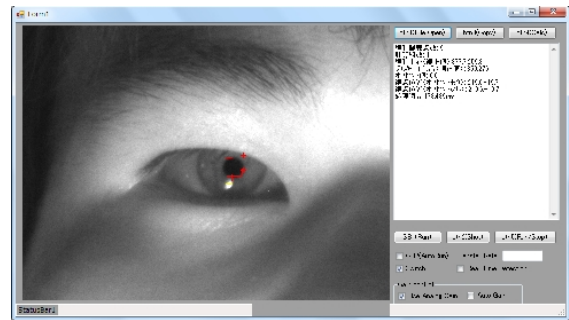


図 14 視線検出画面

## 4 結 言

- (1) 広角画面サイズの検討において縦 85cm、幅 107cm が検出しやすいことが分かった。
- (2) キャリブレーションプログラムをベースとした精度検出自動プログラムを作成することができた。
- (3) キャリブレーション域 d(W:468mm×H:309mm) では X 方向平均±16.67mm、Y 方向平均±7.03mm で検出可能なことが分かった。
- (4) 開発品は、アイマウスと比べて本体サイズを約 35% 小型化できた。開発品で撮影した画像を用いて、パソコンで視線検出アルゴリズムを実行した結果、瞳孔とプルキニエ像を検出できた。今後は、視線検出アルゴリズムのハードウェア化を進める。

## 文 献

- 1) 警視庁交通局、東京海上まとめ2009:原付以上運転者(第1当事者)の法令違反別死亡事故件数の推移
- 2) 武田他：広島県西部工技研究報告、48(2005)、60
- 3) 大野健彦、武川直樹、吉川 厚：2点補正による簡易キャリブレーションを実現した視線測定システム、情報処理学会論文誌、Vol144, No. 4, pp. 1136-1149(Apr. 2003).
- 4) <http://w-safety.com/Foreknowledge/speedView/speedView.html>
- 5) 特殊電子回路株式会社 MT9T031で作るUSBカメラ <http://www.tokudenkairo.co.jp/sp6/mt9t031.html>
- 6) 特殊電子回路株式会社 USBの使い方 <http://www.tokudenkairo.co.jp/sp6/usbdesign.html>