

# エリアイメージセンサを用いた寸法・面積計測装置\*: 瞳孔計測への応用

坂口 正雄\*\*・青木 博夫\*\*\*

## 1. はじめに

従来より、瞳孔反応は眼科・視覚生理といった医学領域のみならず、精神・心理状態の客観的把握方法として心理学の分野でも注目されている。瞳孔反応の計測は、赤外線領域に感度を有する撮像管を利用したTV方式<sup>(1,2)</sup>がすでによく知られている。しかしながらこの方法は一般に測定システムが大規模で、しかも高価といった難点を持つ。

われわれは、最近産業用の視覚センサとして注目されている2次元撮像素子・エリアイメージセンサを利用して構成が簡易な画像モニタ式寸法・面積計測装置を製作した<sup>(3,4)</sup>。本装置はモニタ画像上の3点の寸法が同時計測できると共に、明・暗部分の面積が計測できる。本装置を用いれば、従来不十分であった視覚生理学の分野における摘出瞳孔反応の検索が容易に行える。

本稿は装置の概要と摘出したウサギ瞳孔に適用して得た2, 3の生理学的実験結果を示す。

## 2. 装置の構成

本装置は、(1)一眼レフカメラ、(2)エリアイメージセンサならびにビデオ信号処理回路、(3)画像表示用オシロスコープからなる。実際の装置を図1に示す。エリアイメージセンサ(松下電子ME L64×64)を付属のサーキットボード上に装着した状態で一眼レフカメラ(アサヒペンタックスSV)の焦点面にあたるように設置した。エリアイメージセンサ(4096ビット, 64×64)は1MHz/bitの速度で第1行(1-64ビット)、第2行(65-128ビット)と順次走査してゆき4096ビットで一画面の走査が完了する(図2A)。これにより、フォトダイオード毎に光入力電圧信号に変換され、64ビットの1行を走査するごとに交互に正負逆転した連続パルス列のビデオ信号となる(VID)。水平ならびに垂直走査繰返し周波数はそれぞれ11.4KHz、

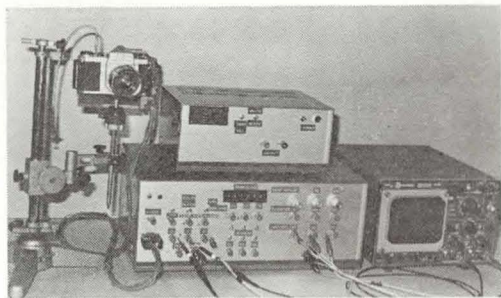


図1 画像モニタ式寸法・面積計測装置

\* 昭和58年3月 電子通信学会、医用電子・生体工学研究会において発表

\*\* 電気工学科助教授

\*\*\* 電気工学科助手

原稿受付 昭和58年9月26日

178Hz である。

撮影像の画像表示装置はオシロスコープを3次元動作させて実現した。オシロスコープの水平、垂直軸ならびに輝度変調端子入力信号(図2B X, Y, Z)作製回路ならびに寸法・面積計測回路ブロック図を図3に示す。

サーキットボードにはフォトダイオードマトリクス駆動回路およびフォトダイオード出力検出回路が組込まれている。駆動回路は外部クロックパルス(1MHz)を利用して4相水平、2相垂直クロックパルス( $\phi_H$ ,  $\phi_V$ )ならびに走査開始用垂直および水平スタートパルス(SPV, SPH), 水平走査マスタークロックパルス(CH)発生回路などで構成される。

オシロスコープX軸入力信号は水平走査ごとに発生する方形波(CKH)で制御されるCR

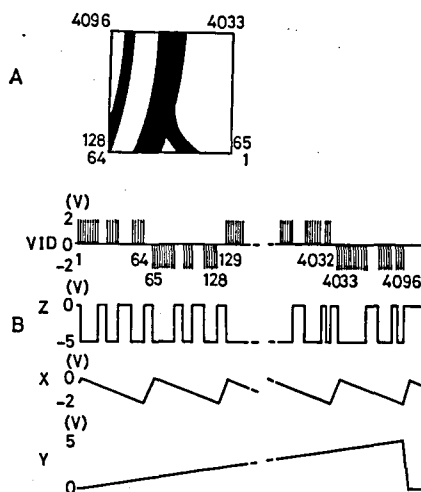


図2 画像表示タイムチャート

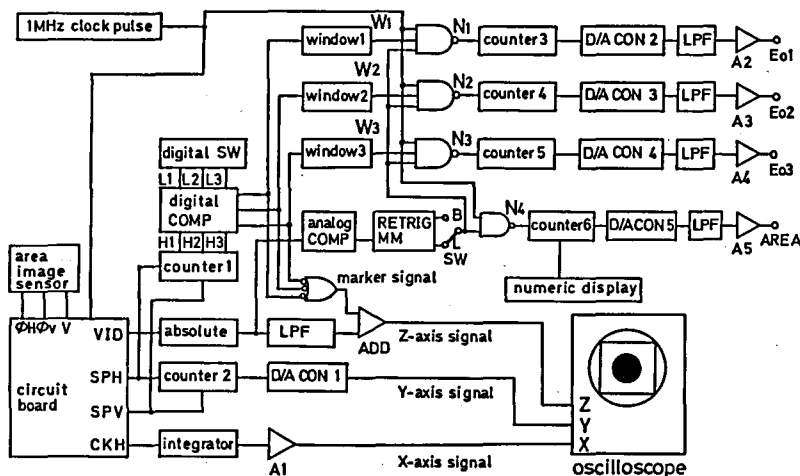


図3 ビデオ信号処理回路ブロック図

積分器を用いて作製した。Y軸入力信号は水平走査ごとに発生するSPHを計数して得たデジタル的な階段波形である。輝度変調信号Zはビデオ信号(VID)を絶対値回路に導いて正方向のパルス列に揃えたのち、低域フィルタで平滑後直流増幅して得た負電圧信号である。以上の信号処理を経て撮影像はオシロスコープ画面にディスプレイされる。

絶対値回路を経たビデオ信号は、高速比較器により波形整形を受ける。これにより、走査時に発生するスパイク雑音、フォトダイオードの不均一性などに基づくビデオ信号のばらつきが除去できる。ついで比較器出力は、再トリガマルチバイブレータで方形波に変換される。

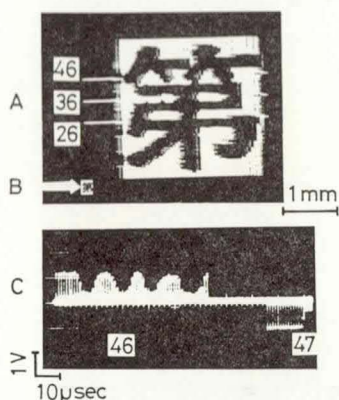


図4 画像表示例(A), 原画(B)ならびにビデオ信号(C)

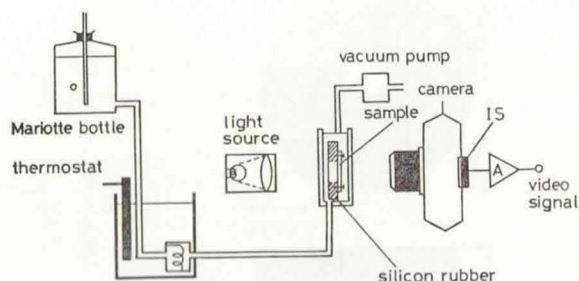


図5 摘出瞳孔実験模式図

その出力Bはパルス欠落部分（暗像）を，Lはパルス出現部分（明像）を示す方形波である。

撮影像の寸法計測は，ビデオ信号の時間軸上に発生させたウィンドウ信号（ $W_1 \sim W_3$ ）で寸法測定部位を指定し，暗あるいは明像に対応するパルス数を計数することで最大3箇所の部位の寸法が同時計測できる（ $E_{01} \sim E_{03}$ ）。寸法計測回路の詳細は文献（5～6）を参照されたい。

方形波（L）と1MHzクロックパルスの論理積は明部に対応したフォトダイオードを示すパルス列である（ $N_1$ ）。したがってこのパルス数を計数すれば瞳孔面積が求まる（AREA）。

画像表示例を図4に示す。B図に示す漢字「第」を約2倍で撮像し，オシロスコープ画面にディスプレイした。C図は画面Aに輝線表示した46行目のビデオ信号波形である。

光学倍率 $\times 1$ の場合，寸法計測回路のアナログ出力感度は $3.5V/mm$ ，面積計数回路は $0.85V/mm^2$ の感度で，明あるいは暗部分のフォトダイオード数がデジタル表示される。原理的に寸法は $64\mu m$ ，面積は $0.0041mm^2$ の分解能で測定できる。

### 3. 生理学的応用例

本装置を摘出したウサギ瞳孔に適用し，縮・散瞳剤の瞳孔径・面積変化を比較検討した。動物をウレタンで腹腔麻酔後，脱血屠殺し眼球を摘出した。眼球から毛様体を含めた角膜・強膜部分を剥離し瞳孔標本を作成した。標本は直径約20mmの穴のあいたドーナツ型シリコンゴム板上にはぼ生体内状態にピンを用いて固定した。シリコンゴム板は $37^\circ C$ に維持したLocke液（組成(mM)：NaCl 154.0, KCl 5.6,  $CaCl_2$  2.2,  $NaHCO_3$  8.0, glucose 5.0）で定流量灌流（10ml/min）する容量約8mlの透明臓器槽内に装着した。

カメラに接写リングを装着し，1.6倍の倍率で瞳孔を撮像した（図6）。エリアイメージセンサは容易に35mmフィルムと交換でき写真撮影が可能である（A図）。B図はオシロスコープ画面にディスプレイされたエリアイメージセンサによる撮影像である。A図に比べY軸方向に伸びた瞳孔像が観察されたのは，オシロスコープのX，Y軸増幅利得が異なるためである。

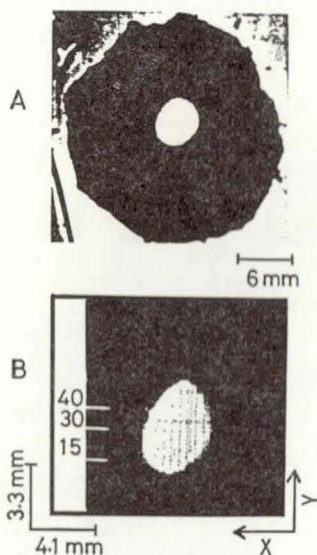


図6 瞳孔像(A)とそのオシロスコープ画像(B)

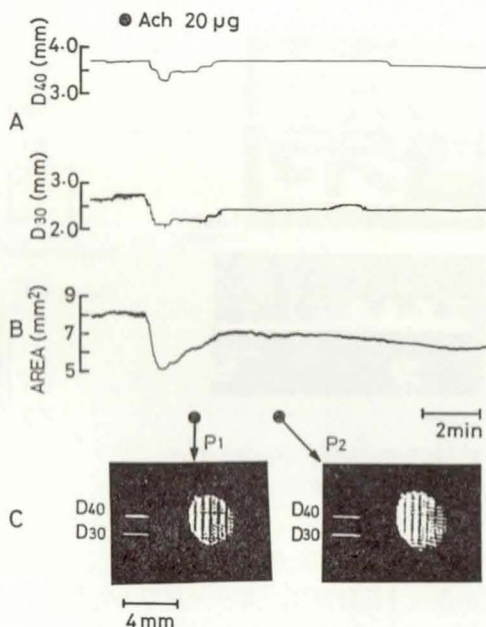


図7 acetylcholine (Ach) 投与時のウサギ瞳孔径(A), 瞳孔面積(B)変化および瞳孔モニタ画像(C)

つぎに、一定濃度の各種縮・散瞳剤を灌流入口部より one-shot で注入し、その反応性を比較検討した。面積約 $8\text{mm}^2$ のウサギ瞳孔を光学倍率 $\times 0.45$ で撮像しながらacetylcholine (Ach) 反応に対する2箇所の瞳孔径と面積変化を同時記録した(図7)。Ach投与後約2.4分の $P_1$ 時点ならびに5.3分後の $P_2$ 時点の標本モニタ像をC図に示した。モニタ像で輝線表示した30行と40行のビデオ信号から得た瞳孔径変化をA図に示し、瞳孔面積変化をB図に示した。

径変化は光学倍率を考慮すると原理的に $142\mu\text{m}$ の分解能で測定し、面積変化は瞳孔径寸法の総和を記録している。2.7mmの瞳孔径( $D_{30}$ )は、Ach  $20\mu\text{g}$ 投与後約1分で最大の短縮量を呈し2.15mmに到達する。一方、 $D_{30}$ 部位より1.42mm離れた $D_{40}$ 部位では約3.7mmの径がAch投与1.2分後3.25mmに短縮する。面積変化はAch投与1.25分後最大の縮瞳量( $2.2\text{mm}^2$ )を呈する。

同一標本に noradrenaline (NA)  $20\mu\text{g}$ 投与した際の瞳孔反応の典型例を図8に示す。NA投与により瞳孔は散瞳し、径変化( $D_{30}$ ,  $D_{40}$ )における

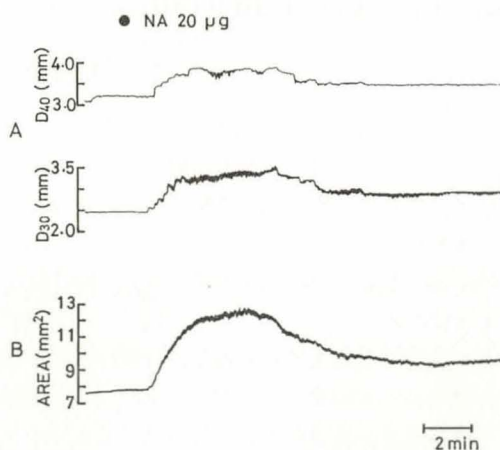


図8 noradrenaline (NA) 投与時のウサギ瞳孔径(A)ならびに瞳孔面積(B)変化



最大のNA反応の持続時間は約5分である。一方、面積変化でみると、約2.7分の反応持続時間が認められた。

#### 4. 考 察

本稿で述べた画像モニタ式瞳孔径・面積計測装置の特徴はつぎのように要約される。

(1) 市販の一眼レフカメラとエリアイメージセンサを利用して瞳孔像をオシロスコープ画面でモニタしながら3箇所の径と面積が同時計測できる。

(2) 光学倍率 $\times 1$ に設定した場合、原理的に $64\mu\text{m}$ の径変化を弁別できると共に、最大 $16\text{mm}^2$ の面積を $0.0041\text{mm}^2$ の分解能で測定できる。面積はデジタル表示によるモニタが可能である。

(3) 径ならびに面積計測のアナログ回路周波数応答の上限は $20\text{Hz}$ で、摘出瞳孔の縮・散瞳反応に対して十分な応答性を有する。

図7、8に示したように、瞳孔径の縮・散瞳剤の反応性には部位差が存在する。このことは瞳孔が必ずしも円形を保って縮・散瞳しないことを示唆する。瞳孔が円形変化しない場合、瞳孔縁反応の部位差を知るためには任意方向の径測定が必要である。したがって、本装置のように瞳孔像の水平方向のみの寸法測定では不十分である。一方、瞳孔面積変化は瞳孔径変化の総和であり、瞳孔縁の全周の動きを反映している。しかしながら、面積のアナログ出力からは反応性の部位差を特定することはできない。

われわれは、現在汎用マイクロコンピュータを利用して、瞳孔径を任意の方向で高精度計測すると共に、任意の8個の瞳孔像をメモリに記憶し、必要に応じてオシロスコープならびにコンピュータTV画面、プリンタに再現できる瞳孔計測システムを開発し<sup>(7)</sup>、実験を試みている。これによれば、8画像を同時に観察でき、反応の部位差が一目瞭然となる。

#### 謝 辞

本研究にあたりご指導、ご助言をいただいた信州大学医学部東 健彦教授ならびに大橋俊夫助教授に感謝します。

#### 参 考 文 献

- (1) S. Asano, C. A. Finnila, G. Sever, S. Stanten, L. Stark & P. A. Willis: Pupillometry, XXI Neurology, QPR 66, 404, MIT (1962)
- (2) D. G. Green & F. Maaseidvaag: Closed circuit television pupillometer, J. O. S. A., 57, 830 1967
- (3) 坂口正雄, 青木博夫, 大橋俊夫, 東 健彦: エリアイメージセンサを用いた寸法・面積計測装置とその生理学的応用, 電子通信学会技術報告, MBE82-104, 151 (1983)
- (4) 坂口正雄, 青木博夫, 大橋俊夫, 東 健彦: エリアイメージセンサを用いた寸法・面積計測装置, 電子通信学会論文誌, Vol. J66-C No. 8, 622 (1983)
- (5) Sakaguchi, M., Ohhashi, T. & Azuma, T.: A photoelectric diameter gauge utilizing the image sensor, Pflügers Arch., 378, 263 (1979)
- (6) Sakaguchi, M., Ohhashi, T. & Azuma, T.: A camera-type diameter gauge applicable to small blood and lymph vessels, Pflügers Arch., 388, 261 (1980)

- (7) 坂口正雄, 小野伸幸, 齊藤峰一, 大橋俊夫, 東 健彦: マイクロコンピュータを用いた瞳孔計測システムの試作, 電子通信学会信越支部大会講演論文集, 101 (1983)