

1P088

産業用カメラを利用した高速度画像記録装置の開発:

正確かつ持続した長時間記録に向けて

(広島市大院<sup>1</sup>、就実大<sup>2</sup>)

○池田祐介<sup>1</sup>, 藤原久志<sup>1</sup>, 石渡孝<sup>1</sup>, 青山正人<sup>1</sup>, 高橋賢<sup>1</sup>, 洲崎悦子<sup>2</sup>

Construction of a high speed image recording system based on an industrial camera:  
technical information for sustained accurate recording

(Hiroshima City University,<sup>1</sup> Shujitsu University<sup>2</sup>)

○Y. Ikeda,<sup>1</sup> H. Fujiwara,<sup>1</sup> T. Ishiwata,<sup>1</sup> M. Aoyama,<sup>1</sup> S. Takahashi,<sup>1</sup> and E. Suzaki<sup>2</sup>

**【序】** 我々は「生細胞の高速動態観測」を念頭に置き、産業用カメラを利用した高速度画像記録装置を開発している。そして、近年では 600 MB/s を超える記録速度を達成している<sup>1)</sup>。しかし、装置の性能検証を進める中で、撮影画像の記録漏れ(コマ落ち)が生じていることが分かってきた。本研究では、こうしたコマ落ちを定量的に検出する方法を開発し、正確かつ持続した長時間記録が可能な装置の完成を目指す。

**【高速度画像記録装置の概要】** 高速度画像記録装置は、高速度 CMOS カメラ (MV2-D1280-640-CL, Photonfocus) とパーソナルコンピュータの組み合わせで構築した。まず、高速度カメラの仕様は、1280×1024 画素(白黒 8 ビット/画素)で最大撮像速度 488 枚/秒である。一方、コンピュータの仕様は、CPU (Core i7-4960X Processor Extreme Edition, Intel)、マザーボード (P9X79-E WS, ASUS) で、OS として Windows 7 Professional 64-bit (Microsoft) をインストールしている。さらに画像記録用に、1 TB 容量のハードディスク 8 台と RAID カード (RocketRAID 4320, HighPoint) で RAID0 を構築した。また、カメラとコンピュータの接続には、カメラリンクボード (microEnable IV AD4-CL, Silicon Software) を採用した。CMOS カメラの画像撮影・表示・記録を行うプログラムは、Win32 Application Programming Interface (API) 関数およびボードのライブラリ関数を主体として作成した。

**【性能試験】** コマ落ちを検出するため、目印つき円盤(直径 10 cm)を高速回転させる装置を自作した。円盤は、速度制御付きモーター (BMU230A-A-2, オリエンタルモーター) により 2100 rpm で反時計回りに回転する。この円盤には、動き検出用の目印として高反射率を有する円形シールを張り付けている。この円盤の回転を高速度画像記録装置で 50 万回(約 18 分間)撮影・記録した。

**【データ解析法】** 得られた画像データを解析し、円盤の回転角度を算出するソフトウェアを、Win32 API 関数を主体として作成した。その演算手順は、①反射シールの重心座標の算出、②回転円盤の回転中心の検出、③回転角度の算出の三つである。

具体的には、まず各撮影画像を二値化処理し、反射シールに対応した画素を抽出し、反射シールの重心座標( $x_i, y_i$ )を求める( $i$ は画像番号)。そして、回転円盤の中心座標( $a, b$ )は、得られた重心座標( $x_i, y_i$ )を通る円(半径  $r$ )の中心座標に一致すると考えられる。この時、実験で得られる複数の重心座標( $x_i, y_i$ )から中心座標( $a, b$ )を求めること

は、重回帰分析の問題に帰着出来る<sup>2)</sup>。具体的には、

$$Y_i = x_i^2 + y_i^2, \beta_1 = r^2 - a^2 - b^2, \beta_2 = 2a, X_{2i} = x_i, \beta_3 = 2b, X_{3i} = y_i$$

として、以下の重回帰方程式を導くことができる。

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i}$$

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ の推定には最小二乗法、すなわち誤差項の平方和 $S = \sum \varepsilon_i^2$ が最小となる条件を用いる。その結果、次式が得られる。

$$\begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum y_i & \sum x_i y_i & \sum y_i^2 \\ \sum 1 & \sum x_i & \sum y_i \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum (x_i^3 + x_i y_i^2) \\ \sum (x_i^2 y_i + y_i^3) \\ \sum (x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix}$$

これより、 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ が得られ、 $a$ および $b$ が計算できる。最後に、 $i-1$ 番目の画像と $i$ 番目の画像の間に円盤が回転した角度 $\theta_i$ は、図1のベクトル $\vec{l}_{i-1}, \vec{l}_i$ を定義し、それらの内積と外積を利用して求めることができる。

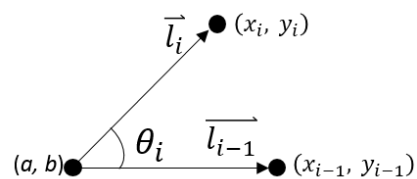


図1 角度計算のためのベクトルの定義

**【結果および考察】** 以前の試作機<sup>1)</sup>の性能試験データ

の解析例を図2に示す。横軸が画像番号、縦軸が算出した回転角度である。全体を通して回転角度はほぼ一定である。しかし、5個の赤点では回転角度が大きく異なっている。このとき、対応した画像番号付近の撮影画像を再生すると確かにコマ落ちを生じており、コマ落ちを定量的に検出する手法を確立できた。

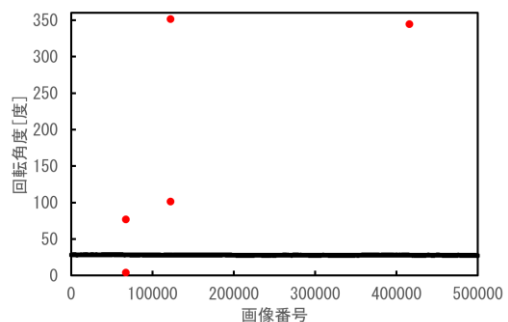


図2 コマ落ちの検出例

次に、今回構築した高速度画像記録装置の性能試験データの解析例を図3に示す。全体を通して回転角度はほぼ一定であり、コマ落ちは検出されなかった。コマ落ちが生じなかった要因としては、大容量のリングバッファを用意したことにより、画像記録処理とオペレーティングシステムとの競合を低減できたためと考えている。

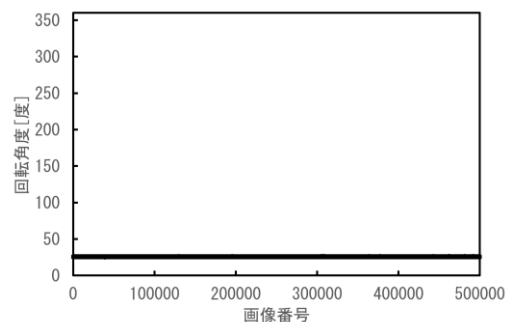


図3 本装置の試験データの解析例

今後は、より長時間の安定した画像記録を目指して、必要な条件を検討してゆく予定である。

**【参考文献】**

- 1) 藤原久志、石渡孝 第49回日本生物物理学会年会 2N1636 姫路 (2011) .
- 2) 松原望、縄田和満、中井検裕、統計学入門、pp.257-274 (東京大学出版会、東京、1991) .