

近畿大学理工学部 正会員 江藤 剛治

近畿大学理工学部 正会員 竹原 幸生

近畿大学大学院 学生員 ○竹本 典寛

1. はじめに

近畿大学では高速現象の計測を行うために、4,500 枚/秒の高速ビデオカメラを開発した。高速撮影の場合はシャッターの開放時間が短くなり、光量不足のため撮影が不可能となる。対処法として、MCP (マイクロチャンネルプレート) 型の光増強装置である MCP 型 II (イメージインテンシファイヤ) 管を内蔵させた。しかし、MCP は原理的にモノクロになるという欠点がある。

本報告では、MCP のカラー化を試みた^{1)~3)}。高速ビデオカメラの MCP の光電面前面に格子状の RGB (赤, 緑, 青) カラーフィルターアレー (以下、CFA) を取り付ける。光電面部に入射する光の色の成分と撮像面の画素の応答との間に回帰式を作り、キャリブレーションを行う。これに基づいてカラー画像の再現を検討する。

2. MCP 型 II 管の構造

MCP 型 II 管の概略図を図 1 に示す。結像面 A に入射した光は入射窓のファイバーガラスを通り、MCP の光電面 B に当たる。ここで電子に変換する。電子は色を持たないため、光電面の性質からモノクロになってしまう。MCP の前面 C との BC 間には数 100V の電圧がかかっており、そこで電子は加速され MCP (CD 間) に入射する。MCP とは厚さ数 100 μm のガラス板のことをいい、そこ

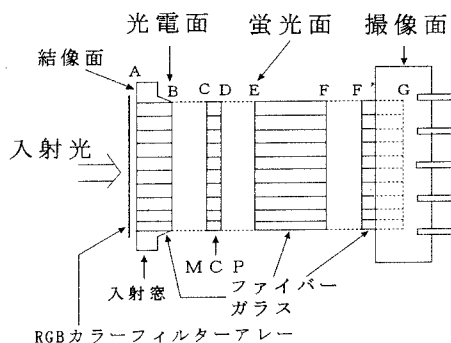


図1 MCP 型 II 管の概略図

にマイクロチャンネルと呼ばれる直径 10 μm 程度の細孔が多数開いたものである。マイクロチャンネルは図 2 のように光軸方向から約 10° 傾いて開けられている。入射した電子は細孔の壁面で衝突し、2 次電子の放出を繰り返しながら多数の電子となって MCP から放出される (アバランシュ現象)。さらに DE 間で数 kV の高電圧により多数の電子は加速され、高速で蛍光面 E に衝突する。電子が衝突することにより光を発生し、微光量下での撮影を可能にする。

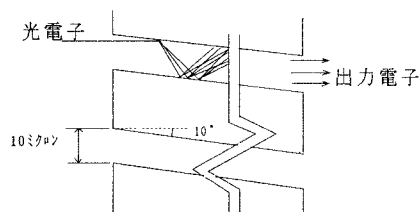


図2 MCP 原理図

3. RGB カラーフィルターアレーによるカラー化

3.1 カラー化の原理

通常のビデオカメラの場合、撮像素子の直前に格子状の CFA がある。入射光が CFA のあるマス目を通過し、CFA と同じ位置のマス目の画素に対応する。したがって撮像素子の各画素は、赤、緑、青のいずれかの光のみを受け取ることになる (ただし補色系の場合もある)。

MCP 型 II 管の場合は、光電面と撮像面との間の数 mm の間隔に MCP, 蛍光面, 2 個のファイバーガラスなどが入っている。映像は光の 3 原色 (赤, 緑, 青) によって成り立っている。しかし光電面直前に RGB・CFA を取り付けても、入射光はこの間に散乱し、CFA のある画素を通過した情報は複数の撮像素子の画素に撮し出される。そのため入射光は撮像面のどの画素と対応するか特定できない。これにより撮像面の 1 画素には複数の情報

が混ざり合ってしまい、映像面上では赤成分が強く応答する画素、緑、青成分が強く応答する画素等が出来る。しかし、赤が強く応答する画素でも緑や青の光に対してもある程度応答している。このような場合に、撮像素子の隣り合う3個の画素について回帰式を作っておく。そこでCFAを光電面直前に取り付けした後、キャリブレーションにより回帰式の係数を求め、実際の撮影でこの回帰式によりカラー情報を再現する。

3.2 RGBカラーフィルターアレーの作製

本研究では、CFAをスライド用35mmフィルムを用いて自作した。高速ビデオカメラの撮像素子の画素ピッチは $40\mu\text{m}$ なので、CFAの画素ピッチも約 $40\mu\text{m}$ とした。

まずパソコン上で細かいマス目を作り、その中をR、G、Bの3色で縦、横、交互に埋める。これを白紙の上に多数出力し、これらをつないで細かいRGBの市松模様の大きな紙を作る。これを高解像度のレンズを付けたカメラでスライド用35mmフィルムを使用して撮影する。

この時、35mmフィルム上のメッシュのピッチが約 $40\mu\text{m}$ となるように倍率などを計算してき、前もって調整しておく。

3.3 キャリブレーション法

光電面BにCFAを取り付け、撮像面Gのどの画素がどの色を撮しているか認識するためにキャリブレーションを行う。

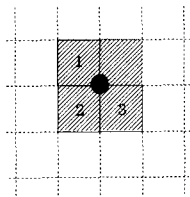


図4 撮像素子

撮像素子は図4のように基盤の目のようになっている。図4の点●は斜線部の光の情報を代表するものとする。点における入射した光●の色情報を求めるには、光●に対する4画素の中の3画素の応答を用いる。隣り合う3個の画素(1・2・3)からの情報をもとに回帰式を作っておく(式1)。ここで、 y_1, y_2, y_3 は各画素からの出力(輝度)、 x_R, x_G, x_B は入射する各色光の強度、数字は各画素番号に対応している。また、 β は係数である。

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_{1R} & \beta_{1G} & \beta_{1B} \\ \beta_{2R} & \beta_{2G} & \beta_{2B} \\ \beta_{3R} & \beta_{3G} & \beta_{3B} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_R \\ x_G \\ x_B \end{pmatrix} \quad (1)$$

例えば、まず赤の割合 β_R を求めるには、CFA付光電面に赤の単色光を入射させる。この時、緑、青の強度は $x_G=0, x_B=0$ となる。各画素の赤の出力(輝度) y_1, y_2, y_3 を x_R で割ると、各画素の赤の割合 $\beta_{1R}, \beta_{2R}, \beta_{3R}$ が求まる。同様にして、緑、青の割合 β_G, β_B も求まる。

しかし、図5のように光点●に対して、隣り合う3個の画素を抽出するパターンは4種類存在する。この中の一つの組み合わせを採用することにする。3個の画素のうち2個または3個の画素の応答の仕方が似通っている場合は、独立性が低くなり、 β の係数行列の行列式の値が0に近くなる。逆に行列式の値が大きいほど逆行列計算による分離性は高くなる。したがって、9個の β をパターンごとに4組求めておき、その中で行列式の絶対値が最大となる組み合わせを採用する。

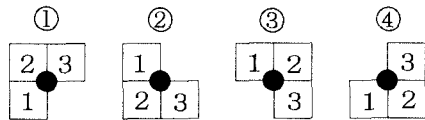


図5 抽出パターン

求まった β の係数をもとに、実際にある被写体を撮影する。その時の各画素の輝度 y を式(2)に代入して、光点●の赤、緑、青の強度を求め画像に撮し出される色を再現する。

$$\begin{pmatrix} x_R \\ x_G \\ x_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta'_{1R} & \beta'_{1G} & \beta'_{1B} \\ \beta'_{2R} & \beta'_{2G} & \beta'_{2B} \\ \beta'_{3R} & \beta'_{3G} & \beta'_{3B} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

4. 参考文献

- 1) 江藤剛治, 竹原幸生, MCPのカラー化, 近畿大学理工学部研究報告, 第27号, pp.7-12, 1997.
- 2) 竹原幸生, 高速ビデオカメラの開発, 高精度可視化計測のための基礎技術の開発に関する研究, pp.4-22, 1996.
- 3) 江藤剛治, 4,500枚/秒の高速ビデオカメラ, テレビジョン学会誌, Vol.46, No.5, pp.543-545, 1992.