

113 カメラシャッター羽根の振動現象

Vibration Phenomenon of the Blades of a Camera Shutter Unit

○学 寒藤 秀一 (室蘭工大院) 正 松本 大樹 (室蘭工大) 正 齊當 建一 (室蘭工大)
 Hidekazu KANDO, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto-cho, Muroran, Hokkaido
 Hiroki MATSUMOTO, Muroran Institute of Technology
 Ken-ichi SAITOH, Muroran Institute of Technology

Keywords : Single-Lens Reflex Camera, Focal-Plane Shutter, Vibration Characteristic, Unevenness of Exposure

1. 緒言及び目的

カメラにとってシャッターは、鮮明な画像を撮るために重要な役割を果たすだけでなく、それが発する音は製品の価値を高めたり、特徴付けたりするものである。

現在のデジタル一眼レフカメラでは、精緻な画像や新しい映像表現に対するユーザーの要望により、シャッタースピードの高速化やシャッターの高精度化が求められている。このような要求に応えるため、「フォーカルプレーンシャッター」が多く搭載されている。

フォーカルプレーンシャッターは、2組のシャッター幕とその駆動部から構成されている。シャッター幕は薄型で非常に軽量の羽根部品から構成されており、複数枚の羽根を組み合わせている。シャッターを稼働させると、それらが高速で扇のように広げられたり、畳まれたりすることによりシャッター基盤中央に設けられた開口部を遮光する。

撮像素子 (CCD や CMOS など) への露光時間は、2組のシャッター幕の稼働時間のタイミングをずらして動かし始め、シャッター幕の開閉時間差により作られる隙間 (スリット) の間隔で決まる。

フォーカルプレーンシャッターを用いて撮影した際に、1/8000 秒以上の高速度のシャッタースピードでは、まれに「露光ムラ」と呼ばれる撮像素子全体が均一に露光されない現象が発生する。その原因としては、シャッター幕が薄型で軽量なため稼働する際に振動が起きることや各部品の連結部に存在するわずかな隙間 (ガタ) などによる振動が考えられているが明確になっていない。

そこで本研究では、シャッター羽根の振動挙動を実験的に明らかにし、露光ムラとの関連性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

2.1 シャッター幕

Fig.1 に実験で使用するシャッター幕を示す。シャッター幕は、形状と厚さの異なるシャッター羽根 4 枚と 2 本のアームから構成されている。それぞれの羽根の端は、小さな留め具 (ダボ) によって階段状に重ね合わされ、アームに 2 箇所まで回転可能に取り付けられている。アーム機構により 4 枚の羽根が連動して開閉するように構成されている。

本実験では、シャッター幕を分解して実験を行うため、シャッター幕を構成する部品に Fig.1 のように番号をつける。すなわち、重なり合う一番下から 1, 2, 3, 4 枚目とする。アームは金具の付いていない方を従動アーム、付いている方を駆動アームとする。

2.2 シャッター羽根の走行挙動

Fig.2 にシャッター幕の走行挙動の測定に用いる実験装置概略図を示す。羽根先端側 (1 列目、画面右端) と羽根根元側 (7 列目、画面左端) に 2 台のレーザー変位計を同じ高さに設置する。シャッターの稼働は、ソレノイドで保持したバネ力を解放することで行われる。シャッターを稼働させ

ると、シャッター羽根の変位が測定され PC に記録される。その波形から羽根先端が測定点を通じた時間を割り出す。ソレノイドに入力される電圧をトリガとして使用し、電圧が 0[V] になった時刻から記録を開始する。実験は先幕と後幕の稼働に時間差を持たせ実験を行う。またシャッター稼働時の計測では、各測定位置について 5 回ずつ測定し平均をとる。

2.3 シャッター羽根の振動特性

Fig.3 にシャッター幕の振動特性の測定に用いる実験装置概略図を示す。シャッター羽根を治具に挟み加振器に取り付け、シャッター羽根を面外方向 (y 軸方向) にランダムに加振させる。ランダム加振の周波数帯域は 10~2500[Hz] の範囲内で加速度が均一のパワーとなるように制御している。振動特性は加振器の振動台の加速度を入力とし、羽根上の各点の面外方向 (y 軸方向) の速度を応答として測定し、入力と応答との比で表す。

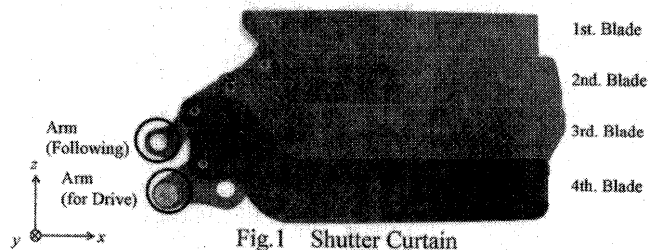


Fig.1 Shutter Curtain

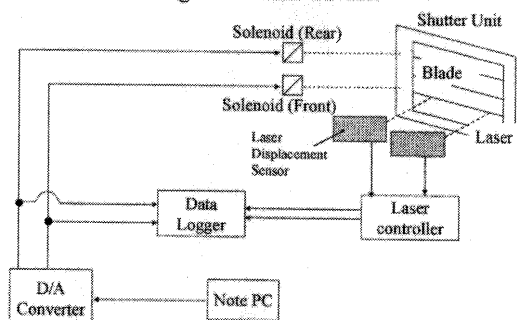


Fig.2 Measurement device of Running behavior of Shutter unit

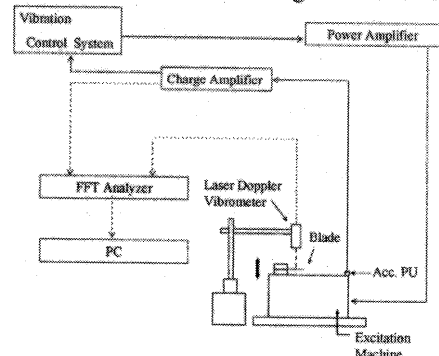


Fig.3 Measurement device of Vibration characteristic of Shutter blade

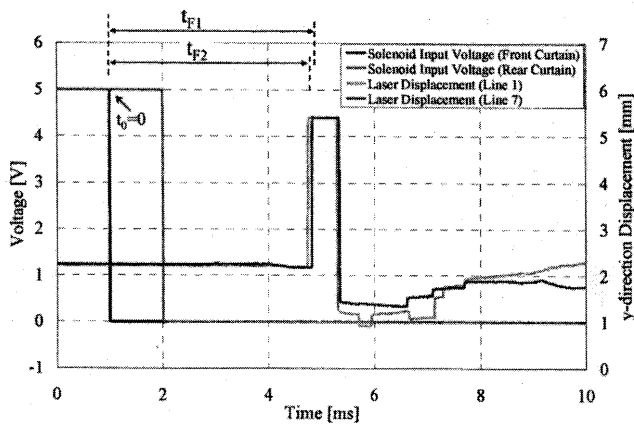


Fig.4 Solenoid voltage and displacement of Shutter curtain (Front curtain, Line 1 & 7, Point1)

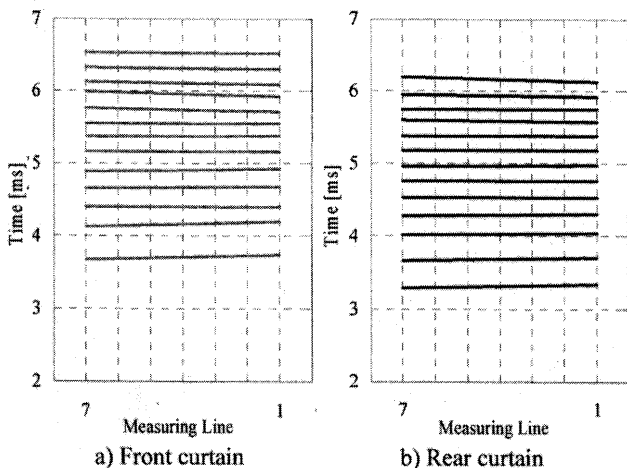


Fig.5 Transit time of 1st. Blade tip

3. 実験結果及び考察

3.1 シャッター羽根の走行挙動

Fig.4 にレーザー変位計を 2 台用いて、2 組のシャッター幕の稼働時間差を 1[ms]とし稼働させた時の先幕における測定点 1 の結果を示す。縦軸に電圧[V]と変位[mm]、横軸に時間[ms]をとる。ソレノイドへの入力電圧の立ち上がった時刻を t_0 とし、変位の立ち上がる時刻を t_{F1} (羽根先端側)、 t_{F2} (アーム側) とする。シャッターを稼働させ、羽根が 2 つの測定点を通る時刻が同じであれば、羽根は水平に走行していることになるが、時差があれば羽根が傾きながら走行していることになる。

Fig.5(a)に先幕、(b)に後幕の各測定位置における羽根 1 枚目先端の通過時間を示す。先幕は幕の降り始め、すなわち画面上部ではアーム側での通過速度が速く、羽根先端側の通過時間が遅いので羽根が傾いて走行していることがわかる。画面中央を通過する際は通過時間にほぼ差がなく、降りきる直前では羽根先端側の通過時間が速いことがわかる。後幕においても通過時間の傾向はほぼ一致する。

各測定位置における通過時間間隔を比較すると、後幕はほぼ一定の間隔で通過しているのに対して、先幕の画面上部では通過時間間隔が狭くなっている箇所がある。このことから先幕と後幕により形成されるスリット幅に差が生じ、シャッターを通過する光量に差ができることで露光ムラが発生するのではないかと考えられる。

通過時間に差が生じるのは、羽根先端が C 型中間板や遮光板などに挟まれた構造となっているため、走行時に摩擦が発生したためだと考えられる。また、幕がアームの回転により扇のように折り畳まれる構造になっていることにより発生していると思われる。

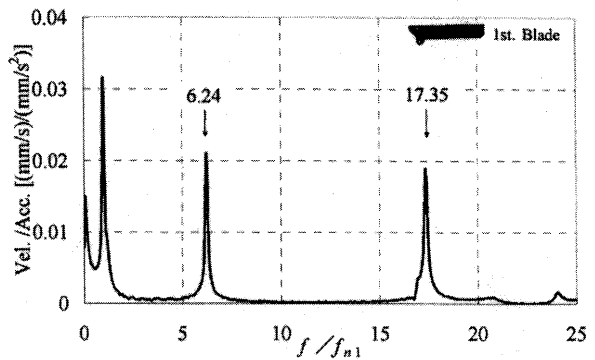


Fig.6 The vibration characteristics of 1st. Blade

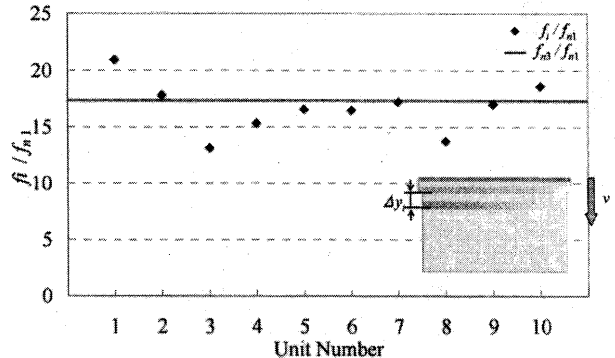


Fig.7 Cycle of Unevenness of exposure

3.2 シャッター羽根の振動特性

露光ムラは振動的に発生しているので、まずシャッター羽根の面外方向 (y 方向) における振動特性を検討する。

本実験では先幕と後幕の各 4 枚のシャッター羽根のうち、シャッター羽根 1 枚目に着目して測定を行う。理由として、光量を決めるスリット幅は、先幕と後幕の各 1 枚目であるので露光ムラに最も影響があると考えられるためである。

Fig.6 にシャッター羽根 1 枚目の測定点 1 における振動特性を示す。横軸は加振振動数をシャッター羽根 1 枚目の 1 次固有振動数で割って無次元化した振動数比となっている。羽根の固定位置は、アームに羽根を取り付けるダボ穴の位置とする。Fig.6 から 1 次固有振動数の 6.24, 17.35 倍でピークが発生していることがわかる。

次に、羽根の振動特性と露光ムラの発生する周期の比較を行う。露光ムラの発生した写真から明暗の幅 Δy_i [mm]を計測し、その明暗が生じた位置でのシャッター幕の速度 v_i [m/s]から、露光ムラの発生する周期 f_i [Hz]を式(1)で表すことができる。

$$f_i = \frac{v_i}{\Delta y_i} \dots (1)$$

Fig.7 に露光ムラの発生するそれぞれのユニットにおける露光ムラの発生する周期を示す。縦軸に露光ムラの発生する周期 f_i をシャッター羽根 1 枚目の 1 次固有振動数で割って無次元化した振動数比としている。各ユニットで振動数比が 13~21 の範囲で露光ムラが発生していることがわかる。この振動数比は羽根 1 枚目と比べてほぼ一致している。このことから、シャッター羽根 1 枚目の 3 次固有振動数が露光ムラを発生させる要因となっていると考えられる。しかし、実際には露光する光量に直接関係するのは面内方向 (z 方向) の振動特性であるため、その因果関係を明らかにする必要はある。

4. 結言

シャッター羽根の振動挙動を明らかにし、露光ムラとの関連性を検討した結果、シャッター羽根は傾きながら走行していることが明らかとなった。しかし、露光ムラの直接的な原因は明らかとなっていない。