

## フォーカルプレーンシャッターにおける露光ムラを抑制するための設計因子の検討

その他（別言語等）のタイトル	Examination of Design Factor for Suppression of Unevenness Exposure with regards to Focal-plane shutter
著者	今関 崇一郎, 松本 大樹
雑誌名	Dynamics & Design Conference
巻	2015
発行年	2015-08-24
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3853">http://hdl.handle.net/10258/3853</a>

## フォーカルプレーンシャッターにおける露光ムラを抑制するための設計因子の検討

その他（別言語等）のタイトル	Examination of Design Factor for Suppression of Unevenness Exposure with regards to Focal-plane shutter
著者	今関 崇一郎, 松本 大樹
雑誌名	Dynamics & Design Conference
巻	2015
発行年	2015-08-24
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3853">http://hdl.handle.net/10258/3853</a>

# フォーカルプレーンシャッターにおける露光ムラを抑制するための 設計因子の検討

今関 崇一朗<sup>\*1</sup>, 松本 大樹<sup>\*2</sup>

## Examination of Design Factor for Suppression of Unevenness Exposure with regards to Focal-plane shutter

Souichirou IMAZEKI<sup>\*1</sup> and Hiroki MATSUMOTO

<sup>\*1</sup> Muroran Institute of Technology  
27-1 Mizumoto-cho, Muroran, Hokkaido, 050-8585 Japan

Received 29 June 2015

### Abstract

The shutter of camera is a device that controls exposure time for the image sensor. A focal-plane-shutter is currently mainstream model of SLR Camera. The uneven-exposure is rarely occur at the manufacturing stage in the focal-plane-shutter. The uneven-exposure is phenomenon that photographs isn't able to be exposed. The unevenness-exposure cause is vibration of the shutter-blades. The cause of vibration is the gap between the shutter blades and pins. To reveal cause of the uneven-exposure, this study focuses on the backlash of arm with drive-unit. This study uses shutter-blades model for simple experiment. The experimental apparatus can drive the shutter-blade model with slider at high speed by spring force. To reveal the behavior during transient moving, two laser-displacement-meters measure the displacement gap of shutter-blade-model and slider. The results of experiments, it become clear that center of gravity and backlash size of shutter-blades model are important parameters. Rebound amount and interval time of peak to peak decrees as the backlash is decrees.

**Key Words** : SLR camera, Focal plain shutter, Backlash, Transient moving, Unevenness exposure

### 1. 緒言および研究目的

カメラのシャッターはフィルムや CCD などの撮像素子に当たる光の量を適切に遮光する装置である。シャッターが適切に光を制御し画像素子に光を当てる(以下露光と呼ぶ)ことで写真を撮影することができる。つまり、きれいな写真を撮影する上でカメラのシャッターは重要な働きを担っている。現在一眼レフカメラで主流となっているシャッターの方式はフォーカルプレーンシャッターと呼ばれるものであり、特に図 1.1 に示すスクエア型と呼ばれる形式のものが用いられている。フォーカルプレーンシャッターには以下のようなメリットがある。

- ・ 露光時間を短くすることが他の形式と比べ容易
- ・ カメラ本体に取り付けられるので、レンズにシャッターを搭載する必要がなく、レンズのコストダウンができる
- ・ 絞りと別の部品で光を遮光するため、絞りとシャッタースピードを別々に設定できる

特にスクエア型はシャッターユニットをコンパクトにすることが可能であるため、幅広く使われている。フォーカルプレーンシャッターは複数枚のシャッター羽根により構成された、2組のシャッター幕により露光が制御される。シャッター幕は図 1.2 に示すようにリンク機構により開閉が可能であり、幕を折りた

<sup>\*1</sup> 学生員, 室蘭工業大学 生産システム工学系専攻

<sup>\*2</sup> 正員, 室蘭工業大学 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

E-mail: 14042010@mmm.muroran-it.ac.jp

たむことが可能であるため小型化ができる。2組の幕はそれぞれ先幕と後幕と呼ばれる。通常の露光時には、まず光を遮光していた先幕が開くことで露光が開始され、その後先幕を追うように後幕が閉じることで光が遮光され露光が完了する。ところがシャッタースピードを上げた際、すなわち露光時間を短くした際には図 1.3 に示すように2枚の幕がスリットを開け走行するような形になる。このときに製造段階で露光ムラという現象が発生し写真の品質を下げるため、検品や調整を要している。露光ムラとは、撮影された画像で均一に露光がされず、一枚の画像の中で明るさの差が生まれてしまう現象である。特に本研究で取り扱う、筋ムラという露光ムラは、図 1.4 に示すように明暗がシャッターの開閉方向に周期的に発生するため、原因はシャッター幕を構成するシャッター羽根の振動が原因だと考えられている。また、筋ムラは、シャッター幕走行開始直後である、画面上部で発生する傾向があることから、過渡運動時に発生する挙動が、原因と考えられる。

本研究では、フォーカルプレーンシャッターにおいて発生する露光ムラの発生を抑えることを目的とする。露光ムラの原因はシャッター羽根の振動と考えられるため、本研究ではシャッター羽根の挙動を調査する。具体的にはシャッター羽根の振動は、幕を形成するリンク機構の継ぎ手に存在するガタの影響により発生している可能性が高いため、ガタを有するシャッター羽根モデルを用いて実験を行う。これにより、どのような条件下で振動挙動が発生するかを明らかにし、露光ムラの発生を防ぐための設計指針を示し、不良品の発生頻度を減らすことで、製造時のコストダウンを目指す。



Fig.1.1 Focal-plane shutter



Fig.1.2 Shutter curtain

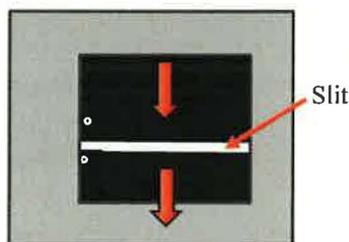


Fig.1.3 Movement of the shutter unit



Fig.1.4 Mimic picture with the unevenness exposure

## 2. 実験装置及び実験方法

### 2.1 シャッター羽根モデル

本研究では、現象の単純化のために、簡易的なシャッター羽根モデルを用いている。図2.2.1に本実験で使用するシャッター羽根モデルを示す。羽根モデルはステンレス製で、ピンは炭素鋼である。このシャッター羽根モデルは実機の形状を参考につくられ、台座に取り付けられた2本のピンにより駆動される。この部分にガタを設け、振動挙動の発生を作っている。なお、本研究ではガタを駆動部であるピンの直径と被駆動部側、すなわちシャッター羽根モデルの穴の直径との差と定めた。

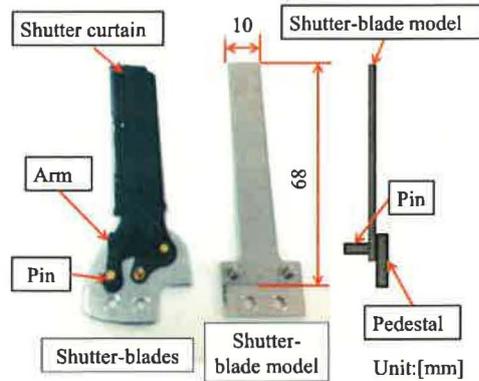


Fig.2.2.1 Shutter-blade model

### 2.2 実験装置

図2.2.2に実験装置上面図を、図2.2.3にスライダ及びシャッター羽根モデルの正面図を示す。この実験装置では過渡運動を再現するために、バネの力を用いている。

バネの力はワイヤを通じ、スライダに伝えられそれに取り付けたシャッター羽根モデルを走行させる。このとき、2台のレーザー変位計により、図2.2.3のようにシャッター羽根モデルの先端とスライダを測定し、変位差を求めることで、過渡運動時のシャッター羽根モデルの挙動を明らかにする。

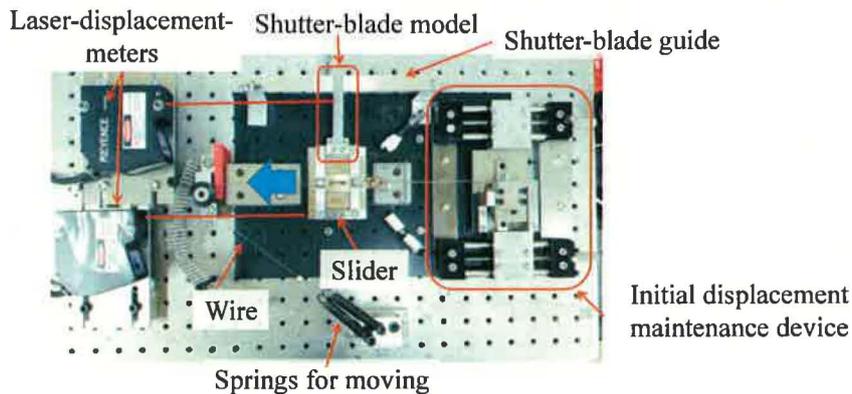


Fig2.2.2 Top view of experimental apparatus

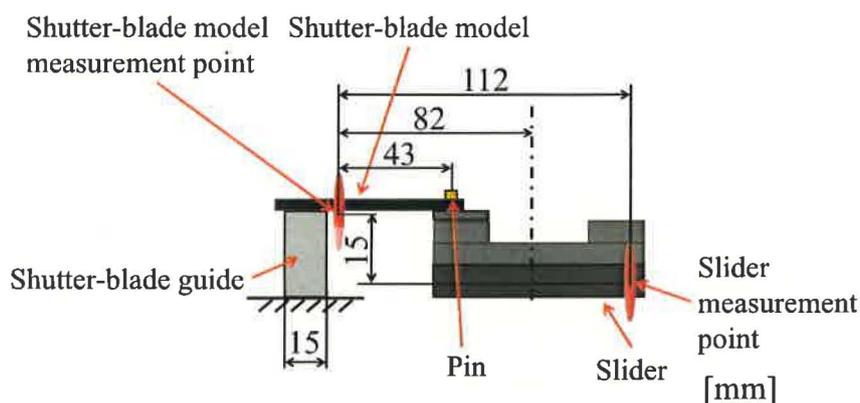


Fig2.2.3 Front view of slider and shutter-blade model

### 2・3 実験の初期条件

シャッター羽根モデルはガタの影響により、進行方向に対し前後に傾くことができる。そこで、本研究では図2.3.1に示すように実験の初期条件をAパターンとBパターンの2つ定めた。それぞれの図を示す。Aパターンは進行方向に最大限傾けた状態で、Bパターンは進行方向と反対側に最大限傾けたものである。

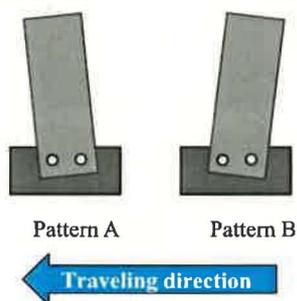


Fig.2.3.1 Initial condition

## 3. 実験

### 3・1 初期条件比較実験

本実験では、AパターンとBパターンの2つの初期条件の違いによる挙動の変化を観測する。実験結果を図3.1.1に示し、図3.1.2に本研究で用いている用語を説明するための図を示す。本実験では、同条件で5回繰り返し実験を行っており、グラフには5回分のデータが掲載されている。

AパターンとBパターンのそれぞれのグラフを比較する。横軸は時間であり、縦軸はスライダとシャッター羽根モデルの変位差であり、「スライダの変位」-「シャッター羽根モデルの変位」を示している。グラフが上側に振れている状態は初期状態よりもシャッター羽根モデルが後ろ側に傾いている状態を意味する。2つの実験結果からAパターンでは振動が発生するが、Bパターンでは振動が発生しないことがわかる。よって振動が発生する条件は、Aパターンのようにスライダが走行を開始した時点で、羽根モデルが進行方向に対して後に傾くような条件であると考えられる。

以上のことより、シャッターの羽根の振動を抑えるにはBパターンのように、走行開始時に羽根が後に傾かない条件を作り出せばいいと考えられる。しかし、実機でのシャッターはリンク構造を有しており、複数の箇所にガタが存在している。よって理想的なBパターンのような条件を生み出すことは難しい。よって、以降の実験ではAパターンの状態で実験を行い、動きはじめて羽根が後ろ側に傾く条件下で、どうすれば振動を抑えることができるかを考察する。

Aパターンで発生する振動について、図3.1.2に示すように、最大変位差、跳ね返り量、周期という言葉で定義する。この中で特に露光ムラの発生原因としては、振動の大きさを示す跳ね返り量が重要なパラメーターであると考えられる。

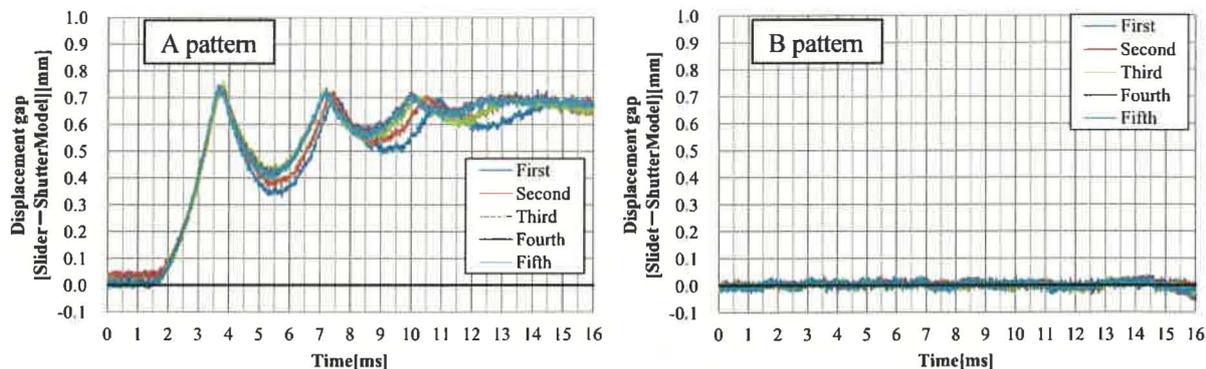


Fig.3.1.1 Results of initial condition experiment

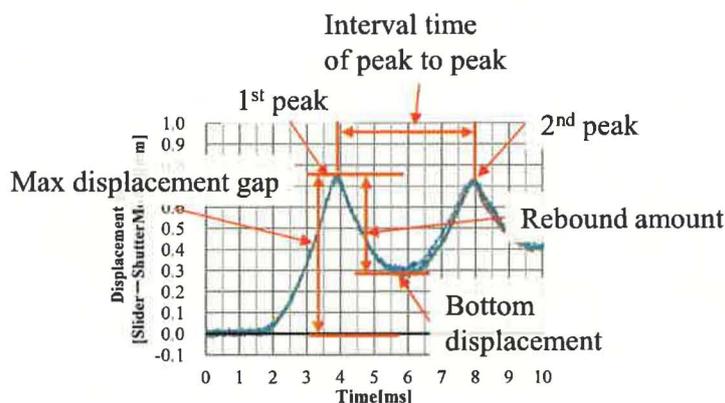


Fig3.1.2 Explanation of term

### 3・2 重心位置変更実験

本実験では、シャッター羽根モデルの重心位置が変化した場合に、振動挙動にどのような挙動が発生するかを確認する。その結果から、どのような条件で振動挙動が抑制できるかを明らかにする。羽根モデルの重心位置を変更させるために、シャッター羽根モデルにおもりテープを貼り付けた。その位置を変更することで、重心位置を変更した。条件は4種類用意した。図3.2.1と表3.2.1に実験条件を示し、実際に実験に使用したシャッター羽根モデルを図3.1.2に示す。

図3.2.3に条件A,B,C,Dの4パターンの結果を示し、図3.2.4にそのまとめを示す。図3.2.3を見ると各条件で、実験結果に大きなバラツキは生じていないことがわかる。図3.2.4を見ると重心位置が下端に近づくにつれ、跳ね返り量と、振動の周期が短くなることが明らかになった。よって、振動挙動を抑制するためには、シャッター羽根の重心位置を下端寄りにすることが有効であると考えられる。

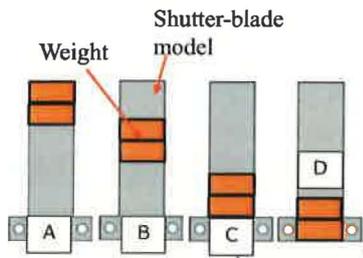


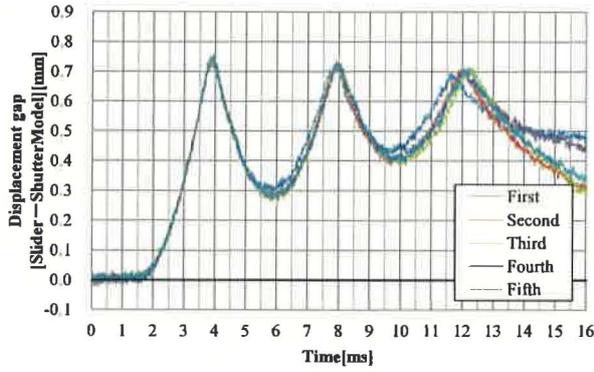
Fig.3.2.1 Weight position



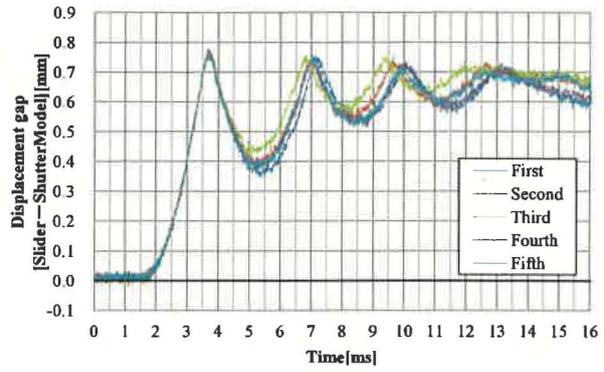
Fig.3.2.2 Shutter-blade model with weight

Table 3.2.1 Experiment condition

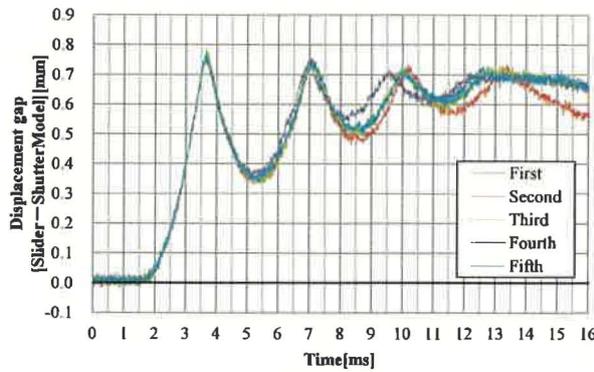
Condition	Distance of the center to bottom tip [mm]
A	37.4
B	31.5
C	28.8
D	26.9



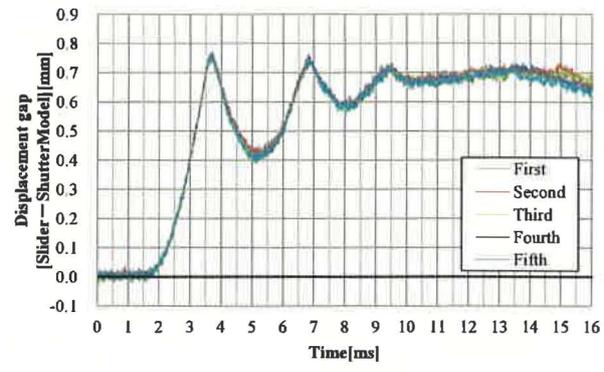
(d) Condition A



(c) Condition B



(a) Condition C



(b) Condition D

Fig.3.2.3 Results of changing center of gravity experiment

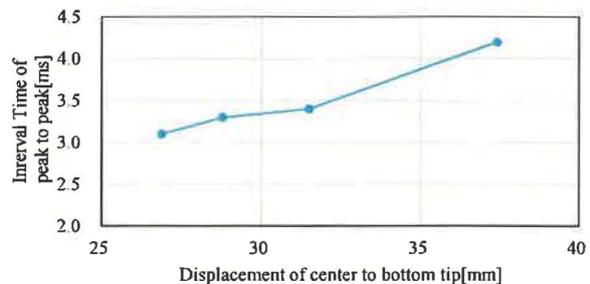
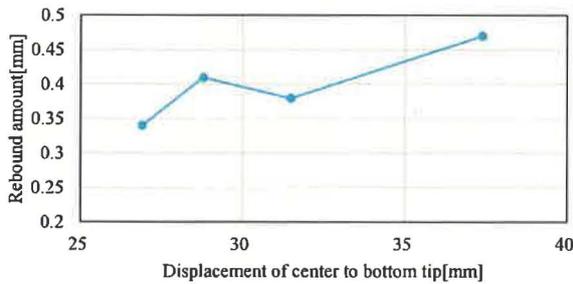


Fig.3.2.4 Summary of Results of changing center of gravity experiment

### 3.3 ガタ量変更実験

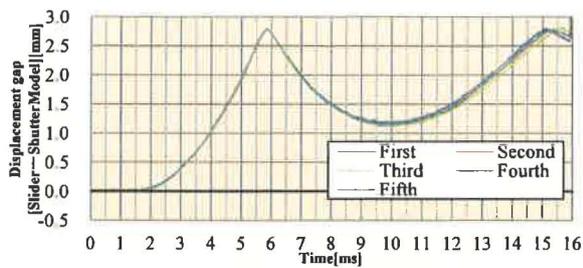
本実験では、羽根モデルの穴径と駆動部のピン径の差、すなわちガタ量が増えた場合、羽根モデルの挙動にどのような影響を与えるかを観測し、どのような条件下で振動挙動が抑制できるか明らかにする。本研究ではガタ量を変更するために、ピンの直径を6種類用意した。実験条件を表3.3.1示す。

図3.3.1にAパターンでの実験結果を示し、図3.3.2にAパターンでの実験結果のまとめを示す。この結果から、跳ね返り量はガタ量と比例し増加することがわかった。また、振動周期もガタが増加するほど、増加する傾向がある。

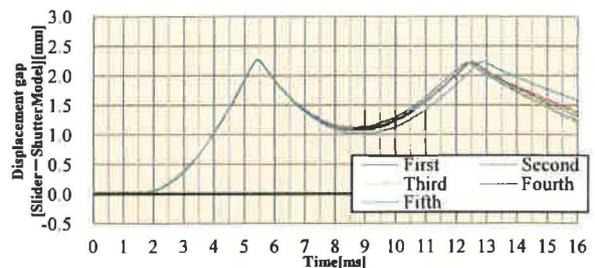
跳ね返り量の増加の原因は、ガタ量が増えたことによって羽根モデルの可動域が増え、走行開始時にAパターンからBパターンへ動いた際の移動量が増加することが原因と考えられる。また周期の増加に関してもガタ量が増加しシャッター羽根モデルの可動域が増加したことで説明できる。シャッター羽根モデルの衝突は非弾性衝突と考えられることから、単位時間当たりの衝突回数を増やすことで、減衰を早めることができると考えられる。よって、シャッター羽根モデルの振動を抑制するためには、跳ね返り量抑制と、早く減衰させるという観点から、ガタ量を小さくすることが重要と考えられる。しかし、これには製造コストの増加や、磨耗によるガタの増加の影響が大きいという欠点がある。

unit:[mm]	Front	Rear	Average	Backlash average 「Hole」-「Pin」
Hole diameter of shutter-blade model	2.972	2.964	2.968	
Diameter of pins	2.533	2.527	2.530	0.438
	2.622	2.618	2.620	0.348
	2.710	2.708	2.709	0.259
	2.857	2.855	2.856	0.112
	2.918	2.908	2.913	0.055
	2.951	2.955	2.953	0.015

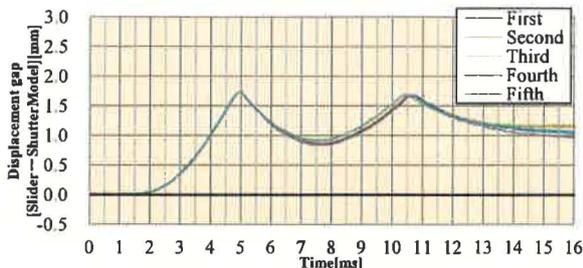
Table 3.3.1 Experiment condition



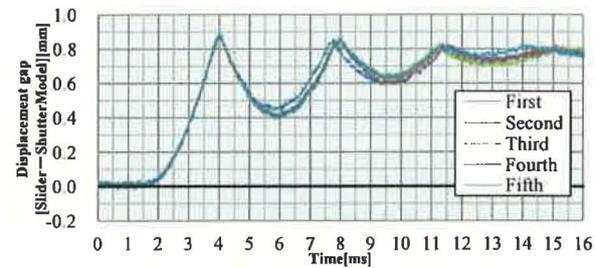
(c) Backlash 0.438 [mm]



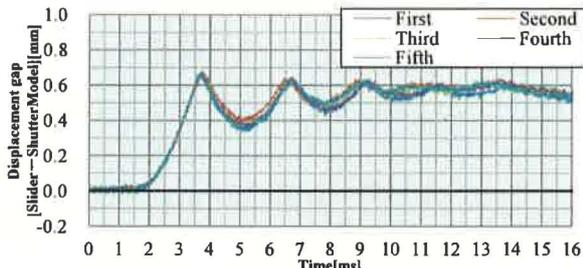
(d) Backlash 0.348 [mm]



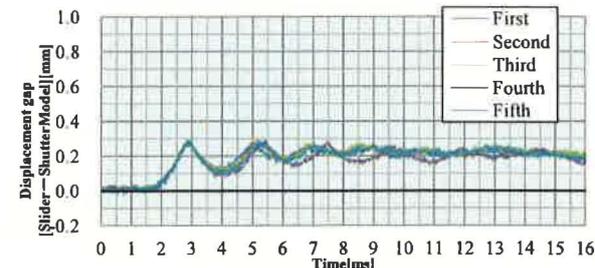
(f) Backlash 0.259 [mm]



(e) Backlash 0.112 [mm]



(b) Backlash 0.055 [mm]



(a) Backlash 0.015 [mm]

Fig.3.3.2 Results of changing backlash experiment

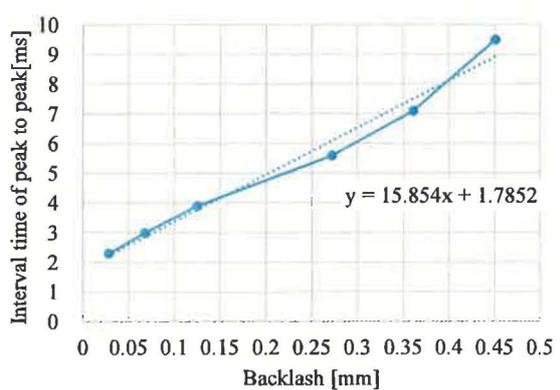
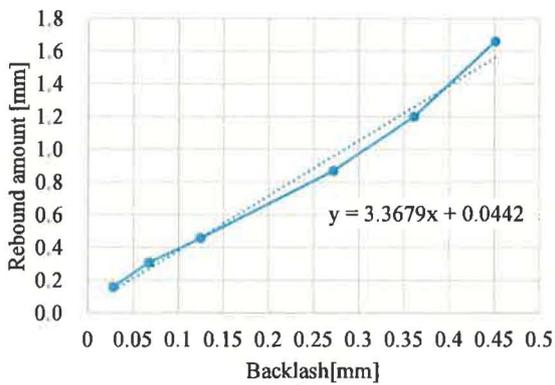


Fig.3.3.2 Summary of Results of changing backlash experiment

### 3・4 穴間距離変更実験

本実験では、シャッター羽根モデルの2つの穴間隔と駆動側の2本のピンどうしの中心間距離を変化させることで、シャッター羽根モデルの振動挙動を抑制させられないか検討する。具体的にいえば、図 3.4.1 に示すように、ピンの間隔やガタ量はそのままに、ピンのを差し込む穴の間隔を変更したシャッター羽根モデルを複数用意し、穴とピンの相対的な間隔を変更した。

本実験ではシャッター羽根モデルの穴間距離をピン間距離と同じ 15.00 [mm] を標準とし、0.15 [mm] 間隔で広げる方向と狭くする方向に 2 種類ずつ、14.70, 14.75, 15.00, 15.15, 15.30 [mm] の合計 5 種類用意した。ピンは 2.61 [mm] を使用した。

実験結果を図 3.4.2 に示し、図 3.3.3 にそのまとめのグラフを示す。図 3.4.2 のグラフより基準の 15.00 [mm] とそこから 0.15 [mm] 動かした 15.15, 14.85 [mm] とさらに 0.15 [mm] 動かした 15.30, 14.70 [mm] のグラフを比較する。穴間を広げる、縮めるに関わらず、穴間距離を変化させる量が変わらないならば、同様の挙動が得られることがわかる。これは図 3.4.3 からわかる。すなわち、シャッター羽根モデルの挙動には、穴の中心間距離とピンの中心間距離の差の絶対値が重要なパラメーターとなっていることがわかる。跳ね返り量と、周期に着目する。周期に関しては、穴間距離が広くなれば、すなわち穴の中心間距離と、ピンの中心間距離の差が大きくなるほど、短くなることがわかる。一方跳ね返り量は、穴間距離の変化に比例するようなことはないが、穴間距離の差が一定値より大きくなると跳ね返り量を抑制できると考えられる。

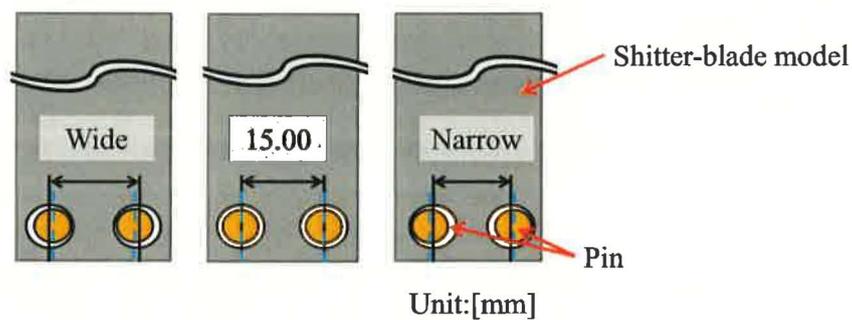
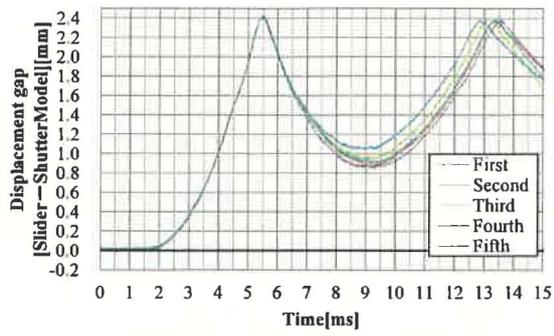
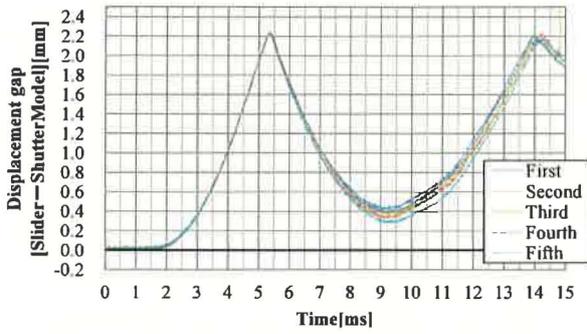


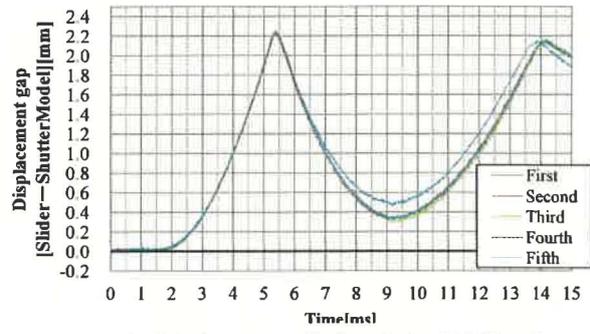
Fig.3.4.1 About Distance of pin to pin



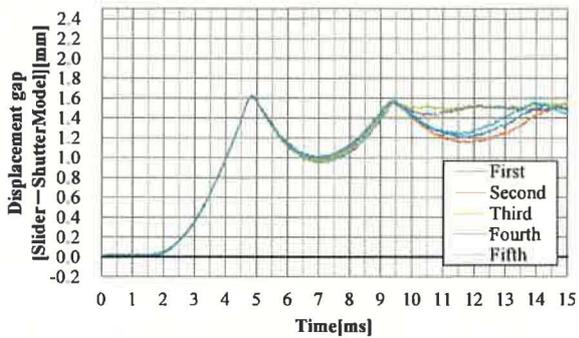
(e) Displacement of hole to hole: 15.00[mm]



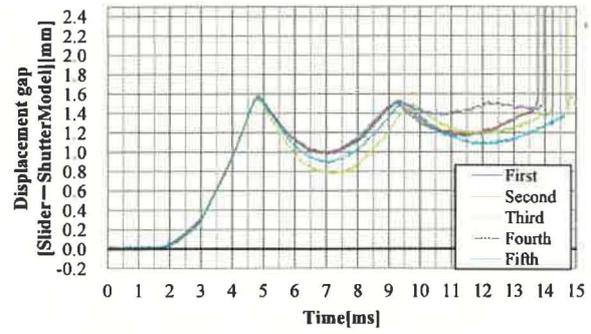
(d) Displacement of hole to hole: 15.15[mm]



(c) Displacement of hole to hole: 14.85[mm]



(b) Displacement of hole to hole: 15.30[mm]



(a) Displacement of hole to hole: 14.70[mm]

Fig.3.4.2 Results of changing distance of hole to hole

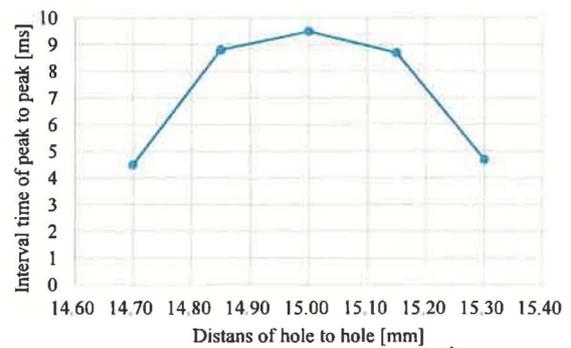
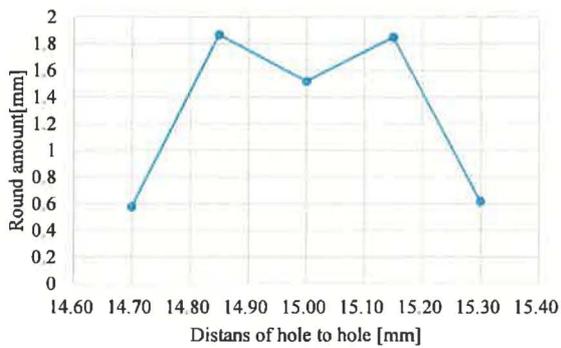


Fig.3.4.3 Summary of results of distance of hole to hole

#### 4. 結言

本研究では、シャッター羽根モデルの重心位置やガタ量、穴間距離のパラメーターを変更し実験を行い各パラメーターが振動挙動にどのように影響を及ぼすか計測した。結果を以下にまとめる。

- (1) 初期条件がシャッター羽根を進行方向後ろ向きに傾けた B パターンのように、動きはじめて羽根モデルが後ろ側に動かない条件では振動は発生しない。
- (2) 重心位置を下端寄りにすることで、跳ね返り量を抑えることができる
- (3) ガタ量を抑えることで、跳ね返り量を抑え、振動の減衰も早くすることができる
- (4) シャッター羽根モデルの穴間隔とピンの間隔を変化させることで、シャッター羽根モデルの挙動を変化させることができる。振動挙動を抑制するためには、穴の中心間距離とピンの中心間距離の差をある一定値より大きくする必要がある。

以上のことより、露光ムラの直接の原因となる跳ね返り量を抑制するためには、重心位置を下端寄りにすること、ガタ量を小さくすること、穴とピンの中心間距離差を、ある一定値より大きくすることが有効であると考えられる。