

## 125 カメラ内部ミラーの跳ね返り振動の抑制

## Vibration Reduction of a Reflex Mirror in a Single Lens Reflex Camera

○ 正 松本大樹 (室蘭工大), 正 齊當建一 (室蘭工大), 野垣雄平 (室蘭工大 現日産車体)

Hiroki MATSUMOTO, Muroran Institute of Technology, Mizumoto 27-1, Muroran 050-8585

Ken-ichi SAITOH, Muroran Institute of Technology

Yuhei NOGAKI, Nissan Shatai

When we take pictures with continuous shots with single lens reflex camera, the inner mirror must repeats to go down and up with very high-speed. In this operation, the mirror hits to a stopper and rebound instantaneously. We investigate the rebound characteristics of the mirror model with free fall testing. Rebound angle of the model is varying by the stopper position. In the experiments, we find the stopper position which has lower amount of rebound angle. And the experimental modal analysis is carried out for the mirror and stopper model. It is found that the modal dumping ratio is correlate with the amount of rebound angle.

**Key Words :** Experimental modal analysis, Rebound, Vibration, Modal dumping ratio

## A1. はじめに

一眼レフカメラでの撮影時の内部ミラーは、高速にストッパーに衝突するために、跳ね返り振動がおこる。この跳ね返りを抑制することによって、連続撮影のコマ数を増加させることができ、様々な工夫がなされているが、その本質的な対策はなされていない。本研究は、跳ね返り振動の本質的な原因と抑制対策を見いだすことを目的とし、ストッパー位置を変化させ、跳ね返り量を計測する。さらに振動モードとの関連を検討する。

## A2. 実験装置および実験方法

Fig. A 1 にミラーモデルの跳ね返り量の計測状況を示す。ミラーモデルは 30x40mm、厚さ 1mm の平板である。水平位置よりミラーが 45deg の位置を原点とし、初期位置 35deg より自由落下させ、その際に跳ね返った角度をレーザー変位計により計測する。ストッパーの位置は、ミラーの周囲に 7 カ所変更して設置し、それぞれの条件で跳ね返

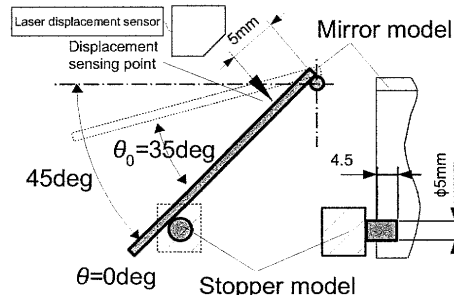


Fig. A1 Schematic diagram of measurement rebound angle for mirror model.

り量の大小を検討する。ミラーモデルは 3 種類の材料の平板である。実験振動モード解析では、ミラーモデルの回転軸の位置とストッパーの位置を固定治具に接着し、その際の振動モードとモード減衰をハンマリング試験によって求める。

## A3. 実験結果

Fig. A 2 にストッパー位置を変更した場合のミラーモデルの跳ね返り量の変化を示す。跳ね返り量はストッパー位置に強く依存し、ミラーモデルの素材による影響は小さいことがわかる。特に跳ね返り量が小さいストッパーの位置は、2, 4, 6 番の各点である。また、ストッパー位置で固定したミラーモデルでの実験振動モード解析の結果、それぞれで現れる振動モードのうち、応答振幅が最も大きいモードでのモード減衰率が大きいほど跳ね返り量が小さくなる傾向があることが明らかとなった。

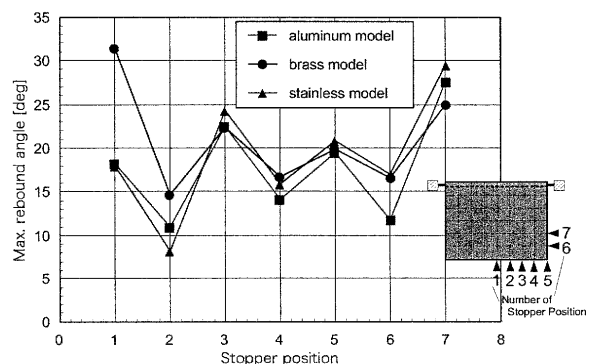


Fig. A2 Effect of stopper position on maximum rebound angle.

## 1. はじめに

一眼レフカメラは、プロ用も含めて様々な用途で古くから利用されている。現状ではその多くがデジタル化されているが、基本的な機構は大きくは変わらない。すなわち、被写体からの光線はレンズを通った後、ファインダーとオートフォーカス用の素子に、内部ミラーによって分けられ、オートフォーカスが行われるのと同時にファインダーでその様子を肉眼で確認することができるようになっていく。次にシャッターボタンが押されると、内部ミラーは上方に跳ね上がって、被写体からの光線をフィルム、もしくは CCD へと通過させる。その瞬間、ファインダーは一度ブラックアウトし、感光 (CCD への記録) が終了すると、ミラーは再び元の位置に戻り、次のコマの撮影の準備に入る。この際にミラーは、ミラーの初期位置を決めるストッパーへと高速に衝突することとなり、その反動で跳ね返ることがある。この跳ね返りが抑制できない場合、被写体からの光線は正常にオートフォーカス素子へ導かれず、ピントを合わせることができなくなる。つまり、ミラーの跳ね返りが収まらなると次のコマの撮影ができないタイムラグが生じることになる。これまで高速な連続撮影の実現のために、振動を押さえる様々な工夫がなされてきたが、本質的な振動の抑制方法は明確にされていない。

この跳ね上がり現象の本質的な原因と抑制対策を見出すことが、本研究の目的である。本報告では素材の異なるミラーモデルを用いて、跳ね返り量の計測方法の確立とストッパー位置の変更に伴う跳ね返り量の変化を明らかにするとともに、実験振動モード解析を用いて、跳ね返り量とモード減衰との関連について考察する。

## 2. 実験装置および実験方法

実験はミラーの跳ね上がり量の計測と、実験振動モード解析の2種類を行う。Fig. 1 ミラーモデルの概略図を示す。ミラーモデルは、アルミニウム、真鍮、ステンレスの3種類で、いずれも 30x40mm の厚さ 1mm の長方形板である。その上端に回転軸を差し込むためのステンレスパイプを接着している。実験装置本体に直径 0.6mm の軸で回転支持されている。

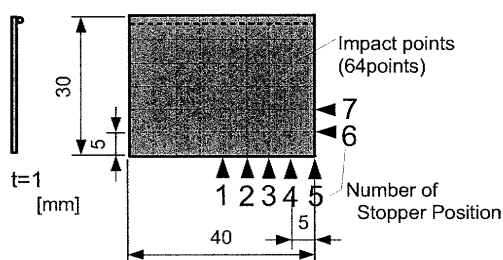


Fig. 1 Schematic diagram mirror model.

Fig. 2 に設置状態の概略図を示す。ミラーモデルは、水平位置から 45deg の所でストッパーと衝突するようになっている。跳ね返り角度  $\theta$  はその位置を 0deg として、跳ね返る方向に正方向をとる。ストッパーはジュラルミン製の直径 5mm の円柱で、ミラーモデルに対する接触部分の長さを 4.5mm に設定し、Fig. 1 に示す 1~7 番のいずれかの位置で衝突するように設置する。ストッパー位置の間隔は 5mm である。跳ね返り量の計測は、レーザー変位計によって、ミラーの中央上端より 10mm の位置で行った。変位は幾何学的関係より、回転角  $\theta$  に置き換えられる。すなわち、跳ね返り角を  $\theta$ 、レーザー変位計での変位出力を  $x$  [mm] とすると、 $\theta = \tan^{-1}(x/a)$  となる。 $a$  [mm] は回転軸から計測点までの距離 10mm である。

実験においては、初期位置 35deg より自由落下させ、その際に跳ね返った角度を計測する。ストッパーはミラーの周囲で 7カ所変更して、その際の跳ね返り量の大小を検討する。

Fig. 3 に実験モード解析でのミラーモデルの設置条件及び実験装置を示す。実験振動モード解析では、ミラーモデルの回転軸の位置とストッパーの位置を固定治具に接着し、その際の振動モードをハンマリング試験によって求める。打撃点は 5mm 間隔の格子点を 64 点設定しており、加速度ピックアップ (0.2g) を Fig.3 のように回転軸側から 10mm,

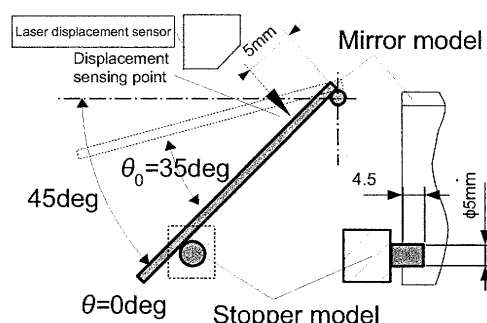


Fig. 2 Schematic diagram of measurement rebound angle for mirror model.

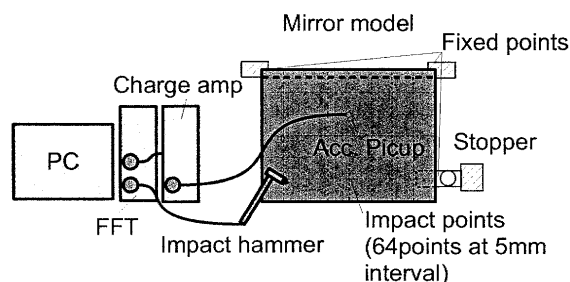


Fig. 3 Experimental apparatus for experimental modal analysis.

右側から 20mm に取り付ける。振動モード解析及びモーダルパラメータの算出には ME'scope VES を用いた。

### 3. 実験結果

**3.1 跳ね返り量とストッパー位置の関係** Fig.4 と 5 に、自由落下実験で計測した跳ね返り量の時間変化を示す。ミラーモデルはステンレスである。Fig.4 のストッパー位置 1 のグラフを見ると、およそ 0.2sec 後に一回目の衝突が起きている。跳ね返り角が 0 にならないのは、軸側にわずかにがたがあり、そのためにミラーに微小な角度のずれが起こったためである。この場合にはグラフの曲線に極大が 3 カ所みられ、静止までに 3 回以上の衝突を繰り返していると考えられる。いずれの図においても、ストッパー位置が変化することで、ミラーの跳ね返り量が増加し、ミラーの静止までの時間が異なることがわかる。例えば、ストッパー位置 2 番と 7 番では、静止までの時間におよそ 2 倍の開きがある。跳ね返り角も、一つ目の極大値を比較すると、ストッパーの位置が 7 番で最大の跳ね返り角を記録しており、この位置ではほぼ初期位置に近いところまで跳ね返っていることがわかる。一方、2 番目のストッパーの位置では、跳ね返り角は 10deg 以下となっている。両者の差は 20 度以上の差となり、ストッパーの位置

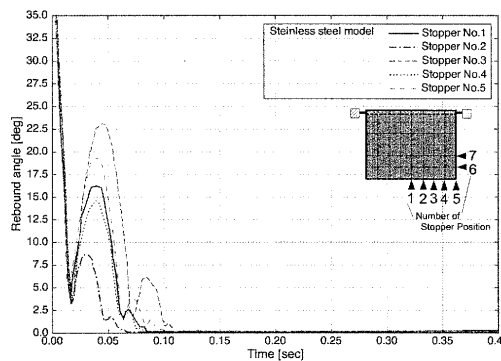


Fig. 4 Time series of rebound angle at stopper position of No.1 to No.5.

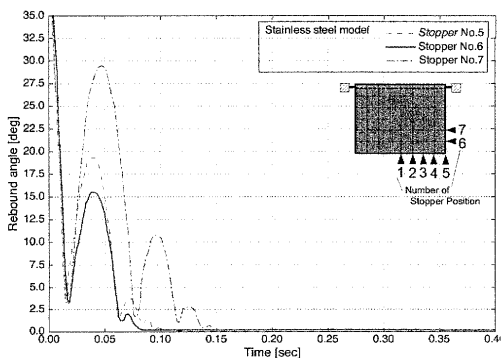


Fig. 5 Time series of rebound angle at stopper position of No.5 to No.7.

によってミラーの跳ね返り挙動は大きく異なることがわかる。そこで、跳ね返り角と静止までの時間の関係を明らかにするために、両者の関係をグラフ化する。

Fig.6 に最大の極大値を示す跳ね返り角度とミラーが静止するまでの時間の関係を示す。いずれの素材もほぼ比例的な傾向を持ち、本実験条件における最大の跳ね返り角度が静止までの動きを決めていることがわかる。また、素材の変化に対して、上記の傾向を同様に持っていることがわかるが、アルミニウムはばらつきが大きいことがわかる。この原因は、ほかの素材に比べると密度が小さいために、回転軸の摩擦などの影響を受けやすいためであると考えられる。

以上の結果より、跳ね返り量の指標として、実験開始後の 1 回目の極大値の値を用いることとする。

次に Fig.7 に、ストッパーの位置に対する最大跳ね返り量のグラフを示す。ストッパーの位置が異なると、最大の跳ね返り量は最大 10deg 以上異なることがわかる。しかし、素材の違いによる影響は比較的小さく、いずれの素材においても素材の剛性や密度によらず、ストッパーとミラーモデルの衝突の位置関係によって、跳ね返り量が決まる傾向があることがわかる。

特に、2 番、4 番、6 番の位置において跳ね返り量は小

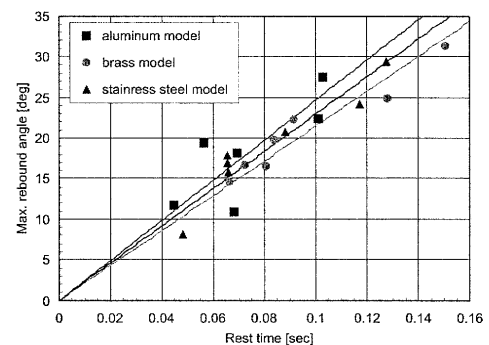


Fig. 6 Relationship of maximum rebound angle and rest time of the mirror model.

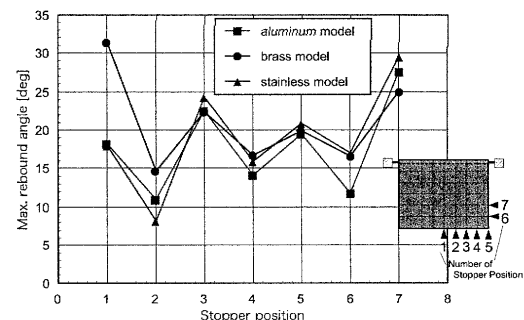


Fig. 7 Effect of stopper position on maximum rebound angle.

さめになっていることがわかる。実際のカメラにおいては、2, 4など正面にストッパーが来ることは少ないものの、本研究では2番の位置が最小の跳ね返り角度になる結果が得られた。

**3.2 ミラーモデルの振動モード減衰と跳ね返り量の関連**  
次に、実験振動モード解析によりミラーモデルのモーダルパラメータを求め、跳ね返り量との関連を検討する。実験振動モード解析の例として、Fig.8に、ストッパー位置が1番としたステンレスのミラーモデルでの実験結果を示す。ハンマリング試験より得られた固有振動数は1710Hzから6240Hzの5種類で、その応答振幅をカラーの等高線で示している。赤いほど振幅が大きく、各振動モード間で同じスケールで表している。このため、応答振幅が最も大きいのは3次モードの2840Hzであることがわかる。次に、それぞれの振動モードにおけるモード減衰率をME'Scope VESを用いて算出した。このときのモード減衰をTable 1に示す。

衝突した瞬間には、ミラーモデルは衝撃力を受け、様々な振動モードが励起されると考えられる。特に応答振幅が大きなモードが最もエネルギーの損失が大きくなると考えられるから、最も大きな応答振幅を持つ3次モードでの減衰率に着目する。ステンレスモデルでは、3次モードの1.58%となる。このようにして、それぞれのストッパー位置に対応したモードと減衰を求め、跳ね返り量との関連を

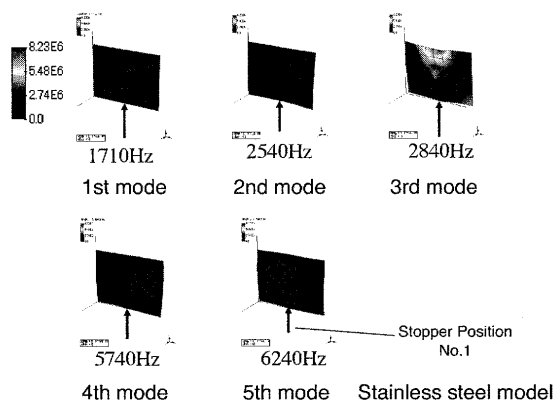


Fig. 8 The mode shape of the mirror model fixed at three points which contain stopper position No.1.

Table 1 Modal damping ratio of the stainless mirror model which fixed at stopper position No.1.

mode	Frequency [Hz]	Dumping [%]
1	1710	2.69
2	2540	1.67
3	2840	1.58
4	5740	1.28
5	6240	0.774

検討する。

Fig.9にステンレスモデルの振動モードを示す。これらはストッパー位置に対応したモードであり、最大振幅を示したモードのみ選択している。等高線はそれぞれのモードで独立に最大値を赤、最小値を黒で示しており、モード間での関連は無い。ストッパー位置に応じて固有振動数とモードシェープは異なり、ストッパー位置では応答が最小になっている。しかし、いずれのストッパーの位置においても最大の応答を示すモードの固有振動数は、桁違いに異なることは無く、比較的近い値となっている。

次にFig.10に、モード減衰率と跳ね返り量の関係を示す。最大の跳ね返り量が大きくなるにつれて、モード減衰率は減少傾向にあることがわかる。すなわち、最大の応答振幅を示すモードに着目し、そのモード減衰率が大きいほど、跳ね返り角度は小さくなる傾向があることが明らかとなった。しかしながら、そのばらつきは大きく、ストッパー位置2番は最も跳ね返り角度が大きかったが、最大の減衰率を示したのはストッパー位置6番のように、必ずしも跳ね返り角度最小が減衰率最大となっていない。

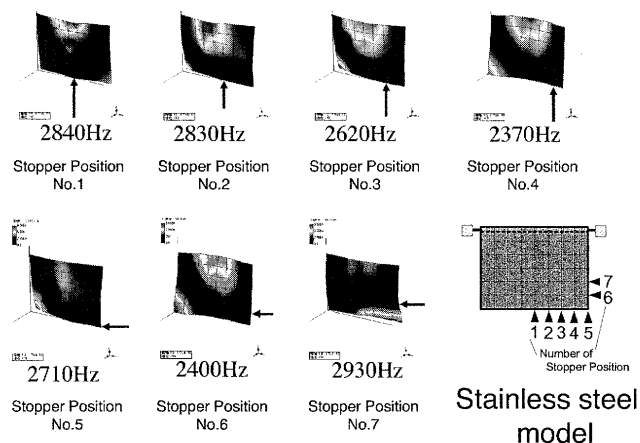


Fig. 9 Modal shape of the stainless steel mirror model at several stopper conditions.

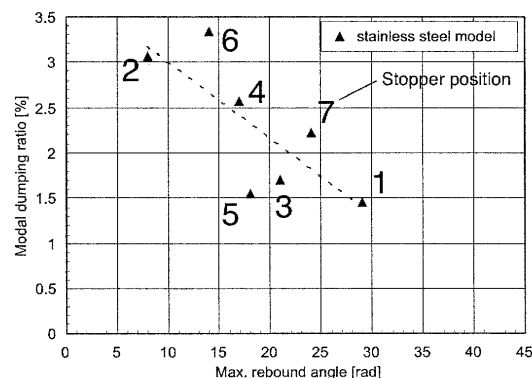


Fig. 10 Schematic diagram of measurement rebound angle for mirror model.

この原因については現在のところ明確に述べる事ができないが、今後、減衰率が大きいモデルを用意するなどの比較実験を行い、予測を確かなものになりたいと考えている。

次に、アルミニウムと真鍮のミラーモデルについても、ステンレスモデルと同様に実験モード解析を行った結果を示す。Fig.11とFig.12に、アルミニウムモデルと真鍮モデルの振動モードを示す。各ストッパー位置に対応する最大の応答を示したモードのみを示している。これらのモードシェープをみると、素材が変化しても大きな違いは見られていないことがわかる。このことから、跳ね返り角に対する素材の影響は少ないと考えられる。ステンレスモデルと同様、これらの振動モードにおけるモード減衰率を算出し、跳ね返り角度との関係を検討する。

Fig.13と14に、モード減衰率と最大の跳ね返り角を示す。この場合においても、ステンレスモデルと同様に、跳ね返り角度が大きくなるほどモード減衰率は小さくなる傾向が見られ、減衰率と跳ね返り角度にはある程度関連があると予測できる。

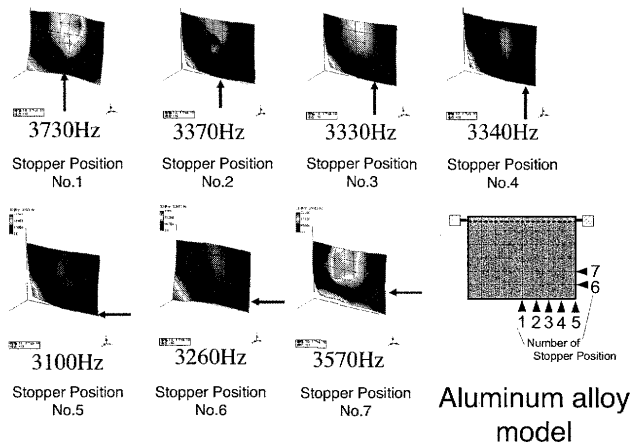


Fig. 11 Modal shape of the aluminum mirror model at several stopper conditions.

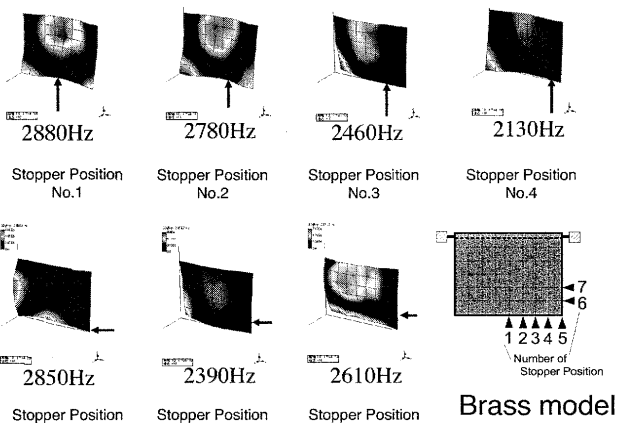


Fig. 12 Modal shape of the brass mirror model at several stopper conditions.

しかし、この結果も同様に最大のモード減衰率を持つときに最小の跳ね返り角となる訳ではなく、ステンレス同様、今後の課題となっている。

#### 4. 結 言

一眼レフカメラに内蔵されている、内部ミラーの跳ね返り振動について、ミラーモデルを用いた基本的な実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

1. ミラーモデルの跳ね返り量は、ストッパー位置に強い関連を持つ。
2. ミラーモデルの素材を3種類変更したが、跳ね返り量に対する素材の影響は小さい。
3. ストッパー位置を変更したミラーモデルの実験振動モード解析を行った結果、その固有振動数が明らかとなり、さらにモード減衰率が求められた。
4. モード減衰率と跳ね返り角度との関連は、跳ね返り角が小さいほどモード減衰率が小さくなる傾向が見られた。その際の振動モードは、応答振幅が最大の振動モードとなっている。

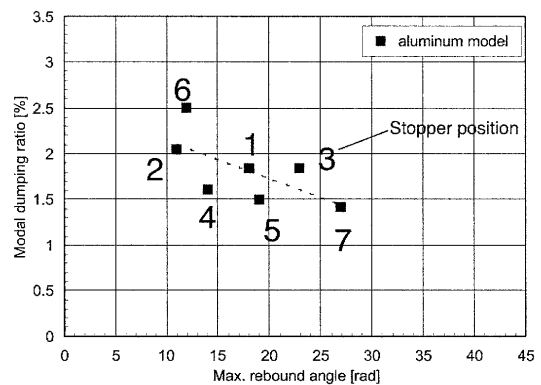


Fig. 13 Schematic diagram of measurement rebound angle for mirror model.

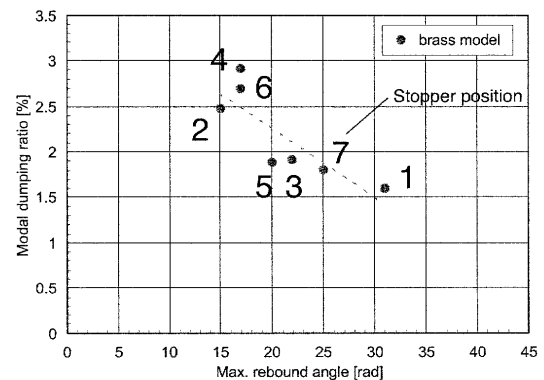


Fig. 14 Schematic diagram of measurement rebound angle for mirror model.