

## 256 カメラシャッター羽根の振動特性に及ぼす羽根構成部品の影響

## Influence of Component parts on the Vibration Characteristic of the Blade of a Camera Shutter Unit

正 松本 大樹 (室蘭工大) 正 齊當 建一 (室蘭工大)  
 魚返 陽平 (BPA) 藤原 匡志 (北海道パワーエンジニアリング) 村上 浩太郎 (ニコン)  
 Hiroki MATSUMOTO, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto-cho, Muroran-shi, Hokkaido  
 Ken-ichi SAITOH, Muroran Institute of Technology  
 Yohei OGAERI, BPA Inc.  
 Masashi FUJIWARA, Hokkaido Power Engineering Co., Inc.  
 Kohtaro MURAKAMI, Nikon

The objective of this research is to investigate the vibration characteristic of the blade of a camera shutter unit. The shutter blade is a thin platy part which is combined four different shape narrow plates and two different length support arms. Measurements are carried out by the forced vibration testing method on different component parts of shutter blade. The results show that the shutter blade has two resonance frequencies in variable frequency range. And it is clear that these peak frequencies are different from that of the unit plate test. But one of them is agree with the resonant frequency of the single arm. In addition, the center of gravity position of the shutter blade has an effect on the resonance frequency.

**Keywords :** Forced Vibration, Resonance Frequency, Modal Analysis, Shell Vibration

## A1. 緒言及び目的

一眼レフカメラに搭載されている機械式シャッターは、従来からの銀塩カメラに用いられるだけではなく、一部高品質を求めるデジタルカメラにも用いられている。これは、高速なシャッタースピードを得るために機械式のシャッターを採用する理由からであるが、より高速なシャッターの駆動を目指す場合や、シャッターから発生する音を予測し、改良する場合において、シャッター羽根の振動特性を明確にすることは非常に重要と考えられる。

しかしながら、複数の羽根部品からなるシャッター羽根の振動特性を把握することは容易ではない。そこで本研究では、シャッター羽根の振動特性を実験的に明らかにすることを目的とする。

## A2. 実験方法

Fig.A1 にシャッター羽根を示す。シャッター羽根は、それぞれ形状と厚みの違う4枚の羽根と、2枚のアームで構成されている。4枚の羽根は2枚のアームにダボという小さな留め具で階段状に重ね合わせ留められているおり、シャッター開放時にはすべての羽根が重なるように動く。本実験ではシャッター羽根を分解して実験し、それぞれの部品(単品)の振動特性、組み合わせた場合(複合品)の振動特性について検討を行う。

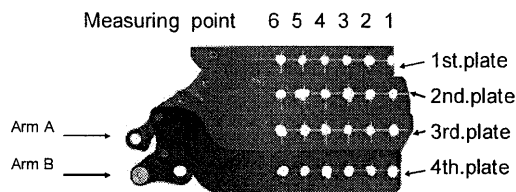


Fig.A1 The blade of a camera shutter unit

実験では、シャッター羽根のアーム部分を動電型加振機に固定し、ランダム波形により盤面と垂直方向に加振した。その際の振動変位を治具の上部と羽根上の各点で測定した。

## A3. 実験結果

Fig.A2 に全開状態の振動特性を示す。計測点は各羽根の1番目(先端)である。それぞれの羽根の共振周波数は27Hz, 188Hz で一致していることが明らかとなった。しかし、シャッター羽根を構成する単品の羽根のみの振動特性を示した Fig.A3 と比較すると、共振周波数は一致せず、複合品の共振周波数との明確な関連性が見られないことがわかった。羽根の取り付け時の重心の位置や、羽根同士の干渉の結果、複合品の共振周波数が決定されると推測された。

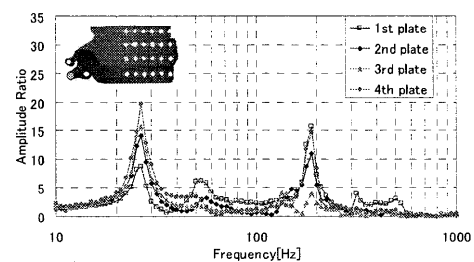


Fig.A2 Vibration characteristics of the blade in the fully opened case

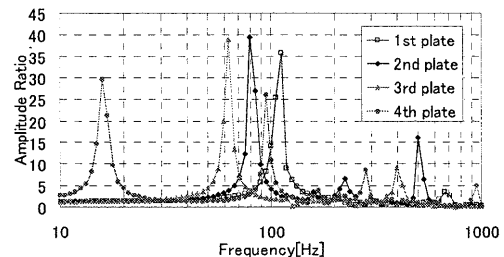


Fig.A3 Comparison diagram with vibration characteristics of each single plate

## 1. 緒言

一眼レフカメラに搭載されている機械式シャッターは、銀鉛カメラに用いられるだけではなく、一部高品質を求めデジタルカメラにも用いられている。デジタルカメラにおいても、高速なシャッタースピードを得るためには機械式のシャッターが必要とされているのが現状である。特に、より高速にシャッターを駆動することを目指す場合や、シャッターから発生する音を予測し、発生する音を改良、設計する場合において、シャッター羽根の振動特性を明確にすることは非常に重要な事項と考えられている。

機械式のシャッターは、先幕、後幕と呼ばれる2枚のシャッター羽根とその駆動部から構成されている。シャッター羽根は非常に薄く、複数の軽い部品から構成されている。シャッターが稼動すると、それらが重なり合いながら高速移動し遮光する。そのため、互いの部品やその位置関係により、羽根の共振周波数は複雑に変化していることが考えられる。このため、複数の羽根部品からなるシャッター羽根の振動特性を把握することは容易ではない。

そこで本研究では、シャッター羽根の振動特性を実験的に明らかにすることを目的とする。そのために、シャッター羽根それぞれの部品、部品が組み合わされた場合、組み合わされた羽根の開閉状況に応じた共振曲線を求め、それぞれの関係を検討する。

## 2. 実験方法

2.1 シャッター羽根 Fig.1 に、シャッター羽根の全開状態の写真を示す。シャッター羽根は、形状と厚みの違う4枚の羽根と、2枚のアームで構成されている。それぞれの羽根の端は、それぞれのアームに1箇所、あるいは2箇所、小さな留め具（ダボ）で留められている。

アームは、シャッター羽根のついていない端にある金具と小孔でシャッターの駆動用ユニットに取り付けられる。シャッター羽根は、アームの金具の点を軸にした2本のアームの回転運動により、それぞれが盤面内を移動させられ、シャッター羽根の投影面積を変化させる。シャッターの投影面積が最大の場合、すなわち羽根同士の重なり合う面積が最小の場合を「全開」と呼び、一方、投影面積が最小となる場合、すなわちすべての羽根が重なり合う状態を「全閉」と呼ぶこととする。

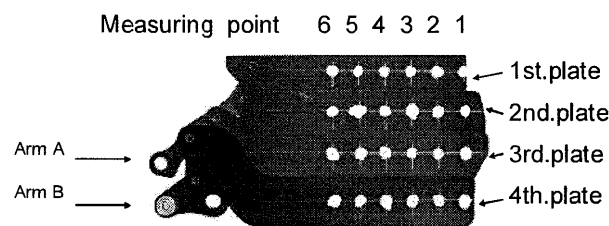


Fig.1 The blade of a camera shutter unit

本実験ではシャッター羽根を分解して実験するため、シャッター羽根を構成する部品に Fig.1 のように番号を振る。すなわち、重なり合う一番下から1, 2, 3, 4枚目とし、アームは金具の付いていない方を A, 金具が付いている方を B とする。また、羽根の先端から5[mm]間隔で6個の点を打ち、それぞれに測定点1, 2, 3, … 6と名づけている。さらに、アーム単体の計測点は、先端のみとしている。

なお、本実験では、アームのついた状態の羽根を「複合品」、アームのついていない場合のそれぞれの羽根を「単体」と呼ぶこととする。

2.2 実験方法 実験装置図を Fig.2 に示す。シャッター羽根は、アーム A, B 端の小孔の部分をつまみ、加振機に取り付けている。加振機は FFT によるランダム信号で加振し、10~1000[Hz]までの周波数範囲の特性を計測した。振動変位はレーザ変位計を用いて被接触で計測し、治具の上面と羽根の上面の2点を同時に計測する。振動特性は加振機に固定した治具の変位を入力側、羽根の各点の変位を応答側とし、入力と応答との比で表す。加振方向は羽根の面と垂直な方向とする。

## 3. 実験結果及び考察

3.1 複合品の振動特性 実験では、複合品4枚組の全開、半開及び全閉、羽根単体のそれぞれ1~4枚目の測定点1~6, アーム A, B の先端の変位を測定した。Fig.3 から Fig.6 に実験結果を示す。羽根が重なり合うため、複合品全開の場合には、1番上にある4枚目のみ、複合品半開の場合は1枚目と4枚目の変位を測定した。なお、すべての実験結果は測定点1, すなわち羽根の先端の変位である。

Fig.3 に示す複合品4枚組の全開時の振動特性を見ると、27, 188 [Hz]で大きな振幅比のピークが見られた。2枚目と4枚目の共振曲線はほぼ同じ特性を示しているが、1枚目と3枚目は他と異なっている。1枚目に着目すると全体的にピークが高いところ以外にも53, 316, 501[Hz]付近でピークが現れている。3枚目は27[Hz]ではピークが現れているが、188[Hz]での振幅比はそれほど大きくないことがわかる。

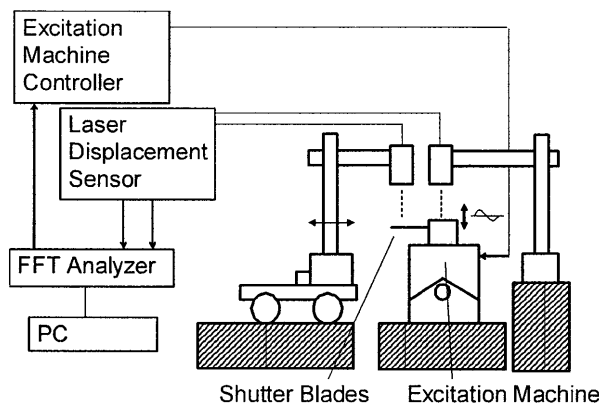


Fig.2 Experimental setup

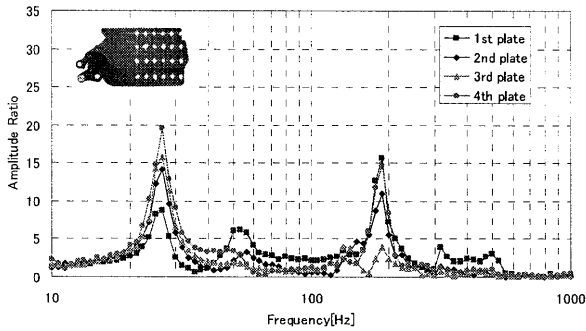


Fig.3 Vibration characteristics of the blade in the fully opened case

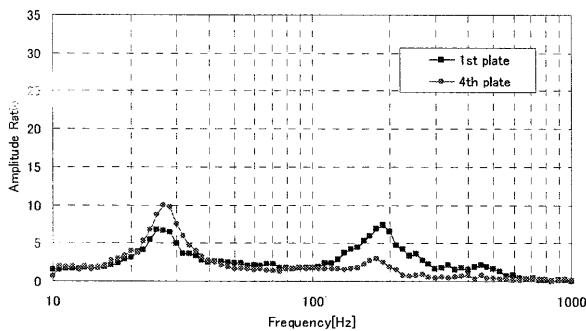


Fig.4 Vibration characteristics of the blade half in the opened case

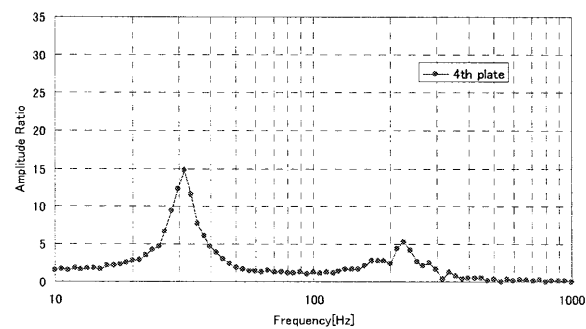


Fig.5 Vibration characteristics of the blade in the closed case

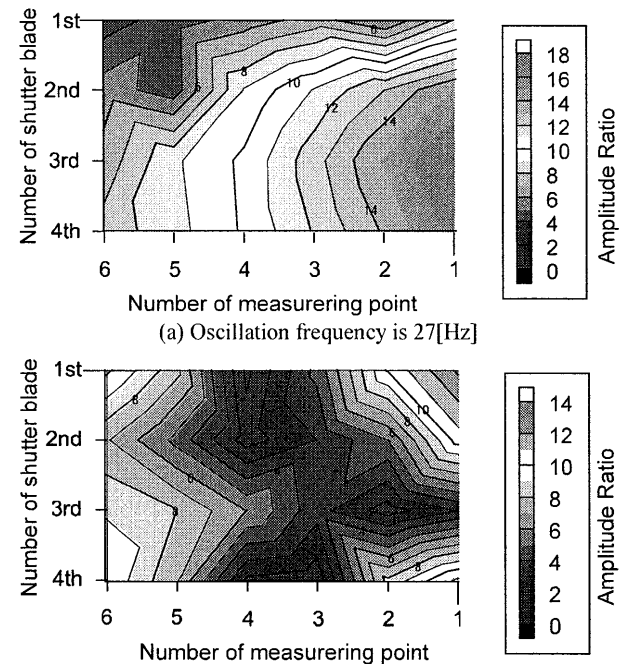
次に、Fig.4 の複合品 4 枚組の半開時の振動特性を見ると、半開時の 4 枚目では 26, 177[Hz], 1 枚目では 26, 188 [Hz] にピークが現れており、全開時の場合に比較して、共振のピークの数は少なく、全開時に 1 枚目に現れていた 53, 316, 501[Hz] にピークは見られない。半開の場合には、それぞれのシャッター羽根はおよそ半分の面積が重なることになり、羽根同士の干渉の度合いが大きくなることで、1 枚目の振動が抑制されているためであると考えられる。また、4 枚目の振幅比は、全開時よりも小さくなっている。

さらに、全閉時の共振曲線を Fig.5 に示す。この場合には、シャッター羽根はすべての羽根が振動方向に重なり合ったまま振動しており、32, 224[Hz] で大きなピークが見られた。ピークの位置は全開時よりも全閉時の方が若干高い周波数となっており、シャッター羽根の投影面積の変化に応じて、

固有振動数が変化することがわかる。

Fig.6 に全開時のシャッター羽根の振幅比の大きさの分布図を示す。Fig.6(a)は、Fig.3 に示した全開時の 1 次固有振動数である 27[Hz] で加振した場合の振幅比の大きさの分布を表したものである。27[Hz] の場合には、測定点 6 よりも測定点 1 側の振幅比の大きさが大きく、この振動数では羽根の先端が大きく振れていることがわかる。また、1 枚目の羽根の先端よりも 4 枚目の羽根の先端の振幅比が大きくなっていることがわかる。Fig.6(b)に 188[Hz] の加振周波数での振幅比の大きさの分布を示す。この状態では、羽根の 4 角の振幅比が大きく、中央付近の振幅比は小さくなっていることがわかる。羽根ごとに振幅比の分布をみると、1, 2, 4 枚目の羽根は測定点 3, 4 で振幅比が小さくなっているが、3 枚目の羽根は測定点 1, 2 で小さくなっており、3 枚目の羽根の先端はほとんど振動していないことがわかる。これに対して 4 枚目は先端の振動が大きくなっており、全体としては非対称となっている。

**3.2 部品ごとの振動特性** Fig.7 に、羽根単体の振動特性を示す。羽根の固定位置はダボ用の穴の位置にそろえている。Fig.7 からわかるように、1 枚目は 112[Hz], 2 枚目は 79, 224, 501[Hz], 3 枚目は 63, 398[Hz], 4 枚目は 16, 94, 282, 944[Hz] にピークが見られたが、いずれの振動数も複合品のピーク周波数には一致していないことがわかる。さらに Fig.8 にアーム単体の振動特性を示す。Fig.8 では、アーム A は 188[Hz], アーム B は 335[Hz] にピークが現れている。アーム A の固有振動数は、複合品の固有振動数のひとつと一致しており、複合品での振動特性に大きな影響を与えていると考えられる。



(a) Oscillation frequency is 27[Hz]  
(b) Oscillation frequency is 188[Hz]  
Fig.6 Contour diagram of the blade in fully opened at the oscillation frequency of (a) 27[Hz], (b):188[Hz]

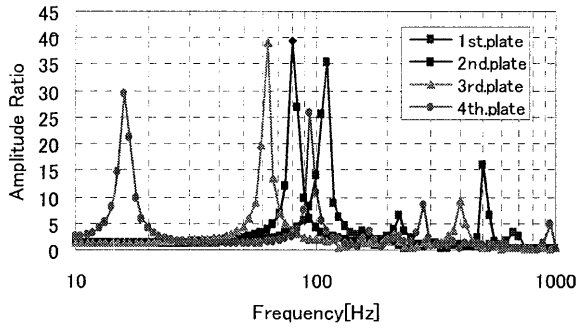


Fig.7 Comparison diagram with vibration characteristics of each single plate.

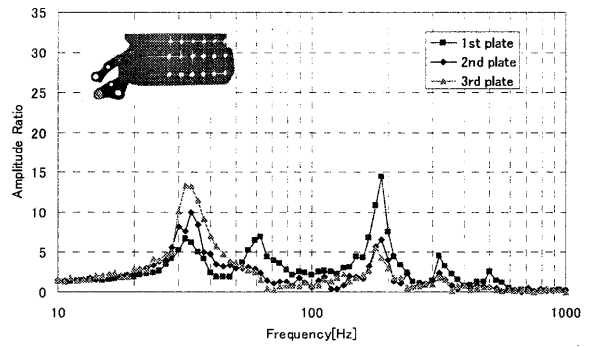


Fig.11 The vibration characteristic of the component model (Arms+1st, 2nd and 3rd plate)

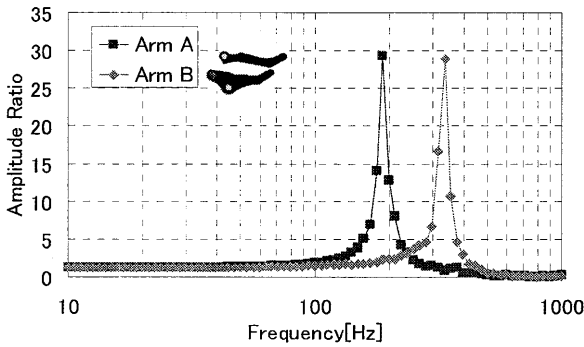


Fig.8 Vibration characteristic of the arm

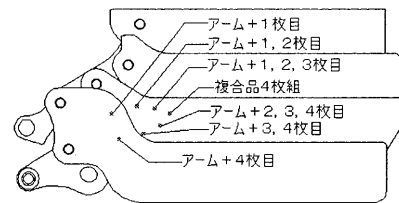


Fig.12 Location of center of mass for combined arms and plates

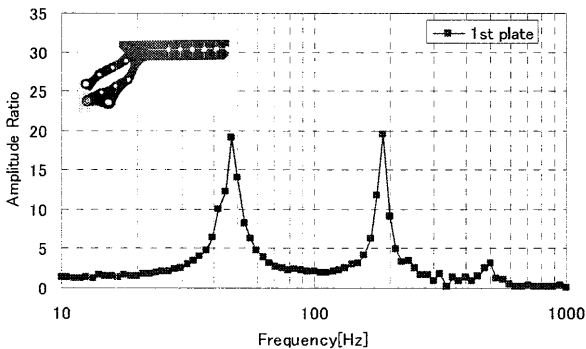


Fig.9 Vibration characteristic of the component model (two arms+1st plate)

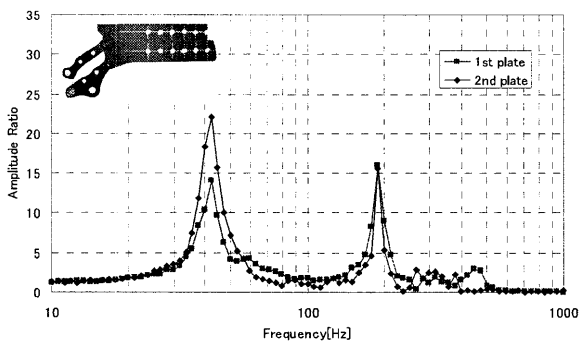


Fig.10 Vibration characteristic of the component model (two arms+1st and 2nd plate)

3.3 羽根の取り付け枚数による変化 2本のアームに取り付ける羽根の枚数を変えた場合の振動特性を検討する。まず Fig.9~11 に、2本のアームに1枚目の羽根を取り付けた「アーム+1枚目」を基準とし、順次2, 3枚目を増やした場合の振動特性の変化を示す。すべての羽根をつけると全開の状態と等しくなるよう、アームの位置を調整している。Fig.9より1枚組では47, 188[Hz], Fig.10より2枚組では42, 188[Hz], Fig.11より3枚組では32, 188[Hz](1枚目のみ63, 316, 501[Hz])に大きなピークが見られた。

最も低いピーク周波数、すなわち30~50[Hz]付近のピークに着目すると、羽根の枚数が増えるにしたがって周波数が低下する傾向が見られ、最終的に複合品4枚組で現れたピーク周波数である27Hzに近づく傾向がある。一方、複合品4枚組の全開時に見られる188[Hz]のピークは、羽根の枚数を変えた Fig.9~11のいずれの場合にも現れており、とくに1枚目の羽根の計測点では取り付け枚数によらず常に188Hzにピークを持つことがわかる。このことは、Fig.6(b)において、アーム側(測定点6側)の振幅比も大きくなっていることから、188Hzの振動では、アームの影響が強いことを示唆している。また、羽根の枚数が2枚では、2枚の羽根はほぼ同じ振動特性を持ち、羽根の枚数増加が及ぼす影響はそれほど大きくはないが、3枚目が増えることで1, 2枚目の振動特性に変化が現れ、振幅比の大きさ、共振振動数に変化が現れていることがわかる。すなわち、複合品4枚組全開の1枚目だけに見られる53[Hz], 316[Hz]

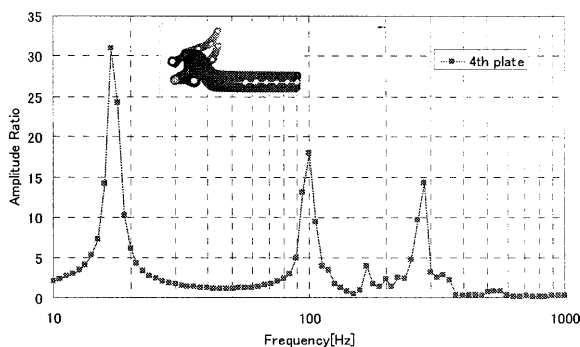


Fig.13 The vibration characteristic of the component model (Arms+4th plate)

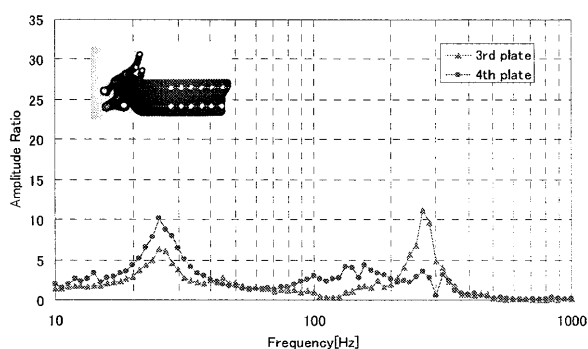


Fig.14 The vibration characteristic of the component model (Arms+3rd and 4th plate)

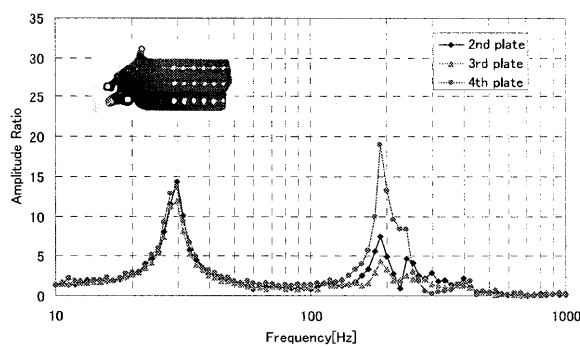


Fig.15 The vibration characteristic of the component model (Arms+2nd, 3rd and 4th plate)

のピーク周波数は、「アーム+1, 2, 3枚目」の組み合わせの場合にのみ、同様なピークが現れている。

羽根の枚数変化に伴う 30~50Hz の低周波数側のピーク周波数の変化は、羽根の枚数の増加による質量増加に伴ったものであると考えられる。Fig.12 に示すように、羽根の枚数が変化すると、シャッター羽根の重心が変化することがわかる。Fig.12 より、1枚目の羽根を基準として枚数を増やす場合の重心の位置の変化は、アーム A 側からアーム B 上へと変化するが、アーム A 上には重ならないことがわかる。これによって、羽根の枚数を1枚目から増やす場合

には、アーム B が羽根の質量を支えて振動していると考えられる。そのために、羽根の枚数増加による質量の増加に伴い、共振周波数が低下することになったと考えられる。一方、188Hz のピークは、アーム A 単体のピーク周波数と一致しており、さらに取り付ける羽根枚数の増加に伴う質量の変化にもかかわらず周波数が変化しない。これは、アーム A 上には重心がなく、羽根重量のほとんどをアーム B が支えているため、アーム A には質量変化の影響が少なく、単体のアーム A の共振現象が現れたと考えられる。

次に、2本のアームに4枚目の羽根のみを取り付けた「アーム+4枚目」を基準として、順次3枚目、2枚目を取り付けた場合の共振周波数の変化を検討する。Fig.13~15 に実験結果を示す。Fig.13 より1枚組では 17, 100, 282[Hz], Fig.14 より2枚組では 25, 266[Hz], Fig.15 より3枚組では 30, 188[Hz]に大きなピークが現れていることがわかる。まず、Fig.13 の結果は、4枚目単体の実験結果 (Fig.7) とほぼ一致していることから、4枚目1枚のみ取り付けた場合には、アームの振動の影響はほとんど現れないことがわかる。次に、Fig.14,15 の 10~30[Hz]付近に見られるピークに着目すると、羽根の枚数が増え、重心位置が複合品4枚組に近づくにつれて、複合品4枚目の全開時のピーク周波数に近づく傾向にあることがわかる。さらに、Fig.13 の 100Hz 以上に現れた複数のピークの変化を見ると、羽根を重ねるごとにピークは1箇所になり、複合品4枚組の全開時のピーク周波数に近づいていく。また、先に考察した 188Hz のピークが、羽根を3枚取り付けるまで現れないことがわかる。これは、Fig.15 のように、2枚目の羽根が取り付けられることで、2枚目がアーム A の影響を受けて、188Hz で振動し始め、ほかの羽根との衝突による干渉の結果、すべての羽根に 188Hz のピークが現れると推測できる。羽根同士の干渉は、Fig.13 や Fig.15 と比較して Fig.14 の振幅比が小さくなっていることから、3枚目と4枚目の叩き合いにより振幅比が弱めあっているのではないかという推測ができる。

#### 4. 結言

シャッター羽根の振動特性を実験的に検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 27[Hz]に見られる振幅比のピークは、アームと羽根4枚が組み合わされた場合に発生するものである。
- (2) 複合品4枚組と羽根単体の固有振動数に明確な相関はない。
- (3) 188[Hz]に見られる振幅比のピークは、アーム A の振動特性の影響を強く受けている。
- (4) 複合品の各部品の構成が変わると、シャッター羽根の重心位置の変化がおり、複合品の振動特性が変化する。