

# デジタル画像相関法に基づく振動解析技術の実用化研究

機械情報システム課 釣谷浩之 金森直希 機械電子研究所 佐山利彦

## 1. はじめに

製品開発の現場では、振動が製品に及ぼす影響を把握するために、振動解析が広く行われている。その際、振動の計測には、主に加速度センサーが用いられている。しかし、このような方法では、振動の分布を測定するためには、多数のセンサーを取り付ける必要があり、また、小さな部品では、センサーの取り付け自体が困難な場合があるといった問題を抱えている。一方で、デジタル画像相関法を用いて、画像から、変位、ひずみの分布を測定するという試みが多く行われており、このデジタル画像相関法を振動の計測と解析に適用しようという試みも散見される<sup>1)2)</sup>。画像から振動解析が可能になることで、振動計測、振動解析の過程は飛躍的に効率化されることが考えられる。しかしながら、現実の製品への適用は、現在のところ非常に限定的である。本研究では、デジタル画像相関法による振動計測および振動解析を現実の問題に適用する上での問題点を明らかにし、この手法を現実の問題に適用可能にすることで、製品開発における振動対策の効率化を図るものである。本年度は、この手法を実際の電子基板を想定した試験体に対して適用し、実用に耐える振動計測の実現を目指した。

## 2. 試験方法および試験方法

### 2.1 試験体および振動状態の撮影

Fig. 1 は、試験体を示す。試験体は、実際の電子基板を想定したもので、縦 90.3 mm×横 50 mm×高さ 22.2 mm の ABS 樹脂製の筐体の内部に縦 60 mm×横 43 mm×厚さ 1.6 mm の FR-4 基板を 4 隅でねじ固定したものである。この試験体を振動試験機に固定し、強制振動させて動画撮影を行った。周波数 20Hz、全振幅 0.5mm の一定振動で振動させデジタルカメラによって動画撮影を行った。動画の画像サイズは、縦 1080pixel×横 1920pixel、撮影間隔

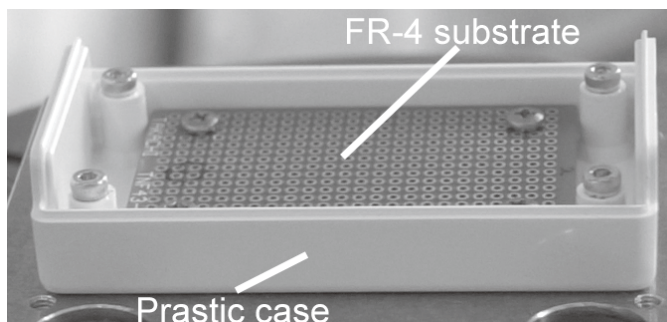


Fig. 1 Electronic substrate specimen

は、秒間 240 フレームとし、50 フレーム分、約 0.2sec の画像を用いてデジタル画像相関法による振動計測を行った。デジタル画像相関法では、画像から変位計測を行うため、特徴点の無い部分では、正しく変位計測が行われない可能性がある。そこで、試験体に黒色の塗料をスプレーし薄く着色した状態でも、撮影、計測を行った。Fig. 2 は、塗料をスプレーした状態の試験体を示す。

### 2.2 デジタル画像相関法による計測

デジタル画像相関法では、まず、粗探索により、1pixel 単位での変位分布を求める。次式で示される残差  $S$  が最小となる平行移動量 ( $u_0, v_0$ ) を各画素について求める。

$$S(u, v) = \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M |I_d(x+u+i, y+v+j) - I_u(x+i, y+j)| \quad \dots (1)$$

ここで、 $I_u$  は変形前の画素値、 $I_d$  は変形後の画素値、 $M$  は探索に用いるサブセットのサイズであり今回は、 $M=9$  として粗探索を行った、 $u, v$  はそれぞれ、 $x, y$  軸方向の変位である。

次に詳細探索を行い、1pixel 未満の精度で変位を求める。詳細探索では、次式で示す相互相関式を基礎とした評価関数を用いる。

$$C = 1 - \frac{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_d(X+i, Y+j) I_u(x+i, y+j)}{\sqrt{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_d(X+i, Y+j)^2 \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_u(x+i, y+j)^2}} \quad \dots (2)$$

$X, Y$  は、次式で表され、剛体変形および一様ひずみまでを考慮している。

$$X = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j, \quad Y = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} i + \frac{\partial v}{\partial y} j \quad \dots (3)$$

ここで、 $(u, v)$  は、サブセットの中心における変位を示している。評価関数の未知数 ( $u, v, \partial u/\partial x, \partial u/\partial y, \partial v/\partial x,$

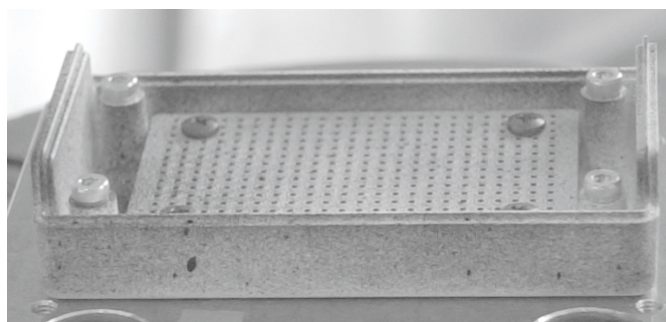


Fig. 2 Patterned specimen

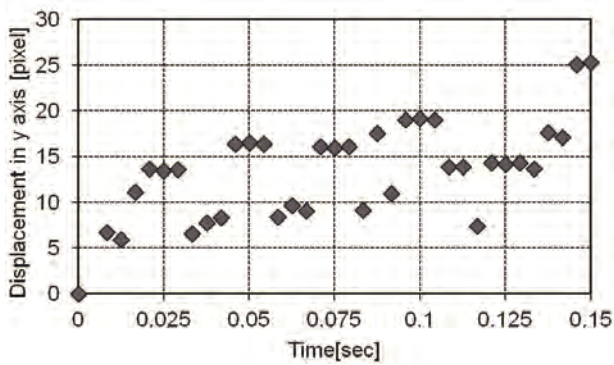


Fig. 3 Displacement in non-patterned specimen measured by DIC

$\partial v/\partial y$ ) を Newton-Raphson 法を用いて求めることで 1pixel 未満の精度で変位計測が可能になる。さらに、計測値が存在しない点についても、移動最小二乗法を用いて補間により値を求めた。

### 3. 振動計測結果

Fig.3 は、塗料をスプレーしていない状態の試験体の変位を計測した結果を示す。計測は、基板中心付近で行った。横軸は、時間、縦軸は、画像の y 軸方向の変位を示す。20Hz の正弦波によって強制振動させた試験体を計測しているため、正しく計測できていれば、変位も 20Hz の正弦波となると予想される。図からは、変位が正弦波に沿って変化しているようには見えず、一定の周期も確認できない。このため、塗料をスプレーしていない試験体では、変位が正しく計測できていないと考えられる。

Fig.4 は、塗料をスプレーした試験体の変位を計測した結果を示す。Fig.3 と同様に計測は基板中心付近で行っており、横軸は時間、縦軸は y 軸方向の変位を示す。図から一定の周期の正弦波に沿って変位が変化していることが見て取れる。また図から変化の周期は、約 0.05sec であり、20Hz の振動が正確に計測できていることがわかる。

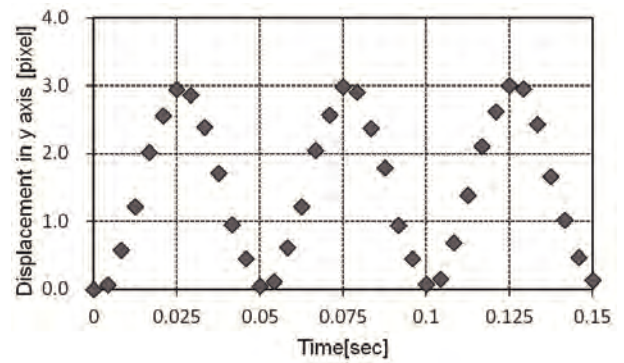


Fig. 4 Displacement in patterned specimen measured by DIC

### 4. まとめ

今回、実際の電子基板を想定した試験体を振動試験機により強制振動させ、撮影した画像からデジタル画像相関法を用いて振動計測を試みた。その結果、何もしない試験体では、画像上の特徴点が十分でなく正しく振動を計測できなかった。しかし、塗料を薄くスプレーし表面に模様を施すことで、デジタル画像相関法により、正確に振動を計測することが可能であった。今回の結果により、表面に模様を施すことで、現実の製品においても、本手法により、振動計測を行うことに、ある程度の目途がたった。しかし、実際に振動特性を計測する際には、より高い周波数の計測が必要であり、一般的なデジタルカメラのフレームレートによる撮影で、高い周波数の振動を計測する手法の開発が、今後必要である。

### 参考文献

- 1) Bebermiss, T. et al., *Proc. ISMA2012-USD2012*, (2012), pp. 1403-1415.
- 2) Chang, C. Y. et al., *Proc. The 14th IFToMM World Cong.*, (2015), pp. 635-640.

キーワード：デジタル画像相関法、振動計測、振動解析

## Practical Application of Vibration Analysis Technology Based on Digital Image Correlation

Mechanics and Digital Engineering Section; Hiroyuki TSURITANI, Naoki KANAMORI  
Machinery and Electronics Research Institute; Toshihiko SAYAMA

In this work, vibration measuring method by digital image correlation was applied the electronic substrate. The displacement distribution was measured from the video image by digital image correlation. In addition, the vibration was measured from the displacement distribution. The measured vibration corresponded approximately to the actual vibration.