

# デジタルカメラを用いたモード形状の可視化に関する研究

機械情報システム課 釣谷浩之、金森直希\*1

## 1. 緒言

製品開発の際には、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。一般に振動計測には、加速度センサーが用いられるが、センサーを取付けた場所しか計測ができない、センサーの取付けが困難な場合がある、センサーの取付けによって振動特性が変化する場合がある、などの問題がある。この問題を解決するために、デジタル画像相関法を応用し、デジタルカメラにより撮影した動画から、製品の振動特性の計測を可能としてきた。また、条件を限定することで、一般的なフレームレート(60fps)でアンダーサンプリングした動画から高周波の振動特性の計測を可能にしたり。一方で、定量的な計測は必要ないが、簡単にモード形状を知りたいというニーズがあり、デジタルカメラによる撮影データからモード形状を可視化できれば、非常に簡単にモード形状を知ることができるようになる。ただ、モード形状を可視化するためには、画像全体のピクセルについて、変位の計算を行う必要があり、全てのピクセルについて計算を行えば、非常に時間がかかり、デジタルカメラを用いたことによる利便性が損なわれる。そこで、本研究では、移動最小二乗法などの補間計算を適用することで、少ないピクセル数の変位計算から、全体の変位を求め、短時間でモード形状を可視化することを目指す。これにより、振動計測・振動解析を広く普及させ、製品開発を効率化させることができ、県内企業の製品の品質向上に大きく貢献することが期待される。本年度は、振動する対象を撮影した画像から全体の変位分布を計測することでモード形状を可視化することを目指した。

## 2. 実験方法

### 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、縦 115 mm×横 160 mm×厚さ 1.2 mm のガラスコンポジット基板である。こ

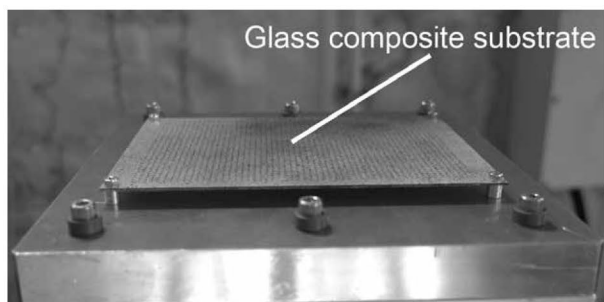


Fig. 1 Electronic substrate specimen

の試験体を四隅でアルミ製のスペーサーを介して6mmの隙間を空けて振動試験機に固定した。固定した試験体をこの試験体の共振周波数付近の 104Hz、速度振幅 0.1m/s の一定振動で強制振動させ、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、撮影間隔は、秒間 60 フレームとし、撮影した動画を用いてデジタル画像相関法により変位を計測した。デジタル画像相関法による変位計測を確実にするため、試験体に黒色の塗料で薄く着色し、ランダムパターンを施した。

### 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、サブセットと呼ばれる一定のサイズの領域を決め、この領域単位で計算を行う。まず、粗探索により、残差が最小となる平行移動量( $u, v$ )を各画素について求める。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。

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

$X, Y$  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。

$$X = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j, \quad Y = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} i + \frac{\partial v}{\partial y} j \dots (2)$$

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 ( $u, v, \partial u/\partial x, \partial u/\partial y, \partial v/\partial x, \partial v/\partial y$ ) を Newton-Raphson 法を用いて求めることで、高い精度で変位計測が可能になる。

## 3. 実験結果

試験体を一定振動させて撮影した動画からデジタル画像相関法により、その変位を求めた。任意のフレームを基

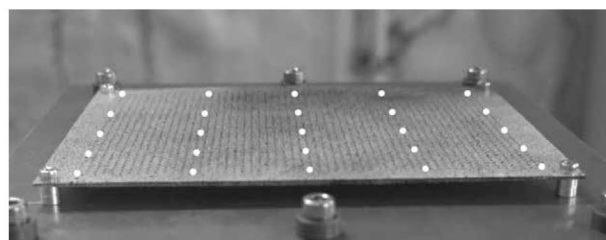


Fig. 2 Measured point for mode shape on the specimen

\*1 現 企画調整課

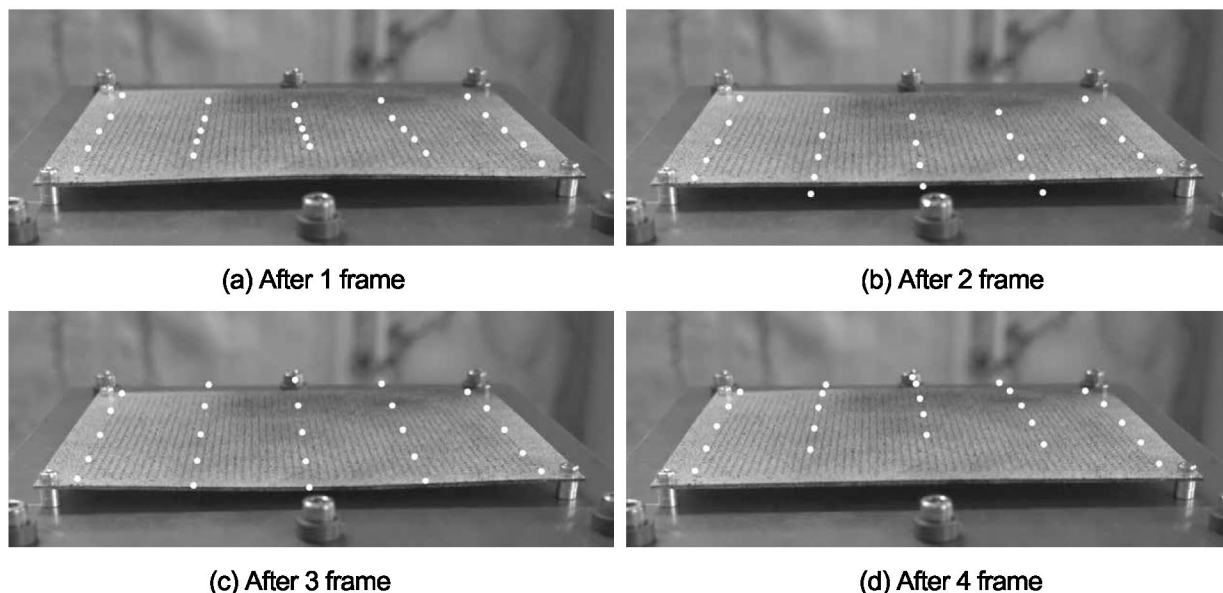


Fig. 3 Mode shape at the primary resonant frequency

準フレームとして、そこから1~4フレーム後の変位を確認した。Fig.2は、基準フレームの試験体を示す。モード形状を分かり易くするために、白丸で示した5×5の25点について変位がどのように変わったかを示す。Fig.3は、基準フレームから1~4フレーム後の変位を示す。Fig.2で示した白丸がどのように変位したかを、同様に白丸の位置で表示してある。変位が確認しやすいように、画像上下方向の変位は、実際の5倍に強調して表示してある。基準フレームから1フレーム後のFig.3(a)では、基板中央奥側が、下方向へ、基板中央手前側は逆に上方向へ変形しているのがわかる。2フレーム後のFig.3(b)では、手前側、奥側ともに基板中央で下方向に変形しているのが見て取れる。Fig.3(c)の3フレーム後の状態は、基板中央でFig.3(a)とは逆に、手前側が下方向へ、奥側が上方向へ変形しているのがわかる。4フレーム後のFig.3(d)では、基板中央で、Fig.3(b)とは逆に、奥側、手前側ともに上方向へ変形していることがわかる。以上で見てきたように、この周波数では、基板の奥側と手前側で変形方向が逆になったり揃ったりしながら、基板中央部が上下に変形して

いることが明らかとなった。このことは、デジタル画像相関法による振動計測により、モード形状を観測できることを示している。

#### 4. 結言

本研究では、振動する対象を撮影した画像から全体の変位分布を計測することでモード形状を可視化することを目指した。試験体として用いた電子基板をその共振周波数付近である104Hzで一定振動させ、撮影した動画からデジタル画像相関法により任意の基準フレームから1~4フレーム後の変位を確認した。その結果、基板が、奥側と手前側で変形方向が逆になったり揃ったりしながら基板中央部で上下に変形している様子が確認され、デジタル画像相関法を用いて、振動を撮影した動画からモード形状を可視化することができた。

#### 参考文献

- 1) 釣谷浩之ほか、富山県産業技術研究開発センター研究報告、No.35(2021)、pp.86-87

キーワード：デジタル画像相関法、モード形状、振動解析、振動計測

## Visualization of mode shape from Moving Images Based on Digital Image Correlation

Mechanics and Digital Engineering Section; Hiroyuki TSURITANI and Naoki KANAMORI\*<sup>1</sup>

In this work, we tried visualize the vibration mode shape from moving images. Electronic substrate was vibrated by vibration-testing machine. Moving images were recorded by digital camera that frame rate is 60 fps. Displacement distribution were measured from moving images by digital image correlation. In the result, mode shape at the primary resonance frequency was clearly visualized.