

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成26年2月28日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560415

研究課題名（和文） 高速点滅光の分散配置による振動計測システムの開発

研究課題名（英文） Development of vibration measurement system based on distributed configuration with high-speed blanking lights

研究代表者

西 一樹 (NISHI KAZUKI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：00208125

研究成果の概要（和文）： 分散配置した高速点滅光を高画素カメラで撮影し PC 上でパターン解析することにより、各種機械振動の時間的軌跡を 2 軸方向において測定可能なプロトタイプシステムを開発した。それに至るまでの本研究期間において、

- ①専用小型 LED ディスプレイの試作、
- ②パターンの位置・姿勢の位置ずれ検出手法の開発および検出精度の検証、
- ③専用装置を必要としない汎用使用可能な簡易ブレ評価システムの開発、

を行い所望の成果が得られた。

研究成果の概要（英文）： We have developed the prototype system for measuring the temporal trajectory of various mechanical vibrations in two axial directions. It is realized by analyzing high-density camera images of high-speed blanking light patterns. In this study period, the following results were obtained:

- (1) Manufacturing the small LED display for realizing the blanking light patterns,
- (2) Developing the method for detecting positions and orientations of the pattern, and examining the detection accuracy,
- (3) Developing the simplified system for evaluating vibrations without any specific equipment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：計測システム、振動計測

1. 研究開始当初の背景

エンジンや車体、建造物、工場設備などの機械振動に対する精密計測は、品質保証・安全性確保・環境維持につながる重要課題である。振動計測には様々な方法があるが特に非

接触タイプのものに着目すると、レーザードップラー、レーザ干渉、モアレ縞などを利用した方法がある。

レーザードップラー法は、被測定対象にレーザ光を照射し、反射光とのビート周波数

から振動変位の速度成分を検出する方法であり、その時間積分をとれば振動変位を時間波形として測定できるという特徴がある。レーザー干渉法は、振動変位による光の位相差を、反射光との干渉により生じるモアレ縞として観測する方法であり、光の波長オーダーの分解能で変位を測定できるという特徴がある。またモアレ縞法は、被測定対象に基準となるモアレ縞を投影し、振動変位によって生じるモアレ縞の移動を観測する方法であり、インコヒーレントな測定系であるため装置が比較的簡易に構成できるという特徴がある。前2者はレーザー光に替えて超音波を利用する方法もあり、後2者を融合させたものも開発されている。いずれも奥行き方向の1次元変位の測定を前提としており、また後2者は振動波形パターン自身を高い時間分解能で測定するのは難しいという問題がある。

本課題での狙いは、奥行き方向に直交する2軸について振動波形の時間的推移を高時間分解能で測定可能な手法を提案し、必要に応じて従来法との組み合わせにより3軸振動の同時計測を実現するものである。

本提案に至るきっかけとなったのは、カメラ撮影時の手ブレを測定するために、被写体として動画のテストパターンを撮影し、それをPC上でパターン解析することにより、従来は難しかった手ブレを3次元軌跡として検出し、それにより補正装置の効果を定量的に評価可能にするシステムの開発に成功したことである。これまでカメラの各種評価には、静止画のテストチャートを用いることが一般的であったのに対して、テストパターンとして動画を用いたのは初めての試みであり、これによって手ブレを様々な視点から詳細に解析し定量評価が可能になった。

手ブレ測定に動画テストパターンが有効であることから、被写体振動の測定にも活用できると考えて本課題の着想に至った。カメラ・被写体のどちらの振動であっても相対的な変位として撮影画像にその情報が記録されるため、振動原因が被写体側にあっても同様な計測は原理的に可能である。

2. 研究の目的

各種機械振動を時間分解高くかつ簡易に計測するための手法として、分散配置した高速点滅光を高画素カメラで撮影し、その画像をPC上でパターン解析することにより、振動の時間的軌跡を2軸方向において分解能高く測定可能な方法を新たに提案し、そのプロトタイプシステムを開発する。分散配置の高速点滅光を利用するという申請者のアイデアは、カメラの手ブレを測定するシステムにおいてすでに導入され大きな成果を収めている。これを各種振動体にまで測定対象を

広げ、従来法では難しかった2軸方向の振動パターンの計測を可能にする新たなシステムを開発するというのが本課題の狙いである。

3. 研究の方法

(1) 小型LEDディスプレイを用いた振動測定の検証

LEDディスプレイは手ブレ計測・補正評価システム用としてすでに開発済みである。これを振動測定用に適した小型LEDディスプレイの試作を行う。これを用いて加振台により既知の振動を与えたとき、どの程度の精度で振動が測定可能かを検証する。

(2) 新たな位置ずれ検出手法の開発

これまでは、提示パターンの規則性から、振動により生じた撮影画像上のパターンの位置ずれをパターンマッチングにより検出し、各フレームでの検出結果を接続することにより振動軌跡を求めていた。本課題ではパターン構成の任意性にも対応しうるように、パターンマッチングを使わず、各点光源像の重心座標を求め、他の点像との座標位置関係から、各瞬間のパターンの位置・姿勢を計算し、各時刻間で相互に接続することで振動の運動軌跡を求める方法を新たに開発する。これに基づいた振動検出性能の実験評価を行う。

(3) 簡易振動測定システムの開発

監視カメラや車載カメラなどへの本技術のニーズを考慮して、専用のLEDディスプレイを必要とせず汎用的に使用可能な簡易振動測定システムを新たに開発した。計測用パターンを表示するデバイスとして市販の液晶ディスプレイを利用し、開発済みの専用装置と同様に動画の格子パターンを表示させ、振動体に設置したカメラで撮影する。その振動検出の実験検証を行う。

4. 研究成果

(1) 小型LEDディスプレイを用いた振動測定の検証

振動測定用の小型LEDディスプレイを試作した。点灯の様子を撮影したものが下図である。振動の検出例として、カメラ撮影時の

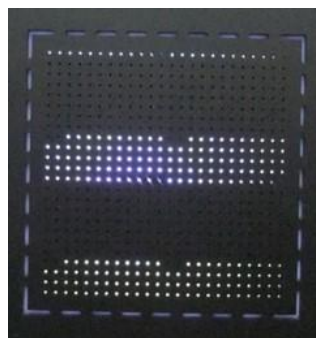
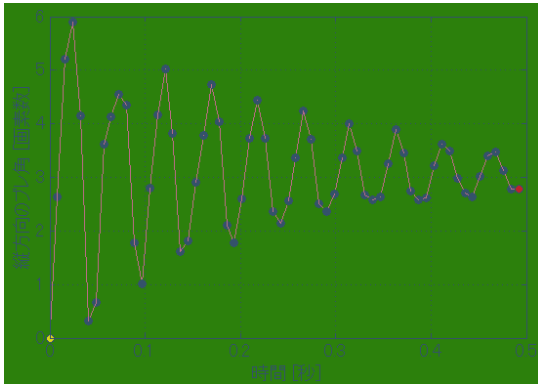
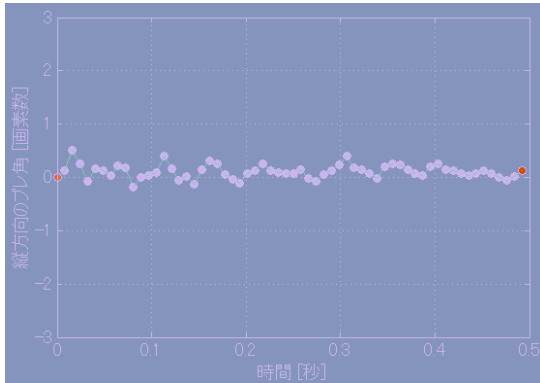


図1 試作したLEDディスプレイ



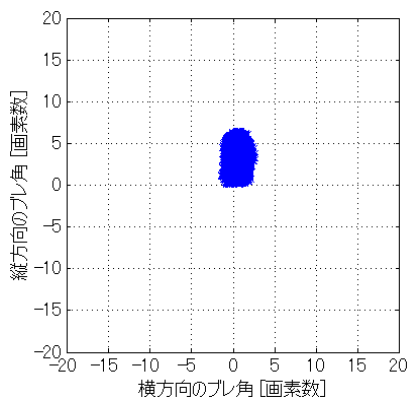
(a) ミラーショック



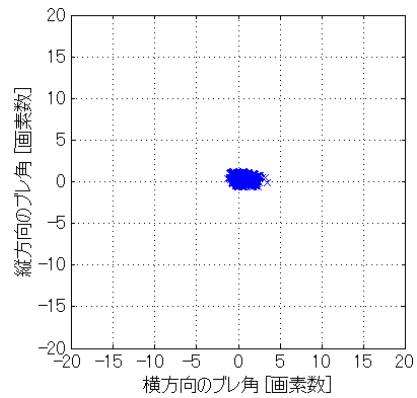
(b) ミラーアップ撮影での残留振動

図2 シャッター振動の検出例（縦方向）

シャッター振動を測定した（図2）。一眼レフのミラーショックによる減衰振動（同図(a)）、およびミラーアップ撮影により振動を軽減したときの様子（同図(b)）が確認できる。重さ3kgの三脚にカメラを設置し、焦点距離300mm、撮影距離3.5m、シャッター速度0.5秒での撮影結果である。これは縦(pitch)方向のみの振動波形であるが、横(yaw)方向と合わせて2次元の振動軌跡としても検出可能である。図2と同様の条件で100枚撮影し、各軌跡を1つのグラフに重ね合わせた分布が下図である。振動の軽減が縦方向にのみ見られ横方向にはほとんど見られないのは、ミラーが上下に動作するためであり、その様子が本手法により確認できる。



(a) ミラーショック



(b) ミラーアップ撮影での残留振動

図3 シャッター振動の検出例（2軸方向）

本手法による振動検出の精度を確認するために、既知の振動を与え検出結果との比較を行った（図4）。「理論値」は振動台の実際のブレ角、「平均値」は本手法により撮影画像から検出したブレ角について測定点数で平均した値である。赤色の縦棒は標準偏差による誤差範囲を意味する。横軸は9枚の撮影画像のそれぞれに対する誤差評価結果であることを表す。これにより0.5画素（ブレ角換算で0.0015度）以下の精度で測定可能なが確認できた。

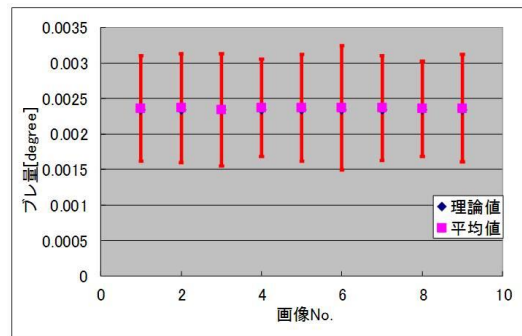


図4 検出誤差の検証（パターンマッチング方式）

なお、当初はLEDディスプレイに対応する分散点光源を振動体に取り付ける構成を計画していたが、望遠レンズを装備したカメラを振動体に取り付ける方が画像上でブレ幅が拡大され検出分解能が向上するため、この構成をとることとした。

(2) 新たな位置ずれ検出手法の開発

これまでのパターンマッチングに替わる新たな位置ずれ検出手法として、各点光源像の重心座標を求め、他の点像との座標位置関係から、各瞬間のパターンの位置・姿勢を計算し、各時刻間で相互に接続することで振動の運動軌跡を求める方法を新たに開発した。これにより、パターンの配置構成が変わっても、位置座標の登録データをそれに合わせて変更することで、柔軟に位置ずれ検出が行えるようになった。

本手法に対しても振動検出精度について

検証を行った (図5)。パターンマッチング方式と同程度の 0.6 画素 (ブレ角換算で 0.0018 度) 以下の精度で測定可能なことが確認できた。

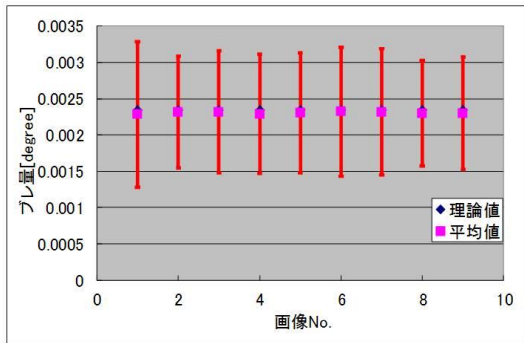


図5 検出誤差の検証 (新たな点位置ズレ検出法)

(3) 簡易振動測定システムの開発

LED ディスプレイなど専用装置を必要としない一般ユーザー向けの簡易振動評価システムとして、PC 上での計算を必要とせず撮影画像だけから手ブレの度合を視覚的に容易に確認できる動画テストチャートを作成した。これは、十字模様を不規則に移動表示させ、1 サイクル分が画像に記録されると格子模様になるように作られている (図6)。これを市販の液晶ディスプレイに映し撮影する。振動が大きいほどパターンが崩れ具合が顕著になるので、その様子から振動の大きさを視覚的に把握することができる (図7)。

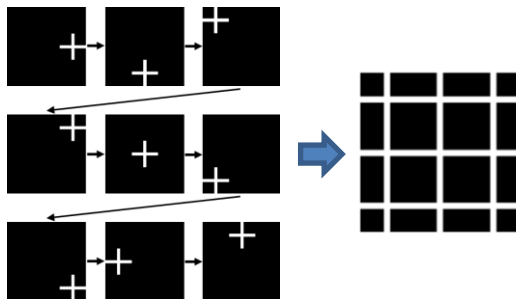


図6 視覚的評価のための動画チャート

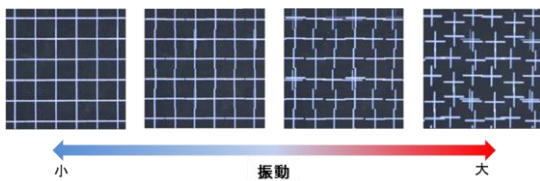


図7 各振動に対する撮影画像の例

この発展として格子模様の崩れ具合を定量化する手法についても新たに開発した。ここでは、隣り合う十字模様間の距離すなわち交点間の距離を求め、その散らばり具合 (標準偏差) をもってブレ量とする。すなわちブレがない場合は、十字模様間の距離は一定になるので標準偏差は 0 となり、ブレが大きくなるにつれて距離がばらつき標準偏差

は大きくなる。

加振台により各種の振動振幅を与え、前述の方法によりブレ量を求めた結果、シャッター速度 1/6 秒 (青色)・1/8 秒 (緑色)・1/10 秒 (赤色) のいずれにおいても振動振幅にしたがってブレ量が比例することが確認できた (図8)。参考までに手ブレ補正 ON (ピンク色) で測定すると、振動振幅によることなく小さな一定値を示すことが確認できる。また、照明環境に測定結果が依存しないことも確かめられた。

以上のことから、特別な機器を必要とせず簡易に振動測定可能なシステムの有効性が検証できた。

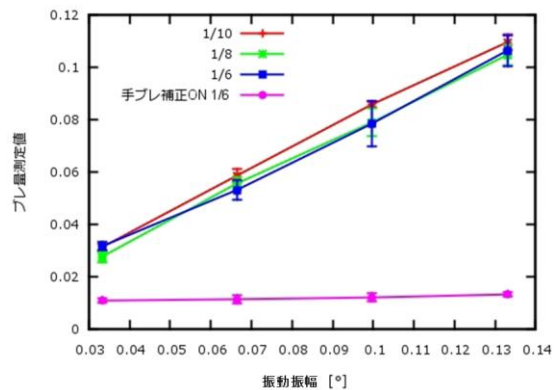


図8 簡易振動システムに対する評価

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- [1] K. Nishi, T. Onda, "Evaluation System for Camera Shake and Image stabilizers", Proc. of IEEE Int. Conf. on Multimedia & Expo (ICME), pp.926-931, 2010. (査読有)
- [2] 西一樹: "画像情報の計測技術", 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン, Vol.15, pp.36-40, 2010. (査読無)

[学会発表] (計3件)

- [1] 萩原透, 西一樹: "手ブレ量簡易評価システムの開発", 精密工学会画像応用技術専門委員会 ビジョン技術の実利用ワークショップ VIEW2012, パシフィコ横浜, 2012.12.7.
- [2] 中村 翔, 西一樹, 長田宏二: "手ブレ・振動測定評価システムの実用化", 日本写真学会学会秋季研究発表会, 京都工芸繊維大学, 2012.11.30.
- [3] 西一樹: "ブレを測る: 手ブレ振動計測・補正評価システム", 日本写真学会, 発明会館 (東京都), 2010.11.19.

[図書] (計1件)

- [1] 西一樹 他: 映像情報メディア学会編「デジカメの画像処理」, オーム社, pp.103-132, 2011.

〔産業財産権〕

○取得状況（計3件）

名称：ブレ測定システムおよびブレ測定方法
発明者：西 一樹 他
権利者：電気通信大学
種類：特許
番号：特許第 4930927 号
取得年月日：2012年2月24日
国内外の別：国内

名称：ブレ測定システムおよびブレ測定方法
発明者：西 一樹 他
権利者：電気通信大学
種類：特許
番号：ZL200780047538.6
取得年月日：2011年5月18日
国内外の別：国外（中国）

名称：Jiggle Measuring System and Jiggle
Measuring Method
発明者：西 一樹 他
権利者：電気通信大学
種類：特許
番号：US 7856172 B2
取得年月日：2010年12月21日
国内外の別：国外（米国）

〔その他〕

ホームページ等

<http://nishi-lab.cei.uec.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西 一樹 (NISHI KAZUKI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・
准教授

研究者番号：00208125

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし