

令和 4 年 4 月 28 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00769

研究課題名（和文）高速視覚を用いたハイパー振動スペクトルカメラの研究

研究課題名（英文）A Research on Hyper Vibration Spectrum Camera Using High-speed Vision

研究代表者

石井 抱（ISHII, IDAKU）

広島大学・先進理工系科学研究科（工）・教授

研究者番号：40282686

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,900,000円

研究成果の概要（和文）：音響信号と時間周波数帯域が整合した多次元振動スペクトル画像に基づくダイナミクススペース画像認識を実現する、画素レベルでの振動スペクトル解析機能を高速視覚に並列実装したハイパー振動スペクトルカメラを開発し、様々な振動サーベイランス応用事例を通し、音声周波数レベルの振動パターン認識を可能とする、高速画像認識技術と振動解析技術が融合した実時間振動スペクトルイメージングの有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで限定された計測点数のスポット構造診断ツールであった振動解析技術の適用範囲を大きく広げる分布型ダイナミックセンシング技術を確立した点で学術的意義は高く、アビオランスのみでは検出が難しい、構造物・機械の疲労検査、製品クラック検査、生体インピーダンス計測等の応用場面において、入力不変なダイナミクス特性に基づく実時間かつ長時間振動イメージング技術としての技術革新を喚起した点で社会的意義は高い。

研究成果の概要（英文）：We develop a hyper vibration spectrum camera in which pixel-level vibration spectrum analysis is implemented in parallel to a high-speed vision system. It can realize dynamics-based image recognition based on multi-dimensional vibration spectrum images in which brightness signals are processed in the audio frequency range. We show its effectiveness in real-time vibration spectrum imaging that enable vibration pattern recognition by hybridizing high-speed image recognition and vibration analysis through vibration surveillance cases in various applications.

研究分野：計測工学

キーワード：実時間・長時間振動イメージング 画素レベル振動スペクトル計測 分布型ダイナミックセンシング 音声周波数レベルでの振動パターン認識 高速画像認識と振動解析の統合

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

振動は機械や構造物等に共通の問題であり、実測データに基づき対象ダイナミクス特性を把握する振動解析技術は、機械、航空、社会基盤等の分野の構造物診断ツールとして重用されている。実測データの多くは、加速度センサ等によりピンポイント計測され、実機振動試験の多くは、FEMなどの振動シミュレーション解析に比べ、計測点数が限定された振動解析を行っている。画像による変位・歪分布推定を行うデジタル相関法(DIC)を用いて、高速ビデオ解析による振動分布計測が数多く報告されているが、短時間スポット解析に限定されてきた。

この問題に対して、研究代表者らは高速視覚を用いた実時間振動解析を行い、振動モード解析法等の高速視覚システムへの実時間実装により、数十点の計測点での振動分布計測の実時間実現に成功している。これらの知見・ノウハウに基づき、画素レベルの時系列信号に対する振動スペクトル解析・認識を並列実行する高速視覚システムに基づき、目視不能な振動情報を瞬時可視化する振動スペクトルイメージングの具現化を目指すべく、本研究を着想するに至った。

2. 研究の目的

音響信号と時間周波数帯域が整合した高速視覚システムに基づき、画素レベルの輝度信号に対して計算された振動スペクトル分布を特徴量とするパタン認識を可能とする実時間振動スペクトルイメージングの概念を提案し、対象トラッキングも考慮した時系列振動スペクトル解析によるダイナミクススペース画像認識理論の体系化を行う。実際に周波数スペクトル解析機能を高速視覚に並列実装したハイパー振動スペクトルカメラを開発するとともに、空間アピアランス検査のみでは欠陥・経時変化が検出困難であったサーベイランス応用事例を通し、人間の目には不可能な音声周波数レベルの振動パタン認識を可能とする、高速画像認識技術と振動解析技術が融合した実時間振動スペクトルイメージングの有効性を示す。

3. 研究の方法

画素レベルでの振動スペクトル解析を並列実時間実行するハイパー振動スペクトルカメラを開発し、対象トラッキングも考慮した時系列振動解析を統合した振動スペクトル画像認識アルゴリズムの体系化を行うとともに、様々な応用サーベイランス事例を通して、その有効性を明らかにする。具体的には以下の研究項目の研究を行った。

- 振動分布を実時間可視化するハイパー振動スペクトルカメラ
- 多次元振動スペクトル画像を用いた振動パタン認識アルゴリズム
- ハイパー振動スペクトルカメラを用いた振動サーベイランス応用

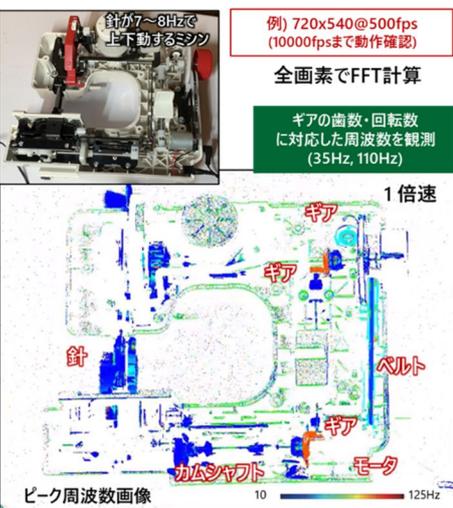
4. 研究成果

振動分布を実時間可視化するハイパー振動スペクトルカメラ

1) 輝度信号を全画素レベル信号処理するハイパー振動スペクトルカメラ

高速視覚をフォトセンサの集合として、図1のように $K(=2K')$ フレームの入力画像 $I(x, y, t_i)$ ($t_i = t + k\tau, k = 0, \dots, K-1$)から、短時間フーリエ変換(STFT)計算により K' 個の振動スペクトル画像 $F(x, y, t) = (F^0(x, y, t), \dots, F^{K'-1}(x, y, t))$ を求めることを考える。振動スペクトル画像を用いた振動イメージングを実時間実現するために、画素レベルでのSTFT計算をGPUコンピュータでの並列計算により高速化したハイパー振動スペクトルカメラを開発した。Intel Xeon W-2145 CPU@3.70GHz, NVIDIA GeForce RTX 2080Tiを持つGPUコンピュータに用いた場合について、画素レベルSTFT

計算の実行時間を表1に示す。画素数及びフレーム数 K が大きいと実行時間は大きくなり、例えば 720×540 画像に対し、 $K = 16, 32, 64, 128, 256$ では、 $160, 80, 36, 16, 7$ fpsでの振動スペクトル画像を実時間出力できる。 $K=128$ で



K	16	32	64	128	256
640×480	4.51	8.42	16.10	31.81	66.09
720×540	6.24	12.31	27.67	64.38	149.86
1280×720	11.91	25.59	45.84	94.66	201.12
1920×1080	28.89	59.32	120.69	243.44	449.73

表1 画素レベルSTFT計算の実行時間(ms)

は、CPU のみの実行時間 3467.2ms に比べ、GPU 使用時実行時間が 64.38ms となり、GPU 並列実装による高速化を実現した。高速視覚ハードウェアとの連動により、10000fps で取得した 256×256 画像に対し、40ms 以下の間隔で振動スペクトル画像をディスプレイ上へ実時間可視化を実現するとともに、USB3.0 高速カメラや CXP12 カメラ等の汎用高速カメラと連動可能としたハイパー振動スペクトルカメラを開発した。針が秒間 7~8 回上下動するミシンを 500fps 撮影した 720×540 画像に対する実時間振動イメージング例を図 2 に示す。図 2 は振動スペクトル画像から計算されたピーク周波数画像を示し、針の動きの 7~8Hz の振動(青)と同時にギア歯数・回転数に対応した 35Hz(水色)、110Hz(赤)の振動成分が観測され、輝度信号に基づく画素レベル STFT 計算を行う振動スペクトルカメラによる人間の目に見えない音声周波数レベルの回転や振動の実時間可視化に成功した。

2) 変位・速度分布を実時間振動解析するハイパー振動スペクトルカメラ

輝度信号に対する振動スペクトルカメラを発展させ、ブロック単位での DIC 計算も含めた GPU 並列実装による高速化により、変位・速度分布に対して実時間振動解析を可能としたハイパー振動スペクトルカメラを開発した。Intel Core i9-10900X CPU @ 3.70GHz, NVIDIA GeForce RTX 3090 GPU を持つ GPU コンピュータを用い、例えば 1920×1080 画像をブロック単位 64×64 で分割した場合、DIC 計算の実行時間は 0.72ms であり、1000fps の速度・変位分布計算を実現し、 30×16 画像となる速度・変位分布の STFT 計算(例えば $K = 128, 256$)に基づく振動スペクトル計算を実時間実行可能とした。シンバルを叩いた様子を 500fps 撮影した 1920×1080 画像に対する、

速度分布に基づく実時間振動イメージング例を図 3 に示す。上段右矢印は拡大表示された速度ベクトル、下段左は 0~250Hz 間の周波数毎にカラーマップ表示された振動スペクトル画像、下段中は平均振動スペクトルを示す。振動スペクトル画像に基づいて、シンバルの共振周波数である 42, 91, 148Hz 付近に対応したピーク周波数が実時間検出され、速度分布に基づく実時間振動可視化が実現された。

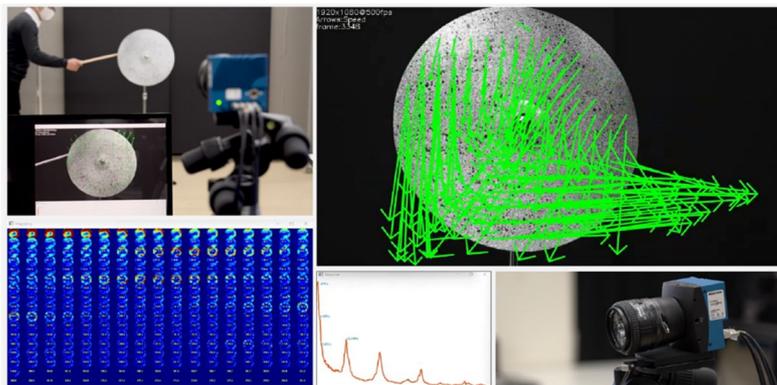


図3 変位・速度分布に基づく振動スペクトルカメラによる実時間振動イメージング例

多次元振動スペクトル画像を用いた振動パターン認識アルゴリズム

1) 振動スペクトル相関計算に基づく画素レベル振動スペクトルパターン認識

画素毎に計算される振動スペクトルがヒストグラム統計量であることを用いて、振動スペクトル相関を用いた画素単位での振動パターン認識法を提案した。処理の流れを図 4 に示す。

A) プロトタイプ振動スペクトル計算

認識クラス $l (= 1, \dots, L)$ に対応した振動対象を撮影した画像 $I_l(x, y, t)$ に対する振動スペクトル画像を求め、クラス l を代表するプロトタイプベクトルとして対象領域にある画素の平均振動スペクトル $\tilde{F}_l = (\tilde{F}_l^0, \dots, \tilde{F}_l^{K-1})$ を計算する。

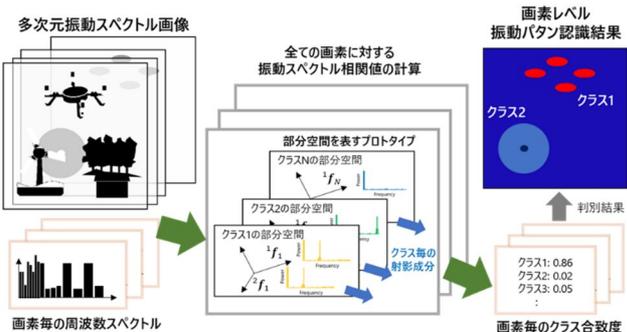


図4 振動スペクトル相関計算に基づく振動パターン認識

B) 振動スペクトル類似度計算

入力画像に対し計算される振動スペクトル画像 $F'(x, y, t)$ に対し、画素毎にプロトタイプベクトル \tilde{F}_l との類似度ベクトル $S(x, y, t) = (S_1(x, y, t), \dots, S_L(x, y, t))$ を計算する。 $F'(x, y, t)$ 及び \tilde{F}_l は、 $F(x, y, t)$ 及び \tilde{F}_l を低周波成分カットした上で正規化された振動スペクトルベクトル、 $S_l(x, y, t) = \text{sqrt}(F'(x, y, t) \cdot \tilde{F}_l)$ ($l = 1, \dots, L$) は Bhattacharyya 係数である。

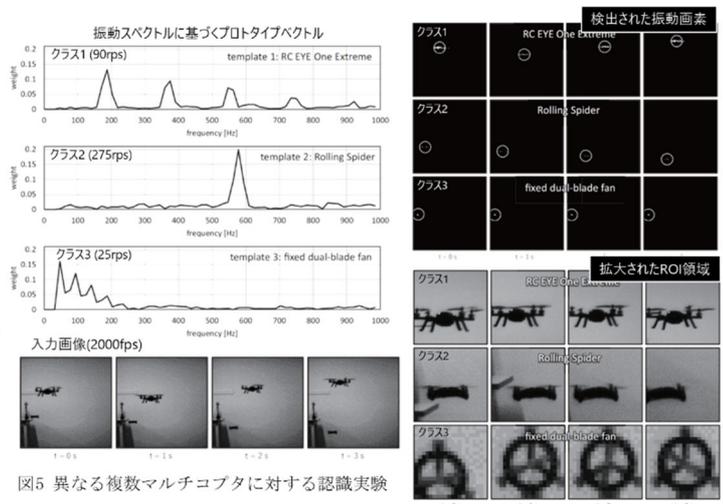


図5 異なる複数マルチコプタに対する認識実験

C) 画素レベル振動パターン認識

$S(x, y, t)$ の最大成分が閾値を超える場合、そのクラス $l_{max}(x, y, t)$ を認識クラスとする。

回転数や大きさが違う複数マルチコプタが飛翔する様子を 2000fps で撮影した 512 × 512 画像に対して提案手法を適用した実験結果を図 5 に示す。視野内には、二枚羽プロペラが 90rps 回転するマルチコプタ、二枚羽プロペラが 275rps 回転するマルチコプタ、25rps 回転する二枚羽ファンがあり、左上で示す振動スペクトルがプロトタイプベクトルとして予め与えられている。右下の図のようにクラス毎に認識された振動領域を中心とした形でそれぞれ 160 × 160, 80 × 80, 20 × 20 ROI 画像を拡大すると、クラスに対応した振動対象が検出できており、解像度の限界から画質が低下する場合も含めて、画像輝度の変化に基づく振動パターン認識により、異なる回転数を持つ振動対象を画素レベルで同定・定位可能なことを確認した。

2) 振動位相スペクトル解析に基づく画素レベル異常振動検出

画素レベル STFT 計算において、周波数毎に計算される振動位相スペクトル画像 $P(x, y, t) = (P_0(x, y, t), \dots, P_{K-1}(x, y, t))$ を利用し、指定した周波数 f_i について、基準位置 (x_0, y_0) の位相 $P_i(x_0, y_0, t)$ との位相差を全画素で計算した位相差画像 $\Delta P_i(x, y, t) = P_i(x, y, t) - P_i(x_0, y_0, t)$ による画素レベル異常振動検出法を提案した。30Hz で振動するねじ付きブレッドボードが 200fps 撮影された 512 × 512 画像に対し、30Hz での位相差画像を計算した結果を図 6 に示す。位相差画像はブレッドボード自体の振動を基準として計算され、ねじ 1~4 のうち、4 以外がブレッドボードに固定されている。ねじ周辺を拡大した位相差画像から、固定ねじ 1~3 は位相差が 0 と ±180 度に集中し、ブレッドボードとほぼ同位相に対し、非固定ねじ 4 は位相差が -60 度と 120 度に集中し、異常振動に伴う位相差が検出された。また左右端を固定した上で中心部に 50Hz の垂直加振を与えた 30cm 四方のゴムシート (0.5mm 厚) が 250fps 撮影された 640 × 480 画像に対し、50Hz での位相差画像の計算結果を図 7 に示す。左右方向に不均一な形でかかる張力に伴い、加振点を起点とした斜め上下方向の分水嶺的形状を持つ非対称な形で位相差画像が観測され、目視では捉えられない振動特性を画像として可視化することができた。

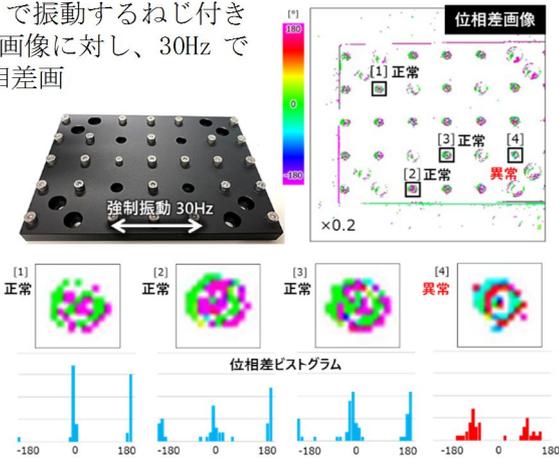


図6 振動するブレッドボードでの異常ねじ検出

また左右端を固定した上で中心部に 50Hz の垂直加振を与えた 30cm 四方のゴムシート (0.5mm 厚) が 250fps 撮影された 640 × 480 画像に対し、50Hz での位相差画像の計算結果を図 7 に示す。左右方向に不均一な形でかかる張力に伴い、加振点を起点とした斜め上下方向の分水嶺的形状を持つ非対称な形で位相差画像が観測され、目視では捉えられない振動特性を画像として可視化することができた。



図7 位相差画像によるゴムシートの振動可視化

3) トラッキングを考慮した振動スペクトル計測

画素レベル STFT 計算ではフレーム数が多いほど正確な周波数解析ができる一方で、振動対象の移動速度が大きいと STFT 計算での遅延の影響を受け、同一画素で観測できる波数の減少に伴う周波数解析精度低下が問題となる。この問題に対し、振動トラッキング精度及び周波数解析精度を両立するために、異なるフレーム数による STFT 計算の並列実行を前提とした、デュアル画素レベル STFT に基づく時系列振動スペクトル計測法 (図 8) を提案した。少ないフレーム数で遅延を抑えた第一の画素レベル STFT は振動領域追跡・定位に用い、数多くのフレーム数で周波数解像度を向上させた第二の画素レベル STFT は振動対象の振動スペクトル特性推定に用いる。デュアル画素レベル STFT 計算は、2 つの GPU を持つコンピュータ上に実時間実装することができ、飛翔ドローンに対するパン・チルト追跡等でその有効性が確認されているが、本報告書では振動サーベイランス応用例として飛翔昆虫アクティビティ計測実験結果を後述するものとした。

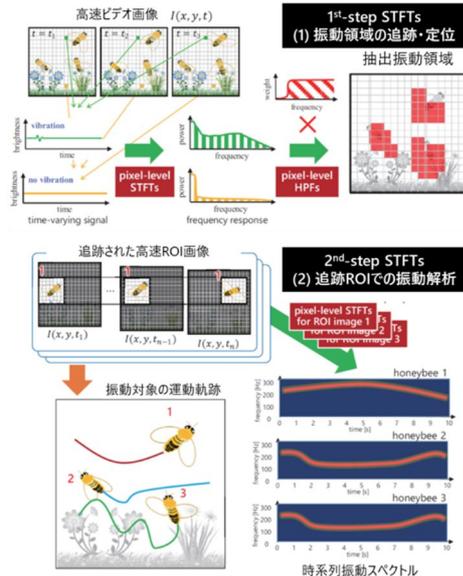


図8 デュアル画素レベルSTFTによる振動スペクトル計測

ハイパー振動スペクトルカメラを用いた振動サーベイランス応用

1) 強制振動試験における長時間振動モニタリング実験

振動試験機上に固定されたスチール製の箱 (35 × 24 × 24cm) を水平方向に振動させ、500fps 撮影した 1920 × 1080 画像を用いた実時間振動モニタリング実験を行った。図 9 に実験環境及び結果を示す。本実験は速度分布を計測するハイパー振動スペクトルカメラを用い、箱は白黒スペckルパターンで塗装され、272 秒間にわたり 5 ~ 200Hz で掃引された正弦波振動が与えられた。DIC ブロック単位は 128 × 128、STFT 計算に用いたフレーム数は $K = 512$ とした。図中央には箱上方の計測点での 272 秒間の水平速度グラフ及び全計測点の平均振動振幅スペクトルの時間変化、図

右には共振音が大きくなった 28.3Hz (32.3s), 45.9Hz (54.5s), 137.7Hz (177.1s) での振幅強度画像及び平均振動振幅スペクトルを示す。結果はディスプレイに常に表示され、共振現象を伴う強制振動試験での実時間振動可視化を確認し、自動車部品等の試験動作でも同様なことを確認した。

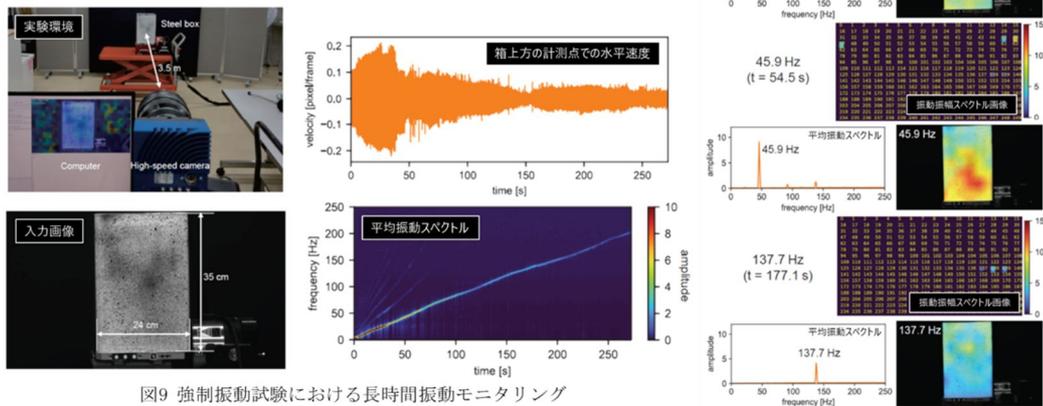


図9 強制振動試験における長時間振動モニタリング

2) 時系列振動スペクトラム情報に基づく飛翔昆虫アクティビティ計測実験

巣箱周辺で 150 ~ 300Hz の羽ばたきで飛翔する複数セイヨウミツバチ (体長 13 ~ 15mm) を 500fps 撮影した 1024x1024 画像に対し、デュアル画素レベル STFT に基づく時系列振動スペクトル計測法を適用した実験結果を図 10 に示す。外観では判断が難しい場合もミツバチを検出し、図右下に示す 14 秒間の軌跡のように、個体別に位置と羽ばたき周波数の同時計測に成功した。図左は飛翔状態が異なるミツバチ (巣に戻る、ホバリング、飛び立つ) に対し時系列振動スペクトラムにより羽ばたき周波数の時間変化を示し、ホバリング時は他飛翔状態に比べ羽ばたき周波数が高い等、飛翔状態の差異を定量化した。また羽ばたきが 70Hz 前後のオオスズメバチ飛翔時に、ミツバチと混同せず識別可能とした。

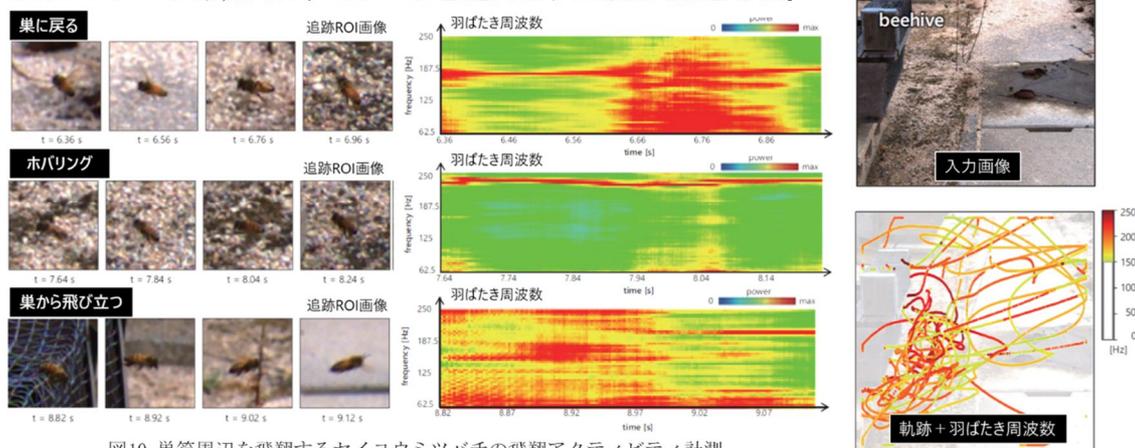


図10 巣箱周辺を飛翔するセイヨウミツバチの飛翔アクティビティ計測

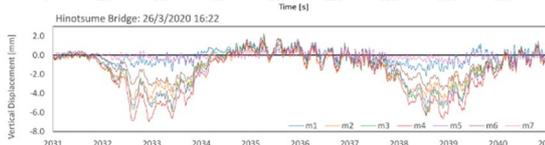
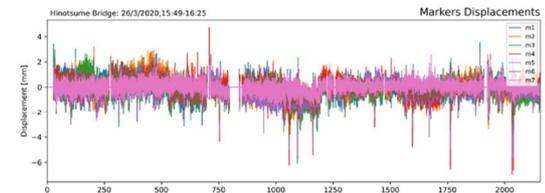
3) 大型構造物に対する振動モニタリング実験

大型構造物の振動モニタリング実験の例として、53m 長の鋼橋 (樋之詰橋、東広島市) に対するフィールド実験結果を図 11 に示す。図左のように 20m 間で欄干上に縦列配置されたマーカーを含む形で入力画像を 36 分間撮影し、各点の DIC 変位によるたわみ・振動分布を計測した。図右中は 36 分間のマーカー変位、図右下は大型トラック 2 台連続通過時の 10 秒間のマーカー変位である。トラック通過時に生じる 7~8mm のたわみ変位及び 3Hz 前後の共振現象が観測され、構造シミュレーションと類似した結果が得られることを確認した。またプラント・インフラ施設等への

ハイパー振動スペクトルカメラの導入を検討し、その一部の試験動作を通じ、センサ装着なく稼働中の大型構造物の振動可視化の有効性を関連企業と協力した検証を進めた。



図11 樋之詰橋の振動モニタリング実験



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Atul Sharma, Sushil Raut, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii	4. 巻 20(18)
2. 論文標題 HFR Projector Camera Based Visible Light Communication System for Real-Time Video Streaming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 5368-5368
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20185368	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mingjun Jiang, Kohei Shimasaki, Shaopeng Hu, Taku Senoo, Idaku Ishii	4. 巻 6
2. 論文標題 A 500-fps Pan-tilt Tracking System with Deep-learning-based Object Detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 691 - 698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.3048653	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mingjun Jiang, Ryo Sogabe, Kohei Shimasaki, Shaopeng Hu, Taku Senoo, Idaku Ishii	4. 巻 70
2. 論文標題 500-fps Omnidirectional Visual Tracking Using Three-Axis Active Vision System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIM.2021.3053971	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shaopeng Hu, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Taku Senoo, Idaku Ishii	4. 巻 21
2. 論文標題 A Simultaneous Multi-object Zooming System Using an Ultrafast Pan-tilt Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 9436 - 9448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2021.3054425	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Deepak Kumar, Sushil Raut, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii	4. 巻 -
2. 論文標題 Projection-mapping-based object pointing using a high-frame-rate camera-projector system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 8-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40648-021-00197-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zulhaj Aliansyah, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Takeshi Takaki, Idaku Ishii, Hua Yang, Chikako Uemoto, Hiroshi Matsuda	4. 巻 Vol. 31
2. 論文標題 A Tandem Marker-Based Motion Capture Method for Dynamic Small Displacement Distribution Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechantronics	6. 最初と最後の頁 671-685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2019.p0671	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhengmi Tang, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Takeshi Takaki, Idaku Ishii, Aoi Koga, Hiroshi Matsuda	4. 巻 Vol. 60
2. 論文標題 Ironworks Conveyor Monitoring Using Mirror-drive High-speed Active Vision	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 960-970
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2019-059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Takeshi Takaki, Idaku Ishii, Kazuhiko Yamamoto	4. 巻 Vol. 20
2. 論文標題 HFR-Video-Based Honeybee Activity Sensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 5575-5587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2020.2968130	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zulhaj Aliansyah, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii, and Shuji Umemoto	4. 巻 21
2. 論文標題 Single-camera-based Bridge Structural Displacement Measurement with Traffic Counting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4517- 4517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21134517	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 市川辰旺, 宮濱晃一, 佐々木謙二, 出水亨, 古賀掲維, 島崎航平, 石井抱, 松田浩	4. 巻 21
2. 論文標題 たわみ影響線及びたわみ曲線の変化率を利用した橋梁劣化箇所同定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 実験力学	6. 最初と最後の頁 97-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11395/jjsem.21.97	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Atul Sharma, Sushil Raut, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii	4. 巻 10
2. 論文標題 Visual-feedback-based Frame-by-frame Synchronization for 3,000 fps Projector-Camera Visual Light Communication	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electronics	6. 最初と最後の頁 1631-1631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/electronics10141631	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 島崎 航平, Zulhaj Muhammad Aliansyah, 妹尾 拓, 石井 抱, 伊藤 友彦	4. 巻 61
2. 論文標題 Wide-area Operation Monitoring of Conveyors Using a Panoramic Vibration Camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISIJ international	6. 最初と最後の頁 2587-2596
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-182	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kohei Shimasaki, Nagahiro Fujiwara, Shaopeng Hu, Taku Senoo, Idaku Ishii	4. 巻 103
2. 論文標題 High-frame-rate Video-based Multicopter Tracking System Using Pixel-level Short-time Fourier Transform	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Intelligent & Robotic Systems	6. 最初と最後の頁 36-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10846-021-01483-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shaopeng Hu, Wei Lu, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Taku Senoo, Idaku Ishii	4. 巻 71
2. 論文標題 View and Scanning-Depth Expansion Photographic Microscope Using Ultrafast Switching Mirrors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIM.2022.3147331	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shaopeng Hu, Hongyu Dong, Mingjun Jiang, Taku Seno, Idaku Ishii	4. 巻 7
2. 論文標題 Omnidirectional Panoramic Video System With Frame-by-Frame Ultrafast Viewpoint Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letter	6. 最初と最後の頁 4086-4093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2022.3150484	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 伊藤優, 胡少鵬, 島崎航平, 石井抱
2. 発表標題 高速アクティブビジョンを用いた顔・QRコード同時照合システム
3. 学会等名 ROBOMECH2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liheng Shen, Shaopeng Hu, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii
2. 発表標題 Simultaneous Multi-face Zoom Tracking for 3-D People-Flow Analysis with Face Identification
3. 学会等名 The 16th International Conference on Mobility, Sensing and Networking (MSN 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島崎 航平, 高橋 裕之, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 高速ビジョンを用いたバーチャル触診システム
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国支部 第59期講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島崎 航平, 胡 少鵬, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 超高速パンチルトカメラを用いたリモート振動モニタリングシステム
3. 学会等名 IIP2021 情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mingjun Jiang, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii
2. 発表標題 Vibration Detection Using Differential Multiple Exposure Imaging
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島崎航平, Atul Kumar Sharma, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 Nvidia Jetson TX2を利用した実時間振動イメージングシステム
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sushil Raut, Idaku Ishii, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Akio Namiki
2. 発表標題 Development of High-speed Miniature Pan-Tilt Embedded Vision System
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mingjun Jiang, Ryo Sogabe, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii
2. 発表標題 An Omnidirectional Multicopter Tracking System with HFR-Video-Based Vibration Source Localization
3. 学会等名 SAMCON2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sushil Raut, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii
2. 発表標題 Vibration-feature-based Multicopter Detection with CNN-based
3. 学会等名 SAMCON2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liheng Shen, Shaopeng Hu, Kohei Shimasaki, Idaku Ishii
2. 発表標題 Multi-Person Authentication Using an Ultrafast Pan-Tilt Camera
3. 学会等名 The 12th International Conference on Optics-photonics Design and Fabrication (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shaopeng Hu, Wei Lu, Kohei Shimasaki, Idaku Ishii
2. 発表標題 View and Depth Expansion System for Microscope Photography Based on Dual Ultrafast Switching Mirror
3. 学会等名 The 12th International Conference on Optics-photonics Design and Fabrication (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hironori Yoshida, Kohei Shimasaki, Taku Senoo, Idaku Ishii, Kazuhiko Yamamoto
2. 発表標題 A Long-Time Automated Honeybees Count System Using High-Speed Vision
3. 学会等名 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡村朋晃, 島崎航平, 姜明俊, 高木健, 石井抱
2. 発表標題 振動を伴う移動飛翔体に対する振動イメージング法の提案
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sharma Atul, 島崎航平, 高木健, 石井抱
2. 発表標題 Visible Light Communication using an HFR camera-projector system
3. 学会等名 The SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Deepak Kumar, Sharma, Atul, 島崎航平, 高木健, 石井抱
2. 発表標題 Informatic Projection Mapping for Simultaneous Environment Recognition
3. 学会等名 The SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島崎航平, Raut, Sushil, 高木健, 石井抱
2. 発表標題 GPU-accelerated High-speed Vision-based Vibration Spectrum Imaging
3. 学会等名 The SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zulhaj Aliansyah, Kohei Shimasaki, Mingjun Jiang, Takeshi Takaki, and Idaku Ishii
2. 発表標題 Structural Displacement Measurement with High-speed Vision System and Retro-reflective Markers
3. 学会等名 Proceedings of International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 立石 侑也, 島崎 航平, 妹尾 拓, 石井 抱
2. 発表標題 ロボットハンドを使用した加振によるねじ緩み判別
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Gaozhan Cai, Kenji Tajima, Arno Van Hoorebeeck, Periklis Stampoglis, Bert Luysaert, Bart Dierickx, Canol Gokel, Tom Van Uffelen, Gerlinde Ruttens, Jun Yamane, Idaku Ishii
2. 発表標題 A 1.3M Pixel 34,700fps Global-Shutter BSI Imager with HDR and Motion Blur Suppression Capability
3. 学会等名 International Image Sensor Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島崎航平, 妹尾拓, 石井抱, 荻原麻理, 芳山三喜雄
2. 発表標題 分蜂を捉えるミツバチカメラ
3. 学会等名 第38回センシングフォーラム 計測部門大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	松田 浩 (MATSUDA HIROSHI) (20157324)	長崎大学・工学研究科・教授 (17301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	妹尾 拓 (SENOO TAKU) (10512113)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授 (15401)	
研究分担者	姜 明俊 (JIANG MINGJUN) (30819503)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	
研究分担者	高木 健 (TAKAKI TAKESHI) (80452605)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授 (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関