



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

高速ビジョンを用いた パノラマ振動イメージングと今後

Panorama Vibration Imaging Using High-speed Vision and the Future Plans

島崎航平

Kohei Shimasaki

広島大学

デジタルものづくり教育研究センター

特任助教

1 はじめに

私は広島大学のデジタルものづくり教育研究センターに所属しており、ものづくりのデジタル化による現象の見える化の研究開発を行う、スマート検査モニタリングプロジェクト¹⁾で特任助教として勤務している。高速ビジョンにより実現される「振動の見える化」や「広範囲の同時見える化」のコア技術を通して、生産工程・製品開発プロセスの革新を目指している。様々な産業分野から参画されたコンソーシアムの企業のニーズと高速ビジョンで実装される実時間処理によるシーズ技術がマッチングして、製品検査などの応用事例を通して、「振動の見える化」技術の有効性が示されている。この振動センシング領域の技術開発を主として研究を進めており、本報では特にベルトコンベアへのパノラマ振動イメージング技術の適用事例を紹介する。

2 「振動の見える化」技術

「振動の見える化」²⁾の要素技術として、人間の目には見えない高速現象を捉え、瞬時に画像解析を行う実時間高速ビジョンを利用する。高フレームレート撮影された画像内の輝度変化を振動分布として捉えるセンサとして考えた、画素レベル振動源定位法が提案されており^{3,4)}、活用事例としてマルチコプター追跡がある。この事例では、背景を含む低周波数帯域と比較し、マルチコプター追跡のプロペラの回転周波数が極めて高くなることを利用しており、プロペラ領域内で検出される輝度の周期的な時間変化を捉え、全画素に対して画素レベルでバンドパスフィルタ・高速フーリエ変換 (FFT) 等の信号処理技術を実時間実装し、瞬時に計算される時間周波数応答に基づいてマルチコプター追跡を実現していた。こ

の技術の大きな特徴は実時間で画素レベルの時間周波数応答が計測できることであり、周期的な動作をする対象に対して有効だと考え、本研究のベルトコンベアへの適用に至った。

3 「広範囲の同時見える化」技術

従来、ビデオ画像を用いた振動解析では、複数点の振動分布を捉えることができる一方で、イメージセンサの画素ピッチに依存した形で、空間解像度が限定されてしまう。他方、空間精度を向上させるために撮影倍率を上げたズームレンズを装着したカメラを使用すると、観測可能範囲が極端に狭くなり、単一のカメラでベルトコンベアのような大型構造物の振動計測には不適である。例えば、高倍率のレンズを用いた撮影には、現在どこを撮影しているのかを把握することが困難なことが多く、複数の計測箇所の設定作業に膨大な時間を要する。

こうした撮影範囲の限界を解決するために、広域撮影を可能とするアクティブビジョン⁵⁾が広く用いられている。カメラ雲台に対して、モーターを制御することで、能動的に視点を動かすPTZカメラが代表的なアクティブビジョンとして挙げられるが、一般に高倍率のズームレンズや高解像度カメラの質量と物理的な大きさが動作速度に限界を与えてしまう。これに対し、レンズを含むカメラ本体を全く動かすことなく、視点を高速に動かすことができるミラー駆動型高速アクティブビジョン^{6,8)}が提案されている。このシステムはカメラの前方に設置された小型で軽量なミラーをモーターで高速に動かすことにより、高速視線制御を実現している。特に、高空間解像度ズーム撮影でカメラ台数を増やすことなく高速に広範囲の計測を行うことができる点で利点大きい。高速ミラー制御により、高フレームレート撮影に対応した短時間

広域スキャンの実現により、広域フィールドの瞬時モニタリングは有効な手段となり得る。更に高速パノラマ画像を生成することで、広域の視野範囲をすぐに確認することができ、拡大撮影を行う視点位置の決定がスムーズに設定できる。

4 パノラマ振動イメージング

パノラマ振動イメージングは、2章、3章で紹介した「振動の見える化」技術と「広範囲の同時見える化」技術を組み合わせたものであり、ミラー駆動型高速アクティブビジョンに振動イメージング技術を搭載した技術である。

ミラー駆動型高速アクティブビジョンを用いたパノラマ振動イメージングを、製鉄所のベルトコンベアに適用した事例を紹介する。製鉄所内に無数に設置されたベルトコンベアをターゲットとする基盤インフラ設備として考え、ベルトコンベア遠隔モニタリング試験を実施し、複数位置でのローラー支柱の回転状態を計測し、回転有無を検出することで、搬送中のベルトコンベアで発生する何らかの不具合によって生じる火災や爆発事故などの重大なインシデント⁹⁾の予防検知として、本システムの適用可能性を確認した。

処理の流れを図1に示す。まず、使用するカメラの画素ピッチや焦点距離の関係からパノラマ画像生成する制御角を

決定し、ミラーの制御角を動かすパノラマ走査と並行して高フレームレート画像を撮影し、パノラマ画像を瞬時に生成する。その後、生成されたパノラマ画像の中からどの範囲を振動イメージングするかを決め、プログラム上でその範囲を設定する。そして、設定された範囲に基づいて、視点を変更させるが、振動情報を計測するために一定時間分の画像が必要となるため、一定時間間隔で視点の切り替えを行う。視点の切り替えと並行して、一定時間の画像内の全画素輝度信号に対して短時間フーリエ変換を行い、輝度変化の振動分布を取得する。この得られた振動分布から特徴的な周波数を表現するピーク周波数画像を表示することで、ローラー回転の有無が判別可能となる。ベルトコンベアを対象としたパノラマ振動イメージングの実験の様子を図2に示す。この技術は、今回のベルトコンベア適用事例のように、広範囲における周期的な挙動の変化を常時モニタリングし、振動ダイナミクス変化に基づくインシデントの予知・保全につなげる技術として期待されている。

5 今後の展望

今後は図3で示すように、パノラマ振動イメージングをAGVに搭載し、定期点検を行う自動ロボットや監視棟のよう

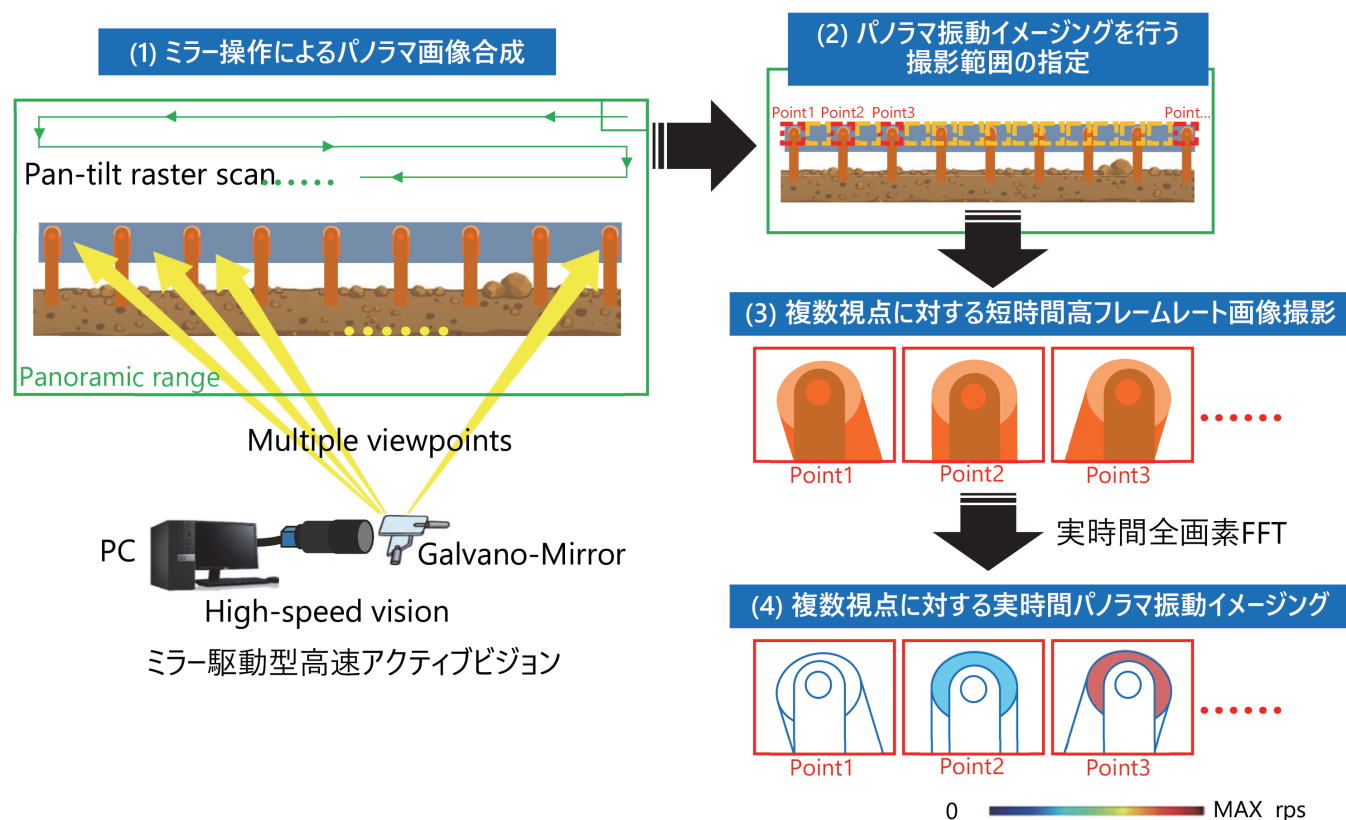


図1 高速ビジョンを用いたパノラマ振動イメージング

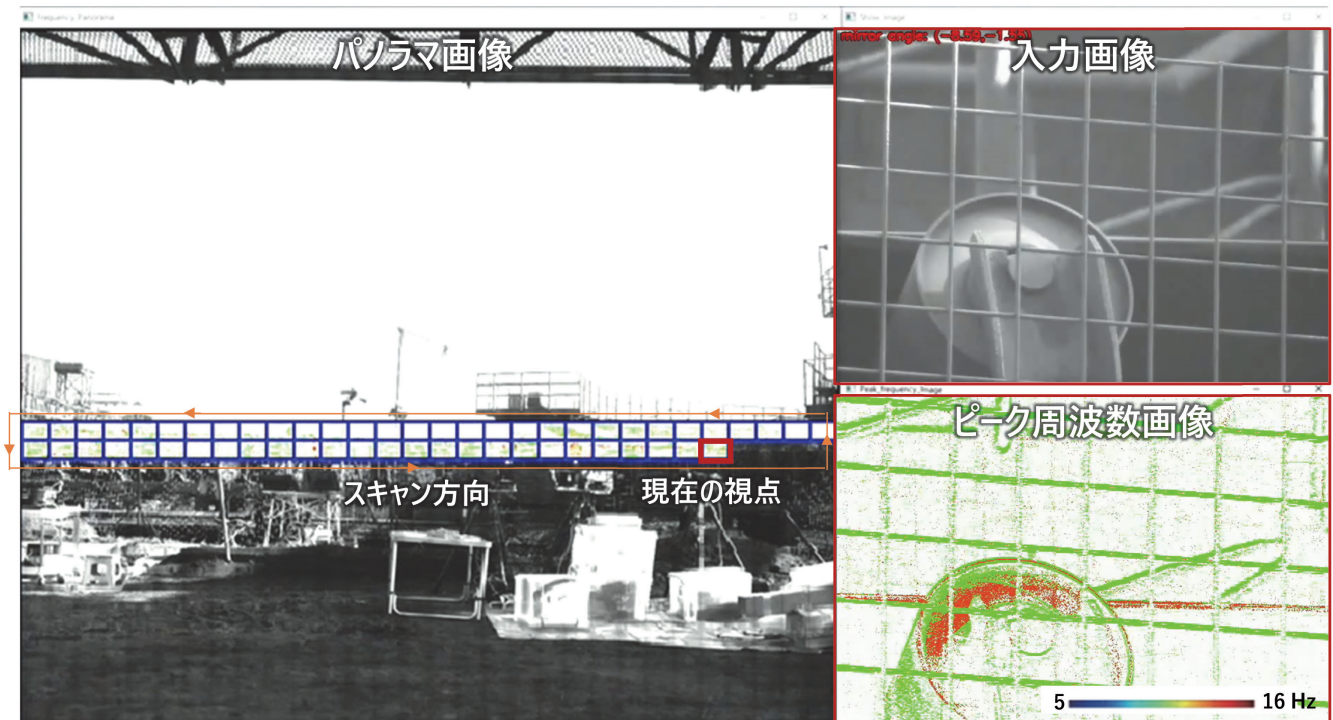


図2 ベルトコンベアでの適用事例



図3 今後の展望

な広域監視が可能な場所から巡視するシステムとして、活用させたいと考えている。例えば、定期点検を行う作業者の確認すべき位置やエリアを3次元マップ上で記録しておき、ディープラーニング等を用いて視線の集まりやすい位置の確率分布を学習して、決まった時間に学習された位置を確認するような自動振動計測システムの構築を目指していきたい。

しかし、実用化を目指していく上で、改善点が残っている。1つ目はユーザーインターフェースの問題である。研究レベルで技術開発を行ったときに、ユーザー目線で使いやすいようにデザイン設計されていない。実用化を考える上では、イ

ンターフェース部分を改善し、事前知識のない人でも使えるようにしなければならない。2つ目はミラー駆動角の限界が問題となる。現状では、パン・チルト共に視野角 ± 20 度に対応した範囲の視線方向を見ることができるが、より広域を見るためには、もう1軸を追加する等して、全方位を観測できるように改良が必要である。3つ目は焦点ぼけの問題である。現状の産業用カメラのレンズにはオートズーム・フォーカス機能が付属するものは少なく、付属していた場合には制御速度が遅いため、高速な視点切り替えに対してストレスを感じる程に応答速度に差がある。広域を観測するには、様々な距離に対応した形で、ピントを合わせて計測する必要がある。4つ目は陽炎の問題である。カメラから対象までの距離が長く、地面や海面の温度が大気と異なる場合には、大気の揺れが発生する。高倍率撮影かつ遠隔振動計測を行う場合では、こうした大気の揺らぎが解析結果に影響を与える場合も少なくない。5つ目はカメラ自体の振動である。野外環境で本システムを設置する場合には風や周辺を走行する車両、稼働する機器等による影響を受け、カメラ自体が振動してしまう。カメラ自体が受ける振動情報を画像内でフィードバックして、撮影対象のみの振動を取り出す工夫が必要となってくる。

上記のように、まだまだ解決が必要な課題は多くあるが、限定された実現場での適用事例を通して、実地経験を積むことで、一つずつシステムの課題を改善できるようにしていく必要がある。

6 おわりに

パノラマ振動イメージングは高速カメラの高い時間分解能を活かして、高い周波数帯域まで計測を可能とし、画素レベルの微小変化を捉え、微小な振動分布を取得し、広域に対して振動センシング可能である。既存設備に対して、数百、数千といったセンサの設置を行う代わりに、本システムは非接触かつ遠隔からすべての画素が振動センサとして計測可能となる事例を本稿で紹介した。今後は取得した振動情報の蓄積によりデータベースを作成し、自動インシデント検出・警告機能や全方位広域計測等の構築を目指し、様々な事例へ開発を進めていく。

謝辞

本稿で紹介した研究成果ならびに考え方は多くの先生方、企業の方々、鉄鋼協会の協力から得たものである。特に、広島大学の石井先生、長崎大学の松田先生、JFEスチールの伊藤様のご指導によるものが大きく、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) デジタルものづくり教育研究センター：スマート検査モニタリングプロジェクト, <https://hudmerc.hiroshima-u.ac.jp/project/>
- 2) K.Shimasaki, T.Okamura, M.Jiang, T.Takaki and I.Ishii : Proc.IEEE/SICE Int. Symp. Syst. Integration, (2019), 474, <https://doi.org/10.1109/SII.2019.8700340>
- 3) M.Jiang, T.Aoyama, T.Takaki and I.Ishii : Sensors, 16 (2016), 1842, <https://doi.org/10.3390/s16111842>
- 4) M.Jiang, Q.Gu, T.Aoyama, T.Takaki and I.Ishii : IEEE Sensors J., 17 (2017), 1513, <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2647690>
- 5) J.Aloimonos, I.Weiss and A.Bandyopadhyay : Int. J. Comput. Vis., 1 (1988), 333, <https://doi.org/10.1007/BF00133571>
- 6) T.Aoyama, L.Li, M.Jiang, K.Inoue, T.Takaki, I.Ishii, H.Yang, C.Umemoto, H.Matsuda, M.Chikaraishi and A.Fujiwara : IEEEASME Trans. Mechatron., 23 (2018), 179, <https://doi.org/10.1109/TMECH.2017.2764504>
- 7) Z.Tang, K.Shimasaki, M.Jiang, T.Takaki, I.Ishii, A.Koga and H.Matsuda : ISIJ Int., 60 (2020), 960, <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-643>
- 8) N.Fujiwara, M.Jiang, T.Takaki, I.Ishii and K.Shimasaki : Proc. IEEE Int. Conf. Robot., Bio. (2019), 2239, <https://doi.org/10.1109/ROBIO49542.2019.8961695>
- 9) S.Kawahara, M.Shirato, N.Kajifusa and T.Kutsukake : Proc. the TRB 93th Annual Meeting, (2014), 14, https://www.pwri.go.jp/eng/ujnr/tc/g/pdf/30/30-6-2_Shirato.pdf, (accessed 2021-02-19).

(2021年3月3日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

長崎大学大学院 工学研究科長・工学部長 教授

松田 浩

私の専門は土木工学ですが、光計測をやっていたことで、10年以上前に広島大学石井抱先生と光計測について打合せを行いました。長崎大学で実橋梁と同程度の固有振動特性のトラス模型を製作し、その振動計測を広島大学で開発された高速度カメラで計測するという共同研究プロジェクトを開始しました。2014年頃に広島大学たおやかプロジェクトを長崎大学工学部インフラ長寿命化センターがお手伝いしたこともあり、2016年から日本鉄鋼協会の適応型エリアセンシング研究会にも参画しています。2018年度末には広島大学大学院留学生を1か月間長崎大学に受け入れました。そのようなことが縁で広島大学石井研究室との共同研究は今でも続いています。

2019年度から広島大学デジタルものづくり教育研究センターの島崎航平先生との共同研究が始まりました。が、専ら、“Give & Take”の“Take”ばかりです。長崎大学の学生がメールや電話で計測機器や計測方法等を島崎先生に頻りに訊ねました。島崎先生は丁寧にご対応いただき、今年の修士論文の成果は島崎先生のお蔭だと深謝しています。

実際に島崎先生にお会いしたのは、2019年12月の製鉄所の原料コンベアの計測実験です。広島大学、福井大学、長崎大学がそれぞれの計測方法を用いて、稼働中の原料コンベアの振動を計測することが目的でした。広島

大学では学生の指導、段取り等々のすべてを島崎先生がお一人で担当されました。「若いのによくできる先生だなあ！」との想いが、私の島崎先生に対する第一印象でした。

島崎先生は、2020年度の計測・制御・システム技術賞を受賞されました。3月の春季講演大会で表彰される予定です。技術賞の研究内容は、高フレームレート望遠カメラ視野のガルパノミラー走査による広域の精細画像監視技術と、時系列画像周波数解析による振動可視化技術を組み合わせたパノラマ振動イメージング法の開発です。製鉄所での実験において、15m離れた位置にある長さ数十mにわたる実際の原料コンベアを対象として、mmオーダー、数十Hzのリアルタイムの振動モニタリングを実現し、さらに、ローラの回転状況の診断が可能なることを確認されました。

本技術はモータやコンベア構造架台、ベルトなど複数項目の異常状況も判断できる可能性が高く、他の設備への展開も期待できます。今後、少子化による作業員減少と設備老朽化への対応が大きな課題である日本鉄鋼業において、安定した生産活動を維持するための有望な技術であると思います。

今後ますます研究に取り組んでいただき、若き研究者として大いに飛躍されんことを期待します。

JFEスチール(株) スチール研究所 サイバーフィジカルシステム研究開発部 主任研究員

伊藤 友彦

老朽化の進む製鉄所の設備をトラブルなく稼働させるため、設備異常監視技術は鉄鋼各社において重要な位置づけとなっています。製鉄所の長距離に張り巡らされたコンベア、或いはアンローダーをはじめとする原料搬送移動機で一度トラブルが発生すれば、製鉄所全体の工程に影響を及ぼす恐れがあり、早期に異常を見つけ出すことが重要です。

広範囲に拡がった設備を監視するためには複数のセンサーが必要となりますが、それぞれのセンサーの電源や、データ伝送のインフラ整備といった課題が生じます。これに対して島崎先生が開発に取り組まれている高速ビジョンによるパノラマ振動イメージング技術は1か所に設置したカメラの視野を広範囲、高速に切り替えてセンシングすることが可能で、解像度を高くして局所的な振動分布も捉えることも可能です。よって、設備異常監視と非常に相性がよく、複数のセンサーによる監視よりも、効率を大きく改善できることが期待されます。

2016年に計測制御システム工学部会をあげてI型研究会「適応的エリアセンシング手法を用いた知能化設備異常診断」が立ち上がりました。この研究会において、高速ビジョン技術を設備異常監視に適用することになり、

課題抽出のためのフィールド試験を実施しました。筆者の島崎先生との出会いはこの時になります。島崎先生は当時広島大学工学部の石井研究室所属の大学院生でしたが、その若々しさから最初は研究室に配属されたばかりの学部生と勘違いしてしまいました。しかしながら、後輩学生への的確な指示や、実験環境を冷静に見渡した上で発せられる鋭い質問などから、石井研究室のキーパーソンであることがすぐにわかりました。また、橋梁など公共のインフラを対象とした振動計測を多々行っているということを伺い、なるほど経験豊富なわけだと合点がいきました。

その後、島崎先生は広島大学の「デジタルものづくり教育研究センター」の立ち上げに石井先生とともに携わり、現在は特任助教として画像計測技術の研究開発に取り組んでいらっしゃいます。センターには技術の特徴がわかりやすいように装置がディスプレイされていて、筆者が訪問した際には、島崎先生に丁寧に説明していただき、先生の技術への愛着を感じました。

今後とも、石井先生とのタッグで、設備監視のための強力な武器となる計測システムの開発をお願いいたします。さらなるご活躍を楽しみにしております。