

目視点検現場に忍者の目！効率・安全性の向上

てんかく忍者

上 田 雅 司

インフラ『点』検にDXで『革』新を起こす！「てんかく忍者」は、インフラ点検におけるDX（デジタルトランスフォーメーション）の推進を支援するため、汎用性の高い市販のビデオカメラの活用とGNSS+2周波RTKを利用して取得した位置情報との連携、画像AI処理で異常箇所の検出により、現場確認や目視点検の代替および効率化を目指している。さらに、クラウドのデータベースにより、社会インフラ維持管理の効率化と安全性向上を進めている。現場での検証結果により、点検作業の効率化と安全性の向上に寄与することが確認された。本稿ではシステムの概要および現場検証の結果について報告する。

キーワード：社会インフラ, 維持管理, 点検DX, 目視点検, 現場確認, 省人化, 画像AI

1. はじめに

土木構造物や社会インフラ設備の維持・管理において、インフラ設備の老朽化や少子高齢化などの影響により、効率化がますます重要となっている。

鉄道事業者は、月に1回の徒歩巡視や週に1回の列車巡視などのサイクルを土木、保線、電気などの各セクションがそれぞれ実施し、また道路事業者は、車による巡視を1日に数回行いつつ、降車および徒歩による点検を定期的実施している。膨大な人員を要し、夜間作業、事故リスク、熱中症や動物対策といった多くの課題を抱えている。

近年、効率的な手法として画像などによる検査や点検が認められつつある。しかし、長大かつ広大な土木構造物やインフラ設備の画像取得には多大な時間と大きな設備が必要であり、現状では一部の事業者に限られている。

この課題解決のため、市販のビデオカメラなどの動画撮影機器を活用することにより、導入や運用のコストを削減し、より多くの事業者に導入可能なコンパクトな仕組みの構築を目指した。ビデオカメラなどで長大かつ広大な構造物や設備などを動画撮影する課題の一つに、位置情報の連携が容易でないことが挙げられる。この解決策として音声に着目し、映像にGNSS+2周波RTKによる緯度経度情報と時刻などをアナログ音声で記録する手法を開発した。これにより、安価かつ容易に位置情報付きの画像が取得でき、画像による現場状況確認や机上での目視が期待できるシステム

の提供が可能となった。

さらに、めざましい進歩を続けている人工知能（AI）技術や画像解析技術を使った画像AI処理と組み合わせることで、異常の検出と場所の把握、GIS上での可視化などの効率化を行う検証も進めている。

技術の進歩により、土木構造物やインフラ設備の維持・管理がより効率的かつ安全に行えるようになることが期待される。汎用性のあるシステムの導入は、今後ますます重要となると考えている。

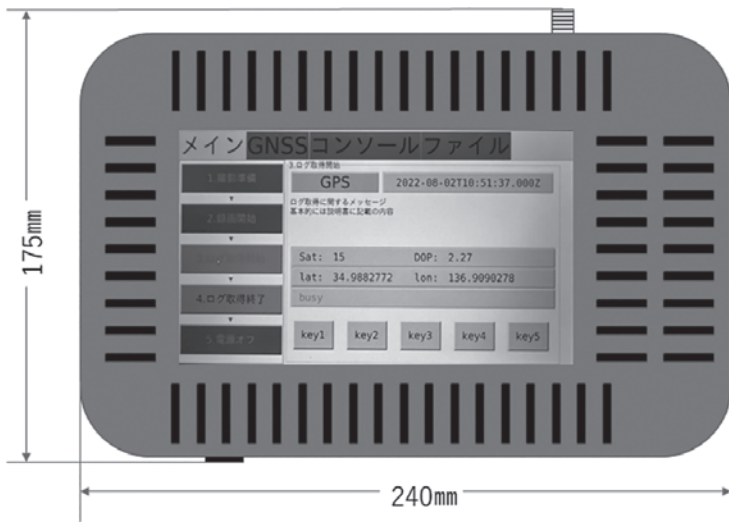
2. システムの概要

(1) GNSS-BeatBox[®]（位置情報音声発呼装置）（以下「本システム」という。）

GNSS（Global Navigation Satellite System）+2周波RTK受信機とオープンソースを用いて、GNSS信号を音声データに変換し、各種カメラに出力する装置である（特許7148910：記録制御装置、記録システム、およびプログラム）（図1）。

特徴：

- ①外部音声入力の仕組みを有する動画撮影機器に接続可能（ビデオカメラ、デジタルカメラ、アクションカメラ、スマートフォンなど）。
- ②音声分配で複数カメラの同期撮影が可能。
- ③タッチパネルによる操作と受信状況のモニタリングが可能。
- ④持ち運び可能なサイズ（W：240mm×D：175mm×H：60mm、重量：1,400g）。



- ・ 本体サイズ : W:240mm × D:175mm × H:60mm
- ・ 重量 : 1400g
- ・ モニター : 7インチタッチパネル EVICV
- ・ ケース : タカチ電機工業製PF24-6-16
- ・ GNSSセンサー : QZNEOまたはQZNEO R
- ・ SBC : Asus TinkerBoard S R2
- ・ CPU : Rockchip Quad-Core RK3288-CG.W processor
- ・ RAM : 2GB Dual Channel DDR3
- ・ OS : Debian
- ・ 内蔵バッテリー : USB PD20W 10000mA
- ・ 加速度センサー : 内蔵
- ・ 距離センサー : 内蔵
- ・ 外部端子 : USB2.0 × 1 (メモリ用)
- ・ 標準稼働時間 : 2H (外付電源により延長可)
- ・ 動作環境 : -10度~40度

図一 本システムの仕様

GNSS 信号を1秒ごとに受信し、音声データに変換して出力。音声変換処理中の受信から出力までのタイムラグは音声変換時に補正を行う。音声出力可能な情報は①シリアル No., ②緯度経度情報, ③世界標準時, ④タッチパネルキー操作, ⑤ (オプション) 各種センサー情報となる。

(2) GV-Sync® (動画→静止画変換ツール) (以下「本ツール」という。)

2. (1) で取得した動画データを位置情報付き静止画に変換するツールである (特許 7100863 : 動画処理装置, 動画処理方法, プログラム)。動画データから位置情報付きの静止画に変換する際の課題の一つは, 高速移動時の移動距離である。移動速度に応じて1秒間に進む距離が変化することに対応させること, もう一つはビルの谷間や山間部, トンネルなどでGNSSデータが欠損する区間に対応させることである。

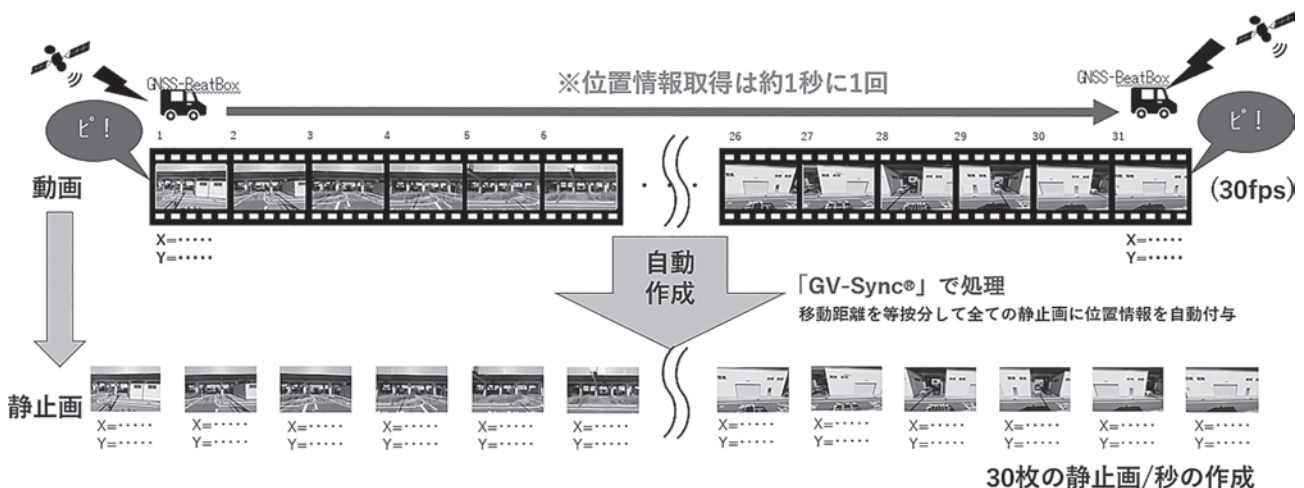
特徴 :

①高速移動時の移動距離を等分割した仮想点を計算し, 位置情報付き静止画を作成。
例 : 時速 100 km, 撮影フレーム 30 fps の場合, 1秒間の移動距離 $\approx 27.7 \text{ m} \div 30 \text{ フレーム} \approx 0.92 \text{ m}$ 毎に位置情報付き静止画を生成する (図一2)。

②GNSS データが欠損する区間を等速および直進移動と仮定する。欠損直前と再取得後の2点間の時間および撮影フレーム数から仮想点を生成し, 補正後に位置情報付き静止画を生成する。

(3) 4D-db® (時空間 Web データベース) (以下「本データベース」という。)

現場確認や点検の効率化を支援する目的で, 位置情報付き静止画の登録・閲覧をクラウドで提供するデータベースである (特許 7440855 : 動画処理装置, 動画処理方法, プログラム)。



図二 本ツールの仕組み

特徴：

- ①地図表示画面の撮影履歴ポイントを指定して画像を表示（図—3）：特定の場所の画像や過去の画像を簡単に確認可能。
- ②鉄道や道路設備に対応したキロ程，キロポスト検索が可能：インフラの管理がより効率的に行える。
- ③画像 AI 処理により検出された損傷レベルのヒートマップ表示が可能：損傷の程度を視覚的に把握でき，迅速な対応が可能。
- ④360度静止画像と静止画マルチアングル（前，後，左，右，上，下6面の静止画表示）の2つの画像表示機能を備え，さまざまな方向から現場状況やインフラ構造物などの確認が可能（図—4）：あらゆる方向の詳細な確認・分析が可能。
- ⑤同一地点の異なる撮影日の画像を左右2画面で連動表示：時間経過による変化を比較可能。
- ⑥画像表示機能は他社のGISや検査システムなどとのAPI連携が可能：現行システムへの機能追加が容易。



図—3 地図表示画面



図—4 マルチアングルのビューワ（4面表示）

3. 検証結果

現在までの試験や現場検証などの結果をいくつか報告する。

(1) 本システム位置精度試験

試験日時：2021年7月14日，15日

試験場所：名古屋高速 C1 都心環状線（図—5）

使用機器：4KSDImini（IO Industries），SHOGUN7（ATOMOS）

試験車両：トヨタ ノア ハイブリッド

試験内容：

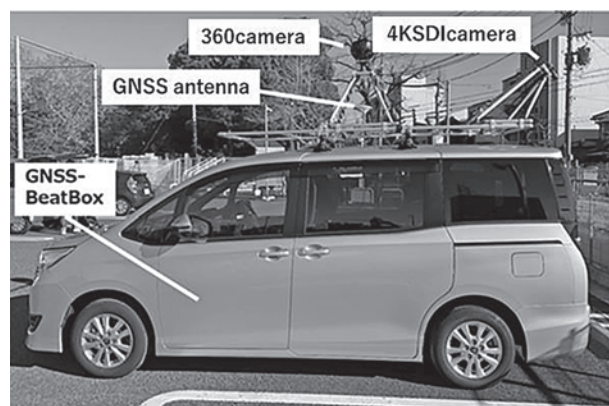
インフラの維持管理や点検の効率化で同一地点の新旧の画像比較を行うことを目的として，高速移動時の位置精度を，取得した画像を基に評価するため，実際の高速道路上で試験を実施した。

試験方法：

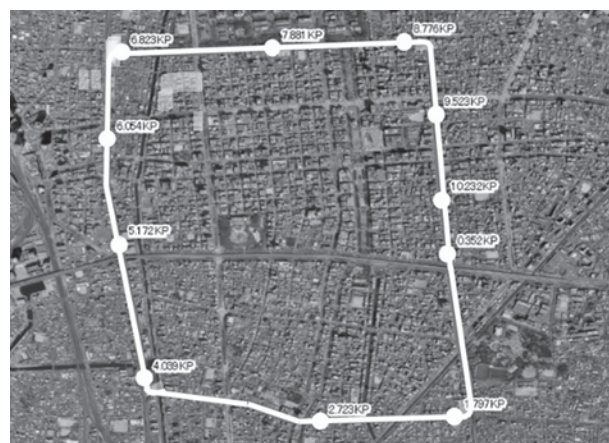
- ①カメラ設置：撮影車両後方屋根上に4KSDIカメラを設置し，本システムと音声ケーブルで接続（写真—1）。
- ②データ取得：GNSS+2周波RTK取得情報を音声データで入力しながら路面状況の動画を撮影。
- ③撮影日：14日，15日に各1周撮影を実施。
- ④データ変換：撮影動画から位置情報付き静止画に変換し，GIS上に展開。
- ⑤ズレの検証：比較が容易なジョイント部分（図—5）の画像を表示し，ズレを検証した。

試験結果：

取得した2時期の画像を並べて比較したところ，多



写真—1 撮影車両



図—5 試験場所および走行軌跡と比較検証ポイント

少のズレはあるものの、1つの画角内にジョイントが撮影されていることが確認できた(図-6)。これにより、地点をキーとした新旧の画像の比較が可能であることが分かった。

今回は屋根上にアンテナを設置し上空が開けている状況であったため、精度の良い結果となったが、列車内や自動車内に設置したアンテナによる検証では数メートルのズレが生じる場合があることが確認された。アンテナは可能な限り車外に設置することが望ましい。

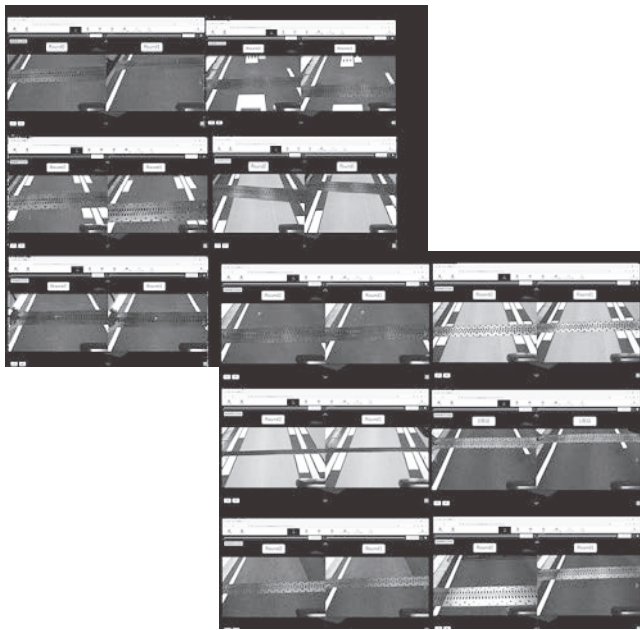


図-6 位置情報と画像の2時期比較

(2) 現地確認用映像取得, 線路の遊間検出の検証

撮影日時: 2023年6月23日, 2024年3月14日

検証場所: 南阿蘇鉄道管理機構(南阿蘇鉄道)

使用機器: FDR-AX700(SONY), ILME-FX30B(SONY)

検証内容:

- ①画像収集の位置精度および視認性の確認: 軌道内で確認できる線路設備や鉄道構造物, 周辺状況を対象と



写真-2 列車内4方向カメラ設置状況

した現場確認用画像の位置精度および視認性の確認。

- ②レール継ぎ目(遊間)の画像AI検出: 間隔を3段階評価とヒートマップで可視化。

検証方法:

- ①列車内に4台のビデオカメラを吸盤および三脚で設置し, 1台の本システムから音声ケーブルを分配接続し前方, 下方(軌道面), 右側, 左前方の撮影を実施した(写真-2)。
- ②撮影動画から位置情報付き静止画に変換し, 本データベースに登録し現場確認用画像の位置精度および視認性の確認を実施。
- ③下方の静止画の画像加工と間隔の3段階の遊間検出の画像AI処理を実施。
- ④地図上で3段階ヒートマップ可視化の検証。

検証結果:

各撮影画像は音声データにより同期されマルチビューワで4方向の表示が確認できた(図-4)。4K画質で視認性も問題無く, まくら木や締結装置やボルトも鮮明に視認することができ, 現場確認に使える品質であった。

数回の強化学習ではほぼ全ての遊間を3段階検出できることが確認された。ヒートマップ表示により異常箇所の可視化が可能となり(図-7), 現地状況との整合性も確認できた。2023年6月23日, 2024年3月14日の2時期の画像比較検証も行えた(図-8)。



図-7 遊間検出場所とヒートマップ表示(拡大)



図-8 遊間の2時期比較(左:2023/6/23 右:2024/3/14)

(3) レール締結装置（板バネ）の異常検出の検証

検証期間：2023年2月22日～2025年3月10日

検証場所：A 鉄道会社（非公開） ローカル線

使用機器：FDR-AX700 (SONY), FDR-AX60 (SONY)

検証内容：

列車巡視時の取得画像の活用で徒歩巡視の回数削減を図るため、まずは板バネの画像 AI 処理による異常検出を検証する。

検証方法：

- ①営業列車の先頭窓に吸盤を用いて、下方向（軌道面）を撮影するためのビデオカメラを設置し、本システムを接続して動画データを取得（複数回）。
- ②撮影動画から位置情報付き静止画に変換と画像加工。
- ③静止画を用いて、板バネの異常を検出する画像 AI モデルを作成。

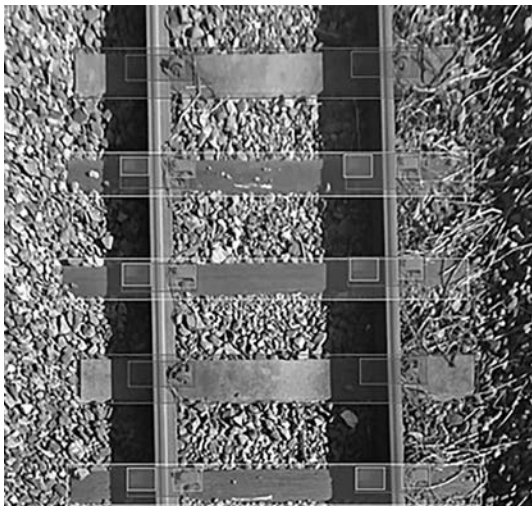
- ④別日に取得した動画データで画像 AI 処理とその検証。

検証結果：

- ①営業列車（時速約 85 km）の先頭車内撮影からレール締結装置が鮮明に視認可能な画像の取得が確認できた。
- ②静止画に変換した画像を教師データとして板バネの異常検出の画像 AI モデルの作成を行い画像 AI 処理の検出精度と効率化が確認できた（図—9）。

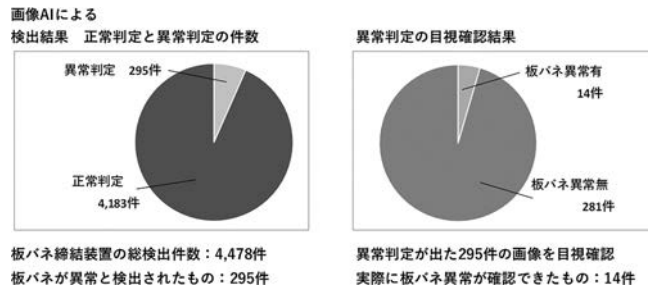
この画像 AI モデルを検証した結果、約 4.5 km の区間で確認された板バネ総数は 4,478 個、AI が異常と判定した板バネが 295 個、画像の目視確認によりその内の 14 個に異常が発見された（図—10）。位置情報付き静止画のため、その発生場所（キロ程）も把握可能である。

4,478 個から AI 処理にて確認箇所が 295 個に絞られたことにより約 93% の作業削減が実現でき、現場



図—9 レール締結装置（板バネ）異常検出モデル

での徒歩による確認の手間を考えるとそれ以上の効率化が期待できることが分かった。異常箇所の未検出率は 0.048% であったという結果も踏まえ、引き続き板バネの AI 処理精度の向上と犬釘の浮き、継ぎ目板異常、ボルトの抜け、木まくら木の劣化、軌道内雑草、まくら木の記号、地上子、データデポなど他の線路設備の画像 AI モデル作成と検証を続けている。



図—10 板バネ異常検出 AI による検証結果

(4) 応用検証：軌道長尺画像による机上目視の検証

検証場所：B 鉄道会社（非公開）

使用機器：FDR-AX700 (SONY)

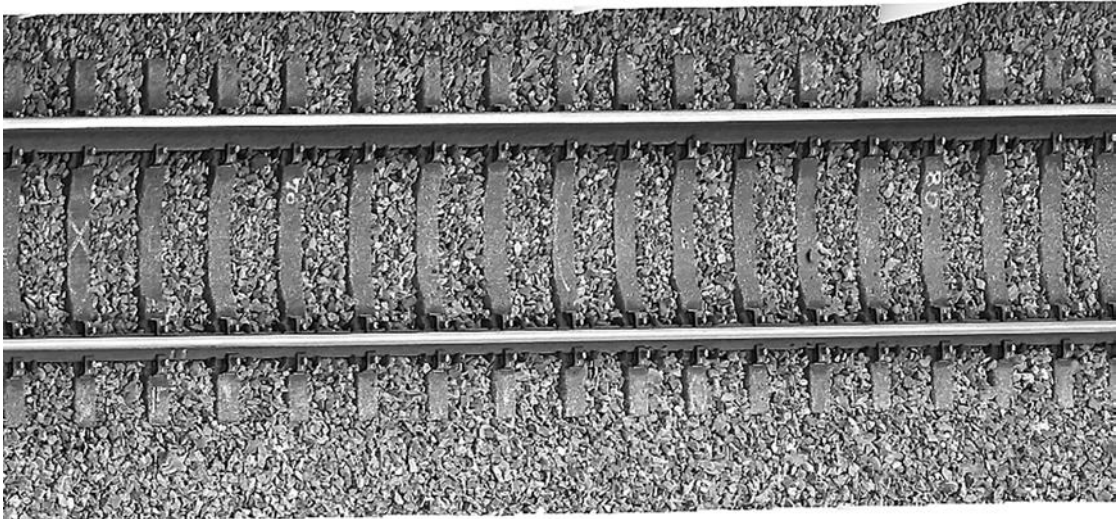
検証内容：

徒歩巡視作業の軽減を目的として、営業列車から線路設備の高精細画像を取得し、連続接合画像（長尺画像）を作成し机上で線路目視が可能か検証した。

- ①撮影：営業列車の先頭窓に市販のビデオカメラを吸盤で設置し、最高時速約 90 km で走行しながら撮影した（写真—3）。
- ②データ取得：位置情報を音声データで映像に記録しながら 4K 画質で動画撮影。
- ③静止画の切り出し：動画から位置情報付き静止画を生成。
- ④画像加工：静止画を真上から見た状態に自動で画像加工。
- ⑤速度計算と最適画像切り出し：取得された位置情報から移動距離を計算し、接合に最適なサイズの画像



写真—3 先頭車両からの撮影角



写真一4 連続接合画像（長尺画像）の一部



写真一5 連続接合画像（長尺画像）拡大

を自動作成。

⑥画像接合：作成された画像を自動接合し長尺画像を生成した（写真一4）。

検証結果：

カメラ設定と撮影時の天候などにも左右されるが、市販のビデオカメラで撮影された映像でも鮮明にボルトの合いマークを確認することが可能であった（写真一5）。これを加工することにより、机上で軌道設備を目視確認するための連続接合画像を生成できることが確認された。

4. おわりに

「てんかく忍者」は、専用の機器や車両を必要とせ

ず、市販の製品や営業車両を活用する安価で容易に導入できるシステムを目指している。これにより、いつでもどこでもデータの取得が可能であり、汎用性に優れ、さまざまな場面で活用できると考える。

現場での検証結果から取得したデータは、問合わせ対応や近接工事申請の現場確認に活用できる。また、画像 AI や連続接合写真を活用することで、異常の発見作業効率が大幅に向上し、現場作業の手間を削減できることが確認され、これにより、安全性の向上にも貢献している。

一方、現在は GNSS+2 周波 RTK を利用するため、地下やトンネル内での正確な位置情報の取得が不可能である。これらの場所に対応可能なセンサーや、暗所での高速移動時に鮮明な動画データを収集する手法の研究開発を進めていく。

本報告では鉄道事業向けの内容を取り上げたが、道路維持管理や河川維持管理においても検証や導入が進んでいる。今後も各種センサー技術や画像解析技術を有する機関との協力を進め、さらなる精度向上と他の設備への応用を目指していく。

JICMA

【筆者紹介】

上田 雅司（うへだ まさし）
ナカシャクリエイテブ(株)
インフラ DX 政策担当
執行役員

