

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

画像解析技術で線路の 巡視を省力化する

軌道の維持管理においては、保線従事員の減少や線路設備の経年化を背景に、検査から処置必要箇所を選定、処置の実施までの業務の省力化・効率化と鉄道輸送の安全確保の両立が求められています。これに対して、営業列車などの先頭に設置したステレオカメラで取得した映像を解析することで、安全・安定輸送に影響を与える可能性がある、もしくは脱線事故時の被害拡大に関わる要因を検出する画像解析エンジンを開発しました。ここでは、このエンジンで用いられている画像解析技術について紹介します。

はじめに

軌道の維持管理業務の一つに、従事員が定期的に列車の先頭に乗り、列車の安全・安定輸送に影響する可能性がある物体の線路周辺への存在や、以前の状態からの変化を確認する列車巡視があります。本業務では列車への添乗が必要なほか、物体の存在などを正確に把握するスキルが必要なため、省力化や効率化への高いニーズがあります。また、列車の脱線事故時に車両の挙動によっては被害拡大に至る沿線要

因(ハザード)を把握し、その存在箇所では軌道の保守時期を早めるなどのリスクを考慮した維持管理法も提案されています。そこで、巡視業務やハザード把握を支援するソフトウェア(画像解析エンジン)を開発しました¹⁾。本エンジンは、列車などの先頭に設置したステレオカメラによって得られる線路とその周辺の映像を地上側のサーバーに取り込み、集積後に適用することを想定しています(図1)。



三和 雅史
Masashi Miwa
軌道技術研究部
軌道管理研究室長



清水 惇
Atsushi Shimizu
前 軌道技術研究部
軌道管理研究室
副主任研究員



昆野 修平
Shuhei Konno
軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員



川崎 恭平
Kyohei Kawasaki
前 軌道技術研究部
軌道管理研究室
副主任研究員



猿木 雄三
Yuzo Saruki
九州旅客鉄道株式会社
施設部 企画課
課長代理



図1 画像解析エンジンの活用の流れ

画像解析エンジンの概要

線路周辺において、安全・安定輸送に影響を与える可能性がある、もしくは脱線事故時の被害拡大に関わる状況が存在することを評価するためには、車両と沿線の物体との距離や位置関係、また沿線環境の時間的な変化や走行する地形などを適切に把握する必要があります。例えば、沿線の物体が建築限界(☞参照)に接近している場合や以前の状態から変化している場合、将来的に列車の走行を支障する要因となる可能性があります。また、脱線後の車両が線路近傍の設備や構造物に衝突したり、高い盛土や橋りょう上などの高所から転落したりすると、被害が大きくなる可能性があります。そのため、こうした要因が存在する箇所では、要因の除去や脱線防止策を講じることで、列車が安全に走行できるように管理する必要があります。

そこで、本エンジンは次の4つのコア技術により、列車走行に支障する可能性のある物体や沿線環境の変化箇所の検出、沿線の構造物や高所走行区間などの認識を行うことができます。

(1) 自己位置推定技術

車両走行位置を特定する方法の一つとして、従来から全地球航行衛星システム(GNSS)が活用されています。このGNSSによる位置情報特定は、汎用化された大変便利な技術ですが、衛星からの信号レベルが低下する場合に特定の誤差が大きくなってしまいう問題があります。そこで、ステレオカメラで取得される映像のみからカメラ

☞ 建築限界

列車が安全に走行するために、鉄道施設などを設置してはならない線路上の空間のことです。線路に近接する建物やトンネル、工事用の仮設物、標識、樹木などが、建築限界管理の対象になります。

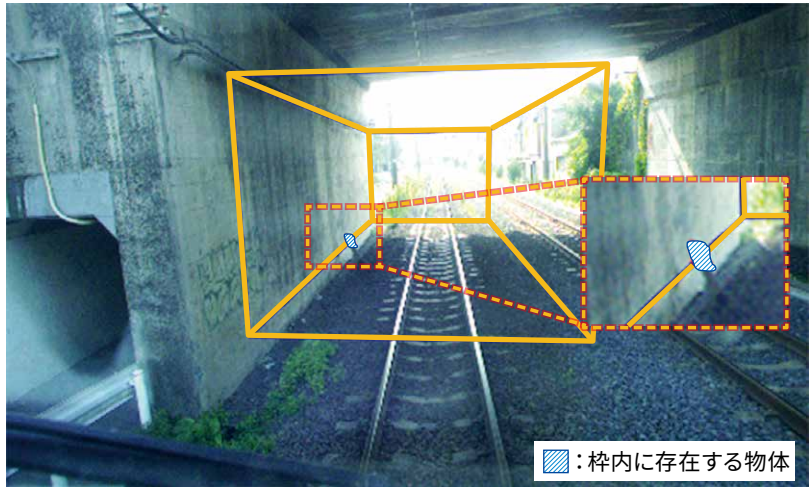


図2 3次元空間における沿線の物体検出

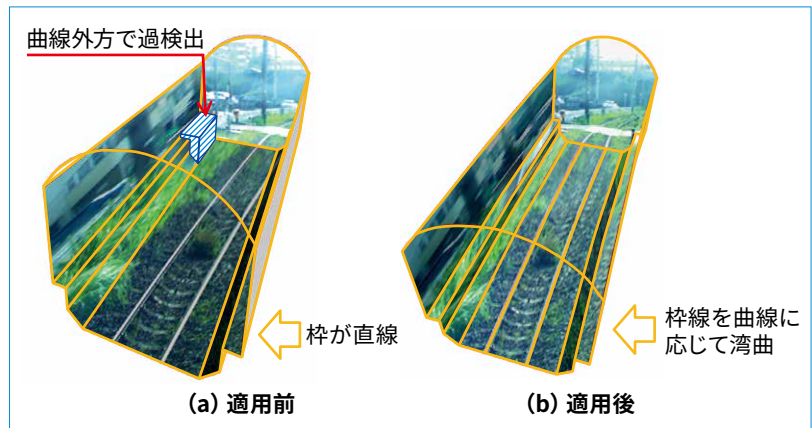


図3 物体検出における線路形状推定の適用

の位置や姿勢の変化を推定して位置情報を特定できる自己位置推定技術を開発しました。この技術は、GNSSによる位置情報を補完できるため、上記の問題を解決できるのに加えて、得られるカメラの位置や姿勢の情報を活用することで、後述する3次元計測技術の精度を向上できます。

(2) 高精度な3次元計測技術

精度の高い3次元計測は、車両から検出対象までの距離や沿線の地形を把握するのに有用です。また、得られる3次元情報に基づき物体の形状計測も可能です。

今回開発した高精度な3次元計測技術は、自己位置推定技術により得られるカメラの位置・姿勢の情報から、前後複数の地点における3次元計測結果を統合するため、1地点での情報のみ

で3次元計測を行った場合に比べて、高精細・高密度な3次元空間情報を得ることができます。

(3) 2時期映像の差分検出技術

差分検出技術は、撮影時期が異なる2映像を比較して相違箇所を検出する技術であり、沿線環境や設備の経時変化、線路内異物の存在などを把握するのに用いられます。防犯カメラのような固定カメラでは、あらかじめ準備しておいた正常状態の画像と撮影した画像とを比較して差分を検出できますが、移動をともしないながら撮影した映像は、カメラのシャッタータイミングが撮影ごとに変化するため、完全に同じ地点で撮影した画像を得ることができません。このため、ほぼ同一の場所を撮影した画像を対応付けても、被写体の見映えがわずかに異なるため、2映像を

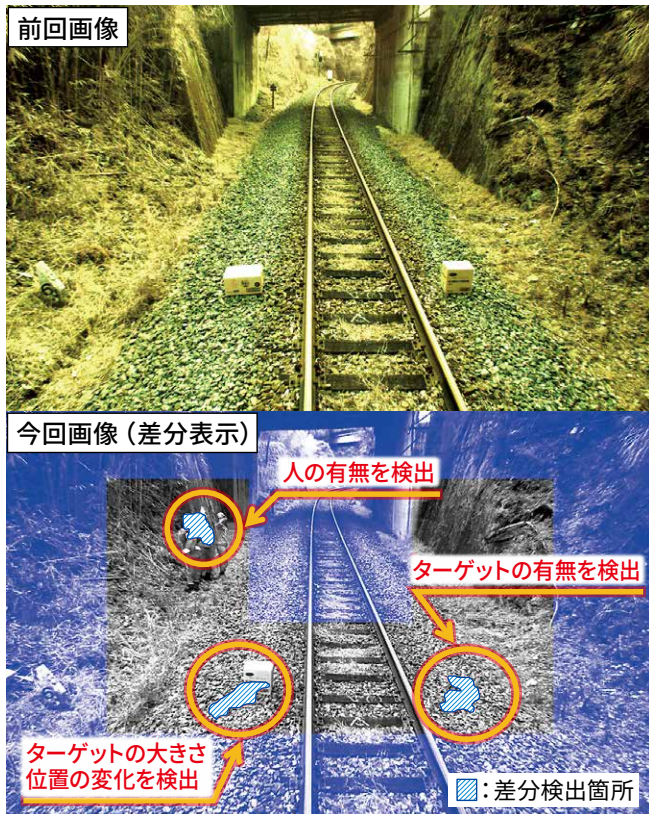


図4 異なる時期に撮影した映像による差分検出の例

単純に比較すると、このような見映えの違いが差分として過検出されてしまいます。そこで、2映像間でシャッタータイミングの違いなどによる影響を補正したうえで、差分を検出します。

(4) 物体認識技術

上記の差分検出技術をそのまま適用すると、風による草木の揺らめきや沿道を走行する自動車などのような、軌道の維持管理上の検出が不要な差分まで、本エンジンの解析結果に出力されてしまいます。そこで、被写体の種類を認識して、管理上必要な差分だけを把握するために、物体認識技術を適用します。本技術は、認識の対象とする物体が映ったサンプル画像を用いた機械学習により、開発しました。

画像解析エンジンの機能

(1) 列車走行に支障するおそれのある物体の検出機能

本機能では、ステレオカメラで取得した映像に高精度3次元計測技術を適

用して得られた沿線の3次元空間内に建築限界のような任意の範囲を設定することで、その内側に存在する物体の有無を自動で判定できます(図2)。

また、映像から線路形状を推定し、物体検出範囲の列車進行方向の形状を曲線に応じて湾曲させることで、線路形状を考慮して沿線の物体を検出できます(図3)。

以上により、徒歩または列車による線路巡視において目視で確認している建築限界支障物の自動判定が可能となるため、巡視業務を省力化できるとともに、見落としを減らすことができます。

(2) 沿線環境変化箇所の検出機能

ステレオカメラで取得した映像に差分検出技術を適用することで、異なる時期に撮影した2映像から、両者の相違箇所を自動で検出し、沿線における物体などの存在や位置・形状変化を検出できます(図4)。

また、物体認識技術を適用すること

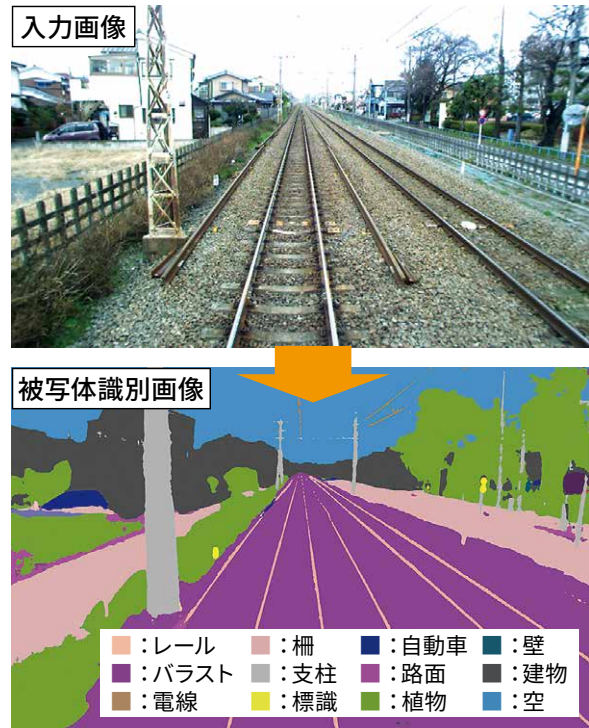


図5 物体認識技術の適用例

で(図5)、軌道の維持管理上、検出が不要な差分の出力を抑制し、必要な差分だけを把握できます。

一方、この出力の抑制により、本来検出されるべき異常が出力されなくなってしまうことがないように、異常状態を含む画像を上記とは別の機械学習に適用して異常を積極的に検出する技術を開発して組み合わせることで、異常の検知性能を高めています。

以上の機能により、沿線への資材の置き忘れや沿線での新規工事の開始といった目視でも十分に把握可能な環境変化に加えて、電化柱の傾斜のような目視では見落とす可能性のある変化も検出できます。

なお、本機能は、単眼カメラで撮影した映像に対しても適用できます。

(3) 事故時被害拡大要因の検出機能

以上で紹介したコア技術を活用することで、沿線に存在する構造物や人、自動車を認識できるほか、3次元計測技術と組み合わせることで、これらの対象までの距離や走行区間の地形を認識できます(図6)。

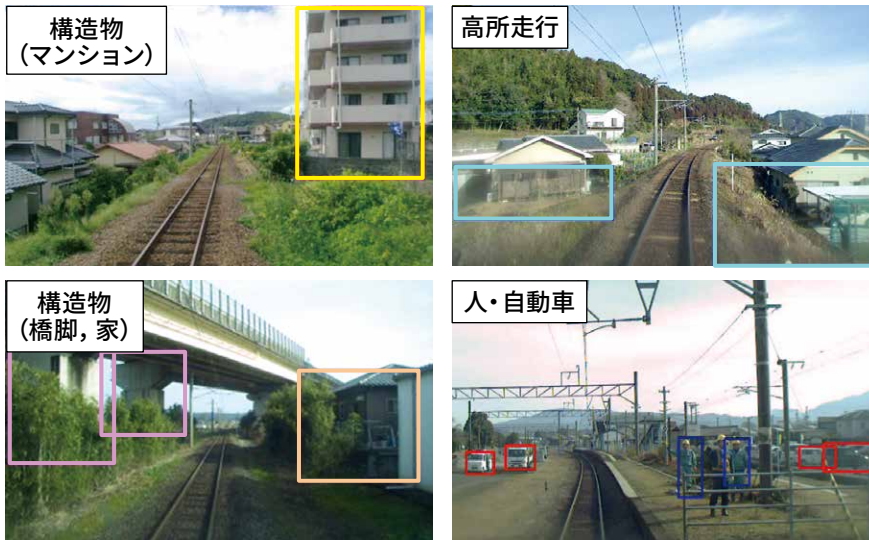


図6 沿線環境の認識結果

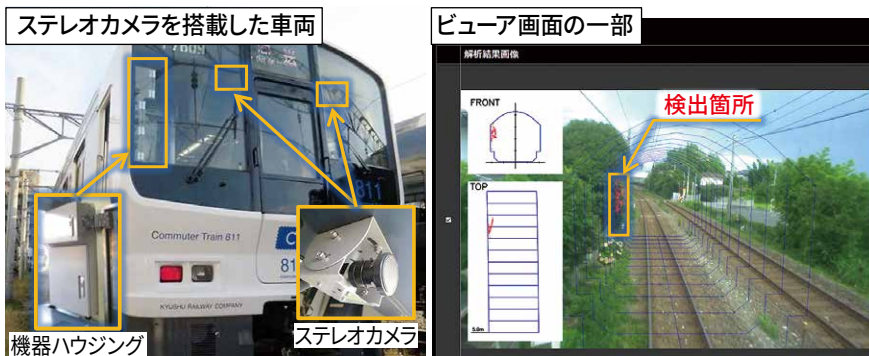


図7 JR九州における実用化の事例

本機能により、沿線の構造物の存在や高所走行区間など、脱線事故後の車両が衝突したり転落したりした際の被害拡大要因（ハザード）を検出できます。よって、高ハザード箇所では、軌道の劣化状態が大きく悪化する前の早期に保守を行い、事故の発生確率を下げ、リスクを低減する軌道のリスクベースメンテナンス²⁾の実現に、本機能を活用できます。

暗所画像への適用

本エンジンは、昼間における十分に明るい照明条件下で撮影された映像に適用することを前提としていますが、夜間やトンネルなどの暗所においても適用できると、本エンジンの活用範囲はさらに広がるのが期待されます。

そこで、暗所においてステレオカメラと近赤外線照明を組み合わせて取得した映像に対して本エンジンが適用できる可能性について、車両を走行させて試験を行い検証しました。検証の結果、低速度の条件下では十分に可能であることを確認しました。今後は、高速度で撮影した暗所映像に対しても、本エンジンが適用できるよう、検討を進めます。

鉄道事業者での実用化

開発した画像解析エンジンのうち、「列車走行に支障するおそれのある物体の検出機能」については、2020年度からJR九州の列車巡視支援システム³⁾に導入され、同社の主要線区の一部区間において実用化されました(図7)。

JR九州では、同社が独自開発したビューア上で建築限界支障の可能性が検出された箇所のキロ程や支障の状況を確認できます。また、前方画像も合わせて再生されます。このビューアは各保線職場に配置された専用端末にインストールされているため、担当者は処理結果を画面上で確認し、処置必要の有無を最終判断するという運用がなされています。これにより、列車巡視業務の省力化・効率化が実現しました。今後、導入エリアの拡大が計画されています。

おわりに

列車の先頭で取得した映像から、鉄道の安全・安定輸送に影響を与える、あるいは脱線事故時の被害拡大に関わる沿線の要因を自動検出する画像解析エンジンを開発しました。本エンジンの活用により、巡視業務の省力化や高精度化のほか、事故リスクの低い鉄道輸送・事業を実現できると考えています。

今後は、他の検査業務への活用を想定した新たな技術開発のほか、保守システムの垣根を超えて、鉄道のメンテナンスを総合的に支援するツールになるよう研究開発を進めていきます。

なお、本開発の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。**RRR**

文献

- 1) 川崎恭平, 三和雅史: 線路周辺画像解析エンジンの開発, JRガゼット, Vol.78, No.8, pp.36-39, 2020
- 2) 三和雅史, 水野真敏: 事故リスクを考慮して軌道変位保守計画を作成する, RRR, Vol.69, No.8, pp.16-19, 2012
- 3) 油布史郎, 猿木雄三: 保線業務のシステム化, 日本鉄道施設協会誌, Vol.58, No.9, pp.674-675, 2020