

論文 軌道の維持管理の省力化のための 列車前頭画像による軌道状態管理法

三島 健吾¹・川崎 恭平²・昆野 修平³・斉藤 大樹⁴・三和 雅史⁵

正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所（〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38）

¹ E-mail: mishima.kengo.54@rtri.or.jp

² E-mail: kawasaki.kyohei.96@rtri.or.jp

³ E-mail: konno.shuhei.33@rtri.or.jp

⁴ E-mail: saito.daiki.48@rtri.or.jp

⁵ E-mail: miwa.masashi.23@rtri.or.jp

軌道の維持管理においては、軌道検測による軌道変位の確認や、列車巡視等による線路やその周辺状態の確認が定期的に行われている。これらの検査等には多くの労力やコストが必要なため、鉄道事業者では省力化や自動化のニーズが高い。そこで、画像解析技術を活用して軌道の維持管理業務を省力化するための技術開発を進めている。

本研究では、営業列車等に設置したステレオカメラで得られる線路沿線の3次元点群データから、レールの3次元座標を抽出して軌道変位を推定する手法を開発した。また、同一地点を撮影した2時期の画像の差分から線路状態の変化を検出する手法を開発した。

Key Words: stereo cameras, image analysis, point cloud, track irregularity, differential analysis

1. はじめに

列車の走行安全性を確保するために、鉄道事業者では軌道の定期的な検査や巡視を行っている。このうち軌道変位検査については、軌道検測車を保有していれば比較的容易に実施できるが、その導入には多くの費用が必要である。近年では、営業車に搭載できる軌道検測装置¹⁾の導入が進み、軌道検測車の導入より低コストで軌道検測が行えるようになりつつあるが、導入コストは必要である。よって、軌道検測車を保有していない事業者では、導入コストが少ない手検測や可搬式の軌道検測装置を用いた地上での軌道検測を行っているが、そのために多くの労力を要している他、徒歩や牽引車での検測であるため、検測速度が低く効率的でないという問題があった。また、可搬式装置の導入にもコストが必要であり、財政状況の厳しい鉄道事業者への導入は容易ではない。

一方、線路沿線の支障物や環境変化の有無、軌道状態を把握するために行う列車巡視は、担当者が列車に添乗する必要があるため、多くの労力が必要である他、人の目による確認であるため、精度の高い巡視を行うためには、経験や技量を要するという課題がある。

そこで著者らは、近年、技術の進歩が目覚ましい画像

解析技術を活用し、これらの業務を自動的に行えるシステムを導入するための技術の開発を進めている²⁾。また、著者らの他にも、異なる2時期に撮影した画像間相互間の差分を輝度の変動量から抽出する研究³⁾は行われているが、これは照明条件等の影響を受けやすい課題があったのに対し、本研究では、照明条件等の影響を低減し、明度と色差の情報から差分を検出する手法を開発した。なお、線路周辺の空間情報の取得技術としては、既に3次元レーザスキャナによる方法等が開発されているが、取得費用の低減等を考慮し、本研究では車上に設置したカメラで撮影した画像のみを用いて軌道変位を算出する手法を新たに開発した。

2. 画像による軌道変位の検測

列車先頭で撮影した画像を用いて軌道変位を測定（画像検測）するためには、画像データに基づいて軌道の3次元空間を構成する必要がある。そして、構成した空間内の3次元点群データから、レールの点群データを抽出し、これに空間座標を付与した上で、レールの芯線（レール照面を表す3次元点群データから作成するレール位置を表す線）を設定し、軌道変位を算出する。以下に

詳細を示す。

(1) 軌道変位算出手順

- a) 列車の先頭に設置したステレオカメラから得られた画像に対して3次元計測を適用して、点群データによる軌道の3次元空間を構成する²⁾。
- b) 構成した3次元空間の中から、レール照面を表す点群データを抽出する。
- c) 抽出したレール照面の点群データは、照面に対応した幅を有することから、これを関数近似してレール芯線を推定する。そして、リサンプリングを行うことで、座標値を有する等間隔距離のレール位置データを作成する。
- d) 作成したレール位置データの座標値を用いて、軌道変位を算出する。高低、通りについては、任意の弦長での正矢や偏心矢での検測が可能である。

以上に示した各処理の詳細を以下に示す。



図-1 ステレオカメラ設置状況



図-2 3次元点群データ

a) ステレオカメラ画像への3次元計測の適用

ステレオカメラから得られた左右の画像の視差を用いて同一の対象物に対する距離を計測し、3次元の点群データを作成する。図-1 は画像取得試験の状況である。本図に示すように、営業車の運転室にカメラを一定距離だけ離れた状態で設置した。ここで、ステレオカメラから得られる画像はカラーであるため、得られる点群データは3次元座標 (x,y,z) に加えて色情報(R,G,B)と輝度値も有する。なお、3次元座標は、ある地点での車両位置に原点を有し、その原点を基準とした座標である。

このようにして得られた3次元点群データを図-2に示す。本撮影試験時のフレームレートは、3章にて後述する位置合わせを考慮すると、安定していることが優先されるため、過去の実績から 20fps とした。本図に示す撮影箇所での速度は 40km/h 程度であったが、点群を高密度で安定的に得られたことが分かる。列車速度が更に高い箇所で撮影するには、フレームレートを大きくすることで点群データを安定的に取得できる。

以上のように、3次元計測技術を活用することで、軌道の3次元空間を構成できる。

b) レール照面を表す3次元点群データの抽出

上記 a) で得られた 3 次元点群データの各点は、R,G,B 値と輝度値 (単位面積当たりの光の強さ) を有していることから、これらに閾値を設けることで、レール照面の点群データを抽出する。この閾値の設定には、レール照面は他の箇所よりも光の反射率が相対的に高いこと等を利用する。本手法によりレール照面の点群データを抽出した結果を図-3 に示す。この箇所では、精度良くレール照面を抽出できたことが分かる。



図-3 レール照面の抽出

なお、抽出に用いた閾値については、撮影時の日照条件等に応じて適切に調整する必要があることから、閾値の自動調整技術の開発が、今後の課題である。

c) レール芯線の推定

上記 b) で得られたレール照面の点群データは、図-3 の点群拡大図に示すとおり、照面幅に対応した帯状のデータとして抽出される。ここで、この帯の幅は、照面の状況に応じて、レール長手方向に変動が生じる。よって、軌道変位を測定する場合、この帯の中から各断面 (まくらぎ方向) において 1 点を選択して座標データを求め、複数断面間の座標データの関係から、軌道変位を算出する必要がある。ところが、図-4 に示すように、レール照面の点群データが局所的に欠損する場合がある。こうした状況は、設定した R,G,B 値や輝度値の閾値では点群データを適切に抽出できなかった箇所や、分岐器のクロッシング部や継目部等のレール欠線部において発生することがある。そこで、このレール照面の 3 次元点群データに対し、レール長手方向の距離を変数とする関数を当てはめる (関数近似する) ことで、点群データの欠損の範囲が局所的であれば、照面の帯の中心付近を通るよう

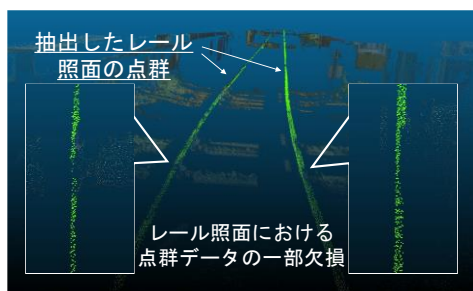


図-4 レール照面における点群データの欠損例

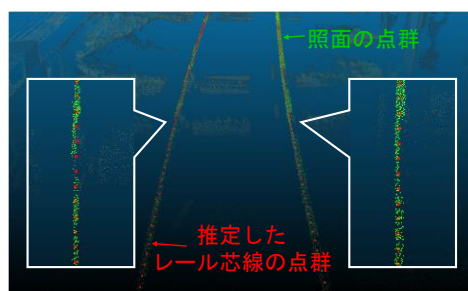


図-6 レール照面における芯線の推定結果

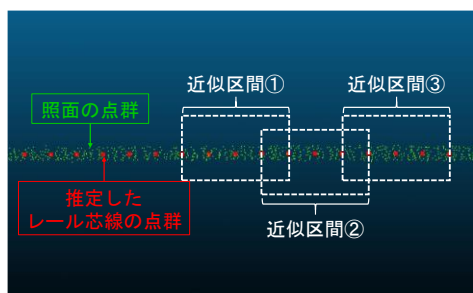


図-5 レール芯線の推定手法

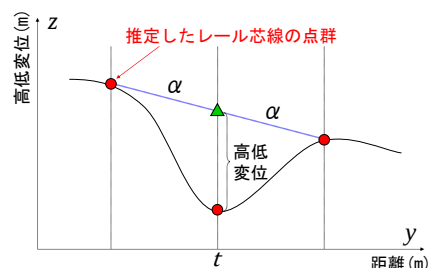


図-7 正矢法による高低変位の算出方法

なレールの芯線を推定することができ、欠損データを補完する効果を期待できる。

上記の関数近似に際しては、図-5 に示すように、レール照面の 3 次元点群データを一定範囲（近似区間）に区切り、各区間に含まれるデータに対して関数近似を行った。ここでは、この近似に用いる関数には 3 次関数を用いた。そして、関数近似を行う場合、近似区間の端部では誤差（関数とデータとの乖離）が比較的大きくなる傾向が認められたため、近似区間の一部が重なるようにすることで、誤差を小さくした。本検討では近似区間を 4m とし、重なり区間を 2m とした。この区間長はパラメータスタディを繰り返した結果得られた数値である。

以上のように、各区間に対して得られた関数をつなぎ合わせることで、レール芯線を表す線を 3 次元空間内に設定できる。その上で、軌道変位の測定には、レール長手方向に一定距離間隔でのデータが必要であることから、一定距離間隔でのサンプリングを行い、レール位置データを作成した。なお、レール照面を 20fps で撮影した画像からは 300～400 点/m の点群が作成されること等を考慮し、サンプリング間隔は 0.1m とした。

本手法を用いてレール芯線を推定した例を図-6 に示す。本図より、レール芯線がゲージコーナーやフィールドコーナーへ極端に偏ることなく、適切に推定できていることが分かる。また、本図は図-4 にて示した 3 次元点群データが一部欠損している区間における推定結果であるが、欠損がみられた箇所においても、適切と考えられる位置に芯線が存在し、またリサンプリングデータを作成できたことから、本手法はレール照面の 3 次元点群データの変動に対して、ロバスト性を持ってレール芯線を推定し、レール位置データを作成できるといえる。

d) 軌道変位の算出

上記 c) にて作成したレール位置データは、各々が車体を基準とした 3 次元の座標データを有している。よって、各レール位置データの x-y 座標及び y-z 座標（x 軸：軌道面平行方向軸、y 軸：線路長手方向の距離軸、z 軸：軌道面法線方向軸）を用いて、以下に示す手法により高低変位と通り変位をそれぞれ算出した。

ここでの高低変位及び通り変位は、2 次差分法的一种である正矢法を適用して算出した。正矢法を適用した際の軌道変位の算出方法は図-7 に示すとおりであり、任意の距離 $y(t)$ における軌道変位（高低変位） $z(t)$ の算出式を式(1)に示す。なお、ここでは 10m 弦正矢の高低変位及び通り変位の算出を行うことを想定し、 $\alpha=5$ とする。

$$z(t) = y(t) - \frac{y(t - \alpha) + y(t + \alpha)}{2} \quad (1)$$

曲線半径 64m 及び 91m の反向曲線を含む約 150m の区間におけるレール位置データの座標に式(1)を適用して高低変位を算出した。この際、得られた高低変位波形には、ノイズに近い短波長成分がみられたことから、2m の移動平均処理を行うことで、この短波長成分を除去した。算出された高低変位の波形を図-8 に示す。算出された波形に著大値等の異常は確認されなかった。

(2) 画像検測結果の精度評価

以上のようにして画像検測により得られた軌道変位の精度を確認するために、同じ区間で測定された既存の可搬式軌道検測装置で測定した値（実測値）との比較を行った。結果を以下に示す。

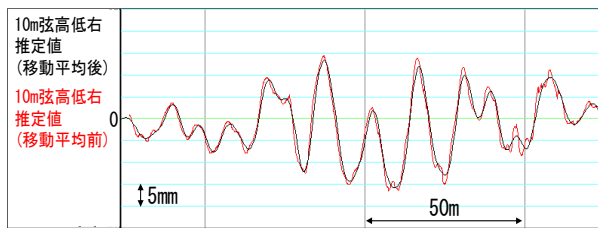


図-8 本手法により算出した 10m 弦高低変位

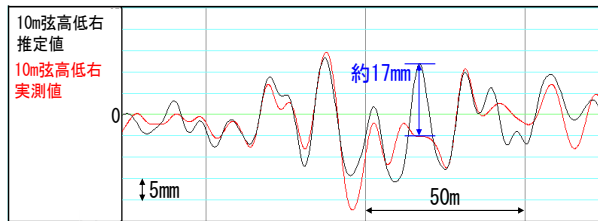


図-9 10m 弦高低変位の推定値と実測値の比較 (右レール)



図-10 誤差の要因とみられる 3 次元点群データ

a) 高低変位

画像検測により得られた 10m 弦高低変位と既存の装置で得られた実測値との比較を図-9 に示す。黒線が画像検測結果であり、赤線が実測値である。検測の方法が異なるため、幾らかの差異が生じることが予想されたが、高低変位の増減の傾向は概ね一致していることから、画像検測による高低変位の検測は十分に可能であると考えられる。一方で、本図に示すように、約 17mm の差異を生じた箇所が存在した。そこで、この箇所におけるレール照面の点群データを確認したところ、図-10 に示すように、一部の区間において点群の欠損及び高低変位方向のばらつきがみられた。先述のように、点群データに関数を当てはめることで、こうした欠損区間の影響を除去できる効果を期待できるが、近似区間の延長に対して欠損の範囲が小さくない場合には、その影響が現れてしまうと考えられる。よって、上記 b) で述べたような、レール照面の点群データを抽出する際の閾値を適正化することで、点群データの欠損区間を減らすこと、また近似区間の延長を適正化して欠損区間の影響を小さくすること等が、画像検測の実用化のための課題である。

b) 通り変位

高低変位と同様に、画像検測により得られた 10m 弦通り変位と実測値との比較を図-11 に示す。通り変位についても、両値の増減の傾向は概ね一致している他、通り

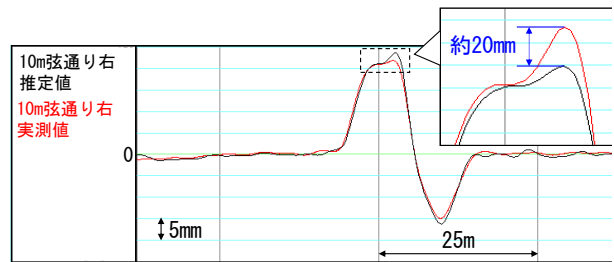


図-11 10m 弦通り変位の推定値と実測値の比較 (右レール)

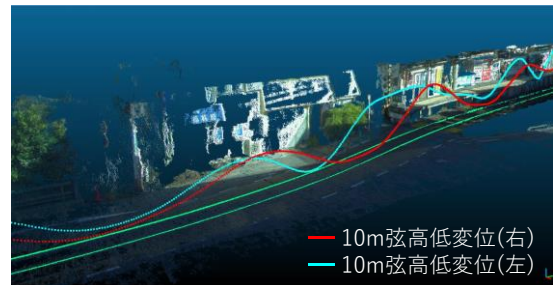


図-12 列車前頭画像の 3 次元点群データと 10m 弦高低変位の一括表示

正矢の曲線成分も一致していることを確認できる。よって、通り変位についても画像検測は十分に適用可能であると考えられる。一方で、本図に示すように、約 20mm の差異を生じた箇所が存在した。これについても、レール照面の点群データを適切に抽出できなかったことの影響が現れていると考えられる。

(3) 軌道変位の 3 次元表示

開発した画像検測法では、3 次元点群データにおける各データの座標から軌道変位を算出するため、得られた高低変位及び通り変位の各データは 3 次元座標を有している。よって、最初に構成した 3 次元空間内に軌道変位の 3 次元座標を重ねて表示させることができる。

構成した 3 次元空間内に高低変位を重ねて表示したものを図-12 に示す。ここで、高低変位は、空間内での見やすさを考慮して、レールから 2m 上方へ移動させて表示し、俯瞰した位置から見ている。本図からわかるように、3 次元空間内に軌道変位を表示することで、軌道変位の大きな箇所を視覚的に捉えることができる。例えば、構造物の境界部等における立体的な軌道形状や、構造物との位置関係を容易に把握できる。このため、軌道保守の計画を策定する際の保守範囲や地上設備、構造物等の条件を考慮して、具体的に検討することができる。

ところで、上記では 3 次元空間内の点群データから得られた軌道変位データを表示したが、動揺データ等の車上測定データも、キロ程情報と 3 次元座標を紐づけることで、3 次元空間内に表示することができる。例えば図-13 に示すとおり、動揺データを 3 次元空間内に表示させることで、動揺が大きな箇所の軌道変位や地上設備等

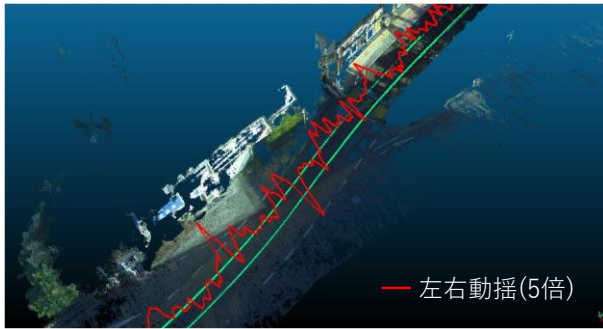


図-13 列車前頭画像の3次元点群データと左右動揺の一括表示

の情報を現場へ出向くことなく把握し、保守等の対応を検討することができる。なお、本図中の左右動揺は空間内での見やすさを考慮して、値を5倍して表示している。

3. 画像解析による環境変化箇所の検出

異なる2時期の画像を比較し、その間の差異を検出することで、線路及びその周辺状態での環境変化を把握する差分検出では、定点カメラと異なり移動しながら撮影した画像を用いることから、2時期におけるシャッタータイミングは必ずしも同じ位置（キロ程）にはならないため、2つの画像間での位置合わせに加えて、シーンの見え方の微小なずれを補正してから比較する必要がある。

そのためには、基準となる画像群（以下、リファレンス画像群という。）と、異なる時期に撮影した画像群（以下、テスト画像群という。）の中から同一の箇所を撮影したと推定される画像フレーム（動画のもとになる静止画の1コマ）を対応付けることが必要である。その上で、上記の微小なずれを補正した2画像間において、撮影条件の違いにより発生する変化（草木の揺らめきや施工基面外の変化等）については差分とせず、把握が必要な物体の有無や配置の移動等の変化のみを差分として検出する。このような差分検出を実現するために開発した手法⁹⁾の具体的な流れを以下に示す。

- (1) 画像の復元
 - (2) フレームマッチング
 - (3) 画素配置の補正
 - (4) 差分検出
 - (5) 被写体の属性識別による過検出の抑制
 - (6) 異常状態モデルの適用
- それぞれのステップにおける詳細を以下に示す。

(1) 画像の復元

異なる時期に撮影した画像は、天候等の影響により照明条件が異なることから、各種外乱による変化を極力小さくした画像を作成して、差分検出に用いる必要がある。そのために、画像を小領域に分割して、その領域内の明

度及び色差（色の距離）の分布を検出する。そして、これらの明度等が近い画素ほど同一の物体である可能性が高いこと、また近傍の領域では同じ照明条件である可能性が高いことを考慮して分布形状を補正し、照明条件による色の変化の小さな画像を作成（復元）する。

(2) フレームマッチング

リファレンス画像群とテスト画像群で同一の箇所を撮影したと推定される画像フレームを対応付ける「フレームマッチング」を行うために、各画像フレームにおいて軌道とその周辺の構造物の特徴点を抽出して数値化する。そして、両時期における特徴点の配置の類似性が最も高い画像フレーム同士を対応付ける。この場合、高架区間等のような類似性が高い風景が連続する箇所では、上述のような対応付けだけでは誤対応が生じる可能性があるため、画像フレームの連続性を考慮しながらフレームマッチングを行うことで、マッチングの精度を向上した。

一方、上記のマッチング法では、特徴点の抽出等に時間を要する等の問題があるため、別の方法で概略的に精度の高いフレームマッチングを行った上で、その周辺の画像を探索対象としてマッチングを行う方が効率的である。そこで、画像フレームと同期して取得した動揺加速度や軌道変位等といったレール長手方向に測定された波形データを活用することで、特徴点に基づいた詳細なフレームマッチングで探索候補とするフレームの存在範囲を絞る手法を開発した。また、軌道検測車等で取得した正確なキロ程情報を持つ波形データを活用することで、画像フレームに正確なキロ程情報を付与する手法も開発した。具体的な手法を以下に示す。

・距離サンプリング化

動揺加速度やジャイロ信号（角速度）等のレール長手方向に測定される波形データ（時間サンプリング）を画像と同期して取得し、速度情報を組み合わせることで、距離サンプリング化する。ここで、速度情報については、衛星測位システム（GNSS）や車両に搭載されている速度発電機のパルス信号等から算出する。

・波形データの位置補正

動揺加速度等の波形データの位置補正方法としては、従来からデータデボ等の検知信号を用いて地上の位置との照合を行い、位置補正する手法がある。しかしながら、この方法では、例えば速度発電機パルスによる距離計測を行う場合には、データデボ間で車輪の空転・滑走が発生すると、この間において微小な位置ずれが発生する可能性がある。また、異なる検測データ間では、同一区間のデータであってもデータ個数やサンプリング間隔が一致しない場合もある。そこで、波形データでの位置補正

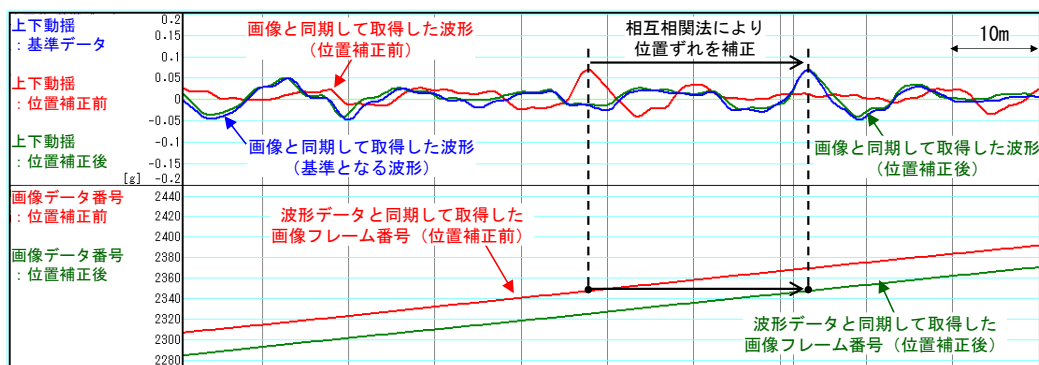


図-14 画像フレームの位置補正

(位置合わせ)を行う方法として、相互相関法⁵⁾が開発された。この方法では、位置補正の基準となる波形データ(以下「基準データ」という)に対して、位置補正される波形データ(以下「修正対象データ」という)の一定区間内における位相のずれ量を変化させながら、両波形間の相互相関係数が最大となる位相のずれ量を算定する。そして、このずれ量をもとに、その一定区間で位置合わせを行う。よって、この方法で波形データを位置補正するのに合わせて、画像フレームも同じずれ量だけ位置補正することで、2つの画像の位置を合わせることができる。本手法の適用例を図-14に示す。波形データにおいて25m程度の位置補正がなされたのに合わせて、画像フレームの位置も補正され、フレーム同士の精度の高い対応付けを行うことができる。

ところで、上記のように画像を位置補正する際には、軌道検測車等で取得した正確なキロ程情報を持つ波形データを基準データとすることで、各画像フレームには正確なキロ程を付与することができる。また、軌道検測車が走行しない区間であっても、画像と同期して取得されたジャイロ信号(ロール角)があれば、これを可搬式の軌道検測装置等で測定された正確なキロ程情報を有する水準変位のデータと組み合わせることで、同様に相互相関法で位置補正して各画像フレームに正確なキロ程を付与することができる。

以上の手法を用いて画像フレームにキロ程情報を付与した例を図-15に示す。位置補正前は8kの諸標が10m程度ずれているが、補正後は正確なキロ程情報を付与できたことが分かる。

(3) 画素配置の補正

以上の処理で対応付けられたリファレンス画像とテスト画像の各画像フレームは、シャッタータイミング等の微小な位置ずれが残存している。そのため、各画像の画素単位のオプティカルフロー(画素の移動ベクトル)を推定することで、被写体の画像上での位置ずれ量を検出する。そして、この情報から、リファレンス画像群の各画像フレームの画素の配置をテスト画像群の各画像フ



図-15 位置補正前後の画像データ

ームの画素の配置に近似する処理を行い、残存する微小な位置ずれを補正する。

(4) 差分検出

対応付けたリファレンス画像とテスト画像の画像フレームにおいて、各画像間の照明条件等の影響を正規化した不変画像を作成する。不変画像の作成例を図-16に示す。この画像を使って、画像フレームの画素の明度、画素の色度を算出し、全画素に明度及び色度を与える。

以上のように作成したリファレンス画像とテスト画像の各画像フレームの画素の明度等の情報の差異が一定値を超える箇所を差分として検出する。撮影した画像に対して差分を検出した例を図-17に示す。ここで、画像フレーム端部の領域は列車速度が速くなる(カメラの移動速度が速くなる)と被写体ぶれが大きくなるため、差分検出の対象外領域とする。

本図より、差分検出の結果、前回画像になかった沿道の自動車や塀に干された布団が検出されており、十分な精度により差分を検出できたことが分かる。一方、実際の線路及び線路周辺状態を確認・管理する際には、上記のような沿道の自動車等の変化は差分として検出する



図-16 不変画像作成例

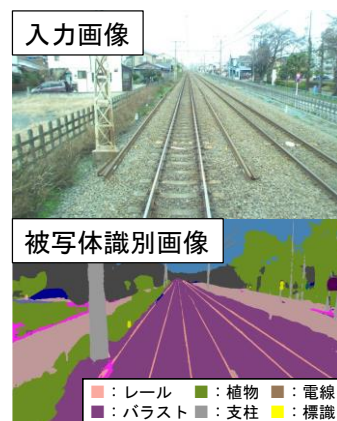


図-18 セマンティック領域分割による被写体識別例

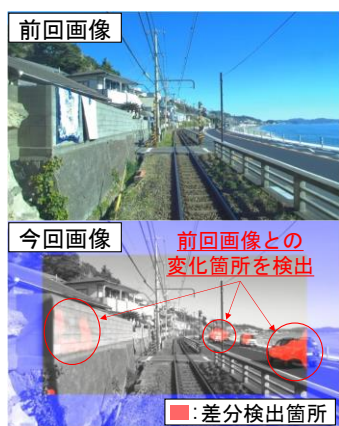


図-17 差分検出技術適用結果

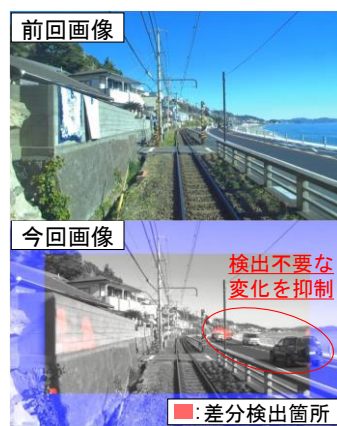


図-19 セマンティック領域分割適用結果

必要はない。よって、このような差分の過剰な検出（過検出）については、検出対象から除外する抑制処理が必要である。

(5) 被写体の属性識別による過検出の抑制

以上のような過検出を抑制するために、画像フレームに対して、セマンティック領域分割⁹（画像内の全ての画素に被写体種別のラベルを付与する技術）を適用して被写体の属性を識別することで、差分検出が不要な対象については、出力しない機能を開発した。ここで、属性とはレールやバラスト、支柱等のことであり、ユーザは幾つかの候補項目の中から、識別したい種類を指定することができる。撮影した画像に対して、セマンティック領域分割を適用した例を図-18に示す。本図では、領域分割の結果として、識別した属性を被写体に着色して示してある。入力画像と識別結果を比較すると、レールやバラスト等の指定した項目が適切に識別されていることが分かる。

以上のセマンティック領域分割を図-17と同じ画像に適用した結果を図-19に示す。ここでは、自動車を識別対象に指定し、差分検出の対象から除外するように設定した。その結果、検出が不要な自動車の有無の差分は、完全には除去されていないものの、抑制されたことが確

認できる。過検出の抑制については、電柱等の境界部での微妙な見え方の差異を除外する等、他の抑制法を併用することで、更に効果的に行えると考えられる。

(6) 異常状態モデルの適用

以上の処理を行うことで、差分の過検出を抑制できる一方、本来検出すべき変化を棄却する可能性がある。そこで、撮影した画像を機械学習によりモデル化し、差分検出結果に適用することで、テスト画像群の各画像フレーム内に存在する異常状態を積極的に検出する技術を開発した。具体的には、正常状態の画像の特徴量を学習し、正常・異常の識別を行う異常状態モデルを作成する。そのモデルとテスト画像群の各画像フレームの特徴量を照合し、異常状態の識別を行う。差分検出結果に異常状態モデルを適用した結果を図-20に示す。本図に示すとおり、異常な状態が検出（検出箇所は図中赤丸で出力）されていることが分かる。

ところで、以上に示した差分検出の技術については、ステレオカメラで取得した画像だけでなく、単眼カメラで取得した画像に対しても適用できる。また、カメラ等で撮影された可視画像だけでなく、超音波画像等の不可視情報を画像化したものや、LiDAR⁷等の光センサで取得された点群データに対しても適用可能である。



図-20 異常状態モデルを適用した検出

4. まとめ

本研究では、列車の先頭に設置したステレオカメラで取得した画像から、軌道の3次元空間を構成し、軌道変位を検測する手法及び、異なる2時期の画像から差分を検出する技術を開発した。以下に結果をまとめて示す。

- (1) ステレオカメラから得られた画像に基づいて軌道の3次元空間を構成し、ここからレール照面を抽出して得られた3次元点群データに基づいてレール芯線を推定して高低変位及び通り変位を算出する手法を開発した。算出した軌道変位と既存の装置で測定された軌道変位を比較した結果、増減の傾向や線形成分が概ね一致し、開発した手法による軌道検測は十分に可能であることを確認した。
- (2) 3次元点群データから算出した高低変位及び通り変位が3次元座標を有するという特性を活用し、3次元空間内に各軌道変位を表示させることで、軌道変位の状況や敷設環境等を容易に把握できる。
- (3) 異なる2時期に撮影した各画像群から、同一の画像フレームを対応付けた後、明度等の差異に基づいて両画像の差分を検出する技術を開発した。
- (4) 画像フレームと同期して取得したレール長手方向に測定された波形データを活用し、異なる2時期に

撮影された画像の位置補正を行う方法を開発した。

- (5) 画像に対して、セマンティック領域分割を適用することで、被写体の属性を識別し、指定した対象については差分として検出しない機能を開発した。これにより過検出が抑制され、実用性が向上した。
- (6) 沿線環境の正常状態及び異常状態を機械学習によりモデル化し、差分検出結果に適用することで、異常状態を積極的に検出する技術を開発した。

謝辞：本研究におけるデータ取得試験等の実施にあたり、江ノ島電鉄株式会社並びに日本電気株式会社の関係各位に多大なる協力をいただいた。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献

- 1) 坪川洋友, 矢澤英治, 森高寛功: 慣性正矢法を用いた営業車による軌道検測, 第15回鉄道技術・政策連合シンポジウム, 2008.12.
- 2) 川崎恭平, 清水惇, 澁谷一聡, 中島昇: 線路周辺画像解析エンジンの軌道検査業務への活用可能性, 土木学会第75回年次学術講演会, 2020.9.
- 3) 永尾健祐, 桶谷栄一: 列車巡視における画像処理技術を活用した環境変化抽出手法の基礎的検討, 第23回鉄道工学シンポジウム, 2019.7.
- 4) 川崎恭平, 清水惇, 三和雅史: 列車巡視の省力化のための画像解析技術の開発, 日本鉄道施設協会誌, 2020.12.
- 5) 田中博文, 山本修平, 森忠夫, 西藤安隆: 相互相関法を用いた波形レベルでの軌道変位進み算定手法の開発, 第23回鉄道技術連合シンポジウム, 2016.12.
- 6) 藤吉弘亘: 機械学習の進展による画像認識技術の変遷, 計測と制御, 2019.04.
- 7) 猪股英行, 五十嵐隆: レーザレーダ, 情報通信研究機構研究報告, 1976.12.

(Received April 2, 2021)

(Accepted June 4, 2021)

TRACK CONDITION MONITORING BY USING FORWARD VIEW IMAGE FOR WORK SAVING OF TRACK MAINTENANCE

Kengo MISHIMA, Kyohei KAWASAKI, Shuhei KONNO, Daiki SAITO and Masashi MIWA

Track maintenance requires to inspect track irregularity and the vicinities of track structures periodically, which requires a lot of cost and labors. In order to save workload at maintenances in railway companies, we are developing image analysis technologies for track maintenance. In this study, we developed a method to estimate the track irregularities, using point cloud of rails made from stereo images of train front view. In addition, we developed a method to detect the temporal variation of track vicinities from multiple front view images taken at different times.