

# レーザーセンサを用いた非接触車種判別装置の検討

三栖 翼和\* 安藤 哲雄 (㈱高速道路総合技術研究所)  
吉永 秀雄 (三菱電機株)

Non-contact vehicle type discrimination technology by laser sensor  
Hirokazu Misu\*, Tetuo Ando, (Nippon Expressway Research institute Company Limited)  
Yoshinaga Hideo, (Mitsubishi Electric Corporation KAMAKURA WORKS)

On expressways in Japan, vehicle types are identified using sensors embedded in the road surface. In the future, it will be necessary to develop a device that identifies vehicles traveling in parallel at the same time, assuming the multilane free flow ETC system will be employed to charge tolls when entering and leaving toll roads, and prevent toll violations.

キーワード：料金区分補正，レーザーセンサ，ETC  
(Enforcement, Laser sensor, ETC)

## 1. はじめに

NEXCO の管理する高速道路における車種判別技術は、料金所ゲートを通る車両を一台毎に、ゲートのアイランドと路面に設置されたセンサを用いて車種を判別している。今後、有料道路の出入口ゲートを廃止する検討があり、高速道路本線と同様の環境に設置することから保守性や耐久性を考慮し、非接触での車種判別を実施するためを日接触センサ用いた車両判別装置の検討を行う。

## 2. 非接触車種判別装置について

### 〈2.1〉 車種判別の必要性

ETC 車載器には車両情報が記録されているが、牽引による料金ランクアップが想定されるため、走行ごとの車種判別が必要である。

### 〈2.2〉 既存の車種判別技術

車種判別には車両寸法と車軸の情報が必要である。車両寸法については厳密に計測せず車種区分の閾値以上・以下程度の簡易な判定でよいことと、ナンバープレート情報（プレートサイズ・分類番号）から車種区分に必要な寸法区分の判別が高い精度で可能である。ただし、同じ車両寸法でも軸数により大型／特大のように車種区分が変わることから、軸数情報が必要不可欠となる。現在、料金所ゲートでは埋設された車軸センサ（踏板）を用いて車軸数を測定している。

### 〈2.3〉 非接触センサ方式の検討

料金所ゲートが廃止された場合、既存の車軸センサ（踏

板）では正確な車軸数が計測できなくなることから、非接触センサでの車軸計測が必要となり、非接触（画像処理）による車軸数＝車両側面のタイヤ数検出の技術をもちいることとした。車両画像の取得方法として、カメラ撮影による画像取得と、通過車両をレーザーセンサでラインスキャンすることでライン情報を時系列に並べ、車両画像として復元する手法の2通りを比較検討する。

カメラによる画像取得では、12m 超の大型車両を1画面にフレームインさせるために遠方から広角に撮影する必要があり、本線上で設置位置を確保できるかという課題がある。また低輝度の夜間、豪雨・濃霧・降雪といった悪天候での鮮明な画像取得に不安が残る為、日照輝度や雨・霧・雪に対する透過性が期待できるレーザーセンサを採用することとした。

### 〈2.4〉 レーザーセンサ方式の検討

レーザー測定方式において、位相差方式とパルス方式がある。一般的な測量に用いられるパルス方式は、遠距離計測には向いているが高速で移動する物体を測定する場合は分解能が粗いことや、ポリゴンミラーによる操作方式でスキャンレートが遅くなることから、高分解能で計測できる位相差方式が有利である。

トレーラー等の牽引車両は非牽引時と牽引時に軸数に応じて車種区分がランクアップしなければならないため、軸数や牽引状態の把握のために高分解能なセンサを必要とすることから位相差方式が有利としてセンサに採用することとした。

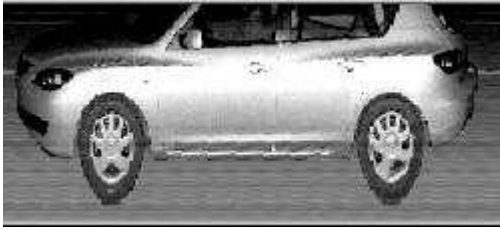


図-1 位相差測定方式

[Figure 1 Measured by phase difference method]

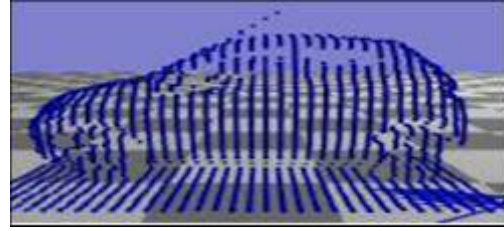


図-2 パルス測定方式

[Figure 2 Measured by pulse method]

〈2・5〉 レーザセンサの設置位置

確実に車軸数を計測するためには、車両側面のタイヤ(=車軸)のスキャンが必要である。ただし、車軸数の測定については並走車両の影響を考慮し、車軸数センサの設置位置を側面ではなく斜め上空とした。図-3 が1車線あたりのセンサ配置例である。センサ1は斜め上空より車両側面をスキャンし、画像処理にて車軸数を判別する。センサ2はレーン左端と車両左端の差を計測する他、一番前方にあり、センサ1への開始トリガーとなっている。センサ3はレーン右端と車両右端の差を計測し、センサ2の計測結果と合わせて固有値として持っているレーン幅の差分から車幅を算出する。また、センサ2,3の検出時間差より車両速度を計算し、速度を単体センサの検出時間で割り算することで全長を算出できる。センサの検出順で前後進の判定もできるため、逆走車の検出も可能である。

3. 軸検出精度の向上について

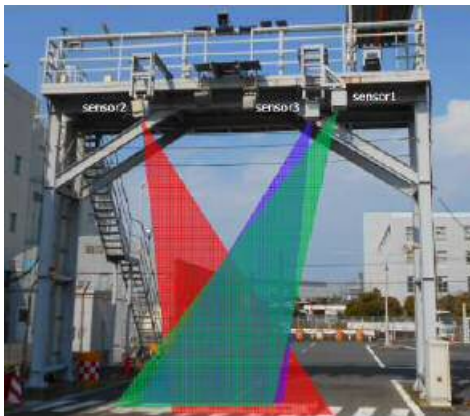


図-3 1車線の車種判別センサ配置

[Figure3 Vehicle discrimination device (one lane) ]

〈3・1〉 車軸検出精度の向上 タイヤ特徴の学習

車軸検出の手順は、第1の手順としてレーザーの反射強度情報を時間順に組み合わせて車両の白黒画像を生成する。第2の手順として車両画像を画像処理にかけタイヤの特徴(丸い、黒い等)がしきい値を超えるものを車軸として検出している。実走行データ収集として、2017年5月~6月の期間で外環道 三郷 JCT に試験用レーザーセンサを設置し、実走行車両のサンプルデータを収集した。

タイヤ特徴検出の精度向上のため、学習処理として車軸検出を誤った車両のデータを参考に車軸検出が正解となるように判定しきい値を調整する。まず検出漏れを減らすタイヤ特徴しきい値の学習を行い、次に誤検出(過剰な検出結果)を位置関係等の特徴による排除の学習を行った。

学習段階における1000台のサンプルデータの正解率の変化を表-1に示す。

表-1 学習段階における1000台軸検出正解率の変化①

Table-1 Variation in axle detection accuracy rate for

1000 vehicles at each learning stage ①

Learning stage	Overall accuracy rate
Learning: 29 vehicles	92.7%
Learning: 187 vehicles	94.0%

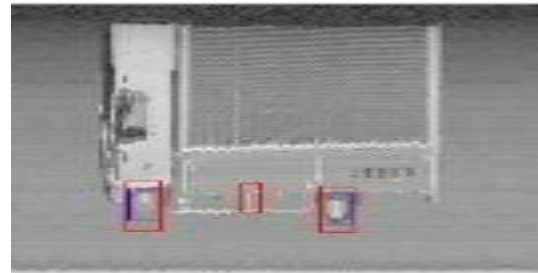


図-4 2軸トラックの検出例

青枠がタイヤの位置、赤枠が画像処理結果  
 サイドマーカーを誤検出している

Figure-4 Example of detecting a 2-axle truck

Blue boxes are tires

Red boxes are detection results

The side marker in the center is misdeteected

〈3・2〉 車軸検出精度の向上 過剰な検出の排除

タイヤ特徴の学習として画像処理結果でタイヤらしさの判別精度を学習させた結果、特徴の一致率が低い窓ガラスやバンパーなどの部分的な丸みを検出しているケースについては誤検出を減らすことができ、タイヤを認識せず取りこぼしているケースについても検出率が向上したが、トラックのサイドマーカーや車体のロゴなど円形で特徴がタイヤに近いものの誤検出を排除できず多軸検出傾向となった。次にタイヤ特徴の学習で排除できない誤検出を排除する手法を検討する。

排除手法の検討として、車両におけるタイヤ構造の特徴

に着目し、3種類の排除手法を考案した。

(排除手法1) タイヤ検出結果の距離に着目

タイヤ同士は接触できない為、必ず離隔が存在する。ホイールハウスなど近接・重複した検出結果が見受けられる為、近すぎる検出結果同士を1つの検出結果として結合する処理を追加する。

(排除手法2) タイヤ検出結果の高さに着目

タイヤは路面接地しており、高さはほぼ同等となるため、他の検出結果と高さが著しく違う検出結果を誤検出として排除する。これにより車体ロゴ等の上部検出を排除できる。

(排除手法3) タイヤ検出結果のサイズに着目

自動車は大きくサイズの違うタイヤを装着する例はほぼないと考えられる。他の検出結果と著しくサイズが違う検出結果を誤検出として排除する。これによりサイドマーカ等円形の小さい検出結果を排除可能となる。

タイヤ特徴学習に排除学習を加え、不正解車両データを再学習することで、最終的に車軸数の正解率は99.1%となった。(表-2)

表-2 学習段階における1000台軸検出正解率の変化②  
Table-2 Variation in axle detection accuracy rate for 1000 vehicles at each learning stage ②

Learning stage	Overall accuracy rate
Learning: 400 vehicles	96.5%
Exclusion learning	98.7%
Re-learning of erroneously detected vehicle	99.1%

学習台数を400台から増やしても正解率はほぼ横ばいで向上しなくなり、学習車両の含まれない別の1000台を車軸数判別させてみても、軸数検出の正解率はほぼ同等であり、

表-3 3門柱配置案と1門柱配置案の比較

Table 3 - Comparison of 3-gatepost installation plan and 1-gatepost installation plan

Comparison items	Examination of arrangements for vehicle type discrimination processing	
	Arrangement at 3 gateposts + reverse L post	Arrangement at 1 gatepost + reverse L post
LCC	×: Number of posts = 4	○: Number of posts = 2
Test adjustment	×: Adjustment at multiple points	○: Adjustment at one point
Operation sequence	Simultaneous Vehicle detection, wireless section, LP reading camera (front), LP reading camera (rear)	4 steps, sequential LP reading camera (front) ⇒ Wireless section ⇒ Vehicle detection ⇒ LP reading camera (rear)
Vehicle management (data linkage)	○: Taking laser sensor detection as a trigger, steps involving vehicle detection, LP reading cameras (front, back), and the wireless section are performed at the same time and place, and thus discrepancies in vehicle management do not occur.	×: The wireless section, LP reading cameras (front) (rear), and vehicle detection section operate independently, and thus some vagueness arises in vehicle management
Selection of location	×: (Requires a location where gateposts can be installed in series)	○: (Selection can be done comparatively easily)

安定した検出精度があると共に学習による検出率の向上の余地が少ないと判断できる。

### 〈3・3〉車種判別装置の構成要素について

ここまで車種判別装置の1要素であるレーザ車軸センサについて検討してきたが、車種判別装置に必要な他の構成要素について検討を行う。

(1) ナンバープレート読取カメラ

プレート情報から簡易な車種判別も可能であるため、レーザセンサの判定結果と比較することでより高精度な車種判定ができる他、ETC車載器非搭載の一般車両がフリー走行ETC出入口に誤進入し、料金未払いとなった場合の車両特定情報としても活用できる。

(2) ETCアンテナ

車載器情報の読出しと車種判別結果の書込みの用途で使用する。車種判別処理時間と走行速度による車両移動を考慮し、読出し・書込みでそれぞれ別位置に設置するアンテナが必要となる。

(3) レーザセンサ

〈2.5〉で述べたとおり、3センサを組合せることで、通過車両の軸数、車幅、車高、車長を計測。

車両寸法計測については、走行データの解析から誤差5%と車種判別に十分な精度が出ていることから、車軸数検出レーザセンサの精度がそのまま車種判別精度となる。

### 〈3・4〉車種判別装置の各装置の配置について

車種判別装置の構成機器(ナンバープレート読取カメラ、レーザセンサ、ETCアンテナ)の配置案として2案を検討した。

案1は設備を集中させ、1門柱に装着する配置案である(図-5)。案2は設備を分散させ、3門柱に装着する配置案である(図-6)。それぞれのメリット・デメリットを表-3にとりまとめた。

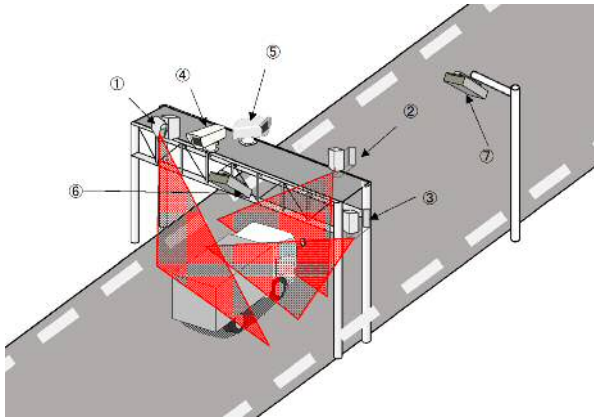


図-5 1 門柱配置案

Figure-5 Plan with arrangement at one gatepost

- ① Vehicle detection laser sensor (speed, vehicle width, vehicle height)
- ② Vehicle detection laser sensor (speed, vehicle width, vehicle height)
- ③ Vehicle detection laser sensor (axle detection)
- ④ Front license plate photography camera
- ⑤ Back license plate photography camera
- ⑥ On-board equipment read antenna
- ⑦ Vehicle type discrimination result write antenna

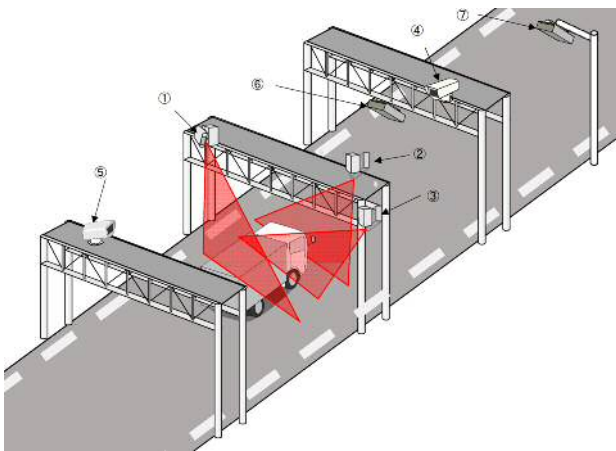


図-6 3 門柱配置案

Figure-6 Plan with arrangement at three gateposts

#### 4. 今後の課題

##### 〈4・1〉非接触車種判別装置試験機の評価

既存の料金所用車軸センサ（踏板）の要求性能は工場試験で 100 台連続 100%判別である。レーザ車軸センサの実走行データ解析では軸検出率が 99.1%であり、工場試験と実走行データの環境差を考慮しても更なる検出精度向上が必要とされる数値となった。

画像認識ソフトウェアの調整では単純にこれ以上学習台数を増やしても車軸検出正解率が微増または微減となり著しい検出精度の向上は見られていないため、レーザセンサ

そのものの高詳細化（サンプリングレート、出力の増加）など別のアプローチが必要となる。

##### 〈4・2〉雨天時の軸検出精度

ここまで評価検証に使用した走行データは晴天時のものであるため、取得期間内の天候データから雨天時のデータを取り出し、軸検出させたところ軸検出精度が 10%近く下がり約 82%となっている。検出率悪化の原因として、路面が濡れ、部分的にレーザの反射率が変わることでグランドレベルを認識できなくなったこと、舞い上がった水しぶきがレーザを吸収・拡散させるためタイヤの画像を取得しにくくなっていることが考えられた。解決策として、〈4・1〉と同様にレーザセンサの性能を上げるか、別途雨天用の画像処理アルゴリズムを作成し、天候により切り替えることが考えられる。

##### 〈4・3〉降雪環境下の検討要素

実走行データ収集が 5 月のため降雪時のデータは取得できていない。〈4・2〉の通り、雨天時は判別精度の低下が判明している為、降雪環境下でも同様に精度悪化が予想され、評価検証が必要と考えられる。降雪の影響としては、①センサへの着雪 ②降雪している空間内でのレーザ散乱 ③積雪・滞雪・除雪排出物による障害物の発生 ④圧雪路面による路面反射率の変化等が考えられる。

##### 〈4・4〉既存技術との評価

既存の料金所用軸センサについて運用環境での軸検出精度を把握していない為、運用環境で非接触センサとの比較評価を行う必要がある。

#### 5. まとめ

今後の課題で整理した事項について、2019 年 7 月までに追加検討及び評価を実施する予定である。その荒天時の軸数検出率向上の評価結果により、非接触車種判別装置を判別率向上の開発を継続するか、車種判別率の低下する荒天時は判別結果の書込みを中止する運用など、開発検討の最終方向性を決定する。