

運転挙動の計測システム搭載実験車両とデータ処理システムの開発*

Development of an Experiment Car Equipped with Observation and Data Analysis Systems*

西川功**・野田隆***・桑原雅夫****・赤羽弘和****・大口敬*****

By Isao NISHIKAWA**・Takashi NODA***・Masao KUWAHARA****・Hirokazu AKAHANE****・Takashi OGUCHI*****

1. はじめに

現在、高速道路などで日常的に起きている交通渋滞を軽減・解消させるために、渋滞区間における車両の挙動特性を評価可能な交通流シミュレーションモデルの構築が試みられている。これら交通流シミュレーションモデルを構築するに当たっては、渋滞地点（サグ、合流地点等）でのドライバーの運転挙動の詳細な観測を必要とする。

既存のデータ収集車両は、基本収集項目として、自車両の速度、加速度、前後車両との車間距離、トリガ信号は取得可能である。しかし、合流部、織り込み部を原因とした渋滞現象解析に必要なと思われる隣接車線上の側方車両の情報や自車両の正確な位置情報を得ることが不可能である。こうした作業に手間がかかることと精度が保障されない点から、正確な位置同定技術は運転挙動データ収集において重要な意味を持つ技術開発である。

本稿では、自車両のデータに最新の GPS 技術を用いた位置同定技術を導入し、既存の実験車両では得ることのできなかつた周辺車両の挙動データを同一の時間軸上で統合して記録できる実験車両と、統合的なデータ処理システムの開発状況を報告する。

2. システム概要

当該システムは、GPS の高精度時刻情報をデータ収集の軸として活用しており、この時刻情報を用いた「GPS 同期信号発生装置」により同期信号とタイムコードを発生させ、各情報をすべて、ビデオ映像の 1 / 30 秒フレーム単位で正確に時刻同期させて収集する。このタイムコードをデータ収集の時間単位として、個別の各種測定機器から出力される測定結果を運転挙動データ取り込み装置に一旦取り込み、出力変換等の統合処理を行った後、Ethernet を介してパソコンに取り込む。その際、同時に計測機器間のサンプリング周波数の違いを吸収する仕様としている。図 1 に搭載している計測機器の設置イメージ、図 2 に各機器の接続関係を示す。

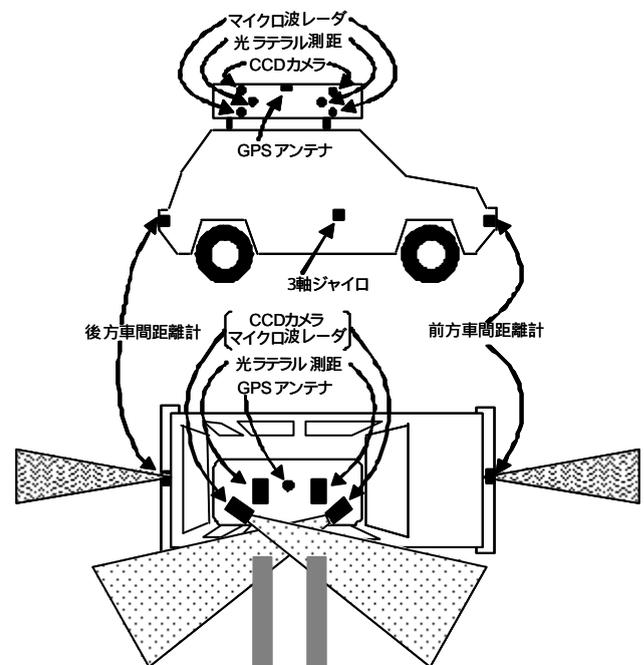


図 1 測定機器設置イメージと距離測定機器の測定範囲イメージ

* キーワード：交通流, ITS, 交通量計測

** 正員, 東京大学生産技術研究所
(東京都目黒区駒場4-6-1,
TEL03-5452-6419, FAX03-5454-6420)

*** 正員, 千葉工業大学
(千葉県習志野市津田沼2-17-1,
TEL047-478-0444, FAX047-478-0474)

**** 正員, Ph.D, 東京大学生産技術研究所

***** 正員, 工博, 千葉工業大学

***** 正員, 工博, 東京都立大学

(東京都八王子市南大沢1-1,
TEL0426-77-1111, FAX0426-77-2772)

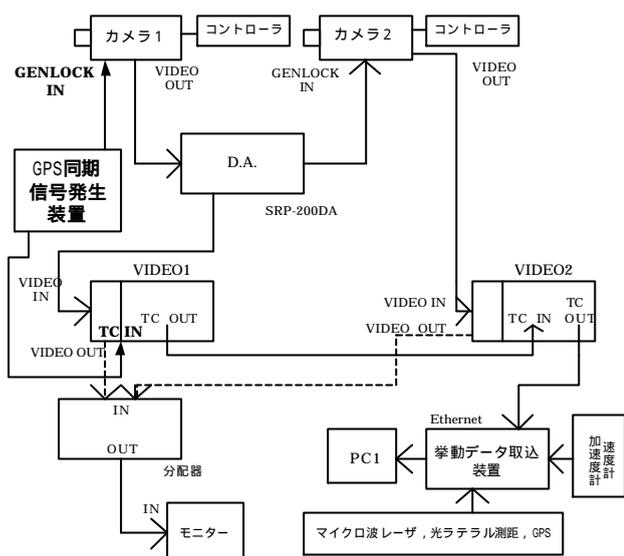


図2 計測機器等接続図

(1) 自車両に関する計測機器

(a) 位置：RTK-GPS (Real Time Kinematic GPS)

既存のデータ収集車両では、データ解析時に重要な要素となる対象区間における自車両の位置を、キロポスト等を位置判別の目標物として目視により同乗者がトリガ入力を行っていた。このような人手による入力ではデータの事後処理が煩雑になるばかりか、トリガ入力時刻と位置情報との照合が困難で、計測の信頼度を大きく左右していた。

本システムでは、GPSによる測位データを直接自車両位置として置き換える。自車両位置は測定データの基本となる重要なデータのため、使用するGPSは誤差数cm程度で位置計測が可能とされている、RTK-GPS装置を搭載する。この精度は、地上に固定して設置された基準局(実験時に別途実験用に設置する)からのGPSの補正情報データを車両側のGPS(移動局)に携帯電話を用いて伝送し、その場でリアルタイムに位置情報を解析することにより実現する。

しかし、RTK測位はGPS衛星の配置や電離層の影響等による系統的な誤差が発生することにより、測位精度の低下が起きると言われている。この精度低下は基準局と移動局の距離が長いほど影響を受けるため、都市間高速道路等の長い区間を対象とした調査の際には、基準局の設置位置に十分な配慮が必要であった。この点は、本年7月から提供される仮想電子基準点を使用することにより解決可能と期待され、原稿執筆現在、鋭意検討中である。

RTK測位には、携帯電話による移動局と基準局の連続的なデータ交換が必要であるため、回線が途切れるとRTK測位を続けることができない。この場合、データ回線を再接続した後しばらく移動局を固定してRTK測位状態を回復させなければならない。そこで、位置情報とは別系統で、同時に基地局と実験車両におけるGPS未処理データをそれぞれパソコンに蓄積し、後処理によってRTK測位と同程度の測位精度で位置解析を可能としている。

また、都内など高層建造物の多い地域では、RTK測位に必要な衛星数が確保できない場合があるが、RTK測位が不可能な場合でも、Differential GPS(誤差1m)あるいは通常のGPS(誤差数10m)による測定が可能である。図3はこのようにして測定された車両軌跡の例である。



図3 GPS装置と車両軌跡プロット

(b) 走行速度

自車のABS信号より車軸回転パルスを分岐し速度信号として使用する。

(c) 姿勢：3軸ダイナミカル角度センサ

対象区間における自車両の姿勢情報は、高精度ジャイロ及び高精度加速度センサを各々3個使用することにより、前後・左右・上下方向の加速度とロール・ピッチ・方位角速度、ロール角・ピッチ角・方位角を計測することが可能な3軸ダイナミカル角度センサを用いている。

(2) 周辺車両に関する計測機器

既存のデータ収集車両では隣接する車線の車両の挙動は測定できなかったが、入手可能な測定機器の特徴を組み合わせることによって、隣接車線の周辺車両の相対位置計測データ収集を可能にする。

(a) 前後車間距離

大型車の追突防止用警報装置として市販されているレーザーレーダを使用して、自車から前後の車両までの車間距離を計測する(図4)。これはレーザー・レーダヘッドでレーザー光を発光し、車両で反射された光をキャッチし車間距離を測定するものであり、前後100m以内の車両について測定可能である。

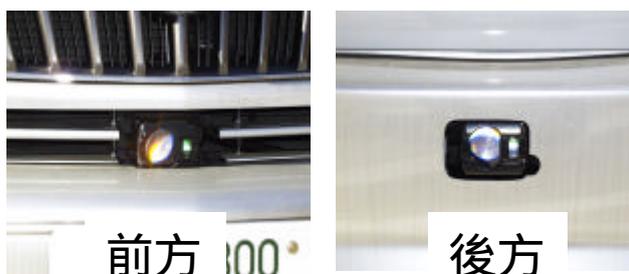


図4 前後車間距離計

(b) 光ラテラル測距装置

正面方向への指向性が高い装置で、最大7mまでの範囲で距離の測定が可能である。真横の隣接車線を走行する車両までの距離は比較的小さいと思われるので、この装置を2台並列設置して、これを測定する。

(c) マイクロ波レーダ

距離測定範囲が5mから50m程度を、比較的広い指向性で測定可能な装置である。この機器を隣接車線の斜め前方・後方に向けて合計2台設置することで、自車の斜め前方・後方の障害物までの距離を測定する。図5に隣接車線を走行する車両を計測する機器を示す。



図5 隣接車線側方車両計測用機器類

(d) CCDカメラ

隣接車線の車両情報は、光ラテラル測距装置・マイクロ波レーダによりリアルタイム測定を行う他に、画像処理ソフトによる後処理計測用として、ビデオ撮影も同時に行う。これは2台のマイクロ波レーダと同じ方向に2台のCCDカメラを設置し、2台のDV-CAMレコーダにそれぞれ画像を録画する。記録した映像を用いて、別途画像処理ソフトを使用して自車との相対距離を測定する。

この画像処理ソフトは撮影した画像を1フレーム1ファイルとしてパソコン上に連続ファイルとして取り込んでおき、フレーム上に存在する車両の特徴のある点(例:ナンバープレート)をトラッキングポイントとして指定すると、次のフレームにおいてパターン比較を行い、トラッキングポイントとして最も相関が高いポイントを次フレームのポイントとする。この処理を各車両毎に繰り返すことにより、自車との相対位置を求めることができるものである。

このソフトには、路面上の2本の白線方向を画面座標上で指定することで、2本の平行線同士が画面上で交わる消失点を計算し、別途カメラの高さを入力することで、画面上のトラッキング結果を道路上の絶対座標に変換する機能も備えている。図6に画像処理ソフトの動作画面を示す。

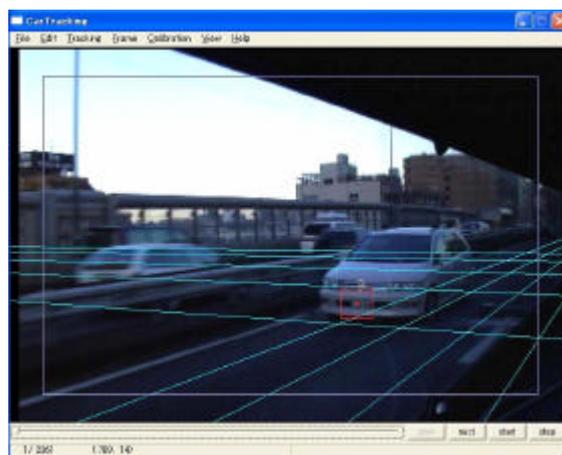


図6 画像処理ソフト

3. データ処理

収集された各計測機器のデータには偶然誤差及び計測誤差が含まれる。それらの影響による車両軌跡のズレを修正し、一体化された車両軌跡とするためにカルマンスムージング・アルゴリズムを使用して

平滑化を行う。このアルゴリズムの利点として、次の3点が挙げられる。

- ・観測値諸量間の物理的相互関係を利用できること。これによりスムージング結果の物理量同士の関係が整合する（例：加速度の積分が速度となる）。スムージング前の誤差がバラバラな観測値同士には、このような関係は必ずしも成立しない。また欠測がある場合には、この関係によりデータを補完することができる。
- ・時間的に前後する観測値との相関関係を現時点観測値の決定に反映させることが可能なこと。これにより、測定時間帯全体の傾向を用いて各時点の観測値の最確値を推定できる。また、ある時間帯の欠測に対して、その前後の時間で計測された観測値の情報から補間推定ができる。
- ・得られた観測値の信頼性を推定誤差分散値により重み付けできること。センサ毎に測定精度の仕様は異なる。このことをスムージング処理に反映することができる。

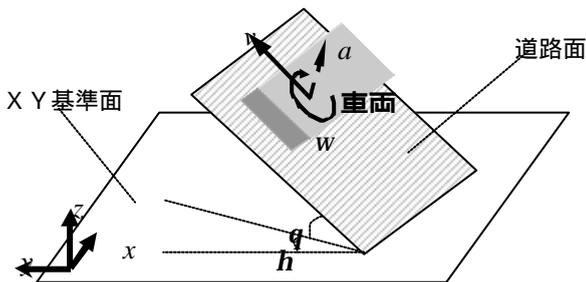


図7 車両姿勢と基準面

ここでは非線形モデルを扱うことのできる、拡張カルマンスムージング・アルゴリズムを適用する。式[1]が非線形状態方程式であり、式[2]が観測方程式となる。この状態量（状態ベクトル）を最小二乗推定により逐次更新しながら平滑化する。

$$x(t+1) = f(t)x(t) + w(t) \quad [1]$$

$$y(t) = h(t)x(t) + v(t) \quad [2]$$

ここに、 $x(t)$ ：状態ベクトル

$y(t)$ ：観測ベクトル

$w(t), v(t)$ ：白色雑音ベクトル

$f(t)x(t), h(t)x(t)$ ：非線形ベクトル関数

t ：時間

観測ベクトルの要素は、GPS の緯度・経度・高度・方位，GPS 速度，車軸パルス速度，前後加速

度・左右加速度・方位角速度である。またこれらの計測機器は車載の機器であるため、車両の姿勢による影響を受ける。従って車両の姿勢に対して独立なXY座標系を仮定した。この様子を図7に示す。

$f(x)$ は、状態量の時間変動を表す状態方程式(行列)である。また $h(t)$ は、状態量と観測量と関係を表す観測方程式(行列)である。

現在のモデル式では自車両の走行挙動軌跡の平滑化が可能であるが、今後、実験車両で収集される全ての計測機器からの情報を組み込み、前後車両と隣接車線の車両の挙動もスムージングアルゴリズムにより推定するモデルを完成させる予定である。

4. まとめと今後の課題

本稿では、自車両および周辺車両の挙動データを収集可能な実験車両、およびその収集・データ処理システムの開発状況を報告した。今後の課題としては、各機器での更なる精度検証や仮想電子基準点の使用可能性についての検証、同車線前後車両・隣接車線走行周辺車両の車両挙動軌跡を推定可能となるカルマンスムージングプログラムを改良すること、などが挙げられる。

参考文献

- 1) 赤羽弘和，大庭孝之，桑原雅夫，越正毅：車両の走行挙動計測システム，土木計画学究・講演集，No.11, pp.63-70, 1988
- 2) トリプルジャパン：トリプル技術情報，<http://www.trimble-j.com/techinfo/index.htm>
- 3) 国土地理院：測量法と公共測量，<http://www.gsi.go.jp/LAW/index.html>