

# 高速走行用ライントレースカーの横滑り制御の検討

兼田一幸\*\* 徳永玄久\*\*\* 牧野俊昭\*\*

## Study on a Slip Control Method of High-speed Line-trace Car in Curve Road

Kazuyuki KANEDA, Genki TOKUNAGA and Toshiaki MAKINO

### 1. はじめに

最近の工場などの生産現場では、通路にいくつかの色をつけたラインが引かれており、そのライン上を自動で移動する搬送車を用いて部品を運ぶことが多い。このような搬送車をライントレースカーと呼ぶ。近年、このライントレースカーの小型モデルが注目を集めており、ものづくりの観点から、大学等のメカトロニクス実習で採用されたり、高校の情報演習で取り扱われたり、簡易ロボットキットとして市販されている。

このようなライントレースカーは、地上に貼った磁気テープや有色テープをセンサで検出し、そのセンサ信号に基づいて、車上に搭載された小型マイコンにより進行方向や速度を制御する。特に、マイコン制御の入門用としては最適であり、工業高校を中心として、このマイコン制御カーの競技大会が盛んに開催され、その参加を通して特色ある教育を実施している学校もある。

本研究では、このライントレースカーの競技への参加を目指し、高速走行ライントレースカーを試作して、その挙動を把握し、進行方向と駆動輪の制御方法を検討する[1]。特に、このライントレースカーの競技では車の走行スピードの向上に伴ってカーブでの横滑り対策の必要性が叫ばれている。本稿では、この高速カーブ走行時での横滑り制御方法に焦点を絞って検討する。

### 2. 高速走行ライントレースの全体システム

高速走行ライントレースカーの走行テストコース、開発した車体、車体に取り付けたセンサ、制御システム等について説明する。

\* 原稿受付 平成 18 年 9 月 29 日

\*\* 佐世保工業高等専門学校 電子制御工学科

\*\*\* 佐世保工業高等専門学校 専攻科

### 2. 1 走行テストコースの構成

走行テストコースはアクリル板を 300mm の幅に切り出し、その板の上に色の付いたビニールシートを貼って作成した。作成したテストコースの全景と、その一部を拡大したものを図 1 に示す。まず、土台部分としてコース全体に黒のシートを張り付ける。次に、その作成した黒のシートの中心に幅 20mm の白線シートを張り付ける。さらに、その白線シートの両サイドに 10mm の灰色シートを張り付ける。作成したコースは直線部分の長さが約 3m で、カーブ部分の曲率半径は 600mm である。

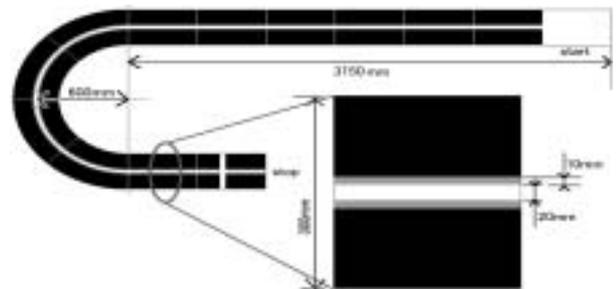


図 1 走行テストコースの構成

### 2. 2 ライントレースカーの構成

図 2 はライントレースカーの全体構成を示す。このライントレースカーは長いノーズを持ち、その先端部分に光学センサを取り付けている。車体の中心部のポテンシオメータの下には、舵を切るための電動モータが組み込まれており、このモータを制御してラインにセンサ部を追随させる。

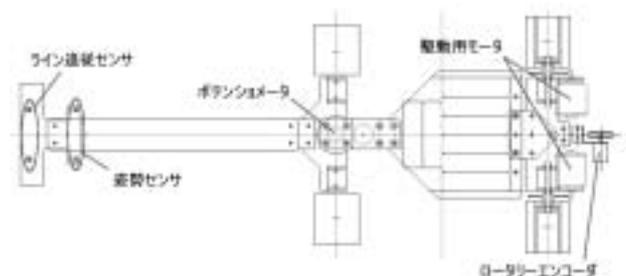


図 2 ライントレースカーの全体構成

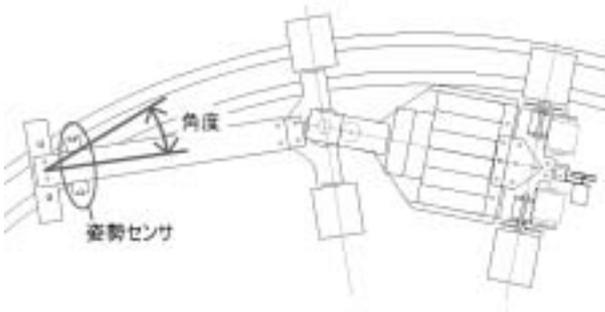


図3 蛇角を曲げたマイコンカーの姿勢

電動モータを制御して蛇角を曲げたライントレースカーの姿勢を図3に示す。この図から分かるように前輪はセンサを取り付けたノーズ部と一体化しており、操舵モータを制御することで進行方向を変化させ、ラインとセンサ部を一致させてライン上を走行する。なお、本トレースカーはステアリングの軽さを考慮した後輪駆動で、前輪は単に回転するだけである。また、走行時のデータを取得するため、後部に速度を検出するロータリーエンコーダを取り付け、中心部に蛇角を検出するためのポテンシオメータを取り付けている。

### 2. 3 ライン認識センサと姿勢認識センサの構成

ラインを認識するために、車体のノーズ先端に反射型のフォトインタラプタを取り付けた。図4に作

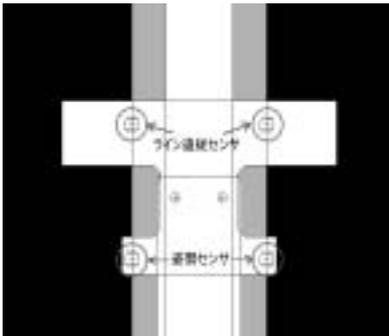


図4 ライン認識センサと姿勢認識センサ

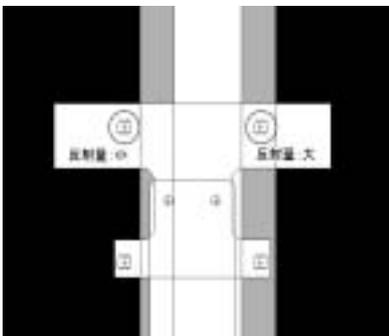


図5 ラインの追従方法

成したセンサのモジュール拡大図をラインの上に重ねて示す。上部の一对センサがラインを認識するためのセンサで、ラインを挟んで左右に設置している。この上部のセンサをライン追従センサと呼ぶ。この左右のセンサ出力値の差からライン中心との距離を把握し、ラインの中心とセンサの中心が重なるように舵を切る。例えば、図5のようにラインが右に移動した場合は、右のセンサの出力が大きくなり、左のセンサの出力が小さくなる。そこで、舵を右に切ることにより車体を移動させ、そのセンサの出力信号を調整すると同時にラインの中心とセンサの中心を一致させる。

一方、ラインの下部にもう一組センサを取り付け、このセンサを用いてラインに対する車体の姿勢を検出する。このセンサを姿勢センサと呼ぶ。この姿勢センサは車体が斜めに傾くと出力が大きく現れるので、これを用いて現在の姿勢を計測する。

### 2. 4 横滑りの計測及び抑制方法

実際のライントレースカーは直線部分で加速しその後カーブに進入する。このとき侵入速度が早すぎると横滑りを起こしてコースから逸脱する。そこで、横滑りを起こしている時と起こしていない時の両方に対して、車体の動きをデジタルカメラで撮影し、その時のラインと車体の位置関係を確認した。

図6に横滑りを起こしていない場合の、カーブでの車体の走行写真を示す。この図ではカーブ走行中の車体の位置を上部から撮影している。この図のセンサ部とラインとの関係をイメージ拡大したものを図7に示す。この図より、横滑りを起こしていない場合は、カーブ走行中の車体はラインの中心より旋回中心方向に（この図7では左側）少しずれた状態で走行していることが分かる。

一方、横滑りが起きた場合の、ライントレースカーのカーブでの走行写真を図8に示す。この走行写真を図6の横滑りがない場合の車体のカーブでの走行写真と比較すると、横滑りが起きた場合は、車体は旋回中心方向より外側（図8では右方向）にずれており、グリップ力が無くなると外側に逸脱しそうになることが分かる。このときのセンサとラインの位置関係を拡大したイメージを図9に示す。

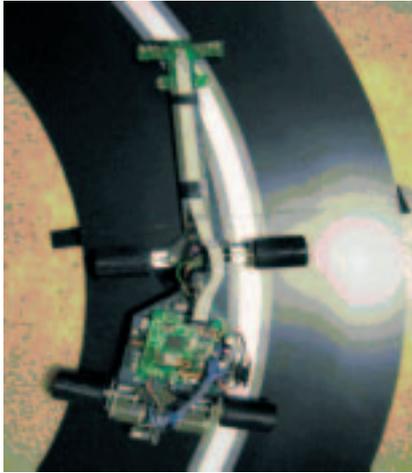


図6 横滑りが無い場合のカーブ走行状況

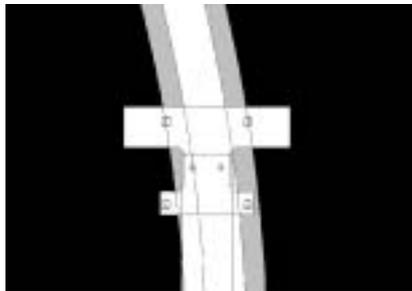


図7 横滑りが無い場合のセンサとラインの関係



図8 横滑りがある場合のカーブ走行状況

図9は横滑りがない場合であり、図7と比較すると滑りがある場合ではラインとセンサモジュールは直線的に並んでいる。逆に、滑りがない場合はラインとセンサモジュールは斜めになっている。このことから、滑りがない場合は、センサとラインの間隔が離れるため姿勢センサの出力値が大きくなる。逆に、滑りがある場合は、センサとラインが直線的に並ぶため両者の間隔が近づき、姿勢センサの出力値は小さくなる。

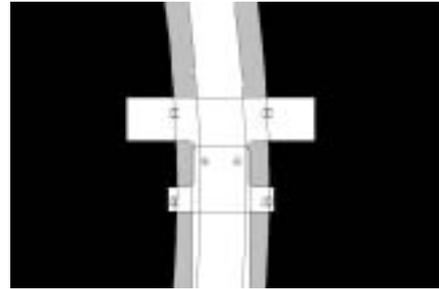


図9 横滑りがある場合のセンサとラインの関係

### 2. 5 実験内容と制御方法

これらの関係を確認するため、走行実験を行いカーブでの姿勢センサの出力値と舵角の変化を測定した。まず、横滑りが発生しない場合のデータを取得するため、やや遅い速度 (2m/s) でライトレースカーを図1のテストコースで走行させた。この時の測定データを図10に示す。この図では、左半分がコースの直線走行の部分に相当し、右半分がカーブを回っている部分に相当する。

この図ではマイナスの舵角は舵を左側に切ったことを表す。また、プラスの舵角は舵を右側に切ったことを表す。通常、カーブへ進入しているときは舵角が次第に増加し、カーブ走行中はカーブの曲率が一定なので舵角はある値で変わらず、カーブを抜ける時は次第に零に近づく。このためカーブ通過時の舵角の変化は理想的には台形になる。図10の結果でも、多少の揺らぎはあるが、舵角はほぼ台形になっている。また、この図より姿勢センサの値も同様に台形型に変化していることが分かる。これは、カーブに入る時点とカーブを出る時点ではラインに対する車体の傾きが次第に変化するため、そのセンサの値が次第に大きくなる。又、カーブ走行中は一定の傾きのまま車体が走行するので固定値になる。



図10 横滑りが発生しない場合の走行特性

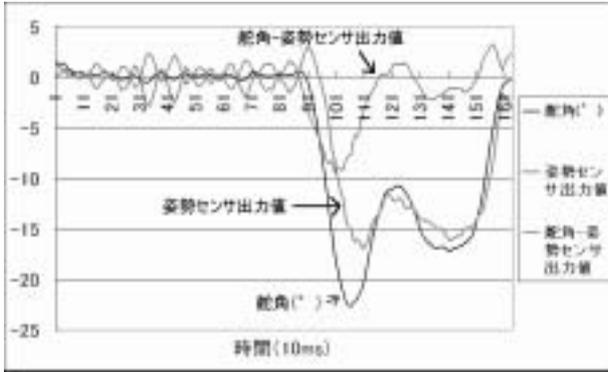


図 1 1 横滑りが発生した場合の走行特性

次に、横滑りが発生する場合の測定を行うため、車速 5 m/s でテストコースを走行させた。速度を上げた時の車体の挙動は、カーブ侵入時に横滑りを起こし、アンダーステアが発生し大きく丸の字に折れ曲がる。次に、オーバーステアが発生し逆方向に滑りながら曲がる。そして、次第に収束しながらカーブを抜けていく。このときの計測結果を図 1 1 に示す。この結果からその動作の様子を把握できる。蛇角は、カーブに進入するとすぐプラス（右方向）の大きな値になり、その後カーブの途中で逆方向に変化し、その揺れ戻しを行いながら零に近づいていく。さらに、この図より車体が滑っている場合では、蛇角は大きな値を取っているものの、姿勢センサの出力は、図 1 0 の滑っていない場合と比較すると小さな値を持つことが分かった。これは 2.4 節の写真結果と同じである。

そこで、本研究では、蛇角が大きく切られているときに姿勢センサの値が比較的小さければ、横滑りが発生していると判断し、この状態になったときに、車輪に与える回転数を下げる。さらに、その車輪の左右の回転数差を増すことにより、横滑りを抑えカーブでの姿勢を安定させることにした。

この制御を新たに加えたライントレースカーの全体制御ブロックを図 1 2 に示す。点線部分が新規に追加した制御部分である。これらの制御を本体に取り付けた H8 マイコンを用いて行う。

### 3. 新制御システムの効果

今回、開発したライントレースカーの性能を評価し、提案した新制御手法の有無に対する走行評価を行った。図 1 3 にそれらの結果を示す。この図より、

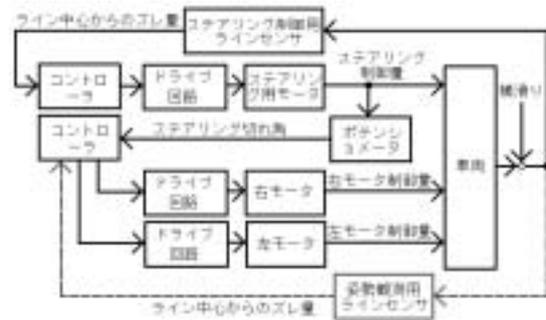


図 1 2 ライントレースカーの制御ブロック線図

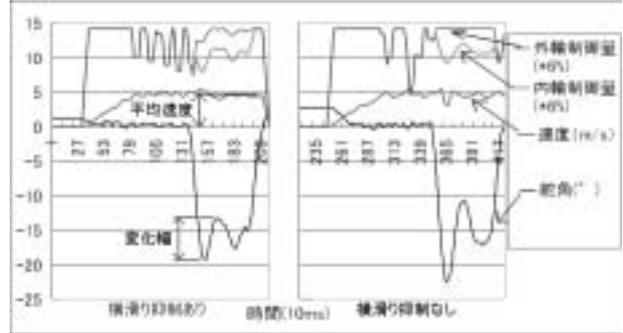


図 1 3 新制御手法を用いた場合の走行特性

新制御手法を適用することで蛇角の変化幅が大幅に減少し、横滑り時の動作が安定に改善していることが分かった。このとき、速度は約 2% 遅くなったが、蛇角の変化幅は約 60% 改善されて、横滑り特性も良好になった。

### 4. まとめ

高速走行ライントレースカーを開発して、ラインと車両間の位置姿勢特性を把握し、駆動輪の出力値を変化させることで横滑りを抑え、高速走行での安定した旋回を実現する新手法を提案した。特に、姿勢センサの値と舵角の測定値を用いて駆動輪の出力をアクティブに変化させ横滑りを抑制し、ライントレースカーの姿勢変動を改善できた。

### 参考文献

[1] 徳永玄久、高速走行ライントレース車の横滑り抑制方法に関する研究、佐世保工業高等専門学校卒業論文集、3月（2006）