

## CACCによる車両挙動モデルの構築と検証

中川 悠樹<sup>†</sup> 服部 有里子<sup>†</sup>国立大学法人 筑波技術大学<sup>†</sup>

## 1. はじめに

交通事故死者削減・渋滞低減のため、自動車の自動走行・高度運転支援技術の開発が進められている。自動車メーカー各社から、自動車の縦方向の自動運転制御であるACC (Adaptive Cruise Control: 車間距離制御装置) を搭載した車両が市販されている。

ACCの制御に加えて車車間通信を導入することでACCよりも短い車間距離を維持しながら安全な走行を実現するCACC (Cooperative Adaptive Cruise Control: 協調型ACC)の研究開発が行われている。CACCは車車間通信によって他車の加減速情報を共有することで、より精密な車間距離制御を行うシステムであるが、その制御アルゴリズムの詳細は公開されていない。

本研究では、車車間通信により得られた前方車の情報を用いることで、短い車間時間でも効果的に前方車の加速度変動を減衰伝搬する車間距離制御アルゴリズムを提案する。さらに、車両重量、勾配、走行抵抗などをパラメータとして、CACC車両の車両挙動を分析・評価した。本研究の課題は以下の3点である。

- CACCによる車両制御システムを解析することにより、相対速度や目標加速度等の計測データを取り出し、制御パラメータ値を設定すること。
- 車両の相対速度を動的に計算し、車間距離はどれくらいまで安全であるか、最短の車間距離を探索すること。
- 高速域の車両に対しても、CACCにより車間の変化を最小限に抑え、追突を回避できる速度と車間との関係を探ること。

## 2. 問題設定と要求条件

## 2.1 車間時間

車間距離制御では、車載センサで計測した同一車線上の前方車との車間距離や相対速度を用いて、目標加速度を決定することを考える。

ここで、目標車間距離  $L_{des}$  は、以下の式のように、

$$L_{des} = hv_0 + L_{safe}$$

一定値+速度比例値とし、その比例定数  $h$  を「車間時間」という。車間時間は、自車の速度で前方車の位置に何秒後に到達するかを示す時間である [1]。

## 2.2 制御パラメータ

自車の目標加速度は、目標車間距離との誤差と前方車との速度の誤差 (相対誤差) からフィードバック制御により算出する。自車の目標加速度の式は、

$$a_{0des} = K_1(r - L_{des}) + K_2(v_1 - v_0)$$

となる。ここで、 $K_1$  は車間距離誤差のフィードバックゲイン、 $K_2$  は速度の誤差に対するフィードバックゲインである。実際の車両では、車両の加速度は制御システムの目標加速度の指令に対して遅れをもつ。この遅れは普通車では0.2秒程度である [1]。

本研究では、CACCによる車両制御システムを解析することにより、相対速度や目標加速度等の計測データを取り出し、制御パラメータ ( $K_1, K_2$ ) の値を設定した。

## 2.3 要求条件

本研究で構築するCACCによる車両制御システムが満たすべき要求条件を以下にまとめる。

- ① 車両速度の範囲は、25~120 km/h とする。
- ② 制御システムの目標加速度の指令に対する遅れは、0.2秒程度とする。
- ③ 車間時間は、1.0秒とする。
- ④ 安全のための車間距離は、7mとする。

## 3. CACCによる車両制御システム

車間距離制御アルゴリズム [1] [2] の出力である車間距離と、自車の目標加速度の2つの制御パラメータ ( $K_1, K_2$ ) の値を用いて、CACC車両の車両挙動を高精度で再現可能なCACCの車両制御モデルを設計した (図1)。CACCの制御アルゴリズムを一般の車両制御モデルに加えることで、CACCによる車両制御モデルを構築した。

## 3.1 自車の目標加速度の算出

自車の目標加速度は、目標車間距離との誤差と前方車との速度の誤差からフィードバック制御により算出する。

自車の目標加速度の式は、  
 $a_{0des} = K_3a_0 + K_1(r - L_{des}) + K_2(v_1 - v_0) + K_4(v_1 - v_0)/K_5$  とする。

## 3.2 アクセル開度・ブレーキ制御システム

アクセル開度・ブレーキ制御システムは、目標加速度から質量、慣性質量、走行抵抗により目標駆動力を算出する。次に、目標駆動力からタイヤ半径、総減速比により目標エンジントルクを算出する。目標エンジントルクから、エンジン回転数とエンジントルクのデータテーブルにより、アクセル開度とブレーキが求められる。

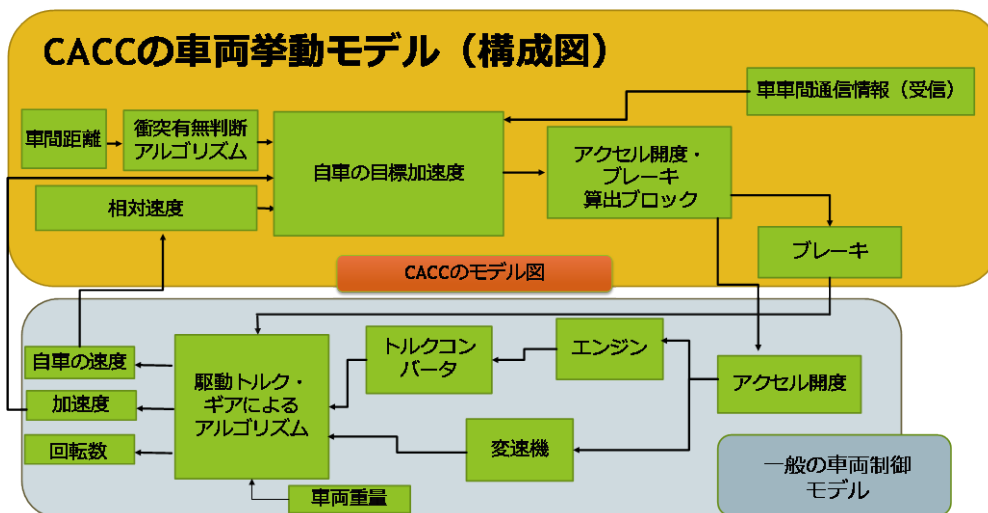


図 1 CACC による車両制御モデル

#### 4. シミュレーションによる検証・評価

##### 4.1 前方車への追従制御

前方車両が速度 120, 110, 100, 90, 80, 70, 60[km/h]で走行中に急ブレーキを踏み、 $-0.5[G]$ の減速度で速度 50[km/h]まで減速した場合を事故に見立ててシミュレーションを実行した。前方車と衝突することなく、加減速度の値が $-0.5[G] \sim 0.5[G]$ の間で推移したとして、車間距離制御アルゴリズムの出力である車間距離の値が負の場合は、事故が起こる可能性があると考えます。車両は普通車（車両重量：1200kg，タイヤ半径：0.3m）とする。

前方車と自車の速度をどちらも 120, 100km/h に設定した。シミュレーションの結果、速度 120km/h において車間時間 1.2 秒まで、速度 100km/h において車間時間 1.1 秒までは追突事故にならないことが分かった。図 2 に速度 100km/h の車間距離の変動グラフを示す。速度 120km/h において車間時間 1.1 秒、速度 100km/h において車間時間 1.0 秒では、車間距離の変動グラフに負の値がある。つまり追突事故となることが分かる。

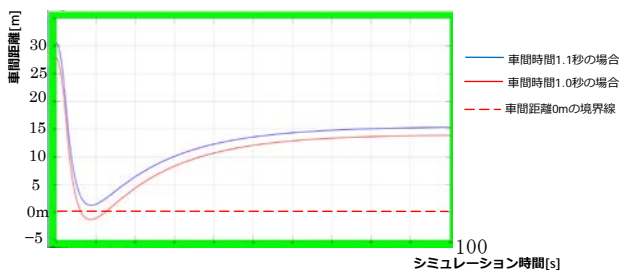


図 2 速度 100km/h の車間距離の変動グラフ

##### 4.2 追い越し時の車間距離制御

次に自車速度 120km/h において、前方車が自車の道路へ追い越した時の速度が 50km/h の場合のシミュレーションを行った。車間距離は 50m から始まるとする。車間距離の変動グラフを図 3 に示す。

車間距離 40m では、車間距離の変動グラフに負の値があることが分かる。また、目標加速度は 4 秒付近までは $-4.9m/s^2$ を保持していることから、実際には推移範囲を超えていることも分かる。よって追突事故となる可能性があると考えます。検証の結果、車間距離 43m までは追突事故にならないことが分かった。

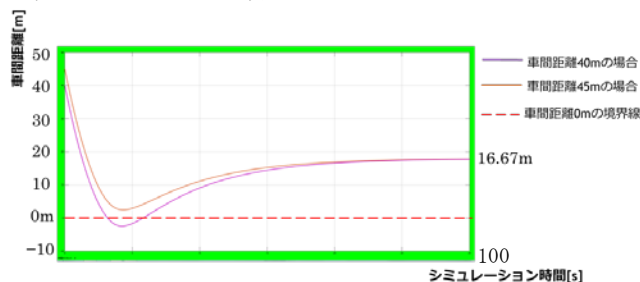


図 3 車間距離 40, 45m の場合の車間距離の変動グラフ

#### 5. あとがき

本研究では、CACC 車両の車両制御モデルを設計し、CACC により高速域での追突回避、渋滞低減のため、車間距離を最低限に短くすることができるかどうか、シミュレーションにより検証・評価した。前方車への追従では、速度 120km/h において車間時間 1.2 秒まで、速度 100km/h において車間時間 1.1 秒までは追突事故にならないことが分かった。追い越しでは、車間距離 43m までは追突事故になることはまずないことが分かった。

今後は、車両重量、勾配、走行抵抗などをパラメータとして、CACC 車両の車両挙動を分析・評価する所存である。

##### 参考文献

- [1]大前学, “ACC (車間距離制御装置) と CACC (通信利用協調型車間距離制御装置) のアルゴリズム”, 電学誌, 135 巻, 7 号, pp.433-436 (2015).
- [2]大前学 他, “大型トラックの協調型 ACC における車間距離制御アルゴリズムの開発”, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.6, pp.1509-1515 (2013).