

## 異なる自動車追従モデルに対する CO2 と燃料消費量の評価と比較

## Evaluation and Comparison of CO2 and Fuel Consumption for Different Car Following Models

蔣 寧靈†  
Ningling Jiang

クラ エリス‡  
Elis Kulla

## 1. 研究背景

近年、AIと無線通信技術が発展してことによる、自動運転化や車間通信が実用化される。ITSを利用した应用の一つとして、複数の車両による高速道路上での隊列走行が期待されている。車間距離が短くなるほど空気抵抗が減少して燃費が改善する研究が注目されている。本研究では、シミュレーションを用いて隊列走行の実験を行い、異なる自動車追従モデルに対するCO2と燃料消費に関する評価を行う。

## 2. 研究関連

## 2.1 ITS

ITS: Intelligent Transport Systemとは、高度道路交通システムである。人と道路と自動車の間で情報の受発信を行い、道路交通が抱える事故や渋滞、環境対策など、様々な課題を解決できる。ITSでは、車が通信するようにV2V, V2I, V2Xの通信類がある。V2Vでは車載機は現在の位置情報や速度、ブレーキの状況などを1秒間に数十回以上送信する。その信号を周りにいる自動車の車載機が直接受信する。V2Iでは交差点に設置された路側機がその交差点を通過する自動車に対して信号を送る。V2Xはクラウドを通さず直接に相互通信し、効率的な交通システムの構築と自動車事故の未然防止を目的とする仕組みである。

## 2.2 隊列走行

隊列走行とは車車間通信により、数台の車両が隊列車群を構成し走行するものである。隊列走行に参加している車が自動的に前車追跡をするので、省エネルギー化、省人化、運転安全性や快適性の向上が期待される技術である。



図1 隊列走行の概念

## 2.3 前車追従モデル

前車追従モデルとは、文字どおり前方車両に合わせて加

減速等をモデル化する。前方車両にぶつからないための様々な規則やしきい値を設定して車両挙動をシミュレートする。様々な追従モデルがありますが、本研究はACCモデルとCACCモデルを用いてCO2と燃料消費量を比較する。

## 2.3.1 ACCモデル

ACC: Adaptive Cruise Controlとは「定速走行・車間距離制御装置」である。高速道路や自動車専用道路で使用することを前提に開発されたもので、その名の通り、車間距離を一定に保ちつつ、定速走行を車が自動でやってくれる装置である。図2のように、次の時間ステップk+1における加速度 $\alpha_{i,k+1}$ は、先行車両に対するギャップおよび速度偏差に基づく二次伝達関数としてモデル化され、以下のように定義される。[1]

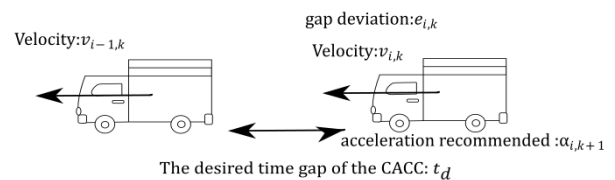


図2 vehicle-following model at constant headway-time

$$\alpha_{i,k+1} = k_2 e_{i,k} + k_3 (v_{i-1,k} - v_{i,k}), \quad k_2, k_3 > 0 \quad (1)$$

- $\alpha_{i,k+1}$ : 次の step k+1 車の目標加速度
- $e_{i,k}$ : 現在の step k 車のギャップ偏差
- $v_{i-1,k}$ : 先行車両の現在の速度
- $k_2$ : 位置偏差に対するゲイン
- $k_3$ : 速度偏差に対するゲイン

最適値は、 $k_2 = 0.23s^{-2}$ と $k_3 = 0.07s^{-1}$ である。[1]

## 2.3.2 CACCモデル

車間距離維持支援システム(CACC)普通では、車両に搭載されたカメラとミリレーダーで隊列の先行車との距離を検知するACC(車間距離制御装置)が構成する。CACCでは、先行車の加減速などの制御情報を受信し、後ろの車両では加減速を自動で行う。先行車のアクセルやブレーキが踏まれた情報が後ろの車両にリアルタイムな制御が行い、車間距離の確保がよりスムーズになる。次の時間ステップk+1における装備車両の速度は、次式に従って1次伝達関数で表さる。[1]

$$v_{i,k+1} = v_{i,k} + k_5 e_{i,k} + k_6 \dot{e}_{i,k}, \quad k_5, k_6 > 0 \quad (2)$$

ここで、 $\dot{e}_{i,k}$ は $e_{i,k}$ の導関数であり、次のように定義される。

$$\dot{e}_{i,k} = v_{i-1,k} - v_{i,k} - t_d \alpha_{i,k} \quad (3)$$

•  $t_d$ : CACC期待のタイムギャップ  
制御ゲイン $k_5$ と $k_6$ の値はそれぞれ $0.45s^{-2}$ と $0.25s^{-1}$ に設定される。[2]

† 岡山理科大学 Okayama University of Science

‡ 岡山理科大学 Okayama University of Science

### 3. ミュレーションシステム

#### 3.1 シミュレーション環境

隊列走行の評価するためにあたってシミュレーターが必要となる。本研究では以下のシミュレーターを使用している。

- VENTOS(VEhicular NeTwork Open Simulator)
- SUMO(Simulation of Urban MObility)
- OMNeT++(Objective Modular NetworkTestbed in C++)

VENTOS [2] (VEhicular NeTwork Open Simulator) は、Dedicated Short Range Communication (DSRC)対応の無線通信機能により、車両交通の流れ、協調的な運転、および車両とインフラストラクチャ間の相互作用を研究するためのオープンソースのシミュレータである。SUMO[3] と OMNeT++[4]に基づいた統合シミュレータである。SUMO は車両のトラフィックを生成するシミュレータである。道路の形状や長さ、車両の数や動きなどを定義できる。VENTOS は TraCI (Traf-fic Control Interface) を介して SUMO と密接に連携し、車両、バイク、歩行者などのモビリティ情報を使用し、現実的なシミュレーションを行うシミュレータである。

OMNET++は、オープンソースで拡張可能なモジュールベースのコンポーネントベースの C++シミュレーションパッケージで、通信シミュレーションを行う環境である。

#### 3.2 シミュレーションの設定

本研究では、ACC と CACC の各自動車追従モデルの CO<sub>2</sub> と燃料消費の比較を行った。図 3 のようにシナリオは高速道路で行う。3 車線が構成される高速道路では車両 5 台(V1、V2、V3、V4、V5)が出発地(緑色)から目的地(赤色)まで、矢印の方向に順番で走行する。



図 3 シナリオ：高速道路での走行

表 1 に今回シナリオのシミュレーションで設定したパラメータを示す。シミュレーションの結果として、HBEFA[5](Handbook Emission Factors for Road Transport)で記載されているように、各車両の燃料消費と CO<sub>2</sub> を収集し、比較評価を行う。ツールは、データを収集する。HBEFA は現行のすべての道路車両(乗用車、軽自動車、大型車両、バス、オートバイ)の排出係数、特定排出量を提供するデータベースアプリケーションである。

表 1 Simulation Parameters

Parameters	Value
MAP	Highway
Vehicle Number	5
Vehicle Length(m)	5
Vehicle Max Speed (km/h)	30
Vehicle max Acceleration (m/s <sup>2</sup> )	3
Vehicle max Deceleration (m/s <sup>2</sup> )	5
Time (s)	60
Car following model	Krauss,ACC,CACC

### 4. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 4、5 に走行している車両のそれぞれが発生した CO<sub>2</sub> と燃料を示す。横軸は各車両の番号(v1:先行車、v5:後尾者)、縦軸は各車両の CO<sub>2</sub> の総排出量と総消費燃料を示す。CACC モデル全体的には ACC モデルより CO<sub>2</sub> の排出量が少ない、燃料の消費も少ない。CACC は、ACC より短い車間距離での走行により空気抵抗が少ないと考える。また、CACC は ACC より急ブレーキが抑えると思う。

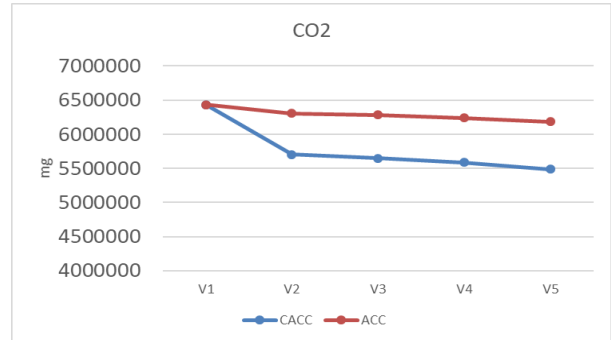


図 4 高速道路で異なる自動車追従モデルに対する CO<sub>2</sub> の排出量

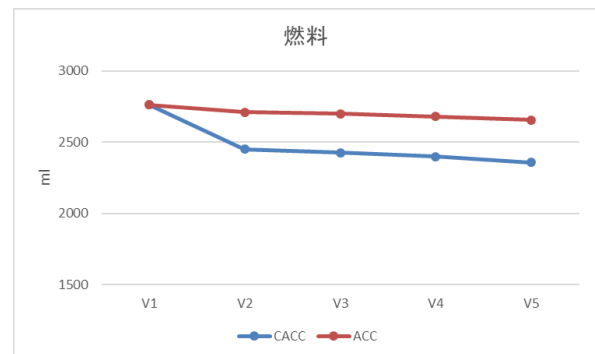


図 5 高速道路で異なる自動車追従モデルに対する燃料の排出量

### 5. 今後の研究

隊列走行の参加、分裂、融合、退出のアルゴリズムを実施と運転環境に合わせて改良する。管理車を先頭車にする方法と管理車を真中の車両にする方法どちらが良いを比較する。また、隊列を形成する際は、走行しながら管理車を選択する方法と事前に管理車が決める方法どちらが良いを比較する。一つの隊列から、多数の隊列に分散するアルゴリズムを提案する。

#### 参考文献

- [1] Porfyri, Kallirroi N., Evangelos Mintsis, and Evangelos Mitsakis. "Assessment of ACC and CACC systems using SUMO." EPIC Series in Engineering 2 (2018): 82-93.
- [2] Mani Amoozadeh, Hui Deng, Chen-Nee Chuah, H MichaelZhang, and Dipak Ghosal. Platoon management with cooperative adaptive cruise control enabled by vanet. VehicularCommunications, 2(2):110-123, 2015.
- [3] Daniel Krajzewicz, Michael Bonert, and Peter Wagner. Theopen source traffic simulation package sumo.RoboCup 2006Infrastructure Simulation Competition, 1:1-5, 2006.
- [4] Krajzewicz, Daniel, et al. "Recent development and applications of SUMO-Simulation of Urban MObility." International Journal On Advances in Systems and Measurements 5.3&4 (2012).
- [5] Mario Keller, P Koch, J Heldstab, BD Staub, and P de Hahn.Handbook emission factors for road transport.UBA Berlin andBUWAL Bern, produced by INFRAS Bern, 1999.