

# シミュレーションによる CACC の渋滞改善効果の調査

今枝勇太, 旭健作, 渡邊晃  
名城大学, 名城大学, 名城大学

## 1 まえがき

ITS(Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム)の分野では自動車交通の効率化を主な目的として, 1990年代から精力的にさまざまな研究開発が行われてきた. 中でも高速道路の渋滞は自動車交通の効率化を図る上で避けては通れない課題である. 料金所部での渋滞を改善するための取り組みとして, ETC(Electronic Toll Collection System: 電子料金収受システム)の普及による料金所部での渋滞の改善が図られた. その結果, 2002年では渋滞の原因の約17%を占めていた料金所部での渋滞は2011年には0.2%まで激減した. しかし, 下り坂から上り坂に変わる道路上の地形の一つである「サグ部」での無意識な減速が原因で後続車両に速度の低下が伝わり発生する渋滞は改善されておらず, 自動車交通の効率化における大きな課題となっている.

この「サグ部」で発生する渋滞の対策として車間距離, 相対速度から自車の加速度を自動制御する車間距離制御装置(Adaptive Cruise Control: ACC)や近年開発が進められている前方車両の加速度情報を通信装置で伝達し, 相対速度を組み込んだACCである通信利用協調型車間距離制御装置(Cooperative Adaptive Cruise Control: CACC)がある. これらの技術を使うことで前方車両の減速による速度の低下の伝播を無くし, 渋滞を改善することができる.

既存の研究に, CACCを搭載したトラック4台を車間距離4[m]で隊列走行させる実験, 研究が2013年2月にエネルギーITS推進事業で行われ, 安全なCACC走行が実現できることが確認された. しかし, 実際の交通の場において, 車群が4台のみの場合や, 車群を形成している車両すべてがCACCを搭載しているという環境は想定しにくい.

本研究ではより現実の道路交通に近づけるため, 車群を10台で形成し, 徐々に普及するであろうCACC搭載車が非搭載車と混在する環境を想定する. そして, 車群の中のCACC搭載車両の比率を変化させながら, 先頭車両がある速度から減速し別の速度へ変化するシミュレーションを行い, CACCの普及率による渋滞改善効果をシミュレーションにより検討した.

## 2 車群のモデル

CACCが動作する車両とACCが動作する車両, 人間の運転する車両の3種類の車両の追従モデルを示す. 先行車両*i*の位置を $x_i(t)$ とし, 追従する車両*i+1*の位置を $x_{i+1}(t)$ とすると, 車両の加速度 $\ddot{x}_{i+1}(t)$ を, CACCの場合は(1)式で, ACCは(2)式, 人間の場合は(3)式で与える[1].

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_1 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} + k_2 \{\ddot{x}_i(t) - \ddot{x}_{i+1}(t)\} \dots (1)$$

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} \dots (2)$$

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} \dots (3)$$

3つの式の左辺に含まれる $T_A$ と $T_H$ はそれぞれ機械の遅れ時間, とドライバの反応遅れ時間を示す. この遅れ時間とはブレーキをかけ始め, ブレーキが実際に効きはじめるまでの時間のことである. また右辺の各項にかかっている $k_1$ と $k_2$ ,  $k_3$ は制御ゲイン,  $k_4$ は人間の反応感度である. 今後, これらの $k$ をモデルパラメータという. (1)式のモデルパラメータ $k_1$ がかかっている項は, 分母が前方車両との距離の差(車間距離)となっており, この値が小さくなるほど後続車両の遅れ時間後の加速度は大きくなる. また, 分子は前方車両との速度差となっており, この値は大きくなるほど後続車両の遅れ時間後の加速度は大きくなる. この項の特性は他の2つの式のモデルパラメータ $k_3$ と $k_4$ がかかっている項も同様である. (1)式にはもう1つ項があり, これは前方車両から通信で加速度情報を取得できるCACCのみに与えられている項である. この項は前方車両との加速度差となっており, この値が大きくなるほど後続車両の遅れ時間後の加速度は大きくなる.

## 3 シミュレーションによる CACC の渋滞改善効果の調査

### 3.1 シミュレーションの環境

はじめに, 本研究のシミュレーションの環境を設定する. 追い越しのできない直線の高速道路の走行する車群(10台)を想定し, 先頭の車両がブレーキをかけることで無意識の減速とする. また, シミュレーションでは, 各車両を点とみなし, すべての車両が同一の速度90[km/h]で走っている状態から先頭車両が75[km/h]以下になるまで $-2[\text{m/s}^2]$ で減速する場合を想定する. 加速度は空気抵抗, タイヤの転がり抵抗, エンジン性能を加味し,  $-2[\text{m/s}^2]$ と仮定する.

[A study of influence of CACC for reducing traffic jam by simulation]

[Yuta Imaeda • Meijo University]

[Kensaku Asahi • Meijo University]

[Akira Watanabe • Meijo University]

機械の遅れ時間 $T_A$ を 0.1[s], 人間の反応遅れ $T_H$ を 1.0[s]として計算する[2].

CACC 車両の普及率は車群内の車両 10 台中を占める割合で計算する. CACC 車両を挿入する場所は各普及率で全通行り, 各普及率別で算出された各車両の速度の平均をその普及率の各車両の速度として扱う. また, CACC 車両は前方車両が CACC 車両でないと通信を行えないため, 前方車両が CACC 車両ではない場合 ACC の挙動をする.

### 3.2 事前シミュレーションによるモデルパラメータ $k$ の決定

次にモデルパラメータ  $k$  の値の決定を行う. 各式のモデルの車両を, それぞれ 10 台でシミュレーションを行う. また, 多くのドライバーは車間時間 1.2[秒]で走行している[3]. よって, 90[km/h]で走行する車両の車間距離は 30[m]となる. よって車間距離はすべての車両が 30[m]空けるものとし,  $k$  の値を変化させ前方車両と衝突することなく, 加速度の値が無意味に大きくならないように-0.3[G]~0.3[G]の間で推移させる. さらに, 減速後の先頭車両と同じ速度に収束できたらシミュレーションの実行に成功したものとする. ACC の場合は成功した場合の  $k_3$  の値の平均値をとり, このシミュレーションで使うモデルパラメータ  $k_3$  の値を 1 つに決定する. また, 人間のモデルパラメータ  $k_4$  の値は平均値を採用すると人間の反応感度として適切ではなくなってしまうため, 最大値をモデルパラメータ  $k_4$  の値として決定する. CACC のモデルパラメータ  $k$  の値は  $k_1$  と  $k_2$  の組み合わせとなり, さらにこれらは取りうる範囲が存在する. よって今回は範囲の重心を採用した. 事前シミュレーションした各モデルパラメータ  $k$  の値を  $k_1=104.4$ ,  $k_2=0.29$ ,  $k_3=82.3$ ,  $k_4=13.3$  と決定する.

### 3.3 車群内車両の速度変化

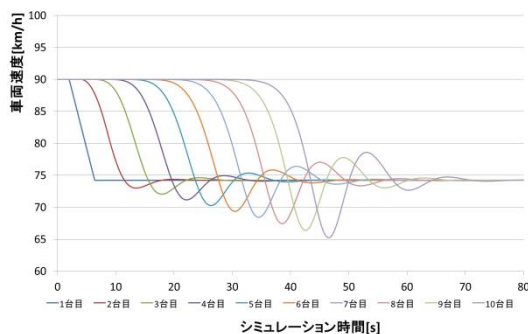


図1 CACC 車両の普及率が 0% の場合の各車両の速度変化

人間のみの車群の速度変化を図 1 に示す. 図 1 の横軸はシミュレーション内の時間を, 縦軸は車群の各車両の速度を示す. 左の線から順番に先頭車両から後続車両の速度の変化を示す. 人間のみの車群では, 2 台目速度の低下が発生しており, その速度の低下が 3 台目, 4 台目となるごとに大きくなりなが

ら伝播していることが分かる. この伝播が渋滞を引き起こす速度の低下の伝播である. 先頭車両の減速後の速度は 74.2[km/h]であるが, 最後尾車両の最低速度は 65.2[km/h]となり, 9[km/h]の速度低下が伝播している. 今回は 10 台でのシミュレーションだが, 車群内の台数が 50 台, 100 台と車両が増えていくと伝播がさらに大きくなり渋滞が発生する.

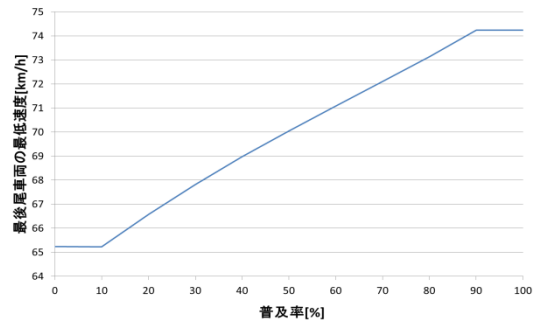


図2 普及率別の最後尾車両の速度変化

図 2 は例として前方車両から順に CACC 車両を挿入した場合の各普及率別の最後尾車両の最低速度を示す. 図 2 の横軸は CACC の普及率を, 縦軸は車群の最後尾の車両の最低速度を示す. 普及率に伴って最後尾車両の最低速度は上昇している. よって CACC は遅れの伝播を防ぎ, 渋滞の改善効果がある. また, 普及率が 10[%]の時に普及率が 0[%]の時と比べて最後尾車両の最低速度が変わらない. これは, 人間の挙動を示す車両が 90[%]を占める中, 前方車両との速度を合わせるために先頭車両よりも大きな減速を CACC がかけており, その減速に人間が過剰に減速をかけるために遅れの伝播が改善されなかったと考えられる.

### まとめと今後の課題

CACC は車群の前方から配置した場合, 無意識な減速を抑制し, 渋滞を改善できる可能性がある.

今後の課題として, 今回のシミュレーションでは車車間の通信でのパケットロスや遅延などは一切起こらない, と仮定して行っている. もしパケットロスや遅延が発生した場合, それらがどのように制御に影響するのかをシミュレーションする必要がある. また, レーダーなどの測定機器の誤差や, 情報取得の周期を通信機器の周期に合わせるのではなく, それぞれ独立したものとして再計算することが挙げられる.

#### 文献

- [1] 大口敬: 高速道路単路部渋滞発生解析-追従挙動モデルの整理と今後の展望-, 土木学会論文集, 660, pp.39-51, (2000).
- [2] 牧下寛: 自動車運転中の突然の危険に対する制御反応の時間, 日本人間工学会誌, 38(6), pp.324-332, (2002).
- [3] 太田博雄: ASV 開発への交通心理学からの提言, 国際交通安全学会誌, 36(1), pp.50-56, (2011)



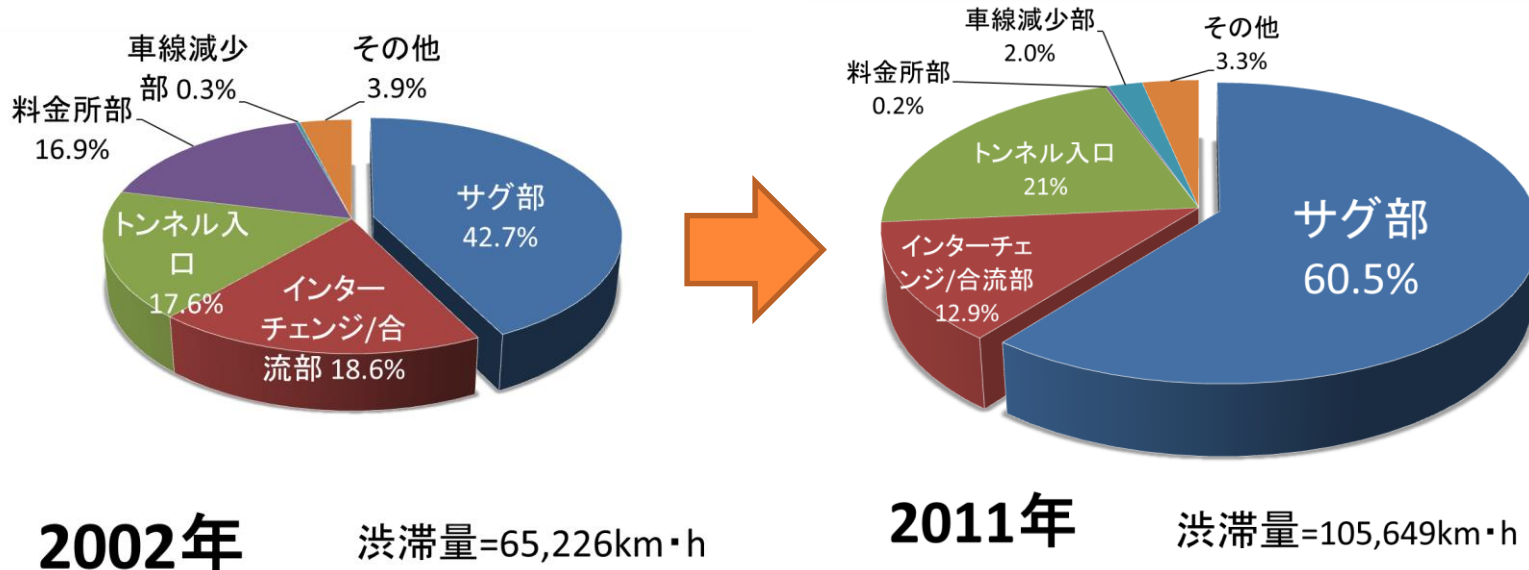
# シミュレーションによるCACCの 渋滞改善効果の調査

名城大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

今枝 勇太 旭 健作 渡邊 晃

# 研究の背景

- ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) の分野では自動車交通の効率化を主な目的として、1990年代から精力的にさまざまな研究開発が行われてきた



# サグ渋滞

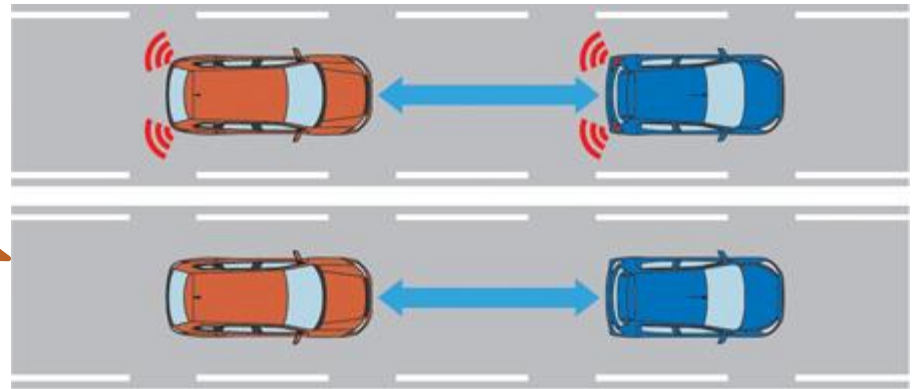
- 道路のV型地点を”サグ部”と呼ぶ
- 坂道での無意識な減速が後続車両に伝播することで発生
- 前方車両との速度差を無くし，渋滞の発生を防ぎたい



# ACC

- ACC: Adaptive Cruise Control  
(車間距離制御装置)

前方車両の挙動の変化を、レーダーなどを使って取得する

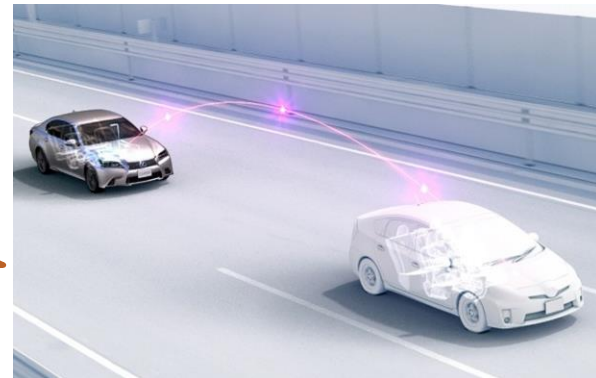


- ACCの特徴
  - ACCはレーダーやカメラなどの技術を使い自車両の持っているセンサだけで自律制御する

# CACC

## ○ CACC: Cooperative Adaptive Cruise Control (通信利用協調型車間距離制御装置)

前方車両の加速度を利用し、自車の加速度を制御する

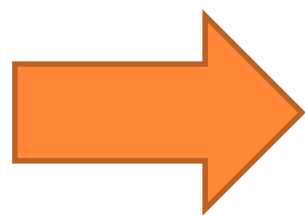


## ○ CACCの利点

- 安全運転支援, 道路容量増加効果や空気抵抗の軽減による省エネルギー効果にも役立つ

# 研究の内容と目的

- 高速道路上では，前方車両の減速の影響により自然渋滞が発生する



CACCによる渋滞改善効果を検証

- CACC搭載車両の普及率が渋滞改善効果にどのような影響を与えるか



# シミュレーション環境の設定

- 車両の追従モデル
- 車間距離の設定
- 事前シミュレーションによる制御ゲインと反応感度の決定
- 普及率の考慮の方法

# シミュレーション環境の設定

- 車両の追従モデル
- 車間距離の設定
- 事前シミュレーションによる制御ゲインと反応感度の決定
- 普及率の考慮の方法

# ACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置:  $x_{i+1}(t)$

速度:  $\dot{x}_{i+1}(t)$

加速度:  $\ddot{x}_{i+1}(t)$

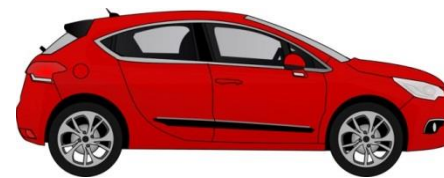


i番目

位置:  $x_i(t)$

速度:  $\dot{x}_i(t)$

加速度:  $\ddot{x}_i(t)$



## ○ ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

## ○ 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$  : 反応遅れ[s]     $k_4$  : 反応感度  
 $T_A$  : 機械遅れ[s]     $k_1, k_2, k_3$  : 制御ゲイン

# ACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置： $x_{i+1}(t)$

速度： $\dot{x}_{i+1}(t)$

加速度： $\ddot{x}_{i+1}(t)$



i番目

位置： $x_i(t)$

速度： $\dot{x}_i(t)$

加速度： $\ddot{x}_i(t)$



## ○ ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

## ○ 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$  : 反応遅れ[s]     $k_4$  : 反応感度  
 $T_A$  : 機械遅れ[s]     $k_1, k_2, k_3$  : 制御ゲイン

# ACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置： $x_{i+1}(t)$

速度： $\dot{x}_{i+1}(t)$

加速度： $\ddot{x}_{i+1}(t)$

i番目

位置： $x_i(t)$

速度： $\dot{x}_i(t)$

加速度： $\ddot{x}_i(t)$



## ○ ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

車間距離を示している

## ○ 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$  : 反応遅れ[s]     $k_4$  : 反応感度  
 $T_A$  : 機械遅れ[s]     $k_1, k_2, k_3$  : 制御ゲイン

# ACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置:  $x_{i+1}(t)$

速度:  $\dot{x}_{i+1}(t)$

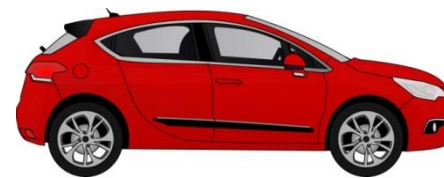
加速度:  $\ddot{x}_{i+1}(t)$

i番目

位置:  $x_i(t)$

速度:  $\dot{x}_i(t)$

加速度:  $\ddot{x}_i(t)$



## ○ ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

速度差を示している

## ○ 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$ : 反応遅れ[s]     $k_4$ : 反応感度  
 $T_A$ : 機械遅れ[s]     $k_1, k_2, k_3$ : 制御ゲイン

# ACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置:  $x_{i+1}(t)$

速度:  $\dot{x}_{i+1}(t)$

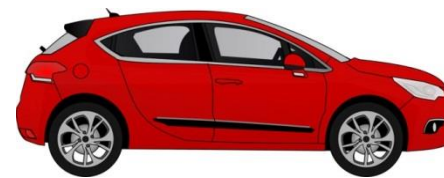
加速度:  $\ddot{x}_{i+1}(t)$

i番目

位置:  $x_i(t)$

速度:  $\dot{x}_i(t)$

加速度:  $\ddot{x}_i(t)$



## ○ ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

何秒遅れて加速度が反映されるかを表す

## ○ 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$ : 反応遅れ[s]     $k_4$ : 反応感度  
 $T_A$ : 機械遅れ[s]     $k_1, k_2, k_3$ : 制御ゲイン

# ACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置： $x_{i+1}(t)$

速度： $\dot{x}_{i+1}(t)$

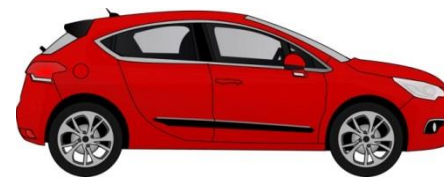
加速度： $\ddot{x}_{i+1}(t)$

i番目

位置： $x_i(t)$

速度： $\dot{x}_i(t)$

加速度： $\ddot{x}_i(t)$



## ○ ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

次の加速度の大きさを決める定数

## ○ 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$  : 反応遅れ[s]     $k_4$  : 反応感度  
 $T_A$  : 機械遅れ[s]     $k_1, k_2, k_3$  : 制御ゲイン



# ACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置： $x_{i+1}(t)$

速度： $\dot{x}_{i+1}(t)$

加速度： $\ddot{x}_{i+1}(t)$

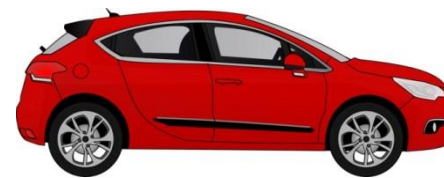


i番目

位置： $x_i(t)$

速度： $\dot{x}_i(t)$

加速度： $\ddot{x}_i(t)$



## ○ ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

## ○ 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$  : 反応遅れ[s]     $k_4$  : 反応感度  
 $T_A$  : 機械遅れ[s]     $k_1, k_2, k_3$  : 制御ゲイン

# CACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置： $x_{i+1}(t)$

速度： $\dot{x}_{i+1}(t)$

加速度： $\ddot{x}_{i+1}(t)$

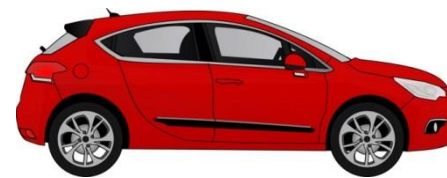


i番目

位置： $x_i(t)$

速度： $\dot{x}_i(t)$

加速度： $\ddot{x}_i(t)$



## ○ CACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_1 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} + k_2 \{\ddot{x}_i(t) - \ddot{x}_{i+1}(t)\}$$

## ○ 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$  : 反応遅れ[s]

$k_4$  : 反応感度

$T_A$  : 機械遅れ[s]

$k_1, k_2, k_3$  : 制御ゲイン

# CACCの車両追従アルゴリズム

i+1番目

位置： $x_{i+1}(t)$

速度： $\dot{x}_{i+1}(t)$

加速度： $\ddot{x}_{i+1}(t)$



i番目

位置： $x_i(t)$

速度： $\dot{x}_i(t)$

加速度： $\ddot{x}_i(t)$



- CACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_1 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} + k_2 \{ \ddot{x}_i(t) - \ddot{x}_{i+1}(t) \}$$

加速度的差

- 人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

$T_H$  : 反応遅れ[s]     $k_4$  : 反応感度  
 $T_A$  : 機械遅れ[s]     $k_1, k_2, k_3$  : 制御ゲイン

## $T_H$ (反応遅れ) と $T_A$ (機械遅れ) の決定

- 反応遅れは人間が前方車両の挙動を知覚してから加速度(ブレーキやアクセル)に反映されるまでの時間
- 機械遅れは機械が前方車両の挙動をレーダーなどで察知してから加速度に反映されるまでの時間
- 今回  $T_H$  は1.0秒,  $T_A$  は0.1秒とする



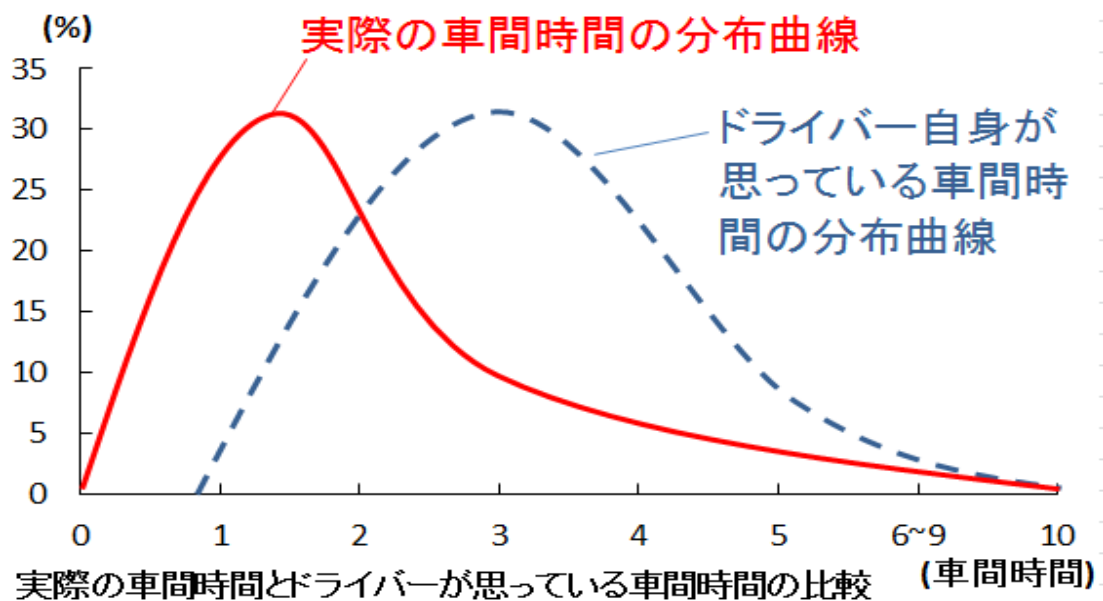
# シミュレーション環境の設定

- 車両の追従モデル
- 車間距離の設定
- 事前シミュレーションによる制御ゲインと反応感度の決定
- 普及率の考慮の方法



# 高速道路上での車間距離

- 車間時間が1.2秒前後の人が最も多い
- 90 [km/h] で走行している場合，車間は30 [m] に相当する



# シミュレーション環境の設定

- 車両の追従モデル
- 車間距離の設定
- 事前シミュレーションによる制御ゲインと反応感度の決定
- 普及率の考慮の方法



# 事前シミュレーションによる 各制御ゲインの決定

- 事前シミュレーションにより，今回のシミュレーションに使う各モデル式の $k$ の値を決めておく
- ACCの制御ゲイン，人間の反応感度はそれぞれ取りうる範囲の平均値を採用する
- CACCの制御ゲインは二つあり，取りうる範囲の重心を採用する
- 結果として今回各 $k$ の値を $k_1=104.4$ ， $k_2=0.29$ ， $k_3=82.3$ ， $k_4=13.3$ と決定する



# シミュレーション環境の設定

- 車両の追従モデル
- 事前シミュレーションによる制御ゲインと反応感度の決定
- 車間距離の設定
- 普及率の考慮の方法



# 前方車両がCACC車両でない場合の CACC車両の挙動について

- CACCは前方車両がCACCの機能を搭載していないと使用できない
- 前方車両がCACC搭載車両でない場合は自車はCACCではなくACCの挙動をする

ACCの挙動  
を示す



前方車両がCACC  
搭載車両ではない

CACCの挙動  
を示す



前方車両がCACC  
搭載車両である

# 普及率を考慮したシミュレーション環境

- 車両を点で考え，車群を10台で形成する
- CACC搭載車両を順に増加させていき，10%ずつ普及率を計算する
- CACCの機能をする車両の数で普及率を計算するのではない
- CACC搭載車両を挿入する箇所はランダムとする



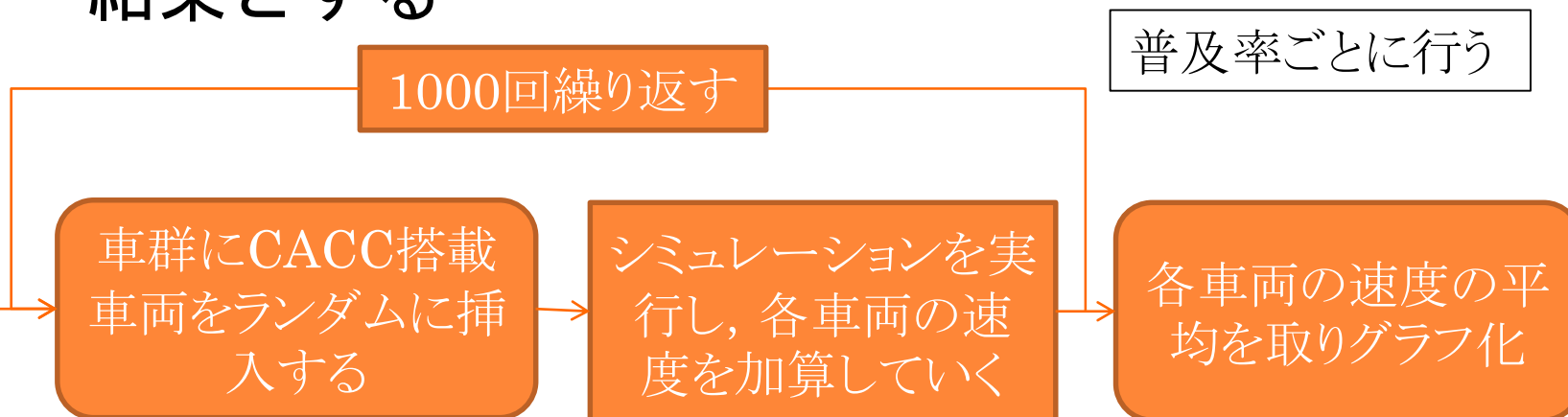
# 普及率別のシミュレーションの環境設定

- 車両台数を10台，車間距離を30[m]とし，先頭車両が90[km/h]での走行状態から加速度 $-2[m/s^2]$ で75[km/h]まで減速する
- 加速度が無意味に大きくなるないように $\pm 3.0[m/s^2]$ を超える場合はシミュレーションを停止する
- 前方車両と衝突することなく全ての車両が同じ速度に収束できた場合，そのシミュレーションは成功とする

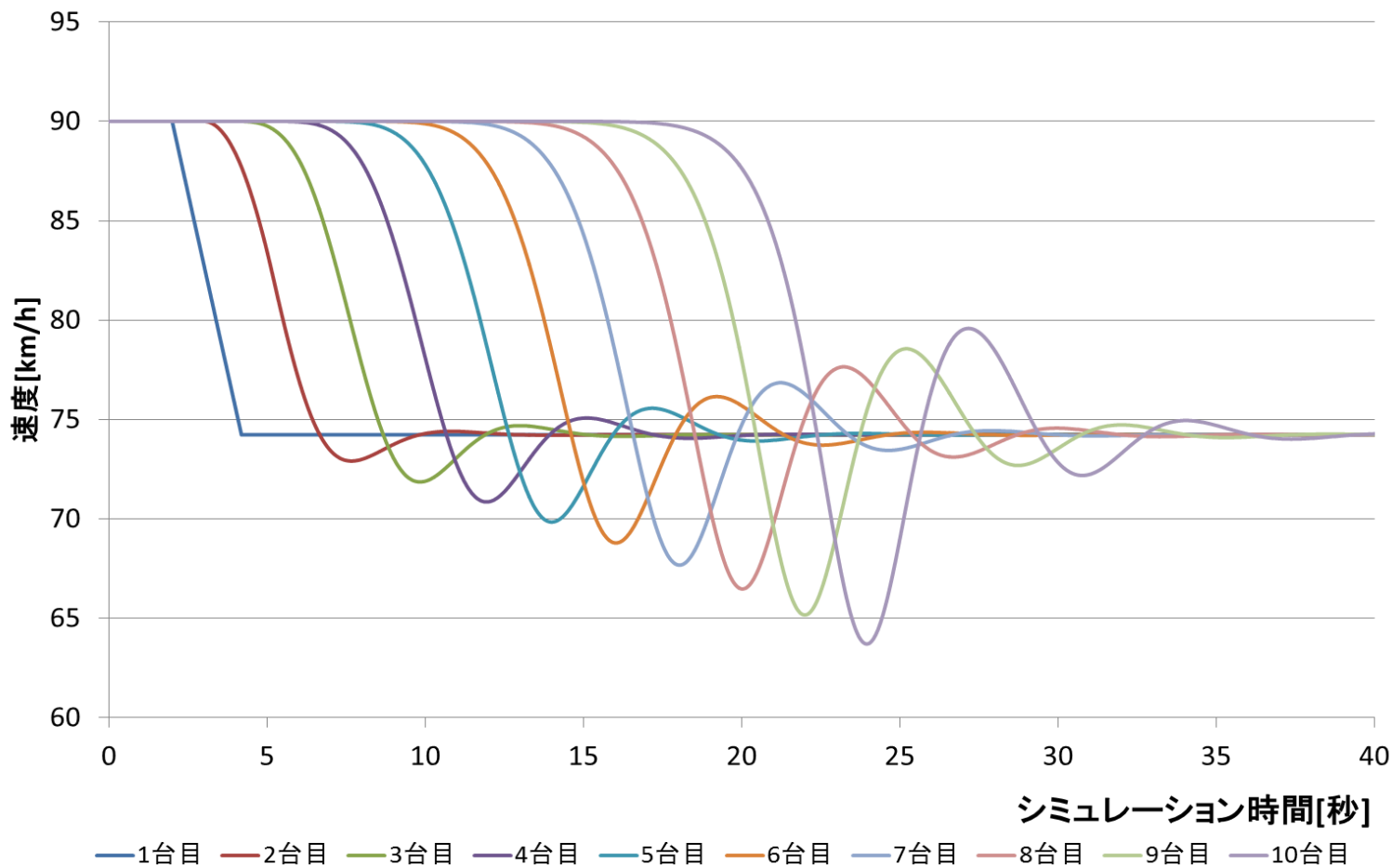


# 普及率別のシミュレーションの環境設定

- 各 $k$ を $k_1=104.4$ ,  $k_2=0.29$ ,  $k_3=82.3$ ,  $k_4=13.3$ としてシミュレーションを行う
- 普及率別でランダムにCACC搭載車両を車群に挿入し, シミュレーションを1000回行う
- 1000回シミュレーションを行い車群の各車両の速度を平均したものをその普及率での結果とする

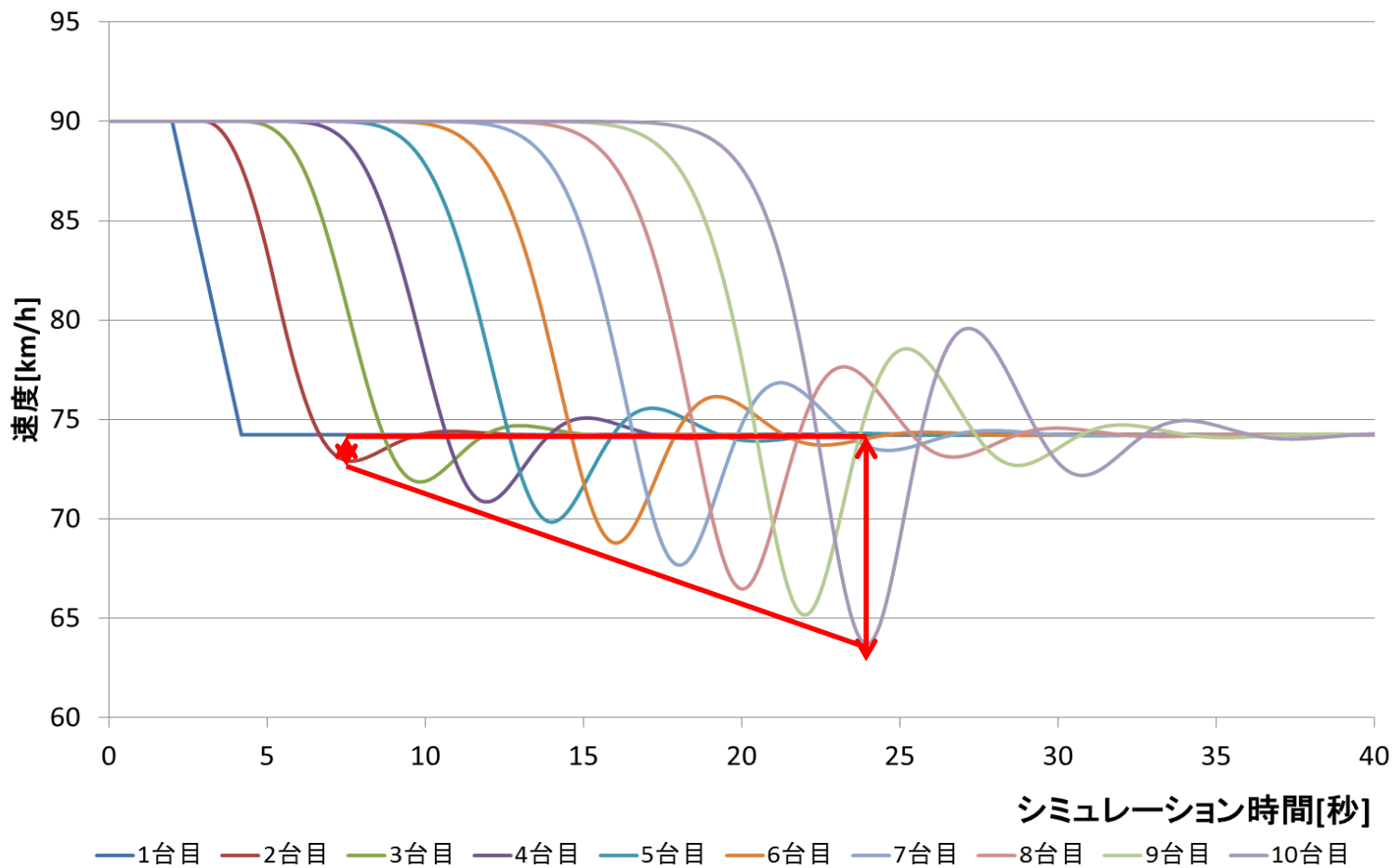


# 人間のみの挙動 (CACC搭載車両の普及率が0%) のシミュレーション



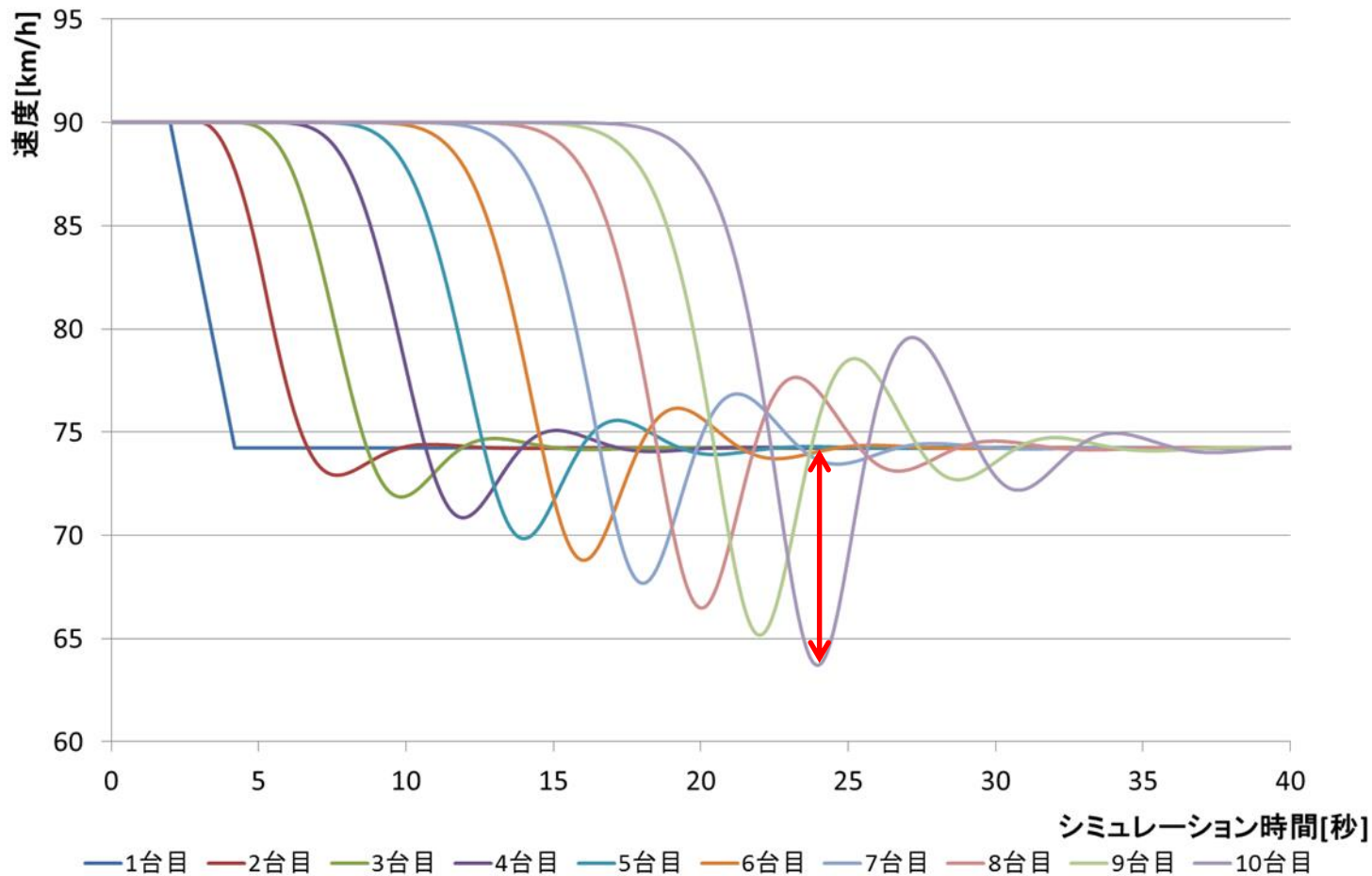
人間のみの車群の速度変化

# 人間のみの挙動 (CACC搭載車両の普及率が0%) のシミュレーション



人間のみの車群の速度変化

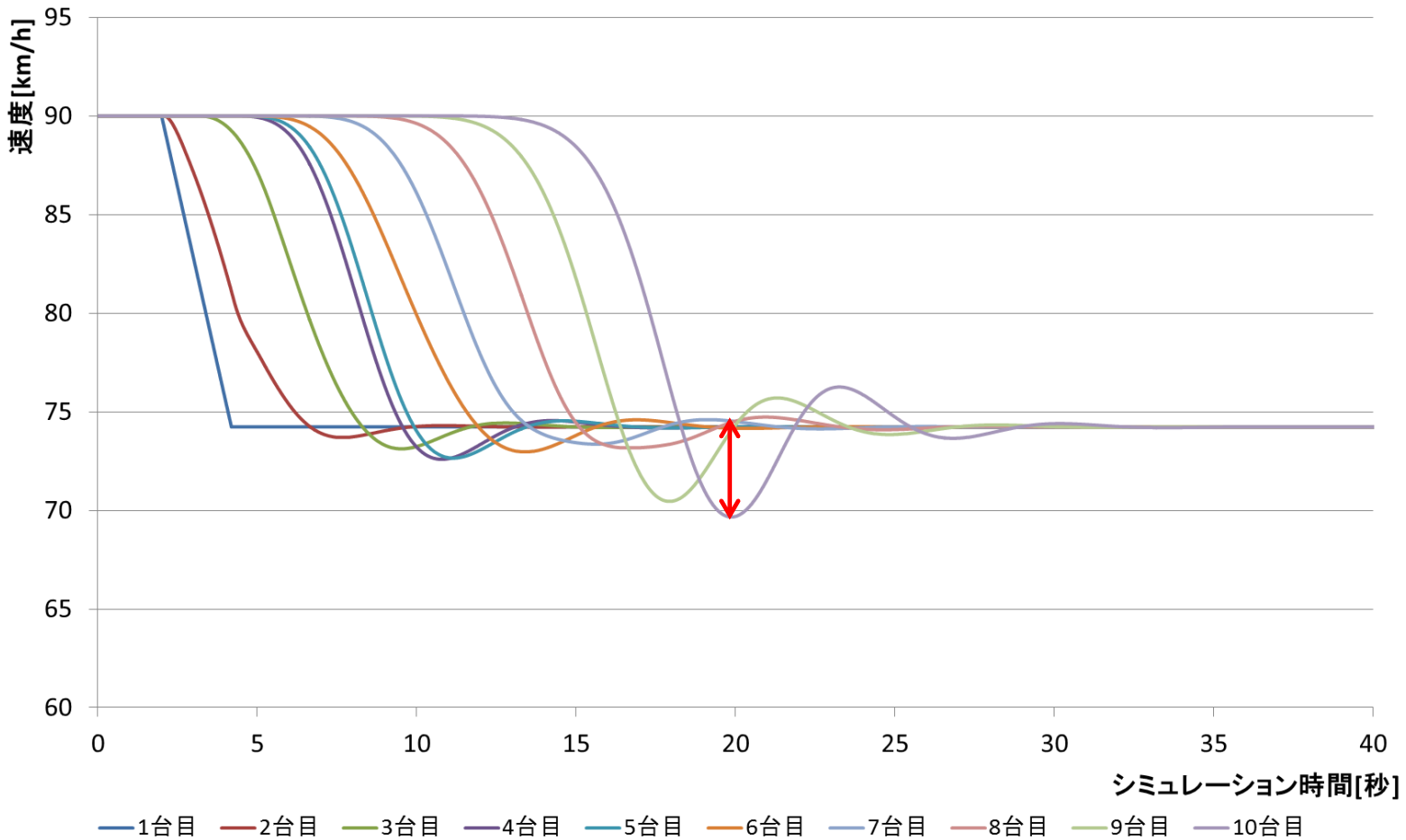
# CACC搭載車両を車群中に1台入れた場合の各車両の速度変化



CACC搭載車両の普及率10%

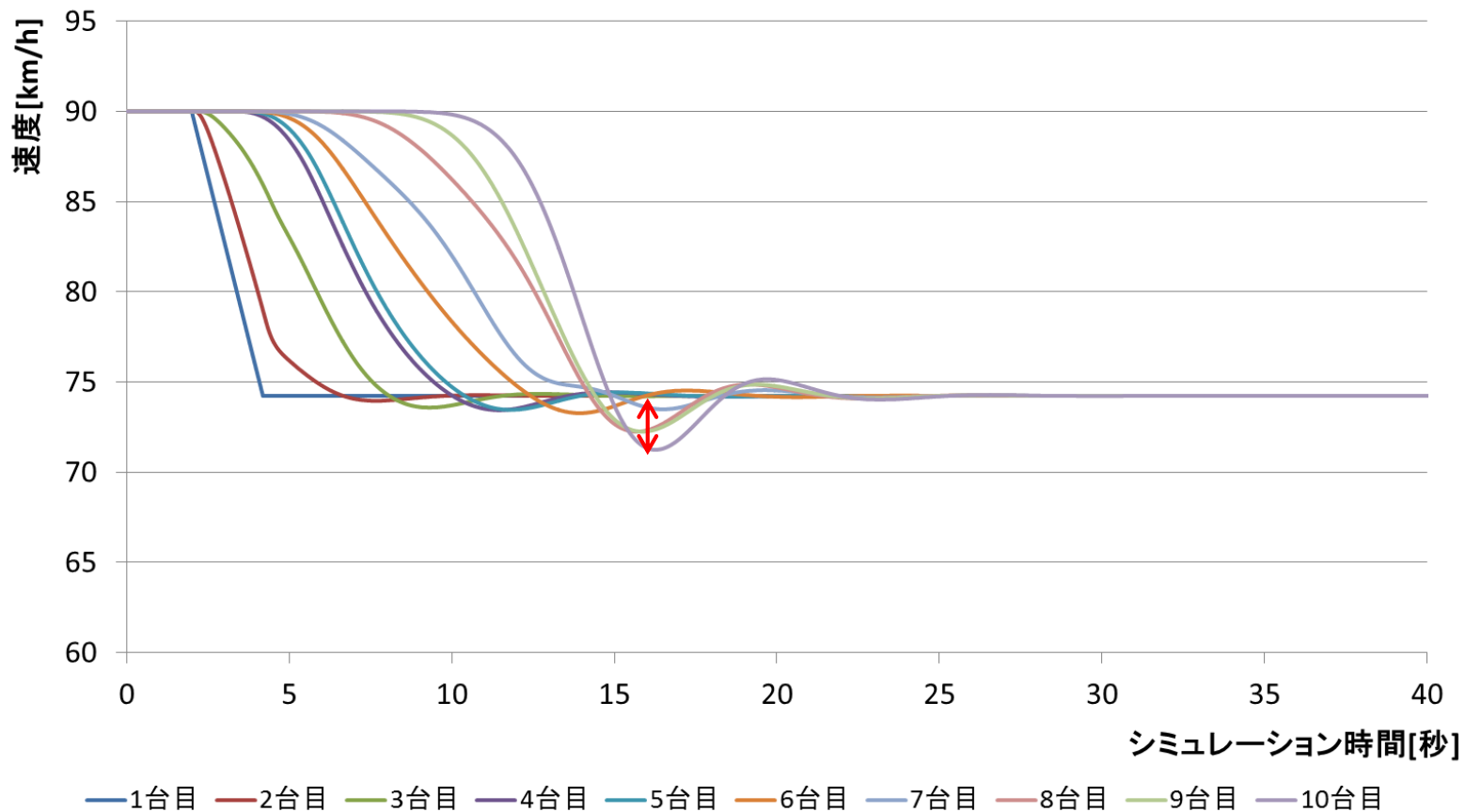


# CACC搭載車両を車群中に3台入れた場合の各車両の速度変化



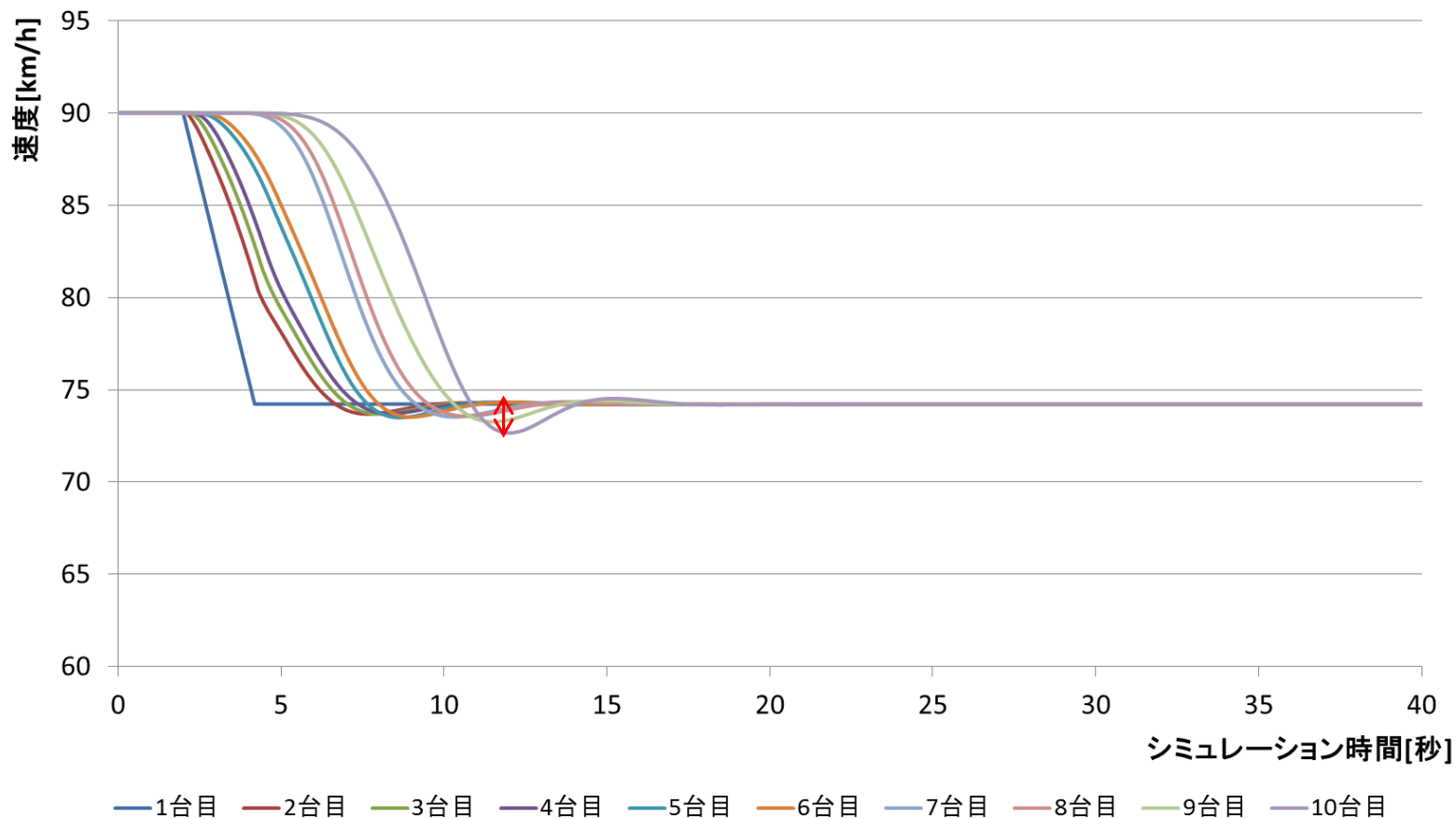
CACC搭載車両の普及率30%

# CACC搭載車両を車群中に5台入れた場合の各車両の速度変化



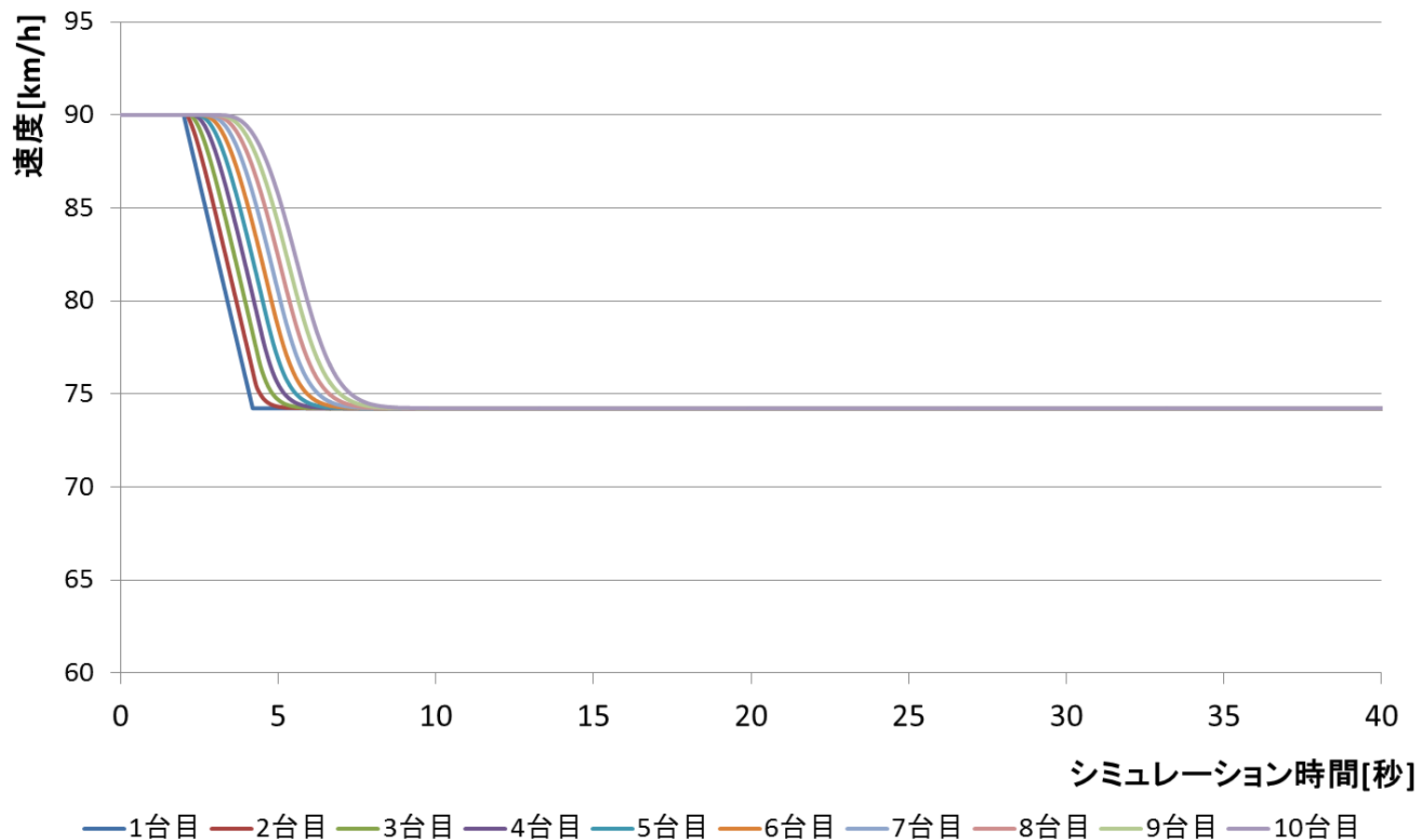
CACC搭載車両の普及率50%

# CACC搭載車両を車群中に8台入れた場合の各車両の速度変化



CACC搭載車両の普及率80%

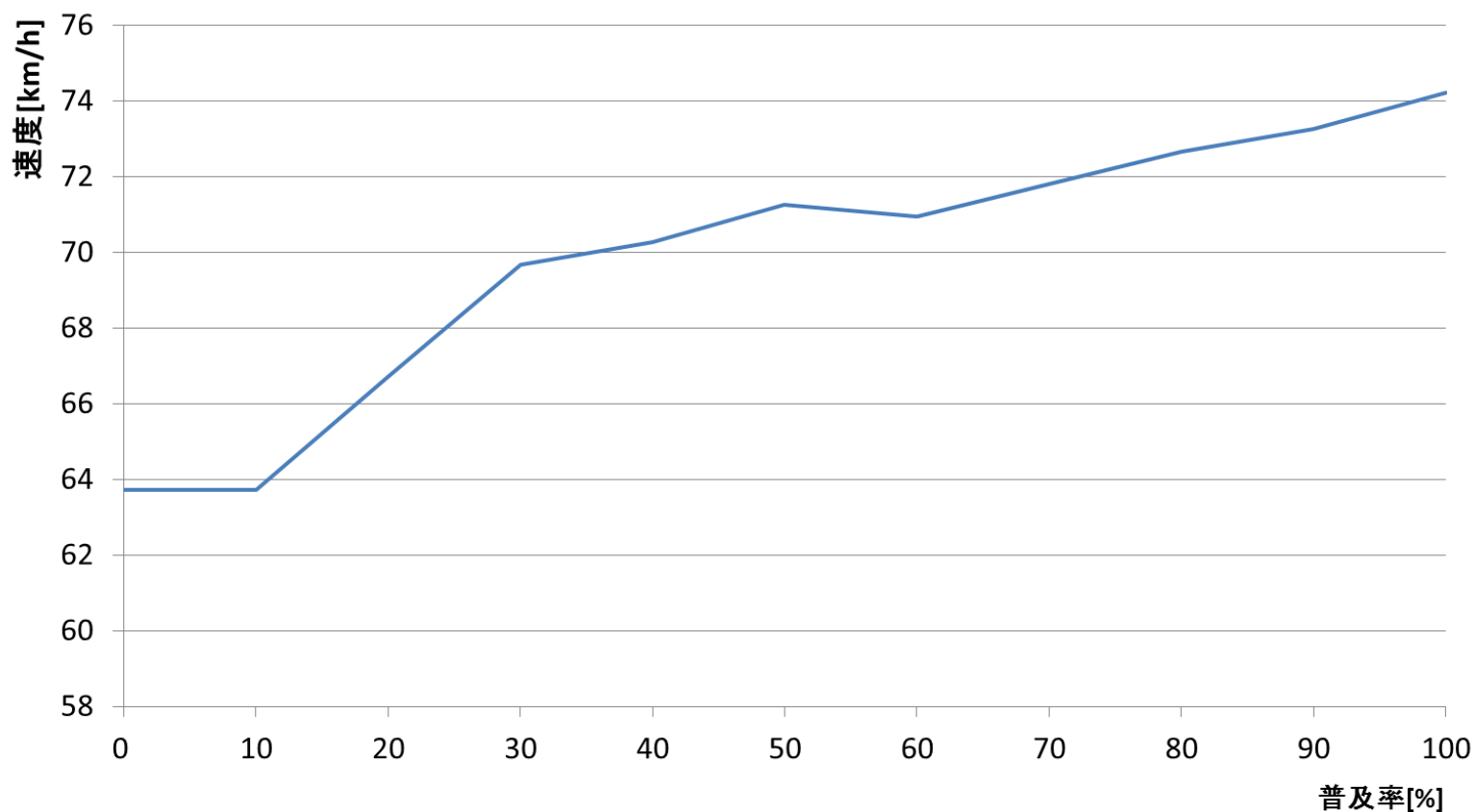
# CACC搭載車両を車群中に10台入れた場合の各車両の速度変化



**CACC搭載車両の普及率100%**

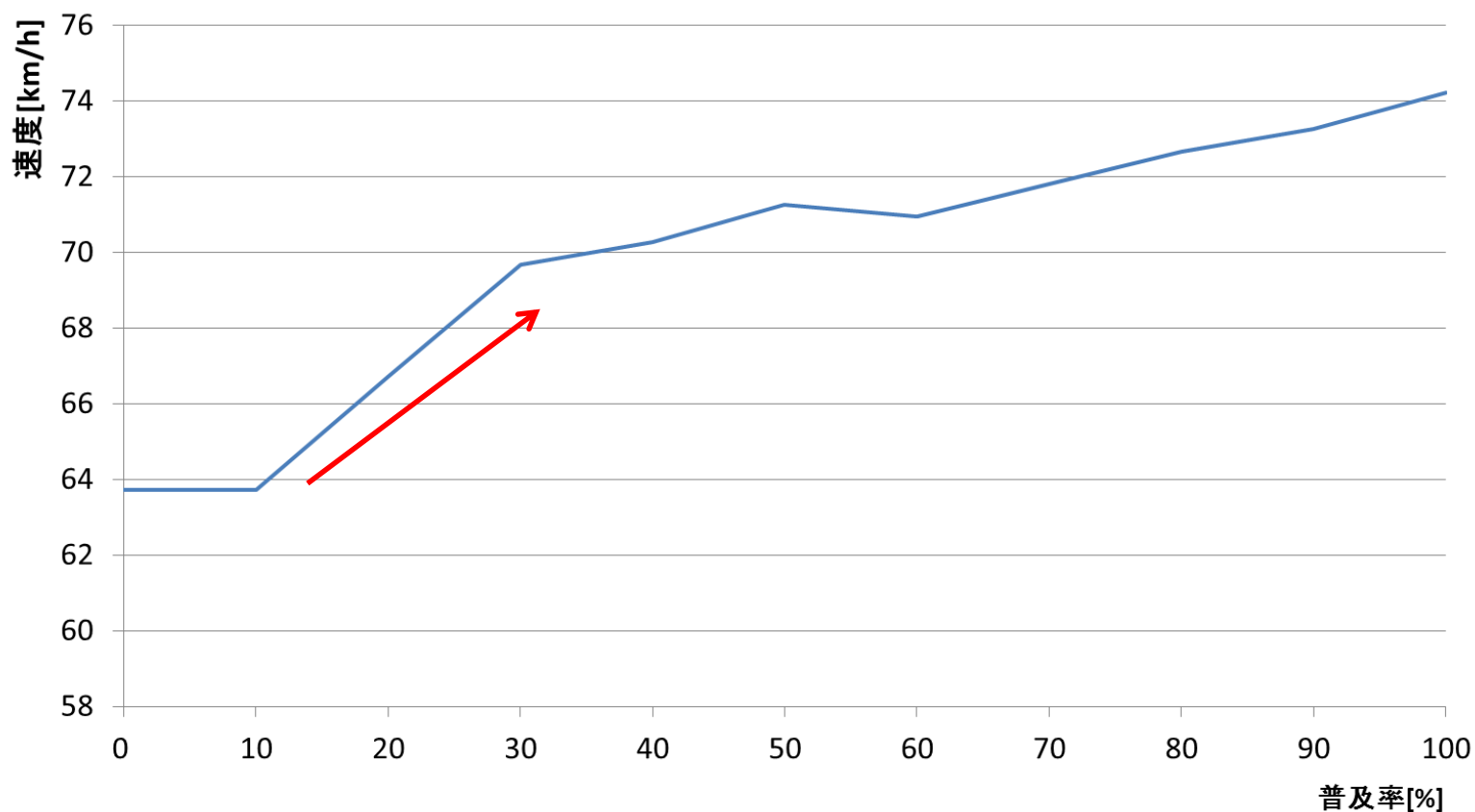
# CACC搭載車両の普及率別の車群内最小速度のグラフ

## 普及率別の車群内最小速度



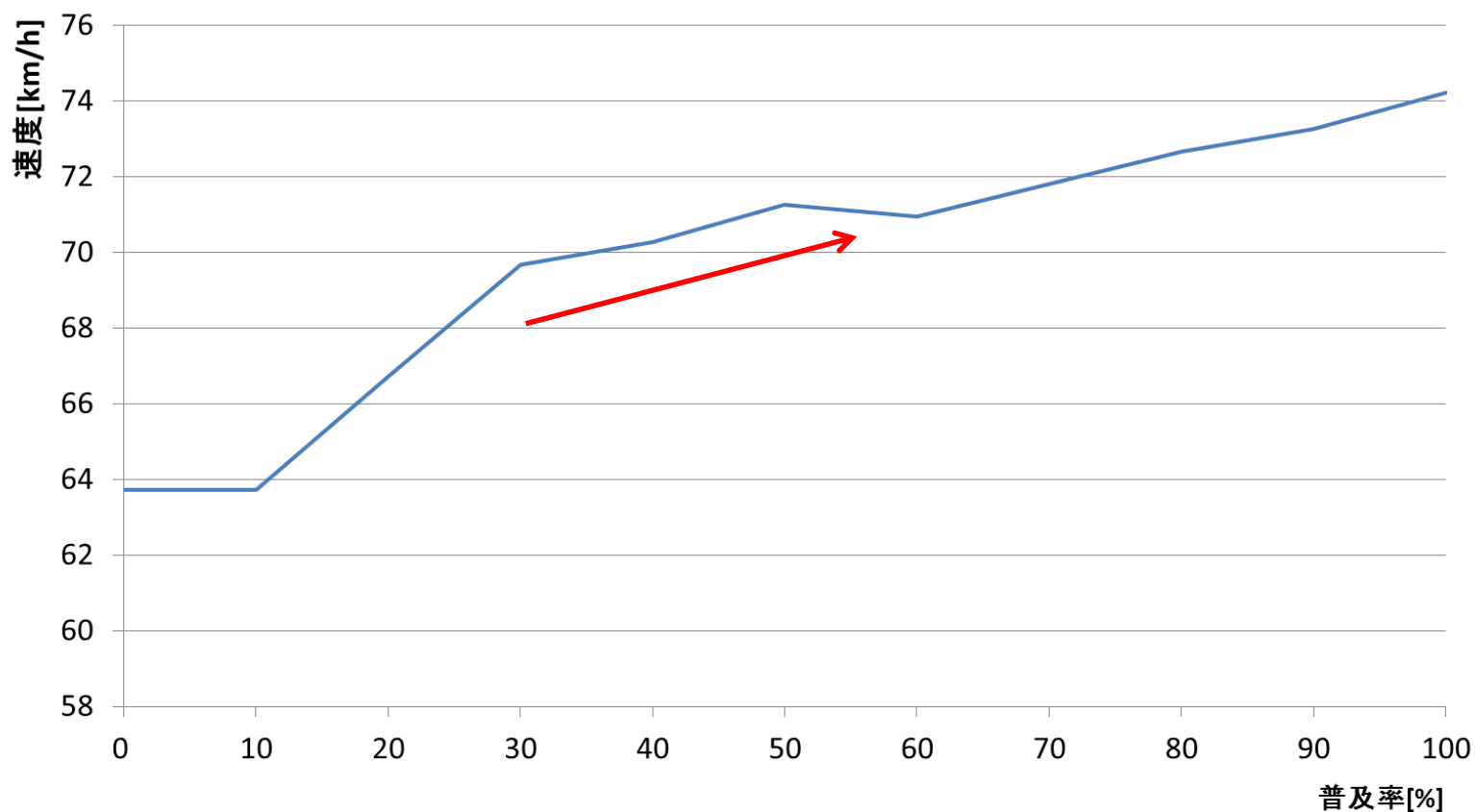
# CACC搭載車両の普及率別の車群内最小速度のグラフ

## 普及率別の車群内最小速度



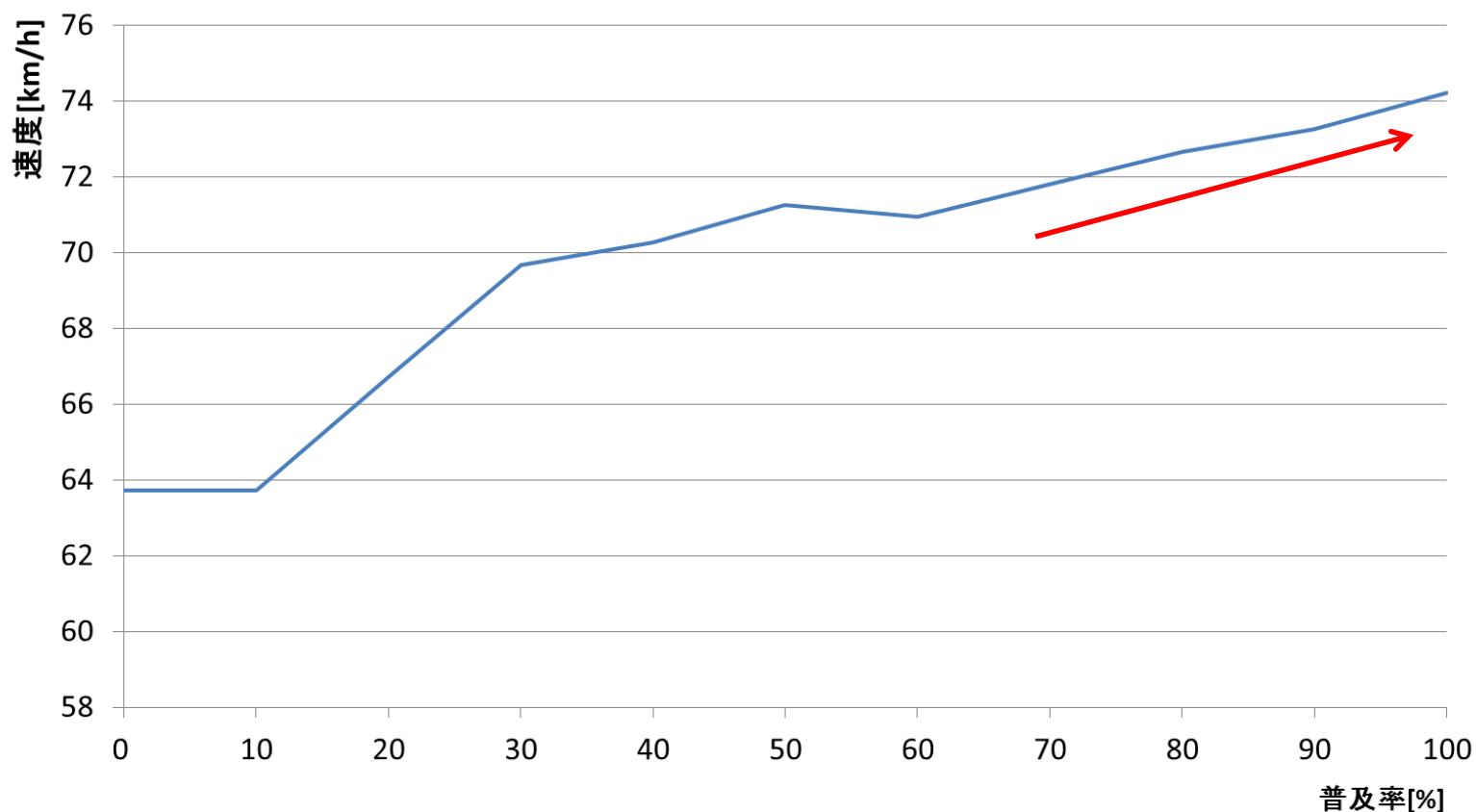
# CACC搭載車両の普及率別の車群内最小速度のグラフ

## 普及率別の車群内最小速度



# CACC搭載車両の普及率別の車群内最小速度のグラフ

## 普及率別の車群内最小速度





# 普及率別の渋滞改善効果と追従能力のまとめと今後の課題

## まとめ

- CACCはサグ渋滞を改善できる可能性がある
- CACC搭載車両の普及率が30%ほどあると遅れの伝播の抑制率が一番高い
- CACC搭載車両の普及率が上がれば上がるほど渋滞改善効果は高くなる

## 課題

- 距離を測定するセンサの誤差をシミュレーションに追加する
- 車間を一定に保つ新たな項を追加し、さらに精密な制御にする

補足資料

# 事前シミュレーションによる 各制御ゲインの決定

- ACCの制御ゲインと人間の反応感度を決定する
- それぞれの値について、シミュレーション成功時の範囲の平均値を採用する

	平均値
$k_3$	82.3
$k_4$	13.3

ACCの追従モデル

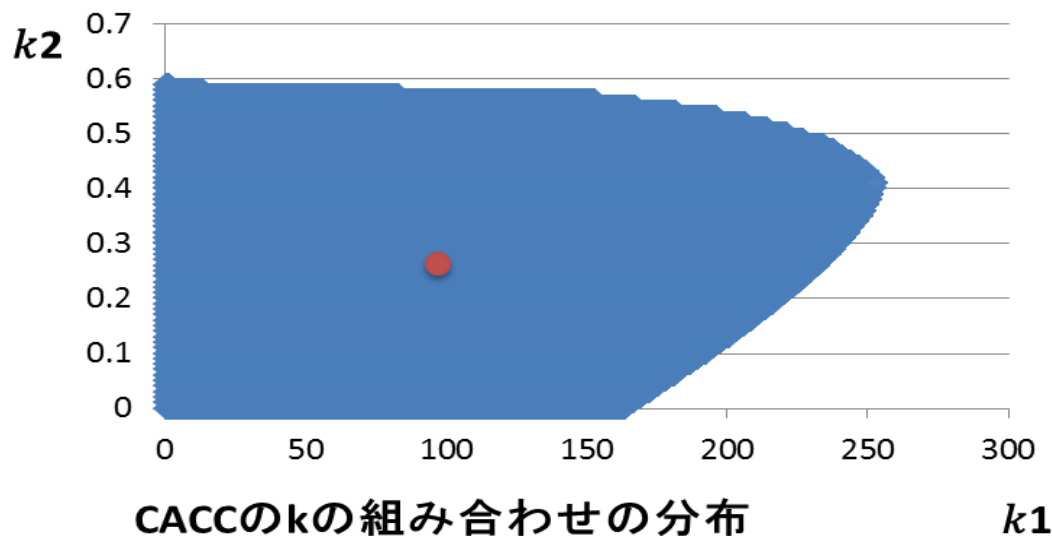
$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

人間の追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_H) = k_4 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

# 事前シミュレーションによる 各制御ゲインの決定

- シミュレーションが成功する制御ゲインは  
下図青色の範囲となる
- 今回は、この領域の重心を採用する

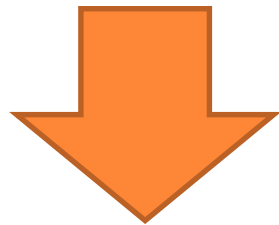


$$k_1=104.4$$
$$k_2=0.29$$

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_1 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} + k_2 \{\ddot{x}_i(t) - \ddot{x}_{i+1}(t)\}$$

# CACCとACCの追従性能の比較

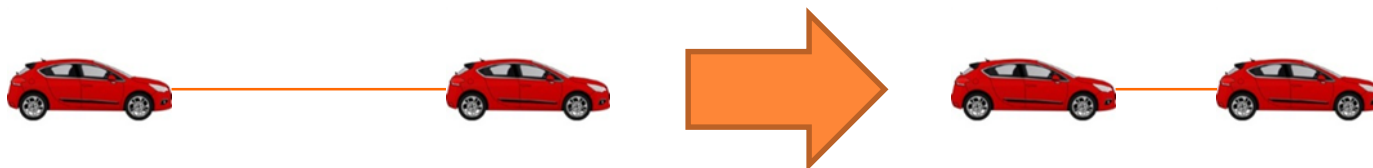
- 人間が自然と感じる車間距離30[m]では渋滞改善効果の差が小さい
- CACCは、前方車両の加速度を制御に取り入れるためより高い精度の制御が可能



- CACCは車間をより短縮して走行できるのが利点

# 追従能力の実験環境

- 高速道路での玉突き事故(11台)を想定する
- 先頭車両が100[km/h]での走行状態から加速度 $-4.0[m/s^2]$ で50[km/h]まで減速する
- 前方車両と衝突することなく全ての車両が同じ速度に収束できた場合, そのシミュレーションは成功とする
- 加速度が無意味に大きくなるように $\pm 5.0[m/s^2]$ を超える場合はシミュレーションを停止する



# 衝突しない車間距離と制御ゲイン

	最短車間距離 [m]	$k_1$ or $k_3$	$k_2$
CACC	5.7	32.9	0.4
ACC	12.9	53.7	

## CACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_1 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} + k_2 \{\ddot{x}_i(t) - \ddot{x}_{i+1}(t)\}$$

## ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$

# 衝突しない車間距離と制御ゲイン

短い車間距離でも衝突しない

	最短車間距離 [m]	$k_1$ or $k_3$	$k_2$
CACC	5.7	32.9	0.4
ACC	12.9	53.7	

## CACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_1 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)} + k_2 \{\ddot{x}_i(t) - \ddot{x}_{i+1}(t)\}$$

## ACCの追従モデル

$$\ddot{x}_{i+1}(t+T_A) = k_3 \frac{\dot{x}_i(t) - \dot{x}_{i+1}(t)}{x_i(t) - x_{i+1}(t)}$$