

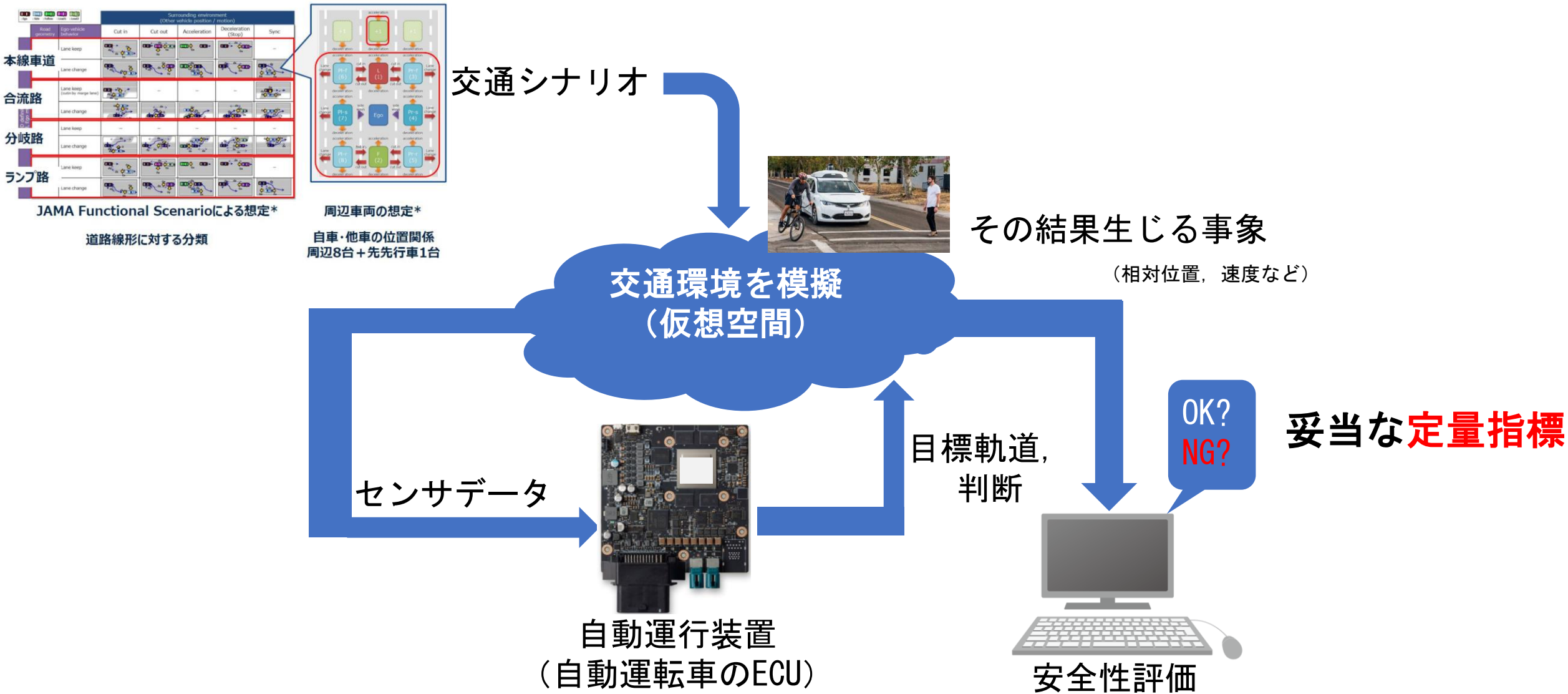
# 自動運転車両の安全性評価指標の検討

東京農工大学  
スマートモビリティ研究拠点

毛利 宏

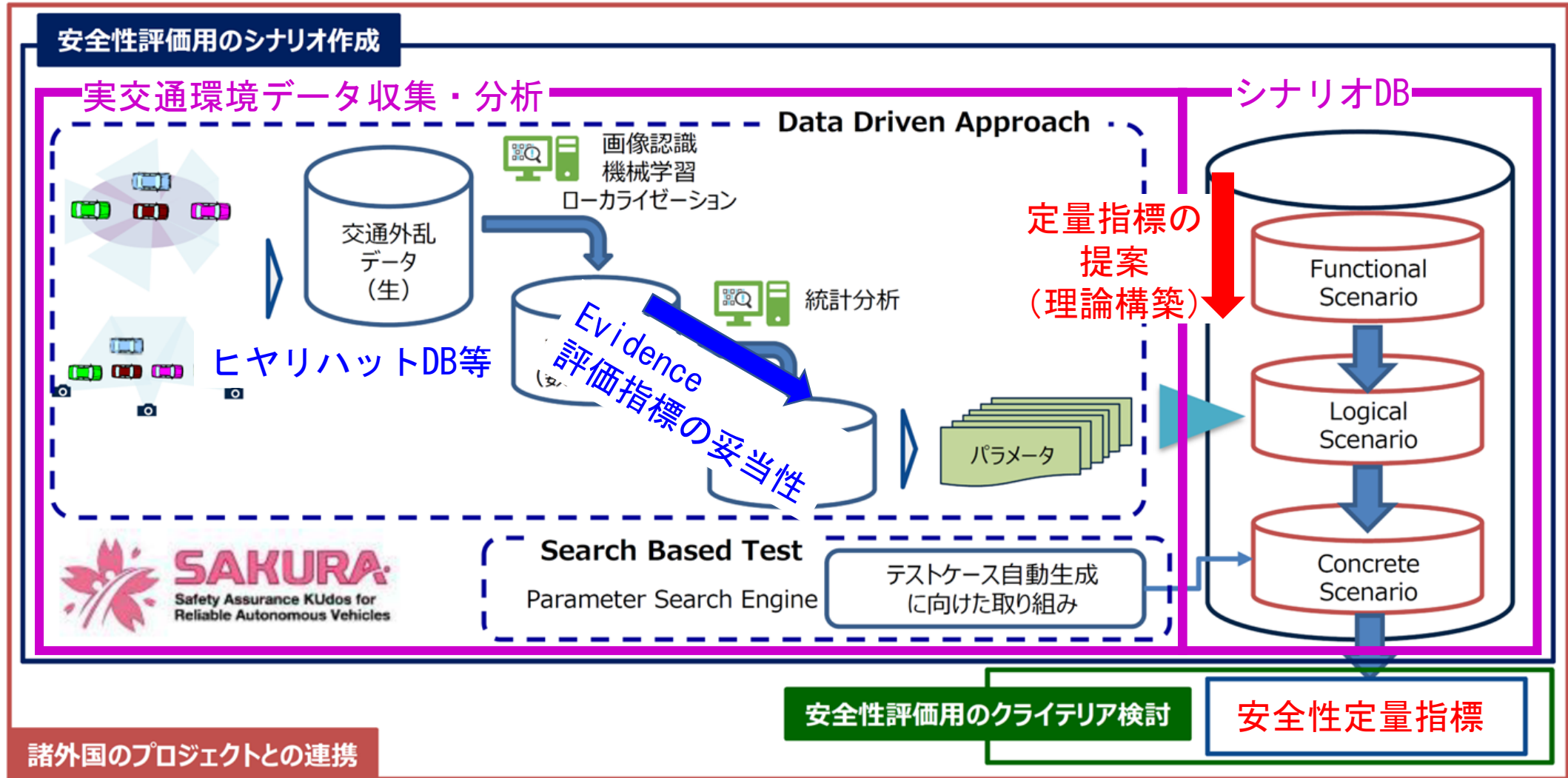
令和5年(2023年)9月28日  
東京農工大学  
SMRCシンポジウム

# 自動運転普及のための、安全性評価の方法



# 安全性評価の方法 SAKURA PROJECT

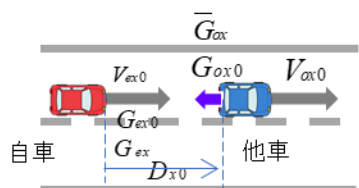
1. 安全性定量評価指標の定式化（理論構築）
2. その妥当性確認



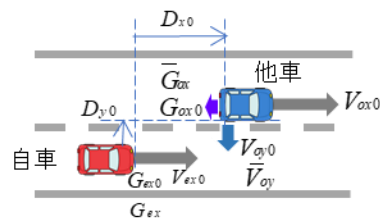
# 今回評価したシーン (Functional Scenario)

1. 7種類のシナリオにおける安全性定量指標を定式化した。
2. ヒヤリハットデータを用いて、評価が可能なることを確認した。
3. 上記作業のために、映像処理ソフトを作成した。

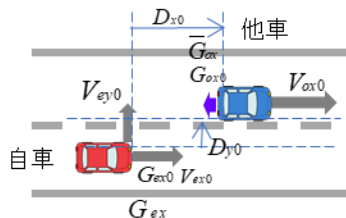
## 本日より紹介



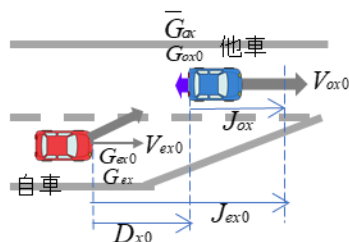
追突



カットイン  
(他車車線変更)

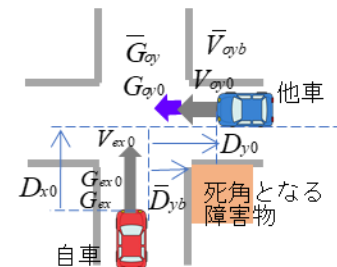


レーンチェンジ  
(自車車線変更)

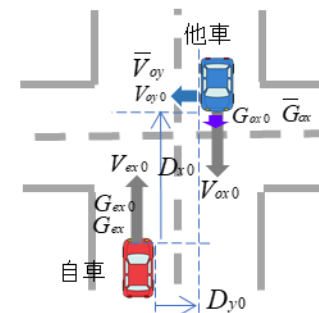


自車合流

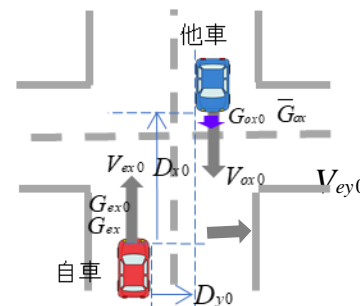
## 本日より紹介



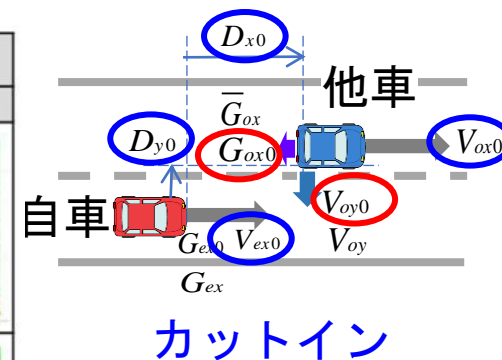
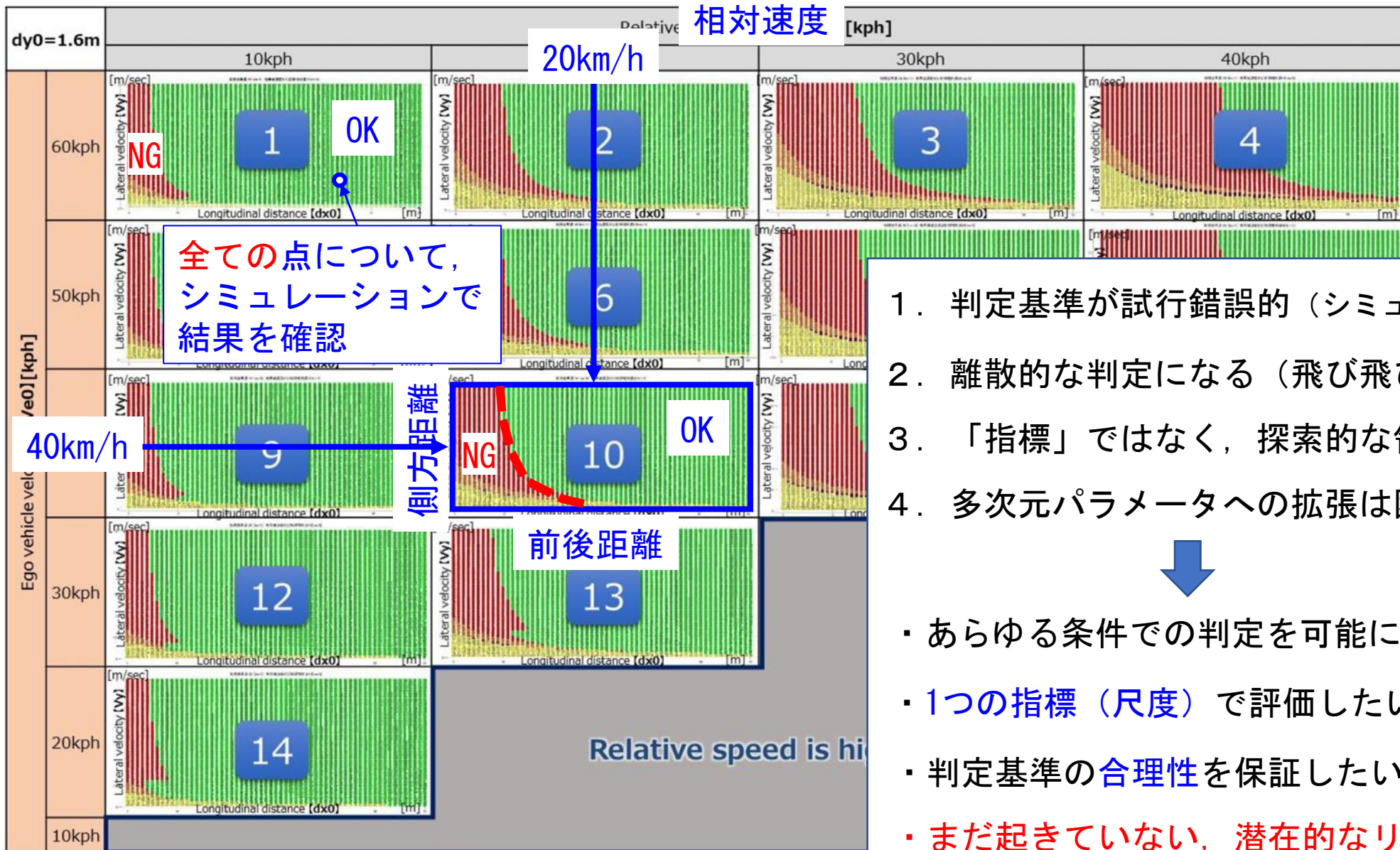
交差点出合い頭



交差点他車による右折



交差点自車による右折



1. 判定基準が試行錯誤的 (シミュレーション結果等)
2. 離散的な判定になる (飛び飛びの条件)
3. 「指標」ではなく、探索的な領域での評価
4. 多次元パラメータへの拡張は困難



- ・あらゆる条件での判定を可能にしたい
- ・1つの指標 (尺度) で評価したい
- ・判定基準の合理性を保証したい
- ・まだ起きていない、潜在的なリスクも評価したい

# ACAの直感的説明

## (追突の場合)

# ACAの直感的説明 (Acceleration for Collision Avoidance)

- 「起きていない」のに、「もしも・・・」を想定してシミュレーション
  - 「起きたこと」に対しても、衝突リスクをシミュレーション
- 今の危険度を1つの指標で出力

先読み運転：不測の事態に備え運転する。



不測事態を、ギリギリ回避できる加速度

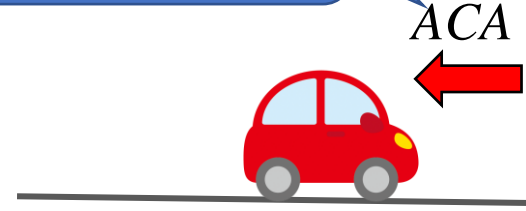


衝突回避加速度ACA

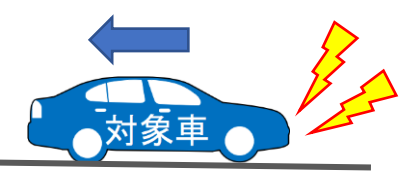
↓

潜在リスクの大きさを表す。(安全性定量指標)

どれくらい減速するべきか

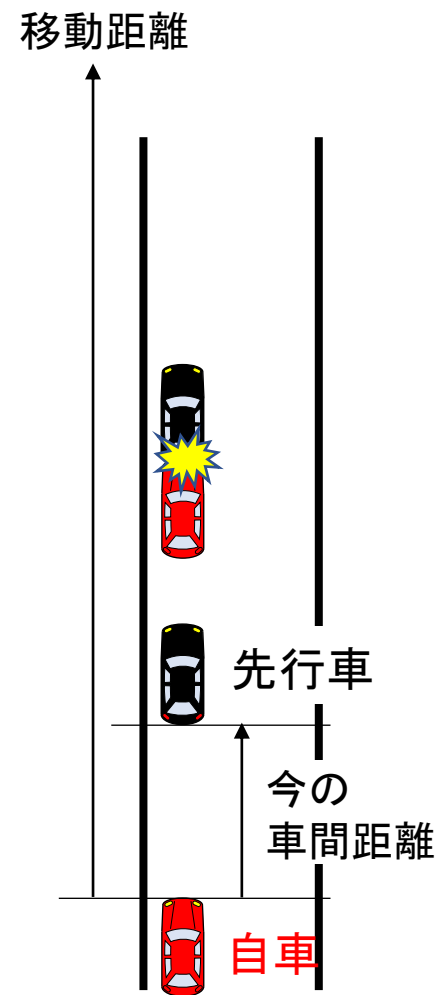
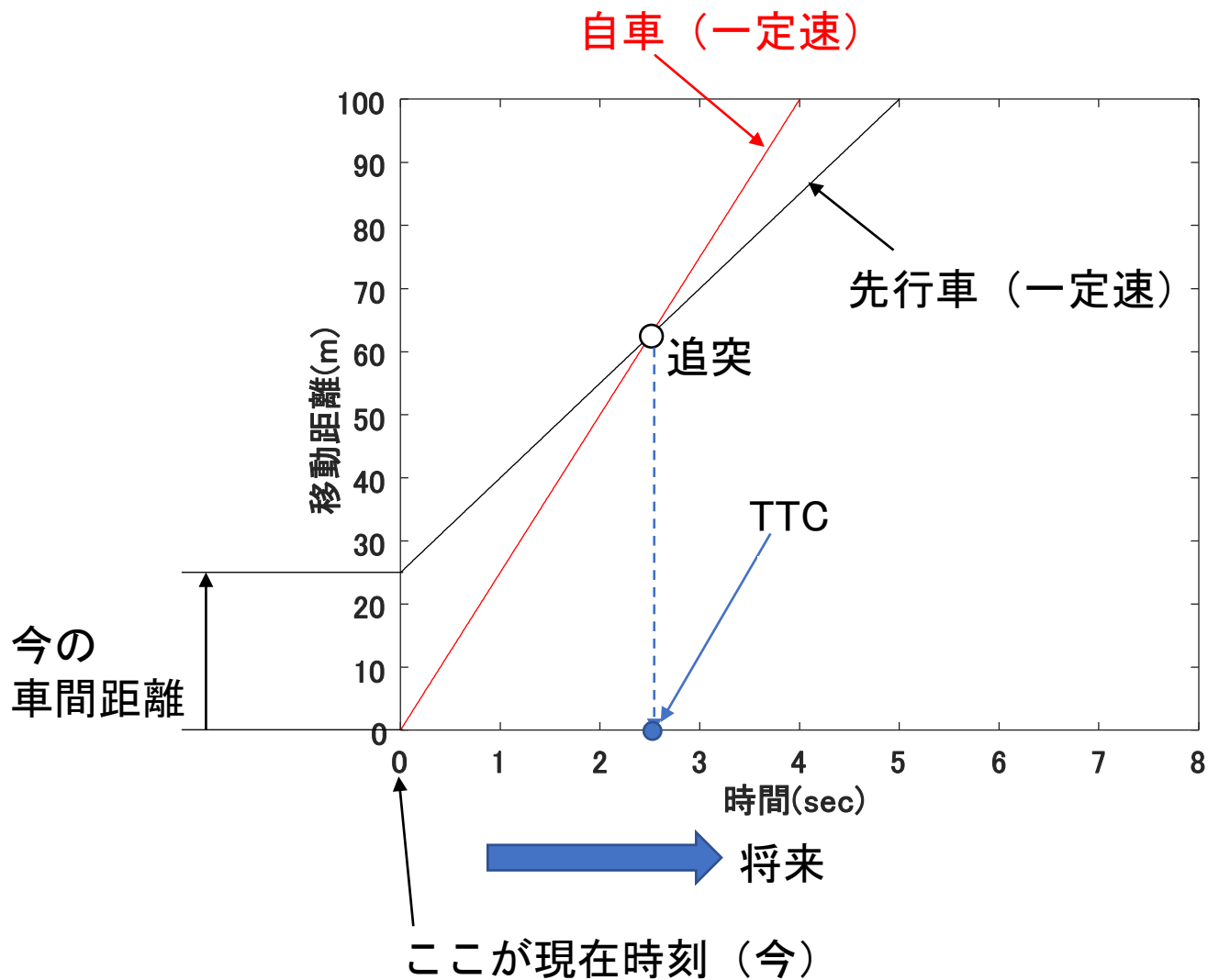


「もしも」急減速したら...(相手の減速度を想定)



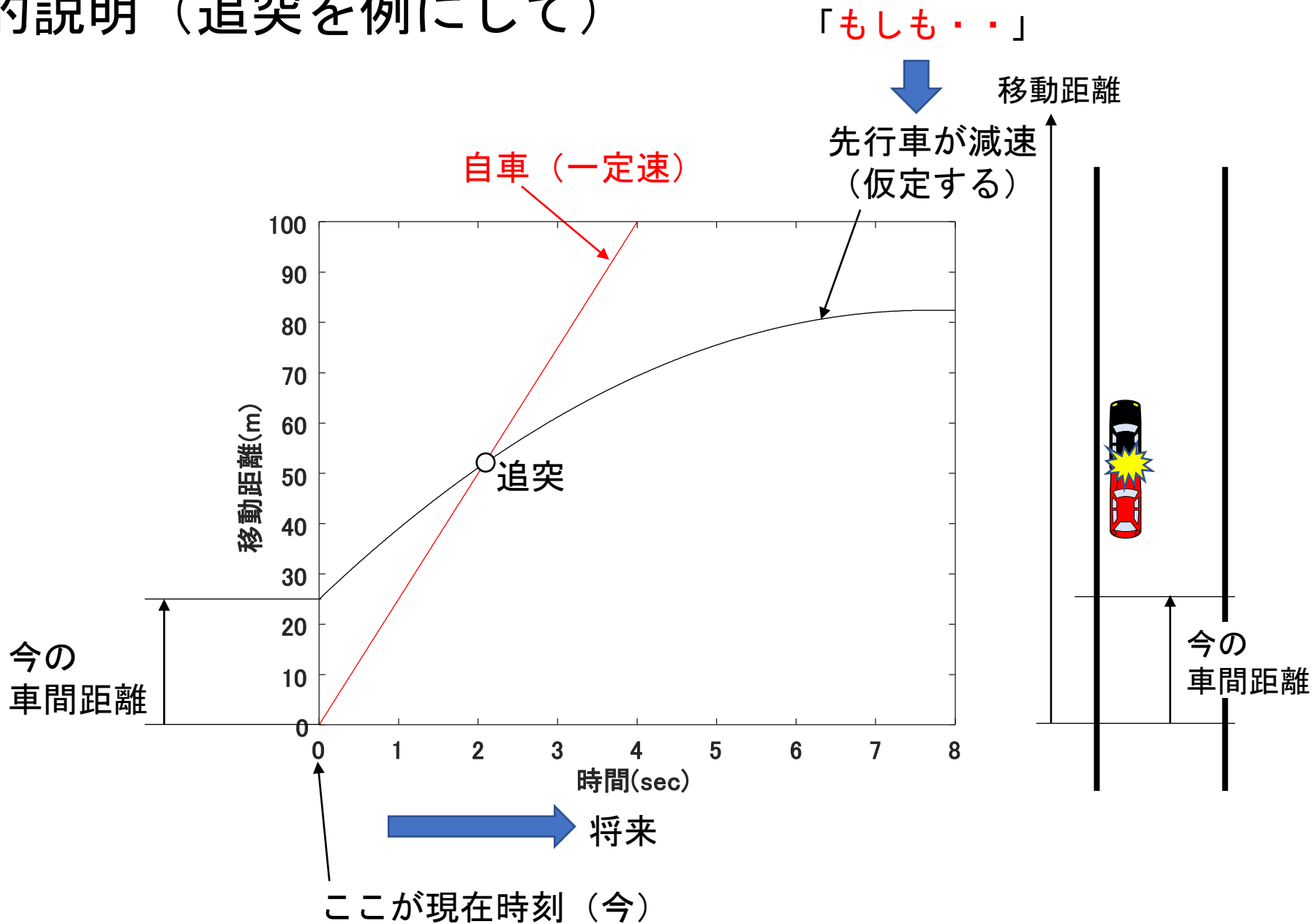
# ACAの直感的説明（追突を例にして）

毎時間、シミュレーションをする。





# ACAの直感的説明（追突を例にして）

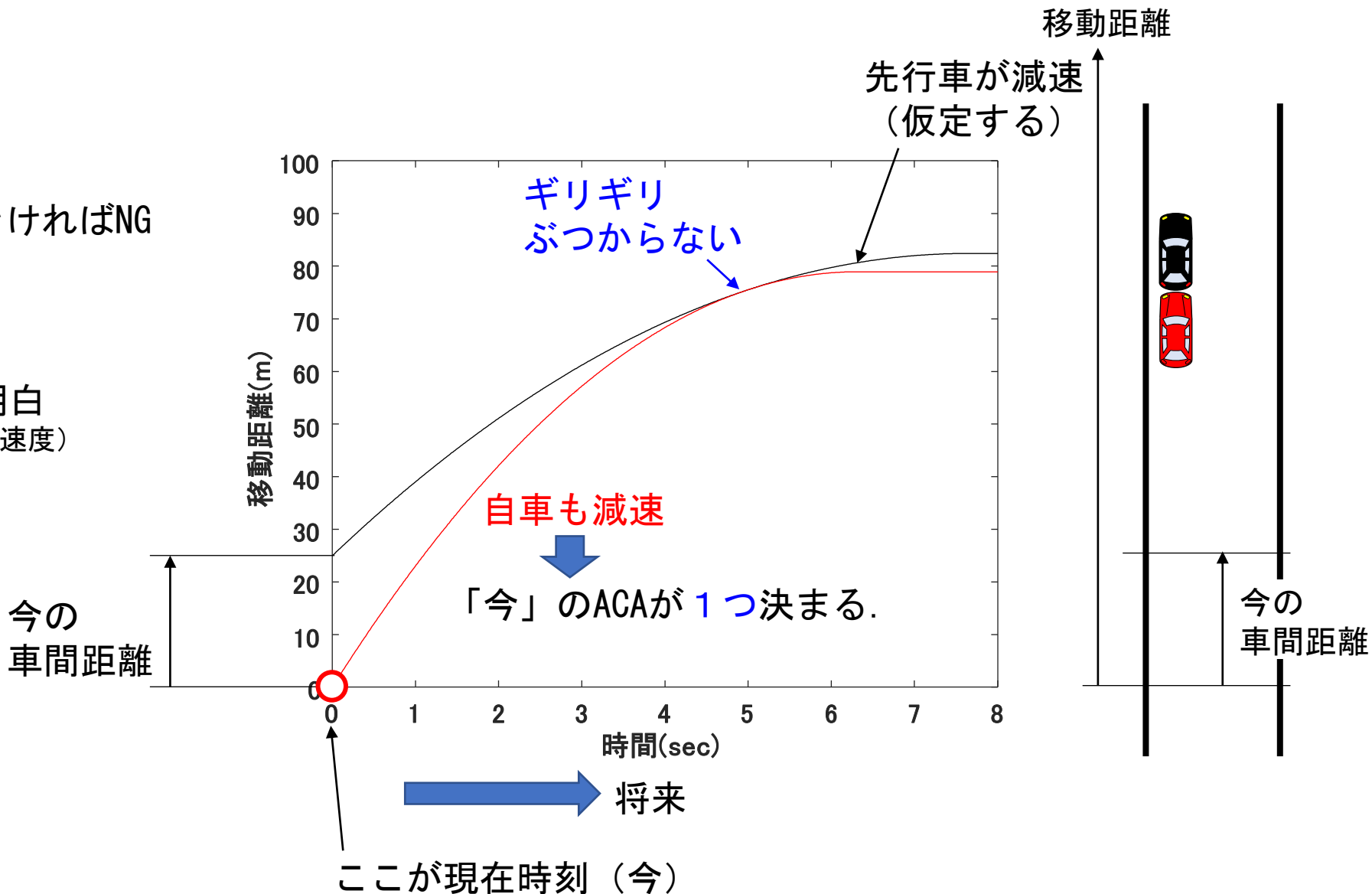


# ACAの直感的説明（追突を例にして）

規定値よりも大きければNG



物理的意味は明白  
(絶対ぶつからない加速度)



出合い頭ACAの考え方

(両者の動く方向が異なる時)

## 【3つの回避のパターン】

自車が先に通過

1. **加速**で回避

**ACA pass**

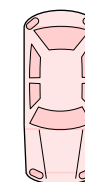
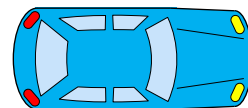
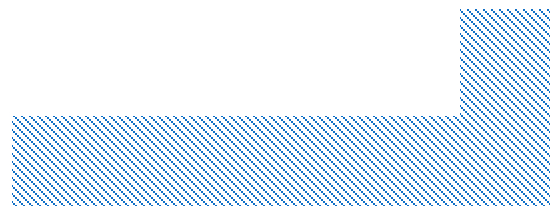
他車が先に通過

2. **減速**で回避

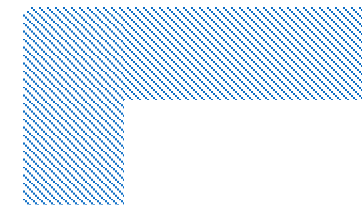
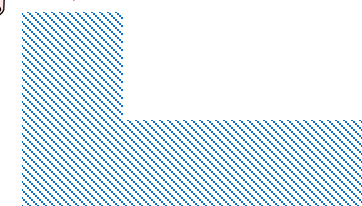
**ACA yield**

3. **停止**して回避

**ACA last**



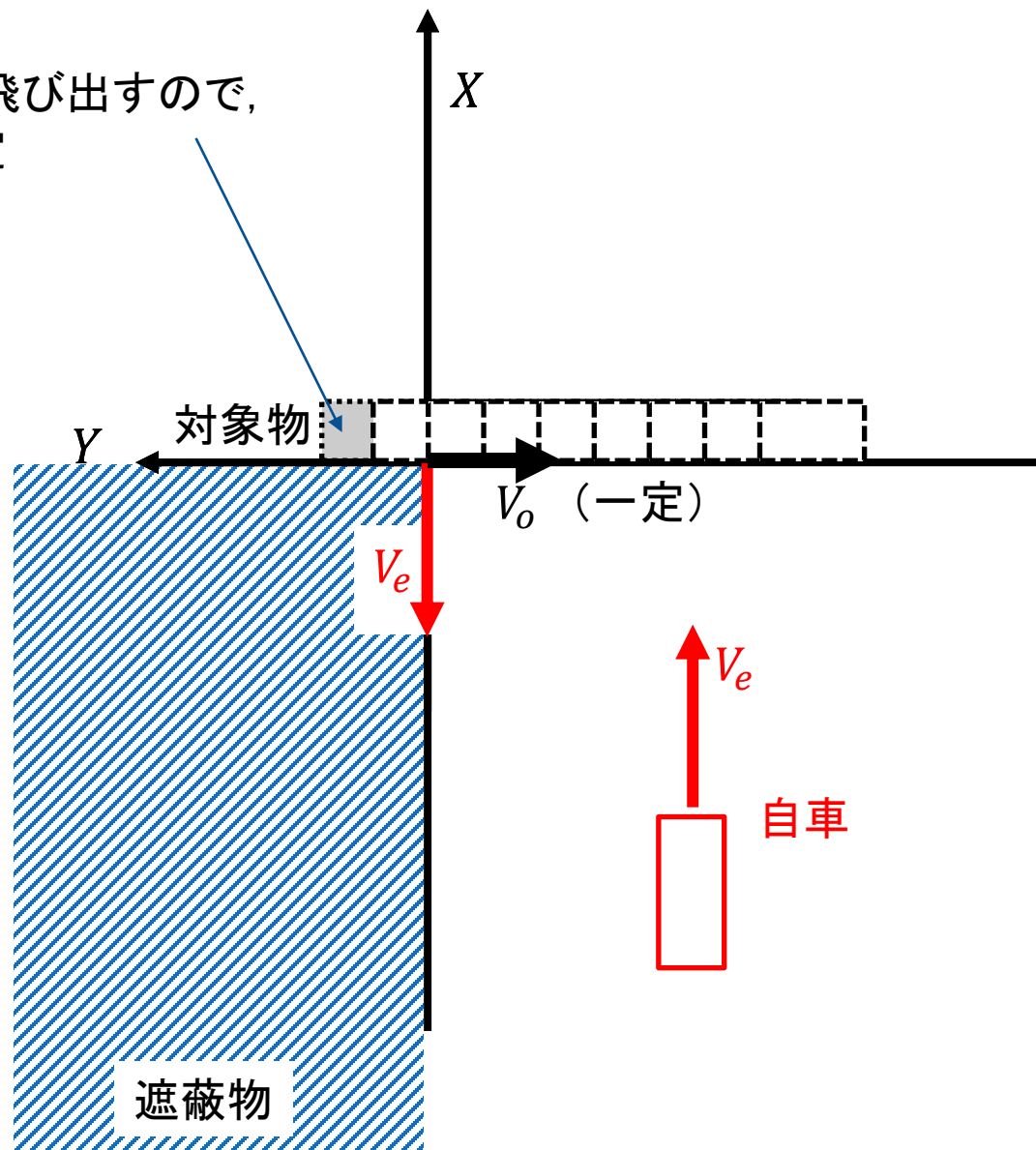
もしも  
飛び出して来たら



## ACAの直感的説明（出会い頭の概念図）

自車を固定して対象物の動きを考える

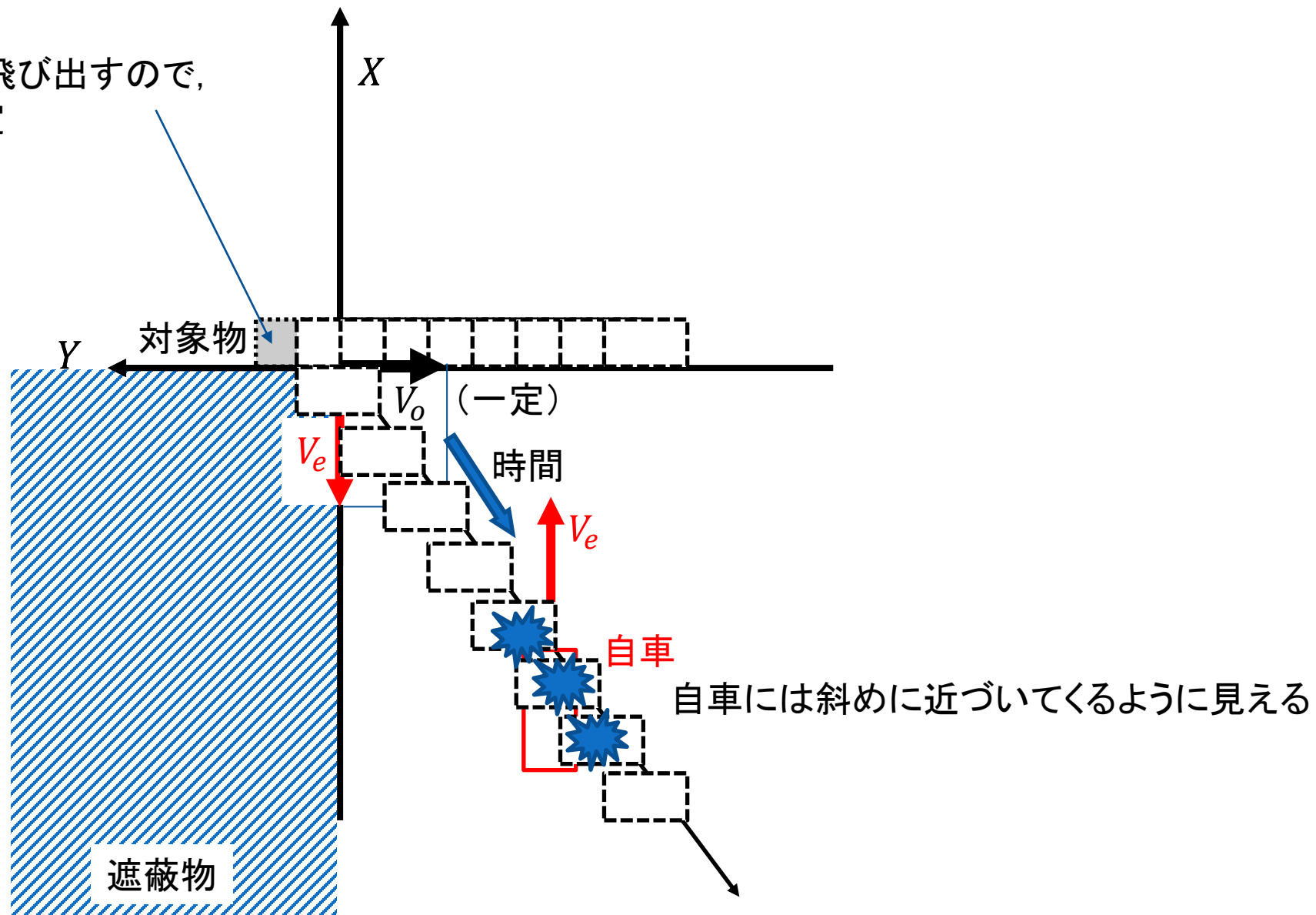
今、この瞬間に飛び出すので、  
ここにいと想定



## ACAの直感的説明（出会い頭の概念図）

自車を固定して対象物の動きを考える

今、この瞬間に飛び出すので、  
ここにいと想定

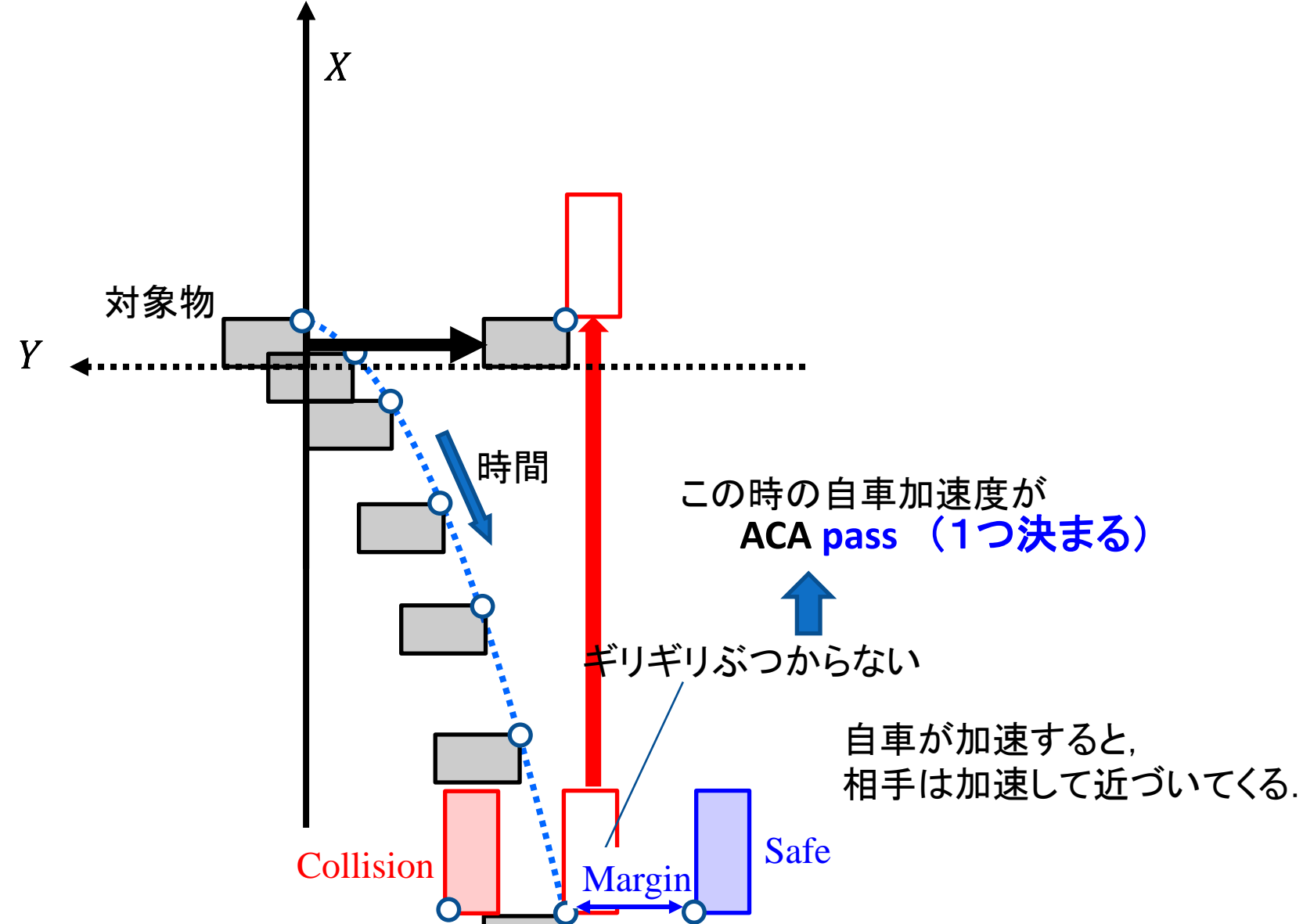
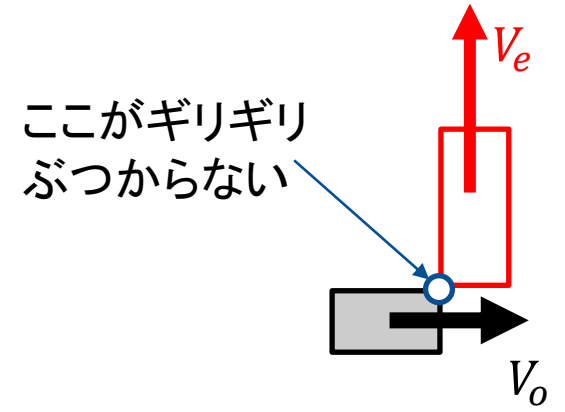


# ACAの直感的説明（出会い頭の概念図）

自車を固定して、対象物の動きを考える

自車が先に通過

## 1. 加速で回避 ACA pass

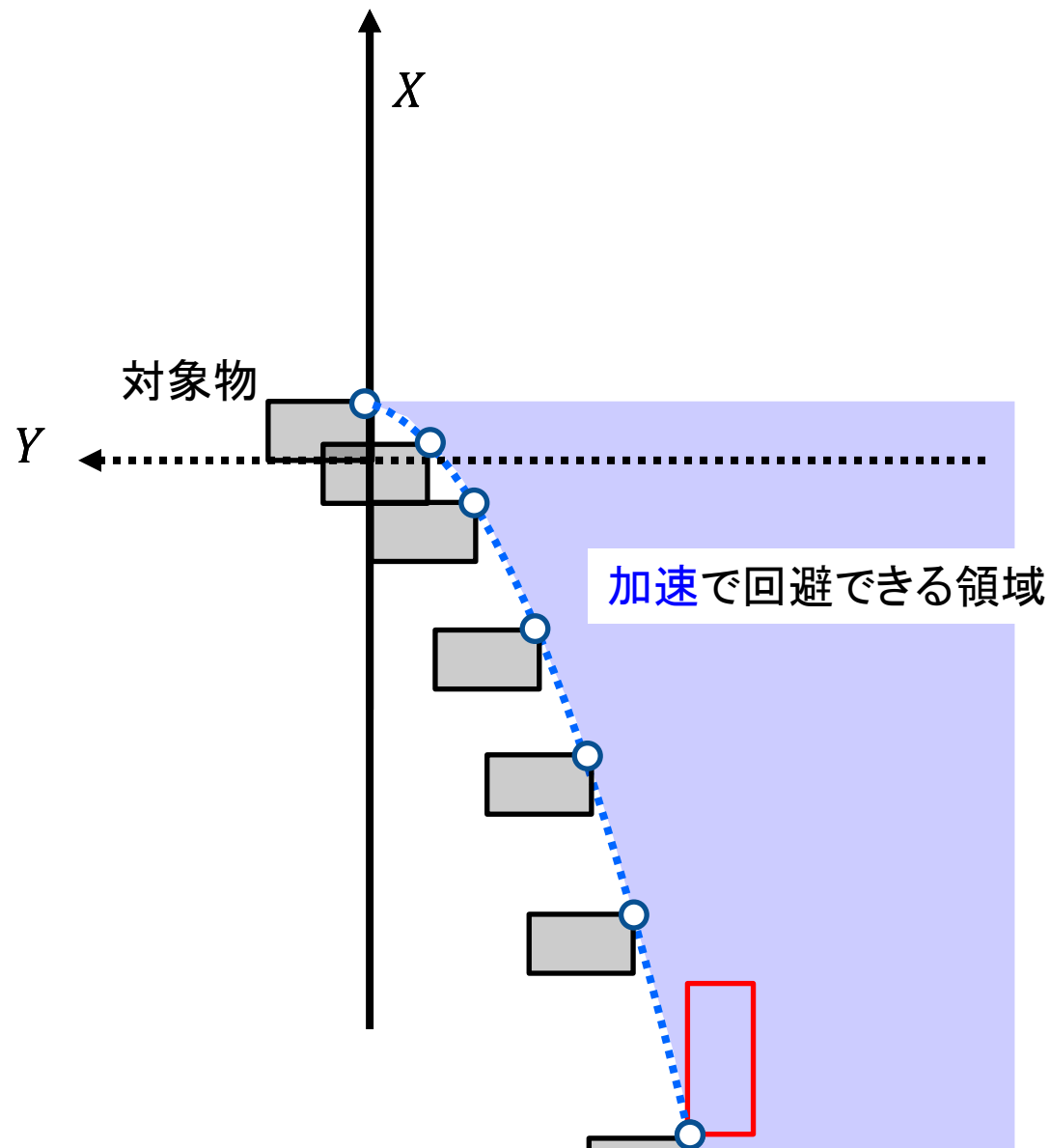
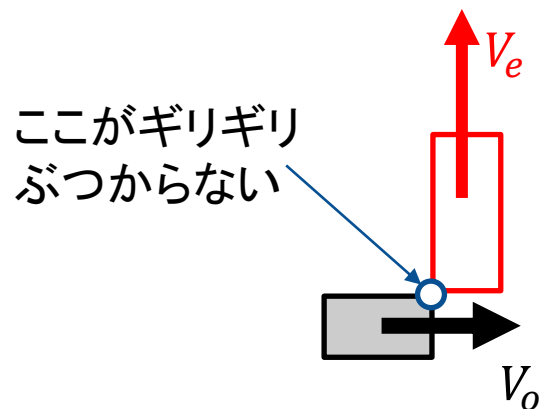


## ACAの直感的説明（出会い頭の概念図）

自車を固定して、対象物の動きを考える

自車が先に通過

1. 加速で回避 ACA pass





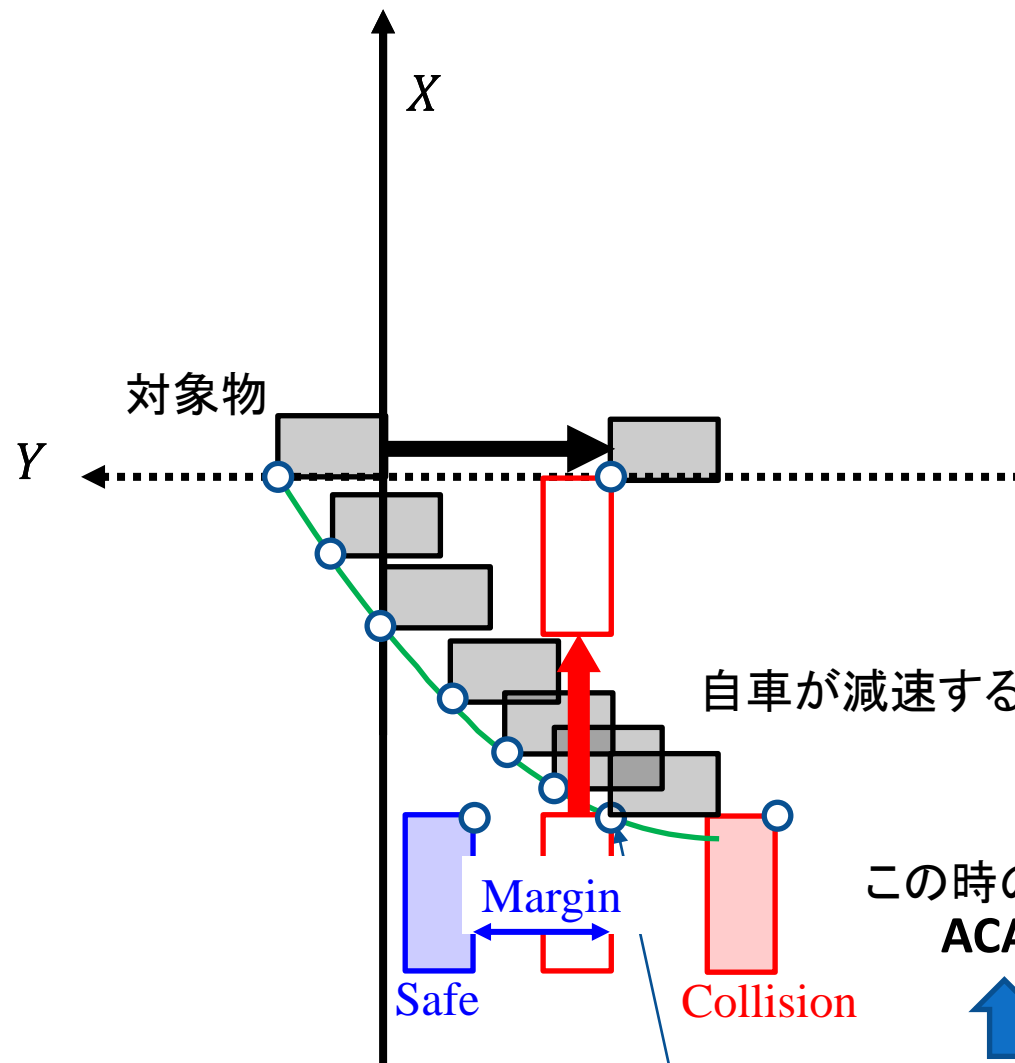
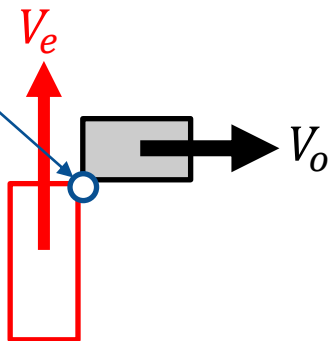
# ACAの直感的説明（出会い頭の概念図）

自車を固定して、対象物の動きを考える

他車が先に通過（相手に譲る）

## 2. 減速で回避 ACA yield

ここがギリギリ  
ぶつからない



自車が減速すると、他車は減速しながら接近する。

この時の自車の減速度が  
ACA yield (1つ決まる)

ギリギリぶつからない

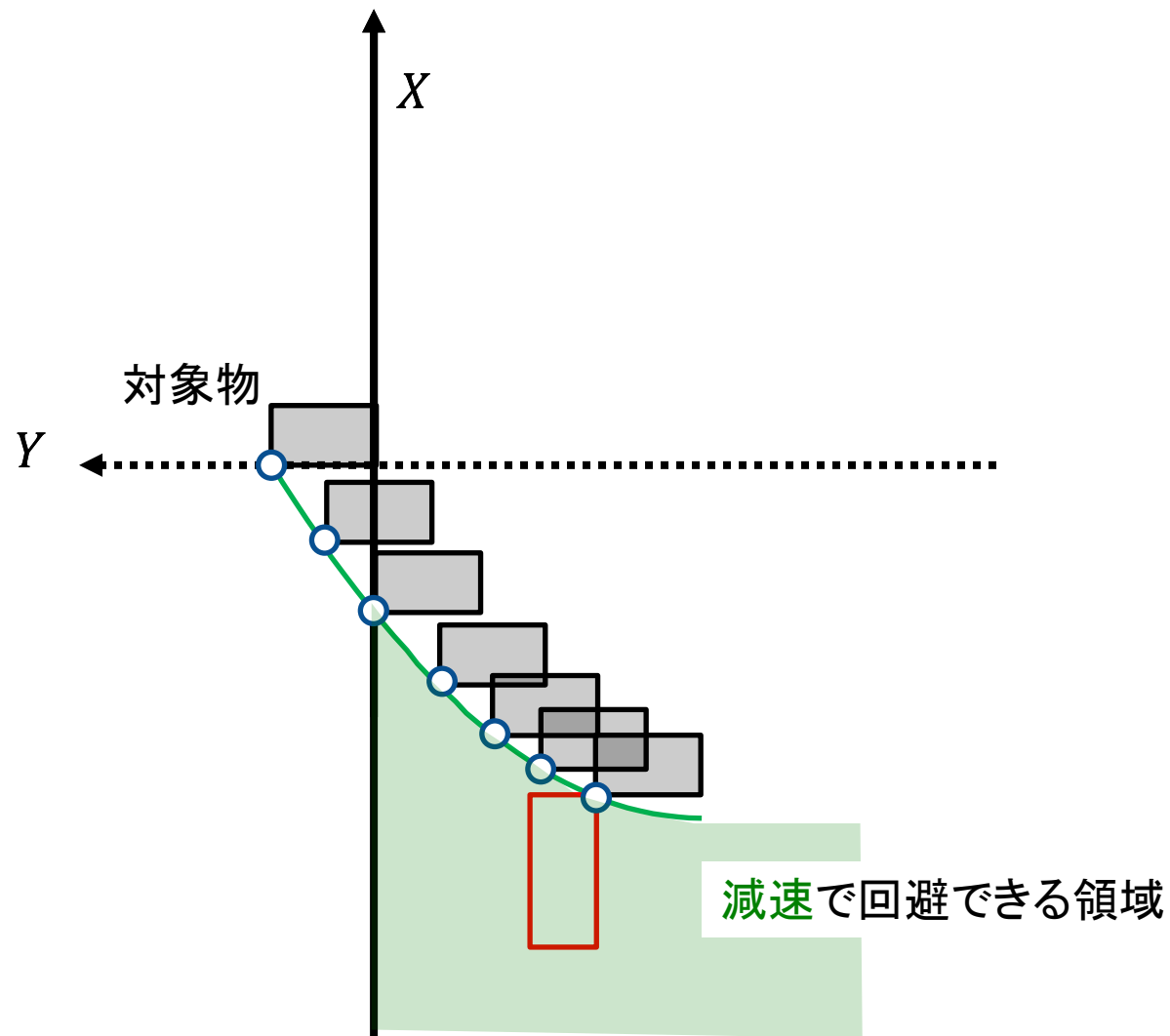
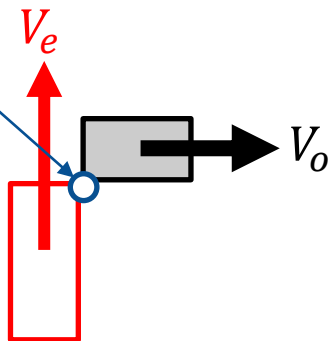
## ACAの直感的説明（出会い頭の概念図）

自車を固定して、対象物の動きを考える

他車が先に通過（相手に譲る）

2. 減速で回避 ACA yield

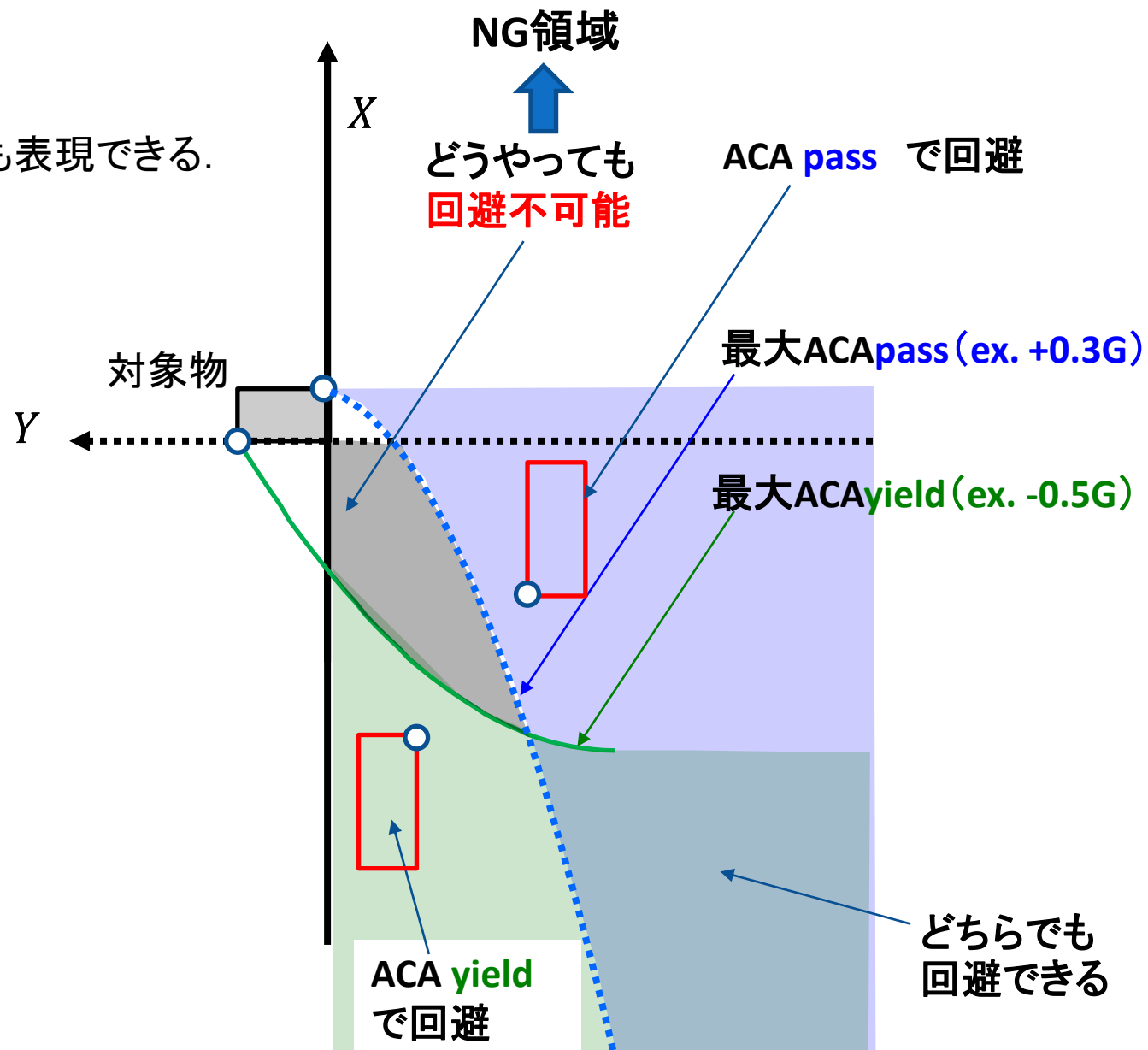
ここがギリギリ  
ぶつからない



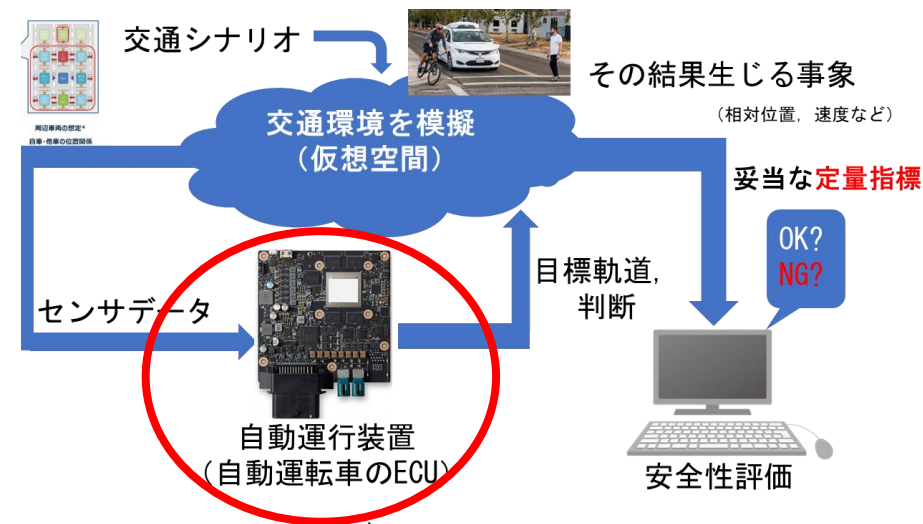
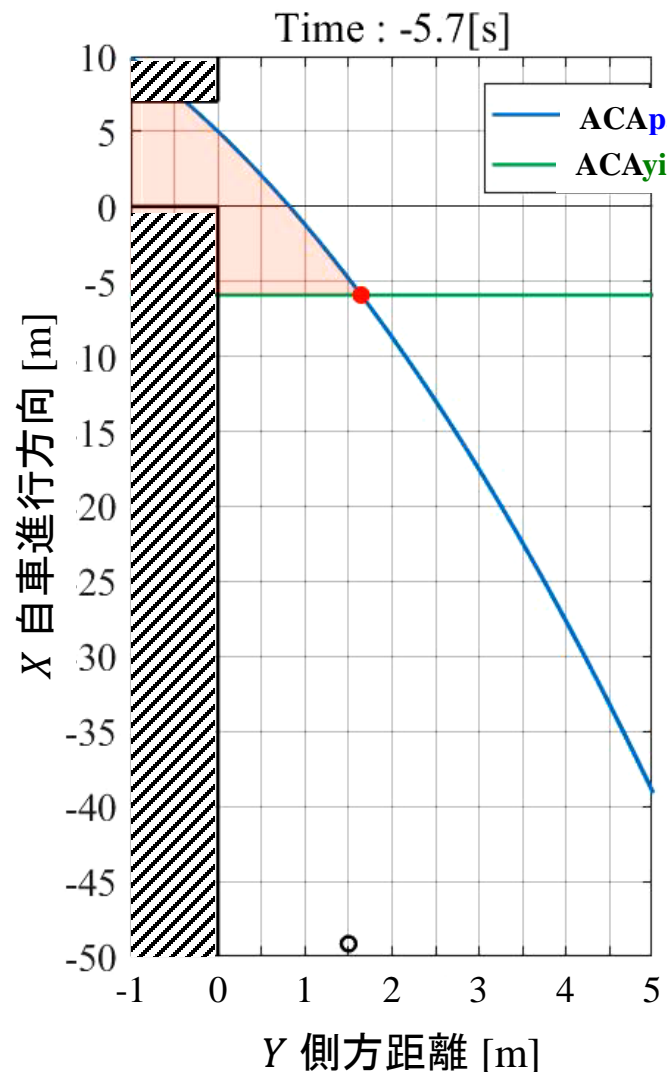
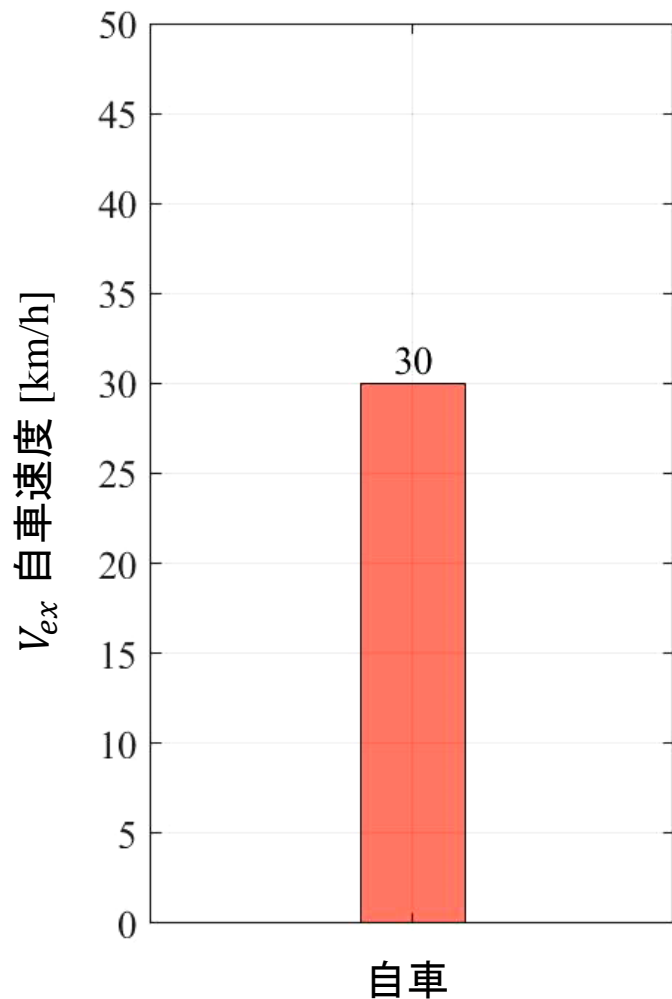
## ACAの直感的説明（出会い頭の概念図）

自車を固定して、対象物の動きを考える

最大ACAで、「潜在リスクフィールド」も表現できる。

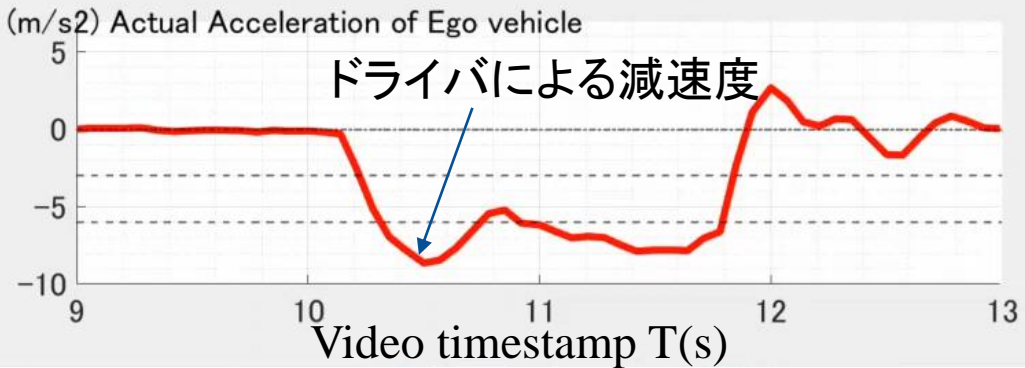
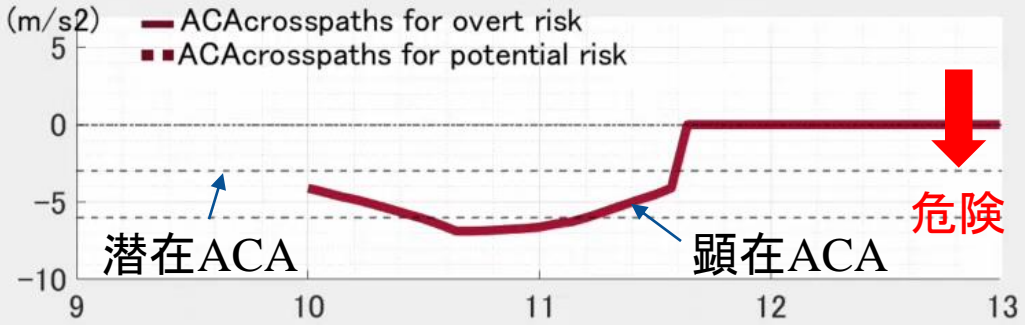


この自動運転車は、確かに潜在リスクを避けている。



これらの「OK」, 「NG」を評価

# 交差点出会い頭ヒヤリハットデータのACA 例



ヒヤリハットになった



交差点接近: 車速が高い  
(対象車はまだ確認できていない)

➡ ACAがマイナス方向に徐々に増加. ドライバは減速せず.

T=10s: 潜在ACAは約-0.3g

➡ 対象車顕在化 ➡ 約0.8Gの減速が必要になった.

T=11秒付近: ドライバの急制動で車速低下

➡ |ACA|は低下(顕在対象に対してACAが計算される)

# ACAの種類 (シーン毎) (その1)

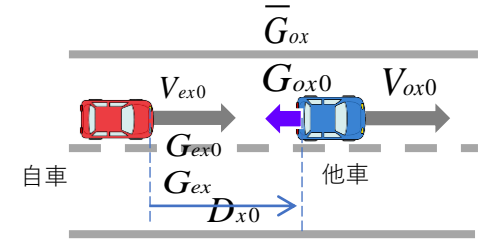
概要では、 $\left\{ \begin{array}{l} \text{センシング} \\ \text{判断} \\ \text{アクチュエーション} \end{array} \right\}$  の遅れ等は、説明の都合上割愛したが、定式化では織り込み済み。

## 単路追突

- ① 減速して、他車停止前に回避
- ② 減速して、他車停止後に回避

$$ACA_{trans}^{rearend}$$

$$ACA_{last}^{rearend}$$



## 追突

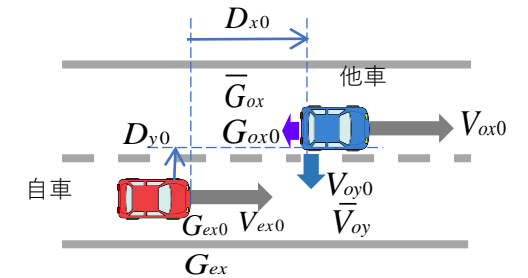
## 車線変更

他車の車線変更  
(カッタイン)

- ① 減速して側突を回避
- ② 減速して追突を回避

$$ACA_{side\_yield}^{cutin}$$

$$ACA_{ltrans}^{cutin}$$



## カッタイン

自車の車線変更  
(レーンチェンジ)

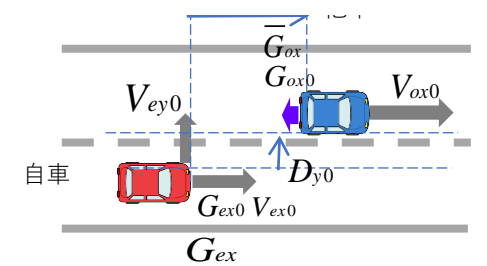
- ① 減速して側突を回避
- ② 加速して側突を回避
- ③ 加速して後ろからの追突を回避
- ④ 減速して先行車への追突を回避

$$ACA_{side\_yield}^{lanechange}$$

$$ACA_{side\_pass}^{lanechange}$$

$$ACA_{trans\_objrr}^{lanechange}$$

$$ACA_{trans\_objfr}^{lanechange}$$



## レーンチェンジ

概要では、センシング  
判断  
アクチュエーション の遅れ等は、説明の都合上割愛したが、定式化では織り込み済み。

## 合流 ——— 自車の合流

※他車の合流は、  
カットインと同じ

- ①減速して側突を回避
- ②減速 or 停止して側突を回避
- ③加速して側突を回避
- ④加速して後ろからの追突を回避
- ⑤減速して先行車への追突を回避

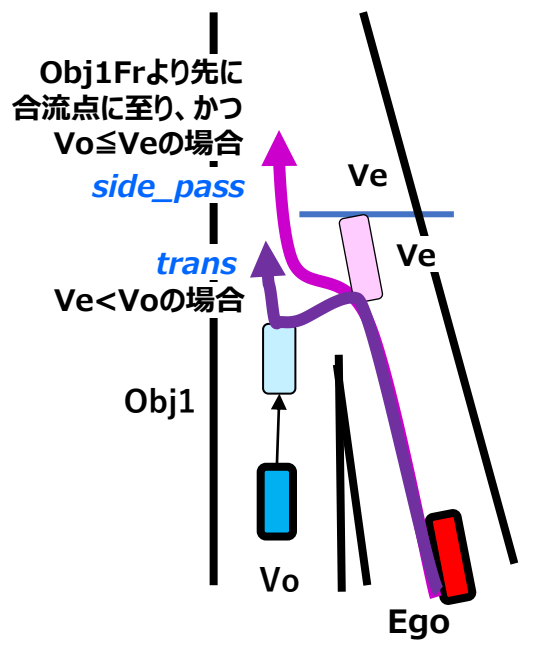
$ACA_{side\_yield}^{merge}$

$ACA_{side\_last\&yield}^{merge}$

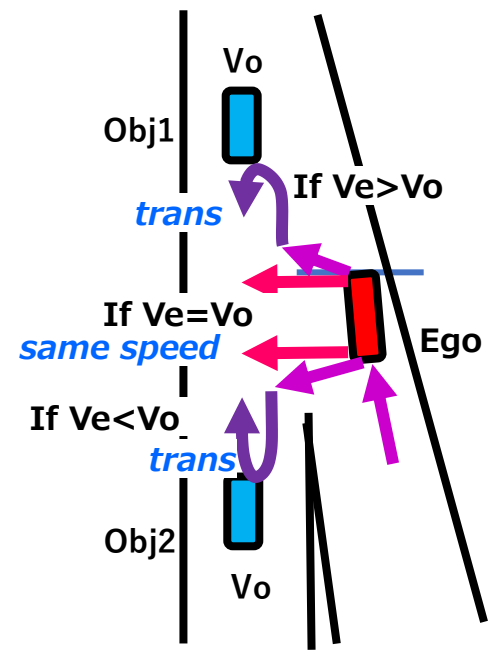
$ACA_{side\_pass}^{merge}$

$ACA_{trans\_objrr}^{merge}$

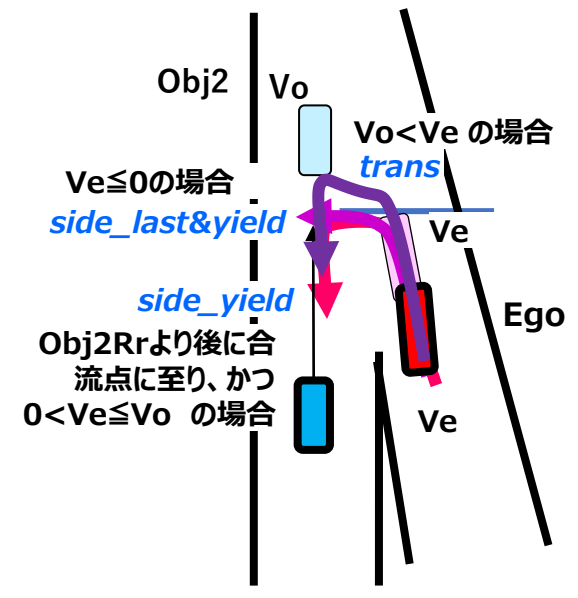
$ACA_{trans\_objfr}^{merge}$



③, ④



④, ⑤



①, ②

# ACAの種類 (シーン毎) (その3)

概要では、  
 センシング  
 判断  
 アクチュエーション

の遅れ等は、説明の都合上割愛したが、定式化では織り込み済み。<sup>24</sup>

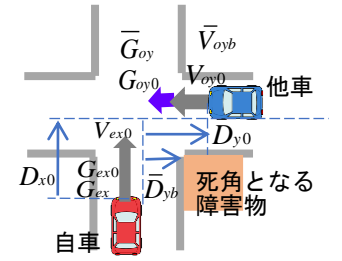
## 出会い頭

- ①減速して、他車が先に通過
- ②停止して、他車が先に通過
- ③加速して、自車が先に通過

$ACA_{side\_yield}^{headon}$

$ACA_{last}^{headon}$

$ACA_{side\_pass}^{headon}$



## 交差点出会い頭

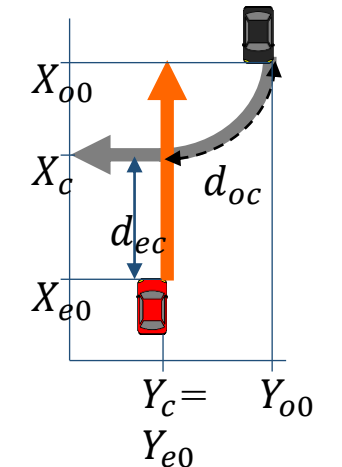
## 右直 自車直進, 他車右折

- ①減速して、他車が先に通過
- ②停止して、他車が先に通過
- ③加速して、自車が先に通過

$ACA_{yield}^{objrightturn}$

$ACA_{last}^{objrightturn}$

$ACA_{side\_pass}^{objrightturn}$



## 他車右折

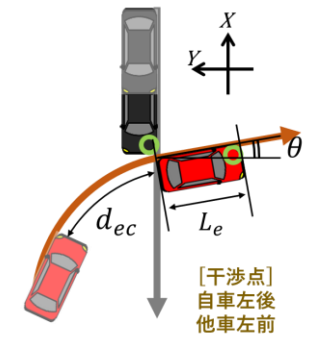
## 自車右折, 他車直進

- ①減速して、他車が先に通過
- ②停止して、他車が先に通過
- ③加速して、自車が先に通過

$ACA_{yield}^{egorightturn}$

$ACA_{last}^{egorightturn}$

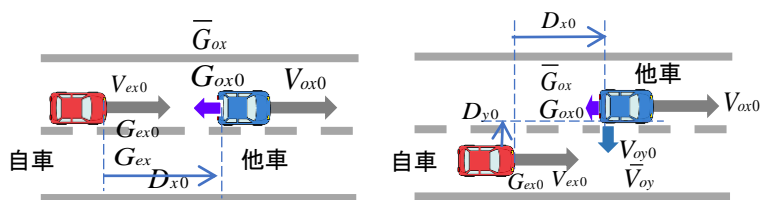
$ACA_{side\_pass}^{egorightturn}$



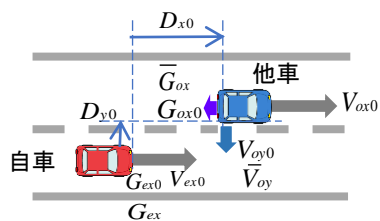
## 自車右折



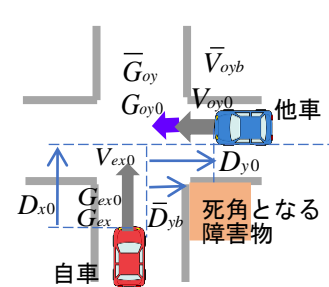
1. 安全性定量指標ACAを定式化した.
2. ヒヤリハットデータを用いて, 各シナリオで評価が可能なことを確認した
3. 上記確認作業のために, 映像処理ソフトを作成した.



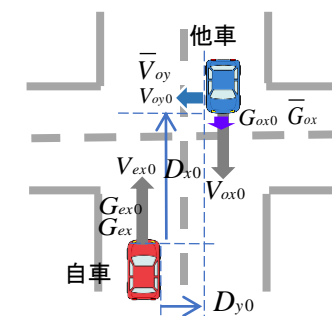
追突



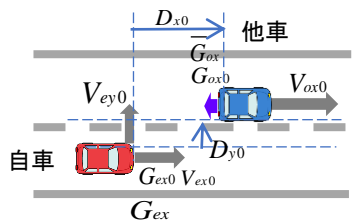
カッイン  
(他車車線変更)



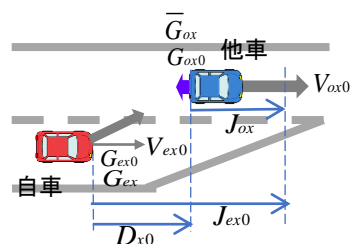
交差点出合い頭



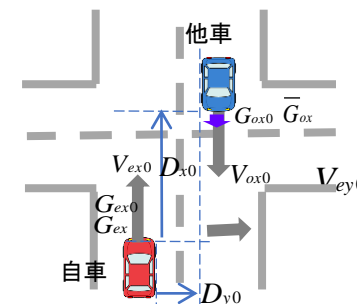
交差点他車による右折



レーンチェンジ  
(自車車線変更)



自転車合流



交差点自転車による右折

ご清聴ありがとうございました



東京農工大学スマートモビリティ研究拠点

<https://web.tuat.ac.jp/~smrc/about.html>



## Surrounding Traffic Participants' Position and Behavior

		Road geometry	Ego-vehicle behavior	Cut in	Cut out	Acceleration	Deceleration (Stop)
Road Geometry and Ego-vehicle behavior	Main roadway		Lane keep	No.1	No.2	No.3	No.4
			Lane change	No.5	No.6	No.7	No.8
	Marge		Lane keep	No.9	No.10	No.11	No.12
			Lane change	No.13	No.14	No.15	No.16
	Branch		Lane keep	No.17	No.18	No.19	No.20
			Lane change	No.21	No.22	No.23	No.24