

## 招待講演 2

# 統合安全による自転車事故傷害防止のアプローチ

名古屋大学大学院 工学研究科機械システム工学専攻 教授

水野 幸治



# 統合安全による自転車事故 傷害防止のアプローチ

名古屋大学 水野幸治

## 1. AEBの効果予測

# 四輪車対自転車事故におけるAEBの効果

- ドライブレコーダを用いて，ヒヤリハットと事故を隔てる要因を明確にする
- 個々の事故をPC-Crashで再現し，自動ブレーキ（AEB）が装備された場合の事故回避の有無を調べる

# ドライブレコーダ データ

## • 愛知県の事故データ

愛知県産業振興課 自動車安全技術プロジェクトにて，愛知県タクシー協会・名古屋市タクシー協会の協力で収集（300件，2010～2017）

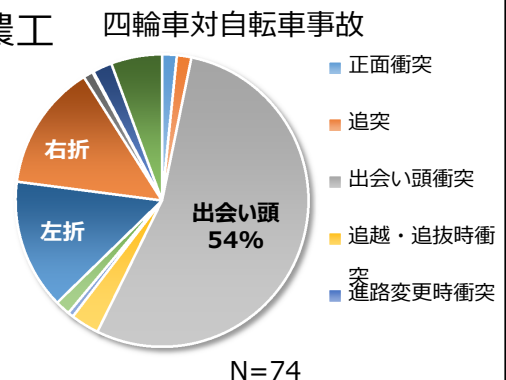


## • ヒヤリハットデータベース

東京都，静岡県のタクシーのデータ（東京農工大） 2005～2010，2014～2016

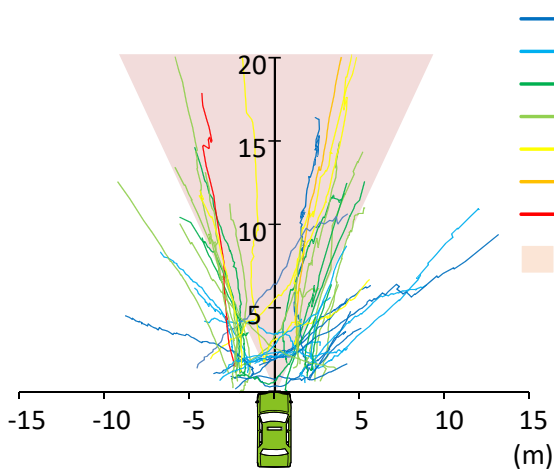
## • 四輪車対自転車出会い頭事故

愛知県 31件  
東京都，静岡県 9件



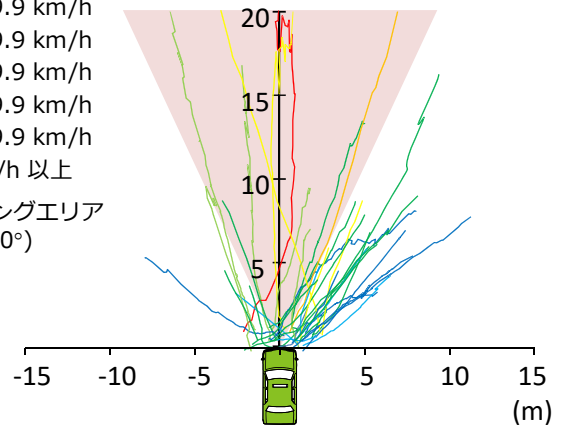
# 自転車乗員の軌跡

ヒヤリハット高レベル



- 0~9.9 km/h
- 10~19.9 km/h
- 20~29.9 km/h
- 30~39.9 km/h
- 40~49.9 km/h
- 50~59.9 km/h
- 60 km/h 以上
- センシングエリアの例 (50°)

衝突事故



# 衝突余裕時間 TTC

## TTC (Time-to-Collision)

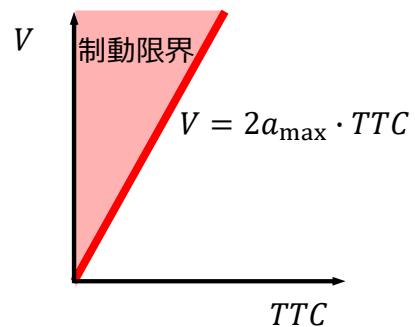
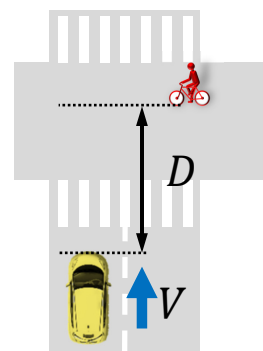
四輪車が対象となる物体と衝突するまでに衝突回避のための運転操作を行うことのできる余裕時間

$$TTC = \frac{D}{V}$$

$$0^2 - V^2 = 2(-a)D$$

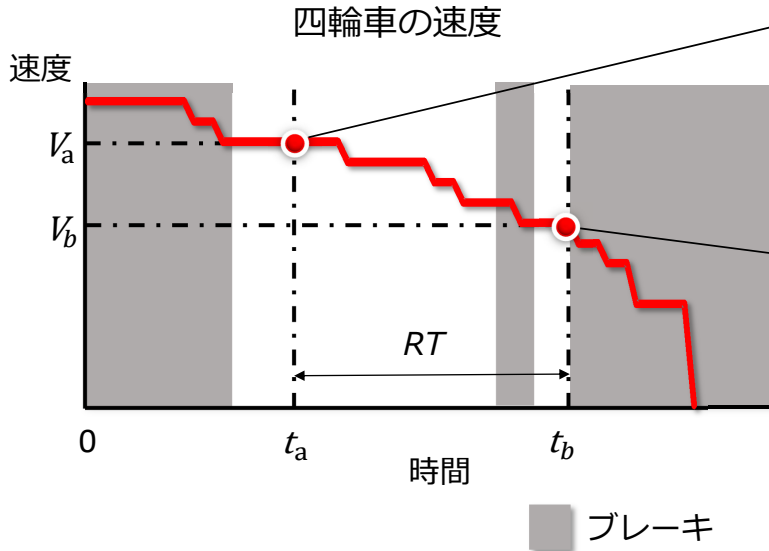
## TTCと速度の関係

$$V = 2a \cdot TTC$$



# 時間推移

$$TTC_a = \frac{D_a}{V_a} \quad TTC_b = \frac{D_b}{V_b}$$

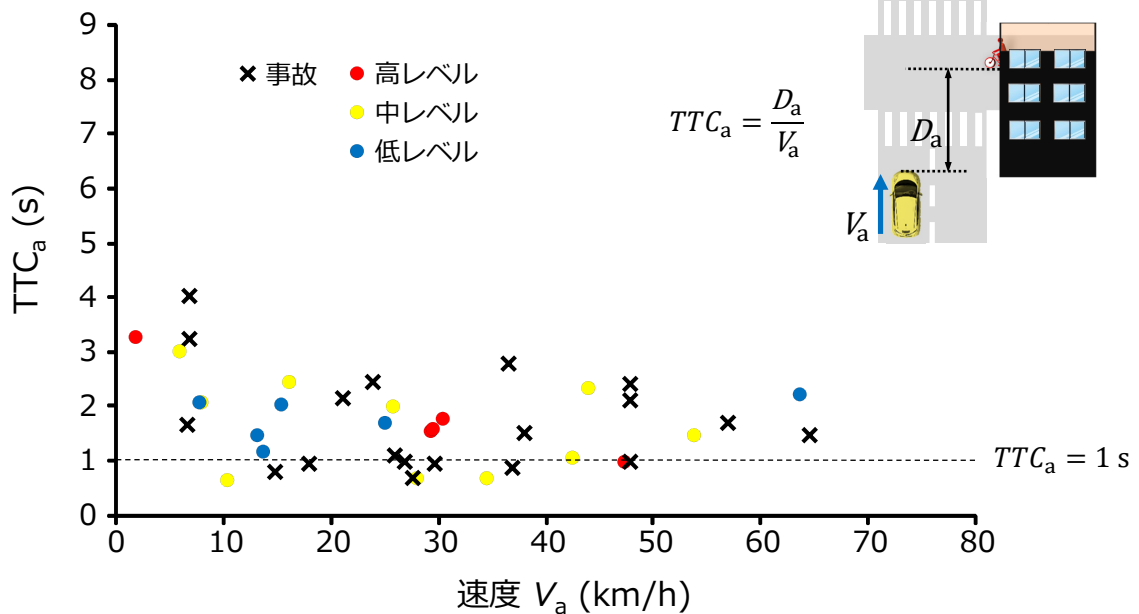


$t_a$  : 対象がドライブレコーダに映り始めた時刻

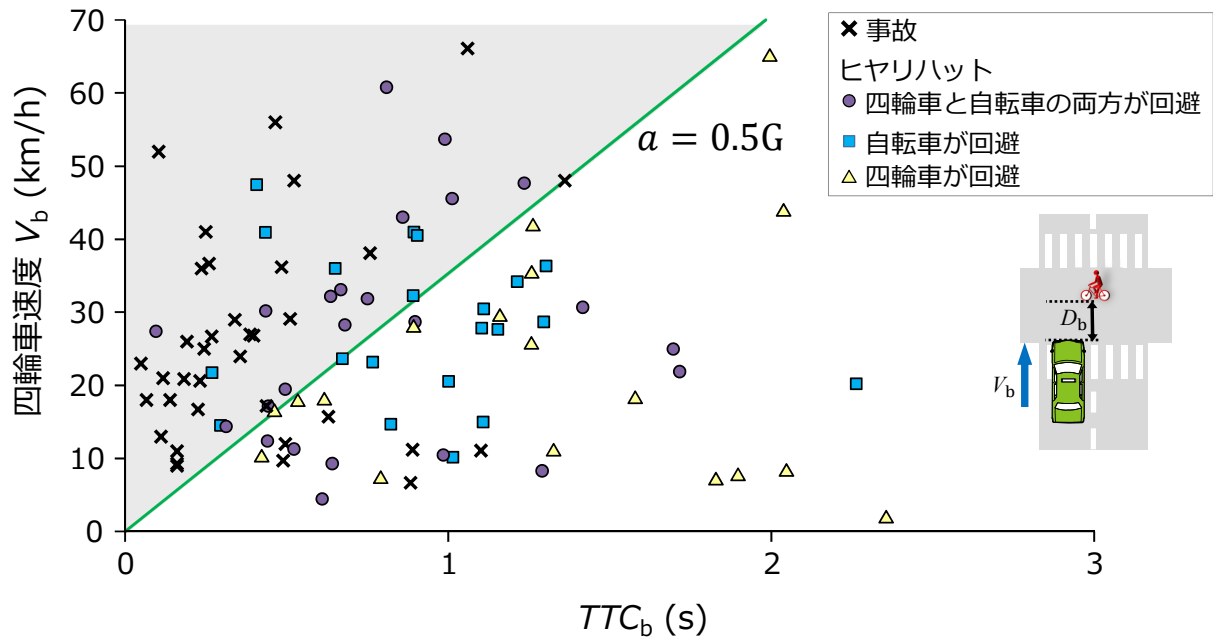


$t_b$  : 四輪車が対象に気がつき急ブレーキをかけた時刻

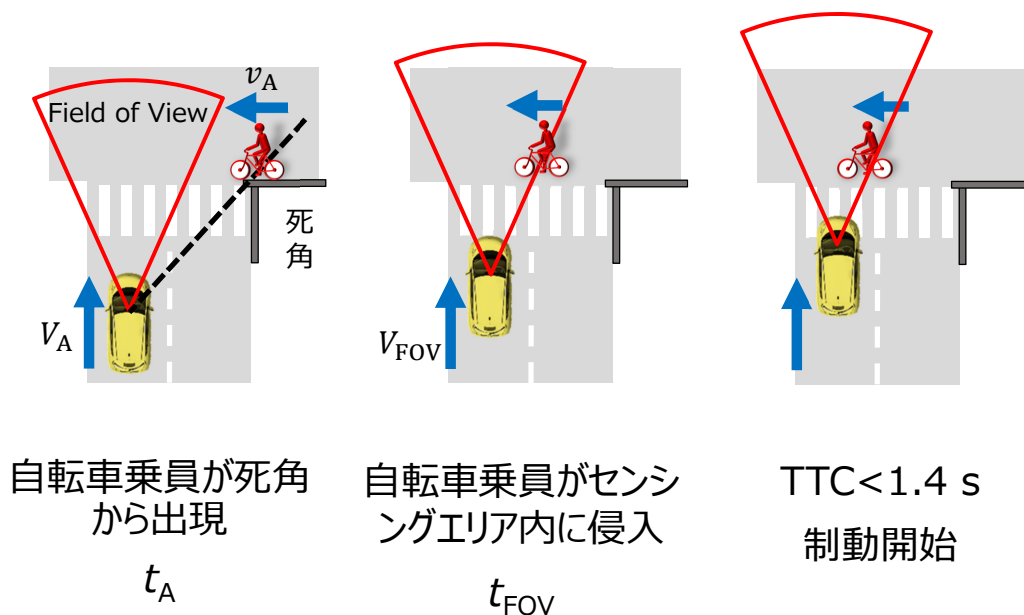
## $TTC_a$ vs. $V_a$ (自転車が見れた時刻)



# TTC<sub>b</sub> vs. V<sub>b</sub> (制動開始時)

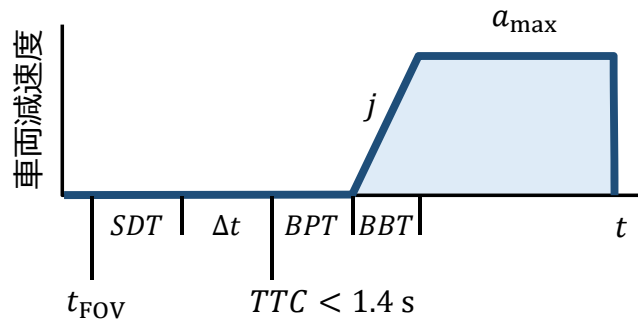
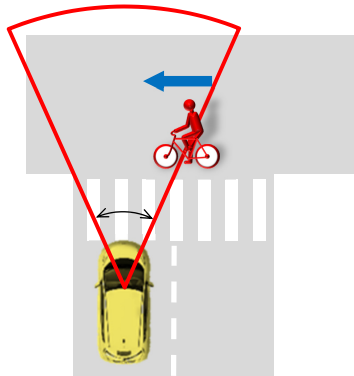


# 自動ブレーキ (AEB) の効果検討

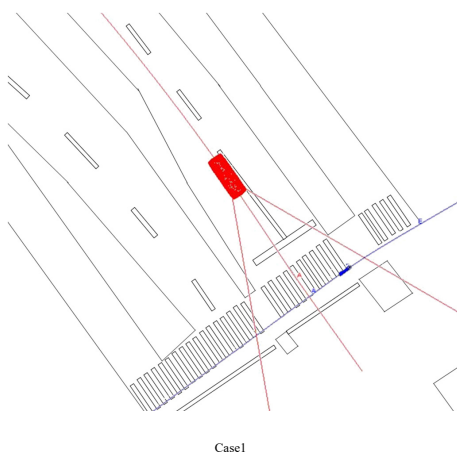


# AEBセンサー・ブレーキ仕様

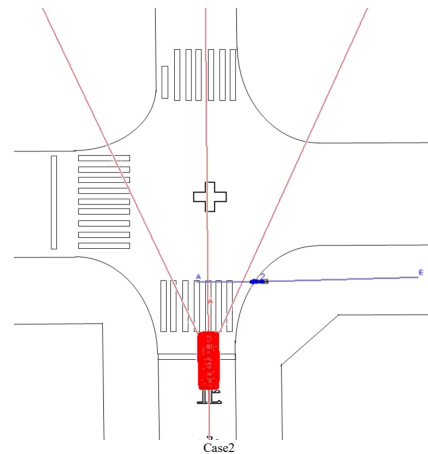
- センサー角度 50°, 90°, 360°
- 検知時間 SDT (Sensor detection Delay Time) : 0.4 s
- ブレーキプリチャージ時間 BPT (Brake Pre-charge Time) : 0.1 s
- ブレーキ制動遅れ DT=SDT+BPT: 0.5 s
- 最大減速度到達時間 BBT (Brake Boosting Time): 0.1 s
- 最大減速度  $a_0$  : 0.8 G



## 事故再現例 (センサー角度50°)



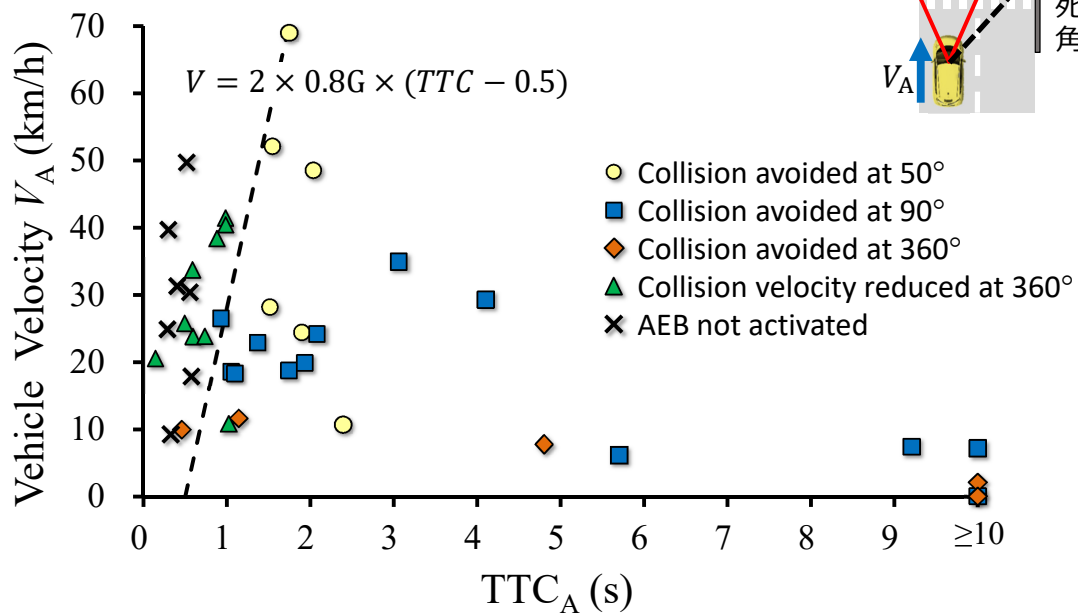
事故回避が可能



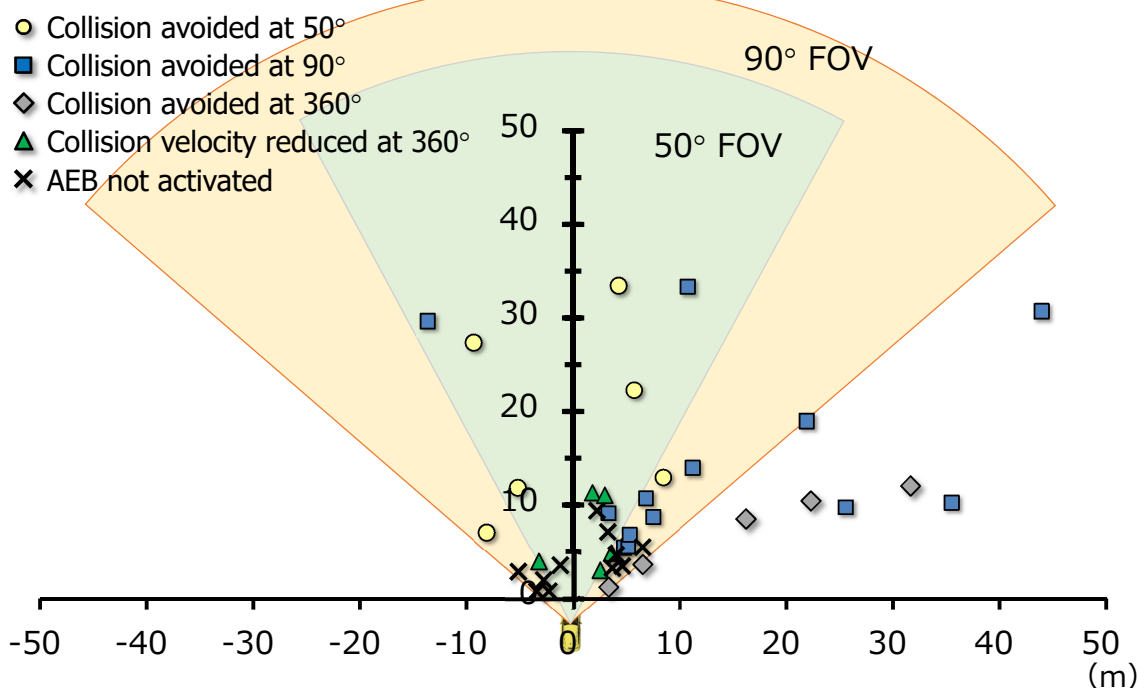
衝突発生  
(自転車常在にセンサーのエリア外)



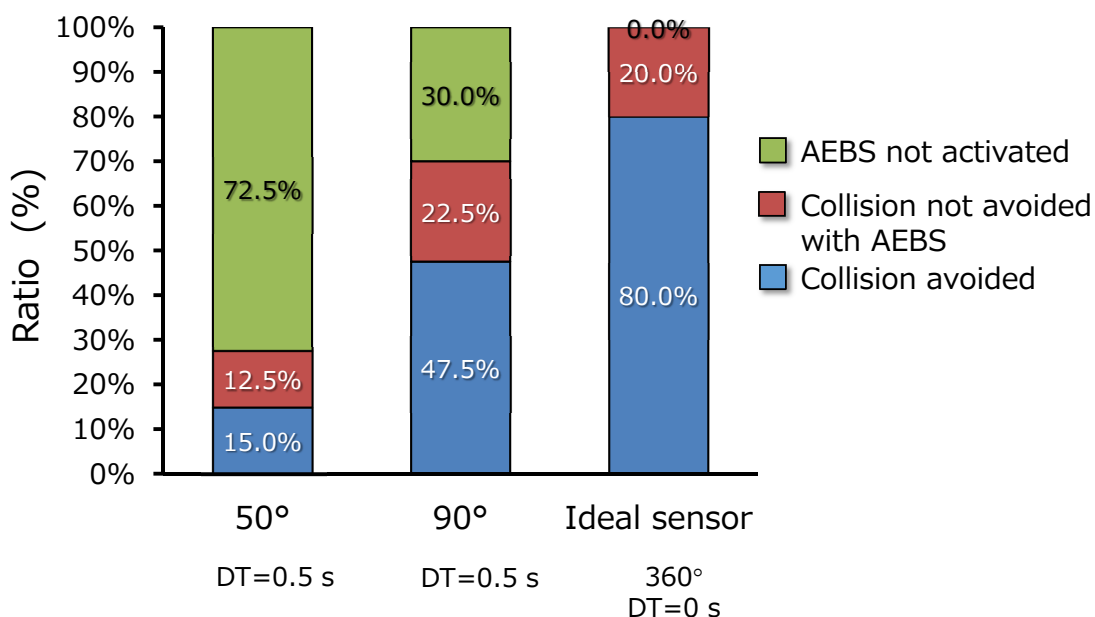
# AEBSセンサー角度 ( $t_A$ , DT 0.5 s)



# センサー角度 ( $t_A$ , DT 0.5 s)



# センサー性能と事故回避



## 理想的なAEBSでも 衝突回避困難な事故 (8件/40件中)

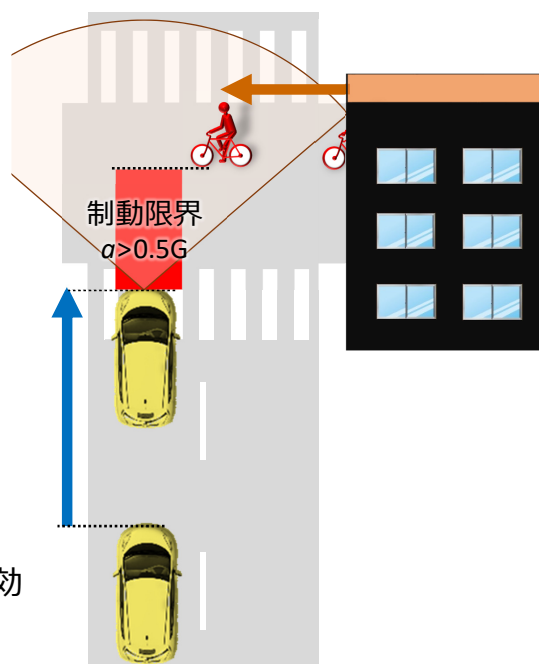
No.	TTC <sub>A</sub> (s)	V <sub>A</sub> (km/h)	AEB非搭載 V <sub>c</sub> (km/h)	AEB搭載 V <sub>CAEB</sub> (km/h)	衝突速度低減 (km/h)	事故状況
1	0.880	38.4	30	6.5	23.5	対向車線の渋滞車背後から飛び出し (運転者側), 2車線 (片側1車線), 昼・晴
2	0.517	49.6	35	32.3	2.7	対向車線の渋滞車背後から飛び出し (運転者側), 2車線 (片側1車線), 昼・晴
3	0.555	30.5	8	4.6	3.4	対向車線の渋滞車背後から飛び出し (運転席側), 交差点 (信号無), 2車線 (片側1車線), 昼・晴
4	0.587	33.8	10	7.0	3.0	建屋影から飛び出し (運転席側), 交差点 (信号無), 2車線 (片側1車線, センターライン無), 夜・晴
5	0.287	25	25	14.5	10.5	建屋影から飛び出し (助手席側), 交差点 (信号無), 2車線 (センターライン無), 昼・晴
6	0.493	25.9	15	11.3	3.7	四輪車信号無視 (助手席側), 交差点 (横断歩道上, 信号有), 6車線 (片側3車線), 夜・雨
7	0.144	20.7	15	10.5	4.5	子供の横断歩道飛び出し (助手席側), 2車線 (片側1車線), 夜・晴
8	0.299	39.7	35	25.3	9.7	交差点渡り遅れ (自転車信号無視, 運転席側), 4車線 (片側2車線), 昼・晴

Sensor angle 360°, DT=0 s

# 事故の発生要因とAEB

## ② 自転車の飛び出し TTC < 1 s

- AEBによる回避が困難
- 制動時間短縮が衝突速度低減に効果あり



## ① 四輪車の制動遅れ

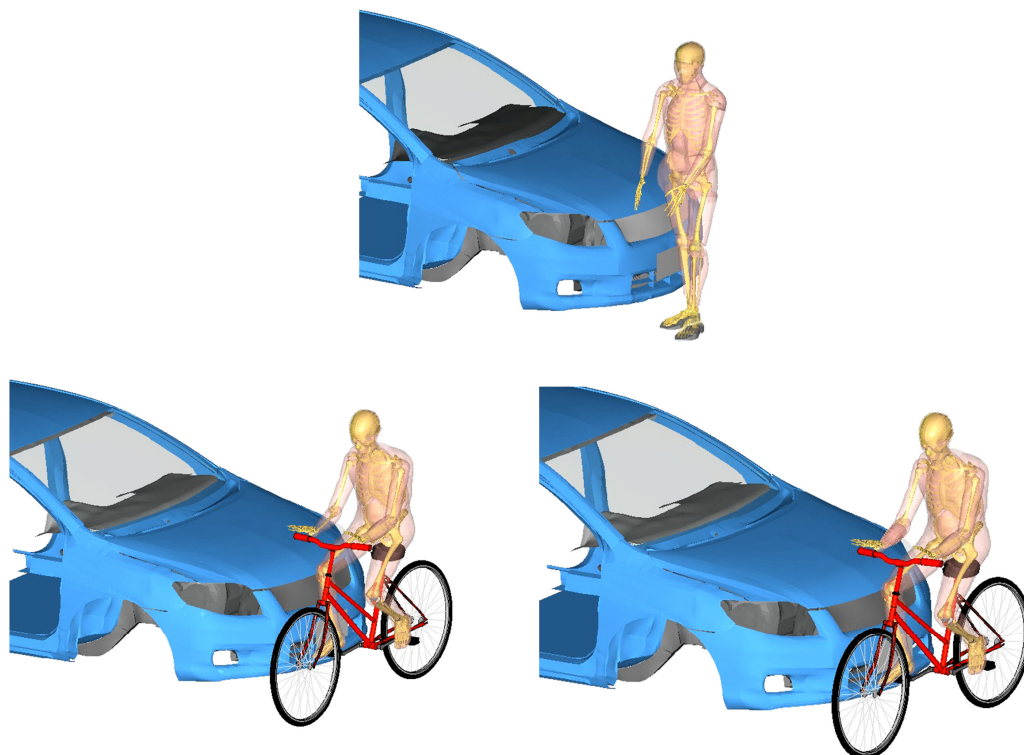
- AEBによる衝突回避が可能
- AEBのセンサー角拡大が有効

## 要約

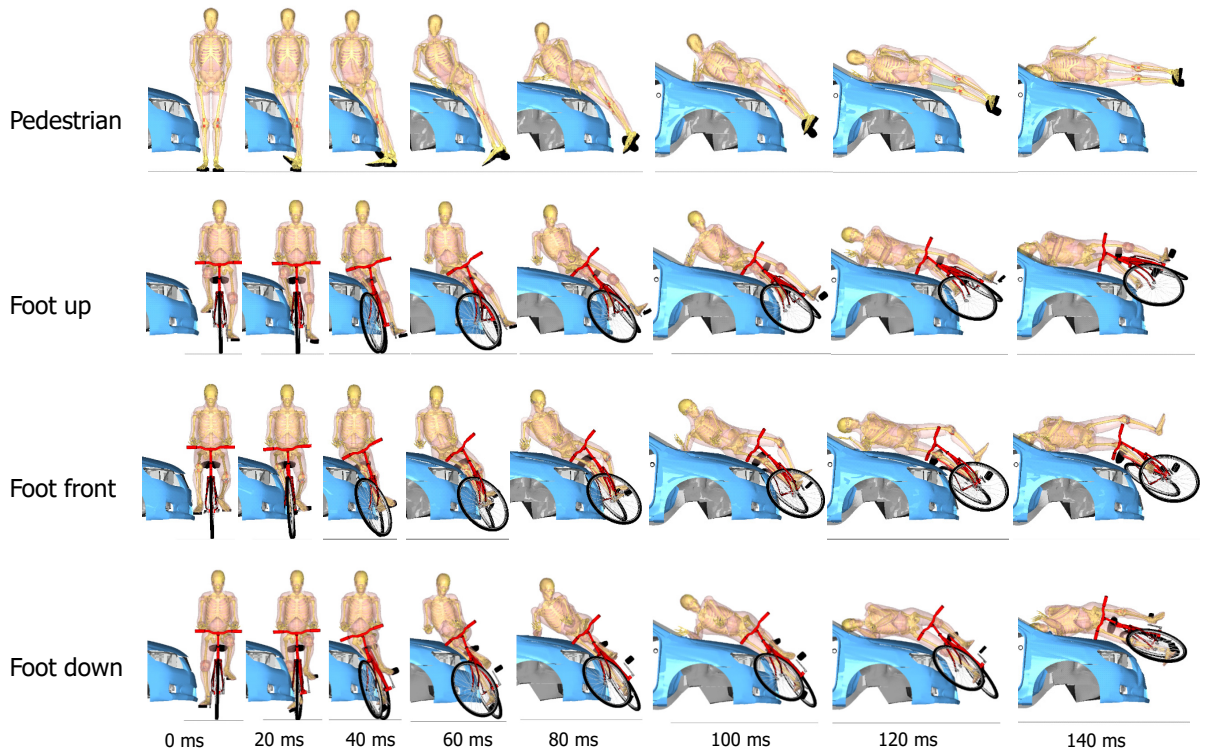
- 制動開始時刻において、停止に0.5G以上の減速度が必要となっている状況では、自転車乗員が回避しない場合、事故が発生している。
- 自転車事故には、四輪運転者から見て2つの形態がある。
  - ① 四輪運転者の制動が遅れる。
  - ② 自転車乗員が死角から現れたときには既にTTCが1秒程度であり、衝突回避が困難となっている。
- 対自転車の衝突回避には、AEBセンサーの角度拡大が有効である。
- 死角から自転車が現れたときのTTCが1.0秒未満の場合には、理想的な自動ブレーキでも衝突回避が困難である。

## 2. 衝突安全

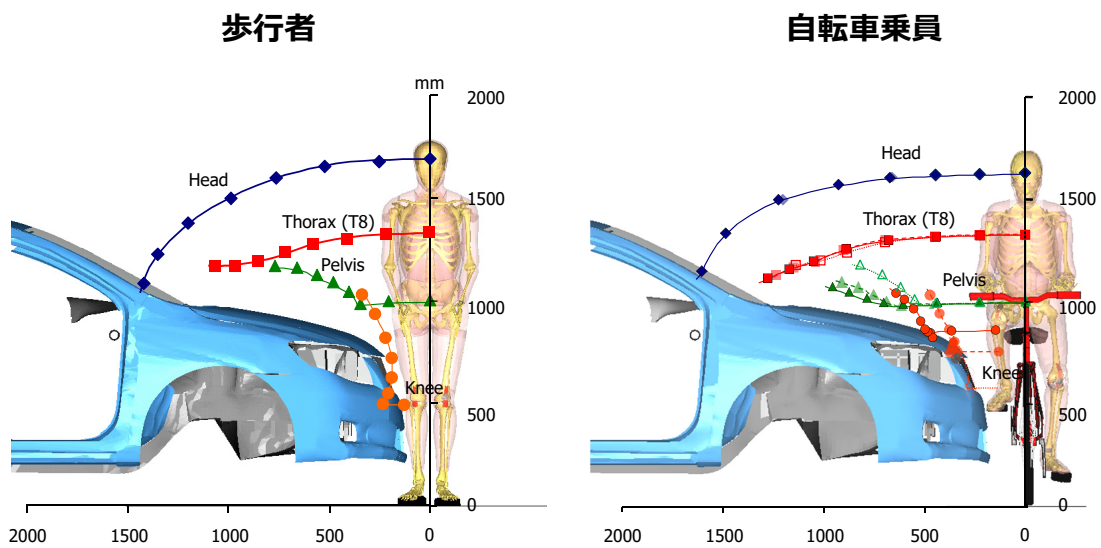
### 四輪車対自転車乗員衝突



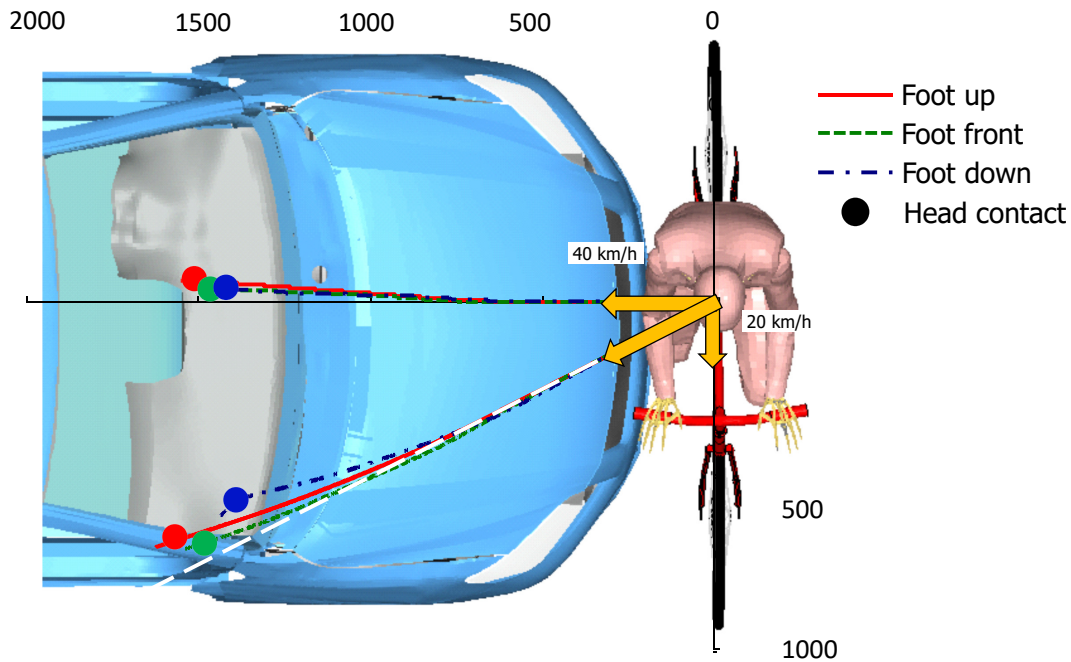
# Kinematics



# 人体各部の軌跡

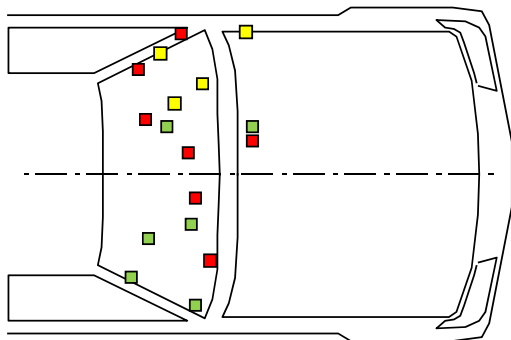


# 頭部軌跡

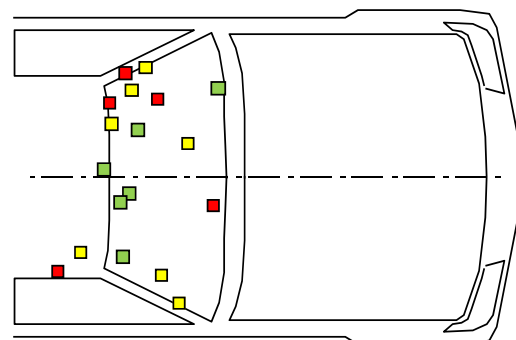


# 自転車乗員頭部衝突位置

Pedestrians



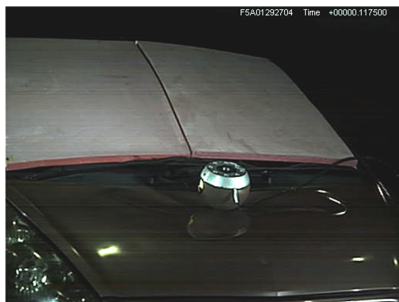
Cyclists



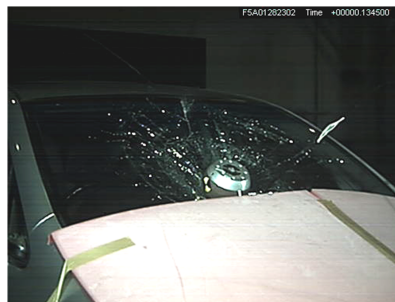
- Fatal
- Serious injury
- Minor injury

Maki 2003

## 歩行者ヘッドフォームインパクト試験 (35 km/h)



フード HIC 721



ウィンドシールド HIC 122

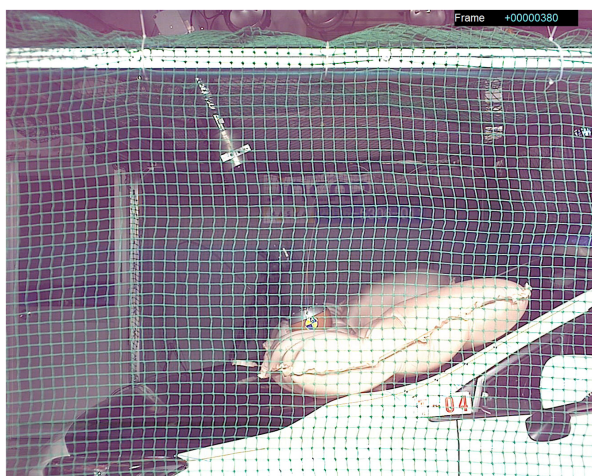


ルーフヘッダ HIC 553



Aピラー HIC 4816

## 歩行者エアバッグ (JNCAP歩行者頭部保護試験)



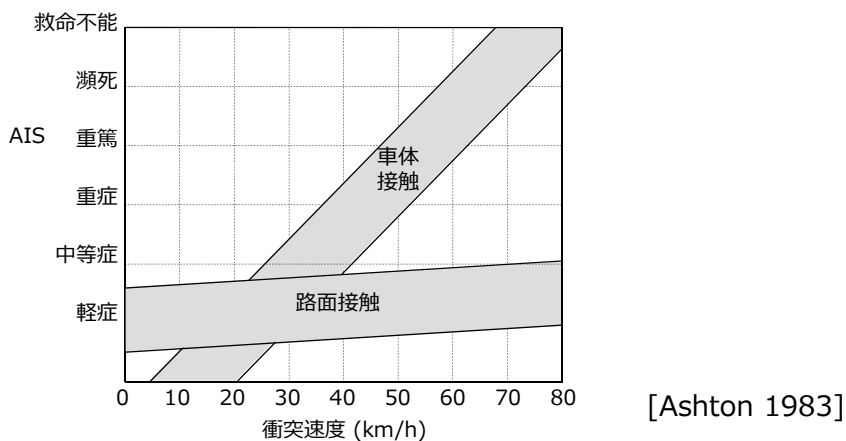
HIC 534



HIC 684

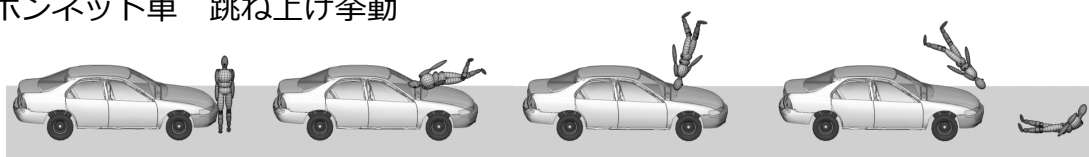
# 歩行者の路面による傷害

- 車体接触による重症度は速度により大きくなるが、路面接触ではあまり変わらない
- 最初に路面に接触する身体部位は、下肢、頭部、臀部が多い
- 受傷部位は頭部と上肢が多く、体幹や下肢は少ない

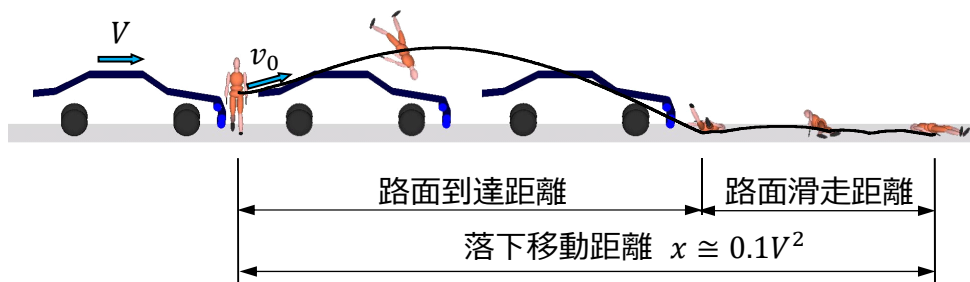


# 歩行者挙動の分類

ボンネット車 跳ね上げ挙動

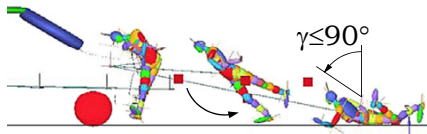


1 BOX車 前方押し倒し挙動

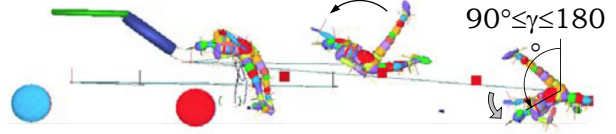




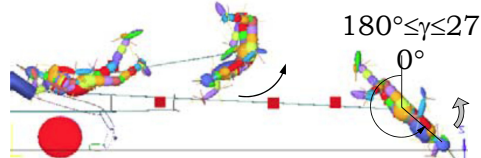
# 歩行者の路面落下挙動の分類



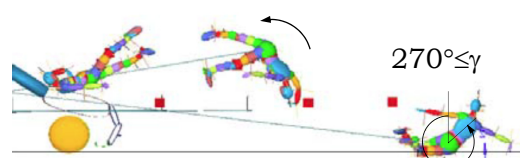
【挙動1】 歩行者の回転角が $90^\circ$ より小さい。腰部が最初に路面に接触。



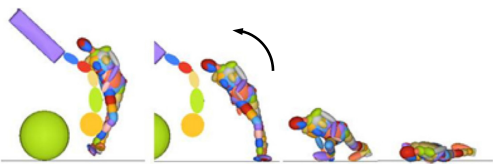
【挙動2】 歩行者の回転角は $90^\circ$ - $180^\circ$ 。頭部が最初に路面に接触。



【挙動3】 歩行者の回転角は $180^\circ$ - $270^\circ$ 。頭部が最初に路面に接触。



【挙動4】 歩行者の回転角は $270^\circ$ 以上。腰部か下肢が最初に路面に接触。

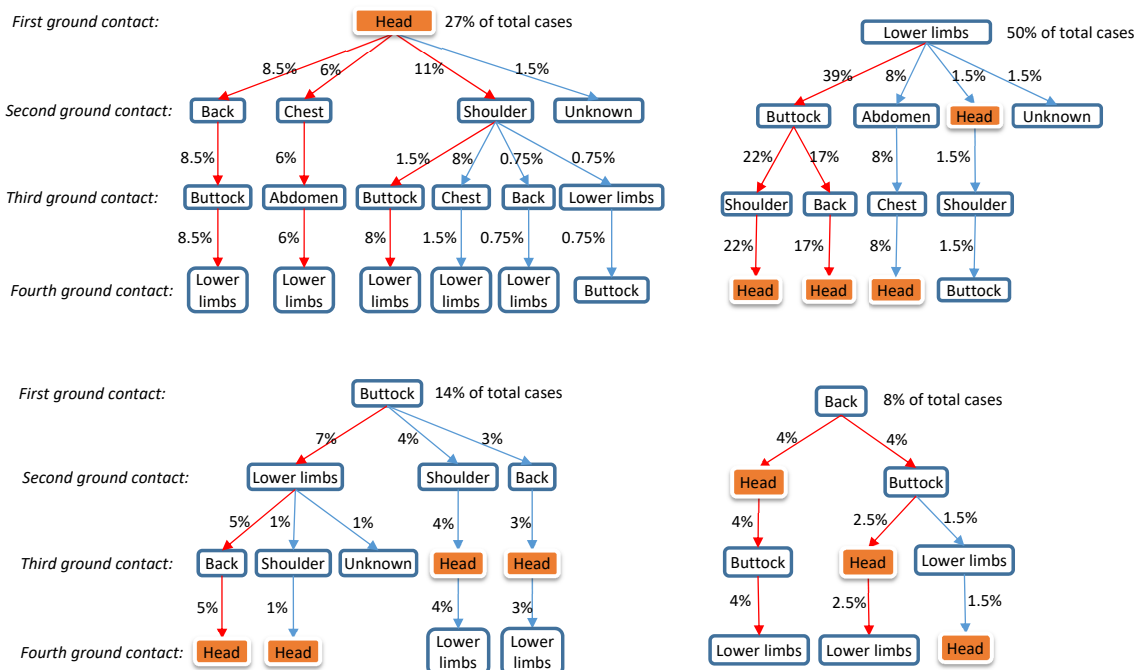


【挙動5】 前方押し倒し挙動であり、歩行者は車に向かって回転。

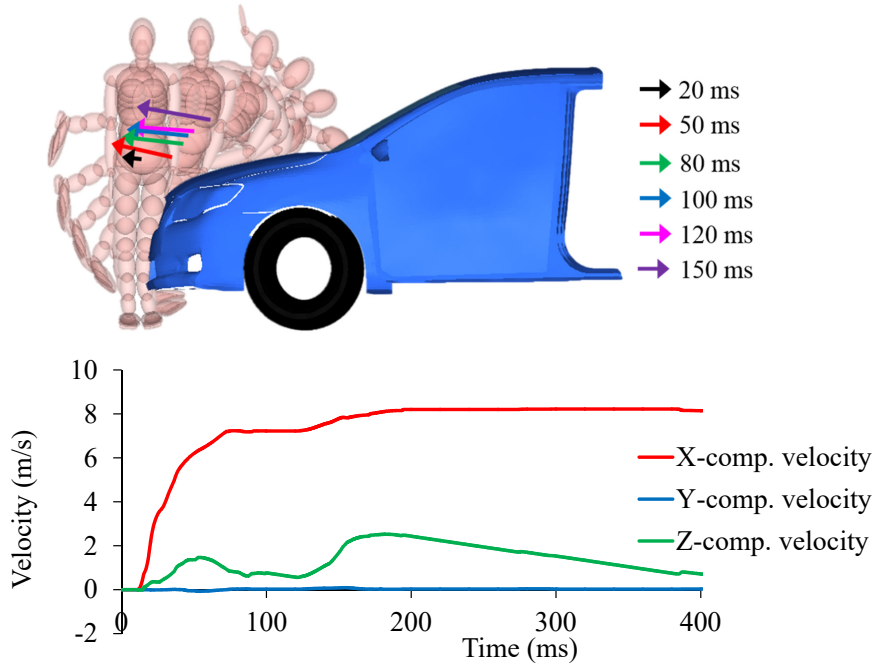


【挙動6】 前方押し倒し挙動であり、歩行者は車から離れる向きに回転する。

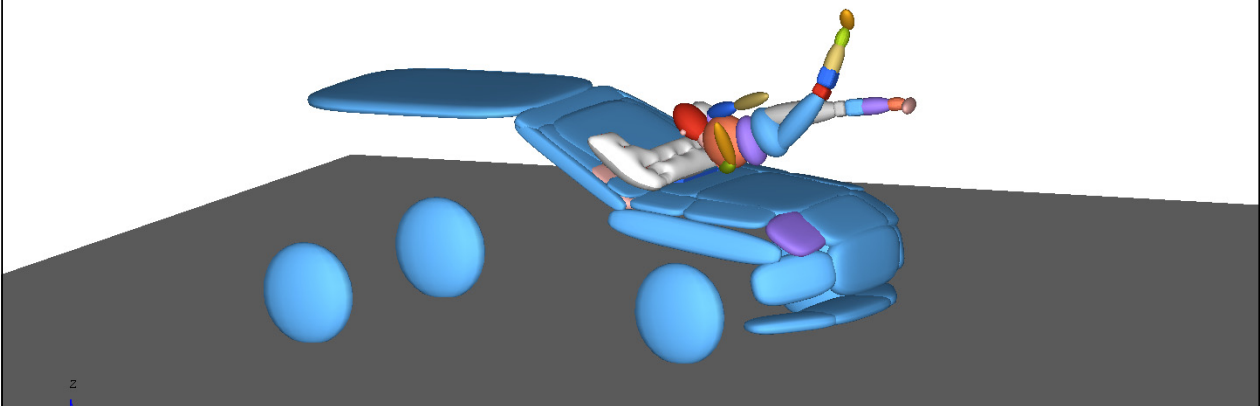
# 路面との接触部位（歩行者）



# 歩行者重心の速度変化

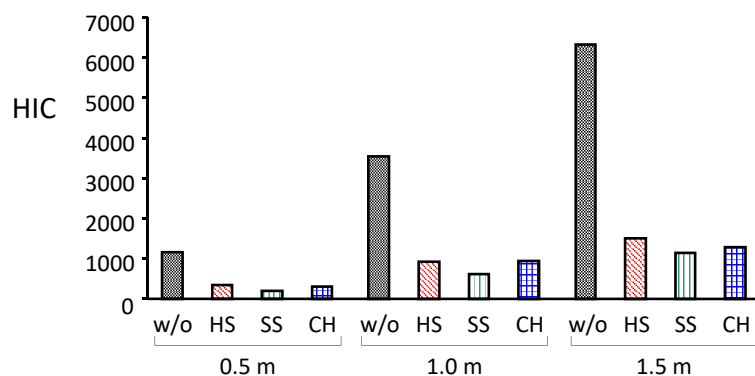
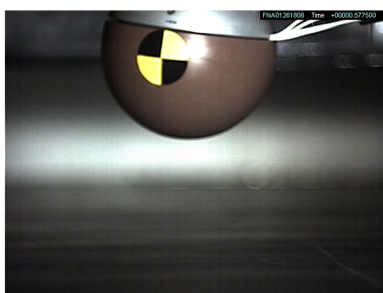
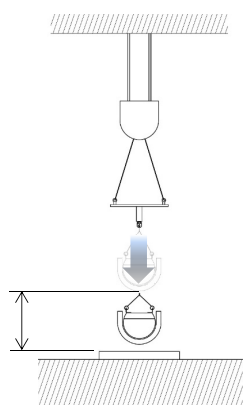


# 歩行者エアバッグによる路面落下挙動



# 3. ヘルメットによる頭部保護

## ヘルメットの効果 頭部落下試験



# ヘルメットの効果 車体打撃試験

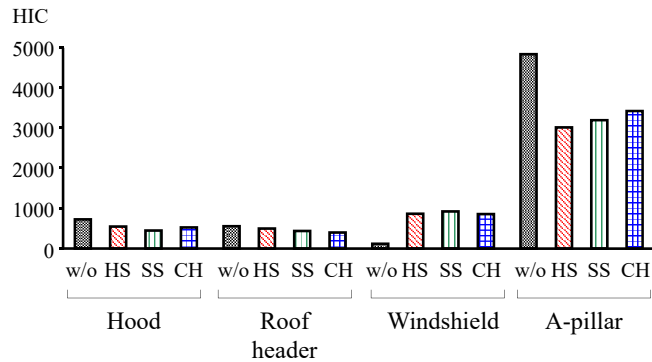
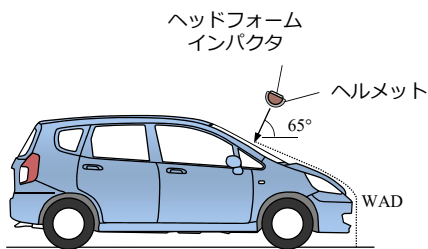


Hood

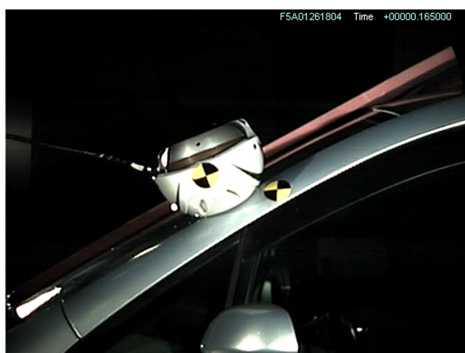
Roof header

Windshield

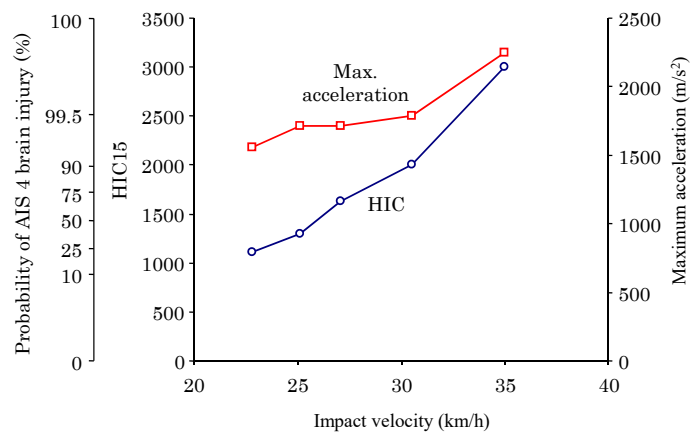
A-pillar



# Aピラー打撃試験 (ヘルメット)

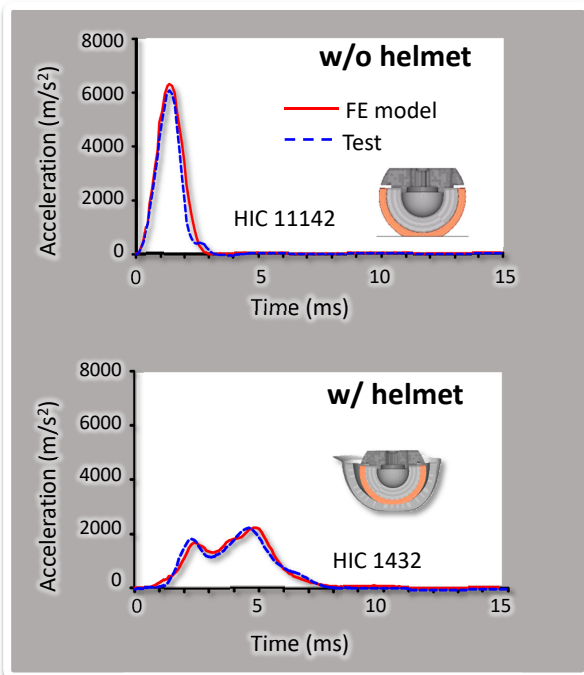


速度 22.8 km/h  
HIC 1107

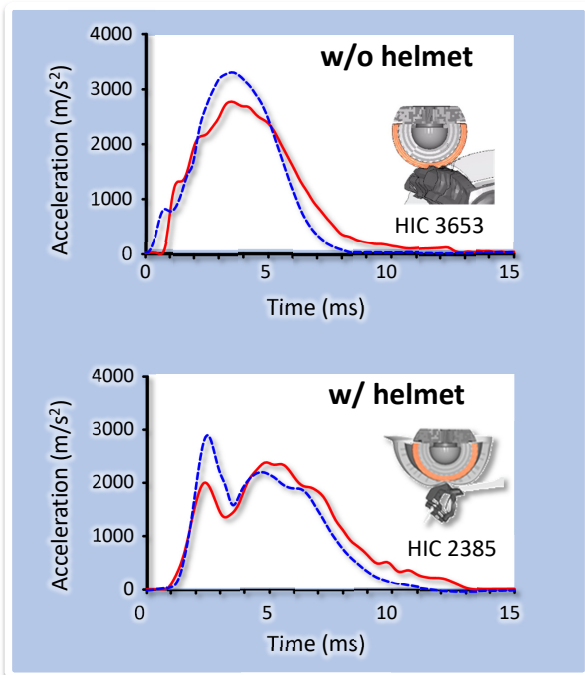


# ヘルメットの有無による頭部インパクト加速度

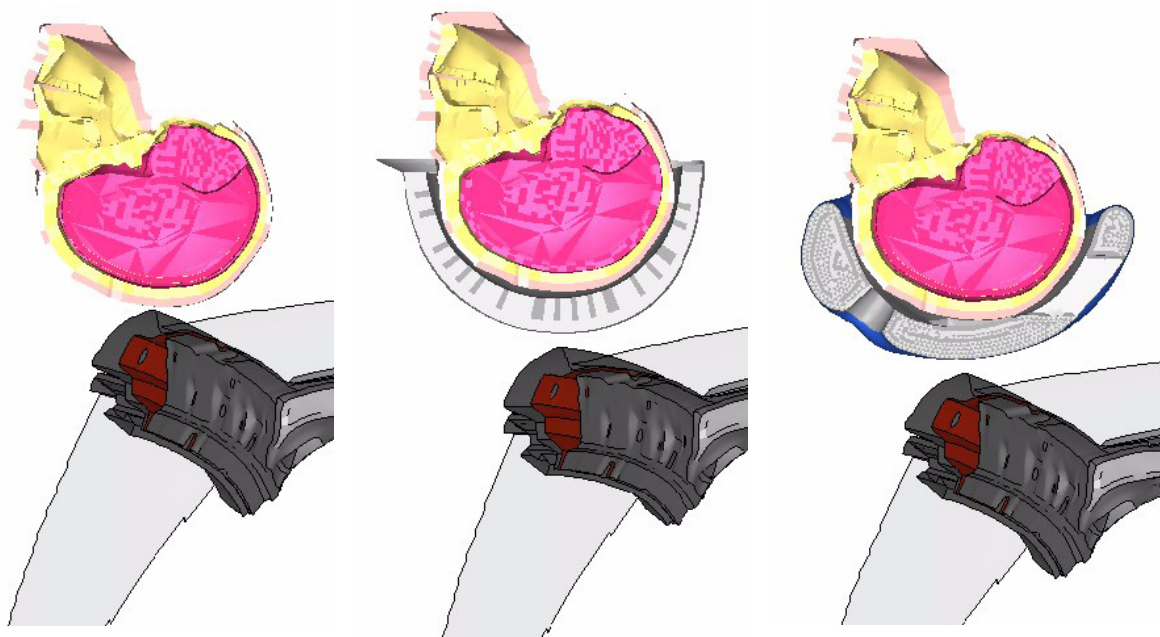
Drop on the Floor (20 km/h)



A-pillar Impact (35 km/h)



# 人体頭部単体モデルによるAピラー衝突

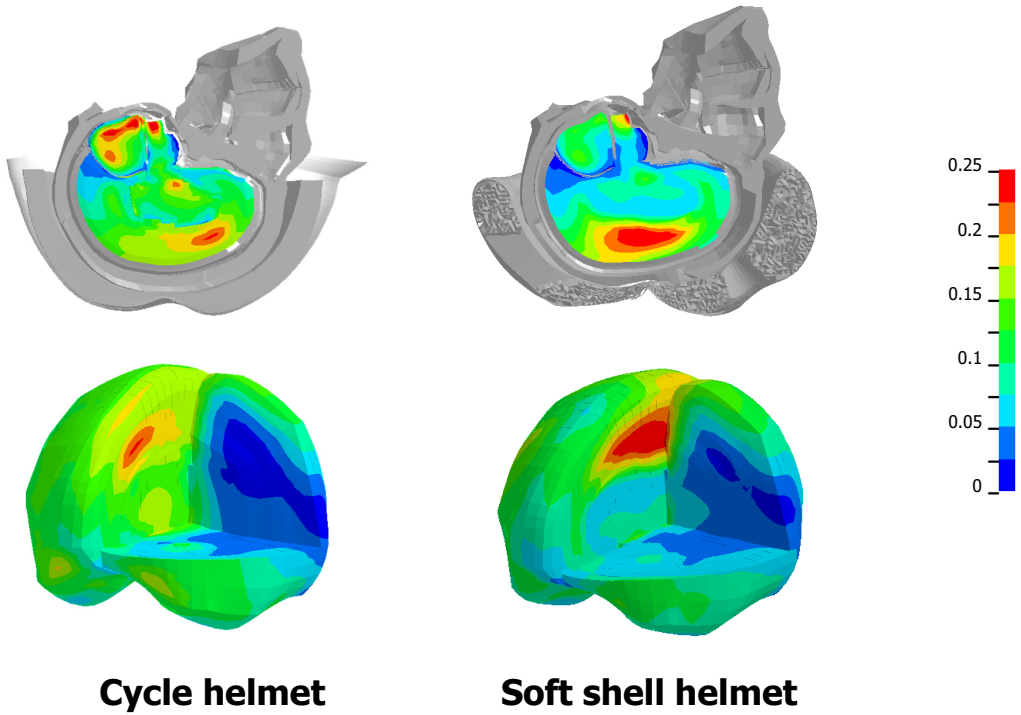


w/o helmet

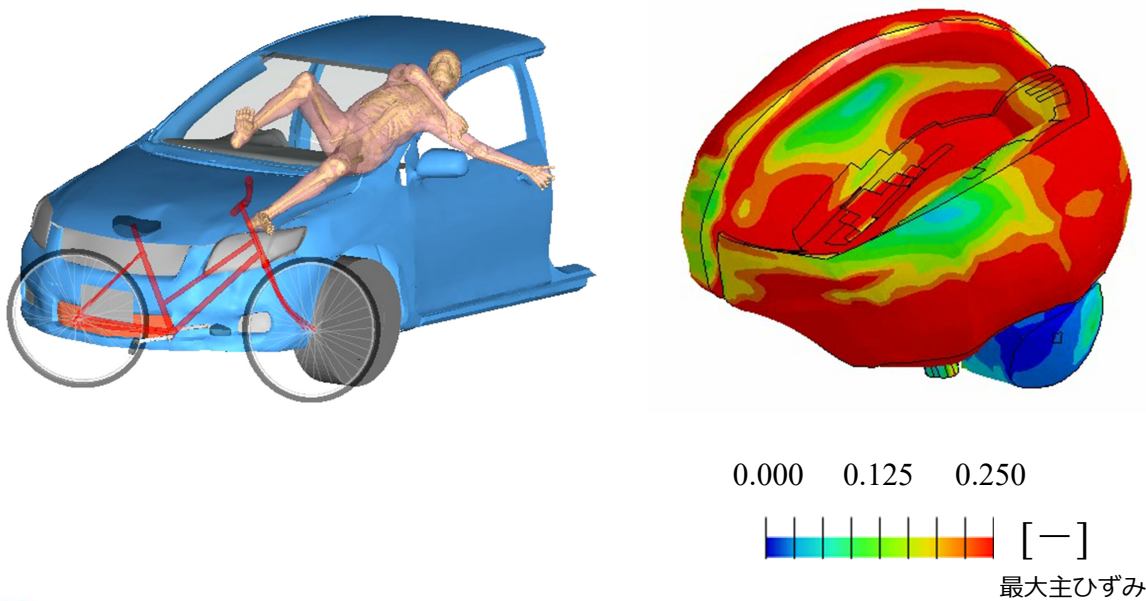
Cycle helmet

Soft shell helmet

# 主ひずみの分布

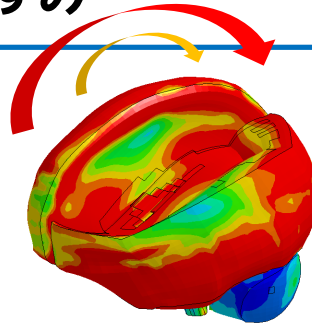
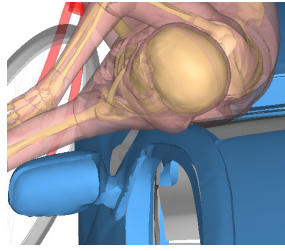


# 自転車乗員Aピラー衝突 有限要素解析

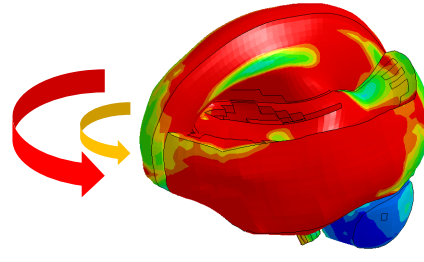
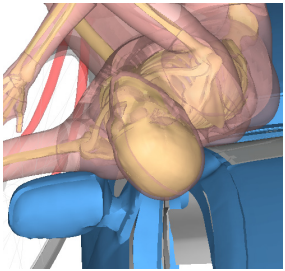


## 衝突時の脳ひずみ

頭部  
衝突前



頭部  
衝突後

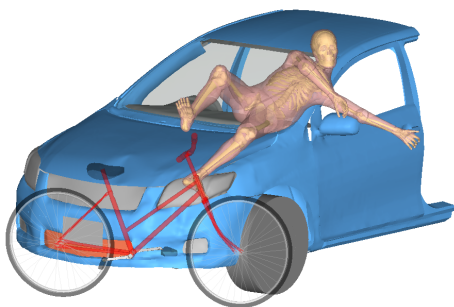


0.000 0.125 0.250



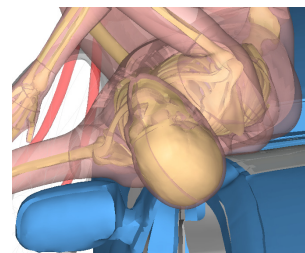
[一]  
最大主ひずみ 40

## 衝突時の脳損傷発生機序とヘルメットの効果



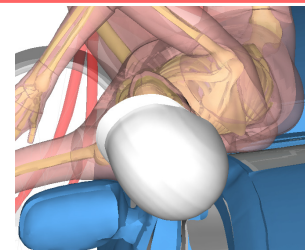
Aピラー衝突前  
頭部左右軸回転  
(脳ひずみ発生)

非着用



- 頭部上下軸回転により脳ひずみ発生

着用



- 衝撃吸収により頭蓋骨骨折防止
- 頭部上下軸回転により脳ひずみが発生し、脳損傷の軽減は困難

# 統合安全



## 統合安全による自転車乗員の保護

- 自転車用AEBによって衝突事故数の減少が見込まれる。
- 高性能のセンサーを用いても衝突回避できない自転車事故がある。
- 歩行者用エアバッグによる車体衝突からの頭部保護、およびヘルメット着用による路面衝突からの頭部保護によって、重篤な傷害を防止することができる。
- 予防安全と衝突安全の連携、安全教育によって大幅な死亡者数の減少が可能になると考えられる。