

路面 μ を考慮した 先読みブレーキ制御の研究

神奈川工科大学
工学研究科 機械システム工学専攻
井上・小宮研究室

1884008 島崎 達哉

社会的背景

近年、運転支援システムなどの搭載により自動車の安全技術が向上している。

- ✓ 2018年交通事故死者数は統計開始以来最少の3532人*1(前年より-162人)
- ✓ AEBS(Automated Emergency Brake System)の普及率*2も上昇している。

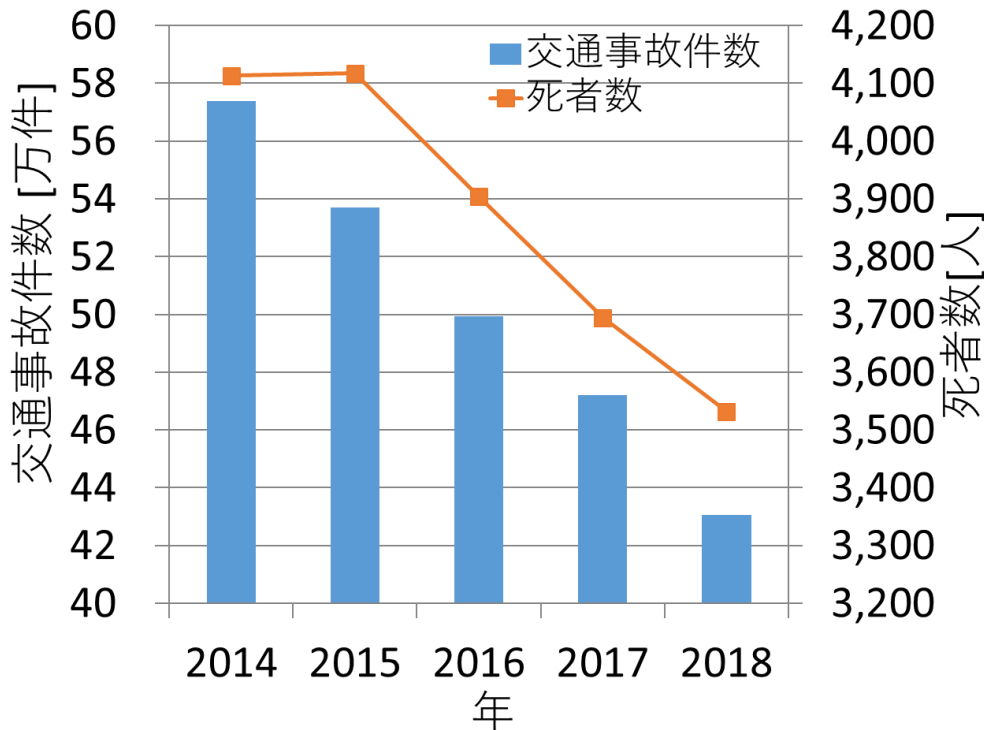


Fig. 1 Number of traffic accidents—number of deaths *1

*1警察庁「平成30における交通事故発生状況」より

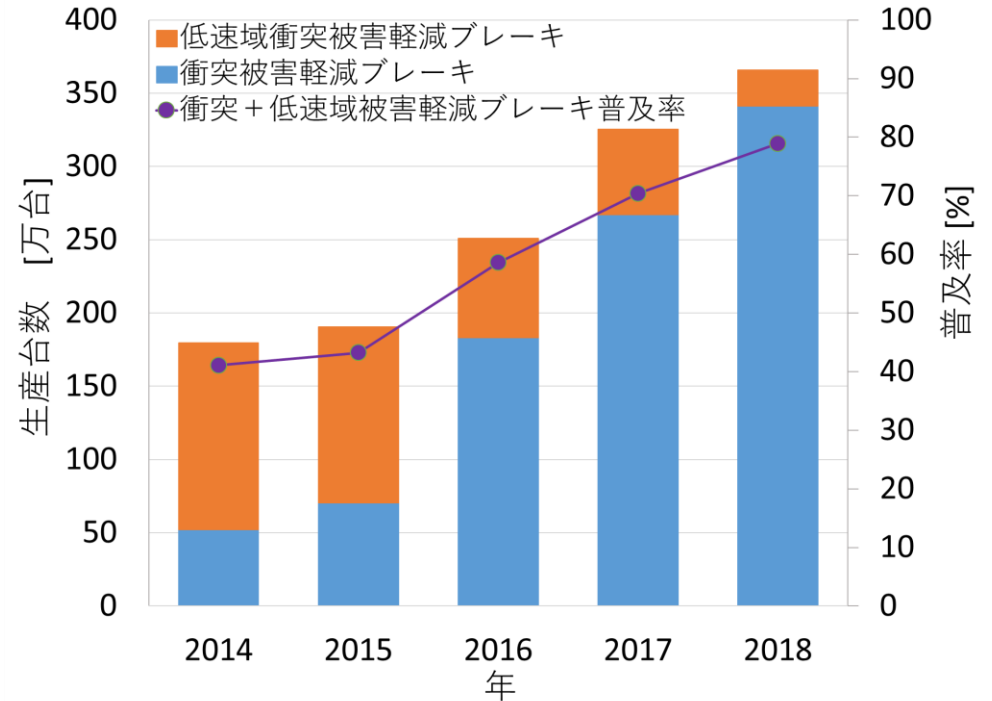


Fig.2 AEBS penetration rate *2

*2国土交通省「ASV技術普及調査」より

研究背景・課題

- ✓ 事故件数は減少しているが無信号交差点の事故は60%前後^{*1}で横ばいであり、特に**出会い頭事故**は後を絶たない。
- ✓ 雨天時の1時間当たりの事故件数は晴天時より**約4倍多い**^{*3}

現在のAEBSなどの事故回避システムだけでは効果が望めない課題がある

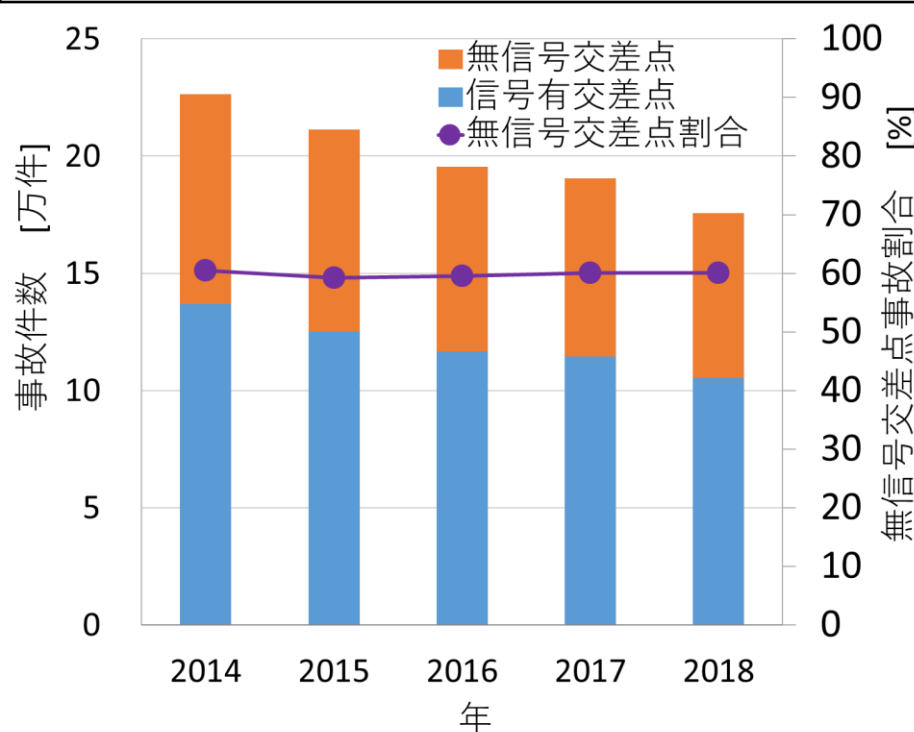


Fig.3 No signalized intersection accidents ^{*1}

*1警察庁「平成30年中の交通事故死者数について」より抜粋

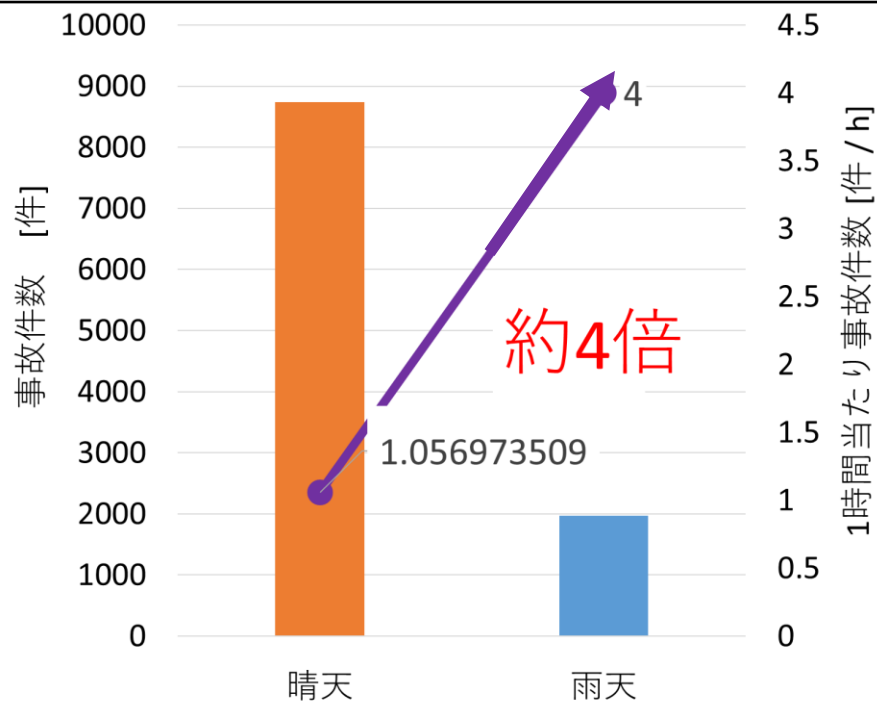


Fig.4 Clear / rainy accidents ^{*3}

*3首都高ドライバーズサイト、雨の日に事故が多発していますより抜粋

研究課題・目的

従来技術・研究の課題

✓ 現在のAEBSの課題

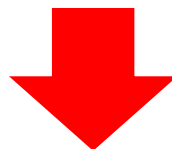
→ 死角からの急な歩行者飛び出しの状況ではカメラやセンサの検出が遅れ回避できない。
また、悪天候などの路面 μ が低い状況など考慮されていない

✓ 先読みブレーキに関する研究

→ 先読みブレーキ制御^{*4}による衝突回避をしているが路面 μ を考慮されていない



Fig.5 AEBS attention awakening ^{*4}



研究目的

- ✓ 無信号交差点付近の周辺環境と路面 μ を考慮した先読みブレーキ制御開始地点の算出
 - ✓ 無信号交差点付近の周辺環境と路面 μ を考慮した、適正通過速度の算出
- 以上から無信号交差点での出会い頭事故回避システムを提案する

^{*4}日本自動車工業会，クルマとユーザー，過信しないで！衝突被害軽減ブレーキより

着目している運転フェーズ

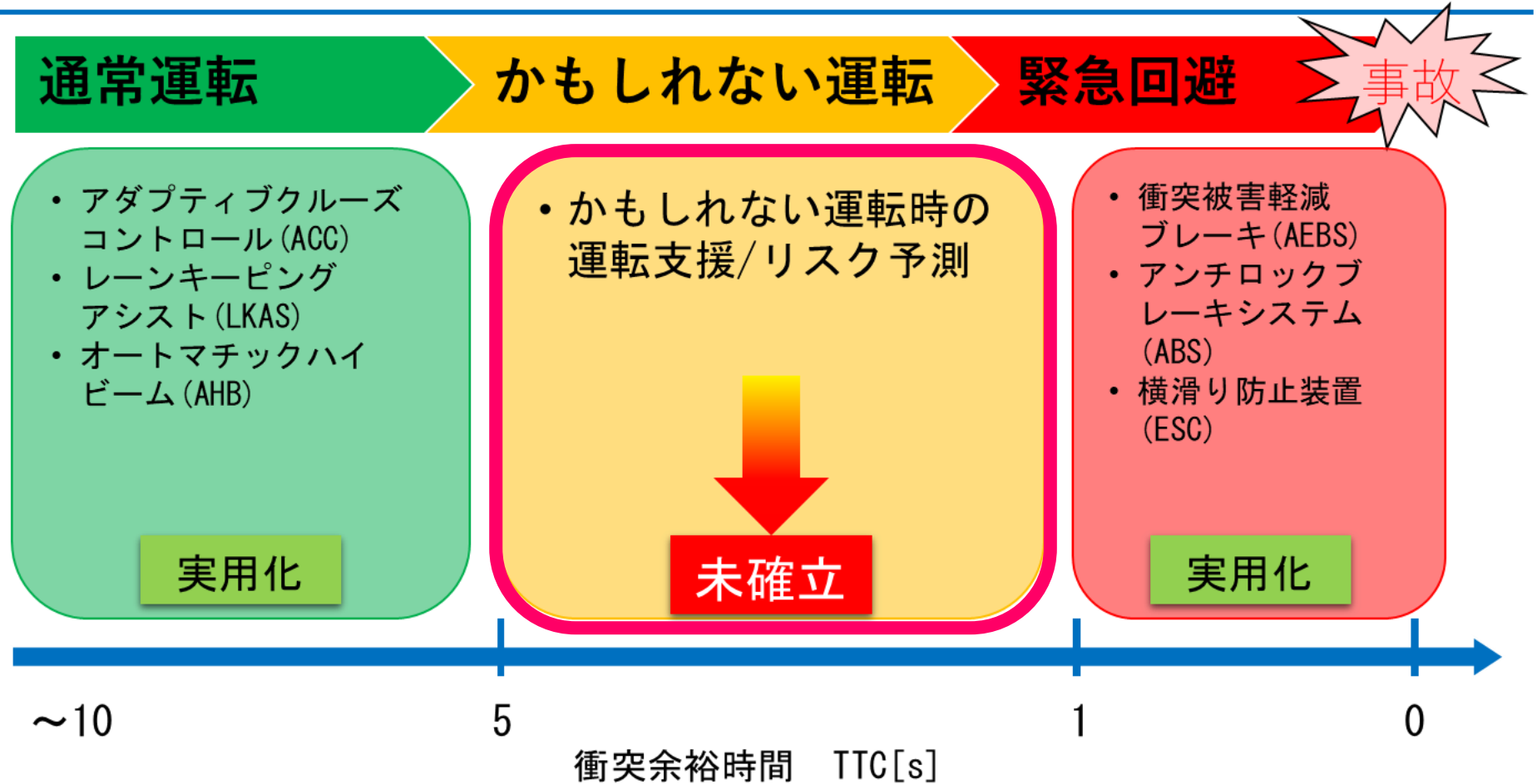


Fig.6 Operation safety phase

未確立なかもしれない運転フェーズに着目し
先読みブレーキ制御によるリスク低減を目指す

先読みブレーキ制御について

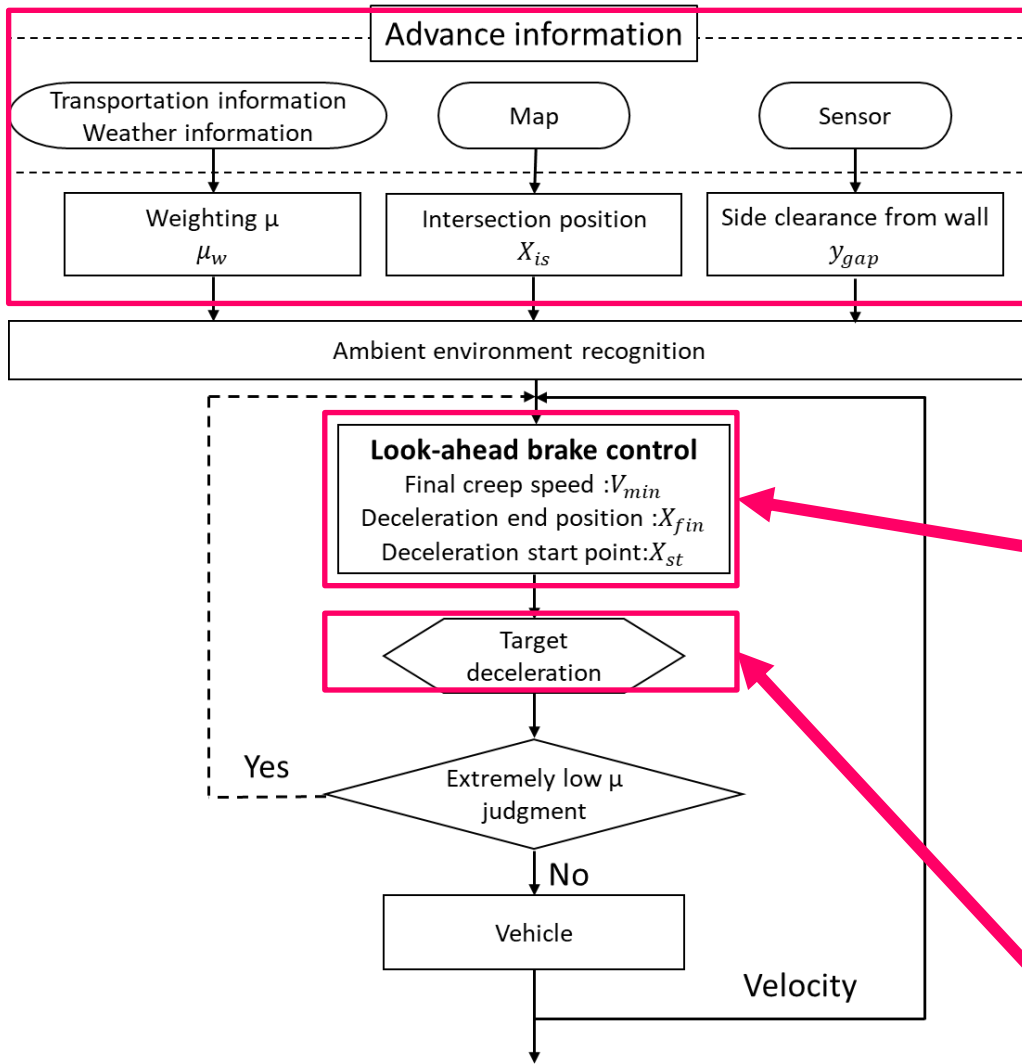
建物や塀など死角から飛び出してくる歩行者の飛び出すかもしれない歩行者の潜在リスクを予測し無信号交差点手前から減速させる制御である



Fig.7 Near miss data*5

*5東京農工大学ヒヤリハットデータベース(ID:334956)より

本制御ロジック概要



事前情報を基に

無信号交差点周辺環境に認識を行う

- 路面 μ
- 交差点位置 : X_{is}
- 車両と壁の側方間隔 : y_{gap}

得られた情報から,

路面 μ を考慮した先読みブレーキ制御の計算を行う

- 最終徐行速度 : V_{min}
- 減速終了位置 : X_{fin}
- 減速制御開始位置 : X_{st}

- 先読みブレーキ減速度 : a_{pbc}

Fig.8 Control logic

飛び出し歩行者と路面 μ を考慮した最大減速度

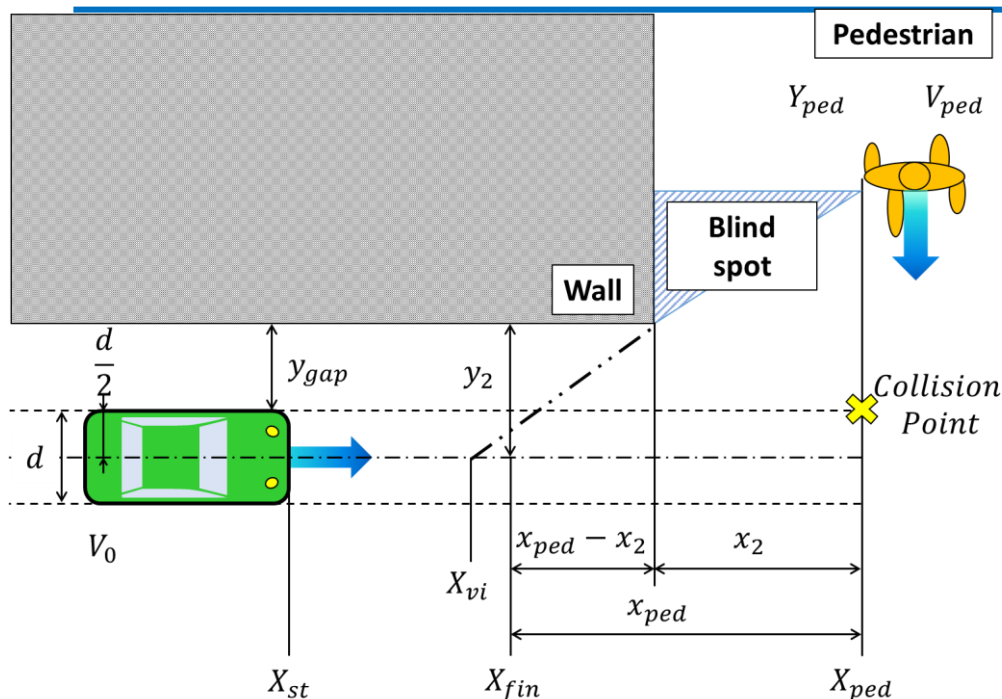


Fig.9 No signalized intersection

Table 1 Weighting factor

	x_1	x_2	x_3	x_4
Dry	0.87	0.05	0.04	0.04
Wet	0.10	0.79	0.06	0.05
Consolidation	0.02	0.03	0.80	0.15
Frozen	0.01	0.02	0.10	0.87

飛び出し歩行者と車両左前方が衝突位置と仮定する

- 歩行者とのTTC

$$T_{ped} = \frac{Y_{ped}}{V_{ped}} \quad (1) \quad T_{car} = \frac{X_{ped} - X_{fin}}{V_{min}} \quad (2)$$

- 重みづけ μ : μ_w

乾燥路 $\mu_1=0.80$ 湿潤路 $\mu_2=0.55$

圧雪路 $\mu_3=0.30$ 凍結路 $\mu_4=0.15$

4つの路面状態を仮定する

$$\mu_w = x_1\mu_1 + x_2\mu_2 + x_3\mu_3 + x_4\mu_4 \quad (3)$$

- 最大減速度: a_{max}

$$a_{max} = \mu_w \cdot g \quad (g = 9.81[\text{m/s}^2]) \quad (4)$$

路面 μ を考慮した減速開始位置算出

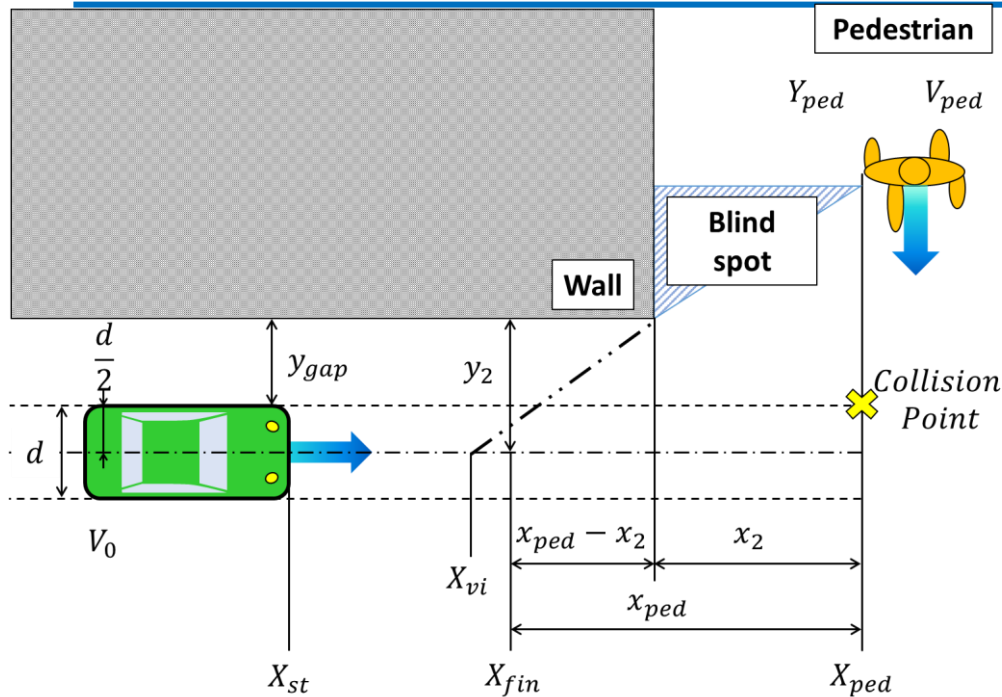


Fig.9 No signalized intersection

- 反応時間: τ_x
- 先読みブレーキ制御最大減速度 $a_{pbc} = -1.5[\text{m/s}^2]$

- 最大減速度: a_{max}

$$a_{max} = \mu_w \cdot g \quad (g = 9.81[\text{m/s}^2]) \quad (4)$$

- 最終徐行速度: V_{min}

$$V_{min} = a_{max} \left(-\tau_x + \sqrt{\tau_x^2 + \frac{2(X_{ped} - X_{fin})}{a_{max}}} \right) \quad (5)$$

- 減速終了位置: X_{fin}

$$X_{fin} = -V_{min} \cdot \tau_x - \frac{V_{min}^2}{2 \cdot a_{max}} + X_{ped} \quad (6)$$

式(4)~(6)から

- 減速制御開始位置: X_{st}

$$V_{min}^2 - V_0^2 = 2a_{pbc}(X_{st} - X_{fin})$$

$$X_{st} = \frac{V_{min}^2 - V_0^2}{2a_{pbc}} + X_{fin} \quad (7)$$

シミュレーション環境

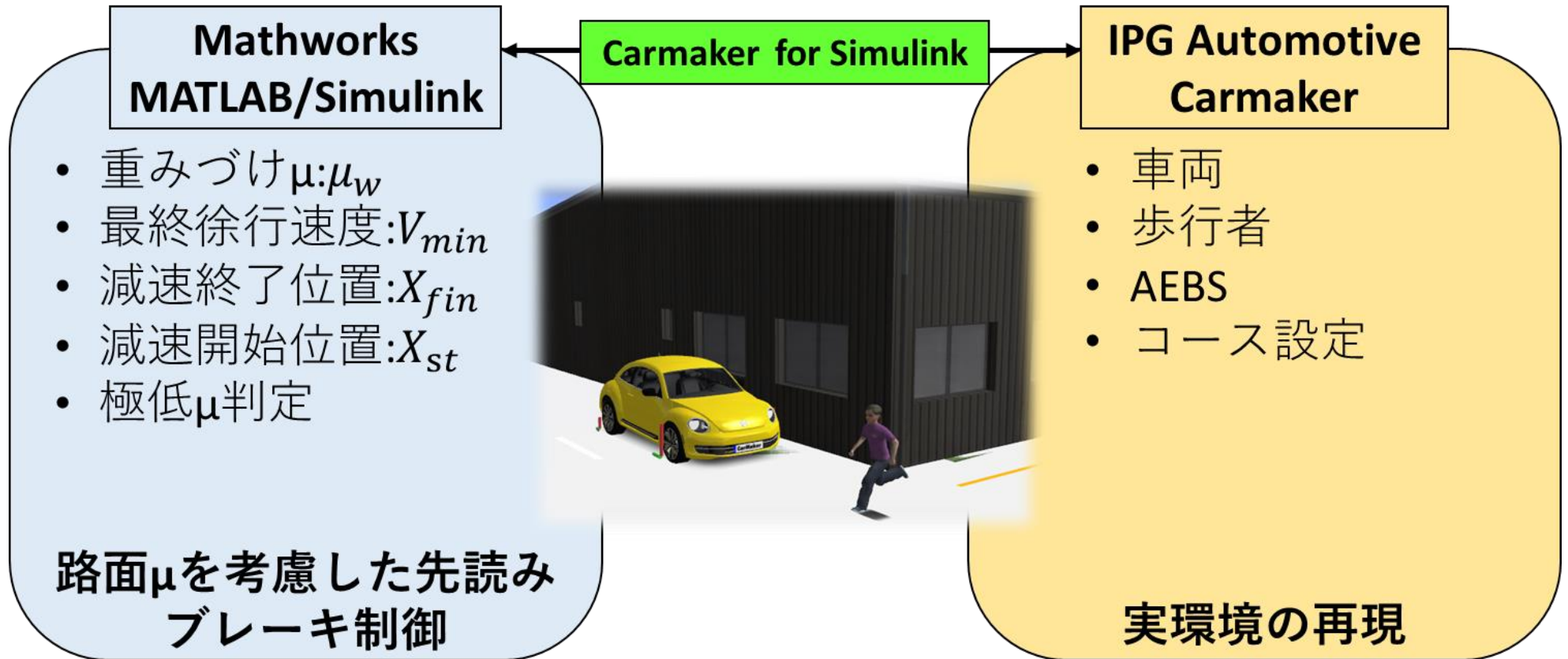


Fig.10 Simulation system configuration

より実環境に近い形でシミュレーション実験を行うためにCarmakerを使用した

シミュレーション条件設定

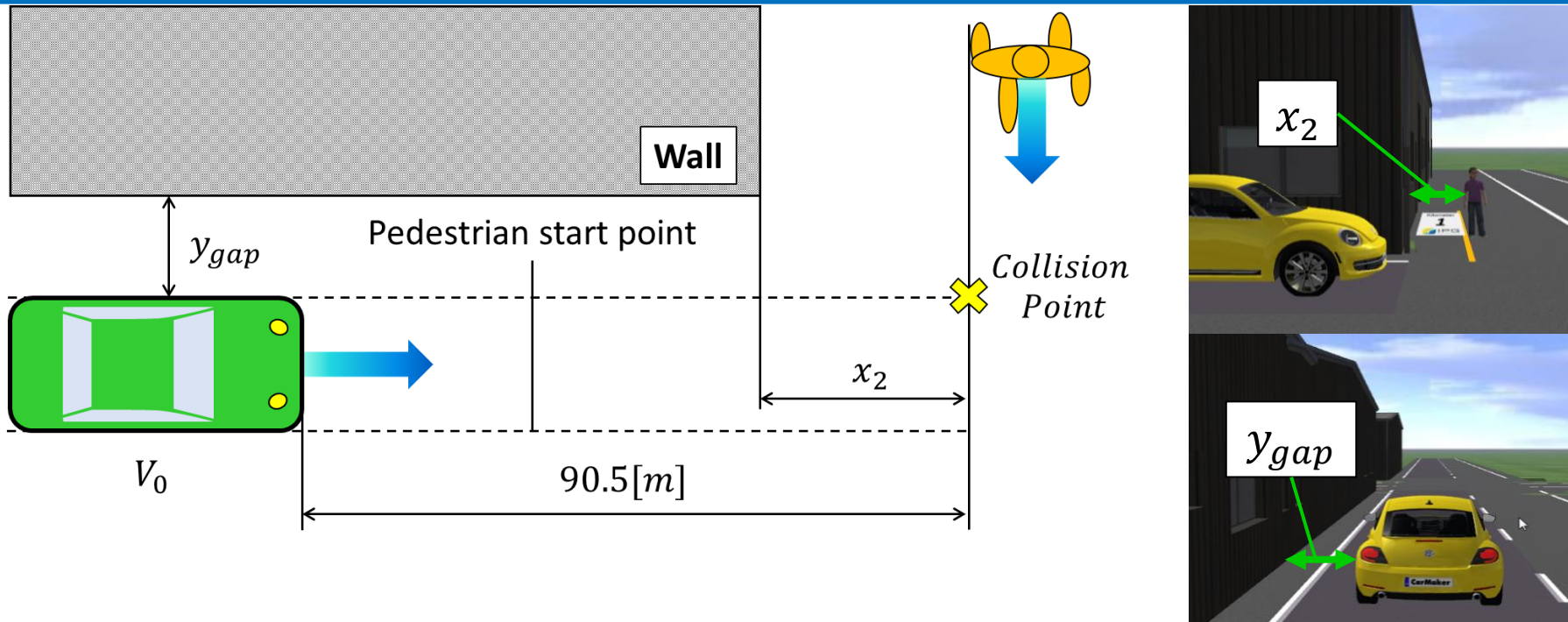


Fig.11 Course outline

- ・路面 $\mu=0.80$ (乾燥路相当), 0.55 (湿潤路相当), 0.30 (圧雪路相当), 0.15 (凍結路相当)
- ・初期速度 $V_0=40\text{[km/h]}$ ・歩行者速度 $V_{ped}=8\text{[km/h]}$ ・ $x_2=1.0\text{[m]}$
- ・ $y_{gap}=0.5\sim 3.0\text{[m]}$ まで 0.50[m] 刻みで変更させる
- ・歩行者飛び出し開始タイミング $TTC=0.80\text{[s]}$

シミュレーション結果と考察

AEBSのみ

路面 μ を考慮した先読みブレーキ制御



Fig.12 Simulation comparison

路面 μ を考慮した先読みブレーキ制御の効果により飛び出し歩行者との前後方向に対して余裕距離が生まれていることが分かる

シミュレーション結果と考察



シミュレーション結果と考察：各制御による速度比較

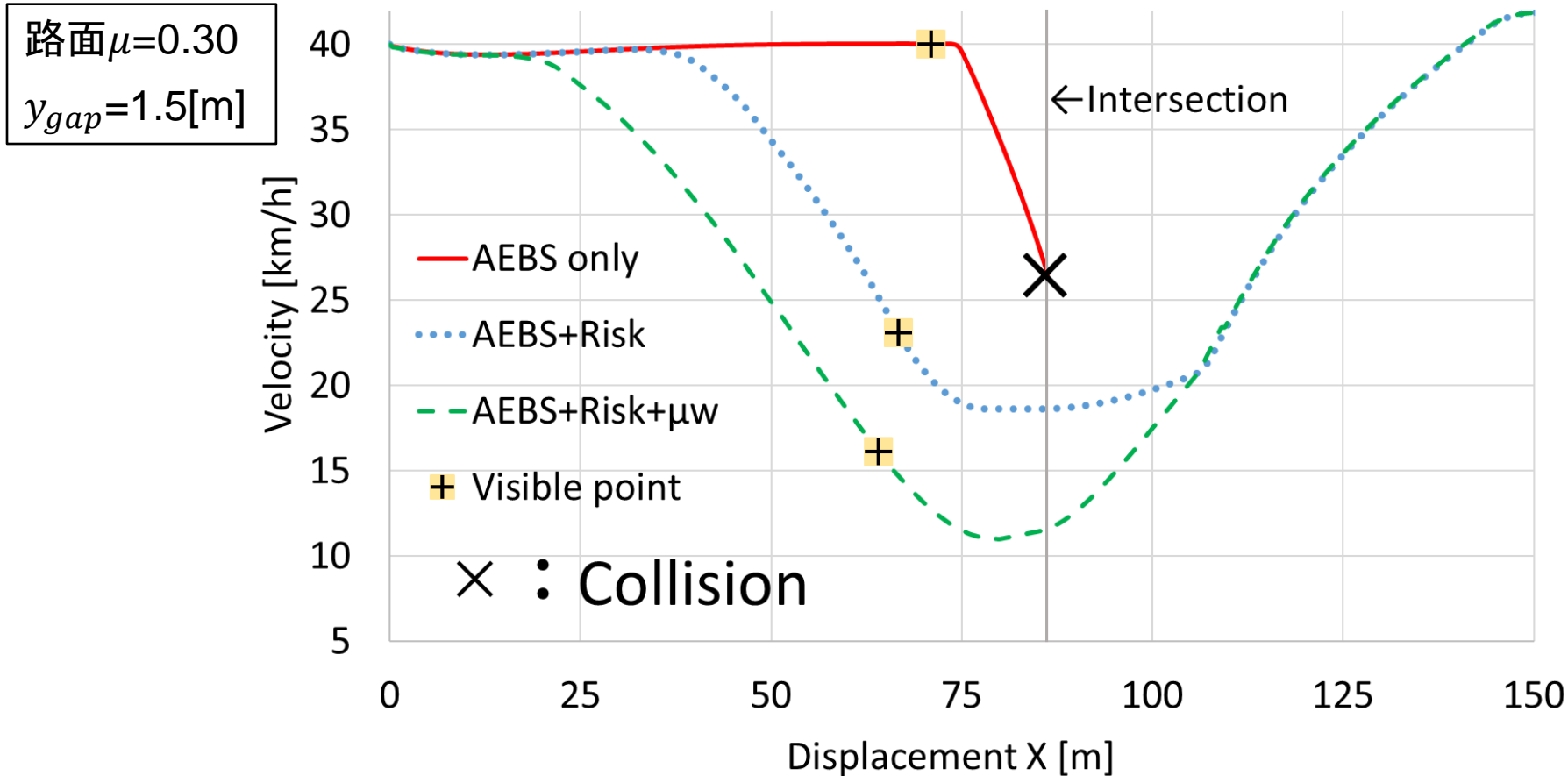


Fig.13 Control vehicle speed comparison

AEBSだけでは回避不可能だった状況で
先読みブレーキ制御により出会い頭事故を回避できたことが分かる。

シミュレーション結果と考察：各路面に対する速度比較

$y_{gap}=1.5[m]$

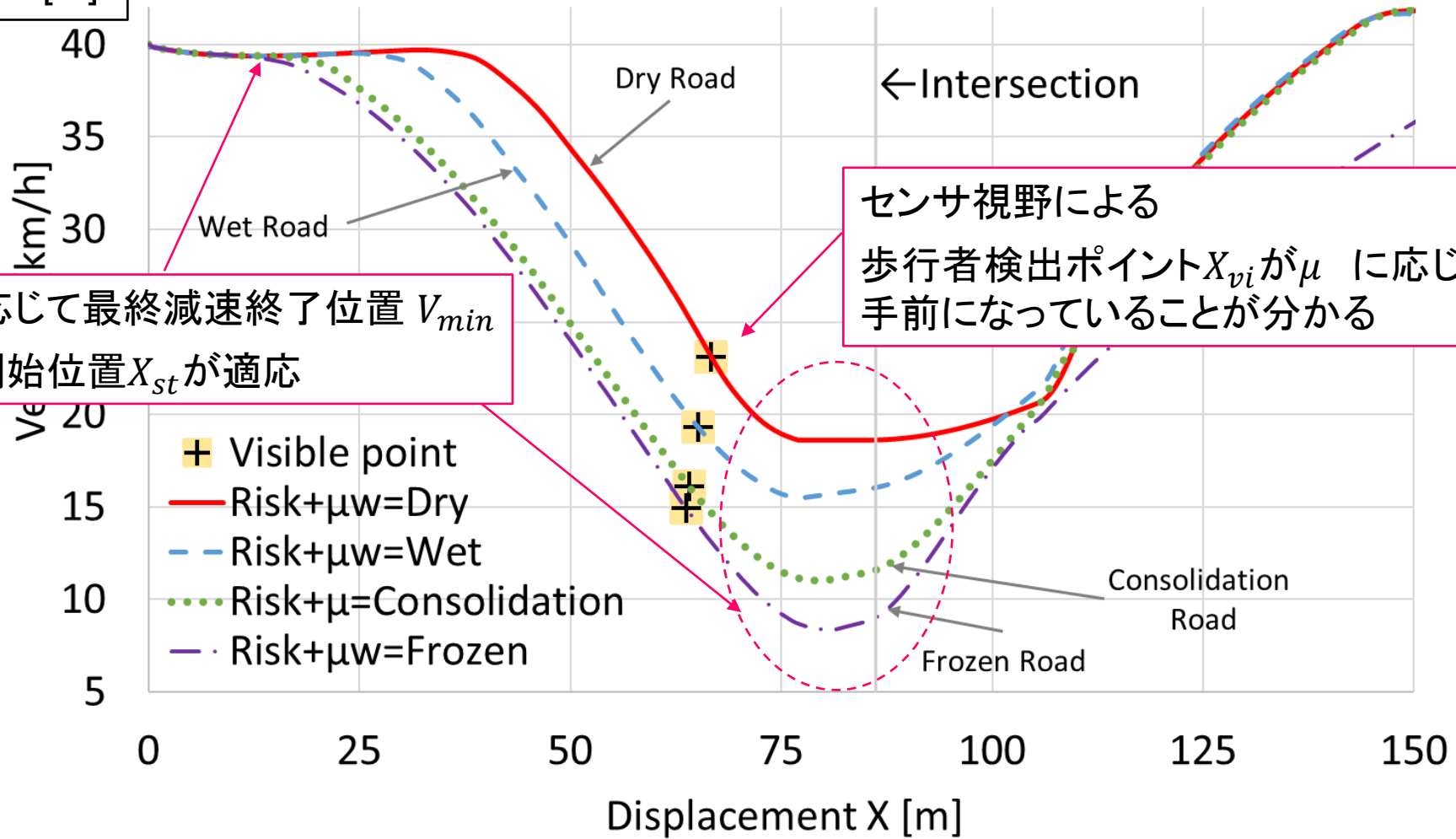
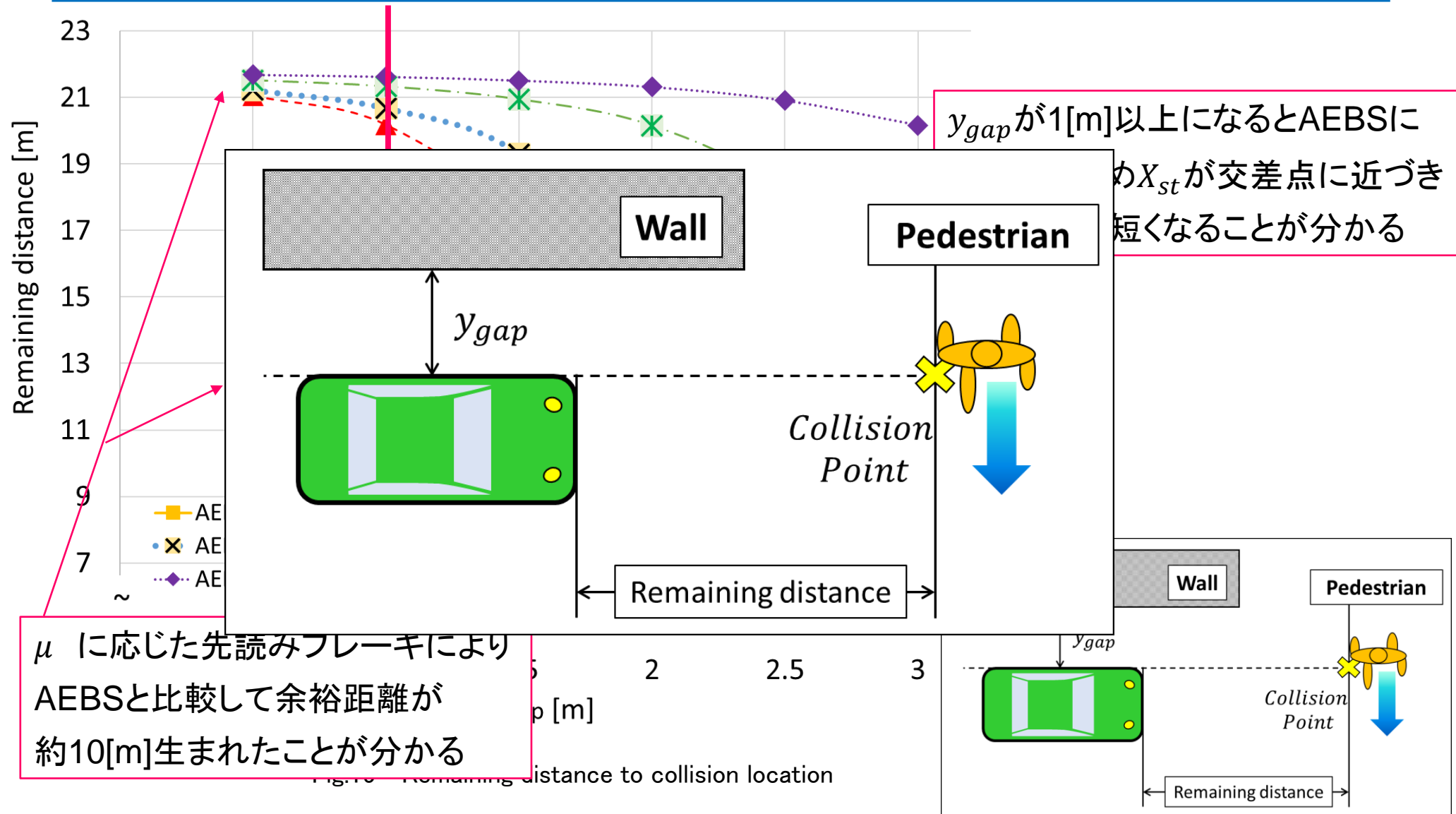
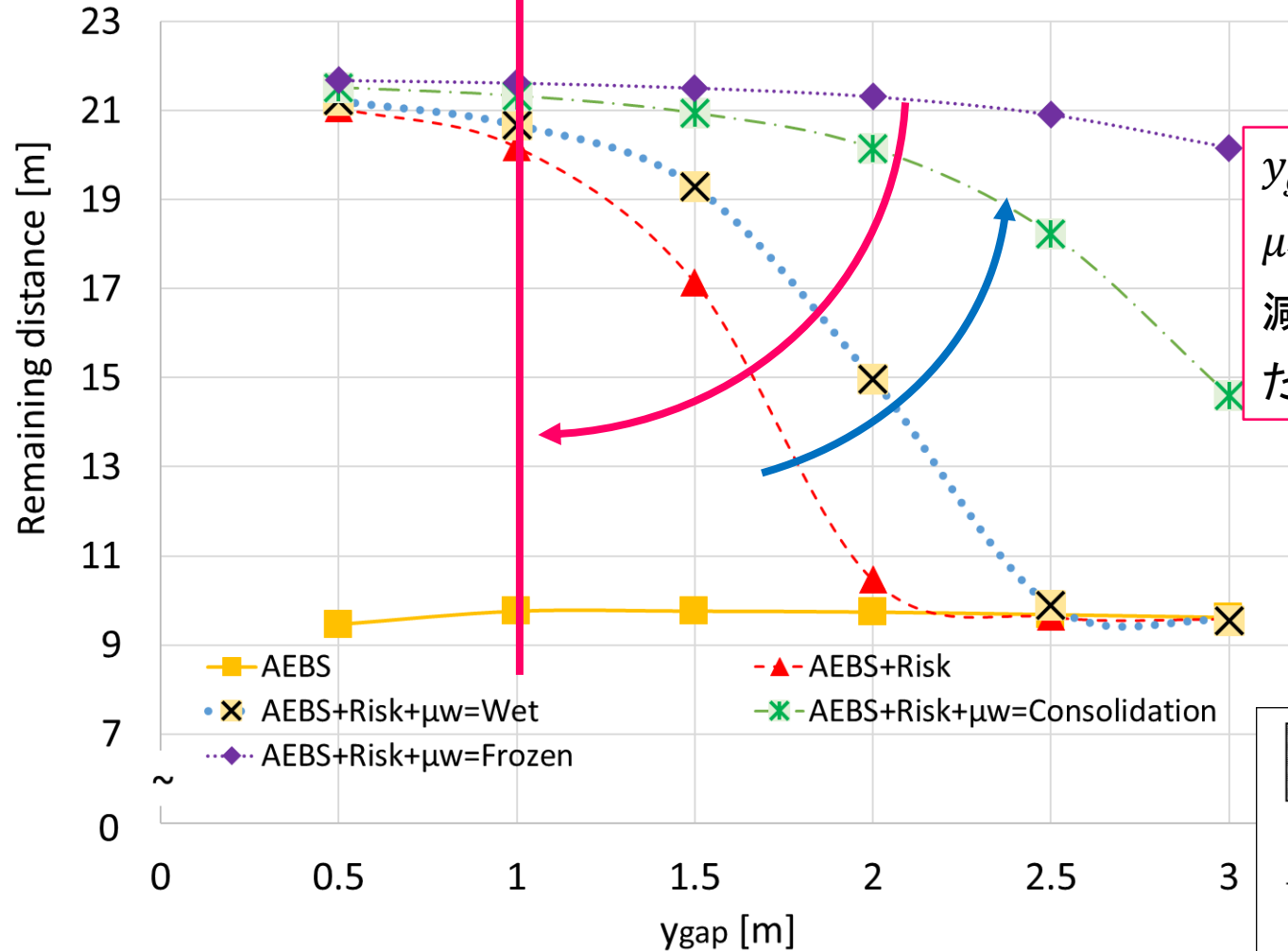


Fig.14 Road μ vehicle speed comparison

シミュレーション結果と考察： y_{gap} と余裕距離の関係

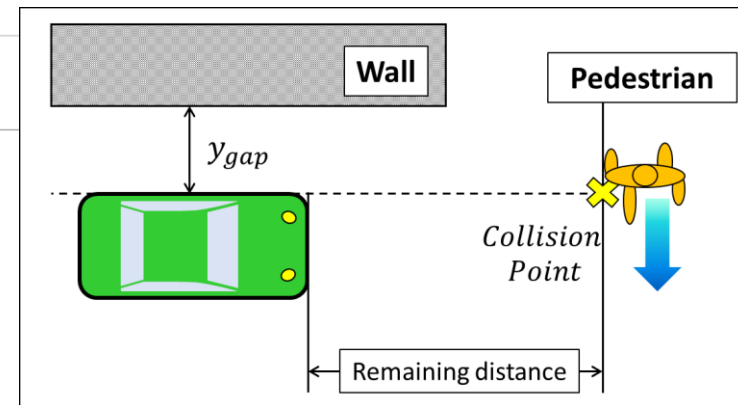


シミュレーション結果と考察： y_{gap} と余裕距離の関係



y_{gap} が広く路面が低 μ 路で
 μ_w の推定が高 μ だった場合は
 減速開始位置が交差点に近づく
 ために回避ができない結果となった

Fig.15 Remaining distance to collision location



まとめ

- ✓ 先読み減速制御における, μ_w に応じて最終徐行速度 V_{min} と減速開始位置 X_{st} の決定方法を構築することができた
- ✓ 無信号交差点通過時の路面 μ を考慮した先読みブレーキ制御アルゴリズムの糸口を得ることができた.

今後の課題

- ✓ y_{gap} に対する余裕距離の決定にはアルゴリズムのさらなる改良が必要である
- ✓ 天候などの曖昧情報から取り込み, 重みづけ μ をより実用的なものにする必要がある