

歩行者事故における車両対策の効果検証

井出 芳和

概要

この10年間、歩行者事故（人対車両事故）における死亡事故率（死亡事故件数／死傷事故件数×100）は年々減少してきたが、ここ2～3年は変化が少なく下げ止まり状態にあり、今後の更なる減少に向けては、その減少メカニズムを解明し、注力すべきポイントを明確にする必要がある。本研究では、車両年式毎の事故データを比較分析することにより、死亡事故率減少メカニズムの解明を試みた。車両対策の効果検証に加え、衝突速度や歩行者属性の変化にも着目して分析を実施し、以下の結論を得た。

- ① 歩行者の死亡事故率が年々減少してきた主要因は危険認知速度（回避行動前の速度＝走行速度）の低下であり、特に新型車が関与する事故では速度が低く、その使い方や走行環境の特徴に起因しているものと思われる。また、耐性の低い高齢歩行者の関与事故増加が死亡事故率減少量の目減り要因となっている。
- ② 車両対策により歩行者頭部保護性能は着実に向上しているが、「高い保護性能を持つ車両がまだ少ない」「加害性の高い部位の対策が不十分」「路面との2次衝突に対しては未対策」であることから、全体の死亡事故率減少への寄与は不十分。
- ③ 更なる死亡事故率減少に向けての注力ポイントは、「衝突速度の低減」と「衝突相手の加害性低減」。前者に関しては、車両の予防安全技術による歩行者認知や自動制動、道路構造や信号機制御による歩車分離、教育や取締り強化による無理な横断や飛び出しの抑制など、後者に関しては、車両のAピラー部、カウル部、フェンダー部対策強化、高齢化による歩行者耐性低下も考慮した対策、路面との2次衝突軽減のための歩行者挙動コントロールや落下防止技術などへの取り組みが必要。

1 背景

図1に1997年から2007年までの歩行者事故件数（死傷事故件数）の推移を示す。10年間で7%減少しているが、その傾向はほぼ横ばいである。一方、図2に示す死亡事故件数では、右下がりな推移し10年間で27%減少している。この結果、図3の死亡事故率は10年間で21%減少しているが、ここ2～3年は変化が少なく、下げ止まり状態にある。

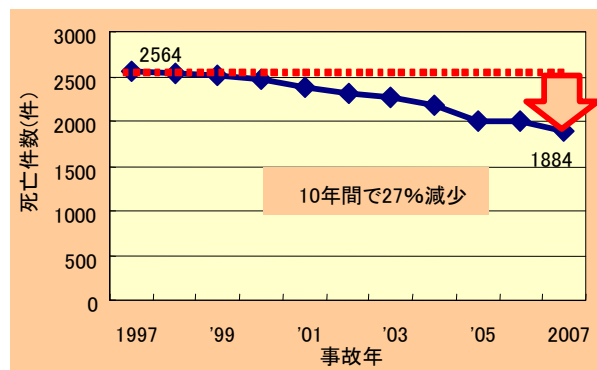


図2 歩行者死亡事故件数推移

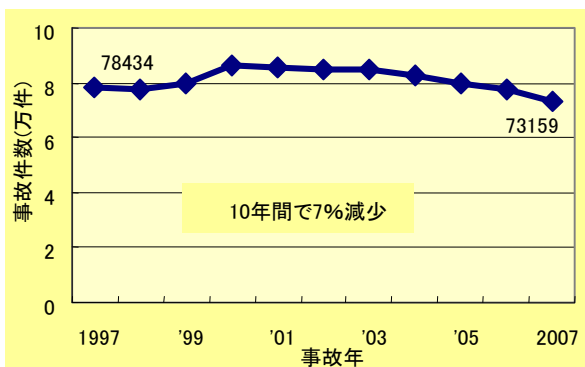


図1 歩行者事故件数推移

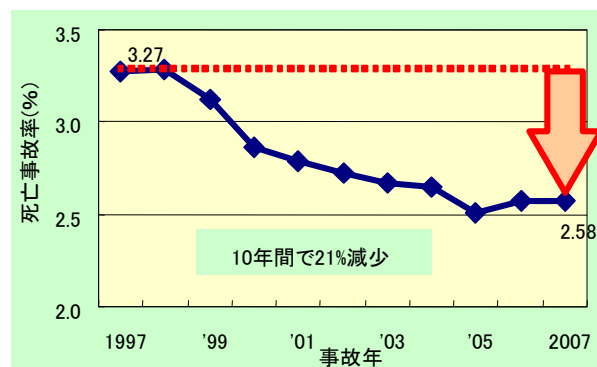


図3 歩行者死亡事故率推移

図4に2007年の交通事故件数の内訳を示す。ここで歩行者事故の占める割合は9%に過ぎないが、図5の死亡事故件数では34%を占めるため、図6の死亡事故率は、車両単独事故に並ぶ高い値を示している。また、死亡事故率の推移を比較すると図7に示すように、車両単独事故、車両相互事故では、この10年間で約半減しているのに対し、歩行者事故では減少が緩やかであることがわかる。

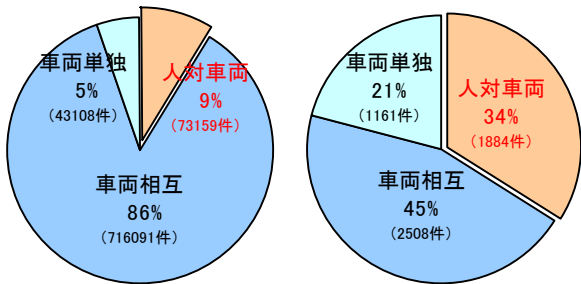


図4 事故類型別事故件数 (2007年) 図5 事故類型別死亡事故件数 (2007年)

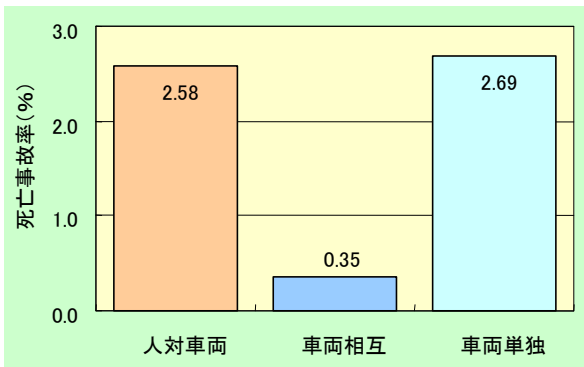


図6 事故類型別死亡事故率(2007年)

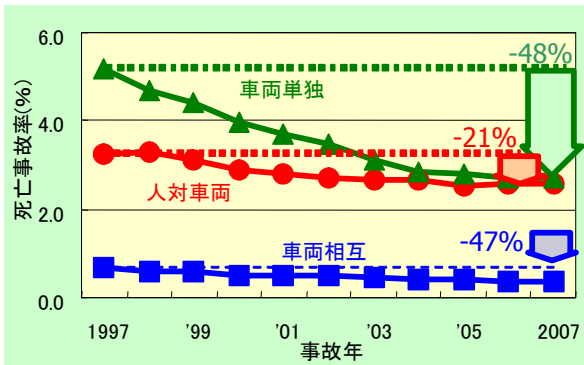


図7 事故類型別死亡事故率推移

以上より、今後の更なる交通死亡事故削減に向けては、歩行者事故の死亡事故率削減への取り組みが極めて重要であり、効果的な施策を打つためには、『なぜ歩行者の死亡事故率が減少してきたか?』そのメカニズムを解明し、今後注力すべきポイントを明確にする必要がある。

2 歩行者死亡事故率減少の要因

要因としては、歩行者の傷害程度軽減と救命率向上があり、前者については、①衝突速度低下、②歩行者の耐性向上、③衝突部の加害性低下、後者については、④救急救命体制整備・技術向上などが考えられる。

本研究では、まず、車両対策の効果を含む③の寄与度を分離すべく、同事故年における新旧車両事故を比較した。

分析対象は、新旧車両を比較するため、年式情報のある車両が関与する事故とした。これにより、原付や軽車両など年式情報のない車両を当事者とする事故が対象外となるが、図8～10に示すとおり、全事故件数の80%以上、死亡件数の90%以上をカバーし、10年間の件数推移も類似していることから、本分析により、全歩行者事故における死亡事故率減少のメカニズムを推定可能と考えた。

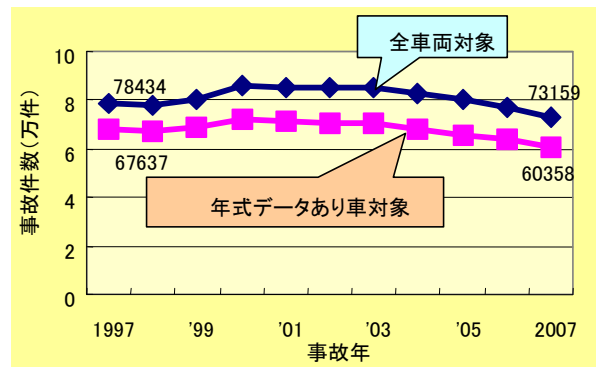


図8 年式データあり車の事故件数推移

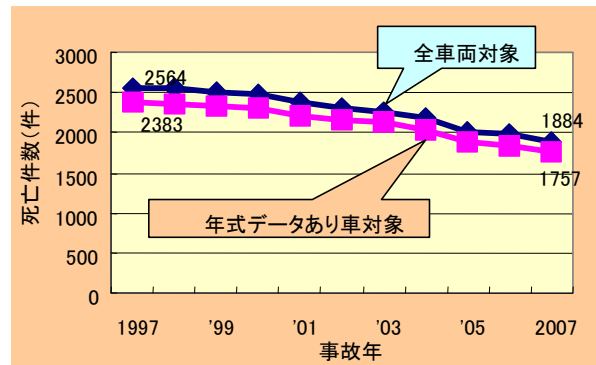


図9 年式データあり車の死亡事故件数推移

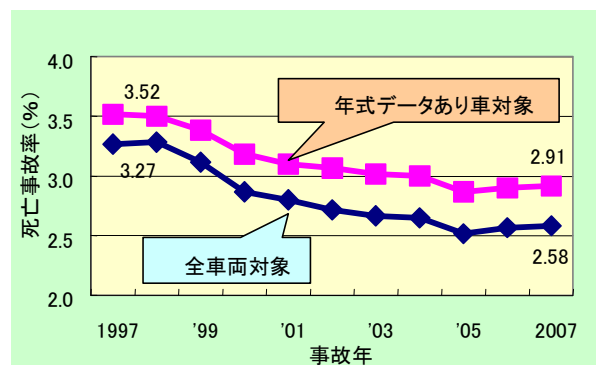


図10 年式データあり車の死亡事故率推移

図11に分析結果を示す。どの事故年においても、新型車ほど死亡事故率が低くなっていることがわかる。また、図12には年式毎の死亡事故率推移を示すが、同年式車の死亡事故率は年々増加していることがわかる。

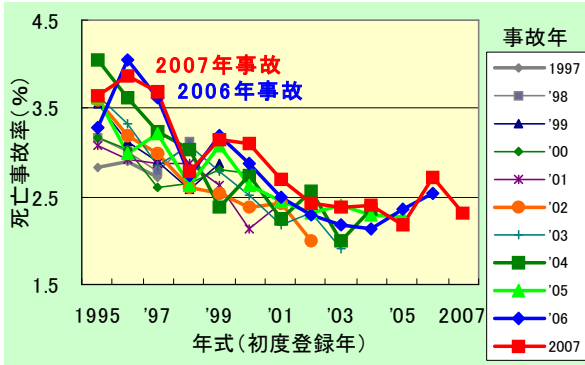


図11 年式別事故年別死亡事故率

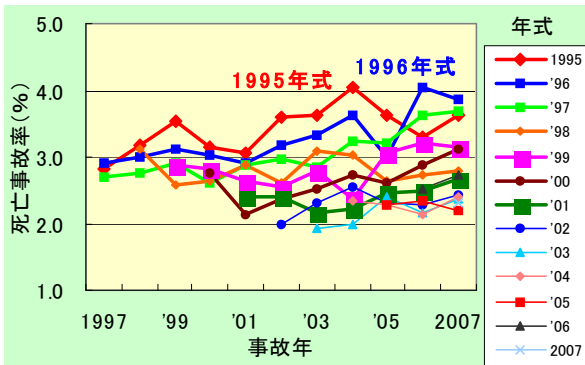


図12 年式別死亡事故率推移

以上より、歩行者事故において死亡事故率が減少してきたメカニズムは、図13に示すとおり、『同年式車の死亡事故率は年々増加しているものの、毎年導入される新型車の死亡事故率が低いため、全体の死亡事故率は減少した』ことが明らかとなった。

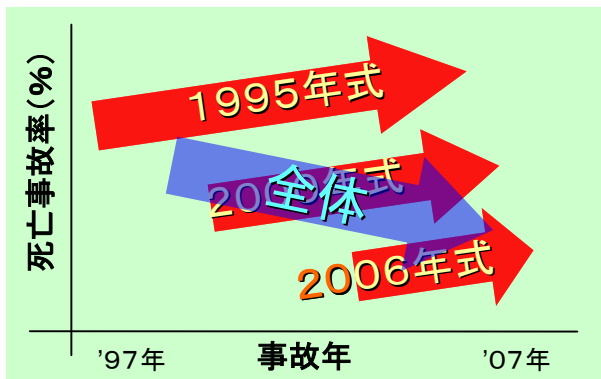


図13 死亡事故率減少メカニズム

それでは、『なぜ同事故年において、新型車ほど死亡事故率が低いのか？』そして、『なぜ同年式車における死亡事故率は増加しているのか？』

次に、この2つの疑問に答えるべく分析した。

2-1 新型車ほど死亡事故率が低い要因

考えられる要因は、①衝突速度が低い、②歩行者の耐性が高い、③衝突部の加害性が低いの3つ。①に関しては、危険認知速度、ブレーキ性能、②に関しては、歩行者性別、年齢、衝突方向、損傷部位、③に関しては、加害部位、車両種別、車両形状、車両対策レベルなどが関与する。そこで、各要因について、『死亡事故率に影響を与えるか？』『年式間で差があるか？』を確認した。

まず、①衝突速度について、図14に危険認知速度と死亡事故率の関係を示す。速度が高いほど死亡事故率は高く、30km/h以下では2%に満たない死亡事故率が、40km/h台で9倍、60km/h台では28倍にも高くなる。図15には年式毎の速度構成を示す。新型車ほど低速域の事故比率が高くなっており、速度構成の年式差は『新型車ほど死亡事故率が低い』要因となり得ることがわかる。

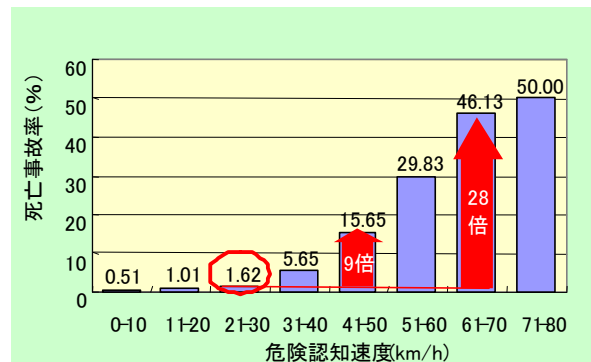


図14 速度別死亡事故率(2007年)

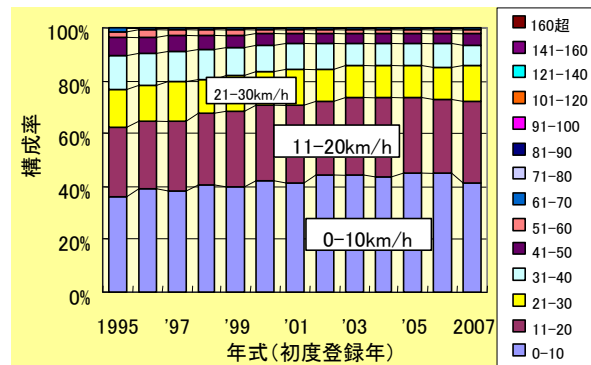


図15 年式別速度構成(2007年)

次に、②歩行者耐性について、**図 16** に歩行者年齢層と死亡事故率の関係、**図 17** に年式毎の歩行者年齢構成を示す。歩行者が高齢になるほど死亡事故率が高く、若干ではあるが新型車の事故で高齢歩行者の比率が低くなっている。よって、歩行者年齢構成の年式差も『新型車ほど死亡事故率が低い』要因となり得る。

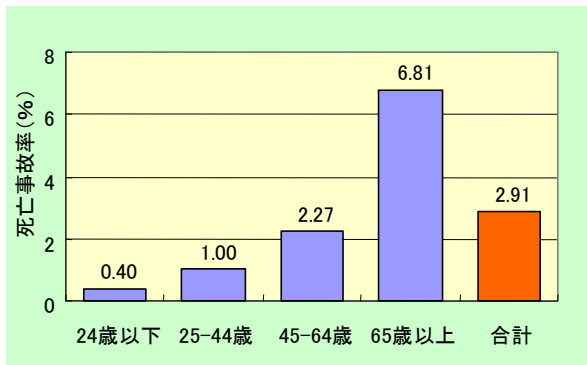


図16 歩行者年齢層別死亡事故率(2007年)

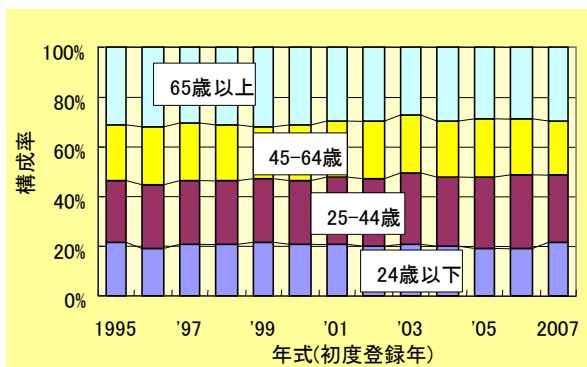


図17 年式別歩行者年齢構成(2007年)

③衝突部の加害性について、**図 18** に車両種別と死亡事故率の関係、**図 19** に年式毎の車種構成を示す。死亡事故率は大型 > 二輪 > 軽自動車 > 普通の順に高く、年式間では明確な傾向はないものの軽自動車と普通の比率に差がある。よって、車種構成の年式差も死亡事故率変動要因となり得る。

なお、「大型」は平成 18 年交通統計分類に基づく「政令大型」「大型」「特殊車(大型)」とし、「普通」は同分類に基づく「普通車」とした。

この他、**表 1** に示すとおり歩行者の性別、衝突方向(事故類型)、損傷主部位、加害部位、車両形状が『死亡事故率に影響を与える』要因であることを確認したが、いずれも『年式による差』は見られなかった。

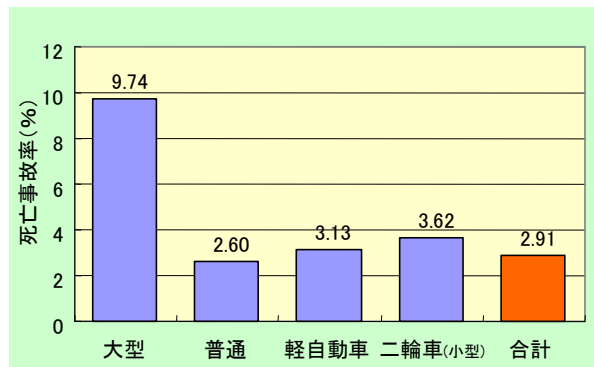


図18 車種別死亡事故率(2007年)

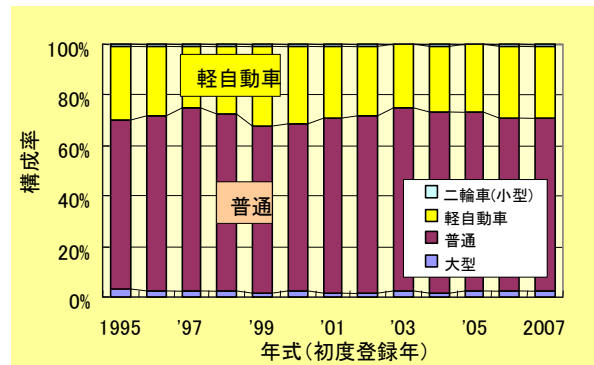


図19 年式別車種構成(2007年)

表1 新型車ほど死亡事故率が低い要因

死亡事故率増減要因		死亡事故率に影響あり	年式別で構成差あり
①衝突速度	危険認知速度	◎	○
	歩行者耐性		
②歩行者耐性	性別	○	×
	年齢層	◎	○
	衝突方向	◎	×
	損傷主部位	◎	×
③衝突部加害性	加害部位	◎	×
	車種構成	◎	○
	車両形状	◎	×

◎: カテゴリー間の死亡事故率最大差が2倍以上

残った3つの要因に4つ目の要因として車両対策(歩行者保護性能(ブレーキ性能、視認性能含む))レベルを加え、それぞれの寄与度を明確にするため、重回帰分析を試みた。目的変数に死亡事故率、説明変数としては、**表 2** に示すように各要因に設定したカテゴリの構成率を用いた。

表2 重回帰分析用説明変数

要因	カテゴリ
危険認知速度(km/h)	0-10、11-20、21-30、31-40、41-50、51-60、60超
年齢層(歳)	0-15、16-24、25-34、35-44、45-54、54-64、65-74、75以上
車種構成	大型、普通、軽、二輪(小型)
車両対策レベル	1995、1996・・・2007各年式の保護性能

分析の結果、**図 20** に示す速度と歩行者年齢の各カテゴリを変数として残し、**図 21** のように年式毎の死亡事故率を再現できる重回帰式（決定係数 $R^2 = 0.7549$ 、 P 値 < 0.01 ）が得られた。つまり、4つの要因のうち車種構成と車両対策レベルは、寄与度小として除外されたことになる。

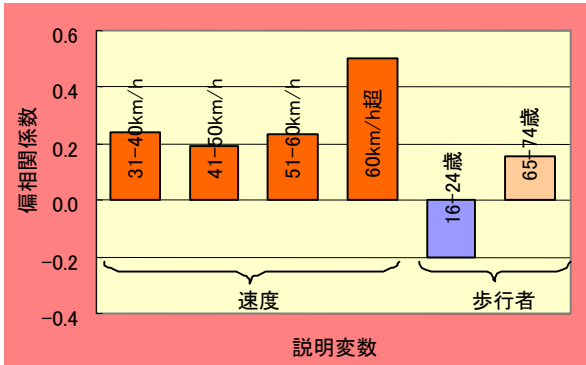


図20 死亡事故率増減主要因

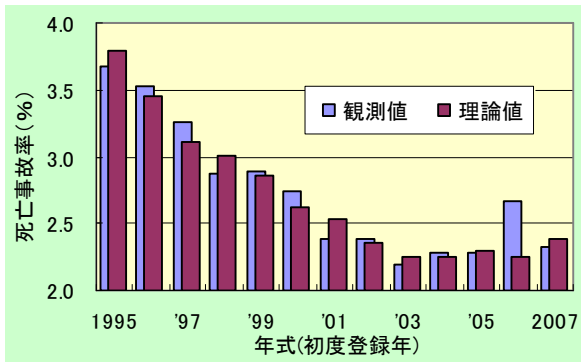


図21 重回帰式精度 (2003-2007年事故)

次にこの重回帰式を用いて、速度と歩行者年齢の寄与度を比較した。**図 22** は各年式車の事故において、歩行者年齢構成が1995年式と同じだった場合、死亡事故率（重回帰式による理論値）がどう変化するかを示している。つまり、棒グラフの差分が1995年式との死亡事故率差に占める歩行者年齢構成差分ということになる。同様に**図 23** に速度構成差分を示す。この結果を整理すると**図 24** に示すように、年式間の死亡事故率差はほとんどが速度構成の差によるものであることがわかった。

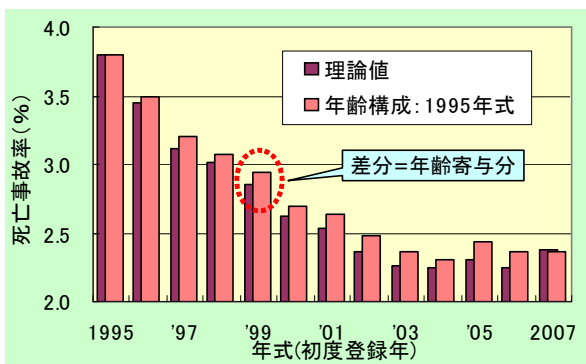


図22 歩行者年齢構成差の寄与度

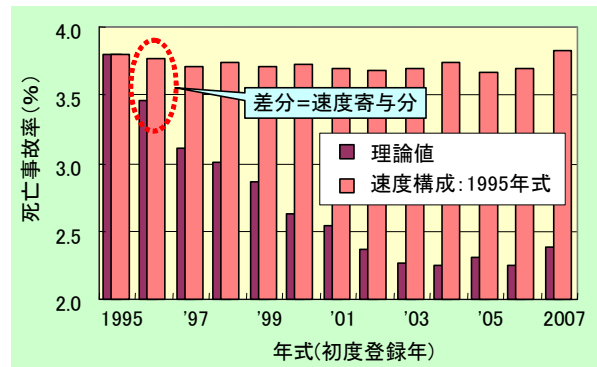


図23 速度構成差の寄与度

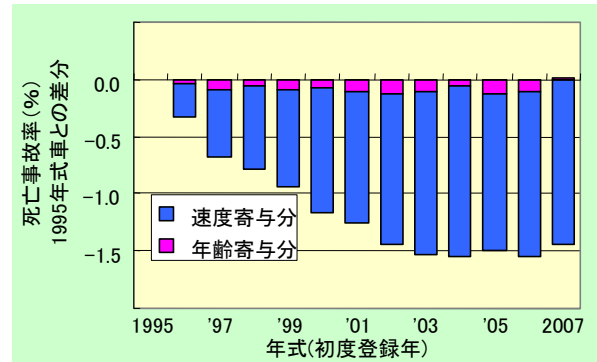


図24 各要因の寄与度

それでは、『なぜ新型車の速度は低いのか?』。

2-2 新型車ほど危険認知速度が低い要因

考えられる要因として、①運転者の特徴(性別、年齢、通行目的)、②走行環境の特徴(昼夜、地形、天候、曜日、路面状況、道路形状、信号機状態、道路幅員)、③車両の特徴(車両種別、車齢)の各項目から、2-1と同手順にて、『危険認知速度に影響』があり、『年式間で差がある』要因を抽出した。**表 3** にその結果を示す。

表3 新型車ほど危険認知速度が低い要因

危険認知速度高低要因		速度に影響あり	年式別で構成差あり
①運転者	性別	○	○
	年齢層	○	○
	通行目的	○	○
②走行環境	昼夜	○	○
	地形	○	○
	天候	○	×
	曜日	○	×
	路面状態	◎	×
	道路形状	◎	○
	信号機状態	○	○
道路幅員	◎	×	
③車両	車種構成	◎	○
	車齢	○	○

◎: カテゴリ間の平均速度最大差が2倍以上

更に目的変数を平均危険認知速度、説明変数を表4の各要因に設定したカテゴリの構成率とした重回帰分析の結果、図25に示す各要因カテゴリを変数として残し、図26のように年式毎の平均危険認知速度を再現できる重回帰式（決定係数 $R^2 = 0.8267$ 、 P 値 <0.01 ）が得られた。

表4 重回帰分析用説明変数

要因	カテゴリ
性別	男、女
年齢層(歳)	0-24, 25-44, 45-64, 65以上
通行目的	業務、通勤通学、私用
昼夜	昼、夜
地形	市街地、非市街地
道路形状	交差点、単路、その他
信号機状態	点灯、点滅、消灯・なし
車種構成	大型、普通、軽、二輪(小型)
車齢	3年未満、3-5、6-8、9年以上

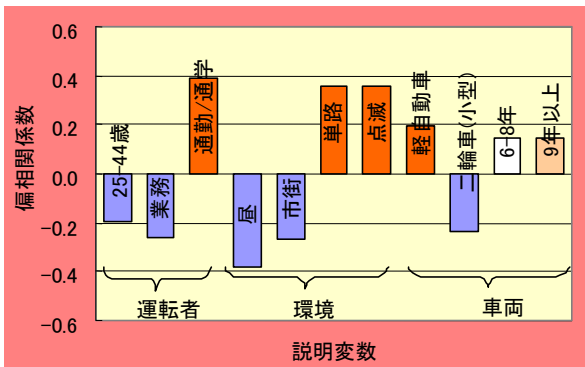


図25 危険認知速度増減主要因

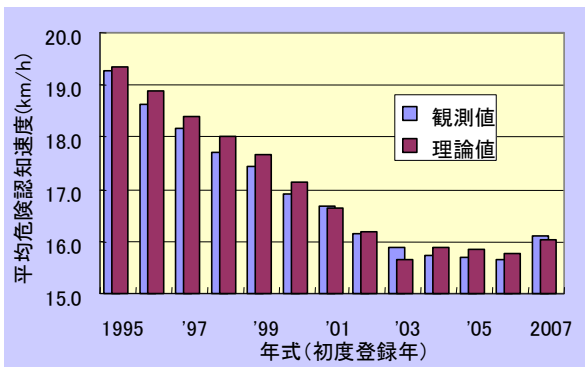


図26 重回帰式精度(2003-2007年事故)

図27に、この重回帰式を用いた各要因の寄与度分析結果を示す。1995年式を基準とした場合の平均危険認知速度差は、車種構成の差が速度増加要因として働いている以外は、①運転者の特徴(年齢、通行目的)、②走行環境の特徴(昼夜、地形、路面状態、道路形状、信号機状態)、③車両の特徴(車齢)の各要因が新型車の速度低下要因として

効いている。すなわち、業務目的や昼走行、市街地走行が多いなど、その使われ方や走行環境の特徴により、新型車の危険認知速度、すなわち事故時の走行速度が低くなっているものと思われる。

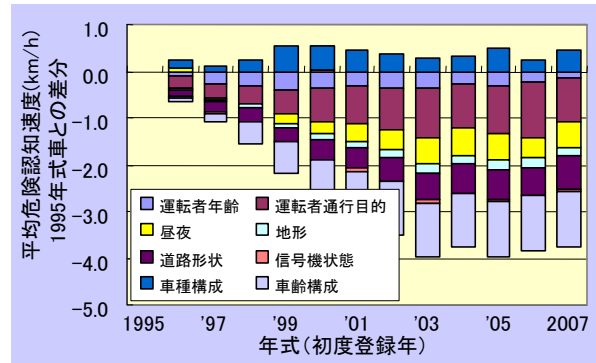


図27 各要因の寄与度

2-3 同年式車死亡事故率の増加要因

考えられる要因として、①衝突速度(危険認知速度)、②歩行者耐性(性別、年齢、衝突方向、損傷部位)、③衝突部加害性(加害部位、車両種別、車両形状)の各項目から、2-1と同手順にて、『死亡事故率に影響』があり、『事故年別で変化』がある要因を抽出した。表5にその結果を示す。

表5 同年式車の死亡事故率年々増加の要因

死亡事故率増減要因	死亡事故率に影響あり	事故年別で構成差あり
①衝突速度	危険認知速度	◎
②歩行者耐性	性別	○
	年齢層	◎
	衝突方向	◎
	損傷主部位	◎
③衝突部加害性	加害部位	◎
	車種構成	◎
	車両形状	◎
④救命率	医療体制・技術	○?

◎: カテゴリー間の死亡事故率最大差が2倍以上

更に目的変数を死亡事故率、説明変数を表6の各要因に設定したカテゴリの構成率とした重回帰分析の結果、図28に示す歩行者年齢、損傷主部位、車両種別の各カテゴリを変数として残し、図29のように事故年毎の死亡事故率推移を再現できる重回帰式(決定係数 $R^2 = 0.7113$ 、 P 値 <0.01)が得られた。

表6 重回帰分析用説明変数

要因	カテゴリ
危険認知速度 (km/h)	0-10、11-20、21-30、31-40、41-50、51-60、60超
年齢層(歳)	0-15、16-24、25-34、35-44、45-54、54-64、65-74、75以上
衝突方向	対面、背面、横断、その他
損傷主部位	全損、頭、顔、頸、胸、腹、背、腰、腕、脚、窒息・溺死
車種構成	大型、普通、軽、二輪(小型)
医療体制・技術	1997-1998、1999-2001、2002-2004、2005-2007年水準

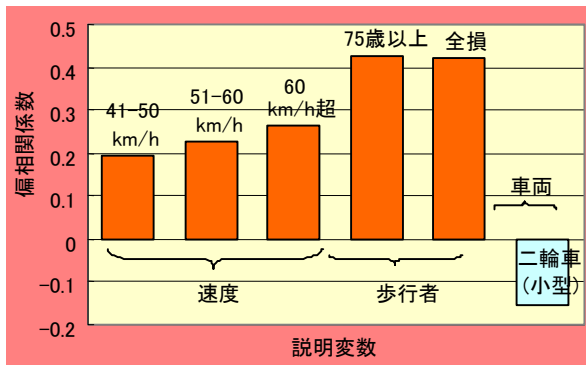


図28 死亡事故率増減要因

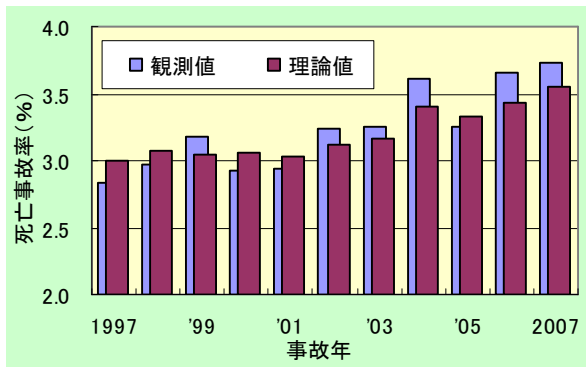


図29 重回帰式精度(1995-1997年式車事故)

図30に、この重回帰式を用いた各要因の寄与度分析結果を示す。1997年事故を基準とした場合、ここでも危険認知速度の低下が死亡事故率減少要因として働いているが、歩行者の高齢化と車種構成の変化(大型、軽自動車の比率増)が死亡事故率増加要因となり、結果として、同年式車の死亡事故率が年々増加していることがわかった。

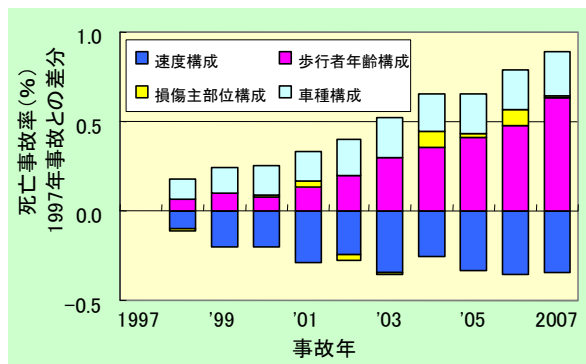


図30 各要因の寄与度

3 車両対策の効果

車両の歩行者保護性能を評価するプログラムとしては、2003年4月よりJNCAP(自動車アセスメント)が開始され、2005年9月からは法規として歩行者頭部保護基準も導入されている。いずれも、図31に示すように、歩行者頭部を模擬したインパクトを車両に衝突させ、発生する衝撃値から算出するHIC値(Head Injury Criteria)にて評価する。JNCAPにおいては、平均HIC値に応じてレベル1~5に区分され、結果が公表される。図32に各レベル区分と傷害確率及びHIC値との関係を示す。例えば、レベル4は、評価エリアの平均HIC値が1016以下であり、頭部に重大な傷害(AIS4+)を受ける確率が20%以下であることを示す。歩行者頭部保護基準においては、試験エリアの3分の2以上の部分で $HIC \leq 1000$ 、それ以外の部分においても $HIC \leq 2000$ であることが要求されている。



図31 歩行者頭部保護性能試験方法 (資料:NASVA)

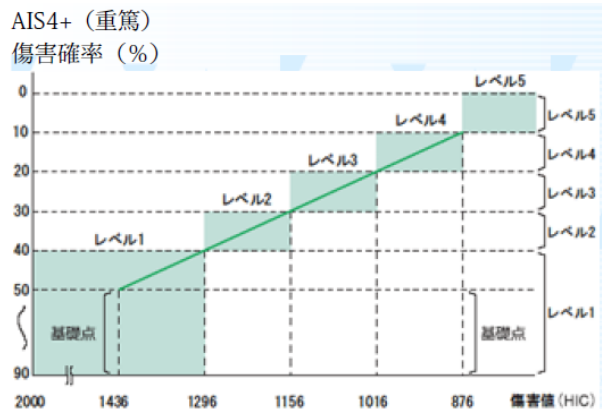


図32 評価区分と傷害確率及びHIC値との関係 (資料:NASVA)

JNCAPの評価結果の推移を図33に示す。年々レベル4以上の高性能車の比率が高くなり、歩行者保護性能が着実に向上していることを示す。

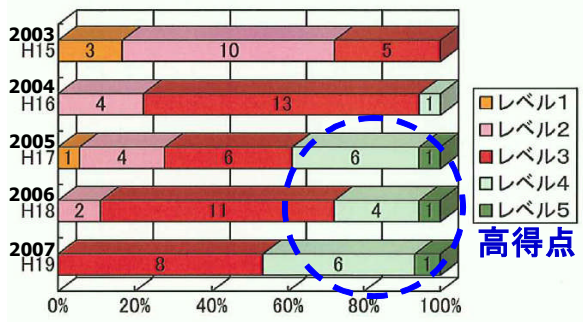


図33 JNCAP評価結果推移 (資料:NASVA)

それでは、『2-1で明らかになったように、歩行者事故全体の死亡事故率低減に対する寄与度が低いのはなぜか？』

考えられる要因として、

- ①対策車の占める割合が少ない
- ②死亡率の高い部位の対策が不十分
- ③車両で助けても路面衝突で致命傷を負うの3つがある。

3-1 対策車の占める割合

2-1における重回帰分析の対象を図34に示す。1995~2007年式車が関与する2003~2007年の歩行者事故は278861件。この内、JNCAP対象となる2003年以降発売された普通車と軽自動車は、約33000件で12%を占める。更に、レベル4以上の高性能車が関与する事故は約7200件、2.6%となり、全体に占める割合は、まだまだ少ないと言える。

なお、JNCAP対象車の内、2003年以降発売された車両の比率は2003年式:20%、2004年式:40%、2005年式:60%、2006年式:80%、2007年式:100%とした。また、年式毎の事故件数に占める高性能車両関与事故の比率はJNCAP評価におけるレベル4以上の車種比率と同じとした。

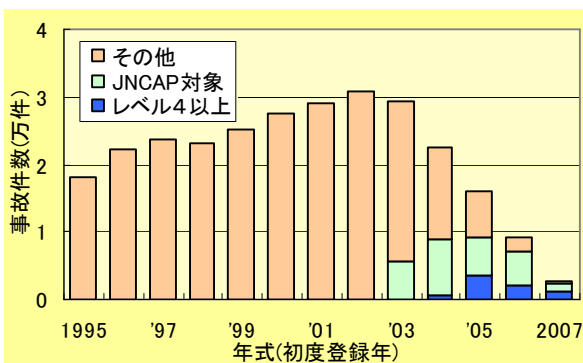


図34 JNCAP高得点車の比率

それでは、『対象を対策車だけに絞った場合、車両対策レベルが死亡事故率低減に直結しているだろうか？』。図35に、JNCAP評価車の得点と死亡事故率の関係を速度帯別に示す。いずれの速度帯においても、高得点車ほど死亡事故率が低い傾向が見られるが、相関は充分とは言えず、対策車が少ないこと以外にも、車両対策が市場事故における死亡事故率低減に直結できない要因が存在すると思われる。

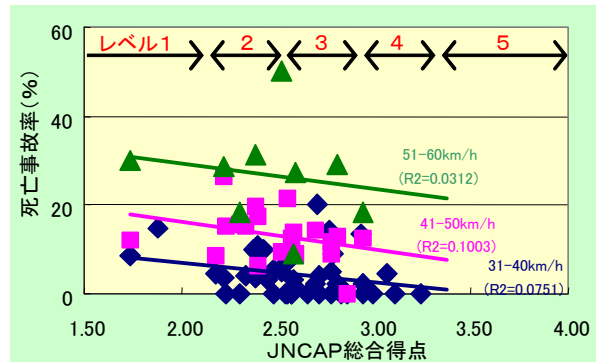


図35 JNCAP得点と死亡事故率の関係 (JNCAP得点データ:NASVA)

3-2 死亡率の高い部位の対策状況

図36は、1996~2006年マイクロデータから、ボンネット車が関与する衝突速度60km/h以上の事故で、歩行者頭部AISが3以上のケースにおける車両への頭部衝突部位を示す。死亡重傷事故における加害部位がAピラー部、カウル部、フェンダー部に集中していることがわかる。

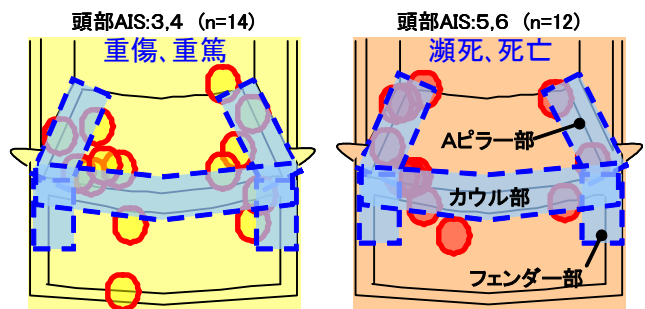


図36 死亡重傷事故加害部位(1996~2006年マイクロ、V≤60km/h)

一方、部位毎の対策状況をJNCAPの平均HIC値の推移で見ると、積極的な対策が織り込まれているボンネット、フェンダー部、カウル部では図37に示すとおり、平均HIC値が年々低減されている。ただし、フェンダー部とカウル部においては、依然、HIC>1000となっている。また、構造

上、実質的な対策が難しいAピラー部、窓ガラス部、ルーフ部においては、**図 38** のとおり明確な改善傾向は見られず、特に、Aピラー部においては、 $HIC > 2000$ の高い値を示している。

以上より、JNCAP 評価エリア全体の平均 HIC 値は年々低減しているものの、市場における死亡重傷事故が集中しているAピラー部、カウル部、フェンダー部については対策が不十分と言わざるを得ない。

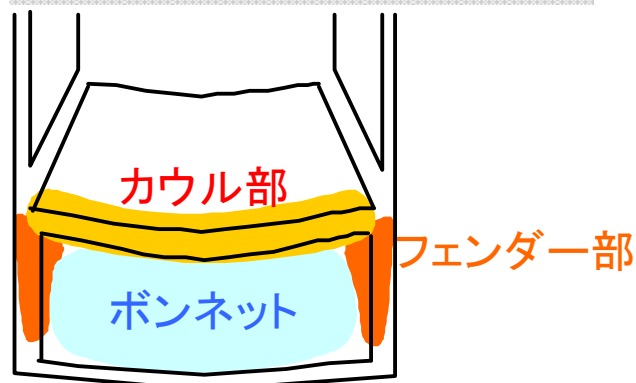
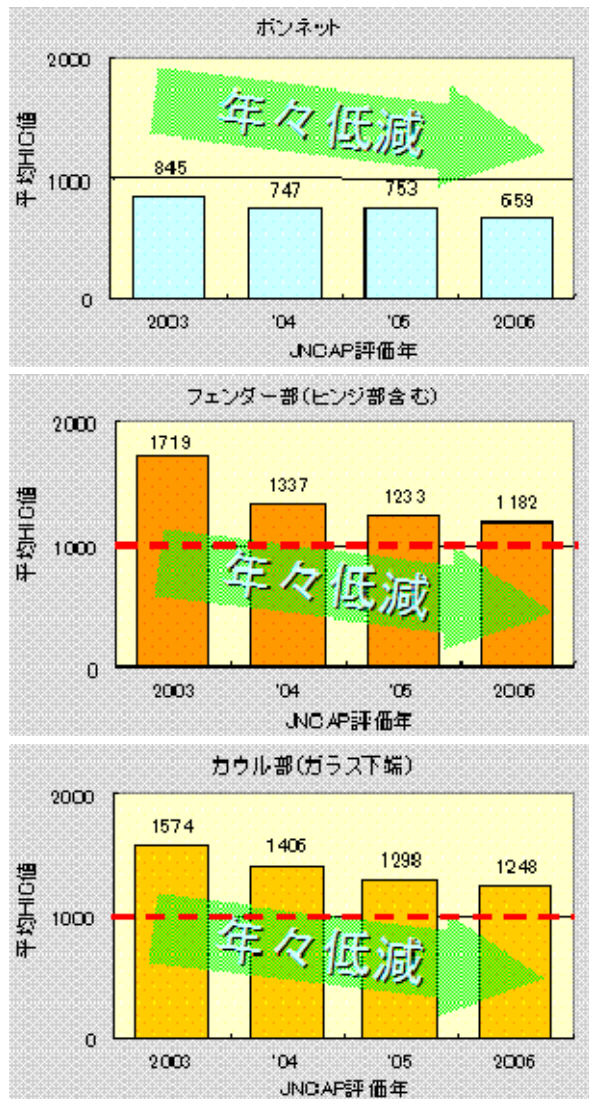


図37 平均HIC値推移 積極対策部位 (HICデータ:NASVA)

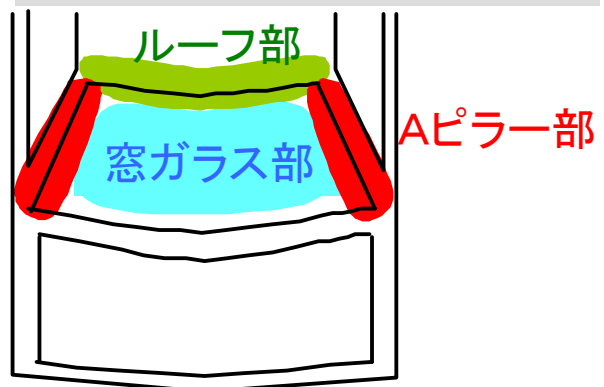
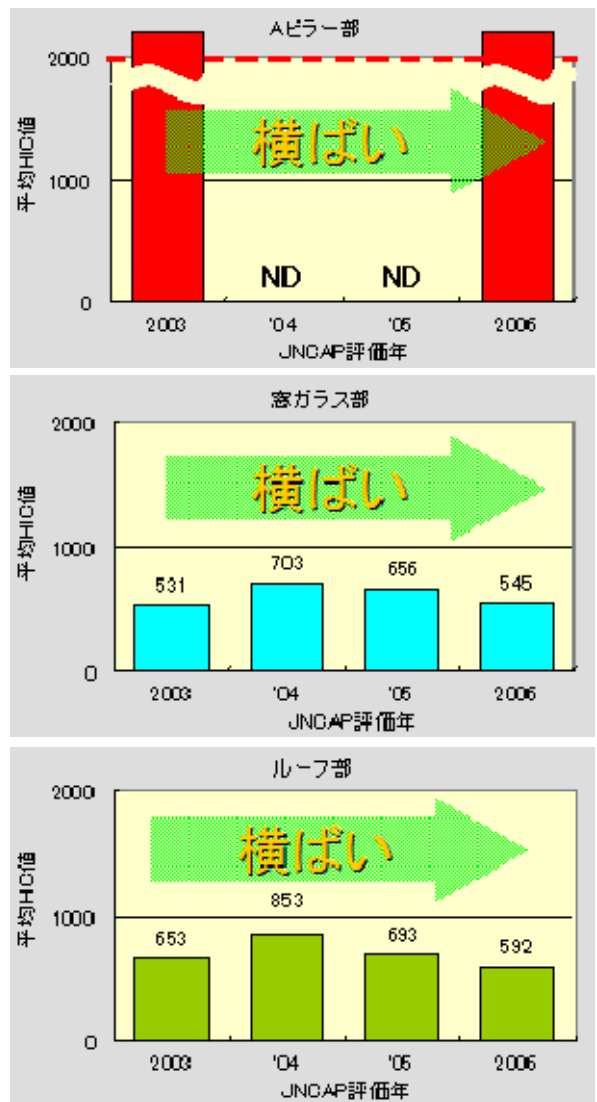


図38 平均HIC値推移 未対策部位 (HICデータ:NASVA)

3-3 路面衝突による致命傷の可能性

図 39, 40 に歩行者ダミーを使用した衝突実験での歩行者の挙動を示す。SUV 車のケースにおいては、押し倒された歩行者が頭部（図中の○印）を激しく路面に打ち付けている。また、セダン車のケースでは、ボンネット上に跳ね上げられた後、頭から路面に落ちている。

それでは、『これらのケースではどれほどの頭部傷害を受けているだろうか?』。残念ながら、これらの実験では、路面衝突時の衝撃値は計測されていないが、**図41**に示す頭部インパクトの落下試験結果を見ると、40cmからの落下でHIC>1000、セダン車のボンネット高さに相当する70cmからの落下ではHIC>2000を記録している。もちろん、事故時の歩行者挙動は、衝突速度や車両形状、歩行者体型などにより異なるが、**図42**に示すように、車両対策により車両との1次衝突による傷害は低減できても、その後の路面との2次衝突が致命傷となるケースもかなりあるものと思われる。

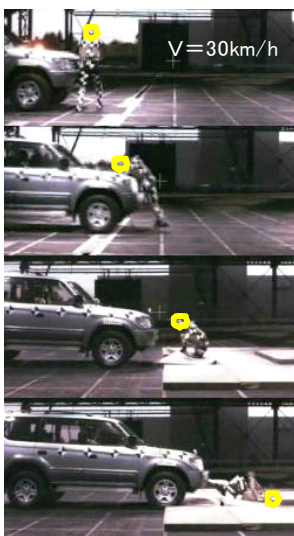


図39 歩行者挙動 SUV (映像:国土交通省)

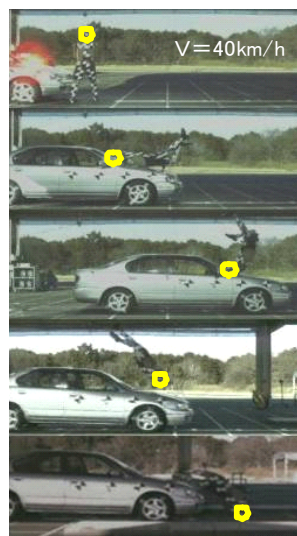


図40 歩行者挙動 セダン (映像:国土交通省)

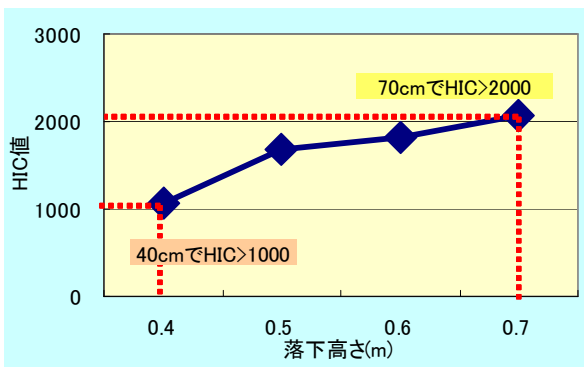


図41 頭部インパクト(3.5kg子供頭部)自由落下試験結果

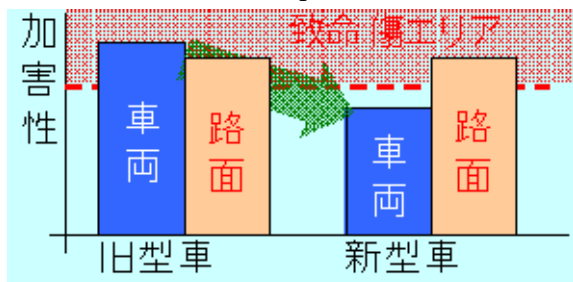


図42 路面との2次衝突による致命傷の可能性

4 まとめ/提言

今回確認できたこと、今後の歩行者死亡事故削減に向けての注力ポイントを以下に整理する。

4-1 分析のまとめ

- ・歩行者死亡事故率の減少メカニズム：同年式車の死亡事故率は年々増加しているが、毎年導入される新型車の死亡事故率が低いため、全体の死亡事故率は減少
- ・新型車ほど死亡事故率が低い要因：その使われ方や走行環境の特徴から危険認知速度が低い
- ・同年式車死亡事故率の増加要因：同年式車においても危険認知速度は年々低下し、死亡事故率減少要因として働いているが、歩行者の高齢化と車種構成の変化が死亡事故率増加要因となり、結果として、死亡事故率が年々増加
- ・車両対策の効果：歩行者頭部保護性能は着実に向上しているが、以下の3点により、全体の死亡事故率低減への寄与は不十分
 - ①高い歩行者保護性能を持つ車両がまだ少ない
 - ②加害性の高い部位の対策が不十分
 - ③路面との2次衝突に対して未対策

4-2 更なる歩行者死亡事故削減のために

- ・衝突速度の低減：
 - ①車両：予防安全技術（早期歩行者認知支援、自動制動など）による衝突回避、早期減速
 - ②道路：歩車分離（歩道、柵、信号機制御など）による歩行者と車両の遭遇回避
 - ③人：教育、法規、取締り強化による無理な横断、飛び出し抑制
- ・衝突相手の加害性低減（車両追加対策）：
 - ①Aピラー部、カウル部、フェンダー部対策強化
 - ②高齢化による歩行者耐性低下も考慮した対策
 - ③歩行者挙動コントロール、落下防止技術による路面との2次衝突軽減

5 おわりに

今後、路車間通信などの先進技術活用による事故未然防止が期待されるが、インフラ整備の難しい郊外や予測困難な飛び出し事故などを考えると、事故時の傷害軽減技術向上も依然重要と考える。

