

運転者の視認性改善と衝突安全性の向上
による大型自動車の総合的な安全性の研究

2013年2月

早稲田大学大学院
創造理工学研究科

山中 旭

目 次

1 緒 言	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	4
1.3 本論文の構成と概要	5
2 大型自動車の直接視界の改善に関する研究	9
2.1 運転視界について	9
2.2 静止状態での視界試験	12
2.3 静止状態での視界測定結果	15
2.4 走行状態での視界試験	25
2.5 走行状態での視界試験の結果	31
2.6 走行に関するフィーリング評価	43
2.4 第2章のまとめ	45
3 車両周辺の間接視界の評価と向上に関する研究	46
3.1 本研究の目的	46
3.2 間接視界評価の経緯	47
3.3 試験方法	50
3.4 試験結果	51
3.5 考察	56
3.6 第3章のまとめ	59

4 濡れた路面におけるトラックスプレイの測定と低減に関する研究	63
4.1 トラックスプレイの計測	63
4.2 試験条件	66
4.3 車間距離とスプレイ	69
4.4 スプレイ量と視野妨害度	70
4.5 車速とスプレイ量	71
4.6 追越し時のスプレイ	72
4.7 水深とスプレイ量	79
4.8 車間距離とスプレイ量と視界妨害度の関係	79
4.9 第4章のまとめ	80
5 衝突エネルギー吸収システムの研究開発	84
5.1 衝突モデルと衝突エネルギー吸収システムの研究開発	84
5.2 衝突エネルギー吸収システムの研究開発	87
5.3 衝突エネルギー吸収システムの評価	91
5.3.1 有限要素法によるシミュレーション	91
5.3.2 静的負荷試験	95
5.3.3 動的負荷試験（落錘試験および台車衝突試験）	95
5.4 第5章のまとめ	96
6 衝突安全コンセプトトラック（SCT）の研究および開発	99
6.1 衝突安全コンセプトトラックの開発目的	99
6.2 衝突エネルギー吸収システムφSCTへの適用	100
6.3 固定バリア衝突試験	109
6.4 リヤバンパ・トラックターミナル衝突試験	120
6.5 第6章のまとめ	122

7	中型トラック・大型トラックに追突した乗用車乗員の保護に関する研究	128
7.1	中型トラック・大型トラックに追突した乗用車の事故実態.....	128
7.2	中型トラックの被追突時衝突安全対策.....	142
7.3	大型トラックの被追突時衝突安全対策.....	149
7.4	第7章のまとめ.....	155
8	高衝突エネルギー吸収システム装備トラック（NFST）に関する研究	156
8.1	研究の背景およびNFSTの設計目標.....	156
8.2	大型トラックの事故実態.....	160
8.3	NFSTの衝突安全システムの構成.....	168
8.4	固定バリア衝突試験.....	173
8.5	第8章のまとめ.....	179
8.6	補足.....	182
9	大型自動車の総合的な安全性の研究の成果	183
9.1	予防安全・衝突安全それぞれの成果.....	183
9.2	大型自動車の総合的な安全性について.....	185
10	結 言	189
10.1	本研究のまとめ.....	189
10.2	大型自動車の総合的な安全性に関する提言.....	190
	謝 辞	192
	参考文献	195
追補 1	エネルギー吸収装置を使用した道路作業車両用追突緩衝装置	209
A1.1	背景.....	209
A1.2	エネルギー吸収システム式追突衝撃緩和装置の効果.....	214
追補 2	大型自動車の安全性研究の系譜	217
A2.1	トラック・バスの安全性研究の経緯.....	217

追補 3	衝突エネルギー吸収システムから高衝突エネルギー吸収システム 搭載トラック(NFST)までの経緯	219
A3.1	衝突エネルギー吸収システムからNFSTまでの開発の経緯	219
追補 4	新交通システム車両の衝突緩衝装置	221
A4.1	新交通システムへの衝突緩衝装置の適用	221
追補 5	本研究の衝突安全対策車および緩衝装置の開発と納入実績	223
A5.1	衝突安全対策車および緩衝装置の開発と納入実績	223
追補 6	衝突エネルギー吸収装置の開発に当たっての基礎データ	226
A6.1	トラックの車両重量別の運動エネルギー	226
A6.2	大型トラックの衝突時の荷重変位特性	226
A6.3	各種自動車に要求される衝突安全の考え方	226
A6.4	トラックに係わる事故の構成	226
追補 7	衝突安全コンセプトトラック (SCT) の開発に当たっての考え方のフローチャート	232
A7.1	考え方の整理	232
追補 8	大型自動車対乗用車衝突時における乗用車 潜り込み防止装置 (FUP, RUP) 法規の概要	234
A8.1	FUP法規およびRUP法規の概要	234
記号と用語		iv ~ vii
(a) 記号		v
①	交通事故統計分析に係る記号	v
②	衝突試験および計算モデルに係る記号	v
(b) 用語		vi
①	交通事故に関する用語の定義	vi
②	人身損傷程度の定義	vii
③	安全に関する法規関連の用語	vii

記号と用語

(a) 記号

① 交通事故統計分析に係る記号

R : 運転者の死亡重傷者率

N_f : 死亡者数と重傷者数の和

N_0 : 軽傷者数と無傷者数の和

② 衝突試験および計算モデルに係る記号

V_B : リジッドバリアへの衝突速度

V_R : 正突事故の危険認知相対速度

M_1 : 質点相当部品 (フレーム, キャブ, バンパ, ラジエータ)

M_2 : 質点相当部品 (荷箱)

M_3 : 質点相当部品 (危険物タンク)

M_4 : 質点相当部品 (危険物集合体 (核燃料))

M_5 : 質点相当部品 (エンジン, トランスミッション, プロペラシャフト)

M_6 : 質点相当部品 (前輪懸架装置, 前輪, 前車軸)

M_7 : 質点相当部品 (後輪懸架装置, 後輪, 後車軸)

F_1 : 非線形ばね相当部品 (バンパ, フレーム前部, キャブ前部)

F_{1-2} : 非線形ばね相当部品 (Uボルト, キャブ後部, 後キャブマウント)

F_{2-3} : 非線形ばね相当部品 (エネルギー吸収材, 荷箱鳥居 (図a))

F_{3-4} : 非線形ばね相当部品 (集合体マウントゴム)

F_{1-5} : 非線形ばね相当部品 (エンジンマウントゴム, スラストロッド)

F_{1-6} : 非線形ばね相当部品 (フロントリーフスプリング前端部)

F_{1-7} : 非線形ばね相当部品 (リヤリーフスプリング前端部)

μ_{2-3} : 非線形ばね相当部品 (危険物タンクと荷箱の摩擦係数)

μ_{1-2} : 非線形ばね相当部品 (荷箱とフレームの摩擦係数)

(b) 用語

① 交通事故に関する用語の定義

第1当事者：

事故において，過失が最も重い当事者．通常は「ぶつけた」側の当事者や
当事車両を指す．「1当」と略記されることも多い．

第2当事者：

事故において，過失が2番目に重い当事者．通常は「ぶつけられた」側の当事
者や当事車両を指す．「2当」と略記されることも多い．

危険認知速度：

運転者が事故の相手（車両や歩行者，家屋，電柱等）を認め，危険な状態を
認知した時の速度．

危険認知相対速度（正面衝突）：

正面衝突事故を起こした2台の車両それぞれの危険認知速度の絶対値の和
（図b）．例えば，車両1の危険認知速度が V_1 ，車両2の危険認知速度が V_2
の場合，その危険認知相対速度 ΔV は，式（b.1）のように表される．

$$\Delta V = |V_1| + |V_2| \quad (\text{b.1})$$

危険認知相対速度（追突）：

追突事故を起こした2台の車両それぞれの危険認知速度の差（図c）．

例えば，危険認知速度が V_1 の車両1に，車両2が危険認知速度 V_2 で追突した
場合，その危険認知相対速度 ΔV は式（1.2）のように表される．

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad (\text{b.2})$$

② 人身損傷程度の定義

死亡：事故発生後24時間以内の死亡

重傷：全治30日以上の治療を要する損傷

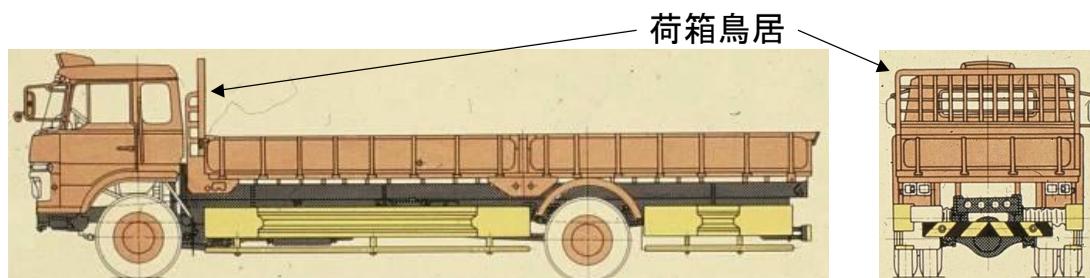
軽傷：全治30日未満の治療を要する損傷

無傷：治療を必要としない場合

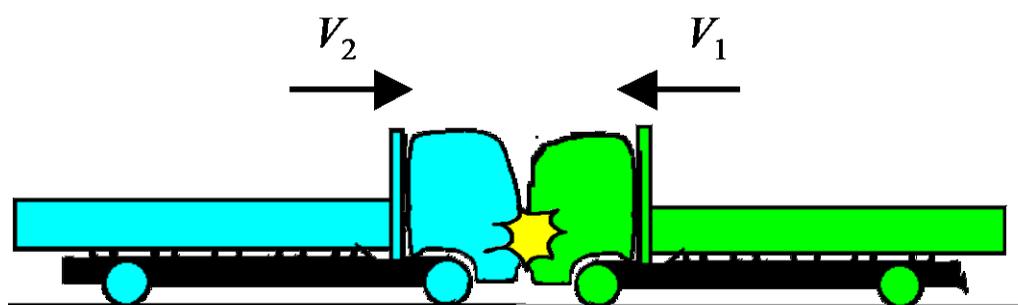
③ 安全に関する法規関連の用語

FMVSS：米国連邦自動車安全基準（Federal Motor-Vehicle Safety Standard）

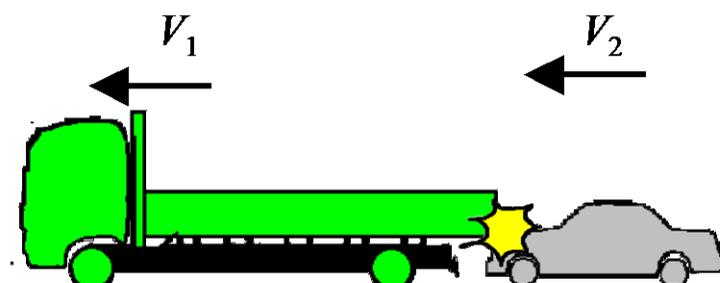
NHTSA：米国運輸省道路交通安全局（National Highway Traffic Safety Administration）



図a トラックの荷箱鳥居



図b 正面衝突



図c 追突

第 1 章

緒 言

1.1 研究の背景

一度に大量の人や荷物を運ぶことのできるトラックやバスのような大型自動車は、現在の交通・物流にとって必要不可欠なものであるが、その一方で、その車体が大きい故に、事故を起こした際の被害・加害共に大きい。すなわち、大型自動車の安全性を考えていくためには、事故を回避するための予防安全、および衝突時の被害軽減のための衝突安全の両方を併せ、総合的な安全性を検討していく必要がある。

予防安全を考える上で、自動車は有視界運転を基本とする乗り物であることから、自動車を安全に運転する基本は運転視界であると考え、その向上に取り組む多くの研究が従来なされてきた⁽¹⁾⁻⁽¹⁸⁾。

大型自動車は、その車体が大きいことから運転者から見えない死角となる領域（Blind Area）も必然的に大きくなるので、この死角を「いかにして少なくするか」が、安全性の向上にとって重要なポイントとなる。また、大型自動車は、雨天時等での濡れた路面を走行する際に後方に跳ね上げる泥水の量も多く、これが後続車両の視界を妨げるという問題もあり、これを改善する必要もある。すなわち、大型自動車の運転視界に関する安全を考えていく上では、

- (1) 直接視界（静止状態での視界と走行状態での視界）
- (2) 間接視界（バックミラーやアンダーミラー等で確認する視界）

(3) 濡れた路面での走行時に跳ね上げる泥水等からの後続車の視界確保の 3 つの課題について検討していくことが大切であるが、従来の研究では十分な検討はなされていなかった。

なお、運転視界の向上以外の予防安全については、車両の加速性能、操縦安定性能、制動性能といった車両の挙動に係わる性能の向上、あるいは運転者がエラーをするプロセスを明らかにしこれを補うシステムを考えていくヒューマン・マシン・インターフェースに関する技術、更に近年では道路に設置した通信機器と車両で通信したり、隊列走行する車両同士で通信することによって事故を回避する技術 (Intelligent Transport System, ITS) 等が有効な安全対策と考えられ、以前よりさまざまな研究が行われている⁽¹⁹⁾⁻⁽²⁶⁾。

一方、衝突安全については、衝突事故における車両の損壊状況や乗員傷害の実態を明らかにすることによって、衝突エネルギーを効果的に吸収し、乗員が被る衝撃を緩和したり、衝突時に損壊すべき部位と乗員の生存空間や救出性を保つために潰してはならない部位それぞれに適切な構造を考えていくことで、乗員傷害を低減していくためのさまざまな研究が行われてきた⁽²⁷⁾⁻⁽¹¹⁵⁾。

しかしながら、衝突安全に関する研究の多くは、乗用車に関するものであり、大型自動車の衝突安全に関しては、乗用車のような法規制や (独) 自動車事故対策機構 (National Agency for Automotive Safety & Victims' Aid, NASVA) が実施している衝突安全性についてのアセスメントの対象外となっていること、商用車であるが故に安価に製造することが要求される等といった理由から、大型自動車の衝突安全性を向上するための研究は決して多くはない⁽¹¹⁶⁾⁻⁽¹²²⁾。さらに、大型自動車の衝突安全性については、乗用車とは異なる対策が要求される。例えば、衝突時において、一般的な乗用車では乗員保護のための対策が要求されるが、大型自動車については自車の乗員の保護だけでなく、積荷の保護も考えなければならないケースも存在する。原子力発電所で使用する核燃料のようなものは、衝突時に加わる衝撃が 6G を超えてしまうと、燃料として使い物にならなくなってしまうため、衝突事故が発生した場合に積載物へ加わる衝撃の緩和を考えておくことが要求される。また、大型自動車は自車よりも小さい車両との衝突時における相手車両への加害性の低減、すなわち、衝突時における

相互安全性（Compatibility）も考慮しなければならない．例えば，大型自動車の車体後部へ乗用車が追突した場合，大型自動車の車体骨格部材（フレーム）の地上高は，乗用車の車体骨格部材（サイドメンバ）の地上高と大きく異なるため，大型自動車に追突した乗用車は，衝突エネルギーを効果的に吸収することが出来ず，更には大型自動車の荷台等の下に潜り込んでしまうため，車体が大きく損壊，乗員の被害が甚大になってしまう．

以上のように，大型自動車の衝突安全性を考えていくためには，次の 3 つの課題を解決していくことが重要と考えられる．

- （1）自車乗員の傷害の低減
- （2）積載物の保護
- （3）自車よりも小さい車両との衝突相互安全性

しかしながら，大型自動車については，乗用車に比べて効果的な衝突安全対策が取り難いことや，前述した通り，衝突安全に関する法規等が整っていない等といった理由から，今まで詳細な検討は行われてこなかった．

そこで，大型自動車の衝突安全性に係わる上述の 3 つの課題について詳細な検討を行うべく，効果的に衝突エネルギーを吸収する装置を開発するための基礎研究や，その研究成果としての衝突エネルギー吸収システムを，中型トラックの衝突安全性能向上に活用した衝突安全コンセプトトラック（Safety Concept Truck, SCT），あるいはトラックに追突した乗用車乗員の被害を低減する衝撃吸収装置に活用したエネルギー吸収バンパ，また核燃料のような衝撃に弱い積載物を保護する積載物エネルギー吸収装置に活用した大型トラックベースの高衝突エネルギー吸収トラック（Nuclear Fuel Safety Transporter, NFST）の開発などの課題に対して研究を行うことが重要である．

また，上述した通り，大型自動車は乗用車に比べると衝突安全に関する法規が少ないことから，乗用車のような試験法や評価法等はほとんど整っていない．このため，中型トラックや大型トラックが関与した事故実態や衝突時における核燃料の保護に要求される仕様等から，乗用車の衝突試験法も参考にして，中型トラックや大型トラックの衝突安全のための新たな試験法や評価法を検討および開発することは，重要な課題である．

1.2 研究の目的

本研究の大きな目的は、前節で述べた大型自動車（トラック、バス）の運転視界に関する 3 つの課題および衝突安全に関する 3 つの課題を解決していくための詳細な検討を行い、総合的な安全性を確立することである。具体的には以下の課題を検討する。

まず、運転視界については、次のように取り組む。

最初に直接視界の視認性の向上について、静止状態、走行状態両方の側面から検討を行う。すなわち、大型自動車の静止状態での視界については、運転者の両眼を模した光源をスクリーンに投影させて視界を評価する試験を行い、静止状態での視界を評価、続いて大型自動車の走行状態での視界については、市街地や高速道路、山間地等、異なる環境で走行試験を実施し、それぞれの条件下で運転者にとって運転し易い視界の検討を行う。

次に、大型トラックの間接視界について検討する。死角領域を少なくするためにミラーの鏡面の曲率をきつくしすぎると、鏡面に映る像が歪んでしまい安全確認がしづらくなる。そこで、ミラーで確認できる領域とミラーに映る像の歪み、および像の大きさの 3 つの要素から評価する方法を新規に考案し、バックミラーとアンダーミラーの 2 枚のミラーを装着したミラーシステム（2 ミラーシステム）、バックミラー、アンダーミラー、サイドアンダーミラーの 3 枚のミラーを装着したミラーシステム（3 ミラーシステム）、およびバックミラーと対物鏡、接眼鏡を組合せたミラーシステム（ペリスコープシステム）の 3 種類の間接視界装置について、評価を行う。

また、濡れた路面での後続車両の視界確保については、濡れた路面を再現する専用のテストコースを新規に建設した上で、この路面を走行するトラックの後方に乗用車を走行させる試験を行い、車間距離や走行速度を変化させて、それぞれ毎での視界障害の度合いを測定、トラックの後方を走行する乗用車運転者にとっての安全な視界確保について検討を行う。

次に、衝突安全については、次のように取り組む。

国内における代表的な大型貨物自動車である中型トラック（積載量 4t、車両

総重量 7t クラス) および大型トラックの衝突安全性能の向上を主な目的とし、研究内容を大きく 2 段階に分けて、取り組む。

まず、第 1 段階について次の研究を行う。

効果的に衝突エネルギーを吸収する装置を中型トラックや大型トラックに装備することによって、その衝突安全性能の向上を図ることとし、そのための装置、衝突エネルギー吸収システムの形状や大きさを決定するための基礎研究を行う。

第 2 段階では、第 1 段階で開発した衝突エネルギー吸収システムを中型トラックや大型トラックのフロント部や荷箱、荷台リヤ部などに装着し、それぞれの衝突安全性能の向上、すなわち自車乗員の保護と核燃料のような衝撃に弱い特殊な積載物の保護、および乗用車からの被追突時における乗用車側乗員の保護への活用を図る。

1.3 本論文の構成と概要

本論文における以下の各章の構成と概要は次の通りである。

運転視界に関しては、直接視界（静止状態での視界と走行状態での視界）に関する研究を第 2 章で、間接視界（バックミラーで確認する視界）に関する研究を第 3 章で、濡れた路面での後続車両の視界に関する研究を第 4 章で論ずる。

衝突安全に関しては、第 1 段階に相当する衝突エネルギー吸収システムの研究開発を、第 5 章で論じ、第 2 段階に相当する中型トラックをベースとした衝突安全コンセプトトラック（SCT）の研究開発を第 6 章で、乗用車からの被追突時の乗用車乗員保護のためのエネルギー吸収リヤバンパを第 7 章で、大型トラックをベースとした核燃料輸送用高衝突エネルギー吸収トラック（NFST）を第 8 章にて論ずる。第 9 章で大型自動車の総合的な安全性の成果を述べ、最後の第 10 章で、各章で論じた研究の結論と研究の今後の発展性について述べる。

各章の概要を以下に示す。

第 2 章では、直接視界の視認性向上について、静止状態での検討と走行状態での検討の両方から論ずる。すなわち、静止状態で検討については、運転者の

両眼を模した光源をスクリーンに投影させて視界を測定するスクリーン投影法という試験を実施する．ボンネットタイプの大型トラックやキャブオーバータイプの大型トラックの静止状態での視界を評価，走行状態での検討については，前方視界の高さを調節できる大型バスの試験車を製作，ボンネットタイプの大型トラックや乗用車と共に，走行速度や走行環境（市街地，高速道路，山間地，等）を変えて，それぞれの条件下で運転者にとって，運転し易い視界の検討を行う．

第 3 章では，間接視界の視認性向上について論ずる．大型トラックのミラーで確認できる領域とミラーに映る像の歪み，および像の大きさの 3 つの要素から評価する新しい手法を考案し，ミラーの評価を行い，従来よりも視認性が優れたペリスコープミラーシステムを開発する．

第 4 章では，濡れた路面での後続車両の視界確保について論ずる．すなわち，濡れた路面を走行するトラックの後方に乗用車を走行させる試験を実施，車間距離や走行速度を変化させることによって，それぞれ毎での視界障害の度合いを測定，トラックの後方を走行する乗用車運転者にとっての安全な視界確保について検討を行う．

第 5 章では，衝突エネルギー吸収システムに関する基礎研究について論ずる．自動車の衝突現象の初期段階においては，車体変形量と発生荷重の関係は，線形ばねのような正比例の関係を示すことから，車体を複数の「一次元衝突・質量－線形ばね」系モデルから構成されるものと考え，乗員や積載物等，保護する対象それぞれに応じた衝突安全対策に取り組むこととする．つまり，できるだけ簡便な構造で効率よく衝突エネルギーを吸収できる装置の材質や形状，大きさ等について有限要素法によるシミュレーション計算や，静負荷試験や動負荷試験および台車を用いた衝突試験を行い，これらの結果から有効な衝突エネルギー吸収システムを開発する．

第 6 章では，第 5 章で開発した衝突エネルギー吸収システムを用いて開発した衝突安全コンセプトトラック（SCT）について論ずる．SCT は，乗用車との衝突時における相互安全性（Compatibility）および衝突時における積載物保護，自転車乗員保護も含めた衝突安全の向上を目的として開発したトラック

である．対象とする車両は，車両総重量 7t クラス（積載量 4t クラス）の標準的な大きさの中型トラックをベースに，第 5 章の衝突エネルギー吸収システムから製作した安全装置，すなわち乗員保護および積載物保護のためのエネルギー吸収フロントバンパやトラックターミナルのプラットホームへの後退衝突時の車体保護のためのエネルギー吸収リヤバンパ等といった衝突安全対策装置を取り付けた車両であり，その衝突試験結果を従来型の中型トラックでの試験結果と比較することにより，SCT の各部に装備された衝突安全対策装置によって，従来の中型トラックに比べ，衝突安全性能が大幅に向上したことを確認する．

第 7 章では，中型トラック・大型トラックに追突した乗用車乗員の保護について論ずる．本章では，事故データから中型トラックおよび大型トラックの追突事故における乗用車乗員の被害実態を明らかにした上で，その対策として中型トラック，大型トラックそれぞれにエネルギー吸収リヤバンパを装着，乗用車を追突させる試験を実施し，従来型の中型トラック，大型トラックと比較を行い，その効果を確認する．

第 8 章では，大型トラックをベースに開発した核燃料輸送用の高衝突エネルギー吸収システム搭載トラック（NFST）について論ずる．NFST についても，第 6 章で述べた SCT と同様に，第 5 章で述べた衝突エネルギー吸収システムを車体各部に装備し，自車乗員の保護や乗用車との衝突時における加害性の低減（衝突相互安全性，Compatibility）を図る．なお，NFST では，衝撃に弱いという特性を有する核燃料を保護するための積載物エネルギー吸収システムを荷箱に装備，衝突試験を実施し，積載物エネルギー吸収システムによって，衝突時における核燃料に加わる衝撃が抑えられ，核燃料の品質が保護できることを確認する．

第 9 章では，各章で論じた予防安全，衝突安全それぞれの成果から，大型自動車の総合的な安全性の研究の成果を論じる．

第 10 章では，本研究の結論と今後の展望を示した．

図 1.1 に上記内容をまとめた本論文の構成図を示す．

	第 1 章
	緒 言 ・研究の背景・目的
運転視界に関する研究	第 2 章
	大型自動車の直接視界の改善に関する研究 ・静止状態での視界, 走行状態での視界, 走行に関するフィーリング評価
	第 3 章
	車両周辺の間接視界の評価と向上に関する研究 ・間接視界(2ミラーシステム, 3ミラーシステム, ペリスコープシステム)の評価
	第 4 章
	濡れた路面におけるトラックスプレイの測定と低減に関する研究 ・トラックスプレイの計測, 車間距離とスプレイ量と視界妨害度の関係
衝突安全性に関する研究	第 5 章
	衝突エネルギー吸収システムの研究開発 ・衝突エネルギー吸収システムの開発・評価(シミュレーション, 台上試験)
	第 6 章
	衝突安全コンセプトトラック(SCT)の研究および開発 ・開発目的, 衝突エネルギー吸収システムのSCTへの適用, 衝突試験
	第 7 章
	中型トラック・大型トラックに追突した乗用車乗員の保護に関する研究 ・中型トラック・大型トラックに追突した乗用車の事故実態, 衝突安全対策
	第 8 章
	高衝突エネルギー吸収システム装備トラック(NFST)に関する研究 ・設計目標, 衝突安全システムの構成, 衝突試験
	第 9 章
	大型自動車の総合的な安全性の研究の成果 ・予防安全・衝突安全それぞれの成果, 大型自動車の総合的な安全性について
	第 10 章
	結 言 ・本研究のまとめ, 大型自動車の総合的な安全性に関する提言

図 1.1 本論文の構成

第 2 章

大型自動車の直接視界の改善 に関する研究

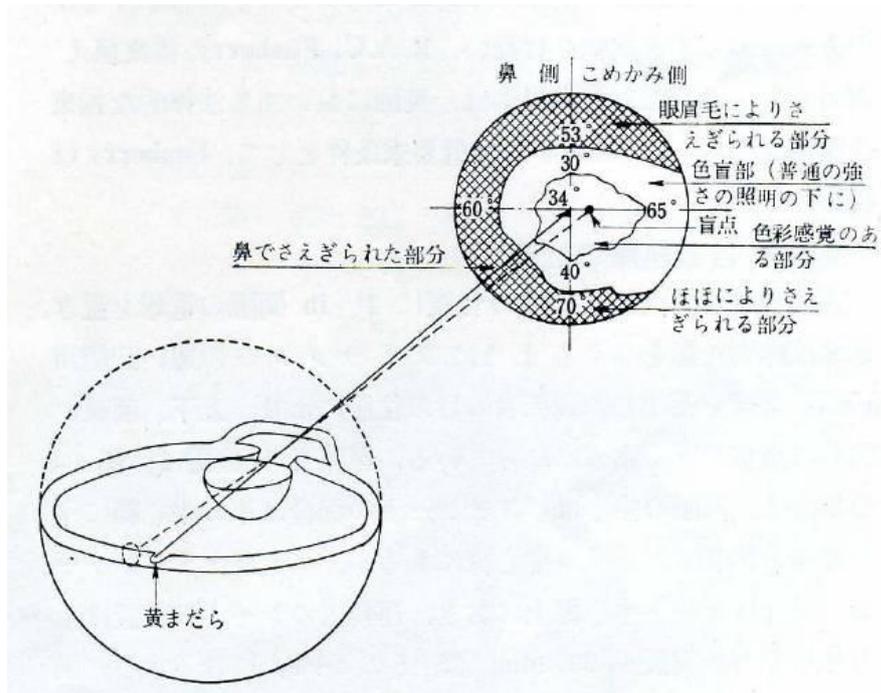
2.1 運転視界について

自動車の安全は「人」と「車」と「環境」の 3 つの要素から成り立っているが、これらを結び付けているのが、人間の視覚である。すなわち、運転動作のほとんどは、視覚情報によって決定される。したがって、自動車の安全を考える上で、運転視界は最も重要なものである。

運転視界には、直接視界と間接視界がある。本章では、まず、直接視界について述べることにし、間接視界については第 3 章で述べることにする。

物が見えるための条件として、明るさ、視角、(明るさや色彩への) 対比、時間の 4 つが挙げられ、視野(ある 1 点に眼を向けた時に見える範囲を視角で表したものは、図 2.1(a)⁽³⁾⁽¹³⁷⁾のように示される。また、視野は色彩によっても異なるものであり(図 2.1(b))⁽³⁾⁽¹³⁸⁾、両眼にて左右、各々 35° は明確に位置と色彩を確認することができる(図 2.2)⁽³⁾。なお、眼鏡をかけない場合の両眼で見える範囲は左右 60° であるが、眼鏡をかけると左右 50° まで狭まる。したがって、大型自動車の直進時に必要度の高い前方視界は、上述の範囲に収めなければならない(図 2.3)⁽⁸⁾。

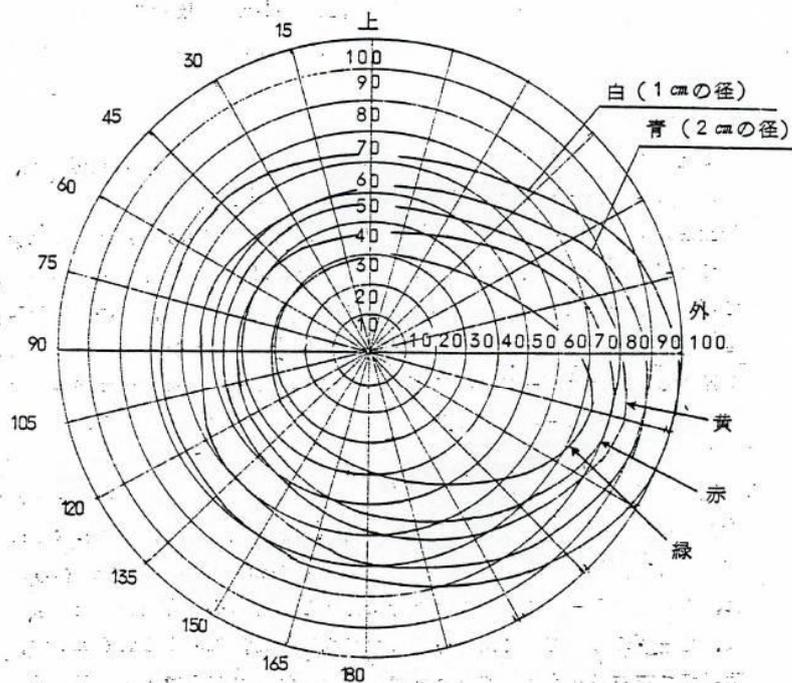
自動車の視界は、前方、横、後方の 3 つに分けられるが、本研究では、その中でも最も重要な前方視界の向上について、試験法も含めてボンネットタイプやキャブオーバータイプのトラックについて検討を行った。



(ウェズレイ, イーウドソン原著, 青木, 野本共訳, 人間工学, コロナ社 (1956) より引用)

(a)片眼視野 (右側の例)

図 2.1



(知久, 倉田編, 人間工学ハンドブック, 工業デザイン全書, 金原出版 (1956) より引用)

(b) 色視野

図 2.1 人間の片眼および色に関する視野

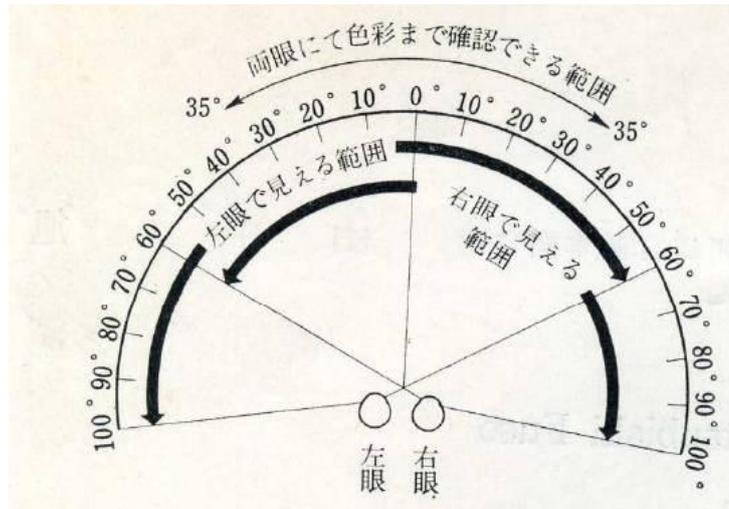


図 2.2 両眼視野

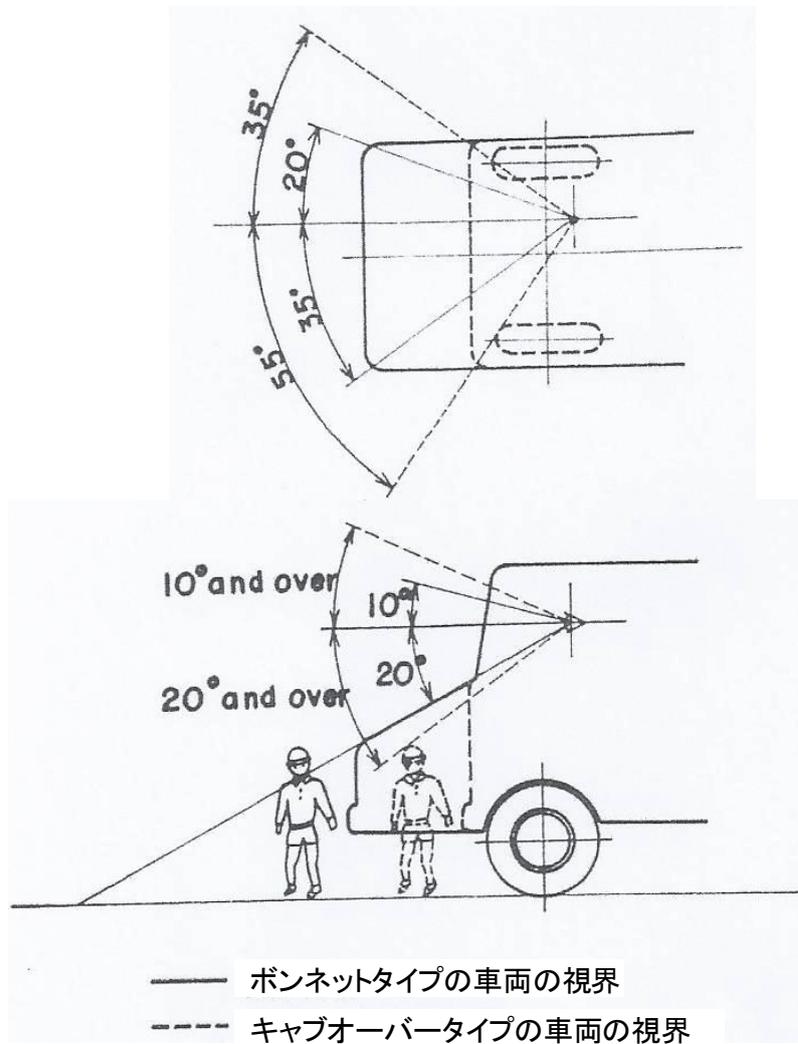


図 2.3 大型自動車の直進時に必要度の高い前方視界
(ボンネットタイプ車両とキャブオーバータイプ車両の比較)

2.2 静止状態での視界試験

静止状態での運転視界の評価には，次の3種類の評価法が主に用いられている．

(1) スクリーン投影法

運転者の目の位置 (Eye Point) に光源 (幻燈用 100W 電球) を $2\frac{1}{2}$ in (63.5mm) 間隔で2個設置し，半径 12ft (3.66m) のスクリーンに投影する評価法で，1960年に英国 MIRA Fosbery が発表した⁽³⁾⁽¹⁸⁾．この評価法でのシートへの電球の取付けの様子を図 2.4 に，シートと眼の位置関係を図 2.5 に示す．なお，両眼の中心はベンチシートの場合は車の中心線に平行なステアリングホイール中心線にあるが，バケットタイプシートの場合はシート中心線上におく．運転者のシートの位置は，なるべく有効脚長が 930mm (図 2.5 の a+b) になるように調整する．眼の前後方向中心は，図 2.5 に示したシートバックの接線の前方 c の距離にとる．この距離 c はシートバック角度に対する補正值であり，シートバック角度と補正值の関係を図 2.6 に示す．本評価法は，正確で実際の乗車時に近い評価を得ることができるが，評価に要する時間がかかりすぎる欠点がある．なお，現在では，自動車技術会の規格による運転者の目の位置，すなわち「JSAE Eye Point Range」を原点として CAD によって上述のスクリーン投影を数値計算によって算出し，視界領域を評価する改良版のスクリーン投影法が使われることが多い．

(2) 魚眼レンズカメラ法

魚眼レンズを使用したカメラで車両の前方視界を評価する方法．簡便に評価することができるが，魚眼レンズで撮影した写真は，実際の乗車時に運転者の目に映る視界とは，大きく異なる．

(3) X-Y レコーダ法

運転者の目の位置で，縦方向の視界と横方向の視界をそれぞれ縦軸方向と横軸方向の電流量に変換して X-Y メモレコーダに書かせる方法．短時間で評価することができるが，後部座席のない車両では，計測しにくいといった問題点がある．

なお，本研究では，上記の三つの評価法の中で正確で実際の乗車時に近い評価を得ることができるスクリーン投影法で視界の評価を行った⁽³⁾．

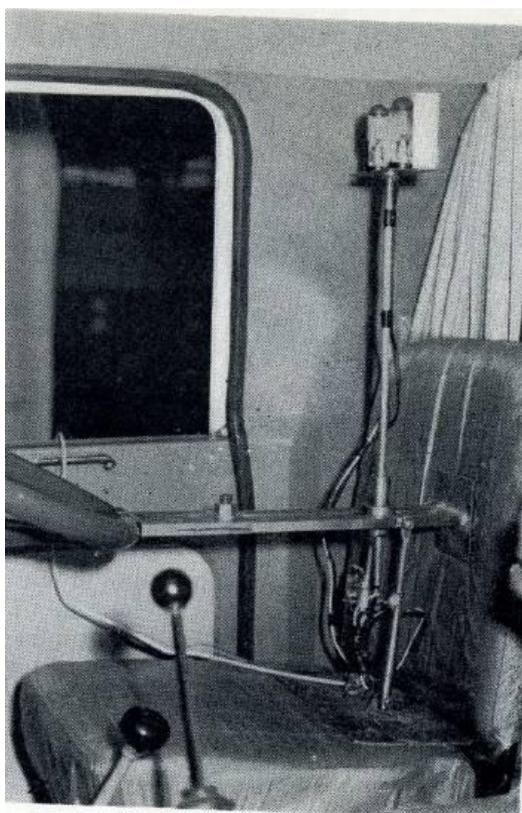
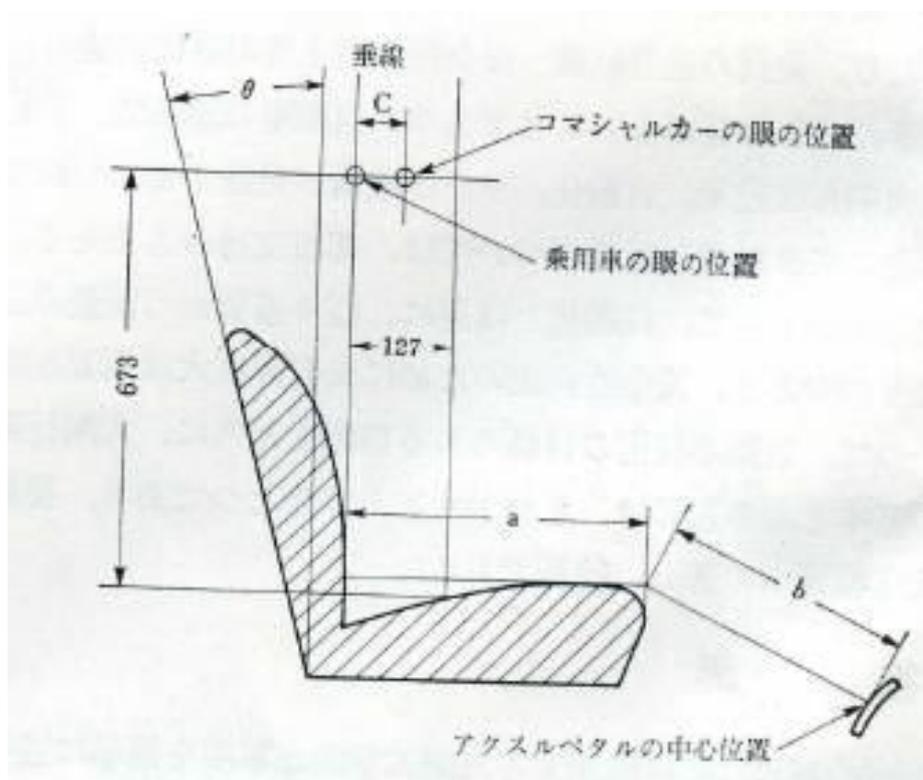


図 2.4 シートへの電球の取付けの様子



(単位 mm)

図 2.5 シートと運転者の眼の位置の関係

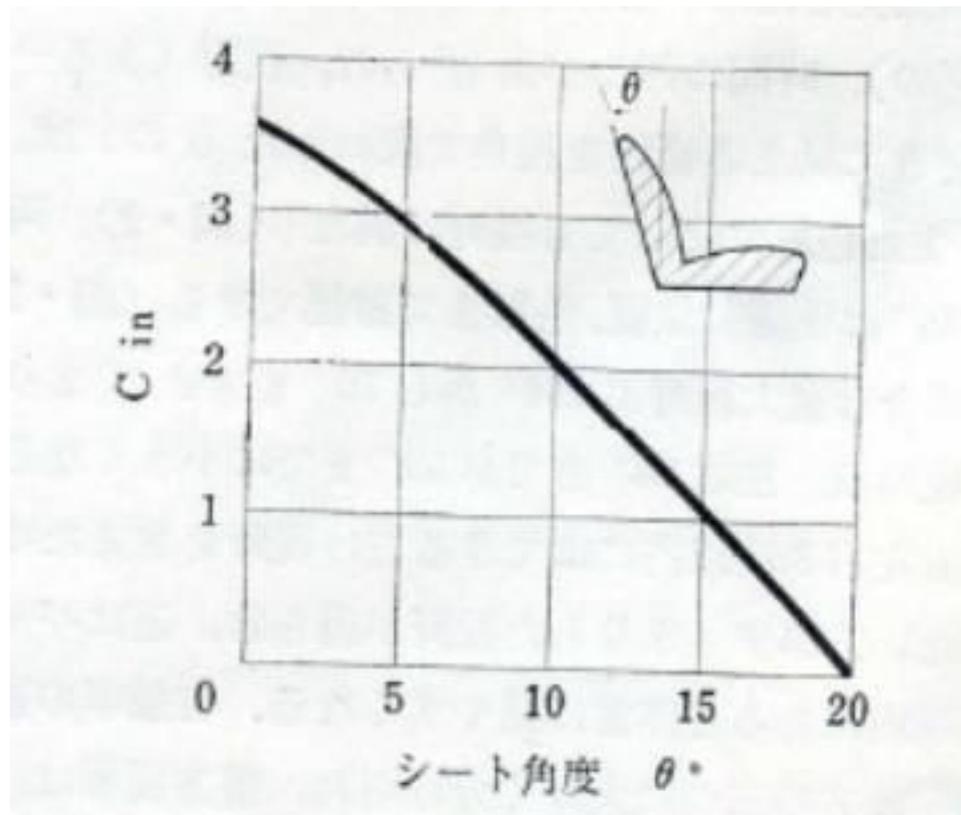


図 2.6 運転者の眼の位置の補正

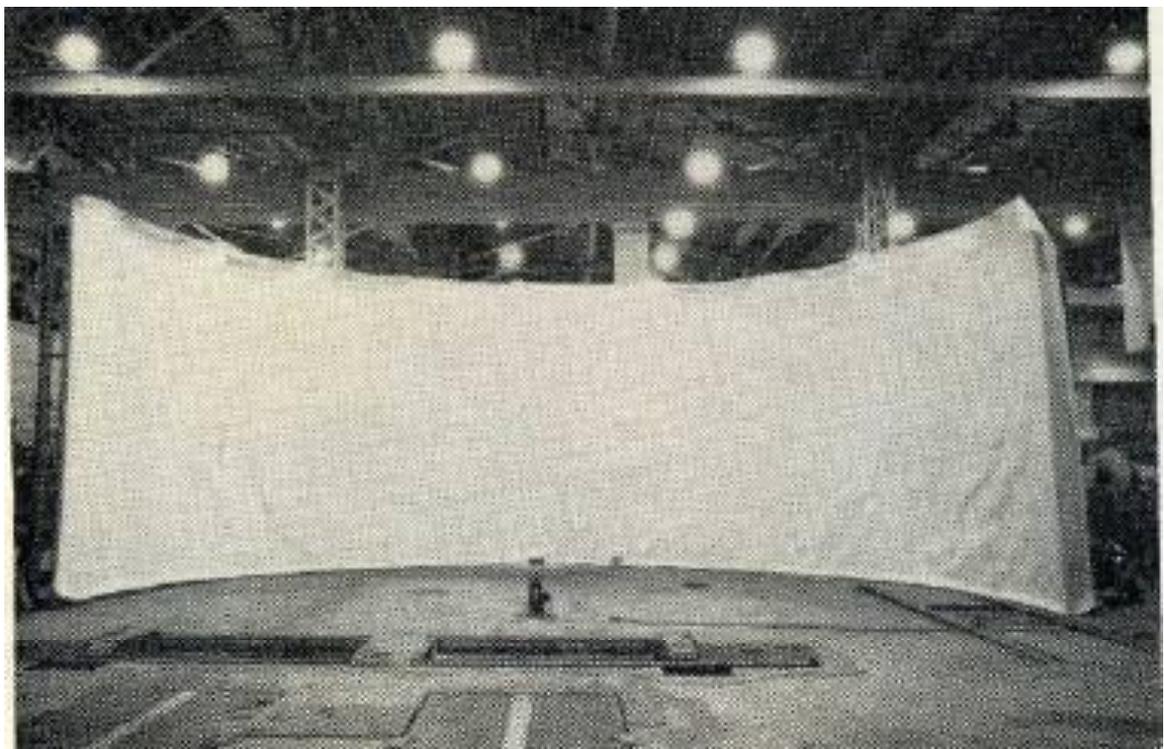


図 2.7 スクリーン投影法に用いられるスクリーン

スクリーン投影法では、前方の視界は、地上から垂直方向に立てた半円スクリーン上に、前述の運転者の眼を模した電球から投影された影の面積から計測される。スクリーンの大きさは、高さ 3m で半径 3.66m の円周の半円部分の長さがある（図 2.7）。なお、運転視界を評価する車両は、運転者の眼の位置が半円スクリーンから等距離になる場所に置く（図 2.8）。また、ワイパーの効果を評価するため、フロントウィンドウに磨き粉を塗り、払拭された部分の投影面積を測定する（図 2.9）。

本研究では、次の 4 車種について静止状態の視界評価試験を実施した。

試験車①：三菱ふそう 8t 積・ボンネットタイプトラック T33 形 [生産時期：1955-1960 年]

試験車②：三菱ふそう 8t 積・ボンネットタイプトラック T330 形（視界改良型） [生産時期：1961-1968 年]

試験車③：三菱ふそう 8t 積・キャブオーバータイプトラック T380 形

試験車④：三菱ふそう 8t 積・ワンサイドキャブオーバータイプトラック T385 形

なお、各試験車を図 2.10 に示す。

2.3 静止状態での視界測定結果

1) ボンネットタイプトラック

試験車①および試験車②の視界測定結果（スクリーン投影線図）を図 2.11 に示す。試験車①の視界は、1950 年代の標準的なボンネットタイプトラック（1955-1960 年生産）の典型的な視界であり、死角領域も多い。そこで、視界を改良したボンネットタイプトラックの試験車②（1961-1968 年生産）が開発された。試験車②は、生産性の向上も兼ねたノーズダウンのデザイン（試験車①に比べてフード先端を低くしたデザイン）とすることで、フードが視界の邪魔にならず、キャブオーバータイプトラックと同様にフロントウィンドウ下辺が視界の下限となっている（図 2.12）。試験車①と試験車②のスクリーン投影線図の比較を図 2.13 に示す。試験車①ではセンターピラーが太く、またフード先端が高いことから、試験車②に比べ死角領域が多いことがわかる。

試験車①と試験車②の路面視界の比較を図 2.14 に示す。試験車②の路面視界は、試験車①に比べてはるかに良好である。なお、試験車①の視界については、文献「日本の自動車技術 20 年史」⁽¹⁾でも、「非常に優れた視界を有するボンネットタイプトラックである」と高く評価されている。

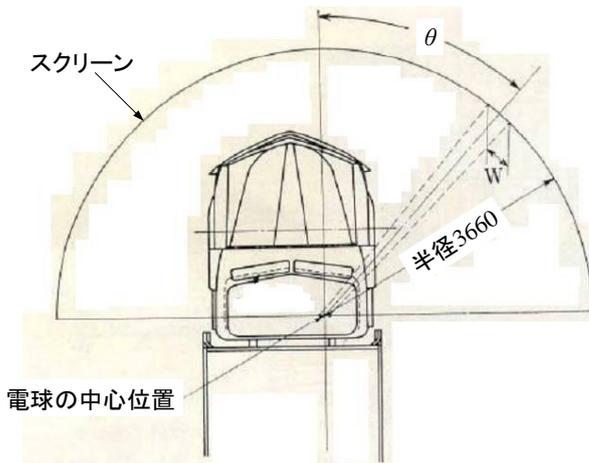
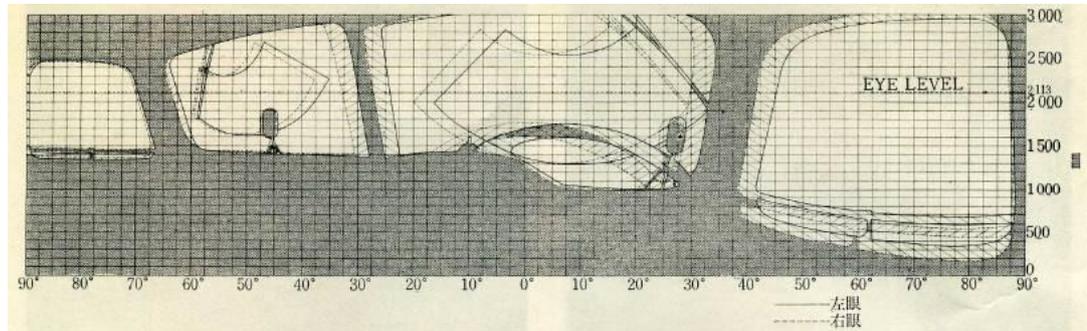


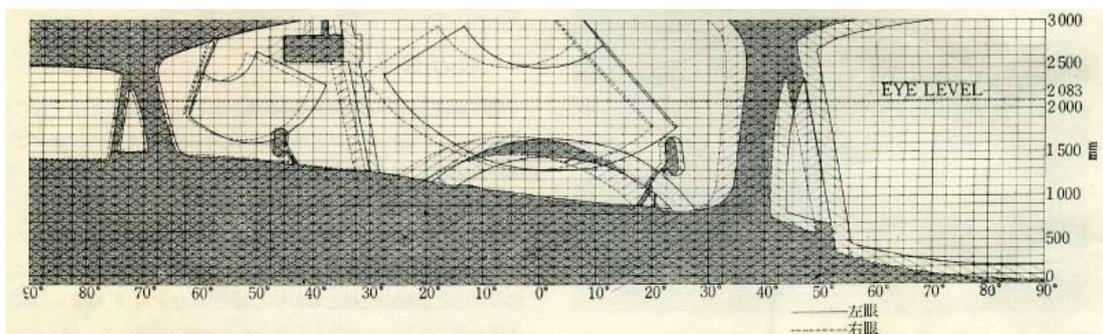
図 2.8 スクリーン投影法での試験車の設置位置 図 2.9 スクリーン投影法による視界測定の様子



図 2.10 本研究での試験車

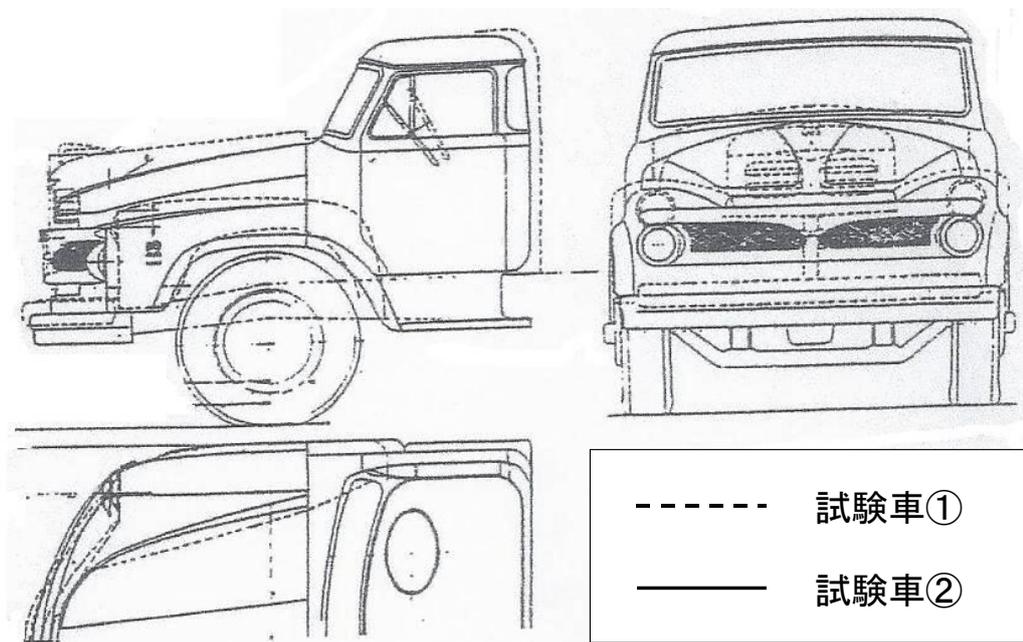


(a) 試験車①



(b) 試験車②

図 2.11 スクリーン投影線図



(a) 試験車①および試験車②のキャブ形状の比較図



(b) 試験車①のキャブ外観



(c) 試験車②のキャブ外観

図 2.12 試験車①および試験車②のキャブ周辺形状の比較

(試験車①：生産時期 1955-1960 年，試験車②：生産時期：1961-1968 年)

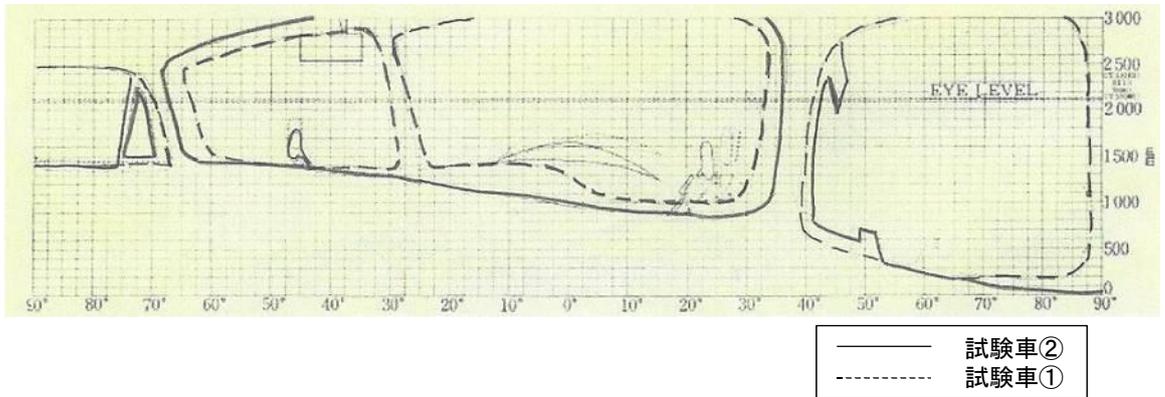
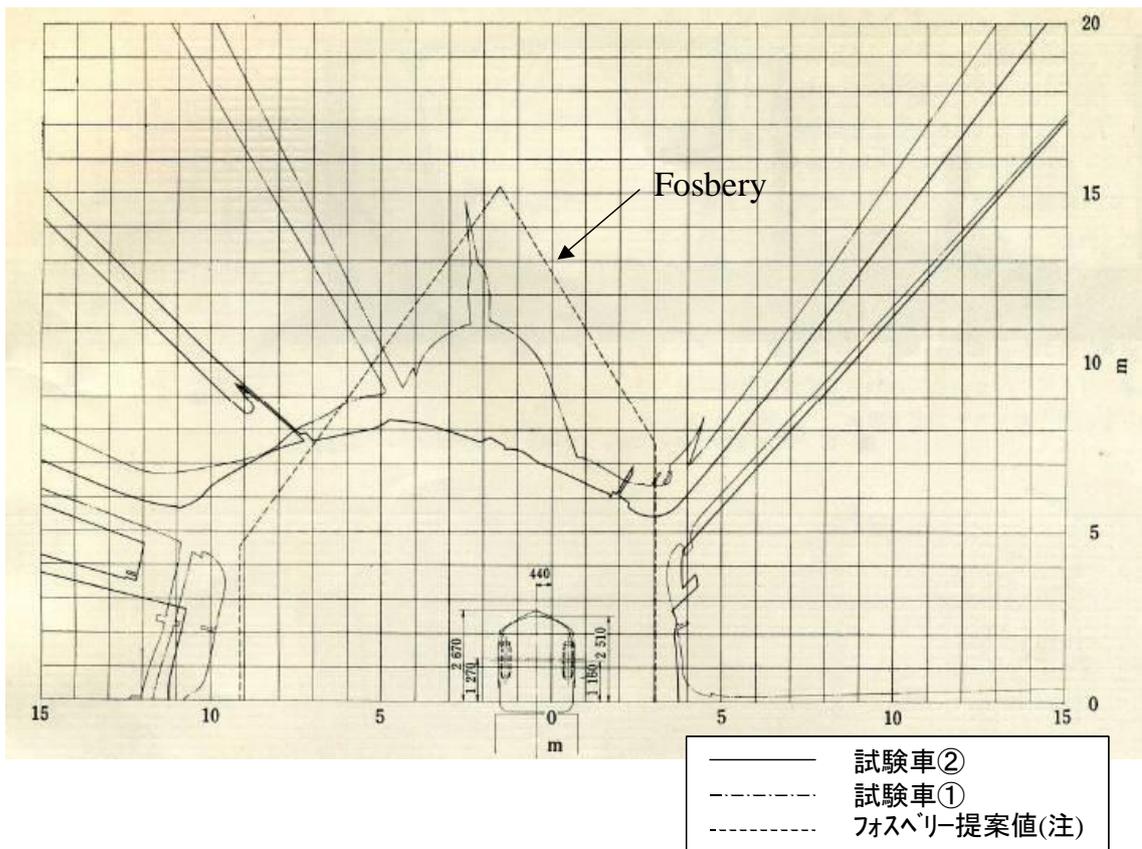


図 2.13 試験車①と試験車②のスクリーン投影線図の比較



((注) フォスベリ-提案値⁽³⁾⁽¹⁸⁾: 視界に対する最低要求条件として提案された値)

図 2.14 試験車①と試験車②の路面視界線図の比較

2) キャブオーバータイプトラック

試験車③および試験車④のスクリーン投影線図を図 2.15, 図 2.16 に示す. 試験車③は, 1960 年代に日本で最も多く生産された, 積載量 8t クラスのキャブオーバータイプトラックであるが, キャブオーバータイプの宿命で視線の高さより上方の視界を良くすることが困難であり, フロントウィンドウの右柱 (右 A ピラー) がスクリーン投影線図上の 20° の位置にある. なお, 上方視界は, 左右両端を曲面ガラスにしたフロントウィンドウ (パノラミックウィンドウ) にすることで改善できるので, 近年のトラックではパノラミックウィンドウを採用しているものも少なくない.

試験車④は, 乗員のスペースが運転席部分のみとなっている特殊な車両 (大型クレーン車等のベースとなる車両) であるが, この車両の視界は, 試験車③の視界を改善するように設計したものである. 試験車③と試験車④のスクリーン投影線図の比較を図 2.17 に示す. 試験車④では, 視線の高さより上方の視界が大きくなり, 更に左前および左横の視界も大きくなったことで, 市街地走行における安全性は非常に良くなった. なお, 試験車④の問題点は, スクリーン投影線図の左右 20° 付近にフロントウィンドウの柱 (左右の A ピラー), 30° から 40° の辺りにドアピラーがあるため, これらが直線走行時に心理的影響を与えることである.

試験車③と試験車④の路面視界の比較を図 2.18 に示す. 試験車④の路面視界は, 視界に対する最低要求条件として提案されたフォスベリー提案値⁽³⁾の領域内に入るので, 市内の混雑した場所や狭い工事現場等での運転が容易であり, 安全性が高く機動性の富んでいると評価できる.

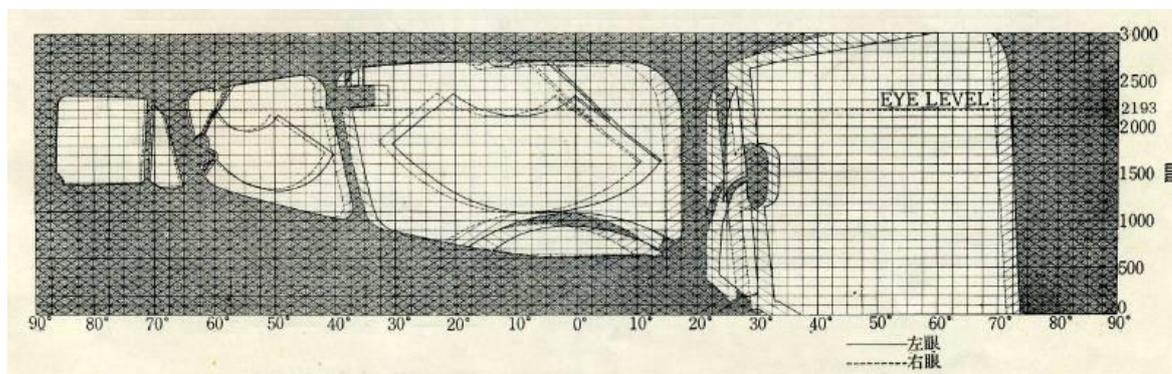


図 2.15 試験車③のスクリーン投影線図

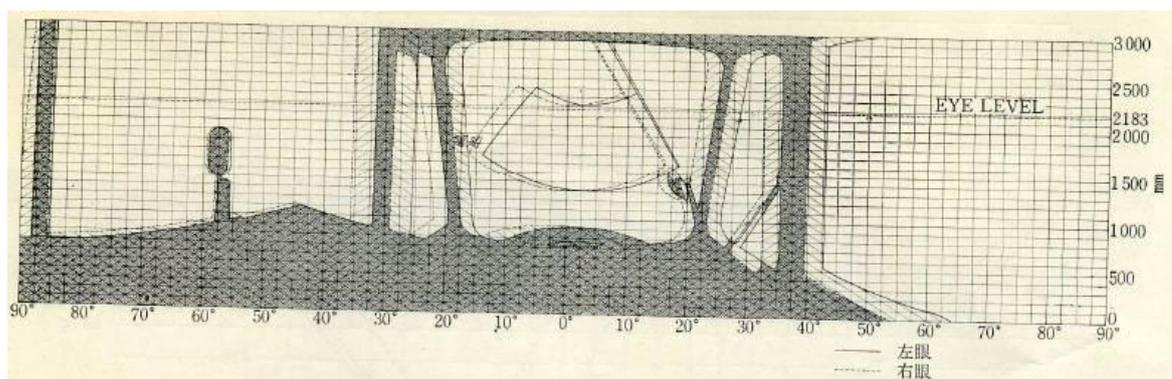


図 2.16 試験車④のスクリーン投影線図

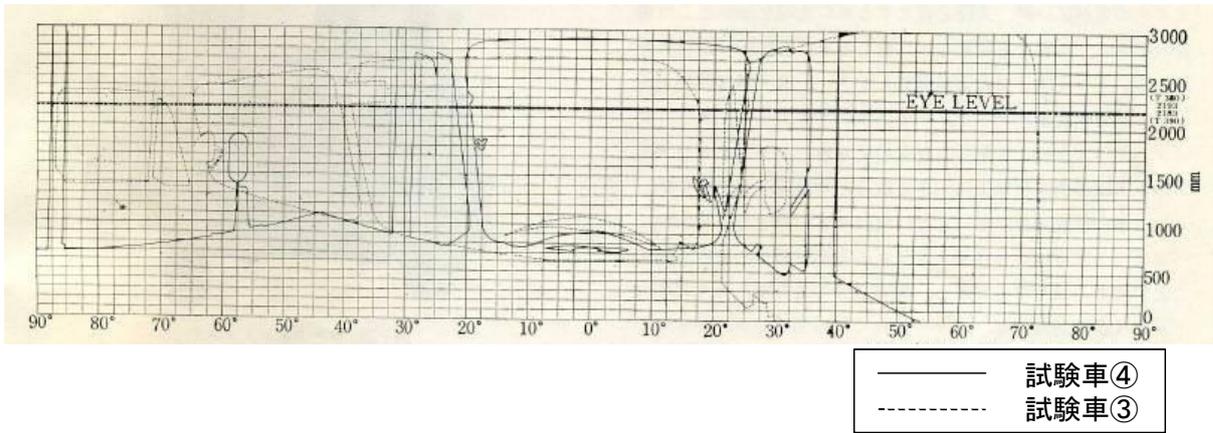
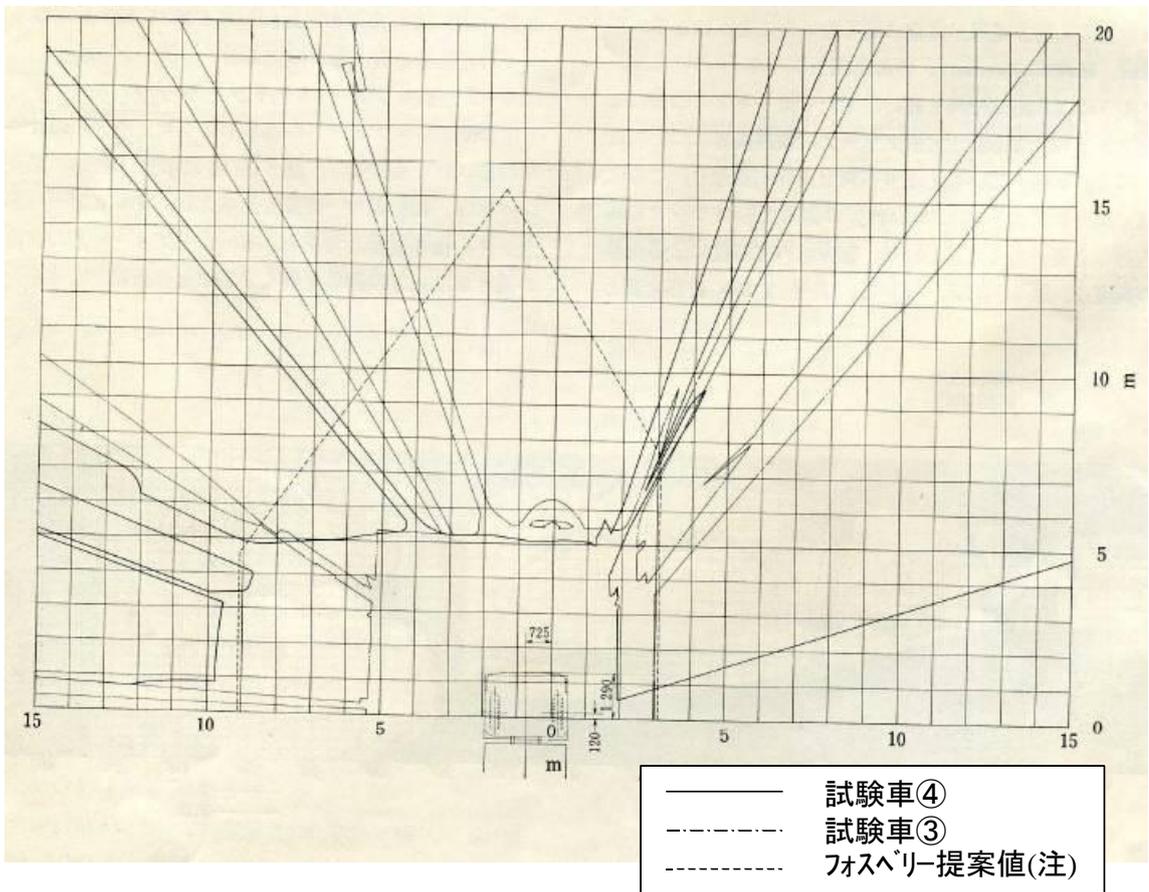


図 2.17 試験車③と試験車④のスクリーン投影線図の比較



((注) フォスベリー提案値⁽³⁾: 視界に対する最低要求条件として提案された値)

図 2.18 試験車③と試験車④の路面視界線図の比較

3) ボンネットタイプとキャブオーバータイプの比較

試験車②（ボンネットタイプ）と試験車③（キャブオーバータイプ）のスクリーン投影線図の比較を図 2.19 に示す。視線の高さより上方は、試験車②の方が明らかに良く、上方の信号を見易い。特に、フロントウィンドウの右柱（右 A ピラー）が 35° より外側にあるため、フロントウィンドウに平面ガラスを使用しても、乗員には非常にワイドな感じを与え、視界を害することが少なく、直線、カーブ、走行、いずれにおいても試験車②の方が運転し易い。一方、前面下方視界は、試験車③の方が良いが、車両の先端の位置に対して視覚は反応し、運転動作を決定しなければならないので、路面視界の評価結果も考慮する必要がある。

試験車②と試験車③の路面視界の比較を図 2.20 に示す。試験車②と試験車③の車両先端に対する路面視界はほとんど変わらず、運転者の位置からの視界は試験車③の方が広いが、実際必要とする車両の先端を基準とした場合の視界は両車共変わらず、むしろ車両の直前を横断する歩行者等は、ボンネットタイプである試験車②の方が発見し易い（図 2.21）。

なお、試験車③のようなキャブオーバータイプの車両直前の下方に対する死角領域（図 2.21）を少なくするため、下方限界を大きくとった場合、運転者にとって対地速度が大きく感じられるようになるため、運転者が疲れ易い車両となってしまう危険がある。

大型自動車の視界については、1960 年代当時の西ドイツにおける、StZO（der Strassenverkehrs Zulassungs Ordnung）交通認可規定の第 2 節構造要求条件に、「総重量 2.5t 以上のトラックは運転席のシート中央から 700mm の高さより見て、半径 6m 上の立てた高さ 1m の棒が見えなければならない。」という視界に関する規定を設けているが（図 2.22）、今回の静止状態での視界評価試験に用いた試験車については試験車①から試験車④の 4 台すべてが、この規定を満足している。

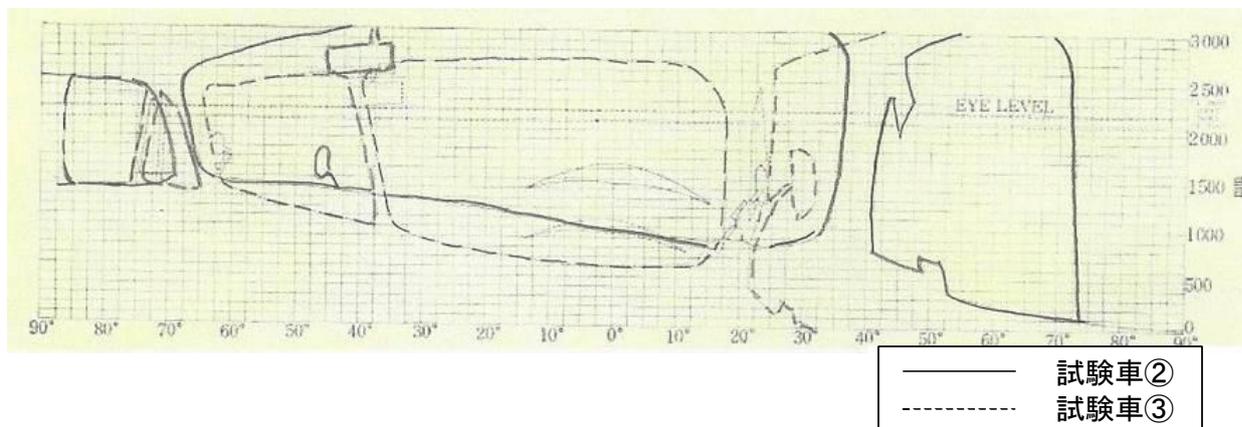


図 2.19 試験車②と試験車③のスクリーン投影線図の比較

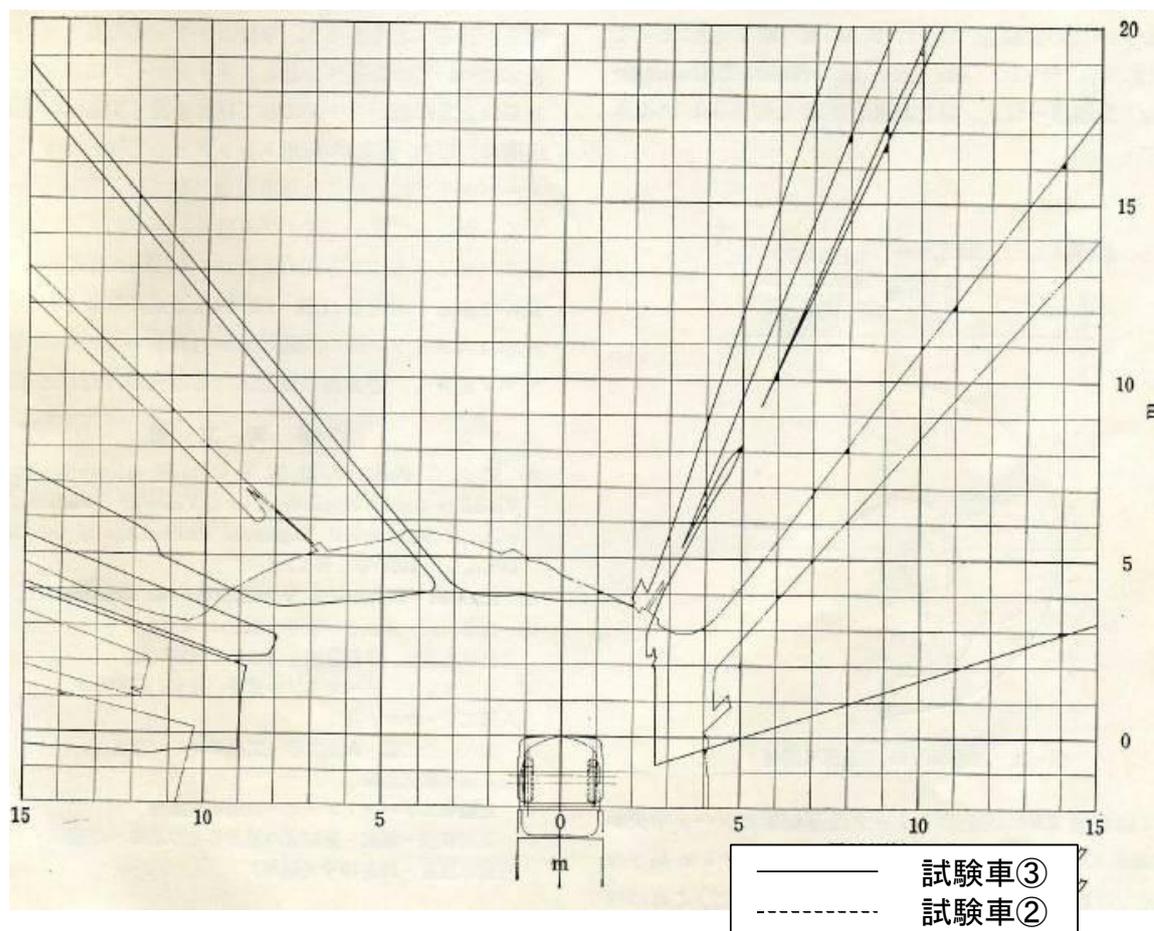


図 2.20 試験車②と試験車③の路面視界線図の比較

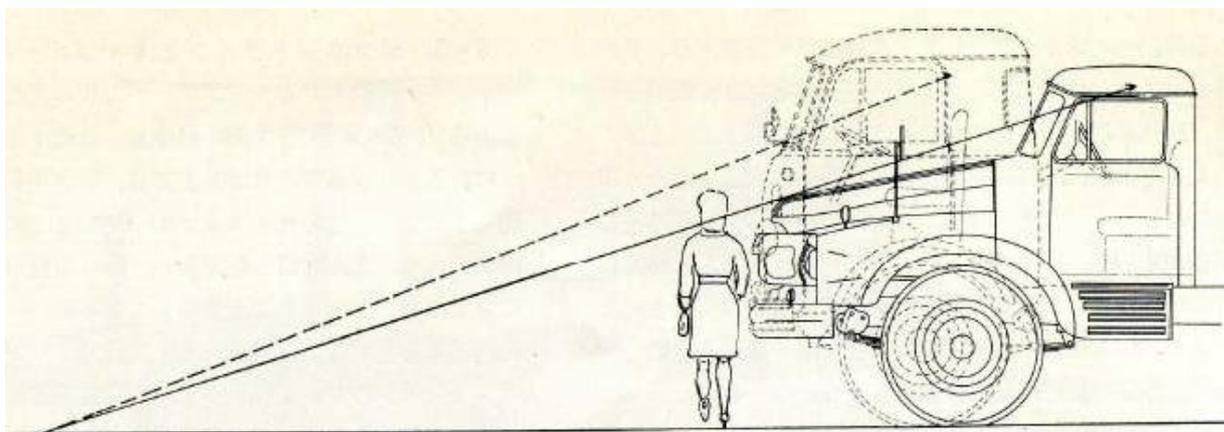


図 2.21 ボンネットタイプとキャブオーバータイプの車両直前視界の比較

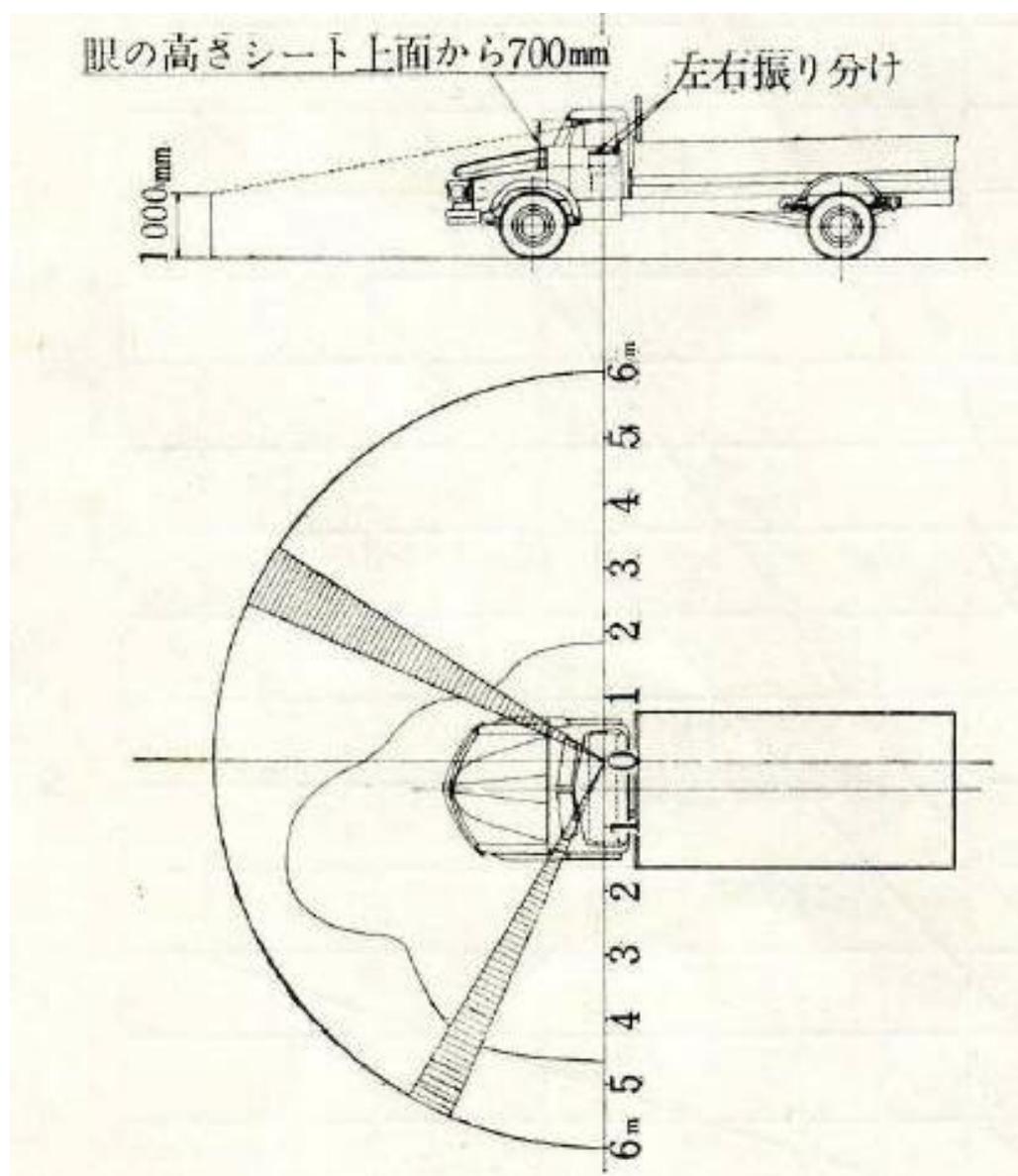


図 2.22 西ドイツ StVZO で規定された総重量 2.5t 以上トラックの視界

2.4 走行状態での視界試験

1) 試験の概要

今まで述べてきた静止状態での視界の評価は、「発進時や低速走行時における安全確保のための視界」を評価するものであるが、通常の走行時や高速走行時の視界に関する安全性を必ずしも評価しているわけではない。

本研究では、「市街地」、「高速道路」、「山間地」、「狭路通過性とバス停への接近し易さ」の各条件について、走行状態での視界試験を実施、キャブオーバータイプの大型バス、ボンネットタイプの大型トラックおよび乗用車それぞれの視界の評価を実施した⁽⁵⁾⁻⁽¹⁰⁾。

2) 試験車および視界条件

本研究では、次の 3 台の試験車を使用した。

試験車①：三菱ふそう高速バス MAR820 形の視界試験用改造車（図 2.23）。

キャブオーバータイプの大型バスの車両前面部を屋根部から床面部に亘って大きくガラス張りにした試験車。フロントウィンドウ内部にカーテンを取り付け、カーテンでフロントウィンドウを覆う面積を変化させることで、運転視界の条件（表 2.1）を変化させるようにした試験車である。

試験車②：三菱ふそう T330 形（視界改良型）トラック（図 2.24）。

ボンネットタイプの大型トラック。試験車①のような大規模な改造はしていないが、カーテンでフロントウィンドウを覆う面積を変化させることで、運転視界の条件（表 2.2）を変化させるようにしてある。

試験車③：三菱コルト 1000（A20 形）乗用車（図 2.25）

一般的なセダンタイプの乗用車。フロントウィンドウにテープを貼り付けることで、運転視界の条件（表 2.3）を変化させるようにした。



図 2.23 試験車① (三菱ふそう高速バス MAR820 形改造車)

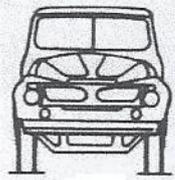
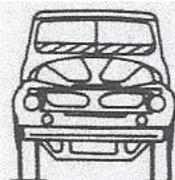
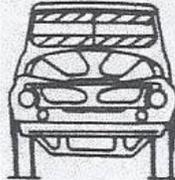
表 2.1 試験車①の運転視界条件

視界条件		(1)可視範囲 (2)下方視界限界 ^(注) (mm)	視界条件		(1)可視範囲 (2)下方視界限界 ^(注) (mm)
A	<p>(全開状態)</p>	(1) 1440 × 1880 (2) 2450 (mm)	D		(1) 455 × 1880 (2) 5600 (mm)
B	<p>(標準的なバスの フロントウィンドウ)</p>	(1) 595 × 1880 (2) 5600 (mm)	E		(1) 360 × 1880 (2) 8150 (mm)
C		(1) 500 × 1880 (2) 8150 (mm)	<p>※. 表中の「斜線」部分は、カーテンでフロントウィンドウを覆った領域を示す。</p> <p>(注)下方視界限界は、目の位置から路面が見えた位置までの寸法を示す。</p>		



図 2.24 試験車② (三菱ふそう T330S 形トラック)

表 2.2 試験車②の運転視界条件

視界条件		(1) 可視範囲 (2) 下方視界限界 ^(注) (mm)
A	 (全開状態)	(1) 460 × 1880 (2) 7300 (mm)
B		(1) 345 × 1640 (2) 8850 (mm)
C		(1) 270 × 1640 (2) 8850 (mm)

※. 表中の「斜線」部分は、カーテンでフロントウィンドウを覆った領域を示す。

(注) 下方視界限界は、目の位置から路面が見えた位置までの寸法を示す。

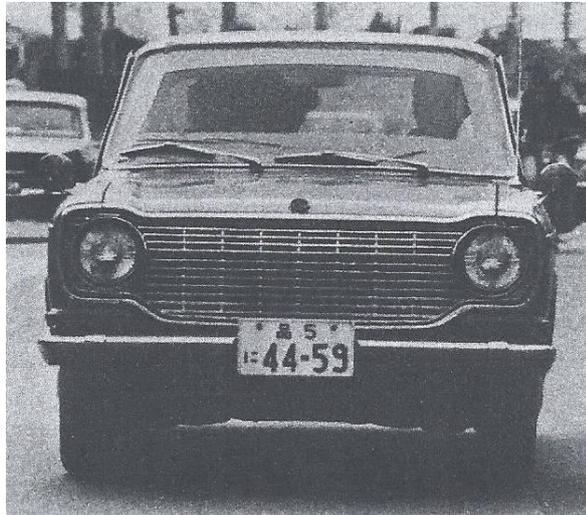
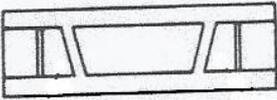
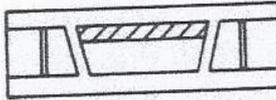
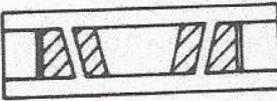
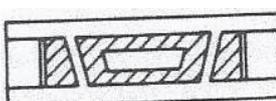


図 2.25 試験車③ (三菱コルト 1000 (A20 形) 乗用車)

表 2.3 試験車③の運転視界条件

視界条件		(1) 可視範囲 (2) 下方視界限界(注) (mm)	視界条件		(1) 可視範囲 (2) 下方視界限界(注) (mm)
A		(1) 495 × 1250	C		(1) 495 × 1225
	(全開状態)	(2) 5080 (mm)		(2) 5600 (mm)	
B		(1) 470 × 1250	D		(1) 475 × 1225
		(2) 5080 (mm)		(2) 8150 (mm)	

※. 表中の「斜線」部分は, カーテンでフロントウィンドウを覆った領域を示す.

(注) 下方視界限界は, 目の位置から路面が見えた位置までの寸法を示す.

3) 計測装置および被験者

本研究では, 次の計測装置を使用した.

3-1) オシログラフ (図 2.26)

時間, 車速, 前後方向加速度, 左右方向加速度, 制動, 同乗者による危険感等, 運転動作に係わる値の測定に使用した.

3-2) 皮膚電気反射 (Psycho Galvanic Response, P.G.R.)

見かけ上の皮膚の電気抵抗は神経中枢の興奮性によって変化する. この現象を利用して「ウソ発見器」が作られているが, 本研究ではこれと同じ仕組み, すなわち, 皮膚電気抵抗が変化する出現頻度 (P.G.R.出現率) を興奮性や心身の負担度を測る指標として用いた.

3-3) 呼吸数の測定

人体に精神的, 肉体的な興奮, ストレスを与えると, 一般に呼吸数が高まることを利用して, 1 分間当たりの呼吸数を連続的に計測し, 興奮の度合いの測定を行った.

3-4) フリッカー値

大脳の興奮性, 疲労性の低下状態を測定するため, セクタを通しての光のちらつき度を測定した値. 本研究では, 作業負荷による身体の変化を測定した.

3-5) メモーションカメラ

16mm 撮影機を毎秒 1 コマの間隔で作動させ, 前方交通環境の変化を撮影した. これにより, 他車の影響, 追越し動作等の観察を行った (図 2.27).

3-6) 被験者

本研究での被験者 (試験車の運転者) を表 2.4 に示す. 表 2.4 中に示した被験者のうち, Sa, Ta, Ma の 3 名は, プロの運転手 (観光バスの運転手) である.

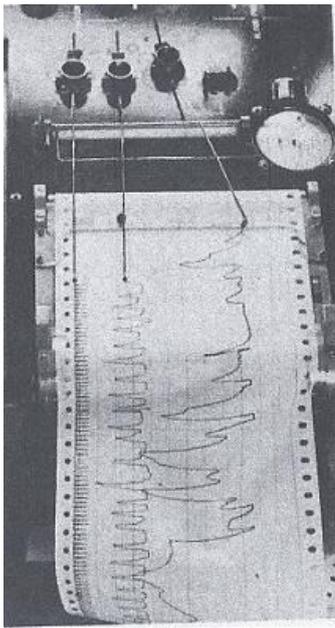


図 2.26 オシログラフ

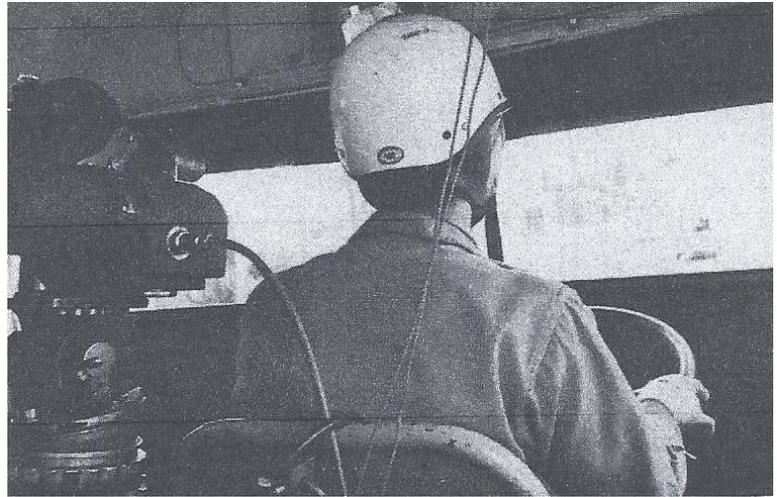


図 2.27 メモーションカメラ

表 2.4 走行状態での視界試験での被験者一覧

被験者	年齢	経験年数	試験車①				試験車②				試験車③	
			市街地	高速道路	山間地	平地	市街地	高速道路	山間地	平地	市街地	高速道路
Ha	27	4										○
Ik	38	16								○		
Ir	30	5				○						
Ka	32	9				○						
Ki	31	12		○								
Ko	38	10										○
Ky	32	11				○			○			
Ma	45	17	○									
Mo	38	16								○		
Ms	30	10	○		○	○			○			
Mt	37	16										○
Ow	29	7	○	○				○	○			
Sa	42	16		○				○				
Se	41	9							○			
Si	35	14	○		○							
Ta	29	10	○	○								
Ya	33	15		○		○						

2.5 走行状態での視界試験の結果

1) 市街地走行試験

東京都内の駒沢通りおよび青山通りを駒沢-青山一丁目間において走行，表 2.1 から表 2.3 に示した視界条件で各試験車の運転者の身体的負担の計測を行った。なお，今回の試験で走行した区間のうち，同一視界条件は，駒沢-中目黒，中目黒-青山一丁目の往復の各 1 区間とし，全区間の往復によって 4 種類の視界条件について試験を実施するようにした。また，被験者には「自分が最も安全かつ適切と思われる走行」で運転するように指示した。

※. 市街地走行試験は，すべての試験車について実施したが，試験車②については，計測機器の故障のため，データに不十分な点があるため，今回の報告からは除いた。

1-1) 試験車①

視界条件と速度の関係を図 2.28 に，視界のメモーションカメラの撮影結果の一部を図 2.29 に示す。青山一丁目から中目黒に向かう走行ルートにおいて，被験者 Ta は視界条件 D で平均速度，最高速度共に高くなったが，被験者 Ma は視界条件 B のときに最高速度が高くなった。また，被験者 Ta は視界が狭くなる程，速度が高くなる傾向を示した。

皮膚電気反応や呼吸数については，被験者 Ta は速度の上昇と共に皮膚電気反応の P.G.R.出現率や呼吸数が増加したが，被験者 Ma では速度の上昇と P.G.R.出現率や呼吸数といった生理反応は逆に低くなった。

1-2) 試験車③

視界条件と速度の関係を図 2.30 に示す。どの視界条件についても走行速度にあまり大きな差はみられなかった。また，生理反応に関しては，視界条件 C の場合に反応が著しく変化した。

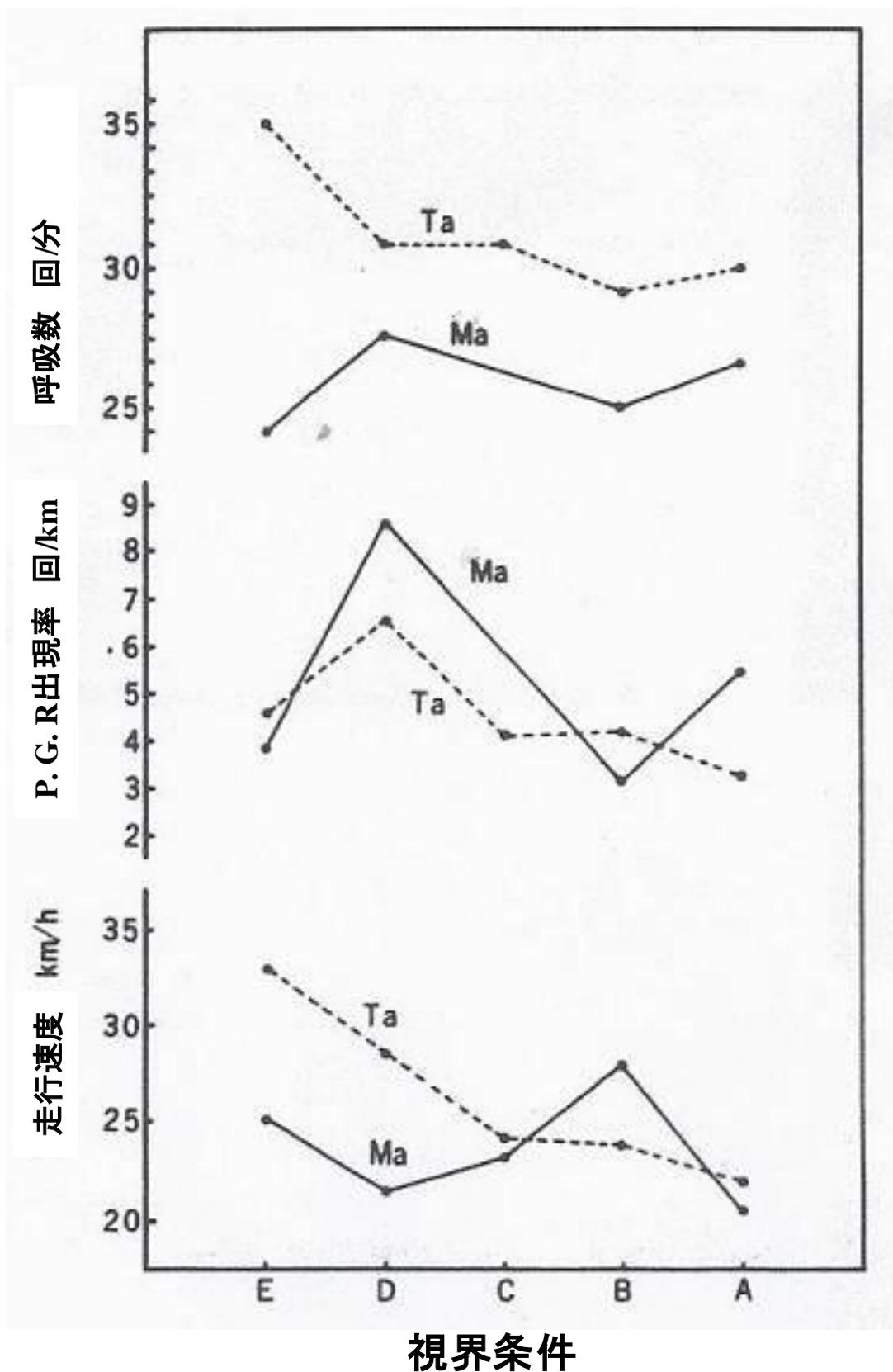


図 2.28 試験車①の市街地走行での視界条件と速度, 心身反応

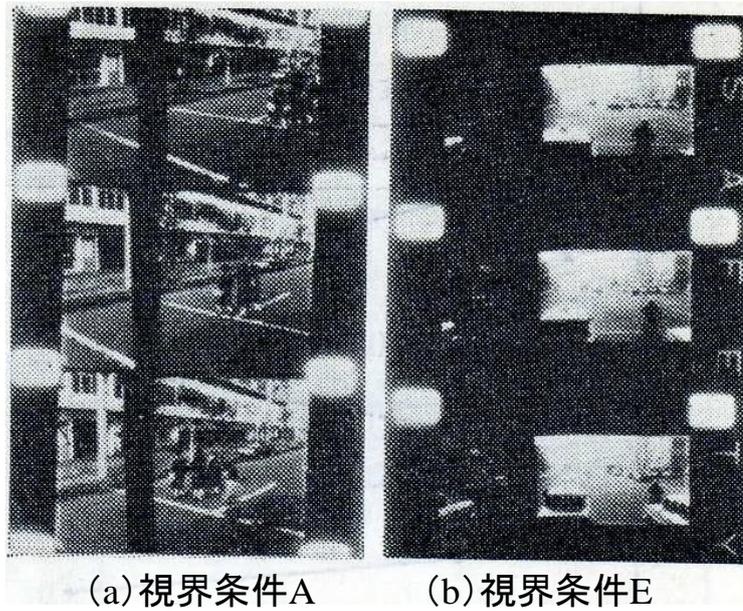


図 2.29 試験車①の市街地走行でのメモーションカメラでの撮影写真

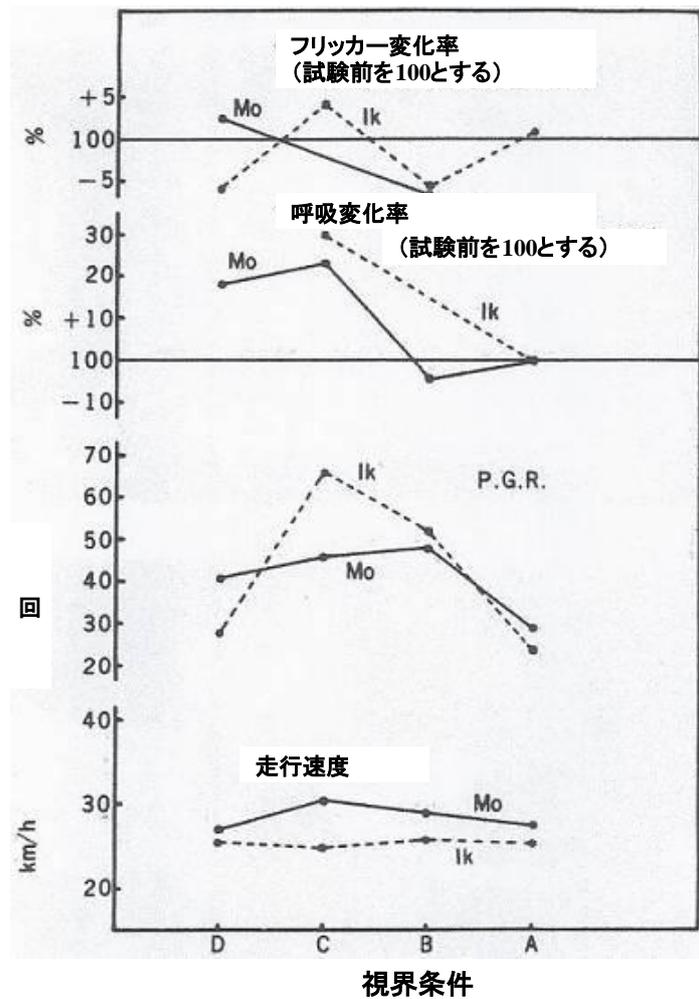


図 2.30 試験車③の市街地走行での視界条件と速度, 心身反応

2) 高速道路走行試験

名神高速の京都南-茨木間を走行, 上述市街地走行試験と同じ視界で運転者の身体的負担の計測を行った. なお, 被験者には「自分が最も安全かつ適切と思われる走行」で運転するように指示した.

2-1) 試験車①

走行速度と視界条件については, 市街地走行の場合と同様に, 被験者による差が激しい. 被験者 Ta の場合, 視界条件 E で走行速度は最高であり, 被験者 Sa では視界条件 B が最高であるが, 視界条件 A に比べ視界条件 B および E で高い速度で走行している. 被験者 Ow の場合には, 視界条件と車速の関係は明瞭ではない (図 2.31). これは, 被験者 Ow は視界条件 A での運転に慣れてしまっているためと考察する.

生理的反応と視界との関係については, 図 2.31 に示したように, 被験者 Ta では速度の上昇と共に心身反応は大きくなっている. また, 被験者 Sa でも同様の傾向となった. なお, 被験者 Ow については, 車速の場合と同様に, 視界条件と生理反応の関係も明瞭ではない.

なお, 視界のメモーションカメラの撮影結果の一部を図 2.32 に示す.

2-2) 試験車②

走行速度と視界条件の関係については, 被験者 Ow は試験車①の場合と同様, 明瞭な結果は得られなかったが, 被験者 Sa は視界条件 A に比べ視界条件 B および C では速度が約 10km/h 上昇した (図 2.33).

生理反応と視界条件の関係については, 被験者 Sa は視界が悪くなるに従い, P.G.R.出現率が高くなっており, 被験者 Ow も視界条件が悪くなると呼吸数が上昇した.

2-3) 試験車③

視界条件が悪くなった場合に速度が上昇することが確認できた (図 2.34).

生理反応についても, 視界条件が悪くなると P.G.R.の出現率や呼吸数の変化が確認できた.

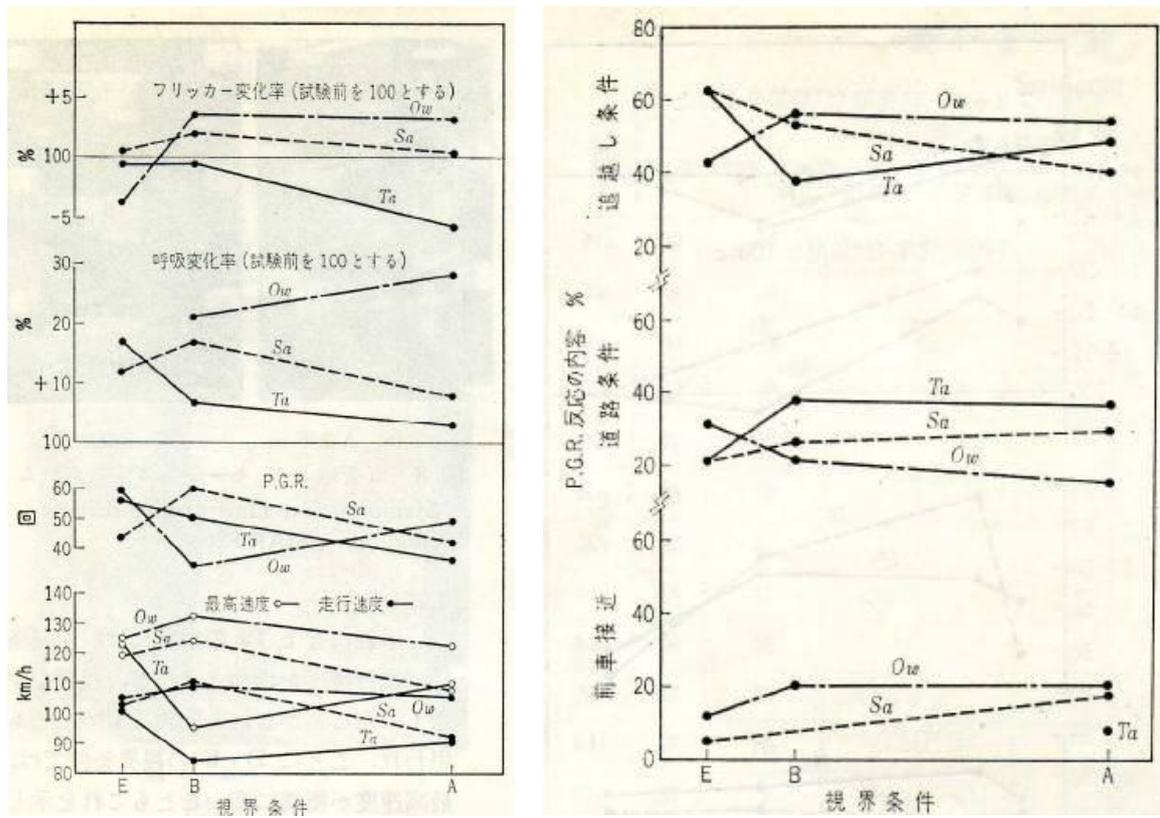
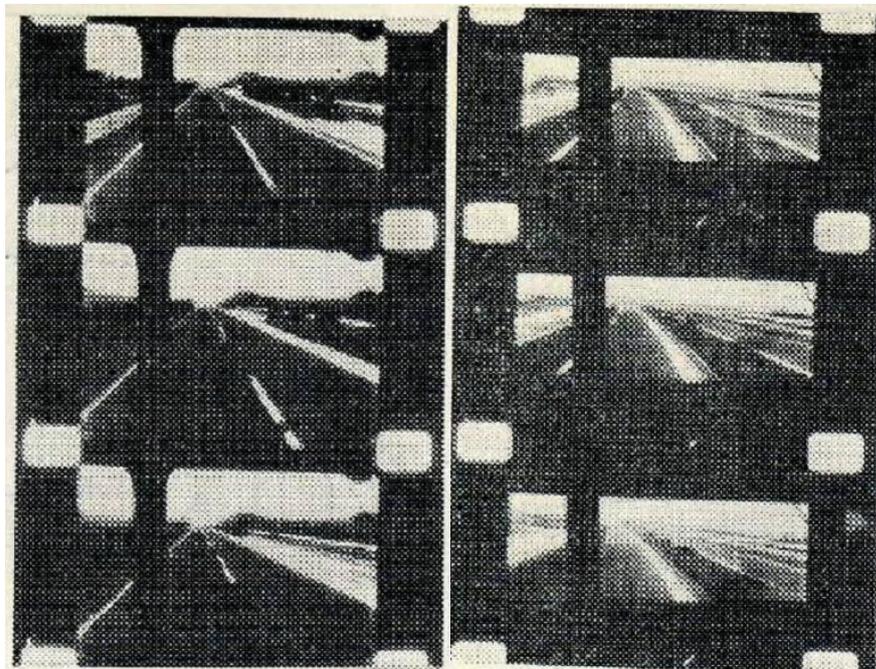


図 2.31 試験車①の高速道路走行での視界条件と速度，心身反応



(a) 視界条件A

(b) 視界条件E

図 2.32 試験車①の高速道路走行でのメモーションカメラ撮影写真

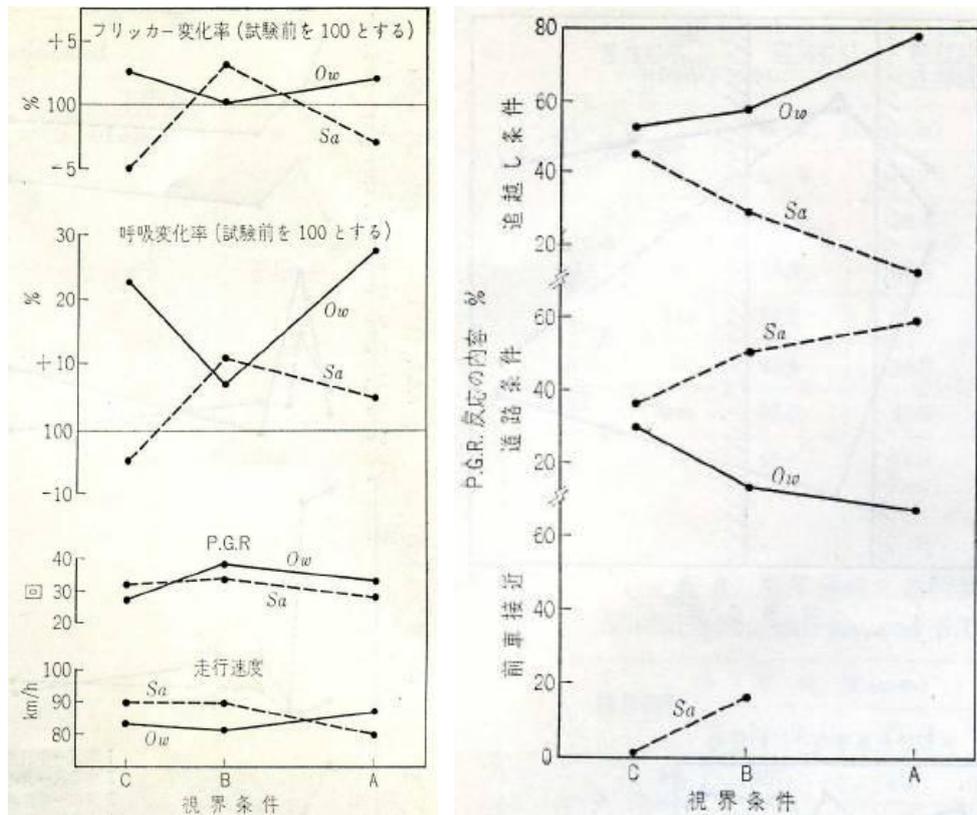


図 2.33 試験車②の高速道路走行での視界条件と速度, 心身反応

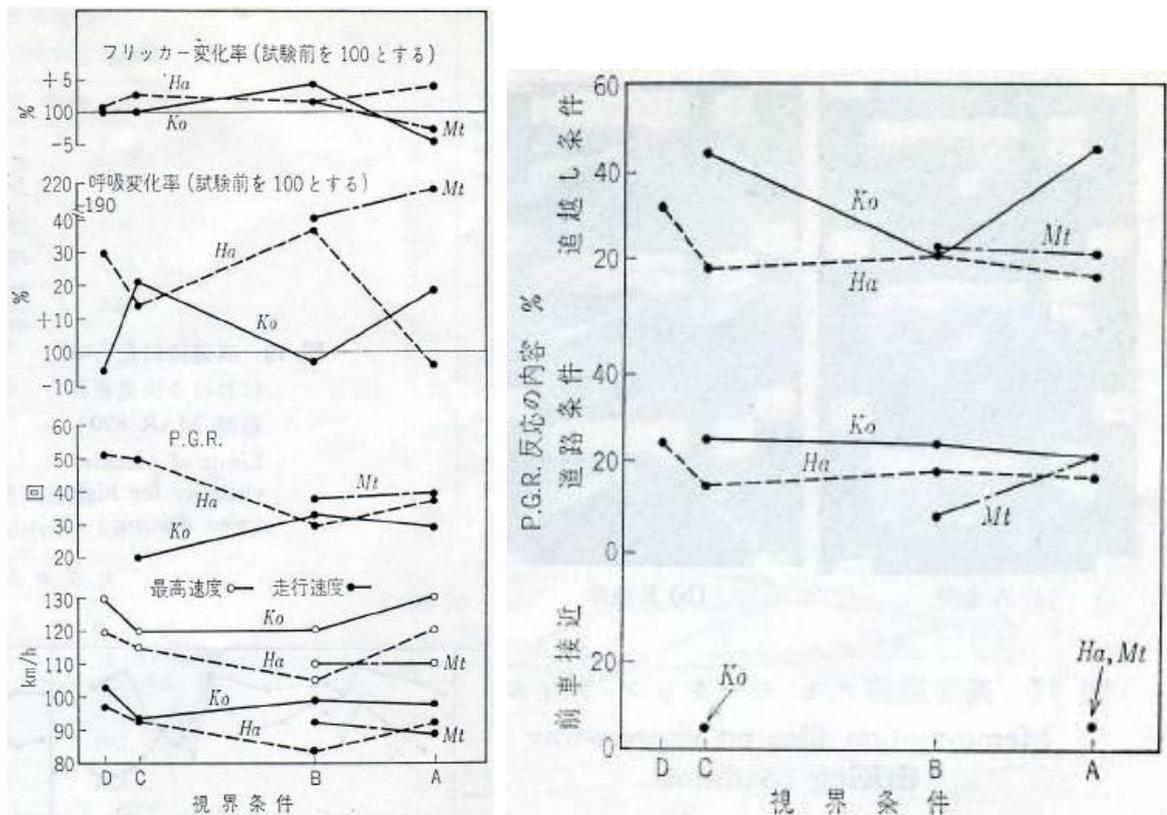


図 2.34 試験車③の高速道路走行での視界条件と速度, 心身反応

3) 山間地走行試験

曲線路が多い上、勾配の変化も多い山間地走行では、高度な運転操作が要求され、運転者にとっては、市街地や高速道路以上に視覚情報の入手が重要となる。山間地走行については、箱根新道の2.0kmポストから13.0kmポストまでの11kmの区間について、「登り」と「下り」のそれぞれについての視界試験を実施した。なお、山間地走行試験では、試験車①だけについて試験を実施した。

3-1) 「下り」走行

走行速度と視界条件の関係を図2.35および表2.5に、走行速度と走行軌跡の関係を図2.36および表2.6に示す。被験者Ma, Si共に、視界条件Aで速度が遅く、視界条件Eで速度が速くなっている。なお、図2.35中の「視界条件F(フィーリング)」とは、被験者が最適と感じた広さでの視界で走行した場合の走行速度の変化を示したものであり、視界条件Eに似た速度変化となった。

3-2) 「登り」走行

走行速度と視界条件の関係は図2.35および表2.5, 表2.6に示した通り。「下り」走行の場合と同様に、狭い視界(視界条件E)での速度の方が速くなっている。視界条件Aは、「下り」と同様速度が遅かった。視界が広すぎることは、運転者にかなりの不安を与えるものと考えられる。

4) 狭路通過性とバス停への接近し易さ

4-1) 狭路通過性の試験

大型自動車といえども、必ずしも車線幅の広い幹線道ばかりを通行するわけではない。特に路線バスでは狭い道路を通行しなければならないことも少なくない。そこで、狭い道路を通過する場合の適切な視界を評価するため、2本のポールを2,500mm, 2750mm, 3000mmの間隔に10mおきに設置し、ここを通過する試験を実施、「どのような視界条件なら通過し易いか」評価を行った。

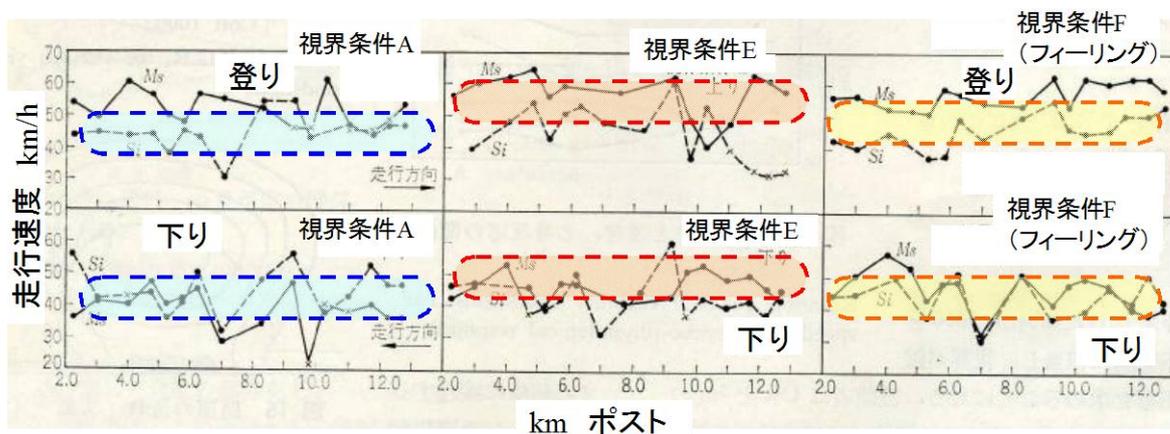


図 2.35 試験車①の山間地走行での視界条件と走行速度の関係

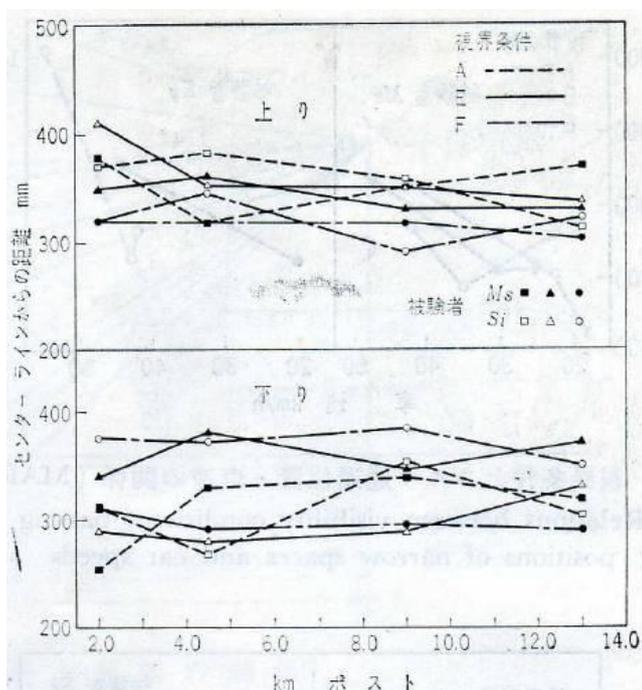


図 2.36 試験車①の山間地走行での視界条件と走行軌跡の関係

表 2.5 視界条件と走行速度の標準偏差

視界条件		平均値 (km/h)		標準偏差	
		上り	下り	上り	下り
A	Ms	48.0	39.8	4.97	5.21
	Si	44.9	45.8	5.32	6.50
E	Ms	54.2	46.6	4.02	4.16
	Si	48.4	44.2	7.03	5.36
F	Ms	52.8	46.4	3.98	5.62
	Si	46.4	44.6	4.95	6.42

表 2.6 視界条件と走行軌跡の標準偏差

視界条件		平均値 (mm)		標準偏差	
		上り	下り	上り	下り
A	Ms	357	312	23.6	33.2
	Si	358	312	27.3	31.0
E	Ms	343	359	13.0	16.7
	Si	364	299	30.5	18.8
F	Ms	316	299	8.5	9.6
	Si	322	371	18.8	12.5

試験車①で走行試験を実施した場合の右ポールから試験車までの距離とポールの間隔の関係を図 2.37 に示す. 被験者 Ms, 被験者 Ky 共にポール間隔が広がると, 右ポールから試験車までの距離も広がる.

同じく, 試験車①で走行試験を実施した場合の右ポールから試験車までの距離とポール設置場所を通過した際の車速の関係を図 2.38 に示す. 被験者 Ms では視界条件 A の場合に車速が最大になっており, 被験者 Ky では視界条件 B の場合に車速が最大であるが視界条件 A での車速も速く, キャブオーバータイプの大型車の場合については, 視界が広い方が速い速度で走行し易いのではないかと考える.

試験車②で走行試験を実施した場合の右ポールから試験車までの距離とポールの間隔の関係を図 2.39 に示す. 被験者 Se ではポール間隔が広がると, 右ポールから試験車までの距離も広がるが, 被験者 Ky ではポール間隔が 2750mm で右ポールからの距離が最大となるがポール間隔が 3000mm では右ポールからの距離がやや小さくなる.

同じく, 試験車②で走行試験を実施した場合の右ポールから試験車までの距離とポール設置場所を通過した際の車速の関係を図 2.40 に示す. 被験者 Ky では視界条件 A の場合に車速が最大になっており, 被験者 Se では視界条件 C の場合に車速が最大になっている. ボンネットタイプの大型車では, 視界の広さと狭路通過性について, 明確な関係は確認できなかった.

4-2) バス停への接近し易さ試験

図 2.41 に示したように, バス停に見立てたポールに試験車①を接近させる試験を実施した. 視界条件と停止位置との関係は, 被験者 Ya に明確な傾向が表れた. 被験者 Ya では, 広い視界になる程, ポールへの接近についての誤差が少なく, 狭い視界では誤差が大きくなる. 他の被験者については, 視界条件との関係は一樣ではないが, いずれにしても視界条件 A の場合に誤差が少なくなる.

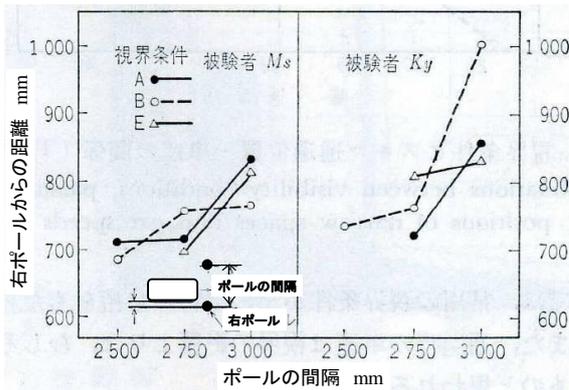


図 2.37 視界条件によるポールの間隔と右ポールからの距離の関係 (試験車①)

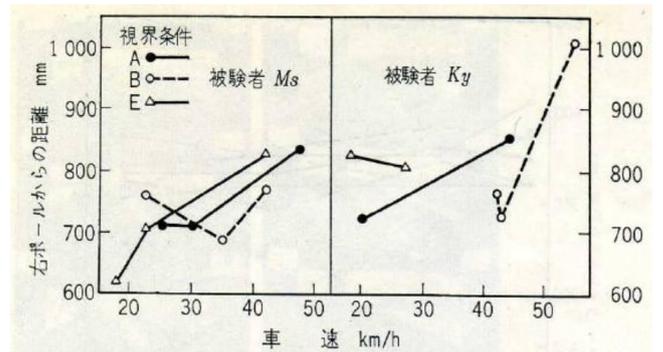


図 2.38 視界条件による車速と右ポールからの距離の関係 (試験車①)

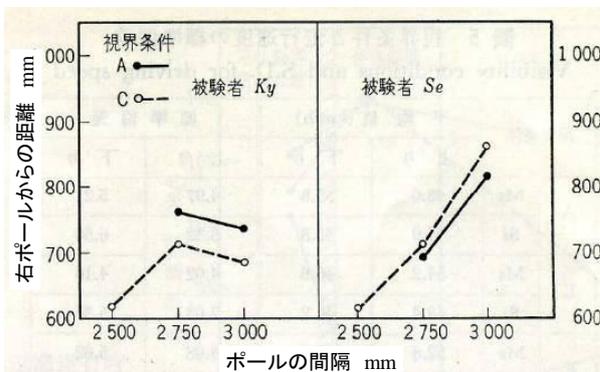


図 2.39 視界条件によるポールの間隔と右ポールからの距離の関係 (試験車②)

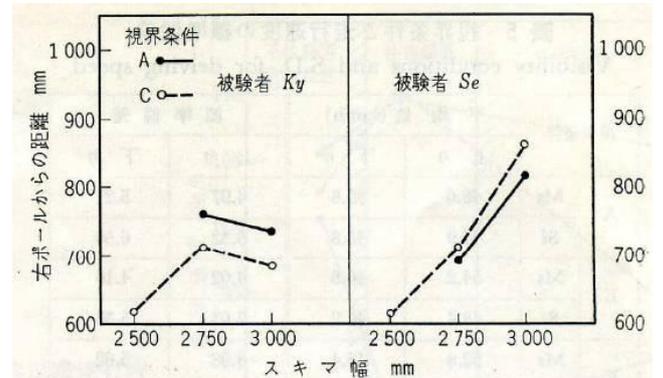


図 2.40 視界条件による車速と右ポールからの距離の関係 (試験車②)

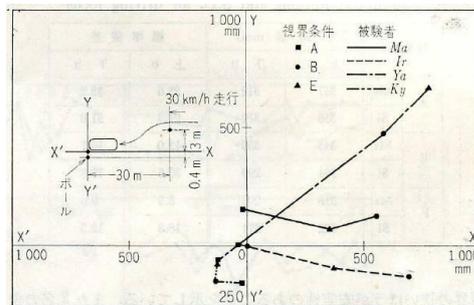


図 2.41 視界条件とポールへの接近誤差 (試験車①)

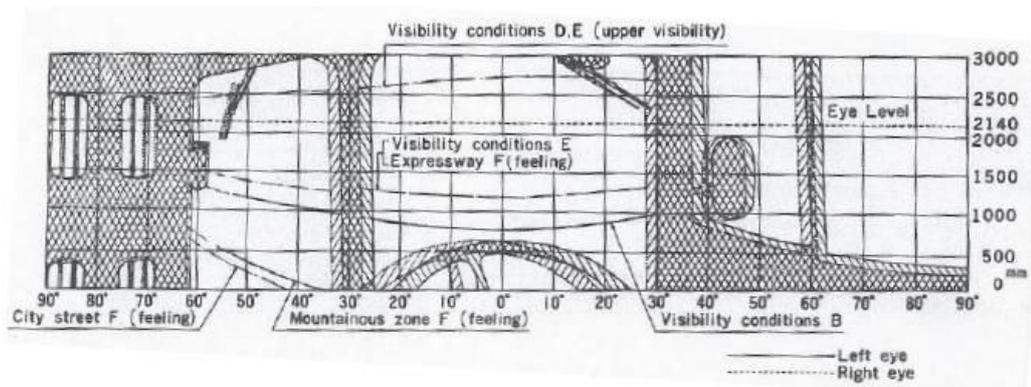


図 2.42 運転者が好ましいと感じる領域を記入した試験車①のスクリーン投影線図

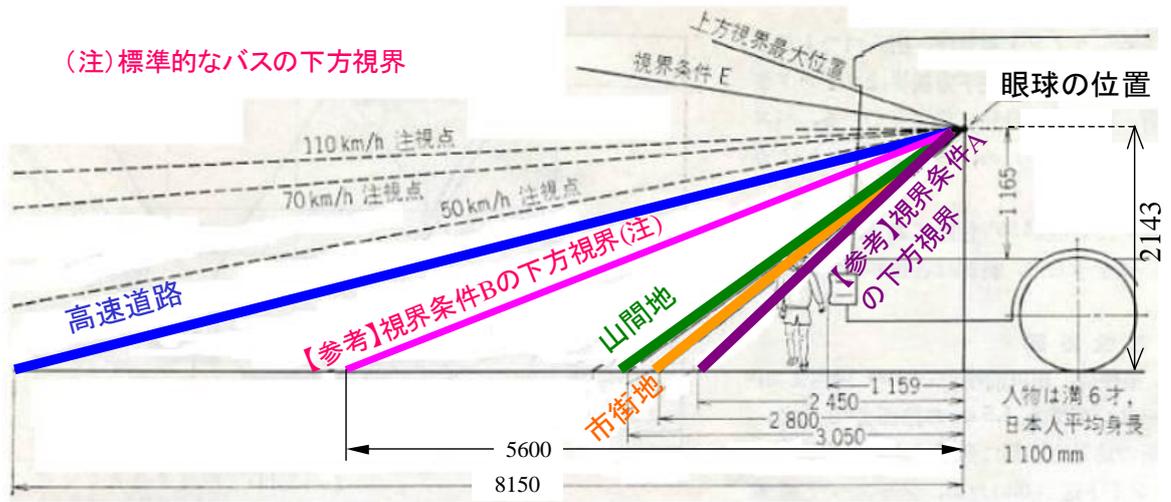


図 2.43 試験車①の走行場所（高速道路，山間地，市街地）や走行速度と運転者が「好ましい」と感じる注視点の関係

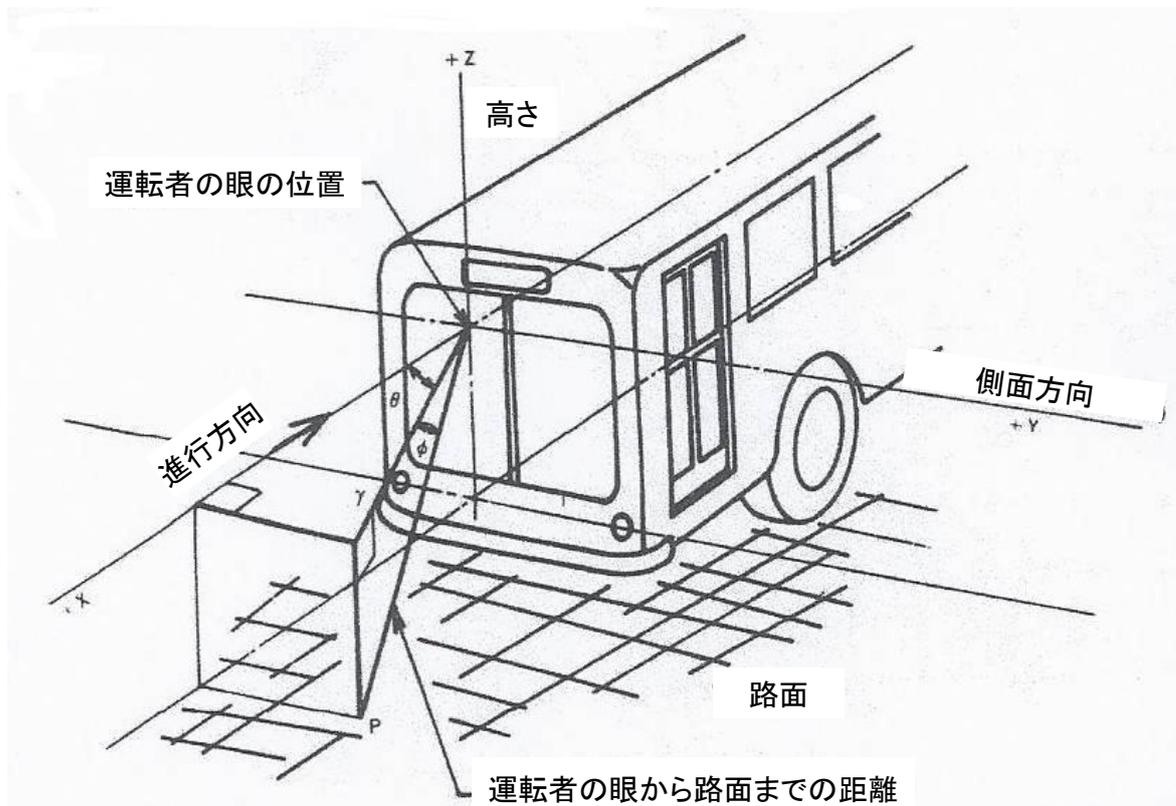
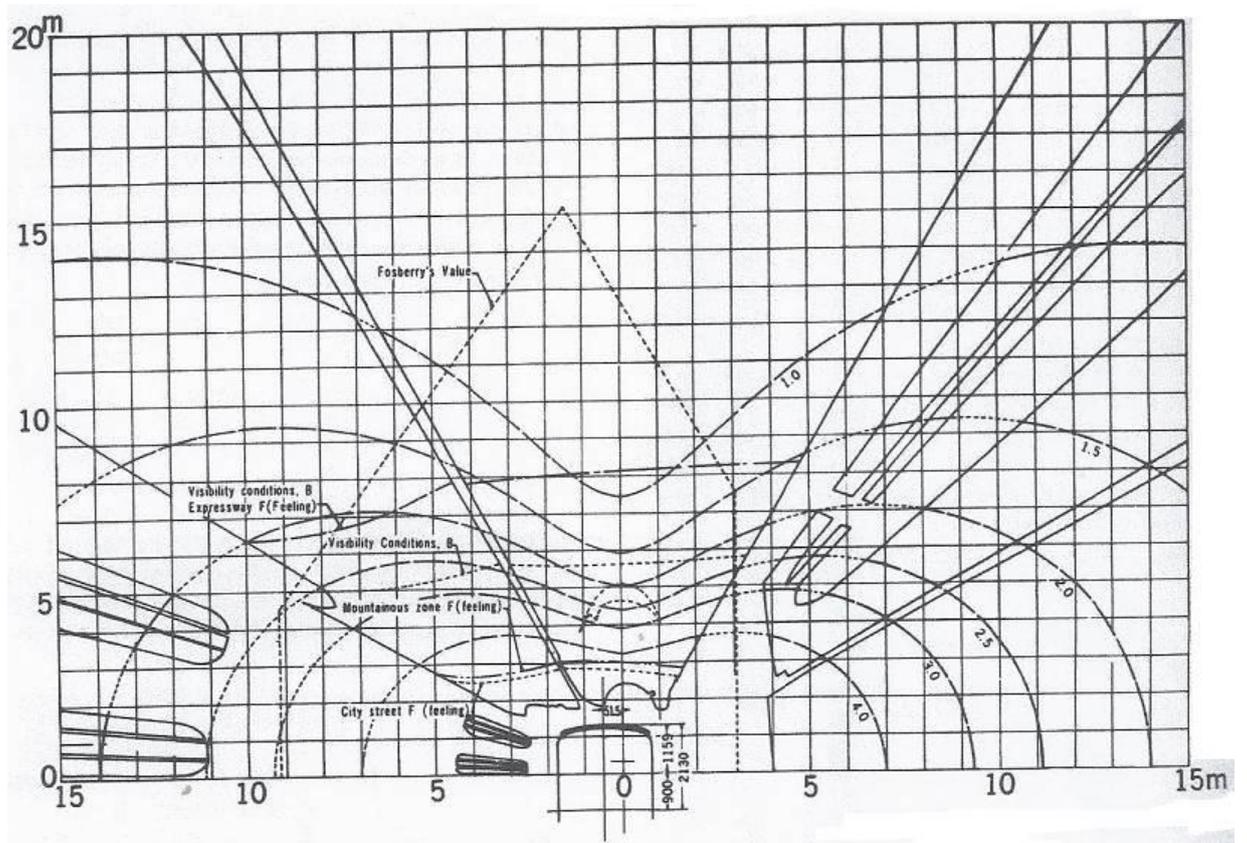
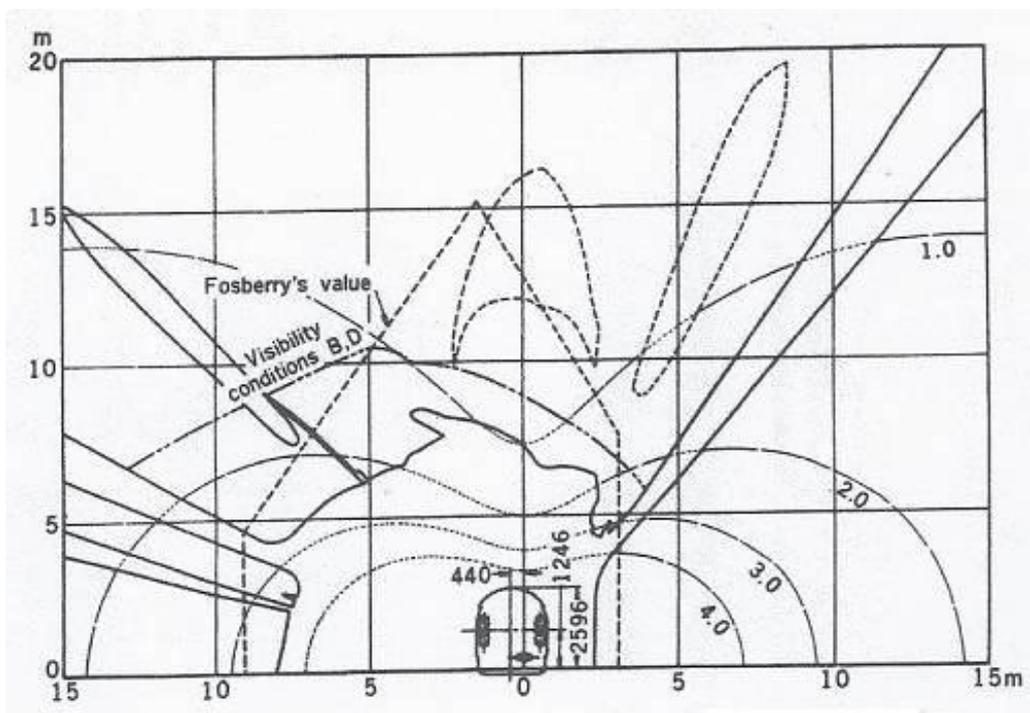


図 2.44 運転者の眼の位置から路面までの角度 θ , ϕ



— — — — The curve of equal eye angular velocity at 100km/h

図 2.45 運転者の視覚にとっての角速度 ω の等高線図 (試験車①, 100km/h 走行時)



— — — — The curve of equal eye angular velocity at 100km/h

図 2.46 運転者の視覚にとっての角速度 ω の等高線図 (試験車②, 100km/h 走行時)

2.6 走行に関するフィーリング評価

前項で述べた走行試験の終了後に、一定区間を走行し、この間フロントウィンドウの下方視界を変化させるスクリーンを調節し、運転者が最も運転し易い下方視界を求めた。高速道路では運転者から前方 8m 以上が見える視界、山間地では前方 3m が見える視界、市街地では前方 2.8m が見える視界（車両の直前にいる身長 1m の学童を確認できる視界）が、それぞれの最適な視界となった。これらの結果から、高速道路の走行のように速度が高い場合では下方視界は大きくない方が好ましく、山間地や市街地走行のように速度が低い場合は下方視界が大きい方が好ましくなる傾向があると考えられる（図 2.42, 図 2.43）。

筆者らは「対象物に対する眼の角度」が「運転者のフィーリング」に影響する重要な要因と考えた。D. A. Gordon は「運転者にとって運転し易いと感じる前方視界は車速によって変化する」と考え、車速と視覚の関係を報告している⁽¹³⁵⁾。この D. A. Gordon の報告⁽¹³⁵⁾を本研究に適用した場合、運転者の眼の位置から路面までの角度 θ , ϕ （図 2.44）と「運転者の視覚にとっての角速度 ω 」の関係は、式 (2.1) のように表すことができる。

$$\omega \text{ rad/sec} = \sqrt{\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2} \quad (2.1)$$

なお、「運転者の視覚にとっての角速度 ω 」とは、「運転者の眼の位置」から走行する自動車の運転者の眼に映る「後方に流れ去る路面情景」までの角度 θ , ϕ と「自動車の速度」の関係を示したものである。

「人間の眼球はモーターやエンジン等のように一定の角速度で回転するわけではないので、「角速度 ω 」という表現は必ずしも適切とはいえないが、Gordon の報告⁽¹³⁵⁾で「角速度 ω 」と記述されていることから本研究でもこの記述を用いることとした。本研究では、この「運転者の眼球にとっての角速度 ω 」という考え方を利用して「運転者のフィーリング」の定量的な評価を試みた。試験車①および試験車②について、100 km/h で走行させた場合の「運転者の視覚にとっての角速度 ω 」の等高線図を、それぞれ図 2.45, 図 2.46 に示す。両車共、「運転者の視覚にとっての角速度 ω 」の値は、運転者が快適と感じる遠方視では小さい値、運転者が不快と感じる車両の近くでは大きな値となった。これらから、

$$\begin{aligned} \omega \leq 2.0 \text{ (rad/sec)} & \quad : \text{ Comfortable (快適)} \\ 2.0 < \omega \leq 4.0 \text{ (rad/sec)} & \quad : \text{ Uncomfortable (不快適)} \\ 4.0 < \omega \text{ (rad/sec)} & \quad : \text{ Very uncomfortable (恐怖)} \end{aligned}$$

のような関係があると考えた。

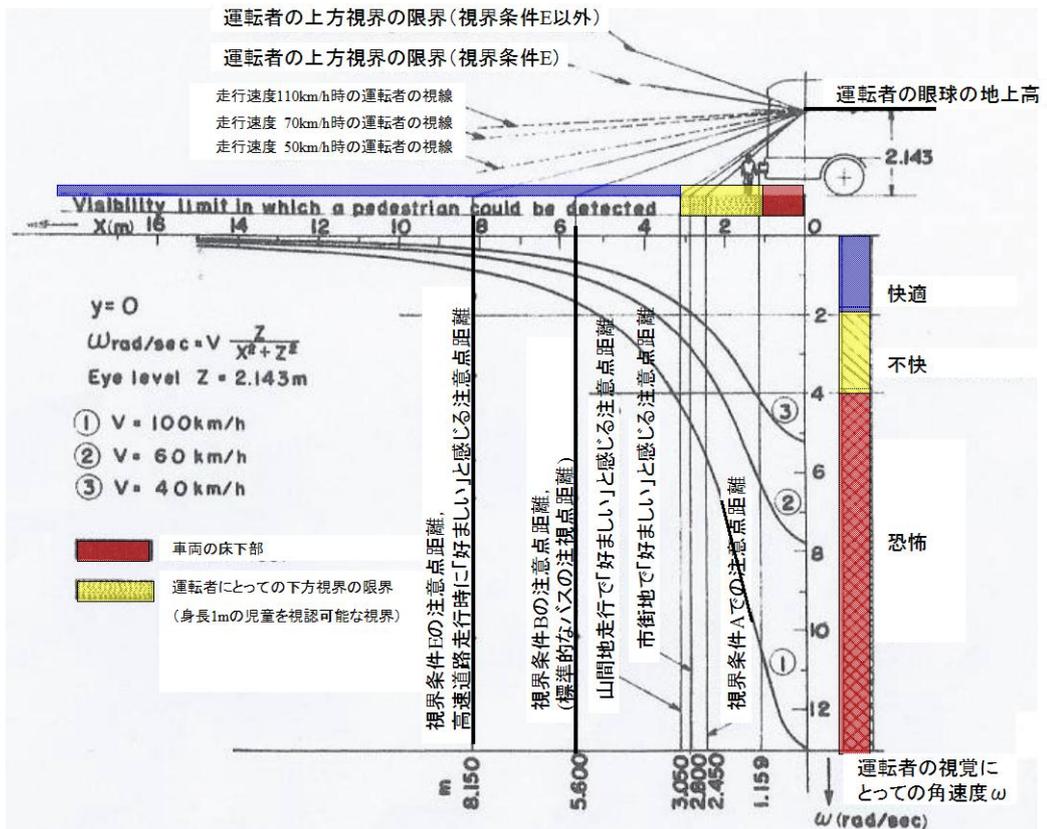


図 2.47 キャブオーバータイプの大型車の走行速度と運転者の眼球にとっての角速度 ω の関係

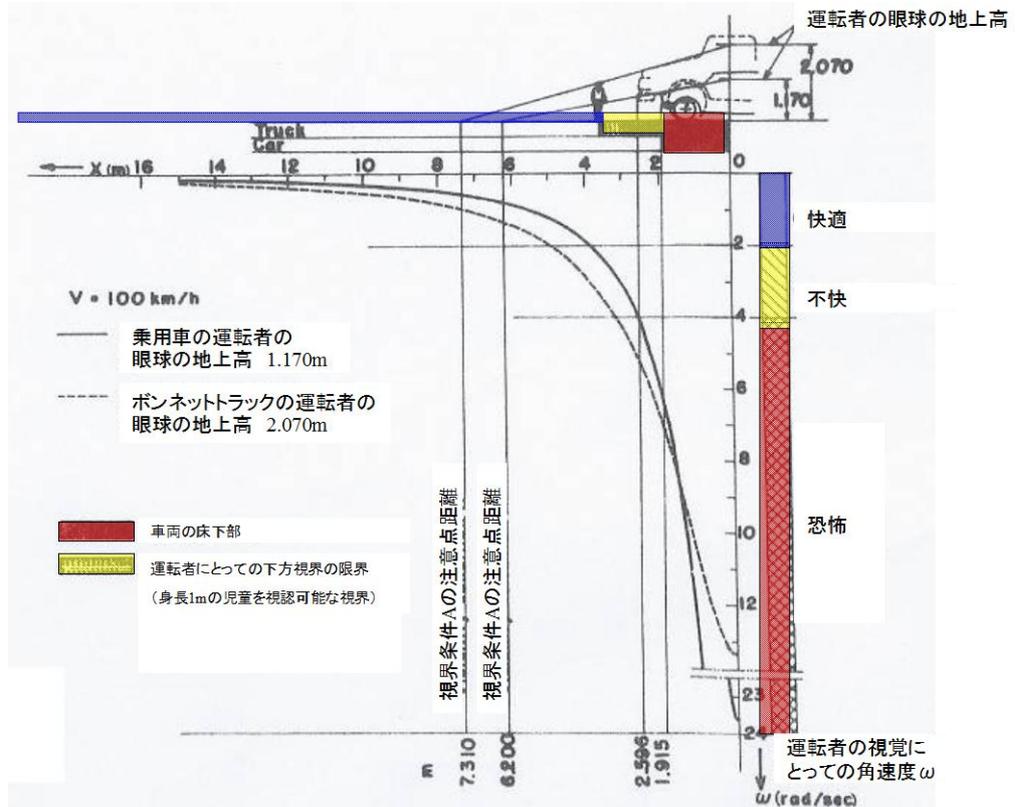


図2.48 ボンネットタイプの大型車および乗用車の走行速度と運転者の眼球にとっての角速度 ω の関係

以上の結果から，ある速度で走行した場合の「運転者が視る路面の位置」と「運転者のフィーリング」を一覧できる図を考案した．図 2.47 にキャブオーバータイプの大型車の走行速度と眼の角度の関係を，図 2.48 にボンネットタイプの大型車および乗用車の走行速度と眼の角度の関係を示す．これらの図から，次のことがわかる．

- 1) 走行速度が速くなる程，運転者は遠くを視ることを快適と感じ，少しでも下方が見えるようになると，不快感や恐怖感を覚えるようになる．
- 2) 一方で，遅い速度では，運転者はある程度下方が見えても不快感や恐怖感にはならない．

すなわち，本研究で考案した図 2.43 および図 2.44 によって，従来運転者が直感的に感じていたことが，定量的に評価できるようになった．

2.7 第 2 章のまとめ

本研究では，静止状態での大型車の運転者にとって安全確認し易い視界について試験を行い，現行車の問題点とその改良車の違いを明らかにし，また，走行状態での道路環境と運転し易い視界条件の関係についても明らかにすることができた．更には，従来は感覚的なものでしかなかった走行速度，視界と快適感の関係を定量的に評価できるようにした．

ボンネットタイプの大型トラックでも，本研究の試験車に用いた三菱ふそう T330（視界改良型）のようにフード先端を低くすれば，視認性が良く使い易いトラックとなる．また，キャブオーバータイプの大型トラックや大型バスも，適度に下方視界を少なくすることで，運転者が快適に高速走行できるようになる．あるいは，歩行者が多い場所を通行することが多いトラックやバスでは，低速走行を主とする車両と割り切り，下方視界を広くとることで，安全性の向上を図る，等といったことも考えられる．

第 3 章

車両周辺の間接視界の評価と向上 に関する研究

3.1 本研究の目的

大型自動車は、その車体が大きい故に、運転者にとって死角となる領域は乗用車に比べ非常に広く、特に交差点左折時においては、歩行者や自転車等交通弱者を巻き込み轢いてしまう危険性が大である。このため、複数のミラーを装備して車両左側の安全を間接的な視界から確認できるようにしているが、この間接視界として提供される映像の質は重要である。

本研究では次の 2 点を研究の目標とした。

(1) 車両周辺の間接視界の評価法の確立

本研究の第 1 の目的は、アンダーミラーとサイドアンダーミラーで提供される、車両の直前および左側方の視界の映像を車両との位置関係を把握しながら、像歪と像の大きさを数値化して分析評価する方法を確立することである。

(2) 視認性向上を目指した間接視界装置の開発

第 2 の目的として、その評価法により視認性改善の方向と目標を把握し、新しい間接視界装置を開発することである。アンダーミラーでは車両左前

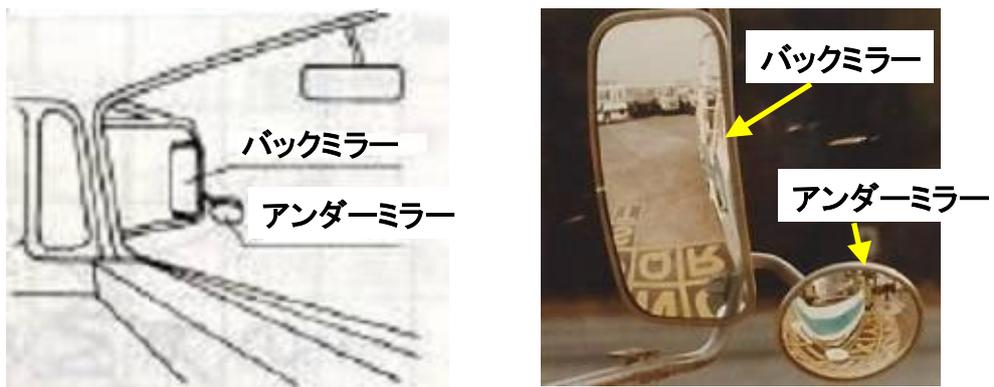
方部の像歪の改善が困難であることから従来の方式にとらわれずに、後述するペリスコープシステムや各種ミラーの組合せで合計 20 種類のシステムについて開発研究を進めた⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁷⁾。

3.2 間接視界評価の経緯

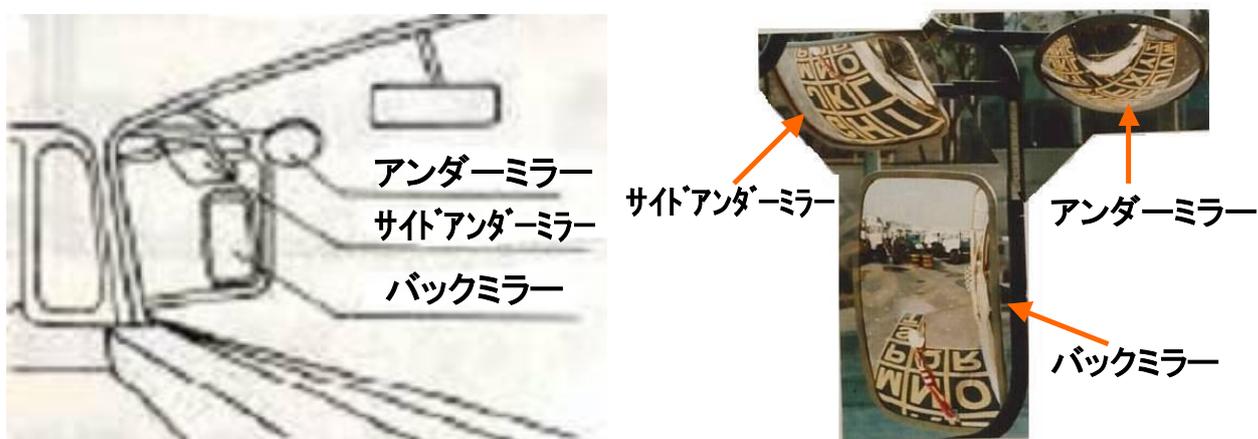
大型自動車のミラー(図 3.1)に関しては、米国連邦自動車安全基準(Federal Motor-Vehicle Safety Standard, FMVSS)の No. 111 で車両直前とバンパー付近を見るためのアンダーミラーの取り付けがスクールバスに義務化されており、日本でも 1979 年 3 月より従来のアンダーミラーの他にサイドアンダーミラーの取り付けが義務化されている。

なお、間接視界は従来、視認することができる領域(視界量)で評価しており、視認性については評価されることはなかった。

すなわち、従来は次のような評価がされてきた。国内の法規では、映像の倍率と反射率を FMVSS で規定、欧州でも欧州経済共同体(European Economic Community, EEC)の法規でミラーの曲率半径と反射率を規定しており、JIS D 5705 では、図 3.2(a)のようにミラーの面精度の検査用として像歪率の算出法が示されている。しかしながら、車両周辺を見るための比較的小曲率半径の凸面鏡であるアンダーミラーは、これを直接眼で見ると、ミラーの上方部と下方部とでは、図 3.2(b)のように視角 θ の小さいところでは像歪が大きくなる特殊性を持っている。そのため、アンダーミラーの曲率半径を、例えば 100R から 190R まで大きくしても、図 3.3 のように視界や映像の大きさは変わるが、像の歪みはほとんど変わらない。したがって、これらアンダーミラーの視認性を分析するためには、従来の評価法では適さず、新たな評価尺度により、どの部分のどの映像をどの程度改善すれば良いのか等の判断資料が必要であり、そこで、本研究では、新たな評価法の開発を行うこととした。そして、更に、この評価法を用いて、左折事故の防止に、より一層効果のある間接視界装置の研究および開発に取り組むこととした。

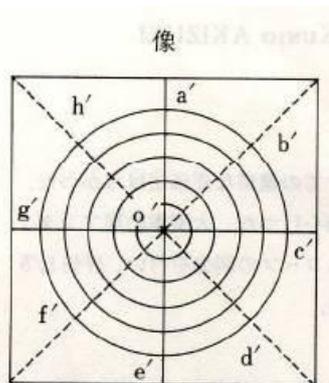


(a)バックミラーとアンダーミラーで構成される間接視界装置



(b) バックミラーとアンダーミラー，サイドアンダーミラーで構成される間接視界装置

図 3.1 大型自動車のミラー



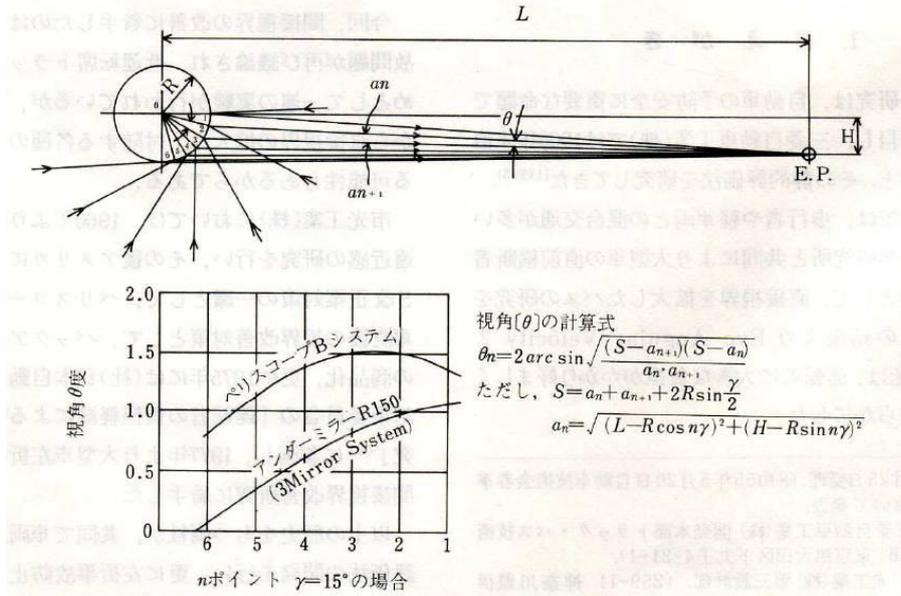
$$E = \frac{Ro - Rn}{R} \times 100$$

(注)

E = ひずみ率
 Ro = 最大又は最少の像の半径
 Rn = 像の平均半径

$$= \frac{o'a' + o'b' + \dots + o'h'}{8}$$

(a) JIS D 5705 によるミラーに映る映像の基準



(b)アンダーミラーの鏡面位置別視角の変化（3ミラーシステム）

図 3.2 従来のミラーの評価

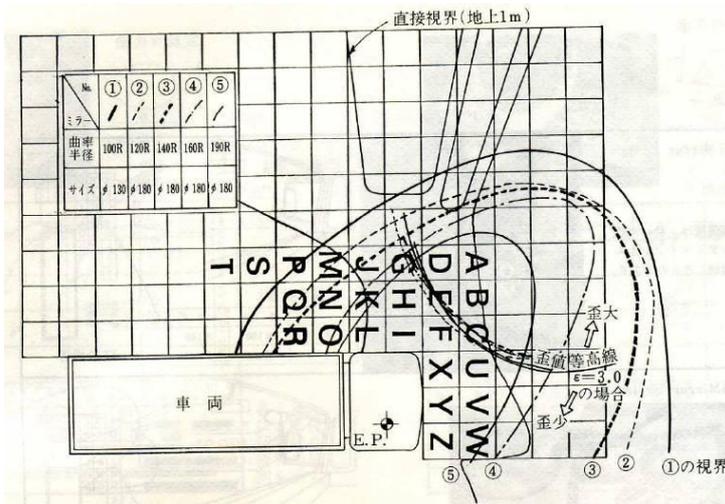


図 3.3 アンダーミラーの曲率半径別視界と歪値等高線

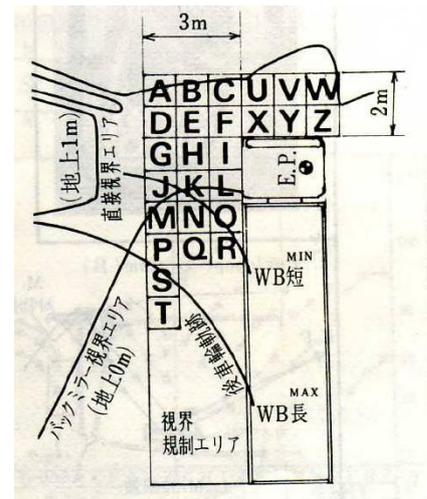


図 3.4 視界規制領域と文字板の配置

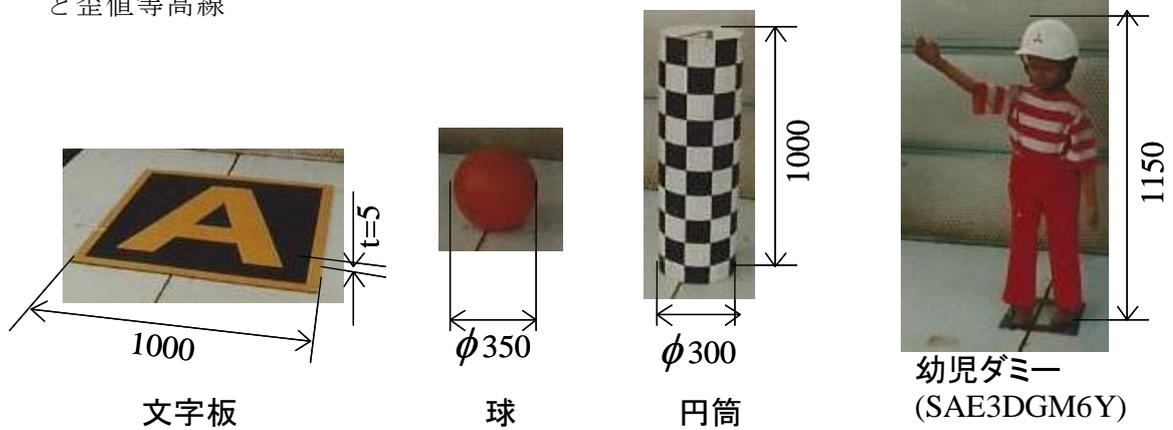


図 3.5 試験に用いた 4 種類の対象物

3.3 試験方法

(1) 対象物の選定と配置

次の対象物を選び，配置を行った．

(1-1) 文字板

車体との相対位置の把握と，文字の見え方による視認性標識として使用するアルファベット文字板（縦×横=1000mm×1000mm，厚さ $t=5\text{mm}$ ）26枚を，図 3.4 のように配置した．

(1-2) 球

球体は，どの方向から見ても円に見えるため，測定誤差が少なく解析が容易となる長所がある．そこで，球による標識を製作して各文字板の中央部に配置した．

(1-3) 円柱

道路運送車両法の保安基準第 44 条の視界測定で規定された，身長 1m の 5 歳児を想定した円柱標識を製作し，各文字板の左上角中心部に配置した．

(1-4) ダミー

幼児の見え方と上述 (1-3) の円柱標識の見え方を比較するため，円柱と同位置に配置した．

(2) 測定方法

測定については，図 3.4 に示した視界規制領域に，図 3.5 に示した 4 種類の対象物を配置，図 3.6 に示した 3 種類の供試装置について，車両のアイポイント（運転者の眼の位置，E.P.）から，これらの映像を写真に撮影し，この写真から単眼視界，像歪，像の大きさの分析を行った．なお，像歪，像の大きさの計算式は図 3.7 から図 3.10 に示す．

(3) 測定結果の数値化（本研究で考案した評価法）

これら測定結果について，車両との位置関係における各標識の映像の像歪と像の大きさの数値化を行い，これを 5 段階のレベルに分けて，各種装置を比較した．

(4) 供試装置

(4-1) 2 ミラーシステム

後方を見るためのバックミラーと車両周辺を見るためのアンダーミラーから構成される間接視界装置 (図 3.6(a)).

(4-2) 3 ミラーシステム

上述 2 ミラーシステムに, 車両の左側方を見るためのサイドアンダーミラーを付加した間接視界装置 (図 3.6(b)).

(4-3) ペリスコープシステム

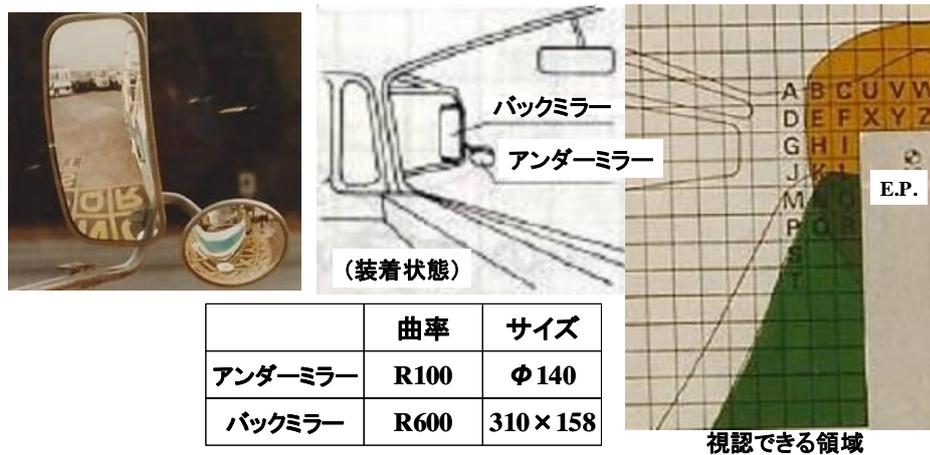
後方を見るためのバックミラーと車両周辺を見るためのペリスコープから構成される間接視界装置 (図 3.6(c)). なお, ペリスコープとは, 複数のミラーやレンズ等を組合せ, 接眼鏡により対象物を正像にて視認できるようにしたミラーシステムのことで, 本研究では, 車両の左 A ピラー上部に取り付けたミラーと車室内に設置した接眼鏡で対象物を視認するペリスコープシステムを使用した.

(5) 供試車両

三菱ふそう大型トラック FT117S

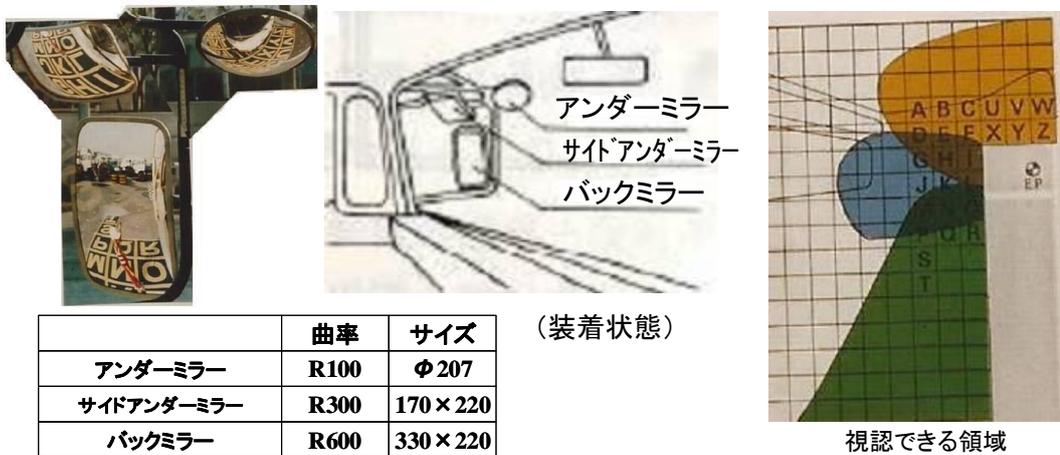
3.4 試験結果

本研究での各供試装置の構造, 仕様および間接視界とその見え方は, 図 3.6 の写真の通り. 図 3.5 の対象物のうち, 球の像歪の解析結果を図 3.7, 文字板の像歪の解析結果を図 3.8, 球の像の大きさの解析結果を図 3.9, 文字板の像の大きさの解析結果を図 3.10, 間接視界内における車体との相対位置関係での像歪と像の大きさおよび直接視界との関連解析結果を図 3.11 に示す.



	曲率	サイズ
アンダーミラー	R100	Φ140
バックミラー	R600	310×158

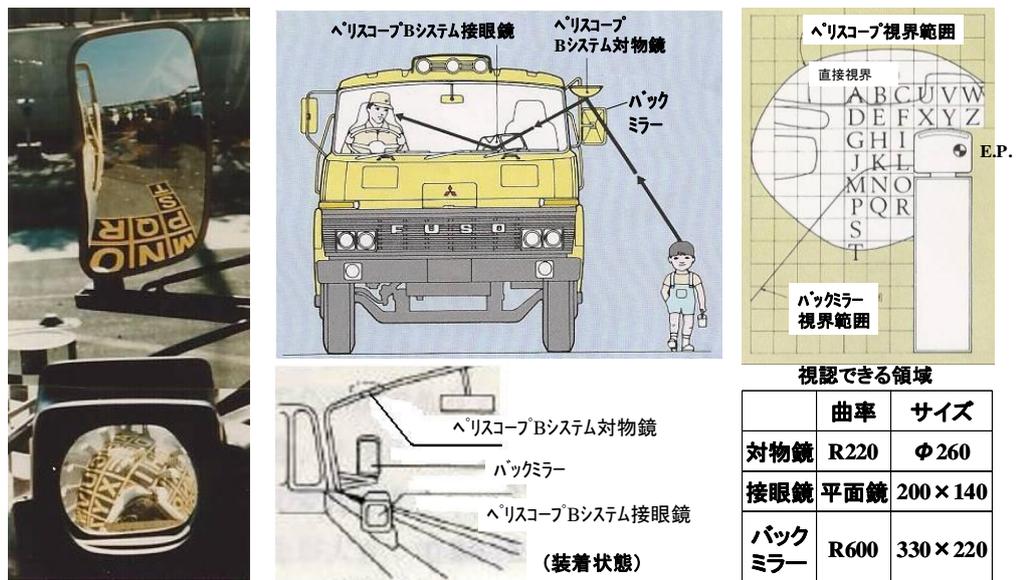
(a) 2 ミラーシステム



	曲率	サイズ
アンダーミラー	R100	Φ207
サイドアンダーミラー	R300	170×220
バックミラー	R600	330×220

(装着状態)

(b) 3 ミラーシステム



	曲率	サイズ
対物鏡	R220	Φ260
接眼鏡	平面鏡	200×140
バックミラー	R600	330×220

(装着状態)

(c) ペリスコープシステム

※各映像は共に車両のアイポイント (E.P.) から撮影したものである。

図 3.6 各供試装置の構造, 仕様, 間接視界とその見え方

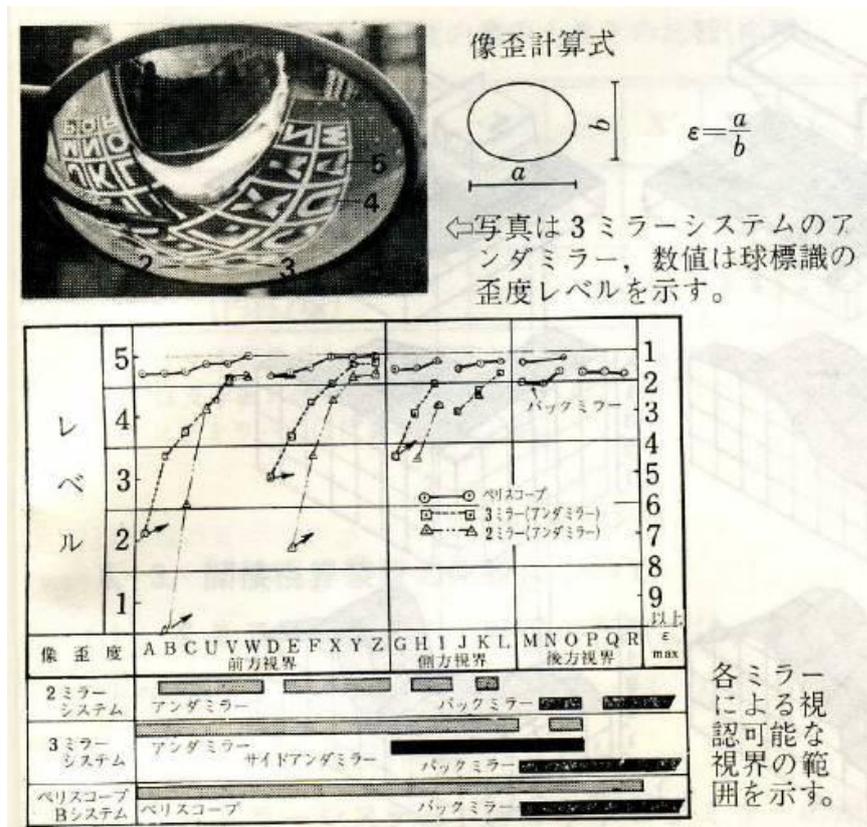


図 3.7 球の像歪

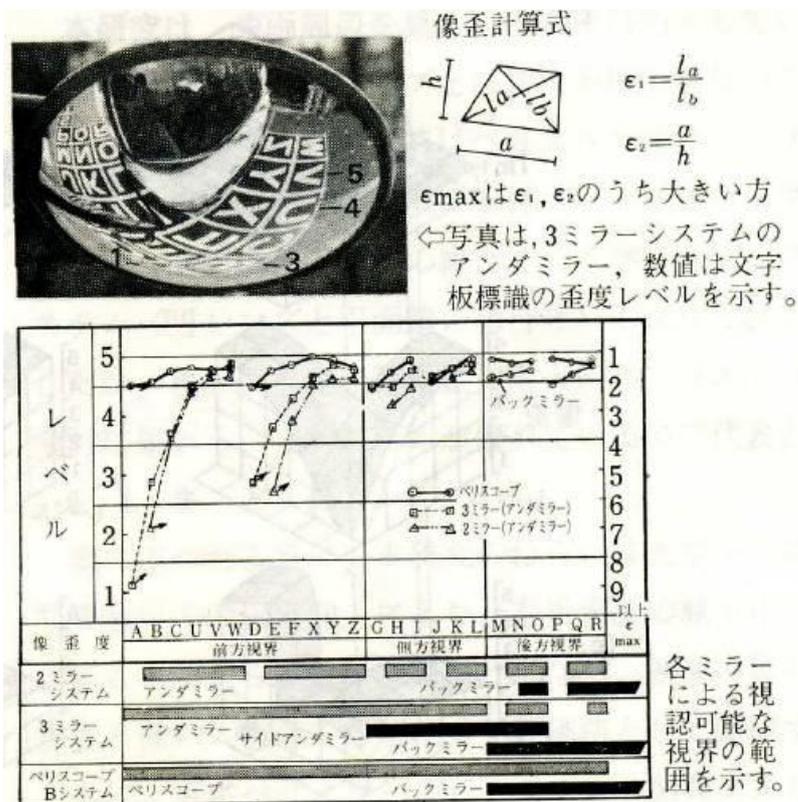


図 3.8 文字板の像歪

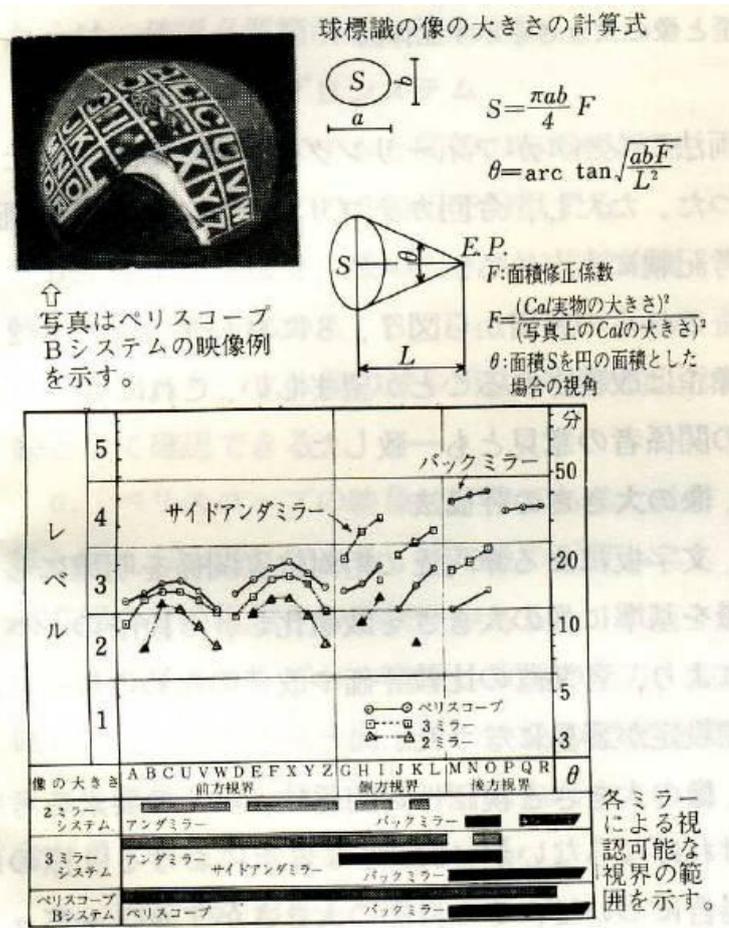


図 3.9 球の像の大きさ

文字板標識の像の大きさの計算式

$$S = \frac{1}{2}(a+b)h \cdot F$$

$$\theta = 2 \arcsin \sqrt{\frac{S}{L^2 \cdot \pi}}$$

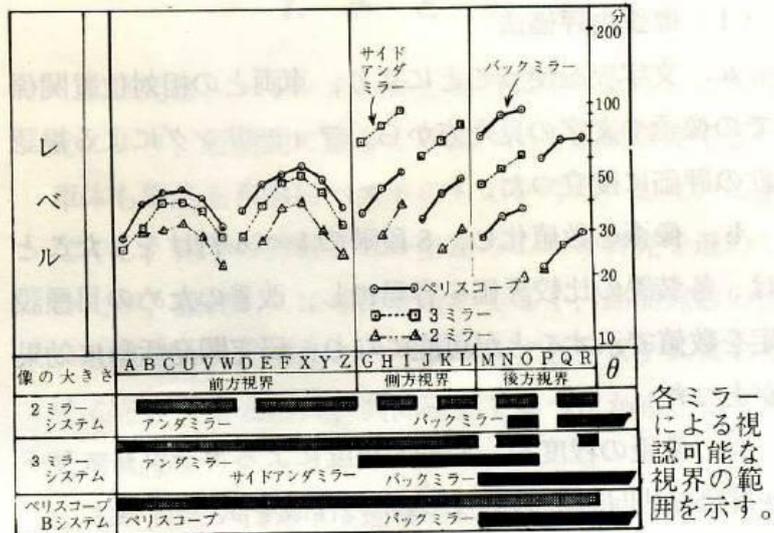
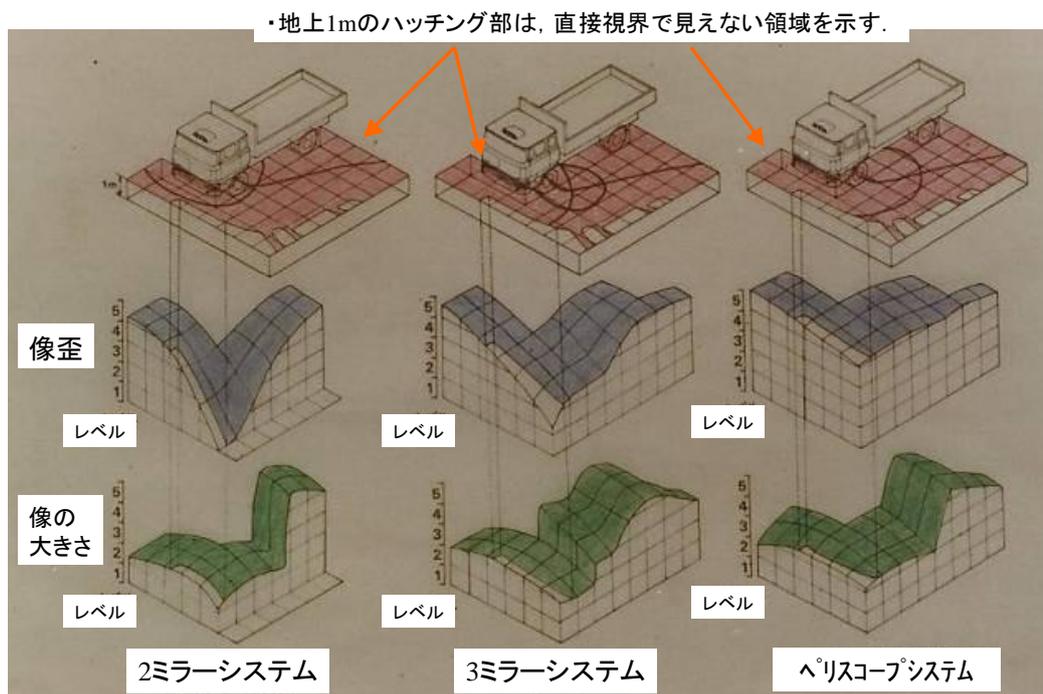


図 3.10 文字板の像の大きさ



・地上1mの水平面は、1m²に区分されている。

図 3.11 車両との相対位置関係における球の像歪と像の大きさを示す立体図

表 3.1 カテゴリースケールによる評価

レベル	像の形の程度	像歪の程度
5	Excellent	像歪がわからない
4	Good	像歪がわかるが、気にならない
3	Fair	像歪がわかるが、確認できる
2	Poor	像歪が大きく、確認の邪魔になる
1	Very Poor	像歪で確認不能

A:検知限界, B:許容限界, C:実用限界, D:確認限界

※各カテゴリ間の限界は、評定者の評点が50%の場合をいう。

表 3.2 標識球と円柱の像の大きさの比較

位置	標識の位置					
	E'	F'	X'	Y'	Z'	F''
3ミラーシステム(150R) (円柱/球)	3.2	3.0	2.7	3.3	2.9	2.2
ペリスコープシステム(220R) (円柱/球)	3.4	3.7	3.0	3.4	3.7	1.9

E'は文字板Eの左上角に標識を置いたことを示す。

F''は文字板Fの右下角に標識を置いたことを示す。この場合、アンダミラーのほぼ真下にあたる。

3.5 考 察

(1) 標識の見え方について

像歪は図 3.7, 図 3.8 のように球と文字では, ほとんど同じ傾向を示す. 円柱と幼児ダミー (SAE 3DGM6Y) の見え方は近似している.

像の大きさについては, 図 3.9, 図 3.10 のように球と文字板とでは視覚 θ の値は異なるが, ほとんど同じ傾向で変化している.

(2) 本研究で新規に考案した評価法について

(2-1) 像歪の評価法

(a)文字板を使用することによって, 車両との相対位置関係での像歪や文字の見え方から, フィーリングによる視認性の評価に役立った.

(b)像歪を数値化し, 5 段階のレベル付けをしたことは, 各装置の比較評価を容易にし, 改善のための目標設定を数値で示すことが可能になり, 研究開発活動に効果があった.

(c)像歪の程度を心理的尺度によるカテゴリースケール(表 3.1)で試みた. この表と, 前記の数値化した 5 段階レベルとの対比を検討するために, 被験者 23 名によるフィーリング評価を実車にて実施した. その結果, 特にレベル 1, 2, 3 において両方のレベルがフィーリング上ほぼ一致することがわかった.

(d)これらの評価から図 3.7, 図 3.8 において, レベル 2 以下の像歪は改善されることが望ましい. これについては, 本研究に係わった多くの関係者の意見と一致した.

(2-2) 像の大きさの評価法

(a)文字板による車両との相対位置関係を明確にして球を基準に像の大きさを数値化し, 5 段階のレベル付けにより, 各装置の比較評価や改善のための数値による目標設定が容易になった.

(b)像の大きさと視認性の関係は, 多くの要素を考慮しなければならないが, 人間工学データブック⁽¹³⁶⁾によると, 「複雑な表示における目標の確認の

場合について，その目標の大きさがアルファベット文字の場合，5 分の視角をもっていれば，人間の眼でどの文字も確認できる能力がある．また，表示に模様のある形の場合，その最大寸法に対する視角が 12 分あれば，合理的に正確な確認ができる．」と示されているので，これを一つの基準とした．

(c) 実際の場合には，球よりも円柱の方が幼児に近く，また表 3.2 に示すように，円柱は球の 2-3 倍の像の大きさになり，視認性は円柱の方が良い．しかしながら，運転者の視力や外部環境（明るさや天候等）の変化を考慮すると，条件の悪い球の像の大きさを評価する方が実用的と考える．

(3) 間接視界装置の比較について

(3-1) 2 ミラーシステム

映像の配置では，バックミラーとアンダーミラーが近く使い易いが，左前方部の像歪が大きいため，有効視界範囲が狭い．

(3-2) 3 ミラーシステム

サイドアンダーミラーの追加や各ミラーの大型化により，有効視界範囲が広くなり，かつ像の大きさや像歪も改善されている．映像の配置の面からは，確認必要箇所が一箇所増加した．

(3-3) ペリスコープシステム

(a) 3 ミラーシステムと同等の有効視界をバックミラーとペリスコープの 2 箇所で分担する．

(b) 像歪が少なく，像の大きさも比較的均一である．特に車両左前方部の A，B，D，E ゾーンの像歪の改善が顕著であり，立体像の球や円柱が比較的しっかりした像として確認できる．

(c) ペリスコープの映像は正像であるために，直接視界と見え方が同じである．特に像の配置からも，車両左前方部の直接視界との連続性がある．

(d) ペリスコープの視界は車両の前方，左前方，左側方と広いため，ミラー面上での映像の把束時間が長い．また，映像の流れ速度も遅い．これらのことは，視認機会が多くあることを意味している．

- (e)自動車におけるペリスコープは，米国において 1965 年から乗用車の屋根に取り付けられる構造のものが研究され，1971 年 FMVSS の改正案 No. 111a として提案された．その視界要求条件は，後方水平視界約 90° あるが，これは明らかにペリスコープの採用を意図したものと考えられ，当時行われていた ESV (Experimental Safety Vehicle) の研究では，数社が ESV にペリスコープを採用したが，コスト，車両デザインとの調和，転倒時の屋根の強度等の理由で実用化されなかった．なお，当時の ESV に採用されたペリスコープは，平面鏡を組合せたものや凸レンズと凹面鏡を組合せたもの，複数の凹面鏡を組合せたもの，プリズムと平面鏡を組合せたもの等であった．
- (f)本研究は，車両周辺を見ることを主目的としているため，乗用車のペリスコープとは使用条件が異なっている．したがって，本研究で使用したペリスコープシステムと，車両の運転席の屋根に装着するペリスコープ A システム（凸面鏡と平面鏡の組合せ）やペリスコープ C システム（凹レンズと平面鏡の組合せ）を比較する予備試験を事前に実施したが，視界，視線の移動量，対天候性，コスト等と検討した結果，ペリスコープシステムが大型車に最も適していることを確認したので，これを使用することとした．
- (g)左折の場合の実車走行は非常に低速であり，また通常の走行状態では他車との相対速度が遅いので，静止状態と異なるのは，速度 V （ただし，低速）が加わることで，運転者が運転中の短い時間に間接視界装置から映像をみて情報を入手しなければならないことである．装置の比較評価において，そのほとんどの評価項目が静止状態で走行時の評価の予測が可能であり，実際の実車走行によって，これらを確認，判断することになる．本研究で実施した各種走行試験においては，ペリスコープシステムが最も良い結果が出ており，妥当なものと考えている．なお，間接視界での視認性評価についての評価項目の主なものは，視界量，映像の質（像歪，像の大きさ），取付位置（視界の移動量），映像の配置数，ミラ

一面上の映像の流れ速度，ミラー面で視対象物を把束している時間（視認機会），像の転移性（正像，逆像），直接視界との連続性である．図 3.12 および図 3.13 にミラー面上の映像の流れ速度と把束時間の分析結果を示す．いずれもペリスコープシステムで 0.11rad/sec と低くなっていることから，視認性が良く，運転にゆとりがもてることが推測できる．

(h)バックミラーとペリスコープは，眼からの距離が違うため，3ミラーシステムの場合のバックミラーとサイドアンダーミラーを見るより見づらいついといったことが想定されたので，眼からの距離の違いによる見にくさについて実際に眼で見ている虚像までの距離を計算した．この結果，供試装置ではペリスコープシステムの方が距離の差が小さいことを確認した（図 3.14）．また，人間の眼の生理的機能とペリスコープの使用頻度からみて，バックミラーとペリスコープの距離の差が少し大きくても，ほとんど問題にならないと考えられる．

(i)また，ペリスコープシステムについては「走行中の像の流れがバックミラーと逆になるので，3ミラーシステムよりも疲れるのではないか」，あるいは「バックミラーと像が転位するので，位置の瞬時的判断を誤ることはないか」といった問題が考えられたが，ペリスコープシステムの受け持つ視界の範囲は，運転者の前方，左前方，左側方であるために，直接視界と同じ見え方（正像）の方が，生理的に違和感が無く，自然であった．また，これらの視界範囲は，車両が左折する場合，運転者が必要とする左前方の直接視界との連続性が出てくるので，結果として運転し易くなった．実車走行した運転者の所見を調査したところ，正像の方が見易く，使い易いという回答がほとんどであった．なお，参考として，図 3.15 に3ミラーシステムでのアンダーミラーの視界とペリスコープシステムの接眼鏡の視界を比較した写真を示す．

3.6 第 3 章のまとめ

大型車両周辺の間接視界の評価と，その向上により，左折事故の低減に大きく寄与する．そこで本研究では，視界量だけでなく，映像の質の面で像歪と像の大きさを数値化し，評価法として整理した．さらにペリスコープシステムの開発により従来の 2 ミラーシステム，3 ミラーシステムに対し，質的な面で改善を示した．また，直接視界の拡大による弊害を避けることも出来，当初の目的を達成することができた．

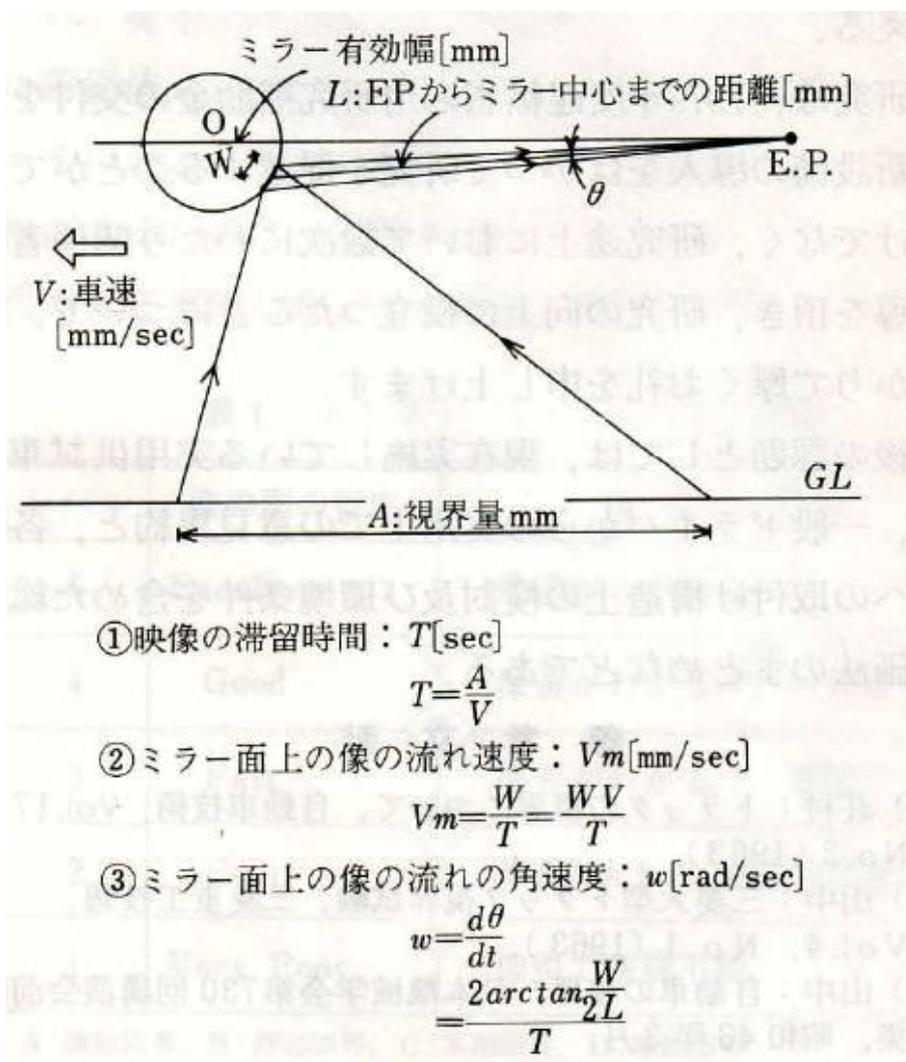


図 3.12 ミラー面上の映像の流れ速度

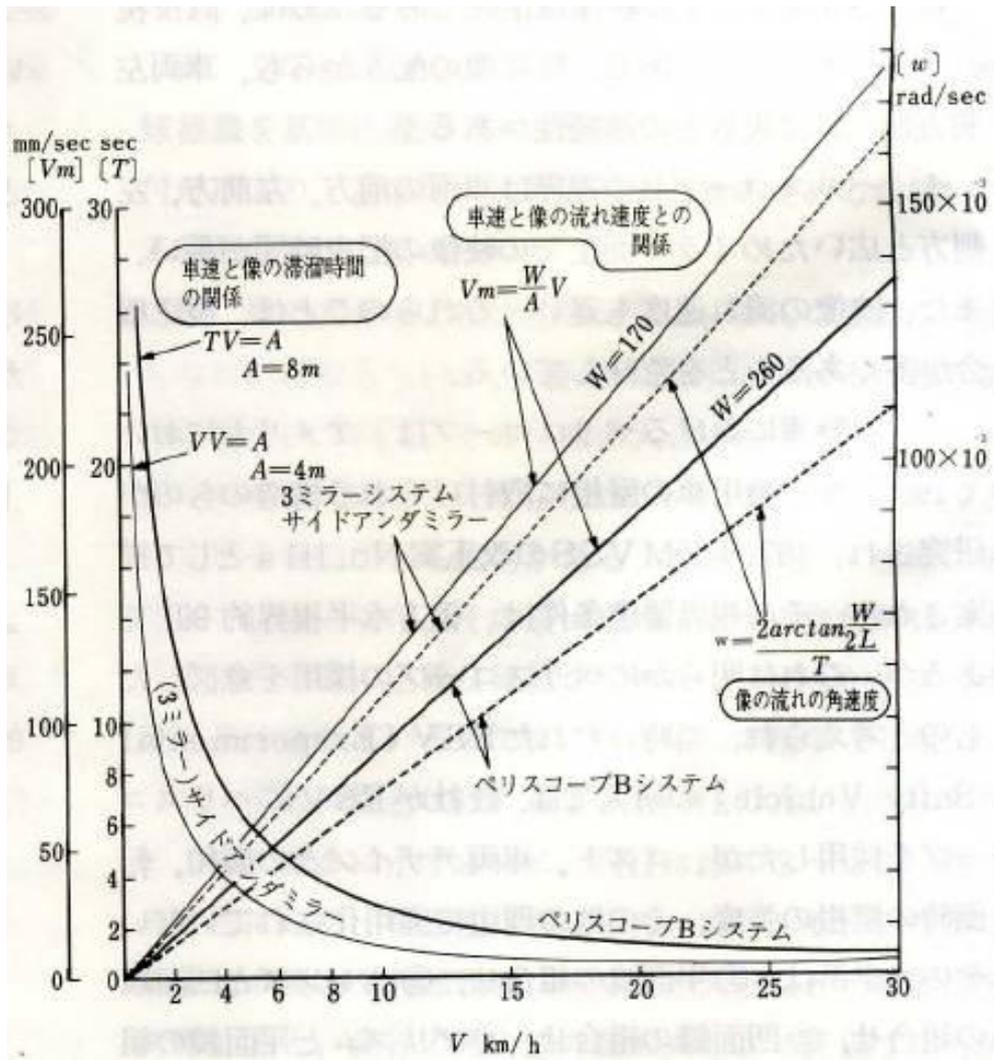
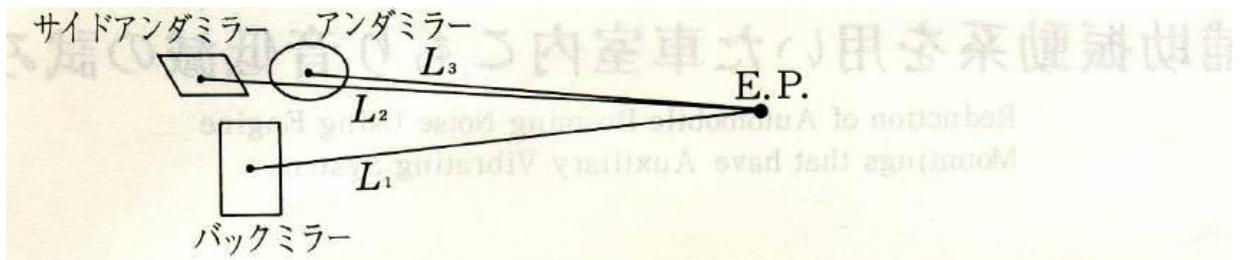
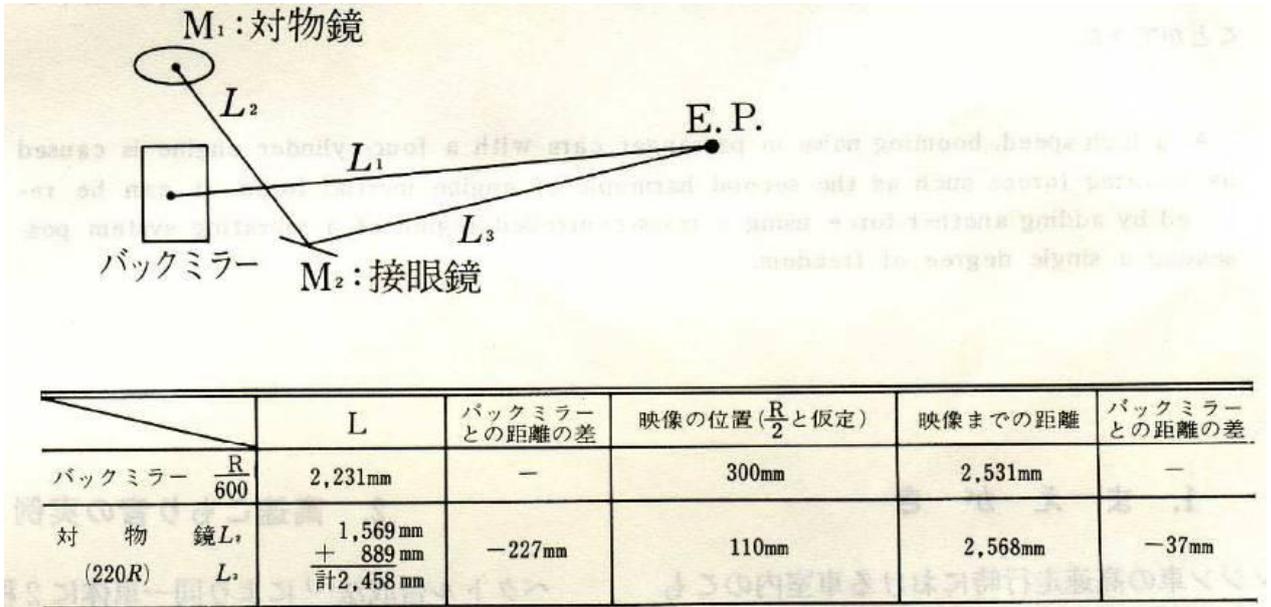


図 3.13 車速と像の滞留時間，像の流れ速度，像の流れ角速度の関係



	L	バックミラーとの距離の差	映像の位置 ($\frac{R}{2}$ と仮定)	映像までの距離	バックミラーとの距離の差
バックミラー R 600	2,202mm (L_1)	—	300mm	2,502mm	—
サイドアンダミラー R 300	2,178mm (L_2)	24mm	150mm	2,328mm	174mm
アンダミラー R 150	2,112mm (L_3)	90mm	75mm	2,187mm	315mm

(a) 3ミラーシステム



(b) ペリスコープシステム

図 3.14 アイポイント (E.P.) から鏡面中心までの距離

装置	標識	円柱	球	人形
3ミラーシステムの アンダーミラー (R150)				
ペリスコープ システムの 接眼鏡 (R220)				

図 3.15 3ミラーシステムのアンダーミラーとペリスコープシステムの接眼鏡の視界の比較

第4章

濡れた路面におけるトラックスプレイ の測定と低減に関する研究

4.1 トラックスプレイの計測

1970年，NHTSA（米国運輸省・道路交通安全局）から，「トラックが濡れた路面を走行する際に跳ね上げた水しぶきが，後続車および追越車の運転視界を妨害して，これらの車両の安全性を損なう」ことに対し，「後続車や追越車の安全が損なわれないこと」ための対策を要求した FMVSS プロポーサル（米国自動車安全基準案）「スプレイプロテクタ（docket 70-21）」が発表された．これを受けて，筆者らは，本問題解決のための研究に取り組むこととした．

トラックが巻き上げるスプレイ量を評価するに当たり，トラックの後方を走行している運転者の運転視界の妨害度を直接計測表示することができるならば最も好ましいが，その決定的な評価法が未だに確立されていない．筆者らは，トラックが巻き上げるスプレイ重量や，後続車の視界の阻害度合い，ワイパーの速度といった複数の計測項目を設け，これらを総合的にみることで，スプレイ量の定量的な評価を試みた⁽¹¹⁾⁻⁽¹²⁾．

(1) スプレイ評価板

スプレイによる運転視界への妨害度を計測する場所としては、フロントウィンドウが最も好ましい。なお、フロントウィンドウに付着するスプレイ量は、エンジンフード、フロントウィンドウの曲率、および傾斜角等、車両の形状によって異なる。

そこで本研究では、これらの影響を受けない車両前方 1m の位置にスプレイ量を測定するための評価板を取り付けることとした。評価板の高さは乗用車の標準アイレベルである 1150mm の高さに、評価板の中心は車両センターラインと合致させた(図 4.1)。また、評価板の面積は、排気量 1500cc クラスの乗用車と軽乗用車のフロントウィンドウから、 0.2m^2 とした。なお、評価板にはスプレイを計測するためのアルミサッシュによるフレームを取り付けた。このフレームは、評価板のガラス前面から 10mm 前方にアングル材を出し、フレーム下部の雨どいでスプレイを集め、その重量を計測できるようにした。

また、評価板は前車との車間距離を一定にするための距離計にも使用した。すなわち、トラック後方の指定車間距離に評価板を装着した計測車を置き、この計測車の運転席から見て、評価板およびフロントウィンドウそれぞれについて、トラックの最後部の左右端が見える位置にテープでマーク、計測車は、このマークが重なるように走行して、トラックとの車間距離を一定に保つようにした。

(2) 光学計測

(2-1) フォトメータ

評価板上の 3 箇所に $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ の透明ガラス板を取り付け、走行試験を実施、試験後にこれら透明ガラス板を外し、下記の水滴付着状態の計測(透過率計測)を試みた。計測機は高感度の photocell を使い、精密広範囲 (1×10^{-4} - 1×10^9 F.L) の計測能力を持つものを使用した。なお、計測は他からの光線の影響を避けるため、暗室内で行った。しかし、付着した水滴の大きさ、密度が変わっても有意差を出せなかった。更に、スプレイ量

が多いと流れ落ちてしまい，また少ないと時間と共に蒸発してしまったため，フォトメータでの計測は困難と判断した．

(2-2) スモークメータ

Bosch 製スモークメータを使用して計測を試みた．スモークメータは真水では感知しないので，着色水や泥水を使用する必要があるが，均質な着色水や泥水を本研究で走行試験を実施する長い距離に亘って用意するのは，難しいことから，スモークメータでの計測は困難と判断した．

(2-3) 写真計測

スプレイテスト中の状況を 600mm 望遠レンズにて撮影した．前方および後方からの撮影については，それぞれ 160m 離れた地点から撮影した．左側方からの撮影については，計測車両の車間距離によって，35m 離れた地点と 60m 離れた地点を使い分けた．また，評価板を取り付けた計測車の助手席アイポイントに 50mm レンズをセットして，トラック後部のスプレイを撮影した．この時，計測車のワイパー ON，OFF の 2 種類を撮影し，後述の重量計測法と対比，評価板に付着したスプレイの粒の大きさや数の写真からスプレイ量の計測を試みた．なお，スプレイ粒が小さい場合は，数，粒の大きさ共定量的な値を算出することができたが，スプレイ粒が大きく，その数も多くなると，計測が困難となった．

(3) 重量計測

テストコース 100m 走行後に，直ちに停止し，評価板に付着したスプレイを吸取紙でふき取り，水の重量を測定，これに評価板の雨どい部分に集められたスプレイ重量を加算した．この計測法では，安定的にスプレイ量を計測することができることを確認したので，本研究では，この計測法で計測した数値を基本評価値として使用することとした．

(4) 車体周辺の気流を利用したスプレイ飛散状況計測

トラックが濡れた路面を走行時に跳ね上げるスプレイ量を低減する対策を検討するため，車体表面および周辺の気流測定を行った．車体の全表面に，200mm 間隔で長さ 100mm の気流測定用の毛糸（タフト）を取り付け

た．更に車体表面から左方 400mm, 後方 1600mm まで, 枠組みを張り出し, これに 200mm 間隔でピアノ線を張り, 同様にタフトを取り付けた．

以上の準備をした後, 走行中のトラックの写真を撮影した (図 4.2)．スプレイ飛散状況調査のため, タフトを利用して付着したスプレイの濃淡の度合いについて計測を実施した．すなわち, テストコースを走行後, 直ちに各部分のタフトについて「乾き」, 「湿り」, 「半濡れ」, 「ずぶ濡れ」の 4 段階に分けて, その分布を 3 次的に計測した．

4.2 試験条件

(1) テストコース

スプレイの試験を行う場合, 降雨量と路面上の水深の関係を明らかにし, 水深によるスプレイ量と降雨により付着する量との関係を研究すべきと考えられるが, 実際には雨中のテストは時間的制約があり, また, 再現性についても天候に左右されるため, 筆者らは雨上がりの路面を走行した際のスプレイを想定して, 路面上から跳ね上がるスプレイだけに限定した試験を行うこととした．

スプレイ試験を実施する上で最も重要な問題は, テストコースの水深や排水特性等といった条件を常に同じに保てるようにすることである．なお, 本研究において, 予備試験を通常のテストコースで実施した場合, 図 4.3 のようにテストコースが変化してしまい, 同一水深での試験は困難となってしまったことから, スプレイ試験専用のテストコースを新たに建設することとした．本研究で新設したテストコースは, 長さ 100m, 幅 7m とし, 直径 10mm のビニルチューブおよびテープで全周を囲っている．このテストコースに貯められる水容量は約 3000 L (設計上の値) で, 試験を実施する際には, 予め, 毎分 200 L の散水容量を有するスプリンクラーで散水を行い, 任意の試験条件を整えられるようにした．

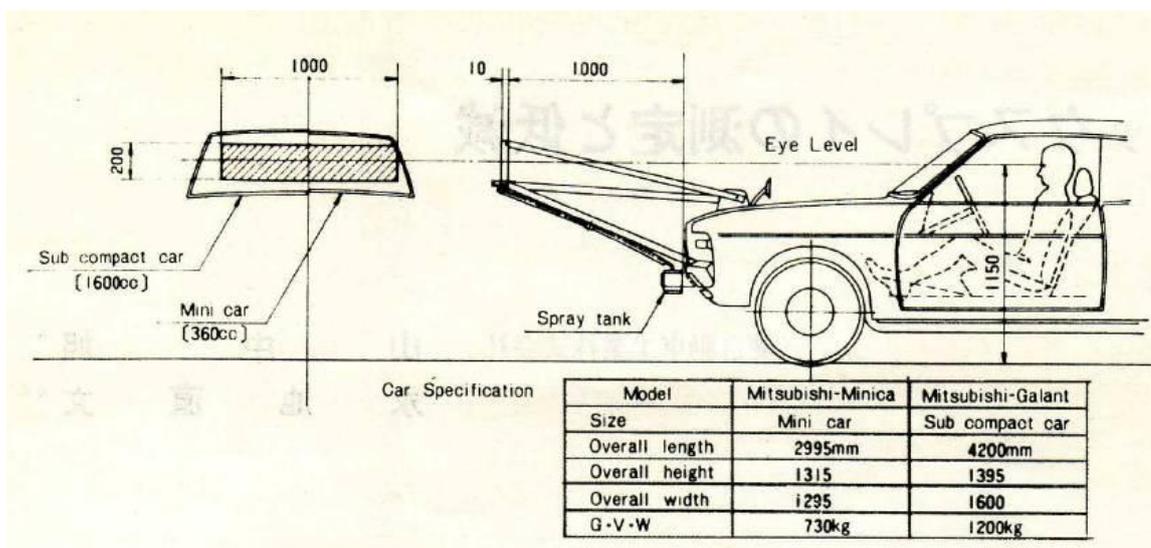


図 4.1 評価板を測定車両に装着した状況および評価板の諸元



供試車諸元

通称名・型式・荷箱種別	三菱ふそう T650E バン		
車種	中型トラック		
エンジン最高出力/回転数	120PS/3,200rpm	ホイールベース	4,200mm
全長	7,515mm	最大積載量	4,000kg
全幅	2,200mm	車両総重量	8000kg
全高	2,950mm		

図 4.2 標準バンボディーートラックによるスプレイ試験の状況

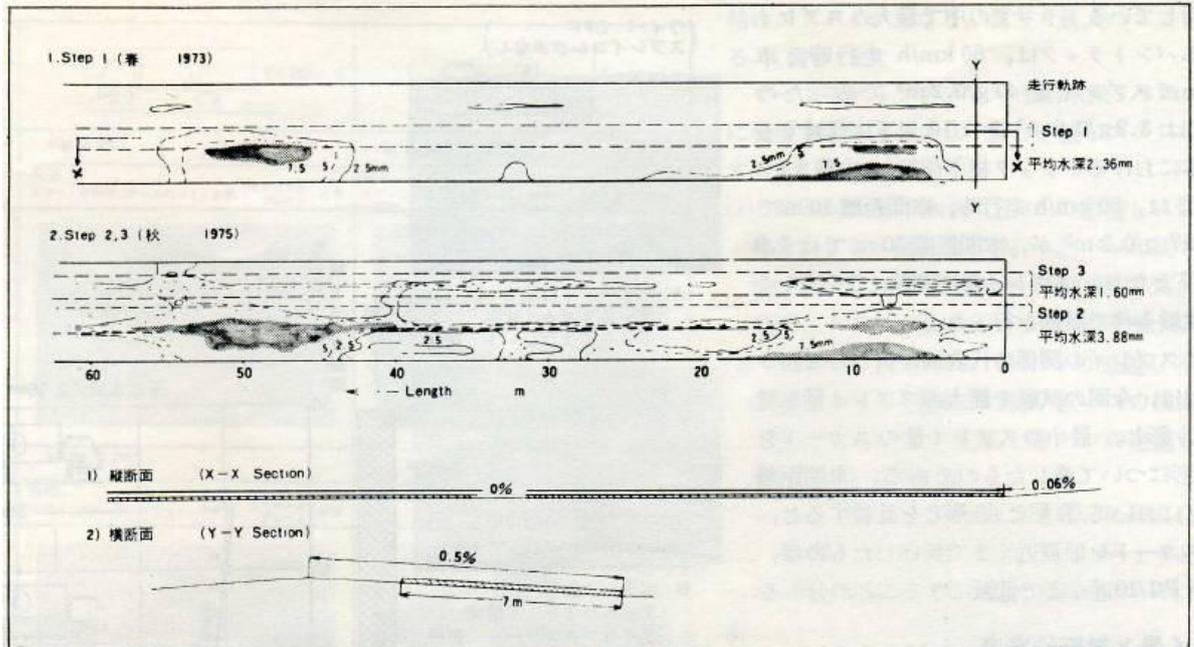


図 4.3 通常のテストコースでスプレイ試験を実施した場合の
テストコースの破損状況

(※. 1973 年の路面状況に比べ, 1975 年の路面は大きく破損してしまっている.)

(2) 試験車両

本研究では，三菱ふそう中型トラック T650 型（車両総重量 8t，積載量 4t）の標準荷台タイプの車両，およびバンボディータイプの車両の 2 台を試験車両として使用，図 4.4 に示した 12 種類の条件で試験を実施した．

(3) 試験法

上記試験車（トラック）の後方に，指定の車間距離で同一速度を保った状態で，測定車両を追従させるようにして，長さ 100m のスプレイ試験専用テストコースを走行，このテストコースを通過後に測定車の評価板に付着したスプレイの重量計測を行った．

なお，本試験において，スプレイの量はテストコースの区間 100m を走行中に面積 0.2m^2 の評価板に付着した水量で表示することとした（例えば，評価板にスプレイが 2g 付着した場合には「 $2.0\text{g}/0.2\text{m}^2$ 」と表示）．なお，今回の試験での各条件でのスプレイ量を図 4.4 に示す．また，本試験でスプレイ量の計測区間を 100m としたのは，計測区間をこの程度の長さにした方がスプレイの量を安定的に測定できるからである．

4.3 車間距離とスプレイ

いうまでもなく，スプレイの量は，先行車両との車間距離が伸びれば少なくなる．今回の試験で最も多いスプレイ量となったのは，図 4.4 中の TEST No.1（バンボディータイプのトラック）で，80km/h 走行時，車間距離 10m でスプレイ量は $40.0\text{g}/0.2\text{m}^2$ であったが，車間距離を 30m に伸ばした場合， $3.2\text{g}/0.2\text{m}^2$ と 1/10 以下に低減した（図 4.5）．荷箱の形状が異なるトラック（図 4.4 中の TEST No.12，標準荷台タイプのトラック）についても，80km/h 走行時，車間距離 10m でスプレイ量は $17.0\text{g}/0.2\text{m}^2$ であったが，車間距離を 30m に伸ばした場合， $1.0\text{g}/0.2\text{m}^2$ と，これも 1/10 以下に低減した．

図 4.4 中の TEST No.1 と TEST No.3 の条件での，車間距離とスプレイ量の関係を図 4.5 に示す．TEST No.3 は，バンボディータイプのトラックの

側面に，泥水跳ね上げを防ぐ「スカート+ゴムフラップ」を装着した車両である。「スカート+ゴムフラップ」を装着することにより，スプレイ量はTEST No.1 の 1/10 近くまで低減した．

4.4 スプレイ量と視野妨害度

TEST No.1 のバンボディータイプのトラックを 80km/h で走行させ，下記車間距離で計測車を追従させて視界妨害度を調査した（図 4.5，図 4.6）．

- (1)先行車（トラック）との車間距離が 40m の時，スプレイはフロントウィンドシールドに付着せず，ワイパーを全く必要としなかった．
- (2)車間距離を 30m に縮めると，スプレイの付着が目立ち始める．先行車の尾灯は，はっきり識別できるが，ライセンスプレートはその取り付け位置は確認できるものの，数字はスプレイのため不鮮明で読みづらい．この時のスプレイ量は $3.2\text{g}/0.2\text{m}^2$ で，測定車は間欠ワイパーを使用したくなる量である．
- (3)車間距離を 20m まで詰めると，スプレイ量は増加，先行車の尾灯は点灯すれば確認できるが，鮮明ではない．測定車のフロントウィンドシールドには，多くのスプレイが付着，視界確保のためにはワイパーの使用が必要．この時のスプレイ量は $10.5\text{g}/0.2\text{m}^2$ である．
- (4)車間距離を 10m まで縮めた場合，豪雨の中を走行しているのと同じ状況となった．先行車の尾灯は確認できず，車体後部がぼんやり見えるだけとなった．この条件下でワイパーを使用しない走行は危険であり，安全に走行するためには，ハイスピードでのワイパーの使用が必要となる．この時のスプレイ量は $40.0\text{g}/0.2\text{m}^2$ である．

以上のように，スプレイ量とワイパー必要度合い（ワイパーのスピード）と先行車後部の識別度合いの対応を試みた．今回の試験で使用した計測車のワイパーは，「間欠ワイパー（4sec 間隔を 1 回として 15cpm）」，「通常（45cpm）」，「ハイスピード（70cpm）」の 3 種類の速度を選ぶことができる

仕様であった．そこで筆者らは，スプレイ量とこれに対するワイパー必要度合いの関係を次のようにまとめた．

- (1)スプレイ量 0.0-2.0g/0.2m²：ワイパー不要
- (2)スプレイ量 2.0-6.0g/0.2m²：間欠ワイパーが必要
- (3)スプレイ量 6.0-14.0g/0.2m²：通常速度でのワイパー使用が必要
- (4)スプレイ量 14.0g 超/0.2m²：ハイスピードでのワイパー使用が必要

4.5 車速とスプレイ量

上述した車間距離とスプレイの関係で明らかなように，車間距離が長くなる程スプレイ量は急速に下がる（図 4.5）．図 4.4 中の 12 種類の試験条件の有意差を求めるため，車間距離 10m で各条件における速度によるスプレイ量の変化を求めた（図 4.7）．車間距離 10m は車速 40km/h では安全な距離であるが，車速が高速になるとテストコースの濡れも加わり，大変危険な車間距離となる．

80km/h において，最大のスプレイ量を発生する TEST No.1 のスプレイ量と，これ以外のスプレイ量の比較を図 4.4 および図 4.6 に示す．TEST No.1 のスプレイ量を 100 とした場合，他の条件でのスプレイ量は次の通り．

- (1)TEST No.3（バンボディータイプ・トラック，スカート+ゴムフラップ）：10
- (2)TEST No.4（バンボディータイプ・トラック，スカート）：33
- (3)TEST No.6（バンボディータイプ・トラック，リヤタイヤ全周包囲）：23
- (4)TEST No.12（標準荷台タイプ・トラック）：43

TEST No.12 については，速度を 70km/h に落とした場合，そのスプレイ量は，80km/h 時の 43 から 27.5 に低減した．

なお，今回の試験では，TEST No.3 のようにバンボディータイプのトラックに，スカート（最低地上高 40mm となるように装着）とゴムフラップを装着することで，スプレイ量を大幅に低減したが，これは現実的な対策としては難しい．なぜなら，このような対策をすると，背離角が極端に小

さくなり，日常の走行が出来なくなるからである．したがって，TEST No.6 のような対策が，現実的と考えられる．

TEST No.2 のように，リヤオーバーハングのフレーム下部に吊るしたスペアタイヤは，スプレイ量の低減に役立つ．この TEST No.2 のトラックが 80km/h で走行時のスプレイ量は，(TEST No.1 のトラックの 80km/h で車間距離 10m でのスプレイ量を 100 とした場合) 車間距離 10m の場合で 80，車間距離 20m の場合で 60 となった．

また，TEST No.12 のように，標準荷台タイプのトラックでは，(TEST No.1 のトラックの 80km/h で車間距離 10m でのスプレイ量を 100 とした場合) 車間距離 10m の場合で 43，車間距離 20m の場合で 24 となった．このように，後端の高さが低い荷台は，車間距離が長くなるとスプレイ量が急激に少なくなる．言い換えれば，荷台後端の高さを低くして，車両の後流の巻上げを少なくすれば，スプレイを低減できる．

4.6 追越し時のスプレイ

追越し時のスプレイ計測の代表的位置を次のように設定した．

平均的な道路の 1 車線の幅を 3.5m と考え，トラック車幅の中心位置から計測車の車幅の中心までを 3.5m とした．前後方向の距離については，トラック後面から測定板までを 1m とした．この位置は，前輪のスプレイと後輪のスプレイが重なり，側方で最大のスプレイ量となる (図 4.8，図 4.9)．

この時のスプレイ量と平均水深 1.6mm の濡れた路面で走行するトラックの後方に発生するスプレイ量を比較するため，TEST No.1 のトラックと TEST No.3 のトラックを用いて走行試験を実施した．なお，試験結果は次のようになった．

(1) TEST No.1 のトラックが平均水深 1.6mm の濡れた路面を 80km/h で走行した際にその後方で発生するスプレイ量を 100 とした場合，このトラッ

クの追越し時のスプレイ量は 50.

(2)TEST No.3 のトラックが平均水深 1.6mm の濡れた路面を 80km/h で走行した際にその後方で発生するスプレイ量は,TEST No.1 のトラックを 100 とした場合, TEST No.3 のトラックのスプレイ量は 10 であり, 追越し時についても, TEST No.1 のトラックの追越し時スプレイ量を 100 とした場合, TEST No.3 のトラックのスプレイ量は 10.

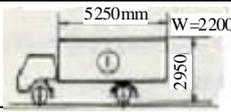
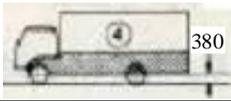
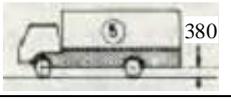
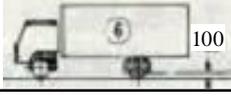
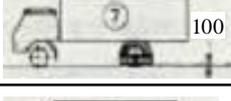
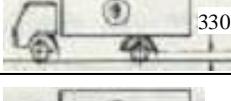
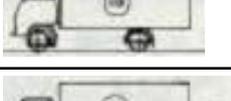
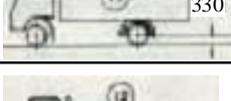
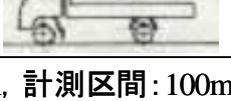
(3)TEST No.1 のトラックが平均水深 1.6mm の濡れた路面を 70km/h で走行した際にその後方で発生するスプレイ量を 100 とした場合, このトラックの追越し時のスプレイ量は 85.

(4)TEST No.3 のトラックが平均水深 1.6mm の濡れた路面を 70km/h で走行した際にその後方で発生するスプレイ量は,TEST No.1 のトラックを 100 とした場合, TEST No.3 のトラックのスプレイ量は 3.5 であり, 追越し時についても, TEST No.1 のトラックの追越し時スプレイ量を 100 とした場合, TEST No.3 のトラックのスプレイ量は 4.0.

また, 車両周辺のスプレイは試験車の周囲に取り付けたタフトの濡れ具合で測定した. 図 4.10 に示したように, モーターボートが水上を航行する際に立てる波のように, 周辺に波が立っているものと考えられる.

すなわち, 濡れた路面を走行する試験車の周辺では, 路上の水が波打っているが, これが多い場所と少ない場所があり, 更に試験車が通行する際には, 各々のタイヤは, それぞれが個別に水を押し除ける. 濡れた路面を走行する際に発生する波は,複雑な力によって発生するので, スプレイ量は車速に比例しないと考えられる.

フロントタイヤで巻き上げるスプレイは, リヤボディーの形状に影響されない(図 4.8). これは, フロントタイヤに水深が直接影響を及ぼすため, スプレイは外方へ向かって広範囲に高く跳ね上げられるためと考えられる. リヤタイヤは, フロントタイヤによってある程度の量の水が跳ね除けられた後の水深が浅い場所を走行するので, リヤタイヤによるスプレイはリヤボディーの下部に当たり, 上方へはあまり跳ね上がらない.

Test No.	試験車の仕様		採取スプレイ量 (車間距離10m)		標準バンホディーを100とした場合のスプレイ量の比	
			km/h V=80	km/h V=70	km/h V=80	km/h V=70
1	標準バンホディー		g/0.2m ² 40.0	g/0.2m ² 18.8	% 100	% 100
2	標準バンホディー スペアタイヤ付		32.0	14.5	80	77
3	プロトタイプ・A ホディー包囲 地上間隙40mm		4.0	1.0	10	5
4	プロトタイプ・B ホディー包囲 地上間隙380mm		13.2	8.5	33	45
5	プロトタイプ・C ホディー包囲 地上間隙380mm		17.0	10.5	43	56
6	プロトタイプ・D タイヤハウス包囲		9.3	6.5	23	35
7	プロトタイプ・E 試作リヤフェンダー リヤフラップ付		19.4	11.0	49	59
8	プロトタイプ・F 試作リヤフェンダー リヤフラップ延長		22.9	12.5	57	69
9	プロトタイプ・G 試作リヤフェンダー		18.5	—	46	—
10	プロトタイプ・H インナフラップ付 タイヤハウス		20.0	—	50	—
11	プロトタイプ・I フラップレス 試作リヤフェンダー		33.2	—	83	—
12	標準荷台		17.0	11.0	43	59

* 平均水深: 2.36mm, 計測区間: 100m

図 4.4 供試車両と試験結果

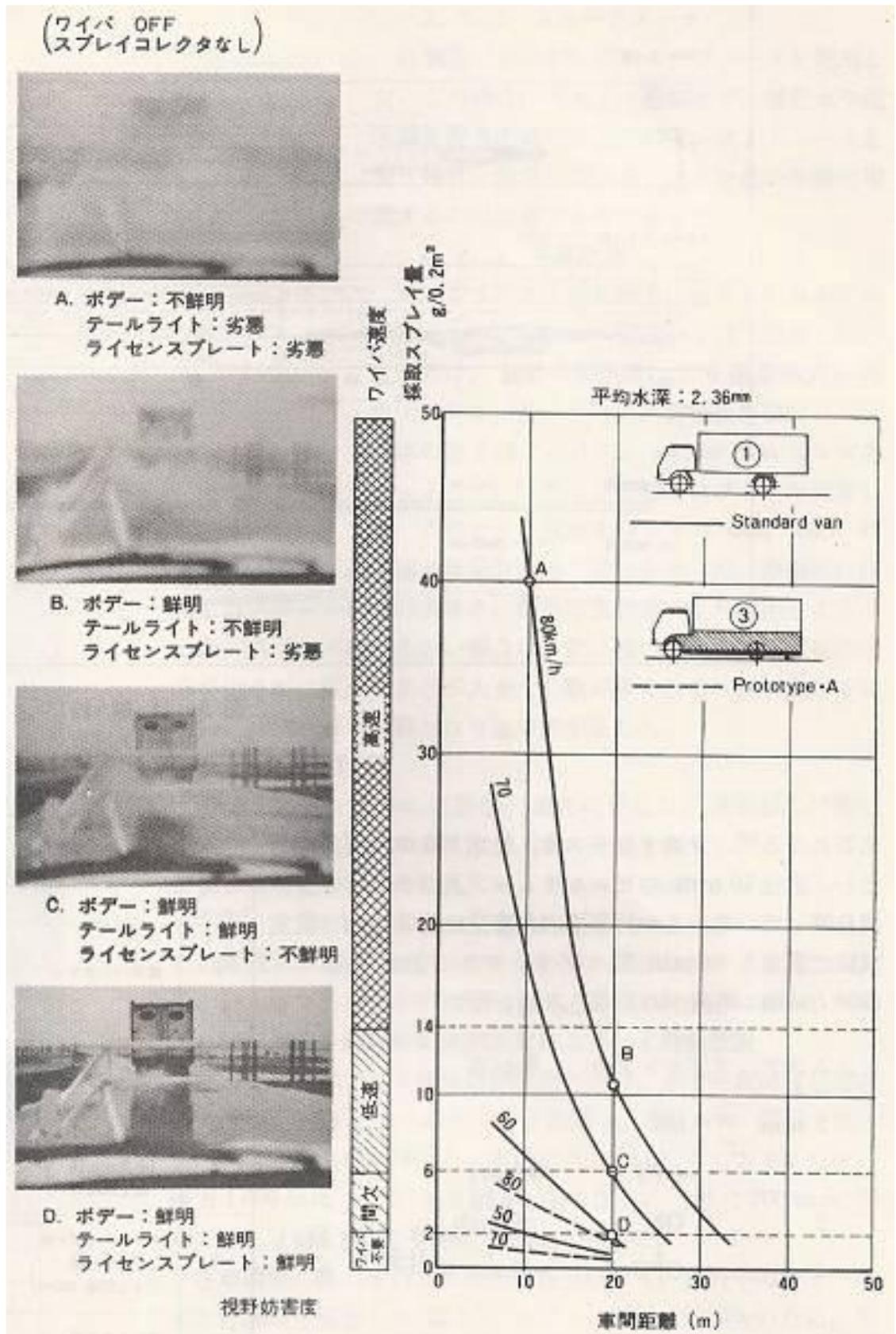
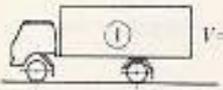
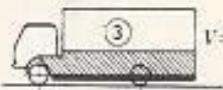
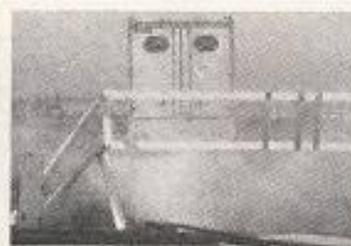
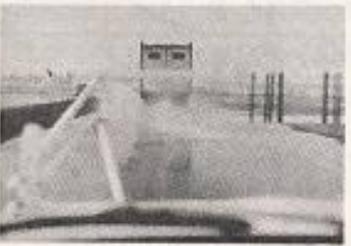
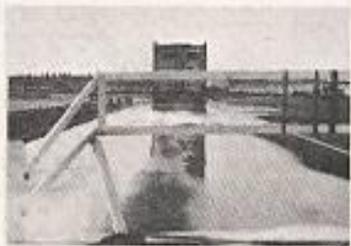


図 4.5 車速，追従，車間距離の影響

車種 距離		Type	 ① $V=80\text{km/h}$	 ③ $V=80\text{km/h}$
		10m	採取スプレイ量	40g/0.2m ²
視野 妨害 害度	ワイパ速度 視認性	高速 ボデー：不明、テールライト：不明、ライセンス： プレート：不明	閉穴 ボデー：不明、テールライト：不明、ライセンス： プレート：不明	
	* 前方視野 (写真)			
20m	採取スプレイ量	10.5g/0.2m ²	1.6g/0.2m ²	
視野 妨害 害度	ワイパ速度 視認性	低速 ボデー：不明、テールライト：不明、ライセンス： プレート：不明	ワイパ不要 ボデー、テールライト、ライセンスプレートとも不明	
	* 前方視野 (写真)			
30m	採取スプレイ量	3.2g/0.2m ²	0g/0.2m ²	
視野 妨害 害度	ワイパ速度 視認性	閉穴 ボデー：不明、テールライト：不明、ライセンス： プレート：不明	ワイパ不要 ボデー、テールライト、ライセンスプレートとも不明	
	* 前方視野 (写真)			
40m	採取スプレイ量	0g/0.2m ²	0g/0.2m ²	
視野 妨害 害度	ワイパ速度 視認性	ワイパ不要 ボデー、テールライト、ライセンスプレートとも不明	ワイパ不要 ボデー、テールライト、ライセンスプレートとも不明	
	* 前方視野 (写真)			

平均水深：2.36mm，計測区間：100m（ワイパーは OFF，スプレイコレクタなし）

図 4.6 スプレイ量と視野妨害度

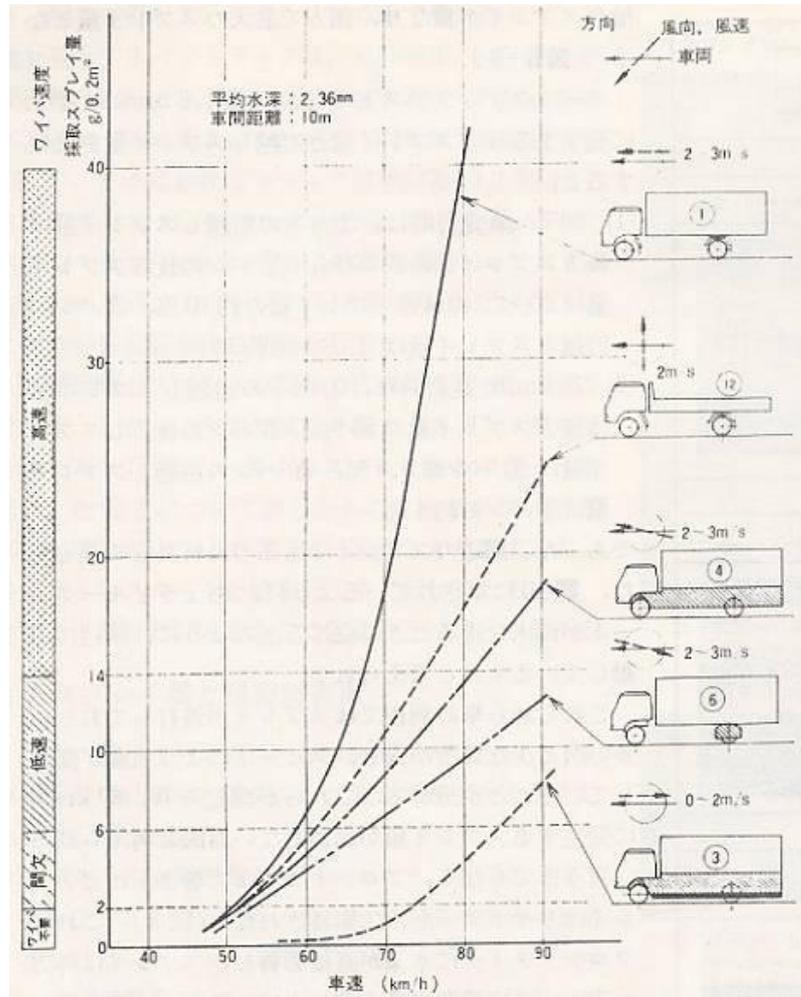


図 4.7 主な試験車の車速とスプレイ量の関係

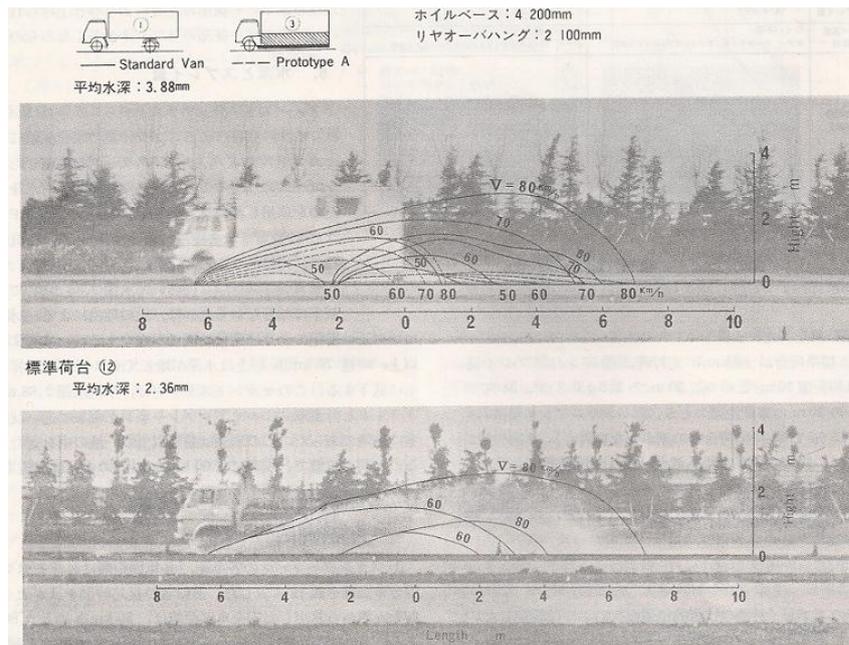


図 4.8 トラック走行時のスプレイ（側面写真）

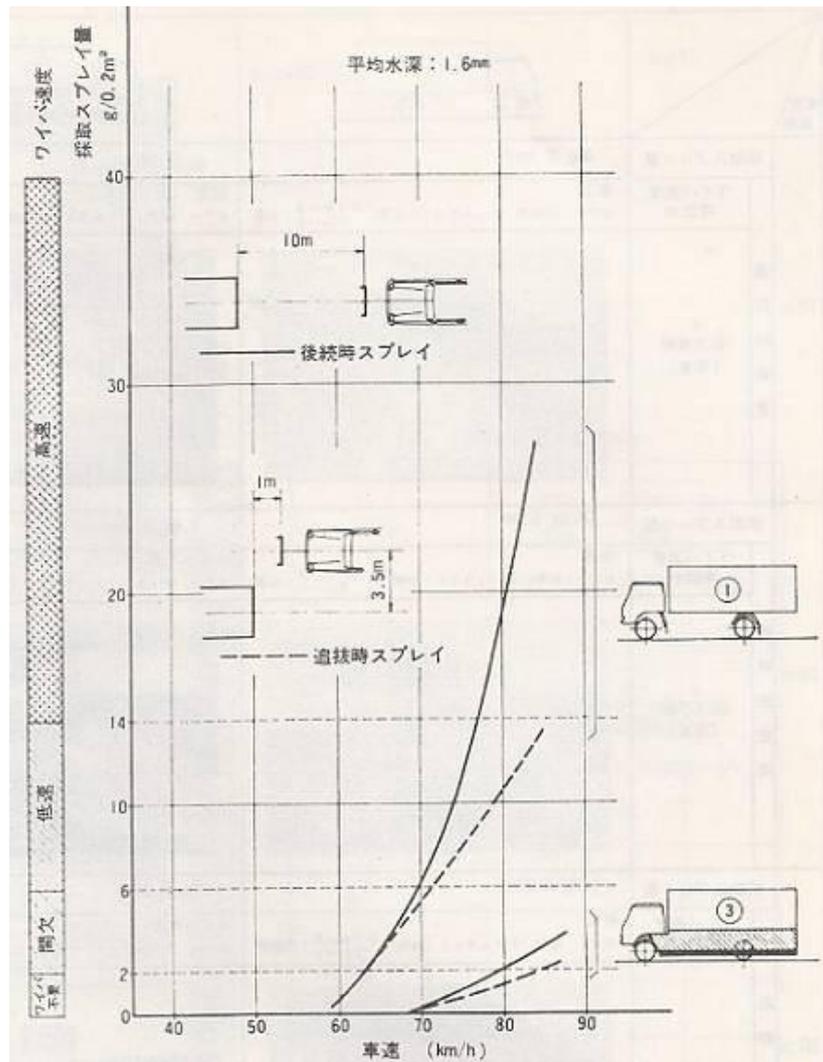


図 4.9 追従および追越時の車速とスプレイ量の関係

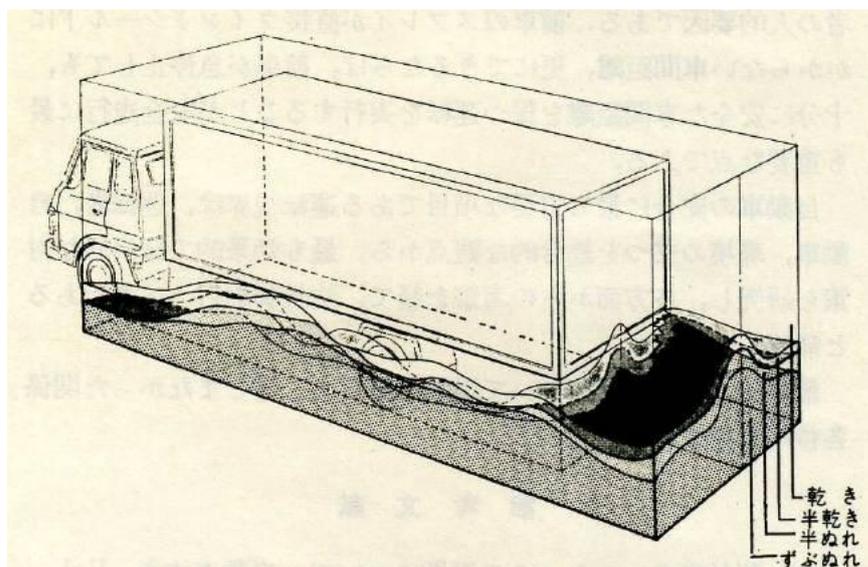


図 4.10 車両周囲のスプレイ飛散状況

4.7 水深とスプレイ量

TEST No.1 のトラックと TEST No.3 のトラックについて，水深とスプレイ量の関係を調べるための走行試験を実施した（図 4.11）．水深 2.5mm 以下では，水深が深くなればスプレイ量もこれに応じて増加するが，水深 2.5mm 以上，車速 70km/h 以上では，水深が増した際のスプレイの増加率は低くなる．なお，水深 3.9mm では，試験車，計測車共にハイドロプレーニング現象に近い状態となり，非常に危険となったので，これ以上の水深での試験は実施しなかった．

4.8 車間距離とスプレイ量と視界妨害度の関係

TEST No.1 のトラックの車速と車間距離とスプレイ量の関係を求めた（図 4.12）．運転者の反応時間を 1sec と考え，制動距離から算出した安全車間距離で追従するならば，先行車両が巻き上げるスプレイで視界が妨害されることはない．なお，図 4.12 に示した「安全車間距離」や「ワイパー不要ゾーン」は，平均水深 2.36mm での走行試験から求めたものである．平均水深 2.36mm は，集中豪雨直後以上の水深であり，スプレイ量を測定する条件としては，最も厳しいものであるので，この条件下での走行試験での「安全車間距離」や「ワイパー不要ゾーン」は，実際の走行においても，かなり信頼性の高いものとする．

図 4.12 から次のことが言える．

- (1)米国での実車間距離（高速道路での平均車間距離）は，車速 80km/h の場合，31m とされるが，これだけの長さの車間距離があれば，スプレイ量は $2.0\text{g}/\text{m}^2$ 以下となるので，ワイパーを作動させる必要はない．
- (2)しかしながら，日本での実車間距離は，車速 80km/h の場合 21m と短いので，ワイパーを作動させる必要が生じる．
- (3)車速 70km/h の場合，先行車との車間距離を 30m とした場合，ワイパーを作動させる必要はないが，車間距離を 20m とした場合には，ワイパー

を作動させる（間欠ワイパー）必要が生じる．

(4)TEST No.3 のトラックについては，TEST No.1 のトラック程，車間距離によってスプレイ量が大きく低下することは無い．これは，TEST No.3 のトラックが側面に装着した，泥水跳ね上げ防止装置である「スカート＋ゴムフラップ」が地表を這うようになっているためである（図 4.5，図 4.8）．なお，TEST No.3 のトラックのスプレイ低減率は，車間距離が近づく程，効果がある．

以上のことから，車間距離は少なくともワイパーを必要としない分だけ取っておく必要がある．すなわち，ワイパーを必要とすることは，制動距離から算出した安全車間距離より短い危険な車間距離であると言える．

4.9 第 4 章のまとめ

本研究では，濡れた路面におけるトラックスプレイの測定と，その評価法，運転視界への妨害度，スプレイの低減法について試験を実施，次の結論を得た．

- (1)スプレイ量の計測および評価法として，乗用車の車種や形状に影響されない位置に評価板を設置してスプレイ量を計測する試験法を考案した．この結果，安定した測定値を得ることができるようになった．
- (2)先行車（トラック）が跳ね上げるスプレイ量の評価値と後続車の運転者への視界妨害度の関係を明らかにするため，人間工学的な評価を試みた．後続車の運転者の視界妨害度を直接表示するものとして，「ワイパーの作動速度」，「後続車からの先行車の識別しやすさ」，「後続車アイポイントから撮影した写真とスプレイ量の関係」を使用することによって，スプレイ量と後続車両運転者の視界妨害度の関係を明らかにした．
- (3)追越しをする場合，先行車（トラック）との側面方向距離を 1m とした場合のスプレイ量は，車間距離 10m での先行車後方に発生するスプレイ量の約 1/2 であった．したがって，長時間に亘って並走するようなこと

をしない限り，周辺スプレイの問題は少ない．

- (4)後続車が車間距離 30mを保てば，最もスプレイ量が多い TEST No.1 のトラックについても，安全な視界が保てることを確認した．
- (5)本研究では，泥水跳ね上げ防止装置「スカート+ゴムフラップ」を装着した TEST No.3 のトラック（図 4.4）で走行試験を実施，スプレイ量を TEST No.1 のトラックの 1/10 以下に低減出来ることを確認した（図 4.5）．なお，TEST No.3 のトラックは，装着したスカート部の最低地上高が 40mm であり，日常的な走行ができなくなる．したがって，この対策は現実的な対策ではないので，今後更なる研究が必要である．
- (6)水深量が多いことは，スプレイ量の増大だけでなく，危険なハイドロプレーニング現象を招く重大な要因にもなる．この問題解決のためには，降雨量，降雪量等といった気象条件や環境条件に合った，きめ細かい道路計画や路面設計も必要と考える．
- (7)運転視界は，自動車の安全な運転に最も重要な項目であり，「運転者」，「車両」，「環境」の 3 要件を総合的な観点から，効果的で経済的な対策を研究し，各方面からの考察を経た上で，適切な法規制を考えていくことも重要である．

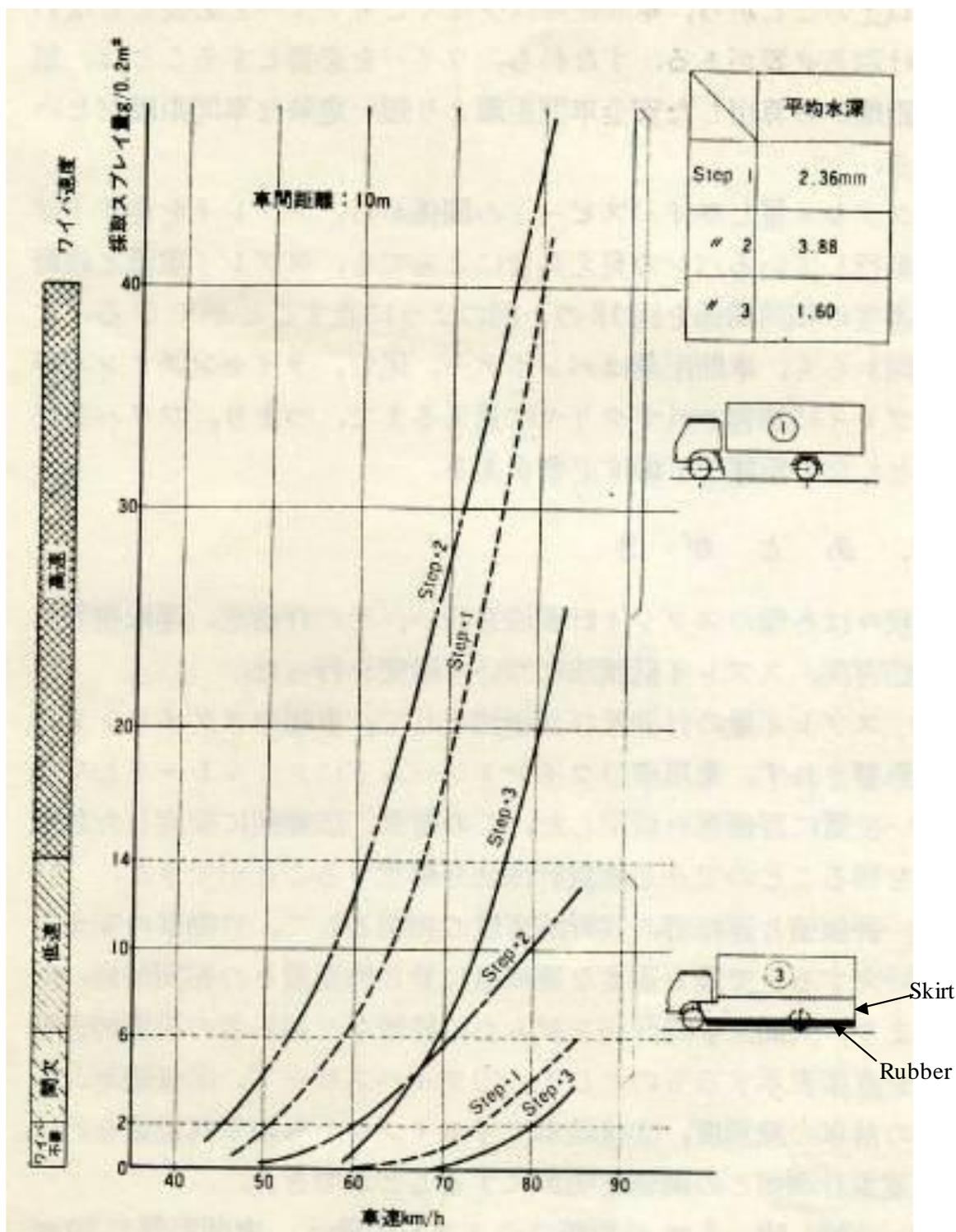


図 4.11 水深と車速，スプレイ量の関係

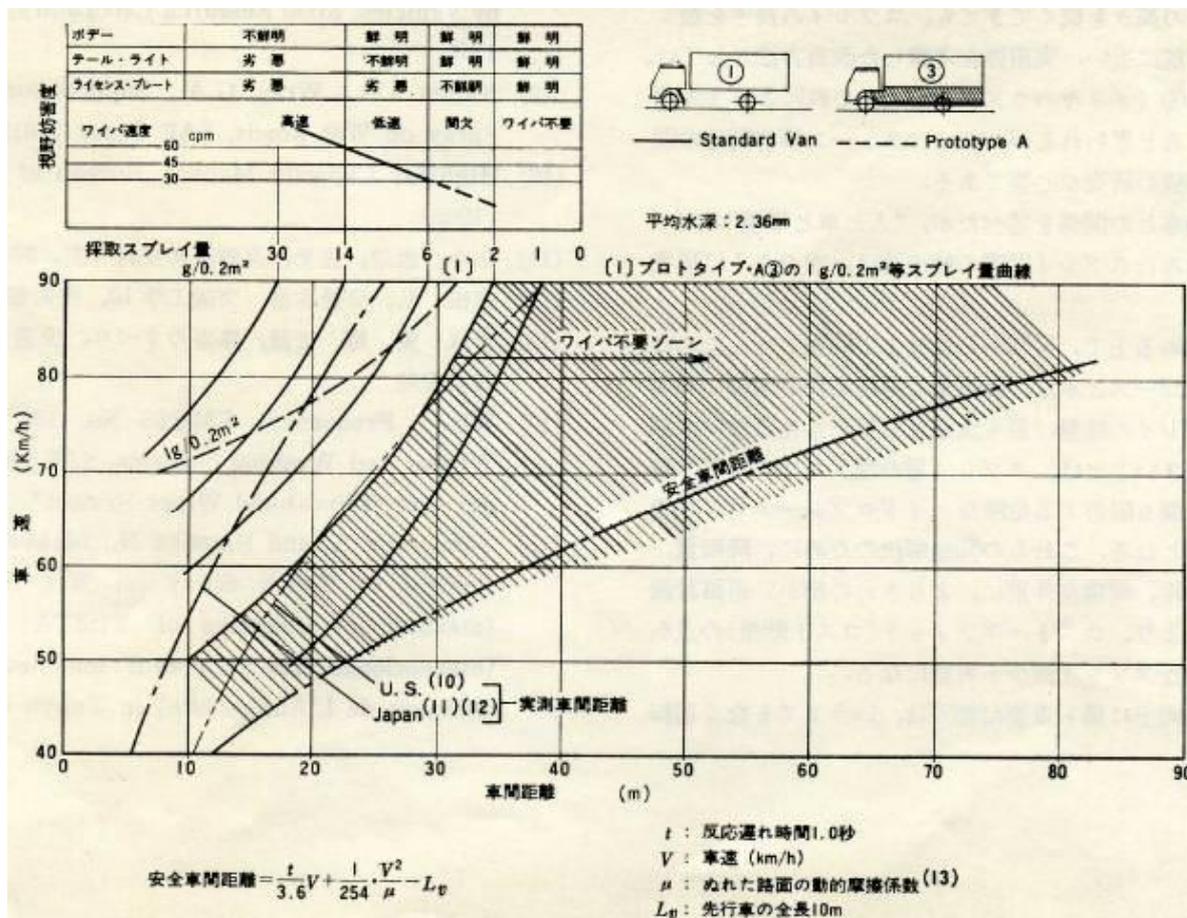


図 4.12 スプレイ量の等高線図および視野鮮明度

第 5 章

衝突エネルギー吸収システムの 研究開発

5.1 衝突モデルと衝突エネルギー吸収システムの研究開発

前章までは，車両周辺死角領域の歩行者保護や走行時の運転者への負担軽減を目的とした運転者の視認性改善について述べてきた．しかしながら，どのような機械システムも 100%安全ということはない．現在の大型車には，先に述べた視認性改善も含め，さまざまな予防安全装備が研究開発されており，既に実用化されているものも少なくないが，これらをもってしても事故発生に至ってしまう場合がある．したがって，交通事故による被害をより一層の低減していくためには，衝突安全に関する研究に取り組むことが重要である．

本章では，衝突エネルギー吸収システムに関する基礎研究について述べる．標準的な大きさの中型トラック（車両総重量 7t，積載量 4t クラスの中型トラック）を 20km/h で剛体バリアに衝突させた場合のストローク量と発生荷重の関係を図 5.1 に示す．トラックを含め，自動車は鋼材や合成樹脂材等，多くの種類の材料から構成される複雑な構造物であるが，衝突現象の初期段階においては，車体変形量と発生荷重の関係は，線形ばね

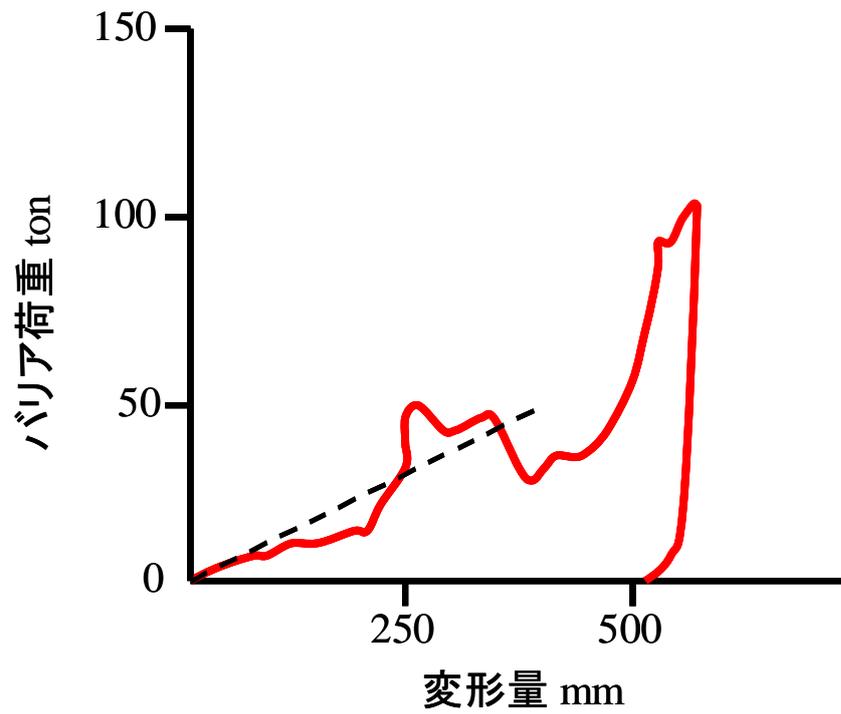


図 5.1 中型トラックの荷重変位図 (GVW7 t , V=20km/h)

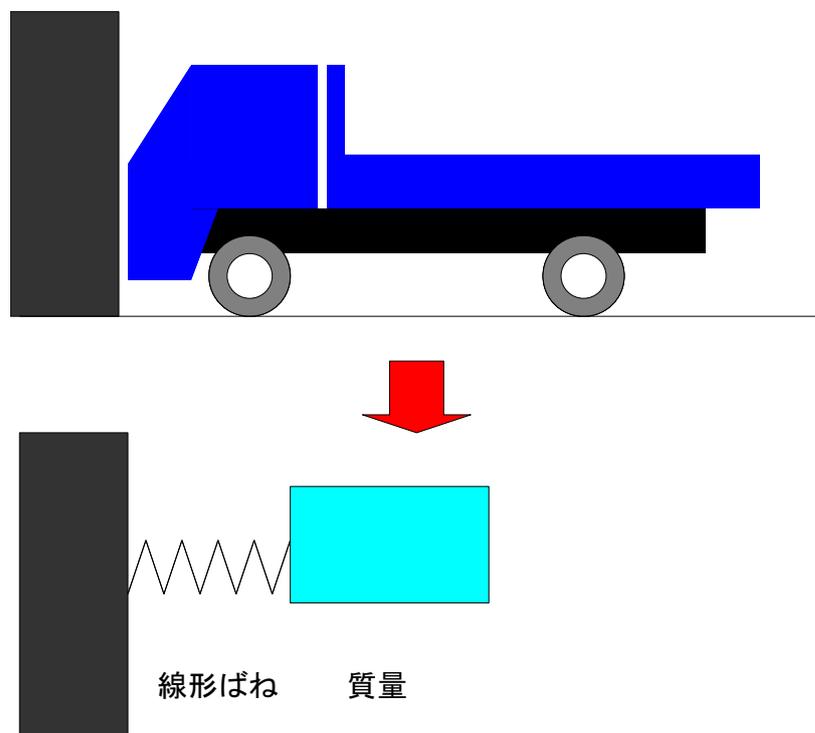


図 5.2 「一次元衝突・質量－線形ばね」系モデル

のような正比例の関係を示す．このため，衝突理論の基礎的な考え方では，自動車の衝突現象を「一次元衝突・質量－線形ばね」系のモデル（図 5.2）とみなして安全対策を検討していく手法がとられることが多い⁽²⁷⁾⁻⁽²⁸⁾．

なお，自動車の衝突安全対策を「一次元衝突・質量－線形ばね」系のモデルとみなして検討していく場合，図 5.2 に示したようなモデルだけでは，大まかな検討は出来ても，具体的な対策の検討はしづらい．そこで，例えば，図 5.3 に示したように，車体を複数の「一次元衝突・質量－線形ばね」系モデルから構成されるものと考えて，各要素の安全性が検討されることも少なくない．

本研究においても，車体を複数の「一次元衝突・質量－線形ばね」系モデルから構成されるものと考え，乗員や積載物等，保護する対象それぞれに応じた衝突安全対策に取り組むこととした．本研究では，乗用車との衝突時における乗用車乗員の保護や，衝突時にある一定以上の力が加わってしまうと物性が変わってしまうような積載物を保護することを主な目的としているので，図 5.3 中のフロントバンパあるいはリアバンパ，荷箱と積載物の間をつなぐばね要素に着目，これらの箇所に衝突エネルギーを吸収する保護部材を開発，および配置することによる安全性の向上に取り組んだ．

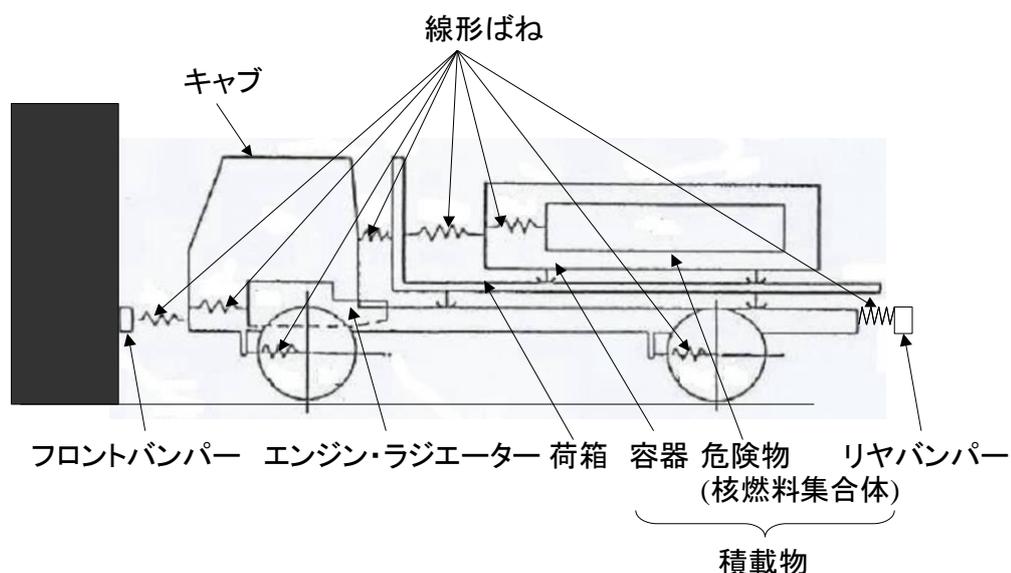
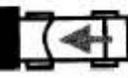
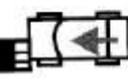


図 5.3 複数のばねから構成される「一次元衝突・質量－線形ばね」系モデル

5.2 衝突エネルギー吸収システムの開発

一般的な乗用車や乗用車からの派生車種として製作された商用車については、衝突安全のための数多くの法規が整備されており、また、近年においては、(独)自動車事故対策機構(NASVA)によって新型車の総合的な安全性の評価プログラム(JNCAP)も実施されるようになっており、また、衝突試験によって、衝突試験車やダミー等から計測される傷害値や車体変形量、燃料漏れ等が世間一般に広く広報されることになっており、安全性へのニーズは、これからもより一層高まってくるものと思われる。参考に、日米欧のそれぞれの法規制に関する主要内容を表 5.2 に示す。

表 5.2 日米欧の各種衝突試験条件

項目		日本	USA	EU
前面衝突	フルラップリジッドバリア衝突試験 ・車体前面すべてをコンクリート製の壁面に衝突させる試験 	●55km/h ○50km/h	●35mph ○30mph	—
	オフセットデフォームブルバリア衝突試験 ・車体前面の40%をアルミハニカム製のバリアに衝突させる試験 	●64km/h ○(規制の動きあり)	●40mph (IIHS) ○25mph (予定)	●64km/h ○56km/h
側面衝突	デフォームブルバリア側突試験 ・車体側面にアルミハニカム製のバリアを装着した台車を衝突させる試験 	●55km/h ○50km/h	●38.5mph (斜突) ●38.5mph (対 SUV) ○33.5mph (斜突)	●50km/h ○50km/h
	サイドホール側突試験 ・車体側面に剛体ホールを衝突させる試験 	—	○18mph (代替法規)	●29km/h (オプション)
後面衝突	フルラップリジッドバリア衝突試験 ・車体後面すべてに剛体バリアを衝突させる試験 	○50km/h	○30mph	—
	オフセットデフォームブルバリア衝突試験 ・車体後面の40%にアルミハニカム製バリアを装着した台車を衝突させる試験 	—	○50mph	—
歩行者保護	歩行者の頭部や脚部を模した衝突器具を車両のボンネットやバンパに衝突させる試験 	●(2003~検討中) ○(規制の動きあり)	—	●40km/h ○自主規制予定
その他		●チャイルドシート	○車室内頭部保護構造 ○アドバンスエアバック	●シートベルトリマインダ ●チャイルドシート

一方，トラックやバス等大型車に関しては幾つかの安全基準はあるものの，衝突試験に関する評価基準は現在の法規では定められていない．なお，近年においては，乗用車からの被追突時におけるトラック後部への潜り込み防止装置（大型リヤバンパ）が 2002 年 6 月から義務付けとなったり，乗用車との正面衝突時における乗用車のトラック前側への潜り込み防止装置（Front Under Protector, FUP）についても，検討されるようになってきており，一部の車両では既に採用されたものも出始めている．そこで，本研究においても，5.1 項で述べた目的に沿った衝突エネルギー吸収システムの研究および開発に取り組んだ．

本研究における衝突エネルギー吸収量の開発目標を図 5.4 に示す．なお，この開発目標は，乗用車およびトラックの重量は現行車両の平均重量から次のような前提条件を基に設定した．

- ① 重量 1.5t の乗用車の走行速度 50km/h と同等の運動エネルギーを持つ 15t トラックの速度は 15.8km/h
- ② 1.5t 乗用車 50km/h の運動エネルギーは 144.7kN.m

これら運動エネルギーを吸収できることを，衝突エネルギー吸収システムの開発目標とした．

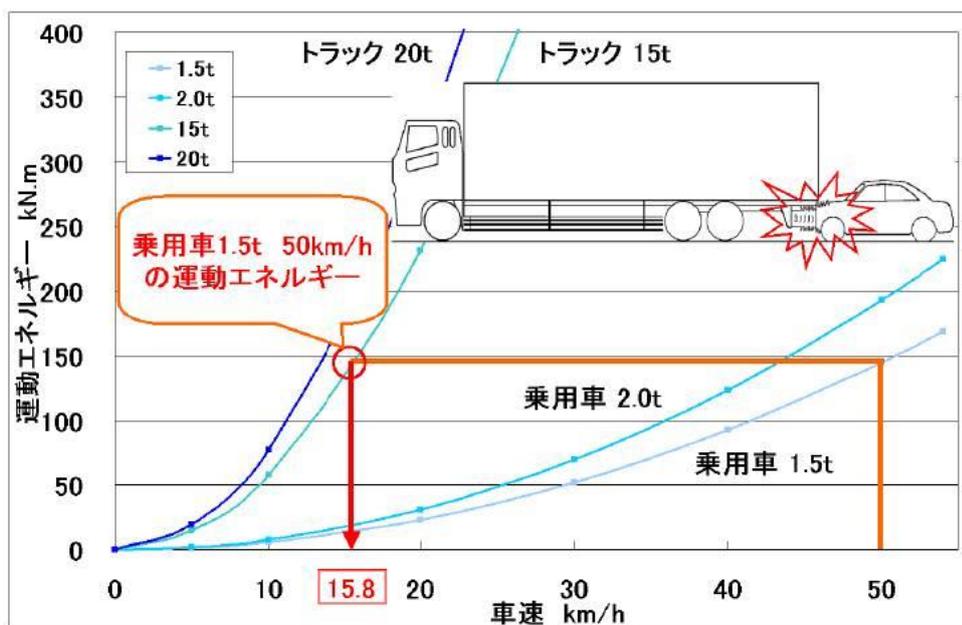


図 5.4 車速と運動エネルギーの関係

衝突エネルギー吸収システムの形状および材質については、次のような検討を行った上で決定した。まず、本システムの衝突エネルギー吸収部分については、表 5.3 に示した各形状の荷重-変位特性を比較し、「5. 角錐 (B) (側面とコーナー部に穴を空けた角錐)」が、衝突時の初期ピーク荷重が少ない理想的な荷重-変位特性 (最もエネルギー吸収特性が良い) であったことから、これに決定した。

また、材質については、各素材の特性を比較 (表 5.4) した上で、最もエネルギー吸収性が高い鉄 SS400 に決定した。

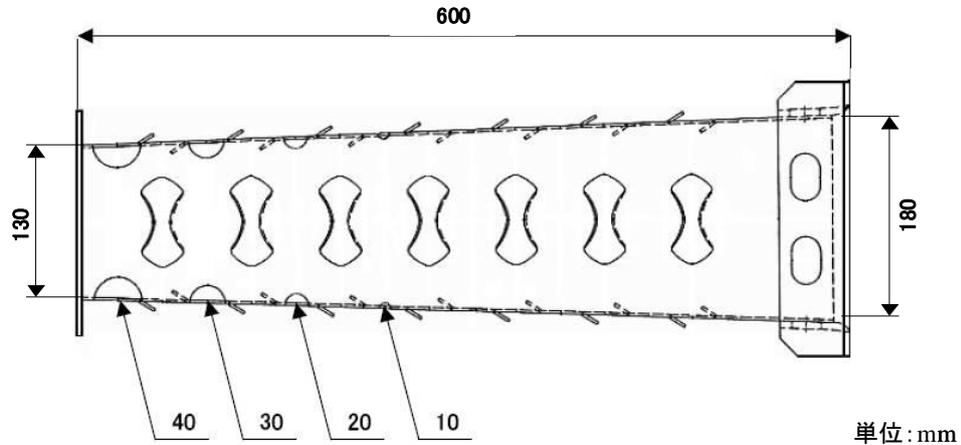
表 5.3 部材の形状とエネルギー吸収特性の関係

形状	1. コの字フレーム	2. 角柱(A) 溶接はがれ	3. 角柱(B)	4. 角錐(A)	5. 角錐(B)	
荷重-変位特性						
特徴	変形モード	不安定	不安定	やや不安定	安定	安定
	初期ピーク荷重	大	中	中	中	小

表 5.4 各種材料の特性

摘要	単位	鉄	アルミニウム	ステンレス	銅	チタン合金	マグネシウム
		SS400	A5083P	SUS304		Ti-6AL-4V	AZ91
比重	g/cm ³	7.85	2.7	7.93	8.94	4.43	1.83
耐食性	—	B	A+	A+	A+	A+	B
ヤング率	Gpa	205.8	70.3	199.3	130	249.75	44.8
コスト	—	◎	○	○	×	×	△

上述の開発目標を満足できる形状や素材について解析，検討を行い，図 5.5 に示した衝突エネルギー吸収システムを開発した．



- ① 形状 : 角錐(B) 側面+コーナー部に穴を開けた角錐
- ② 材質 : 鋼板SS400 もしくは アルミニウム板A5083P を使用
- ③ 板厚 : SS400の場合 $t=2.3, t=2.7, t=3.2$,
A5083Pの場合 $t=4.5$, の各板厚で試験材を製作
- ④ 穴径 : コーナー部の穴径は 前部より $\phi 40, \phi 30, \phi 20, \phi 10$

図 5.5 衝突エネルギー吸収システム

5.3 衝突エネルギー吸収システムの評価

5.3.1 有限要素法によるシミュレーション

近年における電子計算機の急速な高性能化は目覚しく，衝突安全の検討においても，有限要素法によるシミュレーションによって，実車を丸ごとモデル化するようなデータ量の多いものについても，解析することができるようになった．

そこで，本研究では 5.2 項で開発した衝突エネルギー吸収システムについて，有限要素法によるシミュレーションを実施した．なお，本研究で使用した有限要素法シミュレーションには，動的解析に信頼性が高い LS-DYNA を使用した．また，解析モデルの作成には，解析に使用する数学モデルを構築するための設計ツールである Hyper Mesh を用いた．

図 5.6 に，衝突エネルギー吸収システムの解析モデルを示す．この解析モデルに対して，図 5.7 に示したような方向から現行の大型トラックとの低速での衝突を想定した荷重（表 5.5）を加え，衝突エネルギーの吸収特性の検討を行った．

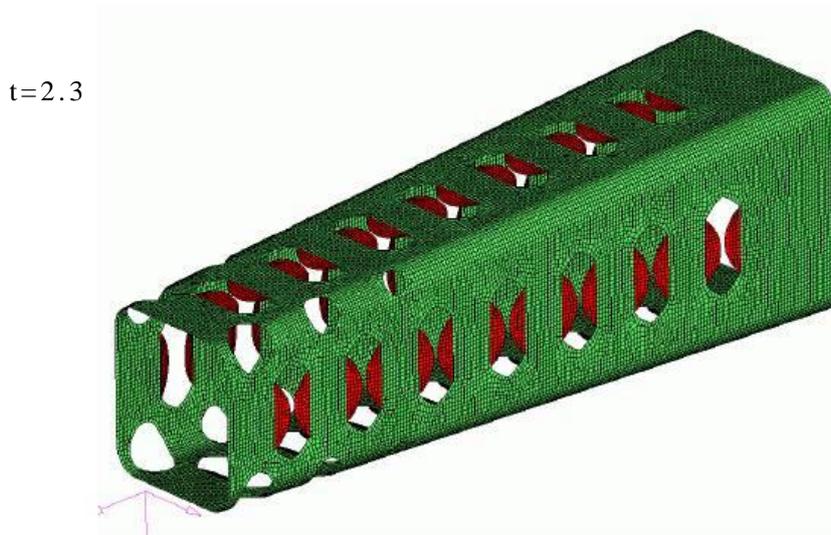


図 5.6 衝突エネルギー吸収システムの解析モデル

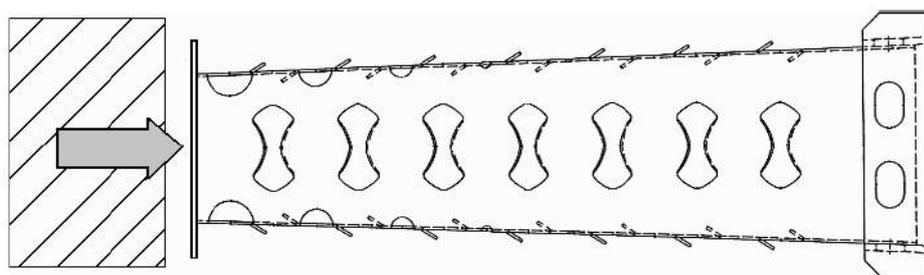


図 5.7 解析モデルへの荷重負荷のイメージ

表 5.5 有限要素法シミュレーションでの解析条件

質量	17,800kg
速度	2.78m/s(10km/h)
運動エネルギー	$F = \frac{1}{2} \cdot 17,800\text{kg} \cdot (2.78\text{m/sec})^2 = 68.78\text{kg}(\text{m/sec})^2 = 68.78\text{kN} \cdot \text{m}$

有限要素法によるシミュレーションの利点は、実際に現物を使用しなくてもいろいろと検討することができることである。本研究においても、4種類の材料(鉄 SS400 t=2.3, SS400 t=2.7, SS400 t=3.2, アルミニウム A5083P t=4.5)について、それぞれの衝突エネルギー吸収特性の違いを確認した。

図 5.8 に吸収エネルギー量－時間線図、図 5.9 に潰れ状況の比較図を示す。各衝突エネルギー吸収部 1 本で吸収できる 15ton トラックおよび 1.5 ton 乗用車の速度を下記に示す。(200msec 時の吸収エネルギーで算出)

- ① SS400 t=2.3
15 ton トラック : 7.7km/h 1.5t 乗用車 : 24.2km/h
- ② SS400 t=2.7
15 ton トラック : 8.3km/h 1.5t 乗用車 : 26.3km/h
- ③ SS400 t=3.2
15 ton トラック : 9.2km/h 1.5t 乗用車 : 29.1km/h
- ④ A5083P t=4.5
15 ton トラック : 8.5km/h 1.5t 乗用車 : 27.0km/h

計算結果では SS400 t=3.2 の衝突エネルギー吸収量が最も多いが、初期の発生荷重および平均荷重が大きい。

SS400 t=2.7 と A5083P t=4.5 のエネルギー吸収量は、同じくらいのようにみえるが、潰れ状況から溶接性(溶接剥れ等)に対して考慮をすると、SS400 t=2.7の方が優れていると考えられる。なお、SS400 t=2.7の解析に関して変形モードと荷重－ストローク(変形量)を合わせた図も作成したので、参考として図 5.10 に示す。図 5.10 から、SS400 t=2.7は、初期荷重を大幅に低減し、衝突エネルギーも抑えられることから乗員への被害および相手車両への加害性を抑えることができると考えられる。

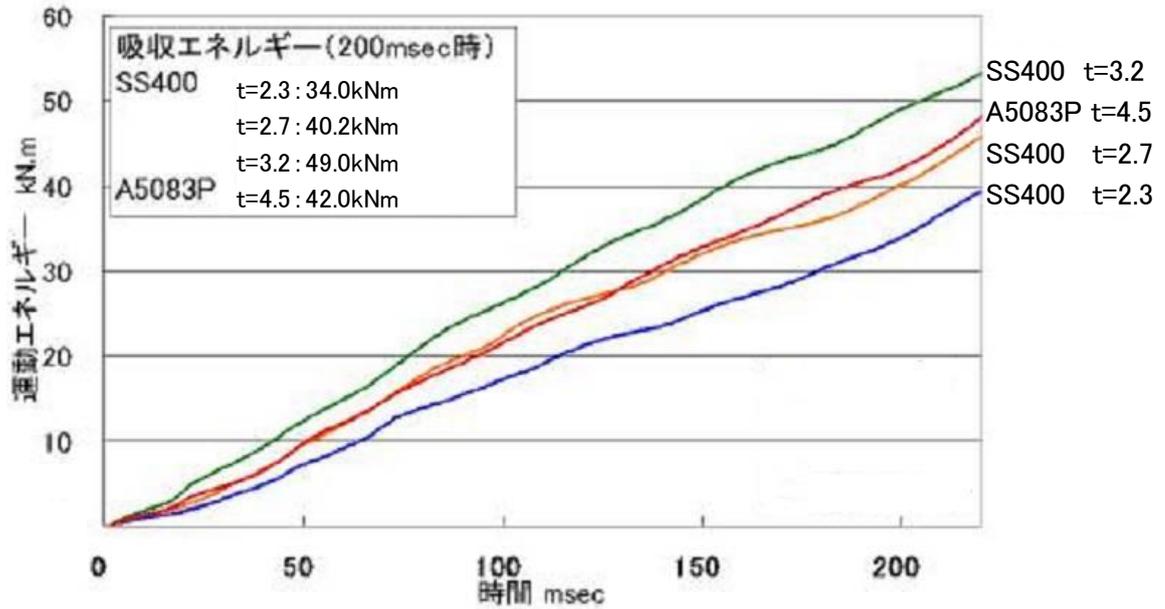


図 5.8 吸収エネルギー－時間線図

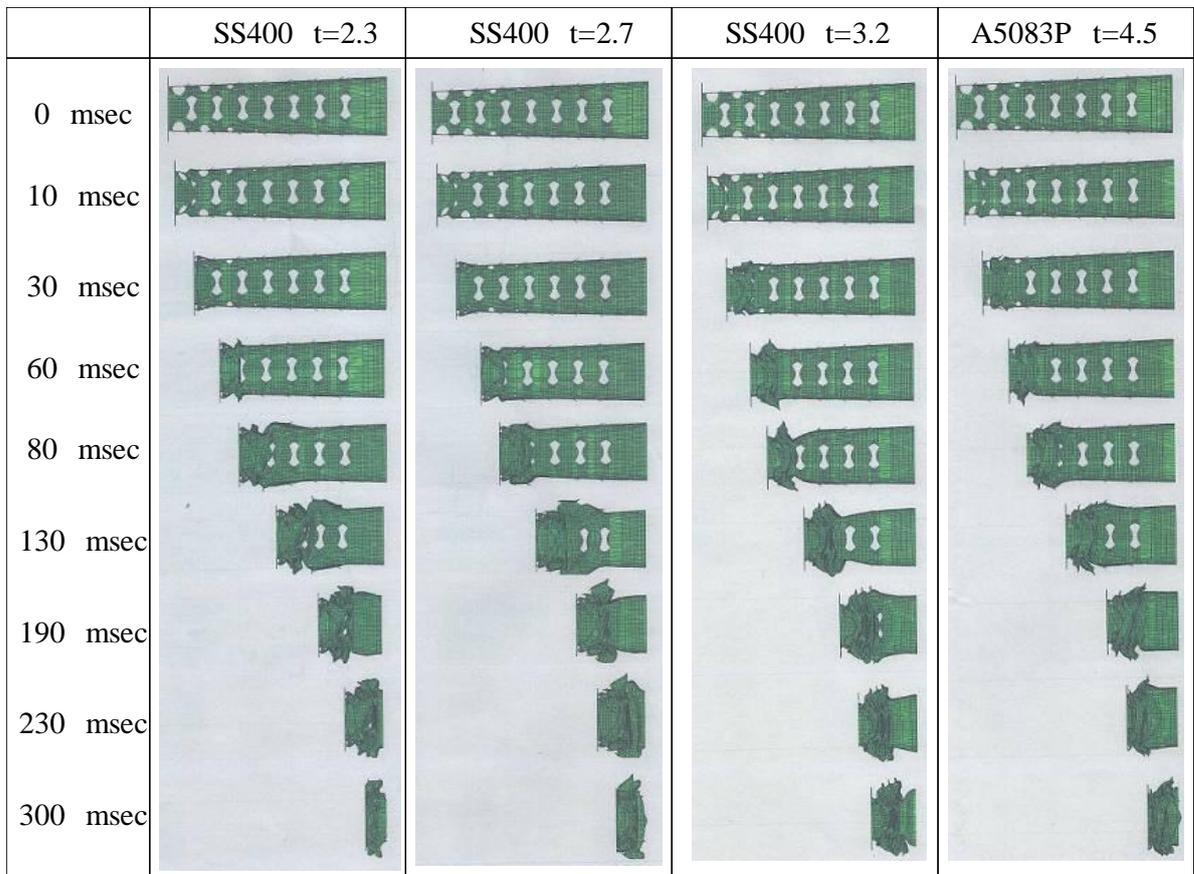


図 5.9 各材料の潰れ状況

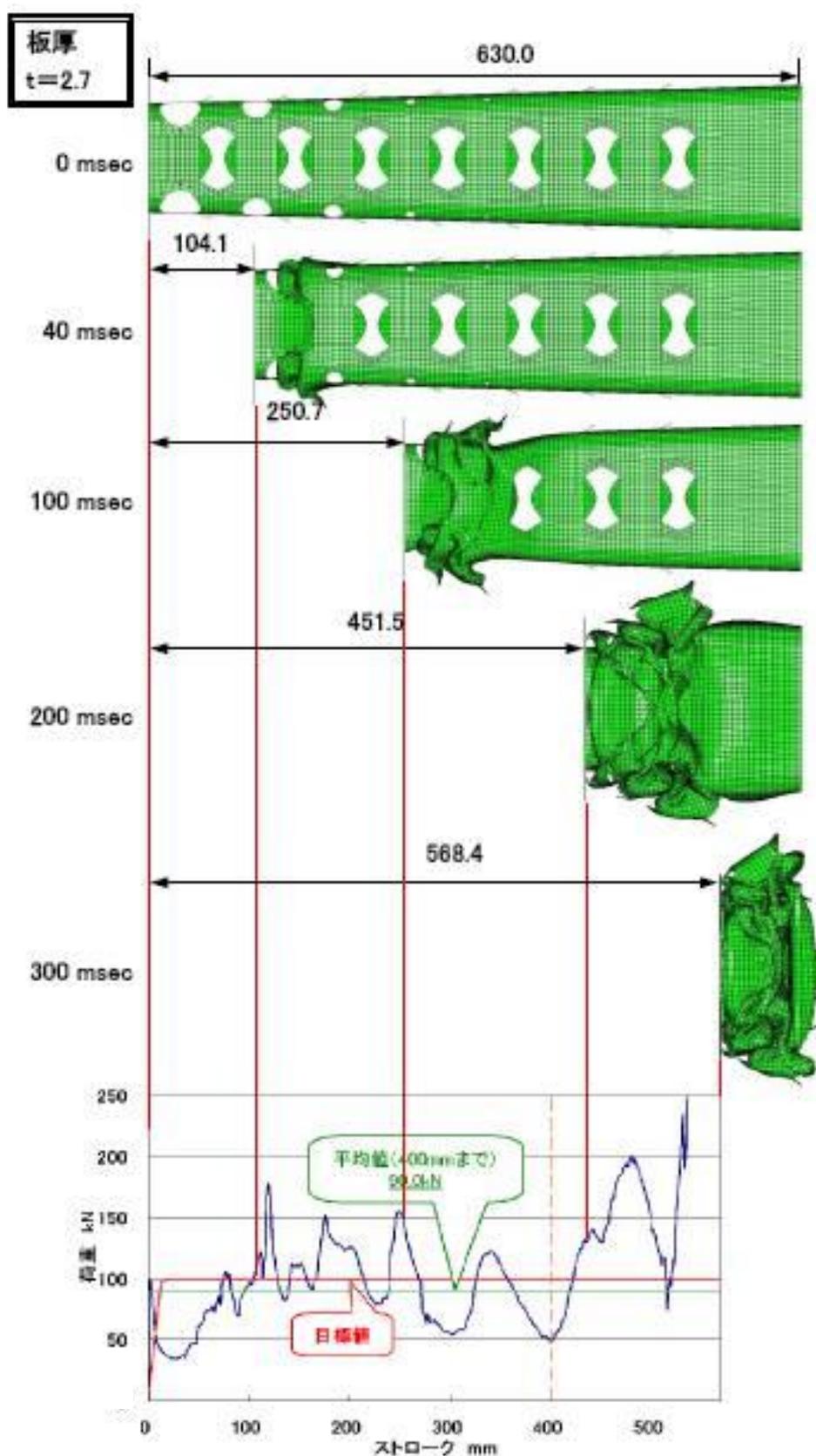


図 5.10 SS400 $t=2.7$ の変形モードと発生荷重の関係

5.3.2 静的負荷試験

本研究においては，開発した衝突エネルギー吸収システムに静的な負荷（0.05m/s 未満の速度の負荷）を加えることによる静負荷試験を実施した．静負荷試験では，アムスラー万能試験機を使用した（図 5.11）．

静負荷試験の結果を図 5.14 および図 5.15 に示す．どちらも矩形波を描いており，効率良くエネルギー吸収されている．なお，図 5.14 は前面衝突（正突）時のフロント部保護のための衝突エネルギー吸収システム，図 5.15 は積載物保護のため荷箱に設置する衝突エネルギー吸収システム，それぞれの荷重－変位線図である．

5.3.3 動的負荷試験（落錘試験および台車試験）

落錘により，衝突エネルギー吸収システムに速度 3m/s から 10m/s での動的な負荷を加える動負荷試験も実施した．本研究の動負荷試験では，図 5.12 に示した落下式試験機を使用，歪ゲージ式ロードセルで荷重を計測，高速度カメラで撮影した画像の解析から衝突エネルギー吸収システムの変形過程と変形量を測定した．

また，落錘試験では実車が衝突した時のピッチングモーメントの影響を観ることができないので，これを確認するため，衝突エネルギー吸収システムを台車に取り付け（図 5.13），剛体バリアに衝突させることによって変形過程と変形量を計測する台車試験を実施した．なお，台車試験での計測は剛体バリアに設置したロードセルと高速度カメラで撮影した画像の解析から荷重と変位の関係を求めた．

動負荷試験の結果を前述の静負荷試験と共に図 5.14 および図 5.15 に示す．静負荷試験の場合と同様に矩形波を描いており，動負荷試験についても効率良く衝突エネルギーは吸収されている．

また，台車による動負荷試験ではピッチングモーメントの影響も確認したが，これを基にピッチングモーメントの影響を考慮して，設計を改良した衝突エネルギー吸収システムを考案した．すなわち，改良型の衝突エネルギー吸収システムでは，車両取り

付け時に上側となる部分の寸法 b を下側部分の寸法 a よりも大きくすることで、ピッチングモーメントが加わった状態で適正に座屈できるようにした（図 5.16）．なお、改良型の衝突エネルギー吸収システムは、次章以降で述べる実車衝突試験では、衝突時のピッチングモーメントの影響が大きい部位（フロント部等）に用いることとした．また、図 5.16 に示した車両取り付け時の上側部分と下側部分の寸法の比「 a/b 」については、試験車のホイールベースや重心位置等の条件で異なってくるので、衝突試験車に装着した改良型衝突エネルギー吸収システムの寸法の比「 a/b 」は、今回の台車による動負荷試験で確認できたピッチングモーメントの影響に、衝突試験車のホイールベースや重心位置等を考慮して算出した．

5.4 第 5 章のまとめ

本章では、大型車の乗員保護および積載物保護，乗用車との衝突時における乗用車側の乗員保護それぞれのベースとなる衝突エネルギー吸収システムの「一次元衝突・質量－線形ばね」系でモデル化をして解析による検討を行った．その結果を基に有効と考えられる衝突エネルギー吸収システムの基本設計を行い，有限要素法による解析，静負荷試験，動負荷試験から，提案したシステムが目標とすべき衝突安全性能である衝突時の運動エネルギーを吸収できる性能がほぼ得られていることを確認した．

次章以降においては，本システムを実車に搭載した場合の衝突試験について述べることとする．



図 5.11 アムスラー万能試験機



図 5.12 落錘試験機



図 5.13 動負荷試験用台車

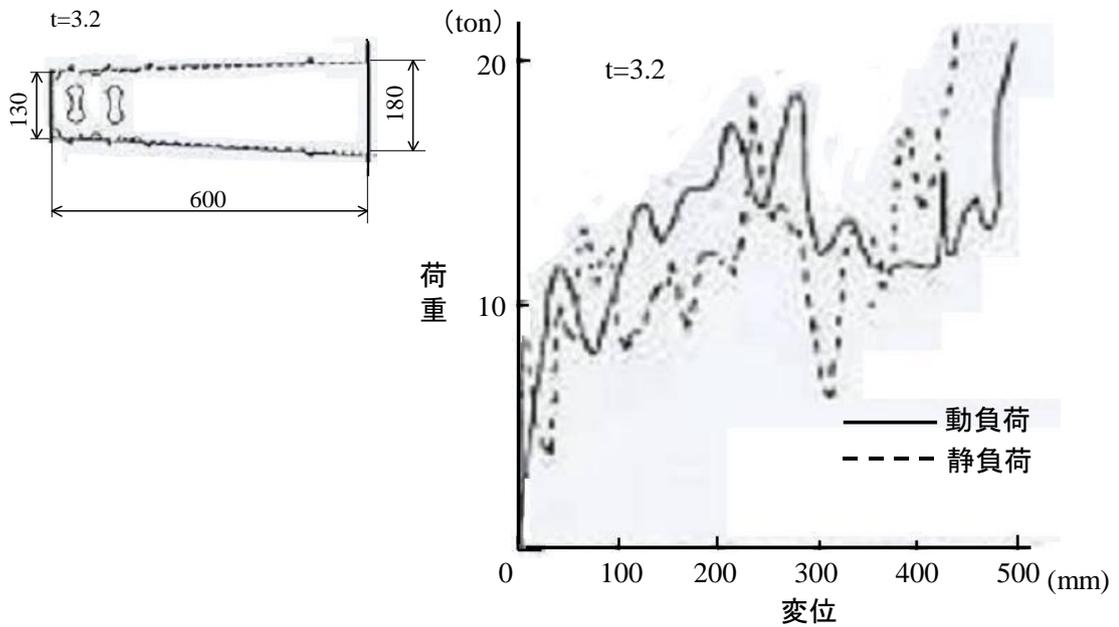


図 5.14 静負荷および動負荷試験の荷重－変位線図（注 1）

（注 1）高衝突エネルギー吸収システム装備トラック(NFST)のフロント部に装着する衝突エネルギー吸収システムの荷重－変位線図。

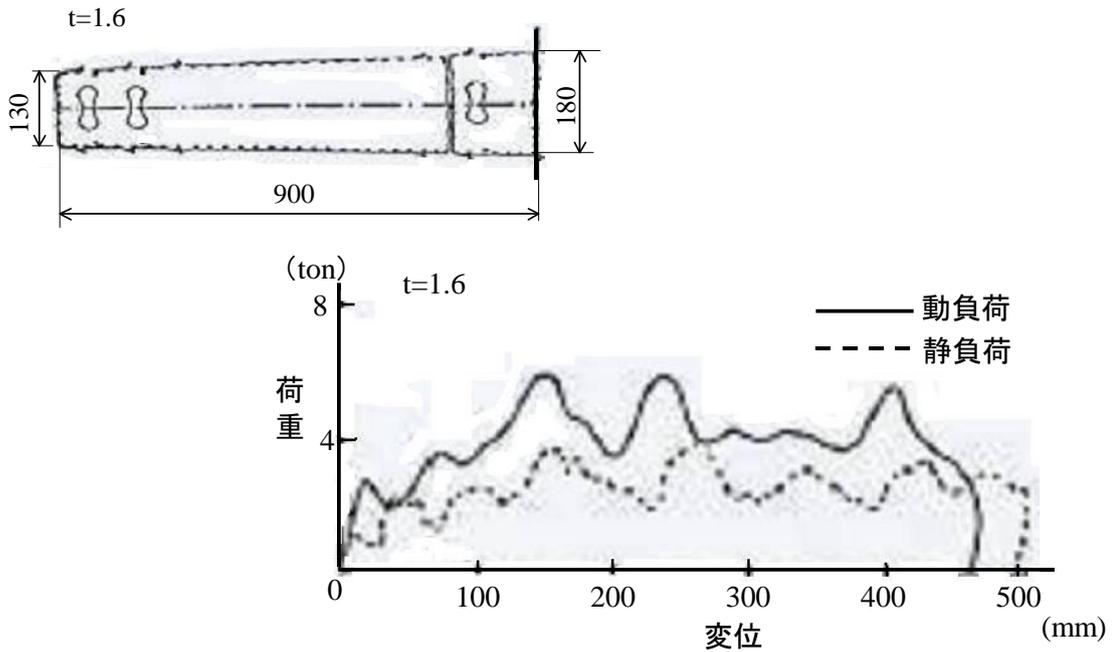


図 5.15 静負および動負荷試験の荷重－変位線図（注 2）

（注 2）高衝突エネルギー吸収システム装備トラック（NFST）の荷箱部に装着する衝突エネルギー吸収システムの荷重－変位線図。

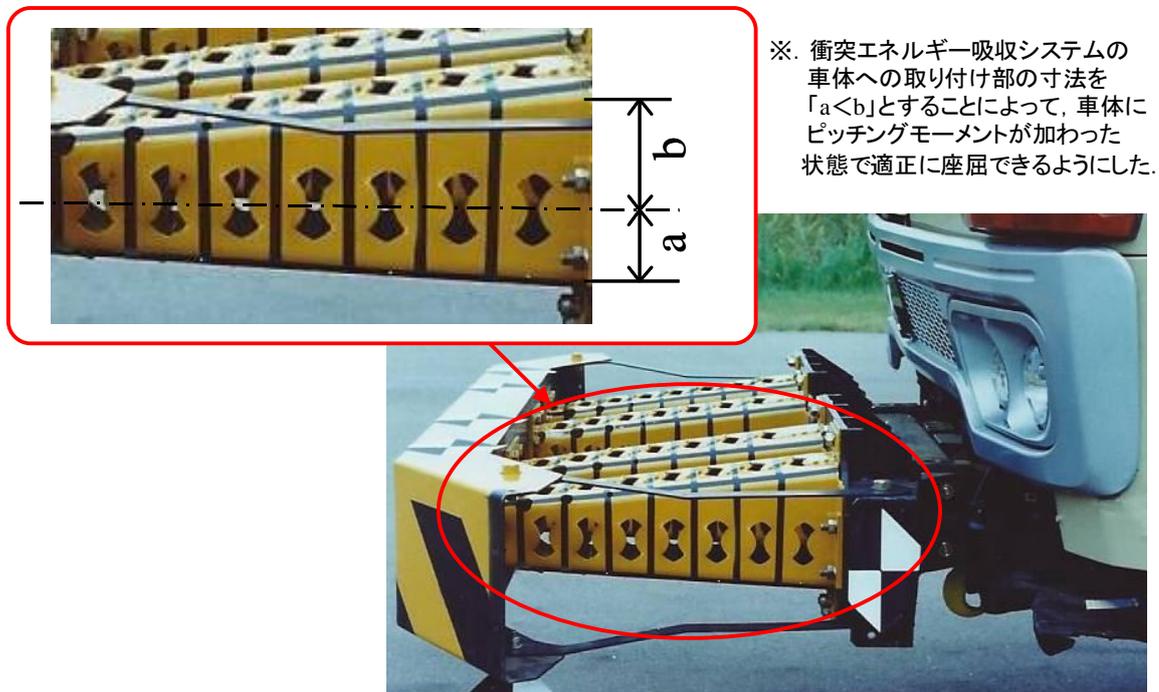


図 5.16 改良型の衝突エネルギー吸収システム（注 3）

（注 3）高衝突エネルギー吸収システム装備トラック（NFST）のフロント部に装着した改良型の衝突エネルギー吸収システム

第 6 章

衝突安全コンセプトトラック（SCT） の研究および開発

6.1 衝突安全コンセプトトラックの開発目的

本章では，前章で述べた衝突エネルギー吸収システムを用いて研究および開発した衝突安全コンセプトトラック（Safety Concept Truck，以下 SCT と記述）について述べる．

SCT は，乗用車との衝突時における相互安全性（Compatibility）および積載物保護，自転車乗員保護も含めた衝突安全の向上を目的として開発したトラックであり，車両総重量 8t クラス（積載量 4t クラス）の標準的な大きさの中型トラックをベースに，前章の衝突エネルギー吸収システムから製作した安全装置，すなわち乗員保護および積載物保護のためのエネルギー吸収フロントバンパやトラックターミナルのプラットフォームへの後退衝突時の車体保護のためのエネルギー吸収リヤバンパ等といった衝突安全対策装置を取り付けた車両である⁽¹²⁹⁾．なお，SCT では乗用車からの被追突時における乗用車乗員の保護のための衝撃吸収システムも装備しているが，本装備については，次章にて詳細を述べることとする．

6.2 衝突エネルギー吸収システムの SCT への適用

衝突安全対策装置を設計するにあたり、積載量 4t クラスの中型トラックの事故実態について、(財)交通事故総合分析センター (Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis, 以下 ITARDA と略記) が保有する交通事故統合データを用いて分析を行った⁽¹²⁵⁾⁻⁽¹²⁷⁾。なお、交通事故統合データとは、警察庁が保有する交通事故統計データに国土交通省が保有する車両データ(自動車の諸元データ)の情報を組合せたデータのことであり、本データを用いることによって、自動車を車両総重量や車両の寸法(車長, 車幅, 車高)毎にクラス分類して交通事故の統計分析が可能となる。本研究では、これに着目し、トラックを車両総重量によってクラス区分の上、標準的な中型トラック(車両総重量 8t, 積載量 4t クラスの中型トラック)の事故データを抽出し、事故類型や衝突速度の累積頻度の関係について確認した。

中型トラックの四輪車同士の衝突事故における衝突相手の構成状況を図 6.1 に示す。このクラスの中型トラックの死傷事故では、衝突相手の 85% が乗用車で占められている。

中型トラックの車両相互事故における事故類型構成を図 6.2 に示す。一般的に、追突事故が多い。トラックとの衝突についても、乗用車との衝突についても、共に死傷事故の約 7 割が追突で占められている。すなわち、図 6.2 からは、このクラスの中型トラックの衝突安全性を図っていくためには、追突事故による被害を軽減する対策を考えていくことが効果的であることが読み取れる。

中型トラックの追突死傷事故における危険認知相対速度と累積頻度の関係を図 6.3 に示す。死傷者人数の約 4 割までが 20km/h, 約 6 割までが 30km/h 以下で発生している。なお、危険認知速度とは、運転者が危険であることを認知した時の速度であり、必ずしも実際の衝突速度と同じ訳ではないが、衝突速度と強い相関があることが報告されていることから、本研究では衝

突速度とみなして扱うこととした．

正突は，衝突事故の約 1 割を占め，追突に比べれば少ないものの，中型トラックが遭遇する事故の中では多い事故類型である．正突における危険認知相対速度と累積頻度の関係を図 6.4 に示す．

累積頻度の約 5 割までが危険認知速度 60km/h 以下で発生している．なお，正突事故の危険認知相対速度を剛体とみなせる硬さを有するコンクリート製の平面状のバリア（以下固定バリアと記述）への衝突試験の速度に置き換える場合，衝突相手が自車と同重量とみなした場合には，

$$V_B = \frac{V_R}{2} \quad (6.1)$$

V_B : 固定バリアへの衝突速度

V_R : 正突事故の危険認知相対速度

と考えることができるので，衝突試験速度を 30km/h と設定すれば，追突事故の約 60%，正突事故の約 50% をカバーすることができる．

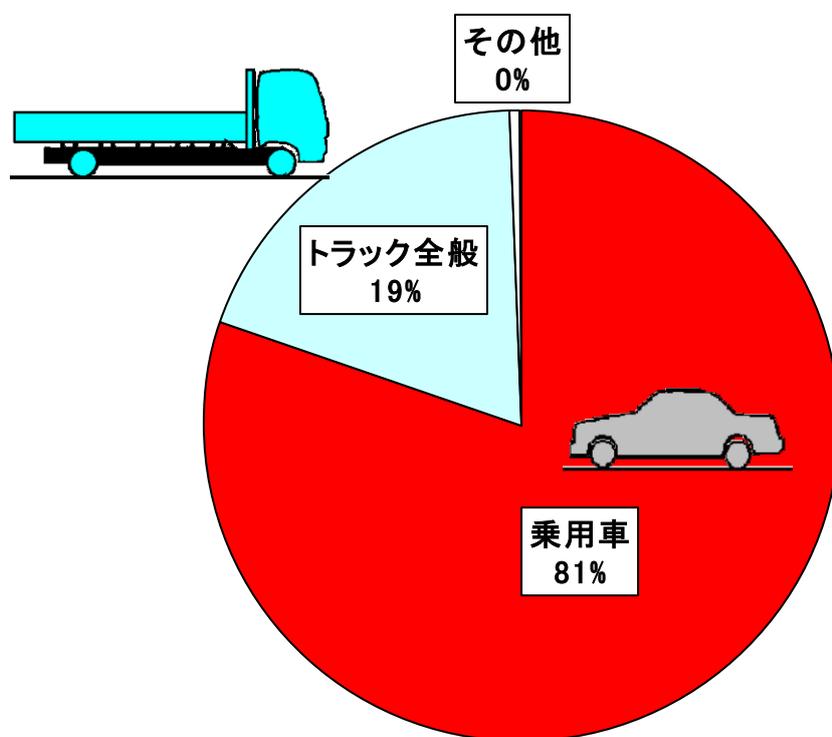
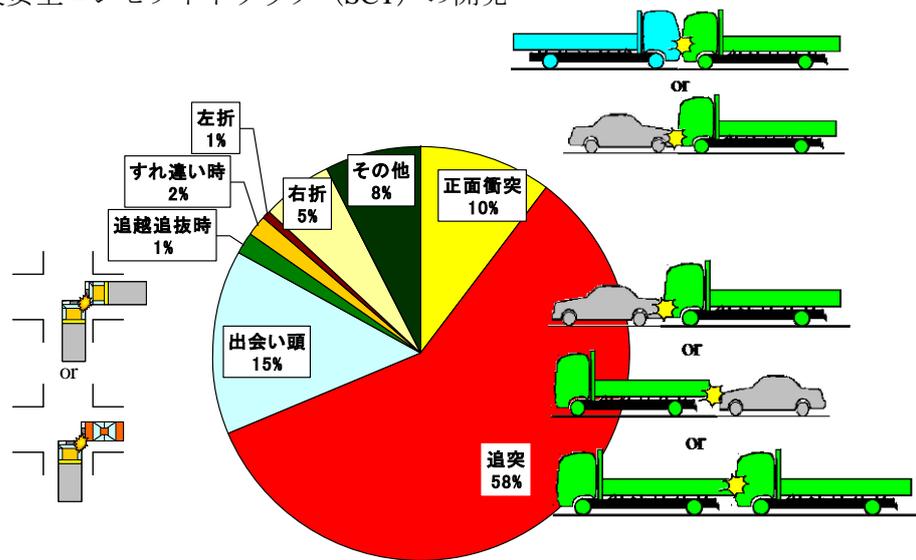
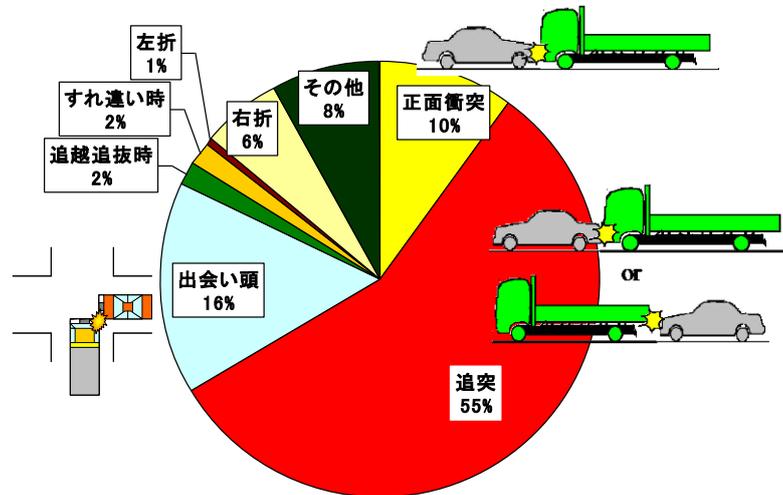


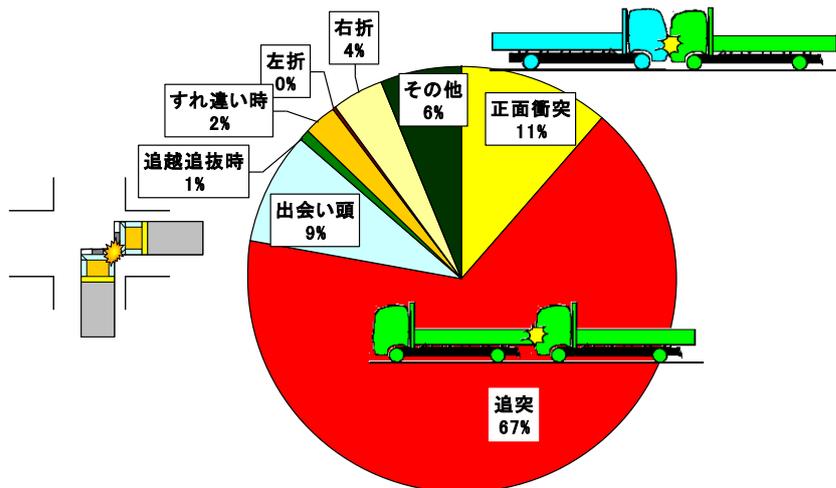
図 6.1 中型トラック (4 トン積み) の全四輪車死傷事故における衝突相手構成
(1995-1999 年合計, 68340 件)



(a) 全四輪車事故（事故件数：68340 件）

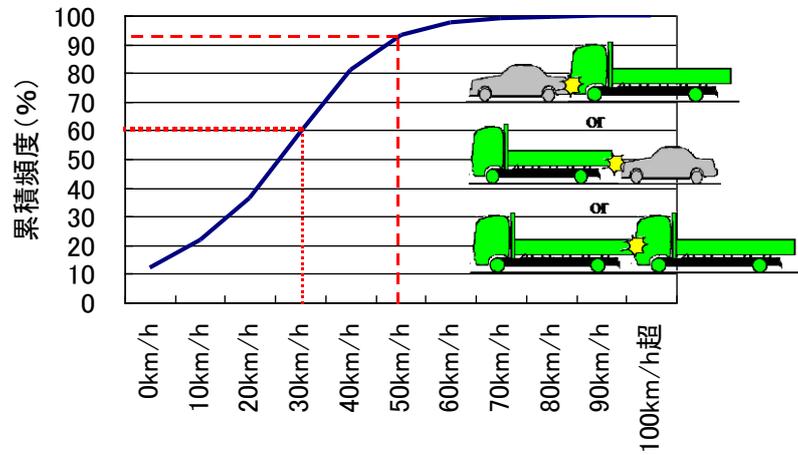


(b) 中型トラック対乗用車衝突事故（事故件数：54620 件）

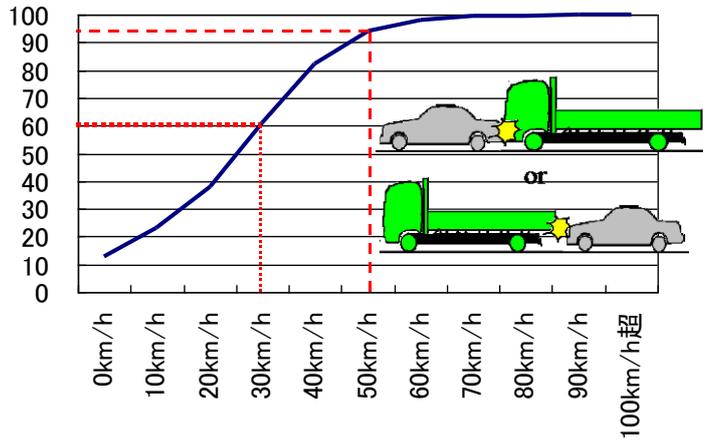


(c) 中型トラック対全トラック衝突事故（事故件数：13339 件）

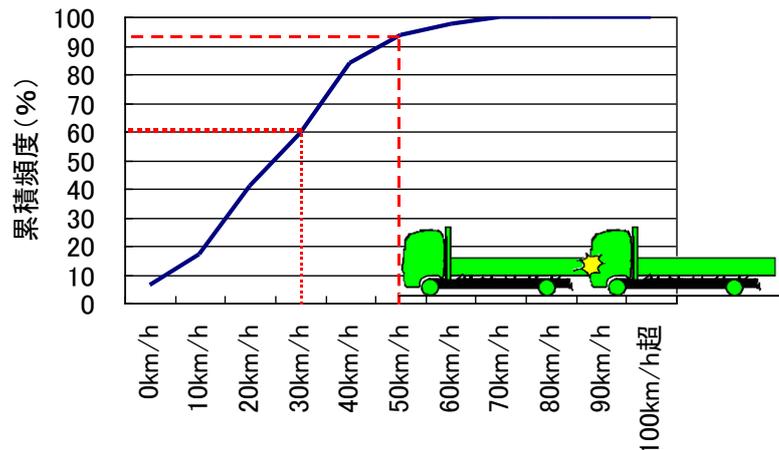
図 6.2 中型トラック（4 トン積み）の死傷事故における事故類型構成
（1995-1999 年合計）



(a) 全四輪車事故（死傷者人数：25495 人）



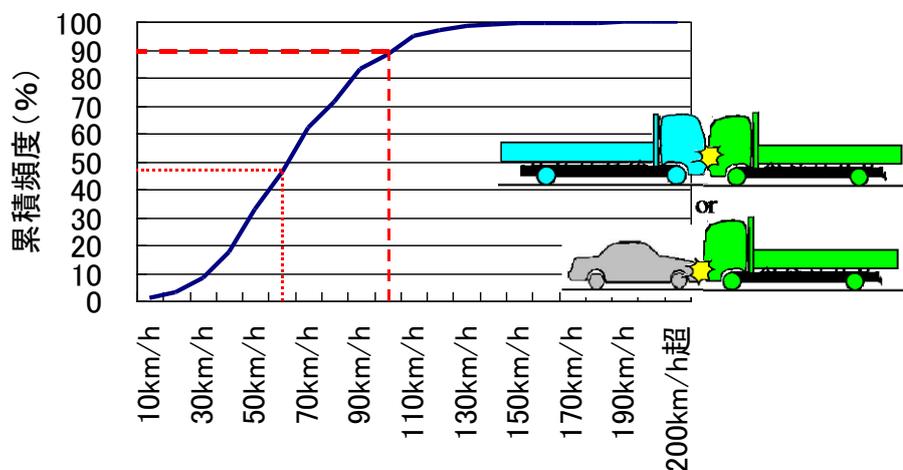
(b) 中形トラック対乗用車衝突事故（死傷者人数：21964 人）



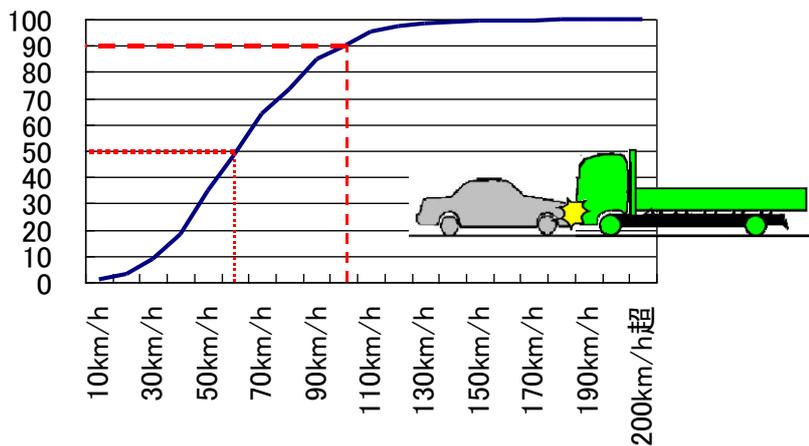
(c) 中形トラック対全トラック衝突事故（死傷者人数：3402 人）

図 6.3 中型トラック（4 トン積み）の危険認知相対速度と累積頻度

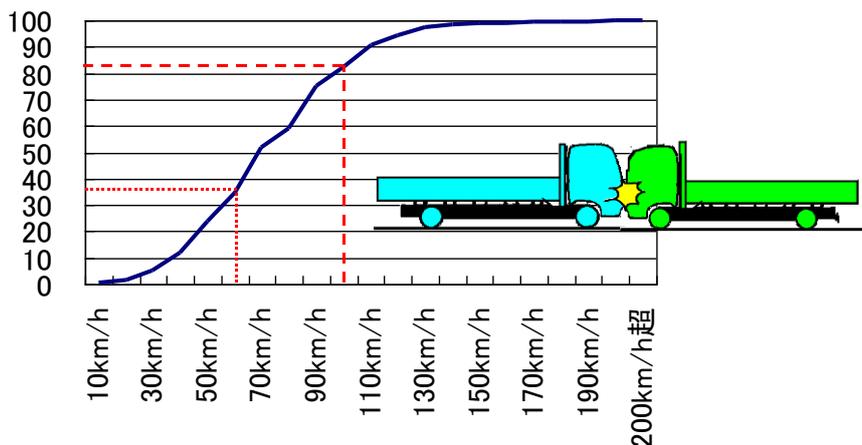
（1995-1999 年合計，追突事故）



(a) 全四輪車事故（死傷者人数：9259人）



(b) 中形トラック対乗用車衝突事故（死傷者人数：7694人）



(c) 中形トラック対全トラック衝突事故（死傷者人数：1503人）

図 6.4 中型トラック（4トン積み）の危険認知相対速度と累積頻度

（1995-1999年合計，正突事故）

以上のような事故分析の結果を踏まえ、次のような衝突安全性の開発目標を設定した。

（１）乗員保護性能：

３点式シートベルト着用を含む安全基準に加え、重要項目は前章で開発したボックスビーム式衝突エネルギー吸収システムを用いて乗員空間の保護と傷害の軽減を図る。

（２）積載物保護と環境保護：

SCTには、積載物に対する保護と共に、環境上、衝突による危険物の爆発や有害物質の放出等、重大な２次災害の発生を防止するための衝突安全性をもたせる。

（３）その他

本 SCTには、前面衝突（正突）と後面衝突（追突）時の安全性向上の機能をもたせる。このために、前章で開発した衝突エネルギー吸収システムを車体の前後に装着させる。なお、上述のような衝突安全のための装備だけでなく、夜間における本車後部への追突防止のための反射テープ貼り付けや、右左折時における歩行者や自転車、自動二輪車等の巻き込み防止のためのサイドガードや衝突時の火災発生防止のための法規で定められた安全燃料タンク等といったものも装備することとした。

また、本 SCTを開発するに当たり、基礎試験として標準的な中型トラック（車両総重量 8t、積載量 4t クラスの中型トラック）について衝突試験を実施し、次の結果を得たので、これらも参考にして設計を行った。

（１）30km/h 固定バリア衝突における乗員保護

標準的な中型トラックとの比較より、SCTではキャブの変形量を 75%低減、フレームの変形量を 40%低減すれば十分な乗員空間の確保ができる。

（ 2 ） 加害性の低減

30km/h 固定バリア衝突で最大バリア荷重を 35% 低減，エネルギー吸収リヤバンパ（追突してきた乗用車がトラック荷台下部に潜り込むのを防ぐ装置，詳細は第 7 章を参照）の装着によって，トラック後部への 50km/h 衝突で乗用車の潜り込みを 80% 低減できる．

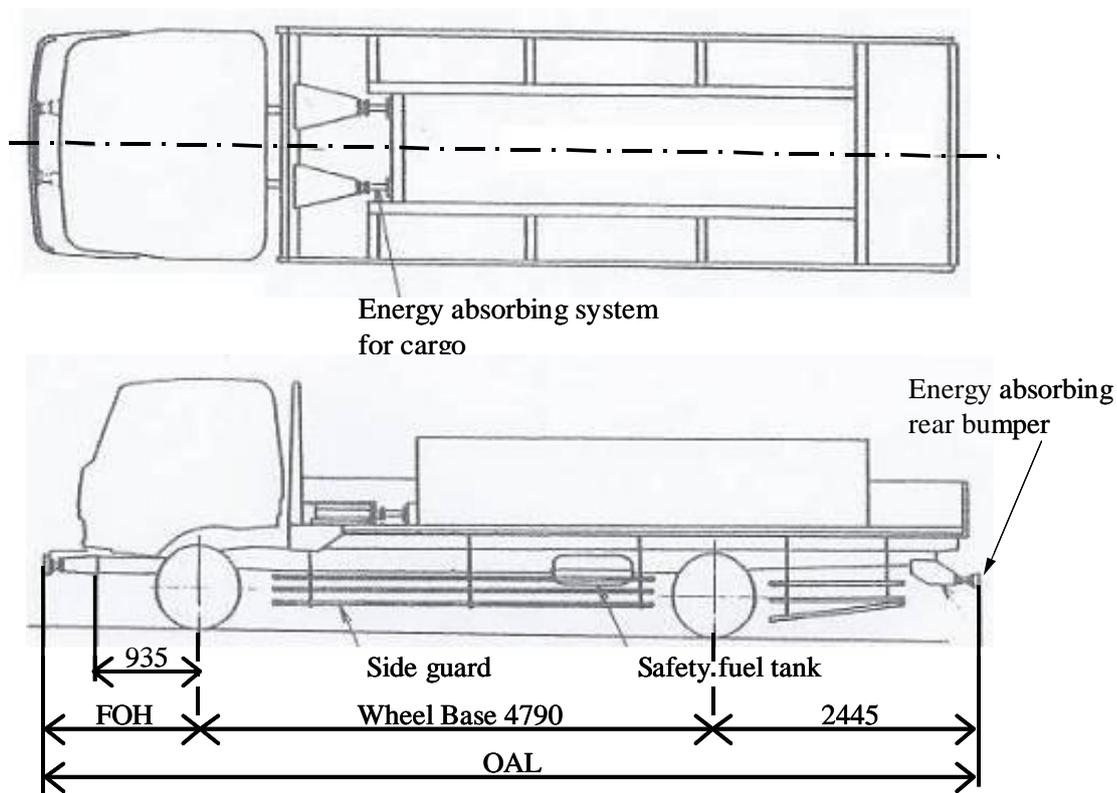
（ 3 ） 積載物へのダメージの低減

積載物への減速度は，衝突エネルギー吸収システムの荷箱への装着により 65% 低減できる．

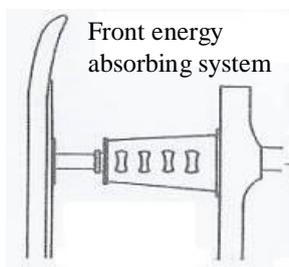
SCT と従来型の中型トラックの主要諸元比較を表 6.1 に，SCT の外観図を図 6.5 に示す．上述した本車の衝突安全性能に関する目標を満足するため，車体の前後および荷箱それぞれに，衝突エネルギー吸収システムを装着した．

表 6.1 SCT と従来型の中型トラックの主要諸元比較

	従来型の中型トラック	SCT	差
FOH (フロントオーバーハング) (mm)	1175	1530	355
OAL (オーバーオールレンジ) (mm)	8410	8765	355
車両本体のみの重量 (kg)	3785	4091	306
積載物 (kg)	3000	3000	0
車両総重量 (kg)	6785	7091	306

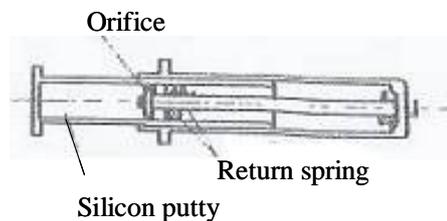


(a) SCT 本体部分



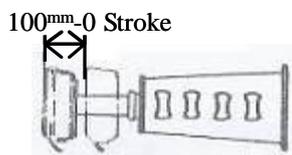
(b) フロント部のエネルギー吸収システム

Energy absorbing unit

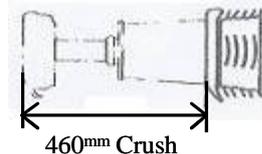


(c) シリコンタイプの衝突エネルギー吸収ユニット

5km/h Impact



30km/h Impact



(d) 衝突エネルギー吸収システムの衝突時の変形イメージ

(5km/h 衝突では(c)のシリコンタイプの衝突エネルギー吸収ユニット部分だけが変形(最大 100mm), 30km/h 衝突では (c)のユニット部分と第 5 章で開発したボックスビーム式エネルギー吸収システムの両方が変形する(最大 460mm))

図 6.5 SCT の外観

6.3 固定バリア衝突試験

自動車の衝突安全性を評価する試験には、「乗用車対乗用車の衝突」や「トラック対トラックの衝突」といったような同じ車種同士の衝突を想定したもの、あるいは「乗用車対トラックの衝突」のような異なる車種の衝突を想定したもの、「電柱のようなものとの衝突」を想定したポール衝突等といったものが考えられており、乗用車については、既に（独）自動車事故対策機構（NASVA）によって、新型車に幾種類かの衝突試験が実施され、その衝突安全性の実力を評価する新型車安全性評価プログラム（JNCAP）といったものが公表されている。

現在、トラックについては乗用車のような JNCAP のようなものは実施されていないが、安全をコンセプトとする SCT では、以下のような固定バリアへの衝突試験を行い、その結果をベースとなった標準的な中型トラックと比較することによって、衝突安全性の改善の度合いを確認した。

・ SCT で実施した固定バリアへの衝突試験の試験方法と評価内容

（1）衝突速度

i) 5km/h

FMVSS.215（米国の衝突時における乗用車の車体外面保護）に相当する低速度衝突試験。この衝突速度の試験では、シリコンタイプのエネルギー吸収ユニット（図 6.5(c)）だけが作動し、ボックスビーム式エネルギー吸収システム（図 6.5(d)）は作動しないという条件で、衝突安全性能の評価を行う。

ii) 20km/h

前節で述べた、追突死傷事故の約 4 割をカバーする速度。なお、SCT に装着したフロント部のエネルギー吸収装置（図 6.5(b)）の許容速度は 25km/h であり、本速度での衝突試験は許容速度の 80% に相当する。

iii) 30km/h

追突死傷事故の約 6 割をカバーする速度であり、SCT の許容速

度にとっては 120% に相当する．

（2）乗員保護

乗用車の衝突試験での乗員の安全性の評価に使用されるダミー-HYBRID-III を用いて、衝突試験における SCT 乗員の傷害の度合いについて計測を実施した．なお、傷害の基準には米国の前面衝突時の乗員保護基準（FMVSS.208）を利用した．また、ダミーは運転席および助手席に乗車させ、これらを 3 点式シートベルトで拘束した．さらに、キャブ後部のベッド部分にも寝かせたかたちのダミーを乗車させた．トラックの乗員保護の評価については、従来からの頭部傷害値や身体各部への衝撃の度合い等といったものの計測に加え、衝突後の救出性についても評価を行うこととした．

（3）加害性の評価

本研究での SCT の衝突試験では、固定バリアへの衝突試験での車体フロント部の潰れ状況から、乗用車に対する加害性の低減効果を評価することとした．なお、衝突による発生荷重は剛壁バリアを 5 分割したユニットに装着したロードセル（1 つのユニットに 4 つのロードセルを装着）によって計測を行った．

（4）積載物についての測定

本研究では、SCT に重量 3t の積載物を積載．これに 2 個の加速度計および 2 個のロードセルを装着し、衝突時に積載物がリヤボディに与える加速度や衝撃力を計測した．

（5）車両の測定

フレームのフロント部およびリヤ部の左右それぞれに 1 個ずつ、キャブフロアに 2 個、荷箱フロアに 2 個、エンジンに 1 個、合計 9 個の加速度計を取り付けて加速度を計測した．なお、車両の計測に用いた加速度計は、いずれも進行方向、左右方向、垂直方向の 3 軸方向を計測できる加速度計である．

（6）燃料システムに対する測定

衝突後の火災防止対策を目的として、FMVSS.301（燃料システム）方式で評価を行った．燃料には、衝突後の燃料漏れ調査を容易にす

るため、従来型のトラック燃料と同じ重量の着色水を用いた。

・衝突試験結果

(1) 衝突速度 5km/h 試験

本試験では、低速衝突時のダメージを減少させる為の衝突速度 5km/h での SCT のフロントエネルギー吸収システムの効果の評価を行った。

従来型の中型トラックでは、バンパとキャブ前方が 125mm 変形、破損したが、SCT では、シリコンパテタイプのエネルギー吸収ユニットが 100mm 移動し、衝突エネルギーを吸収した後、復元した。発生荷重は最大で 5t となり、車体減速度は 1G 以下で小さい。また、車体の変形、異常はなく、SCT に装着したフロントエネルギー吸収システムが低速衝突時の車体外部保護に効果があることを確認した。

(2) 衝突速度 20km/h 試験

本試験では、車体の衝突特性および乗員の安全について、SCT に装備した各種衝突安全対策の効果の確認を行った (図 6.6)。

従来型の中型トラックでは、衝突後 40msec まではバンパやキャブ前面によって衝突エネルギーが吸収され、フレームより後方の部分の変形はほとんど無い。なお、バンパやキャブ前面のエネルギー吸収量は少なく、バンパのすぐ後ろにあるフレーム先端部がバンパに激しく衝突することで、荷重および減速度は上昇、トラック全体に伝達され、最大荷重は 92t に、フレームの最大減速度は 54G になる。なお、この衝突速度ではフレームの変形は少なく、前方部でのエネルギー吸収量は、運動エネルギーの 18% だけで残りは 250msec まで破壊エネルギーに変わり、荷台やキャブが変形して乗員の生存空間を脅かす。

SCT では、衝突エネルギーの 80% をフロントエネルギー吸収システムで吸収する。フロントエネルギー吸収システムは衝突後 150msec までに合計 420mm 変形したが、キャブの変形は少なく、生存空間を

確保することができた．従来の中型トラックでは，車体に急激な速度変化が生じたが，SCT はフロントエネルギー吸収システムが作用することによって，緩やかな速度変化になる．車体の平均減速度は，従来型の中型トラックで 28G だったものが SCT では 3.8G と，86% もの大幅な低減ができた．

また，乗員の安全性について従来の中型トラックと SCT を比較すると，3 点式シートベルト装着時，従来の中型トラックの乗員傷害は，頭部が 16G，胸部が 17G であるのに対し，SCT の乗員傷害は，頭部が 14G，胸部が 10G と低い値となったことから，SCT がより安全であり，傷害度も軽傷以下となることが確認できた．さらに，ベッド乗員については，従来の中型トラックでは衝突時に荷台や積載物によって変形が起こるため傷害を負うが，SCT では，上述のような衝突試験結果となったことから，このような傷害を被ることはないと考えられる．

(3) 衝突速度 30km/h 試験

従来型の中型トラックと SCT の試験結果を図 6.7 に，車体変形状況の比較写真を図 6.8 に示す．

従来型の中型トラックのバリア荷重は，32msec で最大値 1579kN[161ton]を示し，その時フレーム減速度も最大の 765m/s^2 [78G] になり，フレームは曲がり始めた．50msec で 280mm 変形し，フロントのフレーム破壊により衝突エネルギーを吸収する．この破壊によるエネルギー吸収は，全衝突エネルギーの 37% 程度である．残りの運動エネルギーは 30msec 以降で始まった荷台や積載物及びエンジン，ミッション等の移動や変形破壊により 200msec までに費やされる．キャブ前方は，衝突により破壊され，キャブ後部も荷台や積載物に圧縮され乗員の生存空間は，確保できない．

SCT の場合，衝突後 20msec までエネルギー吸収バンパが作動し，200mm まで変形した後，ボックスビーム式衝突エネルギー吸収シ

システムが作動し始めた．この時のバリア荷重は 490kN[50ton]を示し，フレームの減速度は， 255m/s^2 [26G] と小さい．ボックスビーム式エネルギー吸収システム付きのバンパは，60msec まで作動して衝突運動エネルギーを吸収する．本バンパは，この時 469mm 変形し，フロントのエネルギー吸収量は，衝突エネルギーの 60% を示す．フロントエネルギー吸収バンパが底突きを始めた時，バリア荷重は，1030kN[105ton]まで上昇した．この衝突試験で前方部は，最大 550mm 変形し，全衝突エネルギーの 82% を吸収し，キャブと荷台の間に置いた積載物エネルギー吸収システムが，積載物に対するエネルギー吸収を行った．本研究でのエネルギー吸収システムのストローク量は，衝突速度 25km/h で 200mm になるように設計したが，今回の実験の衝突速度は 30km/h とやや高いため，ストローク量は 220mm となった．この時，積載物の最大減速度 76m/s^2 [7.8G] を示し，従来型の中型トラックの 65% であった．その後，40msec 前方部より遅れて底突きし最大減速度は 186m/s^2 [19G] まで上昇した．このシステムのエネルギー吸収量は，衝突エネルギーの 13% を示し，SCT は，衝突後も走行が可能であった．乗員は，3 点式シートベルトを装着していてもステアリングホイール等に体の一部が当たっているが乗員の生命が危険になるような状態にはならなかった．

なお，衝突速度 30km/h での固定バリア衝突について，SCT の車体を図 6.9 および表 6.2，式 6.2 に示した「一次元衝突・質量－線形ばね」系の計算モデルとして計算したシミュレーションモデル（図 6.10）でも計算を実施した．計算結果は，実験結果とよく一致しており，トラックの衝突安全性の先行的な検討には計算シミュレーションが有効であると言える（図 6.11）．

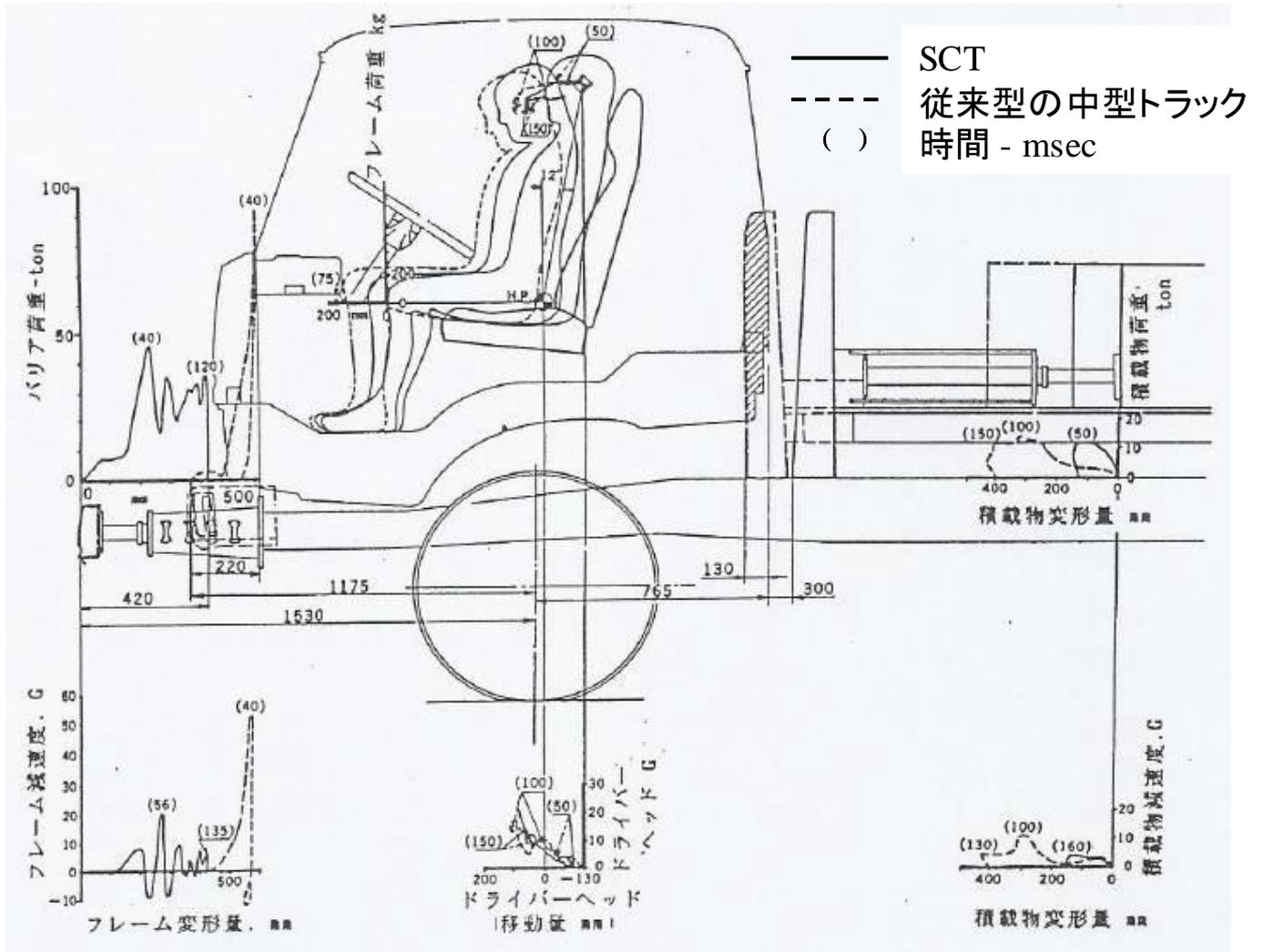


図 6.6 衝突速度 20km/h での固定バリア衝突試験結果

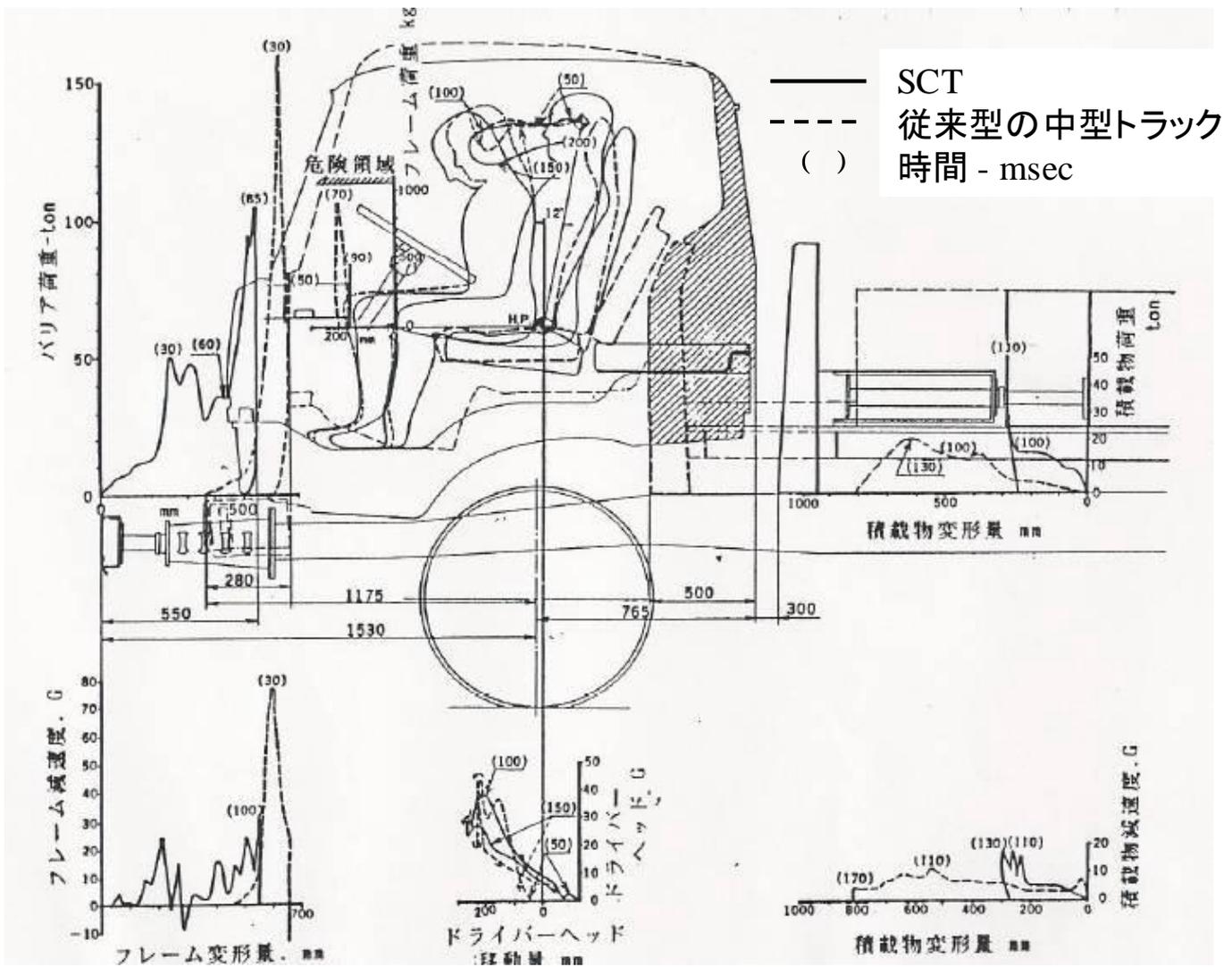
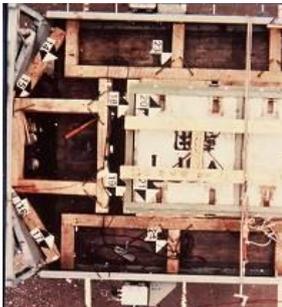
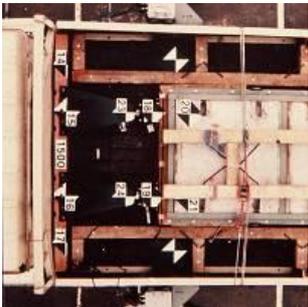


図 6.7 衝突速度 30km/h での固定バリア衝突試験結果

	従来型の中型トラック	SCT
衝突前		
30km/h 衝突後		
		

(a) 衝突時の車体変形の概要

	従来型の中型トラック	SCT
30km/h 衝突後	 積載物がキャブを押ししている	 積載物はほとんど動かない

(b) 衝突時の積載物の状況

衝突前	30km/h衝突後
	

(c) フロント部のエネルギー吸収システムの変形状況

図 6.8 固定バリア衝突試験 (衝突速度 30km/h) での車体変形状況

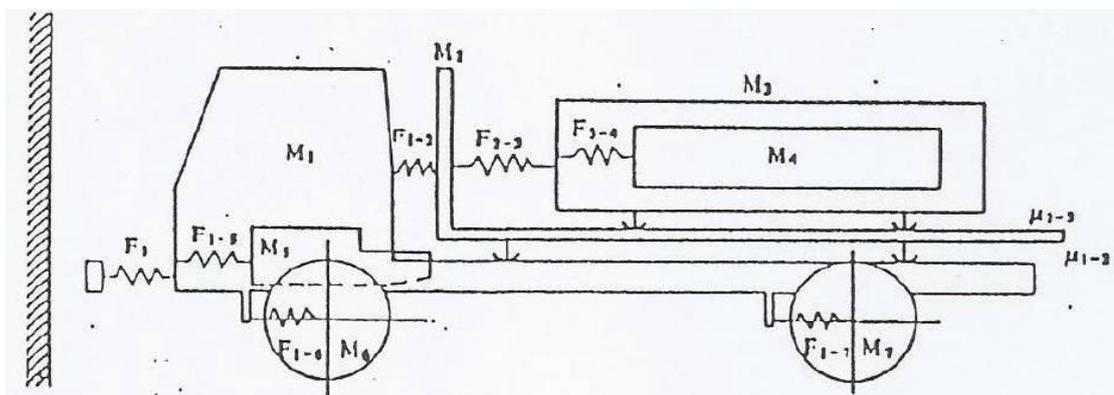


図 6.9 SCT を「一次元衝突・質量一線形ばね」で示した計算モデル図

表 6.2 SCT の計算モデルにおける各質点および非線形ばねの構成部品

記号	質点相当部品	記号	非線形ばね要素相当部品
M ₁	フレーム, キャブ, バンパ, ラジエータ	F ₁	バンパ, フレーム前部, キャブ前部
M ₂	荷箱	F ₁₋₂	Uボルト, キャブ後部, 後キャブマウント
M ₃	危険物タンク	F ₂₋₃	エネルギー吸収材, 荷箱鳥居
M ₄	危険物集合体	F ₃₋₄	集合体マウントゴム
M ₅	エンジン, ミッション, プロペラシャフト	F ₁₋₅	エンジンマウントゴム, スラストロッド
M ₆	前輪懸架装置, 前輪, 前車軸	F ₁₋₆	フロントリーフスプリング前端部
M ₇	後輪懸架装置, 後輪, 後車軸	F ₁₋₇	リヤリーフスプリング前端部
		μ ₂₋₃	危険物タンク-荷箱 摩擦係数
		μ ₁₋₂	荷箱-フレーム 摩擦係数

・摩擦係数 μ は実験値から決定した。

図 6.9 に示した SCT の計算モデルに関する運動方程式は以下の通りである。

$$\left. \begin{aligned}
 d^2X_1/dt^2 &= g/M_1 \{-F_1 + F_{1-2} + F_{1-5} + F_{1-6} + F_{1-7} + \mu_{1-2} (M_2 + M_3 + M_4)\} \\
 d^2X_2/dt^2 &= g/M_2 \{-F_{1-2} + F_{2-3} - \mu_{1-2} (M_2 + M_3 + M_4) + \mu_{2-3} (M_3 + M_4)\} \\
 d^2X_3/dt^2 &= g/M_3 \{-F_{2-3} + F_{3-4} + \mu_{2-3} (M_3 + M_4)\} \\
 d^2X_4/dt^2 &= g/M_4 \{-F_{1-4}\} \\
 d^2X_5/dt^2 &= g/M_5 \{-F_{1-5}\} \\
 d^2X_6/dt^2 &= g/M_6 \{-F_{1-6}\} \\
 d^2X_7/dt^2 &= g/M_7 \{-F_{1-7}\}
 \end{aligned} \right\} (6.2)$$

初期条件 $X_i=0, dX_i/dt=V_0, d^2X_i/dt^2=0$
 ($i=1, 2, \dots, 7$)

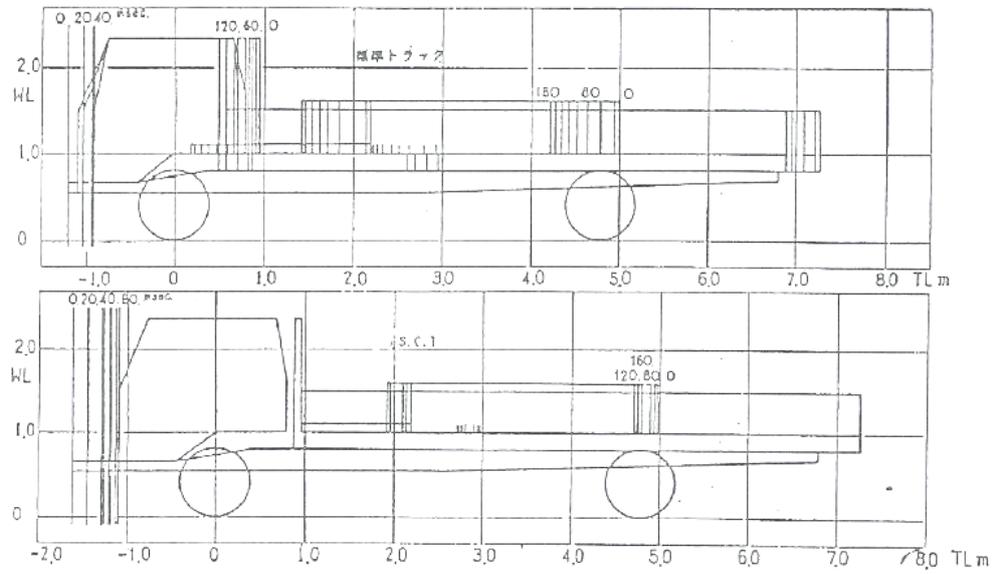


図 6.10 SCT の計算シミュレーションモデル図

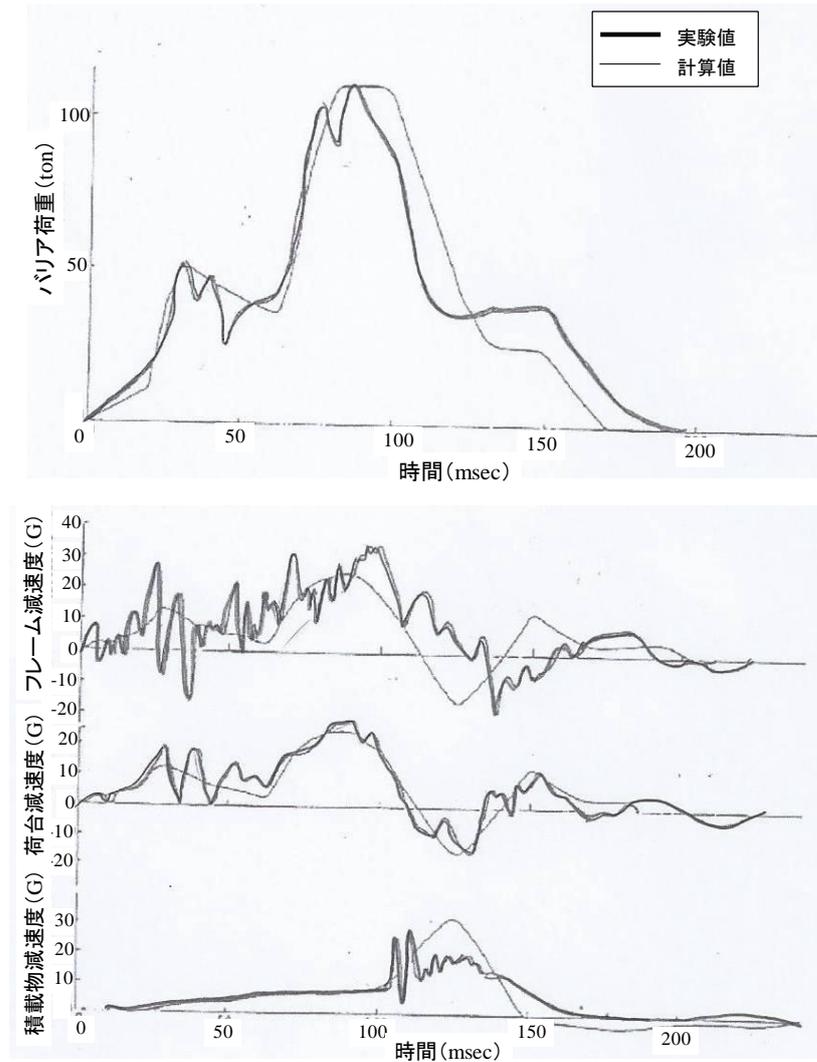


図 6.11 衝突速度 30km/h でのシミュレーション計算値と実験値の比較

まとめ

SCT の固定バリア衝突試験で，次の効果を確認した．

- (1) 衝突速度 30km/h でのバリア荷重は，従来の標準的な中型トラックで 1579kN[161ton]もの荷重が発生したのに対し，SCT ではエネルギー吸収バンパの底突き前で 490kN[50ton]と 69%減少，底突き後でも 1030kN[105ton]と 35%減少し，乗用車等自動車よりも小さい車両への加害性の低減，すなわち衝突相互安全性（Compatibility）の向上の効果を確認した．
- (2) フレーム減速度は，従来型の中型トラックの場合で 765m/s^2 [78G]となったことに対し，SCT ではエネルギー吸収システムの底突き前で 255m/s^2 [26G] と 67%減少，底突き後で 324m/s^2 [33G]と 58%減少し，乗員保護及び積載物保護に効果があることを確認した．
- (3) SCT では，エネルギー吸収システムの装備によって，衝突時における車体フロント部へのエネルギー吸収性の向上や，荷台と積載物の移動の制限，キャブの乗員空間の確保やキャブ内乗員の傷害値の低減といった効果が得られ，この結果，衝突安全性を向上することができた．
- (4) SCT の積載物の衝突時減速度については，積載物エネルギー吸収装置によって， 118m/s^2 [12G] から 76m/s^2 [7.8G]へ 35%減少，積載物の保護に本装置の効果を確認した．
- (5) SCT ではエネルギー吸収システムを装備することによって，衝突時の車体減速度や変形量が従来型の中型トラックよりも大幅に改善された．これにより，衝突速度 30km/h までの燃料漏れが防止され，衝突後の火災もより効果的に防止される．

6.4 リヤバンパ・トラックターミナル衝突試験

様々な物資の輸送に用いられるトラックでは，トラックターミナルで積載物を積み下ろしすることも多い．したがって，積載物の積み下ろし作業のため車体をトラックターミナルに付ける際に，トラックターミナルと衝突してしまうリスクも考えられる．なお，トラックターミナルでの事故は，私有地の事故として扱われ，一般的な公道での事故のように交通事故統計には記録されないため，どのような事故がどのくらい発生しているかといったことは不明であるが，積載物によってはトラックターミナルへの衝突によって，その品質が損なわれてしまう場合もある．

本研究では，リヤバンパに第 5 章で開発した衝突エネルギー吸収システムを装着した SCT と従来型の中型トラック（衝突速度 5km/h までの衝突に耐えられるように設計された既製品の標準バンパを装備）に対し，速度 5km/h で後退してコンクリート製のトラックターミナルのプラットホームに衝突させる試験を実施，車体減速度を比較することによって，SCT のトラックターミナルへの衝突時における積載物保護性能を確認した．なお，この衝突試験では，ロードセルをトラックターミナルのプラットホームを模したコンクリート製固定壁やリヤバンパ（SCT ではエネルギー吸収システム部分）に取り付けて発生荷重を測定，また，加速度計を試験車のフレームおよびキャブに取り付けて減速度を計測した．

衝突試験による車体減速度を図 6.12 に示す．SCT のリヤバンパに装備したエネルギー吸収システムは，5km/h での衝突では衝突エネルギーを吸収，衝突後も形状が復元し，繰り返し使用することができた．また，この時 SCT の車体や積載物，乗員への衝撃は 9.8m/s^2 [1G] 以下という結果となった．エネルギー吸収リヤバンパを装着した SCT では，バンパ取り付けブラケットやフレーム，リヤエンドの灯火器類等の走行機能部品に損傷は見受けられず，衝突後も安全に走行できることを確認できた．一方，標準リヤバンパを装着した従来型の中型トラックでは，灯火器類は損傷（バンパが車両

後端より前にある場合にはリヤエンドの灯火器類が破損，車両後端にある場合はバンブラケットが変形することによって灯火器類は変形の上で破損)，これにより，衝突後の安全走行は困難となった．また，リヤバンパにエネルギー吸収システムが装着されていないことから，5km/h での衝突による衝撃は 59m/s^2 [6G]と非常に大きなものとなった．この結果，車体や積載物，乗員に与える影響も大きくなり，フレーム後端や荷台の後部に変形が見られた．

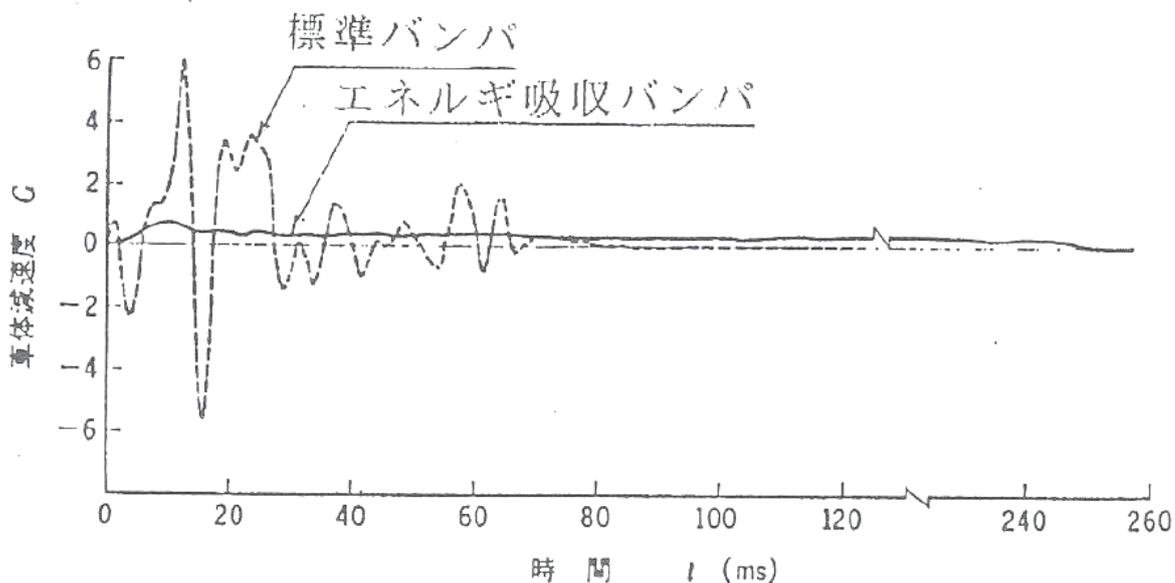


図 6.12 後退による固定壁への衝突（衝突速度 5km/h）による車体減速度

6.5 第 6 章のまとめ

従来型の中型トラック（「①通常の荷台を装着した車両」と「②荷台を固定した車両」の 2 種類）と SCT（「③車両前部だけエネルギー吸収システムを装着した車両」と「④車両前部と荷台の両方にエネルギー吸収システムを装着した車両」の 2 種類）について、衝突安全性を比較した一覧表を表 6.3 に、バリア発生荷重の比較、フレーム減速度および積載物減速度の比較およびキャブ前方変形量の比較を、それぞれ図 6.13 から図 6.15 に示す。

（1）乗用車との衝突相互安全性の向上と加害性の低減について

30km/h での剛壁バリアへの衝突では、従来型の標準的な中型トラックで 1579kN[161ton]の荷重が発生したことに対し、SCT では 686kN[70ton]と、43%も低減することができた。これにより、従来型の中型トラックに比べ、乗用車との衝突相互安全性（Compatibility）は向上、加害性も大幅に低減する。

（2）乗員保護について

従来型の中型トラックのフレーム最大減速度が 765m/s^2 [78G]であったのを、SCT では 137m/s^2 [14G] に 80%も低減することができた。また、キャブの変形量を抑え、乗員の生存空間を確保、これにより、乗員の安全性を著しく向上した。

（3）積載物保護と環境保護について

従来型の中型トラックでは、衝突時に積載物は車体前方に移動、このためキャブを直撃、乗員の生存空間が犠牲になることも少なくなかった。これに対し、SCT ではエネルギー吸収システムを装備することによって乗員の生存空間を確保、乗員傷害値を低くした上で、積載物への衝撃も低減することができた。したがって、SCT に装備したエネルギー吸収システムは、爆薬、水素ガス、LPG 等の危険物を輸送する運搬車両の安全性向上や、有

毒物質が衝突時に流出しないようにするための環境保護性の向上に期待できる．

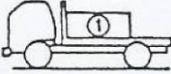
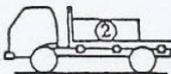
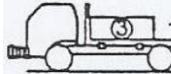
(4) コスト効果について

SCT に採用したエネルギー吸収システムは，設計目標速度以下の衝突では，トラックの車体本体は全くの無傷であることから，衝突で変形したエネルギー吸収部材だけを交換することで，トラックはすぐに再使用可能となり，しかも次回の衝突に対しての安全性は確保できる．これより，車両の修理費および修理時間は，従来型のバンパを装着した車両の 1/10 以下にすることができる．

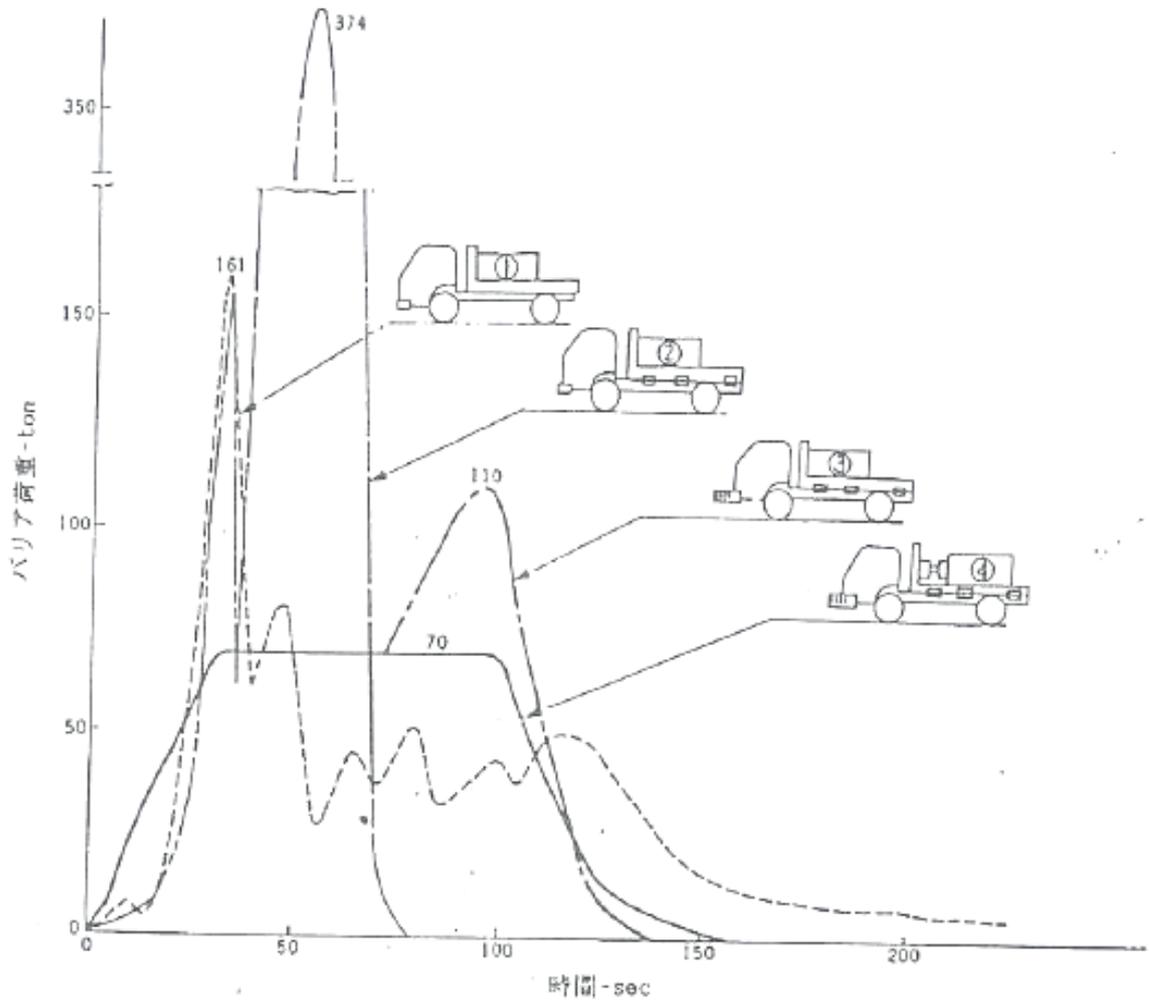
また，トラックターミナルへの後退時のプラットホームへの衝突についても，リヤ部にエネルギー吸収システムを装着することによって，フロント部への衝突の場合と同様に，車両の修理費や修理時間による稼動ロスを抑制することができる．

以上のように，SCT では，安全性の向上だけでなく，衝突事故によるコスト面での損害を大幅に低減する効果も期待できる．

表 6.3 従来型の中型トラックと SCT の衝突安全性の比較

		従来型の中型トラック		SCT		
		通常の荷台	固定荷台	固定荷台	エネルギー吸収装置付き荷台	
						
加害性の低減	バリア荷重 (t)	161 (100)	374 (232)	110 (68)	70 (43)	
	キャブ前部変形量 (mm)	200 (100)	260 (130)	35 (17.5)	0 (0)	
乗員保護	フレーム減速度 (G)	78 (100)	54 (69)	17 (22)	14 (18)	
	乗員の傷害	運転者	生存困難	生存困難	軽傷	傷害無し
		ベッド乗員	生存困難	生存困難	傷害無し	傷害無し
積載物保護	積載物減速度 (G)	12 (100)	54 (450)	17 (142)	12 (100)	

(): 従来型の中型トラックで通常の荷台の車両での数値を100とした場合の比較値



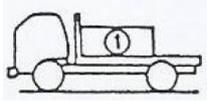
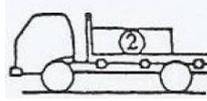
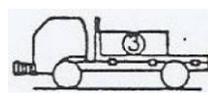
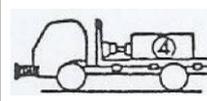
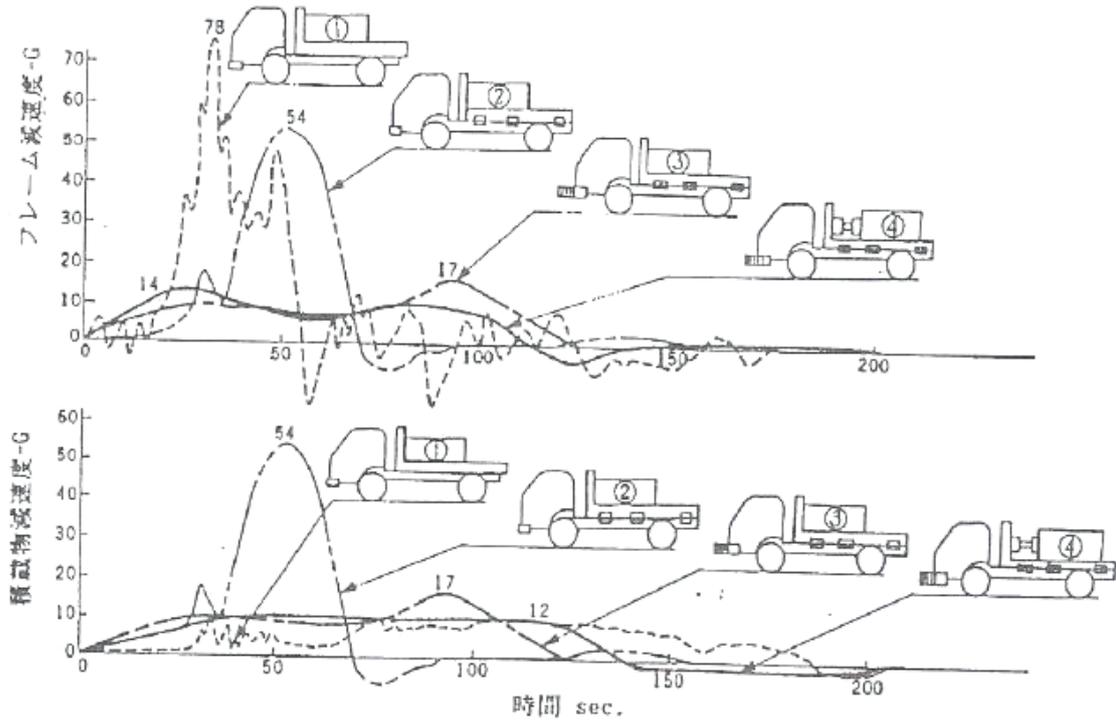
従来型の中型トラック		SCT	
通常の荷台	固定荷台	固定荷台	エネルギー吸収装置付き荷台
			

図 6.13 従来型の中型トラックと SCT の衝突時バリア発生荷重の比較



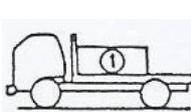
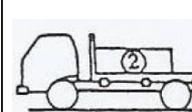
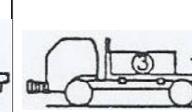
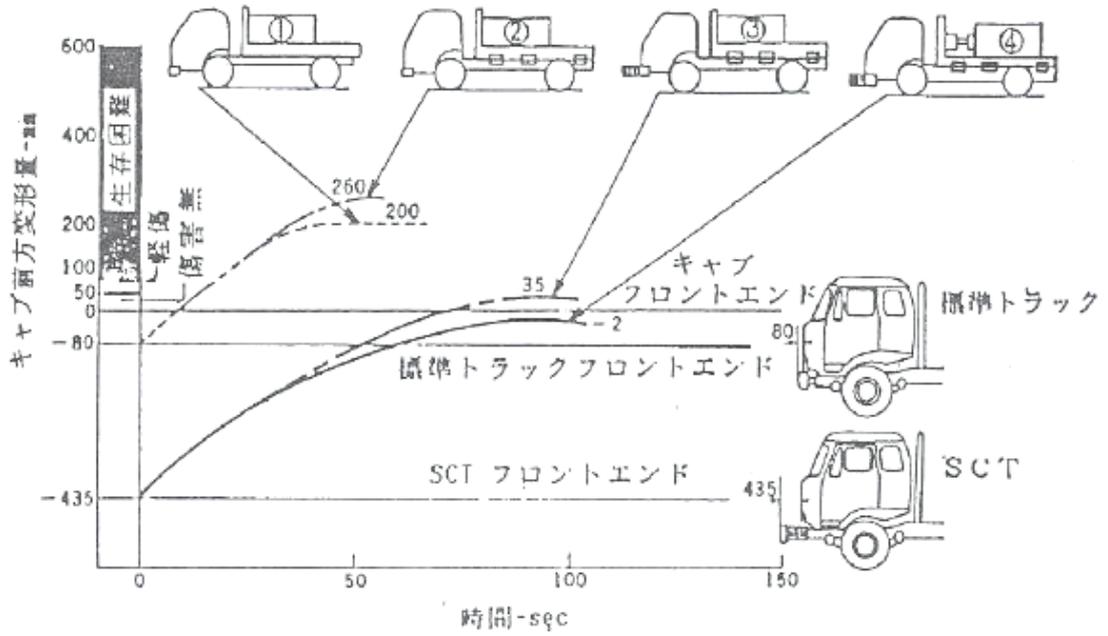
従来型の中型トラック		SCT	
通常の荷台	固定荷台	固定荷台	エネルギー吸収装置付き荷台
			

図 6.14 従来型の中型トラックと SCT のフレーム減速度および積載物減速度の比較



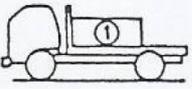
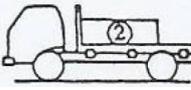
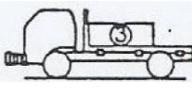
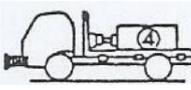
従来型の中型トラック		SCT	
通常の荷台	固定荷台	固定荷台	エネルギー吸収装置付き荷台
			

図 6.15 従来型の中型トラックと SCT のキャブ前方変形量の比較

第 7 章

中型トラック・大型トラックに追突した 乗用車乗員の保護に関する研究

7.1 中型トラック・大型トラックに追突した乗用車の事故実態

まず、ITARDA（交通事故総合分析センター）が保有する交通事故データ⁽¹²⁵⁾⁻⁽¹²⁷⁾を用いて、事故実態の分析を行った。前章でも述べた通り、標準的な大きさの中型トラック（車両総重量 7t、積載量 4t クラスの中型トラック）の対四輪車衝突による死傷事故の約 6 割は追突事故である。大型トラック（車両総重量 15t 以上 25t 未満クラスのダンプおよび保冷車を除く一般的な大型トラック）についての対四輪車衝突による死傷事故の事故類型別構成を図 7.1 に示す。大型トラックも中型トラックと同様に、約 6 割が追突事故で占められている。すなわち、一般的に「大型の貨物車」と呼ばれる中型トラック、大型トラックどちらについても共通して多く発生する事故類型は追突事故であり、これら車種の衝突事故による被害を効果的に低減していくためには、追突に対する安全対策を研究開発することが重要であると言える。

中型トラックおよび大型トラックの追突事故において、事故に遭った車両が第 1 当事者であった場合と第 2 当事者であった場合の構成を図 7.2 に示す。中型トラック、大型トラックどちらも、第 1 当事者であった場合の

割合が圧倒的に多く、第 2 当事者であった場合は約 2 割にすぎない。

中型トラックおよび大型トラックが関与する追突事故において、事故に遭った車両が第 1 当事者であった場合の衝突相手車両の構成を図 7.3 に、事故に遭った車両が第 2 当事者であった場合の衝突相手車両の構成を図 7.4 に示す。事故に遭った車両が第 1 当事者であった場合については乗用車との衝突が中型トラックで 85%、大型トラックで 77%と、圧倒的に多い。一方、事故に遭った車両が第 2 当事者であった場合では、中型トラック、大型トラック共に衝突相手の約 6 割はトラックであり、乗用車から追突される事故件数自体は、トラックから追突される事故件数よりも少ない。

次に、乗員が死亡もしくは重傷となってしまう危険性について、ITARDA の事故データを元に分析を行った。なお、乗用車にはセダン型乗用車や SUV、1BOX 車等、車体形状や構造が異なる様々な種類が存在する(図 7.5)が、この分析では、一般的な乗用車としての形状と構造を有するセダン型乗用車が第 1 当事者となった追突事故(自車が相手車両の後部に衝突した事故)における運転者の死亡重傷者率を求めた。なお、本論文における死亡重傷者率の定義を式 7.1 に示す。

$$R(\%) = \frac{N_f}{N_f + N_0} \cdot 100 \quad (7.1)$$

N_f : 死亡者数と重傷者数の和

N_0 : 軽傷者数と無傷者数の和

図 7.6 および表 7.1 に追突事故におけるセダン型乗用車の運転者の死亡重傷者率を示す。セダン型乗用車同士の追突では、運転者の死亡重傷者率は 0.05% と極めて低く、セダン型乗用車が自車と同じクラスの車両との衝突を想定して施された衝突安全対策が効果的に表れていることが窺える。しかしながら、中型トラックに追突した場合の死亡重傷者率は 4.80%、大型トラックに追突した場合の死亡重傷者率は 15.08% と、セダン型乗用車への追突での死亡重傷者率に対して、それぞれ約 100 倍から約 300 倍も高い値となっており、決して見過ごすことはできない。本章では、中型トラックや大型トラックといった大型貨物車に追突したセダン型乗用車のより詳しい事故実態を明らかにした上で、その安全対策について述べる。

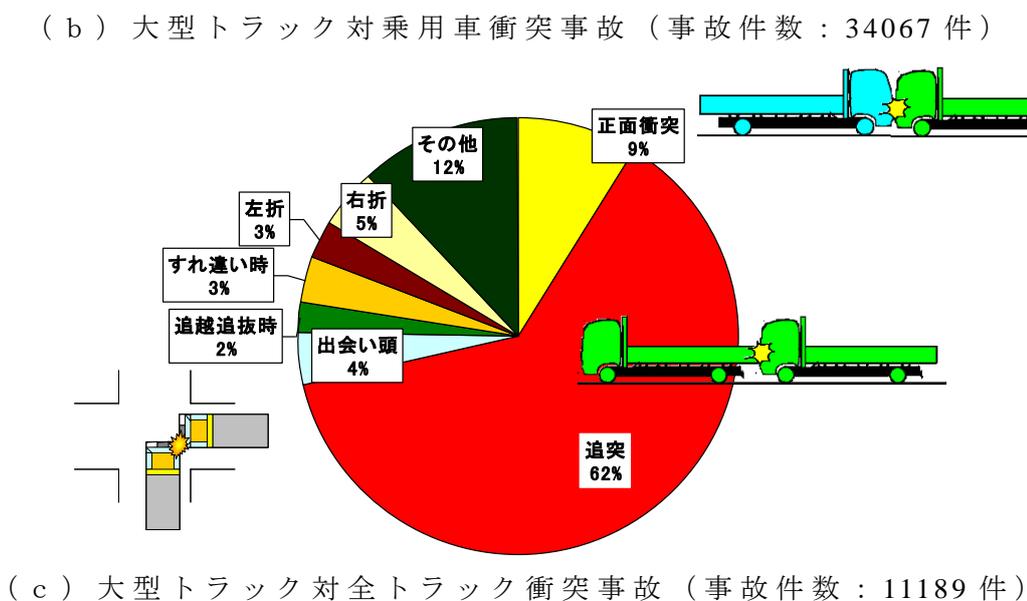
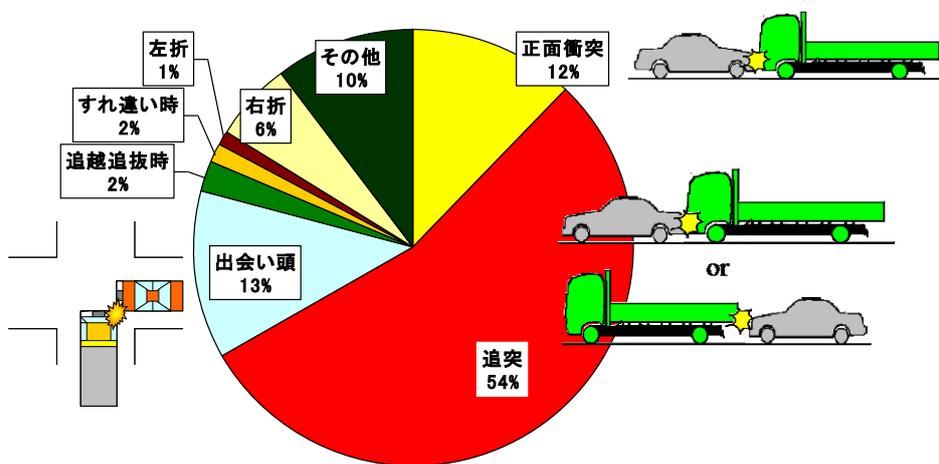
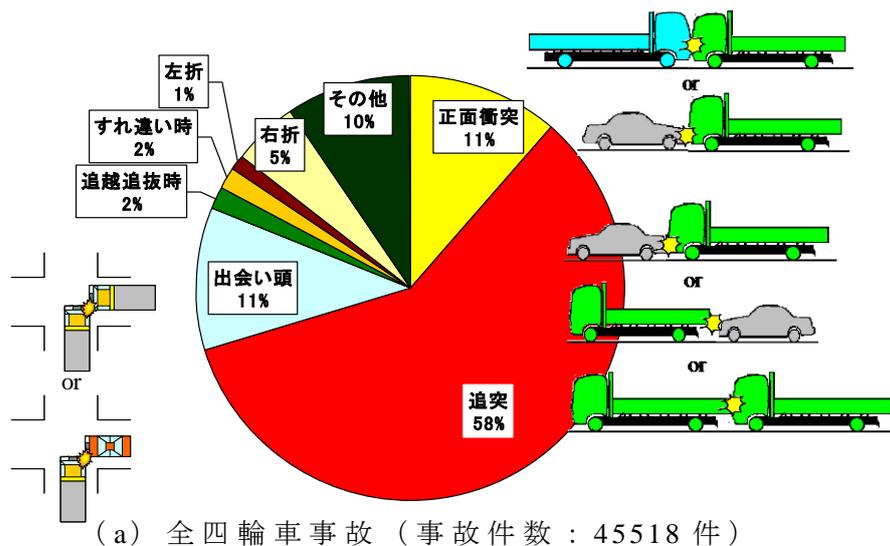
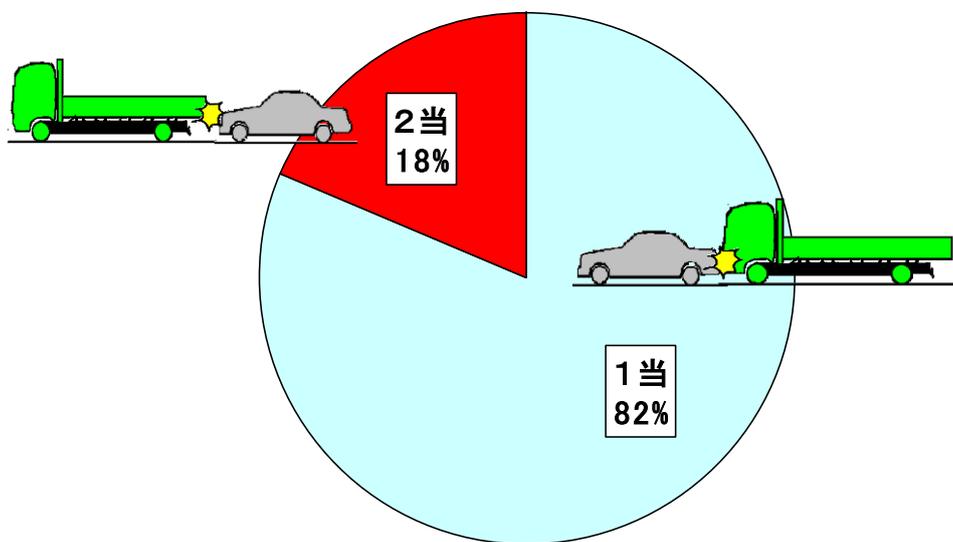
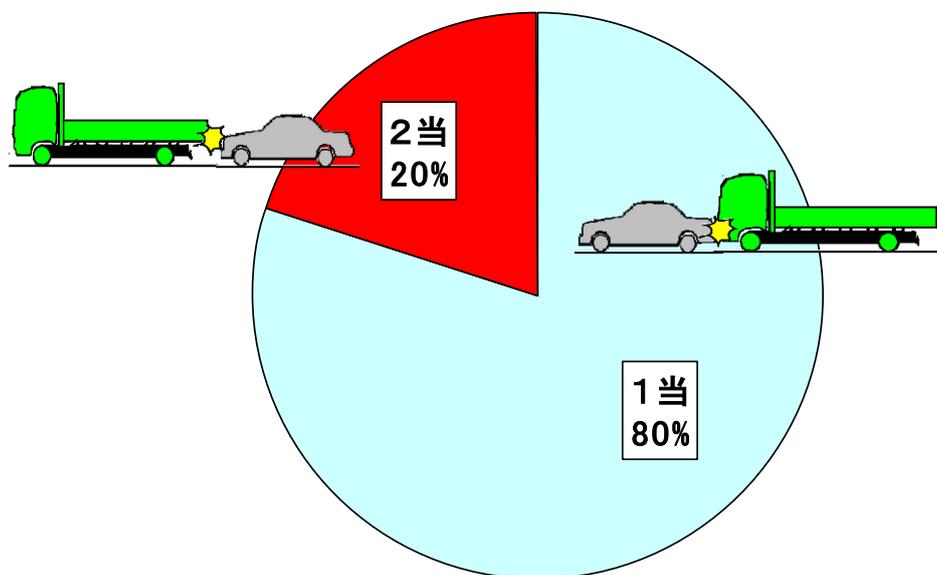


図 7.1 大型トラックの死傷事故における事故類型構成

(1995-1999 年合計)

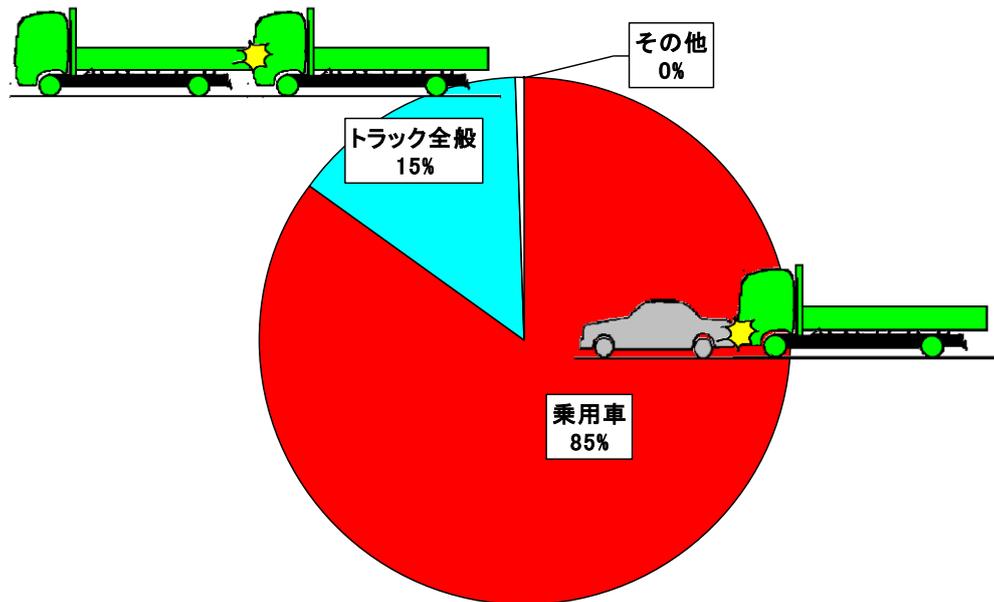


(a) 中型トラックの死傷事故 (事故件数 : 41551 件)

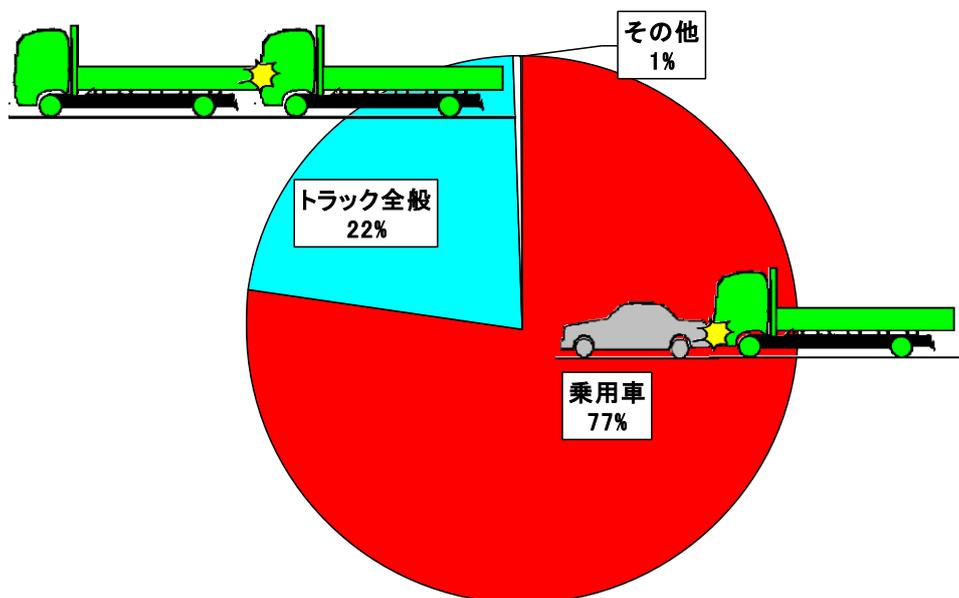


(b) 大型トラックの死傷事故 (事故件数 : 26828 件)

図 7.2 追突事故における第1当事者 (加害側) 事故と第2当事者 (被害側) 事故の構成 (1995-1999 年合計)

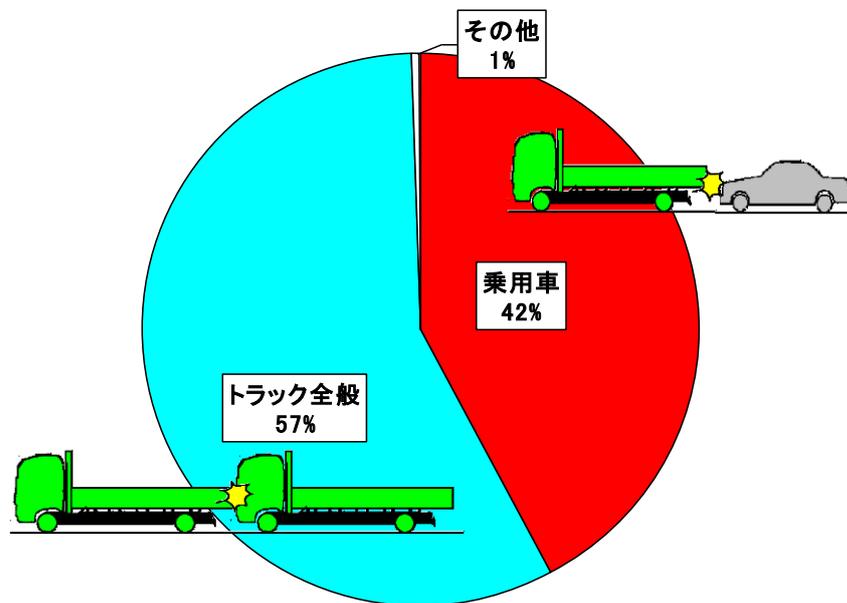


(a) 中型トラックの死傷事故（事故件数：33874 件）

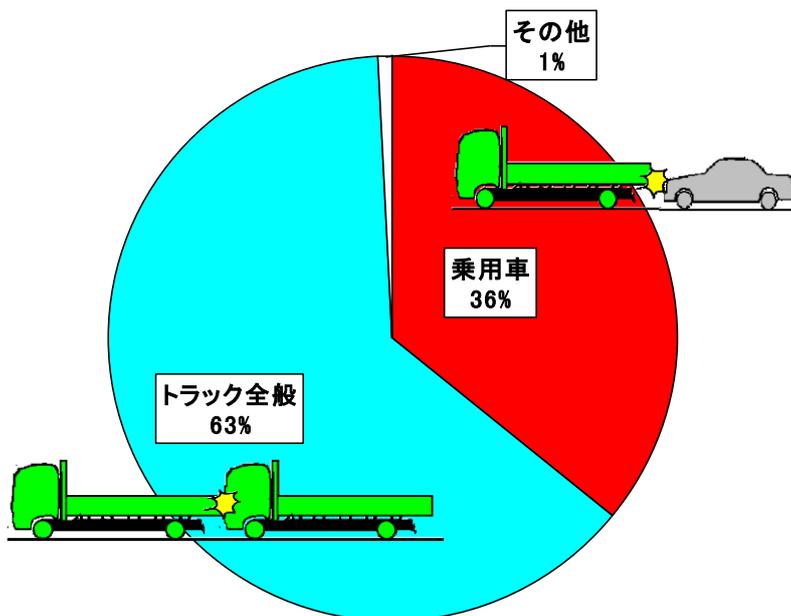


(b) 大型トラックの死傷事故（事故件数：21494 件）

図 7.3 自車が第 1 当事者（加害者）となった追突事故での衝突相手の構成
（1995-1999 年合計）



(a) 中型トラックの死傷事故（事故件数：7677 件）



(b) 大型トラックの死傷事故（事故件数：5334 件）

図 7.4 自車が第 2 当事者（被害者）となった追突事故での衝突相手の構成
（1995-1999 年合計）



(a)セダン型乗用車



(b)SUV



(c)1BOX

図 7.5 主な乗用車の種別

表 7.1 追突事故でのセダン型乗用車運転者の衝突相手別死亡重傷者率一覧表
 (1995-1999 年合計, セダン型乗用車が第 1 当事者の事故)

衝突相手車種	セダン型乗用車	中型トラック	大型トラック
死亡重傷者率(%)	0.05	4.80	15.08

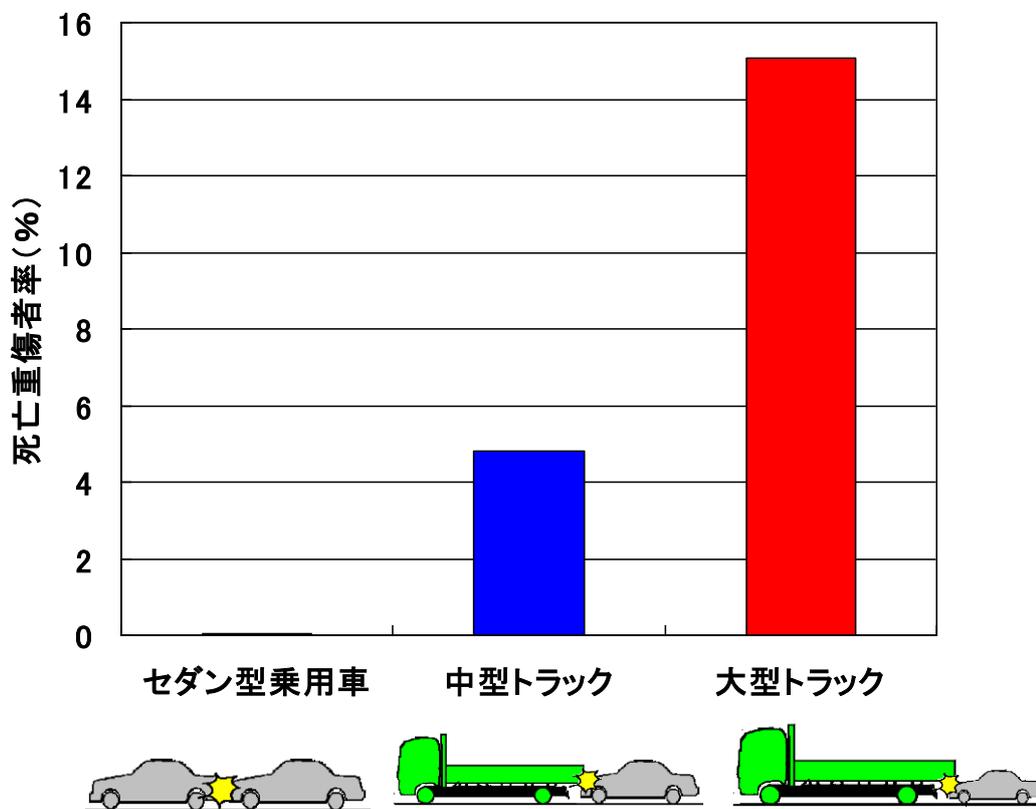


図 7.6 追突事故でのセダン型乗用車運転者衝突相手別死亡重傷者率
 (1995-1999 年合計, セダン型乗用車が第 1 当事者の事故)

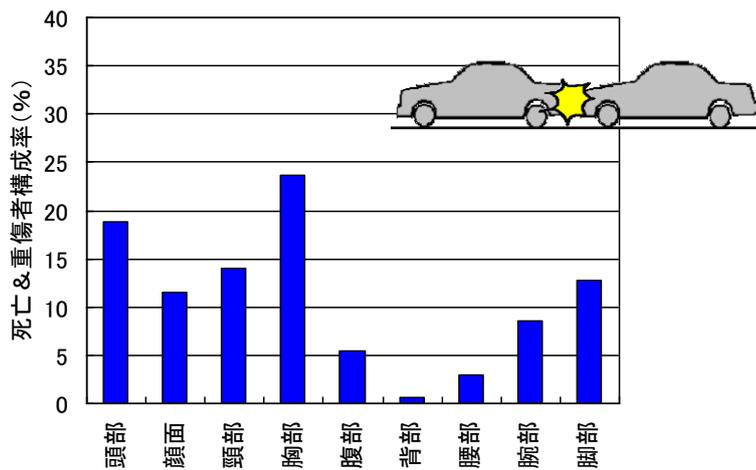
追突事故を起こし、死亡もしくは重傷になったセダン型乗用車運転者の損傷主部位別構成率を図 7.7 に示す。衝突相手が自車と同じセダン型乗用車の場合では胸部傷害の占める割合が多いが、衝突相手が中型トラックや大型トラックの場合では、頭部傷害の占める割合が多い。

セダン型乗用車同士の追突では、衝突による荷重は主としてサイドメンバを通して伝達され（図 7.8）、客室部への入力フロア下部のフロアメンバを伝わる経路とサイドシルおよびトンネル部に伝わる経路とに分かれて後方に伝えられる（図 7.9）。一方、エンジンの客室に入る荷重は、フロア部のトンネルが主として反力を受け持っている。客室保護対策を考慮して設計されたセダンでは、このような客室に加わる力の伝達経路に沿った客室の補強がなされている。したがって、客室を保護するために、衝突によるサイドメンバの付け根部分（トーボード周り）を力の受け手としてうまく利用し、衝突による入力を力の伝達経路に沿わせ、効果的に後方に伝達させていく構造設計が採られている⁽⁸⁰⁾⁽⁸⁷⁾。このような衝突安全対策が採られているため、セダン型乗用車同士の追突では、運転者の死亡重傷者率は低く、また、車両の損壊も運転者の胸部位置より下の部分で損壊していくので、胸部傷害が多くなると考えられる。

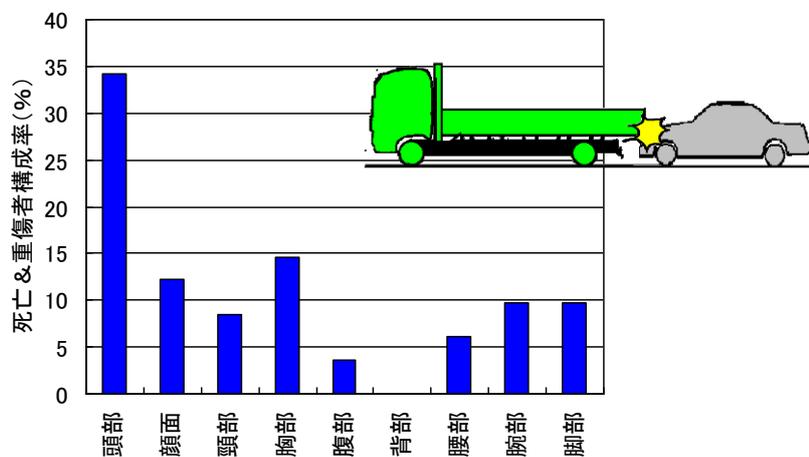
しかしながら、中型トラックや大型トラック等大型貨物車への追突の場合においては、図 7.10 に示した通り、セダン型乗用車のサイドメンバは中型トラックや大型トラックのフレームとは上下にオフセットしているため、セダン型乗用車側は衝突の力の受け手である客室下部を有効に利用することができない。したがって、セダン型乗用車の客室には、補強されている荷重の伝達経路以外の部位に大きな入力加わることになる。すなわち、車両重量に大きな差があり、乗員の安全を確保するには不利である上に、セダン型乗用車側では効果的な荷重の受け方ができないことから、中型トラックや大型トラックへの追突では、客室が入力に耐えきれず変形は大きくなるケースが多くなる。そして、それに伴って運転者の死亡重傷者率も高くなってしまっているものと考えられる。

図 7.11 と図 7.12 に大型トラックに追突したセダン型乗用車の事故事例を示す。どちらの事例についても、ボンネット部分の変形量は少ないが、客室上部、すなわち乗員空間の損壊は大きく、特に図 7.12 の事例では運転席、助手席共に乗員の上半身が納まるべき空間がほとんど潰れてしまっている。図 7.11 の事例ではセダン型乗用車が衝突相手であるトラックの荷台部分の下に大きく潜り込んでいることが確認できる。これら事例は、上述した「大型貨物車に追突したセダン型乗用車は衝突の力を効果的に受けることができない」ことや、図 7.7 に示した事故統計分析の「頭部への傷害が多い」ことを裏付けるものと考えられる。そして、大型貨物車に追突したセダン型乗用車の乗員傷害を低減していくためには、大型貨物車の荷台下部に、セダン型乗用車が「衝突の力を効果的に受けることができる」ようにする「被追突時の追突側乗用車ための衝突安全装置」を開発することが有効と考える。

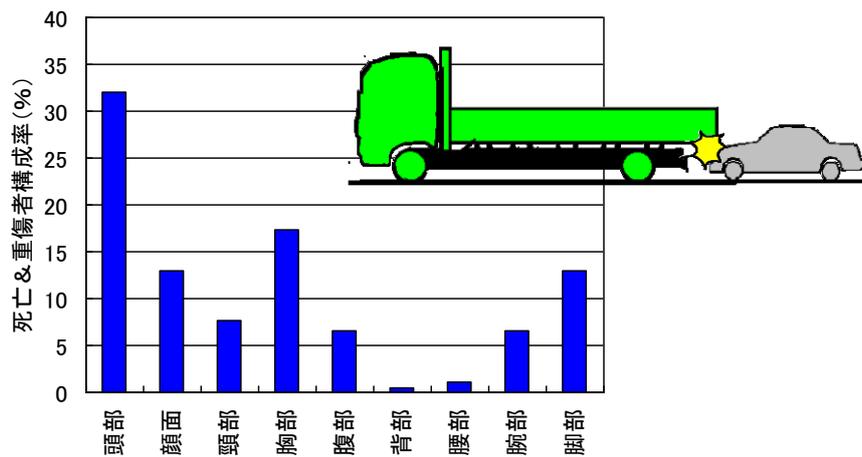
なお、追突も視野に入れた衝突安全装置を開発するにあたっては、実際の交通事故において、セダン型乗用車が大型貨物車に追突する速度を明らかにしておく必要がある。中型トラックに追突したセダン型乗用車の危険認知相対速度の累積頻度を図 7.13 に示す。危険認知相対速度が 30km/h の場合の累積頻度は約 65%、50km/h の場合の累積頻度は約 90%となっている。大型トラックに追突したセダン型乗用車の危険認知相対速度の累積頻度を図 7.14 に示す。危険認知相対速度が 30km/h の場合の累積頻度は約 50%と中型トラックの場合に比べるとやや低い。50km/h の場合の累積頻度は中型トラックとほぼ同じ約 90%となっている。以上の事故分析結果から、衝突安全装置は 50km/h で追突された場合の乗用車乗員を保護できる性能に設計することが望ましいと考える。



(a)セダン型乗用車同士の追突(死亡重傷者数 165 人)



(b)中型トラックへの追突(死亡重傷者数 82 人)



(c)大型トラックへの追突(死亡重傷者数 184 人)

図 7.7 追突死亡重傷事故でのセダン型乗用車運転者の損傷種部位の構成 (1995-1999 年合計)

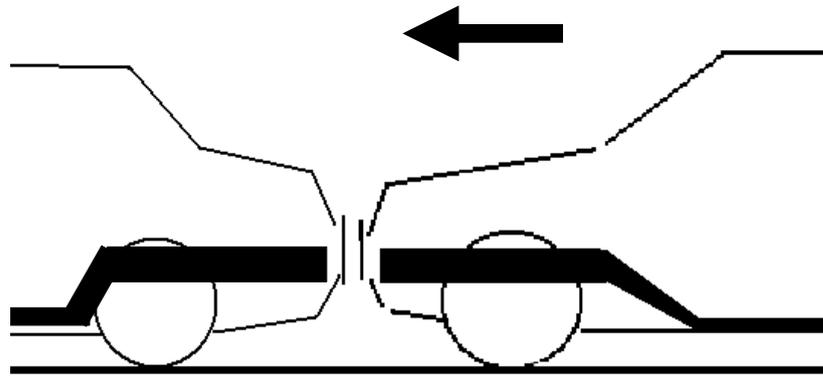


図 7.8 セダン型乗用車同士の追突イメージ

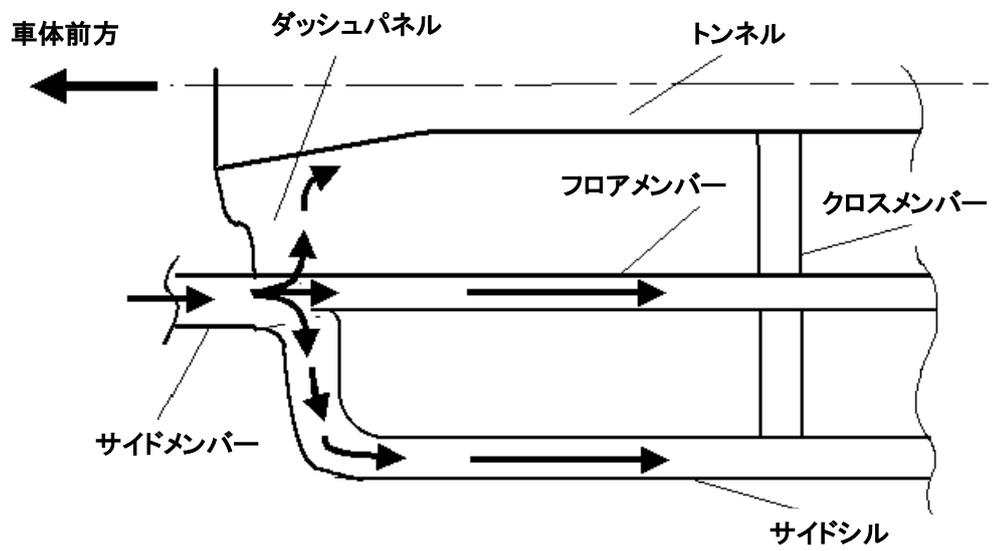


図 7.9 セダン型乗用車の客室に加わる力の伝達経路

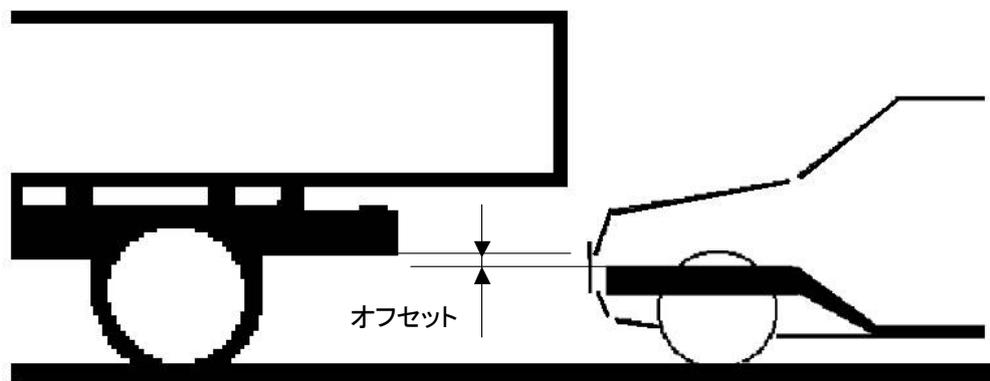


図 7.10 大型貨物車への追突のイメージ

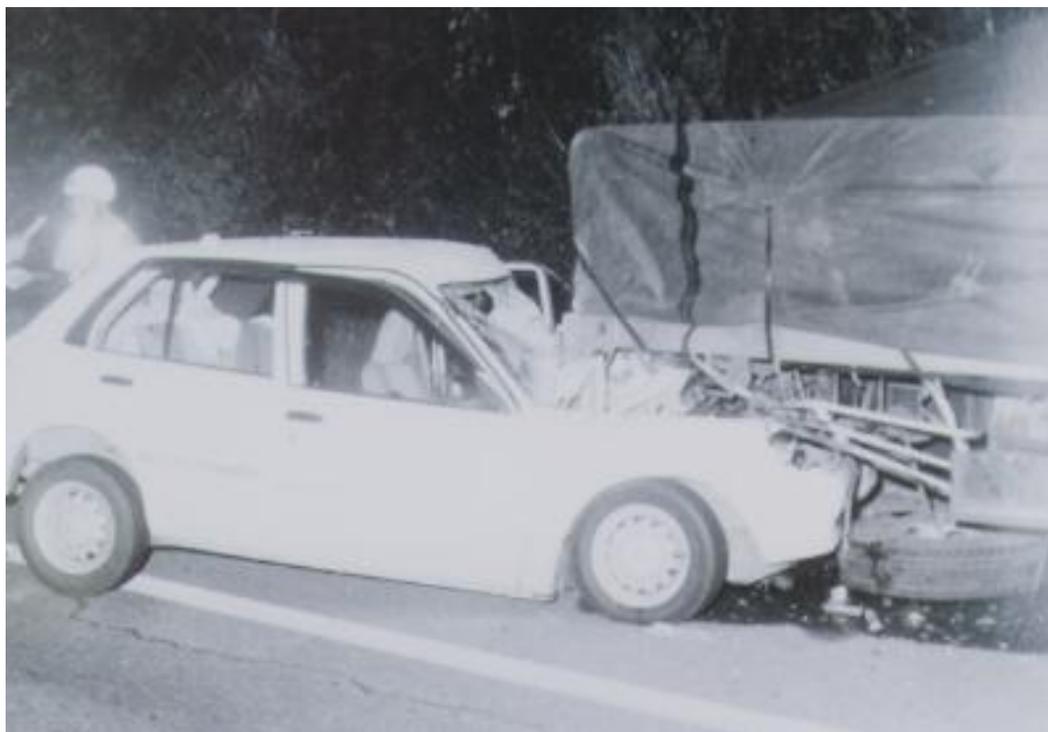


図 7.11 大型トラックに追突したセダン型乗用車（事例 1）
（車両総重量 1.4t クラスの小型セダンの追突，バリア換算速度 35km/h）



図 7.12 大型トラックに追突したセダン型乗用車（事例 2）
（車両総重量 1.7t クラスの大型セダンの追突，バリア換算速度 45km/h）

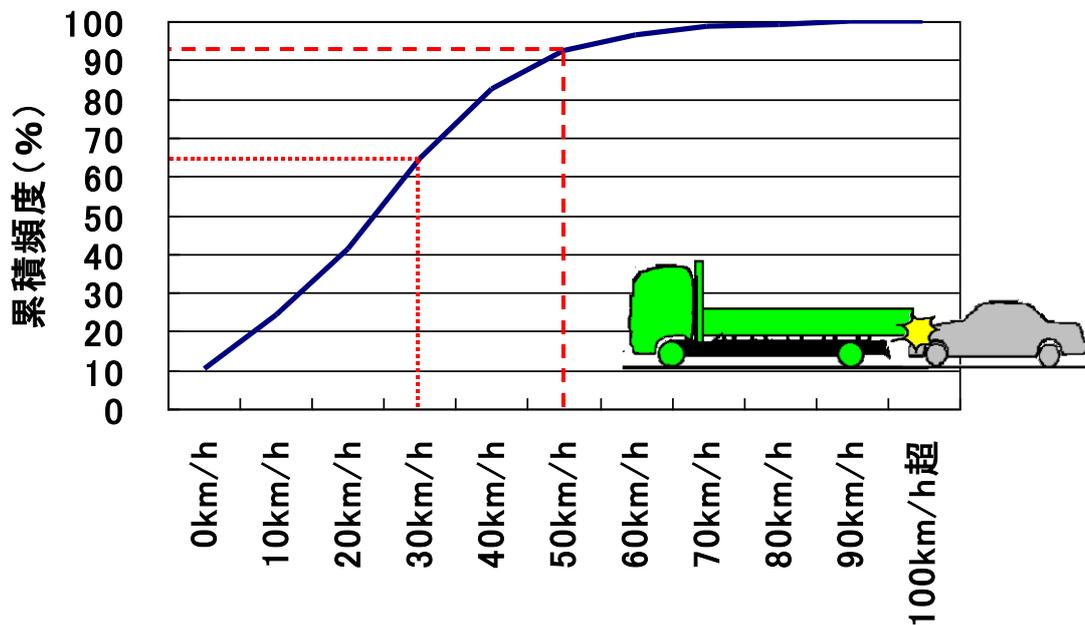


図 7.13 中型トラックに追突したセダン型乗用車の危険認知相対速度の累積頻度 (1995-1999 年合計, 事故関与者数 1657 人)

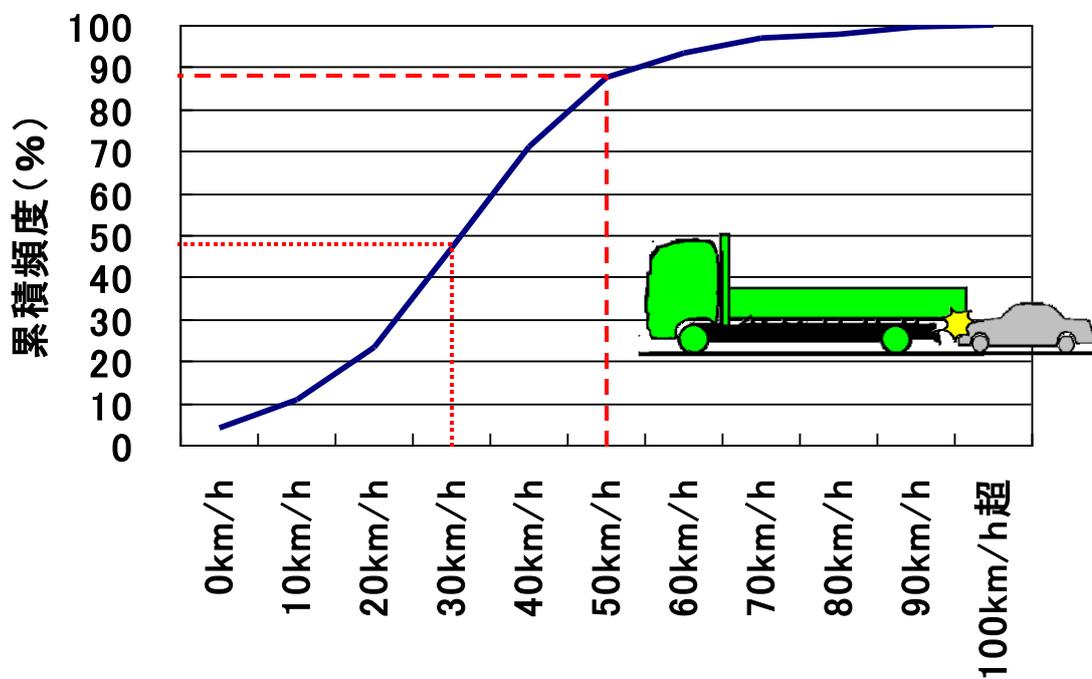


図 7.14 大型トラックに追突したセダン型乗用車の危険認知相対速度の累積頻度 (1995-1999 年合計, 事故関与者数 1163 人)

7.2 中型トラックの被追突時衝突安全対策

第 5 章で述べた衝突エネルギー吸収システムを用いてエネルギー吸収リヤバンパを開発⁽¹²⁸⁾，第 6 章で述べた中型トラックをベースに開発した衝突安全コンセプトトラック（SCT）に装備した．これにより，SCT は被追突時に乗用車がトラック荷台下部に潜り込むのを防ぐと共に，セダン型乗用車が本来の設計で施されている衝突安全対策としての客室保護の構造が有効に働くようにした（図 7.15）．

このエネルギー吸収リヤバンパの効果を確認するため，駐車中の SCT（エネルギー吸収リヤバンパを装着，車両総重量 7t）と従来型の中型トラック（車両総重量 7t）それぞれに，セダン型乗用車（排気量 1600cc クラス，車総重量 1ton，乗員ダミー 1 体搭載）を追突させる衝突試験を実施，セダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み量や乗員傷害値等について比較を行った．

なお，この衝突試験では，トラック荷台下部へのセダン型乗用車潜り込み量が問題となる．すなわち，潜り込み量が多ければセダン型乗用車乗員の生存空間が潰されることで乗員の傷害は大（生存困難）となるが，一方で SCT のエネルギー吸収リヤバンパの剛性を強化し過ぎると，被衝突時のセダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み量は少なくなるが，セダン型乗用車が高い衝撃力を受けることから，乗員空間が確保されても頭部傷害値（Head Injury Criteria, HIC）や胸部 G 等といった，衝突時の衝撃による乗員傷害値が高くなってしまいう危険も考慮しなければならない．そこで，本試験ではエネルギー吸収リヤバンパの最適吸収ストロークと減速度の相関についても計測を行った．

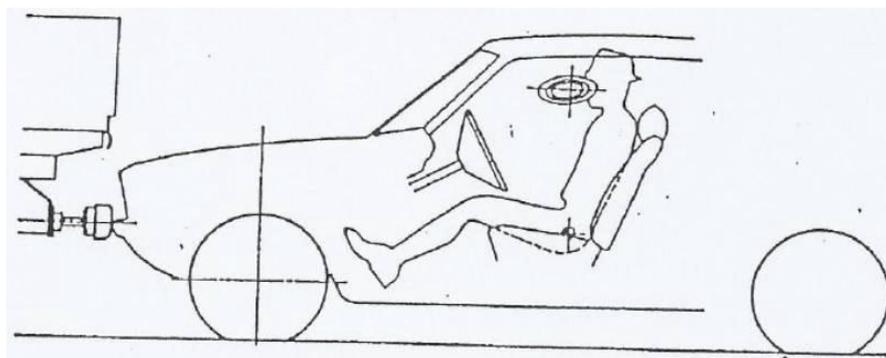
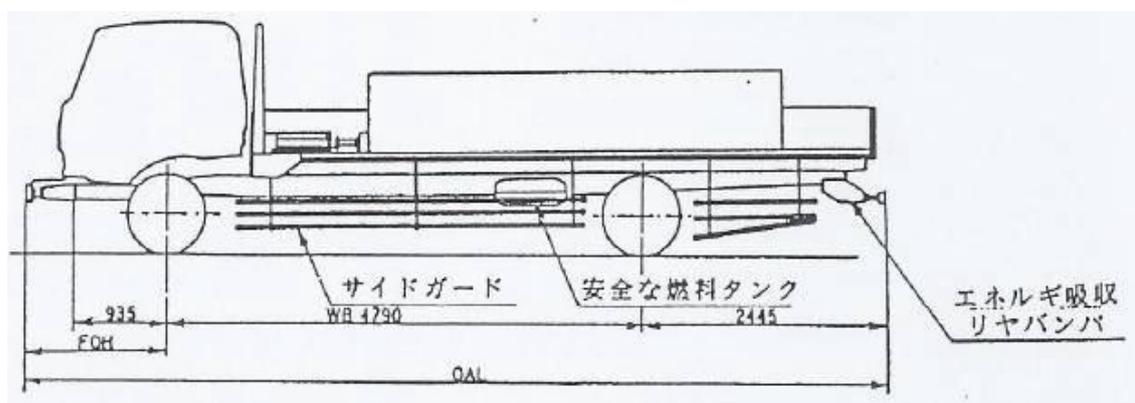


図 7.15 SCT に装着したエネルギー吸収リヤバンパのイメージ

7-2-1 追突試験

本試験におけるセダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み状況の写真を図 7.16 に、潜り込み量と追突速度、車体減速度の関係を図 7.17 に示す。なお、本試験での追突速度については、(a)低速域（追突速度 10km/h および 20km/h）、(b)中高速域（30km/h および 50km/h）の 4 種類の速度で実施した。なお、追突速度 50km/h は、追突事故の累積頻度 90%に当たる。

(a)低速域（追突速度 10km/h および 20km/h）での試験結果について

エネルギー吸収リヤバンパを装着した SCT に 20km/h でセダン型乗用車が追突するよりも、従来型の中型トラックに 10km/h でセダン型乗用車が追突する方が大きなダメージを受けている。なお、追突速度が 10km/h および 20km/h の場合については、SCT に装着されたエネルギー吸収リヤバンパは、衝突後は完全に衝突前の状態に戻るため、応急の自走が可能である。一方、従来型の中型トラックもリヤバンパは装着しているが、これは板金を折り曲げただけのものであり、衝撃吸収能力は低い。このため、衝突速度が 20km/h の場合で、トラック荷台下部へ 485mm 潜り込んでしまい、乗用車のボンネット部が約 50% 程度損壊、衝突後の自走が不可能となる。また、乗用車の乗員も、3 点式シートベルト無しの場合ではフロントガラス等に頭部を激突させ傷害を受ける。しかし 3 点式シートベルトを着用していれば軽傷以下で済むと考えられる。

また、乗用車の損傷評価コストについては、追突速度 10km/h の場合、エネルギー吸収リヤバンパ装着の SCT は従来型の中型トラックの約 2/3 に、追突速度 20km/h の場合では約 1/2 に軽減できる。

(b)中高速域（30km/h および 50km/h）での試験結果について

追突速度 50km/h での試験は、本試験で用いたエネルギー吸収リヤバンパにとって、許容能力以上となる速度を超えた衝突となる。このため、追突速度 50km/h では、エネルギー吸収リヤバンパは、フルストロークした

後、底突きし、バンパ取付けブラケット、後部灯火器類が損傷脱落し、フレーム後端も変形した。図 7.16 の写真を見てもわかるように、追突したセダン型乗用車は、トラック荷台下部に 317mm 潜り込み、車体ボンネット部は大破、フェンダー、ラジエータからエンジンまでが破壊された。なお、衝突時のトラック荷台下部への潜り込み量だけ見れば、エネルギー吸収リヤバンパを装着した SCT への追突速度 50km/h での潜り込み量は、従来型の中型トラックへの追突速度 20km/h でのトラック荷台下部への潜り込み量よりも少なく、本研究のエネルギー吸収リヤバンパは、追突車の生存空間の確保に著しい効果があることが確認できた。

従来型の中型トラックへの追突速度 50km/h では、セダン型乗用車は、トラック荷台下部へ 1600mm 潜り込んだ上、トラック後部のスペアタイヤとタイヤハンガを脱落させて、フレーム後端及びリヤエンドクロスメンバも変形させた。一方で、セダン型乗用車は、ルーフがトラックの荷台後部に当たるまで潜り込んでしまったため、灯火器類、ラジエータ、エンジンおよびインストゥルメントパネルまでもが変形、破損した。

次に、衝突時のセダン型乗用車の車体減速度について、エネルギー吸収リヤバンパを装着した SCT と従来型の中型トラックの比較を行った（図 7.17）。追突速度 50km/h でエネルギー吸収リヤバンパを装着した SCT に追突したセダン型乗用車の車体減速度は 235m/s^2 [24G] であった。この値は従来型の中型トラックへの追突での車体減速度の 1.6 倍であるが、三点式シートベルトを装着していれば、乗員の生命の危険は十分に防ぐことができる値である。一方で、従来型の中型トラックへの追突では、車体減速度は 147m/s^2 [15G] と、エネルギー吸収リヤバンパを装着した SCT への追突での値に比べて低くなったが、上述したように、セダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み量は大きく、セダン型乗用車のルーフはトラック荷台の後端まで達した。このような状況のため、車体減速自体が低くても、トラック荷台下部への潜り込み量が大きくなったため、乗員はたとえ三点式シートベルトを着用したとしても生命の危機にさらされると推測する。

7-2-2 実験結果の考察

従来型の中型トラックへのセダン型乗用車の潜り込み量は，追突速度の上昇と共に急激に増加し，追突速度 50km/h では乗員空間は損壊してしまうことから，セダン型乗用車の乗員はシートベルトの着用の有無に関係なく死亡もしくは重傷となる可能性が高くなる．しかしながら，追突時のセダン型乗用車の潜り込みを防止するためにエネルギー吸収リヤバンパの剛性を上げ過ぎると，今度は剛体壁に衝突するのと同程度の車体減速度となってしまう乗員の傷害値を上げてしまう恐れもあることから，エネルギー吸収リヤバンパを設計するにあたっては，追突する乗用車の衝突エネルギーを十分に考慮して適正な値を考えることが大切である．本試験で用いた中型トラック用のエネルギー吸収リヤバンパは，追突速度 50km/h に対しても，効果が見られた．このバンパは，追突車の潜り込みによる生存空間減少を防止する為にも，また衝撃緩和からも効果があった．

	従来型の中型トラック	SCT (エネルギー吸収リヤバンパを装着)
追突速度 10km/h		
	潜り込み量 205mm	潜り込み量 61mm
追突速度 20km/h		
	潜り込み量 485mm	潜り込み量 82mm

(a) 低速域 (追突速度 10km/h および 20km/h)

	従来型の中型トラック	SCT (エネルギー吸収リヤバンパを装着)
追突速度 30km/h		
	潜り込み量 608mm	潜り込み量 126mm
追突速度 50km/h		
	潜り込み量 1600mm	潜り込み量 317mm

(b) 中高速域 (30km/h および 50km/h) での試験結果

図 7.16 追突試験でのセダン型乗用車の中型トラック荷台下部への潜り込み状況

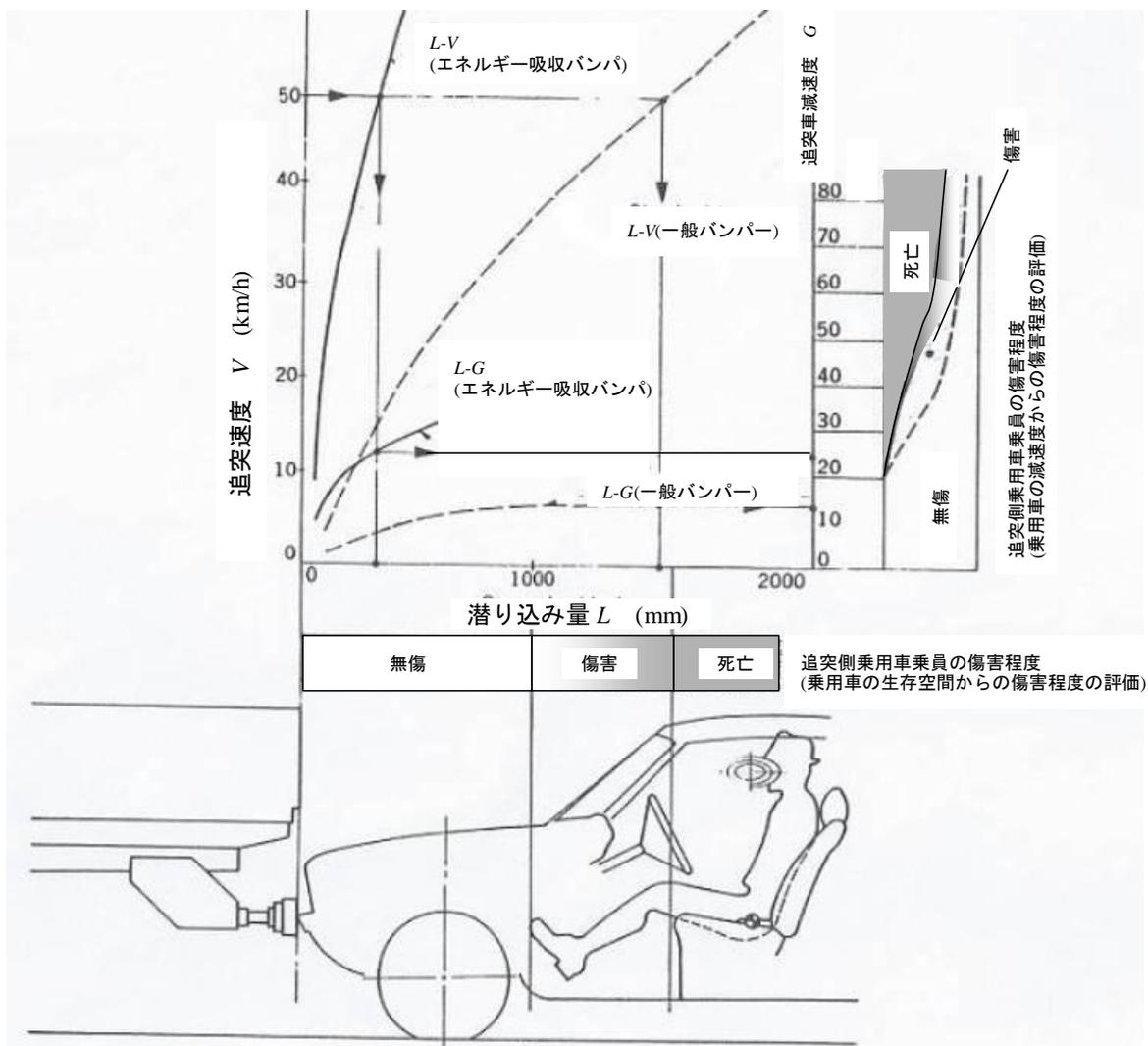


図 7.17 追突試験でのセダン型乗用車の中型トラック荷台下部への潜り込み量と追突速度，車体減速度の関係

7.3 大型トラックの被追突時衝突安全対策

前項では，中型トラックをベースとした衝突安全コンセプトトラック（SCT）にエネルギー吸収リヤバンパを装着した場合の効果について述べた．本研究では，大型トラックをベースとした高衝突エネルギー吸収システム装備トラック（Nuclear Fuel Safety Transporter，以下 NFST と略記）の開発研究にも取り組んだが，前述 SCT と同様に，この NFST についてもエネルギー吸収リヤバンパを装着して乗用車を追突させる試験を実施，その効果の確認を行った⁽¹¹⁹⁾⁻⁽¹²¹⁾．なお，NFST の詳細については次章で述べることとし，本項では，エネルギー吸収リヤバンパについてだけ述べる．

NFST に装着したエネルギー吸収リヤバンパを図 7.18 に示す．このシステムは，前項の SCT に装着したものと同じく，第 5 章のエネルギー吸収システムをベースに大型トラック用に開発したものである．このバンパのエネルギー吸収量は，従来型の大型トラックに取り付けられているバンパに比べ，倍のエネルギー吸収量を持つように設計されており，これを車両総重量 15ton の大型トラックに装着した場合，車両総重量 1t のセダン型乗用車から速度 5km/h で追突されても，大型トラックの車体本体には損傷が発生しない．なお，このエネルギー吸収バンパは，衝突速度 30km/h の 1600cc クラス乗用車（総重量 1ton）の衝撃に対応できるように設計した，また，このエネルギー吸収リヤバンパは，前項で述べた SCT に装着したものと同じく，追突した乗用車の車体損壊も最小に抑えることができることから，乗用車乗員の傷害低減にも効果があるようにした．

これらを確認すべく，車両総重量 1t のセダン型乗用車をエネルギー吸収リヤバンパを装着した NFST に追突させる試験を実施した．なお，NFST への追突試験は，次章で述べる通り NFST の開発目的が特殊であることから，フルラップでの衝突（30km/h，50km/h，80km/h）とラップ率 50% での衝突（30km/h，50km/h）の 2 種類の試験を行うこととした．



図 7.18 NFST に装着したエネルギー吸収リヤバンパ

フルラップ追突試験におけるセダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み状況の写真を図 7.19 に、ラップ率 50% 追突試験でのセダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み状況を図 7.20 に示す。

(a) フルラップ追突試験について

追突速度 30km/h での従来型のリヤバンパを装着した大型トラックへの追突では、セダン型乗用車はルーフが当たるまでトラック荷台下部へ潜り込んだ。なお、本試験でのセダン型乗用車の車体減速度は $78\text{m/s}^2[8\text{G}]$ と比較的 low、乗員空間も保たれていたため、もし、乗員が三点式シートベルトで拘束されていれば乗員の傷害も軽くなると推測する。

追突速度 30km/h でのエネルギー吸収リヤバンパを装着した NFST への追突の場合、セダン型乗用車の車体減速度は $127\text{m/s}^2[13\text{G}]$ と従来型の大型トラックでの車体減速度よりも大きくなるが、セダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み量は、従来型の大型トラックへの潜り込み量の 15%、とかなり少なくなる。

追突速度 50km/h での従来型大型トラックへの追突では、セダン型乗用車はトラックの荷台下部へ完全に潜り込み、その乗員空間は前席、後席共に大きく損壊した。

追突速度 50km/h での NFST への追突では、セダン型乗用車の車体減速度の最高値は $196\text{m/s}^2[20\text{G}]$ と、高い値となったが、乗用車の乗員空間の損壊は無く、もし乗員が 3 点式シートベルトで拘束されていれば、十分に生存可能であると考えられる。なお、被追突側の NFST についても、この追突による車体損傷は少なく、フレームの状態も良好であったことから、フレームの若干の修理とバンパの交換だけで、引き続き別の衝突試験に利用することができた。

なお、NFST については、追突速度 80km/h での試験も実施した。本試験での車両重量比（追突側セダン型乗用車：被追突側大型トラック）は、1:15 と非常に大きいため、追突速度 80km/h の追突でも被追突側の大型トラッ

クの被害は比較的少ない．一方，追突側セダン型乗用車は，追突速度が高かったため，エネルギー吸収リヤバンパを用いてもトラック荷台下部への潜り込みを防ぐことはできず，セダン型乗用車は 1510mm も潜り込むこととなった．したがって，乗員空間は大きく損壊するので，乗員は大きな傷害を受けることになる．

(b) ラップ率 50% 追突試験について

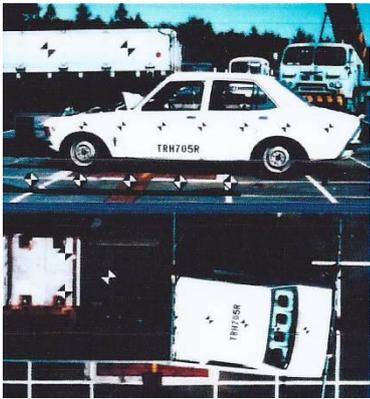
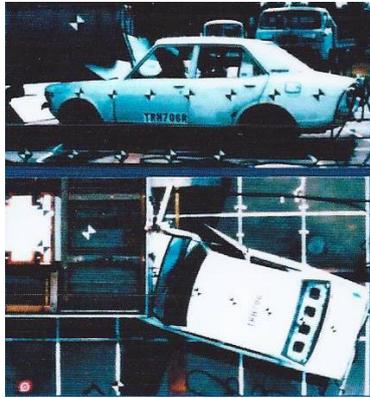
従来型の大型トラックへの追突は，追突速度 30km/h の場合だけ試験を行った．なお，この試験でのセダン型乗用車の潜り込み量は約 1700mm と，フルラップ衝突での 30km/h 追突の場合と，ほぼ同じ値となった．

エネルギー吸収バンパを装着した NFST への追突は，追突速度 30km/h と 50km/h について試験を行った．追突速度 30km/h での試験では，トラック荷台下部への潜り込み量は 336mm と小さく，乗員空間の損壊は無かった．また，追突速度 50km/h での試験では，エネルギー吸収バンパが変形し，これによりトラック荷台下部への潜り込み量は 700mm と大きくなったが，乗員空間の損壊がほとんどなかったことから，乗員が致命的な傷害を負う恐れは少ないものと考えられる．

	30km/h	50km/h	80km/h
従来型 の 大型トラック			
	潜り込み量 1702mm (100)	潜り込み量 3000mm (176)	-
NFST エネルギー 吸収バンパ を装着			
	潜り込み量 256mm (15)	潜り込み量 284mm (16)	潜り込み量 1510mm (一)

(): 従来型大型トラックへの追突速度30km/hフルラップ衝突での潜り込み量を100とした場合の比較値

図7.19 フルラップ追突試験におけるセダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み状況

	30km/h	50km/h
従来型 の 大型トラック		
	潜り込み量 1697mm (100)	—
NFST (エネルギー 吸収バンパ を装着)		
	潜り込み量 336mm (19.8)	潜り込み量 700mm (—)

(): 従来型大型トラックへの追突速度30km/hフルラップ衝突での
潜り込み量を100とした場合の比較値

図 7.20 ラップ率 50%追突試験でのセダン型乗用車のトラック荷台下部への潜り込み状況

7.4 第 7 章のまとめ

- (1) 中・大型トラックに追突したセダン型乗用車の運転者の死亡重傷者率は、セダン型乗用車同士での追突の場合の約 100 倍から約 300 倍にも達する。したがって、乗用車乗員の非常に高い死亡重傷者率を下げるためには、被追突時にセダン型乗用車がトラック荷台下部に潜り込むのを防ぐと共に乗用車乗員に強い衝撃が加わらないようにする機能をもったエネルギー吸収リヤバンパを開発、装着することが重要である。
- (2) 第 5 章で開発したエネルギー吸収システムをベースに、中型トラック用のエネルギー吸収リヤバンパを開発、第 6 章で紹介した衝突安全コンセプトトラック (SCT) に装着して、セダン型乗用車を追突させる実験を実施した。なお、SCT に装着したエネルギー吸収リヤバンパは、20km/h での追突に耐えられるように設計したものであるが、より高い速度である 50km/h (追突事故の累積頻度の約 90%に当たる速度) での追突に対しても、乗用車乗員が 3 点式シートベルトを着用していれば、生存が確保できることが確認できた。
- (3) 大型トラック用のエネルギー吸収リヤバンパについても開発して高衝突エネルギー吸収システム装備トラック (NFST) に装着して、セダン型乗用車を追突させる実験 (フルラップ衝突およびラップ率 50%衝突) を実施した。なお、本エネルギー吸収リヤバンパは、欧州における衝突安全性規定 ECE No.58 (Rear Under-run Protection) の値よりも、高い衝撃吸収機能をもたせるように設計したものである。このため、従来型の大型トラックが装着しているリヤバンパでは、追突速度 30km/h でもセダン型乗用車は 1700mm も潜り込むことになってしまうが、本エネルギー吸収リヤバンパを装着した NFST では、フルラップ衝突なら追突速度 80km/h まで、シートベルトを着用していれば乗員が生存できることを確認した。また、ラップ率 50%衝突についても、追突速度 50km/h まで、乗員が生存できることを確認した。

第 8 章

高衝突エネルギー吸収システム装備 トラック（NFST）に関する研究

8.1 研究の背景および NFST の設計目標

1970 年代には，中東地域の政情不安定に端を発した石油の輸入危機（オイルショック）が 2 度に亘って発生した．このため，様々な石油代替資源が研究開発されるようになった．原子力は，1970 年代においては，石油に代わるエネルギーの最有力候補と考えられ，1980 年代から国内における発電電力量のシェアを増やし続け，1995 年以降からは国内発電電力量の約 1/3 を占めるようになった（図 8.1）⁽¹³²⁾．しかしながら，2011 年 3 月 11 日の東日本大震災の際に発生した東京電力福島第 1 原子力発電所の事故以来，原子力発電所は，その安全性が厳しく問われることとなった．当然のことであるが，現在稼動している原子力発電所については，役目を終える日まで，安全に運転されなければならない．

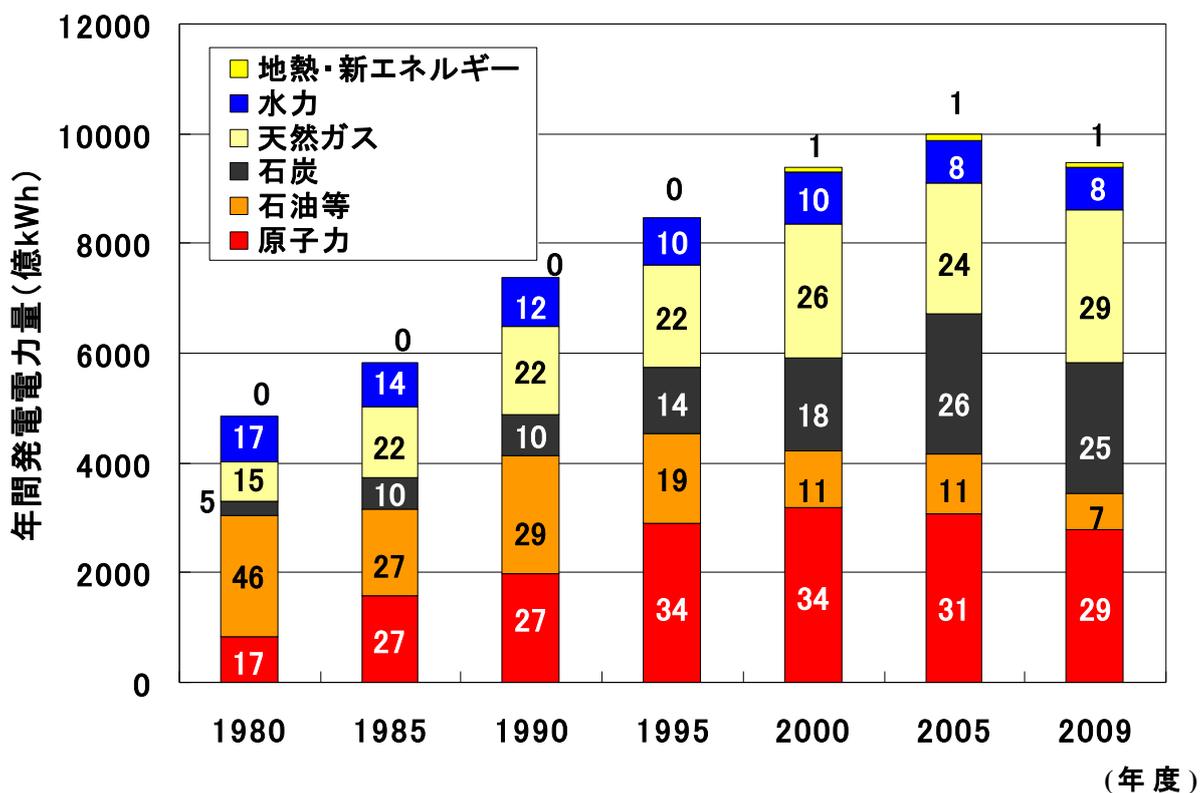


図 8.1 電源別発電電力の実績

(* 棒グラフ中の数値は各年度での各電源の構成率)

(出典 : 「原子力・エネルギー」図面集 2011⁽¹³²⁾)

原子力発電所が使用する核燃料は、大型トラックによって輸送される。なお、核燃料は、その危険物としての性質上、通常の荷物とは異なり、輸送においても細心の注意を必要とする。すなわち、核燃料を輸送する車両には、衝突時においても積荷である核燃料が安全な状態に保たれるように、積載物を保護する機能があることが求められる。

そこで、第 6 章で中型トラックをベースに開発した衝突安全コンセプトトラック（SCT）に装備した衝突エネルギー吸収システムを大型トラックに装備することによって、衝突時に核燃料のような危険物積荷を保護する機能を有するトラック、すなわち高衝突エネルギー吸収システム装備トラック（NFST）の研究開発を行った⁽¹³⁰⁾⁻⁽¹³¹⁾。

NFST は、衝突時における乗員保護だけでなく、積載物を保護する機能を有し、更に自車よりも小さい車両への加害性も低減する衝突相互安全性（Compatibility）も考慮した、核燃料輸送用大型トラックであり、このトラックの設計に当たっては、次の目標を満足するようにした。

（1）積載物保護

NFST が積載する核燃料は、非常に高価な燃料であり（核燃料輸送用特殊容器 1 本に収納できる核燃料の価格は約 1 億円、NFST 1 台はこの容器を 4 本積載する）、これを積載する荷箱は、 $59\text{m/s}^2[6\text{G}] \sim 108\text{m/s}^2[11\text{G}]$ の衝撃に耐え、また、複雑な衝撃にも損傷を受けないように設計することが定められている。なお、NFST の主な積載物は、核燃料のような危険物を想定しているが、荷箱に積載物を保護できる機能を持たせたことから、高価な芸術品や貴重な文化遺産、精密機器のような衝撃に弱い器物の輸送にも本研究の成果が応用できるものと考えている。

なお、NFST が輸送を担う核燃料は、複数の核燃料を集合させたもので、核燃料集合体と呼称されるが、これの品質保全値は $59\text{m/s}^2[6\text{G}]$ 未満である。すなわち、NFST では、衝突時に $59\text{m/s}^2[6\text{G}]$ 以上の衝撃が核燃料集合体に加わらないように設計した。

(2) 環境保護

放射性物質による汚染は、周囲の環境や人体の悪い影響を及ぼす。したがって、核燃料輸送用特殊容器の耐久性も非常に重要である。この特殊容器の耐久性は国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency, IAEA) の規制で要求された条件を満足するものでなければならない。すなわち、核燃料を輸送するトラックが衝突事故に遭遇した場合に、事故による衝撃から特殊容器が損傷することを防止しなければならない。また、当然のことながら、通常作業時の積み下ろし等でも放射性物質が漏れ出すようなことは、決してあってはならない。

(3) 乗員保護

乗員の保護についても、衝突速度 30km/h での衝突において乗員の負傷を最小限にできるよう生存空間を確保する。

(4) 自車よりも小さい車両への衝突時加害性の低減および衝突相互安全性の向上

自車よりも小さい乗用車との正面衝突時の衝突相手車両に与えるダメージを最小限にする機能や、乗用車からの被追突時に際して追突した乗用車のトラック荷台下部への潜り込みを防止する機能をもたせることで、衝突時加害性の低減および衝突相互安全性 (Compatibility) の向上を図る。

8.2 大型トラックの事故実態

前節で述べた設計目標を満足するため ITARDA（交通事故総合分析センター）の事故データ⁽¹²⁵⁾⁻⁽¹²⁷⁾を用いて、大型トラックの事故実態を分析した．大型トラックの衝突事故の実態（図 7.1，図 7.2，図 7.3，図 7.4）については，第 7 章でも述べた通り，

- ・ 大型トラックの事故では，追突事故が最も多く，約 6 割を占める．
次に多いのが正面衝突と出会い頭衝突でどちらも約 1 割を占める．
- ・ 大型トラックが第 1 当事者となった追突事故と第 2 当事者となった追突事故の比は，4 : 1．
- ・ 大型トラックが第 1 当事者となった追突事故の衝突相手の約 8 割弱が乗用車である．
- ・ 大型トラックが第 2 当事者となった追突事故の衝突相手の約 6 割強がトラックである．

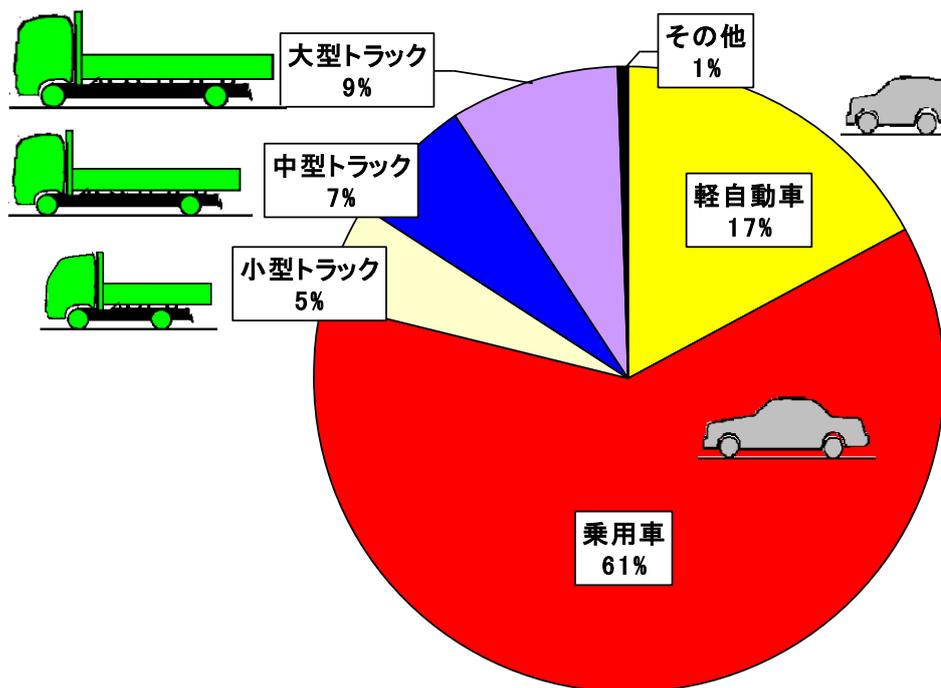
といったことから，車体の前部と後部に重点を置いた衝突安全対策をとることが大切と考えた．

しかしながら，第 7 章での事故分析は，トラックに追突してくるセダン型乗用車に着目した分析であり，他の車種の詳細構成についての分析は省略した．NFST では，より詳細な事故実態を把握する必要があるので，衝突相手の構成をより詳細にして，再度 ITARDA の交通事故統合データの分析を行った．大型トラックの死傷事故全体での衝突相手の構成を図 8.2 に，追突死傷事故での衝突相手の構成を図 8.3 に，正突死傷事故での衝突相手の構成を図 8.4 に，出会い頭正突死傷事故での衝突相手の構成を図 8.5 に示す．なお，これらの図中では，トラックを小型トラック（車両総重量 3t 超 7t 以下クラス），中型トラック（車両総重量 7t 超 15t 以下クラス），大型トラック（車両総重量 15t 超クラス）の 3 クラスに分類し，それぞれの構成を分析した．

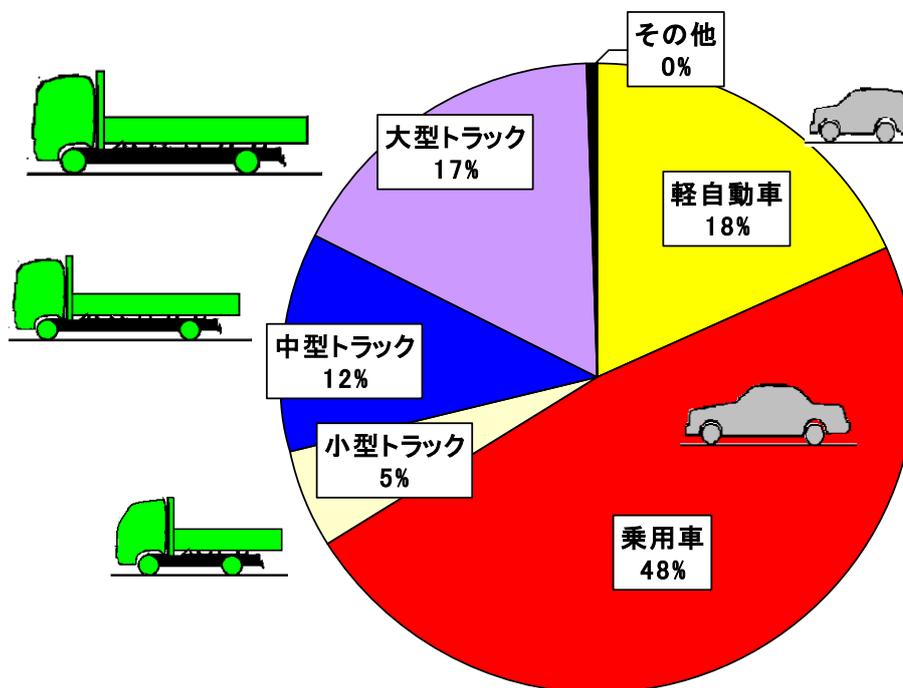
死傷事故全体や正面衝突，出会い頭事故については，大型トラックが第 1 当事者であった場合も，第 2 当事者であった場合も，乗用車の占める割

合が圧倒的に多い．また，追突事故についても，大型トラックが第 1 当事者であった場合では乗用車の占める割合は約 6 割も占めている．しかしながら，大型トラックが第 2 当事者となった追突事故で最も多い衝突相手は大型トラックであった．

ここで，大型トラックをベースに設計された NFST に大きなダメージを与えられる車種は大型トラックだけなので，より効果的な衝突安全対策を考えるためには，衝突相手が大型トラックとなっている割合が多い事故類型について対策を考えることが，より効果的と考えられる．大型トラックの構成率が多い事故類型には，上述の大型トラックが第 2 当事者となっている追突事故と，大型トラックが第 1 当事者となっている正突事故がある．このことから，NFST については車両前方部からの衝撃と後部からの衝撃から乗員や積載物を保護する対策を考えることが，効果的であると考えられる．



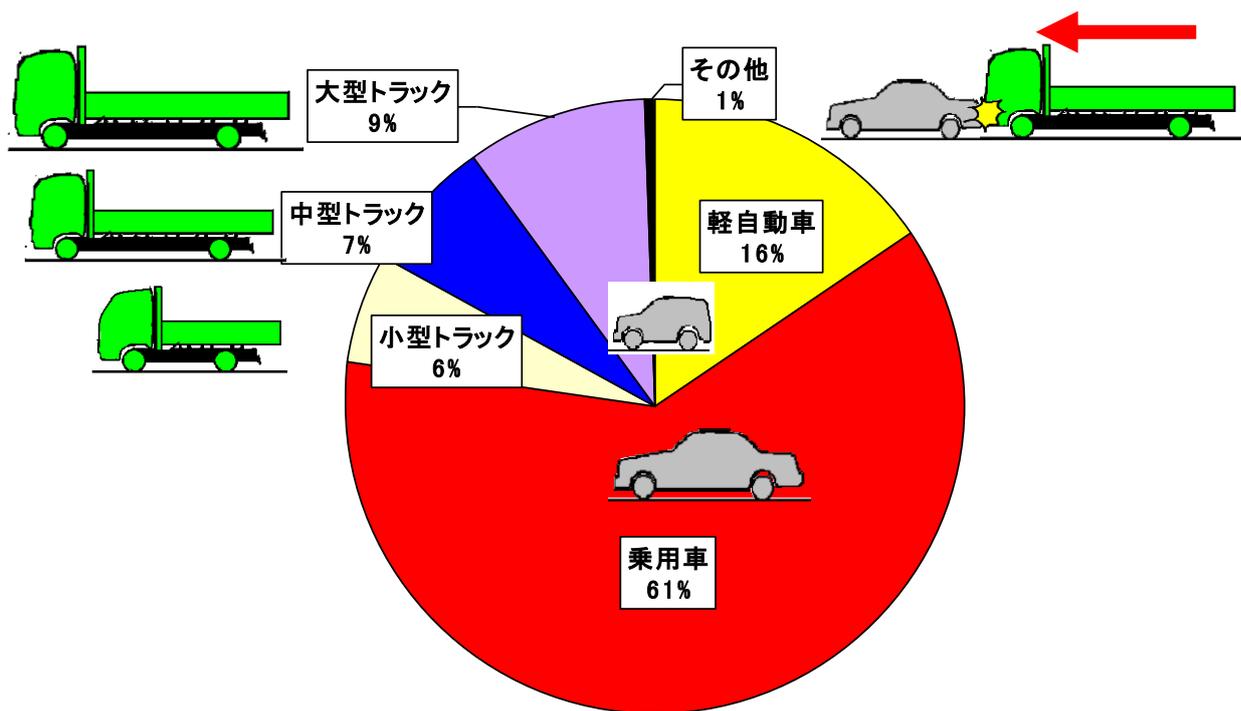
(a) 大型トラックが第 1 当事者（加害側）となった事故(30709 件)



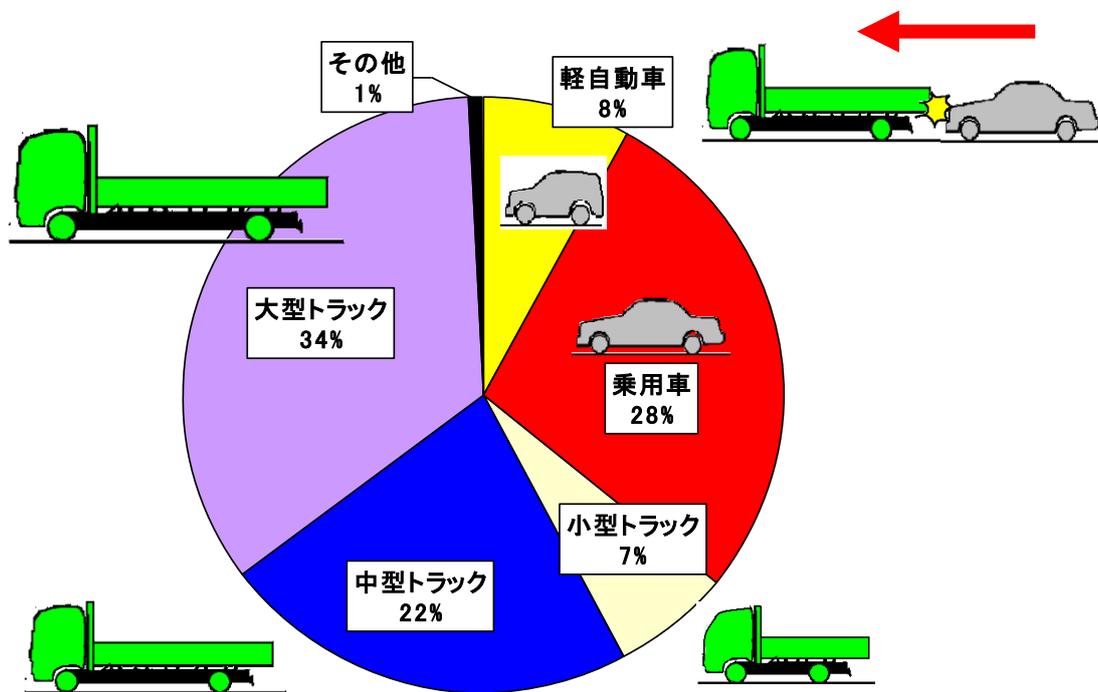
(b) 大型トラックが第 2 当事者（被害側）となった事故(14809 件)

図 8.2 大型トラックの全死傷事故における衝突相手の構成

(1995-1999 年合計)



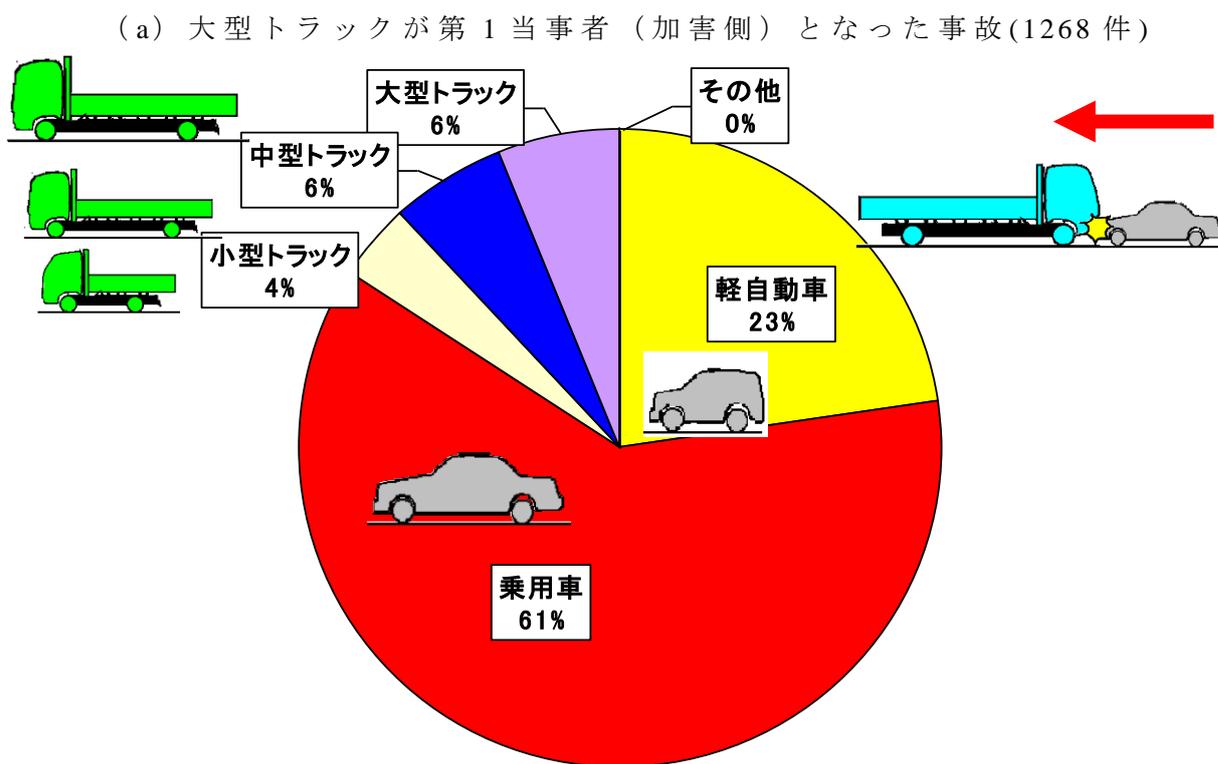
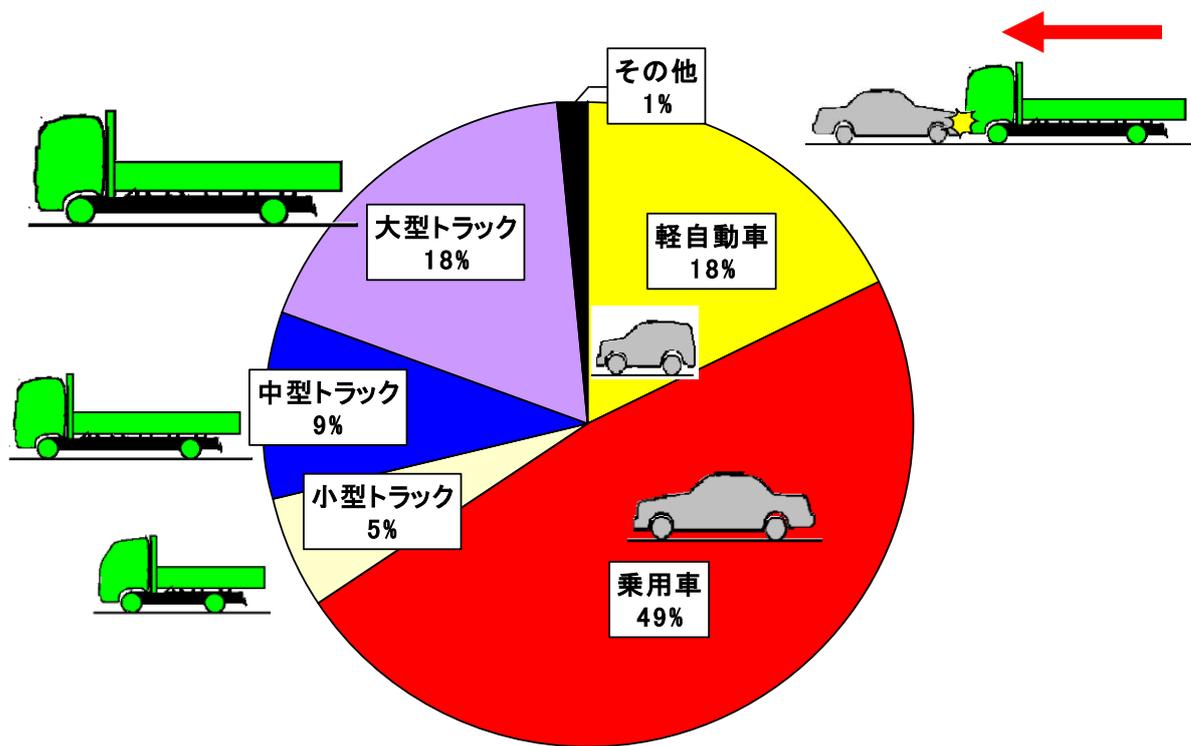
(a) 大型トラックが第 1 当事者（加害側）となった事故(21494 件)



(b) 大型トラックが第 2 当事者（被害側）となった事故(5334 件)

図 8.3 大型トラックの追突死傷事故における衝突相手の構成

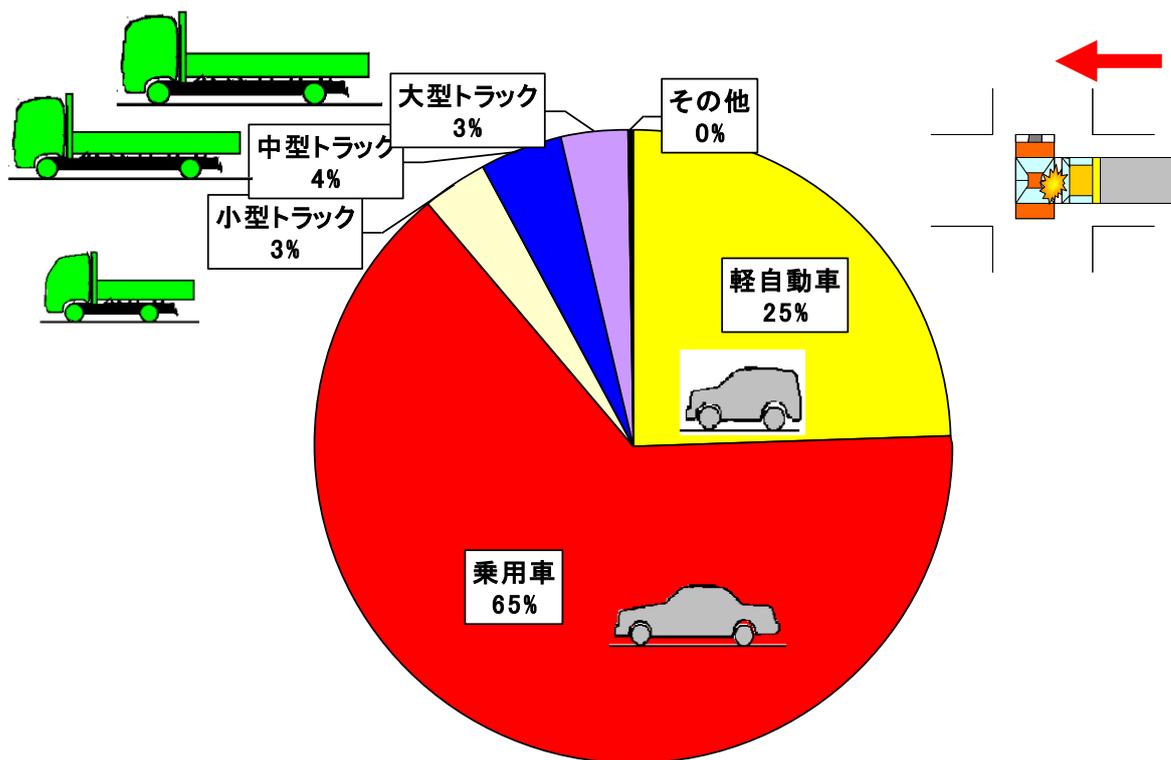
(1995-1999 年合計)



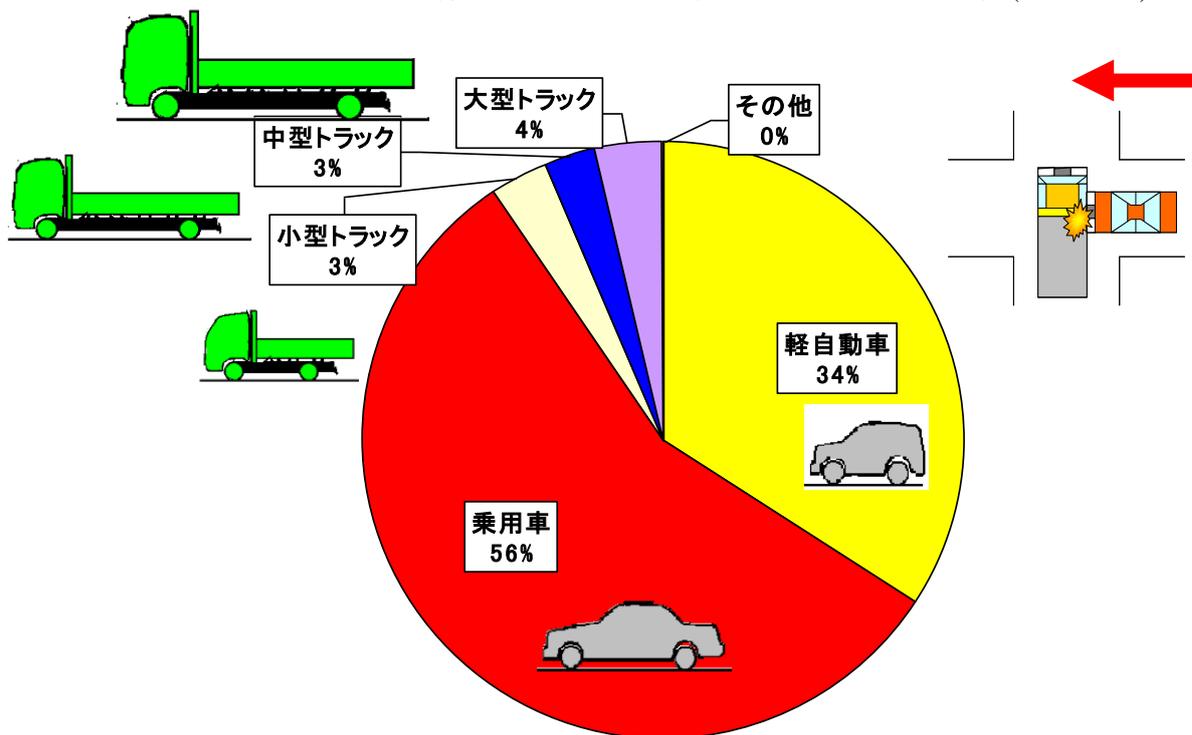
(b) 大型トラックが第 2 当事者（被害側）となった事故(3949 件)

図 8.4 大型トラックの正突死傷事故における衝突相手構成

(1995-1999 年合計)



(a) 大型トラックが第 1 当事者 (加害側) となった事故(2472 件)



(b) 大型トラックが第 2 当事者 (被害側) となった事故(2351 件)

図 8.5 大型トラックの出会い頭死傷事故における衝突相手構成

(1995-1999 年合計)

衝突安全対策を考えるに当たっては，衝突速度の累積頻度を把握しておくことが重要である．そこで，大型トラックが第 1 当事者であった追突死傷事故の危険認知相対速度の累積頻度と（図 8.6），正突死傷事故の危険認知相対速度の累積頻度（図 8.7）を求めた．

追突事故の約 5 割が 30km/h までに，約 9 割が 50km/h までに発生している．また，正突事故の約 5 割が 70km/h までに，約 9 割が 110km/h までに発生している．なお，正突での危険認知相対速度は事故を起こした 2 台の車両の速度の和であり，第 6 章の式 (6.1) に記述した通り，1 台あたりの速度はこれの 1/2 とみなすことができるので，正突事故についても，追突事故とほぼ同じ速度域での事故が多いものと考えられる．

以上のことから，NFST については，衝突速度 30km/h で積載物の保護をはじめ，当初の設計目標が達せられるように，車両のフロント部や荷箱部分およびリヤ部のそれぞれのエネルギー吸収装置を設計，装備することとした．

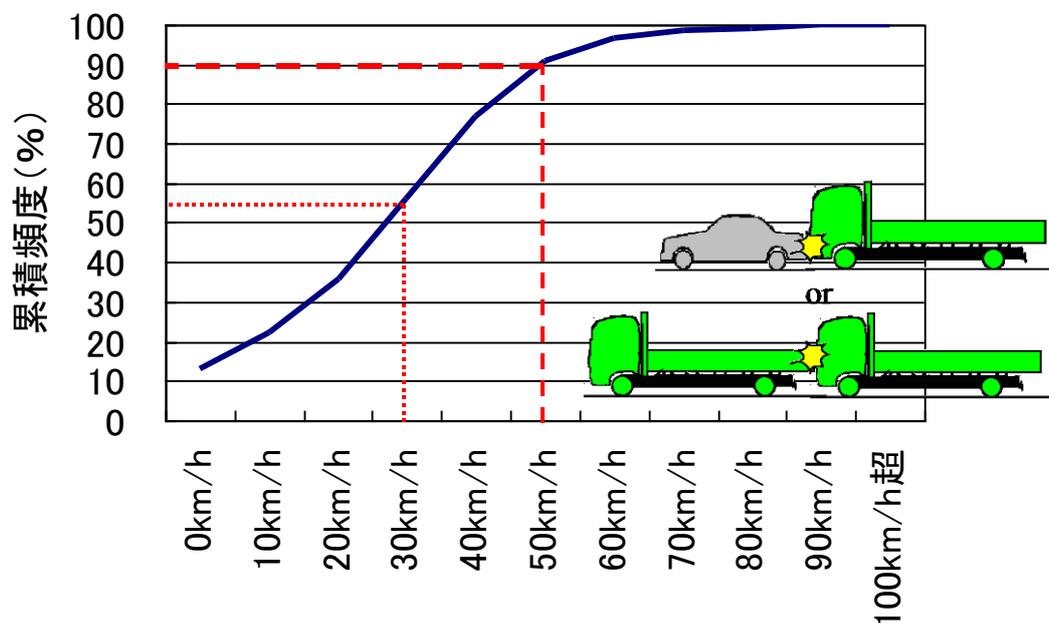


図 8.6 大型トラックの追突死傷事故での危険認知相対速度の累積頻度
 (1995-1999 年合計, 事故関与者数 22234 人)

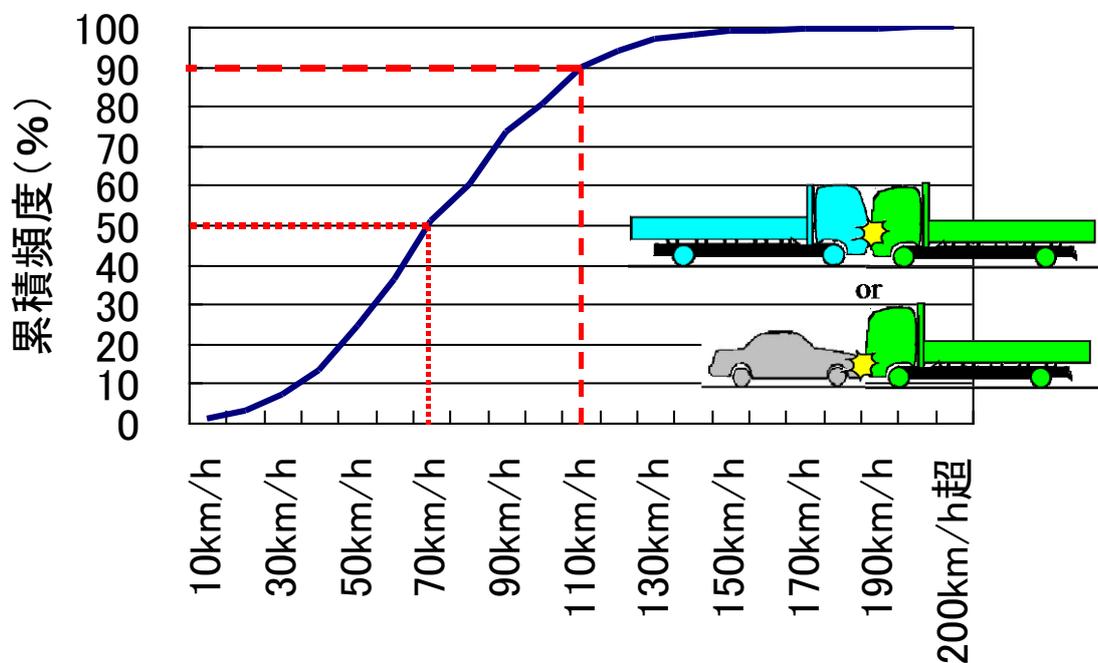


図 8.7 大型トラックの正突死傷事故での危険認知相対速度の累積頻度
 (1995-1999 年合計, 事故関与者数 11160 人)

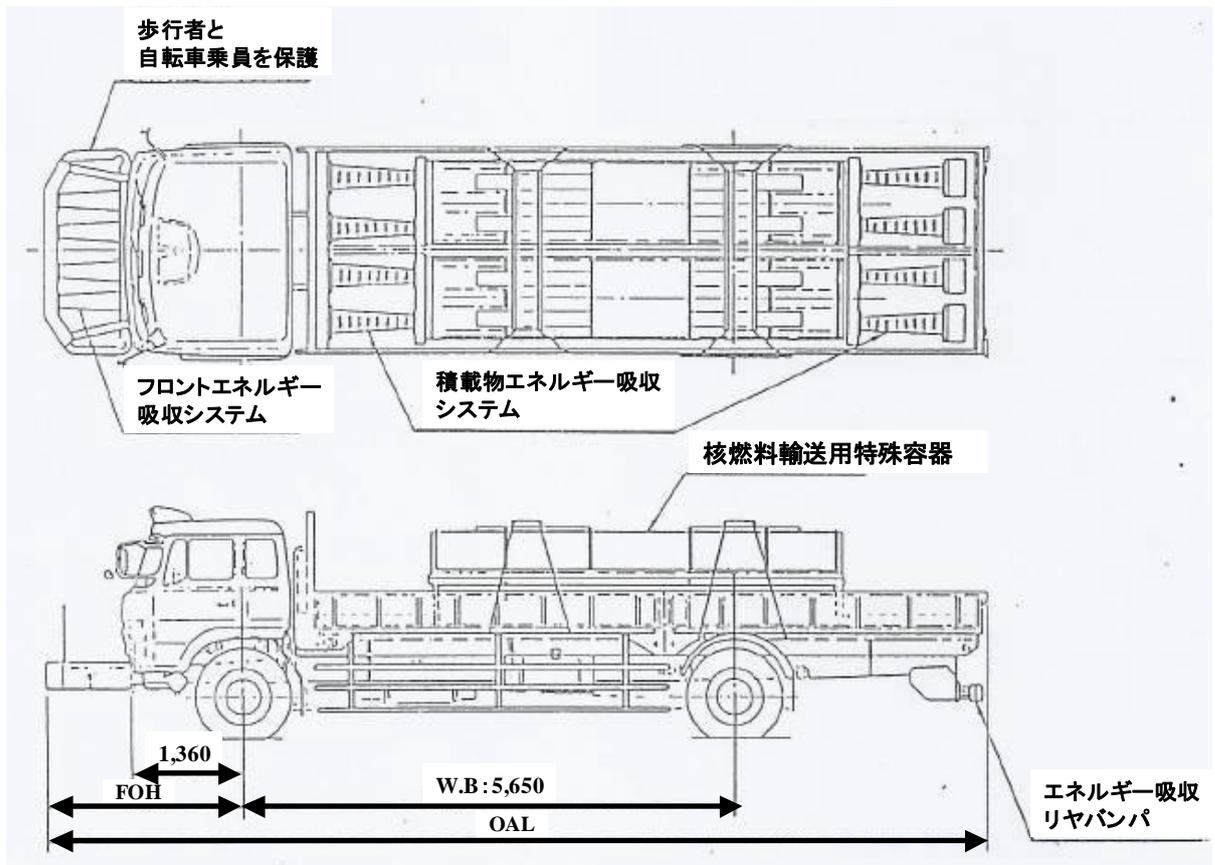
8.3 NFST の衝突安全システムの構成

NFST に装備した衝突安全システムの構成を図 8.8 に、NFST と従来型の大型トラックとの主要諸元の比較を表 8.1 に示す．NFST は、フロントエネルギー吸収システムと積載物エネルギー吸収システム、エネルギー吸収リヤバンパによって、衝突時の衝撃から乗員および積載物を保護する．

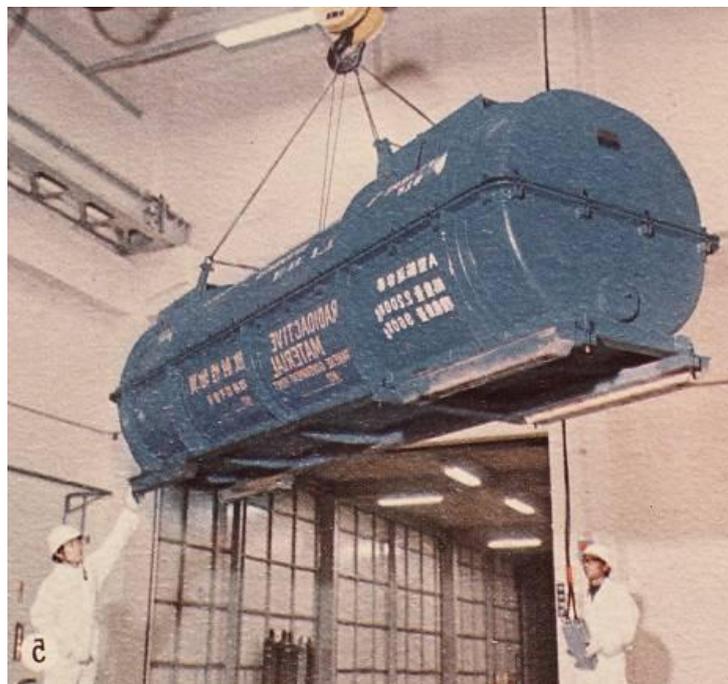
フロントエネルギー吸収システムを図 8.9 に示す．このシステムは、車体前面部が衝突した際に、衝突相手車両からの衝撃を緩和し、キャブ内の乗員の保護や車体本体に入る衝撃を低減する．なお、本システムは、リンク機構によって斜め方向の衝突等でも確実にエネルギー吸収を行うことができる．

積載物エネルギー吸収システムを図 8.10 に示す．このシステムは、積載物を前後ではさむように配置され、衝突時には本システムが衝撃を吸収して変形することで、積載物への衝撃を緩和する．先述のフロントエネルギー吸収システムが緩和した衝撃を、本システムが更に緩和することになるので、積載物に伝わる衝撃はより一層低減されることになる．なお、本システムにはさまれている積載物は、本システムの変形に合わせてある程度移動できるようになっており、これによって衝撃をもっと低減する、ただし、積載物の拘束を緩すぎる状態にするのは危険なので、本システムの積載物もワイヤーで拘束するようにして、その挙動が制限されるようにしている．

なお、エネルギー吸収リヤバンパについては、第 7 章で述べたので本章では論じない．

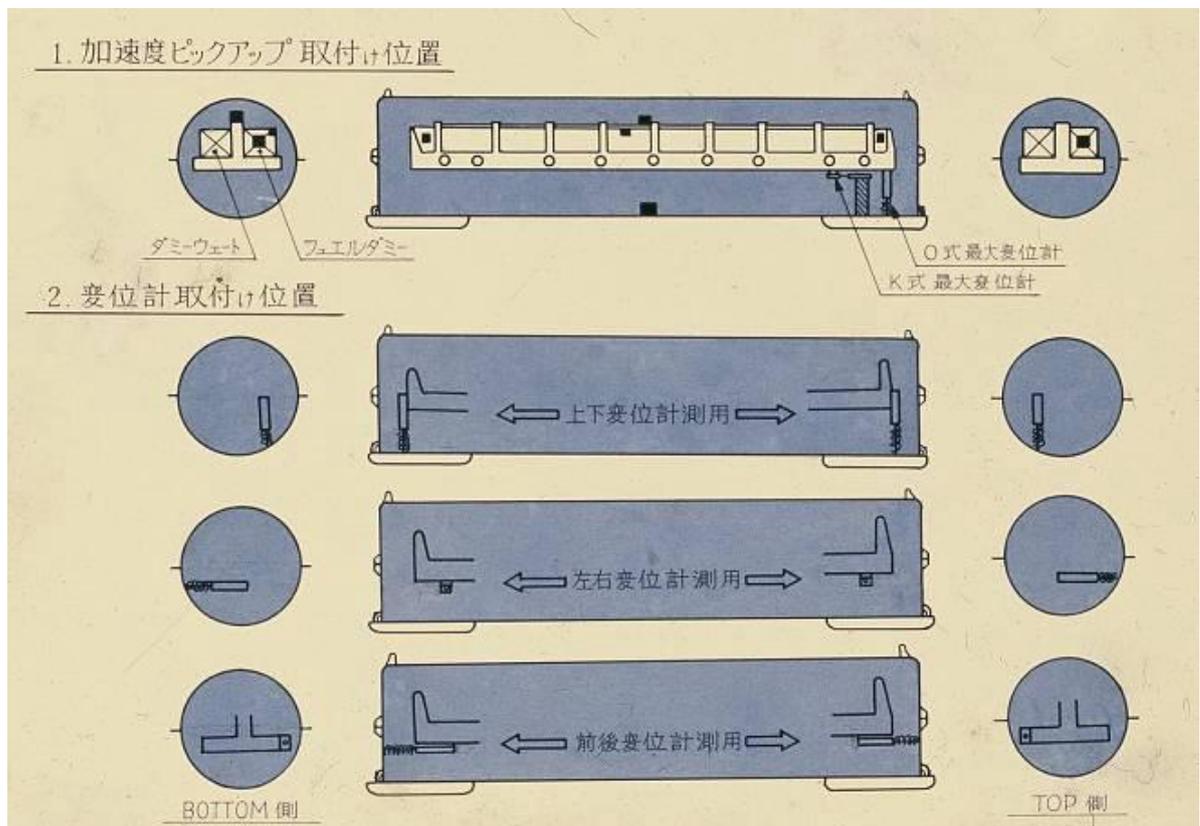


(a) NFST の概要図



(b) NFST が積載する核燃料輸送容器

図 8.8 NFST の概要および装備した衝突安全システムの構成 (その①)



(c) 核燃料輸送容器の衝突試験用計測装置取り付け位置

図 8.8 NFST の概要および装備した衝突安全システムの構成（その②）



(d) NFST（核燃料輸送容器を積載前の状態）



(e) NFST（核燃料輸送容器を積載した状態）

図 8.8 NFST の概要および装備した衝突安全システムの構成（その③）

表 8.1 NFST と従来型の大型トラックとの主要諸元の比較

	従来型の大型トラック	NFST	差
FOH (フロントオーバーハング) (mm)	1400	2250	850
OAL (オーバーオールレングス) (mm)	9925	10775	850
車両本体のみの重量 (kg)	7233	8742	1509
積載物 (kg)	5703	5731	28
車両総重量 (kg)	12936	14473	1537



図 8.9 フロントエネルギー吸収システム

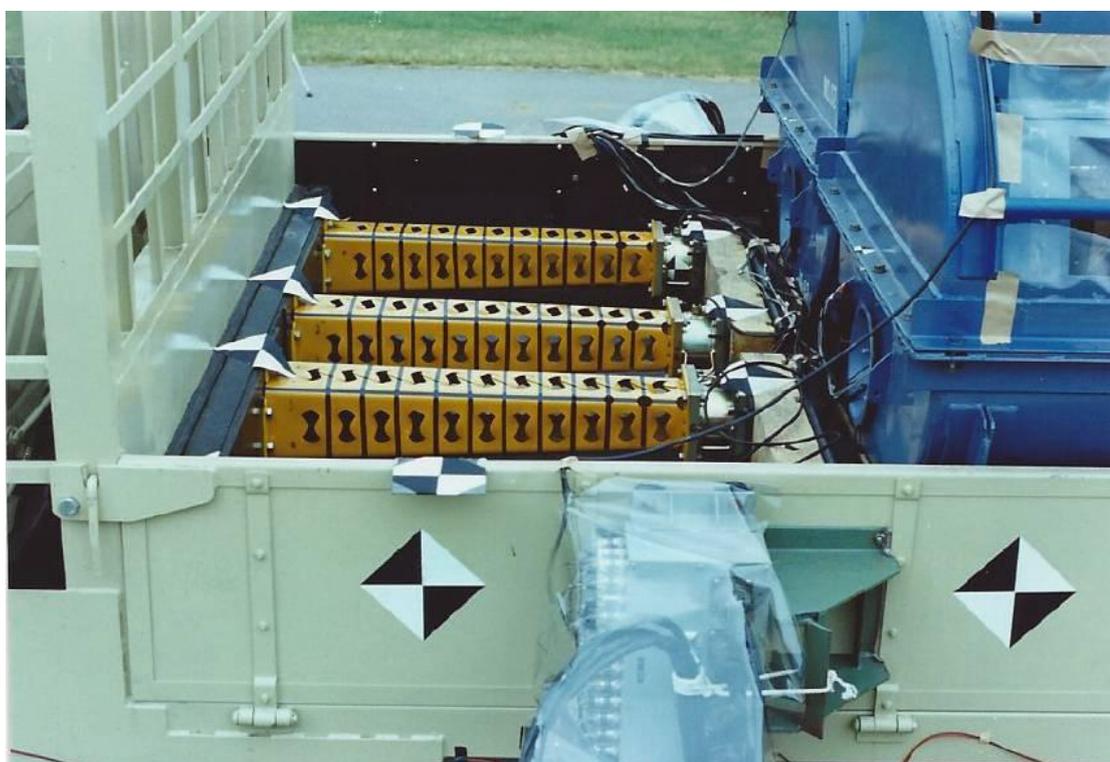


図 8.10 積載物エネルギー吸収システム

8.4 固定バリア衝突試験

NFST が装備した衝突安全システムの効果を確認するため、追突ならびに正突事故の累積頻度の約 5 割に当たる速度、30km/h で固定バリアに衝突させる試験を実施した。また、比較のため、従来型の大型トラックでも同じ条件で固定バリアに衝突させる試験を実施した。なお、第 6 章では SCT を複数の「位置次元衝突・質量－線形ばね」から構成される計算モデル（図 6.9，表 6.1，式 6.1 参照）に置き換えて衝突時の「荷重－変位」特性等の計算シミュレーションを行ったが、NFST についても同様な計算シミュレーションを実施した。

本研究の衝突試験では、万が一の放射能漏れを考慮し、積載する核燃料輸送用特殊容器の中には、実際の核燃料集合体の代わりにダミー燃料として鉛を入れることで重量を合わせるようにした。今回の試験では核燃料輸送用特殊容器内のダミー燃料（鉛）に加速度計を取り付けた。更に、核燃料輸送用特殊容器の内部に高速度カメラを取り付け、容器内部の挙動を観察するようにした。

また、乗員保護に関しては、NFST キャブ内の運転席及び助手席それぞれに HYBRID II ダミーを乗車させ、3 点式シートベルトで拘束して衝突時の挙動を観察、安全性の評価を行った。

積載物の保護に関しては、衝突時の衝撃が NFST に取り付けられた各種のエネルギー吸収システムによって低減され、核燃料輸送用特殊容器に入った段階で容器内の核燃料が損傷しない程度、すなわち 59m/s^2 [6G]未満にまで緩和できるようになっているかどうかを、固定バリアに取り付けたロードセルや、積載物エネルギー吸収システムと核燃料輸送用特殊容器の間に取り付けたロードセルから計測するようにした。

30km/h での固定バリアへの衝突における車体の変形状況を図 8.11 に、フロントエネルギー吸収システムおよび積載物エネルギー吸収システムの変形状況を図 8.12 に示す。また、衝突時の車体変形についての「変形量－時間曲線」、ダミー燃料に取り付けた加速度計から計測した核燃料集合体の「減速度－時間曲線」、トラック車体の骨格部材であるフレームについての「フレーム減速度－時間曲線」、固定バリアに取り付けたロードセルから計測した「バリア荷重－時間曲線」それぞれを図 8.13 に示す。

なお、今回の試験結果から確認できた、本研究での NFST の開発目標、すなわち、「積載物保護」、「乗員保護」および「他車との衝突相互安全性 (Compatibility)」に関する評価は以下の通り。

(1) 積載物保護

フロントエネルギー吸収システムは 425mm 変形し、積載物エネルギー吸収システムは 760mm 変形した(図 8.12)。NFST では、これらの分だけ、衝撃が緩和されることになるので、車体減速度は従来型の大型トラックの減速度の 1/2 以下となり、その結果として核燃料に加わる衝撃は、核燃料集合体の品質保全目標値 $59\text{m/s}^2[6\text{G}]$ を下回る $54\text{m/s}^2[5.5\text{G}]$ とすることができた。なお、従来型の大型トラックでは、核燃料に加わる衝撃は、核燃料集合体の品質保全目標値を上回り、積載される核燃料集合体は輸送容器へ激突することになるため、積載した核燃料の品質は損なわれる。

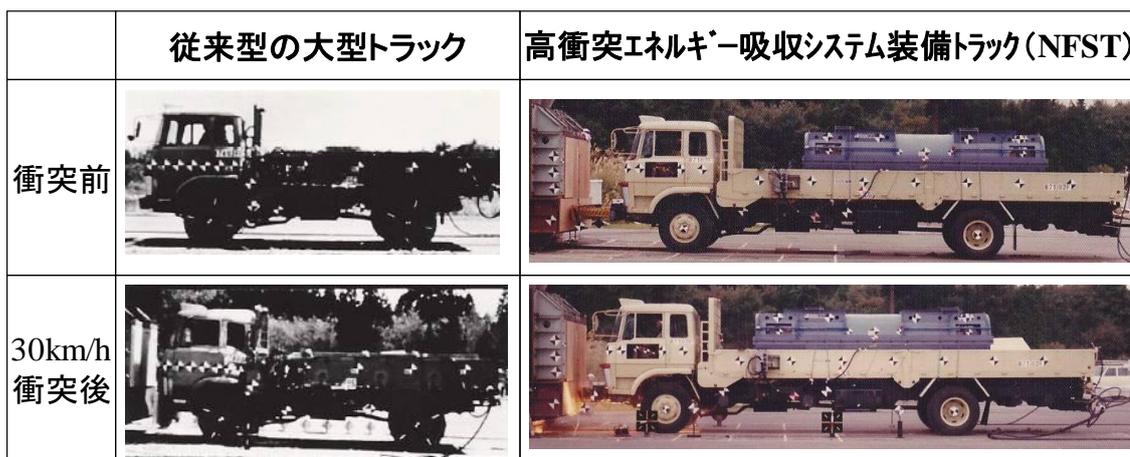
(2) 乗員保護

運転席および助手席乗員の安全性は、3 点式シートベルトで拘束した HYBRID II ダミーから評価した。NFST の衝突試験結果は、従来型の大型トラックの衝突試験結果に比べ、車体およびキャブの減速度が共に 1/2 以下に低減することができ、乗員の胸部 G も $598\text{m/s}^2[61\text{G}]$ から $186\text{m/s}^2[19\text{G}]$ と、46% も低減することができた。一方、従来型の大型トラックでは、インストゥルメントパネル類のような前部構造物等の衝突時の車体変形による後方移動と、荷箱および積載物の前方移動による運転席後面からの変形により、乗員の生存空間は減少した。

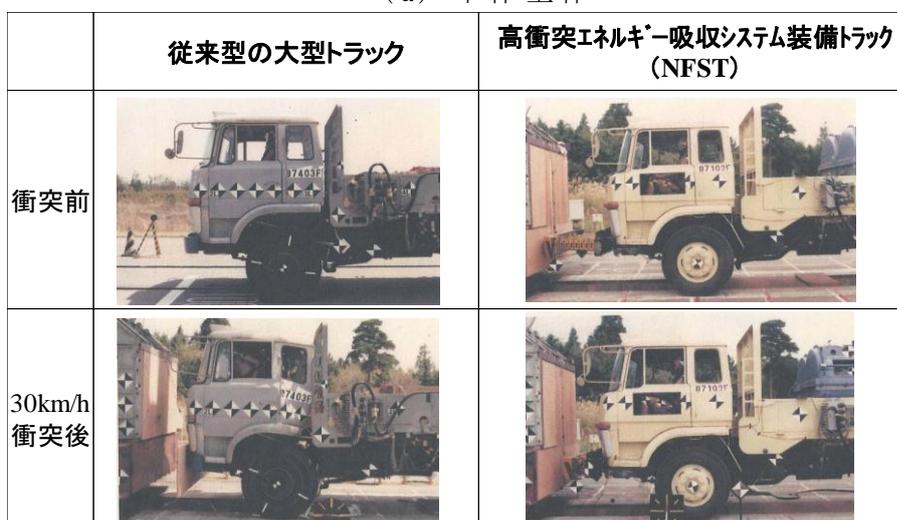
従来型の大型トラックに搭載した HYBRID II ダミーは、3 点式シートベルトで拘束されているので、乗員の損傷値は比較的低くなっているが、もし、無拘束時や 2 点式シートベルトを使用した場合には、重傷又は致命的なものとなることが推測できる。従来型の大型トラックの衝突による車体変形は大きく、外観は損なわれドアもキャブの変形により開閉が困難となった。これに対し、NFST で各部に装着したエネルギー吸収システムが機能することによって、車体本体の変形は無く、ドアも開閉を自由に行うことができた (図 8.12)。

(3) 他車との衝突相互安全性 (Compatibility)

NFST の前面衝突時の衝撃力は、従来型の大型トラックの 56% ,すなわち、中型トラックを剛壁バリアに衝突させた場合の衝撃力と同等になったことで、自車よりも小さい車両への加害性は低減した。更に、運転席より前方へ突出したフロントエネルギー吸収システムによって、もし、核燃料輸送トラック (NFST) 同士の追突事故が発生した場合でも、積載物および乗員は保護される。



(a) 車体全体

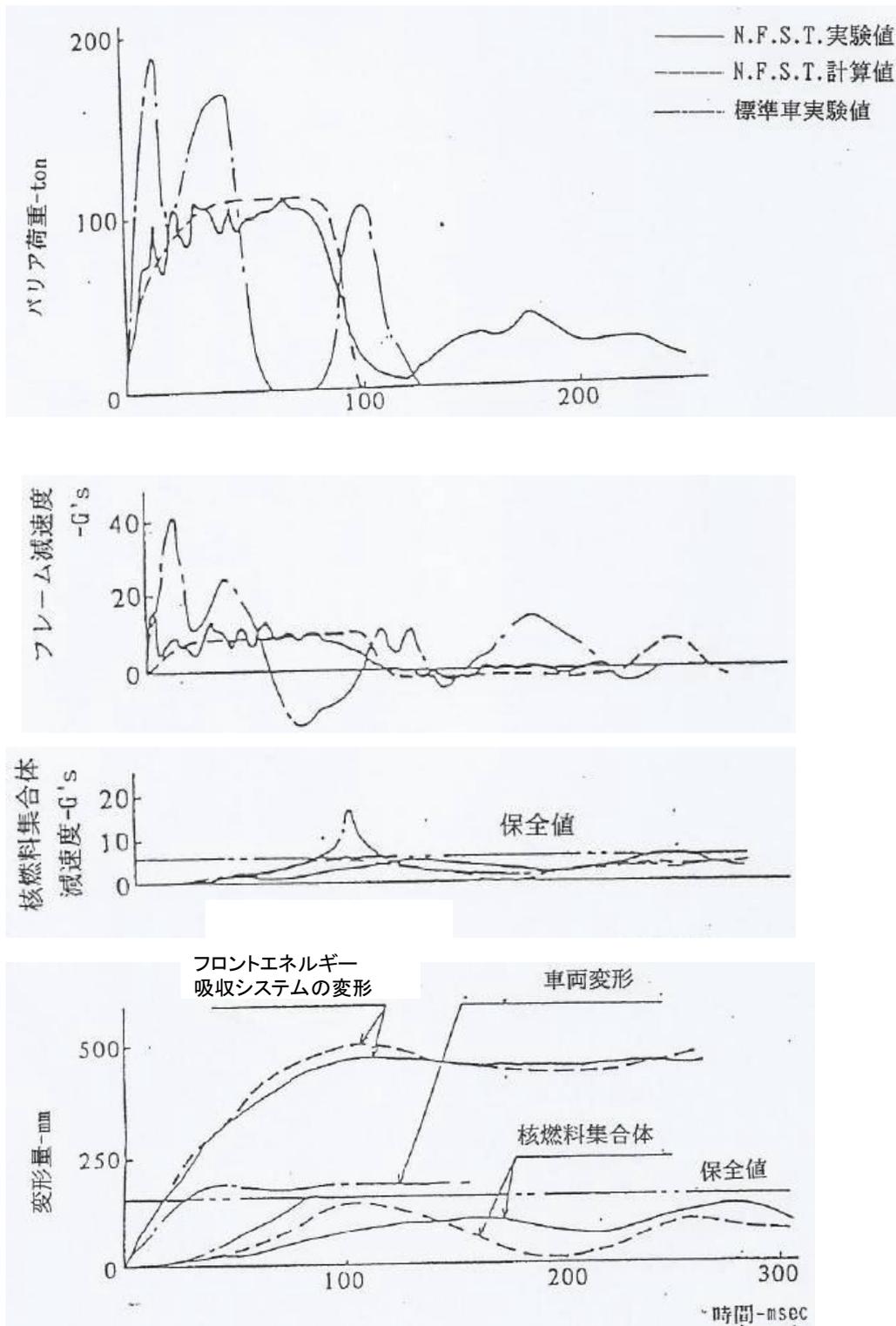


(b) キャブ周辺

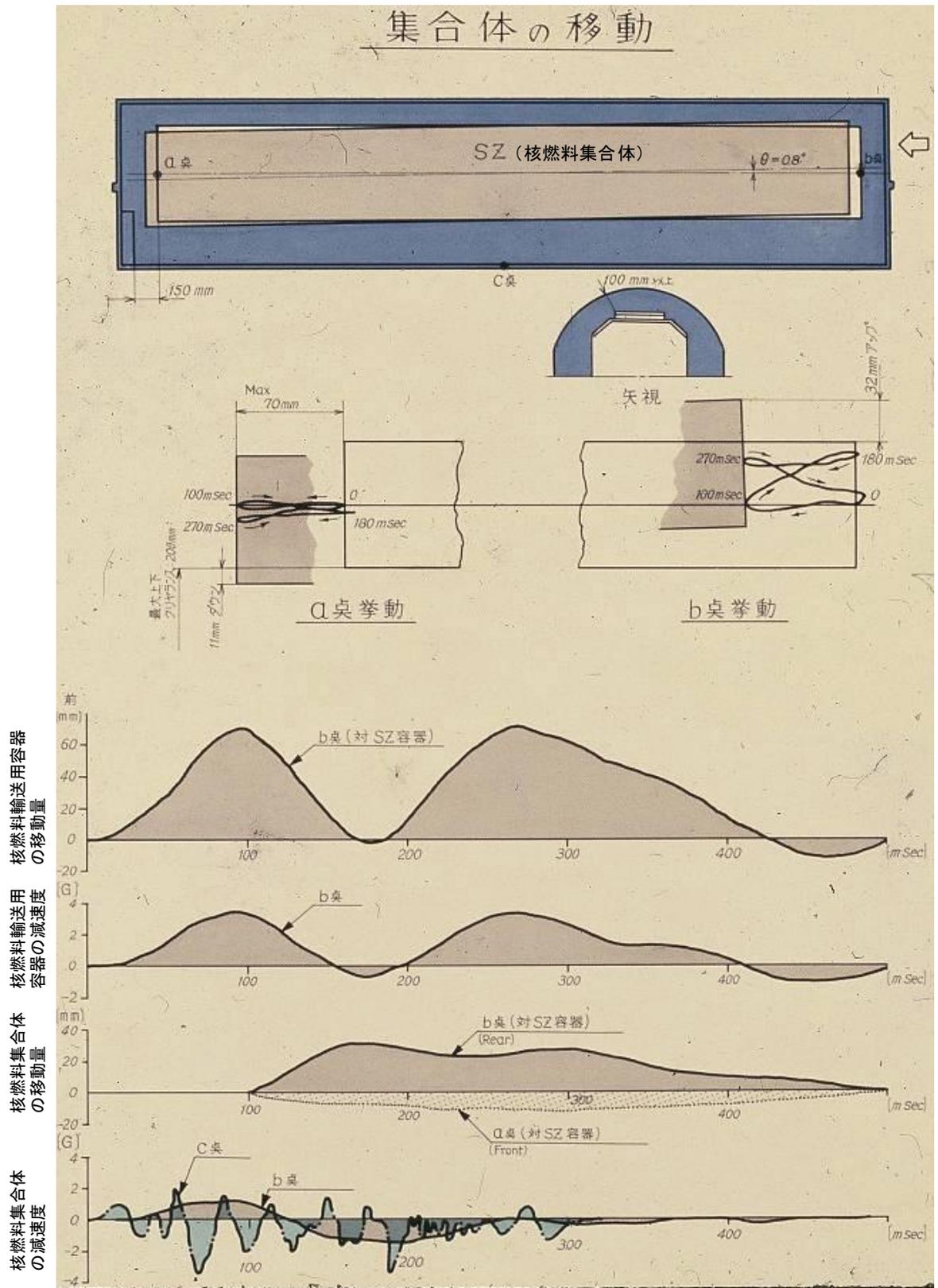
図 8.11 30km/h での固定バリアへの衝突における車体の変形状況



図 8.12 フロントエネルギー吸収システムおよび積載物エネルギー吸収システムの変形状況



(a) バリア荷重, フレーム減速度, 核燃料集合体 (核燃料輸送用容器の中身) 減速度, 車体各部変形量
 図 8.13 30km/h での固定バリアへの衝突における各部測定結果 (その①)



(b) 核燃料輸送用容器および容器内の核燃料集合体の移動量と減速度

図 8.13 30km/h での固定バリアへの衝突における各部測定結果 (その②)

8.5 第 8 章のまとめ

大型トラックは、その車両総重量の大きさから事故発生時の衝撃も大きく、従来は乗員あるいは積載物の保護は、ほとんど不可能なものと考えられていた（特にキャブオーバー型トラック (Forward Control Vehicle)）。高衝突エネルギー吸収システム装備トラック (NFST) は車体各部にエネルギー吸収システムを装着することによって、「積載物の保護」や「乗員の保護」、「自車よりも小さい車両への加害性の低減」といった開発目標を達成することができた。

30km/h バリア衝突での従来型の大型トラックとエネルギー吸収システム装備トラックの比較を表 8.2 に示す。

(1) 積載物保護

固定バリアへの 30km/h 衝突では、核燃料集合体に加わる減速度を、従来型の大型トラックの 1/3 以下に低減、積載物の品質保全の目標値 $59\text{m/s}^2[6\text{G}]$ を充分クリアした。なお、第 7 章でも述べた通り、セダン型乗用車からの被追突時の乗用車乗員への加害性も十分に低減できたことから、エネルギー吸収システムは、大型トラックの衝突安全性を向上させる、優れた装備とすることができる。開発したシステムは、衝突時の衝撃を吸収することができることから、爆発物、水素、LNG、LPG 等をはじめとする危険物の運搬にも応用できる。更には、ラジオアイソトープをはじめとする放射性物質の運搬や、絵画や彫刻等といった高価な芸術品の運搬にも応用できると考えている。

(2) 環境保護

本章での NFST の衝突試験では、装着された衝突エネルギー吸収システムの効果により、試験後の核燃料輸送用特殊容器およびその内部に収納された核燃料集合体共に何ら異常は認められなかった。なお、核燃料輸送用特殊容器自体は、IAEA 規制の 9.1m 落下試験 (50km/h 固定壁衝突相当)、直

径 15cm，高さ 20cm の鋼棒への貫通試験，そして耐熱試験に合格する様に製作されているが，核燃料が漏れることによる環境への悪影響は甚大なものであり，少しでも多くリスクを減らすことが重要であることから，エネルギー吸収システムは，環境保護にとっても有効なシステムといえることができる。

(3) 乗員保護

固定バリアへの 30km/h 衝突において，従来型の大型トラックではキャブが損壊，乗員の生存空間も潰されることから，3 点式シートベルトで拘束されていても，乗員は大きな傷害を受けると考えられる。一方，NFST のキャブは，外観を損なわず，乗員の生存空間も衝突前と全く同じであった。また，車体減速度についても従来型の大型トラックでは 402m/s^2 [41G]であったものが，NFST では半分以下の 186m/s^2 [19G] に低減している。すなわち，NFST の乗員の傷害は少ないものと推測される。また，NFST はドアの開閉も自由に行うことができたことから，事故時の乗員救出性でも優れている。

(4) 自車よりも小さい車両への加害性の低減

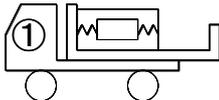
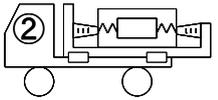
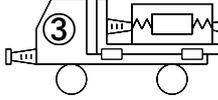
固定バリアへの 30km/h 衝突において，従来型の大型トラックのバリア荷重は 1863kN [190ton]であったが，NFST のバリア荷重は 1049kN [107ton]と半分近くまで低減した。この値は，車両総重量 49kN [5ton]車の 30km/h 衝突とほぼ同じ値であり，大型トラックでありながら，中型トラックと同等まで自車よりも小さい車両への加害性を低減できたといえる。

(5) NFST の実用化

NFST が装着するエネルギー吸収システムは，比較的簡単な構造であり，かつ軽量でエネルギー吸収量も大きく，安価で破損時の交換時間も非常に短い。なお，第 7 章で述べたエネルギー吸収リヤバンパについては，1977 年 6 月より市場に出荷している。本章で述べた核燃料安全輸送車は，1980 年より実用化を進め，1986 年までに 25 台生産，毎年 100,000km

以上無事故走行を続けている．NFST のこれからの課題は，本研究では扱わなかった側面衝突や横転等について，研究を進めていくことと考えている．

表 8.2 30km/h バリア衝突での従来型の大型トラックとエネルギー吸収システム装備トラックの比較

		従来型の 大型トラック	エネルギー吸収ユニット搭載トラック	
			リヤボディー	高衝突エネルギー 吸収システム
				
荷台の保護	荷台減速度 (G)	16 (100)	8 (50)	5.5 (34)
	キャブ変形量 (mm)	114 (100)	112 (93)	0 (0)
乗員保護	キャブ減速度 (G)	41 (100)	35 (85)	19 (46)
	乗員の傷害	致命傷	重傷	軽傷
加害性の低減	バリア荷重 (t)	190 (100)	172 (90)	106 (56)

(): 通常型の大型トラックでの数値を100とした場合の比較値

第9章

大型自動車の総合的な安全性の研究の成果

9.1 予防安全・衝突安全それぞれの成果

本研究では、従来の大型自動車の開発設計では十分に検討されなかった、予防安全に関する課題、すなわち、運転視界に関する直接視界、間接視界および濡れた路面走行時に跳ね上げた水しぶき（トラックスプレイ）からの後続車両の視界確保と、衝突安全に関する課題、すなわち、衝突時の乗員保護、自車よりも小さい車両との衝突における相手車両との相互安全性（Compatibility）および積載物の保護を対象として、運転視界と衝突安全の両面から総合的な安全性の向上を研究した。また、大型自動車の実験車を開発、実車を用いた実験を行い、安全性の向上を確認した。その際に、従来必ずしも充分には検討されていなかった実験方法や評価方法の検討も併せて行い、その確立を図った。

具体的には運転視界と衝突安全の向上に関して以下の成果を得た。

1) 予防安全に関して

本研究では、大型車の運転者にとって、安全確認し易い視界および運転し易い視界について、直接視界と間接視界の両方から研究を行った。

直接視界については、静止状態での大型車の運転者にとって安全確認し易い最適視界の検討を行うことによって、視認性を改良した「フード先端を低くしたボンネットトラック」が研究のスタートとなった。更には、従来は感覚的なものでしかなかった走行速

度, 視界と快適感の関係を定量的に評価できるようにした. すなわち, 「運転者の視覚にとっての角速度 ω 」と「運転者にとっての運転し易さのフィーリング」との間には, $\omega \leq 2.0(\text{rad/sec})$ の場合は「快適 (Comfortable)」, $2.0 < \omega \leq 4.0(\text{rad/sec})$ の場合は「不快適 (Uncomfortable)」, $4.0 < \omega(\text{rad/sec})$ の場合は「恐怖 (Very uncomfortable)」といった関係があることを, 世界で初めて明らかにした.

また, 間接視界については, バックミラーやアンダーミラー等の間接視界装置の視界量だけで視認性の良し悪しを論ずるのではなく, 間接視界装置に映った像歪と像の大きさを数値化し, 質的な面で改善を行った. さらに, 新たな間接視界装置としてペリスコープシステムを実用化した.

更に, 「トラックが濡れた路面を走行する際に跳ね上げた水しぶきが, 後続車の運転視界を妨害する」ことに対し, スプレー量と後続車両運転者の視界妨害度の関係を明らかにし, 泥水跳ね上げ防止装置「スカート+ゴムフラップ」を装着した試験車による走行試験を行い, スプレー量を1/10に低減できる可能性を示した.

2) 衝突安全に関して

本研究では, 従来は「衝突安全対策が困難」と考えられていた中型トラックや大型トラックのような「大型貨物車」に対し, 板金製の角錐の側面や角部に穴を空けることによって衝突時の初期ピーク荷重が少ない理想的な荷重-変位特性を有し, (板厚やストローク量, 大きさ等を変更することにより) 衝撃吸収量を容易に設定出来る「衝突エネルギー吸収システム」を考案, 中型トラックや大型トラックのフロントバンパやリヤバンパ, 荷箱等といった衝突時に多くの荷重が入る部位それぞれに適正な数や大きさの「衝突エネルギー吸収システム」を最適な組合せとなるように装着させることによって「大型貨物車」に適した衝突安全対策を具現化した (積載物の保護は世界初).

すなわち, 中型トラックをベースにした衝突安全コンセプトトラック (SCT) および高衝突エネルギー吸収システム装着トラック (NFST) を開発し, 「乗員保護」, 「積載物保護」, 「自転車よりも小さい車両への衝突時の加害性の低減 (衝突相互安全性の確保)」, 等といった各種の衝突安全対策を実現することができた.

なお, 本研究で開発したNFSTは初年度15台を製作し, その後10年毎に10台ずつ入れ替えるという方式で, 1980年から実際に核燃料輸送に使用, 毎年100,000km以上無事故で走行している.

9.2 大型自動車の総合的な安全性について

大型自動車は事故を起こした際の被害・加害共に甚大であることから、「事故を起こさない」ための予防安全と「事故を起こした際の被害を軽減する」ための衝突安全を併せて考え、評価法や安全性を考えていく必要がある。本研究における大型自動車の総合的な安全性の研究の成果を図 9.1 に示す。9.1 節で述べた通り、本研究では、予防安全と衝突安全の両面から総合的な研究に取り組むことによって、新たな評価法や安全対策を考案、実用化した。これらの研究成果を十分に考慮して両面から対策を取ることで、大型自動車の総合的な安全性の向上に資することができる。

本研究に関する主な原著論文 14 編の内容と上述の安全対策を考慮すべき各項目の関係を表 9.1 および表 9.2 に示す。本研究に関する原著論文 14 編は、大型自動車にとって安全対策を考慮すべき各項目を研究したものであり、本研究を大型自動車の今後の安全性を向上させていく礎として、さらなる研究へ発展させていきたい。

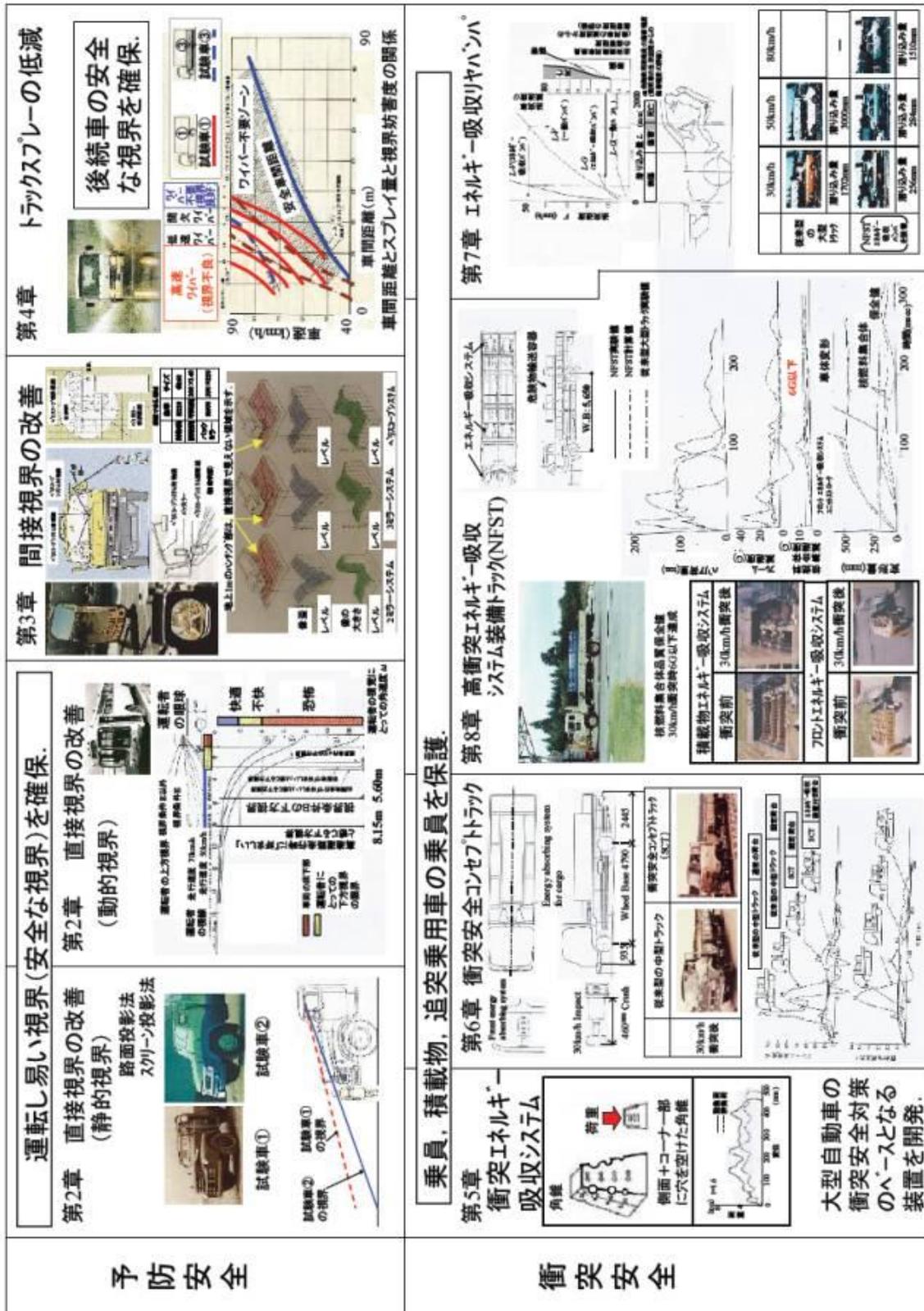


図9.1 本研究における大型自動車の総合的な安全性の研究の成果

表 9.1 本研究に関する原著論文（運転視界に関する研究）と安全対策を考慮すべき各項目

1. 運転視界に関する研究 ◎:査読付き国際会議 ○:査読付き国内論文集 ●:研究のスタートとなった社内技報	予防安全 Active Safety				衝突安全 Passive Safety					備考	
	運転視界				対歩行者	乗員	車体	積載物	共存乗性用車		環境
	直接		間接								
	S	D	S	D							
[1] “Development of Periscope mirror System”, JSAE Review 1983, SITTEV Technical Symposium 1984, Hiroshi Sato, Akira Yamanaka, Tsutomu Kondo (Mitsubishi Motors Corp). Makoto Yamashita, Mikio Matuszaki, Kumio Akizuki, Ichiko Industries.	○	○	○	○	○	○	○		○	○	第3章
[2] “Evaluation and Improvement of Indirect Visibility in Circumferential area of Commercial Vehicle” 9th ESV (Experimental Safety Vehicles) Feb. 1983. Hiroshi Sato, Akira Yamanaka, Tsutomu Kondo (Mitsubishi Motors Corp), Makoto Yamashita, Mikio Matuszaki, Kunio Akizuki (Ichiko Industries).	○	○	○	○	○	○	○		○	○	第3章
[3] “ペリスコープミラーシステムの開発” JARI自動車研究 Vol. 4, No. 6 1982 佐藤宏, 山中旭, 近藤勉(三菱自動車工業(株)), 山下真, 松崎幹雄, 秋月邦雄 (市光工業(株))	○	○	○	○	○	○	○		○	○	第3章
[4] “車輛周辺の間接視界の評価と向上” 自動車技術会論文集 No.22 1981, 1981年5月, 佐藤宏, 山中旭, 近藤勉(三菱自動車工業(株)), 山下真, 松崎幹雄, 秋月邦雄(市光工業(株))	○	○	○	○	○	○	○		○	○	第3章
[5] “Measurements and Control of Truck spray on wet Roads” 16th FISITA 1976 in Tokyo, May 1976, Akira Yamanaka, Naofumi Nagaiki, Mitsubishi Motor Corp.		○		○	○	○	○		○	○	第4章
[6] “ぬれた路面におけるトラックスプレイの測定と低減” 三菱重工技報 1976 Vol. 13, No. 3, May 1976, 山中旭, 永池直文 (三菱自動車工業(株)).		○		○	○	○	○		○	○	第4章
[7] “Dynamic Visibility of motor Vehicles”, SAE in Deteroit, May, 1970, 1970 SAE Transactions, Akira Yamanaka, Mitsubishi Motors Corp, Minoru Kobayashi, National Research Institute of Police Science.	○	○	○	○	○	○	○		○	○	第2章
[8] “Dynamic Visibility of Motor Vehicles”, 13th FISITA 1970 in Brussels, June 1970, 1970 International Automobile Safety Conference Compendium, Akira Yamanaka, Mitsubishi Motors Corp, Minoru Kobayashi, National Research Institute of Police Science.	○	○	○	○	○	○	○		○	○	第2章
[9] “自動車走行時の視界の研究” “Dynamic Visibility Test of Motor Vehicles”, 三菱重工技報 Vol. 2, No4 三菱重工英文技報, 1965年4月, 1966年, 小林実(科学警察研究所), 山中旭 (三菱自動車工業(株)).	○	○	○	○	○	○	○		○	○	第2章
[10] “三菱ふそう大型トラック視界試験” 三菱日本重工技報 Vol. 4, No. 1, 1963年1月, 山中旭(三菱自動車工業(株)).	○		○		○	○	○		○	○	第2章

表 9.2 本研究に関する原著論文（衝突安全性に関する研究）と安全対策を考慮すべき各項目

2. 衝突安全性に関する研究 ◎:査読付き国際会議 ○:査読付き国内論文集 ●:研究のスタートとなった社内技報 S:静的 D:動的	予防安全 Active Safety				衝突安全 Passive Safety					備考	
	運転視界				対歩行者	乗員	車体	積載物	共存乗用車		環境
	直接		間接								
	S	D	S	D							
[11] “The Research and Development of Safety Transporter for Dangerous Goods and it’s Evaluation”, 26th FISITA 1996 in Praha, June 1996, Naofumi Nagaïke, (Mitsubishi Motors Corp), Masao Suga(Mitsubishi Research Institute, Inc), Motoshige Sato(Mitsubishi Nuclear Fuel Co, Ltd), Akira Yamanaka(Advanced Research Center for Science and Engineering, Waseda University).	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	第5章 第7章 第8章
[12] “The Research and Development of Nuclear Fuel Safety Transporter and its Evaluation”, 21st FISITA 1986 in ,Belgrade, June 1986, Akira Yamanaka(Mitsubishi Motors Corp), Motoshige Sato(Mitsubishi Nuclear Fuel Co, Ltd), Naofumi Nagaïke(Mitsubishi Motors Corp).	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	第5章 第7章 第8章
[13] “The crash test of Medium duty Truck”, 17th FISITA 1978 in Budapest, 3rd-6th, June 1978, Akira Yamanaka, Naofumi Nagaïke(Mitsubishi Motors Corp).	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	第5章 第6章 第7章
[14] “トラックの安全リアバンパ”, 三菱重工技報 Vol. 14, No. 4, 1977, 1977年7月, 山中旭, 菊池俊輔, 永池直文(三菱自動車工業(株)).						○	○	○	○	○	第5章 第6章 第7章 第8章

第 10 章

結 言

10.1 本研究のまとめ

1) 予防安全に関して

視界については，人間工学，交通工学，自動車工学，その他各分野が協力し，安全かつ快適な視界を検討することによって，より一層の安全性の向上を図るべきであると考え．本研究で明らかにした，安全確認し易い視界，道路環境に応じた運転し易い視界，更には左折時の安全確認をし易くするペリスコープシステムのような間接視界装置をトラックやバスの基本設計に取り入れることで，大型車が関与する交通事故をより一層低減させていきたい．また，トラックが濡れた路面を走行した際に，泥水を跳ね上げることで後続車の視界を妨害するトラックスプレイの問題については，泥水跳ね上げ防止装置「スカート＋ゴムフラップ」を装着することで，スプレイの量を大幅に低減できる見通しは立てたが，この対策は研究レベルのものである．今後は，トラックの実用性を損なわずにスプレイ発生量を低減させる方策を考えていきたい．

2) 衝突安全に関して

本研究で開発したエネルギー吸収システムは、構造が簡便、かつ、高性能、軽量で信頼性が高く、低コストで衝突エネルギー吸収量を目標値に容易に設定できる。また、衝突後の交換も容易である。例えば、第 6 章で述べた衝突安全コンセプトトラック (SCT) のように、30km/h 衝突での車両前方への衝突から 5km/h での後退時のトラックターミナルへの衝突まで、幅広い用途で使用することができる。このようなことから、本エネルギー吸収システムは、トラックの衝突安全性の向上から高速道路用作業車の追突緩衝装置に実用化されており、衝突安全性の向上に貢献している。なお、鉄道においても、本エネルギー吸収システムは新交通システム車両の衝突安全装置に既に採用されているが、今後は一般鉄道への応用も図りたい。

10.2 大型自動車の総合的な安全性に関する提言

1) 総合的な安全性に関する提言について

前節で述べた通り、本研究では、大型自動車の設計・開発では、従来は十分に検討されなかった、極めて重要である、事故を回避するための予防安全の最も基本となる運転視界の向上、および衝突が回避できない場合の衝突安全性の向上をそれぞれ、いろいろな面から研究・検討を行い、それらを統合した実車を開発して試験を行い、理論面と実験面の両面から総合的な安全性の向上を得ることができた。

大型自動車の安全対策を考えていくにあたっては、本研究で取り組んできたように、予防安全および衝突安全をよく整理し、総合的な安全対策を考えることが重要である。すなわち、予防安全については、直接視界、間接視界、およびこれらを向上させることによって達成できる、大型自動車から発見しづらい小さな対象物、例えば歩行者や自転車等を発見しやすくさせること（視認性向上による対歩行者保護）、衝突安全については、自転車乗員の保護、乗用車のような自転車よりも小さい車両との衝突時の相互安全性

(対乗用車共存性), および衝突時の衝撃等から荷物の品質を守る積載物保護, さらには事故を未然に防ぐことによる環境保護, 事故を起こした際に大型自動車本体もしくは積載物等が周囲を汚染することを防ぐための環境保護, それぞれについて考慮した安全対策を考えることが大切である (図 10.1).

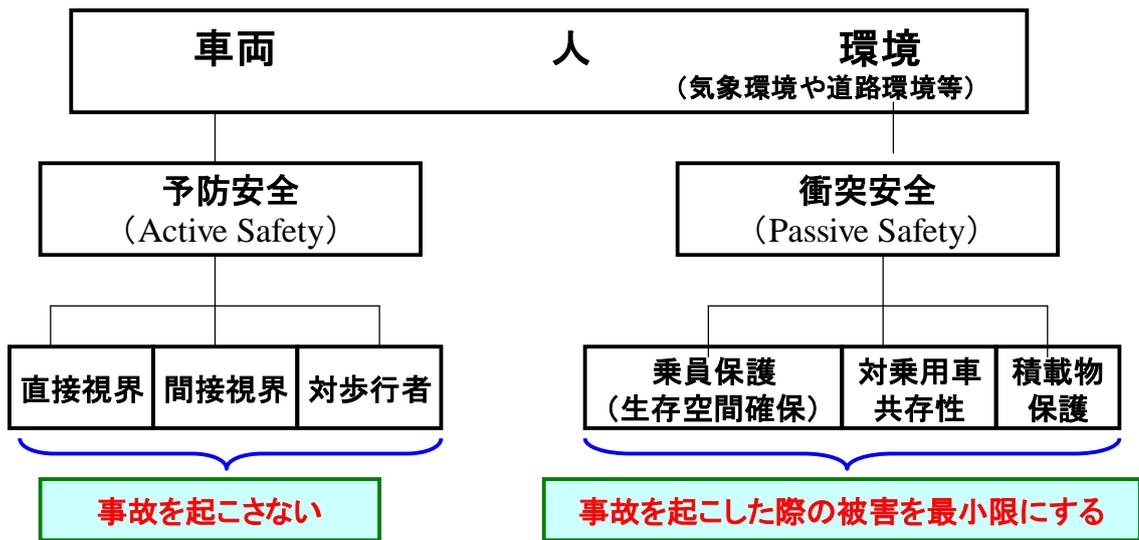


図 10.1 大型自動車の総合的な安全対策のための考慮すべき項目

謝 辞

本研究は、筆者が三菱自動車工業株式会社に在籍中に同社トラック・バス技術センターにて行ったものであり、本研究の実施に当たり、様々な面で協力していただいた同社社員の方々には、厚く御礼申し上げます。

また、本研究を進めるにあたり、精神的な支えとなる教えをいただいた早稲田大学理工学部 関敏郎名誉教授および様々なご助言をいただいた同大学理工学術院 斉藤孟名誉教授、国士舘大学 若林克彦名誉教授には、ここに心より感謝の意を表すと共に、厚く御礼申し上げます。

本論文を作成するにあたり、早稲田大学理工学術院 山川宏教授、ならびに同大学理工学術院 宮下朋之教授、大聖泰弘教授、国士舘大学理工学部 本田康裕教授には、御査読いただき、大変有益な御討論、御助言を賜りました。ここに深く感謝の意を表し、

厚く御礼申し上げます。

運転視界の向上と生産性の向上の両方を達成させた，三菱ふそう T330 型（1961 型）の開発生産を，当時入社数年の著者に認可いただいた，三菱自動車工業株式会社 岩崎寿男氏，同社トラック・バス技術センター 小林健次氏，入社以来 60 年近く公私に亘りご指導いただいた福田重一氏，同社 V.S.P.T.(Vehicle Safety Project Team) 永池直文氏，近藤勉氏，水野進氏，他の皆様，本研究に協力をいただいた方々，特に乗用車技術センター 三田村楽三氏には，第 4 章の車体周辺の気流を利用したスプレー飛散状況の計測手法について貴重なご助言をいただき，深く感謝致します。

第 2 章の自動車走行時の視界の研究では，皮膚電気反射 (P.G.R.) 等の人間工学測定機器の提供を始め数々のご指導をいただいた科学警察研究所の小林実氏に深く感謝致します。

三菱原子燃料株式会社 関義辰氏，同社 佐藤元重氏には，高衝突エネルギー吸収システム装着トラック (NFST) の開発に際し，原子燃料の扱いに関する様々のご助言をいただき，深く感謝致します。

なお，NSFT の安全性の評価を行うにあたり，数々の協力をい

ただいた三菱総合研究所 須賀雅夫氏に深く感謝致します。

また，本論文を作成するにあたり，ご協力いただいた早稲田大学理工学部大聖研究室の木村英男氏，国士舘大学理工学部 若林研究室をはじめ，その他学生諸君に御礼申し上げます。

なお，本論文の企画および構成，作成にあたり，非常に多忙な中でありながら，2年近くに亘り，指導，助言と並々ならぬご尽力をいただいた，三菱自動車工業株式会社 関根康史氏に深く感謝致します。

筆者

参 考 文 献

- (1) 神月章, トラック, 日本の自動車技術 20 年史, 自動車技術会創立 20 周年記念出版 (1969), pp.123-133.
- (2) 荘村, トラックの視界について, 自動車技術, Vol.17, No2, 1963.2, 自動車技術会(1963).
- (3) 山中旭, 三菱ふそう大型トラック視界試験, 三菱日本重工技報 Vol.4,No1,1963.1 (1963), pp.53-60.
- (4) 山中旭, 自動車の視界, 機械学会 730 回講演会”自動車交通およびその安全に関する講演会” 1965.3, 日本機械学会(1965).
- (5) 小林実, 山中旭, 他, 自動車走行時の視界, 自動車技術会学術講演会前刷集(1965).
- (6) 小林実, 山中旭, 他, 自動車走行時の視界研究, 重工技報 Vol.2, No.4, 1965.4 (1965).
- (7) Kobayashi, M., Yamanaka, A., Kobayashi, T., Hamajima, M., Dynamic Visibility Tests of Motor Vehicles, Mitsubishi Technical Review, Vol. 3, No.1, 1966.
- (8) Yamanaka, A., Kobayashi, M., Dynamic Visibility of Motor Vehicles, SAE, Detroit, 1970 SAE Transactions, SAE700393 (1970).
- (9) Yamanaka, A., Kobayashi, M., Dynamic Visibility of Motor Vehicles, 13th FISITA in Brussels (1970), pp.1324-1335.
- (10) 山中旭, 運転視界と環境, 自動車技術, Vol. 25, No. 5, 1973, 自動車技術会(1973), pp.520-528.
- (11) Yamanaka, A., Nagaike, N., Measurements and Control of Truck Spray on Wet Roads, 1976, 16th FISITA in Tokyo (1976).
- (12) 山中旭, 永池直文, ぬれた路面におけるトラックスプレイの測定と低減, 三菱重工技報 Vol.13, No3, 1976.5 (1976)
- (13) Yamanaka, A., Nagaike, N., Active Safety for Buses, International Journal of Vehicle Design, Vol.9, No.1 (1985).
- (14) Satoh, H., Yamanaka, A., Kondoh, T., Yamashita, M., Matsuzaki, M.,

- Akizuki, K., Development of Periscope Mirror System, JSAE Review, No.12 (1983), pp.483-493.
- (15) 佐藤宏, 山中旭, 近藤勉, 山下真, 松崎幹雄, 秋月邦雄, 車両周辺の間接視界の評価と向上, 自動車技術会論文集, Vol. 22, (1981), pp.57-65.
- (16) 佐藤宏, 山中旭, 近藤勉, 山下真, 松崎幹雄, 秋月邦雄, ペリスコープミラーシステムの開発, JARI自動車研究, Vol. 4, No. 6(1982).
- (17) Satoh, H., Yamanaka, A., Kondoh, T., Yamashita, M., Matsuzaki, M., Akizuki, K., Mitsubishi develops periscope mirror system for truck, SAE Automotive Engineering (1982).
- (18) R. A. C. Fosberry, M. A. B. Mills, Measurement of Driver Visibility and its Application to a Visibility Standard, The Institution of Mechanical Engineers Proceedings of the Automobile Division (1959-1960), No. 2.
- (19) 三田村楽三, 車はなぜ曲がるか? - 限界コーナリングのダイナミクス -, (2001), 全 173p, 山海堂.
- (20) 田久保宣晃, 藤岡健彦, 運転中の脇見行動に関する分析, 自動車技術会論文集, Vol. 34, No. 2(2003), pp.101-112.
- (21) 泉枝穂, 森実裕人, 黒田博司, 武長寛, 竹崎次郎, ミリ波レーダとカメラのセンサフュージョンによる走行環境認識, 自動車技術会論文集, Vol. 34, No. 2(2003), pp.95-100.
- (22) 津居隆之, 渥美文治, 金森等, 宮尾克, 高齢者の視覚特性を考慮した表示器の必要性能, 自動車技術会論文集, Vol. 33, No. 1(2002), pp.81-84.
- (23) 早見武人, 松永勝也, 志堂寺和則, 松木祐二, 車間距離情報の呈示による衝突防止方法の検討, 自動車技術会論文集, Vol. 33, No. 1(2002), pp.85-88.
- (24) 宇野宏, 新谷研二, 橋本健志郎, ドライバ向情報提供の統合的管理方法に関する考察, 自動車技術会論文集, Vol. 33, No. 1(2002), pp.89-94.
- (25) 米川隆, 村野孝彦, 阿賀正己, ドライビングシミュレータを用いた交

- 差点右折時の事故解析，日本機械学会第20回交通・物流部門大会講演論文集，No. 11-59(2011)，pp.363-366.
- (26) 加藤晋，自動運転・隊列走行システムのHMIに関する研究（第1報）－構築の基礎検討および危険回避の操作介入対応－，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 18-02(2002)，pp.134-138.
- (27) 佐藤武，自動車交通事故とその調査，交通工学研究会(1987)，全189p，技術書院.
- (28) 江守一郎，自動車事故工学－事故再現の手法－，(1993)，全261p，技術書院.
- (29) 込山順子，干強，白鳥正樹，藤沼慎太郎，Car-to-Car衝突におけるバリア換算速度の検討，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 80-02(2002)，pp.13-16.
- (30) 米澤英樹，細川成之，木内信二，水野幸治，車対車衝突におけるコンパティビリティの評価，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 64-06(2006)，pp.13-16.
- (31) NHTSA，Vehicle compatibility in crashes，Status Report Vol. 34，No.9(1999)，pp.1-11.
- (32) Summers, S., Prasad, A., Hollowell, W. T., NHTSA's Compatibility Research Program Update, Society of Automotive Engineers Paper No. 2001-01-1167 (2001).
- (33) Gabler, H. C, Fildes, B. N., Car Crash Compatibility, The Prospects for International Harmonization, SAE1999-01-0069 (1999).
- (34) Insurance Institute for Highway Safety (IIHS), Crash Compatibility: How Vehicle Type, Weight Affect Outcomes, Status Report Vol. 33, No. 1 (1998).
- (35) Sluis, J., Vehicle Compatibility in car-to-car collisions: Literature review in the framework of European research project “Improvement of crash compatibility between cars”, D-2000-1, SWOV Institute for Road Safety

- Research, Leidschendam (2000).
- (36) Kampen, B., Compatibility of cars in the Netherlands: Statistical analysis of frontal collisions in the framework of the European research project “Improvement of crash compatibility between cars”, Workpackage 2a, D-2000-8, SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam (2000).
- (37) 鷹取収, 車両タイプ別の前面潰れ特性と衝突相手車両への影響, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 7-00(2000), pp.1-4.
- (38) Kallan, M. J., Arbogast, K. B., Durbin, D. R, Effect of Vehicle Incompatibility on Child Injury Risk, 49th Annual Proceedings Association for the Advancement of Automotive Medicine (2005) pp.12-14.
- (39) Belly, J., Accident analysis, A Study to Improve the Crash Compatibility between Cars in Frontal Impact, E3-3 B2702/S12. 318663/2001 TRL, TRL, BAST, UTAC, FIAT Auto (2002), pp.11-51.
- (40) O’Neill, B., Potential Benefits from Enhancing Crash Compatibility between Car and Light Trucks in Front-to-Front Crashes, Insurance Institute For Highway Safety (2003).
- (41) Elmarakbi, A. M., Zu. J. W., Numerical Analysis and Optimization of Vehicle Compatibility Using a Smart Vehicle Structure, IBEC2003, JSAE20037079/SAE2003-01-2802(2003), pp.699-704.
- (42) 福島正信, 藤井信司, 安部晶子, 尾川茂, 藤田英治, 砂川孝之, 田中由紀子, コンパティビリティ性能の車両構造解析, マツダ技報, No. 21 (2003), pp.146-152.
- (43) 水野幸治, コンパティビリティ試験に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 31, No. 4(2000), pp.79-84.
- (44) Sunakawa, T., Fujita, H., Tanaka, Y., Takehara, S., Fujii, S., Fukushima, M., Abe, A., Ogawa, S., Effect of subframe structure on compatibility

- performance, IBEC2003, JSAE20037021/SAE2003-01-2748 (2003), pp.693-698.
- (45) Mizuno, K., Arai, Y., Yamazaki, K., Kubota, H., Yonezawa, H., Hosokawa, N., Effectiveness and Evaluation of SEAS of SUV in Frontal Impact, ICRASH2006, International Crashworthiness Conference (2006).
- (46) 新井勇司, 水野幸治, 山崎邦夫, 久保田秀暢, SUVの構造インタラクション改善のための評価試験に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 64-06(2006), pp.1-6.
- (47) 斉藤益弘, 五味哲也, 田口義徳, 吉本毅, 杉本富史: 小型車のカーブカー衝突性能向上のためのボディ構造, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 22-03(2003), pp.13-16.
- (48) 前面衝突事故の概要, 交通事故例調査・分析報告書(平成9年度報告書), 東京, 交通事故総合分析センター(1998), pp.177-182.
- (49) 関根康史, 大きさの異なる車両相互事故の分析, 東京, 交通事故総合分析センター(2001), pp.216-389.
- (50) 関根康史, 車長・車幅・車高及び車両総重量を組合せる分類手法を用いた四輪自動車の交通事故の分析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 34-00, pp.1-4 (2000).
- (51) 関根康史, 自動車の大きさクラス別分析, 第3回交通事故総合分析センター研究発表会前刷集(2000), pp.8-19.
- (52) Sekine, Y., Henmi, T., Sasaki, S. and Ono, K., Commercial Vehicle Accidents in Japan Analysed Using Vehicle Classification Method by Size, Shape or Use, 2nd DEKRA Symposium "Passive Safety of Commercial Vehicles" (2000).
- (53) 関根康史, 大きさが異なる車両同士の正面衝突における衝突速度と乗員傷害の関係, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 78-02(2002), pp.11-14.
- (54) 関根康史, SUVとセダンの前面衝突における乗員傷害値からのバリア換算速度の推定, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 7-03(2003),

pp.5-8.

- (55) 大前晴雄, 狼嘉郎, 森沢正旭, 佐藤武, 模型車による自動車衝突のシミュレーション (正面および側面衝突時の車両の挙動解析), 日本自動車研究所報告, No.60(1980), pp.1-39.
- (56) Sakai, H., Yoshino, T., Morisawa, M, Sato, T., Inuzuka, F., A Study on Safety of Very Small FRP Commuter Car and its Driver in Collision Using Scale Models Made of FRP, 29th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMOTIVE TECHNOLOGY AND AUTOMATION, 1996-6(1996), pp.369-376.
- (57) 森沢正旭, 佐藤武, 模型による自動車正面衝突時の乗員の挙動一車の衝突特性とシートベルト特性の適合性について一, 自動車技術会論文集, Vol. 23, No. 1(1992), pp.100-105.
- (58) 堺英男, 森沢正旭, 吉野利男, 太田晴巳, 模型による FRP 製超軽量車のオフセットバリア正面衝突時における車と乗員の挙動に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 80-02(2002), pp.1-4.
- (59) 内堀佳, 渡辺俊輔, 田淵豊人, 堺英男, 森沢正旭, 模型による歩行者の自動車衝突時における挙動に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 119-04(2004), pp.25-30.
- (60) 堺英男, 森沢正旭, 吉野利男, 丸山智正, 佐藤武: FRP 製模型による FRP 製超軽量実車衝突時の乗員の安全性に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 23, No. 3(1992), pp.103-108.
- (61) 森沢正旭, 佐藤武, 模型による自動車衝突時の乗員の挙動一正面衝突時の軽量車乗員へのシートベルト特性の影響一, 自動車技術会論文集, No. 25(1982), pp.103-110.
- (62) 堺英男, 森沢正旭, 吉野利男, 佐藤武, FRP 製模型による FRP 製超軽量実車衝突時の車と乗員の安全性に関する研究一エアバッグとシートベルト特性の適合性について一, 自動車技術会論文集, Vol. 27, No. 3(1996), pp.95-100.

- (63) 小林義仁, 森沢正旭, 堺英男, 吉野利男, 佐藤武, 八木下剛雄, 模型による FRP 製自動車の衝突特性に関する研究—車体の大きさを変化させた場合—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 33-01(2001), pp.5-8.
- (64) 深井乙由, 森沢正旭, 須崎直, 佐藤武, 模型による自動車斜め側面衝突時の被衝突車乗員の挙動に関する研究—サイドエアバッグ特性変化による影響—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 33-01(2001), pp.1-4.
- (65) 高木英夫, 森沢正旭, 模型による自動車衝突時の乗員の挙動—普通車と等速正面衝突した小型車の場合—, 自動車技術会学術講演会前刷集 964(1996), pp.313-316.
- (66) 堺英男, 森沢正旭, 吉野利男, 佐藤武, 橋本和幸, FRP 製模型による FRP 製超軽量実車衝突時の車と乗員の安全性に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 1(1992), pp.45-50.
- (67) 福富輝, 田近勇輝, 山田裕康, 堺英男, 森沢正旭, 模型による自動車側面衝突時の被衝突車乗員の挙動に関する研究(第一報)—自動車と乗員の模型—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 74-03(2003), pp.1-6.
- (68) 山田裕康, 田近勇輝, 福富輝, 堺英男, 森沢正旭, 模型による自動車側面衝突時の被衝突車乗員の挙動に関する研究(第二報)—拘束条件の影響—, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 74-03(2003), pp.7-12.
- (69) 佐伯秀司, 槇徹雄, 尾崎龍哉, 森沢正旭, 本多悠記, 斜めオフセット衝突時における乗員下肢挙動に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 59-04(2004), pp.17-22.
- (70) 本多悠記, 福田正浩, 相内佑介, 山本隆志, 堺英男, 森沢正旭, 模型によるオフセット正面衝突時の乗員足部の三次元挙動に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 74-03(2003), pp.13-18.
- (71) 松井靖浩, 高木俊介, 歩行者脚部インパクトを用いたバンパ打撃試験

- の湿度条件が傷害値に及ぼす影響，日本機械学会第18回交通・物流部門大会講演論文集，No. 09-65(2009)，pp.203-206.
- (72) 関根康史，中川大輔，藤村明彦，楮澤優介，高橋邦弘，セダンとSUVの衝突相互安全性における客室入力，日本機械学会第19回交通・物流部門大会講演論文集，No. 10-54(2010)，pp.165-168.
- (73) 関根康史，中川大輔，藤村明彦，楮澤優介，高橋邦弘，客室入力に着目した車両前面構造の異なる自動車の衝突相互安全性の評価法，亜安全工学シンポジウム2011講演予稿集，ISSN1342-4432(2011)，pp.92-95.
- (74) Lobkovich, T., Malen, E., Whittaker, D., Dynamic Barrier Modeling Using Plastic Scale Models, SAE Paper 871957 (1987).
- (75) Malen, E., Whittaker, D., Modeling Large Deformations Using Polycarbonate Scale Models, SAE Paper 790701 (1979).
- (76) Corteg W. V., Brines R. S., Georg R. J., Designing More Durable Automotive Body Structures Using Plastic Models and Damage Analysis, SAE Paper 790701 (1979).
- (77) 危険認知速度と衝突速度の相関性，交通事故例調査・分析報告書（平成10年度報告書），東京，交通事故総合分析センター(1999)，pp.290-296.
- (78) 嶋村宗正，山崎稔，藤田悟郎，前面衝突時の前席乗員傷害に対する後席乗員ベルト着用の効果評価，自動車技術会論文集，Vol.33，No.2(2002)，pp.107-112.
- (79) 田中潤一，古賀義徳，竹内新，宮崎太郎，古家崇志，高橋邦弘，乗用車前面衝突における客室強度評価および構造最適化，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 64-00(2000)，pp.1-4.
- (80) 高橋邦弘，構造物における力の伝達経路と剛性の評価，設計工学，Vol. 30，No.4(1995)，pp.121-126.
- (81) Shinobu, M., Okamoto, D., Ito, S., Kawakami, H., Takahashi, K., Transferred Load and Its Course in Passenger Car Bodies, JSAE Review, Vol.16, No.2(1995), pp.145-150.
- (82) 信夫学，岡本大地，伊東周太，川上博史，高橋邦弘，乗用車車体構造における荷

- 重伝達とその経路, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 3 (1995), pp.126-131.
- (83) Sakurai, T., Tanaka, J., Otani, A., Zhang, C., Takahashi, K., Load Path Optimization and U* Structural Analysis for Passenger Car Compartments under Frontal Collision, IBEC2003, JSAE20037007/SAE2003-01-2734 (2003), pp.181-186.
- (84) 松田育麿, 櫻井俊彰, 大谷彰徳, 張成軍, 高橋邦弘, 衝突中の車体客室構造における荷重伝達経路の変動と U*解析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 22-03(2003), pp.1-4.
- (85) 前面衝突に関する分析, 交通事故例調査・分析報告書 (平成 10 年度報告書), 東京, 交通事故総合分析センター(1999), pp.207-254.
- (86) 前面衝突に関する分析, 交通事故例調査・分析報告書 (平成 11 年度報告書), 東京, 交通事故総合分析センター(2000), pp.225-265.
- (87) 関根康史, 高橋邦弘, 交通事故統計分析による SUV とセダンとの衝突に関するコンパティビリティの検討, 自動車技術会論文集, Vol. 34, No. 2 (2003), pp.137-142.
- (88) 久保田正美, 國分善晴, 前面形状別の車体エネルギー吸収特性, 自動車研究, 茨城, 日本自動車研究所, Vol. 17, No. 1, p. 19-22 (1995).
- (89) 関根康史・高橋邦弘, 乗員傷害の分析による SUV とセダンの前面衝突におけるコンパティビリティの検討, 自動車技術会論文集, Vol. 39, No. 4 (2008), pp.165-170.
- (90) Makita, M., Kitagawa, Y., Pal, C., Evaluation and Research of Structural Interaction between of two cars in Car to Car Compatibility, IBEC2003, JSAE20037097/SAE2003-01-2819 (2003), pp.703-705.
- (91) 樋口英生, 滝沢敏, 岩部竜男, 木済貴之, 鈴木孝之, 正面衝突コンパティビリティの実験的評価, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 119-04 (2004), p.9-14.
- (92) Summers, S., Prasad, Y., Hollowell, W. T., NHTSA's Compatibility Research Program Update, SAE01B-257 (2000).
- (93) 鷹取収, 車両タイプ別の前面潰れ特性と衝突相手車両への影響, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 7-00 (2000), pp.1-4.

- (94) 馬越貴大, 平山茂, 大林和弘, 岡部友三朗, 乗用車と SUV の前面衝突コンパティビリティについての研究, 自動車技術会論文集, Vol. 36, No. 2(2005), pp.135-140.
- (95) 水野幸治, 前突時の衝突荷重分布の解析, 平成 14 年度 (第 2 回) 交通安全環境研究所研究発表会講演概要(2000), pp.57-62.
- (96) 牧田匡史, チンモイ・パル, カーツーカーコンパティビリティのための車両間インタラクションの分析・評価手法の検討: 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 59-04(2004), pp.11-16.
- (97) 新井勇司, 水野幸治, 山崎邦夫, 久保田秀暢, SUV の構造インタラクション改善のための評価試験に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 64-06 (2006), pp.1-6.
- (98) Mizuno, K., Arai, Y., Kubota, H., Yonezawa, H., Hosikawa, N. , Effectiveness and Evaluation of SEAS of SUV in Frontal Impact, ICRASH2006, International Crashworthiness Conference (2006).
- (99) Thomson, R., Edwards, M., Mortin, T., Zeep, C., Damm, R., Valle, G. , Car-Car Crash Compatibility, Development of Crash Test Procedures in the VC-Compact Project, ICRASH2006, International Crashworthiness Conference (2006).
- (100) Jerinsky, M. B., Hollowell, W. T, NHTSA's Review of High-Resolution Load Cell Walls' Role in Designing for Compatibility, Proceedings of the Eighteenth International Conference on Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 393, Nagoya, Japan. (2003).
- (101) Digges, K., Eigen, A., Harrison, J., Application of Load Cell Barrier Data to Assess Vehicle Crash Performance and Compatibility, Society of Automotive Engineers Paper No. 1999-01-0720 (1999).
- (102) Summers, S., Hollowell, W., Prasad, A., Design Considerations for a Compatibility Test Procedure, Society of Automotive Engineers Paper No. 2002-01-1022 (2002).

- (103) 米澤英樹, 細川成之, 木内信二, 水野幸治, 車対車衝突試験によるコンパティビリティの評価, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 64-06 (2006), pp.13-16.
- (104) 新井勇司, 水野幸治, 山崎邦夫, 久保田秀暢, SUVのコンパティビリティに関する研究, 自動車研究, Vol. 28, No. 4(2006), pp.7-10.
- (105) Kahane, C. J., "Vehicle Weight, Fatality Risk and Crash Compatibility of Model Year 1991-99 Passenger Cars and Light Trucks," DOT HS 809 662, NHTSA (2003).
- (106) Mizuno, K., Arai, Y., Notsu, M., Full-Width Test and Overload Test to Evaluate Compatibility, Society of Automotive Engineers, Paper No. 2005-01-1373 (2005)
- (107) Faerber, E., EEVC Approach to Develop Test Procedure(s) for the Improvement of Crash Compatibility Between Passenger Cars, European Enhanced Vehicle-safety Committee, EEVC WG15, ESV2007, Paper No. 07-331 (2007).
- (108) Faerber, E., EEVC Research in the Field of Improvement of Crash Compatibility Between Passenger Cars, European Enhanced Vehicle-safety Committee, EEVC WG15, ESV 2001, Paper No. 444 (2001).
- (109) Jerinsky, M., Hollowell, W. T., NHTSA's Review of a Vehicle Compatibility Performance Metric Through Computer Simulation, 2003 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Washington, D.C., November 16-21 (2003).
- (110) Lobkovich, T., Malen, E., Whittaker, D., Dynamic Barrier Modeling Using Plastic Scale Models, SAE Paper 871957 (1987).
- (111) 谷下市松, 気体の流れとノズルの理論, 基礎熱力学, 東京, 裳華房 (1991), pp.286-301.
- (112) Clifford C. Chu, Fundamental Principles for Vehicle/Occupant Systems Analysis, Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection, American

- Iron and Steel Institute/Automotive Applications Committee (2004), pp.159-226
- (113) Terry D. Day, Allen R. York, Validation of DyMESH for Vehicle vs Barrier Collisions, Society of Automotive Engineers Paper No. 2000-01-0844 (2000).
- (114) Sekine, Y., Accidents Involving and Passenger Cars some Results from a New Study Describing the Current Crash Accident Situation Between Different Sized Vehicles in Japan, 3rd DEKRA Symposium “ Passive Safety of Commercial Vehicles” (2003) .
- (115) 前面衝突に関する分析, 交通事故例調査・分析報告書 (平成 13 年度報告書), 東京, 交通事故総合分析センター(2002), pp.157-204.
- (116) 永池直文, 林田興明, 水野進: 商用車と乗用車の衝突時共存性向上の研究, MAE テクニカルレポート, No. 11(2002), pp.31-40.
- (117) Nagaike, N., Mizuno, S., Hayashida, T., A STUDY OF IMPROVEMENT IN COMPATIBILITY BETWEEN COMMERCIAL VEHICLES AND PASSENGER CARS IN COLLISIONS, FISITA, F02I265 (2002).
- (118) Breitling, U., Crash Simulation and Tests to Improve Occupant and Partner Safety, 2nd DEKRA Symposium “ Passive Safety of Commercial Vehicles” (2002).
- (119) Persike, G., Baker, P.E., A Development of Truck Rear End Underride Protection, SAE Paper No. 801423.
- (120) Middlehauve, G.S., Apple, H., et al., Truck Frontend Protection System, 12th ESV Conference (1989).
- (121) Horri, M., Tomura, K., A Study of Front Underrun Protection for Heavy Vehicles, 94-sl 1-0-07, 14th ESV Conference(1994).
- (122) Enomoto, H., Structural Design Concept for Large Trucks, 2nd DEKRA Symposium “ Passive Safety of Commercial Vehicles” (2002).
- (123) Franchini, E., Truck Crash Testing, SAE paper No.700411.

- (124) Montanari, V., Progress Report of the ESV Development at FIAT, International Technical Conference on ESV in Tokyo, Mar. 1973 (1973).
- (125) 関根康史, 大きさの異なる車両相互事故の分析, (2001), 全 426p, 交通事故総合分析センター.
- (126) 関根康史, 大型車両の交通事故・違反実態に関する調査研究, (2000), 全 617p, 交通事故総合分析センター.
- (127) 関根康史, 自動車の大きさクラス別事故分析, 第3回交通事故総合分析センター研究発表会前刷集(2000), pp.8-19.
- (128) 山中旭, 菊池俊輔, 永池直文, トラックの安全リヤバンパ, 三菱自動車工業技術報告書 Vol.14, No.4(1977).
- (129) Akira Yamanaka, Naofumi Nagaike, The Crash Test of Medium Duty Truck, 17th FISITA in Budapest(1978).
- (130) Akira Yamanaka, Motoshige Sato, Naofumi Nagaike, Toshio Nishida, The Research and Development of Nuclear Fuel Safety Transporter and its Evaluation, 21st FISITA in Beigrade(1986), pp.311-318.
- (131) Naofumi Nagaike, Masao Suga, Motoshige Sato, Akira Yamanaka, The Research and Development of Safety Transporter for Dangerous Goods and its Evaluation, 26th FISITA in Praha(1996).
- (132) 原子力・エネルギー図面集 2011
- (133) 永池直文, 小林一郎, 薄井之雄, 牛奥寛重, 土谷伸夫, 道路作業用追突緩衝装置の開発, MAE テクニカルレポート, No.10(2001), pp.66-73.
- (134) 永池直文, 林田興明, 水野進, 小野義直, 新交通システム車両の衝突安全用メカニカルヒューズの開発, MAE テクニカルレポート, No.9(2000), pp.19-32.
- (135) D. A. Gordon, "Perceptual Basis of Vehicular Guidance." Public Road, Vol. 34, No. 3(1966).
- (136) 近藤, 他訳, 人間工学データブック, コロナ社, p.55.
- (137) ウェズレイ, イーウドソン原著, 青木, 野本共訳, 人間工学, コロナ社(1956).
- (138) 知久, 倉田編, 人間工学ハンドブック, 工業デザイン全書, 金原出版(1956).

追補 1

エネルギー吸収装置を使用した 道路作業車両用追突緩衝装置

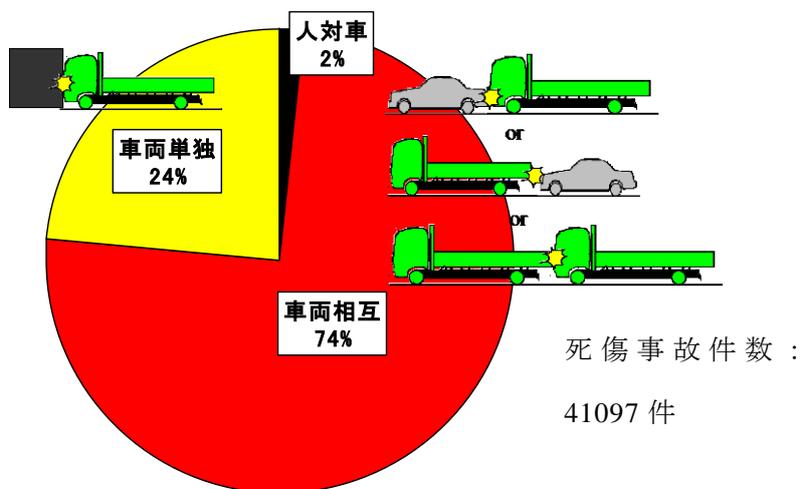
A1.1 背景

本研究で中型トラックや大型トラックの衝突安全性向上に活用したエネルギー吸収システムを，高速道路での作業用車両の被追突時衝突安全性の向上に活用した事例⁽¹³³⁾を紹介する。

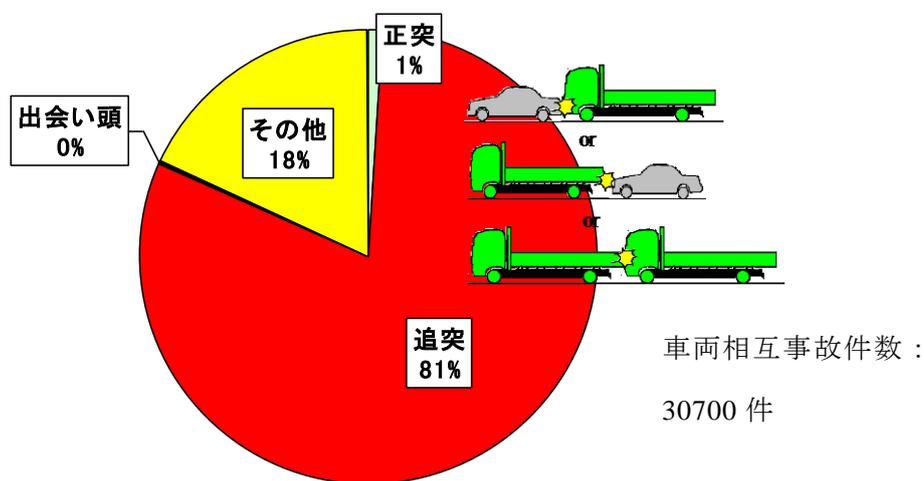
高速道路等で路面の保持等を行う作業用車両は，高速道路上を低速で走行，もしくは停車した状態で作業を行わなければならないことから，一般の車両（特に乗用車）から追突される可能性も決して低くはないものと推測される。なお，作業車両そのものの事故統計データは存在しないため，正確な被害実態は不明であるが，高速道路での死傷事故の約 75%が車両相互事故，約 25%が車両単独事故であり，車両相互事故の約 80%が追突，車両単独事故の約 80%が工作物への衝突となっている（図 A1.1）⁽¹²⁵⁾⁻⁽¹²⁷⁾ことから，作業車両が事故に遭遇する率が，決して低くはないことが裏付けられる。また，車両相互事故，車両単独事故共に高速度での事故の構成率が高い（図 A1.2）ことから，高速域での衝突安全性も考えなければならない。

このような状況に対し，日本道路公団も，特殊硬質ポリウレタンフォーム製の追突衝撃緩和装置を作業車両に装着している（図 A1.3）。しかしながら，ポリウレタンフォームでは吸収できるエネルギーの量が少なく，低

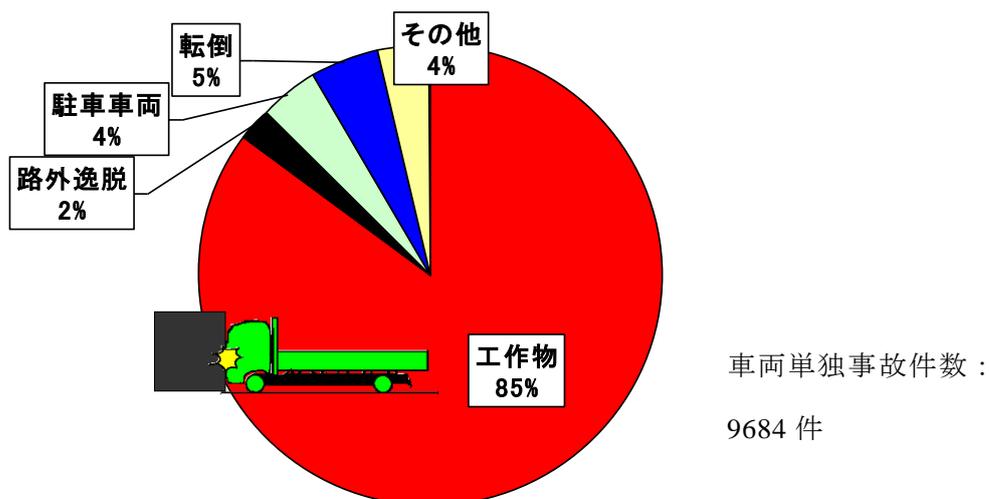
中速域での衝突なら衝突エネルギーの吸収は可能であるものの、高速域での衝突には耐え切れない。また、米国エナジー社からも TMA シリーズという、鉄と紙のハニカム構造による追突衝撃緩和装置が販売されているが（図 A1.4）、構造が複雑であり、高価である。このような背景から、高速域でのエネルギー吸収性が高く、かつ、構造が簡単で低コストでの製造が可能な本研究のエネルギー吸収システムを、高速道路作業用車両の追突衝撃緩和装置に活用した（図 A1.5）。



(a) 高速道路での死傷事故の事故類型構成



(b) 高速道路での死傷事故のうち車両相互事故の事故類型構成



(c) 高速道路での死傷事故のうち車両単独事故の事故類型構成

図 A1.1 高速道路での死傷事故（1995-2000年合計）

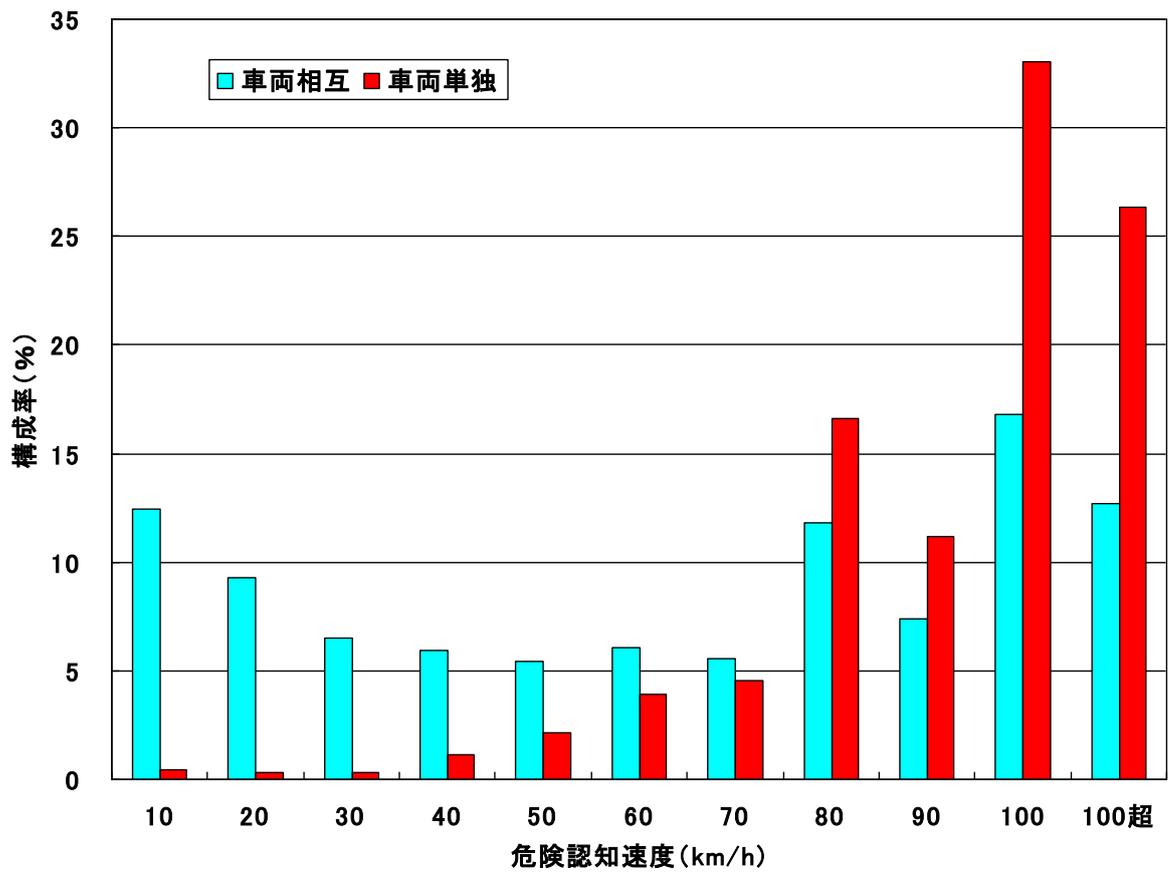


図 A1.2 高速道路での死傷事故での車両相互事故および車両単独事故の危険認知速度の構成
 (死傷事故件数：41097件，1995-2000年合計)

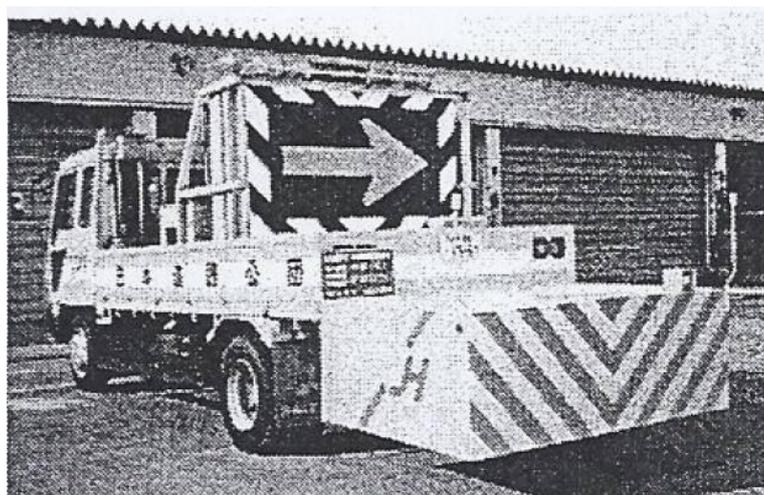


図 A1.3 日本道路公団の特殊硬質ポリウレタンフォーム製追突衝撃緩和装置

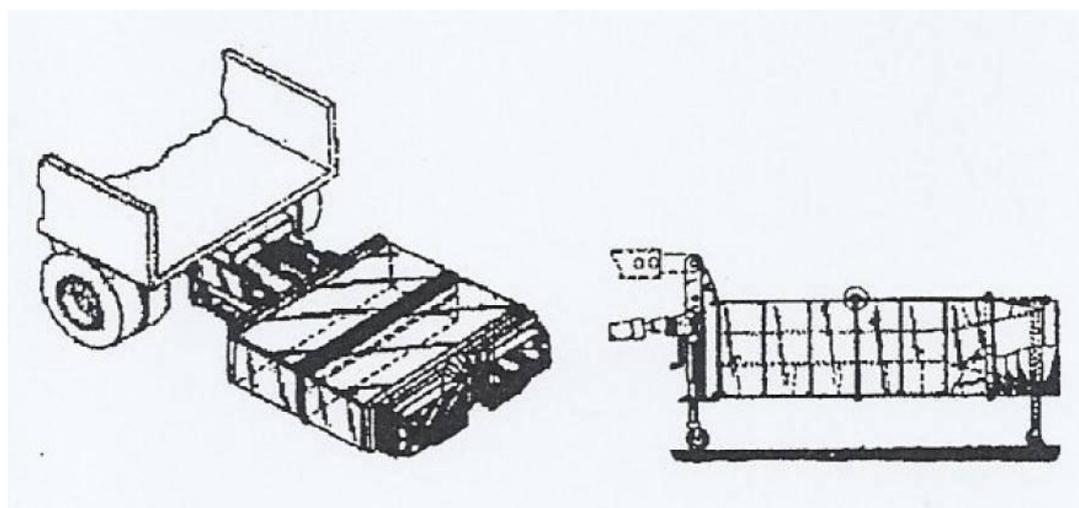


図 A1.4 米国エナジー社製・TMA シリーズ[®](鉄および紙のハカム構造)追突衝撃緩和装置

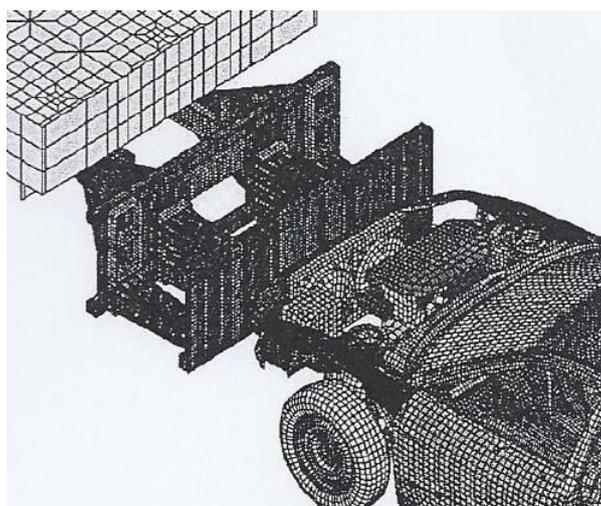


図 A1.5 エネルギー吸収システム式の追突衝撃緩和装置

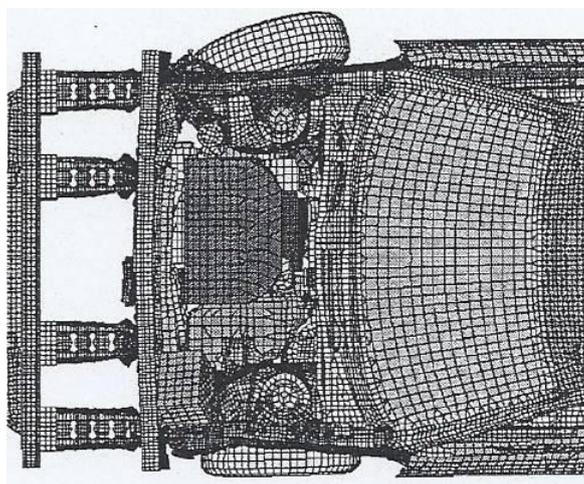
A1.2 エネルギー吸収システム式追突衝撃緩和装置の効果

エネルギー吸収システム式追突衝撃緩和装置を装着した作業車両にセダン型乗用車が追突した状況の有限要素法（LS-DYNA）によるシミュレーション計算結果を図 A1.6 に，衝突実験結果を図 A1.7 に示す．どちらも車両総重量 1.3t のセダン型乗用車を衝突速度 60km/h で車両総重量 3.5t の作業車両に衝突させたものである．追突衝撃緩和装置によって作業車両の被害は最小限に抑えられ，衝突実験後も自力走行可能であった．また，セダン型乗用車側も，作業車両の荷台下部に潜り込むことなく，ボンネット部分が潰れることで効率良く衝突エネルギーが吸収されることになり，その乗員の安全も確保される．

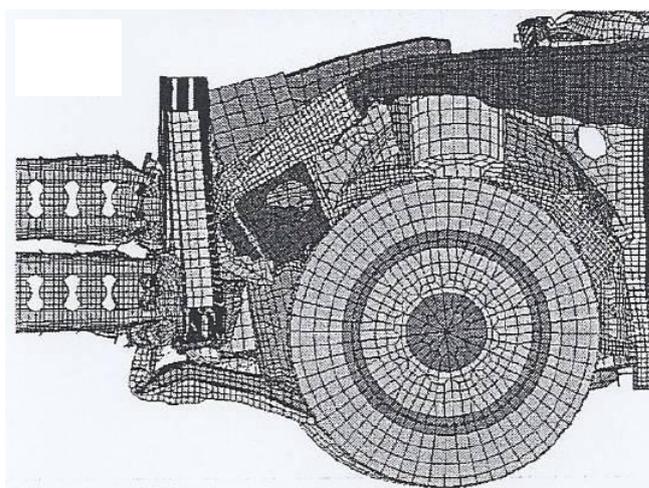
なお，本道路作業車のうち，首都高に納車された車両については，通常ならば死亡もしくは重傷となってしまう大事故にも係わらず，乗員の傷害を軽傷に抑えた事例が報告されている（詳細は，追補 5 を参照）．



(a) エネルギー吸収システムへの車両総重量1.3tクラスセダン型乗用車の60km/h衝突解析モデル

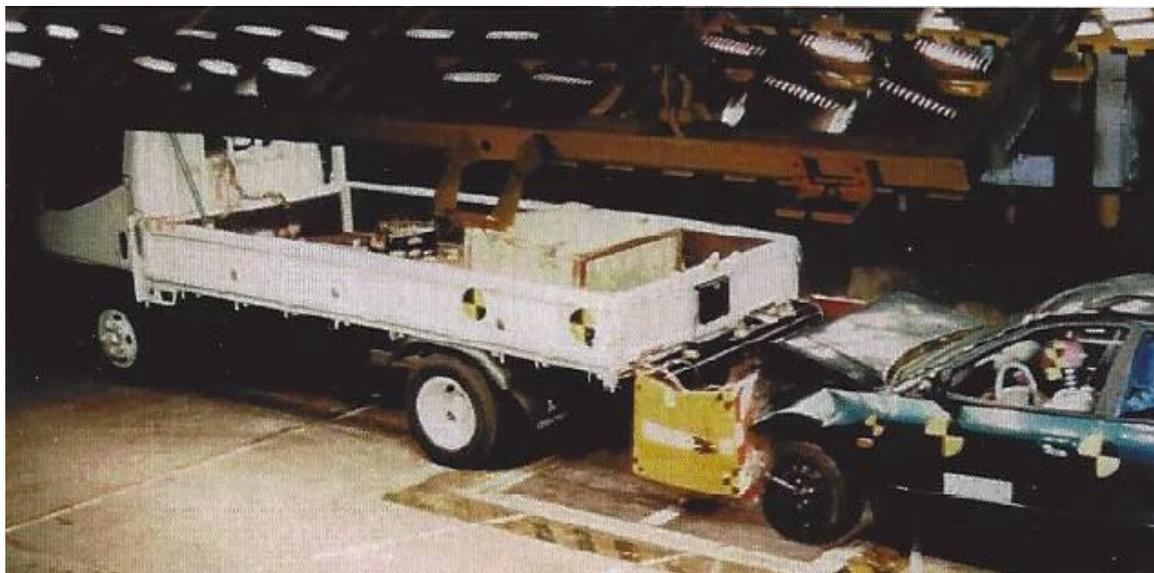


(b) 60km/h衝突後80msec時点でのエネルギー吸収システムおよびセダン変形状況(上面視)



(c) 60km/h衝突後80msec時点でのエネルギー吸収システムおよびセダン変形状況(側面視)

図 A1.6 エネルギー吸収システム式追突衝撃緩和装置への追突(有限要素法シミュレーション)



(a) エネルギー吸収システムへの車両総重量 1.3t クラスセダン型乗用車の 60km/h 衝突での衝突後の変形状況



(b) 車両総重量 1.3t クラスセダン型乗用車の車体側面の変形状況

図 A1.7 エネルギー吸収システム式追突衝撃緩和装置への追突 (実車衝突試験)

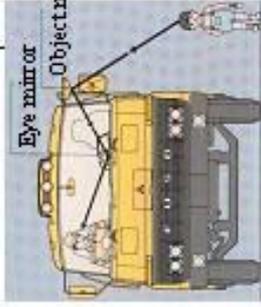
追補 2

大型自動車の安全性研究の系譜

A2.1 トラック・バスの安全性研究の経緯

著者は、三菱自動車工業（株）に在籍当時から、トラックやバス等大型自動車の予防安全および衝突安全といった、安全性研究に取り組んできた。

1960年代には、トラックの直接視界に関する視認性やバスの走行速度と視認性の関係の研究、トラックへ追突したセダン型乗用車の乗員保護に関する研究、1970年代には衝突安全コンセプトトラック（SCT）や、濡れた路面走行時のトラックによる泥はねによる後続乗用車への視界阻害を低減するための研究、1980年代には高衝突エネルギー吸収システム搭載トラック（NFST）やトラックの車両周辺の視認性向上に関する研究等、長期間に亘り、各種の研究に取り組んできたが、これら研究の経緯を年表にまとめたので、図 A2.1 に示す。

	'60	'70	'80	'90	2000-
ACTIVE SAFETY	<p>Direct visibility</p> 	<p>Splash spray, Direct & indirect visibility, Driving Support system</p> 	<p>Eye mirror Object mirror</p> 	 <p>MDAS</p>	
PASSIVE SAFETY	<p>Energy Absorbing RJP,</p> 	<p>SCT & NFST,</p> 	<p>Side Collision, Restraint System</p> 		
Practical Utilizations		<p>NFST</p> <p>'80 ◎</p>	<p>'86 ◎</p>	<p>'95 ◎</p>	<p>Standard truck & bus</p>
FISITA Presentations	<p>☆</p> <p>70 (13th)</p>	<p>☆ ☆</p> <p>76 (16th), 78 (17th)</p>	<p>☆</p> <p>86 (21th)</p>	<p>☆</p> <p>96 (26th)</p>	<p>15 vehicles, 10 vehicles, 10 vehicles</p>

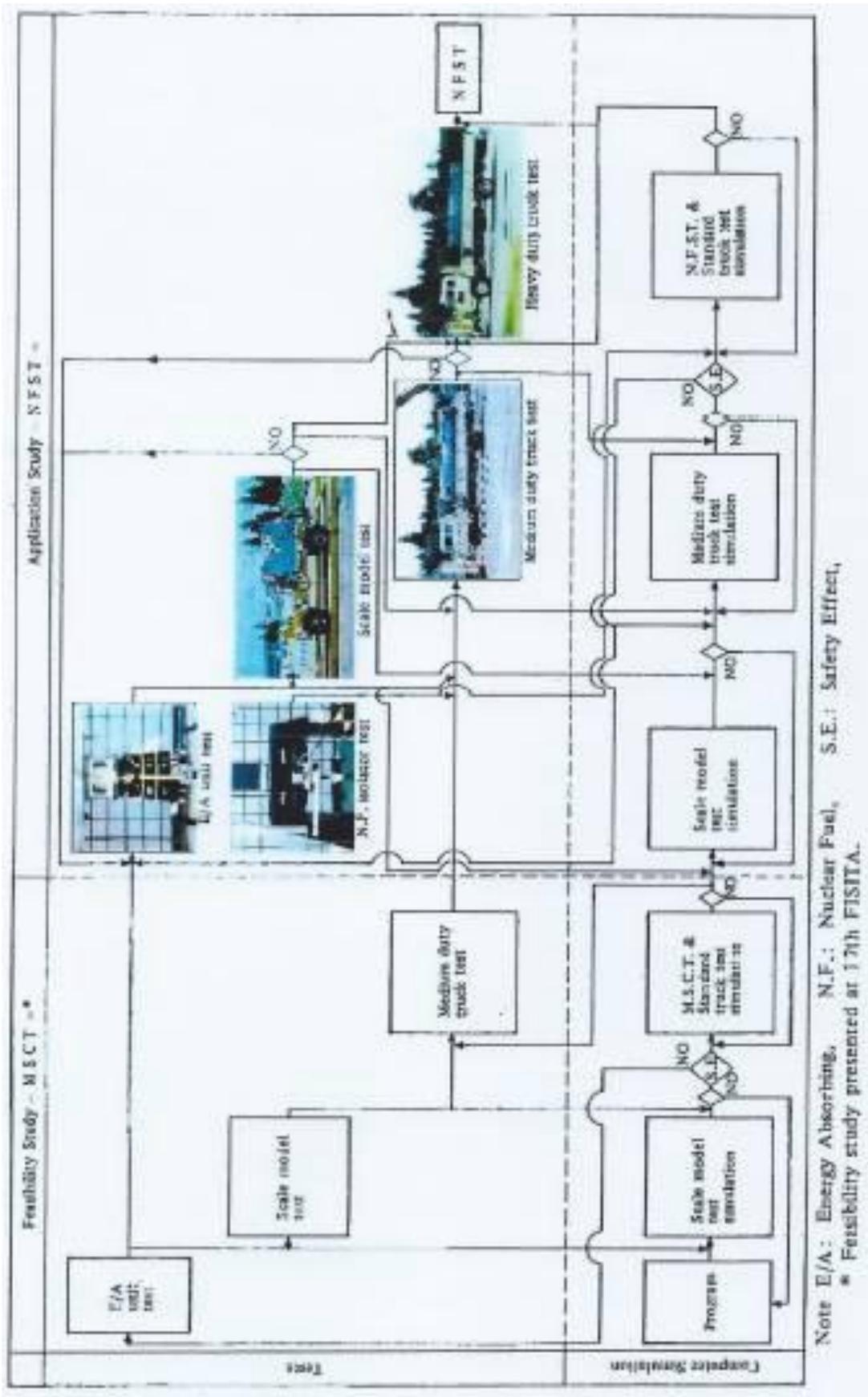
図A2.1 三菱自動車工業（株）における大型自動車の安全性に関する研究の年表

追補 3 衝突エネルギー吸収システムから高衝突エネルギー 吸収システム搭載トラック（NFST）までの経緯

A3.1 衝突エネルギー吸収システムから NFST までの開発の経緯

第 5 章に記載した衝突エネルギー吸収システムから第 8 章に記載した高衝突エネルギー吸収システム搭載トラック（NFST）の開発までの一連の流れを図 A3.1 に示す。

エネルギー吸収システムに静負荷および動負荷試験を実施することで、衝突時に吸収できるエネルギー量を確認，その上で衝突時の乗員保護や積載物保護，衝突相手車両への加害性低減等，それぞれに要求される吸収すべきエネルギー量に対応できる数の衝突エネルギー吸収システムを中型トラックおよび大型トラックそれぞれの車体各部に装着することによって，SCT および NFST を製作した。これらの経緯を流れ図にまとめたので，図 A3.1 に示す。



図A3.1 衝突エネルギー吸収システムからNFSTの開発までの流れ図

追補 4 新交通システム車両の 衝突緩衝装置

A4.1 新交通システムへの衝突緩衝装置の適用

新交通システムの中には、専用軌道を無人運転されるような車両も少なくない。このような車両については、無人運転の制御機能が故障した場合の前走車両への追突や終着駅での車止めとの衝突事故といったことも想定しなければならないが、従来このような衝突安全性に関して検討されることは無かった。

このような状況の下、三菱重工（株）三原製作所では、空港内で使用する短距離移動用の無人運転新交通システム用車両（図 A4.1）に衝突緩衝装置を装備することを構想、その検討を三菱自動車エンジニアリング（株）に委託したことから、本研究のエネルギー吸収システムが新交通システムの衝突緩衝装置として適用を検討されることとなったので紹介する⁽¹³⁴⁾。

なお、三菱重工（株）三原製作所の新交通システム用車両の構想図は、図 A4.2 に示した通りであり、前走車両への追突（図 A4.3）を想定してバンパ部分に本研究のエネルギー吸収システムを 2 基装備した衝突緩衝装置が採用されることとなった（図 A4.4）。



図 A4.1 空港内で使用する短距離移動用の無人運転新交通システム用車両

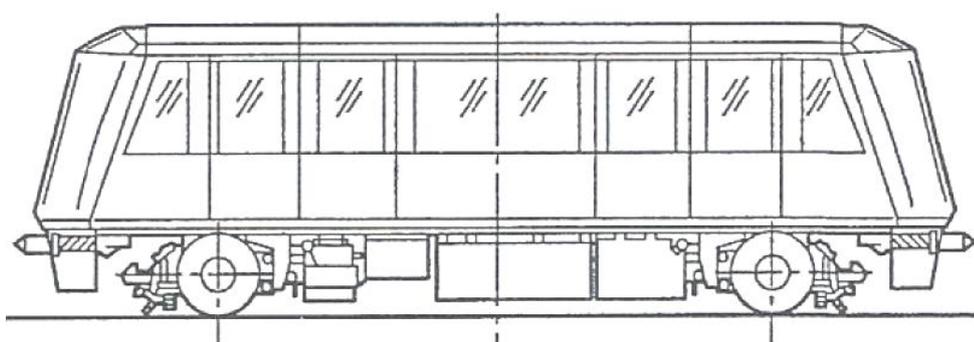


図 A4.2 三菱重工（株）三原製作所の新交通システムの構想図

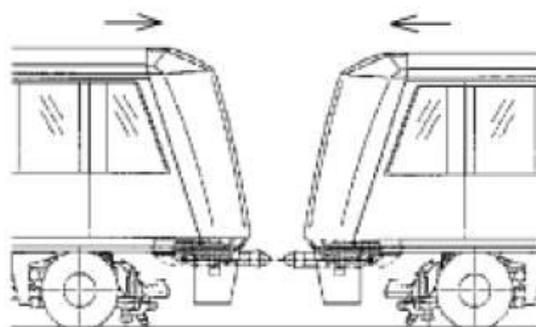


図 A4.3 新交通システムの前走車両への追突のイメージ

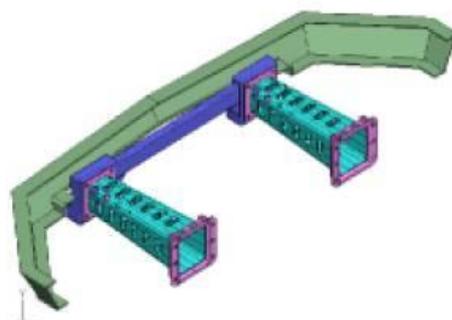


図 A4.4 新交通システム車両に採用された衝突緩衝装置

追補 5 本研究の衝突安全対策車および緩衝装置の 開発と納入実績

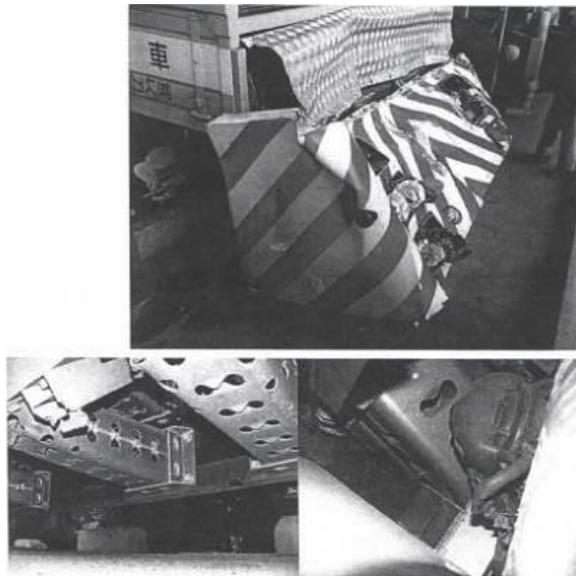
A5.1 衝突安全対策車および緩衝装置の開発と納入実績

本研究で研究開発した衝突安全対策車および緩衝装置について、その開発時期と納入実績を図 A5.1 に示す。なお、図中の「PNF」とは「Project for Nuclear Fuel (核燃料プロジェクト)」の略称である。

また、納入した車両のうち、首都高道路作業車については、90km/h の車速で走行してきた大型トラック(積載量 5.5t)から追突されるという事故に遭い、死亡もしくは重傷事故となる程の大事故であったにも係わらず、乗員 2 名は軽傷(頸椎捻挫)で済んだという実績が報告されている(図 A5.2)。



(a)首都高道路作業車



(b)大型トラックから車速 90km/h での追突を受けた際の車体変形状況

三菱衝突緩衝装置付首都高ハイウェイサービス所有車の衝突事故

1. 事故発生日 :2006年5月18日(木)
2. 事故状況 :2週間前、首都高の湾岸線で停車作業中に大型バン形トラックが追突。道路作業車は勢いで対向車線に飛び出し、大型トラックは更にタンクローリに衝突し停止。
(道路作業車=被追突車はいすゞフォワード:KK-FRR33D4XP, 5, 500kg)
速度は、推定90km/h・ノンブレーキ・積載不明なるも、乗員2名はかすり傷も負わず無事(一時的に脳震盪を起こし気絶、鞭打ち症残)。管理者は死亡事故が物損のみで済んだと大喜びで関係部門(JH, 同業他社等)に喧伝中の由。
物損事故のため警察調書もなく、相手情報を含め詳細不明。
3. 被害状況 :作業車のエンジンマウントが破断したが・・・。
(6月上旬、横浜車両で修理・復元の予定)

(c)本追突事故例の報告文書

図 A5.2 乗員傷害を低く抑えた首都高道路作業車の追突事故例の報告

追補 6 衝突エネルギー吸収装置の開発 に当たっての基礎データ

A6.1 トラックの車両重量別の運動エネルギー

衝突エネルギー吸収装置を開発するに当たって、まず、トラックの車両重量別の運動エネルギーについて試算を行ったので、その一覧を図 A6.1 に示す。

A6.2 大型トラックの衝突時の荷重変位特性

また、エネルギー吸収装置に衝突時に吸収させるエネルギーを求めるため、大型トラックの衝突時におけるバリア発生荷重と車体変形量の関係性を求めたので、これを図 A6.2 に示す。

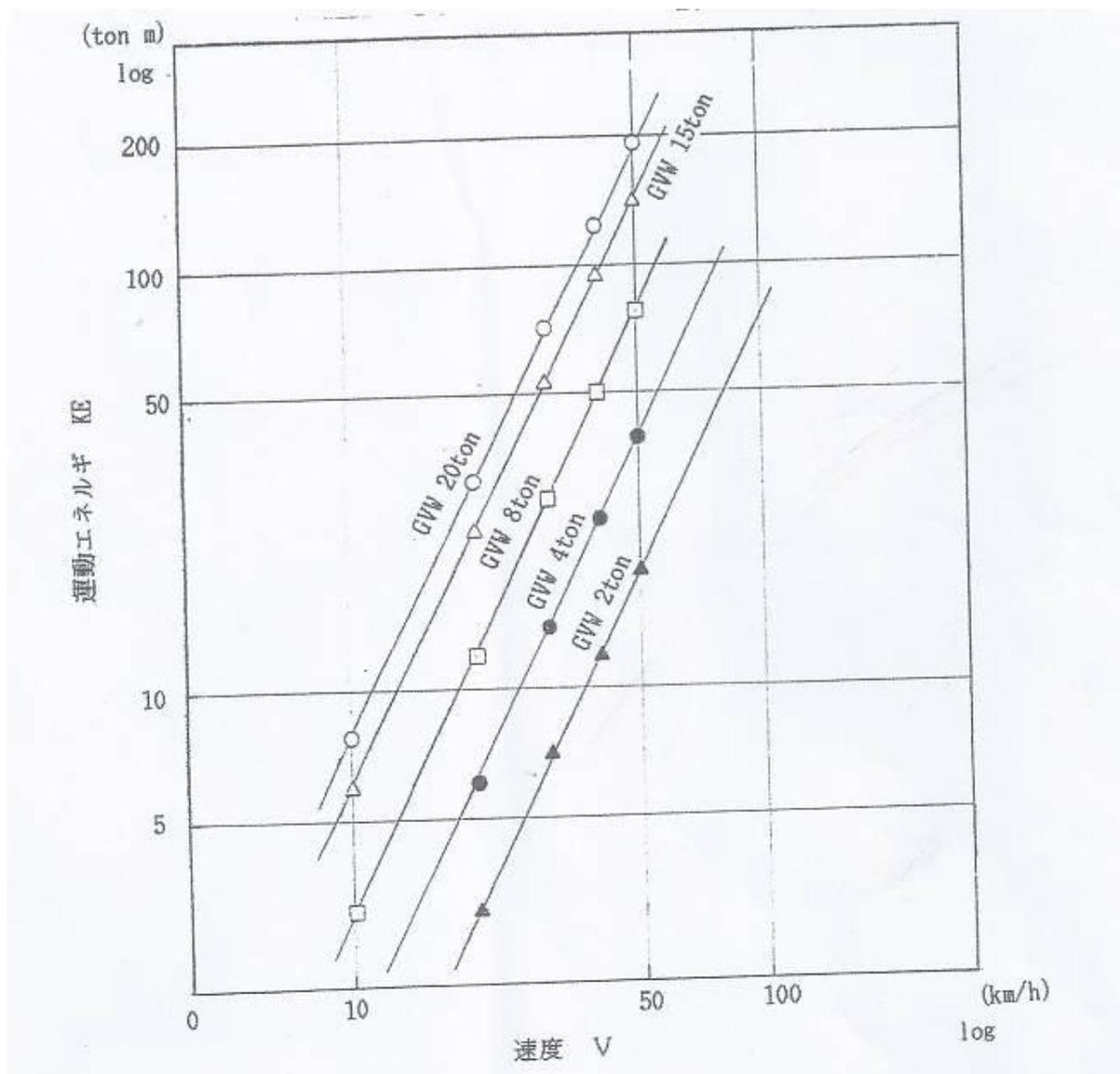


図 A6.1 トラックの車両重量別の速度と運動エネルギーの一覧

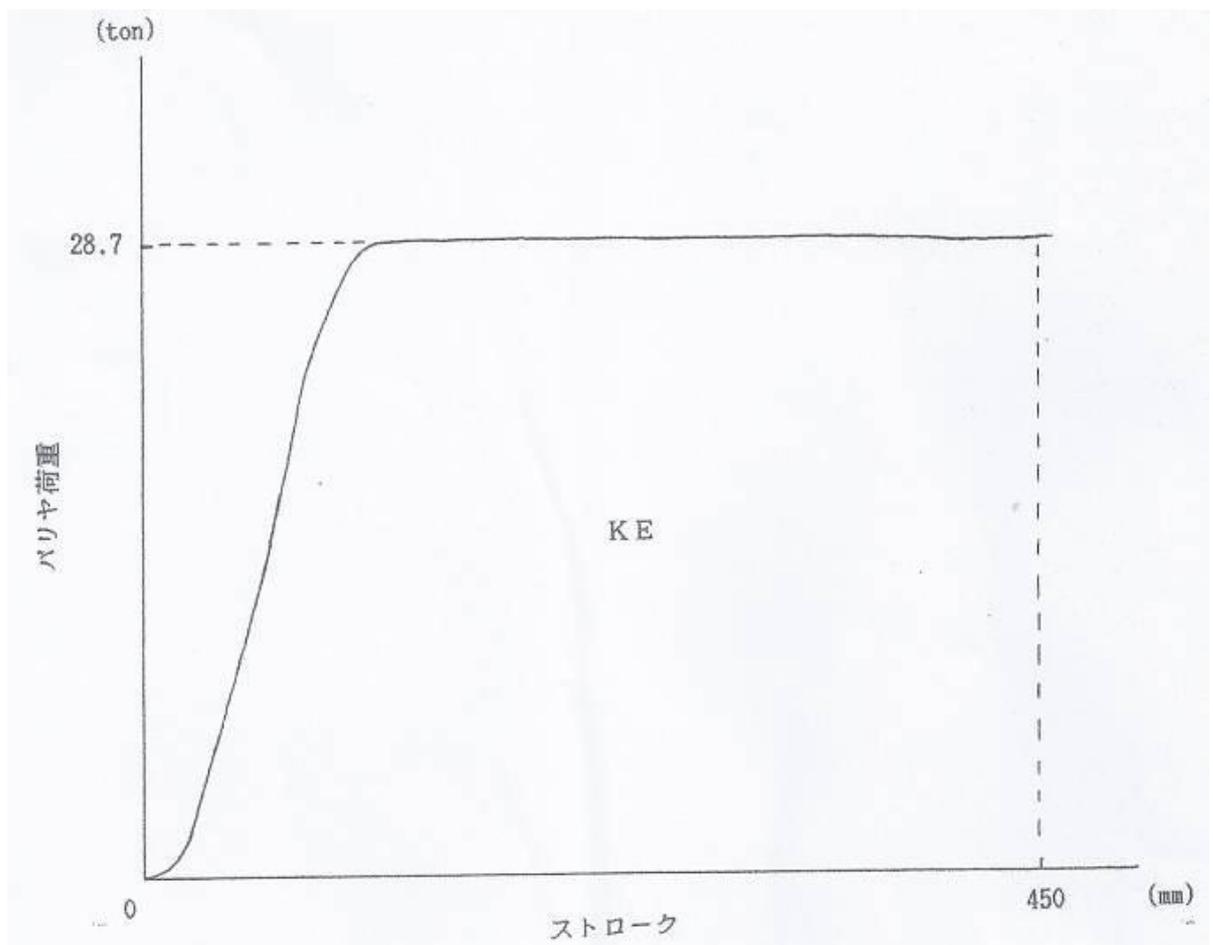


図 A6.2 大型トラック（車両重量 15t）の衝突時におけるバリア発生荷重と車体変形量の関係

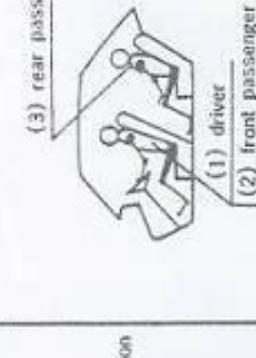
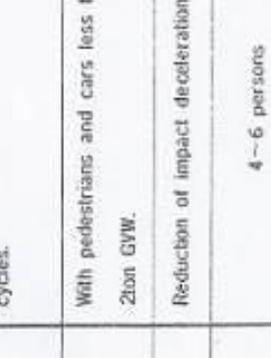
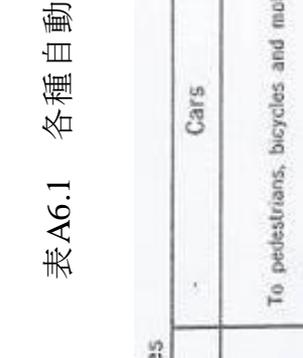
A6.3 各種自動車に要求される衝突安全の考え方

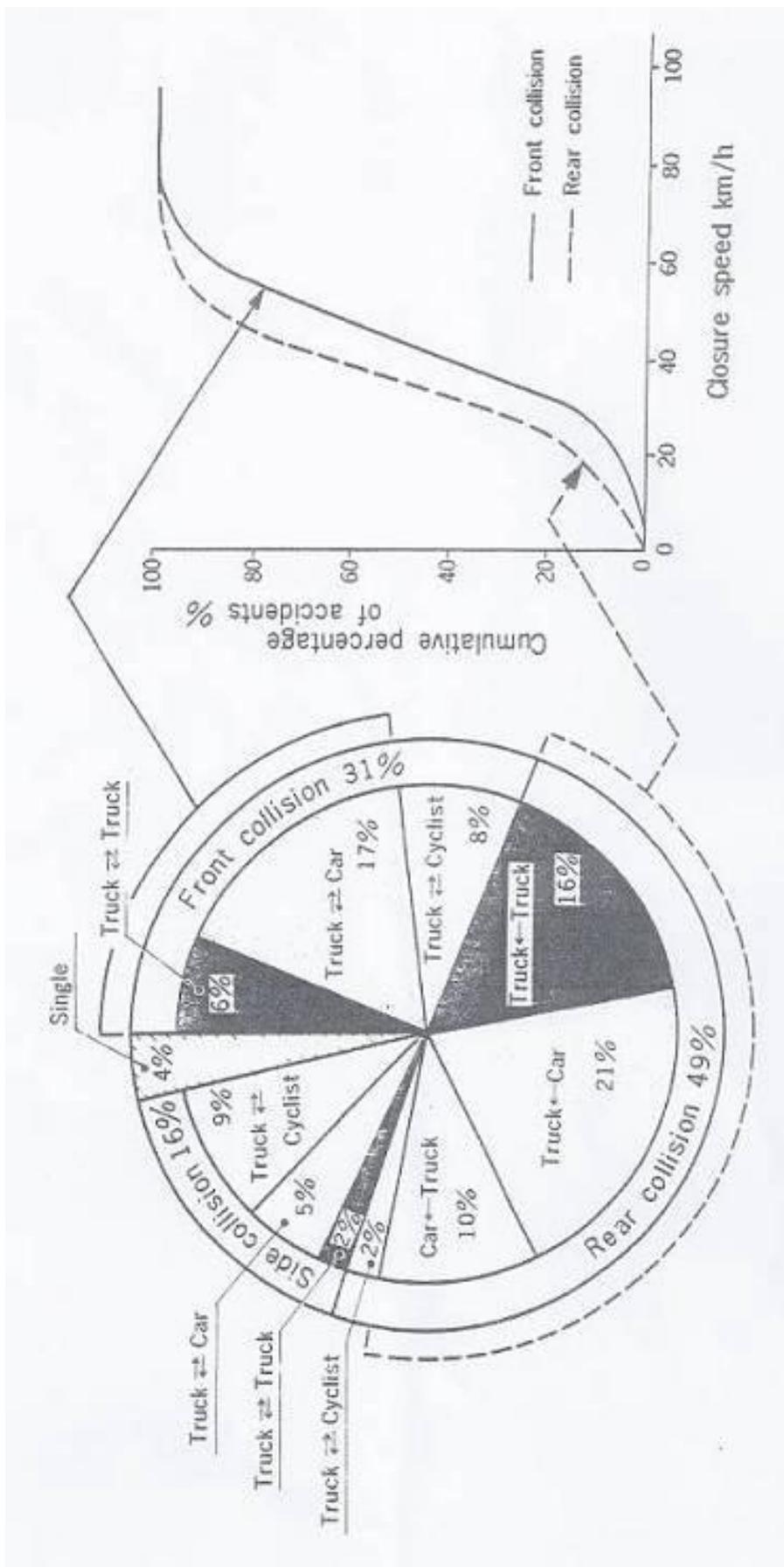
乗用車，トラックおよびバスそれぞれに要求される衝突安全の考え方を表 A6.1 に示す．

A6.4 トラックに係わる事故の構成

トラックに係わる主な事故（前突，後突，側突等）それぞれの構成についても事故統計データの分析を行い，第 2 章から第 5 章までの事故分析や試験条件を決定する際の参考としたので，図 A6.3 に示す．なお，図 A6.3 は，警察庁の事故統計データを元に分析を行ったものであるため，第 2 章から第 5 章までの事故分析のように「中型トラック」と「大型トラック」のような車種別の事故データを分析したものではなく，警察庁の交通事故統計原票に記載された分類（警察庁が指定した分類方式）としての「政令大形貨物車」が関与した事故データを分析したものである．

表A6.1 各種自動車に要求される衝突安全の考え方

Safety measures of vehicles		Cars	Trucks	Buses
Aggressiveness		To pedestrians, bicycles and motor cycles.	To pedestrians, bicycles, motor cycles, cars and trucks lighter than itself.	To pedestrians, bicycles, motor cycles, cars and trucks lighter than itself.
Compatibility		With pedestrians and cars less than 2ton GYW.	With pedestrians and vehicles less than 35ton GYW.	With pedestrians and vehicles less than 35ton GYW.
Occupants protection	Objects	Reduction of impact deceleration.	(1) Keeping of survival space → (2) Reduction of impact deceleration	(1) Keeping of survival space → (2) Reduction of impact deceleration
	Number of occupants	4~6 persons 3 patterns	2~6 persons 4 patterns	10~50 persons 9 patterns
	Patterns of occupants protection	 <p>(1) driver (2) front passenger (3) rear passenger</p>	 <p>(1) driver (double) (2) front passenger (3) rear passenger (4) occupant in bed</p>	 <p>(1) driver (2,3) first line passengers on standard or reclining seats (4,5) second line (6,7) last line (8) Passenger in sub-long seat (9) standing passenger</p>
Goods protection		(1) Radiotope and radioactive materials. (2) Hydrogen, LPG, TNT, and other explosive materials. (3) Treasures, works of art and other valuable articles etc.		



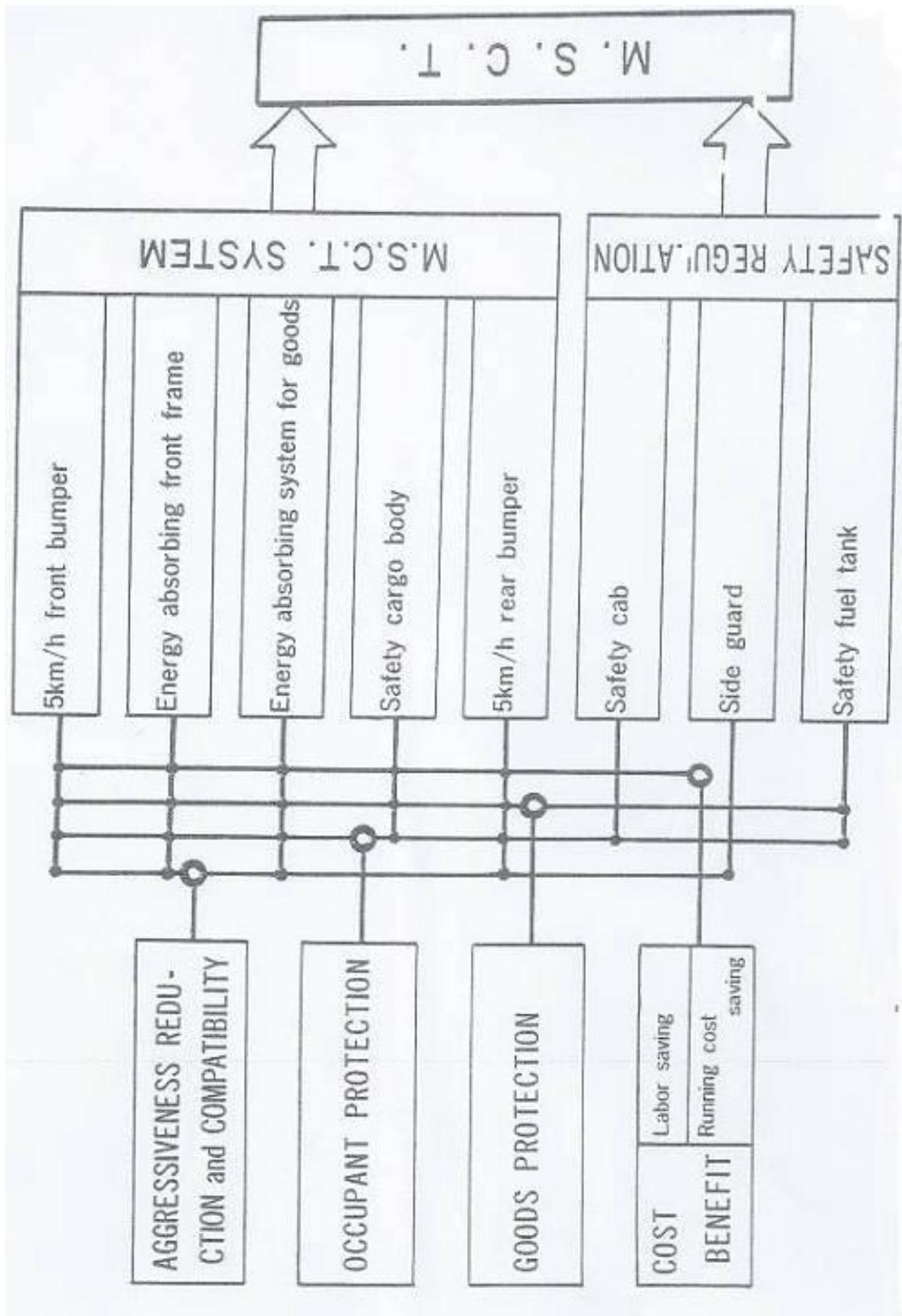
図A6.3 トラックが係わる主な事故（前突，後突，側突等）それぞれの構成

追補 7 衝突安全コンセプトトラック（SCT）の開発 に当たっての考え方のフローチャート

A7.1 考え方のフローチャート

衝突安全コンセプトトラック（SCT）の開発に当たっては，その衝突時の攻撃性や乗員保護，積載物保護，製造コストおよび法規遵守のため対策を考えなければならないもの，法規になっていないが安全対策を考えなければならないもの等，考え方の整理を行い，図 A7.1 のようなフローチャートにまとめた。

（なお，図 A7.1 を作成した当時は，「三菱衝突安全コンセプトトラック（MSCT）」とも称していたため，図中では「M. S. C. T」と記述している。）



図A7.1 衝突安全コンセンプトラック (SCT) の開発に当たっての考え方のフローチャート

追補 8

大型自動車対乗用車衝突時における乗用車 潜り込み防止装置（FUP, RUP）法規の概要

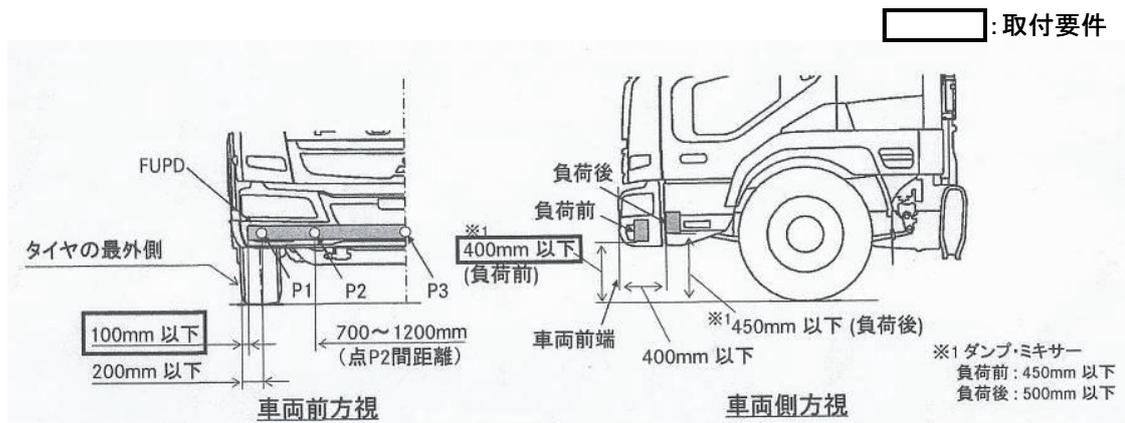
A8.1 FUP 法規および RUP 法規の概要

第 7 章では、トラックに追突した乗用車の荷台下部への潜り込みを防ぎ、乗用車乗員を保護するエネルギー吸収リヤバンパについて述べたが、車両総重量 3.5ton 以上の大型自動車対乗用車の衝突に関しては、正面衝突時および追突時それぞれについて、乗用車の潜り込み防止装置の法規が存在するので、参考としてこれらの概要を紹介する。

正面衝突時においてはフロント・アンダーラン・プロテクタ（Front Under-run Protector, FUP）という、乗用車の潜り込みを防ぐ装置に関する法規が定められている。FUP は 2011 年 9 月より装着が義務付けられた装置であり、これに要求される荷重条件や、その強度上の評価についての判定要件は図 A9.1 に示した通り。

また、大型自動車が乗用車から追突された場合については、乗用車の潜り込みを防ぐ装置として、リヤ・アンダーラン・プロテクタ（Rear Under-run Protector, RUP）に関する法規が定められている。RUP は 1992 年 6 月から装着が義務付けられた装置であり、これに要求される荷重条件や、その強度上の評価についての判定要件は、図 A8.2 に示した通り。

なお、どちらの装置も、乗用車の衝突時の荷重を受け止めることによって、乗用車自身の乗員保護衝撃吸収力を発揮させようというものであり、第 7 章で述べたエネルギー吸収リヤバンパのような、衝突エネルギーの吸収を目的としているものではない。



荷重条件

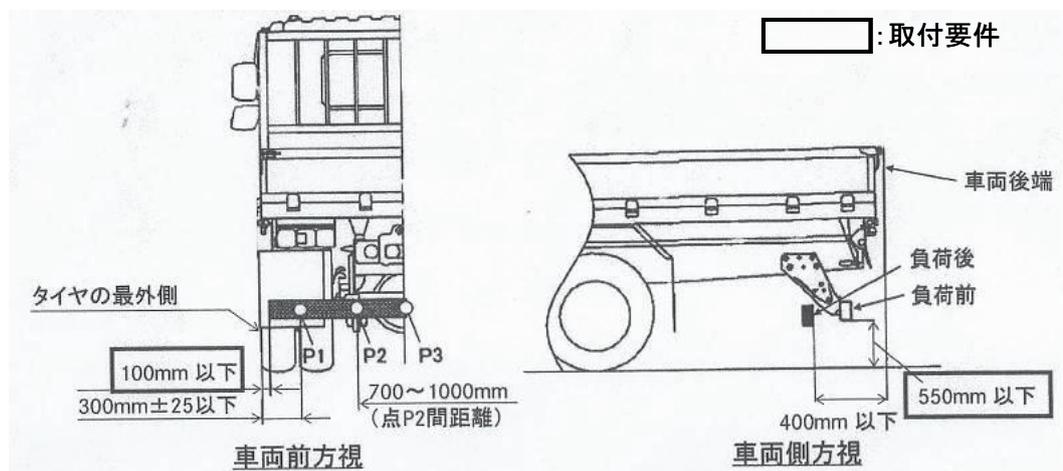
- P1: 当該自動車の最大重量の50%を点P1に加える(片側最大荷重は80kN)
- P2: 当該自動車の最大重量の100%を点P2に加える(片側最大荷重は160kN)
- P3: 装置が不連続で点P2間の断面積が減じる場合には、続けて点P3に点P1と同じ荷重を負荷する。

判定要件

- オフセット: 車両前端から400mm以下(変位後)
- 地上高: 400mm以下(負荷後450mm)
ただし、ダンプ等では450mm(負荷後500mm)
- 最外縁: タイヤ最外側から100mm以下。

図 A8.1 FUP 法規および荷重条件, 判定要件

(適用車種: 車両総重量 3.5ton 以上)



荷重条件

- P1: 当該自動車の最大重量の25%を点P1に加える(片側最大荷重は50kN)
- P2: 当該自動車の最大重量の50%を点P2に加える(片側最大荷重は100kN)
- P3: 当該自動車の最大重量の25%を点P3に加える(片側最大荷重は50kN)

判定要件

- オフセット: 車両前端から400mm以下(変位後)
- 地上高: 550mm以下
- 最外縁: タイヤ最外側から100mm以下。

図 A8.2 RUP 法規および荷重条件, 判定要件

(適用車種: 車両総重量 3.5ton 以上)

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 山中 旭

(2012年12月1日 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
卒業研究	国民車 FF 用（フロントエンジンフロントドライブ方式） “水平対向 1200CC 4 シリンダーガソリン設計” 1954 年 3 月 山中 旭
三菱重工 登用論文	上記水平対向 1200CC ガソリンエンジン搭載国民車（FF）計画のための「VW 足廻り強度計算と評価」 山中 旭
国際会議 査読付	1. 運転視界に関する研究 ○ [1] “Development of Periscope mirror System”, JSAE Review 1983, SITEV Technical Symposium 1984, Hiroshi Sato, Akira Yamanaka, Tsutomu Kondo (Mitsubishi Motors Corp). Makoto Yamashita, Mikio Matuszaki, Kumio Akizuki, Ichiko Industries. ○ [2] “Evaluation and Improvement of Indirect Visibility in Circumferential area of Commercial Vehicle” 9th ESV (Experimental Safety Vehicles) Feb. 1983. Hiroshi Sato, Akira Yamanaka, Tsutomu Kondo (Mitsubishi Motors Corp), Makoto Yamashita, Mikio Matuszaki, Kunio Akizuki (Ichiko Industries). ○ [3] “Measurements and Control of Truck spray on wet Roads” 16th FISITA 1976 in Tokyo, May 1976, Akira Yamanaka, Naofumi Nagaike, Mitsubishi Motor Corp. ○ [4] “Dynamic Visibility of motor Vehicles”, SAE in Detoroit, May, 1970, 1970 SAE Transactions, Akira Yamanaka, Mitsubishi Motors Corp, Minoru Kobayashi, National Research Institute of Police Science. ○ [5] “Dynamic Visibility of Motor Vehicles”, 13th FISITA 1970 in Brussels, June 1970, 1970 International Automobile Safety Conference Compendium, Akira Yamanaka, Mitsubishi Motors Corp, Minoru Kobayashi, National Research Institute of Police Science.
論文	○ [6] “ペリスコープミラーシステムの開発” JARI 自動車研究 Vol. 4, No. 6 1982, 佐藤宏, 山中旭, 近藤勉 (三菱自動車工業 (株)), 山下眞, 松崎幹雄, 秋月邦雄 (市光工業 (株)) ○ [7] “車輛周辺の間接視界の評価と向上” 自動車技術会論文集 No.22 1981, 1981 年 5 月, 佐藤宏, 山中旭, 近藤勉 (三菱自動車工業 (株)), 山下眞, 松崎幹雄, 秋月邦雄 (市光工業 (株))
技報	[8] “ぬれた路面におけるトラックスプレイの測定と低減” 三菱重工技報 1976, Vol.14, No.3, May 1976, 山中旭, 永池直文 (三菱自動車工業 (株))

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
国際会議 査読付き ○	[9] “自動車走行時の視界の研究” “Dynamic Visibility Test of Motor Vehicles”, 三菱重工技報 Vol.2, No.4, 三菱重工英文技報, 1965年4月, 1966年, 小林実(科学警察研究所), 山中旭(三菱自動車工業(株))
	[10] “三菱ふそう大型トラック視界試験” 三菱日本重工業技報 Vol.4, No.1, 1963年1月, 山中旭(三菱自動車工業(株))
	2. 衝突安全性に関する研究
○	[11] “The Research and Development of Safety Transporter for Dangerous Goods and it's Evaluation”, 26 th FISITA 1996 in Praha, June 1996, Naofumi Nagaike, (Mitsubishi Motors Corp), Masao Suga(Mitsubishi Research Institute, Inc), Motoshige Sato(Mitsubishi Nuclear Fuel Co, Ltd), Akira Yamanaka(Advanced Research Center for Science and Engineering, Waseda University).
○	[12] “The Research and Development of Nuclear Fuel Safety Transporter and its Evaluation”, 21 st FISITA 1986 in ,Belgrade, June 1986, Akira Yamanaka(Mitsubishi Motors Corp), Motoshige Sato(Mitsubishi Nuclear Fuel Co, Ltd), Naofumi Nagaike(Mitsubishi Motors Corp).
○	[13] “The crash test of Medium duty Truck”, 17 th FISITA 1978 in Budapest, 3 rd -6 th , June 1978, Akira Yamanaka, Naofumi Nagaike(Mitsubishi Motors Corp).
技報	[14] “トラックの安全リアバンパ”, 三菱重工技報 Vol. 14, No. 4, 1977, 1977年7月, 山中旭, 菊池俊輔, 永池直文(三菱自動車工業(株)).
論文	3. その他
国際会議 査読付き	[15] “都市交通車両用モータードライブシステムの開発”, 自動車技術会論文集 2005 4196 Vol. 36 No. 2, 2005年3月, 加部賢志(国士館大学), 山中旭(早稲田大学), 長田雅裕(澤藤電機), 福繁(大久保歯車), 萩原久雄(TRAD).
技報	[16] “Research and Development of High Efficiency and Low Pollution Series Hybrid System for Super Low Floor City Traffic Vehicle”, 29 th FISITA 2002 in Helsinki, June 2002, K. Kabe (Kokushikan Univ), A. Yamanaka (Waseda Univ), K. Wakabayashi (Kokushikan Univ), M. Osada (Sawafuji El Co), S. Fuku (Okubo Gear Co), H. Hagiwara (TRAD)
	[17] “Concept of a City Commuter Car Powered with Proton Exchange Membrane Fuel Cell Operating on Reformed Methanol” 28 th FISITA 2000 in Seoul, June 2000, K. Wakabayashi, K. Kabe (Kokushikan Univ), K. Kamiya (Waseda Univ), A. Yamanaka, Y. Daisho, T. Saito (Waseda Univ)
	[18] “燃料電池動力システムに関する研究”(第1報)交通安全公害研究所講演会 平成10年度(第28回) 1998.11.20 紙屋雄史(運輸施設整備事業団),山中旭(前事業団),成澤和幸(交通公害部)

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、	発表・発行掲載誌名、	発表・発行年月、	連名者（申請者含む）
	4. 特許関係			
				山中 旭 2012.10.23
		三菱重工（株），三菱自工（株）		（株）TRAD
		1954,4～1989,3		1989,7～1996,3
		1954,4～1967,3	1967,4～1989,3	
国内	出願	—(注1)	127件(注2)	5件(注3)
	認可	—(注1)	76件(注2)	5件
外国	出願	—(注1)	91件(注2)	
	認可	—(注1)	83件(注2)	
				(注1) 1954,4～1967,3の特許調査は高費用のため未調査. (注2) 1967,4～1989,3の特許集計 (注3)排気ガス処理, メタルキャタライザ
	5. 書 籍			
	タイトル	出版元	発表年月	著者
	自動車の基本計画とデザイン（初版）	山海堂	1980. 11	関 敏郎, 斉藤 孟 監修 山中 旭他著
	自動車の基本計画とデザイン（21世紀版）	山海堂	2002. 6	斉藤 孟, 山中 旭 監修 山中 旭他著