

側面衝突に於ける各種ベルト拘束装置が 乗員保護性能に及ぼす影響

Effects of Belt Restraint Systems on Occupant Protection Performance in Side Impact Crashes

下 田 宣 義* 西 田 雄 亮** 秋 山 朗 彦**
Nobuyoshi Shimoda Yuusuke Nishida Akihiko Akiyama

要 旨

シートベルトは、現在衝突事故に際し、最も有効な乗員保護デバイスの一つとして、着用義務付けが拡大しつつあり、ベルト着用率も年々増加しつつある。一方、米国に於ける FMVSS 208 のパッシブ・レストレイント要件の実施に伴い、各種のベルト拘束方式が市場に出廻っている。

これに伴い、今後、ベルト着用状態での側面衝突（以下側突とする）事故も増大すると考えられる。

本稿では、側突時の乗員の頭部の挙動に着目し、側突時に異なるベルト拘束方式が乗員の頭部の挙動及び保護性能にどのような影響を及ぼしているかを調査するため、同一モデルの小型車にラップベルト、2点式オートマチックショルダーベルト、3点式オートマチックベルト、3点式マニュアルベルト、及び無拘束の5種類の乗員拘束条件を設定し、さらに各条件で、'88改良型 DOT SIDE IMPACT DUMMY（以下SID）の搭載位置を、衝突側の前後席タンデム配置及び、前席の衝突側及び非衝突側のパラレル配置の2種に分けた、計10台のテスト車を用いて、NHTSA方式による側突テストを実施した。

これらのテストにより、拘束条件の違い、座席位置の違い及び、隣席乗員の有無により、SIDの頭部の挙動及びSID各部加速度がどのような影響を受けているかを比較解析し、側面衝突に於けるベルト拘束システムの有効性を検証した。

ABSTRACT

Belt restraint systems are among the most effective occupant protection devices now available, and mandatory usage is becoming law in many nations. As a result, belt usage ratio is increasing. Following the implementation of FMVSS 208 Passive Restraint Regulation in the US, a diversity of belt restraint systems have come to be offered on the automotive market. This implies that an increasing number of belt-restrained occupants may be involved in side impact traffic accidents in future.

Thus we focused attention on occupant head behavior in a side impact crash, and investigated the effects of several belt restraint systems on occupant head behavior and impact protection performance in side impact crashes.

In the process, 10 full-scale side impact crash tests were conducted according to the National Highway Traffic Safety Administration test procedure with one Honda subcompact car model. In half of these test cars, two of '88 improved type Side Impact Dummies (SID) were placed one behind the other. In another half, two SID's were placed side by side in the front seats. Five different restraint conditions were tested in both seating configurations: lap belts only; 2-point automatic shoulder belts; 3-point automatic belts; 3-point manual belts; and no-restraints.

Based on these test results, we compared and analyzed SID head behavior and SID torso region accelerations affected by different conditions such as occupant restraints, seating positions and presence of a side occupant, and discussed the effectiveness of the belt restraint systems on side impact occupant protection.

* 国際交通安全学会

** 栃木研究所

1. まえがき

現在、ベルト拘束装置として、3点式マニュアル（ラップ／ショルダー）ベルト（以下3P／M）が一般的であるが、側面衝突時の3P／Mの乗員保護性能は、非衝突側乗員及び、乗員の車外放出（以下エジェクション）防止以外には、あまり効果がないといわれている。⁽¹⁾

これは即ち、衝突側乗員に於いては、車体側面の車体有効緩衝距離（車体最外側から乗員迄の距離）が正面衝突と比較して極端に短く、乗員が衝突車からの衝撃をほとんど直接受ける為であり、その間、乗員はほとんど静止したままで、ベルト拘束の効果が出ないものと思われる。

一方、衝突死亡事故に於ては、頭部傷害によるものが、半数近くを占めている。⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 乗車中のこのような乗員の頭部傷害は正規着座位置にいる限り、上述の様な直接的な衝突によるものではなく、車室内や車外の物体との2次的な接触によって生じていると考えられる。このうち、エジェクションによるものを除外しても、頭部の傷害は無視出来ないレベルにある。⁽⁵⁾ この様な、2次的接触の状態に於いては前面衝突の場合と同様、側面衝突に於いても、ベルト拘束による保護効果が発揮され得るはずであり、この点で、非衝突側乗員に対してはベルト拘束が傷害低減に対し、有効であるといわれている事は理解出来る。しかし、衝突側乗員に対しても、2次的接触による傷害である限り、ベルト拘束の効果は期待できるはずであるが、実際には、3P／Mベルト着用状態でも、頭部に重傷を負うケースが、発生しており、これも、側突にベルト拘束が効果的でないといわれる理由の一つであろう。

事故統計の解析では、側突時の頭部受傷の際の接触部位は、不明が、約半数を占めており、⁽²⁾ 頭部の受傷メカニズムは、いまだよく判っていない。特に、ベルト拘束の状態、どの様な挙動を示すのか、明らかになっておらず、側突時の頭部衝撃保護の為には、この点を解明する必要がある。

本稿では、側突時の乗員の頭部衝撃保護の研究の第一歩として、ベルト拘束時の乗員の頭部の挙動を把握し、ベルト拘束装置が、側突時の乗員にどの様な影響を及ぼしているか、又、ベルト拘束

装置による頭部衝撃保護対策の可能性について解析を行った。

テストは、同一車種（ホンダクイント・インテグラ・3D）10台を用いて、各々、拘束条件、座席位置、及び隣席乗員の有無といった条件を変え、NHTSA方式⁽⁶⁾によるフルスケール側面衝突テストを実施し、各条件によるSID頭部の挙動、及びSID各部加速度の違いについて比較解析を行った。NHTSA方式は、いまだ、側突テストとしてオーソライズされた方式とはいえず、又、SIDも、計測項目が不充分、且つ応答の生体忠実度（バイオフィデリティ）も満足のいくレベルとはいえないが、比較の一手法として採用した。

検証に際しては、側面衝突時、乗員が受傷する衝突発生タイミングを2つに分け、一方は、衝突車の侵入で押された車体内側面が直接乗員を加撃する様な、衝突現象の比較的初期（約50ms以内）に発生する衝突タイミングを、初期乗員衝突ステージ（Initial Occupant Impact Stage = IOIS）とし、他方は、IOISの後、そのリバウンド、もしくは乗員自身の慣性力により、車室内、外、又は隣席乗員等と衝突する2次的衝突のタイミングを2次乗員衝突ステージ（Secondary Occupant Impact Stage = SOIS）とし、その各ステージに於ける各ベルト拘束装置の、側面衝突時の乗員保護に対する有効性を検証した。

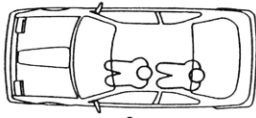
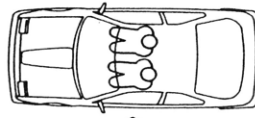
2. テスト方法

2.1. テスト方法

テストグループとテストマトリックスを表1に示す。ホンダの、'88年モデル3D・クイント・インテグラをベースに、2点式オートマチックショルダーベルト（以下2P/A）、3点式オートマチックベルト（以下3P/A）、3点式マニュアルベルト（以下3P/M）、ラップベルト及び無拘束と5種類の拘束条件のみを変更したテスト車を各2台ずつ準備し、各拘束条件のテスト車を1台ずつ、計5台の2つのグループを作った。

一方のグループには、SIDを前後席衝突側にタンデムに搭載し、他のグループには、前席衝突側及び非衝突側に平行に搭載した。これら2

表1 テストマトリクス（着座位置と拘束条件）

着座条件	 衝突方向		 衝突方向	
	前席衝突側乗員	前席非衝突側乗員	前席衝突側乗員	後席衝突側乗員
無拘束	1 ケース	2 ケース	1 ケース	1 ケース
ラップベルト	1 ケース	—	1 ケース	1 ケース
2 点式オートマチック ショルダーベルト	1 ケース	—	1 ケース	1 ケース
3 点式オートマチックベルト	1 ケース	—	1 ケース	1 ケース
3 点式マニュアルベルト	1 ケース	3 ケース	1 ケース	1 ケース

グループ 10 台のテスト車により、NHTSA 方式のフルスケール側突テストを実施し、SID により各部加速度の測定及び、車載ハイスピードカメラ 2 台（ないし 3 台）により SID の頭部軌跡を観察した。

図1, 2, 3 に衝突前テスト車及び Moving Deformable Barrier (以下 MDB) を示す。

2.2. テスト条件

NHTSA タイプサイドインパクトテスト (図4)

—NHTSA 方式サイドインパクトムービングバリア (1360kg)

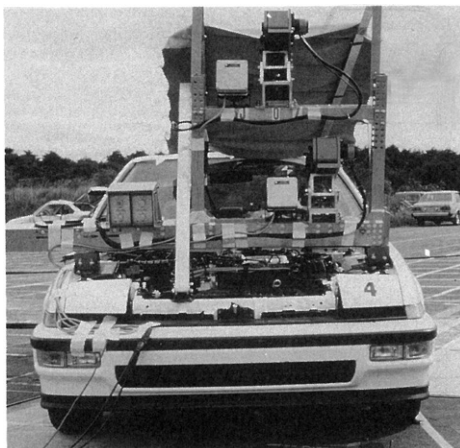


図1 テスト車前面～テスト前

—クラブ角 27°

—NHTSA 方式 MDB (衝撃吸収用ハニカムは昭和飛行機製)

—衝突目標速度 53.9km/h

Side Impact Dummy (SID)

—'88 年型 DOT SID

(Alderson Research Laboratory INC. 製レトロフィットキット組込)

(計測チャンネルは、頭部のみ SAE J211b, その他のチャンネルは、SAE J211 + FIR フィルターで処理された。)

ベルト拘束条件

図5 に各ベルトシステムのアンカレッジポイントを示す。

各アンカレッジ位置は、各ベルトシステムが市販車に適用しているアンカレッジポイントを SID の HIP POINT 基準で再現した。

3. テスト結果

各ベルト拘束仕様の違いによる SID の頭部 (額中央) の軌跡を、前席衝突側 (非衝突側乗員なし)、前席衝突側 (非衝突側乗員あり) 及び前席非衝突側の各シートポジション毎にまとめて、図6, 7, 8 に示す。

又、SID の発生加速度波形を図9～16 に示す。



図2 テスト車の側面～テスト前

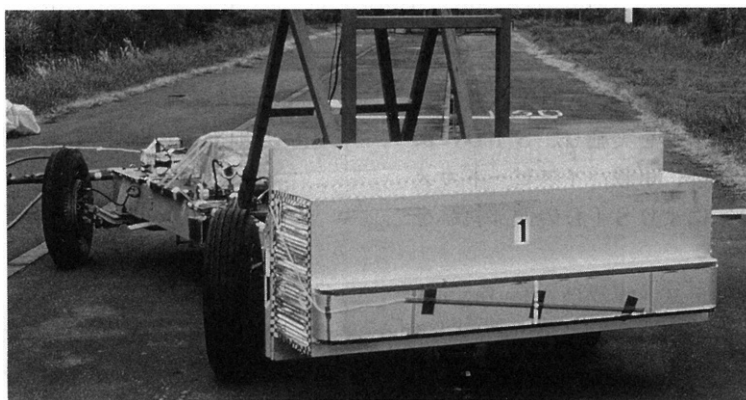


図3 側突台車－ Moving Deformable Barrier

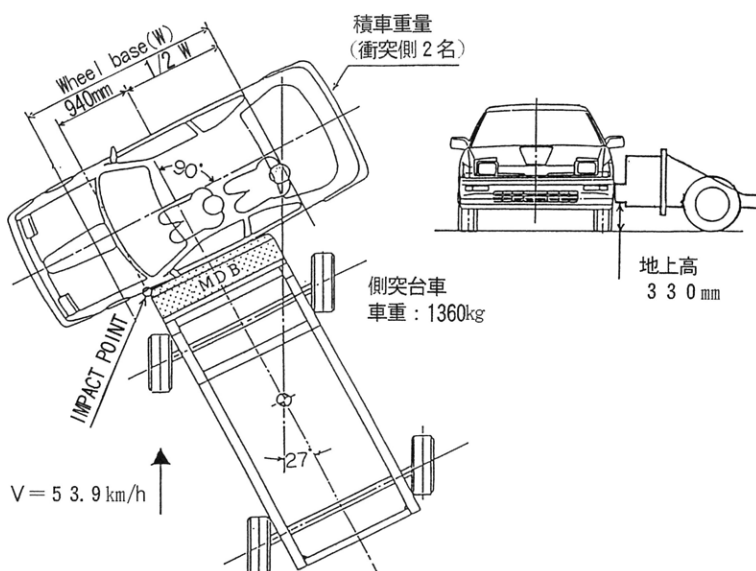


図4 NHTSA タイプサイドインパクトテスト方法⁽⁶⁾

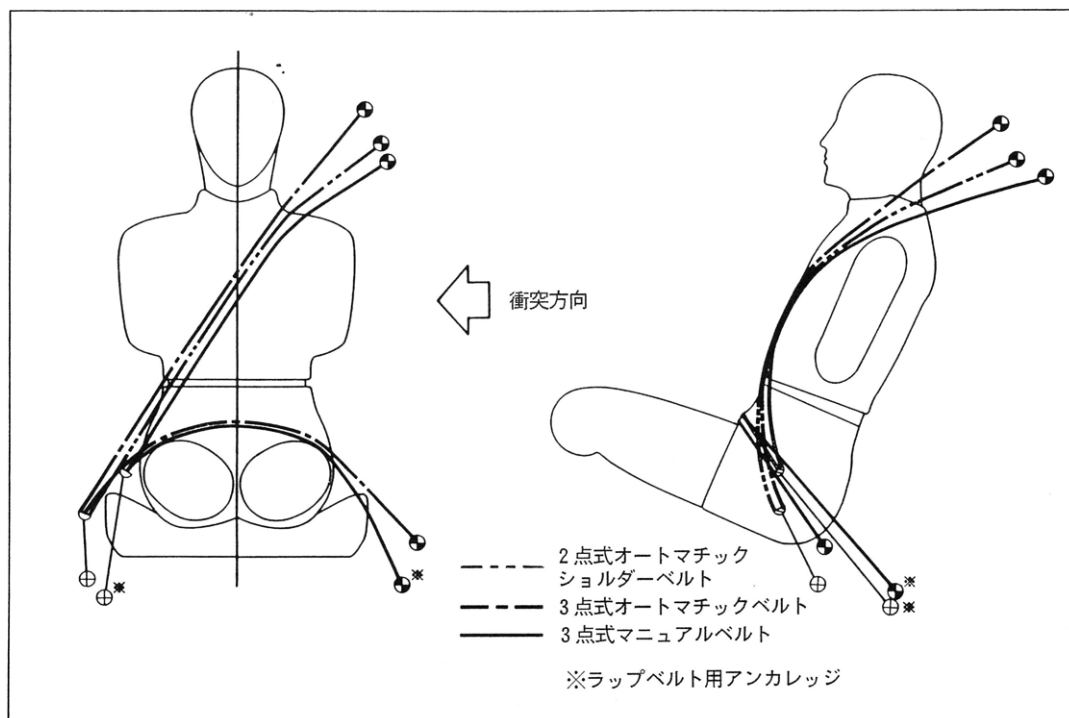


図5 シートベルトアンカレッジのレイアウト—テスト用の拘束システム

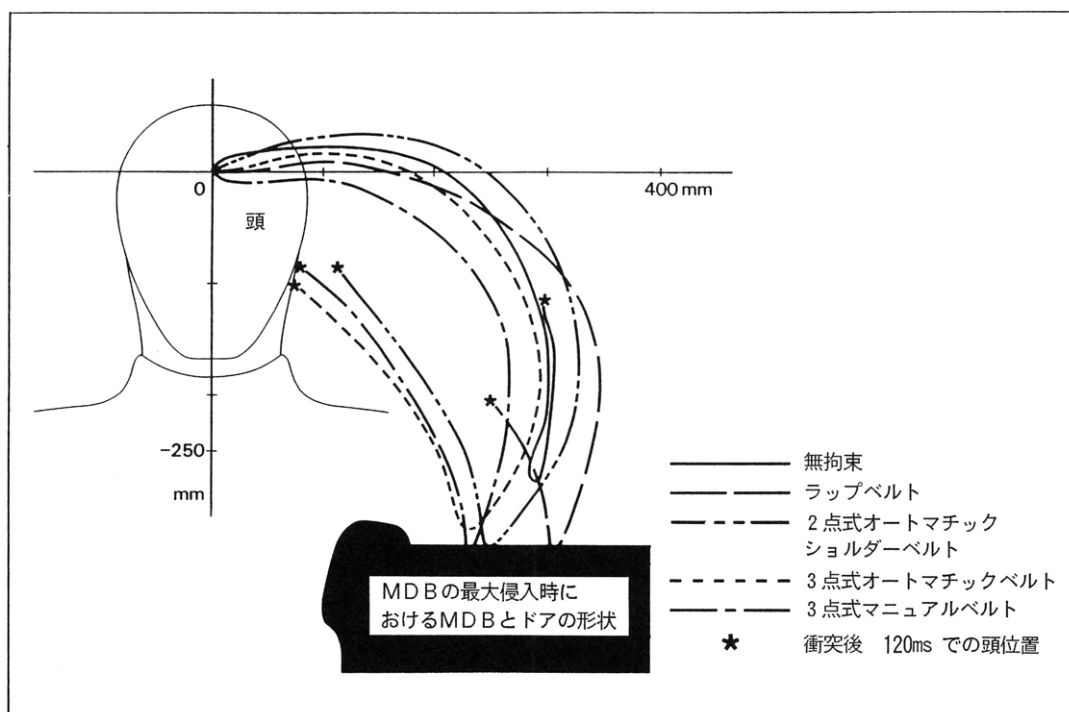
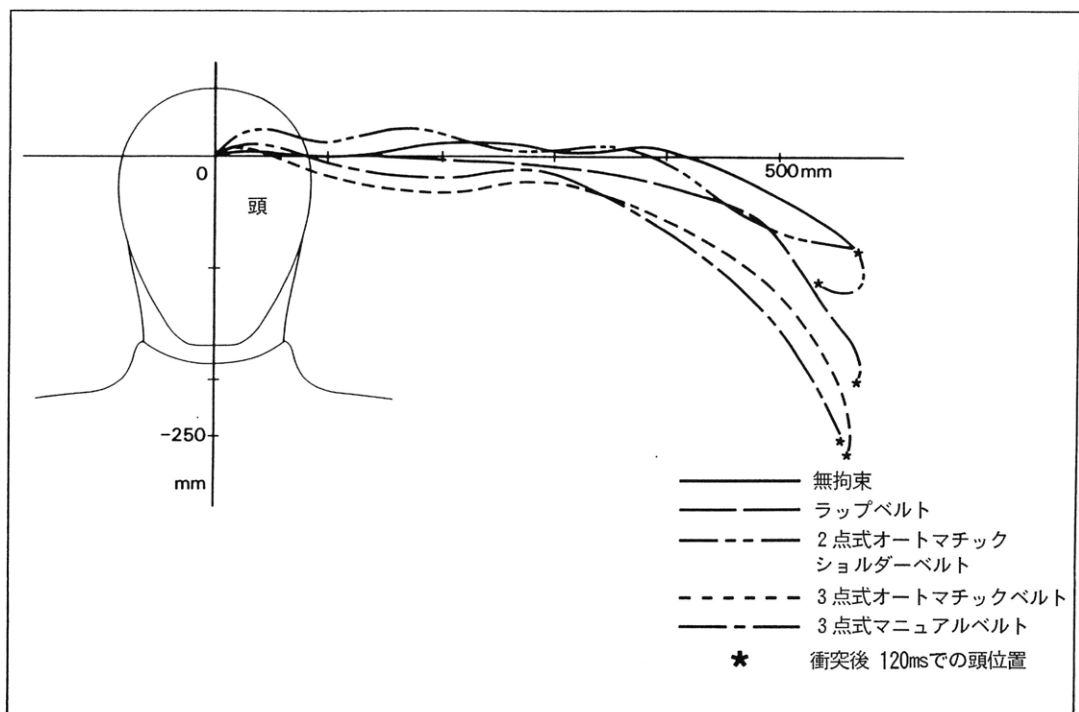
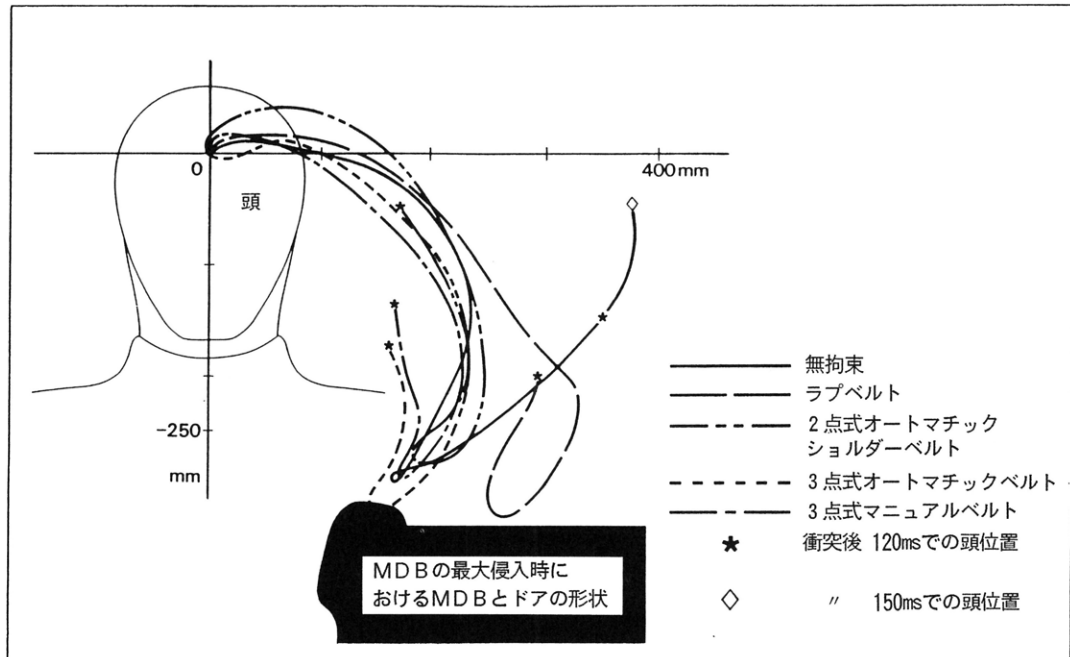


図6 衝突側前席乗員の頭部軌跡（隣席乗員なし）



3.1. 前席衝突側（非衝突側乗員）

(1) SID 加速度 (図9, 10)

トルソー部の最大ピーク加速度は、50ms 迄に発生しており、この間 SID はほとんど動いておらず、ベルト拘束システムはこの IOIS 時の乗員保護に対し有効ではない。

(2) 頭部軌跡 (図6)

MDB のテスト車への接触後、ほぼ 80ms 付近で、ベルト拘束の有無に拘らず SID 頭部／顔面は

MDB 又は、ドア上端部に接触し、頭部は最大加速度を出しており (図9)、この点に於ては、ベルト拘束は SOIS 時の乗員保護に対し、有効に働いていないといわざるをえない。又、頭部のその他のボディ構造への接触は見られなかった。但し、図6に見られる通り頭部の軌跡はMDBに接触後、車室内方向に引戻されており (特にショルダーベルト付が顕著) 衝突側に於ても、ベルト拘束による、SOIS 時の頭部がサイドウィンドウから飛

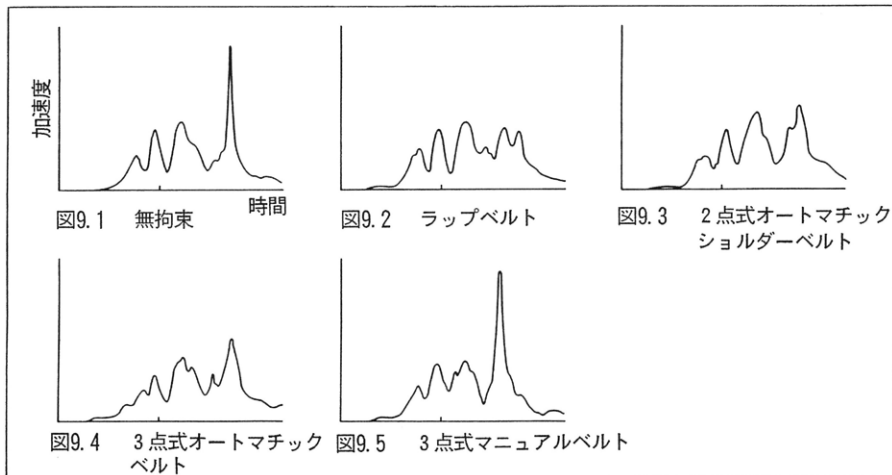


図9 5種の拘束条件における前席衝突側乗員（隣席乗員なし）の頭部加速度（3軸合成加速度）

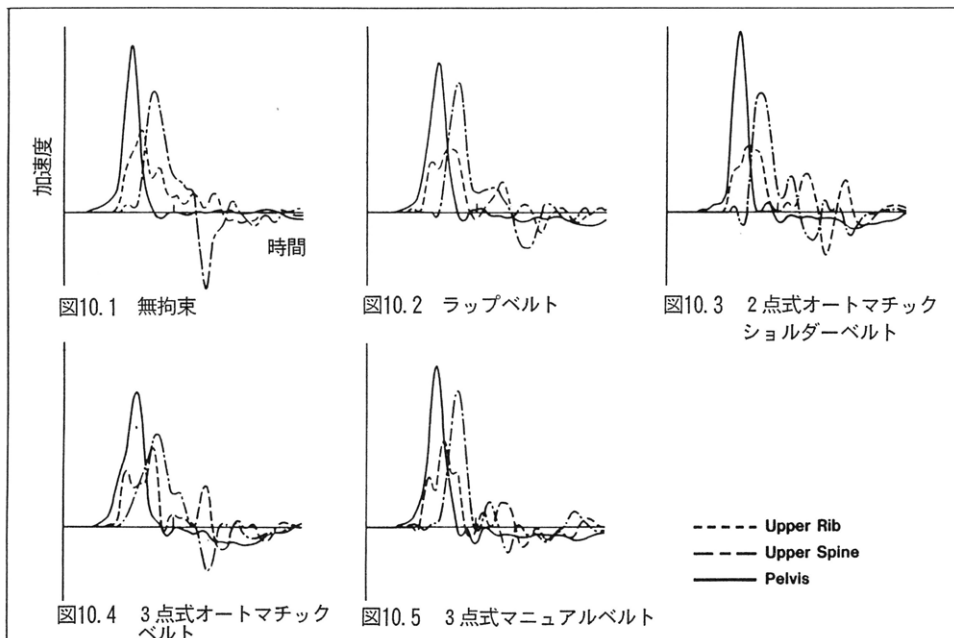


図10 5種の拘束条件における衝突側前席乗員（隣席乗員なし）の胸部と腰部の加速度

び出す現象（以下パーシャルエジェクションという）の緩和が計れる可能性は残されている。

無拘束時に対し、2P/A 拘束時の軌跡は上方及び外側方に一廻り大きくなる。又、ラップ拘束時の軌跡はインパクト初期には、無拘束より低い、後半には、最も外側方に突出する。この現象は側突時に於けるショルダーベルトとラップベルト

の機能の違いを端的に示している。2P/A の場合、ラップベルトがない為、SID の上方移動を拘束しきれないが、ショルダーベルトにより、外側方への移動を抑えている。又、ラップベルトの場合、SID の上方移動は抑えているが、外側方への移動は拘束出来ていない。

2P/A が、無拘束より外側方へ突出するのは、無

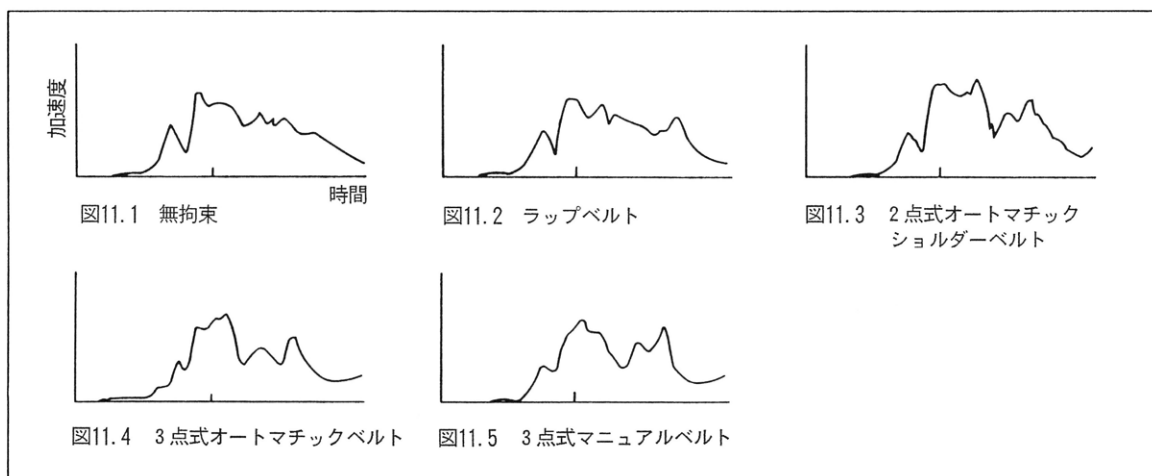


図 11 5種の拘束条件における衝突側前席乗員（隣席乗員あり）の頭部加速度（3軸合成加速度）

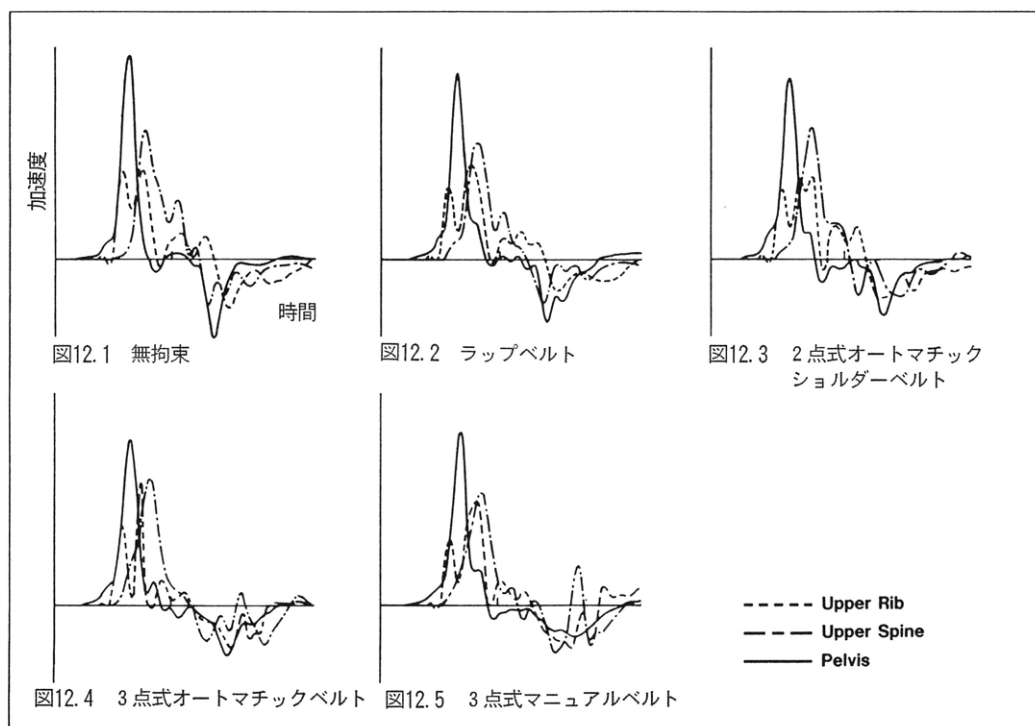


図 12 5種の拘束条件における衝突前席乗員（隣席乗員あり）の胸部及び腰部の加速度

拘束では、IOIS 時、腰が非衝突側にはじき飛ばされ、トルソーが車室内に引込まれる為、頭部の突出量が、それにつれ減少するのに対し、2P/A はショルダーベルト下方が、腰部の移動を拘束する為、相対的に頭部の突出量が増加する事によるものと思われる。

3P/A 及び 3P/M は、どちらも、無拘束に対し、内側の軌跡を描く。この現象は、ラップベルトとショルダーベルトが、それぞれ、SID の上方及び、外側方への動きを拘束した結果と思われる。

3P/A の軌跡が 3P/M より外側になる理由は、3P/A のラップ及びショルダー双方の ELR がドアに組込まれており、サイドシル部に付けられている 3P/M のアンカレッジより室内侵入量が、大きくなり、ベルトのゆるみが出た為と思われる。

3.2. 前席衝突側（非衝突側乗員あり）

(1) SID 加速度（図 11, 12）

MDB 接触後、50ms 付近迄は、前項と同様な値を示しており、ベルト拘束システムの違い、非衝

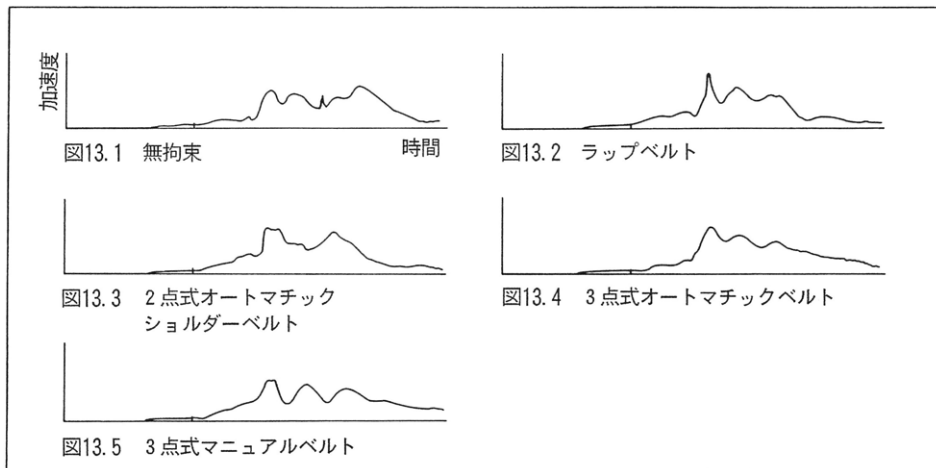


図 13 5種の拘束条件における非衝突側前席乗員（隣席乗員あり）の頭部加速度（3軸合成加速度）

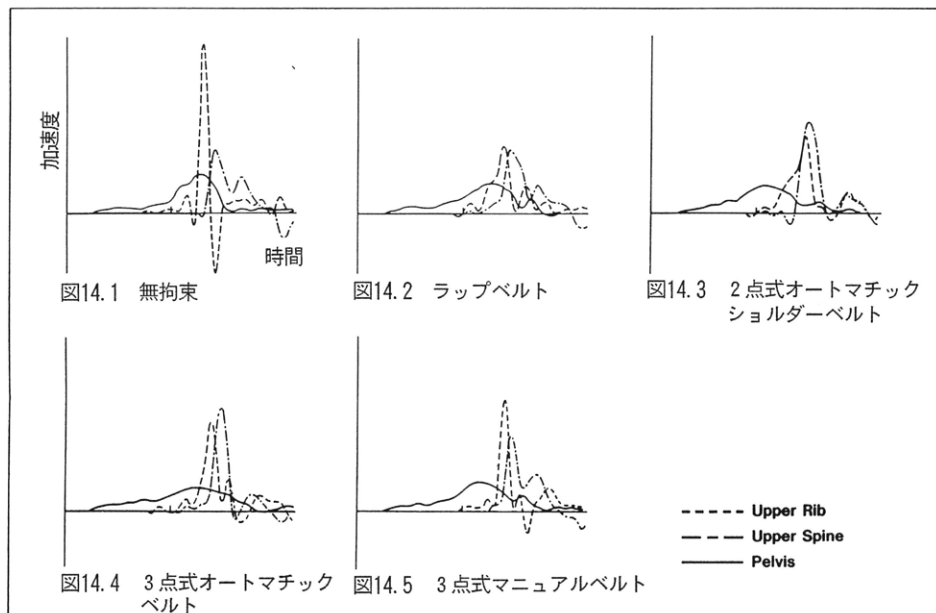


図 14 5種の拘束条件における非衝突側前席乗員（隣席乗員あり）の胸部と腰部の加速度

突側乗員による影響は出ていない。即ち前項同様に IOIS 時の乗員保護に対し、現状のベルト拘束システムは有効ではない。

50ms 以降には、非衝突側の SID と衝突をしているが、非衝突側の SID の発生加速度レベルに比較し、相当低い値を示す。これは、SID 構造の左右非対称性によるものと考えられ、このような場合には、両方向対称特性の SID の開発が望まれる。

(2) 頭部軌跡 (図7)

ベルト拘束の有無にかかわらず、SID 頭部／顔面は MDB 又はドア上縁に接触している。但し、その他のボディ構造への接触は見られなかった。又、全てのケースで軌跡は非衝突側乗員なしの場合に比べ、外側方への突出が減少している。これは早い時点で非衝突側の SID と接触することにより、腰及び上体が、侵入するドアとの間に挟み込まれる様に拘束されるので、頭が首を中心とし

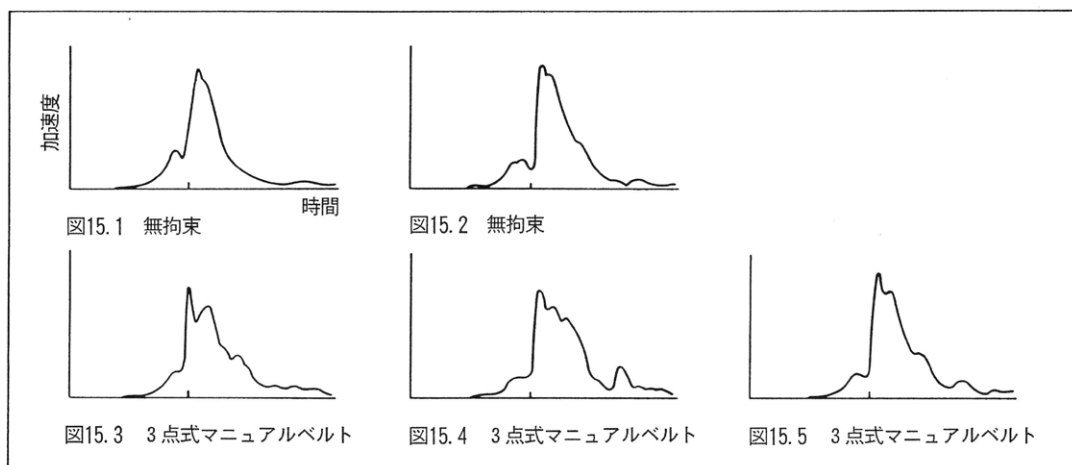


図 15 2種の拘束条件における衝突側後席乗員の頭部加速度（3軸合成加速度）

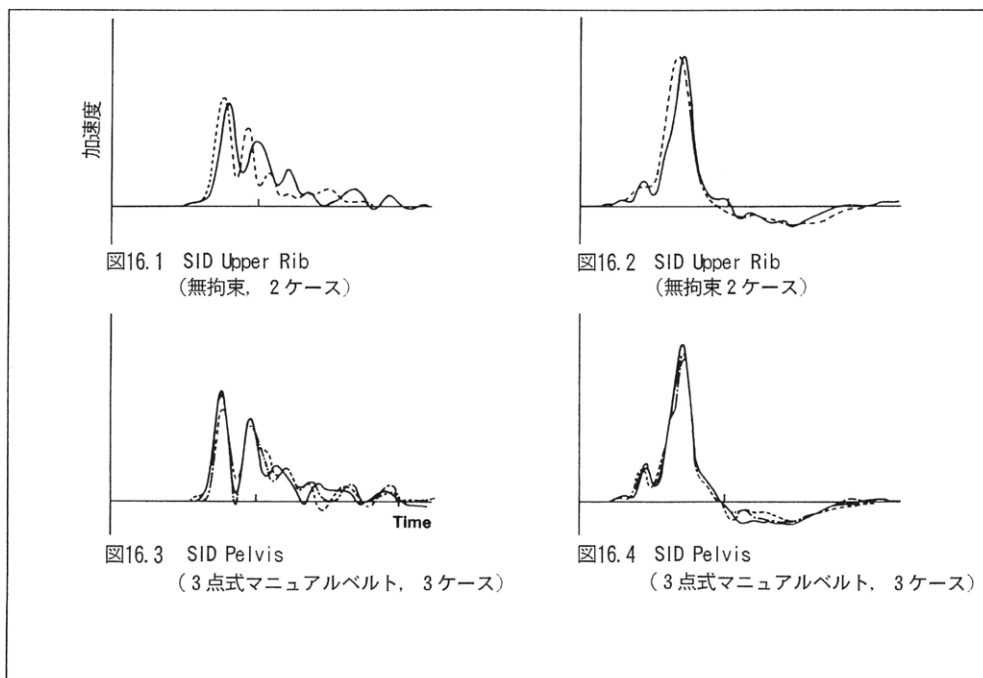


図 16 2種の拘束条件における衝突側後席乗員の胸部と腰部の加速度

た軌跡を描く為と思われる。

さらに、ラップ拘束及び無拘束では、非衝突側の SID によって、外側方へ押出される。特に無拘束の場合は、拘束するものがない為、大きく車外に突出する。

この現象は、衝突側位置でも SOIS 時点では、ベルト拘束が乗員の挙動に影響を与える可能性を示すものであり、特に頭部のパーシャルエジェクションについてはショルダーベルトが、ラップベルトより効果的である。

3.3. 前席非衝突側（衝突側乗員あり）

(1) SID 加速度（図13, 14）

いずれの拘束条件に於ても、MDB 衝突後、ほぼ 50ms 以降に衝突側の SID と衝突し、ピーク加速度を発生している。無拘束の場合は、他のベルト拘束の場合より、Upper Rib の最大ピーク値が高く（図14）、速いタイミングで発生しており、衝突側の SID のリバウンドと、非衝突側の SID の慣性運動の相乗効果によるものと思われる。

この現象は明らかにベルト拘束による効果が出たものであり、非衝突側乗員の SOIS 時の乗員保護には、ベルト拘束が有効であると言える。

(2) 頭部軌跡（図8）

いずれの拘束条件に於ても衝突側の SID に衝突する為、頭部の移動量はほぼ同等である。

無拘束では、初期はほぼ水平に移動するが、衝突側の SID に衝突後は、それに乗上げる様な形となって腰が浮く為、軌跡は上方にスライドする。非衝突側においては、センター・ピラーにショルダーベルト・アンカレッジを備える通常形式のショルダーベルトは早期に肩外れを起す為、上下方向の拘束が弱く、2P/A が無拘束と同様高い軌跡となり、3P/A, 3P/M が最も低い軌跡を示す。

これは、各ベルト拘束システムの拘束力の差が現れたものと考えられ、SID 加速度の結果と合わせると、ベルト拘束システムは、非衝突側乗員の SOIS 時の乗員保護に有効であると言える。

3.4. 後席衝突側

SID 加速度の波形を図15, 16 に示す。
ベルト拘束の有無に拘らず、ほぼ一致した波形を

示しており IOIS 時の乗員保護には、ベルト拘束は、効果を発揮していない事がわかる。

一方、この図から、これら一連のテストの再現性は良好であるといえる。

4. 結 論

同一車種（ホンダ・クイント・インテグラ・3D）10 台に、ラップベルト、2 点式オートマチックベルト、3 点式オートマチックベルト、3 点式マニュアルベルト及び無拘束と 5 種類の拘束条件を各 2 台ずつ設定し、各拘束条件のそれぞれを、'88 年型改良 SID を衝突側前後席タンデム、及び前席左右パラレルに搭載した状態で、NHTS 方式（クラブ角 27°、衝突速度 53.9km/h、NHTSA タイプ MDB）の側突フルスケールテストを実施した。

これら一連のテストにより、SID の頭部の軌跡及び SID 各部の加速度を計測し、座席位置及びベルト拘束システムの違いによる影響を調べた。得られた結果は下記の通りである。

1. 今回の各拘束条件のテストに於て、前席 SID の頭部が、フロントピラー、センターピラー又はルーフサイドレール等車体上部と衝突したケースは一例もなく、全て頭部のパーシャルエジェクションによる、MDB 又は、自車のドア上縁との衝突であった。
- SID の側方挙動のバイオフィディリティが、信頼出来るとすれば、ベルト拘束状態での側突の場合、衝突側乗員の頭部傷害は、頭部のパーシャルエジェクションによる外部物体又は自車のドア上縁との衝突のケースが多く、その他の車体構造物との衝突は少ないものと推定できる。
- 今後、ベルト着用者の増大に伴い、頭部のパーシャルエジェクションによる傷害に対する乗員保護対策が重要であると思われる。
2. 衝突側の IOIS 時の乗員保護には、今回テストに用いたどのベルト拘束システムも有効ではない。
3. 隣席乗員なしの衝突側乗員の SOIS に於ては、頭部の軌跡に、ベルト拘束の影響が見られるが、頭部のパーシャルエジェクションによる、MDB やドア上縁との衝突を防ぐ迄には到らない。

4. 隣席乗員のいる衝突側乗員の SOIS に於ては、ベルト拘束仕様の違いにより、頭部の軌跡に顕著な差が生じ、頭部のパーシャルエジェクションに対しては、ラップベルトよりショルダーベルトの方が有効である。

但し、頭部のドア上縁との衝突を防止する迄には到らない。

5. 隣席乗員のいる非衝突側乗員の SOIS に於ては、乗員保護にベルト拘束が有効である。

上述の如く、側面衝突に於いて、衝突側の IOIS 時点以外の状況では、ベルト拘束が乗員頭部の軌跡に、多かれ少かれ影響を及ぼしている事が判明した。又、パーシャルエジェクションによる頭部傷害低減の為には、サイドウインドウから乗員の頭部が出ない様にする事が効果的であるが、このような機能、性能を充たし得るサイドウインドウがない現状においては、乗員のトルソーをよりタイトに拘束し、頭部のパーシャルエジェクションを緩和する手法を、さらに研究する必要がある。但し、その際、トルソーの拘束が強くなるほど、乗員の首のトルソーに対する曲げ角度が大きくなるが、この点についての首の傷害に対する影響については、意見が別れており⁽⁷⁾⁽⁸⁾ 評価が定まっていないので、トルソーの拘束を向上させる様な拘束システムの開発に際しては、留意すべきである。

参考文献

- (1) National Transportation Safety Board of Bureau Safety Program Safety Study "Performance of Lap/Shoulder Belts in 167 Motor Vehicle Crashes (Volume 1)" Report No. NTSB/SS-88/02
U. S. Department of Commerce PB88-917002, Mar. 1, 1988
- (2) Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration 49 CFR PART 571 (Docket No. 88-06, Notice 3)
Federal Motor Vehicle Safety Standards; Side Impact Protection-Passenger Cars Federal Register/Vol. 53, No.161/Friday, August 19, 1988/proposed Rules.
- (3) S, W. Rouhana, M, E. Foster
"Lateral Impact-An Analysis of The Statistics in The NCSS"
SAE Technical Paper No. 851727, 1985
- (4) F. Hartemann, C. Thomas, J. Y. Foret-Bruns, C. Henry, A-Fayon, C. Tarrier
"Occupant Protection in Lateral Impacts" Proceedings of Twentieth Stapp Car Crash Conference SAE Technical Paper 760806 1976.
- (5) S. C. Partyka, S. E. Rezabek
"Occupant Injury Patterns in Side Impacts-a coordinated Industry/Government Accident Data Analysis"
International Congress & Exposition SAE Technical Paper No. 830459 1983.
- (6) Department of Transportation
National Highway Traffic Safety Administration 49 CFR PART 571 (Docket No. 88-06; Notice 1)
Federal Motor Vehicle Safety Standards; Side Impact Protection.
Federal Register/Vol. 53, No.17/Wednesday, January 27, 1988 Proposed Rule.
- (7) F, Walz, P. Niederer, C. Thomas, F. Hartemann, "Frequency and Significance of Seat Belt Induced Neck Injuries in Lateral Collisions"
Proceedings of the Twenty-Fifth Stapp Car Crash Conference, September 28-30 1981
- (8) D. J. Dalmotas
Injury Mechanisms to Occupants Restrained by Three-Point Seat Belts in Side impacts Proceedings of International Congress & Exposition 1983
SAE Technical Paper No. 830462 1983.

■著 者■



下 田 宣 義



西 田 雄 亮



秋 山 朗 彦