

プリクラッシュ制動付きスレッド試験システムを用いた プリクラッシュ・シートベルトとエアバッグの評価

Assessment of a pre-crash seatbelt and an airbag
using a new crash test sled system with controllable pre-crash braking

伊藤 久雄^{*1}

Hisao ITO

鮎川 佳弘^{*1}

Yoshihiro SUKEGAWA

江島 晋^{*2}

Susumu EJIMA

アントナハコボ^{*1}

Jacobo ANTONA

1. はじめに

自動車の衝突安全性能は、衝突時の乗員挙動と受傷メカニズムについて議論されてきた。このような議論では、自動車に搭載される人体ダミーが衝突試験法で規定されている標準的な着座姿勢を維持した状態で衝突すると仮定される。しかしながら、実際の自動車乗員は、体格、年齢、性別により様々な着座姿勢をとるばかりではなく、実際の事故では衝突直前（プリクラッシュ時）の回避行動により、乗車姿勢が時々刻々と変化し、標準的な姿勢を保つことは困難である。交通事故の詳細データによれば、交通事故全体の約60%でプリクラッシュ時に運転者は何らかの回避行動（ブレーキ操作、ハンドル操作など）を行っている¹⁾。また、プリクラッシュ時の乗員挙動の変化は、受傷部位や傷害程度に影響することが事故データより示唆されている²⁾。このことから、実際の事故での死傷者低減のためには、プリクラッシュ時の乗員挙動を再現した上で保護装置の最適化を検討できる試験手法の開発が必要である。最近では、衝突直前における姿勢変化の影響を制御するための保護装置として、電動モーターでベルトを自動的に巻き取るプリクラッシュ・シートベルト（PSB）が一部の市販車両に搭載されるようになってきている³⁾。この装置は、普及しはじめている緊急自動ブレーキ（AEB）に組み合わせることにより、乗員への拘束力を高める効果が期待される。

本研究では、前面衝突時におけるPSBなどのAEBと連動した拘束装置の効果を評価する新しい実験的方法（プリクラッシュ制動付きスレッド試験）について検討したものである。具体的な実験方法としては、試験台車（以下、プリクラッシュ台車）上に再現された乗用車の運転席に衝突試験用ダミー（以下、ダミーとする）を搭載し、従来型の拘束装置（標準的なシートベルト、エアバッグ）とPSBとワイドに展開するエアバッグを組み合わせた拘束装置の違いについて評価した。この研究結果は、2013年5月に韓国ソウルで行われた23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV)において、(株)東海理化・豊田合成(株)、ならびに当研究所から2編の論文が報告されている^{4),5)}。本報告では、ESVで報告された2編のプリクラッシュ研究の結果概要を報告する。

2. 試験方法

2.1 試験装置

プリクラッシュ制動付きスレッド試験システムは、プリクラッシュ・ブレーキ時の減速度波形と衝突時の減速度波形を同時に再現するように開発されたものである。スレッド試験システムの作動イメージをFig. 1に示す。このシステムでは、プリクラッシュ台車を牽引装置により所定の走行速度まで牽引した後、設定した位置で牽引装置から切り離し、フリーラン状態にてブレーキ制動をかけながら固定バリアに設置した緩衝装置に衝突させる方法である。なお、詳細なプリクラッシュ・

*1 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

*2 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部 博士(工学)

スレッド試験システムの構造については、既報^{6),7)}に示されているので省略する。

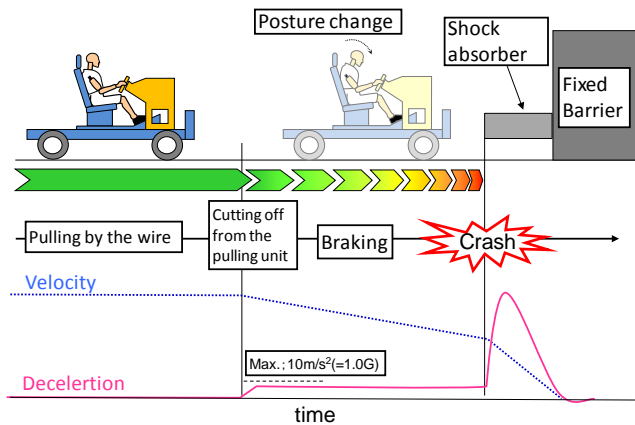


Fig. 1 Scheme of the pre-crash sled system

Fig. 2 にプリクラッシュ台車概観を示す。台車上には、運転席を模擬するものとして、インストルメントパネルやステアリング、フットプレートを再現し、座席は剛体シートを用いた。剛体シートには、ダミー (Hybrid-III) を搭載しシートベルトを着用させた。エアバッグ付きステアリング・ホイールとシートベルトは試験毎に交換した。

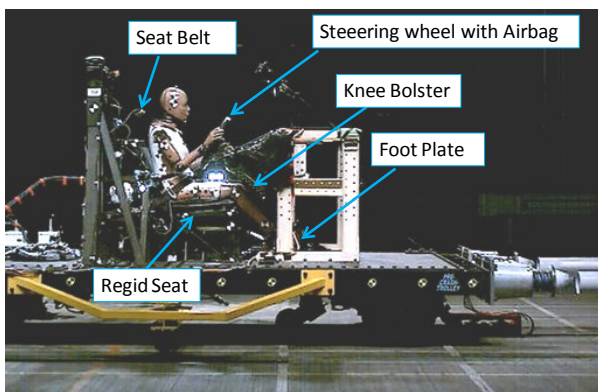


Fig. 2 Picture of the pre-crash sled system

2.2 試験マトリックス

本試験では、平均的な成人男性ダミー (Hybrid-III AM50ダミー) と小柄女性ダミー (Hybrid-III AF05ダミー) を用いて、Table 1 に示す5ケースの試験を行った。シートベルトには、従来のシートベルトとPSBを用いた。エアバッグには、従来のエアバッグ (Spec1 AB) とワイドに展開するエアバッグ (Spec2 AB) を用いた。なお、本試験では、No.1とNo.3の試験を、AM50ダミー

とAF05ダミーの基準となる試験条件とする。

Table 1 Test Matrix

No.	Dummy	Seat belt	Airbag
1 *	AM50	Conventional SB	Spec1 AB(normal)
2		PSB	Spec1 AB(normal)
3 *	AF05	Conventional SB	Spec1 AB(normal)
4		PSB	Spec1 AB(normal)
5		PSB	Spec2 AB(widely)

*: Baseline Test

2.3 ダミー改良と前屈特性の確認

ブレーキ制動時のHybrid-IIIダミー上半身の前屈特性は、志願者実験の結果よりも硬く、ブレーキ制動時の乗員の前屈特性を再現するには十分でないことが報告されている^{8), 9)}。このため、ブレーキ制動時のAM50ダミーとAF05ダミーの前屈特性を志願者実験の結果に近づけるためにダミーの改良を行った。

(1)AM50ダミーの改良

ダミー上半身の前屈特性を柔らかくして、ブレーキ制動時の志願者実験の特性に近づけるため、Fig. 3 に示すように腰椎 (ランバー) の一部を切り取った。Fig. 4 に、ボランティア試験の前屈角度変化-時間特性¹⁰⁾と従来のAM50ダミーならびにランバーを改良したダミーの特性¹¹⁾とを比較する。

比較した0.7G相当の2点ベルト固定の低速スレッド試験において、従来のAM50ダミーは5°程度しか前屈しないのに対し、改良したAM50ダミーは35°前屈し、志願者の前屈特性に近づいていることがわかる。なお、改良したAM50ダミーを用いてブレーキ制動無しの55km/h衝突試験を行い、従来のAM50ダミーと比較したところ、胸部加速度に違いは見られなかった。

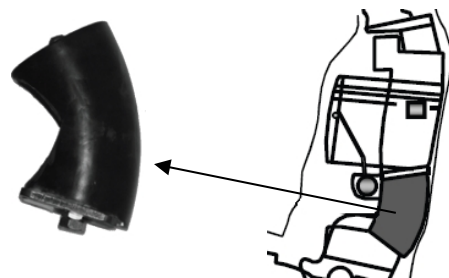


Fig. 3 Scheme of modified lumbar for a AM50 dummy

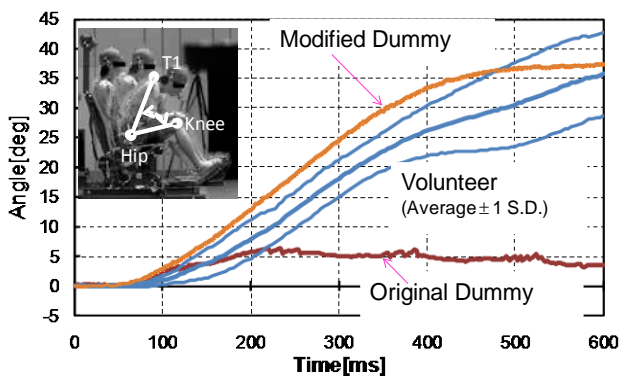


Fig. 4 Comparison between volunteer and AM50 dummy

(2) AF05ダミーの改良

AF05ダミーを前屈させて腹部内臓器を模擬した腹部インサートとの接触状況を確認すると、腹部インサートが胸郭と腰部の間に挟まれることから、上半身の前屈特性に大きく影響を与えている状況が確認された。このため、Fig. 5 に示すように腹部インサートの一部を削除し、前屈特性を確認した。

AM50ダミーと同様にブレーキ制動時の志願者試験の結果¹²⁾と比較すると、ダミーの肩の動きが女性志願者の試験挙動に近づいた。

以上より、ダミーのランバー部を改良したAM50ダミーならびに腹部インサートを改良したAF05ダミーを以降のスレッド試験に用いることとした。

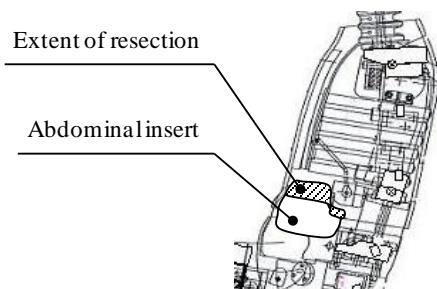


Fig. 5 Scheme of modified abdominal insert for a AM50 dummy

2.4 台車減速度

台車条件については、牽引装置により64km/hの走行速度に達するまで台車を牽引した後、所定の位置で台車を切り離し、約8m/s²の減速度を約0.4秒間持続させた後に緩衝材に衝突させた。

Fig. 6 に台車のブレーキ減速度ならびに衝突減速度を示す。

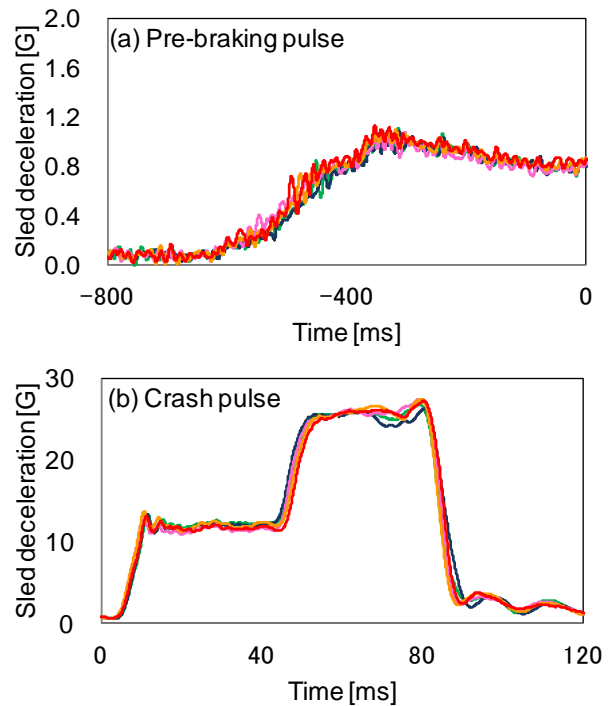


Fig. 6 Comparison of braking and crash pulse

同図では、Test1~5の台車減速度を示しているが、ブレーキ減速度、衝突減速度とも波形がほぼ一致していることがわかる。このため、プリクラッシュ制動付きスレッド試験システムの減速度波形の再現性は良好と言える。

3. スレッド試験結果

3.1 従来システムの試験結果

改良したAM50ダミーならびにAF05ダミーを用いた従来システムの試験 (Baseline test) 結果をFig. 7 に示す。なお、ここに示した傷害値は、FMVSS208¹³⁾で規定されている傷害基準値を1として正規化している。頭部傷害値 (HIC₁₅) は傷害基準値よりも十分に低いレベルにあった。一方、頸部傷害値 (Nij) と胸部傷害値 (Chest Def.) については、FMVSS208で規定されている傷害基準値を満足しているものの、比較的傷害基準値に近い値にあることがわかる。特にAF05ダミーの頸部傷害値に余裕が少ないことから、頸部傷害に着目して以後の比較を行うこととする。

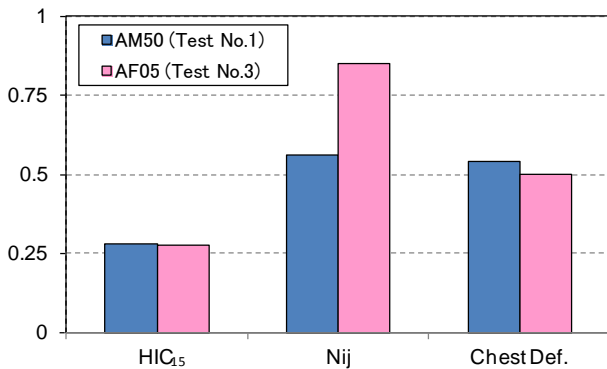


Fig. 7 Baseline injury measures relative to injury criteria established by FMVSS208 (injury criteria = 1)

3.2 プリブレーキ時のダミー挙動のPSBの効果

Test No.1~4について、ブレーキ開始時の着座姿勢と緩衝材と衝突する直前のダミーの姿勢をFig. 8に示す。同図右側の折れ線グラフは、高速度カメラで撮影した画像解析により、ダミー左側の主要ターゲットマーク（頭部、腹部、腰部、大腿部）の位置を直線で結んで、ブレーキ開始時と衝突直前で各々比較したものである。なお、ブレーキ開始時のダミー姿勢は、従来のシートベルトとPSBの場合においてほぼ同じ姿勢であった。

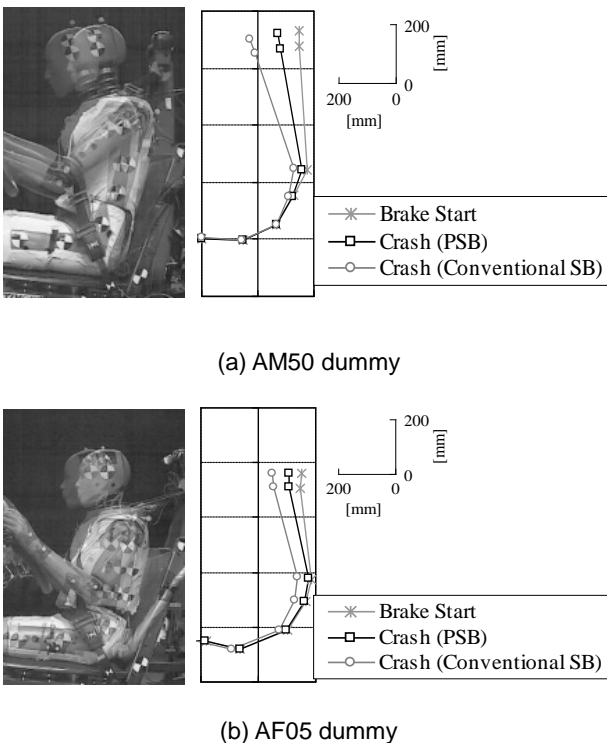


Fig. 8 Comparison of pre-impact motion of the dummies with PSB and conventional SB

一方、AM50、AF05のダミーともに、制動開始時に比べて衝突直前では、ブレーキ制動によりダミーが前方に移動し、上半身が前屈していることがわかる。また、従来のベルトに比べて、PSBを作動させることで頭部の前方移動量が50%程度に抑えられていることがわかる。

3.3 PSBが衝突時の頸部傷害値に与える効果

Fig. 9に衝突時の頸部傷害値(Nij, Extension moment)を示す。同図ではAM50ダミー、AF05ダミーのBaseline testの結果を100%として、PSBの効果を比較したものである。

AM50ダミーについては、従来のシートベルトに比べてPSBを用いることで、Nijで約18%、Extension Momentで約25%の低減効果が見られた。一方、AF05ダミーについては、低減効果がAM50ダミーよりも高く、Nijで約27%、Extension Momentで約36%下がった。さらにエアバッグを通常のエアバッグ(Spec1 AB)から、ワイドに展開するエアバッグ(Spec2 AB)に交換することで、AF05ダミーでPSBを使った場合に比べて、さらにNijで約15%、Extension Momentで約20%の低減効果が見られた。

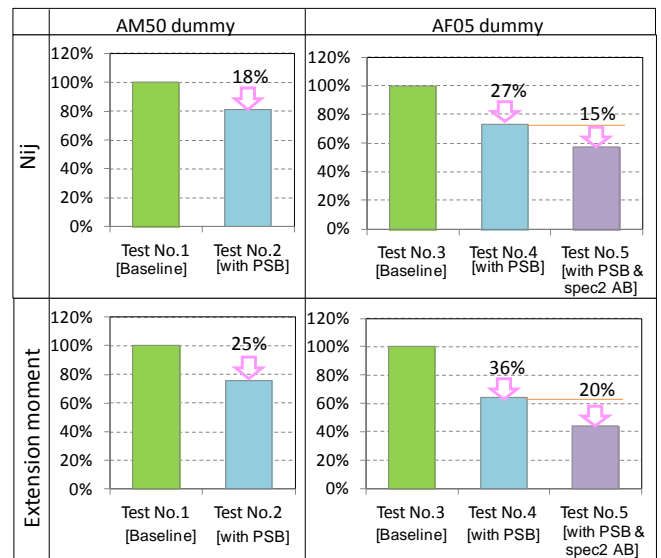


Fig. 9 Neck injury measures

Fig. 10はAF05ダミーがエアバッグに接触する直前（衝突後約50ms）の前方からの高速度カメラで撮影した画像である。Fig. 10(a)が、Baseline test（従来のシートベルトとSpec1 ABを装備した

場合), Fig. 10(b) がTest No.5 (PSBとSpec2 ABを装備した場合) の状況である。Baseline testでは, エアバッグが全展開する前にダミー頭部が接触する状況が見られた。一方, PSBとSpec2 ABを装備した場合には, PSBによってブレーキ制動時にAF05ダミーが前屈(ハンドルに近づく)挙動を抑え, 更にエアバッグがワイドに展開することで, 最適な状態でダミー頭部が接触していることがわかる。

ブレーキ制動がもたらす乗員の姿勢変化による胸部傷害や頸部傷害へおよぼす影響については, 既に研究が行われてきたが, 本研究により, 標準体型の乗員よりも小柄な乗員においてPSBによる頸部傷害の低減効果が高いことが示された。



(a) Baseline test

(b) Test No.5

[Conventional SB & spec1 AB]

[PSB & spec2 AB]

Fig. 10 AF05 dummy motion during crash

4. まとめ

本研究により, 以下の知見が得られた。

- (1) 本研究で提案したスレッド試験システムは, 実事故におけるブレーキ減速度波形と衝突減速度波形を再現することができた。このため, 緊急自動ブレーキと連動した乗員保護装置の有効性の評価, および拘束装置の最適化に活用することが可能となる。
- (2) プリクラッシュ・シートベルト (PSB) は, ブリブレーキ時の乗員のの前屈挙動を抑制し, 頸部傷害値を低減した。特に小柄乗員 (AF05ダミー) に対する低減効果が大きいことが実験的に示された。
- (3) プリクラッシュ・シートベルト (PSB) とワイドに展開するエアバッグの相乗効果により, 小柄乗員 (AF05ダミー) で頸部傷害値を低減することを確認した。

5. おわりに

本研究は, 2011年度に (株) 東海理化からの受託試験, 2012年度に (株) 東海理化・豊田合成 (株) からの受託試験で行った試験成果をまとめたものである。公表をご快諾いただいた (株) 東海理化様・豊田合成 (株) 様に感謝申し上げます。なお, より詳細な試験結果は, 23rd ESVのレポート^{4),5)}を参照ください。

参考文献

- 1) ITARDA 事故データを用いた乗員挙動の分析, 交通事故例調査・分析報告書(平成 18 年度報告書), P355-373, 交通事故分析センター
- 2) プリクラッシュ時における乗員挙動と傷害に関する研究, 交通事故例調査・分析報告書(平成 19 年度報告書), P310-336, 交通事故分析センター
- 3) Tobata H. et al.; Development of a Brake-Operated Pre-Crash Seatbelt System and Performance Evaluation, SAE World Congress & Exhibition, SAE Paper number 2004-01-0851 (2004)
- 4) Fumihito Komeno et al.; Crash Sled Test Based Evaluation of a Pre-crash Seatbelt and an Airbag to Enhance Protection of Small Drivers in Vehicles Equipped with Autonomous Emergency Braking Systems, 23rd ESV, Paper number 13-0241(2013)
- 5) Daisuke Ito et al.; Assessment of a Pre-crash Seatbelt Technology in Frontal Impacts by Using New Crash Test Sled System with Controllable Pre-impact Braking, 23rd ESV, Paper number 13-0274(2013)
- 6) 伊藤久雄ほか; プリクラッシュセーフティ装置の評価を目的としたプリクラッシュ台車の開発, JARI Research Journal Vol.32 No.9 (2010.9)
- 7) 鮎川佳弘ほか; プリクラッシュセーフティ装置の評価を目的としたプリクラッシュ台車の開発 (第2報), JARI Research Journal Vol.33 No.9 (2011.9)
- 8) 座間淑夫ほか; プリクラッシュ時におけるシートベルトの乗員効果に関する検討, JSAE Annual Congress, 99-20105191 No.19-10(2010)
- 9) Good C. et al.; The Hybrid III Dummy Family Subject to Loading by a Motorized Shoulder Belt Tensioner.” SAE World Congress & Exhibition, SAE Paper Number 2008-01-0516(2008)
- 10) Susumu Ejima et.al.; Prediction of the Physical Motion of the Human Body based on Muscle Activity during Pre-Impact Braking, 2008 International IRCOBI conference(2008)
- 11) Daisuke Ito et al.; Applicability of a crash dummy in sled test with pre-impact braking on the dummy responses, JSAE Annual Congress, 203-20115698 No.19-10(2011)
- 12) 江島晋ほか; 低衝撃時における小柄女性の乗員挙動の予測, JARI Research Journal 20130502 (2013.5)
- 13) Section 571.208 571.208 Standard No. 208; Occupant crash protection.