

論文・解説

15

鞭打ち傷害低減シートの開発 Optimum Seat Characteristics to Reduce Whiplash Injuries

金子直樹*¹ 福島正信*² 尾川茂*³
Naoki Kaneko Masanobu Fukushima Shigeru Ogawa

要約

被追突時の鞭打ち傷害を低減する技術は、衝突安全の中でも重要な項目の一つである。本稿では、鞭打ち傷害値指標NIC (Neck Injury Criteria) 発生メカニズムと鞭打ち傷害を低減できる最適なシート特性について紹介する。まず乗員挙動シミュレーションMADYMOとスレッドテストを用いて、数ある鞭打ち傷害値指標の中から代表的な指標NICの発生メカニズムを明確にした。次に鞭打ち傷害値指標NIC発生に対するシート特性のパラメータスタディを行った結果、ヘッドレストの初期位置とシートバッククッション特性の寄与度が高いことを見出した。最後にそれらの結果を総合して、NICが現状比42%まで低減できる最適なシート特性を導き出した。

Summary

Development of anti-whiplash technology is one of the hottest issues in the automotive safety field. This paper describes the mechanism causing Neck Injury Criteria or NIC and the optimum seat characteristics to reduce whiplash injuries. First, we made it clear the mechanism of typical NIC using MADYMO model and the sled tests. Next, as a result of the parametric study, we found that the seat characteristics are influenced by the initial location of Headrest and the characteristics of Seatback-cushion. Ultimately, we found optimum seat characteristics that can reduce NIC by 42%.

1. はじめに

近年、鞭打ち傷害を低減するための研究やそのためのシートの商品化が目まぐるしく行われている。(財)交通事故総合分析センターによると、日本の2002年における衝突事故の約30%が追突事故で、最も多い事故形態の一つである。そのうち99%が軽傷でそのほとんどが鞭打ちである。また米国IIHS (Insurance Institute Highway Safety) によれば1997年における保険料の66%が首傷害によるもので、その金額は約70億ドルで非常に多い⁽¹⁾。鞭打ち症状は直接生命を脅かすものではないが、この傷害を負う乗員が非常に多いことが社会的に問題となっている。

これらの状況を改善するために、鞭打ちの発生メカニズムの解明に関する多くの研究が行われている。この解明手段として、ボランティアによる人体実験や、鞭打ち傷害を評価するために開発された後突用ダミー、BioRID II や

RID II などを用いた衝突実験、また乗員挙動シミュレーション解析などがある⁽²⁾⁽³⁾。

現在、一般的に理解されている鞭打ちの発生原因は、Fig.1に示す頸椎の相対的な動きから発生する歪曲(c)と後屈(d)によるものといわれている⁽⁴⁾。そして鞭打ちを評価するための指標には、NIC⁽⁵⁾、Nkm、LNL-Index、NDCなどがあるが、今回の報告では歪曲挙動(c)により発生する傷害値指標NICの低減を検討した。そしてBioRID II を用いたスレッドテストとMADYMOを用いて、NICを低減するための最適なシート特性を導き出した。

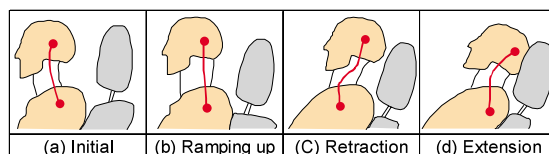


Fig.1 Whiplash Movement

*1~3 衝突性能開発部
Crash Safety Development Dept.

2. 鞭打ち傷害値指標NIC発生メカニズム

2.1 NICについて

NICは、鞭打ち傷害が脊椎の圧縮により頸部神経節が傷害を受け発生するとの仮定に基づいて算出される頸部傷害値指標である。BioRID IIでは、頭部と第一胸椎（以下T1）の相対加速度と相対速度差から下式により求められる正の最大値である。

$$NIC(t) = 0.2 \times A_{rel}(t) + (V_{rel}(t))^2 \quad [m^2/s^2]$$

$$A_{rel}(t) = A_x^{T1}(t) - A_x^{Head}(t)$$

$$V_{rel}(t) = V_x^{T1}(t) - V_x^{Head}(t)$$

ここで

$A_x^{T1}(t)$: T1 x-acceleration (m/s²)

$A_x^{Head}(t)$: Head x-acceleration (m/s²)

$V_x^{T1}(t)$: T1 x-velocity (m/s)

$V_x^{Head}(t)$: Head x-velocity (m/s)

2.2 テスト方法

鞭打ち傷害値指標であるNICの発生メカニズムを解明するために、BioRID IIを用いた後突鞭打ち評価スレッドテストを実施した。テストはFig.2に示す衝突パルスを再現できるクラッシュシミュレータを活用した。衝突パルスは、Fig.3に示すIIHSが鞭打ち評価で規定しているものでVが16km/hに相当する。シートは、鞭打ちの現象を把握するために、鞭打ち傷害を低減するための構造を特に織り込んでいないものを用いた。ダミーの傷害値計測はBioRID IIの場合、Fig.4に示すように頸椎や胸椎、腰椎、脚部などに計測ポイントがあり、本研究では頭部やT1など11ヶ所で加速度や荷重を計測した。



Fig.2 Crash Simulator

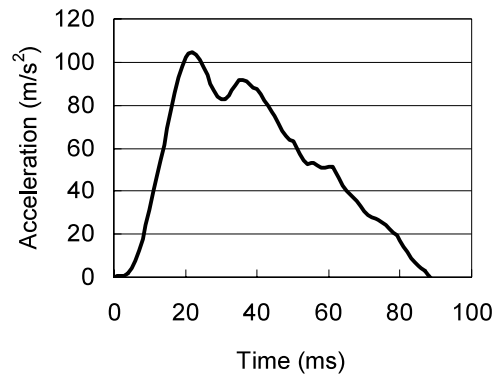


Fig.3 Crash Pulse

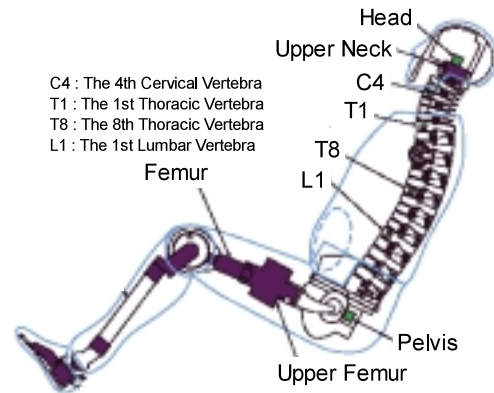


Fig.4 BioRID II Measurement

2.3 スレッドテスト結果とNIC発生メカニズム

Fig.5は、スレッドテストにおけるNIC波形で、NICは図中の破線で示すように96.5msに最大18m²/s²となった。NICは、頭部とT1の相対加速度と相対速度から算出されるため、今回のテスト結果をもとにNICの発生メカニズムをFig.6~9に示すように頭部とT1の加速度と速度について分析した。

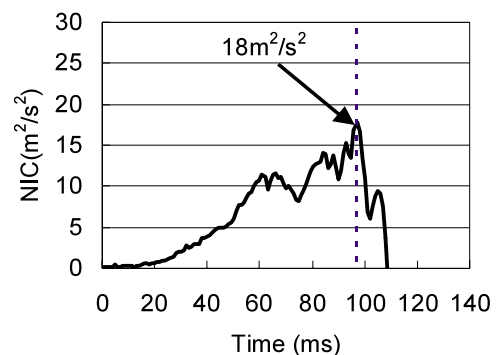


Fig.5 NIC Pulse

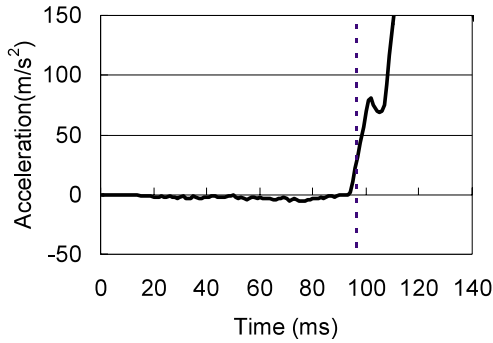


Fig.6 Head Acceleration Pulse

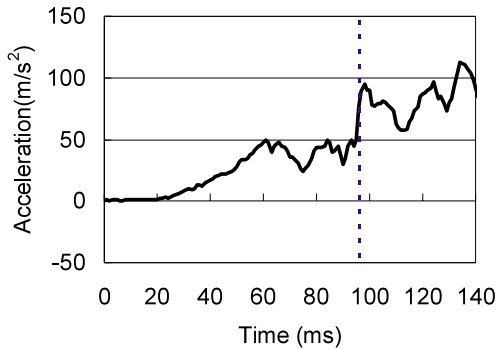


Fig.7 T1 Acceleration Pulse

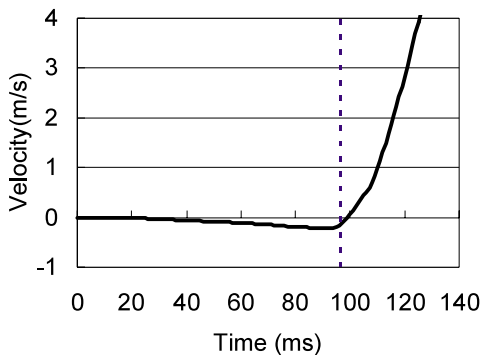


Fig.8 Head Velocity

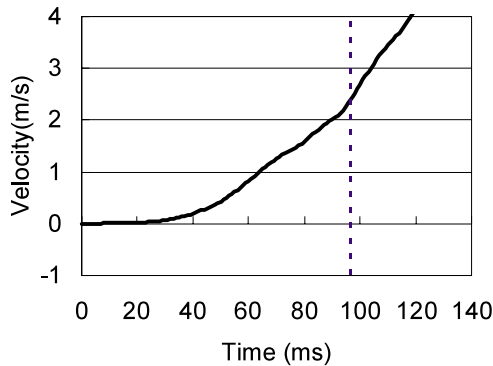


Fig.9 T1 Velocity

Fig.6~9より、T1では加速度、速度ともに早期から発生するが、頭部はNIC発生のタイミングにほとんど加速されていない。つまりT1のある胸椎はシートバックにより早期から加速され前方に移動するのに対し、頭部はヘッドレストとの隙間があり空走するため加速せず前方移動しない。このため、頭部と頸椎では歪曲する挙動となる。また、Table 1に示す相対加速度 ($A_{rel}(t)$) と相対速度 ($V_{rel}(t)$) を比較すると、相対加速度の方が全体に対する比率が大きくなりNICに影響が大きいことがわかる。このようにNICは、頭部とT1の相対加速度差が大きくなり、首の後屈挙動が起こることで発生する。このメカニズムをまとめるとFig.10のようになる。

Table 1 NIC Detail Results at 96.5ms

	A_x^{Head}	A_x^{T1}	V_x^{Head}	V_x^{T1}
	26.4m/s ²	87.7m/s ²	-0.2m/s	2.3m/s
$A_{rel}(t), V_{rel}(t)$	61.3m/s ²		2.5m/s	
Ratio	68%		32%	

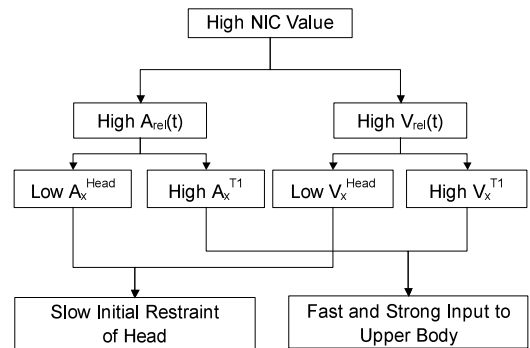


Fig.10 NIC Injury Mechanism

3. 傷害低減へのアプローチ

NICを低減させるアプローチをFig.11に示す。NICを低減するには、頭部とT1の相対加速度を減少させる必要があり、頭部は拘束を早め、T1は加速度を小さくすることが効果的である。頭部の初期拘束を早めるにはヘッドレストと頭部の距離が寄与し、T1への入力を低減するにはシート特性が影響する。そしてNIC低減の最適化検討は、MADYMOでBioRID IIを搭載した後突モデルを作成し、スタディを行った。

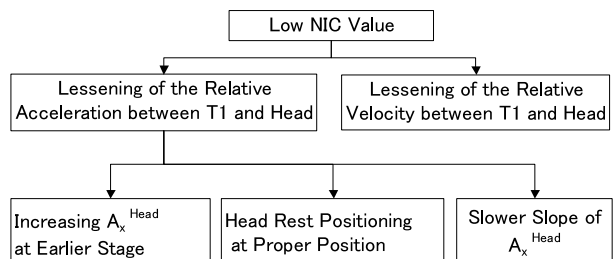


Fig.11 Approach to Injury Reduction

4. MADYMOでの最適化検討

4.1 ダミーとシート間の荷重伝達

MADYMOモデル作成にあたり、ダミーの脊椎挙動に重要なダミーとシート間の荷重伝達を把握するために、Fig.12に示す荷重計を取り付けた剛体シートでのスレッドテストを行った。荷重計はFig.13に示すようにダミーの背中に合わせて#1～#9まで9個配置した。このテストの結果、Fig.14～16に示すように、#2や#5、#8の荷重が高くBioRID IIの脊椎部に荷重が集中する一方で、肩部は荷重が小さく立ち上がりも遅いことがわかる。

この結果を元に、シート中央部から脊椎に入力する部位のシートコンポーネントテストなどを行い、MADYMO用シート特性を得た。



Fig.12 Sled Test with Steel Rigid Seat

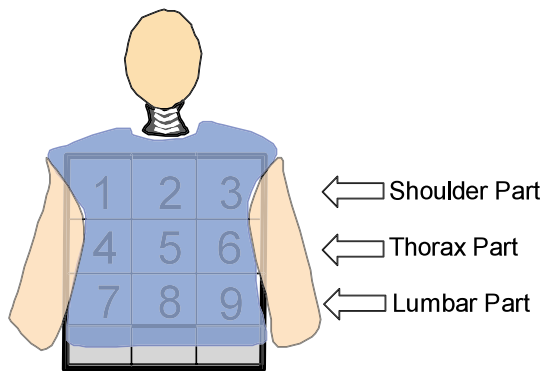


Fig.13 Steel Plate Division

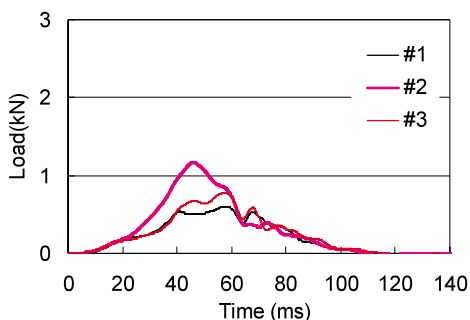


Fig.14 1-3 Load Distribution

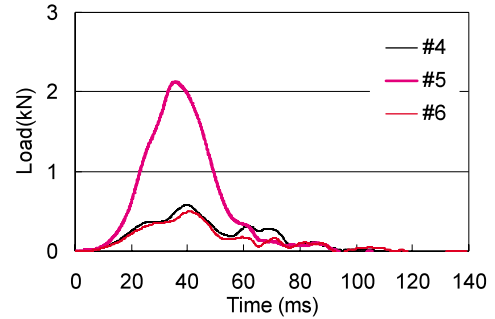


Fig.15 4-6 Load Distribution

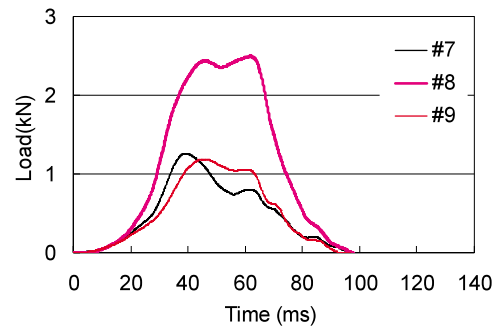


Fig.16 7-9 Load Distribution

4.2 MADYMOモデル

BioRID IIのMADYMOモデルをFig.17に示す。シートモデルは、すべてマルチボデーで作成し、前述したシートコンポーネントテストから得られた特性を入力した。このモデルのコリレーション結果をFig.18～21に示す。NICは正しい値で評価されるため特に100msまでの再現性に注力した。これらの波形から、パラメータスタディができるレベルでテストとのコリレーション取りができたと考えられる。



Fig.17 BioRID II MADYMO Model

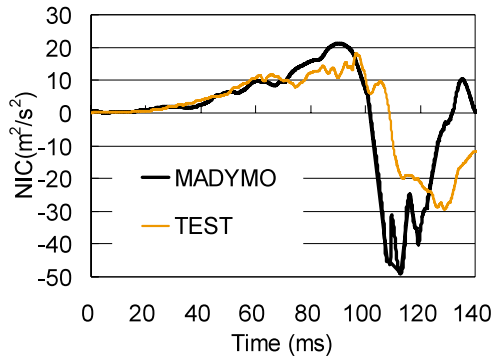


Fig.18 BioRID II NIC Pulse

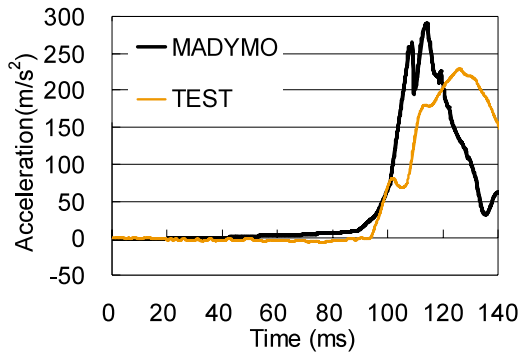


Fig.19 BioRID II Head Pulse

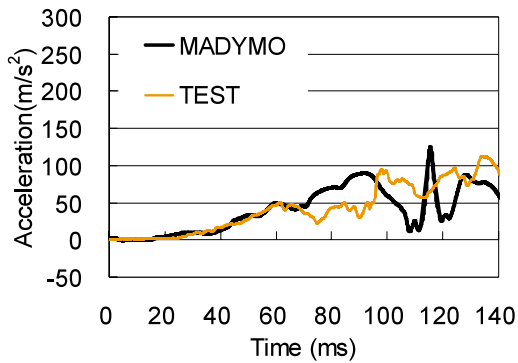


Fig.20 BioRID II T1 Pulse

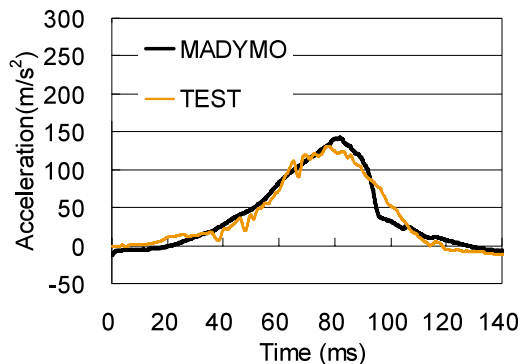


Fig.21 BioRID II Pelvis Pulse

4.3 シート特性パラメータ

MADYMOモデルでのシート特性の最適化スタディでは、少ない計算回数で効果的にパラメータの寄与度を算出できる実験計画法を用いて行った。パラメータは、Table 2とFig.22に示すNICに影響があると考えられる8項目を選出した。各パラメータの特性は、パラメータAを除きすべて3水準で設定した。その際、水準2をパラメータが持つ固有の特性Mとし、水準1は低い又は弱い特性L、水準3を硬い特性Hとした。

Table 2 Parameter Matrix

Parameter	Level		
	1	2	3
A Head Rest Height	H	M	H
B Head Rest Backset	L	M	H
C Seatback High Stiffness	L	M	H
D Seatback Middle Stiffness	L	M	H
E Seatback Low Stiffness	L	M	H
F Seat Frame Stiffness	L	M	H
G Seat Bracket Stiffness	L	M	H
H Seat Cushion Stiffness	L	M	H

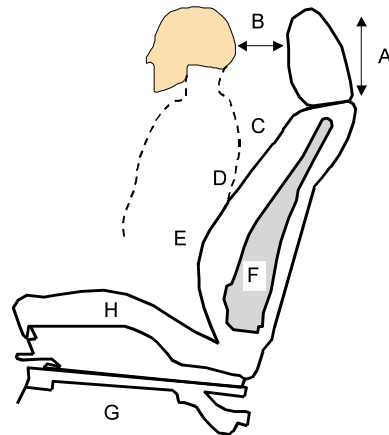


Fig.22 Driver Seat

4.4 パラメータスタディ結果

L8の直交表を用いて18通りの計算を行った結果、Fig.23に示すようなパラメータの感度要因効果図を算出できた。そして、ヘッドレストの隙とシートバック特性についてNICに対する寄与が大きいという結果が得られ、Fig.11に示したNIC低減のアプローチとも一致した。シートバックの特性を弱めることは、シートバックへのダミー進入量を増やし、ダミー脊椎への入力を小さくできるのでT1の加速の立ち上がりを遅らせることに効果的である。

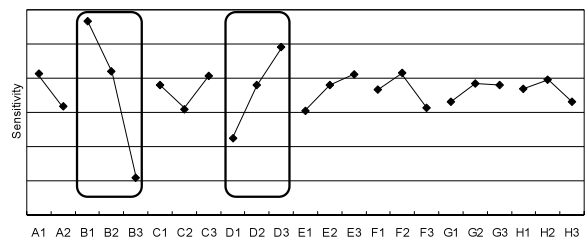


Fig.23 Sensitivity of Parameters

最も傷害を低減できるシート特性の組み合わせをTable 3に示す。また、そのときのシートバックの中部特性はFig.24に示すように現状比約50%弱めている。これを織り込んで計算した結果、T1の加速度は35%低減し、相対加速度も30%低減した結果、Fig.25に示すようにNICを現状比42%まで低減できることがわかった。また、Fig.26に示すようにシートバック中部特性とNICの関係を見ると、50%以上特性を弱めてもほとんど効果がない結果を得た。従ってこの特性が妥当であると判断できる。

Table 3 Optimized Level of Parameter Study

パラメータ	最適水準
A	A2
B	B3
C	C1
D	D1
E	E1
F	F1
G	G1
H	H2

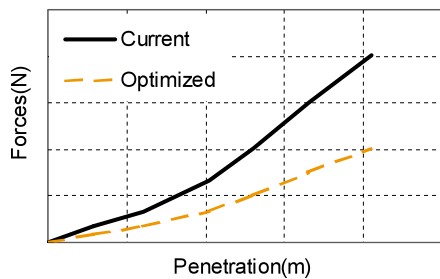


Fig.24 Seatback Middle Stiffness

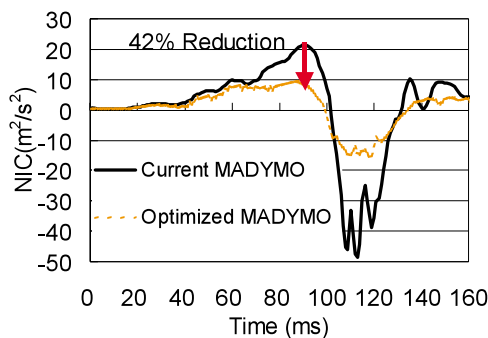


Fig.25 NIC Pulse

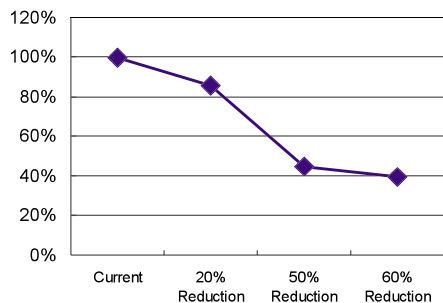


Fig.26 NIC - Seat Stiffness Relations

5. 結論

今回の研究の目的はBioRID IIを用いNICの発生メカニズムを明確にし、その傷害値を最小にするための最適なシート特性を導き出すことである。以下に結論を示す。

- (1) NICの発生メカニズムを明確にした。頭部の初期拘束の遅れとT1への入力が多いことがNICを悪化させる主要因である。
- (2) 実験計画法を適用したパラメータスタディの結果、NICに対してヘッドレストと頭部の隙、及びシートバッククッション上部の特性の寄与度が多いことが明確になった。
- (3) MADYMOを用いたシミュレーションを行い、NICを現状比42%まで低減できた。

6. おわりに

今回の研究は、これまでMADYMOの適用例が少ないBioRID IIでのシミュレーションでNICのみに注力した基礎的なものである。今後、シート性能との両立と鞭打ち傷害全般の低減を目指して更なる研究を行い、お客様に喜ばれる技術の商品化を目指していきたい。

参考文献

- (1) Insurance Institute For Highway Safety : Status Report, Volume 34, No.5 (1999)
- (2) Kim et al.: A Biofidelity Evaluation of the BioRID II, Hybrid III and RID2 for Use in Rear Impacts, Stapp Crash Journal, Volume 47 (2003)
- (3) Heitplatz et al.: An Evaluation of Existing and Proposed Injury Criteria with Various Dummies to Determine Their Ability to Predict the Levels of Soft Tissue Neck Injury Seen in Real World, 18th ESV Conference, Paper Number 504 (2003)
- (4) Muser et al.: Biomechanical Significance of the Rebound Phase in Low Speed Rear End Impact, International IRCOBI Conference (2000)
- (5) Bostrom et al.: A new neck injury criterion candidate based on injury findings in the cervical spinal ganglia after experimental neck extension trauma, IRCOBI Conference (1996)

著者



金子直樹



福島正信



尾川 茂