

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282100

研究課題名(和文) ヒト胸腹部の損傷メカニズムの解明による災害発生時の安全ガイドラインの作成

研究課題名(英文) Development of safety guidelines for traffic and crowd accident based on thoracic-abdominal injury analysis

研究代表者

西本 哲也 (NISHIMOTO, Tetsuya)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：30424740

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：胸腹部へ衝撃力が加わる状況として、運転席乗員でシートベルト着用者の前面衝突時のシートベルトによる胸部骨折の受傷状況をCT像を用いて解析した。その結果、胸部骨折の大多数はシートベルトパスの範囲外の側胸部で多発していることが分かった。胸部損傷は直接的な外力ではなく、外力を受け骨が変形することによるたわみで骨折が発生すると考えられた。

次に群集事故によって胸腹部へ圧迫が加わった場合の呼吸変動を観察するための実験モデルを構築した。圧迫による苦しみの増加に伴い、一回換気量と肺活量は減少傾向を示した。本研究の結果、胸部への圧迫が20kg以上で20分以内に呼吸困難が発生する可能性があることが分かった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the mechanism of thoracic injury for seatbelt restrained occupants. Severe thoracic injury data were extracted from our in-depth crash data. Some elder occupants who used seatbelt had a pneumothorax, hemothorax and pulmonary contusion caused by rib fractures and sternal fracture. As results, chest fracture locations occurred on the lateral thoracic region for drivers, who were involved in vehicle collisions, and were restrained with a seatbelt.

The second purpose of this study is to make thoracoabdominal tolerance during a crowd accident. The experimental model for the purpose of observing the breathing change of the subject was developed. As results of study, not only the pressure of the chest, but also the abdominal pressure had an influence for the breathing. Also, this study showed the pressure on chest was 20 kg or more and understood that dyspnea might occur within 20 minutes.

研究分野：工学

キーワード：生物・生体工学 防災 救命

1. 研究開始当初の背景

胸部と腹部の外傷は、動的に衝撃力が負荷される交通事故（自動車乗車中や歩行者対自動車事故）や静的に負荷が作用する「群集事故」と呼ばれる人が密集した場合に発生する。交通事故では年間1万人が胸腹部傷害で重傷あるいは死亡する。群集事故では胸腹部への長時間に亘る過度の荷重負荷により、窒息死が発生する。今後想定される都市部での大規模地震による地下鉄やビルでの群集の密集を想定すると、早期に都市計画や建築物の安全対策のための傷害基準を策定することが急務であると考えた。

2. 研究の目的

胸部や腹部に外力が加わる受傷機転は、動的な負荷として自動車事故や歩行者事故などの交通事故、準静的な負荷として災害発生時に地下鉄出入り口、電車内などで人がパニック状態で密集する群集事故がある。我が国では年間の交通事故の2割にあたる約1万人が胸部・腹部を受傷して死傷している。群集事故では世界各国で数百人規模の死亡者が発生している。胸腹部の傷害は、負荷エネルギーと傷害、その負荷持続時間の定量的な関係が分かかっておらず、十分な安全対策を講じることができないのが死傷者発生の原因である。本研究では交通事故実態による胸部損傷を調査し、ヒト被験者による胸腹部圧迫の低負荷実験を実施することで、災害発生対応を必要とする自動車、都市計画、建築物を統合した安全ガイドラインを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 胸部傷害の交通事故実態の調査解析

日本大学と日本医科大学が日本医科大学千葉北総病院を中核として実施している交通事故で140件の事例を収集し、その中で運転席乗員でシートベルト着用をされている乗員を抽出し、その乗員の前面衝突時のシートベルトによる胸部骨折の受傷状況をCT像を用いてシートベルトパス位置と骨折位置の関係を解析した。

(2) 胸腹部圧迫時の被験者実験

本研究では被験者による胸腹部圧迫型の実験モデルを構築するために女性被験者による実験を実施し、定量評価指標として一回換気量、肺活量、分時換気量、呼吸数、胸部変位、腹部変位、官能評価を実施した。

なお事故実態調査と被験者の胸腹部圧迫実験は、日本医科大学千葉北総病院倫理委員会の承認（事故実態調査：第506号、胸腹部圧迫実験：第299号）を得て実施した。

4. 研究成果

(1) 胸部傷害の交通事故実態の調査解析

乗員は性別、身長、体重、乗車姿勢が異なるが、骨折位置の特定を実施する胸部の鎖骨、胸骨、肋骨、肋軟骨を模した胸郭図を作成し、シートベルトパスの範囲を乗員別に想定し

た(図1)。シートベルトパスの範囲は乗員のCT画像に基づきショルダーベルトによる皮下出血を特定しこれに基づいて想定したものである。

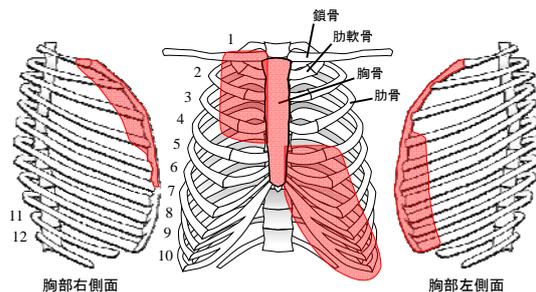


図1 胸郭図とシートベルトパス範囲

図2(a), (b)に13人の運転席乗員の骨折位置を一つの図にまとめて示す。図2(a)は全ての骨折位置を×で図示している。図2(b)は各骨の骨折本数の分布を示している。図2(a)にプロットした骨折位置より、胸骨の骨折と右鎖骨の一部がシートベルトパスで骨折しているものの、すべての肋骨骨折はシートベルトパス以外の側胸部および胸背部で発生していることが分かった。図2(b)より各骨の骨折の発生本数を見ると、肋骨の骨折については胸部右側において右肋骨5番が4本と最も多かった。胸部左側では左肋骨5番が8本と最も多かった。胸部の右側では上部、左側では下部で骨折が多発しており、骨折はシートベルトパスの範囲外で発生するもののシートベルトパスの近傍で多発した。

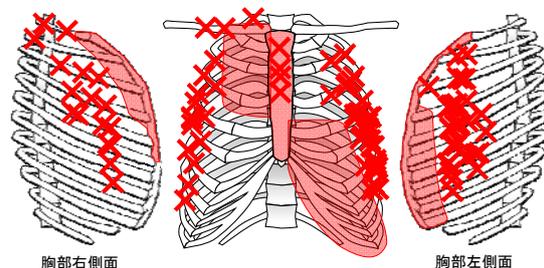


図2(a) 13人の胸部骨折位置

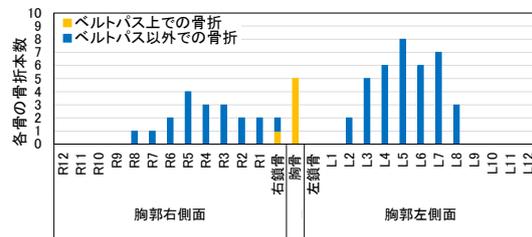


図2(b) シートベルト着用乗員の胸部骨折

胸部骨折の受傷者が乗車していた車両のバリア換算速度別の件数と累積構成率を図3に示す。バリア換算衝突速度とは車両の変形によるエネルギーを剛体壁(バリア)との衝突に置き換え算出する衝突速度であり、走行速度とは異なり被害の大きさの指標となる速度である。その結果、バリア換算速度が

35km/h の件数が 4 件と最も多かった。また 25km/h～35km/h までの累積構成率が 50%を超えている。よって胸部骨折傷害の半数以上は 25km/h～35km/h の低い速度域で発生していることが分かった。

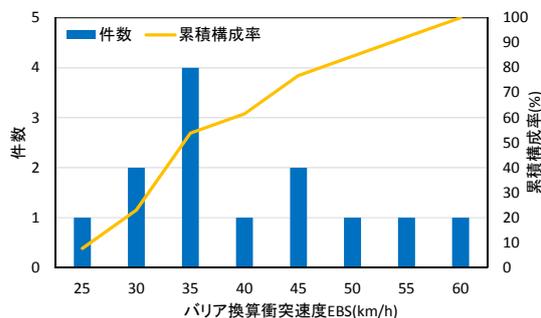


図3 受傷者のバリア換算衝突速度の分布

(2)胸腹部圧迫時の被験者実験

群集事故時の胸腹部圧迫影響を模擬するため、幅の広いベルトを用いて仰臥位の被験者の胸部もしくは腹部に荷重を付した状態を最大 20 分間維持し、呼吸と胸腹部の変位を計測した。被験者実験は医師立会いのもと行われた。図4に実験の概略図を示す。被験者の安全を確保するためバイタルサインを計測し、負荷に対する苦しさの官能評価として修正ボルグスケールを用いて定量的に評価した。医師が被験者の状態を観察し実験中止を判断した場合や、被験者から実験中止の要望があった場合は直ちに実験を中断した。バイタルサインの計測項目は心拍数、血圧、血中酸素飽和濃度である。呼吸に関する計測項目である一回換気量(Vt: Tidal Volume)、肺活量(VC: Vital Capacity)に加え、胸腹部の変位量を計測した。スパイロメータを用いて一回換気量は2.5分毎に、肺活量は5分毎に計測した。胸部変位(Dt: Thorax Displacement)と腹部変位(Da: Abdominal Displacement)はレーザー変位計を用いて連続的に計測した。負荷前にコントロールを測定し、負荷を開始した時間を0分とした。各負荷条件とも実験時間は最長20分とし、除荷後5分までの計測を継続した。

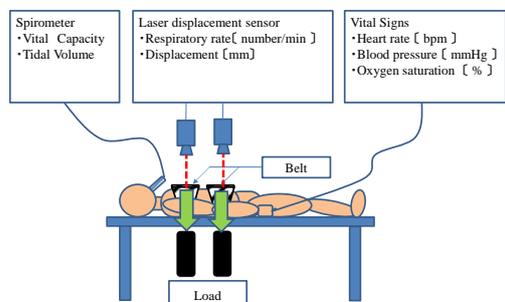


図4 被験者胸腹部圧迫実験モデル

3年間での実験実施被験者数は計20名であり、1人に対して複数の実験を行っているので、延べにすると80名である。圧迫負荷条件毎の実施数は表1のとおりである。

表1 胸腹部への圧迫負荷条件別の被験者数

	胸部荷重			
	0[kg]	10[kg]	20[kg]	30[kg]
腹部荷重	0[kg]	(80名)	6名 (内2名中断)	0名
	10[kg]	6名	6名 (内2名中断)	6名 (内1名中断)
	20[kg]	7名	7名 (内2名中断)	3名 (内3名中断)
	30[kg]	0名	0名 (内2名中断)	3名 (内1名中断)

図5、図6に圧迫負荷状態において官能評価値の増加に対して減少傾向を示したVtとVCの結果を示す。プロットされた点はそれぞれVtとVCを示し、棒グラフは官能評価値を示している。無負荷状態ではボルグスケールが0なのに対し、圧迫時には時間の経過とともにボルグスケールは上昇し、呼吸計測量は減少している。これらの結果から圧迫時の苦しみの増加に対してVtとVCは減少するので、これらは有効な指標になり得ると考えられた。

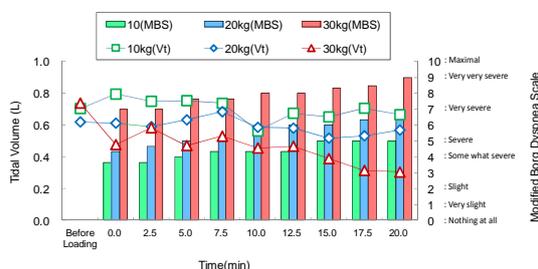


図5 Vt と修正ボルグスケールの計測結果

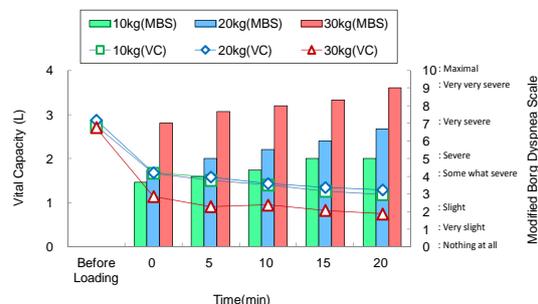


図6 VC とボルグスケールの計測結果

図7に一回換気量、肺活量の経時的な平均値と荷重負荷時の回帰直線を示す。回帰式の傾きは1分間あたりの変動値を示しており、一回換気量と肺活量の若干の減少傾向を示した。切片は荷重負荷直後の一回換気量と肺活量を示している。図より、胸部もしくは腹部のみに圧迫負荷をかけた場合、一回換気量と肺活量が時間の経過に伴う減少が生じていることが定量的に確認できた。

図8に荷重負荷前の計測値を100%とした場合の負荷直後の一回換気量と肺活量の変動割合を示す。100%以上は増加を示し、100%以下は減少を示している。平均値における一回換気量は胸部のみの負荷では30%減少するが、腹部のみの負荷では44%増加している。平均値における肺活量は胸部のみの

負荷では36%減少するが、腹部のみの負荷では4%の減少に留まった。

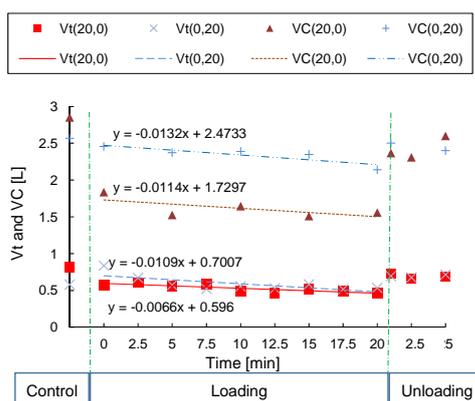


図7 圧迫状態における経時的な呼吸変動

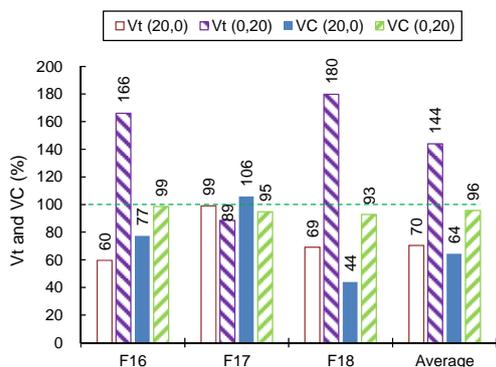


図8 圧迫負荷直後の呼吸変動率

(3)研究成果のまとめ

①交通事故の事故調査解析では、胸部骨折の大多数はシートベルトパスの範囲外の側胸部で発生していることが分かった。よって胸部損傷は直接的な外力ではなく、外力を受け骨が変形することによるたわみで骨折が発生すると考えられた。

②次に胸腹部圧迫の被験者実験モデルを構築した結果では、胸部への圧迫が20kg以上で20分以内に呼吸困難が発生し、圧迫耐性指標としては一回換気量と肺活量が有効であることが示唆された。一回換気量と肺活量は圧迫状態が継続すると減少傾向を示した。肺活量は胸部のみの圧迫では負荷直後に減少傾向を示すが、腹部のみの圧迫では負荷直後の影響は確認されなかった。一回換気量は胸部のみの圧迫では負荷直後に減少傾向を示すが、腹部のみの圧迫では増加傾向を示した。そして胸部の圧迫だけでなく、腹部の圧迫も呼吸変動に影響を及ぼすパラメータであることが分かった。

これらの研究結果は、交通事故での胸部損傷の防止と群集事故のように人が密集する場合の胸腹部損傷の防止のための安全ガイドラインに活用できる見込みである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

①西本哲也,向川康介,二輪車対四輪車事故を

対象とした二輪車乗員の傷害予測回帰モデルの構築,自動車技術会論文集,査読有,Vol.48, No.1(2017), pp.103-109.

②T.Nishimoto, K. Mukaigawa, S. Tominaga, N. Lubbe, T. Kiuchi, T. Motomura, H. Matsumoto, Serious Injury Prediction Algorithm Based on Large-Scale Data and Under-Triage Control, Accident Analysis and Prevention, 査読有, (2017), Vol.98, pp. 266-276.

③S. Yoshida, T. Hasegawa, S. Tominaga and T. Nishimoto, Development of injury prediction model for advanced automatic collision notification based on Japanese accident data, International Journal of Crashworthiness, 査読有,(2016),DOI:10.1080/13588265.2015.1132970

④西本哲也, 向川康介, 富永茂, 木内透, 歩行者および自転車乗員保護のための AACN 傷害予測アルゴリズムの構築, 自動車技術会論文集, 査読有, Vol. 46, No. 6 (2015), pp. 1123-1129.

⑤富永茂, 西本哲也, 本村友一, 松本尚, ニルス ルベ, 木内透, 日本の交通事故実態を反映した AACN 傷害予測アルゴリズムの研究, 自動車技術会論文集, 査読有, Vol.46, No.5(2015), pp.925-930.

⑥向川康介, 西本哲也, 富永茂, 本村友一, 益子邦洋, 日米傷害予測モデルの交通事故実態調査に基づく検証, 自動車技術会論文集, 査読有, Vol. 46, No. 1 (2015), pp. 127-132.

〔学会発表〕(計38件)

①小島巧, 西本哲也, 二輪車単独事故の傷害予測モデルについて, 2016年度自動車技術会関東支部学術講演会, D2-3, 2017/3/8 発表, 日本大学理工学部駿河台キャンパス

②黒瀬寿和, 坪井昭典, 西本哲也, 本村友一, 交通事故実態調査データに基づく腹部傷害の解析, 2016年度自動車技術会関東支部学術講演会, D2-1, 2017/3/8 発表, 日本大学理工学部駿河台キャンパス

③望月康廣, 西本哲也, 本村友一, 宇治橋貞幸, 女性の胸腹部圧迫耐性値に関する研究, 日本機械学会第29回バイオエンジニアリング講演会, 2E17, 2017/1/20 発表, ウィンクあいち

④坪井昭典, 西本哲也, 本村友一, 高齢者シートベルト着用乗員の胸部損傷の解析, 日本機械学会第29回バイオエンジニアリング講演会, 2E13, 2017/1/20 発表, ウィンクあいち

⑤望月康廣, 西本哲也, 本村友一, 宇治橋貞幸, 群集事故災害予防に関するバイオメカニクス研究のアプローチ, 日本機械学会技術と社会部門講演会, 16-49, 324, 2016/11/26 発表, 宮城教育大学

⑥鈴木基継, 西本哲也, 本村友一, 宇治橋貞幸, 胸部および腹部への圧迫が呼吸に及ぼす影響, 日本機械学会スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2016, 16-40, B-30,

- 2016/11/11 発表, 山形テルサ
- ⑦西本哲也, D-Call Net アルゴリズムの開発, 日本航空医療学会パネルディスカッション 救急児童通報システム (D-Call Net) が起動する航空医療の近未来, 2016/10/28 発表, ウェスタ川越
- ⑧西本哲也, 医工連携による大学病院を中核とした交通事故の実態調査, 産学ポスターセッション, 自動車技術会 2016 年秋季大会, 2016/10/20-21 発表, 札幌コンベンションセンター
- ⑨坪井昭典, 西本哲也, 富永茂, 本村友一, CT データに基づくシートベルト着用乗員の胸部損傷の解析, 自動車技術会 2016 年秋季大会, 20166246, 2016/10/21 発表, 札幌コンベンションセンター
- ⑩久保田和広, 西本哲也, 富永茂, 三好朋之, 自動車乗員の早期治療・最適治療を目的とした傷害部位別アルゴリズムの構築, 自動車技術会 2016 年秋季大会, 20166240, 2016/10/20 発表, 札幌コンベンションセンター
- ⑪T.Nishimoto, K.Kubota, G.Ponte, Development of Algorithms to Predict Vehicle Occupant Injury Severity based on Data from the South Australian Traffic Accident Reporting System, 20166239, 2016 JSAE Annual Congress Proceedings (Autumn), 2016/10/20 発表, Sapporo Convention Center
- ⑫鈴木基継, 西本哲也, 本村友一, 宇治橋貞幸, 群集事故を想定した胸腹部圧迫の呼吸変動に関する実験, 日本機械学会 2016 年度年次大会, J0290105, 2016/9/12 発表, 九州大学
- ⑬西本哲也, 状態別 (乗員, 歩行者, 自転車, 二輪車) 死亡重傷率予測アルゴリズム, 自動車技術展: 人とくるまのテクノロジー展 2016 名古屋フォーラム 事故自動通報による救急医療革命, 2016/6/29 発表, ポートメッセなごや (名古屋国際展示場)
- ⑭久保田和広, 西本哲也, 富永茂, 木内透, 運転席, 助手席, 後席別の傷害予測アルゴリズムの開発, 自動車技術会 2016 年春季大会, 20165234, 2016/5/26 発表, パシフィコ横浜
- ⑮西本哲也, 向川康介, 二輪車対四輪車事故のための傷害予測アルゴリズムの構築, 自動車技術会 2016 年春季大会, 20165233, 2016/5/26 発表, パシフィコ横浜
- ⑯西本哲也, 交通事故実態に基づく事故自動通報システムの開発, 佐賀大学医学部医工連携研究会シンポジウム, 2016/3/24 発表, 佐賀大学医学部
- ⑰久保田和広, 西本哲也, 乗車位置別の傷害予測モデルの研究, 2016 年度自動車技術会関東支部学術講演会, D3-2, 2016/3/9 発表, 東京都市大学世田谷キャンパス
- ⑱坪井昭典, 西本哲也, 本村友一, 交通事故実態調査に基づく腹部傷害の解析, 2015 年度自動車技術会関東支部学術講演会, D3-1, 2016/3/9 発表, 東京都市大学世田谷キャンパス
- ⑲高波亮太, 西本哲也, Jonas A Pramudita, 本村友一, 宇治橋貞幸, 群集事故を想定した胸腹部圧迫実験解析, 日本機械学会第 28 回バイオエンジニアリング講演会, 2C15, 2016/1/10 発表, 東京工業大学
- ⑳西本哲也, 救急自動通報システムに適用する傷害予測アルゴリズムについて, HEM-Net シンポジウム 救急自動通報システム (D-Call Net) とドクターヘリの連携, 2015/11/30 発表, メガウェブ
- ㉑向川康介, 西本哲也, 富永茂, 服部陽, 本村友一, 松本尚, 木内透, 傷害予測アルゴリズムの三次救急指標に基づく検証, 自動車技術会 2015 年秋季大会, 20156115, 2015/10/15 発表, 西日本総合展示場
- ㉒T.Nishimoto, K.Mukaigawa, G.Ponte, Development of an Algorithm to Predict Pedestrian Injury Severity based on Data from the South Australian Traffic Accident Reporting System, 20156114, 2015 JSAE Annual Congress Proceedings (Autumn), 2015/10/15 発表, West Japan General Exhibiton Center
- ㉓梅飛達, 杉浦隆次, 西本哲也, Jonas Aditya Pramudita, 本村友一, 宇治橋貞幸, 群集事故を想定した胸腹部の圧迫実験, 日本機械学会 2015 年度年次大会, J0240102, 2015/9/16 発表, 北海道大学
- ㉔向川康介, 西本哲也, 富永茂, 服部陽, 本村友一, 松本尚, 交通事故実態に基づく外傷センターへの搬送判断の解析, 日本機械学会 2015 年度年次大会, J0240101, 2015/9/16 発表, 北海道大学
- ㉕西本哲也, AACN 傷害予測アルゴリズムについて, 自動車技術会 2015 春季大会フォーラム 交通事故自動通報の実現に向けた具体的戦略, 2015/5/20 発表, パシフィコ横浜
- ㉖西本哲也, 向川康介, 富永茂, 木内透, 歩行者および自転車乗員保護のための AACN 傷害予測アルゴリズムの構築, 自動車技術会 2015 年春季大会, 2015128, 2015/5/20 発表, パシフィコ横浜
- ㉗向川康介, 西本哲也, 富永茂, 木内透, 日本の交通事故実態を反映した AACN 傷害予測アルゴリズムの研究 (第 2 報), 自動車技術会 2015 年春季大会, 2015127, 2015/5/20 発表, パシフィコ横浜
- ㉘高波亮太, 望月康廣, 西本哲也, Jonas Aditya Pramudita, 本村友一, 宇治橋貞幸, 群集事故の胸腹部圧迫を想定した呼吸動態の段階負荷実験, 日本機械学会第 27 回バイオエンジニアリング講演会, 2D11, 429-430, 2015/1/10 発表, 朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター
- ㉙國井夕介, 西本哲也, 菊池厚躬, 富永茂, 本村友一, 交通事故実態調査に基づくシートベルト着用者の胸腹部傷害に関する研究, 日本機械学会第 23 回交通・物流部門大会, 151-152, 2014/12/3 発表, 東京大学生産技

術研究所

- ③⑩ 向川康介, 西本哲也, 富永茂, Nils Lubbe, 木内透, 交通事故マクロデータを用いた乗員傷害予測アルゴリズムの構築, 日本機械学会第 23 回交通・物流部門大会, 149-150, 2014/12/3 発表, 東京大学生産技術研究所
- ③⑪ 西本哲也, 医工連携による大学病院を中核とした交通事故の実態調査, 産学ポスターセッション, 自動車技術会 2014 年秋季大会, 2014/10/22-24 発表, 仙台国際センター
- ③⑫ 富永茂, 西本哲也, 本村友一, 松本尚, Nils Lubbe, 木内透, 日本の交通事故実態を反映した AACN 傷害予測アルゴリズムの研究, 自動車技術会 2014 年秋季大会, No. 135-14, 5-10, 20145822, 2014/10/24 発表, 仙台国際センター
- ③⑬ 向川康介, 西本哲也, 富永茂, 本村友一, 松本尚, 事故事例解析による傷害予測モデルの適用限界についての検討, 自動車技術会 2014 年秋季大会 No. 135-14, 1-4, 20145898, 2014/10/24 発表, 仙台国際センター
- ③⑭ 車田和也, 西本哲也, 富永茂, 本村友一, 自動車事故での脊椎損傷事例に関する解析, 日本機械学会 2014 年度年次大会, J0250204, 2014/9/10 発表, 東京電機大学
- ③⑮ M.Suzuki, T.Nishimoto, J.A.Pramudita, T.Motomura, S.Ujihashi, Breathing Variations in Response to Thoracoabdominal Pressure, ICR-14-22, ICRASH 2014, 9th International Crashworthiness Conference, 2014/08/26 発表, Riverside Majestic Hotel, Kuching, Malaysia.
- ③⑯ S.Yoshida, T.Hasegawa, S.Tominaga, T.Nihimoto, Development and validation of injury prediction model for advanced automatic collision notification based on Japanese accident data, ICR-14-14, ICRASH 2014, 9th International Crashworthiness Conference, 2014/08/25 発表, Riverside Majestic Hotel, Kuching, Malaysia.
- ③⑰ 向川康介, 西本哲也, 富永茂, 本村友一, 益子邦洋, 日米傷害予測モデルの交通事故実態調査に基づく検証, 自動車技術会 2014 年春季大会, No. 72-14, 1-6, 20145146, 2014/5/23 発表, パシフィコ横浜
- ③⑱ 西本哲也, AACN のための傷害予測アルゴリズムとその検証, 自動車技術会 2014 春季大会 GIA フォーラム 日本の交通事故自動通報システムは如何にあるべきか?, 2014/5/21 発表, パシフィコ横浜

[その他]

ホームページ等

<http://www.mech.ce.nihon-u.ac.jp/~tnishi/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西本 哲也 (NISHIMOTO, Tetsuya)
日本大学・工学部・教授
研究者番号：30424740

(2) 研究分担者

宇治橋 貞幸 (UJIHASHI, Sadayuki)
日本文理大学・工学部・特任教授
研究者番号：80016675

(3) 研究分担者

本村 友一 (MOTOMURA, Tomokazu)
日本医科大学・医学部・助教
研究者番号：20464406