

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17935

研究課題名(和文)後突衝撃をうける自動車乗員の応答に及ぼす能動的姿勢の影響解析

研究課題名(英文)The effect of active postures on the response of vehicle occupant during rear impact

研究代表者

プラムディタ ジョナス (PRAMUDITA, Jonas Aditya)

新潟大学・自然科学系・助教

研究者番号：50615458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、後面衝突事故時における頸部傷害リスクに及ぼす運転姿勢の影響を解明するために、実際に存在しうる運転姿勢の個体差とその時の筋活動を明らかにするとともに、アクティブ人体モデルによる傷害解析手法を新たに確立することを目的とした。ドライブレコーダの車内映像を分析した結果、自動車乗員の頭部姿勢の変化傾向を明らかにすることができた。また、筋骨格モデルを用いることにより姿勢変化に伴う筋活動を明らかにすることができた。さらに、有限要素解析結果より頭部姿勢の変化が頸部傷害リスクに影響を及ぼす可能性があることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to reveal the effect of driving posture on the risk of neck injury during rear impact, investigations on the individual variations in driving postures as well as muscle activities was carried out, and an injury analysis method using active human model was newly developed. Changes in the head posture of vehicle occupants could be determined from the analysis of video images recorded using drive recorder system. Moreover, musculoskeletal model could be utilized in investigating the whole body muscle activities during postural changes. In addition, according to the result of finite element analysis, it was confirmed that changes in head posture may have an influence on the risk of neck injury during rear impact.

研究分野：生体力学

キーワード：頭部姿勢 頸部傷害 後面衝突 筋骨格モデル 有限要素解析 能動的筋力

1. 研究開始当初の背景

近年、自動車事故による死者数と負傷者数は減少傾向にある（警察庁）が、事故発生件数に対する死者数と負傷者数の割合を見ると、ほとんど変化がないことがわかる。特に、後面衝突事故における頸部むち打ち症の発生率はほぼ横ばいである（日本損害保険協会）。つまり、死者数と負傷者数の減少は事故発生件数の減少によるものであり、これまでに導入してきた衝突安全技術の効果が限定的とも言える。これは自動車の衝突安全技術の設計開発と性能評価において乗員個体差を考慮していないためであると考えられる。乗員個体差は性別、体型、年齢、解剖学的特徴、運転姿勢など多種多様であるため、その影響度を調査するにあたり、屍体実験やダミー実験によるアプローチでは生体忠実性が欠けることだけでなく、手間、時間と費用もかかる。

そこで、後面衝突事故に着目して性別および頸椎アライメントの違いが乗員応答に及ぼす影響を調べた。日本人身体特性データに基づいて男性乗員モデル（Pramudita, et al., 2014a）と女性乗員モデルを開発し、後突衝撃に対する頸部挙動の違いを明らかにした（大内ら, 2014）。また、日本人男性のCT画像から頭頸部有限要素モデル（プラムディタら, 2009）を開発し、この頭頸部モデルに日本人に存在する頸椎アライメント（菊地ら, 2014）を持たせ、後突衝撃をうける頸椎靭帯のひずみに及ぼす頸椎湾曲形態の影響を調べた（Pramudita, et al., 2014b）。

しかし、運転姿勢の違いが後面衝突事故時の乗員応答に及ぼす影響はまだ未解明のままである。正面衝突事故時において運転姿勢の違いが乗員応答に大きな影響を与えていると報告されていること（Yue, et al., 2014）から、低速度域で発生する後面衝突事故においてその影響度が益々大きいと考えられる。運転姿勢の影響を解明するために、①運転姿勢の定量化、②その姿勢に伴う筋活動の究明、③その姿勢と筋活動を表現できる乗員モデルの開発、および④その乗員モデルによる事故再現解析が求められる。

2. 研究の目的

本研究は、後面衝突事故時の頸部傷害リスクに及ぼす運転姿勢の影響を解明するために、実際に存在する運転姿勢個体差とその筋活動を明らかにし、代表的な運転姿勢を再現できるアクティブ人体モデルによる後面衝突事故時の乗員応答解析手法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

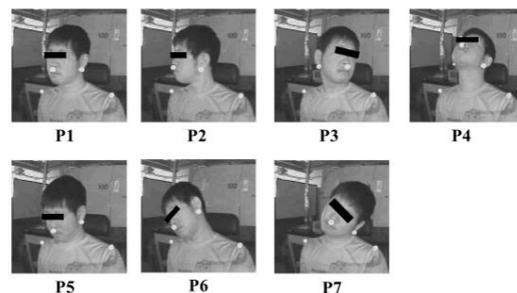
(1) 運転時の頭部姿勢の解析

① 頭部姿勢の推定手法の開発

ドライブレコーダ（以後、ドラレコと略記）の車内カメラの仕様および車内インテリアの寸法を用いてドラレコ車内映像からドラ

イバの三次元頭部姿勢を推定する手法を開発した（安本ら, 2014）。また、本手法の推定結果の妥当性を検証するために、ドラレコの車内カメラ（Horiba Ltd.）と三次元モーションキャプチャー（OptiTrack, Natural Point Inc.）による被験者実験（図1）を行い、推定精度を明らかにした。実験では、成人男性6名に対し、7つの頭部姿勢を再現してもらい、その時の三次元姿勢を推定し、計測結果との比較を行った。なお、本実験の実施について新潟大学工学部倫理審査委員会の承認を得ている。

図1 手法検証のための被験者実験の様子



② ドラレコ車内映像に基づいた頭部姿勢個体差の調査

JSAE-TUAT ドラレコデータベースからドライバの頭部がはっきりと映っている30件のドラレコ車内映像（15秒間）を選定し、各映像から1秒間隔で画像を抽出した。そして、姿勢推定手法を用いてドラレコ車内映像（図2）を解析し、ドライバの頭部の三次元姿勢を定量化した。また、解析結果より、ドライバの頭部の運動範囲を算出した。

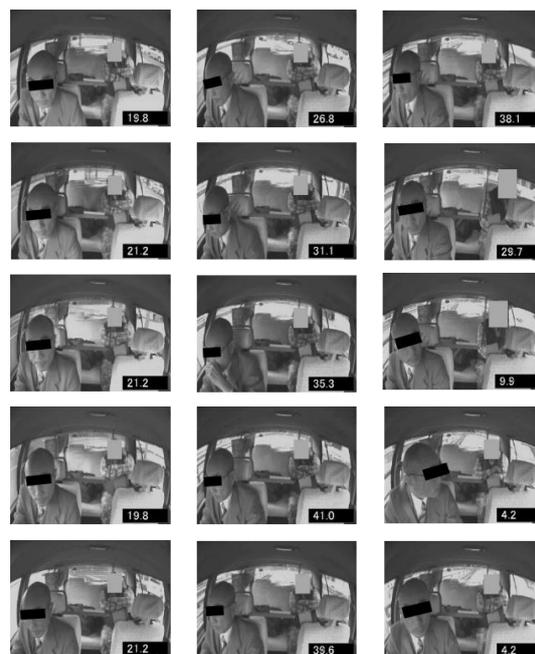


図2 ドラレコ車内映像から抽出した画像例

(2) 運転時の筋活動の解析

① 被験者実験による代表的運転姿勢における筋活動の調査

代表的運転姿勢における筋活動を調べるために、被験者実験（図 3）を行った。実験では、成人男性 6 名に対し、代表的運転姿勢（Park, et al., 2014）を再現してもらい、その時の主要筋肉の筋電図をワイヤレス筋電センサ（Logical Product Corp.）で計測した。そして、最大 ARV（整流平滑化）を比較することにより姿勢の違いによる筋活動の変化を明らかにした。なお、本実験の実施について新潟大学工学部倫理審査委員会の承認を得ている。



図 3 筋電図計測のための被験者実験の様子

② 運転姿勢を模擬した筋骨格モデルの構築

頭部姿勢の変化に伴う筋活動を解析するために、全身筋骨格モデル（AnyBody Technology A/S）を活用した。日本人の体型を有する筋骨格モデルを得るために、人体寸法データベース（AIST）をもとに筋骨格モデルの身長と体重のスケールリングを実施した。また、座位時の筋骨格モデル（図 4）の脊椎アライメントについては過去に行った被験者実験（菊地ら, 2014; Pramudita, et al., 2016）の解析結果に基づいて設定した。筋骨格モデルの妥当性を検証するために、代表的運転姿勢に関する被験者実験およびブリクラッシュに関する被験者実験（Ejima, et al., 2009）の再現解析を行い、筋活動の傾向を比較した。

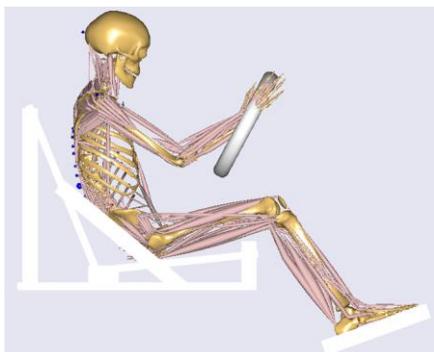


図 4 運転姿勢を模擬した筋骨格モデル

③ 頭部姿勢の変化に伴う筋活動の解析
運転姿勢を模擬した筋骨格モデルを用い

て頭部姿勢の変化に伴う筋活動の変化を運動力学計算で解析した。この解析では、ドラレコ車内映像から求めたドライバ頭部の運動範囲内における複数の頭部姿勢を筋骨格モデルで再現し、加速度負荷時の筋活動および頸部におけるモーメントと力の変化を明らかにした。

(3) アクティブ人体モデルの開発

① 筋肉モデルを有する乗員マルチボディモデルの構築

過去に開発した乗員マルチボディモデル（Pramudita, et al., 2014）に骨格モデル（AIST）と Hill 筋肉モデルを組み合わせることにより、筋活動を考慮できるアクティブ乗員マルチボディモデル（図 5）を構築した。筋肉モデルの特性や付着点（起始・停止）については、上述の全身筋骨格モデルを参考に設定した。なお、本研究では解析ソルバーとして LS-DYNA（LSTC Corp.）を用いた。



図 5 アクティブ乗員マルチボディモデル

② 筋肉モデルを有するアクティブ頭頸部有限要素モデルの構築

過去に開発した頭頸部有限要素モデル（プラムディタら, 2009）に中枢神経系モデル（プラムディタら, 2010）を組み合わせ、また Hill 筋肉モデルを新たに取り付けることにより、筋活動を考慮できるアクティブ頭頸部有限要素モデル（図 6）を構築した。頭頸部モデルの妥当性を検証するために、低速後面衝突下における被験者実験（Ono, et al., 2006）を再現し、椎体間の相対回転角の比較を行った。

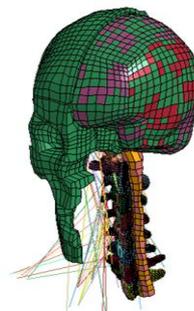


図 6 アクティブ頭頸部有限要素モデル

(4) 後面衝突事故時の応答に及ぼす運転姿勢の影響解析

① アクティブ乗員モデルによる能動的筋力の影響の調査

後面衝突時の自動車乗員の頭頸部挙動に及ぼす受動的および能動的筋力の影響を調べるために、アクティブ乗員モデルによる後面衝突解析(図7)を行った。この解析のために3体の乗員モデル(筋肉モデル無し(Pramudita, et al., 2014a)、受動的筋肉モデルのみ、受動的と能動的筋肉モデル)を用意した。解析結果から頭部の回転角と変位および頸部傷害指標を計算し、比較した。



図7 乗員モデルによる後面衝突解析

② アクティブ頭頸部有限要素モデルによる頭部姿勢の影響の調査

後面衝突による頸部傷害リスクに及ぼす頭部姿勢(能動的動作)の影響を調べるために、アクティブ頭頸部モデルによる後突衝撃解析(図8)を行った。解析では、4体の頭頸部モデル(筋活性無し、伸展筋のみに筋活性、屈曲筋のみに筋活性、伸展筋と屈曲筋に筋活性)を用いて計算を行い、椎体間の相対回転角の違いを明らかにした。また、特定の頸部筋に筋活性を与え、頭部が屈曲・伸展、回旋または側屈した後に後突衝撃を負荷し、頸椎靭帯のひずみや脊髄内の圧力を算出した。

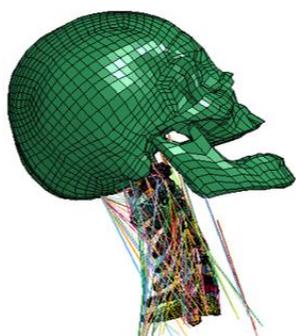


図8 頭頸部モデルによる後突衝撃解析

4. 研究成果

実験および数値解析から得られた結果を以下にまとめる。

(1) 姿勢推定手法の推定精度

被験者実験における姿勢推定手法による推定結果と三次元モーションキャプチャーによる計測結果を比較し、推定誤差を明らかにすることができた。冠状面上における推定

誤差は十分小さいことが確認できたが、奥行き方向の推定誤差は比較的大きいことが明らかとなった。しかし、運転時によく見られる姿勢(図1のP1~P3)については、誤差を50 mm以内に抑制できる可能性があることがわかった。

(2) ドライバ頭部の運動範囲

姿勢推定手法を用いることによって、ドラレコ車内映像におけるドライバの顔の向きおよび頭部の運動軌跡を求めることができた。図9に頭部の向きと運動軌跡の一例を示す。30件のドラレコ車内映像を解析した結果、ドライバの頭部運動には個体差が存在しており、その運動範囲は約220 mm×110 mm×210 mmの空間内に収まっていることがわかった。なお、顔の誤検出は約2割であることが確認された。誤検出を減らすためには、制約条件や解析アルゴリズムの改善が必要であると考えられる。

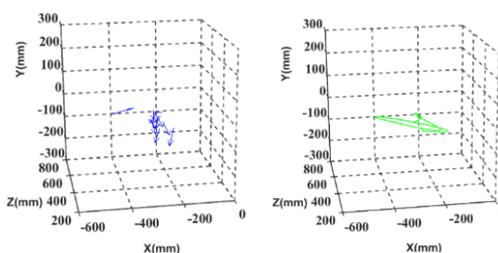


図9 姿勢推定手法による解析結果(左図: 顔の向き, 右図: 頭部の運動軌跡)

(3) 代表的運転姿勢における筋活動

被験者実験により代表的運転姿勢における主要筋肉の筋電図を明らかにすることができた。また、筋電図は体節間角度と大きく関係しており、体節間角度が大きい姿勢では筋電図が大きく発生していることがわかった。つまり、傷害解析を実施する際に、姿勢(体節間角度)だけでなく筋活動も考慮に入れた評価を実施すべきであると考えられる。

(4) 姿勢変化に伴う筋活動

被験者実験の再現解析の結果より、筋骨格モデルは加速度負荷の有無に関係なく、姿勢変化に伴う筋活性度の変化傾向を再現できたことが確認された。また、実験で計測できなかった筋肉についても、筋骨格モデルを用いることによりその影響度を容易に調査することができた。図10にプリクラッシュに関する被験者実験の再現解析から得られた各筋肉の筋力の一例を示す。実験で計測された筋肉以外の筋肉においても大きな筋力が発揮されていることがわかった。

頭部姿勢を変化させた解析の結果より、加速度負荷はほぼすべての筋肉において筋活性度の増加を引き起こすことが確認できた。さらに、頭部の姿勢変化は体幹や四肢の筋活性度への影響が小さいことが明らかとなった。

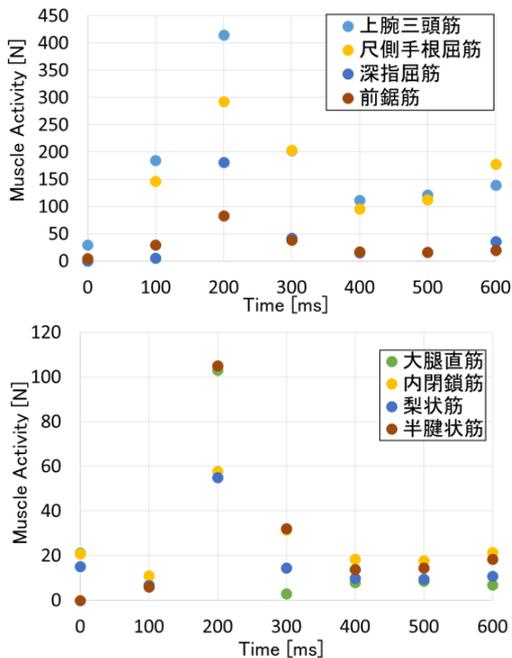


図 10 筋骨格モデルによる筋力の解析結果 (上図：上肢の筋肉，下図：下肢の筋肉)

(5) アクティブ人体モデル

図 7 に示したとおり過去に開発したマルチボディモデル (Pramudita, et al., 2014a) に骨格モデルと筋肉モデルを組み合わせることにより、計算負荷が小さく、かつ筋力の影響を考慮できる新たな乗員モデルを提案することができた。また、この乗員モデルを用いることにより後面衝突時の外観挙動を解析できることを示した。今後の課題として実験等との比較を行い、妥当性を検証する必要があると考えられる。

また、図 8 に示したとおり過去に開発した頭頸部有限要素モデルに中枢神経系モデルを統合させ、かつ新たな筋肉モデルを取り付けることにより、実験 (Ono, et al., 2006) における被験者の頸椎挙動を十分に再現できることを示した。また、この頭頸部モデルを用いることにより、異なる頭部姿勢における後突衝撃解析を可能にした。

(6) 能動的筋力および頭部姿勢の影響

乗員モデルによる後面衝突解析の結果より、筋肉モデルの導入による受動的筋力は頭頸部の回転運動を抑制したこと (図 11) がわかった。また、能動的筋力の働きによって、頭部の伸展がさらに抑えられ、頸部に作用しているせん断力と曲げモーメントも小さくなったことが確認できた。

頭頸部有限要素モデルによる後突衝撃解析の結果より、頸部筋の筋活動は衝撃後半において頸椎挙動に大きな影響を与えること (図 12) がわかった。また、屈曲、伸展、回旋および側屈の能動的動作後に後突衝撃を与えた解析の結果より、頭部姿勢が頸椎靭帯

のひずみおよび脊髄内の圧力に大きな影響を与えることが確認された。なお、頭頸部の能動的動作をより正確に再現するためには、拮抗筋を考慮した新たな解析手法を検討する必要があると考えられる。

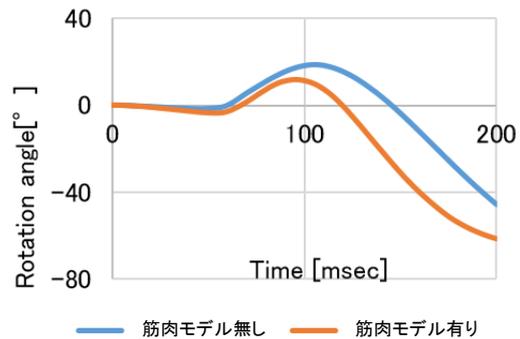


図 11 体幹に対する頭部回転角の比較

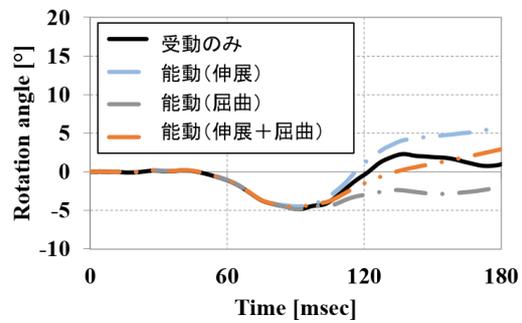


図 12 椎体間の相対回転角の比較 (C0-C1)

<引用文献>

- ① 例えば、警察庁交通局，平成 25 年中の交通事故の発生状況，2014。
- ② 例えば、日本損害保険協会，自動車保険データにみる交通事故の実態，2012。
- ③ Pramudita, J., et al., Int J Crashworthiness, 19(2), 182-195, 2014a.
- ④ 大内翼 他，日本機械学会 2014 年度年次大会，2014。
- ⑤ プラムディタ ジョナス 他，日本機械学会 論文集 A 編，75(759)，1549-1555，2009。
- ⑥ 菊池俊輔 他，日本機械学会第 26 回バイオエンジニアリング講演会，2014。
- ⑦ Pramudita, J., et al., ICRASH Conf 2014, 2014b.
- ⑧ Yue, N., et al., Traffic Inj Prev, 15(5), 513-522, 2014.
- ⑨ 安本拓矢 他，自動車技術会 2014 秋季大会，2014。
- ⑩ Park, J., et al., J Ergon Soc Korea, 33(2), 87-96, 2014.
- ⑪ 例えば，産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センター，AIST 人体寸法データベース 1991-92，2005。
- ⑫ Ejima, S., et al., 21st ESV Conf, 2009.
- ⑬ プラムディタ ジョナス 他，日本機械学会 論文集 A 編，76(761)，44-51，2010。
- ⑭ Ono, K., et al., 2006 IRCOBI Conf, 2006.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Pramudita, J.A., Kikuchi, S., Minato, I. and Tanabe, Y. : Effect of Cervical Spine Alignment on Neck Injury Risk during Rear-End Impact - Numerical Study Using Neck Finite Element Model - , International Journal of Crashworthiness, Vol.22(4), 453-466, 2017. (accepted, 査読有)
DOI: 10.1080/13588265.2017.1278638

[学会発表] (計 8 件)

- ① プラムディタ ジョナス, 島内拓哉, 根岸詢, 田邊裕治: 自動車運転時の代表的姿勢における筋活動の調査, 日本実験力学学会第 16 回バイオメカニクス分科会講演会, 2017 年 3 月 18 日, 名古屋大学東山キャンパス (愛知県名古屋市).
- ② 井澤俊樹, プラムディタ ジョナス, 田邊裕治: 後面衝突時における頭頸部応答の有限要素解析, 自動車技術会関東支部 2016 年度学術研究講演会 (ICATYE), 2017 年 3 月 8 日, 日本大学理工学部駿河台キャンパス (東京都千代田区).
- ③ 根岸詢, プラムディタ ジョナス, 田邊裕治: 筋骨格モデルによるプリクラッシュ時の乗員筋活動の解析, 自動車技術会関東支部 2016 年度学術研究講演会 (ICATYE), 2017 年 3 月 8 日, 日本大学理工学部駿河台キャンパス (東京都千代田区).
- ④ Pramudita, J.A., Negishi, J., Minato, I., Niitsuma, K., Mizoi, K., Tamura, N., Tanabe, Y. : Variation of Spinal Alignment in Standing and Automotive Seated Postures, 2016 IRCOBI Asia Conference, 2016/5/16-18, Seoul (South Korea). (国際会議)
- ⑤ 安本拓矢, プラムディタ ジョナス, 田邊裕治: ドライブレコーダ映像に基づいたドライバ運転挙動の定量解析, 自動車技術会関東支部 2015 年度学術研究講演会 (ICATYE), 2016 年 3 月 9 日, 東京都市大学世田谷キャンパス (東京都世田谷区).
- ⑥ 大内翼, プラムディタ ジョナス, 田邊裕治: 自動車事故解析のためのアクティブ乗員モデルの開発, 自動車技術会関東支部 2015 年度学術研究講演会 (ICATYE), 2016 年 3 月 9 日, 東京都市大学世田谷キャンパス (東京都世田谷区).
- ⑦ プラムディタ ジョナス: アライメント個体差を考慮した頸部むち打ちの数値解析, 5th Humanetics CAE Technical Forum, 2015 年 10 月 16 日, 愛知芸術文化センター (愛知県名古屋市). (招待講演)

- ⑧ Pramudita, J.A., Watanabe, K., Tanabe, Y. : Strain Distribution on Cervical Facet Joint Capsule During Whiplash-like Motion, International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2015 (ATEM '15), 2015/10/4-8, Toyohashi (Japan). (国際会議)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

プラムディタ ジョナス
(PRAMUDITA, Jonas Aditya)
新潟大学・自然科学系・助教
研究者番号: 50615458

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者