

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：23604

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13961

研究課題名（和文）画像解析によるポリゴンメッシュモデルを用いた事故時の車体変形量評価手法の開発

研究課題名（英文）Development of Evaluation Method for Vehicle Body Deformation in Accidents Using Polygon Mesh Model by Image Analysis

研究代表者

國行 浩史（Kuniyuki, Hiroshi）

公立諏訪東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：30804223

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は、複数の写真から3次元モデルを構築するSfM手法を用いて、高所（約7m以上）から写真間ラップ率の高い（約95%以上）写真撮影をすることによって再現性の高い3次元車体モデルを構築することができた。さらに、この手法によって実際の事故車の車体変形量を約5%（±10mm）で評価できることが検証できた。

また、米国の事故データベースを用いた分析から、側面衝突事故時のルーフ変形の乗員傷害への影響を明らかにした。その結果から車体変形量を考慮した乗員傷害予測式の構築を図り、従来予測モデルより予測感度を約88%に向上することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先進衝突自動通報（AACN）の適用拡大に向けて、重症度予測によるトリアージは最も重要な課題の一つであり、乗員傷害予測精度のさらなる向上が求められている。本研究の成果によって乗員傷害予測に対する車体変形量の影響が明らかになり、写真撮影から車体変形量を計測、評価する基盤が構築できた。さらに、得られた車体変形量を用いた乗員傷害予測式によって、事故現場でのトリアージの判断や乗員傷害予測精度の向上に貢献できると考える。

研究成果の概要（英文）：This study can build a highly reproducible 3D vehicle body model using the SfM method by taking pictures with a high lap rate (approximately 95% or more) from a high point (approximately 7 m or more). It was verified that the amount of deformation of the deformed vehicle body can be evaluated at approximately 5% (± 10 mm).

Moreover, analysis using the US accident database clarified the effect of roof deformation for occupant injuries in side impact collision. Based on the results, this study constructed an occupant injury prediction model that takes into account the amount of vehicle body deformation, and improved the prediction sensitivity to approximately 88% compared to the conventional prediction model.

研究分野：自動車衝突安全・予防安全 / 交通事故分析

キーワード：交通事故分析 車体変形計測 乗員傷害予測

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本における交通事故死者は年間 4,000 人近く発生しており、交通事故防止、人身傷害の低減が喫緊の課題である。政府が定めた第 10 次交通安全基本計画の目標:2020 年までに年間 2,500 人以下向け様々な取り組みが開始している。その柱の一つとして「救命・救助活動の充実」があり、事故時の自動通報による救命救急活動の迅速化が期待されている。

(2) 事故自動通報には、加速度等の車両情報から自動的に乗員傷害を予測し、事故の緊急性を判断する取り組みが始まっている。先進衝突自動通報(AACN: Advanced Automatic Collision Notification)として一部実用化が開始され効果が期待されているが、重症度判定精度は救命救急トリアージの大きな課題となっている(参考文献(1)(2))。

(3) これまでの研究(参考文献(3))より、自動車乗員の傷害影響因子として変形位置や車体変形量が大きく影響していることがわかった。同様の影響は Pal ら(参考文献(4))の研究でも示唆されている。しかし、現状では事故現場に駆け付けた警察、救急隊は車両の変形位置や変形量を定量的に評価できていない。

2. 研究の目的

衝突事故時の乗員傷害予測には車体の変形位置、変形量の情報が重要である。しかし、これまで事故現場の警察や救急隊は、大破、小破という感覚的な評価しかできておらず、計測の困難さから車体の変形位置、変形量が考慮されていなかった。本研究では、外部からの車体全周囲を撮影した画像情報からポリゴンメッシュ化した 3 次元モデルを用い、車体変形位置・変形量を定量的に評価する手法を構築する。

3. 研究の方法

本研究は、3つのステップから構成されており、以下に各ステップの研究手法を示す。

(1) STEP1

簡易モデルを用いた単体実験による撮影画像から 3 次元モデルの構築手法を確立した。

①衝突車両を模擬するために塗装を施した一辺 300 mm 程度の立体形状を段ボール箱で作成し、その組み合わせで構成する簡易モデルを作成した。また、組み合わせ方で衝突時に想定される凹凸形状を作意的に再現できるようにした。

②作成した簡易モデルを用いて画像撮影を行い、実際の簡易モデル画像から 3 次元化されたポリゴンメッシュモデルの構築を検討した。3 次元モデルの構築には SfM(Structure from Motion) 手法を用いた解析ソフト PhotoScan Ver. 1.4.4 (Agisoft) を用いた。その際、変形位置・変形量を測定するための画質、画角、撮影オーバーラップ量等の画像計測手法を確立した。

(2) STEP2

確立した画像計測手法を用いて事前に変形させた実車のドアパネル単体を用いた計測実験を行い、より実車に近い条件における手法検証、改善を行った。また並行して、事故状況および車両の衝突変形状況と乗員の傷害状況を米国事故データから分析し、乗員傷害予測に必要な車体変形情報を調査した。

①実車のドアパネル単体を用いた計測実験を行った。ドアパネルは事故による変形を代表できるように、実際に衝突実験を実施した車両から回収したドアパネルを使用した。その際、ドアパネル単体に対して 3 次元モデルが最適に得られる撮影条件を求めた。

②さらに実車を用いたトライアル実験を行い、3 次元モデル化手法の課題の抽出、改善手法を検討した。

③事故状況および車両の衝突変形状況と乗員の傷害状況を米国事故データである NASS-CDS(米国運輸省道路交通安全局提供)を用いて調査し、衝突時の車体変形と乗員の傷害部位、傷害程度、および乗員傷害予測に必要な車体変形情報を明らかにした。

(3) STEP3

これまでに確立した車体変形の定量的評価法を用いて、実際の事故車両を用いた計測実験を行い、本計測手法の妥当性を検証した。さらに、事故データ分析から得られた結果から、乗員傷害予測に必要な予測因子を特定し、その因子を含めた乗員傷害予測式の確立を行った。また、実適用化を踏まえ、UVA を用いた撮影から 3 次元モデルを構築する手法を検討した。

①これまでの検討から最終的な車体変形の定量的評価手法を確立した。

②事故データベースを用いて従来型の予測因子に車体変形情報因子を加えたロジスティック回帰分析を用い、車体変形量を考慮した傷害予測手法の有効性を検証した。

③車両全周を上空から短時間で撮影できるように UAV を用いた撮影手法を検討し、実適用化に向けた 3 次元モデル化手法の検討を行った。

4. 研究成果

(1) STEP1 として箱型の簡易モデルを製作し、その3次元モデル化を検討した。先行して検討していた道路の3次元モデル化手法の検討結果を参考にした。その結果、SfM手法を用いた写真の撮影方法として、遠方複数の高さおよび複数の距離から同心円周上に撮影する(図1)ことで3次元モデルの再現性が高いことがわかった(図2)。特に撮影する写真間のラップ率が90%以上は必要であることがわかった。

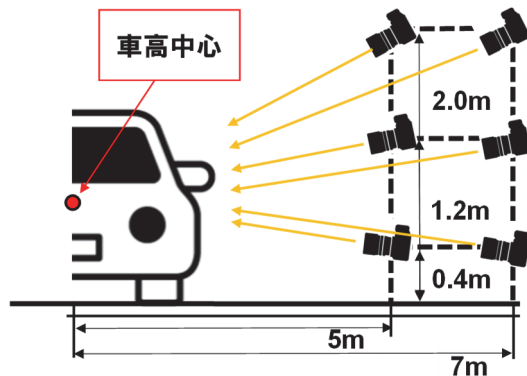


図1. 3次元モデルの撮影条件

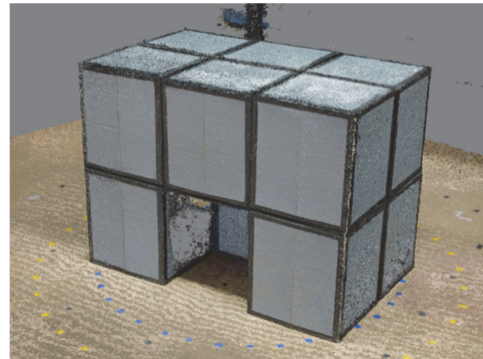


図2. 簡易モデルの3次元モデル

(2) STEP2 として、STEP1 で検討した撮影手法を用いてドアパネル単体の3次元モデル化と変形量の計測を検討した。実際の側面衝突実験(米国SINCAP条件、IIHS条件)を行ったドアパネルを用い、撮影、分析した結果、変形部位を含めて再現性の高い結果が得られた(図3)。変形していない側のドアパネルに対して変形している側のドアパネルの変形量を計測した結果、断面形状の再現性は高く、変形量は概ね20%(±40mm)の精度で計測できることがわかった(図4)。誤差が大きくなっている要因として、変形していないドアパネルとの重ねる際の基準の設定が考えられた。今後の検討余地はあるが、変形の影響があると考えられる事故車のドア変形状況(300mm以上)を鑑みると実用上の問題は無いと考えた。本手法のようにSfM手法を用いて実際の衝突変形状況を計測、検証した報告はこれまであまり見られない。

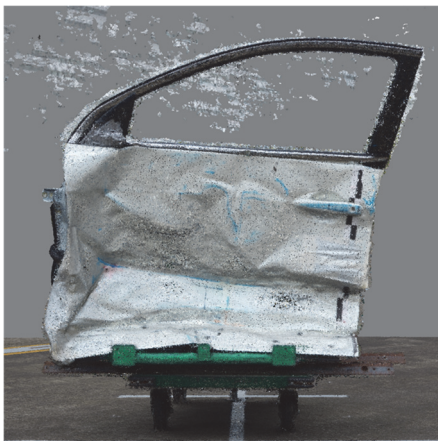


図3. ドアパネルの3次元モデル

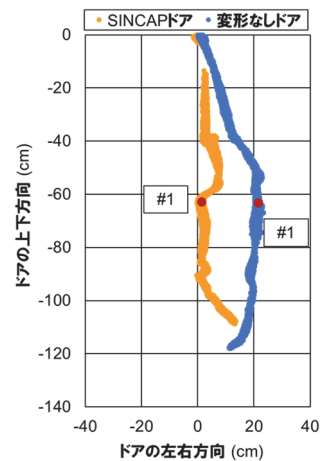


図4. 計測されたドアパネルの変形断面

(3) STEP2 の3次元モデル化手法を用いて実車のモデル化を検討した。その結果、ルーフの再現性があまり良くないことが判明した。そこで、改善法として、高所(7m)から小型カメラを用いて撮影する手法を考案した(図5)。その際、ズームを用いて画角を拡大し、同心円上から1度おきに撮影することで写真間のラップ率を上げ(95%以上)、ルーフの再現性の高い3次元モデルの構築することができた(図6)。この方策は、実用化に向けたUVAを用いた撮影条件にも合致する方向となった。高所から画角を拡大しラップ率を上げて撮影することが車両の3次元モデル化手法に重要であることがわかった。

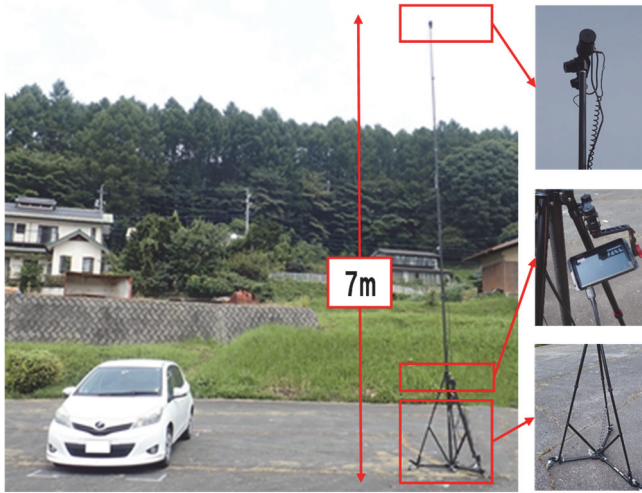


図 5. 改善した実車の撮影条件



図 6. 実車の 3 次元モデル

(4) STEP3 として、最終的に構築した 3 次元モデル化手法を用いて実際の事故車（電柱に前面を衝突した車両）の評価を行った。その結果、再現性の高い 3 次元モデルが構築でき、電柱侵入部などの変位を約 5% ($\pm 10 \text{ mm}$) で評価できることが検証できた（図 7、図 8）。今回の検証では、実測の点を用いて検証を行ったが、実適用化に向けて変形量の基準点（変形していない点）をどのように設定するかはまだ課題があり、今後検討していく必要があると考える。



図 7. 事故車の 3 次元モデル（全景）



図 8. 事故車の 3 次元モデル（衝突部）

(5) 米国事故データ NASS-CDS を用いて調査し、側面衝突事故時の乗員傷害予測に必要となる車体変形情報を明らかにした。その結果、変形部位別に乗員傷害への影響が異なり、特にルーフの変形量を考慮することが重要であることがわかった。事故データから死亡重傷（MAIS ≥ 3 ）に対するオッズ比を確認したところ、ルーフの変形量が 30cm 未満の場合に対して、30cm 以上の場合は 2.944 であり、重症度が高いことがわかった（図 9）。このルーフ変形量の結果は、米国疾病管理センター（CDC）によるフィールドトリアージのための救急搬送のガイドライン（参考文献（5））に記載されている基準の客室変形が 30cm 以上とも合致しているため、妥当な評価基準と考える。既存の傷害予測モデルの一つである米国の URGENCY（参考文献（2））を用いて、ルーフ変形量を考慮して予測式を構築した結果、予測感度が従来モデルより約 88% まで向上することができ（Cutoff 値=0.2）、オーバートリアージ率には影響を及ぼさない改善モデルが構築できた（図 10）。具体的な車体変形量を考慮して乗員傷害予測式を構築した国内外の初めての結果である。ただし、分析したデータサンプル数が限られていたため、 ΔV やシートベルト着用有無などの既存分の予測因子は変更しないで車体変形量の因子を追加する形で構築した結果であり、精度評価上は因子全体を踏まえた傷害予測モデルの構築はさらなる検討の余地はあると考える。多数の事故データを収集できる国内での体制作りも課題の一つと考える。

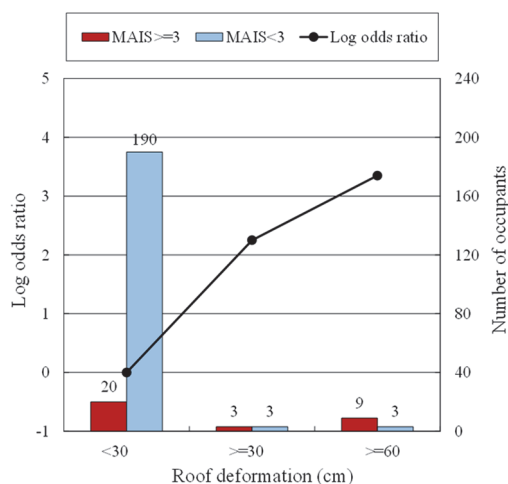


図 9. ルーフ変形量に対するオッズ比

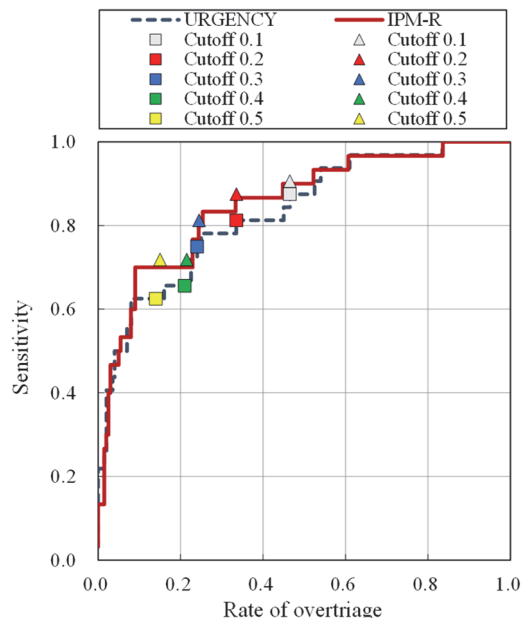


図 10. ROC 曲線

(6) 簡易的なUVA（ドローン）を用いて、高所（約10m）から円周上に実車の撮影を行い、3次元モデル化の検討を行った（図11）。ルーフなどの車体骨格部の再現性は見られるが、一部のパネル部の再現性は良くない結果となった（図12）。要因として、UVAに設定したカメラレンズのズーム非対応や、風などの影響を受けて撮影写真間のラップ率の安定性が良くなかったことが考えられる。実適用化に向けてより安定的な3次元モデル化、計測ができるようにさらなる改善余地はあると考える。また、UVAの改良も必要であると考えられる。



図 11. UVA を用いた実車の撮影状況



図 12. UVA による実車の 3次元モデル

<参考文献>

- (1) 吉田傑, 長谷川卓ほか, 事故データによる傷害予測に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 43, No. 2, pp. 275-280 (2012)
- (2) Bahouth, G., Digges, K., Influence of Injury Risk Thresholds on the Performance of an Algorithm to Predict Crashes with Serious Injury, 56th AAAM Annual Conference Annals of Advances in Automotive Medicine, Vol. 56, pp. 223-230 (2012)
- (3) 國行浩史, 交通事故データを用いた乗員傷害予測式の構築と予測外れ事故の分析に関する研究, 東京工業大学, 博士論文 (2013)
- (4) Pal, C., Narahari, S., etc., A New Approach in Improving Traffic Accident Injury Prediction Accuracy, 自動車技術会春季学術講演会予稿集, No. 110-17, pp. 2842-2847 (2017)
- (5) Centers for Disease Control and Prevention: Guidelines for Field Triage of Injured Patients Recommendations of the National Expert Panel on Field Triage 2011, Morbidity and Mortality Weekly Report, Vol. 61, No. 1, p. 11 (2012)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kuniyuki Hiroshi, Maruyama Yuma, Hara Masaki, Yoshimura Yuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Analysis on Causes of Four-Wheeled Vehicle Accidents in Hilly and Mountainous Area	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Automotive Engineering	6. 最初と最後の頁 309 ~ 315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 國行 浩史、行田 拓人、窪田 雄聡	4. 巻 51
2. 論文標題 3次元道路線形計測による中山間地域の交通事故要因の研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 938 ~ 943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11351/jsaeronbun.51.938	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 國行 浩史
2. 発表標題 乗員傷害予測における車体変形情報に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会2019年秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 國行 浩史
2. 発表標題 車体変形量を考慮した乗員傷害予測手法に関する研究
3. 学会等名 自動車技術会2021年春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------