

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：34416

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14847

研究課題名（和文）実事故データ分析に基づく交通弱者保護のための統合安全技術評価方法の構築

研究課題名（英文）Development of an evaluation method of integrated safety technologies for protecting vulnerable road user based on actual accident data analysis

研究代表者

伊藤 大輔 (Ito, Daisuke)

関西大学・社会安全学部・教授

研究者番号：90432244

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、歩行者・自転車乗員といった交通弱者の交通事故実態調査および交通弱者の対自動車衝突挙動の解明および傷害発生リスク評価方法の構築について研究をおこなった。本研究により、歩行者、自転車乗員と四輪車との衝突において、衝突速度が高い場合には歩行者保護性能が高いとされるウインドシールドとの衝突であっても重傷脳傷害が発生し得ることが事故データ、衝突シミュレーションの両方から確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現行の交通弱者の対四輪車衝突の頭部保護対策では、頭蓋骨骨折のような並進運動に起因する傷害への対策が施され、その被害軽減効果が議論されてきたが、実態として脳損傷の危険性もあり得ることを示したことは有益な知見であると考えられる。また、これらの知見を基に、より安全な衝突安全技術が開発されることで今後の交通安全の推進に寄与することから、社会的意義はあると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the actual conditions of traffic accidents involving vulnerable road users such as pedestrians and cyclists were investigated. In addition, the kinematic behavior of vulnerable road users who collided with a car was clarified and injury metrics for each part of the whole body were discussed. The study confirmed from both accident data and crash simulations that serious brain injuries can occur in collisions between pedestrians, bicyclists, and four-wheeled vehicles, even in collisions with windshields, which are considered to have high head protection performance, when the collision speed is high.

研究分野：機械工学，交通工学，社会・安全システム科学

キーワード：交通安全 衝突安全 交通弱者 交通事故分析 有限要素解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

近年、交通事故死者数は年々減少しているが、歩行者や自転車乗員といった交通弱者の死亡数は下げ止まりの様相を見せている。歩行者事故は交通事故死者数のうち最も多く、自転車乗車中も4番目に多い。自動車と身体とが直接接触する交通弱者の保護は衝撃緩和が困難な場合も多く、未だ課題は多い。

交通弱者への被害軽減技術として、従来の車体構造による頭部、脚部保護に加え、衝突被害軽減ブレーキ(AEB)、ポップアップフード、歩行者用エアバッグの開発、装備が進んできている。さらに、近年研究開発が盛んな自動運転車においても衝突自体の回避に向けてセンシングや交通弱者の行動予測など様々な研究がなされてきている。

車体構造による頭部、脚部保護では法規および新車アセスメント試験において頭部および脚部インパクトを用いた傷害リスク評価による判定が行われてきた。また、同様の試験法によりポップアップフードによる物理量から計算される傷害値の低減効果が見られてきた。さらに、これまでAEBによる事故低減効果の見積もりは交通事故統計データでの速度低減による死亡重傷者数の低減見積もりや交通状況を詳細に表現したシミュレーション環境におけるシミュレーションによる評価などが行われてきた。

一方、申請者はこれまでに人体全身の挙動、傷害を予測可能な人体有限要素(FE)モデルを用いたFE解析により、交通弱者の事故発生メカニズムと受傷メカニズムの分析をおこなってきた。その結果、

(1) 必ずしも試験法で想定されたような単純な事故形態とはならない。申請者によって行われたドライブレコーダを用いた交通事故分析によると、交通弱者の事故では彼らの急な飛び出しが事故発生の主要な要因となっており、その結果、歩行者保護対策が施されていない自動車の端部と衝突し、そのまま路面へと落下する形態も起こりうる。

(2) 衝突位置が端部となった場合に歩行者の傷害発生リスクが急増する。先行研究でのAEBの効果評価では衝突速度の低減のみを因子として死亡重傷リスク低下を算出したり、簡易マルチボディ解析による頭部衝突速度や衝突によって生じる生じる頭部加速度を評価する程度にとどまっている。申請者は実際には衝突位置による影響の方が大きく、速度低減だけを見ても不十分であることや、AEB作動により頭部衝突位置が中央から端部へと変化し、頭部受傷リスクが増大することが起こりうることを示している。また、事故分析によると、衝突後の路面落下時の受傷リスクも高く、これも含めた評価が必要である。

(3) 上肢、下肢の姿勢違いが全身挙動や胸郭変形、膝靭帯負荷に影響を及ぼす。個別の事故事例の再現CAEにより、歩行者の上肢が胸郭に干渉することや、自転車乗員の下肢姿勢がその後の全身挙動、頭部衝突位置を変化させることを示している。

これらの結果は、交通弱者の事故は自動車乗員の事故と比べ多様な形態があり、そのばらつきが衝突後の挙動、受傷に影響を及ぼすため、標準的な試験形態での評価のみでは被害軽減技術の真の効果は評価できない可能性があることを示唆する。そこで本研究では、「事故実態を考慮した統合安全評価により、どのような事故状況因子が被害軽減技術の保護効果に影響を与えるかを明確にする必要があるのではないか？」を本研究の学術的な問いとして設定した。

## 2. 研究の目的

これまで様々な歩行者、自転車乗員の衝突解析をおこなってきたが、これらの交通弱者の事故は多様な形態があり、そのばらつきが衝突後の挙動、受傷に影響を及ぼすため、標準的な試験形態での評価のみでは被害軽減技術の真の効果は評価できない可能性がある。目指すべき方向性として、実際の事故状況を考慮した有限要素(FE)解析とそれに被害軽減技術を導入したFE解析の比較を通じて、実際の事故発生状況に基づき効率的にその効果を評価する方法を構築することを掲げ、本研究ではその第一段階として、交通弱者の交通事故実態調査(以下の(1)に相当)、および交通弱者の対自動車衝突挙動および傷害発生リスク評価方法の構築(以下の(2)および(3)に相当)について研究をおこなう。これにより、実事故発生状況に対する被害軽減技術の効果向上に貢献する。

## 3. 研究の方法

### (1) 対歩行者、自転車衝突事故に関する頭部外傷のマイクロデータの分析

本研究では、マイクロデータベースより2016-2018年の対歩行者、対自転車事故を抽出し、分析対象とした。対象となる事故は176件である。本分析で使用する加害部位に関しては、頭部傷害のうち最も重傷度の高いものの加害部位として登録されているものを使用した。つまり、他の身体部位が別の加害部位からより重傷度の高い傷害を受傷していたり、頭部が2か所以上から負荷を受けたりしている場合についても一意的に決定できるようにした。また、同じ重傷度である頭部傷害が複数ある場合には脳傷害に関係する加害部位を優先した。

次に、頭部衝突位置分布の分析方法について述べる。ウインドシールド衝突に関しては車両中央からの左右位置および底辺からの前後位置に測定値が調査票に記録されている。車種ごとに

ウインドシールドの大きさは異なるものの、本分析では測定値をそのまま使用した。

## (2) 歩行者衝突時の頭部・胸部傷害のシミュレーションによる分析

自転車乗員には人体有限要素モデル THUMS Ver.4.0 の小柄女性歩行者モデルを使用した。衝突車両には小型乗用車の前面形状モデルを使用した。

衝突条件は自転車の側面に衝突する形態（以下、側方衝突）を設定した。衝突位置は車体中央を人体頭部重心位置とを合わせた位置とし、自動車の衝突速度は 40 km/h および 50 km/h とし、歩行者の移動速度は 0 km/h とした。また、衝突位置や自動車に対する歩行者の向きを変更した条件を設定した。

胸郭の変形を定量化するため、胸郭内部に設定した六面体領域のゆがみ具合を考えた（図 2）。六面体領域のゆがみ具合を表す指標として、有限要素解析の要素品質評価指標であるヤコビアン比を使うこととした。

## (3) 対四輪車衝突時の 6 歳児自転車乗員挙動のシミュレーションによる分析

自転車乗員には人体有限要素モデル THUMS Ver.4.0 の 6 歳児乗員モデルを使用した。6 歳児乗員用の自転車として市販のキッズサイクルを選定した。その形状を測定、モデル化し、ハンドルとタイヤの軸には回転を許すジョイントを設定した。衝突車両には小型乗用車の前面形状モデルを使用した。

衝突条件は自転車の側面に衝突する形態（以下、側方衝突）と自転車の後面に衝突する形態（以下、追突）を設定した。衝突位置は車体中央を人体頭部重心位置とを合わせた位置とし、自動車の衝突速度は 40 km/h、自転車の走行速度は側方衝突では 0 km/h および 10 km/h とし、追突では 0 km/h とした。また、側方衝突では、走行速度 10 km/h の自転車乗員を自動車の左方向に 300 mm ずらした条件を追加した。

比較対象として、側方衝突では過去に実施した成人男性乗員モデルを用いた解析結果と比較した。市販のシティサイクルに着座した成人男性乗員と本解析と同一車両とが衝突する条件であり、衝突速度、自転車走行速度も同一条件となっている。成人男性自転車乗員の追突時の挙動に関しては、側方衝突と同様の車両、自転車、人体モデルで実施された過去の結果を参照した。

## 4. 研究成果

### (1) 対歩行者、自転車衝突事故に関する頭部外傷のマイクロデータの分析

ITARDA のマイクロデータを用いて歩行者および自転車乗員の対四輪車衝突における頭部傷害に関する分析を実施した。脳傷害発生事例に限定して、頭部加害部位と衝突速度との関係を分析した結果、衝突速度が高い場合には歩行者保護性能が高いとされるウインドシールドとの衝突であっても AIS 3 以上の脳傷害が発生し得ることが確認された（図 1）。一方、重傷事例の大部分 40 km/h 以上の衝突であり、衝突速度が高いため、重傷脳損傷が発生したとも言える。また、比較的窓枠に近いウインドシールド領域では衝突速度 20 km/h であっても大脳損傷が発生していた。ただし、このデータには頭部がウインドシールドに衝突したが無傷であったケースは含まれておらず、ウインドシールドの頭部保護性能が否定されるものではない点に留意する必要がある。また、歩行者、自転車乗員のいずれの場合においても、加害部位と発生する傷害の内容との間に関係性は認められなかった。

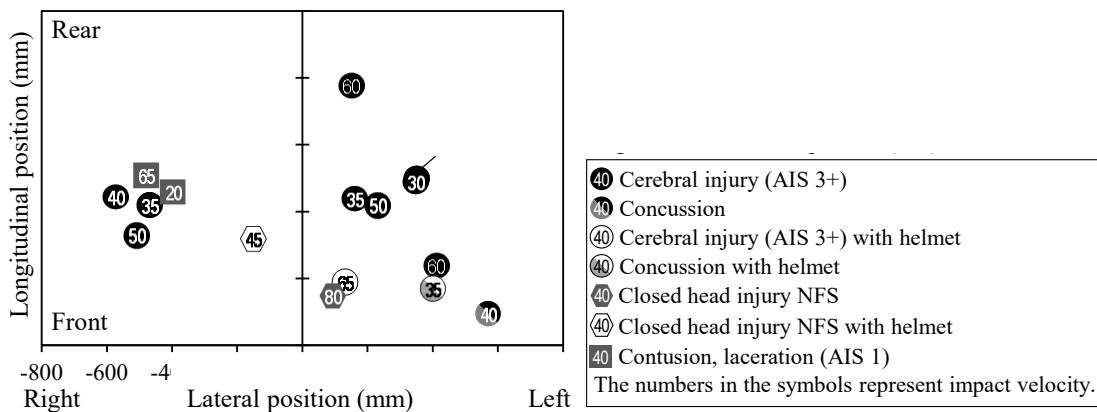


図 1 自転車対四輪車衝突における頭部衝突位置、衝突速度と頭部傷害との関係

## (2) 歩行者衝突時の頭部・胸部傷害のシミュレーションによる分析

歩行者衝突シミュレーションの結果、頭部傷害に関しては、ほとんどの衝突パターンで重傷となった。なお、ボンネット下の部品との干渉により、HIC が特に大きくなる傾向があることが分かった。そこで、頭部傷害を防ぐためには、歩行者用エアバッグ等により被害を軽減するための技術が必要と言える。胸部傷害に関しては、肋骨の変形量を数値化し、定量的に評価することが可能となったが（図 3）、肋骨のひずみと胸郭の変形を合わせて傷害度を評価することは困難で

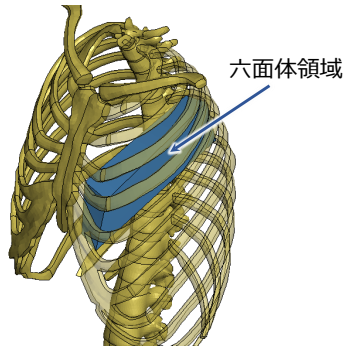


図2 胸郭変形評価のための六面体領域  
(実際には各頂点間の相対変位を評価)

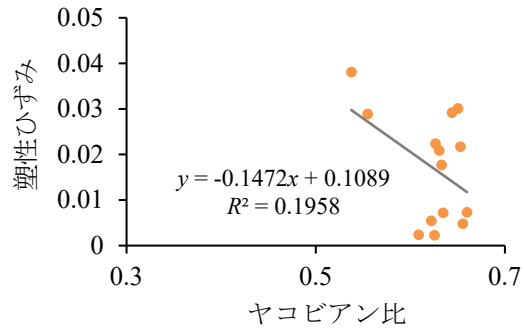


図3 塑性ひずみと右第三肋骨のヤコビアン比

あった。その理由として、肋骨のひずみに関しては、肋骨の前後左右方向ではなく、上下方向に力が加えられた時に最もひずみが出る傾向にある一方で、今回提案した胸郭変形指標は、前後左右方向や局所変形に対して応答しやすいため、上下方向にかかる力に対する評価は変形量を測定し難いからである。また、胸郭変形に影響を及ぼし得る体格や年齢、衝突車の前面形状など衝突パラメータを変化させた場合の評価をおこなうとともに、さらなる傷害指標の検討が必要であることが分かった。

### (3) 対四輪車衝突時の6歳児自転車乗員挙動のシミュレーションによる分析

6歳児乗員と四輪車が衝突した場合において、自転車乗員の速度や衝突位置、衝突方向と自転車乗員の挙動、傷害との関係について検討した。その結果、6歳児自転車乗員の側方衝突、追突時の挙動を既報の成人男性乗員挙動と比較したところ、6歳児乗員の場合、腰部がフードリーディングエッジよりも下にあるため、成人男性モデルでみられたフード上への乗り上げ挙動は見られず、特に下半身は前方に押し出される挙動となった(図4, 5)。今回の6歳児乗員の挙動を見る限りでは下肢の姿勢の影響が生じるとは考えにくく、姿勢に関わらず前方へと押し出される挙動となると推測される。また、6歳児乗員の胸部変形については、側方衝突ではフードリーディングエッジと胸郭下方が直接衝突し変形し、胸郭上方はフードの前方への倒れ込み挙動によって変形した。また、追突時にも胸郭とフードとの高さ方向の位置関係は同様であったが、成人男性乗員とは異なり、車体前面により近い箇所には十分な減速が無いまま衝突するため、肋骨に高いひずみが生じた。

6歳児自転車乗員の四輪車衝突時の頭部傷害指標は側方衝突では700前後、追突では1700程度であった。加速度発生の原因の大部分は頭部衝突によるものであったが、一部衝突前の挙動に寄与する分も含まれた。また、車体構造およびヘルメットによる衝撃緩和、分散効果により頭蓋骨に生じた応力は骨折に至るほど高くはならなかった。一方、脳のひずみは衝突前後で高い値を示しており、脳傷害の危険性があることが示された(図6)。

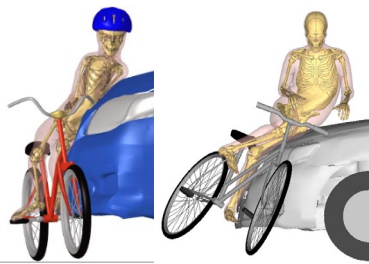


図4 側面衝突時の挙動の比較



図5 追突時の挙動の比較

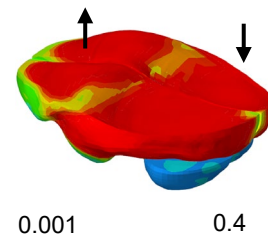


図6 追突時の脳ひずみ

本研究により、歩行者、自転車乗員と四輪車との衝突において、衝突速度が高い場合には歩行者保護性能が高いとされるウインドシールドとの衝突であっても重傷脳傷害が発生し得ることが事故データ、衝突シミュレーションの両方から確認された。また、全身各部位の傷害リスク評価指標については引き続き議論が必要であることが分かった。

今後は、研究計画時点から大幅に進歩した機械学習技術と衝突FE解析とを融合して、実際の事故状況を考慮した有限要素(FE)解析とそれに被害軽減技術を導入したFE解析の両結果を機械学習の入力とし、実際の事故発生状況に基づきその効果を予測・評価できるシステムを構築することを旨として引き続き研究を継続していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔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 伊藤大輔
2. 発表標題 車両前面形状が小柄歩行者の腰部傷害に及ぼす影響
3. 学会等名 日本機械学会 2021年度 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤大輔, 石井大地
2. 発表標題 有限要素解析による対四輪車衝突時の6歳児自転車乗員挙動分析
3. 学会等名 自動車技術会2023年春季大会
4. 発表年 2023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
---------	---------