

手すりで乗客を 踏切事故時の衝撃から守る



中井 一馬
Kazuma Nakai
人間科学研究部
人間工学研究室
主任研究員



榎並 祥太
Shota Enami
人間科学研究部
人間工学研究室
副主任研究員

はじめに

鉄道では安全性を高めるためにさまざまな対策がとられていますが、万が一事故が発生してしまった場合の被害を軽減することも重要です。鉄道総研では、事故時における乗客の車内設備やほかの乗客への衝突（以後、2次衝突）による傷害を抑えるための研究を行っています。事故時の衝撃から乗客を守るため、乗客の傷害状況（傷害発生部位・程度、傷害発生の経緯、加害物など）を把握し、その状況に対応した対策検討を行うのが有効だと考えています。本記事では、ロングシートに着座した乗客を対象として、2次衝突時の傷害状況と手すり設置による

傷害軽減効果の評価のために実施した**スレッド試験**の結果についてご紹介します。

スレッド試験による評価方法

図1(a)に示すようにスレッド上に、床面、ロングシート、袖仕切りを配置し、人体ダミーを着座させてスレッド自体を矢印方向に押し出して加速度を入力しました。試験に用いた袖仕切りは板型タイプで、外側は樹脂材で、内側は鋼材のフレーム枠とその枠内に充填されたポリウレタンで構成されています（図1(b)）。板型タイプの袖仕切りは国内で広く採用されています。スレッドへ入力する加速度は、図2に示す

図1 スレッド試験状況



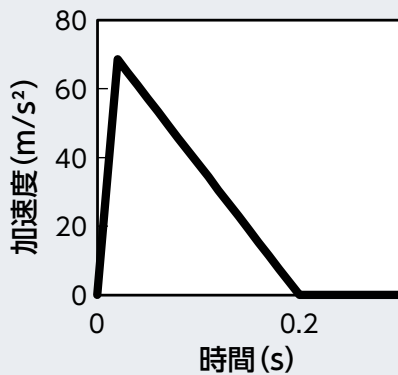
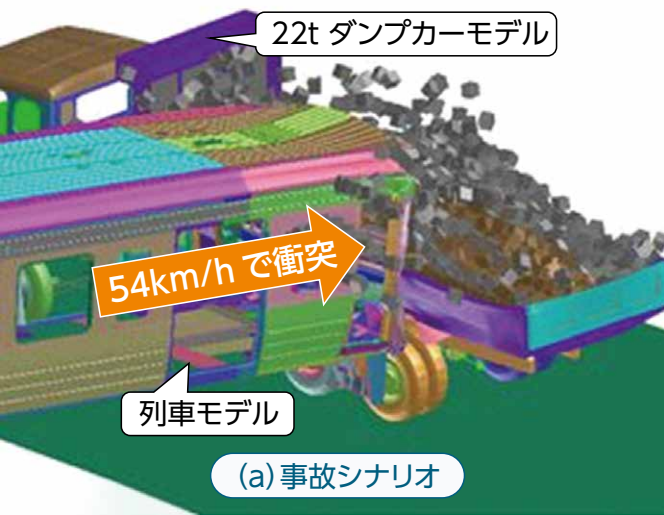
(a) スレッド上(1体条件)



(b) 袖仕切り構造と固定箇所

スレッド試験

スレッドと呼ばれる台車上に車内設備や乗客を模したマネキン（人体ダミー）を配置して、事故時に発生する衝撃加速度をスレッド自体に入力することで、スレッド上で事故を再現する試験方法です。人体ダミー内に組み込まれた加速度計や変位計などから算出された傷害指標で乗客の傷害などを推定します。自動車業界や航空業界などでも活用されています。



(b) 入力波形

表1 試験条件		
試験ID	初期着座位置	手すりの有無
T01	Position A	無
T02	Position B	
T03	Position B	
T04	Position B	
T05	Position C	
T06	Position C	
T07	Position C	
T08	Position AとC	有
T09	Position C	
T10	Position C	
T11	Position C	
T12	Position AとC	

図2 事故シナリオと入力波形

踏切事故を想定した際に列車モデル床面に発生する加速度波形を参照した三角波形としました。

初期着座条件

人体ダミーの初期着座位置について、図3に示す6条件を設定し、表1に示す合計12回の試験を実施しました。T01～T07は、ダミー1体の着座位置を袖仕切りから最も近い1席目 (Position A), 2席目 (Position B), 3席目 (Position C) としました (図3(a)～(c))。T08は、ダミー2体を Position A と Position C に着座させる条件 (図3(d)) としました。T09～T11は、Position C の着座位置で Position B と C の間に手すりを加えた条件 (図3(e)), T12は、ダミー2体 (Position

AとC) で手すりを加えた条件 (図3(f)) としました。なお、T02からT04とT05からT07とT09からT11はそれぞれ同条件で3回行いました。

傷害状況の評価方法

傷害状況は人体ダミーの挙動と身体各部の傷害度で評価しました。ダミー挙動については、ハイスピードカメラによる映像と、袖仕切りへの2次衝突時の頭部速度 (以後、2次衝突速度) で評価しました。傷害度については、自動車業界で用いられる乗員保護装置に関する技術基準¹⁾で規定されている、頭部、胸部、腰部の傷害指標で評価しました。これらの指標は、横方向からの衝撃で発生する傷害の程度を表し、数

図3 初期着座位置

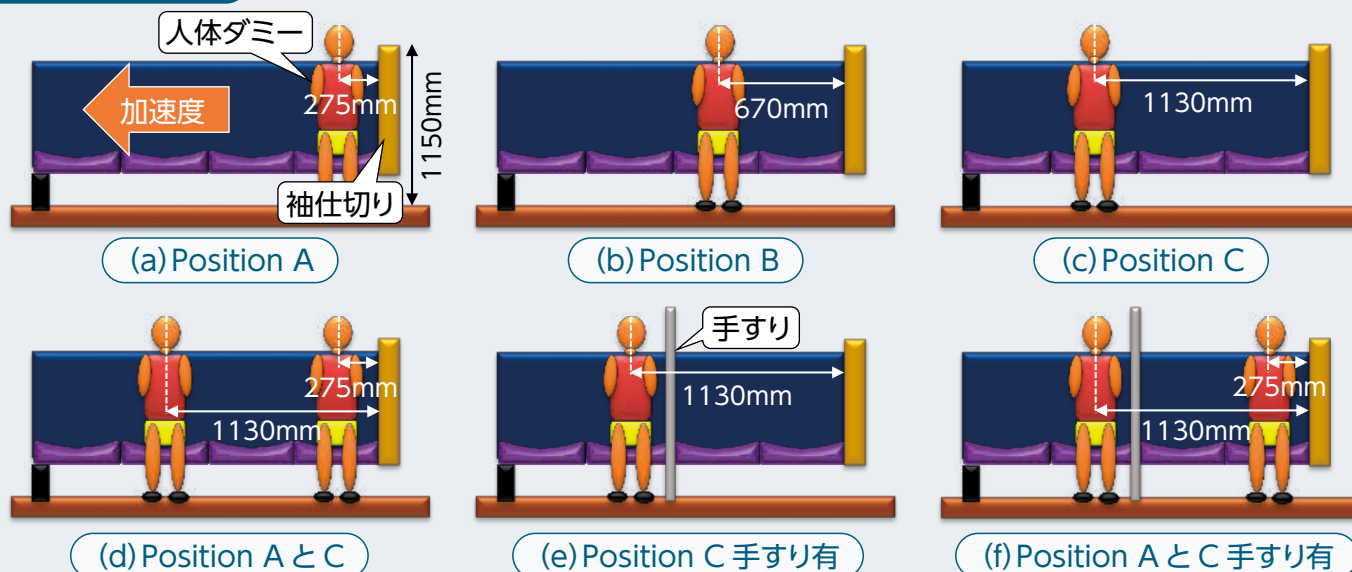


図4
Position Aの
ダミー挙動
(T01)

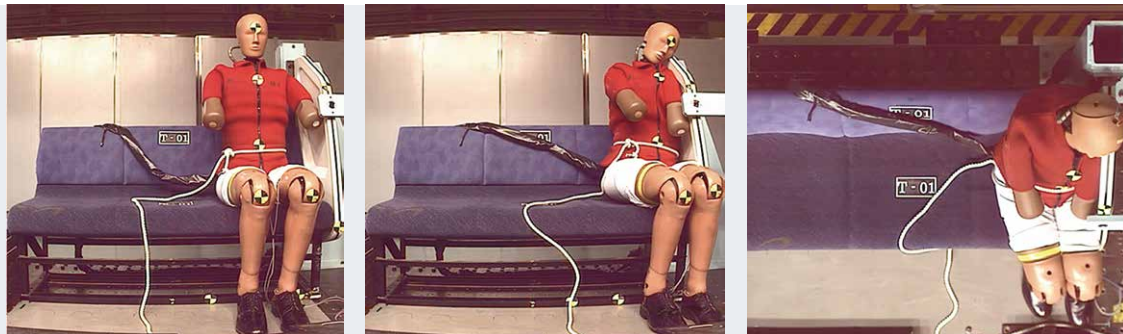
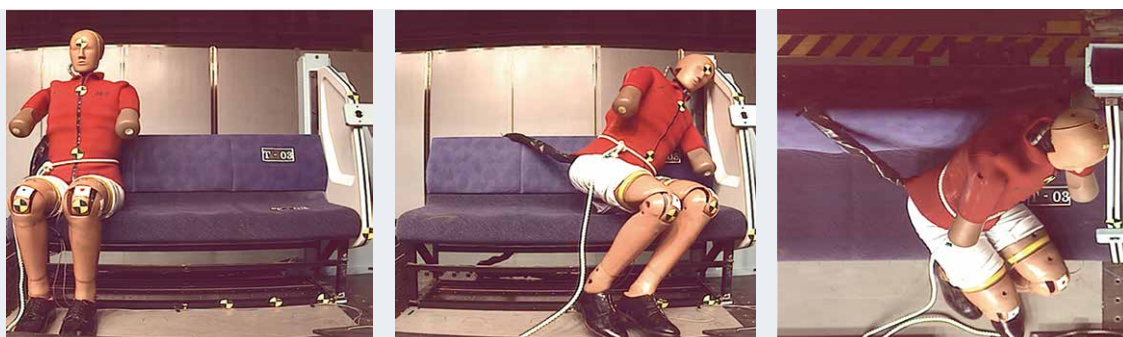


図5
Position Bの
ダミー挙動
(T02)



図6
Position Cの
ダミー挙動
(T05)



値（以後、傷害値）が大きいほど傷害発生リスクが高まり、頭部は1000、胸部は42mm、腰部は6kNが限度値として規定されています。

スレッド試験結果の分析

ダミー挙動の評価

手すり無の条件におけるPosition Aのダミー挙動は、袖仕切りに胸部全体が2次衝突した後、頭部が2次衝突しました（図4）。頭部が2次衝突する位置は袖仕切りの上側面付近でした。Position Bの条件は、Position Aより倒れこみながら肩付近から袖仕切りに2次衝突した直後に頭部が2次衝突する挙動がみられました（図5）。Position Cの条件は、Position Bより倒れこみながら頭部から袖仕切りに2次衝突する挙動がみられました（図6）。Position AとPosition Cの2体条件では、Position Cのダミーの肩部がPosition Aの胸部に2次衝突するとともに頭部同士が2次

衝突する挙動がみられました（図7）。

手すり有の条件におけるPosition Cのダミー挙動は、ダミー下肢が手すりに引っかかることで、倒れこみが大きくなり、手すり無と比較して、頭部の2次衝突位置が低くなり、胸部の袖仕切りへの2次衝突もみられなくなりました（図8）。Position AとPosition Cの2体条件では、Position Cのダミーは倒れこみながらPosition Aのダミーに2次衝突する挙動がみられました（図9）。

ダミーの挙動を定量的に評価するため、図10(a)においてダミー1体における着座位置ごとの頭部の袖仕切りへの2次衝突速度を比較しました。Position BとPosition Cは同条件で3回ずつ実施したので、平均値で示し、エラーバーは最大値と最小値を表しています。Position Aはほかの条件と比較して小さく、Position BとCは同程度でした。また、図10(b)でPosition C

図7
Position AとCの
ダミー挙動
(T08)



図8
Position C
手すり有の
ダミー挙動
(T09)

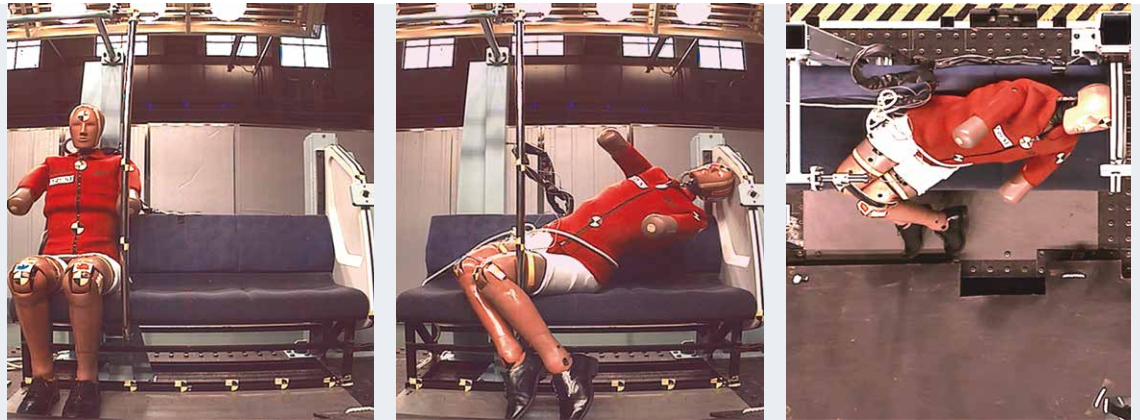


図9
Position AとC
手すり有の
ダミー挙動
(T12)

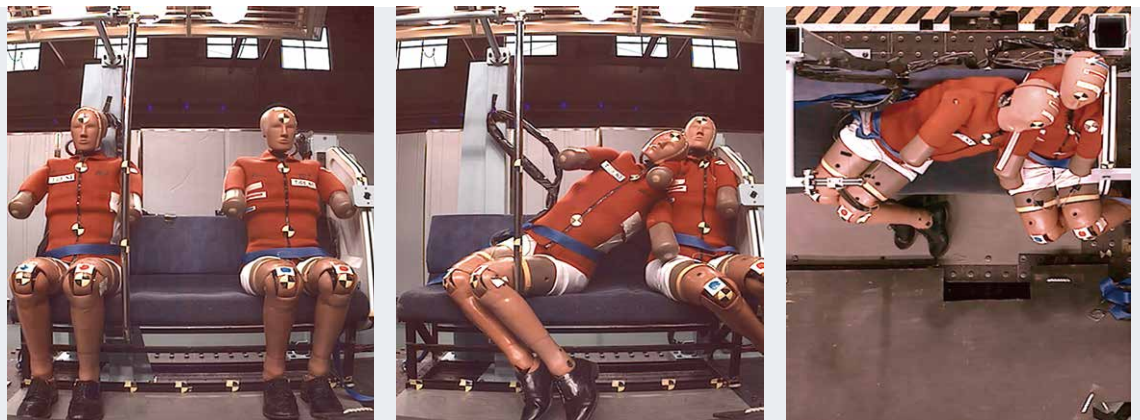


図10 頭部2次衝突速度の比較

における2次衝突速度を、手すりの有無で比較すると、手すりにより約20%小さくなることが確認されました。

ダミー傷害度の評価

ダミー1体の着座位置ごとの傷害値をそれぞれの限度値で除して標準化して比較しまし

た(図11)。傷害値が限度値に対して相対的に高いのは頭部であり限度値を超える条件があること、相対的に低いのは腰部でありどの条件においても限度値を大きく下回ることが確認されました。

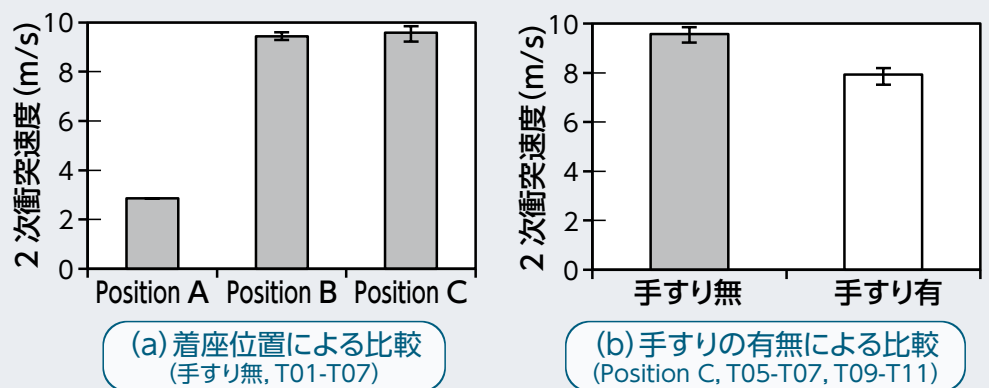


図12(a)(b)においてダミー1体を用いた条件(T01-T07, T09-T11)における頭部傷害値を比較しました。図12(a)から、初期着座位置が袖仕切りから離れるほど傷害値が高まる傾向が確認されました。限度値1000を超えるの

はPosition C (T05-T07) のみでした。図12(b)から、手すりの設置で頭部傷害値は約50%低下し限度値以下となることが確認されました。図12(c)でダミー2体の手すり無 (T08) と手すり有 (T12) における頭部傷害値を比較しました。手すり無のT08条件では、Position AのダミーとPosition Cのダミーの頭部傷害値は、頭部同士の2次衝突が原因で限度値は超えないものの600以上の値を示しました。また、手すり有のT12条件では、Position Aのダミーは袖仕切りへの2次衝突が、Position CのダミーはPosition

Aのダミー肩部への2次衝突が原因でそれぞれの値を示しました。これらの条件において限度値は超えませんが、手すりの設置により傷害値がさらに低下することが確認されました。

図13(a) (b) においてダミー1体を用いた条件 (T01-T07, T09-T11) における胸部傷害値を比較しました。図13(a) から、Position Bの胸部傷害値が相対的に大きいものの、限度値である42mmは全ての条件で超えないことが確認されました。図13(b) から、手すりの設置で胸部傷害値は大幅に低下することが確認されました。図13(c) から、手すり無のT08のPosition Aのダミーは、限度値42mmを大きく超えることが確認されました。これはPosition Cのダミー左肩部がPosition Aのダミー右胸部に2次衝突したことが原因とみられました。手すりを設置することで、どちらの着座位置も低下する傾向がみられ、Position Aのダミーでその傾向が顕著でした。

図11 各傷害値の比較

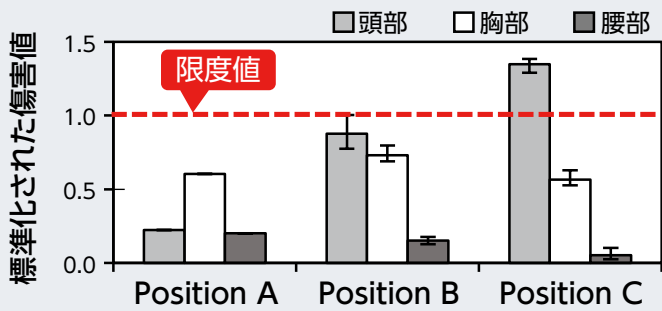
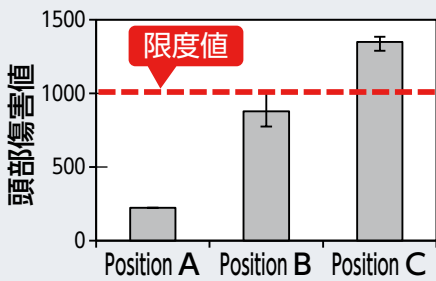
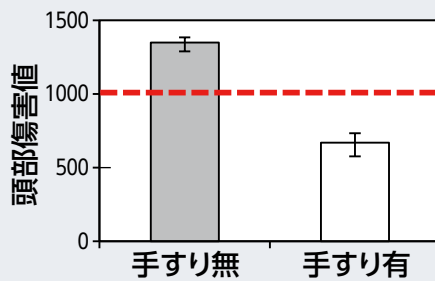


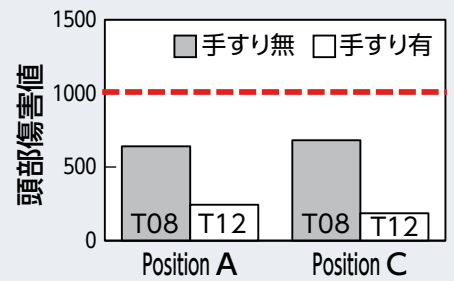
図12 頭部傷害値の比較



(a) 着座位置による比較 (手すり無, T01-T07)

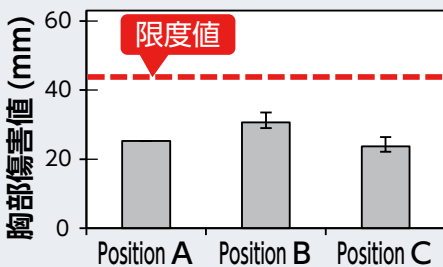


(b) 手すりの有無による比較 (1体の場合, Position C, T05-T07, T09-T11)

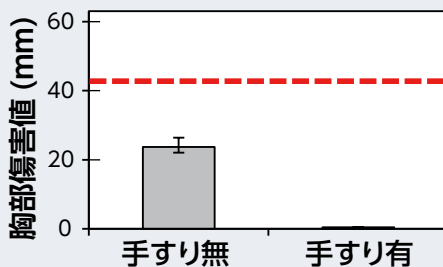


(c) 手すりの有無による比較 (2体の場合, Position AとC, T08とT12)

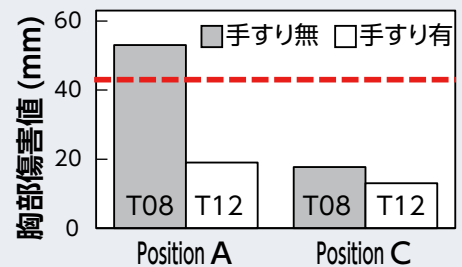
図13 胸部傷害値の比較



(a) 着座位置による比較 (手すり無, T01-T07)



(b) 手すりの有無による比較 (1体の場合, Position C, T05-T07, T09-T11)



(c) 手すりの有無による比較 (2体の場合, Position AとC, T08とT12)



図14 頭部の2次衝突位置

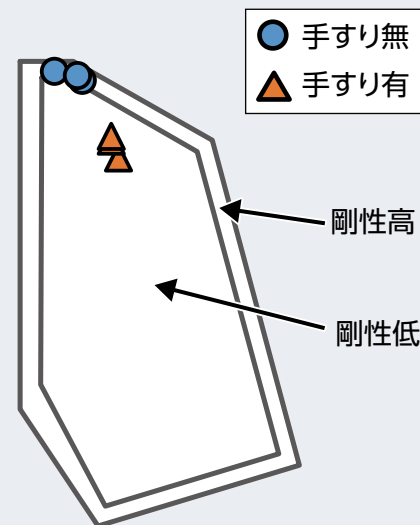


図15 頭部の2次衝突位置の比較

傷害軽減に与える手すりの効果

ダミー1体でPosition Cにおける、手すりによる頭部の傷害軽減効果について整理します。まず、図10(b)の結果から、手すりの設置で頭部の2次衝突速度が下がることが傷害軽減の理由の1つであると考えられます。つぎに、図14に手すり無(T05)と手すり有(T09)におけるダミー頭部の袖仕切りへの2次衝突位置を、図15に手すり無(T05からT07)と手すり有(T09からT11)の頭部衝突位置を示します。これらの図から、手すり無では、袖仕切り内に鋼材フレームがある剛性が高い箇所へ2次衝突しましたが、手すり有では、袖仕切り内にポリウレタンが充填されている剛性が低い箇所へ2次衝突したことが確認されました。この2次衝突した箇所の剛性強度の違いも、頭部傷害値の低下に寄与していると考えられます。以上のことから、今回とは異なる構造の袖仕切りを用いた場合に、手すりにより2次衝突速度が低下しても、2次衝突箇所の剛性強度が高い場合は、手すりによる傷害軽減効果は低い、あるいは傷害値が高くなる可能性もあることが示唆されました。そのため手すり設置により頭部が2次衝突する箇所の剛性を下げることが重要です。

おわりに

衝突事故時におけるロングシート着座乗客の袖仕切りへの2次衝突時の傷害状況と手すりの設置が傷害軽減に与える効果を評価することを目的としてスレッド試験を実施しました。その結果、袖仕切りから2席目と3席目の間に手すりを設置することで、袖仕切りやほかの乗客との2次衝突時の頭部と胸部の傷害が軽減されることが確認されました。ただし、手すりによる2次衝突箇所の位置の変化も考慮して車内設備を設計する必要があることも示唆されました。以上のように、事故時の衝撃から乗客を守るためには、傷害状況を把握し、その状況に対応した対策検討を行うことが有効であると考えています。本稿は、2019年に日本機械学会論文集で発表した内容²⁾の一部を割愛のうえ、転載しました。RRR

文献

- 1) 国土交通省：別添24 側面衝突時の乗員保護装置の技術基準 新・道路運送車両の保安基準，交文社，pp.769-811，2009
- 2) 中井一馬，榎並祥太：列車衝突事故時のロングシート着座乗客に対する手すりの傷害軽減効果の実験的検証，日本機械学会論文集，Vol.85，No.878，2019