

# 講演 1 1. 前面ガラス部を対象とした歩行者頭部保護試験に関する調査

自動車安全研究部 ※田中 良知 細川 成之 松井 靖浩

## 1. はじめに

2019年5月に開催された衝突安全に関する国際基準を議論するUN/ECE/WP29/GRSP会議（以下GRSPという）において、欧州委員会（以下ECという）から歩行者保護国際基準（UN Regulation No.127、以下R127という）でボンネット部に限定されている頭部保護試験範囲を、前面ガラス部（ただし、Aピラー、ルーフ及びカウル近辺を除く）まで拡大する改定が提案された。その改定案について議論する国際タスクフォース会議（以下TFという）が開催され、新品の前面ガラスで頭部保護試験を実施した際に傷害値が高くなる事例が発生し、まれに基準のしきい値を超える場合があることが報告された。TFではこの頭部傷害値が高い状態を *atypical fracture mode*（以下「非典型状態」という）、頭部傷害値が低い状態を *typical fracture mode*（以下「典型状態」という）と定義し、非典型状態の発生原因とその対策案について議論した。しかし、結論に至らず、解決には更なる調査と議論のための時間が必要となった。他方、ECが欧州域内の基準改定の予定に合わせてR127を早期に改定することを求めたことから、2021年12月のGRSPにおいて、2028年8月までは認証試験時に非典型状態が発生した場合に試験のやり直しを可能とすることで、頭部保護試験範囲を拡大するR127の基準改定案は合意された。

日本では非典型状態に関する知見が無かったことから、2019年度に自動車基準認証国際化研究センターが調査<sup>(1)</sup>を実施した。そして、当研究所でも2020年度から調査を実施し、新品のガラスを対象とした頭部保護実験で非典型状態の発生の確認と、頭部インパクトの加速度波形により典型状態と非典型状態の区別が可能と考えられることを確認した。さらに実験に用いた車両ではほぼすべての頭部保護実験で非典型状態が発生していた。その結果は昨年度のフォーラムで報告している<sup>(2)</sup>。

しかし、2028年9月以降の認証試験においては試験のやり直しが出来ないことから、前面ガラス部

の頭部保護試験において適切な対策を講じる必要がある。そこで、昨年度報告した調査で使用した、ほぼすべての実験で非典型状態が発生した実験車両の前面ガラスに対して加工を施し、その加工が非典型状態の発生に与える影響について調査を実施したので、その結果を報告する。

## 2. 加工したガラスにおける歩行者頭部保護実験

### 2. 1. 実験方法

車両の前面ガラスには、一般に3層の合わせガラスが使用されており、今回の調査ではアウトガラス／中間膜／インナガラスのそれぞれの厚さが2.0mm／0.76mm／2.0mmの合計4.76mmの前面ガラスを使用した車両で実施した。図1に実験に使用した車両を示す。

前面ガラス部に衝突させる頭部インパクトとして、子供インパクトを使用した。衝突位置は、過去の調査結果<sup>(1)(2)</sup>から非典型状態が発生しやすいと考えられる前面ガラス中央部とした（図2）。R127では、衝突位置により、子供インパクトと大人インパクトのどちらを使用するか定めている。実験車両における衝突位置は大人インパクトの試験範囲である。しかし、日本で多く普及している軽乗用車では前面ガラス部が子供インパクトの試験範囲となる場合がある。また、より軽い子供インパクトの方が、ガラスとの衝突時にガラスからの反力により発生する加速度が高くなることから、非典型状態発生の可能性が高いと考えられる。そのため、今回の調査では子供インパクトで実験を実施した。インパクト種類と衝突位置以外は、R127の頭部保護試験方法に準じて実験を実施した。



図1 実験車両外観



図2 実験衝突位置

### 2. 2. ガラス加工方法

一般にガラスの破損はガラス表面の目に見えない傷がきっかけとなって発生することが知られている。また、当研究所で実施した調査<sup>(3)</sup>において、

非典型状態の発生時にガラスの破損が頭部インパクトの衝突部位ではなくガラスの端部から発生していたことを確認している。前面ガラスはその製造方法のため、ガラス端部に大きな傷が生じることから、端部の強度が最も低くなる。そのため、頭部インパクト衝突位置でガラスが破損しない場合、端部まで応力が伝わると、強度の低い端部から破損すると考えられる。

そこで、加工方法として、(1) 前面ガラスの表面に研磨剤を塗布して傷をつける、(2) 前面ガラス端部をやすり掛けしてより大きな傷をつける、の2種類の加工を行った。研磨剤塗布は、前面ガラス表面の傷を増やして、インパクト衝突時に前面ガラスが破損する可能性を高めることを、端部やすり掛けは端部での破損タイミングを早めることを目的としている。

さらに、研磨剤を塗布する加工では、(1) 研磨剤に指定された方法により塗布する（以下「研磨剤実験」という）、(2) 指定された方法で研磨剤を塗布した後にポリッシャーで前面ガラスを研磨して傷をより増加させる、の2種類の条件で加工を行った。前面ガラス端部をやすり掛けする加工は、(1) 前面ガラス表面を保護しない状態でやすり掛けを行う（以下「やすり掛け実験」という）、(2) やすり掛け時に発生するガラスの粉が前面ガラスに付着しないことを目的として前面ガラス表面を保護した状態でやすり掛けを行う（以下「表面保護実験」という）、の2種類の条件で加工を行った。

### 2. 3. 研磨剤塗布の方法

実験に使用した研磨剤には市販の研磨効果のある油膜取り（商品名：キイロビン100）を使用し、研磨剤に指定された方法により塗布した。塗布後の前面ガラスに目に見える傷はなかった。研磨剤実験では、同じ条件で5回実験を実施した。

研磨剤塗布後にさらにポリッシャーで前面ガラスを研磨する作業については、ガラスを研磨する時間を、(1) 全体を一回磨く（以下「ポリッシャー1回実験」という）、(2) 全体を1分間磨く（以下「ポリッシャー1分実験」という）、(3) 全体を5分間磨く（以下「ポリッシャー5分実験」という）、の3水準とし、各2回実験を実施した。ポリッシャーで研磨後の前面ガラスに目に見える傷はなかった。図3に前面ガラスを磨いたポリッシャーを、図4に前面ガ



図3 ポリッシャー



図4 前面ガラス研磨状況

ラスの研磨状況を示す。

### 2. 4. 研磨剤塗布実験結果

図3に研磨剤実験により、図4にポリッシャーで研磨した前面ガラスへの歩行者頭部保護実験により計測された頭部加速度時間履歴図を示す。全ての研磨剤実験と、ポリッシャー1回実験の1回目とポリッシャー5分実験の1回目の加速度波形が近似していた。1 ms 付近で1回目のピークに達した後に急速に減少し、その後再び増加して3 ms 付近で2回目のピークに達し、その後減少し5 ms 付近でわずかに増加した後に急速に減少した。

ポリッシャー1回実験の2回目、ポリッシャー1分実験の1回目と2回目、及びポリッシャー5分実験の2回目の加速度波形は近似していた。加速度は2 ms 付近でピークに達した後に減少し、5 ms 付近で急速に減少した。

全ての実験で、頭部加速度が4 ms 付近で800 m/s<sup>2</sup>以上と高い状態を保持していた。少なくともアウトガラスかインナガラスのどちらか1枚が5 ms 付近まで割れなかったために頭部加速度が高い状態を維持したと考える。

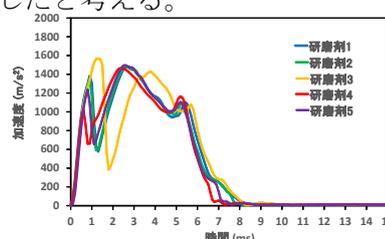


図5 研磨剤実験頭部加速度

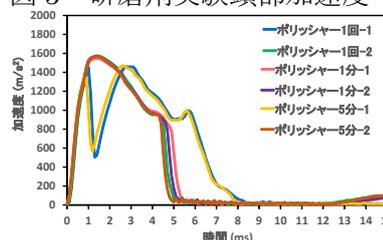


図6 ポリッシャー研磨実験頭部加速度

表1に研磨剤を塗布した前面ガラスに対する歩行者頭部保護実験の頭部傷害値を示す。全ての実験でHICは759から801の間にあった。全ての場合で頭部傷害値は基準のしきい値である1,000を下回ったが、典型状態のHICの値は一般に200前後であり、今回の全ての実験でその3倍以上の値であ

表 1 研磨剤実験頭部傷害値

実験番号	研磨剤1	研磨剤2	研磨剤3	研磨剤4	研磨剤5
HIC	776	760	801	759	769

表 2 ポリッシャー実験頭部傷害値

実験番号	ポリッシャー 1回-1	ポリッシャー 1回-2	ポリッシャー 1分-1	ポリッシャー 1分-2	ポリッシャー 5分-1	ポリッシャー 5分-2
HIC	763	775	792	793	761	774

ることから、非典型状態が発生していた。

## 2. 5. やすり掛け方法

図 7 に前面ガラス端部をやすり掛けした状況を、図 8 にやすり掛け前後のガラス端部の状況を示す。やすり掛けは 100 番の紙やすりを使用した。やすり掛け後の端部の傷は目に見えて増加していた。やすり掛け実験では同じ条件で 5 回実験を実施した。

図 9 に表面保護実験でのやすり掛け時の前面ガラスの保護状況を示す。表面保護実験では同じ条件で 6 回実験を実施した。



図 7 やすり掛け状況 図 8 やすり掛け前後状況



図 9 表面保護実験での保護状況

## 2. 9. やすり掛け実験結果

図 10 にやすり掛け実験により、図 11 に表面保護実験により計測された頭部加速度時間履歴図を示す。やすり掛け実験 2、4 と、表面保護実験 3 の加速度波形は近似していた。加速度は 1 ms 付近で 1 回目のピークに達した後に急速に減少し、その後再び増加して 3 ms 付近で 2 回目のピークに達し、その後減少し 5 ms 付近でわずかに増加した後に急速に減少した。5 回の研磨剤実験、ポリッシャー 1 回実験の 1 回目、及びポリッシャー 5 分実験の 1 回目における加速度波形とも近似していた。

やすり掛け実験 1、3、5 と表面保護実験 1 の加速度波形は近似していた。1 ms 付近でピークに達し、その後急速に減少し、その後再び増加し 2 ms 付近で 2 度目のピークに達し、その後 200 m/s<sup>2</sup> 付近まで減少した。

表面保護実験 2、4、5、6 の加速度波形は近似していた。加速度は 2 ms 付近でピークに達した後に減少し、5 ms 付近で急速に減少した。ポリッシャー 1 回実験の 2 回目、ポリッシャー 1 分実験の 1 回目と 2 回目、及びポリッシャー 5 分実験の 2 回目に

おける加速度波形とも近似していた。

やすり掛け実験 2、4 と表面保護実験 2、3、4、5、6 の場合で頭部加速度が 4 ms 付近で 800 m/s<sup>2</sup> 以上と高い状態を保持していた。やすり掛け実験 1、3、5 と表面保護実験 1 の場合で加速度は 2 ms で 200 m/s<sup>2</sup> 付近の低い状態まで減少し、その後は 400 m/s<sup>2</sup> を超えなかった。やすり掛け実験 2、4 と表面保護実験 2、3、4、5、6 の場合では、少なくともアウトガラスかインナガラスのどちらか 1 枚が 5 ms 付近まで割れなかったために頭部加速度が高い状態を維持し、やすり掛け実験 1、3、5 の 3 実験と表面保護実験 1 の実験では 2 ms 付近でアウトガラスとインナガラスが両方とも破損したために加速度が低下したと考える。

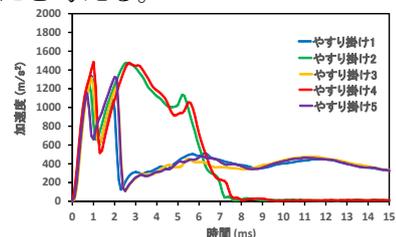


図 10 やすり掛け実験頭部加速度

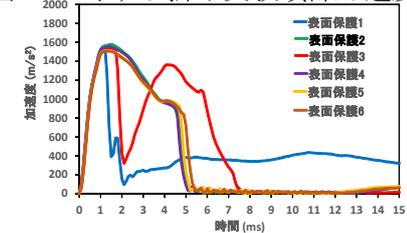


図 11 表面保護実験頭部加速度

表 2 に前面ガラス端部によすり掛けを行った前面ガラスに対する歩行者頭部保護実験の頭部傷害値を示す。加速度波形が 4 ms で 800 m/s<sup>2</sup> 以上の場合の HIC は 748 から 789 の間にあった。4 ms で 400 m/s<sup>2</sup> 以下の場合の HIC は 198 から 225 の間にあった。全ての場合で頭部傷害値は基準のしきい値である 1,000 を下回ったが、加速度波形が 4 ms で 400 m/s<sup>2</sup> 以下の場合の HIC に比べて、加速度波形が 4 ms で 800 m/s<sup>2</sup> 以上の場合の HIC は約 3.3~4 倍高かった。このため、加速度波形が 4 ms で 400 m/s<sup>2</sup> 以下の場合は典型状態が、加速度波形が 4 ms で 800 m/s<sup>2</sup> 以上の場合は非典型状態が発生していた。

表 3 やすり掛け実験頭部傷害値

実験番号	やすり掛け1	やすり掛け2	やすり掛け3	やすり掛け4	やすり掛け5
HIC	218	757	217	776	225

表 4 表面保護実験頭部傷害値

実験番号	表面保護1	表面保護2	表面保護3	表面保護4	表面保護5	表面保護6
HIC	198	789	771	777	748	756

### 3. 非典型状態発生時のガラス面におけるひずみ

今回の調査において、一部の実験で頭部インパクト衝突位置に x 軸、y 軸、45°軸方向の 3 軸測定用のひずみゲージを貼付し、衝突時のガラスのひずみを測定した。

図 12 に表面保護実験 4、5、6 の 3 実験で計測した衝突部位のひずみの時間履歴図を示す。計測した 3 実験で、ひずみゲージの軸方向によらずほぼ近似の結果となった。今回ひずみを計測した実験では全て衝突後約 5 ms でガラスが破損しており、破損したタイミングでひずみの計測値が振動した。ひずみは 1.5 ms 付近で最大となり、それ以降は値が減少した。また、ひずみが最大となる時刻は、図 11 で示すひずみを計測した表面保護実験の頭部インパクトの加速度が最大となる時刻と近似していた。

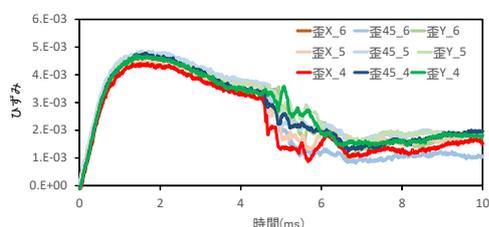


図 12 前面ガラスひずみ時間履歴図

### 4. 考察及びまとめ

今回の調査において、研磨剤を塗布、及び研磨剤塗布後にポリッシャーで研磨した前面ガラスを対象とした歩行者頭部保護実験を合計 11 回実施し、全ての実験で非典型状態が発生した。昨年度報告<sup>2)</sup>したように、今回の実験車両は新品ガラスに対する頭部保護実験のほとんどの場合で非典型状態が発生している。そのため、研磨剤塗布が非典型状態の発生に与える影響は小さいと考える。

表面を保護しない条件で端部をやすり掛けした前面ガラスを対象とした歩行者頭部保護実験を 5 回実施して、典型状態の発生する割合は 60%と昨年度報告した新品ガラスを対象とした場合や研磨剤を塗布した場合に比べて高くなった。しかし、表面を保護した条件で端部をやすり掛けした前面ガラスを対象とした歩行者頭部保護実験を 6 回実施して、典型状態の発生する割合は約 17%と表面を保護しない場合に比べて小さくなった。やすり掛けの際に発生したガラスの粉が前面ガラス表面に付着したことが典型状態の発生に影響を与える可能性があると考えられる。ただし、歩行者保護基準における頭部保護試験は新車の認証において実施する

ものであり、前面ガラス表面に微細な粒子を付着させた状態は認証試験を実施する上で妥当な状況ではないと考える。また、やすり掛け実験での非典型状態の加速度波形は研磨剤塗布実験の加速度波形と近似しており、やすり掛けにより端部の破損するタイミングの変化は見られなかった。

今回の調査で測定した歩行者頭部保護試験時に発生したガラスのひずみから、前面ガラスのひずみは方向によらず近似しており、全方向で近似したひずみが発生したと考える。また、約 1.5 ms でひずみが最大となり、それ以降は減少していたことから、前面ガラスは約 1.5 ms 時に変形が最大となったと考える。そして、ひずみが最大となる時刻と頭部インパクトの加速度が最大となる時刻がほぼ近似しており、前面ガラスが最大変形時に頭部インパクトへの入力が増大したと考える。

今回の実験で測定した 3 軸方向のひずみから、頭部保護実験時に前面ガラス衝突部位に発生した最大応力を計算<sup>4)</sup>した結果、437 MPa~443 MPa であった。今回調査に使用した車両の前面ガラスは、歩行者頭部保護実験において 440 MPa 程度の応力で破損する可能性が低いと考える

今回の調査範囲では、認証試験で行う頭部保護試験で典型状態発生に影響を与える明確な加工方法は見つけられなかった。今後は、前面ガラスの形状や大きさ等が歩行者保護試験での典型状態の発生に与える影響や頭部傷害値に与える影響について調査する必要があると考える。

#### 参考文献

- 1) 令和元年度公益財団法人日本自動車輸送技術協会自動車基準認証国際化研究センター調査「歩行者保護試験のガラス中央部における傷害値バラツキの確認」
- 2) 田中 他，“前面ガラス部を対象とした歩行者頭部保護試験に関する調査”，交通安瀨環境研究所フォーラム 2022, pp.89-90 (2022)
- 3) 田中 他，“前面ガラス部の歩行者頭部保護試験に関する調査”，自動車技術会 2023 秋季学術講演会，セッションナンバー125 (2023)
- 4) 株式会社 共和電業ホームページ：[https://www.kyowa-ei.com/jpn/technical/notes/technical\\_note/rosette\\_analysis.html](https://www.kyowa-ei.com/jpn/technical/notes/technical_note/rosette_analysis.html)