

## 自転車用ヘルメットの使用に関する検証実験結果

自転車用ヘルメット等のシミュレーションモデルを用いて、「自転車単独の転倒時」及び「自転車同士の衝突時」の頭部への影響について、コンピュータ上で模擬実験（シミュレーション）を行い、自転車用ヘルメットの着用の有効性について検証した。

### 1 自転車単独の転倒

頭部を縁石にぶつけた場面の衝撃を、自転車用ヘルメット着用時と非着用時でシミュレーションした。

非着用時は、頭部への衝撃が大きく、頭蓋骨骨折や脳挫傷などの発生が考えられる結果となった。一方、着用時は、非着用時と比べると衝撃が大きく低減されていた。

#### (1) 頭蓋骨にかかる応力

- ・非着用時は、頭蓋骨に高い応力が発生し、頭蓋骨を骨折する可能性が考えられた。
- ・着用時は、非着用時に比べて頭蓋骨にかかる応力は小さかった。

#### (2) 脳にかかる圧力

- ・非着用時は、脳に高い圧力が発生し、脳挫傷が起こる可能性が考えられた。
- ・着用時は、非着用時に比べて脳にかかる圧力は小さかった。

#### 【参考】HIC（頭部傷害基準）

- ・非着用時の HIC 値は大きく、重篤な頭部傷害が発生する可能性が高いと考えられた。
- ・着用時の HIC 値は、非着用時の 1/4 以下であった。

## 第1 目的

自転車用ヘルメットの着用の有効性について検証する。

## 第2 実験概要

自転車用ヘルメットの着用、非着用の違いによる転倒時等の頭部への影響について、模擬実験を行った。

## 第3 実験内容

自転車用ヘルメット等のシミュレーションモデルを用いて、「自転車単独の転倒時」及び「自転車同士の衝突時」の頭部への影響について、コンピュータ上で模擬実験（シミュレーション）を行った。

### 1 模擬実験に用いたシミュレーションモデル

模擬実験では、図 1 に示す有限要素モデルを使用した。

- ヘルメット有限要素モデル

自転車用ヘルメット（SG認証品）の外郭、衝撃吸収ライナー、あご紐をそれぞれモデル化しており、各部品の代表的な素材の材質パラメーターを使用した。

- 人体モデル

THUMS Occupant model<sup>1</sup> のAM50モデル（成人男性）<sup>2</sup>を使用した。

- 自転車モデル

成人用自転車（フレーム素材：アルミニウム、重量：11.4kg）をモデル化した。

- 路面

アスファルト路面をモデル化した。

- 縁石

規格品（JIS A 5371）に準拠した形状で材質をコンクリートとしてモデル化した。一般道路で使用されている状態を実測し、高さは10cmとした。

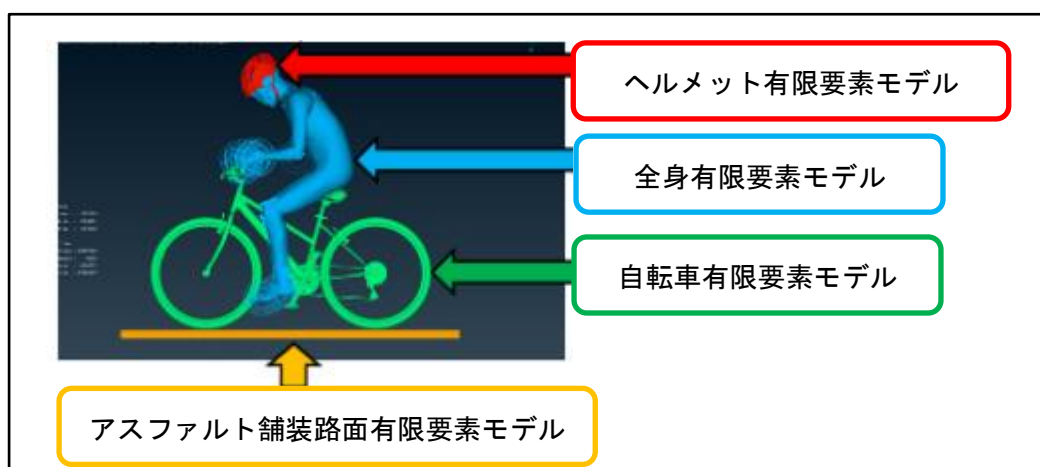


図 1 模擬実験に用いたシミュレーションモデル

<sup>1</sup> <https://www.toyota.co.jp/thums/>

<sup>2</sup> Version 6.1：身長 178.6 cm、体重 78.5kg、Version4.1：身長 175cm、体重 77kg

## 2 想定場面

頭部への衝撃が考えられる以下の2場面を想定し、模擬実験を行った。

<p>(1) 自転車単独の転倒</p> <p>想定場面 : 停止状態からの転倒 主な条件等 : 以下のとおり</p> <p style="text-align: center;"><b>表 1 自転車単独の転倒 条件等</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">因子</th> <th>条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>自転車用ヘルメット</td> <td>非着用・着用</td> </tr> <tr> <td>人体モデル</td> <td>大人</td> </tr> <tr> <td>想定状況</td> <td>停止状態から右側方に転倒し、縁石に頭部が右側面から衝突する。</td> </tr> </tbody> </table> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">シミュレーション概要</p> <p>人体及び自転車モデルを横向きにした状態から、頭部を縁石にぶつける。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>初速度<sup>3</sup> : 鉛直下方向 約 5 m/s 縁石高さ : 10 cm</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>ワーストケースを想定し、頭部が縁石に衝突する前に、なるべく肩等が路面と接触しない姿勢でシミュレーションを行った。</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><b>図 2 自転車単独の転倒 模式図</b></p>	因子	条件	自転車用ヘルメット	非着用・着用	人体モデル	大人	想定状況	停止状態から右側方に転倒し、縁石に頭部が右側面から衝突する。	<p>(2) 自転車同士の衝突</p> <p>想定場面 : 出会い頭の衝突 主な条件等 : 以下のとおり</p> <p style="text-align: center;"><b>表 2 自転車同士の衝突 条件等</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">因子</th> <th>条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>自転車用ヘルメット</td> <td>両者共に非着用・両者共に着用</td> </tr> <tr> <td>人体モデル</td> <td>大人</td> </tr> <tr> <td>想定状況</td> <td>走行状態の2台が出会い頭に衝突し、運転者の頭部同士が衝突した後、転倒して地面に頭部を打ち付ける。</td> </tr> </tbody> </table> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center;">シミュレーション概要</p> <p>自転車をもう1台の自転車の側面にぶつける。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>走行速度 : 20 km/h (双方) 衝突角度 : 90°</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>比較的悪い状態を想定し、自転車の衝突後に運転者の頭部同士が衝突するように人体及び自転車モデルを配置して、シミュレーションを行った。</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><b>図 3 自転車同士の衝突 模式図</b></p>	因子	条件	自転車用ヘルメット	両者共に非着用・両者共に着用	人体モデル	大人	想定状況	走行状態の2台が出会い頭に衝突し、運転者の頭部同士が衝突した後、転倒して地面に頭部を打ち付ける。
因子	条件																
自転車用ヘルメット	非着用・着用																
人体モデル	大人																
想定状況	停止状態から右側方に転倒し、縁石に頭部が右側面から衝突する。																
因子	条件																
自転車用ヘルメット	両者共に非着用・両者共に着用																
人体モデル	大人																
想定状況	走行状態の2台が出会い頭に衝突し、運転者の頭部同士が衝突した後、転倒して地面に頭部を打ち付ける。																

<sup>3</sup> 自転車乗車時の頭部の重心（耳のあたり）の高さから縁石までを自由落下した際の実験速度に相当。

## 第4 実験結果

各想定場面のシミュレーション結果を1、2に示す。

### 1 自転車単独の転倒

頭部が右側面から縁石に衝突した場面のシミュレーションの様子を、図4、図5に示す。

また、ヘルメット着用時と非着用時の頭部への衝撃を評価指標により比較した結果を次ページ以降に示す。

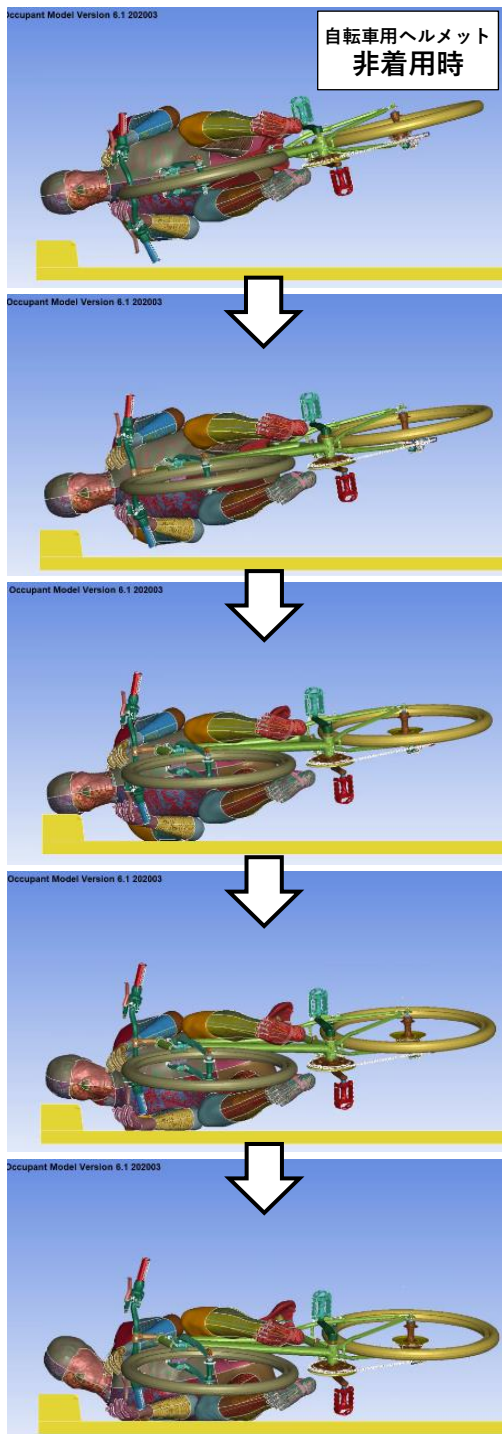


図4 非着用時の衝突の様子

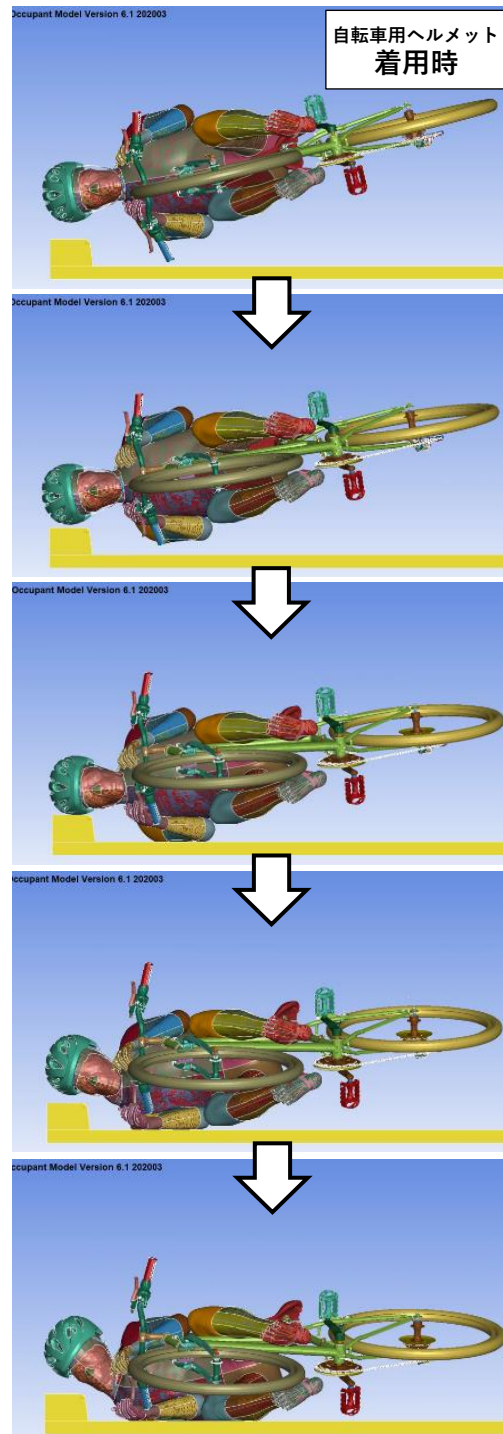


図5 着用時の衝突の様子

### (1) 頭蓋骨にかかる応力

ヘルメット着用時、非着用時における「頭蓋骨にかかるミーゼス応力<sup>4</sup> (最大時)」の分布を、図 6 に示す。

非着用時は、頭蓋骨に高い応力が発生した。骨折が発生するとされる約 100MPa を超える箇所（分布図上の赤色部分）が比較的広い範囲に見られたことから、非着用時は頭蓋骨を骨折する可能性があると考えられる。

着用時は、非着用時と比べると頭蓋骨にかかる応力は小さかった。

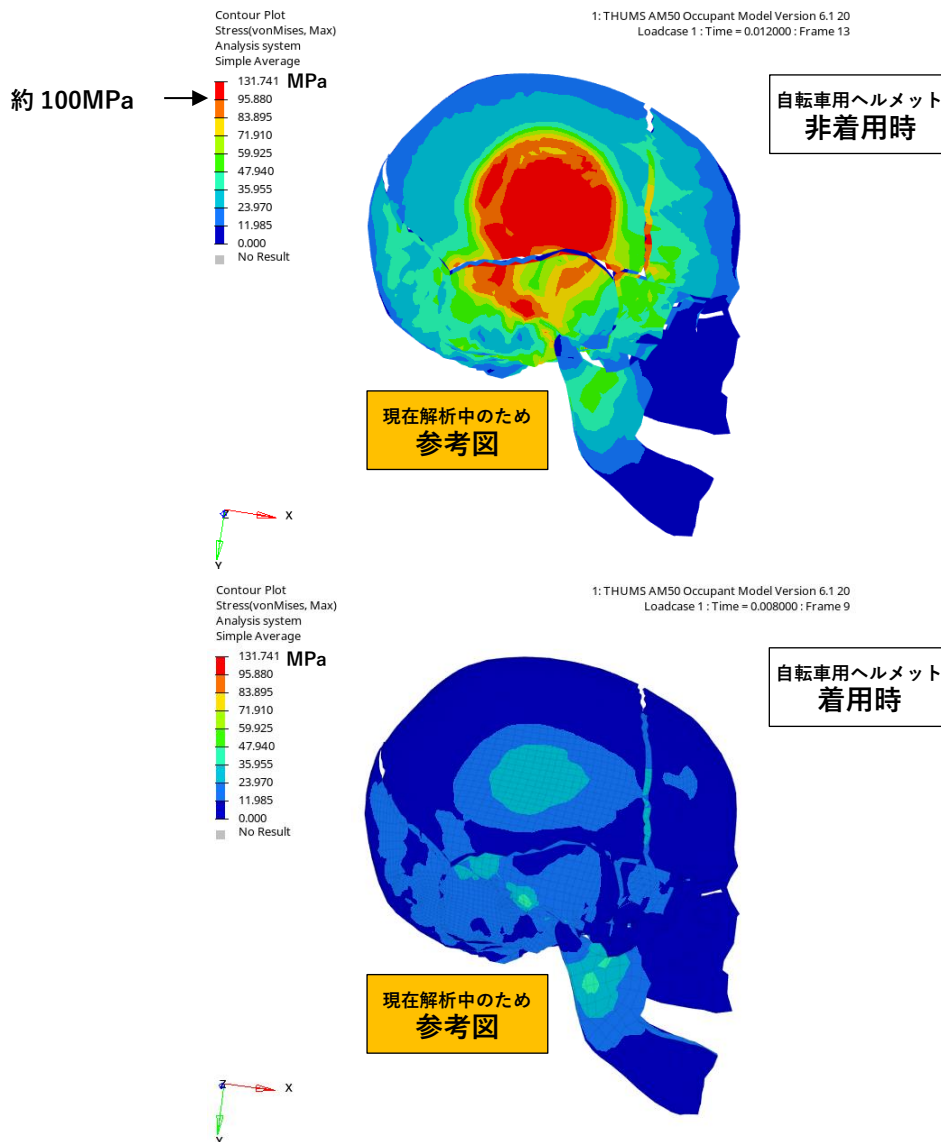


図 6 頭蓋骨にかかるミーゼス応力 (最大時)

( 上 : 自転車用ヘルメット非着用時 下 : 自転車用ヘルメット着用時 )

<sup>4</sup> 物体内部に生じる応力 (物体の内部に生じる力の大きさや作用方向を示す値) 状態を単一の値で示すために用いられる相当応力の一つである。

## (2) 脳にかかる圧力

ヘルメット着用時、非着用時における「脳にかかる圧力（最大時）」の分布を、図 7に示す。

非着用時は、脳に高い圧力がかかり、脳挫傷<sup>5</sup>が起こる可能性が考えられる結果となった。着用時は、非着用時と比べると脳にかかる圧力は小さかった。

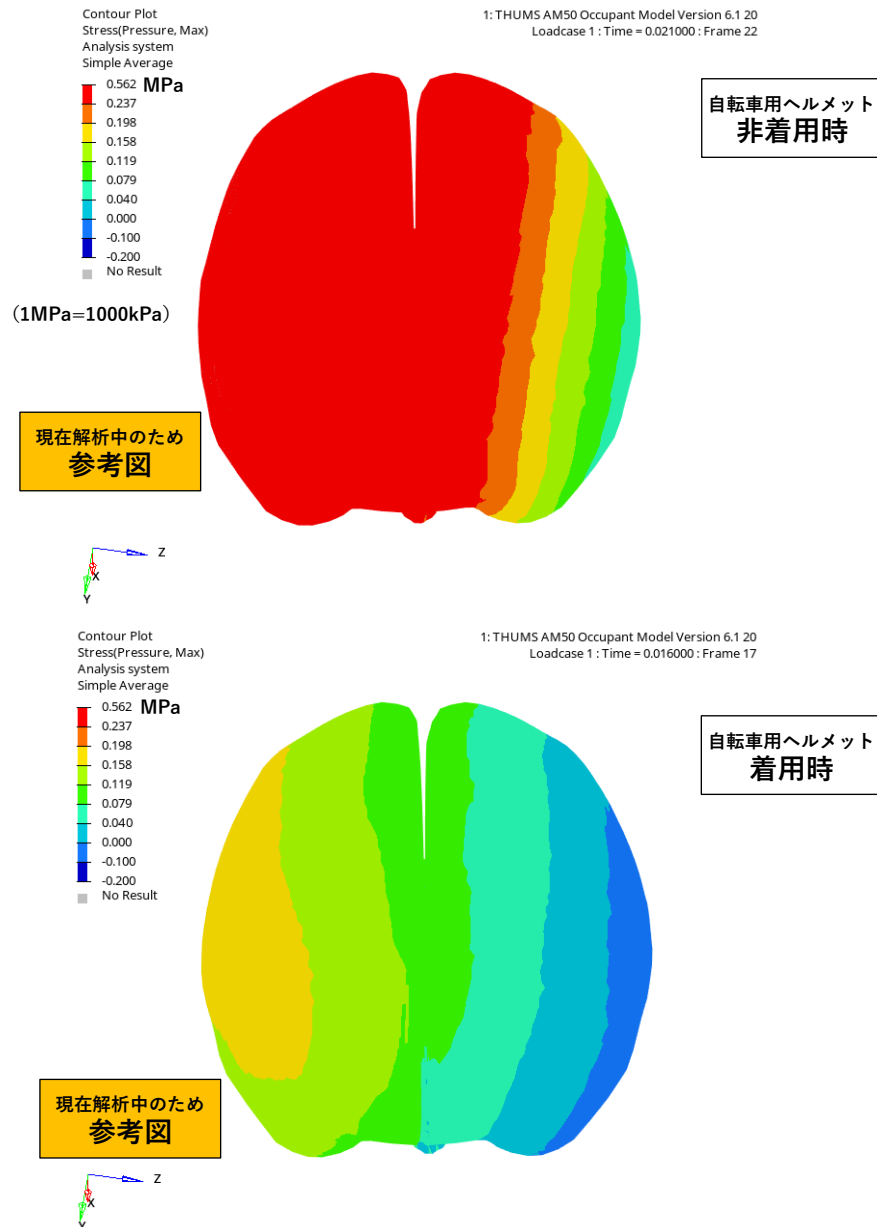


図 7 脳にかかる圧力（最大時）

（上：自転車用ヘルメット非着用時 下：自転車用ヘルメット着用時）

<sup>5</sup> 頭部に強い外力が加わることで脳そのものに傷（挫傷）ができた状態。

### 【参考】HIC（頭部傷害基準）

ヘルメット着用時、非着用時における「HIC（頭部傷害基準）<sup>6</sup>」及び「頭部重心の合成加速度<sup>7</sup>」を、図 8、図 9 に示す。なお、有限要素モデルを使用した衝撃シミュレーションでは、加速度データのノイズ<sup>8</sup>除去等が必要であるため、HIC は参考値として記載する。

HIC 値は、非着用時が「約 4000」、着用時が「1000 未満」であった。

非着用時の HIC 値は大きく、重篤な頭部傷害が発生する可能性が高いと考えられた。

着用時の HIC 値は、非着用時の 1/4 以下であった。また、着用時の最大合成加速度は、非着用時の半分以下であった。

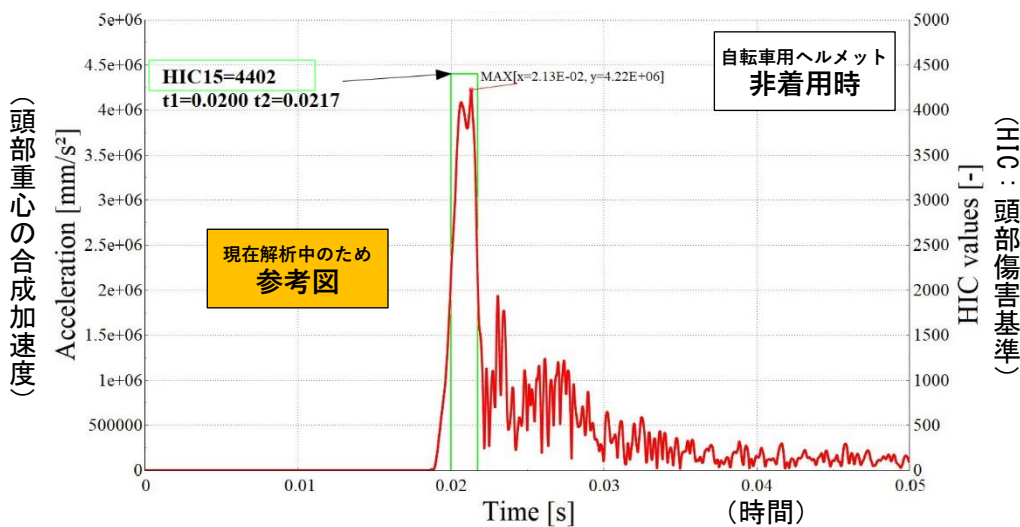


図 8 自転車用ヘルメット非着用時の HIC・頭部重心の合成加速度

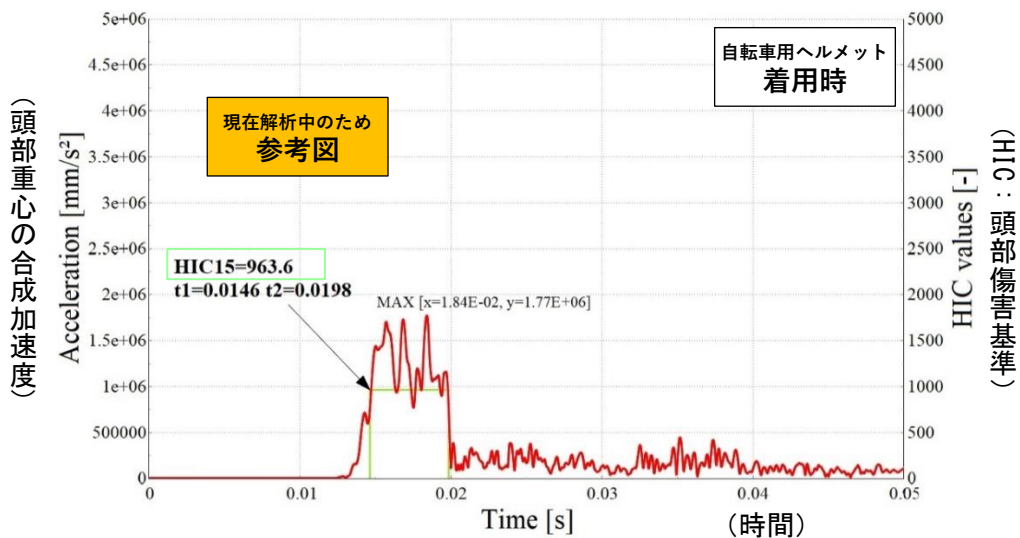


図 9 自転車用ヘルメット着用時の HIC・頭部重心の合成加速度

<sup>6</sup> Head Injury Criterion (HIC) : 頭部傷害基準。重篤な損傷の起きやすい頭部に注目した傷害リスクの評価基準である。HIC 値が大きいほど頭部への傷害リスクが高い。

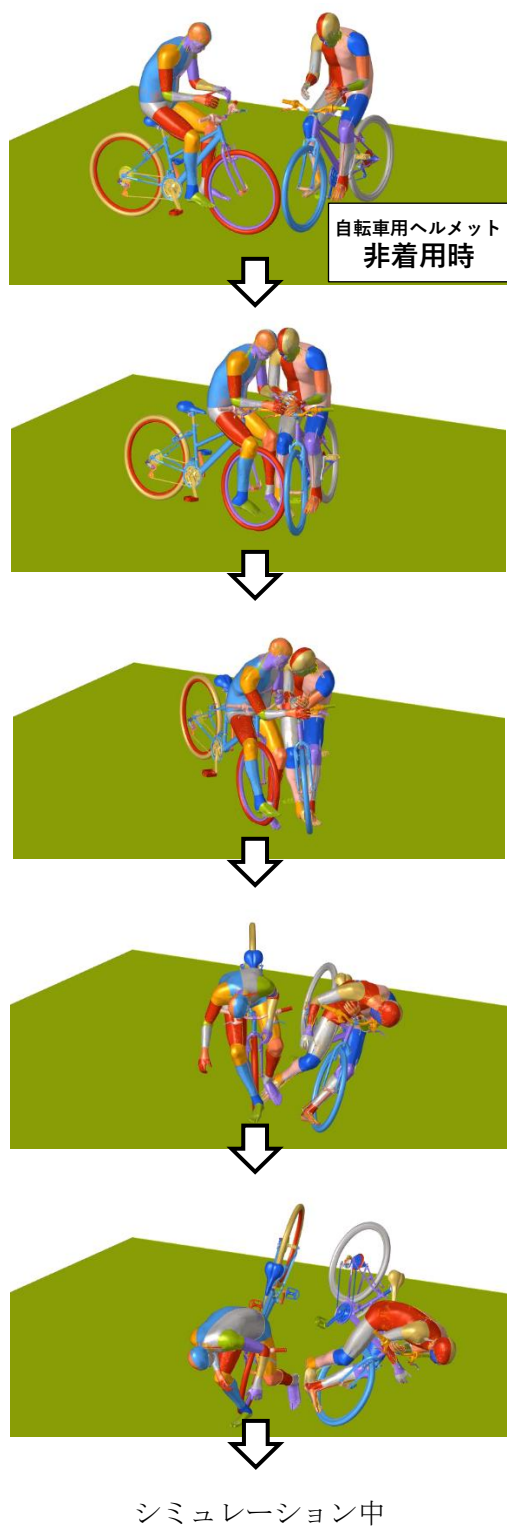
<sup>7</sup> 重力方向と水平 2 軸方向の加速度を合成した加速度である。

<sup>8</sup> 対象である動作以外の動作により発生する加速度の変化。

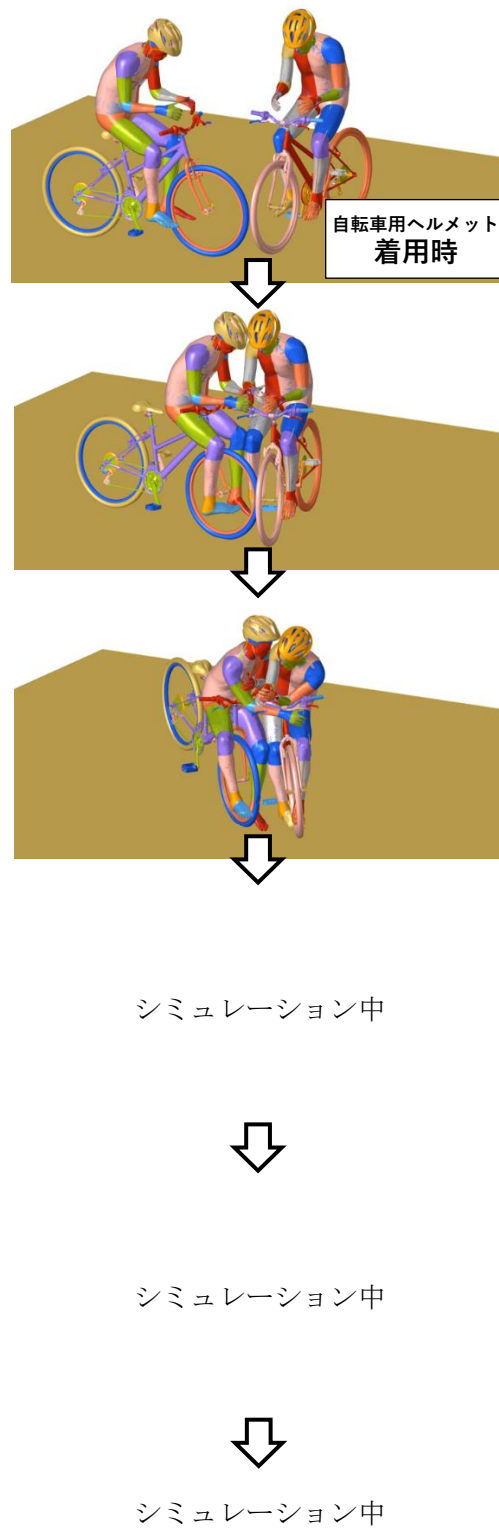
## 2 自転車同士の衝突

現在解析中である。

参考に、現時点のシミュレーションの様子を、以下に示す。



参考図 1 非着用時の衝突の様子



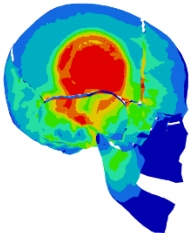
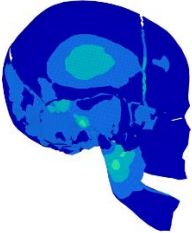

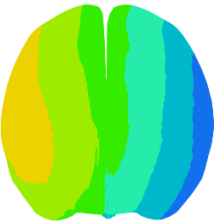
参考図 2 着用時の衝突の様子



## 第5 考察

### 1 自転車単独の転倒

頭部を縁石にぶつけた場面におけるヘルメット着用時、非着用時の頭部への衝撃の評価結果は、下表のとおりである。

評価指標	自転車用ヘルメット	
	非着用時	着用時
頭蓋骨にかかる 応力	 <p>現在解析中のため 参考図</p> <p>頭蓋骨骨折が考えられる 高い応力</p>	 <p>非着用時に比べて 小さい応力</p>
脳にかかる 圧力	 <p>現在解析中のため 参考図</p> <p>脳挫傷が考えられる 高い圧力</p>	 <p>非着用時に比べて 小さい圧力</p>
【参考】 HIC (頭部傷害基準)	<p>約 4000</p> <p>重篤な頭部傷害が考えられる 高い HIC 値</p>	<p>1000 未満</p> <p>非着用時の 1/4 以下の HIC 値</p>

非着用時は、頭部への衝撃が大きく、頭蓋骨骨折や脳挫傷などの発生が考えられる結果となった。一方、着用時は、非着用時と比べると衝撃が小さかった。これは、自転車用ヘルメットの衝撃吸収性能によって、頭部に加わる衝撃が大きく低減されたためと考えられる。

自転車利用時の転倒で頭部に衝撃を受けると、頭蓋骨骨折や脳挫傷などの頭部外傷が起こる可能性がある。頭部外傷の発生を減らすために、頭部への衝撃を低減する自転車用ヘルメットの着用は有効であると考えられる。