

実験報告書

ヘルメット着用推進動画の実験

②自転車単体での転倒実験

1. 依頼会社名 : 全国共済農業協同組合連合会 全国本部
(東京都千代田区平河町 2-7-9 JA 共済ビル)
2. 実験場所 : 一般財団法人日本自動車研究所 ロボット安全試験センター
(茨城県つくば市学園南 2-8-5)
3. 実験実施日/期間 : 2022年 7月 20日 ~ 2022年 7月 27日

実施項目	結果
ダミー人形を用いた転倒実験	本文記載の通り

※本実験報告書は全文の複写を除き、弊所からの文書による許可無く、部分的な複写および使用は出来ません。また、実験結果は該当の供試品にのみに有効であり、同じ型式であっても他の製品の性能を保証するものではありません。

目次

1. 実験概要.....	3
2. 実験条件および供試品.....	3
2.1 実験条件.....	3
2.2 供試品.....	4
2.3 評価ツール.....	5
3. 実験結果.....	8
3.1 パターン 1の実験結果.....	8
3.2 パターン 2の実験結果.....	13
3.3 実験データにもとづく頭部(脳)の傷害発生確率.....	19
4. まとめ.....	21
5. 計測機器.....	22

1. 実験概要

2008年の道路交通法の改正により、13歳未満が自転車に乗車する際はヘルメットを着用することが努力義務となった。2020年に実施されたヘルメット着用率の調査(<https://www.cyclists.jp/>)では、13歳未満が63%と高い着用率となっているのに対し、13歳以上では7.2%と依然として低い着用率にとどまっており、着用率向上に向けた啓発が望まれている。

本実験はヘルメット着用率向上のための啓発動画の制作に向け、ヘルメットの有効性を検証することを目的に実施する。具体的には、ダミー人形を用いて、次の①から③の実験をおこない、実験映像や衝撃量を測定して検証するものである。

- ①自動車と自転車の衝突実験
- ②自転車単体での転倒実験
- ③ダミー人形の頭部を使用した衝撃測定





本報告書は、「②自転車単体での転倒実験」の実験結果について記述したものである。

2. 実験条件および供試品

1. 実験条件

表1に実験条件を示す。本実験では、使用者が自転車に跨った状態から側方に転倒し、頭部が路面に衝突する形態であり、男性のダミー人形(以下、「ダミー」と称する)を1体使用した実験を「パターン 1」、女性および3歳児のダミーを使用した実験を「パターン 2」の2形態とした。ダミーが自転車に跨った状態での頭部の高さ(重心高さ:ほぼ耳の位置)はパターン 1が157cm、パターン 2の女性ダミーが137cm、子供ダミーが114cmを目標値とした。各パターンでは、ダミーにヘルメットを着用させた状態および非着用の状態別に、ダミー頭部の挙動や衝撃量を測定した。

表1 実験条件

実験形態	ヘルメット着用の有無	取得データ
パターン 1	有 	・高速度映像 ・頭部加速度 ⇒ HIC算出
	無 	・高速度映像 ・頭部加速度 ⇒ HIC算出
パターン 2	有 	・高速度映像 ・頭部加速度 ⇒ HIC算出
	無 	・高速度映像 ・頭部加速度 ⇒ HIC算出

2.2 供試品

(1) 自転車

表2に自転車の仕様および外観を示す。実験に使用した自転車のタイプは、通勤/通学や街乗りなどで広く利用されているタイプ(シティサイクル)を選定し、パターン 1には 27 インチ、パターン 2には 24 インチ型の自転車を用いた。24 インチ型は、後席にチャイルドシート(5点ベルト固定式)を搭載した二人乗りタイプであり、チャイルドシートは子供の頭部までをカバーするヘッドレストを装備している。

表2 自転車の仕様と外観

タイプ	タイヤ径 (インチ)	外観	
シティサイクル	27		
シティサイクル 〔子供乗せ 二人乗りタイプ〕	24		

(2) ヘルメット

表3に実験で使用したヘルメットの仕様と外観を示す。本実験で使用したヘルメットは、株式会社オージーケーカブト社の製品で自転車用(普段使いや通学用途)を選択した。3機種ともに、SG 基準に適合した製品である。なお、SG 基準は一般財団法人製品安全協会が定めた基準であり、SG は Safe Goods (安全な製品)を意味している。同基準は安全性に必要な構造、寸法や強度、安定性などの物理的性能および材料の特性などに加え、誤使用を防止するために本体表示や取扱説明書に記載すべき事項なども規定されている。

表3 ヘルメットの仕様と外観

用途	モデル名	サイズ	適合規格	外観
自転車用 (子供ダミー用)	PINE_H	47-51 cm (重さ: 230 g)	SG 基準※	
自転車用 (女性ダミー用)	SB-02S	54-56 cm (重さ: 250 g)	SG 基準※	
自転車用 (男性ダミー用)	SB-02L	57-60未満 (重さ: 270 g)	SG 基準※	

2.3 評価ツール

(1) ダミー

図1にダミーの外観, 表4に体格, 図2に頭部加速度計および図3に感度方向を示す。実験で使用したダミーは成人男性の平均的な体格(パターン 1で使用), 小柄な成人女性の体格および3歳児相当(パターン 2で使用)の3種類である。これらのダミーは, Hybrid III シリーズと称され, 自動車の衝突安全性能を評価するために開発されたものであるが, 自動車以外にもレクリエーション用車両, 車椅子, 医療機器, スポーツ用品などの装備や傷害の可能性を調べるために用いられている。

ダミーは各部の関節の可動域や部位毎の重心位置が人間と等しくなるように設計され, さらに, 傷害値予測のためのセンサーの役割も兼ねており, 頭部・頸部・胸部・脚部等の主要部位に各種センサーを取り付け, 衝撃量を測定することができる。本実験では転倒で生じる頭部の衝撃量を測定するために, 頭部重心位置に3個の加速度計(3軸方向:前後、左右、上下)を取り付けた。



図1 ダミーの外観

表4 ダミーの体格

	パターン 1	パターン 2	
タイプ	Hybrid III AM50 (成人男性の平均的な体格)	Hybrid III AF05 (成人女性の小柄な体格)	Hybrid III 3YO (3歳児の平均的な体格)
身長 (cm)	178	150	95
体重 (kg)	78	49	16

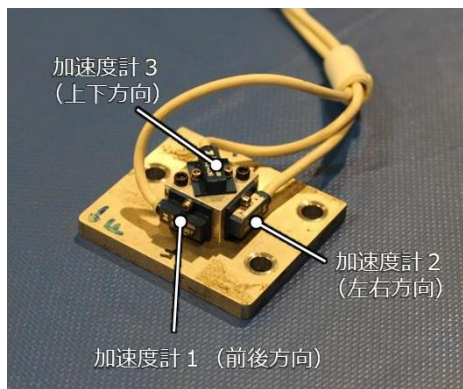


図2 頭部重心位置に取り付ける加速度計

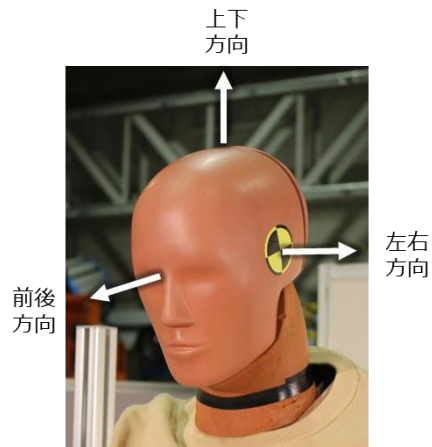


図3 加速度の感度方向

(2) 頭部加速度の測定方法

図4に頭部加速度の測定方法および頭部傷害値(以下、「HIC」と称する)の計算手順を示す。ダミー頭部の加速度計から出力されたデータは、伝送ケーブルを介してデータ収録装置(共和電業製:DIS-2000A)に記録され、同装置に接続した計測用パーソナルコンピュータに取り込んで計算処理をおこなった。加速度データの取得および処理方法については、JIS D 1050:自動車-衝撃試験における計測(日本工業規格)に準拠した。

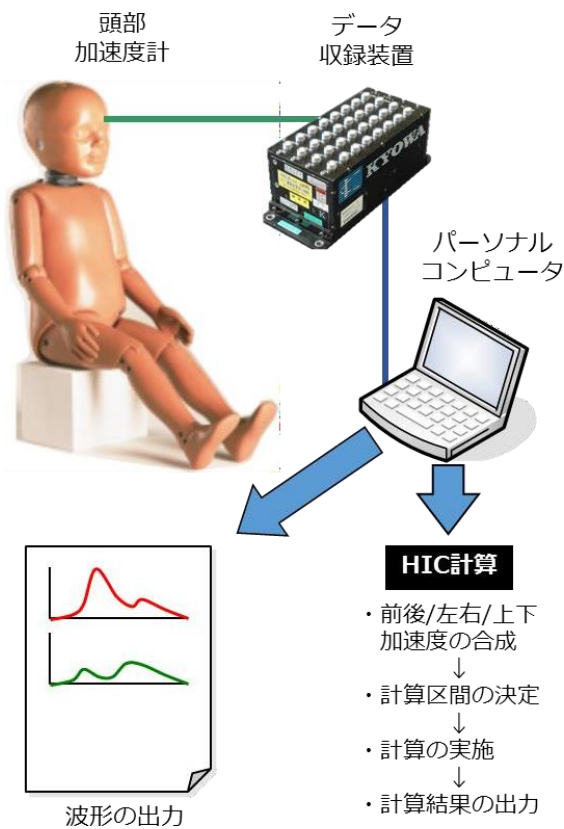


図4 頭部加速度の測定方法および HIC の計算手順

(3)HIC について

HIC(Head injury criterion: 頭部傷害値)は、衝撃によって頭部(脳)に損傷を与える力の大きさを表す指標であり、後述するように傷害の発生確率を推定する際に利用される。HIC は自動車の衝突試験法の基準値(HIC ≤ 1000)として採用されている以外にも保護具、スポーツ用品、遊具類の安全性評価の指標として幅広く用いられている。

頭部傷害では脳震盪(一過性の意識障害)が軽微な傷害と位置づけられているが、脳震盪を人間(生体としての人間)で起こさせる実験は実施不可であり、線状頭蓋骨骨折の80%は脳震盪を伴うとの理由から頭蓋骨の骨折発生を脳震盪発生限界とみなされた。最も軽度の傷害を目安にして基準を定めることで、より安全側に限界を設定できるとの考えである。図5は米国ウェイン州立大学が公表した頭蓋骨骨折の耐性曲線で、HIC のベースとなったものであり、その曲線が安全領域と傷害の発生領域を分けるものとなっている(耐性限界を超えた領域ではなんらかの頭部傷害が発生するという考え)。

HIC はダミー頭部の加速度から以下の式で算出する。

$$HIC_{36} = \text{Max} \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t)^{2.5} dt \right\} (t_2 - t_1) <$$

ここでa は頭部の合成加速度(g), t₁とt₂は衝突中の任意の時間であり、|t₂-t₁| ≤ 36ミリ秒, または 15ミリ秒

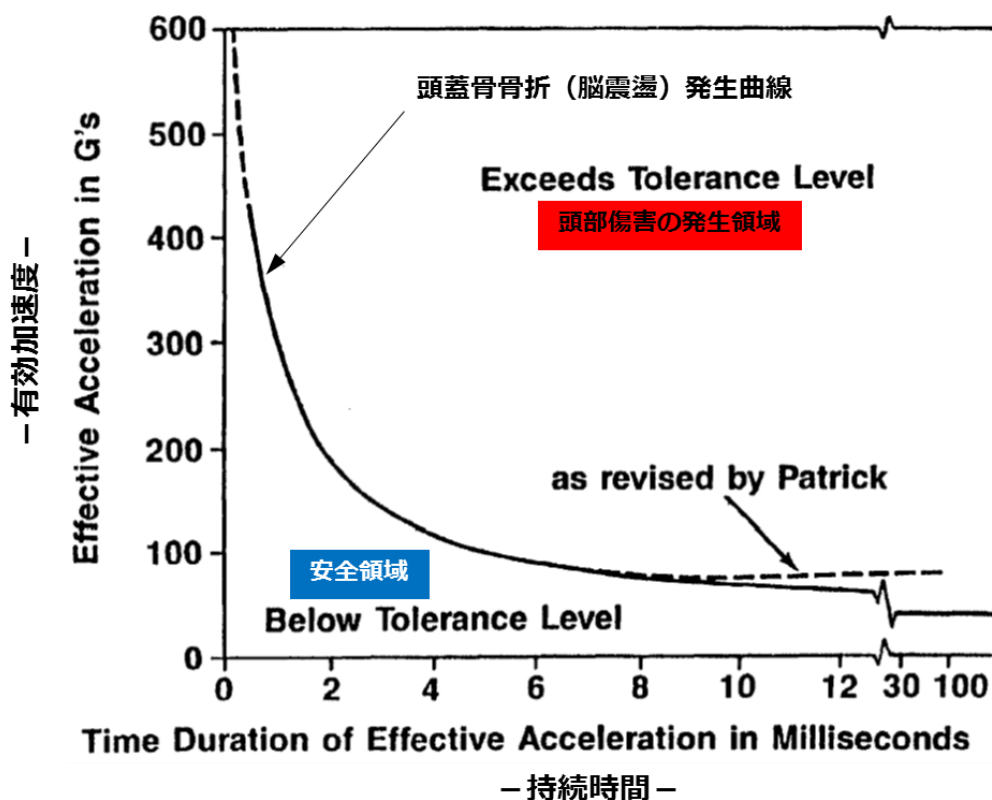


図5 頭蓋骨骨折の耐性曲線

3. 実験結果

実験は、ダミーを静止した自転車のサドルに着座させ、ほぼ垂直な状態から進行方向に対して右側へ倒し、頭部加速度の測定および高速度ビデオカメラによる衝突中の挙動を撮影した。撮影速度は 1 秒あたり 500 コマに設定した。実験ではヘルメット着用有無での比較をおこなう観点から、同一の状態でも自転車を転倒させる必要があるため、一定の力で自転車/ダミーを押せるようにエアシリンダーを用いた実験装置を製作して実施した。

本実験に先立ち、試行実験をおこなった。その結果、ヘルメット非着用の実験では、ダミーの頭部より先に肩が路面に衝突することで、同部がストッパーのような役割となって、頭部が路面まで達せず空振り状態となった(図6参照)。本実験での評価項目のひとつが HIC であるが、HIC は打撃を受けた時の評価指標であり、頭部が路面に衝突せず空振りとなる場合は HIC による評価は実施されない。このため、対象路面として、車道と歩道の境界線として路肩に敷かれる縁石を加えることにした。なお、実験エリアの路面はコンクリート製であるが、縁石はアルミニウム材で製作し、高さは路面から 12 cm である。

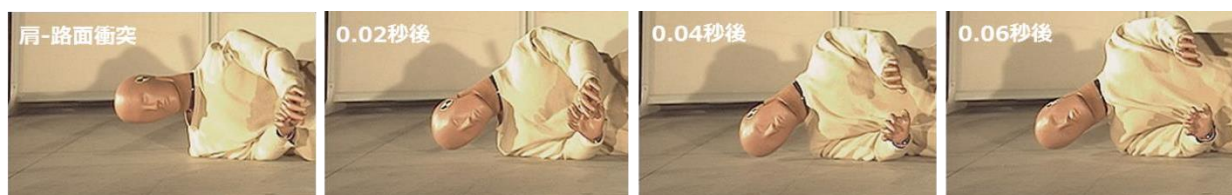


図6 ヘルメット非着用での頭部の挙動



図7 路面形状 [左側:コンクリート製, 右側(縁石相当):アルミニウム製]

3.1 パターン 1の実験結果

図8に路面の違いでの頭部加速度の発生状況を示し、表5にパターン 1の実験結果一覧を示す。実験はヘルメット着用/非着用で、それぞれ平坦な路面と縁石を想定した凸路面の2種類で実施した。なお、平坦な路面での実施において、ダミー頭部の傷害値である HIC は参考値の扱いとした。これは HIC が打撃を受けた際の評価基準値であり、ヘルメット着用非着用の双方の実験を分析した結果、次の傾向が読み取れたためである。

- ヘルメット着用の実験では、路面との衝突状況と頭部加速度データを照らし合わせたところ、肩部が路面と衝突した際に HIC が最大値となっていた(図8中の①)。ダミーの骨格がスチール製であるため、人間より横方向の強度が高く、肩から入力された衝撃が骨格を伝わって頭部加速度計で測定されたものであり、頭部打撃とは異なると判断した。

- ・ ヘルメット非着用の実験では、高速度映像や頭部加速度データを確認したところ、頭部が路面と衝突せず、いわゆる空振り状態であったと判断した(図8中の③)。

したがって、パターン 1におけるヘルメット着用/非着用の検証は、凸路面(以下、「縁石」と称す)で実施した実験の結果より検証することとした(実験番号5, 6, 11, 12)。

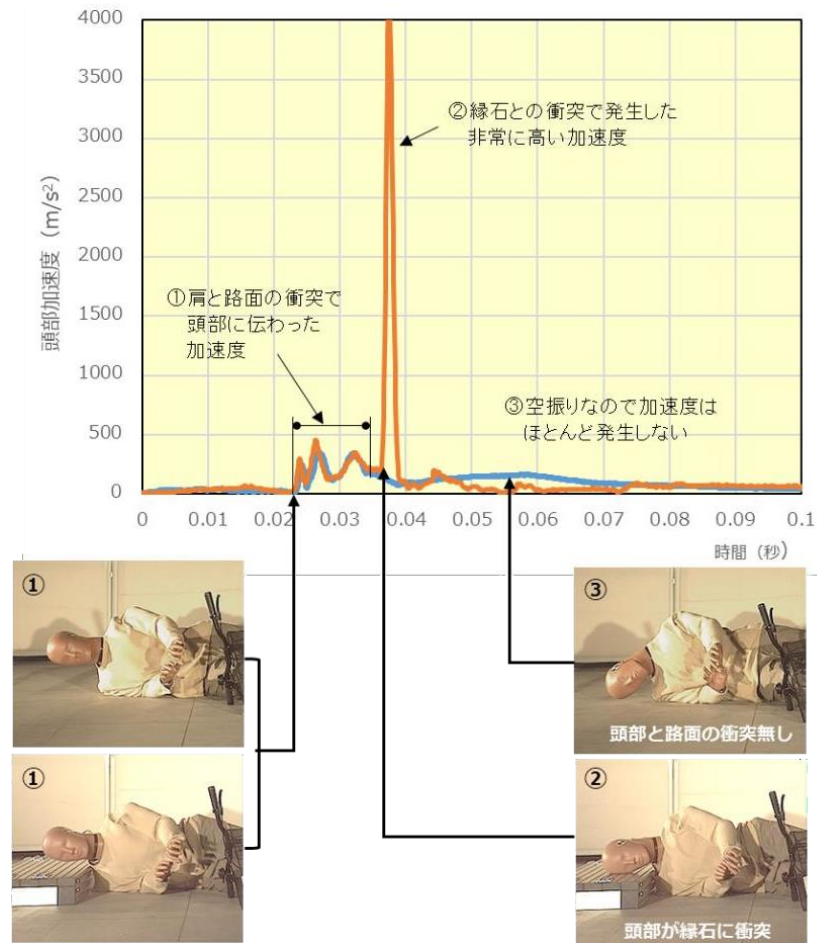


図8 路面の違いでの頭部加速度の発生状況

表5 パターン 1の実験結果

ヘルメット	実験番号	実験日	衝突対象物	ダミーのセッティング			頭部加速度合成最大値	HIC値	備考 (ダミーの損傷等)
				頭部高さ (cm)	鼻高さ (cm)	肩高さ (cm)			
着用	1	7/21	平坦	156	149	134	527 m/s ²	(54)	HICは肩と路面の衝突時が最大となっていたため参考値とする*
	2	7/21	平坦	157	147	136	327 m/s ²	(32)	HICは肩と路面の衝突時が最大となっていたため参考値とする
	3	7/21	平坦	158	151	136	429 m/s ²	(38)	HICは肩と路面の衝突時が最大となっていたため参考値とする
	4	7/21	平坦	159	150	135	453 m/s ²	(41)	HICは肩と路面の衝突時が最大となっていたため参考値とする
	5	7/25	凸 (縁石)	159	151	136	1846 m/s ²	938	
	6	7/26	凸 (縁石)	159	151	135	1680 m/s ²	878	
非着用	7	7/20	平坦	156	-	-	634 m/s ²	(54)	頭部と路面の衝突が確認できなかったため、HICは参考値とする (頭部は空振り状態) ※
	8	7/21	平坦	157	150	135	327 m/s ²	(25)	頭部と路面の衝突が確認できなかったため、HICは参考値とする (頭部は空振り状態)
	9	7/21	平坦	158	151	135	350 m/s ²	(28)	頭部と路面の衝突が確認できなかったため、HICは参考値とする (頭部は空振り状態)
	10	7/21	平坦	162	155	138	385 m/s ²	(37)	頭部と路面の衝突が確認できなかったため、HICは参考値とする (頭部は空振り状態)
	11	7/25	凸 (縁石)	159	152	135	4154 m/s ²	2550	
	12	7/26	凸 (縁石)	159	152	136	4066 m/s ²	2360	

※: HICは頭部が直接的な打撃を受けた時の評価指標であり、他の部位からの衝撃の伝達や空振り等で最大となった場合は評価しない

(1)衝突中の挙動

図9にダミー頭部と縁石の衝突状況を示す。ヘルメット非着用の場合(同図の2段目), 頭部が縁石に衝突した直後の0.002秒をみると, 打撃の大きさにより顔面が歪む状況となっているが, 同時刻のヘルメット着用(同図の1段目)では, ヘルメットにより直接的な打撃を受けていないことが確認できた。

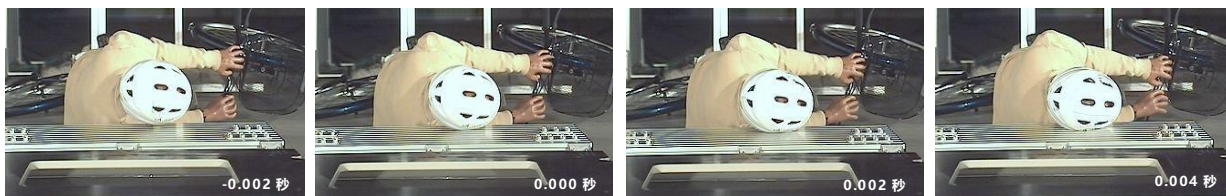
(1) パターン1 ヘルメット着用 (正面視)



(2) パターン1 ヘルメット非着用 (正面視)



(3) パターン1 ヘルメット着用 (側面視)



(4) パターン1 ヘルメット非着用 (側面視)

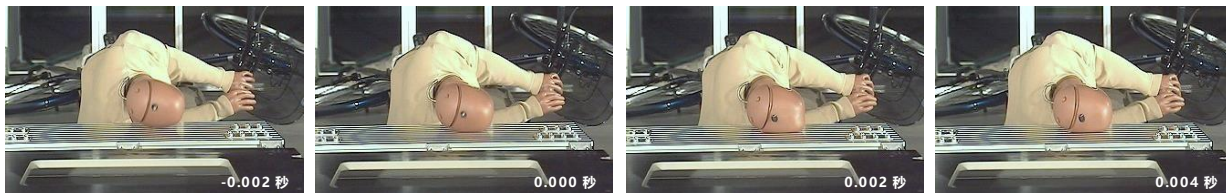


図9 ダミー頭部と縁石の衝突状況(ヘルメット着用:実験番号5, 非着用:実験番号 11)

(2)ヘルメットの損傷

図 10 にヘルメットの損傷状況の一例を示す。ヘルメットの損傷をみると, ヘルメットの外殻(シェル:帽体)の衝突部分は, 圧痕(凹んだ状態)が確認でき, 加えて内側の衝撃吸収ライナーには, ひび割れも確認できた。衝突時, ヘルメットには強い衝撃が加わったが, 凹む等の変形によって衝撃が吸収されていたことが分かる。なお, 購入したヘルメットに添付されていた取扱説明書にも一度でも衝撃を受けたヘルメットは使用しない旨の注意事項が記載されている。

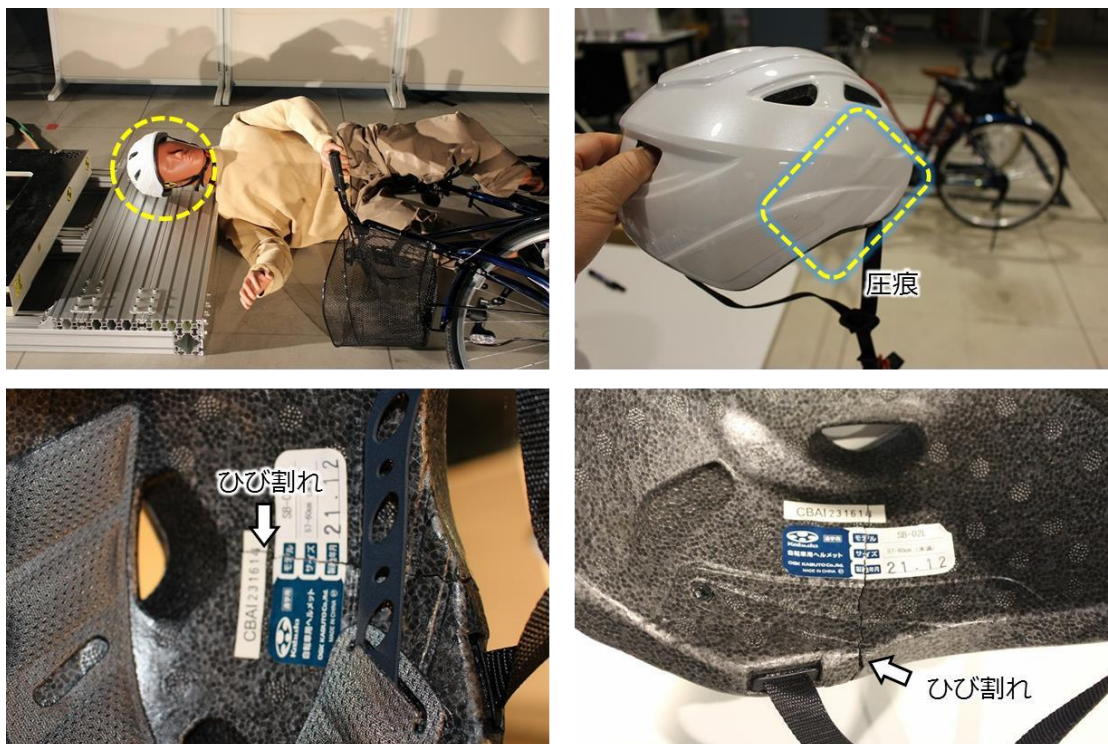


図 10 ヘルメットの損傷状況の一例(実験番号:5)

(3) 頭部加速度および HIC

図 11 に頭部加速度および HIC の比較を示す。縁石への転倒における頭部加速度および HIC をヘルメットの着用有無でみると、いずれもヘルメット着用時の方が低く(衝撃が少ない)、ヘルメット着用による頭部に伝わる衝撃の低減効果が確認できた。同一条件で実施した2回の実験で得られた値を平均して比較すると以下ようになる。

- ・ ヘルメット着用時は、非着用時に比べ、頭部加速度が 1/2 以下に低減していた
- ・ ヘルメット着用時は、非着用時に比べ、HIC が約 1/3 に低減していた

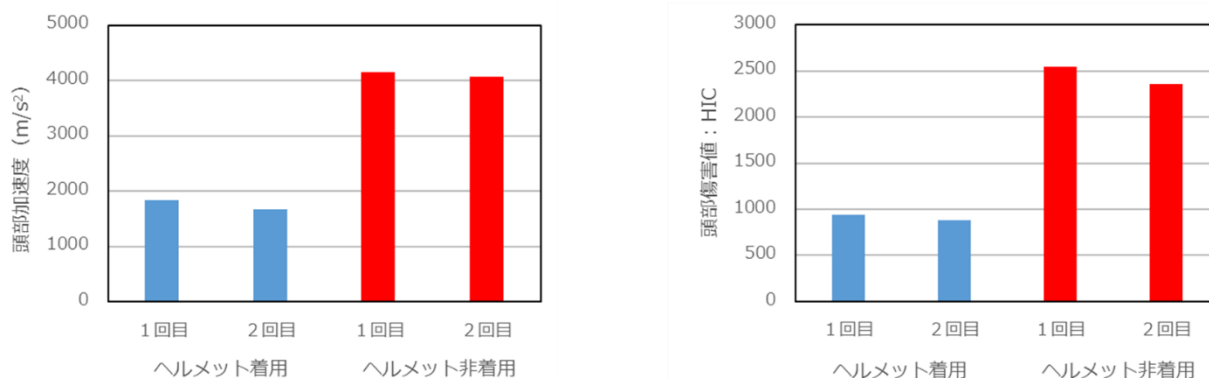


図 11 ヘルメット着用有無におけるダミーの頭部加速度と HIC の比較
[ヘルメット着用: 実験番号5, 6 非着用: 実験番号 11, 12]

3.2 パターン 2の実験結果

表6にパターン 2の実験結果一覧を示す。実験はヘルメット着用/非着用で、それぞれ平坦な路面と縁石の2種類で実施した。パターン 2の実験では、ヘルメットの着用/非着用の比較に加え、ヘルメットを正しく着用していない状況を再現した実験も実施した。実験番号4はあごひもを緩めた状態、実験番号5はあごひもを締めていない状態(外した状態)での実験である。

表6 パターン 1の実験結果

ヘルメット 有無	実験 番号	実験 日	衝突 対象物	AF05 ^{※1} のセッティング			3YO ^{※2}	AF05		3YO		備考(ダミーの損傷等)
				頭部高さ (cm)	鼻高さ (cm)	肩高さ (cm)	頭部高さ (cm)	頭部加速度 合成最大値	HIC値	頭部加速度 合成最大値	HIC値	
着用	1	7/21	平坦	143	139	119	114	791 m/s ²	166	1352 m/s ²	433	頭部と路面の衝突あり
	2	7/26	凸 (縁石)	137	128	119	114	1742 m/s ²	882	1144 m/s ²	378	AF05上半身を前傾させた
	3	7/27	凸 (縁石)	136	128	119	115	2002 m/s ²	1118	885 m/s ²	189	AF05上半身を前傾させた
	4	7/27	凸 (縁石)	135	128	116	114	2170 m/s ²	1121	786 m/s ²	174	AF05上半身を前傾させた ヘルメットのおご紐を緩めた
	5	7/27	凸 (縁石)	136	127	116	114	1964 m/s ²	957	617 m/s ²	59	AF05上半身を前傾させた ヘルメットのおご紐を外した
非着用	6	7/21	平坦	141	135	120	115	878 m/s ²	109	1030m/s ²	168	頭部と路面の衝突あり
	7	7/26	凸 (縁石)	141	136	118	115	5561 m/s ²	6252	2549 m/s ²	741	
	8	7/26	凸 (縁石)	135	127	117	114	5518 m/s ²	4777	2529 m/s ²	719	AF05上半身を前傾させた
	9	7/26	凸 (縁石)	135	127	117	115	4977 m/s ²	4846	2425 m/s ²	668	AF05上半身を前傾させた

※1：AF05⇒小柄女性ダミー ※2：3YO⇒3歳児ダミー

(1)衝突中の挙動

図 12 にダミー頭部と縁石の衝突状況を示す。前席女性のヘルメット非着用の場合(同図の2段目)、頭部が縁石に衝突した直後の0.002秒をみると、顔面の左側すべての範囲が縁石部分に打ちつけられる状況となっているが、ヘルメット着用(同図の1段目)では、ヘルメットにより保護されており、直接的な打撃は少ないことが確認できた。

後席に乗車した子供ダミーは座高が低いため、頭部が縁石部分まで到達せず、縁石自体との衝突は発生していない。また、女性ダミーや縁石が死角となるために映像による確認が困難であったが、頭部と路面は衝突していたものと判断した。

(1) パターン2 ヘルメット着用 (正面視)



(2) パターン2 ヘルメット非着用 (正面視)



(3) パターン2 ヘルメット着用 (側面視)



(4) パターン2 ヘルメット非着用 (側面視)



図 12 ダミー頭部と路面の衝突状況(ヘルメット着用:実験番号2, 非着用:実験番号7)

(2)ヘルメットの損傷

図 13 に女性ダミーのヘルメットの損傷状況を示し、図 14 に子供ダミーのヘルメットの損傷状況の一例を示す。ヘルメットの損傷をみると、女性ダミーが着用したヘルメットは、シェル部分が圧痕(凹んだ状態)した状態に加え、衝撃吸収ライナーのひび割れも確認できた。

一方、子供ダミーが着用したヘルメットの損傷は、衝撃吸収ライナーのひび割れのみで、シェルの圧痕はほとんど無かった。これはチャイルドシートに装備されたヘッドレストによる衝撃吸収も要因の一つと思われ、結果として、女性ダミーよりも衝撃の度合いが低くなったものと思われる。

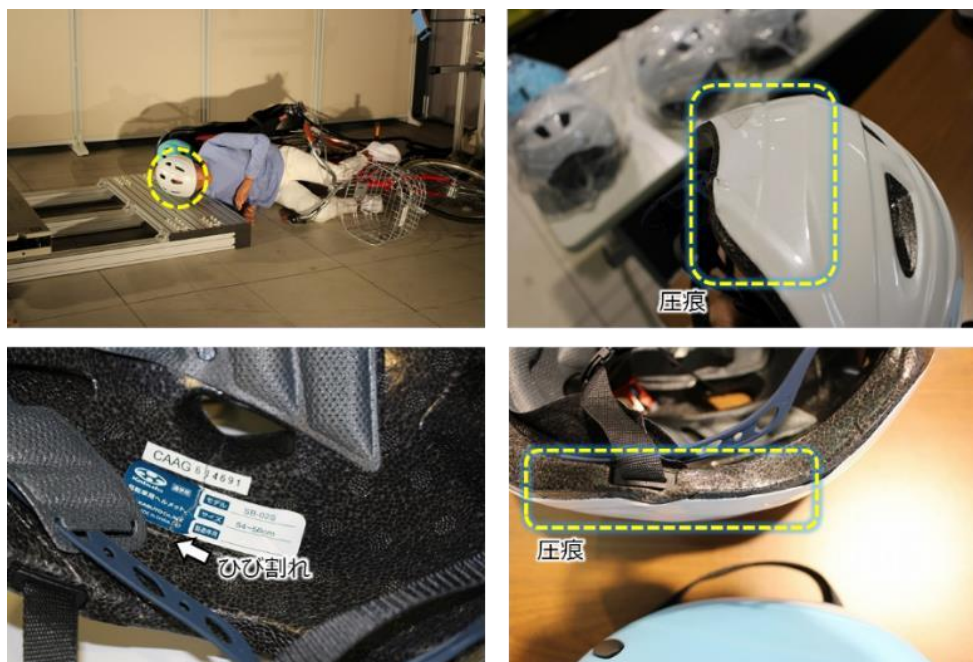


図 13 女性ダミーのヘルメットの損傷状況(実験番号:2)



図 14 子供ダミーのヘルメットの損傷状況(上段:実験番号 2[凸路面], 下段:実験番号 1[平坦路面])

(3) 頭部加速度および HIC

図 15 に頭部加速度および HIC の比較を示す。縁石への転倒における頭部加速度および HIC をヘルメットの着用有無でみると、いずれもヘルメット着用時の方が値が低く(衝撃が少ない)、その有効性が確認できた。同一条件で実施した2回の実験で得られた値を平均して比較すると以下ようになる。

- ・ 女性ダミーのヘルメット着用時は、非着用時に比べ、頭部加速度が約 1/3 に低減していた
- ・ 子供ダミーのヘルメット着用時は、非着用時に比べ、頭部加速度が 1/2 以下に低減していた
- ・ 女性ダミーのヘルメット着用時は、非着用時に比べ、HIC が約 1/5 に低減していた
- ・ 子供ダミーのヘルメット着用時は、非着用時に比べ、HIC が 1/2 以下に低減していた

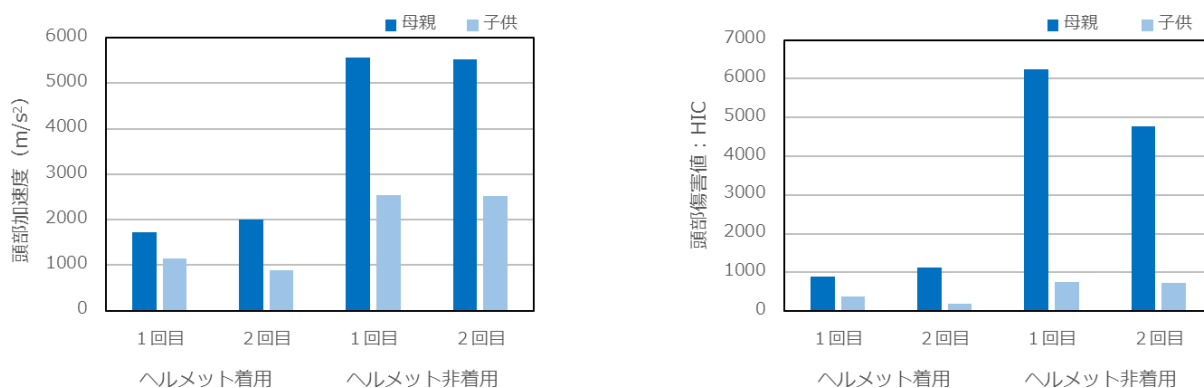


図 15 ヘルメット着用有無におけるダミーの頭部加速度と HIC の比較

[ヘルメット着用:実験番号2, 3 非着用:実験番号7, 8]

(4) あごひもの状態別比較

図 16 にヘルメットのあごひもの状態を示す。ヘルメットを正しく着用していない場合の変化を把握するために、あごひものを緩めた状態およびあごひものを締めていない状態(外した状態)で実験をおこない、あごひものを正しく調整してロックした状態(以下、「正規」と称す)と比較した。

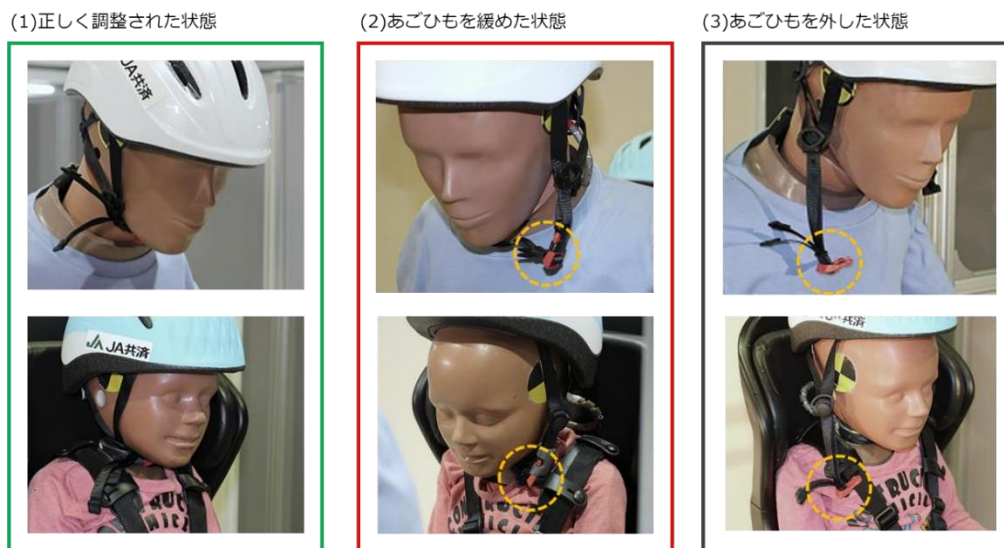


図 16 ヘルメットのあごひもの状態

図 17 にヘルメットのあごひもの状態別における頭部加速度および HIC の比較を示す。女性ダミーでは、加速度および HIC とともに、あごひもを正しく調整した場合が最も低かった。ただし、あごひもを緩めた状態および外した状態での結果を正しく調整した状態で実施した2回の実験(実験番号:2と3)のバラツキで考慮すると、その範囲と同等もしくはそれ以下となるため、有意な差があるとは言えない。

図 18 に女性ダミーの衝突瞬間の挙動を示し、図 19 に頭部加速度-時間線図を示す。衝突瞬間での頭部の衝突挙動と頭部加速度-時間線図を確認すると、頭部加速度が発生する時間帯は衝突瞬間から 0.02 秒までであり、その後はリバウンド状態となるために、高い加速度は発生していない。画像からも分かるように、加速度が最も高くなる時間帯は、あごひもを緩めた状態および外した状態でも頭部にヘルメットが密着しており、ヘルメットが機能していたと考えられる。ただし、0.02 秒以降では、ヘルメットが頭部よりずれて外れるため、副次的な衝突では、機能しないことがうかがえる。

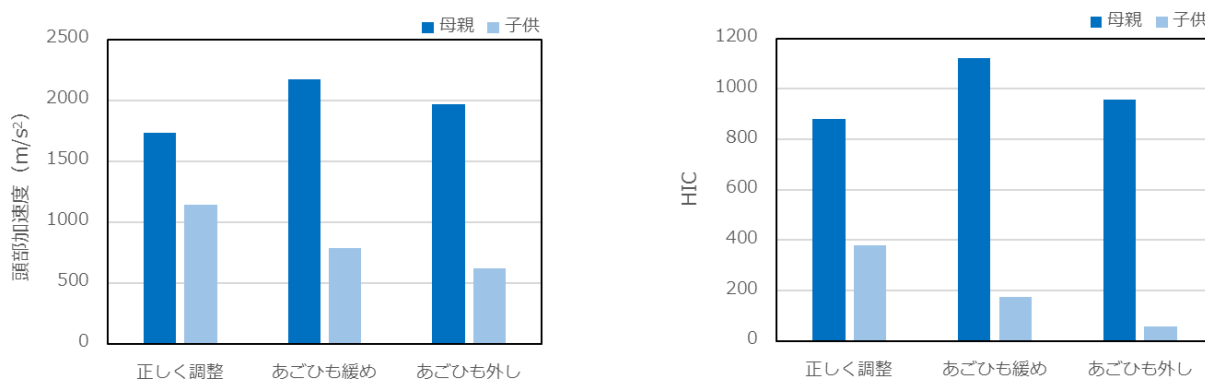


図 17 ヘルメットのあごひもの状態別でのダミーの頭部加速度と HIC の比較

(1) あごひもの長さを正しく調整した状態



(2) あごひもが緩んだ状態



(3) あごひもを外した状態



図 18 女性ダミーの衝突瞬間の挙動

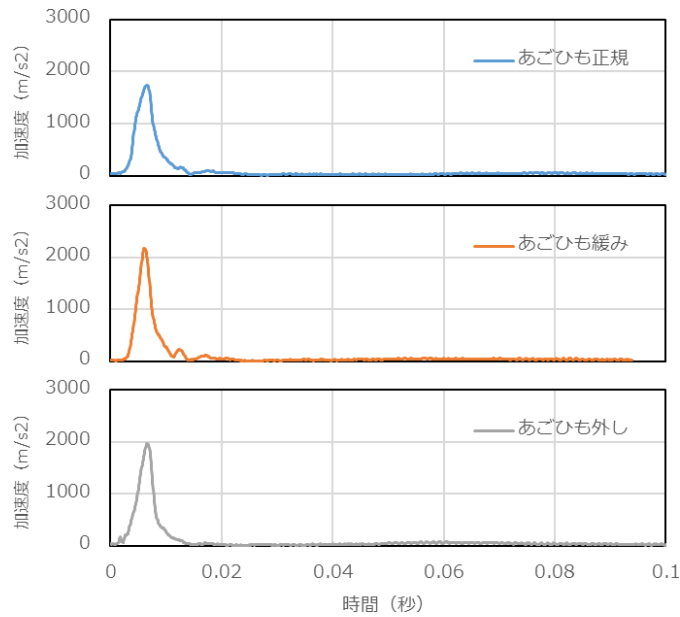


図 19 頭部加速度-時間線図(上段:あごひも正規, 中段:あごひも緩み, 下段:あごひも外し)

他方, 子供ダミーでは, 頭部加速度および HIC とともに, あごひもを正しく調整した場合(正規)よりも緩んだ状態や外した状態の方が低い値を示した。ただし, HIC をみると, 3ケースとも 400 以下であり, 3歳児の自動車の衝突安全基準値(570)を下回っているため, 重度の傷害が発生する確率はかなり低いと考えられる。図 20 に3ケースの頭部加速度-時間線図を示す。子供ダミー頭部の衝突対象は前述したように, 縁石ではなく路面である。しかし, 衝突中の挙動が映像から確認できないため, 加速度-時間線図のみで検証すると, 衝突瞬間(時間ゼロ)から 0.017 秒付近までの波形の傾きは3ケースとも同一である。この領域は, ヘルメットを着用した頭部がチャイルドシートのヘッドレスト(図 21 参照)がつぶれて衝撃が吸収される段階で, その後, 頭部がヘッドレストを越えて路面に衝突すると思われる(例えば, あごひも正規の実験では 0.017 秒から加速度が⁶ 1000 m/s² まで急激に立ち上がる波形であり, この状態が路面との衝突)。3ケースの実験では, あごひも緩みとあごひも外しの方が, よりヘッドレストと頭部が長く接したことで, 衝撃が緩和されたものと推測する。

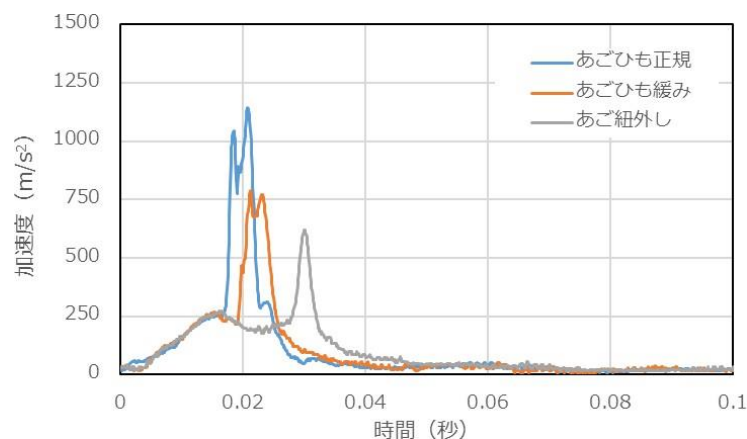


図 20 子供ダミーの頭部加速度-時間線図の比較(正規/あごひも緩み/あご紐外し)



図 21 チャイルドシートのヘッドレストと頭部の位置関係

3.3 実験データにもとづく頭部(脳)の傷害発生確率

表7に AIS レベルとその傷害度を示す。AIS(Abbreviated Injury Scale)は、自動車事故に関するデータベースとして利用することを目的に米国で考案され、1971年に発表された。AISは外傷の種類と解剖学的重症度をコードで表し、同表のように、その重症度を6段階で評価している。公表された Mertz らの研究論文では、この AIS とダミーを使用した実験で求めた傷害基準値の関係性を整理し、正規分布を仮定した傷害の発生確率(いわゆるリスクカーブ)を用いて、傷害発生の有無を予測する手法を提案した。

出典：Harold J. Mertz, 2003年, Biomechanical and Scaling Bases for Frontal and Side Impact Injury Assessment Reference Values

図 22 は男性ダミー、女性ダミーおよび子供ダミー別の AIS 4+ (重篤以上)脳傷害発生確率線図に本実験結果をプロットしたものである。プロットした実験結果は、縁石、ヘルメット着用有無の同一条件の2回分を平均した値である。同図より、ヘルメットを着用することで、AIS 4+の発生確率は約 10 %程度に下がることがわかった。ただし、子供ダミーでは、前述したようにチャイルドシートに装備されたヘッドレストが衝撃を吸収したことで、ヘルメット非着用でも HIC が低かったため発生確率も低くなったものと思われる。ダミー毎に AIS 4+の発生確率をみると以下のようなになる。

- ・ 男性ダミーの AIS 4+の発生確率は、ヘルメット着用で 11 %、非着用で 99 %であった
- ・ 女性ダミーの AIS 4+の発生確率は、ヘルメット着用で 11 %、非着用で 100 %であった
- ・ 子供ダミーの AIS 4+の発生確率は、ヘルメット着用で 1 %、非着用で 11 %であった

表7 AISレベルと傷害度

	状態	主な症例
AIS 1 Minor	軽症	頭部打撲
AIS 2 Moderate	中等症	頭蓋骨骨折, 脳震盪
AIS 3 Serious	重症	頭蓋骨陥没(2 cm以内)
AIS 4 Severe	重篤	頭蓋骨陥没(2 cm以上), 脳脱
AIS 5 Critical	瀕死	穿通性脳損傷
AIS 6 Fatality	死亡, 治療不可	脳脳幹破壊, 断頭

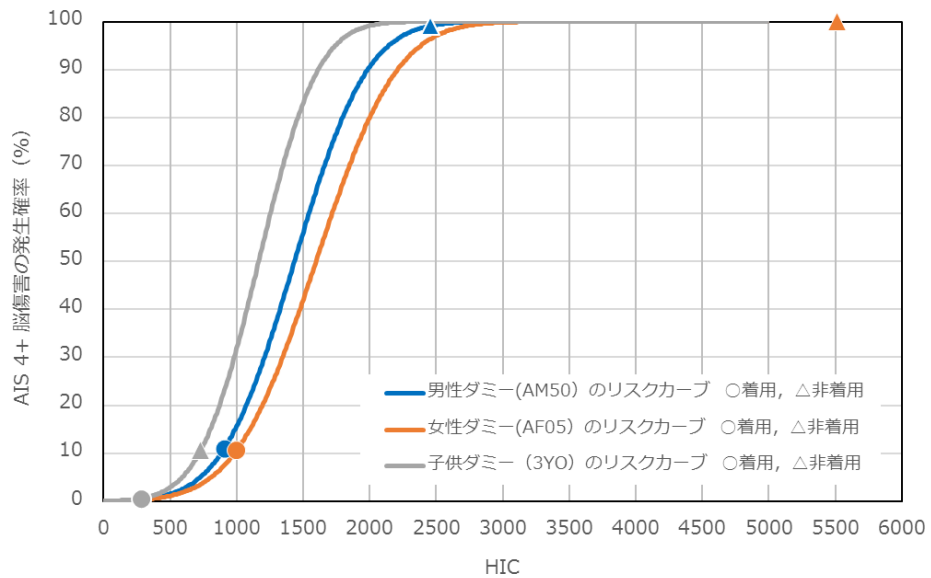


図 22 AIS 4+の脳傷害発生確率線図と実験結果(凸路面, ヘルメット着用/非着用)の傷害発生確率

4. まとめ

ヘルメット着用の有効性を検証するために、同一条件の非着用の場合と比較した。実験は、ダミーを静止した自転車のサドルに着座した状態で右側へ転倒させ、頭部に生じる加速度を測定し、頭部の傷害指標である HIC を求めた。実験では、平均的な成人男性相当のダミーを1体使用した実験(一人乗り)をパターン 1、小柄な成人女性相当のダミーと3歳児相当のダミーの2体を使用した実験(二人乗り)をパターン 2とし、それぞれ同一条件で実施した結果の平均値で比較すると以下ようになる。

(1)パターン 1

- ヘルメット着用時は、非着用時に比べ、頭部加速度が 1/2 以下に低減していた
- ヘルメット着用時は、被着用時に比べ、HIC が約 1/3 に低減していた
- AIS 4+(重篤以上)の脳傷害発生確率は、ヘルメット着用で 11 %、非着用で 99 %であった

(2)パターン 2

- 女性ダミーのヘルメット着用時は、非着用時に比べ、頭部加速度が約 1/3 に低減していた
- 子供ダミーのヘルメット着用時は、非着用時に比べ、頭部加速度が 1/2 以下に低減していた
- 女性ダミーのヘルメット着用時は、非着用時に比べ、HIC が約 1/5 に低減していた
- 子供ダミーのヘルメット着用時は、非着用時に比べ、HIC が 1/2 以下に低減していた
- 女性ダミーの AIS 4+(重篤以上)の脳傷害発生確率は、ヘルメット着用で 11 %、非着用で 100 %であった
- 子供ダミーの AIS 4+(重篤以上)の脳傷害発生確率は、ヘルメット着用で 1 %、非着用で 11 %*であった
(※ チャイルドシートに装備されたヘッドレストによる衝撃吸収効果が加算されたものと想定)

本実験より、限られた条件下であるものの自転車乗車時にヘルメットを着用することで、転倒時の頭部への衝撃量が半分以下に低減されており、その有効性を確認することができた。

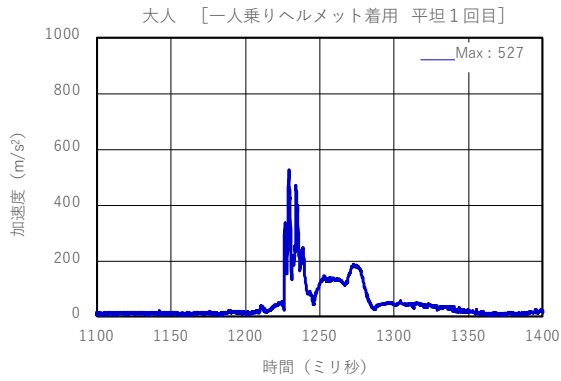
5. 計測機器

使用実験器	型式番号	製造会社	機器登録番号	校正期限
トリガー信号分配器	J11-6352	株式会社共和電業	3840K00	2022.11.30
自動車衝突用ダミー	Hybrid-III AM50, AF05, 3YO	株式会社ヒューマネティクス	-	2022.07.06
ダミー計測器	DIS-2000	株式会社共和電業	2066P00	2022.11.30
高速度カメラ 1	V-190-L	株式会社ナックイメージテクノロジー	3624P00	2023.04.30
高速度カメラ 2	V-190-L	株式会社ナックイメージテクノロジー	3625P00	2023.04.30

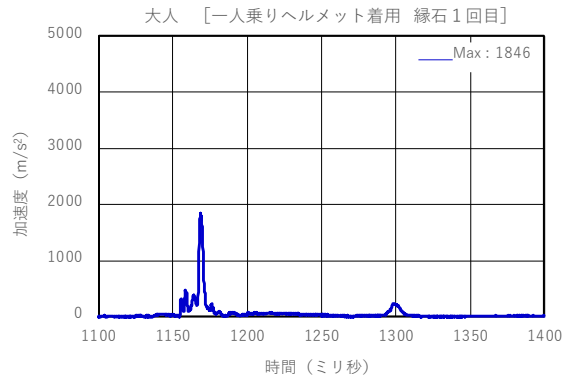
付 録

頭部加速度-時間線図

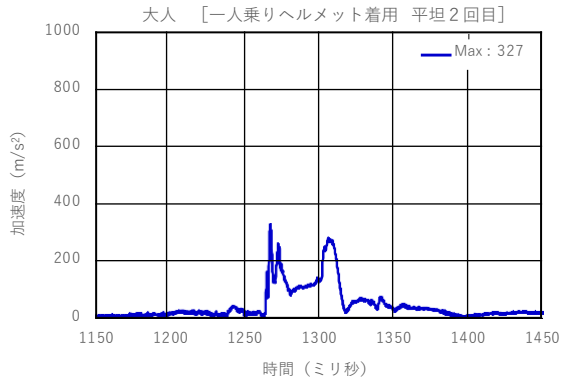
実験番号：1



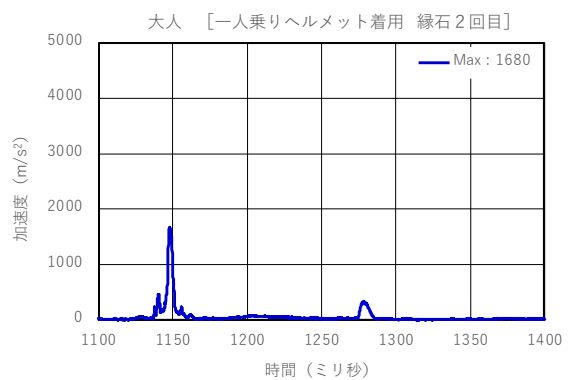
実験番号：5



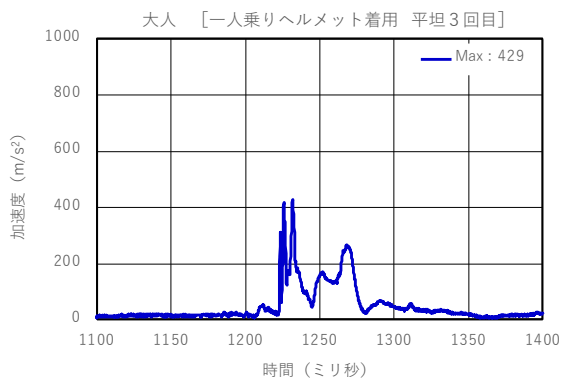
実験番号：2



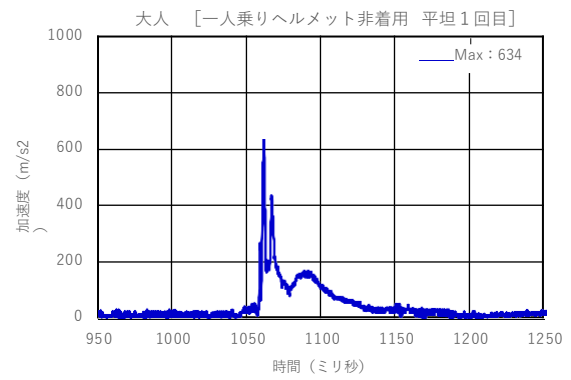
実験番号：6



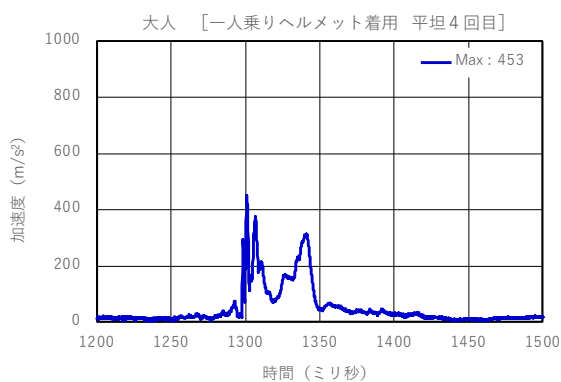
実験番号：3



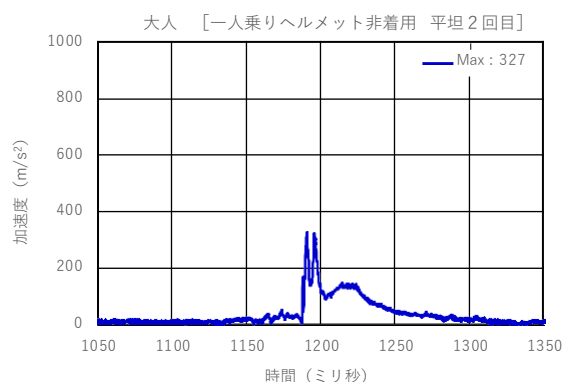
実験番号：7



実験番号：4

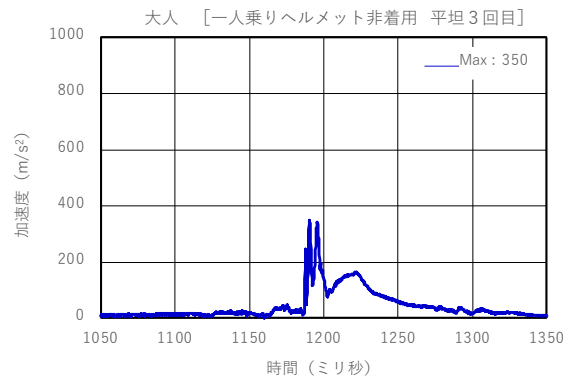


実験番号：8

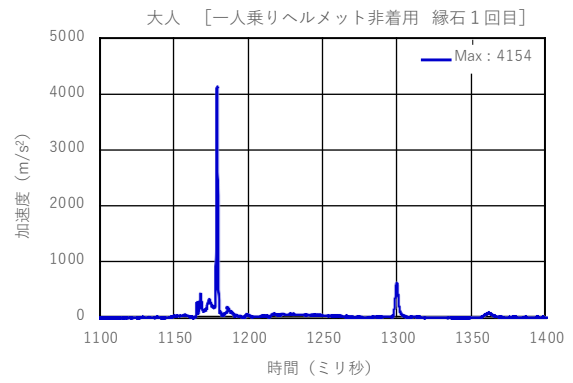


付図1 パターン 1の頭部加速度—時間線図(実験番号 1-8)

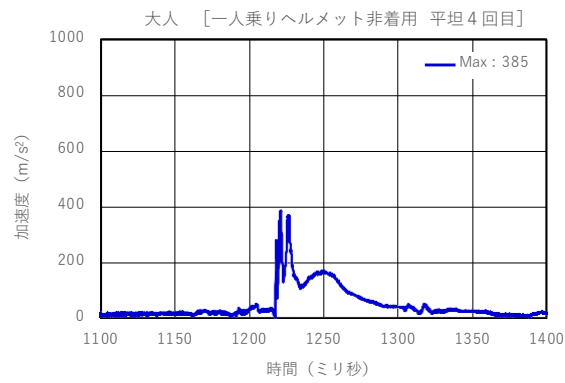
実験番号：9



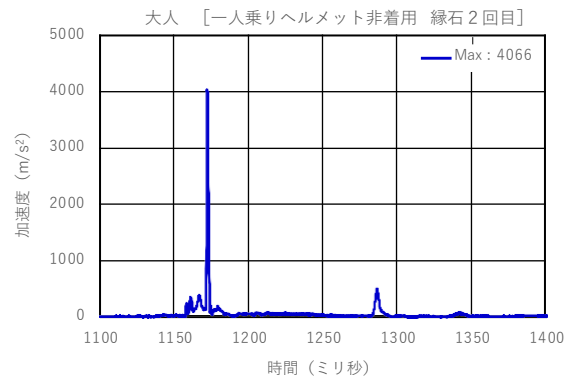
実験番号：11



実験番号：10

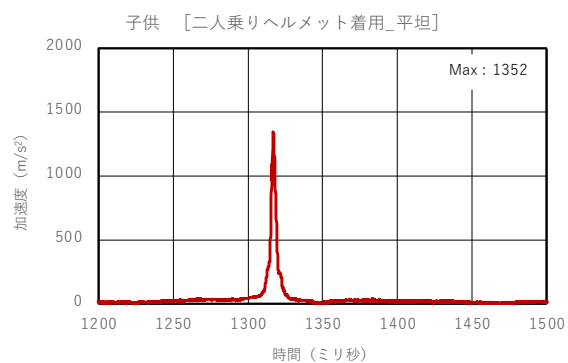
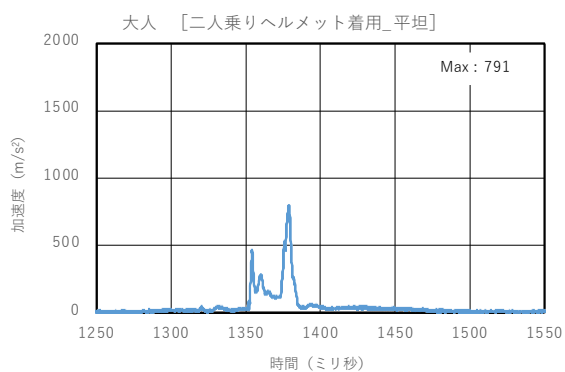


実験番号：12

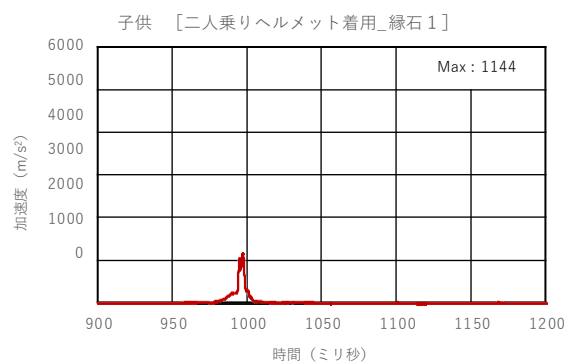
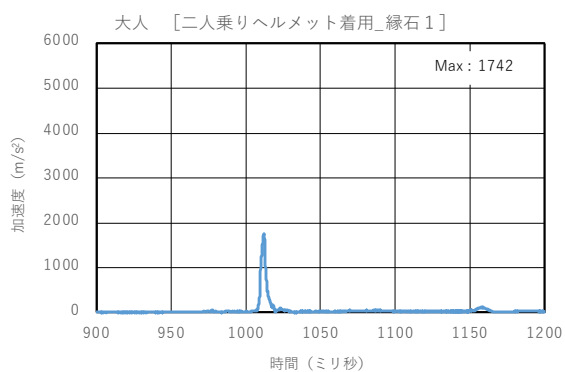


付図2 パターン 1の頭部加速度—時間線図(実験番号 9-12)

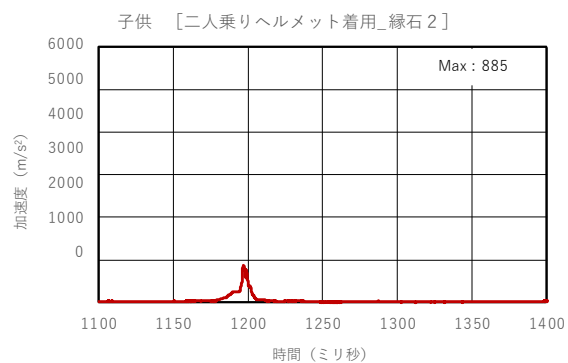
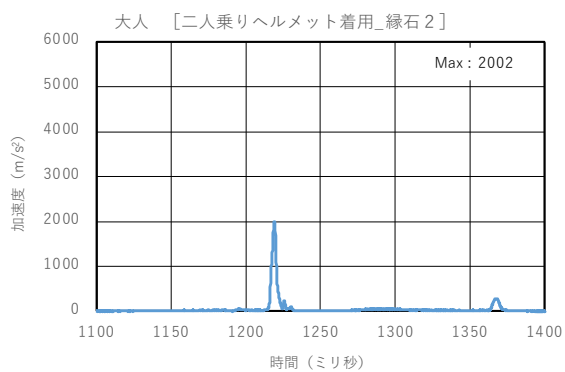
実験番号：1



実験番号：2

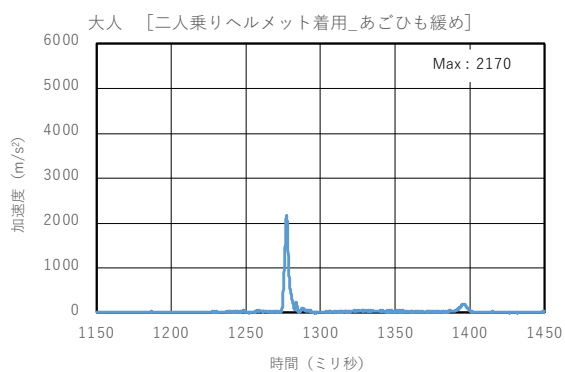


実験番号：3

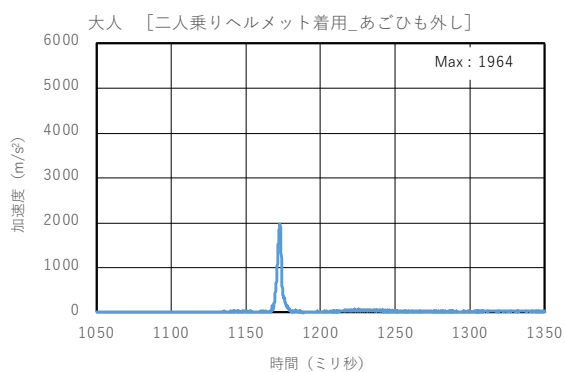


付図3 パターン 2の頭部加速度—時間線図(実験番号 1-3)

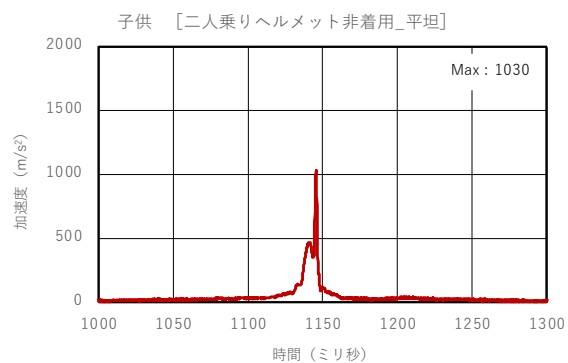
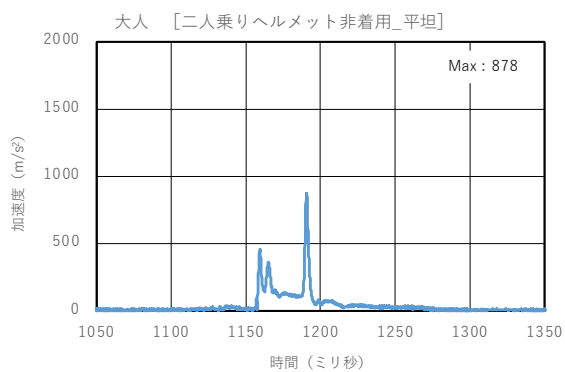
実験番号：4



実験番号：5

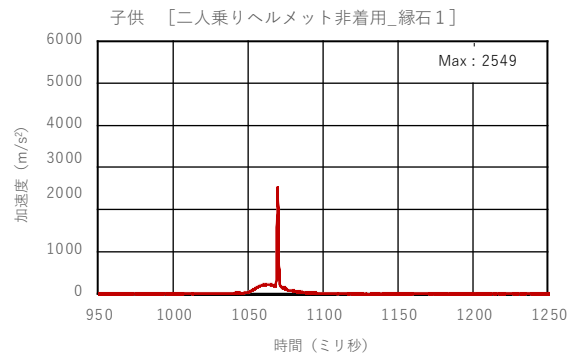
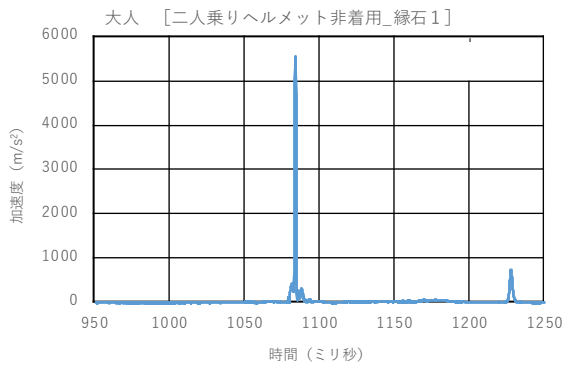


実験番号：6

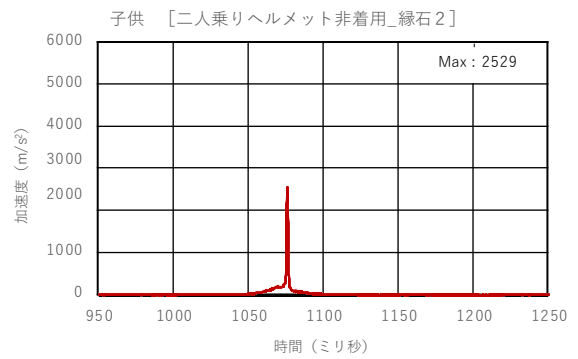
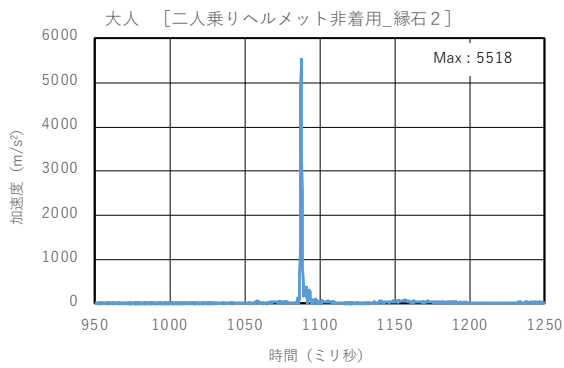


付図4 パターン 2の頭部加速度—時間線図(実験番号 4-6)

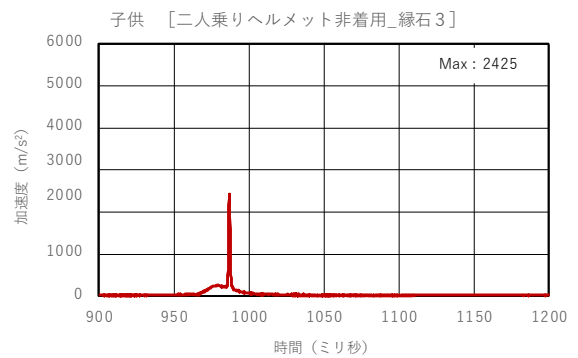
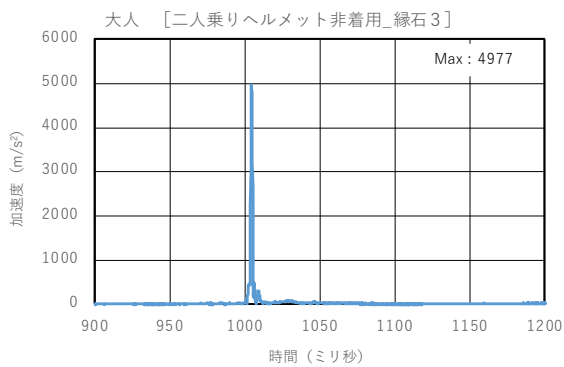
実験番号：7



実験番号：8



実験番号：9



付図5 パターン 2の頭部加速度—時間線図(実験番号 7-9)