

実験報告書

ヘルメット着用推進動画の実験

③ダミー人形の頭部を使用した衝撃測定

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 22日 ~ 2022年 7月 27日

実施項目	結果
ダミー頭部を用いた落下実験	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 供試ヘルメット.....	4
2.3 評価ツール.....	4
3. 実験結果.....	7
3.1 頭部加速度とHICの比較.....	8
3.2 実験データにもとづく頭部(脳)の傷害発生確率.....	10
4. まとめ.....	12
5. 計測機器.....	13

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、「③ダミー人形の頭部を使用した衝撃測定」の実験結果について記述したものである。

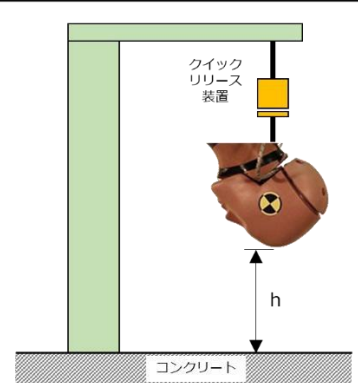
2. 実験条件および供試品

1. 実験条件

表1に実験条件を示す。本実験は、ヘルメットを着用することで、転倒時の頭部に加わる衝撃をどの程度低減できるかを検証するために実施する。実験はシンプルな落下方式とし、ダミー人形(以下、「ダミー」と称す)の頭部を平坦な路面に自由落下させた際の衝撃量をヘルメット着用の有無で比較する。

実験では、額を第一接触位置としたため、同表中のイラストのように約45度傾けた状態で落下させ、その際の落下高さは、路面の表面から額までの距離である。

表1 実験条件

実験形態	ヘルメット着用の有無	H: 落下高さ (cm)	取得データ
 <p>クイックリリース装置</p> <p>h</p> <p>コンクリート</p>	有	38, 65, 80	頭部加速度 HIC
	無	38, 65, 80	頭部加速度 HIC

2.2 供試ヘルメット

表2に実験で使用したヘルメットの仕様を示す。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。同ヘルメットは、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2 ヘルメットの仕様

対象ダミー	モデル名	サイズ	適合規格等	外観	
男性 Hybrid III AM50	SB-02L	57-60cm 未満 (重さ: 270 g)	SG 基準	正面視 	後面視 
				側面視 	上面視 

2.3 評価ツール

(1)ダミー

図1にダミーの外観、表3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。このダミーは 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。また、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。

本実験では、ダミー本体から頭部と頸部を取り外して使用した。頭部と頸部の合計重量は 5.4 kg(実測値)である。

表3 ダミーの体格



図1 ダミーの外観

ダミー	
タイプ	Hybrid III AM50 (成人男性の平均的な体格)
身長 (cm)	178
体重 (kg)	78
頭+頸部の重量 (kg)	5.4

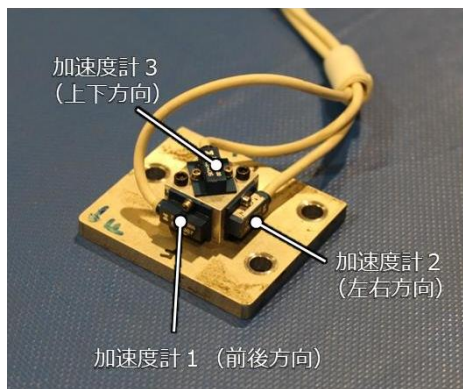


図2 頭部重心位置に取り付ける加速度計

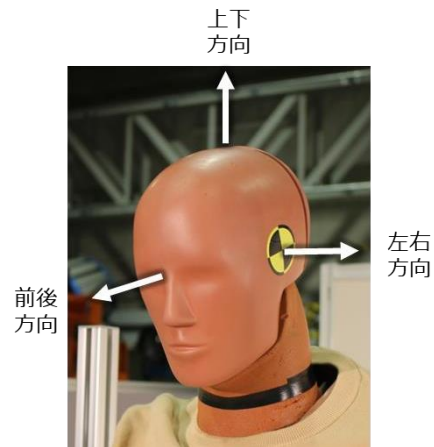


図3 加速度の感度方向

(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。

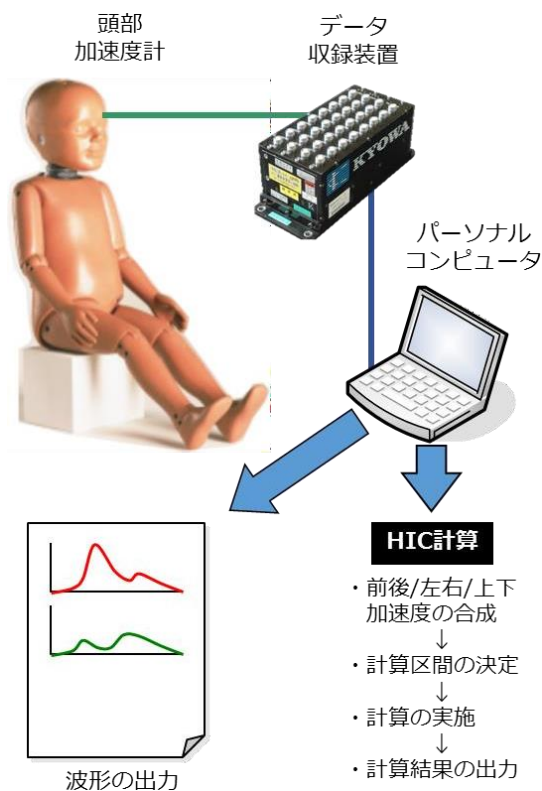


図4 頭部加速度の測定方法および HIC の計算手順

(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, もしくは 15 ミリ秒

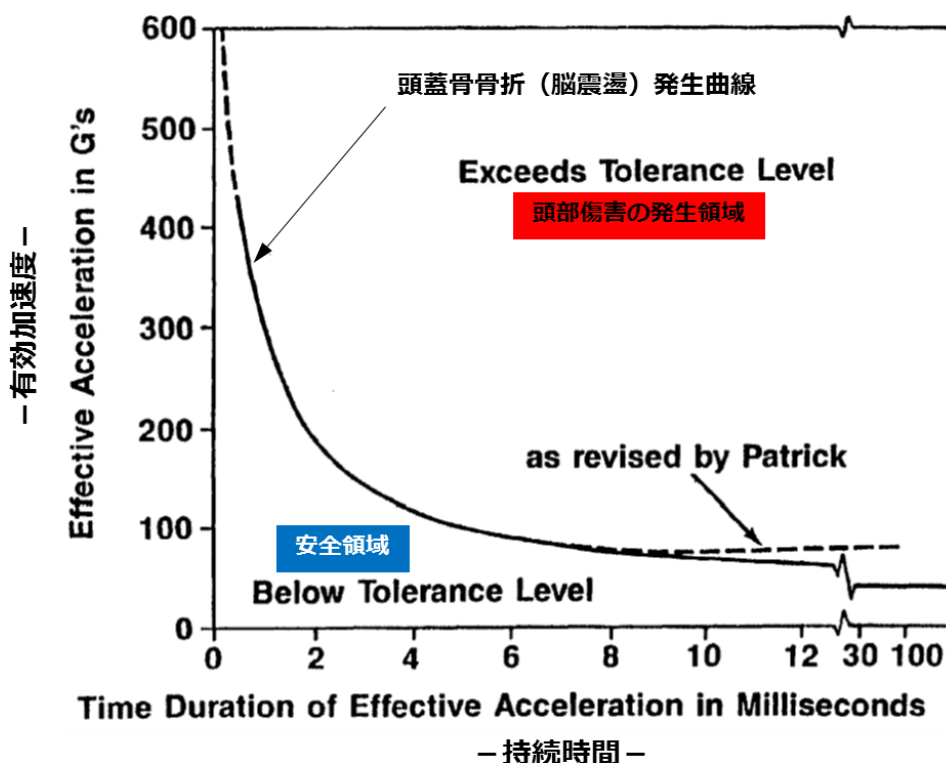


図5 頭蓋骨骨折の耐性曲線

3. 実験結果

表4に実験結果を示し、図6に衝突中の挙動の一例を示す。実験は、ダミーの頭部を所定の高さで保持装置に取り付け、完全に静止した状態からマグネット式のクイックリリース装置で頭部を切り離し、自由落下してコンクリートの路面に衝突させる方式である。実験番号4および5では、衝撃を繰り返し与えた場合の衝撃吸収性能の変化を確認するために実施したものである。実験では、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。

表4 実験結果

ヘルメット	実験番号	実験日	落下高さ	頭部加速度合成最大値	HIC値 (計算結果)	備考(ダミーの損傷等)
着用	1	7/22	380 mm	851 m/s ²	183	
	2	7/22	800 mm	1314 m/s ²	523	
	3	7/27	650 mm	1151 m/s ²	335	
	4	7/27	650 mm	1352 m/s ²	459	一度使用したヘルメットを再度着用させて実験
	5	7/27	650 mm	1306 m/s ²	418	二度使用したヘルメットを再度着用させて実験
非着用	6	7/22	380 mm	2364 m/s ²	708	
	7	7/22	800 mm	4750 m/s ²	2843	
	8	7/22	680 mm	4252 m/s ²	2204	HIC=2000ねらいで実施
	9	7/27	650 mm	(2777 m/s ²)	(1024)	頭部加速度の出力不良
	10	7/27	650 mm	3896 m/s ²	1941	予備の頭部に交換

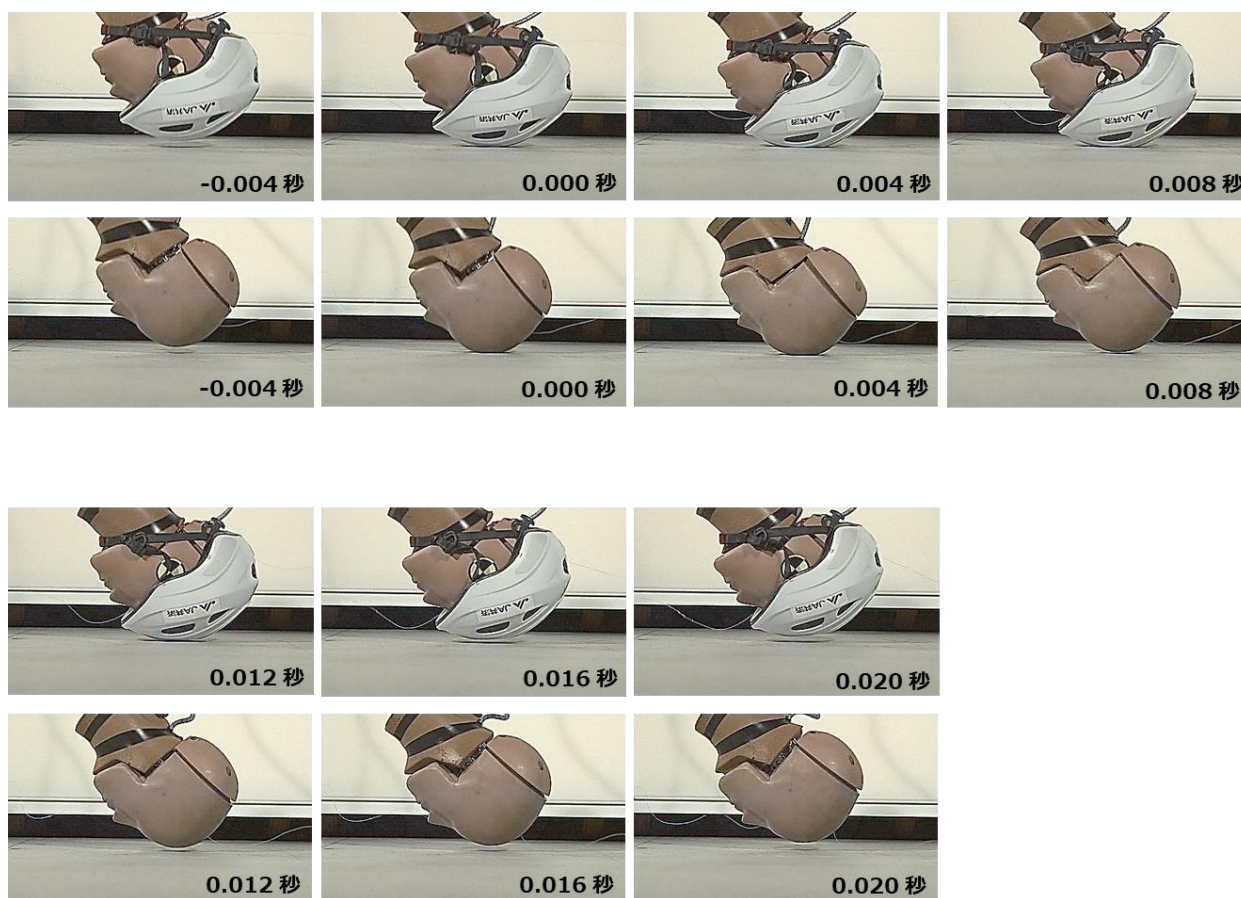


図6 頭部の衝突中の挙動 [落下高さ: 65 cm]
 (ヘルメット着用: 実験番号 3, 非着用: 実験番号 10)

3.1 頭部加速度と HIC の比較

図7に落下高さ 65 cm, ヘルメット着用有無での頭部加速度の比較を示す。同図のデータは, ヘルメット着用が実験番号3, 非着用が実験番号 10 であり, 最大値はヘルメット着用で 1151 m/s^2 , 非着用で 3896 m/s^2 となった。ヘルメットを着用することで, 頭部に生じる最大加速度を非着用比べて約 1/4 に低減していた。

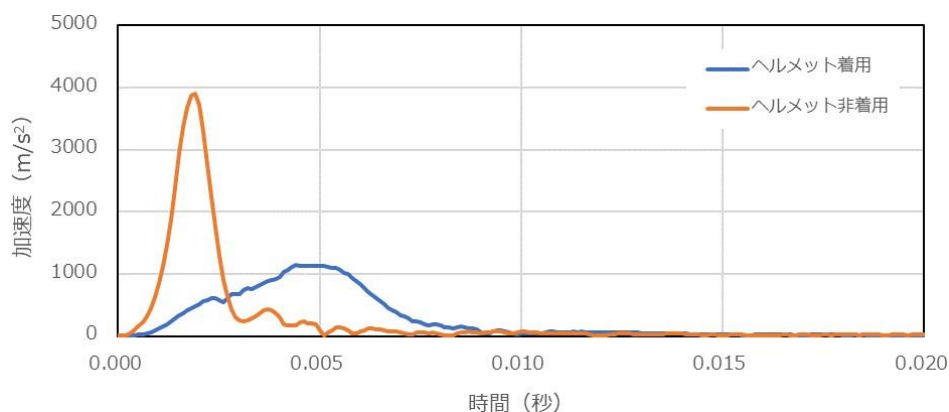


図7 落下高さ 65 cmでの頭部加速度の比較
 (ヘルメット着用: 実験番号 3, 非着用: 実験番号 10)

図8にヘルメット着用の有無、落下高さ別の頭部加速度の比較を示す。自動車メーカーがエアバッグ/シートベルト等の乗員拘束装置の設計の有効性を評価するために、傷害基準値(IARV: Injury Acceptance Reference Value)を使用している。IARV は自動車の衝突事故で乗員が負傷する可能性が低くなるように、傷害の閾値の下限値が設定されている。Hybrid III AM50(平均的な成人男性相当)の頭部 IARV は、HIC と最大加速度があり、基準値はそれぞれ 700(HIC), 180 G(最大加速度)となっている。HIC の 700 は、重篤な脳損傷(AIS 4+)の発生リスクが 5%, 最大加速度の 180 G は、頭蓋骨骨折の発生リスク 5% に相当している。

本実験で測定された頭部の最大加速度をみると、ヘルメットを着用することで、落下高さが 80 cm でも基準値の 180 G(=1765 m/s²)を下回っている。ヘルメット非着用では、38 cm の高さでも基準値を超過していることがわかる。

他方、HIC をみると、最大加速度と同じ傾向であり、ヘルメット非着用では、38 cm の高さでも基準値の 700 をクリアできない状況であった。

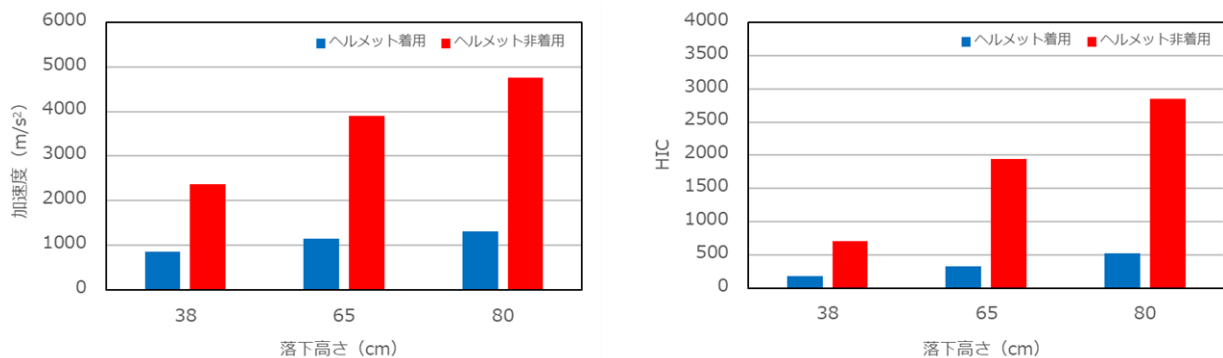


図8 ヘルメット着用有無と落下高さ別の頭部加速度と HIC の比較

図9に落下高さと HIC の関係を示す。同図は本実験の結果に加え、海外で実施された実験データもプロットした(University of British Columbia,カナダ)。本実験と引用したデータには、実験時の頭部重量に若干の差異(本実験:5.4 kg, 文献:5.05 kg)があるものの、ヘルメットも同じ構造・デザインのものを使用しているため、同等として扱った。同図をみると、落下高さと HIC は、ほぼ直線的な関係を示しており、例えば、150 cm の高さから落下した場合でも、ヘルメットを着用することで HIC を大幅に低減できることがわかる。

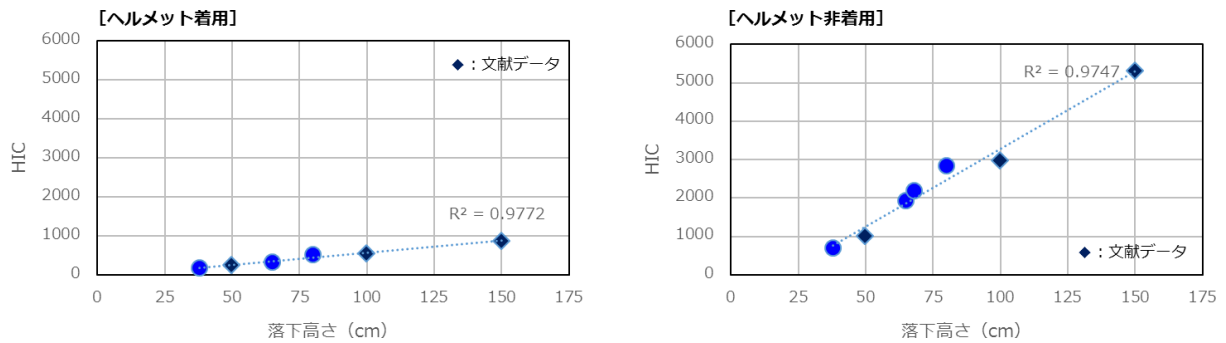


図9 落下高さとHICの関係

※文献データの出典:

Peter A. Cripton, 2014, Bicycle helmets are highly effective at preventing head injury during head impact: Head-form accelerations and injury criteria for helmeted and unhelmeted impacts

図10に同一ヘルメットを使用した繰り返し実験の結果の比較を示す。同図より、1回目使用に比べ、2回目および3回目使用の方が頭部加速度は高くなっていた。同一ヘルメットを繰り返して衝撃を加えることによって、シェルおよび衝撃吸収ライナーの衝撃吸収性能が低下していると思われる。

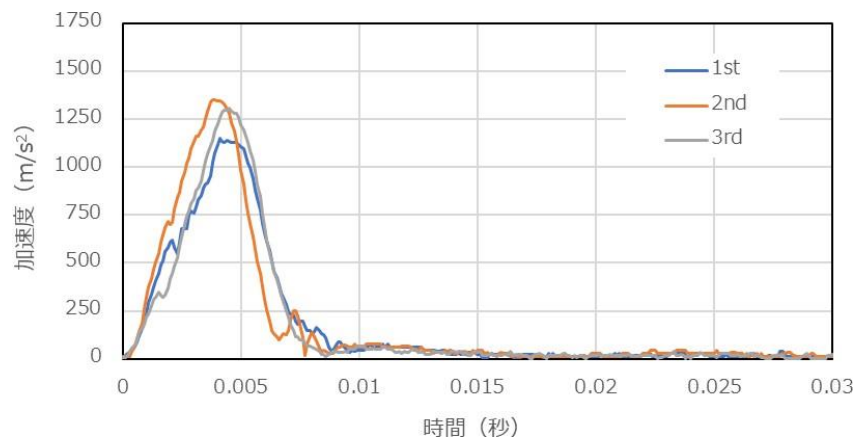


図10 繰り返し実験の結果の比較

3.2 実験データにもとづく頭部(脳)の傷害発生確率

表5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(IARV)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 11 に高さ 65 cm, ヘルメット着用有無での AIS 4+の脳傷害の発生確率を示す。AIS 4+は, AIS 4 以上の傷害, すなわち, 重篤・瀕死・死亡までが含まれた発生確率を示している。なお, 重篤は, 「病状が非常に重いこと」をさし, すぐに命を落としてしまう危険性は低い, 同じような症状が長く続けばいずれは死に至ることもある状態を表している。同図をみると, ヘルメットを着用することで, 重篤以上の傷害が発生する可能性は約 0.5 % と極めて低い, 非着用の場合はその発生確率が約 88 % に上昇していることがわかる。

表5 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

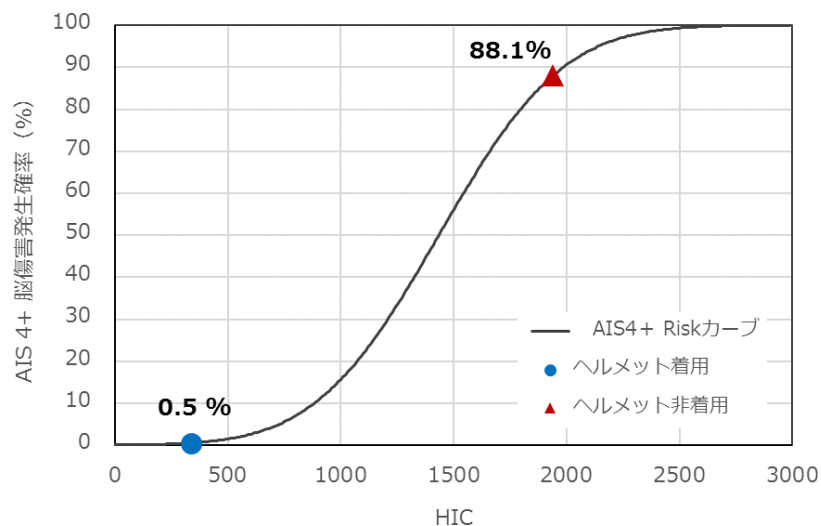


図 11 ヘルメット着用の有無での AIS 4+の脳傷害発生リスク

表6に落下高さ別, ヘルメット着用有無での脳傷害発生確率を示す。前述した図 11 と同様に, 本実験結果での傷害発生確率を整理した。ヘルメットを着用することで, 落下高さ 80 cm までは, 重篤以上の傷害の発生確率がかなり低い, 非着用では 80 cm の高さで重篤以上の傷害が 100 % に達する結果となった。

表6 落下高さ別のヘルメット着用の有無での AIS 4+の脳傷害発生リスク

落下高	AIS 4+ 脳傷害の発生確率 (%)	
	ヘルメット着用	ヘルメット非着用
38 cm	0.2 %	4.6 %
65 cm	0.5 %	88.1 %
80 cm	1.7 %	100.0 %

4. まとめ

ヘルメット着用の有効性を検証するために、ダミー頭部を用いた落下実験をおこない、ヘルメット着用の有無でダミー頭部の加速度を測定した。その結果をまとめると次のようになり、自転車の利用時にヘルメットを着用することは、安全上の観点から重要かつ必須であると言える。

- ・ 頭部に発生する加速度は、落下高さが 65 cm の場合、ヘルメットを着用することで 1/4 に低減した。
- ・ 自動車の衝突試験における傷害基準値 (IARV) の頭部加速度の閾値 [180 G (=1765 m/s²)] と比較すると、ヘルメット着用では、落下高さ 80 cm でも傷害基準値を下回るが、非着用では落下高さ 38 cm でも基準値を超過する結果となった。
- ・ 同一ヘルメットに繰り返しの衝撃を加えると、ヘルメットの衝撃吸収性能が低下して頭部加速度が高くなった。
- ・ HIC を AIS 4+ (重篤以上) の脳傷害の発生確率で見ると、ヘルメット着用の場合、落下高さ 80 cm での発生確率は 1.7 % とかなり低いが、非着用では 65 cm で約 88 % と非常に高く、80 cm では 100% に達する結果となった。

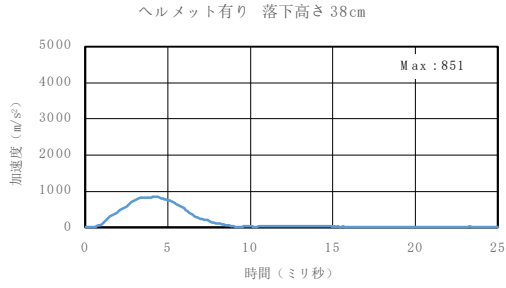
5. 計測機器

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

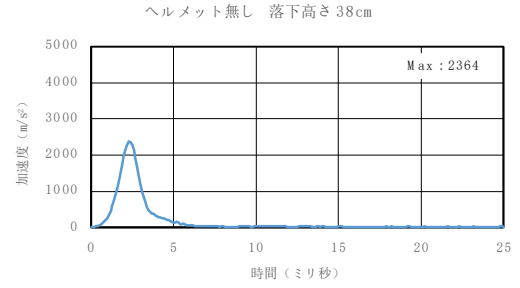
付 録

頭部加速度-時間線図

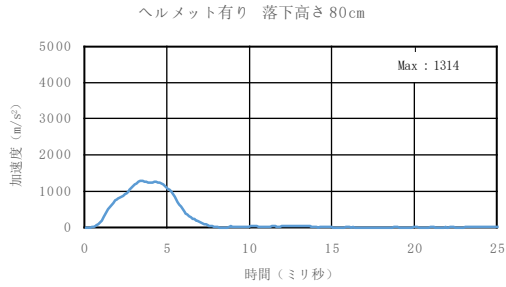
実験番号 1



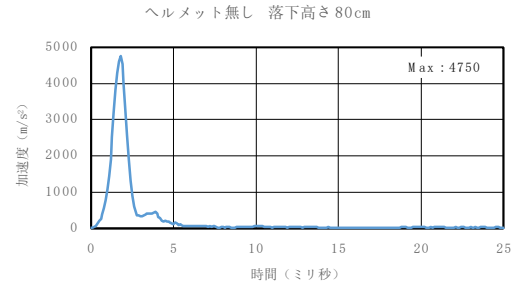
実験番号 6



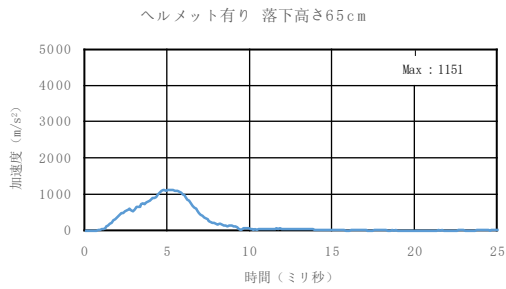
実験番号 2



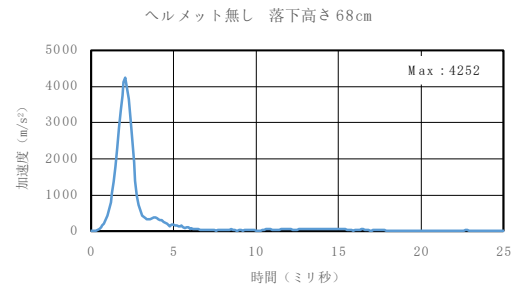
実験番号 7



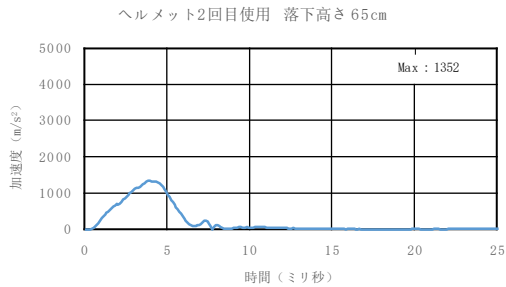
実験番号 3



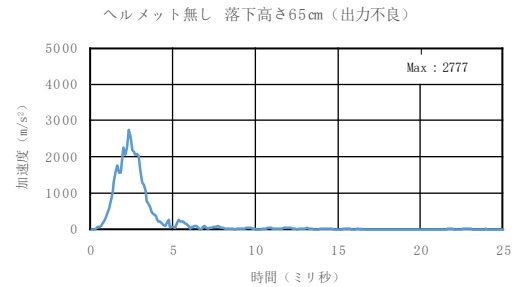
実験番号 8



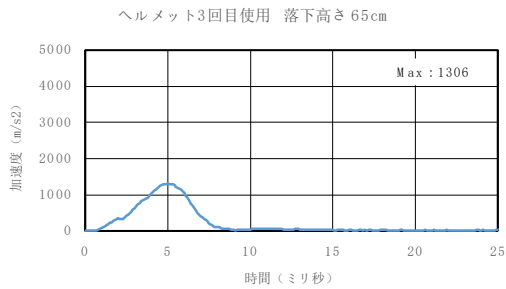
実験番号 4



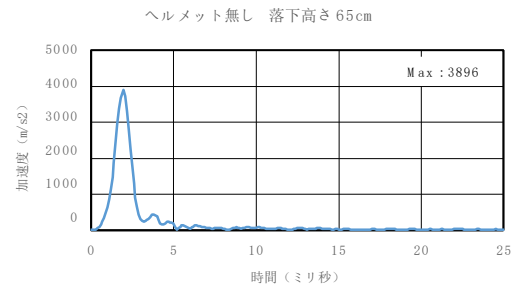
実験番号 9



実験番号 5



実験番号 10



付図 頭部加速度—時間線図(実験番号 1—10)