発行 2024 年 3 月：一般社団法人 日本自動車工業会
二輪車委員会 二輪車企画部会 安全教育分科会

ヘルメット脱落メカニズム解明に向けた実験報告書サマリー

■ 背 景

二輪車乗車中の死者の損傷主部位を見ると、頭部損傷によるものが最も多く、その内の約 3 割でヘルメット脱落が発生している。ITARDA の事故分析では排気量が小さいバイクかつ、危険認知速度が 20-30 km/h の低速度域での脱落率が高い結果である。また、都内の街頭調査（警視庁調べ）では、ヘルメットの顎紐を結束していない、あるいは緩い状態での結束が 3 割程度いるとの報告もあり、二輪車乗員の頭部損傷による死者数の低減には、ヘルメットの適正な着用が重要と考える。

■ 目 的

二輪車乗員にヘルメットの有効性を啓発するため、ヘルメットを着用した人体模型（ダミー）の頭部に衝撃を負荷する実験を行い、適正着用の重要性を視覚的に訴える実験映像の作成、及び脱落メカニズム解析の基礎データを収集する。

■ 結 果 概 要

ハーフ形（報告書では、「HA 形」という）、オープンフェース形（同、「OF 形」という）、およびフルフェース形（同、「FF 形」という）の 3 種類のヘルメットに対し、ヘッドモデルサイズ、衝突形態、顎紐の状態および衝突速度を組み合わせた条件で実験を行い、衝突中にヘルメットが脱落※注するか否かを検証し、以下の結果を得た。

◇ 81 回の実験中、30 回の条件でヘルメットの脱落を確認（詳細は実験報告書 P11-12 参照）

- ヘルメットのサイズが不適正な場合、顎紐をしっかり結束した状態でも HA 形と OF 形ヘルメットで脱落が発生
- ヘルメットのサイズが適正で顎紐をしっかり結束した場合、全てのタイプのヘルメットで脱落は発生しなかった
- ヘルメットのサイズが適正であっても顎紐が緩い場合、HA 形ヘルメットで脱落が発生
- ヘルメットのサイズが適正であっても顎紐が未結束の場合、全てのタイプのヘルメットで脱落が発生
- 「脱落なし」のケースでも、顎紐が未結束状態では頭部に対しヘルメットが大きくずれることを確認

※注：脱落には、頭部を保護するヘルメットとしての機能を果たさない状態を含む

■ 今回の実験から言えること

① 頭のサイズに合ったヘルメットの着用が重要

・サイズが不適切な場合、顎紐を適切に結束しても脱落する場合がある

② 顎紐は緩みなくしっかり締めることが重要

・顎紐を締めない（未結束）状態では、どのタイプのヘルメットも低い速度域で脱落する

・顎紐が緩い状態だと、ヘルメットサイズが適切であっても脱落する。また、今回の実験よりも高い速度域、転倒等による衝撃、回転による遠心力などにより脱落する可能性が考えられる

※自分の頭のサイズに合ったヘルメットを選び、
短距離移動でも必ず顎紐を緩みなくしっかり締めましょう！

ヘルメット脱落メカニズム解明に向けた
実験報告書

2024 年 3 月

一般社団法人 日本自動車工業会

ヘルメット脱落メカニズム解明に向けた実験 参画団体

発行責任	一般社団法人 日本自動車工業会 二輪車委員会 二輪車企画部会 安全教育分科会
協賛	一般社団法人 日本ヘルメット工業会
協力	一般社団法人 中古二輪自動車流通協会
協力	一般社団法人 全国二輪車用品連合会
協力	日本自動車輸入組合
オブザーバー	警察庁 交通局交通企画課
オブザーバー	国土交通省 物流・自動車局 車両基準・国際課
オブザーバー	公益財団法人 交通事故総合分析センター
有識者	日本大学理工学部 機械工学科 教授 関根太郎

目　次

1. はじめに ---------- 1

2. ヘルメットの引張実験 ---------- 1
2.1　実験概要 ---------- 1
2.2　供試ヘルメット ---------- 1
2.3　ダミー ---------- 2
2.4　実験方法 ---------- 3
2.5　実験結果 ---------- 4

3. ヘルメットの脱落再現実験 ---------- 6
3.1　実験概要 ---------- 6
3.2　供試ヘルメット ---------- 7
3.3　ダミー ---------- 8
3.4　実験方法 ---------- 9
3.5　実験結果 ---------- 10
3.5.1　ヘルメットの脱落状況 ---------- 12
3.5.2　ヘルメットの脱落パターン ---------- 13
3.5.3　ヘルメットの脱落有無の比較 ---------- 14

4. まとめ ---------- 17

5. おわりに ---------- 17

付録 1：引張実験の測定データ（引張荷重） ---------- 19
付録 2：引張実験の実験記録（連続写真） ---------- 20
付録 3：衝突速度の実測値 ---------- 26
付録 4：ヘルメットの脱落再現実験の実験記録（連続写真） ---------- 27

ヘルメット脱落メカニズム解明に向けた実験

１．はじめに

1995 年から 2020 年の二輪車が関与した交通事故を（公財）交通事故総合分析センターが分析した結果，二輪車乗員の死者数の 3 割でヘルメットの脱落が継続的に発生していると報告された．さらに，同分析では排気量が小さいバイクほどヘルメットの脱落率が高く，かつ，危険認知速度でみても 20-30 km/h の低い速度域での脱落率が高い結果となっている．その一つの要因として，通勤/通学利用や買い物等で日常の足として使用している小型限定普通二輪車使用者に対して，ヘルメットの有効性に関する啓発が届かない，また，通勤/通学を見るとハーフ形（いわゆる半キャップと呼称されるもの）のヘルメットが多いことに加え，フルフェース形やオープンフェース形の使用者でも顎紐を締めないあるいは緩んだ状態で乗車しているケースが多数存在しているのが現状であり，二輪事故による死者数の低減には，ヘルメットを正しく着用するための啓発活動が益々重要となっている．

一方，二輪車乗員のヘルメットの脱落に関する研究は，2007 年度自工会受託事業で実施されており，ハーフ形およびフルフェース形の 2 種類のヘルメットを人体模型（以下，「ダミー」という）に着用させ，顎紐を適正に結束/緩みがある/未結束の状態で実験がおこなわれた．その結果，顎紐が未結束の状態において，ヘルメットが脱落することを確認している．本研究事業では，供試ヘルメットに着用割合の高いオープンフェース形を加えるともに，顎紐に緩みがあった場合やヘルメットのサイズ違いによる影響を検証することとした．

本報告書は，上記の状況を踏まえて，2023 年度に実施した以下の項目に関する研究成果をまとめたものである．

- ヘルメットの引張実験
- ヘルメットの脱落再現実験

２．ヘルメットの引張実験

2.1　実験概要

ヘルメットを着用した状況で，どの方向に力が加わるとずれや脱落に違いが生じるかを検証するために鉛直方向，斜め前方および斜め後方からヘルメットを引っ張り，脱落するまでの荷重を測定した．実験に用いたヘルメットは，ハーフ形（以下，「HA 形」という），オープンフェース形（以下，「OF 形」という）およびフルフェース形（以下，「FF 形」という）の 3 種類である．

2.2　供試ヘルメット

表 2.1 にヘルメットの仕様を示し，図 2.1 に実験に使用した 3 種類のヘルメットを示す．実験に使用したヘルメットはいずれも市販品であり，HA 形はＡ社製，OF 形はＢ社製，FF 形はＣ社製である．ヘルメットは，ダミー頭部の頭囲（58 cm）から M サイズ目安に選定した．

表 2.1　供試ヘルメットの仕様

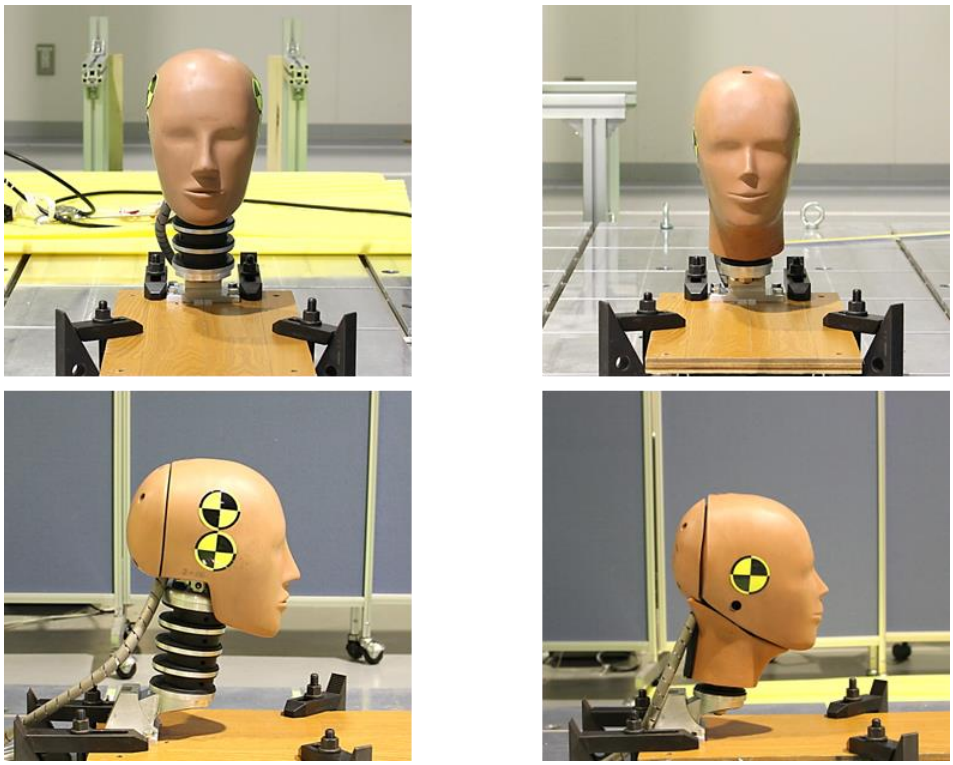
項目	HA 形	OF 形	FF 形
モデル名	–	–	–
サイズ	フリー(57-60 cm 未満)	57-58 cm	M　57 cm
重量(実測値)	0.68 kg	1.36 kg	1.36 kg
製造者	A社	B社	C社

HA 型　　OF 型　　FF 型

図 2.1　供試ヘルメットの外観

2.3　ダミー

図 2.2 にダミー頭部/頚部の外観を示す．実験に使用したダミーは 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，車いす，医療機器，スポーツ用品などの装備に関する傷害評価に広く用いられている．本実験ではヘルメットのサイズを Hybrid-III AM50 に合わせて M サイズとしたが，適切なサイズを選択しなかった場合の影響を把握するため，頭囲が 54 cm の小柄なダミーHybrid-III AF05 も合わせて使用した．本報告では Hybrid-III AM50 を「標準ダミー」，Hybrid-III AF05 ダミーを「小柄ダミー」として区別する．

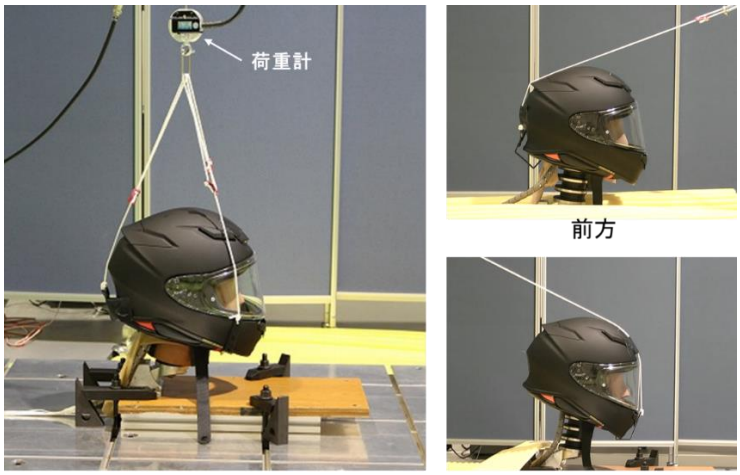


標準ダミー（Hybrid-III AM50）　　小柄ダミー（Hybrid-III AF05）

図 2.2　ダミー頭部/頸部の外観

2.4　実験方法

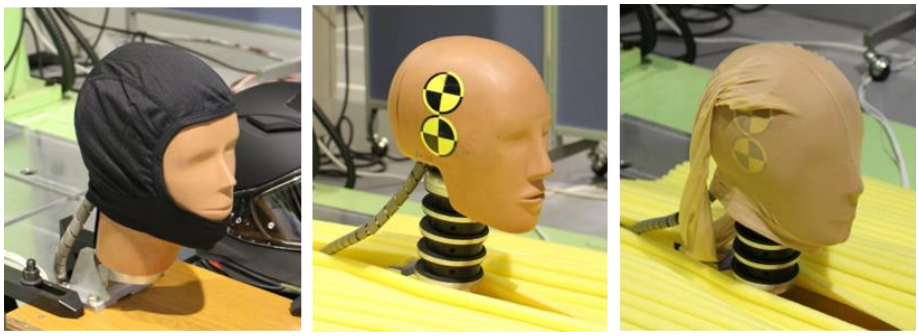
図 2.3 に引張実験の状況を示す．引張方向は鉛直，斜め前方および斜め後方の 3 方向とした．実験はダミーの頭部/頸部を定盤上に固定し，着用したヘルメット（但し，顎紐は未結束）の下端にフックをかけて糸で引っ張る方法で実施した．実験では糸の末端に荷重計（共和電業社製：LTZ-100KA-J）をセットして，その引張荷重を測定するとともに，ビデオカメラによる撮影をおこなった．なお，2007 年度の研究事業では，ダミーの頭部にポリエステル布（ストッキング）を被せて実施していた．その理由としてはダミー表皮が塩化ビニールで成形されているため，人の皮膚に比べて摩擦が大きく，ヘルメットの脱着性に差異が生じるとの判断による．同様な考え方から，本実験においても，図 2.4 のように，ダミーの表皮にフェースマスクを被せた．また，比較検証のため，一部の実験ではインナーなし（標準状態）とストッキングを被せた条件でも実施した．



前方

鉛直方向　　後方

図 2.3　引張実験の状況



フェースマスク　　インナーなし　　ストッキング

図 2.4　頭部に着用したインナーと非着用の状態

2.5　実験結果

表 2.2 にヘルメットの種類およびダミー別の引張荷重の最大値を示し，実験の一例として，図 2.5 および 2.6 に OF 形と FF 形の実験状況を示す．実験では顎紐を未結束の状態とし，ヘルメットが脱落するまで引っ張り続けたが，FF 形の斜め前方では，チンガード部が頚部に接触して動きが抑えられたため，脱落しない状態で終了させた．仮に脱落時まで引っ張り続けた場合は，同表で示した荷重値よりも高くなると思われる．

全体的にみると，小柄ダミーおよび標準ダミーともに，FF 形の引張荷重が他のタイプに比べて高く，ヘルメットが脱落しにくい状況であった．また，HA 形ではダミーに関係なく，どの方向に引っ張った場合でも発生する荷重は小さく，ほぼヘルメットの重量と同等であった．ダミー別に比較すると，標準ダミーの方が，すべての条件で引張荷重が高く，特にフェースマスク着用での鉛直方向では，標準ダミーの引張荷重が小柄ダミーに対して 4.7 倍ほど高い値を記録した．また，斜め前方あるいは斜め後方からの引っ張りでは，頭部とヘルメットが最も接している位置（耳）を中心に回転しながら脱落していることがわかった．このため，実際の事故では鉛直方向より左右軸回りにヘルメットが回転する場合に脱落の可能性がより高くなると考えられる．

表 2.2　ヘルメットのタイプ別およびダミー別の引張荷重（最大値）

(1) 小柄ダミー

ヘルメットのタイプ	引張方向	引張荷重(N)	
		インナーなし	フェースマスク
HA形	鉛直	ー	6.0*
	前方		9.7
	後方		8.6
OF形	鉛直	67.6	53.4
	前方	ー	32.4
	後方	ー	26.0
FF形	鉛直	195.7	93.2
	前方	ー	94.9
	後方	ー	54.3

*)フェースマスクの代わりにストッキングを着用

(2) 標準ダミー

ヘルメットのタイプ	引張方向	引張荷重(N)	
		インナーなし	フェースマスク
HA形	鉛直	ー	10.2*
	前方		7.3*
	後方		9.2*
OF形	鉛直	94.7	63.0
	前方	98.1	38.7
	後方	47.9	27.4
FF形	鉛直	569.2	441.2
	前方	158.8	143.7
	後方	134.2	76.8

*)フェースマスクの代わりにストッキングを着用

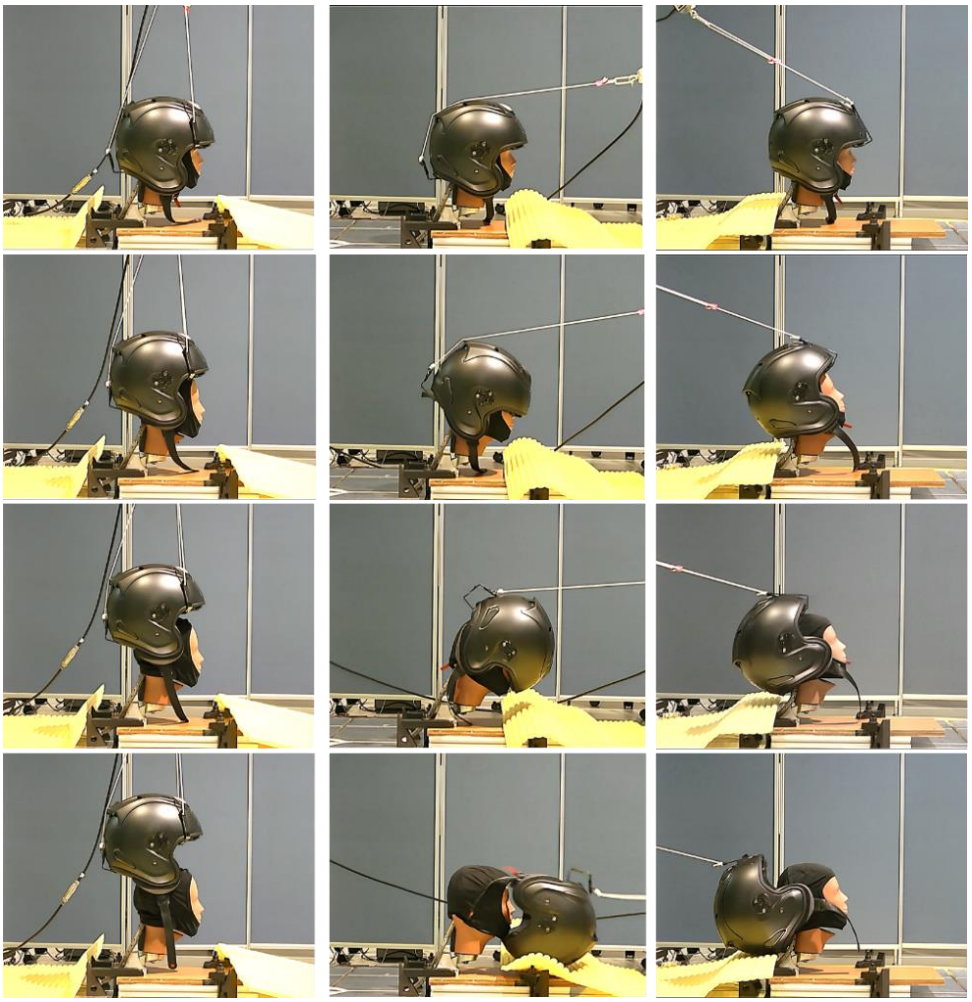


図 2.5　小柄ダミーの引張実験の状況（OF 形）

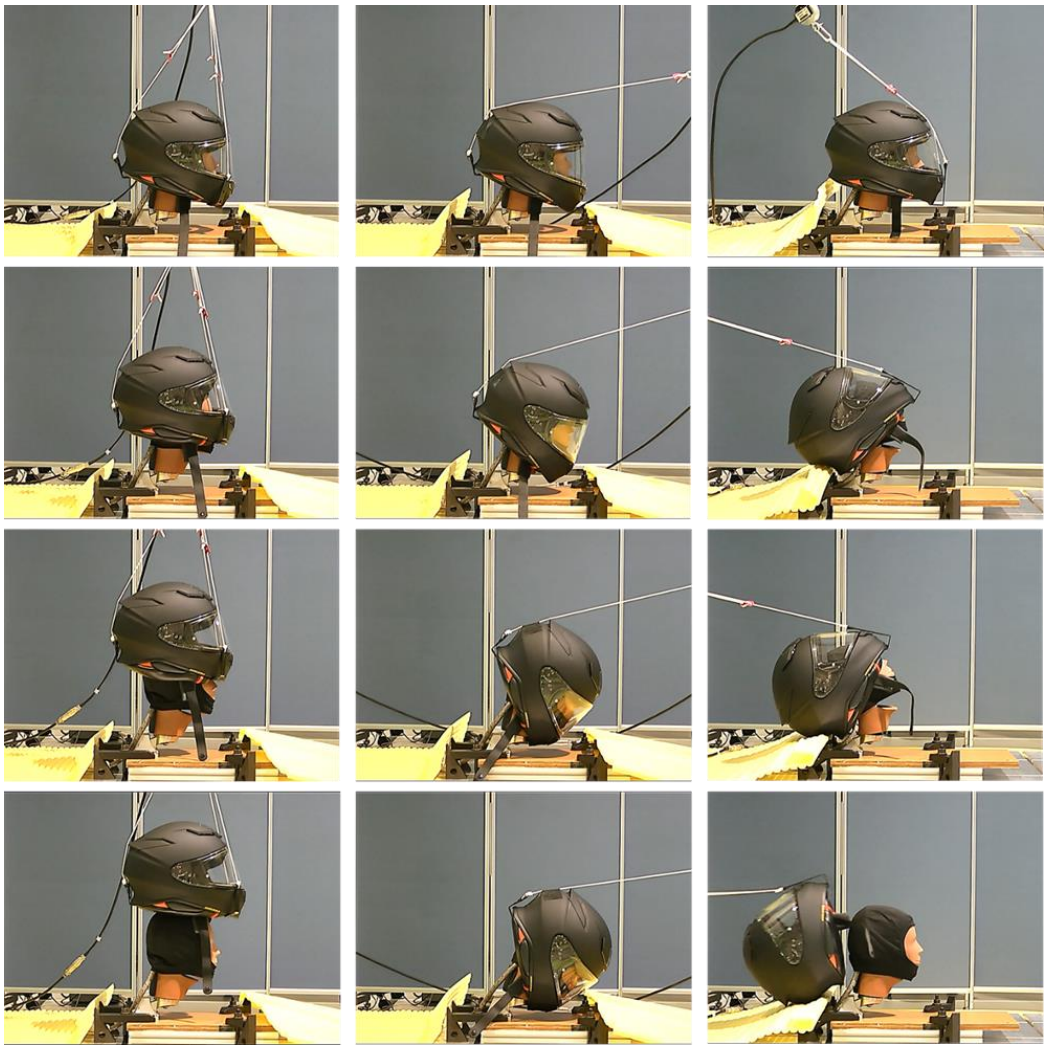


図 2.6　小柄ダミーの引張実験の状況（FF 形）

３．ヘルメットの脱落再現実験

3.1　実験概要

ヘルメットの引張実験の結果からダミー頭部が左右軸まわりに回転するような挙動となった場合に脱落する可能性が高いことがわかったため，これを動的に再現する装置を製作して実験をおこなうこととした．図 3.1 に実験条件の組み合わせを示し，図 3.2 に衝突形態を示す．ヘルメットの種類，ダミー頭部のサイズ，衝突形態，顎紐の状態に加え，衝突速度を組み合わせた条件を設定し，衝突中にヘルメットが脱落するか否かを検証した．

衝突形態のなかで，構造物との衝突に関しては，二輪車乗員が二輪車から分離して，ガードレールの支柱に衝突する状況を想定し，140 mm の円柱を衝突対象物として設定した．この円柱衝突では，ヘルメットが直接打撃を受けるが，前面衝突（以下，「前突」という）および追突では慣性力によって頭部が振られるのみで打撃は発生しない．また，ダミーの衝撃量を比較するため，ヘルメットを着用しない状態での実験も追加した．

本報告書ではヘルメットの脱落の定義を「実験後，ヘルメットが衝突前とほぼ同じ位置にとどまっていない状態」とした．

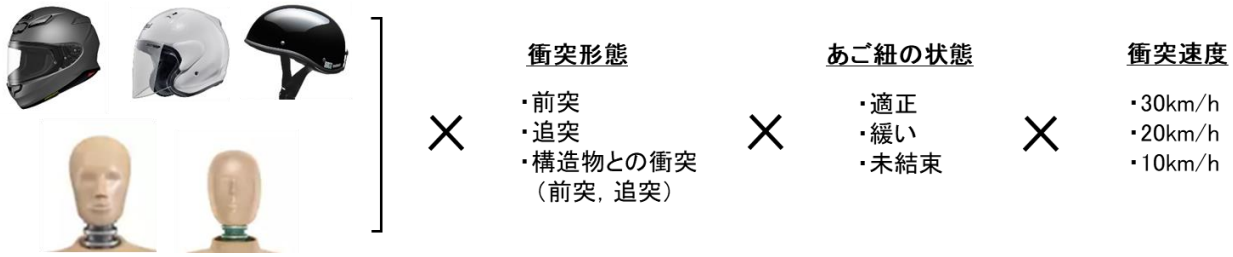


図 3.1　実験条件の組み合わせ

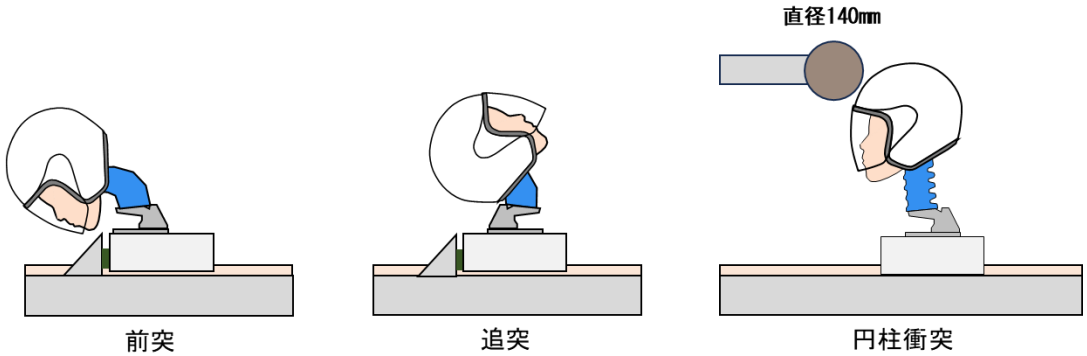


図 3.2　衝突形態

3.2　供試ヘルメット

表 3.1 にヘルメットの仕様を示す．脱落再現実験で使用したヘルメットは，2 章の引張実験の 3 種類の他に OF 形と FF 形のヘルメットを追加した．図 3.3 に追加ヘルメットの外観を示す．本報告書では，追加したヘルメットを識別するために，OF2，FF2 と表記する．追加ヘルメットのサイズは，双方ともに M である．

顎紐の締め方は，以下の 3 通りとした．

・適正　：顎に接触するまで顎紐を締めた状態
・緩い　：顎紐と顎の間に 40 mm の隙間がある状態（図 3.4 参照）
・未結束：顎紐を締結していない状態

表 3.1　ヘルメットの仕様

項目	HA 形	OF 形	FF 形	OF2	FF2
モデル名	－	－	－	－	－
サイズ	フリー （57－60cm 未満）	57－58cm	M 57cm	M （57－60cm 未満）	M 57 cm
重量 （実測値）	0.68 kg	1.36 kg	1.36 kg	1.28 kg	1.52 kg
製造者	A 社	B 社	C 社	D 社	E 社

OF2　　FF2

図 3.3　追加ヘルメットの外観

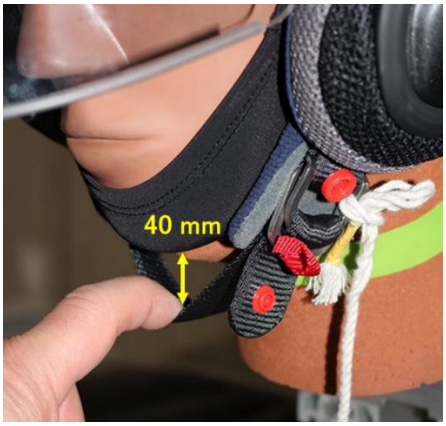


図 3.4　顎紐が緩んだ状態

3.3　ダミー

図 3.5 に頭部加速度計および頚部荷重計の取り付け位置と測定項目を示す．実験に使用したダミーは 2 章の引張実験と同一仕様であるが，頭部に加速度計，頚部に荷重計を取り付け，衝突時の衝撃量を測定した．加速度計および荷重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（共和電業社製：DIS-2000A）で記録し，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実施した．これらのデータ取得およびフィルター処理方法については，国際規格である ISO 6487：Road vehicles － Measurement techniques in impact tests － Instrumentation に準拠した．

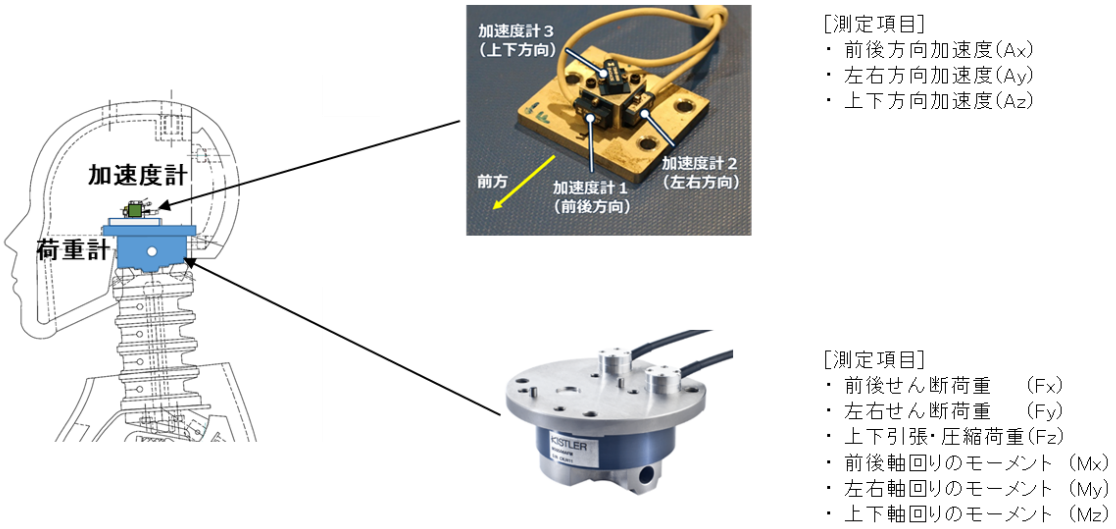


図 3.5　頭部加速度計および頚部荷重計の取り付け位置と測定項目

3.4　実験方法

図 3.6 に実験装置の外観を示し，図 3.7 に装置の概要を示す．実験装置はモータに接続された牽引ワイヤで台車を加速させる方式とした．ダミーの頚部はブラケットを介して台車上に固定し，目標速度に達した後，ストッパーで台車が停止するため，その慣性力によって頚部が前傾（追突では後傾）することになる．この衝突中の頭部/頚部の挙動は，毎秒 500 コマで撮影が可能な高速度ビデオカメラ（ナックイメージテクノロジー社製：MEMRECAM GX）を用いて映像を取得した．

図 3.6　実験装置の外観

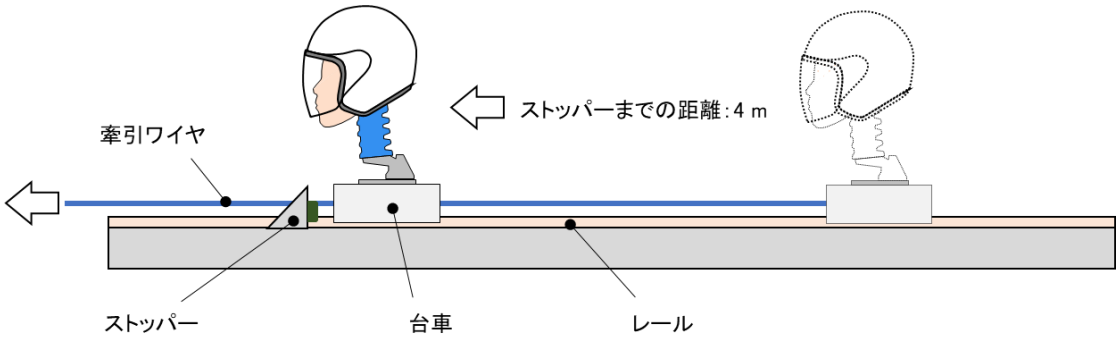


図 3.7　実験装置の概要

図 3.8 に実験時の頭部の設定角度を示す．前突条件では二輪車乗員が前傾姿勢で運転することを考慮し，頚部の取り付け角度を設定最大角度である 22 度まで前傾させた．一方，追突条件では，信号待ち等で停止中の状態を想定して頚部が直立した状態（４度前傾）に設定した．

HA 型のヘルメットを小柄ダミーの頭部に着用させると頭部とヘルメット間に隙間が生じ，台車が加速する際にヘルメットがずれてしまうため，この条件のみ左右の側頭部（耳の上側）に厚さ 10 mm×長さ 100 mm×幅 50 mm のウレタンパッドをフェースマスクの内側に挿入して実施することとした．

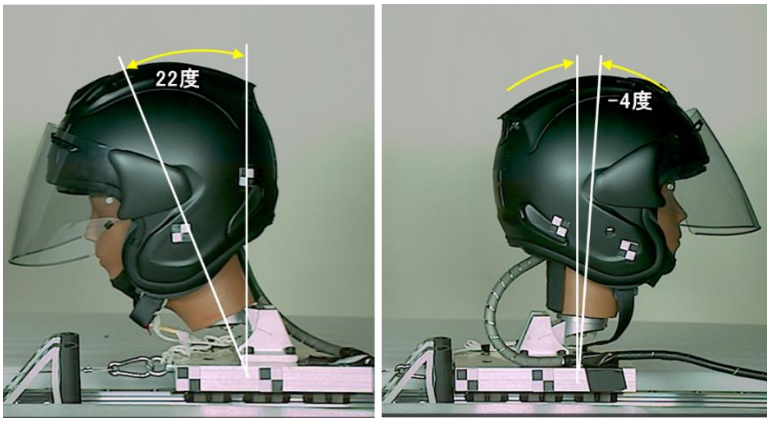


図 3.8　実験時の頚部の設定角度

3.5　実験結果

実験は前突と追突が 72 回，円柱衝突が 9 回およびヘルメット非着用が 5 回の合計 86 回を実施した．表 3.2 から表 3.4 に実験結果の一覧を示す．同表の頭部加速度および頚部荷重・モーメントについては，＋側と−側の感度があるため，絶対値の考え方にもとづき値を記載した（±の符号は無視して，0 点を基準でみた場合の数値の高い方を記載）．なお，20 km/h 以上の速度条件において，頭部の前傾が最大になった時点で台車を停止させるストッパーに顎等が接触する事例がみられた．このため，同表の値はその接触区間を除外して求めている．本実験において，ヘルメット非着用の実験を除いた 81 回のうち，30 回の実験でヘルメットの脱落が発生する結果となった．

表 3.2　前突および追突の実験結果

実験番号	ヘルメットのタイプ	頭部のサイズ	顎紐の状態	衝突速度	衝突方向	脱落の有無	頭部加速度(m/s²)				頸部荷重(N)			頸部モーメント(Nm)		
							3軸合成	前後	左右	上下	前後	左右	上下	前後軸回り	左右軸回り	上下軸回り
1	HA	小柄	適正	30	前突	脱落	2271.8	−1375.8	−82.0	1928.0	4130.1	−139.0	6718.4	−5.7	−135.6	3.0
2				20		―	1745.6	−699.3	−35.9	1711.2	2200.1	−77.9	5641.4	4.2	−106.5	2.9
3				10		―	522.2	−234.6	−16.5	483.5	708.1	−26.8	1785.7	−1.7	−40.5	0.7
4			緩い	20		脱落	1895.8	−740.8	40.6	1868.3	2223.5	−86.4	6085.5	−3.4	−107.9	3.2
5						脱落	1699.9	−629.0	−30.9	1677.5	1869.9	−72.3	5307.2	−3.4	−96.0	3.0
6				10		―	341.0	−157.3	−9.3	324.6	527.2	−27.4	1228.7	1.4	−33.3	0.5
7			未結束			―	532.0	−210.0	−9.7	490.4	664.3	−31.9	1749.5	−2.1	−39.3	−0.6
8						脱落	513.0	−212.2	−9.8	467.1	648.0	−24.3	1647.4	−1.6	−39.6	−0.6
9	OF	小柄	適正	30	前突	脱落	2599.3	−1502.1	−75.4	2332.5	4363.0	−105.2	8061.1	−8.2	−135.8	3.2
10				20		―	1816.7	−716.7	−56.3	1786.1	2127.8	−62.4	6031.2	−4.0	−103.8	3.3
11			緩い	30		脱落	2530.3	−1462.1	−64.3	2246.6	4271.5	−72.1	7664.9	−10.0	−135.0	2.8
12				20		―	1891.6	−713.7	−45.1	1865.4	2128.7	−56.1	6213.8	−4.4	−104.3	3.6
13						―	1765.2	−626.0	−37.7	1745.3	1890.4	−95.1	5721.6	−5.6	−94.3	3.2
14			未結束	30		脱落	2358.0	−1566.6	64.0	1993.2	4403.6	−103.9	6949.3	−8.0	−135.3	2.7
15				20		―	1907.1	−715.7	−43.4	1880.0	2092.4	−48.3	6321.4	−4.7	−103.1	3.0
16	FF	小柄	適正	30	前突	―	3053.1	−1343.3	−74.9	2763.4	3933.8	−124.9	9029.1	−7.4	−136.0	4.6
17			緩い			―	2831.0	−1487.4	−98.3	2524.6	4190.9	−150.6	8735.3	6.1	−136.0	3.9
18			未結束			脱落	2795.2	−1446.0	−90.4	2509.7	4173.5	−180.0	8507.0	5.1	−136.0	3.7
19				20		―	1907.2	−706.0	−41.1	1883.1	2119.8	−79.1	6077.0	−6.0	−100.3	3.3
20						―	1797.9	−626.0	−41.7	1779.0	1871.0	−64.0	5831.1	−5.0	−92.3	3.4
21	HA	小柄	適正	30	追突	―	501.6	442.8	−71.4	402.4	−1076.4	−121.1	1423.4	−5.4	110.0	2.5
22				20		―	369.8	323.1	−20.8	−367.3	−946.5	63.4	−1254.1	−2.9	90.9	−1.3
23			緩い	10		脱落	200.0	154.5	15.8	−199.8	−463.3	−42.7	−690.4	−1.9	50.8	1.0
24			未結束			脱落	196.6	163.4	−8.5	−196.5	−491.9	36.1	−668.2	2.2	49.7	−0.7
25	OF	小柄	適正	30	追突	―	762.8	727.8	52.7	549.4	−1340.9	108.8	2006.9	8.5	121.9	3.5
26			緩い			―	636.6	437.1	−46.3	498.5	−1279.7	70.5	1524.6	−5.3	125.9	2.3
27			未結束	30		脱落	725.6	482.4	−50.0	581.2	−1418.9	−103.4	2015.3	−7.3	136.1	−3.5
28				20		脱落	442.4	310.1	30.9	−391.0	−1004.7	73.7	−1322.8	2.9	97.5	−1.4
29				10		脱落	192.6	144.8	−8.8	−192.1	−455.8	35.2	−599.6	−1.9	46.2	−0.6
30	FF	小柄	適正	30	追突	―	765.3	487.5	52.6	597.1	−1382.1	101.7	1932.3	6.5	135.8	3.0
31			緩い			―	757.2	504.1	32.8	597.3	−1463.6	91.7	1972.2	7.3	136.1	−3.8
32			未結束			―	853.5	538.5	−59.0	676.4	−1528.1	91.7	−1901.3	5.2	136.2	4.9
33	HA	標準	適正	30	前突	―	2514.7	−893.6	40.8	2456.4	3387.6	−60.0	9548.7	−11.3	−15.4	4.4
34			緩い			脱落	2360.2	−878.2	40.7	2318.8	3369.5	−151.7	9079.7	12.8	−14.6	4.9
35				20		―	1624.7	−450.9	34.4	1618.1	1769.8	−74.8	5826.4	5.2	−7.9	3.4
36				10		―	842.1	−164.6	22.7	828.6	651.4	−47.5	2974.8	−3.3	−3.0	−1.2
37			未結束	20		脱落	1569.1	−481.6	22.6	1562.4	1919.1	57.3	5805.0	7.0	−8.8	3.4
38				10		脱落	758.6	−174.2	20.4	741.2	592.1	14.4	2868.5	3.0	−2.9	0.9
39	OF	標準	適正	30	前突	―	2523.6	−1012.3	−138.8	2482.7	3674.5	−84.5	9615.2	−15.6	−15.5	6.1
40				20		―	1739.1	−496.8	−37.7	1719.1	2019.8	−57.9	7036.4	−7.0	−8.9	4.0
41			緩い	30		―	2485.4	−1023.1	33.9	2458.3	3621.9	−59.0	9323.3	−11.1	−16.4	5.6
42				20		―	1843.3	−474.1	−33.6	1830.5	1893.6	−97.6	6953.8	−4.9	−7.9	4.1
43			未結束	30		脱落	2471.8	−908.5	38.9	2420.6	3398.4	−47.5	9546.0	−10.2	−15.1	4.7
44				20		―	1691.5	−439.8	−42.4	1680.2	1817.1	−35.4	6534.1	6.2	−11.5	3.8
45	FF	標準	適正	30	前突	―	2544.4	−889.4	−101.2	2524.6	3323.2	70.8	9844.1	−13.6	−15.5	5.1
46			緩い			―	2565.0	−843.5	−86.5	2547.4	3208.3	−79.1	9225.5	−13.1	−14.7	4.8
47			未結束			脱落	2321.9	−822.2	−44.0	2254.9	3247.7	−91.1	9338.7	−12.4	−14.4	5.2
48				20		―	1405.5	−419.8	30.8	1390.3	1780.5	−41.3	5505.6	−5.6	−7.7	2.7
49	HA	標準	適正	30	追突	―	1348.2	−655.1	−167.4	−1338.1	−1427.4	−148.1	2363.6	−6.4	10.7	3.4
50			緩い			脱落	773.4	−745.9	−257.9	−495.4	−1543.3	−66.5	−1516.4	−5.4	10.2	6.1
51				20		脱落	318.4	302.4	−66.5	−314.6	−1001.9	−75.0	−1315.3	4.4	6.6	−2.5
52				10		―	159.8	153.9	−18.5	−108.8	−469.1	33.2	−484.6	−1.6	3.2	−1.5
53			未結束			脱落	149.4	141.7	20.9	−104.3	−478.1	−36.5	−458.5	1.8	3.1	1.2
54	OF	標準	適正	30	追突	―	2293.2	−1705.0	−392.1	−1808.9	−1692.2	−121.1	2095.5	6.6	11.6	−4.9
55			緩い			―	1419.0	455.8	−189.5	−1391.3	−1652.6	−90.3	−1836.5	5.4	11.4	−4.0
56			未結束	10		脱落	146.3	137.1	16.2	−118.6	−427.2	45.0	−550.9	−2.6	3.3	−1.7
57	FF	標準	適正	30	追突	―	659.1	468.5	−148.9	−644.1	−1473.8	−70.8	1853.2	5.8	11.6	4.2
58			緩い			―	559.0	473.4	−60.1	298.5	−1193.6	−168.2	1577.9	7.2	10.7	3.9
59			未結束			―	1765.3	500.4	−123.9	−1696.7	−1348.9	−117.2	−1825.8	−11.3	11.2	5.0
60	OF2	小柄	緩い	30	前突	脱落	2491.4	−1335.6	−63.3	2211.0	3965.3	−161.0	7355.8	−9.6	−135.2	3.8
61				20		―	1793.9	−709.3	−40.4	1768.4	2137.1	−95.6	5709.4	−2.7	−105.8	3.4
62			未結束			脱落	1850.0	−747.1	−44.7	1827.8	2236.5	−83.7	6035.2	−3.3	−108.8	3.4
63				10		―	350.5	−153.0	−14.5	320.6	480.5	−16.2	1222.6	−2.0	−32.9	0.8
64	FF2	小柄	未結束	20	前突	脱落	1809.7	−786.0	−35.7	1769.8	2401.4	−78.1	5888.8	−3.1	−116.3	3.2
65				10		―	352.8	−157.2	10.9	327.6	509.1	−23.1	1266.8	−1.9	−33.3	−0.7
66				30	追突	―	710.8	518.5	38.8	−595.9	−1548.2	108.3	−2099.5	4.4	136.1	3.6
67	OF2	標準	緩い	30	前突	―	2446.1	−1032.0	−59.4	2425.5	3654.3	142.1	8790.3	−10.0	−16.8	−3.8
68						―	2487.8	−1049.1	−139.4	2468.6	3623.1	−66.4	8940.5	−10.7	−15.8	4.2
69			未結束	20		脱落	1894.0	−417.7	−50.3	1880.9	1632.0	−202.0	7291.5	−6.6	−7.5	3.2
70	FF2	標準	未結束	20	前突	脱落	2070.7	−412.4	25.7	2057.9	1696.8	−59.5	7239.2	−5.0	−10.8	2.8
71				10		―	575.1	−186.2	24.2	544.1	688.1	−32.2	2272.5	−3.9	−3.0	2.0
72	FF2	標準	未結束	30	追突	―	546.3	496.4	−215.1	−535.7	−1482.9	−47.3	−1841.4	6.4	10.8	5.1

表 3.3　円柱衝突の実験結果

実験番号	ヘルメットのタイプ	頭部のサイズ	顎紐の状態	衝突速度	衝突方向	脱落の有無	頭部加速度(m/s²)				頸部荷重(N)			頸部モーメント(Nm)		
							3軸合成	前後	左右	上下	前後	左右	上下	前後軸回り	左右軸回り	上下軸回り
73	HA	標準	未結束	20	前突	脱落	278.7	−162.4	−33.1	−261.5	655.1	−78.6	−2477.5	7.6	−6.1	3.6
74	OF					脱落	443.6	−334.5	−60.8	−405.7	−846.2	−79.2	−3471.5	−13.9	−5.3	−2.4
75	FF			30		—	1080.4	−1002.3	−366.9	−981.9	−1546.4	−60.7	−3800.7	6.5	−9.9	3.4
76				20		—	686.0	−683.7	−79.4	−370.3	−716.2	−65.4	−3734.1	−4.1	−5.5	−3.2
77	HA			20	追突	—	1022.0	692.9	−53.5	−962.5	1237.0	−117.1	−3998.1	−5.9	8.7	2.0
78	HA					脱落	981.3	930.6	68.4	−571.4	724.7	−110.2	−2808.5	−4.9	9.5	2.3
79	OF					—	949.7	780.4	−68.1	−896.3	1419.5	−90.0	−4297.5	4.9	8.3	4.5
80	FF					—	934.2	821.8	50.1	−863.7	1493.6	−109.4	−4155.8	5.0	8.9	−2.7
81	FF2					—	945.0	724.0	29.6	−884.8	1517.0	56.3	−4178.0	6.6	8.4	2.3

表 3.4　ヘルメット非着用の実験結果

実験番号	頭部のサイズ	衝突速度	衝突方向	頭部加速度(m/s²)				頸部荷重(N)			頸部モーメント(Nm)			台車加速度(m/s²)
				3軸合成	前後	左右	上下	前後	左右	上下	前後軸回り	左右軸回り	上下軸回り	
82	小柄	20	前突	2028.0	−713.7	−48.9	1991.8	2051.1	−97.0	6200.9	3.2	−102.3	3.7	−1534.7
83	小柄	20	追突	391.1	303.7	−16.1	−327.4	−900.8	57.7	1125.9	−3.8	89.9	−1.5	−1855.6
84	標準	30	前突	2639.0	−941.1	−234.9	2630.3	3278.6	−83.2	9159.3	9.1	−14.2	−4.6	−5196.7
85	標準	20	前突	1765.3	−496.8	35.0	1751.0	1892.9	−151.6	6650.6	5.3	−8.9	3.7	−1574.9
86	標準	20	追突	324.4	303.1	−157.0	−322.1	−998.3	−82.6	−1249.5	4.4	7.2	−1.8	−1412.5

3.5.1　ヘルメットの脱落状況

図 3.9 に衝突速度別，顎紐の状態別でみたヘルメット脱落状況を示す．同図は，ヘルメットが脱落した条件を衝突速度と顎紐の状態別にプロットしたものであり，標準ダミーで顎紐を適切に結束した場合では，すべてのヘルメットで脱落は発生していなかった．なお，本実験では，例えば 30 km/h でヘルメットの脱落が発生しなかった場合（顎紐の状態は同一），20 km/h 以下の実験は実施せずに脱落なしと判断した．

小柄ダミーでは，顎紐を適正に結束した場合でも衝突速度が 30 km/h になると，HA 形および OF 形ヘルメットで脱落が発生していた．OF 形の実験（前突，30 km/h，顎紐：適正）を画像で確認すると，頭部の前傾によりヘルメットに大きな遠心力が加わることで，顎紐が顎下に食い込み，頭部とヘルメット間の隙間が助長されてヘルメットの動きが大きくなっていた．

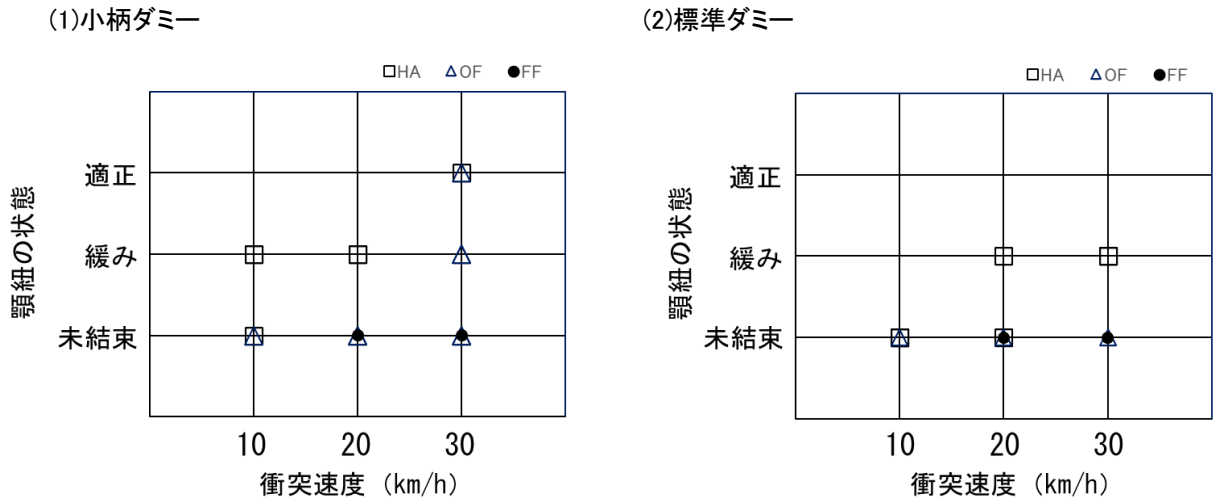


図 3.9　衝突速度別，顎紐別でのヘルメット脱落状況

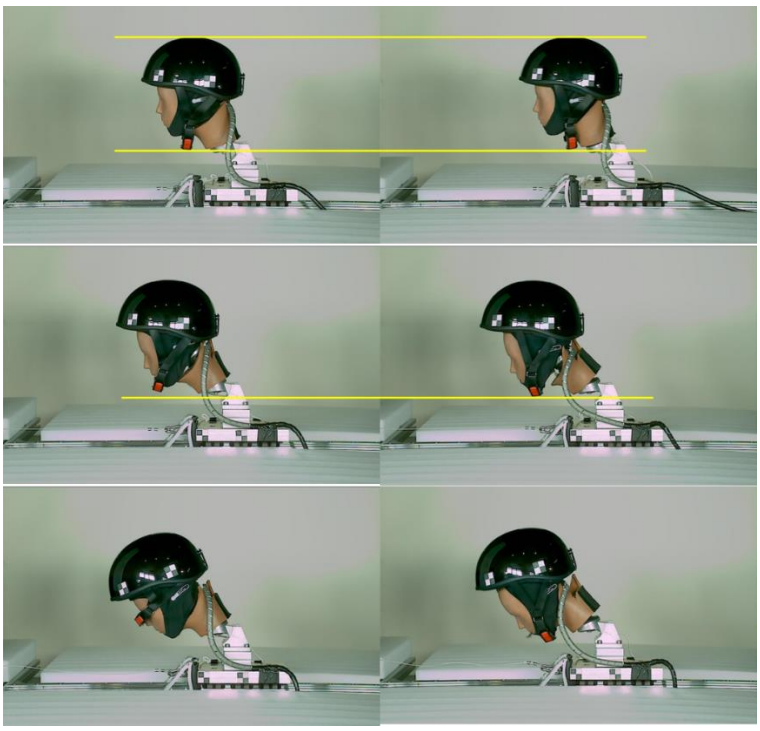
3.5.2　ヘルメットの脱落パターン

図 3.10 にヘルメットが脱落した実験（前突）の連続写真を示す．ヘルメットの脱落は，2 つのパターンがあり，実験 5 と 9 のように衝突方向への前傾時ではなく，リバウンド時に脱落が発生する場合と実験 8，14，18 のように前傾によって衝突方向へ脱落する場合である．前者は顎紐を結束した状態で発生し，後者は顎紐が未結束の状態で発生していた．

実験 5　　実験 9　　実験 8　　実験 14　　実験 18

図 3.10　ヘルメットが脱落した実験の連続写真

図 3.11 に衝突中の顎紐の状態の比較を示す．同図は顎紐が緩い状態で衝突速度が 10 km/h と 20 km/h の場合を比較したものである．衝突速度が 20 km/h の場合，頭部が前傾するタイミングが早いため，顎紐が慣性力で前方へ動きだす前にダミーの顎が引っかかり外れなかった．加えて顎紐の緩みは 40 mm と等しいが衝突瞬間の顎紐の前後の微妙な位置ずれ（10 km/h の方がわずかに前方に位置している）も影響している可能性がある．



10 km/h　　20 km/h

図 3.11　衝突中の顎紐の状態の比較

3.5.3　ヘルメットの脱落有無の比較

図 3.12 に標準ダミーの頚部荷重 - 時間線図の比較を示す．Neck Fx は頚部の前後方向へのせん断荷重であり，胸部に対して頭部が前方に動いた場合が＋側の出力となる．Neck Fz は頚部の上下方向の荷重であり，＋側の出力は引張方向を示している．比較するために用いたデータは次の通りである．

・HA 形

“ヘルメット脱落”　　：実験 34（前突，30 km/h，顎紐：緩い）

“ヘルメット脱落なし”：実験 35（前突，20 km/h，顎紐：緩い）

・OF 形

“ヘルメット脱落”　　：実験 43（前突，30 km/h，顎紐：未結束）

“ヘルメット脱落なし”：実験 44（前突，20 km/h，顎紐：未結束）

・FF 形

“ヘルメット脱落”　　：実験 47（前突，30 km/h，顎紐：未結束）

“ヘルメット脱落なし”：実験 48（前突，20 km/h，顎紐：未結束）

脱落した実験はいずれも衝突速度が 30 km/h の条件であり，頚部荷重は脱落なしに比べ高い値を示した．限られた条件下であるものの標準ダミーが前突した場合，Fx（せん断荷重）が 2,000 N 以上，Fz（引張荷重）が 6,000 N 以上の荷重に達すると，ヘルメットが脱落していた．

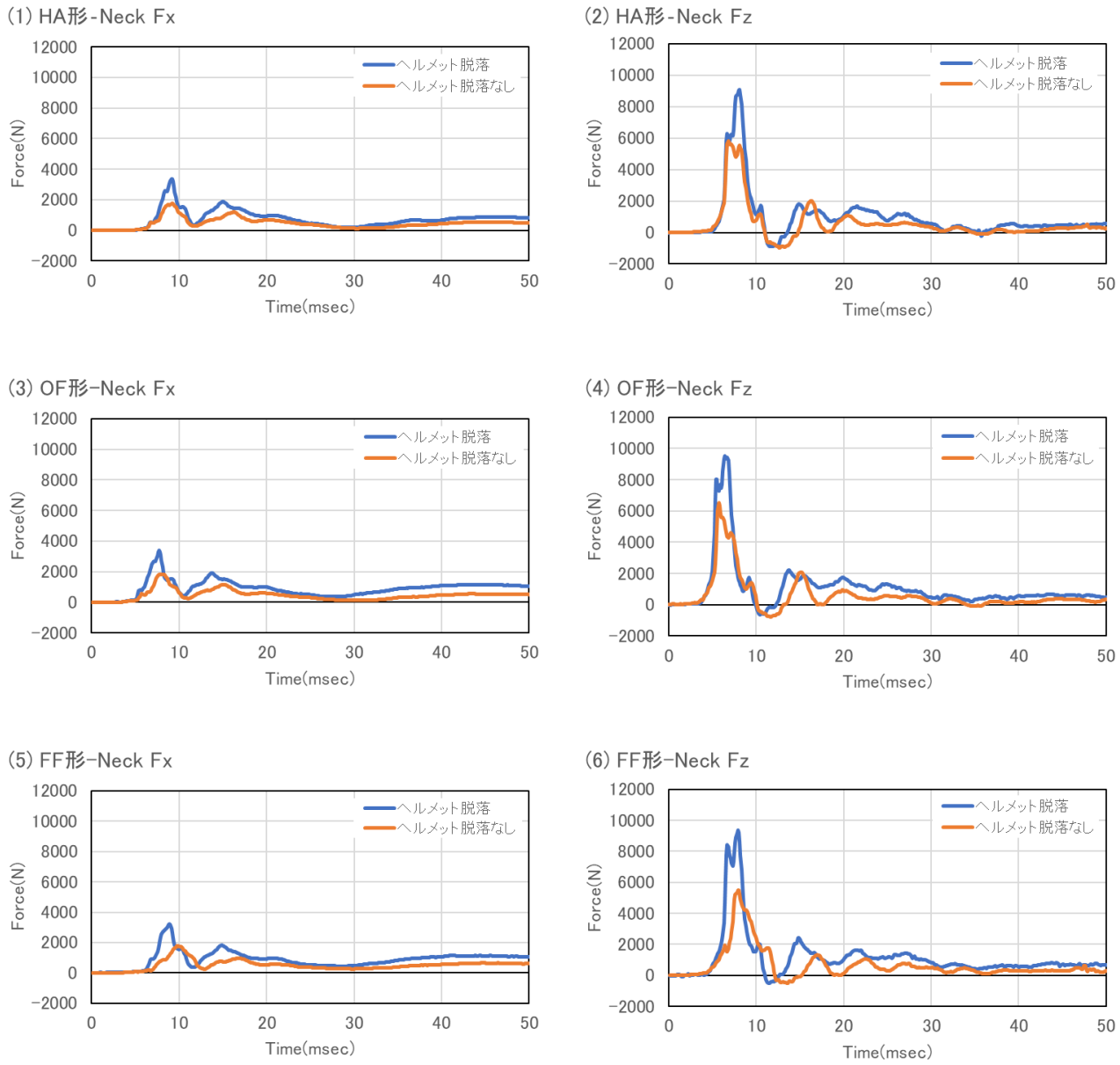
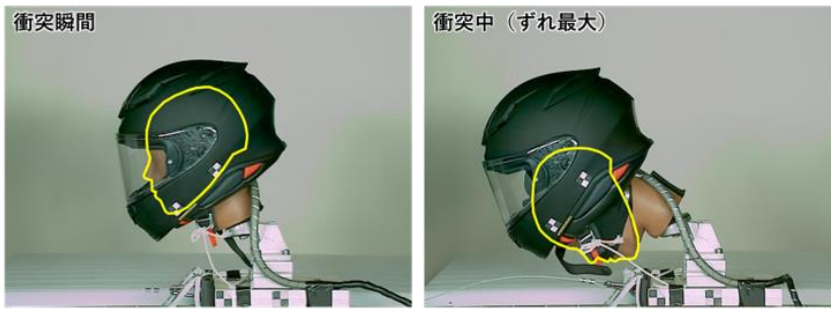


図 3.12　標準ダミーの頚部荷重 - 時間線図

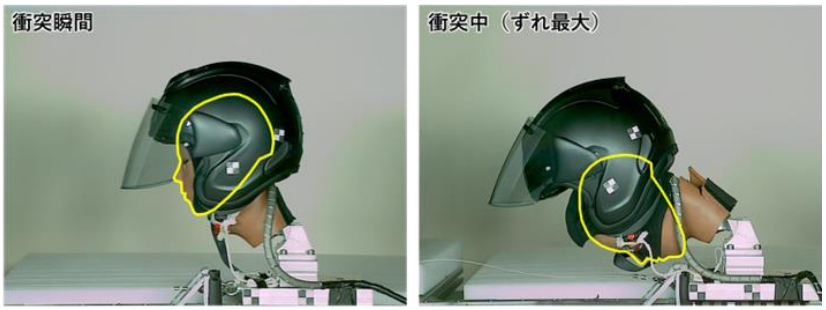
図 3.13 にヘルメットが脱落しなかった実験での衝突中の頭部とヘルメットのずれを示す．ここで示した実験は，衝突形態が前突 20 km/h，顎紐を未結束で実施したものであり，脱落なしと判定した事例である．しかし，衝突中の挙動をみると，ヘルメットの前傾に比べて頭部の方が大きく前傾することで，鼻もしくは額が露出するほどのずれが生じていた．この後，頭部はリバウンド（反衝突方向へ動き出す）することで，ヘルメットを被るような動きとなって，もとの状態に戻る状況であった．なお，衝突速度が 30 km/h に上昇すると，いずれの実験もヘルメットが脱落する結果となっていた．

(1) 実験番号 19



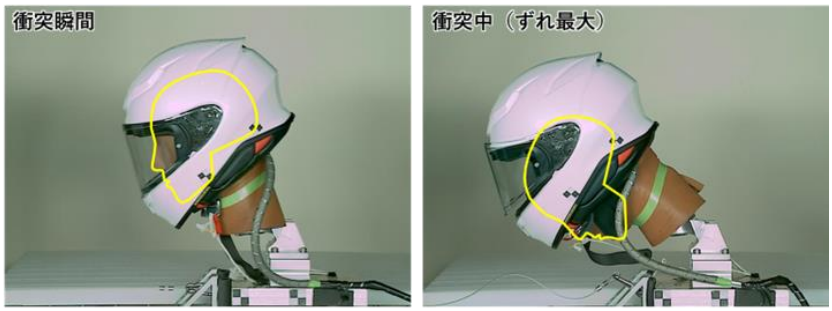
小柄ダミー・未結束・20 km/h

(2) 実験番号 15



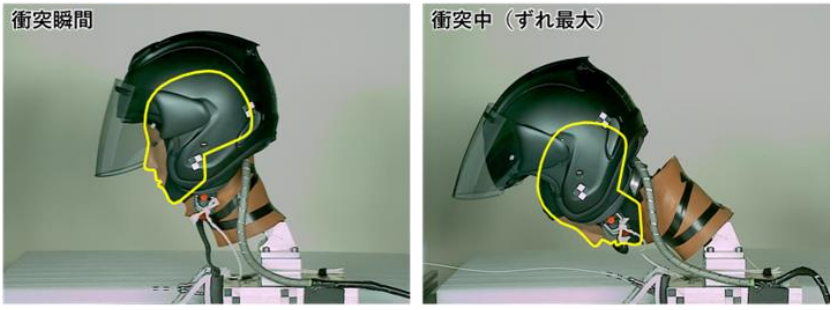
小柄ダミー・未結束・20 km/h

(3) 実験番号 48



標準ダミー・未結束・20 km/h

(4) 実験番号 44



標準ダミー・未結束・20 km/h

図 3.13　ヘルメットが脱落しなかった実験での衝突中の頭部とヘルメットのずれ

４．まとめ

2023 年度に実施した実験をまとめると以下のようになる．

(1) ヘルメットの引張実験

3 種類のヘルメット（HA 形，OF 形，FF 形）に対し，鉛直方向，斜め前方および斜め後方へ静的に引っ張り，ダミー頭部からヘルメットを脱落させる実験をおこない，以下の結果を得た．

- 小柄ダミーおよび標準ダミーともに，FF 形ヘルメットが他のヘルメットに比べて引張荷重が高く，脱落しにくい状況であった．
- HA 形ヘルメットは，どの方向から引っ張った場合でも発生する荷重が小さかった．
- 小柄ダミーと標準ダミーを比較すると，ヘルメットのサイズが適正な標準ダミーの方が引張荷重は高いため脱落しにくいと言える．特に，鉛直方向の引張荷重は，小柄ダミーよりも 4.7 倍高い値であった．

(2) ヘルメットの脱落再現実験

ヘルメットの種類，ダミー頭部の大きさ，衝突形態，顎紐の状態および衝突速度を組み合わせた条件で衝撃実験をおこない，衝突中にヘルメットが脱落するか否かを検証した．

- ヘルメット非着用の実験を除いた 81 回のうち，30 回の条件でヘルメットの脱落が発生した．
- 標準ダミーで顎紐を適正に結束した場合，ヘルメットの脱落は発生しなかった．
- 小柄ダミーで顎紐を適正に結束した場合，衝突速度が 30 km/h になると，HA 形および OF 形ヘルメットは脱落した．
- ヘルメットの脱落は衝突方向への前傾時ではなく，リバウンド時に脱落が発生する場合と衝突方向への前傾時に脱落する場合の 2 つのパターンに分かれた．前者は顎紐を結束した状態で発生し，後者は顎紐が未結束の状態で発生していた．
- 標準ダミーの前突では，頚部の前後方向のせん断荷重が 2,000 N 以上，上方への引張荷重が 6,000 N 以上に達した場合にヘルメットが脱落していた．
- 脱落なしと判定した実験（OF 形と FF 形，前突 20 km/h）でも顎紐が未結束の状態では，ヘルメットの前傾に比べて頭部の方が大きく前傾することで，鼻もしくは額が露出するほどのずれが発生していた．

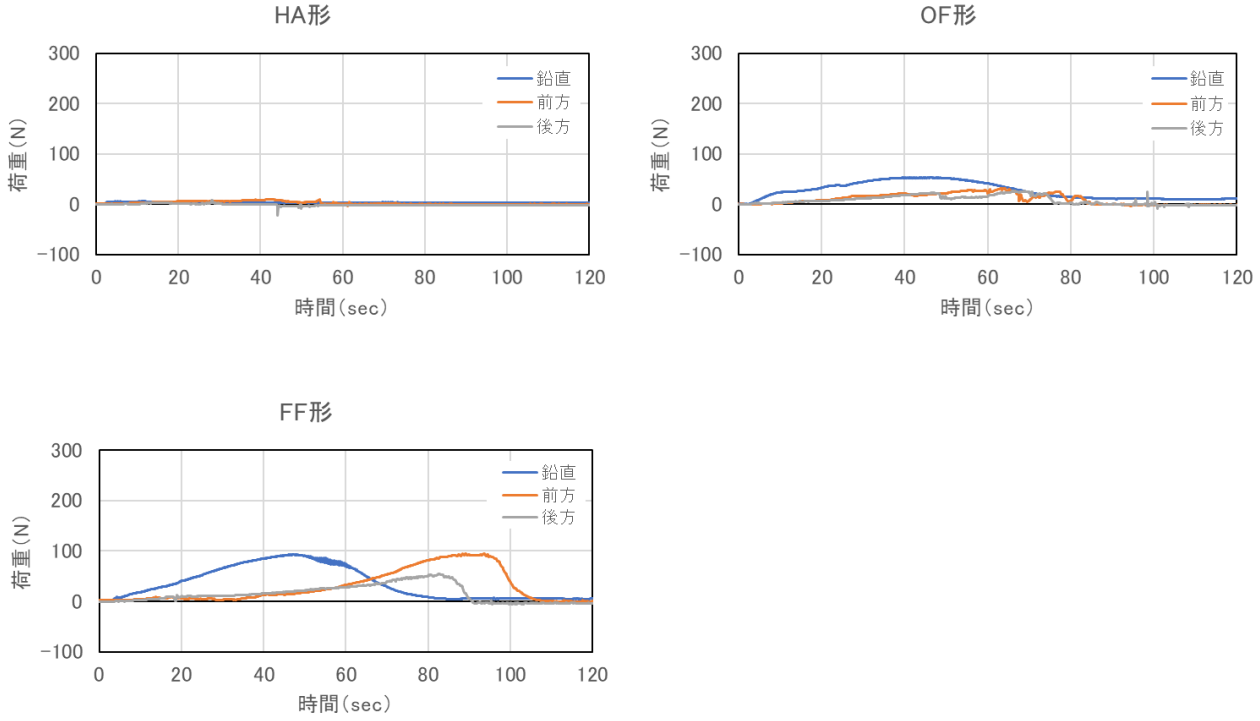
５．おわりに

二輪車乗車中の死者数の約 3 割でヘルメットの脱落が発生している．本研究においても，いくつかの条件下において，ヘルメットが脱落することを確認した．特に，顎紐が未結束，緩んだ状態での脱落に加え，ヘルメットのサイズが不適正な場合（今回はサイズに対して小さい頭部）でも脱落していた．本実験では実車衝突実験とは異なり，ダミーの頭部/頚部のみ使用することで単純化を図り，結果をばらつかせる要因をより低減させる方法を選択した．本研究の結果は，ヘルメット脱落のメカニズム解明の基礎的データとして有効活用できること，加えて，顎紐に緩みがあった場合の危険性の理解の一助となり得るため，一般の方々に対する啓発映像としても活用できると思われる．

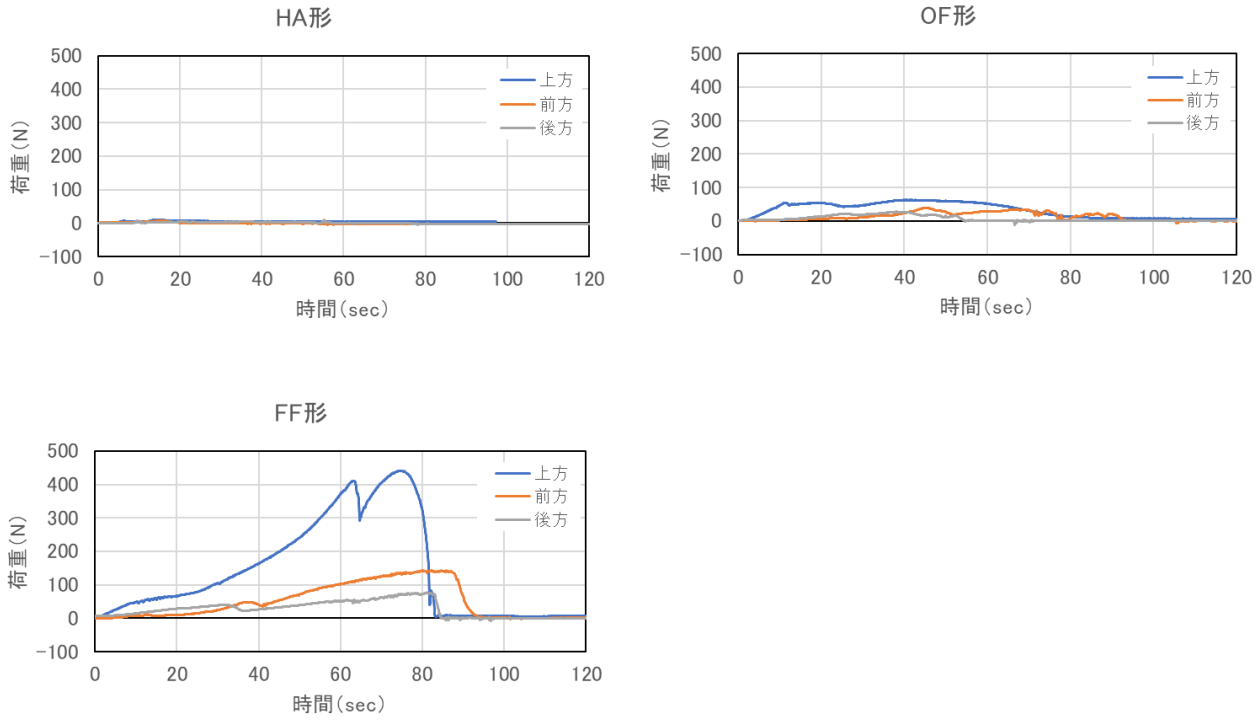
付録

付録 1：引張実験の測定データ（引張荷重） ---------- 19
付録 2：引張実験の実験記録（連続写真） ---------- 20
付録 3：衝突速度の実測値 ---------- 26
付録 4：ヘルメットの脱落再現実験の実験記録（連続写真） ---------- 27

付録１：引張実験の測定データ（引張荷重）

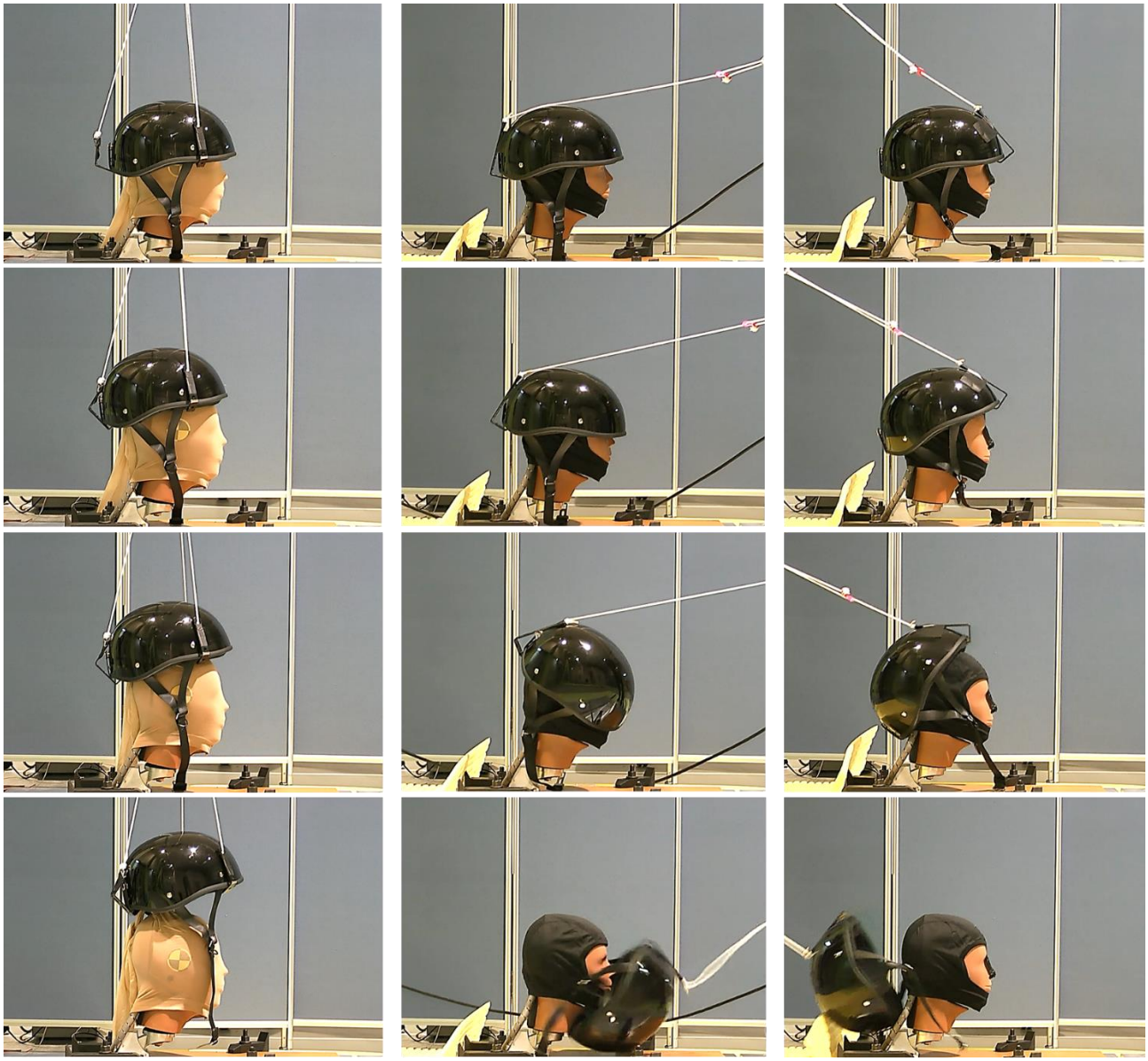


付図 1.1　ヘルメット別の引張実験の荷重－時間線図（小柄ダミー：フェースマスク装着）

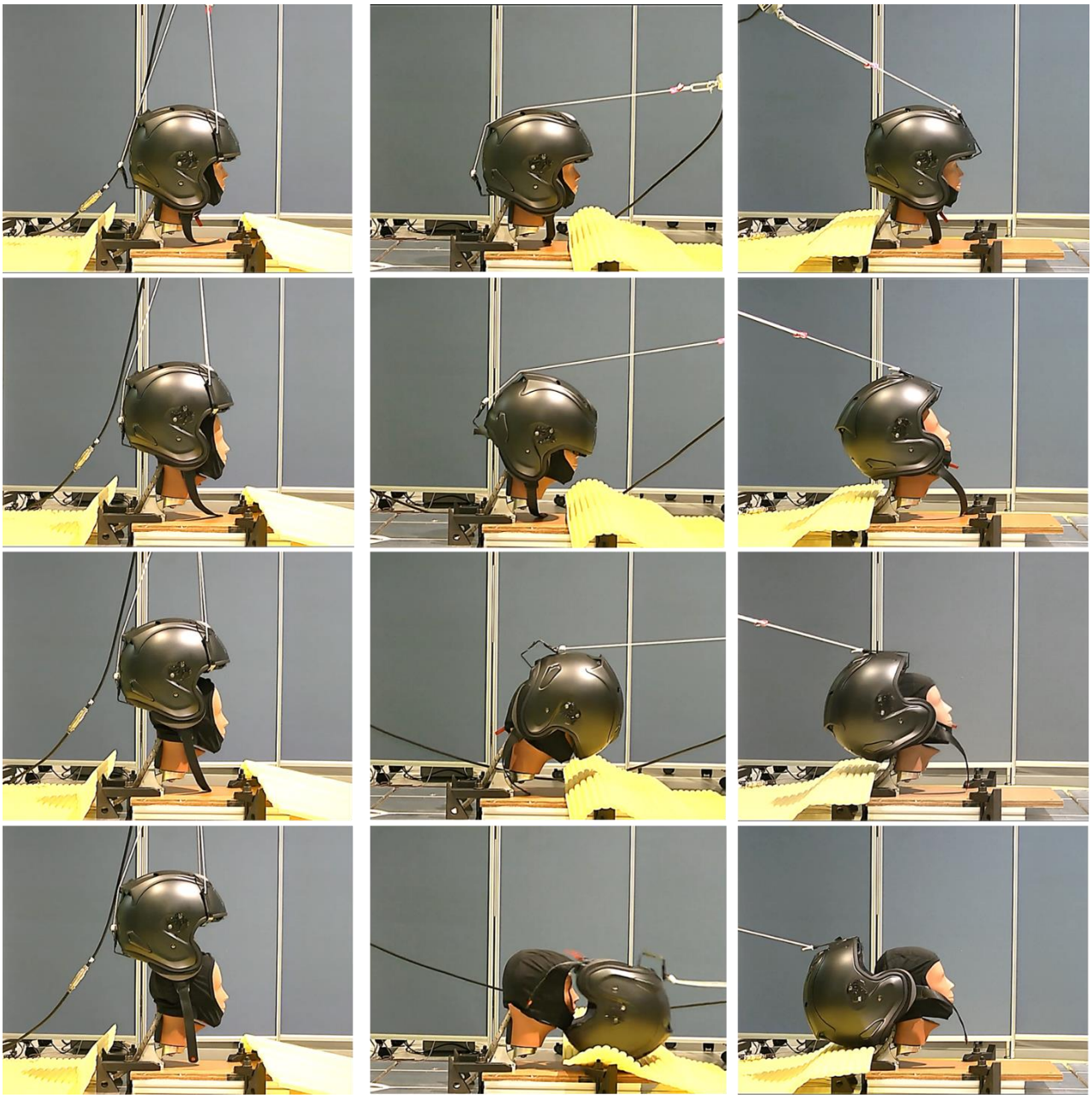


付図 1.2　ヘルメット別の引張実験の荷重－時間線図（標準ダミー：フェースマスク装着）

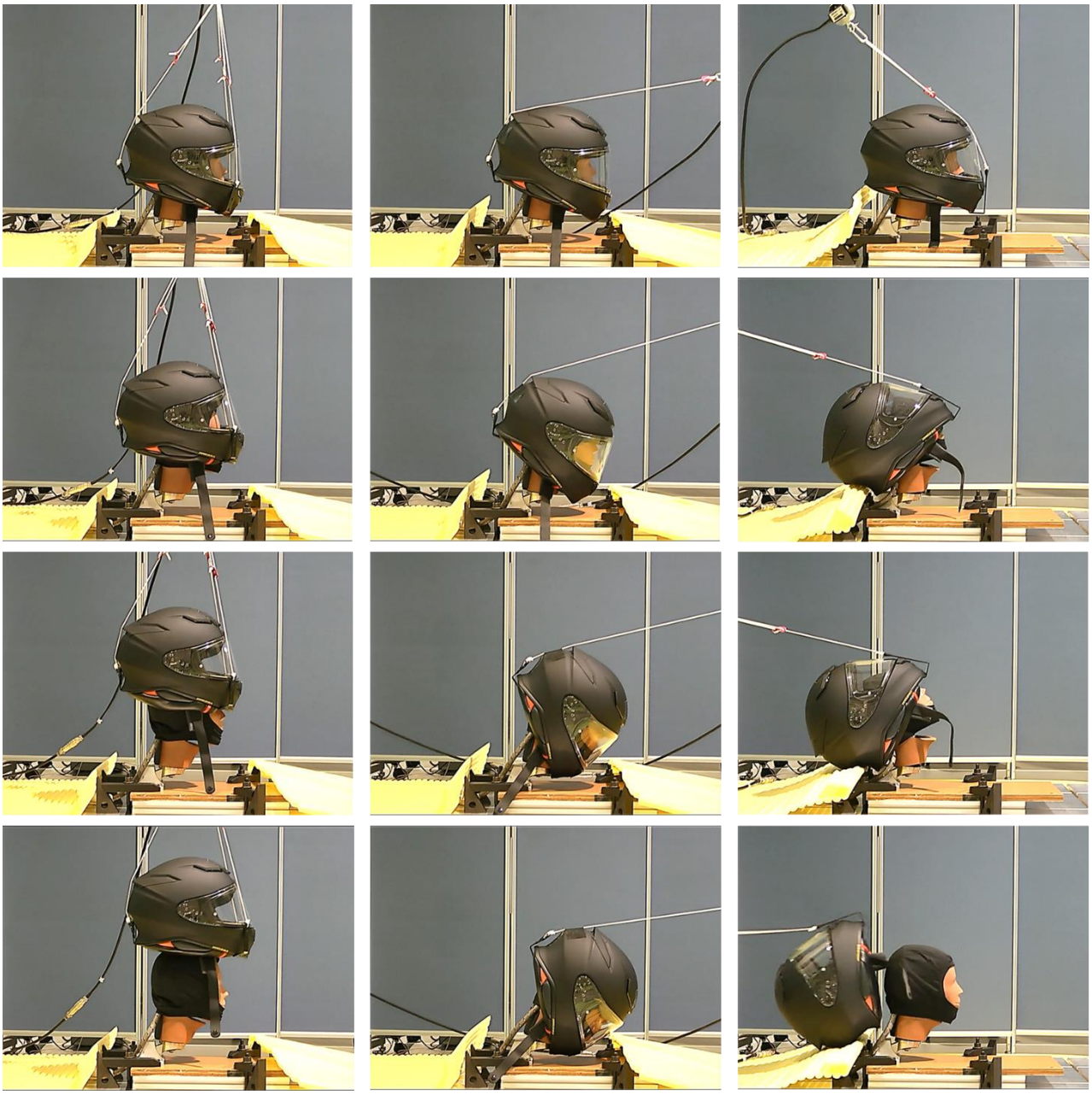
付録２：引張実験の実験記録（連続写真）



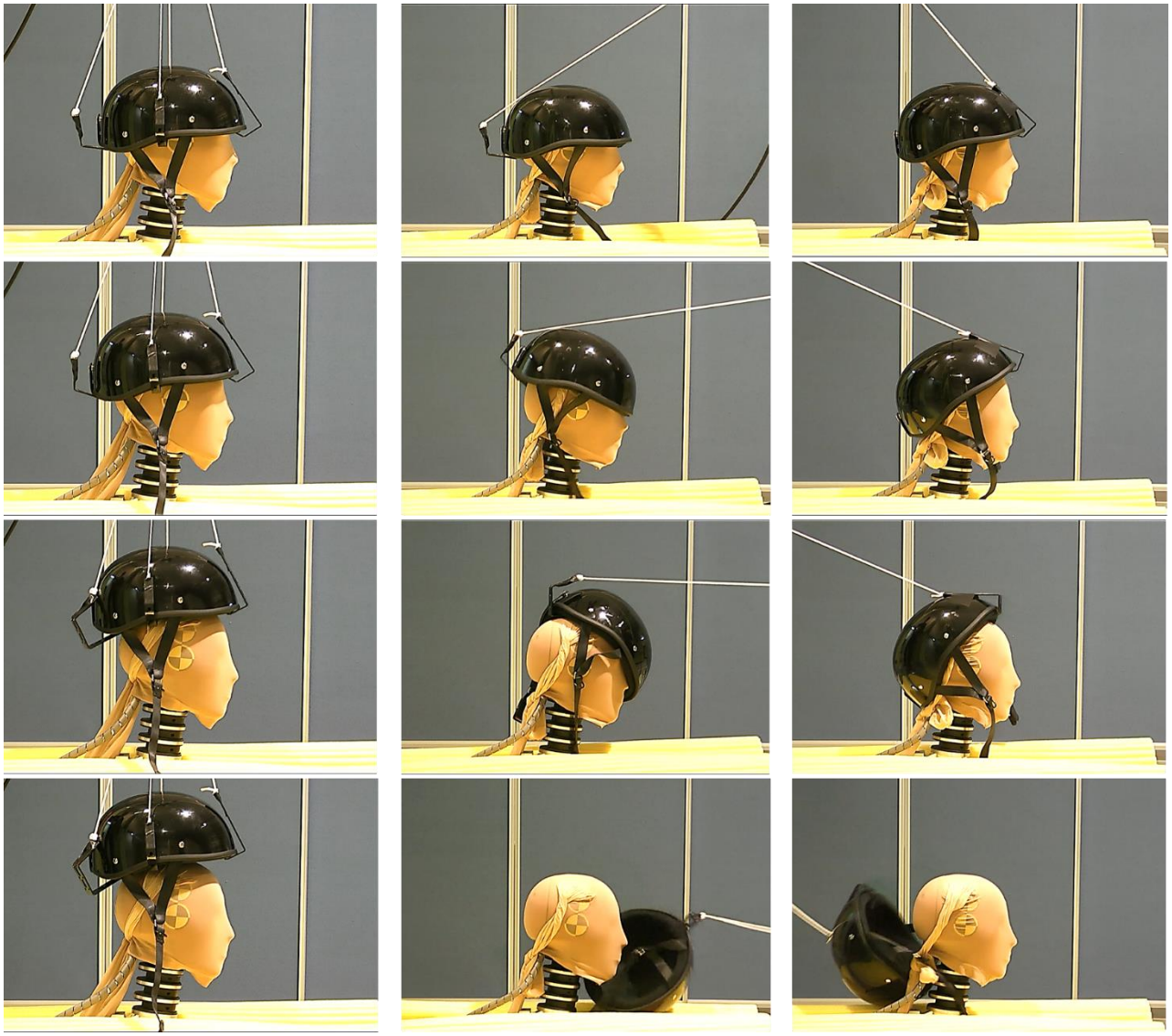
付図 2.1　HA 形ヘルメットの実験状況（小柄ダミー）



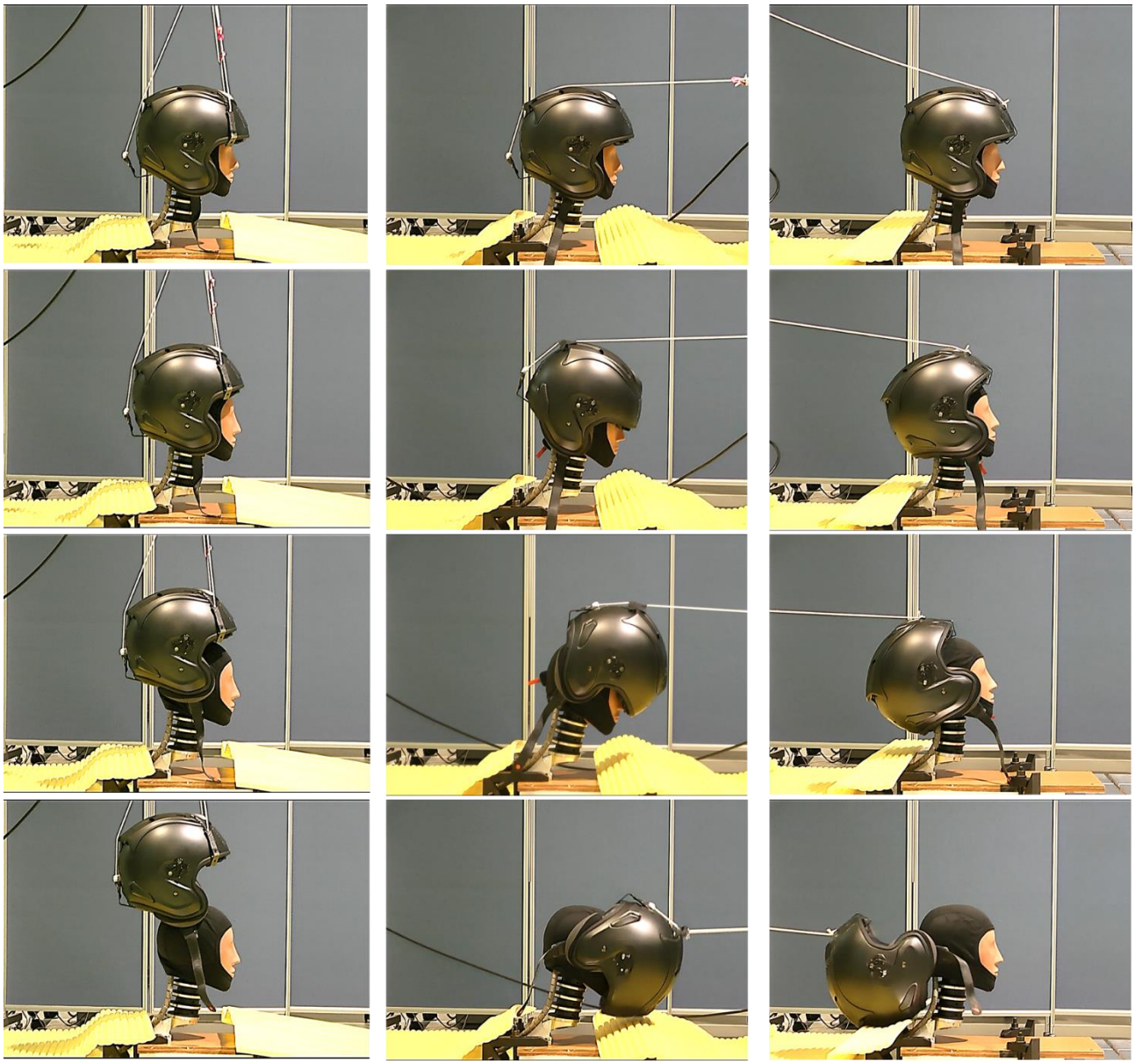
付図 2.2　OF 形ヘルメットの実験状況（小柄ダミー）



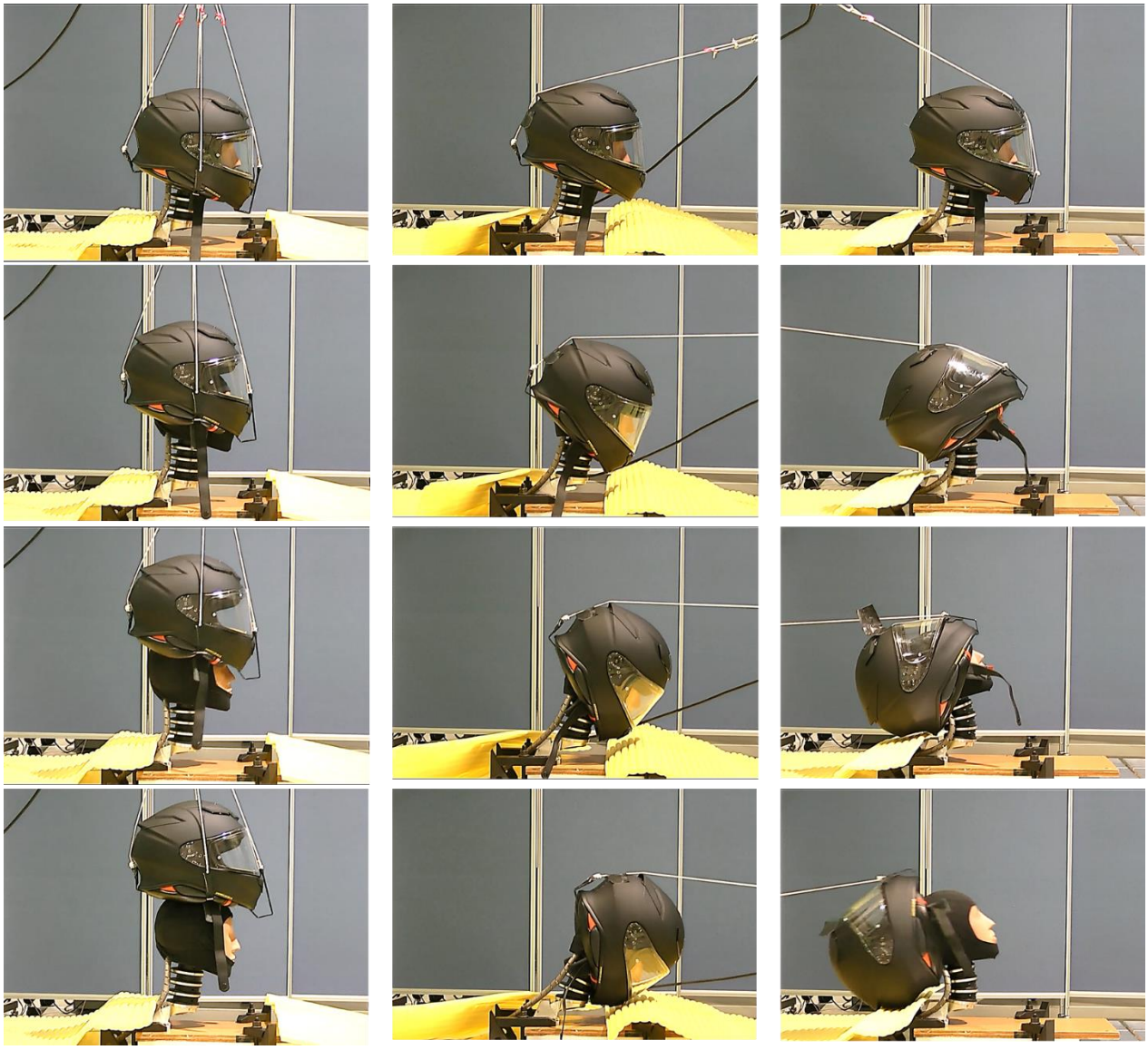
付図 2.3　FF 形ヘルメットの実験状況（小柄ダミー）



付図 2.4　HA 形ヘルメットの実験状況（標準ダミー）

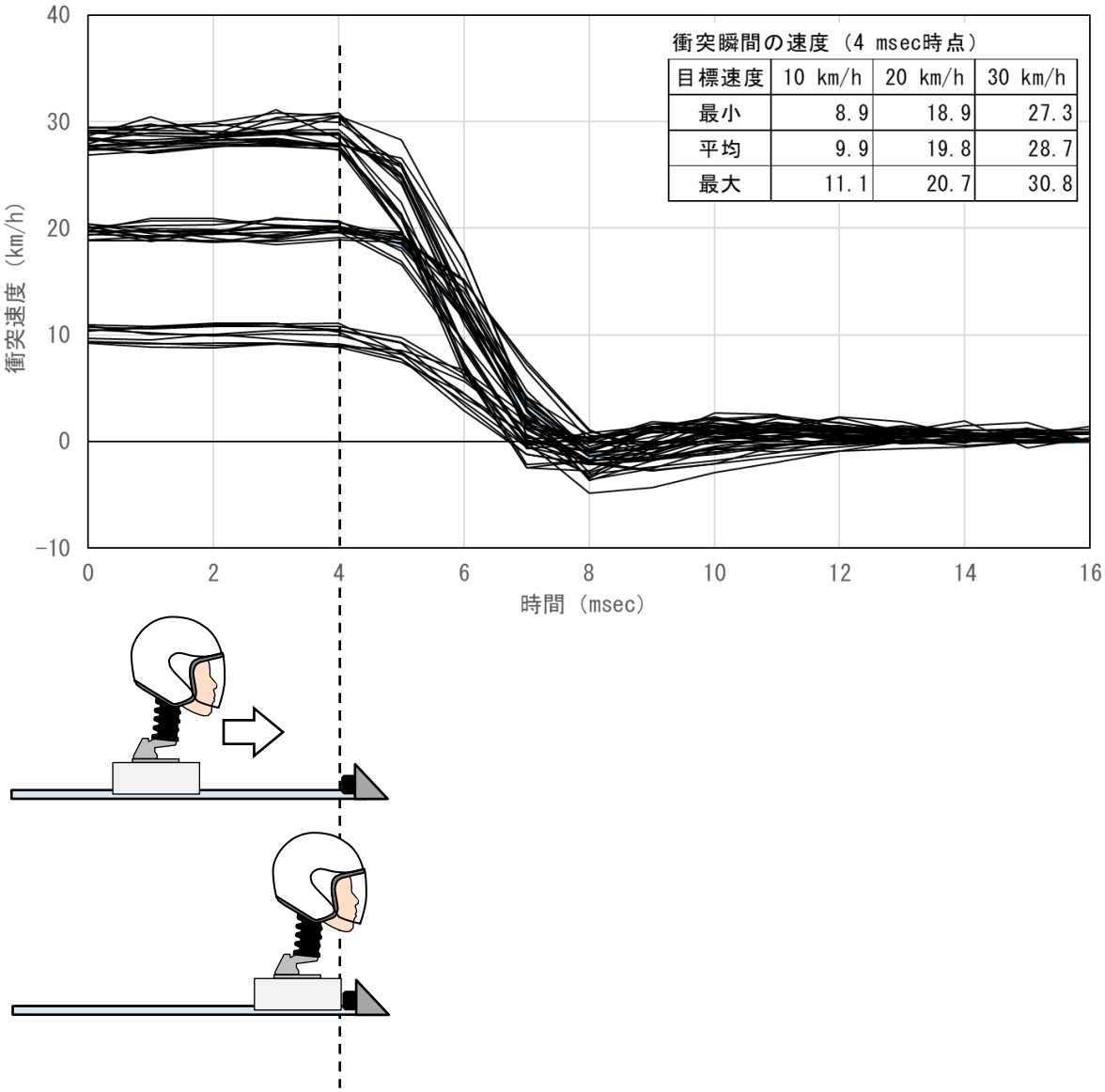


付図 2.5　OF 形ヘルメットの実験状況（標準ダミー）



付図 2.6　FF 形ヘルメットの実験状況（標準ダミー）

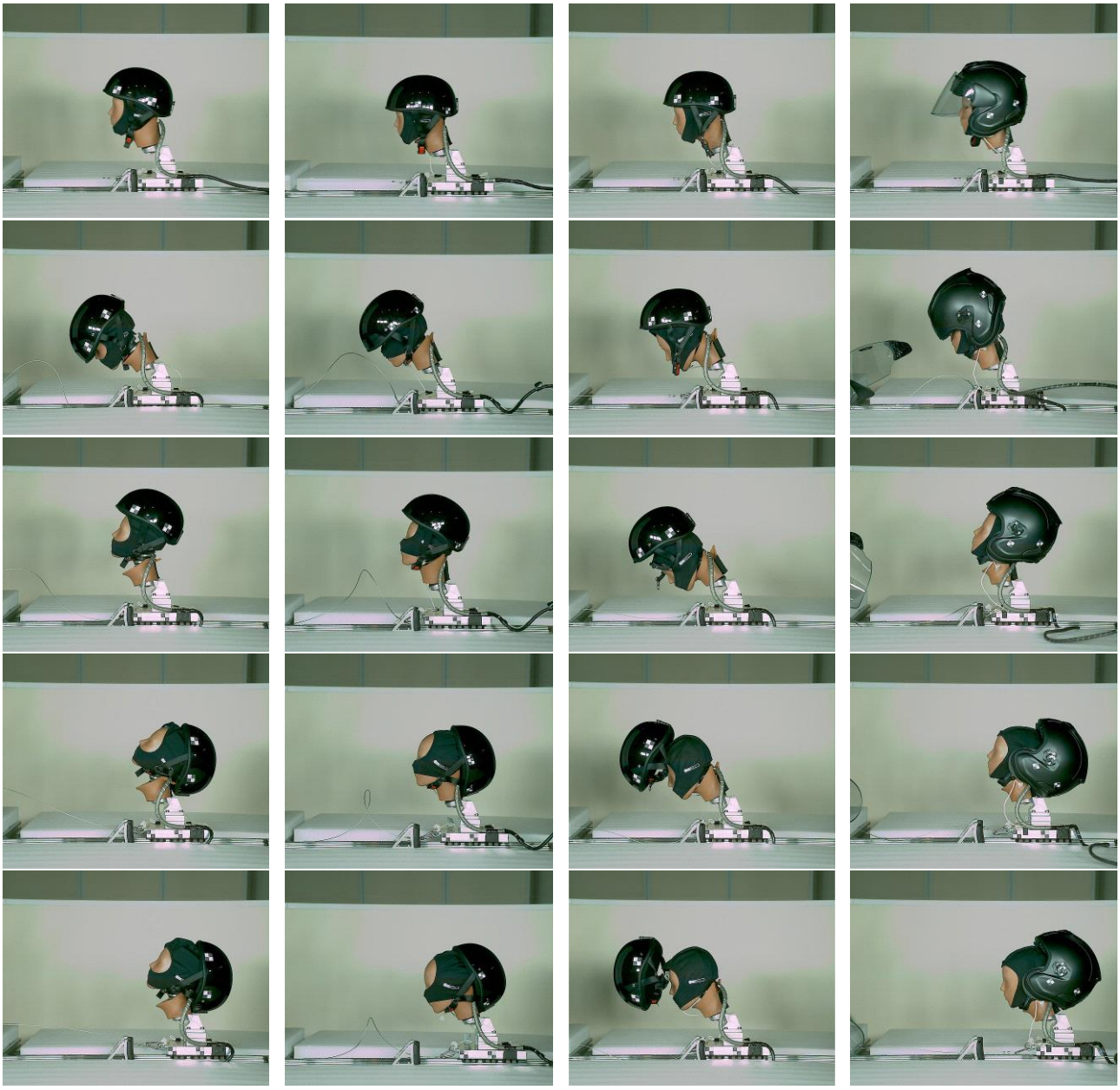
付録３：衝突速度の実測値



付図 3.1　画像解析で求めた実際の衝突速度 - 時間線図

- 目標衝突速度が 10，20 km/h の実験は，目標値に対して±1.1 km/h 以内であった
- 30 km/h の実験は，目標に対して 2.7 km/h 減となった実験があり，平均値も若干低かった
- 但し，３水準の速度条件は，十分な速度差を有していることから速度別のデータ比較等は検証可能と判断した

付録４：ヘルメットの脱落再現実験の実験記録（連続写真）



実験 1	実験 5	実験 8	実験 9
（小柄，顎紐：適正，30km/h）	（小柄，顎紐：緩い，20km/h）	（小柄，顎紐：未結束，10km/h）	（小柄，顎紐：適正，30km/h）

付図 4.1　ヘルメットが脱落した実験の連続写真（実験 1，5，8，9）

実験 11
（小柄，顎紐：緩い，30km/h）

実験 14
（小柄，顎紐：未結束，30km/h）

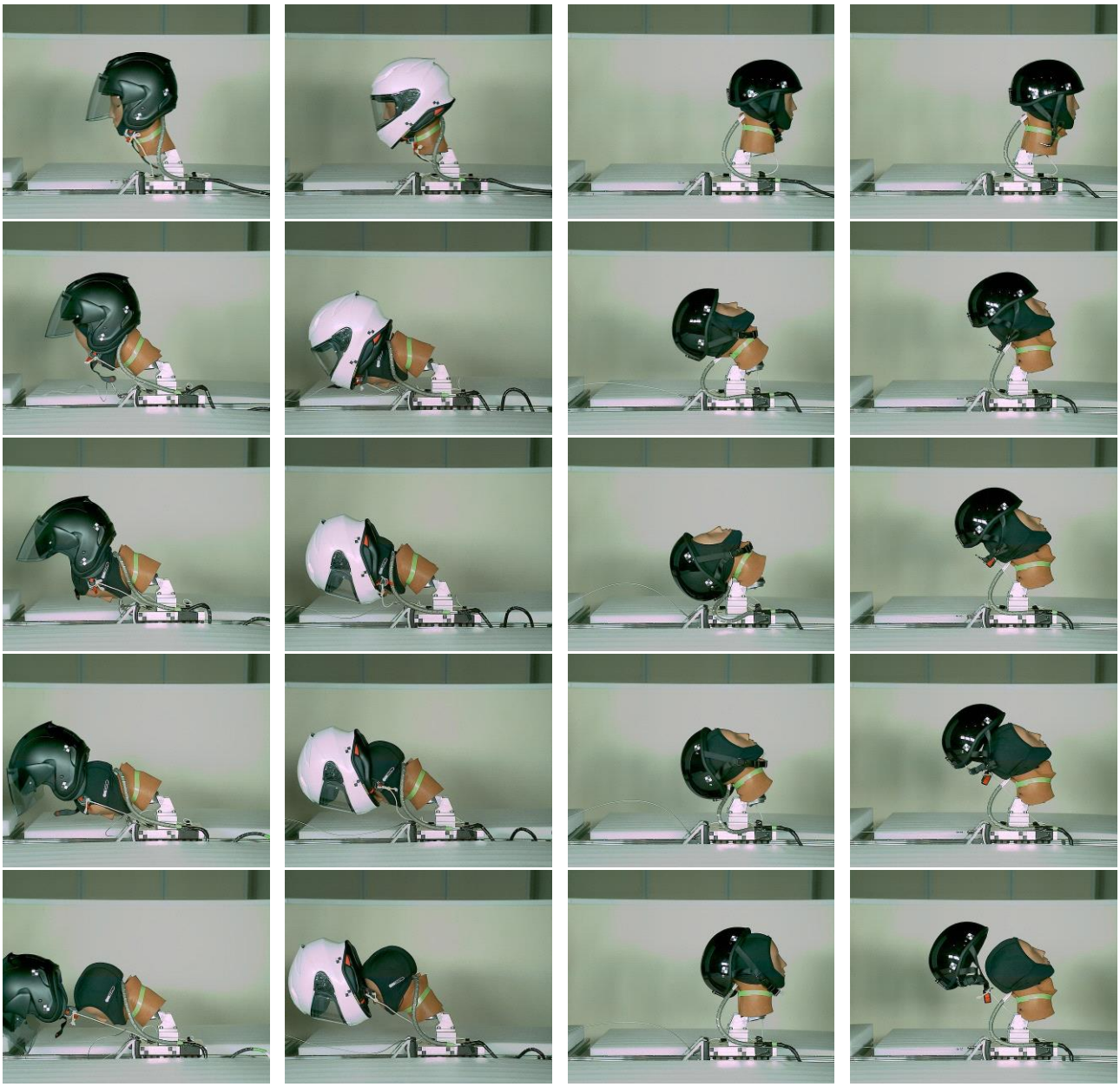
実験 18
（小柄，顎紐：未結束，30km/h）

実験 23
（小柄，顎紐緩い，10km/h）

付図 4.2　ヘルメットが脱落した実験の連続写真（実験 11，14，18，23）

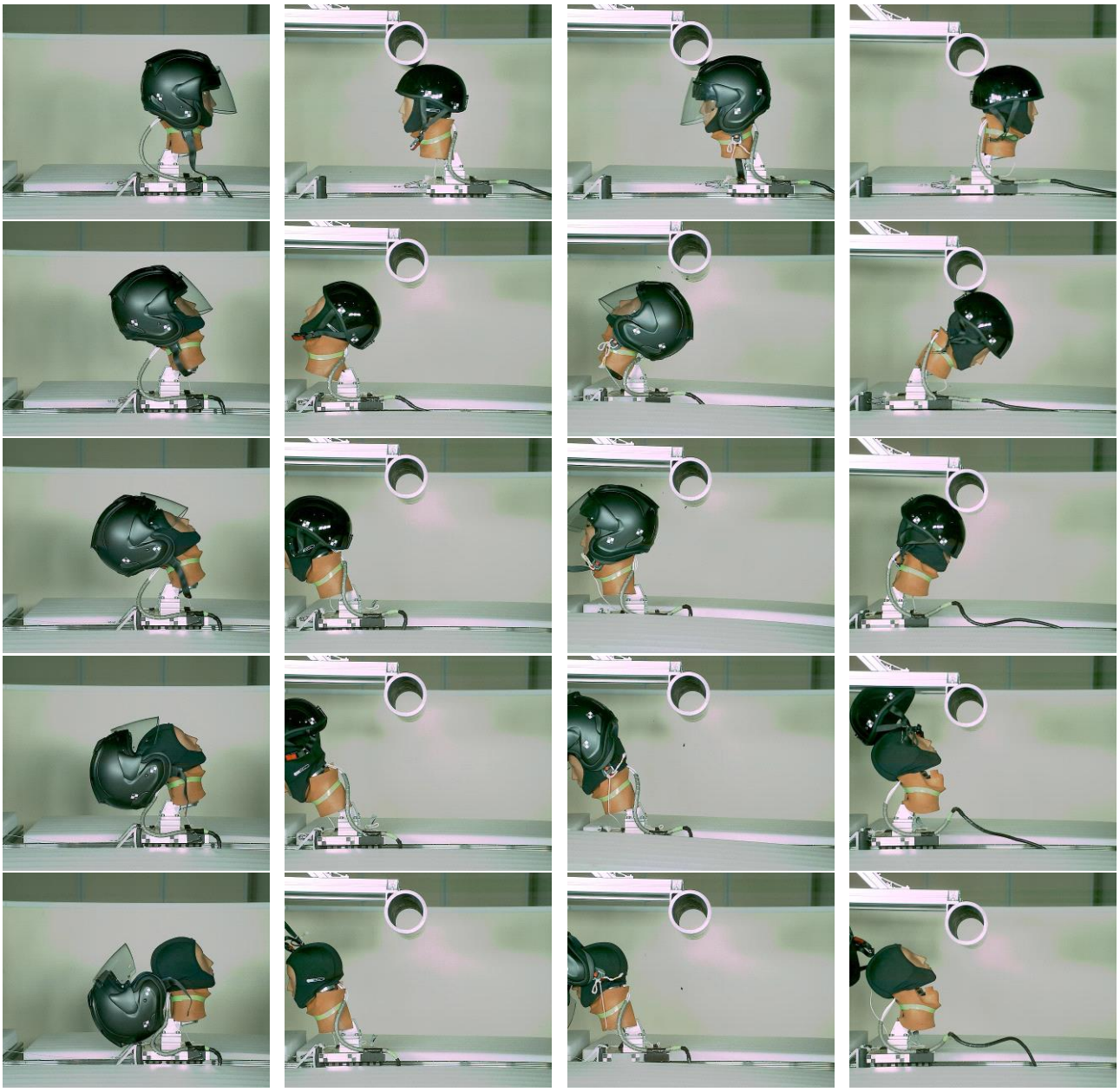
実験 24	実験 29	実験 34	実験 38
（小柄，顎紐：未結束，10km/h）	（小柄，顎紐：未結束，10km/h）	（標準，顎紐：緩い，30km/h）	（標準，顎紐：未結束，10km/h）

付図 4.3　ヘルメットが脱落した実験の連続写真（実験 24，29，34，38）



実験 43	実験 47	実験 51	実験 53
（標準，顎紐：未結束，30km/h）	（標準，顎紐：未結束，30km/h）	（標準，顎紐：緩い，20km/h）	（標準，顎紐：未結束，10km/h）

付図 4.4　ヘルメットが脱落した実験の連続写真（実験 43，47，51，53）



実験 56	実験 73	実験 74	実験 78
（標準，顎紐：未結束，10km/h）	（標準，顎紐：未結束，20km/h）	（標準，顎紐：未結束，20km/h）	（標準，顎紐：未結束，20km/h）

付図 4.5　ヘルメットが脱落した実験の連続写真（実験 56，73，74，78）

ヘルメット脱落メカニズム解明に向けた実験報告書

2024 年 3 月

発行　一般社団法人 日本自動車工業会
二輪車委員会 二輪車企画部会 安全教育分科会
住所　〒105-0012　東京都港区芝大門一丁目 1 番 30 号