

1. 各種チャイルドシートを用いた次世代子供ダミーの性能評価

自動車安全研究領域 ※田中 良知 米澤 英樹 細川 成之 松井 靖浩
高木 俊介 (現 自動車審査部)

1. はじめに

日本において、チャイルドシートは動的試験の法規があり、市販されているものについては一定の安全性が保証されている。そして、6歳未満の子供乗員に対するチャイルドシートの使用が義務化され、市場における着用率が上がったことで、乗車中の子供の安全性は以前に比べ向上している。

しかしながら、衝突安全に関する研究は歴史的に大人を対象として進められており、現在でも大人に比べ子供に関する研究が遅れ気味であることは否めない。欧米では子供乗員の安全性向上の研究は重要視されていて、欧州では Child Injury Led Design (Child) プロジェクトなどで、多くの研究機関や企業が合同で研究を進めている。米国では National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA: アメリカ道路交通安全局) が子供の安全を重要研究項目にあげている。少子高齢化が進む日本においても、未来の社会を支える子供の安全性をさらに向上させていくことは大切であり、その研究を進めていくことは重要な課題と考えられる。

現在のチャイルドシートの動的試験の法規で使用されている幼児を模擬した P ダミーは、生体忠実度や計測能力が低いことが指摘されていて、実際に法規で評価されている傷害値は、胸部の加速度と頭部の移動量のみである。子供の安全性のさらなる向上を図るためには、より多面的な評価ができることが望ましい。そのため、欧州では新しい Q ダミーが研究開発されていて、米国では Hybrid III 3YO ダミーが法規に使われている。これらのダミーは、将来的に日本の法規でも P ダミーに変わって導入されることが予想されており、そのためにそれら新しいダミーの性能の確認が必須である。そして、子供の安全性向上の研究を進

める上でも、新しいダミーの性能を把握することが必要である。

これらのダミーについてはすでに幾つか比較研究が行われていて、Hybrid III 3YO ダミーと Q3 ダミーの頸部の特性比較[1]、Q3 ダミーと P3 ダミーの法規条件での動的特性の比較[2]、コンピュータシミュレーションで Q3 ダミーと Hybrid III 3YO ダミーと 3 歳児の人体モデルについて米国の法規条件で比較[3]などの報告がされている。

一方、チャイルドシートには様々な種類がある。例えば幼児用の前向きチャイルドシートでは、乗員の拘束方法で 5 点式ハーネスタイプとインパクトシールドタイプがあり、チャイルドシートを車に固定する方法でシートベルト固定と ISOFIX 固定がある。子供ダミーの評価に当たっては、このようなチャイルドシートの基本構造の違いを踏まえる必要がある。

本発表では、Q3 ダミーと Hybrid III 3YO ダミーについて、乗員の拘束方法やチャイルドシートの固定方法の違う 7 種類の幼児用前向きチャイルドシート（インパクトシールドタイプ/5 点式ハーネスタイプ、シートベルト固定/ISOFIX 固定）を用いて、法規要件で動的試験を行い、それぞれのダミーの挙動や傷害値について性能比較を行った。あわせて、チャイルドシートの固定方法の違いによる保護性能の違いを、ダミーの挙動や計測値を用いて評価した。

2. 方法

2. 1 実験

2. 1. 1 ダミー

本研究に用いた 3 歳児を模擬したダミーである Q3 ダミー、Hybrid III 3YO ダミー及び現在法規で使用されている P3 ダミーの写真を図 1 に示す。各ダミーの質量と寸法の比較を表 1 に、傷害値の計測項目の比

較を表2に示す。各ダミーで、質量、寸法とも少しずつ異なっている。また計測項目では、Q3ダミーの計測項目が最も多く、次いでHybrid III 3YOダミーで、P3ダミーの計測項目が最も少ない。



(a)Q3 (b)Hybrid III 3YO (c)P3

図1 3歳児ダミー

表1 質量・寸法比較表

質量比較 (kg)			
部位	Q3	Hybrid III 3YO	P3
頭部・頸部	3.17	3.52	2.70
胴体部 (服を含む)	6.40	7.00	5.80
上腕部	0.75	0.88	1.10
下腕部	0.73	0.92	0.70
大腿部	2.00	2.00	3.00
下肢部	1.54	1.84	1.70
全質量	14.59	16.16	15.00

寸法比較 (mm)			
部位	Q3	Hybrid III 3YO	P3
座高	544	546	560
肩幅	259	244	249
胸前後長さ	142	142	125
腰幅	200	208	206
背中-膝長さ (座位時)	305	295	334

表2 ダミー計測項目

計測項目	Q3	Hybrid III 3YO	P3
頭部加速度	3軸	3軸	3軸
首上荷重	3軸	3軸	2軸 (前後、上下)
首上モーメント	3軸	3軸	1軸 (前後方向)
首下荷重	3軸	—	—
首下モーメント	3軸	—	—
胸部加速度	3軸	3軸	3軸
胸部リップ変位	1軸 (前後方向)	1軸 (前後方向)	—
腰上荷重	3軸	—	—
腰上モーメント	3軸	—	—
腰加速度	3軸	3軸	—

なお、Q3ダミーはバージョンアップがされており、今回使用したダミーは最新のバージョンアップがされていない仕様である（日本国内にあるQ3ダミーは全て最新のバージョンアップがされていない）。

2. 1. 2チャイルドシート

本研究に用いた幼児用の前向きチャイルドシートには、乗員の固定方法において、5点式ハーネスタイプとインパクトシールドタイプの2種類があり、チャイルドシートを車に固定する方法において、シートベルト固定とISOFIX固定がある。さらにISOFIX固定

の場合に、トップテザーでより強固に固定する方式がある。本研究においては、合計7種類のチャイルドシートを用いた。試験に用いたチャイルドシートの写真を図2に、拘束方法と固定方法を表3に示す。乗員拘束の方法について、A、B及びCはインパクトシールドタイプであり、D、E、F及びGは5点式ハーネスタイプである。車両への固定方法について、A、B、D及びFがシートベルト固定であり、C、E及びGがISOFIX+トップテザー固定である。また、BとC、DとE、FとGはそれぞれ同じメーカーで作られたチャイルドシートで違いは固定方法である。



図2 試験に用いたチャイルドシート

表3 チャイルドシート拘束方法・固定方法

チャイルドシート	拘束方法	固定方法
A	インパクトシールド	シートベルト
B	インパクトシールド	シートベルト
C	インパクトシールド	ISOFIX+トップテザー
D	5点式ハーネス	シートベルト
E	5点式ハーネス	ISOFIX+トップテザー
F	5点式ハーネス	シートベルト
G	5点式ハーネス	ISOFIX+トップテザー

2. 1. 3動的試験方法

本研究は日本や欧州の法規基準であるECE R44条件で動的試験を行った。試験は、本研究所熊谷試験場にある加速式スレッド試験機を用いた。

スレッド試験とは、スレッドと呼ばれる可動式の台の上に試験対象を固定し、スレッドを空気圧等の動力で、加速度が衝突等の現象と同じになるように動かして、それらの現象を再現する試験方法である。スレッド試験機を図3に示す。

ECE R44では50 km/hでの前面衝突を模擬した加速度が定められている。ECE R44で定められている加速度の範囲と今回の試験でのスレッドの加速度時間履歴図を図4に示す。行った全試験の加速度がほぼ

一致していて、今回試験を実施したスレッド試験機が極めて高い精度を持っていることが確認できた。



図3 スレッド試験機

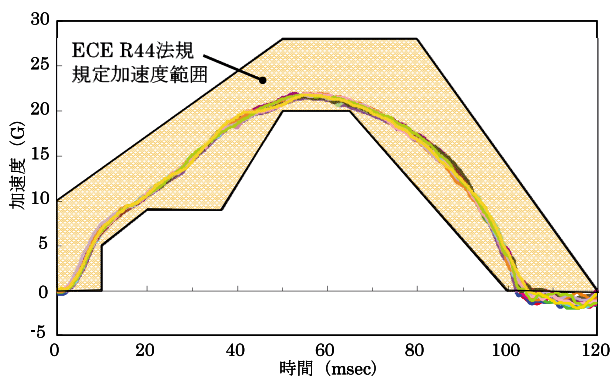


図4 スレッド加速度時間履歴図

2. 1. 4 実験条件

本研究で試験を行ったチャイルドシートとダミーの組み合わせを表4に示す。全部で7種類のチャイルドシートに対して、Q3ダミーとHybrid III 3YOダミーを着座させてスレッドによる前突試験を行い、その結果をダミーの挙動と傷害値で比較した。比較した傷害値は、HIC15 (Head injury criteria : 頭部傷害指標、15は15msの区間で計算)、首上引っぱり荷重、胸たわみ、最大胸部加速度(3ms)、最大頭部移動量とした。Q3ダミーとHybrid III 3YOダミーの傷害基準値(IARV : Injury assessment reference value)を表5に示す。但し、チャイルドシートの法規では、傷害基準値は頭部移動量と最大胸部3ms加速度以外は定められてなく、またQ3ダミーはまだ法規で採用されていないため、それ以外の傷害基準値に関しては、Hybrid III 3YOダミーではアメリカの前突の法規であるFMVSS208の傷害基準値を、Q3ダミーに関しては、AIS 3+ (Abbreviated injury Scale : 簡易傷害程度スケール 数字が大きくなるほど負傷程度が大きく、3で重傷)となる確率が理論的に50%となる数値を参照とした[4]。

表4 試験組み合わせ

試験番号	1	2	3	4
チャイルドシート	A	B	C	D
ダミー	Hybrid III 3YO	Hybrid III 3YO	Hybrid III 3YO	Hybrid III 3YO
試験番号	5	6	7	8
チャイルドシート	E	F	G	A
ダミー	Hybrid III 3YO	Hybrid III 3YO	Hybrid III 3YO	Q3
試験番号	9	10	11	12
チャイルドシート	B	C	D	E
ダミー	Q3	Q3	Q3	Q3
試験番号	13	14		
チャイルドシート	F	G		
ダミー	Q3	Q3		

表5 傷害基準値

傷害値	傷害基準値	
	Hybrid III 3YO (FMVSS208)	Q3 (EEVC report)
HIC15	570	1000
首引っぱり荷重	1130 N	1705 N
胸たわみ	34 mm	53 mm
最大胸部加速度(3ms)	55 G	55 G
最大頭部移動量	550 mm	550 mm

3. 結果

3. 1 実験

3. 1. 1 ダミー違い比較

5点式ハーネスタイプのGで、それぞれのダミーについて頭部最大移動時のダミー挙動を図5に示す。5点式ハーネスの場合、Q3ダミーとHybrid III 3YOダミーで頭部の傾きに差が見られ、Q3ダミーの方が、頭部の前方への傾きが大きくなっていった。頸部の剛性がQ3の方が小さいためと考えられる。なおインパクトシールドタイプに関しては、2つのダミーで挙動はほぼ同等であった。



(a) Q3

(b) Hybrid III 3YO

図5 ダミー別頭部最大移動時ダミー挙動比較

5点式ハーネスタイプのF及びGで、それぞれのダミーについての、頭部、胸部、腰部の加速度時間履歴図を図6に示す。頭部について、加速度の上昇中にQ3ダミーで遅れが見られた。胸部について、上昇時は2つのダミーでほぼ同等であったが、Q3ダミーで70msから80ms付近で加速度の落ち込みが見られた。腰部について、2つのダミーで加速度はほぼ同等であった。頭部加速度の違いについては、Q3ダミー

の頸部剛性が小さいため、ハーネスによって肩部を拘束されたとき、頭部を支える力が小さくなり、加速度に遅れが生じるためと考えられる。これは図5で示したダミー挙動の違いと一致している。なおインパクトシールドタイプでは、2つのダミーで各部加速度はほぼ同等であった。

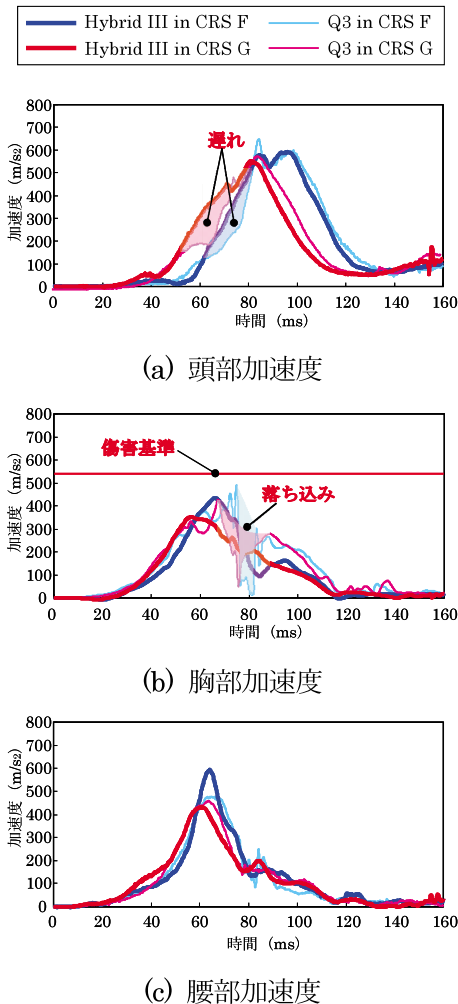


図6 ダミー各部加速度時間履歴図

胸たわみの時間履歴図を図7に、首上引っ張り荷重の時間履歴図を図8に示す。胸たわみと首上引っ張り荷重のどちらも、Q3ダミーの方がHybrid III 3YOダミーに比べ最大値が大きかった。但し、傷害基準値もQ3ダミーの方が大きくなっている。胸たわみに関して、ダミー胸部の剛性が異なり、Q3ダミーの剛性が小さいため、この差が生じたと考えられる。また、両方のダミーで60msから70msで上昇が止まり、その後また上昇する現象が見られた。これは頭部や腕部の慣性力が作用するためと考えられる。首上引っ張り荷重に関しては、Q3ダミーの頸部剛性が小さいため、ダミー頭部の速度がより高い状態で、顎と胸部が衝突するので、その衝突で発生する荷重が大きくなって、

首上引っ張り荷重が高くなったと考えられる。また、首上引っ張り荷重ではどちらのダミーも傷害基準値を超えていた(但し、前にも書いたとおり、チャイルドシート of 動的試験では、首上引っ張り荷重は傷害指標として規定されておらず、今回の基準は他の法規や傷害発生確率から定義した値である)。なおインパクトシールドタイプの首上引っ張り荷重に関しては、5点式ハーネスタイプより差が小さかった。

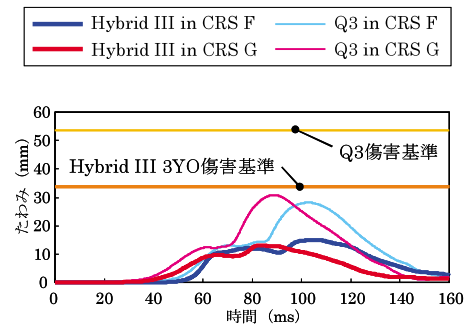


図7 胸たわみ時間履歴図

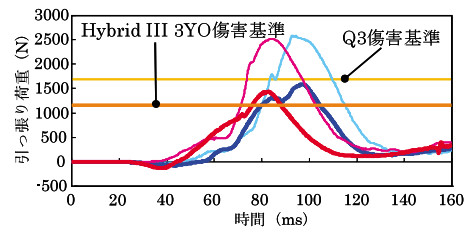


図8 首上引っ張り荷重時間履歴図

今回行った試験での最大傷害値を表6に示す。ほぼ全ての試験の首上引っ張り荷重とチャイルドシートAの胸たわみが傷害基準値を超えていた。

表6 最大傷害値

ダミー	Hybrid III 3YO							傷害基準
	A	B	C	D	E	F	G	
チャイルドシート	A	B	C	D	E	F	G	傷害基準
HIC15	295	344	305	410	242	384	280	570
首上引っ張り荷重 (N)	1985	1920	1586	1783	1290	1594	1437	1130
胸たわみ (mm)	89	31	32	18	14	15	13	34
胸部3ms加速度 (G)	35	33	31	50	43	47	35	55
最大頭部移動量 (mm)	474	442	523	481	289	495	303	550

ダミー	Q3							傷害基準
	A	B	C	D	E	F	G	
チャイルドシート	A	B	C	D	E	F	G	傷害基準
HIC15	354	306	279	426	237	383	329	1000
首上引っ張り荷重 (N)	1704	1923	1716	2574	2382	2584	2515	1705
胸たわみ (mm)	56	48	48	34	31	28	31	53
胸部3ms加速度 (G)	31	33	28	49	39	42	37	55
最大頭部移動量 (mm)	470	493	522	536	363	503	336	550

最大傷害値と傷害基準値の比を図9に示す。

Hybrid III 3YO ダミーと Q3 ダミーで比を見ると、首上引っ張り荷重を除く傷害値では、チャイルドシートの違いによる差は小さかった。首上引っ張り荷重では、チャイルドシートの拘束方法の違いにより、Hybrid III 3YO は拘束方法によらずほぼ同等で、Q3 では 5 点式ハーネスタイプの方が大きくなった。これは、インパクトシールドタイプでは、ダミーの顎がインパクトシールドに衝突し、かつシールドの剛性が小さいため、ダミー頭部の速度の影響が小さくなるのに対して、5 点式ハーネスタイプでは、ダミーの顎がダミーの胸部に衝突し、ダミー胸部の剛性がインパクトシールドより大きいため、ダミー頭部の速度の影響が大きくなったことが理由として考えられる。

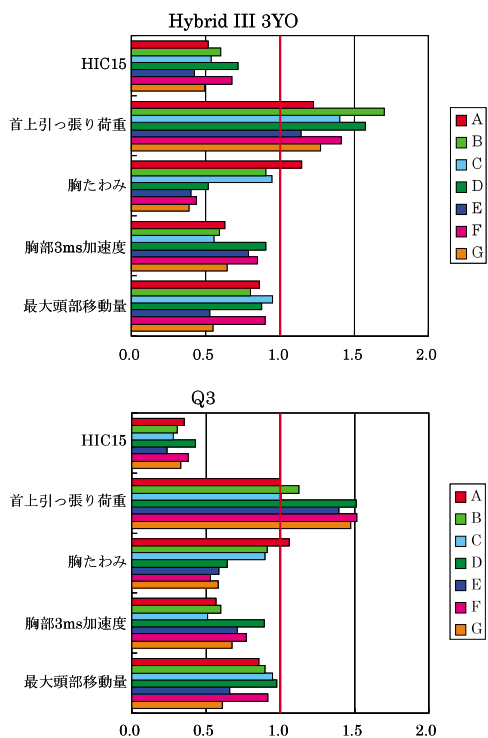
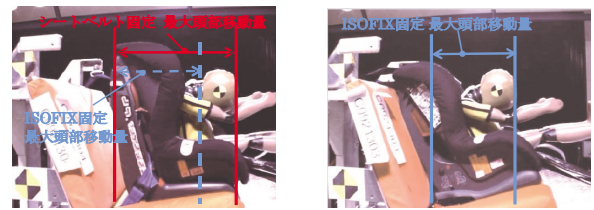


図9 最大傷害値と傷害基準値の比

3. 1. 2チャイルドシート固定方法違い比較

同じメーカーで固定方法が異なるチャイルドシート F と G の、Q3 ダミーについて頭部最大移動時のダミー挙動を図 10 に示す。シートベルト固定の場合は、シートベルトが伸びてチャイルドシートがシートから離れて前方に移動しているのに対して、ISOFIX+トップテザー固定では、固定力が強くチャイルドシートとシートとの間にほとんど隙間がなく、シートに対してチャイルドシートの前方移動量は小さい。チャイルドシートとダミーの関係はどちらの固定方法でもほぼ同等なので、チャイルドシートが前方に移動した分の差だけ、ダミーの最大頭部移動量はシートベルト固

定の方が大きくなっている。なおインパクトシールドタイプについては、どちらの固定方法でもインパクトシールドがベルトで固定され、シールドで乗員を拘束する形なので、固定方法による差は無かった。



(a)シートベルト (b)ISOFIX+トップテザー

図 10 固定方法別頭部最大移動時ダミー挙動比較

図 9 で示した最大傷害値と傷害基準値の比で、5 点式ハーネスタイプにおいて、同じメーカーで固定方法が違うチャイルドシート D と E、F と G をそれぞれ比べてみる。D、F がシートベルト固定、E、G が ISOFIX+トップテザー固定である。Q3 ダミーの胸たわみを除く全ての傷害値で ISOFIX+トップテザー固定の方が小さくなっていて、Q3 ダミーの胸たわみもほぼ同等の結果であった。特に最大頭部移動量に関しては、ISOFIX+トップテザー固定の移動量が特に小さくなっている。国内の事故調査において、チャイルドシートを使用していて死亡重傷事故になる場合、負傷部位が頭部の割合が高い。頭部移動量が小さいことは、乗員の頭部が車両内装材に当たる可能性が小さくなると考えられることから、シートベルト固定より ISOFIX+トップテザー固定のチャイルドシートの方がより高い安全性能であると考えられる。参考に、平成 15~19 年の 5 年間で、チャイルドシート使用中の 1~4 才の子供乗員が死亡重傷となった事故での、子供が最大傷害を受けた受傷部位の割合のグラフを図 11 に示す。

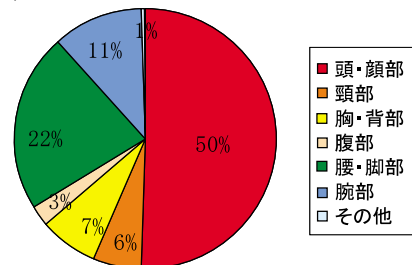


図 11 チャイルドシート乗員最大傷害受傷部位

3. 考察

チャイルドシート E と Q3 ダミーの組み合わせの試験における、頭部、胸部加速度の時間履歴図及びダミーの顎と胸部の接触タイミングを図 12 に示す。また、ダミーの顎と胸部が接触する 70ms でのダミーの

挙動を図1 3に、試験後のダミーを図1 4に示す。ダミーの顎が胸部に接触後、急に頭部の加速度が大きくなり、そのすぐ後に胸部加速度の落ち込みが見られた。頭部加速度に関しては顎が胸部に衝突した結果、胸部から顎を通して頭部に入力があったためと考えられる。この入力により、首上引っ張り荷重も高くなっている。胸部加速度の落ち込みに関しては、はっきりとした原因は分からなかったが、図1 4からダミー鎖骨と背骨の干渉が観察された（青色のペイント）。この干渉が、顎と胸部の衝突によるものか、ショルダーハーネスからの入力によるものかは不明であるが、この接触がダミー内部で胸部の加速度に影響を与えた可能性が考えられる。インパクトシールドタイプのチャイルドシートでは、ダミーの鎖骨と背骨の干渉は観察されず、胸部加速度の落ち込みは無かった。

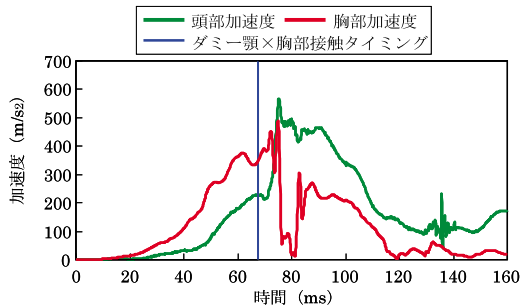


図1 2 頭・胸部加速度時間履歴 (チャイルドシート E)

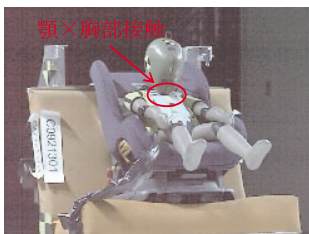


図1 3 70ms時ダミー挙動 (チャイルドシート E)



図1 4 試験後 Q3 ダミー (チャイルドシート E)

今回の試験において、首上引っ張り荷重が傷害基準値を満足するものが無かった。しかしながら、子供の傷害基準値については、子供の人体特性がデータ不足のため、大人の傷害基準値の寸法合わせで決められることがあり、その基準値の精度が不十分である可能性が考えられる。図1 1から、子供の死亡重傷事故で最大傷害受傷部位が頸部の割合は小さ

く、実際に頸部が重傷となることは少ないと思われる。子供の頸部傷害の基準値についてはさらなる研究が必要であると考えられる。

4. まとめ

様々なチャイルドシートを用いて、新しい子供ダミーで法規要件の動的試験を実施した結果を以下にまとめる。

1. Q3 ダミーと Hybrid III 3YO ダミーでは、Q3 ダミーの方の頸部剛性と胸部剛性が小さく、それにより頭部の挙動や頭部、頸部、胸たわみの傷害値に差が出た。但し、頭部以外の挙動に関してはほぼ同等であり、傷害値の大きさの順番もほぼ同等であった。頭部の挙動の差を考慮することと、傷害基準値をダミー毎に適切に設定することで、どちらのダミーも同等に使えることができると考えられる。

2. 今回の試験で首引っ張り荷重は全て傷害基準値を超えていた。但し、子供の人体耐性値がデータ不足のため、大人の傷害基準値の寸法合わせで子供の傷害基準値が決められた経緯があり、その基準値の精度が高くない可能性が考えられる。事故調査において、子供の死亡重傷事故で頸部が最大傷害受傷部位の割合は小さく、頸部が重傷になることは少ないと思われる。子供の頸部傷害基準値については、今後更なる研究が必要と考えられる。

3. 5点式ハーネスタイプにおいて、シートベルト固定と ISOFIX+トップテザー固定では、ISOFIX+トップテザー固定の方がダミーの傷害値が小さかった。インパクトシールドタイプでは、どちらの固定方法でもダミー挙動や傷害値はほぼ同等であった。

参考文献

- (1) Crandall, J. R. et al, 'Viscoelastic characterization of the hybrid III three-year-old and Q3 dummy neck', Child Occupant Protection in Motor Vehicle Crashes (1999)
- (2) Ratingen, M. R. et al, 'Comparison of the Q3 and P3 dummy kinematics and kinetics in frontal and oblique impacts', Child Occupant Protection in Motor Vehicle Crashes (1999)
- (3) Kapoor, T. et al, 'Responses of the Q3, Hybrid III and a three year old child finite element model under a simulated 213 test', SAE Paper Number 2008-01-1121 (2008)
- (4) EEVC, 'Q-dummies report – Advanced child dummies and injury criteria for frontal Impact', Working Group 12 and 18 Report, Document No. 514 (2008)