

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22560077

研究課題名（和文）

自動車側面衝突時の子ども乗員の保護

研究課題名（英文）

Child occupant protection in vehicle side impacts

研究代表者

水野 幸治 (MIZUNO KOJI)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：80335075

研究成果の概要（和文）：事故データでは側面衝突時の子ども乗員は頭部が客室内と衝突して、重篤な傷害を受ける場合が多い。しかし、この頭部運動の要因は不明であり、チャイルドシート
の法規試験にも考慮されていない。そこで、有限要素解析と実験により頭部衝突の要因を検討した。人体 FE 有限要素モデルを用いた斜め側突シミュレーションを実施した結果、CRS ショル
ダハーネスにスラックを与えると、頭部とドアの衝突が発生し、頭部傷害値は閾値に達する
大きな値となった。これらから、側突事故における頭部とドアとの衝突は、法規試験では考
慮されない CRS のミスユースが要因の一つとなっている可能性が示された。さらに、実車実験
を行ったところ、子どもの頭部が CRS から外に出て側面ガラス・ドアと衝突し、大きな頭部傷
害値となり、重篤な傷害を受けうることが実証された。

研究成果の概要（英文）：The accident data shows that children were injured frequently from
making contact with vehicle side interior. Oblique side impact simulation were conducted
using finite element analysis, and the child head made contact with the side doorsill, which
led to high head injury criterion (HIC). This head contact was more severe when the slack
was added in the shoulder harness of child restraint system (CRS). It was indicated that
the CRS misuse can be one of the causes of head injuries. The car-to-car crash test was
carried out, and it was demonstrated that the head of the child dummy made contact with
the side glass and door sill with high HIC value.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学

キーワード：生体力学, インパクトバイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省統計（平成 18 年）によると 1 歳から 4 歳までの子どもの死者数 1,076 人のうち、不慮の事故が占める割合が最も大きく（19.2%）、そのうち 33.8%は交通事故による。少子高齢化にともない子どもの安全環境

を守ることが社会的責務となっており、交通事故による子どもの死傷者数を限りなくゼロに近づける必要がある。平成 12 年より 6 歳未満の乳幼児を自動車に乗せる場合には、チャイルドシートの使用が義務化されている。チャイルドシートの前面衝突時の安全に

については、国土交通省によって国連欧州経済委員会基準 ECE R44 に則った保安基準にしたがい認証試験が実施されている。しかし、子どもの死者数が前面衝突と同等である側面衝突については、現象の理解の難しさから、子どもの運動や傷害メカニズムに関する研究が十分に成されておらず、現時点で強制力をともなう法規は存在していない。

国際標準化機構 (ISO) では、子どもに関する安全意識の高い欧州を中心に 1990 年代中期から子どものチャイルドシートの側面衝突試験が検討されている。この試験法では側面衝突における客室へのドア侵入と車両加速度を模擬するため、台車 (スレッド) に加速度を与えながら、台車上でドアを模擬したパネルを回転させチャイルドシートに衝突させて、子どもダミーの傷害値を評価する。この試験方法は 2009 年に各国の投票によって可決された (ISO/CD PAS 13396, ISO/CD TS 29602)。しかし、この試験は非常に複雑であり、チャイルドシートの質量が大きいと打撃によりドアパネルの速度が大きく変化する (実際の側面衝突では発生しない) など、試験の再現性や有効性に疑問が持たれている。このため、日本と米国は ISO 試験法成立に反対の立場を取った。

米国運輸省では ISO よりも単純な台車試験が検討されている。この試験では、子どもダミーを搭載した静止状態にあるチャイルドシートに対して、ドアパネルを一定速度で衝突させる。この試験法はシンプルであるが、実車側突試験での子どもの挙動の再現が課題となっている。国際的には ISO と米国による研究をもとに、2010 年より国連欧州経済委員会の場でチャイルドシートの側突試験法が世界統一基準 (Global Technical Regulation: GTR と略す) として、議論が開始されている。ISO と異なり、日本の法規はここで決められた GTR を批准することとなり、遵守義務が発生する。

申請者らによるチャイルドシートを実車に搭載した側面衝突 (保安基準に則り静止した試験車側面に、衝突車を角度 90 度で衝突させる) では、乗員に加わる負荷は側方からの衝撃のみであり、子どもの頭部はチャイルドシート側面と衝突するが、チャイルドシート内に保持されており、頭部傷害値は低い値となる (図 1)。すなわち、現行の実車側面衝突試験や台車側面衝突試験では、子どもの頭部がチャイルドシートの外部に飛び出し、客室内と直接、衝突して傷害に至るような衝撃はほとんど発生しない。

米国フィラデルフィア小児病院による側面衝突事故調査によると、子どものチャイルドシート使用時の受傷部位では、頭部の割合が最も多く (80%)、そのうち、頭部がドア内側に衝突する事例が最も多い (図 2)。これ

らの側突事故事例から、衝突時に子どもは前方衝撃成分を持ち、頭部がチャイルドシートから出てドアに衝突していると推定される。この子どもの頭部の運動は、現在の直角側面衝突試験や ISO 台車試験では反映できない可能性が高く、子どもの傷害防止対策や試験法作成にあたっては、まず、頭部傷害の要因を明らかにしたうえで取り組む必要がある。



図 1 実車側突試験 (頭部は CRS シェル内に留まる)

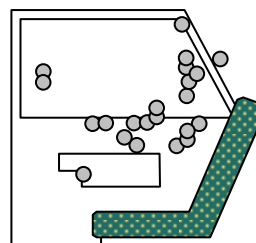


図 2 子ども頭部の衝突位置 (事故データ)

2. 研究の目的

チャイルドシート使用中の子ども乗員の自動車側面衝突 (側突) 事故では、子どもの頭部がドアに衝突し、重篤な傷害を受ける頻度が高い。現在、子どもの側突事故時の傷害防止のために ISO や国連ではチャイルドシートの側面衝突試験法が検討されている。しかし、これらの試験では頭部への衝撃負荷が小さく、頭部傷害が評価できない。本研究は側突事故時の子どもの頭部傷害の要因を明確にすることを目的としており、申請者らが考える仮説 (側突事故時の子どもの頭部傷害の要因はチャイルドシートの誤使用と子どもの初期姿勢による) を子どもの衝突ダミーと人体モデルを用いた有限要素解析、および

ダミーを使った台車実験によって明らかにする。

3. 研究の方法

チャイルドシート使用時の子ども乗員の側面衝突時の頭部衝突要因を明確化するため、有限要素解析を行い、頭部/ドア衝突発生条件を明確にする。ここでは人体有限要素モデルとダミーモデルを用いて、それぞれの挙動の差を検討するとともに、チャイルドシートの誤使用（ベルトの弛み）や子どもの初期姿勢等の様々な条件を変更し、頭部移動量に及ぼす影響を調べた。さらに、「実車衝突実験」を実施し、実験により計算結果の検証を行い、側突試験法にもついても検討する。

4. 研究成果

4.1 有限要素解析

乗用車モデルの後席衝突側に3点式座席シートベルトにて5点式ハーネス前向きCRSを固定し、Hybrid III 3歳児または3歳児人体有限要素(FE)モデルを着座させた。この側突車モデルに対して、走行状態を模擬するため前方へ50 km/hの初速度を与え、車両側面に衝突車を50 km/hで反時計回りに65度の方向から衝突させた(図3)。衝突位置は後部座席の子ども乗員により大きな負荷が働くように、後部ドアに前突車を衝突させた。前突車と側突車は、NCACのTaurus FEモデルである。図4に5点式ハーネスCRS、子ども乗員モデルを示す。3歳児人体FEモデルは、著者らがTHUMS AM50th%tileのスケーリングをもとに、頭部や骨盤など子どもの解剖学的特長を取り入れ開発したものである。

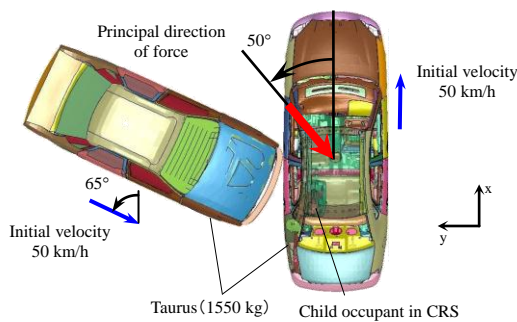


図3 車両衝突モデル



図4 ダミー(Hybrid III)、人体、CRSモデル

実車モデルによる解析では、計算に多大な時間を必要とするため、ハーネスやシートベルトの Slack (ゆるみ) などの拘束条件の変更の影響を効率的に調べるのは難しい。そこで PSM (prescribed structural motion) 法を用いて、CRS まわりの構造を取り出したモデルによる計算をおこなった(図5)。すなわち、後席ドアとシートからなるモデルを作成し、これに対して実車モデルの計算結果から、後席ドア外板に対して時系列の強制変位を与えた。さらに、シート底面とシートベルトアンカーに対して、実車モデルの計算から求めた後席 CRS 固定位置における時系列の車両変位と回転を与えた。乗員としては子ども人体 FE モデルを使用し、実際の CRS の使用状態を考慮して、CRS のショルダーハーネスに Slack をそれぞれ 25 mm, 50 mm, 75 mm, 100 mm だけ与えた場合、および CRS を取り付ける座席シートベルトに Slack を 100 mm だけ与えた場合について、子ども人体 FE モデルの挙動と傷害値の比較をおこなった。

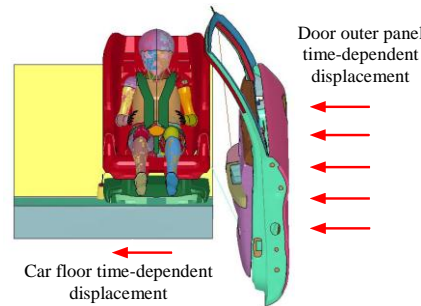


図5 PSMモデル

実車シミュレーションについて、ダミーと人体モデルの挙動を図6に示す。車の衝突後にドアが侵入することによって、CRS 下部にドアアームレストが衝突した。ダミーは鎖骨が剛構造であり、CRS シェル側面との接触時において鎖骨と骨盤がブリッジを形成するため、その間に位置する肋骨は変形しない。頭部の屈曲は小さく、頭部はドアに衝突することなく、空振となった。一方、人体 FE モデルは柔軟な脊椎のために頭部が CRS サイドウィングから外部に飛び出し、斜め前のドア方向に変位した。さらに、頭部は下方向にも変位し、ドアシル上面と衝突した。



図6 ダミー、人体の挙動

PSMにより人体モデルの解析を行い、実車モデルと比較した。頭部、胸部、腰部の合成加速度は両シミュレーションについて一致しており、時系列のドア強制変位と車両加速度を与える PSM シミュレーションによって、側突時の CRS の乗員運動が再現可能であることがわかった。

CRS ショルダーハーネスにスラックを 75 mm だけ与えた場合の、子ども人体 FE モデルの挙動を図 7 に示す。ハーネススラックにより、乗員の前方変位が大きくなり、左肩関節は CRS シェルの外部に飛び出した。その結果、肩関節側面がドアトリムと直接、接触した。ハーネススラックがなく、肩関節が CRS シェル内に保持された場合と比較して、体幹の横方向の変位が大きくなり、その結果、頭部が剛性の高いドアシル上面に衝突した。ショルダーハーネスのスラックが 50 mm を超えると、肩関節が CRS シェル外に飛び出し、頭部がドアシル上面と衝突し、大きな頭部加速度が発生し、HIC (568) もほぼ基準値に達した。

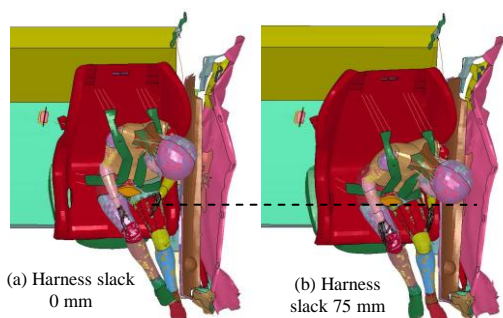


図 7 頭部とドアの接触

4.2 実車実験

有限要素解析結果にもとづき、後席への負荷が大きく、子ども乗員が頭顔部をドアやガラスに衝突させる可能性が高い衝突形態を選択した(図 2)。側突車はセダン(試験車質量 1250 kg)、前突車は SUV (1520kg) であり、静止している側突車の左前ドアに、前突車左前部を速度 50 km/h、角度 45 度で衝突させた。この衝突形態は、衝突力からみると、前突車と側突車がともに 50 km/h で走行し、前突車が 60 度で側突車に衝突した場合に相当する。側突車の左後席に CRS を取り付け、Q3s ダミーを着座させた。ダミーを拘束する CRS ショルダーハーネスには 75 mm のスラックを設けた。これはカナダの CRS の使用実態調査によって明らかにされた実際のスラック量にもとづいている。

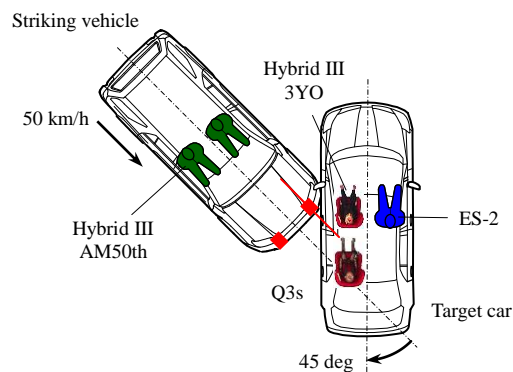


図 8 衝突試験

図 9 にダミーの挙動を示す。Q3s ダミー頭部が CRS シェル外部に変位し、ドアガラスと高い速度で衝突した。ドアガラスは、子どもの頭部にとっては剛性が高く、HIC は大きな値(702)となった。ガラスは成人にとってはその剛性の影響は小さいが、子どもにとっては重篤な頭部傷害を発生させることがわかった。この実験によって、頭部が客室内側面と衝突し、重篤な傷害を受けうることが実証された。

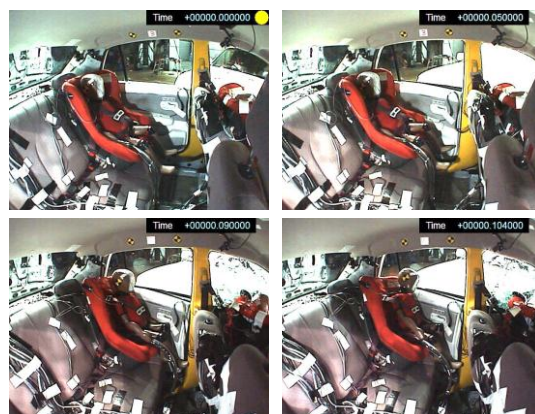


図 9 ダミー挙動

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Cui, Y., Masatomo, Y., Mizuno, K., Tanaka, Y., Yoshida, R., FE analysis of child occupant kinematics in CRS in side oblique impact, International Journal of Crashworthiness, 17(3), 233-242, 2012, 査読あり
- ② 胡 佳, 水野幸治, FE simulation of frontal crash sled test with ISOFIX child restraint system, Automotive

- Engineering, 33(5), 401-404, 2011, 査読あり
- ③ Mizuno, M., Ikari, T., Kawahara H., Kubota, M., Ohsato, S., Effect of test Conditions on child occupant responses in CRS, International Journal of Automotive Engineering, 2(2), 26-32, 2011, 査読あり
 - ④ 吉田良一, 岡田宏, 野邑満教, 横橋松人, 藤居睦代, 水野幸治, 田中良知, 細川成之, 側面衝突試験による CRS 子ども乗員の頭部挙動とスレッド試験による再現, 自動車技術会論文集, 42(6), 1335-1340, 2011, 査読あり
 - ⑤ 崔 英愛, 山口真誠, 城戸健太, 水野幸治, 田中良知, 吉田良一, 斜め側突時の CRS 子ども乗員の挙動解析, 自動車技術会論文集, 42(1), 67-72, 2011, 査読あり
 - ⑥ Yoshida, R., Nomura, M., Okada, H. Mizuno, K., Yonezawa, H, Head injury mechanisms of a child occupant in a child restraint system based on side oblique impact tests, Stapp Car Crash Journal, 55, 117-139, 2011, 査読あり
 - ⑦ Yonezawa, H, Tanaka, Y., Hosokawa, N., Matsui, Y., Mizuno, K., Yoshida, R., Occupant Responses in Child Restraint Systems Subjected to Full-Car Side Impact Tests, SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems, 3(1), 744-767, 2010, 査読あり
 - ⑧ 田中良知, 米澤英樹, 細川成之, 松井靖浩, 水野幸治, 山口真誠, 吉田良一, ECE R44 試験条件における各種 CRS での Hybrid III 3Y0 と Q3 との応答比較に関する考察, 自動車技術会論文集, 41(3), 611-616, 2010, 査読あり

[学会発表] (計 4 件)

- ① 崔英愛, 平林智子, 水野幸治, 田中英一, 吉田良一, 側面衝突の子ども乗員の台車試験による再現方法, 日本機械学会第 22 回バイオフロンティア講演会, 2011 年 7 月 7-8 日, 津市
- ② Yoshida, R., Okada, H., Mitsunori N.,

- Yokohashi, M., Fujii, C., Mizuno, K., Identification of head injury mechanisms of a child occupant in a child restraint system based on side impact tests, 22nd International Technical Conference on the Enhanced-Safety of Vehicles, Washington, D.C., June 13-16, 2011
- ③ Yonezawa, H., Tanaka, Y., Hosokawa, N., Matsui, Y., Mizuno, K., Yoshida, R., Behavior of Occupant Seated in ISOFIX CRS in Various Full-Scale Car Side Impact Tests, 8th International Conference, Munich, Germany, December 2-3, 2010
 - ④ Cui, Y., Yamaguchi, M., Mizuno, K., Tanaka, Y., Yoshida, R., FE Analysis of child occupant kinematics in CRS in side oblique impact, ICrash2010, Leesburg, USA, September 22-24, 2010

[図書] (計 1 件)

- ① 水野幸治 (単著), 自動車の衝突安全, 309p., 名古屋大学出版会, 2012

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/laboratories/human.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水野 幸治 (MIZUNO KOJI)
名古屋大学・大学院・工学研究科教授
研究者番号: 80335075

(2) 研究分担者

田中 英一 (TANAKA EIICHI)
名古屋大学・大学院・工学研究科教授
研究者番号: 00111831

(3) 連携研究者 なし