

幼児拘束装置におけるアクティブ制御による安全性向上の検証

Safety Improvement of Child Restraint System Active Control

辻内伸好（同志社大） 伊藤彰人（同志社大） ○黒木勝也（同志社大院）

Nobutaka TSUJIUCHI, Doshisha University

Akihito ITO, Doshisha University

Katsuya KUROKI, Graduate School, Doshisha University

Abstract: With many statistics, the utility of the child restraint system (CRS) is confirmed. And the new fixed system called ISOFIX which can prevent misuse is spreading. On the other hand, in the restraint system for adults, it is confirmed that active control system, such as pre-tensioner and force limiter, improves safety. We built CRS models of the seat belt fixing type and the ISOFIX type by using MADYMO, and verified by simulation how much child injury risk can reduce by adopting the active controller. Simulations are run by inputting the acceleration obtained from the actual thread examination into the model which consists of CRS, Hybrid III 3-year-old dummy and active controller. We derived each parameter of the model from the optimization by defining the evaluation function and running simulation repeatedly. We obtained the injury value of the head, the neck, and the thorax from the response result, and evaluated safety.

Key Words: Child Restraint System, Active Control, ISOFIX, Crash-Safety, Optimization

1. 諸言

警察庁の統計資料より、チャイルドシート（以下 CRS）の幼児保護効果が確認されている⁽¹⁾。また近年ではシートベルトで固定する方式に代わって、ISOFIX と呼ばれる CRS の固定方式が普及し、誤使用の防止に役立っている。一方で、成人用拘束装置ではプリテンショナやフォースリミッタなどを利用して挙動を制御しているが、CRS ではそのような制御は行われていない。そこで本研究では CRS のハーネスを制御する制御器モデルを構築し、その効果を検証した。

2. シミュレーションモデルの構築

2-1 想定する事故形態

衝突形態および傷害部位の割合を示す資料^{(2),(3)}より、前面衝突が最も多く、頭部傷害による死亡・重傷事故率が高いことが分かる。これより本研究では前面衝突における頭部傷害の危険性を低減することを目的として、傷害基準が存在する頭部、頸部および胸部の傷害の低減効果を検証した。

2-2 ダミーモデルおよび CRS モデル

シミュレーションモデルはダミーモデルと CRS モデルから成る。ダミーモデルには乗員安全解析ソフトウェア MADYMO 内に存在する Hybrid III 3-year-old dummy model を使用し、CRS モデルは実際の 3 歳児用前向き 3 点式 CRS を基にシートベルト固定式のモデルを構築した。CRS のハーネス部は FE モデルで構築し、それ以外の部位はマルチボディモデルによって構築した（図 1）。シートベルト固定式の CRS では実機による衝突試験結果と比較し、妥当性が確認されている。その後 ISOFIX 規格に則って ISOFIX 式 CRS モデルを構築した。ISOFIX 機構はシートの奥に配置されている専用の金具（ISOFIX 取付装置）に固定する「アンカレッジ」と取付装置との接合点を中心に生じる前回転を防ぐための「トップテザー」から構成されている。なお、ISOFIX 式 CRS のモデル構築においては CRS 固定装置に関する変更以外は行っておらず、身体に接触する部位の材料特性などはシートベルト固定式 CRS の特性と同様である。

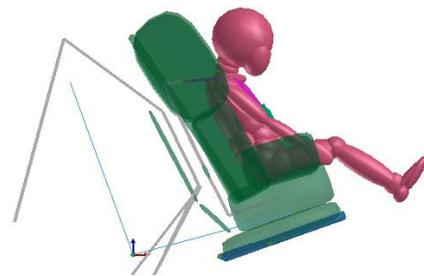


Fig. 1 Dummy and CRS model

2-3 制御器モデルの設計

制御器モデルは成人用拘束装置で利用されているプリテンショナやフォースリミッタといった機構の挙動を参考に MATLAB/Simulink を用いて作成した。プリテンショナによる初期張力の大きさやフォースリミッタの許容張力、フォースリミッタを構成するトーションバーの特性は変数として定義し、後述する最適化の作業によって値を決定した。この制御器によってハーネスの長さや張力の制御が可能になった。

2-4 パラメータの最適化

制御器モデルの各パラメータを決定するために最適化ソフトウェア modeFRONTIER によって、遺伝的アルゴリズムを使用し、変数を変化させながら 100 デザインを 10 世代進化させた。この際評価関数 J には式(1)に示す各部位の傷害値を非制御時の値で割った値を足し合わせ、各項に各部位の傷害率を重み係数として付けた式を利用した。 J が最小となる各変数の値を最適解として制御器モデルに採用した。

$$J = C_h \frac{HIC_{control}}{HIC_{non-control}} + C_n \frac{Nij_{control}}{Nij_{non-control}} + C_t \frac{T.A.T._{control}}{T.A.T._{non-control}} \quad (1)$$

なお HIC 、 Nij 、 $Thorax\ acceleration\ tolerance(T.A.T.)$ はそれぞれ頭部、頸部、胸部の傷害値であり、 HIC および Nij は以下の式(2)、(3)で表される値で、胸部加速度耐性は胸部に生じた 3[ms] 間の累計加速度で定義される。

$$HIC = \max \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} \right\} \quad (2)$$

a : 頭部合成加速度[g]
 $t_2 - t_1 \leq 36\text{ms}$

$$Nij = \frac{F_x}{F_{xc}} + \frac{M_y}{M_{yc}} \quad (3)$$

F_x : 頭部軸方向荷重[N]
 F_{xc} : 許容限界荷重[N]
 M_y : 頭部合成モーメント[Nm]
 M_{yc} : 許容限界モーメント[Nm]

また、 C_i が各項の重み係数で、部位別の傷害率⁽³⁾を適用し、それぞれ $C_h=1.03$, $C_n=0.08$, $C_r=0.20$ とした。

3. シミュレーションの実行

シートベルト固定式 CRS の妥当性の確認をした際の ECE R44 基準に準拠したスレッド試験結果で得られた衝突加速度をダミーモデルおよびそれぞれの CRS モデルに入力しシミュレーションを実行した。

4. 結果および考察

表 1 に固定方式の違いおよび制御器の有無による条件で得られた各部位の傷害値を示す。これより、最も傷害危険性が高い頭部では、制御器の無い場合と比較して傷害値がシートベルト固定式で 49%、ISOFIX 式で 48%低減しており、ハーネスに制御を与えることにより、幼児の傷害危険性が大きく低減できることが確認できた。また、固定方式の違いにおいては制御なしの場合で、ISOFIX 式の頭部傷害値がシートベルト固定式と比較して 48%低減されており、ISOFIX 固定方式の安全性が高いことが確認できた。

ハーネス張力および頭部加速度の時刻歴を示したものを図2および図3にそれぞれ示す。衝突初期(25ms前後)でプリテンショナによる初期張力が発生し、制御が無い場合と比較して早期から衝突エネルギーの吸収ができていることが確認できる。また、フォースリミッタの効果により張力の最大値が1000N前後に抑えられており、軽傷まで含むと傷害件数が多い胸部傷害の低減に効果があることが分かった。頭部加速度のピーク値は制御の有無に関わらず、ISOFIX式がシートベルト固定式よりも低くなることを確認できた。HICの時間幅を15msとする基準を採用するとISOFIX式による傷害危険性の低減効果は大きくなる。

図4には頭部重心の前方移動量を示す。前方移動量が大きくなると前席への衝突が発生する危険性が高まるので、CRSアセスメントでは基準値が設けられている。結果ではシートベルト固定式の制御有りの場合で最も前方移動量が大きくなっているが、アセスメント最高評価の基準値0.55mを下回っているため、十分に安全の範囲内であると考えられる。また、固定方式による頭部重心前方移動量の違いが大きく表れており、この点においてもシートベルト固定式と比較してISOFIX式の安全性の高さを確認することができた。

5. 結論

(1) プリテンショナやフォースリミッタの機構をCRSに搭載することで、最も傷害危険性の高い頭部の傷害値をおよそ半減させ、安全性が向上することを示した。

(2) CRSの固定にISOFIX方式を導入することで、誤使用の防止だけでなく安全性の向上が可能になり、加えてハーネスのアクティブ制御を導入することで安全性の更なる向上が見込めることが分かった。

Table 1 Injury values in non-control and control models

Fixed System	Control	HIC	Nij	Thorax acceleration tolerance (G)
Seatbelt	No	599	2.89	62
	Yes	308	1.64	58
ISOFIX	No	314	2.20	48
	Yes	164	1.76	35

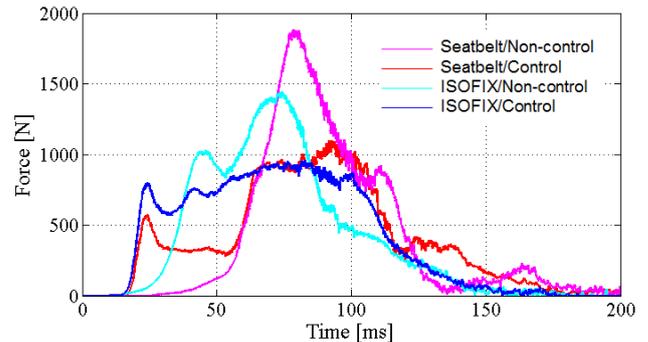


Fig. 2 Harness tension

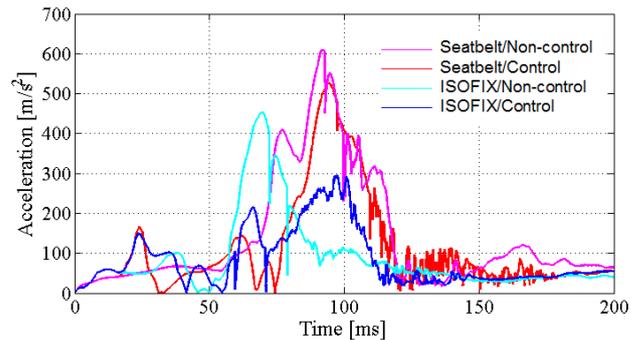


Fig. 3 Head resultant acceleration

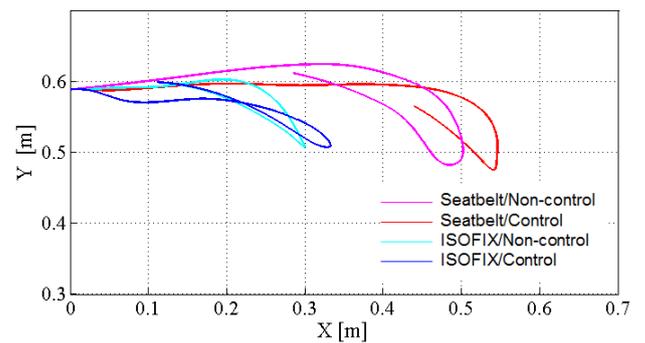


Fig. 4 Trajectory of head

参考文献

(1) 警視庁, チャイルドシート使用有無別交通事故関連統計 (平成25年中) .
 (2) 吉田良一, 後藤幸子, 森健二, ”チャイルドシートが関与した車両事故ITARDA データの安全解析研究”, (社)自動車技術会, 2002 年春季大会学術講演会全刷集, No.17-02, pp.13-16, 2002.
 (3) 水野幸治, ”自動車の衝突安全”, 財団法人名古屋大学出版会, pp1-37,241-262, 2012.
 (4) 国土交通省, ”協定規則第14号第6改訂補足第2改訂版”.