

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成26年6月4日現在

機関番号：34310  
研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2011～2013  
課題番号：23560272  
研究課題名（和文）幼児に対する動的傷害解析と傷害低減システムの開発

研究課題名（英文）Damage estimation for infant

## 研究代表者

小泉 孝之（KOIZUMI, Takayuki）

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：20247795

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）3,100,000円、（間接経費）930,000円

研究成果の概要（和文）：幼児に発生するさまざまな障害の発生要因と防止法を研究対象としている。その代表的なものとしてチャイルドシート（CRS）の制御方式と、幼児に対する過度な揺すぶりによる脳の損傷評価を主として数値シミュレーションを用いて行い多くの知見を得た。その結果 CRS に着座した幼児人体の損傷部位に着目してその障害値を全般的に提言する方法として CRS を固定するファーンエスをアクティブに制御する方法を開発し、その有効性を示した。揺すぶりに対してはダミーの揺動実験を元にした加振入力を FEM モデルとして構築した幼児頭部に入力することで揺すぶりと障害発生との関連性を明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：Some typical example in the dynamic problem of infant body and brain are investigated. As the typical example of this disease, two case of dynamic input is considered. One of them is the crash impact for child sitting on the child restraint sheet(CRS). To decrease the impact value, an idea to use active control of harness tension is investigated. Based on the computer simulation, total value of injury can be reduced. On the other hand, infant brain injury for shaking syndrome is investigated based on excitation test for dummy and simulation using precise FEM head model. Critical value of vibration input is clarified to prevent the infant brain based on this investigation.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学制御

キーワード：振動解析・試験

## 1. 研究開始当初の背景

幼児の生活環境に於いて様々な動的要因による障害が予測される。中でも自動車事故に起因するものと家庭内の虐待などのケースは現象が複雑且つ不透明であり、また生体による再現は不可能である。

## 2. 研究の目的

本研究の最終目的は幼児の安全確保であり、まず高度なシミュレーションとダミーを用いた実験により、上記の現象を正確に把握する。次に自動車事故に対してはアクティブ機能を持ったチャイルドシートを開発して衝突時の障害を低減するシステムの開発をおこなう。さらに虐待などによって発生する幼児の内部損傷を正確に予測しうる手法によって故意か過失かなどの判断基準を

明確にする手法を確立することで虐待防止などに繋げて行く。

## 3. 研究の方法

衝突時に拘束装置をアクティブ制御する機構を有するチャイルドシートの開発については、チャイルドシート及び幼児の数値モデルを作成する。作成したモデルを基に状態推定を行うことで、衝突時に観測可能な値を用いて各部位の加速度を算出し傷害危険性を低減する制御系を設計し、その有効性を衝突シミュレーションにより検証する。また②揺さぶられ症候群が幼児頭部に及ぼす影響については、幼児ダミーと加振機を用い、揺さぶり振動の再現実験を行うことで幼児に与える振動を測定し、実験データを基に幼児頭部有限要素モデルを用いて揺

さぶり振動が幼児頭部に及ぼす影響について検証する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 幼児拘束装置のアクティブ制御

本研究では拘束装置には3歳児用前向き3点式拘束装置を想定し、実際のシートベルトで座席に固定する方式の拘束装置を基に衝突解析ソフトMADYMOを用いてモデルを構築した。また、ダミーにはMADYMOのデータベースにあるHybrid III 3歳児ダミーモデルを利用した。近年では、座席への固定方法に専用の金具を用いる方式(ISOFIX方式)を用いる拘束装置が普及してきているため、ISOFIX機構の規格を参考にISOFIX式の拘束装置もモデル化した。

制御器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を模してモデルを作成した(図1-1)。

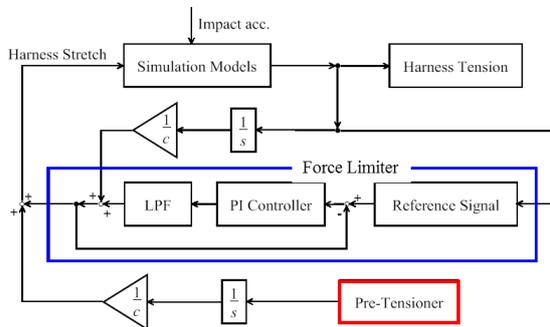


Fig.1-1 Block diagram of control system.

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modeFRONTIERを使用した。頭部、頸部および胸部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ものを評価関数として利用した。この評価関数が最小となったパラメータを採用した。

Table 1-1 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

シミュレーションの結果得られた各部位の傷害値を表1-1に示す。ここでHIC, Nij, Thorax acceleration toleranceはそれぞれ頭部、頸部、胸部の傷害値である。最も傷害危険性が高い頭部では傷害値がシートベルト固定方式で49%、ISOFIX方式で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頭部傷害値が48%低減されており、従来のシートベルトでする方式と比較してISOFIX固定方式の安全性が高いことが確認できた。

また、ハーネスの張力の時刻歴を示したものを図1-2に示す。

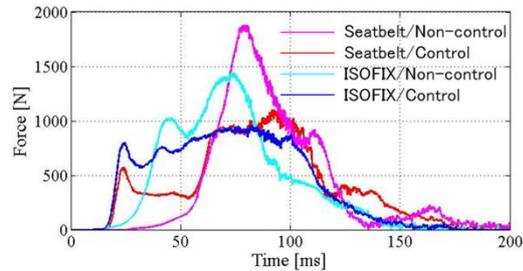


Fig.1-2 Harness force.

衝突初期(25ms前後)でプリテンショナによる初期張力が与えられ、制御がな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たことが確認できる。また、フォースリミッタの効果により張力の最大値が1000N前後と低く抑えられており、軽傷まで含むと傷害件数の多い胸部の傷害の低減にも効果があることが分かった。

(2) 大型加振機を用いて透過頭蓋骨頭部を有する6ヶ月児ダミーを加振し、揺さぶり行為を再現した実験を行った(図1)。実験結果より、周波数が3.0Hzの場合は、入力振幅が±40mm以上で2点間伸長比が増大し、振幅が±50mmでは特に顕著となる。3Hzの周波数は人がダミーを全力で揺さぶり、頭部の振動挙動が最も激しくなる周波数である。すなわち、これらの条件による揺さぶりは明らかに虐待とみなせる振動であり、ダミー頭部と脳も一際激しい振動挙動が観測された。また、周波数が2.5Hz以下の場合はいずれの入力振幅においても伸長比の変化が微小であり、あやう程度の揺さぶり振動では急性硬膜下血腫発生の危険性はないといえた。



Fig.1 Vibration experiments using a six-month-old-infant dummy

幼児頭部の有限要素モデルを用いて揺さ

ぶり行為を再現したシミュレーション解析を行った。本シミュレーション解析の目的は、急性硬膜下血腫発生の可能性が高い実験条件に対して架橋静脈が破断するか否かを検証することとした。有限要素モデルは幼児頭部のCT画像や既存の成人頭部モデルから構築した6ヶ月児の頭部モデルを用いた(図2)。入力には幼児ダミーを用いた加振実験から取得した頭部の変位および回転角度とし、有限要素モデルの重心位置に入力した。急性硬膜下血腫の直接的な発生原因は、脳と頭蓋骨の相対回転運動によりこれらを繋ぐ架橋静脈が破断することである。そのため、シミュレーションモデルによる解析ではダミー頭部加振実験で再現されなかった架橋静脈モデルを構築し、急性硬膜下血腫発生の可能性が高い実験条件で揺さぶり振動シミュレーションを行った。解析中の架橋静脈モデルの伸びを計測し、破断閾値( $\lambda=1.5$ )と比較することで、揺さぶり行為に対する急性硬膜下血腫の発生の危険性を検証した。

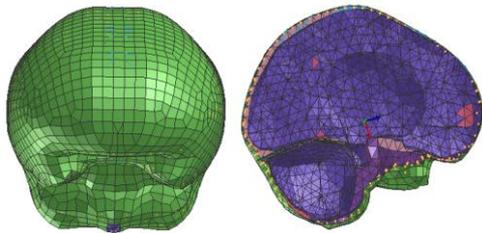


Fig.2 Simplified finite element model of six-month-old head.

シミュレーション結果より、図3に架橋静脈モデル(bvs1-bvs20)の最大伸長比を示す。図3よりbvs8およびbvs13は文献から決定した破断閾値1.5を上回り、中でもbvs13は1.58で最大値を示した。Bvs8およびbvs13の位置は前頭葉領域であり、急性硬膜下血腫が生じやすい領域と比較的一致している。これより、明らかに虐待とみなせる暴力的な揺さぶり行為は架橋静脈を破断させ、急性硬膜下血腫を発生させることがわかった。また架橋静脈の伸長に及ぼす入力成分の影響を検証した。回転運動のみの最大伸長比はbvs14で1.30、並進振動のみの最大伸長比はbvs8で1.54であった。架橋静脈の破断によって発生する急性硬膜下血腫は脳と頭蓋骨の相対回転運動により生じるとされているが、本シミュレーション解析では前後方向の並進振動が脳挙動を大きくし架橋静脈の伸長に大きな影響を及ぼすことがわかった。

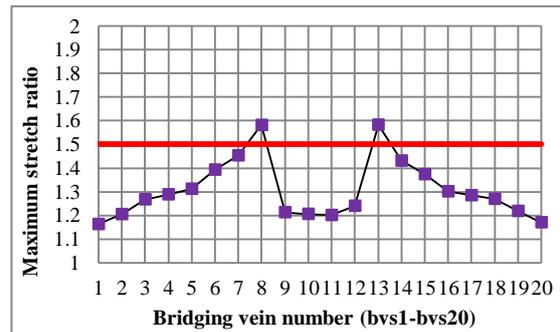


Fig.3 Maximum stretch ratio of bridging veins for vibration simulation

#### 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 4件)

① 辻内伸好、小泉孝之、原圭佑振動入力に対する幼児頭蓋内の動的応答と損傷評価、日本機械学会論文集、査読有、掲載決定

② Dynamic Response and Damage Estimation of Infant Brain for Vibration, T.Koizumi, N.Tsujiuchi, K.Hara, and Y.Miyazaki(Tokyo Institute of Technology), IMAC-XXXI: A Conference on Structural Dynamics Proceedings, Vol.6, pp.11-18 (2013, 2)

[学会発表] (計 10件)

幼児拘束装置のアクティブ制御器モデルの設計、小泉孝之・辻内伸好・黒木勝也、生活生命支援医療福祉工学系連合大会 2013 (2013, 9)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小泉 孝之 (KOIZUMI Takayuki)  
同志社大学・理工学部・教授  
研究者番号：20247795

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：