

|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 車両衝突時における乗員の筋特性変化を考慮した損傷低減統合制御  |
| Sub Title        | Injury protective integrated control for vehicle collision considering occupant muscular characteristic change  |
| Author           | 西村, 秀和(Nishimura, Hidekazu)   |
| Publisher        |   |
| Publication year | 2011  |
| Jtitle           | 科学研究費補助金研究成果報告書 (2010. )  |
| JaLC DOI         |   |
| Abstract         | 車両衝突時に乗員を保護するための装置の性能をさらに向上させるための研究を行った。特に、リハビリが長期間にわたり必要となる乗員下肢の損傷を防ぐための保護装置について検討した。車両衝突時からラップベルトとニーボルスターで前方への移動を抑制される過程で乗員特性は変化し、この状態に応じたラップベルトおよびニーボルスターの制御が必要となることを示した。また、ニーボルスターの制御にはセミアクティブ制御を施し、実装のための基礎データを得た。 |
| Notes            | 研究種目：基盤研究(C)<br>研究期間：2008～2010<br>課題番号：20560227<br>研究分野：工学<br>科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御  |
| Genre            | Research Paper  |
| URL              | <a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_20560227seika">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_20560227seika</a>                 |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

機関番号：32612

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560227

研究課題名（和文）車両衝突時における乗員の筋特性変化を考慮した損傷低減統合制御

研究課題名（英文）Injury Protective Integrated Control for Vehicle Collision Considering Occupant Muscular Characteristic Change

## 研究代表者

西村 秀和（NISHIMURA HIDEKAZU）

慶應義塾大学・システムデザイン・マネジメント研究科・教授

研究者番号：70228229

研究成果の概要（和文）：車両衝突時に乗員を保護するための装置の性能をさらに向上させるための研究を行った。特に、リハビリが長期間にわたり必要となる乗員下肢の損傷を防ぐための保護装置について検討した。車両衝突時からラップベルトとニーボルスターで前方への移動を抑制される過程で乗員特性は変化し、この状態に応じたラップベルトおよびニーボルスターの制御が必要となることを示した。また、ニーボルスターの制御にはセミアクティブ制御を施し、実装のための基礎データを得た。

研究成果の概要（英文）：In this study improvement of performance of protective devices for occupants in vehicle collision was investigated. Especially, injury protection of lower extremities was focused on since the rehabilitation needs very long term. It was necessary to control a lap belt and a knee bolster according to the occupants posture change occurred when the forward movement was strained by these devices after vehicle collision. The basic data for implementation of protective devices was obtained by carrying out experiments for the semi-active knee bolster control.

## 交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 1,600,000 | 480,000   | 2,080,000 |
| 2009年度 | 1,400,000 | 420,000   | 1,820,000 |
| 2010年度 | 600,000   | 180,000   | 780,000   |
| 年度     |           |           |           |
| 年度     |           |           |           |
| 総計     | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

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：衝撃制御，アクティブ制御，乗員保護，衝突安全，制御工学

## 1. 研究開始当初の背景

車両衝突時における乗員保護のための装置が開発、実装されたことにより、衝突事故による死亡者数は減る方向にあるものの、長期にわたるリハビリを必要とする下肢の重大な損傷を防ぐための方法に関しては研究が十分になされていなかった。また、乗員は下肢の損傷に至るまでに初期姿勢などの影響で特性変化が生じるため、これを考慮した

損傷低減制御系の設計が必要であり、なおかつ、エアバッグ、シートベルト、ニーボルスターといった乗員保護装置を統合的に制御する必要がある。これらに関する研究は未着手であった。

## 2. 研究の目的

リハビリが長期間にわたり必要となる乗員下肢の損傷を防ぐための保護装置につい

て研究を行った。車両衝突時からラップベルトとニーボルスターで前方への移動を抑制される過程で乗員特性は変化し、この状態に応じたラップベルトおよびニーボルスターの制御が必要となることを見出し、最適化問題として定式化し、その実現方法を検討した。ニーボルスターの制御にはセミアクティブ制御を施し、実装のための基礎データを得た。

### 3. 研究の方法

3次元モデルのシミュレーションで乗員保護制御システムの動作を明確にし、乗員の前方方向への移動、ラップベルトおよびニーボルスターの動作を明確にした。そして、低次元化モデルにもとづきラップベルト力および膝-インスツルメントパネル間接触力の最適化を施した。

次に、ニーボルスターにより最適な膝-インスツルメントパネル間接触力を発生させるため、その制御系設計を行うのに必要なモデリングについて検討した。3次元モデルとの整合性のある並進低次元化モデルを導出し、これに基づき設計したアクティブニーボルスターの制御効果を3次元モデルにおいて検証した。

最後に、最適な膝-インスツルメントパネル間接触力を発生させるニーボルスターを実装するため、セミアクティブニーボルスターについて検討し、その実験を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) ラップベルト力および膝-インスツルメントパネル間接触力の最適化

図1に乗員保護制御システムの動作を示す。これは3次元モデルにより、シミュレーションを行った際の車両衝突直後、30ms経過後、60ms経過後の様子を表したものである。車両衝突後、乗員はシートおよびラップベルトの拘束を受けながら前方に移動し、上肢がシートベルトおよびエアバッグの拘束を受け、下肢の特に膝がインスツルメントパネルに接触すると、ニーボルスターが膝を受ける様子が見られる。この間、乗員の姿勢は大きく変化する。図1のドライバは右足がアクセルペダルの拘束を受けており、3点式シートベルトの影響もあって、必ずしも乗員の姿勢が前方に直線的に移動するのではなく、左右の非対称性があることがわかる。

当該研究では、特に下肢に着目し、ラップベルト力とニーボルスター発生力による大腿骨変形の抑制を検討するが、これらへ上肢あるいは脚部を含めた全体の挙動が大きく影響することは図1から明らかである。ラップベルト力やニーボルスター発生力の制御系設計においては、単純化した力学モデルが必要であり、どのようにこれを導出するかが重要な問題となることを明らかにした。

次に、単純化した力学モデルに基づき、乗員の初期姿勢、特に膝とインスツルメントパネル間の初期時刻における距離が与える影響を検討した。図2にその検討結果を示す。

図2は最大ラップベルト荷重 6000 N と設定し、最適なラップベルト力と膝-インスツルメントパネル間接触力により大腿骨荷重を最小化した結果をまとめたものである。横軸に腰拘束変位、縦軸に大腿骨最大荷重をとり、膝-インスツルメントパネル間初期距離による影響を示している。ここで、 $x$ は膝部初期距離 0.06 m の場合の制御なしのプロットで、このときの最大ラップベルト荷重は 9200 N である。

膝-インスツルメントパネル間初期距離を 0.01 m まで短くすることで、腰拘束変位を大きくとった場合にも大腿骨荷重を 600 N 程度まで抑制できることがわかる。逆に初期距離を 0.06 m 程度に設定した場合には、腰拘束

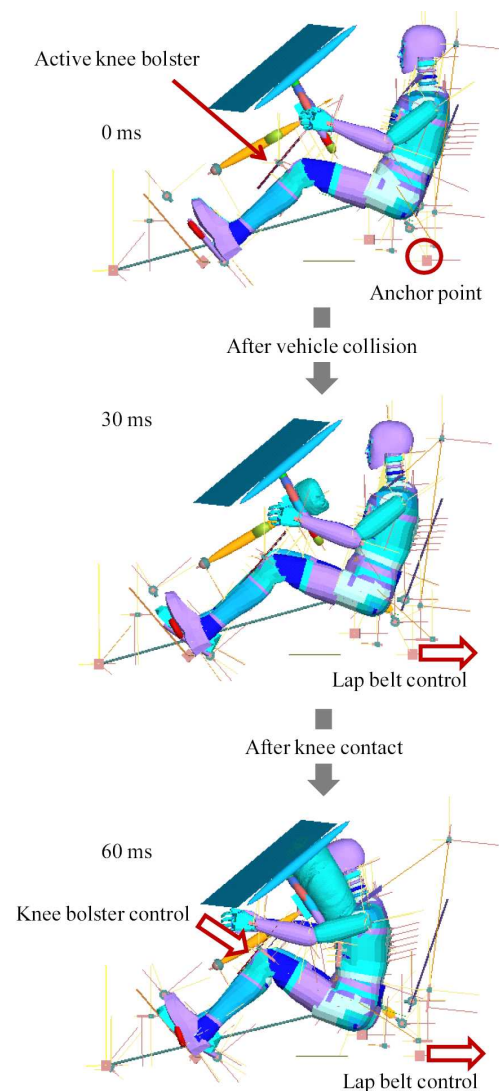


図1 乗員保護制御システムの動作（3次元モデルによるシミュレーション）

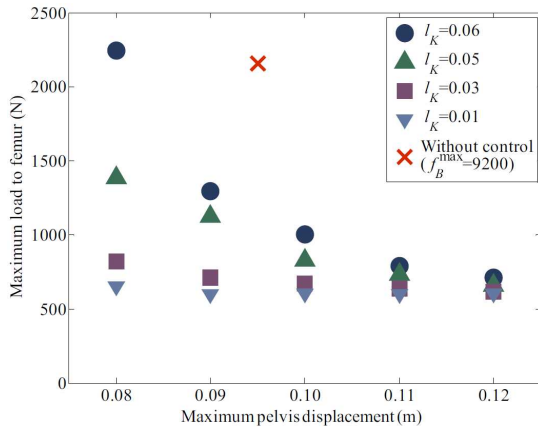


図2 最大ラップベルト荷重 6000 N の場合の腰変位拘束と大腿骨荷重最大値の関係 (×:最大ラップベルト荷重 9200 N、膝部初期クリアランス 0.06 m)

変位を大きくすることで大腿骨荷重の低減できることがわかる。

(2) 膝-インスツルメントパネル間接触力の最適制御

ニーボルスターにより最適な膝-インスツルメントパネル間接触力を発生させるため、その制御系設計を行うのに必要なモデリングについて検討した。図3に示す3次元モデルとの整合性のある並進低次元化モデルを導出した。図4はそのモデル図であり、図3の3次元モデルでのシミュレーション結果との整合性を検証した。

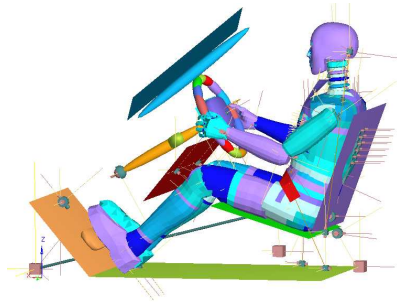


図3 乗員保護制御システムの3次元モデル

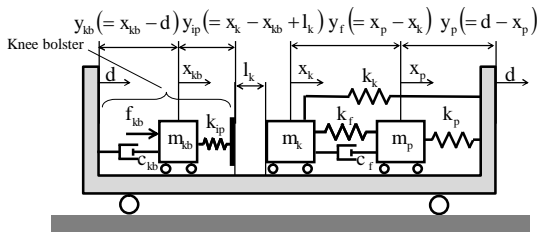
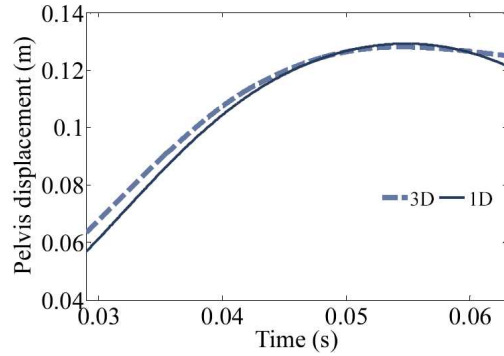
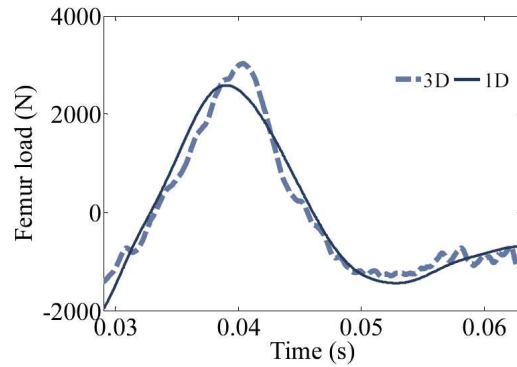


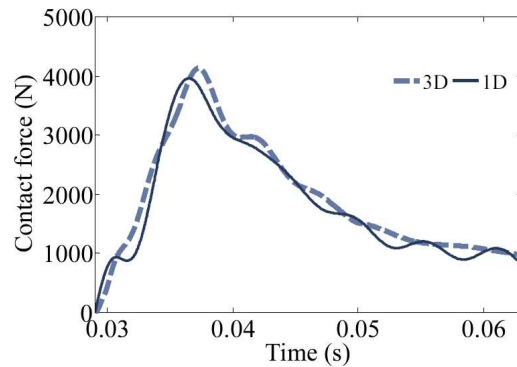
図4 乗員下肢とニーボルスターの低次元化モデル



(a) Pelvis displacement



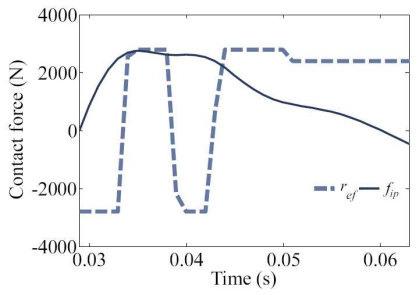
(b) Femur load



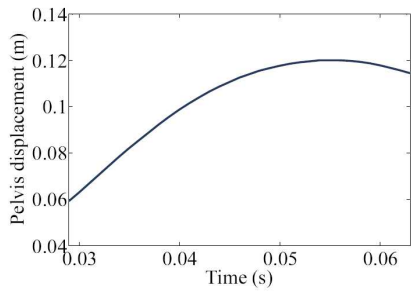
(c) Contact force

図5 3次元モデルと並進低次元化モデルのパッシブニーボルスターを用いた場合の応答比較

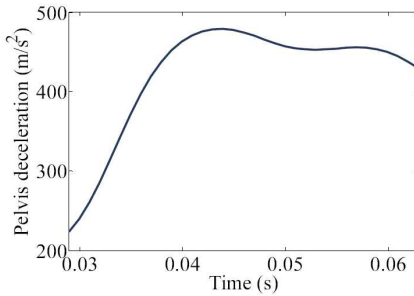
推定が比較的容易な下肢の質量  $m_p$  と質量  $m_k$ 、およびニーボルスターの質量  $m_{kb}$  とニーボルスターに並列して配置するダンパ  $c_{kb}$  は既知のパラメータとした。パラメータ  $k_p, k_k, k_r, k_{kp}, c_f$  について最尤推定法に基づく予測誤差法を適用した結果、パッシブニーボルスターを用いた場合の応答が図5のとおり得られた。(a)の腰移動量についてはほぼ同等の応答となっていることがわかる。(b)大腿骨荷重(両脚合計),(c)膝部接触力(両脚合計)に関しては、最大値に差異があるが、概ね同等の応答が得られている。



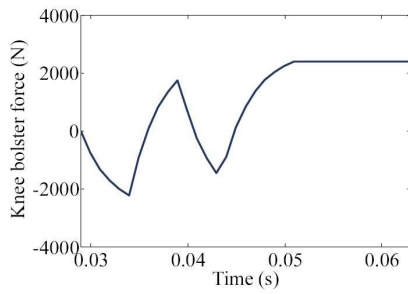
(a) Contact force



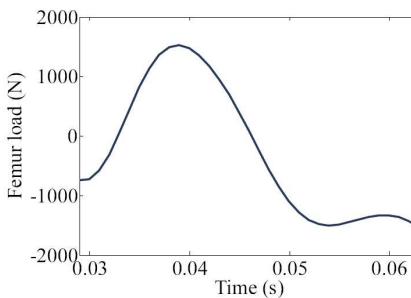
(b) Pelvis displacement



(c) Pelvis deceleration

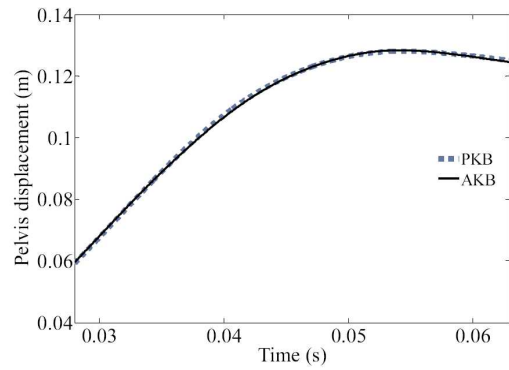


(d) Knee bolster force

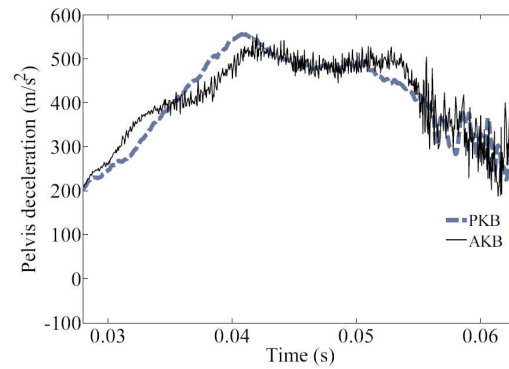


(e) Femur load

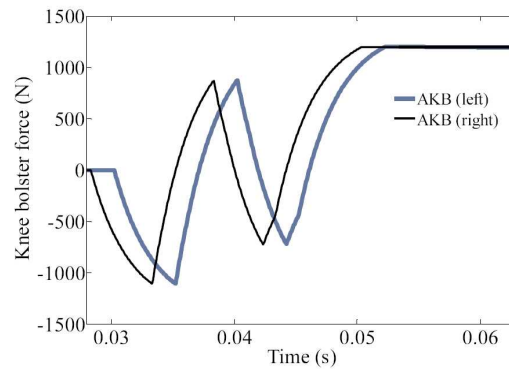
図6 低次元化モデルに対する最適制御結果



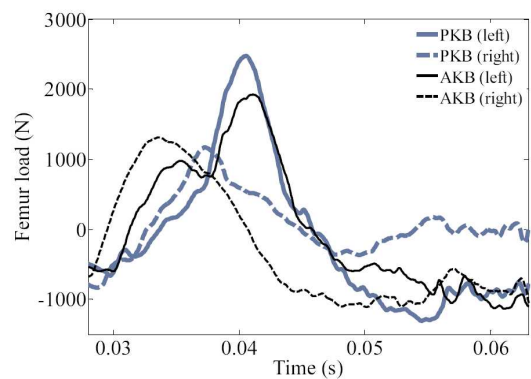
(a) Pelvis displacement



(b) Pelvis deceleration



(c) Knee bolster force



(d) Femur load

図7 3次元モデルによる乗員保護制御システムの検証

つぎに低次元化モデルをもとに最適制御系設計を施した。膝部接触力に目標値を与え、その目標値に追従する LQI 制御を検討した。そこでは、初期値補償を用いて、過渡的な応答を抑制している。図 6 に低次元化モデルに最適制御を施した結果を示す。(a)には破線で膝部接触力目標値が、実線で膝接触力が示されている。目標値の最大値以内に膝接触力(両脚合計)が抑制されていることがわかる。また、(b)、(c)に示される腰移動量と腰減速度は、設定した制約  $0.12\text{ m}$ ,  $479\text{ m/s}^2$  を満たしている。ニーボルスターの発生力の最大値は  $2400\text{ N}$  で、(d)より、これを満たしていることがわかる。(e)より、大腿骨荷重(両脚合計)の最大値は  $1524\text{ N}$  で、パッシブニーボルスターの場合の  $2586\text{ N}$  を  $1000\text{ N}$  以上抑制できている。

図 7 には低次元化モデルをもとに設計した最適制御系を 3 次元モデルで検証した結果を示す。3 次元モデルでは、左右の非対称性があるため、ニーボルスターを左右脚用に分けて、それぞれの脚の状態に応じて制御を施している。(a)、(b)から腰移動量、腰減速度ともにパッシブニーボルスターの場合との差はほとんどないことがわかる。この条件のもとで、(c)に示されるアクティブニーボルスターの発生力により、(d)の大腿骨荷重が左脚でパッシブの  $2473\text{ N}$  を  $550\text{ N}$  抑制していることがわかる。右脚に関しては、パッシブ  $1167\text{ N}$  から逆に  $144\text{ N}$  の増加となっているが、大腿骨に障害を生じさせてしまうレベルには達していない。

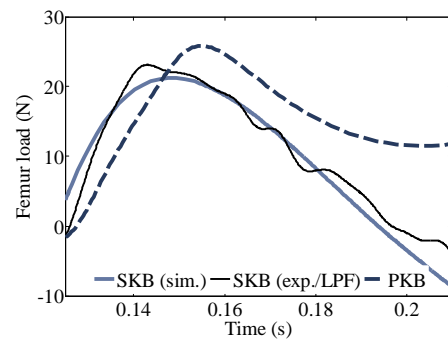
以上より、乗員下肢を保護するための現象を単純な並進のみのモデルに表し、その上で適切な制御系設計手法を提案し、これを 3 次元モデルで検証した。当該研究によってこの一連のプロセスの有効性が示された。

### (3) セミアクティブニーボルスター

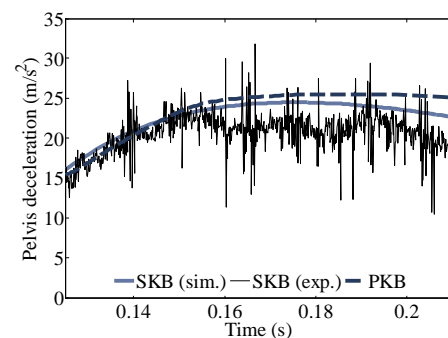
最適な膝-インストゥルメントパネル間接触力を発生させるニーボルスターを実装するため、可変減衰係数によるセミアクティブニーボルスターについて検討し、その模型実験を行った。衝突速度  $55\text{ km/h}$  相当の実験結果を図 8 (a) ~ (d) に示す。

図 8(a)は大腿骨荷重で、当該衝突速度で最適に設計されたパッシブの場合よりも最大値で  $10\%$  程度抑制できていることがわかる。実験結果の最大値はシミュレーション結果のそれよりも若干大きな値になっているが、概ね同等の応答となっている。(b)は腰減速度で、パッシブの場合よりも腰減速度を抑制できていることがわかる。(c)に示すとおり、セミアクティブニーボルスターの発生する制御力は仮定した減衰力の最大値を後半の時間帯で発生している。このとき、減衰係数は(d)のように変化しており、制御系設計に

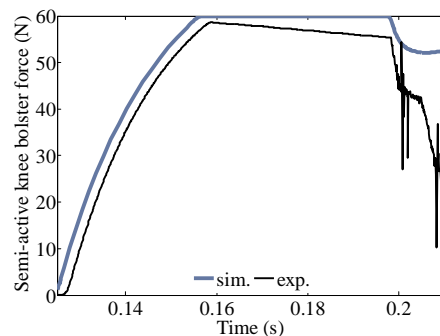
よっては、単調増加で減衰係数を変化させるのみで効果的に大腿骨荷重を低減できることがわかる。



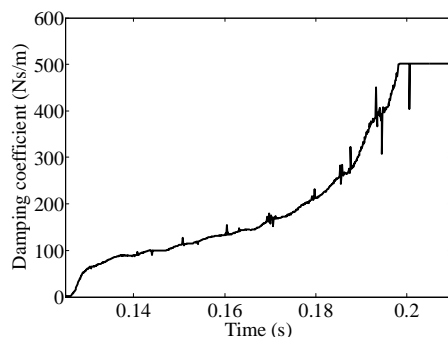
(a) Femur load



(b) Pelvis deceleration



(c) Semi-active knee bolster force



(d) Damping coefficient

図 8 セミアクティブニーボルスターの制御実験結果

#### (4) 成果のまとめ

車両衝突時における乗員の挙動を把握した上で、総合的に乗員の損傷を低減するための制御方法を検討した。特に乗員下肢の損傷を低減するにはラップベルトとニーボルスターの組み合わせが妥当であり、これを3次元シミュレーションで検証するとともに、模擬実験を行った。模擬実験では、実現性を考慮し、減衰係数を可変とするセミアクティブニーボルスターを仮定し、減衰係数の単調増加の変化で、効果的に大腿骨荷重を低減できることを示した。

#### 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2件)

Makoto KATO, Hidekazu NISHIMURA, Taro SHIMOGO, Injury Protection of Occupant's Legs with Feedback Control for Active Knee Bolster, Review of Automotive Engineering Vol.29 No.3 July 2008, pp.357-362 (2008) (査読有)

Shaopeng ZHU, Hidekazu NISHIMURA, Shunsuke IWAMATSU and Hiroshi TAJIMA, Dynamical Analysis of Motorcycle by Multibody Dynamics Approach, Journal of System Design and Dynamics Vol. 2, No. 3 Special Issue on Nonlinear Dynamics in Mechanical Systems, pp. 703-714 (2008) (査読有)

[学会発表](計14件)

成川 輝真, 西村 秀和, セミアクティブニーボルスターを用いた乗員下肢保護制御系設計, Dynamics and Design Conference 2011, 高知, 2011年9月(日は未定)

成川 輝真, 西村 秀和, 低次元力学モデルを用いた車両衝突時の乗員下肢保護制御系設計, 第12回「運動と振動の制御」シンポジウム(MOVIC2011), 長野, 2011年6月29日

成川 輝真, 西村 秀和, 成川 理優, 車両前面衝突時の乗員下肢損傷低減のためのセミアクティブニーボルスター制御系設計, 第53回自動制御連合講演会, 高知, 2010年11月5日, pp.875-879

Terumasa Narukawa and Hidekazu Nishimura, Control System Design Based on Model Driven Systems Development for Occupants' Lower Extremities in Frontal Car Crash, 3rd International Conference on

Model Based Systems Engineering, Virginia, USA, September 28, 2010

Terumasa Narukawa and Hidekazu Nishimura, Control System Design for Occupant Lower Extremity Protection in Vehicle Frontal Collision, Proceedings of MOVIC2010, Tokyo, Japan, August 18, 2010, No. 10-203, 2C13

Terumasa Narukawa, Hidekazu Nishimura, and Ryu Narikawa, Injury Protection of Occupant's Lower Extremities in Vehicle Frontal Collision by Cooperative Control of Knee Bolster and Seat Belt, Second International Conference on Vibro-Impact Systems, Sanya, P.R. China, January 8, 2010, No. 032

成川 輝真, 西村 秀和, 成川 理優, ニーボルスターとシートベルトの協調制御による車両衝突時の乗員損傷低減, 第11回「運動と振動の制御」シンポジウム, 福岡, 2009年9月2日, pp. 36-40

[図書](計1件)

西村 秀和, 自動車の衝突安全, 安全工学会, Vol.48, No.5, pp.288-292, (2009)

[その他]

ホームページ

<http://lab.sdm.keio.ac.jp/nismlab/studies.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

西村 秀和 (NISHIMURA HIDEKAZU)

慶應義塾大学・システムデザイン・マネジメント研究科・教授

研究者番号: 70228229

##### (2) 研究分担者 なし

##### (3) 連携研究者 なし