

機関番号：13904

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560216

研究課題名（和文）

アクティブセーフティシステムのモデリングとアセスメント

研究課題名（英文）

Assessment and modeling of active safety system

研究代表者

感本 広文（MINAMOTO HIROFUMI）

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20273328

研究成果の概要（和文）：自動車衝突事故に対するアクティブセーフティ技術の一つである被害軽減ブレーキ(CMB)の効果を，計算機シミュレーションによって明らかにする事を目的として研究を行った．車両運動解析に ABS,レーダーセンサおよび CMB 制御ロジックを追加し，直線路およびカーブ路における追突事故のシミュレーションを行った．CMB の効果は路面摩擦状態に大きく影響され，カーブ路では直線路に比べて前方車両の検出遅れを生じることが分かった．また，カーブ路ではレーダーセンサの方向を補正することにより，検出遅れを防止できる事を示した．

研究成果の概要（英文）：Collision Mitigation Brake (CMB) is one of active safety system for automobile collision accidents. The purpose of this research is to clarify the effect of CMB by numerical simulation. Rear-end collisions on straight road and curved road were simulated by incorporating the sensing and CMB model into dynamic vehicle motion analysis. It was shown from the simulation results that the effect of CMB was largely influenced by the road friction coefficient. And in the case of curved road, the effect of CMB was decreased compared with the case of straight road because of detection delay . However, it was found that this delay was avoided by revising the rader direction according with the steering angle.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：自動車衝突事故，アクティブセーフティ，衝突被害軽減，CMB，追突

## 1. 研究開始当初の背景

近年，交通事故による死者数は減少傾向にあるものの，交通事故件数は依然増加傾向にあり，交通安全対策が一層強く進められている．具体的な施策として ITS（高度道路交通システム）プロジェクトが推進されており，

2006 年からは自立的 IT 社会の実現を目指して IT 新改革戦略がスタートし，その柱の一つに「世界一安全な道路交通社会」が掲げられている．

衝突安全は，衝突前に危険を能動的に回避する予防安全（ABS：アンチロックブレーキ

や VSC：車両姿勢制御等の Active safety) と、衝突後の傷害軽減と事故被害拡大を防止する衝突安全 (エアバッグや衝撃吸収ボディ等の Passive safety) に大別される。近年では予防安全技術の一つとして、衝突が避けられない場合に対しても被害を極力低減するプリクラッシュセーフティシステムが注目されている。

プリクラッシュセーフティシステムには種々の構成が考案されているが、基本的にはレーダーによって前方車両を検知し、衝突の危険性があると判断された場合は、警報を発生し、衝突が避けられない場合は、自動的にブレーキ (衝突被害軽減ブレーキ, CMB: Collision Mitigating Brake) を作動させ、衝突速度と乗員への衝撃を軽減しようとするものである。

## 2. 研究の目的

衝突被害軽減ブレーキ (CMB) は、現状で実現可能な技術レベルを念頭に置いたシズベースの指針に沿って開発されてきた。そのため、レーダー検知性能、衝突判断、ブレーキ制御ロジック等、CMB を構成する各要素が衝突速度低減量に及ぼす影響が必ずしも明らかではない。また、CMB の効果は特定の事故形態 (多くの場合、追突) に限定的である。本研究ではこれらの CMB 構成要素が衝突速度低減効果に及ぼす影響を計算機シミュレーションによって定量的に評価する事を目的とする。これは、従来に比べてより効果的で、広範の事故形態に対応できる CMB システムの構築に役立つと思われる。

## 3. 研究の方法

上記目的を達成するために、妥当な計算結果を与え得る数値シミュレーション環境を構築した。そして、構築したシミュレーション環境を用いて種々の衝突事故に対する数値計算を行い、CMB による衝突速度低減量を求めた。

### (1) 数値シミュレーション

車両挙動のシミュレーションにはいくつかの手法が考えられるが、本研究では、基本的な諸量の入力で精度良く多様な車両の挙動の計算を行える剛体運動理論に基づく車両運動理論を用いた。車両運動解析では図 1 に示すように車両重心の並進および回転自由度 (計 6 自由度) と各車輪のストロークと回転自由度 (2×4 輪=8 自由度) の計 14 自由度を考慮した車両モデルを採用した。また、カーブ路走行時および CMB による制動時の車体傾斜による影響を現実的に再現するために、主要なサスペンション特性およびアライメント変化も考慮に入れている。これにレーダーセンサによる車両検知 (図 2 参照) と衝

突被害軽減ブレーキの制御ロジック (図 3) を追加した。これにより、種々の条件に対応できるシミュレーションモデルを構築した。車両運動解析には汎用ソフト CarSim を用いた。また、CMB モデルの記述にはモデリングソフト MATLAB/Simulink を使用した。

車両諸元およびサスペンション特性は、一般的な上級セダンを想定した値を入力し、レーダーセンサの仕様は、一般的な性能を想定し、表 1 の仕様とした。

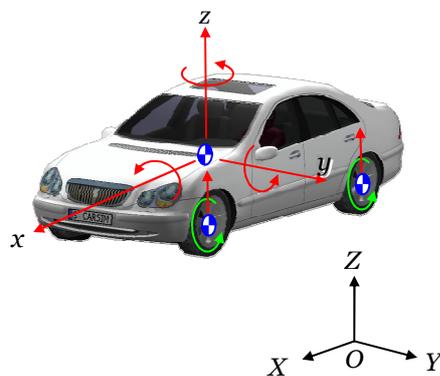


図 1 車両モデル

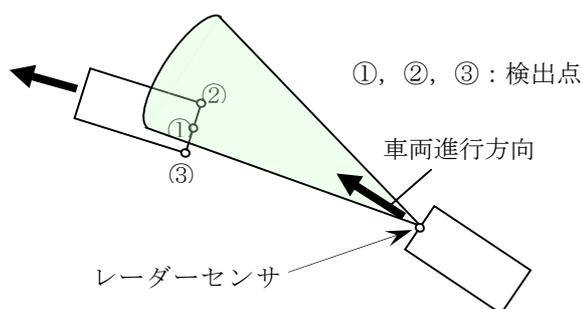


図 2 レーダーセンサによる先行車の検知

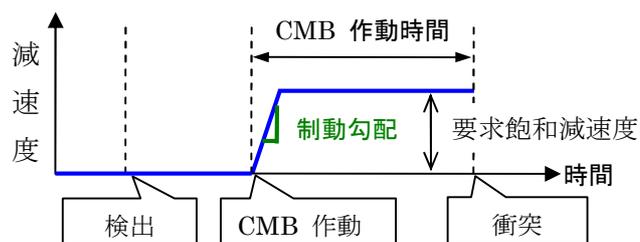


図 3 CMB 制御ロジック

表 1. レーダーセンサ仕様

検知距離範囲	0m~150 m
距離分解能	1m
検知角度範囲	±8°
角度分解能	1°
データ更新間隔	20ms

(2)CMB の効果の評価

CMB が作動する場合と非作動の場合についてシミュレーションを行い、CMB の作動によりどれだけ衝突速度が低減されたか（以降、衝突速度低減量と呼ぶ）と求め、これによってCMB の効果を評価した。

はじめに、直線路での2車両の衝突シミュレーションを行い、路面摩擦係数の影響を調べた。

次に、一定曲率のカーブ路における二車両の追突シミュレーションを行い、カーブ半径、TTC(Time To Collision)の影響を調べた。

ここで、TTC は、CMB を衝突の何秒前に作動させるかを定める設定値であり、国土交通省の「前方障害物衝突軽減制動装置の技術指針」に 0.6 秒、1.0 秒、1.4 秒などの値が記されている。

事故時の車両挙動を詳細に記載したマイクロ事故データの分析結果によると、衝突事故直前に先行車が急ブレーキをかけるケースが多かった事から、追走中に先行車が急ブレーキをかけた場合の追突シミュレーションも行う事とした。追走する2車両のシミュレーションでは、車間時間（2車両の車間距離を車両速度で除した値。一般的な推奨値は2秒程度）を変化させてシミュレーションを行い、車間時間がCMB の効果におよぼす影響を調べた。

なお、本研究では漫然運転あるいは居眠り運転等により、ドライバーによる回避動作（ブレーキ、ハンドル操作）が全く行われない場合を想定してシミュレーションを行った。

4. 研究成果

(1)直線路追突事故に対する CMB の効果と路面摩擦係数の影響

下図に示すように、直線路において、前方の停止車両(Car2)に対して直進してきた車(Car1)が追突する場合についてCMB の効果を調べた。

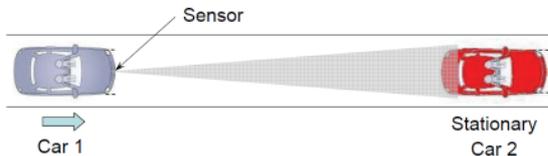


図 4 停止車に対する追突

解析結果の例として車速 50km/h、要求減速度 1G における、TTC=0.6s, 1s ならびに摩擦係数  $\mu=0.6, 1$  の場合の結果を図 5 に示す。図 5(a), (b), (c) はそれぞれ衝突予測時間  $T_c$  (2車両の相対距離/相対速度)、車両減速度、車速の経時変化を示す。各図の横軸はCMB 作動開始時を Time=0 としている。

図 5(a) に示すように、Time=0 でCMB が作

動し、 $T_c=0$  で衝突する。TTC=0.6s では路面  $\mu$  による差はほとんど見られないが、TTC=1s では路面  $\mu$  によって  $T_c$  の減少の傾向が異なっている。次に、車両減速度は図 5(b) に示すように Time=0 から立ち上がり、路面  $\mu$  に応じてそれぞれ異なる減速度で飽和している。また、図 5(c) に示すように、車速は Time=0 で 50km/h から減速しはじめ、減速度が飽和すると一定減速となり、 $T_c=0$  (図中の○印) で衝突する。

この場合、CMB 非搭載車の衝突速度は、車両初速度に等しいので、車両初速度とCMB 搭載車両の衝突速度の差を衝突速度低減量とした。

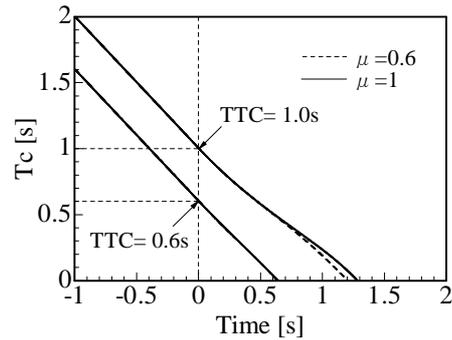


図 5(a) 衝突予測時間の経時変化

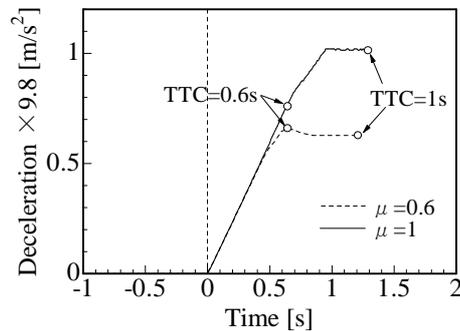


図 5(b) 車両減速度の経時変化

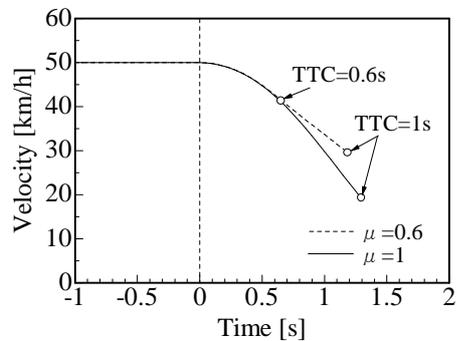


図 5(c) 車両速度の経時変化

図6に3種の路面摩擦係数 ( $\mu=0.3, 0.6, 1.0$ ) における車両初速度と衝突速度低減量の関係を示す。

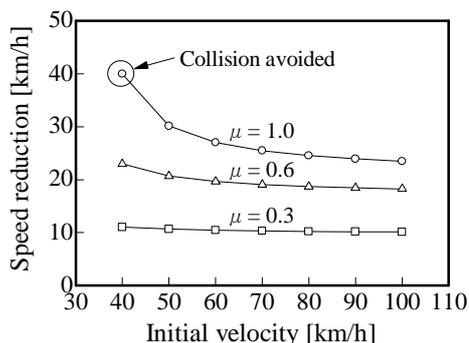


図6 衝突速度低減量に対する摩擦係数の影響

図6より、路面摩擦係数が小さい ( $\mu=0.3$ ) 場合は、車速に対する衝突速度低減量の変化は小さいが、路面摩擦係数が大きくなるほど、低速域での衝突速度低減量が大きくなっていることが分かる。一般に、路面摩擦係数が大きいほど衝突速度低減量が増加する。しかし、TTCが短い (TTC=0.6s) 場合は、要求飽和減速度に達する前に衝突が生じるため、衝突速度低減量が小さくなる (図5(b), (c): TTC=0.6s の場合参照)。

図6の○印は衝突速度低減量が初速度に等しく、CMBによる制動で車両が衝突前に停止した事 (衝突回避) を示している。

低摩擦路では、CMBによる衝突速度低減量が大きく低下する。それを補うためにはTTCを長く設定する必要があるが、TTCを長くとり過ぎると、運転者の意思に反してCMBが過剰介入となる可能性があるため、路面状況に応じたTTCの設定が必要であると考えられる。

(2)カーブ路追突に対するCMBの効果

カーブ半径60m~460mのカーブ路で、車速40km/h~100km/h、要求減速度0.5Gにおける二車両の追突シミュレーションを行った (図7)。

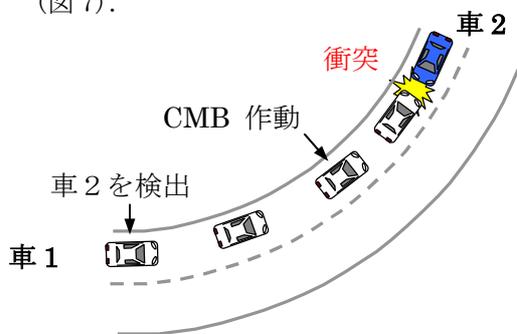


図7 カーブ路での追突

図8は衝突速度低減量に対するカーブ半径

の影響を示したものである。図8(a)に示されるように、TTC=0.6sではカーブ半径、車速によらず衝突速度低減量は約7km/hで一定となっている。しかし、図8(b)に示されるように、TTC=1.4sでは低速程衝突速度低減量が多い。また、 $V=60\text{km/h}$ でカーブ半径が小さい場合において衝突速度低減量が著しく低下している。

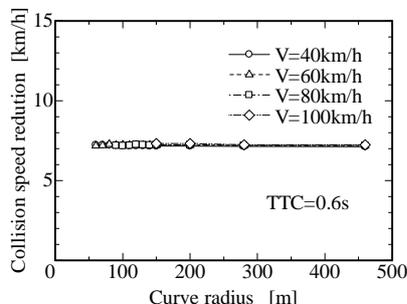


図8(a) 衝突速度低減量に対するカーブ半径の影響 (TTC=0.6s)

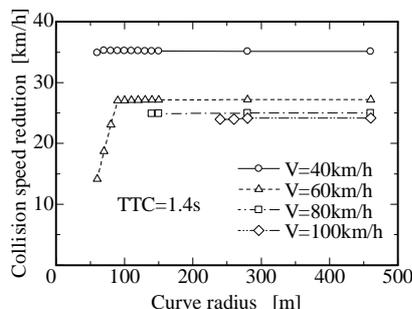


図8(b) 衝突速度低減量に対するカーブ半径の影響 (TTC=1.4s)

カーブ半径が大きい場合は、衝突予測時間  $T_c > TTC$  の段階で前方の停止車両を検出する事が可能であるため、設定どおり  $T_c = TTC$  でCMBが作動する。したがって、衝突速度低減量はTTCの増加と共に増加する。しかし、カーブ半径が小さくなるにつれてレーダー検知領域がカーブ外側に変位するため、カーブ路前方の車両検出に遅れを生じる。そのため、あるカーブ半径以下では、前方の停止車両を検出した段階で衝突予測時間  $T_c < TTC$  となり、設定されたTTCでCMBを作動させることができなくなる。よって、この場合は衝突速度低減量がカーブ半径の影響を大きく受けるものと考えられる。

具体例を示す。図9(a)は車速60km/h、カーブ半径60mの場合において、衝突予測時間  $T_c = 1.4\text{s}$  の時点での2車両の位置関係とレーダーの検知領域を示したものである。この図から分かるように、レーダーがカーブの外側を照らし、 $T_c = 1.4\text{s}$  の時点で前方の停止車両を検出できておらず、本ケースではTTC=1.4sに設定しても、車両が検出されるまで

CMBは作動しない。

図9(b)は、後続車をはじめて停止車両を検出した時点での衝突予測時間  $T_c$  (=相対距離/相対速度) を示している。図中の破線は衝突予測時間  $T_c=1.4s$  のラインであり、これ以下の領域では車両を検出した時点で  $T_c < 1.4s$  である事を意味する。したがって、これらの領域ではTTCが1.4sに設定されていても、車両が検出されるまでCMBが作動せず、TTC=1.4sでCMBが作動する場合に比べてブレーキの作動時間が短くなり、衝突速度低減量が減少するものと考えられる。図9(b)より車速40km/hではカーブ半径60m以上の全域で  $T_c$  が1.4s以上で検出可能であるが、車速60km/hではカーブ半径が小さい領域で車両検出時の衝突予測時間  $T_c$  がTTC(=1.4s)を下回る領域があることが分かる。よって、カーブ半径が小さい場合にCMBによる衝突速度低減量が低下する(図8(b))。

先に示した直線路での追突の場合は、CMBの開始タイミングであるTTCが重要な要素であったが、カーブ路衝突では、障害物の検知性能がCMBの効果に大きく影響する。

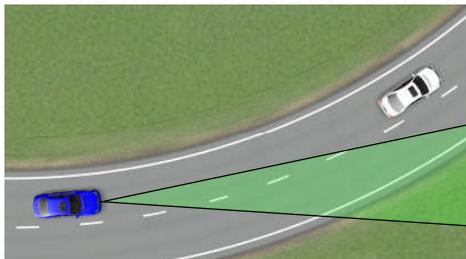


図9(a)  $T_c=1.4s$ におけるレーダー検知範囲

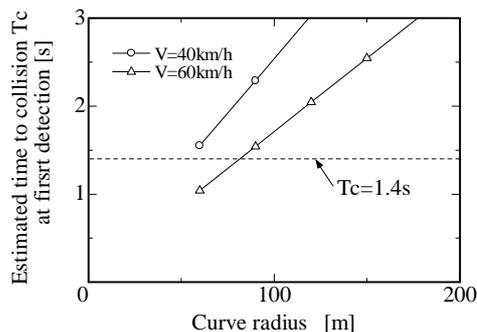


図9(b) カーブ半径と検出可能時間の関係

(3) 先行車が急制動する場合の追突に対するCMBの効果

2車両が一定曲率のカーブ路を一定の車間時間で追走中に、先行車が減速度0.5Gで制動した場合の衝突シミュレーションを行った。

図10は、衝突速度低減量に対するカーブ半径の影響を示す。車間時間は一般的な推奨

値とされる2.0sとした。V=60km/hでカーブ半径が小さい場合に衝突速度低減量が低くなり、停止車への追突の場合(図8(b))と同様の傾向を示している。しかし、先行車の急制動により、二車両の相対接近速度が増加する(=衝突までの時間が短くなりCMB作動時間が短くなる)ため、停止車への追突に比べて全体的に衝突速度低減量は低くなっている。したがって、このような場合には、ブレーキ作動開始タイミングの早期化によって制動時間を確保する事が有効であると考えられる(例えば、障害物との接近加速度によって、CMB作動開始タイミングを早期化するなど)。

図11にカーブ半径280mの場合の衝突速度低減量に対する車間時間の影響を示す。なお、TTC=0.6sである。図より車間時間が短くなると、衝突までの時間が短くなるため、CMBによる衝突速度低減量が減少している事が分かる。一方、車間時間を2秒以上とつてもCMBによる衝突速度低減量は増加せず、一般に推奨されている車間時間(2秒程度)はCMBの作動基準としても妥当な値であると考えられる。

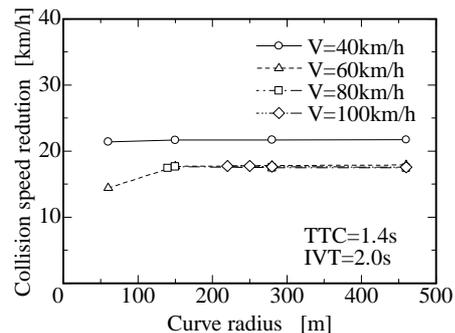


図10 衝突速度低減量  
(先行車が制動する場合、車間時間2.0秒)

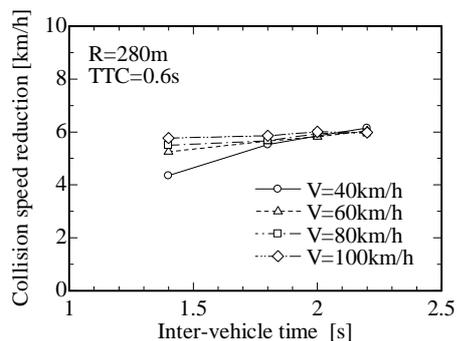


図11 衝突速度低減量に対する車間時間の影響(TTC=0.6秒)

(4) カーブ路における検出遅れの防止(レーダー方向補正の効果)

図12に示すように、カーブ半径が小さい場合、レーダー照射範囲が車線外側にそれ、

前方車両の検出が遅くなる。そのため、車両のハンドル角からカーブ半径を推定し、レーダーの照射方向をカーブ内側に補正した。

その結果、図 13 に示すように先行車の検出遅れを解消する事ができ、カーブ半径が小さい場合でも、カーブ半径が大きい場合と同等の衝突速度低減効果が得られる事が分かった。



図 12(a) レーダー方向補正前



図 12(b) レーダー方向補正後

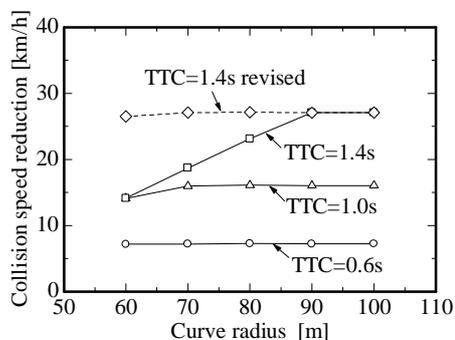


図 13 レーダー方向補正による衝突速度低減効果の改善

## 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)

- ① 感本広文、御室哲志、吉谷俊哉、佐藤康充、渡辺武司、LING KENNY、河村庄造、衝突被害軽減ブレーキの効果に及ぼす路面摩擦係数の影響 (車両衝突シミュレーションによる検討)、日本機械学会論文集、査読有、C 編 76 巻、2010、1185-1192.
- ② Minamoto Hirofumi, Mimuro Tetsushi, Yoshitani Toshiya, Sato Koji, Watanabe Takeshi, Ling Kenny, Kawamura Shozo, The Influence of Road Surface Friction Coefficient on the Effect of Collision Mitigation Brake (Investigation by Using Vehicle Collision Simulation), Journal of System Design and Dynamics, 査読有, Vol. 4, 2010, 884-898.

[学会発表] (計 4 件)

- ① 感本広文 (代表)、カーブ路追突における衝突被害軽減ブレーキの効果、日本機械学会機械力学・計測部門 Dynamics and Design Conference 2010、2010 年 9 月 15 日、同志社大.
- ② 感本広文 (代表)、Effect of collision mitigation brake in head-on collision on curved road、日本機械学 2010 年度年次大会、2010 年 9 月 6 日、名工大.
- ③ 感本広文 (代表)、カーブ路正面衝突におけるプリクラッシュブレーキの効果 (数値シミュレーションによる衝突速度低減量の評価)、日本機械学会東海支部第 59 期講演会、2010 年 3 月 10 日、名城大学 (名古屋市).
- ④ 感本広文 (代表)、衝突被害軽減ブレーキの効果に及ぼす路面摩擦係数の影響 (車両衝突シミュレーションによる検討)、日本機械学会機械力学・計測部門 Dynamics and Design Conference 2009、2009 年 8 月 7 日、北海道大学 (札幌市).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

感本 広文 (MINAMOTO HIROFUMI)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
 准教授  
 研究者番号：20273328

### (2) 連携研究者

河村 庄造 (KAWAMURA SHOZO)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・  
 教授  
 研究者番号：00204777