

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 14 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560151

研究課題名（和文） 自動車用懸架装置の生態学化・単純化・コンパクト化・軽量化に関する研究

研究課題名（英文） Investigations on the Structural Simplification, Compact, Light and Ecological Design of a Vehicle Suspension

研究代表者

スーチュウ クラウディ ヴァレンティン（SUCIU CLAUDIU VALENTIN）

福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号：20412611

研究成果の概要（和文）：車両用懸架装置の生態学化・単純化・コンパクト化・軽量化に関する研究を行い、具体的には油圧ダンパーと圧縮コイルばねとの並列構造を用いた古典的な懸架装置の代わりに圧縮コイルばねとオイルを不要としたコロイダル懸架装置を開発する。つまり、油の代わりに水と疎水化多孔質シリカゲル（人工的な砂粒子）からなる環境に優しいコロイド溶液を使用し、同時に懸架装置の内外構造の単純化・コンパクト化・軽量化を達成する。

研究成果の概要（英文）：In this work structural simplification, compact, light and ecological design of a vehicle suspension is achieved by using a colloidal damper with a dual function of absorber and compression helical spring. Concretely, the classical suspension, consisted of an oil damper connected in parallel with a compression helical spring, is replaced by a colloidal suspension, in which case the spring and the oil are unnecessary. Thus, the oil is replaced by an ecological colloid consisted of water and hydrophobized porous silica gel (particles of artificial sand). In the same time, it is possible to achieve a simpler, lighter and compact design for both the internal and external structure of the vehicle suspension.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：懸架装置・コロイダルダンパー・単純化・コンパクト化・軽量化・エコ化・機械要素の最適設計・車両の乗心地

1. 研究開始当初の背景

コロイダル懸架装置に関する本研究開始当初の背景を調査した結果、外国ではフランスの研究者がコロイダルダンパーのアイデアを提案し、基礎研究と車両の懸架装置用ハイブリッドダンパー（コロイド溶液とオイルの両方を使用したダンパー）に関する応用研究を行っていった。日本の以前の研究では、コロイダルダンパ

ーの静・動特性を評価するために静的実験装置、正減衰力のエネルギーを散逸する型の動的実験装置、並びに正負減衰力のエネルギーを散逸する型の動的実験装置を設計製作し、コロイダルダンパーのエネルギー散逸メカニズム、コロイダルダンパーに適した疎水化多孔質材料（シリカゲルの最適な疎水処理の分子構造、シリカゲル表面の最適な粗さ等）、コロイダルダンパーの

適当な機構・設計パラメータの影響等、といった項目に関する基礎研究を行った。応用的な立場より、コロイド溶液用容器とフィルタの構造による十分な寿命を有するコロイダルダンパーが得られた。そして、コロイダルダンパーを実用化するためにマウンテンバイクの後輪の懸架装置用コロイダルダンパー、自動車の前輪の懸架装置用コロイダルダンパー、自動車の衝撃吸収（バンパ）用コロイダルダンパー、並びに耐震システム用コロイダルダンパーに関する応用研究を行った。ところが、パッシブ・コロイダルダンパーの場合は凹凸路面の変位励振による減衰係数を調整できないので、車両の乗心地を改善したアクティブ制御コロイダルダンパーが提案された。しかし、コロイダル懸架装置の単純化・コンパクト化・軽量化に関する研究は、まだだれも行っていない状態であった。

2. 研究の目的

そこで、本研究では自動車用懸架装置の生態学化・単純化・コンパクト化・軽量化を目的とした研究を展開する。具体的には、古典的な懸架装置（油圧ダンパーに圧縮コイルばねを並列的に繋いだ懸架装置）の代わりに圧縮コイルばねとオイルを不要としたコロイダル懸架装置を開発する。つまり、油の代わりに水と疎水化多孔質シリカゲル粒子（制御加工による内部構造を変更した人工的な砂粒子）からなる環境に優しいコロイド溶液を使用し、懸架装置の内外部構造の単純化・コンパクト化・軽量化を達成する。

3. 研究の方法

(1) 古典的な懸架装置、並びにコロイダル懸架装置を用いた 1.3L 車両の走行実験を行い、車両の快適性に前後輪の間距離（2.35m、図 4 参照）を及ぼす影響に関する調べる。具体的には、半正弦波のアスファルト段差（高さ：0.037m・幅：0.405m、図 4 参照）を持つ路面で走行した車両の速度を 5-40km/h の範囲内、タイヤの空気圧を 150-250kPa の範囲内で変動した。

(2) 前後輪が段差を通過した際に懸架装置は衝撃を受けるので、得られたインパルス応答より ISO2631 規格で定められた合成補正加速度によって車両の快適性を評価した。自動車の快適性の評価方法では、車両の速度を記録しながら、3箇所（足支持面、座席、並びに背もたれ面）に設置した3軸の加速度計により得られた振動の信号を乗心地測定装置（ディシーインスツルメンツ株式会社で開発された快適性の評価システム）で収録し、振動解析による等価加速度を計算した（図 1 参照）。

(3) 最初に自動車の左右前後輪に油圧ダンパーと圧縮コイルばねとの並列構造からなる古典的な懸架装置を設置し、インパルス実験による車両の基準快適性データを調べた。その結果、車両の走行速度の増加、またはタイヤの空気圧

の増加と共に等価加速度が増加する、つまり、快適性が悪くなることが分かった（図 2 参照）。

(4) 古典的な懸架装置の変わりにコロイダル懸架装置を用いた場合はコロイダルばね定数が高すぎたので、車両の快適性は ISO2631 の基準によれば、1ランク下がってしまった（図 3 参照）。

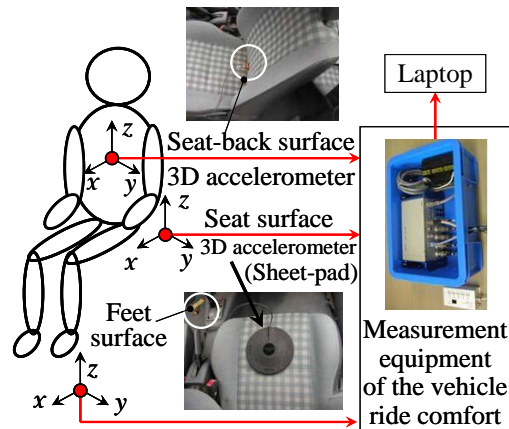


図 1：車両の快適性の評価システム

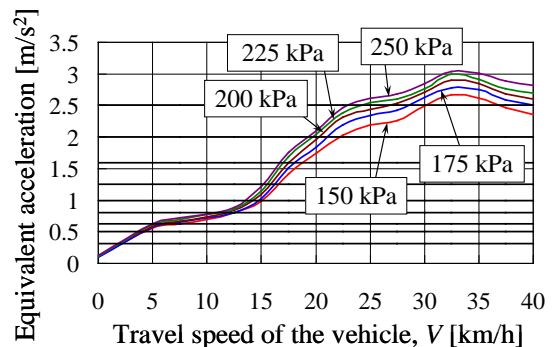


図 2：基準快適性データ（古典的な懸架装置）

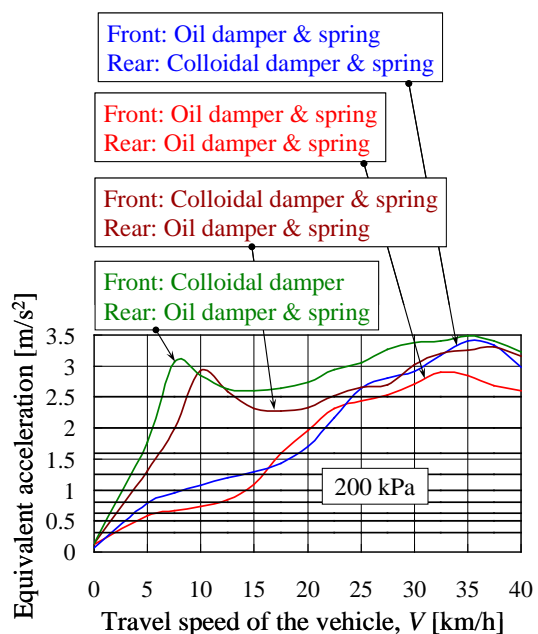


図 3：車両の快適性の評価（古典的な懸架装置とコロイダル懸架装置との比較）

(5) しかし、本評価では車体のローリング及びピッチングの回転運動を無視したので、次に車両のローリング回転加速度及び車両のローリング角度を実験結果より計算し、自動車の操縦性を評価した。得られた車両の乗心地特性を説明するために、前輪インパルス励振、後輪インパルス励振、総和インパルス励振、並びに ISO2631 規格で定められたフィルタの走行速度依存性を用いて振動解析モデルを提案した(図4、図5参照)。

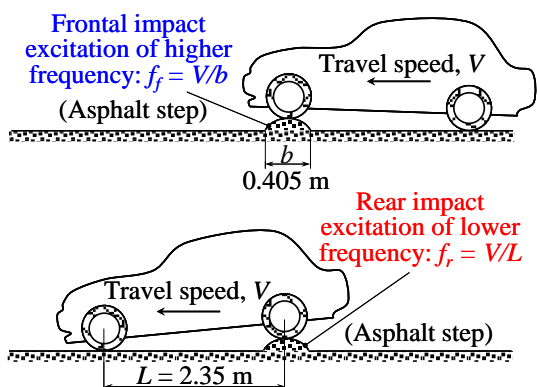


図4: アスファルト段差による車両の前輪インパルス励振と後輪インパルス励振

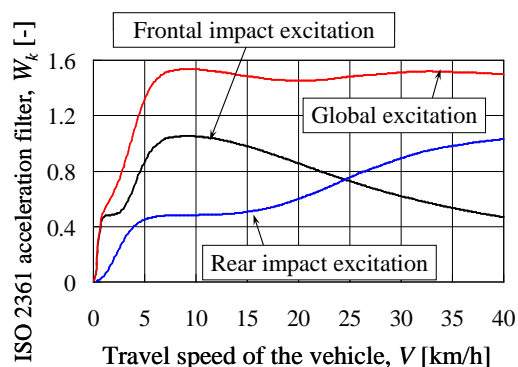


図5: ISO2361 規格で定められた加速度用フィルタと車両の走行速度との関係(前輪インパルス励振、後輪インパルス励振、並びに前後の総和インパルス励振)

(6) 前輪に古典的な懸架装置を用いた場合は、主に後輪インパルス励振に対応する応答が見られ、前輪にコロイダル懸架装置を使用した場合は前後の総和インパルス励振に対応する応答が得られた(図4、図5参照)。そこで、コロイダル懸架装置を用いた車両の乗心地を改善するために、振動解析に基づいて対策方法として、コロイダル懸架装置の軟化などを提案した。

(7) 逆に、古典的な懸架装置の代わりにコロイダル懸架装置を車両に用いた場合は、自動車のレーンチェンジ特性が大幅に改善された。つまり、車線の急速な変更においてローリング角度が3倍小さくなったので、車両の

安定性(操縦性)が高くなったことが分かった。このような結果は懸架装置の設計原理と一致している。従って、懸架装置の設計では車両の快適性と車両の操縦性とのバランスを良く考慮すること。

4. 研究成果

(1) ピストン直径を20mm(油圧ダンパー)から8mmまで減少し、作動液体として、80gのオイルに変わって20gのコロイド溶液(5gのシリカゲルと15gの水)を使用した車両の後輪懸架装置を設計製作できた。また、ピストン直径を30mm(油圧ダンパー)から10mmまで減少し、作動液体として、120gのオイルに変わって30gのコロイド溶液(8gのシリカゲルと22gの水)を使用した車両の前輪懸架装置を設計製作できた。その結果、圧縮コイルばねを省いたコロイダル懸架装置の場合、従来のサスペンションに比べ、外径が60%、質量が30%を減少することができた。

(2) 車両の快適性評価において、コンパクトで性能が高い(株)ディシーインスツルメンツの計測システムを購入することができた。

(3) 自動車の走行実験では、コロイダル懸架装置を車両に装着し、半正弦波段差の凹凸路面による走行実験を行い、車両の乗心地ファクタ、ISO2361の等価加速度、並びにドライブへの振動伝達率を評価した。具体的に、一方では、1軸の加速度データと一つの補正フィルタによる単純な測定・解析法で車両の快適性(乗心地ファクタ)を評価し、他方では、3軸の加速度データと三つの補正フィルタによる複雑な測定・解析法で車両の快適性(ISO2361の等価加速度)を評価し、二法で得られた結果の比較から、車両の乗心地データの信頼性を高めることができた。実験より自動車の快適性に後輪懸架装置の振動、並びに前後輪の間距離がどの程度で影響を及ぼすか、といった項目に関する調査を行った。

(4) 本研究期間中には、査読付論文: 17件、国際学会発表: 13件、国内学会発表8件、国内特許査定: 2件、といった研究成果が得られた。

(5) 自動車メーカーとの共同でコロイダル懸架装置の開発研究を行う状態となった。現在は企業さんがパッシブ・コロイダルダンパーにおいて独立の研究を行い、単独に特許を出願している。

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17件)

- ① SUCIU C.V., 福井秀平, Rheological Model for a Nanoporous-Elasto-Hydrodynamic Composite Material, Trans Tech Publication, Advanced Materials Research, 査読有, Vol. 750, 2013, 100-103、

- DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.750.100
- ② SUCIU C.V.、内田亨、後藤穂積、On the Necessary but Sufficient Amount of Grease to Obtain Fully Lubricated Fretting Regime in Moist Air for SUJ2 Bearing Steel against S15C Carbon Steel, Tribology Online、査読有、Vol. 8、No. 1、2013、28–37、
DOI: 10.2474/trol.8.28
- ③ SUCIU C.V.、木村勇太、Experimental Study on the Forced Heating and Natural Cooling of a Colloidal Damper、日本機械学会、J. System Design and Dynamics、査読有、Vol. 6、No. 5、2012、538–554、
DOI: 10.1299/jsdd.6.538
- ④ SUCIU C.V.、飛石翼、Comfortableness Evaluation of an Autovehicle Equipped with Colloidal Suspensions、日本機械学会、J. System Design and Dynamics、査読有、Vol. 6、No. 5、2012、pp. 555–567、
DOI: 10.1299/jsdd.6.555
- ⑤ SUCIU C.V.、飛石翼、コロイダル懸架装置を用いた自動車の快適性に関する評価、日本機械学会論文集 (C 偏)、査読有、78 巻、789 号、2012、1378–1387、
DOI: 10.1299/kikaic.78.1378
- ⑥ SUCIU C.V.、木村勇太、コロイダルダンパーの強制加熱・自然冷却に関する実験的研究、日本機械学会論文集 (C 偏)、査読有、78 巻、789 号、2012、1338–1351、
DOI: 10.1299/kikaic.78.1338
- ⑦ SUCIU C.V.、飛石翼、毛利亮太、Modeling and Simulation of a Vehicle Suspension with Variable Damping versus the Excitation Frequency、Journal of Telecommunications and Information Technology、査読有、1/2012 巻、2012、83–89、
DOI: 10.1034/jtit.ms-71512-83-89
- ⑧ SUCIU C.V.、内田亨、後藤穂積、グリース潤滑下での実用金属材料のフレッティング特性に及ぼす環境湿度の影響(滑り指数を用いたアプローチ)、日本機械学会論文集 (A 偏)、査読有、77 巻、777 号、2011、703–707、
DOI: 10.1299/kikaia.77.703
- ⑨ SUCIU C.V.、後藤穂積、阿比留久徳、Modeling and Simulation of a Screw-Worm Gear Mechanical Transmission to Achieve its Optimal Design under Imposed Constraints、Journal of Algorithms and Computational Technology、査読有、Vol.5、No.2、2011、363–382、
DOI: 10.1260/1748-3018.5.2.363
- ⑩ SUCIU C.V.、後藤穂積、合屋尚子、Molecular Dynamics Simulation of Wetting on Wavelike Nanorough Surfaces、Tribology Online、査読有、Vol.6、No.1、2011、19–25、
DOI: 10.2474/trol.6.19
- ⑪ SUCIU C.V.、谷真悟、三好健太、Experimental Study on the Thermal Characteristics of a Colloidal Damper、日本機械学会、J. System Design and Dynamics、査読有、Vol.4、No.6、2010、pp. 899–913、
DOI: 10.1299/jsdd.4.899
- ⑫ SUCIU C.V.、Investigations on a Smart Nano-Energy Absorption System、Trans Tech Publications、Advanced Materials Research、査読有、Vol.123–125、2010、987–990、DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.123-125.987
- ⑬ SUCIU C.V.、木村勇太、谷真悟、On the Generated Heat at Advancing/Retreating of Water on Surface Engineered Nanoporous Silica、Trans Tech Publications、Advanced Materials Research、査読有、Vol.123–125、2010、1003–1006、DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.123-125.1003
- ⑭ 内田亨、SUCIU C.V.、後藤穂積、実用金属材料のフレッティング摩擦・摩耗特性に及ぼすグリース潤滑剤の影響、日本機械学会論文集 (A 偏)、査読有、76 巻、766 号、2010、711–713、
DOI: 10.1299/kikaia.76.711
- ⑮ SUCIU C.V.、谷真悟、三好健太、コロイダルダンパーの熱特性に関する実験的研究、日本機械学会論文集 (C 偏)、査読有、76 巻、765 号、2010、1043–1049、
DOI: 10.1299/kikaic.76.1043
- ⑯ SUCIU C.V.、谷真悟、矢口和彦、On the Fatigue Fracture at Adsorption/Desorption of Water in/from Liquid-Repellent Nanoporous Silica、Springer、ACTA MECHANICA、査読有、Vol. 214、Issue 1、2010、195–203、
DOI: 10.1007/s00707-010-0306-9
- ⑰ SUCIU C.V.、後藤穂積、Interconnection between the Contact Angle Hysteresis, Slippage on a Nanorough Solid Wall and Phononic Friction、Elsevier、Tribology International、査読有、Vol. 43、Issues 5–6、2010、1091–1098、
DOI: 10.1016/j.triboint.2009.12.046

[学会発表] (計 21 件)

- ① SUCIU C.V.、武馬修一、On the Structural Simplification, Compact and Light Design of a Vehicle Suspension, Achieved by Using a Colloidal Cylinder with a Dual Function of Absorber and Compression-Spring、Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress、2012.11.26–2012.11.30、北京、中国、Vol. 10、21–32
- ② SUCIU C.V.、福井秀平、Rheological Model for a Nanoporous-Elasto-Hydrodynamic Composite Material、Proceedings of the 8th International Forum on Advanced Materials and Technology、2012.08.01–2012.08.04、福岡、日本、USB

- メモリー、1-4
- ③ SUCIU C.V.、毛利亮太、車両用懸架装置の発電効果に関する研究、日本機械学会、九州支部、福岡講演会、論文集 No. 128-3、2012.09.28-2012.09.29、福岡工業大学、講演番号 A32、19-20
- ④ SUCIU C.V.、武馬修一、コロイダルダンパーの散逸エネルギー転化メカニに関する実験的研究、日本機械学会、九州支部、福岡講演会、論文集 No. 128-3、2012.09.28-2012.09.29、福岡工業大学、講演番号 A35、25-26
- ⑤ SUCIU C.V.、福井秀平、防弾シェルモデリングとシミュレーションに関する研究、日本機械学会、九州支部、福岡講演会、論文集 No. 128-3、2012.09.28-2012.09.29、福岡工業大学、講演番号 A42、29-30
- ⑥ SUCIU C.V.、飛石翼、毛利亮太、On the Structural Simplification, Compact and Light Design of an Environmental Friendly Suspension for Autovehicle Use, Proceedings of the 14th Asia-Pacific Vibration Conference, 2011.12.05-2011.12.08、香港、中国、Vol. 3、1134-1143
- ⑦ SUCIU C.V.、福井秀平、木村勇太、On the Impact Characteristics of Shock Absorbing Materials for Ballistic Armors, Proceedings of the 14th Asia-Pacific Vibration Conference, 2011.12.05-2011.12.08、香港、中国、Vol. 4、1800-1808
- ⑧ SUCIU C.V.、内田享、後藤穂積、Influence of Environmental Humidity on the Fretting Properties of an Applicative Metallic Material under Grease Lubrication, Proceedings of the International Tribology Conference, 2011.10.30-2011.11.03、広島、日本、USB メモリー、B2-05
- ⑨ SUCIU C.V.、飛石翼、毛利亮太、Modeling and Simulation of a Vehicle Suspension with Variable Damping and Elastic Properties versus the Excitation Frequency, Proceedings of the 4th Int. Workshop on Simulation and Modeling, 2011.10.26-2011.10.28、バルセロナ、スペイン、CD-ROM、402-407
- ⑩ SUCIU C.V.、福井秀平、木村勇太、Modeling and Simulation of a Shock Absorbing Shell for Ballistic Vests and Helmets to Achieve Optimal Protection, Proceedings of the 4th International Workshop on Simulation and Modeling、2011.10.26-2011.10.28、バルセロナ、スペイン、CD-ROM、390-395
- ⑪ SUCIU C.V.、飛石翼、Investigations on the Optimum Design of a Colloidal Damper for Autovehicle Suspension, Proceedings of the 9th World Congress on Structural and Multi-disciplinary Optimization、2011.06.13-2011.06.17、静岡、日本、CD-ROM、1-10
- ⑫ SUCIU C.V.、飛石翼、コロイダル懸架装置を用いた自動車の快適性に関する評価、日本機械学会、Dynamics & Design 2011 機械力学・計測制御部門講演会、2011.09.05-2011.09.09、高知工科大学、講演番号 334、CD-ROM、1-10
- ⑬ SUCIU C.V.、木村勇太、コロイダルダンパーの強制加熱・自然冷却に関する実験的研究、日本機械学会、Dynamics & Design 2011 機械力学・計測制御部門講演会、2011.09.05-2011.09.09、高知工科大学、講演番号 430、CD-ROM、1-10
- ⑭ SUCIU C.V.、Modeling and Simulation of the Wetting Process on Brushlike and Wavelike Nanorough Surfaces, IEEE, Proceedings of the 2010 Int. Conference on Parallel Computing, 2010.11.04-2010.11.06、福岡、日本、CD-ROM、554-559
- ⑮ SUCIU C.V.、内田享、Modeling and Simulation of the Fretting Hysteresis Loop, IEEE, Proceedings of the 2010 International Conference on Parallel Computing, 2010.11.04-2010.11.06、福岡、日本、CD-ROM、560-564
- ⑯ SUCIU C.V.、Ride-Comfort of an Automobile Equipped with Colloidal Dampers at its Frontal Suspensions, Proceedings of the 2010 International Conference on Noise and Vibration Engineering、2010.09.20-2010.09.22、Leuven、ベルギー、CD-ROM、4233-4245
- ⑰ SUCIU C.V.、荒木康光、飛石翼、自動車懸架装置用コロイダルダンパーの最適設計に関する研究、日本機械学会、No.10-67、第9回最適化シンポジウム、2010.12.09-2010.12.10、愛知県産業労働センター、CD-ROM、285-290
- ⑱ SUCIU C.V.、内田享、後藤穂積、グリース潤滑下での実用金属材料のフレッティング特性に及ぼす環境湿度の影響(滑り指数と散逸エネルギーを用いたアプローチ)、日本機械学会、M&M2010材料力学がファルス、2010.10.09-2010.10.11、長岡技術大学、CD-ROM、665-667
- ⑲ SUCIU C.V.、Investigations on a Smart Nano-Energy Absorption System, Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Functional Materials and Structures, Jeonju、韓国、2010.09.14-2010.09.18、Part 2、987-990
- ⑳ SUCIU C.V.、木村勇太、谷真悟、On the Generated Heat at Advancing/Receding of Water on Surface Engineered Nanoporous Silica, Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Functional Materials and Structures, Jeonju、韓国、2010.09.14-2010.09.18、

Part 2、1003-1006

- (21) SUCIU C.V.、荒木康光、飛石翼、アクティブ制御コロイダルダンパーの減衰特性及び弾性特性に関する研究、日本機械学会、2010年度年次大会、2010.09.05-2010.09.08、名古屋工業大学、Vol.5、183-184

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計2件）

名称：コロイダルダンパー
発明者：SUCIU C.V.
権利者：福岡工業大学
種類：特許
番号：特許第5164044号
取得年月日：2012年12月28日
国内外の別：国内

名称：アクティブ制御コロイダルダンパー
発明者：SUCIU C.V.
権利者：福岡工業大学
種類：特許
番号：特許第5066395号
取得年月日：2012年8月17日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

福岡工業大学のホームページ
<http://www.fit.ac.jp/research/search/research/id/43>

SUCIU研究室のホームページ
<http://www.fit.ac.jp/~suciu/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

スーチュウ クラウヂェ ヴァレンティン
(SUCIU CLAUDIU VALENTIN)
福岡工業大学・工学部・教授
研究者番号：20412611

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし