

令和 元 年 6 月 20 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06059

研究課題名(和文)新幹線車両用横コロイダルダンパに関する研究

研究課題名(英文) Investigations on a Colloidal Damper Destined to the Carbody Horizontal Suspension of a Bullet Train

研究代表者

数仲 馬恋典(SUCIU, Barenten)

福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号：20412611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：鉄道車両模型を再設計・製作し、台車用ダンパと車体間ダンパを装着した。室内の直線・曲線レールで走行実験を行い、列車の運転手は振動測定装置を操作した。曲線レールにより車両の疑似蛇行動を発生させ、レールの曲率半径とダンパの変位との関係を明確にした。蛇行動の固有振動数と減衰比の定式化かつ一般化を行い、車速、クリープ係数比、円錐台車輪の踏面勾配、車軸の質量と密度、ならびに車輪接触間距離とヨー慣性直径との比が、減衰比に及ぼす影響を明らかにした。新幹線は臨界走行速度を越えると、特性方程式の根が本質的に変わるが、蛇行動の減衰比に影響がなかった。速度上昇やクリープ係数比の低下につれて車軸の不安定性が高くなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

蛇行動の負減衰メカニズムの解明、横コロイダルダンパに必要な正減衰の決定、ならびに乗客の読み・書き作業に関連する重み関数の適切な見直しにより新幹線車両の速度上昇と同時に安定性と快適性を高めることが期待される。

具体的な研究成果として、査読付論文：13件、国際会議発表：11件、国内研究発表：14件、学会賞の受賞：7件、特許登録：2件が挙げられる。

研究成果の概要(英文)：Pseudo-hunting was produced by employing a reduced-scale railway vehicle running on curved rails. Two redesigned wagons, to include seats for the operator, are equipped with horizontal dampers, and a connecting yaw damper. Relationship between the rails curvature and the damper stroke was clarified. Negative damping related to the hunting motion of the wheel axle, was explained by a generalized dynamic model. Influence of the travelling speed, wheel conicity, mass and density of the wheel axle, creep ratio, and the ratio of the track span to the yawing diameter, on the damping ratio as well as on the damped natural frequency, is illustrated. Roots nature of the characteristic equation is discussed, relative to the critical speed of the bullet train. Although the roots nature has no influence on the damping ratio, the degree of instability severely increases at augmentation of the train speed, and at reduction of the creep ratio.

研究分野：工学

キーワード：ダンピング 横懸架装置 鉄道・新幹線車両 乗心地評価 動的蛇行動 疑似蛇行動 直線・曲線レール 車軸の安定性

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

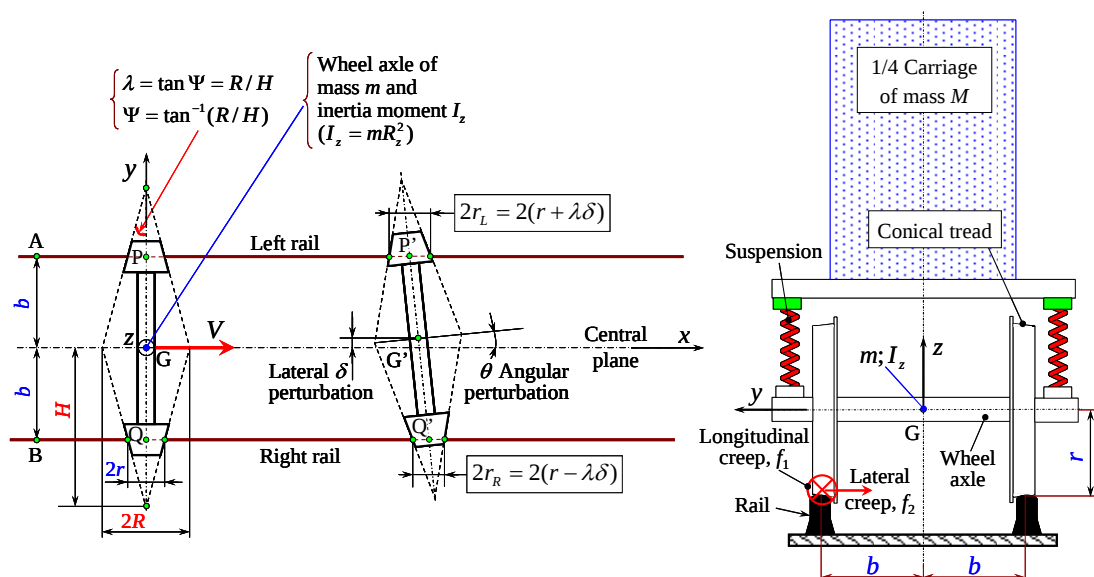
鉄道総合技術研究所との共同研究で新幹線車両の乗心地向上と同時に車両の軽量化を狙って、現行のオイルダンパにはないばね特性を本質的に有し、そして、減衰力・散逸エネルギー・ばね定数が低周波数・大振幅で大きくて、高周波数・小振幅で小さい、といった周波数依存性を有するコロイダルダンパ(CD)に着目し、これを新幹線車両用ヨーダンパに適用することを目指して基礎・開発研究を行った。その結果、オイルダンパに比べて試作したヨーCDでは31.6%の軽量化ができたので、全体の新幹線に関して1,000kg(乗客の10人以上)の軽量化が期待された。そこで、加振機での振動実験によりCDの評価だけではなく、CDを鉄道車両に装着して走行実験で発生する蛇行動により車両の乗心地を評価することが必要と判断された。

2. 研究の目的

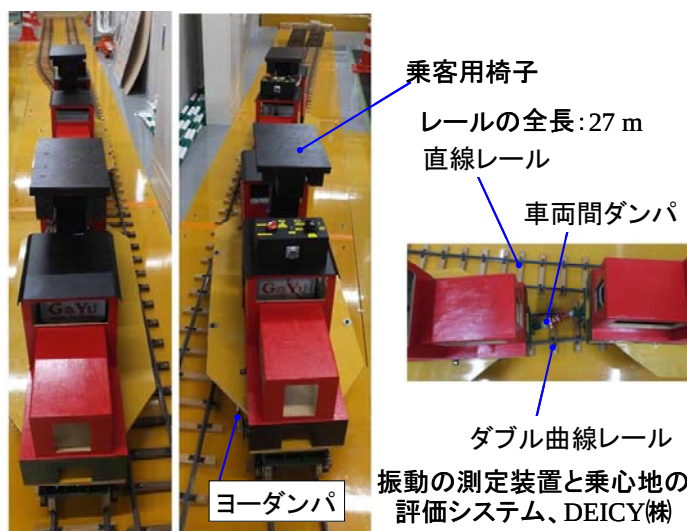
- 1) 不安定な蛇行動の負減衰メカニズムを解明し、横方向で働くCDに必要な正減衰を決定。
- 2) 室内で安価な方法で鉄道車両の走行実験を実施し、低速度で（疑似）蛇行動を発生。
- 3) ISO2631 規格で定められた周波数の重み関数に着目し、現在では乗客が読み・書きの作業を行うときに適切である周波数の重み関数を工夫して車両の快適性を評価。

3. 研究の方法

- 1) 新幹線の走行速度をさらに向上させるため、車軸の動的な蛇行動に着目し、減衰固有振動数と減衰比の定式化かつ一般化を行い、車両の走行速度、横と縦方向のクリープ係数比、円錐台車輪の踏面勾配、車軸の無次元化質量、車軸の等価密度、ならびに車輪接触間距離とヨー慣性直径との比が、減衰比に及ぼす影響を明らかにした。



- 2) 新幹線の蛇行動は直線レールを高速で(200~300km/h)で走行したときに長い波長(20~30m)で起こる。室内の直線走行では十分な速度と長い波長が得られないため、純粋な蛇行動を発生させることが不可能である。そこで、ダブル曲線レールを採用することによって低速度で疑似蛇行動を発生させた。また、できるだけ安価な実験を狙ったので、鉄道車両模型を用いた。具体的には、動力台車キット、ボギー車台枠、モータとモータの制御装置、バッテリーなど



から構成されている鉄道車両模型の二台の台車を再設計・製作し、横方向で働く左右ダンパと車体間ダンパを装着できた。開発した台車に椅子を設け、着席した運転手が列車の運転と同時に乗心地評価システムの操作ができる。ダブル曲線レールを走行した鉄道車両模型の疑似蛇行動を発生させ、レールの曲率半径とダンパのストロークとの関係を明確にした。鉄道車両模型が直線とダブル曲線レールを走行したときに記録された振動スペクトルを提示し、車両の単純な振動モデルに基づいて振動原因を解明した。

3) 乗心地の一般的な評価方法では、振動方向に対する人体のさまざまな体位性を想定して快適性が評価されたが、ある体位性で被験者が特殊な活動を行っていること、例えば、読む・書くことが考慮されていなかった。そこで、本研究では被験者が指定の活動を行っている前提で、例えば、印刷物や数値ディスプレイの読み取り、あるいはキーボードや紙で文書を書く作業などに関与している前提で快適性の評価を実施した。また、乗心地評価に使用した周波数を 1/3 オクターブ解析に用いる中心周波数に一致させた。さらに、鉄道車両の左右方向における励振には、レールの不具合等によって発生する励振が車両に伝わるものと、トンネルの出入り口での風や強風により車体が振動しレールに伝わるもの、といった二種類の励振・振動伝達経路について考慮した。

4. 研究成果

1) 新幹線の走行速度が臨界速度を越えると、特性方程式の根が本質的に変わるが、蛇行の減衰比に影響が出ていないことがわかり、速度上昇やクリープ係数比の低下と共に車軸の不安定性が高くなることが明らかとなった。

2) ヨーダンパのストロークが左右台車の関節点の間距離と、台車の関節点からヨーダンパの中心軸までの距離に比例するが、レールの曲率半径に反比例することがわかった。横方向の振動スペクトルの共振ピークを観察できる周波数は、圧縮コイルばね、板ばね、車体枠の軸方向における振動回転モードのような鉄道車両模型のさまざまな弾性要素の固有振動数に対応することを証明した。車両の乗心地には主に横方向の振動が影響を及ぼした。走行速度の増加につれて横方向の加速度の共振ピークが高くなった。また、レールの曲率半径を直線レールの無限大から、ダブル曲線レールの有限値まで減少させたことにより、共振ピークが大幅に増加した。

3) ISO2631 規格で定められた重み関数に比べて、乗客が読み・書きの作業を行うときに適切である重み関数は 4~8Hz の周波数範囲で高くなることがわかった。また、レールからの励振に関係している減衰比と、風からの励振に対応している減衰比との比率は、フレームと車体の質量比の 1/2 乗にほぼ等しくなることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 13 件）

- ① 数仲 馬恋典、Effectiveness Evaluation of a Machine Design Process Based on the Computation of the Specific Output、International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering、査読有、Vol. 13、No. 2、2019、pp. 113-119、DOI: 10.5281/zenodo.2571952、<https://waset.org/publications/10010038/effectiveness-evaluation-of-a-machine-design-process-based-on-the-computation-of-the-specific-output>
- ② 数仲 馬恋典、Investigation on a Wave-Powered Electrical Generator Consisted of a Geared Motor-Generator Housed by a Double-Cone Rolling on Concentric Circular Rails、International Journal of Energy and Power Engineering、査読有、Vol. 12、No. 9、2018、pp. 556-566、DOI: 10.5281/zenodo.1474319、<https://waset.org/publications/10009395/investigation-on-a-wave-powered-electrical-generator-consisted-of-a-geared-motor-generator-housed-by-a-double-cone-rolling-on-concentric-circular-rails>
- ③ 数仲 馬恋典、Damping and Stability Evaluation for the Dynamical Hunting Motion of the Bullet Train Wheel Axle Equipped with Cylindrical Wheel Treads、International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering、査読有、Vol. 12、No. 9、2018、pp. 813-818、DOI: 10.5281/zenodo.1474317、<https://waset.org/publications/10009394/damping-and-stability-for-the-dynamical-hunting-motion-of-the-bullet-train-wheel-axle-equipped-with-cylindrical-wheel-treads>
- ④ 数仲 馬恋典、Theoretical Study on the Forced Vibration of One Degree of Freedom System, Equipped with Inerter under Load-Type or Displacement-Type Excitation、International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering、査読有、Vol. 12、No. 3、2018、pp. 184-193、DOI: 10.5281/zenodo.1315959、<https://waset.org/publications/10008639/theoretical-study-on-the-forced-vibration-of-one-degree-of-freedom-system-equipped-with-inerter-under-load-type-or-displacement-type-excitation>
- ⑤ 数仲 馬恋典、Clarifications on the Damping Mechanism Related to the Hunting Motion of the Wheel Axle of a High-Speed Railway Vehicle、International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering、査読有、Vol. 12、No. 1、2018、pp. 1-8、DOI: 10.5281/zenodo.1314861、

- <http://waset.org/publications/10008358/clarifications-on-the-damping-mechanism-related-to-the-hunting-motion-of-the-wheel-axle-of-a-high-speed-railway-vehicle>
- ⑥ 数仲 馬恋典、宮村 晶夫、On the Efficiency of a Double-Cone Gravitational Motor and Generator、International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering、査読有、Vol. 11、No. 11、2017、pp. 1752-1759、DOI: 10.5281/zenodo.1132731、<https://waset.org/publications/10008186/on-the-efficiency-of-a-double-cone-gravitational-motor-and-generator>
- ⑦ 数仲 馬恋典、波力発電機に用いた偏心二重円形レールと双円錐との接触問題の解決、日本機械学会論文集、査読有、Vol. 83、No. 853、2017、pp. 17-00093.1-12、DOI: 10.1299/transjsme.17-00093、https://www.jstage.jst.go.jp/article/transjsme/advpub/0/advpub_17-00093/_article/-char/ja/
- ⑧ 数仲 馬恋典、辻 祥希、Theoretical Investigation on the Dynamic Characteristics of One Degree of Freedom Vibration System Equipped with Inerter of Variable Inertance、International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering、査読有、Vol. 11、No. 3、2017、pp. 414-422、DOI: 10.5281/zenodo.1128919、<https://waset.org/Publications/theoretical-investigation-on-the-dynamic-characteristics-of-one-degree-of-freedom-vibration-system-equipped-with-inerter-of-variable-inertance/10006454>
- ⑨ 数仲 馬恋典、Frictional Effects on the Dynamics of a Truncated Double-Cone Gravitational Motor、International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering、査読有、Vol. 11、No. 1、2017、pp. 28-38、DOI: 10.5281/zenodo.1127990、<https://waset.org/publications/10005990/frictional-effects-on-the-dynamics-of-a-truncated-double-cone-gravitational-motor>
- ⑩ 数仲 馬恋典、木下 亮一、Investigation on the Bogie Pseudo-Hunting Motion of a Reduced-Scale Model Railway Vehicle Running on Double-Curved Rails、International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering、査読有、Vol. 11、No. 1、2017、pp. 39-46、DOI: 10.5281/zenodo.1127992、<https://waset.org/publications/10005991/investigation-on-the-bogie-pseudo-hunting-motion-of-a-reduced-scale-model-railway-vehicle-running-on-double-curved-rails>
- ⑪ 数仲 馬恋典、Experimental Investigation on a Colloidal Damper Rendered Controllable under the Variable Magnetic Field Generated by Moving Permanent Magnets、Journal of Physics: Conference Series、査読有、Vol. 744、2016、pp. 012014.1-12、DOI: 10.1088/1742-6596/744/1/012014、<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/744/1/012014>
- ⑫ 数仲 馬恋典、富岡 隆弘、Experimental Investigation on the Dissipative and Elastic Characteristics of a Yaw Colloidal Damper Destined to Carbody Suspension of a Bullet Train、Journal of Physics: Conference Series、査読有、Vol. 744、2016、pp. 012142.1-11、DOI: 10.1088/1742-6596/744/1/012142、<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/744/1/012142>
- ⑬ 数仲 馬恋典、On the Kinematics of a Double-Cone Gravitational Motor、International Journal of Science and Engineering Investigations、査読有、Vol. 5、Issue 53、2016、pp. 55316.01.1-7、DOI: ijsei.com/2251.8843/55316.01、<http://www.ijsei.com/archive-55316.htm>

〔学会発表〕（計 25 件）

- ① 数仲 馬恋典、Effectiveness Evaluation of a Machine Design Process Based on the Computation of the Specific Output、WASET、Proceedings of the 21th International Conference on Mechatronics and Machine Design、Tokyo、Japan、21(3)、Part X、pp. 543-549、2019.03、「**Best Paper Award**」の受賞
- ② 数仲 馬恋典、0字型の直線的な発散・収束レールと双円錐を用いた機構の最適な設計条件、日本機械学会 No. 18-11 第 28 回設計工学・システム部門講演会、沖縄県読谷文化センター、USB 講演論文集、講演番号 2301、pp. 1-10、2018.11
- ③ 数仲 馬恋典、次世代の自動車に電気エネルギーを収穫する懸架装置の提案、自動車技術会 2018 年秋季大会、産学ポスターセッション、名古屋国際会議場、2018.10
- ④ 数仲 馬恋典、Damping and Stability Evaluation for the Dynamical Hunting Motion of the Bullet Train Wheel Axle Equipped with Cylindrical Wheel Treads、WASET、Proceedings of the 20th International Conference on Noise and Vibration、Osaka、Japan、20(9)、

- Part V, pp. 684-689, 2018.09
- ⑤ 数仲 馬恋典、Investigation on a Wave-Powered Electrical Generator Consisted of a Geared Motor-Generator Housed by a Double-Cone Rolling on Concentric Circular Rails、WASET、Proceedings of the 20th International Conference on Energy Harvesting, Storage and Conversion, Tokyo, Japan, 20(9)、Part III, pp. 305-315, 2018.09、「Best Paper Award」の受賞
 - ⑥ 数仲 馬恋典、軾田 顕章、新幹線車軸の蛇行動の正確な定式化により減衰特性および安定性の評価、日本機械学会 No.18-7、Dynamics & Design 2018、東京農工大学、WEB 講演論文集、講演番号 209、pp. 1-8、2018.08
 - ⑦ 数仲 馬恋典、Theoretical Study on the Forced Vibration of One Degree of Freedom System, Equipped with Inerter, under Load-Type or Displacement-Type Excitation、WASET、Proceedings of the 20th International Conference on Mechatronics and Machine Design, Tokyo, Japan, 20(3)、Part XXIII, pp. 3271-3280, 2018.03、「Best Paper Award」の受賞
 - ⑧ 数仲 馬恋典、荷重励振および変位励振におけるイナータを用いた 1 自由度系の強制振動に関する研究、日本機械学会 九州支部第 71 期総会・講演会、九州大学、講演論文集 No.188-1、講演番号 K35、pp. 351-352、2018.03
 - ⑨ 数仲 馬恋典、Clarifications on the Damping Mechanism Related to the Hunting Motion of the Wheel Axle of a High-Speed Railway Vehicle、WASET、Proceedings of the 20th International Conference on Noise and Vibration, Singapore, 20(1)、Part I, pp. 42-49、2018.01、「Best Paper Award」の受賞
 - ⑩ 数仲 馬恋典、宮村 晶夫、On the Efficiency of a Double-Cone Gravitational Motor and Generator、WASET、Proceedings of the 19th International Conference on Mechanism Science and Analysis, Kyoto, Japan, 19(11)、Part VII, pp. 843-850, 2017.11、「Best Paper Award」の受賞
 - ⑪ 数仲 馬恋典、次世代の自動車に「コロイダル・スポークを用いた非空気圧タイヤ」の提案、自動車技術会 2017 年秋季大会、産学ポスターセッション、大阪国際会議場、2017.10
 - ⑫ 数仲 馬恋典、宮村 晶夫、直線レール上に配置された双円錐の自走機能性に関する理論解析と実験研究、日本機械学会 2017 年度年次大会 No.17-1、埼玉大学、DVD 講演論文集、講演番号 S1140102、pp. 1-5、2017.09
 - ⑬ 数仲 馬恋典、鉄道車軸の蛇行動に関する減衰メカニズムの解明、日本機械学会 No.17-13、Dynamics & Design 2017、愛知大学、USB 講演論文集、講演番号 215、pp. 1-11、2017.08
 - ⑭ 数仲 馬恋典、辻 祥希、Theoretical Investigation on the Dynamic Characteristics of One Degree of Freedom Vibration System Equipped with Inerter of Variable Inertance、WASET、Proceedings of the 19th International Conference on Mechanical Engineering and Applied Mechanics, Osaka, Japan, 19(3)、Part XXV, pp. 3499-3507, 2017.03、「Best Paper Award」の受賞
 - ⑮ 数仲 馬恋典、辻 祥希、中村 バリー沙羅、富本 翔、イナータを用いた非減衰 1 自由度系の動特性に関する実験的研究、日本機械学会・九州支部・第 70 期総会講演会 No.178-1、佐賀大学、講演論文集、講演番号 1118、pp. 367-368、2017.03
 - ⑯ 数仲 馬恋典、辻 祥希、中村 バリー沙羅、富本 翔、イナータを用いた 1 自由度振動系の動特性に関する研究、日本機械学会・九州支部・No.178-2 講演会、琉球大学、USB 講演論文集、講演番号 812、pp. 1-2、2017.03
 - ⑰ 数仲 馬恋典、Frictional Effects on the Dynamics of a Truncated Double-Cone Gravitational Motor、WASET、Proceedings of the 19th International Conference on Noise and Vibration, Singapore, 19(1)、Part II, pp. 174-184, 2017.01、「Best Paper Award」の受賞
 - ⑱ 数仲 馬恋典、木下 亮一、Investigation on the Bogie Pseudo-Hunting Motion of a Reduced-Scale Model Railway Vehicle Running on Double-Curved Rails、WASET、Proceedings of the 19th International Conference on Noise and Vibration, Singapore, 19(1)、Part II, pp. 185-192, 2017.01
 - ⑲ 数仲 馬恋典、木下 亮一、ダブル曲線レールの走行により疑似蛇行動を起こした鉄道車両模型の乗心地評価、No.16-36 日本機械学会 第 25 回交通・物流部門大会、東京大学、CD 講演論文集、講演番号 1103、pp. 1-10、2016.11
 - ⑳ 数仲 馬恋典、次世代の自動車に「環境に優しく、電気エネルギーを収穫する懸架装置」の提案、自動車技術会 2016 年秋季大会、産学ポスターセッション、札幌コンベンションセンター、2016.10
 - ㉑ 数仲 馬恋典、偏心的に取り付けられた二重円形レールと双円錐を用いた斬新な機構の設計法に関する研究、日本機械学会 No.16-37 第 26 回設計工学・システム部門講演会、慶應義塾大学、USB 講演論文集、講演番号 2205、pp. 1-10、2016.10
 - ㉒ 数仲 馬恋典、木下 亮一、ダブル曲線レールを走行した鉄道車両模型の蛇行動に関する研究、日本機械学会 2016 年度年次大会 No.16-1、九州大学、DVD 講演論文集、講演番号 J1810104、pp. 1-5、2016.09

- ②③ 数仲 馬恋典、水平直線レールを自走する双円錐の動特性に関する研究、日本機械学会 No. 16-15、Dynamics & Design 2016、山口大学、USB 講演論文集、講演番号 443、pp. 1-11、2016. 08
- ②④ 数仲 馬恋典、Experimental Investigation on a Colloidal Damper Rendered Controllable under the Variable Magnetic Field Generated by Moving Permanent Magnets、Proceedings of the 13th International Conference on Motion and Vibration Control、Southampton、UK、USB memory、Paper 2410、pp. 1-12、2016. 07
- ②⑤ 数仲 馬恋典、富岡 隆弘、Experimental Investigation on the Dissipative and Elastic Characteristics of a Yaw Colloidal Damper Destined to Carbody Suspension of a Bullet Train、Proceedings of the 13th International Conference on Motion and Vibration Control、Southampton、UK、USB memory、Paper 2409、pp. 1-11、2016. 07

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 2 件）

① 名称：加振装置
 発明者：数仲 馬恋典
 権利者：福岡工業大学
 種類：特許
 番号：特許第 6,066,194 B2 号
 取得年：2017. 01. 06
 国内外の別：国内

② 名称：コロイダルダンパ
 発明者：数仲 馬恋典
 権利者：福岡工業大学
 種類：特許
 番号：特許第 5,920,688 B2 号
 取得年：2016. 04. 22
 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、研究者のホームページ
<http://www.fit.ac.jp/research/search/research/id/43>

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

国立研究開発法人科学技術振興機構（略称 JST）のホームページ
<https://researchmap.jp/suciukaken/?lang=english>

6. 研究組織

(1) 研究分担者：なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：① 北浦 淳也；② 木下 亮一；③ 宮村 晶夫；④ 小島 諒；⑤ 落合 徹；
 ⑥ 川口 和輝；⑦ 土井 健生；⑧ 栗林 佑季；⑨ 大村 悠也；⑩ 武田 幸祐
 ローマ字氏名：① KITAURA, Junya；② KINOSHITA, Ryoichi；③ MIYAMURA, Akio；④ KOJIMA,
 Ryou；⑤ OCHIAI, Tohru；⑥ KAWAGUCHI, Kazuki；⑦ DOI, Kensei；
 ⑧ KURIBAYASHI, Yuuki；⑨ OHMURA, Yuya；⑩ TAKEDA, Kosuke

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。