

遠心振り子式動吸振器の性能向上に関する研究

相原, 建人 / AIHARA, Tatsuhito

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

科学研究費助成事業 研究成果報告書

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

7

(発行年 / Year)

2021-05-19

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：32675

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14928

研究課題名（和文）遠心振り子式動吸振器の性能向上に関する研究

研究課題名（英文）A study on performance improvement of centrifugal pendulum vibration absorber

研究代表者

相原 建人（Aihara, Tatsuhito）

法政大学・理工学部・准教授

研究者番号：70557909

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,785,000円

研究成果の概要（和文）：遠心振り子式動吸振器は振り子の固有振動数を外力の振動数と一致させることで振り子が共振し、大きな制振効果を発揮する。しかし製造誤差や経年劣化により、性能低下が起こる可能性がある。そこで誤差や劣化により共振点の変化が起こった場合でも著しい性能低下が起きない設計が必要とされる。そこでそのようなロバストな設計を可能とするため、本研究では振り子重心軌道に着目し、軌道と制振性能の関係について理論とCAEの両面からアプローチし、明らかにした。理論では軌道の影響を明らかにするため軌道を6次関数で表す任意軌道とし定式化を行った。さらに実車両での制振効果を求めることができる実車両モデルも構築し、効果を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化やエネルギー問題に対応するため自動車産業においては省燃費技術の開発が重要な課題となり、パワーtrainにおいてはエンジンの気筒数自体を減らす少気筒化が進んでいる。しかし少気筒化によりエンジンからのトルク変動が大きくなり振動騒音性能は悪化するため安易に少気筒化を進めることはできない。したがってこのトルク変動によるねじり振動を減らす装置の性能を向上させることにより積極的に少気筒化を進めることができ、その結果自動車の省燃費化につながる。本研究はこのねじり振動低減装置である遠心振り子式動吸振器の性能向上に関する研究であり、成果により装置のさらなる普及と燃費向上が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：In a centrifugal pendulum vibration absorber, the pendulum resonates by matching the natural frequency of the pendulum with the frequency of the external force, and a large vibration damping effect is obtained. However, performance deterioration may occur due to manufacturing errors and aging deterioration. Therefore, a design that does not cause a significant deterioration in performance is required even if the resonance point changes due to error or deterioration. Therefore, in order to enable such a robust design, in this study, I focused on the pendulum center of gravity orbit and approached and clarified the relationship between the orbit and vibration damping performance from both theoretical and CAE analysis. In the theory, to clarify the influence of the orbit, the orbit was formulated as an arbitrary orbit represented by a quadratic function. Furthermore, I constructed an actual vehicle model that can obtain the damping effect in the actual vehicle and verified the effect.

研究分野：機械力学

キーワード：遠心振り子式動吸振器 ねじり振動 駆動系

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

（1）社会的背景

地球温暖化やエネルギー問題に対応するため自動車産業においては省燃費技術の開発が重要な課題となっている。これに対し、パワートレインにおいてはダウンサイジングとターボチャージャーを組み合わせることで動力性能を保ったまま燃費性能を向上させる技術が実用化され欧州を中心に普及している。エンジンの小型化では気筒数自体を減らす少気筒化が有効であるが、少気筒化によりエンジンからのトルク変動が大きくなり振動騒音性能は悪化する。またロックアップ領域の拡大も燃費性能向上に寄与するがトルク変動の影響も大きくなり少気筒化と同様、振動騒音性能は悪化する。そのため近年、ねじり振動低減技術に対する重要性が急激に高まり、活発に研究開発が進められている。

（2）先行研究

従来よりも大きなストロークを有するスーパーロングトラベルダンパを内蔵したトルクコンバーターや 2 つの回転慣性を有するダイナミックダンパなどが研究開発されている。また遠心振り子式動吸振器は振り子の固有振動数が回転数に比例し変化することでほぼ全ての回転数領域で振動低減効果を発揮することが可能であることから実用化もされている。本研究はこの遠心振り子式動吸振器の性能向上に関するものである。

2. 研究の目的

（1）制振性能向上

遠心振り子式動吸振器は振り子の固有振動数を外力の振動数と一致させることで振り子が共振し、発生トルクが最大となり、このとき制振効果は最大となる。一方振り子軌道が円軌道の場合、振り子の振幅が大きくなるに従い、固有振動数は低下していき、したがって制振性能は低下する。そこでこれまでに振り子振幅に固有振動数が依存しない、等時性を有するエピサイクロイド軌道が提案されている。振り子の重心軌道を等時性を有するエピサイクロイド軌道にすることにより、常に振り子の固有振動数は一定となり、大きな制振効果を発揮する。しかし発生する振動が線形振動であるため、共振領域は狭くそのため例えば量産による誤差や経年劣化により、性能低下が起こる可能性がある。そこで各種誤差や経年劣化により共振点の変化が起こった場合でも著しい性能低下が起きない設計が必要とされる。そこでロバストな設計を可能とするため、本研究では振り子重心軌道に着目し、軌道と制振性能の関係について明らかにする。

（2）実車両を想定した効果検証

これまでの遠心振り子式動吸振器の性能向上を狙った理論的な研究は動吸振器単体での解析を行ったものがほとんどである。しかし実際に車両に適用された場合、トランスミッションを含む駆動系および車両の慣性、各軸のねじり剛性が組み合わせられた多自由度の振動系となり、単体での解析に基づいた設計では不十分である。そこで本研究では実車両を想定した多自由度の振動系モデルに遠心振り子式動吸振器を適用した場合の振動低減効果を求めることができる解析モデルを構築した。構築したモデルを用いて振り子重心軌道と制振効果について解析した。

3. 研究の方法

(1) 重心軌道を任意軌道とした理論式の構築

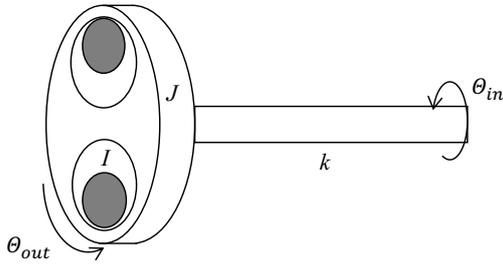


図1 解析モデル

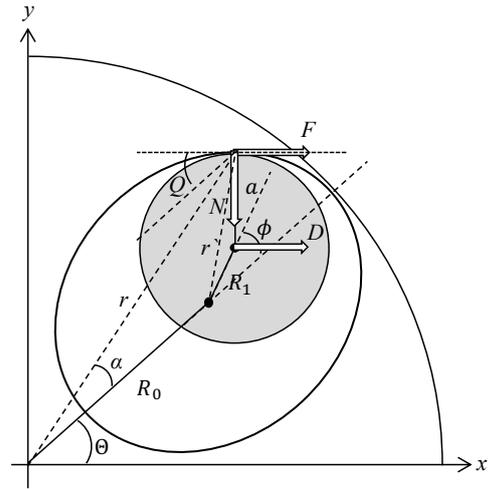


図2 力作用図

図1に理論解析モデルを示す。ころの重心軌道を6次近似曲線としたものである。ねじり剛性 $k[\text{Nm/rad}]$ のシャフト、慣性モーメント $J[\text{kgm}^2]$ のロータ、 $I[\text{kgm}^2]$ のころから構成されている。図2に6次近似軌道におけるころ、ロータ間に作用する力を示す。 N はころが溝壁面に対し垂直方向に与える力であり、 F は N に対し垂直方向に作用するころが溝壁面に与える摩擦力である。ころには空気抵抗による線形減衰力 D が作用するものとする。力のつり合いと幾何学的な拘束条件を考慮することで重心軌道を6次関数で表現する任意軌道としたねじり角 θ ところの振れ角 ϕ に関する運動方程式が導かれる。これらを解くことにより遠心振り子式動吸振器が発生するトルクを求めることができ、重心軌道と発生トルクの関係性を明らかにすることができる。

(2) 実車両を想定した多自由度モデルの構築

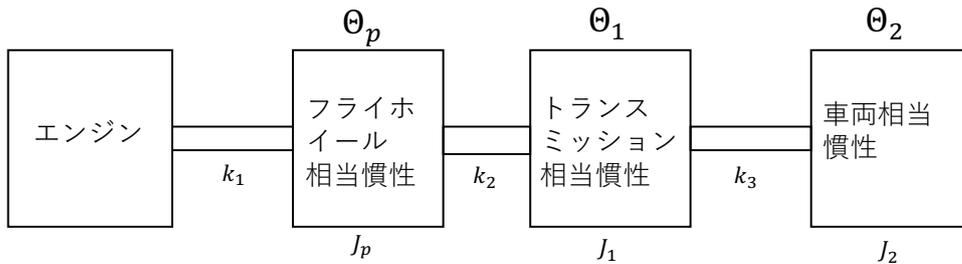


図3 実車両相当解析モデル

遠心振り子式動吸振器を車両に適用した場合の制振効果を求めることが可能な理論式を構築した。図3に実車両を想定した理論解析モデルを示す。各慣性、剛性を考慮した理論式は次式となる。ここに θ は各要素の回転角、 k はねじり剛性、 $g(t)$ は遠心振り子式動吸振器が発生するトルクである。

$$T_{in} = -k_1(\theta_p - \theta_0) = -k_1(\theta_p - \omega t - h \cos \Omega t) \quad (1)$$

$$J_p \ddot{\theta}_p + C_p \dot{\theta}_p = T_{in} - k_2(\theta_p - \theta) \quad (2)$$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + C_1 \dot{\theta}_1 = k_2(\theta_p - \theta) - k_3(\theta_1 - \theta_2) + g(t) \quad (3)$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + C_2 \dot{\theta}_2 = k_3(\theta_1 - \theta_2) - T_{out} \quad (4)$$

上式を解くことにより、実車両における遠心振り子式動吸振器の制振効果について求めることが可能となった。

(3) マルチボディダイナミクスシミュレーションモデル開発

理論解析結果の有効性を検討するため、3次元マルチボディダイナミクスに基づく機構運動解析モデルを開発した。モデルは振り子、ローター、軸、振り子支持構造から構成され、各部接触、摩擦、部品の弾性変形、粘性抵抗を考慮している。本モデルにより理論解析結果の有効性の検証および最適な振り子形状、振り子支持構造を探索した。

4. 研究成果

(1) 遠心振り子式動吸振の発生トルク

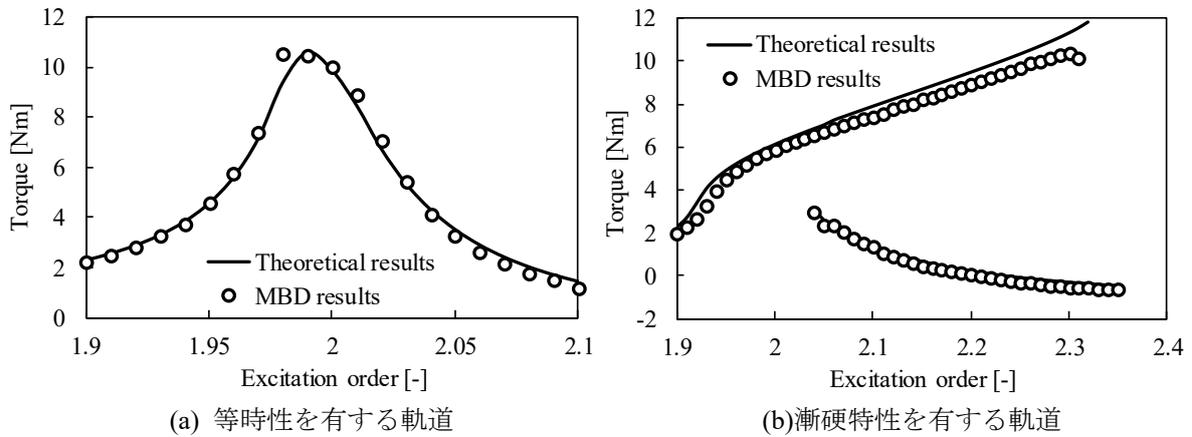


図4 遠心振り子式動吸振器の発生トルク

図4に遠心振り子式動吸振器単体での発生トルクを示す。横軸に加振次数を縦軸に発生トルクを示している。実線が理論計算結果、白丸がマルチボディダイナミクスシミュレーションによる結果を示している。両者はよく一致しており、理論解析モデルの妥当性が示されている。図(a),(b)は重心軌道を変更している。図(a)は発生トルクが線形となる特性を示し、図(b)は右傾化する漸硬特性を示している。重心軌道によりトルク特性を可変とし、狙いの設計が可能であることが示されている。例えば図(b)のように軌道を設計すると共振領域が広がり、製造誤差や経年劣化による固有値の変化に対してロバストな構造とすることができると考えられる。

(2) 実車両モデルを用いた制振性能解析

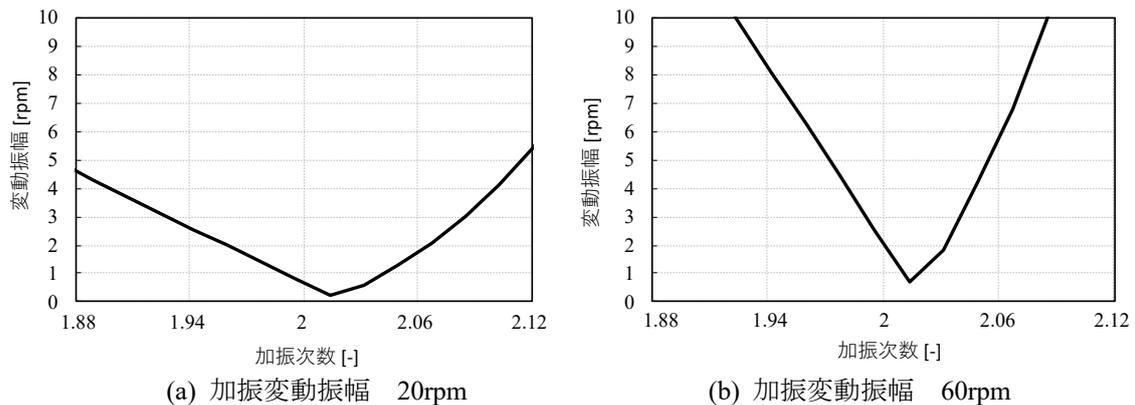


図5 制振性能計算結果

図5に実車両モデルにおける計算結果を示す。横軸は加振次数、縦軸はトランスミッション入力軸における回転変動振幅[rpm]を示している。図(a)はエンジンからの加振変動振幅が20rpmの場合、図(b)は60rpmの場合である。狙いの次数でトランスミッション入力軸の回転変動振幅がほぼ0となっていることが示されている。このように実車両における制振性能を計算することが可能となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takumi OSHIDA and Tatsuhito AIHARA	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of Torsional Vibration Reduction Performance for Roller Type of CPVA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceeding of The 10th TSME International Conference on Mechanical Engineering	6. 最初と最後の頁 282,288
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Takumi OSHIDA and Tatsuhito AIHARA
2. 発表標題 Analysis of Torsional Vibration Reduction Performance for Roller Type of CPVA
3. 学会等名 The 10th TSME International Conference on Mechanical Engineering（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuhito AIHARA
2. 発表標題 Theoretical Analysis of Performance for Roller Type Centrifugal Pendulum
3. 学会等名 International Mechanical Engineering Congress & Exposition（国際学会）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------