

令和 2 年 7 月 14 日現在

機関番号：54601  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2017～2019  
 課題番号：17K18324  
 研究課題名（和文）能動制御カスターの体系的制御手法の提案と複数制御による低振動・低衝撃台車の実現

研究課題名（英文）Proposal of a systematic control method of an active controlled caster, and realization of a low vibration / low impact cart by multiple control of active controlled casters

研究代表者  
 須田 敦 (SUDA, Atsushi)

奈良工業高等専門学校・機械工学科・助教

研究者番号：90743211

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）： アクティブ型ダンパ搭載カスターの開発を進め、カスター単体の試作・評価を行った。これまで試行錯誤的であった制御手法を見直し、制御手法を一部体系的に明らかにした。カスターを4輪搭載した運搬用台車を開発した。

掃引加振実験を行いこれまでの基礎研究シミュレーションと比較した。シミュレーションと実験結果は良い一致を得ることができた。制御手法については学術的に体系立てて再設計した。入出力信号の飽和を考慮した制御手法の確立や、H無限大制御を適用した制御器の設計に成功した。実証実験に向けて台車実験システムを構築した。前述の制御手法を実装したカスターを4輪搭載した台車としての基礎的実験を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

振動や衝撃を嫌う物品の運搬・搬送では、路面の突起乗越えなどの外乱の影響を伝達しない手法にニーズがある。産業界から物品に伝達される衝撃加速度のさらなる緩和や残留振動時間のさらなる低下の実現が求められている。本研究では貨物や荷物の運搬用台車（ハンドトラック）に関して、低衝撃・低振動を実現する台車の実用化を目指した。特に台車に使用するカスターに着目している。アクティブ型のダンパを搭載したカスターの開発を進める。本研究を通じ、これまで試行錯誤的であった制御手法を見直し、制御手法を学術的に体系的に明らかにした。実用的な実験用4輪台車を開発し基礎的実験を行った。

研究成果の概要（英文）： We advanced the development of casters with active dampers. A caster unit was prototyped and evaluated. We redesigned the control method, which was trial and error. A part of the control method was clarified systematically. We have developed a cart (wheeled platform, carrier truck) with four active controlled casters.

We performed a sweeping vibration experiment and compared it with the basic research simulation. The simulation and experimental results were in good agreement. The control method was academically systematically redesigned. We have succeeded in establishing a control method that considers the saturation of input and output signals and designing a controller that applies H-infinity control. A cart test system was constructed for the demonstration experiment. We conducted a basic experiment as a cart with four active controlled casters equipped with the above-mentioned control methods.

研究分野：設計工学・機械力学・制御

キーワード：カスター 振動 衝撃 制御 掃引加振実験 台車

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

一般的な運搬・搬送分野に限らず、創薬産業やバイオテクノロジー分野、半導体製造分野、医療分野、航空・宇宙関連分野においても、衝撃や振動を極力抑える必要性が増加している。

本研究を通じ最終的に、貨物や荷物の運搬用ハンドトラック(台車)に関して、低衝撃・低振動を実現する台車の実用化を目指す。特に、本研究では台車に使用するキャスターに着目する。

### 2. 研究の目的

振動や衝撃を嫌う物品の運搬・搬送では、路面の突起乗越えなどの外乱の影響を伝達しない手法にニーズがある。研究代表者はこれまでにパッシブ型の減衰要素や緩衝機構をもつキャスターの研究を進めてきたが、物品に伝達される衝撃加速度  $2 \text{ m/sec}^2$  以下、残留振動  $0.02 \text{ sec}$  以下の、より低衝撃・低振動性能を有する台車の実現が求められるようになった。そこで、アクティブ型のダンパを搭載したキャスターの研究を進め、キャスター単体の試作・評価を行ってきた。本研究を通じ、これまで試行錯誤的であった制御手法を見直し、最適な制御手法を体系的に明らかにする。さらに、実応用に指向しこのキャスターを複数使用した実台車を開発し、実環境で性能検証し、低衝撃・低振動性能台車の実現を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 体系的制御手法の提案

これまでの制御手法は勘と経験によって試行錯誤的に決定していたので、学術的に体系立てて再設計する。制御手法の一つとして  $H$  制御を実装する。これまでに基礎研究を行っているモデルをもとにシミュレーションを行い、掃引加振実験結果と比較し、妥当性を検証する。

#### (2) 台車システムの開発

実際にアクティブダンパ搭載キャスターを4輪製作し、実験用台車を製作する。台車の設計には、衝撃や台車の振動を計測するための各種センサの配置についても考慮する。また、実応用に指向した実験環境を構築する。合わせて、提案システムの有用性を検証する。

### 4. 研究成果

#### (1) 体系的制御手法<sup>(1)</sup>

単一入力単一出力コントローラーの設計では、低次元化されたプラントモデルを使用した。これは、フルオーダーモデルでは次数が高すぎてプラントの正しいパラメーターを特定できなかったためであり、最初の振動モードのみを表す2次モデルを使用した。ただし、より高次のダイナミクスによって引き起こされる不安定さを防ぐ必要がある。したがって、コントローラーは  $H$  制御理論に基づいて設計し、堅牢性を実現する。図1にボード線図とプラントの乗法的摂動を示す。 $P_M$ は実験で得られたプラントの周波数応答を示し、 $P_{Ly_u}$ は低次元化されたプラントモデルを示し、 $\Delta$ は $P_{Ly_u}$ との間の乗法的摂動を示す。なお、 $P_{y_u}$ はプラントのフルオーダーモデルを示す。図1より、 $P_{Ly_u}$ が実際の1次振動モードとよく一致することがわかる。図2にコントローラー設計で利用する閉ループシステムを示す。ここで、 $w_1$ と $w_2$ は外因性入力、 $z_T$ と $z_S$ は制御出力、 $W_T$ および $W_S$ および $W_N$ は重み関数、 $u$ は制御入力、 $y$ は出力、 $C$ はコントローラーを表す。図2より、 $W_T$ がシステムのロバスト安定性に必要であることを示す。 $W_N$ は標準の  $H$  制御問題の仮定を満たすために導入した。

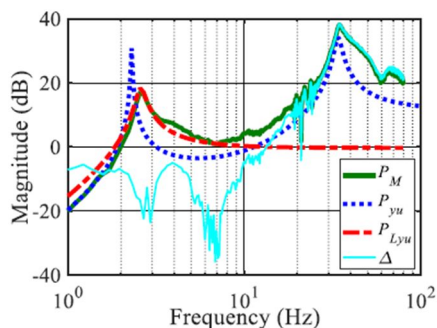


Fig. 1 Bode gain diagram and the perturbation of the plant

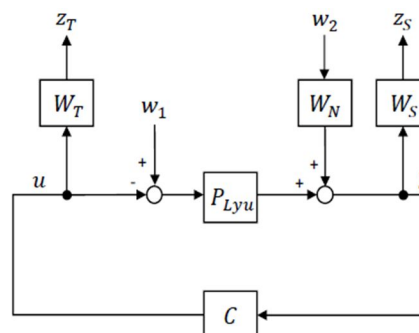


Fig. 2 Closed loop system utilized in single-input and single-output controller design

図 3 に外乱が台車の荷台に直接作用する際の結果を示す．設計されたコントローラーが残留振動を効果的に抑制していることを示している．

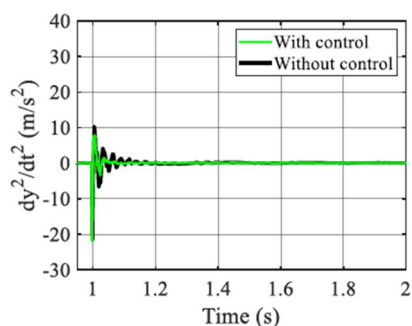


Fig. 3 Acceleration response of the loading platform

## (2) 台車システム<sup>(2)</sup>

図 4 に能動制御キャスターを 4 個搭載した実用的な能動制御台車を示す．400 mm×600 mm の車台の四隅に能動制御キャスターを配置している．図 5 に能動制御キャスター単体を示す．能動制御キャスターは，力学で知られる衝撃中心（以降，撃心）を利用したキャスターの基本設計をふまえた上で，キャスターの回転ヒンジ部と車体の間に並進型アクチュエータとしてボイスコイルモータ（以降，VCM）を搭載している．VCM は車台と揺動アームの間に取り付ける．車台と揺動アーム回転中心の上下加速度を検出するため，2 個の加速度センサを取り付ける．これらの加速度センサから得られる信号を制御計算機で計測，演算し，VCM の推力を制御する．

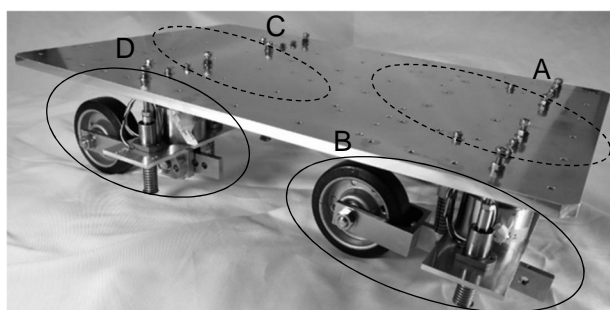


Fig. 4 Overview of active controlled cart

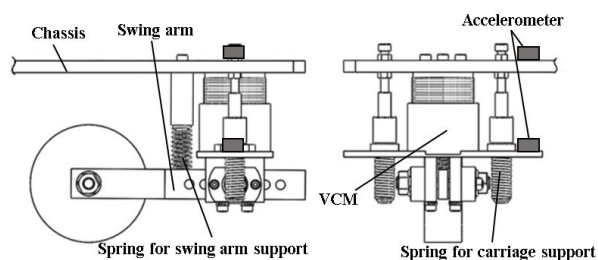


Fig. 5 Outline of active controlled caster

## < 引用文献 >

(1) Masaharu TAGAMI, Atsushi SUDA, Kiyoshi IOI, Manabu KOSAKA, DESIGN AND EVALUATION OF THE VIBRATION DAMPING CONTROLLER FOR A PUSH CART CONSIDERING THE BEHAVIOR OF AN UNGROUNDED WHEEL, The 26th International Congress on Sound and Vibration, 2019.

(2) 須田敦，能動制御キャスターの実験的評価，日本機械学会関西支部第 95 期定時総会講演会，2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 須田敦
2. 発表標題 能動制御キャストの実験的評価
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第95期定時総会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川奈那子, 大道拓斗, 須田敦
2. 発表標題 能動制振キャスト台車に用いられるボイスコイルモータの制御手法構築に向けて
3. 学会等名 第7回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠崎七海, 青野佑紀, 寺井貴洋, 小坂学, 須田敦, 五百井清, 田上将治
2. 発表標題 撃心を利用したキャストのAI的アプローチによるチューニング
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第95期定時総会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaharu TAGAMI, Atsushi SUDA, Kiyoshi IOI, Manabu KOSAKA
2. 発表標題 DESIGN AND EVALUATION OF THE VIBRATION DAMPING CONTROLLER FOR A PUSH CART CONSIDERING THE BEHAVIOR OF AN UNGROUNDED WHEEL
3. 学会等名 The 26th International Congress on Sound and Vibration (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本健太郎, 須田敦
2. 発表標題 能動制振キャストの性能検証(制御モデルの再同定)
3. 学会等名 日本機械学会 関西学生会2018年度学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Suda, Ken-Ichi Iida, Takao Muromaki
2. 発表標題 Considerations for Vibrations and Impacts of Casters (Case of Electroencephalogram at Wheelchair Boarding)
3. 学会等名 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaharu TAGAMI, Atsushi SUDA, Kiyoshi IOI, Manabu KOSAKA
2. 発表標題 Active Vibration Control of a Cart Utilizing Center of Percussion
3. 学会等名 The 14th International Conference on Motion and Vibration (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 須田敦, 竹川朋貴, 田上将治, 五百井清
2. 発表標題 低振動・低衝撃を実現する能動制御キャストの性能検証(検証環境について)
3. 学会等名 日本設計工学会2017年度関西支部研究発表講演会
4. 発表年 2017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
--	---------------------------	-----------------------	----