

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 5 月 31 日現在

機関番号：17501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22700238

研究課題名（和文）周期的に変化する境界を有する機械振動系の動的挙動

研究課題名（英文） Dynamic behavior of mechanical vibration system with periodic border

研究代表者

高坂 拓司 (KOUSAKA TAKUJI)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号：80320034

研究成果の概要（和文）：

周期的に変化する境界と質点が衝突を繰り返す機械振動系に対する動的挙動の解明を念頭に、汎用的な分岐集合計算法を提案した。まず、衝突振動系に対して周期的に振る舞う境界断面を定義し、周期的に変化する境界に合わせて系を 4 種類に分類したうえで Poincare 写像を構成した。次に、周期点条件および特性方程式を示し、これらを連立させ分岐点の計算法を検討した。さらに、分岐点を計算するために Poincare 写像の微分およびその要素を説明した。最後に、本手法を剛体架線・パンタグラフ系に適用し、シミュレーション・実験の両面から提案手法の正当性を確認した。また、歯車を模擬した二質量機械振動系を用い、境界の形状の違いが機械振動系に及ぼす影響に関して議論した。その結果、質点と境界が接することによって発生する grazing 分岐がこの種の系に大きな影響を与えることを示した。

研究成果の概要（英文）：

I propose a calculation method of the bifurcation sets for the mechanical vibration system with periodic border. First, I show a system dynamics. Here, the local section is selected in the state space where the system switch depending on state or time. Next, the Poincare map is constructed for the following analysis. Furthermore, I describe the periodic points and the characteristic equation. Then, the calculating method of the bifurcation point is discussed by solving the simultaneous equation of the fixed point and the characteristic equation. Moreover, derivative of the Poincare map is shown. Finally, I apply the proposed method for a rigid overhead wire-pantograph system and confirm the validity of the method for calculate the bifurcation sets in the mechanical vibration systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：機械振動・周期的に変化する境界・分岐解析・カオス

1. 研究開始当初の背景

断続動作特性を有する系に関する研究は

古くから盛んに行われており、各々の系は時刻や状態に依存して切り替わる性質を有する。特に、断続

動作特性を有する系の中でも解軌道が状態に依存して切り替わり、境界断面上で局所的に変化する系は衝突振動系と呼ばれ、機械系におけるインパクトダンパ、生態系における森林火災を模擬したインパクトモデル等、様々な分野に置いて注目されている。一般にこのクラスの系は、系の切り替わりによって解軌道が不可微分点を持つため、厳密解を用いた解析が困難である。特に系が高次元の線形系で記述される場合や、たとえ低次元であっても各々の系が非線形系で記述される場合、問題はより複雑になる。ここで、系の定性的性質の問題の解明にはパラメータ空間における分岐集合の導出が重要であるが、上記諸問題に対する分岐解析の一般的な手法は未だ確立されていない。

2. 研究の目的

本研究では「周期的に変化する」境界を有する機械振動系に対し、いくつかの検討を行う。具体的には：

- (1) 分岐追跡手法の確立
- (2) 剛体架線・パンタグラフ系を例に
 - ① 提案手法の適用
 - ② 実験系における確認
- (3) 境界の形状の違いが系に及ぼす影響の検討：歯車を模擬した機械振動系を用いて

3. 研究の方法

「2. 研究の目的」に沿って説明する：

- (1) 合成 Poincare 写像を構築し、分岐追跡手法を構築する。
- (2) 剛体架線・パンタグラフ系を例に：
 - ① 提案手法を局所的な分岐集合に適用し、手法の正当性を確認する。
 - ② 加振実験および装置の改良、測定環境の構築を行い、実験的にも手法の正当性を確認する。
- (3) 歯車を模擬した二質量機械振動系を用いて、境界そのものが運動方程式を持つ場合に関する運動方程式を導出する。次に、質点の時系列は系および2パラメータ分岐図を用い、系に見られる分岐現象について議論する。

4. 研究成果

「2. 研究の目的」に沿って説明する：

- (1) 汎用的な数学表現を行うため、周期的に変化する境界に合わせて系を4種類に分類した。また、それぞれに関して解析を行う上で核となる Poincare 写像の構成法が異なるため、まず、各々の数理的な違いを考察した。次に、周期点の位置、特性乗数の導出を行い、最後にパラメー

タ空間において分岐点を連続的に追跡できる手法およびその具体的な計算機実装法を構築した。

- (2) (1)の解析手法を図1に示される剛体架線・パンタグラフ系に適用する。本モデルは剛体架線と電車のパンタグラフとの間に生じる衝突振動を検討するために提案されたモデルである。剛体架線モデルは架線に生じる波状摩擦を模擬しており、周期的な境界として定義する。また、パンタグラフモデルはバネ、減衰器、質点で構成されており、質点は剛体架線モデルと衝突を繰り返しながら振る舞う。図2に解軌道の振る舞いの例を示す。パラメータ変換に関しては記述を省略するが、以下、適当に変換したモデルを取り扱う。

① 図3に Ω - ξ 平面における計算結果を示す。ここで、 Ω はパンタグラフの角周波数、ゼータは減衰比に対応している。図中の色の境界は周期倍分岐の分岐曲線に対応している。ここで、周期解の特性乗数は-1となっており、局所的な分岐現象が計算できていることがわかる。

② 図4に実験装置を示す。本装置を用いて実験を行った結果 a) 角振動数の増加に伴い周期倍分岐が発生 b) 1周期解領域には、解の値が一定である領域と変化する領域が存在 c) 解の共存領域が存在 d) 無次元振幅 ε の増加に伴い、解の値が一定を保つ領域が現象を見いだした。これは、e) 離線は社則の増加により発生する f) 車速を増加および現象させた場合について、パンタグラフの挙動に相違が生じる g) 離線の防止には、減衰力が高いバネを選定し、押し上げ量を低くすることが重要、だということがわかった。また、これらの結果は、シミュレーションともよく一致しており、実験系においても提案手法の正当性が示せた。

- (3) 図5に本解析で用いたモデル図を示す。本装置はLuoらにより提案された歯車を模擬した二質量機械振動も出るに基づいている。本実験装置は平行に配置した2つのスライダールール上にMass1、Mass2を設置し、その両端にバネを取り付けている。また、Mass間には間隙があり、歯車の衝突を模擬している。間隙、Mass2の周波数を変化させ分岐解析を行った結果、間隙の増加に伴い多周期・非周期解が観測され、広範囲に分岐現象が発生していた。その多くはgrazing分岐であり、grazing分岐が系の分岐構造に大きな影響を与えているようである。具体的には、図6に示すパターンによりgrazing分岐が発生することがわかった。

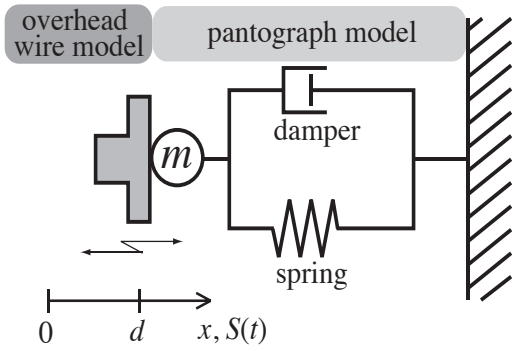


図1 剛体架線・パンタグラフモデル

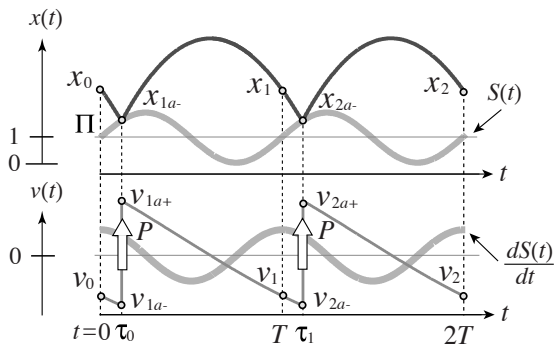


図2 解軌道の振る舞い

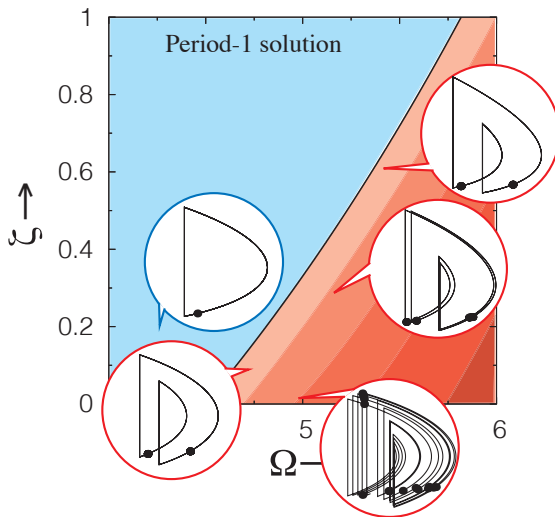


図3 2パラメータ分岐図

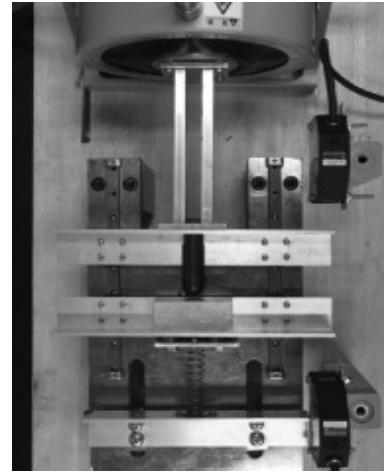


図4 実験装置

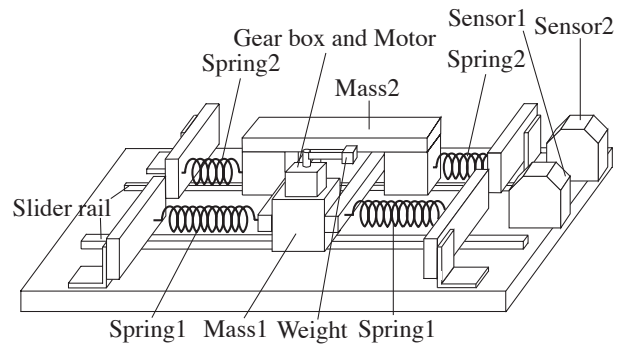


図5 歯車を模擬した二質量機械振動系

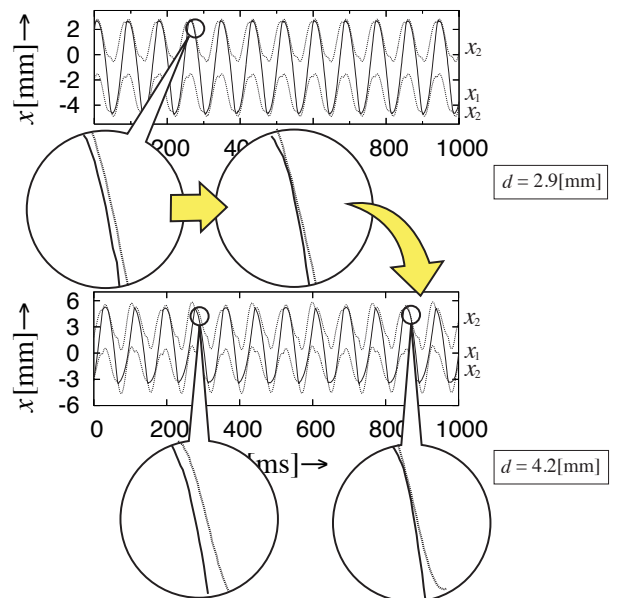


図6 grazing分岐の発生

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 H. Asahara, T. Kousaka, Theoretical and Experimental Analysis of a Simple PWM-1 Controlled Interrupted Electric Circuit, International Journal of Circuit Theory and Applications, 査読有、2012、DOI: 10.1002/cta.1837
- ② H. Asahara, K. Tasaki, K. Aihara, T. Kousaka, The Stabilizing Mechanism for an Interrupted Dynamical System with Periodic Threshold, Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA) IEICE, 査読有、Vol. 3, No. 4, 2012, 546-556

[学会発表] (計 40 件)

- ① Y. Tone, H. Asahara, K. Aihara, T. Kousaka, Calculation Method of Stability for Two-degree-of-freedom Vibro-impact Systems, Proc. NCSP'13, 査読有、2013、53-56
- ② G. Ikeda, H. Asahara, K. Aihara, T. Kousaka, A Search Algorithm of Bifurcation Point in an Impact Oscillator with Periodic Threshold, Proc. APCCAS 2012, 査読有、2012、200-203
- ③ G. Ikeda, H. Asahara, A. Kazuyuki, T. Kousaka, Derivation Method of the Bifurcation Point for the Periodic Solution in an Impact Oscillator with Periodic Local Cross-Section, Proc. NOLTA 2012, 査読有、2012、891-894
- ④ A. Takahashi, H. Sekiya, K. Aihara and T. Kousaka, A Numerical Approach to Calculate Grazing Bifurcation Points in an Impact Oscillator with Periodic Boundaries, Proc. IEEE ISCAS2012, 査読有、2012、2111-2114
- ⑤ K. Nakadoi, H. Asahara, S. Karube, T. Kousaka, The Implementation Experiment of an Impact Oscillator with Two Mass System Based on a Pair of Gears, Proc. ITC-CSCC 2012, 査読有、2012、B-T3-05
- ⑥ J. Hosokawa, H. Asahara, T. Kousaka, Stability Analysis in an Electrical Bouncing Ball Model, Proc. ITC-CSCC 2012, 査読有、2012、P-T3-19
- ⑦ G. Ikeda, A. Kazuyuki, T. Kousaka, Calculation Method of Bifurcation Point for an Impact Oscillator with Periodic Function, Proc. CHAOS 2012,

査読有、2012

- ⑧ Y. Shimizu, H. Sekiya, K. Aihara, T. Kousaka, Improvement of the Calculation Method for the Grazing Bifurcation Point in Two-dimensional Impact Oscillator, Proc. NCSP'12, 査読有、2012、5-8
- ⑨ J. Hosokawa, H. Asahara, T. Kousaka, Dynamic Behavior of the Electric Bouncing Ball, Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks, 査読有、2011、61-63
- ⑩ A. Takahashi, H. Sekiya, K. Aihara, T. Kousaka, A Numerical Determination of the Grazing Bifurcation Thresholds in an Impact Oscillator with Fixed Border, Proc. NOLTA 2011, 査読有、2011、573-576
- ⑪ A. Takahashi, K. Tsumoto, K. Aihara, T. Kousaka, Numerical Method for Bifurcation Analysis in an Impact Oscillator with Fixed Border, Proc. ECCTD 2011, 査読有、2011、257-260
- ⑫ Hosokawa, H. Asahara, T. Kousaka, Bifurcation Phenomena in an Electric Impact Oscillator, Proc. ITC-CSCC 2011, 査読有、2011、870-873
- ⑬ S. Tomonaga, T. Kousaka, A Shooting Method for Two-Dimensional Switched Dynamical System with State Interrupted Characteristics, Proc. NDES2011, 査読有、2011
- ⑭ S. Hirashima, S. Karube, T. Kousaka, Numerical Calculation Method of Characteristic Multiplier for the Fixed Point in a Rigid Overhead Wire-Pantograph System, Proc. NOLTA2010, 査読有、2010、249-25

他 国内学会および研究学会講演 26 件(査読なし)
詳細は下記 URL 参照。

[その他]

<http://nonlinear.jp/publication.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高坂 拓司 (KOUSAKA TAKUJI)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号：80320034