

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18700235  
 研究課題名（和文） 理想的ではない断続動作特性が合成力学系に与える影響について  
 研究課題名（英文） Dynamical Mechanism for Composite Dynamical Systems with Non-ideal Interrupted characteristics  
 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：状態や時刻依存型の断続動作特性が「理想的でない」スイッチング動作によって切り替えられた場合、その断続動作が合成力学系にどのような影響を与えるのか？について検討し、数学的に性質を示した。また、回路実装によりその性質を再現した。一方、理想的でないスイッチング動作を有する合成力学系において、カオスアトラクタに内在する不安定周期軌道を安定化する手法についても考察し、アルゴリズムの提案、実験系を用いたその正当性の確認を行った。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,800,000	180,000	2,980,000

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：分岐現象・断続動作・カオス

## 1. 研究開始当初の背景

2004年、高周波数で動作する電流制御型DC-DCコンバータ回路において、「理想的でない」スイッチング動作が回路の振る舞いに大きな影響を及ぼしている、との実験的報告が行われた。具体的には、回路を構成する個々の素子の伝達に伴う遅延、回路特有のターンオン/オフ遅延などによる影響、また回路中の浮遊容量や浮遊インダクタンスの存在によりスイッチが切り替わった直後に発生する瞬間的な高周波振動など、様々な要因によってスイッチング動作が理想的に行われな

い場合が存在する。  
 しかし、これまでスイッチング動作が理想

的に行われな

い場合に関する理論的検討を行っている論文は皆無であった。したがって系の定性的性質を明らかにするうえで、理想的でないスイッチング動作が系に与える影響の解明は非常に重要であるといえる。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、「理想的でない」断続動作特性が合成力学系に及ぼす影響について検討した。具体的には：

(1) スイッチング動作の遅延によって生じる理想的ではない断続動作を考慮した合成

## 力学系のモデル化とその回路実装

(2) スwitchング動作に、瞬間的な高周波振動を伴う系のモデル化とその回路実装

(3) パワーエレクトロニクス回路に対する適用。

(4) 理想的でないスitchング動作を有する系に観測されるカオスアトラクタに内在する不安定周期軌道の安定化。

について検討する。

### 3. 研究の方法

「2. 研究の目的」に沿って説明する:

(1) スitchング遅れを有する数学モデルを提案し、Poincare 写像およびその特性乗数を導出する。次に、系に生じる非線形現象について考察し、その分岐条件を示す。最後に、対応する回路モデルを提案し、実験結果を用いて理論的検討の正当性を確認する。

(2) スitchング時に瞬間的な高周波振動(以下、スパイクノイズ)が生じる場合に対して、(1)同様の提案・解析を行う。

(3) バックブーストコンバータ回路にスパイクノイズを付加した系を提案し、上記同様の解析を行う。

(4) まず、スitchング遅れを有する系は、理想的なスitchング動作を有する系において構成された制御法が適用できないことを示す。次に、これをふまえた新たな制御法を提案し、(1)で用いた回路に適用する。最後に、回路実装によって、本手法の正当性を確認する。

### 4. 研究成果

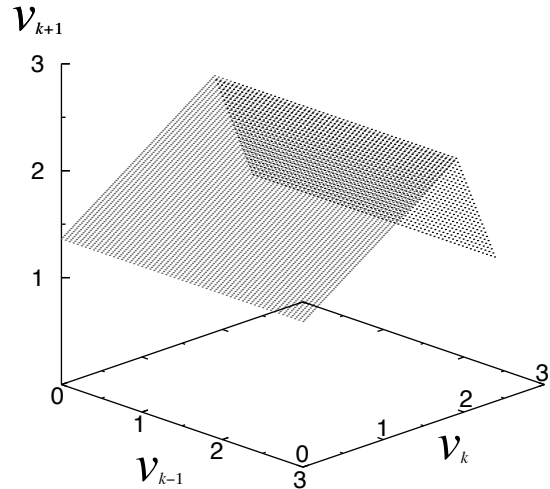
「2. 研究の目的」に沿って説明する:

(1)(2) スitchング遅れ、スパイクノイズが区分的に滑らかな系に及ぼす影響について検討を行った。まず、Poincare 写像を導出し(図1 参照)、系にみられる周期倍分岐および Border-Collision 分岐の発生条件を示した。各々の系を比較・検討した結果、理想的でないスitchング動作の発生に伴い:

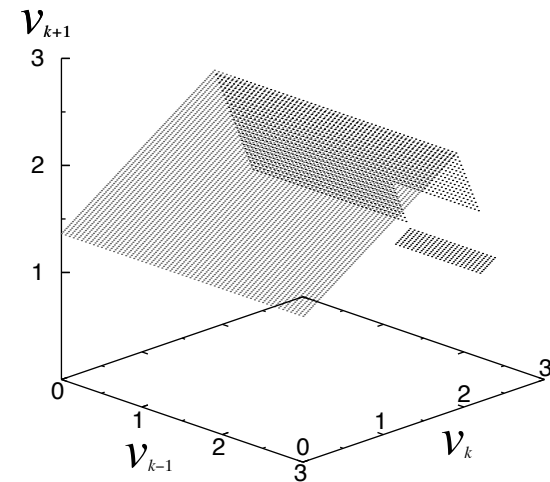
- ① 不変区間の拡大
- ② 1周期解以外の周期解の存在領域の拡大
- ③ 1周期解の存在領域の縮小
- ④ 解の共存領域の発生

⑤ スパイクノイズは系の特性乗数に影響を与えない

が確認できた。また、理想的でないスitchング動作は、系に新たな境界およびそれに伴う Border-Collision 分岐を発生させ、これらが系の分岐構造に影響を及ぼしていることが明らかとなった。



(a) 理想的なスitchング動作を有する系



(b) スパイクノイズを有する系

図1 Poincare 写像の例

(3) (1)および(2)はコンバータ回路を模擬した系であったが、電流不連続モード(DCM)は発生しない。したがってバックブーストコンバータ回路を用い、スパイクノイズの発生がDCMを含む系に与える影響について調査した。ここで、系の解析にはPoincare 写像を用いた。また、理想的なスitchング動作を有する系とスパイクノイズを有する系の双方がDCMを含む場合についての解析結果を比較・検討した結果、CCMにおいて観測された不変

区間の拡大はみられなかった。一方、スパイクノイズの影響で、系の超安定周期解の存在領域が拡大されることが明らかとなった。これは、スパイクノイズの発生に伴い、解軌道のDCM動作時間が延長されたことに起因していた。

(4) スwitching遅れを有するハイブリッドシステムにみられるカオスの制御法を提案した。まず  $n$  次元ハイブリッドシステムにおける制御法について考えた。外力の周期に合わせて、かつ場合分けを行い局所写像を定義することで合成 Poincare 写像を構成し、その結果得られた変分方程式を用いることにより周期点の計算を可能とした。周期点周りの安定性は任意の制御手法で制御可能であるため、カオスアトラクタ内の任意の不安定周期軌道の安定化が期待できる。次に本手法の正当性を確認するため、(1)の系に本手法を適用した。まずシミュレーションによる制御を試み、その後回路実装により理論結果の正当性を確認した(図2参照)。

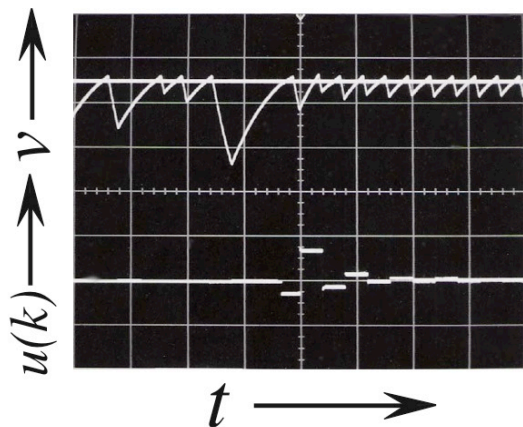


図 2 不安定周期軌道の安定化

## 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 11 件)

- ① T. Kousaka, H. Asahara, Dynamical Mechanism for Interrupted Circuit with Switching Delay, IEICE Electronics Express, (2009), In press, 査読あり
- ② H. Asahara, T. Kousaka, Experimental Validation of Hybrid Dynamical System with Switching Delay, Journal of Signal Processing, (2009), In press, 査読あり
- ③ 麻原寛之、高坂拓司、スパイクノイズが状態・時刻混合型断続動作特性を有する力学系に及ぼす影響、電子情報通信学会論文誌(A)、(2009)、印刷中、査読あり

- ④ T. Kousaka, K. Fujimoto, Y. Ma, H. Kitajima, T. Ueta, H. Kawakami, Bifurcations observed in BVP oscillator with Periodically Switched RC circuit, Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems Series A: Mathematical Analysis, (2009), In press, 査読あり
- ⑤ 朝長伸吾、北島博之、高坂拓司、断続動作特性を有する結合発振器にみられる同期現象、電気学会論文誌 C 編、(2009)、印刷中、査読あり
- ⑥ T. Kousaka, T. Ueta, Y. Ma, Chaos Control Strategy for Interrupted Electric Circuit with Switching Delay, International Journal of Bifurcation and Chaos, (2009), In press, 査読あり
- ⑦ Q. Brandon, T. Ueta, D. F. Prunaret, T. Kousaka, Numerical Bifurcation Analysis Framework for Autonomous Piecewise-Smooth Dynamical Systems, Chaos, Solitons and Fractals, 20090000 0 2009, 2009, 査読あり
- ⑧ T. Suzuki, S. Tomonaga, Y. Ma, S. Banerjee, T. Kousaka, Complex Behavior in a Simple Piecewise Smooth System with a Spike Noise, Journal of Signal Processing, Vol. 12, No. 4, pp. 283-286(2008), 査読あり
- ⑨ S. Tomonaga, Y. Ma, T. Kousaka, Effective Analytical Method for a Square Wave Oscillator Coupled by a Register, Journal of Signal Processing, Vol. 12, No. 4, pp. 271-274(2008), 査読あり
- ⑩ 朝長伸吾、高坂拓司、森林火災を模擬した二次元インパクトモデルの定性的性質、電気学会論文誌 C 編、Vol. 128, No. 7, pp.1244-1245(2008)、査読あり
- ⑪ N. Oda, T. Kousaka, T. Ueta, Y. Ma, Controlling Chaos in a Simple Circuit with Switching Delay, Journal of Signal Processing, Vol. 11, No. 4, pp.329-332(2007), 査読あり

[学会発表] (計 53 件)

- ① I. Nishinaga, S. Tomonaga, S. Karube, T. Kousaka, Fundamental Property of a Nonlinear Vibration System Based on a Rigid Overhead Wire-Pantograph System, In Proc. International Conference on Communications, Circuits and Systems, (2009), In press, 査読あり
- ② H. Asahara, T. Kousaka, Effect of

- Switching Delay in an Interrupted Electric Circuit, In Proc. 17<sup>th</sup> International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic System, (2009), In press, 査読あり
- ③ S. Tomonaga, M. Tsuji, T. Kousaka Bifurcation Phenomena Observed in a Switched Dynamical System with PWM-1 Control, In Proc. 17<sup>th</sup> International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic System, (2007), In press, 査読あり
- ④ I. Nishinaga, S. Tomonaga, S. Karube, T. Kousaka, Qualitative Analysis of a Rigid Overhead wire-Pantograph Systems, In Proc. National Conference on Nonlinear Systems and Dynamics, pp.15, (2009), 査読あり
- ⑤ T. Akiyama, H. Asahara, T. Kousaka, Realization of Simple Interrupted Electric Circuit with the Spike Noise and its Analysis, In Proc. National Conference on Nonlinear Systems and Dynamics, pp.12, (2009), 査読あり
- ⑥ T. Watanabe, S. Kudoh, S. Tomonaga, S. Karubve, T. Kousaka, Control of Simple Nonlinear Vibration System with Pulse Stimulation, In Proc. 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 483-486, (2009), 査読あり
- ⑦ H. Asahara, T. Kousaka, Experimental Confirmation of a Simple Interrupted Circuit with Switching Delay, In Proc. 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 85-88, (2009), 査読あり
- ⑧ S. Tomonaga, T. Kousaka, Synchronized States in Square Wave Oscillators Coupled by a Capacitor, In proc. 2008 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 349-352, (2008), 査読あり
- ⑨ Q. Brandon, T. Ueta, T. Kousaka, D. F. Prunaret, Numerical Bifurcation Analysis of Systems with Variable Switching Conditions, In proc. 2008 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 428-431, (2008), 査読あり
- ⑩ T. Suzuki, Y. Ma, T. Kousaka, Bifurcation Analysis in a Simple Piecewise Smooth System with a Spike Noise, In Proc. 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 307-310, (2008), 査読あり
- ⑪ T. Ozasa, Y. Murai, Y. Ma, T. Kousaka, Bifurcation Structure of a Simple PWM-1 Voltage-mode-Controlled Circuit, In Proc. 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 204-207, (2008), 査読あり
- ⑫ Y. Kagami, S. Tomonaga, Y. Ma, T. Kousaka, Qualitative Analysis in a Second Order Impact Model for Forest Fire, In Proc. 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 200-203, (2008), 査読あり
- ⑬ S. Tomonaga, Y. Ma, T. Kousaka, Bifurcation Phenomena Observed in a Square Wave Oscillator Coupled by a Register, In Proc. 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 311-314, (2008), 査読あり
- ⑭ T. Suzuki, T. Kousaka, Y. Ma, Dynamical Effects of Spike Noise in a Simple Piecewise Smooth System, In Proc. National Conference on Nonlinear Systems and Dynamics, pp. 48, (2008), 査読あり
- ⑮ N. Oda, T. Kousaka, Y. Nishio, Bifurcation Analysis of Composite Dynamical Systems Containing Switching Delay, In Proc. National Conference on Nonlinear Systems and Dynamics, pp. 87, (2008), 査読あり
- ⑯ Q. Brandon, T. Ueta, T. Kousaka, Local Bifurcations of Nonlinear Hybrid Systems, In proc. 2007 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 160-163, (2007), 査読あり
- ⑰ M. Mizumoto, T. Ueta, T. Kousaka, H. Kawakami, Bifurcation Analysis of Duffing-Rayleigh Equation, In Proc. 15<sup>th</sup> International Workshop on Nonlinear Dynamics of Electronic System, pp. 281-284, (2007), 査読あり

他 国内学会および研究学会 36 件  
(査読なし) 詳細は下記 URL 参照:  
<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