

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420373

研究課題名(和文)しきい値の変分を利用したハイブリッドシステムにおける周期解の設計とその応用

研究課題名(英文)A design method and applications of periodic solutions in hybrid systems by variations of threshold values

研究代表者

上田 哲史 (UETA, TETSUSHI)

徳島大学・情報センター・教授

研究者番号：00243733

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：状態空間をしきい値で区切り、各区間でパラメータ2つを固定した微分方程式を定義し、部分軌道候補を得る。それらをつないで所望の形状を実現するしきい値を求解した。しきい値を複数個用意し個々の区分空間におけるリミットサイクルを作成、変分方程式およびヤコビ行列の生成、特性乗数の算出、および2パラメータ平面におけるリミットサイクルの分岐図を求解する枠組みを完成させた。また、所望の軌道や安定性を実現する制御方法として、安定極を指定するしきい値設定開ループ制御系を提案した。さらに有限オートマトンとしてハイブリッドシステムを捉え、簡易な区分線形システムにおいて発振や同期を設計する方法論を検討した。

研究成果の概要(英文)：We investigate a schematic approach for producing a desired-shape limit cycle by providing several different vector fields and threshold values. In a partial state space sectioned by the threshold values, a differential equation with fixed parameter values gives a family of flows for initial values sets. By combining these partial state spaces, a limit cycle can be obtained. This can be regarded as a hybrid system. If one provide threshold values and corresponding partial spaces initially, our procedure may compute suitable position of threshold values to fit the desired-shape limit cycle. We study required technologies about computations of variational equation for threshold values, optimization methods. As an application, we propose an open loop control system realizing a limit cycle holding a desired stability for the a hybrid system. We also propose a framework as finite-state automata describing dynamics of the hybrid system.

研究分野：非線形工学，分岐理論

キーワード：ハイブリッドシステム リミットサイクル ポアンカレ写像 安定性

## 1 研究開始当初の背景

軌道があるしきい値に到達することによって方程式が切り替えられる系はハイブリッドシステム、もしくは *piecewise smooth system* (以下 PWS) とよばれる。電気回路工学系では、リレー系、コンバータなどの実用回路が、また、神経回路系では、インパルス・方形波応答や情報伝達遅延のある化学シナプス結合モデルなどが PWS として分類される。Bernardo らの研究グループは、PWS の特異点や周期解について、それらの位相的分類、局所的・大域的な分岐などの研究を 90 年代後半から活発に行って来ており、その集大成も出版された [1]。しかしながら、分岐集合の計算においては区分線形系に置き直すなどの特殊な工夫を行っており、汎用な方法の提案はなされていない。PWS における周期解の分岐問題について計算機援用による数値的直接解法は、われわれの提案した手法 [2] およびその拡張 [3] しか報告されていない。この手法のオリジナリティは、連続関数や区分線形系等で近似することなく、区分的に求積した変分方程式の解を組み合わせてポアンカレ写像の微分を求めている点にある。先行研究である平成 19～20 年度の基盤研究 (C) においては、PWS の分岐問題を解くための手順および数値計算ツールが整備された。しかしながら当時は、しきい値は単に増分パラメータとしてのみ扱わざるを得なかった。ところで、早川らは、複数の不安定な区分線形系の組合せにおいて、切り替え面 (しきい値) を解析的に設計することにより、平衡点やリミットサイクルの創出を行ない、その存在性の証明、安定性の検討を行なっている [4]。また、所望の振動波形を実現する切り替え面の設計を試みている。対象が 2 次元でかつ区分線形系であり、極座標変換より導かれる不変性を利用することがポイントであるが、高次元系や PWS への拡張はなされていない。2 次元自律系を貼り合わせた力学系や、跳躍現象を含むシステムを考えたとき、解に対して、しきい値に関する変分を求積する方法を開発した。これによって、しきい値を変数とした局所分岐集合 (周期倍・接線分岐など) を高精度に計算することができる。

### 文献

- [1] M. Bernardo et al., *Piecewise-smooth Dynamical Systems*, Springer, 2008.  
 [2] T. Kousaka, T. Ueta, and H. Kawakami, “Bifurcation of Switched Nonlinear Dynamical Systems,” *IEEE Trans. CAS-II*, 7, pp.878–885, 1999.

[3] G. Tanaka, et al., “Bifurcation Analysis on a Hybrid Systems Model of Intermittent Hormonal Therapy for Prostate Cancer,” *Physica D*, vol. 237, 2616–2627, 2008

[4] 早川, 2 次元振動子の結合による適応的振動子ネットワークの設計問題とその工学的応用, 科研若手 (B) 21760324. 2009–2010 年度.

## 2 研究の目的

本研究では先行研究等を統合・拡張し、複数個の高次元 PWS をしきい値で貼り合わせ、所望の仕様の周期解を設計するとともに、その分岐解析を行う。また、しきい値摂動を利用したカオス制御系の設計を検討する。しきい値は PWS の方程式に陽に組み込まれておらず、条件文として記述されるが、しきい値変分に関する分岐計算方法の結果を応用すれば、複数のしきい値に関する軌道の変分方程式はチェインルールより機械的に導出できる。そこで、所望の条件を満たす周期解を得るしきい値の設計、分岐解析が可能となった。同様に、周期解の安定性、周期 (周波数)、パラメータへのしきい値の寄与も計算できる。したがって、適当な自律系を複数用意し (特に平衡点を想定する必要もない)、所望の安定性、波形、周期などの条件を与えれば、その条件に十分整合した周期解を実現するしきい値集合を求めることが可能となる。これは早川らの設計問題の拡張となっている。応用として、カオス中の不安定周期解を安定化するカオス制御系を得ることができる。具体的な力学系として非線形電気回路を対象とした上で、所望の条件を満たす周期解の生成について、実験と理論の両側面から開発・解析を行う。本研究のポイントは、しきい値に関するあらゆる区間の変分が計算でき、その情報を設計に活かせることにある。しきい値を電圧で与え、それに連動した比較器およびアナログスイッチにより、複数の非線形特性を切り替える系を考えると、数学的に記述された PWS は容易にモデル化される。適切な初期値を用いることにより、周期解生成問題は、しきい値に関する固定点に関する 2 点境界値問題を含む最適化問題として定式化できる。これを変分の情報をもとに解くことにより、所望の安定性を満たす周期解を得るしきい値を得る。これらの試みは、いくつかの力学系について、数値例で部分的に確認しており、実現可能である。自然な拡張として、周期条件、波形条件などを同時に満足するしきい値の設計問題を解くことが具体的なゴールとなる。

### 3 研究の方法

適切なハイブリッドシステムを想定し、周期解の存在を実験にてあらかじめ確認する。周期解が得られれば、その系についての微分方程式を導出し、数値計算による周期解の存在を確認する。ポアンカレ写像を適切に設定し、周期解追跡、分岐集合計算を行う。上記の取組と分岐図により、切り替え面としてのしきい値挿入位置の分類、軌道・周期の変化、回路実現可能性、および、分岐の種類についてまとめる。

PWS系においてカオスが生じるパラメータ範囲で、極配置法によって、しきい値変分型カオス制御を実装する。指定極と引き込み領域の関係を実験的・数値的に求め、結果の妥当性・評価は微分方程式のシミュレーションにて行う。また、玄らのモデルについて分岐解析を行う。ヒステリシスのしきい値をパラメータとして分岐図を求め、解の位相的分類を把握する。その後、周期解の形状や周期を指定し、それを実現するしきい値を算出するアルゴリズムについて研究する。当初はしきい値平面上での写像点を指定する問題とし、固定点条件としきい値に関する評価関数、境界条件を考え、2点境界値問題をニュートン法で解く。

次に、所望の周期解の軌道の概形を与え、それを満たすしきい値集合としきい値間をつなぐ力学系を求める問題とし、多点境界値問題としての最適化問題を定式化して解くことを考える。上記で設計された結果を回路で実装し、有効性を測定する。応用として、しきい値が周期的に摂動する場合の軌道の生成についても検討し、回路実装を行う。

### 4 研究成果

微分方程式のフローと、そのフローや時刻により切り替わるベクトル場によりハイブリッドシステムは構成されており、切替条件や初期値集合を整理すると、有限状態オートマトンが構成される。切り替え集合は、いわゆるしきい値とみなされ、それに関する変分のより詳細な研究、および制御問題を中心に据えとして進めた。まず所望のリミットサイクルの形状を、位相的な関係を記述した概形データ(例えばハートマークなど)として与え、複数の非線形力学系をしきい値で貼り合わせてその軌道を実現するフレームワーク作成を行った。その実験的な取組として、まず具体的には個々の2次元力学系に見られる半解軌道の集合を、標準基底と並行に幾何学的に貼り合わせ、閉軌道を構成する。そのときにしきい値(ポアンカレ切断面)が決定される。次にその

軌道に関する安定性を検討する。ポアンカレ写像を評価し、そのヤコビアンを求め、特性乗数を求める。最後に閉軌道の分岐問題(パラメータ摂動に関する分岐の発生)を数値的に解く。例題として van der Pol 発振器を用い、4つのポアンカレ切断面をもつ軌道を考え、その分岐問題を検討した。リミットサイクルの安定性、分岐問題、ともに精度よく求めることを確認した。次に、二次元非自律系+区分非線形系の分岐問題を取り扱った。状態にジャンプを有する非自律系はこれまで、周期外力の周期にあわせてポアンカレ写像を取る方法では、ヤコビアンの正則性の問題が生じ、分岐パラメータ値が計算できないことが多かった。このため、われわれは非自律系の自律系化を行い、ジャンプ条件でポアンカレ断面を取る方法を考案した。これによって分岐問題が円滑に計算できるようになり、現在、幾つかの力学系の例題について計算を進めている。ハイブリッドシステムにおいて、所望の軌道や安定性を実現する制御方法として、しきい値の変分を求め安定極を指定するしきい値設定開ループ制御系を提案した。しきい値の変分は、先行研究にて変分方程式の数値積分値が利用できることがわかっていたが、本研究では、逆に軌道形状や軌道の安定性を先に指定し、それを実現するしきい値を求めることに新規性がある。NCSP2016にて論文を投稿、発表を行った(学会発表[1])。また、前年度課題であった、コンパレータを用いたハイブリッドシステムとしての発振器を開発し、区分線形系として解析を進めた。コンパレータ(オペアンプ)を二つ用い、フリップフロップのようにたすき掛け構造にすることによって矩形波発振器を構成する。従来のRC型矩形発振器に比して、過渡応答が改善され、また、周波数を決定するしきい値に大きいマージンを導入することができている。この発振器の結合系について解析を進める。また、離散時間ハイブリッドシステムの結合系について、その解析方法の開発を行い、応用として南雲佐藤ニューロンの結合系における分岐問題を解いた。その他、あらゆるタイプのハイブリッドシステムを想定し、その分岐問題について数値計算が行える基礎フレームワークを完成させた。

### 5 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 11 件)

- (1) D. Ito, T. Ueta, Steady state analysis of the TCP network with RED algorithm, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.EA99, No.6, pp. 1247-1250, June 2016. 【査読有】 doi:

- [10.1587/transfun.E99.A.1247](https://doi.org/10.1587/transfun.E99.A.1247)
- (2) D. Ito, T. Ueta, T. Kousaka, K. Aihara, “Bifurcation Analysis of the Nagumo-Sato Model and its Coupled Systems,” World Scientific, Int. Journal of Bifurcation and Chaos, Vol.26, No.3, pp.1630006(1–11), Mar. 2016. 【査読有】 [doi: 10.1142/S0218127416300068](https://doi.org/10.1142/S0218127416300068)
- (3) T. Ueta, D. Ito, K. Aihara, “Can a Pseudo Periodic Orbit Avoid a Catastrophic Transition?” World Scientific, Int. Journal of Bifurcation and Chaos, Vol.25, No.13, pp.1550185(1–10), Nov. 2015. 【査読有】 [doi: 10.1142/S0218127415501850](https://doi.org/10.1142/S0218127415501850)
- (4) K. Hishikawa, D. Ito, T. Ueta, “Bifurcations and Phase Differences of Nonlinear Coupled Dictyostelium Systems,” Journal of Signal Processing, Vol.19, No.4, pp.99–102, Nov. 2015. 【査読有】 [doi: 10.2299/jsp.19.99](https://doi.org/10.2299/jsp.19.99)
- (5) Y. Miino, D. Ito, T. Ueta, “A computation method for non-autonomous systems with discontinuous characteristics,” Elsevier, Chaos, Solitons and Fractals, Vol.77, No.8, pp.277–285, June 2015. 【査読有】 [doi: 10.1016/j.chaos.2015.06.014](https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.06.014)
- (6) 藤井 太就, 麻原 寛之, 伊藤 大輔, 上田 哲史, 高坂 拓司, “区分非線形離散時間力学系に生じる Border-collision 分岐の分岐パラメータ計算法,” 電気学会論文誌 C, Vol.135, No.4, 468–469 頁, Apr. 2015. 【査読有】 [doi: 10.1541/ieejieiss.134.729](https://doi.org/10.1541/ieejieiss.134.729)
- (7) D. Ito, T. Ueta, T. Kousaka, J. Imura, K. Aihara, “Controlling chaos of hybrid systems by variable threshold values,” World Scientific, Int. Journal of Bifurcation and Chaos, Vol.24, No.10, pp.1450125(1–12), Oct. 2014. 【査読有】 [doi: 10.1142/S0218127414501259](https://doi.org/10.1142/S0218127414501259)
- (8) 刀根 佑輔, 麻原 寛之, 伊藤 大輔, 上田 哲史, 合原 一幸, 高坂 拓司, “区分非線形離散時間力学系における局所的分岐点の計算法,” 電気学会論文誌 C, Vol.134-C, No.5, 729–736 頁, May 2014. 【査読有】 [doi: 10.1541/ieejieiss.134.729](https://doi.org/10.1541/ieejieiss.134.729)
- (9) A. Maki, N. Umeda, T. Ueta, “Melnikov integral formula for beam sea roll motion utilizing a non-Hamiltonian exact heteroclinic orbit: analytic extension and numerical validation,” Springer, Journal of Marine Science and Technology, Vol.19, No.3, pp.257–264, Mar. 2014. 【査読有】 [doi: 10.1007/s00773-013-0244-z](https://doi.org/10.1007/s00773-013-0244-z)
- (10) A. Maki, N. Umeda, R. Martin, T. Ueta, “Analytical methods to predict the surf-riding threshold and the wave-blocking threshold in astern seas,” Springer, Journal of Marine Science and Technology, Vol.19, No.4, pp.415–424, Feb. 2014. 【査読有】 [doi: 10.1007/s00773-014-0257-2](https://doi.org/10.1007/s00773-014-0257-2)
- (11) 西内 悠祐, 上田 哲史, 川上 博, “BVP 発振器の結合方式による分岐と発振の分類,” 信号処理学会, Journal of Signal Processing, Vol.18, No.1, 39–48 頁, Jan. 2014. 【査読有】 [doi: 10.2299/jsp.18.39](https://doi.org/10.2299/jsp.18.39)

#### (学会発表) (計 40 件)

- (1) T. Ueta, Y. Miino, “Automatic threshold adjustment for limit cycles holding a specified stability in hybrid systems,” Proc. NCSP2016, pp.672–673, Honolulu (USA), Mar. 9, 2016. 【査読有】
- (2) Y. Miino, T. Ueta, “Laboratory experiment for bifurcation phenomena of the forced Alpazur oscillator,” Proc. NOLTA 2015, pp.169–172, Hong Kong (China), Dec. 4, 2015. 【査読有】
- (3) D. Ito, M. Sekikawa, T. Kousaka, T. Ueta, H. Kawakami, “Bursting of transition dynamics on series coupled two operational amplifiers,” Proc. NOLTA 2015, pp.181–184, Hong Kong (China), Dec. 4, 2015. 【査読有】
- (4) T. Sasada, D. Ito, T. Ueta, H. Ohtagaki, T. Kousaka, H. Asahara, “Controlling Unstable Orbits via Varying Switching Time in a Simple Hybrid Dynamical Systems,” Proc. NOLTA 2015, pp. 475–478, Hong Kong (China), Dec. 4, 2015. 【査読有】
- (5) K. Miyamoto, D. Ito, H. Asahara, T. Kousaka, T. Ueta, H. Kawakami, “Circuit Experiments for Bifurcation of Time Waveforms on Forced LED Fireflies,” Proc. NOLTA 2015, pp.836–839, Hong Kong (China), Dec. 4, 2015. 【査読有】
- (6) 宮本 恭介, 上田 哲史, 川上 博, “2 つのコンパレータを用いた RC 方形波発振回路,” 電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 300 頁, 高知工科大学 (高知県香美市), 2015 年 9 月 26 日.
- (7) Y. Miino and T. Ueta, “Bifurcation Analysis for Duffing Equation with Non-smooth Hysteresis Characteristics,” 電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 200 頁, 高

- 知工科大学 (高知県香美市), 2015 年 9 月 26 日.
- (8) 麻原 寛之, 上田 哲史, 伊藤 大輔, 高坂 拓司, “スイッチング回路の ON/OFF 時間制御に関する一考察,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.115, No.34, 35–38 頁, ゆ～さ浅虫 (青森県青森市), 2015 年 5 月 19 日.
- (9) D. Ito, T. Ueta, “Stability control with a threshold value of the stepping motor,” Proc. NCSP 2015, pp.397–400, Kuala Lumpur, (Malaysia), Mar. 5, 2015. 【査読有】
- (10) K. Hishikawa, D. Ito, T. Ueta, “Bifurcations and Phase Differences of Nonlinear Coupled Dictyostelium System,” Proc. NCSP 2015, pp.401–404, Kuala Lumpur, (Malaysia), Mar. 5, 2015. 【査読有】
- (11) S. Mano, D. Ito, T. Ueta, “Circuit implementation of controlling chaos using pseudo periodic orbit,” Proc. NCSP 2015, pp.405–408, Kuala Lumpur, (Malaysia), Mar. 5, 2015. 【査読有】
- (12) Y. Miino, D. Ito, T. Ueta, “Bifurcation analysis for the forced Alpazur oscillator,” Proc. NCSP 2015, pp.158–161, Kuala Lumpur, (Malaysia), Mar. 4, 2015. 【査読有】
- (13) 伊藤 大輔, 高坂 拓司, 上田 哲史, 川上 博, “周期外力を印加した電子ホタルにみられる時間応答波形,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.414, 113–116 頁, コンパルホール (大分県別府市), Jan. 27, 2015.
- (14) 大津 智弘, 藤本 憲市, 上田 哲史, 合原 一幸, “Duffing 方程式における安定周期振動の分岐回避,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.348, 69–74 頁, 京都大学東京オフィス (東京都品川区), Dec. 4, 2014.
- (15) 伊藤 大輔, 上田 哲史, “ネットワークルータの輻輳制御における分岐現象の解析,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.250, 175–178 頁, 愛媛大学 (愛媛県松山市), Oct. 17, 2014.
- (16) 間野 翔大, 伊藤 大輔, 上田 哲史, “疑似周期軌道を用いたカオス制御とその実装,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.250, 125–128 頁, 愛媛大学 (愛媛県松山市), Oct. 17, 2014.
- (17) 美井野 優, 伊藤 大輔, 上田 哲史, “外力を印加した結合ニューロンモデルの応答,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.250, 119–123 頁, 愛媛大学 (愛媛県松山市), Oct. 17, 2014.
- (18) 菱川 健治, 伊藤 大輔, 上田 哲史, “非線形結合における同期特性,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.114, No.250, 171–174 頁, 愛媛大学 (愛媛県松山市), Oct. 17, 2014.
- (19) Y. Miino, D. Ito, T. Ueta, “Bifurcation analysis of coupled Izhikevich neuron model with an external periodic force,” Proc. NOLTA2014, pp.807–810, Luzern (Switzerland), Sep. 16, 2014. 【査読有】
- (20) D. Ito, T. Ueta, “Border-collision bifurcations for the mathematical model of the TCP-RED,” Proc. NOLTA2014, pp.779–782, Luzern (Switzerland), Sep. 16, 2014. 【査読有】
- (21) K. Hishikawa, D. Ito, T. Ueta, “Bifurcation Analysis of Coupled Dictyostelium Oscillators,” Proc. NOLTA 2014, pp.419–422, Luzern (Switzerland), Sep. 16, 2014. 【査読有】
- (22) S. Mano, D. Ito, T. Ueta, “Pseudo periodic orbits and their stabilization,” Proc. NOLTA2014, pp.775–778, Luzern (Switzerland), Sep. 16, 2014. 【査読有】
- (23) 辻 明典, 藤岡 慧明, 伊藤 大輔, 木本 圭子, 合原 一幸, 関川 宗久, 上田 哲史, 合原 一幸, 川上 博, “LED ホタルによる自然ホタルの強制同期,” 電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 12 頁, 徳島大学 (徳島県徳島市), 2014 年 9 月 13 日.
- (24) 上田 哲史, 伊藤 大輔, “分岐を求めるといふこと,” 電子情報通信学会 2014 年総合大会講演論文集, SS35–38 頁, 新潟大学 (新潟市), Mar. 19, 2014.
- (25) 大津 智弘, 藤本 憲市, 上田 哲史, 合原 一幸, 吉永 哲哉, “最大リアプノフ指数による安定固定点の分岐回避,” 電子情報通信学会 2014 年総合大会講演論文集, SS49–50 頁, 新潟大学 (新潟市), Mar. 19, 2014.
- (26) 伊藤 大輔, 間野 翔大, 上田 哲史, “カオス中の疑似周期軌道の安定化,” 電子情報通信学会 2014 年総合大会講演論文集, SS57–58 頁, 新潟大学 (新潟市), Mar. 19, 2014.
- (27) 伊藤 大輔, 大津 智弘, 藤本 憲市, 上田 哲史, 合原 一幸, 吉永 哲哉, “最大リアプノフ指数を用いた分岐抑制制御,” 計測自動制御学会, 第 1 回制御部門マルチシンポジウム資料, 742–745 頁, 電気通信大学 (東京都調布市), Mar. 6, 2014.
- (28) Y. Miino, D. Ito, T. Ueta, “Bifurcation phenomena of forced Izhikevich neuron model,” Proc. NCSP 2014, pp.413–416, Honolulu (USA), March 3, 2014. 【査読有】



- (29) S. Mano, D. Ito, T. Ueta, “Emergent Control of Pseudo Periodic Orbits in Chaotic Dynamical Systems,” IEICE Technical Report, Vol.113, No.341, pp.55–58, Hong Kong (China), Dec. 7, 2013.
- (30) 西内 悠祐, 上田 哲史, 川上 博, “BVP 発振器の結合方式による分岐と発振状態の特徴,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.113, No.271, 117–122 頁, サンポートホール高松 (香川県高松市), Oct. 29, 2013.
- (31) 稲葉 純平, 西内 悠祐, 上田 哲史, 川上 博, “4 次元自律系のバースト発振の解析,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.113, No.271, 199–204 頁, サンポートホール高松 (香川県高松市), Oct. 29, 2013.
- (32) 稲葉 純平, 西内 悠祐, 上田 哲史, 川上 博, “ある 4 次元発振器で見られるバースト発振について,” 平成 25 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 2 頁, 徳島大学 (徳島県徳島市), Sep. 21, 2013.
- (33) 辻 明典, 伊藤 大輔, 木本 圭子, 合原 一究, 関川 宗久, 上田 哲史, 合原 一幸, 川上 博, “LED ホタルによるゲンジボタルの発光同期パタンの解析,” 電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 3 頁, 徳島大学 (徳島県徳島市), Sep. 21, 2013.
- (34) 間野 翔大, 上田 哲史, “方向彩色による周期点抽出支援ツールの開発,” 平成 25 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 9 頁, 徳島大学 (徳島県徳島市), Sep. 21, 2013.
- (35) D. Ito, T. Ueta, S. Tsuji, K. Aihara, “Attractor-Preserving Control to Avoid Saddle-Node Bifurcation,” Proc. NOLTA 2013, pp.150–153, Santa Fe (USA), Sep. 8, 2013. 【査読有】
- (36) K. Fujimoto, T. Otsu, T. Yoshinaga, T. Ueta, H. Kitajima, K. Aihara, “Controlling Method to Avoid Bifurcations of Periodic Points Using Maximum Lyapunov Exponent,” Proc. NOLTA 2013, pp.158–161, Santa Fe (USA), Sep. 8, 2013. 【査読有】
- (37) T. Ueta, D. Ito, K. Aihara, “Restoration control for disappeared periodic solutions,” Proc. of 5th Int. Conf. Frontiers of Nonlinear Physics, pp.34–35, Nyzhny Novgrad (Russia), July 30, 2013. 【査読有】
- (38) 中西 崇弥, 伊藤 大輔, 上田 哲史, “馬蹄形写像におけるカオス制御,” 電子情報通信学会 回路とシステムワークショップ論文集, 1–6 頁, ウェスティンホテル淡路 (兵庫県淡路市), July 29, 2013. 【査読有】
- (39) 伊藤 大輔, 上田 哲史, “結合南雲・佐藤モデルにおける分岐解析,” 電子情報通信学会 回路とシステムワークショップ論文集, 285–288 頁, ウェスティンホテル淡路 (兵庫県淡路市), July 29, 2013. 【査読有】
- (40) 伊藤 大輔, 辻 明典, 木本 圭子, 合原 一究, 関川 宗久, 上田 哲史, 合原 一幸, 川上 博, “LED ホタルの引き込み現象:ホタルはエッジで同期する,” LED 総合フォーラム 2013 in 徳島 論文集, 87–88 頁, 阿波銀ホール (徳島県徳島市), Apr. 27, 2013.

#### 【図書】 (計 4 件)

- (1) Y. Nishiuchi, T. Ueta, “Bifurcation Analysis of a Simple 3D BVP Oscillator and Chaos Synchronization of Its Coupled Systems,” Chapter 9, Handbook of Applications of Chaos Theory, CRC Press, Boca Raton, June 2016. 総ページ未確定 (145–154)
- (2) K. Aihara, J. Imura and T. Ueta (eds), Analysis and Control of Complex Dynamical Systems, Springer, Tokyo, Mar. 2015. 211 pages (49–55, 57–73, 109–120)
- (3) C. Gracio, D. Fournier-Prunaret, T. Ueta, Y. Nishio, Nonlinear Maps and their Applications; Selected Contributions from the NOMA 2011 Int. Workshop, Springer, New York, Mar. 2014. 288 pages
- (4) 上田 哲史, 多様体と大域分岐・カオス制御, 応用数理ハンドブック, 朝倉書店, 東京, Aug.2013. 685 ページ (担当ページ範囲未確認)

#### 【その他】

ホームページ等

<http://risa.is.tokushima-u.ac.jp/~tetsushi/25420373>

## 6 研究組織

- (1) 研究代表者

上田 哲史 (UETA TETSUSHI)  
徳島大学・情報センター・教授  
研究者番号：00243733