

研究タイトル: スイッチダイナミカルシステムの呈する現象の理論的な解析と工学的応用に関する研究

氏名: 松岡 祐介 / Yusuke Matsuoka E-mail: ymatuoka@yonago-k.ac.jp

職名: 准教授 学位: 博士(工学)

所属学会・協会: 電子情報通信学会, IEEE

キーワード: スイッチダイナミカルシステム, 分岐現象, カオス, 超安定現象

技術相談
提供可能技術:
・スイッチダイナミカルシステムの呈する非線形現象、分岐現象の理論解析
・同システムの呈する現象の数値シミュレーション、対応するテスト回路の実験
・カオスを発生する回路の解析と合成



研究内容 1: カオスパイキング発振器にみられる非線形現象の解析と実装に関する研究

カオスパイキング発振器(CSO)とはインパルス的な動作をするスイッチを含む非線形回路で表される発振器です。図1がCSOの模式図です。ここではキャパシタ電圧 v_1, v_2 がシステムの状態変数です。スイッチ S はあるスイッチング制御の条件を満たした時に、閉じる動作を行います。状態は「振動をし、ある時にスイッチが閉じ v_1 は直流電圧源 E にリセットする」という動作を繰り返します。このことで、システムはカオスアトラクタや分岐現象、同期現象、カオス的なスパイク列といった非線形システム特有の現象を呈します。

図2に典型的な現象例を示します。上図はカオス的な反応、下図は超安定的な反応でどちらも非常に興味深い現象です。これらは回路の素子値(パラメータ)やスイッチング条件を変えることで多彩な現象を呈します。またこのCSOは一種のスパイク出力システムとして捉えられます。このスパイク出力を他のCSOの入力にすることで結合系、パルス結合ニューラルネットワークやそれを応用した画像領域分割などの応用が研究されています。CSOの解析は非線形問題という基礎と工学的応用という両方の面から重要であると考えています。

これまでは区分線形なベクトル場をもつCSOが研究されていましたが、本研究では区分定数ベクトル場をもつCSO(PWC-CSO)のダイナミクスについて研究してきました。図2の現象もPWC-CSOの現象例です。PWC-CSOは区分定数ベクトル場をもつので、軌道は区分線形になります。これにより理論解析が可能になり、どのパラメータでどのような現象を呈するのかといったメカニズムが理論的に明らかになりました。またCSO自体、回路モデルも簡素で図2のように電子回路による現象の確認も容易であるという利点も挙げられます。

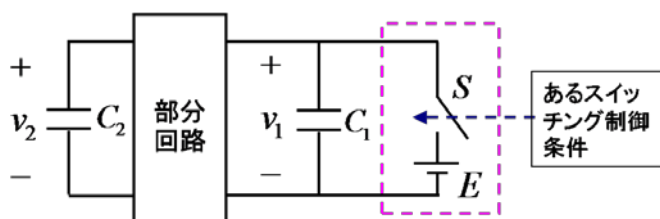


図1 CSOの模式図

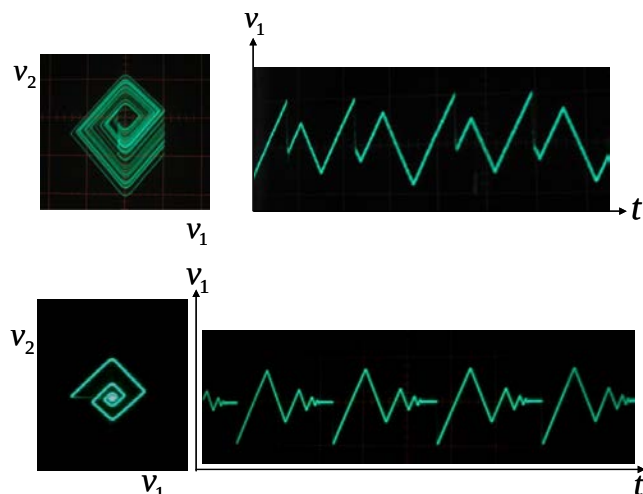


図2 観測波形 (上:カオス、下:超安定周期軌道)

研究内容 2: スイッチトダイナミカルシステムにみられる超安定現象の解析と応用に関する研究

離散時間をもつスイッチトダイナミカルシステムは差分方程式で記述されます。図 3 は簡素な 1 次元の差分方程式を図示化したものです。横軸が現在の状態、縦軸が次の時刻の状態です。太線が写像を表し、細線は状態の軌道を表します。図 3 のように定数項(平らな線分)を持つようなシステムでは、超安定な周期軌道(SSPO)を呈することができます。このような軌道は初期値に対して超安定であり、定常状態に落ち着くのが早いという特性を持つ一方、パラメータの変化に対して敏感になることがあるという興味深い特性を持っています。

例えば、パラメータを変化させると SSPO の周期が変化します。図 3 左では 3 周期軌道、図 3 右では 7 周期軌道になっています。このように同じ SSPO でも異なる周期をもつように変化します。このような現象とその変化に対する(分岐現象と呼びます)の理論解析および現象考察を行っています。

また図 4 のような SSPO を用いた A/D コンバータ(ADC)への応用を研究しています。これは ADC の入出力特性を示した図です。横軸がアナログ入力、縦軸が出力の復号値です。アナログ入力がある超安定周期軌道に対応させると図のような特性になります。このような研究はダイナミカルシステムとアナログ信号処理システムをつなぐ架け橋の基礎になると考えています。

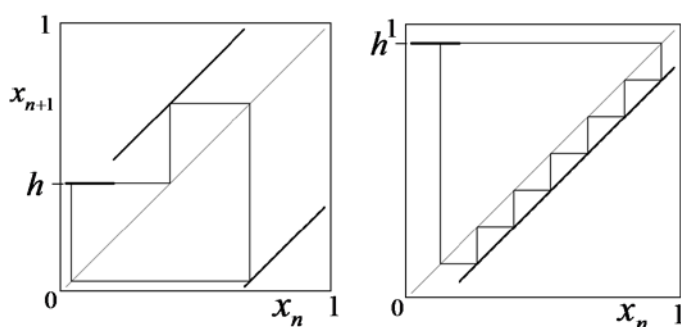


図3 1次元差分方程式と超安定周期軌道

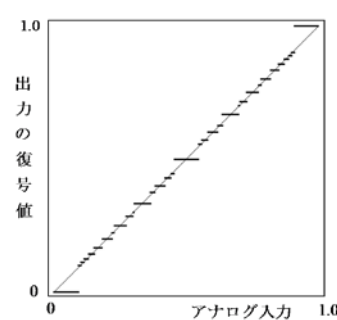


図4 入出力特性

担当科目	電子回路Ⅱ, 電子回路設計, 電気回路Ⅱ, 電気情報応用実験Ⅰ, 卒業研究
過去の実績	・学術論文: Yusuke Matsuoka, Tomonari Hasegawa and Toshimichi Saito, "Chaotic Spike-train with Line-like Spectrum", IEICE Trans. Fund., E92-A, No. 4, pp. 1142-1147, 2009. など
近年の業績 (研究・教育論文、特許含む)	・Yusuke Matsuoka, "Implementation of various chaotic spiking oscillators based on field programmable analog array", IEICE Trans. Fund., Vol. E106-A, No.11, pp.1432-1435, Nov. 2023. ・Yusuke Matsuoka and Hiroyuki Kawasaki, "Rate-encoding A/D converter based on spiking neuron model with rectangular wave threshold signal", IEICE Trans. Fund., Vol. E105-A, No.8, pp. 1101-1109, Aug. 2022. ・Yusuke Matsuoka, "Complicated superstable periodic orbits in simple spiking neuron model with rectangular threshold signal", IEICE Trans. Fund., Vol. E101-A, No. 11, pp. 1944-1947, 2018. ・学術論文: Yusuke Matsuoka, "Periodic-like Trajectories in Master-Slave Coupled Piecewise Constant Spiking Oscillators", IEICE Trans., Fund., E99-A, No. 11, pp. 2049-2059, 2016. ・学術論文: Yusuke Matsuoka and Sho Shibata, "Basic behavior of a pulse-coupled ring system with three spiking neurons", Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 6, no. 1, pp. 85-98, 2015. ・学術論文: Yusuke Matsuoka, "Robustness and an application of a one-dimensional window-map based on rotation dynamics", Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 3, no. 4, pp.533-545, 2012. ・国際会議論文: Yusuke Matsuoka, "A Spiking Neuron Model with Two Slopes and Triangular Wave Base Signal," proc. of 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, (NOLTA'16) pp.145-148.

提供可能な設備・機器:

名称・型番(メーカー)	
オシロスコープ(岩通計測 WaveJet314) (2台)	多出力直流安定化電源(TEXIO PW18-1.8AQ) (2台)
マルチファンクションジェネレータ(岩通計測 WF1973)	デジタル・マルチメータ(アドバンテスト R6452A)