

フィルタと電圧制御発振器の系のカオス

TANAKA, Tomoharu / OCHIAI, Naoyuki / 落合, 尚之 / 田中,
具治

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

28

(開始ページ / Start Page)

85

(終了ページ / End Page)

90

(発行年 / Year)

1992-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003885>

フィルタと電圧制御発振器の系のカオス

田中具治*・落合尚之**

Chaos on the System consisted with the Filter and the Voltage Controlled Oscillator

Tomoharu TANAKA*, Naoyuki OCHIAI**

Abstract

The feedback system, which consist of the filter and the voltage controlled oscillator(VCO), is investigated. When the amplitude of VCO output signal, is made larger from small level, then the bifurcations of frequency occur progressively, and can be seen the chaos.

§ 1 はじめに

当研究室では、フィルタの入力を周波数、出力を正弦波信号電圧の振幅として、非線形要素と
考え、自動追尾フィルタなどを発表している⁽¹⁾。非線形要素のフィルタと電圧制御発振器とのフィー
ドバック系を作り、周波数メモリの性質を調べていた所、カオスが発生したので報告する。

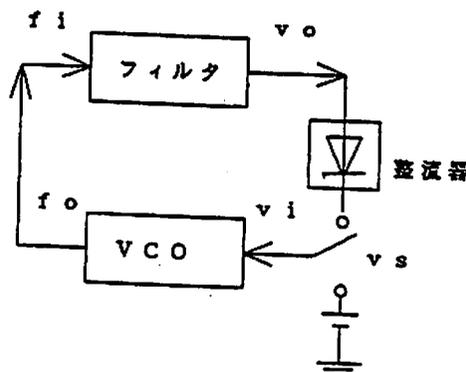


Fig. 1 フィルタとVCOのフィードバック系

*電気工学科電気電子専攻

**日立製作所ソフトウェア開発本部

§ 2 系の構成と動作

(Fig.1)に示すフィルタと電圧制御発振器(VCO)のフィードバック系を考える。VCOは、入力
は直流電圧 V_i で、出力は周波数 f_0 の一定振幅の正弦波電圧とする。フィルタの入力は $f_i=f_0$ とし、
出力は同じ周波数の、振幅がフィルタの特性によって変化する正弦波電圧である。このフィルタ
の入出力関係は一般に非線形である。フィルタの出力を整流し、低域通過フィルタをとおして直
流電圧として、VCOの入力にフィードバックする。

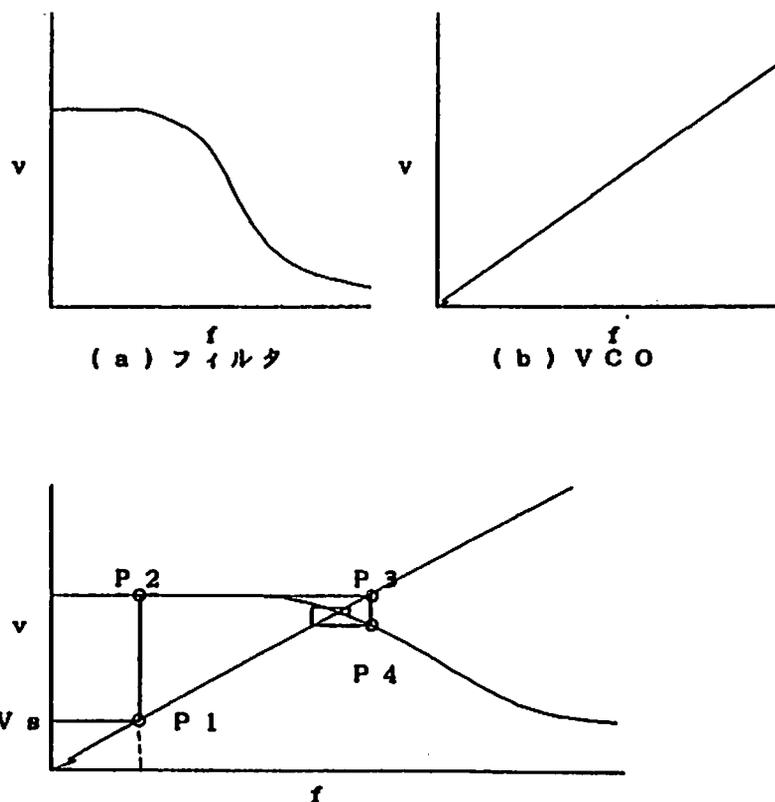


Fig. 2 系の動作

次にこの系の動作を説明する。(Fig.2a)をフィルタの特性とし、(Fig.2b)をVCOの特性とする。この2つの図の f 軸と v 軸とを重ねると(Fig.2)になる。まずVCOに入力電圧 V_s を加える。 v 軸上に V_s をとり、この点を通して f 軸に平行線を引き、VCOの特性曲線との交点を P_1 とする。 P_1 点の周波数がVCOの出力周波数 f_0 である。点 P_1 の電圧値がフィルタの出力電圧 V_0 である。この出力電圧 V_0 を整流し、低域フィルタをとおして直流電圧とし、VCOの入力にフィードバックする。点 P_2 を通り f 軸に平行線を引き、VCOの特性曲線との交点を P_3 とする。このプロセスをくり返すと、この系の動作を追跡することになる。この図の場合はフィルタとVCOの特性曲線の交点に向ってゆく。この交点がこの場合の定常状態になる。

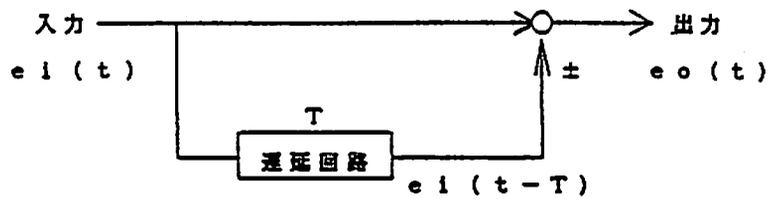


Fig. 3 コムフィルタ

§ 3 コム・フィルタの特性

フィルタとして、櫛型フィルタ (Comb filter)を用いる。(Fig.3)にコム・フィルタの構成を示す。入力 $e_i(t)$ と、入力を T 秒おくらせた信号 $e_i(t-T)$ との和、または差を $e_o(t)$ とする。

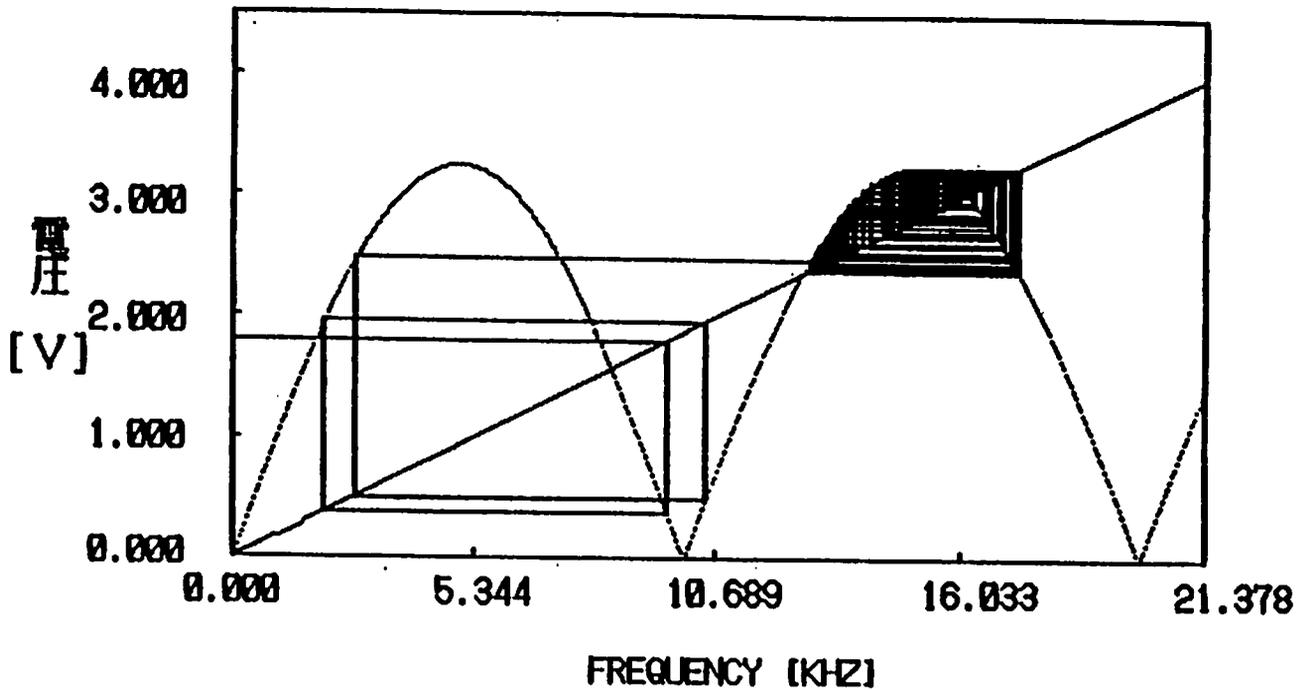
$$e_o(t) = e_i(t) \pm e_i(t-T), \text{ ここで } T \text{ は遅延時間} \tag{1}$$

$$\text{ラプラス変換して } E_o(s) = E_i(s) (1 \pm e^{-sT}) \tag{2}$$

$$\text{伝達関数は } G(j\omega) = 1 \pm e^{-j\omega T} \tag{3}$$

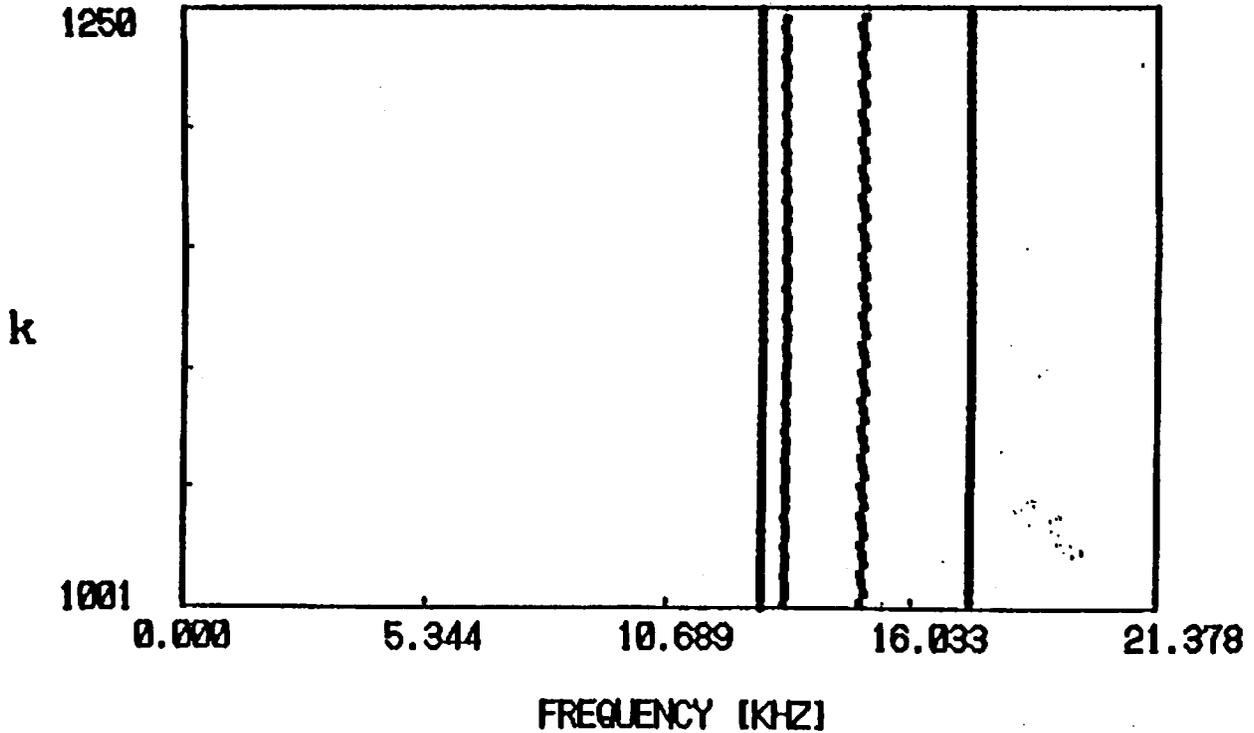
$$\text{大きさをとると } |G(j\omega)| = \sqrt{2(1 \pm \cos(\omega T))} \tag{4}$$

(4)式が、コム・フィルタの周波数特性である。



DELAY TIME=0.000100000 sec

(a)



(b)

Fig. 4 リミットサイクル

§ 4 系の特性

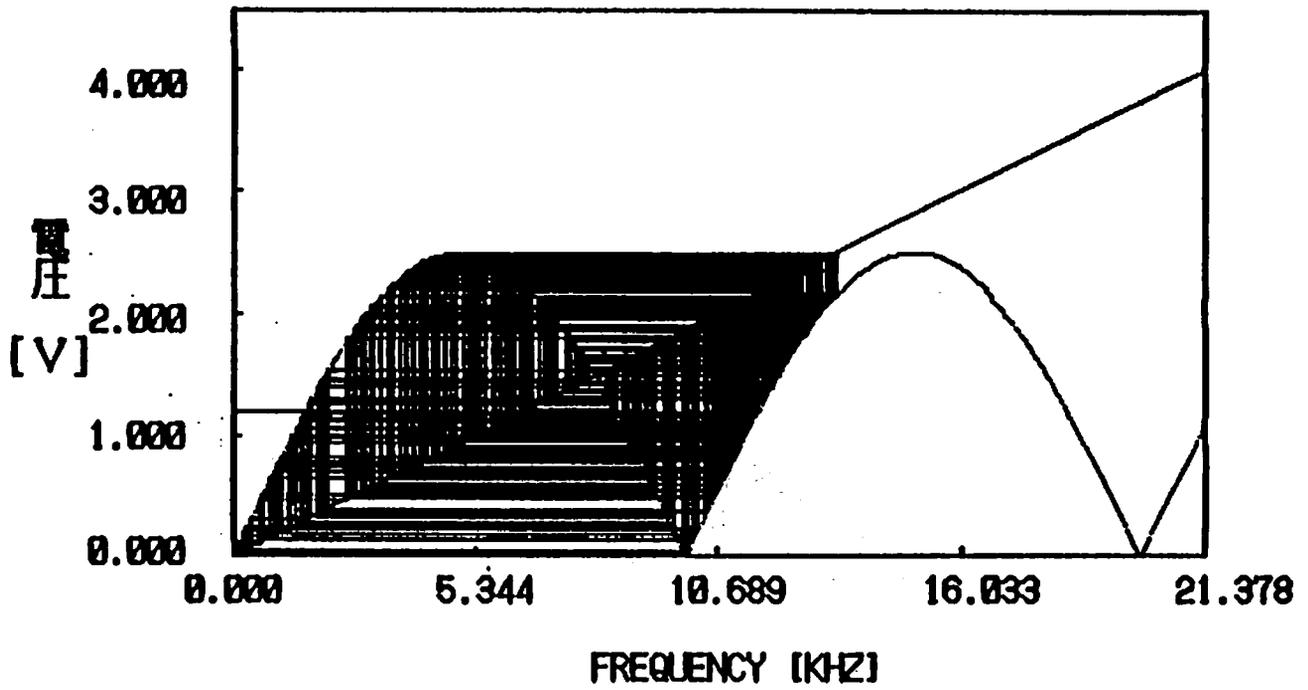
(Fig.4)に、コム・フィルタとVCOの系の動作例を示す。この場合はリミットサイクルになった。ある回数プロセスをくり返した後、最初の状態に戻り、閉曲線になる。(Fig.5)はカオスである。

フィルタの特性曲線とVCOの特性曲線との交点が安定であるか、不安定であるかは、交点での特性曲線の傾斜の大小で定まる。特性曲線の交点での、フィルタの特性曲線の傾斜を $(dV/df)_{filter}$ とし、VCOの特性曲線の傾斜を $(dV/df)_{vco}$ とする。

$$(dV/df)_{filter} < (dV/df)_{vco} \tag{5}$$

がなりたつとき、交点は安定で、不等号が逆向きするとき交点是不安定である。不安定な場合は、交点の近くでプロセスは交点から遠ざかる。

特性曲線の交点が不安定の場合、交点の近傍から出たプロセスは、交点から遠ざかる方向に進み、ある所で元の場所に帰る。この時は、(Fig.4)に示すようにリミットサイクルになる。プロセスが1回まわると元に帰るリミットサイクルでは、2つの周波数の間をゆききする。2回まわって元に帰るときは、4つの周波数をめぐる。こうして、周波数の分岐が進み、カオスに到る。(Fig.5)にカオスの例を示す。この図でkはプロセスの回転数を示す



DELAY TIME=0.000100000 sec

(a)

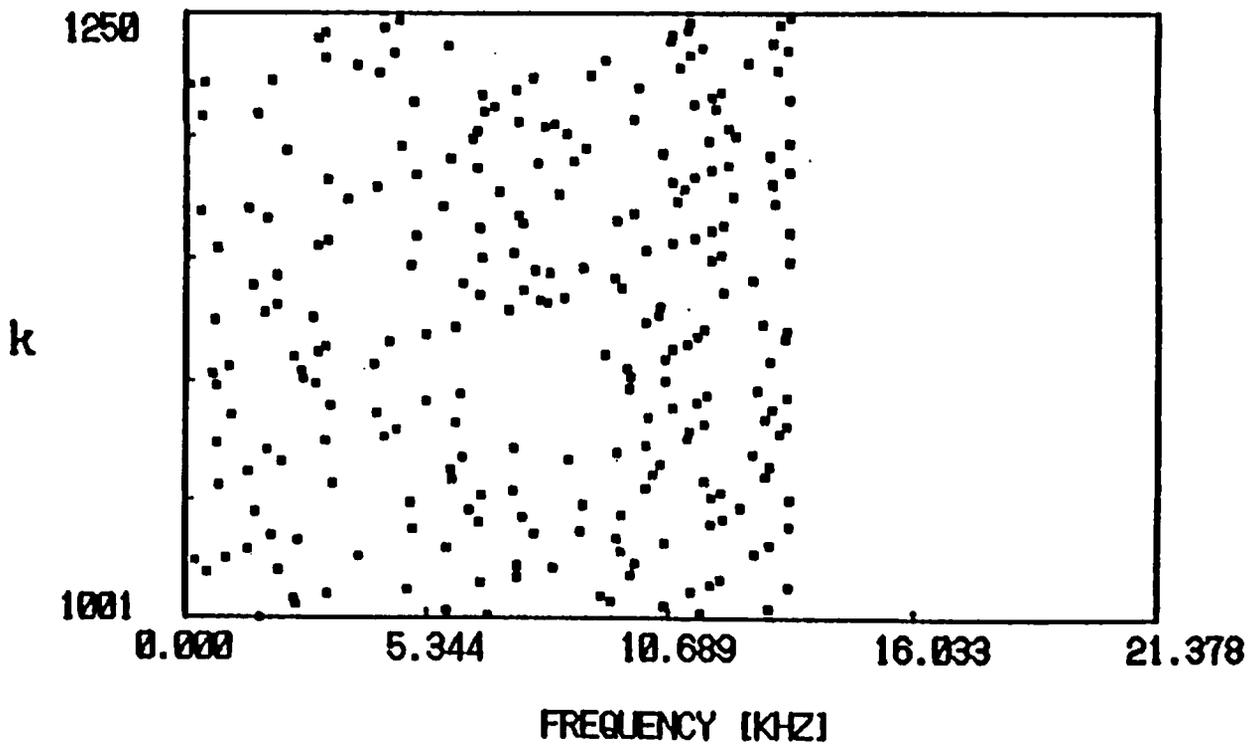


Fig. 5 カオス

次に(Fig.6)の説明をする。VCOの出力電圧を大きくすると、コムフィルタの特性曲線の山の高さが高くなる。VCOの特性曲線を一定にすると、両特性曲線の交点での傾斜の条件が変化し、安定からリミットサイクルの1回、2回、…と周波数の分岐がくり返しすすみ、カオスに到る。この場合はコムフィルタの山が2つあるので、安定状態から分岐のくり返しが2回示されている。この図は計算機によるシミュレーションである。

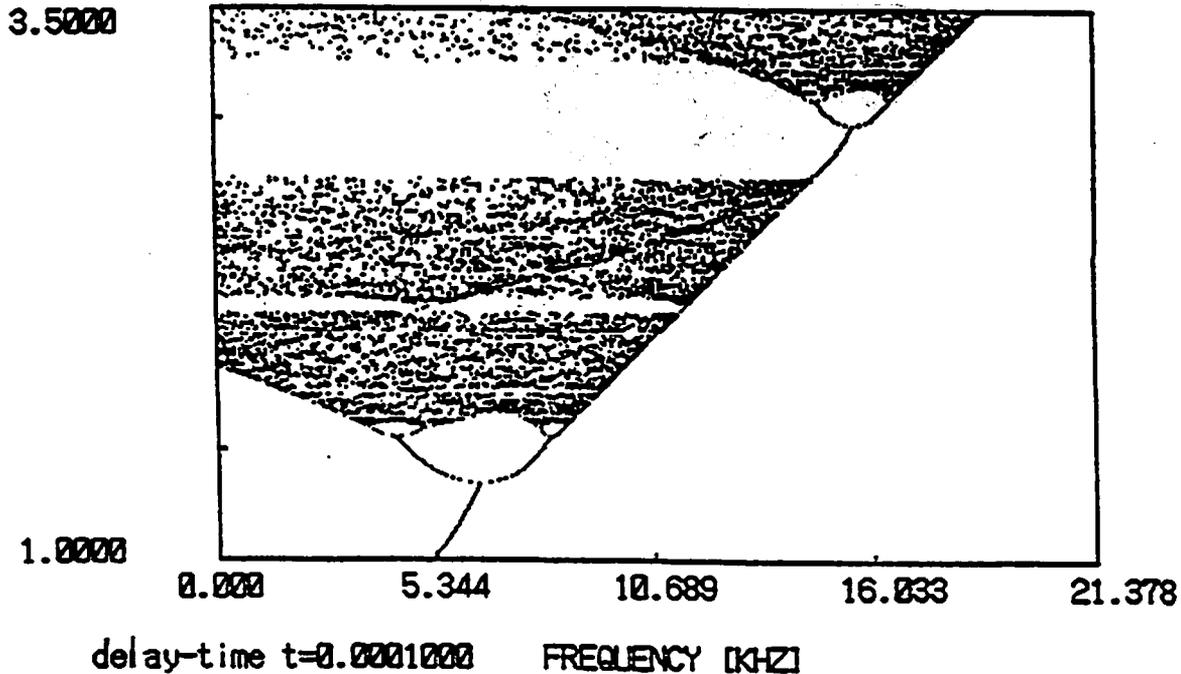


Fig. 6 VCOの出力振幅に対する周波数の分岐

§ 5 まとめ

当研究室では、コムフィルタのハードも音声分析を目標に卒論のテーマとしている。電子回路で、この系を作り実験を行った。周波数領域でのカオスの応用として、ある周波数範囲でのノイズ源として使えるであろう。より積極的な利用法を考えたい。

最後に、斉藤利通助教授に御助言をいただいたことに感謝する。

参考文献

- (1) 田中具治：“フィルタを非線形要素とする系” 昭和40年電気四学会連合大会 33
- (2) 合原一幸：“カオス・カオス理論の基礎と応用” サイエンス社、1990
- (3) 田中、落合：“フィルタと電圧制御発振器のフィードバック系の特性” 1991, 信学会春季全大, A-89