

非線形振動発生回路の開発とその影響解析

神野 健哉*

(2015 年 12 月 21 日受理)

Laboratory Measurement of Chaotic Low-frequency Electrical Therapy Device

Kenya Jinô*

(Received December 21, 2015)

Nonlinear dynamical systems generate various kinds of complex phenomena. The complex phenomena are effected our daily life. Therefore, to clarify the role of such complex phenomena and the analysis of its dynamics are very important.

We investigated how such complicated vibrations affect to human bodies directly. In the previous study, we focused on the chaotic vibrations generated from chaotic dynamical system is described by 1-D map. We also introduced chaotic vibrations with $1/f$ structure that have already been acknowledged to have positive effects on human bodies indirectly.

Low-frequency electrical therapy devices are typical examples of applications of electrostimulations for medical treatments such as mitigation of throbbing pains and therapy of muscles. It has been reported that muscle contraction by electrostimulation encourages rehabilitation of paraplegic moves. These results of positive effects by electrostimulation indicate that it is important to develop an effective electrostimulation method. In order to generate a more natural nonlinear vibration, we produced a chaotic electric vibration circuit for the low-frequency electrical therapy device. By using our developed device, we measure the effect on the human bodies of a nonlinear pulse signal.

1 はじめに

近年、医学的・薬学的・工学的などの様々な分野で脳波の研究が行われている。例えば、スポーツにおけるストレス減少の研究、脳波を解析して機械との間で電気信号の形で出入力するためのプログラムや機器であるブレイン・マシン・インタフェース(BMI)の研究など脳波の変化に関する研究が行われている。本研究では、低周波治療器が人体に与える影響を調査している。一般に低周波治療器で発生させる信号は周期信号である。これに対して人間は、周期的な信号を長時間印加されるとその刺激に対する応答が鈍感になると言われている。そこで、印加する信号が非周期的である場合について考察を行う。非周期的信号を発生させる手段には様々な方法が考えられるが、本研究ではカオス信号に着目する。カオスは様々な周波数を持った不規則信号であるがノイズとは異なり力学系にある構造を有している。心臓の鼓動などもカオス振動であることが分かっており、生体には単なるノイズとはことなる影響が出る可能性がある。そこで本研究では、カオス信号を元に非周期信号の人体への影響を考える。

低周波治療器は電気刺激を人体に印加することによって筋収縮や神経の興奮を与えて、治療やマッサージを行うものである。この低周波治療器を改造し、カオス信号を元にした非周期信号で駆動される低周波治療器を開発する。

本研究では、低周波治療器の使用前後によって脳波に対してどのような影響を及ぼすか、体温の変化、被験者に対して低周波治療器の使用前後で問診、更に脳波測定により脳波との因果関係の解明を目指す。

2 脳波測定

脳波 (Electroencephalogram ; EEG) とは脳内で発生する電気活動を頭皮上の電極で記録した波形である。これはほぼ全般的に、持続的に出現する。

表 1 脳波の種類とその特徴

各脳波	中心周波数	優越時の心身状態
β 波	22Hz	緊張状態・ストレス
α 3波	12.5Hz	緊張集中
α 2波	10Hz	弛緩集中
α 1波	7.5Hz	リラックス
θ 波	5Hz	眠気・まどろみ

脳波の大部分を形成する特定の脳波活動を基礎律動という。これらは周波数ごとに表 1 に示すように β 波, $\alpha 1$ 波, $\alpha 2$ 波, $\alpha 3$ 波, θ 波と名前が付けられており, それぞれ異なった生理学的な意義を有している。

β 波は 22[Hz]程度を中心周波数とする脳波である。この脳波が優越時には心身状態は緊張・ストレス状態にあり, 緊張を伴い意識が分散している状態である。 $\alpha 1$ 波は 12.5[Hz]程度を中心周波数とする脳波である。この脳波が優越時には心身状態はリラックス状態にあり, 非常にリラックスしている状態である。 $\alpha 2$ 波は 10[Hz]程度を中心周波数とする脳波である。この脳波が優越時には心身状態は弛緩集中状態にあり, 心身ともにリラックスしていて, 自己の能力をフルに活用できる状態である。 $\alpha 3$ 波は 7.5[Hz]程度を中心周波数とする脳波である。この脳波が優越時には心身状態は緊張集中状態にあり, 物事に集中するために意識的に緊張している状態である。 θ 波は 5[Hz]程度を中心周波数とする脳波である。この脳波が優越時には心身状態は眠気・まどろみ状態にあり, 眠気やまどろみを感じている状態である。以上のような、代表的な脳波の状態に関して, 頭皮上電極で測定する脳波測定器を使用して測定を行った。脳波測定には図 1 に示す FUTEK FM-828 プレインプロライトを使用した。



図 1 脳波測定器 FUTEK FM-828

測定は, 超微弱電位である脳波を電極で収集し, アンプで増幅するその後, アナログフィルタを用いて, 振幅の大きな低周波のノイズ(0.016Hz/0.8Hz)を除去し, AD 変換器でデジタルデータに変換させて脳波の測定を行った。

実験は低周波治療器を 15 分間使用し, その前後に 2 分間脳波測定を行った。脳波は測定時の体調や精神状態で変動するため, 体温を計り, 体調を問診で確認した。 α 波と

β 波の合計電位の比率はリラックス度と呼ばれ, この値が上昇すれば, 快感度が増し, 逆に低下すれば不快度が増すとされている。そこで, このリラックス度で被験者の精神状態を測定した。

3 実験結果

7 名の被験者に対して実験を行った結果, ほとんどの被験者が低周波治療器の使用前後で, 体温が上昇することを確認した。同時に, 低周波治療器の使用前後の体調を問診したところ, 被験者の気分が上昇傾向にある場合, α 波とリラックス度が共に上昇傾向にあることを確認した。逆に気分が下降傾向にある場合, α 波とリラックス度も測定電位が下降傾向にあることを確認した。そして被験者がストレスの変化を感じた時は, 緊張・ストレス状態である β 波の脳波の測定電位が同じように変化することも確認した。

しかしながら, 被験者が眠気の変化を感じた際には, 眠気の脳波である θ 波が同様に変化すると予想されたが, 今回の実験ではそのような関係性を見いだすことはできなかった。

被験者の気分やストレスの変化が, 脳波測定器による実際の測定電位でのリラックス度と一致したのは, 低周波治療器の刺激によって気持ちがいい・気持ちがいいというような影響を与えられた結果と考えられる。しかし, 眠気の変化の場合は低周波治療器の刺激と 2 分間の脳波測定および 15 分間の低周波治療器の使用による長時間の飽きが混同することによって被験者の眠気と測定電位が不一致したと考えられる。

4 カオス低周波治療器

前節では市販の低周波治療器を用いて実験を行った。市販の低周波治療器では振動が周期的であるが, これを非周期的にした場合の影響を考える。非周期振動発生源として図 2 に示すような Double Scroll 回路により生成したアナログカオス信号を D 級アンプを用いて PWM によるパルス信号を生成する。このようなカオス振動を用いた治療器を本稿では『カオス低周波治療器』と呼ぶ。

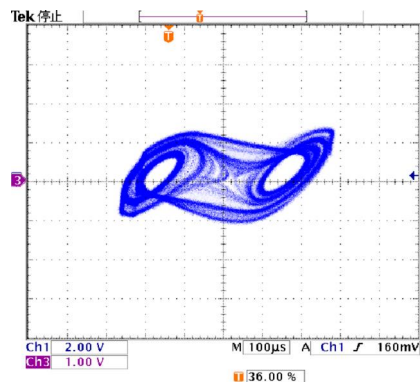


図 2 Double Scroll カオスアトラクタ

†本研究は平成 24,25, 26 年度学内特別研究費で行われた。本研究結果の一部は IEICE NOLTA, vol.3, pp. 621-628, 2012 で公表している

*電気電子工学科

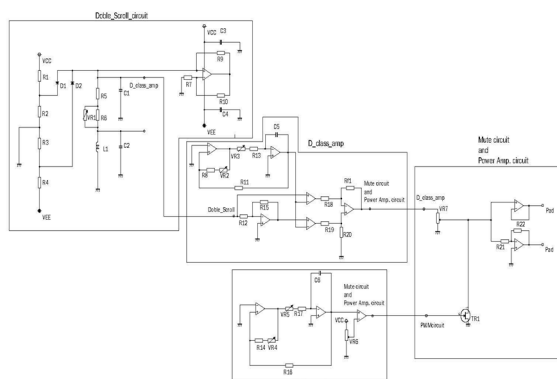


図 3 カオス低周波治療器回路図

カオス低周波治療器の回路図を図 3 に示す。

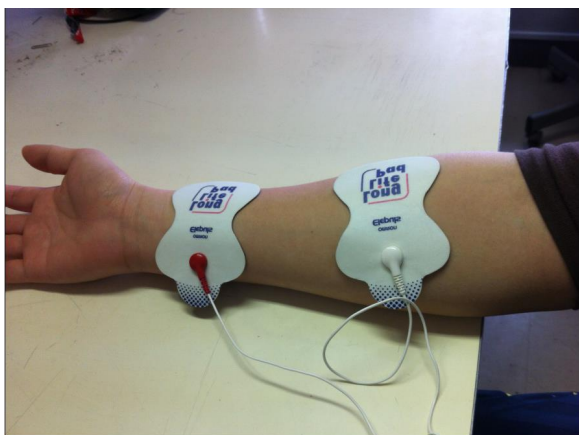


図 4 電極パッド

この回路ではまず Double Scroll 回路により元となるアナログなカオス信号を生成する。このアナログカオス信号を D 級アンプに入力する。これにより、アナログカオス信号は、3 つの値を持つ 3 値カオス信号になる。このカオス信号は周波数が高いため、人体に印加してもそれを感じにくい。そのため、ミュート回路をゲートのように使い、3 値カオス信号を低周波の間欠的な信号に変換する。最後にその信号を、人体で感じられるレベルに昇圧するためアンプに入力する。その信号を図 4 に示すような 2 つのパッド間に印加し、パッドを通して人体にカオス信号が印加される。

5 カオス低周波治療器による実験

以下の測定をカオス低周波治療器を用いて 15 人の被験者に対して図 4 のような関係で以下のように実験をおこなった。

- (1) 被験者の腕にパッドを装着し、5 分経過。
- (2) 体温をサーモグラフィカメラで測定。

- (3) 電源を ON にし、5 分間通電。
- (4) 体温をサーモグラフィカメラで測定。
- (5) 電源 OFF にし、5 分間経過。
- (6) 体温をサーモグラフィカメラで測定。

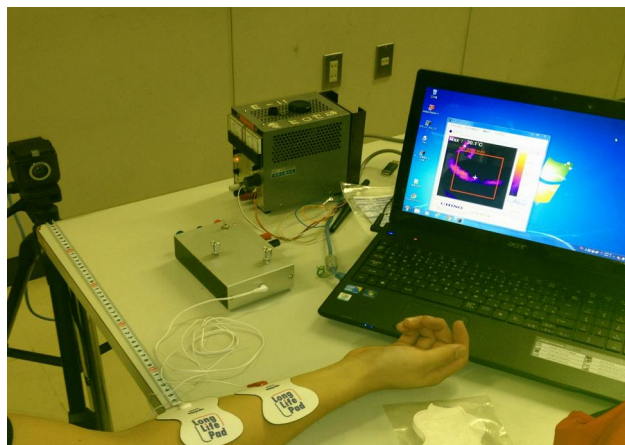


図 4 実験風景

サーモグラフィカメラは周囲の温度や環境によって測定結果が影響を受けるため、実験前に 5 分間時間をとることにより周囲の温度に適応させた。

通電時間を 5 分間にした理由は通電時間が短すぎると変化が見られなく、通電時間を 5 分間で変化が見られることを予備実験で確認したためである。

また、実験後の状態がどのようにに変化したか調べるために通電終了 5 分後に再び測定を行った。これは低周波治療器等には遅効性があり、遅れて変化する可能性が考えられるからである。

カオス低周波治療器を用いた場合と通常の低周波治療器での違いを見るために、同様の実験を通常の低周波治療器でも行った。被験者の腕をサーモグラフィカメラで測定した実験結果を図 5 に示す。

		通電前	通電後	通電後5分経過	
カオス低周波治療器	上昇				33% 5/15
	下降				67% 10/15
市販低周波治療器	上昇				62% 8/13
	下降				38% 5/13

図 5 実験結果

実験では各被験者の通電前、通電後、通電後 5 分経過後をサーモグラフィカメラで測定した。図中の色が白に近い方がど温度が高く、黒に近いと温度が低い。この実験結果から通電による体温変化が分かる。

表 2 被験者の感想

		感 想
カオス低周波治療器	上昇	・気持ち良い、心地よい ・感じたことのない不思議な感じ ・電気を感じない
	下降	・気持ち悪い、痛い、引っ張られてる感じ ・電気を感じない ・気持ち良い
市販低周波治療器	上昇	・気持ち良い、心地よい
	下降	・気持ち悪い、痛い ・筋肉がつる感じ ・特になにも思わない

表 2 に被験者の実験の感想をまとめる。

実験結果から、被験者に依って体温が低下する場合と体温が上昇する場合があること確認した。また、カオス低周波治療器及び市販の低周波治療器で実験を行った際に被験者に感想を聞き検証した。

この結果の違いは被験者の体質や脂肪、筋肉のつきかた等や被験者の感覚によるものが多いように思われる。特に筋肉質もしくは脂肪が多くついた被験者の場合、実験を行った際に気持ち良いと感じると体温が上昇する傾向にあり、筋肉質ではなく脂肪がなく実験を行った際に気持ち悪い、もしくは電気信号を印加した際にそれを痛いと感じる被験者は体温が下がる傾向にあるようである。

カオス低周波治療器を使用して行った際の実験では温度が低下する割合が多かった。また、市販の低周波治療器を使用して行った際の実験では温度が上昇する割合が多かった。この結果からは、非周期信号を印加した場合には今回の実験では被験者が非周期信号を心地よくないと感じた例が多かった。

6 まとめ

通常の低周波治療器と、これを改造して Double Scroll 回路が呈するカオス信号を元に非周期信号を生成した電気刺激を人体に印加した際、使用前後によって脳波に対してどのような影響を及ぼすかどうかに関して FUTEK 製 脳波測定器、サーモグラフィカメラに依る体温変化を調査した。その結果、低周波治療器による電気刺激は被験者の筋肉量、脂肪量といったいわゆる体格に依存する部分が大き

いことを実験的に明らかにした。更に、周期信号と非周期信号では今回の実験結果では周期信号の方が心地よいと感じる被験者の割合が多かった。しかしながら、一概に非周期信号と言っても様々な種類がある。このため、非周期信号の特徴を分類していく必要がある。また被験者の個人差が大きいことから、被験者数を増やすことで精度を高め、より詳細な実験および解析が必要である。

参 考 文 献

- 1) FUTEK, “FM-828 取扱説明書,” フューテックエレクトロニクス株式会社
- 2) (財)医療機器センター, “医療機器の基礎知識,” 薬事日報社, 2001.
- 3) 田口寛, “脳波によるリラックス度の評価,” <http://hiroshi-com/relaxation-degree.html>
- 4) Y. Okubo, T. Kanda, T. Kurihara, T. Shindo, K. Jin'no, “Laboratory Measurement of Chaotic Low-frequency Electrical Therapy Device,” IEEE Workshop on Non-linear Circuit Networks, pp. 83-86, 2012.
- 5) 弘 志保, 松井 紀子, 丹波 功昭, “運動パフォーマンスと優勢脳波について,” 日本体育学会大会号, pp. 190, 1991.
- 6) 平田 雅之, 吉峰 俊樹, “ブレイン・マシン・インターフェース,” 日本再生医療学会雑誌, pp. 33-49, 2013.
- 7) M. Suefuji, T. Shindo, K. Fujiwara, K. Jin'no, and T. Ikeguchi, “Development of low-frequency electrical therapy device with chaotic vibration and its performance analysis,” Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA), IEICE, vol. 3, no. 4, pp. 621-628, 2012.