

ECT法による生体情報の取得に関する研究

Research on acquisition of living body information of Electrical-Capacitance-Tomography method

○ 玉井瑞又(職業大) 鷺沢嘉一(電通大) 三上直樹(職業大)

Mizuyasu TAMAI, POLYTECHNIC UNIVERSITY
Yoshikazu WASHIZAWA, The University of Electro-Communications
Naoki MIKAMI, POLYTECHNIC UNIVERSITY

Abstract: The electrical capacitance tomography (ECT) which is one of the computed tomography (CT) method, does not require contacting electrodes to an object for measurement directly. However, existing ECT has too low resolution for biological measurements, and a few researches have applied ECT to biological measurements. In the last decade of signal processing researches, a number of estimating methods, especially super-resolution methods have been reported. Therefore, ECT now has a potential to realize a simple living body measurement tool which can be used in a home a simple diagnostic equipment. In this research, we develop a prototype of ECT, and investigate basic properties in order to develop a biomedical acquisition system.

Key Words: Electrical Capacitance Tomography, signal-processing, simple living body measurement

1. はじめに

現在、体内の構造を調べる手法として、超音波 CT, X線 CT, MRI などの CT 技術が開発され用いられている。また、電気的な情報を用いた CT 技術には、電気インピーダンストモグラフィ (EIT) と電気キャパシタンストモグラフィ (ECT) がある。

EIT 法は、計測対象領域に複数の電極を取り付け、電極間に微弱な電流を流し、インピーダンスを測定することで断面の導電率分布を求める手法である。現在、EIT 法を用い肺の状態を計測し人工呼吸器の設定に応用する研究⁽¹⁾や、体全体の体脂肪率計測ではなく腹部に複数の電極を装着し断面のイメージを得ることにより内臓脂肪を計測する研究などが行われている⁽²⁾。計測対象領域に電流を流す必要のある EIT 法は、計測したい対象物などが電気的な影響を受けてしまう可能性があるため工業的な用途で使用される事は少なく、生体に影響の無いとされる微弱な電流を用いることで生体情報の計測に使用されている。

また、ECT 法は、計測対象領域に取り付けた複数の電極間をキャパシタと考え、断面の誘電率分布を求める手法である。電極と計測対象の間に電気的な接触を伴う必要がなく、液体や粉体を移送するパイプの外側に電極を取り付けパイプ内部の液体内の気泡や、移送中の粉体の密度などを計測する研究⁽³⁾や、生体に対し癌などの組織の位置を計測する研究⁽⁴⁾が行われている。ECT 法は、計測対象と電極が直接接触する必要がないが、解像度が低いなどの問題があり生体に対する計測で使用された研究は少ない。しかし、先端信号処理技術と組み合わせることにより、解像度を向上させ、家庭内でも使用できる簡易生体計測や簡易診断装置への利用が期待できると考えている。

本研究では、ECT 法による計測システムを構築し、生体内部の構造や生体情報のリアルタイムな取得を目的としている。今回、基本的な計測原理や計測システムの設計に必要な、基本的な特性に関する情報を得るために、小規模な計測システムを構築した。また、その基本特性について検証を行ったため報告する。

2. 比誘電率と静電容量の計測

キャパシタの静電容量 $C[F]$ は、式(1)で示すように、蓄えられた電荷 $Q[C]$ を電極間の電圧 $V[V]$ で割ることで求める

ことができる。また、座標 (x, y) における誘電率 ε と、電位分布 ϕ の積を電極表面 Γ に対し積分し電極間の電圧 V で割ることで求めることができる。

ECT 法では、この ε を求め、誘電率の違いによる物質の分別とその位置情報を得ることを目的としている。そのため計測対象領域の周辺に電極を設置し、2つの電極間を電氣的に計測し、誘電率分布に必要な情報を得る必要がある。

$$C = \frac{Q}{V} = -\frac{1}{V} \iint_{\Gamma} \varepsilon(x, y) \nabla \phi(x, y) d\Gamma \quad (1)$$

対になる電極同士が、距離 $d[m]$ 、面積 $S[m^2]$ 、2枚の電極間に誘電率 ε の誘電体があり、 d に対し S が十分大きい場合、そのキャパシタの静電容量 $C[F]$ は、式(2)により求めることができる。また、実効値 $V[V]$ 、周波数 $\omega[\text{rad/s}]$ の正弦波を加えた場合、式(3)の電流 i が流れる。

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} = (\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_s) \frac{S}{d} \quad (2)$$

$$i = \sqrt{2} \omega C V \cos(\omega t) \quad (3)$$

計測対象に電極を取り付けた場合、その設置状況、計測装置に寄与する電気的な特性などから、電極間の計測対象の正確な静電容量のみを計測することは難しい。そこで、電極間に何も無い状態(空気のみ)で、流れた電流 i_a を電圧に変換した $E_a(t)$ を計測しておく。この値は、空気の比誘電率 ε_a から求められた値である。次に、電極間に比誘電率 ε_b の物質がある場合において同様の計測を行い、流れる電流 i_b に相当する $E_b(t)$ を計測する。電極の大きさや、距離などの状況に変化がない場合、空気の比誘電率と求めたい物質の比誘電率との間には、式(4)の関係がある。

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = \frac{E_b(t)}{E_a(t)} = \frac{\sqrt{2} \omega C_b V \cos(\omega t)}{\sqrt{2} \omega C_a V \cos(\omega t)} \quad (4)$$

3. 計測実験

Fig 1に計測システムの構成を示す。計測には、ロックインアンプを使用した。ロックインアンプ内蔵のオシレータから出力された、正弦波をボルテージフォロア回路を介し電極に加える。対になる電極に電流-電圧変換回路を接続し、その出力をロックインアンプにより計測し、振幅と位相の情報を得る。計測したい周波数や計測時のパラメータはパソコンによりシリアル通信を介し設定される。また計測結果の収集もパソコンで行っている。1[kHz]~120[kHz]までの計測をおこなった。

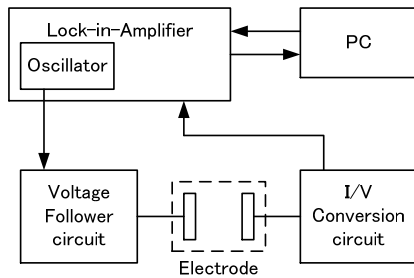


Fig 1 Composition of a counting system

Fig 2に実験装置の構成を示す。大きさが1辺15[mm]の正方形、電極間の距離を55[mm]、電極間に3本、計9本の直径16.5[mm]の耐熱ガラス製の試験管を固定した実験装置を製作した。電流-電圧変換回路の抵抗Rは470[kΩ]を使用した。電極間にある試験管を全て取り外し、空気のみとした状態で計測を行った。次に9本全ての試験管を取り付け中に水を入れない状態で計測を行った。次に、各試験管に水を入れ同様に計測を行った。

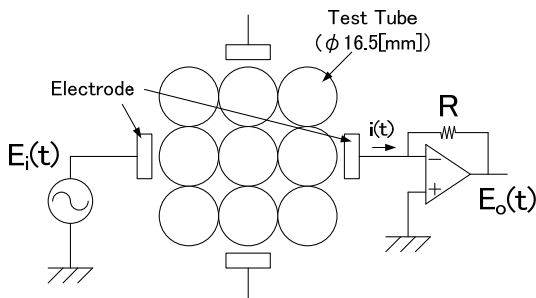


Fig 2 Composition of a Measuring Device

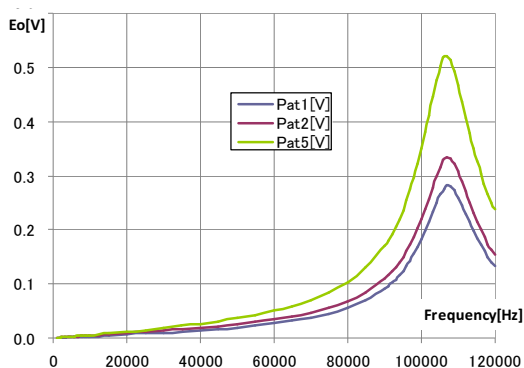


Fig 3 Amplitude-frequency responses

Fig 3に周波数振幅特性を示す。また、Table 1に水を入れた試験管の位置(斜線部)、50[kHz]、100[kHz]で計測された電圧値を示す。計測された電圧データの「Pat1」は電極間に何も無い状態で行った計測結果、「Pat2」は試験管のみの状態、「Pat5」は電極間の3本の試験管に水を入れて行った計測結果である。

Table 1 maximum values of measured voltages

配置	50 [kHz]	100 [kHz]
Pat1	0.0197	0.1822
Pat2	0.0255 (1.299)	0.2186 (1.200)
Pat3	0.0250 (1.264)	0.2309 (1.267)
Pat4	0.0269 (1.360)	0.2482 (1.362)
Pat5	0.0365 (1.848)	0.3502 (1.922)

得られた電氣的な値から、電極間にある物質の誘電率を直接求めることはできないが、誘電物質があるほどキャパシタとしての静電容量が増加し、その結果流れる電流が大きくなるという傾向が得られた。また、空気の比誘電率は約1、ガラスの比誘電率は約5~10、水の比誘電率は80であり、電極間に比誘電率の大きな物質がある場合ほど、流れる電流も大きくなっていることがわかる。

4. まとめ

ECT法に関する小規模な計測システムを構築することができた。また、基本的な特性として、誘電物質の有無による出力電圧の増減を確認することができた。今後、電極数の増加、計測の自動化をおこない、電極からの情報により生体断面の情報を得ることができるようになりたい。

参考文献

- (1) I. Frerichs, P. A. Dargaville, P. C. Rimensberger, Regional respiratory inflation and deflation pressure-volume curves determined by electrical impedance tomography, *Physiol.*, 34, pp. 567-577, 2013.
- (2) 山口亨, 片嶋充弘, 王力群, 栗城眞也, 電気インピーダンストモグラフィを応用した実用的な腹部脂肪測定機, 電子情報通信学会技術研究報告. MBE. MEとバイオサイバネティクス, 111, 84, pp. 29-34, 2011.
- (3) Z. Fan, R. X. Gao, An adaptive total variation regularization method for electrical capacitance tomography, *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. 2230-2235, 2012.
- (4) W. P. Taruno, M. R. Baidillah, R. I. Sulaiman, A. Yusuf, W. Widada, H. Alzufri, M. Aljohani, A Novel Sensor Design for Breast Cancer Scanner based on Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT), *Sensors*. 2012 IEEE, pp. 1-4, 2012.