

# PVDF 圧電センサで得た人体の振動信号を利用 する非拘束血圧脈波測定に関する一考察

上野 仁

第一工業大学 東京上野キャンパス 〒110-0005 東京都台東区上野 7-7-4

h.ueno@ueno.daiichi-koudai.ac.jp

## A Study on Blood Pressure Pulse Waveform Monitoring with Piezoelectric Sensor

Hitoshi Ueno

Tokyo-Ueno Campus, Daiichi Institute of Technology, 7-7-4, Ueno, Taito-ku, Tokyo, 110-0005  
h.ueno@ueno.daiichi-koudai.ac.jp

**Abstract:** We are studying to collect biomedical signals using PVDF (Poly Vinylidene DiFluoride) piezoelectric sensor. The method of calculating the heart rate and the respiration rate by the piezoelectric sensor has been proposed for some time, but there is still no method of generating the blood pressure pulse waveform from the ballistocardiographic waveform which is the signal collected by the piezoelectric sensor. If this becomes possible, it means that some abnormalities of the cardiovascular system can be detected by observing the blood pressure pulse waveform in a normal life without restraint. Therefore, we developed a measurement system that can collect fingertip pulse waves as reference data in parallel, and perform processing based on integral calculation on the ballistocardiographic waveforms obtained by this to obtain blood pressure pulse waves. We are studying how to convert. The accuracy of this method was evaluated by comparison with the fingertip pulse waveforms that were collected at the same time. In the future, by increasing the number of subjects and improving the calculation method, we will study a calculation method with high accuracy even for many subjects.

**Keywords:** Piezoelectric Sensors, Blood Pressure Pulse Waveform, Biological Signal Processing, Ballistic Diagram, Ballistocardiographic Waveforms.

### 1. はじめに

報告者の研究室では圧電センサを用いることにより非拘束で心拍数や呼吸数を計測可能とし、これを用いた一人暮らしの高齢者見守りシステムの実現について研究をしている。使用する圧電センサはPVDF (Poly Vinylidene DiFluoride) を用いており、1 Hz 以下から音の領域である数十キロ Hz まで広い周波数特性を持ち、高感度であることが特長である。

研究中の高齢者見守りシステムではこのセンサを高齢者宅に敷き詰め、得られる信号をインターネット経由で遠隔地にある地域の見守りセンタで監視したり遠隔地に住む家族から監視したりできるようにする。これにより高齢者が宅内のどこで病気などに

より倒れたとしても、倒れた場所に設置された圧電センサから心拍、呼吸に関する信号が分かり、支援の必要性を判断できる。[1]

上記システム研究ではセンサ1枚ごとの特性を理解し、特性に適した信号処理をすることにより種々の生体信号を取得できる可能性がある。したがって、研究の一環として1枚の圧電センサにより得られる生体信号の分析方法についても詳しく研究している。これまでの研究では単に心拍数や呼吸数が測定できるだけでなく、そこにいるのは誰なのかが判定可能となる個人識別情報を得られる可能性が高いことを指摘してきた。[2][3]

本論文ではさらに従来報告とは別種の生体信号が

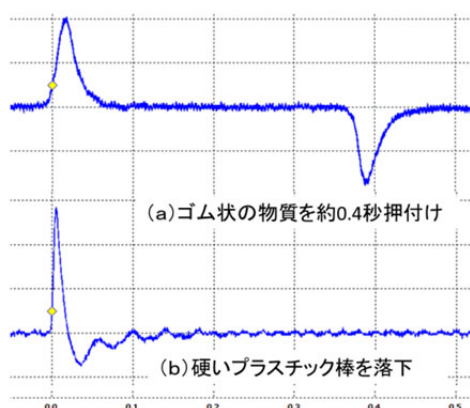


図1 圧電センサの性質

取得できることを示す。すなわち、圧電センサにより得られる振動信号からリアルタイムの血圧変動波形である血圧脈波の信号波形を得られる可能性に関して報告する。

## 2. PVDF 圧電センサを用いた心弾動波形の測定

本研究に用いる圧電センサは圧力の変化を検出する微分型のセンサであり、一定の圧力が加わっている時間帯にはセンサの電圧は生じない。図1に圧電センサの信号を直接オシロスコープに入力し、圧力を加えた場合の電位の変化を示す。横軸は1メモリごとに0.1秒を表し、縦軸は電圧を表す。

ゴム状の物質を押し付けてすぐに離す動作を行った場合の電位の変化は図1(a)のようになり、押し付けたときに正電位が生じ、放すときに負電位が生じ、微分回路的な動作になっていることが分かる。硬いプラスチック棒を落下させるような瞬間的な圧

力変化に対しては図1(b)のように、落下時の正電位は鋭く立ち上がるが放れたときの負電位は小さく長時間表れることが分かる。いずれの場合もオシロスコープのように入力インピーダンスが非常に高い環境で測定すると圧力変化を検出してから基準電位に戻るまでに数10ミリ秒を要している。

このような特性を持つ圧電センサにより生体信号を測定した例を図2に示す。横軸は時間でありこの図では15秒間の測定波形を表示している。この信号は体内の動脈の振動を体表面の振動として測定したものであり、直接的には血圧脈波に相当する振動信号を検出しているものと考えられるが、本研究に用いている圧電センサが微分型の動作をするために複雑な波形となっている。

圧力の変化により得られる心臓の鼓動の波形のことを、心電図の波形と区別するため心弾動波形と呼んでいる。

## 3. 心弾動波形から血圧脈波波形を求める

前記の心弾動波形から呼吸周期や心拍周期を求める方法については従来から多くの研究がなされているが、血圧脈波の波形にまで戻す方法に関する研究は知られていない。そこで本研究では心弾動波形から血圧脈波波形を求める計算方法を見つけることを目的とする。

血圧脈波とはリアルタイムの血圧の変化を表しており、波形を観測することにより心血管系の病気を診断できる可能性がある。[4]

一方、血圧脈波を測定するためには頸動脈など、動脈近くの体の部位に圧力センサを密着させる必要があり、手間がかかる割には得られる情報量が少ない。近年では超音波画像診断装置(エコー)やMRIなど、画像診断装置が発達したことにより血圧脈波を元に病気を診断することはほとんどなくなっている状況と言われている。

しかし、非拘束で血圧脈波を測定することができるのなら、情報量が少ないとは言え日常環境の中で常時計測できるので高い有用性が期待できる。生活

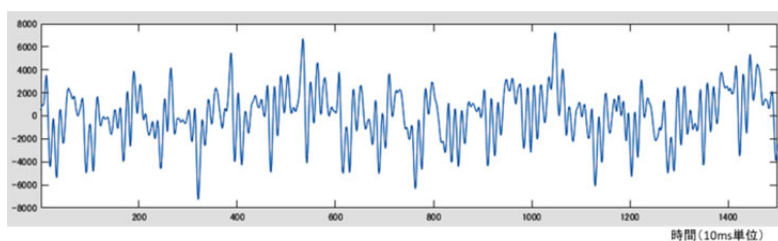


図2 心拍と呼吸を含む信号波形の例

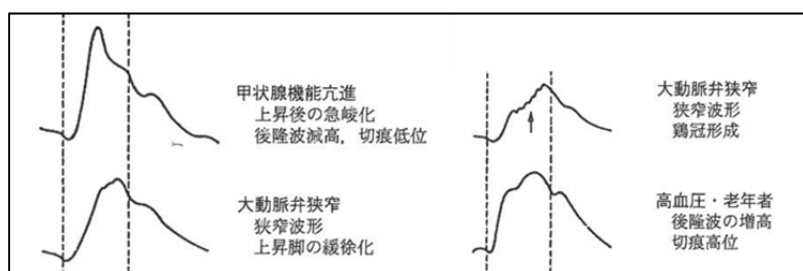


図3 血圧脈波形状異常と疾病との関連例 (文献[4]p. 47より一部抜粋)

の中で常時血圧脈波をモニタし、心血管系の異常がある恐れを検出した場合には医療機関で受診するように警告する健康管理機能を実現できるのである。例えば図3のような血圧脈波が観測された場合、関連する病名が疑われるため受診を推奨するといった健康管理機能を実現できる。

#### 4. 計測システム

圧電センサで血圧脈波を常時測定可能とするためには、心弾動波形から血圧脈波を信号処理により求める手法を開発する必要がある。

圧電センサより取得した心弾動波形から正しい血圧脈波を得られたか否かを判定するためには、参照データとして正しい血圧脈波を同時に取得する必要がある。そこで血圧脈波相当の波形と心弾動波形を同時に測定する計測システムを作成した。(図4)

血圧脈波波形を採取するセンサとして光電脈波センサを採用し圧電センサと同じタイミングでサンプリング周波数 100Hz で信号を取得とする。光電脈波センサは赤色光を指の動脈に当て、反射する光の量を測定することにより血圧の変化を検出する。動脈血管内のヘモグロビンが反射する赤色光量の変化により血圧の変化を検出する方式である。

センサアンプボックスの回路図を付録1に示す。光電脈波センサと PVDF 圧電センサの信号はオペアンプ (NJU7044) で構成したローパスフィルタを介してそれぞれ計装アンプ (INA126) で増幅する。増幅後の信号を再度ローパスフィルタに通し 16 ビット AD コンバータ (ADS1115) でデジタル信号にし、I2C インタフェースを介してマイコン (ESP-WROOM-32) に入力する。マイコンでは 100Hz サンプリングで取得したデータを 1 秒ごとにブロック化し Bluetooth インタフェースにより PC に転送する。このマイコンには AD コンバータ機能が内蔵されているが、解像度が 12 ビットであ

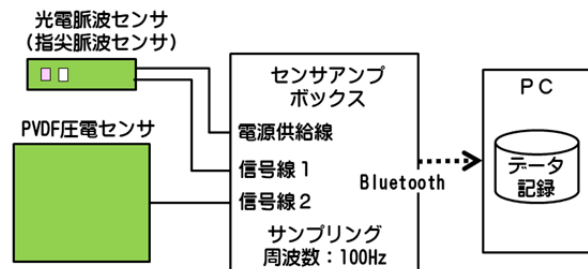


図4 計測システム構成

り十分でないため 16 ビットの解像度を持つ外部チップを使用した。

圧電センサから得られる信号レベルは、体のどの部分がセンサ上に載るか、誰が載るかの違いによって大きく異なる。レベルの低い信号に合わせて増幅すると強い信号が来た時にオーバースケールし、レベルの高い信号に合わせて増幅率を下げると低いレベルの信号が来た場合に量子化誤差により波形計算の精度が確保できない。したがって、両者に対応するためにできるだけ高精度な AD コンバータを使う必要がある。

**5. 測定結果**ある被験者の測定例を図5に示す。横軸は時間を示し 10 秒間のグラフを表示し、縦軸は信号の電圧を示す。(上)の波形は光電脈波センサにより測定された血圧脈波波形であり、(下)の波形は圧

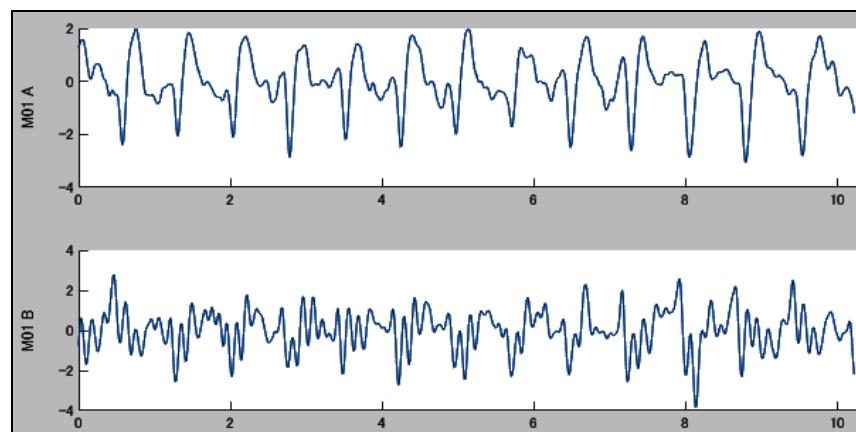


図5 指尖脈波 (上) と心弾動図 (下)

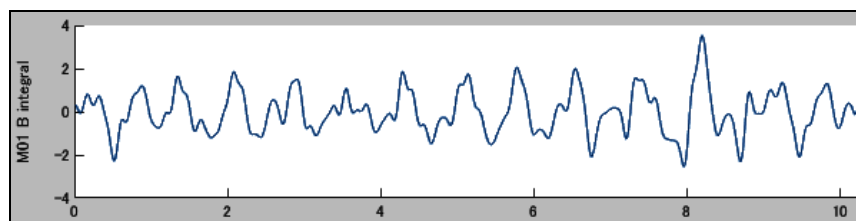


図6 心弾動図の積分波形

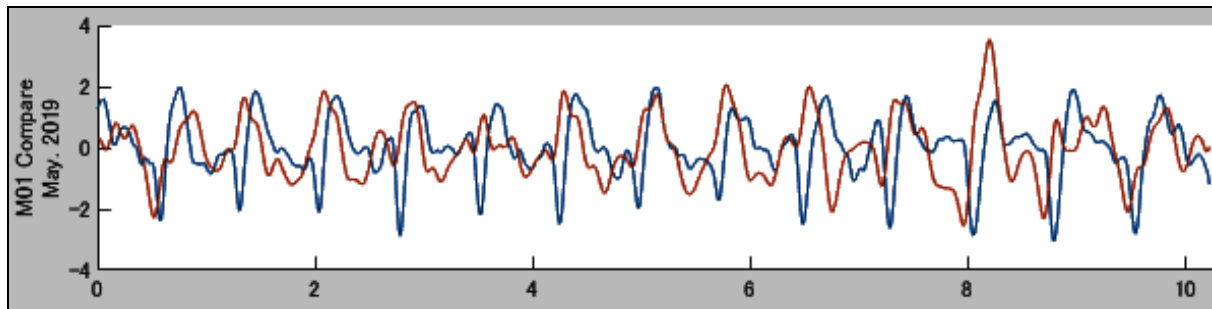


図7 指尖脈波形（青）と心弾動積分波形（赤）の比較

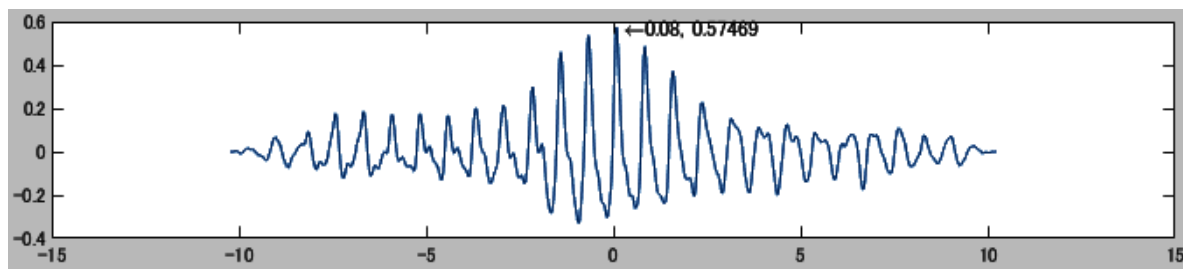


図8 指尖脈波と心弾動積分波形の相互相関

電センサによって測定された心弾動波形である。

指尖脈波は血圧変化の波形として妥当なきれいな山形をしているが心弾動図の波形は細かな振動があり血圧変化を表しているようには見えない。報告者はその原因について、PVDF 圧電センサは振動そのものではなく、振動の微分波形を検出するためであると推定した。

そこで、CRによる積分回路の時定数(式1の定数c)に相当する遅れを持たせた信号に対する積分計算をした結果を示す。(図6)

$$V(t) = V \times e^{-\frac{t}{c}} \quad (\text{式1})$$

心弾動図の積分波形が指尖脈波の形状とどの程度一致しているか比較したものを図7に示す。青色の線が指尖脈波であり赤色の線が心弾動図の積分波形である。ピーク点の時間間隔は両者でほぼ一致しているが、山型を構成する形状はそれほど一致していないようにも感じられる。

二つの波形の類似度を数値で評価する指標として相互相関を採用した結果を図8に示す。相互相関とは指尖脈波と心弾動波を移動しながら相関係数を計算した値で、完全に一致するときは1.0となり一致しなければ0に近づく。図7に示した二つの波形の相互相関を採ったところ図8のようになった。

この横軸は二つの信号を時間方向に移動したとき

の時間幅を示し、縦軸は相関係数1.0～-1.0を示す。このデータで相関が最大となるポイントは0.08秒ひとつの波形を移動した点でありその相関係数は0.57469となることが分かる。

心弾動積分波形の形状が指尖脈波形状に近づけば近づくほど相関係数は1.0に近づくはずなので、この指標により類似度が評価可能である。したがって、圧電センサの信号波形から血圧脈波の波形をより正確に求めるために、心弾動波形から指尖脈波波形を求める計算方法について、この相関係数をできるだけ向上させるように改良していく必要がある。

## 6. 考察

本報告では、PVDF 圧電センサにより心弾動波形を取得し、同時に指尖脈波を取得可能とするセンサシステムを作成し1名の被験者に関するデータでシステムの有効性を検討した。

指尖脈波と心弾動波形は正常に取得できていることは、心拍の時間間隔が両者で一致していることから明らかである。

一方、心弾動積分波形と指尖脈波の形状比較に相互相関を用いることの有効性については今後の多くのデータを評価する中で検討していく必要がある。

## 7. おわりに

報告者はPVDFによる圧電センサを使用する高

齢者見守りシステムの開発に取り組んでいる。本報告は圧電センサから得た信号を血圧脈波の波形に変換することにより、心血管系の疾病を発見する情報にできる可能性がある。

報告者が提案する高齢者見守りシステムでは、通常の生活の中で常時心弾動波形を取得できるので、見守られる高齢者はなんら意識する必要なく体調の見守りができることになる。

本報告はこの研究の第一歩であり、今後は多数の被験者のデータを収集し、多くの被験者で妥当な結果が得られるように、心弾増波形から血圧脈波波形への計算方法をより高度にしていく必要がある。

## 参考文献

- 1) 上野仁, 鐘ヶ江正巳, "ウェアフリーセンサによる高齢者見守り支援システムの提案と部分試作," 信学技報, MICT2015-39 (2016)
- 2) Hitoshi Ueno, "An Analysis for Characteristics of Bio-signal Abstracted from Piezoelectric Sensor," Proceedings of IEEE TENCON 2018 (Jeju, Korea, 28-31 Oct. 2018) pp.436-440
- 3) Hitoshi Ueno, "A Piezoelectric Sensor Signal Analysis Method for Identifying Persons Groups," Sensors 2019, 19, 733.
- 4) 村松準, 澤田海彦編, "内科学エッセンス 2 循環系/血液," 朝倉書店 (2006)

付録1

センサアンプボックス回路図

