

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-02-05

自動車内に潜む人間の検知装置の開発と評価

柴田, 諭 / SHIBATA, Satoshi

(発行年 / Year)

2009-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2009-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2008 年度 修士論文

自動車内に潜む人間の検知装置
の開発と評価

DESIGN AND EVALUATION OF MANAGEMENT DEVICE FOR
DETECTION OF A HUMAN LURKING IN THE CAR

指導教授 小林一行 准教授

法政大学大学院工学研究科
システム工学専攻修士課程

07R6119

柴田 諭

DESIGN AND ELALUATION OF MANAGEMENT DEVICE FOR DETECTION OF A HUMAN LURKING IN THE CAR

Abstract

Abstract: This paper describes a new method which detects the lurking human in a car. The car in which the human remain vibrates due to his vital signs include in his heart beating and movement. To set the sensor between tires of the car and a ground, we can measure the vibrations and detect whether the human is or not. We make three sensing devices which have a sensor, filters, and polycarbonate boards, and test in measurements. The sensor which is manufactured piezoelectric ceramics, filters for biomedical signal, are the components of the sensing devices.

Key words : *ceramics, vital sign, heartbeat, security*

目次

第1章	はじめに	5
第2章	研究の対象と目的	6
2.1	研究の対象	6
2.2	研究の目的	6
第3章	仮定と問題の記述	7
3.1	仮定の記述	7
3.2	問題の記述	7
第4章	圧力センサ及び計測装置の製作	8
4.1	センサ	8
4.2	圧電セラミックスの利用	8
4.2.1	圧電セラミックスについて	8
4.2.2	圧電効果について	9
4.3.1	圧電セラミックスを利用したステンレス板センサの製作	10
4.3.2	圧電振動板 DC-5DSN4 の利用	12
4.3.3	超高感度感圧センサの利用	13
4.6	計測装置の製作	14
4.6.1	ブリッジ型	14
4.6.2	シート型	15
4.6.3	はめ込み型	15
第5章	生体計測用フィルタ回路の製作	16
5.1	圧電セラミックスによる時定数	16
5.2	心拍信号用フィルタ	16
第6章	S/N 比	18
第7章	計測装置の評価実験	19
7.1	実験目的	19
7.2	実験方法	19
7.3	計測結果	20
7.4	考察	22
第8章	車両を用いたセンサ評価実験	23
8.1	実験目的	23
8.2	実験方法	23
8.3	計測結果	24
8.4	考察	27

第9章 終わりに	28
9. 1 結論	28
9. 2 今後の課題	28
参考文献	29
付録	30
謝辞	34

第1章 はじめに

アメリカ＝メキシコ国境や、ヨーロッパにおける出稼ぎ労働のための不法入国者が後を絶たない。アメリカ＝メキシコ国境では毎年 100 万人以上の不法入国者がいると見られている。不法入国の手段として、自動車が多く使われている。

自動車が国境を越える際、行き来できるのは自動車と乗車を許可された人物に限られる。しかし、自動車の不法入国者が潜入していると想定した場合、捜索、発見をしなければ、不法入国を防ぐことはできない。そこで国境を越える自動車内の人間の有無の判断が必要とされる。現在、人間の有無の判断方法として、人間による捜索が主となっている。しかし人間で捜索する場合、人間自身による誤認が生じる可能性があり、正確に判断することは難しい。また頻繁に自動車が行き来する環境では、車内を捜索する手間がかかってしまう。国境セキュリティデバイスとして、アメリカの AS&E 社が開発した Z ポータルという商品がある。これは X 線を照射し自動車の内部を透視でき、密輸品や不法入国者を発見できるという装置である。しかし、Z ポータルは大型で非常に高価である。

そこで我々は小型で持ち運びが容易にでき、より安価な装置で、自動車内に潜んでいる人間の有無を判定できるシステムを開発する。



図1 自動車による不法入国

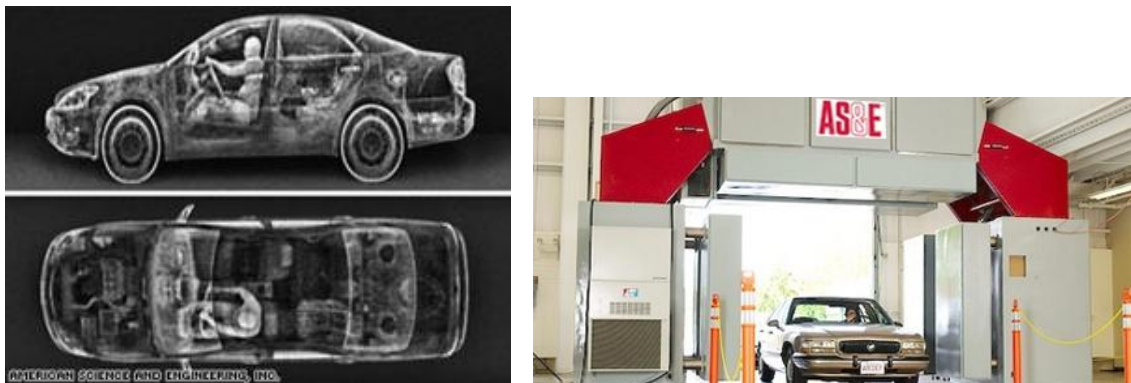


図2 Zポータル

第2章 研究の対象と目的

2.1 研究の対象

自動車内の人間の有無を判断する対象として、自動車の振動をあげる。車の振動を検出する方法として、センサをタイヤの下に敷く方法を考えた。自動車内に人間がいる場合、計測する振動の中には、車体へ伝わる生体信号が含まれていることが考えられる。計測した振動から生体信号を確認できれば、自動車内の人間の有無を判定できる。

2.2 研究の目的

自動車の振動を計測する装置の開発、それぞれの装置の評価、計測結果から人間の有無を判定できるシステムの構築を目的とする。

第3章 仮定と問題の記述

3. 1 仮定の記述

計測を行う際、様々な振動が生じることが推測される。そこでできるだけ自動車に振動がない環境で行う必要がある。そこで計測を行うにあたり、以下の仮定を設ける。

- (A1) 自動車のエンジンは切った状態
- (A2) 雨が降っていない環境
- (A3) 対象の車は普通乗用車

3. 2 問題の記述

これらの仮定を踏まえて、問題点として次の二点が考えられる。

- (P1) 計測装置の製作
- (P2) 計測装置の評価

第4章 圧力センサ及び計測装置の製作

4. 1 センサ

本実験で使用するセンサは、人間の生体信号が車体に伝播することによって生じる微小振動を計測できる感度を持つことが必要とされる。車体の振動を検出する手段として、斜体が振動したとき、下への歪むことを考える。車体が上から何らかの振動を受けた場合、タイヤに歪みが生じる。タイヤの下に歪みの圧力を検出できる圧力センサを設置することでタイヤの歪み、しいては車体の振動を計測する。

また、センサの設置するタイヤの下は、センサの交換が容易には行えないため、長期計測が可能である必要がある。センサ自身にエネルギーを必要としないこと、また車体下という環境に耐えうる高い耐久性を持つことが必要とされる。

床の微少な歪みの圧力を検出することで床の微小振動を計測できること、また計測環境に応じた高い耐久性をもつことの2つの条件を満たす圧力センサを製作する。

4. 2 圧電セラミックスの利用

微小な圧力を検出できること、長期計測が可能であり測定自身にエネルギーを必要としないこと、高い耐久性を持たせるため容易に加工することができる圧電効果をもつ圧電セラミックスを使用する。

4. 2. 1 圧電セラミックスについて

圧電セラミックスは半導体圧力センサの一つとして利用される。

圧電セラミックスは、基本成分が金属酸化物で、高温での熱処理によって焼き固めた成形体である。近年では、シリコンのような半導体や、炭化物、窒化物、ホウ化物などの無機化合物の成形体、粉末、膜など無機固体材料の総称として用いられている。

性質として

- ・ 硬度は高いが、脆性破壊すること。
- ・ 強度、破壊靱性が内部の局所的な欠陥構造に左右されやすいこと。
- ・ 耐熱性に優れるが、熱衝撃破壊を起こしやすいこと。
- ・ 金属より軽く、プラスチックより重いこと。

の性質が挙げられる。

半導体圧力センサは、半導体結晶からなり、圧力に歪みを与えることで電圧が生じる（圧電効果）。つまり圧力を電気に変える、その可逆性として、電気を圧力に変えるものである。

4. 2. 2 圧電効果について

圧電セラミックスなどの半導体結晶は、歪みに応じた電圧を生成する圧電効果という特性をもつ。結晶に機械的応力を加えると応力に比例した電気分極を生じ電界が発生する（正効果）。逆に結晶に電界を加えて電気分解を起こさせると電界に比例したひずみを生じる（逆効果）。この現象を圧電効果といい、圧電効果を持つ圧電性結晶又は圧電体という。

圧電体では、応力 T 及び歪み S （機械的パラメータ）と電界 E 及び電気変位 D （電氣的パラメータ）とが電圧効果を介して互いに結び合っている。

電界 E 、電気変位 D はベクトル量であるから 3 つの成分を持ち、応力 T 、歪み S は対象テンソル量であるから 6 つの成分を持つ。結晶に適当な座標軸をあてはめ、その x 、 y 、 z 方向の電界の成分を E_1 、 E_2 、 E_3 、電気変位の成分を D_1 、 D_2 、 D_3 とする。応力の成分のうち x 、 y 、 z 方向の縦応力の成分を T_1 、 T_2 、 T_3 、せん断応力を T_4 、 T_5 、 T_6 とし、歪み成分のうち縦歪みを S_1 、 S_2 、 S_3 、せん断歪みを S_4 、 S_5 、 S_6 とする。

圧電体に応力 T が加わると

$$S = sT$$

なるひずみが発生するが、

それとあわせて圧電正効果によって応力に比例した電気変位

$$D = dT$$

を生じる。逆に電界 E を加えると

$$D = \epsilon E$$

なる電気変位を生じるが、その他に圧電逆効果によって電界に比例した歪み

$$E = d_r E$$

が発生する。

したがって、電圧体に応力 T と電界 E が加わった場合に発生する歪み S と電気変位 D は、

$$S = \epsilon^E T + d_r E$$

$$D = dT + \epsilon^T E$$

但し, ϵ^E : 弾性コンプライアンス ($E = \text{一定}$)

d : 圧電歪定数

ϵ : 誘電定数

で表わされる. また, 式の独立変数を変えて T と D について解くと

$$S = s^D T + g_t D$$

$$E = -gT + (1/\epsilon^T)D$$

と表わすことができる. ここに d は電圧歪定数, d は電圧出力係数と呼ばれる.

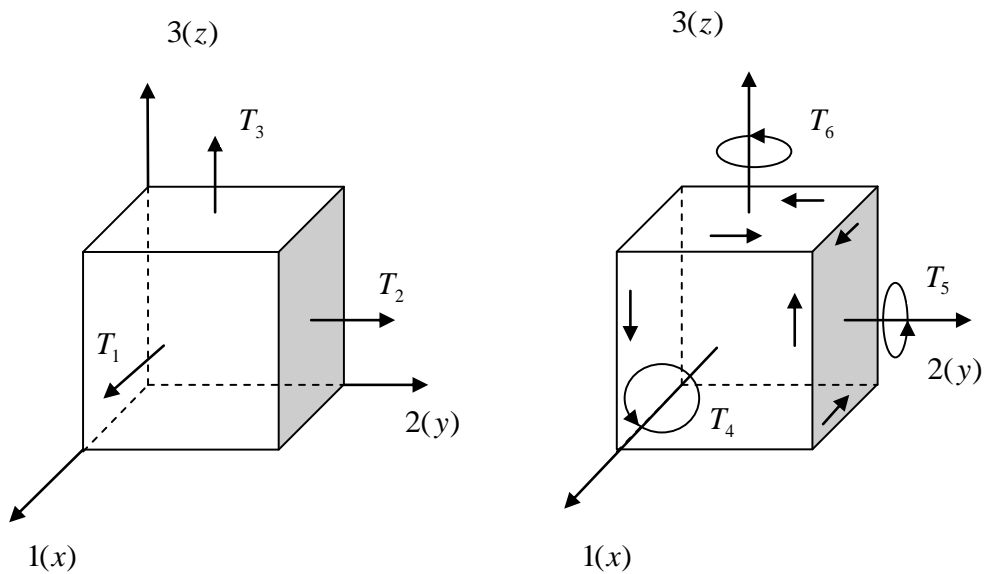


図3 Components of a stress

4. 3. 1 圧電セラミックスを利用したステンレス板センサの製作

圧電セラミックスによる振動センサは, 微小な振動を電気信号にすることを目的として製作する. 微小な振動でも圧電セラミックスに歪みが生じやすい様に加工する必要がある.

製作したセンサの概略を図5に示す. 圧電セラミックスに大きな歪みによる圧力が加わった場合脆性破壊する恐れがある. そこで圧電セラミックス (60.7mm×40.0mm×厚さ 1.0mm)

を酸化しにくいステンレス板(100.4mm×81.0mm×厚さ 0.5mm)に貼り付けることによって、脆性破壊を防ぐようにする。またコンクリート床板の歪みによる圧力を受けた場合、圧電セラミックスにより大きな歪みを生じやすくするためスペーサーとなるゴムを設けた(図6)。これによりコンクリート床板の微少な歪みでも圧電セラミックスに大きい歪みを作り出すことが可能と考えられる。

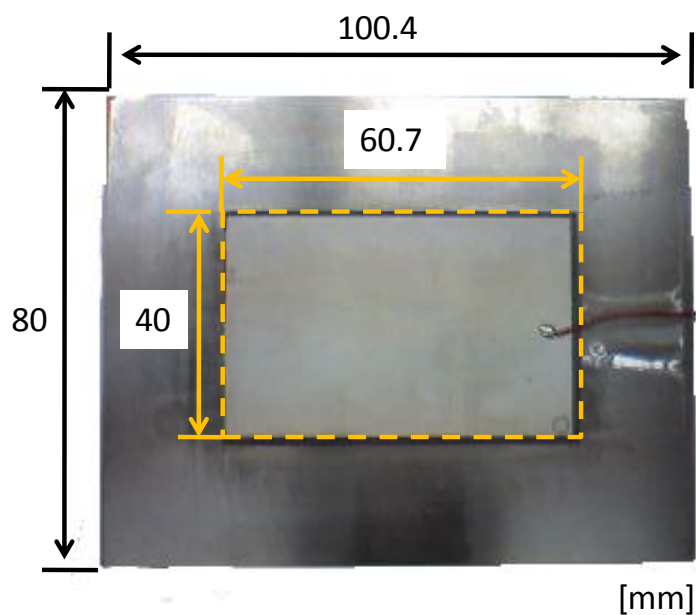


図4 圧電セラミックス

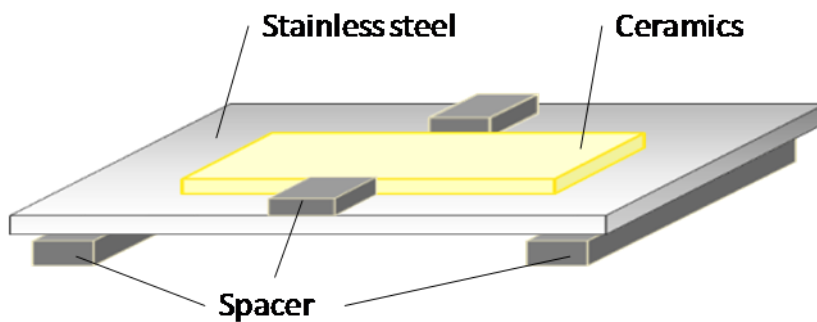


図5 製作したステンレス板センサ

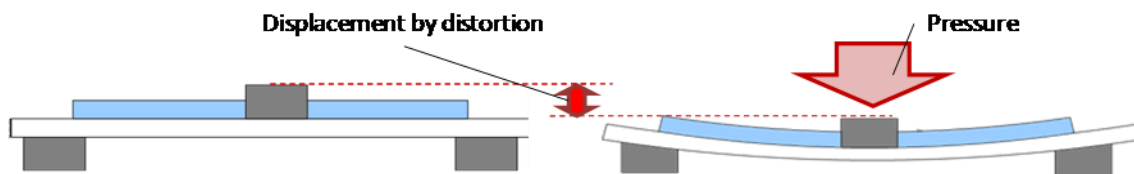


図6 圧力による歪み

またエポキシ樹脂で圧電セラミックをコーティングすることでセンサ本体の破壊を防いだ(Fig.6).

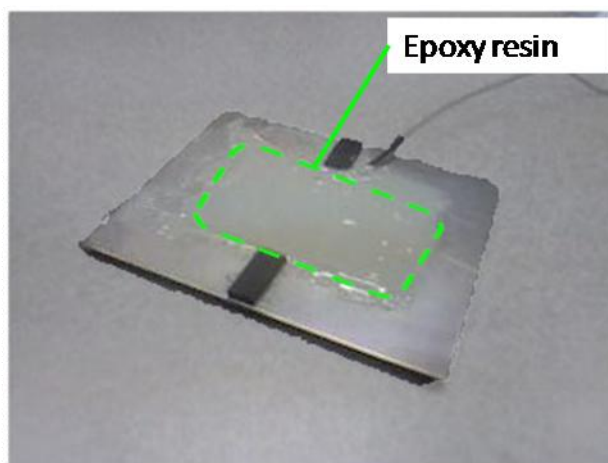


図7 製作したステンレス板センサ

4. 3. 2 圧電振動板 DC-5DSN4 の利用

このセンサの特徴は安価で耐熱性に優れ、電圧感度が極めて大きいことである。圧電振動板 DC-5DSN4 の外観形状、材質を示す。

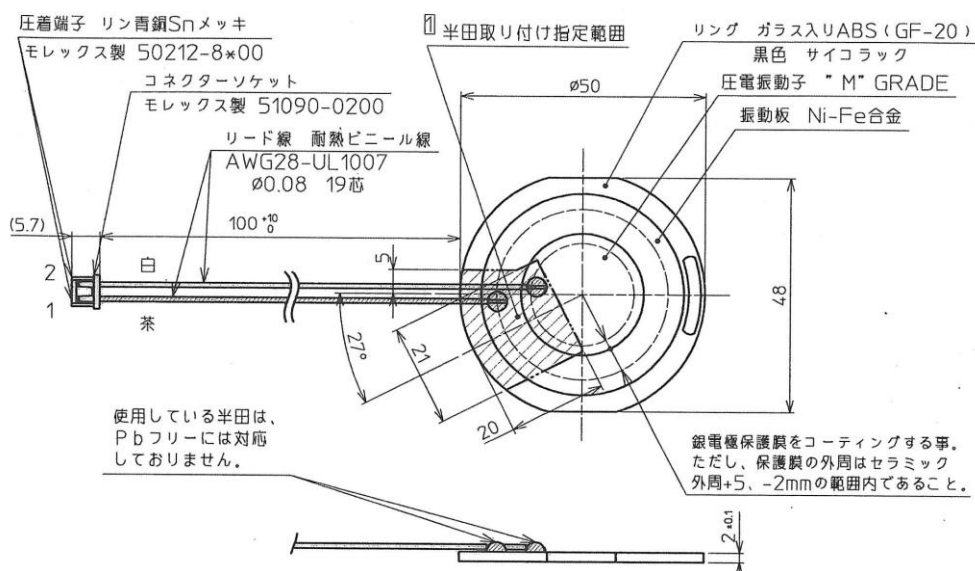


図8 圧電振動板 DC-5DSN4

4. 3. 3. 超高感度感圧センサの利用

このセンサの特徴は、薄く、軽く、電磁シールドのされたセンサで広い面積のセンシングに適している。センサの構成はアルミ電極を持つ3枚のポリエステル製のフィルムと電圧発生部位である極めて薄いエレクトレット EMFi フィルムと機械的にカシメで取り付けられているコネクタ・ピンからなる。このコネクタ・ピンはアルミ箔電極からの電位を導電するものである。超高感度感圧センサ L2060 の外形とセンサエレメント構成図を示す。

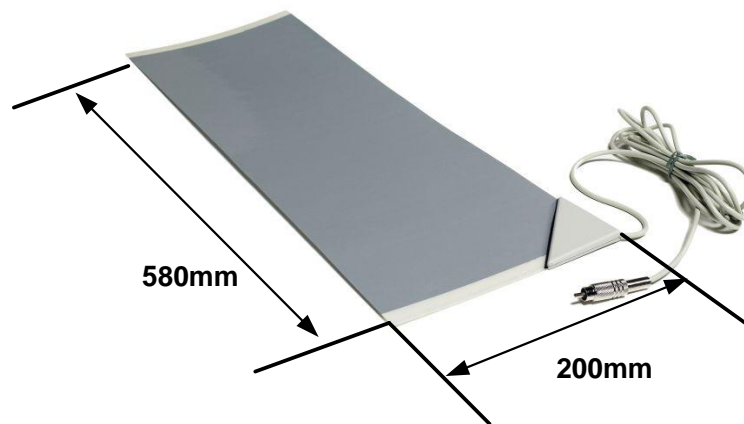


図9 超高感度感圧センサ L2060

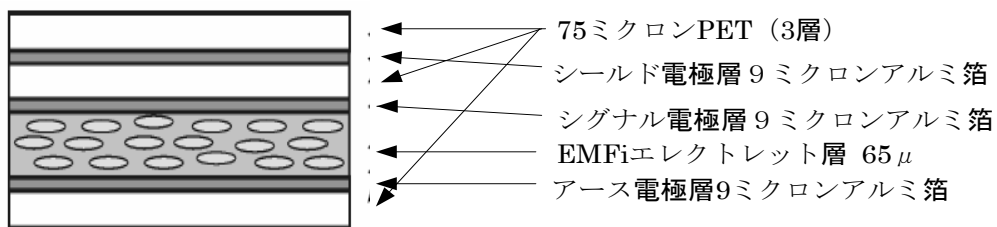


図10 センサエレメント構成図

4. 6 計測装置の製作

4. 6. 1 ブリッジ型

この計測装置は、センサとして圧電振動板とセンサの感度を上げるための周辺装置からなる。上板の下にセンサを設置し、上からの圧力振動によって上板が湾曲した時、センサに力が加わるようになっている。こうすることで振動がセンサに伝わりやすく、かつ破壊を防ぐことができる。上板には耐衝撃性、耐熱性に優れ、安価で軽量であるポリカーボネート板（ポリカジャパン株式会社製）を使用した。スペーサーとしてゴムを使用し、タイヤの位置を固定するためにストッパーを装着した。

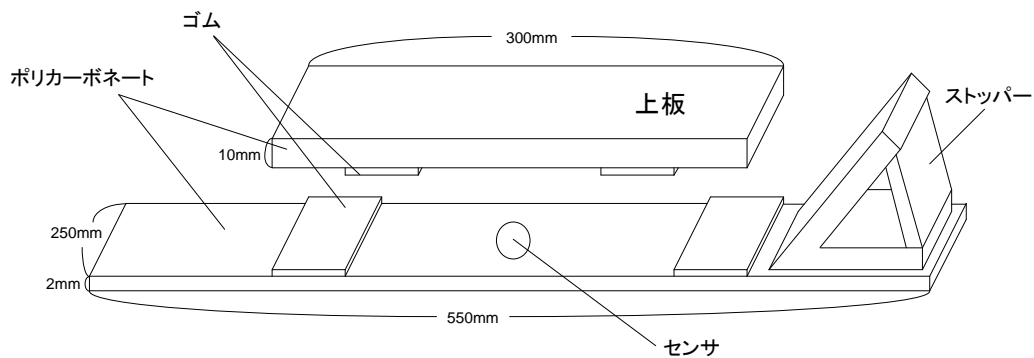
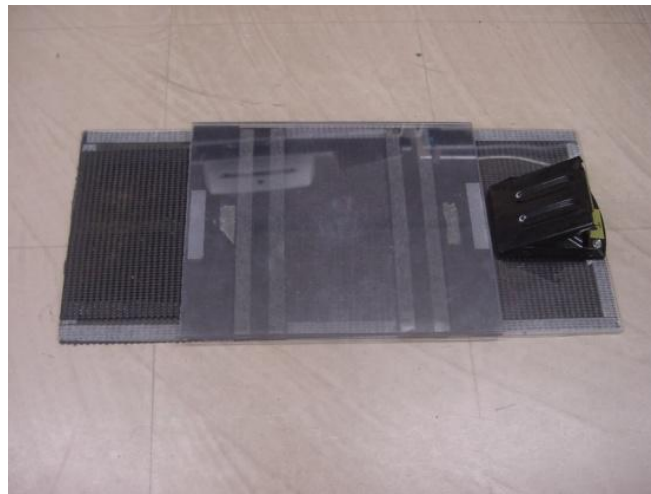


図 1 1 ブリッジ型計測装置

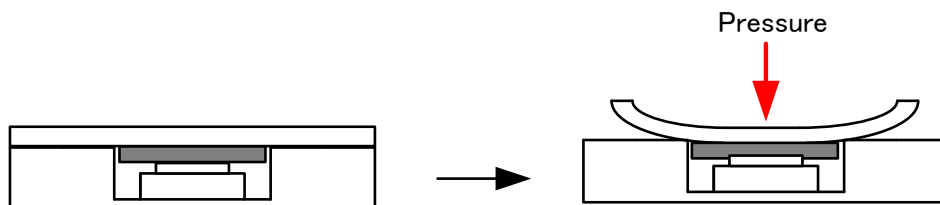


図 1 2 圧力による歪み

4. 6. 2 シート型

この計測装置は、センサとして超高感度感圧センサを使用し、センサの破損を防ぐためにポリカーボネート板で挟んだ。ポリカーボネートは内側に一定間隔でゴムを張り、センサの感度を上げた。



図 1 3 シート型計測装置

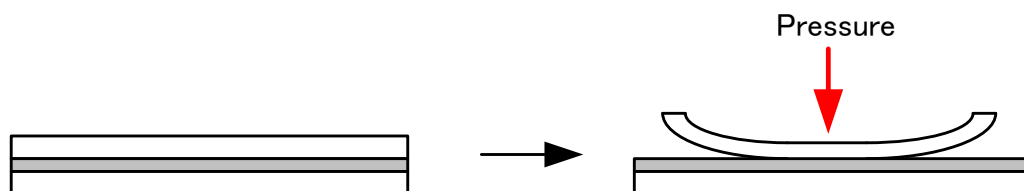


図 1 4 圧力による歪み

4. 6. 3 はめ込み型

この計測装置は、木の板にゴムをはめ込み、ゴムの中に圧電セラミックスをはめ込んだ。感度を上げるために、



図 1 5 はめ込み型計測装置

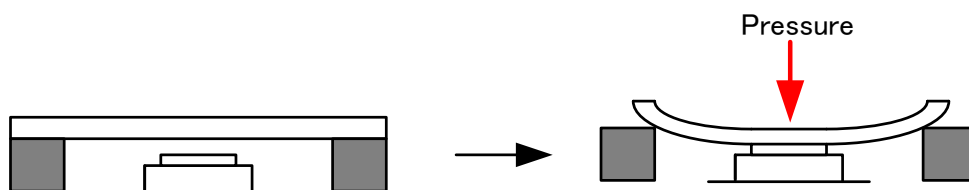


図 1 6 圧力による歪み

第5章 生体計測用フィルタ回路の製作

5.1 圧電セラミックスによる時定数

圧電セラミックスはコンデンサと同様に扱うことができる。第3章で述べた圧電セラミックスは機械的応力が加わると圧電効果により電圧が発生するが、その際コンデンサという性質から、圧電セラミックスに電荷が蓄えられてしまい、放電に時間がかかってしまう。放電状態のまま計測を行うと、微小振動により生じる電圧変化の計測に支障をきたす。それを防ぐため抵抗を並列に接続し、圧電セラミックスへの蓄電を防ぐ。

その際、センサに用いられた圧電セラミックスの電気容量は $0.04 \mu\text{F}$ であった。並列接続する抵抗値を $1\text{M}(\Omega)$ としたため、時定数を 0.01ms とすることができる。

$$\text{時定数 } CR = 0.01$$

5.2 心拍信号用フィルタ

圧電セラミックスで製作したセンサには、誘導周波数である 50Hz が多く含まれている。対象となる生体信号は心拍信号である。心拍信号の周波数帯域は $0.16\sim 16\text{Hz}$ とし、基本波およびその高調波成分からなる信号を対象とする。

センサの入力信号にオペアンプ LM324N を用いたローパスフィルタを通す。検出する周波数域は、人間の心拍をとることを考慮し、 16Hz 以下とした。

また抵抗値を $500, 1\text{k}, 10\text{k}, 20\text{k}, 50\text{k}, 100\text{k}\Omega$ とし、増幅率を可変にした。回路の発振によるノイズは、バッファ回路を回路内に組み入れることで影響を少なくし、出力信号と GND の電位差はオフセット調整することで解決する。

電源部分には AC - DC コンバータである YW1515A(コーセル社)を用いた。使用するオペアンプの仕様を Table3 に、YW1515A の仕様を Table4 に示す。

製作した回路の回路図を Fig.12 に示す。

表 1 Specification of LM324N Opamp

Charging-voltage V+	32 V
Input voltage	-3.2 ~+32 V

表 2 Specification of YW1515A

Output power	15.0W
DC output	±15 (+30) V 0.5A



图 1 7 Measurement system

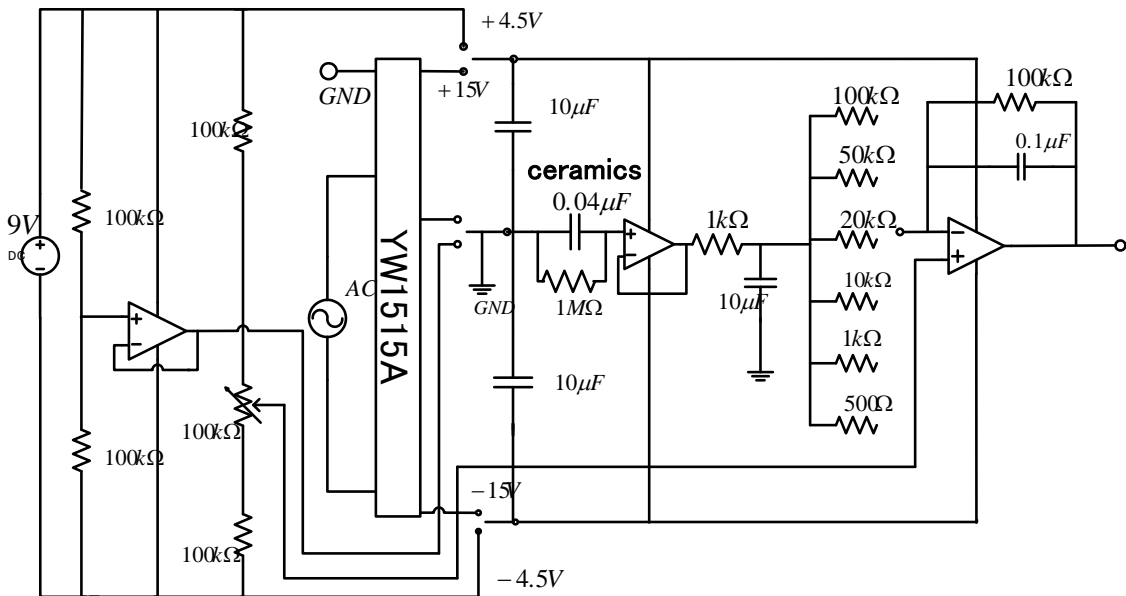


图 1 8 Circuitry for biomedical measurement

第6章 S/N 比

本論では，心拍のフーリエ変換結果の S/N 比を計算しデータ中にどれだけ心拍成分が含まれているかを調べる．S/N 比は以下の式で定義される．

$$S/Nratio = 20 \log(S_H / N_H)$$

ここで S_H はデータのピークスペクトラムのスペクトラム値， N_H はピークスペクトラム（基本波），第二高調波，第三高調波，第四高調波の各部分を除いた部分（ノイズ部分）のスペクトラムの平均値である．S/N 比の値が大きいほどデータ中の心拍の割合が多く，ノイズの割合が少ない．逆に値が小さくなるとデータ中の心拍の割合が少なく，ノイズの割合が多くなる．

第7章 計測装置の評価実験

7.1 実験目的

製作した計測装置でスピーカーからの振動を計測し、3つの装置を比較、評価する。

7.2 実験方法

図19のように計測装置の上にコンクリートの重りを乗せ、その上でスピーカーを振動させることで、その振動を計測する。シグナルジェネレータから1Hzのサイン波をスピーカーに出力し、センサに振動を与える。信号の大きさ(振幅)は2Vに固定する。コンクリートは7.5kg, 30kg, 45kg, 90kgの重量のものを使用した。振動を与えた時のセンサの電圧変化をサンプリング周波数100Hzで計測する。



図19 計測風景

7.3 計測結果

各重さの出力電圧とフーリエ変換した波形を比較した。ブリッジ型を青線，シート型を赤線，はめ込み型を緑線で示す。

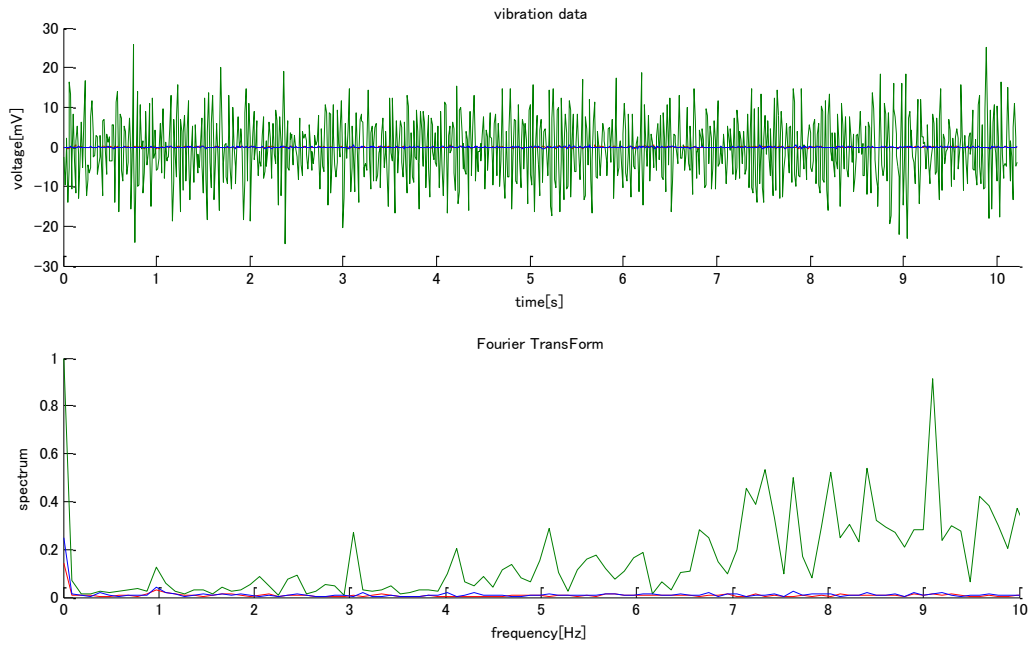


図20 重り 7.5kg

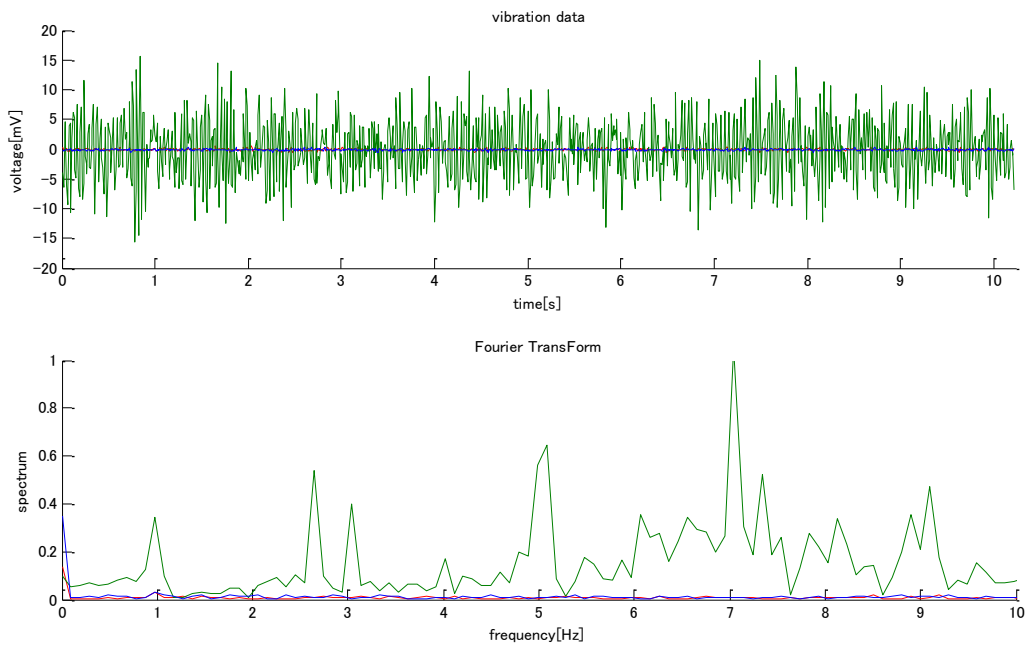


図21 重り 30kg

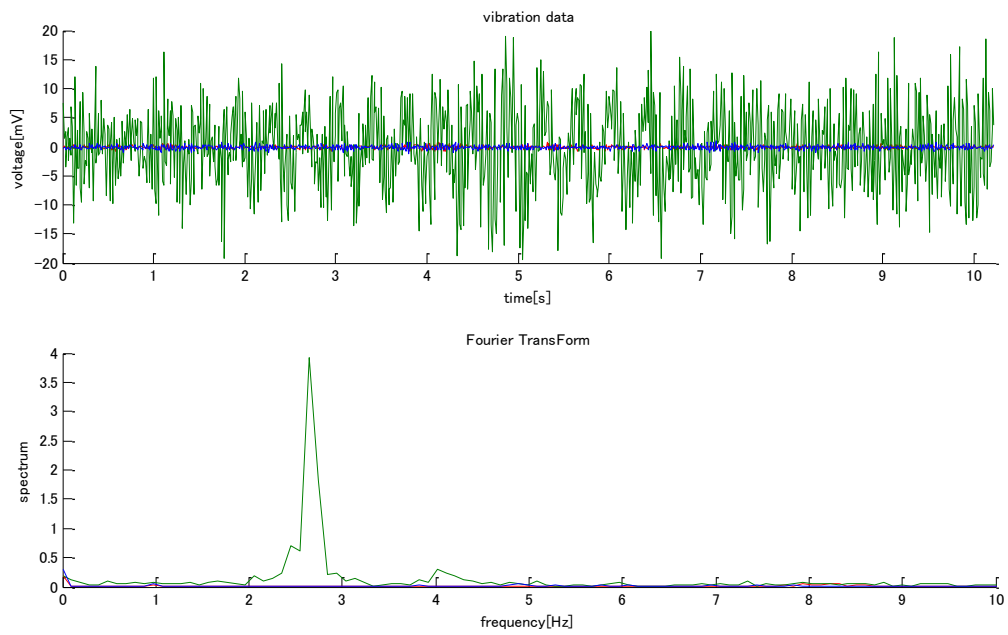


図 2 2 重り 45kg

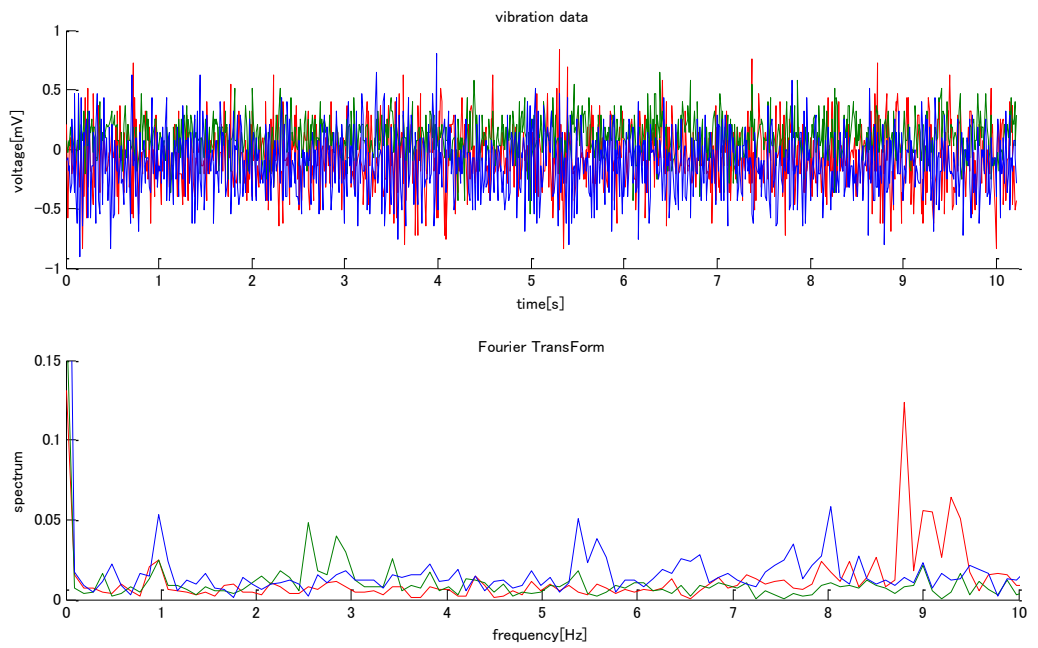


図 2 3 重り 90kg

7. 4 考察

はめ込み型の装置は他の装置に比べ感度がよく、フーリエ変換を施した波形を見ても重り 30kg までは基本波や高調波も計測できている。しかし重りが 45kg を超えると約 2.5Hz に高いスペクトラムが発生している。原因はコンクリートの固有振動が乗ってしまったためと考えられる。ブリッジ型はどの重さのコンクリートを乗せても安定して 1Hz の振動を計測することができた。シート型は最も感度が鈍いことがわかった。重り 90kg の波形を見ると出力電圧や FFT 波形のスペクトラム値は三種類ともあまり変わらないことが確認できる。

第8章 車両を用いたセンサ評価実験

8.1 実験目的

製作した計測装置を人が乗っている自動車の下に敷き、生体信号を計測できるか実験する。又、3つの装置を比較、評価する。

8.2 実験方法

図24のように自動車の後輪右タイヤを、予め設置したセンサの上に乗せさせた後、エンジンを切る。被験者はセンサからの距離が最も短い後部座席右側に座る。リファレンスとしてパルスオキシメータを用いて被験者の生体信号を計測する。サンプリング周波数は100Hzとする。また、それぞれの計測結果に対するS/N比を求める。計測情報の0~50Hzを対象とした。計測風景を図25に示す。

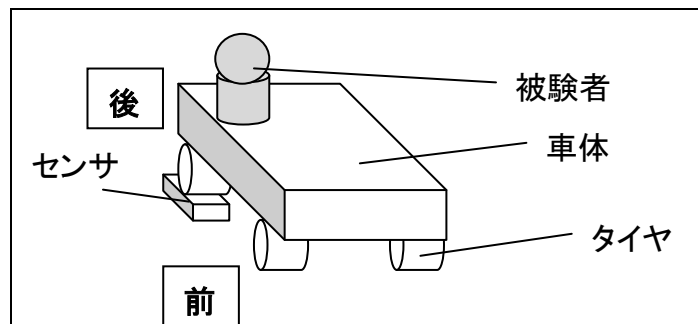


図24 センサ設置方法と被験者の位置



図25 計測風景

8.3 計測結果

ブリッジ型での計測結果を図26に、シート型での計測結果を図27に、はめ込み型での計測結果を図28に示す。また、被験者が車に乗っていない状態の計測結果を赤線でそれぞれ示す。

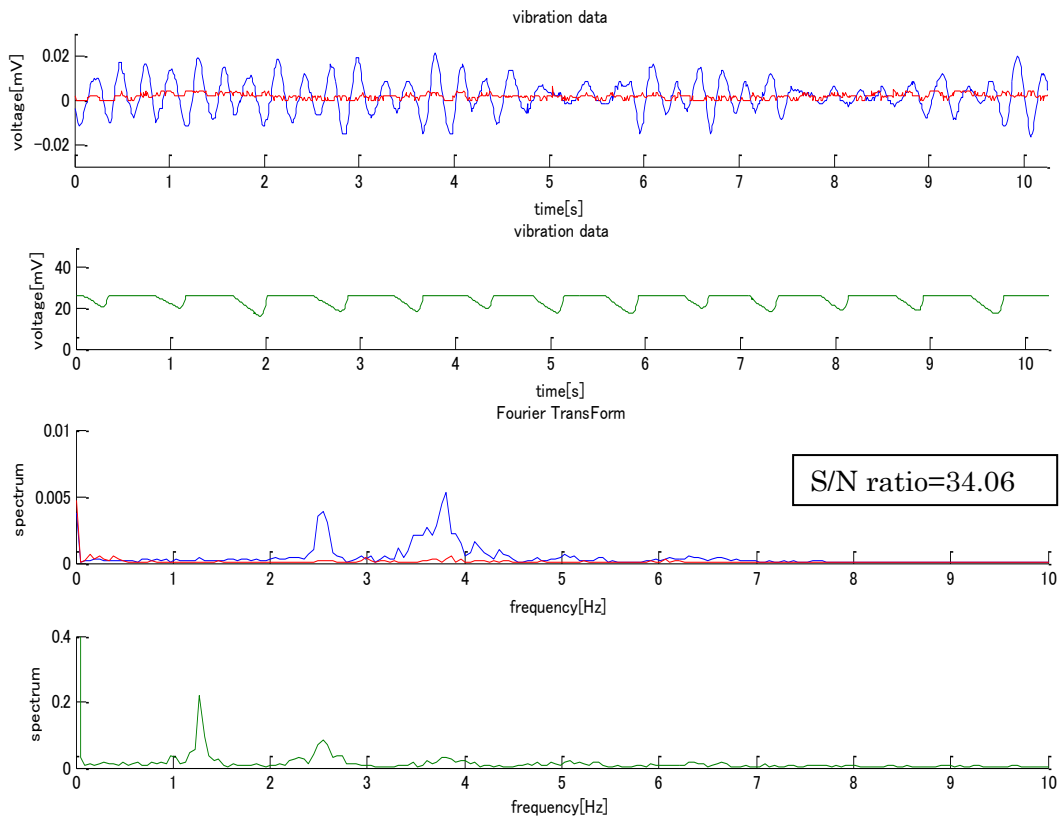


図26 ブリッジ型の計測結果

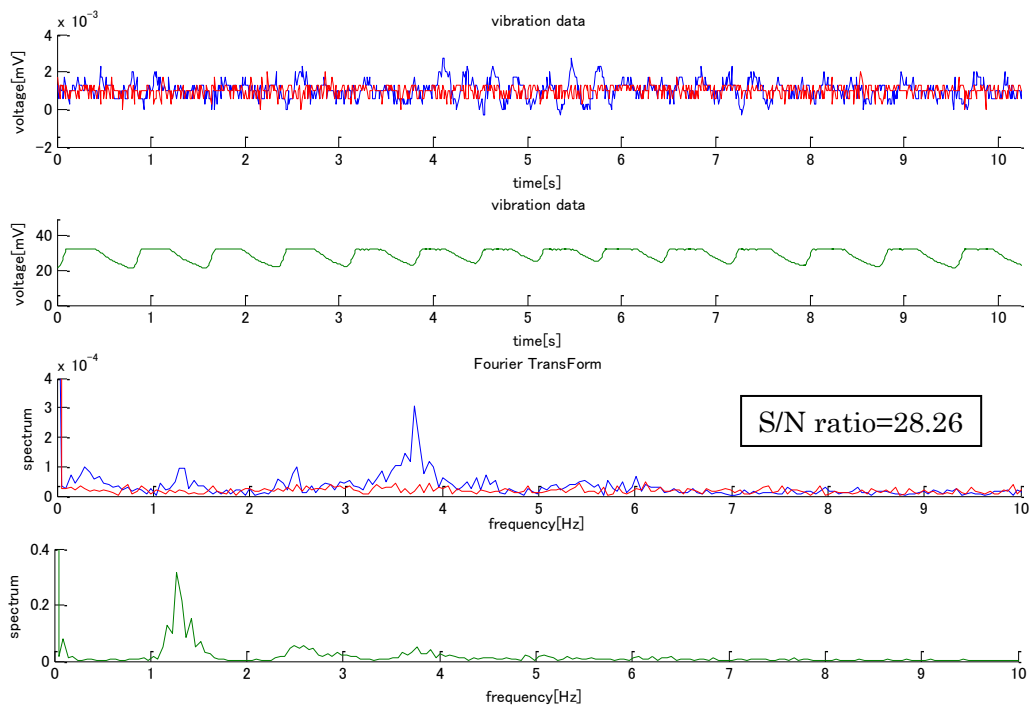


図 2 7 シート型の計測結果

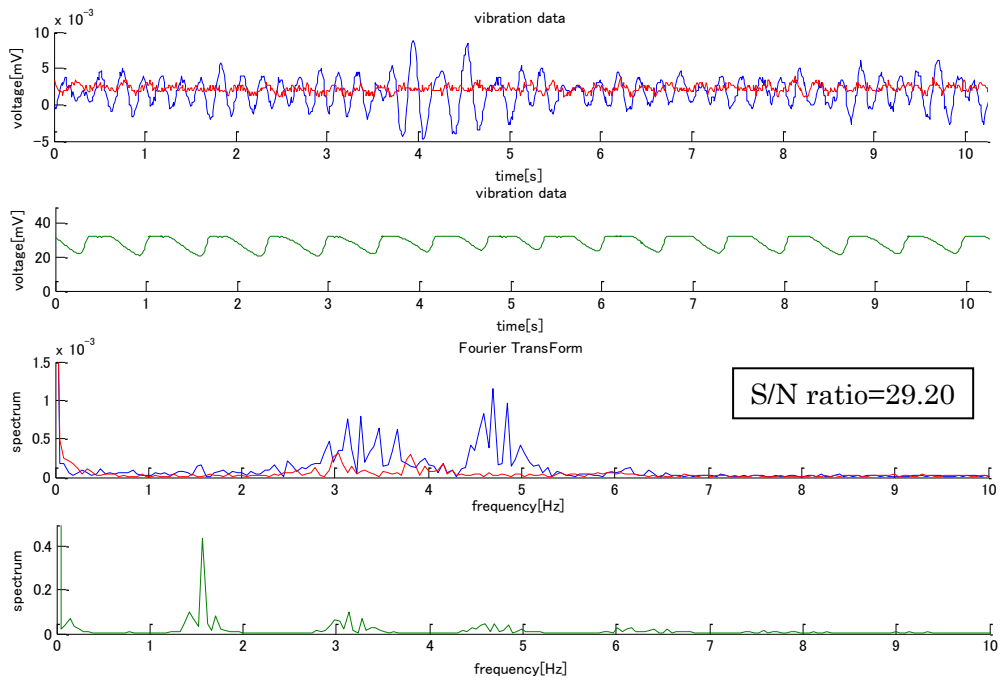


図 2 8 はめ込み型の計測結果

出力電圧と FFT の比較を図に示す。ブリッジ型が青線，シート型が赤線，はめ込み型が緑線で示す。

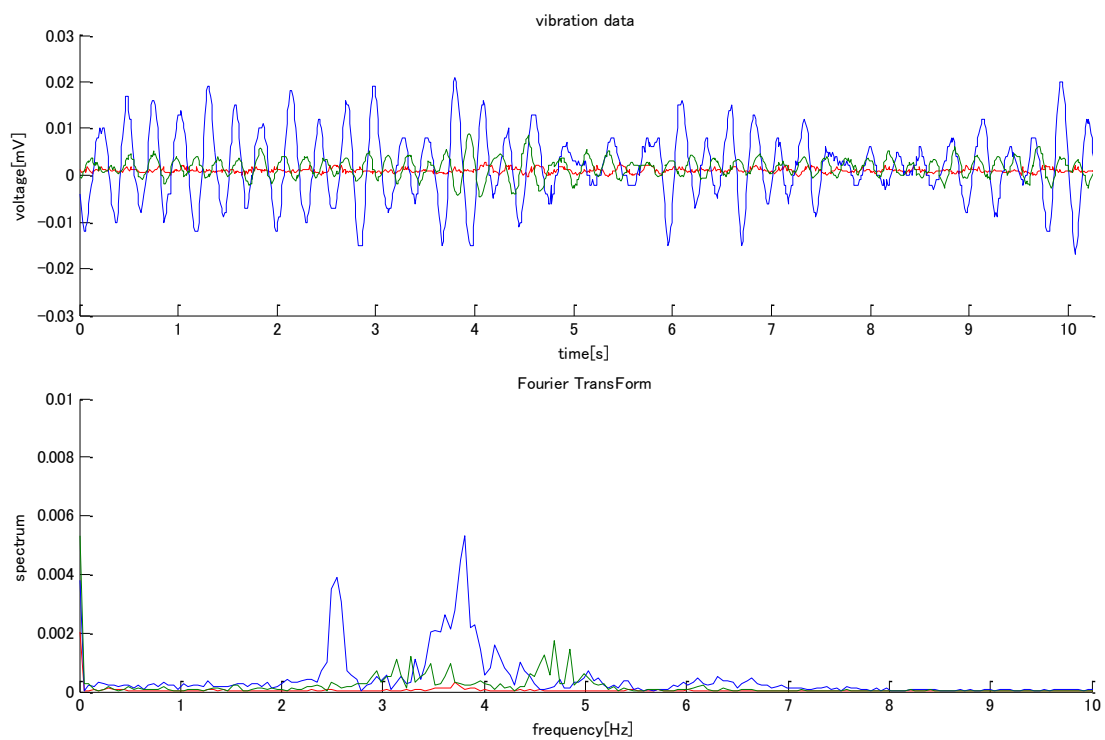


図 2 9 出力電圧と FFT の比較

8. 4 考察

実験結果の時間と出力電圧の関係を示した波形をみると、どの波形でも自動車に人間が乗っていない状態、乗っている状態の違いが波形に表れている。人間が乗っている状態では振幅が大きく、乗っていない状態では振幅が小さかった。違いが最もよく現れたのはブリッジ型であり、パルスオキシメータに同期した同形信号が確認できた。人間が乗っていない状態ではパルスオキシメータに同期した同形信号は確認できない。又、出力信号にはノイズが乗ることがあり、ノイズ波形の変化を容易に判断できないことがあった。

出力信号とパルスオキシメータの信号にフーリエ変換を施した波形をみると、どの計測装置でもパルスオキシメータで確認できる心拍信号の高調波が、顕著に表われている。心拍信号はパルス波であることから高調波が含まれていると考えられ、心拍信号を計測できたといえる。又、スペクトラム値に注目するとブリッジ型が最も高い値で高調波が表れている。逆に最も感度が悪かったのはシート型であった。そして基本波の割合が高いのはシート型の装置であることが確認できる。

S/N 比を比較すると、ブリッジ型が 34.06、シート型が 28.26、はめ込み型が 29.20 という結果になり、ブリッジ型が最もデータ中の心拍の割合が多く、ノイズが少ない。

総合して見ると、有人と無人の違いが顕著に表れ、S/N 比が最も高かったブリッジ型が自動車内の人間の生体信号を計測するのに適しているといえる。

第9章 終わりに

9.1 結論

自動車の下に計測装置を設置し，自動車に生じる振動を検出することができた．また自動車内に人間がいる環境下で計測した場合，生体信号を計測することができた．計測装置の中で，自動車内の人間の有無を判定する計測に最も適しているのはブリッジ型であることがわかった．

9.2 今後の課題

今後は計測装置をブリッジ型に絞り，様々な車種，環境下で実験を行う必要がある．また，更なる判定に適した計測装置を製作する．

参考文献

- 1) 渡辺嘉二郎, 真鍋宗広, 吉川崇: “脈波と体動による睡眠指標の定義と睡眠段階の推定”, 計測自動制御学会論文誌, vol.42, No.4, 404/410 (2006)
- 2) 渡辺嘉二郎, 渡辺春美: “睡眠中の心拍, 呼吸, イビキ, 体動及び咳の無侵襲計測”, 計測自動制御学会論文誌, vol35-8, 1012/1019 (1999)
- 3) 今井信臣, 山崎芳男: “圧電セラミック型心音センサの設計”, 日本音響学会誌 49 巻 9 号(1993)
- 4) 各種 EMFi センサ仕様書 ユーロプロテック株式会社
- 5) 圧電振動板 DC-5DSN4 製品仕様書 株式会社プリモ

付録

パルスオキシメータ「MIZONO DIGITAL MONITOR 30MB-1012」



Fig.1 Photos of MIZONO DIGITAL MONITOR 30MB-1012

本研究では計測結果が心拍であるか検証する手段としてパルスオキシメータである「MIZONO DIGITAL MONITOR 30MB-1012」を使用した。

パルスオキシメータはプローブを指先や耳などに付けて、無侵襲に脈拍数と経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO_2) をモニターするものである。「MIZONO DIGITAL MONITOR 30MB-1012」のプローブは発光部分とセンサで構成されている。発光部分は赤色光と赤外光を発し、これらの光が指先等を透過したものをセンサで計測する。

酸素を全身に運んでいるのは赤血球のヘモグロビンである。酸素と結びついた酸化ヘモグロビンが多いと、血液は鮮やかな赤色になる。つまり、酸素と結びついているか否かで血液の色(血液に吸収される光の波長)が異なる。

パルスオキシメータは、2つの波長(660nm, 940nm)の光を当てて、その吸収のされかたから、酸化ヘモグロビンの割合である SpO_2 (% : 血中酸素飽和度) を求めている。皮膚の下には動脈も静脈も毛細血管も流れ、動脈血だけの酸素飽和度を求めるために、拍動(パルス)に伴って変化する成分だけを取り出している。660nm と 940nm の2つの波長の光を血液に当てて、その吸収のされ方から酸化ヘモグロビンの割合を計算することにより、心拍を知ることができる。

この特性から、外部の光、特に太陽光に弱く、日の光の下では正確に測定することができない。今回の実験ではプローブを耳たぶにつけることで計測した。

KYENCE NR-2000



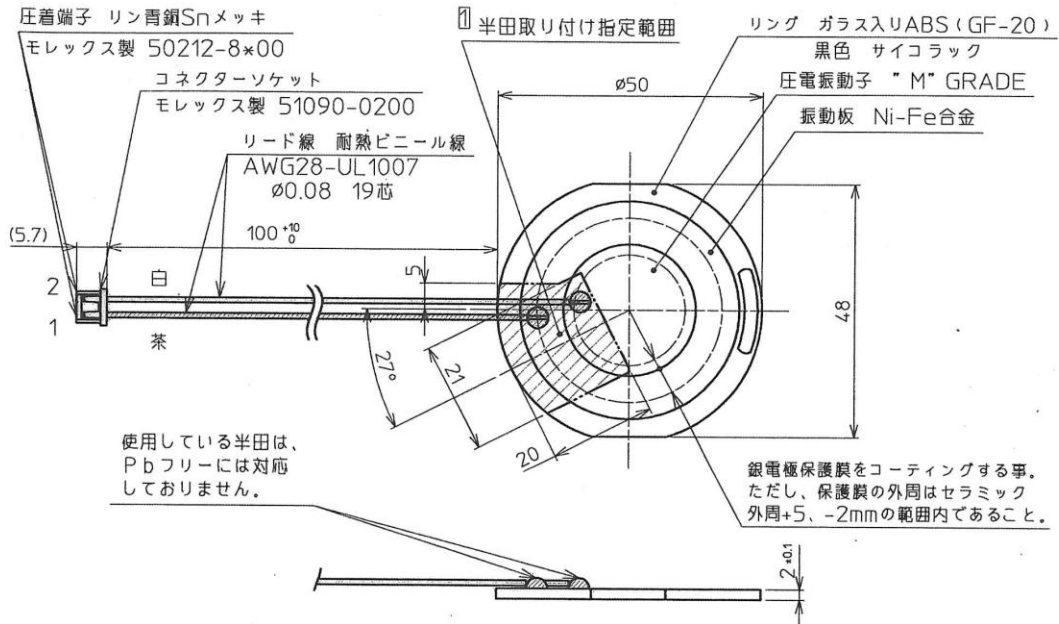
Photo.6 KYENCE NR-2000

本研究のデータ収集については Photo.6 に示す, KYENCE 社製の NR-2000 を用いた. このデータ収集システムは 400kHz の高速サンプリングであり, 28ch で計測可能という多入力 of データを同時に計測することにも優れ, A/D カードにはない 16bit の高分解能で解析が可能である.

圧電振動板 DC-5DSN4 仕様書

1. 適用範囲
2. 外観形状, 材質

本仕様書は圧電振動板DC-5DSN4に付いて適用する。



※注、電線がコーティングによりリングに固定される等、振動を阻害しないこと。

3. 電氣的性能

- | | |
|----------------|------------------------------------------|
| 3. 1 共振周波数 | : 0.75 kHz ± 0.1 kHz (at 1 kHz) |
| 3. 2 共振インピーダンス | : 2 kΩ 以下 |
| 3. 3 静電容量 | : 70 nF ± 30% (at 20°C, 120 Hz) |
| 3. 4 最大入力レベル | : 30 V p-p |
| 3. 5 音圧レベル | : 75 dB SPL 以上 (共振周波数 3 VRMS にて距離 10 cm) |
| 3. 6 絶縁抵抗 | : 10 MΩ 以上 (DC 50 V にて) |

4. 機械的性能

- | | |
|----------------|--------------------------------------------------------------------|
| 4. 1 リード線引張り強度 | : コネクターソケットを持ち、垂直方向に 3.92 N の静荷重を
1 分間加えた時、リード線及びその接合部分に異常のない事。 |
|----------------|--------------------------------------------------------------------|

5. 環境試験

	項目	条件	規格
1	温度試験	温度 $70 \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温槽中に96時間放置後取り出し、常温常湿中に1時間放置後測定する。その他、JIS C5022に準拠する。	2-1項は初期値の $\pm 10\%$ 以内 2-3項は初期値の $\pm 15\%$ 以内 その他、第2項、第3項を満足のこと。
2	低温試験	温度 $-30 \pm 3^\circ\text{C}$ 中に96時間放置後取り出し表面の水分をふきとり、常温常湿中に1時間放置後測定する。その他、JIS C5021に準拠する。	同上
3	温度サイクル	温度 -30°C (30分) $\rightarrow 20^\circ\text{C}$ (10分) $\rightarrow 70^\circ\text{C}$ (30分) $\rightarrow 20^\circ\text{C}$ (10分) これを5回繰り返す。その後、常温常湿中に1時間放置後測定する。その他、JIS C5030に準拠する。	同上
4	湿度試験	温度 $40^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $90 \sim 95\%$ 中に96 ± 4 時間放置後、常温常湿中に1時間放置後測定する。その他、JIS C5023に準拠する。	同上
5	振動試験	掃引の割合 $10 \sim 55 \sim 10 \text{ Hz/分}$ 、前振幅 1.5 mm 、XYZ方向に各2時間。その他、JIS C5025に準拠する。	同上
6	耐衝撃試験	加速度 735 m/S^2 (75G) 作用時間 6 msec 6面 $\times 3$ 回。その他、JIS C5026に準拠する。	同上、及び外観の変形がないこと。
7	塩水噴霧	温度 $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 、濃度 (重量比) $5 \pm 1\%$ で24時間連続噴霧。その他、JIS C5028に準拠する。	著しいサビ、変色がないこと。

6. 動作温度範囲・・・・・・・・・・ $-20^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$

7. 保存温度範囲・・・・・・・・・・ $-30^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$

謝辞

本研究を進めるに当たり、多大なるご指導をして頂いた、渡辺嘉二郎教授、小林一行准教授に深く感謝いたします。

また、この研究の同じ班である増山君、梅沢君、大貫君、共に実験などに協力してくれて感謝しています。班のリーダーである増山君、私がなんとか修了を迎えることができたのは君のおかげです。ありがとう。

共に修了を迎える修士二年の学友の皆様、及び後輩の皆様、日頃から支えてくれてありがとう。有意義な学生生活を送ることができました。

最後に、不自由なく大学院まで進学させてくれた両親に心より感謝します。