

搬送波発生回路のコイルを利用したFMワイヤレス渦電流式変位・振動センサの開発

安藤, 幹大 / ANDO, Mikihiro

(発行年 / Year)

2007-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2007-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2006 年度 修士論文

搬送波発生回路の
コイルを利用した
FM ワイヤレス渦電流式
変位・振動センサの開発

指導教授 渡辺嘉二郎 教授

大学院工学研究科
システム工学専攻修士課程

05R6105

アンドウミキヒロ

安藤幹大

**DEVELOPMENT OF WIRELESS
EDDY-CURRENT TYPE
DISPLACEMENT/VIBRATION SENSOR
BY USING THE INDUCTOR
OF THE CARRIER OSCILLATOR CIRCUIT**

Abstract

The non-contact displacement/vibration sensor operates on the eddy-current principle. High frequency current is supplied from the oscillatory circuit to the sensor coil. This produces magnetic flux, which is cut by the target, generating eddy-currents in at the target surface. These eddy-currents interact and change the sensor coil impedance. The impedance change is a function of target distance. The change in impedance can therefore be used to detect displacement of the target from the sensor coil. We develop an eddy-current type wireless sensor whose sensor coil is used as the inductor of the carrier oscillator circuit in the FM transmitter. Therefore, the received radio frequency signal includes the frequency deviation which results from sensor coil inductance changes.

Key Words: *eddy-current, wireless sensor, displacement sensor, vibration sensor*

目次

第1章 序論	4
1.1 序詞.....	4
1.2 本論文の構成.....	6
第2章 渦電流式変位・振動センサの仕組み	7
2.1 測定原理.....	7
2.2 測定方法.....	8
第3章 FM送信機の仕組み	11
3.1 FM変調理論.....	11
3.2 FM変調回路.....	12
第4章 提案するシステムの記述	13
4.1 FMワイヤレス渦電流式変位・振動センサ.....	13
4.2 FM受信機.....	15
第5章 実験	16
5.1 実験概要.....	16
5.2 実験装置.....	17
5.3 実験のシステム構成.....	20
5.4 実験結果.....	22
第6章 まとめ	31
引用文献.....	32
研究業績.....	33
謝辞.....	34

第1章 序論

1.1 序詞

高周波電流を流したコイルを導電性物体に近づけると、電磁誘導により導電性物体に渦電流が流れ、その渦電流により作られる磁束がコイルと鎖交するので、見かけ上のコイルのインピーダンスが変化する[1]。この原理を利用した変位・振動計が渦電流式非接触変位・振動計である。

インピーダンス変化を検出する手法の一つに発振法がある。この手法は検出コイルと共振コンデンサにより LC 共振回路を構成し、コイルと導電性物体との距離の変化によるインダクタンス変化に対応する発振周波数の変化を検出して距離を計測する方法である(詳細は2章)。

本研究では、発振法を応用し、この LC 共振回路を FM 送信機の搬送波発生回路として使用することで、発振周波数の変化を FM 受信機で検出して距離を計測する FM ワイヤレスセンサシステムを提案する。具体的には搬送波発生回路のコイルを渦電流式変位・振動センサとして使用し、コイルと導電性物体との距離の変化によるインダクタンス変化に対応する発振周波数の変化を利用することにより、明示的に変調を行うことなく測定距離に応じて FM 変調された FM 波を出力させる FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサを開発する。

あくまでセンサと送信機で構成されるモジュールに限定する話だが、提案するシステムを物理量の変換という視点で見た場合、一般的に機械振動の情報を FM 波で飛ばそうとすると、変位センサなどを使用して機械振動を電圧値に変換した後、可変リアクタンス素子などを使用して電圧値を搬送波発生回路のリアクタンス値に変換する必要がある。しかし、本研究では搬送波発生回路のコイルを渦電流式変位・振動センサとして使用することで搬送波発生回路のインダクタンス値を直接変化させるため、一般的な手法より物理量の変換回数が少ない(図1参照)。従って、無線型の変位・振動センサが必要な限定された使用環境においては一般的な手法に比べ、センサ・送信機モジュール回路の簡略化、低コスト化、省電力化が期待できるのである。

本研究では、上記の提案する FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサを試作し、実証実験を実施した。その結果、提案する FM ワイヤレスセンサシステムによって変位・振動を検出できることを確認した。

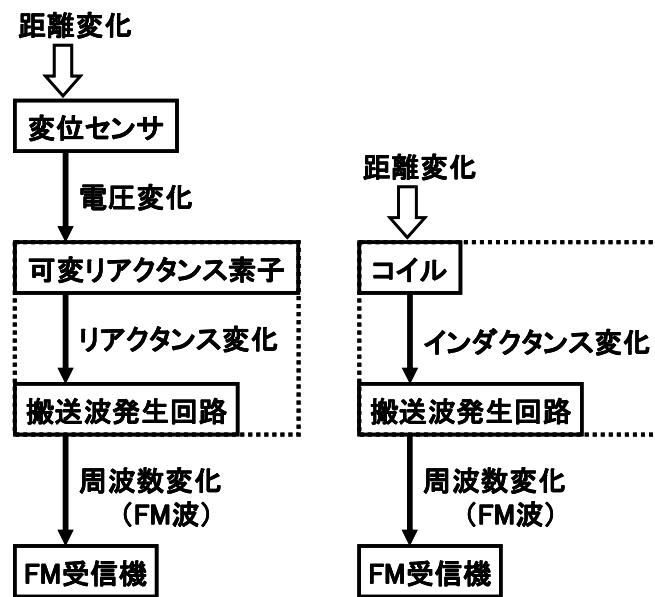


図1 一般的な手法と提案するシステムの物理量の変換回数の違い

1. 2 本論文の構成

第 1 章 **序論**では、本論文の意義と目的、構成について述べる。

第 2 章 **渦電流式変位・振動センサの仕組み**では、渦電流式変位・振動センサの測定原理と測定方法の種類について述べる。

第 3 章 **FM 送信機の仕組み**では、FM 変調の理論と、簡易な FM 送信機の回路構成について述べる。

第 4 章 **提案するシステムの記述**では、本論で提案する FM ワイヤレスセンサシステムの FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサの回路構成と FM 受信機について述べる。

第 5 章 **実験**では、提案するシステムを評価する実験方法と、その結果について述べる。

第 6 章 **まとめ**では、本研究についての結論を述べる。

第2章 渦電流式変位・振動センサの仕組み

2.1 測定原理[1]

高周波電流を流したコイルを導電性物体に近づけると、電磁誘導により物体に渦電流が流れ、その渦電流により作られる磁束がコイルと鎖交するので、見かけ上のコイルのインピーダンスが変化する。図2の様に無限に広い板状の導電体にコイルを対向させた場合のコイルのインピーダンス Z は(1)式のような関数で表されることがわかっている。

$$Z = Z(\mu, \kappa, \omega, f, l, a_1, a_2, l_0, n, I) \quad (1)$$

μ は導電体の透磁率、 κ は導電体の導電率、 ω は導電体の厚さ、 f は高周波電流の周波数、 l は導電体とコイルとの距離、 a_1, a_2, l_0 は、それぞれコイルの内径、外径、長さ、 n はコイル巻数、 I は励磁電流である。

ここで、導電体の μ, κ, ω の変化がなく、コイルの形状、励磁電流の大きさ、周波数はあらかじめ決定されたとすると、 Z は導電体とコイルの間の距離 l のみで決定されることになる。逆に Z を計測すれば l がわかり、変位センサとして使用できることになる。

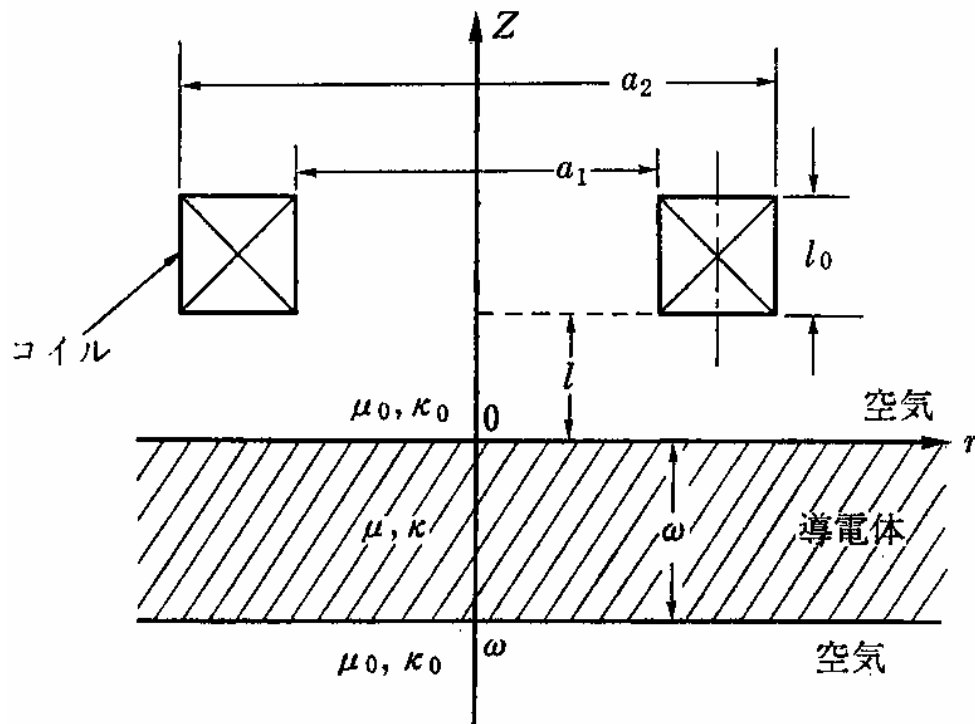


図2 コイル・導電体系の解析モデル

2. 2 測定方法[1][2]

l を測定するためには Z を測定しなければならないが, Z の測定方法として発振法,同調法,ブリッジ法,正帰還法がある.いずれも一長一短があり,どちらが優れているとは一概に言えない.

発振法(図 3 参照)は,検出コイルと共振コンデンサにより LC 共振回路を構成し,コイルと導電性物体との距離の変化によるインダクタンス変化に対応する発振周波数の変化を検出して l を計測する方法である.

同調法(図 4 参照)は,一定周波数で検出コイルを励振し,同調増幅器と AM 検波器により振幅検出を行い,出力の変化を検出して l を計測する方法である.

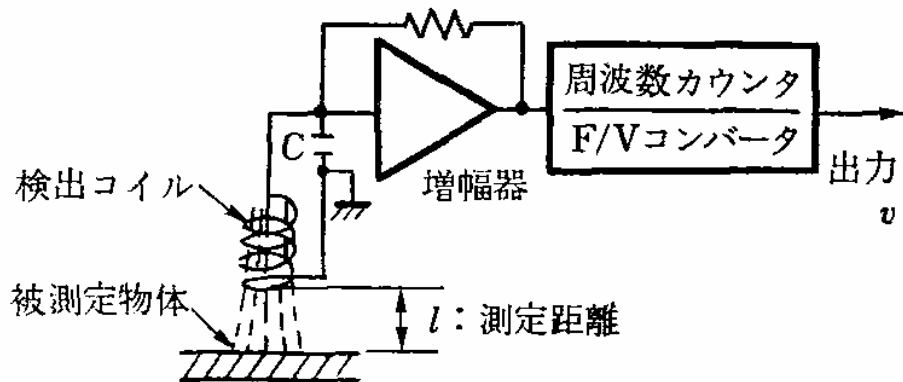


図 3 発振法を用いた渦電流式変位・振動センサ

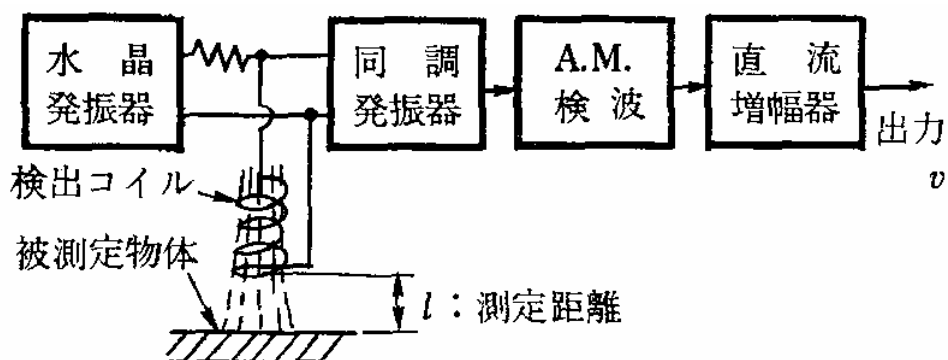


図 4 同調法を用いた渦電流式変位・振動センサ

ブリッジ法(図 5 参照)は,検出コイルと基準コイルでブリッジを構成し,ブリッジの不平衡電圧を検出することにより l を検出する方法である.

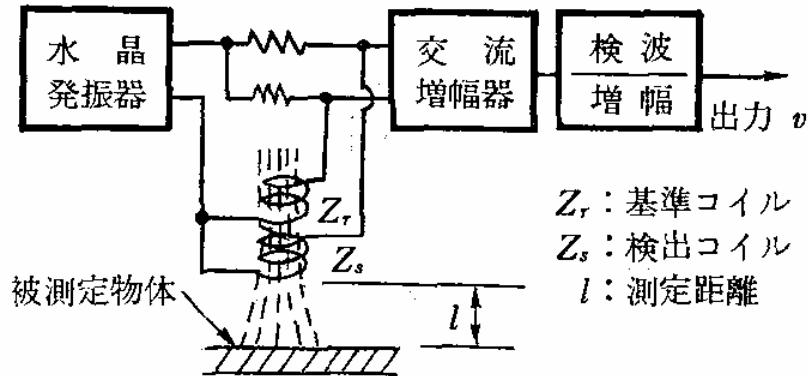


図 5 ブリッジ法を用いた渦電流式変位・振動センサ

Z の l に対する変化率は, l の増大と共にほぼ指数関数的に減少するので,これらの方法では, l が小さな範囲では測定が可能であるが, l が大きくなると Z の変化が分解能以下となり測定が不能になる.

図 6 に $|Z|$ の計算結果の一例を示す.このように,これらの方法においては,測定範囲に制限があり,ほぼコイル直径の 0.7~1.0 倍の範囲が限界である.

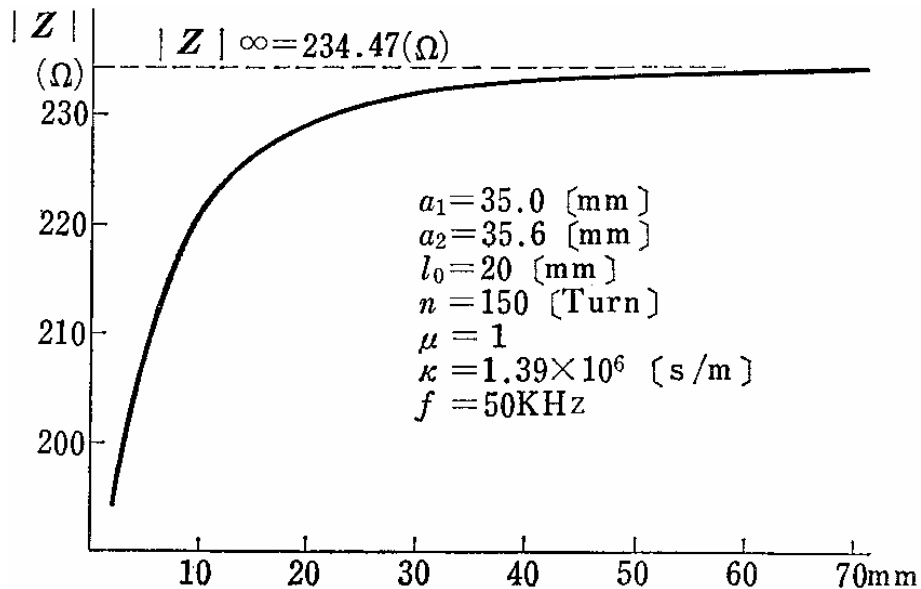


図 6 コイルインピーダンス変化の計算例

一方,正帰還法(図7参照)は,交流増幅器の出力を基準コイルと検出コイルで分割し,正帰還をかける方法で,測定範囲がコイル直径の3~10倍も可能である.しかし,外部ノイズを拾いやすい.

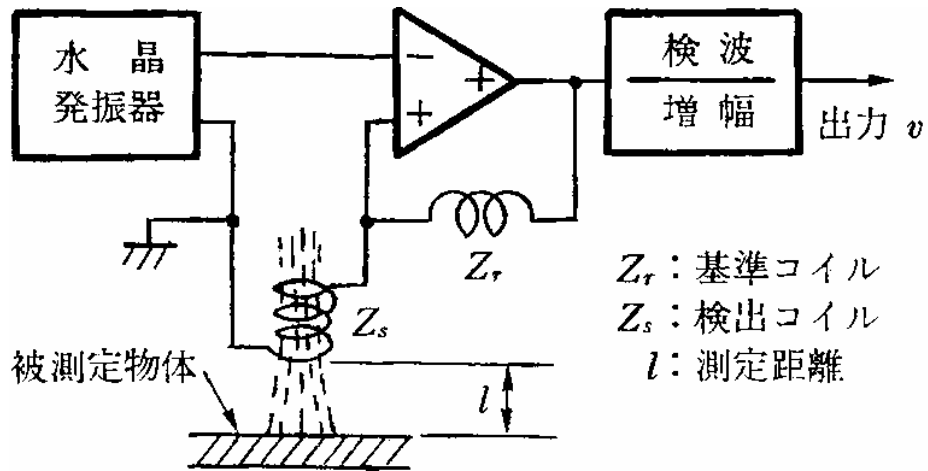


図7 正帰還法を用いた渦電流式変位・振動センサ

いずれの方式も Z の l に対する変化率は, l の増大と共にほぼ指数関数的に減少してしまうので,リニア出力タイプのセンサの場合は,変位に対する出力の変化に直線性をもたせるリニア回路がセンサと出力の間に使用されている.

第3章 FM 送信機の仕組み

3.1 FM 変調理論[3]

FM 変調は搬送波の周波数を信号波で変化させる方式である。ここでは搬送波の電圧と周波数をそれぞれ v_c, f_c , 信号波の電圧と周波数を v_s, f_s とする。わかりやすいように信号波を単一周波数の正弦波交流とし、搬送波 v_c と信号波 v_s を次式のように表す。

$$v_c = V_c \sin(2\pi f_c t) \quad [\text{V}] \quad (2)$$

$$v_s = V_s \sin(2\pi f_s t) \quad [\text{V}] \quad (3)$$

FM 波の周波数 f は搬送波の周波数を信号波によって変化させたものなので

$$f = f_c + kV_s \sin(2\pi f_s t) \quad [\text{Hz}] \quad (4)$$

となる。ただし k は比例定数。これら搬送波, 信号波, FM 波の波形を図 8 に示した。

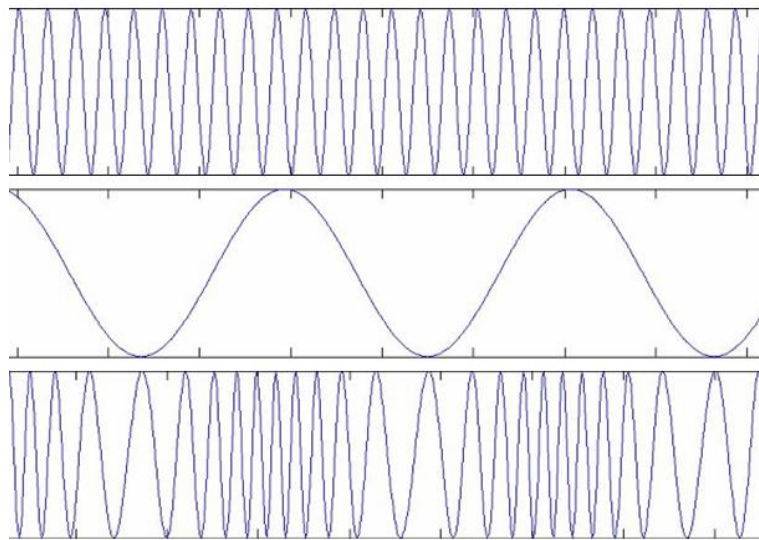


図 8 搬送波, 信号波, FM 波の波形

3. 2 FM 変調回路

FM 送信機の変調回路には様々な種類が存在するが,その中でもインダクタンストランジスタを使用する簡易な方法を紹介する.インダクタンストランジスタとはトランジスタのベース—エミッタ間に加える電圧によってコレクター—エミッタ間のインダクタンスが変化するものである.図9のトランジスタ(2SC1815)の様にトランジスタのコレクター—ベース間に抵抗,ベース—エミッタ間にコンデンサを接続することによりトランジスタはインダクタンストランジスタとして機能するのである.

従って,搬送波を生成する搬送波発生回路にインダクタンストランジスタを加えることにより,図9の signal 端子に加える信号波の電圧変化で搬送波の周波数を変化させることができるのである.

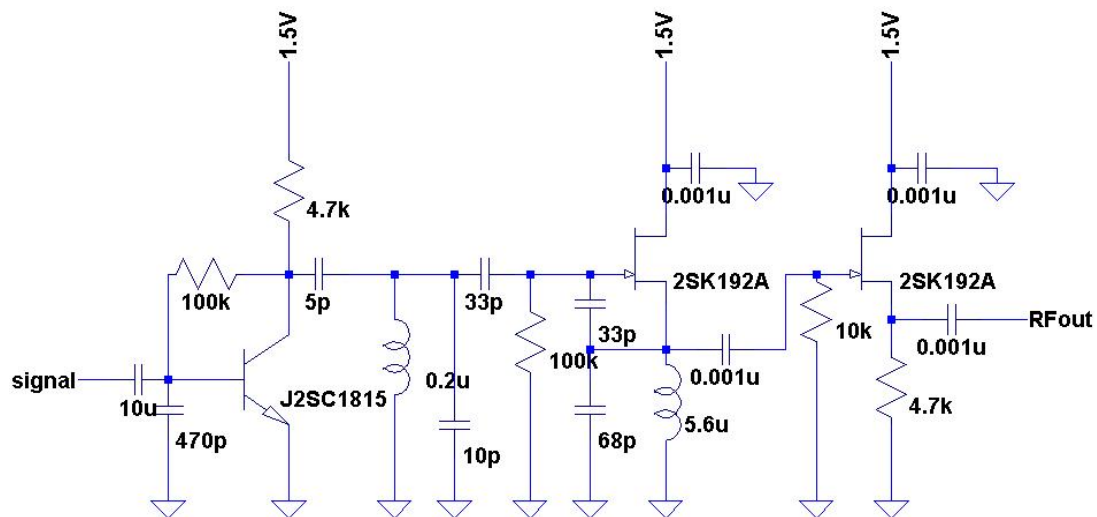


図9 簡易な FM 送信機の変調回路と搬送波発生回路

第4章 提案するシステムの記述

4.1 FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサ

本論で提案する送信機は信号波を入力する必要が無いので図9の回路の変調部分を省いた搬送波発生回路のみを使用する(図10参照).そして図10の左下のコイルを渦電流式変位・振動センサとして使用する.

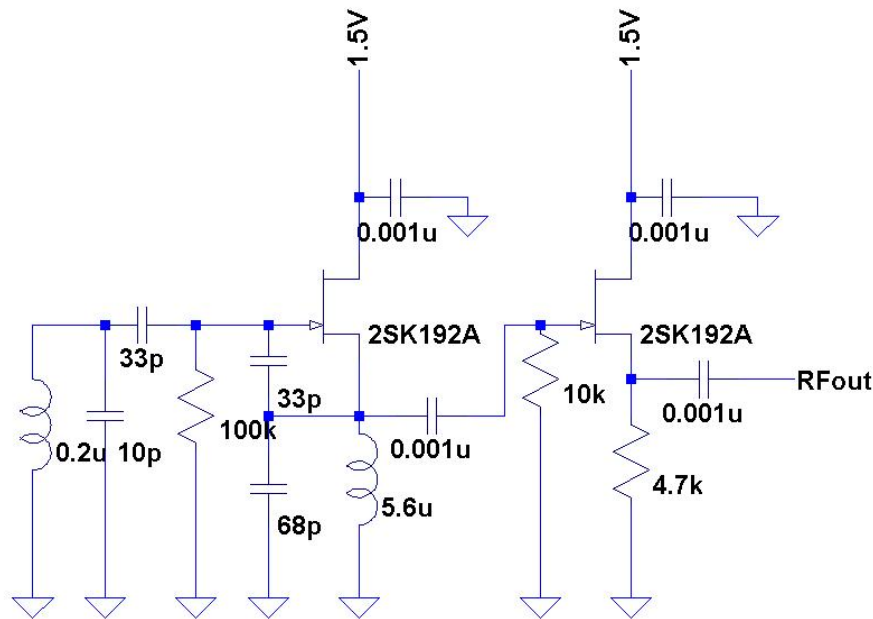


図10 変調素子の無い搬送波発生回路

この搬送波発生回路から出力されるFM波の周波数 f を数式で表す. 搬送波の周波数を f_c とすると, 被測定物体が初期位置で静止している時は(5)式のようなになる.

$$f = f_c \text{ [Hz]} \quad (5)$$

f_c は回路全体の合成インダクタンスを L , 合成容量を C とすると, (6)式に示す通り L と C で表される. この式はLC共振周波数そのものである.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz]} \quad (6)$$

そして、被測定物体が初期位置から移動した時のFM波の周波数 f は、コイルと被測定物体との距離の変化によるインダクタンス変化を ΔL 、それに対応する周波数変化を Δf_c とすると(7)式のようなになる。

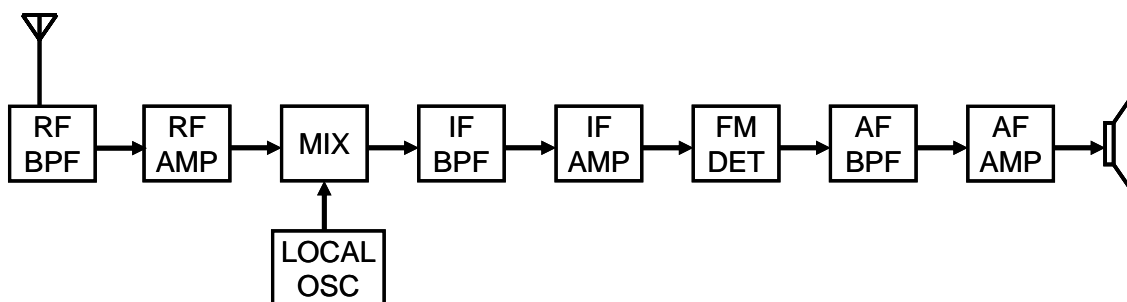
$$f = f_c + \Delta f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L - \Delta L)C}} \text{ [Hz]} \quad (7)$$

(5)式, (6)式より, この搬送波発生回路から出力されるFM波は機械振動の無い時に復調すると出力は 0[V]になる。また, (7)式より, 機械振動が加わった時に復調すると機械振動に対応した復調信号が現れることがわかる。

4. 2 FM 受信機

FM 受信機の選定は本システムが正確に変位・振動を計測できるかを大きく左右する。図 11 に一般的な FM 受信機の構成図を示した [4]。このように FM 波は復調される過程で様々な処理がなされるので、計測したい振動の周波数帯に適した FM 受信機を選ばなければならない。

本システムで使用するべき FM 受信機は、FM 受信機が復調可能な復調信号の周波数帯が被測定物体の機械振動の周波数帯をカバーしている必要がある。また、その周波数帯における出力の周波数特性と、周波数偏移—復調出力電圧特性を把握することができれば逆算して、FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサからの正確な生信号を把握することが可能である。



RF BPF (radio frequency band-pass filter)

RF AMP (radio frequency amplifier)

MIX (frequency mixer)

LOCAL OSC (local oscillator)

IF BPF (intermediate band-pass filter)

IF AMP (intermediate frequency amplifier)

FM DET (FM detector)

AF BPF (audio band-pass filter)

AF AMP (audio frequency amplifier)

図 11 一般的な FM 受信機のブロック図

第5章 実験

5.1 実験概要

本システムを評価する為,加振機にアルミ箔を貼った物を被測定物体とし,既存の渦電流式変位・振動センサの出力電圧波形と本システムの出力電圧波形とを比較する.また,それぞれの周波数特性を出して比較する.

但し,比較する2つのシステムは両方とも渦電流式であり,同時に同じ場所を測定すると相互干渉を起こすので同じ場所を2回に分けて実験した.

また,FM 受信機はオーディオ用の物を使用したので復調可能な周波数は可聴周波数帯(約20~20k[Hz])に限られる.従って加振機を可聴周波数帯の周波数で振動させて実験することにした.

5. 2 実験装置

5. 2. 1 FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサ

図 10 の回路図通りに製作した FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサを図 12 に示す。送信周波数は約 79[Hz]。また、図 13 のように渦電流式変位・振動センサとして使用する部分のコイルはケースの外に引き出した。

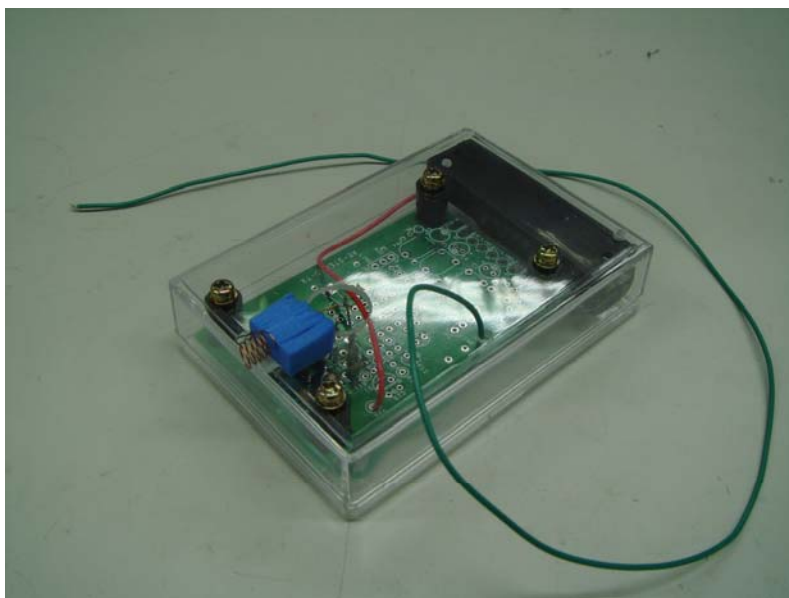


図 12 製作した FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサ

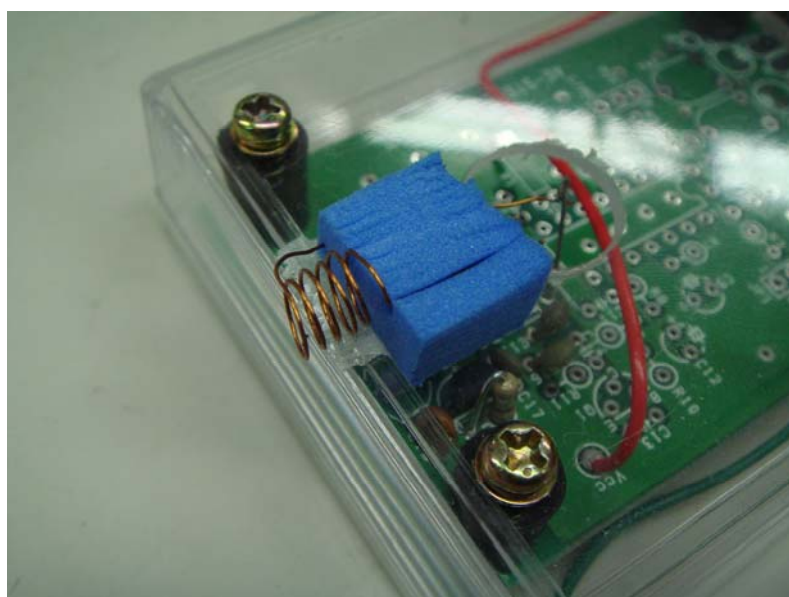


図 13 渦電流式変位・振動センサに使用するコイル

5. 2. 2 FM 受信機

今回は,可聴周波数帯しか復調できないが,手に入りやすいCDコンポ(aiwa製 XG-E3)に内蔵しているオーディオ用のFM受信機を使用することにした(図14参照).



図14 FM受信機内蔵CDコンポ

5. 2. 3 被測定物体

コーン形フルレンジスピーカ(Fostex製 FF165K)を内蔵したジェピコ製の加振機のネットにアルミ箔を貼り付けたものを使用(図15参照).



図15 アルミ箔を貼り付けた加振機

5. 2. 4 既存の渦電流式変位・振動センサ

本システムの比較対象として既存の渦電流式変位・振動センサ(新川電機製 VC-202N)を使用した(図 16 参照).なお,このセンサは変位に対して電圧が線形的に出力されるリニア回路内臓である.



図 16 既存の渦電流式変位・振動センサ

5.3 実験のシステム構成

提案する FM ワイヤレスセンサシステムの実験の構成図を図 17 に示す。図 17 の様にファンクションジェネレータから可聴周波数帯の正弦波を加振機に与え、FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサが送信した加振機の振動情報を FM 受信機で受信し、受信機のスピーカ出力をオシロスコープで計測する。

また、図 18 に示すように実験の際、FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサがノイズの影響を受けないようにセンサに使用するコイル以外をアルミ箔で包んで簡単なシールドを施した。

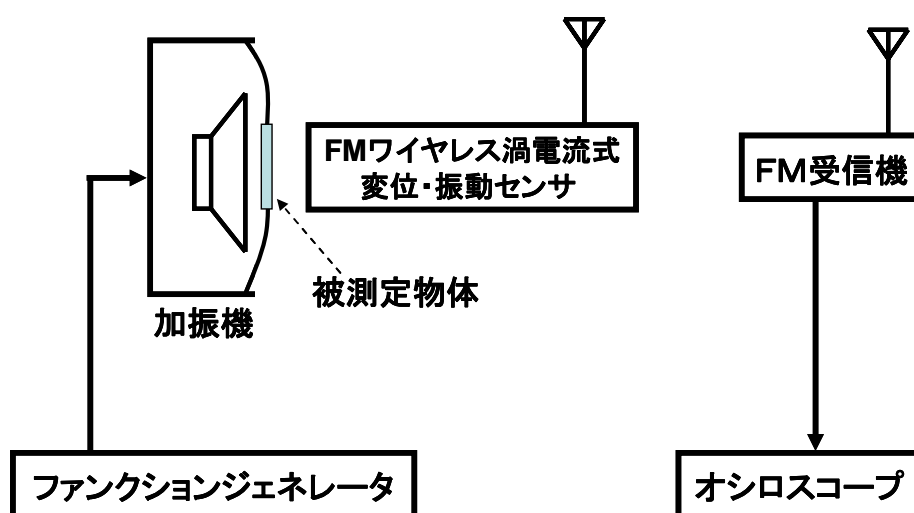


図 17 FM ワイヤレスセンサシステムの実験の構成図



図 18 シールドを施した FM ワイヤレス渦電流式変位・振動センサ

次に FM ワイヤレスセンサシステムを比較評価する為の実験である,既存の渦電流式変位・振動センサを使用した実験の構成図を図 19 に示す.

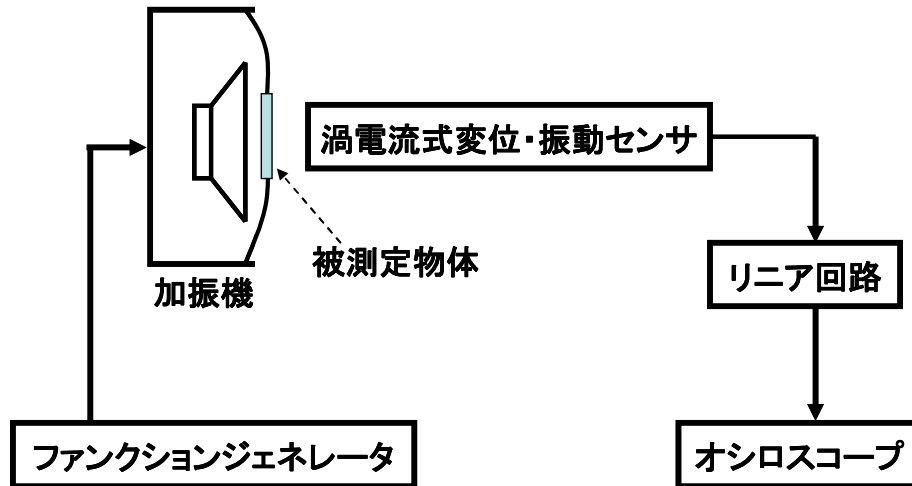


図 19 比較評価の為の実験のシステム構成図

5. 4 実験結果

既存の渦電流式変位・振動センサを使用した実験と、提案した FM ワイヤレスセンサシステムの実験を行い、それぞれファンクションジェネレータから加振機に 20~2k[Hz]の正弦波を加えた時の各周波数のオシロスコープの波形を図 20~図 59 に示す。なお、高い周波数では加振機の振幅が十分に得られなかった為、200[Hz]以上の実験ではファンクションジェネレータの出力ゲインを一律に上げてある。また、両方の実験の出力電圧の周波数特性と、その誤差を図 60,図 61 に示した。

図 20~図 23 を見て分かる通り FM ワイヤレスセンサシステムは既存の渦電流式変位・振動センサと比べて 20[Hz]付近の波形がはっきりと出ていない。原因として、使用した FM 受信機の AF BPF が 20[Hz]辺りの信号まで減衰させてしまっていることが考えられる。

しかし、図 24~図 57 の波形を見て分かる通り 2つの実験はほぼ同じ波形といえる。2k[Hz]以上の振動については、加振機の振幅が小さすぎて既存の渦電流式変位・振動センサ、FM ワイヤレスセンサシステムの両方とも変位・振動を計測することは出来なかった(図 58,図 59 参照)。

また、図 60 の周波数特性はオシロスコープの波形同様、20[Hz]付近以外の特性は既存の渦電流式変位・振動センサと似たような特性が得られた。完全に同じ特性が得られなかった原因は、既存の渦電流式変位・振動センサにリニア回路が内蔵されていること、使用した加振機の再現性が悪く、毎回同じ振幅で振動しないこと、使用した FM 受信機のスピーカ出力の周波数特性が可聴周波数帯においてもフラットでない事などが挙げられる。

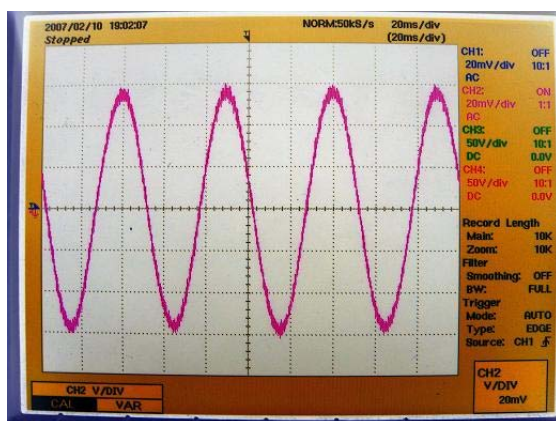


図 20 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 20[Hz] (20ms/div-20mV/div)

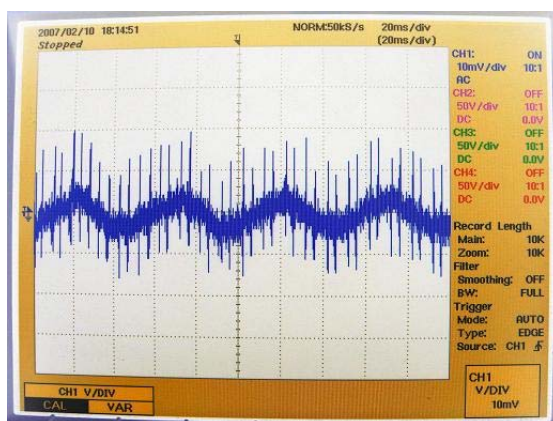


図 21 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 20[Hz] (20ms/div-10mV/div)

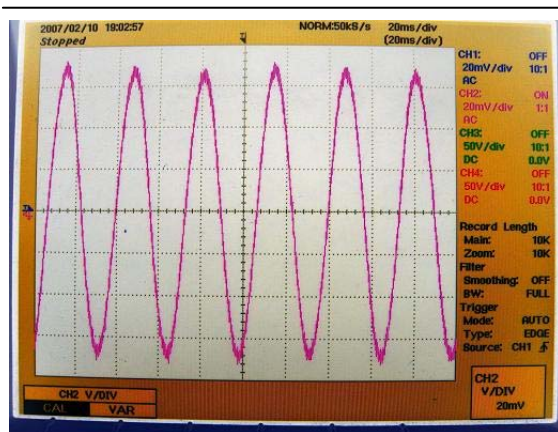


図 22 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 30[Hz] (20ms/div-20mV/div)

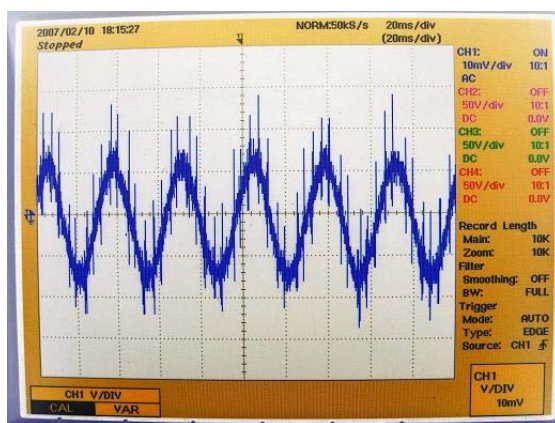


図 23 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 30[Hz] (20ms/div-10mV/div)

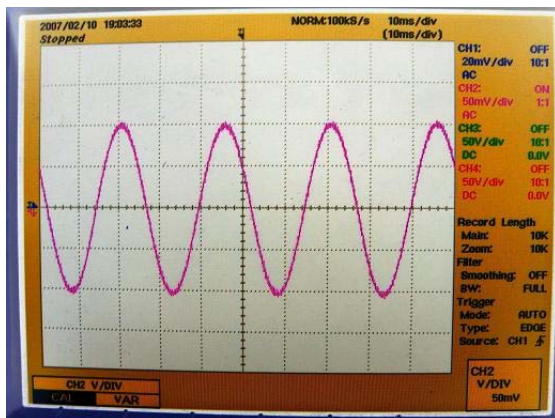


図 24 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 40[Hz] (10ms/div-50mV/div)

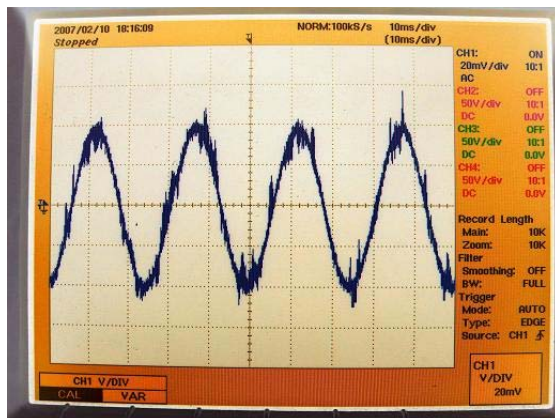


図 25 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 40[Hz] (10ms/div-20mV/div)

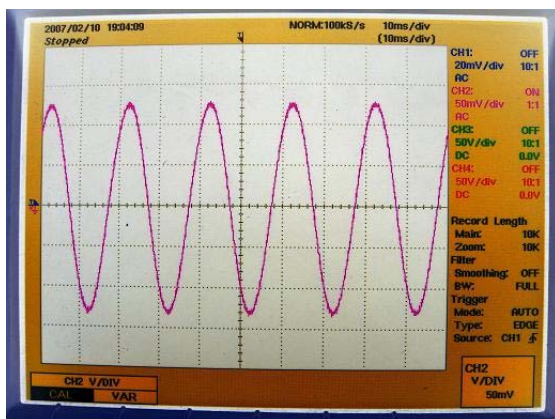


図 26 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 50[Hz] (10ms/div-50mV/div)

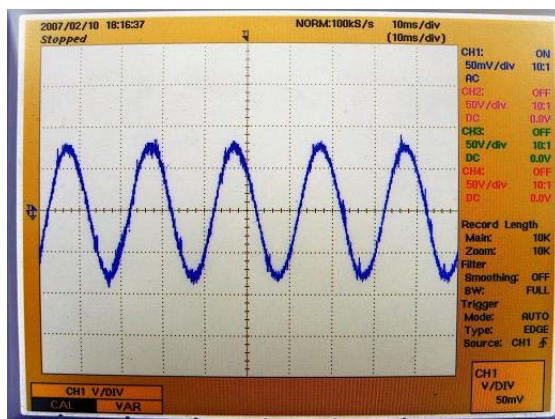


図 27 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 50[Hz] (10ms/div-50mV/div)

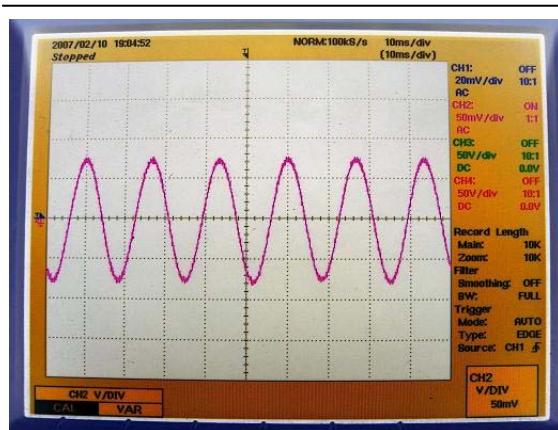


図 28 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 60[Hz] (10ms/div-50mV/div)

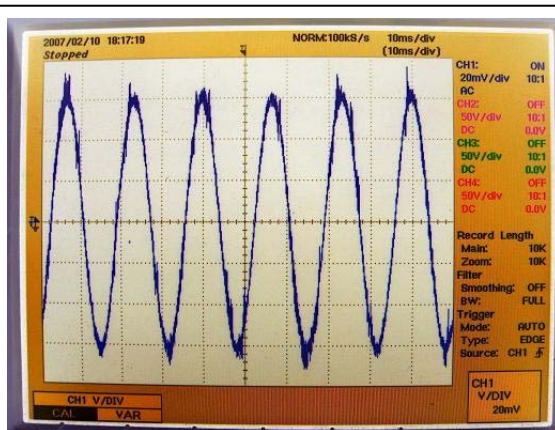


図 29 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 60[Hz] (10ms/div-20mV/div)

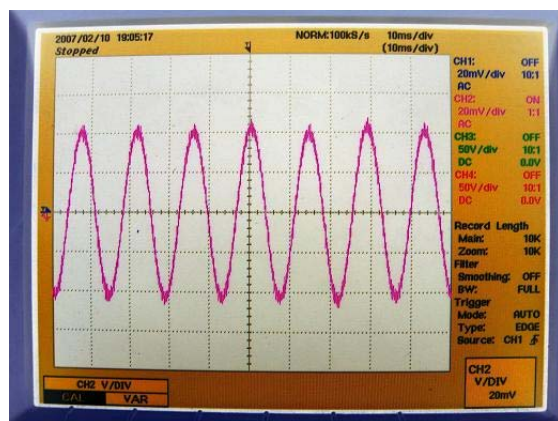


図 30 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 70[Hz] (10ms/div-20mV/div)

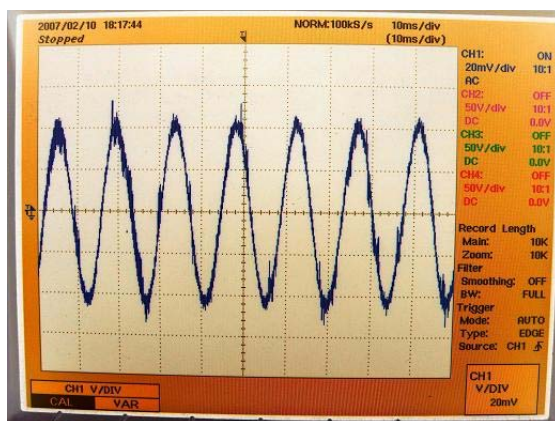


図 31 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 70[Hz] (10ms/div-20mV/div)

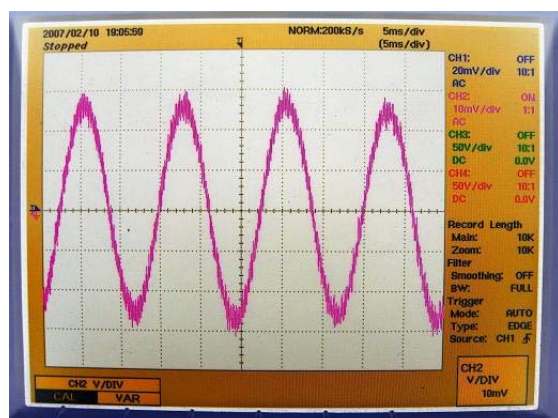


図 32 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 80[Hz] (5ms/div-10mV/div)

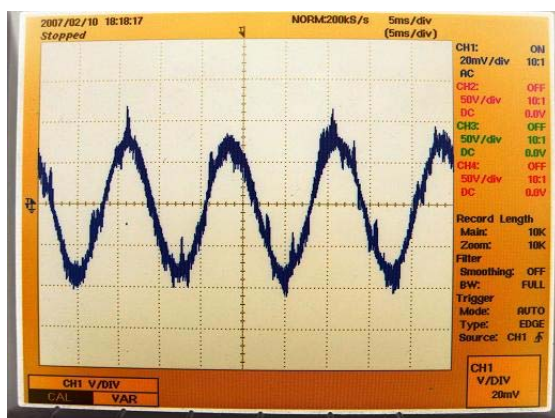


図 33 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 80[Hz] (5ms/div-20mV/div)

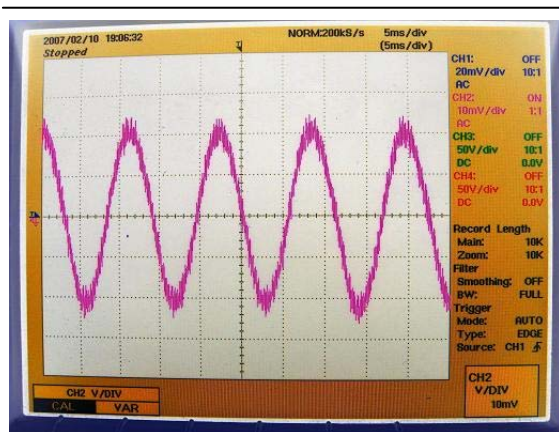


図 34 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 90[Hz] (5ms/div-10mV/div)

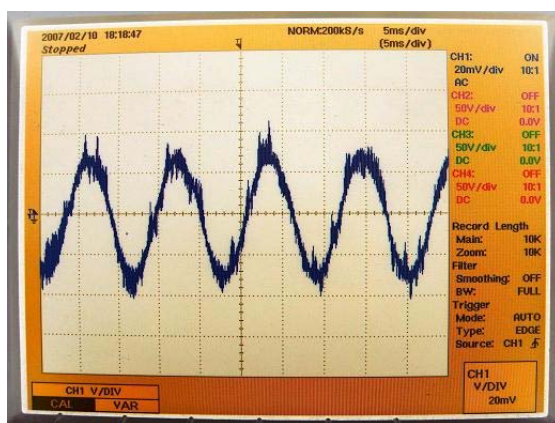


図 35 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 90[Hz] (5ms/div-20mV/div)

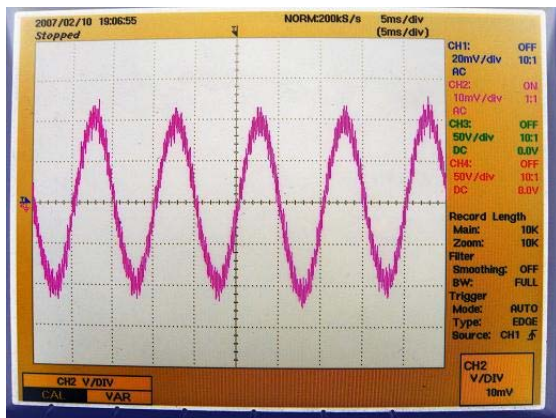


図 36 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 100[Hz] (5ms/div-10mV/div)

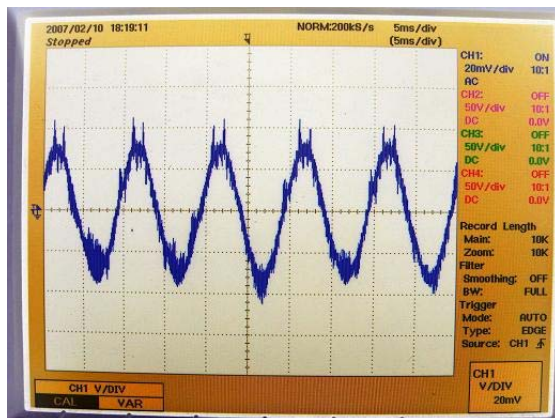


図 37 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 100[Hz] (5ms/div-20mV/div)

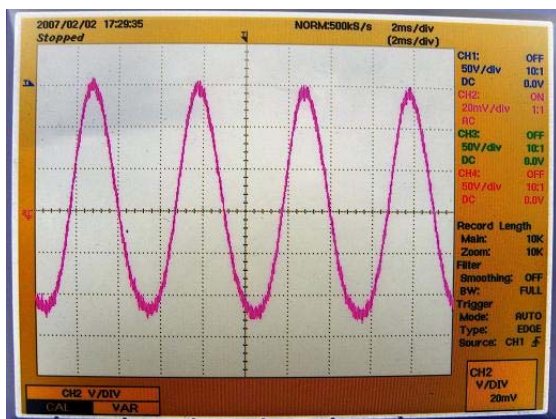


図 38 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 200[Hz] (2ms/div-20mV/div)

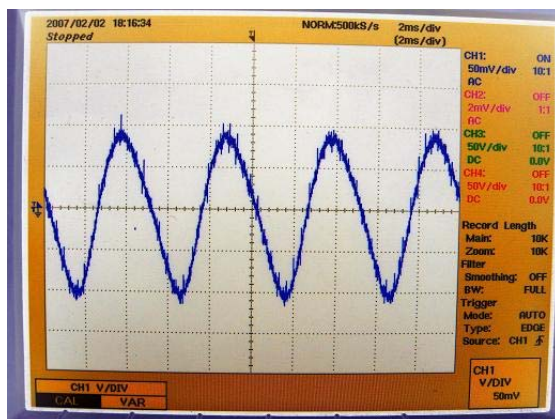


図 39 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 200[Hz] (2ms/div-50mV/div)

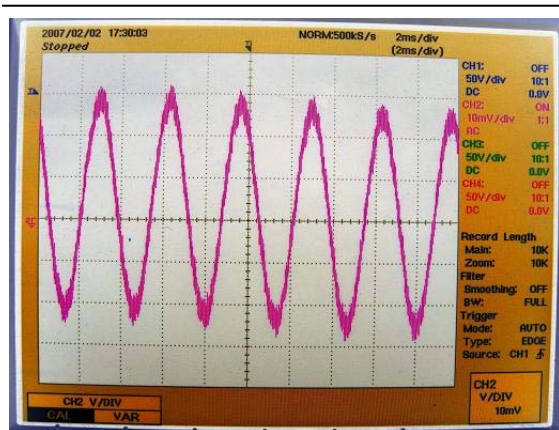


図 40 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 300[Hz] (2ms/div-10mV/div)

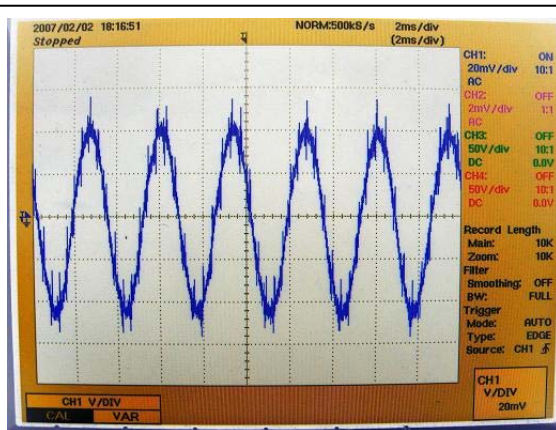


図 41 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 300[Hz] (2ms/div-20mV/div)

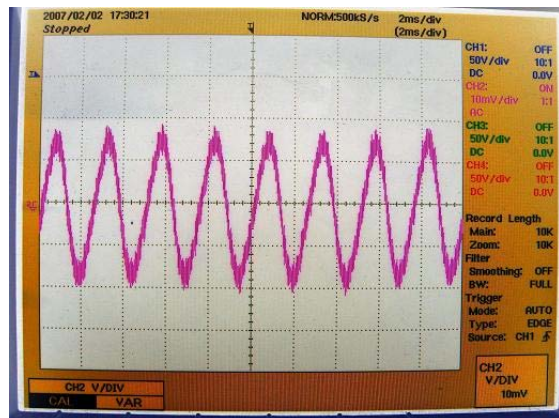


図 42 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 400[Hz] (2ms/div-10mV/div)

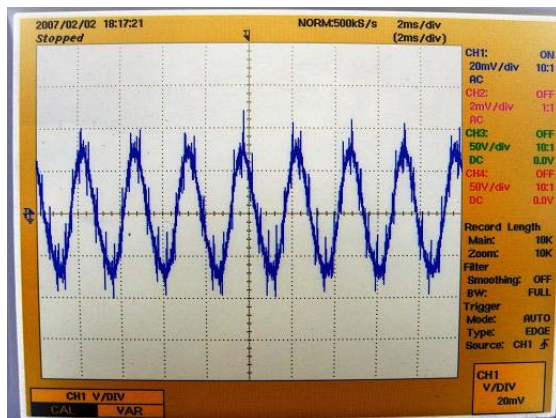


図 43 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 400[Hz] (2ms/div-20mV/div)



図 44 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 500[Hz] (2ms/div-2mV/div)

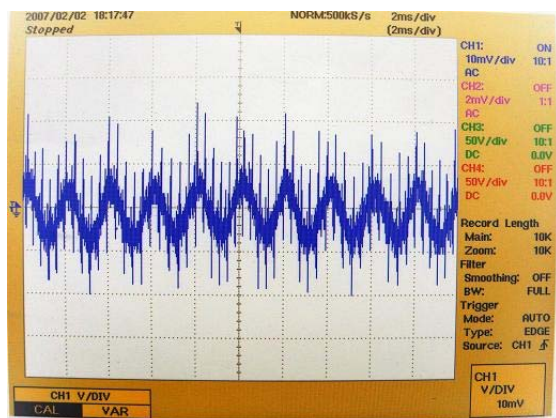


図 45 FMワイヤレスセンサシステム
入力振動 500[Hz] (2ms/div-10mV/div)

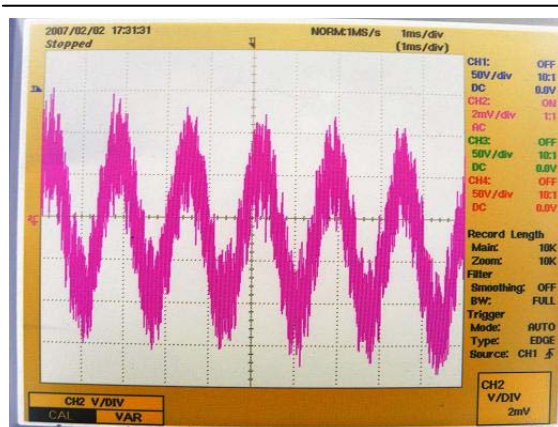


図 46 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 600[Hz] (1ms/div-2mV/div)

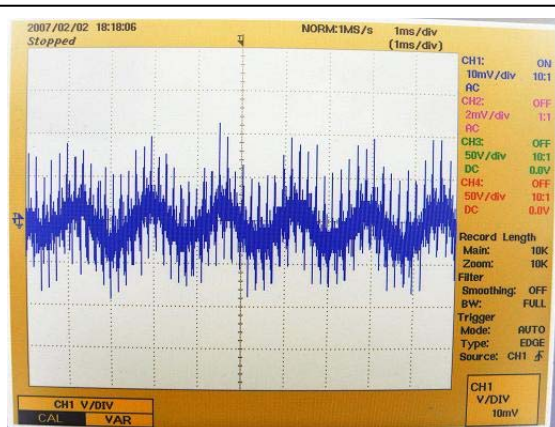


図 47 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 600[Hz] (1ms/div-10mV/div)

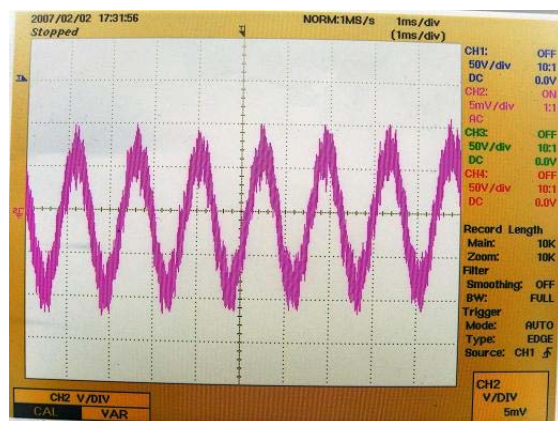


図 48 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 700[Hz] (1ms/div-5mV/div)

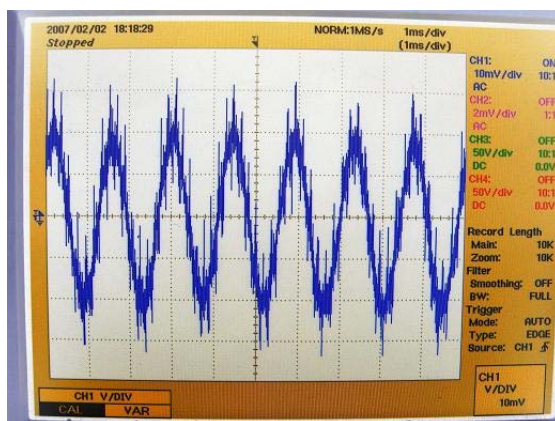


図 49 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 700[Hz] (1ms/div-10mV/div)

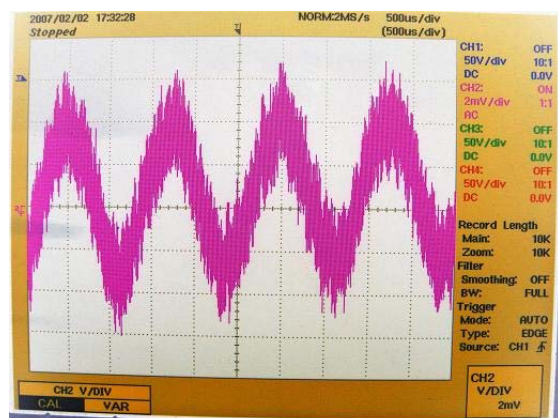


図 50 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 800[Hz] (500us/div-2mV/div)

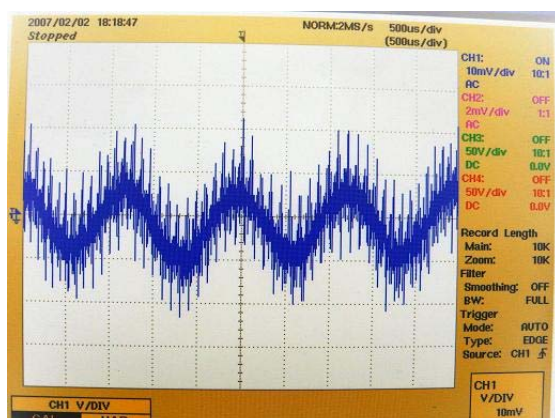


図 51 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 800[Hz] (500us/div-10mV/div)

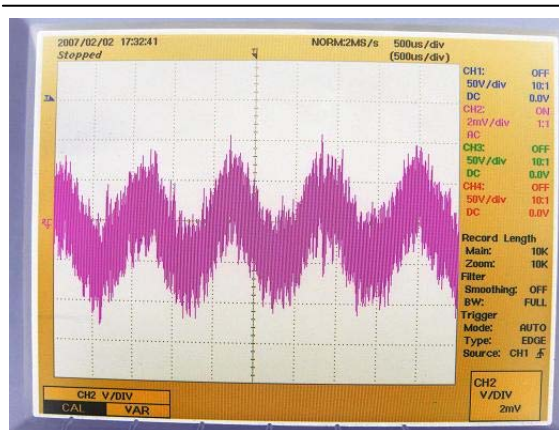


図 52 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 900[Hz] (500us/div-2mV/div)

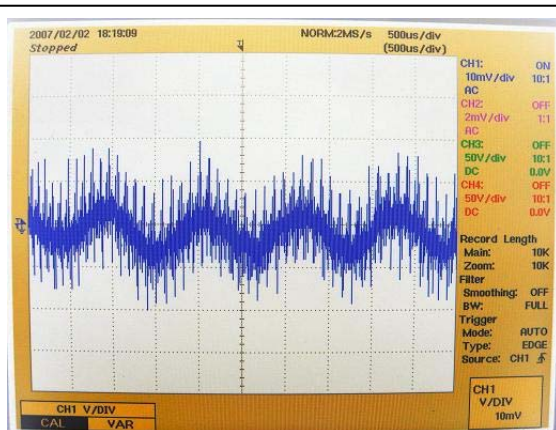


図 53 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 900[Hz] (500us/div-10mV/div)

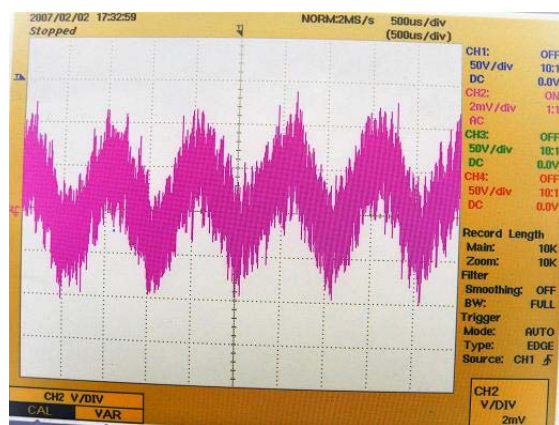


図 54 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 1k[Hz] (500us/div-2mV/div)

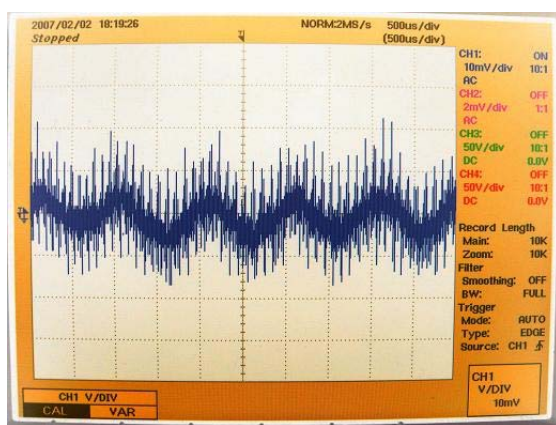


図 55 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 1k[Hz] (500us/div-10mV/div)

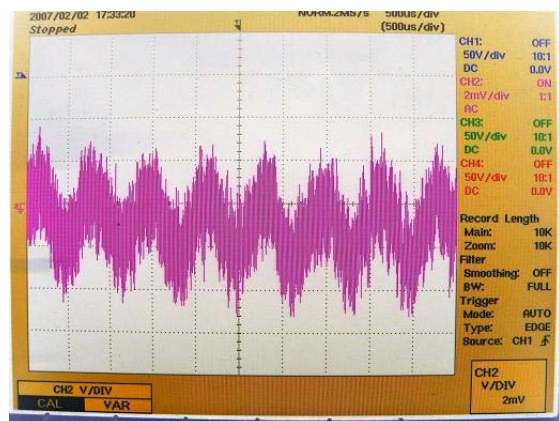


図 56 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 1.5k[Hz] (500us/div-2mV/div)

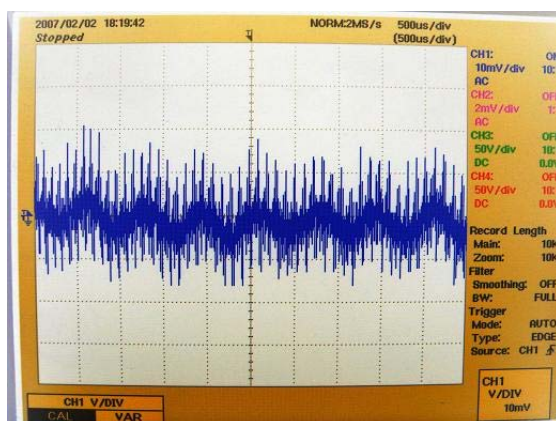


図 57 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 1.5k[Hz] (500us/div-10mV/div)

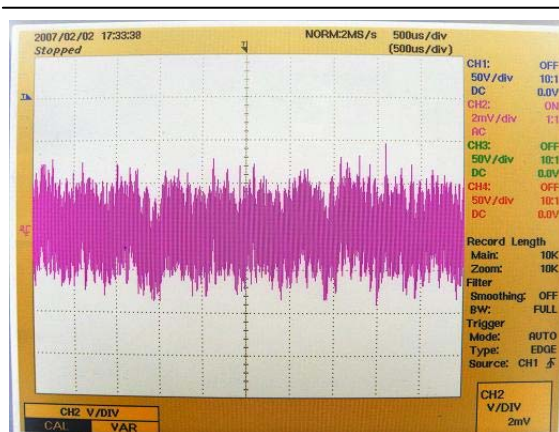


図 58 既存の渦電流式変位・振動センサ
入力振動 2k[Hz] (500us/div-2mV/div)

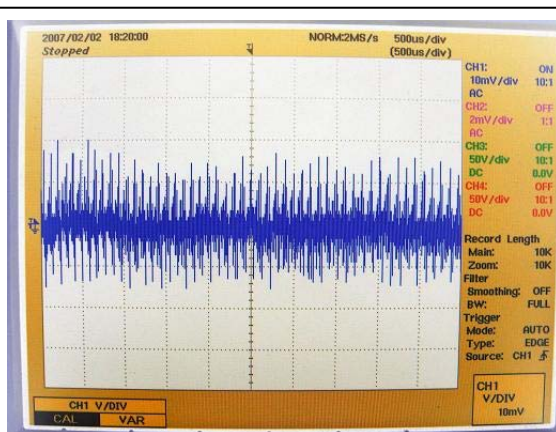


図 59 FM ワイヤレスセンサシステム
入力振動 2k[Hz] (500us/div-10mV/div)

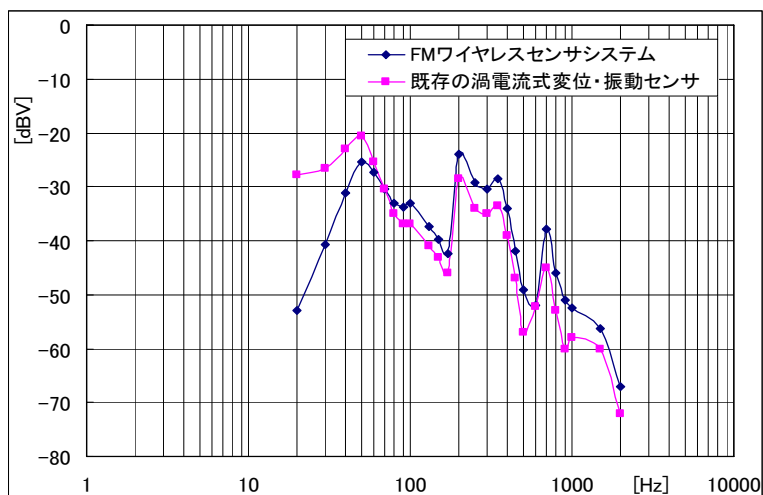


図 60 比較する 2 つの実験の周波数特性

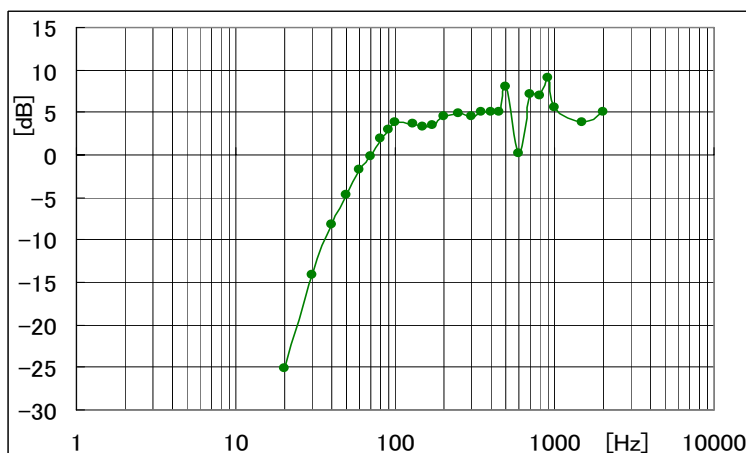


図 61 比較する 2 つの実験の周波数特性の誤差

次に、振動入力 100[Hz]における比較実験において、加振機の変位の大きさを変化させ、変位(既存の渦電流式変位・振動センサの出力を距離に換算したもの)と FM ワイヤレスセンサシステムの入力電圧の特性を出した(図 62 参照)。

図 62 を見て分かるように、変位と出力電圧は線形の特徴を持っているように見える。本システムにはリニア回路が内蔵されていないので、本来ならばゆるい曲線を描くはずであるが、変位の変化が $80\mu\text{m}$ しかない為、局所的に直線に見えていることが考えられる。また、若干凸凹しているのは、他の実験同様、加振機の再現性が悪い事が大きな原因である。

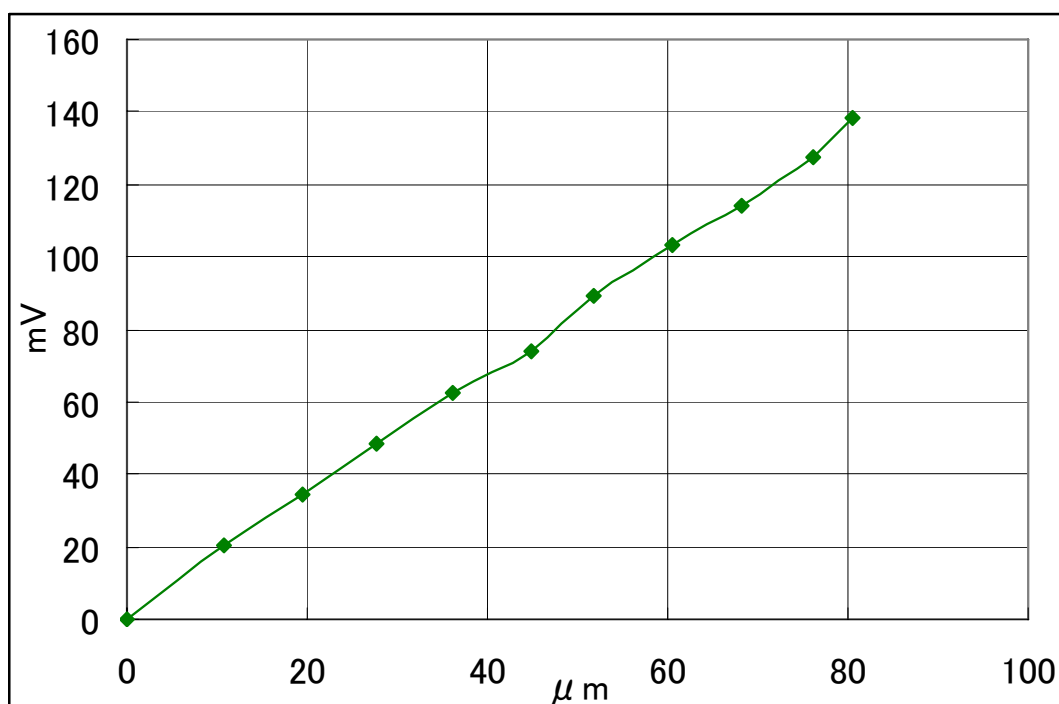


図 62 振動入力 100[Hz]における変位と FM ワイヤレスセンサシステムの入力電圧の関係

第6章 まとめ

本研究では, 簡易な FM 送信機に使われている搬送波発生回路のコイルを渦電流式変位・振動センサとして使用する FM ワイヤレスセンサの構成と, それを用いた FM ワイヤレスセンサシステムについて述べた.

上記のシステムと既存の渦電流式変位・振動センサとを比較実験したところ, 2 つの実験から同じ周波数(振動)の出力が得られた. また, 完全に同じではないが, ゲインは違ってもほぼ同じ振幅(変位)の波形が得られた. 完全に同じにならなかった最も大きな原因は提案したシステムにあるのではなく, 比較実験の方法にある.

今回は比較実験をする為の既存の変位・振動センサが, 提案したシステムと同じ渦電流式の物しか用意できなかったため, 加振機と同じ場所を同時に計測できなかった(渦電流式変位・振動センサは原理上, 同じ場所で同時に使用すると相互干渉する). 使用した加振機は再現性が悪いので, 本来ならば提案したシステムと相互干渉しないレーザ変位計などを使用して同時に比較実験するのが望ましい.

以上の様な評価面での課題は残したが, 本論の提案する FM ワイヤレスセンサシステムにより, 単純な回路で変位・振動を無線で計測できることを示すことができたといえるのではないか.

引用文献

- 1) 宇和川登,正信和則,細江利昭：レベル計測,計測自動制御学会,1986

参考文献

- 2) 谷腰欣司：センサーのしくみ,電波新聞社,2004
- 3) 山崎靖夫：絵ときでわかる無線技術,オーム社,2002
- 4) 藤田昇：FM 受信機の感度測定, トランジスタ技術 2005 年 2 月号, CQ 出版, 2005

研究業績

- 1) **Mikihiro ANDO**, Shinnosuke YOSHIDA, Kazuyuki KOBAYASHI, Kajiyo WATANABE :
Development of door entry system to improve usability via intrabody communication, SICE
Annual Conference in Okayama, pp.2350/2353, 2005

- 2) 13th Intelligent Ground Vehicle Competition
第 13 回国際自律走行車競技大会に出場.車両の電気回路設計・製作者として参加.
2005 年 6 月

- 3) 14th Intelligent Ground Vehicle Competition
第 14 回国際自律走行車競技大会に出場.車両の電気回路設計・製作者として参加.
自律走行部門準優勝, デザイン部門 6 位, JAUS First Qualify 賞, JAUS 実装賞, 総合 4 位
2006 年 6 月

謝辞

本研究を進めるにあたり、渡辺嘉二郎教授、鈴木郁教授、小林一行助教授にご指導頂いたことに深く感謝申し上げます。渡辺嘉二郎教授には研究の進め方、論文の書き方など多くを学ばせて頂きました。鈴木郁教授には研究室、専攻が違うにもかかわらず、回路に関する参考書には載っていない実践的な事を学ばせて頂きました。小林一行助教授には国際自律走行車競技大会の参加において大変お世話になりました。そこで学んだ回路製作の経験が本研究で役立ちました。ここに厚くお礼申し上げます。

また、計測自動制御学会にて口頭発表をすることができたのは吉田森之介さんのサポートなくしては考えられませんでした。深く感謝しています。さらに、多くの先輩方、共に国際自律走行車競技大会に出場したメンバーのみなさん、渡辺・小林研究室のみなさんには大変お世話になりました。有り難う御座いました。

最後に、大学院まで進学させてくれた両親に深く感謝申し上げます。

2007年2月17日