

計測工学実験

0. 注意事項

感染症拡大防止の観点から、研究室入室時に放射型非接触温度計で前額部の体温を計測します。平熱が高いなど申告しておきたい事項がある場合には、事前にメール連絡（y_ishr@meiji.ac.jp）すること。

・実験予習書：

実験予習書（計測工学実験専用）には、下記の5. 3で実施する“超音波距離計の性能評価”において行う具体的な方法等を各自が立案・計画して記述すること。

※実験予習書は、**実験日の13:30までに** Oh-o!Meiji クラスウェブ（機械情報工学実験：レポート）の【計測工学実験レポート／予習書】へ提出すること。

・レポート内容：

実験日にレポートに記載すべき内容と注意点が説明されるので、適切にまとめること。

・レポート提出方法：

※実験レポートは、**実験日の翌週月曜日10:50までに** Oh-o!Meiji クラスウェブ（機械情報工学実験：レポート）の【計測工学実験レポート／予習書】へ提出すること。

1. 題目

超音波・レーザを利用した距離計測

2. 目的

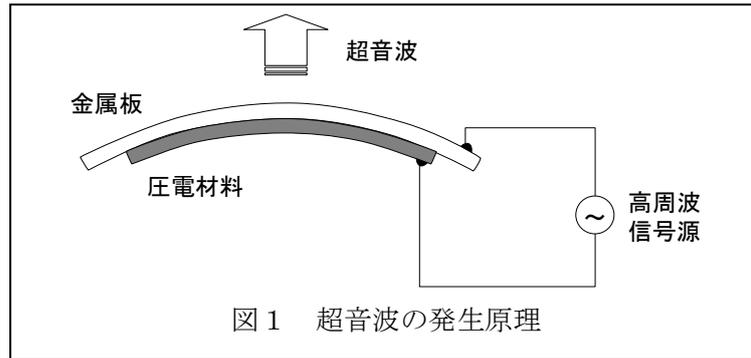
科学技術の進歩に伴い計測技術も著しい発展を遂げており、多くの分野でその重要性が増している。各分野で対象とする物理量・信号等を必要な精度で測定し、目的とする計測・評価を行うためには、計測原理や算出される計測値の意味を正しく理解するとともに、計測機器の性能を把握した上でそれらの扱い方に習熟しておく必要がある。ここでは、超音波・レーザを利用した変位・距離計測法について基本原理を学び、超音波距離計の性能を評価するとともに、測定値に含まれる誤差要因について考察することを目的にする。

3. 超音波を用いた距離計測

3. 1 圧電素子による超音波と電気信号との変換

水晶やチタン酸ジルコニウム酸鉛（Lead Titanate Zirconate：PZT）等の圧電材料は、電圧を印加すると機械的に伸縮し、逆に、力を加えると電圧が発生する（圧電効果）。この特性を利用して、超音波振動子をはじめ、変位計・加速度計、インクジェットプリンタ、超音波診断装置等に幅広く利用されている。

図1に超音波を発生する原理を示す。圧電材料と金属板とから構成されたユニモルフに高周波信号を印加すると機械的な振動が発生する。このとき、高周波信号の周波数をユニモルフの材質・寸法で決まる共振周波数に選ぶと効率的に超音波を発生できる。



3. 2 超音波を利用した距離計測の原理

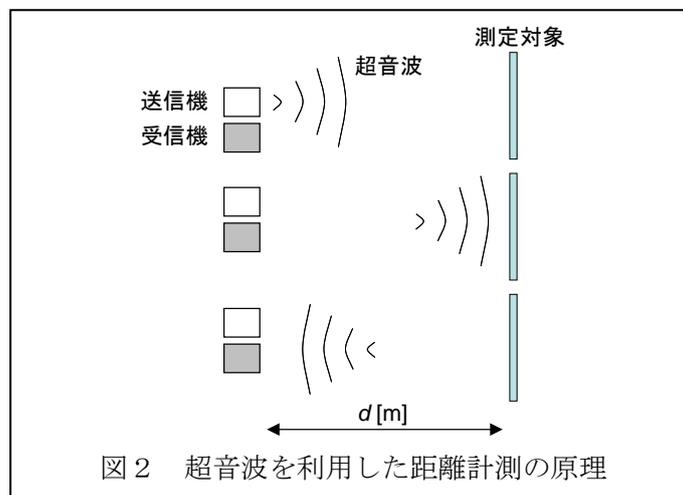
超音波は媒質の音響インピーダンスで決まる音速で伝播するため(表1⁽¹⁾)、図2に示すように、物体に照射された超音波が反射して戻ってくるまでの時間を計測することで、物体までの距離を算出できる。例えば、乾燥空気中の超音波の音速 V [m/s] は、式(1)で近似され、超音波センサから物体までの距離を d [m]、超音波が発射され戻ってくるまでの時間を t [s] とすると、式(2)の関係から距離を算出できる⁽²⁾。

$$V \approx 331.5 + 0.6 T \quad (T : \text{周囲温度} [^\circ\text{C}]) \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

$$t = \frac{2d}{V} \quad [\text{s}] \quad (2)$$

表1 種々の物質中における音速⁽¹⁾

媒質	音速 V [m/s]
水	1500.0
氷	3230.0
エチレンアルコール	1207.0
空気 (0 °C)	331.5
空気 (100 °C)	404.8
鉄	5130.0
金	3240.0
鉛	1960.0



3. 3 超音波距離計の基本回路

超音波センサを利用した距離計の基本回路を図3に示す。基本周波数（40 KHz）の信号はワンチップマイクロコントローラ PIC16F84 によって生成され、超音波送信機 (T-40) から測定対象に向けて発信される。測定対象で反射して受信機 (R-40) で検出される信号は微弱なため、オペアンプ NJM4580D で増幅される。さらに、検出信号はオペアンプ LM358 を利用したコンパレータで High/Low レベルに変換された後、PIC16F84 に入力される。

PIC16F84 内部では、超音波発生後に内部カウンタが動作し、High レベルとなるまでの時間が測定される。そして、測定対象までの距離が算出され、LED ディスプレイに結果が表示される。

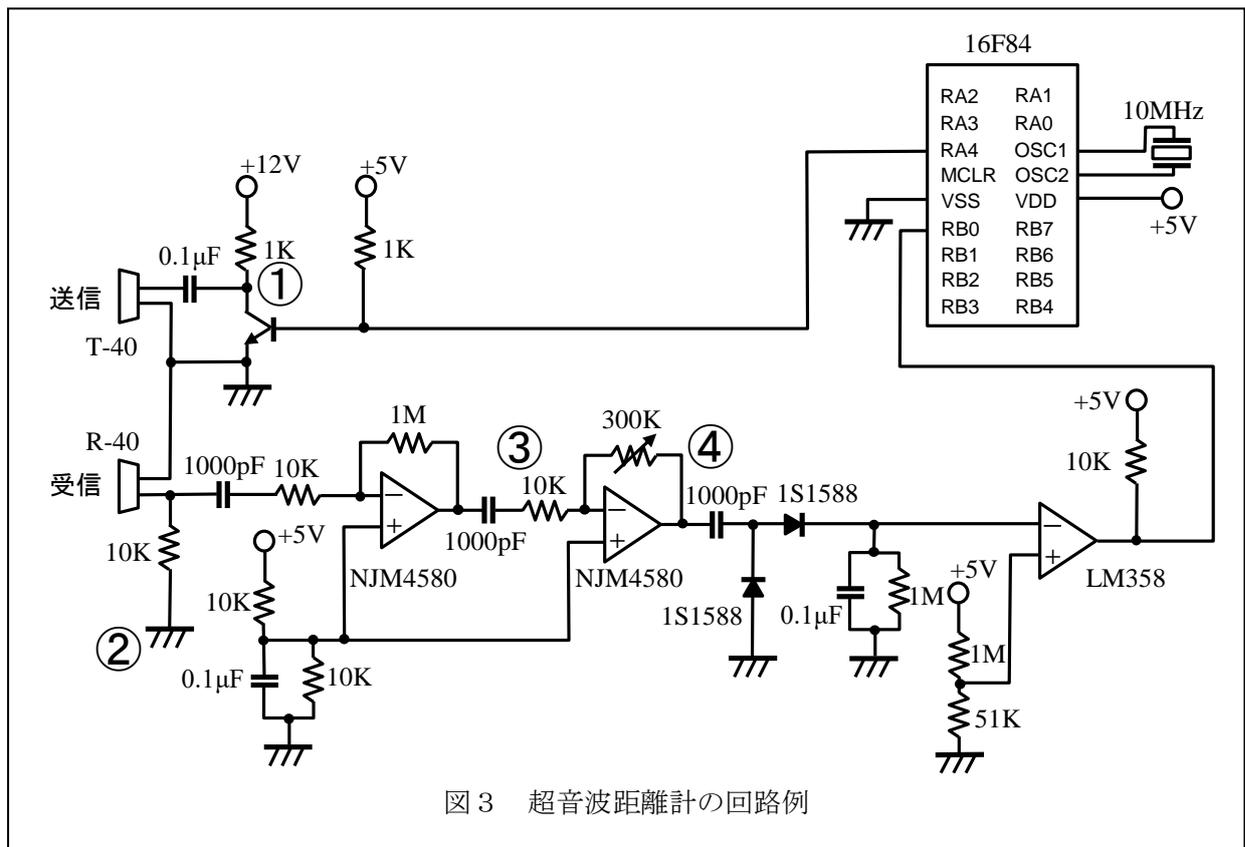


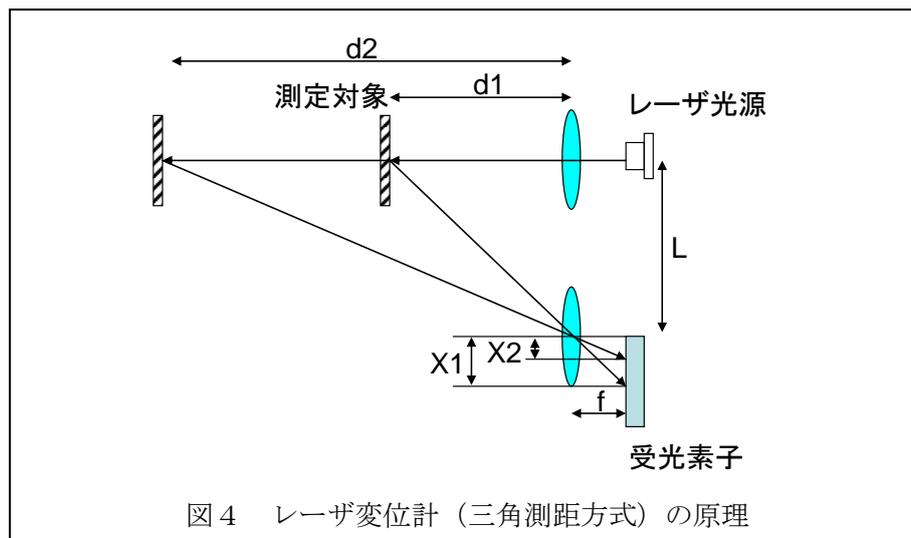
図3 超音波距離計の回路例

4. レーザ光を用いた距離計測

4. 1 レーザ変位計の原理

レーザ光を用いた距離計・変位計には種々の原理に基づく方式が提案されている⁽³⁾。その一つとして、レーザ光の反射をフォトダイオードや CCD 素子などの受光素子で検出し、三角測量の原理を利用した方式（三角測距方式）が挙げられる。図4に示すように、測定対象までの距離を d [m]、レーザ光源と受光素子との間隔を L [m]、レンズまでの距離（焦点距離）を f [m] とすると、受光素子上でレーザ光が結像する距離 x [m] との関係は、式（3）で表される。

$$d = \frac{L}{x} f \quad [\text{m}] \quad (3)$$



5. 実験方法

5. 1 超音波送信・受信波形の観測

1. 超音波距離計をスタンドに設定する。
2. 超音波距離計の電源を投入する。送信波形と受信波形とをデジタルオシロスコープで観測するために、図5に示す各点（送信波形：端子①、受信波形：端子④、GND：端子②）にプローブを接続する。このとき、電源ケーブルやプローブが距離計測に影響を及ぼさないように引き回すこと。また、プローブの先端で回路をショートさせないように注意すること。
3. 送信波形の概略図（バースト波形のパルス幅、パルス数、周期等）を記録する。また、デジタルオシロスコープを調整して、送信波形と受信波形との時間差を計測できることを確認する。

5. 2 超音波の反射時間による距離計測の精度評価

1. 超音波距離計の電源を切った後、レーザ変位計（IL-065、キーエンス）をスタンドに設定する。このとき、精密ラボジャッキのステージまでの距離を超音波距離計とレーザ変位計を用いて同時に計測できるように適切に配置する。
2. 超音波距離計の電源を投入するとともに、レーザ変位計に直流電源（+24V）を接続し、両者が正常に動作することを確認する。
3. 精密ラボジャッキのステージ高さを変化させて、レーザ変位計で計測された距離（レーザ変位計の計測可能範囲：-40～10 mm）と、送信波形と受信波形との時間差を計測する。また、超音波距離計のLEDディスプレイに表示される値も記録する。

※計測距離を変えて送信波形と受信波形との時間差を計測する際に、デジタルオシロスコープの Default Setup ボタン⁽⁴⁾を押してリセットした後に、『全員が交代して』波形を観測すること。

4. 計測された時間差から距離を算出し、レーザ変位計で計測された変位に対するグラフを描く。
5. レーザ変位計で計測された変位を真値とした場合に、超音波距離計による計測誤差の原因を考察する。

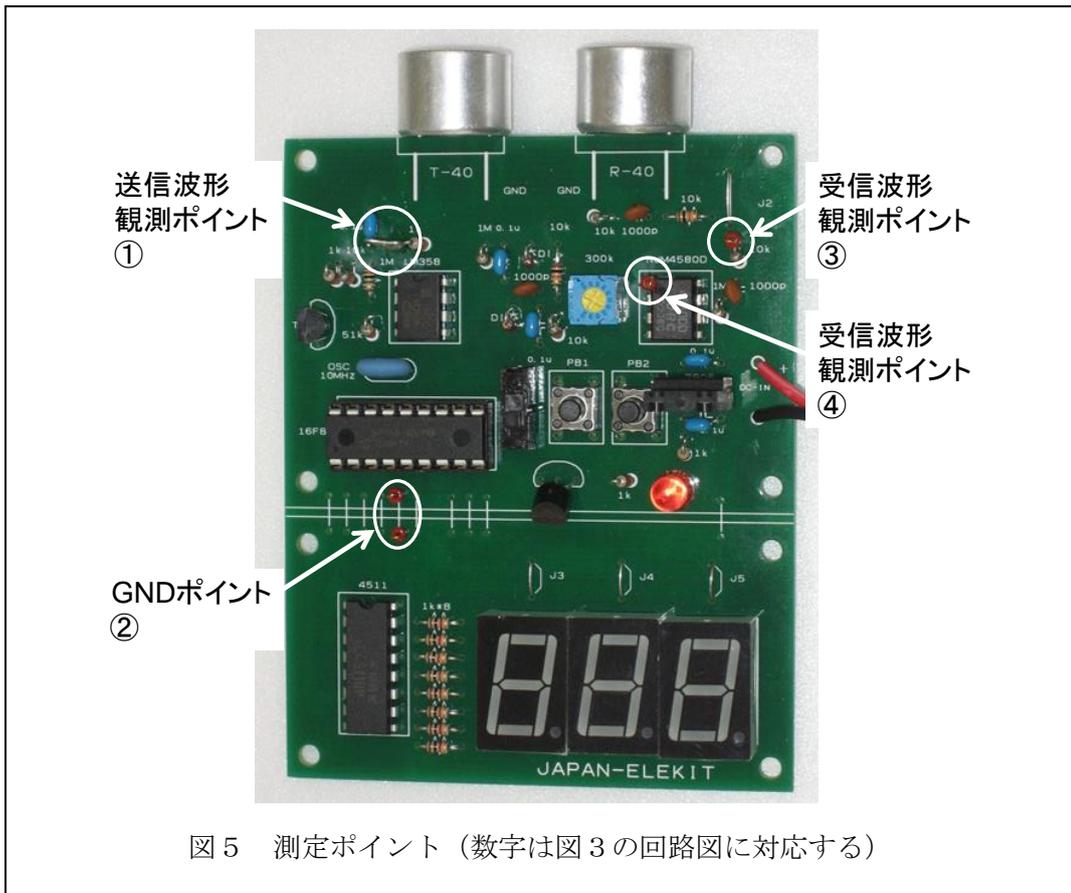


図5 測定ポイント（数字は図3の回路図に対応する）

5. 3 超音波距離計の性能評価

1. 超音波距離計の性能・仕様として、どのような項目（パラメータ）が挙げられるかを**実験班毎**に議論する。

※予習書で検討した内容と5. 2までの実験で得られた結果から、複数の項目（パラメータ）を挙げることを。

2. 上記で挙げた項目（パラメータ）の一つについて、今回使用した超音波距離計の性能を評価する実験方法を立案する。

※対象とするパラメータに関して、グラフを描ける実験内容にすること。また、提案した実験方法で得られる結果を予想しておくこと。

3. 実験結果を記録する。

※レポートには実験方法・予想される結果を記載し、実際に得られた結果と予想との比較・検証を定量的に行うこと。

(参考) 実験で使用可能な主な機器

- ・超音波距離計（上記で使用した基板タイプ）
- ・レーザ変位計 IL-065（キーエンス）

測定範囲：55～105 mm（65 mm 中心）、繰り返し精度：2 μm

- ・レーザ距離計 ZAMO (BOSCH)
測定範囲：150 mm～2000 mm（分解能 1 mm）、誤差：±3 mm
- ・デジタルオシロスコープ TBS2000 (Tektronix)
- ・簡易デジタル温度計 (MonotaRO)
- ・メジャー、曲尺、分度器
- ・ノギス、マイクロメータ
- ・精密ラボジャッキ（移動量 70 mm）
- ・X 軸ステージ（移動量±50 mm）
- ・スタンド、クランプ、ムッフ
- ・厚紙、テープ、他

6. 考察事項

1. 5. 1～5. 3の各実験結果に対して、特に計測誤差・不確かさを定量的に考察せよ。
2. 超音波センサを用いた距離計の長所・短所を述べよ。
3. 超音波センサをロボットの視覚として用いた場合の長所・短所を述べよ。
4. 超音波センサを用いた距離計の計測精度を向上するための方法を述べよ。
5. 実験で用いた超音波センサの計測最小単位（計測分解能）が 1 cm に制限されている理由を考えよ。また、計測分解能を改善するための方法と、その場合の問題点を述べよ。
6. 超音波センサを用いた距離計によって計測可能な距離を長くするための方法を述べよ。
7. 超音波を利用した距離計において、計測可能な最短距離はどのようなパラメータで決定されるか述べよ。
8. 超音波センサを用いた距離計において、検波回路の動作を説明せよ。
9. レーザを用いた距離計の長所・短所を述べよ。
10. レーザを用いた距離計測方式について、三角測距方式以外の方式について原理を述べよ。
11. レーザを用いた距離計・変位計と超音波を用いた距離計・変位計を比較し、その特性を活かした産業用途を挙げよ。

7. 参考文献

- (1) 国立天文台編、理科年表 平成 23 年版、(2010)、丸善、426-427.
- (2) H. C. Hardy, D. Telfair, and W. H. Pielemeier, The Velocity of Sound in Air, *J. Acoust. Soc. Am.*, **13**, 5, (1942), 226-233.
- (3) 谷口慶治、上田正紘、石川和彦、実線 センサ工学、(2008)、共立出版、113-186.
- (4) 日本テクトロニクス、TBS2000 シリーズ オシロスコープ ユーザ・マニュアル、(2016)、Tektronix.

以上