

## 公衆災害防止のための重機搭載超音波センサーの感知特性

Characteristic about the perception of ultrasonic wave sensor a carrier-based by the heavy industrial machine

一二三北路(株)	正会員	坂下淳一 (Junichi Sakashita)
一二三北路(株)	非会員	佐藤健太 (Kenta Sato)
一二三北路(株)	非会員	石原敬規 (Takanori Ishihara)
一二三北路(株)	非会員	木村司 (Tsukasa Kimura)
(株)砂子組	正会員	佐藤昌志 (Masashi Sato)

### 1. はじめに

昨今の自動車は人間のヒューマンエラーを補助する目的で、各種センサーを取り付けているのが一般的なものになっている。しかしながら、狭隘な場所で作業を行う、特にバックホウに関しては目視確認で行っている現状にある。さらに、近年情報化施工が取り入れられている中でガイダンスにとらわれて公衆回線等に目が届かないことがしばしば見受けられる。このような状況を回避させる一つの手段としてセンシング技術が重要なファクターとなる。特に、距離を測るもしくは動き(相対的動き)を感知する技術を建設機械においても積極的に取り入れて行く必要がある。

また、この技術がオプション装備ではなく標準装備にすることによって公衆災害や労働災害を最小限にすることが可能となると考えられる。

### 2. 建設現場で必要と考えられるセンシング技術

距離測定や動きの測定を計るものとして以下のセンシング技術がある。

#### 2-1 ステレオビジョンによる方法(図-1)

ステレオビジョンは、カメラを使ったレンジ(距離)センサーの一種で、通常のカメラ画像が視線と交差する対象表面上の一点の明度や色データからなっているのに対し、カメラと対象表面までの距離データ(距離画像)を出力する。画像を使ったレンジセンサは、ある形状パターンや濃淡、スペクトルなど何らかの意味をもった光を対象に照射する能動的手法と、外部から何もせず撮像した画像のみから算出する受動的手法に大別される。ステレオビジョンは受動的手法の一つで、能動的手法に比べてシステム構成が簡単で、広い範囲の距離データを

短時間で計算できるという長所がある。その反面、距離精度が悪い、照明の変動に弱いという欠点がある。

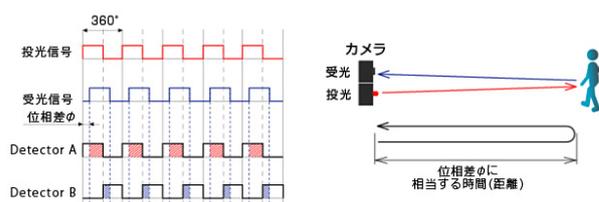


図-1 ステレオ式測距離

#### 2-2) 光波による方法(一般的測量器 図-2)

センサー内部の光源(LEDやレーザダイオード)から照射された光が、測定対象物にあたりと反射され、センサーの受光素子で受光される仕組みである。その反射された光を評価・演算し、距離に換算して出力するセンサーが距離センサーである。

測定原理としては、受光素子にPSDやC-MOSを用いて距離変化による受光素子の結像位置を距離に換算する“三角測距式”と、光が照射されてから受光されるまでのわずかな時間を測定し、その時間差を距離に換算するタイム・オブ・フライト式がある。

一般的なものには光源からの投光は投光レンズを介し対象物に照射され対象物よりの反射光は受光レンズによって、一次元状態で受光位置が特定できるPSDやCMOSといった受光素子上に集光される。対象物の測定器からの距離位置の変化に伴い、一次元受光素子上の結像位置は距離と比例的に変化する故に、この一次元受光素子上の受光位置を解析し、距離を測定する方式を言う。

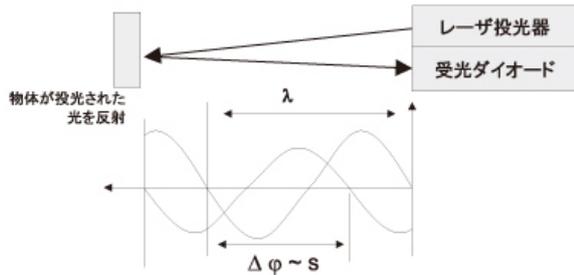


図-2 レーザー方式測距離の原理

図-2 レーザー方式測距離の原理

2-3) ドップラーセンサー (ミリ波レーダー含む)

ドップラー・レーダーとは、ドップラー効果による周波数の変移を観測することで、位置だけではなく観測対象の移動速度を観測する事の出来るレーダーである。観測対象がレーダーから遠ざかっている場合にはドップラー効果により反射波の波長が長くなる。逆に近づいている場合には反射波の波長が短くなる。この波長の変化を測定することで、観測対象がレーダーサイトに対してどの程度の速度で遠ざかっているのか、もしくは近づいているのかを知ることが出来る。

一般的に利用されるものとしてマイクロ波ドップラーセンサーがある。これは送信器から移動している対象物に向けマイクロ波を放射し、反射してきたマイクロ波を受信して送信波と周波数を比較した場合、対象物の移動速度に比例して受信波の周波数がシフトする現象(ドップラー効果)を利用したセンサーである。

マイクロ波ドップラーセンサーの機能として①離れた場所から対象物の移動速度や振動が計測できる、②移動物体を検知するモーションセンサーとして利用できる。ドップラー信号対象物の移動速度と方向に依存し、ドップラー信号の大きさ(検出出力)は、対象物のマイクロ波反射率、大きさ、形状、対象物までの距離等に依存する。これを利用し、対象物の種類や大きさ、距離を一定程度判別できる方法である。

2-4) 超音波センサー

超音波による距離計測の原理として、

$$\text{距離} = \text{速度} \times \text{時間} \quad \text{音速と伝搬時間から距離が分かる}$$

超音波を対象物(液面、固体等)に向け発信すると、境界面で反射して超音波が戻ってくることから音速が分かれば、超音波が戻って来るまでの時間を計測することで、対象物までの距離を知ることができる。対象物までの距離Lは、音速をC、発

信から受信までの時間をtとすると

$$L = C \times t / 2$$

で求まる。

音(超音波)の速度は、空気中や水中など、音を伝える媒体によって異なり、さらには、空気中の音速は約340m/sであるが、厳密には温度、湿度によって変化するのはよく知られている。例えば、温度が高いほど音速が速くなる傾向があり、乾燥空気の場合、温度をT[°C]とした場合、音速C[m/s]は次の式で表される。

$$C = 331.5 \times ((273 + T) / 273)$$

または実用式として

$$C = 331.5 + 0.6T$$

このため、超音波送受信器に温度センサーを内蔵して、温度補正を行うことが一般的である(図-3)。

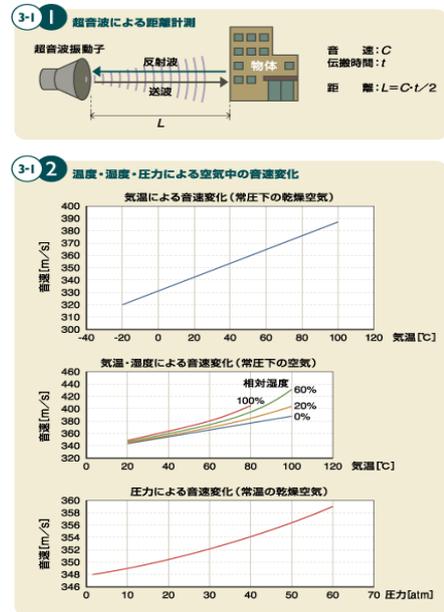


図-3 超音波方式の原理

重要なのは超音波の指向特性と到達距離である。超音波の送受信には超音波振動子を使用されており超音波振動子は、超音波の発信機でもあり、受信センサーの役割も果たしている。したがって、送受信を一つの超音波振動子で行う場合、音を出している間(振動子駆動時間の間)は受信できないことになることである(この時間を不感帯)。距離計測用の超音波の周波数は、20kHzから400kHzが使用されているが、周波数の選定は、以下の理由から超音波の指向特性と到達距離により決定されと言われている。

1)周波数が低い(波長が長い)程減衰が小さく、遠くまで届く

2)周波数が高い(波長が短い)ほど、距離分解能が高い  
計測対象の材質によっても反射損失が変わってくるため、この点も考慮する必要がある。

### 3. 今回実験に用いたセンサー(超音波センサー)

波動による距離計測としては、超音波の他に、光波、電磁波等が利用されているが、いずれも直進性、反射、干渉などの波動の性質を利用したものである。伝搬速度、波長の違いから、それぞれにメリットデメリットがあり、超音波による距離計測の特徴としては、

- 1)電磁波、光波に比べて伝搬速度が遥かに遅いことから、計測に要する時間軸が長く、精度良く測定できる
- 2)電磁波に比べて波長が短いため、分解能力が高く、精度良く測定できる。
- 3)人体への安全性が高く、環境にも優しい
- 4)比較的安価である
- 5)光の透過度の悪い液体や固体中での距離計測や、光が反射しない透明な物体までの距離計測に有利である

といった点があるが逆に、気泡を含んだ液体中など、減衰が大きくなってしまふような条件下での計測には、超音波は不向きで、かつピンスポットの微小領域の変位を知りたい場合には、指向性が強い光学式のほうが有利となる。

今回用いたものは図-4の表から100KHz(長距離)を2個、400KHz(短距離)を4個用いた。対象とするものを公共工事ではしばしば発生する架線を切る事故を想定した。ドップラーセンサーの様に測定範囲(角度)が大きいものは2個程度で済むが超音波センサーは測定範囲角度が狭い、すなわち指向性が光について強いことから上記のものを用いた。

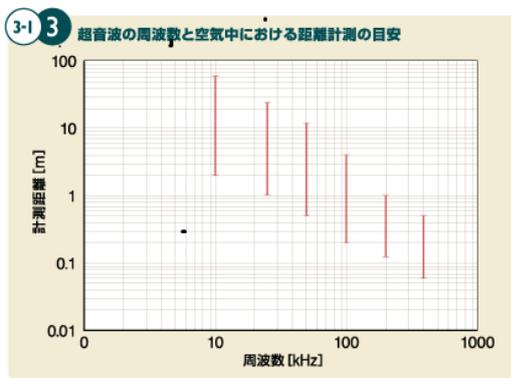


図-4 周波数と距離(参考図)

取り付け治具を写真-1に示した。各治具の角度は水平角、仰角ともに120度以上を満足するように調整している。この調

整にあたっては様々な治具をつくりバックホウのアームが動いた際にアームの先に超音波が当たらないように試行錯誤で決定している。



写真-1

### 4. 実験(キャリブレーション)結果

実験は、第2アームが架線に当たることを念頭に入れほぼ立てた状態で、直径3cm、長さ180cmのスノーポールを検知する方法で行った。実験ケースは、

- 1)スノーポールを立てた状態で10cmずつ近づいていく方法
  - 2)スノーポール横にして10cmずつ近づいて行く方法
  - 3)スノーポールを45度の角度で10cmずつ近づいて行く方法
  - 4)電線下を50cm下でバックホウの速度を変えて通過する方法
  - 5)電線の下50cm下で伸ばしたアームを左右に振る方法
- の5ケースである。さらにこれらのケースにおいて100KHz帯および400KHz帯でどちらを重視するかを試験も行った。

図-5-1～図-5-6までをレーダーチャートで結果を示した。傾向としては、100KHz帯では安全側に+5cmでセンサーは反応した。400KHz帯ではスノーポールを縦にした状態以外は安全側に+10cmでセンサーは反応した。どちらの帯域でも60度を超えると反応は0度時に比較して50%以下になっている。

架線の下50cmを通過する場合、横に振った場合ともども1)～3)までの50cmに近づいた所で反応していることからセンシング範囲は円錐形で感知していると考えられる。

また、大雪の場合も考慮しセンサーを布で覆った場合も比較したところ超音波であるにもかかわらず布なしと同じ特性を得ている。

以上の様にセンシングでの反応は良好な結果がでたが治具を取り付ける位置によっては、先に述べたとおりアーム先端や第1アーム、さらには様々な箇所超音波が跳ね返ることが多いことから取り付け位置には十分気をつける必要があると共に、必ず現場での対象物に対し十分なキャリブレーションが必要である。写真-2に実験の状況を示した。

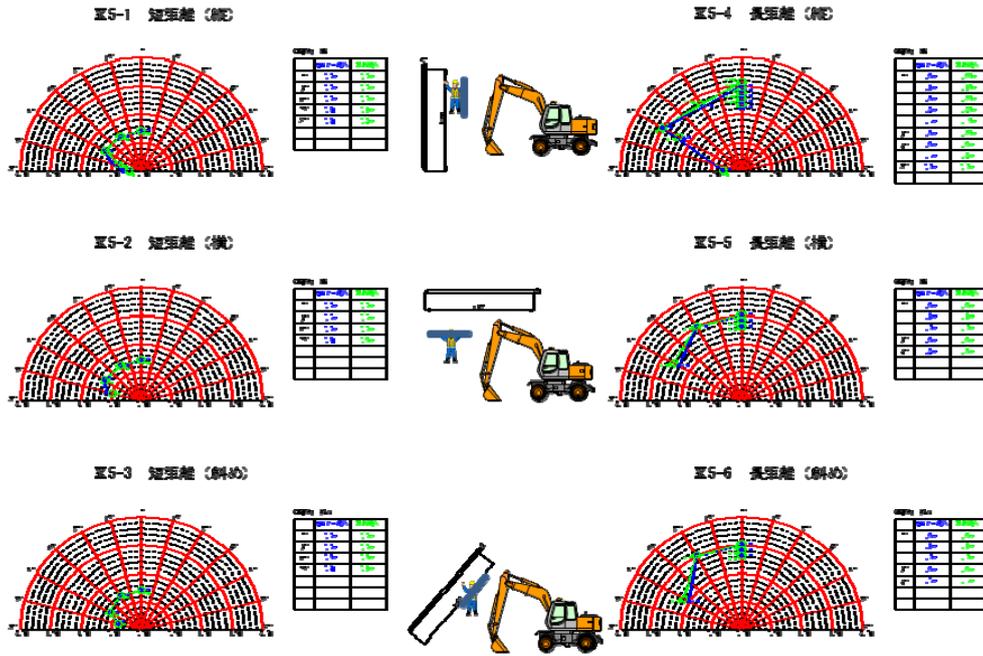


図-5-1~6



写真-2

## 5. まとめ

土木工事においては様々なセンシング技術が使われており、場合によって1/1000mを動的に計らなければならない状況から、危険回避だけの目的のものがある。今回取り入れたのは、精度はレーザーや相対的動体をかなりの精度で計るドップラーセンサー等多種多様であるが、今回は危険回避に着目して超音波センサーを用いての線状のものに着目して実験を行った。

- 1) 土木工事における架線等を切断する危険回避を行うに際して安価に市場で入手できる超音波センサーを用い感知特性を計測した。
- 2) 超音波センサーは指向性が強い中で、100KHz、400KHzのセンサーを6台用いて感知特性を計測したところ危険回避

は可能である。

- 3) センサーの取り付け治具および取り付け位置、さらには100Hz帯、400KHz帯をどのような配置にするかで本論文に記載した特性とは全く異なる結果も得ている。
- 4) 架線等の切断危険回避の他、対象物を特定した中で利用しても問題は無いと考える。

## 参考文献および引用文献

- 1) OPTEX(株)技術資料
- 2) 本多電子株式会社 技術資料
- 3) クリアランスソナーの原理
- 4) 株式会社ユピテル技術資料