

安全性の確立は車両ロボット運用の大前提

私たちが自動車を運転するとき、目や耳（視覚と聴覚）を使って衝突を未然に防いだり、接触したときの衝撃を感じ取って自動車を急停車させたりします。いわば人間は、目や耳、触覚などをセンサとして危険を検知し、自動車を安全に運転しているのです。

スマート農業で使用される無人の車両ロボットも、さまざまな農作業や圃場などへの移動の際に、人に接触したり障害物に衝突したりしないよう安全性が保証されなければなりません。また、畑や田を耕すロータリープラウなど作業機の昇降を行うときも、近くに人がいないかどうかを車両ロボットが検知する必要があります（写真1）。

これらのことから、自動車を運転するときの人間の目や耳、体感と同じ役割をする「安全センサ」が、車両ロボットには必要になります。

安全センサに求められる機能と種類

安全センサは、目標物（人や障害物）までの距離を測定する必要があります。自動車の運転でも、遠くで歩行者を発見できれば、距離に応じて速度を落とすかどうか、ハンドルを切るかどうかなど、対処行動を選ぶことができます。つまり、目標物までの距離がわかれば、そのあとの行動を決めることができるのです。

また、接触したという異常事態の場合では急ブレーキ、つまり緊急停止を行います。

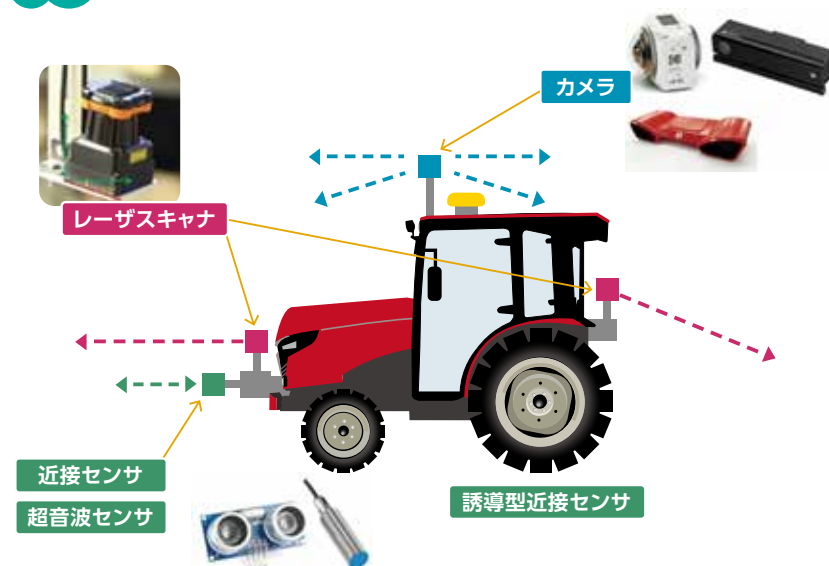
これらのことから、車両ロボットの安全センサは「距離の測定」と「接触の察知」が大切になります。

ロボットトラクターなどで使用されている安全センサの例として、機能別に「レーザスキャナ」「カメラ」、そして接近や接触を検知する「近接センサ」があり、近接センサには「超音波センサ」や「誘導型近接センサ」などが使われます（図1）。それぞれの機能や特質、メリット・デメリットを見ていきましょう。

写真1 障害物の検出と衝突回避



図1 安全センサ



レーザスキャナ

レーザスキャナの原理としくみ

「レーザスキャナ」は、送信機からレーザビームを発生させて目標物に当て、その反射したレーザビームを受信機で受け取って距離を推定する装置です(図2)。

光は波の性質を持っています。太陽の光はいろいろな周波数の光で構成されています。プリズムを通すと周波数ごとにきれいな虹色に分離されるのを小学校の理科の実験で観察した人もいでしょう。これに対し、レーザ光は周波数がほぼ一定にそろえられており、1点に収束させることができるため、精度の高い測定が可能となります(図2)。

レーザスキャナは、「スキャナヘッド」という部位を回転させることで周囲にレーザを送信します(図3)。図ではスキャンする範囲を270°としています。もちろん360°をスキャンすることも可能です。

距離測定の手順は、以下のように実施されます。

- ①距離計の送信機からレーザビームが発射される。
- ②ビームがターゲットに跳ね返り、距離計の受信機に戻る。
- ③ビームを放出して帰ってくる時間 t を測定する。
- ④測定した「時間 t 」と、「速度 c 」を用いて「距離 d 」を算出する。

「速度 c 」は光の速度(30万km/秒)を用いて、以下の式で距離を算出します(2で割るのは、往復で2倍の距離となっているため)。

$$d(\text{距離}) = c(\text{速度}) \times t(\text{時間}) / 2$$

レーザスキャナの長所・短所

レーザスキャナは、中距離の障害物を検出するのに適しており、通常トラクターなどの前部に取り付けられますが、作業機周辺の安全性確保のため、後部にも取り付けることができます。

レーザスキャナの長所としては、「振動の影響を受けない」「中距離(約10m)の測定で良い精度が得られる」「コンパクトなサイズなので簡単に

図2 レーザスキャナ

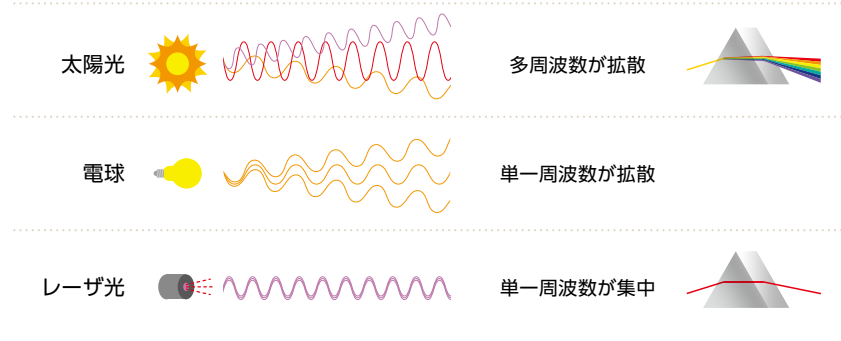
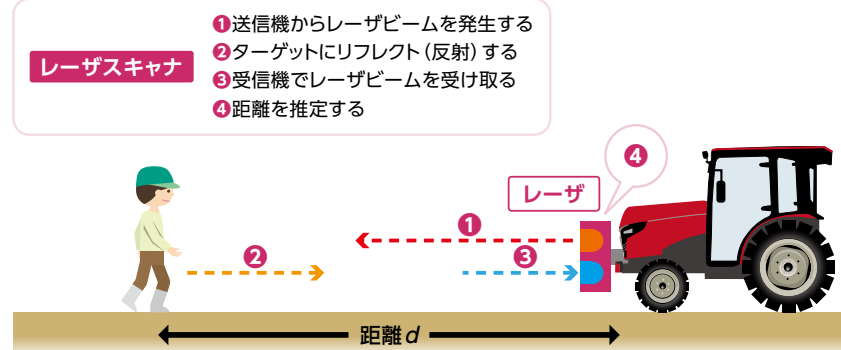
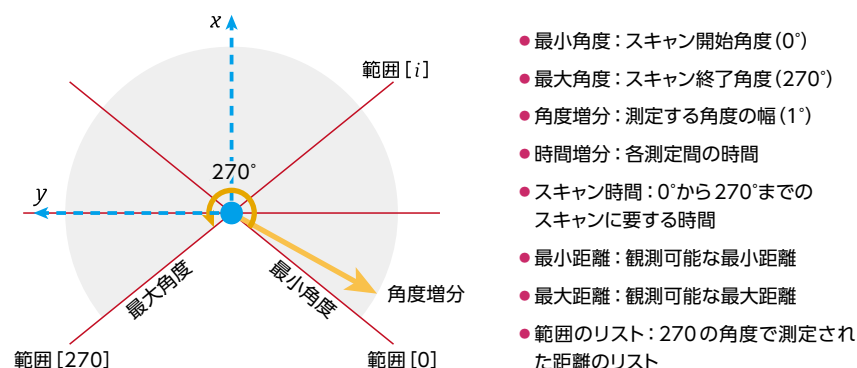


図3 レーザスキャナの特徴



設置できる」などがあげられます。

短所としては、「埃や雨の影響を強く受ける」「カメラに比べてコストが高い」「壊れやすく、修理はほとんど不可能」などがあげられます(図4)。

カメラ

カメラの原理としくみ

近年のデジタルカメラ(RGBカメラ)は安価となり、さらに解像度も上がっています。私たちの肉眼のように、カメラは目標物や背景を映像としてとらえますが、肉眼で見たものが何であるかを判断するのは、私たちの「脳」です。これに対して、安全センサとしてのカメラは、近年大きな発展をとげた「AI(人工知能)」が、映っているものが人や障害物かどうかをリアルタイムで判断できるようになっています(図5)。もともと画像認証は、さまざまなAIの仕事の中でAIが得意とする分野です。

AIには、あらかじめ人や動物などの障害物の膨大な画像を読み込ませて学ばせておきます。そして映ったものをネットワークを介してとらえ、画像内にある物体を識別するわけです(図6)。

ただしAIを用いるとき、十分な速度で認識のアルゴリズム(ある仕事をするときの手順)を実行するためには、高性能のコンピュータが必要となります。

3D画像で距離をつかむ

カメラによる距離の計測に関しては、「キャリブレーション(さまざまな調整などを行う標準器)」などを用いてカメラの高さや傾斜角度、平面での距離などの要素を計算することで、目標までの距離を測定することが可能となっています。

一方、人間の目と同じように、左右の目で奥行きを測る「ステレオビジョン」という方法を用いることによっても距離を測れます。「ステレオビジョンカメラ」は、三角形とおたがいのカメラの水平距離、左右の目標物の画像の位置の違いを組み合わせ、目標物までの距離を推定します(図7)。

図4 レーザスキャナの長所・短所

レーザスキャナ



トラクターから中距離の障害物を検出するのに適している



図5 カメラ

設置例:

トラクター上部にカメラを設置



USB接続



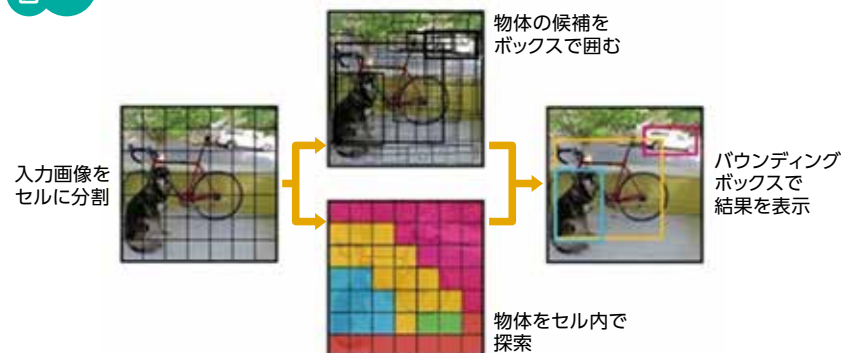
AIによる人間検出

人間検出信号を送る



画像処理PC

図6 AIが物体を識別



<https://medium.com/analytics-vidhya/yolo-explained-sb64456431>

画像をいくつかのセルで区分して、物体の候補をボックスで囲んで探索。そして候補をバウンディングボックスで囲んで結果を出し、そこに犬や自転車、離れたところに自動車が見えていることを認識する。

カメラの長所・短所

カメラは中・遠距離の障害物を検出するのに適しています。車両ロボットの上部に取り付けられますが、運転席にも設置することは可能です。

カメラの長所は「高い防水性・防塵性」「他のセンサにくらべて低コスト」「設置が容易」「周辺環境の広い視野が得られる」などです。短所は「機械的振動や照明条件に大きな影響を受ける」「精度がレーザよりも劣る」「ステレオビジョンカメラは高価」「AIを使用するためハイスペックなコンピュータが必要」などです。

近接センサ

人ないしは障害物が近づいてくる、または接触したことを検知します。「超音波センサ」や「接触センサ」などがあります。

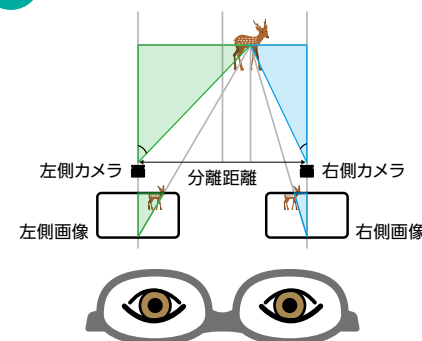
超音波センサは、人間の耳には聞こえない周波数の超音波を発信させ、跳ね返ってきたエコーを受信します(図8)。基本的にはレーザスキャナと同じ原理ですが、速度は音速(300m/秒)を使います。目標物が小さいと超音波の反射が検出できない場合もあるので、距離測定用のセンサとしてではなく、近接センサとして使用されます。

一方、接触センサは頑丈なスイッチでできていて、物理的に接触すると回路が開いて電流の遮断を検出し、接触を検知します。ただし稼動する機械部品が多いため経年劣化しやすいので、可動式ではない「誘導型近接センサ」も開発されています。これは接近する金属物体を磁場を使うことで検知するもので、泥などで汚れていても作動します。

近接センサの長所・短所

近接センサは車両ロボットの全周や一部の作業機に取り付けられます。長所は「頑丈でメンテナンスが少なくすむ」「他のセンサにくらべて低コスト」「まわりに多くのセンサを取り付け可能」などです。短所としては、「超音波センサは雨や埃の影響を受け、距離測定の精度が悪い」「設置が難しく、特別な取り付け部品が必要」などです(図9)。

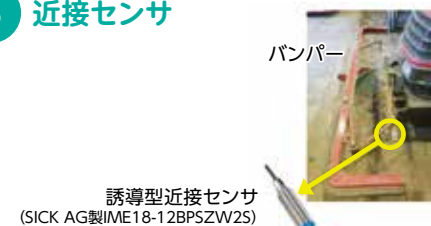
図7 ステレオビジョンカメラ



ソニー製の高感度センサを用いたステレオビジョンカメラ
(ZMP社RoboVision 2s)

ステレオビジョンのイメージ。左右のカメラの水平方向の分離距離や、左右の画像位置の違い、三角形を用いて、距離を計算する。レーダーがなかったころの船舶では、同じ原理を用いた測距儀で距離を測っていた。

図8 近接センサ



誘導型近接センサの一例。誘導型近接センサは、泥や液体など汚れの可能性があるところでも使用可能。

図9 安全センサの長所・短所



安全センサは、それぞれに長所と短所があるので、数種類のセンサを組み合わせ使用するようにする。