

高精度直進作業アシスト装置・現地セミナー 開発機の構造と性能について

生研センター・基礎技術研究部 塙 圭二
共同研究企業 三菱農機株式会社

はじめに

大豆や野菜類など畝立て栽培を行う作物では、播種、畝立て、マルチ敷設などの作業の際に、行程を直線的かつ隣接行程と一定間隔を保つことが重要であり、高度なトラクタ運転技術が要求される。また、近年、畝立て作業と同時に肥料や薬剤の散布を行う作業機が普及しつつあるが、オペレータはトラクタの運転操作に加え、複数の作業機を監視する必要も加わり、負担が増加する傾向にある。加えて、農業従事者の高齢化や農繁期における長時間労働などの傾向に対し、オペレータの安定的な確保や農作業事故防止の観点から、オペレータの負担軽減が望まれている。また、畝立て栽培を行う作物では、直線性や行程間隔の精度が低下した場合、その後の中耕除草などの作業精度も低下し、雑草の抑草効果や作物生育に影響を与える問題がある。

このような背景から、ほ場でのトラクタによる作業において、ステアリングを自動制御し、目標地点や前行程の作業跡などに対し、高精度に直線的に走行する装置を開発した。また、装置は低コスト化と速やかな普及を目指し、トラクタに後付け装着が可能な構造とした。



図1 直進作業アシスト装置の全体構成

1. 高精度直進作業アシスト装置の構成

1) 開発機の全体構成

開発機の全体構成を図 1 に示す。中核となる機器は画像装置と操舵装置であり、画像装置はトラクタの前方を撮像するカメラと、カメラの画像を解析する計算機で構成され、算出した情報を操舵装置に送信する。操舵装置はトラクタのステアリングを回転させるモーターとローラー、これを制御するコントローラー、操作スイッチなどで構成される。附属する機器として、直進走行の目標物となるターゲットランプ、追従走行の目標となる V 字形の溝を形成する作業跡マーカで構成される。

2) 開発機の機能

開発機は直進アシスト機能と追従アシスト機能の 2 種類の機能を備える。直進アシスト機能は 1 行程目の作業での使用を想定したもので、図 2 のようにほ場の遠方端の目標位置に設置したターゲットランプに向かって、真っ直ぐに直進走行する機能である。また、同時に作業跡マーカを使って、ほ場の表面に V 字形の溝を形成する。追従アシスト機能は、図 3 のように前行程で形成されたマーカ跡に沿って追従走行する機能であり、2 行程目以降の作業に対応する。



図 2 直進アシスト機能



図 3 追従アシスト機能

3) 画像装置

画像装置には図 4 右下のような、カメラと計算機が一体化した市販機器を使用し、これを図 4 右上のような筐体に収納し、トラクタのフロントウィンドウの上部に取り付ける構造である。計算機にはスマートフォンなどに使用される CPU が搭載されており、低価格でありながら、高い計算能力が得られている。画像装置には USB コネクタがあり、USB ハブを介して USB メモリや無線 LAN アダプタを接続できる。画像装置で動作する画像処理のソフトウェアは、USB メモリに書き込むことで、容易に更新が可能である。また、無線 LAN アダプタを介してスマートフォンと通信が可能であり、図 4 左上のような画像処理のデータを書き込んだカメラの画像を、ユー

ザーが所有するスマートフォンに表示することができる。ユーザーのスマートフォンを利用することで、システム価格の低減を図ると共に、ユーザーによる画像データの利活用などの展開も可能とするものである。また、スマートフォンから画像装置側に信号を送ることも可能であり、スマートフォンを新たな HMI 機器として利用することも可能である。

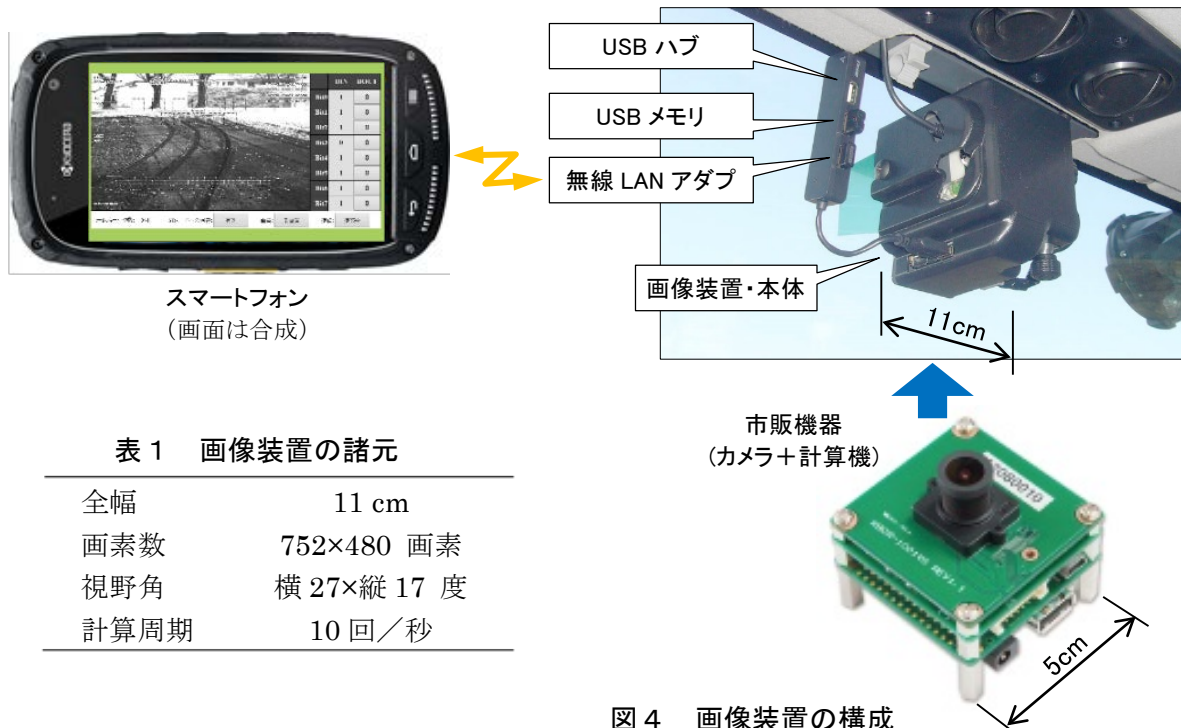


図4 画像装置の構成

4) 操舵装置

操舵装置は図1右上および図5のように、トラクタのメーターパネルのバイザー上に固定され、操作レバーに内蔵された小型モーターで駆動されるローラーにより、ステアリングを外周から回転させる構造である。操舵装置は小型軽量であるため、出力 20kW 程度のトラクタにも装着が可能である。

モーターは 10W と小型・小出力であるが、ステアリングを駆動する能力は、ステアリングの外周端にて 17N 以上の操舵力を発生し、一般的なパワステを有するトラクタの操舵が可能である。また、ステアリングの回転速度は最大 0.5 回転／秒であり、播種、畝立て、マルチ敷設などの、比較的低速で直線的に走行する作業に対し、十分な容量を有している。

操舵装置のローラーおよびモーターなどの消耗部品は、ホビー用途として市場流通している部品を使用しており、入手が容易であり、かつ安価で、交換作業も容易に可能である。また、操舵装置のローラーは柔軟なスポンジゴム製で、また、バネ力でステアリングに押し当てられる構造であるため、運転者の手や指の挟み込みに対し、傷害などは起こり難い構造である。

操作パネルには直進アシスト機能と追従アシスト機能を切替える機能選択ダイヤル、操舵角の制御強さ調節ダイヤル、機能のリセットボタンなどが設置され、また、装置の動作状態を表示する LED とブザーが備えられている。操作レバーを押し引きする操作によって、ローラーがステアリングに押し当てられた駆動状態（図 1 右上）とステアリングから離された待機状態（図 5）が切替えられると共に、モーターの ON/OFF 動作が連動される。

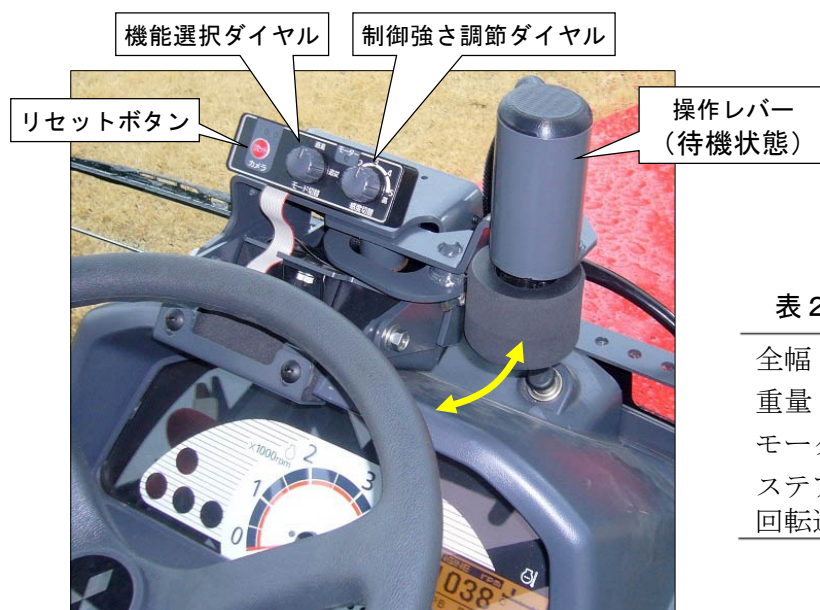


図 5 操舵装置の構成

表 2 操舵装置の諸元

全幅	33 cm
重量	3.5 kg
モーター出力	10 W
ステアリング 回転速度	0.5 回転／秒

5) ターゲットランプ

ターゲットランプは直進走行の目標物としては場に設置するもので、図 1 右下のような形状である。ターゲットランプは 0.4 秒周期で点滅する LED ランプであり、点滅周期を一定とすることで、カメラ画像から自動的にターゲットランプを探し出す機能を実現している。また、カメラ画像に映るランプの大きさから、ターゲットランプまでの距離を推定することができ、作業行程が終端に近付いてターゲットランプとの距離が接近すると、運転者にブザーで知らせる機能を実現している。図 1 に示すターゲットランプは、200m の距離まで検出可能な設計である。都府県では長辺 100m に区画整備されたほ場が一般的であり、一部にはほ場を結合して長辺 200m にし

表 3 ターゲットランプの諸元

最大距離	200 m
全高	63 cm
発光部縦幅	25 cm
重量	2.3 kg
LED 個数	40 個
点滅周期	0.4 秒
電池本数※1	4 本
動作時間	5～6 時間

※1 単三型充電式電池、電源用

たほ場がある状況から、最大距離を 200m とした。また、LED の個数を増やすことで、200m 以上の距離に対応化することも可能である。

6) 作業跡マーカ―

作業跡マーカ―は図 1 左下のような形状で、図 6 のように動作し、追従走行の目標となる深さ 7～12cm 程度の V 字形の溝を形成する。V 字形の溝とすることで、追従すべき溝の底の位置が明確になる利点がある。作業跡マーカ―を取り付ける水平アームは、2 本の平行リンク構造とすることで、マーカ―の上下動に対し、マーカ―先端の左右方向の位置の変化を小さくしている。

図 6 は細かく碎土され、乾燥ぎみの土壌での動作状態の例であり、良好なマーカ―跡の形成が可能である。一方、図 7 は水田転換畑でのダイズ播種作業への適用例であり、水分が多めで 5cm 程度の土塊のほ場でのマーカ―跡の状態である。写真では解り難いが、V 字形の溝は大まかに形成され、直進アシスト装置によって検出、追従が可能であった。

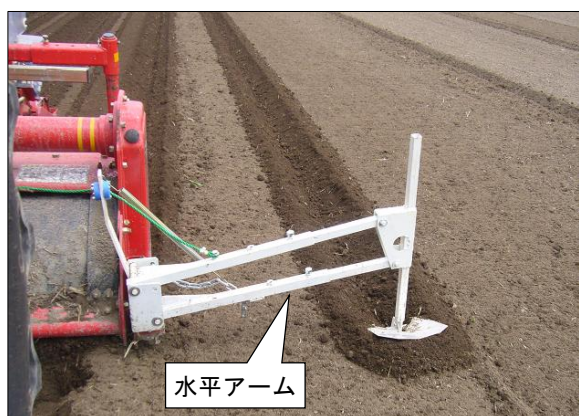


図 6 作業跡マーカ―の動作状態
(細かい土の場合)



図 7 5cm 程度の土塊でのマーカ―跡の状態
(追従アシストが可能)

2. 画像装置での画像処理方法

1) 直進アシスト用の画像処理方法

図 8 は直進アシスト走行時のカメラ画像に、画像処理のデータを上書きした図である。直進アシスト機能では、まず、遠方にあるターゲットランプを含む黒枠線内の画像を追跡し、この範囲内の画像の時間的变化から、点滅するランプ部分を赤点のように抽出する。ランプ部分の画像上の位置からトラクタの進行方向のずれが検出され、また、ランプ部分の画像上の大きさから、ターゲットランプまでの距離が計算される。同時に手前の地面上で、明暗変化が大きい部分に白枠線で示すような複数の領域を設定して位置を追跡する。各領域の画像上での位置の変化を解析する

ことで、トラクタの横方向の位置のずれが検出される。これらトラクタの方向のずれと横方向の位置のずれに基づいて、トラクタの直進走行が制御される。

2) 追従アシスト用の画像処理方法

図9は追従アシスト走行時のカメラ画像に、画像処理のデータを上書きした図である。追従アシスト機能では、トラクタの前進中の連続する複数枚の画像に対し、画像上での地面の細かい位置の変化を詳細に解析することで、赤点列で示すように地面の凹凸形状を検出することができる。続いて凹凸形状の中から、予め設定したV字型の形状（図中の緑色の線）と一致する部分を探索することで、マーカー跡の位置が検出される。また、検出されたマーカー跡の周囲の明暗パターンを抽出し、これと類似する明暗パターンを画像の上方に向かって探索することで、より遠方でのマーカー跡の位置を検出し（図9の白点）、マーカー跡の曲線形状などが推定される。



図8 直進アシスト機能用の画像処理の例

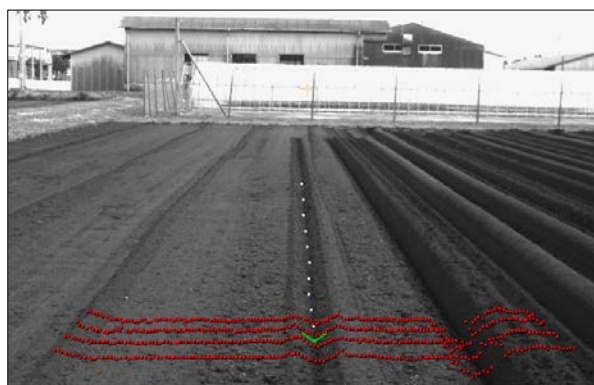


図9 追従アシスト機能用の画像処理の例

3. 高精度直線作業アシスト装置の操作方法

1) 直進アシスト機能の操作方法

1行程目は直進アシスト機能を使用する。トラクタを作業開始位置に進入させると共に、ほ場の遠方端の目標位置にターゲットランプを設置する。操作パネルの機能選択ダイヤルで直進アシスト機能を選択すると、画像装置は自動的にターゲットランプの探索を開始し、検出OKになると操作パネルのLEDが点灯する。オペレータが操作レバーを引き寄せて駆動状態にすると、ステアリングの自動制御が開始され、以後、オペレータはステアリングの操作が不要となる。これによってオペレータはトラクタの速度調節や作業機の操作、周囲の安全監視などにより専念することができる。トラクタが進行してターゲットランプに接近すると、操作パネル内のブザーが鳴り、行程の終了がオペレータに注意喚起される。オペレータは操作レバーを待機位置に戻してステアリングの自動制御を停止し、手動操舵にて次行程に向けたトラクタの旋回など操作を行う。

2) 追従アシスト機能の操作方法

1 行程目の作業と同時に、作業跡マーカーを使って 2 行程目での追従アシスト用に V 字溝を形成する。V 字溝の位置は、次行程でトラクタの中心が通過する位置になるように、作業跡マーカーの水平アーム（図 6）の長さを調節する。また、各行程の終了時には作業跡マーカーを上げる操作を行い、次行程の開始時には作業跡マーカーを下げる操作を行う。

2 行程目では、まず、操作パネルの機能選択ダイヤルを追従アシスト機能に切替える。V 字溝を検出するには、画像処理の特性上、画像処理の開始位置からトラクタを 1m 程度前進させる必要がある。画像装置にはトラクタの旋回を検出する機能が組み込まれており、多くの場合、旋回の終了を検出して画像処理が自動的に開始され、トラクタが次行程の作業開始位置に前進する際に、V 字溝の検出が完了する。V 字溝が検出 OK で操作パネルの LED が点灯していれば、操作レバーを駆動状態にすることで、ステアリングの自動制御が開始される。

一方、V 字溝が未検出で LED 消灯の場合には、オペレータは操作パネルのリセットボタンを押して画像処理を開始すると共に、通常と同様にステアリングを手動操作しながら作業を開始する。1m 程度前進して V 字溝が検出され、LED が点灯したら操作レバーを駆動状態にするか、あるいは、操作レバーを駆動状態にしたまま手動操舵を行うと、V 字溝の検出と同時にステアリングの自動制御が開始される。トラクタが進行してほ場の終端に近付き、V 字溝がカメラの視野からなくなると、操作パネルのブザーが鳴り、行程の終了がオペレータに注意喚起される。

また、操舵角に対するトラクタの旋回特性は、ほ場の土質や水分、作業機の種類などに影響を受ける。トラクタの追従性が低い、あるいはステアリングが過剰に操舵されて蛇行傾向となる場合には、操作パネルの制御強さ調節ダイヤルを操作することにより、操舵角のゲインや応答性が変化し、それぞれの状況に適した制御強さに調節が可能である。