

## 醸造用ぶどう園向け除草作業支援ロボットの開発

鈴木 慎一, 多田 達実, 三田村 智行, 浦池 隆文  
大村 功\*, 白旗 雅樹\*\*, 内田 哲嗣\*\*, 金子 俊一\*\*\*  
田中 孝之\*\*\*, 桑原 純一\*\*\*\*, 高松 正志\*\*\*\*\*

## Development of Weeding Robot for Brewing Vineyards

Shin'ichi SUZUKI, Tatsumi TADA, Tomoyuki MITAMURA, Takafumi URAIKE  
Isao OHMURA\*, Masaki SHIRAHATA\*\*, Tetsushi UCHIDA\*\*, Shun'ichi KANEKO\*\*\*  
Takayuki TANAKA\*\*\*, Jun'ichi KUWABARA\*\*\*\*, Masashi TAKAMATSU\*\*\*\*\*

### 抄 録

北海道の醸造用ぶどう園では、雪害を避けるため、ぶどう樹の幹を傾斜させて植栽する栽培法が主流となっている。このため、本州やヨーロッパで使用されている、幹を垂直に植栽する栽培法を前提とした機械等では、効率的な除草作業を行うことが難しい。そこで本研究では、作業効率の向上を目的として、積雪地の栽培法に適した除草作業支援ロボットの開発を行った。

除草作業では、ぶどう樹根元位置の正確な推定機能や、ぶどう樹を傷つけることなく除草を行う機能が必要となる。このため、これまでに屋外向けのセンサとして開発してきた「ステレオビジョンセンサ」を基礎として「ぶどう樹検出センサ」を開発するとともに、ぶどう樹を傷つけず除草を行う「除草機構」の開発を行った。これらと、GPSセンサ等を用いた自動走行機能を統合し、ロボット化を図った。開発においてはシミュレーション技術を有効に活用し、圃場における実地試験により、ロボットの有効性を検証した。

**キーワード：**除草作業 支援ロボット, ステレオビジョンセンサ, 3D-CAD, シミュレーション

### Abstract

In most Hokkaido vineyards, the cultivation method by tilting the stem of grapes is major for preventing snow damages. Therefore the weeding machines used in Honshu and Europe suitable for the cultivation method, in which grape stems are planted vertical to the ground, aren't available. For that reason we developed appropriate weeding robot for snowy area to improve the work efficiency.

In weeding operation, precise recognizing function of root position and sufficient cutting function without error cutting are required. To realizing the weeding robot, we developed the grape stem sensor by using our developed stereo-vision sensor technique and error-cutting-free weeding mechanism. Finally we integrated them and automatically traveling function by using GPS sensor to try robotization. We proceeded developing effectively by using simulation and verified the effectiveness of the robot in field test.

**KEY-WORDS :** Weeding Robot, Stereo Vision Sensor, 3 D-CAD, Simulation

---

\* 道総研 研究企画部, \* Hokkaido Research Organization Research Planning Division

\*\* 道総研 中央農業試験場, \*\* Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station

\*\*\* 北海道大学, \*\*\* Hokkaido University

\*\*\*\* 株式会社イーエスイー, \*\*\*\* E S E Co., Ltd.

\*\*\*\*\* ディ・アイ・トキワ株式会社, \*\*\*\*\* D・I・Tokiwa Co., Ltd.

事業名：重点研究

課題名：果樹園向け除草作業支援ロボットの開発

## 1. はじめに

醸造用ぶどう園（以下ぶどう園）において、除草作業はぶどう樹を病害虫から保護し健全に育成するために重要な作業である。しかし、多大な労働負荷に加え、作業者の高齢化に伴う労働力不足が課題となっている。また、安全・安心に対する意識の高まりから農業使用の低減が求められており、除草作業の省力化、自動化を実現する機械の開発が期待されている。

北海道において醸造用ぶどうは、多くが垣根仕立てで栽培されている（図1）。冬期間は、ぶどう樹を凍害・雪害から保護するため、幹を地面に伏せて、雪の下で越冬させる。このため、幹は傾斜させて植えられており、幹がほぼ垂直であることを前提としたヨーロッパ等の除草機械の導入は、困難な状況である。

そこで本研究では、北海道におけるぶどう園の下草刈り支援を目的とした自走式ロボットを開発し、実用化に向けた技術開発を行うとともに、実地試験を行ってその有効性を検証した。



図1 垣根栽培のぶどう園場



図2 垣根栽培の状況

## 2. 醸造用ぶどう栽培の現状

除草作業支援ロボットに求められる能力等を把握するため、北海道立総合研究機構中央農業試験場の試験農場（北海道夕張郡長沼町）および道内4カ所（後志2，十勝1，空知1）のぶどう園にて作物条件、圃場の条件および労働負担等について調査を行った。

### 2.1 醸造用ぶどうの作物条件・圃場条件および除草状況

垣根栽培されている圃場の状況を図2に示す。垣根には、ぶどう樹のほかに、ぶどう樹の枝を固定するためのワイヤやこれを支える支柱がある。ぶどう樹は、ワイヤに沿って直線状に、約±0.1mのばらつきで植えられており、列の間隔は2.2～2.5m、樹間は2m程度であった。

また、幹の直径は5～72mmと樹齢によってばらつきが大きく、樹齢1～2年の径の小さい若い樹は、保護カバーや保護ネットをかけて保護されていた（図3）。

除草剤を使用せずに機械除草が行われている栽培面積は、5～120haと様々である。平坦な箇所のほか、傾斜地でも栽培されており、最大傾斜は約15度であった。また、ぶどう樹を中心とした半径約0.3mの範囲の凹凸は、最大で約50mmであった。

刈払機を用いた除草作業の投下労働量は、42.0～45.5人・時/haであった。除草後の雑草草高は50mm、ぶどう樹根元付近の残草部は、根元から100～300mmの範囲にあった。



図3 保護カバー

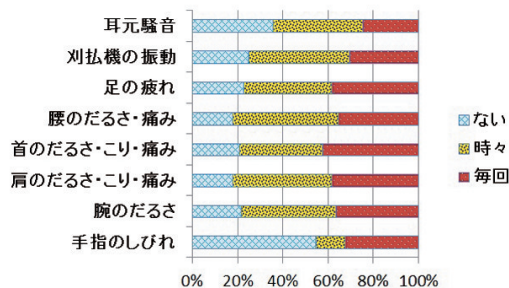


図4 刈払機使用後の肉体的負担（調査人数29名）

### 2.2 除草作業の労働負担

刈払機を使用した際の肉体的負担およびヒヤリハット体験の調査では、刈払機使用後に80%以上の人が、図4に示すような肉体的負担を感じていた。また、約60%の人が、キック

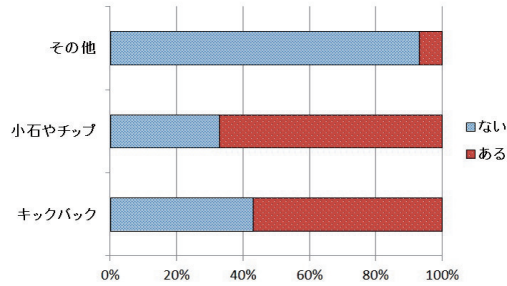


図5 刈払機使用時のヒヤリハット体験（調査人数29名）

バックや小石・チップの飛散などのヒヤリハットを経験しており（図5）、作業者が高い割合で肉体的負担や精神的な不安・緊張感を感じていることを確認した。

### 3. 除草作業支援ロボットに要求される機能

まず、除草方法について検討を行った。ぶどう樹列の間はトラクタなどにより除草されるので、除草の対象は、この除草で刈り残されたぶどう樹列に沿った幅約0.5mの範囲とした。実用的な除草能率を実現する観点から、除草はぶどう樹列に沿って走行しながら行うこととした。走行しながらぶどう樹列の両側を除草することは困難であるため、除草は片側ずつ行い、往復で除草を完了する方式とした（図6）。除草は退避機能を有する除草機構で行い、ぶどう樹の根元に近づくとき退避動作を行うことで、ぶどう樹を避けるようにした。除草機構は二つの回転刃（直径0.23m）を並置して刈幅を0.4mとし、ぶどう樹列が外側の回転刃の中心を通るよう設定した。これにより、除草対象とした範囲（幅約0.5m）の半分を除草することができる（図7）。

走行経路からの許容偏差は、回転刃の外側がぶどう樹列より内側に入り刈り残しが出ないように、 $\pm 0.1\text{m}$ とした。また、除草機構の退避幅は、走行経路からの許容偏差、ぶどう樹のばらつきを考慮し、0.4mとした。

除草機構の退避の範囲は、刈払機を使用した人手による除草の残草部の大きさ（0.3m）を踏まえ、ぶどう樹周辺0.3mとした。退避動作の制御に必要なぶどう樹の検出と根元位置の推定は、新たにぶどう樹検出センサを開発して行うことにした。除草機構には、ぶどう樹検出センサの検出漏れに備え、一定の力が加わると退避を行う機構を設けることにした。退避を開始する力は、実験でぶどう樹に損傷を与える恐れがないと判断された40Nを上限とした。

ロボットの開発に必要な機能と開発項目を図8に示す。

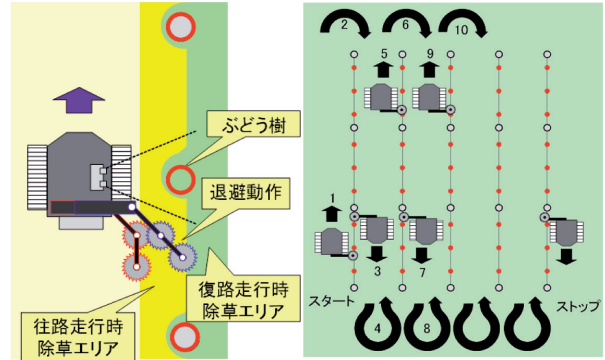


図6 除草方式

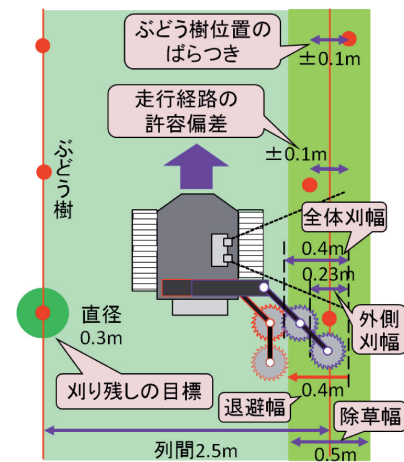


図7 ロボットの除草仕様

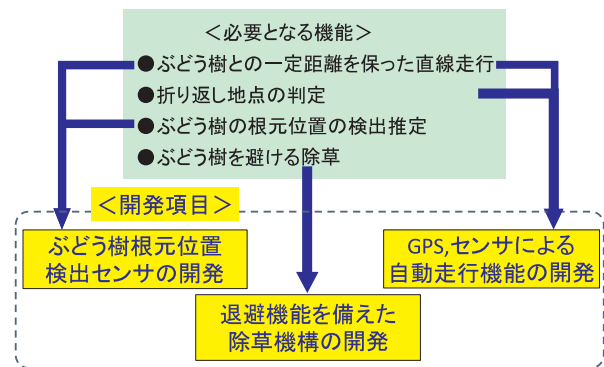


図8 ロボットに必要な機能と開発項目

### 4. シミュレーションによる設計の検討

本除草作業支援ロボットの開発に際しては、三次元シミュレーションの活用による各種動作の検証を行った。シミュレーションには、3D-CAD (SolidWorks社製 SolidWorks) および機構解析機能 (SolidWorks Motion) を用いた。これにより、実機段階における設計変更や手戻りを大幅に削減することが可能となる。本研究では、作業対象の圃場も含めたモデル化を行い、走行特性と除草機構の動作を事前に確認し



た後に、実機の製作を行った。

#### 4.1 圃場のモデル化

ぶどう圃場地盤の樹列方向断面は概ね図9のような形状となっている。造成されてから時間が経っている圃場では、トラクターの走行等により押圧され、樹列間は若干地盤が低下し、わだちがある。これに対し、除草作業の対象部であるぶどう樹根元付近は、少し盛り上がっている。また傾斜地では、等高線に沿って階段状の断面となるよう造成されている例も見受けられる(図10)。さらにこれらの断面形状は、樹列方向に一様ではない。またぶどう樹列についても、ぶどう樹根元付近の太さや傾きは様々な状態が混在している。これらを考慮し、ぶどう圃場の三次元モデルを作成した(図11)。実際に測定した圃場断面を基準とし、ランダムに変化を与えた複数の断面を長手方向にスイープすることで凹凸の変化を表している。ぶどう樹の植栽間隔、支柱の設置間隔、およびぶどう樹列間の距離は、一般的な圃場での平均的な値とした。ぶどう樹については、根元の直径が50~80mm程度、垂直に対する傾きが10~45度程度のものをいくつか作成し、ランダムに配置した。

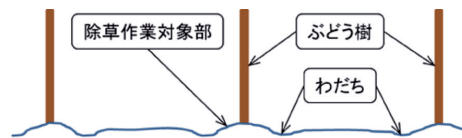


図9 ぶどう圃場地盤の断面

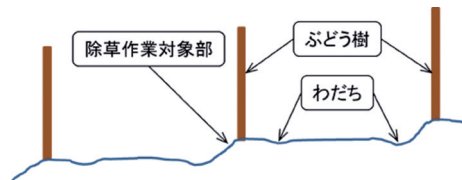


図10 傾斜地におけるぶどう圃場地盤の断面

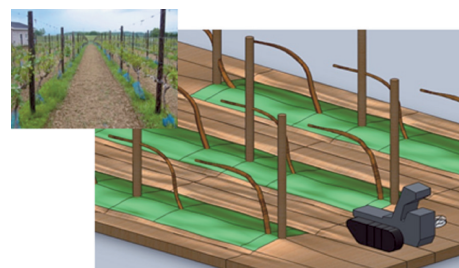


図11 ぶどう圃場の三次元モデル

#### 4.2 走行シミュレーションによる制御と除草機構の検討

前述の圃場モデルに対して、除草機構を搭載した車体の走行シミュレーションを行い、設計の最適化を図った。

車体はクローラにより駆動されるが、シミュレーションにおいてクローラそのものを表現することは、可動部品点数の増加による解析時間の増加をまねくことから現実的ではない。そこで本研究では、クローラの接地面に複数の車輪を配した解析用疑似モデルを用いることで、クローラによる走行を表現した。

走行シミュレーションでは、クローラと地盤の間の摩擦力や弾性等の特性に基づいた物理計算が行われる。しかし実際の圃場におけるこれらの特性は一定ではないため、現実と考えられる範囲で摩擦係数や弾性係数を変化させて設定し、走行特性の検討を行った。除草機構についても、地面やぶどう樹との接触に関する摩擦係数と弾性、およびリンク形状やリンク構造に復元力を発生させるためのばね定数などを変化させて設定することにより、最適な設計条件の検討を行った。

走行シミュレーションの様子を図12に示す。車体の走行経路を確認するとともに、除草機構がぶどう樹や支柱に接触した際の回避動作と、回転刃外周部の軌跡による除草範囲の確認を行った。走行シミュレーションにおいては、実機に搭載されるセンサ(GPSコンパスとぶどう樹検出センサ)による制御を考慮した。除草作業の際、車体はぶどう樹列と平行にかつ一定の距離を保ちながら走行する必要がある。したがって、車体軸の方位偏差および距離偏差に比例した回転差をクローラに与えることで、地面の凹凸による外乱を補正しながら

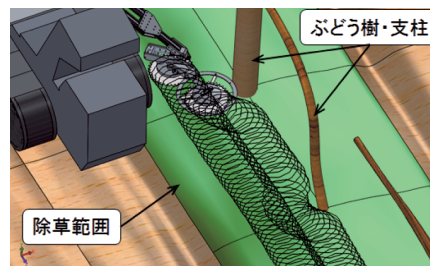


図12 シミュレーションの様子

ら走行させた。除草機構については、ぶどう樹検出センサからの検出信号に基づいて回避動作(能動動作)を行うこととしているが、シミュレーションでは、通常除草時の地面に対する追従性と、センサによる検出に失敗した場合でも機械的な回避(受動動作)を可能とするための構造について検討した。

これらのシミュレーションによる検討を重ねた結果、路面の凹凸の影響を受けずに走行可能とする車体の制御手法と、安定した除草と回避動作が可能な除草機構についての設計方針が得られたため、これらに基づき実機の製作を行った。

### 5. 開発した除草作業支援ロボット

#### 5.1 基本構造

前述の各機能を搭載した除草作業支援ロボットを試作した。



その外観を図13に示す。

ベース車両は、クローラ式の小型ローダを改造して使用した。ベース車両の諸元を表1に示す。除草ユニットとアームから構成される除草機構は、ロボットの右側面後方に配置した。ぶどう樹検出センサは、除草機構と同じロボットの右側面の前方に配置した。グローバルな自己位置情報を得るため

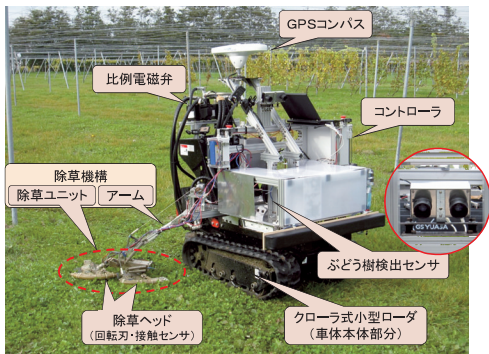
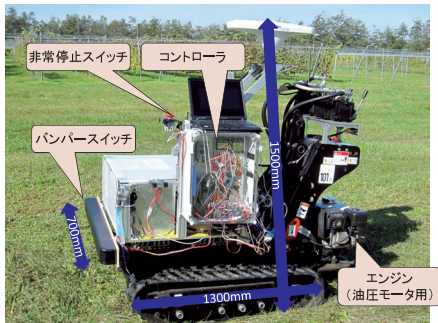


図13 除草作業支援ロボットの外観

表1 ベース車両の諸元

メーカー名	Cormidi 社
型名	RIKISHI
車両重量	約 210 kg
エンジン馬力	6.5 PS
最高速度	2.3 km/h
燃料タンク容量	3.6 L

表2 GPSコンパス諸元

メーカー名	Hemisphere 社
型名	ssV-100
方位精度	0.75° rms
位置精度	1.0m (2DRMS) DGPS 時
データの更新レート	~10Hz
寸法	50.0 x 15.2 x 10.0 cm
重量	1.30Kg
消費電力	5W
接続	RS-232/RS-422

のGPSコンパスを本体中央上部に配置した。表2にGPSコンパスの諸元を示す。左側面には、ロボットの制御を行うコントローラを配置した。また、安全対策として、非常停止スイッチやバンパースイッチを搭載した。

なお、油圧モータ以外はすべて電動であり、電力供給用に自動車のバッテリー (12V) を4個搭載している。

## 5.2 ぶどう樹検出センサ

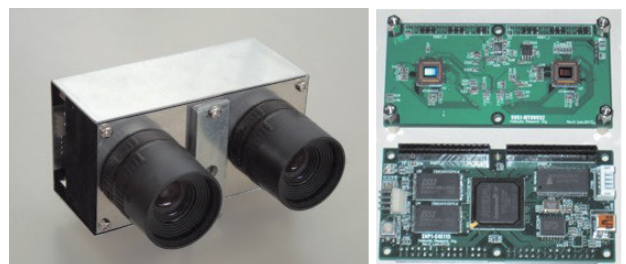
### 5.2.1 ぶどう樹検出センサの概要

本研究では、平成22~23年度に開発したステレオビジョンセンサ<sup>1,2)</sup>をベースとして、ぶどう樹の検出処理や根元位置の推定処理を行う回路を付加することにより、新たなぶどう樹検出センサを開発した。その仕様を表3に、外観および内部の基板を図14に示す。センサは2枚の基板から構成されており (図14 (b)), 図の上側の基板には二つのCMOSイメージセンサとイメージセンサ制御用のFPGAが搭載されている。図の下側の基板には、ステレオ画像処理およびぶどう樹の検出処理を行うFPGA, メモリなどが搭載されている。

ぶどう樹検出センサの処理フローを図15に、ロボットへの設置状況を図16に示す。ぶどう樹検出センサは、雑草越しにぶどう樹を撮影できるように、また、日没近くの直射日光の影響が緩和されるよう、伏角20度でやや下向きに設置されている。

表3 ステレオビジョンセンサの仕様

イメージセンサ	Aptina社 MT9V032 (Mono, 752 x 480px, 60fps)
イメージセンサ制御用FPGA	Altera社 Cyclone II EP2C8T144C8(8kLEs)
画像処理用FPGA	Altera社 Cyclone IV E EP4CE115F23C9L(115kLEs)
SRAM	ISSI社 IS61WV102416 x 2枚 (1024k x 16bit)
USBコントローラ	Cypress社 CY7C68013A (USB2.0 480Mbps)
レンズマウント	CSマウント
基線長	60mm
サイズ	W100 x H50 x D40mm (レンズを除く)



(a) 外観 (b) 基板

図14 ステレオビジョンセンサ

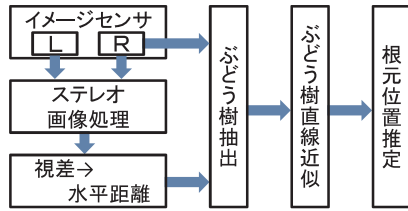


図15 ぶどう樹検出センサの処理フロー

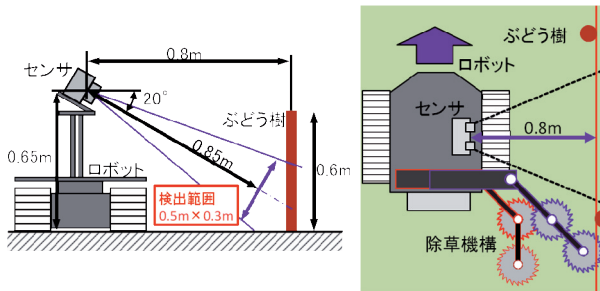


図16 ぶどう樹検出センサの設置状況

### 5.2.2 ステレオ画像処理

ステレオ画像処理は、二つのカメラで撮影した対象物の画像上での位置のずれ（視差）から、三角測量の原理に基づきカメラと対象物との距離を求める処理である。視差を求めるには、二つの画像上で対応する点を探索する必要がある。ステレオ画像処理において最も重要で、かつ処理に時間を要するこの対応点探索には、回路規模がコンパクトで、屋外でのロバスト性に優れた方向符号照合法<sup>3)</sup>を採用した。時分割処理、パイプライン処理、並列処理を組み合わせ、普及価格帯のFPGAによりリアルタイムでのステレオ画像処理を実現している<sup>1,2)</sup>。

### 5.2.3 ぶどう樹抽出処理

撮影された画像には、ぶどう樹の幹のほかに、雑草、ぶどうの葉や果実などが写っている。ぶどう樹の根元位置推定には、雑草等は不要であり、障害ともなるので、これらを除去し、ぶどう樹の幹を抽出する処理を行う。モノクロ画像では、雑草や葉は比較的輝度が高いのに対し、ぶどう樹の幹の輝度は低めとなる。そこで、一定輝度以上の画素は雑草、葉と判断して取り除き、ぶどう樹の幹の抽出を行った（図17）。

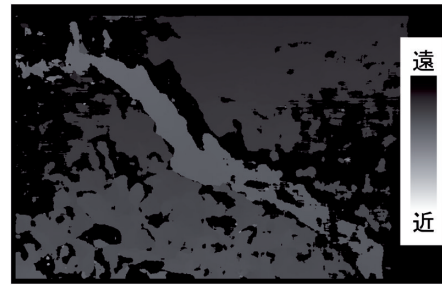
### 5.2.4 ぶどう樹の直線近似と根元位置の推定

除草機構の動作を制御するには、ぶどう樹とセンサの水平距離およびぶどう樹の根元位置（画像中心からの左右方向の距離）が必要となる。そこで、ぶどう樹の幹を直線近似し、地面との交点を求めることで、根元位置の推定を行った。

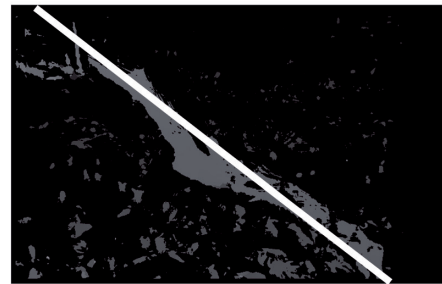
ぶどう樹として抽出された画素は、水平距離によりグループ分けし、グループごとに画像中央を原点とする極座標形式のパラメータ空間（ $\rho$ - $\theta$ 空間）でHough変換<sup>4)</sup>による直線検



イメージセンサ  
取得画像



距離画像



ぶどう樹抽出  
直線近似

図17 ぶどう樹の検出と直線近似の流れ

出処理を行った。

ぶどう園には、ぶどう樹のほかに垣根に張ったワイヤを支える支柱などがある。これらを同時に検出する必要から、本センサでは、最大4本まで直線を検出している。ぶどう樹の幹は傾斜しているのに対し、支柱はほぼ垂直に立っていることから、検出した直線の角度により、ぶどう樹と支柱の識別も行っている。

ぶどう樹の根元位置は、ぶどう樹とセンサとの水平距離、画像上の近似直線およびセンサの設置高と伏角を用いて、直線が地面と交差する位置として求めることができる（図18）。

## 5.3 除草機構

### 5.3.1 全体構造

除草機構は、回転刃を有する2個の除草ヘッドを、車体から斜め後方に伸びたアームにより支持する構造とした（図19）。これにより、車体とぶどう樹の接触を避けながらの除草が可能となっている。ぶどう樹や支柱を検出した際は、外側の除草ヘッドが後方にスイングする退避と、除草機構全体が横方向にスライドして退避する二つの動作が可能となっており、ぶどう樹との距離により退避動作の選択が可能である。また

表7 モータ諸元

電源電圧	24 V
出力	250 W
回転数	3, 500~5, 000 rpm
重量	0.95 kg

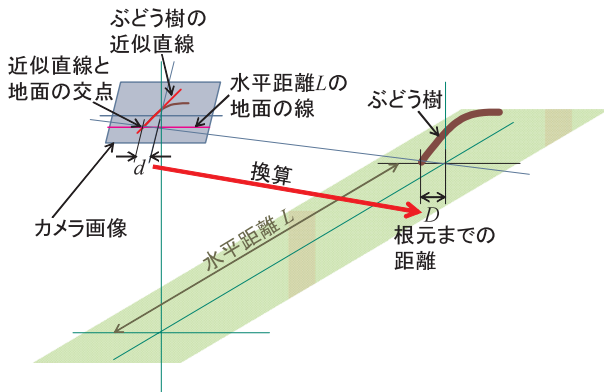


図18 根元位置の推定

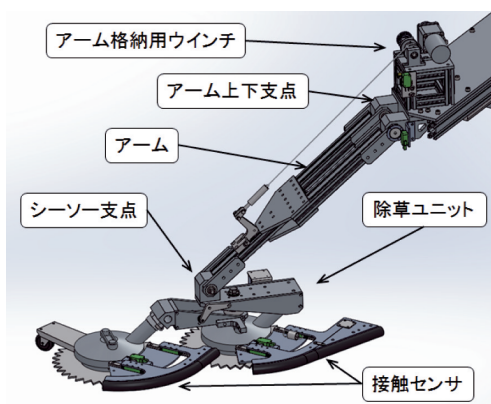


図19 除草機構

除草ヘッドが地面の凹凸に追従するよう、二つの除草ヘッドを組み合わせて除草ユニットとし、アームを介したリンク機構により車体と接続している。車体の移動や方向転換時には、周囲の構造物との不要な接触を避けるため、ウインチによりアームを持ち上げて車体側に格納する。

### 5.3.2 除草ヘッド

除草ヘッドには、(株)コスモメカニクス社製の電動刈払機に搭載されているコアレス型直流モータを使用した(表7, 図20)。本モータを使用することで回転刃のダイレクトドライブが可能であり、動力伝達機構が不要で軽量かつコンパクトな構造となる。回転刃は直径230mmの刈払刃(市販品)を使用した。人手による除草作業では、刈払機を左右に動かし回転刃外周と雑草が接触する機会を増やすことで、効率的に除草を行っている。しかし本ロボットによる除草では、車体の走行に従って直線状に除草ヘッドが移動する。このため、回転刃の外周部でカットされなかった雑草はそのまま回転刃の下を通過し、刈り残しが増える結果となった。そこで、回転刃の下面に突起を設けることで、回転刃の下を通過する雑草を効率的にカットできるよう工夫した。また、回転刃と地面との接触や食い込みによる過負荷を防止するため、回転刃

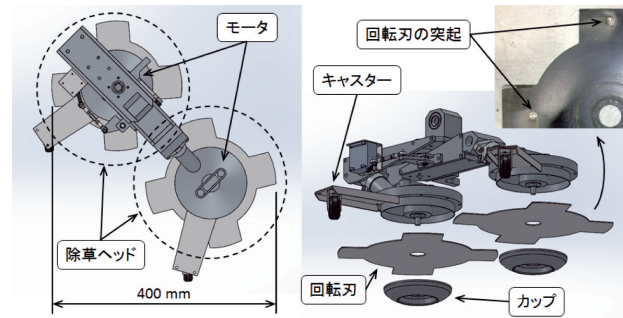


図20 除草ヘッドと除草ユニット

下面にカップ状の部品を装着している。

### 5.3.3 除草ユニット

二つの除草ヘッドを組み合わせて除草ユニット(図20)とすることで、合わせて約400mmの刈幅としている。また除草ユニットには、地面からの距離を確保し、スムーズな除草を可能とするため、キャスターを装着している。刈高さは約50mmとなるよう調整している。

### 5.3.4 地面凹凸への追従機構

2章で示したとおり、ぶどう圃場は平坦ではない。したがって、走行の過程で刻々と変化するロボット本体の姿勢に対し、除草ユニットは独立して姿勢を変えながら、ぶどう樹根元付近の地形に追従する必要がある。そこで除草機構(図19)は、車体の傾きや上下動に対しては、車体との接続部を支点にアーム全体が上下に動くことで対応する。また根元付近の地形の変化に対しては、除草ユニットを、アームとの接続部でシーソー状に可動する構造として対応している。このシーソー構造においては、ばねを用いて車体外側の除草ヘッドを地面に押し付ける方向に復元力を働かせることで、過大な姿勢変化を抑制するようにしている。

### 5.3.5 退避動作と誤刈防止機構

ぶどう樹検出センサがぶどう樹や支柱を検出した際は、外側の除草ヘッドが後方にスイングする動作と、除草機構全体が横方向にスライドする動作により退避を行う。外側の除草ヘッドが接触すると判断された場合はスイング動作のみを行い、内側が接触すると判断された場合はスイング動作とスライド動作の両方を行う(図21)。スイング機構は回転型のサー



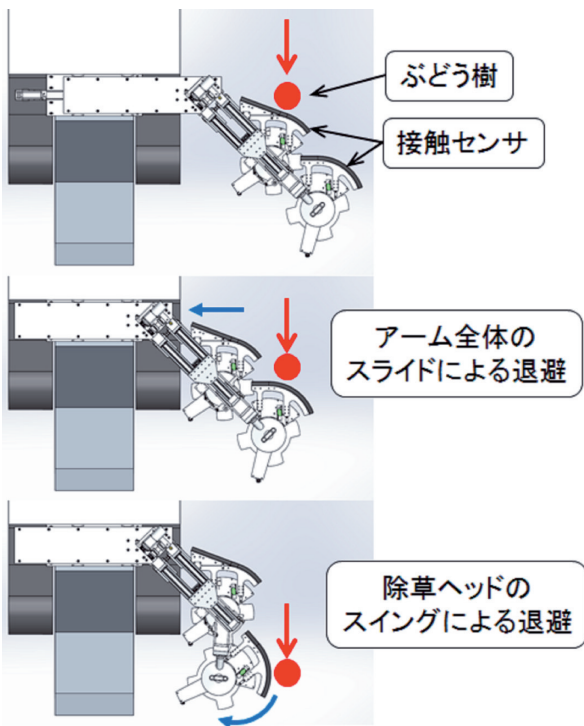


図21 除草機構の退避動作（上方視）

ボモータとリンク機構により駆動する。またスライド機構は、車体に固定したスライドテーブルに除草機構を搭載し、直動型の電動シリンダで駆動する。スイング機構とスライド機構によりそれぞれ200mmの退避を可能としており、合計で400mmの退避幅を実現している。

除草ユニットの誤刈り防止対策として、回転刃前方を部分的にカバーで覆い、さらにカバー前方にはばねで支持した接触式のセンサを設けた。接触時には、このセンサからの信号により除草ユニットを退避させてぶどう樹への影響を最小限に抑えることができる。接触センサの作動に必要な押し付け力は、40Nを超えないように設定し、ぶどう樹に損傷を与えないようにした。

実機に搭載した除草機構を図22に示す。

## 5.4 走行制御と退避動作

### 5.4.1 ロボットの制御部

ロボットを制御する制御コントローラは、マイコン（ST Microelectronics社製CORTEX-M3コア）を搭載した2枚の制御ボード（メインボード、サブボード）から構成され（図23）、ボード間や各センサとの通信、付帯装置の入出力制御、クローラの速度制御、走行の経路計画やぶどう樹に沿った走行、除草等の各種動作を制御している（図24）。

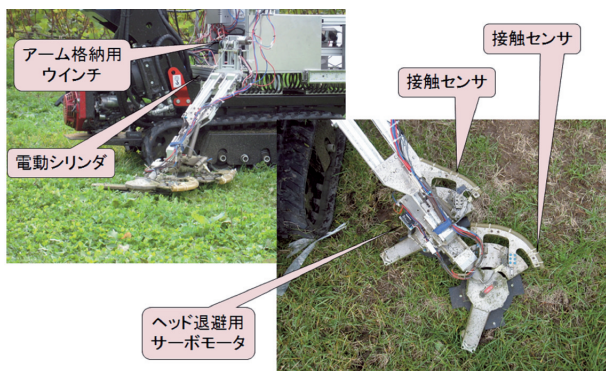


図22 実機に搭載した除草機構

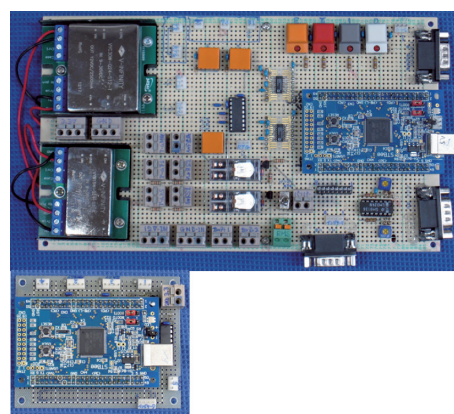


図23 制御ボード（上：メインボード、下：サブボード）

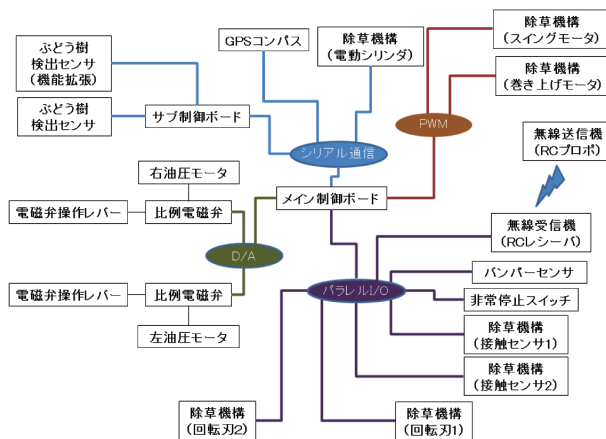


図24 制御系統図

### 5.4.2 走行制御

ロボットの走行制御は、GPSコンパスで得られる位置情報および方位情報を用いて行う。ロボットには、始点、終点、転回地点などあらかじめ必要な位置情報が与えられ、これに基づき走行直線が計算される。走行直線とロボットの距離、走行直線とロボットの方位の差を逐次求め、比例制御により左右クローラに速度差を与え、走行制御を行っている（図25）。しかし、使用しているGPSコンパスの位置情報には1m程度

の測位誤差が含まれており、ぶどう樹列も直線ではない。したがって、GPSコンパスのデータ上では走行直線上を正確に走行していても、ぶどう樹列とロボットの距離は変動することがある。このため、ぶどう樹検出センサで得られる支柱とロボットとの距離が一定の範囲に収まらないときは、走行直線を補正し、ロボットがぶどう樹列に沿って走行するようにしている（図26）。

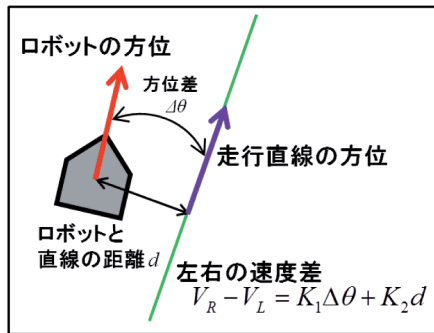


図25 ロボットの走行制御

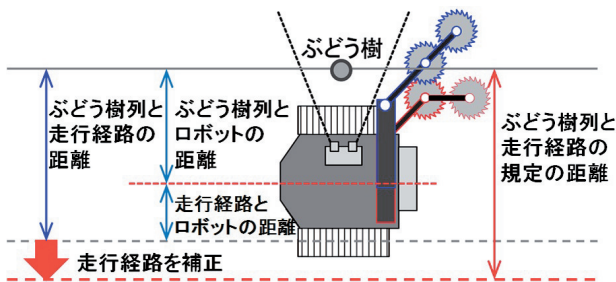


図26 ぶどう樹列に沿った走行経路の補正

#### 5.4.3 除草機構の退避制御

除草機構の退避動作は、通常、ぶどう樹検出センサの信号により制御される。ぶどう樹検出センサは、除草機構の車体前方に設置されているので、除草機構の退避動作は、ぶどう樹検出後、ロボットが走行してぶどう樹等の根元に回転刃が接近するタイミングを計算して行う必要がある。そこで、GPSコンパスの位置情報をもとに根元位置と外側除草ヘッドの距離を求め、一定距離以下になると退避動作を行う。ロボットとぶどう樹等の距離が近く、除草ヘッドの退避のみで接触が回避できない場合は、アームの退避も併せて行う。

外側除草ヘッドが根元位置を通過し一定距離を走行すると、除草機構を復帰させる。ぶどう樹等の間隔が狭くアームが往復する時間的余裕がないときや、外側除草ヘッドを復帰させる位置が次の根元位置から一定距離以内に入っている場合には、アームまたは外側除草ヘッドを復帰させず、退避を続けるようにしている。なお、復帰動作中に接触センサが反応したときは、再び退避動作を行うようになっている。

## 6. 各機能試験と実地試験

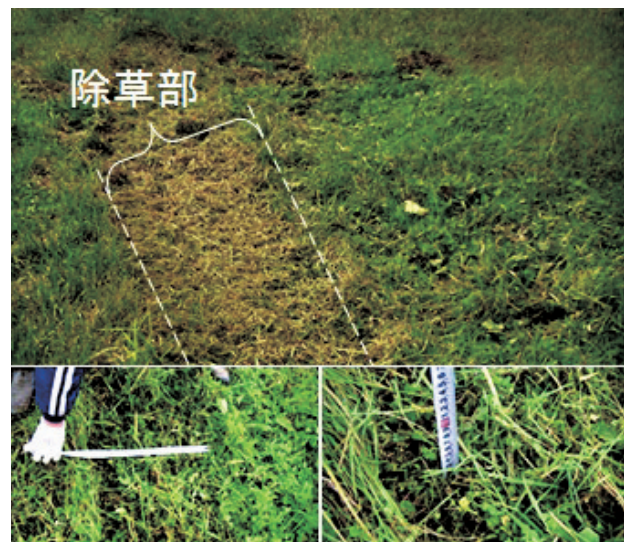
### 6.1 ぶどう樹接触時の押し付け力試験

製作した除草機構の接触センサに力センサを押し当て、除草機構が退避動作を開始するまでの力を計測した。退避を開始した時の押し付け力は、32.5～38.6Nであった。これは、設計値の40Nを下まわり、除草ヘッドがぶどう樹に接触してもダメージを与えずに退避動作が可能であることを確認した。

### 6.2 除草試験

ロボットを走行させて除草した後、除草幅および残草草高を計測した。除草後の状況と計測の様子を図27に示す。

この結果、除草幅は約0.3m、残草草高は約50mmであり、残草草高の値は、設計仕様を満たしていることを確認した。



上：除草部、下左：幅の計測、下右：高さの計測

図27 除草試験

### 6.3 ぶどう園における実地試験

中央農業試験場のぶどう圃場において、除草作業支援ロボットの現地試験を行った。試験を行ったぶどう樹列の例を図28に示す。この圃場の1列の長さは、約57mであった。

現地試験の結果、ロボットを時速0.8kmでぶどう樹列に沿って走行させたときの目標経路からの偏差は約±0.1mであり、目標通りの走行が可能であることを確認した。図29に、試験の様子を示す。

ぶどう樹検出センサのぶどう樹の検出率は、日照条件、ぶどう樹や雑草の状況によって大きく変動するが、カメラ画像中に幹が確認できた場合、95%以上の割合で検出可能であった。誤検出や未検出となった例としては、一部張り出した枝を幹と誤って認識した場合や幹が根元から大きく湾曲していた場合（図30）およびぶどうの葉によって幹が隠れた場合な



どがあった。

また、除草機構の退避動作については、図31のようにスムーズにぶどう樹を避けた除草が可能であることを確認した。以上の試験結果より、本ロボットの有効性が確認された。

一方で、ぶどう樹検出の精度向上や除草機の地面への追従性向上などの課題も見出された。



図28 試験を行ったぶどう樹列



図29 自動走行の様子



図30 湾曲したぶどう樹

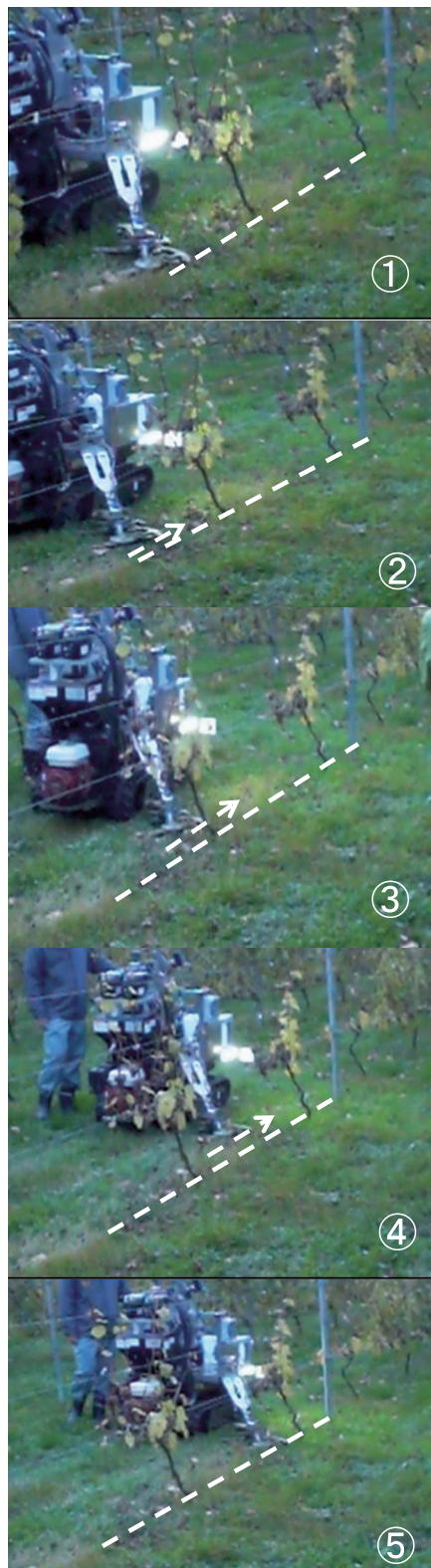


図31 ぶどう園での退避動作



## 7. おわりに

本研究では、醸造用ぶどう園を対象にした除草作業支援ロボットの開発を行うとともに、圃場で実地試験を行い、良好な試験結果を得た。ロボットの機能実現のために新たに開発したぶどう樹検出センサについては、屋外用の画像センサとしての有用性を確認したが、一方でさらなる検出精度の向上などの課題も明らかになった。

今後は、本ロボットのさらなる実用化に向けた取り組みを進めるとともに、本研究で得られた基盤技術を基に、他の農作業、林業等の作業ロボット、工場内の移動ロボットなどへの幅広い応用展開を図っていく予定である。

## 引用文献

- 1) 大村功・三田村智行・堤大祐：FPGAを用いたリアルタイムステレオビジョンセンサの開発，北海道立総合研究機構工業試験場報告，No.311，pp.7-13，(2012)
- 2) I.Ohmura・T.Mitamura・H.Takauji・S.Kaneko：A real-time stereo vision sensor based on FPGA realization of Orientation code matching, Proc. of ISOT 2010 International Symposium on Optomechatronic Technologies, 3 DSI-2, (2010)
- 3) F.Ullah・S.Kaneko・S.Igarashi：Orientation code matching for robust object search, IEICE Trans. on Inf. & syst., Vol.E84-D, No.8, pp.999-1006, (2001)
- 4) デジタル画像処理編集委員会監修：デジタル画像処理, CG-ARTS協会, pp.211-214, (2006)