

育林作業の自動化に関する研究 - 作業負担と苗木位置検出技術の検討 -

多田 達実, 飯田 憲一, 畑沢 賢一, 鈴木 慎一, 鶴谷 知洋, 鈴木 耕裕

Research on Automatization of Silvicultural Works - Work Burden Analysis and Position Recognizing Technique to Saplings -

Tatsumi TADA, Kenichi IIDA, Kenichi HATAZAWA
Shinichi SUZUKI, Tomohiro TSURUYA, Takahiro SUZUKI

抄 録

苗木の植え付けから幼木の育成までを行う育林作業は、きつい人力作業であり、就労者の高齢化の問題もあることから、自動化が急がれている。本研究では、作業負担分析により自動化を推進しなければならない作業を下刈り作業に絞り込んだ。また、下刈りの自動化に用いる苗木位置検出技術の開発を行い、それらを応用した自走式下刈り装置を試作し、自動化の可能性を示した。

キーワード：育林作業，自動化，作業負担，位置検出

Abstract

Automatization of silvicultural works is needed for the reason why they are still heavy hand-works and most of workers are aged. We found out the target work to be automatized as a result of the work burden analysis of silvicultural works. And we developed position recognizing technique to saplings for automatization and made trial selfpropelled mowing machine.

KEY-WORDS : silvicultural works, automatization, work burden analysis, position recognizing

1. はじめに

本道の基幹産業である林業，とりわけ木材生産業においては、低価格な輸入材の攻勢の中、新たな設備の導入による生産性の向上が思うように進まず、さらには労働力の高齢化と若年労働の不足が追い打ちをかけ、木材生産は商品価値が高い樹種に限定され、その生産量も低迷を続けている。また、一方では、森林資源は自然環境保全機能が重要視されてきており大規模な切り出しにより荒廃した山林の回復が積極的に進められてきている。以上の背景から、木材生産コストや山

林回復コストを低減するため、人手作業が主体である育林作業(地拵え、植栽、下刈り)の自動化が強く求められている。この分野の研究開発は地拵えや植栽作業においては事例があるものの実用化されたものはなく、特に雑草に埋もれた状態の苗木を傷つせず、周囲の雑草を刈り払う下刈り作業は機械化が著しく遅れている。本研究では、最初に育林作業の作業負担分析を行い、定量的な評価を行った。また、下刈り作業の自動化を実現するため、雑草などが生い茂る不整備な屋外環境下で苗木の位置を検出する技術を開発した。さらに、苗木位置情報を活用する苗木の損傷回避制御についての研究を行った。

事業名：一般試験研究

課題名：屋外における複雑形状物の位置検出技術

2. 作業負担解析¹⁾

育林作業において、人手中心により行われる植栽、下刈り作業を対象に、当試験場で開発した作業負担評価システムを用いて、作業員への身体的負担の解析を行った。

図1に植栽・下刈りの作業風景を示す。



図1 植栽・下刈りの作業風景



図3 入力画面の一例

2.1 作業負担評価システム

本システムは、作業者を煩わせることなく、作業姿勢を観察するだけで簡単に負担の度合いを測定できるものである。「作業現場から得られた2,005種類の作業姿勢データ」と「各姿勢ごとのEMG実験によって得られた定量的な負担評価指数」の2つのデータに基づき、これらをコンピュータシステム上で照合し計算することによって、各作業における負担評価指数を算出することができる。また、ワークサンプリング時点における作業姿勢を、コンピュータマネキンを用いて再現表示することも可能となっている。本システムにより、負担の大きい改善ポイントを見つけだし、改善後にもう一度効果を把握し、さらなる改善を進めていく改善サイクルで利用できる有効なツールである。図2に作業負担評価システムの概念図、図3にシステムの入力画面、図4に結果の出力画面を示す。

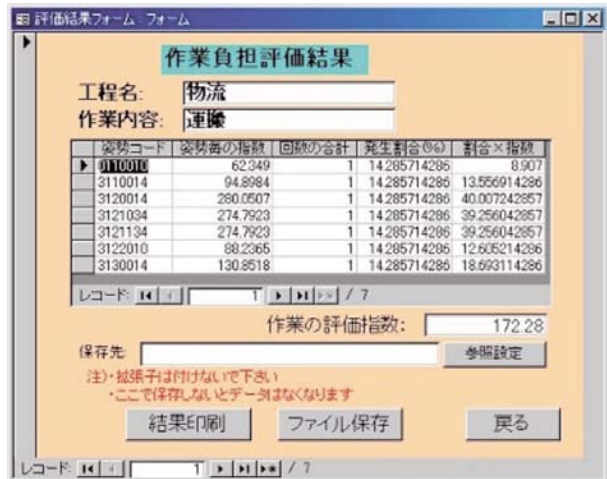


図4 評価結果の画面表示例

2.2 作業姿勢の調査

植栽・下刈り作業それぞれについて、ビデオ撮影を行い一定の間隔でサンプリングを行うスナッチリーディング法を用いて作業姿勢の調査を行った。各姿勢は、7桁のコードを用いて表現されている。このコードは、1桁目：上肢、2桁目：腰部、3桁目：前屈(上体)、4・5桁目：下肢(膝)、6桁目：下肢(足)、7桁目：加重(重量・負荷)の状態を示している。図5に植栽時の主な姿勢、図6に下刈り時の主な姿勢を示す。

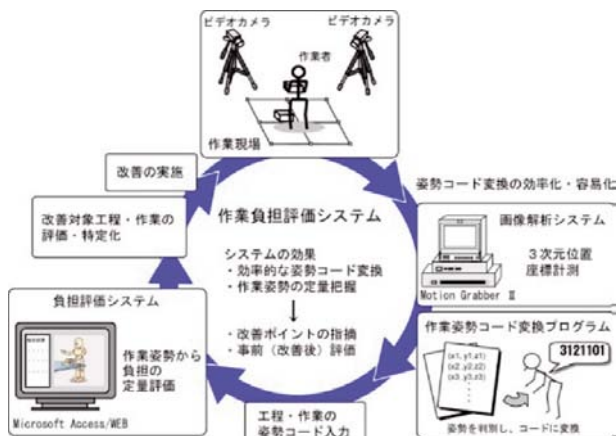


図2 作業負担評価システムの概念図



図5 植栽時の主な姿勢



図6 下刈り時の主な姿勢

2.3 負担評価指数の算出と考察

作業姿勢の調査結果を基に負担評価指数の算出を行った。算出方法は、作業姿勢に対応する負担評価指数とその姿勢の発生頻度を掛け合わせて積算するものである。式1に算出式を示す。

(1) 負担評価指数の算出式

$$IW_i = \sum_{j=1}^k (PR_j \cdot index_j) \quad (式1)$$

- IW_i : 作業iの負担評価指数
- i : 作業iの負担評価指数の添字
- k : 作業iにおける作業姿勢種類数
- j : 作業iにおける作業姿勢jの添字
- PR_j : 作業iにおける作業姿勢jの発生頻度(%)
- $index_j$: 作業iにおける作業姿勢jに対応する負担評価指数

(2) 負担評価指数の比較

表1に植栽の負担評価指数、表2に下刈りの負担評価指数を示す。

表1 植栽の負担評価指数

姿勢コード	頻度	発生割合(%)	負担評価指数	割合×指数
332001B	25	38.46	125	48.08
551001B	3	4.62	123	5.68
621101B	5	7.69	105	8.08
0111001B	11	16.92	50	8.46
3130010	15	23.08	91	21.00
313001B	6	9.23	129	11.91
合計	65	100		103

表2 下刈りの負担評価指数

姿勢コード	頻度	発生割合(%)	負担評価指数	割合×指数
211001B	30	57.69	125	72.12
211003B	1	1.92	110	2.12
211103B	1	1.92	164	3.15
211113B	2	3.85	164	6.31
212001B	9	17.31	179	30.98
212011B	1	1.92	231	4.44
251001B	4	7.69	108	8.31
252001B	4	7.69	155	11.92
合計	52	100		139

自覚感と負担評価指数の関係から「作業負担評価システム」が改善を推奨している値は120ポイント以上の作業である。植栽、下刈り作業ともに120ポイントを超える姿勢があるものの、下刈り作業のほとんどが120ポイントを超える姿勢で、中には170ポイントを超えるものまである。また、作業全体の負担評価指数でも103ポイントと139ポイントで下刈り作業の負担が大きいと判断される。このことから、負担軽減へ向けた対策として下刈り作業の機械化が優先されるべきであることの裏付けを得た。

3. 苗木位置検出技術

本研究では育林作業の内、作業負担が大きい下刈り作業の自動化のための苗木位置検出技術に取り組んだ。

3.1 育林作業の自動化に求められる位置検出性能

苗木の位置検出では、苗木自体の形状が不定形であり、雑草などが生い茂る不整備な環境下での検出となることを考慮しなければならない。本研究では、苗木の位置検出レンジを機械の粗い位置決め用いる最大5mまでの中距離用と苗木の誤刈り防止制御用いる250mmの至近距離用に分け、それぞれについて最適な方法を検討した。検出手段の比較では、苗木位置検出にとって重要となる項目について、基本特性や最新の技術情報から判断を行った。表3に位置検出手段の比較結果を示す。検討の結果、中距離については、苗木を特定できることと広範囲に検出が可能であることから画像処理方法の採用を決めた。また、至近距離については、苗木の特定ができることと情報の書き込み機能による作業管理への応用可能性からICタグの採用を決めた。

3.2 画像処理による位置検出

3.2.1 検出原理

検出対象として林業現場で広く使われているピンクリボンを目印として苗木に取り付けた。検出方式としては、固定された2台のカメラでそれらを撮影し、各カメラの画像上でのピンクリボンの重心位置から苗木の位置を求めるステレオ画像処理方式を採用した(図7)。

表3 位置検出手段比較

	検出手段	苗木特定	指向性	検出距離	検出精度	大きさ	その他 (作業管理)
中距離 (~5m)	画像処理	○	○	○	○	○	—
	超音波	×	×	○	○	○	—
至近距離 (~250mm)	ICタグ	○	△	○	○	△	○
	磁気	×	○	△	○	△	×

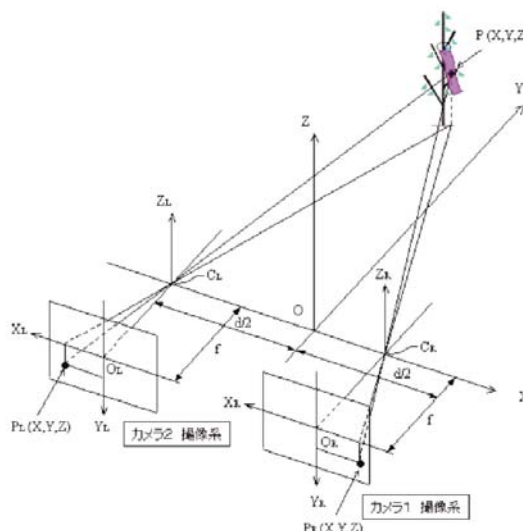


図7 ステレオ画像処理による苗木位置検出

3.2.2 画像処理装置

画像処理装置(図8)は2台のCCDカメラと画像入力ボードと画像処理を行うパソコンから構成されている(表4)。

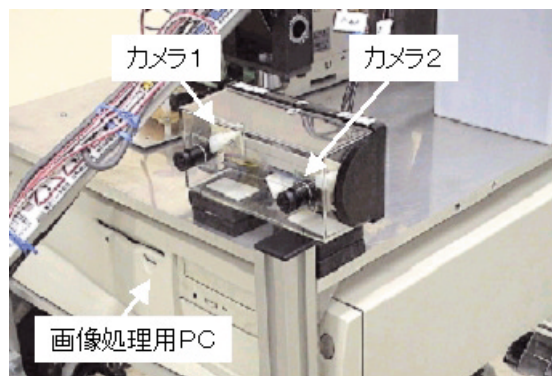


図8 ステレオ画像処理装置

表4 画像処理装置の構成

CCDカメラ	(株)秋月電子MTV-54CON 512(H)×492(V) 1/4 inch
画像入力ボード	フォトロン社製 FDM-PCI MULTI
画像処理用PC	COMPAQ DESKPRO 6000

3.2.3 画像処理アルゴリズム

画像処理のアルゴリズムを図9に、画像処理出力例を図10に示す。

画像処理では、森林環境におかれたリボンを付けた苗木の識別を想定し、画像のRGB分析や色相分析を行うことにより、画像処理方法を決定した。その結果、識別にはピンクリボンの色成分である赤成分及び色の種別を示す色相を利用することとした。画像処理では、左右それぞれのカメラが捉えた画像の赤成分と色相成分を適当なしきい値で2値化し、それらの積演算によりリボン形状を抽出した。なお、ノイズを

除去するため、重心計算の直前にラベリング処理を行い、最大面積となる部分の抽出を行った。最終的には2台のカメラ画像の重心位置情報を用い三角測量の原理からリボンが付された苗木の位置を求めた。

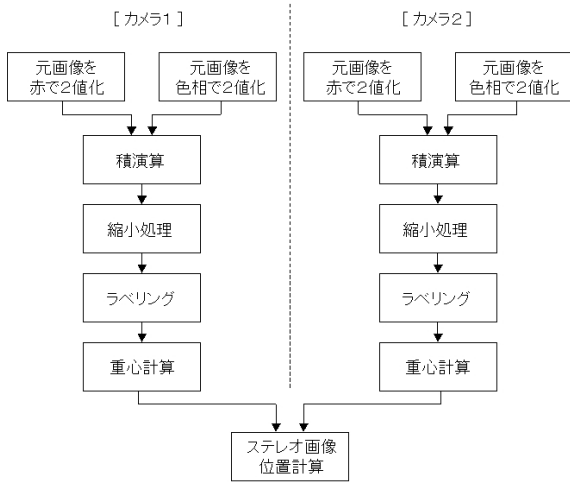


図9 ステレオ画像処理アルゴリズム

3.2.4 性能試験結果と考察

画像処理による位置検出の性能を確認するためリボンを取り付けた模擬苗木の室内における位置検出を試みた。

図11にステレオ画像処理装置の室内試験状況を示す。

試験では、カメラの基準から奥行き5m幅2mの範囲に疑似苗木を置き、それぞれの位置での測定を行った。図12にその結果を示す。



図10 画像処理出力



図11 画像処理位置検出試験

測定誤差が大きくなった原因としては、図13に示すようにリボン領域の抽出が不完全である結果として重心位置計算結果に無視できない誤差が含まれたことがある。また、計測不能となった原因としては、図14に示すように、先に述べたアルゴリズムに従って画像抽出を行った結果として、リボン領域ではなく周囲環境の条件に合った部分が抽出されることがある。この状況は、リボンがカメラから遠ざかる程、リボンの占める面積が小さくなると同時に色の強さが弱まることから、顕著となる。以上の原因に対する改良案としては、カメラの画素数を上げ分解能を高めること、2値化のしきい値を周囲環境の明るさに対応させて自動調整すること、ラベリング処理の工夫などが考えられる。

以上の試験により、画像処理による苗木位置検出については、性能の改善が必要なものの、実用化の可能性があることを確認できた。

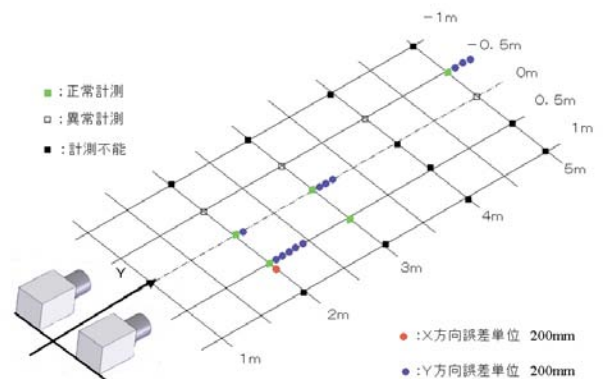


図12 画像処理計測試験結果

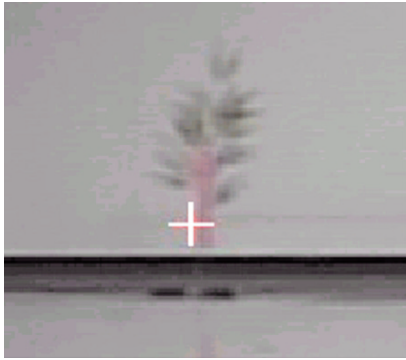


図13 リボン抽出誤差

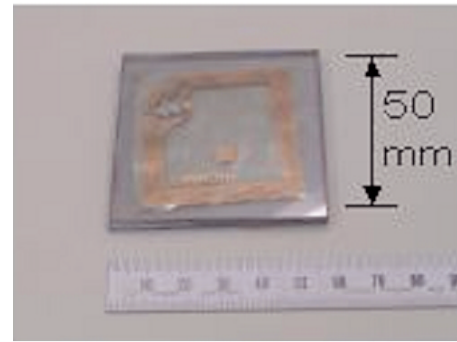


図16 ICタグ

3.3 ICタグを用いた位置検出

3.3.1 検出原理

ICタグを用いた位置検出では、苗木に一辺50mmのフィルム状のICタグ(図16：オムロン社製 形V720S-D13P02，仕様：表5)を取り付け、それをリーダーに接続したアンテナでスキャンする方法を用いた(図15)。

表5 ICタグの仕様

メモリ	112 バイト(ユーザエリア) EEP-ROM
発信周波数	13.56 MHz
データ保持時間	データ書き込み後10年(55° C以下)
データ書き換え回数	各アドレス毎10万回
使用周囲温度	-10 ~ +50° C
アンテナ	46 × 43 mm



図14 周囲環境の誤認識

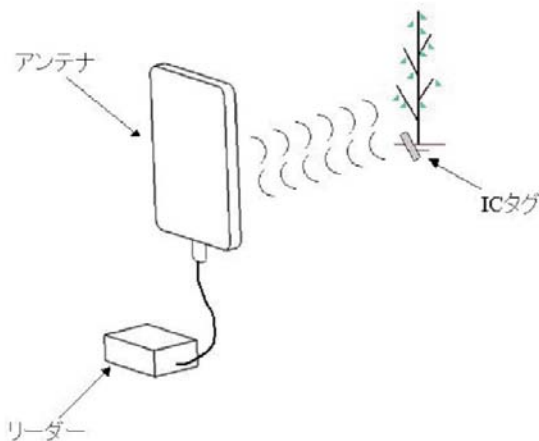


図15 ICタグを用いた位置検出

3.3.2 ICタグ配置設計

図17に当方の試験で確認したオムロン製のICタグの検出範囲を示す。この試験ではICタグをアンテナの面に正対させて計測した。その結果、このICタグの検出範囲はアンテナのセンターを中心とした半径約250mmの半球内(図17の検出領域)となることが分かった。苗木の存在を見落とさないためには不認識領域を極力狭くする必要がある。その対策としては、一つの苗木に対してICタグ複数用いる方法とアンテナを複数用いる方法があるが、苗木に付加するICタグのコスト増を避け、複数アンテナを用いる方法を検討した。図18にアンテナを2個使う場合の認識範囲を示す。この図が示すように隣り合うアンテナで相互の干渉が生じるが、認識範囲は2つのアンテナ認識範囲の和となり、ディスクカッターに対して側方から接近する苗木の認識が可能となることが分かる。

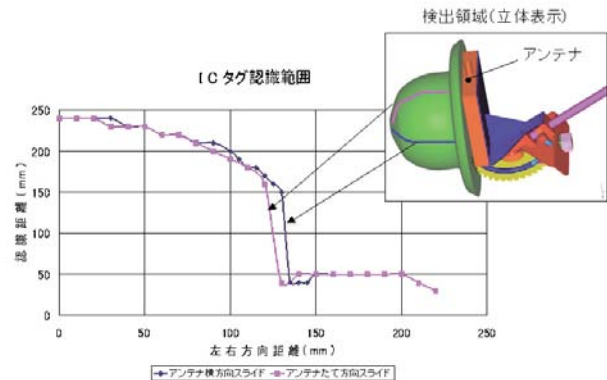


図17 ICタグ認識領域

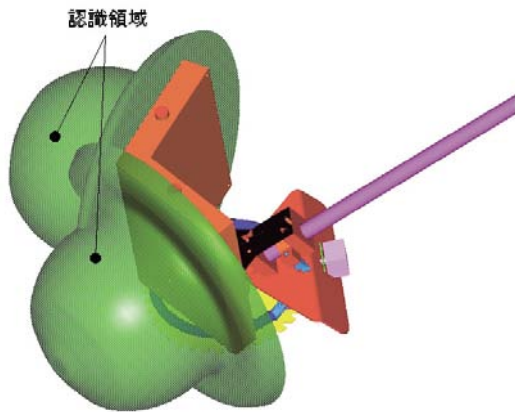


図18 ダブルアンテナでの認識領域

3.3.3 誤刈り防止機構

ICタグを用いた位置検出の応用として、誤刈り防止機能付き手動下刈り機を試作した(図19)。アンテナが苗木に取り付けられたICタグに近づき認識範囲内に入った時点でシャッターが空圧シリンダーの動きでカッターの外側にせり出し、苗木の切断を防止する(図20)。なお、本機では、ICタグが検出範囲内に入ってから最短で約0.3秒で誤刈り防止機構が動作する。

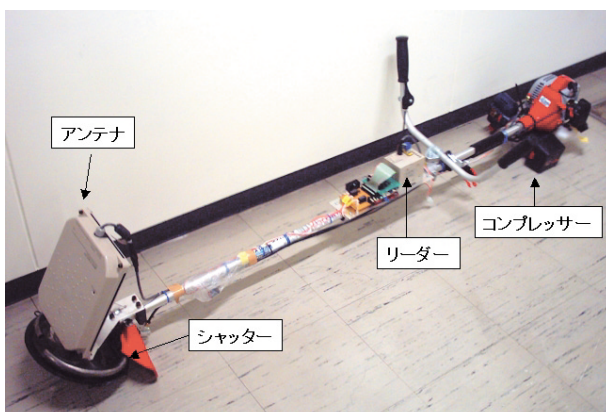


図19 誤刈り防止機能付手動下刈り機

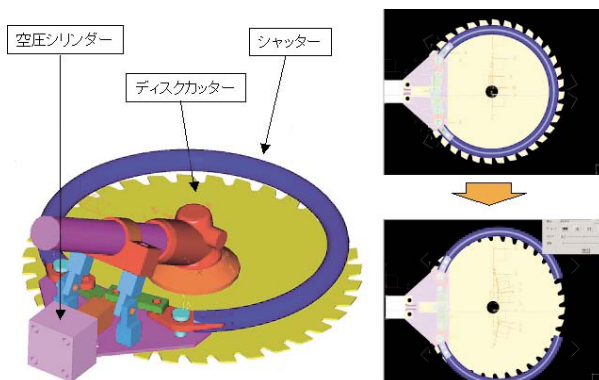


図20 誤刈り防止機構

また、本機についてはICタグを取り付けたポールを仮の苗木とみため日頃草刈り作業に従事されている方をお願いして実作業試験を行った(図21)。アンテナが大きく草刈り対象が見つらいことや装置が重い(従来機5.0kg->試作機12.3kg)という指摘もあったが、ポール(苗木)を気にしないで作業ができるという評価を得た。

以上の試験を通して、ICタグによる苗木位置認識が実際の下刈り作業においても有効であることを確認した。



図21 誤刈り防止機能付手動下刈り機の作業試験

4. 自走台車組み込み試験

4.1 台車の構成

下刈り作業の自動化への応用を想定した苗木の位置検出技術の基本機能を検証するために自走台車を試作し、動作試験を行った。図22に試作した台車を、表6に仕様を示す。

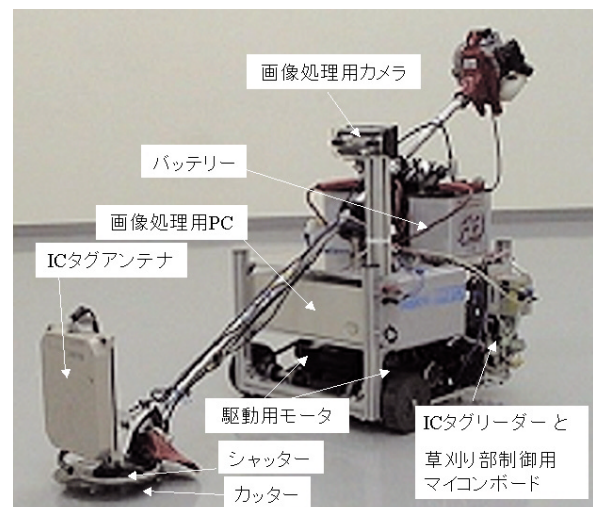


図22 実験台車

表6 台車の仕様

台車寸法(ベースのみ)	幅:450mm 奥行き:510mm 高さ:400mm
台車寸法(草刈り部付)	幅:610mm 奥行き:1540mm 高さ:920mm
台車重量(バッテリー含)	86kg
台車 動力源	24v (車両用 バッテリー 12v 2ヶ)
駆動用モータ	MBM315-411(オリエンタルモータ製)
台車速度(Max)	330mm/sec
草刈り部 揺動角度	35°

本台車は、小型の移動ロボットでよく使用される左右独立駆動型とした。従属輪である、キャスタは後方に配置した。台車は3段に分かれ、下段に駆動系、中段に画像処理用のPC、上段にバッテリーと草刈り部を配置した。また、側面に台車制御用のマイコンボードとインターフェースボード(図23)、ICタグリーダーと草刈り部制御用マイコンボードを取り付けた。

台車の制御ブロック図を図24に示す。リモコン制御マイコンからは台車の移動方向指令(前、後ろ、右、左、停止)をシリアル通信によって台車制御用マイコンへ送る。それを受けて制御マイコンは、I/OとD/Aより各モータを駆動する。今回は、台車移動時に草刈り部の揺動モータも動作することとした。また、画像処理結果も、シリアル通信で受けて苗木近傍と検知されたときは、LEDを発光し、操作者へ報知することとした。同様にICタグを検知した際も、草刈り部制御マイコンから検知結果をCANで受け、LEDを発光し、操作

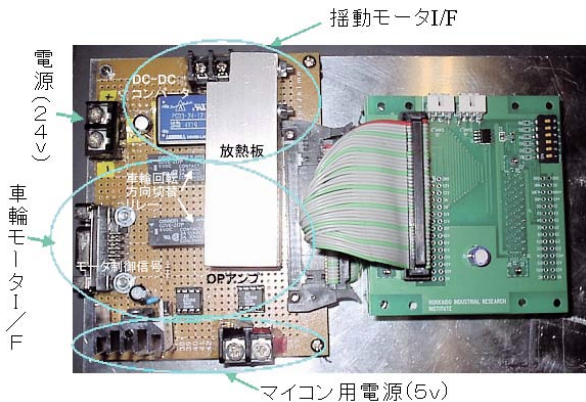


図23 台車制御用マイコンボードと駆動系インターフェースボード

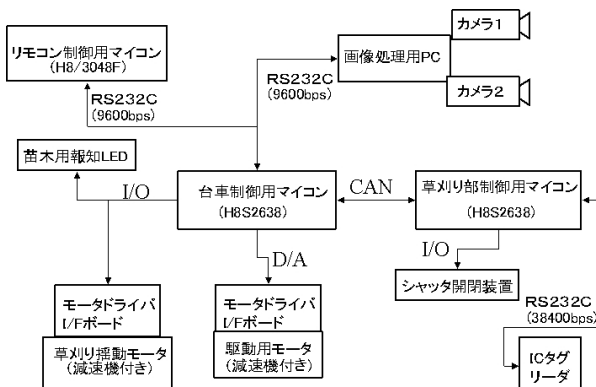


図24 台車の制御ブロック図

者へ報知することとした。

4.2 動作試験

動作試験では、模擬苗木にピンクのリボンとICタグを取り付け、リモコンにより台車を模擬苗木に接近させた(図25)。

試験の結果、画像処理PCやマイコンボード間の通信動作やシャッター開閉、台車の駆動について大旨、想定通りの動作を行うことができ、基本機能の確認および、実用化に向けての課題を明確にすることができた。

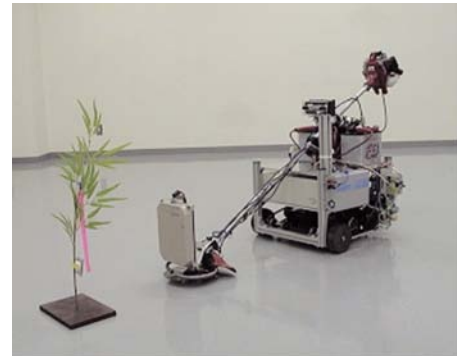


図25 動作試験の様子

実用化に向けて明らかとなった改善点は以下である。

- (1) 草刈り部の揺動動作をもっと細かく制御可能とし、苗木近傍時に揺動停止、揺動方向の逆転を行うことで誤刈り防止性を向上させる。
- (2) 台車の駆動系を見直し、直進・旋回性能を向上させる。
- (3) 駆動輪を見直し、山中で使用可能な機構とし、実証試験を行う。
- (4) 防水機能を付加する。
- (5) リモコンを無線化し、操作性を向上させる。

5. まとめ

本研究において育林作業の作業負担を明らかとし、自動化を推進しなければならない作業(下刈り作業)を特定した。また、下刈り作業の自動化に必要な苗木位置検出技術を提案し、その性能を明らかとした。さらに、それらを応用した自走式下草刈り装置を試作し、苗木位置検出技術を活用した自動化の可能性を示した。今後は、本研究成果を実用技術に高める研究を検討したい。

引用文献

- 1) 畑沢賢一・飯田憲一：作業負担システムの開発、北海道立工業試験場報告, No.302, pp.131-138 (2003)