HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	直播テンサイ用自動間引き・除草機の開発に関する研究
Author(s)	寺脇, 正樹
Citation	北海道大学大学院農学研究科邦文紀要, 26(2), 255-316
Issue Date	2004-12-27
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/5634
Type	bulletin (article)
Note	北海道大学博士論文（2004) Doctorial thesis submitted to the Graduate School of Agriculture, Hokkaido University (2004)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	26(2)_307-312.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

A．画像処理によるテンサイと雑草の識別（第Ⅱ章）

自動間引きと除草のためには，テンサイと雑草を識別する必要がある。実際のほ場環境下での実用的識別法を確立することを目的として，画像処理を使った識別法を開発した。

まず，精細な静画像を取得できるデジタルカメラで間引き時期のテンサイおよび雑草を撮影し，作物と土壌の分離手法，識別に有効な形状特徴量を検討した。作物と土壌の分離は植物と土壌との分離が最大となる平面を算出した。この平面の副軸の値を用いることにより，土壌と作物を分離できることが明らかとなった。分離のしきい値は判別分析法により自動的に求めた。識別はテンサイと3種類の雑草(アオビユ，ソバカズラおよびスギナ）を対象とし，6つの形状特徴量(面積，穴の数，面積/周囲長，最大径円面積比，長軸2次モーメントおよびフェレ径比）をパラメータとする線形判別関数を用いて行った。線形判別関数の検証を行った結果，テンサイをアオビユと誤識別するものが多く，識別正答率は85.7%となった。そこで，アオビユと識別されたものについて同じ形状特徴量を用いた新たな線形判別関数を導出し，再識別を行った。雑草のソバカズラに関しては，テンサイと誤識別するものが多いため，これらの識別に新しい形状特徴量である‘葉先角度’を導入し，テンサイとソバカズラの再識別を行った。検証の結果，テンサイおよび雑草の識別正答率は，それぞれ87.2%，94.4%となった。

次いで，トラクタに装着したCCDビデオカメラにより走行しながら取得した画像を対象とし，識別を行った。デジタルカメラ画像の識別で導出した線形判別関数を用いて識別した結果，テンサイの識別正答率は約60%と低下した。このように識別正答率が低くなったのは，線形判別関数のパラメータに面積を用いていることが大きな原因であると考えられた。そこで，大きさに依存しない特徴量である色情報を識別に用いることにした。色情報として，本研究では *YIQ* 表色系の *Q* 値を使用した。テンサイの *Q* 値は雑草のそれと比較して，小さい傾向があり，*Q* 値のしきい値を−6とし，*Q* が−6以上のものを雑草とすることで，51.7%の雑草を正しく識別することが可能であった。*Q* 値が−6以下となるものについては8つの特徴量(穴の数，最大径円面積比，長軸2次モーメント，短軸2次モーメント，フェレ径比，円形度係数，葉先得点および *Q* 値）をパラメータとする線形判別関数を導出し，識別を行った。検証の結果，最終的なテンサイおよび雑草の識別正答率はそれぞれ89.7%，91.0%となり，テンサイ生育の違いによる大きさのばらつきにもある程度適応できることが明らかとなった。この識別正答率はデジタルカメラ画像と比較しても遜色のない結果である。

最後に，リアルタイムで処理を行う際に重要となる識別処理時間を計測した。使用するCPUの性能，識別処理個数により違いはあるが，Celeron 400 MHzであっても最大3 Hzで処理可能であり，この場合，トラクタの走行速度は最高0.9 m/sまで対応できることになる。

以上の結果より，本研究で開発した識別手法は実際ほ場環境下で使用可能であり，実用的な識別手法であると結論付けられる。

B．シミュレーションによる識別正答率の評価（第Ⅲ章）

ほ場内でのテンサイと雑草の識別において，目標とすべきテンサイおよび雑草の認識性能を導くため間引き・除草アルゴリズムを開発し，2つの間引き•除草シミュレーションを行った。そして，テンサイ，雑草の認識性能を識別正答率として評価し，それらの識別正答率とテンサイの損失の関係，ほ場でのそれらの識別において考慮しなければならない条件などについて明らかにした。

シミュレーション1は，現在得ているテンサイおよび雑草の識別正答率（89.7%，91.0%）を用い，強制間引き距離，雑草割合と作業精度を明らかにすることを目的として行った。その結果，間引き・除草後の平均株間，目標株間からの偏差のr.m.s.ともに同じ傾向を示し，強制間引き距離，雑草割合が大きくなると作業精度は悪化した。テンサイの根部や葉部の成長を考慮すると，設定できる最小の強制間引き距離は100 mm程度であるため，本研究では適当な強

制間引き距離は100 mmであると結論付けた。強制間引き距離を100 mmに設定した場合，雑草割合が400%時でテンサイ株数比は90.6%となった。テンサイの識別正答率は89.7%であるので，雑草率が400%以下であれば，テンサイの識別正答率以上の作業精度で間引き・除草を行うことが可能であることが明らかとなった。

シミュレーション2は，テンサイおよび雑草の識別正答率を変化させシミュレーションを行い，識別正答率と作業精度の関係を明らかするために行った。この結果，作業精度は比較的雑草の識別正答率に依存していることが明らかとなった。また，テンサイの識別が80%と低くても，雑草の識別正答率が100%であれば，テンサイ株数比は97.5%程度であり，テンサイと雑草の識別正答率がそれぞれ95%，96%の場合と同等の精度をもつことが明らかとなった。

以上の結果より，テンサイと雑草の識別において重要なことは，雑草を高精度に識別できるアルゴリズムを開発することと結論付けられた。

C．自動間引き・除草機の開発（第Ⅳ章）

自動間引き・除草作業では，間引き刃は除草のため常に土に接し，残すべきテンサイ位置にくると間引き刃が逃げてテンサイに触れないような構造を持つ必要があるため，本研究では間引き・除草刃が開閉する機構を開発した。油圧シリンダと間引き刃はリンクを介して連結され，油圧シリンダの作動により，開閉アームに取り付けられた間引き・除草刃が開閉する。間引き・除草刃の開き幅は120 mmに設計し，間引き・除草刃に作用する力についても検討した。

試作した間引き・除草作業部は間引き・除草機構，油圧システム，ゲージ輪，ロータリエンコーダを装着した第5輪から構成されている。また，間引き・除草機はCCDビデオカメラ，PC，PIC，画像キャプチャユニット，間引き・除草作業部およびコントロールボックスから構成されている。テンサイと雑草の識別および間引き・除草機構の制御を一台のPCで行うのは負荷が過大であるため，識別と間引き判定にPCを使用し，機構の制御等のリアルタイム処理が必要な部分にPICを使用した。PCとPICがシリアル通信を介してパルス数等を共有することにより，間引き・除草刃を制御することができるアルゴリズムを開発した。また，PICからの制御信号により間引き・除草刃を開閉することができる電子・油圧回路も開発した。

D．間引き・除草機の性能試験（第Ⅴ章）

試作した自動間引き・除草機の性能を評価するため，室内およびほ場実験を行った。

まず，間引き・除草刃の基本的な性能を明らかにするため，開閉時間とPICが制御信号を送出してから実際に間引き・除草刃が動き出すまでの反応時間を測定した。開閉時間の測定にはポテンショメータを，反応時間の測定には近接センサを使用した。開閉時間の測定の結果，土壌硬度が0.19 MPaまでであれば開閉時間は土壌硬度に影響を受けないこと，油圧流量が15 l/min以上であれば開閉時間がほぼ変化しないことが明らかとなった。開閉時間はそれぞれおよそ80,100 msとなった。この開閉時間は実用上十分な速度であると判断できる。反応時間の測定結果は128 msであった。

次いで，トラクタに装着するCCDビデオカメラの取り付け位置の検討，間引き・除草刃の開閉精度を明らかにするため室内実験を行った。CCDビデオカメラ取り付け位置と間引き・除草刃の開閉精度の関係を調べた結果，1,000 mm～3,780 mmの範囲であれば統計的に精度に違いがあるとは言えなかった。また，トラクタの走行速度においても同様に0.1 m/s～0.3 m/sの範囲であれば統計的に精度に違いがあるとは言えなかった。この実験の結果より，CCDビデオカメラをトラクタ前方に取り付けることに決定した。模擬テンサイを用いた自動間引き・除草実験より，間引き・除草刃の開閉誤差の最大値は43 mmであることが明らかとなった。

最後に，間引き除草機のほ場での適応性を評価するため走行速度を0.1 m/sに設定してほ場実験を行った。ほ場実験に供試されたテンサイは185本であり，理想的な間引き・除草作業が行えられれば144本が残されることになる。実機で実験を行った結果，残されたテンサイは127本であり，テンサイ株数比は88.2%となっ

た。第Ⅲ章で行ったシミュレーション結果と比較して，テンサイ株数比は低くなった。この原因は，株間距離推定誤差により強制間引き距離の範囲内ではないテンサイが強制的に間引かれてしまったことが原因であった。

除草率は94.8%と高く，間引き・除草刃がテンサイに触れてしまったものは5.5%であったことから，開発した自動間引き・除草機により間引き・除草作業を行うことは十分可能であると結論付けられる。

謝　　辞

本研究は1998年4月から2003年12月まで，博士課程の学位請求論文として，北海道大学大学院農学研究科博士課程在学中に行われたものである。研究着手当初より，ご指導，ご鞭撻を賜った作物生産システム工学講座端　俊一教授に感謝の意を表する。本研究の取りまとめにあたり，終始懇切なるご指導と論文の御校閲を賜った農用車両システム工学講座寺尾日出男教授，研究の方法・実験に際し懇切丁寧なご指導を頂いた片岡　崇助教授に対し深謝する。また，研究・実験に際し有益なご助言，ご協力を頂いた岡本博史助手に謝意を表する。そして，実験装置の製作にご協力頂いた今野繁雄元技官，和田友則技官および本学北方生物圏フィールド科学センター生物生産研究農場での実験においてご協力頂いた若沢幸夫技官を始めとする技官の皆様に感謝の意を表する。さらに，共同研究者として協力頂いた奥田謙介君(平成12年卒業)，古市昭博君（平成15年卒業）を始めとする本研究室の皆さんに心から感謝する。本論文に関わる実験には，㈱ヰセキ北海道（旧，井関農機株式会社北海道支店）より借用いたしました四輪駆動トラクタを使用しました。ここに記して，感謝申し上げます。

参 考 文 献

1）農林水産省北海道統計情報事務所：北海道農林水産統計年報（農業経営統計編）平成12～13年，2002
2）農林水産省北海道統計情報事務所：平成15年産てんさい予想収穫量（9月1日現在)，2003
3）社団法人北海道てん菜協会：てん菜協会10年の歩み
4）農林水産省経済局統計情報部：平成9年度産作物統計，農林統計協会，1998
5）南部哲男，谷村正志，増田昭芳：チェーンポット式自動移植機の研究開発（第1報)，農業機械学会誌，55(2)：125-130，1993
6）南部哲男，谷村正志：チェーンポット式自動移植機の研究開発(第2報)，農業機械学会誌，55(3)：113-117，1993
7）南部哲男，谷村正志：チェーンポット式自動移植機の研究開発(第3報)，農業機械学会誌，55(4)：123-128，1993
8）南部哲男，宮本啓二：チェーンポット式自動移植機の研究開発(第4報)，農業機械学会誌，55(4)：129-136，1993
9）南部哲男：チェーンポット式自動移植機の研究開発（第5報)，農業機械学会誌，55(5)：119-123，1993
10）南部哲男，宮本啓二，松田清明：チェーンポット式自動移植機の研究開発（第6報)，農業機械学会誌，55(5)：125-132，1993
11）南部哲男，増田昭芳，谷村正志：チェーンポット式自動移植機の研究開発（第7報)，農業機械学会誌，55(6)：113-120，1993
12）ペーパーポット，日本甜菜製糖株式会社，2004，URL:http://www.nitten.co.jp/paperpot41.html
13）北海道農政部農業企画室：平成11年度北海道農業の動向，141-145，1999
14）財団法人北農会：北海道主要農作物耕種法シリーズ No.1／てん菜，1976
15）3）に同じ
16）4）に同じ
17）北海道におけるてん菜直播栽培について，農畜産業振興事業団砂糖類ホームページ，URL:http://sugar.Win.go.jp/japan/view/jv_0008b.htm
18）川村　登：農作業機械学，文永堂出版，1973
19）畑作園芸課てん菜馬鈴しょ係：てん菜，砂糖便覧，北海道農政部，1994
20）岡村俊民：農業機械化の基礎，北海道大学

図書刊行会，1991
21）笛木伸彦，中津智史，山神正弘，東田修司，有田敬俊，梶山　務，古館明洋，志賀弘行：「てんさい直播栽培における初期生育障害の原因と対策」，平成12年度新しい研究成果 —— 北海道地域 ——，農林水産省北海道農業試験場，2000
22）4）に同じ
23）北海道立十勝農業試験場研究部農業機械科：平成11年度農業機械試験成績書，北海道立十勝農業試験場，2000
24）長尾正克，河野迪夫，佐古敬一，鷹田秀一：「農産物生産費調査結果」その3テンサイ直播栽培の経営的評価，テンサイ研究会報，第23号，178-184，1981
25）男沢良吉，吉田俊幸，松崎康範：テンサイの無間引き栽培について，テンサイ研究会報，第16号，111-117，1974
26）稲野一郎，有田敬俊，桃野　寛：直播てんさいの出芽率向上に関する研究，第62回農業機械学会年次大会講演要旨，63-64，2003
27）登坂直範，端俊一，高井宗宏，酒井憲司，岡本博史：直播ビートの自動間引きに関する研究（第1報）—— 間引き法の検討 ——，農業機械学会誌，57(6)：29-35，1995
28）T.F. Burks, S.A. Shearer, F.A. Payne: Classification of Weed Species Using Color Texture Features and Discriminant Analysis. Transaction of the ASAE, 43(2): 441-448, 2000
29）柴田洋一，西崎邦夫，大谷隆二：無農薬除草のための基礎的研究（第1報）画像処理手法による作物と雑草の識別，農業機械学会誌，56(6)，95-102，1994
30）Y. Shibata, K. Nishizaki, R. Otani:Basic Studies on Weeding without Herbicide —Discrimination between Crop Plants ans Weeds by Image Processing, Proc. of JSAM International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing, Vol. 3, 249-259, 1995
31）柴田洋一，西崎邦夫，大谷隆二：無農薬除草のための基礎的研究（第2報）ファジィ理論による作物配列の推定，農業機械学会誌，57(6)，125-132，1995
32）張　樹槐，高橋照夫，福地　博，嵯峨紘一：根根菜類野菜の間引き作業の自動化に関する研究（第2報）自動2値化によるダイコン幼苗の認識方法，農業機械学会誌，64(2)，71-77，2002
33）登坂直範，端　俊一，岡本博史，高井宗弘：直播ビートの自動間引きに関する研究（第2報），—— 画像の色情報によるてん菜の識別 ——，農業機械学会誌，60(2)：75-82，1998
34）岡本博史，片岡　崇，端　俊一：ハイパースペクトル画像を用いた畑作圃場センシング技術の開発，第62回農業機械学会年次大会講演要旨，327-328，200
35）W.S. Lee, D.C. Slaughter, D.K. Giles: Robotic Weed Control System for Tomatoes. Precision Agriculture 1: 95-113, 1999
36）石田茂樹，加藤雄久，伊吹俊彦：選択的株間除草機に関する研究（第1報）作物と雑草との識別機構について，第43回農業機械学会年次大会講演要旨，210，1984
37）石田茂樹：株間除草ロボット農業機械のロボット化に関する調査研究事業報告書，農業機械学会，2，171-173，1988
38）A.W. Hooper, G.O. Harries, B. Ambler: A Photoelectric Sensor for Distinguishing between Plant Material and Soil, J. Agri. Eng. Res., 21, 145-155, 1976
39）筒井喜代治：原色・雑草の防除，家の光協会，101，108，112，1976
40）沼田真，吉沢長人：新版・日本原色雑草図鑑，全国農村教育協会，25，67，308，1977
41）33）に同じ
42）高木幹雄，下田陽久監修：画像解析ハンドブック，東京大学出版会，502-506，1991
43）長谷川純一，輿水大和，中山　晶，横井茂樹：画像処理の基本技法〈技法入門編〉，技術評論社，41-43，1986
44）大津展之，栗田多喜夫，関田　巌：パターン認識 —— 理論と応用 ——，朝倉書店，

65-71，1996
45）船久保登：パターン認識，共立出版，96，1997
46）高木幹雄，下田陽久監修：画像解析ハンドブック，東京大学出版会，580，1991
47）尾崎　弘，谷口慶治：画像処理（第2版）――その基礎から応用まで――，共立出版，216-218，1988
48）長谷川純一，輿水大和，中山　晶，横井茂樹：画像処理の基本技法〈技法入門編〉，技術評論社，70-73，1986
49）田中　豊，垂水供之，脇本和昌：パソコン統計解析ハンドブック，共立出版，71-111，1984
50）StatSoft, Inc：STATISTICA ユーザーズマニュアル応用統計編，スタットソフトジャパン，3055-3090，1999
51）寺脇正樹，岡本博史，端　俊一，高井宗宏：形状特徴量によるテンサイと雑草の識別，第59回農業機械学会年次大会講演要旨，97-98，2000
52）寺脇正樹，片岡　崇，岡本博史，端　俊一：形状特徴によるテンサイと雑草の識別，農業機械学会誌，64(2)：93-101，2002
53）M. Terawaki, T. Kataoka, H. Okamoto, S. Hata: Distinction between Sugar Beet and Weeds for Development of Automatic Thinner and Weeding Machine of Sugar Beet, Proceeding of the 26-27 July Conference, Automation Technology for Off-road Equipment, 129-136, Chicago (USA), 2002
54）寺脇正樹，端　俊一，岡本博史，片岡　崇：形状特徴によるテンサイと雑草の識別，第60回農業機械学会年次大会講演要旨，451-452，2001
55）高木幹雄，下田陽久監修：画像解析ハンドブック，東京大学出版会，103，1991
56）33）に同じ
57）柴田洋一：物理除草のための画像解析による作物検出手法の研究，北海道大学学位請求論文，135，1996
58）W. Gao, T. Fujiura, M. Dohi, S. Nakao: Selective Harvesting Robot for Crisp Head Vegetables (Part 2), Journal of JSAM, 59(3), 37-45, 1997
59）Y. Yamada, M. Shiro, N. Sakai, T. Arita, T. Okushi, S. Nagai, M. Tomita.: Labor-Saving Drilled Sugar Beet Cultivation, Proc. Japanese Soc. Sugar Beet Technol, 37, 66-73, 1995
60）27）に同じ
61）寺脇正樹，片岡　崇，岡本博史，端　俊一：直播テンサイ用自動間引き・除草機の開発（第1報）――間引き・除草シミュレーションによる識別正答率の評価――，農業機械学会誌，66(6)：60-66，2004
62）寺脇正樹，片岡　崇，岡本博史，端　俊一：テンサイ用自動間引き・除草機の開発（第1報），第61回農業機械学会年次大会講演要旨，515-516，2002
63）桜井恵三：基礎機構学，槇書店，31-63，1997
64）山岸敏文：直播てん菜用自動間引き機の開発，平成9年度北海道大学農学部農業工学科卒業論文，57-59，1998
65）手嶋　力：油圧のカラクリ，大河出版，90-91，1983
66）山形孝雄編集：トランジスタ技術 SPECIAL，CQ出版，51，5-25，1995
67）後閑哲也：電子工作のためのPIC活用ガイドブック，技術評論社，120-126，2000
68）後閑哲也：C言語によるPICプログラミング入門，技術評論社，68-71，2002
69）後閑哲也：電子工作のためのPIC活用ガイドブック，技術評論社，305-312，2000
70）岡本博史，端　俊一，高井宗宏：自動うね合わせのための作物列センサ(第1報)，農業機械学会誌，61(6)，159-167，1999
71）岡本博史，端　俊一，高井宗宏：自動うね合わせのための作物列センサ(第2報)，農業機械学会誌，62(2)，66-72，2000
72）H. Okamoto, S. Hata, T. Kataoka, M. Terawaki: Automatic Weeding Cultivator Using Crop-row Detector, Preprints of The Fourth IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, 121-126,

2001
73) 寺脇正樹，片岡　崇，岡本博史，端　俊一：テンサイ用自動間引き・除草機の開発（第2報），第62回農業機械学会年次大会講演要旨，151-152，2003
74) M. Terawaki, T. Kataoka, H. Okamoto, S. Hata: Development of Automatic Weeding thinner for Sugar Beet, ASAE Meeting Paper No033076, 1-10, Las Vegas (USA), 2003

（受付：2004.8.3　受理：2004.11.4）