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)_303-306.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

表 5.6　模擬テンサイ実験での開閉精度

	開位置	閉位置
平均誤差（mm）	14.8	20.9
標準偏差（mm）	7.4	11.5
最大誤差（mm）	26.6	43.2

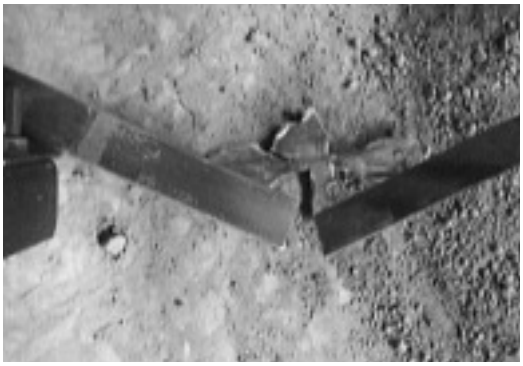

図 5.13　間引き・除草刃が開き始める様子

本実験の場合は，式（5.5）および（5.6）が示すように，ロータリエンコーダの出力以外に，誤差要因となるパラメータとして画像の縦方向1 pixel 当たりの長さ *MpD* およびトラクタ走行速度 v が考えられる。*MpD* はトラクタの姿勢の傾きなどにより変化し，v は走行中一定であるとして設定したが，実際には走行中の速度の変化は存在する。しかしながら，CCD ビデオカメラ位置の決定実験における誤差の最大値は30 mm であるのに対し，本実験での誤差の最大値は 43.2 mm となった。この程度の誤差であれば，最大誤差を考慮した開閉位置を設定することで，残すテンサイを傷付けることなく自動間引き・除草作業を行うことが可能であると考えられる。

D．自動間引き・除草作業のほ場実験

a．実験方法

試作した自動間引き・除草機のほ場での適応性を検証するため，ほ場実験を行った。実験に供したテンサイは 6 月 19 日，8 月 6 日に北海道大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に播種間隔 120 mm で播種されたものであり，テンサイ種子は直播用精密種子（北海道糖業株式会社製，スコーネ）を用いた。この種子は直播用として 3.7〜4.3 mm に粒径が選種されたものである。

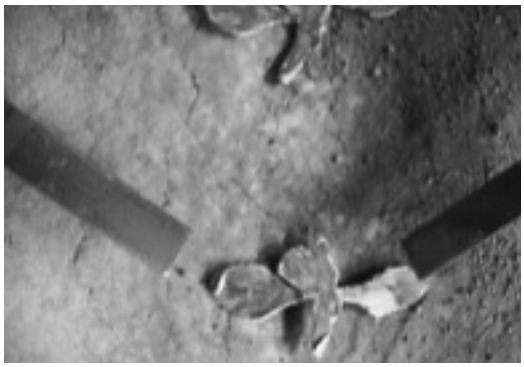

図 5.14　間引き・除草刃が閉じ始める様子

走行速度は 0.1 m/s に設定した。トラクタの機関回転数を 2000 rpm に設定すると CCD ビデオカメラが共振してしまったので，ほ場実験ではトラクタの機関回転を共振が起こらない 1800 rpm とした。この時の油圧流量は 18 l/min であった。画像取得間隔は室内実験と同様に 1 Hz に設定した。前節の実験結果より最大誤差が約 40 mm となるため，本実験では，間引き・除草刃の開閉位置は画像上におけるテンサイの端点位置とした（図 5.15）。画像上内での識別対象範囲は室内実験と同様に設定した。

間引き時期のテンサイの大きさは最大径で 100 mm，最小径で 40 mm 以上となるため，テンサイの葉の先端に開閉位置を設定すると，間引き・除草刃でテンサイを傷付けることがない

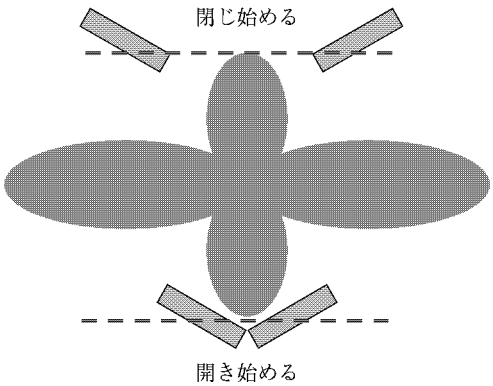

図 5.15　ほ場実験における間引き・除草刃の開閉位置

表 5.7　ほ場実験の結果

	平均株間距離 (mm)	残すべきテンサイ数 (本)	テンサイ株数比 (%)
間引き・除草前	183	185	−
理想間引き	240	144	100
実機による間引き	271	127	88.2

と判断した。室内実験と同様に自動間引き・除草後の目標株間を 240 mm，強制間引き距離を 100 mm に設定した。株間距離を知るために，自動間引き・除草作業前に株間距離を測定した。測定はテンサイの根の位置を基準とした。

b．実験結果および考察

自動間引き・除草作業に供したテンサイは 185 株であり，設定した画像視野内に存在し，かつ，面積が 650 以上となり，識別に供された雑草数は 35 株であった。雑草割合は 18.9%となる。播種してから実験を行うまでの期間に雨が少なかったため，識別の対象となる雑草数は著しく少なかった。間引き・除草作業前の平均株間距離は 183 mm であった。播種間隔は 120 mm であったが，播種精度および発芽率の影響により，目標とする株間距離より長くなった。

自動間引き・除草作業の結果を表 5.7 に，ほ場実験での間引き・除草刃の様子を図 5.16，5.17 および 5.18 に示す。

理想的な間引き・除草とは，自動間引き・除草作業を行う前に計測した株間距離を用い，テンサイおよび雑草の識別正答率は 100%とし，第Ⅲ章で述べた間引き・除草アルゴリズムによって仮定された間引き・除草結果である。理想的な状態では，供試した 185 本のテンサイのうち，144 本が間引き・除草アルゴリズムにより残すべきである判断され，間引くべきテンサイは全体の 22.2%の 41 株となった。この理想的な間引き・除草作業が実現された場合，間引き・除草後の平均株間距離は 240 mm になる。

実機による自動間引き・除草作業において間引き・除草刃が開くことにより残されたテンサイ数は 127 本となり，作業後の平均株間距離は 271 mm となった。また，理想的な状態で残され

図 5.16　株間を除草する間引き・除草刃

図 5.17　残すべきテンサイの手前で開き始める間引き・除草刃

図 5.18　テンサイを通過後に閉じる間引き・除草刃

るべきテンサイ数と実際に残されたテンサイ数の比で表すテンサイ株数比の値は88.2%となり，11.8%のテンサイが損失したことになる。第Ⅲ章のシミュレーションでは雑草割合が100%であっても，テンサイ株数比は95%以上であった。

このように，シミュレーションよりテンサイ株数比が減少した原因として以下の2つの理由が挙げられる。

①間引き・除草前の株間距離が広い。

前述したように，播種間隔は120 mmであったが，実際に間引き・除草作業に適応されたテンサイの平均株間距離は183 mmであった。このため，間引くべきテンサイが全体の22.2%の41株となった。このように，残すべきテンサイが多い状況では，作業精度がテンサイの誤識別に影響を受けやすい。本実験では144個のテンサイを残すべきであったが，実際に残されたのは127個であり，17個のテンサイが誤って間引かれた。この17個のテンサイのうち10個（残すべきテンサイの6.9%）はテンサイを雑草と誤識別されたことが原因であった。

②株間距離推定の誤差

本実験では，強制間引き距離を100 mmに設定したため，基準株から100 mm以内に存在するテンサイは無条件に間引かれることになる。間引き・除草の結果を検討したところ，株間距離100 mm～135 mm以内に存在するテンサイが間引かれる事例が多かった。これは，株間距離推定時点で誤差が生じ，強制間引き距離内に存在すると判断されたものと考えられる。株間距離推定には第5輪に取り付けたロータリエンコーダからのパルス数をパラメータとして使用している。第5輪の滑り等に起因する出力パルスの不安定性により，株間推定距離に誤差が生じることになる。よって，実際は強制間引き距離内に存在しないテンサイが強制間引き距離内に存在したとして，間引かれたと考えられる。また，株間距離推定はテンサイの図心間距離を算出している。株間距離の実測はテンサイの根の位置を基準として行った。一般的にテンサイの葉は中心から放射状に広がるため，図心位置と根の場所はほぼ同一とみなすことができる。しかしながら，風等の影響によって，図心位置と根の位置が変化すると，実測では強制間引き距離内に存在しないテンサイであっても株間距離推定上は強制間引き距離内にあると判断されてしまい間引かれる場合も考えられる。基準株から100 mm～135 mmに存在するテンサイは，その後に240 mmに近いテンサイが発見されれば間引かれることになるが，本実験では比較的平均株間距離が長くなっていたため，100 mm～135 mmを間引いてしまうことにより欠株が生じる原因となった。本実験での17個のテンサイの損失のうち100～135 mmを間引いてしまったために生じた損失は7個（残すべきテンサイの4.9%）であった。このように，テンサイの損失の約半数は株間距離推定の精度不足に起因するものであった。

残された127個のテンサイのうち間引き・除草刃が触れてしまったものは5.5%の7個である。また，識別に供された35個の雑草のうち間引き・除草刃が開き，残されてしまったのは2個であり除草率は94.8%となった。間引き・除草刃に触れられたテンサイはビデオ画像で判断する限り，間引き・除草刃が触れてはいるが，テンサイの葉に触れた程度であり生育上大きく影響するものでないと判断される。

以上の結果より，自動間引き・除草作業によりテンサイの損失は11.8%であったが，この原因は株間距離推定の誤差によるものが約半数を占め，株間距離推定の精度を向上させること，設定する強制間引き距離考慮することにより，この原因によるテンサイの損失は少なくなると考えられる。また，テンサイの誤識別による損失，株間距離推定誤差による損失ともに，供試したテンサイの距離が広かったことが第一の原因であると考えられるので，可能な限り株間距離が狭い程自動間引き・除草作業を行う上では有利であるといえる。このように，直播栽培における自動間引き・除草作業では機械システムだけではなく，テンサイ栽培体系も非常に重要となる。

間引き・除草刃がテンサイを傷付けたものは5.5%であった。除草率も94.8%と精度が良かった。作業速度等の課題は残るが，直播テンサイ栽培における自動間引き・除草作業は十分可能であると判断できる。

E．本章のまとめ

本章では，試作した間引き・除草機の性能評価について述べた。

間引き・除草刃の開閉時間を調べた結果，油圧シリンダの構造上，開く場合と閉じる場合で差はあるが，開閉時間はそれぞれ100 ms程度であった。土壌硬度と開閉時間の関係を見ると，土壌硬度が大きくなっても開閉時間はほとんど変化しない。この結果より，作物が生育できる程度の土壌硬度であれば，本研究で試作した間引き・除草刃は土壌の影響を受けず開閉することが可能であることが明らかとなった。

室内実験を行った結果， CCDビデオカメラの取り付け位置と間引き・除草刃の開閉精度には統計的に有意な差がないことが明らかとなった。また，模擬作物を用いた実験から間引き・除草刃の開閉精度は最大誤差43 mmで制御可能であり，考案した間引きアルゴリズムは実用に耐えうることが確認された。

試作した間引き・除草機のほ場での性能を評価するため，ほ場実験を行った結果，テンサイ株数比が88.2%となった。この結果はシミュレーションの結果と比較すると精度は劣ったが，その原因は株間距離推定誤差によるものであった。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・除草システムにより間引き・除草作業を行うことは十分可能であることが明らかとなった。

VI. 総　　括

現在，本邦農業においては就業人口のおよそ50%が65歳以上を占めており，高齢化と労働力不足は深刻な問題となっている。これらの問題に対応するためには，野菜栽培あるいは従来から作付けを行っている作物に対するさらなる機械化，省力化が必要であると考えられる。

北海道を代表する作物であるテンサイ栽培は現在ほぼ移植栽培により行われている。しかしながら，テンサイ栽培を直播で行っている英国と比較すると，移植栽培ではペーパーポット等の資材費が必要なことからテンサイの生産費は約3倍である。日本では夏季の高温多雨により雑草の発生が多く，中耕除草作業が多く費やされていることから，労働時間は約7倍である。移植栽培では，作業の機械化がほぼ達成されているため，労働時間短縮の余地はほとんど残されていないと言わざるを得ない。このような理由から直播栽培のもつ省力の可能性に対する期待が高まってきている。しかしながら，直播栽培の場合，全労働時間の約60%を手作業による間引き，中耕除草作業が占めており，この作業を機械化できない限り省力化は非常に困難であると言える。

世界で栽培されているテンサイの面積は約614万haであり，この面積の40%をドイツ，フランス，ポーランド，イタリア，英国等の西ヨーロッパが占めている。西ヨーロッパのテンサイ栽培は全て直播栽培で行われている。収量，糖分含量を比較すると，北海道のそれよりも高くなっている。これは，西ヨーロッパでは積雪量が少なく，播種時期が3月～4月頃でありことから，生育期間が北海道と比較して長くなるからである。

本研究では，省力的な直播テンサイ栽培体系を確立するため，現状では手作業で行われている間引き・除草作業を自動的に行うことができる機械およびシステムの開発を目的とした。この研究目的を達成するために，まず，テンサイと雑草の識別手法の開発を行った。次いで，シミュレーションを行い，得られた識別正答率と作業精度の関係を明らかにした。さらに，間引き・除草機構，間引き・除草作業部，間引き・除草機および制御アルゴリズムを開発した。

最後に，室内，ほ場実験を行い，試作した間引き・除草機の性能を評価した。本研究で得られた結果を以下に列挙し，本論文の結論とする。