

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K08020

研究課題名(和文) スキッド可変株間除草機構を搭載した水田用除草機の開発と難防除環境下での実証研究

研究課題名(英文) Development of variable skid intra-row mechanism for paddy weeder and its application under persistent environment

研究代表者

庄司 浩一 (SHOJI, Koichi)

神戸大学・農学研究科・准教授

研究者番号：10263394

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：水田での機械除草において、株間雑草の除去率を維持しつつ作物の損傷を抑える、回転羽根を制御できる株間除草機構を開発した。乗用機に搭載した試作機を改良しながら2シーズン、歩行機に搭載した試作機を1シーズン水田にて供試した。一般的にやや遅いといわれる移植後15日目の作業でも、羽根の回転を下げて株間の雑草除去率を上げると、イネの欠株率が急上昇した。一方で機械除草の適用が難しいといわれる移植後30日目前後の作業では、雑草除去率は5割程度ながら、イネの欠株がほぼ避けられることがわかった。砂が多い土壌条件では雑草が抜根されやすく、走行速度の半分の羽根の周速度でも高い除去率が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機械除草は、有機農業をはじめとする環境保全型農業を推進するうえで必要不可欠な技術である。従来の株間除草技術では、土壌条件に敏感であったり、初期除草を逃すと防除にならないといわれ、除草剤の代替技術として普及が進まない状況にあった。本研究により、特に雑草が大型化した後でも一定の除草が可能な見通しを得たことで、農家がより使いやすい技術として利用可能となる。先進国の中でも特に低いといわれる有機農産物の生産割合を向上させ、消費者にとって環境に配慮した農産物を購入できる選択肢が増えることが期待される。また農業のポジティブリスト制で利用可能な除草剤に限られるマイナーな作物の雑草防除手段としても活用できる。

研究成果の概要(英文)：Rotating vanes for intra-row weeding mechanism has been developed for paddy fields by controlling its rotational speed, so that the efficacy of weeding is maintained while minimizing the damage to the rice plants. The prototype was mounted on a riding tractor and tested for two cropping seasons with gradual modifications, as well as on a walk-behind tractor for one season. Upon the operation at 15 days after transplanting, when it is slightly a late timing for conventional weeders, the attempt to enhance the weeding efficacy by lowering the rotational speed of the vanes induced a sharp rise in missing hills of the rice plants. At 30 days after transplanting, when the application of mechanical weeding is said to be difficult, the weeding efficacy was around 50%, whereas the damage to the rice plants was minimal. In a sandy soil condition, the weeds tended to be easily uprooted, therefore the rotational speed about the half the traveling speed was often enough to obtain a high efficacy.

研究分野：農業機械学

キーワード：機械除草 選択的除草 回転羽根 除去率 欠株率 コナギ イヌホタルイ 抜根

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年の環境保全型農業に対する消費者や市民の関心の高まりを受け、除草剤を用いない農法や農産物が脚光を浴びるようになった。そのよい例が兵庫県豊岡市の「コウノトリはぐくむ農法」とそれを裏付けるマーケティング戦略である。現状では供給が追いつかない状況であり、その主たる原因の一つが雑草管理の難しさとされる。一方で除草剤を用いる慣行栽培でも、除草剤抵抗性雑草の出現を受け、化学的防除のみに頼らない方法が模索されるようになった。一時は除草剤に完全に代わられたかに見えていた機械除草に対して、再び期待が高まっている。

(2) 水田での機械除草において、イネの植付け方向に平行な空間である条間は選択性が求められないので雑草の除去は比較的容易で、水田表土を高速で攪拌する条間ロータによる除去率は8~9割である。一方、イネと雑草が干渉しあう株間では、雑草の除去率を維持したまま作物の損傷を抑えること(選択性の向上)は長年の技術課題であり、上述の環境保全型農業(有機農業も含む)の展開でも対応が求められている。現状では最大でも約6割といわれる株間雑草の除去率を向上させつつ、農繁期の輻輳を避けるために大きな雑草にも対応(中後期除草)できることが望ましい。

2. 研究の目的

(1) 株間除草での選択性の向上策として、既存の回転羽根の株間除草機構を採用しつつ、その回転速度を制御する方法を用いる。通常は土壌表面を単純に転がりながら動くだけの単純な機構であるが、水深を大きくすると羽根が水の抵抗で回転しにくくなり、雑草の除去率が向上したのではないかと推察される事例¹⁾に着想を得た。

(2) 具体的には：

現行の乗用除草機の株間除草機構に回転制御装置を搭載し、機械側の条件(作用深さ、スキッド、作業速度等)を変化させて、実際の水田での実験を積み重ねる。

有機水田での代表的な草種の葉齢、イネの葉齢・茎数・草丈などとの関係(選択性)を調べる。現場では農作業の手順からイネの移植作業と除草作業が輻輳する現実をふまえ、機械では難しいといわれてきた中後期除草(いわゆる手遅れ除草)がどこまで可能か検討する。

より安価で普及が見込める、歩行用の除草機に搭載した場合の性能を調べる。

3. 研究の方法

(1) 前述の通り、除草機には非選択的な条間除草を行う部分(図1左では、前輪直後のロータ)と、選択的な株間除草を行う部分(図1右では、回転羽根)を搭載した。この回転羽根は伝達装置を介したモータ駆動として、任意に回転を調整できるようにした。次の式で回転羽根が地表面を引きずる程度を表す「スキッド」を定義し、表面を理想的に転がる場合を0%、まったく停止している場合を100%と表現する。

$$\text{スキッド} = (\text{回転羽根の周速度} - \text{車体の走行速度}) / \text{回転羽根の周速度} \times 100$$

回転羽根をゆっくり回転させてスキッドを大きくすれば地表面の引きずりが大きくなり、株間の雑草除去(もとあった雑草本数のうちどれだけ抜けたか、除去率)が良好になると反面、イネを損傷するリスク(欠株率)が上がると考えられる。イネの生育時期や水田の土壌条件によって、どのあたりで折り合いをつければよいか課題となる。

(2) 2017年の水田での実験においては、市販の乗用除草機を若干改造し(図1の三輪車は同じで作業部分が異なる)、前輪の直後に可変速の回転羽根をもつ株間除草機構、そのあとにカゴ輪による条間除草機構からなる配置とした。2018年においては、図1のように、ロータによる条間除草機構の後ろに、可変速の回転羽根をもつ株間除草機構を配置した。



図1 2018年に供試した乗用除草機的全景(左)と、条間ロータ背後の株間除草機構(右)

(3) 2020 年の実験においては、歩行型の管理機の後方に図 1 とまったく同様の株間除草機構を搭載し、車輪からチェーンを介してこれを駆動した(図 2)。スキッドはチェーン sprocket の歯数の組み合わせを変えて 3 段階のみ設定した。なお、2019 年には前方の回転軸に条間除草ロータを取り付けてはみたが、車輪との干渉が見られたため、本格的な試行には至らなかった。



図 2 2020 年に供試した歩行除草機の側面

4. 研究成果

(1) 乗用機に搭載し、株間除草を先に行う構造とした場合

表 1 で、移植後 11 および 21 日目は回転羽根の作用深さ 3 cm, 31 日目では 6 cm に設定した。注と示したのは、最も高い除草効果が得られたスキッドの設定であり、11 日目で除去率 46%, 21 日目で除去率 44%, 31 日目で除去率 54% と計算された。移植後 29 日目の無除草部分の雑草種の内訳はコナギ 72% (本葉齢 2.6 ± 1.3), イヌホタルイ 27% (本葉齢 3.6 ± 1.0) であった。イネの欠株率は概ね 0% に近く、移植後 11 日目の高スキッド区のみで 11%-15% であった。スキッドを必要以上に大きくしても除去率が上がらないことがわかる。また、この除草機の方式では先に株間除草を行ってから条間除草の順となっており、未耕地に回転羽根が直接作用することから、雑草の除去率が期待したほどは大きく得られなかったとも考えられる。

表 1 除草作業日(移植後日数 DAT)ごとの株間の残草密度(本/m²) (乗用機, 2017 年, 篠山市)

除草作業日	除草区分	スキッド (%)						
		23.5%	31.0%	57.04% ^注	71.8%			
6/1 (11DAT)	無除草部分	192	128	141	154			
	除草部分	192	103	77	90			
6/11 (21DAT)		6.5%	11.1%	20.7%	40.1%	53.1% ^注	59.8%	75.7%
	無除草部分	577	321	590	552	481	898	577
	除草部分	513	308	475	308	269	513	526
		50.4%	59.7% ^注	79.1%				
6/21 (31DAT)	無除草部分	1668	1565	1514				
	除草部分	1270	719	937				

(2) 乗用機に搭載し、株間除草を後から行う構造とした場合

表 2 で、回転羽根の作用深さは 3 cm と 6 cm の両方を設定した。注で示したのは、最も高い除去率が得られたスキッドの設定である。移植後 30 日目の無除草部分の雑草種の内訳はコナギ 57% (本葉齢 3.9 ± 1.5), イヌホタルイ 43% (本葉齢 4.2 ± 1.9) であった。前年に比べて雑草の発生本数が少なく、同時にイネの活着が不安定と観察された。このため移植後 15 日目のイネの欠株率は高スキッドで 30% 以上の場合も散見されたが、移植後 30 日目になるとイネの根が安定したため、作用深さ 6 cm の高スキッドで最大 20%, その他では高々 8% となっていた。いわゆる手遅れ除草といわれるタイミングでの除草でも、大きな欠株を伴わずに株間で安定して 5 割前後、最大で 7 割以上の除去率が得られたことになる。

表 2 除草作業日(移植後日数 DAT)ごとの株間の残草密度(本/m²) (乗用機, 2018 年, 篠山市)

除草作業日	除草区分	スキッド (%)							
		6cm				3cm			
		31.4%	50.0%	54.4%	67.4% ^注	35.5%	51.3%	59.0%	69.2% ^注
6/9 (15DAT)	無除草部分	393	115	393	162	208	115	554	139
	除草部分	208	139	115	23	323	92	139	23
		27.4%	31.5%	48.4% ^注	64.9%	29.0%	28.2%	53.7%	65.3% ^注
6/14 (20DAT)	無除草部分	139	69	277	277	231	577	370	439
	除草部分	46	46	23	185	115	139	115	69
		28.7%	41.3%	45.3% ^注	65.5%	27.0%	41.6% ^注	52.1%	63.2%
6/19 (25DAT)	無除草部分	69	92	254	69	300	531	277	185
	除草部分	46	69	115	46	231	277	185	115
		25.8%	35.6%	45.7%	62.7% ^注	23.1%	35.3%	47.6% ^注	63.6%
6/24 (30DAT)	無除草部分	162	508	439	92	277	416	254	716
	除草部分	69	162	277	23	185	208	115	346

(3) 歩行機に搭載し, 条間除草を行わなかった場合

表 3 で, 回転羽根の作用深さは約 3 cm とし, 条間除草は行わなかった。移植後 27 日目の無除草部分の雑草種の内訳はコナギ 78% (本葉齢 3.7±0.6), イヌホタルイ 5% (本葉齢 3.2±0.1), オモダカ 17% (本葉齢 4.2±0.5) であった。なお, 後二者は場所による密度の変動が大きかったため, 表ではコナギだけで集計を行った。移植後 34 日目においては葉齢が約 0.9 大きくなっていた。また, 除去できた雑草の葉齢は無除草区よりも概ね 1.0 小さかった。

株間除草の結果, 場所ごとの雑草の個体密度の変動を考慮する必要があるにしても, 最大 54% のスキッド設定でもかなりのコナギが除去できていたことがわかる。一部の実験区のみ集中的に見られたオモダカも, ほとんどが除去できていた(無除草部分の密度が異常に小さかったので除去率は計算せず)。2017 および 2018 年と比べて砂の割合が多い水田であったために, 少しの作用で雑草根の引き抜きが実現し, 湛水状態のところ浮いてきたものと考えられる。イネの欠株率は, 移植後 27 日目で 9-17% であったが, 34 日目ではスキッドによらず約 5% であった。

表 3 除草作業日(移植後日数 DAT)ごとの株間の残草密度(本/m²) (歩行機, 2020 年, 大学内)

除草作業日	除草区分	スキッド設定 (%)		
		40%	47%	54%
7/28 (27 DAT)	無除草部分	416	554	554
	除草部分相当	69	115	23
8/4 (34 DAT)	無除草部分	346	577	185
	除草部分相当	208	462	0

これらのことから, 歩行型の簡易な構造の除草機においても, 回転羽根の制御を行うことで株間雑草の除去率を上げることができ, いわゆる手遅れ除草の時期においても, イネを大きく傷つけることなく除草ができる可能性がある。ただし, 当該時期にきわめて多くの雑草が発生した状態(3000 本/ m² 以上)では, 大型化して根が絡まった雑草が羽根から抜けない現象が生じ, 雑草が完全に抜根されずにひきずられて, イネの根を押し倒す傾向にあった場面も観察された(2019 年の実験)。生育初期にイネへの影響を考慮しつつも, 全体的な雑草の個体密度が大きくならないように 1 回だけでも初期に除草作業する意義は大きく, 個体密度がある程度抑えられたところのみ, スキッドを大きくした後期除草が可能と考えたほうがよいであろう。

< 引用文献 >

- 1) Shoji K., Itoh K., Kawahara F., Yoshida Y., Yamamoto Y., Sudo K.: Micro-elevations in paddy fields affect the efficacy of mechanical weeding: Evaluation of weeding machines to control *Monochoria vaginalis* in herbicide-free farming, Weed Biology and Management 13, 45-52. 2013.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 宮内大志, 庄司浩一, 寺井普幸, 窪田陽介	4. 巻 126
2. 論文標題 回転羽根のスキッド制御による水田株間除草の性能評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 永田八康, 寺井普幸, 庄司浩一, 窪田陽介	4. 巻 124
2. 論文標題 スキッドを用いた水田用株間除草機構の改良	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 16-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 SHOJI Koichi, TERAJI Hiroyuki, ADACHI Yasuhiro	4. 巻 -
2. 論文標題 No-till transplanting and skidded rotating vanes for effective weed control in paddy fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 21th ISTRO International Conference	6. 最初と最後の頁 395-396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 庄司浩一, 寺井普幸, 永田八康, 宮内大志	4. 巻 54(別1)
2. 論文標題 スキッド可変の回転羽根による株間除草機構を用いた水田での除草実験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農作業研究	6. 最初と最後の頁 19-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 寺井 普幸, 庄司 浩一, 川村 恒夫, 窪田 陽介	4. 巻 122
2. 論文標題 回転羽根のスキッドを利用した株間除草機構の開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 寺井 普幸, 庄司 浩一, 窪田 陽介	4. 巻 123
2. 論文標題 水田用株間除草機構の改良及びその性能評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 農業食料工学会関西支部報	6. 最初と最後の頁 23-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山口翔太郎, 安達 康弘, 庄司 浩一	4. 巻 128
2. 論文標題 回転羽根のスキッド制御による株間除草機構を搭載した水田用歩行除草機の試作と性能評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会報	6. 最初と最後の頁 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮内 大志, 庄司浩一	4. 巻 129
2. 論文標題 回転羽根の制御による水田株間除草機構の製作と性能評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 関西農業食料工学会報	6. 最初と最後の頁 61-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 庄司浩一, 寺井普幸
2. 発表標題 回転羽根の制御による水田での株間除草機構について
3. 学会等名 日本雑草学会第58回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 庄司 浩一
2. 発表標題 回転羽根のスキッドを利用した水田での株間除草
3. 学会等名 有機農業研究者会議2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 SHOJI Koichi, TERAJI Hiroyuki, ADACHI Yasuhiro
2. 発表標題 No-till transplanting and skidded rotating vanes for effective weed control in paddy fields
3. 学会等名 The 21th ISTR0 (International Soil and Tillage Research Organisaton) International Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 庄司浩一, 寺井普幸, 窪田陽介
2. 発表標題 除草強度可変の株間除草機構を搭載した水田用除草機による中後期除草について
3. 学会等名 農業食料工学会 関西支部第140回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮内大志, 庄司浩一, 寺井普幸, 窪田陽介
2. 発表標題 回転羽根のスキッド制御による水田株間除草の性能評価
3. 学会等名 農業食料工学会 関西支部第141回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 庄司浩一, 寺井普幸, 永田八康, 宮内大志
2. 発表標題 スキッド可変の回転羽根による株間除草機構を用いた水田での除草実験
3. 学会等名 日本農作業学会2019(平成31)年度 春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺井 普幸, 庄司 浩一, 川村 恒夫, 窪田 陽介
2. 発表標題 回転羽根のスキッドを利用した水田用株間除草機構の改良
3. 学会等名 日本雑草学会第56回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺井 普幸, 庄司 浩一, 窪田 陽介
2. 発表標題 水田用株間除草機構の改良及びその性能評価
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第138回例会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永田 八康, 寺井 普幸, 庄司 浩一, 窪田 陽介
2. 発表標題 スキッドを用いた水田用株間除草機構の改良
3. 学会等名 農業食料工学会関西支部第139回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮内 大志, 庄司浩一
2. 発表標題 回転羽根の制御による水田株間除草機構の製作と性能評価
3. 学会等名 関西農業食料工学会第144回例会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	安達 康弘 (ADACHI Yasuhiro) (00541880)	島根県農業技術センター・栽培研究部・専門研究員 (85206)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------