

## 水田用小型除草ロボット（アイガモロボット）の除草効果

広瀬 貴士、久田 浩志、光井 輝彰\*

The Effect of weeding by a Small Weeding Robot "AIGAMO ROBOT" for Paddy Fields

Takashi Hirose, Hiroshi Hisada, Teruaki Mitsui

### summary

As a result of verifying the weeding effect of the small weeding robot "AIGAMO ROBOT" for paddy fields, it turned out that a weeds number was stopped to 20-40 percent, and a weeds dry weight was reduced to less than that. In the species of weed, A weeding effect was confirmed for *Monochoria vaginalis*, *Scirpus juncoides* and barnyardgrass. The weeding effect by a crawler was very high and there was also a certain degree of the weeding effect in the part which a crawler did not go. The grain yield had the large difference by a year and was also to be almost the same as those of the district that processed the herbicide. However the grain yield was 15% more than that of the district of herbicide-free and 11% less than that of the district that processed the herbicide on average. The weeding effect was the highest when the frequency of weeding out was 2 times per week. The weeding effect increased by equipping with the weeding-out equipment which acts on the interval between roots of a rice.

Key Words: weeding the paddy fields, robot, weeds

キーワード：水田除草、ロボット、雑草

### 緒 言

水稲作において、有機栽培や無農薬栽培を行う上で除草剤を使用せずに除草を行うための様々な手法が試みられているが、除草効果や費用、労力の面で課題を残している。このような現状を踏まえ、岐阜県情報技術研究所が中心となって新たな水田用小型除草ロボット（アイガモロボット）の開発に取り組んできた<sup>1)</sup>。このロボットは小型軽量で稲列の間をクローラで繰り返し走行することにより除草効果を得ようというものである。そのため、通常の機械除草のようにある程度生長した雑草を除草するというよりは、雑草発生時から頻りに除草作業を行うことで、雑草の発生を抑制するような効果が期待できる<sup>2)</sup>。

そこで、当所ではアイガモロボットによる除草効果の検証実験を行ってきた。今回、2006年から2010年までのデータを用い、ロボットの除草効果について詳細な検討を行った。また、除草効果向上のために、クローラが通らないため雑草が残りやすい稲の株間の土壌に作用する除草機構を試作し、その効果について検討した。

当研究は、経済産業省「地域イノベーション創出研究開発事業」の委託を受けて実施したものである。

### 材料及び方法

#### 実験1 除草効果の検討(2006～2010年)

中津川市（当所中津川支所）の表層腐植質多湿黒ボク土の圃場と飛騨市（当所本所）の中粗粒灰色低地土の圃場において、品種は「コシヒカリ」を用い、表1の日程で除草作業を行った。除草には図1のロボットを用い、稲株をまたいで走行させた（図2）。ロボットの操作はコントローラによるマニュアル操作とした。なお、代かきから3～5日後に水稲稚苗を移植した。

水管理は、試験区を波板で囲い、移植直後から除草期間終了時まで常時3～7cm程度に湛水した。

残草調査は、落水後、一定の面積の雑草を数箇所からサンプリングし、草種別に本数、乾物重を測定した。さらに、2007年と2009年の中津川市では、クローラの通った条間とクローラが通っていない株間で分けてサンプリングし、それぞれの残草データも得た。

試験区は毎年、圃場内での配置または圃場をかえて設置した。

\* 岐阜県情報技術研究所

表1 除草試験の日程と除草方法等

試験場所	試験年次	代かき期 (月・日)	代かきから除草開始まで (日)	残草調査まで (日)	除草期間 (日)	除草頻度	除草回数 (回)	走行方法
中津川市 (中津川支所)	2007	5.18	11	52	42	週2回	12	往復
	2008	5.19	7	59	49	週3回	14	往復
	2009	5.08	7	54	46	週2回	14	往復
	2010	5.19	9	54	39	週2回	12	片道
飛騨市 (本所)	2006	5.31	8	50	41	週2回	12	往復
	2007	5.16	15	58	42	週2回	12	往復
	2008	5.19	7	59	49	週3回	14	往復
	2009	5.22	7	54	46	週2回	14	片道

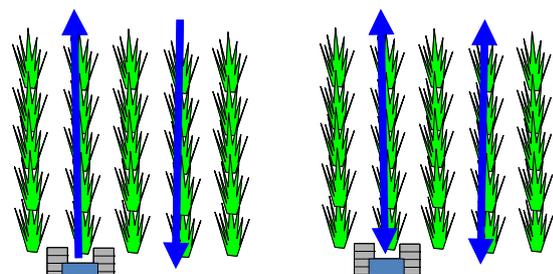


図2 ロボットの走行方法（左：片道、右：往復）



図1 試験に用いたロボット（左：2008年まで使用(クローラ幅9cm)、右：2009年から使用(同幅15cm)）



図3 試験に用いた株間除草機構（左上：2009年中津川市、左下：2009年飛騨市、右：2010年中津川市）

### 実験2 玄米収量への影響の検討(2007～2010年)

中津川市において、表1の日程で除草作業を行い、成熟期に稈長、穂長および穂数等を調査して坪刈を行い、玄米収量の調査を行った。

### 実験3 除草頻度の検討(2007年)

中津川市(当所中津川支所)において、除草頻度以外は実験1と同様に行い、除草頻度を週1回、週2回、週3回、及び週4回の4水準とし、それぞれ除草期間終了後に残草調査を行った。

### 実験4 株間除草機構の検討(2009年、2010年)

表1の日程と除草方法で2009年の中津川市と飛騨市、および2010年の中津川市で行った。ロボットの走行時にクローラ間の土壤に作用するようなブラシやチェーン等をつけた除草機構<sup>3)</sup>をロボットに装着した区を「株間有」、装着していない区を「株間無」とし、除草期間終了後と水稲収穫時に雑草調査を行った(図3)。また玄米収量の調査も行った。

## 結 果

### 実験1 除草効果の検討(2006～2010年)

雑草の優占種はコナギとイヌホタルイで、区によってはノビエが若干見られた。その他の雑草はアゼナ、ミゾハコベ等であり、無除草区の本数は平均243本/m<sup>2</sup>と多かったが、乾物重では7g/m<sup>2</sup>と非常に軽く、水稲の生育に影響が出る程の雑草量ではなかったため、今回の報告は、コナギ、イヌホタルイ、及びノビエの結果を主とした。

表1の年次及び場所で行ったロボット除草区の雑草量は、無除草区に対し本数で33%、乾物重では21%となった(表2)。雑草本数の無除草区に対する割合を個々で見ると、無除草区の雑草本数が約100～1000本/m<sup>2</sup>の条件下であったが、多くが2～4割程度の間であった(表2)。

また、雑草1個体当りの乾物重は無除草区に対して、本数が少ない場合は100%以上となることがあったが、多くの場合100%以下となり、雑草の個体の大きさも抑制されていることがわかった(図4)。

草種別で見ると、コナギ、イヌホタルイでは本数、乾物重ともに4割未満となった(表3)。ノビエは本数が少なくばらつきが多かったが、平均すると本数、乾物重ともに減少した。

クローラが通る稲の条間と通らない稲の株間の除草効果は明らかに違い、いずれの年次、場所においても、条間にはほとんど残草がなかったが、株間に多く残った(図5、表4)。しかし、株間だけ見ても、無除草区と比較すると本数で40%以下、乾物重では30%以下の除草効果が確認できた(表4)。

### 実験2 玄米収量への影響の検討(2007～2010年)

最終的な玄米収量は、除草剤区に対して、ロボット除草区で89%、無除草区では77%であった(表5)。稈長と穂長はロボット区と無除草区で若干短くなったが、穂数は除草剤区に対してロボット除草区で86%、無除草区では76%であった。千粒重に大きな差は見られなかった。玄米収量を年次別で見ると、2009年は無処理区より3割多かったものの除草剤区に比

べ2割以上の減収となったが、2007年、2008年では除草剤区とほぼ同等の収量であった（図6）。除草期間終了後の残草乾物重と玄米収量を比較した場合、ロボット除草区だけで見ると比較的残草乾物重が多い年次で減収となったが、無除草区では残草乾物重が多い2008年でも大きく減収していなかった。

### 実験3 除草頻度の検討（2007年）

週2回の除草で除草期間終了後の雑草本数が最も少なかった（表6）。雑草乾物重は、除草期間終了時は、どの除草頻度も軽く大きな差はなかったが、水稲収穫時には週2回区で最も軽く、他の区との差も大きかった。また、除草頻度が高くなる程、株間に土が堆積していた（図7）。

### 実験4 株間除草機構の検討（2009年、2010年）

無除草区の雑草本数が94本/m<sup>2</sup>から701本/m<sup>2</sup>の条件で行い、ロボット株間無区の雑草本数は無除草区の3～4割だったが、ロボット株間有区の雑草本数はさらにその半分程度に減少した（表7）。雑草乾物重でもロボット株間有区はロボット株間無区に比べ減少したことから、株間除草機構を装着することで、除草効果が上がることが明らかとなった。

玄米収量については、中津川市の2009年と2010年ともにロボット株間有区はロボット株間無区に比べ1割程度多く、2010年では除草剤区に対する減収率が5%以内となった（表8）。2009年飛騨市の収量はどの区も多かったが、ロボット株間有区は無除草区より多かったものの、ロボット株間無区よりも少なくなった。

## 考 察

クローラによる除草効果が非常に高かったのは、除草後に多くの小さな雑草が濁った水面に浮いていたことから、クローラで土と雑草を掻き出すことが

一つの大きな要因であると考えられる。

また、クローラが通らない稲の株間についても除草効果が確認でき、雑草個体の大きさが抑えられていることから、ロボットが走行して水を濁らせ効果、また巻き上げられた土が株間に堆積することによる効果があったと考えられる。

無除草区に対する雑草本数の割合が2008年の飛騨市において62%であり最も高かった要因として、代かきから除草開始まで15日間経過し、除草開始のタイミングとして遅かったためと考えられる。その試験を除くと無除草区に対する雑草本数の割合はほぼ一定の範囲内であったことから、様々な雑草量の圃場において一定の割合の除草効果が得られることが明らかになった。ただし、雑草が多い圃場では一定の割合に除草できても、雑草の絶対量としては多くなるので雑草害に注意する必要がある。

無除草区、ロボット除草区は穂数が少ないことが減収要因と考えられたが、減収割合は年次変動が大きく、水稲収穫時の雑草量については調査していないため、今回のデータでは残草量と玄米収量との関係を明らかにすることはできなかった。

効果が高いと予想していた週3～4回の除草頻度では、逆に雑草が多く発生した。この要因としては、株間に巻き上げられた土が堆積してきた培土の影響が大きく、その株間部分の水深が浅くなったことで、地温が他より上がりやすくなったか、水の濁りによる遮光効果が低くなったことが考えられた。したがって、水深5cm程度では週2回程度が適度であると思われた。さらに水深を深くすれば、除草頻度が高い程、除草効果も高くなるかもしれないが、作業労力等を考慮すると現実的でないと考えられた。

アイガモロボットを用いた除草法を実用的な除草技術として確立するため、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」で研究中である。

表2 雑草の本数と乾物重

		本数	無除草区に	乾物重	無除草区に
		(本/m <sup>2</sup> )	対する割合 (%)	(g/m <sup>2</sup> )	対する割合 (%)
中津川市 (中津川支所)	2007 無除草	155	100	21	100
	2007 ロボット	32	21	2	9
	2008 無除草	496	100	77	100
	2008 ロボット	157	32	5	6
飛騨市 (本所)	2009 無除草	259	100	93	100
	2009 ロボット	101	39	11	12
	2010 無除草	701	100	62	100
	2010 ロボット	219	31	16	26
平均	2006 無除草	978	100	96	100
	2006 ロボット	101	10	2	2
	2007 無除草	802	100	61	100
	2007 ロボット	500	62	21	35
	2008 無除草	853	100	153	100
	2008 ロボット	301	35	56	36
	2009 無除草	94	100	12	100
	2009 ロボット	36	38	7	59
平均	無除草	542	100	72	100
	ロボット	181	33	15	21
	有意差	**		**	

注1) 本数、乾物重ともにコナギ、イヌホタルイ、ノビエの合計とした。  
注2) \*\*はt検定により1%水準で有意差有り。

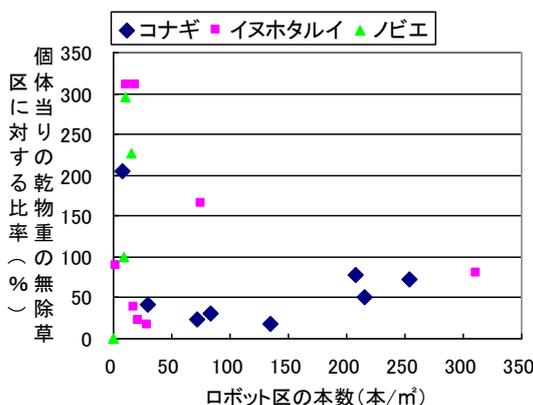


図4 雑草1個体当たり乾物重の無除草比



図5 除草期間終了後の稲の条間の様子(2008年飛騨市、右：無除草区、左：ロボット除草区)

表4 株間と条間の除草効果

		本数		乾物重		
		(本/m <sup>2</sup> )	無除草比 (%)	(g/m <sup>2</sup> )	無除草比 (%)	
2007年	無除草	155	100	24	100	
	ロボット	株間	59	38	5	19
		条間	5	3	1	3
2009年	無除草	259	100	122	100	
	ロボット	株間	96	37	32	26
		条間	21	8	4	3

注) 本数、乾物重ともにコナギ、イヌホタルイ、ノビエの合計とした。

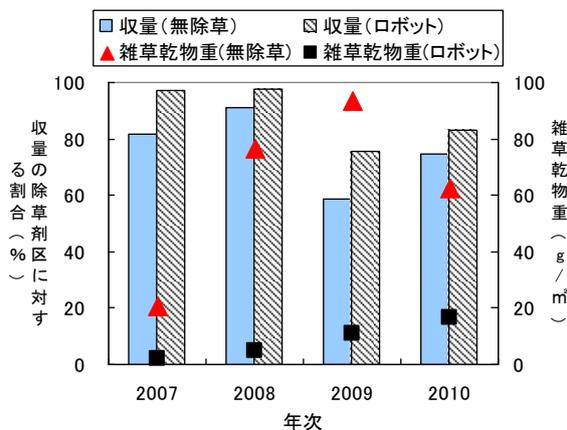


図6 年次別の玄米収量と除草期間終了後の雑草乾物重

表6 除草頻度別の雑草本数と乾物重

除草期間 終了時	本数 (本/m <sup>2</sup> )	無除草	週1回	週2回	週3回	週4回
		乾物重 (g/m <sup>2</sup> )	43	32	49	78
水稲収穫 時	乾物重 (g/m <sup>2</sup> )	21	5	2	2	5
	乾物重 (g/m <sup>2</sup> )	235	123	86	127	165

注1) 除草期間終了時は、本数、乾物重ともにコナギ、イヌホタルイ、ノビエの合計とした。  
注2) 水稲収穫時の乾物重は、全ての草種の合計とした。

表3 雑草種別の本数と乾物重

		本数	無除草比	乾物重	無除草比
		(本/m <sup>2</sup> )	(%)	(g/m <sup>2</sup> )	(%)
コナギ	無除草	371	100	45	100
	ロボット	125	34	7	16
	有意差	*		**	
イヌホ タルイ	無除草	163	100	24	100
	ロボット	61	37	8	34
	有意差	*		*	
ノビエ	無除草	8	100	2	100
	ロボット	4	52	1	61
	有意差	*			

注1) \*は t 検定により 5%水準で有意差有り。  
注2) \*\*は t 検定により 1%水準で有意差有り。

表5 玄米収量等

	稈長	穂長	穂数	玄米 収量	収量 比率	千粒 重
	(cm)	(cm)	(本/m <sup>2</sup> )	(kg/a)	(%)	(g)
除草剤	88.5	19.1	335	57.2 a	100	22.9
ロボット	87.2	18.7	288	50.8 ab	89	23.3
無除草	85.6	18.3	253	44.2 b	77	23.1

注1) 異なるアルファベット間には、Tukey の多重検定により 1%水準で有意差あり。  
注2) 千粒重のデータは 2010 年の除草剤区のみ無し。



図7 週4回の除草期間終了後の株間の土の状況

表7 株間除草機構の有無による除草効果

	本数 (本/m <sup>2</sup> )	無除草比 (%)	乾物重	
			無除草比 (本/m <sup>2</sup> )	無除草比 (%)
無除草	352 A	100	56 Aa	100
ロボット 株間無	118 B	34	11 b	20
ロボット 株間有	52 C	15	6 B	11

注1) 本数、乾物重ともに、コナギ、イヌホタルイ、ノビエの合計とした。  
注2) 本数、乾物重ともに対数変換を行い統計処理した。  
注3) 異なるアルファベット間には、Tukey の多重検定により有意差あり。(小文字：5%水準、大文字：1%水準)

表8 株間除草機構の有無による玄米収量

年次	場所	試験区	玄米収量 (kg/a)	除草剤比 (%)
2009	中津川市	除草剤	52.8	100
		無除草	31.0	59
		ロボット株間無	40.0	76
		ロボット株間有	45.1	85
	飛騨市	除草剤	79.9	100
		無除草	57.6	72
		ロボット株間無	70.0	88
		ロボット株間有	60.2	75
2010 中津川市	除草剤	58.1	100	
	無除草	43.3	74	
	ロボット株間無	48.4	83	
	ロボット株間有	55.8	96	

### 摘 要

水田用小型除草ロボット（アイガモロボット）の除草効果を検証した結果、雑草本数は2～4割、雑草乾物重はそれ以下に抑えられることがわかった。草種では、コナギ、イヌホタルイ及びノビエに対して除草効果が確認できた。クローラによる除草効果が非常に高く、クローラが通らない部分もある程度の除草効果があった。玄米収量は年次変動が大きく、除草剤区とほぼ同等の収量が得られた年もあったが、平均して無除草区より15%多く、除草剤区より11%少なかった。除草頻度は週2回で最も除草効果が高く、株間除草機構を装着することにより除草効果が高まった。

### 引用文献

- 1) 光井輝彰・小林孝浩・田畑克彦（2005）：アグリロボット要素技術の研究．岐阜県生産情報技術研究所研究報告第7号
- 2) 光井輝彰・小林孝浩・鍵谷俊樹・横山哲也・稲葉昭夫（2006）：アグリロボット要素技術の研究（第2報）．岐阜県生産情報研究所研究報告第8号
- 3) 光井輝彰・広瀬貴士・岩澤賢治・久田浩志・大場伸也・稲葉昭夫（2009）：水田用小型除草ロボット（アイガモロボット）の開発—水稲とマコモ栽培ほ場での除草実験—．岐阜県生産情報研究所研究報告11号