

委託試験成績（平成 28 年度）

担当機関名、部・室名	秋田県農業試験場 作物部
実施期間	平成 26 年度～28 年度、終了年度
大課題名	I 大規模水田営農を支える省力・低コスト技術の確立
課題名	無段変速セミクローラトラクタによる水田作業の高能率化試験
目的	<p>水稲作では作業の高速化や省エネ化の必要性が高まっている。播種・田植え作業時間は短縮されてきているが、耕うんや代かき時間が春作業の問題となってきた。これらの問題を解決するためには、高能率作業機への転換が必要であり、また、水稲では代かきを行わない栽培法への転換も一つの方策になる。しかし、これまで水田で使用されなかったけん引作業機等はけん引力や操舵性が必要とされるため、これらについて高い能力を有するセミクローラトラクタでの試験が必要である。</p> <p>そこで、排ガス規制対応型 70 馬力無段変速セミクローラトラクタと水田用チゼルプラウや縦軸駆動ハローの作業能率を無代かき直播栽培体系を代かき体系と比較、検討する。あわせて、燃料消費を減少できるトラクタの負荷制御機構がこれら作業時の燃料消費軽減効果について検討する。</p>
担当者名	主任研究員 進藤勇人
<p>1. 試験場所 試験場所・土壌条件：秋田県農業試験場水田ほ場・細粒強グライ土</p> <p>2. 試験方法</p> <p>(1) 供試機械名</p> <p>ア. 本機：ヤンマー社製 無段変速セミクローラトラクタ（YT470 型、HMT、51.5kW、負荷制御機構搭載） 8 条高精度播種機（RG8-STRG8 型）</p> <p>イ. 作業機：チゼルプラウ（IHI スター社製スーパーソイル 7 本爪、FDSS71 型、作業幅 2.2m）、縦軸駆動ハロー（IHI スター社製派パワーハロー（パッカローラ装備）、FECL-233PT 型、作業幅 2.3m）、ロータリ（松山社製 SXL2411H 型、作業幅 2.4m）、代かきハロー（松山社製 HWS4100BR 型、作業幅 4.1m）</p> <p>(2) 試験条件</p> <p>ア. ほ場条件</p> <p>1) ほ場 A 秋田農試水田ほ場 細粒強グライ土（ほ場区画 1ha（200×50m）、農道ターン） 2) ほ場 B 秋田農試水田ほ場 細粒強グライ土（ほ場区画 1ha（200×50m）、農道ターン） * 耕うん、整地作業では、農道での旋回をしていない。</p> <p>イ. 試験区の構成および作業日（負荷制御試験は同日に行った。）</p> <p>1) 無代かき直播 チゼルプラウ（4 月 24 日）→ 縦軸駆動ハロー（4 月 27 日）後かん水し、飽水状態で播種</p> <p>2) 代かき直播 ロータリ（4 月 25 日）→ 荒代・植代（5 月 9 日）、湛水後落水をして播種 * いずれも 5 月 12 日に播種した。</p>	

ウ. 機械設定

- 1) PTO を使用する作業機は、PTO 1 で定格回転 (540rpm) のエンジン回転 2500rpm で作業した。けん引作業はエンジン回転 2300rpm で作業した。
- 2) 負荷制御：供試した 1ha ほ場を短辺で 2 分割し (各試験面積は約 50a)、先に負荷制御機構を使用しない状態で作業し、ほ場の仕上がりでエンジン負荷からオペレータの判断で作業速度を決定した。その後、同程度の速度で作業できる最高速度をトラクタで設定し、負荷制御機構を使用して作業を行った。なお、負荷制御の設定は最大 15% の減速とした。

エ. 耕種概要

1) 播種様式

ほ場 A：無代かき直播 (チゼルプラウ→ 縦軸駆動ハロー後かん水し、飽水状態で播種)

ほ場 B：代かき直播 (ロータリ→荒代 (代かきハロー) →植代 (代かきハロー))

2) 供試品種「あきたこまち」

3) 種子予そ・播種量 (乾粒換算)：カルパー等倍 (土中播種)、3.5 g/m²

4) 施肥：側条施肥 (速効 N：LP40：LPS60=4.5：1：4.5、7.5gN/m²、無追肥)

5) 水管理落：落水出芽 (5 月 12～18 日)・中干し 6 月 27 日～7 月 27 日・中干し終了から 8 月 31 日までは間断かん水し、8 月 6～19 日 (出穂期 8 月 9 日) は湛水管理した。

オ. 試験項目

- 1) 作業能率・作業速度：作業能率は、作業開始から終了までの時間を計測した。速度は、長辺中央付近の 25m 区間の通過時間を計測した。
- 2) 燃料消費量：トラクタに燃料消費計 (BANZAI 社、DE-FL 型) を取り付け、測定した。
- 3) 碎土率および土壌含水比：各作業終了時の全土壌に占める 20mm 未満土塊の重量割合を碎土率とした。同時に土壌含水比 (105℃、24 時間) を測定した。
- 4) 水稻苗立ち率、生育・収量
- 5) 土壌酸化還元電位：播種後、深さ 5cm に白金電極を設置し、比較電極 (EP-20 型) との電位差を酸化還元電位測定器 (藤原製作所社、EHS-120 型) で播種後の再湛水 (5 月 23 日) から 9 月 3 日まで 2～7 日おきに測定した。

3. 試験結果

ア. 各作業の作業能率と燃料消費量

- 1) チゼルプラウ耕の作業速度、作業能率及び燃料消費量はそれぞれ、6.6～6.9km/h、1.33～1.46h/ha、14.4L/ha、で、碎土率は 31.0～31.1%(含水比 0.65～0.69)であった (表 1)。ロータリ耕の作業速度、作業能率及び燃料消費量はそれぞれ、2.9km/h、2.62～2.72h/ha、22.5～22.8L/ha で、碎土率は 53.0～54.8%(含水比 0.77～0.78)であった (表 2)。チゼルプラウ耕はロータリ耕に比べ、作業速度が 2 倍以上で作業時間が 1.3h/ha 程度短く、燃料消費量が 8L/ha 程度少なかった。
- 2) 縦軸駆動ハローの作業能率、燃料消費量はそれぞれ、2.24～2.50h/ha、26.7～27.0L/ha で、碎土率は 64.3～65.6%(含水比 0.46～0.49)であった (表 3)。整地後に 3 日程度飽水管理し土壌を軟らかくすることで、無代かき状態で播種することが可能であった。
- 3) 代かき作業の作業能率、燃料消費量はそれぞれ、1.31～1.51h/ha、9.6～11.7L/ha であった (表 4、5)。

イ. 無代かき体系の作業能率

- 1) 無代かき区の播種床造成にかかる作業時間は 3.96h/ha であり、代かき体系に比べ 29%短縮

された。また、燃料消費量は6%減少した(表6)。播種作業能率は同等であった(データ省略)。

ウ. 負荷制御機構の効果

1) 同一ほ場において各作業の負荷制御機構を使用しない時の作業時間および燃料消費量を100とした時の負荷制御機構を使用した場合の指数は、作業時間で89~105、燃料消費量で99~104であった(表7)。2014~2015年に実施した47.8kW(65PS)セミクローラトラクタでの試験結果では負荷制御を使用することで作業時間は平均3.2%、燃料消費量は平均3.5%削減された(表8)。オペレータからは、主変速レバー操作とクラッチ使用しない操作に慣れることが必要であるが、最高速度設定と負荷制御機構を使用することで、加速時にエンジン負荷をあまり気にせずに加速できることやその際に仕上がりを確認できるとの感想を得た。作業時間の短縮は加減速時の操作性向上によると推察された。

エ. 無代かき直播水稻の生育と特徴

- 1) 無代かき区の苗立ち率は72.9%と代かき区より高かった。播種深度は8.6mmで代かきよりやや深かったが、これは自動覆土板制御装置が装備されていない播種機を使用したため、深めに播種したことが影響したものと考えられた(表9)。
- 2) 無代かき区の茎数は、生育期間を通じて代かき区と同等~やや少なく推移した。一方、有効茎歩合は85%で代かき区より高く、穂数は無代かき区が460本/m²、代かき区は482本/m²であった(図1)。
- 3) 再湛水から6月10日頃までの無代かき区の酸化還元電位は代かき区より低下が遅く、それ以降中干しまで-150mV以下で推移した。中干し開始後は代かき区より速く高くなり、中干しを終了した7月27日以降も完全落水まで、やや高く推移した(図2)。出芽から苗立ちまでの期間(6月上旬まで)の無代かき区は代かき区より土壌が酸化的であることが苗立ち率の向上につながったと推察された。
- 4) 無代かき区の収量は62.6kg/aで代かき区と同等であった。千粒重が23.4gと大きいことが特徴であった。玄米外観品質、玄米タンパク質は同等であった(表4)。

4. 主要成果の具体的データ

表1 チゼルプラウ作業の作業能率と燃料消費量

負荷制御	作業面積 m ²	耕深 cm	作業時間		燃料消費量		作業速度 km/h	土壌碎土率	
			h/ha	比	L/ha	比		%	含水比
有	4800	11	1.33	91	14.4	100	6.9	31.1	0.69
無	4800	11	1.46	(100)	14.4	(100)	6.6	31.0	0.65

表2 ロータリ耕の作業能率と燃料消費量

負荷制御	作業面積 m ²	耕深 cm	作業時間		燃料消費量		作業速度 km/h	土壌碎土率	
			h/ha	比	L/ha	比		%	含水比
有	4960	11	2.62	96	22.5	99	2.9	54.8	0.78
無	4960	11	2.72	(100)	22.8	(100)	2.9	53.0	0.77

表3 縦軸駆動ハロー作業の作業能率と燃料消費量

負荷制御	作業面積 m ²	耕深 cm	作業時間		燃料消費量		作業速度 km/h	土壌碎土率	
			h/ha	比	L/ha	比		%	含水比
有	4800	7	2.24	90	26.7	99	3.6	65.6	0.49
無	4800	7	2.50	(100)	27.0	(100)	3.6	64.3	0.46

注1)チゼルプラウにより耕起したほ場を碎土・整地した結果である。

表4 荒代かき作業の作業能率と燃料消費量

負荷制御	作業面積 m ²	作業時間		燃料消費量		作業速度 km/h
		h/ha	比	L/ha	比	
有	4960	1.35	89	11.6	99	3.3
無	4960	1.51	(100)	11.7	(100)	3.2

表5 植代かき作業の作業能率と燃料消費量

負荷制御	作業面積 m ²	作業時間		燃料消費量		作業速度 km/h
		h/ha	比	L/ha	比	
有	4960	1.37	105	10.0	104	3.5
無	4960	1.31	(100)	9.6	(100)	3.5

表6 無代かき体系が作業能率及び燃料消費に及ぼす影響(負荷制御なし区)

体系	耕うん・耕起					砕土・整地					荒代かき			植代かき			作業合計			
	作業速度	作業時間	燃料消費	砕土率	含水比	作業速度	作業時間	燃料消費	砕土率	含水比	作業速度	作業時間	燃料消費	作業速度	作業時間	燃料消費	作業時間	比	燃料消費量	比
	m/s	h/ha	L/ha	%	%	m/s	h/ha	L/ha	%	%	m/s	h/ha	L/ha	m/s	h/ha	L/ha	h/ha	比	L/ha	比
無代かき	1.84	1.46	14.4	31.0	0.65	0.99	2.50	27.0	64.3	0.46	-	-	-	-	-	-	3.96	71	41.4	94
代かき	0.81	2.72	22.8	53.0	0.77	-	-	-	-	-	0.88	1.51	11.7	0.97	1.31	9.6	5.54	(100)	44.1	(100)

注1)作業幅:水田用チゼルプラウ2.2m、縦軸駆動ハロー2.3m、ロータリ2.4m、代かきハロー4.1m

注2)砕土率は、20mm未満土塊率を示す。

表7 YT470型での負荷制御機構の有無が作業時間、燃料消費量に及ぼす影響

作業(機)	作業時間(h/ha)			燃料消費量(L/ha)		
	負荷制御			負荷制御		
	無	有	左比	無	有	左比
チゼルプラウ	1.46	1.33	91	14.4	14.4	100
縦軸ハロー	2.50	2.24	90	27.0	26.7	99
ロータリ	2.72	2.62	96	22.8	22.5	99
荒代	1.51	1.35	89	11.7	11.6	99
植代	1.31	1.37	105	9.6	10.0	104
平均	1.90	1.78	94.2	17.1	17.0	100.2

表8 65Pストラクタでの負荷制御機構の有無が作業時間、燃料消費量に及ぼす影響(2014~2015年)

作業(機)	年次	ほ場	作業時間(h/ha)			燃料消費量(L/ha)		
			負荷制御			負荷制御		
			無	有	左比	無	有	左比
チゼルプラウ	2015	A	1.46	1.42	97	12.1	11.8	98
	2015	B	1.30	1.30	100	11.1	10.7	97
	2014	A	1.35	1.25	92	12.1	11.7	96
縦軸ハロー	2015	A	2.35	2.30	98	17.3	17.3	100
	2015	D	2.60	2.60	100	18.7	18.2	97
	2014	A	1.98	1.88	95	17.9	16.5	92
ロータリ	2015	C	2.60	2.50	96	16.9	16.3	96
	2015	B	2.49	2.41	97	22.8	22.9	101
	2015	C	2.44	2.32	95	21.5	20.6	96
荒代	2015	C	1.73	1.73	100	11.3	11.3	100
	2015	B	1.32	1.26	95	10.0	9.7	97
	2015	C	1.37	1.35	99	10.4	10.0	96
植代	2015	C	1.49	1.49	100	10.0	9.8	98
	2015	B	1.50	1.38	92	10.6	10.0	95
	2015	C	1.47	1.41	96	9.8	8.9	90
平均			1.83	1.77	96.8	14.2	13.7	96.5
分散分析			負荷制御			***		

注)***は二元配置分散分析により、負荷制御の有無に0.1%水準で有意な差があることを示す

表9 播種法が苗立ち期の生育及ぼす影響(6月6日調査)

試験区	苗立ち本数		苗立ち率 %	草丈 葉数		播種 深度 mm
	本/m ²	sd		cm	葉	
無代かき	93.9	3.3	72.9	19.3	3.5	8.6
代かき	87.7	3.8	68.1	19.9	3.4	5.3

注1) 苗立ち率は1m(50cm×2条)×24地点調査

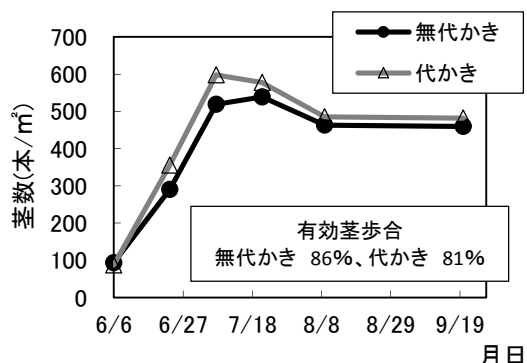


図1 茎数の推移(成熟期は穂数)

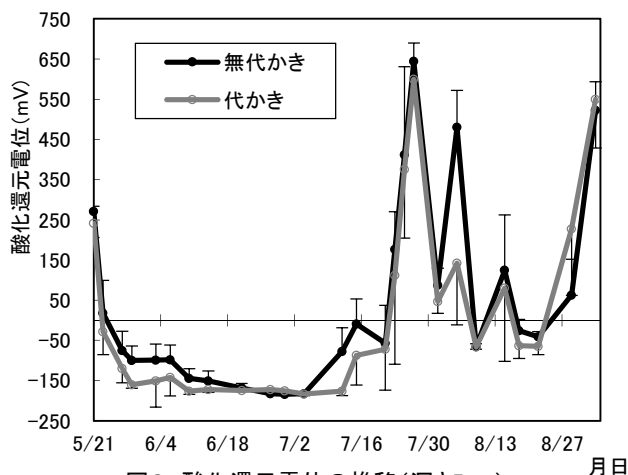


図2 酸化還元電位の推移(深さ5cm)

注1) ほ場3カ所に測定用白金電極を3本ずつ設置し測定した。垂直線は標準誤差(n=3)

注2) 落水出芽後、5月19日から再灌水し、中干しは6月27日～7月27日まで行った。8月6～19日(出穂期8月9日)は灌水管理した。

表10 収量及び収量構成要素、玄米品質

試験区	倒伏程度	精玄米重		穂数 本/m ²	籾数 千粒/m ²	登熟歩合 %	千粒重 g	外観品質	玄米タン パク質(%)
	0-4	kg/a	sd					1-9	
無代かき	0.3	62.6	2.3	460	28.3	86.5	23.4	2.5	6.5
代かき	0.3	63.2	2.4	482	29.5	86.4	22.8	2.8	6.4

注1) 外観品質は、(一財)日本穀物検定協会仙台支所調べ。カメムシ斑点米、胴割れ粒は、除く。

注2) 玄米タンパク質含有率は玄米窒素含有率に5.95を乗じ、玄米水分15%に換算して求めた

注3) sdは標準偏差を示す(n=6)。

5. 経営評価

- (1) 耕うん・耕起作業：チゼルプラウは作業速度がロータリ耕の2倍以上で、作業能率が74a/hと能率が高い。価格も安価である(表11)。
- (2) 碎土・整地作業：縦軸駆動ハローは作業速度が代かきの1.2倍程度であるが、作業能率が51a/hで代かき2回分の能率を上回る(表11)。
- (3) 2014～2015年に実施した現地での作業能率(47.8kWセミクローラトラクタ)を用いた作業可能降水量を作業可否条件とした無代かき体系の播種床造成可能面積は平均17.7ha(24～6ha)であった(表12)。
- (4) 無代かき体系に供試した作業機の価格は代かき体系より安価で、作業能率が大幅に向上するために、固定費の圧縮につながると考えられる。取水日までに無代かきでの造成を行い、代かき栽培を組み合わせることで、さらなる規模拡大に貢献できると考えられた。

表11 作業機の価格(税込)と作業能率の比較(2014年)

	作業機	価格	作業速度	作業能率	作業機	価格	作業速度	作業能率
		千円	km/h	a/h		千円	km/h	a/h
無代かき体系	チゼルプラウ FDSS71型	703.5	5.8	74	縦軸ハロー FECL-233PT型	1680.0	3.1	51
	ロータリ KJF223型	1102.5	2.4	42		代かきハロー TXM416型	1799.7	2.6

注1) 負荷制御なし区のデータを用いた。トラクタは無段変速セミクローラトラクタ(EG65C型)である。

注2) 代かきの作業能率は、荒代、植代2回分を合計した能率である。

表12 作業可能降水量を作業可否条件(農水省、1986)とした無代かき体系の播種床造成可能面積(2014~2015年)

	チゼルプラウ(作業能率5ha/日)		縦軸駆動ハロー(作業能率3ha/日)		チゼルプラウ+縦軸ハロー体系 作業可能面積 ha
	作業可能日数 日	作業可能面積 ha	作業可能日数 日	作業可能面積 ha	
平均	11.6	58.0	6.2	18.6	17.7
最高	15	75	9	27	24
最低	6	30	2	6	6

注1) 作業可能降水量(mm)は、チゼルプラウを当日5、前日20、前々日30とし、縦軸駆動ハローを当日1、前日5、前々日20とした。

注2) 作業期間は、チゼルプラウを4月20日~5月4日の15日間、縦軸駆動ハローを4月25日~5月4日の10日間とした(実証地域の取水日は5月5日)。

注3) 降水量のデータは、アムダス能代の2006~2015年の10年分を用いた。

6. 利用機械評価

- (1) 供試した無段変速セミクローラトラクタは、主変速レバー操作とクラッチを使用しない操作に慣れることが必要であるが、最高速度設定と負荷制御機構を使用することでオペレータの負担が軽減できる。
- (2) YT470 型トラクタは、ロータリや縦軸駆動ハロー等の PTO を使用する負荷作業時の燃料消費量が EG65 型よりも増加していることが気にかかる。

7. 成果の普及

農家講習会等でデータを活用している。また、現地農家は場での実証も行っている。

8. 考察

- (1) 牽引力と機動性を併せ持つ無段変速セミクローラトラクタは、チゼルプラウのようなけん引作業機での作業でも高速作業が可能で、特に粘土含量の高い湿田では水田作業の効率化に有効と考えられた。
- (2) 3年間のデータからチゼルプラウと縦軸駆動ハローを用いた無代かき体系では慣行の代かき体系に比べ、作業時間で30~40%、燃料消費量で5~30%の削減が図られた。チゼルプラウ等の牽引力と走行安定性が必要な作業では、セミクローラ型は有効と考えられた。
- (3) 最高速度設定と負荷制御機構を使用することで、作業時間が3%程度、燃料消費量が0~3%程度削減された。加速時にエンジン負荷をあまり気にせずに加速できることやその際に仕上がりを確認できることで、作業時間の短縮は加減速時の操作性向上にするものと推察された。
- (4) 無代かきほ場は土壌還元の進行が遅く、苗立ち率が代かき区より高かった。無代かき栽培は減水深が比較的少ない粘質のグライ土壌に適した栽培と考えられた。

9. 問題点と次年度の計画

チゼルプラウによる耕起作業では、稲株や稲わらの埋没が不足する場合がある。

10. 参考写真



写真 チゼルプラウの状況



写真 無代かき湛水直播の播種状況