

目 次

巻頭言

- ・今後の支部活動について 次期支部長 武田純一

研究報告

- ・水田のレーザ均平作業におけるセミクローラトラクタの有効性
. 進藤勇人・齋藤雅憲・佐々木景司・今野真輔・片平光彦 . . . 1
- ・水田の耕うん作業時におけるトラクタの燃料消費量に関する研究 今野真輔・片平光彦 . . . 5
- ・けん引式水田除草機の作業能率と除草効果 進藤勇人・三浦恒子・中川進平・齋藤雅憲 . . . 9
- ・水田転換ほ場での機械化作業体系の確立(第2報) 佐藤麻衣・田邊 大・片平光彦 . . . 13
- ・施肥同時溝切り機を用いた長ネギの省力栽培技術に関する研究 (第4報)
. 大竹智美・平瀬隼人・増山知也・片平光彦 . . . 17
- ・エダマメの機械播種技術の向上に関する研究(第1報)
. 齋藤雅憲・進藤勇人・本庄 求・武田 悟・片平光彦・武田純一 . . . 21
- ・アルファ化玄米の製造に関する研究 (第1報) 小出章二・佐藤あい花・折笠貴寛・武田純一 . . . 25
- ・ハイパースペクトル画像計測によるリンゴ成葉の窒素含有量推定モデルの構築
. 阿部汐里・張 樹槐・叶 旭君 . . . 29
- ・UAV (無人航空機) を利用した農作物の生育診断 (第1報)
. 田邊 大・中坪あゆみ・富樫均仁・本間英治・片平光彦・嶋田 浩 . . . 33
- ・フィンランドにおける穀物乾燥の省エネルギー技術動向調査報告 金井源太 . . . 37

トピックス

- [会員の声: 農業機械の素人が歩んだ研究・普及・行政] 43
- [シンポジウム・現地見学会報告] 47
- [若手の会活動の報告] 51
- [功績賞を受賞して] 53
- [奨励賞を受賞して] 54
- [優秀発表賞を受賞して] 55
- [学生奨励賞を受賞して] 56

支部会記事

- 庶務報告及び会計報告 57
- 平成 28 年度研究発表会発表課題 65
- 農業食料工学会東北支部役員及び役員体制 68
- 農業食料工学会東北支部規約・表彰規程と内規・役員選挙規程・投稿規程 70

東北地域農業食料工学関係の研究担当者名簿 76

団体賛助会員名簿・個人会員名簿 82

水田のレーザ均平作業におけるセミクローラトラクタの有効性

進藤勇人*・齋藤雅憲*・佐々木景司**・今野真輔***・片平光彦***

Semi-crawler Tractor Effectiveness for Laser Leveling on Paddy Field

Hayato SHINDO*・Masanori SAITO*・Keiji SASAKI**・Shinsuke KONNO***・Mitsuhiko KATAHIRA***

Abstract

Field leveling of paddy fields in Japan is worsening because of the introduction of large block fields and paddy-upland rotation. Field leveling is increasing in importance to support crop cultivation. Therefore, we investigated the influence of fuel consumption and the effectiveness of laser leveling work in large paddy fields comparing full-crawler tractors and semi-crawlers. Laser leveling work conducted by a laser leveler mounted on a semi-crawler tractor can shorten the total work time by decreasing the amount of reverse work and reverse distance compared to a full-crawler tractor. In addition, a semi-crawler tractor can decrease fuel consumption by decreasing the reverse distance. To decrease the fuel consumption and working time, field conditions should be examined before leveling. Work plans must be made to take a short working distance.

[Key-words] Semi-crawler tractor, laser leveling, work time, work distance, fuel consumption, paddy field

1. 緒言

近年の米価の下落等に伴い、水田作を主体とした生産者は経営安定化のために、急速な規模拡大を進めている。規模拡大が急速に進む要因としては、ほ場整備、それを前提とした高効率農機の導入、経営体の組織化等があげられる。秋田県は平成3年度から1haを標準区画としたほ場整備事業を開始し、平成26年度では1ha以上の大区画ほ場が20,134ha整備され、要整備面積の19%を占めている(平成26年、県農林水産業及び農山漁村に関する年次報告)。大区画ほ場では作業の省力化が図られる一方で、均平精度を高めることが難しくなる。また、近年では水田の田畑輪換利用時の排水改良による不等沈下や大豆作での培土や野菜作での畝立て等も均平悪化の原因となっている。

水稲作では省力化技術として直播栽培への期待が大きい。田面の均平度は直播水稲の初期生育への影響が大きく、田面の高低は初期分げつの発生に影響すること¹⁾や苗立ち率、苗立ち期の草丈、有効茎決定期頃の茎数、幼穂形成期頃の葉緑素計値と相関があることや水稲生育のバラツキが大きくなることが明らかにされており²⁾、普及の障害になっている。田面高さが収量へ及ぼす影響は明確ではないものの、中間管理が難しくなることや除草剤の効果の低下を招くことが指摘されており、均平精度として湛水直播では高低差±25mm、標準偏差15mm以内(±25mm以内が90%)が目標とされている³⁾。

従来、水田の均平化は耕うんと代かきで行われてきたが、これら技術は30a以上の区画の均平化では多大な労

力を要することが指摘されている⁴⁾。そのため近年ではトラクタに装着するレーザレベラ⁵⁾の導入が進んでおり、その背景にはトラクタの高出力化、クローラ化がある。秋田県内で販売されるトラクタでは、中馬力以上を中心に30%以上がクローラ型となっている(メーカからの聞き取り)。粘質な湿田でのレーザ均平作業では運土作業を効率よく行うために牽引力が必要であるため、接地圧が小さく、高出力なフルクローラトラクタが使用されることが多い。フルクローラトラクタは牽引力が高いが、一方で旋回時ほ場を痛めるため旋回半径を大きくしたり後進による旋回が多くなる問題がある。近年、湿田を中心に導入が進んでいるセミクローラトラクタは、前輪がホイール式でフルクローラに比べ旋回時の操舵性が高く、後輪がクローラ式であるため、牽引力が高い。これら両方の特徴を合わせ持つセミクローラトラクタは導入が進んでいるものの、レーザ均平作業に関する報告はない。

そこで本報では、レーザ均平作業におけるセミクローラトラクタの作業性をフルクローラトラクタと比較、検討し、大区画ほ場における均平作業での有効性や燃料消費に及ぼす影響を検討する。

2. 試験方法

(1) 試験年次・試験場所・ほ場条件

試験は2012, 2013年に、秋田県秋田市にある現地ほ場(ほ場NO.1)と秋田県農業試験場(ほ場NO.2)および秋田県大仙市にある現地ほ場(ほ場NO.3)で行った。ほ場区画は、秋田市の2箇所が1ha(200×50m)、大仙市が

* : 秋田県農業試験場 秋田県秋田市雄和相川字源八沢34-1

** : 現 秋田県果樹試験場 秋田県横手市平鹿町醍醐字街道下65

*** : 山形大学農学部 山形県鶴岡市若葉町1-23



図1 供試したトラクタ

(左セミクローラトラクタ (EG105 型), 中央フルクローラトラクタ (CT1010 型), 右フルクローラトラクタ (MK-140 型))

表1 試験区の構成

試験場所	試験区	トラクタ		レベラ 作業幅 m	ほ場区画			作業日 d-m-y
		タイプ	出力 kW		長辺 m	短辺 m	面積 ha	
No.1	Sc区	セミクローラ	77.2	4	200	50	1	21-Apr-12
	Fc区	フルクローラB	103.0	5	200	50	1	20-Apr-12
No.2	Sc区	セミクローラ	77.2	4	200	50	1	24-Apr-13
	Fc区	フルクローラA	74.2	4	200	50	1	23-Apr-13
No.3	Sc区	セミクローラ	77.2	4	152	50	0.76	08-Oct-13
	Fc区	フルクローラA	74.2	4	140	50	0.70	07-Oct-13

76 a (152×50 m), 70 a (140×50 m) である。土壌はいずれも細粒質強グライ土であり、水稲収穫後のほ場で均平作業を行った。

(2) 供試機械および均平作業体系

試験には、ヤンマー社製セミクローラトラクタ EG105 型 (HMT, 77.2 kW) を供試した。対照機には、ヤンマー社製でセミクローラトラクタとエンジン型式が同一のフルクローラトラクタ CT1010 型 (HST, 74.2 kW) と諸岡社製フルクローラトラクタ MK-140S 型 (HST, 103 kW) を用いた。また、レーザレベラは直装式レーザレベラ 2 機種 (スガノ社 LL4000, 作業幅 4 m, スガノ社 LL5000, 作業幅 5 m) を用いた (図 1, 表 1)。

均平作業は事前に深さ 11~13cm をレーザプラウ (スガノ社 LCPQY128H 12inch, 8 連) により耕起した後実施し、目標の高低差は±2.5cm とした。

(3) 試験区の構成

本試験ではレーザ均平作業における異なるトラクタタイプでの作業能率やその特徴を明らかにするため、No. 1~3 の 3 カ所の試験場所ごとにセミクローラトラクタとフルクローラトラクタで 1 筆ずつ均平作業を実施し、セミクローラトラクタによる施工区を Sc 区、フルクローラトラクタによる施工区を Fc 区とした。試験区の設定とほ場区画、トラクタタイプ、レベラの作業幅等を表 1 に示す。なお、大仙市のほ場 NO. 3-Sc 区は均平作業開始 2 時間後の降雨により作業を中止した。

(4) 調査項目

トラクタに農作業情報記録装置 (DFL: DigiFarmLogger, 木村工芸社⁶⁾) を取り付け、均平作業中の作業情報を調査した。本装置は GPS アンテナ、ロアリンクに取り付けた

傾斜センサ、バックランプに取り付けた光センサにより得られる作業速度、座標、作業機の下上、バックランプの点灯状況を測定し、連続的に記録できるものである。これにより、作業速度、前進後進、作業実施の有無を調査した。なお、本試験でのデータサンプリング間隔は 1 Hz とし、得られた作業速度の積算値を走行距離とした。

トラクタの燃料消費量はトラクタに流量計 (DE-FL 型, BANZAI 社) を取り付け、ほ場ごとに測定した。

作業前後のほ場均平度は、1ha ほ場である試験場所 NO. 1, 2 では 40 メッシュ (250 m² (25×10 m)), 試験場所 NO. 3 では 30 メッシュ (Sc 区は 253 m² (25.3×10 m), Fc 区は 233 m² (23.3×10 m)) にそれぞれ分割し、1 メッシュあたり 5 地点で田面高さをレーザ測量機 (LaserEye, Laserplane 社) で測定した。測定地点数は、試験場所 NO. 1, 2 では 200 地点、NO. 3 では 150 地点である。

3. 結果および考察

(1) 均平作業前後のほ場均平度

均平作業前後の田面高さの状況を表 2 に示した。

試験場所 NO. 1 における均平作業前の田面高さは、Sc 区で最大 73.8~最小-48.2 mm ($\sigma=21.0$), Fc 区で最大 51.9~最小-84.1 mm ($\sigma=23.9$) であり、±25 mm 地点割合は約 78% であり、両圃場の均平度は同程度であった。均平作業後の均平度は、Sc 区で最大 16.4~最小-18.6 mm ($\sigma=6.6$), Fc 区で最大 13.4~最小-20.7 mm ($\sigma=6.9$) であり、全地点が±25 mm 以内であった。

試験場所 NO. 2 における均平作業前の田面高さは、Sc 区で最大 31.2~最小-65.8 mm ($\sigma=18.3$), Fc 区で最大 35.0~最小-78.0 mm ($\sigma=17.4$) であり、±25 mm 地点

割合は約 85 %であり、両圃場の均平度は同程度であった。均平作業後の均平度は、Sc 区で最大 24.5～最小 44.5 mm ($\sigma=13.2$)、Fc 区で最大 23.2～最小 39.8 mm ($\sigma=12.6$) であり、 ± 25 mm 地点割合は 96 %以上であった。

試験場所 NO.3 の Sc 区は均平作業開始 2 時間後に降雨により作業を断念したため、均平度が低かった。均平作業後の均平度は、Sc 区で $\sigma=17.1$ 、Fc 区で $\sigma=10.4$ であり、 ± 25 mm 地点割合は Sc 区で 84 %、Fc 区で 99 %であった。

以上のことから、試験場所 No. 1, 2 では同程度の均平作業が行われたと考えられた。

(2) 作業時間と作業内訳

均平作業時間とその内訳を表 3、図 2 に示した。

試験場所 NO. 1 における

Sc 区および Fc 区の作業時間はそれぞれ、6.54、6.83 h/ha であった。使用したセミクローラトラクタがフルクローラより低出力で、レベラの作業幅が小さいにもかかわらず、作業時間が短かった。作業内訳では、実作業時間（前進作業）は同等であるが、Sc 区の後進回数は 194 回と Fc 区より大きく減少し、全作業時間あたりの後進回数も Fc 区より少なかった。

試験場所 NO. 2 における Sc 区および Fc 区の作業時間はそれぞれ、5.51、6.87 h/ha で、Sc 区が短かった。実作業時間（前進作業）の割合は同等であるが、Sc 区の後進回数は 189 回と Fc 区より大きく減少し、全作業時間あたりの後進回数も Fc 区より少なかった。

試験場所 NO. 3 における Sc 区の後進回数は他の試験場所と同様に Fc 区より大きく減少し、全作業時間あたりの後進回数も Fc 区より少なかった。

竹内ら⁷⁾は長辺が 200m を超える長さの水田ほ場でのフルクローラトラクタによるレーザ均平作業では、後進や旋回の増加により実作業割合が低下することを指摘しており、本報告で得られた結果と一致している。

これらの結果からセミクローラトラクタはフルクローラより旋回時の操舵性に優れるため、旋回時の後進回数が減少することで、作業時間が短縮できると考えられた。

表 2 均平作業前後の田面の状況

試験場所	試験区	調査地点	最大 mm	最小 mm	中央 mm	σ	高低差 mm	地点割合 %			
								> 25mm	< -25mm	-25~25mm	
No.1	Sc区	均平前	200	73.8	-48.2	-0.7	21.0	122.0	11.5	10	78.5
		均平後	200	16.4	-18.6	-0.6	6.6	35.0	0	0	100
	Fc区	均平前	200	51.9	-84.1	4.4	23.9	136.0	8	14	78
		均平後	200	13.4	-20.7	-0.1	6.9	34.0	0	0	100
No.2	Sc区	均平前	200	31.2	-65.8	4.2	18.3	48.5	4.0	11.5	84.5
		均平後	200	24.5	-44.5	1.0	13.2	34.5	0.0	3.5	96.5
	Fc区	均平前	200	35.0	-78.0	2.0	17.4	56.5	4.5	8.5	87.0
		均平後	200	23.2	-39.8	1.7	12.6	31.5	0.0	4.0	96.0
No.3	Sc区	均平前	150	33.3	-70.7	1.3	19.0	52.0	6.7	8.7	84.7
		均平後	150	30.1	-37.9	0.1	17.1	34.0	6.0	10.0	84.0
	Fc区	均平前	150	48.1	-49.9	2.1	16.3	49.0	2.7	10.0	87.3
		均平後	150	23.2	-28.8	0.2	10.4	26.0	0.0	1.3	98.7

注1) 調査地点田面高さの平均値を0として、算出した。

注2) NO.3-Sc区は、作業開始約2時間後の降雨により作業を終了した。

表 3 均平作業の作業時間と作業速度

試験場所	試験区	作業面積 ha	全作業時間 h	作業時間内訳					後進回数		作業速度		
				前進作業 h	前進旋回 h	後進 h	停止・調整 h	後進回数 回	後進回数/h	平均 m/s	前進 m/s	後進 m/s	
No.1	Sc区	1	6.54	3.89	0.37	1.90	0.38	194	29.7	2.1	2.0	2.1	
	Fc区	1	6.83	3.95	0.34	2.02	0.52	296	43.3	2.0	1.9	2.4	
No.2	Sc区	1	5.51	3.05	0.21	1.21	1.03	189	34.3	1.2	1.3	0.9	
	Fc区	1	6.87	3.78	0.36	1.68	1.06	292	42.5	1.3	1.3	1.5	
No.3	Sc区	0.76	2.05	1.54	0.12	0.20	0.19	60	29.3	2.0	2.1	1.3	
	Fc区	0.70	6.36	3.34	0.35	2.03	0.64	304	47.8	1.6	1.5	1.7	
	参考Fc区	0.70	2.05	1.22	0.12	0.56	0.16	95	46.4	1.6	1.5	1.7	

注1) 参考Fc区は均平作業開始から約2時間の作業のみのデータを示したものである。

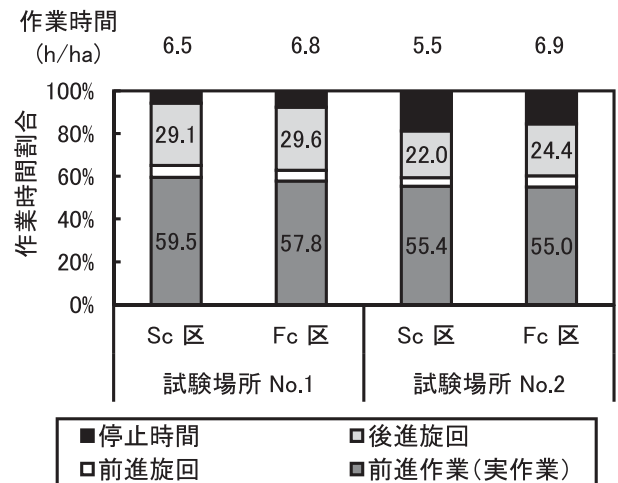


図 2 レーザ均平における作業時間の割合

(3) 走行距離と燃料消費量

均平作業時のトラクタの走行距離とその割合および燃料消費量を表4、図3に示した。

試験場所 NO.1 および NO.2 における Sc 区の走行距離はそれぞれ、45.5、19.0 km/ha で Fc 区より短かった。

また、走行距離の内訳を見ると、両試験場所で後進距離が

短かった(表4)。さらに試験場所 NO.1 および NO.2 における Sc 区の全走行距離に占める後進作業距離の割合はそれぞれ、32.3、20.4%でいずれも Fc 区より少なかった(図3)。これらの結果はセミクローラトラクタの旋回半径が小さい特徴により、後進距離の短い小回り旋回を可能にしていることを示していると考えられた。

試験場所 NO.1 および NO.2 における Sc 区の燃料消費量はそれぞれ、70.9、52.3 L/ha で Fc 区よりそれぞれ 26%、34%少なかった。同型式のエンジンを搭載したフルクローラトラクタと比較した試験場所 NO.2 および NO.3 では走行距離あたりの消費量が同等であることから、セミクローラトラクタは走行距離が短くなることで、燃料消費量が減少したと考えられた。

レーザ均平作業での燃料消費量を削減するためには、走行距離を短縮できる作業計画の策定と旋回半径が小さいことで後進距離を短縮できるセミクローラトラクタの利用が有効と考えられた。

4. 摘要

本報では、セミクローラトラクタを用いた直装式レーザレベラによるほ場均平作業は、フルクローラトラクタの場合に比べ、後進回数、後進距離が減少するため、作業時間の短縮に有効である。また、特に後進距離の減少するため、作業距離全体が短縮され燃料消費量が削減できる。小野寺ら⁸⁾は、フルクローラトラクタによるレーザ均平作業では、熟練オペレータは作業速度が速いだけではなく、圃場全体の均平状況を把握し、平均標高を予測しながら規則正しく作業することで、未熟なオペレータの半分程度の時間で目標均平度まで到達することを報告している。

これらのことから、事前の均平状態を把握し、走行距離を短縮できる作業計画を立て、さらにセミクローラトラクタを利用することで、作業時間の短縮と燃料消費量の削減が可能になると考えられる。

謝辞 本研究は、新稲作研究会の支援を受けて実施した結果である。関係各位に感謝申し上げます。

表4 均平作業の作業時間と作業速度

試験場所	試験区	作業面積 ha	走行距離		距離内訳			燃料消費量			
			km	km/ha	前進 km	後進 km	後進 m/回	L	L/ha	L/h	L/km
No.1	Sc区	1	45.5	45.5	30.8	14.7	75.8	70.9	70.9	10.9	1.6
	Fc区	1	46.4	46.4	28.9	17.5	59.0	95.4	95.4	14.0	2.1
No.2	Sc区	1	19.0	19.0	15.1	3.9	20.6	52.3	52.3	9.3	2.7
	Fc区	1	27.8	27.8	19.0	8.8	30.2	79.6	79.6	11.1	2.9
No.3	Sc区	0.76	13.6	17.9	12.7	0.9	15.5	24.8	32.6	12.1	1.8
	Fc区	0.70	32.9	47.0	20.5	12.4	40.9	62.1	88.6	9.8	1.9
参考Fc区		0.70	10.6	15.1	7.1	3.4	36.0	-	-	-	-

注) 参考Fc区は均平作業開始から約2時間の作業のみのデータを示したものである。

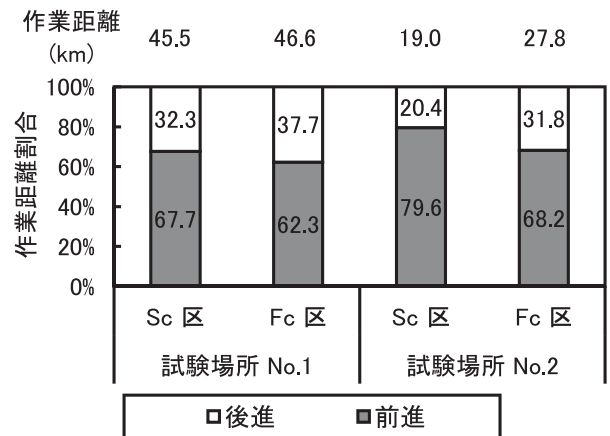


図3 レーザ均平における作業距離の割合

参考文献

- 1) 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和信：大区画水田における田面の高低が直播水稻の初期生育と分けつに及ぼす影響，日作紀，71(3)，308-316，200
- 2) 進藤勇人・齋藤雅憲・佐々木景司：大区画水田における田面の高低が湛水直播水稻の生育に及ぼす影響，農食工学東北支報，61，11-14，2014
- 3) 矢治幸夫・木村勝一・元林浩太：ほ場均平作業の新技术，農機誌，59(3)，129-132，2001
- 4) 長利洋：水田の均平状態の評価法に関する研究—高品質水田整備のために—，農工報，42，1-62，2003
- 5) 木村勝一・今園志和・矢治幸夫：東北平坦水田におけると直播栽培による低コスト作業技術の開発 第2報 レーザ光を利用した高精度均平化技術の開発，農作業研究，34(2)，113-121，1999
- 6) 大嶺政朗・杉浦綾：農作業情報記録装置 DigiFarmLogger の開発，機械化農業，3116，23-27，2011
- 7) 竹内晴信・関口建二・北川巖・竹内秀行：水稻湛水直播栽培におけるレーザ均平機を用いた圃場均平化の必要性，北海道立農試集報，83，55-58，2002
- 8) 小野寺忠夫・鶴田正明・長利洋：営農段階におけるレーザ均平機による水田均平作業の実態，農土学論集，219，1-8，2002

水田の耕うん作業時におけるトラクタの燃料消費量に関する研究

今野真輔*・片平光彦**

Fuel consumption of tractor during rotary tilling on paddy fields

Shinsuke KONNO*・Mitsuhiko KATAHIRA**

Abstract

Few reports have described studies on fuel consumption of agricultural machines in medium scale paddy fields under the weather condition and the soil condition on Sea of Japan side in Tohoku Region. Therefore, we studied systems to decrease fuel consumption by improving working efficiency in medium scale paddy fields in the Shonai area of Yamagata prefecture which is one of most productive rice cultivation areas in Japan. When tractors tilled with transmission high gear, it was possible to shorten working times, to reduce fuel consumption and make tillage depth shallow. The fuel consumption has no significant difference between two working methods. There is a close correlation between the fuel consumption and working times. So, we must carry out the tilling work with shorter working times to decrease fuel consumption.

[Keyword] tractor, rotary tilling, fuel consumption, work capacity, paddy field

1. 緒言

近年、温室効果ガスの排出量の増加が原因とされる気象変動が顕著となっている。具体的には気温上昇や降雨パターンの変化があり、それらは自然環境や農作物生産に影響をもたらす。温室効果ガスの排出量は今後も増加すると予測され、温室効果ガス削減の取組が世界的に実施されている。農業分野は温室効果ガスの排出量全体に占める割合は少ないが、一定の排出量を占めるため温室効果ガスの排出量削減に向けた取組を考える必要がある。

一方、原油価格は近年、不安定な状態が続いている。日本は資源に乏しく原油価格の変動による影響を大きく受けるため、原油価格の高騰が農業で使用する軽油費用の増加を誘引し、作物生産に要する費用の増加につながる。また、米の価格は下落傾向にあり、米生産農家の経営はより一層厳しくなっているため、軽油使用量を削減して生産費を抑制する必要がある。

これまで耕うん作業でのトラクタの燃料消費については坂井ら(1984)が耕うん時の走行速度は毎時燃料消費量が速度とともに増大したことを報告している。後藤ら(2009)はロータリ耕で耕うんピッチを一定にした条件で運転条件を3-4段階に変化させた実験を行い、走行速度段とPTO速度段を高めて機関回転速度を下げることで燃料消費量が節減できることを報告している。また、Seung Je Parkら(2013)はブラウ耕でギアを高く設定することで作業時間が短縮して燃料効率を改善したが、耕深は均一に維持できなかったことを報告している。すなわち、ほ場での耕うん・耕起作業では機関負荷の状態を考

慮して走行速度段を上げて作業することで作業時間が短縮され、燃料消費量が減少する傾向にある。

以上から、本研究では東北日本海側の気象条件や土壌条件に適応した中規模区画の水田で農業機械の燃料消費量の報告事例が少ない状況を鑑み、日本でも有数の稲作地帯である山形県庄内地方での中規模区画の水田で作業の効率化による燃料消費量の削減方法を検討し、農家収入の増加と排気ガスの削減による地球環境の改善を目的とする。本報は水田での耕うん作業の作業特性と燃料消費量、2種類の作業法の燃料消費量と作業能率、燃料消費量に影響を与える要因を報告する。

2. 材料と方法

本研究では耕うん作業の作業特性と燃料消費量(実験1)、作業法の違いが燃料消費に与える影響(実験2)の2種類の実験を行った。

(1) 実験場所

調査は2015年4月と2016年4月に山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター高坂農場で行った。供試ほ場の面積は29.3aである。

(2) 供試機械

1) 耕うん作業の作業特性と燃料消費量(実験1)

耕うん作業は2形式のトラクタ(GL467, (株)クボタ, ホイール式(図1), T1164C, 井関農機(株), セミクローラ式(図2))とロータリ(ML197R, (株)小橋工業(図1), WXY205L-S, (株)井関農機(図2))で行った。トラクタの定格出力はGL467が33.8kW, T1164Cが30.9kWである。オペレータは高坂農場の技能職員2名に依頼し

* : 山形大学大学院農学研究科 山形県鶴岡市若葉町1-23

** : 山形大学農学部 山形県鶴岡市若葉町1-23



図1 トラクタ (GL467) とロータリ (ML197R)



図2 トラクタ (T1164C) とロータリ (WXY205L-S)

た。機械の設定を表1に示す。エンジン回転数は2000rpm, または2500rpm, 主変速ギアは機械ごとに2段階とした。

2) 作業法の違いが燃料消費に与える影響 (実験2)

耕うん作業はセミクローラ式のトラクタ (T1164C, 井関農機(株)) とロータリ (WXY205L-S, 井関農機(株)) で行った。オペレータは高坂農場の技能職員1名に依頼した。作業時の機械設定はエンジン回転数が2000rpm, 主変速ギアは中速6に固定した。

(3) 実験方法

1) 実験1

実験1は外回り中往復の耕法とした(図3)。手順は2工程分のスペースをあけてから往復耕を行い, 最終工程で2工程分を廻り耕で耕うんした。

2) 実験2

実験2は外回り中往復耕(作業法1)と往復耕(作業法2)の2種類の耕法を設定した(図3, 4)。作業法1は実験1と同様である。作業法2はほ場端から往復耕を行い, 1工程分を残し, ほ場出入口と反対側の枕地を後退で入り, 短辺方向に直進した。これを2度行い, ほ場出入口付近に戻り, 同じように短辺方向の直進を2度行い退出した。

(4) 調査項目

1) ほ場状態と作業精度

作業時のほ場状態は土壌含水比を測定した。土壌含水比は深さ0-10cmの土壌 (W_1 :g) を採取し, 105°Cに設定したオープン (DV-41, YAMATO SCIENTIFIC CO. LTD.) で24時間絶乾 (W_2 :g) した。乾燥した土壌は(1)式で含水比を算出した。

$$\text{土壌含水比}(\%, \text{db}) = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (1)$$

作業精度は耕深, 砕土率を測定した。耕深は最も深く切削された地点からほ場表面の未耕起部分までの高さとした。耕うん後の砕土率は2cmの篩を使用して測定した。篩で土壌を2cm未満と2cm以上に分類し, それらの質量を計測して算出した。

2) 作業状態

作業状態はGPSロガー (Transystems Inc, Trip Recorder 747Pro) で走行軌跡を測定して評価した。なお, GPSの測定誤差は1m以内である。得られたデータは直進, 旋回の各工程に分類し, 各工程の作業時間, 走行距離, 走行速度と作業能率を算出した。燃料消費量は満タン法で測定した。滑り率は無負荷時と耕うん時での車輪1回転の走行距離を測定し, 式(2)で算出した。

$$\text{滑り率} = (X_0 - X) / X_0 \times 100 \quad (2)$$

表1 実験1での機械設定

	n	エンジン回転数(rpm)	主変速ギア	オペレータ	供試機械 ¹⁾
T-1	1	2000	High2	A	I
T-2	1	2000	High3	A	I
T-3	1	2500	High2	A	I
T-4	3	2500	High2	B	I
T-5	1	2500	中速6	A	II
T-6	1	2500	中速7	A	II

1) IはトラクタがGL467, ロータリがML197R, IIはトラクタがT1164C, ロータリがWXY205L-Sを表す

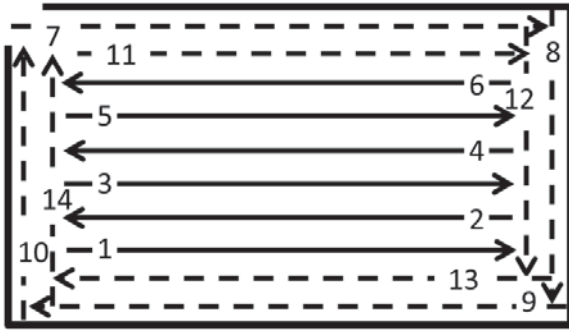


図3 外回り中往復耕 (作業法 1)

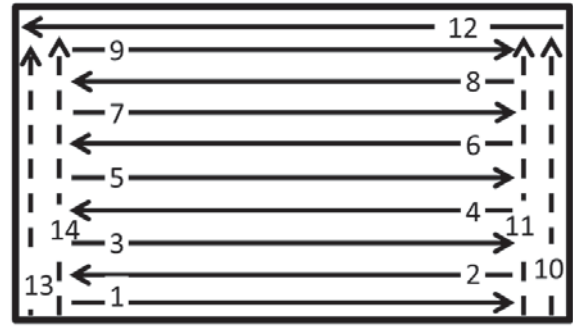


図4 往復耕 (作業法 2)

注：X は耕うん時の走行距離 (m)，X₀ は無負荷時の走行距離 (m) を示す。

3. 結果と考察

(1) 耕うん作業の作業特性と燃料消費量

実験 1 の結果を表 2 に示す。土壌含水比は 0.47 - 0.69，砕土率は 29.6 - 49.2%，耕深は 10.9 - 14.7cm，滑り率は -2.6 - 4.7%，直進作業時の平均走行速度は 0.43 - 0.67m・s⁻¹ となった。高いギアで作業を行った T-2 は T-1 より砕土率が高くなり，T-6 は T-5 より砕土率が低くなった。T-1 は土壌含水比が低かったため，砕土率が低くなったと考えられる。高いギアで作業を行った T-2 と T-6 で耕深が浅くなった。実作業能率は T-1, T-4 が 0.35 - 0.50h・10a⁻¹，T-5, T-6 が 0.32 - 0.36h・10a⁻¹ となった。燃料消費量は T-1 - T-4 が 1.98 - 2.90L・10a⁻¹，T-5, T-6 が 1.84 - 2.13L・10a⁻¹ となった。高いギアで作業を行った T-2 と T-6 で走行速度が速く，実作業能率，燃料消費量ともに小さくなった。

各試験区の作業時間と走行距離を表 3 に示す。作業時間は直進が 0.70 - 1.22h，その他が 0.16 - 0.26h，総作業時間は 0.94 - 1.46h となった。高いギアで作業を行った T-2 と T-6 がそれぞれ T-1 と T-5 より直進作業時間が短くなった。直進，その他ともに T-4 が T-3 より短くなった。走行距離は直進が 1.61 - 1.85km，その他が 0.25 - 0.33km となった。T-1 と T-2，T-5 と T-6 をそれぞれ比較すると直進，その他ともに大差はなかった。T-4 は T-3 よりも直進走行距離が少なくなり，直進作業時間と対応していると考えられる。

(2) 作業法の違いが燃料消費に与える影響

実験 2 の結果を表 4 に示す。土壌含水比は作業法 1 が 0.64，作業法 2 が 0.51，砕土率は作業法 1 が 25.1%，作業法 2 が 22.6%，耕深は目標値を 15 cm に設定し，作業法 1 が 14.6cm，作業法 2 が 14.5 cm となった。滑り率は作業法 1 が 0.32%，作業法 2 が -0.52% となった。実作業

表 2 耕うん作業時の作業状態 (実験 1)

	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
土壌含水比	0.47	0.68	0.69	0.67	0.65	0.66
砕土率(%)	40.5	48.4	45.9	33.9	49.2	29.6
耕深(cm)	12.8	10.9	13.8	12.5	14.7	11.3
滑り率(%)	-2.6	-2.0	2.7	4.7	-0.3	0.0
直進時の走行速度(m・s ⁻¹)	0.43	0.63	0.50	0.51	0.54	0.67
実作業能率(h・10a ⁻¹)	0.50	0.35	0.44	0.35	0.36	0.32
燃料消費量(L・10a ⁻¹)	2.22	1.57	2.90	1.98	2.13	1.84

表 3 各試験区の作業時間と走行距離

	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	
作業時間(h)	直進	1.22	0.81	0.99	0.89	0.82	0.70
	その他	0.24	0.23	0.26	0.16	0.22	0.24
	合計	1.46	1.04	1.25	1.05	1.04	0.94
走行距離(km)	直進	1.78	1.80	1.85	1.72	1.61	1.62
	その他	0.25	0.33	0.30	0.30	0.28	0.30
	合計	2.03	2.13	2.16	2.02	1.89	1.92

能率は作業法1が $0.44 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 作業法2が $0.47 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$ となった。燃料消費量は作業法1が $2.3 \text{ L} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 作業法2が $2.6 \text{ L} \cdot 10\text{a}^{-1}$ となり, 作業法1と作業法2の間で有意差がなかった。

作業法ごとの作業時間と走行距離の結果を表5に示す。なお, 作業時間と走行距離は約30aのほ場1区画を作業したときの数値である。直進時の作業時間は作業法1が1.04 h, 作業法2が1.07 hとなり, 有意差がなかった。直進以外にかかる作業時間は作業法1が0.24h, 作業法2が0.31hとなり, 有意差があった。総作業時間は作業法1が1.28h, 作業法2が1.38hとなり, 有意差がなかった。直進の走行距離は作業法1, 作業法2ともに1.57 kmだった。直進以外にかかった走行距離は作業法1が0.30km, 作業法2が0.48kmとなり, 有意差があった。総走行距離は作業法1が1.87km, 作業法2が2.05kmとなり, 有意差があった。作業法2では後退にかかる走行距離が多

表4 耕うん作業時の作業状態 (実験2)

	作業法1	作業法2
土壌含水比	0.64 (0.083)	0.51 (0.120)
砕土率(%)	25.1 (10.42)	22.6 (11.58)
耕深(cm)	14.6 (1.28)	14.5 (0.80)
滑り率(%)	0.32 (0.563)	-0.52 (0.148)
実作業能率($\text{h} \cdot 10\text{a}^{-1}$)	0.44 (0.004)	0.47 (0.017)
燃料消費量($\text{L} \cdot 10\text{a}^{-1}$)	2.3 (0.13)	2.6 (0.08)

1)括弧内の数値は標準誤差を示す

表5 作業法ごとの作業時間と走行距離

	作業法1	作業法2
作業時間 (h)	直進	1.04 (0.035) 1.07 (0.036) n.s.
	その他 ²⁾	0.24 (0.022) 0.31 (0.025) *
	合計	1.28 (0.023) 1.38 (0.058) n.s.
走行距離 (km)	直進	1.57 (0.042) 1.57 (0.035) n.s.
	その他 ²⁾	0.30 (0.027) 0.48 (0.022) *
	合計	1.87 (0.021) 2.05 (0.036) *

1)n.s.: 有意差なし, * : $P < 0.05$

2)旋回, 後退, その他移動を含む

3)走行速度は作業法1が $0.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 作業法2が $0.40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

4)括弧内の数値は標準偏差を示す

表6 燃料消費量と作業時間, 燃料消費量と走行距離の相関係数と決定係数

	相関係数	決定係数
総作業時間	0.82	0.68
直進以外の作業時間	0.93	0.87
総走行距離	0.79	0.62
直進以外の走行距離	0.67	0.45

いため, 直進以外にかかる走行距離や総走行距離が大きくなった。ただし, 総作業時間では後退時に速い速度で移動するため, 差が生じなかった。

(3) 燃料消費量に影響を与える要因

燃料消費量と作業時間, 燃料消費量と走行距離の相関係数と決定係数を表6に示す。ほ場1区画を作業したときに要する作業時間と燃料消費量の相関係数は0.82, 決定係数は0.68となった。ほ場1区画を作業したときに要する直進外工程の作業時間と燃料消費量の相関係数は0.93, 決定係数は0.87であり高い相関関係があった。総作業時間, 直進以外の工程の作業時間の両方で作業時間が長いほど燃料消費量が多くなることを示した。ほ場1区画作業したときに要する走行距離と燃料消費量の相関係数は0.79, 決定係数は0.62となった。総走行距離が長いほど燃料消費量が多くなる傾向があった。ほ場1区画作業時に直進以外の工程で要する走行距離と燃料消費量の相関係数は0.67, 決定係数は0.45となった。

作業法2は作業法1と比較して無駄な走行距離や作業時間が多かった。また, 作業法1と2の間で燃料消費量に有意な差はなかったが, 作業法2のほうが作業法1より増加傾向にあった。作業時間が長いほど燃料消費量が増加する傾向にあったことから, 作業法2は作業法1より非効率な作業法といえる。

4. 摘要

中規模区画の水田ほ場で耕うん作業時のトラクタの作業特性, 作業法の違いによる燃料消費量の影響を調査した結果, 以下の結論を得た。

- (1) 高いギア設定で耕うん作業を行うと作業時間が短くなり, 燃料消費量が減少するが, 耕深は浅くなる傾向にあった。
- (2) 燃料消費量と作業時間には高い相関関係を有した。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本農業機械化協会, 2016. 農業機械の省エネ利用マニュアル, 1-6, 12-15.
- 2) 坂井直樹, 春原亘, 高塚清一, 衛藤邦男, 角田公正, 1984. 土性・走行速度を異にするプラウ耕の燃料消費量, 農作業研究, 50, 14-19.
- 3) 後藤隆志, 手島司, 2009. 農用トラクタの運転条件が燃料消費量に及ぼす影響 (第2報) -ロータリ耕試験-, 農業機械学会誌, 71(5), 73-80.
- 4) Seung Je Park, Yong Joo Kim and Dae Hyun Lee, 2013. Analysis of load and fuel efficiency of agricultural tractor by gear selection during plow tillage, Journal of Food, Agriculture & Environment, Vol.11(3&4), 631-635.
- 5) 農作業試験法編集委員会, 1987. 農作業試験法, 農業技術協会, 76-83.

けん引式水田除草機の作業能率と除草効果

進藤勇人*・三浦恒子*・中川進平*・齋藤雅憲*

Work Efficiency and Weed Control of a Trailed Weeding Machine for Paddy Field

Hayato SHINDO*・Chikako MIURA*・Shinpei NAKAGAWA*・Masanori SAITO*

[キーワード]水田除草機, けん引, 後発雑草, 減農薬栽培

1. 緒言

近年秋田県では, 水稻の収穫時期にノビエが残存しているほ場が散見される. 三浦ら¹⁾は秋田県で中干し以降に発生する雑草ヒエの生育について調査したところ, 一部のイヌビエとイネの欠株部分のタイヌビエが出穂・結実したことを報告している. また, ほ場の大区画化による均平の悪化や大規模化により代かきや田植え期間が長くなり, 適期の雑草防除が困難になってきていることも一因と考えられる. 他方, コメの落等の原因となる斑点米を引き起こすカメムシ類の主要加害種としてアカスジカスミカメが重要視されている. アカスジカスミカメはノビエやホタルイ類が寄主植物となるため, 水稻出穂以降にこれら雑草が出穂・結実していることが斑点米を増加させる原因となっており²⁾, その側面からも対策技術が求められている. さらに, 米価の低迷のため, 販売しやすい減農薬栽培米(「あきた eco らいす」では農薬成分回数10成分以下)が増加傾向にある. そのため, 雑草防除においても成分回数の削減が求められ, 機械除草による対応も方策の一つとなっている.

水田の除草に用いる除草機は, 除草剤の普及により用途が有機栽培等に限られるため歩行型が主流であったが, 省力化や軽労化のニーズに対応して, 乗用多目的田植機に装着できる高精度水田用除草機が開発された³⁾. 高精度除草機はPTO動力により回転する回転ロータと株間除草を行う揺動レーキで構成されるため, 除草精度が高いことが報告されている^{4), 5)}. しかし, 作業能率が20(6条)~35(8条) a/hで, 大規模化に対応しにくい問題点がある. 一方, 畑作用の6条固定式タイン型除草機を乗用型管理機に装着し, 水田で除草作業を行った場合, 40 a/hの作業能率で除草作業できることが報告されている⁶⁾. しかし, これら多くの報告は有機栽培や除草剤を用いない無農薬栽培等をターゲットとして検討されているため, 複数回の代かきや深水と2~3回の機械除草の組み合わせで検討されており, 中干し前後に発生するノビエや一発処理剤と組み合わせた減農薬栽培をターゲットとした報告はない.

そこで本報は, 中干し前後に発生するノビエ等を対象

とし, 大規模な減農薬栽培の普及に寄与するため, 高速で機械除草可能なけん引式水田除草機の作業能率と除草効果を検討したので報告する.

2. 試験方法

(1) 試験年次・試験場所・ほ場条件

試験は2013, 2014年の2カ年, 秋田市雄和地区の農業生産法人種沢ファームが管理する水田ほ場で行った. ほ場区画は, 2013年が長辺107~134m, 短辺45mの台形55a, 2014年が長辺200m, 短辺50mの1haである. 両圃場とも土壌は細粒質強グライ土(作土の土性はHC)の水稻連作水田であり, 前作までは除草剤を使用した法人慣行防除体系で管理されていた.

(2) 供試機材

1) けん引式除草機: 8条水田除草機(K社KIS-8KM+KB型, 作業幅2.4m)を6条多目的田植機(K社EP67型)に装着し, 供試した. 供試したけん引式除草機は前方(本機側)から株間を除草する米輪, 主に株間を除草するレーキ, 条間の雑草を埋没させる水田輪で構成され, PTOをしないことが特徴である(図1, 2).

2) 回転ロータ式除草機: 6条高精度水田用除草機(K社SN-6N型, 作業幅1.8m)を6条多目的田植機(K社NSU67型)に装着し, 供試した. PTO動力により回転し株間を除草するロータと株間を進行方向と垂直に揺動するツールにより除草する機構を有する³⁾.

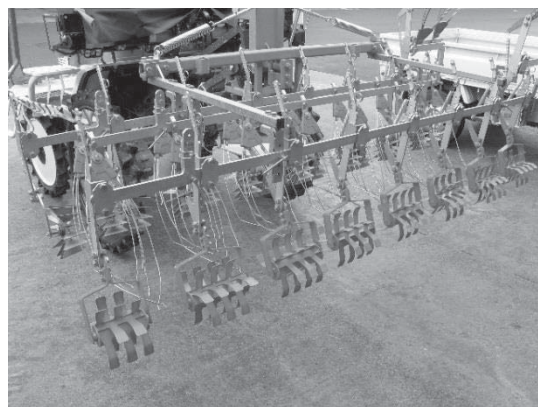


図1 供試したけん引式水田用除草機



図2 けん引式水田用除草機による除草の状況 (左 田植機上から撮影, 中央 米輪+レーキ, 右 水田輪)

(3) 試験区の構成

2013年はけん引式除草機の作業速度と除草精度の関係を明らかにすることを目的に以下の5区を設定した。①けん引式高速区(8速(最高速), 944 m²), ②けん引式中速区(7速, 925 m²), ③けん引式低速区(6速, 905 m²), ④ロータ式区(964 m²), ⑤除草機なし区(1106 m²)を同一ほ場内に設置し, 各4工程除草作業を行った。

2014年は実規模での除草作業を想定して, ①けん引式区(6720 m²), ②ロータ式区(1440 m²), ③除草機なし区(2160 m²)の3区を同一ほ場内に設置した。

雑草防除は2013年5月31日(田植え4日後), 2014年5月27日(田植え7日後)に一発処理除草剤(3成分剤, ピラクロニル3.7%, プロモブチド16.3%, イマズスルフロン1.7%液剤)を2013年は450ml/10a(基準の9割), 2014年は350ml/10a(基準の7割)散布した。散布量は雑草が発生しやすくなるように両年とも農薬登録内容より減量した。除草機による除草作業は2013年7月4日, 2014年7月1日に行い(両年とも水稻の草丈は43cm, 水深は1~5cm), 以降中干しを実施した。

(4) 耕種概要

水稻品種は両年とも「あきたこまち」であり, 2013年5月27日, 2014年5月20日に8条田植機により栽植密度18.2株/m²で, 定植した。基肥は, 2013年は全層施肥N-P₂O₅-K₂O各2.8kg/a(速効性肥料), 2014年は側条施肥N-P₂O₅-K₂O各0.5kg/a(被覆尿素入り化成肥料)で行い両年とも無追肥とした。水稻の出穂期は2013年8月6日, 2014年8月1日で, 除草機により除草作業を行った試験区でも除草機なし区と同等で遅れはみられなかった。

(5) 調査項目

1) 作業速度および作業能率: 水田長辺に10mの区間を2カ所設置し, その区間の通過時間を計測して, 作業速度を測定した。また, 各試験区のほ場作業時間を計測して, 作業能率を算出した。

2) 水稻生育および収量・収量構成要素: 2013年は各区に1条5株の生育調査区を6区, 2014年は各区に5株連続2条の生育調査区を4区それぞれ設置し, 茎数(穂数), 葉緑素計値(K社SPAD502)の調査を行った。水稻の成熟期に生育調査区からすべての水稻を採取し, 着粒粒数, 登熟歩合(全粒数あたりの玄米粒厚1.9mm以上の玄

米粒数の割合), 千粒重を測定した。また, 玄米水分を15%に換算して収量を算出した。さらに, 得られた玄米を用いて千粒重を測定した。

3) 雑草調査: 2013年は各区72m²(10×7.2(24条)m)の雑草調査区を2カ所設置し, 9月13日にノビエの個体数と穂数を調査した。あわせて, 定植後に2基設置した無除草区枠内の雑草発生数も調査した。

2014年は各区5.4m²(3.6×1.5(5条)m)の雑草調査区を4カ所設置し, 除草作業前の6月30日と9月10日に雑草発生数, 穂数, 草高, 葉数の調査を行った。

3. 結果および考察

(1) 作業速度と作業能率

2013および2014年の試験区の作業速度と作業能率をそれぞれ, 表1, 2に示した。2013年けん引式高速区の作業速度は1.37m/sで, 多目的田植機の最高速での作業が可能であった。2014年けん引式区の作業速度は1.07m/sであり, ロータ式の0.36~0.37m/sに比べ, 0.70~1.01m/s速かった。また, 2013年けん引式高速区および2014年けん引式区の作業能率はそれぞれ, 64.4, 64.0 a/hと同等であった。作業速度が0.30m/s異なるのは, 2014年のほ場長辺が長いことによる旋回回数の違いと推定された。ロータ式区の作業能率は20.3~22.1 a/hで既存の報告^{3), 5), 7)}と同程度であり, けん引式除草機の作業能率はロータ式に比べ, 3倍程度であった。これは, 6条多目的田植機に8条の作業機が装着できることで作業幅が2.4mと大きいことと高速作業が可能であるためと考えられた。

表1 各試験区の作業速度と作業能率(2013年)

区名	作業面積 m ²	作業速度 m/s	作業能率	
			h/10a	a/h
けん引式高速	944	1.37	0.16	64.4
けん引式中速	925	0.90	0.19	52.9
けん引式低速	905	0.48	0.28	35.7
ロータ式	964	0.36	0.45	22.1

注1) いずれの試験区も4工程の作業を行った。

表2 除草機の作業速度と作業能率(2014年)

区名	作業面積 m ²	作業速度 m/s	作業能率	
			h/10a	a/h
けん引式	6720	1.07	0.16	64.0
ロータ式	1440	0.37	0.49	20.3

(2) 水稲生育および収量・収量構成要素

2013年の水稲の葉緑素計値は、除草作業前日(7月3日)では40.0~41.5とほぼ同等であるが、除草作業後はいずれの試験区も除草機なし区よりやや低く推移し、7月18日以降では葉色の低下が遅かった(図3)。けん引式除草機の速度が葉緑素計値に及ぼす影響は判然とせず、けん引式区とロータ式区の葉緑素計値は同等であった(図3)。

除草作業後の茎数は、いずれの試験区も除草機なし区に比べやや増加が少なかった(データ省略)が、穂数は2013年では346~388本/m²と同等で、2014年では除草機なし区よりやや少なかった(表3, 4)。また、けん引式除草機の作業速度の違いが茎数・穂数に及ぼす影響は判然とせず、けん引式区とロータ式区の穂数は同等であった(表3, 4)。除草作業による断根等で生育がやや停滞するが、いわゆる“ガス抜き”の効果等でそれ以降の生育は回復するものと推察された。除草方式や作業速度が水稲生育の停滞に及ぼす影響は同程度と考えられた。

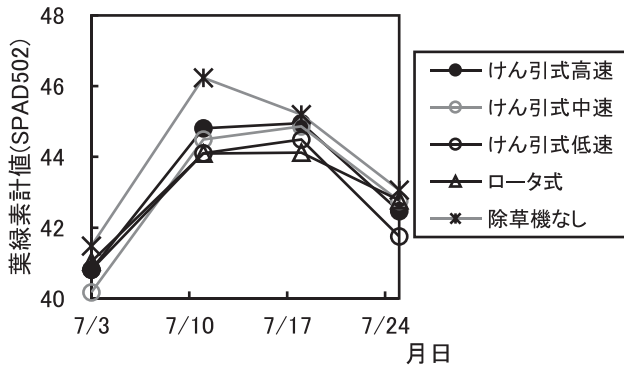


図3 除草作業後の葉緑素計値の推移(2013年)

2013年の全区収量は51.2~53.2 kg/aで、機械除草作業を行った区と除草機なし区は同等であった(表3)。一方、けん引式除草機による中速除草作業で分けつが踏みつぶされ損傷した損傷AおよびB区は、千粒重がやや大きいものの穂数の減少により籾数が少なくなり、収量40.8~48.7 kg/aと大きく減収した(表3)。

2014年の収量は58.9~60.5 kg/aで、ほぼ同等であった(表4)。けん引式区とロータ式区は除草機なし区に比べ、穂数が少ないが、補償作用により除草機なし区とほぼ同等の籾数が確保された。けん引式除草機の作業速度が

表3 各試験区の収量及び収量構成要素(2013年)

試験区	収量		穂数 本/m ²	籾数 千粒/m ²	登熟歩合 %	千粒重 g
	kg/a	sd				
けん引式高速	53.1	2.2	388	29.2	85.4	21.3
けん引式中速	51.8	3.0	350	26.6	89.1	21.9
けん引式低速	53.2	5.3	371	28.1	87.4	21.7
ロータ式	51.2	1.9	346	26.6	88.7	21.7
除草機なし	52.9	2.3	354	27.9	87.9	21.6
損傷A	40.8	-	233	19.9	89.3	22.9
損傷B	48.7	-	298	24.9	88.4	22.1

注1)収量構成要素は6区の平均値であり、収量(篩目1.9mm)は計算収量である。

注2)登熟歩合(%)=玄米粒厚1.9mm以上の玄米粒数/全籾数×100

注3)損傷A、損傷B区は、けん引式中速で除草時に米輪の踏みつけにより損傷した試験区(1条5株)のデータである。

水稲の収量および収量構成要素に及ぼす影響はロータ式とほぼ同等であるが、作業時の水稲への損傷がそれ以降の補償作用を上回る場合は減収の原因となるため、オペレータは水稲をできるだけ損傷させないことに留意する必要があると考えられた。

表4 各試験区の収量及び収量構成要素(2014年)

試験区	収量		穂数 本/m ²	籾数 千粒/m ²	登熟歩合 %	千粒重 g
	kg/a	sd				
けん引式	60.5	2.8	465	36.2	76.7	21.8
ロータ式	58.9	4.2	449	35.0	76.6	22.0
除草機なし	60.5	3.2	497	35.7	78.4	21.6

注1)収量構成要素は4区の平均値であり、収量(篩目1.9mm)は計算収量である。

注2)登熟歩合(%)=玄米粒厚1.9mm以上の玄米粒数/全籾数×100

(3) 機械除草作業の除草精度

2013年の調査区1は除草機なし区の雑草量が少なく、一発剤のみで十分であったが、除草機を組み合わせることでさらにノビエ穂数が減少した。無除草区のノビエ個体数が3本/m²と少ないことから、調査区1は埋土種子量が少ないものと推定された(表5)。無除草区のノビエ発生量が多い調査区2では、除草機なし区のノビエ穂数が2.57本/m²と多かった。これは後発のノビエと推察された。けん引式除草機区ではノビエ個体数が0.1本/m²以下に減少し、ノビエ穂数も減少したことから、後発のノビエに対してはけん引式除草機の効果は高いと考えられた。また、けん引式除草機の作業速度が除草効果に及ぼす影響はほぼ同等であった。一方、ロータ式区のノビエ個体数および穂数はそれぞれ0.90、4.92本/m²と除草機なし区より多かった。これは、ロータ式除草機は強制的に土壌を攪拌するため、除草剤の処理層を破壊したり、土中から新たに雑草種子を土壌表面に持ち出してしまうためと推察され、けん引式除草機はその程度がロータ式より小さいと考えられた(表5)。

表5 除草方式と作業速度が雑草発生に及ぼす影響(2013年9月13日調査)

試験区	調査区	雑草個体数(本/m ²)		ノビエ穂数	
		ノビエ	その他	本/m ²	本/個体
けん引式高速	1	0	0.01	0	0
けん引式中速	1	0	0	0	0
けん引式低速	1	0.01	0	0.01	1.00
ロータ式	1	0.01	0.01	0.04	3.00
除草機なし	1	0.18	0.01	0.64	3.54
無除草	1	3.00	0	12.00	4.00
けん引式高速	2	0.10	0	0.33	3.43
けん引式中速	2	0	0.03	0	0
けん引式低速	2	0.01	0	0.08	6.00
ロータ式	2	0.90	0.04	4.92	5.45
除草機なし	2	0.51	0.06	2.57	5.00
無除草	2	9.00	0	65.00	7.22

注1)各調査区の面積は72m²であり、無除草区(除草剤なし)は定植後に1m²の枠を設置した。

注2)調査個体数の“0”は、発生がなかったことを示す。

注3)その他の雑草はホタルイ、センダングサ、アメリカセンダングサである。

表6 除草方式が調査区(1区5.4㎡)の雑草発生に及ぼす影響(2014年)

試験区	調査区	除草機作業前(6月30日)			成熟期残草調査(9月10日)						
		ノビエ		ホタルイ		ノビエ			ホタルイ		その他
		個体数	葉数	個体数	草高cm	個体数	草高cm	穂数/個体	個体数	草高cm	個体数
けん引式	1	5	2~5	2	40~45	4	0	-	0	-	1
	2	2	3	3	20	11	1	15	1.0	0	2
	3	2	2~5	1	25	20	2	15~30	0.5	2	40~50
	4	6	2~5	1	10	3	0	-	-	2	15~100
ロータ式	1	2	3~4	3	5~30	4	0	-	-	0	7
	2	8	3~4	0	-	10	0	-	-	1	20
	3	2	3~5	2	10	0	1	130	2.0	0	0
	4	2	3	1	10	7	0	-	-	4	20~50
除草機なし	1	3	2~5	1	20	3	2	15~25	0	4	15~50
	2	9	2~5	5	5~35	0	4	10~45	0.5	6	10~55
	3	1	4	3	10~20	5	4	15~30	0	5	15~85
	4	3	4~5	2	5~10	6	2	15~35	0.5	6	20~45

注1)各試験区の雑草個体数は5.4㎡あたりである。

注2)調査個体数の“0”は、発生がなかったことを示す。

注3)除草機作業前のその他の雑草は主にアゼナである。成熟期はクサネム、アメリカセンダングサ、カヤツリグサ、タデである。

注4)成熟期はその他の雑草はクサネム、アメリカセンダングサ、カヤツリグサ、タデであり、草高10cm以上の個体を対象とした。

2014年の除草機作業前におけるけん引式区、ロータ式区、除草機なし区のノビエ個体数はそれぞれ、2~6、2~8、1~9本/5.4㎡で、葉数は2~5葉であった。また、ホタルイが0~5個体/5.4㎡発生しており、草高は5~45cmであった。9月10日におけるけん引式区とロータ式区のノビエ個体数は0~2本/5.4㎡と同等で、除草機なし区の2~4本/5.4㎡より少なかった。除草効果は同等と考えられ、5葉程度までのノビエは除草可能と判断された(表6)。一方9月10日におけるけん引式区とロータ式区のホタルイの個体数はそれぞれ、0~2、0~4本/5.4㎡で同等で、除草機なし区より少ないことから、草高45cm程度まで除草可能と判断された(表6)。また、観察では除草機区のホタルイで結実した個体がみられた。除草作業後に発生した個体の可能性があり、今後検討が必要である。

4. 摘要

本報では、中干し前後に発生するノビエ等を対象に、大規模な減農薬栽培の普及に寄与するため、除草剤を散布したほ場で、高速で機械除草可能なけん引式水田除草機の作業能率と除草効果を検討した。その結果、供試した3種の除草機構を有し、多目的田植機に装着できるけん引式除草機は1m/s以上で作業可能であった。6条田植機に8条(2.4m)の除草機を装着できるため、作業能率は64a/hと高精度水田除草機の3倍程度であった。水稻生育に及ぼす影響や除草効果は同等であり、減農薬栽培等での後発雑草防除に貢献できると考えられた。また、経営面では多目的田植機を汎用利用できる観点からも有効性が高い。

一方、田植え時の工程間が短い場所や田植えが曲がっている地点では水稻が除草機により踏みつけられ、大幅な減収やノビエの発生・出穂がみられた。近年ではRTKGNSSを活用することで±2cm程度の高精度な直進作

業が比較的容易にできるようになったため、多目的田植機を利用して、田植え作業と同一の軌跡上を除草作業でできることが報告されている⁷⁾。この技術を活用することで水稲地上部の損傷を少なくすることが可能で、かつ高度な技術を要求されるオペレータの負担軽減にも寄与できると考えられる。

本報が米の有利販売につながる減農薬栽培等の大規模化に貢献できることを期待する。

謝辞 本報は、日本植物調節剤研究協会の支援を受けて実施した試験結果である。けん引式水田除草機は(株)クボタに貸与して頂いた。ほ場の提供と栽培管理は(農)種沢ファームに協力して頂いた。関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) 三浦恒子・進藤勇人・佐藤雄幸：来歴の異なる圃場における中干し以降に発生する雑草ヒエの生育，雑草研究，55(別)，126，2013
- 2) 高橋良知・菊池英樹：水田内における8月以降のノビエ出穂がアカスジカスミカメによる斑点米発生に及ぼす影響，北日本病虫研報，64，126-129，2013
- 3) 宮原佳彦：機械除草技術開発の動向，東北の雑草，7，1-6，2007
- 4) 後藤克典：高精度水田用除草機の活用，機械化農業，3034，4-7，2004
- 5) 菊池晴志・野沢智裕：青森県における水田用除草機の利用方法，日作東北支部報，50，97-98，2007
- 6) 臼井智彦・伊藤勝浩・大里達朗・多田勝郎・佐藤広昭：水稻栽培における固定タイン型除草機の除草効果，東北の雑草，9，38-41，2009
- 7) 斎藤正博・長坂善禎・玉城勝彦・小林恭：自動走行田植機を利用した水田除草作業，農機誌，72(3)，276-282，2010

水田転換ほ場での機械化作業体系の確立(第2報)

—転換初年目ほ場でのキャベツの生育特性—

佐藤麻衣*・田邊大*・片平光彦**

Establishment of a Power Farming System in an Upland Field Converted from Paddy Field (Part 2)

- Cabbage growth and yields in an upland field for the first year after converted from paddy field-

Mai SATO*・Dai TANABE*・Mitsuhiko KATAHIRA**

Abstract

This study was undertaken to assess a power farming and a new cropping system for cultivating vegetables in an upland field converted from paddy field with improving drainage. We used cabbage as second crop. We investigated cabbage growth and yields. Field experiments were carried out in the two small paddy fields, Block A (2.0a) and B (2.0a), at Yamagata Field Science Center Takasaka farm, Faculty of Agriculture, Yamagata University. Block A had an outer open ditch only. Block B had an outer open ditch with a mole drain. The cabbage cultivar “YR-Sairan” was seeded on Aug 3, and transplanted on Aug 27, 2015. Growth of cabbage cultivation was good for first and medium-term. Block B which had high sphere bulk density increased yield than Block A.

[Keywords] paddy-upland rotation, open field vegetable, cabbage, growth and yields, power farming system

1. 緒言

山形県庄内地域は日本でも有数の米の生産地であり、日本海側の水田地帯は低湿地重粘土で排水不良のほ場が多い。そのため、山形県では水田畑地化事業が2001年度から2010年度まで行われ、水田の有効活用として畑作物の栽培に積極的に取り組んでいる。山形県での水田転換畑の研究は、藤井ら¹⁾による大豆栽培など多くの報告がある。また、近年では土地生産性を高めるため、高収益作物である園芸作物に関する研究に対する要望も高まっている。庄内地域南部の鶴岡市では、平成24年度の園芸作物の作付面積はエダマメ783ha、メロン228ha、かぶ152ha、なす74ha、ネギ60haとエダマメの作付けが60%を占めている²⁾。水田ほ場を畑転換して採算のとれる野菜栽培を行うには、ほ場の不透水層を破碎し、排水性・通気性などの土壌物理性改善による畑地化の促進や排水不良で碎土性に劣るほ場に適した作業技術の導入が必要である。排水不良なほ場での作業技術については、深沢らが庄内地域における明渠および暗渠による排水効果について報告³⁾している。水田転換畑での野菜栽培を推進するには、作業技術以外にも地域に適合した作付け体系を考える必要がある。そこで、筆者らは初年度1作目にエダマメ、その後の2作目に主要な土地利用型作物であるキャベツを選択した。キャベツは露地野菜の中でも土壌の適応範囲が砂壤土から粘質土と広く、春・夏作後に栽培できることから畑の有効利用に適している。実際に千葉県東総地域⁴⁾、新潟県村上市

では水田の裏作野菜として導入されている。また、北海道南空知の大規模水田地帯では転換畑でキャベツ作の導入により、所得増加が期待できることが示されている⁵⁾。また、所得を高めるにはできるだけ多くの結球を流通の需要があるL球として収穫するため、生育の斉一性を高めることや大規模化に対応したキャベツ栽培の機械化を進めていくことが必要となる。

そこで、本研究は水田連作ほ場を畑転換し、露地野菜の作付け体系に合致したトラクタを基幹とした新たな機械化体系を構築し、生産現場に普及することによる生産者の粗収益増加を目的とする。本年度は土壌物理性改善を目的としたほ場の営農排水対策によるほ場物理性の変化、水田転換初年目ほ場での2作目であるキャベツに対する小畝立て同時側条施肥の作業性、土壌物理性、生育・収穫調査を行った。本報では水田転換初年目ほ場でのエダマメ後作キャベツの生育特性を報告する。

2. 実験方法

(1) 試験場所・試験区

山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター高坂農場の小区画水田ほ場2筆で行った。試験区は周辺明渠のみを施工したA区(2.0a)、明渠と弾丸暗渠を施工したB区(2.0a)を設置した(図1)。

* : 山形大学大学院農学研究科 ** : 山形大学農学部 鶴岡市若葉町

(2) 供試機械

排水対策は2014年10月27日にトラクタ（イセキ、AT-410）にスクリーオーガ式溝切り機（松山、OM-310）を取り付けて明渠を施工した。次いで、2014年11月8日にはトラクタ（前述）にモールドレーナ（イセキ、PD-110）を取り付けて弾丸暗渠を施工した。

明渠は溝底幅が15～19cm(S.D.:1.0cm)、溝幅が30～35cm(S.D.:2.0cm)、深さが26～38cm(S.D.:3.5cm)に施工した。弾丸暗渠は5m間隔でほ場の水尻から水口側に向かって片側4本ずつの合計8本、ほ場の中央部に1本を施工した。なお、弾丸暗渠はいずれも明渠と連結した。

施肥と畝立ては2015年8月27日にトラクタ（クボタ、SL60C-PC、出力44.1kW）に水田用ハロー（ニプロ、HR2230-0S）と肥料散布機（タイショー、UH55R）を取り付けて小畝立て同時側条施肥で行った（図2）。作成された畝には野菜用半自動移植機（クボタ、KP1E-60）でセル育苗苗（128穴）を定植した。

(3) 耕種概要

キャベツの栽培はエダマメ収穫直後のほ場で行った。栽培品種は中生のYR彩藍（トキタ種苗）を用いた。2015年8月3日に128穴のセル育苗トレイに1粒播きし、ガラス温室内で24日間育苗した。育苗した苗は定植時に草丈12.0cm(S.D.:1.8cm)、葉齢4.5枚(S.D.:0.48枚)だった。施肥は化成肥料(N:P₂O₅:K₂O=25:6:12)を基肥として20kg-N/10aを小畝立てと同時に側条施肥した。栽植条件は条間75cm、株間40cmの設定(栽植密度3333株/10a)で、各区とも6条に定植した。定植後は中耕、薬剤散布、除草を両区とも同様に行った。



図2 小畝立て同時側条施肥

(4) 調査項目

- 1) 碎土率は畝上層(0-10cm)の土壌をスコップで採取し、網目20mmの篩で土塊を分離し、採取した全土壌に占める20mm以下の土塊の質量割合を求めた。サンプリングはA・Bほ場とも5か所から行い、その平均値を求めた。
- 2) 施肥深は苗の定植後に畝を掘り、畝床の表面から垂直に施肥位置までの距離を計測した。施肥位置は植え付け部中央に対する左右の変位量を直下の場合に0、右の場合に+、左の場合に-で計測して表した。
- 3) キャベツの生育は各試験区の4か所に10株の調査区を設置し、草丈・葉枚・葉身長・葉身幅・株幅・葉色を調査した。調査は定植後24日から77日まで1週間ごとに9回行った。
- 4) 収量調査は収穫期(11月19日から12月17日)に1週間間隔で行った。生育調査に用いた調査区に含まれる全個体を調査した。キャベツの流通で需要のある1.2kg-1.3kgのL規格の球を収穫することを目標とし、球径が一定の長さ以上になったものを収穫した。また、ほ場の全個体を対象にし、週ごとに収穫した個数と位置を記録した。調査では調製重・球重・球径・球高を測定し、それより以下の式で結球体積(1)・球緊度(2)を算出した。

$$\text{結球体積 (cm}^3\text{)} = \frac{4}{3}\pi(\text{球径(cm)}/2)^2 \times (\text{球高 (cm)}/2) \quad (1)$$

$$\text{球緊度} = \frac{\text{結球重 (g)}}{\text{結球体積 (cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

3. 結果および考察

(1) 定植時の土壌と施肥

含水比はA区が21.4%、B区が19.3%となり有意な差を示したが、碎土率はA区が95.0%、B区が95.1%と両区とも80%を超え、試験区間に有意な差がなかった(表1)。理論作業能率はA区が2.10h/10a、B区が1.94h/10aであり、試験区間に有意な差がなかった。

施肥深はA区が15.9cm、B区が15.6cmであり、試験区間に有意な差がなかった。施肥位置はA区が左1.67cm、B区が

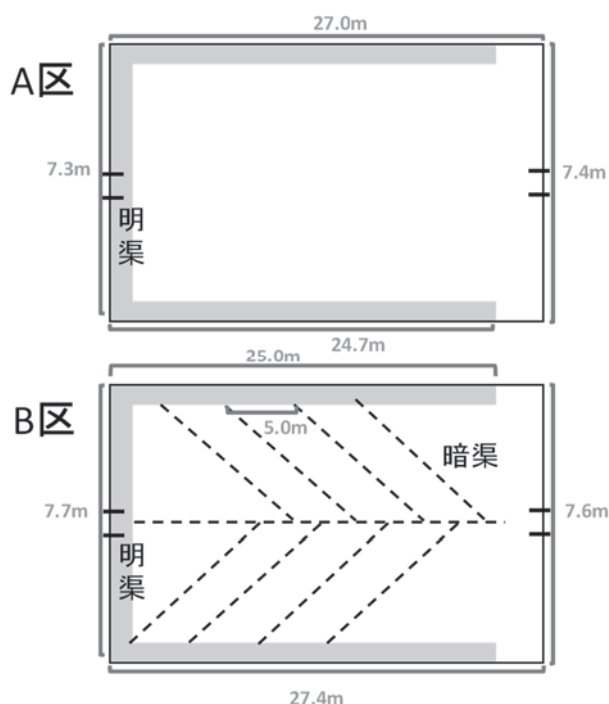


図1 試験ほ場での明渠と弾丸暗渠の配置図

左 1.25cm であり、試験区間に有意な差がなかった。（表 2）

森山ら⁶⁾は機械移植精度に対して砕土状態が大きく影響し、細かい土塊が多い条件で植え付け苗への覆土状態、植え付け角度が優れていることを明らかにしている。また、大川ら⁷⁾は畝内条施肥法によるキャベツ栽培で慣行の全面全層施肥法に対して生育の斉一性が向上すること、畝の一定の位置に肥料が均一に存在することで、いずれの個体も生育までに必要な養分を均等に吸収し、収穫に至るまで肥効が安定することを示した。本試験では砕土率が両試験区とも良好であるため、施肥深と施肥位置に有意な差がなかった。なお、定植後には作業精度を調査した後、定植深さによる影響を除去するため、手作業で定植深さを均一化した。そのため、排水対策が異なる両ほ場では定植時の施肥・定植条件が均一であると考えられ、それらがその後の生育に与える影響は少ないといえる。

表 1 砕土率と含水比

試験区	砕土率 (%)	含水比 (%)
A	95.0 (1.39)	21.4
B	95.1 (0.60)	19.3
	n.s.	*

注1：()内は標準偏差を示す

表 2 施肥の状況

試験区	施肥深 (cm)	施肥位置 (cm)
A	15.9(2.08)	-1.67(2.0)
B	15.6(2.20)	-1.25(4.1)
	n.s.	n.s.

注1：()内は標準偏差を示す

(2) 生育調査

定植後 21 日から 77 日までの各試験区のキャベツの葉身長と株幅の生育過程を図 3 と 4 に示す。定植後 21 日の葉身長は A 区が 12.3cm、B 区が 13.8cm であった。定植後 77 日は A 区が 24.4cm、B 区が 25.1cm であった。定植後 21 日と 29 日では試験区間に有意な差を示した。定植後 21 日の株幅は A 区が 33.0cm、B 区が 33.9cm であった。定植後 77 日では A 区が 62.0cm、B 区が 65.1cm であった。株幅は定植後 35 日、50 日、56 日で試験区間に有意な差を示した。キャベツの生育は暗渠施工ほ場で生育初期の葉身長、それを受けた生育中期で株幅の生育が良好であった。前作のエダマメ収穫後の土壌の飽和透水係数は A 区が -3 から $-6\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、B 区が -3 から $-4\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。飽和透水係数は A 区で範囲が拡大していたため、ほ場の一部に排水性の悪い場所があり、生育に差が生じたことが考えられる。ただし、ほ場の観察では図 5 に

示すとおり生育に大きな差が見受けられなかった。

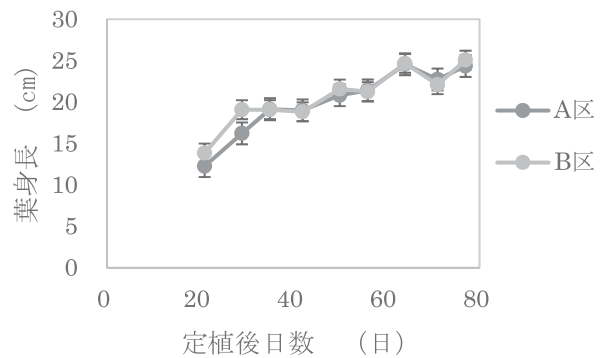


図 3 生育調査（葉身長）

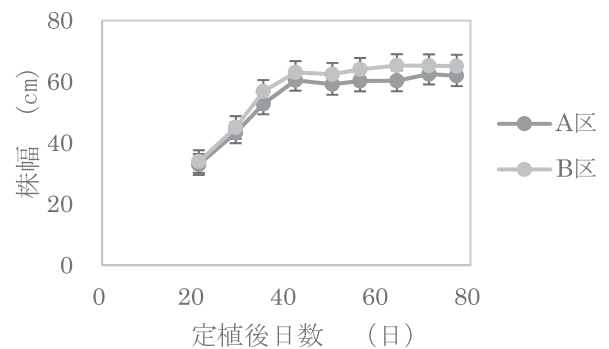


図 4 生育調査（株幅）



図 5 キャベツ栽培ほ場
(2015 年 10 月 5 日：定植後 40 日)

(3) 収量調査

収穫日と収穫個数を表 3 に示す。収穫日は播種日から算出した予想収穫日(12 月 2 日)を元に前後約 2 週間の収穫期に行った。

合計の収穫個数は A 区が 190 個、B 区が 198 個となった。全体数における収穫の割合は A 区が 65.3%、B 区が 66.2%となり試験区間に差がなかった。収穫できなかった残りの約 35%は球径が一定の長さには達しなかったため、収穫できなかったものである。

収穫日ごとの収穫割合では A 区で 12 月 10 日がピークであるのに対し、B 区で 12 月 2 日にピークがあることが分かる。播種や定植の時期から一般的な収穫時期は 12 月上旬と

予想していたことから、A区の生育が遅れたといえる。収穫割合は最終的に同等であったが、収量を最大にするには処理区間で異なる収穫適期を生育状態から予測することが重要である。また、図5では収穫時期とほ場の収穫位置には一定の傾向がなかったが、B区では収穫期前に鳥害が多く発生した。B区は排水性が良好であることからほ場の表面滞水が少なく乾いている部位が多かったため、ほ場内を鳥が歩きやすくなりA区と比較して被害が多くなったと考えられる。

表3 収穫日と個数

収穫日	収穫数 (個)		全体数における 収穫割合 (%)	
	A	B	A	B
11月19日	26	19	8.9	6.4
11月25日	21	21	7.2	7.0
12月2日	49	77	16.8	25.8
12月10日	70	53	24.1	17.7
12月17日	24	28	8.2	9.4
合計	190	198	65.3	66.2

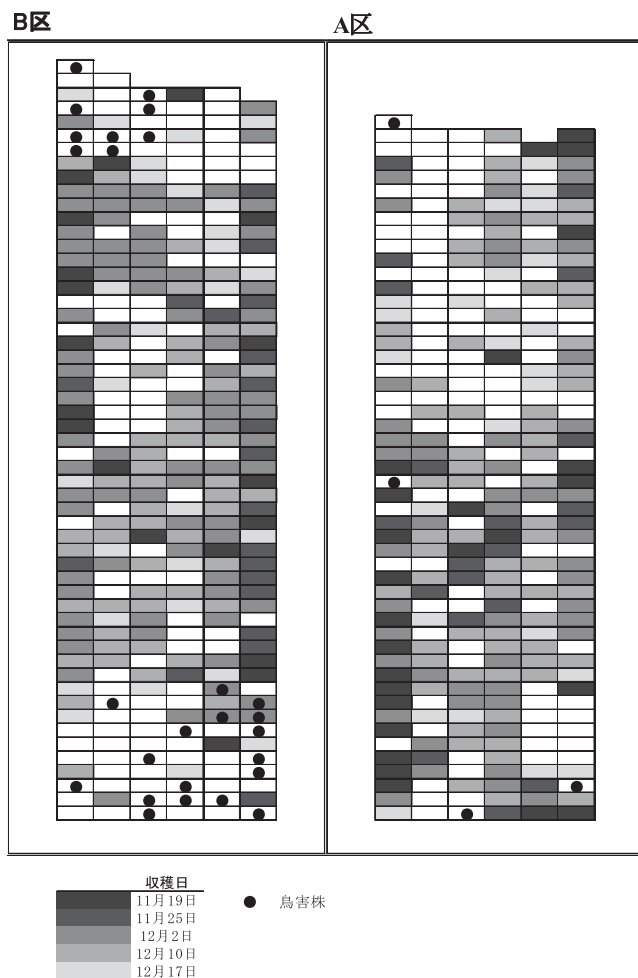


図5 ほ場での収穫位置

表4 収量調査

試験区	調製重 (g)	球重 (g)	球径 (cm)	球高 (cm)	結球体積 (cm ³)	球緊度	調製収量 (kg/10a)
A	977	884	16.4	10.3	1473	0.60	3178
B	1166	912	15.9	10.6	1451	0.63	3684
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

調製重、球重、球高はB区、球径、結球体積はA区の値が大きかった。しかし、試験区間にはそれぞれの項目で有意な差がなかった。調製収量はA区が3178kg、B区が3684kgとなり、出荷に際して50箱(約500kg)の差を示したが、試験区間には有意な差がなかった。なお、供試品種の平均収量は10aあたり約4000kgであるため、両試験区とも結球重が目標とする1.2kgよりも低いことが収量に影響を及ぼした。球緊度はA区で0.60、B区で0.63と有意な差を示しており、B区がA区と比較して後期の生育が良好で収穫適期が前進するとともに、結球部の縮まりが良好になった。

4. まとめ

- (1) 弾丸暗渠施工ほ場はエダママ後作キャベツ栽培で中期の生育が良好であった。
- (2) 収穫適期は弾丸暗渠施工の有無で異なり、暗渠を施工しなかったほ場で収穫時期が遅れた。
- (3) 暗渠施工ほ場では球緊度が高く増収したが、収穫した結球部の割合に差がなかった。

参考文献

- 1) 藤井弘志, 安藤忠弘, 吉田昭, 大沼彪, 鈴木武, 阿部吉克, 今野周, 1981. 水田転換畑の大豆栽培における土壌条件と養分吸収が子実収量に及ぼす影響, 山形県農業試験場研究報告, 第15号, 39-53.
- 2) 山形県農林水産部農村整備課, 2011. あなたの田んぼを宝の山に!~水田畑地化事業のあゆみ~.
- 3) 深沢昭吾, 上野正夫, 小南力, 下田英雄, 榎谷精治, 1982. 転換畑における幡多作物安定生産のための土壌理化学性の改善, 山形県立農協試験場研究報告, 第17号, 127-149.
- 4) 千葉県農林水産技術会議, 2016. 水田裏作野菜の栽培技術.
- 5) 中央農研生産システム部経営科. キャベツ先の導入により, 所得増果が期待できます, <https://www.hro.or.jp/list/agricultural/research/chuo/photopics/cabb/cabbex.htm>. Accessed Nov.4, 2016.
- 6) 森山友幸, 姫野修一, 井手治, 2000. キャベツの機械移植栽培における土壌および移植条件が生育, 収量に及ぼす影響, 福岡県農業総合試験場研究報告, 19, 45-48.
- 7) 大川浩司, 林悟朗, 1998. 機械利用によるうね内条施肥法がキャベツの生育斉一性と肥料の利用率に及ぼす影響, 愛知農総試研報, 30, 157-162.

施肥同時溝切り機を用いた長ネギの省力栽培技術に関する研究 (第4報)

— 土壌槽内での作溝チゼルによる土壌破碎範囲の計測 —

大竹智美*・平瀬隼人**・増山知也**・片平光彦***

Labor Saving Techniques for Welsh Onion Cultivation Using Fertilizer-Applicator Ditcher (Part 4)

— Measuring the soil broken area using chisel in a soil tank —

Tomomi OTAKE*・Hayato HIRASE**・Tomoya MASUYAMA**・Mitsuhiko KATAHIRA***

Abstract

Welsh onion cultivation places many demands on the labor-saving technologies of Japanese farmers, which include low-cost cultivation by fertilizer reduction. A fertilizer-applicator ditcher that can achieve low-cost cultivation is reported to have coverage that is 3.8–5.3 times greater than normal cultivation, achieving yields equal to those of normal cultivation by drill fertilizing. We developed a chisel and two fertilizing openers in a fertilizer-applicator ditcher to improve the work rate and nitrogen absorption. Fertilizing positions were 5 cm from the center horizontally of the seedling and 7 cm from the bottom of the ditch vertically. To elucidate the influence of welsh onion planting accuracy on growth and improvement, this study evaluated the strain and load on a chisel and soil broken area measured using a prototype soil hardness tester. Chisels A and B had strain of 10–600 $\mu\epsilon$ for the in-plane deformation and 5–270 $\mu\epsilon$ for the out-of-plane deformation. The chisel B out-of-plane deformation was greater than that of chisel A. The soil broken area of chisel A was 90–120 mm in the horizontal direction and 107–119 mm in the vertical direction, with a 54–61 deg crush angle. When the prototype soil hardness tester was used, the soil broken area of less than 10 N soil hardness was 120 mm in the horizontal direction, 50 mm in the vertical direction, with a 59.0 deg crush angle on the 50 mm block. The soil broken area of the 100 mm block was 120 mm in the horizontal direction and 90 mm in the vertical direction, with a 71.6 deg crush angle. Soil hardnesses of soil areas of 80 mm in the horizontal direction and 60 mm in the vertical direction were 7.8 N, with a 4.8 N standard deviation in the 50 mm block, and 5.0 N with a 3.7 N standard deviation in the 100 mm block. These blocks were significantly different ($p<0.05$).

[Keywords] soil broken area, crush angle, chisel, Welsh onion, prototype soil hardness tester

1. 緒言

長ネギは平成 27 年度の全国作付面積が 22,800ha, 収穫量が 474,500t の指定野菜 14 品目の一つに該当する作物である¹⁾。長ネギの栽培は3~5ヶ月の在ほ期間があり, 収穫までの作業工程数が多い。特に, 春先は施肥, 耕うん, 植え溝さき, 定植といった作業があり, 他作物との作業競合が生じやすい。また, 施肥はブロードキャスタでは場全面に施肥されることが多いため, 生産コストの増大や環境への影響が懸念されている。それに対し, 筆者らは定植までの作業工程削減と肥効調節型肥料の側条施肥による環境保全型農業を推進するため, 作溝チゼル付き施肥溝切り機の開発を行った。作溝チゼル付き施肥溝切り機は植え溝切りと側条施肥, 植え溝底土壌の膨軟化を同時に行う作業機として開発された。機体は土壌膨軟化を目的とした作溝チゼル, 側条施肥用の施肥オープンナ, 植え溝側面や底面の土壌を整形する整形板で構成されている(図1)。作溝チゼル付き施肥溝切り機は1.31~1.76h/10aの作業能率で溝幅50~52cm, 溝深さ16~19cm, 溝底幅19~20cmの植え溝を作成すると同時に, 溝底中央から水平に6cm, 深さ2~3cmの位置に側条施肥する。また, 機体に搭載された作溝チゼルは植え溝の中央

に深さ11cmの切削溝を形成する。生育と収量は作溝チゼンを施工し, かつ定植苗の両側に側条施肥した場合, 初期生育が良好に推移し, 他区と比較して商品収量が3.2~15.3%増加することが確認できた²⁾³⁾。

作溝チゼル付き施肥溝切り機は上記したとおり, 植え溝底の土壌を作溝チゼルで切削して土壌を膨軟化するため, 定植時の長ネギの定植精度を改善することが報告されている²⁾。作溝チゼルの土壌破碎範囲はチゼル先端か



図1 作溝チゼル付き施肥溝切り機

* : 福島県農業総合センター ** : 鶴岡高等工業専門学校 *** : 山形大学農学部

ら地表面に向けて約 50° の範囲にある土壌を膨軟化する常松らによる心土破碎モデル⁴⁾から、11cm の施工深で植え溝底中央部から片側に約 6.5cm、両側に約 13cm、植え溝底の 65%に相当すると考えられる。しかし、これまでのほ場試験では一般的なサブソイラ施工時と異なり、ロータリでの耕うん同時作溝直後で土壌が柔らかい状態であるため、作溝チゼルによる土壌破碎範囲と土壌硬度を正確に計測することが困難であった。

そこで、本研究では作溝チゼルによる土壌膨軟化範囲を計測して定植精度の改善と生育に与える影響を解明し、作溝チゼル付き施肥溝切り機を基幹とした作業技術の現地への導入を促進して農家の収益増加を目的とした。本報は作溝チゼルに加わる歪みと荷重を測定するとともに、土壌の破碎範囲を計測する装置を試作して土壌槽で土壌破碎に関する実験を行ったので報告する。

2. 試験方法

(1) 実験場所

実験は山形県鶴岡市の国立鶴岡高専内にある土壌槽(L×W×H: 2.4×0.9×0.3m, 作土深: 0.15m, 土壌統: 灰色低地土, 土壌含水比 22%d. b.)で行った。土壌槽は木枠内に水田土壌を充填した後、山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター高坂農場の畑連作ほ場の土壌を採取して約 15cm の厚さになるように踏み固めた。

(2) 実験機の構成

1) 作溝チゼルと架台

作溝チゼルに生じる歪みと土壌破碎に関する実験は、作溝チゼル付き施肥溝切り機を模した 2 種類の作溝チゼル(材質: 鋳鉄, 形状: A; 300×32×3mm, B; 300×32×4mm; 先端 L 型)を自作の架台に取り付けて行った。架台はチゼル固定部と車輪で構成した台車部、それを前後に移動させる 2 本のレール(リップ溝形鋼)と全体を支持する脚部で構成した(図 2)。

2) 歪み

土壌を切削する際に作溝チゼル本体に生じる歪みの測定は、作溝チゼルの 4 面にストレインゲージ(共和電業, KFG-02-120-C1-11)を貼り付け、各ゲージの出力をデータロガー(日置電気, MR8870)で記録した。なお、作溝チゼルが土壌を破碎する際の荷重はデジタルフォースゲ

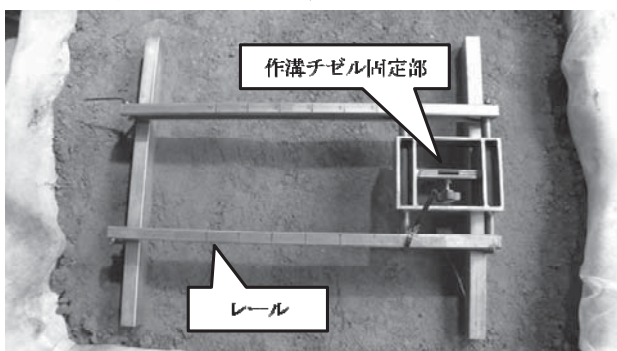


図 2 モデル試験用固定架台

ジ(IMADA, ZTA-500)で測定し、ゲージ出力と同じくデータロガーに記録した。

3) 土壌破碎範囲と硬度

土壌破碎範囲と硬度の測定は以下の 2 種類の方法で実施した。

a. 土壌破碎範囲は 10mm 間隔に調査棒を組み込んだ図 3 に示すゲージを自作し、調査棒を一定以上の荷重がかかる位置まで押し込み沈降した距離を測定した。

b. 土壌破碎範囲と硬度の測定は図 4 に示すロードセル(昭和測器, MRS-20N), 歪みアンプ(共和電業, PCD-300A), 可変抵抗器(Copal, M22E10, 10kΩ), データロガー(日置電気, MR8870)を組み合わせた自作の土壌硬度測定器で行った。

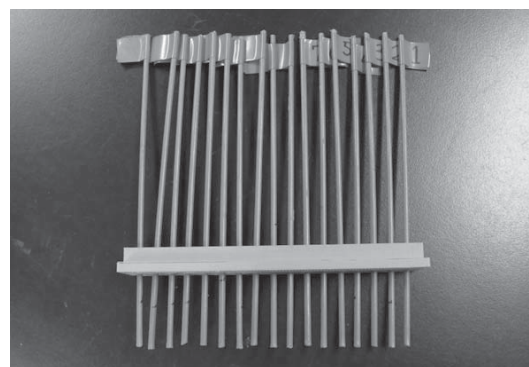


図 3 土壌破碎範囲測定ゲージ

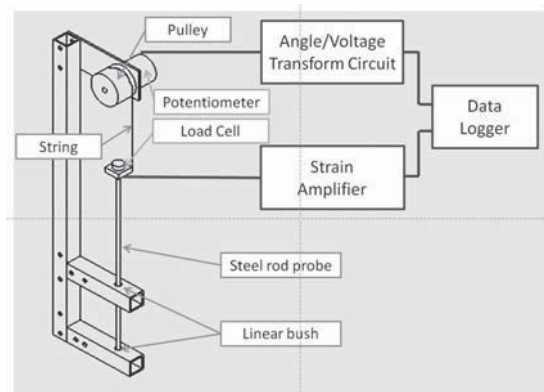


図 4 土壌硬度測定器

(3) 実験区の設定と測定方法

1) 土壌破碎範囲と歪みの測定

作溝チゼル A は切削深を 50mm, 100mm, 150mm とした A1~A3 区をそれぞれ設定した。作溝チゼル B は切削深 100mm の B 区を設定した。各試験区の作溝チゼルには図 5 と表 1 に示す位置にストレインゲージを取り付けた。自作のゲージを用いた土壌破碎範囲の計測は、前記した切削深 100mm の A2 区と B 区で行った。

2) 土壌破碎範囲と硬度の測定

土壌破碎範囲と土壌硬度の測定は作溝チゼル A の切削深を 50mm と 100mm に設定して行った。層別別の土壌硬度(N)は、作溝チゼル施工後に中心から両側方へ 2cm

間隔で自作の土壤硬度測定器を貫入させて測定した。測定された土壤硬度は表層から 10mm ごとに平均化した。

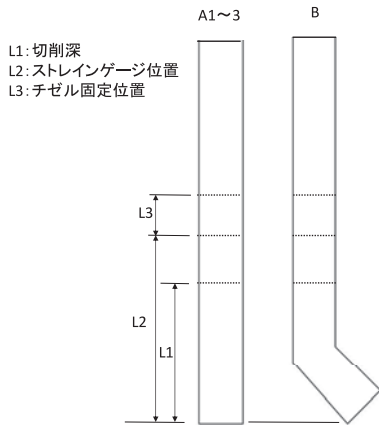


図5 作溝チゼル A・B とゲージ取り付け位置

表1 各試験区でのゲージ取り付け位置

位置	A1	A2	A3	B
L1	50	100	150	100
L2	80	130	180	130
L3	50	55	70	70

注:単位, mm

3. 実験結果

(1) 作溝チゼルに生じる歪みと土壤破碎範囲

作溝チゼル A と B で土壤槽を切削した際の各チゼルに発生する歪みと切削に要した荷重を表 2, 土壤破碎範囲の測定事例を図 6 と 7 にそれぞれ示す。

作溝チゼル A は, 切削深が深くなるにつれて切削に必要な荷重が 20~450N の範囲で増加した。進行方向側の歪み (面内変形) は 10~600 $\mu\epsilon$, 進行方向に対して垂直する面 (面外変形) では 5~250 $\mu\epsilon$ の歪みが発生した。作溝チゼル B は切削に必要な荷重が 183N となり, チゼル A2 の荷重とほぼ同等であった。チゼル B に発生する歪みは, チゼル A2 と比較して面内変形が 56 $\mu\epsilon$ 減少し, 面外変形が 36 $\mu\epsilon$ 増加した。

先端が屈曲しているチゼル B は屈曲した先端部が本体のシャンクよりも土壤の切削を早く行うため, 土壤の抵

表2 切削深の違いが作溝チゼルに与える影響

試験区	切削深 (mm)	面内変形 ($\mu\epsilon$)	面外変形 ($\mu\epsilon$)	荷重 (N)	応力* (MPa)
A1	50	16 (22)	5	31	2
A2	100	182 (225)	87	173	27
A3	150	589 (822)	261	434	88
B	100	126 (182)	123	183	19

*: E=150GPaで試算

**:()内数値はチゼル底面から20mm上の地点での一点集中荷重とした場合の計算値

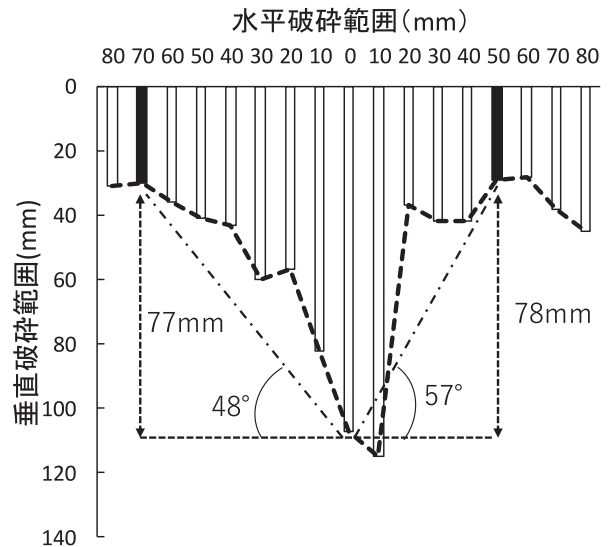


図6 作溝チゼル A (A2 区) による土壤破碎範囲

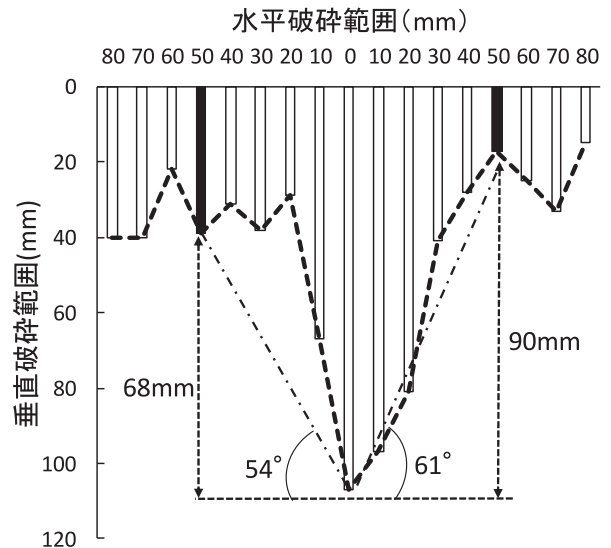


図7 作溝チゼル B による土壤破碎範囲

抗が屈曲部に集中してシャンク本体の捻りが大きくなり, 作溝チゼル A と比較して面外変形量を大きく, 面内変形量を小さくしたといえる。

土壤の破碎範囲は切削深 100mm の場合, 作溝チゼル A の水平方向で 90~120mm, 垂直方向で 115mm, 破碎角が 48~63° であった。同様に作溝チゼル B の破碎範囲は水平方向で 90~120mm, 垂直方向で 107~119mm, 破碎角が 54~61° であった。

簡易的な土壤破碎範囲測定器を用いた調査では, 作溝チゼル A・B とともにチゼルによる破碎中心から左右に 90~120mm の範囲, 最深部から 48~61° の角度で土壤を破碎しており, 両区に明確な差がなかった。破碎角についてはサブソイラによる破碎角の調査値である 50° と近似しており, 小型のチゼルでも同様の傾向にあることが

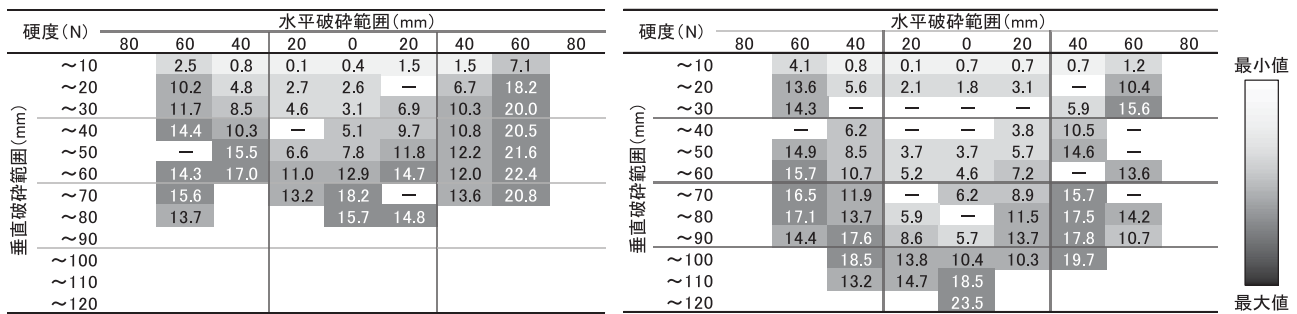


図8 作溝チゼルによる土壌破碎範囲と層別土壌硬度の分布 (左: 50mm 区, 右: 100mm 区)

示された。

(2) 土壌硬度測定器による土壌破碎範囲と層別土壌硬度の測定

試作した土壌硬度測定器は、組み込まれた丸棒のプローブ(φ3)の押し込み深さと反力を同時に計測するものである。押し込まれた深さはプローブと紐で連結された可変抵抗器の回転角を信号に変換して測定する。可変抵抗器の変換回路は図9に示すとおりである。反力はプローブ先端に取り付けたロードセルで計測し、それをプローブの径を基に土壌硬度(N)に換算した。

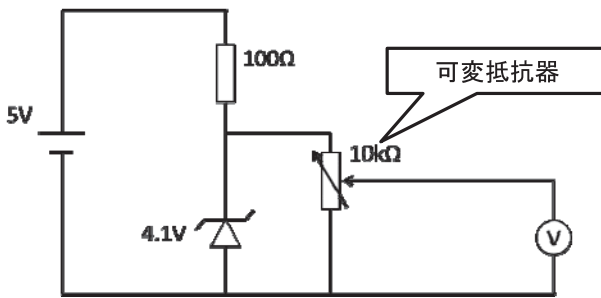


図9 土壌硬度測定器の回路図

土壌硬度測定器での測定結果は50mm区で土壌硬度10N以下の破碎範囲が水平方向で120mm、垂直方向が50mm、破碎角が59.0°であった。なお、同区の水平方向80mm、垂直方向60mmの土壌範囲では土壌硬度の平均値が7.8N、標準偏差が4.8Nであった。100mm区では破碎範囲が水平方向で120mm、垂直方向で90mm、破碎角が71.6°であった(図8)。同区の水平方向80mm、垂直方向60mmの土壌範囲では土壌硬度の平均値が5.0N、標準偏差が3.7Nとなり、5%水準で50mm区との間に有意な差が生じた。

試作した土壌硬度測定器は層別別の土壌硬度を詳細に測定できた。作溝チゼルは水平方向80mm、垂直方向60mmの範囲で切削深が深くなるにつれて土壌硬度の平均値に差が生じており、膨軟化の程度を大きくした。なお、水平方向40mm、垂直方向30mmの範囲では土壌硬度の平均値が50mm区で3.1N(標準偏差:2.1N)、100mm区で1.7N(同:1.0N)となり、切削深が深い方が表層土壌の硬度を低下させた。破碎角は100mm区で50mm区よりも12.6°

大きくなっており、予測値やゲージでの実測値よりも角度が大きく、表層での破碎範囲が縮小した。切削深の増加は深層土壌の破碎範囲と表層から中層にかけての土壌硬度を浅く切削した場合よりも増加させるが、破碎角が大きくなるため表層付近の破碎範囲が制限される傾向にあった。

4. 摘要

- 1) 作溝チゼルA・Bの歪みは10~600με(面内変形)、5~270με(面外変形)となり、作溝チゼルBの面外変形が作溝チゼルAよりも大きくなった。
- 2) 作溝チゼルAの破碎範囲は水平方向で90~120mm、垂直方向で115mm、破碎角が50~63°であった。作溝チゼルBの破碎範囲は水平方向で90~120mm、垂直方向で107~119mm、破碎角が54~61°であった。
- 3) 土壌硬度測定器による測定では50mm区で破碎範囲(土壌硬度10N以下)が水平方向で120mm、垂直方向が50mm、破碎角59.0°であった。100mm区では破碎範囲が水平方向で120mm、垂直方向で90mm、破碎角が71.6°であった。
- 4) 水平方向80mm、垂直方向60mmの土壌範囲における土壌硬度は50mm区の平均値が7.8N、標準偏差が4.8N、100mm区で土壌硬度の平均値が5.0N、標準偏差が3.7Nとなり、5%水準で両区間に有意な差が生じた。

参考文献

- 1) 農林水産省, 平成27年産指定野菜(秋冬野菜等)及び指定野菜に準ずる野菜の作付面積, 収穫量及び出荷量, http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html. Accessed Nov. 1, 2016.
- 2) 進藤勇人, 大竹智美, 片平光彦, 本庄求, 齋藤雅憲, 夏賀元康, 2014. 施肥溝切り機を用いたネギ栽培における生産性改善に関する研究(第1報). 農業食料工学会誌, 76(6), 533-540.
- 3) 大竹智美, 進藤勇人, 本庄求, 齋藤雅憲, 片平光彦, 夏賀元康, 2014. 施肥溝切り機を用いたネギ栽培における生産性改善に関する研究(第2報). 農業食料工学会誌, 78(4), 317-325.
- 4) 常松栄, 吉田富穂, 池内義則, 1959. 心土破碎に関する研究(第1報). 農業機械学会誌, 21(2), 45-48.

エダマメの機械播種技術の向上に関する研究(第1報)

—アップカット畝立マルチ播種機の開発と作業精度—

齋藤雅憲*・進藤勇人*・本庄求*・武田悟*・片平光彦**・武田純一***

Improvement of Mechanical Seeding Technique on Green Soybeans -Development of mulching seeder with up-cut ridging and work accuracy-

Masanori SAITO*・Hayato SHINDO*・Motomu HONJO*・Satoru TAKEDA*・Mitsuhiko KATAHIRA**・Jun-ichi TAKEDA***

[Keywords] early green soybean, high efficiency, work-saving, labor-saving, mulching seeder

1. はじめに

秋田県では、水田転換畑を中心にエダマメ栽培が行われている。エダマメは県全域の転換畑で栽培可能な有望な園芸品目と位置付けられ、栽培面積が拡大している(2011年:537ha¹⁾, 2013年:586ha²⁾, 2015年:660ha³⁾)。また、日本一のエダマメ産地を目指して、県全体で関係機関が一体で、作業関連機械の導入から、店頭販売促進まで一貫して支援を行う「えだまめ日本一総合推進事業」が進められてきた。

秋田県のエダマメ栽培では極早生～晩生の品種が用いられ、主に直播で栽培される。播種期間と出荷期間は、それぞれ4月下旬～6月下旬, 7月下旬～9月下旬である。栽植様式はそれぞれの時期で異なり、マルチ仕様の有無、条間、株間、播種粒数などが品種によって選択されている。このうち、極早生・早生品種(播種:4月下旬～5月下旬, 出荷:7月下旬～8月上旬)の栽培面積は全体の約二割を占め、低温時の播種であることから、出芽安定化、初期生育確保のため、有孔マルチが用いられる。マルチ展張は歩行型管理機が用いられるが、播種作業は手作業で行われており、機械播種体系が確立されていない。そのため、その播種工程は作業能率が低く、中腰での作業が続き身体への負担が大きいため作業者の確保が困難で、面積拡大の障害となっている。一方、中生以降(播種:6月上旬以降, 出荷:8月中旬以降)では、機械播種体系が確立されている大豆用の播種作業機が使用されている。エダマメは、播種作業に大豆用の作業機を用いることができるので、他の野菜に比べて規模拡大が可能である。しかし、作期毎に異なる播種作業体系では、作業機を複数台所有する必要があるため、播種を含めた作業体系全体(管理、収穫、調製)の機械稼働率の向上を図る観点からも問題がある。したがって、エダマメの安定的な長期出荷体系の確立に向けて、全作期に対応した機械播種技術の確立と安定的な長期出荷体系の確立が求められている。

極早生・早生のエダマメ栽培は、単価が比較的高い時期の出荷が望める特徴がある。そのため、これまで出芽

時の低温が問題で極早生・早生エダマメの栽培が取り組まれていなかった県北地域を中心に、早生エダマメの作付面積拡大への要望がある。

水田転換畑での畝立てダイズ栽培は、湿害回避に有効であることが明らかになっている。また、出芽の安定化や機械播種適性を向上するには、碎土率を高める必要がある⁴⁾。そのため、耕うん時には碎土性が高いロータリが用いられる。これらの、エダマメへの適用例として、アップカットロータリや表層細土ロータリを用いたマルチ同時播種の試験^{5), 6)}が行われている。

そこで、本試験では早生エダマメ栽培の栽培面積拡大、湿害軽減技術、機械稼働率向上の現場ニーズに対して、湿害回避に有効で高能率なアップカット耕うん同時播種機と1行程で2畝(1畝1条)マルチ播種可能な播種機を組み合わせて、施肥・畝立て・マルチ・播種を同時に行える新型播種作業機を試作し、その作業精度を調査した。

2. 試験方法

(1) 供試機械

1) アップカットマルチ畝立播種機(以下、試作機)

現在、エダマメの播種作業は、早生品種がマルチ有、手作業による播種作業、中生以降がマルチ無、大豆用の播種機を用いた機械播種作業で行われており、播種様式が統一されていない。そこで、大豆で一般的に使用されているアップカット耕うん同時播種機をベースに、下記仕様(ア～オ)を満たす機械播種技術開発目標を設定した。

ア、手作業による早生エダマメ播種を軽労化、省力化する機械播種技術

イ、マルチ有無に関わらず、全作期に適用可能で高能率・高精度な機械播種技術

ウ、小規模から大規模まで適用可能なトラクタタッチ式作業機による機械播種技術

エ、播種に係る複数作業(耕うん、畝立て、マルチ、播

* : 秋田県農業試験場 秋田県秋田市雄和相川字源八沢34-1

** : 山形大学農学部 山形県鶴岡市若葉町1-23

*** : 岩手大学農学部 岩手県盛岡市上田3丁目18-8

種)を同時に行う機械播種技術
 才, 畝立てによる湿害対策が行える機械播種技術

また, 開発機の作業能率の目標値は, 2.1a/h, 4.8h/10a とした(早生エダマメの栽培面積 84a: 集落営農タイプ (4.2ha) の20%, 出荷期間: 20日, 収穫適期3日, 1日当たりの作業時間: 6時間として算出⁷⁾。

以上の仕様を満たすように, 逆転ロータリ (APU1610H-4SU型 (M社)), 播種マルチ (AMS-200RW型 (A社)), 成型機 (RM2-110型 (S社)) をベースに改良を行い, トラクタ (EG445JQCH型, Y社, 33.1kW {45PS}, セミクローラ型) にマッチングして試験区に供試した。また, 播種目皿: B-2 (φ10.5×8個×2列), フロント施肥機 (DS65-F型 (T社)) を取付けて試験を行った。

対照区は, トラクタ表層細土ロータリ (Y社) または, 通常ロータリ (K社) と歩行型管理機で耕起・畝立て後, マルチ展張と播種を手作業で行った。

(2) 試験場所・年次

2014年~2015年に秋田県農業試験場内ほ場(黒ボク土)において試験を行った。

(3) 耕種概要・栽植様式(表1)

エダマメ品種は, 「グリーン75」(原育種園) を用い, 播種前に「クルーザーMAXX」(シンジェンタジャパン) を塗沫処理して供試した。また, 有孔マルチフィルムは, 試験区: 幅95cm, 長さ200m, 厚さ0.03mm, 株間20cm, 孔径6cm, 対照区: 幅135cm, 長さ200m, 厚さ0.03mm,

表1 耕種概要と栽植様式

試験区名	1畝 条数	播種 粒数 条	畝間 m	条間 m	株間 m	栽植 密度 粒/m ²	施肥量 kgN/10a	設定値 比 %	播種日
改良マ①	1	2	0.75	0.75	0.2	13.3	7.3	104	5/28
慣行マ①	2	2	1.5	0.45	0.2	13.3	7.0	100	5/28
改良マ②	1	2	0.75	0.75	0.2	13.3	6.7	95	4/30
慣行マ②	2	2	1.30	0.45	0.2	15.4	7.0	100	
改良マ③	1	2	0.75	0.75	0.2	13.3	7.8	112	5/14
慣行マ③	2	2	1.25	0.45	0.2	16.0	7.0	100	

株間20cm, 孔径6cmを使用した。播種粒数は, 2粒播き設定とし, 栽植密度は, 試験区と対照区でそれぞれ13.3粒/m² (1畝1条), 13.3~16.0粒/m² (1畝2条) に設定した。また, 播種深さは3cm設定とした。施肥は, 「豆2号 (N-P₂O₅-K₂O: 5-15-15)」を用い, N: 7.2kg/10a, N: 4.0kg/10a に設定した。

(4) 試験区の構成

試験区は以下の2つを設定した。

改良マ区: アップカット畝立マルチ播種機で有孔マルチを展張し, 同時機械播種した。

慣行マ区: 2014年は, 表層細土ロータリ (2014年) で畝立てを行い, 手作業でマルチを敷設し, その後手作業で播種した。2015年は, ダウンカットロータリで耕起し, 歩行型管理機で畝立てを行い, その後手作業でマルチを展張し, 手作業で播種した。

いずれの試験区も試験前に, チゼルプラウで粗耕起を行った。また, エンジン回転は定格回転とし, 作業速度は試作機が作業可能な速度として, PTO速度段は両年もI速(540rpm)に設定した。

(5) 調査項目

1) 作業速度(m/s): ストップウォッチを用いて, 5m区間の作業時間を測定し算出した。

2) 作業能率(h/10a): ストップウォッチを用いて, 作業開始から終了までの時間を測定し, それを試験区の面積で除して算出した。

3) 施肥精度(%): 施肥機の作業前後の肥料落下量(質量)を計測して, 設定値との比率を算出した。

4) 畝形状(cm): 畝の上面幅, 下面幅, 畝間, 畝高さを測定した。

5) 砕土率(%): 篩を通して土塊径10mm以下と20mm以下の土塊の質量を計測し, 質量分布割合を算出した。

6) 土壌含水比: 105°C24時間法で計測した。

7) 出芽率(%): 40穴80粒の出芽数を調査し, 播種種子質量/実種子質量を乗じて算出した。

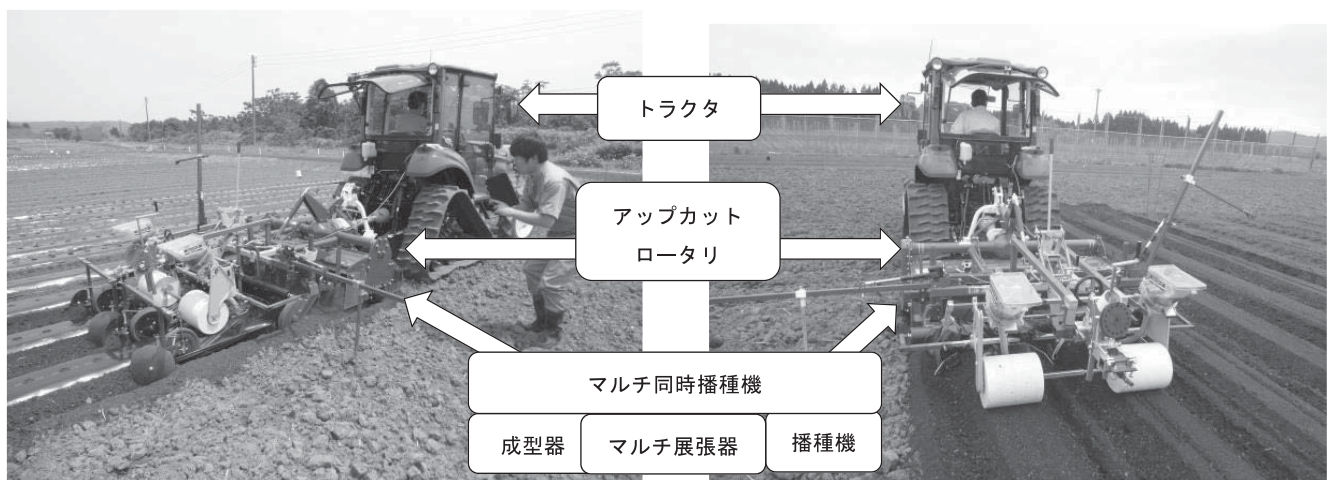


図1 アップカット畝立てマルチ播種機の作業状況

3. 結果及び考察

(1) アップカット畝立マルチ播種機

供試作業機の主要諸元を表2に示す。耕うん同時播種機をベースに、耕うん部、成型部、播種部、マルチ展張部を有する構造とした。また、成型部と播種部は、デブスビームから取りはずし可能な構造にした。耕うん部は、作業時の枕地をできる限り狭くするため、リアカバーを外して全長を短くした。また、成型部は、丸畝を平高畝にするために、畝の上部をカットする天板を進行方向に対して垂直に取り付け、平高畝を形成可能とした。播種部は、マルチ播種機をベースに、左右の播種部を前後にずらして配置した。また、マルチ支持部は播種部マルチの本体フレームに取り付けた。また、マルチ展張部は、デブスビームからステーを介して作業機後方に延長して取り付けた。

以上の試作機は、アップカットロータリ、成型器、マルチ展張器及び播種機で構成され、畝立て・マルチ展張・播種(1畝1条、1行程2条)同時作業が可能であった。さらに、マルチ無の場合は耕うん同時畝立播種が可能であった。また、トラクタには、前方にフロント施肥機を装着することで、施肥作業が同時に行えた。施肥精度は、95～112%であり、パラツキはあったが生育に影響は少ないと考えられた(表1)。

(2) 碎土率

改良マ区と慣行マ区の20mm碎土率はそれぞれ、96.0～96.5%、87.6～93.0%であり、10mm碎土率はそれぞれ、83.8～84.4%、71.4～77.8%であった。20mm碎土率は、改良マ区が慣行マ区に比べ高く、機械播種に適した状態であった(図2)。また、10mm碎土率は改良マ区が慣行マ区に比べ、6.0～13.0ポイント高く、逆転ロータリの特徴であると考えられた。以上から、試作した播種機は碎土性が高く、播種作業の溝切、覆土に適した畝上層の状態を形成可能であった。

(3) 畝形状

改良マ区の畝形状の床幅、下幅、高さ、畝間は、それぞれ31～33cm、48～52cm、11～13cm、77～87cmであり、想

定した畝が形成可能であった。慣行マ区の畝間は125～147cmであった。慣行マ①区で広がったのはトラクタアタッチ型作業機を用いたためであった(表3)。

(4) 出芽率

改良マ区と慣行マ区の出芽率は、それぞれ69.0～94.6%、64.2～95.0%であり、各試験区で同等であった。また、改良マ①区と慣行マ①区の出芽率は、他の区に比べ低く、改良マ①区の出芽までの日数は、他の区に比べ遅くなった(表3)。これは、播種後の気象条件(降水量不足)と播種深度が影響していると考えられた。供試した播種部

表2 アップカット畝立マルチ播種機の主要諸元

機体寸法	全長 (mm)	2300
	全幅 (mm)	1800
	全高 (mm)	1400
機体質量(重量)		(kg) 545
作業幅		(mm) 1600
適応トラクタ		(kW [PS]) 29.4～36.8 {40～50}
装着方法		日農工標準3P
ロータリー部	爪本数 (本)	34
	回転外径 (mm)	510
	作業深さ (mm)	110～150
播種部	条数	2
	ホッパー容量	5L×2
	搬出方式	目皿方式
	適用マルチ	有孔マルチ1条
マルチ部	マルチ本数	2
	適応フィルム幅 (mm)	950

表3 畝形状と出芽率及び出芽日数

年次	試験区名	条数	畝形状				出芽率 %	播種～出芽日
			床幅	下幅	高さ	畝間		
2014	改良マ①	1	33	48	11	81	69.0	11
	慣行マ①	2	61	91	15	147	64.2	14
	改良マ②	1	31	52	13	87	94.6	8
2015	慣行マ②	2	60	77	12	130	95.0	8
	改良マ③	1	31	48	13	77	90.9	9
	慣行マ③	2	60	74	12	125	90.0	9

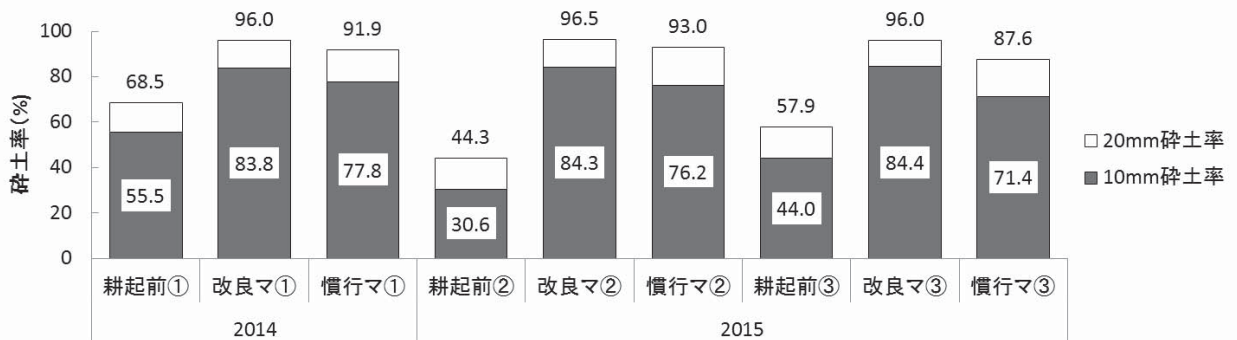


図2 各区の碎土率の比較

注1 碎土率は、土塊径10mm、20mm未満の質量分布割合である。注2 土壌含水比は、0.33～0.39の範囲であった。

表4 播種作業能率と作業時間割合

年次	試験区名	作業速度 m/s	作業時間 h/10a	作業人数 人	作業時間割合			
					直進	マルチ 処理	旋回 %	その他・ 調整
2014	改良マ①	-	7.4	2	37	17	17	29
	改良マ②	0.10	3.8	2	60	13	11	16
	慣行マ②	0.03	6.6	2	-	-	-	-
2015	改良マ③	0.11	3.9	2	52	7	17	24
	慣行マ③	0.04	5.0	2	-	-	-	-

注1 慣行マ区の作業速度と作業能率は、手作業による播種のみを表す。

は、播種深度の調節機構が無い場合、今後、少雨の場合に調節できる機構が必要であると考えられた。

(5) 作業能率

改良マ区と慣行マ区の作業時間は2人作業で、それぞれ3.8～7.4h/10a, 5.0～6.6h/10aであった。改良マ区は慣行マ区に比べ、24～42%の時間削減が可能で、大幅な省力化が図られると考えられた。また、改良マ区と同等の播種作業能率を得るには、慣行マ区の作業人数を1～2人増やす必要がある(表4)。改良マ①区の作業時間割合は、マルチ処理とその他・調整に時間を要したため、直進割合が低くなったと考えられた。このため、改良マ①区の作業能率は、当初目標としていた4.8h/10aの154%であった。一方、その他・調整割合が減少した改良マ②、改良マ③区では、79～81%であり目標を達成できた。

4. 摘要

本試験では早生エダマメ栽培の栽培面積拡大、湿害軽減技術、機械稼働率向上の現場ニーズに対して、湿害回避に有効で高能率なアップカット耕うん同時播種機と1行程で2畝(1畝1条)マルチ播種可能な播種機を組み合わせ、施肥・畝立て・マルチ展張・播種を同時に行える新型播種作業機を試作し、その作業精度を調査した。

その結果、開発目標とした軽労化、省力化が達成され、開発したアップカット畝立マルチ播種機を用いた機械播種技術が、エダマメの作付面積向上に有効であると考えられた。エダマメの収穫は、作期毎に一斉収穫で行われ、調製後出荷される。このため、1日当たりの播種量が多いと取り遅れ等のリスクが高まる。したがって、作業によって能率が疲労等で変化する手作業による播種ではなく、高能率な機械播種作業と組み合わせることで、このリスクを減らすことができると考えられた。

なお、試作したアップカットマルチ播種機は、来年度以降、ヤンマーアグリジャパン株式会社東日本カンパニーから市販化予定であり、今後、現地で普及が進むと考えられる。

謝辞

本研究の一部は、新稲作研究会の支援を受けて実施されたものである。ここに記して、関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) えだまめ販売戦略会議(平成24年6月26日), エダマメ販売戦略会議資料, 2012, 3-4.
- 2) えだまめ販売戦略会議(平成25年6月20日), エダマメ販売戦略会議資料, 2013, 3-4.
- 3) えだまめ販売戦略会議(平成27年6月30日), エダマメ販売戦略会議資料, 2015, 1-3.
- 4) 秋田県農林水産部, 2015. 大豆指導指針, 30-31, 94-97.
- 5) 細川寿, 2012. 畝立て同時作業の技術追加による高能率・省力作業技術の開発, ファーミングシステム研究, 11, 20-28.
- 6) 齋藤雅憲, 進藤勇人, 本庄求, 2014. 表層細土畝立てマルチ播種機を利用したエダマメ栽培, 農業食料工学会東北支部報, 61, 15-19.
- 7) 秋田県農林水産部, 2014. 作目別技術・経営指標, 214-218.

アルファ化玄米の製造に関する研究 (第1報)

小出章二*・佐藤あい花*・折笠貴寛*・武田純一*

Study on the Production of Instant Brown Rice (Part 1)

Shoji KOIDE*・Aika SATO*・Takahiro ORIKASA*・Jun-ichi TAKEDA*

Abstract

Recently, dried cooked rice (instant rice) has been provided to consumers not only as preserved food or emergency food, but as convenient and quick-cook food. It is conceivable that dried cooked brown rice is more nutrient-rich compared to dried cooked rice. For extend the use of dried cooked brown rice (instant brown rice), the basis information of its processing technology (such as drying, storage, rehydration, etc.), and nutrient and physicochemical properties are strongly needed in the future. In this study, changes in moisture content, water activity, and color of cooked brown rice during hot air drying were investigated. Results showed that the exponential model was applicable to describe the moisture content changes of the cooked brown rice. It was found that the color difference (ΔE) changes of cooked brown rice could be predicted by exponential model with a slight modification. Relationship between moisture content and water activity of cooked brown rice during hot air drying could be explained by GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) model with high accuracy. Furthermore, glass transition temperature (T_g) of dried cooked brown rice (instant brown rice) at a water activity (a_w) of 0.432 was determined by differential scanning calorimetry (DSC). It was found that two transitions at about 57 and 73 °C were obtained as glass transition temperature (T_g) of dried cooked brown rice. These data would be useful for production of instant brown rice.

[Keywords] dried cooked brown rice, instant rice, instant brown rice, drying, water activity, glass transition

1. はじめに

近年、米の加工品であるアルファ化米（乾燥米飯）は、加工技術の進歩に伴う品質の向上とともに食味も改善され、その生産量は昨年度（平成27年度）を見ても、平成22年度よりも増加している（食品需給研究センター，2015）。このアルファ化米は保存食や非常食として注目を集めており、近年はカップライスとしての販路拡大も著しい（小出ら，2016）。

さて白米に比べて玄米は食物繊維、ビタミン、ミネラルといった栄養成分を5~14倍多く含んでいる（科学技術庁資源調査会，2000）。玄米は、生活習慣病、高血圧等の改善といった効果をもたらすことも知られており、健康食品としても注目されている。そこで著者らは、アルファ化米と同じように、玄米をアルファ化することで保存食、携帯食のみならず機能性食品としての利用範囲が広くなり、これまで以上に乾燥米飯の市場を拓く可能性が高くなると考えた。

本研究では、アルファ化玄米（炊飯玄米を乾燥させた乾燥米、instant brown rice）の製造・保存・復水・調理を工業的かつ効率的に

行うにあたり必要となる炊飯玄米の乾燥中の含水率変化や水分活性変化に関する基礎的データを収集するとともに、乾燥中の褐変に着目して、色彩色度の経時変化について計測した。さらにアルファ化玄米のガラス転移温度を示差走査熱量計（DSC）を用いて計測したので、それらの結果について報告する。

2. 材料および測定方法

(1) 供試材料

市販の玄米（ひとめぼれ、岩手県産）を供試材料とした。135°C-24時間法により測定した玄米の初期水分は14.4（%wb）であった。

(2) 測定方法

1) 炊飯方法

炊飯は、使用した炊飯電気釜（NS-LY05、象印魔法瓶株式会社）の取扱説明書に従って行った。具体的な炊飯方法を以下に記す。

はじめに炊飯器に計量した玄米1合を入れ、十分な水で2回かき混ぜたのち水を捨て、これを3回繰り返した。次に、玄米を30回

かき混ぜるようにして洗った後、十分な水でかき混ぜ、水をすぐに捨てた。これを1セットとして3セット繰り返した。その後、正しく水加減をし、炊飯電気釜に設定されている玄米炊飯モードにより玄米を炊飯した。炊飯終了後は、一定時間蒸らしを行った。

この炊飯米を後述の方法で単粒化させ、熱風乾燥中の含水率変化、色彩色度変化および水分活性変化の測定に供試した。また、炊飯米を単粒化させ、これを後述する乾燥器で3時間熱風乾燥（乾燥温度80℃）させた後、シリカゲルを入れたデシケータ内に3週間静置させ、その後飽和塩溶液を入れたデシケータ内（相対湿度：43.2%）に3週間静置・吸湿させたものを、アルファ化玄米のガラス転移温度測定のサンプルとした。

2) 炊飯玄米の乾燥中の含水率変化の測定

炊飯玄米の熱風乾燥は80℃で行った。その概要は以下の通りである。炊飯米を網杓子に乗せ、約80℃に加熱した水道水に約3秒間浸漬した後、炊飯玄米をポリエチレン製のネット（PRS-61, ジャパックス社株式会社）上に移動させ、ピンセットを用いて炊飯玄米をすばやく単粒状態に広げた。

その後、定温送風乾燥器（FC-610, アドバンテック東洋株式会社）内に設置した金網の上に炊飯米が載ったネットを静置して熱風乾燥（風速 0.15 m/s）を開始した。ネット上の試料は、一定時間毎に秤量缶に取り出し、電子天秤（FZ-300iWP, エー・アンド・デイ株式会社）を用いてすばやく秤量の上、乾燥器内に戻し、乾燥を継続した。乾燥時間は3時間とし、測定終了後の試料を135℃-24時間法で絶乾し、含水率（%db）を換算した。測定は三反復を行った。

3) 炊飯玄米の乾燥中の色彩変化

上述と同様の方法により単粒化した炊飯玄米を試料として、その熱風乾燥（乾燥温度80℃）を行った。ネット上の試料は、一定時間毎に秤量缶に取り出し、色彩色差計（CR-13, コニカミノルタセンシング株式会社）を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系を計測後、試料を乾燥器内に戻し、乾燥を継続した。乾燥時間は3時間とした。色彩色度の測定は、1つの試料につき試料表面の5点を測定し、その平均値を測定値とした。その後、乾燥前と測定時の試料の明度差 ΔL^* 値、 Δa^* 、 Δb^* を次式(1)に代入し、色差 ΔE_1 を算出した。測定は三反復を行った。

$$\Delta E_1 = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

4) 炊飯玄米の乾燥中の水分活性

上述と同様の方法により単粒化した炊飯玄米を試料として、その熱風乾燥（乾燥温度80℃）を行った。乾燥開始から一定時間経過後の試料を乾燥器から取り出し、インキュベータに入れ放湿による乾燥を防ぎながら25℃まで急冷し、水分活性測定装置（Novasina aw-CENTER, 日本シイベルヘグナー株式会社）を用いて25℃における水分活性を測定した。測定後のサンプルは135℃-24時間法により絶乾し、含水率（%db）を求めた。

5) アルファ化玄米のガラス転移温度測定

ガラス転移温度測定のサンプルを粉砕機で砕き、そのなかから試料約10mgを耐圧性アルミニウムパン（外形φ7mm×5mm: 島津製作所株式会社）に詰め、セルクリンパによりシールした。ガラス転移温度は示差走査熱量計（DSC 60 Plus, 島津製作所株式会社）を用いて窒素雰囲気下で測定した。昇温速度ならびに冷却速度は10℃

/minとし、-30～180℃の範囲でDSC（Differential scanning calorimetry）測定を行った。測定終了後、付属のソフトウェアを用いてDSC昇温曲線（2nd Scan）からガラス転移温度 T_g を求めた。測定は三反復を行った。

3. 測定結果および考察

(1) 炊飯玄米の乾燥特性

熱風乾燥における炊飯玄米の含水率の変化を図1に示す。図より、炊飯玄米の含水率は時間の経過とともに指数関数的に減少することが示された。また乾燥速度（単位時間当たりの含水率の減少速度）は、含水率の減少とともに直線的に減少した。このことから、本研究では得られた測定値を、穀物の乾燥モデル式としてよく用いられる以下の指数モデルに当てはめた。

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-k_1 t) \quad (2)$$

ここで、 M は乾燥時間 t (h)のときの含水率（%db）、 M_0 は初期含水率（%db）、 M_e は平衡含水率（%db）、 k_1 は乾燥速度定数（ h^{-1} ）である。

測定値を式(2)に当てはめ、非線形最小二乗法により平衡含水率と乾燥速度定数を決定した。その結果、平衡含水率は9.05（%db）、乾燥速度定数は3.38（ h^{-1} ）となり、決定係数 R^2 は0.998であった。得られたパラメータを式(2)に代入して得られた計算値を図中に実線で示す（図1）。図を見ると、計算値と測定値は良く一致しており、炊飯玄米の乾燥中の含水率変化は、指数モデルを用いて表すことが可能であることがわかる。

(2) 炊飯玄米の乾燥中の色彩変化

図2には炊飯玄米の熱風乾燥における色彩（ L^*, a^*, b^* 値）の経時変化を示す。これを見ると、炊飯玄米は乾燥により褐変が進行することが明らかである。また図より、 L^* 値は乾燥時間とともに指数関数的に減少し、 a^* 値と b^* 値は僅かながら増加することがわかる。この褐変は、炊飯玄米の乾燥による体積の収縮が主因であると考えられるが、非酵素的褐変（例えばメイラード反応）による褐変も要因として挙げられる。今後は炊飯玄米の褐変について、乾燥による体積収縮とメイラード反応の両面から検討したい。

次に図3に炊飯玄米の熱風乾燥における色差（ ΔE_1 ）の経時変化を示す。色差は乾燥時間とともに指数関数的に増大していることから、以下の指数モデルを用いて測定値を近似した。

$$\frac{\Delta E_1 - \Delta E_e}{\Delta E_0 - \Delta E_e} = \exp(-k_2 t) \quad (3)$$

ここで、 ΔE_1 は乾燥開始時における炊飯玄米と乾燥中の炊飯玄米との色差、 ΔE_0 は乾燥開始時における炊飯玄米の色差（ここでは0とした）、 ΔE_e は平衡に達した時の色差、 k_2 はパラメータでここでは反応速度定数（ h^{-1} ）、 t は時間（h）である。

測定値を式(3)に当てはめ、非線形最小二乗法により、各パラメータ値を決定した。その結果、 ΔE_e は36.42（-）、反応速度定数は0.46（ h^{-1} ）となり、決定係数 R^2 は0.995であった。またパラメータを式(3)に代入して得られた計算値を図中に実線で示す（図3）。図3を見ると、計算値と測定値は良く一致している。これにより、今

回用いた指数モデル(式(3))は炊飯玄米の乾燥工程における色差変化の予測に適したモデルであることが示された。今後は、炊飯米飯の色差変化の温度依存性について測定し、明度を保つ最適な乾燥温度について調査したい。

(3) 炊飯玄米の乾燥中の水分活性

図4に熱風乾燥における炊飯玄米の含水率と水分活性の関係を示す。本研究では、測定により得られた含水率と水分活性のデータを、食品の水分収着の予測に用いられる以下のGAB(Guggenheim-Anderson-de Boer)式(小出ら,2016)に当てはめた。

$$W_1 = \frac{W_{m1}c_1k_3a_w}{(1-k_3a_w) \cdot (1-k_3a_w + c_1k_3a_w)} \quad (4)$$

ここで、 W_1 は平衡含水率(% db), W_{m1} (% db), c_1 (-)および k_3 (-)はパラメータ, a_w は水分活性(-)を示す。

測定値を式(4)に当てはめ、非線形最小二乗法により各パラメータを決定した。パラメータ($W_{m1}=3.68$, $c_1=26.17$, $k_3=0.98$)より得られた計算値を図中に実線で示す。計算値と測定値はよく一致した($R^2>0.93$)ことから、乾燥中の炊飯玄米の含水率と水分活性の関係はGAB式を用いて表すことが可能である。以上のことから、乾燥中の含水率が分かれば、その試料の水分活性が、さらには色差変化の予測が可能となった。

さて一般に、アルファ化米の水分は品質保持の観点から10~13(% wb)(含水率では11.1~14.9(% db))が良いとされる(江川,1995)。アルファ化玄米もアルファ化米と同様に考えると、図4から、保存中の水分活性はおおよそ0.4~0.6の範囲内とすることが望ましいといえる。ただし今回測定した水分活性は、乾燥中の炊飯玄米を、水分活性装置を用いて簡易的に測定したものであり、保存中の農産物・農産食品を対象とした水分活性の測定方法(例えば、小出ら,2016)により得られた値ではない。今後は、アルファ化玄米の水分活性と含水率との関係をより精密な方法を用いて測定する予定である。

(4) アルファ化玄米のガラス転移温度測定

図5にアルファ化玄米($a_w = 0.432$)のDSC曲線の一例を示す。図中矢印で記したように、50~75°Cにおいて2つの T_g (ガラス転移温度)と思われる吸熱シフトが確認された。反復測定の結果、アルファ化玄米の T_g は $57.5 \pm 0.4^\circ\text{C}$ および $73.1 \pm 2.2^\circ\text{C}$ となった。これらの温度は玄米の T_g と近い値(Perdon, et al., 2000; Cao, et al. 2004)である。このことから、アルファ化玄米は、乾燥工程における仕上げ含水率を、水分活性0.432に相当する15(% db)程度とすれば、室温(25°C)付近においてガラス状態を保つものと考えられる。またガラス状態であれば、アルファ化玄米の長期的な保存が可能であるといえる。今後は、アルファ化玄米の長期保存を可能とする条件(温度、湿度)を明らかにするため、種々の水分活性の条件下で T_g 等の熱物性値の測定を行いたい。

以上、本研究はアルファ化玄米の製造にあたり、必要となる乾燥工程に着目し、熱風乾燥における炊飯玄米の含水率変化、水分活性変化、色彩色度変化について論じたものである。更にアルファ化玄米の保存安定性に有益な知見を与えるガラス転移温度について考究した。今後は、アルファ化玄米の復水・調理方法について測定・検討を重ね、アルファ化玄米の高効率・高品質製造に資するデータを提供する予定である。

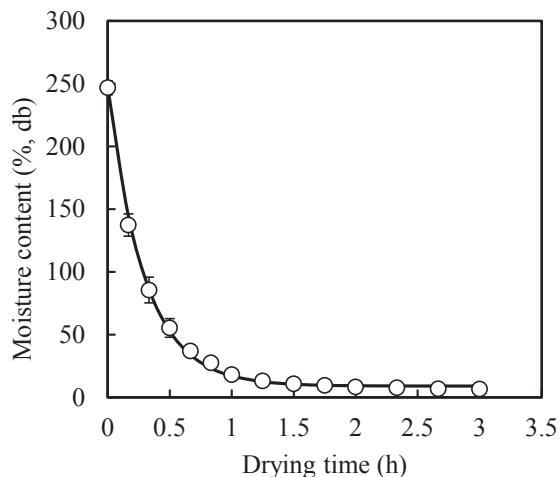


図1 炊飯玄米の熱風乾燥における含水率変化
図中のバーは標準誤差を示す (n=3)

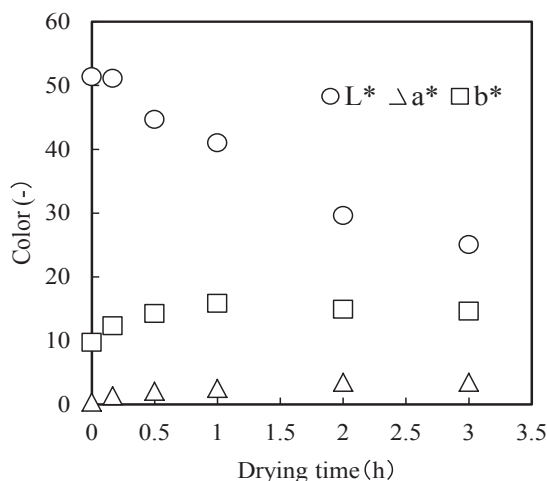


図2 炊飯玄米の熱風乾燥における色彩変化
○: L*値; △: a*値; □: b*値

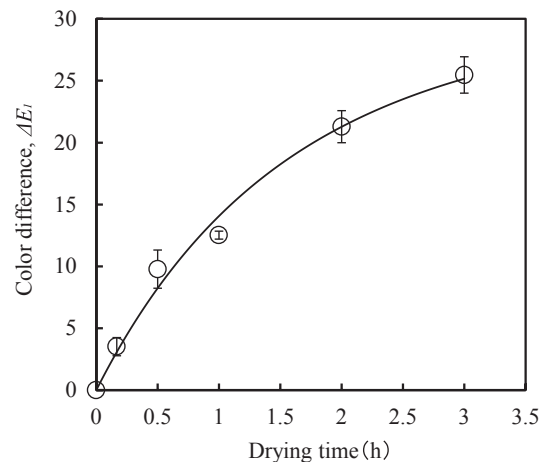


図3 炊飯玄米の熱風乾燥における色差の経時変化
図中のバーは標準誤差を示す (n=3)

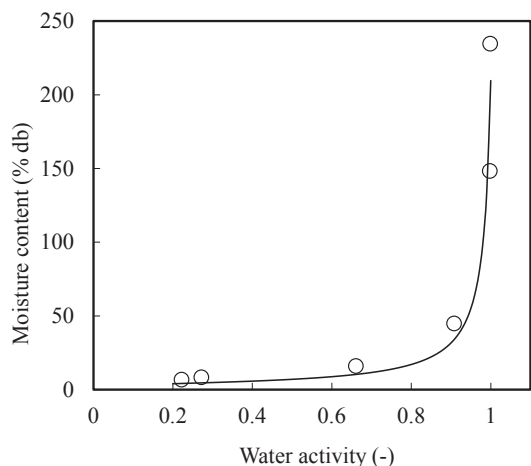


図4 炊飯玄米の熱風乾燥における水分活性と含水率

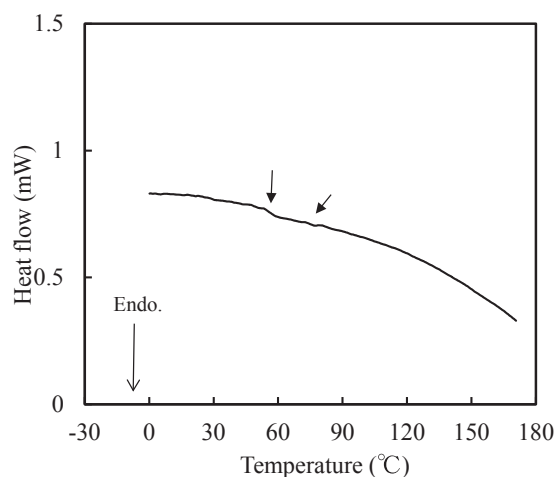


図5 アルファ化玄米のDSC曲線の一例

4. 摘要

本研究では、アルファ化玄米の製造・保存・復水・調理を工業的かつ効率的に行うにあたり必要となる炊飯玄米の乾燥における含水率変化および水分活性の変化のデータを収集するとともに、炊飯玄米の乾燥中の色彩色度の経時変化についても計測した。さらに、アルファ化玄米のガラス転移温度について計測した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 炊飯玄米の乾燥における含水率変化は、指数モデルを用いて表現できることが示された。
- 2) 炊飯玄米の乾燥における色差変化は、指数モデルを用いて表現できることが示された。
- 3) 炊飯玄米の乾燥における含水率と水分活性の関係は、GAB式を用いて表現できることが明らかとなった。
- 4) アルファ化玄米のガラス転移温度は57°Cおよび73°C付近にあることが推測された。

以上は、アルファ化玄米の効率的な乾燥方法および保存方法を考えるにあたり、有益な知見を提供するものとする。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(B), 16H05001）の助成により実施されたものである。また、岩手大学農学部農産物流通科学研究室の専攻生には多大な協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Cao, W., Nishiyama, Y., Koide, S., 2004. Physicochemical, mechanical and thermal properties of brown rice grain with various moisture contents. *International Journal of Food Science and Technology*, 39(9), 899-906.
- 2) 江川和徳, 1995. 米の科学 (竹生新治郎監修) (朝倉書店, 東京), pp. 156-158.
- 3) 一般社団法人食品需給研究センター, 2015. 平成27年度食品産業動態調査.
- 4) 科学技術庁資源調査会, 2000. 五訂日本食品標準成分表, (大蔵省印刷局, 東京), pp.40-41.
- 5) 小出章二, 折笠貴寛, 小出冬菜, 村松良樹, 田川彰男, 2016. 乾燥米飯の乾燥・保存・吸水における含水率予測, *日本食品保蔵学会誌*, 42(2): 59-64.
- 6) Perdon, A., Siebenmorgen, T. J., Mauromoustakos, A., 2000. Glassy state transition and rice drying: Development of a brown rice state diagram. *Cereal Chemistry*, 77(6), 708-713.

ハイパースペクトル画像計測によるリンゴ成葉の窒素含有量推定モデルの構築

阿部汐里*・張 樹槐**・叶 旭君**

Estimation of Nitrogen Content in Apple Leaf using Hyperspectral Imaging

Shiori ABE*・Shuhuai ZHANG**・Xujun YE**

Abstract

Aomori Prefecture ranks first in Japan in terms of the amount of apple production, and it has been making a great effort to produce high quality apple. To produce good quality apple, it is important to apply proper fertilization schemes according to the status of the field and/or the trees. Nitrogen greatly influences the growth of apple. It is used in many growth activities such as flower bud formation, fruit enlargement, cell division, and so on. If nitrogen is high in soil, excessive absorption of nitrogen may occur in plants, which may delay flower bud formation and affect the color development of fruit. On the contrary, if nitrogen is insufficient, deficiency of chlorophyll may occur in plants, which may cause the reduction of yield. Therefore, both the amount and timing of nitrogen fertilizer application are important factors in apple production. However, chemical analysis is currently used as a major method to analyze the nutritional status. It usually takes a great deal of effort, time and money, and thus using it to conduct detailed diagnostic assessment for a large number of fields and/or trees is almost impossible. This study is aimed at developing a fast, nondestructive approach to estimate the nitrogen content in apple leaf using hyperspectral imaging in order to quickly understand the nitrogen nutritional status of the tree. The experiment procedures are as follows: Firstly, the hyperspectral images for leaf samples were collected with a hyperspectral camera. Secondly, the samples were moved into a blast constant temperature oven and dried at 80 degree for 24 hours. Thirdly, the dried samples were ground into powder with a crusher, and then used to analyze the nitrogen content by a fully automatic elemental analyzer. Finally, multiple linear regression and PLS (partial least squares) regression analyses were conducted to examine the relationship between the hyperspectral data and nitrogen content using the free statistic software R. Both analysis methods yielded predictive models with high accuracy. Therefore, the results suggest the feasibility of using spectral measurements to predict the nutritional status of apple trees in a fast and nondestructive manner.

[Keywords] hyperspectral imaging, nitrogen content estimation model, apple leaf

1. 諸言

平成 27 年度の青森県のリンゴ収穫量は 81 万 1,500t であり、全国収穫量の 58%を占めている¹⁾。青森県は高品質果実の生産と市場価格の維持を図る目的で、平成 15 年度から適正着果確保推進運動を展開している²⁾。品質の良いリンゴを生産するためには、圃場や樹体の栄養状態に応じて適切な施肥管理を行うことが重要である。特に、多量必須元素の一つである窒素は、作物の生育、収量、品質を大きく左右するため、過不足のない適切な供給が重要である³⁾。窒素が多いと過剰吸収が起き、花芽形成の遅れや果実の着色不良の原因となるだけでなく、果実の品質や食味も低下させる。反対に土壌中の窒素が少ないと、葉緑素の不足を

招き、収穫量が減少する原因となる³⁾。以上のことから、窒素の施肥はその量や時期が非常に重要なポイントであることが分かる。しかし、窒素の分析は時間がかかるため、栄養診断に最も重要でありながら実施されることが少ない⁴⁾。そのため、多数の圃地や樹体のきめ細やかな栄養診断はより困難となる。そこで本研究は、樹体の窒素栄養状態を迅速に把握するために、分光分析による窒素含有量の迅速かつ非破壊的な推定を目的とした。

2. 材料と方法

(1) 調査対象

本研究では、平成 27 年 6 月 15 日に弘前大学藤崎農場で

* : 弘前大学農学生命科学研究科 青森県弘前市文京町

** : 弘前大学農学生命科学部 青森県弘前市文京町

栽培されているリンゴ樹より、目視で栄養状態が異なる成葉 127 枚を採取しサンプルとした。供試した品種は“ふじ”である。

(2) 分光計測

分光データは、図 1 に示すハイパースペクトルカメラ (Specim 社製, ImspectorV10, 観測波長域: 360~1,040nm, 波長間隔 5nm) を用いて取得した。このカメラはライン上の同時多点分光計測が可能で、ラインをスキャンすることで平面の各点の水平空間情報と分光情報を同時に収集できる。よって、測定対象のサンプル成葉を移動させ複数の水平ラインを測定することにより、リンゴ成葉全体の分光データが取得できる。



図 1 ハイパースペクトルカメラ

上記で取得した成葉全体の分光データを基に分光解析ソフトウェア (JFE スチール社製, Spectrum Analyzer) を用いて、図 2 のように所定の部位の平均分光データを切り出し、以後の回帰分析に供した。

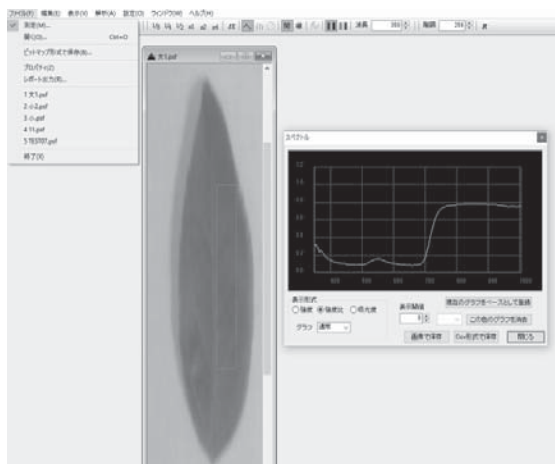


図 2 平均分光データの記録画面

(3) 窒素含有量の定量

成葉サンプルを 80℃に設定した送風定温恒温器の中に

入れ、24 時間乾燥を行った。その後、粉砕機で 1,440 回/秒の振動を 3 分間与え粉末状にし、図 3 に示す全自動元素分析装置 (Elementar 社製, Vario EL cube) を用いて窒素含有量の分析を行った。全自動元素分析装置は、サンプルを燃焼させた時に生成したガスを分離した後、定量を行う。具体的には、まずサンプルをスズポートに封入し燃焼管に投下する。投下後、酸素を供給し完全燃焼させ、炭素、水素、窒素、硫黄を各燃焼ガスに変換する。生成された燃焼ガスは還元管内に導入され、NOx は N₂ に SOx は SO₂ に還元される。還元管から出てくる N₂, CO₂, H₂O, SO₂ の各ガスは、それぞれ専用の吸・脱着カラムにより分離される。その後、それぞれを熱伝導検出器 (TCD) により窒素ガスを定量後、カラムに吸着されていた N₂, CO₂, H₂O, SO₂ を順に加熱脱着し TCD で検出しそれぞれ定量する⁵⁾。



図 3 窒素分析器

(4) 回帰分析

取得した各成葉サンプルの分光データと窒素含有量のデータを用いて、エクセルによる重回帰分析と無料統計ソフトウェア R による PLS 回帰分析を行った。回帰分析を行う際、図 4 のように 127 個のサンプルを 85 個のモデルデータセットと 42 個のテストデータセットに分割した。よって、窒素含有量の推定モデルの構築には 85 個のデータを用い、そのモデルの精度検証には 42 個のデータを供した。

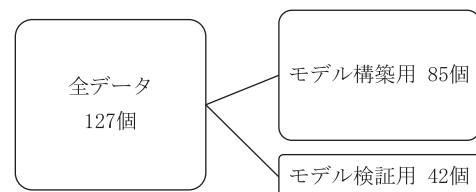


図 4 回帰分析のデータ管理

3. 結果及び考察

(1) 供試成葉サンプルの窒素含有量

サンプルを窒素含有量別に 5 つのグループに分け、表 1

のようにその平均値と標準偏差を算出した。

表 1 窒素含有量別の平均値と標準偏差

窒素含有量(%DM)	サンプル数	平均	標準偏差
2.8~3.3	12	2.95	0.11
2.3~2.8	30	2.50	0.16
1.8~2.3	62	2.06	0.13
1.3~1.8	20	1.62	0.12
0.8~1.3	3	1.06	0.12

(2) 窒素含有量別のスペクトルの特徴

図 5 は窒素含有量別にグループ分けを行ったサンプルの分光反射率の平均値を表している。波長 470~680nm 付近に相違があり、窒素含有量が高いほど分光反射率が低い傾向がみられた。

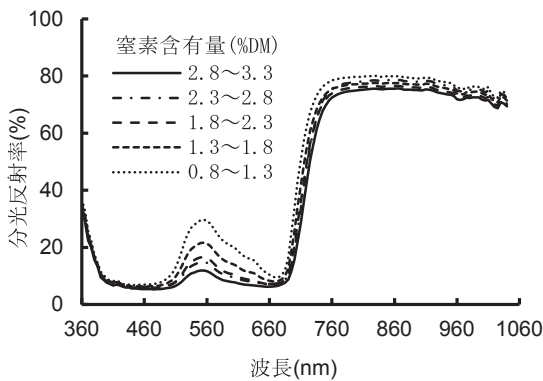


図 5 窒素含有量別のサンプルの分光反射率

(3) 重回帰モデルの構築

重回帰分析に用いる波長を選択するために、波長ごとの窒素含有量と分光反射率との単回帰分析を行った。図 6 は波長ごとの窒素含有量と反射率の相関関係を表したグラフである。窒素含有量と分光反射率の相関係数に特徴のある値を示したのは、560, 675, 700nm の 3 つの波長であった。この中で 560nm はカロチノイドやキサントフィルの吸収に関係しており⁶⁾、675 と 700nm はクロロフィルの吸収帯である⁷⁾。

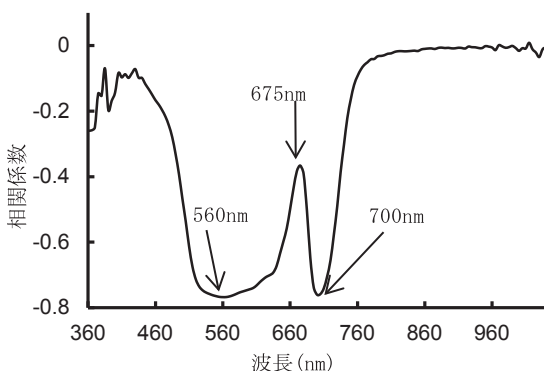


図 6 波長ごとの窒素含有量と反射率の相関関係

図 7 は、単回帰分析で相関係数に特徴のある 560, 675, 700nm の波長を用いて重回帰モデルの構築を行った結果である。実測値と予測値の R^2 値は 0.7395 となり、強い相関がみられた。得られた重回帰式は以下に示す。

$$y = 5.797\lambda_{560} + 25.167\lambda_{675} - 17.770\lambda_{700} + 2.999$$

図 8 は、重回帰モデルの精度検証を行った結果である。実測値と予測値の R^2 値は 0.5630 となり、やや強い相関がみられ、分光データによる窒素含有量の推定が可能であると示唆された。

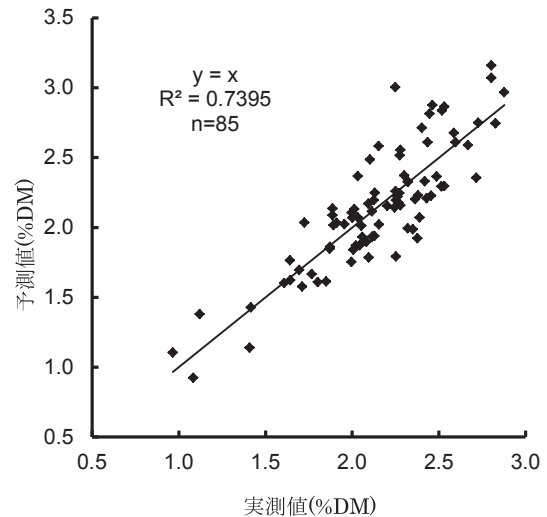


図 7 重回帰モデルの構築

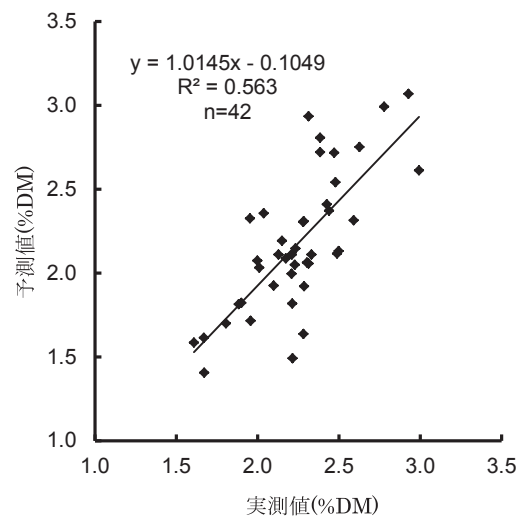


図 8 重回帰モデルの精度の検証結果

(4) PLS 回帰モデルの構築

図 9 は、PLS 回帰分析に使用する潜在変数の値を決めるためにクロスバリデーションを行った結果である。これにより、以降の解析では RMSEP (root-mean-squares error of prediction) が最小となる 3 を最適な潜在変数の数とした。

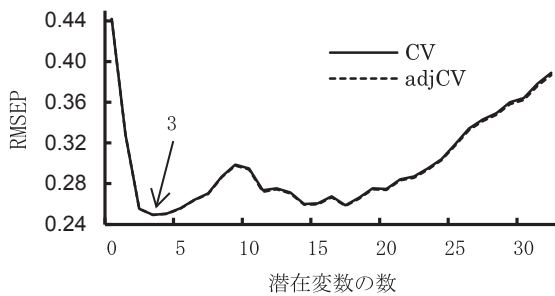


図9 潜在変数の数とRMSEPの関係

図10は、PLS回帰分析を行った結果である。実測値と予測値の R^2 値は0.7160となり、強い相関がみられた。

図11は、PLS回帰モデルの精度検証を行った結果である。実測値と予測値の R^2 値は0.5918となりやや強い相関がみられ、PLSモデルでも分光データによる窒素含有量の推定が可能であると示唆された。

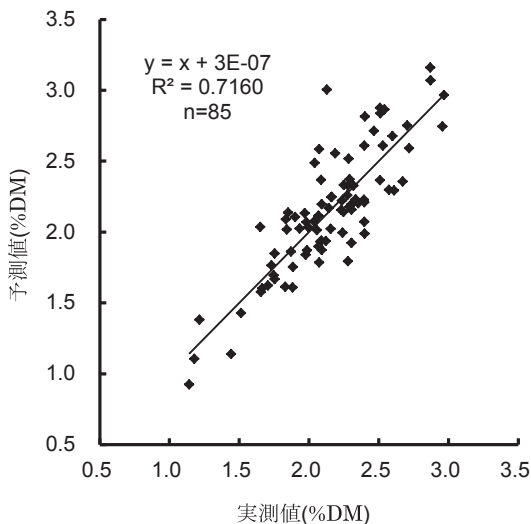


図10 PLS回帰モデルの構築

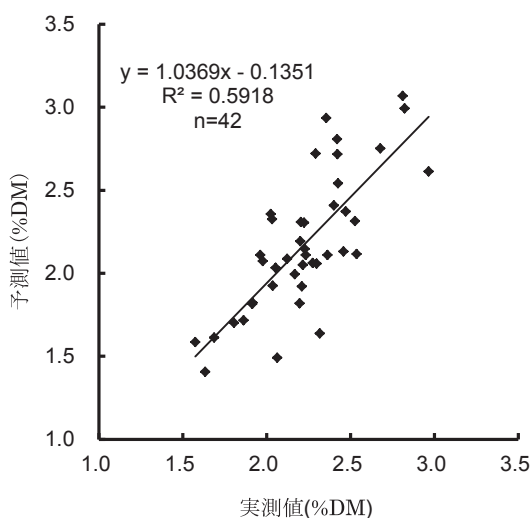


図11 PLS回帰モデルの精度の検証

以上の結果より、重回帰分析とPLS回帰分析ともに精度の高いモデルが得られ、窒素含有量の実測値と予測値の間にはやや強い関係性があることが示された。よって、分光計測により迅速かつ非破壊的にリンゴ樹体の栄養状態の推測が可能であると示唆された。

4. 摘要

本研究は、リンゴ樹体の窒素栄養状態を迅速かつ非破壊的に推測するために、ハイパースペクトルカメラを用いてリンゴ成葉の窒素含有量の推測の可能性について検討した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 重回帰分析では、単回帰分析で相関係数に特徴のある560, 675, 700nmの3波長を選択した。
- 2) 上記3波長を用いた重回帰分析では、モデル構築時の R^2 値は0.7395、モデル検証時の R^2 値は0.5630であった。
- 3) PLS回帰分析では、モデル構築時の R^2 値は0.7160、モデル検証時の R^2 値は0.5918であった。

よって、測定した分光計測により迅速かつ非破壊的にリンゴ樹体の栄養状態の推測が可能であると示唆された。

謝辞

本研究は科学研究費助成事業（基盤C, 16K07968）の助成により実施された。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 農林水産省, 平成27年産りんごの結果樹面積, 収穫量及び出荷量.
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/pdf/syukaku_ringo_15.pdf
- 2) 青森県果樹農業振興計画.
<http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/nourin/ringo/files/keikaku01.pdf>
- 3) 高橋良学, 2009. 非破壊的手法による作物栄養診断の最前線, 日本土壌肥料科学雑誌, **80**(1), 66-74.
- 4) 岩切徹, 松瀬政司, 新堂高広, 1987. 果樹の現地ほ場における簡易栄養診断としての葉緑素計の利用, 日本土壌肥料学会講演要旨集, **33**, 354.
- 5) 株式会社カネカテクノリサーチ.
<https://www.ktr.co.jp/index.html>
- 6) 小池孝良, 市栄智明, 北岡哲, 北尾光俊, 2004. 落葉広葉樹の個葉の光合成特性と樹冠部の光合成機能, 地球環境, **9**(2), 191-202.
- 7) 柴田和雄, 1981. 光合成機構に学ぶ, 応用物理, **50**(4), 39.

UAV（無人航空機）を利用した農作物の生育診断（第1報）

- バレイショ畑のモニタリング -

田邊 大*・中坪あゆみ**・富樫均仁**・本間英治**・片平光彦**・嶋田 浩***

Growth monitoring of horticulture crops using unmanned aerial vehicle (part 1)

—Field monitoring of potatoes—

Dai TANABE*・Ayumi NAKATSUBO**・Naohito TOGASHI**・Eiji HOMMA**・
Mitsuhiko KATAHIRA**・Hiroshi SHIMADA***

Abstract

Precision agricultural techniques using information such as precise crop growth conditions in fields have attracted attention recently. One technique uses remote sensing methods for field monitoring. Remote sensing for agriculture using satellites and aircraft has been used widely. Actually pilotless remote sensing is anticipated for use with test fields. Therefore, we investigated field monitoring techniques using unmanned aerial vehicles (UAVs) to obtain horticulture crop information. In 2016, aerial images were taken on July 12, 24, and 31. For sensing tests, potato plants were set on 11 test blocks on July 31. Image analysis was done using a composite photograph of an Ortho image comprising about 150 aerial photographic images. Composite aerial photographs of the Ortho image showed potato leaf etiolation and differences of vegetation. Furthermore, the G/R ratio of aerial images decreased as the plant stage advanced. This monitoring system can elucidate potato field plant conditions from aerial photographic images that include information about test blocks.

[Keywords] UAV, monitoring, potato, composite photograph, Ortho image

1. 緒言

現在、我が国では農業従事者数が平成21年で175,200件、平成23年で1,617,600件、平成24年で1,563,900件、平成25年で1,514,100件、平成26年で1,471,200件¹⁾と、年々減少しており、農地の集約や大規模化が進んでいる。大規模化したほ場では品質管理を目的とした作物の生育診断を従来の人手で行うことが困難な現状にある。そこで、そのような生産地ではリモートセンシングを用いてほ場内の作物の生育情報を正確に把握する広域モニタリングが注目されている。広域リモートセンシングは人工衛星や航空機による情報を基にした分析技術が開発されており、農業分野でも広く利用されている。また、近年はunmanned aerial vehicle（以下、UAV）の技術が急速に発展し、農業分野でも空撮や農薬散布などの利用が検討されている。

そこで本研究では大規模ほ場での作物の生育診断を迅速に行うため、UAVを用いたリモートセンシングを基礎とした農作業体系の確立を目的とする。初年度はUAVでバレイショ栽培ほ場を空撮し、オープンソースの画像解析ソフト（QGIS）を用いて農作物の生育状況を把握し、その有用性を評価した。

2. 材料と方法

(1) 試験ほ場

実験は山形県鶴岡市に位置する山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター（高坂農場）内に約8a（長辺約40m、短辺約20m）のほ場で行った。試験ほ場は2016年4月5日に粗耕起した後、4月13日に施肥と耕うんを行い、芽出したバレイショを手作業で畝間75cm、株間25cmの条件で定植した。バレイショの品種はトヨシロである。土壌改良資材と施肥は苦土重焼リンを20kg/10a、基肥が高度化成肥料（N：P₂O₅：K₂O、14：14：14）を10kg-N/10a、追肥として5月2日に硫酸を4.2kg-N/10a散布した。中耕・培土作業は歩行管理機（クボタ、TS700W、2.9kW）で5月13日と6月2日に計2回行った。雑草・病害虫防除は、4月12日の施肥時に殺虫剤（ダイアジノン5%粒剤、3kg/10a）、4月13日の耕うん、定植時に除草剤（トリフルラリン粒剤、3kg/10a）を散布した。生育期間中は、6月3日に殺虫剤（ペルメトリン乳剤、2000倍）、殺菌剤（マンゼブ水和剤、400倍）、展着剤（アブローチBI、5mL/10L）を添加して100L/10a散布した。生育後期の6月22日には殺虫剤（アセタミプリド水溶液、2000倍）、殺菌剤（ジメトモルフ・銅水和剤、400倍）、展着剤（アブローチBI、5mL/10L）を添加して200L/10a散布した。

* : 山形大学大学院農学研究科

** : 山形大学農学部

*** : 元秋田県立大学生物資源科学部

(2) 実験機の構成と撮影条件

バレイショほ場の空撮は小型ヘキサコプター (DJI, F550) にデジタルカメラ (GoPro, HERO3+) を取り付けて行った (図1, 図2)。空撮後の画像はPhoto scan (Agi soft) で合成と歪みの補正を行った。空撮は太陽が高い位置にある 10:00 から 14:00 の間に行った。

供試した UAV は基盤が内蔵されたプレート部, ESC やモーターが搭載されるアーム部, ジンバルやスキッドが搭載される下腹部で構成した。プレートにはコントローラー, 3 軸加速度センサー, 3 軸ジャイロセンサー, 気圧計などのフライトコントローラーや GPS (DJI, NAZA-M V2), 受信機 (FUTABA, R3008SB) が搭載されている。特に, フライトコントローラーは, 機体の状態や飛行環境に合わせて各モーターの回転速度を制御しているため, 従来の無人ヘリコプター以上の安定した飛行が可能である。UAV は縦・横が 600mm, 高さが 300mm である。カメラを搭載していない状態での質量は 1.634kg である。機体には 960kV のモーターを 6 つ搭載し, ペイロードが 2.4kg である。機体の主要諸元を表 1 に示す。

供試したデジタルカメラ (図 2) は解像度が 2624×1968 で魚眼レンズを搭載しているため, 広範囲の撮像が可能である。また, デジタルカメラには Wi-fi 機能が内蔵されているため, タブレット端末と接続して空撮映像をリアルタイムでオペレーターに送信して遠隔でシャッター操作できる。なお, 空撮にはタイムラプス機能を使い, 1 秒間隔で画像を取得した。ジンバルは 3 つのプレシレスモーターが搭載されており, 機体の傾きに応じてカメラの角度を一定に保持する。

空撮はバレイショ地上部が黄化を始める前の 7 月 12 日, 黄化を始めた年 7 月 24 日, 黄化と病害がそれぞれ確認された 7 月 31 日に行った。なお, 7 月 31 日の空撮時には, 健全個体 (3 地点), 病害個体 (7 地点), 雑草繁茂域 (1 地点) をそれぞれ識別するため, コドラー (80cm×80cm) を計 11 地点設けた。図 3 に試験ほ場と離着陸地点を示す。

UAV の操作はあらかじめ指定した離着陸地点 (人工芝のヘリポート) から離陸させ, ほ場東側からほ場南北方向 (長辺) に沿って北から南に飛行させる。次いで, 機体がほ場の南端に到達した時点で東西方向 (短辺) に沿って西に 2m 移動させ, 南北方向 (長辺) に沿って南から北に往復させた。この飛行経路はほ場西端まで繰り返して行い, ほ場全面を満遍なく撮影した後に離着陸地点に着陸させた。試験ほ場 (約 8a) の空撮に要した飛行時間は約 5 分であった。

表 1 UAV の主要諸元

		型番	DJI-F550RED-305ARF
機体	全長 (mm)		550
	全高 (mm)		300
	全備重量 (g)		1634
	最大ペイロード (g)		2400
	モーター回転数 (kV)		960
	プロペラ長		238.76
バッテリー	電圧 (V) ①/②		11.1/14.8
	電流 (mAh) ①/②		4200/5100
	重量 (g) ①/②		300/515

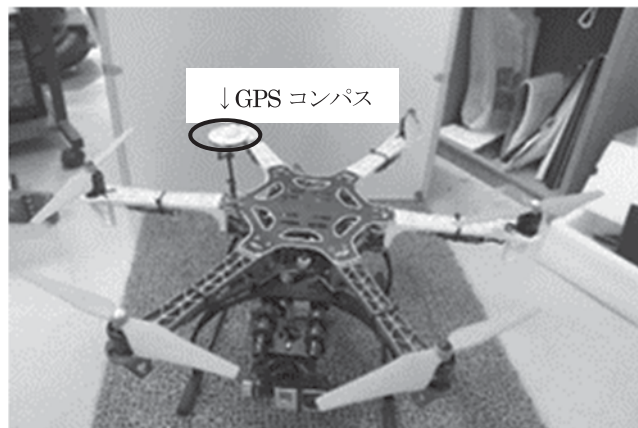


図 1 使用したマルチコプター



図 2 デジタルカメラとジンバル

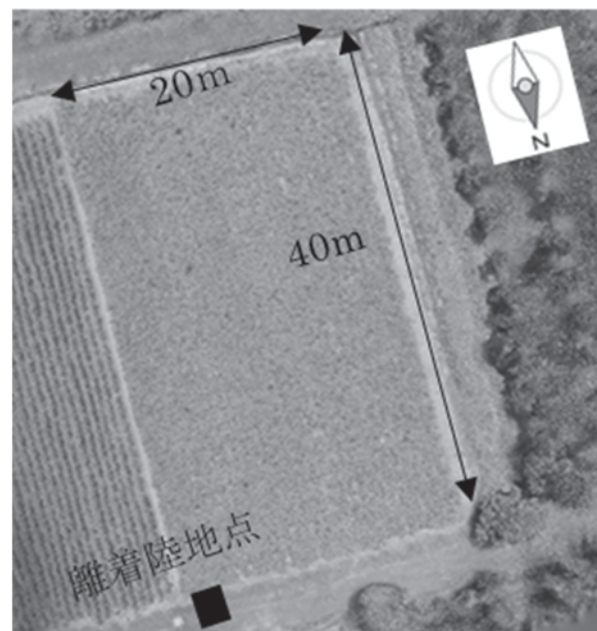


図 3 ほ場と離着陸地点

(3) 画像解析

撮影した空撮画像はPhotoscan (Agi soft) を使って合成し, オルソイメージを構築した。

航空カメラで撮影された空撮画像は魚眼レンズであるため, レンズの中心から対象物までの距離の違いにより, 画像にゆがみが生じ

る。このゆがみは写真の中心から周縁部に向かうほど大きくなる。オルソイメージは標高データを使って画像のゆがみをなくし、真上から見たような傾きのない画像に変換し、位置情報を付与した画像である。通常、標高データは同じ場所を重複して撮影した隣接する2枚の空撮画像を用いて画像相関などによって取得する。オルソイメージは画像の形状にゆがみがなく、位置も正しく配置されているため、画像上で位置、面積、距離を計測することができる³⁾。

オルソイメージを構築した空撮画像はQGIS（QGIS社）でラスタ形式のマップを作成した。作成したマップは取り込んだラスタレイヤからラスタ計算を行いGreenとRedのバンド間でG/R比を算出し、それをグレースケールでマップに表示した。

3. 結果

(1) 画像合成

図4に7月12日から7月31日にそれぞれ撮影したオルソイメージを示す。空撮画像はいずれも過不足なく合成でき、時期による植生の違いや黄化の進行の度合いが確認できる明瞭な画像となった。7月12日撮影画像では、バレイシヨの地上部が旺盛で畝間が見えなかったが、時期が進むにつれて畝間が明瞭に観察できた。これはバレイシヨ地上部が収穫時期に向けて枯れてきたためである。また、7月24日撮影画像では画像の南側に黄化している個体が確認できる。さらに、7月31日撮影画像では黄化した個体の他に、収量調査のために試し掘りをした部分も確認できる。以上から、UAVを用いて撮像した空撮画像は手順に従い高い精度でオルソイメージに合成できることが確認できた。

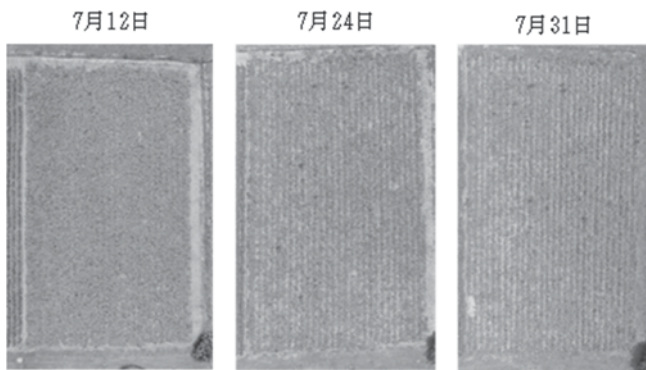


図4 バレイシヨほ場の空撮画像

(2) 地上部と空撮画像の比較

7月31日の空撮では地上で各コードラートを上から撮影し、得られた画像と同日の空撮画像とを比較した。各コードラートの画像と空撮画像から見た各コードラートの位置の画像を図5に示す。各コードラートは各地点とも空撮画像で認識が可能で、地上画像と比較して空撮画像からもコードラートの内の状況が確認できた。しかし、空撮画像では雑草とバレイシヨの地上部とを見分けることは難しく、病害の部分も識別することは難しかった。

(3) ほ場レベルのG/R比

7月12日、7月24日、7月31日のそれぞれの空撮画像のG/R比を計算し、グレースケールでマッピングした画像を図6に示す。図

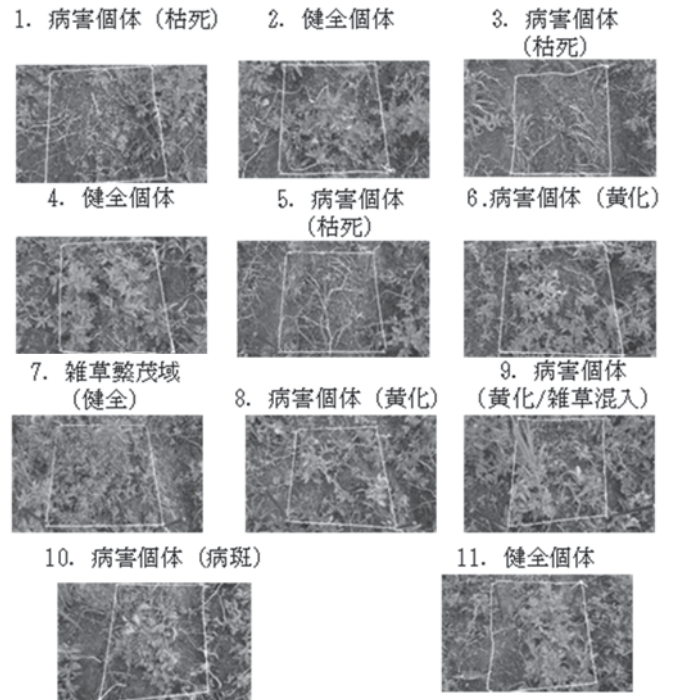


図5 試験区と個体の状態（地上画像）

中の黒が濃い部分は光合成活性が高く、白に近い部分は光合成活性が低いことを示す。

G/R比は7月12日から7月31日にかけて次第に光合成活性が低下した白い部分が多くなった。バレイシヨの地上部は生育の進展に伴い葉緑素活性が落ちていったため、茎葉が黄化したことを示している。7月24日と7月31日の画像では光合成活性が高い部分が点在しているが、これはアカザなどの雑草が写りこんだためである。以上から、空撮画像のG/R比は作物体の光合成活性に関するほ場モニタリングに利用できる。

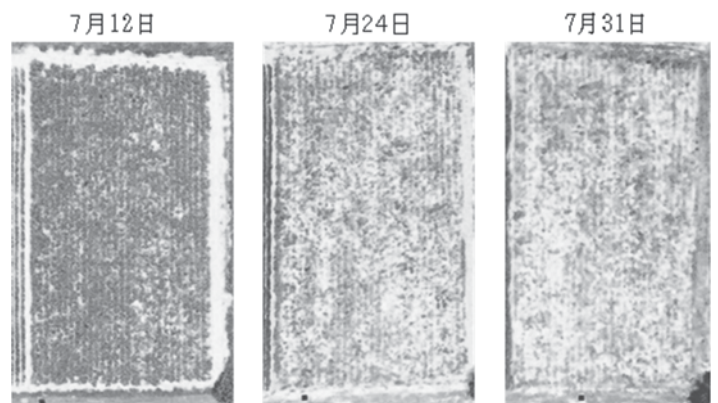


図6 バレイシヨほ場のG/R比

(4) 個体レベルのG/R比

図5の地上で撮影したコードラートの画像のGR比を算出し、グレースケールでマッピングしたものを図7に示す。図8に同日のほ場のG/R比と試験区を示した。

得られた画像は空撮画像と同様に葉緑素活性の高い健全個体が濃い黒、黄化が進んだ個体や土壌が白く表示された。また、バレイシヨ疫病に感染した個体は、病斑を示す白い斑点があった。雑草は

白く表示された。これは、雑草の花弁の部分が主に写されたため、白く表示されたものである。地上で撮影した画像では空撮画像よりも被写体の違いからくるG/R比の違いが鮮明に確認できた。G/R比は画像の解像度を高めることで植物の生育や病害などの判定に利用できる可能性がある。

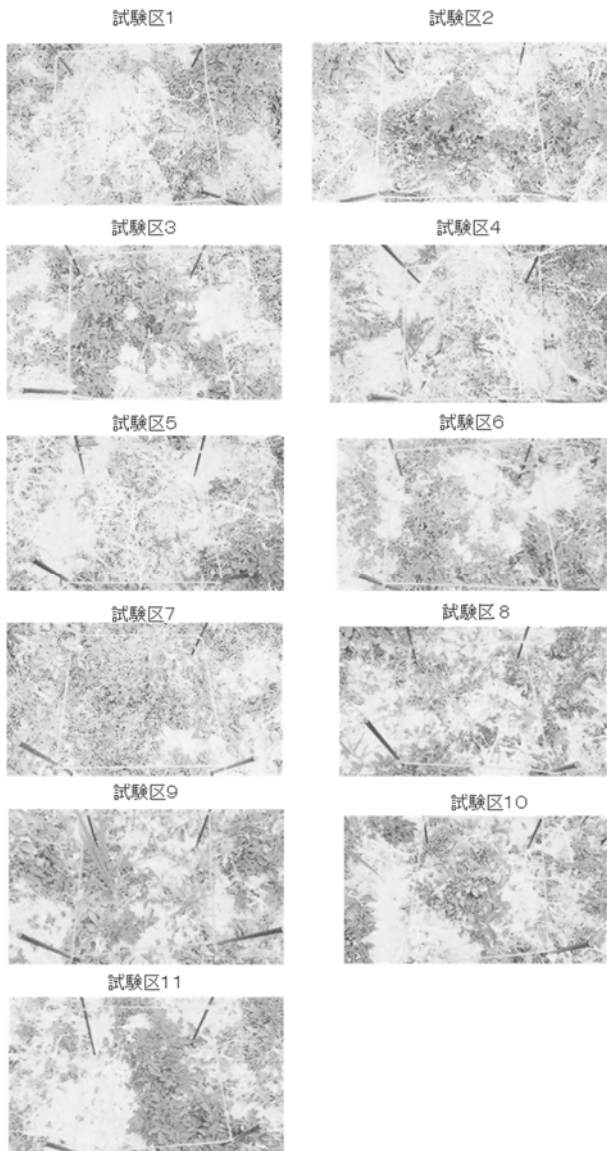
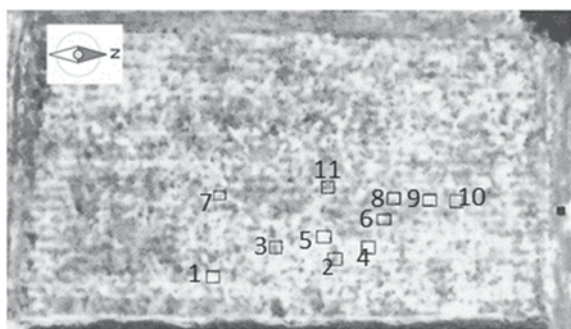


図7 各試験区でのG/R比算出画像



注：□と数字はコドラードと試験区を示す

図8 試験区の配置状況

(4) 収量調査

図9に栽培ほ場でのパレイショの収量割合を示す。

パレイショの収穫物は良品（加工用）が28%となり、その大部分が規格外品であった。規格外品はケラによる虫害が26%と多く、良品に次ぐ割合であった。これはほ場の排水性に問題があったと考えられる。また、ほ場の排水性は軟腐病やパレイショ疫病等の発生も助長した。緑化は虫害に次いで多くなった。これは歩行管理機での培土量が少なく、塊茎の一部が露出していたためである。本年度は萌芽の段階で間引きをしたことから、塊茎への栄養が過剰になったため、塊茎が通常の規格よりも大きく生長した個体が多かった。

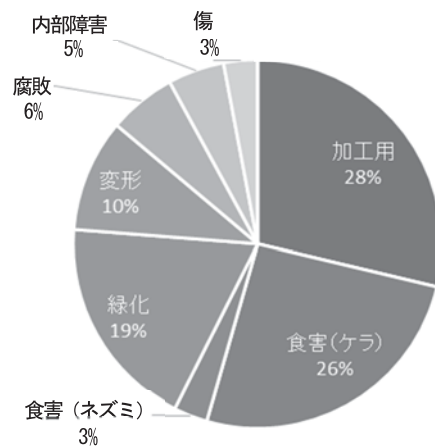


図9 収穫物の割合

4. 摘要

本研究では、UAVにデジタルカメラを搭載したリモートセンシングでパレイショほ場の作物のモニタリングを行い、以下の結論を得た。

- 1) オルソイメージに合成した空撮画像は植生の違いや、黄化の進行などが明瞭に確認された。
- 2) 画像のG/R比は時期が進むにつれて低くなった。空撮画像では試験区の状況確認が可能であり、開発したモニタリングシステムでパレイショ畑の状況把握に利用できる可能性が示された。

参考文献

- 1) 農林水産省, 2016. 農業構造動態調査, <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukou/index.html>. Accessed Oct. 31, 2016.
- 2) 秋山侃, 齊藤元也, 福原道一, 深山一弥, 1996. 農業リモートセンシング - 環境と資源の定量的解析 -, 養賢堂, 1-56.
- 3) 国土地理院, 2016. オルソ画像について, <http://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa40002.html>. Accessed Oct. 31, 2016.

フィンランドにおける穀物乾燥の省エネルギー技術動向調査報告

金井源太*

Development of the energy saving in grain drying in Finland

Genta Kanai*

[キーワード] 穀物乾燥, 木質チップ, ヒートポンプ, 省エネルギー, 水分計

1. はじめに

日本では、主にその湿潤な気候から立毛で穀物の乾燥が十分に進むことは難しく、一般的に籾の場合で収穫水分が25 %w. d.程度、小麦では30 %程度という高水分で収穫される場合もあり、乾燥は穀物生産においては必須の工程である。そのため、穀物生産におけるエネルギー消費の約1/3は乾燥工程が占めており¹⁾、乾燥に要するエネルギーを削減するためヒートポンプやバイオマス直接燃焼熱利用などが提案されている^{2) 3)}。

フィンランドではその寒冷な気候から穀物の収穫水分が22 %程度⁴⁾であり、日本と同じく機械火力乾燥が必須である。そのため、同国においても穀物乾燥の省エネルギー化は農業研究上の課題であり、関連する研究発表もなされている⁵⁾。今回、同国での穀物乾燥の省エネルギー技術動向調査を行う機会を得たので、関連技術の研究開発、導入状況を調査し、課題の共通性、共同研究の可能性を明らかにすることを目的として本報告を行う。

2. 調査日程および訪問先

現地における穀物の収穫時期である9月上旬に約1週間の日程で、調査を行った。今年気象条件は、8月中はやや天候不順であったが、9月上旬の調査期間中は天候に恵まれ、収穫乾燥作業は順調とのことであった。

ヘルシンキ大学農学部 (Hannu Mikkola 博士, Tapani Jokiniemi 博士ら) を訪問し、研究者間の情報交換のほか、収穫段階から慣行乾燥、ヒートポンプ乾燥、省エネルギー乾燥技術の実施状況、農家聞き取りを行った。

具体的な訪問先と概要を表1に示す。ヘルシンキ大学農学部および付属農場 (Vikki campus) では、現地でのバイオマス利用、特に木質チップの状況についての情報交換、および穀物乾燥実験設備、付属農場の施設、Favabean のコンバイン収穫 (ソラマメの一種、成熟後の収穫) 作業見学を行った。

乾燥機メーカーであるでは、穀物乾燥機、特に市販品の木質チップ (木質ペレット、ピートなども利用可能) を熱源とする穀物乾燥機について解説を受け、Kalle Isotalo 社長を交え現地での導入状況について情報交換を行った。

機械メーカーである担当者からヒートポンプ穀物乾燥機を導入現地農家にて、実機について解説を受けた。その他、慣行の火力乾燥機を利用している現地農家2件、オート麦の収穫作業等を見学した。また、Fredrik Ek 氏 (ProAgria-SLF (スウェーデン語圏農家へのアドバイザー)) から、地域エネルギーの利用、木質チップガス化装置および古い小水力発電装置の再生プロジェクトについて解説を受けた。

表1 訪問先および調査概要

訪問先	調査概要
ヘルシンキ大学農学部 および付属農場 (Hannu Mikkola 博士, Tapani Jokiniemi 博士ら)	バイオマス利用に関する情報交換, Favabean 収穫見学
Antti Teollisuus Oy (Kalle Isotalo 社長ら)	穀物乾燥機, および木質チップ(ペレット, ピートなど)熱源穀物乾燥機に関する情報交換
CALEFA (Petri Vuori 氏)	ヒートポンプ利用穀物乾燥機に関する情報交換
Fredrik Ek 氏 (ProAgria-SLF)	木質チップガス化装置, 地域エネルギー利用(小水力発電装置再生など)について情報交換
現地農家 (Mika Äijälä Farm, Helsinki city farm, 他2件)	オート麦収穫見学, および現地における穀物収穫乾燥の状況, 農家の機械装置について聞き取り調査

3. 現地事情

(1) 基本データ比較

技術導入の可能性を探る際には、その前提としての基本データの比較が必須である。表2に人口密度と国土面積、図1に気候条件について示す。

表2より人口密度は日本の1/20以下と低く、一人あたりの森林面積も広いことから、前提条件として、バイオマスとして利用できる自然資源も豊富であることが理解できる。図1より気候はやはり寒冷であり、その影響もあり相対湿度も短い夏期を除いて高く推移している。穀物収穫時期である8月下旬以降は湿度が上昇しており、機械乾燥が必須である事情が理解できる。

* : 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター福島研究拠点 福島県福島市

表2 人口および国土面積比較

	日本	フィンランド
人口密度 [人/km ²]	336 (北海道:69, 岩手 84, 秋田:88)	15.7
国土面積 [km ²]	37.8	33.8
森林割合 [%]	69	73
1人あたり 森林面積 [ha]	0.2	4.6



写真1 自分で建築した自宅

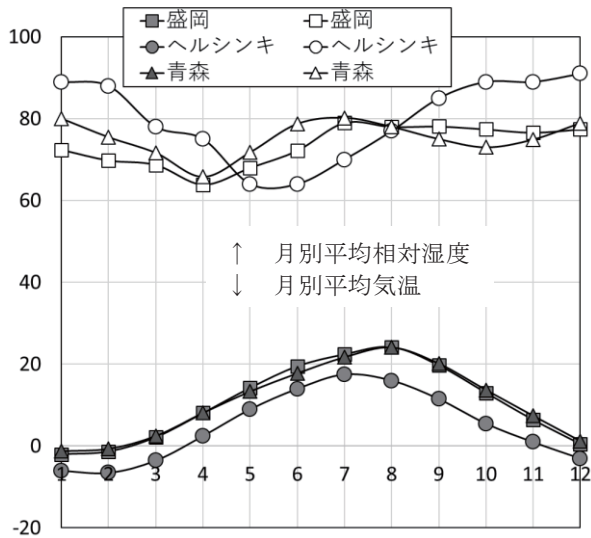


図1 フィンランド（ヘルシンキ）と東北地方の気候比較
 (国内データ:気象庁 HP より 2005-2015 平均, ヘルシンキデータ:
 “http://www.helsinki.climatemp.com”より入手)

(2) 森林との関わり

森林の約75%が私有林であるが、誰の所有でも立入り、ベリー摘み、キノコ取りは、伝統的な権利として自由と
 のことであった。ただし、焚火と25歳以下の人間の釣り
 には、別に手続が必要とのことであった。森林資源の永
 続的利用に影響する行為には制約があると考えられる。

聞き取り調査の中で10haを超える森林を所有している
 農家が多く、薪や木質チップの調達もトラクタ直装のチ
 ッパにより可能で、薪ストーブ、チップボイラー等の燃
 料用は自給している場合も多いようであった。関連して、
 地下熱利用ヒートポンプによる家庭暖房も一般的とのこ
 とであった。

町に出ている世帯でも、田舎の実家では森林を所有し
 ていることが多く、しばしば、実家に帰り森林に関わっ
 ているとのことであるが、さらに次の世代になると森林
 との関係が希薄になることが予想され危惧しているとの
 ことである。例えば、伝統的に住宅は木造で、自宅は自
 分で建てるのが一般的であったが、最近の若い世帯で
 は建築会社に依頼する事例も増えているとのことである。
 独立後100年(1917年独立)なので、日本より都市部への
 人口流入による問題の発生が遅いとも考えられる。



写真2 蓄熱量が多いとされる石材を用いた薪ストーブ



写真3 トラクタ直装のチップパによる木質チップの自給

4. 穀物乾燥工程の省エネルギー化

(1) 現地農家の乾燥事情

対象作物は小麦、大麦、ライ麦、オート麦、ナタネ、キャラウェイなどで、基本的には各農家が数千トンの貯留能力の乾燥施設を持っており、自家乾燥して出荷する。また、1シーズン分の収穫量をすべて貯留する能力は無く、収穫乾燥シーズンにも順次出荷、販売しながら収穫乾燥作業を行う。収穫水分は、条件が悪い年には25%前後のこともあるが、条件が良ければさらに乾燥している場合や、条件が悪いと収穫できない年もあるとのことであった。

乾燥施設は、敷地内の高低差を利用してピット式のホップとなっており、搬出時もトレーラトラックの荷台に直接落せるようになっていた。また、各部の温度や搬送経路を総合的に制御できる制御盤が付いていたが、リアルタイム水分測定装置は付いていなかった。燃料は作業機と共通で軽油を利用しているとのことであった。

(2) 慣行火力乾燥機

見学した稼働中の施設では通風温度 66 °C、排気 31 °C 排気温度であった。乾燥部を通過すると 1 % 程度乾燥が進み、乾減率 1 %/h とのことであったので、1 時間に 1 回循環すると考えられる。

フィンランドでの報告⁴⁾によると、徐水量 1 kg あたり軽油 120 g (約 5.6 MJ) を用いているとのことである。同報告で一般的な事例として挙げられる 1 ha 収量 3.5 t、収穫水分 22 %、仕上げ水分 13 % に基づくと、1 ha あたり穀物乾燥に用いる軽油は 76.5 L となる。表 3 に調査を行った農家での燃料消費の調査結果と文献情報との比較を行った。農家 A に関しては、乾燥機のみでの燃料消費が確認しなかったが、試算値よりかなり大きな値となっているため、一部作業機にも使っていると推察される。農家 B に関しては、燃料量は乾燥に用いた燃料のみと確認したが文献値とほぼ一致した。農家 C については、作業機の燃料にも使っているとのことであったが、試算値との差分は、作業機での消費には少なすぎるため、作業機用には別にも給油を行っているかと推察される。

表 3 火力乾燥燃料利用調査

	圃場 面積 [ha]	乾燥機 能力 [kW]	燃料 消費量 [L/年]	燃料消費 量(試算) [L/年]
農家 A	300	-未調査-	40 000	22 950
農家 B	200	800	15 000	15 300
農家 C	150	-未調査-	15 000	11 475

(3) 木質チップ燃料利用穀物乾燥機

a) Antti Teollisuus Oy

同社は同族企業で社員は 140 人、50 ha の敷地があり、穀物乾燥機の製造のほか、加工設備を活かして客船の木

製ドアも販売し、工場の周年稼働を実現しているとのことであった。また、収穫シーズンでもあり、同社の農場か社長個人の農場か不明であるが、対応した社長も「今からコンバインに乗って収穫の続きをする。」とのことであった。同社に併設されている木質チップ燃料利用穀物乾燥機で、その収穫物を乾燥させるようであった。

木質チップ燃料利用穀物乾燥機については、導入コストはかかるが、燃料である木質チップが自給可能、あるいは安価であるため、製品として市販しているとのことであった。フィンランド国外でも 3 000 kW の製品をリトアニアに出荷した実績や温室暖房用途での利用例もあるとのことである。

ここでは「木質チップ燃料利用」としたが、燃焼装置は燃料として搬送可能なペレットやピート、その他のバイオマスも燃料利用可能とのことである。温風発生部分は、ストーカー炉と燃焼空気と外気の熱交換器からなり、着火には軽油を用いるようであった。同社のホームページ上 (<http://antti-teollisuus.fi/>) では、BioHeater として 400 kW から 1 600 kW までの製品が紹介されている。カタログによると燃料費をペレットで 50%、チップで 70 %、ピートで 90 % 削減できるとのことである。現地での聞き取りによると概算価格は 800 kW のヒーター部分のみで約 60 000 ユーロとのことであった。また、同社の MobileDryer (200 kW) は、約 40 000 ユーロとのことであった。



写真 4 併設の木質チップ利用乾燥施設
(右: BioHeater 本体)



写真5 BioHeater ストーカー炉内部

b) 木質チップ燃料利用穀物乾燥機導入農家

調査した500 ha規模の農家の導入理由は燃料代の削減とともに環境意識もあるとのことであった。メーカーでの説明同様に導入費用が高いが、チップの自家調達が可能で、「チップは買ったとしても油より安い」とのことであった。他の農家聞取りでも10 ha以上の森林所有はめずらしくなく、一般的に入手は容易とのことであった。

表4に各種バイオマスの価格についてまとめた。石油と比較すると現地では木質バイオマス燃料や泥炭がかなり安価で入手でき、それらを使った燃焼機器の需要が十分に見込めることから、穀物乾燥機の開発～販売が進んだと考えられる。

表4 各種バイオマスの価格比較*

	価格(フィンランド) [Euro/MWh]	価格(国内) [円/MWh]
石油	Light oil:81 [100]	灯油:8 360 [100] (1 534 円/18L, 36.7MJ/L)
木質 ペレット	58 [72]	8 470 [101] (40 円/kg, 17 MJ/kg-wet)
木質 チップ	21 [26] (50 km 輸送後の価格)	2 727 [33] (15 円/kg-dry, 19.8 MJ/kg-dry)
泥炭 (Sod peat)	15 [19]	-

*フィンランド:Energy prices 2016,2nd quarter (Statistics Finland)
http://www.stat.fi/til/ehi/2016/02/ehi_2016_02_2016-09-07_en.pdf,
 木質ペレット:ウェブ上販売価格より,
 木質チップ:「木材チップ市況」より絶乾製紙用チップ(サイロ下価格),
<http://zmchip.com/chipprice2809.html>,括弧[]内は石油燃料を100とした場合の価格比較

(4) エンジンヒートポンプ利用穀物乾燥機

図2にCALEFA社のエンジンヒートポンプ利用穀物乾燥機の概要を示す。装置は乾燥機の排気からHPで熱回収し、温湯を発生させ、熱交換器で外気を加熱後、補助バーナーでさらに加熱を行い、加熱通風を行う仕組である。HPは、ディーゼルエンジン駆動である。乾燥機排熱は35℃

程度で、バグフィルターにて除塵後に不凍液と熱交換を行い、15℃程度で排出される。熱回収に伴って結露水が発生することであった。HPは排気から回収した熱から65℃程度の温湯を発生させ、温湯との熱交換で外気を加熱後、さらに補助バーナーも用いて温風を発生させ、加熱通風乾燥を行う。乾燥機容量は30tである。導入した現地農家は300ha(小麦、オート麦、ライ麦、大麦など)の経営で、乾燥に年間40000L程燃料を使用していたが、HP式乾燥機を導入後は約半減したとのことである。装置導入前の火力乾燥では、軽油消費率が約47L/h(500kW消費、熱変換効率は8割程度)であったが、導入後にはHP部分で12L/h(127kW消費、軸動力への変換効率は3割程度)、補助バーナー部分で10L/h(106kW消費)の合計22L/hとなり約1/2の燃料使用量となった。HP駆動用のディーゼルエンジンは約50kW、HPの熱出力は約200kW、HP熱出力とエンジン排熱と併せて250kW程度とのことであった。メーカーとしては導入費用が高いにもかかわらず、年間2ヶ月程度の利用しか見込めないため、HPユニットの汎用利用を検討中とのことである。

HP利用乾燥機や温室の冷暖房について、電気モーター式HP利用例は国内でも報告されているが、エンジン式ヒートポンプの事例はガスエンジンHPなど少数である。メーカー担当者によると、エンジンで駆動させているだけで技術的に特に難しいところはなく、HP能力についても同機より小型のものも容易に作れるだろうとのことであった。また、やや大型のバッテリーと発電機も内蔵されており、制御用の電源も自給し、スタンドアロンで駆動できるとのことである。国内へのエンジン式HP導入可能性に関して、調査を行いたいと考えている。

個人的な意見であるが、乾燥設備やプラントにおいて、動力源としてモーターを使うことが一般的になっているが、装置の利用形態によってはエンジンをういたほうが安価、省エネとなる場合もあるのではないかと考えている。つまり、電力契約上では年間を通して基本料を払うことになるが、使用頻度に季節変動のある農業分野などでは、エンジンやトラクタのPTOなどを利用して季節性のある作業を行うことも可能であり、また、エンジン動力を利用する場合は、エンジン排熱も利用可能となるため、乾燥作業などには有効ではないかと考える。

(5) 乾燥機の水分計について

現地の乾燥機は能力も大きく、先進的な操作盤があるものの、通常の日本の乾燥機のようなリアルタイムの水分測定機能は付いておらず、乾減率1%/hとして、タイマー運転で乾燥作業が一般的とのことであった。

日本の乾燥機では通常、水分計も付属している旨を現地農家にしたところ大変興味を示していた。現地への導入可能性があるか、国内乾燥機メーカーおよびヘルシンキ大学と引き続き検討を行う予定である。

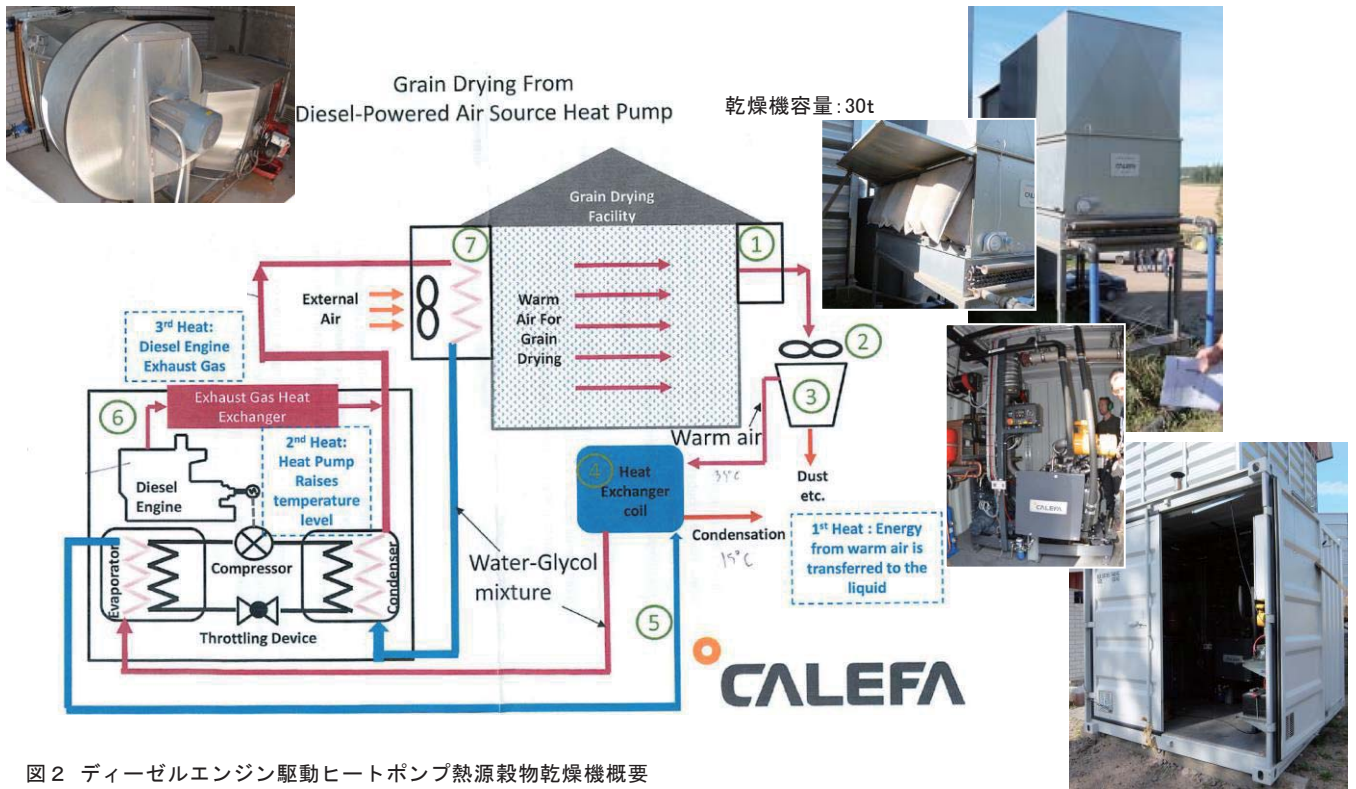


図2 ディーゼルエンジン駆動ヒートポンプ熱源穀物乾燥機概要

(右上：排気はバグフィルターで除塵後に熱回収，右下：コンテナ収納のHP，左上：HPからの温湯で温風を発生，軽油バーナーで補助加温)



写真6 SAMPO 製コンバイン
(左：Favabean 収穫，右：刈高表示器)



写真7 トラクタアタッチメントとしての林業機械



写真8 林地にて自然乾燥中の木材
(左：丸太，中：根（切株）部分，右：枝葉部分)

5. 関連情報

(1) ヘルシンキ大学農学部について

ヘルシンキ大学農学部はヘルシンキ中央駅からバスで30分ほどの距離にある Vikki Campus 内に位置している。農業工学系の大学院はフィンランド国内では同大学だけとのことであるが、毎年、20名程度の学生がはいてくるとのことであった。また、農機メーカーは農業工学系の卒業生とともに工学部の卒業生も採用する傾向があり、大学側としては危機感を持っているようであった。

農業機械系では、作業の自動化や精密農業などをはじめ、日本国内と同様に先進的な研究が行われているようであった。

(2) 農業事情

訪問時は秋の収穫シーズンであった。以下に現地の農業について、断片的な情報であるが紹介する。

作物は、大麦、小麦、オート麦、ライ麦、ナタネ、キャラウェイなどで、特にキャラウェイは香付けとして料理に多用され、販売価格も高いため、収入源として重要とのことであった。畑作中心であるが、雪解けにともな水溜りができるので、排水対策としての暗渠施工は重要とのことであった。

大規模化が進んでおり、乳牛でもこの30年くらいの間に経営規模が10頭から30頭程度まで増加しているとのことであった。プラウを掛けない所謂ミニマムティレッジについても、増加傾向で、農家も試験的に面積を増やしているとのことであった。

現地メーカーである SAMPO 社のコンバインを写真1に示す。国内で見かけない機能として、機械式と思われる刈高表示器がついており、倒伏作物収穫時など地面が視認できない場合に便利とのことであった。

(3) 林業および木質エネルギー

上述のとおり10haを超える森林を所有する農家は珍しくなく、薪や木質チップも多く多くの農家で自給可能で、さらに購入しても安価である背景について、断片的な情報であるが以下に紹介する。

農家が木質資源を自給できる背景として、林地が急峻な斜面でないことやある程度の林道が確保されていることなどとともに、写真7に示すようにトラクタに林業用アタッチメントが珍しくない点が上げ挙げられる。

写真8に示すように木材は林地にて上面にカバーを掛け、1-2年自然乾燥させた後にチップ化を行うとのことであった。カバーは通気性はあるが、水は通さない素材とのことである。根を含む切株部分や枝葉の部分も同様に乾燥を行い、燃料に用いている。なお、薪は1m³で40ユーロ程度であった。丸太部分の優良なチップは主に製紙会社に販売している。

また、利用に関して Fredrik Ek 氏 (ProAgria-SLF) からは、製品として販売しているコンテナ型の木質チップガス化装置や自作の木質チップから発生させたガスによ

り走行する改造自動車について、解説を受けた。自動車に関しては途中フィルタ掃除や燃料補給などあったが、実際に50km以上同乗させてもらった。バイオマスのガス化利用は、高い効率を出すためには高度な制御が必要であると考えられるが、動作する最低条件であれば、上記の自動車のように自作小型システムも可能との印象を受けた。一般的に木質ガス化については、発電利用、FT合成用途などであるとのことであった。

6. まとめ

現地調査を踏まえて、今後、日本国内で確認検討したい事項についてまとめる。

(1) ディーゼルエンジン HP 乾燥機について

技術的な難易度は低いようであり、エンジン式 HP を利用した穀物乾燥機の開発可能性について確認する。

(2) 木質バイオマスのコスト低減策について

林地でカバーをして1-2年乾燥させることで、安価に木材を確保できる可能性について、国内の気象条件、樹種、地勢の観点から確認する。

(3) 木質チップの自家生産

トラクタアタッチメントとしての林業機械やチップの普及で、木質バイオマスを自給する山林を所有する農家は増加するか検討する。その場合、木質チップ乾燥機や自給用のガス化発電装置の普及余地についても検討する。

謝辞

AgEng2016 (デンマーク王国オーフス開催) にて、ヘルシンキ大学農学部 Hannu Mikkola 博士、および Tapani Jokiniemi 博士と知り合うことができた。

両氏には、今回の調査において現地における農繁期にもかかわらず、視察先の選定を始め、移動に至るまで全行程でお世話になりました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 農業機械学会, 農業機械による環境保全機能向上のための調査研究, 1992, No. 3, 200-201.
- 2) 金井源太, 小林有一, 竹倉憲弘, 加藤仁, 薬師堂謙一, 2010. ペレットボイラーを熱源とした循環式乾燥機の可能性, 農業機械学会誌, 72 (3), 297-299
- 3) 野田崇啓, 日高 靖之, 横江 未央, 松田 和一郎, 渡邊 大輔, 2013. CO₂ 冷媒ヒートポンプ給湯器の温水を利用した循環式乾燥機による籾の熱風乾燥に関する研究, 農業施設, 44 (1), 22-29.
- 4) Jukka Ahokas, Hannu Mikkola, et al. 2013. Energy and Agriculture in Estonia and Finland, ENPOS, <http://enpos.weebly.com/>.
- 5) Tapani Jokiniemi, 2016, Technical aspects for energy savings in grain recirculating mixed-flow hot-air grain dryer, 4.1 Tractors and Implements, power and energy efficiency, AgEng2016 Abstract.

**TOHOKU BRANCH REPORT
OF
THE JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY AND FOOD ENGINEERS
CONTENTS**

Essay : Jun-ichi TAKEDA

RESEARCH PAPERS

Hayato SHINDO • Masanori SAITO • Keiji SASAKI • Shinsuke KONNO • Mitsuhiko KATAHIRA Semi-crawler Tractor Effectiveness for Laser Leveling on Paddy Field	1
Shinsuke KONNO • Mitsuhiko KATAHIRA Fuel consumption of tractor during rotary tillingon paddy fields	5
Hayato SHINDO • Chikako MIURA • Shinpei NAKAGAWA • Masanori SAITO Work Efficiency and Weed Control of a Trailed Weeding Machine for Paddy Field	9
Mai SATO • Dai TANABE • Mitsuhiko KATAHIRA Establishment of a Power Farming System in an Upland Field Converted from Paddy Field (Part 2)	13
Tomomi OTAKE • Hayato HIRASE • Tomoya MASUYAMA • Mitsuhiko KATAHIRA Labor Saving Techniques for Welsh Onion Cultivation Using Fertilizer-Applicator Ditcher (Part 4)	17
Masanori SAITO • Hayato SHINDO • Motomu HONJO • Satoru TAKEDA • Mitsuhiko KATAHIRA • Jun-ichi TAKEDA Improvement of Mechanical Seeding Technique on Green Soybeans	21
Shoji KOIDE, Aika SATO, Takahiro ORIKASA, Jun-ichi TAKEDA Study on the Production of Instant Brown Rice (Part 1)	25
Shiori ABE • Shuhuai ZHANG • Xujun YE Estimation of Nitrogen Content in Apple Leaf using Hyperspectral Imaging	29
Dai TANABE • Ayumi NAKATSUBO • Naohito TOGASHI • Eiji HOMMA • Mitsuhiko KATAHIRA • Hiroshi SHIMADA Growth monitoring of horticulture crops using unmanned aerial vehicle (part 1)	33
Genta Kanai Development of the energy saving in grain drying in Finland	37
TOPICS	43
NOTES	57
ORGANIZATION DIRECTORY	76